國家環境研究院編印（定稿本）

案號：**113FB009**

淨零政策之環境風險評估(2/4)

受託單位：工業技術研究院綠能與環境研究所

執行期間：自 **113** 年 **2** 月 **19** 日起至 **113** 年 **12** 月 **31** 日止

印製年月：中華民國一百一十三年十二月

國家環境研究院編印（定稿本）

案號：**113FB009**

淨零政策之環境風險評估(2/4)

受託單位：工業技術研究院綠能與環境研究所

執行人員：杜敬民、紀凱獻、張榮偉

王厚傳、李彥芬、潘詩諭

計畫經費：新台幣 **835** 萬元整

執行期間：自 **113** 年 **2** 月 **19** 日起至 **113** 年 **12** 月 **31** 日止

印製日期：中華民國一百一十三年十二月

「淨零政策之環境風險評估(2/4)」計畫

報告基本資料表

<table>
<tr><td>委辦單位</td><td colspan="3">國家環境研究院</td></tr>
<tr><td>執行單位</td><td colspan="3">工業技術研究院綠能與環境研究所</td></tr>
<tr><td>參與計畫人員姓名</td><td colspan="3">杜敬民、紀凱獻、張榮偉
王厚傳、李彥芬、潘詩諭</td></tr>
<tr><td>年　　度</td><td>113</td><td>計畫案號</td><td>113FB009</td></tr>
<tr><td>研究性質</td><td colspan="3">基礎研究　■應用研究　技術發展</td></tr>
<tr><td>研究領域</td><td colspan="3">空氣檢測技術與環境風險評估</td></tr>
<tr><td>計畫屬性</td><td colspan="3">科技類　■非科技類</td></tr>
<tr><td>全程期間</td><td colspan="3">113年2月～113年12月</td></tr>
<tr><td>本期期間</td><td colspan="3">113年2月～113年12月</td></tr>
<tr><td rowspan="6">本期經費</td><td colspan="3">8,350千元</td></tr>
<tr><td colspan="2">資本支出</td><td>經常支出</td></tr>
<tr><td colspan="2">土地建築___千元</td><td>人事費1,606千元</td></tr>
<tr><td colspan="2">儀器設備___千元</td><td>業務費4,344千元</td></tr>
<tr><td colspan="2">其　　他___千元</td><td>材料費780千元</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>其　他1,620千元</td></tr>
<tr><td colspan="4">摘要關鍵詞（中英文各三則）

環境風險評估、淨零、固體再生燃料
Environmental Risk Assessment, Net Zero CO_2 Emission, Solid Recovered Fuel</td></tr>
</table>

計畫成果中英文摘要（簡要版）

一、中文計畫名稱：

淨零政策之環境風險評估(2/4)

二、英文計畫名稱：

Environmental risk assessment of net zero CO_2 emissions (2/4)

三、案號：

113FB009

四、執行單位：

工業技術研究院綠能與環境研究所

五、計畫主持人（包括共同主持人）:

杜敬民

六、執行開始時間：

113/2/19

七、執行結束時間：

113/12/31

八、報告完成日期：

113/12/16

九、報告總頁數：

568

十、使用語文：

中文，英文

十一、報告電子檔名稱：

淨零政策之環境風險評估(2/4)-成果報告

十二、報告電子檔格式：

WORD

十三、中文摘要關鍵詞：

環境風險評估，淨零，固體再生燃料

十四、英文摘要關鍵詞：

Environmental Risk Assessment, Net Zero CO_2 Emission, Solid Recovered Fuel

十五、中文摘要（約 300 至 500 字）

固體再生燃料（Solid Recovered Fuel, 簡稱 SRF）可以減少垃圾掩埋的需求，同時降低化石燃料的使用，進而減少溫室氣體排放。不過由於 SRF 成分複雜，燃燒過程可能產生有害污染物對環境造成風險，因此本計畫目的是進行 SRF 使用場域之污染物排放調查及環境風險評估。截至 113 年 11 月為止，國內具有 SRF/RDF 為燃料之固定污染源”設置”或”操作及燃料使用”許可共 22 家，累計 SRF/RDF 之許可最大使用量約 196 萬公噸/年。112 年國內生產 SRF 相關產品申報量約 29 萬公噸，佔最大許可使用量的 15%。

年初已取得及許可正常運轉的 16 家 SRF 使用廠家中，國環院計畫去年（112 年）已完成 5 家 7 場次的污染物排放調查工作，本計畫完成 11 家 12 場次的污染物排放調查工作，檢測基質包含排氣、廢棄物（飛灰及底渣）、放流水，檢測污染物包含持久性有機污染物(PCDD/Fs)、多環芳香烴碳氫化合物(PAHs)、重金屬、PSN（粒狀物染物、二氧化硫、氮氧化物）及塑化劑等。同時採集 27 件替代燃料及原料樣品進行元素、重金屬及塑化劑含量分析，目前環境部「固體再生燃料品質標準」中的 Cl、Pb、Cd 皆符合標準。排放污染物的檢測調查工作中，有 3 家 SRF 使用廠排氣的 PCDD/Fs 濃度超標，這三家

使用的 SRF 燃料中 Cu 含量皆較其他廠高，而 Cu 為 PCDD/Fs 低溫再合成之觸媒。其中 1 家因採樣期間處於啟爐不穩定階段導致排放濃度較高。廢棄物樣品中只有 1 家飛灰 PCDD/Fs 濃度超標，因其 SRF 混燒比高(86.2%)且飛灰中 Cu 含量最高。討論 PCDD/Fs 的排放因子發現 PCDD/Fs 排放濃度與 SRF 或替代燃料中的 Cl 含量及飛灰中 Cu 含量成正相關。排放管道 PSN（包含粒狀污染物、二氧化硫及氮氧化物）只有 1 家的 SO_2 超標，其餘皆符合目前排放標準，超標原因是該廠使用含高硫(S)份廢橡膠作為替代燃料，並且採用乾式脫硫方式，除酸效果不佳所致。其他排放管道、廢棄物及放流水樣品的所有檢測項目皆符合現行排放標準。

本計畫針對台中、雲林等地區之 SRF 使用廠排放源使用 AERMOD 進行其 PCDD/Fs、PAHs 及重金屬等污染物之擴散沉降模擬，作為環境風險評估的依據。蒐集及比較歐、美、日環境風險評估模式後，發現其模式皆須使用其內建之參數，且僅可代表歐、美環境特性，而加州多介質模式可帶入臺灣本土環境參數，且利用蒙地卡羅分析降低不確定性，目前 Tier 1 環境風險推估情形，在不同廠區中，不同介質（土壤、水體、底泥）中不同化學物種（PCDD/Fs、PAHs、重金屬）推估之環境風險的危害商數（RQ 值）皆小於 1，表示目前無立即執行生態風險評估之需要。

十六、英文摘要：

Solid Recovered Fuel (SRF) can reduce the demand for landfill space while lowering the use of fossil fuels, thereby reducing greenhouse gas emissions. However, due to the complex composition of SRF, its combustion process may generate harmful pollutants that pose environmental risks. Therefore, the objective of this project is to investigate pollutant emissions from SRF utilization sites and conduct environmental risk assessments.

As of November 2024, there are a total of 22 domestic facilities with stationary pollution sources permitted for either the "establishment" or "operation and fuel use" of SRF/RDF as fuel. The total maximum permitted usage of SRF/RDF is approximately 1.96 million metric tons per year. In 2023, the reported production

volume of SRF-related products in the country was approximately 290,000 metric tons, accounting for 15% of the maximum permitted usage.

Among the 16 SRF-utilizing facilities that had obtained permits and were operating normally earlier this year, this project completed pollutant emission investigations for 5 facilities across 7 sessions last year (2023). This year, investigations for the remaining 11 facilities across 12 sessions were completed. The analysis covered emissions in the flue gases, waste (fly ash and bottom ash), and effluent. Pollutants tested included persistent organic pollutants (PCDD/Fs), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), heavy metals, PSN (particulate matter, sulfur dioxide, and nitrogen oxides), and plasticizers.

Additionally, 27 samples of alternative fuels and raw materials were collected for analysis of elemental composition, heavy metals, and plasticizer content. All tested items under the Ministry of Environment's Solid Recovered Fuel Quality Standards (Cl, Pb, and Cd) met the required criteria.

During the pollutant emission investigations, three SRF-utilizing facilities were found to have PCDD/Fs concentrations in the flue gases exceeding standards. The SRF fuel used at these facilities exhibited higher Cu content than others, with Cu known to act as a catalyst for the low-temperature re-synthesis of PCDD/Fs. Moreover, one facility recorded higher emissions during the sampling period due to instability in the startup phase.

Among waste samples, only one facility exceeded the PCDD/Fs concentration limit in its fly ash. This was attributed to a high co-combustion ratio of SRF (86.2%) and the highest Cu content in the fly ash. An analysis of PCDD/Fs emission factors revealed a positive correlation between PCDD/Fs concentrations and Cl content in SRF or alternative fuels, as well as Cu content in fly ash.

For PSN concentrations in the flues (including particulate matter, SO_2, and NO_x), only one facility recorded SO_2 levels exceeding the standards. This was due to the use of high-sulfur waste rubber as alternative fuel and an inefficient dry desulfurization process. All other pollutions in the flue gases, waste, and effluent samples complied with current emission standards.

This project uses AERMOD to simulate the dispersion and deposition of pollutants such as PCDD/Fs, PAHs, and heavy metals from SRF-utilizing facilities in areas like Taichung and Yunlin, serving as the basis for environmental risk assessments. After collecting and comparing environmental risk assessment models from Europe, the U.S., and Japan, this project found that these models all require the use of built-in parameters, which are specific to the environmental characteristics of Europe and the U.S. In contrast, California's multimedia model allows for the incorporation of Taiwan's local environmental parameters and uses Monte Carlo analysis to reduce uncertainty. Currently, based on Tier 1 environmental risk estimation, the hazard quotients (RQ values) for different chemical species (PCDD/Fs, PAHs, heavy metals) in various media (soil, water, sediment) across different facilities are all less than 1. This indicates that there is no immediate need for ecological risk assessment.

目錄

目錄 ix
圖目錄 xiii
表目錄 xvii
報告大綱 xxvii
計畫成果摘要（詳細版） I
第一章 研究緣起 1
1.1 計畫緣起 1
1.2 研究目的 3
1.3 本年度計畫工作內容 4
1.4 計畫執行進度說明 5
1.5 計畫經費 7
第二章 背景 9
2.1 前言 9
2.2 固體廢棄物燃料 10
2.3 固體再生燃料 12
2.3.1 SRF 之原料及製作 12
2.3.2 SRF 品質規範 16
2.3.3 SRF 之檢測方法 30
2.3.4 SRF 產業鏈 32
2.3.5 使用 SRF 需考量事項 42
2.3.6 SRF 管理 43
2.3.7 空氣污染物排放標準 47
2.3.8 SRF 使用過程污染物排放調查 50
2.3.9 混燒 SRF 對底渣及灰飛性質的影響 60
2.3.10 SRF 品質改善之方法 68
2.4 環境風險評估 69
2.4.1 化學物質濃度-效應評估方法 71
2.4.2 環境暴露評估 75
2.4.3 環境風險評估過程 76

2.4.4 環境風險指標簡介及比較 78
2.4.5 SRF 燃燒產生的污染物及其對人體的危害 81
2.4.6 SRF 燃燒產生的污染物所造成之環境風險 84
第三章 執行方法 89
3.1 計畫執行工作 89
3.2 國內 SRF 替代燃料使用盤點調查，包含燃料種類、爐體溫度及控制設備 89
3.3 進行至少 12 場次 SRF 使用廠排放調查，調查廢氣、廢水及廢棄物的污染物含量及 SRF 替代燃料之成分分析 94
3.3.1 污染物排放調查之廠址選擇 94
3.3.2 污染物排放調查之檢測規劃 99
3.3.3 污染物排放調查方法 103
3.3.4 SRF 使用程序之污染物排放濃度數據匯整 113
3.4 使用場域環境風險評估 115
3.4.1 環境風險評估流程 115
3.4.2 污染物排放擴散模擬 117
3.4.3 污染物之多介質傳輸模式 118
3.4.4 不確定性與敏感度分析 123
3.5 計畫調查結果（包含成分分析及排放調查）與各管制標準進行研析討論 124
3.5.1 SRF 品質解析 124
3.5.2 使用 SRF 之污染物排放結果 124
3.5.3 使用 SRF 之污染物生成解析 126
3.5.4 污染物減量之建議措施 130
第四章 重要發現與成果 137
4.1 國內 SRF 替代燃料使用之盤點調查 137
4.2 訪廠 147
4.3 SRF 實廠調查名單 152
4.3.1 調查廠家名單 152
4.3.2 SRF 實廠採樣時程規劃 156
4.3.3 實廠採樣與污染物分析說明 158

4.4 SRF 及替代燃料品質研析 160
4.5 SRF 使用過程之污染物排放 175
4.5.1 污染物排放數據彙整 175
4.5.2 各廠 PCDD/Fs 排放解析 215
4.5.3 各廠重金屬流佈分析與排放量推估 267
4.6 調查結果與管制標準研析討論 273
4.6.1 燃料成分及污染物排放濃度與管制標準研析 273
4.6.2、資源循環燃料種類與空氣污染防制設施之採用 285
4.7 環境風險評估 287
4.7.1 蒐集與彙整國內環境污染源排放擴散模擬參數 287
4.7.2 蒐集與彙整國內環境介質暴露參數 301
4.7.3 預測無效應濃度之基準值建立 303
4.7.4 生質燃料之環境風險評估資料-建立風險評估指標及相關參數 320
第五章 結論與建議 391
5.1 結論 391
5.2 建議 393
第六章 參考文獻 395
附錄一、計畫評選委員審查意見回覆 403
附錄二、啟動會議意見回覆 413
附錄三、第一次工作進度報告審查意見回覆 417
附錄四、期中報告委員意見回覆 421
附錄五、期末報告委員意見回覆 437
附錄六、SRF 使用廠家之訪視記錄（15 家） 453
附錄七、廢氣、廢水及廢棄物中各種成分含量分析之 QA/QC 項目及內容規範 493
附錄八、採樣紀錄摘要 503
附錄九、數據品保報告書 525
附錄十、環境風險模式推估說明 551
附錄十一、工廠名稱與代號對照表 561
附錄十二、計畫成果效益自評表 565

圖目錄

圖 2.2-1、RDF-5 外觀 11
圖 2.3-1、SRF 生產-機械處理程序 14
圖 2.3-2、廢棄物機械生物處理能資源化示意圖 15
圖 2.3-3、SRF 形式 15
圖 2.3-4、SRF 產業供應鏈（張瓊芬、張家驥，2022） 33
圖 2.3-5、國內 SRF 使用廠之行業別分布（112 年 12 月） 37
圖 2.3-6、SRF 管理架構 44
圖 2.3-7、汽電共生廠安裝之空氣污染防制設備 (Kuo *et al.*, 2021) 51
圖 2.4-1、化學物質環境風險評估 71
圖 2.4-2、環境暴露流程 76
圖 2.4-3、固體廢棄物管理優先順序 84
圖 2.4-4、英國能源密集型工業中使用 SRF 燃料產生空氣污染物情形 85
圖 3.3-1、排放管道中 PCDD/Fs 採樣裝置 104
圖 3.3-2、排放管道中 PCDD/Fs 樣品回收流程 104
圖 3.3-3、多環芳香烴化合物採樣組裝示意圖 107
圖 3.3-4、煙道排氣中重金屬分析採樣裝置 108
圖 3.3-5、煙道排氣中重金屬分析樣品回收流程 109
圖 3.3-6、煙道排氣中重金屬分析樣品準備及分析架構 109
圖 3.4-1、SRF 使用排放污染物之環境風險評估流程 116
圖 3.4-2、AERMOD 模式系統之作業流程 118
圖 3.5-1、可作為 SRF 原料之各種廢棄物 133
圖 4.5-1、排放管道 PCDD/Fs 濃度比較 179
圖 4.5-2、排放管道 PCDD/Fs 生成物種比較表 180
圖 4.5-3、水泥廠排放管道 PCDD/Fs 生成物種比較表 181
圖 4.5-4、ACH 水泥廠排放管道 PCDD/Fs 生成物種比較表 182
圖 4.5-5、各廠 PAHs 排放濃度比較 213
圖 4.5-6、各廠 PAHs 生成物種比較 214
圖 4.5-7、TPM 廠使用的 SRF 外觀 218
圖 4.5-8、典型的水泥製程 221

圖 4.5-9、水泥替代原料、燃料示意圖 221
圖 4.5-10、TCS 廠使用之 SRF（上：部分造粒、下：無造粒） 222
圖 4.5-11、TCS 廠使用之木屑燃料 222
圖 4.5-12、CC 廠使用之 SRF 外觀 229
圖 4.5-13、CC 廠之漿紙污泥燃料 230
圖 4.5-14、CHPC 廠之 SRF 外觀 232
圖 4.5-15、CHPC 廠之漿紙污泥外觀 232
圖 4.5-16、YY 廠之 SRF 外觀 238
圖 4.5-17、YY 廠之漿紙污泥外觀 238
圖 4.5-18、YH 廠使用之 SRF 種類及外觀 241
圖 4.5-19、YH 廠使用之廢橡膠外觀 241
圖 4.5-20、YTS 廠使用之 SRF 外觀 245
圖 4.5-21、YTS 廠使用之漿紙污泥外觀 246
圖 4.5-22、TCH 廠使用之 SRF（木屑）外觀 250
圖 4.5-23、CH 廠使用之 SRF（木質顆粒）外觀 256
圖 4.5-24、CH 廠使用之漿紙污泥外觀 256
圖 4.5-25、TC 廠使用之 SRF 外觀 260
圖 4.5-26、TC 廠使用之廢橡膠外觀 260
圖 4.5-27、ACH 廠使用之 SRF 外觀圖 264
圖 4.5-28、ACH 廠使用之 RDF（透明塑膠片） 264
圖 4.5-29、ACH 廠三個樣品之 PCDD/Fs 濃度變化 266
圖 4.6-1、SRF 中的 DEHP 與 Cl 之相關性 274
圖 4.6-2、木材類燃料中的 DEHP 與 Cl 之相關性 275
圖 4.6-3、排放管道 PCDD/Fs 檢測濃度與排放標準比較 277
圖 4.6-4、SRF 中 Cl 含量與煙氣 PCDD/Fs 之關係圖 279
圖 4.6-5、2 種替代燃料之 Cl 含量與煙氣 PCDD/Fs 之關係圖 279
圖 4.6-6、SRF 中 Cu 含量與煙氣 PCDD/Fs 之關係圖 280
圖 4.6-7、飛灰中 Cu 含量與 PCDD/Fs 之關係圖 281
圖 4.6-8、SRF 混燒比與煙氣 PCDD/Fs 之關係 282
圖 4.7-1、CH 廠、YTS 廠、K 廠及 TPM 廠 2023 年風玫圖 288
圖 4.7-2、TPM、YTS、CH1、CH2 及 K 廠各污染物實測值整年擴散結果 300

圖 4.7-3、台中清水區水域面積示意圖..... 302
圖 4.7-4、台中梧棲區水域面積示意圖..... 302
圖 4.7-5、台中龍井區水域面積示意圖..... 302
圖 4.7-6、E-FAST 模式暴露概念..... 335
圖 4.7-7、EUSES 模式概念架構圖..... 336
圖 4.7-8、日本農藥登記之水生生物風險評估的流程..... 337
圖 4.7-9、土壤、水、底泥濃度之計算流程圖..... 338
圖 4.7-10、Oracle Crystal Ball 蒙地卡羅模擬軟體實際執行圖-K 廠-砷..... 339
圖 4.7-11、Oracle Crystal Ball 蒙地卡羅模擬軟體之擬合完成分佈圖-K 廠-砷 340
圖 4.7-12、Oracle Crystal Ball 蒙地卡羅模擬軟體實際執行圖-K 廠-高分子量 PAHs 340
圖 4.7-13、Oracle Crystal Ball 蒙地卡羅模擬軟體之擬合完成分佈圖-K 廠-高分子量 PAHs..... 341
圖 4.7-14、擬合過程示意圖_K 廠砷..... 342
圖 4.7-15、擬合過程示意圖_K 廠低分子量 PAHs..... 343
圖 4.7-16，擬合過程示意圖_K 廠高分子量 PAHs..... 344
圖 4.7-17、擬合過程示意圖_K 廠 PCDD/Fs 345

表目錄

表 2.2-1、RDF 分類.....11
表 2.3-1、可作為 SRF 原料之廢棄物種類 (113.6.20).....13
表 2.3-2、EN 15359 及 ISO 21640 對 SRF 的品質標準.....17
表 2.3-3、德國 SRF 之 RAL-GZ 724 國家標準.....18
表 2.3-4、日本之 RPF 標準 (JIS Z 7311).....19
表 2.3-5、韓國環境部規範之固體再生燃料標準.....21
表 2.3-6、中國火力發電用 SRF 規範.....22
表 2.3-7、國際間 SRF 作為燃料之品質規範及項目.....23
表 2.3-8、SRF 作為燃料之品質規範及建議數值.....24
表 2.3-9、固體再生燃料品質標準（環境部，113.3.22）.....25
表 2.3-10、固體再生燃料品質分級表（環境部，113.3.22）.....26
表 2.3-11、資源循環燃料之分類及管制項目成分標準(環境部，113.6.20 預告修正）.....28
表 2.3-12、資源循環燃料應具備之設施及應採行之防制設施（環境部，113.6.20 預告修正）.....29
表 2.3-13、國環院公告之 SRF 檢測方法與認證驗證機構.....31
表 2.3-14、ISO 國際 SRF 檢測方法.....31
表 2.3-15、SRF 之規範與檢測方法.....31
表 2.3-16、SRF 製造廠家清單.....34
表 2.3-17、國內具有 SRF/RDF 之設置、操作及燃料使用許可家數（112 年 12 月）.....37
表 2.3-18、國內具有 SRF/RDF 之設置、操作及燃料使用許可廠家調查（112 年 12 月）.....38
表 2.3-19、燃煤鍋爐使用 SRF 品質建議.....42
表 2.3-20、SRF 相關管理辦法.....45
表 2.3-21、混燒 SRF 之流化床鍋爐應符合之空污排放標準.....48
表 2.3-22、汽電共生設備鍋爐以總熱效率換算之空氣污染物排放標準.....49
表 2.3-23、「資源循環燃料適用之重金屬與戴奧辛排放標準（修正預告草案）」 50
表 2.3-24、燃料組成.....52
表 2.3-25、煙道氣中之污染物濃度比較.....53

表 2.3-26、底渣及飛灰中之污染物濃度比較 53
表 2.3-27、污染物流佈分析及排放係數比較 54
表 2.3-28、灰中成分執行 TCLP 結果（單位: mg/L） 54
表 2.3-29、灰中金屬氧化物成分 54
表 2.3-30、不同燃料之 CO_2 排放係數比較 55
表 2.3-31、國內紙廠混燒 SRF 之煙道氣中各污染物濃度調查 61
表 2.3-32、SRF 及木質顆粒(OTP)之成分分析 62
表 2.3-33、SRF 與 OTP 混燒之操作條件及煙氣組成 63
表 2.3-34、投入循環流體化床燃煤鍋爐之 SRF 允收標準值 64
表 2.3-35、燃煤設備及空污設備 65
表 2.3-36、混燒 SRF 對污染物排放之影響與控制因子 66
表 2.3-37、煤灰、混燒煤灰及一般性飛灰或底渣混合物再利用及處理費用 67
表 2.4-1、國外濃度-效應評估資料外推方法 74
表 2.4-2、我國土壤管制項目標準與建議之生態土壤篩選值結果 77
表 2.4-3、風險評估方法彙整表 80
表 2.4-4、各類重金屬對人體健康之影響 83
表 2.4-5、SRF 燃料混燒所造成之環境影響排名 85
表 2.4-6、使用廢棄物衍生燃料之環境監測結果 87
表 3.2-1、SRF/RDF 使用廠家之訪廠資料彙整表（112 年） 91
表 3.3-1、112 年完成污染物調查之使用 SRF 廠家 95
表 3.3-2、尚未完成調查之廠家及 113 年初擬之採樣對象 96
表 3.3-3、112 年 SRF 申報統計量 98
表 3.3-4、初步規劃 113 年進行 SRF 實廠採樣建議廠址及選擇理由 99
表 3.3-5、污染物檢測項目及數量 100
表 3.3-6、排放管道中 PCDD/Fs 採樣設備校正品質規定 105
表 3.3-7、排放管道中 PCDDs/PCDFs 採樣品質規定 106
表 3.3-8、SRF 使用之污染物排放濃度調查數據彙整（範例） 114
表 3.5-1、PCDD/Fs 排放濃度彙整（案例） 125
表 3.5-2、C 廠 PCDD/Fs 採樣期間投入的燃料種類 127
表 3.5-3、C 廠 SRF 之組成分析 127
表 3.5-4、C 廠採樣期間鍋爐及空污防制設備操作參數 128

表 3.5-5、C 廠之 PCDD/Fs 排放檢測濃度 128
表 3.5-6、C 廠之 PCDD/Fs 廠內流佈分析 129
表 3.5-7、SRF 原料中之元素分析 132
表 4.1-1、國內具有 SRF/RDF 之設置、操作及燃料使用許可之廠家數及設備調查 138
表 4.1-2、國內具有 SRF/RDF 之設置及燃料使用許可廠家資料調查 139
表 4.2-1、113 年 SRF/RDF 使用廠家之訪廠資料彙整表 149
表 4.3-1、112 年 SRF 使用廠檢測清單 153
表 4.3-2、113 年 SRF 使用廠檢測清單 154
表 4.3-3、SRF 使用廠之污染物排放採樣規劃與實際完成日期 157
表 4.3-4、每廠污染物採樣量及使用工具（不含煙道氣） 159
表 4.4-1、SRF 品質分析 163
表 4.4-2、木材替代燃料品質分析 167
表 4.4-3、漿紙污泥品質分析 170
表 4.4-4、橡膠片品質分析 172
表 4.4-5、水泥生料品質分析 174
表 4.5-1、排放管道 PCDD/Fs 檢測值 183
表 4.5-2、PCDD/Fs 檢測彙整表 184
表 4.5-3、各廠排放管道 PCDD/Fs 同分異構物主要生成物種 187
表 4.5-4、PCDD/Fs 超標廠家之 SRF、替代燃料及飛灰中 Cl 與 Cu 含量彙整表 188
表 4.5-5、排放管道中重金屬彙整表 191
表 4.5-6、底渣中重金屬彙整表 192
表 4.5-7、飛灰中重金屬彙整表 193
表 4.5-8、FGD 排水中重金屬彙整表 194
表 4.5-9、放流水中重金屬彙整表 195
表 4.5-10、水泥生料及熟料中重金屬濃度 196
表 4.5-11、各廠排放管道 PSN 檢測數據彙整 198
表 4.5-12、水泥廠排放管道 PSN 檢測數據彙整 199
表 4.5-13、燃料中各塑化劑含量及佔比 202
表 4.5-14、水泥生料及熟料中各塑化劑含量及佔比 205

表 4.5-15、排放管道中塑化劑濃度實測值(μg/Nm^3) 207
表 4.5-16、排放管道中各塑化劑濃度佔比(%) 208
表 4.5-17、廢棄物中塑化劑彙整表 209
表 4.5-18、廢水中塑化劑彙整表 210
表 4.5-19、各廠煙囪排放之 PAHs 濃度 212
表 4.5-20、TPM 廠 PCDD/Fs 採樣期間投入的燃料種類 217
表 4.5-21、TPM 廠採樣期間鍋爐及空污防制設備操作參數 217
表 4.5-22、TPM 廠之 PCDD/Fs 排放濃度 218
表 4.5-23、TPM 廠之鍋爐 PCDD/Fs 排放流佈分析 218
表 4.5-24、TCS 廠 PCDD/Fs 採樣期間投入的原料種類 223
表 4.5-25、TCS 廠 PCDD/Fs 採樣期間投入的燃料種類 223
表 4.5-26、TCS 廠之 SRF 允收標準 223
表 4.5-27、TCS 廠之替代燃料及原料之元素分析 224
表 4.5-28、TCS 廠 PCDD/Fs 排放濃度 224
表 4.5-29、TCS 廠之 PCDD/Fs 排放率 224
表 4.5-30、CC 廠 PCDD/Fs 採樣期間投入的燃料種類 227
表 4.5-31、CC 廠替代燃料之元素分析 227
表 4.5-32、CC 廠採樣期間鍋爐及空污防制設備操作參數 227
表 4.5-33、CC 廠 PCDD/Fs 排放濃度 228
表 4.5-34、CC 廠之 PCDD/Fs 排放流布分析 229
表 4.5-35、CHPC 廠 PCDD/Fs 採樣期間投入的燃料種類 233
表 4.5-36、CHPC 廠替代燃料之元素分析 233
表 4.5-37、CHPC 廠採樣期間鍋爐及空污防制設備操作參數 233
表 4.5-38、CHPC 廠 PCDD/Fs 排放濃度 234
表 4.5-39、CHPC 廠之 PCDD/Fs 排放流布分析 234
表 4.5-40、YY 廠之 SRF 允收標準 236
表 4.5-41、YY 廠替代燃料之元素分析 236
表 4.5-42、YY 廠 PCDD/Fs 採樣期間投入的燃料種類 236
表 4.5-43、YY 廠採樣期間鍋爐及空污防制設備操作參數 237
表 4.5-44、YY 廠之 PCDD/Fs 排放濃度 237
表 4.5-45、YY 廠之 PCDD/Fs 排放流布分析 238

表 4.5-46、YH 廠之燃料元素分析 242
表 4.5-47、YH 廠 PCDD/Fs 採樣期間投入的燃料種類 242
表 4.5-48、YH 廠採樣期間鍋爐及空污防制設備操作參數 242
表 4.5-49、YH 廠之 PCDD/Fs 排放濃度 243
表 4.5-50、YH 廠之 PCDD/Fs 排放率 243
表 4.5-51、YTS 廠 PCDD/Fs 採樣期間投入的燃料種類 246
表 4.5-52、YTS 廠之燃料元素分析 246
表 4.5-53、YTS 廠採樣期間鍋爐及空污防制設備操作參數 247
表 4.5-54、YTS 廠之 PCDD/Fs 排放濃度 247
表 4.5-55、YTS 廠之 PCDD/Fs 排放流布分析 248
表 4.5-56、TCH 廠第一次 PCDD/Fs 採樣期間投入的水泥原料種類 250
表 4.5-57、TCH 廠第一次 PCDD/Fs 採樣期間投入的燃料種類 250
表 4.5-58、TCH 廠第一次 PCDD/Fs 採樣之水泥生料成分分析 251
表 4.5-59、TCH 廠第一次 PCDD/Fs 採樣之 SRF 成分分析 251
表 4.5-60、TCH 廠第一次 PCDD/Fs 排放濃度 251
表 4.5-61、TCH 廠第二次 PCDD/Fs 採樣期間投入的水泥原料種類 252
表 4.5-62、TCH 廠第二次 PCDD/Fs 採樣期間投入的燃料種類 253
表 4.5-63、TCH 廠第二次 PCDD/Fs 採樣之水泥生料成分分析 253
表 4.5-64、TCH 廠第二次 PCDD/Fs 採樣之 SRF 成分分析 253
表 4.5-65、TCH 廠第二次 PCDD/Fs 排放濃度 254
表 4.5-66、TCH 廠煙囪之 PCDD/Fs 排放率 254
表 4.5-67、CH 廠 PCDD/Fs 採樣期間投入的燃料種類 257
表 4.5-68、CH 廠之燃料元素分析 257
表 4.5-69、CH 廠採樣期間鍋爐及空污防制設備操作參數 257
表 4.5-70、CH 廠之 PCDD/Fs 排放濃度 258
表 4.5-71、CH 廠之 PCDD/Fs 排放流布分析 258
表 4.5-72、TC 廠 PCDD/Fs 採樣期間投入的燃料種類 261
表 4.5-73、TC 廠之燃料元素分析 261
表 4.5-74、TC 廠採樣期間鍋爐及空污防制設備操作參數 261
表 4.5-75、TC 廠之 PCDD/Fs 排放濃度 262
表 4.5-76、TC 廠之 PCDD/Fs 排放流布分析 262

表 4.5-77、ACH 廠 PCDD/Fs 採樣期間投入的水泥生料種類..... 264
表 4.5-78、ACH 廠 PCDD/Fs 採樣期間投入的燃料種類..... 265
表 4.5-79、ACH 廠之替代燃料及原料之元素分析..... 265
表 4.5-80、ACH 廠 PCDD/Fs 排放濃度..... 265
表 4.5-81、ACH 廠之 PCDD/Fs 排放率..... 265
表 4.5-82、各廠金屬 Al 之流佈分析..... 268
表 4.5-83、各廠金屬 Cu 之流佈分析..... 269
表 4.5-84、各廠金屬 Pb 之流佈分析..... 270
表 4.5-85、各廠金屬 Cd 之流佈分析..... 271
表 4.5-86、各廠金屬 Hg 之流佈分析..... 272
表 4.6-1、各廠既有防制設施調查與使用 SRF-2 須採用的設施比對..... 286
表 4.7-1、SRF 廠之污染源排放管道資料..... 287
表 4.7-2、各鄉鎮市區水文資料..... 303
表 4.7-3、萊州灣西部表層海水重金屬危害商數值..... 305
表 4.7-4、不同水硬度下鉛對太湖六種本地水生生物的急性毒性 (96 小時，LC_{50})..... 308
表 4.7-5、不同水硬度條件下鉛對太湖本地生物的急性毒性..... 308
表 4.7-6、硬度校正後鉛的物種平均急性值..... 308
表 4.7-7、三種物種毒性測試的環境條件..... 310
表 4.7-8、三種物種對鎘(Cd)和鉛(Pb)的 NOAECs、PNECs、PECs 和 HQs(Ag/l)..... 310
表 4.7-9、太湖中金屬的總濃度 (ng/L)..... 313
表 4.7-10、太湖中金屬的暴露和風險結果..... 313
表 4.7-11、我國建議之替代物種篩選原則..... 319
表 4.7-12、我國建議之替代物種..... 319
表 4.7-13、我國土壤管制項目標準與建議之生態土壤篩選值..... 320
表 4.7-14、美國環保署生態土壤篩選值..... 321
表 4.7-15、美國環保署第三區淡水沉積物篩選基準值..... 322
表 4.7-16、RCAR 生態篩選水平..... 323
表 4.7-17、加拿大保護水生生物的沉積物品質指引..... 324
表 4.7-18、加拿大土壤品質指引..... 325

表 4.7-19、台灣土壤重金屬及其他有機化合物的監測/管制標準..... 325
表 4.7-20、台灣地下水重金屬及其他有機化合物的監測/管制標準..... 326
表 4.7-21、各鄉鎮水域面積..... 331
表 4.7-22、多介質模式參數彙整..... 331
表 4.7-23、污染物分配係數表..... 331
表 4.7-24、擬合完成進行抽樣後之最終結果_K 廠砷..... 342
表 4.7-25、擬合完成進行抽樣後之最終結果_K 廠低分子量 PAHs..... 343
表 4.7-26、擬合完成進行抽樣後之最終結果_K 廠高分子量 PAHs..... 344
表 4.7-27、擬合完成進行抽樣後之最終結果_K 廠 PCDD/Fs 345
表 4.7-28、重金屬由空氣進入土壤、水體以及底泥之濃度估算- CH1 廠 347
表 4.7-29、重金屬由空氣進入土壤、水體以及底泥之濃度估算- CH2 廠 347
表 4.7-30、重金屬由空氣進入土壤、水體以及底泥之濃度估算- YTS 廠..... 347
表 4.7-31、重金屬由空氣進入土壤、水體以及底泥之濃度估算- K 廠 348
表 4.7-32、重金屬由空氣進入土壤、水體以及底泥之濃度估算- TPM 廠..... 348
表 4.7-33、PCDD/Fs、PAHs 由空氣進入土壤、水體以及底泥之濃度估算- CH1 廠 350
表 4.7-34、PCDD/Fs 及 PAHs 由空氣進入土壤、水體以及底泥之濃度估算-CH2 廠 350
表 4.7-35、PCDD/Fs、PAHs 由空氣進入土壤、水體以及底泥之濃度估算-YTS 廠 350
表 4.7-36、PCDD/Fs 及 PAHs 由空氣進入土壤、水體以及底泥之濃度估算-K 廠 351
表 4.7-37、PCDD/Fs 及 PAHs 由空氣進入土壤、水體以及底泥之濃度估算-TPM 廠 351
表 4.7-38、CH1 廠土壤濃度估算之危害商數..... 358
表 4.7-39、CH2 廠土壤濃度估算之危害商數..... 358
表 4.7-40、YTS 廠土壤濃度估算之危害商數..... 358
表 4.7-41、K 廠土壤濃度估算之危害商數..... 358
表 4.7-42、CH1 廠土壤濃度估算之危害商數..... 360
表 4.7-43、CH2 廠土壤濃度估算之危害商數..... 360
表 4.7-44、YTS 廠土壤濃度估算之危害商數..... 361

表 4.7-45、K 廠土壤濃度估算之危害商數..... 361
表 4.7-46、CH1 廠土壤濃度估算之危害商數..... 362
表 4.7-47、CH2 廠土壤濃度估算之危害商數..... 362
表 4.7-48、YTS 廠土壤濃度估算之危害商數..... 362
表 4.7-49、K 廠土壤濃度估算之危害商數..... 363
表 4.7-50、CH1 廠土壤濃度估算之危害商數..... 363
表 4.7-51、CH2 廠土壤濃度估算之危害商數..... 363
表 4.7-52、YTS 廠土壤濃度估算之危害商數..... 364
表 4.7-53、K 廠土壤濃度估算之危害商數..... 364
表 4.7-54、CH1 廠土壤濃度估算之危害商數..... 365
表 4.7-55、CH2 廠土壤濃度估算之危害商數..... 366
表 4.7-56、YTS 廠土壤濃度估算之危害商數..... 367
表 4.7-57、K 廠土壤濃度估算之危害商數..... 368
表 4.7-58、CH1 廠水體濃度估算之危害商數..... 369
表 4.7-59、CH2 廠水體濃度估算之危害商數..... 369
表 4.7-60、YTS 廠水體濃度估算之危害商數..... 369
表 4.7-61、K 廠水體濃度估算之危害商數..... 369
表 4.7-62、CH1 廠水體濃度估算之危害商數..... 370
表 4.7-63、CH2 廠水體濃度估算之危害商數..... 370
表 4.7-64、YTS 廠水體濃度估算之危害商數..... 370
表 4.7-65、K 廠水體濃度估算之危害商數..... 371
表 4.7-66、CH1 廠底泥濃度估算之危害商數..... 371
表 4.7-67、CH2 廠底泥濃度估算之危害商數..... 371
表 4.7-68、YTS 廠底泥濃度估算之危害商數..... 372
表 4.7-69、K 廠底泥濃度估算之危害商數..... 372
表 4.7-70、CH1 廠底泥濃度估算之危害商數..... 372
表 4.7-71、CH2 廠底泥濃度估算之危害商數..... 373
表 4.7-72、YTS 廠底泥濃度估算之危害商數..... 373
表 4.7-73、K 廠底泥濃度估算之危害商數..... 373
表 4.7-74、CH1 廠底泥濃度估算之危害商數..... 373
表 4.7-75、CH2 廠底泥濃度估算之危害商數..... 374

表 4.7-76、YTS 廠底泥濃度估算之危害商數 374
表 4.7-77、K 廠底泥濃度估算之危害商數 374
表 4.7-78、CH1 廠土壤濃度估算之危害商數 375
表 4.7-79、CH2 廠土壤濃度估算之危害商數 375
表 4.7-80、YTS 廠土壤濃度估算之危害商數 375
表 4.7-81、K 廠土壤濃度估算之危害商數 376
表 4.7-82、TPM 廠土壤濃度估算之危害商數 376
表 4.7-83、CH1 廠底泥濃度估算之危害商數 377
表 4.7-84、CH2 廠底泥濃度估算之危害商數 377
表 4.7-85、YTS 廠底泥濃度估算之危害商數 377
表 4.7-86、K 廠底泥濃度估算之危害商數 377
表 4.7-87、TPM 廠底泥濃度估算之危害商數 377
表 4.7-88、本研究土壤濃度估算之危害商數結果與北部廠家結果比較 380
表 4.7-89、本研究水體濃度估算之危害商數結果與北部廠家結果比較 381
表 4.7-90、本研究底泥濃度估算之危害商數結果與北部廠家結果比較 382
表 4.7-91、本研究廠區資料與北部廠家比較 383
表 4.7-92、本研究廠區預測環境土壤濃度與北部廠家比較 384
表 4.7-93、本研究廠區預測環境水體濃度與北部廠家比較 385
表 4.7-94、本研究廠區預測環境底泥濃度與北部廠家比較 386
表 4.7-95、本研究廠區原始煙道檢測資料與北部廠家比較 387
表 4.7-96、本研究廠區與北部廠家之煙道檢測數據經由 AERMOD 模擬擴散數據 388
表 4.7-97、本研究廠區與北部廠家之煙道檢測數據經由 AERMOD 模擬沉降數據 389
表 5.2-1、執行單位提出的建議與作法 394

報告大綱

本報告共計六章，分別為第一章研究緣起、第二章背景、第三章執行方法、第四章重要發現與成果、第五章結論與建議、第六章參考文獻。各章節之主要內容說明如下：

第一章、研究緣起

介紹淨零政策重點內容、資源循環零廢棄戰略、研究之緣由、目的及本年度主要工作內容、計畫期程與執行進度及計畫經費等。

第二章、背景

說明國內 SRF 來源、種類、生產、規格、使用、管理及污染物排放等資料，同時蒐集環境風險評估資料，例如：化學物質濃度-效應評估、環境暴露評估、環境風險評估方法、流程與指標等。

第三章、執行方法

說明國內 SRF 使用廠家的調查、污染物採樣及分析方法、環境風險評估流程、污染物排放擴散模式、多介質傳輸模式、風險評估相關參數與指標等。

第四章、重要發現與成果

說明成果報告執行成果，包含國內 SRF 使用廠家的調查及訪廠工作，SRF 廠家選擇、污染物採樣及分析方法、污染物調查初步結果、環境風險評估相關資料蒐集與彙整、SRF 廠之污染物大氣擴散模擬、環境風險評估及調查結果與管制標準之研析討論等。

第五章、結論與建議

摘要說明本計畫的結論與建議。

第六章、參考文獻

詳列本計畫參考、引援之國內外期刊文獻資料。

計畫成果摘要（詳細版）

計畫名稱：淨零政策之環境風險評估(2/4)

計畫案號：113FB009

計畫執行單位：工業技術研究院綠能與環境研究所

計畫主持人：杜敬民

計畫期程：113年2月19日起113年12月31日止

計畫經費：新台幣835萬元整

中文摘要

固體再生燃料（Solid Recovered Fuel, 簡稱 SRF）可以減少垃圾掩埋的需求，同時降低化石燃料的使用，進而減少溫室氣體排放。不過由於 SRF 成分複雜，燃燒過程可能產生有害污染物對環境造成風險，因此本計畫目的是進行 SRF 使用場域之污染物排放調查及環境風險評估。從環境部「固定污染源管理資訊公開平台」查詢具有”SRF 或 RDF”為燃料之固定污染源”設置”或”操作及燃料使用”許可廠家，至113年11月為止，共計22家，以造紙廠為主。SRF/RDF 之年許可最大使用量約196萬公噸（設置許可與操作許可總計）。112年國內生產 SRF 相關產品申報量約29萬公噸，佔最大許可使用量的15%。

國環院計畫112年已針對北部及中部地區 SRF 使用量或污染物排放量較大之5家工廠進行訪廠及污染物排放調查，其他17個廠家中有2家是今年9月才開始使用SRF（中〇紙漿台東廠及味〇第一工廠），故此2家並未列入本計畫的調查對象。今年共訪廠15家，其中較具特色有：(1)台〇麥寮一廠：該廠鍋爐使用生活垃圾衍生製成的 SRF，此外，同時使用石化製程廢氣作為氣體燃料。(2)台〇和平廠：該廠水泥製程除了使用固體資源循環燃料，還使用垃圾氣化產生的可燃性氣體導入水泥窯作為替代燃料之一。目前國內取得設置許可或操作及燃料使用許可有22家 SRF 使用廠，其中正常運作有16家，包含造紙廠9家、水泥廠3家、汽電共生廠2家、石

化業1家、食品廠1家等，其餘6家分別為1家退場（日〇造紙）、1家停止收受 SRF（台〇鋼聯，因旋轉窯目前的旋窯出口溫度僅約500~700℃，無法符合＞850℃需求，今年4月26日已停止收受 SRF 物料）、2家試運轉測試中（上〇嘉義、潤〇精密材料宜蘭冬山廠）、1家停止試車（宗〇綠能，因周界異味超標以及防制設備壓降錶無法反映實際操作情形，高雄市政府112年1月10日去函停止試車）、1家設備興建中（揚〇實業）。

正常運轉的16家 SRF 使用廠家中，國環院計畫去年（112年）已完成5家7場次的污染物排放調查工作，本計畫完成11家12場次的污染物排放調查工作，檢測基質包含排氣、廢棄物（飛灰及底渣）、放流水，檢測污染物包含持久性有機污染物(PCDD/Fs)、多環芳香烴碳氫化合物(PAHs)、重金屬、PSN（粒狀物染物、二氧化硫、氮氧化物）及塑化劑等。同時採集27件替代燃料及原料樣品進行元素、重金屬及塑化劑含量分析，目前環境部「固體再生燃料製造技術指引與品質規範」中 Cl、Pb、Cd 皆符合標準。排放污染物的檢測調查工作中，其中有3家 SRF 使用廠排氣的 PCDD/Fs 濃度超標，這三家使用的 SRF 燃料中 Cu 的含量皆較其他廠高，而 Cu 為 PCDD/Fs 低溫再合成之觸媒。其中1家因採樣期間處於啟爐不穩定階段導致排放濃度較高。廢棄物樣品中只有1家飛灰 PCDD/Fs 濃度超標，因其 SRF 混燒比高(86.2%)且飛灰中 Cu 含量最高，煙氣 PCDD/Fs 排放與 SRF 或替代燃料中的 Cl 及飛灰中 Cu 含量成正相關。排放管道 PSN（包含粒狀污染物、二氧化硫及氮氧化物）只有1家的 SO_2超標，其餘皆符合目前排放標準。超標原因是該廠使用含高硫(S)份廢橡膠作為替代燃料，並且採用乾式脫硫方式，除酸效果不佳所致。其他排放管道、廢棄物及放流水樣品的所有檢測項目皆符合現行排放標準。

本計畫依實際檢測台中（YTS 廠、CH 廠及 K 廠）及雲林（TPM 廠）排放管道 PAHs、PCDD/Fs 和重金屬的排放量，使用 AERMOD 進行其污染物之擴散沉降模擬，以作為後續環境風險評估依據。

YTS 廠模擬之 PAHs 擴散最大著地濃度為1.63 pg/m^3；PCDD/Fs 擴散之最大著地濃度為7.86 fg-TEQ/m^3；YTS 廠模擬之重金屬(As、Cd、Cr、Hg、Ni、Pb)擴散最大著地濃度範圍為0.00008至0.00556 ng/m^3之間。CH 廠模擬之 PAHs 擴散最大著地

濃度為5.72 pg/m^3；PCDD/Fs 擴散之最大著地濃度為0.22 fg-TEQ/m^3；CH 廠模擬之重金屬(As、Cd、Cr、Hg、Ni、Pb)擴散最大著地濃度範圍為0.00001至0.68 ng/m^3之間。K 廠模擬之 PAHs 及 PCDD/Fs 擴散最大著地濃度分別為119 pg/m^3及1.85 fg-TEQ/m^3；K 廠模擬之重金屬(As、Cd、Cr、Hg、Ni、Pb)擴散最大著地濃度範圍為0.017至1.69 ng/m^3之間。TPM 廠模擬之 PAHs 及 PCDD/Fs 擴散最大著地濃度分別為339 pg/m^3及0.8 fg-TEQ/m^3。TPM 廠模擬之重金屬(As、Cd、Cr、Hg、Ni、Pb)擴散最大著地濃度範圍為0.00001至0.00007 ng/m^3之間，與先前北部廠區結果比較可見，空氣污染防治設備影響污染物濃度甚鉅。

本計畫蒐集及比較歐、美、日環境風險評估模式後發現其模式皆須使用其內建之參數，且僅可代表歐、美環境特性，而加州多介質模式可帶入臺灣本土環境參數，且利用蒙地卡羅分析降低不確定性，目前 Tier 1環境風險推估情形，在不同廠區中，不同介質（土壤、水體、底泥）中不同化學物種（PCDD/Fs、PAHs、重金屬）推估之環境風險的危害商數（RQ 值）皆小於1，推論危害商數結果與經大氣擴散模擬及多介質計算後的預測環境濃度(PEC)濃度較有顯著相關，各廠各介質之 PEC 濃度與 RQ 風險的分布情況呈現一致，表示目前無立即執行生態風險評估之需要。

英文摘要

Solid Recovered Fuel (SRF) can reduce the demand for landfill space while decreasing fossil fuel consumption, thereby lowering greenhouse gas emissions. However, due to the complex composition of SRF, its combustion process may produce harmful pollutants that pose environmental risks. Therefore, the objective of this project is to conduct pollutant emission investigations and environmental risk assessments at SRF utilization sites.

According to the Environmental Ministry's Stationary Pollution Source Management Information Disclosure Platform, as of November 2024, there are a total of 22 domestic facilities with stationary pollution sources permitted for either the "establishment" or "operation and fuel use" of SRF/RDF as fuel, primarily paper mills. The total maximum annual permitted usage of SRF/RDF is approximately 1.96 million metric tons (including both installation and operation permits). In 2023, the reported

domestic production of SRF-related products was approximately 290,000 metric tons, accounting for 15% of the maximum permitted usage.

In 2023, this project conducted site visits and pollutant emission investigations at five facilities in northern and central Taiwan with higher SRF usage or pollutant emissions. Among the remaining 17 factories, two began using SRF only in September this year (Chung-Hwa pulp Taitung plant and Vedan first plant) and were therefore excluded from this project's investigation. A total of 15 factories were visited this year, with notable examples being: (1) Formosa plastic Mailiao plant 1: This factory's boiler uses SRF derived from municipal waste. Additionally, it simultaneously uses petrochemical process off-gases as a gas fuel. (2) Taiwan cement corporation Heping plant: In its cement manufacturing process, this factory not only uses solid recovered fuel but also introduces combustible gases generated from waste gasification into the cement kiln as an alternative fuel. Currently, 22 facilities in Taiwan hold permits for SRF installation, operation, or fuel use, of which 16 are operational: nine paper mills, three cement plants, two cogeneration plants, one petrochemical plant, and one food processing plant.

Currently, there are 22 SRF-using facilities in Taiwan that have obtained installation or operational and fuel usage permits. Among them, 16 are operating normally, including 9 paper mills, 3 cement plants, 2 cogeneration plants, 1 petrochemical facility, and 1 food processing plant. The remaining 6 facilities are categorized as follows: One facility has exited the market (Jih-Sun Paper). One facility has ceased receiving SRF: Taiwan Steel Union, as the rotary kiln’s current outlet temperature of approximately 500–700°C cannot meet the requirement of >850°C. SRF material intake was halted on April 26 this year. Two facilities are in trial operation (Top-Comment Chiayi and Ruentex Materials Yilan Dongshan plant). One facility has suspended trial runs: YI Feng Greenenergy, due to perimeter odor exceeding standards and the differential pressure gauge of pollution control equipment failing to reflect actual operating conditions. The Kaohsiung City Government issued a notice on January 10, 2023, to halt trial runs. One facility is under construction: Yang-Bao enetrprise.

Among the 16 SRF-utilizing facilities operating normally, this project completed pollutant emission investigations for 5 facilities across 7 sessions in 2023 and for the remaining 11 facilities across 12 sessions this year. The matrices analyzed included

exhaust gas, waste (fly ash and bottom ash), and effluent. The pollutants tested comprised persistent organic pollutants (PCDD/Fs), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), heavy metals, PSN (particulate matter, sulfur dioxide, nitrogen oxides), and plasticizers. Simultaneously, 27 alternative fuel samples and raw materials were collected for analysis of elemental composition, heavy metal content, and plasticizers. The items (Cl, Pb, and Cd) tested under the Environmental Ministry's Guidelines for the Manufacturing Technology and Quality Standards of Solid Recovered Fuel met the required standards.

During the pollutant emission investigations, three SRF-using facilities were found to have PCDD/Fs concentrations in the flue gases exceeding the regulatory limits. The SRF fuels used by these three facilities contained higher levels of copper (Cu) compared to others, and Cu acts as a catalyst for the low-temperature re-synthesis of PCDD/Fs. Additionally, one of these facilities exhibited higher emission concentrations due to unstable operations during the startup phase. For waste samples, only one facility had fly ash with PCDD/Fs concentrations exceeding the standard. This was attributed to the high SRF co-combustion ratio (86.2%) and the highest Cu content in the fly ash among the samples. The PCDD/Fs emissions from flue gas were positively correlated with the Cl content in SRF or alternative fuels and the Cu content in fly ash. For PSN emissions in the flue gases (including particulate matter, sulfur dioxide, and nitrogen oxides), only one facility exceeded the SO_2 standard, while the others complied with current regulations. The exceedance was caused by the use of high-sulfur waste rubber as an alternative fuel and the adoption of a dry desulfurization process, which proved ineffective at acid removal. All other tested items from the flue gases, waste, and effluent samples met current emission standards.

This project utilized AERMOD to simulate the dispersion and deposition of pollutants, based on the actual emissions of PAHs, PCDD/Fs, and heavy metals from the flue gases at facilities in Taichung (YTS Plant, CH Plant, and K Plant) and Yunlin (TPM Plant). The simulation results will serve as the basis for subsequent environmental risk assessments.

The simulated maximum ground-level concentrations of pollutants for the assessed plants are as follows. At the YTS Plant, the maximum concentrations were 1.63 pg/m³ for PAHs, 7.86 fg-TEQ/m³ for PCDD/Fs, and 0.00008–0.00556 ng/m³ for heavy metals (As,

Cd, Cr, Hg, Ni, Pb). At the CH Plant, the maximum concentrations were 5.72 pg/m³ for PAHs, 0.22 fg-TEQ/m³ for PCDD/Fs, and 0.00001–0.68 ng/m³ for heavy metals. At the K Plant, the maximum concentrations were 119 pg/m³ for PAHs, 1.85 fg-TEQ/m³ for PCDD/Fs, and 0.017–1.69 ng/m³ for heavy metals. At the TPM Plant, the maximum concentrations were 339 pg/m³ for PAHs, 0.8 fg-TEQ/m³ for PCDD/Fs, and 0.00001–0.00007 ng/m³ for heavy metals. Comparing with the previous results of the northern area, it can be seen that the air pollution control devices greatly affect the concentration of pollutants.

This project reviewed and compared environmental risk assessment models from Europe, the United States, and Japan, finding that these models require the use of built-in parameters specific to their respective regions and are representative only of European and American environmental characteristics. In contrast, the California multimedia model allows for the incorporation of Taiwan-specific environmental parameters and employs Monte Carlo analysis to reduce uncertainty. In the current Tier 1 environmental risk estimation, the hazard quotient (HQ) values for different chemical species (PCDD/Fs, PAHs, heavy metals) across various media (soil, water, and sediment) in different plant sites are all less than 1. The hazard quotient results are significantly related to the predicted environmental concentration (PEC) and diffusion simulation concentration of air pollutants. The PEC concentration of each medium in each factory and the distribution of RQ risk are consistent. This indicates that there is no immediate need for conducting detailed ecological risk assessment at this stage.

<u>前　言</u>

根據民國111年環境部統計資料顯示，全國一般廢棄物及一般事業廢棄物總產生量分別為1,124萬公噸及1,593萬公噸，若能將這些廢棄物經過篩選等前處理程序轉換製作為燃料(waste to fuel, WtF)，不僅可降低現有焚化廠及衛生掩埋場之處理及處置量，更可產生熱或電之能源(waste-to-energy, WtE)，減少化石燃料的使用，降低溫室氣體排放。

為了提高廢棄物中可燃成分之資源運用，歐盟近幾年積極推動將一般家庭、商業或工業廢棄物透過機械處理(mechanical treatment, MT)、機械熱處理(mechanical heat treatment, MHT)、機械生物處理(mechanical biological treatment,

MBT)等方式將金屬與有價塑膠等資源回收後，再將不易進行物質再利用之可燃性有機成分（例如：塑料類、紙類、橡膠類、木材類等）均質化，轉製成為固體再生燃料(Solid recovery fuel, SRF)。同時針對 SRF 之生產、組成與品質規範（如：熱值、氯及汞含量）、採樣與分析方法等訂定相關辦法，例如：SRF 品質須符合歐洲標準委員會(Comité Européen de Normalisation, CEN)標準，此標準目的在為 SRF 製造者提供明確的定義；不同等級 SRF 有其特定的組成範圍。

SRF 可用於流體化床鍋爐、水泥旋窯、金屬冶煉業熔爐等設施，SRF 的效益之一是取代部分燃煤，讓篩選分類出的廢棄物可以再生、再利用，並轉化為蒸氣或發電。環境部為推動廢棄物燃料化，訂定廢棄物燃料化推動目標，預計事業廢棄物燃料化2025達到60%，2030達80%（環境部，2024）。

SRF 雖能滿足工業之燃料需求，同時達到廢棄物去化之目的，但 SRF 原料來源多元且成分複雜，使用 SRF 的加熱設備種類、操作條件也不盡相同，加上既有燃燒機組非以 SRF 燃料設計，高比例混燒容易遭遇進料系統、排灰系統積灰/結渣、黏壁、爐溫偏移、料況不穩定等問題，有可能因操作不當產生污染物排放至環境中，對環境及民眾造成危害。故以 SRF 為替代燃料轉製成能源，同時兼顧環境友善是非常重要的。

本計畫於民國112年完成國內 SRF 製造廠現況盤點調查，依據環境部「事業廢棄物申報及管理資訊系統」及「資源再利用管理系統」，統計112/1~112/12期間之 SRF 產品製造量申報資料，國內運作生產 SRF 相關產品共有53家。彙整「固定污染源管理資訊公開平台」資料，截至112年11月為止，國內具有”SRF 或 RDF”為燃料之固定污染源”設置”或”操作及燃料使用”許可共有20家，SRF/RDF 年總許可最大使用量約168萬公噸，行業別以造紙業為主。

本研究是延續112年計畫，持續蒐集、彙整國內鍋爐或其他製程使用替代燃料（以 SRF 為主）之廠家基本資料建立與其污染物排放調查，根據實際污染物排放資料進行環境風險評估，評析造成環境風險的主要污染物。112年挑選5家造紙業及汽電共生廠使用 SRF 為替代燃料之流體化床鍋爐進行7場次的污染物排放調查，此外，研擬環境風險評估標準模式之可行性，並以桃園地區為主完成2家 SRF 使用廠之環境風險評估實廠驗證工作。由於第一年計畫只有執行5廠的污染物排放調查，

且以北部地區之造紙廠為主，因此今年度（113年）持續進行調查，擴大檢測範圍，針對不同地區、行業別、製程設備使用 SRF 替代燃料之污染物排放現況與環境風險評估，以增加資料的完整性。

研究方法

本計畫執行的方法及內容說明如下：

1.國內 SRF 替代燃料使用盤點調查，包含燃料種類、爐體溫度及控制設備等。

2.進行至少12場次 SRF 使用廠排放調查，調查廢氣、廢水及廢棄物的污染物含量及 SRF 替代燃料之成分分析。

(1)廢氣採樣項目包含持久性有機污染物、芳香烴化合物、塑化劑、重金屬及 PSN（粒狀物、硫氧化物及氮氧化物）等。

(2)廢氣分析項目包含芳香烴化合物、塑化劑、重金屬及 PSN（粒狀物、硫氧化物及氮氧化物）等。

(3)廢水及廢棄物採樣項目為持久性有機污染物、塑化劑及重金屬。

(4)廢水及廢棄物分析項目為重金屬。

(5)燃料成分包括採樣及分析，分析項目為氯含量、硫含量、塑化劑及重金屬 (Cu、Pb、Cd、Hg)等。

3.進行本計畫所調查 SRF 使用場域環境風險評估。

(1)針對採樣分析結果進行環境風險評估。

(2)進行風險評估結果不確定度分析。

4.依本計畫調查結果（包含成分分析及排放調查）與各管制標準進行研析討論。

結　果

一、完成國內 SRF 使用廠家的盤點調查：

從環境部「固定污染源管理資訊公開平台」查詢具有"SRF 或 RDF" 為燃料之固定污染源" 設置"或"操作及燃料使用"許可，至今年（民國113年）11月為止，國內具有 SRF/RDF 設置許可有5家，操作及燃料使用許可有18家，扣除重複1家，共計22家（桃園地區3家 SRF 廠因桃園市政府尚未核發設置許可證，故未列入）。若

按地理區域位置分布，北部6家、中部7家、南部4家、東部5家，燃燒設備流體化床鍋爐29座、旋轉窯10座，合計39座，目前維持正常運轉有16家，退出、測試中或興建中有6家。SRF/RDF 之年許可最大使用量約196萬公噸（設置許可與操作許可總計）。彙整環境部資源循環署「事業廢棄物申報及管理資訊系統」資料，113年國內正常運作生產 SRF 相關產品共有48家，統計112/1~112/12之申報產量資料，年製造量約29萬公噸，佔最大許可使用量的15%。

二、資源循環燃料成分分析與品質管制標準：

1.各廠總共採集27件替代燃料及原料樣品，分析的品質項目中（包括：Cl、Pb、Cd）皆符合目前環境部「固體再生燃料製造技術指引與品質規範」。

2.彙整13筆資料，SRF 中的 Cl 含量與排放管道 PCDD/Fs 濃度呈正相關。

3.Cu 為 PCDD/Fs 低溫再合成之觸媒，本計畫檢測煙氣中 PCDD/Fs 濃度超標之工廠，其使用的 SRF 中的 Cu 含量皆明顯較高(Cu：182~531 mg/kg)，再者彙整13筆資料，飛灰中 Cu 含量與排放管道 PCDD/Fs 濃度呈正相關。

三、SRF 使用廠之污染物排放調查與管制標準：

根據評選須知今年必須完成12場次 SRF 使用廠之污染物排放調查，其中必須包含2家水泥廠及挑選1家（TCH 廠）執行重複採樣。報請國環院同意後擬定採樣時程，8/31前完成12場次之污染物排放採樣作業，9/30完成樣品分析。有關燃料成分與污染物分析結果重點說明如下：

1.PCDD/Fs 濃度檢測：

(1)排放管道平均濃度範圍介於0.0006~0.745 ng-TEQ/Nm^3，以 CC、YTS 及 ACH 廠的濃度較高且略為超過固定污染源 PCDD/Fs 排放標準，由於三家 SRF 所含的 Cu 較其他廠高（Cu 為 PCDD/Fs 低溫再合成重要催化劑），此外，YTS 廠鍋爐為老舊氣泡式流體化床，燃燒效率較差，煙氣中雖有噴入活性碳吸附 PCDD/Fs，然排氣仍超過法規標準。至於 CC 廠目前並無戴奧辛防制設備，ACH 廠於採樣期間尚處於啟爐不穩定階段，因此 PCDD/Fs 排放濃度較高。

(2)底渣 PCDD/Fs 濃度介於0.0002~0.0009 ng-TEQ/g，濃度遠低於有害事業廢棄

物認定標準(<1.0 ng-TEQ/g)。至於飛灰濃度介於0.002~3.15 ng-TEQ/g，只有YH 廠的飛灰 PCDD/Fs 濃度最高且超過有害事業廢棄物認定標準，YH 廠因其 SRF 混燒比高(86.2%)且飛灰中 Cu 含量最高，該廠雖裝有 SCR 及觸媒分解濾袋，但觸媒濾袋操作溫度<170℃，分解效果不佳，飛灰表面再合成之PCDD/Fs（固相）由濾袋捕集，因此飛灰濃度較高。

(3)各廠放流水之濃度1.27~5.69 pg-TEQ/L，皆符合現行放流水標準(<10 pg-TEQ/L)。

2.排放管道及放流水重金屬皆低於現有及加嚴之排放標準。

3.檢測排放管道煙氣中19種 PAHs，其濃度以 BaP_{eq} 毒性當量濃度來表示，煙氣之平均濃度介於0.2~2,332 ng-BaP_{eq}/Nm^3，TPM、CHPC、YTS、CH 及 TC 廠的濃度明顯較低，其中 TPM 與 YTS 廠有噴活性碳故排放數值較低，CHPC 及 TC 廠因其燃燒條件良好，至於 CH 廠之 SRF 成分單純。CC 廠檢測期間 SRF 混燒比約70%，替代燃料（SRF 與漿紙污泥）佔比約90%，雖然鍋爐操作溫度介於850-876℃，由於替代燃料成分較煤複雜，且空污防制設備並未使用活性碳，因此，PAHs 排放濃度明顯偏高。

4.排放管道 PSN（包含粒狀污染物、二氧化硫及氮氧化物）檢測，只有 TC 廠的 SO_2 超標，其餘皆符合目前排放標準。超標原因是該廠使用含高硫(S)份廢橡膠為替代燃料，使用除酸效率較差的乾式脫硫設備所致。

5.本計畫檢測常見的塑化劑種類包含 DMP、DEP、DBP、BBP、DNOP、DEHP 等六種。各介質中的塑化劑濃度說明如下：

(1)SRF 中的濃度116~1,530 mg/kg，以 TCH 廠最高，因 SRF 主要成分為透明廢塑膠片。此外，SRF 的塑化劑含量明顯較木屑、漿紙污泥及廢橡膠為高。SRF 中塑化劑以 DEHP 為主，木屑及漿紙污泥中也是以 DEHP 為主。DEHP 與 PVC 的相容性極佳，是 PVC 加工上用量最大的可塑劑，顯示 SRF 中可能有 PVC 塑料存在。

(2)排放管道、底渣、飛灰及廢水中的塑化劑濃度皆很低。

四、環境風險評估結果：

1.本計畫依實際檢測台中（YTS 廠、CH 廠及 K 廠）及雲林（TPM 廠）排放管道 PAHs、PCDD/Fs 和重金屬的排放量，使用 AERMOD 進行其污染物之擴散沉降模擬，以作為後續環境風險評估依據。

2.本計畫 YTS 廠模擬之 PAHs 擴散最大著地濃度為1.63 pg/m^3；PCDD/Fs 擴散之最大著地濃度為7.86 fg-TEQ/m^3；YTS 廠模擬之重金屬(As、Cd、Cr、Hg、Ni、Pb)擴散最大著地濃度範圍為0.00008至0.00556 ng/m^3。CH 廠模擬之 PAHs 擴散最大著地濃度為5.72 pg/m^3；PCDD/Fs 擴散之最大著地濃度為0.22 fg-TEQ/m^3；CH 廠模擬之重金屬(As、Cd、Cr、Hg、Ni、Pb)擴散最大著地濃度範圍為0.00001至0.68 ng/m^3。K 廠模擬之 PAHs 及 PCDD/Fs 擴散最大著地濃度分別為119 pg/m^3及1.85 fg-TEQ/m^3；K 廠模擬之重金屬(As、Cd、Cr、Hg、Ni、Pb)擴散最大著地濃度範圍為0.017至1.69 ng/m^3。TPM 廠模擬之 PAHs 及 PCDD/Fs 擴散最大著地濃度分別為339 pg/m^3及0.8 fg-TEQ/m^3。TPM 廠模擬之重金屬(As、Cd、Cr、Hg、Ni、Pb)擴散最大著地濃度範圍為0.00001至0.00007 ng/m^3。

3.完成蒐集與回顧國內外文獻，搜尋預測無效應濃度(PNEC)相關建立方法，並彙整以本土物種建立之 PNEC 以作為危害商數推估之依據。

4.完成蒐集與彙整政府資料以便進行多介質暴露評估，研究範圍涵蓋台中和雲林地區。完成台中清水區、台中梧棲區、台中龍井區及雲林麥寮鄉的水文資料蒐集，進行污染物暴露在不同介質的暴露濃度 PECs 推估，並將 PECs 濃度與先前蒐集的國內外 PNECs 濃度比較，獲得估算出的環境風險值 RQ。

5.完成搜尋預測無效應濃度(PNEC)相關建立方法，整理以本土物種建立之 PNEC 以作為本研究危害商數推估之依據。基準值計算的方法應用評估因數(assessment factor, AF)法，作為基準值的預測無效應濃度(Predicted No Effective Concentration (PNEC)評估因數法。選擇以美國土壤篩選值(Ecological Soil Screening Levels, Eco-SSLs)、加拿大 soil quality guidelines (SQGE)為基礎，再加以本土化作為我國生態土壤篩選值。

6.多介質模式採用美國加州政府環境健康危害評估辦公室所發布之評估指引來進行不同介質（例如：空氣、土壤、水體、底泥）中化學物質 PECs 之估算，同時建立我國生態土壤篩選值且利用蒙地卡羅分析降低不確定性。本計畫之多介質與風險分析結果乃進行 Tier-3之分析，亦即以機率分布方式計算並盡量搭配台灣本土環境調查資料。物質之濃度、沉降量等將利用 Monte-Carlo 不確定性分析抽樣5000次後之機率分布結果進行多介質分析，結果取其50%中位數進行環境風險評估。

7.本計畫 Tier 1環境風險推估情形，在不同廠區中，不同介質（土壤、水體、底泥）中不同化學物種（PCDD/Fs、PAHs、重金屬）推估之環境風險的危害商數（RQ值）皆小於1，表示目前無立即執行生態風險評估之需要。

8.比較中部與北部地區之 SRF 廠家風險估算之結果差異，釐清 RQ 風險是否與污染防制設備、SRF 進料組成、及煙道檢測濃度有關；經比對環境之危害商數結果與煙道檢測濃度數據，發現並無相關；與預測環境濃度(PEC)濃度較有顯著相關，推測差異原因可能為大氣擴散模擬中需代入不同參數，例如：各廠家煙囪高度、氣象條件、煙囪內徑、排氣速度、排氣溫度等條件，都會有所不同，因而造成不同的 RQ 風險結果。

結　論

1.SRF 生產與品質：目前國內對 SRF 的需求持續增長，然而，SRF 生產量僅佔最大許可使用量的15%，亟需進一步擴展產能以滿足需求。不過必需加強 SRF 燃料品質的管控，例如：SRF 中的 Cl 及 Cu 含量，根據本研究之推導結果，PCDD/Fs 的排放濃度與 SRF 或替代燃料中的 Cl 含量成正相關。

2.根據檢測結果，混燒 SRF 需要關注的是 PCDD/Fs，因其毒性高且排放濃度偶有超標之疑慮。降低 PCDD/Fs 排放需掌握以下重點：(1)爐膛內燃燒溫度>850℃、爐膛煙氣停留時間≥2秒、保持良好、穩定的操作、(2)選用低氯及低銅含量之 SRF、(3)設備、管壁要常清灰及定時更換 FGD 填充材，可減少 PCDD/Fs 之記憶效應、(4)管末處理建議採用觸媒分解方式才能真正減少環境之 PCDD/Fs。

3.空氣污染防制設備選擇：藉由 SNCR、SCR 或 O_3氧化技術能使 NO_x 濃度符合目

前排放標準，針對 SO_2酸性氣體可使用吸收效率較高的半乾式或濕式排煙脫硫技術，粒狀污染物或沸點較高的重金屬使用袋式集塵器或靜電集塵器已能有效捕集。Pb、Cd、Hg 等揮發性重金屬及 PAHs 可使用活性碳吸附，對於已生成的 PCDD/Fs 建議採用活性碳吸附或觸媒分解方式。

4.在正常操作下水泥製程混燒 SRF 應能有效控制 PCDD/Fs 排放濃度，但根據本次檢測結果若在啟爐升溫過程因窯內處於不穩定狀態，PCDD/Fs 仍有超標之疑慮，必須加以注意。

5.環境風險推估結果，各廠在不同介質（土壤、水體、底泥）中不同化學物種（重金屬、PCDD/Fs、PAHs）推估之環境風險的危害商數（RQ 值）皆小於1，表示目前無立即執行生態風險評估之需要。

6.以上結論是參照本計畫12場次 SRF 使用廠之檢測調查數據所得結果，各廠因燃料種類及來源、混燒比、燃燒設施型態、操作條件、空氣污染防制設備等皆不相同，不宜直接引用、類比、套用或擴大解釋。

<u>建議事項</u>

1.根據國外資料，光學分選設備能有效分選出含氯塑膠(PVC)，有效降低 SRF 的含氯量，然而國內 SRF 製造廠很少使用此項設備，建議能與廠商合作評估此項設備對 PVC 及 Cl 的分離效果。

2.建議執行單一工廠使用不同料源之環境風險評估，以降低不確定性，並增加資料的完整性。

3.S 的成份能抑制 PCDD/Fs 生成，建議於實驗室先行測試，獲得合適 Cl/S 比，並於實廠進行可行性驗證試驗，評估真實的抑制效果。

第一章 研究緣起

[章節摘要]

本章說明淨零政策中有關資源循環零廢棄的策略內容與研究緣起及計畫執行進度說明。

1.1 計畫緣起

我國於 2022 年 3 月公布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」(國家發展委員會，2022)，提供至 2050 年淨零之軌跡與行動路徑，淨零排放以「能源轉型」、「產業轉型」、「生活轉型」、「社會轉型」等四大轉型路徑及「科技研發」、「氣候法制」兩大治理基礎，輔以「十二項關鍵戰略」，就能源、產業、生活轉型等重要領域制定行動計畫，落實淨零轉型目標。

在十二項關鍵戰略之一為「資源循環零廢棄」，以「綠色設計源頭減量」、「能資源化再利用」、「暢通循環網絡」、「創新技術與制度」為四大推動策略，期達成「永續消費與生產」、「提升資源使用效率」、「加值化處理廢棄物」等目標，以提升資源生產力同時降低人均物質消費量，打造零廢棄的資源永續循環世代(環境部，2023)。四大推動策略中的「能資源化再利用」即是強化原料、再生料及廢棄物分流，加強前端分類與回收，推動可燃廢棄物燃料化、無機廢棄物及化學品廢棄物材料化、粒料化，以及有機廢棄物處理肥料化等（環境部，2023）。

根據民國 111 年環境部統計資料顯示，全國一般廢棄物及一般事業廢棄物總產生量分別為 1,124 萬公噸及 1,593 萬公噸，若能將這些廢棄物經過篩選等前處理程序轉換製作為燃料(waste to fuel, WtF)，不僅可降低現有焚化廠及衛生掩埋場之處理及處置量，更可產生熱或電之能源(waste-to-energy, WtE)，減少化石燃料的使用，降低溫室氣體排放。

早期廢棄物是直接以焚化方式進行能源回收，之後藉由機械處理及分選，回收部分可回收物質，同時將廢棄物產製為垃圾衍生燃料(refuse-derived fuels, RDF)，RDF 技術是以固體廢棄物（如：生活垃圾、一般事業廢棄物、農業廢棄物等）利用物理或熱化學方法（例如：破碎、風選、磁選、乾燥、造粒）等處理過程，製作成不同型態的衍生燃料，美國試驗及材料協會(American Society for Testing and Materials, ASTM)將 RDF 分為七大類(RDF-1~RDF-7)，隨著處理程序的提升，所產生的 RDF 燃料等級也愈高，代表能回收熱能愈高、污染相對較低。但就 RDF 本身的品質（例如：熱值、重金屬及氯含量等）並無進行規範，因此無法掌握 RDF 燃燒後對環境造成的危害衝擊與影響。

為了提高廢棄物中可燃成分之資源運用，歐盟近幾年積極推動將一般家庭、商業或工業廢棄物透過機械處理(mechanical treatment, MT)、機械熱處理(mechanical heat treatment, MHT)、機械生物處理(mechanical biological treatment, MBT)等方式將金屬與有價塑膠等資源回收後，再將不易進行物質再利用之可燃性有機成分（例如：廢塑料、紙張、紙板、廢橡膠、廢木材及木屑等）均質化，轉製成為固體再生燃料(Solid recovery fuel, SRF)。2017 年歐盟的 MBT 廠家數約 570 座，總處理量約 5,500 萬噸，預計 2025 年 SRF 年產能可達 1,000 萬噸(Ecoprog, 2017)。此外，針對 SRF 之生產、組成與品質規範（如：熱值、氯及汞含量）、採樣與分析方法等訂定相關辦法，例如：SRF 品質須符合歐洲標準委員會(Comité Européen de Normalisation, CEN)標準，此標準目的在為 SRF 製造者提供明確的定義；不同等級 SRF 有其特定的組成範圍。

國內具高熱值的事業廢棄物種類，包括：塑膠類、橡膠類、紙類、木材類及纖維類、動植物性渣類及垃圾等，每年約 77 萬公噸，以產率 80%推估約可產製 62 萬公噸 SRF（張瓊芬、張家驥，2022）。環境部為推動廢棄物燃料化，促進廢棄物製成 SRF 並提供鍋爐作為燃料使用，訂定廢棄物燃料化推動目標，預計事業廢棄物燃料化 2025 年達到 60%，2030 年達 80%（環境部，2024）。

SRF 可用於流體化床鍋爐、水泥旋窯、金屬冶煉業熔爐等設施，SRF 的效益之一是取代部分燃煤，讓篩選分類出的廢棄物可以再生、再利用，並轉化為蒸氣或發

電。廢棄物在焚化爐發電效率僅約 20%，若做成 SRF 並於專燒爐燃燒發電，發電效率可高於 30%。

SRF 雖能滿足工業之燃料需求，同時達到廢棄物去化之目的，但 SRF 原料來源多元且成分複雜，使用 SRF 的加熱設施種類、操作條件也不盡相同，加上既有燃燒機組非以 SRF 燃料設計，高比例混燒容易遭遇進料系統、排灰系統積灰/結渣、黏壁、爐溫偏移、料況不穩定等問題，有可能因操作不當產生污染物排放至環境中，對環境及民眾造成危害。故以 SRF 為替代燃料轉製成能源，同時兼顧環境友善是非常重要的。

本計畫於民國 112 年完成國內 SRF 製造廠現況盤點調查，依據環境部「事業廢棄物申報及管理資訊系統」及「資源再利用管理系統」，統計 111/7~112/6 期間之 SRF 產品製造量申報資料，國內運作中的 SRF 相關產品製造廠約有 32 家，年製造量約 24 萬公噸。彙整「固定污染源管理資訊公開平台」資料，截至 112 年 11 月為止，國內具有 SRF/RDF 許可操作共有 20 家，SRF/RDF 年總許可最大使用量約 168 萬公噸，行業別以造紙業為主。

本研究是延續 112 年計畫，持續蒐集、彙整國內鍋爐或其他製程設施使用替代燃料（以 SRF 為主）之廠家基本資料建立與其污染物排放調查，根據實際污染物排放資料進行環境風險評估，評析造成環境風險的主要污染物。112 年挑選 5 家造紙廠及汽電共生廠使用 SRF 為替代燃料之流體化床鍋爐進行 7 場次的污染物排放調查，此外，研擬環境風險評估標準模式之可行性，並以桃園地區為主完成 2 家 SRF 使用廠之環境風險評估實廠驗證。由於第一年計畫只有執行 5 家（七場次）的污染物排放調查，且以北部地區之造紙廠為主，今年度（113 年）持續進行調查，擴大檢測範圍，針對不同地區、行業別、燃燒或製程設施、使用不同 SRF 替代燃料之污染物排放現況調查與環境風險評估，藉以了解使用 SRF 可能產生之環境風險，提供降低污染物環境風險之解決方案，協助政府淨零與資源循環政策之推行。

1.2 研究目的

研析固體生質燃料(SRF)使用場域排放及環境風險評估調查。

1.3 本年度計畫工作內容

1.國內 SRF 替代燃料使用盤點調查，包含燃料種類、爐體溫度及控制設備等。

2.進行至少 12 場次 SRF 使用廠排放調查，調查廢氣、廢水及廢棄物的污染物含量及 SRF 替代燃料之成分分析。

(1)廢氣採樣項目包含持久性有機污染物、芳香烴化合物、塑化劑、重金屬及 PSN（粒狀物、硫氧化物及氮氧化物）等。

(2)廢氣分析項目包含芳香烴化合物、塑化劑、重金屬及 PSN（粒狀物、硫氧化物及氮氧化物）等。

(3)廢水及廢棄物採樣項目為持久性有機污染物、塑化劑及重金屬。

(4)廢水及廢棄物分析項目為重金屬。

(5)燃料成分包括採樣及分析，分析項目為氯含量、硫含量、塑化劑及重金屬 (Cu、Pb、Cd、Hg)等。

3.進行本計畫所調查 SRF 使用場域環境風險評估。

(1)針對採樣分析結果進行環境風險評估。

(2)進行風險評估結果不確定度分析。

4.依本計畫調查結果（包含成分分析及排放調查）與各管制標準進行研析討論。

[註]根據評選須知內容，本計畫有關持久性有機污染物及排放管道以外的介質中塑化劑分析工作由國環院執行。

1.4 計畫執行進度說明

一、預定與實際執行進度

預定執行進度

實際執行進度

預定進度(以甘特圖表示)													
工作內容項目及佔比	月次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	年別	113											
	月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
一、國內 SRF 替代燃料使用盤點調查(10%)													
1.蒐集與盤點國內 SRF 使用廠資料(5%)					(1)								
2.蒐集彙整環境介質暴露參數(5%)						(2)							
二、進行 12 場次 SRF 使用廠排放調查(50%)													
1.進行 SRF 使用廠之訪廠工作及資料彙整(10%)							(3)						
2.SRF 使用廠之污染物排放調查(30%)									(4)				
3.調查結果與各管制標準研析討論(10%)											(5)		
三、SRF 使用場域環境風險評估與其他(40%)													
1.針對採樣分析結果進行環境風險評估(20%)											(6)		
2.風險評估結果不確定度分析(5%)											(7)		
計畫啟動會議(2%)				(8)									
第一次進度報告(3%)						(9)							
期中報告(5%)									(10)				
期末成果報告(5%)													(11)
預定執行進度累積百分比(%)			5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
實際執行進度累積百分比(%)			5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

二、計畫查核點

1.規劃查核點

查核點	預計完成時間	查核點內容說明
1	113.4.30	蒐集與盤點國內 SRF 使用廠資料
2	113.5.31	蒐集及彙整國內環境介質暴露參數
3	113.6.30	SRF 使用廠之訪廠工作及資料彙整
4	113.8.31	SRF 使用廠之污染物排放調查
5	113.10.31	調查結果與各管制標準研析討論
6	113.10.31	採樣分析結果進行環境風險評估
7	113.10.31	風險評估結果不確定度分析
8	113.3.31	計畫啟動會議
9	113.5.31	第一次進度報告
10	113.8.31	期中報告
11	113.11.15 113.12.31	繳交成果報告初稿 計畫執行結束

2.實際執行查核點

查核點	實際完成時間	查核點內容說明	完成度
1	113.3.31	完成蒐集與盤點國內 SRF 使用廠資料	100
2	113.5.31	完成蒐集及彙整國內環境介質暴露參數	100
3	113.4.30	完成 SRF 使用廠之訪廠工作及資料彙整	100
4	113.8.31	完成 SRF 使用廠之污染物排放調查	100
5	113.10.31	完成調查結果與各管制標準研析討論	100
6	113.10.31	完成採樣分析結果進行環境風險評估	100
7	113.10.31	完成風險評估結果不確定度分析	100
8	113.2.26	完成計畫啟動會議	100
9	113.5.27	完成第一次進度報告	100
10	113.7.31 113.9.6	繳交期中報告書 完成期中報告審查	100
11	113.11.15 113.12.9 113.12.16	繳交成果報告初稿 繳交成果報告修正稿 繳交成果報告定稿	100

1.5 計畫經費

項　目		經　費	說　明
一、人事費		**1,606,500**	
1.直接薪資	a.計畫主持人	300,000	75,000/人月 × 4 人月 = 300,000
	b.協同主持人	144,000	18,000/人月 × 8 人月 = 144,000
	c.研究人員	825,000	55,000/人月 × 15 人月 = 825,000
	(a)~(c)小計	1,269,000	
2.間接費用		337,500	公假與特別休假、保險費、年終獎金及退休金等費用（直接薪資×30%）
二、業務費		**4,343,000**	
1.文具紙張等		50,000	文具用品、影印紙張等
2.郵電、運費		50,000	郵資、運費、電話費等
3.報告影印裝訂及資料購買費		50,000	紀錄表格、進度報告、期中（末）報告影印裝訂、國內外資料檢索等
4.電腦材料、資料處理費		50,000	資訊設備使用、光碟片、碳粉匣、墨水匣等
5.一般技術委託費		950,000	環境風險評估
6.採樣檢測技術費		2,450,000	PCDD/Fs、PAHs、PSN、重金屬檢測、進料分析（S、Cl、Pb、Cd、Hg、Al及塑化劑）
7.儀器使用費		600,000	GC/MS、GC/MS/MS、ICP-AES、ICP/MS、CVAAS、固體汞分析儀、微波消化設備、五位天平、元素分析儀、樣品濃縮設備。
8.雜支		143,000	驗室廢水與廢棄物處理、保險費、電費等雜支
三、旅運費		**500,000**	
國內旅費		500,000	短程：1,000/人天×200人天 = 200,000 中程：3000/人天×100人天 = 300,000
四、材料費		**779,937**	1.採樣設備（管線、管閥、加熱裝置、耗材、衝擊瓶、抽氣馬達、差壓計、濾紙套筒及固定器、XAD2、採樣箱、天平、水浴裝置、矽膠除水器、手套、鋁箔、採樣管、冷藏箱、延長電線、標準品、吊掛設備及載具、安全設備及措施等） 2.樣品前處理與分析(濃縮設備、溶劑、試藥、氮氣、氦氣、分離管柱、加熱包、加熱帶、Teflon管線、三通接頭、玻璃器皿、耗品、分析儀器耗材、化學藥品等）
五、管理費		**722,944**	合計（總經費）×10%
六、營業稅		**397,619**	5.0%
合　　計		**8,350,000**	

第二章 背景

[章節摘要]

本章說明國內 SRF 來源、種類、生產、規格、使用、管理及污染物排放等資料，同時蒐集環境風險評估資料，例如：化學物質濃度-效應評估、環境暴露評估、環境風險評估方法、流程與指標等。此外，重點說明去年計畫執行內容與結果。

2.1 前言

我國於 2022 年 3 月公布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」，提供至 2050 年淨零之軌跡與行動路徑，淨零排放路徑以「能源轉型」、「產業轉型」、「生活轉型」、「社會轉型」等四大轉型，及「科技研發」、「氣候法制」兩大治理基礎，輔以「十二項關鍵戰略」，就能源、產業、生活轉型政策預期增長的重要領域制定行動計畫，落實淨零轉型目標。

十二項關鍵戰略之一為「資源循環零廢棄」，以「綠色設計源頭減量」、「能資源化再利用」、「暢通循環網絡」、「創新技術與制度」為 4 大推動策略，期達成「永續消費與生產」、「提升資源使用效率」、「加值化處理廢棄物」等目標，以提升資源生產力同時降低人均物質消費量，打造零廢棄的資源永續循環世代。

行政院環保署於民國 112 年 8 月 22 日升格為環境部，下轄 4 署 1 院，與此戰略有密切關係的單位為「資源循環署」與環境檢驗所改組成為國家環境研究院（以下簡稱國環院），為能與資源循環署發展趨勢相輔相成，並與國際接軌，成為國家未來資源循環技術發展驗證之重要後援，國環院負起盤點國內外資源循環發展趨勢、法規、標準、方法與驗證等，並研提我國資源循環與淨零排放技術發展藍圖。

「資源循環零廢棄」的主要策略之一是「能資源化再利用」，具體作法是將廢棄物經過篩選等前處理程序轉換製作為燃料(waste to fuel, WtF)，不僅可產生熱或電之能源(waste-to-energy, WtE)，還可減少化石燃料的使用，降低溫室氣體排

放。以下針對固體廢棄物燃料、固體再生燃料之定義、製備、使用、處理及優、缺點加以說明。

2.2 固體廢棄物燃料

固體廢棄物燃料化(waste to fuel)為廢棄物轉製能源(waste-to-energy, WtE)方法之一，將適燃性且無法再利用的物質，例如：製材廠的邊角料、下腳料、稻穀、稻稈、菇包培養基、棕櫚殼等農林資材及城市生活廢棄物，直接或經過造粒程序後作為燃料使用，固體廢棄物燃料之種類及發展說明如下：

19 世紀末於英格蘭首先使用都市生活垃圾作為燃料產生蒸汽，1890 年代紐約市以人工分選方式選出固體廢棄物中有用的物質，殘留物則作為固態廢棄物衍生燃料(Refuse-derived fuel, RDF)，燃燒後發電，此為廢棄物分選技術之濫觴。固態廢棄物衍生燃料(Refuse-derived fuel, RDF)技術是以固體廢棄物（如生活垃圾、一般事業廢棄物、農業廢棄物等）利用物理或熱化學方法、例如：破碎、風選、磁選、乾燥、造粒等處理過程，製成不同型態的衍生燃料，美國試驗及材料協會(American Society for Testing and Materials, ASTM)將 RDF 分為七大類(RDF-1~RDF-7)（**表 2.2-1**）。RDF-1~DRF-5 為固體燃料，RDF-6 是將廢棄物液化為合成燃油，DRF-7 是合成燃氣，隨著處理程序的提升，所產生的 RDF 燃料等級也愈高，代表能回收熱能愈高、污染相對較低。其中 RDF-5 是將廢棄物經破碎、分選、乾燥、混合添加劑及成型等處理過程，製成固態錠型燃料（**圖 2.2-1**）。RDF-5 的主要特性為大小、熱值均勻（3000~6500 kcal/kg，約為煤的 2/3）、水份 ＜10%、灰份 ＜20%，易於運輸及儲存，在常溫下可儲存 6~12 個月，可將其直接應用於機械床式鍋爐、流體化床鍋爐及發電鍋爐等，做為主要燃料或與煤混燒，淨能源效益可提高 1.45 倍，在節能減碳及空氣品質的雙重要求之下，不啻為良好的環保再生燃料。

2001 年經濟部能源局委託工研院，進行 RDF-5 技術開發，完成 200 kg/hr 先導試驗廠建置。2004 年設立台灣首座都市廢棄物 RDF-5 燃料示範廠，以花蓮縣豐濱鄉生活垃圾轉換為工業替代燃料，RDF-5 產能約 0.5 噸/時。RDF-5 之應用包含多座商業化大型燃燒系統，例如：氣泡式流體化床汽電共生鍋爐、循環式流體化床汽電共生鍋爐、水泥窯等。至 2020 年底民營公司設置造紙業 RDF-5 廠，如：

廣 O 造紙公司、正 O 公司大園廠/后里廠、永 O 餘公司台東廠/新屋廠等，總產能約 7~8 萬噸/年，約替代 6.3~7.2 萬噸燃料煤/年，減少 CO_2 排放約 15~17 萬噸/年。然而 RDF 來源種類複雜，RDF 本身的品質（如熱值、重金屬、氯含量等）並沒有特別進行定義及規範，因此無法掌握燃燒後對環境所造成的影響。

表 2.2-1、RDF 分類

類別	定義	主要應用範圍
RDF-1 (MSW)	都市廢棄物直接作為燃料，但不含巨大廢棄物。	焚化爐焚化、廢熱發電或熱利用。
RDF-2 (c-RDF)	廢棄物破碎成粗顆粒，亦可經磁選回收金屬後 95 wt.%通過 6 英吋篩網	焚化爐焚化、廢熱發電或熱利用。
RDF-3 (f-RDF)	廢棄物經過進一步破碎，並去除金屬、玻璃及其他無機物後 95 wt.%通過 2 英吋篩網。	焚化爐廢熱鍋爐、鍋爐中與煤炭混燒。
RDF-4 (p-RDF)	可燃物處理成粉狀，95 wt.%通過 10 號篩網（0.035 英吋之角篩）。	焚化爐廢熱鍋爐、鍋爐中與煤炭混燒。
RDF-5 (d-RDF)	可燃物壓密成柱狀、球狀、磚塊狀或其他形狀。	用於固體燃料鍋爐取代煤炭,或與煤炭混燒。
RDF-6	可燃物處理成液狀（無分類標準）。	燃油鍋爐、柴油發電機燃料。
RDF-7	可燃物處理成氣狀（無分類標準）。	氣化複循環發電(IGCC)、氣化觸媒合成汽、柴油或化學品。

圖 2.2-1、RDF-5 外觀

2.3 固體再生燃料

2018 年歐盟為推動資源廢棄物管理，針對家庭、商業或工業之廢塑料、紙張、紙板、紡織和木材等不易進行物質再利用之一般可燃廢棄物，推動將廢棄物轉製為固體再生燃料(solid recovery fuel, SRF)。

2.3.1 SRF 之原料及製作

作為 SRF 之原料必須具適燃性，依據「固體再生燃料製造技術指引與品質規範」，可作為 SRF 原料之廢棄物種類如**表 2.3-1**，包含塑膠類、橡膠類、紙類、木材類、纖維類、動植物性渣類、其他類（垃圾）等，但不包含依相關法規認定為有害事業廢棄物或醫療用廢塑膠及以進口廢棄物為 SRF 之原料。

SRF 是以非有害、適燃性固體廢棄物收集完成後透過專門的處理程序，例如：機械處理法(Mechanical Treatment, MT)、機械熱處理法(Mechanical Heat Treatment, MHT)及機械生物處理(Mechanical Biological Treatment, MBT)製成 SRF。主要針對含水率低之事業廢棄物轉製 SRF 之流程（**圖 2.3-1**）。MHT 是針對含水率高之生活垃圾增加蒸煮(autoclaving)或熱風乾燥程序以提升機械分選效率並降低含水率，但製造程序較耗能，且產生之高濃度有機廢液處理較困難。MBT 是最新一代廢棄物處理技術，處理步驟：(A)將所有垃圾破袋後利用生物好氧發酵作用將有機物分解，並利用發酵過程中產熱，將水分揮發降低廢棄物之含水率並達到均質化，(B)利用機械分選設備將生物發酵乾化處理後之產物進行分選，將其中金屬、可回收塑料等資源回收，(C)將剩餘有機質有機物質及無回收價值之塑料製造 SRF 或是堆肥，最後剩下不可利用之殘渣以掩埋處理（**圖 2.3-2**）（張慶源、張家驥，2018）。

MBT 廠使用之生物乾化設備為滾筒式生物乾化設備(Biodrum)及隧道式生物乾化設備(Bio-drying Tunnels)，隧道式生物乾化設備目前使用最廣，至於使用的機械分選設備主要有：(A)磁選機及渦電流分選機(Magnetic Separator & Eddy Current Separator)：回收金屬物。(B)彈跳式分選設備(Ballistic Separator)：回收立體之瓶罐類。(C)金屬及塑料分選設備(Material Sorting Equipment)。(D)高效能風

選設備(Windsifter)：去除砂土。(E)近紅外線自動分選系統(Near-Infrared, NIR)：光學分選系統分選塑料(PVC、PP、PE)、紙類等（張慶源、張家驥，2018）。

生產的 SRF 形式多樣，包含：顆粒、錠狀、薄片 、碎片、粉末、蓬鬆狀等（**圖 2.3-3**）。採用 MBT 之能源消耗低，且產物產出多元，以生活垃圾為例，MBT 之主要產物為固體再生燃料(solid recovery fuel, SRF)或堆肥，並可進一步回收資源物（金屬、塑料）（張慶源、張家驥，2018）。

表 2.3-1、可作為 SRF 原料之廢棄物種類 (113.6.20)

廢棄物種類	名稱	適用項目
塑膠類	廢樹脂	非有害樹脂如黏著劑等(D-0202)
	廢塑膠混合物	非屬公告應回收或再利用廢塑膠或其混合物(D-0299)
	廢塑膠	依中央主管機關公告可直接再利用之廢塑膠（共通性）或廢塑膠（容器）（交通部、通傳會）(R0201)。依環境部公告之一般廢棄物清除處理方式，家戶或其他產生源產出非屬應回收廢棄物之廢塑膠（環境部）。
橡膠類	廢橡膠混合物	非屬公告應回收或再利用廢橡膠或其混合物(D-0399)
	廢橡膠	依中央主管機關公告可直接再利用之廢橡膠（經濟部、內政部）(R-0301)
紙類	廢紙混合物	非屬公告應回收或再利用廢紙或其混合物(D-0699)
	廢紙	依中央主管機關公告可直接再利用之廢紙（共通性、交通部）(R-0601)
	漿紙紙渣	依中央主管機關公告可直接再利用之漿紙紙渣（經濟部）(R-0604)
木材類	廢木材棧板	指廢棄之木質棧板(D-0701)
	廢木材混合物	非屬公告應回收或再利用廢木材或其混合物(D-0799)
	廢木材	依中央主管機關公告可直接再利用之廢木材（板、屑）（交通部、內政部）或廢木材（板、屑、木質電桿、木質橫擔或枕木）(經濟部、通傳會)(R-0701)
纖維類	廢纖維	指廢棄之纖維材質廢棄物(D-0801)
	廢棉屑	指廢棄之含棉屑材質廢棄物(D-0802)
	廢布	指廢棄布類廢棄物(D-0803)
	廢纖維或其他棉布混合物	指無法分類之廢纖維、棉屑、布或其混合物(D-0899)
	廢人造纖維	依中央主管機關公告可直接再利用之廢人造纖維（經濟部）(R-0801)。依環境部公告之一般廢棄物清除處理方式，家戶或其他產生源產出之舊衣經分類後之廢天然或人造纖維布（環境部）

淨零政策之環境風險評估(2/4)

廢棄物種類	名稱	適用項目
	紡織殘料	依中央主管機關公告可直接再利用之紡織殘料(經濟部)(R-0802)
動植物性渣類	蔗渣	依中央主管機關公告可直接再利用之蔗渣（製糖業在製糖製程產生之蔗渣）（經濟部）(R-0102)
	菇類培植廢棄包	依中央主管機關公告可直接再利用之菇類培植廢棄包（農業部）(R-2401)
	植物性廢渣	公告可直接再利用：食品及飲料製造業在生產製程中所產生之植物性廢渣，其廢渣不得經化學處理，且不得含廢水處理之污泥。但依相關法規認定為有害事業廢棄物者，不適用之。（經濟部）(R-0120)
		指植物性廢棄殘渣。(D-0102)
其他類	事業活動產生之一般廢棄物	事業活動（含營業活動）所產生與一般垃圾性質相近且非屬其他事業廢棄物種類之廢棄物。(D-1801)
	一般垃圾	依環境部公告之一般廢棄物清除處理方式，家戶或非事業產生源所產出之一般垃圾（環境部），處理程序需符合第二章第七點要求 (H-0001)。
	事業員工生活垃圾	依環境部公告之一般廢棄物清除處理方式，家戶或非事業產生源所產出之一般垃圾以及由事業員工生活所產生之廢棄物（環境部），處理程序需符合第二章第七點要求(H-0002)。

註：本表依廢棄物性質歸納可作為固體再生燃料原料之廢棄物種類。再利用行為仍應依相關法令規範辦理。

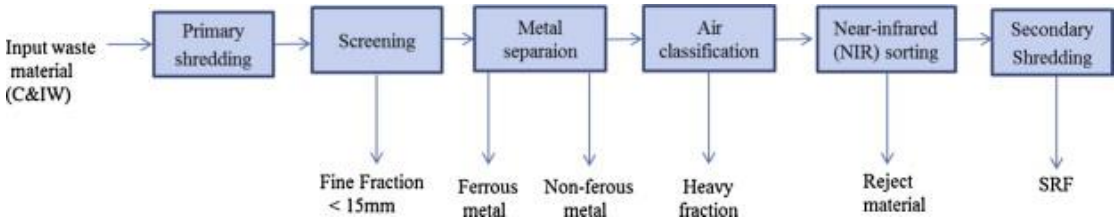


圖 2.3-1、SRF 生產-機械處理程序
(Nasrullah et al., 2014)

圖 2.3-2、廢棄物機械生物處理能資源化示意圖
（張慶源、張家驥，2018）

圖 2.3-3、SRF 形式
（環境部，2019）

2.3.2 SRF 品質規範

RDF 與 SRF 之差異點為 SRF 是經過再製的 RDF，即 SRF 需符合特定的規範，相較之下，SRF 產品是更小的顆粒尺寸、更低的水分含量、顯著提高熱值，以及對化學成分和粉塵的嚴格控制水準。此外，在固體再生燃料產品填報資料上，除品質標準所規範的項目外，亦考量灰份、銻(Sb)、砷(As)、鎘(Cd)、鉻(Cr)、鈷(Co)、銅(Cu)、鉛(Pb)、錳(Mn)、鎳(Ni)、鉈(Tl)、釩(V)等化學特性含量，有助掌握使用端對於料源之接受度及對於飛灰與底渣再利用與處置之規劃。

關於 SRF 品質規範，部分國家有制定通用 SRF 國家標準，例如：歐盟，另一種是由 SRF 製造者根據 SRF 用途（例如：用於發電燃煤鍋爐、水泥窯、汽化爐）利用不同原料及生產製程製作出不同等級（例如：高品質、中級、低等）及不同尺寸的 SRF 產品，有些甚至經過第三方機構之品質認證以標章產品來販售。以下針對各國 SRF 之品質規範進行說明：

一、歐盟

歐洲標準委員會(Comité Européen de Normalisation, CEN)訂定 EN 15357、15358、15359 等固體再生燃料之完整相關法令及規範，其中 2006 年訂定的 EN15359 係針對燃料之經濟特徵（淨熱值）、技術特徵（氯含量）和環境特徵（汞含量）進行分級規範。分級的目的是為使生產者了解 SRF 所處理之類型，分析 SRF 所有製造來源及組成，並可快速瀏覽 SRF 是否具有破壞環境之性質，並且使用特殊原料淨化技術。

SRF 的品質項目依經濟、技術及環境等三面相分別以淨熱值(net calorific value, NCV)、氯含量及重金屬汞制定標準，EN 15359 將 SRF 產品分成五個等級，如**表 2.3-2**，例如：某一 SRF 平均淨熱值為 19 MJ/kg (ar)、平均氯含量 0.5% (d)、平均汞含量 0.016 mg/MJ (ar)、汞之 80%百分位數為 0.05 mg/MJ (ar)，則此 SRF 之分類碼為 NCV (3)、Cl (2)、Hg (2)。然而，EN 15359 於 2021 年廢止（台灣生質能技術發展會，112 年），歐盟各國改採 ISO 21640 標準，其與原 EN 15359 品質分級標準相同，惟汞含量之第 3、4、5 級標準加嚴。

表 2.3-2、EN 15359 及 ISO 21640 對 SRF 的品質標準

品質項目	統計值	單位	EN 15359（已廢止）					ISO 21640				
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
淨熱值 (NCV)	平均值	MJ/kg (ar)	≥25	≥20	≥15	≥10	≥3	≥25	≥20	≥15	≥10	≥3
		Kcal/kg (ar)	≥5,981	≥4,785	≥3,589	≥2,392	≥718	≥5,981	≥4,785	≥3,589	≥2,392	≥718
氯(Cl) 含量	平均值	% (d)	≤0.2	≤0.6	≤1.0	≤1.5	≤3	≤0.2	≤0.6	≤1.0	≤1.5	≤3
汞(Hg) 含量	中位數	mg/MJ (ar)	≤0.02	≤0.03	≤0.08	≤0.15	≤0.50	≤0.02	≤0.03	≤0.05	≤0.10	≤0.15
	80 百分位數	Mg/MJ (ar)	≤0.04	≤0.06	≤0.16	≤0.30	≤1.00	≤0.04	≤0.06	≤0.10	≤0.20	≤0.30

[註] ar：as received; d: dry based（乾基）
資料來源：固體再生燃料規範與分析方法增修公告，台灣生質能技術發展會，110 年。ISO 21640：https://www.iso.org/standard/71309.html

二、德國

德國 SRF 市場早在 1990 年代末期至 2000 年代初期，至今共有 46 座 MBT 廠，大多建造於 2001-2005 年間。設置處理量每年大約 600 萬噸，每年製造出約 240 萬噸的 SRF、16 萬噸再生鐵資源及 2 萬噸再生塑膠資源，每年貢獻的碳排減少量約為 300 萬噸 (Remndis，2020)。

德國 SRF 品質規範須符合 RAL-GZ 724，RAL-GZ 724 是由德國品質保證與認證機構(RAL-Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung)所設立的特定標準，該標準規範了在混燒廠中(co-incineration)使用的固體再生燃料(SRF)所需的要求和規格，它定義了 SRF 必須符合的品質參數，以確保其適合在這些設施中使用，包括組成、熱值、含水量和其他與其燃燒和作為燃料來源相關的特性。2012 公告之 RAL-GZ 724 規範 12 項重金屬之品質標準（如**表 2.3-3**）。

德國是以第三方單位的身分負責 SRF 品質控管及認證工作，由德國聯邦二次物料協會(Bundesgütegemeinschaft Sekundärrohstoffe e.V., BGS)扮演重要角色，BGS 創立於 1999，目標是提倡品質保證的固體再生燃料(SRF)的生產與使用，BGS 成員包含業界（環保業、水泥業、塑膠業等）及負責制定德國 SRF 品管計畫的學界成員，根據所制定的標準化採樣流程與要求對 SRF 廠定期抽樣。若 SRF 符合標準，BGS 會頒發證明給 SRF 廠，使 SRF 廠可以利用這些證明和使用 SRF 的鍋爐或發電廠業者進行協商或交易。因此確保燃料品質必須有一個值得信任的第三方單位來執行。

表 2.3-3、德國 SRF 之 RAL-GZ 724 國家標準

品質項目	限值 (中位數)	限值 (80%)	單位	適用
As	0.31	0.81	mg/MJ, 乾基	混燒廠中
Cd	0.25	0.56	mg/MJ, 乾基	
Co	0.38	0.75	mg/MJ, 乾基	
Cr	7.8	16	mg/MJ, 乾基	
Hg	0.038	0.075	mg/MJ, 乾基	
Mn	16	31	mg/MJ, 乾基	

Ni	5	10	mg/MJ, 乾基	
Pb	12	25	mg/MJ, 乾基	
Sb	3.1	7.5	mg/MJ, 乾基	
Sn	1.9	4.4	mg/MJ, 乾基	
Tl	0.063	0.13	mg/MJ, 乾基	
V	0.63	1.6	mg/MJ, 乾基	

資料來源：https://www.ral-guetezeichen.de/gz-einzelansicht/?gz=gz_724

三、日本

日本以適燃性事業廢棄物（塑膠與紙張纖維）製造之「廢紙和塑料經壓縮致密化後的燃料(Refuse Derived Paper and Plastics Densified Fuel, RPF)」，可供應工業用鍋爐作為燃料。日本 RPF 國家標準是依 JIS Z 7311：2010，規格分成四個等級，詳如**表 2.3-4**。以熱值來說 RPF-coke 是高品質 RPF，其熱值與煤相近。RPF 主要被視為替代燃料，用於日本的造紙和鋼鐵工業，其次是水泥窯(IEA Bioenergy，2020)。

表 2.3-4、日本之 RPF 標準 (JIS Z 7311)

品種		RPF-coke	RPF			量測方法
等級			A	B	C	
高熱值	MJ/kg 到達基	≥33	≥25	≥25	≥25	JIS Z 7302-2
	kcal/kg 到達基	≥7,895	≥5,981	≥5,981	≥5,981	
水分	wt.% 到達基	≤3	≤5	≤5	≤5	JIS Z 7302-3
灰分	wt.% 乾基	≤5	≤10	≤10	≤10	JIS Z 7302-4
氯含量	% 到達基	≤0.6	≤0.3	0.3-0.6	0.6-2.0	JIS Z 7302-6

資料來源：https://kikakurui.com/z7/Z7311-2010-01.html

四、韓國

韓國於 2012 前將廢棄物衍生燃料分為 RDF、RPF、輪胎衍生燃料(Tire Derived Fuel, TDF)、木片燃料(Wood Chip Fuel, WCF)，2013 年引進 SRF，分為 SRF 及生質 SRF (Biomass-SRF)。2020 年有 380 萬公噸都市廢棄物或工業廢棄物之可燃物轉製成 SRF，用於鍋爐與發電廠。約有 12 座 SRF 廠（規模為 25~200 噸/天），另有 185 座焚化廠和 10 座 MSW 氣化廠（規模為 10~150 噸/天）營運操作中。**表 2.3-5** 為南韓環境部對 SRF 之燃料標準，相較於歐盟及日本對重金屬之規範，增加對鉛、鎘、砷、鉻的管制，亦增加硫含量的要求。

五、中國

中國 SRF 標準體系，由中國工業合作協會綠色製造專業委員會（簡稱中國工合綠專委）與數十家由企業、大學、科研院所、業內專家等共同組成的標準起草小組，歷時近 1 年的調查、研討、起草、編制，於 2021 年 11 月 17 日正式發布「固體替代燃料定義與分類」、「固體替代燃料製備技術規範」、「水泥窯用固體替代燃料」和「火力發電用固體替代燃料」等規範。為了讓 SRF 進一步發展、廣泛應用，中國工合綠專委制定「固體替代燃料產品包裝與標誌」(T/CIC-073-2021)標準，讓 SRF 有統一包裝、產品識別標識。**表 2.3-6** 為中國火力發電用 SRF 規範，內容包含物理特性指標（例如：低位熱值、粒徑、水分及灰份）及化學特性指標（例如：硫、氯、磷、汞、砷）。

六、國際間 SRF 品質規範彙整

表 2.3-7 是彙整國際間 SRF 作為燃料之品質規範及管制項目，**表 2.3-8** 則是 SRF 作為燃料之品質規範及建議數值。

表 2.3-5、韓國環境部規範之固體再生燃料標準

參數		固體燃料（至 2012 年止）					固體再生燃料（2013 年 1 月起）			
		RDF		RPF	TPF	WCF	SRF		Bio-SRF	
型式		顆粒	非顆粒	顆粒	-	-	顆粒	非顆粒	顆粒	非顆粒
直徑(mm)寬		≤30	-	≤50	-	-	≤50	≤50*	≤50	≤120
長度(mm)長		≤100	通過率≥95% 50mm×50mm	≤100	≤120	≤100	≤100	≤50*	≤100	≤120
水分(wt%)		≤10	≤50	≤10			≤10	≤25	≤10	≤25
低熱值(kcal/kg)		≥3,500		≥6,000		≥3,500	≥3,500	≥3,500	≥3,000	≥3,000
灰分(wt%)乾基		≤20			≤4	≤8	≤20	-	≤15	-
氯含量(wt%)乾基		≤2				≤0.3	≤2	-	≤0.5	-
硫含量(wt%)乾基		≤0.6			≤2.0	≤1.2	≤0.6	-	≤0.6	-
重金屬 (mg/Kg)	Hg	≤1.2				≤1.0	≤1.0	-	≤0.6	-
	Cd	≤9.0				≤2.0	≤5.0	-	≤5.0	-
	Pb	≤200.0				≤30	≤150	-	≤100	-
	As	≤13.0				≤2.0	≤13.0	-	≤5.0	-
	Cr	-				≤30.0	-	-	≤70.0	-
熱值 (kcal/kg)	1	≥6,500					-			
	2	5,500~6,500		6,000~6,500		5,500~6,500	-			
	3	4,500~5,500	-	-		4,500~5,500	-			
	4	3,500~4,500	-	-		3,500~4,500	-			
氯(wt%)	1	<0.5				<0.3	-			
	2	0.5-1.0				-	-	-	-	-
	3	1.0-1.5				-	-	-	-	-
	4	1.5-2.0				-	-	-	-	-

資料來源：Act on the Promotion of Saving and Recycling of Resources Enforcement Regulation (Addendum 7)

表 2.3-6、中國火力發電用 SRF 規範

SRF特性	項次	項目	規範
物理特性	1	低位熱值(MJ/kg)	≥ 5
	2	粒徑(mm)	≤ 1
	3	全水分(%)	≤ 40
	4	灰分(%)	≤ 40
化學特性	1	全硫(%)	≤ 2.5
	2	氯(%))	≤ 1.5
	3	磷(%)	≤ 0.1
	4	汞(mg/kg)	≤ 1.0
	5	砷(mg/kg)	≤ 40

表 2.3-7、國際間 SRF 作為燃料之品質規範及項目

標準	應用地區	應用行業	分類	管制性質						
				LHV	Cl	Hg	水分	灰分	粒徑/密度	重金屬
ISO 21640：2021 固體再生燃料-規格及分類	國際	無特定	√	√	√	√	-	-	-	-
UNI 9903-1：2004 非礦物質廢物衍生燃料-規格及分類	義大利	水泥廠、燃煤電廠	√	√	√	√	√	√	-	√
2016年5月23日關於準備再生固體燃料以供使用於屬於環境保護設施編號2971的設施的規定	法國	燃煤電廠	-	√	√	√	-	-	-	√
RAL-GZ 724 (2008) 品質量和檢測指引-固體再生燃料	德國	水泥廠、石灰窯、燃煤電廠	√	√	√	√	√	√	-	√
WRAP。一種用於定義廢棄物衍生燃料品質的分級方案	英國	燃煤電廠	√	√	√	√	√	√	√	√
廢棄物焚燒389/2002號條例，BGBI	奧地利	水泥廠、燃煤電廠，焚化廠	√	√	√	√	-	√	-	√
西班牙水泥廠獲得個別許可時，當局設定的限值	西班牙	水泥廠	-	-	√	√	-	-	-	√
比利時水泥廠獲得個別許可時，當局設定的限值	比利時	水泥廠	-	-	√	√	-	-	-	√
SFS 5875 (2000) 固體再生燃料 - 品質控制系統	芬蘭	焚化廠，混燒焚化廠	√	-	√	√	-	-	-	√
《各行業使用廢物衍生燃料指南》2018年7月草案	印度	水泥廠	√	√	√	-	√	√	√	-
促進節約和資源回收的法案執行條例（附件7）	南韓	未標示	√	√	√	√	√	√	√	√
日本規範之RPF標準(JIS Z 7311)	日本	工業鍋爐	√	√	√	-	√	√	-	-
火力發電用固體替代燃料	中國	火力發電廠	-	√	√	√	√	√	√	√

來源：Torre-Bayo *et al.* (2023)

表 2.3-8、SRF 作為燃料之品質規範及建議數值

標準	管制性質						
	LHV	S	Cl	Hg		灰分	水分
	MJ/kg	%	%	mg/MJ	mg/kg	%	%
ISO 21640：2021 固體再生燃料-規格及分類（國際）	≥ 3	-	≤ 3	≤ 0.15	-	-	-
	≥ 25	-	≤ 0.2	≤ 0.02	-	-	-
UNI 9903-1：2004 非礦物質廢物衍生燃料-規格及分類（義大利）	≥ 15	-	≤ 1	-	≤ 3	≤ 20	≤ 25
	≥ 25	-	-	-	-	≤ 15	≤ 15
2016年5月23日關於準備再生固體燃料以供使用於屬於環境保護設施編號2971的設施的規定（法國）	≥ 12	-	≤ 1.5	-	≤ 3	-	-
RAL-GZ 724 (2008) 品質量和檢測指引-固體再生燃料（德國）	≥ 13	-	≤ 1	-	≤ 1	≤ 20	≤ 35
	≥ 27	-	≤ 0.7	-	≤ 0.5	≤ 9	≤ 12.5
WRAP。一種用於定義廢棄物衍生燃料品質的分級方案（英國）	≥ 6.5	-	≤ 0.8	≤ 0.12	-	≤ 50	≤ 40
	≥ 25	-	≤ 0.2	≤ 0.04	-	≤ 10	≤ 10
廢棄物焚燒389/2002號條例，BGBI（奧地利）	≥ 11	-	≤ 1.5	≤ 0.075	-	≤ 35	-
	≥ 25	-	≤ 0.8	-	-	≤ 10	-
西班牙水泥廠獲得個別許可時，當局設定的限值（西班牙）	-	-	≤ 2	-	≤ 10	-	-
比利時水泥廠獲得個別許可時，當局設定的限值（比利時）	-	-	≤ 2	-	≤ 5	-	-
SFS 5875 (2000) 固體再生燃料-品質控制系統（芬蘭）	-	-	≤ 1.5	-	≤ 0.5	-	-
	-	-	≤ 0.15	-	≤ 0.1	-	-
《各行業使用廢物衍生燃料指南》2018年7月草案（印度）	≥ 12.5	-	≤ 1	-	-	≤ 15	≤ 20
	≥ 18.5	-	≤ 0.5	-	-	≤ 10	≤ 10
促進節約和資源回收的法案執行條例（附件7）（南韓）	≥ 12.5	-	≤ 2	-	≤ 1.2	≤ 20	≤ 25
	≥ 27.2	-	≤ 0.3	-	≤ 0.6	≤ 4	≤ 10
火力發電用固體替代燃料（中國）	≥ 5	≤ 2.5	≤ 1.5	-	≤ 0.1	≤ 40	≤ 40

來源：Torre-Bayo *et al.* (2023)

七、台灣

113 年 3 月 22 日環境部資源循環署修訂公告「事業廢棄物清理計畫書審查作業參考指引」（第 7 次修訂版）之附件四「固體再生燃料製造技術指引與品質規範」，此規範適用於以非有害適燃性固體廢棄物製造 SRF 之處理廠或再利用機構運作管理，或以自廠非有害適燃性固體廢棄物轉製 SRF，並作為符合規定設施之燃料者。規範所稱固體再生燃料(Solid recovered fuel, SRF)，係指以具適燃性之廢棄物混合做為燃料，且品質須符合**表 2.3-9**。SRF 可依**表 2.3-10** 之燃料經濟特徵（淨熱值）、技術特徵（氯含量）和環境特徵（汞含量）個別區分等級，作為使用者選擇適合之燃料品質之參考。

表 2.3-9、固體再生燃料品質標準（環境部，113.3.22）

品質項目	單位		檢測方法	標準值
淨熱值 (NCV)	MJ/kg（到達基）	平均值	NIEA M216.00C ISO 21654	≥10
	kcal/kg（到達基）			≥2,392
氯(Cl)含量	%（乾基）	平均值	NIEA M217.00C EN 15408	≤3
汞(Hg)含量	mg/MJ（到達基）	平均值	NIEA M360.01C EN15411	≤0.15
	mg/Mcal（到達基）			≤0.6279
鉛(Pb)含量	mg/kg（乾基）	平均值	NIEA M360.01C EN15411	≤150
鎘(Cd)含量	mg/kg（乾基）	平均值	NIEA M360.01C EN15411	≤5

1.淨熱值(net calorific value, NCV)：即為濕基低位發熱量(lower heating value, LHV)。
2.乾基(dry based)：乾燥狀態。
3.到達基(as received)：係試樣分析所得結果換算成以收到樣品當時狀態為基準之表示法，即為收到狀態濕基。
4.汞含量（到達基）= Hg（乾基）÷淨熱值（到達基）
5.1 MJ/kg = 239.2 kcal/kg；1 Mcal = 1,000 kcal；1 mg/MJ = 4.186 mg/Mcal
6.SRF 依人工分撿方式檢視其所含不可避免自然夾雜之不可燃廢棄物之溼基重量比不得超過百分之一。

表 2.3-10、固體再生燃料品質分級表（環境部，113.3.22）

分類特性	統計值	單位	分級			
			1	2	3	4
淨熱值(NCV)	平均值	MJ/kg	≥25	≥20	≥15	≥10
		Kcal/kg	≥5,981	≥4,785	≥3,589	≥2,392

分類特性	統計值	單位	分級				
			1	2	3	4	5
氯(Cl)含量	平均值	% (d)	≤0.2	≤0.6	≤1.0	≤1.5	≤3

分類特性	統計值	單位	分級				
			1	2	3	4	5
汞(Hg)含量	平均值	mg/MJ	≤0.02	≤0.03	≤0.05	≤0.10	≤0.15

說明:

1.本表參考 ISO 21640 依據燃料經濟特徵（淨熱值）、技術特徵（氯含量）和環境特徵（汞含量）個別區分等級，做為評斷燃料品質參考依據。

2.考量熱值貢獻，淨熱值僅分為四級。

3.燃料品質分級範例:如某 SRF 淨熱值為 19 MJ/kg(ar)、氯含量為質量 0.5%(d)、汞含量為 0.016 mg/MJ(ar)則此 SRF 分級代碼 NCV (3)、氯(2)、汞(1)。

4.SRF 產品之鉛、鎘含量必須符合附表一之標準值。

因應淨零產業轉型，推動生質燃料、廢棄物再利用燃料等低碳燃料應用政策，同時為減緩此趨勢所致空氣污染物排放型態、排放量之轉變衝擊，並達到源頭管制、污染減量之目的，環境部於 113 年 6 月 20 日預告修正「公私場所固定污染源應符合混燒比例及成分標準之燃料」，新增「資源循環燃料」，指以農林植物、木材為燃料，或以廢棄物為原料再行利用為燃料、輔助燃料或燃料原（物）料，依其來源、類型劃分為下列類別：

(1)第一類：固態生質燃料，指農林植物、木材及其殘留物未經化學處理、膠合或表面塗裝程序作為燃料使用者。

(2)第二類：固體再生燃料(SRF)，指符合中央主管機關公告之事業廢棄物清理計畫書審查作業參考指引附件固體再生燃料製造技術指引與品質規範及其他有關規定，以具適燃性之廢棄物做為燃料使用者，並依其成分區分二類（SRF-1及 SRF-2）。

(3)第三類：非屬第一類或第二類之資源循環燃料，且符合中央主管機關或中央目的事業主管機關就事業廢棄物再利用之規定所公告、核准或廠 內自行再利用，可作為燃料或輔助燃料使用者。

「公私場所固定污染源燃料混燒比例及成分標準」是於 109 年 3 月 23 日訂定發布，亦因應淨零產業轉型，於 113 年 6 月 20 日修訂本標準，並將名稱修正為「公私場所固定污染源燃料混燒比例成分及防制設施管制標準」，其修正要點如下：

(1)增訂使用資源循環燃料應採行之防制設施規定。

(2)合併初級固體生質燃料及廢棄物再利用燃料為資源循環燃料。

(3)新增資源循環燃料各類別成分標準規範。

(4)簡化混燒比例計算公式，以重量比例計算之。

(5)新增以分類方式管理資源循環燃料應具備之設施及應採行之防制設施。

預告修正的資源循環燃料之分類及成分標準如**表 2.3-11**，資源循環燃料應具備之設施及應採行之防制設施如**表 2.3-12**。

表 2.3-11、資源循環燃料之分類及管制項目成分標準（環境部，113.6.20 預告修正）

資源循環燃料分類	管制項目成份標準		
第一類 固態生質燃料	固定污染源	含氯量	≤0.3 wt%
		含硫量	≤0.05 wt%
		含鉛量	≤20 mg/kg
		含鎘量	≤1 mg/kg
		含汞量	≤0.1 mg/kg
		低位發熱量	≥3465 kcal/kg
第二類 SRF-1	固定污染源	含氯量	≤0.2 wt%
		含鉛量	≤150 mg/kg
		含鎘量	≤5 mg/kg
		含汞量	≤0.02 mg/MJ
		低位發熱量	≥5981 kcal/kg
第二類 SRF-2	固定污染源	含氯量	≤3.0 wt%
		含鉛量	≤150 mg/kg
		含鎘量	≤5 mg/kg
		含汞量	≤0.15 mg/MJ
		低位發熱量	≥2392 kcal/kg
第三類	應符合中央主管機關或中央目的事業主管機關就事業廢棄物再利用之規定所公告、核准或廠內自行再利用之規範。		

[註]資源循環燃料除低位發熱量以濕基作為檢測基準外，其餘成分均以乾基作為檢測基準。

表 2.3-12、資源循環燃料應具備之設施及應採行之防制設施（環境部，113.6.20預告修正）

項目		公私場所應具備之設施	公私場所應採用之防制設施		施行日期	
			粒狀物 氮氧化物 硫氧化物	戴奧辛	新設	既設
資源循環燃料	第二類 SRF-1	符合再生能源發電設備設置管理辦法之廢棄物發電設備、水泥旋窯、流體化床式鍋爐或其他經直轄市、縣(市)主管機關同意使用之設施。	粒狀物：袋式集塵器、靜電集塵器。硫氧化物:排煙脫硫技術、洗滌塔。氮氧化物:低氮氧化物燃燒器、煙道氣迴流技術、分段燃燒技術、選擇性觸媒還原技術、選擇性無觸媒還原技術。	-	發布日	114.7.1
	第二類 SRF-2			活性碳注入設備、驟冷塔、觸媒陶瓷濾管集塵器、觸媒濾袋		
	第三類	應符合中央主管機關或中央目的事業主管機關就事業廢棄物再利用之規定所公告、核准或廠內自行再利用之規範。	粒狀物：袋式集塵器。 硫氧化物：排煙脫硫技術。 氮氧化物：選擇性觸媒還原技術。			

[註]

1.公私場所固定污染源因情形特殊採用燃料、製程操作條件最佳化、新型式技術，未能採用表列應採行之防制設施者，得檢具符合排放濃度之佐證資料，報請直轄市、縣（市）主管機關同意後為之。

2.採用活性碳注入設備降低戴奧辛排放量者，需記錄每小時活性碳注入量。正常操作時之活性碳注入量不得低於最近一次採樣分析符合戴奧辛排放標準期間所使用同一規格活性碳之平均每小時注入量，若操作時變更活性碳規格或減少其注入量，應重新進行戴奧辛採樣分析，測定注入量之下限值。

八、SRF 品質比較與建議

比較前述蒐集各國之 SRF 品質資料可看出目前環境部資源循環署公告之 SRF 品質標準已加嚴修訂並與國際接軌。不過由於 Cu 是 PCDD/Fs 低溫再合成之重要觸媒，根據今年 PCDD/Fs 排放濃度調查與解析，部分超標之廠家使用的 SRF、替代燃料及飛灰中的 Cu 含量皆有偏高情形，因此建議環境部後續能針對 SRF 中的 Cu 含量是否列入納管進行研究與評估。

2.3.3 SRF 之檢測方法

SRF 須定期檢測分析，以確認符合 SRF 品質標準。SRF 取樣方法應依據環境部公告之 NIEA M195.00C 或 ISO 21645(Solid recovered fuels-Methods for sampling)固體再利用燃料採樣方法辦理。SRF 製造廠於營運期間，產製相同組成之 SRF 應每月逐批採樣檢測做為品質管理標準，每批次批量小於等於 1,500 公噸，且每批次最少採取 24 樣次進行等量混樣分析。目前國環院已公告之 SRF 檢測方法如**表 2.3-13**。**表 2.3-14** 是國內針對部分 SRF 分析能出具 TAF logo 報告的單位，其他 SRF 檢測項目與分析方法參閱**表 2.3-15**，SRF 檢測需經認證通過之檢測機構，包含：

1.環境部認證通過之檢測機構。

2.「財團法人全國認證基金會」(Taiwan Accreditation Foundation, TAF)認證具有以下任一種國際測試方法技術規範之檢測機構執行檢測：

(1)國際標準化組織 (International Organization for Standardization, ISO)。

(2)歐盟標準委員會(European Committee for Standardization, CEN)。

表 2.3-13、國環院公告之 SRF 檢測方法與認證驗證機構

方法編號	方法名稱	認證驗證機構
NIEA M195.00C	固體再生燃料採樣方法	南台灣、台檢
NIEA M214.00C	固體再生燃料中水分檢測方法	南台灣、 台檢（高雄）
NIEA M215.00C	固體再生燃料中灰分及可燃分檢測方法	南台灣、亞太、 台檢（高雄）
NIEA M216.00C	固體再生燃料熱值檢測方法－彈卡計法	亞太、 台檢（高雄）
NIEA M217.00C	固體再生燃料中硫、氯、氟及溴含量檢測方法	南台灣、亞太、 台檢（高雄）
NIEA M360.01C	固體再生燃料中金屬及微量元素檢測方法 （鉛、鎘、汞）	南台灣、 台檢（高雄）

表 2.3-14、ISO 國際 SRF 檢測方法

方法編號	方法名稱	出具有 TAF logo 報告之機構
BS EN ISO 15414-3	水分含量	東海大學
BS EN ISO 15403	灰分含量	
BS EN ISO 15400	熱值（乾基發熱量）	
BS EN ISO 15400	熱值（濕基發熱量）	
BS EN ISO 15408	氯總含量	
BS EN ISO 15411	微量元素	

表 2.3-15、SRF 之規範與檢測方法

方法代號	方法名稱
NIEA M195.00C ISO 21645	固體再生燃料採樣方法
NIEA M214.00C ISO 21660-3	固體再生燃料中水分檢測方法
NIEA M215.00C ISO 21656	固體再生燃料中灰分及可燃分檢測方法
NIEA M216.00C ISO 21654	固體再生燃料熱值檢測方法-彈卡計法
NIEA M217.00C EN 15408	固體再生燃料中硫、氯、氟及溴含量檢測方法
NIEA M360.01C EN 15411	固體再生燃料中金屬及微量元素檢測方法
ISO 21637	SRF-術語、定義及說明
EN 15358	SRF-品質管理系統
ISO 21640	SRF-規範及分類

方法代號	方法名稱
ISO 21646	SRF-製備實驗室樣品
EN 15413	SRF-用實驗室樣品製備測試樣品
EN 15400	SRF-熱值測定
ISO 22167	SRF-揮發分測定
EN 15415-1	SRF-粒徑分析-第一部分-小顆粒篩分
EN 15415-2	SRF-粒徑分析-第二部分-最大顆粒長度預測（手動）
EN 15415-3	SRF-粒徑分析-第三部分-大顆粒圖像分析
ISO 21663	SRF-元素分析-碳(C)、氫(H)、氮(N)
EN 15410	SRF-元素分析-鋁(Al)、鈣(Ca)、鐵(Fe)、鉀(K)、鎂(Mg)、鈉(Na)、磷(P)、矽(Si)、鈦(Ti)
ISO 21644	SRF-生質物含量測定
EN 15590	SRF-用真實動態呼吸指數測定當前耗氧微生物之活性
CEN/TS 15401	SRF-堆積密度測定
CEN/TS 15405	SRF-顆粒、團塊密度測定
CEN/TS 15406	SRF-散裝物質橋接性質測定
CEN/TS 15412	SRF-金屬鋁測定
CEN/TS 15414-1	SRF-用烘箱乾燥法測定水分-第一部分-用參考方法測定總水分
CEN/TS 15414-2	SRF-用烘箱乾燥法測定水分-第二部分-用簡化方法測定總水分
CEN/TS 15639	SRF-顆粒機械強度測定
CEN/TR 15404	SRF-用特徵溫度測定灰熔融特性
CEN/TR 15508	SRF-建立分級系統的重要性質
CEN/TR 15591	SRF-用 14C 測定生質物含量
CEN/TR 15716	SRF-燃燒特性測定

2.3.4 SRF 產業鏈

SRF 之規範範疇涵蓋 SRF 之固體廢棄物種類、製造、交易、貯存及產品規格等（**圖 2.3-4**）。SRF 產業供應鏈包括上游廢棄物供應、中游 SRF 製造及下游 SRF 使用或應用。

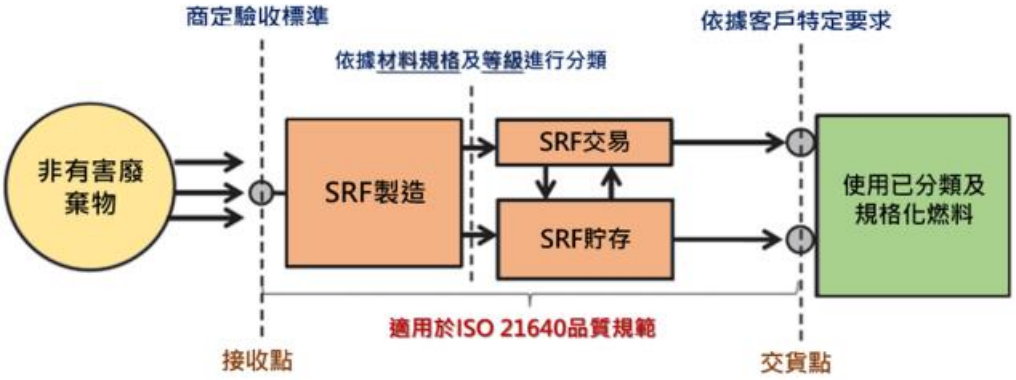


圖 2.3-4、SRF 產業供應鏈（張瓊芬、張家驥，2022）

一、SRF 原料產源

指產出適燃性廢棄物之事業，廢棄物產源應依廢棄物主要成分特性分類貯存。

二、SRF 生產製造

指以適燃性廢棄物製造 SRF 之處理或再利用機構，或以自廠廢棄物或同一法人之其他分廠（場）廢棄物轉製 SRF 之事業。彙整環境部資源循環署「事業廢棄物申報及管理資訊系統」資料，112 年國內運作生產之 SRF 相關產品，包含產品代碼 170044（固體再生燃料、SRF）、產品代碼 170399（其他燃料）、產品代碼 140017（木屑）及產品代碼 220099（其他未列名塑膠製品）共有 53 家，統計 112/1~112/12 之申報產量資料，年製造量約 29 萬公噸。不過 113 年初廠家數為 54 家（**表 2.3-16**），其中有 6 家兼具使用身分（正 O 竹北、正 O 后里、廣 O 台中、永 O 餘新屋、正 O 大園、上 O 嘉義）。但根據 113 年 10 月環境部「SRF 體檢報告書」中最新調查顯示目前正常生產 SRF 為 48 家，其餘的 6 家分別為 2 家尚未運轉（達 O 環保、揚 O 實業），1 家為遷廠廢止（瑋 O 科技）、2 家取消 SRF 製程（炘 O 企業、鼎 O 環保）、1 家關廠（端 O 環保）。

表 2.3-16、SRF 製造廠家清單

項次	縣市	廠商名稱
1	桃園市	永 O 環科股份有限公司
2	桃園市	正 O 股份有限公司大園廠
3	桃園市	永 O 餘新屋廠
4	桃園市	長 O 環保有限公司
5	桃園市	大 O 汽電共生股份有限公司再生資源廠
6	桃園市	達 O 環保（尚未運轉）
7	新竹縣	正 O 股份有限公司竹北廠
8	新竹縣	瑋 O 材料科技股份有限公司
9	苗栗縣	連 O 紙業股份有限公司
10	苗栗縣	炘 O 企業有限公司（113.10 調查已取消 SRF 製程）
11	苗栗縣	鼎 O 環保有限公司（113.10 調查已取消 SRF 製程）
12	苗栗縣	栗 O 股份有限公司
13	苗栗縣	久 O 有限公司
14	苗栗縣	佳 O 定三義廠
15	台中市	廣 O 造紙台中廠
16	台中市	正 O 股份有限公司后里廠
17	台中市	端 O 環保科技股份有限公司（113.10 調查已關廠）
18	台中市	瓔 O 企業
19	台中市	帝 O 統環保科技股份有限公司台中廠
20	台中市	長 O 能源股份有限公司
21	台中市	大 O 環保股份有限公司
22	台中市	誠 O 能源
23	台中市	鉅 O 塑膠
24	彰化縣	集 O 成環保科技股份有限公司彰濱廠
25	彰化縣	興 O 科技
26	彰化縣	青 O 環保清除有限公司
27	彰化縣	旭 O 企業股份有限公司
28	彰化縣	文 O 先進
29	彰化縣	羽 O 國際
30	彰化縣	揚 O 實業彰濱二廠（尚未運轉）

項次	縣市	廠商名稱
31	南投縣	恆 O 綠能科技有限公司
32	雲林縣	晉 O 實業有限公司
33	雲林縣	國 O 窯業
34	雲林縣	利 O 興業
35	嘉義縣	上 O 資源嘉義廠
36	台南市	瑋 O 科技股份有限公司（113.10 調查已遷廠廢止）
37	台南市	隆 O 綠能科技股份有限公司柳科廠
38	台南市	新 O 環保
39	台南市	同 O 實業社
40	台南市	豐 O 環保柳營廠
41	高雄市	洺 O 有限公司本洲廠
42	高雄市	宗 O 綠能科技股份有限公司
43	高雄市	綠 O 環保仁武
44	高雄市	木 O 環保
45	高雄市	瑋 O 科技路竹廠
46	屏東縣	巨 O 環保企業股份有限公司
47	屏東縣	高 O 環保
48	屏東縣	証 O 事業
49	屏東縣	興 O 科技
50	屏東縣	和 O 環保
51	宜蘭縣	鎮 O 環保
52	花蓮縣	台 O 興業
53	花蓮縣	台 O 興業二廠
54	台東縣	中 O 紙漿台東廠

[資料來源：環境部事業廢棄物申報及管理資訊系統]

三、SRF 使用

依「固體再生燃料製造技術指引與品質規範」，國內可以使用 SRF 之設施：(1)流體化床式鍋爐、(2)水泥旋窯、(3)金屬冶煉業熔爐、(4)旋轉窯高溫冶煉設施（窯溫達攝氏 1,300 度以上，長度大於 40 公尺；旋轉窯出口之燃燒氣體溫度不得低於攝氏 850 度，滯留時間應達 2 秒以上）、(5)符合再生能源發電設備設置管理辦法之廢棄物發電設備。(6)如非屬前述型態之設施，須經主管機關或目的事業主管機關許可，但不涵蓋廢棄物焚化裝置。

SRF 的目的是取代部分燃煤，讓篩選分類出的廢棄物可以再生、再利用，並轉化為蒸氣熱能或發電，目前以流體化床鍋爐為主要使用方式，燃料在鍋爐內循環流動時，有充分時間及均勻的高溫燃燒，鍋爐燃燒效率約為 85~95%。

國內使用 SRF/RDF 為替代燃料之廠家調查，從環境部「固定污染源管理資訊公開平台」查詢具有"SRF 或 RDF 為燃料之固定污染源設置、操作及燃料使用許可"家數，至民國 112 年 12 月為止共有 20 家（北部 6 家、中部 6 家、南部 4 家、東部 4 家），其中鍋爐 30 座、旋窯 8 座，合計 38 座，各廠分布、鍋爐/旋窯數量及 SRF/RDF 許可使用量如**表 2.3-17** 及**表 2.3-18**，年總許可最大使用量約 168 萬公噸。而根據環境部資源循環署「事業廢棄物申報及管理資訊系統」資料，統計 112/1~112/12 之 SRF 申報產量資料，SRF 年製造量約 29 萬公噸。

使用 SRF 之行業別以造紙廠及水泥廠為主（**圖 2.3-5**），燃燒設備大多使用流體化床鍋爐及旋轉窯，今年（113 年）持續進行資料更新。

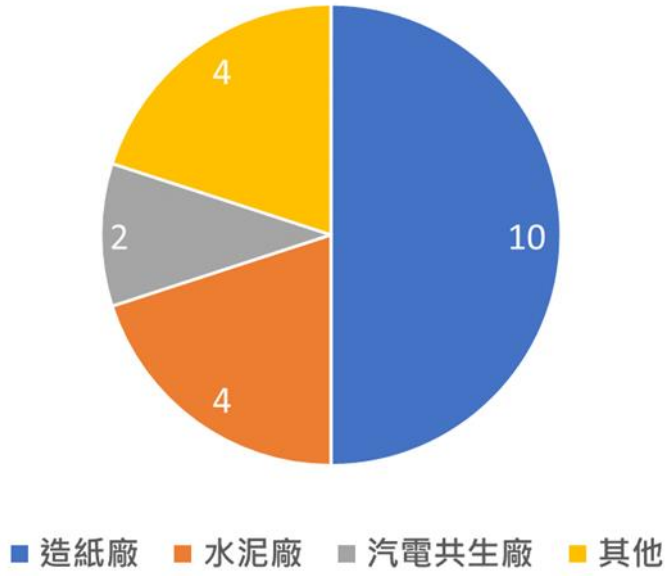


圖 2.3-5、國內 SRF 使用廠之行業別分布（112 年 12 月）

表 2.3-17、國內具有 SRF/RDF 之設置、操作及燃料使用許可家數（112 年 12 月）

分布	家數	鍋爐座數	旋轉窯座數
北部	6	10	0
中部	6	16	1
南部	4	4	1
東部	4	0	6
小計	20	30	8

表 2.3-18、國內具有 SRF/RDF 之設置、操作及燃料使用許可廠家調查（112 年 12 月）

項次	事業名稱	污染源編號	鍋爐型式	燃料許可種類	SRF/RDF 許可最大使用量（公噸/年）
1	正O大園廠	M03	蒸氣鍋爐 (E301、E302)	SRF	12,089
2	正O竹北廠	M02	循環流體化床鍋爐 (E201、E202)	RDF	20,060
3	正O后里廠	M01	散佈式鍋爐(E001)	RDF	53,000
				SRF	53,000
		M02	移動床燃煤鍋爐(E002)	RDF	20,000
				SRF	13,500
		M07	循環流體化床鍋爐 (E701)	RDF	110,000
				SRF	105,000
		M08	循環流體化床鍋爐 (E801)	RDF	12,589
				SRF	30,000
		M17	循環流體化床鍋爐 (EA01)	SRF	109,200
4	永O餘楊梅廠	M02	流體化床鍋爐 (E002)	SRF	5,400
5	永O餘新屋廠	M01	循環流體化床鍋爐 (E006)	SRF	41,875
		M03	循環流體化床鍋爐 (E304)	SRF	56,950
		M06	循環流體化床鍋爐 (E607)	SRF	66,592

項次	事業名稱	污染源編號	鍋爐型式	燃料許可種類	SRF/RDF 許可最大使用量（公噸/年）
6	永O餘清水廠	M04	流體化床鍋爐(E008)	RDF	2,484
		M05	流體化床鍋爐(E018)	RDF	5,054
7	大O汽電	M04	循環流體化床鍋爐(E401)	SRF	36,000
8	廣O台中廠	M07	流體化床鍋爐(E010)	RDF	66,240
				SRF	8,280
		M10	其他鍋爐(E015、E016)	SRF	28,800
		M11	燃煤鍋爐(E111)	SRF	18,000
		M12	氣泡流體化床鍋爐(E101)	RDF	57,132
9	台O石化麥寮一廠	M28	循環流體化床鍋爐(ES01)	SRF	24,966
		M29	循環流體化床鍋爐(ET01)	RDF/SRF	24,966
10	日O觀音廠	M01	循環流體化床鍋爐(E111)	RDF	21,420
11	台O汽電官田廠	M01	循環流體化床鍋爐(E002)	SRF	53,040

項次	事業名稱	污染源編號	鍋爐型式	燃料許可種類	SRF/RDF 許可最大使用量（公噸/年）
12	中O紙漿久堂廠	M04	流體化床鍋爐(E601)	SRF	129,750
13	上O資源循環嘉義廠	M05	流體化床鍋爐(E501)	SRF	32,850
14	宗O綠能	M02	旋轉窯(E202) 蒸氣鍋爐(E203)	SRF	30,240
15	台O鋼聯	M03	旋轉窯(E063)	SRF/RDF	2,628
16	揚O實業彰濱廠	M02	鍋爐發電程序 氣化式流體化床鍋爐 (E201)	SRF	48,000
		M03	鍋爐發電程序 氣化式流體化床鍋爐 (E301)	SRF	48,000
17	台O水泥蘇澳廠	M03	旋轉式燒成窯(E308)	SRF	26,000
18	台O水泥和平廠	M01	預熱機(E139)	SRF	95,040
19	潤O精密材料宜蘭冬山廠	M01	旋轉式燒成窯(E014)	SRF	18,000
20	亞O水泥花蓮製造廠	M01	預熱機/旋窯(E107)	SRF	24,000
				RDF （紙漿污泥）	24,000
				其他固體類 RDF	24,000
				RDF 塑膠片	12,000
		M02	預熱機/旋窯(E209)	SRF	24,000
				RDF （紙漿污泥）	12,000
				RDF 塑膠片	12,000

				RDF （廢標籤）	6,000
		M03	預熱機/旋窯(E314)	SRF	24,000
				RDF （紙漿污泥）	12,000
				RDF 塑膠片	12,000
				RDF （廢標籤）	6,000

2.3.5 使用 SRF 需考量事項

SRF 使用主要考量因素如下：

1.進料投入及爐體設備

首先需考量投料系統裝置之適用性，以 SRF 尺寸，燃煤用鏈條式塊煤鍋爐可能會衍生燃燒不完全，至於粉煤鍋爐可能亦不完全適用 SRF 之投入，另為避免氣泡式流體化床在燃燒 SRF 等高揮發分含量的生質物時，可能造成床砂溫度過高的危險，可採用床內設置熱傳管以移除過多的熱量。**表 2.3-19** 是燃煤鍋爐使用 SRF 品質建議。實際適用之 SRF 品質及混燒比例依照原鍋爐設計、鍋爐材料、操作條件與蒸氣溫度與壓力而定。

表 2.3-19、燃煤鍋爐使用 SRF 品質建議

爐體形式	類別	應用方式	SRF 品質要求	發電效率
流體化床燃煤鍋爐	高溫高壓	電力/蒸汽	高 (Cl<0.1%、LHV> 5000)	>25%
	中溫中壓	電力/蒸汽	中 (Cl<1.0%、LHV> 4500)	20-25%
	低溫低壓	電力/蒸汽	低 (Cl<1.5%、LHV> 4000)	<20%

2.爐體燃燒條件

SRF 及燃料的組成、混燒比例、熱值、爐體溫度、煙氣停留時間、爐內擾動、流體化狀況、過量空氣係數等對鍋爐燃燒效率、穩定性及污染物的生成影響很大，一般爐體之性能指標是燃燒溫度≥850℃、煙氣停留時間≥2 秒、煙道出口一氧化碳一小時動平均值應低於 100 ppm（排氣含氧量以 10%為參考基準）、排氣中含氧量應達 6%以上，全連續式處理設施之爐渣灼燒減量<5%（每日燃燒量二百公噸以上者）。

3.空氣污染防制設備

(1)粒狀污染物或重金屬：主要以慣性、過濾、靜電等物理作用加以攔截去除。可採用集塵設備進行處理，例如：旋風集塵機、靜電集塵機、袋式集塵機等。

(2)硫氧化物：主要以中和、吸收、氧化等化學作用進行處理及回收副產物，可採行溼式法、半乾式法及乾式法等進行處理。

(3)氮氧化物：可利用還原反應或氧化反應形成氮氣或是硝酸鹽而加以去除。可行的處理方法有選擇性觸媒還原法(SCR)、選擇性非觸媒還原法(SNCR)、臭氧注入氧化法等。

(4)持久性有機污染物或重金屬：主要以吸附、高溫氧化等化學作用加以去除，可行的處理方法有直接燃燒法、蓄熱氧化法、觸媒氧化法、吸附法等。

2.3.6 SRF 管理

為確保 SRF 原料產源、製造、使用、混燒灰渣及一般廢棄物製成 SRF 之管理方式及程序，環境部於 110 年 6 月 22 公告「固體再生燃料(SRF)相關管理方式」，針對 SRF 之目的及適用範圍、專用名詞、原料產源管理、製造者管理、使用者管理、使用後之混燒灰渣管理及一般廢棄物製成 SRF 之管理方式等進行規範。針對 SRF 生命週期相關之管理規則及重點內容整理如**表 2.3-20**，協助事業、機構及主管機關更瞭解固體再生燃料(SRF)製造或使用之管理規則。

關於 SRF 品質管控，由 SRF 製造者與 SRF 使用者於簽訂契約時訂定，內容包括下列事項：

1.SRF 製造者須說明製造 SRF 所使用之設備。

2.SRF 製造者須與 SRF 使用者訂定 SRF 允收標準及檢測頻率，相關數值得依據 SRF 使用者之設備型式、混燒比例、污染防制設備效能等條件訂定。

3.SRF 依前項檢測頻率執行檢測時，應填寫檢測結果。

環境部為有利推動廢棄物燃料化，協助事業、機構及主管機關更瞭解 SRF 原料產源、製造、使用或衍生灰渣之管理規則，近日積極研擬 SRF 相關管理方式（修正草案），適用範圍包含固體再生燃料之原料產源、製造、使用及衍生灰渣處理或再利用之業者，SRF 管理架構如**圖 2.3-6**。

國內目前多由 SRF 製造商提供批次檢測報告給使用者或由購買業者自行抽樣檢測，難免會有品質無法確保的問題。建議參照德國模式設立第三公正單位或機構來做 SRF 品質定期或不定期抽測，抽測合格者頒給 SRF 品質認證標章或證明提供 SRF 使用者作為選購參考，再者若被第三公正機構測出品質不符合者，亦能製訂相關罰則或管理辦法，藉以有效管控 SRF 品質。

圖 2.3-6、SRF 管理架構

圖片來源：https://srf-dy.tw/solid-recovered-fuel-srf-management/

表 2.3-20、SRF 相關管理辦法

產業鏈	種類	管理機關	規範名稱	規範內容
產源	一般性廢棄物	環境管理署	機械處理技術設置指引 掩埋場活化採機械處理技術設置指引	機械處理技術介紹及作業設備指引，產製 SRF 標準驗證及管理辦法
	事業廢棄物	資源循環署/產業發展署	事業廢棄物清理計畫書審查作業參考指引	新增事業產出廢棄物可作為 SRF 之用途
收集與清運	一般性廢棄物	資源循環署	一般廢棄物回收清除處理辦法	-
	事業廢棄物		一般廢棄物回收清除處理方式	公告一般廢棄物（廢塑膠、廢天然或人造纖維布，一般垃圾及事業員工生活產生之廢棄物）其再利用種類及管理方式
SRF 製造	事業及一般性廢棄物	資源循環署	廢棄書填報及審查作業參考手冊-固體再生燃料製造技術指引與品質規範	規範 SRF 製造廠之廢棄物種類、鍋爐 類型、適用對象、技術選用指引及品質管理
		資源循環署/產業發展署	共通性事業廢棄物再利用管理辦法	再利用機構運作管理規定（公告廢塑膠再利用管理方式）
		資源循環署	從事事業廢棄物場內自行再利用即自行處理認定原則	敘明場內自行再利用相關認定標準
		資源循環署	以網路傳輸方式申報廢棄物之產出、貯存、清除、處理、再利用、輸出及輸入情形之申報格式、項目、內容及頻率	產源（含 SRF 使用）原物料使用及事業廢棄物產出儲存清理申報規定、清除/再利用/處理機構（SRF 製造者）營運紀錄申報推定
		資源循環署	固體再生燃料(SRF)相關管理方式	協助產源、製造與使用者及主管機關了解 SRF 製造或使用之管理規則

產業鏈	種類	管理機關	規範名稱	規範內容
		產業發展署	有關 SRF 再利用申請審查原則	產源（含 SRF 使用）原物料使用及事業廢棄物產出儲存清理申報規定、清除/再利用/處理機構（SRF 製造者）營運紀錄申報推定
SRF 產品	事業及一般廢棄物	產業發展署	固體再生燃料(SRF)品質標準語管理規範	依經濟特徵（熱值）、技術特徵（氯含量）、環境特徵（汞含量）訂定非有害適燃性廢棄物製造 SRF 之品質標準，以符合產業使用需求
		標準檢驗局	固體再生燃料(SRF)品質國家標準(CNS)	訂定非有害適燃性廢棄物製造 SRF 之國家標準，以符合產業使用需求
SRF 使用	事業及一般廢棄物	大氣司	公司場所固定污染源燃料混燒比例及成分標準	公告廢棄物再利用燃料作為鍋爐許可燃料
		資源循環署	小規模減量方法-以固體再生燃料(SRF)替代燃煤在鍋爐及燃燒裝置產生熱能	以 SRF 在鍋爐及燃燒裝置取代煤炭之本土化減量法學
混燒灰渣再利用	事業及一般廢棄物	標準檢驗局	混凝土用飛灰及天然或煅燒卜作嵐攙和物標準修正	混凝土用飛灰作為混凝土之礦物摻料之標準
		產業發展署	經濟部事業廢棄物再利用管理辦法	再利用機構運作管理規定（公告灰渣再利用管理方式）

2.3.7 空氣污染物排放標準

混燒煤與 SRF 之工業鍋爐、旋窯、熔爐及燃燒設備，燃燒過程中可能產生一些污染物，包括粒狀物（PM_{10} 及 $PM_{2.5}$）、酸性氣體（硫氧化物、氮氧化物）、有害重金屬（鉛、鎘、汞等）、多環芳香族化合物(PAHs)及持久性有機污染物(PCDD/Fs)等，這些空氣污染物之排放濃度須符合相關法規標準（**表 2.3-21**）。例如：廢棄物焚化爐一般空氣污染物排放標準、固定污染源空氣污染物排放標準、特定業別排放標準、鍋爐空氣污染物排放標準、電力設施空氣污染物排放標準(**表 2.3-22**)、水泥業空氣污染物排放標準等，以及公私場所固定污染源應符合混燒比例及成分標準之燃料及公私場所固定污染源燃料混燒比例及成分標準。

其中鍋爐空氣污染物排放標準於 107 年 9 月 19 日訂定發布後，曾於 109 年 7 月 8 日修正。為了因應「公私場所固定污染源燃料混燒比例及成分標準」及「公私場所固定污染源應符合混燒比例及成分標準之燃料」修正，整併初級固體生質燃料及廢棄物再利用燃料為資源循環燃料，同時考量我國產業使用資源循環燃料者約七成為鍋爐，於 113 年 6 月 20 日修正本標準。修正要點如下：

(1)修正新設鍋爐與既存鍋爐之定義、新增資源循環燃料排放標準使用單位之定義。

(2)新增資源循環燃料適用之重金屬與戴奧辛排放標準（**表 2.3-23**）。

(3)使用資源循環燃料之既存鍋爐，其戴奧辛排氣含氧百分率參考基準緩衝期間規定。

(4)除水泥業外，其他加熱設備或程序使用資源循環燃料或其衍生之氣體燃料者，準用本標準之重金屬與戴奧辛排放標準規定。

表 2.3-21、混燒 SRF 之流化床鍋爐應符合之空污排放標準

空氣污染物種	排放限值	法規
粒狀污染物	30 mg/Nm^3	鍋爐空氣污染物排放標準
硫氧化物	50 ppm	
氮氧化物	100 ppm	
持久性有機污染物(PCDD/Fs)	設計處理量未達 4 公噸/小時者為 0.5 ng-TEQ/Nm^3	中小型廢棄物焚化爐 PCDD/Fs 管制及排放標準
	設計處理量達 4 公噸/小時以上者為 0.1ng-TEQ/Nm^3	
	既存污染源：1.0 ng-TEQ/Nm^3	固定污染源戴奧辛排放標準
	新設污染源：0.5 ng-TEQ/Nm^3（民國 95.1.2 以後）	
鉛(Pb)	處理量未達 4 公噸/小時者為 0.5 mg/Nm^3	廢棄物焚化爐空氣污染物排放標準
	處理量達 4 公噸/小時以上者為 0.2 mg/Nm^3	
鎘(Cd)	處理量未達 4 公噸/小時者為 0.04 mg/Nm^3	
	處理量達 4 公噸/小時以上者為 0.02 mg/Nm^3	
汞(Hg)	0.05 mg/Nm^3	

表 2.3-22、汽電共生設備鍋爐以總熱效率換算之空氣污染物排放標準

<table>
<tr><td>空氣污染物</td><td colspan="3">排放標準</td></tr>
<tr><td rowspan="11">粒狀物</td><td colspan="3">目測判煙：不得超過不透光率 20%</td></tr>
<tr><td colspan="3">粒狀污染物不透光率連續自動監測設 自發布日施行。
施監測：每日不透光率 6 分鐘監測值超過 20%之累積時間不得超過 4 小時。</td></tr>
<tr><td>總熱效率(Hs)</td><td>新設污染源</td><td>既設污染源</td></tr>
<tr><td>Hs<50%</td><td rowspan="2">10 mg/Nm^3</td><td>20 mg/Nm^3</td></tr>
<tr><td>50%≦Hs<52%</td><td>28 mg/Nm^3</td></tr>
<tr><td>52%≦Hs<72%</td><td rowspan="3">14 mg/Nm^3</td><td>28 mg/Nm^3</td></tr>
<tr><td>72%≦Hs<90%</td><td>40 mg/Nm^3</td></tr>
<tr><td>Hs≧90%</td><td>50 mg/Nm^3</td></tr>
<tr><td rowspan="5">硫氧化物</td><td>Hs<50%</td><td rowspan="2">30 ppm</td><td>60 ppm</td></tr>
<tr><td>50%≦Hs<52%</td><td>83 ppm</td></tr>
<tr><td>52%≦Hs<72%</td><td rowspan="3">43 ppm</td><td>86 ppm</td></tr>
<tr><td>72%≦Hs<90%</td><td>120 ppm</td></tr>
<tr><td>Hs≧90%</td><td>150 ppm</td></tr>
<tr><td rowspan="5">氮氧化物</td><td>Hs<50%</td><td rowspan="2">30 ppm</td><td>70 ppm</td></tr>
<tr><td>50%≦Hs<52%</td><td>97 ppm</td></tr>
<tr><td>52%≦Hs<72%</td><td rowspan="3">43 ppm</td><td>101 ppm</td></tr>
<tr><td>72%≦Hs<90%</td><td>140 ppm</td></tr>
<tr><td>Hs≧90%</td><td>175 ppm</td></tr>
<tr><td rowspan="5">汞及其化合物</td><td>Hs<50%</td><td rowspan="2">2 μg/Nm^3</td><td>5 μg/Nm^3</td></tr>
<tr><td>50%≦Hs<52%</td><td>7 μg/Nm^3</td></tr>
<tr><td>52%≦Hs<72%</td><td rowspan="3">3 μg/Nm^3</td><td>7 μg/Nm^3</td></tr>
<tr><td>72%≦Hs<90%</td><td>10 μg/Nm^3</td></tr>
<tr><td>Hs≧90%</td><td>13 μg/Nm^3</td></tr>
</table>

表 2.3-23、「資源循環燃料適用之重金屬與戴奧辛排放標準（修正預告草案）」

空氣污染物種	排放限值	法規
鉛及其化合物	0.2 mg/Nm^3	鍋爐空氣污染物排放標準（113 年 6 月 20 日修正公告） 既設鍋爐排氣中氧氣百分率參考基準： 至 114 年 12 月 31 日為實測值 115 年 1 月 1 號起是 11% 117 年 1 月 1 號後是 6%
鎘及其化合物	0.02 mg/Nm^3	
汞及其化合物	0.05 mg/Nm^3	
PCDD/Fs	0.1 ng-TEQ/Nm^3	

2.3.8 SRF 使用過程污染物排放調查

由於 SRF 成分複雜，可能比煤具有較高的氯含量，因此高溫氧化所形成的鹽酸造成蒸氣管道和鍋爐壁快速腐蝕、結渣、PCDD/Fs 排放等缺點（張瓊芬、張家驥，2022），此外灰燼氣膠的形成也可能造成粒狀物排放。因此必須深入了解 SRF 燃燒過程可能產生之污染物。

一、SRF 使用過程污染物排放調查

SRF 使用過程所排放之污染物依燃料、SRF 種類、混燒配比、鍋爐型式、燃燒條件（溫度、停留時間、氧氣量）及空氣污染防制設備等而有所差異。蒐集與整理國內外資料，整理如下：

Kuo *et al.*(2021)分別使用煤及與 SRF 混燒為燃料，於汽電共生廠之流體化床鍋爐（進料 2 公噸/小時）執行燃燒污染物排放比較，加入矽砂和石灰石使爐內的熱均勻分布。SRF 之組成及佔比為廢棄棕櫚油(60 wt%)、木屑(35 wt%)、煤灰(4.5 wt%)及黏土(0.5 wt%)，煤及 SRF 之化學組成如**表 2.3-24**，SRF 之可燃分 77.8%、水份 12.6%、灰份 9.6%，煤的可燃分與 SRF 相近，但灰份比 SRF 多，SRF 低位熱值略高於煤。鍋爐燃燒維持 750~800 ℃，O_2 濃度控制低於 10%，安裝之空氣污染防制設備如**圖 2.3-7**，燃燒鍋爐排出之廢氣先進入一個低 NO_x 燃燒器抑制 NO_x 生成，再經過 SNCR 通入 30%氨液減少氮氧化物，接續進入熱回收

鍋爐後，以袋式集塵器去除粒狀物，最後以濕式洗滌塔通入 40% NaOH（通入量 2 L/m^3）去除 SO_2 及 HCl 等酸性氣體。

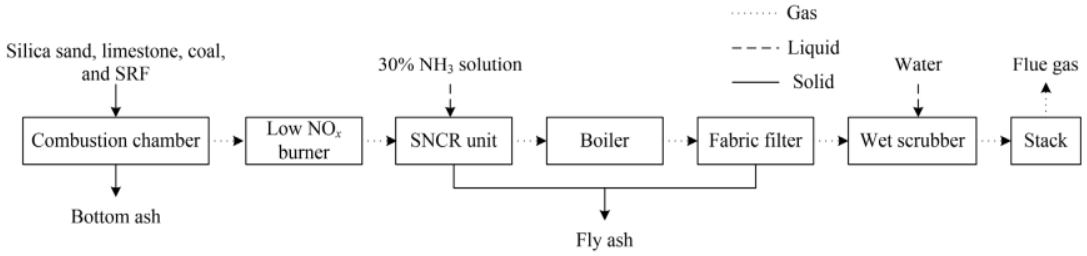


圖 2.3-7、汽電共生廠安裝之空氣污染防制設備 (Kuo *et al.*, 2021)

比較使用 100%煤及 60%煤+40%SRF 混燒之污染物排放，兩者之燃燒效率都很高，分別為 99.96%及 99.97%，煙道氣中各污染物之濃度比較如**表 2.3-25**，燒煤排放之 SO_2 濃度(14 ppm)略低於 SRF 混燒(19 ppm)，遠低於法規標準(220 ppm)，然而燒煤排放之 NO_x 濃度(160 ppm)高於 SRF 混燒(120 ppm)，可能原因是混燒 SRF 之煙氣中 O_2 濃度較低，因此生成 thermal NO_x 較少。至於 PCDD/Fs，混燒排放之濃度(0.003 ng-TEQ/Nm^3)較純燒煤低(0.0102 ng-TEQ/Nm^3)，兩者濃度都在法規標準(0.5 ng-TEQ/Nm^3)之內，歸因於高燃燒效率及噴注活性碳。關於重金屬排放濃度皆低於法規標準，燒煤排放之 Hg 濃度(0.00021 mg/Nm^3)略高於 SRF 混燒(0.00015 mg/Nm^3)。

底渣及飛灰中各污染物之濃度比較如**表 2.3-26**，發現混燒 SRF 之底渣及飛灰中 PCDD/Fs 濃度皆低於燒煤，兩者皆遠低於有害物之法規(1.0 ng-TEQ/g)。關於 PCDDs 及 PCDFs 同分異構物之分布圖譜，添加 SRF 於煤中混燒與純煤之圖譜差異不大，兩者皆以 7-Cl 及 8-Cl 之 PCDD/Fs 物種為主。關於污染物之流佈及排放係數如**表 2.3-27**，單純燒煤與混燒 SRF 之 PCDD/Fs 流布，兩者皆主要存於飛灰中，底渣其次，煙道排放最少。混燒情形 PCDD/Fs 排放係數為 232 ng-TEQ/噸低於燒煤(388 ng-TEQ/t)。底渣及飛灰執行 TCLP 結果如**表 2.3-28**，混燒產生的飛灰及底渣其毒性溶出濃度皆低於燃燒純煤，且遠低於有害廢棄物溶出法規標準，因此產生的飛灰及底渣皆列為一般事業廢棄物，**表 2.3-29** 為灰中金屬氧化物組成，若欲用於水泥添加劑，Al_2O_3、CaO、Fe_2O_3 及 SiO_2 加總佔比須高於 80%，

故兩種底渣皆可作為水泥添加劑，飛灰可應用於路面舖築。因此若以 SRF 為替代燃料取代 40%煤，NO_x、PCDD/Fs、Hg 排放濃度分別減少 25、70、29%，不過這與 SRF 組成有密切關係。

表 2.3-24、燃料組成

項目		煤	SRF
近似分析	水份(%)	5.2	12.6
	灰份(%)	16.3	9.6
	可燃份(%)	78.5	77.8
金屬	Al (mg/kg)	548	2220
	Ca (mg/kg)	3650	3220
	Cd (mg/kg)	3.82	1.77
	Cr (mg/kg)	7.32	17.4
	Cu (mg/kg)	25	155
	Fe (mg/kg)	24700	3950
	Mn (mg/kg)	33100	1
	Ni (mg/kg)	0.75	41.5
	Pb (mg/kg)	3.38	9.99
	Zn (mg/kg)	1.1	59
	Cl (mg/kg)	184	751
	S (mg/kg)	846	900
低熱值 (kcal/kg)		5340	5690

資料來源：Kuo *et al*., 2021

表 2.3-25、煙道氣中之污染物濃度比較

項目	100%煤	60%煤+40%SRF	排放標準
O_2(%)	8.3	6.5	-
CO_2(%)	11.5	12.4	-
CO(ppm)	45	35	350
NO_x(ppm)	160	120	220
SO_2(ppm)	14	19	220
粒狀物(mg/Nm^3)	5	2	80
PCDD/Fs (ng-TEQ/Nm^3)	0.0102	0.003	0.5
Cd (mg/Nm^3)	0.00134	0.00128	0.04
Cr (mg/Nm^3)	0.0147	0.0128	-
Cu (mg/Nm^3)	0.00271	0.00133	-
Hg (mg/Nm^3)	0.00021	0.00015	0.05
Ni (mg/Nm^3)	0.00317	0.00656	-
Pb (mg/Nm^3)	0.035	0.0122	0.5

資料來源：Kuo *et al*., 2021

表 2.3-26、底渣及飛灰中之污染物濃度比較

項目	100%煤		60%煤+40%SRF	
	底渣	飛灰	底渣	飛灰
PCDD/Fs (ng-TEQ/g)	0.0005	0.0049	0.003	0.0045
Al (mg/kg)	12400	3850	18800	3650
Ca (mg/kg)	85700	12500	98400	11500
Cd (mg/kg)	2.28	20.1	1.05	12.1
Cr (mg/kg)	6.79	104	23.8	329
Cu (mg/kg)	23.7	205	119	922
Fe (mg/kg)	3840	2580	5710	3240
Hg (mg/kg)	0.005	0.18	0.004	0.11
Mn (mg/kg)	556	338	453	185
Ni (mg/kg)	250	2.5	417	15.7
Pb (mg/kg)	2.1	25.8	4.32	61
Zn (mg/kg)	115	655	161	983

表 2.3-27、污染物流佈分析及排放係數比較

項目	100% 煤				60%煤+40% SRF			
	底渣 (%)	飛灰 (%)	煙氣 (%)	排放係數 (mg/t)	底渣 (%)	飛灰 (%)	煙氣 (%)	排放係數 (mg/t)
PCDD/Fs	21.02	61.8	17.2	388*	16.8	75.4	.8	232*
Cd	27.3	72.1	0.64	1360	22.2	76.6	1.3	614
Cr	17.6	80.9	1.53	6290	19.3	80.2	0.5	15900
Hg	7.42	80.1	12.48	11	9.1	75	15.9	5.7
Ni	99.7	0.3	0.05	40900	98.8	1.1	0.1	54600
Pb	18.7	68.9	12.47	1830	18.6	78.9	2.5	3010

[註]* ng-TEQ/ton；資料來源 Kuo *et al*., 2021

表 2.3-28、灰中成分執行 TCLP 結果（單位: mg/L）

項目	100%煤		60%煤+40%SRF		TCLP 標準
	底渣	飛灰	底渣	飛灰	
As	0.17	0.034	0.12	0.025	5.0
Ba	0.31	0.15	0.23	0.11	100
Cd	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.0
Cr	0.45	0.115	0.11	0.02	5.0
Cu	0.55	0.1	0.38	N.D.	15.0
Hg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.2
Pb	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	5.0
Se	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1.0

表 2.3-29、灰中金屬氧化物成分

項目	100%煤		60%煤+40%SRF	
	底渣	飛灰	底渣	飛灰
Al_2O_3 (%)	28.7	21.4	26.6	20.88
CaO (%)	0.572	4.17	0.997	5.88
Fe_2O_3 (%)	2.17	4.87	3.23	5.45
SiO_2 (%)	64.1	50.84	65.8	43.45
Cl (%)	0.0015	0.018	0.0036	0.0125

Jang *et al.* (2013)比較煙煤、無煙煤、油品及廢塑膠回收製成的 SRF 於相同熱值下 CO_2 排放係數及排放量，結果如**表 2.3-30**，顯示以廢塑膠回收製成的 SRF 為替代燃料之 CO_2 排放係數最低(59.7 Mg CO_2/TJ)，CO_2 年排放量比煙煤減少 335,040 Mg CO_2/年。

Wu *et al.* (2011)在一座 400 MW 發電鍋爐內進行 SRF 與煤的混燒實驗，發現與純燃煤相比，SRF 加入會增加次微米粒子的生成及排放，尤其是直徑小於 0.2 μm 之超細微粒，細微粒中 Ca、P、K 含量比單純燃煤略高、而 S 含量相對較低。

表 2.3-30、不同燃料之 CO_2 排放係數比較

燃料種類	年產熱值（TJ/年）	排放係數 (Mg CO_2/TJ)	排放量（Mg CO_2/年）
SRF	9,600	59.7	573,120
B-C 油		77.4	743,040
煙煤		94.6	908,160
無煙煤		98.3	943,680

國內某造紙廠 A 執行煤與 SRF 混燒，鍋爐為氣泡式流體化床，蒸氣量 13.75 公噸/小時，燃料摻配比例與投料量為：(1)煙煤(82.8 wt.%)：9,936 公噸/年（1.2 公噸/小時）、(2)SRF(17.2 wt.%)：2,070 公噸/年（0.25 公噸/小時），SRF 組成為廢塑膠與乾淨木粉，比例約為 7:3，SRF 熱值約 5,360 千卡/公斤。煙道氣中各污染物之濃度如**表 2.3-31**，除了氮氧化物超標，其他污染物濃度皆符合排放標準。碳排放係數為 2.29 公噸 CO_2e/公噸 SRF，減碳量部分，廢塑膠 SRF 與產生同樣熱值的煙煤相比，可減少 41.6%的排碳量，依實廠試燒量計算，該廠減碳量為 3,372 公噸/年。

某造紙廠 B 執行煤與 SRF 混燒，鍋爐類型為循環式流體化床，蒸氣量 25 公噸/小時，燃料摻配比例與投料量為：(1)煙煤(18.2 wt.%)、(2)漿紙污泥(11.7 wt.%)、(3)SRF(70.1 wt.%)，SRF 之組成為廢塑膠標籤膜，煙煤碳排放係數 2.535 公噸 CO_2e/公噸煙煤、SRF 熱值約 5,310 千卡/公斤，鍋爐效率 78.9%。煙道氣中各污染物之濃度如**表 2.3-31**，污染物濃度皆符合排放標準。廢塑膠 SRF 碳排放係 1.74 公噸 CO_2e/公噸 SRF，廢塑膠 SRF 年總排碳量 9,135 公噸 CO_2e/年。使用廢塑膠 SRF 相比於煙煤之減碳效益 15,926 公噸/年 CO_2e，減碳率 63.5%。

某造紙廠 C 執行煤與 SRF 混燒，鍋爐類型為氣泡式流體化床，蒸氣量 12 公噸/小時，燃料摻配比例與投料量為：(1)煙煤(90.9 wt.%)、(2)漿紙污泥(3 wt.%)、(3)SRF(6.1 wt.%)，SRF 之組成為廢塑膠標籤膜，SRF 熱值約 7,120 千卡/公斤，鍋爐效率 80.2%。煙道氣中各污染物之濃度如**表 2.3-31**，二氧化硫及氮氧化物超標，其他污染物濃度皆符合排放標準。煙煤碳排放係數 2.535 公噸 CO_2e/公噸煙煤、廢塑膠 SRF 碳排放係 1.84 公噸 CO_2e/公噸 SRF，廢塑膠 SRF 年總排碳量 1,590 公噸 CO_2e/年。使用廢塑膠 SRF 相比於煙煤之減碳效益 1,931 公噸/年 CO_2e，減碳率 54.8%。

Casado *et al.* (2016)使用家庭垃圾製成的 SRF 與木質生物(OTP)為燃料（混燒比 1:1）於 1 MW_{th} 氣泡式流體化床燃燒，調查相關污染物(CO、CO_2、NO_x、TOC、HCl、PM 及 PCDD/Fs)生成情形。SRF 及 OTP 之顆粒大小分別為 8 及 6 mm，**表 2.3-32** 為 SRF 及木質顆粒(OTP)之成分分析，可知水份含量皆適合流體化床，但 SRF 之灰份明顯較高(21.1%)，因此必須注意燃料在氧化時灰份熔融產生燒結之風險。

表 2.3-33 為 SRF 及木質顆粒(OTP)之混燒之操作條件及煙氣組成，發現添加 SRF 能有效改善 OTP 之燃燒狀況（CO 濃度由 3977 下降至 83.6 mg/Nm^3），另外 NO_x 濃度隨 SRF 增加而增加，因為 SRF 中的 N 含量較高是木質顆粒的近 2 倍。SO_2 之濃度都很低(<20 mg/Nm^3)，歸因於爐床高 Ca/S 比，因此能抓下 SO_2 生成 $CaSO_4$。SRF 中的 Cl 是重要須關注之因子，HCl 濃度隨 SRF 增加而增加，因為 SRF 中的 Cl 含量較高，是木質顆粒的近 25 倍，Cl 與未燃碳會生成 HCl 及有機氯化合物，這些皆是 PCDD/Fs 前驅物，由 PCDD/Fs 濃度建議 SRF 佔比最好能低於 50%。至於粒狀物濃度因此廠安裝了靜電集塵機及袋式集塵機，因此粒狀物濃度皆很低。

Conesa *et al.* (2011)使用都市廢棄物做成的 SRF 為替代燃料於實驗室水平爐及水泥旋窯進行污染物的生成及排放調查，於水平爐實驗發現燃燒溫度、過剩空氣(λ)及 SRF 中的 SO_4^{2-}含量對於 PCDD/Fs 生成是關鍵因子，當溫度 850°C時，以 λ=1 之 PCDD/Fs 排放量最大，以 2,3,4,7,8-PeCDF 為主要生成之物種，λ=0.29、0.51、1.02、1.48 之 PCDD/Fs 排放係數依序為 115、300、2,790、775 pg I-TEQ/g-

SRF，此外當 SRF 中的硫成分越多，PCDD/Fs 濃度越低，因硫能抑制 PCDD/Fs 生成，主要是藉由 SO_2 取代 HCl。

至於水泥旋窯原本是以石油焦、污泥、廢輪胎及肉骨粉為燃料，嘗試比較混燒 SRF 前後對 PCDD/Fs 及 PAHs 之生成量差異，結果顯示混燒 SRF 對 PCDD/Fs 及 PAHs 生成並無明顯增加，PCDD/Fs 排放平均濃度約為 5 pg-TEQ/Nm^3，遠低於排放標準(0.1 ng-TEQ/Nm^3)。重金屬以 Mn 及 Zn 濃度最高，歸因於 SRF 本身之 Mn 及 Zn 含量高。酸性氣體之 NO_x 濃度隨投入之 SRF 增加而減少，歸因 SRF 投入量增加使爐溫降低致使 NO_x 濃度減少，至於 SO_2 與石油焦有關，隨 SRF 投入量增加導致石油焦投入量變少，使 SO_2 排放下降，HCl 濃度則隨 SRF 投入量增加而遞增。Dondur *et al.* (2015)認為水泥旋窯若欲以 SRF 作為傳統燃料（石油焦）之替代燃料，對污染物之排放影響不大，具有經濟可行性之最佳混燒配比為 SRF:石油焦=1:4。

方真等人(2023)以中國某座 180 公噸/小時循環流體化床燃煤鍋爐為研究對象，對混燒 SRF 進行燃燒特性及污染物排放研究，該廠之空污防制設備為 SNCR+SCR 脫硝、石灰石-石膏濕式脫硫、以活性碳注入法去除 PCDD/Fs 及活性碳、袋式集塵器除塵。SRF 具有低水分、低硫分、高含氧、高揮發分，重金屬總含量高於媒，氯含量比煤高約 10 倍。入場之 SRF 允收標準建議值如**表 2.3-34**，鍋爐爐膛溫度高於 850℃。當 SRF 混燒比例達 5%時，燃燒排氣溫度略有升高，爐床溫度降低幅度在 10 ℃以內，廢氣、廢水及固體廢棄物之排放均符合排放標準，同時 SO_2 排放濃度有所降低。

Szewczynska *et al.* (2020)曾針對生產或加工橡膠和塑料材料公司之工作環境空氣中對鄰苯二甲酸酯(phthalates)進行測量，包含 DMP、DEP、DEHP、DBP、BBP、DNOP 等六種。檢測結果顯示：生產塑料和有機玻璃廣告材料的環境空氣中氣相部分有檢測到 DMP、DEP 及 DBP，平均濃度分別為 0.77、1.54 及 0.63 μg/Nm^3，合計 2.94 μg/Nm^3。在可呼吸(respirable)和可吸入(inhalable)的微粒中皆可檢測到這六種，總濃度分別為 2.18 及 4.80 μg/Nm^3，兩者皆以 DEHP 為主要物種，分別佔 44%及 73%。

Wu *et al.* (2022)研析燃煤發電鍋爐排放的冷凝細微粒(condensable particulate

matter, CPM)中有機成分，針對 CPM 中的鄰苯二甲酸酯進行採樣及定量分析，探討在不同煙氣溫度下 CPM 中的鄰苯二甲酸酯的排放濃度和比例。結果顯示煙氣的 CPM 中之鄰苯二甲酸酯濃度範圍介於 56.51 至 109.72 μg/Nm³，其中 DEHP 濃度 20~40 μg/Nm³。由於鄰苯二甲酸酯是半揮發性有機污染物，它們在煙氣溫度降低過程中更容易與 FPM 結合並被集塵器去除。當燃煤煙氣溫度越低，DIBP、DBP 和 DEHP 的排出濃度越低。DBP 和 DEEP 在 CPM 的鄰苯二甲酸酯中佔有較高比例，對燃煤電廠排放的濃度貢獻較多。

周崇光研究團隊(2023)檢測國內造紙業汽電共生鍋爐排放的 $PM_{2.5}$ 中 FPM 和 CPM 的化學成分，結果顯示造紙廠汽電共生鍋爐煙道排放的 CPM 中 DEHP 濃度約 1396 μg/m³，其推測鍋爐燃燒的成分可能含有不少的塑料，另外，環境背景、採樣介質與分析程序使用的器具可能含有不低的塑化劑，建議未來對於燃料的成分及樣品空白做進一步的盤查與控管。

Wu *et al.* (2021)檢測燃煤鍋爐煙氣 CPM 中鄰苯二甲酸酯（簡稱 CeP）之排放濃度及探討空氣污染防制設備對於煙氣 CeP 濃度變化，各類鍋爐之規模及安裝之空污防制設備如**表 2.3-35**。結果顯示：(1)燃煤發電廠中 CeP 的平均總濃度為 73.35 μg/Nm³，明顯低於燃煤蒸氣工業鍋爐(1611.48 μg/Nm^3)。(2)乾式除塵設備對 CeP 的控制效果較佳。(3)煙氣溫度、dust 含量以及微粒的主要粒徑大小可能是影響煤燃燒中 CeP 濃度變化的重要因素。

Amand and Kassman (2013)指出煙道氣中高濃度的 KCl 會增加沉積物的形成，而沉積物中高含量的 KCl 可能加速過熱器的腐蝕，但這可以透過共同燃燒或使用添加劑來克服。例如：使用元素硫或其他含硫/硫酸鹽（硫酸銨）的添加劑將 KCl 轉化為較不具腐蝕性的硫酸鹽。

根據 Garg et al. (2009)評估結果認為 SRF 與煤混燒應用在水泥窯是最佳的，其次是用在燃煤發電廠。因 SRF 中的生物質部分顯著降低了溫室氣體排放，在水泥窯中每公斤乾基 SRF 減少約 2,500 g CO_2 當量；燃煤發電廠每公斤乾基 SRF 減少約 1,500 g CO_2 當量。整體而言，由於低技術風險、環境排放和燃料成本，水泥窯是最佳選擇。

二、小結

表 2.3-36 是依據相關污染物調查之文獻資料，彙整混燒 SRF 可能造成的負面影響及建議的改善辦法，綜合以上資料，關於使用 SRF 產生的污染物排放有以下重點：

1.SRF 的品質與混燒比影響使用過程污染物排放濃度，含水率、氯含量、銅含量對 PCDD/Fs 排放濃度有密切關係。一般情形建議 SRF 混燒比<30%，但若使用高品質 SRF，混燒比可以適量提高。

2.鍋爐操作溫度控制 850~1000℃，O_2 濃度<10%，CO<100 ppm，高燃燒效率及噴注活性碳能有效降低煙氣 PCDD/Fs、PAHs 及重金屬排放濃度，亦能減少 thermal NO_x 排放濃度。

3.與燃煤相比，混燒 SRF 會增加次微米粒子的生成及排放，尤其是直徑小於 0.2 μm 之超細微粒，細微粒中 Ca、P、K 含量比單純燃煤略高。

4.SRF 中的 Cl 是重要且須關注之因子，一般而言 SRF 中的 Cl 含量較煤及生質燃料高，Cl 與未燃碳會生成 HCl 及有機氯化合物，這些皆是 PCDD/Fs 前驅物，建議 SRF 佔比低於 30%，但混燒比高低與替代燃料的品質有密切關係。

5.安裝靜電集塵機或袋式集塵機，能有效控制粒狀物排放濃度，符合排放限值。

6.混燒 SRF 產生的底渣所含的 PCDD/Fs、重金屬（鉛、鎘、汞）皆能符合標準，然而灰飛有少部分廠家的 PCDD/Fs 超標，達有害事業廢棄物認定標準，依法須申報為 C-0120。

7.環境背景、採樣介質與分析程序使用的器具可能含有不低的塑化劑，因此分析塑化劑時，樣品空白必須進一步的確認與控管。

2.3.9 混燒 SRF 對底渣及灰飛性質的影響

灰渣中以鋁為較關鍵的議題，鋁為反應性金屬，其不同型態將會有不一樣反應，金屬鋁遇水將產生氫氣，氮化鋁則會產生氨氣，反之氧化鋁則是穩定狀態，因此灰渣中鋁的型態取決於灰渣囤放與再利用時是否安定及熟化處理過程之天數。

吳民富（111 年）的研究指出，SRF 與替代燃料中有殘留鋁箔碎片，而燃燒產生的混燒底渣及飛灰會殘留可反應性金屬鋁，若應用於水泥材料或 CLSM 時會有產氣膨脹問題。推測原因是 SRF 燃料中殘留金屬鋁物質(鋁箔)無法經由流體化床鍋爐燃燒程序完全氧化。作者提出三種穩定混燒飛灰金屬鋁之預處理方法：高溫煆燒處理(>950℃)、水浸泡處理（例如添加 NaOH）、及水泥固化法，皆可降低可反應性金屬鋁含量，進而減少應用於水泥材料時引起的體積膨脹問題。

依據國環院 112 年 SRF 使用廠鋁的檢測調查，SRF 中 Al 含量 0.56~2.14% (5,575~21,437 mg/kg)，底渣中 Al 含量 1.68~6.04% (16,768~60,434 mg/kg)，飛灰中 Al 含量 4.87~9.10% (48,708~90,979 mg/kg)，建議應從源頭掌控所有替代燃料之鋁含量，才是混燒灰渣再利用或解決囤放疑慮的根本之道。

現行混燒煤灰再利用機構有 2 家，總許可量為 24.5 萬公噸/年；一般性飛灰或底渣混合物之再利用機構有 6 家，總許可量 12.9 萬公噸/年，至於處理機構有 6 家，總許可量 58.7 萬公噸/年，相關去化及處理費用如**表 2.3-37**。

表 2.3-31、國內紙廠混燒 SRF 之煙道氣中各污染物濃度調查

檢測項目	應符合之環保法規			A 廠排放測值	B 廠排放測值	C 廠排放測值
檢測細項	法規名稱	排放標準	單位	煙煤+SRF	煙煤+紙漿污泥+SRF	煙煤+紙漿污泥+塑膠 SRF
粒狀物(TSP)	鍋爐空氣污染物排放標準	30	mg/Nm^3	19	2	4
二氧化硫(SO_2)		50	ppm	10	3	72
氮氧化物(NO_X)		100	ppm	170	50	156
非甲烷總碳氫化合物(TNMHC)	揮發性有 機物空氣污染管制及排放標準	100	ppm	4	N.D.	8
細懸浮微粒($FPM_{2.5}$)	-	-	mg/Nm^3	1.6	0.9	179.4
可凝結性微粒(CPM)			mg/Nm^3	6.6	40.1	189.0
氯化氫 (HCl)	固定污染源空氣污染物排放標準	80	ppm	3	13	3
一氧化碳 (CO)		2,000	ppm	458	460	587
二氧化碳 (CO_2)			%	10.3	10.4	13.0
PCDD/Fs	中小型廢棄物焚化爐 PCDD/Fs 管制及排放標準	0.5	$ng\text{-}TEQ/Nm^3$	0.023	0.020	0.032
鉛	廢棄物焚化爐空氣污染物排放標準	0.5	mg/Nm^3	ND	N.D.	N.D.
鎘		0.04	mg/Nm^3	ND	N.D.	N.D.
汞		0.05	mg/Nm^3	0.006	N.D.	N.D.

表 2.3-32、SRF 及木質顆粒(OTP)之成分分析

項目		SRF	OTP
主成分分析	水份(%)	8.8	7.2
	灰份(%)	21.1	4.9
	揮發份(%)	75.7	81.4
	固定碳(%)	3.4	13.7
元素分析 (wt, %, d.b.)	C	51.7	47.1
	H	7.0	6.2
	O	17.94	41.06
	N	1.20	0.64
	S	0.30	0.07
	Cl	0.76	0.03
低熱值 (MJ/kg)		20.34	16.19

表 2.3-33、SRF 與 OTP 混燒之操作條件及煙氣組成

項目	單位	OTP	SRF+OTP-1	SRF+OTP-2	SRF+OTP-3
操作條件					
輸入能量	kW_{th}	750	700	780	750
SRF 佔比	%	0	49	54	58
爐床溫度	℃	655	710	670	687
最大乾舷區溫度	℃	905	873	884	847
流體化速度	m/s	0.7	0.8	0.8	0.8
過量空氣(λ)		1.44	1.51	1.45	1.50
二氣空氣	%	48	44	42	42
煙氣流率	Nm^3/h	1176	1164	1201	1107
煙氣組成					
O_2	vol%	5.6	7.2	7.3	7.4
CO_2	vol%	14.5	12.1	12.1	11.9
CO	mg/Nm^3	3977	607.6	227.4	83.6
NO_x	mg/Nm^3	177.2	311.9	309.5	325.1
SO_2	mg/Nm^3	19.3	9.6	11.2	19.7
HCl	mg/Nm^3	0.5	3.8	10.4	14.5
TOC	mg/Nm^3	7.1	n.a.	n.a.	1.6
PM	mg/Nm^3	0.3-1	n.a.	n.a.	1.6-4.4
PCDD/Fs	$ng\text{-}TEQ/Nm^3$	0.04	n.a.	n.a.	0.33

表 2.3-34、投入循環流體化床燃煤鍋爐之 SRF 允收標準值

項次	項目	單位	規範
1	低位發熱量	kJ/kg	≥ 16,743
2	全水分	%	≤ 10
3	灰分	%	≤ 15
4	硫	%	≤ 0.45
5	氯	%	≤ 0.3
6	汞	mg/kg	≤ 0.5
7	鉈+鎘	mg/kg	≤ 15
8	銅+鉻+鎳+鈷+錳+鉛+鋅+銻	mg/kg	≤ 700

表 2.3-35、燃煤設備及空污設備

種類	設備編號	規模	單位	空氣污染防制設備
燃煤發電鍋爐	1	1000	MW	SCR+LLT-ESP+FGD+WESP
	2	1000	MW	
	3	600	MW	
	4	300	MW	
	5	600	MW	SCR+ESP+FGD+WESP
	6	350	MW	
	7	600	MW	SCR+ESP+FGD
	8	300	MW	SCR+ESP+FGD
燃煤蒸氣工業鍋爐	1	75	t/h	SNCR+EFIP+AFGD+UD
	2	130	t/h	SNCR+BF+FGD+WESP

[註]UD：ultrasonic dedusting(超音波除塵)；LLT-ESP：Low-Low Temperature Electrostatic Precipitator(低溫靜電集塵器)；EFIP：electrostatic-fabric inte grated precipitator (電袋式集塵器)；AFGD：ammonia flue gas desulfurization device（加氨排煙脫硫）

。

表 2.3-36、混燒 SRF 對污染物排放之影響與控制因子

項目	混燒 SRF 可能之影響
燃燒程度（效率）	・SRF 與煤混燒，隨 SRF 添加比例提高而下降，建議 SRF 混燒比<20%。 ・SRF 與木質顆粒混燒，能明顯改善木質顆粒燃燒效率，減少 CO 濃度。 ・鍋爐操作溫度控制 850~1000℃，能有效降低爐內生成 PCDD/Fs 及 thermal NO_x。
粒狀物	・混燒 SRF 使粒狀物增加，建議 SRF 混燒比<20%。 ・操作良好的袋式集塵機與靜電集塵機皆能有效捕集粒狀物，符合排放標準。
HCl	・HCl 濃度與 SRF 中的 Cl 含量有關，易造成設備腐蝕。
汞	・建議能於集塵機入口噴入活性碳吸附氣相汞，活性碳注入量建議值(50~100 mg/Nm^3)。 ・灰中以 $HgCl_2$ 形式存在，煙氣中的濃度影響不大。
重金屬鋅、鉛、錫	・會降低附著於鍋爐過熱器上的沉積物之熔點而造成設備腐蝕。
NO_x、SO_2	・SRF 與煤混燒，排放量變化不大。 ・SRF 與木質顆粒混燒，隨 SRF 加入 NO_x 排放量增加。 ・高效率 SO_2 防制設備建議為半乾式除酸及濕式排煙脫硫設備。 ・De-NO_x 設備為 SNCR、SCR 及濕式 O_3，前兩項須注意氨氣外洩。
PCDD/Fs	・SRF 與煤混燒，隨 SRF 添加比例提高而增加，與氯和銅之含量有關，建議 SRF 混燒比<20%。

表 2.3-37、煤灰、混燒煤灰及一般性飛灰或底渣混合物再利用及處理費用

項目	來源	再利用項目/處理		備註
煤灰 (R-1106/ R-1107)	1.燃煤鍋爐產生之飛灰或底渣 2.混燒 5 wt.%廢棄物衍生燃料或生質燃料之燃煤發電鍋爐產生飛灰或底渣	飛灰	高爐爐石粉原料、水泥原料、水泥製品原料、混凝土攙和物、…、控制性低強度回填材料原料或非農業用地之工程填地材料	1. 已有去化管道，可收費（300~500 元/公噸）或付費再利用（800~1,000 元/公噸） 2.109 年台電煤灰再利用率 90%
		底渣	水泥生料、預拌混凝土原料、混凝土粒料原料、….、控制性低強度回填材料原料或非農業用地之工程填地材料	
混燒煤灰 (R-1108)	混燒 50 wt.%以下廢棄物衍生燃料、生質燃料產生之飛灰或底渣等	飛灰或底渣	水泥生料	幸福水泥、亞洲水泥申請再利用（許可量 20,440 噸/月）
一般性飛灰或底渣混合物(D-1199)		飛灰或底渣	個案申請 CLSM、混凝土添加料	1.再利用(CLSM)處理費用 2000 元/公噸 2.處理費 8,500~12,000 元/公噸 3.掩埋費 18,000~35,000 元/公噸

2.3.10 SRF 品質改善之方法

有關 SRF 品質改善之方法如下：

1.減少 SRF 中氯含量：

(1)分開收集由聚氯乙烯製成的材料（PVC：管道、板材、面板、瓷磚、玩具、油漆）和其他含有氯化物的材料，例如：漂白紙和工業溶劑（脫脂劑、清潔溶液）、油漆稀釋劑、殺蟲劑、樹脂和膠水，可以降低 Cl 含量。

(2)MBT 工廠使用近紅外線(NIR)技術可去除氯含量高的塑料，例如 PVC。然而，黑色塑膠、未經處理的木材和紡織品的存在可能會妨礙 NIR 技術成功分類 PVC 塑膠的效率。

2.單獨收集廢棄電氣和電子設備、溫度計、電池、油漆和電鍍金屬可以減少廢棄物中的汞和鎘含量。

3.顆粒尺寸：

(1)用於發電鍋爐之 SRF 顆粒尺寸範圍為 5 毫米至<300 毫米，其中流體化床 10-200 毫米，發電廠使用粒徑 20 毫米（中位數）的 SRF 運作效果最佳。

(2)水泥廠可耐受最大粒徑為 30 毫米。

2.4 環境風險評估

環境風險評估係採用科學性方法，評估某一特定區域的環境壓力（包含化學物質、自然災害與其他人類行為）對於受體造成不良影響之機率，依據評估受體的不同，又可區分為以人類受體為主之健康風險評估，以及以植物、動物與生態系統為標的之生態風險評估。其中，生態風險評估係整合環境化學、環境毒理學、水文學及地球科學等條件，根據污染（環境壓力 stressor）程度、生態受體暴露情形，決定生態受體是否受到威脅。

環境風險評估是對一種化學物質暴露於環境中可能發生的生態環境負面影響進行估計和評估的過程，其目的是鑑定可接受和不可接受環境風險，為風險評估之後的環境管理決策提供依據，環境風險評估包含四個過程：危害確認、濃度-效應評估、環境暴露評估和環境風險特徵描述。其中危害確認及濃度-效應評估同屬環境危害性評估的範疇。

1.危害確認(hazard identification)：是指辨識化學物質因其固有性質而造成生物體系統或（亞）種群不利效應的類型和屬性的過程。

2.濃度-效應評估(concentration-effect assessment)：是指評估生物體、系統或（亞）種群在一定時間內，以某種特定方式暴露於某種化學物質後，產生的效應與暴露量（以濃度型式表示）之間的關係。

3.環境暴露評估(environment exposure assessment)：是指環境介質（水體、空氣、土壤等）中目標生物、系統或（亞）種群對於化學物質及其代謝物暴露的評估。

4.環境風險特徵描述(environment risk characterization)：是指在給定的暴露條件下，定性或定量判定某種化學物質對於環境介質（水體、空氣、土壤等）中生物體、系統或（亞）種群造成已知或潛在不利效應的可能性及其不確定性。

化學物質環境風險評估技術步驟見**圖 2.4-1**，通常按照下述步驟進行：

(1)危害確認：對於所評估的新化學物質，選定可以利用的物化及生態毒理學資料，確定出應該給予關切的環境效應，並進行危害性分類。

(2)濃度-效應評估：結合生態毒理學資料，利用統計外推或評估係數方法，確定出“預測無效應濃度”(Predicted No-Effect Concentration, PNEC)。

(3)環境暴露評估：使用所有獲得的與環境暴露相關的資訊，建立暴露情境，基於數據或模式計算結果，確定出“預測環境濃度”(Predicted environmental concentration, PEC)。

(4)風險特徵描述：根據前三步驟結果綜合評定所關切生態環境暴露於化學物質的環境風險。經由 PEC 和 PNEC 的比率來判斷化學物質對各種生態環境將發生負面效應的可能性，據此評估化學物質風險是否可接受。

在進行風險評估過程中，劑量（濃度）-反應（效應）評估是風險評估的第二個步驟，是指某一化學物質的劑量或暴露濃度與效應的發生和嚴重程度之間的估算。通常涉及化學物質的暴露程度（劑量/濃度）與毒物副作用之間的定量關係描述，以及在某些情況下無法進行定量描述時的定性描述，於健康風險評估中通常稱為劑量效應評估（因評估終點一般以無作用劑量表示），環境風險評估中通常稱為濃度-效應評估（因評估終點一般以無效應濃度表示）。

對於大部分化學物質，在風險評估的劑量（濃度）-反應（效應）評估過程中，通常需要將實驗室動物研究得出的毒性效應資料轉化為用於預測或評估人類或環境的無效應濃度/劑量(DNELs/PNECs)，一般經由評估係數進行外推轉換。由於實驗室測試只能涵括人類種群和生態系統可能發生的各種反應的一小部分，因此如果沒有評估係數，則龐大的人類種群和大部分生態系統將得不到保障。評估係數以數字的型式反映了從試驗資料外推至人或生態系統時的估算程度或者不確定數量，其中涉及許多科學上的不確定性和假設。

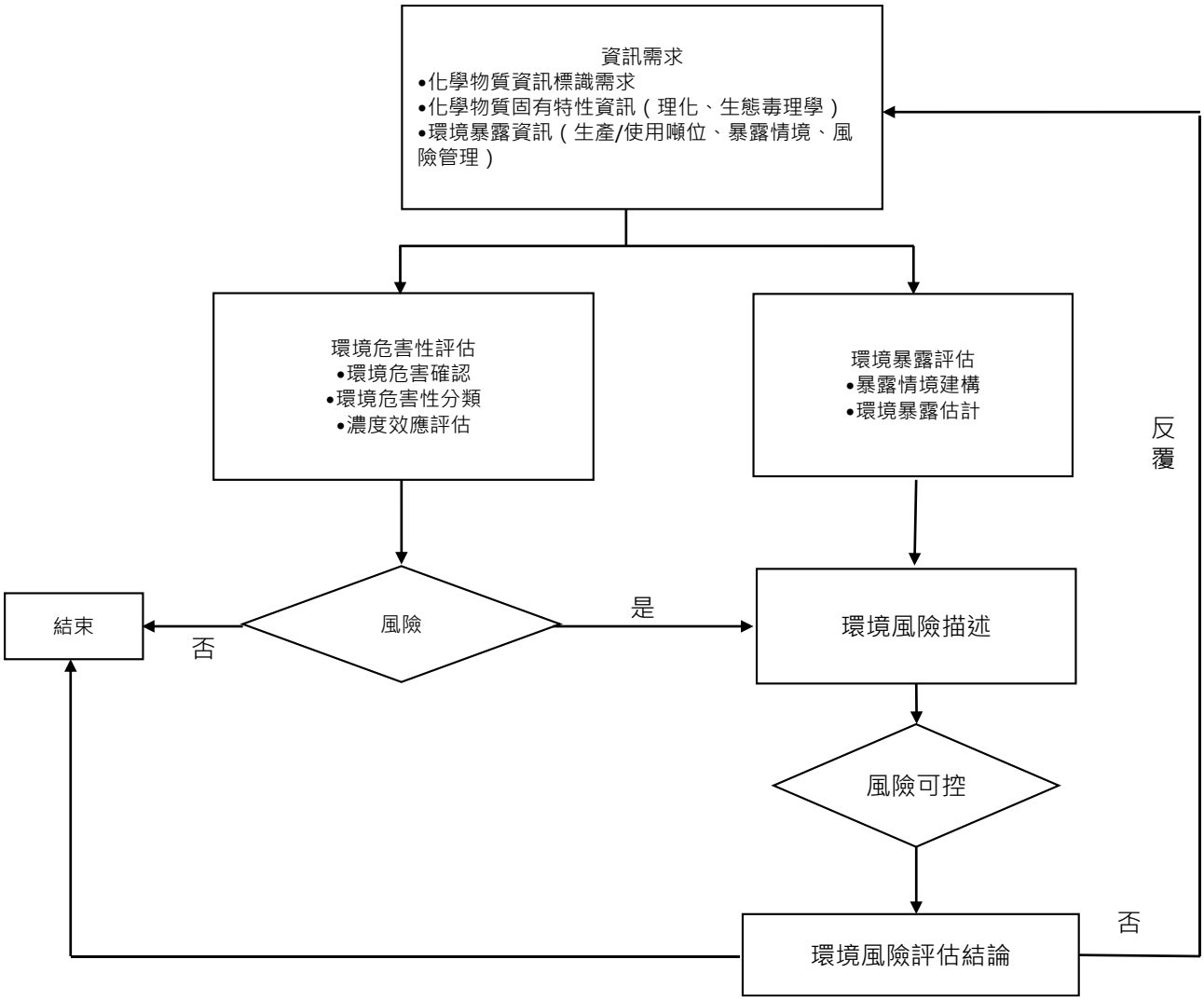


圖 2.4-1、化學物質環境風險評估

2.4.1 化學物質濃度-效應評估方法

在環境風險評估中，經由不同的途徑將會有成千上萬的物種可能被暴露，因此可能產生多個無效應濃度，可經由推導不同生態環境（水、沉積物、底泥、土壤和空氣）的預測無效應濃度(PNECs)來簡化在進行環境危害性評估時，通常依據危害確認確定需要關切的環境效應，經由濃度效應評估，將獲得的實驗室生態毒理學測試或類比生態系統測試終點，考慮足夠的評估因素，外推得出預測無效應濃度(PNEC)，其可用於與暴露評估中得出的預測環境濃度(PEC)進行比較，從而判斷化學物質對環境的風險可接受性。

許多已開發國家和國際組織都公佈了有關化學物質風險評估技術準則，為政府工作人員、學者和技術人員等進行化學物質的風險評估工作提供方法指引。濃度-效應評估是環境風險評估中危害性評估部分的主要技術內容，目前世界各國及國際組織推薦的技術方法主要有兩類。一類是基於經驗的評估係數外推方法，另一類是基於多物種多個數據的統計外推方法。

(1)經濟合作與發展組織(OECD)為統一各成員國化學品的測試方法以及風險評估技術，公佈了有關化學品測試的一系列方法準則 (European Union, 1992; European Commission, 1996)，推薦方法共分兩類：一類為根據水生生物毒性試驗資料，採用統計方法進行資料外推；另一類為根據經驗給出評估係數，對水生生物毒性試驗資料進行外推。所有方法的一個共同特點就是使用所有試驗物種的毒性資料推導環境最大耐受濃度(Maximum Tolerable Concentration, MTC)，OECD 推薦的統計外推計算方法有兩種:危害濃度（HC_p，即 p%物種未受保護的危害濃度）和最終慢性值(Final Chronic Value, FCV)，如果可以獲得 5 個不同物種的慢性 NOEC（或最大可接受毒性濃度 maximum acceptable toxicant concentration, MATC）值，就可以採用 HC_p 方法進行外推。經由該方法得到的基準值為 p 百分數的物種危害濃度。HC_p（如 HC_5）被認為是對生物群落產生最小影響的臨界危害濃度，可認為等同於 MTC。如果可以獲得至少 8 個種群的慢性 NOEC 值，也可以經由計算 FCV 值，估計慢性毒性效應累積發生概率為 5%時的化學物質濃度。OECD 還推薦了評估係數方法，用來估計環境關切濃度(ECL)，評估係數完全根據經驗得來，不依賴任何理論模式。

(2)歐盟為支援成員國的化學品管理和化學品風險評估工作，於 1996 年發佈適用於現有物質和新化學物質的風險評估技術準則(TGD)檔(European Commission, 2003)，並於 2003 年對該準則進行修訂，發佈第二版 TGD 檔。在 TGD 檔的第二部分“化學物質環境風險評估方法”中針對需要評估的環境介質，詳細介紹了化學物質濃度-效應評估的資料外推方法。研究包括水生生態環境、地表水下沉積物生態環境、海洋生態環境、海洋沉積物生態環境、污水處理廠微生物生態環境、陸生生態環境以及由於食物鏈蓄積導致的二次毒性效應。歐盟推薦的資料外推方法以評估係數法為主，分別針對不同環境介質給出了不同的建議外推

系數，此外在水生生態環境的資料外推方法中還詳細介紹了採用物種敏感度分佈(SSD)的統計方法進行資料外推。評估係數方法的基本原理是將來自實驗室的測試結果最低值除以評估係數得到 PNEC。若可以獲得更多的試驗資料或長期毒性資料（此類試驗的結果更能真實反映生物體全生命週期受到的影響），則評估係數可適當減小。

(3)美國為支持 TSCA(Toxic Substances Control Act)法規的實施，在 1999 年發佈的《聯邦政府生態風險評估準則》中闡述了環境化學物質風險評估的基本方法，並給出了針對水生生態環境進行濃度-效應評估的資料外推方法(Karcher, 1990)。美國推薦在 TSCA 法規框架下進行新化學物質水生環境風險評估時，採用評估係數方法進行資料外推，外推評估係數推薦值如**表 2.4-1**。

表 2.4-1、國外濃度-效應評估資料外推方法

國家/組織	環境介質	外推方法	資料要求	外推係數/公式
OECD	水體	統計外推	如可獲得 5 個不同物種的慢性 NOEC（或 MATC）值就可採用該方法進行外推	$\mathrm{HC_p} = \frac{NOEC}{T}$
			經由至少 8 個種群的慢性 NOEC 值來計算	$\mathrm{FCV} = \mathrm{e^A}$
		評估係數外推法	基礎資料組的急性毒性資料 L(E)C_{50} 或 QSAR 估計值，來自一種或兩種水生生物	1000
			基礎資料組的急性毒性 L (E) C_{50} 或 QSAR 估值，至少包括藻類、甲殼類和魚類	100
			基礎資料組的慢性毒性 NOEC 或 QSAR 估值，至少包括藻類、甲殼類和魚類	10
美國	淡水環境	評估係數外推法	有限的資料（如只有一種生物經由 QSAR 獲 得的急性 LC_{50} 值）	1000
			基礎資料組的毒性（如魚、蚤類的 LC_{50} 和藻類的 EC_{50}）	100
			慢性毒性最大可接受毒性濃度(MATC)	10
			化學物質野外測試	1
歐盟	淡水環境	統計外推	至少應含有來自 8 個類別物種的 10 個 NOEC 值（最好是 15 個以上）	PNEC= $= \frac{5\%\mathrm{SSD}（50\%\mathrm{c.i.}）}{\mathrm{AF}}$
		評估係數外推法	三個營養級別生物每一級至少有一項短期 L(E) C_{50} 資料或估計的 QSAR 值	1000
			一項長期毒性試驗 NOEC （魚類或蚤類）	100
			兩項長期試驗的 NOEC 資料，分別來自兩個營養級別的物種（魚、蚤或藻類）	500
			長期試驗的 NOEC 資料，至少來自 3 個營養級別的 3 個物種（魚、蚤和藻類）	100
			物種敏感性分佈方法(SSD)	50
			野外資料或類比生態系統	10
歐盟	淡水沉積物	評估係數外推法	一項長期試驗	100
			代表不同食性以及生活方式的物種兩項長期 試驗（NOEC 或 EC_{10}）	50
			代表不同食性以及生活方式的物種三項長期 試驗（NOEC 或 EC_{10}）	10

2.4.2 環境暴露評估

暴露是風險估計的關鍵因素，如果沒有暴露就沒有風險。環境暴露評估的直接產出是得到目標環境介質的預測環境濃度(PECs)，目的是用以從而確定環境風險情況。在化學物質環境暴露評估中，PECs 與外推得出的預測無效應濃度(PNECs)進行比較，模式預測是獲得 PECs 較合適的選擇，應用較多的是多介質環境暴露模式。在環境暴露評估中，存在多個預測環境濃度(PEC)，這種複雜的評估通常經由推導單一環境介質的 PEC 進行簡化，PECs 的計算不僅僅局限於初級環境系統-地表水、土壤、空氣，也涉及次級環境系統--沉積物和地下水。

化學物質環境暴露評估工作流程主要包括暴露情境構建和化學物質的環境濃度預測兩部分內，暴露情境是用來幫助評估和定量一定情境下化學物質暴露的一組條件假設，包括化學物質的來源、暴露途徑、數量或者濃度以及暴露的生物體、系統或（亞）種群（數目、特徵），化學物質的預測環境濃度(PECs)是如下兩個過程的結果：一是化學物質被釋放到環境中，對釋放的評估屬於環境暴露情境構建的一部分;二是化學物質的環境宿命，即化學物質被釋放進入環境後發生的傳輸轉化，例如擴散、沉積、降解等，使其以一定濃度分佈於各類環境介質（大氣、水、沉積物、土壤、生物群）中，環境暴露評估工作流程如**圖 2.4-2**。

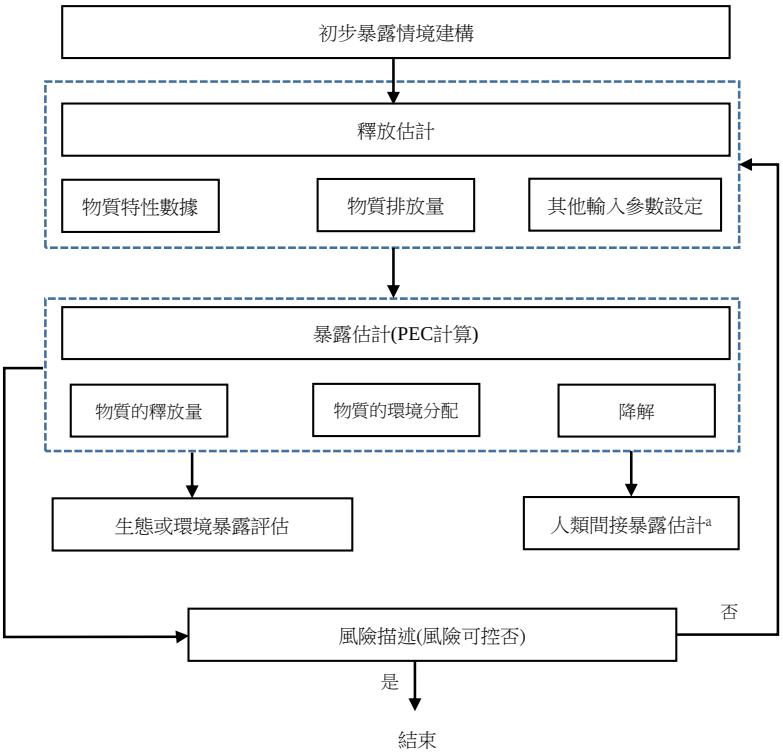


圖 2.4-2、環境暴露流程

2.4.3 環境風險評估過程

當完成了所有環境介質的危害性評估與暴露評估後，應給出定量或定性的風險評估結果。環境風險評估過程，即將化學物質的暴露濃度與其定量有害資訊進行比較。當可以得到合適的預測無效應濃度(PNECs)的情況下，就可以推出風險商數(Risk Quotient、RQ)來描述風險。環境風險評估評估應根據不同的保護目標分別進行，包括:水生生態系統、陸生生態系統、大氣環境系統及頂級捕食者。對於水生和陸生生態系統可以根據獲得的相關資料對 PEC 和 PNEC 值直接進行比較；對於大氣環境系統僅能夠進行非生物效應的定性評估，如果有數據或文獻證明選定化學物質會有一種或多種非生物效應發生，則可以經由專家諮詢進行進一步研究。當初步評估後 RQ 比值大於 1，則應經由獲得關於暴露和生態毒性的進一步資訊，對評估進行修正。風險評估的最終目的是盡可能保證化學物質在使用過程中風險可以接受，即 RQ <1。對於不能進行定量的風險評估或不能推導出 PEC 或 PNEC 值時，則應進行定性的風險評估。

由上可知，完整的環境風險評估必須分析一場址中複雜食物鏈生態系統（亦或

稱場址概念模式）間化學物質的暴露(PEC)與生態無效應濃度(PNECs)之關聯性，以取得「污染狀況」對「生態受體產生達到不可接受程度的不良效應」二者間之關係，其概念類似於人體健康風險評估所使用之參考劑量(Reference Dose, RfD)或參考濃度(Reference Concentration, RfC)。

國外生態風險評估規範或文獻中，多以生態效應終點之生物毒性測值結果為基礎，搭配統計或模式推估方式，發展生態生物毒性參考值。為有效率執行上述環境風險評估，可以考量參考國外污染場址生態風險評估制度，前期加入「篩選性風險評估」，經過此段段篩選具有生態風險疑慮時方進入完整生態之環境風險評估，而此階段建議可參考國外較成熟之資料，如美國生態土壤篩選值(Ecological Soil Screening Levels, Eco-SSLs)（**表 2.4-2**），或是加拿大 Soil Quality Guidelines (SQG)，並選擇我國具代表性之替代物種，並以物種暴露參數進行推估，作為 PNECs，惟長期而言，仍應進行本土性測值，以建立完整土壤污染之生態風險評估及配套規範。

表 2.4-2、我國土壤管制項目標準與建議之生態土壤篩選值結果

污染物	我國管制標準	美國 Eco-SSLs			加拿大 SQG[b]
		土壤 無脊椎生物	哺乳類	鳥類	
砷	60	-	46	43	12
鎘	20（農地 5）	140	0.36	0.77	22
總鉻	250	-	-	-	64
PCDD/Fs [a]	1,000[a]	-	-	-	-
汞	20 (農地 5)	-	-	-	6.6
鉛	2000 （農地 500）	1700	56	11	70
鎳	200	280	130	210	45
PAHs 高分子量	-	18	1.1	-	-
PAHs 低分子量	-	29	100	-	-

單位：毫克/公斤-土壤；
[a] 單位：奈克-毒性當量/公斤-土壤
[b] 農地篩選值

2.4.4 環境風險指標簡介及比較

環境風險評估過程中的濃度-效應評估，通常涉及水生生態環境、沉積物（底泥）生態環境、陸生生態環境、大氣環境以及由於食物鏈蓄積導致的不同層級毒性等複雜生態環境的效應評估。面對各種情境所制定的多種假設，造成環境風險評估充滿不確定性(Bashkin and Demidova, 2008)。除此之外，經費負擔大、缺乏評估技巧以及難以取得數據皆為環境風險評估窒礙難行之處。因此，另有研究將人類活動相關的污染物（如 PCDD/Fs 或重金屬）濃度與生物地球化學(biogeochemical)循環的環境背景值相比，藉由不同指標呈現的環境污染程度及生態風險，已被用來評估底泥 PCDD/Fs 或重金屬生態風險(Chen *et al.*, 2019; Ke *et al.*, 2017)。如有學者於中東伊朗蒐集 360 個表層底泥的 13 種重金屬資料(包含 Al、Fe、Mn、Zn、Cu、Cr、Co、Ni、V、As、Cd、Hg 及 Pb)，討論重金屬對海洋表層底泥與珊瑚礁岩岸造成之生態風險 (Jafarabadi *et al.*, 2017)。多數採樣點底泥 Cd 與 Hg 重金屬濃度之原生性地質濃度皆明顯高於地質背景值；再根據潛在風險指數(PERI)判定 V、Ni、Hg 與 Cd 具有中度潛在生態風險。。接續計算毒性指標(TU)與毒性風險指標(toxic risk index, TRI)，結果顯示 Hg 與 Cd 為影響風險指標之關鍵因子。由上述指標得知，中東伊朗地區之生態風險似乎受到人類工業活動的污染影響，因此有必要進一步利用 U.S. EPA 之風險商數(hazard quotient index, HQ) 評估人類健康風險，然而結果顯示並無顯著人類健康風險。上述研究皆指出風險評估之重要性與可行性，生態風險評估結果亦可跟後續人類健康風險評估作相對比較。另外，透過公式運算可將污染物濃度轉換為潛在生態風險指數(potential ecological risk index, PERI) (Håkanson, 1980)及毒性當量(toxic units, TUs) (Pederson *et al.*, 1998)，進而推估污染物的生態危害風險 (Chen *et al.*, 2019; Ke *et al.*, 2017)。由上述文獻可知利用不同指標呈現的環境污染程度及生態風險，已被用來評估底泥重金屬生態風險 (Bashkin and Demidova, 2008; Chen *et al.*, 2019; Ke *et al.*, 2017)。

生物濃縮因子(biooncentration factor, BCF)為通常用於衡量水生生物於周圍環境介質中透過呼吸及接觸暴露並累積污染物程度的指標，代表意義為生物體中污染物的濃度與其在水中的濃度之比，因其測量成本高昂，多以該污染物辛醇/水分配係數進行估算(Meylan et al., 1999)，而生物累積因子(bioaccumulation factor, BAF)

則考量了所有途徑，包含攝食暴露於生物體內的總污染物濃度(Jakimska *et al.*, 2011)。重金屬元素不會降解、半衰期長且有可能在生物組織中累積的特性，因此其毒性通常要在接觸後數年才有明顯作用(Danis *et al.*, 2006)，過去研究指出 Cr、Zn、Cu 在河川魚類中有很高的 BAF，分別為 244、229 和 178，在河川螃蟹中則是 Cu、Cd、Zn 較高(Eneji & Annune, 2011; Falusi & Olanipekun, 2007)。PCDD/Fs 具有一定程度的揮發性、微溶於水，且其脂溶性有助於直接穿過細胞膜並累積於生物體的脂肪組織中而疏水性則使其在水資源中形成小顆粒物質(Jeno *et al.*, 2021)，一份針對非洲濕地生態系的研究指出不同種類的 PCDD/Fs 於魚類肌肉組織的 BAF 在 2 至 58.2 之間，顯示其存在顯著生物累積效應 (El-Shazly *et al.*, 2016)。要注意的是，於文獻引用的生物濃縮因子與生物累積因子具有很大的不確定性，來自於水質特徵、金屬型態及暴露途徑 (Fairbrother *et al.*, 2007)。

環境風險評估使用參數主要可分為生物毒理參數、生物受體暴露參數及物理化學參數和生態影響參考值、生物毒性篩選值等資料庫的建立，為環境風險評估作業之關鍵。然而在實際的推動上，因我國環境風險評估制度尚在起步階段，本土化參數以及相關測試規範仍有待建立，目前僅列出當前台灣土壤及地下水污染物監測和管制標準，此外，我們亦參考了美國環保署(U.S.EPA)網站上所發布的生態土壤篩選水平指南(Ecological Soil Screening Level Guidance)、資源保育和回收法案生態篩選水平(RCAR Ecological Screening Levels)以及第三區淡水沉積物篩選基準值(Screening benchmarks for freshwater sediment in Region 3)，以蒐集生態土壤篩選值(Ecological Soil Screening Levels, Eco-SSLs)和底泥篩選值(Sediment Screening Values)（**表 2.4-3**）。上述蒐集之「預測無效應濃度」(Predicted No-Effect-Concentrations, PNECs)將與多介質推估之 「預測環境濃度」(Predicted environmental concentration, PEC)比較，以推估本案燃燒 SRF 後排放之污染物對環境所致風險(Risk Quotient, RQ)高低。

表 2.4-3、風險評估方法彙整表

項次	名稱（中）	名稱（英）	符號	簡介		來源 (References)
1	生態土壤篩選值	Ecological Soil Screening Levels	ECO-SSLs	Eco-SSL 是土壤中污染物的濃度，能夠保護常與土壤接觸或攝食生活在土壤中或土壤上的生態受體。這些值可用於識別在土壤中具有哪些潛在風險的污染物，需要在基準生態風險評估中進一步評估。		US.EPA
2	淡水沉積物篩選基準值	Screening benchmarks for freshwater sediment	-	底泥篩選值用於評估底泥污染對環境潛在損害的風險。如果每個檢測到的底泥污染物濃度均小於或等於該污染物的底泥篩選標準，則無需進一步評估底泥的損害風險。		US.EPA
3	RCRA 生態篩選濃度	RCAR Ecological Screening Levels	ESLs	ESLs 代表了 223 種污染物和四個環境介質（即空氣、水、沉積物和土壤）的保護基準（例如水質標準、沉積物質量指南/標準和慢性無不良效應濃度）。		US.EPA
4	台灣土壤污染物管制與監測標準	-	-	土壤污染定義是指土壤因物質、生物或能量之介入致變更品質，有影響其正常用途或危害國民健康及生活環境之虞。		台灣行政院環境部
5	台灣地下水污染物管制與監測標準	-	-	其地下水污染定義是指地下水因物質、生物或能量之介入，致變更品質，有影響其正常用途或危害國民健康及生活環境之虞。		台灣行政院環境部
6	風險商數	risk quotient	RQ	$\boldsymbol{RQ = \frac{C_i}{C_{QV}}}$	If RQ ≥ 1, the risk posed by the pollutant is high; if RQ < 1, the risk is low	(Cao *et al.*, 2010)

2.4.5 SRF 燃燒產生的污染物及其對人體的危害

根據前述 SRF 燃燒過程污染物之排放調查，污染物種類包括粒狀污染物、氣態污染物（硫氧化物及氮氧化物）、重金屬、有機污染物（例如：多環芳香烴化合物及持久性污染物），以下說明這些污染物對人體健康之影響及危害：

1.持久性有機污染物：

持久性有機污染物（Persistent Organic Pollutants，簡稱 POPs）具有持久性、半揮發性、生物累積性及高毒性，2005 年將 PCDD/Fs 與 PCBs 列為 POPs，產生來源包括：業原料製程（如含氯酚類化合物）的副產物、工業製程的燃燒排放，如工業高溫製程（如水泥窯爐、煉鋼廠、非鐵金屬熔融冶煉、鑄造廠等）。根據調查，SRF 混燒亦會產生 PCDD/Fs 與 PCBs 物質，對人體具有危害、具致癌性。

2.多環芳香烴化合物：

多環芳香烴化合物(PAHs)是一百多種不同化學物質的合稱，當煤、燃油、瓦斯、垃圾等燃燒不完全時就會形成。許多種 PAHs 對人體具有致突變性或致癌性，尤其以苯(α)駢芘(benzo(α)pyrene, BaP)之致癌能力最強，被 IARC 列為一級致癌物。研究指出多 PAHs 在人體代謝產生 PAHs 二醇環氧物，會與去氧核醣核酸(deoxyribonucleic acid, DNA)結合，導致基因突變而增加癌細胞的機率。

3.重金屬：

SRF 燃燒產生之重金屬包含沸點較低之汞，經高溫燃燒易揮發，如未能加以有效捕捉，會穿透防制設備排放於大氣。一旦進入大氣之中，氣態汞則具有長程傳輸能力可飄達數百里之遠，為具長程傳輸特性之有害空氣污染物；而銻(Sb)、鉛(Pb)、砷(As)、鉻(Cr)、鎘(Cd)、鎳(Ni)等重金屬因沸點較高、揮發性低，主要存在飛灰或底渣中被空污設備捕集。**表 2.4-4** 是彙整重金屬對人體健康之影響。

4.塑化劑：

是一種增加材料的柔軟性或使材料液化的添加劑，塑化劑種類高達百種，其中

較常用的有鄰苯二甲酸酯或對羥基苯甲酸酯類。塑化劑較多用於建材、塑膠製品及食品中，常見可能含塑化劑的食品包括瓶裝飲料（運動飲料、果汁或茶等）、果醬、果凍和沖泡式即溶食品、奶油、豬油牛油、肉類和起司等。長期暴露在這些產品之下可能會對人體帶來危害。塑化劑是環境荷爾蒙的一種，可透過皮膚接觸或是呼吸進入人體，並對人體內分泌功能造成不良影響。長時間接觸可能造成男嬰生殖器發育不良，提高孕婦流產風險、女童性早熟、乳房提早發育，男性精蟲減少、生育能力下降、甲狀腺腫大、子宮內膜癌、乳癌等惡性腫瘤、幼兒先天發育不良、學習能力降低等。鄰苯二甲酸乙己酯(DEHP)之每人每日容許攝取量(Tolerable dailyintake, TDI)為 0.05 mg/kg-bw/day。

5.粒狀污染物：

粒狀污染物包含：總懸浮微粒（指懸浮於空氣中，所有粒徑之微粒）、懸浮微粒（指懸浮於空氣中，粒徑在 10 μm 以下之粒子）、細懸浮微粒（指懸浮於空氣中，粒徑在 2.5 μm 以下之粒子）、落塵（指粒徑超過 10 μm，能因重力落下之微粒）、金屬燻煙及其化合物、黑煙（指以碳為主要成分之暗灰色至黑色微粒）、酸霧（指含硫酸、硝酸、磷酸、鹽酸等微滴之煙霧）、油煙（指含碳氫化合物之煙霧）。主要來源包括道路揚塵、車輛排放廢氣、燃燒、營建施工及農地耕作等，由於粒徑小於 10 μm，能深入人體肺部深處，若該粒子附著其他污染物，將加深對呼吸系統之危害。

6.硫氧化物：

為燃料中含硫成份燃料燃燒與空氣中之氧結合者，為具刺激臭味之無色氣體，易溶於水；於空氣中可氧化成亞硫酸，為引起酸雨的主要物質之一。硫氧化物為具刺激臭味之無色氣體，易刺激呼吸系統，產生鼻咽炎、咳嗽、呼吸短促、氣管炎和肺炎。刺激人體的眼和鼻粘膜等呼吸器官，引起鼻咽炎、氣管炎、支氣管炎、肺炎及哮喘病、肺心病等。

7.氮氧化物：

氮氧化物主要包括一氧化氮(NO)及二氧化氮(NO_2)，其生成原因係來自燃燒過程中，空氣中氮或燃料中氮化物氧化而成，一氧化氮為無色無味氣體，稍溶於水，燃燒過程生成之氮氧化物以一氧化氮為主要成份，光化學反應中可反應成二氧化氮。二氧化氮為具刺激味道之赤褐色氣體，易溶於水，在空氣中可氧化成硝酸鹽，亦是造成雨水酸化原因之一。二氧化氮會刺激眼睛、鼻、咽喉及呼吸道的黏膜，接觸低濃度的二氧化氮會令支氣管過敏及加劇哮喘病人對致敏原的反應。此外，二氧化氮亦會令慢性呼吸系統疾病患者的病情惡化。長時間接觸二氧化氮可能會減弱肺部功能以及降低呼吸系統抵抗疾病的能力。

表 2.4-4、各類重金屬對人體健康之影響

元素	對人體之危害
汞	急性支氣管炎, 急性肺炎, 腎臟病, 干擾中樞神經系統，粒線體退化。
銻	引起心血管或肺部的病變，影響生育及發育，高血壓
砷	刺激呼吸及消化系統，傷害肝臟, 影響中樞神經系，引發皮膚癌、肝癌、精神疾病、腎臟癌及肺癌、烏腳病、腎臟病。
鈹	肺炎症狀, 肺出血, 肺癌
鎘	慢性肺疾, 腎功能失調, 肺癌、腎臟病
鉻	皮膚潰瘍, 鼻腔膈膜穿孔, 肺癌
鉛	幼兒永久智商障礙, 幼兒發育遲緩, 出生兒重量不足, 干擾血液, 高血壓症, 腎臟及生殖器官損傷，陽痿，癲癇，抽筋，顫抖，認知功能失調。
錳	中樞神經系統失常，情緒及語言障礙，帕金森斯症
鎳	呼吸系統致癌因子, 引發皮膚過敏
硒	嘔吐, 暈眩, 眼睛和鼻子發炎, 可能為肝臟的致癌因子
錫	傷害肺部
釩	支氣管炎, 類似肺炎症狀
鋁	油條、海蜇皮中含鋁最高，鋁進入細胞後，會與蛋白質和酶等結合，進而干擾器官代謝，特別是骨骼和神經系統；阿茲海默症。

2.4.6 SRF 燃燒產生的污染物所造成之環境風險

固體廢棄物管理的優先順序是為了減少廢棄物產生、盡量縮短廢棄物運輸距離、促進材料或能源回收以及禁止填埋未經處理的廢棄物或無法進一步處理的廢棄物（**圖 2.4-3**）。

圖 2.4-3、固體廢棄物管理優先順序

固體再生燃料(SRF)作為燃料所排放之污染物及造成之環境風險與燃煤、燃氣有所差異；Garg *et al.* (2009) 針對英國能源密集型工業使用 SRF 燃料進行綜合評估，該研究結合四總不同情景分析，發現 SRF 燃料於水泥窯中與煤混燒為最佳方案，對於環境風險則是利用全球暖化指數、酸化潛勢以及冬季霧霾潛勢進行評估，研究結果發現 SRF 可顯著減少溫室氣體產生（**圖 2.4-4**），進而減少空氣污染物對於環境所造成之風險（**表 2.4-5**），且過去研究顯示透過在燃煤電廠中以 SRF 取代 10% 的煤炭（以熱力計算），淨 CO_2 排放量減少約 1500 (g C equiv./kg DS SRF)；在水泥窯中使用 20%的 SRF 可將溫室氣體排放量減少至約 2500(g CO_2 equiv./kg DS SRF)。Al-Moftah *et al.* (2021)於卡達使用氣化固體再生燃料作為天然氣替代燃料，並且針對氣候變遷、酸化潛勢、海洋生態毒性、水資源枯竭以及石化燃料枯竭等五個環境面向進行環境生態風險評估，結果顯示因為引進 SRF 氣化燃料作為替代燃料，使影響氣候變遷之溫室氣體排放量減少 41.3%，而水資源以及石化資源枯竭減少 100 倍，但是酸化潛勢卻沒有明顯差異變化。

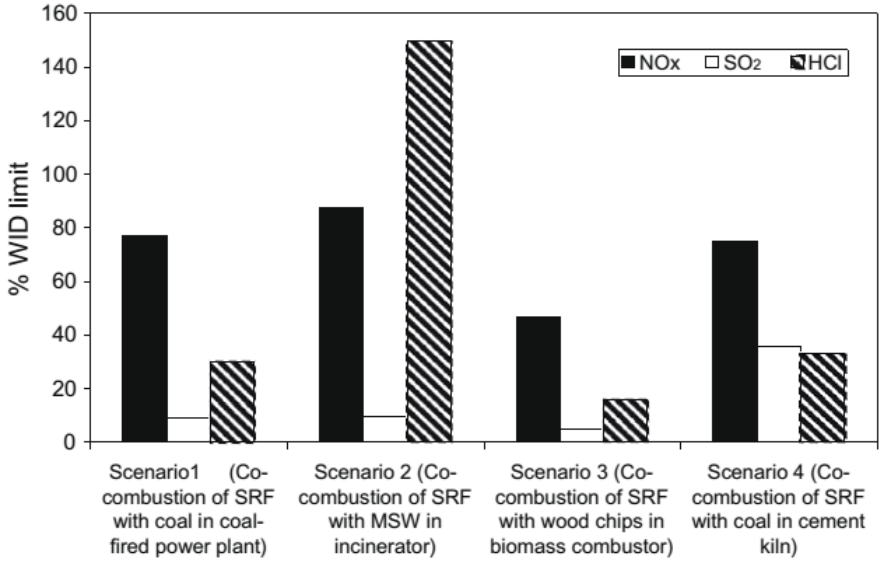


圖 2.4-4、英國能源密集型工業中使用 SRF 燃料產生空氣污染物情形
(Garg *et al*., 2009)

表 2.4-5、SRF 燃料混燒所造成之環境影響排名

Ranking/排名	燃煤電廠與 SRF 燃料混燒	垃圾焚化廠與 SRF 燃料混燒	生質燃燒與 SRF 燃料混燒	水泥窯使用煤燃料與 SRF 燃料混燒
全球暖化指數	2	3	4	1
酸化潛勢	2	3	4	1
冬季霧霾潛勢	3	1	4	2
總體評估	3	2	4	1

[說明：1 表示最佳；4 最差]
[資料來源：Garg *et al.*, 2009]

雖然僅從排放清單概況不能代表整體之健康影響結果，但仍可提供廢棄物衍生燃料進行焚燒的潛在途徑和危害訊息，其中可能存在與廢棄物能源化(Waste-to-Energy, WtE)過程相關的致癌或有毒物質之排放。Cole-Hunter (2020)彙整五篇關於 WtE 設施的排放測試和環境監測文章，與排放監測相關的文章主要分為三類：(1)推估關注的污染物質排放、(2)監測以確保處理技術在去除/減少污染物方面的效率、(3)進行適當監測以確定原料對污染物生成的影響。對健康最令人關切的是塑膠類的都市廢棄物（由碳氫化合物/石油產品組成）的燃燒，這些垃圾在 WtE 的 RDF 中

濃縮，並排放有機化合物和氯化/氟化化合物（例如 PCDD/Fs）、多氯聯苯、呋喃、氯酚，以及單環和多環芳香烴(Karunathilake *et al.*, 2016)。然而有兩項環境監測研究報告指出，在一個意大利焚化爐設施進行了 WtE 升級，包括更嚴格的排放控制措施，主要是為了減少 PCDD/Fs 排放，而粒狀物(PM)排放也有所下降(Buonanno *et al.*, 2010; 2011)。這表明對關鍵污染物（如 PCDD/Fs）進行排放控制具有減少 PM 的效果。有毒物質的健康風險主要與癌症、神經系統和不良的出生結果有關，並且被認為其健康風險大於一般符合管制標準的空氣污染物（如 PM 和氣體化合物）。然而即使暴露於低濃度的 PM，也不是無害的，許多流行病學研究指出 PM 可能帶來一系列風險，包括增加死亡風險、心血管疾病發病率、肺癌等(Hime, 2018)。因此從減少暴露的角度來看，對現有的污染處理設施進行改進，對污染物的排放控制是有益的。此外，一項研究使用雙階段乾式法，即使垃圾的成分變化很大（可能含有高氯含量的廢物），還是成功地從能源化過程排放的氣體中去除了有害的酸性氣體（氯化氫、二氧化硫）(Dal Pozzo *et al*., 2016)。

部分研究指出，依定比例的 RDF（例如特定塑膠、木屑）與傳統燃料（例如煤炭）混合，用於燃燒以及工業加熱應用（例如水泥窯），能有效減少與健康相關的化學物質（例如 PCDD/Fs、汞）的部分或總體排放的潛能(Chen *et al.*,2014；Richards& Agranovski, 2017)。

從環境監測研究的結果，必須對使用 RDF 和 WtE 設施的原料進行管控（例如去除食物廢料），以最大限度實現完全燃燒並最大程度地減少致癌或污染物值排放（例如揮發性有機化合物）。有關包含環境監測研究的更多訊息，請參閱**表 2.4-6**。

表 2.4-6、使用廢棄物衍生燃料之環境監測結果

作者/年份/國家	研究設計/結果	排放/暴露指標	結果	整體評估
Richards and Agranovski (2017)	設計：在非傳統燃料的替代過程中監測煙囪排放 結果：排放因子（千克/噸）	對健康影響關鍵的 DL-PCBs 同系物。澳大利亞 10 個水泥廠的正常營運（基線）和不同比例的替代燃料。	煤炭替換為 RDF 降低了 DL-PCB 和 PCDD/Fs 的排放。	證據品質：中等 風險：降低
Dal Pozzo *et al.* (2016)	設計：對新的處理方法和三種基準方法進行模擬比較 結果：不同參考廢氣物組成的最佳操作配置	從廢棄物和煙道氣體成分中去除酸性氣體。 營運的總年成本（包括運營和資本成本）。	使用新型處理方法，減少廢氣中酸性氣體的排放。使用高氯含量廢料的單級技術設施時，在預除塵部分之前引入石灰投入管線是一種值得考慮的後期改進方法。	證據品質：中等 風險：降低
Chen *et al.* (2014)	設計：在 12 次運行期間對五個典型的水泥窯爐進行煙道氣體採樣 結果：多氯聯苯/多氯二苯醚(PCDD/Fs)的濃度和分佈	水泥窯爐中 PCDD/Fs 的排放濃度。 I-TEQ 值。	當 RDF 被用作輔助燃料燃燒時，PCDDs 的差異微不足道。PCDD/Fs：2.3 至>40 ng/m³，I-TEQ 值：9.3 ~ 90.8 × 10^{-3} ng I-TEQ/m³。	證據品質：中等 風險：低
Buonanno *et al.* (2011)	設計：在焚化爐中進行大氣超細微粒 (UFP)的實驗性監測 結果：過濾效率；粒徑、濃度、特性	大氣超細微粒(UFPs)；重金屬。儀器中子活化分析(INAA)，穿透視電子顯微鏡(TEM)搭配能量色散光譜儀(EDS)。	使用過濾器後粒數濃度減少。濾袋前：2,700,000，濾袋後：2000。	證據品質：強 風險：降低
Buonanno *et al.* (2010)	設計：對排放的粒子大小分佈和化學成分進行特性分析 結果：粒徑、濃度、成分（年平均值）	通過 SMPS/APS 系統對典型焚化爐的下風處進行超過連續 12 個月的環境顆粒物測量。	與背景(其他來源)相比，顆粒數量和質量濃度極微小，為 $8.6\times10^{3}\pm3.7\times10^{2}$ 顆 /cm^{-3} 和 31.1±9.0 gm^{-3}。根據化學成分，大多數元素歸因於遠距離傳輸（自然/人為來源）為“典型的鄉村地點”。	證據品質：強 風險：低

[資料來源：Cole-Hunter *et al.* (2020)]

第三章 執行方法

[章節摘要]

本章說明今年計畫執行之內容及方法，包含：國內 SRF 替代燃料使用廠之盤點與訪廠、污染物排放調查、環境風險評估流程、污染物排放擴散模式、多介質傳輸模式、風險評估相關參數與指標、SRF 模廠環境流布之調查等。

3.1 計畫執行工作

本計畫目標是研析固體生質燃料(SRF)使用場域排放及環境風險評估調查。本計畫主要工作內容說明如下：

1.國內 SRF 替代燃料使用盤點調查，包含燃料種類、爐體溫度及控制設備等。

2.進行至少 12 場次 SRF 使用廠排放調查，調查廢氣、廢水及廢棄物的污染物含量及 SRF 替代燃料之成分分析。

3.使用本土化參數進行環境風險評估。

4.依據調查結果（包含成分分析及排放調查）與各管制標準進行研析討論。

以下章節詳述各工項之執行規劃內容、執行方法、使用的環境檢測技術及環境風險評估流程及方法。

3.2 國內 SRF 替代燃料使用盤點調查，包含燃料種類、爐體溫度及控制設備

國內可使用 SRF 的設施如下，但不涵蓋廢棄物焚化裝置：

1.流體化床式鍋爐。

2.水泥旋窯。

3.金屬冶煉業熔爐。

4.旋轉窯高溫冶煉設施（窯溫達攝氏 1,300 度以上，長度大於 40 公尺；旋轉窯出口之燃燒氣體溫度不得低於攝氏 850 度，滯留時間應達 2 秒以上）。

5.符合再生能源發電設備設置管理辦法之廢棄物發電設備。

6.如非屬前述型態之設施，須經主管機關或目的事業主管機關許可。

SRF 的目的是取代部分燃煤，讓篩選分類出的廢棄物可以再生、再利用，並轉化為蒸氣熱能或發電，目前以流體化床鍋爐為主要使用方式。

今年國內使用 SRF/RDF 為替代燃料之廠家資料更新調查，是從環境部「固定污染源管理資訊公開平台」查詢具有"SRF 或 RDF 為燃料之固定污染源設置、操作及燃料使用許可"，彙整各廠名稱、污染源編號、鍋爐形式、旋窯編號、數量及 SRF/RDF 最大許可使用量等。各廠之燃料種類、燃燒溫度及空氣污染防制設備等資料，同時根據實際訪廠之現況進行更新修正。

訪廠目的是為了實際了解 SRF 使用現況及判斷是否適合作為採樣及風險評估的對象，訪廠彙整的資料包括：建立廠家的基本資料，了解 SRF 燃燒使用之設備型式、規格、投入燃料種類、SRF 之來源、種類、成分、燃燒特性、投料量及混燒比、燃燒條件（例如：爐溫、廢氣出口溫度等）、蒸氣產量、發電量及空氣污染防制設備種類及操作現況等資料。**表 3.2-1** 是彙整 112 年計畫執行的 9 家訪廠簡要資料，今年持續訪視國內其他使用 SRF 的廠家。

表 3.2-1、SRF/RDF 使用廠家之訪廠資料彙整表（112 年）

項次	事業名稱	鍋爐型式	固體燃料使用量(kg/h)		SRF 混燒比(%)	空氣污染防制設備
1	正O大園廠	氣泡式流體化床鍋爐 (E301、E302)	煙煤	1,645	30	鍋爐→選擇觸媒還原(SCR)→袋式集塵機(BF)-PCDD/Fs 觸媒分解濾袋→濕式排煙脫硫(FGD)→煙囪 2 座鍋爐、2 套空污防制設備、一支共用煙囪(P301)
			SRF	690		
2	正O竹北廠	新設生質能汽電程序(M03) 循環流體化床鍋爐 （目前試燒中）	目前試燒中，SRF 分為 SRF-3 及 SRF-5，SRF-3 表示經過脫水、破碎及磁選，但未造粒。SRF-5 表示經過造粒。以後可能燒農林資材與木質顆粒。		60	鍋爐→旋風集塵機→選擇觸媒還原(SCR)→袋式集塵機(BF)-觸媒分解濾袋→濕式排煙脫硫(FGD)→濕式靜電集塵(ESP)→白煙去除→煙囪
3	正O后里廠	循環流體化床鍋爐(E701)	木屑	115	70	鍋爐乾式脫硫(DA)+選擇性非觸媒還原反應(SNCR)→旋風集塵機(CY)→選擇觸媒還原(SCR)→半乾式除酸(SDA)→袋式集塵機(BF)→煙囪
			RDF	12,558		
			廢橡膠	229		
			橡膠片	343		
			SRF	11,987		
			紙漿污泥	11,416		
			煙煤	9,120		
		循環流體化床鍋爐(E801)	煙煤	1,464	70	鍋爐→袋式集塵機(BF)→溼式吸收塔(AB)→煙囪
			SRF	3,425		
			RDF	1,437		
			木屑	342		
			木顆粒	1,142		
4	永O餘新屋廠	循環流體化床鍋爐(E006)	SRF	5,208	43	鍋爐→靜電集塵機(ESP)→袋式集塵機(BF)→煙囪
			廢橡膠	5,208		
			紙漿污泥	5,000		
			煙煤	20,833		

項次	事業名稱	鍋爐型式	固體燃料使用量(kg/h)		SRF 混燒比(%)	空氣污染防制設備
4	永O餘新屋廠	循環流體化床鍋爐(E304)	煙煤	21,300	46	鍋爐→選擇觸媒還原(SCR)→袋式集塵機(BF)→溼式排煙脫硫(FGD)→煙囪
			SRF	7,083		
			廢塑膠	2,083		
			紙漿污泥	6,670		
			有機污泥	1,250		
			廢橡膠	1,250		
		循環流體化床鍋爐(E607)	SRF	8,324	87	鍋爐→選擇觸媒還原(SCR)→袋式集塵機(BF)→溼式排煙脫硫(FGD)→煙囪
			廢橡膠	1,154		
5	大O汽電	循環流體化床鍋爐(E401)	SRF	4,167	62	鍋爐內噴入 25%氨水脫硝(SNCR)→選擇觸媒還原(SCR)→活性碳噴注→袋式集塵機(BF)→濕式排煙脫硫(FGD)→靜電集塵機(ESP)→煙囪
			橡膠製品	2,083		
			食品加工污泥	1,111		
			煙煤	7,305		
			輔助燃料	1,375		
			廢橡膠	2,083		
			紡織污泥	972		
6	廣O造紙台中廠	氣泡式流體化床鍋爐(E010)	廢橡膠	125	66	鍋爐→活性碳噴注+袋式集塵機(BF)除塵→低溫 O_3 氧化脫硝→濕式排煙脫硫(FGD)→煙囪
			木屑	1,000		
			SRF	1,000		
			橡膠片	1,125		
			紙漿污泥	700		
			煙煤	1,750		
			RDF	8,000		

項次	事業名稱	鍋爐型式	固體燃料使用量(kg/h)		SRF 混燒比(%)	空氣污染防制設備
7	日O造紙觀音廠	循環流體化床鍋爐(E111)	RDF/SRF	2,550	65-70	鍋爐內噴注含碳酸鈣污泥（乾式脫硫）+爐內噴入 20%氨水脫硝(SNCR)→活性碳噴注→袋式集塵機(BF)→濕式排煙脫硫(FGD, 30% NaOH 水溶液)→煙囪
			紙漿污泥	530		
			煙煤	590		
8	力O楊梅廠	蒸氣鍋爐(E137)	煙煤	4,300	15	鍋爐內噴注石灰石粉（乾式脫硫）→爐內噴入尿素脫硝(SNCR)→袋式集塵機(BF)→濕式排煙脫硫(FGD)→煙囪
			紡織殘料	200		
			紡織污泥	600		
9	台O汽電官田廠	循環流體化床鍋爐(E002)	煙煤	21,534	30	鍋爐內噴注石灰石粉（乾式脫硫）+爐內噴入 20%氨水脫硝(SNCR)→靜電集塵機(ESP)除塵→煙囪
			廢橡膠	6,582		
			SRF	6,500		

3.3 進行至少 12 場次 SRF 使用廠排放調查，調查廢氣、廢水及廢棄物的污染物含量及 SRF 替代燃料之成分分析

3.3.1 污染物排放調查之廠址選擇

SRF 原料來源複雜，使用 SRF 的加熱設備種類多樣、操作條件不盡相同，加上既有燃燒機組非以 SRF 燃料設計，因此操作過程可能產生污染物排放至大氣環境中，對環境及生物造成危害。本計畫進行至少 12 場次 SRF 實廠污染物排放調查，藉以實際了解污染物的排放狀況，同時做為進行環境風險評估之依據。

1.檢測對象（廠址）選擇

國內使用 SRF 之廠家(蒸氣產生鍋爐、汽電共生鍋爐及水泥窯等)共有 20 家，112 年國環院相關 SRF 研究計畫已針對北部及中部地區 SRF 使用量或污染物排放量較大之廠家進行調查，共檢測 5 廠（7 場次），以造紙廠為主（**表 3.3-1**）。今年（113 年)的檢測對象擴大範圍至南部及東部地區，同時納入不同的製程與設備(例如：汽電共生、水泥旋窯，**表 3.3-2**)。考量投入燃料種類的多樣性(例如：包含煤、廢橡膠、廢污泥、生活垃圾等)、SRF 使用量（**表 3.3-3**）、混燒比較大之廠家優先進行。依此條件，本計畫初步優先挑選永 O 餘新屋廠等 8 家，各家選址理由如**表 3.3-4**。原則上若第一次檢測結果有廠家的污染物排放值遠低於法規標準，建議不再進行第二次檢測，安排改測其他 SRF 使用廠，使國內 SRF 使用廠之污染物調查資料更趨完整。不過檢測對象於計畫執行時，必須根據實際訪廠後的結果及計畫需求進行調整，此外，亦必須獲得國環院同意後始得進行採樣檢測工作。

表 3.3-1、112 年完成污染物調查之使用 SRF 廠家

112 年完成調查廠家						
項次	廠名	製程編號	鍋爐編號	排放管道	行業別	說明
1	正O大園廠	M03	E301、E302	P301	造紙	完成 5 廠（7 場次）
2	正O后里廠	M08	E801	P801	造紙	
3	大O汽電	M04	E401	P401	汽電共生	
4	廣O台中廠	M07	E010	P005	造紙	
5	日O觀音廠	M01	E111	P111	造紙	

表 3.3-2、尚未完成調查之廠家及 113 年初擬之採樣對象

尚未調查					
項次	廠名	行業別	SRF 使用製程	鍋爐編號	113 年初步規劃採樣對象
1	正O竹北廠	造紙	鍋爐蒸氣產生程序(M02) 混紙漿紙污泥	E201	O
2					
3	永O餘楊梅廠	造紙	鍋爐蒸氣產生程序(M02)	E002	O
4	永O餘新屋廠	造紙	鍋爐汽電共生程序(M01)	E006	-
5			鍋爐汽電共生程序(M03)	E304	-
6			鍋爐汽電共生程序(M06)	E607	O
7	永O餘清水廠	造紙	鍋爐蒸氣產生程序(M04)	E008	O
8			鍋爐蒸氣產生程序(M05)	E018	-
9	正O后里	造紙	鍋爐汽電共生程序(M01)	E001	-
10			鍋爐蒸氣產生程序(M02)	E002	-
11			鍋爐汽電共生程序(M07)	E701	-
12			鍋爐汽電共生程序(M17)	EA01	-
13	廣O台中	造紙	鍋爐蒸氣產生程序(M10)	E015 E016	-
14			鍋爐蒸氣產生程序(M11)	E111	-
15			鍋爐汽電共生程序(M12)	E101	-
16	揚O實業彰濱廠	再生能源電廠	鍋爐發電程序(M02)	E201	-
17			鍋爐發電程序(M03)	E301	-
18	台O鋼聯	煉鋼集塵灰再利用	其他金屬或無機鹽製造程序(M03)	E063	-
19	台O石化麥寮一廠	石化	鍋爐汽電共生程序(M28)	ES01	O
20			鍋爐汽電共生程序(M29)	ET01	-
21	上O資源循環嘉義廠	造紙	鍋爐發電程序(M05)	E501	-
22	台O汽電官田廠	汽電共生	鍋爐發電程序(M01)	-	-

23	中O紙漿久堂廠	造紙	鍋爐汽電共生程序(M04)	-	O
24	宗O綠能	木質顆粒	其他發電作業程序(M02)	E202 E203	-
25	潤O精密材料宜蘭冬山廠	水泥	水泥製造程序(M01)	E090	-
26	台O水泥蘇澳廠	水泥	水泥製造程序(M03)	E308	O
27	台O水泥和平廠	水泥	水泥製造程序(M01)	E139	-
28	亞O水泥花蓮廠	水泥	水泥製造程序(M01)	E107	-
29			水泥製造程序(M02)	E209	O
30			水泥製造程序(M03)	E314	-

[註]此為計畫初步挑選對象。

表 3.3-3、112 年 SRF 申報統計量

項次	廠名	產品代碼 170044 （公噸）	產品代碼 170399 （公噸）	小計 （公噸）	排序
1	正O大園廠	4740.297	0	4740	12
2	大O汽電	26602.97	6135.034	32738	4
3	日O觀音廠	13511.61	0	13512	6
4	正O竹北廠	40245.776	0	40246	3
5	永O餘楊梅廠	0	136.02	136	17
6	永O餘新屋廠	94526.09	0	94526	1
7	永O餘清水廠	9183.43	0	9183	10
8	正O后里	41558.71	27732.36	69291	2
9	廣O台中	611.5	23091	23703	5
10	揚O實業彰濱廠	0	0	0	-
11	台O鋼聯	1918.7	337.9	2257	15
12	台O石化麥寮一廠	9208.56	0	9209	9
	台O石化麥寮三廠	0	12084.793	12085	7
13	上O資源循環嘉義廠	218.268	0	218	16
14	台O汽電官田廠	3620	0	3620	13
15	中O紙漿久堂廠	7411.16	0	7411	11
16	宗O綠能	6.64	0	6.64	18
17	潤O精密材料宜蘭冬山廠	0	0	0	-
18	台O水泥蘇澳廠	10423.85	0	10424	8
19	台O水泥和平廠	3483.38	0	3483	14
20	亞O水泥花蓮廠	0	0	0	-
小計		267271	69566	336837	-

資料來源：「事業廢棄物申報資料與管理系統」

表 3.3-4、初步規劃 113 年進行 SRF 實廠採樣建議廠址及選擇理由

項次	廠商	縣市地區	選址理由
1	永〇餘新屋廠	桃園市	・鍋爐汽電共生程序 ・SRF 專燒爐 ・SRF 申報量最多
2	永〇餘清水廠	台中市	・鍋爐蒸氣產生程序 ・投入燃料種類多 ・SRF 混燒比約 25.8%
3	台〇石化 麥寮一廠	雲林縣	・石化業 ・鍋爐汽電共生程序
4	台〇水泥 蘇澳廠	宜蘭縣	・水泥業 ・旋轉窯 ・投入燃料種類多樣
5	中〇紙漿久堂廠	高雄市	・鍋爐汽電共生程序 ・投入燃料種類多樣 ・SRF 混燒比約 17.6%
6	正〇 竹北廠	新竹縣	・鍋爐汽電共生程序 ・SRF 申報使用量大、混燒比高
7	亞〇水泥 花蓮廠	花蓮縣	・水泥業 ・旋轉窯 ・投入燃料種類多樣
8	永〇餘 楊梅廠	桃園市	・鍋爐蒸氣產生程序

[註]檢測對象於計畫執行時，必須根據實際訪廠後的結果及計畫需求進行調整，此外亦必須獲得國環院同意後始得進行採樣檢測工作。

3.3.2 污染物排放調查之檢測規劃

SRF 實廠污染物排放調查，調查項目包含燃料成分分析，廢氣、廢水及廢棄物中污染物的含量，污染物檢測項目、數量及檢測方法彙整如**表 3.3-5**，包含：持久性有機污染物(PCDD/Fs)、多環芳香烴化合物(PAHs)、重金屬及 PSN（粒狀物、硫氧化物及氮氧化物）及塑化劑檢測，其中採集的 PCDD/Fs 及部分塑化劑樣品送交國環院進行分析。

表 3.3-5、污染物檢測項目及數量

項目		數量	說明	檢測方法
1.排放管道	(1)持久性有機污染物採樣	12 場次	包含 PCDD/Fs	• 採樣：「排放管道中戴奧辛類化合物採樣方法」(NIEA A807.75C) • 分析：排放管道中戴奧辛及呋喃檢測方法 (NIEA A808.75B)，樣品送國環院分析
	(2)多環芳香烴化合物檢測	12 場次	19 種 PAHs	• 「排放管道中多環芳香烴之檢測方法－氣相層析質譜法」(NIEA A730.70C)
	(3)重金屬檢測	12 場次	項目包括：Pb、Cd、Hg、Al、As、Cr、Cu、Ni、Se、Zn 等 10 項。	• 「排放管道中重金屬檢測方法」(NIEA A302.73C)
	(4)PSN 檢測	12 場次	包含粒狀物、硫氧化物及氮氧化物	• 排放管道中粒狀污染物採樣及其濃度之測定方法(NIEA A101.77C) • 排放管道中二氧化硫自動檢測方法－非分散性紅外光法、紫外光法、螢光法(NIEA A413.76C) • 排放管道中氮氧化物自動檢測方法－氣體分析儀法(NIEA A411.75C)
	(5)塑化劑採樣	12 場次	鄰苯二甲酸二甲酯(DMP) 鄰苯二甲酸二乙酯(DEP) 鄰苯二甲酸二丁酯(DBP) 鄰苯二甲酸丁基苯甲酯(BBP) 鄰苯二甲酸二辛酯(DNOP) 鄰苯二甲酸乙己酯(DEHP)	• 檢測：排放管道中半揮發性有機物檢測方法－氣相層析串聯式質譜儀法(NIEA A812.70B)
2.廢水	(1)持久性有機污染物採樣及前處理	12 件	包含 PCDD/Fs	• 採樣：「水中戴奧辛及呋喃採樣方法」(NIEA W790.51B)

項目		數量	說明	檢測方法
				• 分析：樣品送國環院分析
	(2)重金屬檢測	12 件	項目包括：Pb、Cd、Hg、Al、As、Cr、Cu、Ni、Se、Zn 等 10 項。	• 分析：「水中金屬及微量元素檢測方法—感應耦合電漿原子發射光」(NIEA W311.54C)執行 • Hg 分析：「水中汞檢測方法－冷蒸氣原子吸收光譜法」(NIEA W330.52A)
	(3)塑化劑採樣	12 件	鄰苯二甲酸二甲酯(DMP) 鄰苯二甲酸二乙酯(DEP) 鄰苯二甲酸二丁酯(DBP) 鄰苯二甲酸丁基苯甲酯(BBP) 鄰苯二甲酸二辛酯(DNOP) 鄰苯二甲酸乙己酯(DEHP)	• 採樣：水中半揮發性有機化合物檢測方法－氣相層析質譜儀法 (NIEA W801.55B) • 分析：樣品送國環院分析
3.廢棄物（底渣、飛灰）	(1)持久性有機污染物採樣及前處理	24 件	PCDD/Fs	• 採樣:「廢棄物焚化灰渣採樣方法」(NIEA R119.00C) • 分析：樣品送國環院分析
	(2)重金屬檢測	24 件	項目包括：Pb、Cd、Hg、Al、As、Cr、Cu、Ni、Se、Zn 等 10 項。	• 採樣：「廢棄物焚化灰渣採樣方法」(NIEA R119.00C) • 前處理：「廢棄物及底泥中金屬檢測方法－酸消化法」(NIEA M353.02C)或「沈積物、污泥及油脂中金屬元素總量之檢測方法－微波消化原子光譜法」(NIEA R355.00C) • 分析：「感應耦合電漿原子發射光譜法」(NIEA M104.02C)以感應耦合電漿原子發射光譜儀(ICP-AES)

項目		數量	說明	檢測方法
				• Hg 分析：「固體與液體樣品中總汞檢測方法—熱分解汞齊原子吸收光譜法」(NIEA M318.01C)
	(3)塑化劑採樣	24 件	鄰苯二甲酸二甲酯(DMP) 鄰苯二甲酸二乙酯(DEP) 鄰苯二甲酸二丁酯(DBP) 鄰苯二甲酸丁基苯甲酯(BBP) 鄰苯二甲酸二辛酯(DNOP) 鄰苯二甲酸乙己酯(DEHP)	• 樣品送國環院分析
4.燃料特性分析	(1)元素分析	24 件	項目包括：S、Cl 等 2 項	• 固體再生燃料採樣方法 (NIEA M195.00C) • 固體再生燃料中硫、氯、氟及溴含量檢測方法(NIEA M217.00C)
	(2)重金屬檢測	24 件	項目包括：Pb、Cd、Hg、Cu、Al 等五項。	• 固體再生燃料採樣方法 (NIEA M195.00C) • 固體再生燃料中金屬及微量元素檢測方法(NIEA M360.01C) • Hg 分析：固體與液體樣品中總汞檢測方法－熱分解汞齊原子吸收光譜法(NIEA M318.01C)
	(3)採樣及樣品前處理	24 件	鄰苯二甲酸二甲酯(DMP) 鄰苯二甲酸二乙酯(DEP) 鄰苯二甲酸二丁酯(DBP) 鄰苯二甲酸丁基苯甲酯(BBP) 鄰苯二甲酸二辛酯(DNOP) 鄰苯二甲酸乙己酯(DEHP)	• 樣品送國環院分析

3.3.3 污染物排放調查方法

依投標須知所述工作內容，本計畫對每一場（廠）家於 SRF 燃燒使用過程針對燃料成分、排放管道之廢氣、廢棄物（例如：底渣及飛灰）、廢水進行污染物採樣及分析作業，燃料成分分析與各類污染物之檢測方法說明如下，廢氣、廢水及廢棄物中各種成分含量分析之 QA/QC 規範擇要內容參見附件五。

一、燃料之採樣及成分分析

有關 SRF 採樣方法係參照「固體再生燃料採樣方法(NIEA M195.00C)，使用手動採樣，於每種 SRF 存放處進行隨機採樣，每批次 SRF 採樣的子樣品數至少為 24，子樣品的最小重量依 NIEA M195 相關規定，樣品混合均勻後進行縮分，取得足夠待測樣品量送樣分析。運送時，潮濕樣品保存於 4±2℃；乾燥樣品則保存於乾燥陰涼處，樣品以紙袋密封保存，並於樣品容器外貼上標籤及封條。SRF 的採樣日期是盡量配合煙囪的污染物採樣同步來執行，主要目的是想了解 SRF 成分與煙囪排出污染物之相關性。例如：某廠煙囪廢氣 PCDD/Fs 採樣日這天會進行 SRF 採樣，根據檢測當天燃燒的 SRF 種類數及混燒配比進行 SRF 混樣，最後再送樣分析。

SRF 檢測分析方法係依據「固體再生燃料製造技術指引與品質規範」附表五相關規定或 NIEA 公告方法執行，例如：SRF 分析項目（包含：氯、硫）參照「固體再生燃料中硫、氯、氟及溴含量檢測方法(NIEA M217.00C)」；重金屬（鉛、鎘、汞、銅等）分析參照「固體再生燃料中金屬及微量元素檢測方法(NIEA M360.01C)」，汞分析參照「固體與液體樣品中總汞檢測方法–熱分解汞齊原子吸收光譜法(NIEA M318.01C)」，藉此了解 SRF 所含的這些元素成分與污染物生成之關係。至於 SRF 中之塑化劑樣品送交國環院執行分析工作。

二、污染物排放調查

（一）排放管道檢測

1.持久性有機污染物(PCDD/Fs)採樣

排放管道持久性有機污染物(PCDD/Fs)採樣是依據環境部公告之「排放管道中戴奧辛類化合物採樣方法」(NIEA A807.75C)執行，採樣後的樣品送交國環院進行分析。排放管道排放粒狀物及氣狀物所含之持久性有機污染物以等速的方式被抽取，經採樣管、濾紙及充填於吸附管之吸附劑進行收集。採樣完成後，採樣管線依序以丙酮、二氯甲烷及甲苯清洗，執行樣品回收。採樣組裝設備如**圖 3.3-1**，樣品回收程序如**圖 3.3-2**，至於採樣相關校正品質規定及品保品管需求則參見**表 3.3-6~表 3.3-7**。一般同一採樣地點每批次（至多 10 件）樣品應有一現場空白，每一批次或每 10 個樣品至少要做一次實驗室空白分析及空白添加分析或查核樣品分析。其中空白添加分析或查核樣品分析回收率，PCDD/Fs 須落在 70~130%範圍內。樣品交由國環院進行分析。

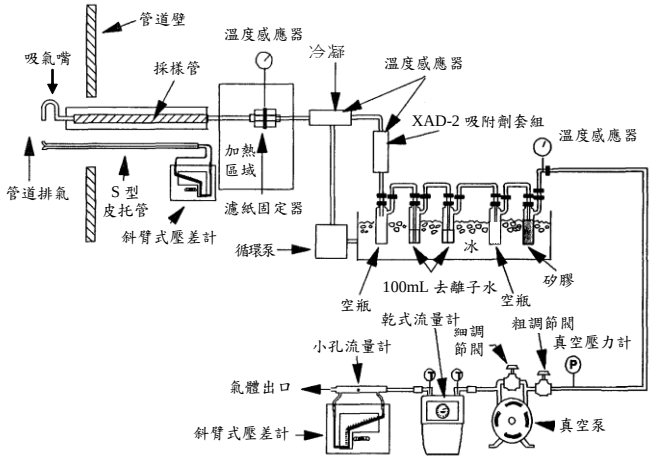


圖 3.3-1、排放管道中 PCDD/Fs 採樣裝置

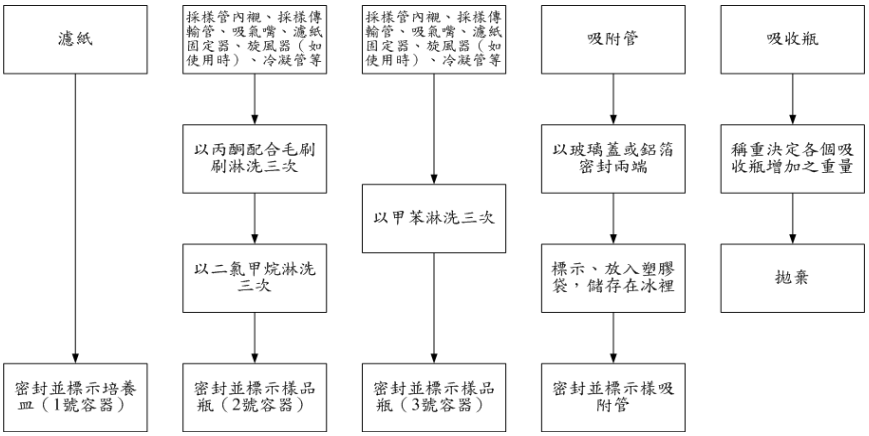


圖 3.3-2、排放管道中 PCDD/Fs 樣品回收流程

表 3.3-6、排放管道中 PCDD/Fs 採樣設備校正品質規定

設備	方式	頻率	管制值
一級標準流量計	校正	1年	誤差在±1%以內
二級參考流量計	校正	1年或使用200小時後	Y_{ds}在0.95至1.05之間，最大與最小Y_{ds}之差值不得大於0.03
乾式氣體流量計	校正	6個月	1.Y_i和Y_{avg}之差值在±2%以內 2.$\Delta H_{@i}$和其平均值之差值在±5.08 mm H_2O以內
乾式氣體流量計	檢查	採樣後	Y_{post}和Y_{full}之差值≦5%
溫度計、熱電偶	校正	6個月	如方法九、（一）1.（2）規定
氣壓計	檢查	採樣前	誤差在±2.5 mm Hg以內
吸氣嘴	確認吸氣嘴入口為圓形構造	採樣前	最大值與最小值之差值不得大於 0.1 mm
皮托管	風洞校正或確認構造特性	採樣前	構造特性如NIEA A450.四、（一）3.
天平	檢查	現場	測得重量和標準砝碼重量誤差在± 0.5g以內

表 3.3-7、排放管道中 PCDDs/PCDFs 採樣品質規定

方式	頻率	管制
採樣設備校正	如表2.2.2.3-1	如表2.2.2.3-1
管道排氣組成測定裝置測漏	測定前	滲漏率不得大於0.2 mL/4 min
計量系統測漏	配合採樣主機校正時(6個月)執行	氣體加壓至13至18公分，無洩漏現象
水分採樣組裝測漏	每次採樣前及採樣後	不得大於平均採樣速率的4%或0.00057 m^3/min (0.020 cfm)，以二者之較低者為準
Δp計水平	每次採樣前、後	水平
皮托管測漏	每次採樣前及採樣後	吹氣至7.6 cm水柱，維持穩定15秒以上
皮托管方向檢查	每次採樣時	皮托管為水平在氣流垂直方向沒有明顯旋轉
採樣組裝測漏	採樣前後或更換組件時	不得大於平均採樣速率的4%或0.00057 m^3/min (0.020 cfm)，以二者之較低者為準
採樣管、傳輸管、濾紙、吸附管及矽膠衝擊瓶能維持在特定溫度範圍	每次採樣時	採樣管及濾紙、傳輸管維持在120至134℃，吸附管入口及矽膠衝擊瓶出口氣體溫度能維持小於 20 ℃
採樣空白	如方法九、（一）2.	如方法九、（一）2.

2.多環芳香烴化合物檢測

排放管道中多環芳香烴化合物(PAHs)之採樣及檢測依據環境部公告之「排放管道中多環芳香烴之檢測方法－氣相層析質譜法」(NIEA A730.70C)執行之，粒狀及氣狀污染物中多環芳香烴化合物由排放管道中等速抽引收集於採樣組裝前半部（濾紙、採樣管、吸氣嘴）、XAD-2 樹脂吸附劑及衝擊瓶等，分析方法需用同位素稀釋，並於所有樣品中添加一定量之內標準品，且以適當有機溶劑萃取，萃取液經初步淨化後再以氣相層析質譜儀(GC/MS)分析，檢測固定污染源排放之十九種多環芳香烴化合物(PAHs)。採樣組裝示意圖如**圖 3.3-3**，包括吸氣嘴、採樣管、加熱套式微粒收集濾紙、冷凝管、吸附劑套組及後半部三個衝擊瓶、矽膠乾燥管（4 號衝擊瓶），購買市售預洗過之 XAD-2 樹脂，依據方法所述於採樣組裝前再淨化。樣品採樣回收後加入適量內標準品經過索氏萃取及多層管柱淨化，以 GC/MS 分析，其檢量線起始校正之相對標準偏差(RSD)應<30%，檢量線連續校正之查核 RRFs 必須落在起始校正平均值 30%內。在品質管制上，可接受之擬似標準品（現場添加）回收率須介於 50~150%；實驗室方法空白的含量不能超過 PQL 或現場樣品待測物濃度的 5%。

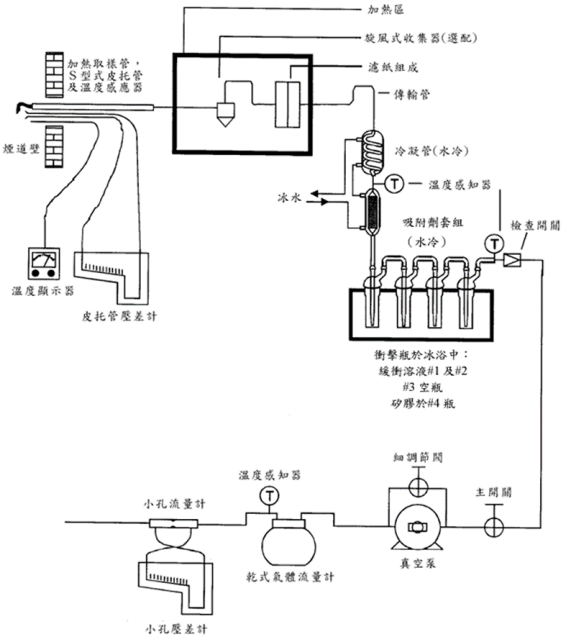


圖 3.3-3、多環芳香烴化合物採樣組裝示意圖

3.重金屬檢測

本執行團隊規劃排放管道重金屬項目包括：Pb、Cd、Hg、Al、As、Cr、Cu、Ni、Se、Zn 等 10 項。依據環境部公告之標準方法「排放管道中重金屬檢測方法」(NIEA A302.73C)執行。該方法係參考美國環保署所公告之標準方法 Method 29，樣品從排放源以等速吸引方式採樣，排放之粒狀物收集在採樣管內及濾紙上，而排放之氣態部份以酸化過氧化氫溶液（分析包含汞在內之待測金屬）及酸化高錳酸鉀（只分析汞）溶液收集。收集之樣品經消化並取適當量以冷蒸氣原子吸收光譜儀(CVAAS)測定汞；以感應耦合電漿原子發射光譜儀(ICP-AES)或感應耦合電漿質譜儀(ICP-MS)測定其他重金屬。詳細的採樣裝置如**圖 3.3-4**，樣品回收及分析如**圖 3.3-5** 及**圖 3.3-6**。

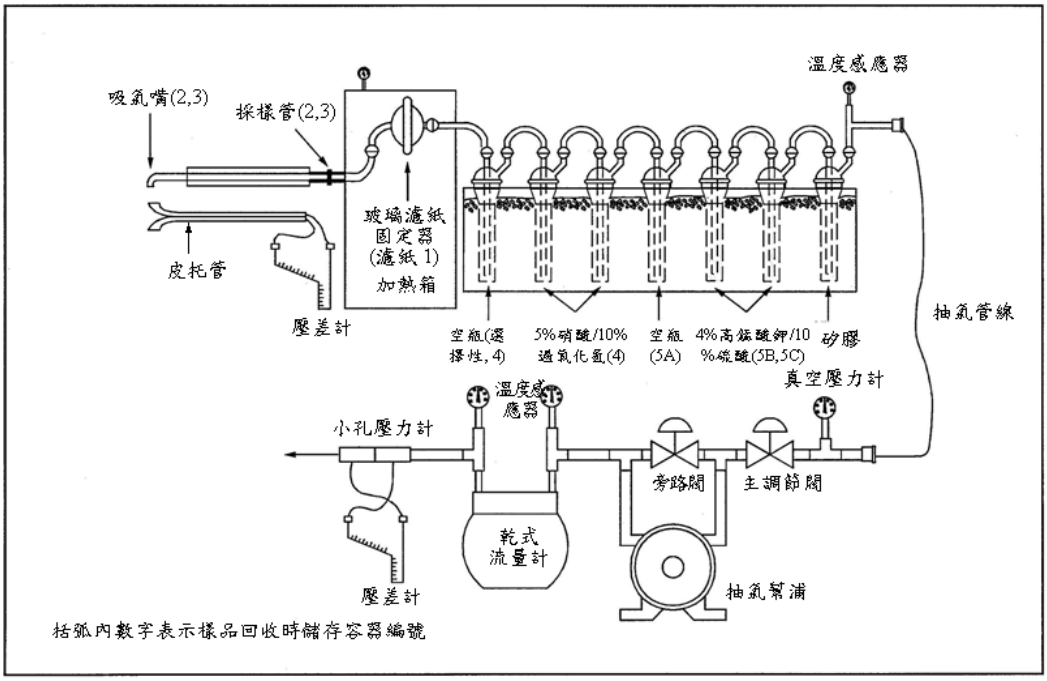


圖 3.3-4、煙道排氣中重金屬分析採樣裝置

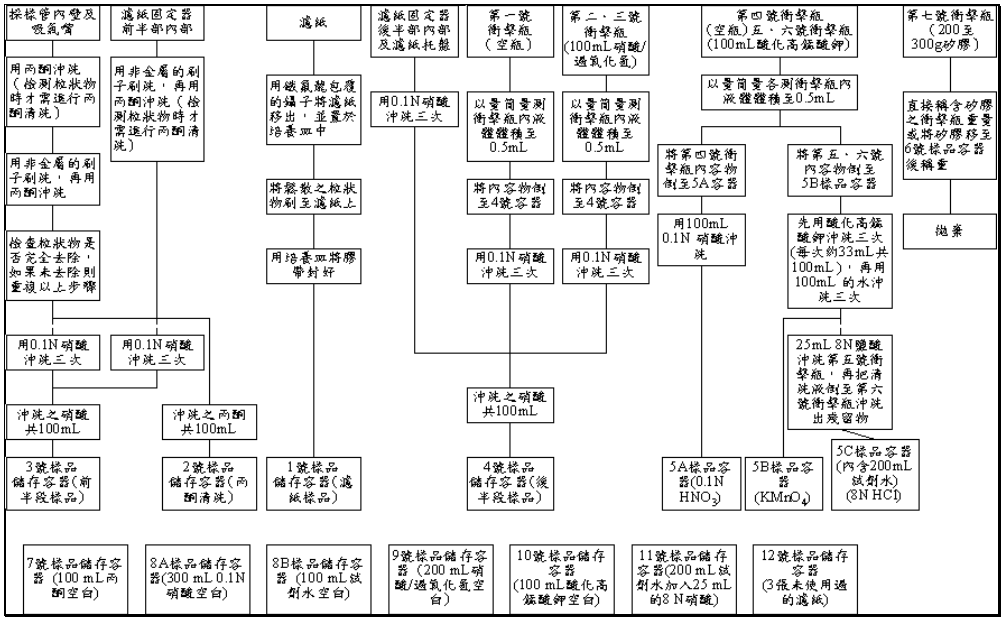


圖 3.3-5、煙道排氣中重金屬分析樣品回收流程

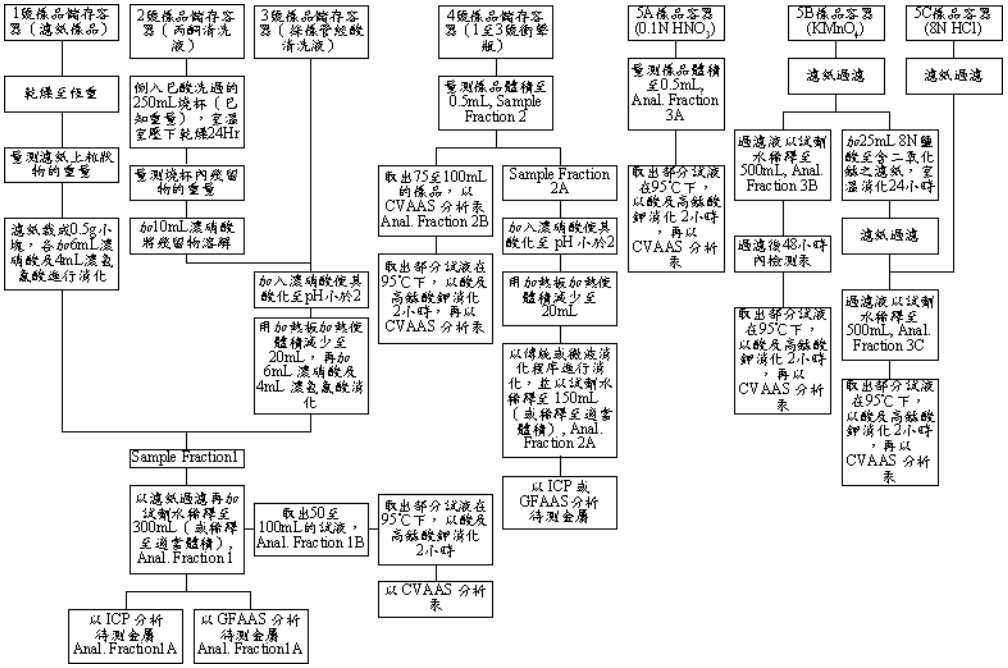


圖 3.3-6、煙道排氣中重金屬分析樣品準備及分析架構

4.排放管道 PSN 檢測

排放管道 PSN 檢測包含粒狀污染物、硫氧化物及氮氧化物之檢測，分述如下：

(1) 粒狀污染物：採樣及檢測依據環境部公告之「排放管道中粒狀污染物採樣及其濃度之測定方法」(NIEA A101.77C)執行之，欲採取排放管道（包括管道、煙囪、排氣管路）排氣中之粒狀污染物測定其濃度或組成分含量時，須先選擇測定位置，設置測定孔以及決定測定點。粒狀物捕集器及吸氣嘴（或僅吸氣嘴）由測定孔插入排放管道內部，吸氣嘴之前端置於預定的測定點，以等速吸引(Isokinetic suction)法採樣，粒狀物捕集器所捕得之粒狀物質量及流率吸引裝置所吸得之氣體量，用本測定方法求出粒狀物之濃度。

(2) 硫氧化物：採樣及檢測依據環境部公告之「排放管道中二氧化硫自動檢測方法－非分散性紅外光法、紫外光法、螢光法」(NIEA A413.76C)，從排放管道中連續抽出氣體，引入非分散性紅外光(Nondispersive Infrared, NDIR)、紫外光(Ultraviolet)或螢光(Fluorescence)分析儀內，以測定其中所含二氧化硫之濃度。

(3) 氮氧化物：採樣及檢測依據環境部公告之「排放管道中氮氧化物自動檢測方法－氣體分析儀法」(NIEA A411.75C)，從排放管道中連續抽出氣體，經過 NO_2/NO 轉換器，樣品氣體中之二氧化氮轉換為一氧化氮後，導入氣體分析儀，以測定樣品氣體所含氮氧化物之濃度。若不經過 NO_2/NO 轉換器，則量測之測定值為 NO 的濃度。將所測得氮氧化物濃度減掉 NO 的濃度即可得出 NO_2 的濃度。

5.排放管道塑化劑

排放管道中塑化劑檢測包含鄰苯二甲酸二甲酯(DMP)、鄰苯二甲酸二乙酯(DEP)、鄰苯二甲酸二丁酯(DBP)、鄰苯二甲酸丁基苯甲酯(BBP)、鄰苯二甲酸二辛酯(DNOP)、鄰苯二甲酸乙己酯(DEHP)。檢測依據環境部公告之「排放管道中半揮發性有機物檢測方法－氣相層析串聯式質譜儀法(NIEA A812.70B)，以等速方式抽取，經採樣管、濾紙及充填於吸附管之吸附劑進行收集。採樣完成後，採樣管線依序以丙酮及二氯甲烷清洗，執行樣品回收，

回收之樣品經萃取濃縮後，以氣相層析串聯式質譜儀(Gas chromatograph tandem mass spectrometer, GC/MS/MS)分析，測定其待測物濃度。

（二）廢棄物檢測

1.底渣及飛灰採樣

由鍋爐產生之灰渣包括底渣及飛灰兩部份，本計畫參照環境部所公告之「廢棄物焚化灰渣採樣方法」(NIEA R119.00C)進行廢棄物採樣，底渣採樣地點以貯坑、貯存袋/桶優先考量，飛灰則選擇排灰輸送管道或貯存袋/桶上採樣。

2.底渣及飛灰之重金屬分析

依環境部公告之「廢棄物及底泥中金屬檢測方法－酸消化法」(NIEA M353.02C)或「沈積物、污泥及油脂中金屬元素總量之檢測方法－微波消化原子光譜法」(NIEA R355.00C)標準方法進行前處理，灰樣品以電熱板或微波方式進行酸消化，最後稀釋至適當體積，再依環境部公告之「感應耦合電漿原子發射光譜法」(NIEA M104.02C)以感應耦合電漿原子發射光譜儀(ICP-AES)分析之。灰之汞分析，則依據環境部公告之「固體與液體樣品中總汞檢測方法—熱分解汞齊原子吸收光譜法」(NIEA M318.01C)標準方法執行之，樣品置於可程式控制之氧氣分解爐中，經乾燥及熱與化學分解，使汞從樣品中釋出，熱分解後之產物隨即被空氣或氧氣載送到含金之汞齊器，其中汞即可被選擇性地捕集。此捕集系統續經氧氣流沖洗，去除殘留氣體或分解產物後，接著快速升溫，以使汞蒸氣釋出。攜帶汞蒸氣的氣流最後通過單一波長原子吸收光譜儀光徑上之吸收槽，由 253.7 nm 波長之吸收值（波峰高度或面積）與汞濃度之函數關係，求得樣品中汞的濃度。

3.底渣及飛灰之持久性有機污染物(PCDD/Fs)檢測

有關灰中持久性有機污染物(PCDD/Fs)檢測係依據環境部公告之「戴奧辛及呋喃檢測方法—同位素標幟稀釋氣相層析/高解析質譜法」(NIEA M801.13B)標準方法執行之，底渣及飛灰樣品交由國環院進行分析。

4.底渣及飛灰之塑化劑分析

底渣及飛灰之塑化劑含量分析由國環院執行。

（三）廢水檢測

1.水中持久性有機污染物(PCDD/Fs)檢測

水中持久性有機污染物(PCDD/Fs)採樣係依據環境部公告之「水中戴奧辛及呋喃採樣方法」(NIEA W790.51B)標準方法執行，採集水樣後，進行水樣過濾吸附前處裡工作，經冷凍乾燥樣品交由國環院進行分析。

2.水中重金屬檢測

廢水重金屬檢測依據環境部公告之標準方法「水中金屬及微量元素檢測方法—感應耦合電漿原子發射光」(NIEA W311.54C)執行。本方法係利用感應耦合電漿質譜儀 (Inductively coupled plasma-mass spectrometer, ICP-MS)檢測水樣中重金屬。利用適當之霧化器 (Nebulizer) 待測樣品溶液先經霧化處理後，藉由載送氣流輸送，將形成含待分析元素之氣膠 (Aerosol) 輸送至電漿中，經由一系列去溶劑、分解、原子化/離子化等反應，待分析元素形成單價正離子，再透過真空界面傳輸進入質譜儀 (Mass spectrometer)，藉由質量分析器 (Mass-analyzer) 各特定質荷比 (Mass-to-charge ratios) 之離子予以解析後，以偵測系統加以偵測。水中汞檢測則以「水中汞檢測方法－冷蒸氣原子吸收光譜法」(NIEA W330.52A)執行，水中的汞經硝酸、硫酸及高錳酸鉀及過硫酸鉀溶液氧化成為兩價汞離子後，以還原劑氯化亞錫或硫酸亞錫或氫硼化鈉還原成汞原子，經由氣體載送至吸收管，以原子吸收光譜儀在波長 253.7nm（或其他汞之特定波長）處之最大吸光度定量之。

3.廢水之塑化劑分析

廢水中塑化劑檢測包含鄰苯二甲酸二甲酯(DMP)、鄰苯二甲酸二乙酯(DEP)、鄰苯二甲酸二丁酯(DBP)、鄰苯二甲酸丁基苯甲酯(BBP)、鄰苯二甲酸二辛酯(DNOP)、鄰苯二甲酸乙己酯(DEHP)。檢測依據環境部公告之「水中半揮發性有機化合物檢測方法－氣相層析質譜儀法(NIEA W801.55B)。廢水之塑化劑含量分析由國環院執行。

3.3.4 SRF 使用程序之污染物排放濃度數據匯整

依據實廠排放管道、廢水及廢棄物之污染物檢測，本計畫彙整相關污染物之排放濃度（**表 3.3-8**）。

表 3.3-8、SRF 使用之污染物排放濃度調查數據彙整（範例）

場次	工廠名稱	鍋爐型式	空污防制設備	PSN			塑化劑 (ppm)	多環芳香烴化合物 ($ng\text{-}BaPeq/Nm^3$)	PCDD/Fs ($ng\text{-}TEQ/Nm^3$)
				粒狀物 (mg/Nm^3)	SO_2 (ppm)	NO_x (ppm)			
1	A		SCR+BF+FGD						
2	B								
3	C								
場次	工廠名稱	鍋爐型式	廢棄物（底渣/飛灰）	重金屬 (mg/kg)			塑化劑 (ppm)	PCDD/Fs ($ng\text{-}TEQ/g$)	
1	A								
2	B								
3	C								
場次	工廠名稱	鍋爐型式	廢水	重金屬 (mg/kg)			塑化劑 (ppm)	PCDD/Fs ($pg\text{-}TEQ/L$)	
1	A								
2	B								
3	C								

3.4 使用場域環境風險評估

環境風險評估標準模式之方法及步驟、進行 SRF 模廠環境風險評估實場驗證，評析造成環境風險的主要污染物。

環境風險評估係採用科學性方法，評估某一特定區域的環境壓力（包含化學物質、自然災害與其他人類行為）對於受體造成不良影響之機率，依據評估受體的不同，又可區分為以人類受體為主之健康風險評估，以及以植物、動物與生態系統為標的之生態風險評估。其中，生態風險評估係整合環境化學、環境毒理學、水文學及地球科學等條件，根據污染（環境壓力 stressor）程度、生態受體暴露情形，決定生態受體是否受到威脅。

環境風險評估是對一種化學物質暴露於環境中可能發生的生態環境負面影響進行估計和評估的過程，其目的是鑑定可接受和不可接受環境風險，為風險評估之後的環境管理決策提供依據，環境風險評估包含四個過程：危害確認、濃度-效應評估、環境暴露評估和環境風險特徵描述。其中危害確認及濃度-效應評估同屬環境危害性評估的範疇。

3.4.1 環境風險評估流程

本計畫是以 SRF 燃燒過程排放之污染物對環境可能造成之風險危害進行評估，環境風險評估執行步驟如**圖 3.4-1**，說明如下：

(1)危害確認：對於 SRF 使用或燃燒所產生之污染物種類、濃度、排放量、生成機制、傳輸途徑及危害進行了解，同時針對這些化學物質的物化及生態毒理學資料，確定出應該給予關切的環境效應，並進行危害性分類。

(2)濃度-效應評估：結合生態毒理學資料，利用統計外推或評估係數方法，確定出“預測無效應濃度”(Predicted No-Effect Concentration, PNEC)。

(3)環境暴露評估：使用所有獲得的與環境暴露相關的資訊，建立暴露情境，基於數據或模式計算結果，確定出“預測環境濃度”(Predicted environmental concentration, PEC)。

(4)風險特徵描述：根據前三步驟結果綜合評定所關切生態環境暴露於化學物質的環境風險。經由 PEC 和 PNEC 的比率來判斷化學物質對各種生態環境將發生負面效應的可能性，據此評估化學物質風險是否可接受。

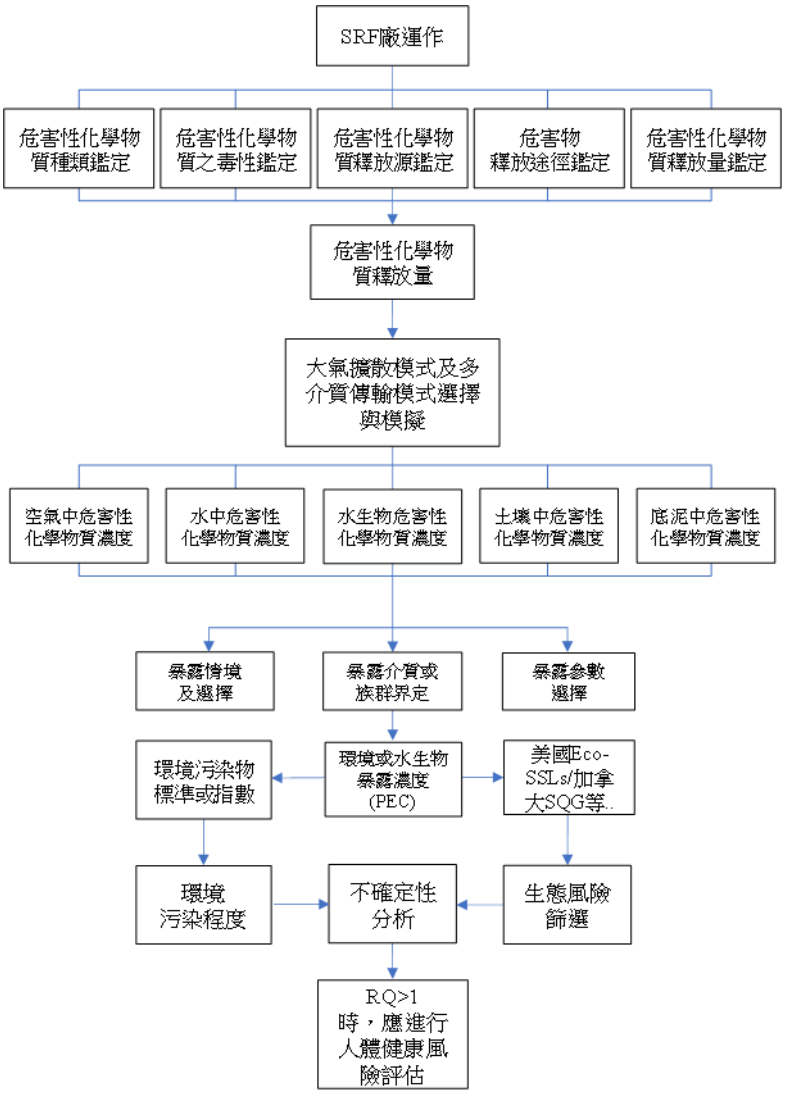


圖 3.4-1、SRF 使用排放污染物之環境風險評估流程

3.4.2 污染物排放擴散模擬

美國環保署針對空氣污染物之傳輸模擬主要使用擴散模式、光化學物質模式及受體模式；而各模式皆針對污染物擴散特性及其排放量、擴散地區及其地形複雜度有其適用性。擴散模式包括 ISCST3 (Industrial Source Complex Short-Term/Long-Term Dispersion Model)及 AERMOD 模式；光化學物質模式較常見的為社區多尺度空氣品質(CMAQ, Community Multiscale Air Quality)模式；受體模式是以常見的化學質量平衡模式(CMB, Chemical Mass Balance) 及正矩陣因子模式(PMF, Positive Matrix Factorization)為首。

本研究使用 AERMOD 並以穩定之高斯煙流為基礎(Steady–State Gussian Plume Model)，假設連續排放之污染源，在大氣中經過擴散、稀釋、沉降等作用，到達穩定的狀態，擬使用擴散模式模擬廠區地區污染物於大氣擴散結果，找出污染物於該地區之最大濃度著地點。AERMOD (AMS/EPA Regulatory Model)模式是由 USEPA 及美國氣象學會(American Meteorology Society, AMS)所組成之法規模式改進委員會 (AMS/EPA Regulatory Model Improvement Committee, AERMIC)共同發展，目的為取代模擬誤差較大的 ISC3 (Industrial Source Complex Short Term Dispersion Model)，應用最新的擴散理論與運算技術，進而使模式預測的準確度提高，且使用較為簡單的方式將複雜地形中氣流及擴散(Dispersion)的觀念導入模式，並利用行星邊界層紊流結構、尺度等觀念所解析之空氣污染擴散現象來發展此套新的空氣品質模式。AERMOD 是一個穩態的煙流模式（**圖 3.4-2**），含括地表參數與高煙囪污染源，可適用於簡單與複雜地形，其具有以下幾個特點：

1.以行星邊界層紊流結構與理論為基礎，按紊流結構與尺度概念，其擴散係數由參數化方程式給定，穩定度以連續參數表示。

2.在對流的條件下，計算煙流的濃度採用非常態的高斯分布。

3.在對流的條件下，考慮了煙流因熱浮力上升至混合層頂部的相互作用。

4.增加對地形高度影響的演算方法，使模式能模擬中等至複雜地形。

5.考慮建築物下洗作用和都市邊界層的影響。

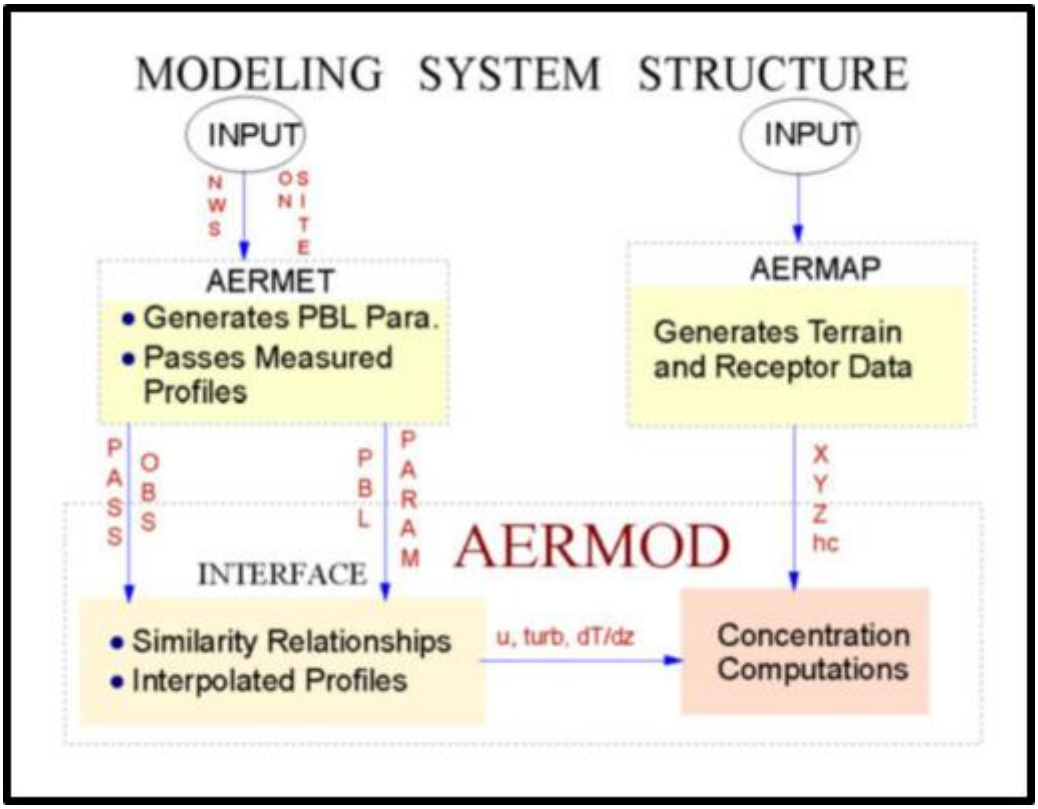


圖 3.4-2、AERMOD 模式系統之作業流程

3.4.3 污染物之多介質傳輸模式

本研究以 AERMOD 模式模擬污染物濃度分布趨勢，並可同時模擬污染物之濃度暨乾濕沈降通量。而本計畫目標環境介質的預測環境濃度(Predicted environmental concentration，PECs)可以多介質模式加以預測，此模式採用美國加州政府環境健康危害評估辦公室 (Office of Environmental Health Hazard Assessment California Office of Environmental Health Hazard Assessment, the U.S. Environmental Protection Agency) 所發布之評估指引(The Air Toxic Hot Spots Program Risk Assessment Guideline Manual for Preparation of Health Risk Assessment)來進行不同介質（例如：空氣、土壤、水體及魚類）中化學物質 PECs 之估算。

本研究另擬參考 USEPA 報告(Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities)進行底泥介質 PECs 之估算。而健康風險評估可根據點估計(point–estimate exposure assumption)與機率分布(the stochastic treatment of data distribution)結果進行之。加州環保署(Cal EPA)分為四個層級來進行，第一層級(Tier-1)以點估計方式進行；第二層級(Tier-2)如果有當地的暴露參數，

則依然用點估計方式引用當地暴露參數計算健康風險；第三層級(Tier-3)以機率分布方式計算之；第四層級(Tier-4)以當地之機率分布結果計算。但第二至第四層級之計算依然需包括第一層級之點估計資料，因此本計畫之多介質與風險分析結果乃進行 Tier-3 之分析，環境資料盡量參考當地或全台灣之調查資料，物質之濃度、沉降量等利用 Monte-Carlo 機率分布之結果進行多介質分析，結果取其 50%與 95%信賴區間上限值進行環境健康風險評估。多介質傳輸估算說明如下：

一、多介質傳輸途徑估算：

由空氣進入土壤、水、植物與動物之濃度估算：

（一）空氣濃度之估算：使用大氣擴散模式模擬所得之污染物濃度。

（二）土壤濃度之估算：

公式 A-1：$\mathbf{C_s} = \frac{\mathrm{Dep} \times \mathrm{X}}{\mathrm{K_s} \times \mathrm{SD} \times \mathrm{BD} \times \mathrm{T_t}}$

1.$\boldsymbol{C_s}$：評估時期之平均土壤濃度(μg/kg)

2.$\boldsymbol{Dep}$：每日之土壤平均沉降量(μg/m^2-d)，使用大氣擴散模式模擬所得之沉降量

3.$\boldsymbol{X}$：土壤堆積之積分函數(d)；見公式 A-2

4.$\boldsymbol{K_s}$：土壤消除常數(d^{-1})；見公式 A-3

5.$\boldsymbol{SD}$：土壤混和深度(m)

6.$\boldsymbol{BD}$：土壤體積密度(kg/m^3)

7. $\boldsymbol{T_t}$：總評估期(year)

公式 A-2：$\boldsymbol{X} = \left[\frac{e^{(-K_s \times T_f)} - e^{(-K_s \times T_o)}}{K_s}\right] + \boldsymbol{T_t}$

1.$\boldsymbol{K_s}$：土壤消除常數(d-1)；見公式 A-3

2.$\boldsymbol{T_f}$：評估終止期(d)

3.$\boldsymbol{T_0}$：評估開始時間(d)

4.$\boldsymbol{T_t}$：總評估期 Tf-To(d)

公式 A-3：$\boldsymbol{Ks = \frac{0.693}{t_{1/2}}}$

$\boldsymbol{t_{1/2}}$：各物質之土壤半衰期(d)

（三）水中濃度之估算：

公式 B-1：$\boldsymbol{C_w = C_{depw}}$

1.$\boldsymbol{C_w}$：水中平均濃度(μg/kg)

2.$\boldsymbol{C_{depv}}$：空氣直接沉降量(μg/kg)

公式 B-2：$\boldsymbol{C_{depw}} = \frac{\text{Dep} \times \text{SA} \times 365}{\text{WV} \times \text{VC}}$

1.$\boldsymbol{Dep}$：每天於水體之直接沉降量(μg/m^2/d)

2.$\boldsymbol{SA}$：水體表面積(m^2)

3.WV：水體體積(kg)

4.$\boldsymbol{VC}$：水體每年置換次數

二、估算底泥中污染物濃度

本研究目標污染物吸附於沉積物的濃度，故須由下列公式計算之。相關公式參考至 USEPA (2005). Human Health Risk Assessment Protocol for Hazardous Waste Combustion Facilities。

(1)污染物吸附於底泥層中的濃度：

$$C_{sb} = f_{bs} \times C_{wtot} \times \left(\frac{Kd_{bs}}{\theta_{bs}+Kd_{bs}\times C_{BS}}\right) \times \left(\frac{d_{wc}+d_{bs}}{d_{bs}}\right)$$ 公式 C-1

參數代號	涵義	單位
C_{sb}	污染物吸附於底泥層中的濃度	mg/kg
f_{bs}	污染物沉澱在底泥層之濃度比例	無因次
C_{wtot}	污染物在總水體（包含水體層與底泥層中的濃度）	mg/L
K_{dbs}	土壤與土壤孔隙水中的分配系數	L /kg
θ_{bs}	土壤孔隙率（水/沉積物）	無因次
C_{BS}	底床泥沙濃度	g/cm^3
d_{wc}	水體層深度	m
d_{bs}	底泥層深度	m

(2)部分污染物沉澱在底泥層之濃度比例：

$$f_{bs} = 1 - f_{wc}$$ 公式 C-2

參數代號	涵義	單位
f_{bs}	部分污染物沉澱在底泥層之濃度比例	無因次
f_{wc}	部分污染物在水體層之濃度比例	無因次

(3)污染物在水體層中的濃度：

$$C_{wctot} = f_{wc} \times C_{wtot} \times \frac{d_{wc}+d_{bs}}{d_{wc}}$$ 公式 C-3

參數代號	涵義	單位
C_{wctot}	污染物在水體層中的濃度	mg/L
f_{wc}	部分污染物在水體層之濃度比例	無因次
C_{wtot}	污染物在總水體中的濃度	mg/L
d_{wc}	水體層深度	m

d_{bs}	底泥層深度	m

(4)污染物在水中濃度(水質模擬結果)：

$$C_{dw} = \frac{C_{wctot}}{1+kd_{sw}\times TSS\times(1\times10^{-6})}$$ 公式 C-4

參數代號	涵義	單位
C_{dw}	污染物在水中濃度（水質模擬結果）	mg/L
C_{wctot}	污染物在水體層中的濃度	mg/L
kd_{sw}	污染物在土壤（底泥）與水間的分配係數	L/kg
TSS	總懸浮固體物濃度	mg/L
1×10^{-6}	單位轉換係數	kg/mg

(5)部分污染物在水體層之濃度比例：

$$f_{wc} = \frac{(1 + kd_{sw} \times TSS \times 1 \times 10^{-6}) \times d_{wc}/d_z}{(1 + kd_{sw} \times TSS \times 1 \times 10^{-6}) \times d_{wc}/d_z + (\theta_{bs} + Kd_{bs} \times C_{BS}) \times d_{bs}/d_z}$$

公式 C-5

參數代號	涵義	單位
f_{wc}	部分污染物在水體層之濃度比例	無因次
kd_{sw}	污染物在土壤（底泥）與水的分配係數	L/kg
TSS	總懸浮固體物濃度	mg/L
1×10^{-6}	單位轉換係數	kg/mg
d_z	水體總深度	m
θ_{bs}	土壤孔隙率（水/沉積物）	無因次
kd_{bs}	污染物在土壤與土壤孔隙水中的分配系數	L/kg
C_{BS}	底床泥沙濃度	g/cm^3
d_{wc}	水體層深度	m
d_{bs}	底泥層深度	m

3.4.4 不確定性與敏感度分析

本計畫使用蒙地卡羅模擬(Monte Carlo simulation)來模擬暴露參數或假設條件所造成的不確定性估計。蒙地卡羅模擬法可解決具有特定機率分布的隨機變數問題，以求得一客觀之模擬結果。

蒙地卡羅模擬多應用於製造已知或假設機率分布之隨機亂數，並將此一符合特定機率分布的亂數代入模式中加以運算，以求得該參數經重複抽樣後之特有的變異度，因此在風險判定上之不確定性及變異性亦可採用此數值之分析結果。使用蒙地卡羅模擬法進行不確定性分析，可以經由累積分布函數描述機率性風險的分布，以呈現毒性物質可能產生風險的中數值（如第 50 百分位）及上限值（第 95 百分位）。

若蒙地卡羅分析無法達成分析暴露劑量之分布機率，且於風險特徵描述時無法進一步分析風險機率分布之目的，或所能獲得之資料無法符合蒙地卡羅分析之需求時，則不考慮進行蒙地卡羅分析。例如：若風險推估僅是以單一個案（某位暴露者）為對象，並已收集到完整且準確的各項參數資料，由於參數不確定性並不存在，因此蒙地卡羅模擬法在此個案中並不適用。對於變異程度（不確定性）較大的參數才需要進行蒙地卡羅模擬（如不同介質的模擬濃度）。本計畫在計算健康風險時應用了大量的參數資料，然而以往在風險估算時所使用的參數值，大都是各項研究結果的平均值或單一測量值，但對於整個族群而言，這些參數存在有一定的變異特徵與機率分布情形，若這些參數的變異性予以忽略，則無法真正瞭解推估結果的不確定性為何。

本計畫選定蒙地卡羅分析不同模式參數後，亦需先設定各個參數的分布型態。蒙地卡羅模擬是以抽樣機率為基礎，為能滿足針對每一個參數所設定的變異特徵（如設定某參數之平均數、標準差等），本計畫設定抽樣 5,000 個樣品，以符合當初設定的分布型態與描述性統計值。本計畫 AERMOD 模擬後各網格點之暴露濃度差異極大，因此各危害物濃度以蒙地卡羅進行不確定性估算。

3.5 計畫調查結果（包含成分分析及排放調查）與各管制標準進行研析討論

3.5.1 SRF 品質解析

SRF 成分與混燒後之污染物排放濃度有密切關係，本計畫首先彙整 SRF 成分檢測值，氯(Cl)、鉛(Pb)、鎘(Cd)、汞(Hg)含量與環境部「固體再生燃料製造技術指引與品質規範」（**表 2.3-9** 及**表 2.3-10**）進行含量比較與分析。

3.5.2 使用 SRF 之污染物排放結果

以下以持久性有機污染物為例，進行 SRF 使用過程之 PCDD/Fs 生成與排放解析之案例來說明：

表 3.5-1 是彙整去年計畫三場次之 PCDD/Fs 濃度檢測值，其中排放管道（煙囪）之實測濃度（未經含氧校正）介於 0.030~0.072 ng-TEQ/Nm^3，以 C 廠測值最高，三廠之 PCDD/Fs 煙氣濃度依其燃料投入量皆符合現行排放標準（A 廠<0.5 TEQ/Nm^3、其他廠<0.1 ng-TEQ/Nm^3），不過 C 廠測值經 6%含氧校正後(0.103 ng-TEQ/Nm^3 @O_2=6%)超過 115 年加嚴後使用資源循環燃料「鍋爐空氣污染物排放標準標準」修正草案<0.1 ng-TEQ/Nm^3 規定。

底渣濃度介於 0.003~0.048 ng-TEQ/g，低於有害廢棄物認定標準(<1.0 ng-TEQ/g)，飛灰濃度介於 0.005~2.140 ng-TEQ/g，其中 A 廠的飛灰 PCDD/Fs 濃度(2.14 ng-TEQ/g)超過標準，該廠已申報 C 類有害廢棄物進行處理。三廠之廢水 PCDD/Fs 濃度皆低於現行放流水標準(< 5 pg-TEQ/L)。

表 3.5-1、PCDD/Fs 排放濃度彙整（案例）

廠家	飛灰 (ng-TEQ/g)	底渣 (ng-TEQ/g)	FGD 原水 (pg-TEQ/L)	排放廢水 (pg-TEQ/L)	排放管道 (ng-TEQ/Nm^3)		
					實測值-未含氧校正	11%含氧校正值	6%含氧校正值
B	0.005	0.003	4.77	0.138	0.030	0.041	0.062
A	2.140	0.030	222	0.694	0.065	0.059	0.089
C	0.951	0.048	106	0.548	0.072	0.069	0.103
PCDD/Fs 相關排放標準	有害廢棄物認定標準 < 1.0 ng-TEQ/g		-	放流水標準 < 5 pg-TEQ/L	• 中小型廢棄物焚化爐 PCDD/Fs 管制及排放標準： 小型焚化爐(投入量< 4 噸/h)PCDD/Fs：< 0.5 ng-TEQ/Nm^3 (@O_2=11%) 中型焚化爐(投入量≥ 4 噸/h)PCDD/Fs：< 0.1 ng-TEQ/Nm^3 (@O_2=11%) • 固定污染源 PCDD/Fs 排放標準：<0.5 ng-TEQ/Nm^3 實測值 • 鍋爐空氣污染物排放標準修正預告草案(113.6.20)： 從生效日至 114.12.31 為 0.1 ng-TEQ/Nm^3 實測值 115.1.1 以後 < 0.1 ng-TEQ/Nm^3 (@O_2=11%) 117.1.1 以後 < 0.1 ng-TEQ/Nm^3 (@O_2=6%)		

3.5.3 使用 SRF 之污染物生成解析

以下為 PCDD/Fs 生成解析（以 C 廠為案例說明）：C 廠 PCDD/Fs 採樣期間投入之燃料包含煙煤、漿紙污泥、SRF(RDF)、木屑及橡膠片等，採樣期間各種燃料之投入量如**表 3.5-2**，其中 SRF(RDF)佔比約 47.2%。進一步分析 SRF(RDF)的來源包含自製及隆 O 公司，2 種 SRF(RDF)之混燒投入比為 1：2，SRF(RDF)成分較為複雜，包含廢紙排渣、塑膠、棉布、纖維等，2 種 SRF(RDF)依投入比例進行混樣後，送實驗室進行分析，結果如**表 3.5-3**，其中氯(Cl)含量為 0.42%。

C 廠的燃燒設備為氣泡式流體化床，**表 3.5-4** 是採樣期間鍋爐及空污防制設備操作參數，爐膛溫度 920~960℃，為了去除燃燒產生的氮氧化物，於爐內添加 20%氨水(80.4 L/h)，進行選擇性非觸媒還原反應(SNCR)。空氣污染防制設備包含管道內噴注入活性碳吸附氣相 PCDD/Fs，活性碳噴注量約 10 kg/h，並以袋式集塵機去除微粒及活性碳，為了進一步去除氮氧化物，於 FGD 入口管道加入 O_3，O_3 濃度 82 g/m^3，O_3 添加量 22 kg/h，酸性氣體則以濕式排煙脫硫。

表 3.5-5 為 C 廠本次 PCDD/Fs 排放檢測值，其中煙囪排氣之 PCDD/Fs 實測濃度為 0.072 ng-TEQ/Nm^3，符合現行 PCDD/Fs 排放標準(投入量>4 噸/hr, PCDD/Fs <0.1 ng-TEQ/Nm^3)，若校正為 O_2=11%及 6%時之濃度分別為 0.069 及 0.103 ng-TEQ/Nm^3，符合「鍋爐空氣污染物排放標準修正草案」113 之規定(< 0.1 ng-TEQ/Nm^3)，但超過 115 年之排放限值，飛灰 PCDD/Fs 濃度 0.951 ng-TEQ/g。該廠鍋爐的燃燒溫度>850℃，同時採用活性碳吸附氣相 PCDD/Fs，經換算 C 廠之單位氣體體積活性碳注入量約為 131 mg-AC/Nm^3，高於一般的活性碳投入量建議值(50~100 mg-AC/Nm^3)。但活性碳是吸附氣相 PCDD/Fs，因此 PCDD/Fs 由氣項轉為固相，飛灰中 PCDD/Fs 濃度增加，已接近 1.0 ng-TEQ/g。

進一步分析 C 廠 PCDD/Fs 流佈（**表 3.5-6**），以飛灰存在佔比最高(78.1%)，其次是底渣(15.8%)，顯示 C 廠大部分之氣相 PCDD/Fs 已被活性碳吸附，與固相 PCDD/Fs 一起被袋式集塵機所捕集。

表 3.5-2、C 廠 PCDD/Fs 採樣期間投入的燃料種類

項次	燃料種類		投入量(T/h)	佔比(%)
1	SRF	自製	1.25	15.7
2		隆 O	2.50	31.5
3	煙煤		1.6	19.5
4	漿紙污泥		0.6	7.5
6	木屑		1.0	12.6
7	橡膠片		1.1	13.2
小計			8.0	100

表 3.5-3、C 廠 SRF 之組成分析

種類	組成	組成
SRF 元素分析	S (%)	<0.1
	Cl (%)	0.42

[註]採樣單位：工研院；分析單位：台灣檢驗科技股份有限公司。

表 3.5-4、C 廠採樣期間鍋爐及空污防制設備操作參數

鍋爐	操作參數
20%氨水(L/h)	80.4
水(T/h)	53
水蒸氣(T/h)	52
電力(kWh)	51200
爐膛溫度(℃)	920~960
BF	
入口溫度(℃)	177.5
壓降(mm H_2O)	158
活性碳(kg/h)	10
O_3	
O_3 濃度(g/m^3)	82.5
O_3 添加量(kg/h)	22
FGD	
壓降(mm H_2O)	
Na(OH)(kg/d)	954
洗滌液流率(m^3/h)	305
煙囪	
排氣量(Nm^3/min)-乾基	1272.3

表 3.5-5、C 廠之 PCDD/Fs 排放檢測濃度

介質	PCDD/Fs 濃度
底渣 (ng-TEQ/g)	0.048
飛灰 (ng-TEQ/g)	0.951
FGD 廢水 (pg-TEQ/L)	106
放流水 (pg-TEQ/L)	0.548
排放管道 (ng-TEQ/Nm^3)	實測值 0.072 (O_2=10.5%) 0.069 (@O_2=11%) 0.103 (@O_2=6%)

[註]採樣單位：工研院；分析單位：國環院。

表 3.5-6、C 廠之 PCDD/Fs 廠內流佈分析

位置	項目	數值	Output (%)
底渣	PCDD/Fs 濃度(ng-TEQ/g)	0.048	15.8
	底渣產率(kg/h)	297.6	
	PCDD/Fs 產率(μg-TEQ/h)	14.285	
飛灰	PCDD/Fs 濃度(ng-TEQ/g)	0.951	78.1
	飛灰產率(kg/h)	74.4	
	PCDD/Fs 產率(μg-TEQ/h)	70.754	
FGD 排廢水	PCDD/Fs 濃度(pg-TEQ/L)	106	0.002
	廢水流率(L/h)	15	
	PCDD/Fs 產率(μg-TEQ/h)	0.002	
排氣管道	PCDD/Fs 濃度(ng-TEQ/Nm^3)	0.072	6.1
	排氣量(Nm^3/min)	1,272.3	
	PCDD/Fs 產率(μg-TEQ/h)	5.496	
鍋爐系統小計	PCDD/Fs 產率(μg-TEQ/h)	90.537	100

3.5.4 污染物減量之建議措施

SRF 雖可解決廢棄物去化及降低碳排量，但 SRF 的成份比煤複雜、尺寸也較大，因此若以 SRF 為替代燃料進行燃燒或與煤等燃料混燒，完全燃燒的需求時間較長且相關污染物的排放與單純燃煤情形不同，此外，混燒 SRF 會比單純燒煤產生的灰量增加 4-6 倍。而污染物之種類及其排放濃度又與燃料及 SRF 種類、鍋爐及燃燒器型式、混燒比例、燃燒條件及空氣污染防制設備等有密切關係，因此本計畫規劃從以下各面向來探討污染物的生成原因及減少污染物排放之改善策略：

1.確實掌握 SRF 種類、組成、水分、尺寸等及詳實記錄檢測當天鍋爐操作相關條件及狀況，例如：燃料成分、進料比例、燃燒溫度等條件、空氣污染防治設備操作狀況，配合污染物之檢測數據進行污染物之排放解析，同時與各管制標準進行研析討論。

2.了解 SRF 燃燒對鍋爐之影響

了解 SRF 與燃料之混燒情形，同時針對鍋爐操作上可能發生之問題，例如 SRF 之塑膠成分會造成鍋爐設備腐蝕、黏壁沉積、影響流體化狀況等，蒐集相關資料，了解成因並提出可行之解決方案。

3.污染物減量措施及設備建議

本計畫以持久性有機污染物(PCDD/Fs)、重金屬、多環芳香烴化合物、PSN（粒狀物、硫氧化物及氮氧化物）及塑化劑為檢測對象，因此為了減少目標污染物的排放，須對各污染物可能的生成來源進行了解，找出污染物生成之主因，同時蒐集污染物之減量措施，例如：

一、持久性有機污染物(PCDD/Fs)

持久性有機污染物(PCDD/Fs)的生成原因眾多，包含 SRF 中含有 PCDD/Fs 因高溫而逸散出來，或是由於 SRF 成份中的含 Cl 物質，於爐內燃燒不完全所生成的 PCDD/Fs 前驅物，於爐內發生異相縮合反應或於爐外低溫再合成產生 PCDD/Fs。

低溫再合成的理論是由與 PCDD/Fs 結構無關的有機碳源（如活性碳、殘餘碳、soot 等）與無機氯(Cl)化合物，在金屬催化劑($CuCl_2$)的存在之下 (Wang *et al.*, 2002; Chin *et al.*, 2012; Ryu *et al*., 2005)，在溫度 200~400℃，經由重組反應而生成，飛灰表面吸附鍵結的碳(C)會與氧、水及無機氯，經由 Cu(II)的催化反應，生成環狀的芳香族結構物，包括含氯的有機物及 PCDD/Fs 等，故飛灰被認為是重要的因子，他提供了生成反應所需的碳源、氯源、催化物質、活性表面等，而 $CuCl_2$ 則是生成 PCDD/Fs 之觸媒。因此於 SRF 燃燒過程之 PCDD/Fs 減量措施建議包含：

1.降低 SRF 中的含氯量：根據 Nasrullah *et al.* (2015)分析可作為 SRF 原料之各種廢棄物中 Cl 含量比較（**表 3.5-7**、**圖 3.5-1**），以硬質塑膠和橡膠中的氯含量較高。此外，SRF 原料中的總 Cl 約有 60%會殘留於 SRF 產品中。

2.於燃燒最佳熱值條件下，找出污染物濃度最低之燃料/SRF 配比。

3.藉由良好鍋爐燃燒條件，減少爐內生成 PCDD/Fs 前驅物，包括儘量保持連續運轉，減少啟停爐次數、避免爐內過負荷燃燒、保持良好燃燒條件等（爐溫>850℃、停留時間 2 秒）。

4.避免低溫再合成反應，包含定期去除積灰、廢氣降溫採急冷方式縮短廢氣通過低溫再合成反應溫區之時間。

5.使用空氣污染防治設備例如：活性碳吸附及觸媒氧化處理氣相 PCDD/Fs，固相 PCDD/Fs 則以袋式集塵機捕集粒狀物。

6.添加抑制劑：硫(S)抑制 PCDD/Fs 生成之反應機制包含：(1)迪亞康反應(Deacon reaction)是氯(Cl_2)主要來源，Cu、Fe 觸媒是迪亞康反應之重要觸媒，硫能毒化 Cu、Fe 觸媒生成硫化物，減少 Cl_2 生成。(2)SO_2 能與 Cl_2 反應為 HCl。(3)Cu 和 Fe 的硫酸鹽可減緩含氯前驅物（氯苯、氯酚）之縮合反應 (Amand and Kassman, 2013)。故藉由控制低的 Cl/S (HCl/SO_2)莫爾比，不僅能降低鍋爐設備腐蝕速率，亦能減少 PCDD/Fs 生成。但添加 S 量必須適量，添加太多 S 會造成粒狀物濃度及 PCDD/Fs 產率增加。

表 3.5-7、SRF 原料中之元素分析

元素	單位	紙與卡片	硬質塑膠	軟質塑膠	紡織品	橡膠	泡棉	木屑
Cl	wt%	0.2	3.0	0.14	1.0	8.0	0.2	0.075
S	wt%	0.1	0.08	0.08	0.2	0.5	0.1	<0.02
Al	mg/kg	11400	3300	4600	2600	2900	1500	510
Fe	mg/kg	1100	1000	8000	1700	1900	1500	690
Cu	mg/kg	20	3.6	78	21	1400	16	5.0
Pb	mg/kg	9.5	400	76	17	250	16	3
Cd	mg/kg	0.1	2.7	0.2	0.2	11	0.1	0.16
Hg	mg/kg	<0.05	0.1	0.2	0.08	0.2	<0.05	0.3

資料來源：Nasrullah *et al.* (2015)

圖 3.5-1、可作為 SRF 原料之各種廢棄物

資料來源：Nasrullah *et al.* (2015)

二、多環芳香烴化合物

多環芳香烴化合物是當煤、燃油、垃圾或其他有機物質燃燒不完全時就會形成，因此藉由良好鍋爐燃燒條件是降低多環芳香烴化合物之最佳方法。

三、重金屬

根據 Nasrullah *et al.* (2015)研究 SRF 製作原料中的 As、Cd、Pb、Hg 各約有 32%、46%、58%及 45%會殘留在 SRF 產品中，這些重金屬於燃燒過程會因高溫而揮發為氣態或附著於底渣及飛灰中。在煙道中的重金屬檢根據揮發性可分為汞金屬及非汞金屬，非汞金屬多附著於粒狀物上，因此可藉由袋式集塵機或靜電集塵機等粒狀物處理設備去除，至於高揮發性汞，分為粒狀汞及氣相汞（Hg^0 及 Hg^{2+}），粒狀汞可藉由粒狀物處理設備去除，氣狀汞可以活性碳吸附或藉由觸媒將 Hg^0 氧化為 Hg^{2+}，因 Hg^{2+}易溶於水，故可用濕式處理設備去除。

四、粒狀污染物

粒狀污染物主要來源為燃料燃燒、工業製程、廢棄物燃燒、逸散性排放或經由氣體的化學反應而形成，依其來源及形成機制概分為物理研磨及傳播、燃燒灰燼、同相核凝、異相核凝和液滴揮發後殘留不純物等。

當燃料被注入高溫燃燒時，微粒中大部分的有機組成會在高溫氣流中揮發及氧化，其餘的燃料微粒最終形成不可燃的飛灰及緩慢燃燒的燒焦物，因燃料燃燒造成的灰燼污染物主要粒徑範圍為 1~100 μm。常見的粒狀物染物防制設備包含：重力沉降室、旋風集塵機、袋式集塵機、靜電集塵機、文氏洗滌塔等，其中集塵效率較高為袋式集塵機與靜電集塵機。

1.袋式集塵機：使用濾布收集廢氣中的粉塵微粒，微粒被乾淨濾材收集的最主要機制有慣性衝擊、直接截留和擴散等三種，當濾餅形成時，濾餅過濾便成為最主要的微粒收集機制。使用時機為除塵效率要求高、具有經濟效益的粉塵回收、氣體溫度可降至 200℃以下或粉塵不具黏著性。可收集之最小粒徑< 1μm，處理效率>90%

2.靜電集塵機：藉由放電電極線產生電暈放電(corona discharge)，使空氣分子游離而形成帶電的空氣離子，空氣離子進而接觸微粒使之帶電，帶電之微粒往與放電電極線之電性相反之收集板方向運動而被收集。使用時機為除塵效率要求高、具有經濟效益的粉塵回收、高溫廢氣除塵或廢氣及粉塵不具爆炸性。可收集之最小粒徑< 1μm，處理效率 90~99%。

五、硫氧化物

硫氧化物主要來自含硫燃料的燃燒，廢氣中的硫氧化物主要有二氧化硫(SO_2)和三氧化硫(SO_3)。減少硫氧化物的排放可經由使用低硫燃料及排煙脫硫(Flue gas desulfurization, FGD)。FGD 可分為乾式(furnace sorbent injection)、濕式(wet scrubbing)及半乾式噴霧乾燥(spray drying)。乾式是以石灰、石灰石等直接投入鍋爐中與 SO_2 反應生成硫酸鈣。溼式是最常見之除酸方式，石灰或石灰石溶於水中製成漿液(slurry)，利用洗滌塔或填充塔以氣液接觸方式反應生成硫酸鈣污泥。半乾式是石灰漿液以霧化器噴灑成小液滴與 SO_2 反應，此方式可藉由煙氣餘溫漿液滴水分蒸乾形成微粒，由下游之集塵機捕集。其中以溼式去除效率最高(90%)。

六、氮氧化物(NO_x)

NO_x 分為 thermal NO_x 及 fuel NO_x，一般而言，thermal NO_x 產生主因在於燃燒溫度及停留時間；而 fuel NO_x 之產生較受燃料中含 N 量之影響。因此，在 NO_x 的控制方面可由以下幾個原則著手：

(1)低 NO_x 燃燒技術：

A.分級燃燒：透過分階段添加燃料或空氣，將燃燒過程分解成多步驟，以減少高溫燃燒產生的 NO_x。

B.煙氣再循環(FGR)：部分煙氣引回燃燒區域，以降低燃燒溫度和氧氣濃度，從而減少 NO_x 生成。

C.安裝低 NO_x 燃燒器：設計用於在較低溫度下燃燒，從而減少 NO_x 的生成。

D.在流化床鍋爐中，操作含氧量通常保持在 3%至 5%之間，此範圍可以確保燃料充分燃燒，同時減少過多氧氣造成的熱損失與 NO_x 控制。

(2)安裝空氣污染防制設備

A.選擇性無觸媒還原（Selective Non-Catalytic Reduction，以下簡稱 SNCR）

B.選擇性觸媒還原（Selective Catalytic Reduction，以下簡稱 SCR）

C.氧化 NO_x 方法：透過使用臭氧或其他氧化劑，NO_x 氧化成易於清除的更高價態的氮氧化物，之後透過濕法洗滌或乾法吸附去除。

第四章 重要發現與成果

[章節摘要]

本章說明計畫執行成果，包含國內 SRF 使用廠家的盤查及訪廠，SRF 使用場域污染物排放調查、污染物分析數據彙整與排放解析、環境風險評估相關資料蒐集與彙整、SRF 使用廠之污染物大氣擴散模擬、環境風險評估、不確定度分析及調查結果與管制標準研析討論等。

4.1 國內 SRF 替代燃料使用之盤點調查

今年主要工項是擴大盤點國內使用 SRF 替代燃料之廠家數、使用現況與其污染物之排放調查，根據實際檢測數據進行污染物之大氣擴散與環境風險評估，同時進行風險評估結果不確定度分析，最後依本計畫調查結果與各管制標準進行研析討論。以下針對盤點工項進行說明：

國內使用 SRF 為替代燃料之廠家調查，本計畫是從環境部「固定污染源管理資訊公開平台」查詢具有"SRF 或 RDF" 為燃料之固定污染源" 設置"或"操作及燃料使用"許可，至今年（民國 113 年）11 月為止，國內具有 SRF/RDF 設置許可有 5 家，操作及燃料使用許可有 18 家，扣除重複 1 家，共計 22 家（桃園地區 3 家 SRF 廠因桃園市政府尚未核發設置許可證，故未列入）。若按地理區域位置，北部 6 家、中部 7 家、南部 4 家、東部 5 家，其中流體化床鍋爐 29 座、預熱+旋轉窯 10 座，合計 39 座（**表 4.1-1**）。各廠製程編號及種類、許可類別、燃燒設備編號、名稱及數量、SRF/RDF 許可最大使用量、固體燃料許可用量、SRF+RDF 混燒比例等資料彙整如**表 4.1-2**，累計 SRF/RDF 之許可最大使用量約 196 萬公噸/年（設置許可與操作許可總計）。根據 112 年國內運作生產之 SRF 相關產品申報產量資料，年製造量僅約 29 萬公噸，約佔最大許可使用量的 15%。

盤點國內 SRF/RDF 使用廠家包括造紙廠（11 家）、水泥廠（4 家）、汽電共生廠（2 家）、廢棄物處理廠（2 家）、石化廠（1 家）、金屬冶煉回收業（1 家）、食品

廠（1 家），故造紙廠在 SRF 使用上佔主要地位。根據固體燃料之最大用量推估，使用的燃料中 SRF/RDF 之混燒比範圍從 4.8~100%。

表 4.1-1、國內具有 SRF/RDF 之設置、操作及燃料使用許可之廠家數及設備調查

分布	家數	鍋爐座數	預熱+旋轉窯座數
北部	6	9	0
中部	7	15	2
南部	4	3	1
東部	5	2	7
小計	22	29	10

[註]桃園地區 3 家 SRF 廠因桃園市政府尚未核發設置許可證，故未列入。

表 4.1-2、國內具有 SRF/RDF 之設置及燃料使用許可廠家資料調查

項次	事業名稱	製程編號	許可類別	燃燒設備/型式	SRF/RDF 許可最大使用量（公噸/年）	固體燃料最大用量（公噸/小時）		SRF+RDF 混燒比 (%)
1	正O大園廠	M03 鍋爐蒸氣產生程序	操作及燃料	蒸氣鍋爐 (E301、E302)	SRF: 12,089	煙煤	1.6	29.6
						SRF	0.7	
2	正O竹北廠	M02 鍋爐汽電共生程序	操作及燃料	循環流體化床鍋爐 (E201)	SRF: 162060	漿紙污泥	4.5	59.0
						SRF	18.5	
						煙煤	8.2	
3	正O后里廠	M01 鍋爐汽電共生程序	操作及燃料	散佈式鍋爐 (E001)	SRF: 53,000 RDF: 53,000	廢木材	0.011	55
						木顆粒	3.420	
						木屑	0.228	
						RDF	6.050	
						SRF	6.050	
						廢橡膠	1.142	
						煙煤	5.121	
		M07 鍋爐汽電共生程序	操作及燃料	循環流體化床鍋爐 (E701)	SRF: 75,000 RDF: 75,000	初級固體燃料	8.11	37.5
						RDF	8.56	
						廢橡膠	0.23	
						橡膠片	0.34	
						SRF	8.56	
						漿紙污泥	10.73	
						煙煤	9.12	
		M08 鍋爐蒸氣產生程序	操作及燃料	循環流體化床鍋爐 (E801)	SRF: 30,000 RDF: 12588.8	煙煤	1.464	62.3
						SRF	3.425	
						RDF	1.437	
						木屑	0.342	
						木顆粒	1.142	

項次	事業名稱	製程編號	許可類別	鍋爐型式	SRF/RDF 許可最大使用量（公噸/年）	固體燃料最大用量（公噸/小時）		SRF+RDF 混燒比 (%)
3	正O后里廠	M17 鍋爐汽電共生程序	設置	循環流體化床鍋爐 (EA01)	SRF: 109200	煙煤	6.849	30.5
						SRF	12.47	
						漿紙污泥	10.8	
						廢橡膠	1.6	
						廢木材	9.11	
4	永O餘 楊梅廠	M02 鍋爐蒸氣產生程序	操作及燃料	氣泡流體化床鍋爐 (E002)	SRF: 5400	煙煤	1.941	23.1
						SRF	0.616	
						漿紙污泥	0.114	
5	永O餘 新屋廠	M01 鍋爐汽電共生程序	操作及燃料	循環流體化床鍋爐 (E006)	SRF: 41875	SRF	5.208	14.4
						廢橡膠	5.208	
						紙漿污泥	5.000	
						煙煤	20.833	
		M03 鍋爐汽電共生程序	操作及燃料	循環流體化床鍋爐 (E304)	SRF: 56950	SRF	7.083	17.9
						廢橡膠	1.250	
						紙漿污泥	6.670	
						煙煤	21.300	
						有機污泥	1.250	
						廢塑膠	2.083	
		M06 鍋爐汽電共生程序	操作及燃料	循環流體化床鍋爐 (E607)	SRF: 66592	SRF	8.324	87.8
						廢橡膠	1.154	
6	永O餘 清水廠	M04 鍋爐蒸氣產生程序	操作及燃料	流體化床鍋爐 (E008)	SRF: 14490	廢木材	0.2348	68.5
						紙漿污泥	0.0978	
						SRF	1.7500	
						煙煤	0.4726	

項次	事業名稱	製程編號	許可類別	鍋爐型式	SRF/RDF 許可最大使用量（公噸/年）	固體燃料最大用量（公噸/小時）		SRF+RDF 混燒比 (%)
6	永O餘清水廠	M05 鍋爐蒸氣產生程序	操作及燃料	流體化床鍋爐 (E018)	SRF: 5054.2	SRF	0.188	9.2
						紙漿污泥	0.585	
						煙煤	1.278	
7	大O汽電共生廠	M04 鍋爐發電程序	操作及燃料	循環流體化床鍋爐 (E401)	SRF: 36000	SRF	4.167	21.8
						橡膠製品	2.083	
						食品加工污泥	1.111	
						煙煤	7.305	
						輔助燃料	1.375	
						廢橡膠	2.083	
						紡織污泥	0.972	
8	廣O造紙台中廠	M07 鍋爐汽電共生程序	操作及燃料	流體化床鍋爐 (E010)	SRF: 8280 RDF: 66240	廢橡膠	0.125	65.7
						木屑	1.000	
						SRF	1.000	
						橡膠片	1.125	
						紙漿污泥	0.700	
						煙煤	1.750	
						RDF	8.000	
		M10 鍋爐蒸氣產生程序	操作及燃料	其他鍋爐 (E015、E016)	SRF: 28800	煙煤	2.2	44.6
						木屑	4.0	
						SRF	5.0	

項次	事業名稱	製程編號	許可類別	鍋爐型式	SRF/RDF 許可最大使用量（公噸/年）	固體燃料最大用量（公噸/小時）		SRF+RDF 混燒比 (%)
8	廣O造紙台中廠	M12 鍋爐汽電共生程序	操作及燃料	氣泡流體化床鍋爐 (E101)	RDF: 57132	煙煤	0.69	45.5
						紙漿污泥	1.38	
						廢木材	1.38	
						RDF	6.90	
						泡棉	0.69	
						廢橡膠	1.38	
						廢家俱	0.69	
						廢衣物	0.69	
						廢紙混合物	1.38	
9	台O石化麥寮一廠	M28 鍋爐汽電共生程序	操作及燃料	循環流體化床鍋爐 (ES01)	SRF: 24966	生煤	57	4.8
						SRF	2.85	
		M29 鍋爐汽電共生程序	操作及燃料	循環流體化床鍋爐 (ET01)	SRF: 24966	生煤	57	4.8
						SRF	2.85	
10	日O造紙觀音廠	M01 鍋爐蒸氣產生程序	操作及燃料	循環流體化床鍋爐 (E111)	RDF: 21420	RDF	2.55	69.5
						漿紙污泥	0.53	
						煙煤	0.59	
11	台O汽電官田廠	M01 鍋爐發電程序	操作及燃料	循環流體化床鍋爐 (E501)	SRF: 53040	煙煤	21.5	18.8
						廢橡膠	6.6	
						SRF	6.5	
12	中O紙漿久堂廠	M04 鍋爐汽電共生程序	操作及燃料	流體化床鍋爐 (E601)	SRF: 129750	煙煤	26.25	33.1
						漿紙污泥	4.20	
						SRF	15.625	
						生質燃料	0.875	
						廢木材	0.113	
						廢橡膠	0.138	

項次	事業名稱	製程編號	許可類別	鍋爐型式	SRF/RDF 許可最大使用量（公噸/年）	固體燃料最大用量（公噸/小時）		SRF+RDF 混燒比 (%)
13	上O資源嘉義廠	M05 鍋爐發電程序	設置	流體化床鍋爐 (E501)	SRF: 32850	SRF	3.75	94.7
						漿紙污泥	0.21	
14	台O蘇澳廠	M03 水泥製造程序	操作及燃料	預熱機 (E307)	SRF: 55000	橡膠片	1.400	18.6
						廢人造纖維	0.700	
						廢木材	1.270	
						廢塑膠	1.800	
						煙煤	17.220	
						SRF	12.000	
						木屑	30.000	
15	台O和平廠	M01 水泥製造程序	操作及燃料	預熱機 (E139)	SRF: 95040	事業廢棄物一般垃圾	0.65	17.8
						廢木材	12	
						木屑	12	
						半煙煤	25.7	
						非有害油泥	1	
						漿紙污泥	3	
						有機性污泥	1	
						SRF	12	
		M02 水泥製造程序	操作及燃料	預熱機 (E140)	SRF: 95040	事業廢棄物	0.65	17.8
						廢木材	12	
						木屑	12	
						半煙煤	25.7	
						漿紙污泥	4	
						有機性污泥	1	
						SRF	12	

項次	事業名稱	製程編號	許可類別	鍋爐型式	SRF/RDF 許可最大使用量（公噸/年）	固體燃料最大用量（公噸/小時）		SRF+RDF 混燒比 (%)
16	亞O花蓮廠	M01 水泥製造程序	操作及燃料	預熱機/旋窯 (E107)	SRF: 24000 RDF(漿紙污泥): 24000 其他固體 RDF: 24000 RDF(塑膠片): 12000	SRF	6	31.3
						木屑	3	
						稻草	3	
						RDF(紙漿污泥)	3	
						其他固體類 RDF	6	
						紙漿污泥	3	
						RDF 塑膠片	5	
						廢塑膠	3	
						廢橡膠	1	
						廢木材	6	
						煙煤	25	
		M02 水泥製造程序	操作及燃料	預熱機/旋窯 (E209)	SRF: 24000 RDF(漿紙污泥): 12000 RDF(塑膠片): 12000 RDF(標籤紙): 6000	SRF	10	22.5
						木屑	10	
						稻草	10	
						RDF(紙漿污泥)	5	
						其他固體燃料	10	
						紙漿污泥	5	
						RDF 塑膠片	5	
						廢塑膠	5	
						廢橡膠	5	
						廢木材	10	
						煙煤	30	
						RDF(廢標籤)	5	
						生活垃圾	1	

項次	事業名稱	製程編號	許可類別	鍋爐型式	SRF/RDF 許可最大使用量（公噸/年）	固體燃料最大用量（公噸/小時）		SRF+RDF 混燒比 (%)
16	亞O花蓮廠	M03 水泥製造程序	操作及燃料	預熱機/旋窯 (E314)	SRF: 24000 RDF(漿紙污泥): 12000 RDF(塑膠片): 12000 RDF(標籤紙): 6000	SRF	10	21.4
						木屑	10	
						稻草	10	
						RDF(紙漿污泥)	5	
						固體燃料	10	
						紙漿污泥	5	
						RDF 塑膠片	5	
						廢塑膠	5	
						廢橡膠	5	
						廢木材	10	
						煙煤	32	
						RDF(廢標籤)	5	
						廢纖維，布，棉	1	
						生活垃圾	1	
						有機性污泥	3	
17	潤O精密冬山廠	M01 水泥製造程序	設置	預熱機 (E013)	SRF: 18000	SRF	2.3	10.7
						木屑	4.6	
						漿紙污泥	2.3	
						燃油鍋爐集塵灰	2.3	
						煙煤	10	
18	台O鋼聯	M01 其他金屬或無機鹽製造	操作及燃料	旋轉窯 (E001)	SRF: 13424	焦炭替代燃料	1.6	45.7
						焦炭	1.9	
		M03 其他金屬或無機鹽製造	操作及燃料	旋轉窯 (E063)	SRF: 16576	焦炭替代燃料	1.97	32.7
						焦炭	4.05	

項次	事業名稱	製程編號	許可類別	鍋爐型式	SRF/RDF 許可最大使用量（公噸/年）	固體燃料最大用量（公噸/小時）		SRF+RDF 混燒比 (%)
19	宗O綠能	M02 其他發電作業程序	設置	旋轉窯 (E202)	SRF: 30240	SRF	3.5	100
20	揚O 彰濱廠	M02 鍋爐發電程序	設置	氣化流體化床鍋爐 (E201)	SRF: 48000	SRF	9.5	100
		M03 鍋爐發電程序	設置	氣化流體化床鍋爐 (E301)	SRF: 48000	SRF	9.5	100
21*	中O紙漿 台東廠	M02 鍋爐汽電共生程序	操作	氣泡流體化床鍋爐 (E004)	SRF: 16200	煙煤	3.5	24.7
						SRF	1.9	
						漿紙污泥	2.3	
				氣泡流體化床鍋爐 (E005)	SRF: 16200	煙煤	3.5	24.7
						SRF	1.9	
						漿紙污泥	2.3	
22*	味O企業 沙鹿 第一工廠	M05 鍋爐蒸氣產生程序	操作	蒸氣鍋爐 (E05)	SRF: 60384	SRF	9.707	100

資料來源：環境部「固定污染源管理資訊公開平台」；桃園地區 3 家 SRF 廠因桃園市政府尚未核發設置許可證，故未列入。

*今年開始使用 SRF 之新增廠家。

4.2 訪廠

根據前一節彙整結果，國內具有”SRF 或 RDF” 為燃料之固定污染源” 設置” 或”操作及燃料使用”許可共有 22 家，去年（112 年）本計畫已針對北部及中部地區 SRF 使用量或污染物排放量較大之 5 家工廠進行訪廠及污染物排放調查（**表 3.3-1**），不過其中日〇造紙認為無法符合環境部大氣司加嚴的排放標準，今年已退場停止運作。

本計畫今年（113 年）規劃擴大至全省進行污染物排放調查，包含南部及東部地區，同時納入不同的製程與燃燒設備（例如：汽電共生、水泥旋窯、煉鋼集塵灰金屬冶煉等）。為了實際了解 SRF 使用現況及是否適宜作為污染物排放調查及環境風險評估對象，今年持續針對剩下廠家進行訪廠。因剩下的 17 個廠家中有 2 家是今年 9 月才新增開始使用 SRF（中〇紙漿台東廠及味〇第一工廠），故此 2 家並未列入本計畫 3 月時安排的訪廠對象中，今年共執行 15 家訪廠。

訪廠工作包含建立 SRF 使用的基本資料，了解 SRF 燃燒使用之設備型式、規格、燃料及 SRF 之來源、種類、成份、燃燒特性、投料量及實際混燒配比、燃燒條件、蒸氣產量、發電量及空氣污染防制設備等資料，15 家詳細訪廠資料參閱附件四。**表 4.2-1** 是彙整各家使用的燃料種類、煙煤與 SRF 之實際混燒比及空氣污染防制設備等，其中運轉中的廠家與設備編號預定列為今年污染物之調查對象。

彙整國內 SRF 使用廠之訪廠調查資料，有以下之結果：

1.目前國內具有” SRF 或 RDF” 為燃料之固定污染源” 設置” 或” 操作及燃料使用” 許可的 22 家工廠，正常運作有 16 家，包含造紙廠 9 家、水泥廠 3 家、汽電共生廠 2 家、石化業 1 家、食品廠 1 家。剩下 6 家分別為：1 家退場（日O造紙）；1 家停止收受 SRF（台O鋼聯，因旋轉窯目前的旋窯出口溫度僅約 500~700℃，無法符合＞850℃需求，現已停止收受 SRF 物料）；2 家試運轉測試中（上O嘉義、潤O精密材料宜蘭冬山廠）；1 家停止試車（宗O綠能，因周界異味超標以及防制設備壓降錶無法反映實際操作情形，高雄市政府去函停止試車）；1 家設備

興建中（揚O實業）。

3.SRF 使用設備：包含流體化床鍋爐、預熱機、旋轉窯等，其中流體化床又分為氣泡式及循環式，後者之燃燒效率較佳。

4.根據實際固體燃料使用量調查資料，計算正常運作之 SRF 混燒比範圍由 5~88%，SRF 專燒爐或混燒比較高(>80%)者為永O餘新屋廠及正O竹北廠。

5.較具特色之廠家介紹：

(1)台O麥寮一廠：該廠鍋爐使用生活垃圾衍生製成的 SRF，此外，同時使用石化製程廢氣作為氣體燃料。

(2)台O和平廠：該廠水泥製程除了使用固體替代燃料，還使用垃圾氣化產生的可燃性氣體導入水泥窯作為替代燃料。

6.空氣污染防制設備：

(1)SO_2：防制設施包含爐內加入石灰石或噴入消石灰之乾式排煙脫硫、半乾式除酸塔及濕式排煙脫硫設備等

(2)NO_x：包含低氮氧化物燃燒器、選擇性非觸媒還原脫硝(SNCR)、選擇性觸媒還原脫硝(SCR)、臭氧氧化脫消，還原劑有氨水及尿素，氧化劑為臭氧。

(3)粒狀污染物防制設備包含旋風分離器、袋式集塵機、靜電集塵器等。

(4)戴奧辛防制設備包含活性碳吸附及觸媒分解法，觸媒分解型式分為 SCR 中溫觸媒及觸媒濾袋或陶瓷濾筒。

表 4.2-1、113 年 SRF/RDF 使用廠家之訪廠資料彙整表

項次	訪廠日期	事業名稱	預計採樣對象型式	實際固體燃料使用量（公噸/小時）		實際SRF混燒比(%)	空氣污染防制設備	現況
1	3/11	永O餘楊梅廠	氣泡式流體化床鍋爐(E002)	煙煤	1.7	9.7	鍋爐→袋式集塵機(BF)除塵→O_3氧化脫硝→濕式排煙脫硫(FGD)→煙囪(P002)（該廠無噴活性碳）	運轉中
				SRF	0.2			
				漿紙污泥	0.144			
2	3/11	永O餘新屋廠	循環流體化床鍋爐(E607)	廢橡膠	1.154	87.8	鍋爐（爐內石灰石乾式脫硫）→SNCR→旋風集塵機(CY)→選擇觸媒還原(SCR)脫硝及中溫 de-PCDD/Fs→鐵氟龍觸媒濾袋之袋式集塵機(BF)→濕式排煙脫硫(FGD)→煙囪(P601)（SCR 具 de-NO_x及 de-PCDD/Fs 雙功能）	運轉中
				SRF	8.324			
3	3/13	亞O花蓮廠	預熱機/旋窯(E209)	煤	28	煤以外5~10	de-NO_x:預熱機內添加 30%氨水(SNCR) 除酸: 石灰石原料即有除酸功能 除塵: (1)預熱機:袋式集塵機(BF) (2)冷卻機:袋式集塵機(BF) (3)水泥研磨:袋式集塵機(BF) 主煙囪(檢測位置): 預熱機排放管道(P201)	運轉中
				其他	2~3			
4	3/13	台O和平廠	預熱機(E139)	煤	25	煤以外31	除酸: 石灰石原料即有除酸功能 除塵: (1)預熱機:袋式集塵機(BF) (2)冷卻機:袋式集塵機(BF) (3)水泥研磨:袋式集塵機(BF) 主煙囪（檢測位置）為預熱機排放管道(P206)	運轉中
				SRF	0.8			
				木屑	10.4			
5	3/15	台O石化麥寮一廠	循環流體化床鍋爐(ES01)	生煤	40~45	5	鍋爐（加入石灰石乾式脫硫）→旋風集塵機(CY)→選擇性非觸媒還原脫硝（SNCR 氨水）→SCR 脫硝（氨水）→活性碳注入設備→整合式脫硫除塵設備（袋式集塵機，BF)→煙囪(PS01)	運轉中
				SRF	2.85			
6	3/15	揚O彰濱廠	氣化湍動流體化床鍋爐(E201)	SRF	9.5	100	氣化式流體化床鍋爐+SNCR+熟石灰→旋風分離器→過熱器→半乾式洗滌塔→多管式旋風集塵器→活性碳注入設備→袋式集塵機→GGH（煙氣-煙氣加熱設備）→SGH（蒸氣-煙氣加熱設備）→選擇觸媒還原(SCR)→煙囪(P201)	建廠中

項次	訪廠日期	事業名稱	預計採樣對象型式	實際燃料使用量（公噸/小時）		SRF混燒比(%)	空氣污染防制設備	現況
7	3/19	台O蘇澳廠	預熱機(E307)	煤	20	煤以外33	除酸: 石灰石原料即有除酸功能 除塵: (1)預熱機: SNCR+袋式集塵機（電袋 BF） (2)冷卻機:袋式集塵機(ESP) (3)水泥研磨:袋式集塵機(BF) 主煙囪檢測位置: 預熱機排放管道(P301)	運轉中
				SRF	2			
				木屑其他	8			
8	3/21	中O紙漿久堂廠	循環流體化床(E601)	煙煤	26~28	4~5	鍋爐（石灰石乾式脫硫+選擇性非觸媒還原脫硝，SNCR）→旋風集塵機(CY)→靜電集塵機(ESP)除塵→煙囪(P015)	運轉中
				SRF	1			
				漿紙污泥	1			
9	3/22	台O汽電官田廠	循環流體化床(E501)	煙煤	13.9	5	鍋爐（爐內噴注石灰石粉乾式脫硫）+（爐內噴入 20%氨水脫硝，SNCR）→靜電集塵機(ESP)除塵→煙囪(P001)	運轉中
				SRF	1.1			
				廢橡膠	6.8			
10	3/22	上O資源嘉義廠	循環流體化床(E501)	SRF	3	95	鍋爐(爐內加入石灰石)→除酸塔(乾粉小蘇打 Na_2CO_3)→觸媒陶瓷纖維過濾器（濾筒型+噴入尿素）→熱交換器→煙囪(P501) （釩鈦觸媒濾筒、同時噴入尿素(40~50%, 13 kg)，達到除塵、dioxin 分解及脫硝）	試車中
				漿紙污泥	0.168			
11	3/25	正O竹北廠	循環流體化床(E201)	煙煤	2.08	80~85	鍋爐（選擇性非觸媒還原脫硝，SNCR）→旋風集塵機(CY)→選擇觸媒還原(SCR)→袋式集塵機(BF)除塵→濕式排煙脫硫(FGD)→濕式靜電集塵(WESP)→加熱器(蒸汽預熱至 90±5℃)→煙囪(P201)	運轉中
				SRF	8.3			
				漿紙污泥	2.08			
12	3/26	台O鋼聯	旋轉窯（一號）(E001)	焦炭	1.5	16.7	旋轉窯(1300℃)→重力集塵室→文氏驟冷管→旋風集塵機→產品袋式集塵機（一階）→活性碳及消石灰混拌注入→袋式集塵機（二階）→煙囪(P001)	目前旋窯出口溫度僅約 500~700℃，無法符合＞850℃需求，現已停止收受 SRF 物料
				SRF	0.3			
13	3/26	永O餘清水廠	氣泡式流體化床(E008)	煙煤	1.25	42.0	鍋爐(de-NO_x 燃燒器)→袋式集塵機(BF)除塵→低溫 O_3 氧化脫硝→濕式排煙脫硫(FGD)→煙囪(P003)	運轉中
				SRF	1.04			
				漿紙污泥	0.125			
				木屑	0.0625			

項次	訪廠日期	事業名稱	預計採樣對象型式	燃料使用量(公噸/小時)		SRF混燒比(%)	空氣污染防制設備	現況
14	3/29	宗O綠能	旋轉窯(E202)	SRF	30240	100	旋轉窯（選擇性非觸媒還原脫硝，SNCR）→二次爐→蒸氣鍋爐→驟冷塔→活性碳與石灰石注入設備→袋式集塵機→煙囪(P201)	112 年 1 月 10 號高雄市政府來函停止試車
15	3/19	潤O精密冬山廠	預熱機(E013)	1.目前使用木屑及 SRF 為替代燃料，正於氣化爐內進行氣化試驗。 2.後續將以 SRF 生成的合成氣應用於水泥製程。 （應用方式：SRF 於氣化爐內產生合成氣、焦油與固態碳，焦油冷卻後以容器收集，固態碳則與煤研磨成粉狀後再與合成氣氣流、焦油加入水泥製程之預熱器內）。				

4.3 SRF 實廠調查名單

4.3.1 調查廠家名單

本計畫是根據 SRF 實廠污染物之排放測值進行環境風險評估，去年(112 年)依照評選委員意見，調查對象以污染物排放較大或曾超標之廠家優先進行，去年已完成 5 廠（7 場次）檢測調查（**表 4.3-1**），以造紙廠之流體化床鍋爐為主。

本計畫今年（113 年）須完成 12 場次之污染物實廠調查，根據今年 2 月 26 日啟動會議結論，今年欲針對國內 SRF 使用廠進行全面調查，因此從正常運轉的廠家中挑選進行 12 場次調查。本計畫亦配合大氣司相關 SRF 計畫時程，規劃 8/31 前完成 12 場次的污染物採樣且其中必須包含 2 家水泥廠及挑選 1 家進行重複採樣。

依據 4.2 章節之訪廠結果顯示目前正常運轉有 16 家，扣除去年已完成檢測的 4 家（去年原檢測 5 家，因今年日 O 造紙已退出，故剩下 4 家）及 2 家今年 9 月才開始運作未列入今年初的名單篩選內（中 O 紙漿台東廠及味 O 第一工廠），剩下正常運作的 10 家工廠皆列為今年採樣對象，包含：5 家造紙廠（正 O 竹北廠、中 O 紙漿久堂廠、永 O 餘楊梅廠、永 O 餘新屋廠、永 O 餘清水廠）、3 家水泥廠（台 O 水泥蘇澳廠、台 O 和平廠、亞 O 水泥花蓮廠）、1 家石化廠（台 O 石化麥寮一廠）、1 家汽電共生廠（台 O 電官田廠）。由於水泥廠混燒 SRF 的檢測資料較少，因此挑選水泥製程規模最大之工廠列為重複採樣對象。至於最後一場則是去年已檢測過的正 O 后里廠，但挑選該廠另一座蒸汽鍋爐進行調查，其採用的除酸設備是半乾式除酸塔，與該廠去年採樣鍋爐使用的濕式排煙脫硫不同。以上 12 場次為今年污染物排放調查之採樣對象，各廠之 SRF 使用設備及操作條件彙整如**表 4.3-2**。上述廠家經國環院同意後，開始進行採樣時程規劃。

表 4.3-1、112 年 SRF 使用廠檢測清單

工廠		固定污染源許可資料	112 年 SRF 申報使用量	採樣對象資料						備註說明
場次	工廠名稱	SRF/RDF 最大許可量 (設置+使用) (公噸/年)	小計 (公噸)	製程編號	燃燒/製程設備名稱	燃燒/製程溫度 (℃)	主要燃料種類	最大 SRF 混燒比(%)	實際 SRF 混燒比(%)	選址理由或廠址特色
1	Z 廠	21,420	13,512	M01 (E111)	循環流體化床鍋爐	790~843	煙煤、SRF、漿紙污泥	69.5	55.8~59.1	SRF 混燒佔比高、排放管道與飛灰之 PCDD/Fs 測值曾有超標紀錄
2	CD 廠	12,089	4,740	M03 (E301、E302)	氣泡流體化床鍋爐	879~960	煙煤、SRF	26.9	26.4~26.7	排氣量大（2 座蒸氣鍋爐且共用一支煙囪排放）、飛灰之 PCDD/Fs 濃度曾有超標紀錄
3	CH 廠	407,789	69,291	M08 (E801)	循環流體化床鍋爐	864~892	煙煤、SRF、木屑 木質顆粒	62.3	59.8~60.8	SRF 混燒佔比高、燃料多元
4	D 廠	36,000	32,738	M04 (E401)	循環流體化床鍋爐	854	煙煤、SRF、橡膠片、木片、食品加工污泥、紡織污泥、廠內回收廢液	31.8	31.7	燃料多元
5	K 廠	160,452	23,703	M07 (E010)	氣泡流體化床鍋爐	920~960	煙煤、SRF、漿紙污泥、木片、橡膠片	65.7	47.2	SRF 來源及種類多元、SRF/RDF 混燒比高、飛灰之 PCDD/Fs 濃度曾有超標紀錄

表 4.3-2、113 年 SRF 使用廠檢測清單

工廠		固定污染源許可資料	112 年 SRF 申報使用量	採樣對象資料						備註說明
場次	工廠名稱	SRF/RDF 最大許可量 (設置+使用) (公噸/年)	小計 (公噸)	製程編號	燃燒/製程設備名稱	燃燒/製程溫度 (℃)	主要燃料種類	最大 SRF 混燒比(%)	實際 SRF 混燒比(%)	選址理由或廠址特色
1	TPM 廠	49,932	9,209	M28 (ES01)	循環流體化床鍋爐	870~950	生煤、SRF	6	5	石化業、SFR（生活垃圾）、鍋爐汽電共生程序、另有使用製程氣作為燃料
2	TCS 廠	55,000	10,424	M03 (E307)	水泥窯預熱機	900~1300	煤、木屑、SRF、木材、廢塑膠	18.6	6.7	水泥製程、投入燃料種類多樣、SRF 申報使用量大
3	CC 廠	162,060	40,246	M02 (E201)	循環流體化床鍋爐	850~900	煙煤、SRF、漿紙污泥	59	80	鍋爐汽電共生程序、SRF 申報使用量大且混燒比高
4	CHPC 廠	129,750	7,411	M04 (E601)	循環流體化床鍋爐	850~860	煙煤、SRF、漿紙污泥	33	5	鍋爐汽電共生程序、投入燃料多樣、南部地區
5	YY 廠	5,400	136	M02 (E002)	氣泡流體化床鍋爐	830~950	煙煤、SRF、漿紙污泥	23.1	9.7	鍋爐蒸氣產生程序、北部地區、氣泡流體化床
6	YH 廠	165,417	94,526	M06 (E607)	循環流體化床鍋爐	850~880	SRF、廢橡膠	88	88	鍋爐汽電共生程序、SRF 專燒爐、SRF 申報量大
7	YTS 廠	19,544	9,183	M04 (E008)	氣泡流體化床鍋爐	950	煙煤、SRF、漿紙污泥、廢木材	68.5	42	鍋爐蒸氣產生程序、投入燃料多樣、中部地區

表 4.3 2、113 年 SRF 使用廠檢測清單（續）

工廠		固定污染源許可資料	112 年 SRF 申報使用量	採樣對象資料						備註說明
場次	工廠名稱	SRF/RDF 最大許可量 (設置+使用) (公噸/年)	小計 (公噸)	製程編號	燃燒/製程設備名稱	燃燒/製程溫度 (℃)	主要燃料種類	最大 SRF 混燒比 (%)	實際 SRF 混燒比 (%)	選址理由或廠址特色
8	TCH 廠 (第一次)	190,080	3483	M02 (E211 E237)	預熱器 預煅器 水泥旋窯	900~1400	半煙煤、SRF、木屑、木材、漿紙污泥、事業一般垃圾、潤滑油、污泥、含垃圾汽化爐排出之廢氣燃料	17	2~3	水泥製程、投入燃料種類多樣、東部地區、含垃圾汽化爐排出之廢氣燃料
9	CH 廠	407,789	69,291	M07 (E701)	循環流體化床鍋爐	864~892	初級固體燃料、RDF、廢橡膠、橡膠片、SRF、漿紙污泥、煙煤	38	30	鍋爐汽電共生程序、SRF 申報使用量大、投入燃料多樣、中部地區配合國環院塑化劑調查
10	TCH 廠 (第二次)	190,080	3,483	M02 (E211 E237)	預熱器 預煅器 水泥旋窯	900~1400	半煙煤、SRF、木屑、木材、漿紙污泥、事業一般垃圾、潤滑油、污泥、含垃圾汽化爐排出之廢氣燃料	17	2~3	水泥製程、投入燃料種類多樣、東部地區、含垃圾汽化爐排出之廢氣燃料
11	TC 廠	53,040	3,620	M01 (E501)	循環流體化床鍋爐	850~900	煙煤、SRF、廢橡膠	10	5	鍋爐發電程序、南部
12	ACH 廠	192,000	0	M02 (E209)	預熱器 預煅器 水泥旋窯	900~1400	煙煤、木屑、稻草、RDF、漿紙污泥、SRF、廢木材、生活垃圾、廢塑膠、廢橡膠	31.5	2	水泥製程、投入燃料種類多樣、東部地區

4.3.2 SRF 實廠採樣時程規劃

今年 12 場次採樣時程規劃及實際完成日期如**表 4.3-3**，採樣作業於 8 月 31 日以前完成全部的污染物採樣。

表 4.3-3、SRF 使用廠之污染物排放採樣規劃與實際完成日期

場次	工廠名稱	規劃採樣日期	實際完成日期	備註
1	台O石化麥寮一廠	4/8~4/13、4/17~4/18	4/8~4/12、4/17~4/18	完成
2	台O水泥蘇澳廠	4/22~4/27、4/29~4/30	4/22~4/26、4/29~4/30	完成
3	正O竹北廠	5/13~5/18、5/21~5/22	5/13~5/17、5/21~5/22、7/1~7/2	完成
4	中O紙漿久堂廠	5/20~5/24、5/27~5/28	5/20~5/24、5/28、6/18	完成
5	永O餘楊梅廠	5/27~5/31、6/6~6/7	5/27~5/31、6/6~6/7	完成
6	永O餘新屋廠	6/17~6/21、6/24~6/25	6/17~6/21、6/24~6/25	完成
7	永O餘清水廠	6/24~6/28、7/10、7/19	6/24~6/28、7/10、7/19、8/7	完成
8	台O水泥和平廠（第一次）	7/8~7/12、8/20~8/21	7/8~7/12、8/20~8/21	完成
9	正O后里廠	7/15~7/20、8/26~8/27	7/15~7/19、8/26~8/27	完成
10	台O水泥和平廠（第二次）	7/22~7/26、8/22~8/23	7/22~7/23、8/12~8/13、8/22~8/23	完成
11	台O電官田廠	7/22~7/26、8/14~8/15	7/22~7/23、7/29~7/30、8/14~8/15	完成
12	亞O水泥花蓮廠	7/15~7/20、8/14~8/17、8/22~8/23	8/14~8/17、8/22~8/23	完成

4.3.3 實廠採樣與污染物分析說明

本計畫對每一場（廠）家於 SRF 燃燒使用過程針對使用 SRF 及替代燃料、排放管道（煙囪）之廢氣、產生的廢棄物（底渣、飛灰或反應灰）、廢水（濕式排煙脫硫排放水或污水處理廠放流水）同步進行採樣及污染物分析作業，污染物種類及數量參見**表 3.3-5**。

本計畫執行的污染物採樣量及使用工具如**表 4.3-4**（不含煙道氣採樣），有關 SRF 及替代燃料的採樣方法係參照「固體再生燃料採樣方法(NIEA M195.00C)，使用手動採樣，於每一種 SRF 及燃料存放處進行隨機採樣，將燃料樣品混樣及縮分後，每種 SRF 樣品量約 500 公克（紙袋裝）帶回實驗室進行後續的乾燥、破碎、過篩處理。

至於 SRF 的採樣日期、採樣方法、及對應之檢測項目是配合煙囪的污染物採樣來執行，主要目的是想了解燃料成分與煙囪排出污染物之相關性。例如：某廠煙囪廢氣 PCDD/Fs 採樣日為 7/4，因此會採集這天使用的 SRF 及燃料，根據檢測當天實際的燃料混燒配比進行 SRF 混樣，例如：採樣期間使用兩家 SRF 來源（A 及 B），2 家 SRF 燃燒配比 A：B＝2：1，因此依此比例進行 SRF 混樣，混樣後的 SRF 送至乾燥、破碎、過篩處理，最後再進行分析。

SRF 檢測分析方法係依據 2.3.3 節之 NIEA 相關方法執行，此外，本計畫 SRF 元素分析項目包含氯、硫、銅，藉此了解 SRF 及替代燃料所含的這些元素與 PCDD/Fs 生成之關係。

表 4.3-4、每廠污染物採樣量及使用工具（不含煙道氣）

採樣項目	檢測項目	取樣量	盛裝容器
燃料	自製 SRF	500 公克	紙袋（箱）
	外購 SRF	500 公克	紙袋（箱）
	替代燃料（如漿紙污泥）	500 公克	紙袋（箱）
鍋爐底渣	1 戴奧辛	1 公斤	玻璃罐
	2 塑化劑	1 公斤	玻璃罐
	3 重金屬	500 公克	夾鏈袋
集塵機飛灰	1 戴奧辛	200 公克	玻璃罐
	2 塑化劑	200 公克	玻璃罐
	3 重金屬	100 公克	夾鏈袋
FGD 排廢水	1 戴奧辛	20 L	玻璃瓶
	2 塑化劑	1 L × 2	玻璃罐
	3 重金屬	1 L	PE 瓶
廢水處理廠之放流水	1 戴奧辛	20 L	玻璃瓶
	2 塑化劑	1 L × 2	玻璃罐
	3 重金屬	1 L	PE 瓶

4.4 SRF 及替代燃料品質研析

一、SRF 品質分析

SRF 的成分與混燒後之污染物排放濃度有密切關係，因此首先針對各廠使用的 SRF 樣品進行採樣與分析，同時根據分析數值與現有 SRF 品質標準進行比較與研析。環境部資源循環署於 113 年 3 月 22 日修正公告「固體再生燃料製造技術指引與品質規範」，其中修訂固體再生燃料(SRF)品質標準內容，此為 SRF 最新版本之 SRF 品質標準（**表 2.3-9**），包含：淨熱值及氯、汞、鉛、鎘，此外參照**表 2.3-10** 之 SRF 分級方式（包含淨熱值 4 級、氯及汞含量各分 5 級）來進行 SRF 的品質評析。不過由於新品質標準中 Hg 的單位由 mg/kg 改為 mg/MJ 或 mg/Mcal（到達基），因本計畫並未量測 SRF 之淨熱值，因此無法進行淨熱值及 Hg 的數值探討，只針對 SRF 中的 Cl、Pb、Cd 進行評析。

本計畫共採集 12 個 SRF 樣品，SRF 組成來源大致分為三種，第一種是來自生活垃圾，第二種是造紙廠內以廢紙排渣為原料自製 SRF，第三種是外購，由 SRF 製造廠根據使用者需求而提供，成分較為多元複雜。**表 4.4-1** 說明各廠使用的 SRF 主要來源/成分、形狀。SRF 外觀可分為兩種，一種是碎片狀，另一種是經過擠壓造粒成型，通常為短圓柱棒狀。以下為各廠使用的 SRF 品質解析：

(1)氯(Cl)含量：介於 0.268~1.95%，皆符合現行 SRF 品質標準(Cl≤3%)，若以 Cl 含量分級代碼區分，其中 Cl (5)有 2 個樣品（皆為 TCH 廠）、Cl (3)有 4 個樣品（來自 TPM、YTS 及 ACH 廠）、Cl (2)有 6 個樣品。TCH 廠以透明塑膠片製成的 SRF 之含 Cl 量最高(1.77~1.95%)，推測該廠 SRF 中含有 PVC 成分。其次是 ACH 廠，以塑膠類及纖維類原料製成的 SRF，Cl 含量 0.885~0.978%。第三高是 TPM 廠(0.745%)，該廠是以生活垃圾產製的 SRF，因其成分多元複雜，Cl 含量也偏高。第四高是 YTS 廠，該廠使用的 SRF 成分複雜，包含廢塑膠、廢紙排渣、木屑及木質顆粒等。剩下其他廠 SRF 的 Cl 含量 0.268~0.578%。

(2)鉛(Pb)：介於 QDL(25 mg/kg)~76.3 mg/kg，皆符合現行 SRF 品質標準(Pb≤150 mg/kg)，以 YTS 廠最高，因其 SRF 成份及來源多元，組成相對複雜。其次是 CH 廠使用的木質顆粒 SRF。

(3)鎘(Cd)：所有 SRF 中 Cd 含量皆小於 QDL(1.25 mg/kg)，皆符合現行 SRF 品質標準(Cd≤5 mg/kg)。

(4)汞(Hg)：介於<QDL(0.02)~0.245 mg/kg，以 TPM 廠生活垃圾產製的 SRF 中的 Hg 最高(0.245 mg/kg)，其次是 TCH 廠以透明塑膠片產製之 SRF(0.241 mg/kg)。

(5)硫(S)含量：介於 ND~2.092%，目前無 S 的品質標準，以 YH 廠之 SRF 最高，其 SRF 成分包含木屑、木質顆粒、廢紙排渣、廢塑膠片等，適量的硫有助於抑制 PCDD/Fs 生成，但須注意 SO_2 排放濃度。

(6)與戴奧辛生成有關的 Cu 含量：37~531 mg/kg，目前無 Cu 品質標準。以 ACH 廠的 SRF 中 Cu 含量最高(419~531 mg/kg)，SRF 組成是廢塑膠及廢纖維，其次是 YTS 廠(Cu 含量 344 mg/kg)，此兩廠之煙氣 PCDD/Fs 濃度皆偏高。

(7)鋁(Al)在 SRF 灰渣再利用時可能產生膨脹問題且為反應性金屬，遇水會產生氫氣、氨氣等異味且具有自燃疑慮，故本計畫亦對 SRF 中 Al 進行分析，Al 含量介於 3,177~43,861 mg/kg (0.32~4.39%)，以 TCS 水泥廠最高，SRF 成分為廢塑膠、廢紙及廢紡織纖維，目前 SRF 無 Al 的品質標準。

(8)本計畫分析的塑化劑包含鄰苯二甲酸二甲酯(DMP)、鄰苯二甲酸二乙酯(DEP)、鄰苯二甲酸二丁酯(DBP)、鄰苯二甲酸丁基苯甲酯(BBP)、鄰苯二甲酸二辛酯(DNOP)、鄰苯二甲酸乙己酯(DEHP)等 6 種。SRF 中 6 種塑化劑含量介於 116~1,530 mg/kg、皆以 DEHP 為主，以 TCH 廠最高 (1,260~1,530 mg/kg)，因其 SRF 組成為廢透明塑膠片 ，目前 SRF 無塑化劑的品質標準。

(9)含水率：0.56~9.41%，以木質顆粒 SRF 最高。

由上述 SRF 的品質分析數值可以歸納出幾項發現：

(1)SRF 是混燒燃料中 Cl 的主要來源之一，Cl 與 PCDD/Fs 生成有密切關係，今年採集的 SRF 樣品雖都符合現有品質標準，但沒有一個樣品是屬於品質最高的 Cl (1)，針對 PCDD/Fs 超標之工廠，建議能使用更高品質之 SRF。

(2)文獻指出 Cu 為低溫再合成 PCDD/Fs 之主要觸媒，本次檢測發現有 2 廠使用

的 SRF 中 Cu 含量明顯偏高（ACH 及 YTS 廠），比對其排放管道 PCDD/Fs 濃度也超標，顯示 SRF 的 Cu 含量可能與 PCDD/Fs 生成有密切關係。

(3) CH 廠的 SRF（木質顆粒）含鉛量高且含有塑化劑，顯示原料來源並非單純的原生木材廢料，裡面應摻雜一些化學加工廢木材。

表 4.4-1、SRF 品質分析

項目 \ 工廠代號		TPM 廠	TCS 廠	CC 廠	CHPC 廠	YH 廠	YTS 廠	**現行 SRF 品質標準 (113.3.22)**
SRF 來源/主成分		生活垃圾	廢塑膠 廢紙 廢纖維	廢紙排渣	廢塑膠 廢紡織纖維	木屑、木質顆粒、廢紙排渣、廢塑膠片	廢塑膠 廢紙排渣 木屑 木質顆粒	**SRF**
SRF 形狀/外觀		未造粒 (碎條片狀)	未造粒 (碎條片狀) 及造粒	未造粒 (碎條片狀)	未造粒 (碎條片狀)	碎片、造粒	造粒	
水分(%)		6.07	4.36	2.15	3.15	6.76	6.42	-
元素分析 (%)	S	0.070	0.015	0.012	0.239	2.092	0.096	-
	Cl	**0.745**	**0.427**	**0.268**	**0.578**	**0.309**	**0.610**	**≤3**
重金屬 (mg/kg)	**Pb**	**34.9**	**<QDL(25)**	**56.5**	**<QDL(25)**	**<QDL(25)**	**76.3**	**≤150**
	Cd	**<QDL(1.25)**	**<QDL(1.25)**	**<QDL(1.25)**	**<QDL(1.25)**	**<QDL(1.25)**	**<QDL(1.25)**	**≤5**
	Hg	0.245	0.153	0.078	<QDL(0.02)	<QDL(0.02)	0.056	**≤0.15 mg/MJ 或 ≤0.6279 mg/Mcal**
	Cu	55.0	243	182	58.9	37.0	344	-
	Al	10,947	43,861	9,396	5,115	4,125	8,511	-
塑化劑 (mg/kg)	DEHP	241	189	427	116	430	541	-
	六種塑化劑*	251	200	427	116	473	593	-
SRF 之 Cl 分級		Cl (3)	Cl (2)	Cl (2)	Cl (2)	Cl (2)	Cl (3)	-

*包含鄰苯二甲酸二甲酯(DMP)、鄰苯二甲酸二乙酯(DEP)、鄰苯二甲酸二丁酯(DBP)、鄰苯二甲酸丁基苯甲酯(BBP)、鄰苯二甲酸二辛酯(DNOP)、鄰苯二甲酸乙己酯(DEHP)等六種。
工研院採樣、國環院分析

表 4.4-2、SRF 品質分析（續 1）

項目 ＼ 工廠代號		CH 廠	TCH 廠(I)	TCH 廠(II)	TC 廠	ACH 廠	ACH 廠	**現行 SRF 品質標準 (113.3.22)**
SRF 來源/主成分		木質顆粒	廢透明塑膠片	廢透明塑膠片	廢塑膠 廢紡織纖維	廢塑膠 廢纖維	塑膠片	**SRF**
SRF 形狀/外觀		造粒	碎片	碎片	造粒	碎片	碎片	
水分(%)		9.41	3.95	3.13	3.64	3.54	0.56	-
元素分析 (%)	S	0.017	ND	0.008	0.073	0.078	ND	-
	Cl	**0.569**	**1.77**	**1.95**	**0.370**	**0.885**	**0.978**	**≤3**
重金屬 (mg/kg)	**Pb**	**61.9**	**<QDL(25)**	**<QDL(25)**	**<QDL(25)**	**<QDL(25)**	**43.0**	**≤150**
	Cd	**<QDL(1.25)**	**<QDL(1.25)**	**<QDL(1.25)**	**<QDL(1.25)**	**<QDL(1.25)**	**<QDL (1.25)**	**≤5**
	Hg	0.055	0.241	0.154	0.091	0.100	<QDL(0.02)	**≤0.15 mg/MJ 或 ≤0.6279 mg/Mcal**
	Cu	81.4	118	59.0	143	531	419	-
	Al	8,451	10,828	12,278	3,177	8,663	1,944	-
塑化劑 (mg/kg)	DEHP	258	1,530	1,260	261	178.4	300	-
	六種塑化劑*	271	1,530	1,260	261	178.4	300	-
SRF 之 Cl 分級		Cl (2)	Cl (5)	Cl (5)	Cl (2)	Cl (3)	Cl (3)	-

*包含鄰苯二甲酸二甲酯(DMP)、鄰苯二甲酸二乙酯(DEP)、鄰苯二甲酸二丁酯(DBP)、鄰苯二甲酸丁基苯甲酯(BBP)、鄰苯二甲酸二辛酯(DNOP)、鄰苯二甲酸乙己酯(DEHP)等六種。
工研院採樣、國環院分

二、非 SRF 之替代燃料品質分析

本計畫於每一場次除了採集 SRF 外，會依採樣期間各廠的燃料使用現況再挑選另一種煤以外的替代燃料進行採樣及分析，這些替代燃料目前尚無品質標準。

1.木材：

木材替代燃料的品質分析結果請參閱**表 4.4-2**。今年 TCS、YY 及 TCH 等 3 家於採樣期間有使用，其中 TCH 廠採集兩次，它是作為替代燃料與煤進行混燒。木材的型態包含木條、木片及木屑，木材的成分分析結果如下：

(1)含水率：介於 10.00~11.88%，明顯比 SRF 高。

(2)Cl 含量：介於 0.200~0.479%，若以 SRF 之 Cl 品質標準來分級，屬於 Cl (1)及 Cl (2)。

(3)S 含量：介於 ND~0.135%，以 YTS 廠最高。

(4)重金屬 Pb：介於 6.4~22.8 mg/kg，以 YTS 廠最高。

(5)重金屬 Cd：介於 0.082~0.489 mg/kg，以 TCH 廠最高。

(6)重金屬 Hg：各廠濃度都很低，介於 QDL(0.02 mg/kg)~0.029 mg/kg。

(7)重金屬 Cu：介於 27.7~112.2 mg/kg，以 TCH 廠較高。

(8)重金屬 Al：介於 2,454~6,383 mg/kg，以 YTS 廠最高。

(9)塑化劑：本計畫以常見的 6 種塑化劑進行分析（DEP、DMP、DBP、BBP、DEHP 及 DNOP），各廠使用的木材皆可以測到塑化劑，濃度範圍 13.0~124 mg/kg，且皆以 DEHP 為主要物種。

由上述的分析數值可以歸納出幾項發現：

(1)木材的品質相對起來較 SRF 單純，Cl、Pb、Cd、Hg、Al、DEHP 含量也較木

質顆粒 SRF 低，但仍顯示含有少許廢棄加工木材/木屑或雜質，例如木材表面含有塗料或塗層使 Pb 含量較高。

(2)木材熱值明顯較低（約 3,000~3,300 kcal/kg），因此常會與高熱值燃料進行混燒。

表 4.4-2、木材替代燃料品質分析

項目 ＼ 工廠代號		TCS 廠	YY 廠	TCH 廠(I)	TCH 廠(II)
替代燃料名稱及外觀		木屑/木片 細條狀	木片 條狀	木屑 細條狀	木屑 細條狀
水分(%)		10.00	11.88	11.59	10.46
元素分析(%)	S	0.135	0.032	ND	ND
	Cl	0.200	0.479	0.338	0.323
重金屬(mg/kg)	Pb	22.8	6.4	16.3	21.1
	Cd	0.194	0.082	0.489	0.467
	Hg	0.029	<QDL(0.02)	0.022	<QDL(0.02)
	Cu	61.8	27.7	72.8	112.2
	Al	6,383	2,454	4,155	2,937
塑化劑(mg/kg)	DEHP	44.0	106	36.7	13.0
	六種塑化劑*	57.4	124	36.7	13.0
以 SRF 之 Cl 標準分級		Cl (1)	Cl (2)	Cl (2)	Cl (2)

*包含鄰苯二甲酸二甲酯(DMP)、鄰苯二甲酸二乙酯(DEP)、鄰苯二甲酸二丁酯(DBP)、鄰苯二甲酸丁基苯甲酯(BBP)、鄰苯二甲酸二辛酯(DNOP)、鄰苯二甲酸乙己酯(DEHP)等六種。
工研院採樣、國環院分析

2.漿紙污泥：

漿紙污泥是造紙廠流體化床鍋爐常用的替代燃料，本計畫共採集 5 個漿紙污泥樣品進行分析（**表 4.4-3**），檢測結果顯示：

(1)氯(Cl)含量：介於 0.112~0.332%，以 YY 廠最高，若以 SRF 之 Cl 品質標準來分級，屬於 Cl (1)及 Cl (2)。。

(2)硫(S)含量：介於 0.013~0.564%，以 CH 廠最高。

(3)汞(Hg)：介於 0.061~3.03 mg/kg，CC 廠及 YTS 廠之漿紙污泥中 Hg 明顯偏高。

(4)鉛(Pb)：介於 QDL(25 mg/kg)~25.1 mg/kg，以 YTS 廠最高。

(5)鎘(Cd)：各廠 Cd 濃度皆小於 QDL(1.25 mg/kg)。

(6)Cu 含量：34.0~84.5 mg/kg，以 YTS 廠最高，對應之排放管道 PCDD/Fs 亦超標。

(7)Al 含量：介於 8,132~33,917 mg/kg (0.81~3.39%)，漿紙污泥中之 Al 明顯較高，比 SRF 高，以 CC 廠最高，推測漿紙污泥是飛灰中 Al 的主要來源之一。

(8)各替代燃料中 6 種塑化劑含量皆低，介於 ND~44.7 mg/kg、以 CC 廠最高，塑化劑皆以 DEHP 為主。

(9)含水率：7.84~31.87%，以 YY 廠最高。

由上述的分析數值可以歸納出幾項發現：

(1)漿紙污泥之含水率範圍大，若含水率高，將降低燃燒效率，增加燃燒不完全的風險，因此建議漿紙污泥作為替代燃料投入鍋爐之前能先進行脫水及乾燥處理。

(2)漿紙污泥中的 Hg 含量範圍廣，以 CC 廠最高(3.03 mg/kg)，其次是 YTS 廠(2.06 mg/kg)，漿紙污泥中 Hg 含量偏高的可能原因有：(1)來自廢紙的纖維，可能因印刷油墨或塗層中的汞、(2)廢水處理廠之富集效應，處理過程中的沉澱作用會濃縮汞，因此污泥中的汞含量偏高。

(3)污泥中的 Al 含量與 SRF 相近，建議也須管控替代燃料之鋁含量。

表 4.4-3、漿紙污泥品質分析

項目 \ 工廠代號		CC 廠	CHPC 廠	YY 廠	YTS 廠	CH 廠
替代燃料名稱及外觀		烘乾漿紙污泥 黑色泥狀	漿紙污泥 黑色泥狀	漿紙污泥 黃色泥狀	漿紙污泥 黑色泥狀	漿紙污泥
水分(%)		7.84	14.39	31.87	10.19	7.99
元素分析 (%)	S	0.144	0.026	0.068	0.013	0.564
	Cl	0.117	0.112	0.332	0.275	0.246
重金屬 (mg/kg)	Pb	<QDL(25)	<QDL(25)	<QDL(25)	25.1	<QDL(25)
	Cd	<QDL(1.25)	<QDL(1.25)	<QDL(1.25)	<QDL(1.25)	<QDL(1.25)
	Hg	3.03	0.061	0.193	2.06	0.175
	Cu	57.5	34.0	59.4	84.5	50.5
	Al	33,917	21,648	19,456	15,637	8,132
塑化劑 (mg/kg)	DEHP	44.7	ND (<MDL=3)	ND (<MDL=3)	ND (<MDL=3)	10.6
	六種塑化劑*	44.7	ND (<MDL=3)	ND (<MDL=3)	ND (<MDL=3)	10.6
以 SRF 之 Cl 標準分級		Cl (1)	Cl (1)	Cl (2)	Cl (2)	Cl (2)

*包含鄰苯二甲酸二甲酯(DMP)、鄰苯二甲酸二乙酯(DEP)、鄰苯二甲酸二丁酯(DBP)、鄰苯二甲酸丁基苯甲酯(BBP)、鄰苯二甲酸二辛酯(DNOP)、鄰苯二甲酸乙己酯(DEHP)等六種。
工研院採樣、國環院分析

3.橡膠片：

橡膠片亦可作為煤的替代燃料，本計畫共採集 2 個橡膠片樣品（**表 4.4-4**），檢測結果顯示：

(1)氯(Cl)含量：介於 0.292~0.331%，，若以 SRF 之 Cl 品質標準來分級，屬於 Cl (2)。

(2)硫(S)含量：介於 1.404~1.579%，橡膠片中的 S 含量明顯較 SRF 或其他替代燃料高。

(3)汞(Hg)：皆小於 QDL (0.02 mg/kg)。

(4)鉛(Pb)：介於 QDL(25 mg/kg)~25.5 mg/kg。

(5)鎘(Cd)：各廠 Cd 濃度皆小於 QDL(1.25 mg/kg)。

(6)銅(Cu)含量：149~182 mg/kg，Cu 含量較木材及漿紙污泥高。

(7)鋁(Al)含量：介於 2,441~3,034 mg/kg。

(8)各替代燃料中 6 種塑化劑含量皆低，介於 11.4~43.9 mg/kg，塑化劑皆以 DEHP 為主。

(9)含水率：1.04~1.24%。

由上述的分析數值可以發現：橡膠片中的 S 含量明顯較高，文獻中指出 S 能抑制 PCDD/Fs，但須注意 SO_2 排放濃度。

表 4.4-4、橡膠片品質分析

項目 \ 工廠代號		YH 廠	TC 廠
替代燃料名稱及外觀		橡膠片	橡膠片
水分(%)		1.24	1.04
元素分析(%)	S	1.404	1.579
	Cl	0.292	0.331
重金屬(mg/kg)	Pb	<QDL(25)	25.5
	Cd	<QDL(1.25)	<QDL(1.25)
	Hg	<QDL(0.02)	<QDL(0.02)
	Cu	149	182
	Al	3,034	2,441
塑化劑(mg/kg)	DEHP	43.9	11.4
	六種塑化劑*	43.9	11.4
以 SRF 之 Cl 標準分級		Cl (2)	Cl (2)

*包含鄰苯二甲酸二甲酯(DMP)、鄰苯二甲酸二乙酯(DEP)、鄰苯二甲酸二丁酯(DBP)、鄰苯二甲酸丁基苯甲酯(BBP)、鄰苯二甲酸二辛酯(DNOP)、鄰苯二甲酸乙己酯(DEHP)等六種。
工研院採樣、國環院分析

三、水泥生料之品質分析

本計畫針對 3 家（4 廠次）水泥生料同步進行採樣及分析，其中 TCH 廠重複採樣，分析結果如**表 4.4-5**。針對水泥生料之分析結果說明如下：

1.氯(Cl)含量：由於水泥對氯離子含量有其限制，因此對於水泥生料之含 Cl 量通常會加以控制，本次檢測水泥生料含 Cl 量介於 ND~0.201%，以 ACH 廠之水泥生料最高，其他 3 場次的水泥生料含 Cl 量皆為 ND，而 ACH 廠之水泥生料氯含量(0.201%)與他廠之 SRF 相近，可能會影響其 PCDD/Fs 排放量，比對各水泥廠排放管道之 PCDD/Fs 排放量，以 ACH 廠最高。

2.硫(S)含量：ND~0.014%。

3.水泥生料中的重金屬：

(1)Hg 含量 0.055~1.437 mg/kg，較木屑及 SRF 等替代燃料高，因此水泥生料為水泥製程中 Hg 的重要來源之一。

(2)水泥生料中的 Pb 與 Cd 濃度皆低。

(3)Cu 含量 20.2~61.1mg/kg。

(4)Al 含量 14,399~20,456 mg/kg，故水泥生料亦是飛灰中 Al 的主要來源之一。

4.塑化劑：水泥生料之塑化劑濃度皆為 ND。

表 4.4-5、水泥生料品質分析

項目 \ 工廠代號		TCS 廠	TCH 廠(I)	TCH 廠(II)	ACH 廠
原料		水泥生料	水泥生料	水泥生料	水泥生料
水分(%)		0.29	0.26	0.22	0.18
元素分析(%)	S	0.014	ND	ND	ND
	Cl	ND	ND	ND	0.201
重金屬(mg/kg)	Pb	37.1	<QDL(25)	<QDL(25)	<QDL(25)
	Cd	1.90	1.63	1.40	<QDL(1.25)
	Hg	0.949	0.932	1.437	0.055
	Cu	34.1	61.1	55.9	20.2
	Al	20,456	18,113	19,690	14,399
塑化劑(mg/kg)	DEHP	ND (<MDL=3)	ND (<MDL=3)	ND (<MDL=3)	ND (<MDL=3)
	六種塑化劑*	ND (<MDL=3)	ND (<MDL=3)	ND (<MDL=3)	ND (<MDL=3)

*包含鄰苯二甲酸二甲酯(DMP)、鄰苯二甲酸二乙酯(DEP)、鄰苯二甲酸二丁酯(DBP)、鄰苯二甲酸丁基苯甲酯(BBP)、鄰苯二甲酸二辛酯(DNOP)、鄰苯二甲酸乙己酯(DEHP)等六種。

工研院採樣、國環院分析

4.5 SRF 使用過程之污染物排放

4.5.1 污染物排放數據彙整

彙整 12 場次排放管道、廢棄物（底渣、飛灰）、廢水（FGD 排水及廢水處理廠放流水）及水泥熟料之污染物檢測濃度，排放管道包含：粒狀物、二氧化硫、氮氧化物、PCDD/Fs、PAHs、塑化劑與重金屬（鉛、鎘、汞等 12 種），廢棄物、廢水及水泥熟料包含 PCDD/Fs、重金屬（鉛、鎘、汞等 12 種）、塑化劑等。以下進行各類污染物之排放說明：

一、持久性有機污染物 PCDD/Fs

（一）排放管道

表 4.5-1~表 4.5-2 及**圖 4.5-1** 為 12 場次 PCDD/Fs 採樣期間之燃料種類、操作條件與各基質之分析濃度彙整表。

首先 12 場次之排放管道 PCDD/Fs 濃度範圍 0.0006~0.745 ng-TEQ/Nm^3，其中以 YTS、CC 及 ACH 廠濃度較高且超出目前固定污染源 PCDD/Fs 排放標準(<0.5 ng-TEQ/Nm^3)，其他廠皆符合標準，惟 YH 廠 PCDD/Fs 濃度經 6%含氧校正後(0.101 ng-TEQ/Nm^3@O_2=6%)將超過 117 年加嚴後使用資源循環燃料「鍋爐空氣污染物排放標準」修正草案(<0.1 ng-TEQ/Nm^3)之規定。

各廠煙氣中主要的 PCDD/Fs 生成物種如**圖 4.5-2** 及**表 4.5-3**，PCDD/Fs 生成物種與燃料種類或生產製程有關，以下分為非水泥廠與水泥廠來探討：

1.非水泥廠：

八場次非水泥廠中主要生成物種皆以高氯數、低毒性當量係數(TEF)的 OCDD、OCDF、1,2,3,4,6,7,8-HpCDF、1,2,3,4,6,7,8-HpCDD 為主。只有 YH 廠的生成物種明顯不同，以低氯、較高毒性當量係數(TEF)的 2,3,7,8-TeCDF 及 2,3,4,7,8-PeCDF 及 1,2,3,7,8-PeCDF，YH 廠的特點是少數使用廢橡膠（佔比 13.8%）為替代燃料之鍋爐，也是唯一使用鐵氟龍觸媒分解濾袋之廠家。

2.水泥廠：

四場次水泥廠主要 PCDD/Fs 生成物種分布圖如**圖 4.5-3**，有三場次（TCS、TCH(I)及 TCH(II)）以高氯數、低毒性當量係數(TEF)的 OCDD、OCDF、1,2,3,4,6,7,8-HpCDF 為主，與多數的非水泥廠相似。唯獨 ACH 廠以低氯數 2,3,7,8-TeCDF、2,3,4,7,8-PeCDF、1,2,3,7,8-PeCDF 為主，推測原因 ACH 廠燃燒 SRF 以塑膠類及纖維類為主，此外採樣期間尚處於啟爐不穩定狀態，生成之物種以低氯數為主，但隨操作時間增加，低氯數物種之濃度會明顯下降（**圖 4.5-4**）。

（二）廢棄物（底渣及飛灰）及廢水

由於水泥製程之旋窯出口為水泥熟料，且其集塵機收集的飛灰將回收做為水泥原料，因此本計畫對於水泥廠並無採集底渣及飛灰樣品。

SRF 使用廠之底渣 PCDD/Fs 濃度介於 0.0002~0.0009 ng-TEQ/g，濃度遠低於有害廢棄物認定標準(<1.0 ng-TEQ/g)。至於飛灰濃度介於 0.002~3.15 ng-TEQ/g，以 YH 廠的飛灰 PCDD/Fs 濃度(3.15 ng-TEQ/g)最高且超過有害廢棄物認定標準，其他廠之飛灰皆符合標準。

各廠 FGD 排水之 PCDD/Fs 濃度介於 3.23~2,080 pg-TEQ/L，不過 FGD 排水將流至廢水處理廠處理。至於放流水之濃度 1.27~5.69 pg-TEQ/L，皆符合現行放流水標準(< 10 pg-TEQ/L)。

（三）水泥熟料

由於水泥製程混燒 SRF，因此本計畫有針對旋窯排出的水泥熟料進行 PCDD/Fs 檢測，濃度範圍 0.0004~0.0006 ng-TEQ/g，濃度皆很低。

（四）PCDD/Fs 排放濃度超標解析

PCDD/Fs 生成與替代燃料的成分（尤其是 Cl、Cu 含量）、混燒比、燃燒溫度、停留時間、空氣污染防制設備有關，以下針對超標之廠家進行初步解析，後續章節會再深入探究各廠之污染排放原因及提供降低污染排放之建議：

1.CC 廠：

CC 廠檢測對象是一座新建的循環式流體化床蒸氣鍋爐，採樣期間投入之燃

料包含煙煤、SRF 與漿紙污泥，SRF 佔比約為 14.5%，若以替代燃料（SRF+漿紙污泥）來計，佔比約 74.2%。SRF 來源主要為廢紙排渣，其主成分是紙漿纖維及塑膠類碎片，經分析 SRF 中的 Cl 及 Cu 含量分別為 0.268%及 182 mg/kg，漿紙污泥中的 Cl 及 Cu 含量分別為 0.117%及 57.5 mg/kg（**表 4.5-4**），Cl 含量皆符合現行 SRF 品質標準(≤3%)，但 SRF 中可作為低溫再合成 PCDD/Fs 催化劑之 Cu 含量較他廠高，進一步檢視該廠飛灰中的 Cu 含量高達 1,717~1,888 mg/kg。再者，該廠鍋爐出口設有一個空煙道裝置作為廢熱回收區域，此區的煙氣溫度約 200~500℃，剛好是 PCDD/Fs 低溫再合成之溫度區間。該廠並無安裝戴奧辛污染防制設備，因此排放管道 PCDD/Fs 濃度偏高也超出管制限值。建議該廠能選擇使用高品質符合 Cl (1)及低 Cu 含量的 SRF 燃料，同時降低替代燃料的混燒比，並加裝 PCDD/Fs 觸媒分解設備。

2.YTS 廠：

YTS 廠檢測對象是一座老舊的氣泡式流體化床蒸氣鍋爐，採樣期間燃料種類包含煙煤、SRF、廢木材及漿紙污泥，SRF 佔比約 70.4%，SRF 的主成分為廢塑膠、廢紙排渣、木屑、木質顆粒。經分析 SRF 中的 Cl 及 Cu 含量分別為 0.61%及 344 mg/kg，漿紙污泥中的 Cl 及 Cu 含量分別為 0.275%及 84.5 mg/kg，Cl 含量皆符合現行 SRF 品質標準(≤3%)，但 SRF 及漿紙污泥的 Cu 含量明顯較其他廠高。進一步檢視飛灰中的 Cu 含量亦高達 771.6~4,341 mg/kg，是所有廠中最高的。採樣期間鍋爐之爐膛平均溫度 936℃，亦有噴入活性碳（注入量 1.4 kg/h），排放管道超標原因推測是 SRF 及飛灰的銅含量明顯較高，此為 PCDD/Fs 低溫再合成之催化劑，再者 SRF 混燒佔比高（約 70%），加上該廠之氣泡式流體化床設備較舊，燃燒效率可能較差，因此 PCDD/Fs 濃度較高。建議選擇高品質符合 Cl (1)及低 Cu 含量的 SRF 燃料，同時降低 SRF 的混燒比。此外，活性碳的添加量亦需重新評估以符合實際需求。

3.YH 廠：

YH 廠檢測對象是一座循環式流體化床汽電共生鍋爐，是一座替代燃料專燒爐，燃料種類包含 SRF 及廢橡膠，SRF 佔比約 86.2%，SRF 來源有自產及外購，包含造粒 SRF（主成分為廢塑膠）、未造粒 SRF（主成分為廢纖維及廢紙）、木屑

及木質顆粒等四種，四種 SRF 均勻混樣後分析之 Cl 及 Cu 含量分別為 0.309%及 37 mg/kg，廢橡膠的 Cl 及 Cu 含量分別為 0.292%及 149 mg/kg。檢視飛灰中的 Cu 含量高達 2,829 mg/kg，該廠有加裝 SCR 與鐵氟龍觸媒濾袋之袋式集塵機(BF-PTFE catalytic filter)同時分解氣相戴奧辛及捕集固相戴奧辛與粒狀物，排放管道雖符合目前法規標準，但將超過 117 年加嚴標準，此外，本次檢測飛灰 PCDD/Fs 已超標，推測原因是高 SRF 混燒比、加上觸媒濾袋操作溫度僅為 170℃以下，導致觸媒分解較果不佳，同時飛灰中高 Cu 含量促進低溫再合成而使飛灰濃度超標。建議該廠能調整 SRF 混燒比或使用高品質符合 Cl (1)的 SRF 及低 Cu 含量的橡膠片，更重要是提高觸媒濾袋操作溫度>200℃。

4.ACH 廠：

ACH 廠檢測對象是一座水泥旋窯+預熱器，燃料種類包含 2 種 SRF，SRF 混燒佔比約 8%，經分析 SRF 中的 Cl 及 Cu 含量分別為 0.885~0.978%及 419~531 mg/kg，顯示 SRF 中的 Cl 及 Cu 含量皆偏高。此外，由於本次 PCDD/Fs 採樣前一天臨時故障停爐，採樣期間有涵蓋水泥旋窯啟爐階段，系統可能尚未處於穩定，因此排放管道 PCDD/Fs 平均濃度超標，建議該廠能使用高品質符合 Cl (1)及低 Cu 含量的 SRF，此外，水泥製程之啟停爐階段亦須加以注意及管控污染物排放。

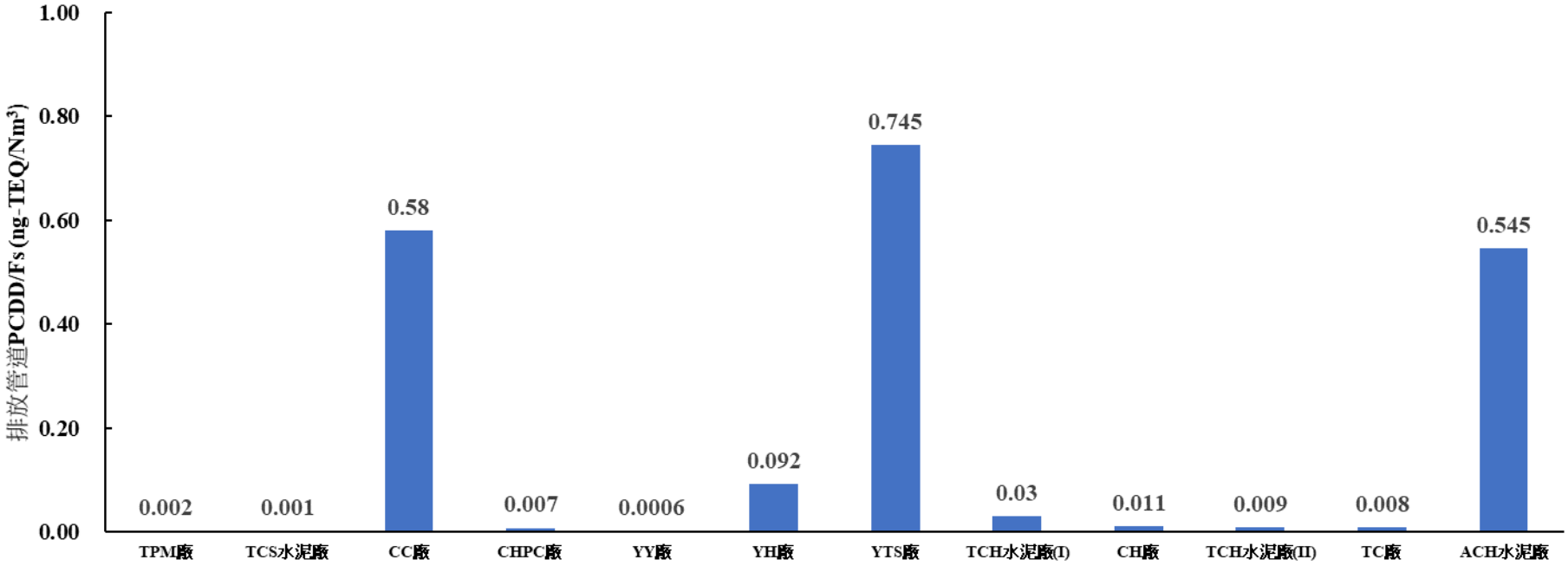


圖 4.5-1、排放管道 PCDD/Fs 濃度比較

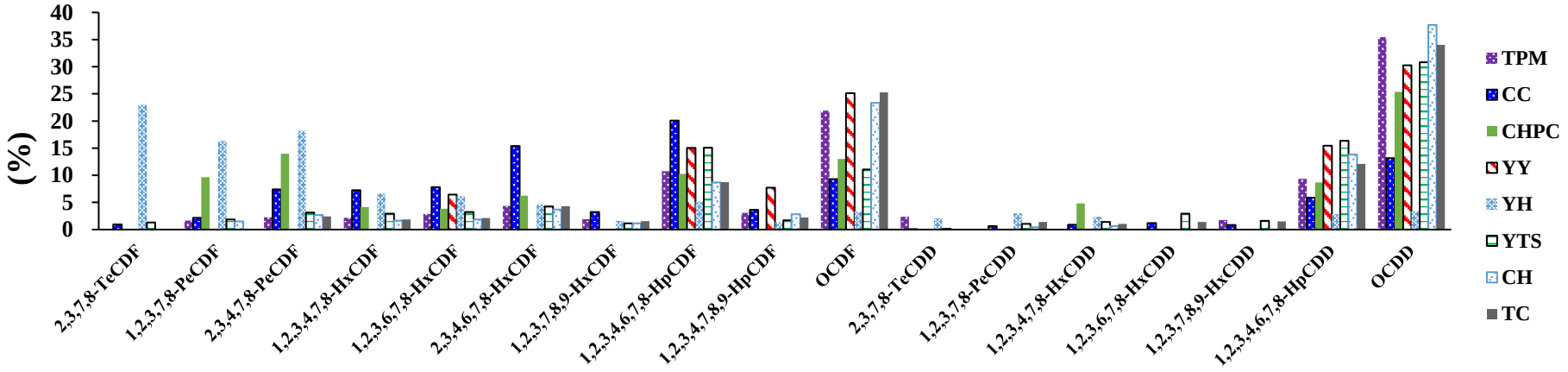


圖 4.5-2、排放管道 PCDD/Fs 生成物種比較表

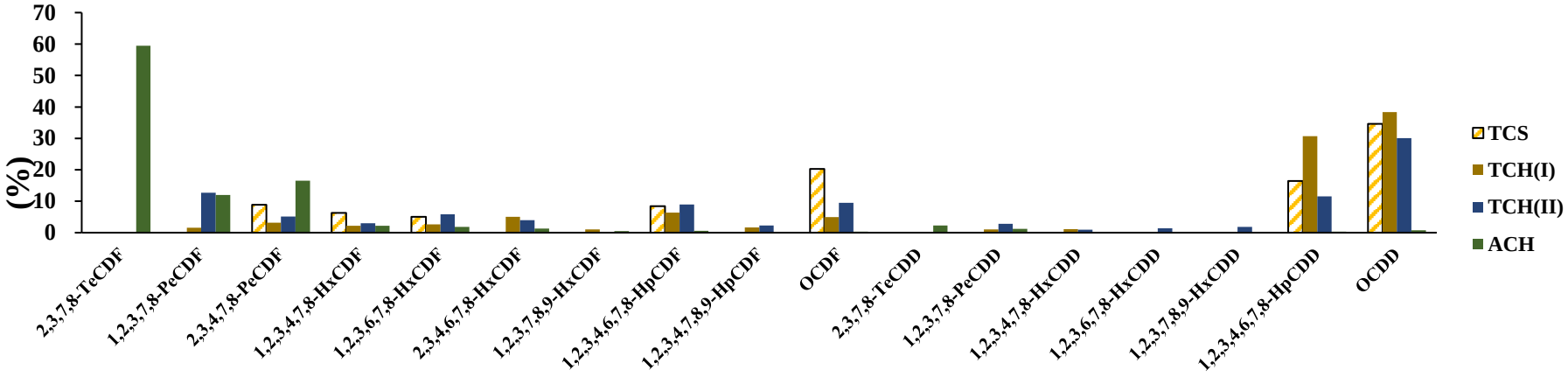


圖 4.5-3、水泥廠排放管道 PCDD/Fs 生成物種比較表

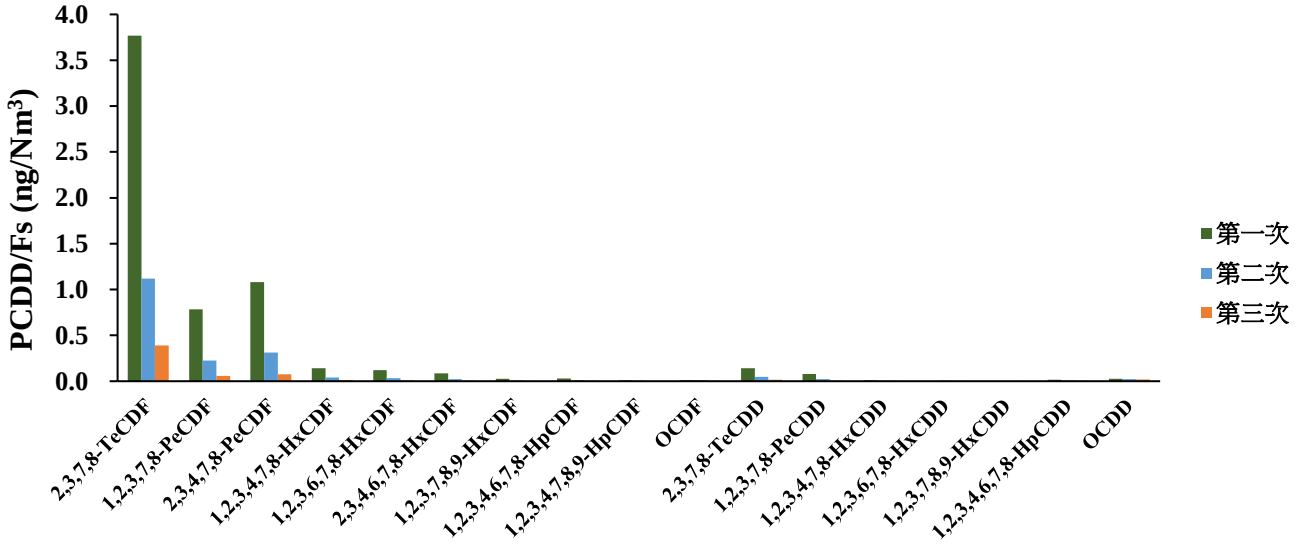


圖 4.5-4、ACH 水泥廠排放管道 PCDD/Fs 生成物種比較表

表 4.5-1、排放管道 PCDD/Fs 檢測值

場次	工廠代號	燃料投入量（公噸/小時）	排放管道 PCDD/Fs (ng-TEQ/Nm^3)			目前排放標準*
			實測值-未含氧校正	11%含氧校正值	6%含氧校正值	
1	TPM 廠	39.2	0.002	0.002	0.003	0.5
2	TCS 水泥廠	31.2	0.001	0.001	0.002	0.1
3	CC 廠	24.8	0.580	0.511	0.766	0.5
4	CHPC 廠	27.7	0.007	0.004	0.006	0.1
5	YY 廠	1.88	0.0006	0.0005	0.0008	0.5
6	YH 廠	6.96	0.092	0.068	0.101	0.1
7	YTS 廠	2.29	0.745	0.699	1.05	0.5
8	TCH 水泥廠(I)	42.4	0.030	0.027	0.040	0.1
9	CH 廠	23.3	0.011	0.006	0.009	0.1
10	TCH 水泥廠(II)	41.9	0.009	0.008	0.012	0.1
11	TC 廠	23.4	0.008	0.005	0.007	0.1
12	ACH 水泥廠	25.0	0.545	0.582	0.873	0.1
相關排放管道 PCDD/Fs 排放標準			・固定污染源戴奧辛排放標準：<0.5 ng-TEQ/Nm^3 實測值 ・中小型廢棄物焚化爐 PCDD/Fs 管制及排放標準： 小型焚化爐（投入量< 4 噸/h）PCDD/Fs：< 0.5 ng-TEQ/Nm^3 (@O_2=11%) 中型焚化爐（投入量≥ 4 噸/h）PCDD/Fs：< 0.1 ng-TEQ/Nm^3 (@O_2=11%) ・鍋爐空氣污染物排放標準修正預告草案(113.6.20)： 生效日至 114.12.31 <0.1 ng-TEQ/Nm^3 實測值 115.1.1 以後 < 0.1 ng-TEQ/Nm^3 (@O_2=11%) 117.1.1 以後 < 0.1 ng-TEQ/Nm^3 (@O_2=6%)			

[註]採樣單位：工研院；分析單位：國環院。*：目前各廠所在地之縣市環保局對該廠所要求之 PCDD/Fs 排放標準。

表 4.5-2、PCDD/Fs 檢測彙整表

廠商代號	TPM 廠	TCS 廠	CC 廠	CHPC 廠	法規標準 排放限值
行業別	石化	水泥	造紙	造紙	
燃料種類	生煤、SRF、 製程廢氣	煙煤、SRF、木屑	煙煤、SRF、漿紙污泥	煙煤、SRF、漿紙污泥	-
SRF 成分	生活垃圾	廢塑膠、廢紙、廢纖維	廢紙排渣	廢塑膠、廢紡織纖維	-
SRF 混燒比	SRF 佔固體燃料 5%	6.4%	14.5%	1.8%	-
SRF 之 Cl 含量(%)	0.745	0.427	0.268	0.578	≤3
SRF 之 Cu 含量 (mg/kg)	55	243	182	58.9	-
燃燒設備	循環式流體化床鍋爐	預熱器+預煅爐+旋窯	循環式流體化床鍋爐	循環式流體化床鍋爐	-
燃燒爐溫(℃)	870~950	1,026~1,158	875	858~864	-
空污設備	SNCR+SCR+ACI+BF	SNCR+BF	SNCR+SCR+BF+FGD+WESP	SNCR+乾式脫硫 (石灰石)+ESP	-
煙氣 PCDD/Fs (ng-TEQ/Nm^3)	0.002	0.001	0.580	0.007	0.1 或 0.5[a] (修正草案 0.1)[b]
底渣 PCDD/Fs (ng-TEQ/g)	-	-	0.0007	0.0007	1.0
飛灰 PCDD/Fs (ng-TEQ/g)	0.003	0.023	0.499	0.005	
FGD 排水 (pg-TEQ/L)	-	-	2,080	-	-
放流水 (pg-TEQ/L)	-	-	1.38	5.69	10

[註]戴奧辛樣品由工研院採樣，國環院分析; [a] 現行固定污染源排放標準; [b] 鍋爐空氣污染物排放標準修正草案(113.6.20)

[註] “-“表示無此樣品或無此數值

表 4.5-2、PCDD/Fs 檢測彙整表（續 1）

廠商代號	YY 廠	YH 廠	YTS 廠	CH 廠	法規 排放限值
行業別	造紙	造紙	造紙	造紙	
燃料種類	煙煤、SRF、漿紙污泥	SRF、廢橡膠	煙煤、SRF、漿紙污泥、廢木材	煙煤、SRF、木屑、漿紙污泥	-
SRF 成分	木屑	木屑、木質顆粒、廢紙排渣、廢塑膠片	廢紙排渣、廢塑膠、木屑、木質顆粒	木質顆粒	-
SRF 混燒比	0.9%	86.2%	70.4%	33.2	-
SRF 之 Cl 含量(%)	0.479	0.309	0.61	0.569	≤3
SRF 之 Cu 含量 (mg/kg)	27.7	37.0	344	81.4	-
燃燒設備	氣泡式流體化床	循環式流體化床鍋爐	氣泡式流體化床	循環式流體化床鍋爐	-
燃燒爐溫(℃)	850	856~864	936	876~878	-
空污設備	BF+O_3+FGD	SNCR+SCR+BF-鐵氟龍觸媒濾袋+FGD	ACI+BF+O_3+FGD	SCR+SDA+BF	-
PCDD/Fs (ng-TEQ/Nm^3)	0.0006	0.092	0.745	0.011	0.1 或 0.5[a] (修正草案 0.1)[b]
底渣 PCDD/Fs (ng-TEQ/g)	0.0007	0.0008	0.0009	0.0002	1.0
飛灰 PCDD/Fs (ng-TEQ/g)	0.028	3.15	0.003~0.177	半乾式除酸塔反應灰 0.0009 袋式集塵機飛灰 0.009	
FGD 排水 (pg-TEQ/L)	3.23	469	32.6	-	-
放流水 (pg-TEQ/L)	1.27	1.79	1.01	9.00	10

[註]戴奧辛樣品由工研院採樣，國環院分析; [a] 現行固定污染源排放標準; [b] 鍋爐空氣污染物排放標準修正草案(113.6.20)
[註] “-“表示無此樣品或無此數值

表 4.5-2、PCDD/Fs 檢測彙整表（續 2）

廠商代號	TCH 廠(I)	TCH 廠(II)	TC 廠	ACH 廠	法規 排放限值
行業別	水泥		汽電共生	水泥	
燃料種類	半煙煤、SRF		煙煤、SRF、橡膠片	煙煤、SRF、塑膠片	-
SRF 成分	廢塑膠碎片		廢塑膠及廢紡織纖維	廢塑膠及廢纖維	-
SRF 混燒比	24.2	25.1	17.4	8.0	-
SRF 之 Cl 含量 (%)	0.338	0.323	0.370	0.885	≤3
SRF 之 Cu 含量 (mg/kg)	72.8	112.2	143	531	
燃燒設備	預熱器+預煅爐+旋窯		循環式流體化床鍋爐	預熱器+預煅爐+旋窯	-
燃燒爐溫(℃)	1000~1400	1000~1400	895~910	900~1400	-
空污設備	BF	BF	SNCR+乾式脫硫 (石灰石)+ESP	SNCR+BF	-
PCDD/Fs ($ng\text{-}TEQ/Nm^3$)	0.030	0.009	0.008	0.545	0.1 或 0.5 [a] (修正草案 0.1) [b]
底渣 PCDD/Fs (ng-TEQ/g)	-	-	0.0006	-	1.0
飛灰 PCDD/Fs (ng-TEQ/g)	-	-	0.002	-	
FGD 排水 (pg-TEQ/L)	-	-	-	-	-
放流水 (pg-TEQ/L)	0.772	1.18	-	-	10

[註]戴奧辛樣品由工研院採樣，國環院分析; [a] 現行固定污染源排放標準; [b] 鍋爐空氣污染物排放標準修正草案(113.6.20)

[註] “-“表示無此樣品或無此數值

表 4.5-3、各廠排放管道 PCDD/Fs 同分異構物主要生成物種

場次	工廠	第 1 主要物種	第 2 主要物種	第 3 主要物種
1	TPM 廠	OCDD	OCDF	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF
2	CC 廠	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	2,3,4,6,7,8-HxCDF	OCDD
3	CHPC 廠	OCDD	2,3,4,7,8-PeCDF	OCDF
4	YY 廠	OCDD	OCDF	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD
5	YH 廠	2,3,7,8-TeCDF	2,3,4,7,8-PeCDF	1,2,3,7,8-PeCDF
6	YTS 廠	OCDD	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF
7	CH 廠	OCDD	OCDF	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD
8	TC 廠	OCDD	OCDF	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD
水泥廠				
場次	工廠	第 1 主要物種	第 2 主要物種	第 3 主要物種
1	TCS 廠	OCDD	OCDF	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD
2	TCH 廠(I)	OCDD	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF
3	TCH 廠(II)	OCDD	1,2,3,7,8-PeCDF	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD
4	ACH 廠	2,3,7,8-TeCDF	2,3,4,7,8-PeCDF	1,2,3,7,8-PeCDF

表 4.5-4、PCDD/Fs 超標廠家之 SRF、替代燃料及飛灰中 Cl 與 Cu 含量彙整表

工廠代號	CC 廠		YTS 廠		YH 廠		ACH 廠 2 種 SRF	
SRF	Cl(%)	Cu(mg/kg)	Cl(%)	Cu(mg/kg)	Cl(%)	Cu(mg/kg)	Cl(%)	Cu(mg/kg)
	0.268	182	0.61	344	0.309	37	0.885~0.978	419~531
第二種替代燃料	漿紙污泥		漿紙污泥		橡膠		-	
	Cl(%)	Cu(mg/kg)	Cl(%)	Cu(mg/kg)	Cl(%)	Cu(mg/kg)	-	-
	0.117	57.5	0.275	84.5	0.292	149	-	-
飛灰	Cl(%)	Cu(mg/kg)	Cl(%)	Cu(mg/kg)	Cl(%)	Cu(mg/kg)	-	-
	-	1717~1888	-	772~4341	-	2829	-	-

[註] “-“表示無此樣品或無此數值

二、重金屬

（一）排放管道

表 4.5-5 是各廠排放管道 10 種重金屬之檢測濃度，其中有法規管制的鉛(Pb)、鎘(Cd)、汞(Hg)濃度範圍分別為 Pb (0.000148~0.072 mg/Nm^3)、Cd (0.000004~0.0001 mg/Nm^3)、Hg (0.000214~0.0482 mg/Nm^3)，皆低於使用資源循環燃料之鍋爐排放標準草案(Pb (0.2 mg/Nm^3)、Cd (0.02 mg/Nm^3)、Hg (0.05 mg/Nm^3))。

1.水泥廠排放之 Hg 濃度明顯較高(0.00774~0.0482 mg/Nm^3)，推測是水泥生料投入量大且 Hg 含量較高(0.055~1.437mg/kg)。

2.非水泥製程以 CC 廠之 Hg 最高(0.00183 mg/Nm^3)，推測是漿紙污泥的 Hg 含量最高(3.03 mg/kg)。

Kuo *et al.* (2021)檢測燃燒 60%煤與 40%SRF 之排放管道重金屬濃度分別為 Pb (0.0122 mg/Nm^3)、Cd (0.00128 mg/Nm^3)、Hg (0.00015 mg/Nm^3)，與本計畫排放濃度相近。

（二）底渣與飛灰

由於水泥製程並無底渣，本次底渣採樣僅針對使用 SRF 鍋爐進行採樣。**表 4.5-6** 是各廠鍋爐底渣 10 種重金屬之檢測值，其中 Hg 濃度皆<QDL(0.02 mg/kg)、Cd 濃度<QDL(1.0 mg/kg)~3.2 mg/kg、Pb 濃度<QDL(5 mg/kg)~138.7 mg/kg、Al 濃度 6,827~39,919 mg/kg (0.68~3.99%)，CC 廠底渣的 Pb 及 Al 濃度最高，推測可能與其燃燒的 SRF 所含的 Pb 含量高及漿紙污泥的高 Al 含量有關。Kuo *et al.* (2021)檢測燃燒 60%煤與 40%SRF 之底渣重金屬濃度分別為 Hg (0.004 mg/kg)、Cd (1.05 mg/kg)、Pb (4.32 mg/kg)，皆較本計畫濃度低。

表 4.5-7 是各廠鍋爐飛灰 10 種重金屬之檢測濃度，其中 Hg 濃度<QDL(0.02 mg/kg)~1.739 mg/kg、Cd 濃度 1.1~26.6 mg/kg、Pb 濃度 13.7~578.5 mg/kg、Al 濃度 6,919~122,789 mg/kg (0.69~12.3%)，CC 廠飛灰中的 Pb、Cd、Hg、Al 濃度皆較高，至於 CH 廠則須注意飛灰 Hg 濃度最高。Kuo *et al.* (2021)檢測飛灰重金屬濃度分別為 Hg (0.11 mg/kg)、Cd (12.1 mg/kg)、Pb (61 mg/kg)，與本計畫濃度相

近。

（三）廢水

關於廢水重金屬本計畫採集了 FGD 排水及廢水處理廠放流水，**表 4.5-8** 是具有 FGD 設備之排放水中重金屬濃度表，其中需注意 CC 廠的 Hg (0.1317 mg/L) 及 Al (2.379 mg/L)最高，它是 FGD 與 WESP 共排出的廢水，水量大，FGD 排水會再流入該廠之廢水處理廠中。

表 4.5-9 是各廠放流水中重金屬濃度表，依據「晶圓製造及半導體製造業、光電材料及元件製造業、石油化學業、化工業、金屬基本工業、金屬表面處理業、電鍍業、印刷電路板製造業、發電廠及海水淡化廠以外之事業放流水水質項目及限值」，其中有法規管制的金屬有 As、Cd、Cr、Cu、Ni、Pb、Se、Zn 及 Hg 等，各廠放流水重金屬之檢測濃度皆低於現行之放流水標準。

（四）水泥熟料

表 4.5-10 為水泥生料及熟料中重金屬濃度，明顯發現生料中汞濃度高於熟料，這是因為汞易揮發，高溫水泥製程使生料中的汞揮發為氣相，故熟料中的汞已低於方法定量極限(QDL)。至於 Al 元素沸點較高，因此燃料及生料中的鋁會存於熟料中，故熟料濃度高於生料，銅也呈現相似的趨勢。

（五）綜合評析

1.由上述排放管道、廢棄物底渣與飛灰、廢水中重金屬含量之分析結果，雖然各廠排放數值皆符合現行法規標準，但仍有精進改善的地方，例如 CC 廠的排放管道、底渣、飛灰及 FGD 排水中的 Hg 及 Al 濃度皆是較高的，與其使用的 SRF 品質或漿紙污泥成分有密切關係，建議可從源頭改善，同時加裝防制設備，例如活性碳來降低其排放量。

2.以汞為例，飛灰中的濃度明顯高於底渣，這是因為氣相汞隨煙氣溫度下降而冷凝吸附於微粒表面，微粒再由集塵機捕集，因此飛灰中 Hg 濃度較高。

表 4.5-5、排放管道中重金屬彙整表

單位 (mg/Nm^3)	Al	As	**Cd**	Cr	Cu	Ni	**Pb**	Se	Zn	**Hg**
QDL	**0.00145**	**0.000014**	**0.000007**	**0.000014**	**0.000007**	**0.000007**	**0.000014**	**0.000014**	**0.00145**	**0.000185**
排放標準*	**-**	**-**	**0.02**	**-**	**-**	**-**	**0.2**	**-**	**-**	**0.05**
TPM 廠	0.0924	0.000019	**0.000047**	0.000268	0.000380	0.000294	**0.000148**	<QDL	0.00842	**<QDL**
TCS 廠	0.1540	0.000049	**0.000038**	0.000484	0.001690	0.000439	**0.002380**	0.000591	0.01300	**0.048200**
CC 廠	0.0626	<QDL	**0.000013**	0.000282	0.000509	0.000368	**0.000159**	0.000030	0.00887	**0.001830**
CHPC 廠	0.1240	0.000055	**0.000027**	0.000425	0.002530	0.000513	**0.024000**	0.000019	0.01270	**0.000269**
YY 廠	0.1090	0.000025	**0.000010**	0.001090	0.000667	0.001020	**0.001360**	0.000060	0.00715	**0.000214**
YH 廠	0.0546	<QDL	**0.000015**	0.000674	0.000677	0.000349	**0.000254**	<QDL	0.00761	**0.000757**
YTS 廠	0.0933	0.000032	**0.000090**	0.000635	0.00296	0.000717	**0.002320**	<QDL	0.01610	**0.000263**
TCH 廠(I)	0.0813	0.000025	**0.000011**	0.000359	0.000200	0.00010	**0.000205**	0.000187	0.00183	**0.007740**
CH 廠	0.0726	0.000019	**0.000004**	0.000884	0.000623	0.000820	**0.072000**	0.002700	0.00418	**0.000401**
TCH 廠(II)	0.1230	0.000089	**0.000100**	0.000339	0.00109	0.000152	**0.000964**	0.000517	0.00209	**0.018400**
TC 廠	0.0758	0.000009	**0.000007**	0.000423	0.00128	0.000326	**0.003380**	0.000014	0.04380	**0.000214**
ACH 廠	0.1160	0.000030	**0.000013**	0.000574	0.00051	0.000086	**0.000208**	0.000156	0.00297	**0.027900**

[註] *使用資源循環燃料之鍋爐重金屬空氣污染物排放標準（修正預告草案）」(113.6.20)

採樣及分析單位：工研院

表 4.5-6、底渣中重金屬彙整表

單位 (mg/kg)	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Se	Zn	Hg
QDL	**10.0**	**10.0**	**1.0**	**2.0**	**2.0**	**2.0**	**5.0**	**10.0**	**2.0**	**0.02**
CC 廠(I)	36,407	14.5	2.8	226.0	618.7	166.4	43.6	<QDL	1449	<QDL
CC 廠(II)	39,919	24.1	3.2	172.4	1581	147.5	138.7	<QDL	1642	<QDL
CHPC 廠	10,395	<QDL	<QDL	3.2	5.9	3.7	<QDL	<QDL	29.6	<QDL
YY 廠	12,556	<QDL	<QDL	20.8	4.7	28.0	<QDL	<QDL	95.6	<QDL
YH 廠	6,827	25.4	<QDL	73.0	621.7	12.5	18.2	<QDL	7354	<QDL
YTS 廠	10,584	<QDL	<QDL	88.7	1445	67.6	31.9	<QDL	2964	<QDL
CH 廠	35,666	<QDL	<QDL	89.4	153.3	66	37.5	<QDL	647.33	<QDL
TC 廠	12,007	15.3	2.3	35.6	260.4	31.5	<QDL	<QDL	28851	<QDL

註：低於方法定量極限(QDL)之測定值，以”<方法定量極限值”出具。
採樣及分析單位：工研院

表 4.5-7、飛灰中重金屬彙整表

單位 (mg/kg)	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Se	Zn	Hg
QDL	**10.0**	**10.0**	**1.0**	**2.0**	**2.0**	**2.0**	**5.0**	**10.0**	**2.0**	**0.02**
TPM 廠	32,966	<QDL	1.5	19.8	89.6	19.0	23.8	<QDL	134	0.218
TCS 廠	6,919	<QDL	1.7	17.1	10.0	12.9	26.0	<QDL	107	0.818
CC 廠(I)	85,053	10.2	21.5	78.8	1716.7	110.0	484.0	<QDL	2160	1.408
CC 廠(II)	122,789	16.6	26.6	102.4	1888.2	114.9	578.5	<QDL	2762	0.151
CHPC 廠	45,142	<QDL	1.4	34.0	101.6	33.4	41.8	<QDL	546.5	0.157
YY 廠	39,261	14.9	2.6	34.2	38.4	56.1	13.7	<QDL	125.1	0.719
YH 廠	88,308	65.2	20.4	119.7	2829	87.5	416.5	<QDL	24796	0.401
YTS 廠(I)	21,962	15.9	2.7	144.6	4341	186.5	93.8	<QDL	4872	<QDL
YTS 廠(II)	27,603	22.1	4.1	80.8	771.6	79.2	114.3	<QDL	1322	0.345
CH 廠 (反應灰)	47574	10.3	1.1	87.4	162	63.3	31.5	<QDL	868.45	0.198
CH 廠 (飛灰)	41257	<QDL	3.5	66.5	277.4	47.9	137.9	<QDL	744.53	1.739
TC 廠	20897	<QDL	3.0	23.0	278.3	26.9	52.8	<QDL	28033	0.264

註：低於方法定量極限(QDL)之測定值，以”<方法定量極限值”出具。採樣及分析單位：工研院。

表 4.5-8、FGD 排水中重金屬彙整表

單位 (mg/L)	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Se	Zn	Hg
QDL	**0.02**	**0.02**	**0.002**	**0.01**	**0.01**	**0.01**	**0.02**	**0.05**	**0.01**	**0.0005**
CC 廠	2.379	<QDL	<QDL	0.032	<QDL	0.014	<QDL	<QDL	0.080	0.1317
YY 廠	2.210	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	0.023	<QDL
YH 廠	0.775	<QDL	<QDL	0.130	0.010	0.185	<QDL	<QDL	0.118	<QDL
YTS 廠	0.065	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	0.027	0.0361

註：低於方法定量極限(QDL)之測定值，以”<方法定量極限值”出具。採樣及分析單位：工研院。

表 4.5-9、放流水中重金屬彙整表

單位 (mg/L)	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Se	Zn	Hg
排放標準 [1]	**-**	**0.5**	**0.03**	**2.0**	**3.0**	**1.0**	**1.0**	**0.5**	**5.0**	**0.005**
QDL	**0.02**	**0.02**	**0.002**	**0.02**	**0.02**	**0.02**	**0.01**	**0.05**	**0.02**	**0.0005**
CC 廠	0.491	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL
CHPC 廠	0.147	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL
YY 廠	0.094	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	0.021	<QDL
YH 廠	0.415	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL
YTS 廠	0.772	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL
TCH 廠(I)	0.078	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	0.139	<QDL
CH 廠	0.326	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL
TCH 廠(II)	0.061	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	<QDL	0.162	<QDL

註：[1] 晶圓製造及半導體製造業、光電材料及元件製造業、石油化學業、化工業、金屬基本工業、金屬表面處理業、電鍍業、印刷電路板製造業、發電廠及海水淡化廠以外之事業放流水水質項目及限值。低於方法定量極限(QDL)之測定值，以"<方法定量極限值"出具。採樣及分析單位：工研院。

表 4.5-10、水泥生料及熟料中重金屬濃度

工廠代號	單位 (mg/kg)	Al	As	Cd	Cr	Cu	Ni	Pb	Se	Zn	Hg
	QDL	**10.0**	**10.0**	**1.00**	**2.00**	**2.00**	**2.00**	**5.00**	**10.0**	**2.00**	**0.020**
TCS 廠	水泥生料	20,456	-	1.90	-	34.1	-	37.1	-	-	0.949
	水泥熟料	24,406	<QDL	1.86	59.4	54.2	21.2	23.6	<QDL	207	<QDL
TCH 廠(I)	水泥生料	18,114	-	1.63	-	61.1	-	13.4	-	-	0.932
	水泥熟料	22,297	21.9	2.75	55.6	169	24.0	26.9	<QDL	226	<QDL
TCH 廠(II)	水泥生料	19,690	-	1.40	-	55.9	-	16.5	-	-	1.44
	水泥熟料	25,197	<QDL	1.80	55.9	82.5	21.7	23.7	<QDL	161	<QDL
ACH 廠	水泥生料	14,399	-	<QDL	-	20.2	-	<QDL	-	-	0.055
	水泥熟料	20,503	<QDL	1.24	109	13.8	24.0	<QDL	<QDL	78.9	<QDL

註：低於方法定量極限(QDL)之測定值，以”<方法定量極限值”出具。採樣及分析單位：工研院。

三、PSN（粒狀污染物、二氧化硫及氮氧化物）

表 4.5-11 為彙整 8 廠非水泥製程之排放管道 PSN（包含粒狀污染物、二氧化硫及氮氧化物）檢測濃度，粒狀污染物濃度範圍 1~9 mg/Nm^3，二氧化硫濃度範圍 ND(<2)~60 ppm，以 TC 廠濃度最高，氮氧化物濃度 14~84 ppm，以 TC 廠濃度最高，只有 TC 廠之二氧化硫濃度(60 ppm)超標，其他各廠的粒狀物、硫氧化物及氮氧化物皆符合排放標準。推測 TC 廠使用廢橡膠作為替代燃料，其中的 S 含量 1.579%，加上目前該廠只有於鍋爐內注入石灰石粉進行乾式脫硫，可能因除酸效果不佳造成排放濃度過高。

表 4.5-12 為彙整 3 家（4 場次）水泥廠之排放管道 PSN（包含粒狀污染物、二氧化硫及氮氧化物）檢測濃度，粒狀污染物濃度範圍 5~20 mg/Nm^3，二氧化硫濃度範圍 1~6 ppm，氮氧化物濃度 79~204 ppm，各廠的粒狀物、硫氧化物及氮氧化物皆符合排放標準。

表 4.5-11、各廠排放管道 PSN 檢測數據彙整

工廠代號	TPM 廠	CC 廠	CHPC 廠	YY 廠	YH 廠	YTS 廠	CH 廠	TC 廠	排放標準 [a]
空氣污染防制設備	SNCR+SCR+ACI+BF	SNCR+SCR+BF+FGD+WESP	SNCR+乾式脫硫(石灰石)+ESP	BF+O_3+FGD	SNCR+SCR+BF-鐵氟龍觸媒濾袋+FGD	ACI+BF+O_3+FGD	SCR+SDA+BF	SNCR+乾式脫硫(石灰石)+ESP	-
粒狀污染物 (mg/Nm^3)	1	1	4	4	4	9	7	6	30
二氧化硫 (ppm)	ND(<2)	ND(<2)	ND(<2)	25	6	2	24	60	50
氮氧化物 (ppm)	22	14	38	59	27	71	31	84	100

a 鍋爐空氣污染物排放標準
b 水泥業空氣污染物排放標準

表 4.5-12、水泥廠排放管道 PSN 檢測數據彙整

工廠代號	TCS 廠	TCH(I)	TCH(II)	ACH 廠	排放標準 [b]
空氣污染防制設備	SNCR+BF	BF	BF	SNCR+BF	-
粒狀污染物 (mg/Nm^3)	20	5	18	5	30
二氧化硫 (ppm)	1	2	6	4	100
氮氧化物 (ppm)	204	158	79	173	300

b 水泥業空氣污染物排放標準

四、塑化劑

塑化劑的種類高達百種，本計畫挑選常見的塑化劑種類作為探討對象，包含：鄰苯二甲酸二甲酯(DMP)、鄰苯二甲酸二乙酯(DEP)、鄰苯二甲酸二丁酯(DBP)、鄰苯二甲酸丁基苯甲酯(BBP)、鄰苯二甲酸二辛酯(DNOP)、鄰苯二甲酸乙己酯(DEHP)等六種。

表 4.5-13 為各廠燃料中塑化劑濃度，SRF 中的濃度 116~1,530 mg/kg，以 TCH 廠最高，因 SRF 主要成分為透明廢塑膠片 。此外，SRF 的塑化劑含量明顯較木屑(13~57.4 mg/kg)、漿紙污泥(ND~44.7 mg/kg)及廢橡膠(11.4~43.9 mg/kg)高。SRF 中以 DEHP 為主(>86%)，木屑及漿紙污泥中也是以 DEHP 為主，分別為 76.7%及 100%。DEHP 與 PVC 的相容性極佳，是 PVC 加工上用量最大的可塑劑，顯示 SRF 中可能有 PVC 塑料存在。

表 4.5-14 為 3 家（4 場次）水泥生料及熟料中塑化劑濃度，所有場次的水泥生料皆不含塑化劑，至於熟料只有 TCS 廠含有微量塑化劑(91.43 μg/kg)，其中以 DEHP 為主(91.5%)，由於水泥旋窯之溫度高於 1000℃，理論上燃料中的塑化劑應完全被高溫燒光，可能是環境背景干擾所致。

表 4.5-15 為排放管道煙氣中塑化劑濃度，濃度範圍介於 1.355~54.45 μg/Nm^3，各廠塑化劑濃度低，但主要的塑化劑物種明顯與其他介質不同，有 6 廠是以 DEP 為主（佔比 52~85%，**表 4.5-16**），有 5 廠以 DEHP 為主（佔比 65~89%），至於 CC 廠以 DEP 與 DEHP 為主且佔比各半。

表 4.5-17 為各廠廢棄物中塑化劑含量比較，各廠底渣與飛灰中塑化劑含量皆很低，但呈現不同現象，CC 廠及 TC 廠底渣與飛灰的塑化劑含量相近，但 CHPC 廠及 YY 廠飛灰中的塑化劑明顯高於底渣，YH 廠及 YTS 廠飛灰中塑化劑為 ND。至於 CH 廠底渣及反應灰的塑化劑皆為 ND，飛灰中塑化劑則為 88 μg/kg。廢棄物中的塑化劑含量與燃料中的多寡無相關性，因塑化劑於鍋爐高溫環境下大部分已被分解，但可能與鍋爐燃燒效率有關，只有 CH 廠之飛灰以 DBP 為主，其他各廠底渣與飛灰皆以 DEHP 為主，可能是 CH 廠的 SRF 是木質顆粒，明顯與它

廠不同。

表 4.5-18 為廢水中塑化劑濃度，FGD 排水與廢水處理廠之放流水濃度相近，多數皆以 DEHP 為主。

表 4.5-13、燃料中各塑化劑含量及佔比

燃料種類		SRF							其他燃料						
TPM 廠	單位	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計
	mg/kg	ND	ND	10.1	ND	ND	241	251.1	-	-	-	-	-	-	-
	%	-	-	4.0	-	-	96.0	100	-	-	-	-	-	-	-
燃料種類		SRF							木屑						
TCS 廠	單位	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計
	mg/kg	ND	ND	10.8	ND	ND	189	199.8	ND	ND	13.4	ND	ND	44.0	57.4
	%	-	-	5.4	-	-	94.6	100	-	-	23.3	-	-	76.7	100
燃料種類		SRF							漿紙污泥						
CC 廠	單位	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計
	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	427	427.0	ND	ND	ND	ND	ND	44.7	44.7
	%	-	-	-	-	-	100	100	-	-	-	-	-	100	100
燃料種類		SRF							漿紙污泥						
CHPC 廠	單位	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計
	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	116	116	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	%	-	-	-	-	-	100	100	-	-	-	-	-	-	-
燃料種類		SRF							漿紙污泥						
YY 廠	單位	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計
	mg/kg	ND	ND	17.7	ND	ND	106	123.7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	%	-	-	14.3	-	-	85.7	100	-	-	-	-	-	-	-

燃料種類		SRF							廢橡膠						
YH 廠	單位	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計
	mg/kg	ND	15	28	ND	ND	430	473	ND	ND	ND	ND	ND	43.9	43.9
	%	-	3.2	5.9	-	-	90.9	100	-	-	-	-	-	100	100
燃料種類		SRF							漿紙污泥						
YTS 廠	單位	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計
	mg/kg	ND	ND	51.7	ND	ND	541	592.7	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	%	-	-	8.7	-	-	91.3	100	-	-	-	-	-	-	-
燃料種類		SRF							木屑						
TCH 廠(I)	單位	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計
	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	1530	1530	ND	ND	ND	ND	ND	36.7	36.7
	%	-	-	-	-	-	100	100	-	-	-	-	-	100	100
燃料種類		SRF							漿紙污泥						
CH 廠	單位	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計
	mg/kg	ND	ND	13.1	ND	ND	258	271.1	ND	ND	ND	ND	ND	10.6	10.6
	%	-	-	4.8	-	-	95.2	100	-	-	-	-	-	100	100
燃料種類		SRF							木屑						
TCH 廠(II)	單位	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計
	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	1260	1260	ND	ND	ND	ND	ND	13	13
	%	-	-	-	-	-	100	100	-	-	-	-	-	100	100
燃料種類		SRF							廢橡膠						
TC 廠	單位	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計
	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	261	261	ND	ND	ND	ND	ND	11.4	11.4
	%	-	-	-	-	-	100	100	-	-	-	-	-	100	100

淨零政策之環境風險評估(2/4)

燃料種類		SRF							塑膠片						
ACH 廠	單位	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計
	mg/kg	ND	ND	11.4	ND	ND	167	178.4	ND	ND	ND	ND	ND	300	300
	%	-	-	6.4	-	-	93.6	100	-	-	-	-	-	100	100

DMP：ND (MDL=3.00 mg/kg)
DEP：ND (MDL=3.00 mg/kg)
DBP：ND (MDL=3.00 mg/kg)
BBP：ND (MDL=3.00 mg/kg)
DEHP：ND (MDL=3.00 mg/kg)
DNOP：ND (MDL=3.00 mg/kg)
[註]採樣單位：工研院；分析單位：國環院

表 4.5-14、水泥生料及熟料中各塑化劑含量及佔比

TCS 廠	水泥生料 (mg/kg)							
	塑化劑	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計
	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	%	-	-	-	-	-	-	-
	水泥熟料 (μg/kg)							
	塑化劑	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計
	μg/kg	ND	7.73	ND	ND	ND	83.7	91.43
	%	-	8.5	-	-	-	91.5	100
TCH 廠(I)	水泥生料 (mg/kg)							
	塑化劑	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計
	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	%	-	-	-	-	-	-	-
	水泥熟料 (μg/kg)							
	塑化劑	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計
	μg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	%	-	-	-	-	-	-	-

淨零政策之環境風險評估(2/4)

TCH 廠(II)	水泥生料 (mg/kg)							
	塑化劑	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計
	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	%	-	-	-	-	-	-	-
	水泥熟料 (μg/kg)							
	塑化劑	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計
	μg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	%	-	-	-	-	-	-	-
ACH 廠	水泥生料 (mg/kg)							
	塑化劑	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計
	mg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	%	-	-	-	-	-	-	-
	水泥熟料 (μg/kg)							
	塑化劑	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計
	μg/kg	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	%	-	-	-	-	-	-	-

[註 1]水泥生料：DMP、DEP、DBP、BBP、DEHP 及 DNOP 之 ND (MDL=3.00 mg/kg)
水泥熟料：
DMP：ND (MDL=0.44 μg/kg)
DEP：ND (MDL=1.35 μg/kg)
DBP：ND (MDL=1.75 μg/kg)
BBP：ND (MDL=0.59 μg/kg)
DEHP：ND (MDL=5.04 μg/kg)
DNOP：ND (MDL=1.68 μg/kg)
[註]採樣單位：工研院；分析單位：國環院

表 4.5-15、排放管道中塑化劑濃度實測值(μg/Nm^3)

工廠代號	沸點(°C)	TPM 廠	TCS 廠	CC 廠	CHPC 廠	YY 廠	YH 廠	YTS 廠
DEP	298	0.184	1.618	3.206	8.939	4.246	8.121	4.602
DMP	283	0.033	0.036	0.051	ND	1.567	ND	1.538
DBP	340	0.097	0.171	0.198	0.110	0.089	0.133	0.079
BBP	370	0.052	0.139	0.045	ND	ND	0.223	0.119
DEHP	385	0.988	4.577	3.070	1.605	1.284	2.188	2.474
DNOP	385	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
小計	-	1.355	6.540	6.570	10.655	7.186	10.665	8.812

工廠代號	沸點(°C)	TCH 廠(I)	CH 廠	TCH 廠(II)	TC 廠	ACH 廠
DEP	298	4.649	1.648	6.572	12.410	0.382
DMP	283	0.556	0.248	0.054	1.292	0.114
DBP	340	0.137	0.084	0.134	0.372	0.153
BBP	370	0.063	0.099	0.019	0.238	0.083
DEHP	385	1.025	3.838	0.982	39.77	6.391
DNOP	385	ND	ND	ND	0.374	0.077
小計	-	6.429	5.917	7.760	54.45	7.200

表 4.5-16、排放管道中各塑化劑濃度佔比(%)

工廠代號	TPM 廠	TCS 廠	CC 廠	CHPC 廠	YY 廠	YH 廠	YTS 廠
DEP	14	25	49	84	59	76	52
DMP	2	1	1	-	22	-	17
DBP	7	3	3	1	1	1	1
BBP	4	2	1	-	-	2	1
DEHP	73	70	47	15	18	21	28
DNOP	-	-	-	-	-	-	-
小計	100	100	100	100	100	100	100

工廠代號	TCH 廠(I)	CH 廠	TCH 廠(II)	TC 廠	ACH 廠
DEP	72	28	85	23	5
DMP	9	4	1	2	2
DBP	2	1	2	1	2
BBP	1	2	0	0	1
DEHP	16	65	13	73	89
DNOP	-	-	-	1	1
小計	100	100	100	100	100

表 4.5-17、廢棄物中塑化劑彙整表

燃料種類	底渣 (μg/kg)							飛灰 (μg/kg)						
廠家	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計
TPM 廠	-	-	-	-	-	-	-	ND	2.22	3.89	ND	ND	13.8	19.91
TCS 廠	-	-	-	-	-	-	-	ND	4.31	5.43	ND	ND	106	115.74
CC 廠-1	ND	ND	2.98	ND	ND	12.9	15.88	0.47	ND	1.91	ND	ND	11.7	14.08
CC 廠-2	ND	1.84	2.03	ND	ND	25.7	29.57	ND	3.8	ND	ND	ND	14.4	18.2
CHPC 廠	ND	ND	2.85	ND	ND	7.72	10.57	1.27	ND	10.1	ND	12.1	64.5	87.97
YY 廠	ND	ND	ND	ND	ND	9.44	9.44	ND	ND	ND	ND	ND	658	658
YH 廠	ND	ND	ND	ND	ND	5.28	5.28	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
YTS 廠-1	ND	ND	ND	ND	ND	9.30	9.30	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
YTS 廠-2	-	-	-	-	-	-	-	ND	2.27	11.3	ND	ND	34.7	49.29
CH 廠	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	反應灰						
								ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
								飛灰						
								ND	ND	76.6	ND	ND	11.4	88.0
TC 廠	ND	ND	2.28	ND	ND	7.26	9.54	ND	ND	2.81	ND	ND	9.98	12.79

[註] “-“表示該廠無產生底渣或飛灰

表 4.5-18、廢水中塑化劑彙整表

燃料種類	FGD 排水 (μg/L)							放流水 (μg/L)						
廠家	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計	DMP	DEP	DBP	BBP	DNOP	DEHP	小計
CC 廠	ND	0.821	0.540	ND	ND	1.69	3.051	ND	0.761	0.599	ND	ND	1.58	2.940
CHPC 廠	-	-	-	-	-	-	-	ND	0.435	0.379	ND	ND	2.46	3.274
YY 廠	ND	ND	0.514	ND	ND	2.29	2.804	ND	0.380	0.316	ND	ND	1.73	2.426
YH 廠	ND	0.924	0.445	ND	ND	0.878	2.247	ND	0.718	0.478	ND	ND	0.938	2.134
YTS 廠	ND	0.891	0.515	ND	ND	2.090	3.496	0.113	3.330	0.798	ND	ND	2.130	6.371
TCH 廠(I)	-	-	-	-	-	-	-	ND	0.526	0.477	ND	ND	0.804	1.807
CH 廠	-	-	-	-	-	-	-	0.072	1.03	0.419	ND	ND	1.09	2.611
TCH 廠(II)	-	-	-	-	-	-	-	ND	0.827	0.415	ND	ND	0.983	2.225
TC 廠	-	-	-	-	-	-	-	0.058	4.03	0.383	ND	ND	0.936	5.407

[註] "-"表示該廠無產生廢水

五、多環芳香烴碳氫化合物(PAHs)

多環芳香烴碳氫化合物(PAHs)是當煤、SRF 或其他有機替代燃料燃燒不完全而產生，**表 4.5-19** 及**圖 4.5-5** 是各廠煙囪位置之 PAHs 平均排放濃度值，本計畫以 19 種 PAHs 之 BaP_{eq} 毒性當量濃度來表示，各廠濃度介於 0.2~2,332 ng-BaP_{eq}/Nm^3，TPM、CHPC、YTS、CH 及 TC 廠的濃度明顯較低，其中 TPM 與 YTS 廠有噴活性碳故排放數值較低，CHPC 及 TC 廠因其燃燒條件良好，至於 CH 廠之 SRF 成分單純。

排放濃度較高的為 TCS、CC、YH、TCH 及 ACH 廠，最高是 CC 廠，推測與 PCDD/Fs 生成原因相似，下方會進一步探討。YH 廠是 SRF 專燒爐，採用的空污設備為觸媒分解系統，是用來去除 PCDD/Fs，但對 PAHs 控制似乎不佳，推測原因可能是觸媒濾袋操作溫度偏低(<180℃)，或觸媒種類不適用於分解 PAHs 物種。

另外，三家水泥廠（TCS、TCH 及 ACH 廠）排放的 PAHs 也明顯比其他廠高些，雖然水泥製程的操作溫度可達 1000℃，但使用的原料及燃料種類多元，加上空污防制設備只有安裝袋式集塵機或靜電集塵機，無活性碳吸附，建議後續計畫能在預熱器出口及煙囪同時進行氣/固相分析，藉以了解主要相態的分布及既有設備對 PAHs 的去除效率。國內目前尚未訂定 PAHs 排放濃度標準。

關於 PAHs 主要生成物種（**圖 4.5-6**），除了 TPM 廠外，其他廠皆以二環的 Nap 佔比最高（大於 40%以上），更高環數之 PAHs 幾乎測不到，推測原因可能是低分子量的 PAHs 主要以氣相存在而由煙囪排出。至於 TPM 廠以四環之 Pyr 最高，原因可能是低分子量、氣相的低環物種（如 Nap）被活性碳吸附所致。

探究 CC 廠之 PAHs 濃度偏高之可能原因如下：

(1)樣品、實驗器皿、實驗材料、環境背景等污染：檢視空白樣品之分析結果皆為

ND，此項因素應可排除。

(2)CC 廠檢測期間 SRF 混燒比約 70%，替代燃料(SRF 與漿紙污泥)佔比約 90%，雖然鍋爐操作溫度介於 850-876℃，由於替代燃料成分較煤複雜，且空污防制設備並未使用活性碳，因此，PAHs 排放濃度明顯偏高。

表 4.5-19、各廠煙囪排放之 PAHs 濃度

工廠名稱	平均濃度 (ng BaP_{eq}/Nm^3)
TPM 廠	0.9
TCS 廠	368
CC 廠	2,332
CHPC 廠	0.5
YY 廠	15
YH 廠	204
YTS 廠	0.7
TCH 廠(I)	133
CH 廠	0.2
TCH 廠(II)	473
TC 廠	0.6
ACH 廠	115

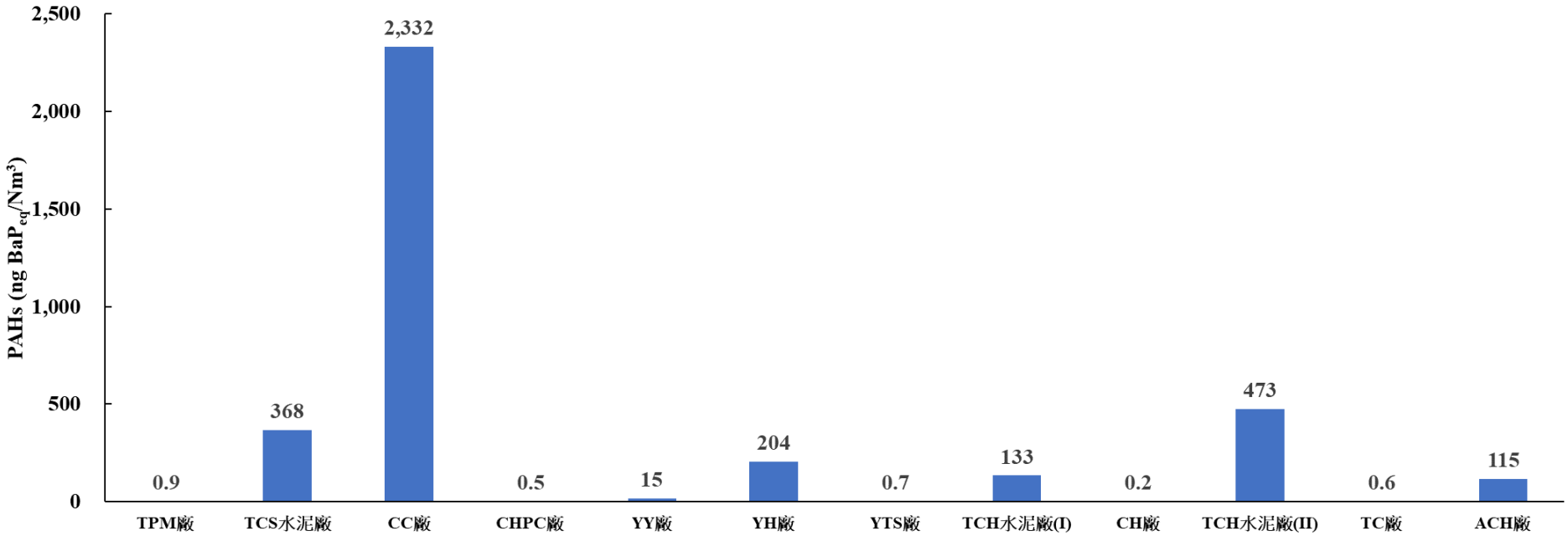


圖 4.5-5、各廠 PAHs 排放濃度比較

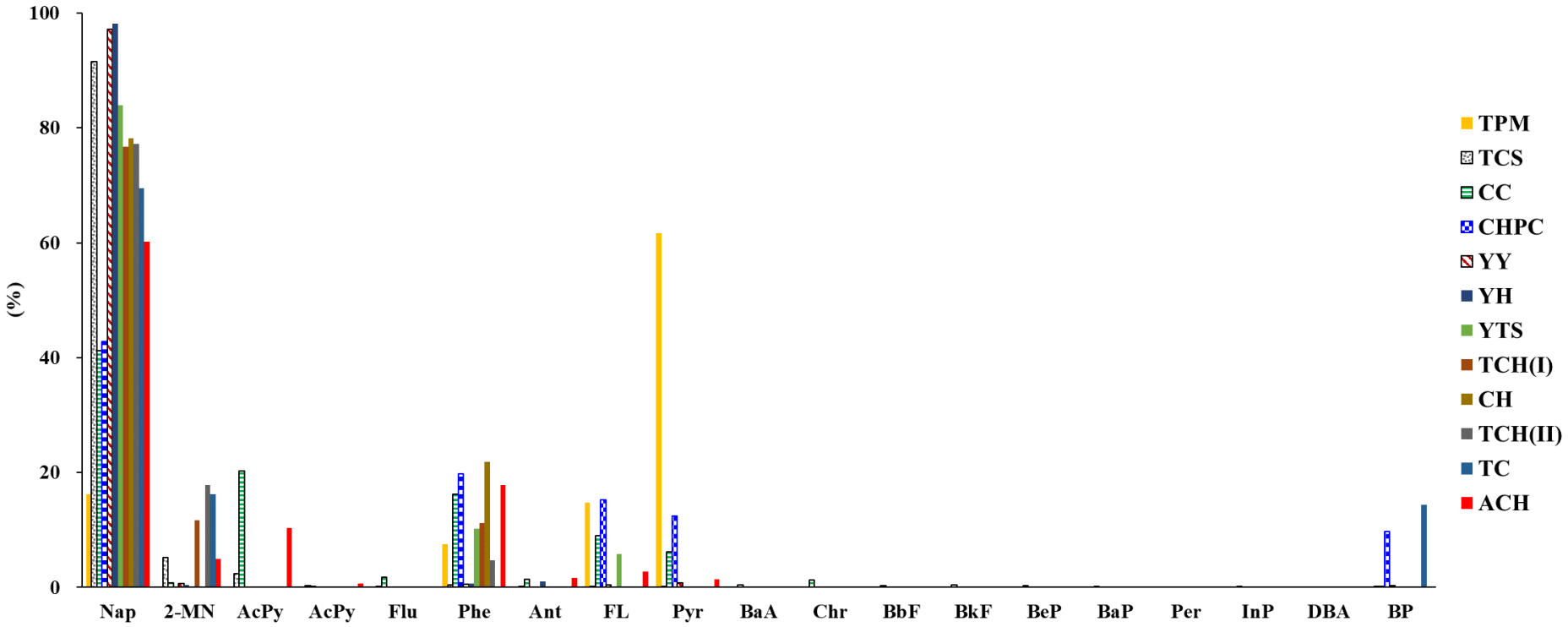


圖 4.5-6、各廠 PAHs 生成物種比較

4.5.2 各廠 PCDD/Fs 排放解析

根據前一節污染物的數據彙整結果，混燒SRF最可能之潛在問題是PCDD/Fs排放，因此本節將針對 12 場次 PCDD/Fs 排放進行解析說明與改善建議。

(1)TPM 廠：

該廠選擇一座汽電共生程序之循環式流體化床進行採樣對象，最大蒸氣產量500 公噸/小時。檢測期間鍋爐使用的燃料種類包含生煤、SRF 與工廠製程廢氣。SRF 來源為生活垃圾，至於製程廢氣主要成分為碳氫化合物、廢甲烷及氮氣等。

SRF 來源為生活垃圾經機械分選產製，SRF 外觀尺寸小於 5 公分且無造粒（**圖 4.5-7**），SRF 成分包含廢塑膠、紙類、木屑、纖維等，SRF 儲存於室內廠房，室內空間有些許垃圾發酵異味，裝設有熱成像分析儀監控廠內是否有發煙、火災情事。廠內對於 SRF 中氯的允收標準≤1%，本次採集的 SRF 之 Cl 含量為 0.745 %，符合 Cl 之允收標準，但仍比其他廠使用的 SRF 含氯量略高。

該廠空氣污染防制設備設有鍋爐內添加入石灰石之乾式脫硫及噴入氨水脫硝之選擇性非觸媒還原反應(Selective Non-Catalytic Reduction, SNCR)、選擇性觸媒還原(Selective Catalytic Reduction, SCR)、管道噴入活性碳設備(Activated Carbon Injection, ACI)與整合式脫硫除塵之袋式集塵機(Bag Filter, BF)，於濾袋表面附著氧化鈣粉末(CaO)執行二次除酸。

PCDD/Fs 採樣期間投入之燃料包含生煤、SRF 及製程廢氣，各種燃料之平均投入量如**表 4.5-20**，固體燃料投入量約 39.17 公噸/小時，其中 SRF 佔固體燃料之 5%，SRF 之 Cl 及 Cu 含量分別為 0.745%及 55 mg/kg。**表 4.5-21** 是採樣期間鍋爐及空污防制設備的操作參數，爐膛溫度 870~950℃，為了去除燃燒產生的氮氧化物，於爐內 SNCR 及 SCR 分別添加 20%氨水，添加量分別為 65 及 195 公升/小時，脫硝反應溫度分別為 793 及 325℃。戴奧辛控制設備為管道內噴注入活性碳(AC)用來吸附氣相 PCDD/Fs，活性碳噴注量約 1 公斤/小時，經換算該廠之單位氣體體積之活性碳注入量為 2.3 mg-AC/Nm^3，以袋式集塵機收集微粒及反應後的活性碳，酸性氣體則以鍋爐內注入石灰石（添加量約 1.7~2.5 公噸/小時）及濾袋表面氧化鈣方式脫硫，蒸氣平均產量 349 公噸/小時，故採樣期間鍋爐生產

蒸氣的負載約 70%。

表 4.5-22 為本次 PCDD/Fs 排放檢測值，煙囪排氣之 PCDD/Fs 實測濃度為 0.002 ng-TEQ/Nm^3，符合現行固定污染源 PCDD/Fs 排放標準(<0.5 ng-TEQ/Nm^3)，若校正為 O_2=11%及 6%時之濃度分別為 0.002 及 0.003 ng-TEQ/Nm^3，亦符合 113.6.20 預告修正「鍋爐空氣污染物排放標準」加嚴後之規定(< 0.1 ng-TEQ/Nm^3)。

雖然該廠 SRF 的來源為生活垃圾，成分較為複雜，經分析 SRF 之 Cl 含量(0.745%)亦較其他廠之 SRF 高，但該廠鍋爐投入的 SRF 佔比僅約固體燃料的 5%，生煤佔 95%，燃燒溫度>850℃，同時採用活性碳吸附氣相 PCDD/Fs，因此煙囪排出之 PCDD/Fs 濃度較低。該廠是將底渣回收再利用，因此無底渣樣品。活性碳吸附是將氣相轉為固相，因此進一步分析飛灰中 PCDD/Fs，濃度僅為 0.003 ng-TEQ/g，認定為一般事業廢棄物。

進一步分析本廠鍋爐系統之 PCDD/Fs 流佈，該廠 PCDD/Fs 取樣的位置為袋式集塵機收集之飛灰與煙囪排氣，藉由單位時間飛灰排出量及煙囪的排氣量來計算，結果如**表 4.5-23**。以飛灰佔比最高(94.5%)，煙囪排氣只佔 5.5%，顯示該廠大部分之氣相 PCDD/Fs 已被活性碳吸附，與飛灰上之固相 PCDD/Fs 一起被袋式集塵機所捕集。本次採樣鍋爐系統（煙囪+飛灰）之 PCDD/Fs 排放率為 15.9 μg-TEQ/h。

該廠之 PCDD/Fs 排放濃度皆符合目前及加嚴後的法規標準，唯獨 SRF 存放場之發酵臭異味須加以解決。可藉由氣罩配合抽氣設備及管線，將其抽送至處理設備，例如：活性碳吸附或引入鍋爐或燃燒設備處理。

表 4.5-20、TPM 廠 PCDD/Fs 採樣期間投入的燃料種類

項次	燃料種類	投入量
1	SRF（來自生活垃圾）	1.94 公噸/小時
2	生煤	37.22 公噸/小時
3	製程廢氣	1,956 Nm^3/小時
固體燃料投入量（公噸/小時）		39.17
固體燃料中 SRF 之佔比(%)		5%

表 4.5-21、TPM 廠採樣期間鍋爐及空污防制設備操作參數

鍋爐	操作參數
型式	循環式流體化床
水(T/h)	347~368
水蒸氣(T/h)	349
蒸氣生產負載(%)	70
爐膛溫度(℃)	870~950
石灰石投入量(T/h)	1.7~2.5
SNCR-20%氨水注入量(L/h)	65
SNCR 操作溫度(℃)	788~794
SCR	
操作溫度(℃)	322~330
20%氨水注入量(L/h)	195
BF	
入口溫度(℃)	131~134
濾袋	品牌/材質：GORE PTFE 數量：4,000 支濾袋
活性碳注入量(kg/h)	1.0
二次除酸-濾袋表面噴入 CaO 粉	
煙囪	
排氣量(Nm^3/min)-乾基	7,264

表 4.5-22、TPM 廠之 PCDD/Fs 排放濃度

介質	PCDD/Fs 濃度測值
底渣 (ng-TEQ/g)	無（回收再利用）
飛灰 (ng-TEQ/g)	0.003
排放管道 (ng-TEQ/Nm^3)	實測值 0.002 0002 (@O_2=11%) 0.003 (@O_2=6%)

表 4.5-23、TPM 廠之鍋爐 PCDD/Fs 排放流佈分析

位置	項目	數值	Output (%)
飛灰	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	0.872	94.5
煙囪排氣	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	15.0	5.5
鍋爐系統小計	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	15.9	100

圖 4.5-7、TPM 廠使用的 SRF 外觀

(2)TCS 廠：

該廠為水泥廠，**圖 4.5-8** 為典型的水泥生產製程流程圖，**圖 4.5-9** 為水泥使用替代原料、替代燃料投入位置之示意圖。水泥的生產流程包含開採石灰石、破碎、研磨生料、預熱器（是一系列垂直旋風分離器）、預煅燒器、旋窯燒製熟料、熟料冷卻、混合與研磨水泥，主要單元設備說明如下：

A.預熱器：是一系列垂直旋風分離器，生料通過其中，生料與旋轉的熱旋窯氣體接觸，兩者方向相反。旋風分離器從熱煙氣中回收熱能，並在生料進入窯前對其進行預熱（生料溫度被提高到約 900˚C 以上）。

B.預煅燒器：煅燒是將石灰石分解成石灰。“預煅燒器”位於預熱器底部的燃燒室，部分位於窯中。預煅投入燃料熱值佔比約 60%，排放 60-70%的總 CO_2。

C.旋窯中生產熟料：旋窯投入燃料熱值佔比約 40%，預煅的生料進入窯，窯中達到>1000°C。隨著窯轉動，物料在越來越熱的區域內滑動和下落，朝向火焰。強烈的熱量引起化學和物理反應，將生料部分熔化成熟料。

D.冷卻：來自窯的熱熟料在爐排冷卻器上迅速從 1000˚C 以上冷卻到 100˚C。冷卻器將進入的燃燒空氣吹向熟料。

E.混合：熟料與其他礦物成分混合，製成水泥。水泥含有約 4-5%的石膏，以控制水泥的凝固時間。爐渣、粉煤灰、石灰石或其他物料可以被混合或混磨以替代部分熟料，這樣生產出混合水泥。

F.磨粉：冷卻後的熟料和石膏混合物被磨成灰色粉末，稱為波特蘭水泥，或與其他礦物成分一起磨，製成混合水泥。

本次檢測選擇該廠水泥製造程序進行採樣，水泥熟料產量約 208.3 公噸/小時、水泥產量約 140 萬公噸/年。水泥製程使用的天然原料種類包含：石灰石、黏土、矽砂、鐵渣等，替代原料包含：再生粒料、爐石、礦物細料等。

天然燃料主要為煙煤，替代燃料包含 SRF、木屑、橡膠片、廢塑膠、廢木材等，該廠替代燃料投入位置是在預煅器內（預煅分解）。SRF 來源有 3 家，SRF

主要成分為廢塑膠、廢紙及廢纖維，但三家不同來源的 SRF 堆置於一個共同儲存廠內，SRF 外觀有造粒與未造粒兩種，在使用上彼此間並無維持固定比例，採隨機投料。

原料的流向由生料磨、預熱器、預煅燒器、水泥旋窯至熟料冷卻機，而氣體流向依序為水泥旋窯、預煅燒器、預熱器、生料磨、空氣污染防制設備及煙囪等。關於空氣污染防制設備，石灰石原料即有除酸功能，因此未設其他除酸設備，主要以靜電複合脈動式袋式集塵機、靜電集塵機及脈動式袋式集塵機等去除微粒為主。該廠主煙囪位置位於預熱器之排氣管道，預熱器為了去除氮氧化物有噴入 40-50%氨水（注入量 1,300~1,600 L/h）。主煙囪含有三股廢氣來源（包含：生料研磨、預熱器、旋窯）再經一座靜電複合脈動式袋式集塵機處理後由煙囪排出。生料經水泥旋窯熟成後產生熟料，由於製程產生的飛灰皆回收作為水泥原料，因此並無產生底渣、飛灰等之固體廢棄物，不過本次仍在排氣除塵功用之靜電複合脈動式袋式集塵機下料灰斗採集飛灰樣品，了解其濃度數值。

PCDD/Fs 採樣期間投入之原料及燃料如**表 4.5-24** 及**表 4.5-25**，原料投入量平均約 370 公噸/小時，經研磨後的生料用量平均約 317 公噸/小時，經分析本次生料的含氯量為 ND，熟料產量約 198.11 公噸/小時，生熟比為 1.6，採樣期間水泥熟料生產負載約 94.1%。

採樣期間投入的燃料包含煙煤、SRF（**圖 4.5-10**）及木屑（**圖 4.5-11**），其中 SRF 佔比僅約 6.4%，若以替代燃料（SRF+木屑）來計，佔比約 53.7%。SRF 的主成分為廢塑膠、廢紙及廢纖維，**表 4.5-26** 為該廠 SRF 之允收標準，要求氯含量低於 0.35%，但本次採集的 SRF 含氯量為 0.427%、銅含量為 243 mg/kg（**表 4.5-27**）。至於木屑所含的 Cl (0.2%)、Cu (61.8 mg/kg)皆較 SRF 低。旋窯（又稱頭窯）只投入煙煤為燃料，預熱器（尾窯）則投入煙煤、SRF 及木屑。

採樣期間預煅分解溫度 900~1000℃、旋窯燒成溫度 1026~1158℃，旋窯內氣體停留時間約 5~10 秒，本次煙囪 PCDD/Fs 排放檢測實測濃度為 0.001 ng-TEQ/Nm^3，符合現行 PCDD/Fs 排放標準(<0.1 ng-TEQ/Nm^3，**表 4.5-28**)。該廠雖無戴奧辛防制設備，但低 SRF 混燒比(6.4%)、替代燃料及水泥生料的 Cl 含量低（ND~0.427%）、加上石灰石原料具有除酸功能，能與 HCl 反應，水泥製程的高

溫條件(>900°C)、氣體停留時間長（5~10 秒）等特性能將 PCDD/Fs 分解破壞。該廠袋式集塵機所捕集的飛灰將回收做為水泥原料，為了進一步確認 PCDD/Fs 排出濃度，該廠同時採集飛灰及水泥熟料，其 PCDD/Fs 濃度分別為 0.023 及 0.0006 ng-TEQ/g，皆遠低於有害廢棄物認定標準(<1.0 ng-TEQ/g)，顯示該廠水泥製程混燒約 50%替代燃料（6% SRF+47%木屑）所生成之 PCDD/Fs 濃度可符合排放標準。由於水泥製程之飛灰將回收成為水泥原料，因此依照本次檢測數據計算該廠水泥製程之煙囪 PCDD/Fs 排放率為 0.36 μg-TEQ/h（**表 4.5-29**）。

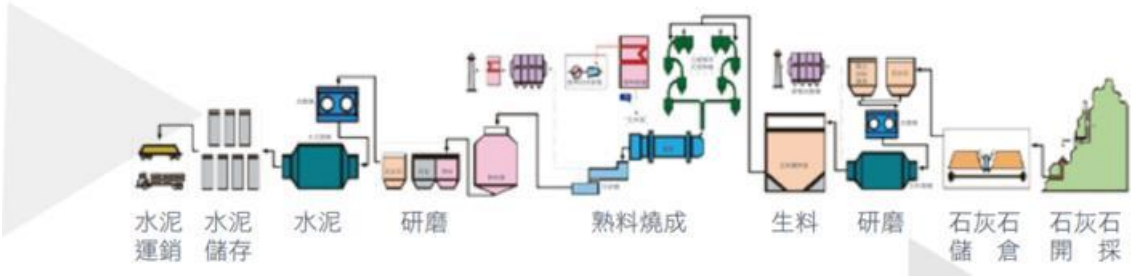


圖 4.5-8、典型的水泥製程

[資料來源：經濟部工業局_水泥業低碳綠色製程技術選用評估彙編]

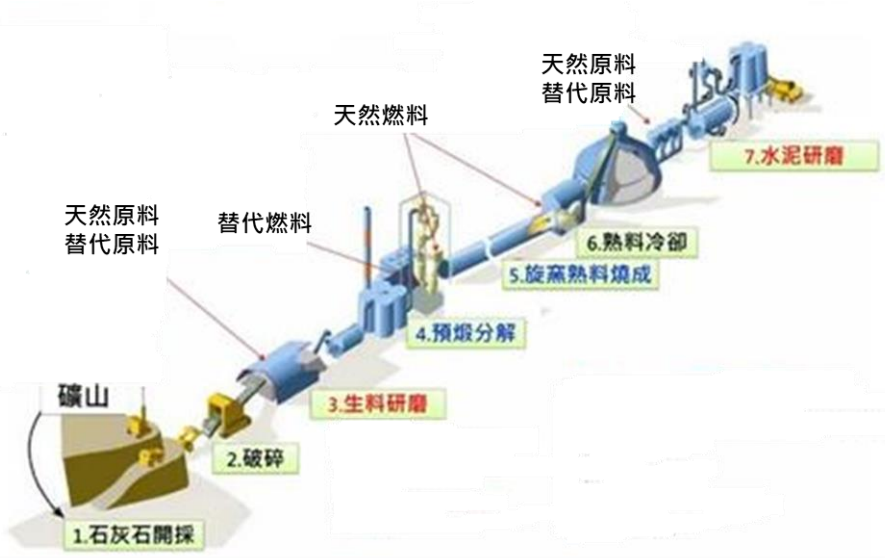


圖 4.5-9、水泥替代原料、燃料示意圖

[資料來源：經濟部工業局]

圖 4.5-10、TCS 廠使用之 SRF（上：部分造粒、下：無造粒）

圖 4.5-11、TCS 廠使用之木屑燃料

表 4.5-24、TCS 廠 PCDD/Fs 採樣期間投入的原料種類

項次	原料種類	投入量（公噸/小時）
1	石灰石	296.90
2	黏土	41.18
3	矽砂	14.85
4	鐵渣	7.23
5	再生粒料	0.82
6	爐石	4.56
7	礦物細料	4.72
小計（公噸/小時）		370.26

表 4.5-25、TCS 廠 PCDD/Fs 採樣期間投入的燃料種類

項次	原料種類	投入量 （公噸/小時）	佔比 (%)
1	煙煤	14.47	46.3
2	木屑	14.77	47.3
3	SRF （主成分：廢塑膠、廢紙）	2.00	6.4
小計（公噸/小時）		31.24	100
替代燃料佔比(%)		53.7	

表 4.5-26、TCS 廠之 SRF 允收標準

	項目	數值
SRF 允收標準	水分	≤15%
	發熱量	≥5500 kcal/kg
	氯	≤0.35%
	粒度	≤5 cm

表 4.5-27、TCS 廠之替代燃料及原料之元素分析

種類	名稱	組成	數值
燃料	SRF	Cl (%)	0.427
		S (%)	0.015
		Cu (mg/kg)	243
	木屑	Cl (%)	0.200
		S (%)	0.135
		Cu (mg/kg)	61.8
原料	水泥生料	Cl (%)	ND
		S (%)	0.014
		Cu (mg/kg)	34.1

表 4.5-28、TCS 廠 PCDD/Fs 排放濃度

介質	PCDD/Fs 濃度測值
水泥熟料 (ng-TEQ/g)	0.0006
飛灰 (ng-TEQ/g)	0.023
排放管道 (ng-TEQ/Nm^3)	實測值 0.001 0001 (@O_2=11%) 0.002 (@O_2=6%)

表 4.5-29、TCS 廠之 PCDD/Fs 排放率

位置	項目	數值
煙囪	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	0.36

(3)CC 廠：

CC 廠為造紙廠，檢測對象是一座循環式流體化床汽電共生鍋爐，最大蒸氣產量約 90 公噸/小時。燃料種類包含煙煤、SRF 及漿紙污泥，SRF 來源是自家生產，外觀並無造粒（**圖 4.5-12**）。鍋爐產生的廢氣先經過一座空煙道設備進行廢熱回收，再進入空氣污染防制設備。因漿紙污泥內含 30%石灰石，故鍋爐內不再加入石灰石除酸，另有 SNCR、SCR 脫硝、袋式集塵機(BF)除塵、濕式排煙脫硫(FGD)除酸、濕式靜電集塵(WESP)去除細微粒，最後廢氣經加熱器預熱至 90±5℃後由煙囪排出，該廠目前並無安裝戴奧辛防制設備。

CC 廠採樣期間投入之燃料包含煙煤、SRF 與漿紙污泥（**圖 4.5-13**），各燃料之平均投入量如**表 4.5-30**，採樣期間 SRF 佔比約為 14.5%，若以替代燃料（SRF+漿紙污泥）來計，佔比約 74.2%。SRF 來源主要為廢紙排渣，它是廢紙經散漿機排出之輕質殘渣，主成分是紙漿纖維及塑膠類碎片 ，經分析 SRF 中的 Cl 及 Cu 含量分別為 0.268%及 182 mg/kg（**表 4.5-31**），Cu 含量明顯較其他廠之替代燃料高。漿紙污泥的 Cl 及 Cu 含量分別為 0.117%及 57.5 mg/kg，不過漿紙污泥 Hg 含量為 3.03 mg/kg，明顯高於其他燃料。

表 4.5-32 是採樣期間鍋爐及空污防制設備操作參數，採樣期間鍋爐之爐膛平均溫度 875℃。該廠的空氣污染防制設備中 SNCR 及 SCR 加入 22%氨水，添加量分別為 77.6 及 1.9 kg/h，用來去除氮氧化物，SCR 觸媒操作溫度 325℃，袋式集塵機濾袋材質為 PTFE，酸性氣體則以濕式排煙脫硫吸收處理，最後經 WESP 處理後由煙囪排出。蒸氣平均產量 82.5 公噸/小時，故採樣期間鍋爐之蒸氣生產負載約 91.7%，發電量 13,076 kWh，發電負荷 81.7%。

表 4.5-33 為本次 PCDD/Fs 排放檢測值，煙囪排氣之 PCDD/Fs 實測平均濃度為 0.580 ng-TEQ/Nm^3，略高於固定污染源 PCDD/Fs 排放標準（PCDD/Fs <0.5 ng-TEQ/Nm^3），若校正為 O_2=11%及 6%時之濃度分別為 0.511 及 0.766 ng-TEQ/Nm^3，將超過「鍋爐空氣污染物排放標準修正草案」115 及 117 年之規定(< 0.1 ng-TEQ/Nm^3)。本次檢測底渣、飛灰、FGD 與 WESP 排水及放流水之 PCDD/Fs 濃度分別為 0.0007 ng-TEQ/g、0.499 ng-TEQ/g、2,080 pg-TEQ/L 及 1.38 pg-TEQ/L，其中底渣、飛灰均未超過有害廢棄物認定標準(<1.0 ng-TEQ/g)、放流水亦符合<10

pg-TEQ/L 標準。

排放管道 PCDD/Fs 數值偏高推測有以下理由：

A.由於 SRF 的來源是廢紙排渣，主成分是紙漿纖維及塑膠類碎片，加上 SRF 之燃料佔比(14.5%)略高於其他廠，且 SRF 燃料中之 Cu 含量偏高。進一步檢視該廠飛灰中的 Cu 含量高達 1,717~1,888 mg/kg，為低溫再合成 PCDD/Fs 觸媒。再者，該廠鍋爐出口設有一個空煙道裝置作為廢熱回收區域，此區的煙氣溫度約 200~500℃，剛好是 PCDD/Fs 低溫再合成之溫度區間。

B.鍋爐燃燒效率可以 CO 的監測數值來判定，建議值能<100 ppm，檢視該廠之 CO 濃度偶有高過 100 ppm 情形，顯示鍋爐燃燒穩定性有進一步改善空間。

C.該廠並無安裝戴奧辛防制設備，因此建議該廠後續能安裝 PCDD/Fs 觸媒或吸附設備，使排放管道符合管制標準。

表 4.5-34 為該廠本次檢測之鍋爐系統 PCDD/Fs 排放流佈分析，PCDD/Fs 取樣的位置包含底渣、飛灰、FGD 與 WESP 排水及煙囪排氣，經計算以飛灰存在佔比最高(89.5%)。本次採樣鍋爐系統之 PCDD/Fs 排放率為 613.2 μg-TEQ/h。

表 4.5-30、CC 廠 PCDD/Fs 採樣期間投入的燃料種類

燃料種類	燃料投入量 （公噸/小時）
SRF（廢紙排渣）	3.6
煙煤	6.4
漿紙污泥	14.8
小計	24.8
SRF 佔比(%)	14.5
替代燃料佔比(%)	74.2

表 4.5-31、CC 廠替代燃料之元素分析

種類	名稱	組成	數值
燃料	SRF	Cl (%)	0.268
		S (%)	0.012
		Cu (mg/kg)	182
	漿紙污泥	Cl (%)	0.117
		S (%)	0.144
		Cu (mg/kg)	57.5

表 4.5-32、CC 廠採樣期間鍋爐及空污防制設備操作參數

鍋爐	操作參數
型式	循環式流體化床鍋爐
使用水量(T/h)	83
水蒸氣產量(T/h)	82.5
蒸氣生產負載(%)	91.7
爐膛平均溫度(℃)	875
發電量(kWh)	13,076
發電負荷(%)	81.7
SNCR-22%氨水加入量(kg/h)	77.6
SNCR 操作溫度(℃)	878
SCR	
操作溫度(℃)	325
22%氨水加入量(L/h)	1.9
BF	

入口溫度(℃)	178
濾袋材質	PTFE
活性碳投入量(kg/h)	0
操作壓降(mm H_2O)	544
FGD	
入口操作溫度(℃)	172
pH 值	7.6
NaOH 注入量(kg/h)	50
洗滌液流率(m^3/h)	917.7
WESP	
操作電流(mA)	32
操作電壓(kV)	425
煙囪	
排氣量(Nm^3/min)-乾基	1678.5

表 4.5-33、CC 廠 PCDD/Fs 排放濃度

介質	PCDD/Fs 濃度測值
底渣 (ng-TEQ/g)	0.0007
飛灰 (ng-TEQ/g)	0.499
FGD+WESP 排水 (pg-TEQ/L)	2,080
廢水處理廠放流水 (pg-TEQ/L)	1.380
排放管道 (ng-TEQ/Nm^3)	實測值 0.580 0.511 (@O_2=11%) 0.766 (@O_2=6%)

表 4.5-34、CC 廠之 PCDD/Fs 排放流布分析

位置	項目	數值	Output (%)
底渣	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	0.28	0.05
飛灰	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	549	89.5
FGD+WESP 排水	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	5.62	0.9
煙囪	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	58.4	9.5
鍋爐系統小計	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	613.2	100

圖 4.5-12、CC 廠使用之 SRF 外觀

圖 4.5-13、CC 廠之漿紙污泥燃料

(4)CHPC 廠：

CHPC 廠為造紙廠，採樣對象是一座循環式流體化床汽電共生鍋爐，最大蒸氣產量約 200 公噸/小時、發電量 43.5 MWh。燃料種類包含煙煤、SRF 及漿紙污泥，SRF 來源是外購，SRF 原料主要為廢塑膠及廢紡織纖維，外觀並無造粒（**圖 4.5-14**），漿紙污泥為土黃色（**圖 4.5-15**）。空氣污染防制設備：鍋爐內添加石灰石乾式除酸，另有 SNCR 脫硝、靜電集塵機(ESP)除塵，目前該廠並無安裝戴奧辛防制設備。

CHPC 廠採樣期間投入之燃料包含煙煤與漿紙污泥，各燃料之投入量如**表 4.5-35**，SRF 佔比僅為 3.4%。本次採集的 SRF 及漿紙污泥的氯含量分別為 0.578 及 0.112%，Cu 含量分別為 58.9 及 34 mg/kg（**表 4.5-36**），皆屬於較低含量。

表 4.5-37 是採樣期間鍋爐及空污防制設備操作參數，採樣期間鍋爐之爐膛溫度 858~864℃。該廠的空氣污染防制設備中 SNCR 脫硝加入 25%氨水，添加量為 209~252 kg/h，鍋爐內添加石灰石(0.7~2.8 kg/h)乾式除酸，以靜電集塵機去除粒狀物。蒸氣平均產量 185 公噸/小時，故採樣期間鍋爐之蒸氣生產負載約 92.5%，發電量 34.4 MWh，發電負荷 79.1%。

本次檢測煙囪排氣之 PCDD/Fs 實測平均濃度為 0.007 ng-TEQ/Nm^3（**表 4.5-38**），符合固定污染源 PCDD/Fs 排放標準（PCDD/Fs <0.5 ng-TEQ/Nm^3），若校正為 O_2=11%及 6%時之濃度分別為 0.004 及 0.006 ng-TEQ/Nm^3，亦符合「鍋爐空氣污染物排放標準修正草案」115 及 117 年之規定(< 0.1 ng-TEQ/Nm^3)。雖然無戴奧辛防制設備，由於鍋爐溫度>850℃，SRF 佔比僅為 3.4%，替代燃料中的 Cl 及 Cu 含量不高，因此煙氣 PCDD/Fs 濃度符合標準。

本次檢測底渣、飛灰、及放流水之 PCDD/Fs 濃度分別為 0.0007 ng-TEQ/g、0.005 ng-TEQ/g 及 5.69 pg-TEQ/L，底渣及飛灰皆未超過有害廢棄物認定標準(<1.0 ng-TEQ/g)、放流水亦符合<10 pg-TEQ/L 標準。

表 4.5-39 為本次該廠鍋爐系統之 PCDD/Fs 排放流佈分析，PCDD/Fs 取樣的位置包含底渣、飛灰及煙囪，經計算以飛灰存在佔比最高(85.0%)。本次採樣鍋爐系統之 PCDD/Fs 排放率為 13.5 μg-TEQ/h。

圖 4.5-14、CHPC 廠之 SRF 外觀

圖 4.5-15、CHPC 廠之漿紙污泥外觀

表 4.5-35、CHPC 廠 PCDD/Fs 採樣期間投入的燃料種類

燃料種類	燃料投入量 （公噸/小時）	佔比 (%)
煙煤	25.79	83.6
漿紙污泥	3.99	12.9
SRF （廢塑膠、廢紡織纖維）	1.06	3.4
小計	30.84	100

表 4.5-36、CHPC 廠替代燃料之元素分析

種類	名稱	組成	數值
燃料	SRF	Cl (%)	0.578
		S (%)	0.239
		Cu (mg/kg)	58.9
	漿紙污泥	Cl (%)	0.112
		S (%)	0.026
		Cu (mg/kg)	34.0

表 4.5-37、CHPC 廠採樣期間鍋爐及空污防制設備操作參數

鍋爐	操作參數
型式	循環式流體化床汽電共生鍋爐
蒸氣產量(T/h)	185
蒸氣生產負載(%)	92.5
發電量(MWh)	34.4
發電負載(%)	79.1
爐膛操作溫度(℃)	858~864
石灰石添加量(T/h)	0.7~2.8
SNCR-25%氨水加入量(kg/h)	209~252

ESP	
入口溫度(℃)	156
電流(mA)	1.4
電壓(kV)	8
煙囪	
排氣量(Nm^3/min)-乾基	3025.9

表 4.5-38、CHPC 廠 PCDD/Fs 排放濃度

介質	PCDD/Fs 濃度測值
底渣 (ng-TEQ/g)	0.0007
飛灰 (ng-TEQ/g)	0.005
廢水處理廠放流水 (pg-TEQ/L)	5.69
排放管道 (ng-TEQ/Nm^3)	實測值 0.007 0.004 (@O_2=11%) 0.006 (@O_2=6%)

表 4.5-39、CHPC 廠之 PCDD/Fs 排放流布分析

位置	項目	數值	Output (%)
底渣	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	0.76	5.6
飛灰	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	11.5	85.0
煙囪	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	1.3	9.4
鍋爐系統小計	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	13.5	100

(5)YY 廠：

YY 廠為造紙廠，採樣對象是一座氣泡式流體化床鍋爐，最大蒸氣產量約 12 公噸/小時。燃料種類包含煙煤、SRF（**圖 4.5-16**）及漿紙污泥（**圖 4.5-17**），SRF 來源是外購，SRF 主要成分為廢木片，允收標準如**表 4.5-40**，氯含量需≤0.1%，然而本次採集 SRF（木片）的 Cl 及 Cu 含量分別為 0.479%及 27.7 mg/kg（**表 4.5-41**），漿紙污泥的 Cl 及 Cu 含量分別為 0.332%及 59.4 mg/kg。該廠空氣污染防制設備為袋式集塵機(BF)除塵、O_3 氧化脫硝及濕式排煙脫硫(FGD)，該廠並無安裝戴奧辛控制設備。

YY 廠採樣期間投入之燃料包含煙煤、漿紙污泥與 SRF，各燃料之投入量如**表 4.5-42**，採樣期間 SRF 平均佔比僅 0.9%。**表 4.5-43** 是採樣期間鍋爐及空污防制設備操作參數，採樣期間鍋爐之爐膛平均溫度 875℃。該廠並無噴注活性碳。

表 4.5-44 為本次 PCDD/Fs 檢測濃度，煙囪排氣之 PCDD/Fs 實測濃度為 0.0006 ng-TEQ/Nm^3，低於現行 PCDD/Fs 排放標準(<0.5 ng-TEQ/Nm^3)，若校正為 O_2=11%及 6%時之濃度分別為 0.0005 及 0.0008 ng-TEQ/Nm^3，亦符合「鍋爐空氣污染物排放標準修正草案」115 及 117 年之規定(< 0.1 ng-TEQ/Nm^3)。

本次檢測底渣、飛灰、FGD 排水及放流水之 PCDD/Fs 濃度分別為 0.0007 ng-TEQ/g、0.028 ng-TEQ/g、3.23 pg-TEQ/L 及 1.27 pg-TEQ/L，底渣及飛灰皆未超過有害廢棄物認定標準(<1.0 ng-TEQ/g)、放流水亦符合<10 pg-TEQ/L 標準。

表 4.5-45 為本次檢測鍋爐系統之 PCDD/Fs 排放流佈分析，PCDD/Fs 取樣的位置包含底渣、飛灰、FGD 排水及煙囪，經計算以飛灰存在佔比最高(96.4%)。本次採樣鍋爐系統之 PCDD/Fs 排放率僅為 2.44 μg-TEQ/h。

表 4.5-40、YY 廠之 SRF 允收標準

	項目	說明或數值
SRF 允收標準	成分	木片
	熱值 (kcal/kg)	3000~6000
	Cl (%)	≤0.1
	Pb (mg/kg)	<0.6
	Cd (mg/kg)	<0.125
	Hg (mg/kg)	<0.02

表 4.5-41、YY 廠替代燃料之元素分析

種類	名稱	組成	數值
燃料	SRF（廢木片）	Cl (%)	0.479
		S (%)	0.032
		Cu (mg/kg)	27.7
		Pb (mg/kg)	<QDL(25)
		Cd (mg/kg)	<QDL(1.25)
		Hg (mg/kg)	<QDL(0.02)
	漿紙污泥	Cl (%)	0.332
		S (%)	0.068
		Cu (mg/kg)	59.4
		Pb (mg/kg)	<QDL(25)
		Cd (mg/kg)	<QDL(1.25)
		Hg (mg/kg)	0.193

表 4.5-42、YY 廠 PCDD/Fs 採樣期間投入的燃料種類

燃料種類	燃料投入量（公噸/小時）		
日期	5/30	5/31	平均值
SRF	0.025	0.008	0.0165
煙煤	1.740	1.780	1.760
漿紙污泥	0.102	0.102	0.102
小計	1.867	1.890	1.879
SRF 佔比(%)	1.3	0.4	0.9
替代燃料佔比(%)	6.8	5.8	6.3

表 4.5-43、YY 廠採樣期間鍋爐及空污防制設備操作參數

鍋爐	操作參數
型式	氣泡式流體化床鍋爐
蒸氣產量(T/h)	10.2
蒸氣生產負載(%)	85
爐膛操作溫度(℃)	850
BF	
入口溫度(℃)	162~165
活性碳注入量(kg/h)	0
操作壓降(Pa)	278~294
O_3	
O_3 濃度(g/Nm^3)	95~96
O_3 注入量(kg/h)	3.5
FGD	
入口操作溫度(℃)	
pH 值	7.1~8.2
洗滌液流率(L/min)	900
壓降(mm H_2O)	6
廢水排出量(公噸/天)	50
煙囪	
排氣量(Nm^3/min)-乾基	241.22

表 4.5-44、YY 廠之 PCDD/Fs 排放濃度

介質	PCDD/Fs 濃度測值
底渣 (ng-TEQ/g)	0.0007
飛灰 (ng-TEQ/g)	0.028
FGD 排水 (pg-TEQ/L)	3.23
廢水處理廠放流水 (pg-TEQ/L)	1.27
排放管道 (ng-TEQ/Nm^3)	實測值 0.0006 0.0005(@O_2=11%) 0.0008 (@O_2=6%)

表 4.5-45、YY 廠之 PCDD/Fs 排放流布分析

位置	項目	數值	Output (%)
底渣	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	0.07	2.9
飛灰	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	2.35	96.4
FGD 排水	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	0.009	0.4
煙囪	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	0.009	0.4
鍋爐系統小計	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	2.4	100

圖 4.5-16、YY 廠之 SRF 外觀

圖 4.5-17、YY 廠之漿紙污泥外觀

(6)YH 廠：

YH 廠為造紙廠，檢測目標是一座循環式流體化床汽電共生鍋爐，最大蒸氣產量約 70 公噸/小時、發電量 8.68 MWh，是一座替代燃料專燒爐，燃料種類包含 SRF 及廢橡膠，SRF 來源有自產及外購，有四種來源，包含造粒 SRF（主成分為廢塑膠）、未造粒 SRF（主成分為廢纖維及廢紙）、木屑及木質顆粒等四種（**圖 4.5-18**），四種 SRF 均勻混樣後進行分析，分析結果如**表 4.5-46**，SRF 的 Cl 及 Cu 含量分別為 0.309%及 37 mg/kg，橡膠片的 Cl 及 Cu 含量分別為 0.292%及 149 mg/kg，橡膠片的 Cu 含量略高。本廠 SRF 之 Cl 允收標準為≤0.3%。

該廠空氣污染防制設備包括脫硝設備（SNCR 及 SCR），戴奧辛分解設備（包含 SCR 之中溫去戴奧辛觸媒及使用鐵氟龍觸媒濾袋之袋式集塵機(BF-PTFE catalytic filter)），後者能同時分解氣相戴奧辛及捕集固相戴奧辛與粒狀物。

YH 廠採樣期間投入之燃料包含 SRF 與廢橡膠，各燃料之投入量如**表 4.5-47**，SRF 佔比為 86.2%，**表 4.5-48** 是採樣期間鍋爐及空污防制設備操作參數，採樣期間鍋爐之爐膛溫度 856~864℃。該廠的空氣污染防制設備中 SNCR 及 SCR 脫硝分別加入 25%氨水，平均添加量為 15.7 及 12 L/h，SCR 平均操作溫度 348℃，SCR 同時具有中溫分解 PCDD/Fs 功能，此外，袋式集塵機入口煙氣溫度 163~167℃，酸性氣體則以濕式排煙脫硫吸收處理，NaOH 使用量 27~45 L/h。蒸氣平均產量 63.9 公噸/小時，故採樣期間鍋爐之蒸氣生產負載約 91.3%，發電量 2.6 MWh，發電負荷 27.7%。

本次檢測煙囪排氣之 PCDD/Fs 實測平均濃度為 0.092 ng-TEQ/Nm^3（**表 4.5-49**），符合固定污染源 PCDD/Fs 排放標準（PCDD/Fs <0.5 ng-TEQ/Nm^3），若校正為 O_2=11%及 6%時之濃度分別為 0.068 及 0.101 ng-TEQ/Nm^3，符合 115 年「鍋爐空氣污染物排放標準修正草案」之規定(< 0.1 ng-TEQ/Nm^3)，但超過 117 年加嚴後的限值。

本次檢測底渣、飛灰、FGD 排水及放流水之 PCDD/Fs 濃度分別為 0.0008 ng-TEQ/g、3.15 ng-TEQ/g、469 pg-TEQ/L 及 1.79 pg-TEQ/L，需注意的是飛灰 PCDD/Fs 濃度高達 3.15 ng-TEQ/g，已超過有害廢棄物認定標準 (<1.0 ng-TEQ/g)，推測可

能之原因如下：

A.採樣期間使用的 SRF 品質已算不錯，Cl 及 Cu 含量皆低，然而另一種替代燃料廢橡膠的 Cu 含量為 149 mg/kg，略為偏高。進一步檢視飛灰中的 Cu 含量高達 2,829 mg/kg，飛灰中的高含量 Cu 會促進 PCDD/Fs 低溫再合成，因此飛灰中 PCDD/Fs 濃度偏高。

B.針對 PCDD/Fs 該廠雖有加裝 SCR 觸媒及鐵氟龍觸媒濾袋，但根據採樣時的操作紀錄表顯示觸媒濾袋操作溫度僅為 165~170℃，溫度太低導致觸媒分解氣相 PCDD/Fs 較果不佳，冷凝附著於飛灰表面的固相 PCDD/Fs 被集塵機所捕集成為飛灰。建議觸媒濾袋分解溫度能高於 200℃，分解效果較佳，此外，進入袋式集塵機的入口 PCDD/Fs 濃度需< 10 ng-TEQ/Nm^3，去除效率 99%時才有可能符合法規 0.1 ng-TEQ/Nm^3 標準。

由於該廠未提供底渣、飛灰的單位時間產生量及 FGD 排放水之流量，無法進行流佈分析，本次採樣鍋爐煙囪之 PCDD/Fs 排放率為 6.99 μg-TEQ/h（**表 4.5-50**）。

圖 4.5-18、YH 廠使用之 SRF 種類及外觀

圖 4.5-19、YH 廠使用之廢橡膠外觀

表 4.5-46、YH 廠之燃料元素分析

種類	名稱	組成	數值
燃料	混樣 SRF	Cl (%)	0.309
		S (%)	2.092
		Cu (mg/kg)	37
		Pb (mg/kg)	<QDL(25)
		Cd (mg/kg)	<QDL(1.25)
		Hg (mg/kg)	<QDL(0.02)
	橡膠片	Cl (%)	0.292
		S (%)	1.404
		Cu (mg/kg)	149
		Pb (mg/kg)	<QDL(25)
		Cd (mg/kg)	<QDL(1.25)
		Hg (mg/kg)	<QDL(0.02)

表 4.5-47、YH 廠 PCDD/Fs 採樣期間投入的燃料種類

燃料種類	燃料投入量 （公噸/小時）		
日期	6/20	6/21	平均值
SRF	5.604	6.388	5.996
廢橡膠	0.900	1.025	0.963
小計	6.504	7.413	6.959
SRF 佔比(%)	86.2	86.2	86.2

表 4.5-48、YH 廠採樣期間鍋爐及空污防制設備操作參數

鍋爐	操作參數
型式	循環式流體化床汽電共生鍋爐
蒸氣產量(T/h)	62.79
蒸氣生產負載(%)	89.7
爐膛操作溫度(℃)	856~864
SNCR-25%氨水加入量(L/h)	15.7
蒸氣產量(T/h)	63.875
蒸氣生產負載(%)	91.3
發電量(kWh)	2628.9

發電負載(%)	27.7
SCR	
操作溫度(℃)	348
25%氨水加入量(L/h)	10~14
壓降(Pa)	225~239
BF	
入口溫度(℃)	163~167
活性碳注入量(kg/h)	0
操作壓降(Pa)	1331~1451
FGD	
入口操作溫度(℃)	158~163
pH 值	7.5~7.6
洗滌液 NaOH 流率(L/h)	27~45
壓降(Pa)	42~47
煙囪	
排氣量(Nm^3/min)-乾基	1266.9

表 4.5-49、YH 廠之 PCDD/Fs 排放濃度

介質	PCDD/Fs 濃度測值
底渣 (ng-TEQ/g)	0.0008
飛灰 (ng-TEQ/g)	3.15
FGD 排水 (pg-TEQ/L)	469
廢水處理廠放流水 (pg-TEQ/L)	1.79
排放管道 (ng-TEQ/Nm^3)	實測值 0.092 0.068(@O_2=11%) 0.101 (@O_2=6%)

表 4.5-50、YH 廠之 PCDD/Fs 排放率

位置	項目	數值
煙囪	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	6.99

(7)YTS 廠：

YTS 廠為造紙廠，檢測對象是一座老舊的氣泡式流體化床蒸氣鍋爐，最大蒸氣產量 15 公噸/小時。燃料種類包含煙煤、SRF（**圖 4.5-20**）、木屑及漿紙污泥（**圖 4.5-21**），SRF 來源是外購，有兩種來源，分別為造粒 SRF 及木質顆粒，其中造粒 SRF 的主成分為塑膠。空氣污染防制設備包含活性碳噴注+袋式集塵機(BF)除塵、O_3 注入脫硝、濕式排煙脫硫(FGD)等。

YTS 廠採樣期間各燃料投入量如**表 4.5-51**，採樣期間 SRF 佔比為 70.4%。SRF 及漿紙污泥的成分分析如**表 4.5-52**，SRF 及漿紙污泥的 Cl 含量分別為 0.61%及 0.275%，Cu 含量明顯較其他廠高，分別為 344 及 84.5 mg/kg。另須注意的是漿紙污泥所含的 Hg 為 2.06 mg/kg，與 CC 廠之漿紙污泥 Hg 濃度相近且偏高。

表 4.5-53 是採樣期間鍋爐及空污防制設備操作參數，採樣期間鍋爐之爐膛平均溫度 936℃。該廠的空氣污染防制設備中活性碳注入量 1.4 kg/h，袋式集塵機捕集反應後的活性碳及微粒，以 O_3 氧化脫硝，酸性氣體則以濕式排煙脫硫吸收處理。蒸氣平均產量 12.1 公噸/小時，故採樣期間鍋爐之蒸氣生產負載約 80.7%。

煙囪排氣之 PCDD/Fs 實測平均濃度為 0.745 ng-TEQ/Nm^3（**表 4.5-54**），高於固定污染源 PCDD/Fs 排放標準（PCDD/Fs <0.5 ng-TEQ/Nm^3），若校正為 O_2=11%及 6%時之濃度分別為 0.699 及 1.05 ng-TEQ/Nm^3，將超過「鍋爐空氣污染物排放標準修正草案」115 及 117 年之規定(< 0.1 ng-TEQ/Nm^3)。

雖然採樣期間鍋爐之爐膛平均溫度 936℃，且煙氣有注入活性碳(AC)，注入量 1.4 kg/h，經換算該廠之單位氣體體積之活性碳注入量為 85.2 mg-AC/Nm^3，符合一般投注量 50-100 mg/Nm^3 建議範圍內，但 PCDD/Fs 排放濃度(0.745 ng-TEQ/Nm^3)仍超標(>0.5 ng-TEQ/Nm^3)，推測原因如下：

A.YTS 廠使用燃料種類較多，包含煙煤、SRF、廢木屑及漿紙污泥四種，經分析 SRF 及漿紙污泥的銅含量明顯較其他廠高，進一步檢視飛灰中的 Cu 含量亦高達 771.6~4,341 mg/kg，是所有廠中最高的，此為 PCDD/Fs 低溫再合成之催化劑。

B.SRF 混燒佔比高（約 70.4%）

C.該廠之氣泡式流體化床設備較為老舊，燃燒效率可能不佳。

本次檢測底渣、飛灰、FGD 排水及放流水之 PCDD/Fs 濃度分別為 0.0009 ng-TEQ/g、0.003 ng-TEQ/g、32.6 pg-TEQ/L 及 1.01 pg-TEQ/L，底渣及飛灰皆未超過有害廢棄物認定標準(<1.0 ng-TEQ/g)、放流水亦符合<10 pg-TEQ/L 標準。

表 4.5-55 為本次檢測鍋爐系統之 PCDD/Fs 排放流佈分析，PCDD/Fs 取樣的位置包含底渣、飛灰、FGD 排水及煙囪，經計算以排氣佔比最高(97%)。本次採樣鍋爐系統之 PCDD/Fs 排放率僅為 12.3 μg-TEQ/h。

由於該廠鍋爐設備已屬老舊，廠方告知正進行天然氣為燃料之鍋爐興建工程，完工後將替代舊有鍋爐，後續會持續追蹤興建進度。

圖 4.5-20、YTS 廠使用之 SRF 外觀

圖 4.5-21、YTS 廠使用之漿紙污泥外觀

表 4.5-51、YTS 廠 PCDD/Fs 採樣期間投入的燃料種類

燃料種類	燃料投入量 （公噸/小時）
SRF（廢塑膠、廢紙排渣、木質顆粒）	1.61
煙煤	0.40
漿紙污泥	0.08
廢木屑	0.20
小計	2.29
SRF 佔比(%)	70.4

表 4.5-52、YTS 廠之燃料元素分析

種類	名稱	組成	數值
燃料	混樣 SRF	Cl (%)	0.61
		S (%)	0.096
		Cu (mg/kg)	344
		Pb (mg/kg)	76.3
		Cd (mg/kg)	<QDL(1.25)
		Hg (mg/kg)	0.056
	漿紙污泥	Cl (%)	0.275
		S (%)	0.013
		Cu (mg/kg)	84.5
		Pb (mg/kg)	25.1
		Cd (mg/kg)	<QDL(1.25)
		Hg (mg/kg)	2.06

表 4.5-53、YTS 廠採樣期間鍋爐及空污防制設備操作參數

鍋爐	操作參數
型式	氣泡式流體化床蒸氣鍋爐
蒸氣產量(T/h)	12.1
蒸氣生產負載(%)	80.7
爐膛操作溫度(℃)	936
BF	
入口溫度(℃)	189
活性碳注入量(kg/h)	1.4
操作壓降(mm Hg)	8
O_3	
入口溫度(℃)	175
O_3 濃度(g/Nm^3)	130
O_3 注入量(Nm^3/h)	75
FGD	
出口操作溫度(℃)	56
pH 值	-
洗滌液流率(m^3/h)	17
壓降(mm H_2O)	55
煙囪	
排氣量(Nm^3/min)-乾基	274.02

表 4.5-54、YTS 廠之 PCDD/Fs 排放濃度

介質	PCDD/Fs 濃度測值
底渣 (ng-TEQ/g)	0.0009
飛灰 (ng-TEQ/g)	0.003
FGD 排水 (pg-TEQ/L)	32.6
廢水處理廠放流水 (pg-TEQ/L)	1.01
排放管道 (ng-TEQ/Nm^3)	實測值 0.745 0.699(@O_2=11%) 1.05 (@O_2=6%)

表 4.5-55、YTS 廠之 PCDD/Fs 排放流布分析

位置	項目	數值	Output (%)
底渣	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	0.019	0.2
飛灰	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	0.31	2.5
FGD 排水	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	0.038	0.3
煙囪	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	11.9	97.0
鍋爐系統小計	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	12.3	100

(8)TCH 廠：

該廠為水泥廠，進行兩次 PCDD/Fs 採樣，目的是想了解不同批次的 SRF 對污染物排放量的影響。

A.第一次：

第一次採樣期間投入之原料及燃料如**表 4.5-56** 及**表 4.5-57**，生料投入量平均約 619 公噸/小時，熟料產量約 312 公噸/小時，生熟比為 1.98，水泥產量約 206 公噸。預熱器（又稱尾窯）投入的燃料包含半煙煤及 SRF，SRF 主成分為木屑（**圖 4.5-22**）（本次採樣因 SRF 塑膠片缺料，故未投入），旋窯（又稱頭窯）只投入半煙煤，燃料投入總量為 42.4 公噸/小時，其中 SRF（木屑）佔比約 24.2%。**表 4.5-58** 及**表 4.5-59** 為水泥生料及 SRF（木屑）之成分分析，水泥生料的 Cl 及 Cu 含量分別為 ND 及 61.1 mg/kg，SRF（木屑）的 Cl 及 Cu 含量分別為 0.338%及 72.8 mg/kg。

採樣期間水泥製程之旋窯燒成溫度範圍皆為 1,000~1,400℃，旋窯內氣體停留時間約 5~10 秒，預熱器溫度 340~870℃。煙囪 PCDD/Fs 平均濃度為 0.030 ng-TEQ/Nm^3（**表 4.5-60**），符合現行 PCDD/Fs 排放標準(<0.1 ng-TEQ/Nm^3)。該廠雖無戴奧辛防制設備，但 SRF 組成單純（木片）、SRF 及水泥生料的 Cl 含量低(ND~0.338%)，Cu 含量不高(61.1~72.8 mg/kg)、加上石灰石原料具有除酸功能，能與 HCl 反應，水泥製程的高溫條件(>900℃)、氣體停留時間長（5~10 秒）等特性能將 PCDD/Fs 分解破壞。該廠同時採集水泥熟料，其 PCDD/Fs 濃度僅為 0.0005 ng-TEQ/g。

圖 4.5-22、TCH 廠使用之 SRF（木屑）外觀

表 4.5-56、TCH 廠第一次 PCDD/Fs 採樣期間投入的水泥原料種類

	日期	7/11	7/12	平均值（公噸/小時）	佔比 (%)
項次	原料種類	投入量（公噸/小時）	投入量（公噸/小時）		
1	石灰石	481	476	479	77.3
2	黏土	75.8	72.4	74.1	12.0
3	矽砂	23.7	23.7	23.7	3.8
4	鐵渣	9.2	9.8	9.5	1.5
5	煤灰	26.3	26.9	26.6	4.3
6	氟化鈣	6.6	7.2	6.9	1.1
小計		622.6	616.0	619.3	100

表 4.5-57、TCH 廠第一次 PCDD/Fs 採樣期間投入的燃料種類

位置	項次	燃料種類	7/11~7/12			
			7/11	7/12	平均值	佔比 (%)
			投入量 (T/h)	投入量 (T/h)	投入量 (T/h)	
預熱器	1	半煙煤	14.8	14.7	14.8	34.8
	2	SRF（木屑為主）	10.4	10.2	10.3	24.2
旋窯	1	半煙煤	17.3	17.4	17.4	40.9
合計			42.5	42.3	42.4	100

表 4.5-58、TCH 廠第一次 PCDD/Fs 採樣之水泥生料成分分析

名稱	組成	數值
水泥生料	Cl (%)	ND
	S (%)	ND
	Cu (mg/kg)	61.1
	Pb (mg/kg)	<QDL(25)
	Cd (mg/kg)	1.63
	Hg (mg/kg)	0.932

表 4.5-59、TCH 廠第一次 PCDD/Fs 採樣之 SRF 成分分析

種類	名稱	組成	數值
燃料	SRF（廢木屑）	Cl (%)	0.338
		S (%)	ND
		Cu (mg/kg)	72.8
		Pb (mg/kg)	16.3
		Cd (mg/kg)	0.489
		Hg (mg/kg)	0.022

表 4.5-60、TCH 廠第一次 PCDD/Fs 排放濃度

介質	PCDD/Fs 濃度測值
水泥熟料 (ng-TEQ/g)	0.0005
放流水 (pg-TEQ/L)	0.772
排放管道 (ng-TEQ/Nm^3)	實測值 0.030 0.027 (@O_2=11%) 0.040 (@O_2=6%)

B.第二次：

第二次採樣期間投入之原料及燃料如**表 4.5-61** 及**表 4.5-62**，生料投入量平均約 612 公噸/小時，熟料產量約 315 公噸/小時，生熟比為 1.94，水泥產量約 208 公噸。本次燃料投入總量為 41.9 公噸/小時，其中 SRF（木屑）佔比約 25.1%。**表 4.5-63** 及**表 4.5-64** 為水泥生料及 SRF（木屑）之成分分析，水泥生料的 Cl 及 Cu 含量分別為 ND 及 55.9 mg/kg，SRF（木屑）的 Cl 及 Cu 含量分別為 0.323% 及 112.2 mg/kg。

第二次煙囪 PCDD/Fs 平均濃度為 0.009 ng-TEQ/Nm^3（**表 4.5-65**），比第一次檢測值低，水泥熟料之 PCDD/Fs 濃度僅為 0.0004 ng-TEQ/g，與第一次相近，由於兩次檢測的水泥生料與 SRF 品質相近，該廠水泥製程之 PCDD/Fs 排放呈現穩定且皆符合排放標準之狀態。

由於該廠水泥製程之飛灰是回收成為水泥原料，故無採集飛灰樣品。依照兩次檢測數據計算該廠水泥製程之煙囪 PCDD/Fs 排放率分別為 18.5 及 5.30 μg-TEQ/h，平均值為 11.9 μg/h（**表 4.5-66**）。

表 4.5-61、TCH 廠第二次 PCDD/Fs 採樣期間投入的水泥原料種類

	日期	8/13	佔比 (%)
項次	原料種類	投入量（公噸/小時）	
1	石灰石	465	75.9
2	黏土	77.3	12.6
3	矽砂	24.9	4.1
4	鐵渣	9.9	1.6
5	煤灰	28.4	4.6
6	氟化鈣	6.9	1.1
小計		612.4	100

表 4.5-62、TCH 廠第二次 PCDD/Fs 採樣期間投入的燃料種類

位置	項次	燃料種類	8/13	
			投入量 (T/h)	佔比 (%)
預熱器	1	半煙煤	14.1	33.7
	2	SRF（木屑為主）	10.5	25.1
旋窯	1	半煙煤	17.3	41.3
合計			41.9	100

表 4.5-63、TCH 廠第二次 PCDD/Fs 採樣之水泥生料成分分析

名稱	組成	數值
水泥生料	Cl (%)	ND
	S (%)	ND
	Cu (mg/kg)	55.9
	Pb (mg/kg)	<QDL(25)
	Cd (mg/kg)	1.40
	Hg (mg/kg)	1.437

表 4.5-64、TCH 廠第二次 PCDD/Fs 採樣之 SRF 成分分析

種類	名稱	組成	數值
燃料	SRF（廢木屑）	Cl (%)	0.323
		S (%)	ND
		Cu (mg/kg)	112.2
		Pb (mg/kg)	21.1
		Cd (mg/kg)	0.467
		Hg (mg/kg)	<QDL(0.02)

表 4.5-65、TCH 廠第二次 PCDD/Fs 排放濃度

介質	PCDD/Fs 濃度測值
水泥熟料 (ng-TEQ/g)	0.0004
放流水 (pg-TEQ/L)	1.18
排放管道 (ng-TEQ/Nm^3)	實測值 0.009 0.008 (@O_2=11%) 0.012 (@O_2=6%)

表 4.5-66、TCH 廠煙囪之 PCDD/Fs 排放率

項次	項目	數值
第一次	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	18.5
第二次’	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	5.30
平均值	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	11.9

(10)CH 廠：

CH 廠採樣期間投入之燃料包含煙煤、SRF（**圖 4.5-23**）、木屑及漿紙污泥（**圖 4.5-24**）等，各種燃料之投入量如**表 4.5-67**，SRF 佔比約 33.2%，SRF 主要成分為木質顆粒。SRF 與漿紙污泥的成分如表 4.5-68。SRF（木質顆粒）的 Cl 及 Cu 含量分別為 0.569%及 81.4 mg/kg，漿紙污泥的 Cl 及 Cu 含量分別為 0.246%及 50.5 mg/kg，SRF 品質有精進之空間。

本次採樣的燃燒設備為循環式流體化床，採樣期間之爐膛溫度範圍 876~878℃，空氣污染防制設備包含：選擇觸媒還原(SCR)、半乾式除酸(SDA)、袋式集塵機(BF)除塵。**表 4.5-69** 是採樣期間鍋爐及空污防制設備操作參數，採樣期間鍋爐之爐膛溫度 876~878℃。該廠的空氣污染防制設備中 SCR 脫硝加入氨水，添加量為 7.5~10.5 kg/h，酸性氣體則以半乾式除酸塔噴入霧化的 $Ca(OH)_2$ 溶液吸收處理。蒸氣平均產量 114 公噸/小時，故採樣期間鍋爐之蒸氣生產負載約 87.7%。

煙囪排氣之 PCDD/Fs 實測平均濃度為 0.011 ng-TEQ/Nm^3（**表 4.5-70**），符合固定污染源 PCDD/Fs 排放標準（PCDD/Fs <0.5 ng-TEQ/Nm^3），若校正為 O_2=11%及 6%時之濃度分別為 0.006 及 0.009 ng-TEQ/Nm^3，符合 115 及 117 年「鍋爐空氣污染物排放標準修正草案」之規定(< 0.1 ng-TEQ/Nm^3)。濃度值介於去年該廠 PCDD/Fs 檢測值內(0.009~0.038 ng-TEQ/Nm^3)。由於該廠燃料是以生質燃料為主，Cl 及 Cu 含量不高，鍋爐操作溫度>850℃，因此 PCDD/Fs 排放濃度符合標準。

本次檢測底渣、SDA 反應灰、飛灰及放流水之 PCDD/Fs 濃度分別為 0.0002 ng-TEQ/g、0.0009 ng-TEQ/g、0.009 ng-TEQ/g 及 9.0 pg-TEQ/L，底渣及灰皆未超過有害廢棄物認定標準(<1.0 ng-TEQ/g)、放流水亦符合<10 pg-TEQ/L 標準。

表 4.5-71 為本次檢測鍋爐系統之 PCDD/Fs 排放流佈分析，PCDD/Fs 取樣的位置包含底渣、飛灰、FGD 排水及煙囪，經計算以飛灰存在佔比最高(93.5%)。本次採樣鍋爐系統之 PCDD/Fs 排放率為 17.2 μg-TEQ/h。

圖 4.5-23、CH 廠使用之 SRF（木質顆粒）外觀

圖 4.5-24、CH 廠使用之漿紙污泥外觀

表 4.5-67、CH 廠 PCDD/Fs 採樣期間投入的燃料種類

項次	燃料種類	7/18~7/19			
		7/18	7/19	平均值	平均值
		投入量 (T/h)	投入量 (T/h)	投入量 (T/h)	佔比 (%)
1	煙煤	7.90	8.30	8.10	34.7
2	木屑	0.21	0.22	0.22	0.9
3	漿紙污泥	7.80	6.74	7.27	31.2
4	SRF（木質顆粒）	7.86	7.62	7.74	33.2
小計		23.77	22.88	23.33	100

表 4.5-68、CH 廠之燃料元素分析

種類	名稱	組成	數值
燃料	SRF（木質顆粒）	Cl (%)	0.569
		S (%)	0.017
		Cu (mg/kg)	81.4
		Pb (mg/kg)	61.9
		Cd (mg/kg)	0.935
		Hg (mg/kg)	0.055
	漿紙污泥	Cl (%)	0.246
		S (%)	0.564
		Cu (mg/kg)	50.5
		Pb (mg/kg)	<QDL(25)
		Cd (mg/kg)	<QDL(1.25)
		Hg (mg/kg)	0.175

表 4.5-69、CH 廠採樣期間鍋爐及空污防制設備操作參數

鍋爐	操作參數
型式	循環式流體化床
蒸氣產量(T/h)	114
蒸氣生產負載(%)	87.7
發電量(kWh)	27625
發電負載(%)	95.3
爐膛操作溫度(℃)	876~878
SCR	
操作溫度(℃)	358~365

氨水加入量(kg/h)	7.5~10.5
SDA	
鹼液種類	$Ca(OH)_2$
入口操作溫度(℃)	151
出口操作溫度(℃)	108
BF	
入口溫度(℃)	108
活性碳注入量(kg/h)	0
操作壓降(mm-H_2O)	2.5
煙囪	
排氣量(Nm^3/min)-乾基	1514.6

表 4.5-70、CH 廠之 PCDD/Fs 排放濃度

介質	PCDD/Fs 濃度測值
底渣 (ng-TEQ/g)	0.0002
SDA 反應灰 (ng-TEQ/g)	0.0009
飛灰 (ng-TEQ/g)	0.009
廢水處理廠放流水 (pg-TEQ/L)	9.0
排放管道 (ng-TEQ/Nm^3)	實測值 0.011 0.006 (@O_2=11%) 0.009 (@O_2=6%)

表 4.5-71、CH 廠之 PCDD/Fs 排放流布分析

位置	項目	數值	Output (%)
底渣	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	0.114	0.66
飛灰	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	16.11	93.5
煙囪	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	1.00	8.51
鍋爐系統小計	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	17.2	100

(11)TC 廠：

TC 廠採樣期間投入之燃料包含煙煤、SRF(**圖 4.5-25**)、橡膠片(**圖 4.5-26**)，各種燃料之投入量如**表 4.5-72**，SRF 佔比約 17.4%，SRF 主要成分為廢塑膠及廢紡織。SRF 與橡膠片的成分如**表 4.5-73**，SRF 的 Cl 及 Cu 含量分別為 0.37%及 143 mg/kg，橡膠片的 Cl 及 Cu 含量分別為 0.331%及 182 mg/kg，顯示兩種替代燃料的 Cu 含量皆略高。

本次採樣的燃燒設備為循環式流體化床，**表 4.5-74** 是採樣期間鍋爐及空污防制設備操作參數，採樣期間鍋爐之爐膛溫度 895~910℃。該廠的空氣污染防制設備中 SNCR 脫硝加入 20%氨水，添加量為 32 kg/h，酸性氣體則以爐內乾式注入石灰石吸收處理，添加量為 2.57 T/h，以靜電集塵(ESP)機除塵。蒸氣平均產量 200 公噸/小時，故採樣期間鍋爐之蒸氣生產負載約 100%，發電量約 43,030 kWh，發電負載約 89.6%。

煙囪排氣之 PCDD/Fs 實測平均濃度為 0.008 ng-TEQ/Nm^3(**表 4.5-75**)，符合固定污染源 PCDD/Fs 排放標準(PCDD/Fs <0.5 ng-TEQ/Nm^3)，若校正為 O_2=11%及 6%時之濃度分別為 0.005 及 0.007 ng-TEQ/Nm^3，符合 115 及 117 年「鍋爐空氣污染物排放標準修正草案」之規定(< 0.1 ng-TEQ/Nm^3)。

本次檢測底渣、飛灰及放流水之 PCDD/Fs 濃度分別為 0.0006 ng-TEQ/g、0.002 ng-TEQ/g 及 1.27 pg-TEQ/L，底渣及飛灰皆未超過有害廢棄物認定標準(<1.0 ng-TEQ/g)，放流水亦符合<10 pg-TEQ/L 標準。

表 4.5-76 為本次鍋爐系統之 PCDD/Fs 排放流佈分析，PCDD/Fs 取樣的位置包含底渣、飛灰及煙囪，經計算以飛灰存在佔比最高(78.2%)。本次採樣鍋爐系統之 PCDD/Fs 排放率為 7.4 μg-TEQ/h。

該廠使用的替代燃料 Cl 含量已較低，建議能選用 Cu 含量較低的燃料，應能進一步降低 PCDD/Fs 排放。

圖 4.5-25、TC 廠使用之 SRF 外觀

圖 4.5-26、TC 廠使用之廢橡膠外觀

表 4.5-72、TC 廠 PCDD/Fs 採樣期間投入的燃料種類

燃料種類	燃料投入量 （公噸/小時）
SRF（廢塑膠及廢紡織）	4.31
煙煤	15.35
橡膠片	5.04
小計	24.7
SRF 佔比(%)	17.4

表 4.5-73、TC 廠之燃料元素分析

種類	名稱	組成	數值
替代燃料	SRF	Cl (%)	0.37
		S (%)	0.073
		Cu (mg/kg)	143
		Pb (mg/kg)	<QDL(25)
		Cd (mg/kg)	<QDL(1.25)
		Hg (mg/kg)	0.091
	廢橡膠片	Cl (%)	0.331
		S (%)	1.579
		Cu (mg/kg)	182
		Pb (mg/kg)	25.5
		Cd (mg/kg)	<QDL(1.25)
		Hg (mg/kg)	<QDL(0.02)

表 4.5-74、TC 廠採樣期間鍋爐及空污防制設備操作參數

鍋爐	操作參數
型式	循環式流體化床
蒸氣產量(T/h)	200
蒸氣生產負載(%)	100
發電量(kWh)	43,030
發電負載(%)	89.6
爐膛操作溫度(℃)	895~910
石灰石添加量(T/h)	2.57
SNCR-20%氨水加入量(kg/h)	32
ESP	
入口溫度(℃)	154

電流(mA)	322~385
電壓(kV)	32~45
煙囪	
排氣量(Nm^3/min)-乾基	3,070

表 4.5-75、TC 廠之 PCDD/Fs 排放濃度

介質	PCDD/Fs 濃度測值
底渣 (ng-TEQ/g)	0.0006
飛灰 (ng-TEQ/g)	0.002
排放管道 (ng-TEQ/Nm^3)	實測值 0.008 0.005 (@O_2=11%) 0.007 (@O_2=6%)

表 4.5-76、TC 廠之 PCDD/Fs 排放流布分析

位置	項目	數值	Output (%)
底渣	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	0.144	1.9
飛灰	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	5.80	78.2
煙囪	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	1.47	19.9
鍋爐系統小計	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	7.42	100

(12)ACH 廠：

該廠為水泥廠，本次檢測選擇該廠水泥製造程序進行採樣，PCDD/Fs 採樣期間投入之水泥生料及替代燃料如**表 4.5-77** 及**表 4.5-78**，生料投入量約 213.2 公噸/小時，經分析本次水泥生料的 Cl 及 Cu 含量分別為 0.201%及 20.2 mg/kg（**表 4.5-79**），熟料產量約 157.2 公噸/小時，生熟比為 1.6，採樣期間水泥熟料生產負載約 75%。

採樣期間投入的燃料包含煙煤、2 種 SRF（**圖 4.5-27** 及**圖 4.5-28**），其中 SRF 佔比約 8%。SRF(1)的主成分為廢塑膠及廢纖維，SRF(2)為透明塑膠片。該廠 SRF 之允收標準要求氯含量低於 1%，本次採集的 SRF(1)含氯量為 0.885%、Cu 含量為 531 mg/kg。SRF(2)所含的 Cl 為 0.978%、Cu 為 419 mg/kg，顯示 SRF(1)及 SRF(2)之 Cl 及 Cu 含量皆偏高。旋窯（又稱頭窯）只投入煙煤為燃料，預熱器（尾窯）則投入煙煤、SRF。該廠之主煙囪位置在預熱器出口，裝設的空氣污染防制設備為 SNCR 及 BF，去除 NO_x 及粒狀物。

採樣期間預煅分解溫度 900~1000℃，旋窯燒成溫度 1300~1400℃，旋窯內氣體停留時間約 5~10 秒，本次煙囪 PCDD/Fs 排放檢測三次實測平均濃度為 0.545 ng-TEQ/Nm^3（**表 4.5-80**），超過現行水泥業 PCDD/Fs 排放標準(<0.1 ng-TEQ/Nm^3)。推測原因：(1)替代燃料 SRF 中的 Cl 及 Cu 含量皆偏高。(2)本次檢測前因故停爐，採樣前一天傍晚才重新啟爐，採樣第一天水泥旋窯系統可能尚處於未穩定狀態，因此排放管道 PCDD/Fs 平均濃度偏高，不過三次的採樣濃度有隨運作時間增長趨於穩定（**圖 4.5-29**），第三次樣品濃度已達 0.1 ng-TEQ/Nm^3，故水泥製程之啟停爐階段亦須加以注意及管控污染物排放。

該廠同時採集水泥熟料，其 PCDD/Fs 濃度僅為 0.003 ng-TEQ/g，顯示該廠水泥製程若在正常操作條件下混燒 8% SRF 所生成之 PCDD/Fs 濃度應可符合排放標準，但建議能進一步篩選低 Cl、Cu 含量的 SRF，此外，應注意啟爐期間產生的高濃度 PCDD/Fs 與可能發生的記憶效應。由於該廠水泥製程之飛灰是回收成為水泥原料，故無採集飛灰樣品。依照本次檢測數據計算該廠水泥製程之煙囪 PCDD/Fs 排放率為 0.256 mg-TEQ/h（**表 4.5-81**）。

圖 4.5-27、ACH 廠使用之 SRF 外觀圖

圖 4.5-28、ACH 廠使用之 RDF（透明塑膠片）

表 4.5-77、ACH 廠 PCDD/Fs 採樣期間投入的水泥生料種類

項次	原料種類	投入量（公噸/小時）
1	石灰石	192
2	礦物細料	9.7
3	爐石	4.1
4	淨水污泥	5.6
5	漿紙污泥	0.9
6	無機性污泥	0.8
小計（公噸/小時）		213.2

表 4.5-78、ACH 廠 PCDD/Fs 採樣期間投入的燃料種類

項次	原料種類	投入量 （公噸/小時）	佔比 (%)
1	煙煤	23.0	92
2	SRF(1) （主成分：廢塑膠、廢纖維）	1.0	4
3	SRF(2) （主成分：廢透明塑膠片）	1.0	4
小計（公噸/小時）		25.0	100
替代燃料佔比(%)		8	

表 4.5-79、ACH 廠之替代燃料及原料之元素分析

種類	名稱	組成	數值
替代燃料	SRF(1)	Cl (%)	0.885
		S (%)	0.078
		Cu (mg/kg)	531
	SRF(2)	Cl (%)	0.978
		S (%)	ND
		Cu (mg/kg)	419
原料	水泥生料	Cl (%)	0.201
		S (%)	ND
		Cu (mg/kg)	20.2

表 4.5-80、ACH 廠 PCDD/Fs 排放濃度

介質	PCDD/Fs 濃度測值
水泥熟料 (ng-TEQ/g)	0.003
排放管道 (ng-TEQ/Nm^3)	實測值 0.545 0.582 (@O_2=11%) 0.873 (@O_2=6%)

表 4.5-81、ACH 廠之 PCDD/Fs 排放率

位置	項目	數值
煙囪	PCDD/Fs 排放率(μg-TEQ/h)	256

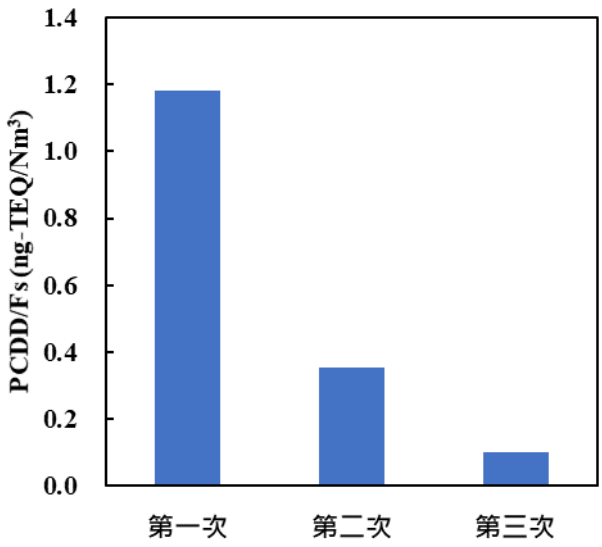


圖 4.5-29、ACH 廠三個樣品之 PCDD/Fs 濃度變化

4.5.3 各廠重金屬流佈分析與排放量推估

一般而言，高沸點之金屬元素（例如：Ca、Fe）主要存在於底渣，沸點較低的金屬（如 Zn、Pb、Cd、As、Hg 等）於高溫燃燒過程會揮發為氣相，但隨著煙氣降溫，大部分會冷凝於飛灰表面成為固相，加上某些廠有噴入活性碳，會進一步吸附氣相重金屬而轉為固相存於飛灰中，再由袋式集塵機所捕集，因此多數重金屬主要皆存於飛灰中，FGD 排水及煙氣中的金屬佔比皆較低。

本計畫挑選相關數據資料較為完整之流體化床鍋爐系統進行重金屬（包含 Al、Cu、Pb、Cd、Hg）之流佈分析，計算結果如下：

(1) Al：目前 SRF 混燒灰渣再利用，因灰渣內含有氧化鈣、鋁等，故製作成再利用產品時可能產生膨脹問題；其中鋁(Al)又為反應性金屬，其遇水會產生氫氣、氨氣等異味且具有自燃疑慮，因此本計畫針對 Al 進行流佈分析（**表 4.5-82**），以鍋爐系統而言 TPM 廠的單位時間排放量最高(164,870 g/h)，其次是 CHPC 廠。關於 Al 金屬之流佈，皆以飛灰佔比最多(>70%)。

(2) Cu：針對 Cu 進行流佈分析（**表 4.5-83**），以鍋爐系統而言 CC 廠的單位時間排放量最高(2,136 g/h)，其次是 TC 廠。關於 Cu 金屬之流佈，皆以飛灰佔比最多(≥85%)。

(3) Pb、Cd、Hg 為毒性之管制重金屬，故進一步分析其流向：

A.鍋爐系統的 Pb（**表 4.5-84**）：以 CC 廠之單位時間排放量最高，其中飛灰佔比最高。

B.鍋爐系統的 Cd（**表 4.5-85**）：以 CC 廠之單位時間排放量最高，其中飛灰佔比最高。

C.鍋爐系統的 Hg（**表 4.5-86**）：以 CH 廠之單位時間排放量最高，飛灰佔比較高。

表 4.5-82、各廠金屬 Al 之流佈分析

廠名	TPM		CC		CHPC		YY		YTS		CH		TC	
位置	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)
底渣(g/h)	-	-	14563	13.5	11227	9.8	1256	27.5	222	8.9	20330	21.6	2882	4.5
飛灰(g/h)	164830	99.98	93558	86.5	103827	90.2	3298	72.3	2284	91.1	73850	78.4	60601	95.4
FGD 排水(g/h)	-	-	6.4	0.0	-	-	6.4	0.1	0.1	0.0	-	-	-	-
排放管道(g/h)	40	0.02	6.0	0.0	23	0.02	2.0	0.04	1	0.06	7	0.007	14	0.02
小計(g/h)	164870	100	108134	100	115076	100	4562	100	2508	100	94186	100	63497	100

表 4.5-83、各廠金屬 Cu 之流佈分析

廠名	TPM		CC		CHPC		YY		YTS		CH		TC	
位置	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)
底渣(g/h)	-	-	248	11.6	6.4	2.6	0.5	12.6	30.3	6.3	87.4	15	62.5	7.2
飛灰(g/h)	448	99.96	1889	88.4	234	97.2	3.2	86.4	451.5	93.7	496.5	85.0	807.1	92.8
FGD 排水(g/h)	-	-	0	0.0	-	-	0.0	0.8	0.0	0.0	-	-	-	-
排放管道(g/h)	0.17	0.04	0	0.0	0.46	0.2	0.0	0.3	0.05	0.01	0.057	0.01	0.24	0.03
小計(g/h)	448	100	2136	100	241	100	4	100	482	100	584	100	870	100

表 4.5-84、各廠金屬 Pb 之流佈分析

廠名	TPM		CC		CHPC		YY		YTS		CH		TC	
位置	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)
底渣(g/h)	-	-	17.4	3.2	5.4	5.1	0.5	28.9	0.7	6.4	21.4	7.8	1.2	0.8
飛灰(g/h)	119	99.9	532	96.8	96	90.8	1	66.6	10	93.0	247	89.8	153	98.8
FGD 排水(g/h)	-	-	0.1	0.0	-	-	0.1	3.4	0.02	0.2	-	-	-	-
排放管道(g/h)	0.06	0.05	0.02	0.0	4.4	4.1	0.02	1.1	0.04	0.35	6.54	2.4	0.62	0.4
小計(g/h)	119	100	550	100	106	100	2	100	10	100	275	100	155	100

表 4.5-85、各廠金屬 Cd 之流佈分析

廠名	TPM		CC		CHPC		YY		YTS		CH		TC	
位置	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)
底渣(g/h)	-	-	1.1	4.5	1.1	25.1	0.1	30.8	0.02	6.9	0.57	8.3	0.55	6.0
飛灰(g/h)	7.5	99.7	23.7	95.5	3.2	74.8	0.2	67.3	0.3	91.9	6.3	91.7	8.7	94.0
FGD 排水(g/h)	-	-	0.0	0.0	-	-	0.0	1.8	0.0	0.8	-	-	-	-
排放管道(g/h)	0.02	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
小計(g/h)	7.5	100	24.8	100	4.3	100	0.3	100	0.3	100	6.8	100	9.3	100

表 4.5-86、各廠金屬 Hg 之流佈分析

廠名	TPM		CC		CHPC		YY		YTS		CH		TC	
位置	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)	數值	佔比(%)
底渣(g/h)	-	-	0.008	0.4	0.02	5.0	0.002	3.0	0.0	0.9	0.011	0.4	0.005	0.6
飛灰(g/h)	1.09	93.1	1.55	73.9	0.36	83.7	0.06	90.2	0.002	4.3	3.1	98.5	0.77	94.5
FGD 排水(g/h)	-	-	0.4	17	-	-	0.0	2.2	0.04	86.2	-	-	-	-
排放管道(g/h)	0.08	6.9	0.18	8.8	0.05	11.3	0.003	4.6	0.004	8.7	0.04	1.2	0.04	4.9
小計(g/h)	1.17	100	2.1	100	0.43	100	0.07	100	0.05	100	3.16	100	0.81	100

4.6 調查結果與管制標準研析討論

4.6.1 燃料成分及污染物排放濃度與管制標準研析

本章節主要針對 SRF 及替代燃料之成分分析及污染物排放調查結果與現行各管制標準進行研析討論，並針對超標問題提出一些改善建議。

一、替代燃料品質標準：

1.SRF：

現行 SRF 品質標準的項目包含淨熱值、Cl 及重金屬(Pb、Cd、Hg)等五項，並將 SRF 品質進行分級，其中淨熱值分為 4 級、氯含量及汞含量各分為 5 級，且 Hg 的單位皆改為 mg/MJ。

本次採集的 SRF 樣品，其 Cl 含量 0.268~1.95%，皆符合現行現行 SRF 品質標準(Cl≤3%)，但進一步根據 SRF 的氯分級，目前廠商使用的 SRF 中有 2 個是 Cl (5)、4 個 Cl (3)、6 個 Cl (2)，其中兩個屬於 Cl (5)的 SRF 皆是 TCH 廠，建議該廠選擇使用高品質低 Cl 的 SRF。關於 PCDD/Fs 超標的工廠（CC、YH、YTS 及 ACH 廠）使用的 SRF 皆屬於 Cl(2)或 Cl(3)，亦仍有進一步改善的空間，可選擇 Cl (1)之 SRF。所有 SRF 樣品中的重金屬(Pb、Cd)含量皆低於現行 SRF 品質標準。至於 Hg 因新標準的單位改為 mg/MJ，由於本計畫並未量測燃料熱值，故無討論。

目前 SRF 尚未對於塑化劑及 Cu 含量進行管制，但這 2 項成分可能與 PCDD/Fs 生成有關，因此本計畫亦列入討論：

各廠 SRF 樣品中皆含有塑化劑且以 DEHP 為主，DEHP 含量介於 116~1,530 mg/kg，以 TCH 廠最高，因該廠 SRF 的原料是廢透明塑膠片，SRF 中含有 PVC 成分，造成 Cl 含量偏高。分析 SRF 中 DEHP 塑化劑，亦可作為 Cl 含量多寡之參考指標之一。**圖 4.6-1** 是 SRF 中 DEHP 與 Cl 之相關性，顯示 SRF 的 DEHP 含量高、Cl 含量亦高。例如：TCH 廠之 SRF 中的 DEHP 含量最高(1,260~1,530 mg/kg)，其 Cl 含量(1.77~1.95%)亦是最高。

Cu 為 PCDD/Fs 低溫再合成之觸媒，本次檢測結果 SRF 中 Cu 含量 37~531 mg/kg，而煙氣中 PCDD/Fs 濃度超標之工廠（CC、YTS、ACH 廠），其使用的 SRF 中的 Cu 含量 (Cu：182~531 mg/kg) 明顯較其他廠使用的 SRF 高。

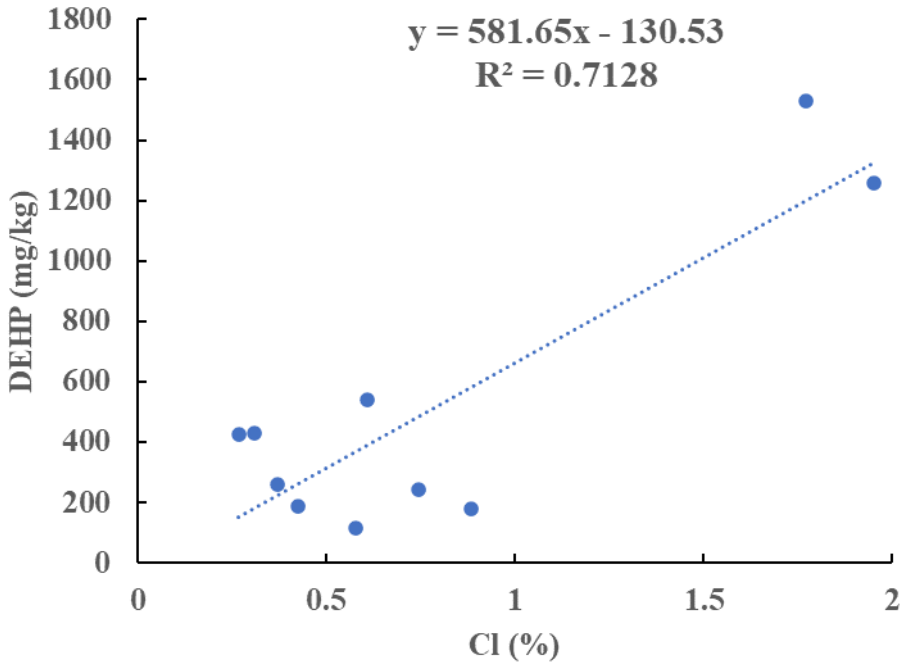


圖 4.6-1、SRF 中的 DEHP 與 Cl 之相關性

2.木材：

本次採集 5 個木材替代燃料，發現有些木材中含 Cl、S、Pb、Cd，推測部分木材在使用前會進行加工處理以增加耐久性、防腐或防蟲，常見處理方法是使用含硫化合物（如硫酸銅、硫化鋅等）作為防腐劑或添加劑，因此造成 S 含量偏高。至於 Pb 可能來自木材表面曾以塗料加工。因為每一個木材樣品皆含有塑化劑成分且以 DEHP 為主，由於 DEHP 與 PVC 的相容性極佳，是 PVC 加工上用量最大的可塑劑，由此推測這些木材類的燃料中應含有一些 PVC 成分，可能來自塗料或塗層中含有氯化樹脂（如 PVC）或使用氯化物防腐劑。**圖 4.6-2** 是 5 個木材中之 DEHP 與 Cl 之相關性，二者呈正相關。這也顯示廢木材來源複雜，需慎選高品質的廢木材作為替代燃料。

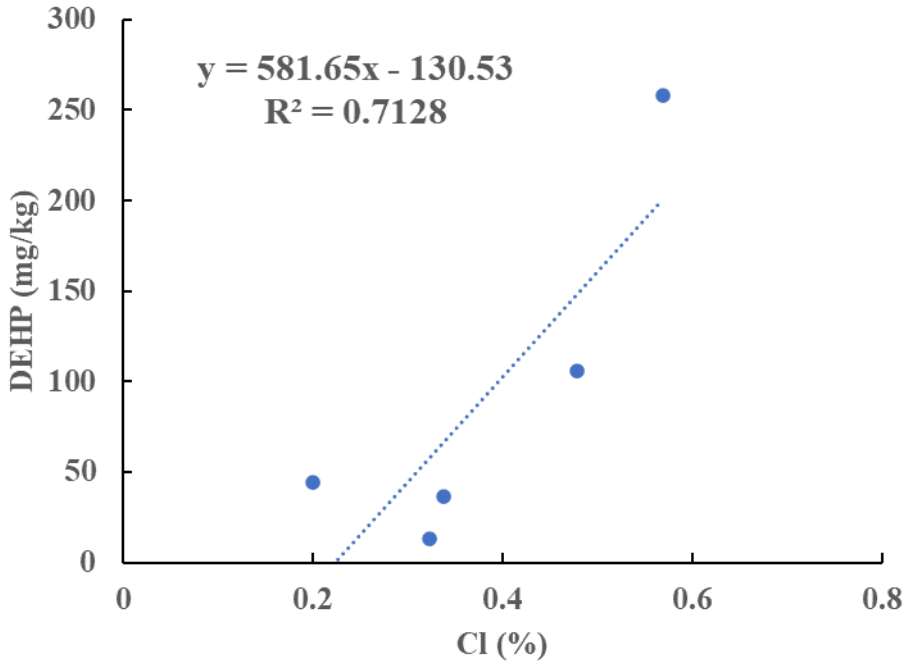


圖 4.6-2、木材類燃料中的 DEHP 與 Cl 之相關性

3.其他替代燃料：

本次採集 5 個漿紙污泥及 2 個橡膠片樣品，其中氯(Cl)含量介於 0.112~0.332%，硫(S)含量介於 0.013~1.58%，以橡膠片中的含 S 量(1.40~1.58%)明顯較高，有文獻指出 S 能抑制 Cu 的催化反應進而減少 PCDD/Fs 生成，但實廠應用的成功案例少，若能混燒含 S 的污泥及廢橡膠並以此作為抑制劑，找出最適的投入量，使其達到抑制 PCDD/Fs 且 SO_2 濃度符合排放標準之實廠應用亦是未來值得投入的研究題目。

二、煙氣污染物排放：

以下主要是針對國內訂有煙氣排放標準的污染物進行研析，排放標準包含 113.6.20 預公告之「鍋爐空氣污染物排放標準」修正草案及民國 110 年公告之「水泥業空氣污染物排放標準」，此外，對於超標之污染物提供可行之改善建議與合適的空氣污染防制技術。

1.PSN：

(1)SO_2：

鍋爐排氣之 SO_2 本年度只有一場次(TC 廠)的 SO_2 濃度(60 ppm)超標，其餘皆符合 113.6.20 預告修正「鍋爐空氣污染物 SO_2 排放標準 (50 ppm)」。超標的主因推測是該廠使用含 S 的廢橡膠作為替代燃料(S 含量 1.579%)，且該廠使用的脫硫方法是採用乾式法，只於鍋爐內注入石灰石粉，因除酸效果不佳所致。其他廠則是使用除酸效率較高的濕式排煙脫硫(FGD)或半乾式除酸(SDA)設備，能有效吸收 SO_2，不僅符合排放標準，排放濃度皆低於排放限值一半以上。至於水泥廠因其主要原料為鹼性石灰石，能有效吸收 SO_2，因此 SO_2 排放濃度皆很低(1~6 ppm)，遠低於 100 ppm 之排放限值。

(2)粒狀污染物：

各廠鍋爐排放的粒狀污染物濃度 1~9 mg/Nm^3，低於預告修正鍋爐粒狀污染物排放標準 (30 mg/Nm^3)，因各廠皆有裝設袋式集塵機(BF)或靜電集塵機(ESP)有效捕集微粒。水泥廠排放煙氣之濃度 5~20 mg/Nm^3，亦符合<30 mg/Nm^3 之排放限值，亦因各水泥廠皆裝設有袋式集塵機(BF)。

(3)NO_x：

各廠鍋爐排放的 NO_x 濃度 14~84 ppm，符合預告修正鍋爐 NO_x 排放標準(100 ppm)，濃度較低的工廠（如 TPM、CC 及 YH 廠）皆有裝設 SNCR 及 SCR 設備。水泥廠排放煙氣之 NO_x 濃度 79~204 ppm，皆符合<300 ppm 之排放標準，但其排放濃度明顯較鍋爐排氣濃度高，因旋窯的操作溫度較高(>1000℃)且只有 2 廠有使用 SNCR。

2.PCDD/Fs：

現行鍋爐煙氣 PCDD/Fs 排放標準依燃料投入量可分為 0.5 及 0.1 ng-TEQ/Nm^3，然而因應使用資源循環燃料，113.6.20 預公告之「鍋爐空氣污染物排放標準」修正草案已加嚴至 0.1 ng-TEQ/Nm^3，且 PCDD/Fs 排氣氧氣百分率參考基準至 114.12.31 為實測值，115.1.1 起為 11%，117.1.1 起為 6%。現行水泥廠 PCDD/Fs 排放標準皆為 0.1 ng-TEQ/Nm^3。

12 場次排放管道 PCDD/Fs 濃度範圍 0.0006~0.745 ng-TEQ/Nm^3（**圖 4.6-3**），以 YTS、CC 及 ACH 廠濃度較高且超出目前及加嚴後的 PCDD/Fs 排

放標準。YH 廠 PCDD/Fs 經 6%含氧校正後為 0.101 ng-TEQ/Nm^3，亦將超過 117 年加嚴後(<0.1 ng-TEQ/Nm^3)之規定。上述廠家 PCDD/Fs 濃度偏高的原因包含：SRF 或飛灰中 Cu 含量高、未裝設 PCDD/Fs 污染防制設備（如活性碳吸附或觸媒分解技術）、採樣期間處於啟爐不穩定階段或觸媒分解操作溫度過低所致。有關各廠 PCDD/Fs 排放解析可參閱 4.5.2 章節內容。

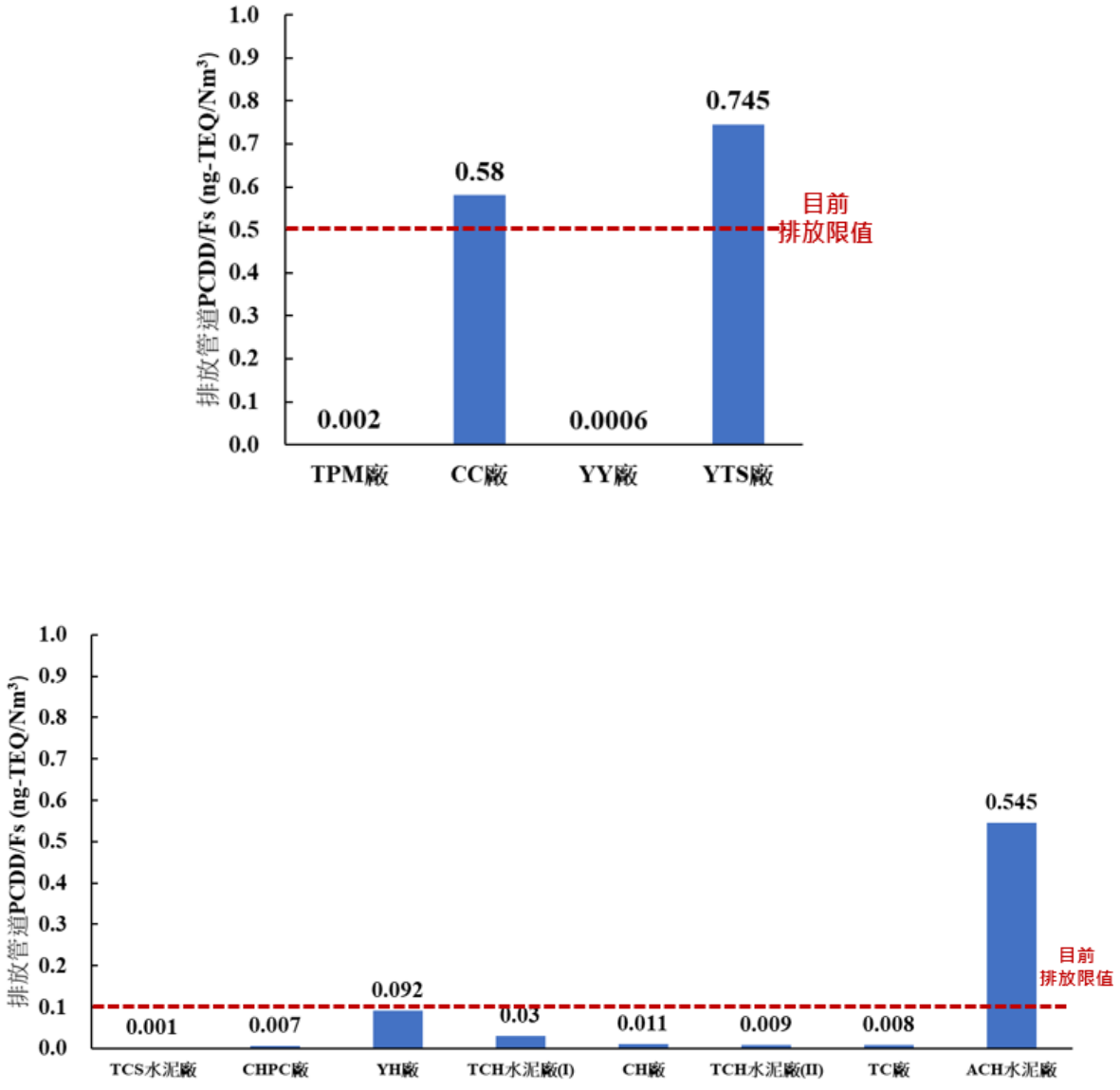


圖 4.6-3、排放管道 PCDD/Fs 檢測濃度與排放標準比較

以下彙整 2 年的檢測數據資料，進一步探討影響 PCDD/Fs 生成之重要因子及降低排放濃度之建議：

(1)SRF 中氯(Cl)含量：

Cl 是 PCDD/Fs 生成重要因子，**圖 4.6-4** 為 SRF 中之 Cl 含量與煙氣之 PCDD/Fs 濃度關係圖，以 SRF 燃料氯(Cl)含量為 X 軸，煙氣 PCDD/Fs 濃度為 Y 軸，將兩個參數進行線性回歸計算所得，SRF 中的氯(Cl)含量與排放管道 PCDD/Fs 濃度呈正相關 (R^2=0.8572)。若以 PCDD/Fs 濃度 0.1 ng-TEQ/Nm^3 代入圖中關係式之 y，計算得知 x=0.4，故 SRF 中之 Cl 含量為 0.4%。此值介於 SRF 的 Cl (1)及 Cl (2)標準之間，故若 SRF 之 Cl 含量＞0.4%，且無安裝有效之 PCDD/Fs 防制設備，有可能超過排放標準。

(2)替代燃料之氯含量：

根據本研究訪廠顯示，除了 SRF 外，多數的工廠會混燒第二種替代燃料，例如：漿紙污泥、木屑、橡膠片等，因煤的 Cl 含量很低，因此本計畫於每一場次皆採集 SRF 與另一種替代燃料，**圖 4.6-5** 為 2 種燃料中之 Cl 含量與煙氣之 PCDD/Fs 濃度關係圖，同樣顯示 Cl 含量與 PCDD/Fs 呈正相關，以 PCDD/Fs 法規排放限值 0.1 ng-TEQ/Nm^3 代入此線性關係式，計算得到替代燃料中之總 Cl 含量為 0.41%。

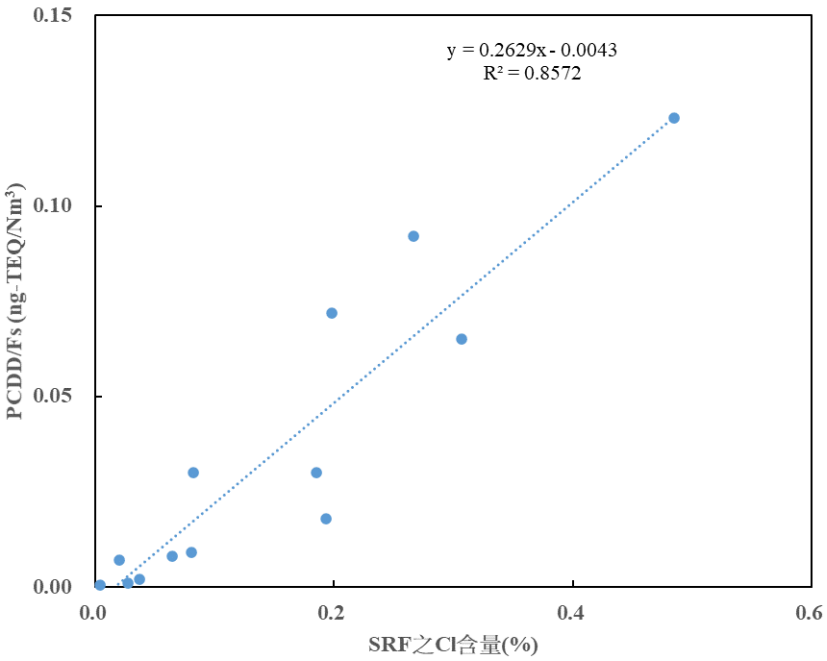


圖 4.6-4、SRF 中 Cl 含量與煙氣 PCDD/Fs 之關係圖

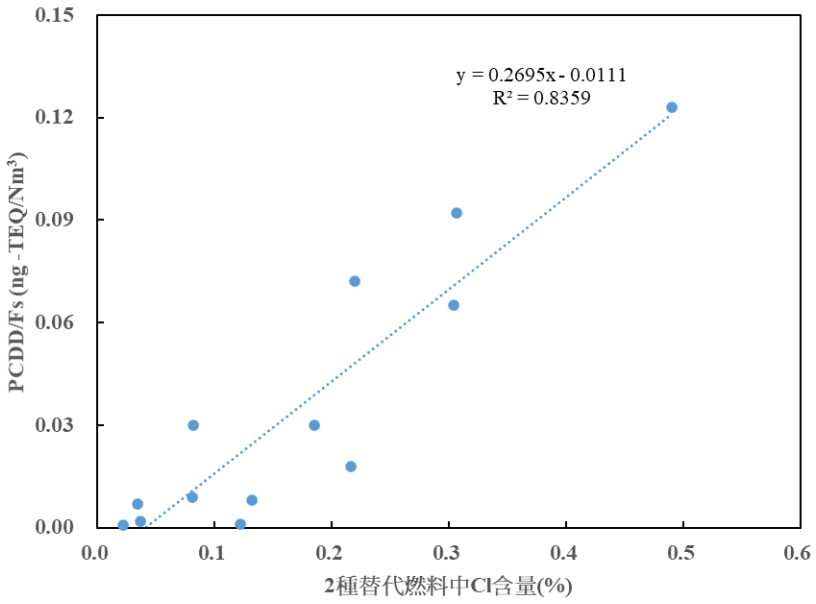


圖 4.6-5、2 種替代燃料之 Cl 含量與煙氣 PCDD/Fs 之關係圖

(3)SRF 中之 Cu 含量：

由於 Cu 是 PCDD/Fs 低溫再合成之觸媒，因此探討 SRF 中之 Cu 含量與煙氣 PCDD/Fs 濃度關係，**圖 4.6-6** 顯示 SRF 中的 Cu 含量與 PCDD/Fs 無線性相關，但 PCDD/Fs 濃度>0.1 ng-TEQ/Nm^3 之工廠，SRF 中的 Cu 含量皆明顯較高。

(4)飛灰中 Cu 含量：

本次檢測飛灰 PCDD/Fs 濃度介於 0.002~3.15 ng-TEQ/g，只有 1 家的飛灰 PCDD/Fs 濃度(3.15 ng-TEQ/g)超過有害廢棄物認定標準(1.0 ng-TEQ/g)，其他廠之飛灰皆符合標準。由於飛灰提供 PCDD/Fs 低溫再合成之反應表面與 Cu 之來源，**圖 4.6-7** 為飛灰中之 Cu 含量與煙氣 PCDD/Fs 濃度關係圖，顯示飛灰中的 Cu 含量與 PCDD/Fs 呈正相關。

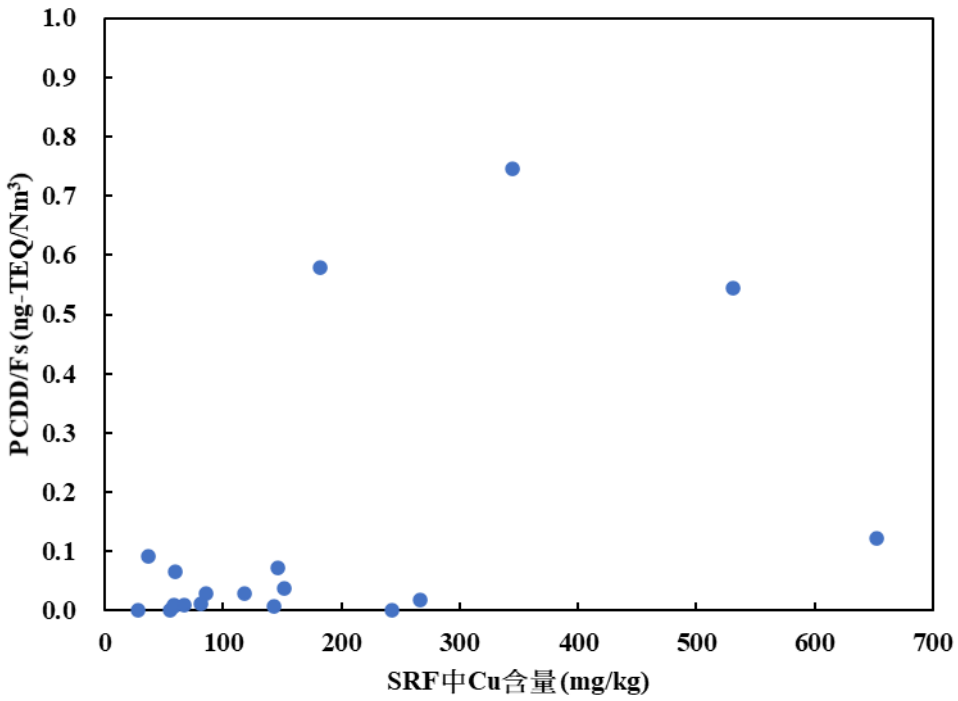


圖 4.6-6、SRF 中 Cu 含量與煙氣 PCDD/Fs 之關係圖

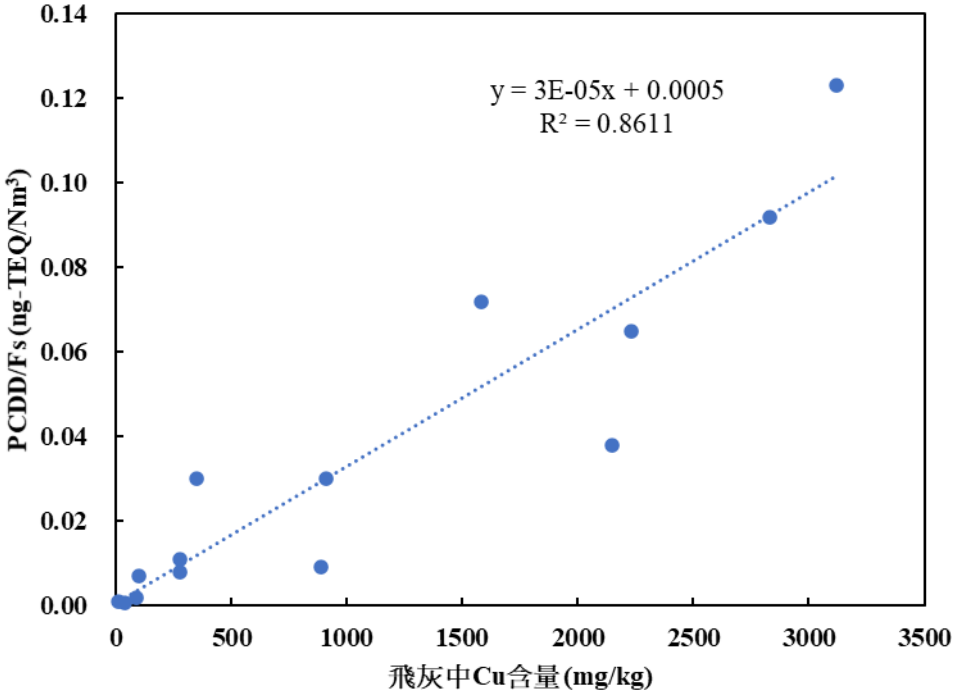


圖 4.6-7、飛灰中 Cu 含量與 PCDD/Fs 之關係圖

(5)SRF 混燒比：

圖 4.6-8 是探討 SRF 混燒比與煙氣 PCDD/Fs 濃度之關係，當 SRF 混燒比>30%，有較高機率 PCDD/Fs 排放濃度超標。CC 廠雖 SRF 混燒比 14.5%，但該廠實際燃燒的替代燃料（SRF+漿紙污泥）之總混燒比為 74.2%且 SRF 及飛灰中的含 Cu 量偏高，並無安裝 PCDD/Fs 防制設備。至於 SRF 混燒比>30%之工廠，建議選擇低 Cl、低 Cu、成分單純、高品質的 SRF，此外，皆要安裝活性碳吸附或觸媒分解設備。

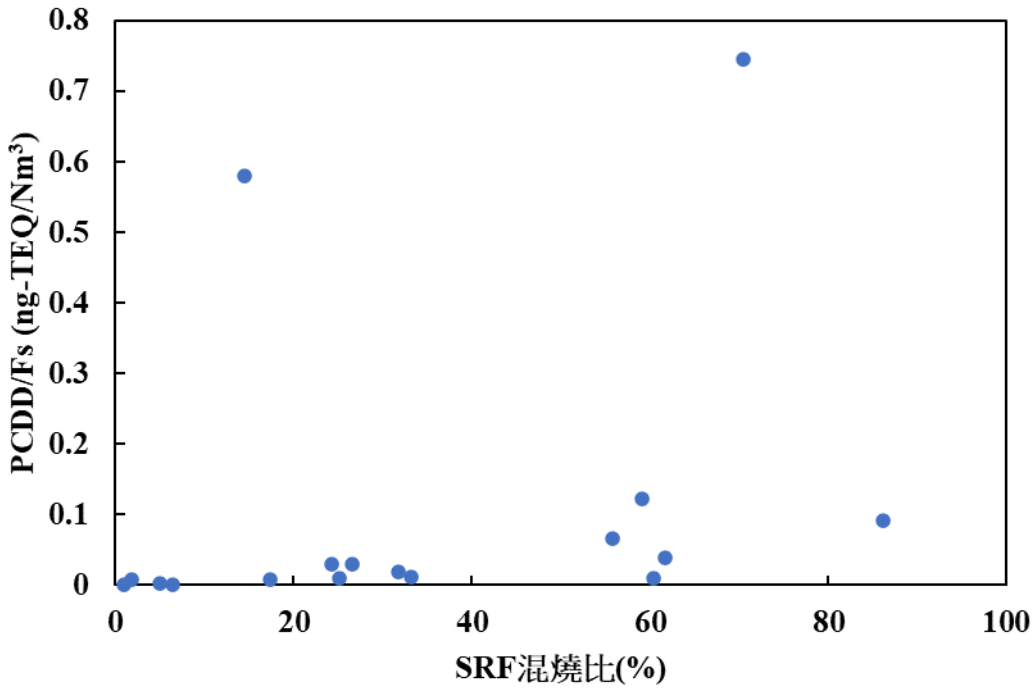


圖 4.6-8、SRF 混燒比與煙氣 PCDD/Fs 之關係

3.重金屬：

環境部預公告使用資源循環燃料之鍋爐排放標準新增對重金屬(Pb、Cd、Hg)進行管制，本次檢測鍋爐排放煙氣 Pb、Cd、Hg 濃度皆遠低於排放標準(**表 4.5-5**)。至於水泥廠排放之 Hg 濃度明顯較鍋爐高，因為水泥生產過程中會使用含汞的原料（如石灰石、粘土）和燃料（如煤），但目前尚未針對水泥廠訂有重金屬排放標準。水泥業控制汞排放的主要技術包含：

(1)原料和燃料管理：

A.優先使用低汞含量的石灰石、粘土和燃料（如天然氣或低汞煤）。

B.原料預處理：減少含汞原料的使用比例，或通過化學處理降低其汞含量。

C.替代燃料：使用替代燃料（如廢輪胎、生物質）以降低汞排放，但需評估燃料中潛在的汞污染風險。

(2)循環處理：在窯系統內部設計回收和循環技術，捕集並固相汞，避免其進一步

揮發。

(3)排氣控制技術：

A.活性碳吸附：在煙氣中噴入活性碳或活性焦粉，捕捉氣相汞。

B.選擇性催化還原(SCR)：SCR 系統能氧化 Hg^0，轉化為更易處理的氧化汞。

C.濕法洗滌(Wet Scrubber)：利用氧化汞溶於水之特性加以去除。

D.袋式集塵機：利用濾袋將吸附後的活性碳及附著於微粒上的固相重金屬加以捕集。

4.多環芳香烴(PAHs)：

此次檢測排放管道 PAHs 濃度介於 0.2~2,332 ng BaP_{eq}/Nm^3，差異甚大，以 CC 廠最高，推測是該廠採樣期間替代燃料（SRF+漿紙污泥）之混燒比太高且空污防制設備並未使用活性碳，SCR 觸媒對 PAHs 分解效率不佳。目前只有歐盟、WHO 針對環境空氣 PAHs 訂有標準(≤1 ng BaP_{eq}/m^3)，對於排放管道皆未訂定排氣標準。至於降低 PAHs 改善建議：

(1)減少含碳及雜質高的燃料使用量。

(2)提高燃燒效率，減少不完全燃燒。

(3)空氣污染防制設備：例如活性碳吸附、觸媒氧化分解、使用液體吸收或化學溶液處理溶解性 PAHs。

(4)集塵設備如袋式集塵機或靜電集塵機捕集含 PAHs 的細微粒。

5.塑化劑：

由於鍋爐及水泥旋窯皆是高溫燃燒或製程，排放管道之塑化劑濃度皆很低，DEHP 濃度 0.982~39.8 $\mu g/Nm^3$，國內目前無管制標準。

三、廢棄物及廢水排放

1.PCDD/Fs：

本計畫之廢棄物主要是指鍋爐排出的底渣及飛灰，由於水泥製程之旋窯出口為水泥熟料，且其集塵機收集的飛灰將回收做為水泥原料，因此本計畫對於水泥廠並無採集底渣及飛灰樣品。

使用 SRF 為燃料之鍋爐底渣 PCDD/Fs 濃度介於 0.0002~0.0009 ng-TEQ/g，濃度遠低於有害事業廢棄物認定標準(<1.0 ng-TEQ/g)。至於飛灰濃度介於 0.002~3.15 ng-TEQ/g，以 YH 廠的飛灰 PCDD/Fs 濃度(3.15 ng-TEQ/g)最高且超過有害廢棄物認定標準，其他廠之飛灰皆符合標準。YH 廠推測原因是高 SRF 混燒比加上觸媒濾袋操作溫度不足（低於 170℃以下），導致觸媒分解效果不佳，同時飛灰中的高含 Cu 量促進低溫再合成而使飛灰濃度超標，建議觸媒濾袋操作溫度 > 200℃，提升分解效率。

各廠 FGD 排水之 PCDD/Fs 濃度介於 3.23~2,080 pg-TEQ/L，不過 FGD 排水將流至廢水處理廠處理。至於放流水之濃度 1.27~5.69 pg-TEQ/L，皆符合現行放流水標準(< 10 pg-TEQ/L)。

2.重金屬：

本計畫有分析底渣及飛灰中重金屬(Al、As、Cd、Cr、Cu、Ni、Pb、Se、Zn、Hg)含量便於進行流佈分析，但國內並未訂定管制標準，只於「有害事業廢棄物認定標準」中針對重金屬（Hg、Cd、Se、Pb、六價 Cr、總 Cr、As、Ag、Cu 及 Ba 等）訂有毒性特性溶出程序(TCLP)溶出標準。

關於廢水重金屬管制標準是依據「晶圓製造及半導體製造業、光電材料及元件製造業、石油化學業、化工業、金屬基本工業、金屬表面處理業、電鍍業、印刷電路板製造業、發電廠及海水淡化廠以外之事業放流水水質項目及限值」，其中有管制的金屬有 As、Cd、Cr、Cu、Ni、Pb、Se、Zn 及 Hg 等，各廠放流水重金屬之檢測濃度皆低於現行之放流水標準。

3.塑化劑：

各廠底渣、飛灰及放流水中塑化劑含量皆很低，目前皆無管制標準。

4.6.2、資源循環燃料種類與空氣污染防制設施之採用

環境部大氣司於 113 年 6 月 20 日預告修正「公私場所固定污染源燃料混燒比例成分及防制設施管制標準」，內容增訂使用資源循環燃料應採行之防制設施規定，其中若使用的資源循環燃料是第二類的 SRF-2 之水泥旋窯、流體化床式鍋爐，則必須採用以下防制設施：

1.粒狀物：袋式集塵器、靜電集塵器。

2.硫氧化物：排煙脫硫技術、洗滌塔。

3.氮氧化物：低氮氧化物燃燒器、煙道氣迴流技術、分段燃燒技術、選擇性觸媒還原技術、選擇性無觸媒還原技術。

4.戴奧辛：活性碳注入設備、驟冷塔、觸媒陶瓷濾管集塵器、觸媒濾袋。

本計畫各廠使用的 SRF，依其 Cl、Pb、Cd、Hg 含量得知皆屬於第二類的 SRF-2，**表 4.6-1** 是比對各廠目前採用的空氣污染防制設施是否符合資源循環燃料規範要求，說明如下：

(1)粒狀物：各廠皆有安裝袋式集塵機或靜電集塵機。

(2)脫硫：目前有安裝 FGD 只有 YY、CC、YH、YTS 等 4 廠，其他工廠有些採用乾式或半乾式除酸設備，但此兩項未列於規範中。

(3)氮氧化物：規範內降低氮氧化物的方式有多種，其中 1 廠（YTS 廠）使用低氮氧化物燃燒器、4 個廠使用 SCR、7 個廠使用 SNCR，另有 2 個廠使用 O_3 氧化技術，但 O_3 技術尚未列於規範中。有 2 個廠完全沒有採用氮氧化物去除設施（YY 及 TCH 廠），但本次檢測兩廠排放管道 NO_x 濃度皆符合標準。

(4)戴奧辛：目前只有 2 個廠使用活性碳吸附、1 個廠使用 SCR 及觸媒分解濾袋。

經由以上比對結果，目前安裝戴奧辛防制設施之廠家數最少，隨著排放管道 PCDD/Fs 法規日益加嚴，若使用 SRF-2 燃料，須及早規劃安裝合適的防制設施。

表 4.6-1、各廠既有防制設施調查與使用 SRF-2 須採用的設施比對

防制設施種類		去除粒狀物		除酸	去除氮氧化物			去除戴奧辛	
工廠	使用的資源循環燃料種類	BF	ESP	FGD	低氮氧化物燃燒器	SCR	SNCR	活性碳吸附	觸媒濾袋
TPM	SRF-2	√				√	√	√	
TCS	SRF-2	√	√				√		
YY	SRF-2	√		√					
CC	SRF-2	√	√	√		√	√		
CHPC	SRF-2		√				√		
YH	SRF-2	√		√		√	√		√
YTS	SRF-2	√		√	√			√	
CH	SRF-2	√				√			
TCH	SRF-2	√							
TC	SRF-2		√				√		
ACH	SRF-2	√					√		

[註]本計畫調查的廠家皆無採用煙道氣迴流技術、分段燃燒技術。

√：有安裝此項設施。

4.7 環境風險評估

4.7.1 蒐集與彙整國內環境污染源排放擴散模擬參數

本研究將依據環境部「固定污染源管理資訊公開平台」之 2023 年所公布監測數據，針對 SRF 廠區進行污染源排放管道之污染物模擬其空氣品質擴散情形，本研究初步整理之排放管道資料如**表 4.7-1**，其中 CH 廠有兩次檢測數據（CH1 及 CH2 來表示）。

表 4.7-1、SRF 廠之污染源排放管道資料

SRF 工廠 二度分帶座標(X, Y)	地區	排氣溫度 (K)	排氣速度 (m/s)	PAHs 排放率 (ng/s)	PCDD/Fs 排放率 (pg/s)
TPM 廠 (167420,2633630)	雲林縣	339.1	6.84	99897	234.5
YTS 廠 (212888,2688234)	台中市	337.6	8.36	1093.3	3281.7
CH1 廠 (222087,2686592)	台中市	327.8	5.27	4539.3	172.4
CH2 廠 (222087,2686592)	台中市	327.8	5.27	13254	727.8
K 廠 (213919,2700665)	台中市	328.2	12.01	101444	1574.5

一、中部地區各排放管道擴散模擬結果

本計畫使用排放管道的實測數據，並且藉由環境部空氣品質模式 AERMOD 大氣擴散模型作為工具進行模擬分析。除了粒狀物外，另外針對排放管道排放之重金屬、PAHs 及 PCDD/Fs 進行擴散模擬。

首先，本計畫彙整四月份雲林麥寮鄉氣象觀測數據，分析了該地區的風向及風速，並繪製了風玫圖來呈現該地的盛行風向（**圖 4.7-1**）。結果顯示，麥寮鄉在這段

期間內最主要的盛行風向是北風，最大風速為 6 m/s，該月份除北風之外、另外盛行西南西風及南南西風。

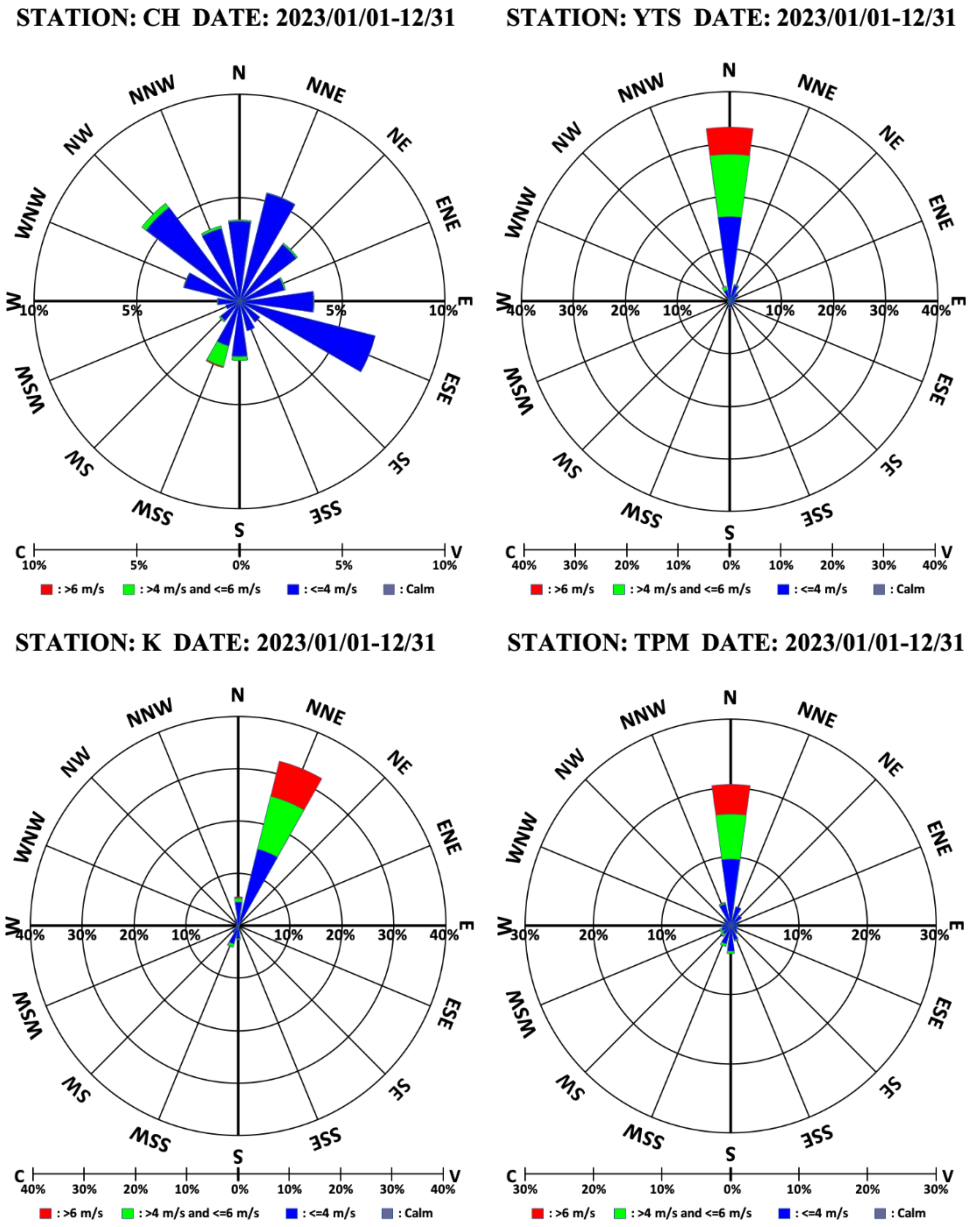


圖 4.7-1、CH 廠、YTS 廠、K 廠及 TPM 廠 2023 年風玫圖

本計畫針對 PAHs、PCDD/Fs 及重金屬使用環境部「固定污染源管理資料公開平台」之排放管道參數以及本年度實際蒐集到之排放管道濃度進行大氣擴散模擬（**圖 4.7-2**），TPM 廠模擬之 PAHs 擴散結果，其最大著地濃度為 14.7 pg/m^3，其著

地位置為 168600, 2632400 (x, y)；TPM 廠模擬之 PCDD/Fs 擴散結果，其最大著地濃度為 0.0345 fg/m^3；其著地位置為 168600, 2632400 (x, y)；TPM 廠模擬之 As 金屬擴散結果，其最大著地濃度為 0.00007 ng/m^3；其著地位置為 167900, 2632800 (x, y)；TPM 廠模擬之 Cd 金屬擴散結果，其最大著地濃度為 0.00001 ng/m^3；其著地位置為 168600, 2632400 (x, y)；TPM 廠模擬之 Cr 金屬擴散結果，其最大著地濃度為 0.00004ng/m^3；其著地位置為 168600, 2632400 (x, y)；TPM 廠模擬之 Hg 金屬擴散結果，其最大著地濃度為 0.00001 ng/m^3；其著地位置為 168600, 2632400 (x, y)；TPM 廠模擬之 Ni 金屬擴散結果，其最大著地濃度為 0.00004 ng/m^3；其著地位置為 168600, 2632400 (x, y)；TPM 廠模擬之 Pb 金屬擴散結果，其最大著地濃度為 0.00002 ng/m^3；其著地位置為 168600, 2632400 (x, y)，位於排放源南方。

YTS 廠模擬之 PAHs 擴散結果，其最大著地濃度為 1.63 pg/m^3，其著地位置為 215900, 2688100 (x, y)；YTS 廠模擬之 PCDD/Fs 擴散結果，其最大著地濃度為 7.86 fg/m^3；其著地位置為 215900, 2688100 (x, y)；YTS 廠模擬之 As 金屬擴散結果，其最大著地濃度為 0.00008 ng/m^3；其著地位置為 215900, 2688100 (x, y)；YTS 廠模擬之 Cd 金屬擴散結果，其最大著地濃度為 0.00022 ng/m^3；其著地位置為 215900, 2688100 (x, y)；YTS 廠模擬之 Cr 金屬擴散結果，其最大著地濃度為 0.00152ng/m^3；其著地位置為 215900, 2688100 (x, y)；YTS 廠模擬之 Hg 金屬擴散結果，其最大著地濃度為 0.00063 ng/m^3；其著地位置為 215900, 2688100 (x, y)；YTS 廠模擬之 Ni 金屬擴散結果，其最大著地濃度為 0.00172 ng/m^3；其著地位置為 215900, 2688100 (x, y)；YTS 廠模擬之 Pb 金屬擴散結果，其最大著地濃度為 0.00556 ng/m^3；其著地位置為 215900, 2688100 (x, y)。

CH1 廠模擬之 PAHs 擴散結果，其最大著地濃度為 5.72 pg/m^3，其著地位置為 222100, 2686400 (x, y)；CH1 廠模擬之 PCDD/Fs 擴散結果，其最大著地濃度為 0.22 fg/m^3；其著地位置為 222100, 2686400 (x, y)；CH1 廠模擬之 As 金屬擴散結果，其最大著地濃度為 0.00002 ng/m^3；其著地位置為 222100, 2686400 (x, y)；CH1 廠模擬之 Cd 金屬擴散結果，其最大著地濃度為 0.00001 ng/m^3；其著地位置為 222100, 2686400 (x, y)；CH1 廠模擬之 Cr 金屬擴散結果，其最大著地濃度為 0.00111 ng/m^3；其著地位置為 222100, 2686400 (x, y)；CH1 廠模擬之 Hg 金屬擴散結果，其最大著

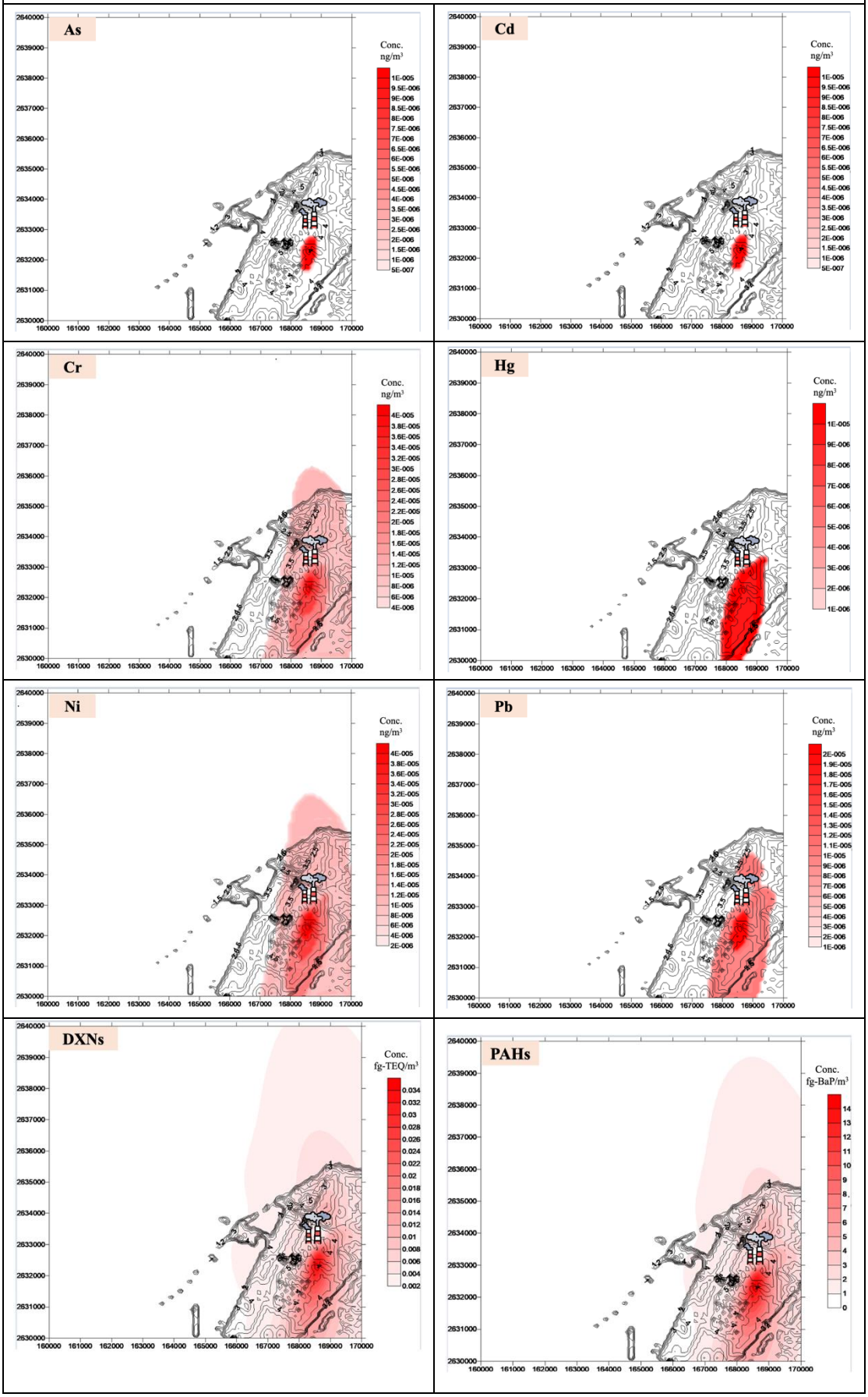
地濃度為 0.00051 ng/m^3；其著地位置為 222100, 2686400 (x, y)；CH1 廠模擬之 Ni 金屬擴散結果，其最大著地濃度為 0.00103 ng/m^3；其著地位置為 222100, 2686400 (x, y)；CH1 廠模擬之 Pb 金屬擴散結果，其最大著地濃度為 0.09 ng/m^3；其著地位置為 222100, 2686400 (x, y)。

CH2 廠模擬之 PAHs 擴散結果，其最大著地濃度為 16.7 pg/m^3，其著地位置為 222100, 2686400 (x, y)；CH2 廠模擬之 PCDD/Fs 擴散結果，其最大著地濃度為 0.92 fg/m^3；其著地位置為 222100, 2686400 (x, y)；CH2 廠模擬之 As 金屬擴散結果，其最大著地濃度為 0.68 ng/m^3；其著地位置為 222100, 2686400 (x, y)；CH2 廠模擬之 Cd 金屬擴散結果，其最大著地濃度為 0.34 ng/m^3；其著地位置為 222100, 2686400 (x, y)；CH2 廠模擬之 Cr 金屬擴散結果，其最大著地濃度為 0.34 ng/m^3；其著地位置為 222100, 2686400 (x, y)；CH2 廠模擬之 Hg 金屬擴散結果，其最大著地濃度為 0.4 ng/m^3；其著地位置為 222100, 2686400 (x, y)；CH2 廠模擬之 Ni 金屬擴散結果，其最大著地濃度為 0.68 ng/m^3；其著地位置為 222100, 2686400 (x, y)；CH2 廠模擬之 Pb 金屬擴散結果，其最大著地濃度為 0.68 ng/m^3；其著地位置為 222100, 2686400 (x, y)。

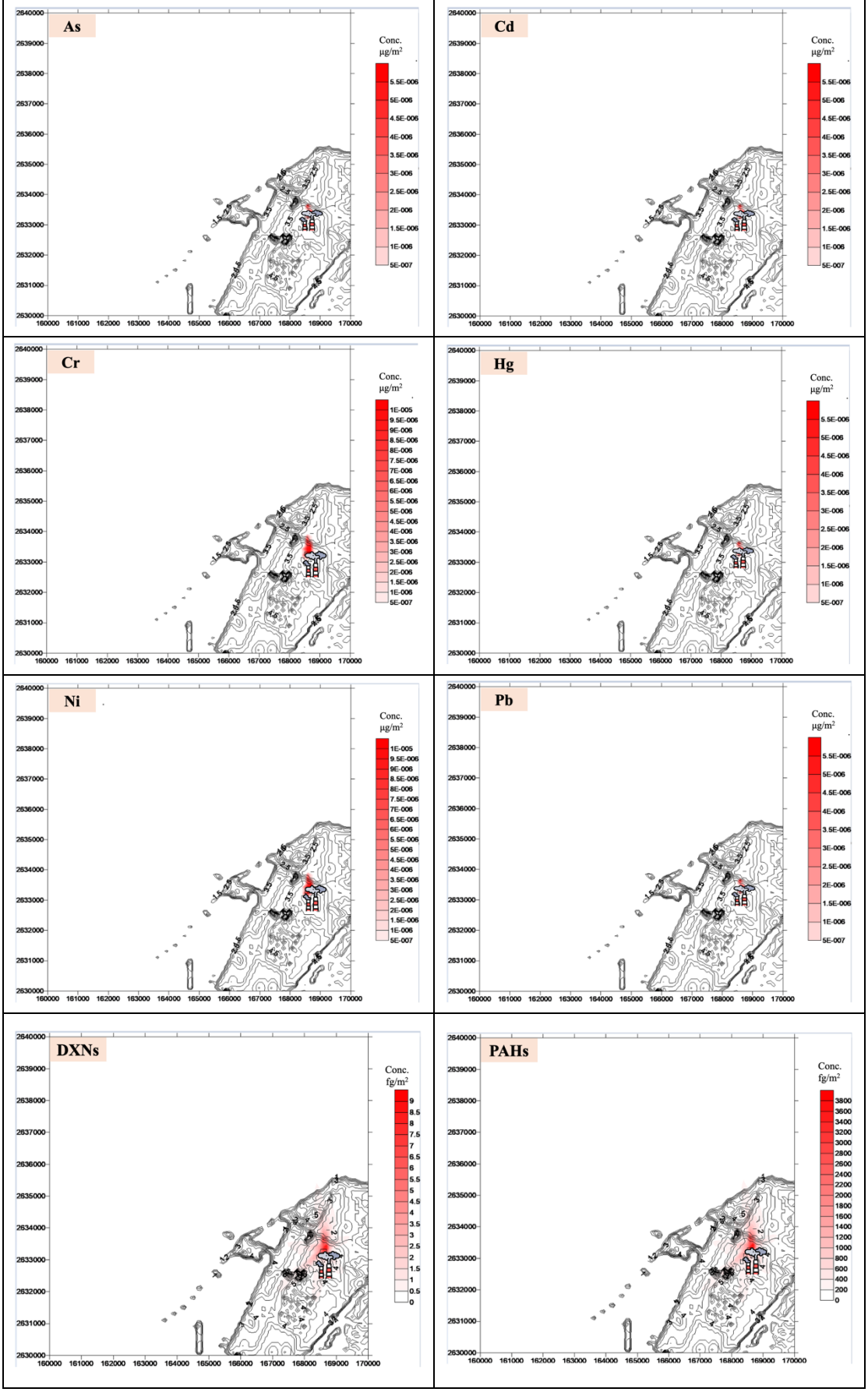
K 廠模擬之 PAHs 擴散結果，其最大著地濃度為 119.2 pg/m^3，其著地位置為 213800, 2700300 (x, y)；K 廠模擬之 PCDD/Fs 擴散結果，其最大著地濃度為 1.85 fg/m^3；其著地位置為 213800, 2700300 (x, y)；K 廠模擬之 As 金屬擴散結果，其最大著地濃度為 0.019 ng/m^3；其著地位置為 213800, 2700300 (x, y)；K 廠模擬之 Cd 金屬擴散結果，其最大著地濃度為 0.072 ng/m^3；其著地位置為 213800, 2700300 (x, y)；K 廠模擬之 Cr 金屬擴散結果，其最大著地濃度為 0.017 ng/m^3；其著地位置為 213800, 2700300 (x, y)；K 廠模擬之 Hg 金屬擴散結果，其最大著地濃度為 0.0053 ng/m^3；其著地位置為 213800, 2700300 (x, y)；K 廠模擬之 Ni 金屬擴散結果，其最大著地濃度為 0.021 ng/m^3；其著地位置為 213800, 2700300 (x, y)；K 廠模擬之 Pb 金屬擴散結果，其最大著地濃度為 1.69 ng/m^3；其著地位置為 213800, 2700300 (x, y)。

。

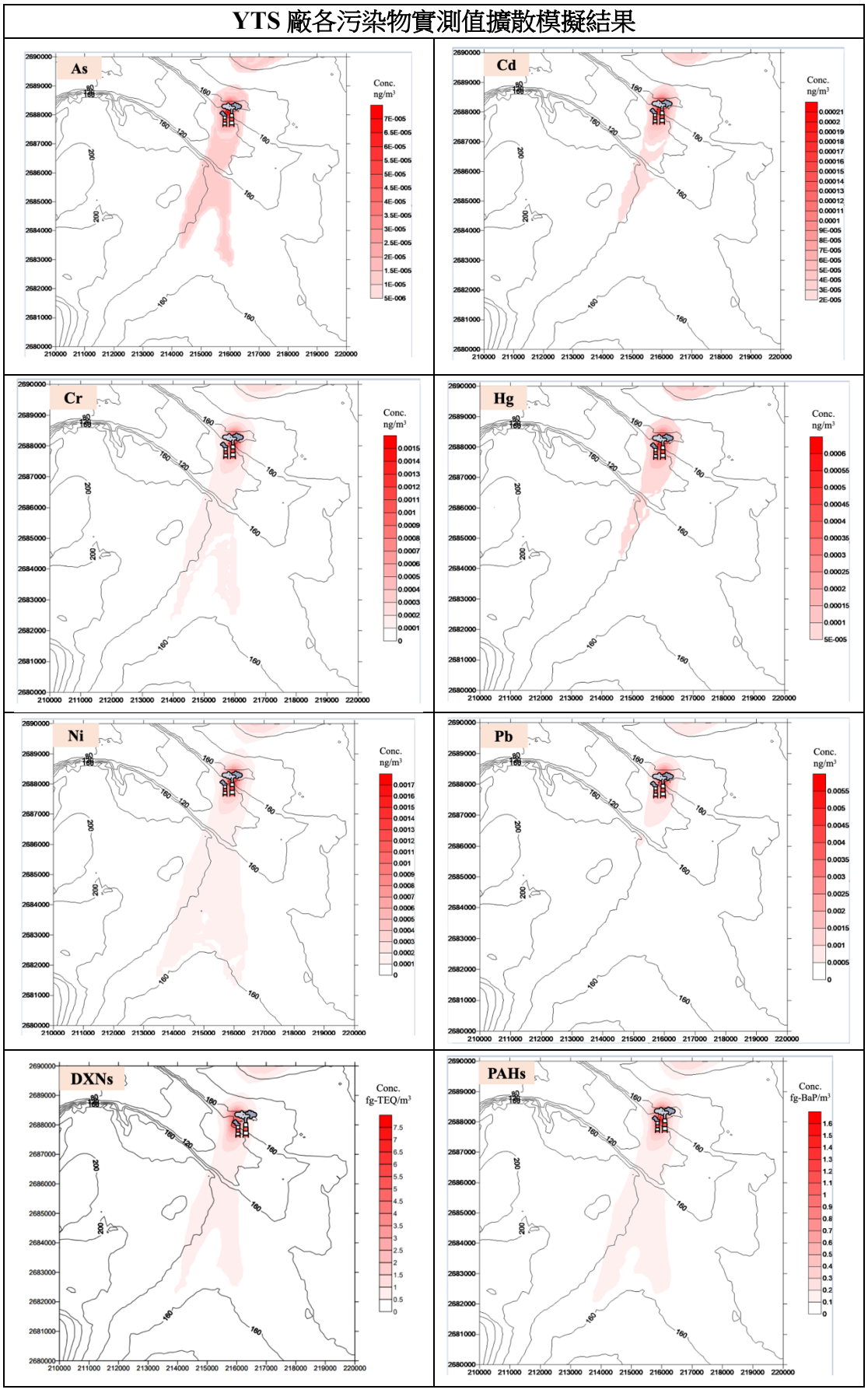
TPM 廠各污染物實測值擴散模擬結果



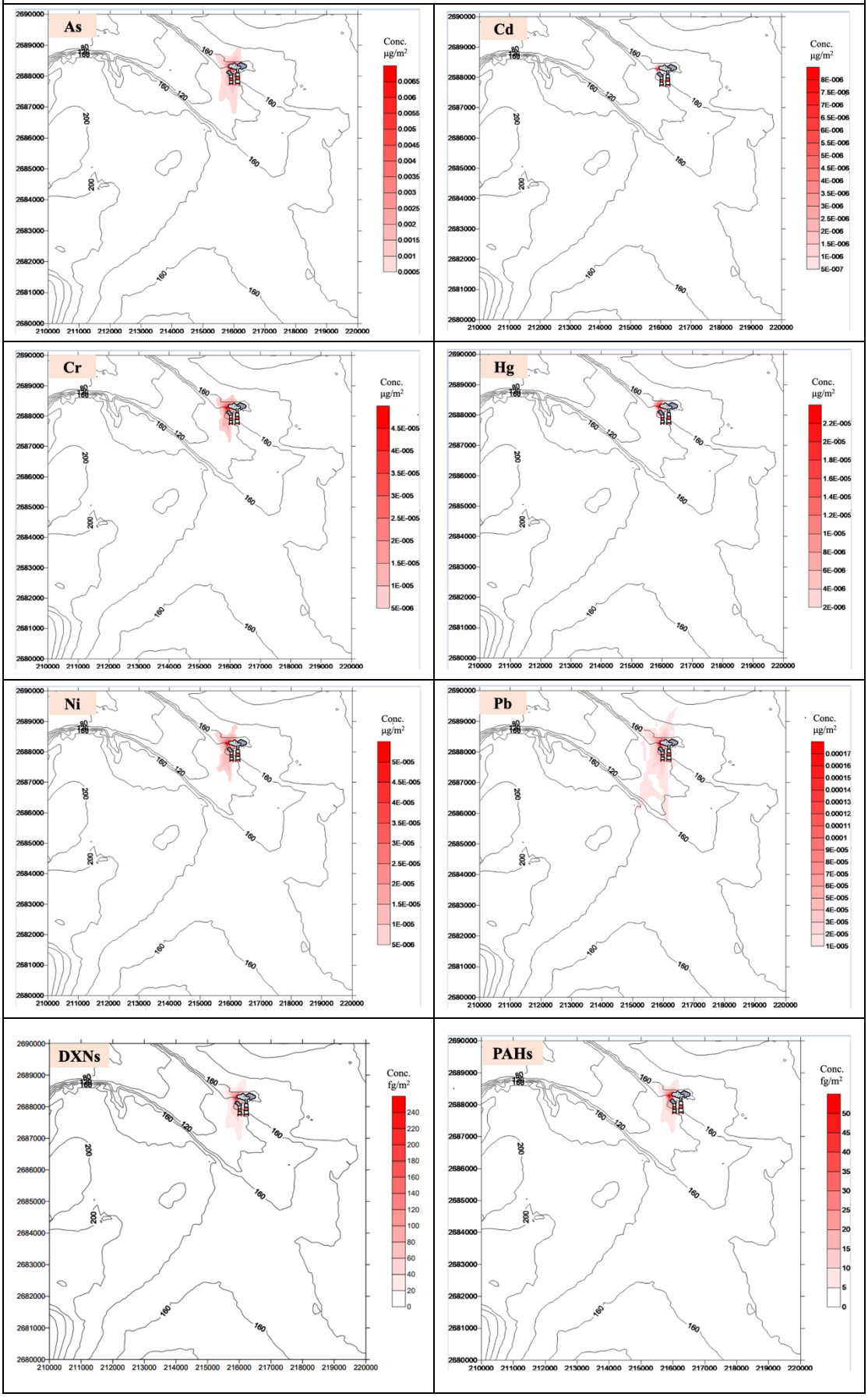
TPM 廠各污染物實測值沉降模擬結果



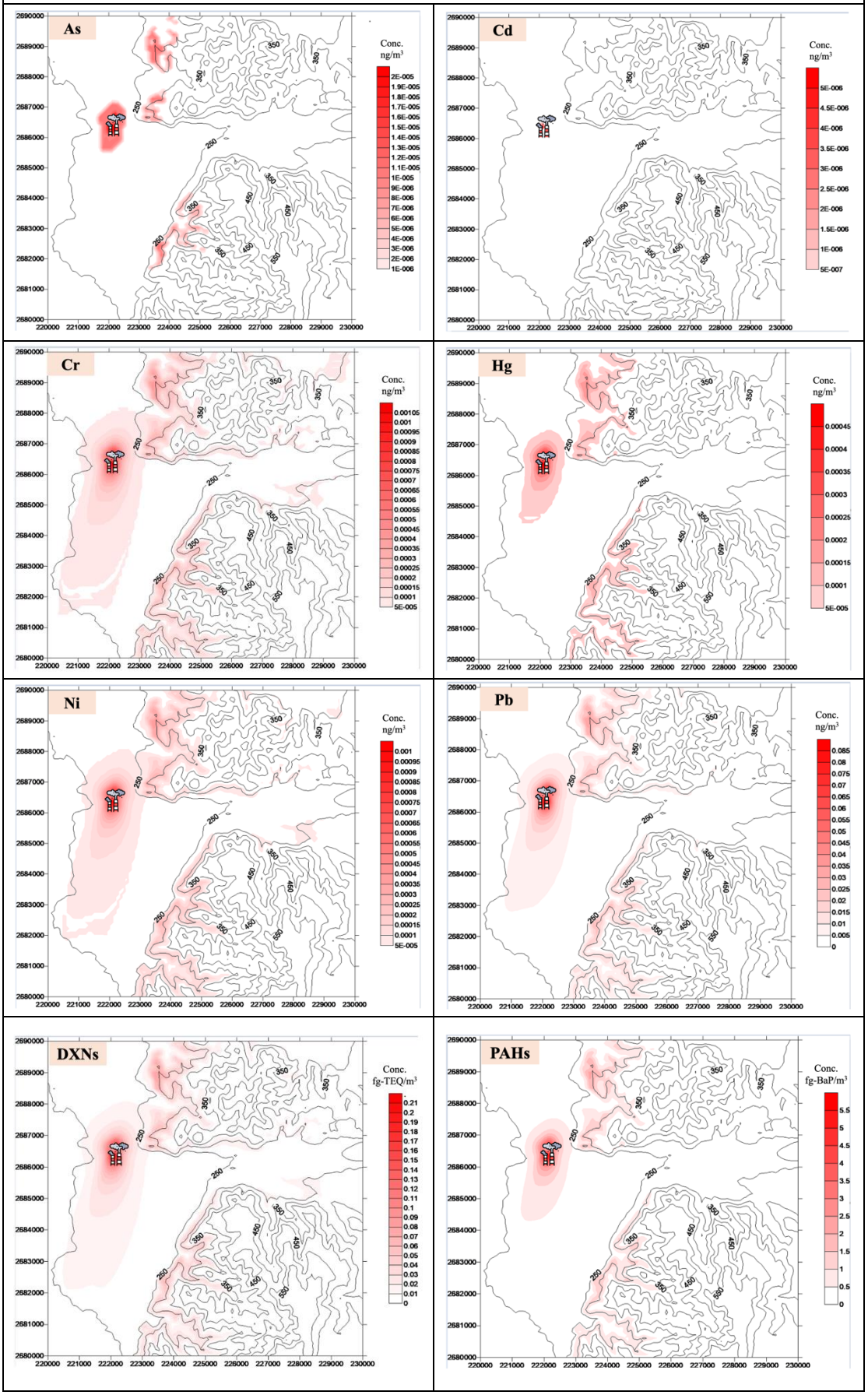
YTS 廠各污染物實測值擴散模擬結果



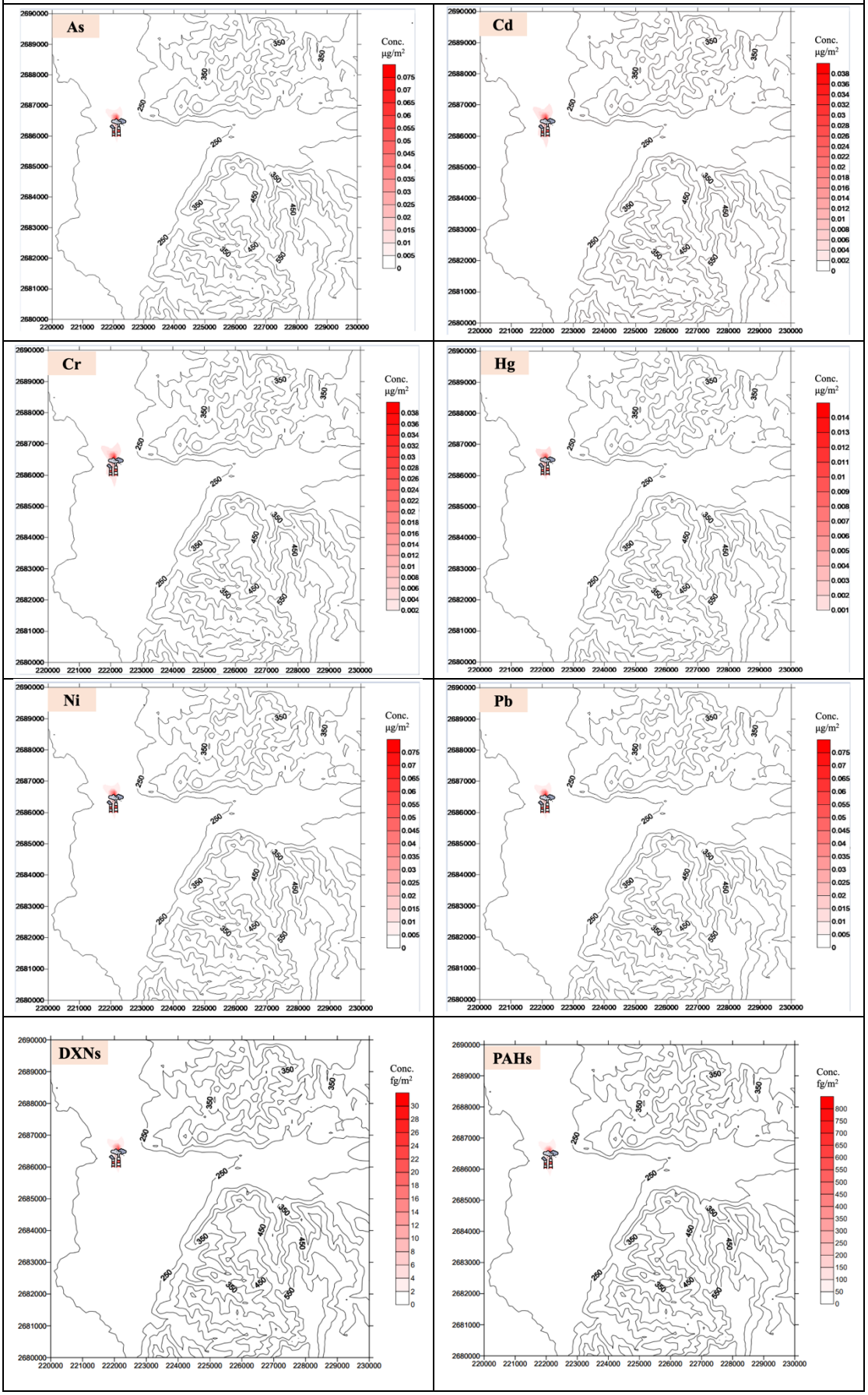
YTS 廠各污染物實測值沉降模擬結果



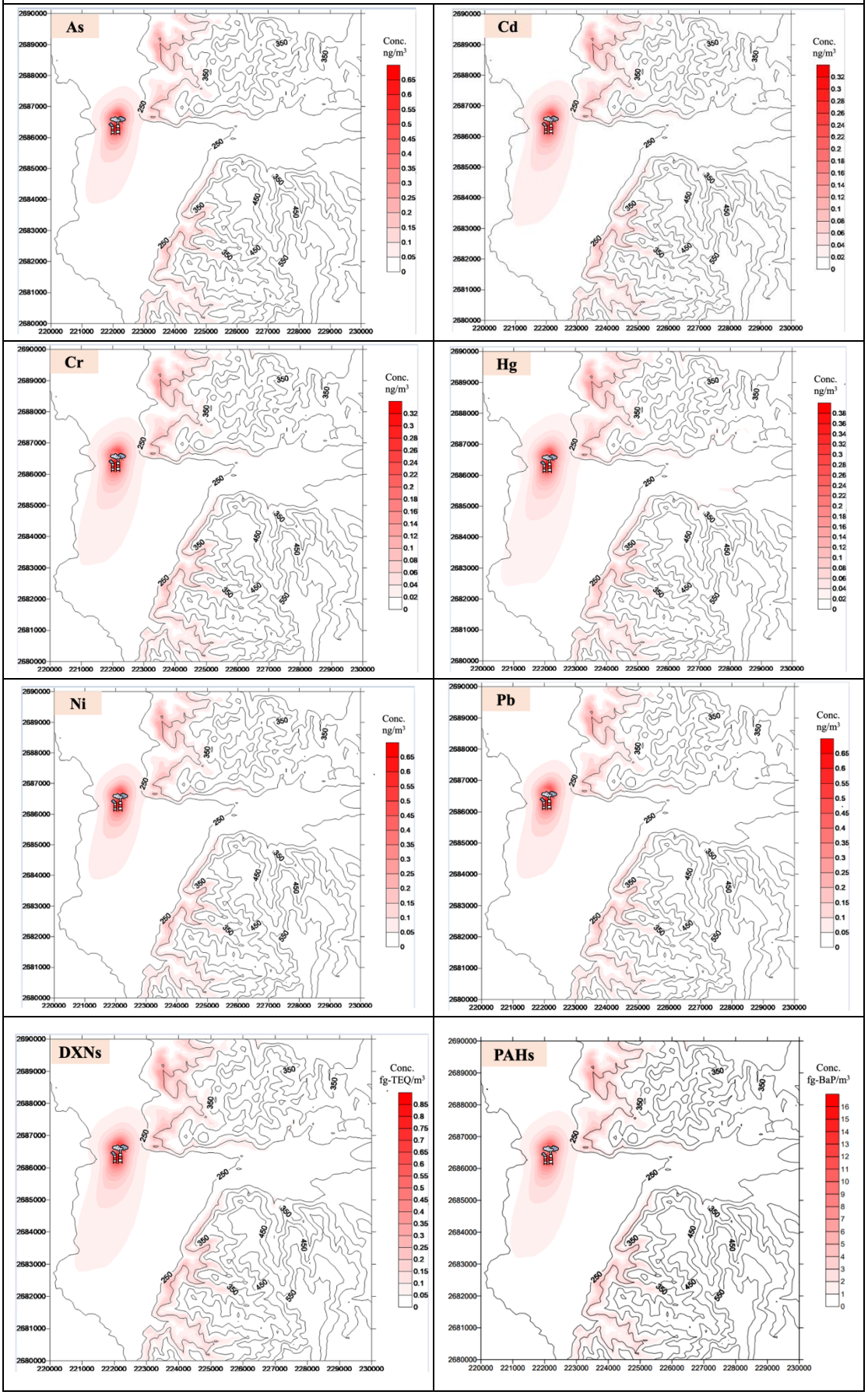
CH1 廠各污染物實測值擴散模擬結果



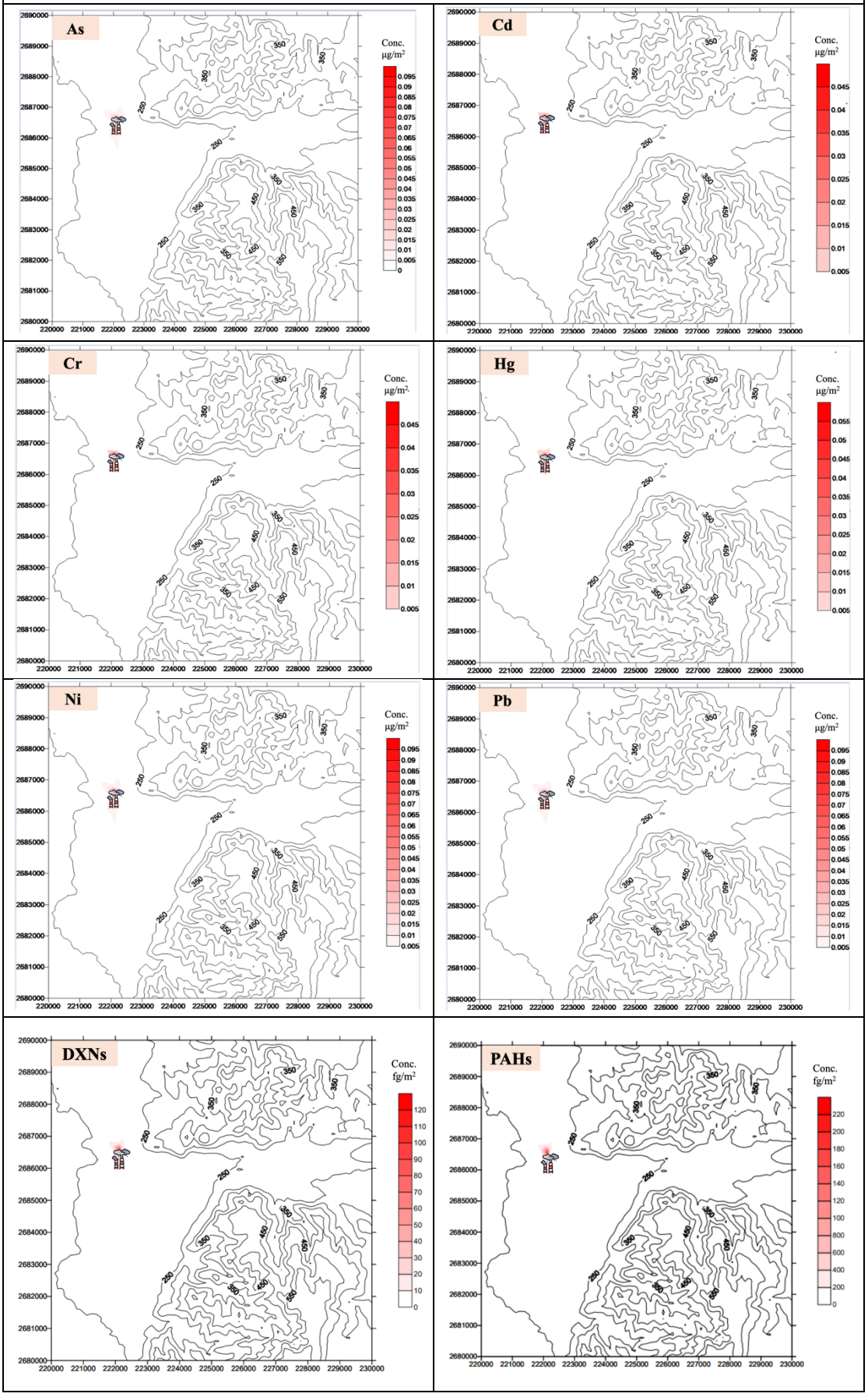
CH1 廠各污染物實測值沉降模擬結果



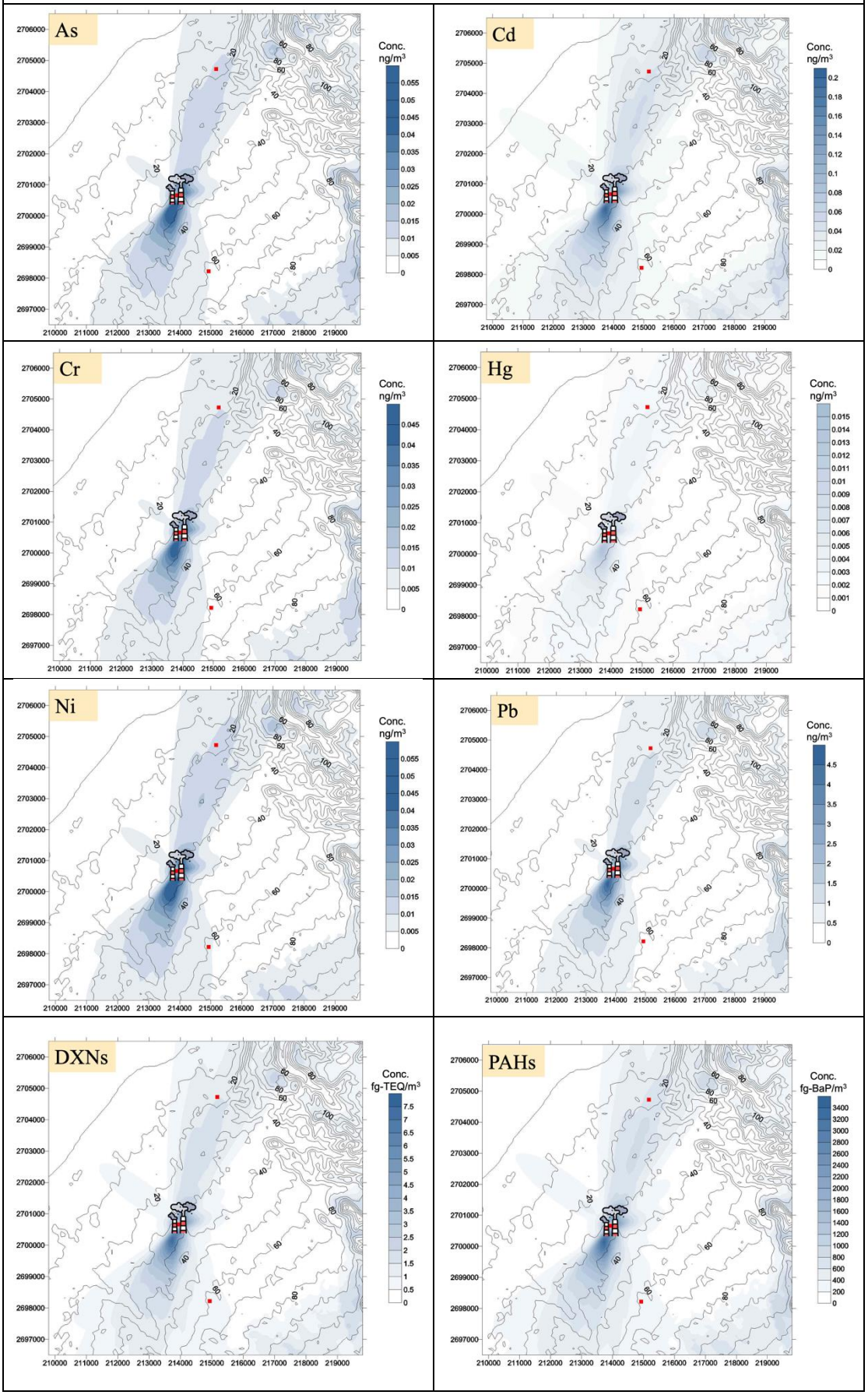
CH2 廠各污染物實測值擴散模擬結果



CH2 廠各污染物實測值沉降模擬結果



K 廠各污染物實測值擴散模擬結果



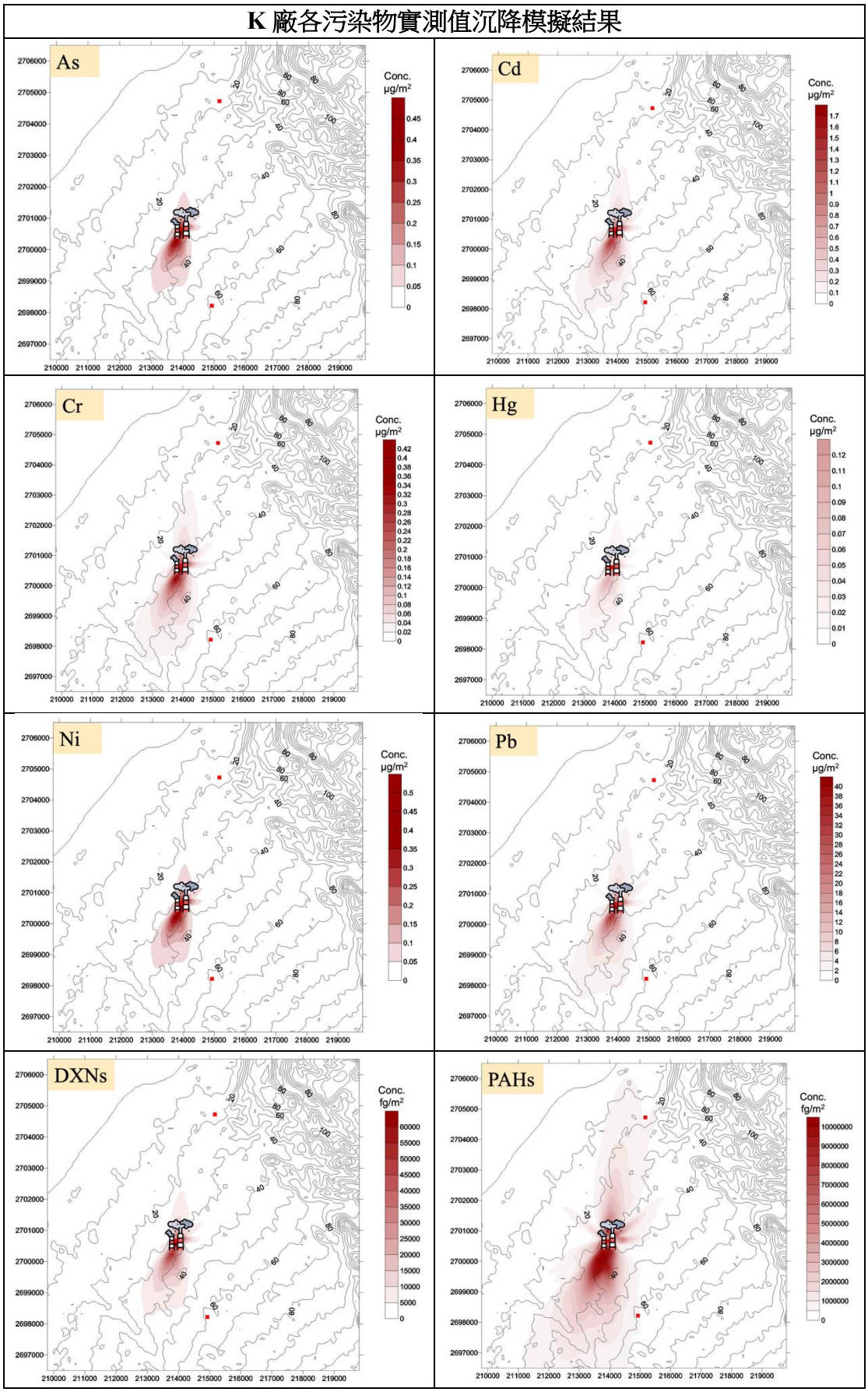


圖 4.7-2、TPM、YTS、CH1、CH2 及 K 廠各污染物實測值整年擴散結果

4.7.2 蒐集與彙整國內環境介質暴露參數

由於本研究進行 SRF 廠區的環境風險推估，而根據章節 3.4.2 污染物之多介質傳輸模式中所述在進行水中污染物濃度推估時，公式中會使用到幾項重要參數，包括水域面積(SA)、水域體積(WV)和水體置換次數。因此為了能夠進行後續的多介質暴露評估，因此根據政府所提供之資料來進行參數的彙整及蒐集。

水域面積(SA)是根據經濟部水利署網站所公布（**圖 4.7-3～圖 4.7-5**），並且透過與水利署申請取得水位、流量等資訊。水域體積(WV)是根據水域面積(SA)以及水位參數進行公式計算來取得。

1.水域體積 (WV)

SA×水位×1000

註：水域體積 (kg)、水域面積 SA (m^2)、水位 (m)

流速的計算是該區域鄰近測站的平均值，再透過公式的運算取得水體每年置換次數。

2.水體置換次數(VC)：

1/ [1000×SA×水位/（流速× SA）/31536000]

註：一整年的秒數 31536000 s、水域面積 SA (m^2)、水位 (m)、流速 (m/s)

根據今年計畫規劃，本研究進行中部地區的 SRF 環境風險推估，因此進行廠區所在地包括台中和雲林地區的水文資料。現階段已完成台中清水區、台中梧棲區、台中龍井區的水文資料蒐集（**表 4.7-2**），後續也會持續蒐集雲林麥寮鄉等地區資料。環境介質參數蒐集完成後，會透過章節 3.4.2 多介質傳輸模式所列之公式，來進行污染物暴露在不同介質的暴露濃度 PECs 推估，並且後續會將 PECs 濃度與先前蒐集的國內外 PNECs 濃度比較，獲得估算出的環境風險值 RQ。

圖 4.7-3、台中清水區水域面積示意圖

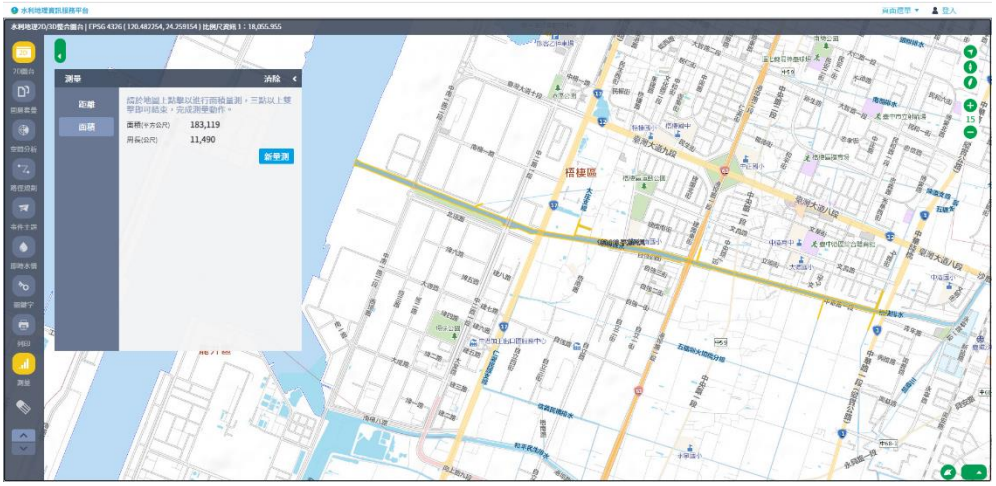


圖 4.7-4、台中梧棲區水域面積示意圖

圖 4.7-5、台中龍井區水域面積示意圖

表 4.7-2、各鄉鎮市區水文資料

地區	台中清水區	台中梧棲區	台中龍井區
水域面積(m^2)	404687	252840	1314856
水域體積(kg)	10340145257	6460307168	13425030989
流速(m/s)	0.4632	0.4632	0.4632
水域置換次數	571.7601785	571.7601785	1430.817313

備註：水域深度依不同水域類型分別以精忠橋、烏日橋、斜張橋與大肚橋計算，資料來源為水利署水文資訊網 2018 年 1 月 1 日~2021 年 12 月 31 日時平均水位。流速部分以大肚橋測站（0.5037m/s）、溪南橋測站（0.1217m/s）與烏溪橋測站（0.7644m/s）之平均（0.4632m/s）計算，資料來源為水利署水文資訊網 2018 年 1 月 1 日~2021 年 12 月 31 日平均流速。

4.7.3 預測無效應濃度之基準值建立

以保護生態系統、人體健康為目標而確定的土壤污染物臨界含量（基準值），是制定土壤環境品質標準的基礎依據(Lyndall *et al*. 2010)。研究者們對土壤環境基準的確立進行了大量研究並提出了多種方法(Van Tilborg, 1996; Gezondheidsraad, 1988; Slijkerman *et al*., 2000)。

基準值計算的方法取決於毒性資料的多少，當可獲得的毒性資料較少時可應用評估因數(assessment factor, AF)法，即由某一最敏感物種的急性或慢性毒理學資料除以評估因數(AF)來得到作為基準值的預測無效應濃度(Predicted No Effective Concentration (PNEC)（Kooijman, 1987; 雷炳莉等，2009）。評估因數法較為簡單，不依賴於任何理論模型，在因數選擇上也存在著很大的不確定性 (Staples *et al.,* 2008)。

而基於物種敏感性分佈(Species sensitivity distribution, SSD)曲線的統計學外推法則評估和比較了全部毒性資料的分佈，獲得的結果是一個潛在危害的機率分佈情況(Posthuma *et al*., 2002)。SSD 法既可從污染物環境濃度出發，計算潛在影響比例(Potential affected fraction, PAF)，用以描述生態系統或者不同類別生物的生態風

險；亦可反向用於確定一定保護程度的污染物濃度，用以確定基準值，SSD 法假設生態系統中不同物種對於某一污染物的敏感性（EC_{10}（一定時間間隔內引起生物體10%危害效應的濃度）或 LC_{50}（半數致死濃度）等毒性閾值）能夠被一個分佈所描述，通過生物測試獲得的有限物種的毒性閾值是來自於這個分佈的樣本，可用於估算該分佈的參數(Van Straalen, 2002)。利用不同的分佈函數，如 Log normal, Log logistic, Burr III 等(Posthuma *et al*., 2002; Van Straalen, 2002; Shao, 2000)，擬合毒理學資料求出機率分佈模型，定義危害濃度(Hazardous concentration, HCp)，即污染物對生物的效應濃度小於等於 HCp 的機率為 p，在此濃度下，生態環境中(100 p)%的生物是（相對）安全的，通常將 HC_5 (5% Hazardous concentration)用於基準值的推導和建立(Newman *et al*., 2000)。

一、國內外 PNEC 文獻彙整

本研究現階段回顧國內外文獻，搜尋預測無效應濃度(PNEC)相關建立方法，並試著整理以本土物種建立之 PNEC 以作為後續研究危害商數推估之依據。

1.文獻一：

出處: Li X, Chi W, Tian H, Zhang Y, Zhu Z. Probabilistic ecological risk assessment of heavy metals in western Laizhou Bay, Shandong Province, China. PLoS One. 2019 Mar 14;14(3):e0213011.

考慮到萊州灣西部嚴重的陸地來源污染和緩慢的水體交換能力，有必要對該地區的污染物進行生態風險評估。本研究使用機率方法評估了萊州灣西部表層沉積物（底泥）中重金屬及其在海水中再懸浮所致的生態風險。首先，在 2016 年春季和秋季期間，檢測了萊州灣西部表層沉積物和海水中七種重金屬(As、Cd、Cr、Cu、Hg、Pb 和 Zn)的濃度。發現 As、Cd、Cr、Cu 和 Pb 的濃度與其他全球沿海系統的濃度相當，而 Hg 和 Zn 的濃度低於其他沿海地區。接著，使用典型的潛在生態風險指數並結合蒙地卡羅模擬對表層沉積物中的重金屬進行了生態風險評估。結果表明，萊州灣西部沉積物中的重金屬風險較低，2016 年 9 月 Hg 除外，其顯示出 0.03%的中等風險機率。同時，結合危害商數 (HQ)和聯合機率曲線對重金屬進行了水生生態風險評估。雖然 Cd、Hg 和 Pb 的生態風險在可接受範圍內，但 Cr、

Cu 和 Zn 的 HQ 大於 1，其不利影響的總體風險概率高於 0.05，表明存在一定的生態風險。具體而言，As 的總體風險機率低於 0.05，表明其生態風險在可接受範圍內，儘管其 HQ 大於 1。因此，通過應用機率方法，本研究更好地表徵了萊州灣西部重金屬的生態風險，避免了生態風險的高估和低估。

(1)物種選擇：

數據顯示了來自六個主要功能組的各種水生物種：藻類、甲殼類動物、魚類、無脊椎動物、軟體動物和蠕蟲。

(2)有害濃度(HC_5)的計算：

在這項研究中，作者使用了物種敏感性分佈(SSD)方法來估算 HC_5，這代表影響 5%物種的有害濃度。

(3)PNEC 的確定和計算：

每種金屬的 PNEC 通過將 HC5 除以安全係數 (SF) 5 得到。此過程確保保守估算以保護水生生物。因此，在本文中，作者直接從他們的分析中計算出 PNEC 值（**表 4.7-3**），而不是使用其他研究中報告的數值。

表 4.7-3、萊州灣西部表層海水重金屬危害商數值

物質	HC_5 (μg/L)	PNEC (μg/L)	HQ (2016.05)	HQ (2016.09)
As	9.33	1.87	1.83	1.91
Cd	2.57	0.51	0.28	0.35
Cr	1.16	0.23	22.27	21.78
Cu	0.87	0.17	14.00	15.18
Hg	1.08	0.22	0.12	0.11
Pb	9.53	1.91	1.00	0.83
Zn	29.09	5.82	6.96	6.85

2.文獻二：

出處: Li L, Sun F, Liu Q, Zhao X, Song K. Development of regional water quality criteria of lead for protecting aquatic organism in Taihu Lake, China. Ecotoxicol Environ Saf. 2021 Oct 1;222:112479.

鉛是一種廣泛分布的優先控制重金屬，其在水生系統中的毒性受到水質參數的影響。本研究調查了太湖中鉛(Pb)對水生生物在不同水硬度下的急性毒性，並推導出了相應的區域水質標準。急性毒性實驗結果顯示，鉛對水生生物的毒性隨著水硬度的增加而增加。在水硬度為 50 mg/L（以 $CaCO_3$ 表示）時，鉛的毒性最高，尤其對太湖長臂蝦(Palaemon modestus)，其 96 小時半數致死濃度(LC_{50})值為 0.024 mg/L。通過物種敏感性分佈(SSD)方法確定的對 5%生物物種的危害濃度(HC_5)值在水硬度為 50、150 和 250 mg/L 時，分別為 94.0 μg/L、222.3 μg/L 和 375.8 μg/L。評估因子(AF)值設定為 2，這與歐洲委員會推薦的固定 AF 值(5-1)一致。因此，預測無效應濃度(PNEC)值在水硬度為 50、150 和 250 mg/L 時，分別為 47.0 μg/L、111.2 μg/L 和 187.9 μg/L。同時，根據水硬度 150 mg $CaCO_3$/L，推導出了太湖水生生物鉛的短期水質標準為 111.2 μg/L。使用急性/慢性比率 51.29，推導出的長期水質標準為 4.3 μg/L。當該推導值應用於太湖時，2.7%的採樣點超過了此標準。本研究結果可為中國保護本地水生生物的鉛區域水質標準的推導提供技術方法和基本訊息。

(1)物種選擇：

此研究中 Li 等選擇了以下物種：高體鰟鮍(Rhodeus ocellatus)、螺螄(Margarya melanioides)、羅漢魚(Pseudorasbora parva)、泥鰍(Misgurnus anguillicaudatus)、青鱂(Oryzias latipes)、秀麗長臂蝦(Palaemon modestus)。

(2)物種敏感性分佈(SSD)：

作者使用了綜合數據集（包括回顧和實驗結果）來構建 SSD 曲線。SSD 曲線以視覺和統計方式表示不同物種對特定壓力源（在本例中為鉛）的敏感性。此外，SSD 方法有助於確定影響 5%物種的危害濃度(HC_5)，這表明 95%的物種應在此濃

度標準以下受到保護。

(3)HC_5 值的推導：

SSD 曲線是為不同水硬度表準建立的，並為每個水質硬度標準推導出影響 5% 物種的危害濃度(HC_5)。

(4)PNEC 的確定和計算：

在這篇論文中，作者將評估因子(AF)應用於 HC_5 值來推導 PNEC。根據歐盟技術指南文件的建議，作者使用了 2 的評估因子以考慮不確定性。

(5)現有數據的收集：

作者從包括 ECOTOX、維普、萬方數據、CNKI 和 Web of Science 在內的多個數據庫中收集了不同水生物對鉛的急性毒性數據。他們重點關注與太湖本地物種相關的已發表數據。然而，作者進行了自己的分析和實驗，以推導出特定於太湖的 PNEC。

(6)HC_5 和 PNEC 的計算（**表 4.7-4～表 4.7-6**）：

對從早期數據庫和本研究的實驗數據中收集的毒性數據進行處理，計算急性毒性值與水硬度之間的線性相關性，以獲得混合斜率圖。隨後對所有物種的毒性值進行修正，相關推導公式：

$$\ln(\mathrm{ATV}) = \mathrm{k_A}\ln(\mathrm{H_A}) + \mathrm{C_A} \quad (1)$$

$$ATV_H = 10^{k_A \times \ln(H) + \ln(ATV) - K_A \times \ln(H_A)} \quad (2)$$

$$\mathrm{PNEC} = \text{Acute Water Quality Criteria} = \mathrm{HC_5(Acute)/AF} \quad (3)$$

ATV—急性毒性值，LC_{50}, μg/L

kA—急性毒性值和水硬度的混合斜率

HA—相應的水硬度，mg/L

CA—常數，截距

表 4.7-4、不同水硬度下鉛對太湖六種本地水生生物的急性毒性 (96 小時，LC_{50})

硬度(mg/L)	96-LC_{50}(mg/L)					
	高體鰟鮍	螺螄	羅漢魚	泥鰍	青鱂	秀麗長臂蝦
50	6.78	3.052	9.155	12.772	3.534	0.024
150	25.557	22.457	38.95	42.873	24.407	0.131
250	44.325	39.644	60.216	63.838	45.585	0.308

表 4.7-5、不同水硬度條件下鉛對太湖本地生物的急性毒性

物種	回歸函數	R^2
高體鰟鮍	$\ln(96\text{-}LC_{50}) = 1.17 \ln(H) + 4.24$	0.9993
螺螄	$\ln(96\text{-}LC_{50}) = 1.63 \ln(H) + 1.70$	0.9894
羅漢魚	$\ln(96\text{-}LC_{50}) = 1.19 \ln(H) + 4.48$	0.9914
泥鰍	$\ln(96\text{-}LC_{50}) = 1.02 \ln(H) + 5.50$	0.9942
青鱂	$\ln(96\text{-}LC_{50}) = 1.62 \ln(H) + 1.88$	0.9937
秀麗長臂蝦	$\ln(96\text{-}LC_{50}) = 1.58 \ln(H) - 3.01$	0.9996
總	$\ln(96\text{-}LC_{50}) = 1.49 \ln(H) + 1.55$	0.9972

註: H 是水的硬度（以 $CaCO_3$ 表示），單位為 mg/L

表 4.7-6、硬度校正後鉛的物種平均急性值

等級	物種	SMAV[b] (μg/L)		
		H[a]=50	H=150	H=250
1	秀麗長臂蝦	40.84	119.88	197.81
2	模糊網紋蚤	231.06	678.35	1119.26
3	隆線蚤	536.78	798.77	1317.95
4	長跗搖蚊族	543.10	808.16	1333.45
5	大型蚤	524.52	1539.87	2540.74
6	歐洲鯉	2099.20	3123.74	5154.11
7	夾染帶絲蚓	2059.33	6045.72	9975.31
8	螺螄	5759.66	16909.05	27899.57
9	青鱂	6508.54	19107.56	31527.07
10	高體鰟鮍	8145.31	23912.74	39455.51
11	羅漢魚	11472.33	33680.13	55571.50
12	泥鰍	13495.84	39620.68	65373.27
13	小球藻	63800.00	63800.00	63800.00
14	伸展雙葉搖蚊	58818.53	172677.66	284914.46

[a] H: 水硬度，單位：mg $CaCO_3$/L

[b] SMAV: 物種平均急性毒性值

3.文獻三：

出處：Chen CM, Liu MC. Ecological risk assessment on a cadmium contaminated soil landfill--a preliminary evaluation based on toxicity tests on local species and site-specific information. Sci Total Environ. 2006 Apr 15;359(1-3):120-9.

近年來，生態風險評估的方法頻繁地開發和應用，以應對因環境污染而懷疑或已發生生態影響的各種情況；然而，在台灣的應用仍然非常有限。1982 年，大潭（桃園）的稻田中的糙米被發現受到 Cd 和 Pb 的污染，這是由於非法排放廢水，這一事件被稱為「鎘米事件」。事故發生 15 年後，受污染的土壤被轉移到一個工業園區內建造的垃圾掩埋場。監督委員會成員懷疑垃圾掩埋場可能泄漏，並要求進行初步生態風險評估。可能的風險情境是，由於垃圾掩埋場滲出液中的 Cd 和 Pb，地下水受到污染，進而污染沿海水域，並對水生生物產生毒性影響。模擬了地下水系統中的化學物質逸散，並對三種本地水生物種的幼體進行了短期慢性毒性試驗，以確定兩種金屬對受試生物的無顯著不良影響濃度(NOAECs)和預測無影響濃度(PNECs)。風險描述使用了危害商數(HQ)，即預測環境濃度(PECs)與 PNECs 的比值。

最壞情境計算表明，在滲出液中 Cd 的最大初始濃度為 0.65 mg/l 的情況下，地下水系統中距離現場 60 米及更遠處的最大 Cd 濃度為 0.0028 mg/l，而 Pb 的最大濃度為 0.044 mg/l，距離為 40 米及更遠，這基於滲出液中 Pb 的初始濃度為 4.4 mg/l；然而，這兩種情況僅會在洩漏開始 80 年後才會發生。

使用假定的稀釋因子 100 來基於最大初始濃度計算 PECs。三種水生動物的 Cd 和 Pb 的 PNECs 為 0.01~0.1 mg/l，高於其在沿海水域中的 PECs，導致所描述情境下的 HQs 小於 1。作者得出結論，如果發生洩漏，生態影響是最小的，因為大多數金屬會被保留在土壤中，如果釋放到水生系統中，其濃度也不足以對海洋生物產生毒性。

(1)當地物種的選擇：

在本文中，作者選擇了三種與垃圾掩埋場附近生態系統相關的當地水生物種，

包括斑節對蝦(Penaeus monodon)、點帶石斑魚(Epinephelus coioides)和文蛤(Meretrix lusoria)。

(2)PNEC 的推導和計算（**表 4.7-7～表 4.7-8**）：

作者將無可觀察不良影響濃度(NOAEC)值除以安全係數（通常用來考慮物種間和不同環境條件的變異性）。在此處，應用了 10 的安全係數。

儘管作者基於他們對當地物種進行的毒性測試推導出了 PNEC 值，他們並未依賴或引用其他論文中的 PNEC 值。

表 4.7-7、三種物種毒性測試的環境條件

物種	DO (mg/l)	pH	鹽度(‰)	溫度°C	硬度(mg-$CaCO_3$/l)
虎紋對蝦	4.9~5.9	6.5~7.9	23	23-25	2.7
點帶石斑魚	3.4~7.8	7.5~8.1	22	23-25	2.5
文蛤	4.5~7.2	7.8~8.3	15	24-26	1.3

表 4.7-8、三種物種對鎘(Cd)和鉛(Pb)的 NOAECs、PNECs、PECs 和 HQs(Ag/l)

物種	Cd				Pb			
	NOAEC	PNEC [a]	PEC	HQ [b]	NOAEC	PNEC [a]	PEC	HQ [b]
虎紋對蝦	100	10	0.028	2.8E-3	1000	100	0.44	4.4E-3
點帶石斑魚	100	10	0.028	2.8E-3	1000	100	0.44	4.4E-3
文蛤	100	10	0.028	2.8E-3	100	10	0.44	4.4E-3

[a] PNEC = NOAEC/10.
[b] HQ = PEC/PNEC

4.文獻四：

出處：Wang, Q., Du, Y., Sun, F., Deng, X., & Chang, H. (2020). Ranking Ecological Risk of Metals to Freshwater Organisms in Lake Taihu, China. Journal of Chemistry, 2020(1), 2536207.

由於重金屬在水生生態系統中的持久性和對許多水生生物的高毒性，水生生態系統中的重金屬引起了相當大的關注。本研究的目的是根據金屬對水生生物構成的威脅對太湖中的金屬（**表 4.7-9**）進行排序。該方法涉及對本地水生生物的金屬風險評估以及濃度分佈的潛在影響。研究使用了商數法和機率法對砷(As)、鎘(Cd)、鉻(Cr)、銅(Cu)、汞(Hg)、錳(Mn)、鎳(Ni)、鉛(Pb)和鋅(Zn)的風險進行排序。根據機率法，銅(Cu)、鎳(Ni)和鋅(Zn)是需要高度關注的重金屬，其中銅(Cu)構成的風險最高。

(1)物種選擇：

在本文中，作者選擇了一系列本土物種，包括魚類、底棲生物、浮游動物、浮游植物和水生植物，這些物種都有可用的毒性數據。

(2)PNEC 的推導和計算：

在本文中，作者假設個體生物的無可觀察效應濃度(NOEC)為所有合格數據的幾何平均數(GM)來計算每種金屬的 PNEC。然而，對於特定物種有多個數據點的情況，所有可用 NOEC 的幾何平均數被用作 PNEC。

(3)物種敏感性分佈 (SSD)：

簡而言之，作者使用 SSD 描述物種毒性值與其累積頻率之間的關係。此外，HC5 值是從 SSD 曲線中獲得的，表示影響 5%物種的金屬濃度。作者基於對收集的太湖及相關本地物種的暴露和毒性數據的分析推導出了 PNEC。

(4)毒性數據收集：

美國環保署 (US EPA) 的 ECOTOX 數據庫 (https://cfpub.epa.gov/ecotox/search.cfm) 被用作為重金屬毒性數據的主要資訊來源。

首先，從數據庫中提取每種金屬對所有淡水物種的毒性數據。搜索詞包括淡水、水生生物、以死亡率、生長抑制、生存率和生殖率為反映的終點。毒性指數包括預測無影響濃度(PNEC)、無觀察效應濃度(NOEC)和最大可接受毒性濃度(MATC)。

(5)機率方法：

該方法用於計算金屬的估計暴露值超過預測毒性值的機率；即金屬在水中的暴露濃度曲線與金屬 PNEC 的密度曲線之間的重疊。建立 SSD 以描述每種物種的毒性值與其累積頻率之間的關係。

(6)相關推導公式：

$$\mu = \log\left(\frac{m^2}{\mathrm{sqrt}\,(v^2 + m^2)}\right), \qquad (1)$$

$$\sigma = \mathrm{sqrt}\left(\frac{v^2}{m^2 + 1}\right). \qquad (2)$$

$$\mathrm{NOEC} = \frac{\mathrm{LOEC}}{2}, \qquad (3)$$

$$\mathrm{MATC} = \frac{\mathrm{NOEC}}{\mathrm{SQRT}\,(2)}. \qquad (4)$$

Quotient Method: 風險商數(RQ)是通過測量暴露濃度(MEC)與毒性(HC5)之間的商數來估算每種重金屬的風險（**表 4.7-10**）。

$$\mathrm{RQ} = \frac{\mathrm{MEC}}{\mathrm{HC}_5}, \qquad (5)$$

HC_5 是基於物種敏感性分佈(SSD)的污染物 5%效應濃度。

表 4.7-9、太湖中金屬的總濃度 (ng/L)

金屬		區域1	區域2	區域3	區域4	區域5	區域6	區域7	樣本數	平均數
As	GM	5950	2112	1594	3653	1745	2006	1882	132	2417
	GSD	1.08	1.37	1.44	2.5	1.71	1.41	1.5		1.52
Cd	GM	673	806	820	772	756	785	731	282	762
	GSD	1.16	1.12	1.06	1.11	1.07	1.05	1.29		1.12
Cr	GM	3817	22105	595	1352	1981	2668	717	280	2210
	GSD	1.22	1.15	1.05	1.06	1.1	1.08	1.28		1.13
Cu	GM	5333	2364	2482	8180	3013	1946	4006	205	3466
	GSD	1.25	1.19	1.14	1.53	1.02	1.14	1.53		1.24
Hg	GM	10	1	3	22	5	18	40	46	8
	GSD	3.67	1.39	6.31	7.42	3.61	6.29	2.72		3.94
Mn	GM	41861	65836	23235	-	28418	6000	39328	105	27473
	GSD	1.45	1.64	1.59	-	1.43	1.52	1.49		1.52
Ni	GM	16332	19477	5150	5735	13715	11216	69306	156	10002
	GSD	1.12	1.06	1.06	1.05	1.12	1.07	1.37		1.12
Pb	GM	6597	7559	741.8	5172	14889	6993	5394	270	5233
	GSD	1.25	1.15	1.16	1.3	1.17	1.23	1.58		1.26
Zn	GM	6143	40183	31722	21433	6076	16324	11670	177	15277
	GSD	1.86	1.04	1.15	1.48	1.31	1.59	1.68		1.42

表 4.7-10、太湖中金屬的暴露和風險結果

金屬	暴露濃度 (μg/L)	HC_5 (μg/L)	風險商數 (RQ)	機率方法 (risk)
As	2.42	9.43	0.26	0.021
Cd	0.76	0.77	0.99	0.066
Cr	2.21	0.57	3.88	0.039
Cu	3.47	1.27	2.73	0.101
Hg	5.23	1.1	4.75	0.047
Mn	27.47	97.65	0.28	0.02
Ni	0.01	0.07	0.14	0.017
Pb	10	3.71	2.7	0.09
Zn	15.28	15.16	1.01	0.068

5.文獻五：

出處：Zhang Y, Liu Y, Niu Z, Jin S. Ecological risk assessment of toxic organic pollutant and heavy metals in water and sediment from a landscape lake in Tianjin City, China. Environ Sci Pollut Res Int. 2017 May;24(13):12301-12311.

為了估算天津市一景觀湖泊中有毒有機污染物（甲醛）和重金屬汞(Hg)、砷(As)、鎘(Cd)和鉻(Cr)在水和沉積物中的生態風險，進行了一項生態風險評估。使用風險商數(RQ)方法和 AQUATOX 模型評估景觀湖水中甲醛的生態風險。同時，分別使用 RQ 方法和潛在生態風險指數方法評估所研究的景觀湖泊中四種重金屬在水和沉積物中的生態風險。結果顯示，景觀水中甲醛的最大濃度低於中國地表水環境質量標準。模擬的甲醛在浮游植物和無脊椎動物中的最大濃度分別為 3.15 和 22.91 μg/L，遠低於其毒性數據值（分別為 1000 和 510 μg/L），這表明景觀水中的甲醛對水生生物是安全的。RQ 模型顯示，景觀湖水中汞和鎘對浮游植物和無脊椎動物的風險高於對魚類的風險，而砷和鉻對所有測試生物的風險是可以接受的。在研究的景觀湖泊沉積物中，鎘是最重要的污染因子，重金屬的污染因子順序為 Hg > As > Cr > Cd。樣本 a 和 b 中四種重金屬的風險指數(RI)值分別為 43.48 和 72.66，遠低於閾值(150)，這表明沉積物中重金屬造成的生態風險可以忽略不計。

(1)物種選擇：

該研究使用了當地物種進行毒性測試，包括綠藻（藻類）、小魚（如鯉魚）和水蚤（甲殼類生物）。

(2)PNEC 的推導和計算：

此外，PNEC 值是將毒性數據值應用一個 1000 的安全因子(AF)來計算的，以考慮不確定性和變異性，確保推導的 PNEC 能夠保護水生環境。

(3)具體參考資料：

-Kudłak *et al.* (2011) 提供了一些毒性數據的引用。

-USEPA 的毒性數據庫(ECOTOX)用於參考毒性數據。

PNEC 的推導依據歐盟風險評估技術指南進行。使用的評估因子(AF)方法是將來自單一物種測試的最低 EC_{50}/LC_{50}（EC_{50} 是 50%有效濃度；LC_{50} 是半數致死濃度）或無觀察效應濃度(NOEC)值除以適當的 BAF。這項研究中，對最低 $L(E)C_{50}$ 值應用的 AF 為 1000。

(4)相關推導公式：

$$RQ = \frac{MEC(or\ PEC)}{PNEC} \quad (1)$$

$$PNEC = L(E)C_{50}(NOEC)/AF \quad (2)$$

$L(E)C_{50}$ 是指 LC_{50} 或 EC_{50}。風險評估基於 RQ 的大小來判斷。當 RQ 小於 1 時，通常認為對生態系統或人類健康造成不良影響的可能性較低；但當 RQ 大於 1 時，則表示對生態系統或人類健康的潛在風險或不良影響的可能性會增加。為了評估四種重金屬的潛在毒性效應，選擇了不同營養級的生物進行測試。毒性數據來自 USEPA ECOTOX 數據庫。

$$C_d = \sum(C_d^i/C_r^i) \quad (3)$$

$$E_r^i = T_r^i \times (C_d^i/C_r^i) \quad (4)$$

$$RI = \sum E_r^i \quad (5)$$

Ci d 是樣本的實測濃度，Ci r 是參考記錄值，Cd 是金屬的污染係數，Ei r 是單一金屬的潛在生態風險因子，Ti r 是不同金屬的生物毒性因子。評估潛在生態風險因子(Ei r)和潛在生態風險指數(RI)所使用的標準是基於這些數據來確定的。

6.文獻六：

出處：Huang WY, Huang CW, Li YL, Huang TP, Lin C, Ngo HH, Bui XT. Reduced pollution level and ecological risk of mercury-polluted sediment in a alkali-chlorine factory's brine water storage pond after corrective actions: A case study in Southern Taiwan. Environmental Technology and Innovation, 2023, 29, pp. 103003

汞(Hg)是一種高毒性污染物，且在沉積物(底泥)中具有持久性，這突顯了對沉積物中汞污染進行整治的必要性。然而，整治措施對沉積物中汞污染和生態風險的影響卻鮮少被研究。因此，本研究對一家已關閉的鹼氯工廠的含氯及汞之海水儲存池進行了汞污染沉積物的環境風險評估，並比較了修正措施前後的狀況。結果顯示，汙染池中的沉積物(2.59–443 mg/kg)、魚和蟹(1.10–8.54 mg/kg)中的汞累積量均高於台灣的法規限值。實施如制度/工程控制和整治等修正措施後，我們發現沉積物中的汞濃度和污染因子(CF)顯著下降了 74%和 73% ($p = 0.02$)，此外，地質累積指數(I-geo)在修正措施後也降至較低的污染等級($p = 0.009$)。修正措施後，與風險相關的指數如潛在生態風險指數(RI)和風險商數(RQ)也顯著降低了($p = 0.03$)，分別下降了 71%和 73%。儘管在整治後的污染和風險指數值仍然較高，本研究結果證實了矯正措施在改善沉積物汞污染方面的有效性。這表明應持續實施修正措施，各方面的污染和風險水平降低到利益相關者可接受的程度。

(1)PNECs 來源：

本文作者使用了(PNEC) 的概念，這是生態風險評估中的一個關鍵基準。在本文中，Hg 的 PNEC 值來源於之前已建立的指南，Garny 等人(1999)報告的值為 0.04 mg/kg。通過沉積物樣本中發現的 Hg 濃度與此(PNEC)值進行比較，作者可以確定 RQ 值，其中 RQ 值低於 1 表示風險低，而 RQ 值等於或高於 1 表示風險高。

(2)計算和驗證：

研究提供了毒性濃度值（如 EC50，NOEC），對這些毒性濃度值應用一個安全因子，以考慮數據中的不確定性和變異性，從而保守地估計對環境安全的濃度(PNEC)。

(3)用於毒性測試的本地物種：

本文中，作者並未明確列出所有用於推導(PNEC)或進行危害評估的本地物種，但研究特別指出食肉魚類如赤頰海鱔(Elops machnata)和金色擬金線魚(Parupeneus chrysopleuron)中的 Hg 含量特別高，表明顯著的生物累積。

(4)研究發現：

本研究發現魚類和螃蟹組織中的 Hg 濃度範圍為 1.10 至 8.54 mg/kg，這超過了台灣食品安全限值 0.5 mg/kg。最高濃度出現在食肉魚類赤頰海鱔(8.54 mg/kg)，表明了飲食傳遞和 Hg 的生物放大。此外，糾正措施前沉積物中的 Hg 濃度範圍為 2.59 至 443 mg/kg，顯著高於台灣沉積物質量指南的上限 0.87 mg/kg。糾正措施後，Hg 濃度顯著下降了 74%，範圍為 2.45 至 65.68 mg/kg。

沉積物中的汞	(PNEC) 汞估計為 0.04 毫克/公斤	RQ≥1 表示高風險	RQ < 1 表示低風險

(4)生態篩選值小結

歐盟及除美國以外之國家，在篩選值推估過程中，納入所有可接受之毒性資料，美國 Eco-SSLs較貼近各關切物種之毒理特性，能真實反應各類生物體對污染承受度之差異性，對於所取用之數據品質及適用性亦較嚴謹，因此，我國生態土壤篩選值訂定方式可參考美國之推估方式，分別建立植物、土壤無脊椎動物、鳥類及哺乳類等四大類生物生態土壤篩選值。

然而，並非所有我國土壤污染物皆具有Eco-SSLs，為可迅速建立我國生態土壤篩選值，有參考其他國家值之必要。加拿大所使用方法與保護標準皆與美國類似，其SQGE於住宅及農業區對生態保護基準為保護 75%以上生物，並選擇NOEC、LOEC 及EC_{25}作為判斷基準，再以物種敏感度分布法推估; 另加拿大亦建立有食物攝取之生態土壤篩選值SQGI，可應用於物種分類，而加拿大生態篩選值推估方式與美國具有類似建立基礎，並更為保守。因此針對不具有 Eco-SSLs之污染物，本研究參考卓等研究關於我國篩選值建置方法，簡述如下（卓等，2017）。

此研究選擇以美國 Eco-SSLs、加拿大SQGE為基礎，再加以本土化作為我國生態土壤篩選值。對照我國土壤管制污染物，目前具美國 Eco-SSLs 值的共有 7 項重金屬，包含砷、鎘、銅、鉻、鎳、鉛、鋅，1項有機物五氯酚及2項農藥，DDT 及其衍生物與地特靈；另具有加拿大 SQGE 亦有10項，包含汞、苯、乙苯、四氯乙烯、甲苯、總石油碳氫化合物、三氯乙烯、二甲苯、戴奧辛與多氯聯苯。而若未具有任一國家篩選值之污染物，將依照美國 Eco-SSLs建置方式依四類物種分別建置。

然而考量毒理數據豐富度及生態危害性，目前未具各國生態土壤篩選值之19項污染物尚不具建置必要性，後續若資料充足，可再另行建立。

篩選值本土化，此研究利用既有之生態調查資料與地理資訊圖資，並選擇我國通用性替代物種，並以其暴露參數重新推導鳥類及哺乳類篩選值。植物及土壤無脊椎生物暫不做修正，未來若有本土毒理試驗則再予以援用。

二、選定替代物種

檢視目前國內具地理資訊物種資料庫，其完整度仍然不足，此外，為選擇具代表性替代物種，必須徹底了解各生物體型、習性等，因物種數量眾多，需要投入大最資源進行資料蒐集、分析與篩選。而若參考國外替代性物種，以美國 Eco-SSLs 之替代物種選定方法最為完整，資料亦較充足，其所指定之物種在研訂時已考慮暴露途徑、體型較小而暴露情形最大等必要條件，具有極高參考價值。因此基於時間、成本及準確性等因素，我國替代性物種應短期內先以美國替代物種名單為基礎，搭配適當之本土化條件研擬。

比對美國替代物種與我國物種之生物分類，考量暴露情形、食物來源及保守性等如**表 4.7-11**，最終依照美國替代物種架構，於各營養階層選擇至少1種替代物種如**表 4.7-12**。哺乳類之草食性替代物種為田鼷鼠及家鼷鼠，地面蟲食性為臭鼩與臺灣灰麝鼩，肉食性則為鼬獾；鳥類之食種子性替代物種為紅鳩與珠頸斑鳩，地面蟲食性則為棕三趾鶉，肉食鳥類則因全部為保育性動物，不具普遍性，後續若有需要建立場址特定風險，亦不適合進行理試驗，因此暫不建立。

表 4.7-11、我國建議之替代物種篩選原則

篩選因子		說明
暴露情形	暴露途徑	具有清楚之直接或間接土壤接觸途徑，因此除肉食類外其他物種選擇於地面覓食者。
	體型	具有最大暴露情形，選定體型較小者。
食物來源		食物來源必須為陸域生物。
		攝食種類單純，如單一食性草食類生物。
普遍性	季節	僅考慮四季皆出現的物種，排除季節過境鳥、候鳥及迷鳥。
	分布情形	考量普遍性，生活範圍廣泛，排除僅出現於特定區域（如高山）之物種。
	保育性	數量是否普遍分布、排除數量稀少隻保育性物種。

參考資料：卓等(2017）

表 4.7-12、我國建議之替代物種

類別	營養層級分類	建議之台灣替代物種
哺乳類	草食類	田鼷鼠 *Mus caroli* 家鼷鼠 *Mus musculus*
	地面蟲食類	臭鼩 *Suncus murinus* 臺灣灰麝鼩 *Crocidura tanakae kuroda*
	肉食類	鼬獾 *Melogale moschata subaurantiaca*
鳥類	食種子類	紅鳩 *Streptopelia tranquebarica* 珠頸斑鳩 *Streptopelia chinensis*
	地面蟲食類	棕三趾鶉 *Turnix suscitator*

參考資料：卓等(2017）

三、建置我國生態土壤篩選值

依照以上替代物種進行暴露參數蒐集，考量其攝食率、土壤攝食率及食物中污染物比例，最終推導土壤污染物生態士壤篩選值如**表 4.7-13**。綜觀修正後之篩選值，鎘之植物與土壤無脊椎生物生態土壤篩選值大於我國管制標準，汞之植物與土壤無脊椎生物篩選值大於我國農地污染管制標準，鉛與鎳之土壤無脊椎生物生態土壤篩選值大於我國管制標準。多數污染物植物與土壤無脊椎生物生態篩選值皆小於我國管制標準。

表 4.7-13、我國土壤管制項目標準與建議之生態土壤篩選值

污染物	我國管制標準	植物	土壤 無脊推生物	哺乳類	鳥類	來源
砷	60	18	-	8.26	15.76	修改自美國 Eco-SSLs
鎘	20 (農地 5)	32	140	0.07	0.99	修改自美國 Eco-SSLs
鉻 (總鉻)	250	-	-	-	-	修改自美國 Eco-SSLs
銅	400 (農地 200)	70	80	1.66	19.39	修改自美國 Eco-SSLs
汞	20(農地 5)	12.0	12.0	-	-	修改自加拿大 SQGI
鎳	200	38	280	22	125.92	修改自美國 Eco-SSLs
鉛	2,000 (農地 500)	120	1,700	1	7.63	修改自美國 Eco-SSLs
鋅	2,000 (農地 600)	160	120	1.33	15.60	修改自美國 Eco-SSLs
戴奧辛	1,000	-	-	250	-	出自加拿大 SQGI
多氯聯苯	0.09	1.3	1.3	0.2	17.4	修改自加拿大 SQGI

單位：毫克/公斤-土壤；a單位：奈克-毒性當量/公斤-土壤

4.7.4 生質燃料之環境風險評估資料-建立風險評估指標及相關參數

生態風險評估使用參數主要可分為生物毒理參數、生物受體暴露參數及物理化學參數和生態影響參考值、生物毒性篩選值等資料庫的建立，為生態風險評估作業之關鍵。然而在實際的推動上，因我國生態風險評估制度尚在起步階段，本土化參數以及相關測試規範仍有待建立，目前僅列出當前台灣土壤及地下水污染物監測和管制標準，此外，我們亦參考了美國環保署(U.S.EPA)網站上所發布的生態土壤篩選水平指南(Ecological Soil Screening Level Guidance)、資源保育和回收法案生態篩選水平(RCAR Ecological Screening Levels)以及第三區淡水沉積物篩選基準值(Screening benchmarks for freshwater sediment in Region 3)，以蒐集生態土壤篩選值(Ecological Soil Screening Levels, Eco-SSLs)和底泥篩選值(Sediment Screening Values)；同時也參考由加拿大環境部長理事會開發的加拿大沉積物品質指引，包含保護水生生物的沉積物品質指引(Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life)以及保護環境和人類健康的土壤品質指引(Soil Quality Guidelines for

the Protection of Environmental and Human Health)。上述蒐集之「預測無效應濃度」(Predicted No-Effect-Concentrations, PNECs)與多介質推估之 「預測環境濃度」(Predicted environmental concentration, PEC)比較，以推估本案燃燒 SRF 後排放之污染物對環境所致風險(Risk Quotient, RQ)高低。以下簡述初步擬評估指標，後續持續蒐集指標或公式中所需要之參數。

一、評估指標

（一）生態土壤篩選值指南(Ecological Soil Screening Level Guidance)

Eco-SSL 是土壤中污染物的濃度（**表 4.7-14**），能夠保護常與土壤接觸或攝食生活在土壤中或土壤上的生態受體。這些值可用於識別在土壤中具有哪些潛在風險的污染物，需要在基準生態風險評估中進一步評估。Eco-SSL 應該在超級基金生態風險評估過程的第 2 步中使用，即篩選風險計算。Eco-SSL 並不是設計用作場址清理或復育濃度，美國環保署強調，採用或修改這些 Eco-SSL 作為清理標準是不適當的。

表 4.7-14、美國環保署生態土壤篩選值

危害物種	植物 Plants	土壤無脊椎動物 soil invertebrates	野生動物 Wildlife	
			鳥類 Avian	哺乳動物 Mammalian
鉛(Lead)	120	1700	11	56
鎘(Cadmium)	32	140	0.77	0.36
鈹(Beryllium)	NA	40	NA	21
砷(Arsenic)	18	NA	43	46
六價鉻 (Chromium VI)	NA	NA	NA	130
PAHs 高分子量	NA	18	NA	1.1
PAHs 低分子量	NA	29	NA	100
鎳(Nickel)	38	280	210	130

單位: mg/kg dry weight in soil

依照以上替代物種進行暴露參數蒐集，考量其攝食率、土壤攝食率及食物中污染物比例，最終推導土壤污染物生態土壤篩選值如表。綜觀修正後之篩選值，鎘之植物與土壤無脊椎生物生態土壤篩選值大於我國管制標準，汞之植物與土壤無脊椎生物篩選值大於我國農地污染管制標準，鉛與鎳之土壤無脊椎生物生態土壤篩選值大於我國管制標準。多數污染物植物與土壤無脊椎生物生態篩選值皆小於我國管制標準。

（二）第三區淡水沉積物篩選基準值

底泥篩選值用於評估底泥污染對環境潛在損害的風險。如果每個檢測到的底泥污染物濃度均小於或等於該污染物的底泥篩選標準（**表 4.7-15**），則無需進一步評估底泥的損害風險。換句話說，如果沒有任何污染物濃度超過適用的篩選值，則無需進行第二階段的風險描述(評估)。如果至少一種污染物的濃度超過篩選標準，則必須進行第二階段的風險描述。

表 4.7-15、美國環保署第三區淡水沉積物篩選基準值

化學物質	淡水底泥 (mg/kg)
高分子量 PAHs	0.19
低分子量 PAHs	0.076
總 PAHs	1.61
鉻(Chromium)	43.4
汞(Mercury)	0.18
砷(Arsenic)	9.8
鎘(Cadmium)	0.99
鎳(Nickel)	22.7

（三）美國環保署第 5 區資源保育和回收法案生態篩選值

美國環保署第 5 區的資源保育和回收法案(RCRA)修正行動和許可計畫的要求之一是評估和控制對環境的不利風險。這種風險是通過生態風險評估來確定的，而 Region 5 的 RCRA 生態篩選濃度(ESLs)是最初使用的工具（**表 4.7-16**）。ESLs 代表了 223 種污染物和四個環境介質（即空氣、水、沉積物和土壤）的保護基準（例如水質標準、沉積物質量指南/標準和慢性無不良效應濃度）。初始風險篩選確定那些超過 ESL 基準的污染物，這些污染物被保留進行進一步分析，使調查能夠專注於可能存在不可接受風險的區域。當識別到瀕危物種及/或其棲息地時，需要解決與這些物種的污染物暴露相關的特定問題。野外調查的資料質量保證要求受 ESL 濃度的影響。ESLs（之前稱為生態數據質量濃度 ecological data quality levels 或 EDQLs）並不意味著清理或復育濃度，EDQLs 旨在作為篩選濃度。

表 4.7-16、RCAR 生態篩選水平

化學物質	水體 (µg/L)	底泥 (µg/kg)	土壤 (µg/kg)
三價鉻(Chromium $^{3+}$)	42 [jk]	4.34e+4 [u]	400 [y]
汞(Mercury)	1.3e-3 [a]	174 [r]	100 [y]
砷(Arsenic)	148 [f]	9790 [u]	5700
鈹(Beryllium)	3.6 [dkz]		1060
鎘(Cadmium)	0.15 [ijk]	990 [n]	2.22
鎳(Nickel)	28.9 [jkz]	2.27e+4 [u]	1.36e+4

a = 密西根州水質標準，根據 2003 年 7 月 23 日的第 57 號水質規定。水體生態安全限值數據屬於密西根州（最終慢性值或 FCV）的二級標準。

d = 俄亥俄州水質標準，根據俄亥俄行政法典的第 3745-1 章，於 2002 年 12 月 30 日頒布。為俄亥俄州在混合區外平均值(OMZA)下的二級標準。

f = 明尼蘇達州水質標準，根據 2000 年 4 月 13 日的第 7052.0100 規定第 2 部分。

i = 美國環境保護署(EPA)於 2001 年更新的鎘的環境水質標準(EPA 822-R-01-001)。

j = 美國環境保護署(EPA)於 2002 年發佈的全國推薦水質標準 2002(EPA 822-R-02-047)。

k = 對於硬度相關的金屬，淡水生態慢性標準基於總硬度為 50 mg/L（以 CaCO 為基準）的軟水。軟水在第 5 區域內很常見，當場地特定的水硬度低於 50 mg/L 時，可重新計算此水體生態安全限值。

n = 威斯康辛州表面水質標準和毒性物質的次要值，NR 105.07(1)(b)，1997 年 9 月 1 日。

r = 加拿大環境部。1994 年 9 月。暫定沉積物質量評估標準。生態保育總局評估和解釋部門。

u = 基於共識的閾值效應濃度(TEC)，為淡水生態系統制定和評估共識性的沉積物質量指南。這些數值不考慮生物累積和生物放大作用。

y = 土壤 ESL 基於對土壤無脊椎動物(例如蚯蚓)的暴露。
z = 新的 ESL 數據較前表格為低。
注：新的 ESL 數據以粗體字顯示。

（四）保護水生生物的沉積物品質指引

加拿大沉積物品質指引是由加拿大環境部長理事會開發的，旨在廣泛保護工具以支持健康水域生態系統的功能。它們基於實地研究計畫，該計畫已透過在特定生物中建立因果關係，確定了化學物質和生物效應之間的關聯性。因此將沉積物中各種污染物的測量濃度與這些指南值進行比較，提供關於污染程度和對生態系統可能產生的影響的基本指示。這些指南包括閾值效應濃度(TELs)和可能效應濃度(PELs)，很可能 TELs 被採納作為 interim marine sediment quality guidelines (ISQGs)（**表 4.7-17**）。

表 4.7-17、加拿大保護水生生物的沉積物品質指引

項目	淡水		海洋	
	ISQG	PEL	ISQG	PEL
砷 Arsenic	5900	17000	7240	41600
鎘 Cadmium	600	3500	700	4200
鉻 Chromium total	37300	90000	52300	160000
鉛 Lead	35000	91300	30200	112000
汞 Mercury	170	486	130	700

單位：(µg/kg dry weight)

（五）加拿大保護環境和人類健康的土壤品質指引

為了回應民眾對於受污染場地可能產生的生態與人體健康影響不斷增長的關注，加拿大環境部長理事會(CCME)於 1989 年啟動了為期五年的國家受污染場地修復計畫(NCSRP)。《加拿大受污染場地臨時環境品質標準》採用了加拿大各地區使用的土壤和水標準。此指南推導協議最初於 1996 年制定，旨在確保修訂後的指南具有科學根據，該協議隨後被用於制定多項土壤品質指引（**表 4.7-18**）。該議定書的修訂版考慮了受污染土壤暴露對特定土地用途的人類和生態受體的影響。制定環境土壤品質指引的程序旨在維護支持所確定土地使用的重要生態功能。使用毒理學數據來確定關鍵受體的閾值濃度來制定指南。所有適用程序中最低值被視

為環境土壤品質指引。最終的一般土壤品質指南基於環境和人體健康方法為四種土地使用（農業、住宅/公園、商業和工業）中的每種使用推導出的最低值。

表 4.7-18、加拿大土壤品質指引

項目	農業	住宅/公園	商業	工業
砷 Arsenic	12	12	12	12
鈹 Beryllium	4	4	8	8
鎘 Cadmium	1.4	10	22	22
鉻 Chromium total	64	64	87	87
鉻 Chromium $^{6+}$	0.4	0.4	1.4	1.4
鉛 Lead	70	140	260	600
汞 Mercury	6.6	6.6	24	50
鎳 Nickel	45	45	89	89

單位：(mg/kg dry weight)

（六）台灣土壤污染物監測/管制標準

台灣行政院環境部所頒布的土壤污染物監測/管制標準（**表 4.7-19**）是依土壤及地下水污染整治法第六條第二項規定訂定之。土壤污染定義是指土壤因物質、生物或能量之介入致變更品質，有影響其正常用途或危害國民健康及生活環境之虞。所列土壤中物質濃度，受區域土壤地質條件及環境背景因素影響，經具體科學性數據研判非因外來污染而達本標準所列污染物項目之監測值，得經中央主管機關同意後，不適用本標準。

表 4.7-19、台灣土壤重金屬及其他有機化合物的監測/管制標準

污染物項目	監測標準值		管制標準值	
	一般	食用作物農地	一般	食用作物農地
鉻 Chromium	175		250	
汞 Mercury	10	2	20	5
砷 Arsenic	30		60	
鉛 Lead	1000	300	2000	500
鎘 Cadmium	10	2.5	20	5
鎳 Nickel	130		200	
PCDD/Fs Dioxins[a]			1000	

單位：毫克/公斤-土壤
[a] 奈克-毒性當量/kg-土壤

（七）台灣地下水污染物監測/管制標準

台灣行政院環境部土壤及地下水污染整治綱所公告之地下水污染物監測 /管制標準（**表 4.7-20**），其地下水污染定義是指地下水因物質、生物或能量之介入，致變更品質，有影響其正常用途或危害國民健康及生活環境之虞。

表 4.7-20、台灣地下水重金屬及其他有機化合物的監測/管制標準

污染物項目	監測標準值		管制標準值	
	第一類[註1]	第二類[註2]	第一類	第二類
鉻 Chromium	0.025	0.25	0.050	0.50
汞 Mercury	0.0010	0.010	0.0020	0.020
砷 Arsenic	0.025	0.25	0.050	0.50
鉛 Lead	0.005	0.05	0.010	0.10
鎘 Cadmium	0.0025	0.025	0.0050	0.050
鎳 Nickel	0.05	0.5	0.10	1.0
萘 Naphthalene	0.020	0.20	0.040	0.40

單位：毫克/公升

[註1] 第一類：飲用水水源水質保護區內之地下水

[註2] 第二類：第一類以外之地下水

二、蒐集彙整環境介質暴露參數、推估方法、限制及風險評估模式

本計畫多介質模式採用美國加州政府環境健康危害評估辦公室(Office of Environmental Health Hazard Assessment California Office of Environmental Health Hazard Assessment, the U.S. Environmental Protection Agency)所發布之評估指引(The Air Toxic Hot Spots Program Risk Assessment Guideline Manual for Preparation of Health Risk Assessment) 來進行不同介質（例如：空氣、土壤、水體、底泥）中化學物質 PECs 之估算。健康風險評估可根據點估計(point–estimate exposure assumption)與機率分布(the stochastic treatment of data distribution)結果進行之。加州環保局(Cal EPA)將其分為四個層級來進行，第一層級(Tier-1)以點估計方式進行，急性暴露風險也僅適用於此方式進行；第二層級(Tier-2)如果有當地的暴露參數，則依然用點估計方式引用當地暴露參數計算健康風險；第三層級(Tier-3)以機率分布方式計算之；第四層級(Tier-4)以當地之機率分布結果計算。但第二至第四層級之計算依然需包括第一層級之點估計資料，因此本計畫之多介質與風險分析結果

乃進行 Tier-3 之分析，環境資料盡量參考當地或全台灣之調查資料。物質之濃度、沉降量等利用 Monte-Carlo 機率分布之結果進行多介質分析，結果取其 50%與 95%信賴區間上限值進行環境健康風險評估。

（一）多介質傳輸途徑估算說明如下：

由空氣進入土壤、水與底泥之濃度估算：

1.空氣濃度之估算：使用大氣擴散模式模擬所得之污染物濃度。

2.土壤濃度之估算：

公式 A-1：

$$C_s = \frac{Dep \times X}{K_s \times SD \times BD \times T_t}$$

式中：

C_s：評估時期之平均土壤濃度(μg/kg)

Dep：每日之土壤平均沉降量(μg/m^2-d)，使用大氣擴散模式模擬所得之沉降量

X：土壤堆積之積分函數(d)；見公式 A-2

K_s：土壤消除常數(d^{-1})；見公式 A-3

SD：土壤混和深度(m)，見**表 4.7-22**

BD：土壤體積密度(kg/m^3)，見**表 4.7-22**

T_t：總評估期(year)，見**表 4.7-22**

公式 A-2：

$$X = \left[\frac{e^{(-K_s \times T_f)} - e^{(-K_s \times T_o)}}{K_s}\right] + T_t$$

式中：

K_s：土壤消除常數(d^{-1})；見公式 A-3

T_f：評估終止期(d)，見**表 4.7-22**

T_0：評估開始時間(d)，見**表 4.7-22**

T_t：總評估期 T_f-T_o(d)，見**表 4.7-22**

公式 A-3：

$$Ks = \frac{0.693}{t_{1/2}}$$

式中：

$t_{1/2}$：各物質之土壤半衰期(d)，見**表 4.7-23**

3.水中濃度之估算：

公式 B-1：$C_w = C_{depw}$

式中：

C_w：水中平均濃度(μg/kg)

C_{depv}：空氣直接沉降量(μg/kg)

公式 B-2：

$$C_{depw} = \frac{\text{Dep} \times \text{SA} \times 365}{\text{WV} \times \text{VC}}$$

式中：

Dep：每天於水體之直接沉降量 (μg/m^2/d)

SA：水體表面積(m^2)，見**表 4.7-21**

WV：水體體積(kg)，見**表 4.7-21**

VC：水體每年置換次數，見**表 4.7-21**

4.底泥濃度之估算：

(1)污染物吸附於底泥層中的濃度：

$$C_{sb} = f_{bs} \times C_{wtot} \times \left(\frac{Kd_{bs}}{\theta_{bs} + Kd_{bs} \times C_{BS}}\right) \times \left(\frac{d_{wc} + d_{bs}}{d_{bs}}\right)$$ 公式 C-1

參數代號	涵義	值	單位	來源
C_{sb}	污染物吸附於底泥層中的濃度	-	mg/kg	-
f_{bs}	污染物沉澱在底泥層之濃度比例	-	無因次	公式 C-2
C_{wtot}	污染物在總水體（包含水體層與底泥層中的濃度）	-	mg/L	公式 C-3
K_{dbs}	土壤與土壤孔隙水中的分配系數	見表表 4.7-23	L /kg	美國環保署 SDCM
θ_{bs}	土壤孔隙率（水/沉積物）	0.6	無因次	美國環保署 HHRAP
C_{BS}	底床泥沙濃度	1	g/cm^3	美國環保署 HHRAP
d_{wc}	水體層深度	見表 4.7-21	m	台灣港務股份有限公司(106)
d_{bs}	底泥層深度	0.03	m	美國環保署 HHRAP

(2)部分污染物沉澱在底泥層之濃度比例：

$$f_{bs} = 1 - f_{wc}$$ 公式 C-2

參數代號	涵義	單位	來源
f_{bs}	部分污染物沉澱在底泥層之濃度比例	無因次	-
f_{wc}	部分污染物在水體層之濃度比例	無因次	公式 C-5

(3)污染物在水體層中的濃度：

$$C_{wctot} = f_{wc} \times C_{wtot} \times \frac{d_{wc}+d_{bs}}{d_{wc}}$$ 公式 C-3

參數代號	涵義	值	單位	來源
C_{wctot}	污染物在水體層中的濃度	-	mg/L	公式 C-4
f_{wc}	部分污染物在水體層之濃度比例	-	無因次	公式 C-5
C_{wtot}	污染物在總水體中的濃度	-	mg/L	-
d_{wc}	水體層深度	見表 4.7-21	m	台灣港務股份有限公司 (106)
d_{bs}	底泥層深度	0.03	m	美國環保署 HHRAP

(4)污染物在水中濃度（水質模擬結果）：

$$C_{dw} = \frac{C_{wctot}}{1+kd_{sw}\times TSS\times(1\times10^{-6})}$$ 公式 C-4

參數代號	涵義	值	單位	來源
C_{dw}	污染物在水中濃度（水質模擬結果）	-	mg/L	水質模式模擬
C_{wctot}	污染物在水體層中的濃度	-	mg/L	-
kd_{sw}	污染物在土壤（底泥）與水間的分配係數	見表 4.7-23	L/kg	美國環保署 SCDM
TSS	總懸浮固體物濃度	26.7	mg/L	美國環保署 HHRAP
1×10^{-6}	單位轉換係數	-	kg/mg	-

(5)部分污染物在水體層之濃度比例：各鄉鎮水域面積如**表 4.7-21**，多介質模式參數彙整如**表 4.7-22**，污染物分配係數表如**表 4.7-23**。

$$f_{wc} = \frac{(1 + kd_{sw} \times TSS \times 1 \times 10^{-6}) \times d_{wc}/d_z}{(1 + kd_{sw} \times TSS \times 1 \times 10^{-6}) \times d_{wc}/d_z + (\theta_{bs} + Kd_{bs} \times C_{BS}) \times d_{bs}/d_z}$$

公式 C-5

參數代號	涵義	值	單位	來源
f_{wc}	部分污染物在水體層之濃度比例	-	無因次	-
kd_{sw}	污染物在土壤（底泥）與水的分配係數	見表 4.7-23	L/kg	美國環保署 SCDM
TSS	總懸浮固體物濃度	26.7	mg/L	美國環保署 HHRAP
1×10^{-6}	單位轉換係數	-	kg/mg	-
d_z	水體總深度	-	m	$dwc + dbs$
θ_{bs}	土壤孔隙率（水/沉積物）	0.6	無因次	美國環保署 HHRAP
kd_{bs}	污染物在土壤與土壤孔隙水中的分配系數	見表 C	L/kg	美國環保署 SCDM
C_{BS}	底床泥沙濃度	1	g/cm^3	美國環保署 HHRAP

d_{wc}	水體層深度	見表 4.7-23	m	台灣港務股份有限公司(106)
d_{bs}	底泥層深度	0.03	m	美國環保署 HHRAP

表 4.7-21、各鄉鎮水域面積

地區	台中清水區	台中梧棲區	台中龍井區	雲林縣麥寮鄉
水域面積(m^2)	404687	252840	1314856	1905658
水域體積(kg)	10340145257	6460307168	13425030989	7203387240
水域置換次數	571.7601785	571.7601785	1430.817313	17554.215

表 4.7-22、多介質模式參數彙整

代號	評估項目	註解
SD	土壤混和深度(m)	採用 Cal-EPA 建議，當考慮種植與肉品等生產時採用 0.15m，用於食入及皮膚暴露計算則採用 0.01m
BD	土壤密度(kg/m^3)	採用土壤及地下水污染場址健康風險評估評析方法建議 1400 kg/m^3
T_o	評估開始時間(d)	假設0天
Tt	總評估時期	假設雲林縣102-104年平均餘命78.07年(28495.55天) 假設台中市108-110年平均餘命81.13年(29612.45天)
T_f	評估終止期(d)	採用雲林縣102-104年平均餘命28495.55天 採用台中市108-110年平均餘命29612.45天
VC	水體每年置換次數	換算為 5824.86-29283.57 次年/，資料來源：水利署

表 4.7-23、污染物分配係數表

物質	英文	CAS	kdsw	kdbs	土壤半衰期（天）$t_{1/2}$	來源
六價鉻	Chromium (VI)	18540-29-9	19	19	1.0E+08	SCDM
汞	Mercury	7439-97-6	52	52	1.0E+08	SCDM
砷	Arsenic	7440-38-2	29	29	1.0E+08	SCDM

鈹	Beryllium	7440-41-7	790	790	1.0E+08	SCDM
鉛	Lead	7439-92-1	900	900	1.0E+08	SCDM
鎘	Cadmium	7440-43-9	75	75	1.0E+08	SCDM
鎳	Nickel	7440-02-0	65	65	1.0E+08	SCDM
PCDD/Fs	Dioxins	1746-01-6	-	-	7.00E+03	SCDM
多環芳香烴	PAHs	50-32-8	-	-	4.30E+02	SCDM

註 1：由於有機碳在金屬的分配係數中不起主要作用，美國環保署(1994b)假設，無論土壤、懸浮沉積物或底泥沉積物相如何分配皆相同，因此本研究亦假設金屬的分配係數 Kds（土壤-水分配係數）、Kdsw 和 Kdbs 的值相同。

註 2：非無機物情況於 Human Health Risk Assessment Protocol Appendix A-2 具詳細說明。

（二）多介質模式

「空氣污染物熱點資訊與評估法」（Air Toxics "Hot Spots" Program, 亦稱 AB 2588）旨在提供關於固定源空氣排放程度及這些排放可能對公共健康產生的影響的訊息。是業主向當地空氣污染控制和空氣品質管理區以及最終向加州空氣資源管理委員會提供“熱點”法案中特定列出的化學物質的排放清單。根據排放量和毒性的多少，區域機構對設施進行優先順序排定後，可能要求這些設施進行健康風險評估。健康風險評估包括對排放的化學物質在空氣中的傳播以及通過所有相關途徑（暴露評估）對人體的暴露程度進行全面分析，這些途徑包括這些化學物質的毒理學(劑量-反應評估)以及暴露社區的癌症風險和非癌症健康影響的估計（風險表徵）。法規明確要求 OEHHA 制定一種“風險可能性”的健康風險評估方法，因此 OEHHA 開發了一種使用暴露變數的分布而不是單一點估計的隨機風險評估方法。通過暴露的變異性作為輸入，可以使用蒙特卡羅或類似的方法在風險評估模型中傳播暴露的變異性。這種分析的結果是風險的一個範圍，至少在某種程度上表徵了暴露的變異性。這樣的訊息允許風險管理者估計不同風險水平下的人口百分比。是一種層次化的風險評估方法。第一層是使用本文件中推薦的點估計的標準方法。如果有現場特定訊息可以修改一些點估計，而這些訊息比空氣毒物熱點規劃風險評估指南中推薦的點估計更適用，那麼第二層允許使用該現場特定訊息。在第三層，使用風險評估指南中提供的分布進行暴露評估的隨機方法。第四層也是一種隨機方法，但允許使用現場特定的分布，如果這些分布是合理的，並且對評估的站點比風險評估指南中推薦的分布更適用。

空氣排放的暴露評估不僅包括通過吸入途徑的暴露分析，還包括通過非吸入途徑間接接觸空氣有毒物質的途徑。對於某些化合物來說，空氣物質沉積到地表水、土壤、可食用植物（包括食物、牧場和動物飼料）以及通過哺乳汁攝入後，會發生顯著的暴露。檢查直接吸入和間接非吸入途徑的暴露，可以揭示對空氣排放的全面暴露程度。然而在空氣毒物熱點風險評估中，僅對某些化學物通過多途徑途徑進行評估。一般而言，對於具有生物濃縮或生物累積趨勢(例如，親脂性半揮發性有機物)或在環境中積累的化學物，存在較高的間接暴露潛在性（例如，金屬）。半揮發性有機和金屬有毒物質可以直接沉積到地表水、土壤、植物葉面、水果和蔬菜、牧草等中。

傳統的暴露和風險評估方法是為每個暴露參數（如呼吸速率）分配一個單一值，通常選擇為偏高數值，以防風險被低估。過去對“偏高”值的定義並不清晰，難以確定該值在分布上的位置。相對於單一點估計方法的改進是選擇兩個值，一個代表平均值，另一個代表明確的偏高值。OEHHA 在空氣毒物熱點規劃風險評估指南文件中提供了有關關鍵暴露變數的平均值和明確偏高值的訊息。空氣毒物熱點風險評估中點估計的平均值和“偏高”值是根據該變數的值的機率分布來定義的。選擇使用平均值代表點估計的平均值，使用 95th 百分位數代表點估計的偏高值，這些值來自空氣毒物熱點風險評估文件中確定的分布。因此在數據的限制下，平均值和偏高是分佈上確定的點。並且 OEHHA 更新了點估計方法中使用的參數。通過使用平均和偏高消耗率的估計（分別定義為分布的平均值和 95th 百分位數），而不是單一點估計來完善方法。然而目前多介質模式仍建議使用台灣本土環境參數，因此當進行不同區域以及不同場域的調查時需重新蒐集環境參數。

（三）其他預測模式(predictive model)

其他可進行環境傳輸和暴露模擬與計算出風險值的模式還包括了美國環保署污染預防與毒性辦公室(OPPT)開發的 E-FAST 模式 (Exposure and Fate Assessment Screening Tool)以及歐盟發展之物質評估系統(The European Union System for the Evaluation of Substances，簡稱 EUSES)，此些模式多有內建環境傳輸和暴露參數等，使用者可由運作量等計算出最終風險值。

1.暴露和命運評估篩選工具 E-FAST

美國環保署污染預防與毒性辦公室(OPPT)為了因應美國 TSCA 法規對於既有和新化學物質之風險評估規定，並找到在污染物進入環境前之預防或減少污染物的方法，遂開發 E-FAST 模式，E-FAST 為一個篩選性模式(Screening Model)，其原理係基於保守性原則以預測暴露濃度和程度，因此所預測之暴露濃度與程度屬於最糟情況下之評估結果(High-End)，預期高於實際可能發生之結果。模式內建有三種不同之暴露評估模組（**圖 4.7-6**），分別為工業排放模組(General Population and Ecological Exposure from Industrial Releases)、家庭污水模組(Down the Drain)及消費者模組(Consumer Exposure Pathway)。其中的工業排放模組著重於工業排放污染，藉由過水體、土壤和空氣之排放與傳輸，最後經由飲用污染水體和食用受污染魚體而進入人體，以及直接呼吸等途徑而暴露至人類族群。模式中特別納入空氣傳輸模式與地表水稀釋模擬，以提高環境傳輸解析度。

模式相較於 EUSES 較易於操作，然而其內建資料庫無法直接修改，須另外建立相關資料檔，且內建之參數資料多僅可代表美國之工業活動和環境特性，欲將此模式應用於臺灣，需先建立台灣本土化資料庫。模式中考量暴露情境僅包含水域環境、一般居民等，含括之暴露途徑相對較少。並且在最終輸出評估結果主要以暴露濃度或暴露劑量為主，須另外蒐集取得基準劑量或濃度參數資料，方可估算風特徵比值。

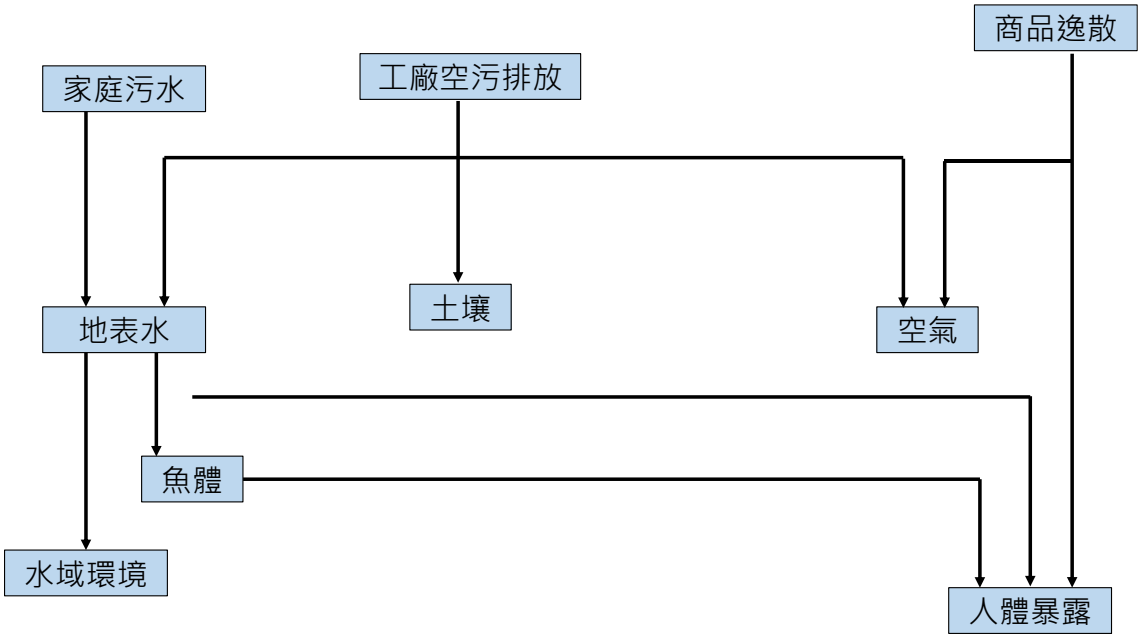


圖 4.7-6、E-FAST 模式暴露概念

[資料來源：USEPA Toxic Substances Control Act (TSCA)]

2.歐盟物質評估系統 EUSES

歐盟物質評估系統(EUSES)是由歐盟發展之免費評估工具，此模式是以歐盟風險評估技術指引(Technical Guidance Document on risk Assessment, TGD)做為建置基礎，用以協助定量評估新化學物質、既有化學物質與生物殺滅劑(biocides)對於環境和人體所可能造成之風險。EUSES 模式所考量之評估受體包含環境生物、經由環境暴露之一般民眾等，經由使用者輸入化學物質之基本物化特性、釋放量、暴露情境之相關參數與毒理資料後，模式自動自算各種受體之風險值（**圖 4.7-7**），其中環境風險之計量單位為風險特徵化比值 RCR(Risk characterization ratio，計算方式為 PEC/PNEC)，模式所考量之生態環境情境包含:淡水水生生態環境、鹹水水生生態環境、陸生生態環境以及底泥生態環境等。

其模式建置架構中即已含括環境等多種不同之暴露情境和關切受體。因此模式可輸出之結果整體而言較為多樣。模式可由使用者直接自行修改參數之數值，且所輸出之風險指標主要是以風險特徵比值來呈現。然而其模式中使用之環境參數主要來自於歐洲地區之數據資料庫。需由使用者自行輸入之環境特性參數較多且

較為複雜。不適用於特定場址的評估，以及不建議評估低溶解性的物質，僅適於評估特定之環境風險生物受體。

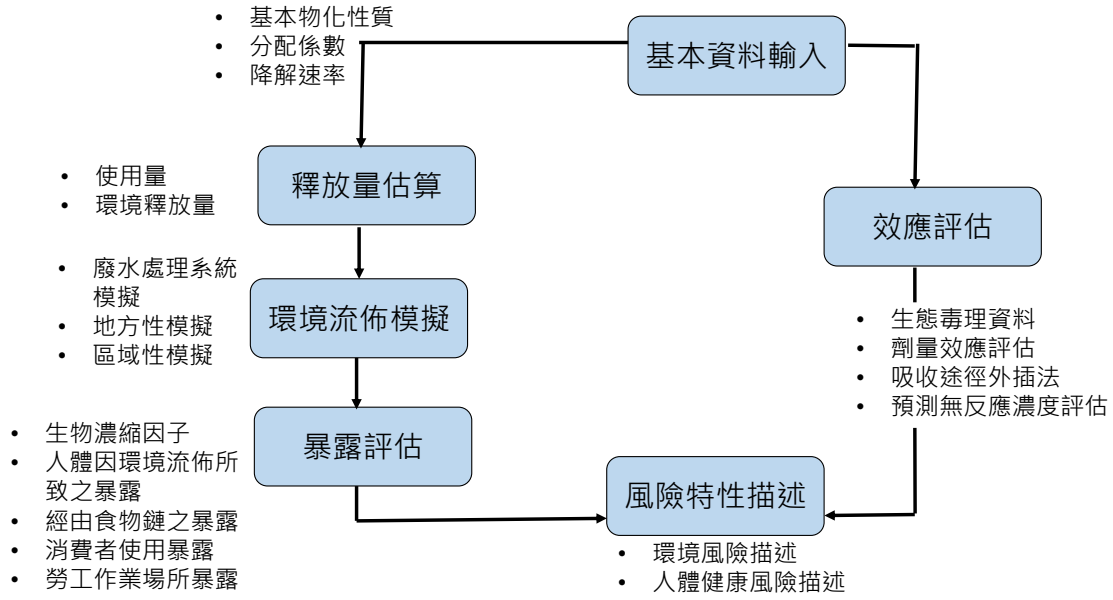


圖 4.7-7、EUSES 模式概念架構圖

[資料來源：European Chemicals Agency (ECHA), Technical Guidance Document on Risk Assessment (TDG)]

3.日本風險評估模式簡介

由於日、韓國家相關英文文獻較少，本研究以日本針對農藥之水生生物風險評估的方法作為說明環境風險評估之範例（**圖 4.7-8**），其同樣是是透過 PEC (predicted environmental concentration, PEC) 與急毒性影響濃度 AEC (acute effect concentration, AEC) 數值間的比較，以求得危害商數 HQ (hazard quotient)，AEC 的來源是透過申請農藥登記的廠商所繳交的毒理試驗資料，主要以三種水生生物（水蚤、藻類、魚類）之毒性試驗結果，將 EC_{50} (Concentration for 50% of maximal effect, EC_{50}) 值、LC_{50} (Lethal concentration 50%, LC_{50}) 值等毒理數據除以不確定因子後所求得之數值，再透過 PEC 預測模式針對欲登記之農藥進行施用後可能流入環境當中的濃度進行預測，將結果與 AEC 進行比較以求得農藥風險，初步判定是否核准登記。在日本的風險評估流程當中，水田的環境預測濃度分為三個階段:第一階段於模式中輸入一般數值計算，第二階段於模式中併入水質污濁性試驗數據進行計算，第三階段則以水田試驗評估實際的數據，而旱田的環境預測濃度分為兩個階段：

第一階段同樣於模式中使用數值計算，第二階段則採用地表逕流試驗以評估實際之數據。由於日本在農藥登記流程中有風險評估的概念，其 PEC 預測模式及計算方法皆為公開資訊，可在政府機關網站上取得。

在管理者的角度而言 PEC 模式可作為第一步的篩選工具，若評估的對象農藥可能產生的環境流布濃度，高出毒理試驗結果或所推斷的預估無效應濃度 (predicted no effect concentration, PNEC) 時，則可能存在對於水生生物產生毒性風險時，需要額外的數據證明該項農藥的安全性。在日本的 PEC 模式中，農田與河川之間的關係及參數的設定 主要為最嚴重之情境 (worst-case)，並且大部分的參數可因應不同地區之農田環境而更動，需要透過多方調查以及估算，來評估適當的設定數值。

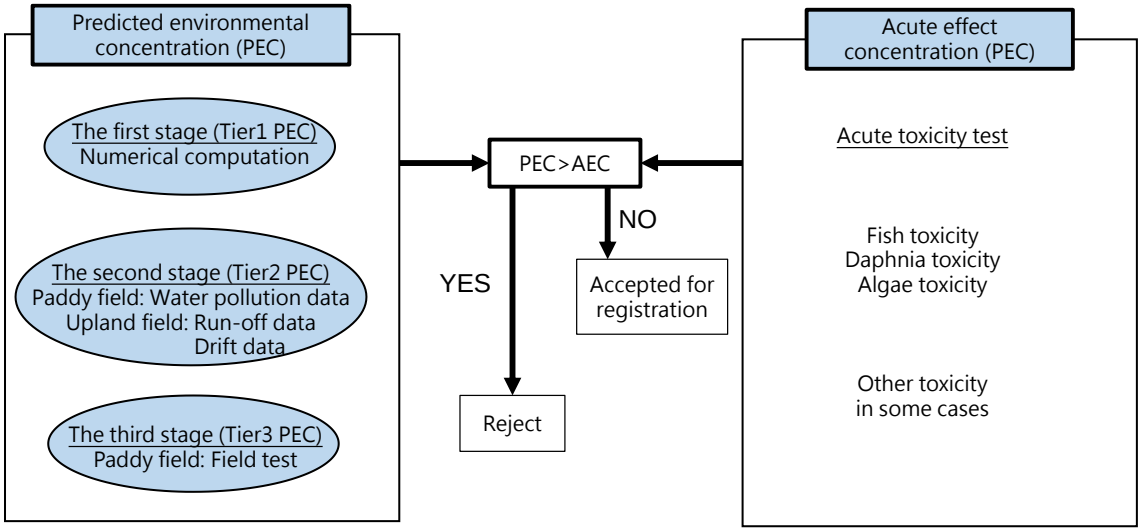


圖 4.7-8、日本農藥登記之水生生物風險評估的流程

三、不確定性與敏感度分析

本計畫在計算健康風險時應用了大量的參數資料，然而以往在風險估算時所使用的參數值，大都是各項研究結果的平均值或單一測量值，但對於整個族群而言，這些參數存在有一定的變異特徵與機率分布情形，若是將這些參數的變異性予以忽略，則無法真正瞭解推估結果的不確定性為何。故本計畫對於變異程度（不確定性）較大的參數進行蒙地卡羅模擬（如不同介質的模擬濃度）來降低推估結果不確定性，然而當所能獲得之資料無法符合蒙地卡羅分析之需求時，則不考慮進行蒙地

卡羅分析。例如：若風險推估僅是以單一個案（某位暴露者）為對象，並已收集到完整且準確的各項參數資料，由於參數不確定性並不存在，因此蒙地卡羅模擬法在此個案中並不適用。

為降低本計畫 AERMOD 模擬後各網格點之空氣污染物沉降量差異，本研究根據現有 AERMOD 模擬範圍的網格點各種污染物數據，選定蒙地卡羅分析不同模式參數後，亦需先設定各個參數的分布型態。為執行蒙地卡羅法，需先設定多介質模型中各參數分布型態，因本研究針對具有原始數據之多介質相關參數（例如：污染物質濃度、水體層深度）進行 Anderson-Darling 檢定以找出最適合之分布（如對數常態），接著從現有網格點數據中以 Crystall Ball 蒙地卡羅軟體去重覆抽取至少 5000 次，以降低數據推估過程之不確定性，並以符合當初設定的分布型態與描述性統計值。最終採用經蒙地卡羅不確定性分析抽樣後之第 50 百分位數濃度進行多介質濃度以及風險計算。（進行流程可參考**圖 4.7-9**）

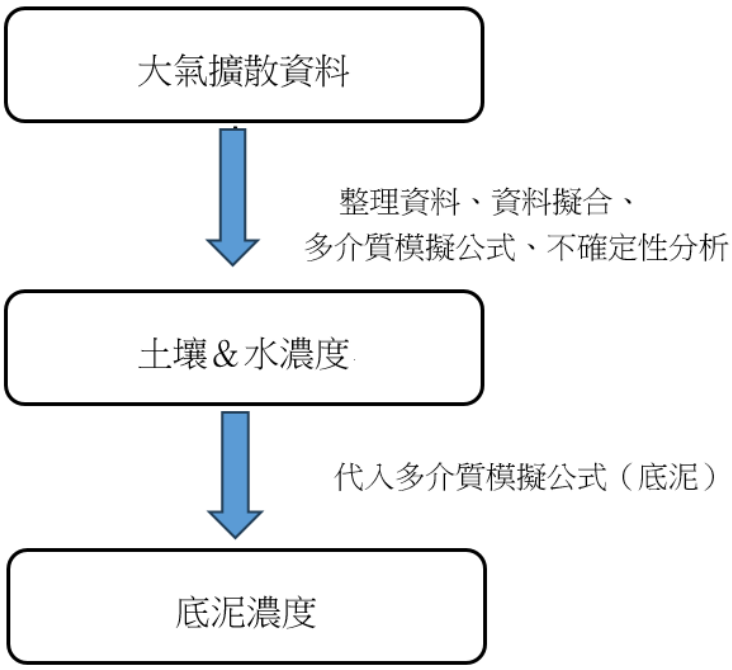


圖 4.7-9、土壤、水、底泥濃度之計算流程圖

（一）土壤、水、底泥濃度之計算步驟

1.將大氣擴散資料整理，排除海上資料，僅取用陸地資料。

2.使用 Oracle Crystal Ball 蒙地卡羅模擬軟體，將整理好的資料進行擬合分佈，擬合後代入土壤與水的濃度計算公式，求得土壤與水中之濃度值。

3.將水中濃度值，代入底泥濃度計算公式（公式及參數詳見附件 9），即可求得底泥濃度值。

4.將計算後的濃度進行蒙地卡羅不確定性分析

（二）實際操作擬合結果

本研究選取經擴散模式模擬之沉降量資料後，使用 Oracle Crystal Ball 蒙地卡羅模擬軟體進行擬合分佈，以降低風險推估過程之不確定性，軟體會依照 Anderson-Darling 值（值越低適配度越佳），自動選取最適切之分佈模式。以**圖 4.7-10** 為例，對數常態分佈之 AD 值為 153.7298，為最低，故選取對數常態分佈。其結果如**圖 4.7-10** 至**圖 4.7-17** 以及**表 4.7-24** 至**表 4.7-27** 所示。

範例 1：K 廠-砷（**圖 4.7-10**、**圖 4.7-11**）

圖 4.7-10、Oracle Crystal Ball 蒙地卡羅模擬軟體實際執行圖-K 廠-砷

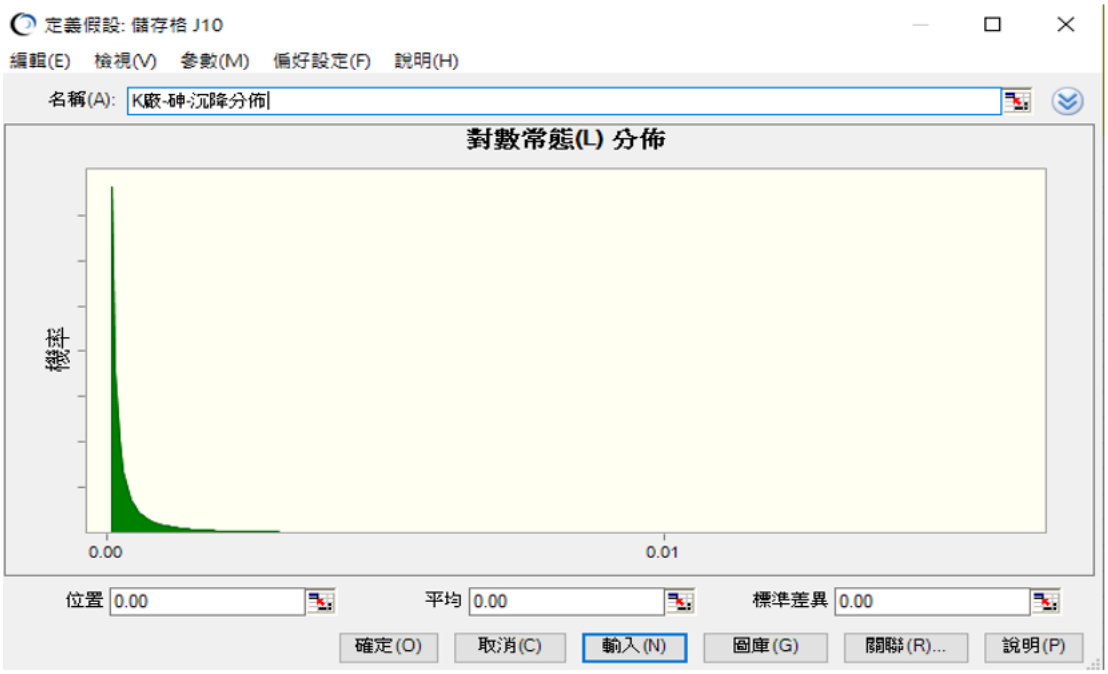


圖 4.7-11、Oracle Crystal Ball 蒙地卡羅模擬軟體之擬合完成分佈圖-K 廠-砷

範例 2：K 廠-高分子量 PAHs（**圖 4.7-12**、**圖 4.7-13**）

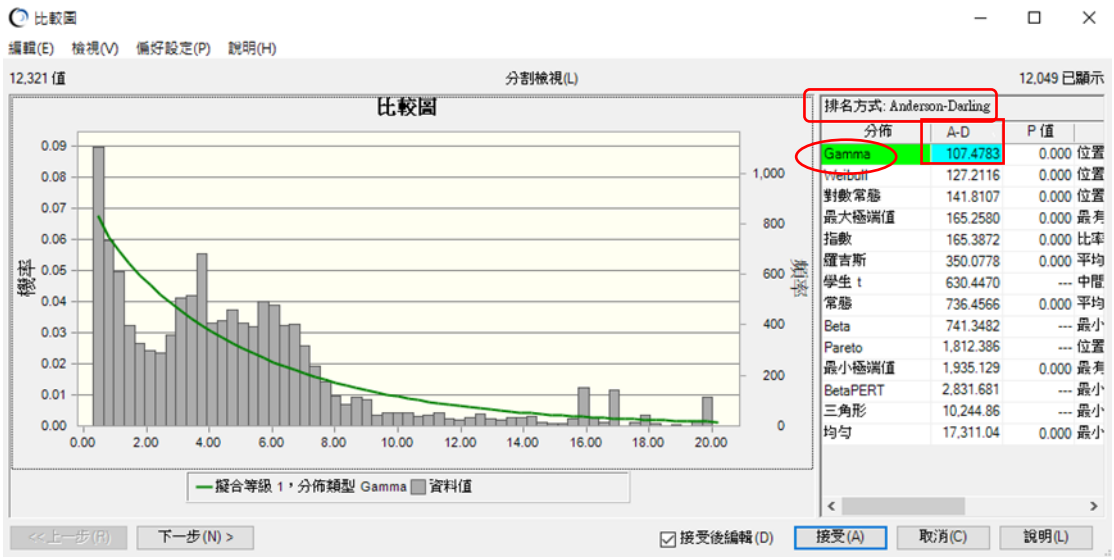


圖 4.7-12、Oracle Crystal Ball 蒙地卡羅模擬軟體實際執行圖-K 廠-高分子量 PAHs

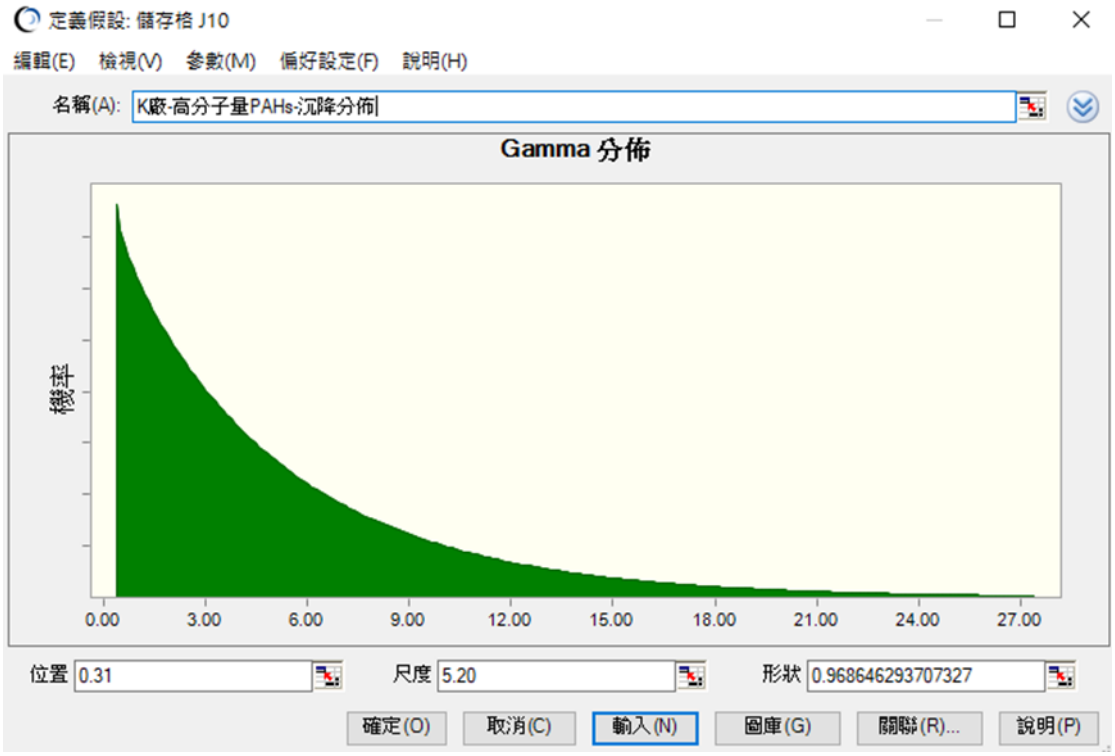


圖 4.7-13、Oracle Crystal Ball 蒙地卡羅模擬軟體之擬合完成分佈圖-K 廠-高分子量 PAHs

表 4.7-24、擬合完成進行抽樣後之最終結果_K 廠砷

統計	水中濃度	土壤中濃度
試驗	5000	5000
基本案例	4.58E-09	3.23E-02
平均	4.80E-09	3.39E-02
中位數	1.54E-09	1.09E-02
眾數	---	---
標準差	1.36E-08	9.59E-02
變異數	1.84E-16	9.19E-03
偏態	11.24	11.24
峰度	198.01	198.01
變異係數	2.83	2.83
最小值	2.58E-10	1.82E-03
最大值	3.48E-07	2.45E+00
範圍寬度	3.47E-07	2.45E+00
平均標準誤差	1.92E-10	1.36E-03
百分位數	水中濃度	土壤中濃度
50%	1.54E-09	1.09E-02
95%	1.76E-08	1.24E-01

圖 4.7-14、擬合過程示意圖_K 廠砷

表 4.7-25、擬合完成進行抽樣後之最終結果_K 廠低分子量 PAHs

統計	水中濃度	土壤中濃度
試驗	5000	5000
基本案例	7.91E-08	2.29E-02
平均	8.00E-08	2.32E-02
中位數	5.64E-08	1.63E-02
眾數	---	---
標準差	7.59E-08	2.20E-02
變異數	5.77E-15	4.84E-04
偏態	1.89	1.89
峰度	7.62	7.62
變異係數	0.9490	0.9490
最小值	4.66E-09	1.35E-03
最大值	5.27E-07	1.53E-01
範圍寬度	5.23E-07	1.51E-01
平均標準誤差	1.07E-09	3.11E-04
百分位數	水中濃度	土壤中濃度
50%	5.64E-08	1.63E-02
95%	2.36E-07	6.84E-02

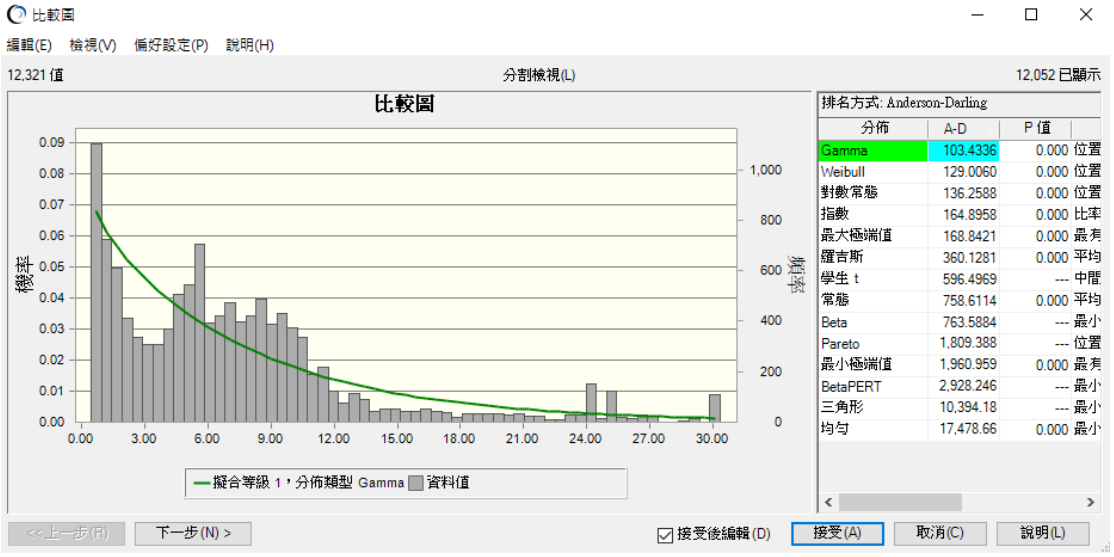


圖 4.7-15、擬合過程示意圖_K 廠低分子量 PAHs

表 4.7-26、擬合完成進行抽樣後之最終結果_K 廠高分子量 PAHs

統計	水中濃度	土壤中濃度
試驗	5000	5000
基本案例	5.34E-08	1.55E-02
平均	5.48E-08	1.59E-02
中位數	3.90E-08	1.13E-02
眾數	---	---
標準差	5.15E-08	1.49E-02
變異數	2.65E-15	2.22E-04
偏態	1.88	1.88
峰度	7.75	7.75
變異係數	0.9395	0.9395
最小值	3.12E-09	9.03E-04
最大值	4.18E-07	1.21E-01
範圍寬度	4.15E-07	1.20E-01
平均標準誤差	7.28E-10	2.11E-04
百分位數	**水中濃度**	**土壤中濃度**
50%	3.90E-08	1.13E-02
95%	1.60E-07	4.63E-02

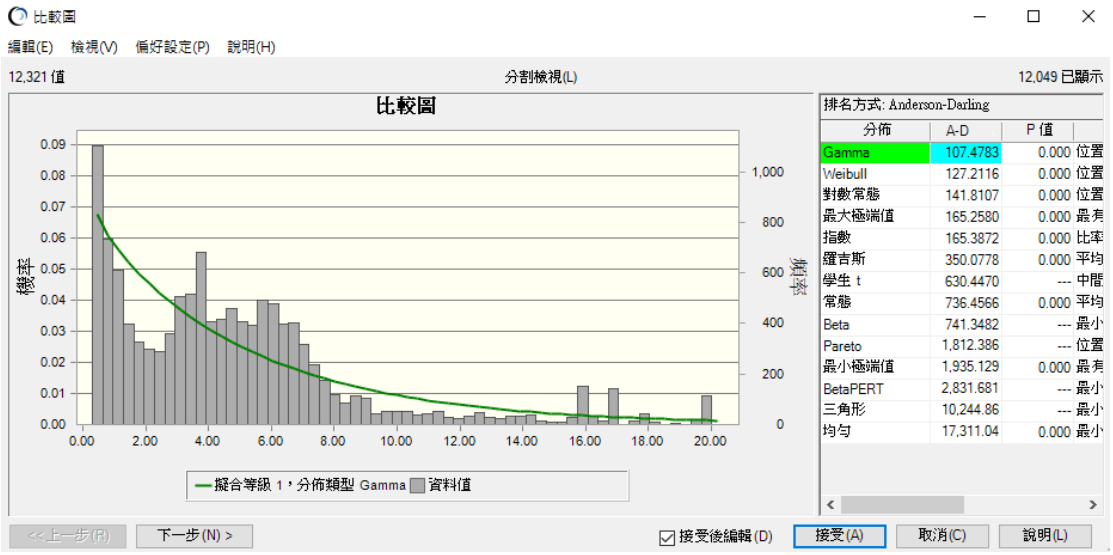


圖 4.7-16，擬合過程示意圖_K 廠高分子量 PAHs

表 4.7-27、擬合完成進行抽樣後之最終結果_K 廠 PCDD/Fs

統計	水中濃度	土壤中濃度
試驗	5000	5000
基本案例	2.00E-15	6.54E-09
平均	2.00E-15	6.54E-09
中位數	1.45E-15	4.72E-09
眾數	0.00E+00	0.00E+00
標準差	1.92E-15	6.28E-09
變異數	3.71E-30	3.94E-17
偏態	3.26	3.26
峰度	23.13	23.13
變異係數	0.9603	0.9603
最小值	0.00E+00	0.00E+00
最大值	2.47E-14	8.07E-08
範圍寬度	2.47E-14	8.07E-08
平均標準誤差	2.72E-17	8.88E-11
百分位數	**水中濃度**	**土壤中濃度**
50%	1.45E-15	4.72E-09
95%	5.44E-15	1.77E-08

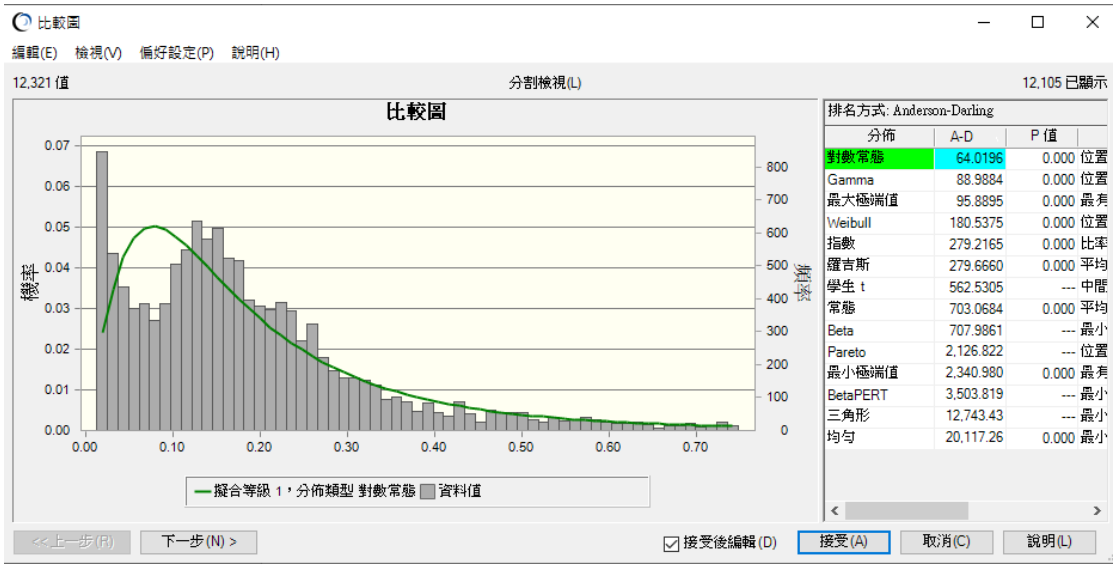


圖 4.7-17、擬合過程示意圖_K 廠 PCDD/Fs

四、多介質濃度推估

（一）重金屬多介質濃度推估

表 4.7-28~表 4.7-32 分別為本計畫 CH1 廠、CH2 廠、YTS 廠、K 廠和 TPM 廠金屬物質進行多介質評估各物質由空氣進入土壤、水體以及底泥環境介質的濃度估算。濃度推估之結果說明如下：

若以土壤中推估濃度來說，考量農作物、動物攝食途徑來看，CH1 廠重金屬濃度最高為砷(5.12E-03 μg/kg)，其次為鎳(5.01E-03 μg/kg)，再者為鎘(2.49E-03 μg/kg)。CH2 廠重金屬濃度最高為鉛(6.17E-03 μg/kg)，其次為砷(6.03E-03 μg/kg)，再者為鎳(5.91E-03 μg/kg)。YTS 廠重金屬濃度最高為砷(2.24E-03 μg/kg)，其次為鉛(4.80E-05 μg/kg)，再者為鎳(5.22E-06 μg/kg)。K 廠重金屬濃度最高為鉛(9.09E-01 μg/kg)，其次為鉻(3.96E-02 μg/kg)，再者為鎳(1.19E-02 μg/kg)。TPM 廠重金屬濃度均為 0。

就水體中推估濃度來看，CH1 廠重金屬濃度最高為砷(7.25E-10 μg/kg)，其次為鎳(7.10E-10 μg/kg)，再者為鎘(3.53E-10 μg/kg)。CH2 廠重金屬濃度最高為鉛(8.73E-10 μg/kg)，其次為砷(8.54E-10 μg/kg)，再者為鎳(8.37E-10 μg/kg)。YTS 廠重金屬濃度最高為砷(3.18E-10 μg/kg)，其次為鉛(6.80E-12 μg/kg)，再者為鎳(7.39E-13 μg/kg)。K 廠重金屬濃度最高為鉛(1.29E-07 μg/kg)，其次為鉻(5.60E-09 μg/kg)，再者為鎳(1.69E-09 μg/kg)。TPM 廠重金屬濃度均為 0。

以底泥中推估濃度來說，CH1 廠重金屬濃度最高為鉻(2.68E-11 μg/kg)，其次為鉛(5.75E-13 μg/kg)，再者為鎳(3.45E-13 μg/kg)。CH2 廠重金屬濃度最高為鉛(7.43E-11 μg/kg)，其次為鉻(3.47E-11 μg/kg)，再者為鎳(4.07E-13 μg/kg)。YTS 廠重金屬濃度最高為鉛 (5.79E-13 μg/kg)，其次為鉻(4.70E-14 μg/kg)，再者為砷(3.09E-14 μg/kg)。K 廠重金屬濃度最高為鉛(4.59E-09 μg/kg)，其次為鉻(4.36E-11 μg/kg)，再者為鎘(1.44E-12 μg/kg)。TPM 廠重金屬濃度均為 0。

表 4.7-28、重金屬由空氣進入土壤、水體以及底泥之濃度估算- CH1 廠

工廠	物質	土壤中濃度(μg/kg)		水中濃度 (μg/kg)	底泥濃度 (mg /kg)
		食入、皮膚暴露	農作物、動物攝食		
CH1 廠	砷(As)	7.68E-02	5.12E-03	7.25E-10	7.05E-14
	鎘(Cd)	3.74E-02	2.49E-03	3.53E-10	2.28E-13
	鉻(Cr)	3.71E-02	2.48E-03	3.51E-10	2.68E-11
	汞(Hg)	2.42E-03	1.61E-04	2.29E-11	7.13E-15
	鎳(Ni)	7.52E-02	5.01E-03	7.10E-10	3.45E-13
	鉛(Pb)	7.15E-04	4.77E-05	6.75E-12	5.75E-13

表 4.7-29、重金屬由空氣進入土壤、水體以及底泥之濃度估算- CH2 廠

工廠	物質	土壤中濃度(μg/kg)		水中濃度 (μg/kg)	底泥濃度 (mg/kg)
		食入、皮膚暴露	農作物、動物攝食		
CH2 廠	砷(As)	9.05E-02	6.03E-03	8.54E-10	8.30E-14
	鎘(Cd)	4.69E-02	3.13E-03	4.43E-10	2.87E-13
	鉻(Cr)	4.81E-02	3.21E-03	4.54E-10	3.47E-11
	汞(Hg)	5.42E-02	3.61E-03	5.11E-10	1.59E-13
	鎳(Ni)	8.87E-02	5.91E-03	8.37E-10	4.07E-13
	鉛(Pb)	9.25E-02	6.17E-03	8.73E-10	7.43E-11

表 4.7-30、重金屬由空氣進入土壤、水體以及底泥之濃度估算- YTS 廠

工廠	物質	土壤中濃度(μg/kg)		水中濃度 (μg/kg)	底泥濃度 (mg/kg)
		食入、皮膚暴露	農作物、動物攝食		
YTS 廠	砷(As)	3.37E-02	2.24E-03	3.18E-10	3.09E-14
	鎘(Cd)	2.32E-06	1.54E-07	2.19E-14	1.42E-17
	鉻(Cr)	6.53E-05	4.35E-06	6.16E-13	4.70E-14
	汞(Hg)	6.88E-07	4.59E-08	6.49E-15	2.02E-18
	鎳(Ni)	7.83E-05	5.22E-06	7.39E-13	3.59E-16
	鉛(Pb)	7.21E-04	4.80E-05	6.80E-12	5.79E-13

表 4.7-31、重金屬由空氣進入土壤、水體以及底泥之濃度估算- K 廠

工廠	物質	土壤中濃度(μg/kg)		水中濃度 (μg/kg)	底泥濃度 (mg/kg)
		食入、皮膚暴露	農作物、動物攝食		
K 廠	砷(As)	1.63E-01	1.09E-02	1.54E-09	5.93E-14
	鎘(Cd)	5.93E-01	3.96E-02	5.60E-09	1.44E-12
	鉻(Cr)	1.45E-01	9.68E-03	1.37E-09	4.36E-11
	汞(Hg)	4.38E-02	2.92E-03	4.14E-10	5.11E-14
	鎳(Ni)	1.79E-01	1.19E-02	1.69E-09	3.25E-13
	鉛(Pb)	1.36E+01	9.09E-01	1.29E-07	4.59E-09

表 4.7-32、重金屬由空氣進入土壤、水體以及底泥之濃度估算- TPM 廠

工廠	物質	土壤中濃度(μg/kg)		水中濃度 (μg/kg)	底泥濃度 (mg/kg)
		食入、皮膚暴露	農作物、動物攝食		
TPM 廠	砷(As)	NA	NA	NA	NA
	鎘(Cd)	NA	NA	NA	NA
	鉻(Cr)	NA	NA	NA	NA
	汞(Hg)	NA	NA	NA	NA
	鎳(Ni)	NA	NA	NA	NA
	鉛(Pb)	NA	NA	NA	NA

（二）PCDD/Fs 以及 PAHs 多介質濃度推估

表 4.7-33~表 4.7-37 分別為本計畫 CH1 廠、CH2 廠、YTS 廠、K 廠和 TPM 廠 PCDD/Fs 及 PAHs 進行多介質評估之各物質由空氣進入土壤、水體以及底泥環境介質的濃度估算。濃度推估之結果說明如下：

若考量農作物、動物攝食途徑來看， CH1 廠低分子量 PAHs 濃度為 5.49E-03 μg/kg，高分子量 PAHs 濃度則為 3.88E-03 μg/kg，PCDD/Fs 於土壤的濃度為 3.87E-09 μg I-TEQ/kg。CH2 廠低分子量 PAHs 濃度為 1.65E-02 μg/kg，高分子量 PAHs 濃度則為 1.08E-02 μg/kg，PCDD/Fs 於土壤的濃度為 3.53E-08 μg I-TEQ/kg。YTS 廠低分子量 PAHs 濃度為 3.67E-04 μg/kg，高分子量 PAHs 濃度則為 2.47E-04 μg/kg，PCDD/Fs 於土壤的濃度為 3.34E-08 μg I-TEQ/kg。K 廠低分子量 PAHs 濃度為 1.63E-

02 μg/kg，高分子量 PAHs 濃度則為 1.13E-02 μg/kg，PCDD/Fs 於土壤的濃度為 4.72E-09μg I-TEQ/kg。TPM 廠低分子量 PAHs 濃度為 1.46E-02 μg/kg，高分子量 PAHs 濃度則為 8.63E-04 μg/kg，PCDD/Fs 於土壤的濃度為 3.26E-07μg I-TEQ/kg。

就水體中推估濃度來看，CH1 廠低分子量 PAH 濃度為 1.89E-08 μg/kg，高分子量 PAH 濃度則為 1.34E-08 μg/kg，PCDD/Fs 於土壤的濃度為 1.19E-15 μg I-TEQ/kg。CH2 廠低分子量 PAH 濃度為 5.69E-08 μg/kg，高分子量 PAH 濃度則為 3.72E-08 μg/kg，PCDD/Fs 於土壤的濃度為 1.08E-14μg I-TEQ/kg。YTS 廠低分子量 PAHs 濃度為 1.27E-09 μg/kg，高分子量 PAHs 濃度則為 8.52E-10 μg/kg，PCDD/Fs 於土壤的濃度為 1.03E-14 μg I-TEQ/kg。K 廠低分子量 PAHs 濃度為 5.64E-08 μg/kg，高分子量 PAHs 濃度則為 3.90E-08 μg/kg，PCDD/Fs 於土壤的濃度為 1.45E-15 μg I-TEQ/kg。TPM 廠低分子量 PAHs 濃度為 5.04E-08 μg/kg，高分子量 PAHs 濃度則為 1.64E-09 μg/kg，PCDD/Fs 於土壤的濃度為 5.59E-14 μg I-TEQ/kg。

以底泥中推估濃度來說，CH1 廠低分子量 PAHs 濃度為 9.05E-07 μg/kg，高分子量 PAHs 濃度則為 6.40E-07 μg/kg，PCDD/Fs 於土壤的濃度為 1.16E-12 μg I-TEQ/kg。CH2 廠低分子量 PAHs 濃度為 2.72E-06 μg/kg，高分子量 PAHs 濃度則為 1.78E-06 μg/kg，PCDD/Fs 於土壤的濃度為 1.06E-11 μg I-TEQ/kg。YTS 廠低分子量 PAHs 濃度為 6.05E-08 μg/kg，高分子量 PAHs 濃度則為 4.07E-08 μg/kg，PCDD/Fs 於土壤的濃度為 1.00E-11 μg I-TEQ/kg。K 廠低分子量 PAHs 濃度為 2.40E-06 μg/kg，高分子量 PAHs 濃度則為 1.66E-06 μg/kg，PCDD/Fs 於土壤的濃度為 1.40E-12 μg I-TEQ/kg。TPM 廠低分子量 PAHs 濃度為 2.56E-06 μg/kg，高分子量 PAHs 濃度則為 8.34E-08 μg/kg，PCDD/Fs 於土壤的濃度為 5.47E-11 μg I-TEQ/kg。

表 4.7-33、PCDD/Fs、PAHs 由空氣進入土壤、水體以及底泥之濃度估算- CH1 廠

工廠	物質	土壤中濃度(μg/kg)		水中濃度(μg/kg)	底泥濃度(μg/kg)
		食入、皮膚暴露	農作物、動物攝食		
CH1 廠	PCDD/Fs [註]	5.81E-08	3.87E-09	1.19E-15	1.16E-12
	低分子量 PAHs	8.23E-02	5.49E-03	1.89E-08	9.05E-07
	高分子量 PAHs	5.82E-02	3.88E-03	1.34E-08	6.40E-07

[註] PCDD/Fs 單位(μg I-TEQ/kg)

表 4.7-34、PCDD/Fs 及 PAHs 由空氣進入土壤、水體以及底泥之濃度估算-CH2 廠

工廠	物質	土壤中濃度(μg/kg)		水中濃度(μg/kg)	底泥濃度(μg/kg)
		食入、皮膚暴露	農作物、動物攝食		
CH2 廠	PCDD/Fs [註]	5.30E-07	3.53E-08	1.08E-14	1.06E-11
	低分子量 PAH	2.47E-01	1.65E-02	5.69E-08	2.72E-06
	高分子量 PAH	1.62E-01	1.08E-02	3.72E-08	1.78E-06

[註]PCDD/Fs 單位(μg I-TEQ/kg)

表 4.7-35、PCDD/Fs、PAHs 由空氣進入土壤、水體以及底泥之濃度估算-YTS 廠

工廠	物質	土壤中濃度(μg/kg)		水中濃度(μg/kg)	底泥濃度(μg/kg)
		食入、皮膚暴露	農作物、動物攝食		
YTS 廠	PCDD/Fs [註]	5.02E-07	3.34E-08	1.03E-14	1.00E-11
	低分子量 PAHs	5.50E-03	3.67E-04	1.27E-09	6.05E-08
	高分子量 PAHs	3.70E-03	2.47E-04	8.52E-10	4.07E-08

[註] PCDD/Fs 單位(μg I-TEQ/kg)

表 4.7-36、PCDD/Fs 及 PAHs 由空氣進入土壤、水體以及底泥之濃度估算-K 廠

工廠	物質	土壤中濃度(μg/kg)		水中濃度 (μg/kg)	底泥濃度 (μg/kg)
		食入、皮膚暴露	農作物、動物攝食		
K 廠	PCDD/Fs [註]	7.08E-08	4.72E-09	1.45E-15	1.40E-12
	低分子量 PAHs	2.45E-01	1.63E-02	5.64E-08	2.40E-06
	高分子量 PAHs	1.70E-01	1.13E-02	3.90E-08	1.66E-06

[註]PCDD/Fs 單位(μg I-TEQ/kg)

表 4.7-37、PCDD/Fs 及 PAHs 由空氣進入土壤、水體以及底泥之濃度估算-TPM 廠

工廠	物質	土壤中濃度(μg/kg)		水中濃度 (μg/kg)	底泥濃度 (μg/kg)
		食入、皮膚暴露	農作物、動物攝食		
TPM 廠	PCDD/Fs [註]	4.89E-06	3.26E-07	5.59E-14	5.47E-11
	低分子量 PAHs	2.19E-01	1.46E-02	5.04E-08	2.56E-06
	高分子量 PAHs	1.29E-02	8.63E-04	1.64E-09	8.34E-08

[註]PCDD/Fs 單位(μg I-TEQ/kg)

五、風險估算結果

本計畫完成 CH1 廠、CH2 廠、YTS 廠、K 廠和 TPM 廠八種化學物質的環境風險評估，針對不同環境介質（水體、土壤、底泥）之風險推估結果如**表 4.7-38~表 4.7-87**。其中，TPM 廠由於模擬濃度均為 0，導致 RQ 無法計算，因此 TPM 廠的重金屬風險估算結果表格將不在報告中另行列出。

（一）重金屬風險估算結果

1.土壤風險估算結果

土壤危害商數的計算主要參考了各國的生態篩選值以及國內外的土壤管制值來進行計算，其中生態篩選值經文獻彙整的結果，目前是以美國環保署第五區資源保育和回收法案生態篩選值(PNEC)是較為保守的，因此下列以美國環保署第五區生態篩選值來進行各廠重金屬的危害商數描述（**表 4.7-38~表 4.7-41**），CH1 廠土壤濃度與美國環保署第 5 區生態篩選值比較後，推估之危害商數最高者為鎘(RQ=1.12E-03)，其次為汞 (RQ=1.61E-06)，再者為砷 (RQ=8.98E-07)；CH2 廠土壤濃度與美國環保署第 5 區生態篩選值比較後，推估之危害商數最高者為鎘(RQ=1.45E-03)，其次為汞 (RQ=3.61E-05)，再者為砷 (RQ=1.06E-06)；YTS 廠土壤濃度與美國環保署第 5 區生態篩選值比較後，推估之危害商數最高者為砷(RQ=3.94E-07)，其次為鎘 (RQ=6.96E-08)，再者為汞 (RQ=4.59E-10)；K 廠土壤濃度與美國環保署第 5 區生態篩選值比較後，推估之危害商數最高者為鎘(RQ=1.78E-02)，其次為汞 (RQ=2.92E-05)，再者為砷 (RQ=1.91E-06)。

若將各廠的土壤濃度與美國環保署生態土壤篩選值指南 **(表 4.7-42~表 4.7-45)**，CH1 廠推估植物之危害商數，最高者為砷 (RQ= 2.85E-07)，其次為鎳 (RQ= 1.32E-07)、再者為鎘 (RQ= 7.79E-08)；CH2 廠推估植物之危害商數，最高者為砷(RQ=3.35E-07)，其次為鎳 (RQ=1.56E-07)，再者為鎘 (RQ=9.78E-08)；YTS 廠推估植物之危害商數，最高者為砷 (RQ=1.25E-07)，其次為鉛 (RQ=4.00E-10)、再者為鎳 (RQ=1.37E-10)；K 廠推估植物之危害商數，最高者為鉛 (RQ=7.57E-06)，其次為鎘 (RQ=1.24E-06)、再者為砷 (RQ=6.05E-07)。CH1 廠推估土壤無脊椎動物之危

害商數，最高者為鎳 (RQ= 1.79E-08)，其次為鎘 (RQ= 1.78E-08)；CH2 廠推估土壤無脊椎動物之危害商數，最高者為鎘 (RQ=2.24E-08)，其次為鎳 (RQ=2.11E-08)；YTS 廠推估土壤無脊椎動物之危害商數，最高者為鉛 (RQ=2.83E-11)，其次為鎳 (RQ=1.86E-11) ；K 廠推估土壤無脊椎動物之危害商數，最高者為鉛 (RQ=5.35E-07)，其次為鎘 (RQ=2.83E-07)。CH1 廠推估野生動物鳥類之危害商數，最高者為鎘 (RQ= 3.24E-06)，其次為砷 (RQ=1.19E-07)、再者為鎳 (RQ= 2.39E-08)；CH2 廠推估野生動物鳥類之危害商數，最高者為鎘 (RQ=4.06E-06)，其次為鉛 (RQ=5.61E-07)、再者為砷 (RQ=1.40E-07)；YTS 廠推估野生動物鳥類之危害商數，最高者為砷 (RQ=5.22E-08)，其次為鉛 (RQ=4.37E-09)、再者為鎘 (RQ=2.01E-10)；K 廠推估野生動物鳥類之危害商數，最高者為鉛 (RQ=8.26E-05)，其次為鎘 (RQ=5.14E-05)、再者為砷 (RQ=2.53E-07)。CH1 廠推估野生動物哺乳類之危害商數，最高者為鎘 (RQ= 6.92E-06)，其次為砷 (RQ= 1.11E-07)、再者為鎳 (RQ= 3.86E-08)；CH2 廠推估野生動物哺乳類之危害商數，最高者為鎘 (RQ=8.69E-06)，其次為砷 (RQ=1.31E-07)、再者為鉛 (RQ=1.10E-07)；YTS 廠推估野生動物哺乳類之危害商數，最高者為砷 (RQ=4.88E-08)，其次為鉛 (RQ=8.58E-10)、再者為鎘 (RQ=4.29E-10)；K 廠推估野生動物哺乳類之危害商數，最高者為鎘 (RQ=1.10E-04)，其次為鉛 (RQ=1.62E-05)、再者為砷 (RQ=2.37E-07)。目前各廠環境風險推估的情形，在土壤的各項危害商數(RQ 值)皆小於 1，表示目前並無立即執行環境生態健康風險評估之需要。

若將各廠的土壤濃度分別與較保守的加拿大保護環境和人類健康的土壤品質管制值比較後**(表 4.7-46~表 4.7-49)**，CH1 廠推估環境風險之危害商數，最高者為鎘 (RQ=1.78E-06)，其次為砷 (RQ=4.27E-07)、再者為鎳 (RQ=1.11E-07)；CH2 廠推估環境風險之危害商數，最高者為鎘 (RQ=2.24E-06)，其次為汞 (RQ=5.47E-07)、再者為砷 (RQ=5.03E-07)；YTS 廠推估環境風險之危害商數，最高者為砷 (RQ=1.87E-07)，其次為鉛 (RQ=6.86E-10)、再者為鎳 (RQ=1.16E-10)；K 廠推估環境風險之危害商數，最高者為鎘 (RQ=2.83E-05)，其次為鉛 (RQ=1.30E-05)、再者為砷 (RQ=9.07E-07)。

若將各廠的土壤濃度分別與我國土壤污染物監測標準比較後**(表 4.7-50 ~表 4.7-53)**，CH1 廠推估環境風險之危害商數，最高者為鎘 (RQ=2.49E-07)，其次為砷 (RQ=1.71E-07)、再者為鎳 (RQ=3.86E-08)；CH2 廠推估環境風險之危害商數，最高者為鎘 (RQ=3.13E-07)，其次為汞 (RQ=3.61E-07)、再者為砷 (RQ=2.01E-07)；YTS 廠推估環境風險之危害商數，最高者為砷 (RQ=7.48E-08)，其次為鉛 (RQ=4.80E-11)、再者為鎳 (RQ=4.01E-11)；K 廠推估環境風險之危害商數，最高者為鎘 (RQ=3.96E-06)，其次為鉛 (RQ=9.09E-07)、再者為砷 (RQ=3.63E-07)。

若將各廠的土壤濃度與我國土壤管制項目標準與建議之生態土壤篩選值比較後**(表 4.7-54~表 4.7-57)**，CH1 廠推估一般土壤之危害商數，最高者為砷 (RQ= 8.54E-08)，其次為鎳 (RQ= 2.51E-08)、再者為鎘 (RQ= 1.25E-08)；CH2 廠推估一般土壤之危害商數，最高者為鎘 (RQ=1.56EE-07)，其次為汞 (RQ=1.81E-07)、再者為砷 (RQ=1.01E-07)；YTS 廠推估一般土壤之危害商數，最高者為鎳 (RQ=2.40E-10)，其次為鉛 (RQ=2.40E-11)、再者為鎘 (RQ=7.72E-12)；K 廠推估一般土壤之危害商數，最高者為鎘 (RQ=1.98E-06)，其次為鉛 (RQ=4.54E-07)、再者為砷 (RQ=1.81E-07)。CH1 廠推估植物之危害商數，最高者為砷 (RQ= 2.85E-07)，其次為鎳 (RQ= 1.32E-07)、再者為鎘 (RQ= 7.79E-08)；CH2 廠推估植物之危害商數，最高者為砷 (RQ=3.35E-07)，其次為汞 (RQ=3.01E-07)、再者為鎳 (RQ=1.56E-07)；YTS 廠推估植物之危害商數，最高者為砷 (RQ=1.25E-07)，其次為鉛 (RQ=4.00E-10)、再者為鎳 (RQ=1.37E-10)；K 廠推估植物之危害商數，最高者為鉛 (RQ=7.57E-06)，其次為鎘 (RQ=1.24E-06)、再者為砷 (RQ=6.05E-07)。CH1 廠推估土壤無脊椎動物之危害商數，最高者為鎳 (RQ= 1.79E-08)，其次為鎘 (RQ= 1.78E-08)、再者為汞 (RQ= 1.35E-08)；CH2 廠推估土壤無脊椎動物之危害商數，最高者為汞 (RQ=3.01E-07)，其次為鎘 (RQ=2.24E-08)、再者為鎳 (RQ=2.11E-08)；YTS 廠推估土壤無脊椎動物之危害商數，最高者為鉛 (RQ=2.83E-11)，其次為鎳 (RQ=1.86E-11)、再者為汞 (RQ=3.82E-12)；K 廠推估土壤無脊椎動物之危害商數，最高者為鉛 (RQ=5.35E-07)，其次為鎘 (RQ=2.83E-07)、再者為汞 (RQ=2.44E-07)。CH1 廠推估野生動物鳥類之危害商數，最高者為鎘 (RQ= 2.52E-06)，其次為砷 (RQ=3.25E-07)、再者為鎳 (RQ= 3.98E-08)；CH2 廠推估野生動物鳥類之危害商數，最高者為鎘

(RQ=3.16E-06)，其次為鉛 (RQ=8.08E-07)、再者為砷 (RQ=3.83E-07)；YTS 廠推估野生動物鳥類之危害商數，最高者為砷 (RQ=1.42E-07)，其次為鉛 (RQ=6.30E-09)、再者為鎘 (RQ=1.56E-10)；K 廠推估野生動物鳥類之危害商數，最高者為鉛 (RQ=1.19E-04)，其次為鎘 (RQ=4.00E-05)、再者為砷 (RQ=6.91E-07)。CH1 廠推估野生動物哺乳類之危害商數，最高者為鎘 (RQ= 3.56E-05)，其次為砷 (RQ= 6.20E-07)、再者為鎳 (RQ= 2.28E-07)；CH2 廠推估野生動物哺乳類之危害商數，最高者為鎘 (RQ=4.47E-05)，其次為鉛 (RQ=6.17E-06)、再者為砷 (RQ=7.30E-07)；YTS 廠推估野生動物哺乳類之危害商數，最高者為砷 (RQ=2.72E-07)，其次為鉛 (RQ=4.80E-08)、再者為鎘 (RQ=2.21E-09)；K 廠推估野生動物哺乳類之危害商數，最高者為鉛 (RQ=9.09E-04)，其次為鎘 (RQ=5.65E-04)、再者為砷 (RQ=1.32E-06)。目前各廠環境風險推估的情形，在土壤的各項危害商數(RQ 值)皆小於 1，表示目前並無立即執行生態或人體健康風險評估之需要。

2.水體風險估算結果

水體危害商數的計算主要參考了美國的生態篩選值和國內的水體管制值來進行計算。將 CH1 廠水體濃度與美國環保署第 5 區生態篩選值比較後，推估環境風險**(表 4.7-58~表 4.7-61)**，危害商數最高者為汞 (RQ=1.76E-08)，其次為鎘 (RQ=2.35E-09)，再者為鎳 (RQ=2.46E-11)；CH2 廠水體濃度與美國環保署第 5 區生態篩選值比較後，推估環境風險之危害商數最高者為汞 (RQ=3.93E-07)，其次為鎘 (RQ=2.95E-09)，再者為鎳 (RQ=2.90E-11)；YTS 廠水體濃度與美國環保署第 5 區生態篩選值比較後，推估環境風險之危害商數最高者為汞 (RQ=5.00E-12)，其次為砷 (RQ=2.15E-12)，再者為鎘 (RQ=1.46E-13)；K 廠水體濃度與美國環保署第 5 區生態篩選值比較後，推估環境風險之危害商數最高者為汞 (RQ=3.18E-07)，其次為鎘 (RQ=3.73E-08)，再者為鎳 (RQ=5.83E-11)。

接著將 CH1 廠水體濃度與台灣飲用水水源水質保護區內地下水監測標準值比較後**(表 4.7-62~表 4.7-65)**，推估環境風險之危害商數，最高者為鎘 (RQ=1.41E-10)，其次為砷 (RQ=2.90E-11)，再者為汞 (RQ=2.29E-11)；CH2 廠水體濃度與台灣飲用水水源水質保護區內地下水監測標準值比較後，推估環境風險之危害商數，最高者

為汞 (RQ=5.11E-10)，其次為鎘 (RQ=1.77E-10)，再者為鉛 (RQ=1.75E-10)；YTS 廠水體濃度與台灣飲用水水源水質保護區內地下水監測標準值比較後，推估環境風險之危害商數，最高者為砷 (RQ=1.27E-11)，其次為鉛 (RQ=1.36E-12)，再者為鉻 (RQ=2.47E-14)；將 K 廠水體濃度與台灣飲用水水源水質保護區內地下水監測標準值比較後，推估環境風險之危害商數，最高者為鉛 (RQ=2.57E-08)，其次為鎘 (RQ=2.24E-09)，再者為汞 (RQ=4.14E-10)。目前各廠環境風險推估的情形，在水體的危害商數(RQ)皆小於 1，表示目前並無立即執行生態風險評估之需要。

3.底泥風險估算結果

底泥危害商數的計算主要參考了美國環保署的生態篩選值以及加拿大的沉積物管制值來進行計算，其中生態篩選值經文獻彙整的結果，目前是以美國環保署第三區淡水沉積物篩選基準值(PNEC)是較為保守的，因此下列將以美國環保署第三區淡水沉積物篩選基準值來進行各廠重金屬的危害商數描述**(表 4.7-66~表 4.7-69)**，CH1 廠底泥濃度推估之危害商數最高者為鉻 (RQ= 6.17E-13)，其次為鎘 (RQ= 2.31E-13)，再者為砷 (RQ= 3.96E-14)；CH2 廠底泥濃度推估之危害商數最高者為汞 (RQ= 8.86E-13)，其次為鉻 (RQ= 7.99E-13)，再者為鎘 (RQ= 2.90E-13)；YTS 廠底泥濃度推估之危害商數最高者為砷 (RQ= 3.15E-15)，其次為鉻 (RQ= 1.08E-15)，再者為鎳 (RQ= 1.58E-17)；K 廠底泥濃度推估之危害商數最高者為鎘 (RQ= 1.45E-12)，其次為鉻 (RQ= 1.01E-12)，再者為汞 (RQ= 2.84E-13)。

若以美國環保署第 5 區資源保育和回收法案生態篩選值來進行各廠重金屬的危害商數描述**(表 4.7-70~表 4.7-73)**，CH1 廠底泥濃度推估之危害商數最高者為鎘 (RQ= 2.31E-16)，其次為汞 (RQ= 4.10E-17)，再者為鎳 (RQ= 1.52E-17)；CH2 廠底泥濃度推估之危害商數最高者為汞 (RQ= 9.16E-16)，其次為鎘 (RQ= 2.90E-16)，再者為鎳 (RQ= 1.79E-17)；YTS 廠底泥濃度推估之危害商數最高者為砷 (RQ= 3.16E-18)，其次為鎳 (RQ= 1.58E-20)，再者為鎘 (RQ= 1.43E-20)；K 廠底泥濃度推估之危害商數最高者為鎘 (RQ= 1.45E-15)，其次為汞 (RQ= 2.94E-16)，再者為鎳 (RQ= 1.43E-17)。

並且再將各廠的底泥濃度分別與加拿大淡水沉積物品質指引比較後**(表 4.7-74~表 4.7-77)**，CH1 廠推估環境風險之危害商數，最高者為鉻 (RQ= 7.17E-13)，其次為鎘 (RQ= 3.80E-13)，再者為汞 (RQ= 4.19E-14)；CH2 廠推估環境風險之危害商數，最高者為鉛 (RQ= 2.12E-12)，其次為汞 (RQ= 9.38E-13)，再者為鉻 (RQ= 9.30E-13)；YTS 廠推估環境風險之危害商數，最高者為鉛 (RQ= 1.65E-14)，其次為砷 (RQ= 5.24E-15)，再者為鉻 (RQ= 1.26E-15)；K 廠推估環境風險之危害商數，最高者為鉛 (RQ= 1.31E-10)，其次為鎘 (RQ=2.40E-12)，再者為鉻 (RQ=1.17E-12)。目前各廠環境風險推估的情形，在底泥的危害商數(RQ 值)皆小於 1，表示目前並無立即執行生態或人體健康風險評估之需要。

（二）PCDD/Fs 及 PAHs 風險估算結果

PCDD/Fs 土壤的危害商數主要參考了台灣污染物管制標準值來進行計算**(表 4.7-78~表 4.7-82)**，CH1 廠推估之一般土壤危害商數(RQ)為 1.16E-09，野生動物鳥類危害商數(RQ)為 4.63E-09。CH2 廠推估之一般土壤危害商數(RQ)為 1.06E-08，野生動物鳥類危害商數(RQ)為 4.23E-08。YTS 廠推估之一般土壤危害商數(RQ)為 1.00E-08，野生動物鳥類危害商數(RQ)為 4.00E-08。K 廠推估之一般土壤危害商數(RQ)為 1.40E-09，野生動物鳥類危害商數(RQ)為 5.61E-09。TPM 廠推估之一般土壤危害商數(RQ)為 5.47E-08，野生動物鳥類危害商數(RQ)為 2.19E-07。目前各廠環境風險推估的情形，在土壤中的危害商數(RQ 值)皆小於 1，表示目前並無立即執行生態或人體健康風險評估之需要。

PAHs 底泥的危害商數主要參考了美國環保署第三區淡水沉積物篩選基準值前**表 4.7-15** 來進行計算**(表 4.7-83~表 4.7-87)**，CH1 廠推估之高分子量 PAHs 的危害商數(RQ)為 3.37E-06，低分子量 PAHs 的危害商數(RQ)為 1.19E-05；CH2 廠推估之高分子量 PAHs 的危害商數(RQ)為 9.37E-06，低分子量 PAHs 的危害商數(RQ)為 3.58E-05；YTS 廠推估之高分子量 PAHs 的危害商數(RQ)為 2.14E-07，低分子量 PAHs 的危害商數(RQ)為 7.96E-07；K 廠推估之高分子量 PAHs 的危害商數(RQ)為 8.73E-06，低分子量 PAHs 的危害商數(RQ)為 3.15E-05；TPM 廠推估之高分子量 PAHs 的危害商數(RQ)為 4.39E-07，低分子量 PAHs 的危害商數(RQ)為 3.37E-

05。目前各廠環境風險推估的情形，在底泥中的危害商數(RQ)皆小於 1，表示目前並無立即執行生態或人體健康風險評估之需要。

表 4.7-38、CH1 廠土壤濃度估算之危害商數

物質	土壤[註] PNEC (μg/kg)	PEC (μg/kg)	RQ
汞 Mercury	100	1.61E-04	1.61E-06
砷 Arsenic	5700	5.12E-03	8.98E-07
鎘 Cadmium	2.22	2.49E-03	1.12E-03
鎳 Nickel	1.36E+4	5.01E-03	3.69E-07

[註]美國環保署第 5 區資源保育和回收法案生態篩選值

表 4.7-39、CH2 廠土壤濃度估算之危害商數

物質	土壤[註] PNEC (μg/kg)	PEC (μg/kg)	RQ
汞 Mercury	100	3.61E-03	3.61E-05
砷 Arsenic	5700	6.03E-03	1.06E-06
鎘 Cadmium	2.22	3.21E-03	1.45E-03
鎳 Nickel	1.36E+4	5.91E-03	4.35E-07

[註]美國環保署第 5 區資源保育和回收法案生態篩選值

表 4.7-40、YTS 廠土壤濃度估算之危害商數

物質	土壤[註] PNEC (μg/kg)	PEC (μg/kg)	RQ
汞 Mercury	100	4.59E-08	4.59E-10
砷 Arsenic	5700	2.24E-03	3.94E-07
鎘 Cadmium	2.22	1.54E-07	6.96E-08
鎳 Nickel	1.36E+4	5.22E-06	3.84E-10

[註]美國環保署第 5 區資源保育和回收法案生態篩選值

表 4.7-41、K 廠土壤濃度估算之危害商數

物質	土壤[註] PNEC (μg/kg)	PEC (μg/kg)	RQ
汞 Mercury	100	2.92E-03	2.92E-05
砷 Arsenic	5700	1.09E-02	1.91E-06

鎘 Cadmium	2.22	3.96E-02	1.78E-02
鎳 Nickel	1.36E+4	1.19E-02	8.75E-07

[註]美國環保署第 5 區資源保育和回收法案生態篩選值

表 4.7-42、CH1 廠土壤濃度估算之危害商數

物質	PNEC [註](mg/kg)				PEC (μg/kg)	RQ			
	植物	土壤無脊椎動物	野生動物			植物	土壤無脊椎動物	野生動物	
			鳥類	哺乳類				鳥類	哺乳類
鉛	120	1700	11	56	4.77E-05	3.97E-10	2.81E-11	4.34E-09	8.52E-10
鎘	32	140	0.77	0.36	2.49E-03	7.79E-08	1.78E-08	3.24E-06	6.92E-06
砷	18	NA	43	46	5.12E-03	2.85E-07	-	1.19E-07	1.11E-07
鎳	38	280	210	130	5.01E-03	1.32E-07	1.79E-08	2.39E-08	3.86E-08

[註]美國環保署生態土壤篩選值指南(Ecological Soil Screening Level Guidance)

表 4.7-43、CH2 廠土壤濃度估算之危害商數

物質	PNEC [註](mg/kg)				PEC (μg/kg)	RQ			
	植物	土壤無脊椎動物	野生動物			植物	土壤無脊椎動物	野生動物	
			鳥類	哺乳類				鳥類	哺乳類
鉛	120	1700	11	56	6.17E-03	5.14E-08	3.63E-09	5.61E-07	1.10E-07
鎘	32	140	0.77	0.36	3.13E-03	9.78E-08	2.24E-08	4.06E-06	8.69E-06
砷	18	NA	43	46	6.03E-03	3.35E-07	-	1.40E-07	1.31E-07
鎳	38	280	210	130	5.91E-03	1.56E-07	2.11E-08	2.81E-08	4.55E-08

[註]美國環保署生態土壤篩選值指南(Ecological Soil Screening Level Guidance)

表 4.7-44、YTS 廠土壤濃度估算之危害商數

物質	PNEC [註](mg/kg)				PEC (μg/kg)	RQ			
	植物	土壤無脊椎動物	野生動物			植物	土壤無脊椎動物	野生動物	
			鳥類	哺乳類				鳥類	哺乳類
鉛	120	1700	11	56	4.80E-05	4.00E-10	2.83E-11	4.37E-09	8.58E-10
鎘	32	140	0.77	0.36	1.54E-07	4.83E-12	1.10E-12	2.01E-10	4.29E-10
砷	18	NA	43	46	2.24E-03	1.25E-07	-	5.22E-08	4.88E-08
鎳	38	280	210	130	5.22E-06	1.37E-10	1.86E-11	2.48E-11	4.01E-11

[註]美國環保署生態土壤篩選值指南(Ecological Soil Screening Level Guidance)

表 4.7-45、K 廠土壤濃度估算之危害商數

物質	PNEC [註] (mg/kg)				PEC (μg/kg)	RQ			
	植物	土壤無脊椎動物	野生動物			植物	土壤無脊椎動物	野生動物	
			鳥類	哺乳類				鳥類	哺乳類
鉛	120	1700	11	56	9.09E-01	7.57E-06	5.35E-07	8.26E-05	1.62E-05
鎘	32	140	0.77	0.36	3.96E-02	1.24E-06	2.83E-07	5.14E-05	1.10E-04
砷	18	NA	43	46	1.09E-02	6.05E-07	-	2.53E-07	2.37E-07
鎳	38	280	210	130	1.19E-02	3.13E-07	4.25E-08	5.67E-08	9.16E-08

[註]美國環保署生態土壤篩選值指南(Ecological Soil Screening Level Guidance)

表 4.7-46、CH1 廠土壤濃度估算之危害商數

物質	農業[註] PNEC (mg/kg)	PEC (μg/kg)	RQ
砷 Arsenic	12	5.12E-03	4.27E-07
鎘 Cadmium	1.4	2.49E-03	1.78E-06
鉻 Chromium	64	2.48E-03	3.87E-08
鉛 Lead	70	4.77E-05	6.81E-10
汞 Mercury	6.6	1.61E-04	2.45E-08
鎳 Nickel	45	5.01E-03	1.11E-07

[註]加拿大保護環境和人類健康的土壤品質指引

表 4.7-47、CH2 廠土壤濃度估算之危害商數

物質	農業[註] PNEC (mg/kg)	PEC (μg/kg)	RQ
砷 Arsenic	12	6.03E-03	5.03E-07
鎘 Cadmium	1.4	3.13E-03	2.24E-06
鉻 Chromium	64	3.21E-03	5.01E-08
鉛 Lead	70	6.17E-03	8.81E-08
汞 Mercury	6.6	3.61E-03	5.47E-07
鎳 Nickel	45	5.91E-03	1.31E-07

[註]加拿大保護環境和人類健康的土壤品質指引

表 4.7-48、YTS 廠土壤濃度估算之危害商數

物質	農業[註] PNEC (mg/kg)	PEC (μg/kg)	RQ
砷 Arsenic	12	2.24E-03	1.87E-07
鎘 Cadmium	1.4	1.54E-07	1.10E-10
鉻 Chromium	64	4.35E-06	6.80E-11
鉛 Lead	70	4.80E-05	6.86E-10
汞 Mercury	6.6	4.59E-08	6.95E-12
鎳 Nickel	45	5.22E-06	1.16E-10

[註]加拿大保護環境和人類健康的土壤品質指引

表 4.7-49、K 廠土壤濃度估算之危害商數

物質	農業[註] PNEC (mg/kg)	PEC (μg/kg)	RQ
砷 Arsenic	12	1.09E-02	9.07E-07
鎘 Cadmium	1.4	3.96E-02	2.83E-05
鉻 Chromium	64	9.68E-03	1.51E-07
鉛 Lead	70	9.09E-01	1.30E-05
汞 Mercury	6.6	2.92E-03	4.43E-07
鎳 Nickel	45	1.19E-02	2.65E-07

[註]加拿大保護環境和人類健康的土壤品質指引

表 4.7-50、CH1 廠土壤濃度估算之危害商數

物質	監測標準值[註] PNEC (mg/kg)	PEC (μg/kg)	RQ
	一般（食用作物農地）		
鉻 Chromium	175	2.48E-03	1.42E-08
汞 Mercury	10 (2)	1.61E-04	1.61E-08(8.07E-08)
砷 Arsenic	30	5.12E-03	1.71E-07
鉛 Lead	1000 (300)	4.77E-05	4.77E-11(1.59E-10)
鎘 Cadmium	10 (2.5)	2.49E-03	2.49E-07(9.97E-07)
鎳 Nickel	130	5.01E-03	3.86E-08

[註]台灣土壤污染物監測標準

表 4.7-51、CH2 廠土壤濃度估算之危害商數

物質	監測標準值[註] PNEC (mg/kg)	PEC (μg/kg)	RQ
	一般（食用作物農地）		
鉻 Chromium	175	3.21E-03	1.83E-08
汞 Mercury	10 (2)	3.61E-03	3.61E-07(1.81E-06)
砷 Arsenic	30	6.03E-03	2.01E-07
鉛 Lead	1000 (300)	6.17E-03	6.17E-09(2.06E-08)
鎘 Cadmium	10 (2.5)	3.13E-03	3.13E-07(1.25E-06)
鎳 Nickel	130	5.91E-03	4.55E-08

[註]台灣土壤污染物監測標準

表 4.7-52、YTS 廠土壤濃度估算之危害商數

物質	監測標準值[註] PNEC (mg/kg) 一般（食用作物農地）	PEC (μg/kg)	RQ
鉻 Chromium	175	4.35E-06	2.49E-11
汞 Mercury	10 (2)	4.59E-08	4.59E-12(2.29E-11)
砷 Arsenic	30	2.24E-03	7.48E-08
鉛 Lead	1000 (300)	4.80E-05	4.80E-11(1.60E-10)
鎘 Cadmium	10 (2.5)	1.54E-07	1.54E-11(6.18E-11)
鎳 Nickel	130	5.22E-06	4.01E-11

[註]台灣土壤污染物監測標準

表 4.7-53、K 廠土壤濃度估算之危害商數

物質	監測標準值[註] PNEC (mg/kg) 一般（食用作物農地）	PEC (μg/kg)	RQ
鉻 Chromium	175	9.68E-03	5.53E-08
汞 Mercury	10 (2)	2.92E-03	2.92E-07(1.46E-06)
砷 Arsenic	30	1.09E-02	3.63E-07
鉛 Lead	1000 (300)	9.09E-01	9.09E-07(3.03E-06)
鎘 Cadmium	10 (2.5)	3.96E-02	3.96E-06(1.58E-05)
鎳 Nickel	130	1.19E-02	9.16E-08

[註]台灣土壤污染物監測標準

表 4.7-54、CH1 廠土壤濃度估算之危害商數

物質	PNEC [註] (mg/kg)					PEC (μg/kg)	RQ				
	管制標準值	植物	土壤無脊椎動物	野生動物			管制標準值	植物	土壤無脊椎動物	野生動物	
	一般（食用作物農地）			鳥類	哺乳類		一般（食用作物農地）			鳥類	哺乳類
砷	60	18	-	15.76	8.26	5.12E-03	8.54E-08	2.85E-07	-	3.25E-07	6.20E-07
鎘	20(5)	32	140	0.99	0.07	2.49E-03	1.25E-08(4.98E-07)	7.79E-08	1.78E-08	2.52E-06	3.56E-05
鉻	250	-	-	-	-	2.48E-03	9.91E-09	-	-	-	-
汞	20(5)	12	12	-	-	1.61E-04	8.07E-09(3.23E-08)	1.35E-08	1.35E-08	-	-
鎳	200	38	280	125.92	22	5.01E-03	2.51E-08	1.32E-07	1.79E-08	3.98E-08	2.28E-07
鉛	2000(500)	120	1,700	7.63	1	4.77E-05	2.38E-11(9.54E-11)	3.97E-10	2.81E-11	6.25E-09	4.77E-08

[註]我國土壤管制項目標準與建議之生態土壤篩選值

表 4.7-55、CH2 廠土壤濃度估算之危害商數

物質	PNEC [註] (mg/kg)					PEC (μg/kg)	RQ				
	管制標準值	植物	土壤無脊椎動物	野生動物			管制標準值	植物	土壤無脊椎動物	野生動物	
	一般（食用作物農地）			鳥類	哺乳類		一般（食用作物農地）			鳥類	哺乳類
砷	60	18	-	15.76	8.26	6.03E-03	1.01E-07	3.35E-07	-	3.83E-07	7.30E-07
鎘	20(5)	32	140	0.99	0.07	3.13E-03	1.56E-07(6.26E-07)	9.78E-08	2.24E-08	3.16E-06	4.47E-05
鉻	250	-	-	-	-	3.21E-03	1.28E-08	-	-	-	-
汞	20(5)	12	12	-	-	3.61E-03	1.81E-07(7.22E-07)	3.01E-07	3.01E-07	-	-
鎳	200	38	280	125.92	22	5.91E-03	2.96E-08	1.56E-07	2.11E-08	4.69E-08	2.69E-07
鉛	2000(500)	120	1,700	7.63	1	6.17E-03	3.08E-09(1.23E-08)	5.14E-08	3.63E-09	8.08E-07	6.17E-06

[註]我國土壤管制項目標準與建議之生態土壤篩選值

表 4.7-56、YTS 廠土壤濃度估算之危害商數

物質	PNEC [註] (mg/kg)					PEC (μg/kg)	RQ				
	管制標準值	植物	土壤無脊椎動物	野生動物			管制標準值	植物	土壤無脊椎動物	野生動物	
	一般（食用作物農地）			鳥類	哺乳類		一般（食用作物農地）			鳥類	哺乳類
砷	60	18	-	15.76	8.26	2.24E-03	2.57E-12	1.25E-07	-	1.42E-07	2.72E-07
鎘	20(5)	32	140	0.99	0.07	1.54E-07	7.72E-12(3.09E-11)	4.83E-12	1.10E-12	1.56E-10	2.21E-09
鉻	250	-	-	-	-	4.35E-06	1.83E-13	-	-	-	-
汞	20(5)	12	12	-	-	4.59E-08	2.29E-12(9.17E-12)	3.82E-12	3.82E-12	-	-
鎳	200	38	280	125.92	22	5.22E-06	2.40E-10	1.37E-10	1.86E-11	4.14E-11	2.37E-10
鉛	2000(500)	120	1,700	7.63	1	4.80E-05	2.40E-11(9.61E-11)	4.00E-10	2.83E-11	6.30E-09	4.80E-08

[註]我國土壤管制項目標準與建議之生態土壤篩選值

表 4.7-57、K 廠土壤濃度估算之危害商數

物質	PNEC [註] (mg/kg)					PEC (μg/kg)	RQ				
	管制標準值	植物	土壤無脊椎動物	野生動物			管制標準值	植物	土壤無脊椎動物	野生動物	
	一般（食用作物農地）			鳥類	哺乳類		一般（食用作物農地）			鳥類	哺乳類
砷	60	18	-	15.76	8.26	1.09E-02	1.81E-07	6.05E-07	-	6.91E-07	1.32E-06
鎘	20(5)	32	140	0.99	0.07	3.96E-02	1.98E-06(7.91E-06)	1.24E-06	2.83E-07	4.00E-05	5.65E-04
鉻	250	-	-	-	-	9.68E-03	3.87E-08	-	-	-	-
汞	20(5)	12	12	-	-	2.92E-03	1.46E-07(5.85E-07)	2.44E-07	2.44E-07	-	-
鎳	200	38	280	125.92	22	1.19E-02	5.95E-08	3.13E-07	4.25E-08	9.45E-08	5.41E-07
鉛	2000(500)	120	1,700	7.63	1	9.09E-01	4.54E-07(1.82E-06)	7.57E-06	5.35E-07	1.19E-04	9.09E-04

[註]我國土壤管制項目標準與建議之生態土壤篩選值

表 4.7-58、CH1 廠水體濃度估算之危害商數

物質	水體[註] PNEC(μg/L)	PEC (μg/kg)	RQ
汞 Mercury	1.3E-03	2.29E-11	1.76E-08
砷 Arsenic	148	7.25E-10	4.90E-12
鎘 Cadmium	0.15	3.53E-10	2.35E-09
鎳 Nickel	28.9	7.10E-10	2.46E-11

[註] 美國環保署第 5 區資源保育和回收法案生態篩選值

表 4.7-59、CH2 廠水體濃度估算之危害商數

物質	水體[註] PNEC(μg/L)	PEC (μg/kg)	RQ
汞 Mercury	1.3E-03	5.11E-10	3.93E-07
砷 Arsenic	148	8.54E-10	5.77E-12
鎘 Cadmium	0.15	4.43E-10	2.95E-09
鎳 Nickel	28.9	8.37E-10	2.90E-11

[註] 美國環保署第 5 區資源保育和回收法案生態篩選值

表 4.7-60、YTS 廠水體濃度估算之危害商數

物質	水體[註] PNEC(μg/L)	PEC (μg/kg)	RQ
汞 Mercury	1.3E-03	6.49E-15	5.00E-12
砷 Arsenic	148	3.18E-10	2.15E-12
鎘 Cadmium	0.15	2.19E-14	1.46E-13
鎳 Nickel	28.9	7.39E-13	2.56E-14

[註] 美國環保署第 5 區資源保育和回收法案生態篩選值

表 4.7-61、K 廠水體濃度估算之危害商數

物質	水體[註] PNEC(μg/L)	PEC (μg/kg)	RQ
汞 Mercury	1.3E-03	4.14E-10	3.18E-07
砷 Arsenic	148	1.54E-09	1.04E-11
鎘 Cadmium	0.15	5.60E-09	3.73E-08
鎳 Nickel	28.9	1.69E-09	5.83E-11

[註] 美國環保署第 5 區資源保育和回收法案生態篩選值

表 4.7-62、CH1 廠水體濃度估算之危害商數

物質	監測標準值[註] PNEC (mg/L)	PEC (μg/kg)	RQ
鉻 Chromium	0.025	3.51E-10	1.40E-11
汞 Mercury	0.0010	2.29E-11	2.29E-11
砷 Arsenic	0.025	7.25E-10	2.90E-11
鉛 Lead	0.005	6.75E-12	1.35E-12
鎘 Cadmium	0.0025	3.53E-10	1.41E-10
鎳 Nickel	0.05	7.10E-10	1.42E-11

[註] 台灣飲用水水源水質保護區內地下水監測標準值

表 4.7-63、CH2 廠水體濃度估算之危害商數

物質	監測標準值[註] PNEC (mg/L)	PEC (μg/kg)	RQ
鉻 Chromium	0.025	4.54E-10	1.82E-11
汞 Mercury	0.0010	5.11E-10	5.11E-10
砷 Arsenic	0.025	8.54E-10	3.42E-11
鉛 Lead	0.005	8.73E-10	1.75E-10
鎘 Cadmium	0.0025	4.43E-10	1.77E-10
鎳 Nickel	0.05	8.37E-10	1.67E-11

[註] 台灣飲用水水源水質保護區內地下水監測標準值

表 4.7-64、YTS 廠水體濃度估算之危害商數

物質	監測標準值[註] PNEC (mg/L)	PEC (μg/kg)	RQ
鉻 Chromium	0.025	6.16E-13	2.47E-14
汞 Mercury	0.0010	6.49E-15	6.49E-15
砷 Arsenic	0.025	3.18E-10	1.27E-11
鉛 Lead	0.005	6.80E-12	1.36E-12
鎘 Cadmium	0.0025	2.19E-14	8.75E-15
鎳 Nickel	0.05	7.39E-13	1.48E-14

[註] 台灣飲用水水源水質保護區內地下水監測標準值

表 4.7-65、K 廠水體濃度估算之危害商數

物質	監測標準值[註] PNEC (mg/L)	PEC (μg/kg)	RQ
鉻 Chromium	0.025	1.37E-09	5.48E-11
汞 Mercury	0.0010	4.14E-10	4.14E-10
砷 Arsenic	0.025	1.54E-09	6.16E-11
鉛 Lead	0.005	1.29E-07	2.57E-08
鎘 Cadmium	0.0025	5.60E-09	2.24E-09
鎳 Nickel	0.05	1.69E-09	3.37E-11

[註] 台灣飲用水水源水質保護區內地下水監測標準值

表 4.7-66、CH1 廠底泥濃度估算之危害商數

物質	淡水底泥[註] PENC (mg/kg)	PEC (μg/kg)	RQ
鉻 Chromium	43.4	2.68E-08	6.17E-13
汞 Mercury	0.18	7.13E-12	3.96E-14
砷 Arsenic	9.8	7.05E-11	7.20E-15
鎘 Cadmium	0.99	2.28E-10	2.31E-13
鎳 Nickel	22.7	3.45E-10	1.52E-14

[註] 美國環保署第三區淡水沉積物篩選基準值

表 4.7-67、CH2 廠底泥濃度估算之危害商數

物質	淡水底泥[註] PENC (mg/kg)	PEC (μg/kg)	RQ
鉻 Chromium	43.4	3.47E-08	7.99E-13
汞 Mercury	0.18	1.59E-10	8.86E-13
砷 Arsenic	9.8	8.30E-11	8.47E-15
鎘 Cadmium	0.99	2.87E-10	2.90E-13
鎳 Nickel	22.7	4.07E-10	1.79E-14

[註] 美國環保署第三區淡水沉積物篩選基準值

表 4.7-68、YTS 廠底泥濃度估算之危害商數

物質	淡水底泥[註] PENC (mg/kg)	PEC (µg/kg)	RQ
鉻 Chromium	43.4	4.70E-11	1.08E-15
汞 Mercury	0.18	2.02E-15	1.12E-17
砷 Arsenic	9.8	3.09E-11	3.15E-15
鎘 Cadmium	0.99	1.42E-14	1.43E-17
鎳 Nickel	22.7	3.59E-13	1.58E-17

[註] 美國環保署第三區淡水沉積物篩選基準值

表 4.7-69、K 廠底泥濃度估算之危害商數

物質	淡水底泥[註] PENC (mg/kg)	PEC (µg/kg)	RQ
鉻 Chromium	43.4	4.36E-08	1.01E-12
汞 Mercury	0.18	5.11E-11	2.84E-13
砷 Arsenic	9.8	5.93E-11	6.05E-15
鎘 Cadmium	0.99	1.44E-09	1.45E-12
鎳 Nickel	22.7	3.25E-10	1.43E-14

[註] 美國環保署第三區淡水沉積物篩選基準值

表 4.7-70、CH1 廠底泥濃度估算之危害商數

物質	底泥[註] PNEC (mg/kg)	PEC (µg/kg)	RQ
汞 Mercury	174	7.13E-12	4.10E-17
砷 Arsenic	9790	7.05E-11	7.20E-18
鎘 Cadmium	990	2.28E-10	2.31E-16
鎳 Nickel	2.27E+04	3.45E-10	1.52E-17

[註] 美國環保署第 5 區資源保育和回收法案生態篩選值

表 4.7-71、CH2 廠底泥濃度估算之危害商數

物質	底泥[註] PNEC (mg/kg)	PEC (µg/kg)	RQ
汞 Mercury	174	1.59E-10	9.16E-16
砷 Arsenic	9790	8.30E-11	8.48E-18
鎘 Cadmium	990	2.87E-10	2.90E-16
鎳 Nickel	2.27E+04	4.07E-10	1.79E-17

[註] 美國環保署第 5 區資源保育和回收法案生態篩選值

表 4.7-72、YTS 廠底泥濃度估算之危害商數

物質	底泥[註] PNEC (mg/kg)	PEC (µg/kg)	RQ
汞 Mercury	174	2.02E-15	1.16E-20
砷 Arsenic	9790	3.09E-11	3.16E-18
鎘 Cadmium	990	1.42E-14	1.43E-20
鎳 Nickel	2.27E+04	3.59E-13	1.58E-20

[註] 美國環保署第 5 區資源保育和回收法案生態篩選值

表 4.7-73、K 廠底泥濃度估算之危害商數

物質	底泥[註] PNEC (mg/kg)	PEC (µg/kg)	RQ
汞 Mercury	174	5.11E-11	2.94E-16
砷 Arsenic	9790	5.93E-11	6.06E-18
鎘 Cadmium	990	1.44E-09	1.45E-15
鎳 Nickel	2.27E+04	3.25E-10	1.43E-17

[註] 美國環保署第 5 區資源保育和回收法案生態篩選值

表 4.7-74、CH1 廠底泥濃度估算之危害商數

物質	淡水[註] PNEC(µg/kg)	PEC (µg/kg)	RQ
砷 Arsenic	5900	7.05E-11	1.20E-14
鎘 Cadmium	600	2.28E-10	3.80E-13
鉻 Chromium	37300	2.68E-08	7.17E-13
鉛 Lead	35000	5.75E-10	1.64E-14
汞 Mercury	170	7.13E-12	4.19E-14

[註] 加拿大沉積物品質指引

表 4.7-75、CH2 廠底泥濃度估算之危害商數

物質	淡水[註] PNEC(μg/kg)	PEC (μg/kg)	RQ
砷 Arsenic	5900	8.30E-11	1.41E-14
鎘 Cadmium	600	2.87E-10	4.78E-13
鉻 Chromium	37300	3.47E-08	9.30E-13
鉛 Lead	35000	7.43E-08	2.12E-12
汞 Mercury	170	1.59E-10	9.38E-13

[註] 加拿大沉積物品質指引

表 4.7-76、YTS 廠底泥濃度估算之危害商數

物質	淡水[註] PNEC(μg/kg)	PEC (μg/kg)	RQ
砷 Arsenic	5900	3.09E-11	5.24E-15
鎘 Cadmium	600	1.42E-14	2.36E-17
鉻 Chromium	37300	4.70E-11	1.26E-15
鉛 Lead	35000	5.79E-10	1.65E-14
汞 Mercury	170	2.02E-15	1.19E-17

[註] 加拿大沉積物品質指引

表 4.7-77、K 廠底泥濃度估算之危害商數

物質	淡水[註] PNEC(μg/kg)	PEC (μg/kg)	RQ
砷 Arsenic	5900	5.93E-11	1.00E-14
鎘 Cadmium	600	1.44E-09	2.40E-12
鉻 Chromium	37300	4.36E-08	1.17E-12
鉛 Lead	35000	4.59E-06	1.31E-10
汞 Mercury	170	5.11E-11	3.01E-13

[註] 加拿大沉積物品質指引

表 4.7-78、CH1 廠土壤濃度估算之危害商數

物質	PNEC [註](ng-TEQ/kg)					PEC (μg I-TEQ/kg)	RQ				
	管制標準值	植物	土壤無脊椎動物	野生動物			管制標準值	植物	土壤無脊椎動物	野生動物	
	一般土壤			鳥類	哺乳類		一般土壤			鳥類	哺乳類
PCDD/Fs	1000	-	-	250	-	1.16E-09	1.16E-09	-	-	4.63E-09	-

[註]我國土壤管制項目標準與建議之生態土壤篩選值

表 4.7-79、CH2 廠土壤濃度估算之危害商數

物質	PNEC [註](ng-TEQ/kg)					PEC (μg I-TEQ/kg)	RQ				
	管制標準值	植物	土壤無脊椎動物	野生動物			管制標準值	植物	土壤無脊椎動物	野生動物	
	一般土壤			鳥類	哺乳類		一般土壤			鳥類	哺乳類
PCDD/Fs	1000	-	-	250	-	1.06E-08	1.06E-08	-	-	4.23E-08	-

[註]我國土壤管制項目標準與建議之生態土壤篩選值

表 4.7-80、YTS 廠土壤濃度估算之危害商數

物質	PNEC [註](ng-TEQ/kg)					PEC (μg I-TEQ/kg)	RQ				
	管制標準值	植物	土壤無脊椎動物	野生動物			管制標準值	植物	土壤無脊椎動物	野生動物	
	一般土壤			鳥類	哺乳類		一般土壤			鳥類	哺乳類
PCDD/Fs	1000	-	-	250	-	1.00E-08	1.00E-08	-	-	4.00E-08	-

[註]我國土壤管制項目標準與建議之生態土壤篩選值

表 4.7-81、K 廠土壤濃度估算之危害商數

物質	PNEC [註](ng-TEQ/kg)					PEC (μg I-TEQ/kg)	RQ				
	管制標準值	植物	土壤無脊椎動物	野生動物			管制標準值	植物	土壤無脊椎動物	野生動物	
	一般土壤			鳥類	哺乳類		一般土壤			鳥類	哺乳類
PCDD/Fs	1000	-	-	250	-	1.40E-09	1.40E-09	-	-	5.61E-09	-

[註]我國土壤管制項目標準與建議之生態土壤篩選值

表 4.7-82、TPM 廠土壤濃度估算之危害商數

物質	PNEC [註](ng-TEQ/kg)					PEC (μg I-TEQ/kg)	RQ				
	管制標準值	植物	土壤無脊椎動物	野生動物			管制標準值	植物	土壤無脊椎動物	野生動物	
	一般土壤			鳥類	哺乳類		一般土壤			鳥類	哺乳類
PCDD/Fs	1000	-	-	250	-	5.47E-08	5.47E-08	-	-	2.19E-07	-

[註]我國土壤管制項目標準與建議之生態土壤篩選值

表 4.7-83、CH1 廠底泥濃度估算之危害商數

物質	淡水底泥[註] PNEC (mg/kg)	PEC (mg/kg)	RQ
高分子量 PAHs	0.19	6.40E-04	3.37E-06
低分子量 PAHs	0.076	9.05E-04	1.19E-05

[註] 美國環保署第三區淡水沉積物篩選基準值

表 4.7-84、CH2 廠底泥濃度估算之危害商數

物質	淡水底泥[註] PNEC(mg/kg)	PEC (mg/kg)	RQ
高分子量 PAHs	0.19	1.78E-03	9.37E-06
低分子量 PAHs	0.076	2.72E-03	3.58E-05

[註] 美國環保署第三區淡水沉積物篩選基準值

表 4.7-85、YTS 廠底泥濃度估算之危害商數

物質	淡水底泥[註] PNEC (mg/kg)	PEC (mg/kg)	RQ
高分子量 PAHs	0.19	4.07E-05	2.14E-07
低分子量 PAHs	0.076	6.05E-05	7.96E-07

[註] 美國環保署第三區淡水沉積物篩選基準值

表 4.7-86、K 廠底泥濃度估算之危害商數

物質	淡水底泥[註] PNEC(mg/kg)	PEC (mg/kg)	RQ
高分子量 PAHs	0.19	1.66E-03	8.73E-06
低分子量 PAHs	0.076	2.40E-03	3.15E-05

[註] 美國環保署第三區淡水沉積物篩選基準值

表 4.7-87、TPM 廠底泥濃度估算之危害商數

物質	淡水底泥[註] PNEC(mg/kg)	PEC (mg/kg)	RQ
高分子量 PAHs	0.19	8.34E-05	4.39E-07
低分子量 PAHs	0.076	2.56E-03	3.37E-05

[註] 美國環保署第三區淡水沉積物篩選基準值

六、風險估算結果與北部評估資料比較

本研究將今年中部地區之廠家風險估算之結果與去年北部廠家評估資料進行比較，觀察其 RQ 風險是否有差異，且是否與污染防制設備、SRF 進料組成、及煙道檢測濃度是否有關連，詳細風險比較情形見**表 4.7-88~表 4.7-90**。本研究參考不同美、加兩國標準 PNEC 後，發現美國環保署第 5 區資源保育和回收法案生態篩選值及美國環保署第三區淡水沉積物篩選基準值最為保守，故統一選取此 PNEC 之推估結果進行本研究與北部結果比較。

在土壤濃度估算之危害商數結果與北部廠家結果比較中（**表 4.7-88**），發現綜觀來看，北部地區的 CD 廠與本研究廠家相比，無論在重金屬或是戴奧辛，其估算危害商數(RQ)都為最高。若以同屬性廠家來看，在北部 CD 廠及本研究 CH1、CH2 廠中（正 O 廠不同廠址），發現重金屬及戴奧辛都為北部較高。TPM 廠則因無重金屬擬合數據，故無法計算重金屬物質 RQ。

在水體濃度估算之危害商數結果與北部廠家結果比較中（**表 4.7-89**），相同發現在北部地區的 CD 廠所計算出之估算危害商數(RQ)，無論在何種物質皆為最高。若以同屬性廠家比較，無論在何種重金屬中，則為北部 CD 廠較高。TPM 廠則因無重金屬擬合數據，故無法計算重金屬物質 RQ。

在底泥濃度估算之危害商數結果與北部廠家結果比較中（**表 4.7-90**），發現在本研究 CH2 廠之重金屬汞底泥危害商數，無論在北部或中部皆為最高，其餘重金屬物質在各廠家中，北部 CD 廠為最高；此外不管在高分子量的 PAHs，則是北部 Z 廠之底泥濃度 RQ 為最高。若又以同屬性廠家比較，本研究之 CH2 廠之高分子量 PAHs 底泥 RQ 比北部 CD 廠高，其餘無論在何種重金屬及 PAHs 中，則為北部 CD 廠較高。TPM 廠則因無重金屬擬合數據，故無法計算重金屬物質 RQ。

經過比對本研究環境濃度估算之危害商數結果與煙道檢測濃度數據，發現並無顯著相關；推論危害商數結果與經大氣擴散模擬及多介質計算後的預測環境濃度（PEC）濃度較有顯著相關，各廠各介質之 PEC 濃度與 RQ 風險的分布情況呈現一致（**表 4.7-92~表 4.7-94**），本研究推測差異原因可能為大氣擴散模擬中代入不同參數有關，例如：各廠家煙囪高度、氣象條件、煙囪內徑、排氣速度、排氣

溫度等條件，都會有所不同，因而造成不同的 RQ 風險結果。又可以**表 4.7-95** 之 YTS 廠 PCDD/Fs 為例，在煙道檢測濃度中，YTS 廠的 PCDD/Fs 濃度明顯高於其他廠家許多，但在 PEC 則未有顯著大於其他廠家（**表 4.7-92**），且後續計算危害商數也未發現有環境生態風險(RQ<1)（**表 4.7-88**）。

在**表 4.7-88~表 4.7-90** 中發現，本研究調查風險之五廠家普遍風險均低於北部兩廠，顯示在中部的環境生態風險為更低。這可能跟煙道檢測濃度、污染防制設備、以及 SRF 進料有關；因此也整理出本研究五廠家與北部廠家的比較，見**表 4.7-91**。SRF 的進料組成影響污染物的生成量和種類。若進料中重金屬或高分子量 PAHs 比例較低，則廠家的總體風險亦可能降低，在比較北部 CD 廠與中部 CH1、CH2 廠時，北部廠家的高風險可能與其進料特性密切相關。

而由**表 4.7-96** 至**表 4.7-97** 可見本研究廠區以及北部廠家之煙道氣數據、AERMOD 之擴散及沉降數據，其中戴奧辛以中部 YTS 廠濃度最高，爾後為北部 CD 廠以及 Z 廠；PAHs 則係以中部 CH 廠濃度為最高，爾後為北部 Z 廠；重金屬部分(As, Cd)多以中部 K 廠為最高，Cr 濃度最高則為北部 Z 廠，Hg、Ni 和 Pb 濃度最高則為 CH 廠；而其擴散和沉降除了受排放高度、煙道半徑、煙道氣溫度等參數影響，且最後影響空氣中污染物最大因素為其空氣污染防治設備；因此本研究進一步比較空氣污染防制設備，配備較好污染防制設備的廠家，其 RQ 風險值通常較低，這可能歸因於有效的廢氣處理技術降低了污染物的排放濃度。部分中部廠家的重金屬及戴奧辛濃度顯著低於北部廠家，顯示污染防制設備的升級對風險降低具有直接效果。

表 4.7-88、本研究土壤濃度估算之危害商數結果與北部廠家結果比較

物質	北部 Z 廠 RQ	北部 CD 廠 RQ	CH1 廠 RQ	CH2 廠 RQ	YTS 廠 RQ	K 廠 RQ	TPM 廠 RQ
汞 Mercury	2.29E-05	3.80E-05	1.61E-06	3.61E-05	4.59E-10	2.92E-05	N/A
砷 Arsenic	1.51E-06	1.29E-04	8.98E-07	1.06E-06	3.94E-07	1.91E-06	N/A
鎘 Cadmium	4.21E-03	1.69E-01	1.12E-03	1.45E-03	6.96E-08	1.78E-02	N/A
鎳 Nickel	1.04E-06	1.68E-06	3.69E-07	4.35E-07	3.84E-10	8.75E-07	N/A
PCDD/Fs	6.36E-07	7.07E-07	1.16E-09	1.06E-08	1.00E-08	1.40E-09	5.47E-08

[註]美國環保署第 5 區資源保育和回收法案生態篩選值

[註]PCDD/Fs 參考台灣土壤污染物管制標準

表 4.7-89、本研究水體濃度估算之危害商數結果與北部廠家結果比較

物質	北部 Z 廠 RQ	北部 CD 廠 RQ	CH1 廠 RQ	CH2 廠 RQ	YTS 廠 RQ	K 廠 RQ	TPM 廠 RQ
汞 Mercury	8.10E-07	1.35E-06	1.76E-08	3.93E-07	5.00E-12	3.18E-07	N/A
砷 Arsenic	2.67E-11	2.27E-09	4.90E-12	5.77E-12	2.15E-12	1.04E-11	N/A
鎘 Cadmium	2.86E-08	1.15E-06	2.35E-09	2.95E-09	1.46E-13	3.73E-08	N/A
鎳 Nickel	2.24E-10	3.63E-10	2.46E-11	2.90E-11	2.56E-14	5.83E-11	N/A

[註]美國環保署第 5 區資源保育和回收法案生態篩選值

表 4.7-90、本研究底泥濃度估算之危害商數結果與北部廠家結果比較

物質	北部 Z 廠 RQ	北部 CD 廠 RQ	CH1 廠 RQ	CH2 廠 RQ	YTS 廠 RQ	K 廠 RQ	TPM 廠 RQ
鉻 Chromium	7.73E-12	7.56E-11	6.17E-13	7.99E-13	1.08E-15	1.01E-12	N/A
汞 Mercury	4.22E-13	7.01E-13	3.96E-14	8.86E-13	1.12E-17	2.84E-13	N/A
砷 Arsenic	9.04E-15	7.70E-13	7.20E-15	8.47E-15	3.15E-15	6.05E-15	N/A
鎘 Cadmium	6.50E-13	2.60E-11	2.31E-13	2.90E-13	1.43E-17	1.45E-12	N/A
鎳 Nickel	3.21E-14	5.21E-14	1.52E-14	1.79E-14	1.58E-17	1.43E-14	N/A
高分子量 PAHs	2.17E-04	3.74E-07	3.37E-06	9.37E-06	2.14E-07	8.73E-06	4.39E-07
低分子量 PAHs	6.68E-03	4.18E-04	1.19E-05	3.58E-05	7.96E-07	3.15E-05	3.37E-05

[註]美國環保署第三區淡水沉積物篩選基準值

表 4.7-91、本研究廠區資料與北部廠家比較

工廠	燃料種類	空氣污染防制設備
TPM 廠	生煤、SRF、石化製程廢棄	鍋爐→旋風集塵機→SNCR→SCR→活性碳注入設備→整合式脫硫除塵設備
CH 廠	煙煤、木屑、漿紙污泥、SRF	鍋爐(SNCR)→旋風集塵機→選擇觸媒還原→半乾式除酸→袋式集塵機
YTS 廠	煙煤、SRF、漿紙污泥、廢木材	鍋爐→袋式集塵機→低溫 O_3 氧化脫硝→濕式排煙脫硫
K 廠	煙煤、SRF、廢橡膠、紙漿污泥、廢木材	管道注入活性碳吸附氣相 PCDD/Fs→袋式集塵機除塵→濕式排煙脫硫＋低溫臭氧氧化脫硝
北部 CD 廠	煙煤、SRF	選擇性觸媒還原反應脫硝→袋式集塵機除塵＋使用觸媒分解濾袋分解氣相 PCDD/Fs 及捕捉固相 PCDD/Fs→濕式排煙脫硫
北部 Z 廠	煙煤、RDF、紙漿污泥	選擇性非觸媒還原反應脫硝→管道注入活性碳吸附氣相 PCDD/Fs→袋式集塵機除塵→濕式排煙脫硫

表 4.7-92、本研究廠區預測環境土壤濃度與北部廠家比較

工廠	北部 Z 廠	北部 CD 廠	CH1 廠	CH2 廠	YTS 廠	K 廠	TPM 廠
砷(As)	8.60E-03	7.32E-01	5.12E-03	6.03E-03	2.24E-03	1.09E-02	N/A
鎘(Cd)	9.35E-03	3.75E-01	2.49E-03	3.13E-03	1.54E-07	3.96E-02	N/A
鉻(Cr)	3.87E-02	3.79E-01	2.48E-03	3.21E-03	4.35E-06	9.68E-03	N/A
汞(Hg)	2.29E-03	3.80E-03	1.61E-04	3.61E-03	4.59E-08	2.92E-03	N/A
鎳(Ni)	1.41E-02	2.29E-02	5.01E-03	5.91E-03	5.22E-06	1.19E-02	N/A
鉛(Pb)	3.01E-01	2.31E-02	4.77E-05	6.17E-03	4.80E-05	9.09E-01	N/A
PCDD/Fs	6.36E-07	7.07E-07	3.87E-09	3.53E-08	3.34E-08	4.72E-09	3.26E-07
低分子量 PAHs	1.20E-03	7.54E-02	5.49E-03	1.65E-02	3.67E-04	1.63E-02	1.46E-02
高分子量 PAHs	9.76E-05	1.68E-04	3.88E-03	1.08E-02	2.47E-04	1.13E-02	8.63E-04

註濃度單位 μg/kg

表 4.7-93、本研究廠區預測環境水體濃度與北部廠家比較

工廠	北部 Z 廠	北部 CD 廠	CH1 廠	CH2 廠	YTS 廠	K 廠	TPM 廠
砷(As)	3.95E-09	3.36E-07	7.25E-10	8.54E-10	3.18E-10	1.54E-09	N/A
鎘(Cd)	4.29E-09	1.72E-07	3.53E-10	4.43E-10	2.19E-14	5.60E-09	N/A
鉻(Cr)	1.78E-08	1.74E-07	3.51E-10	4.54E-10	6.16E-13	1.37E-09	N/A
汞(Hg)	1.05E-09	1.75E-09	2.29E-11	5.11E-10	6.49E-15	4.14E-10	N/A
鎳(Ni)	6.47E-09	1.05E-08	7.10E-10	8.37E-10	7.39E-13	1.69E-09	N/A
鉛(Pb)	1.38E-07	1.06E-08	6.75E-12	8.73E-10	6.80E-12	1.29E-07	N/A
PCDD/Fs	6.33E-13	7.04E-13	1.19E-15	1.08E-14	1.03E-14	1.45E-15	5.59E-14
低分子量 PAHs	1.35E-08	8.46E-07	1.89E-08	5.69E-08	1.27E-09	5.64E-08	5.04E-08
高分子量 PAHs	1.10E-09	1.89E-09	1.34E-08	3.72E-08	8.52E-10	3.90E-08	1.64E-09

註濃度單位 μg/kg

表 4.7-94、本研究廠區預測環境底泥濃度與北部廠家比較

工廠	北部 Z 廠	北部 CD 廠	CH1 廠	CH2 廠	YTS 廠	K 廠	TPM 廠
砷(As)	8.86E-14	7.55E-12	7.05E-14	8.30E-14	3.09E-14	5.93E-14	N/A
鎘(Cd)	6.43E-13	2.58E-11	2.28E-13	2.87E-13	1.42E-17	1.44E-12	N/A
鉻(Cr)	3.35E-10	3.28E-09	2.68E-11	3.47E-11	4.70E-14	4.36E-11	N/A
汞(Hg)	7.59E-14	1.26E-13	7.13E-15	1.59E-13	2.02E-18	5.11E-14	N/A
鎳(Ni)	7.28E-13	1.18E-12	3.45E-13	4.07E-13	3.59E-16	3.25E-13	N/A
鉛(Pb)	2.92E-09	2.24E-10	5.75E-13	7.43E-11	5.79E-13	4.59E-09	N/A
PCDD/Fs	6.08E-10	6.76E-10	1.16E-12	1.06E-11	1.00E-11	1.40E-12	5.47E-11
低分子量 PAHs	5.08E-07	3.18E-05	9.05E-07	2.72E-06	6.05E-08	2.40E-06	2.56E-06
高分子量 PAHs	4.11E-08	7.10E-08	6.40E-07	1.78E-06	4.07E-08	1.66E-06	8.34E-08

[註]濃度單位 mg/kg

表 4.7-95、本研究廠區原始煙道檢測資料與北部廠家比較

工廠	PCDD/Fs (ng-TEQ/m^3)	PAHs (ng BaP_{eq}/m^3)	As (μg/Nm^3)	Cd (μg/Nm^3)	Cr (μg/Nm^3)	Hg (μg/Nm^3)	Ni (μg/Nm^3)	Pb (μg/Nm^3)
TPM 廠	0.002	0.852	0.02	0.05	0.27	0.10	0.29	0.15
CH 廠	0.01	236.8	0.019	0.004	0.884	0.4	0.82	72
YTS 廠	0.75	0.679	0.032	0.09	0.63	0.26	0.72	2.32
K 廠	0.07	32.7	0.524	1.953	0.47	0.143	0.561	46.0
北部 CD 廠	0.03	191	0.488	0.244	0.24	0.085	0.488	0.5
北部 Z 廠	0.07	36.3	0.446	0.515	1.92	0.120	0.764	17.2

表 4.7-96、本研究廠區與北部廠家之煙道檢測數據經由 AERMOD 模擬擴散數據

工廠	PCDD/Fs (fg/m^3)	PAHs (pg/m^3)	As (ng/m^3)	Cd (ng/m^3)	Cr (ng/m^3)	Hg (ng/m^3)	Ni (ng/m^3)	Pb (ng/m^3)
TPM 廠	0.0345	14.7	0.00007	0.00001	0.00004	0.00001	0.00004	0.00002
CH 廠	0.22	5.72	0.00002	0.00001	0.00111	0.00051	0.00103	0.09
YTS 廠	0.92	16.7	0.68	0.34	0.34	0.40	0.68	0.68
K 廠	7.68	1.63	0.00008	0.00022	0.00152	0.00063	0.00172	0.00556
北部 CD 廠	1.85	119.2	0.019	0.072	0.017	0.0053	0.021	1.69
北部 Z 廠	0.89	2.38	0.013	0.0066	0.0065	0.0023	0.013	0.014

表 4.7-97、本研究廠區與北部廠家之煙道檢測數據經由 AERMOD 模擬沉降數據

工廠	PCDD/Fs (pg/m^2)	PAHs (ng/m^2)	As (mg/m^2)	Cd (mg/m^2)	Cr (mg/m^2)	Hg (mg/m^2)	Ni (mg/m^2)	Pb (mg/m^2)
TPM 廠	59.94	25535	0.00001	0.00001	0.00007	0.00003	0.00007	0.00004
CH 廠	0.78	20.6	0.65	0.33	0.33	0.118	0.65	0.66
YTS 廠	3.30	60.15	0.802	0.400	0.42	0.473	0.802	0.82
K 廠	5808.9	1202.3	0.17	0.00016	0.00112	0.00047	0.00127	0.00411
北部 CD 廠	2081.1	5095.5	0.0217	0.081	0.019	0.006	0.023	1.90
北部 Z 廠	3714.1	9.86	0.055	0.027	0.027	0.0095	0.055	0.0565

第五章 結論與建議

[章節摘要]

本章說明計畫結論與建議內容。

5.1 結論

一、國內 SRF 使用廠之盤點調查：

1.截至 113 年 11 月為止，國內具有 SRF/RDF 設置、操作及燃料使用許可共 22 家。其中流體化床鍋爐 29 座、預熱器加旋轉窯 10 座，合計 39 座。國內 SRF 使用以造紙廠（11 家）為主。累計 SRF/RDF 之許可最大使用量約 196 萬公噸/年。112 年國內生產 SRF 相關產品申報量約 29 萬公噸，佔最大許可使用量的 15%。

2.目前 SRF 使用廠維持正常運轉有 16 家，包含：造紙廠 9 家、水泥廠 3 家、汽電共生廠 2 家、石化業 1 家、食品廠 1 家，其餘 6 家分別為 1 家退場（日〇造紙）、1 家停止收受 SRF（台〇鋼聯）、2 家試運轉中（上〇嘉義、潤〇精密材料宜蘭冬山廠）、1 家停止試車（宗〇綠能）、1 家設備興建中（揚〇實業）。

二、資源循環燃料成分分析與品質管制標準：

1.本計畫共採集27個燃料及原料樣品，分析的品質項目（包括：Cl、Pb、Cd）皆符合目前環境部「固體再生燃料製造技術指引與品質規範」。

2.彙整13筆資料，SRF 中的 Cl 含量與排放管道 PCDD/Fs 濃度呈正相關。

3.Cu 為 PCDD/Fs 低溫再合成之觸媒，本次檢測煙氣中 PCDD/Fs 超標之工廠，其 SRF 中的 Cu 含量皆明顯較高，再者 PCDD/Fs 排放濃度與飛灰中 Cu 含量成正相關。

三、SRF 使用廠之污染物排放調查與管制標準：

1.排放管道與飛灰 PCDD/Fs：CC、YTS 及 ACH 廠的煙氣濃度略為超過固定污染

源 PCDD/Fs 排放標準，推測是三家 SRF 所含的 Cu 明顯較其他廠高，此外，YTS 廠鍋爐為老舊氣泡式流體化床，燃燒效率較差，至於 CC 廠目前並無戴奧辛防制設備，ACH 廠於採樣期間處於啟爐不穩定階段，因此 PCDD/Fs 排放濃度較高。YH 廠飛灰濃度超過有害廢棄物認定標準，因其 SRF 混燒比高(86.2%)且飛灰中 Cu 含量最高，加上觸媒分解濾袋操作溫度<170℃，分解效果不佳。

2.排放管道及放流水重金屬皆低於現有及加嚴之排放標準。

3.煙氣之 PAHs 平均濃度介於0.2~2,332 ng-BaP_{eq}/Nm^3，TPM、CHPC、YTS、CH 及 TC 廠的濃度明顯較低，其中 TPM 與 YTS 廠有噴活性碳故排放數值較低，CHPC 及 TC 廠因其燃燒條件良好，至於 CH 廠之 SRF 成分單純。CC 廠檢測期間 SRF 混燒比約70%，替代燃料（SRF 與漿紙污泥）佔比約90%，雖然鍋爐操作溫度介於850-876℃，由於替代燃料成分較煤複雜，且空污防制設備並未使用活性碳，因此，PAHs 排放濃度明顯偏高。

4.排放管道 PSN（包含粒狀污染物、二氧化硫及氮氧化物）檢測，只有 TC 廠的 SO_2 超標，其餘皆符合目前排放標準。超標原因是該廠使用含高硫(S)廢橡膠作為替代燃料，並且採用乾式脫硫方式，只於鍋爐內注入石灰石粉，除酸效果不佳所致。

5.由於高溫燃燒，排放管道、底渣、飛灰、廢水、水泥生料及熟料之塑化劑濃度皆很低。

四、環境風險評估：

1.使用本計畫實際檢測台中（YTS 廠、CH 廠及 K 廠）及雲林（TPM 廠）排放管道 PAHs 以及 PCDD/Fs 濃度計算其排放率，並且模擬其擴散濃度，四廠 PAHs 擴散之最大著地濃度點範圍為1.63–339 pg/m^3，PCDD/Fs 擴散之最大著地濃度點範圍為0.22–7.86 fg TEQ/m^3。

2.目前環境風險推估情形，各廠在不同介質（土壤、水體、底泥）中不同化學物種（重金屬、PCDD/Fs、PAHs）推估之環境風險的危害商數（RQ 值）皆小於1，表示目前無立即執行生態風險評估之需要。

3.本研究廠家以及北部廠家比較其土壤濃度、水體濃度估算之危害商數，其中可見北部地區的 CD 廠與本研究廠家相比，無論在重金屬或是戴奧辛，其估算危害商數(RQ)都為最高；推論危害商數結果與經大氣擴散模擬及多介質計算後的預測環境濃度(PEC)濃度較有顯著相關，各廠各介質之 PEC 濃度與 RQ 風險的分布情況呈現一致。

4.比較空氣污染防制設備，配備較完整之污染防制設備廠家，其 RQ 風險值通常較低，這可能歸因於有效的廢氣處理技術降低了污染物的排放濃度。部分中部廠家的重金屬及戴奧辛濃度顯著低於北部廠家，顯示污染防制設備的升級對風險降低具有直接效果。

以上結論是參照本計畫12場次 SRF 使用廠之檢測調查數據所得結果，各廠因燃料種類及來源、混燒比、燃燒設施型態、操作條件、空氣污染防制設備等皆不相同，不宜直接引用、類比、套用或擴大解釋。

5.2 建議

1.根據國外資料，光學分選設備能有效分選出含氯塑膠(PVC)，有效降低 SRF 的含氯量，然而國內 SRF 製造廠很少購置此項設備，建議能與設備廠商合作，評估此項設備對 PVC 及 Cl 的分離效果。

2.建議能執行單一工廠使用不同料源之環境風險評估，以降低不確定性，並增加資料的完整性。

3.S 的成份能抑制 PCDD/Fs 生成，建議於實驗室先行測試，獲得合適 Cl/S 比，並於實廠進行可行性驗證試驗，評估真實的抑制效果。

以上相關建議內容、理由、作法及主、協辦機關說明詳如**表 5.2-1**。

表 5.2-1、執行單位提出的建議與作法

項次	建議緣由與問題	建議理由	建議作法	主辦機關	協辦機關
1	• 本計畫檢測 SRF 中塑化劑含量以DEHP為主(>86%)，DEHP 與 PVC 的相容性極佳，是 PVC 加工上用量最大的可塑劑。	• PCDD/Fs 濃度與 SRF 燃料中 Cl 含量有正相關，降低燃料中 Cl 含量可減少 PCDD/Fs 生成。 • SRF 中 Cl 來源主要是含有 PVC。 • SRF 中若有 PVC 塑料存在，該如何篩選去除。	• 光學分選設備能有效分選出含氯塑膠(PVC)，有效降低 SRF 的含氯量，然而國內 SRF 製造廠很少購置此項設備。 • 建議能與廠商合作，評估此項設備對 PVC 及 Cl 的分離效果。	國家環境研究院	環境部資源循環署
2	• SRF 的來源及成份變異大，使用不同料源之 SRF，所造成的環境風險可能不同。	• 目前是針對國內各廠使用 SRF 為替代燃料進行一次普查，較無法深入探討不同料源的 SRF 所造成的環境風險。	• 建議執行單一工廠使用不同料源之環境風險評估，以降低不確定性，並增加資料的完整性。	國家環境研究院	環境部資源循環署
3	• 部分研究指出 S 的成份，能抑制 PCDD/Fs 生成，例如燃煤電廠 PCDD/Fs 濃度通常很低，推測原因部分是煤中含有 S 成份所致。	• S 抑制 PCDD/Fs 生成之反應機制是硫能毒化低溫再合成反應中主要的 Cu 觸媒。 • 添加 S 必須適量，添加太多將造成 SO_2 增加。	• 建議於實驗室先行測試，獲得合適 Cl/S 比。 • 於實廠進行可行性驗證試驗，評估真實的抑制效果。	國家環境研究院	環境部大氣司

第六章 參考文獻

1. Abrahim, G. M. S. and Parker, R. J., Assessment of heavy metal enrichment factors and the degree of contamination in marine sediments from Tamaki Estuary, Auckland, New Zealand. *Environmental Monitoring and Assessment*, *136*(1-3), 227-238, 2008.
2. Amand, L. E., and Kassman, H., Decreased PCDD/F formation when co-firing a waste fuel and biomass in a CFB boiler by addition of sulphates or municipal sewage sludge, *Waste Management*, 33, 1729-1739, 2013.
3. Arnot, J. A. and Gobas, F. A. P. C., A review of bioconcentration factor (BCF) and bioaccumulation factor (BAF) assessments for organic chemicals in aquatic organisms, *Environmental Reviews*, 14(4), 257-297, 2006.
4. Banta, H. D., Gelijns, A., An early system for the identification and assessment of future health care technology: The Dutch STG Project, *International Journal of Technology Assessment in Health Care*, 14(4), 607-612, 1998.
5. Bashkin, V. N. and Demidova, O.A., Biogeochemical approaches to environmental risk assessment. 378-386. In: Jørgensen, S.E.; and Fath, B.D. (eds) Encyclopedia of Ecology. Elsevier Science, New York, NY, 2008.
6. Brady, J. P., Ayoko, G. A., Martens, W. N. and Goonetilleke, A., Development of a hybrid pollution index for heavy metals in marine and estuarine sediments, *Environmental Monitoring and Assessment*, *187*(5), 1-28, 2015.
7. Cao, Z., Liu, J., Luan, Y., Li, Y., Ma, M., Xu, J., and Han, S., Distribution and ecosystem risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Luan River, China, *Ecotoxicology*, *19*(5), 827-837. 2010.
8. Casado, R.R., Rivera, J.A., Garcia, E.B., Cuadrado, R.E., Llorente, M.F., Sevillano, R.B. and Delgado, A.P., Classification and characterisation of SRF produced from different flows of processed MSW in the Navarra region and its co-combustion performance with olive tree pruning residues, *Waste Management*, 47, 206-216, 2016.
9. Chen, C. W., Lim, Y. C., Chen, C. F., Ju, Y. R., & Dong, C. D., Spatial distribution and ecological risk assessment of sediment metals in a highly industrialized coastal zone southwestern Taiwan. *Environmental science and pollution research international*, *26*(15), 14717-14731, 2019.
10. Chen, C. M. and Liu, M. C., Ecological risk assessment on a cadmium contaminated soil landfill-a preliminary evaluation based on toxicity tests on local species and site-specific information. *Science of the Total Environment*, 359, 120-129, 2006.

11. Chin, Y.T., Lin, C., Chang-Chein, G.P., and Wang, Y.M., PCDD/F formation catalyzed by the metal chlorides and chlorinated aromatic, *Aerosol and Air Quality Research*, 12, 228-236, 2012.

12. Conesa, J.A., Rey, L., Egea, S. and Rey, M.D., Pollutant foemation and emissions from cement kiln stack using a solid recovered fuel from municipal solid waste, *Environmental Science & Technology*, 45, 5878-5884, 2011.

13. Danis, B., et al., Bioaccumulation and effects of PCBs and heavy metals in sea stars (Asterias rubens, L.) from the North Sea: A small scale perspective, *Science of The Total Environment*, 356(1), 275-289, 2006.

14. Dondur, N., Jovovic, A., Spasojevic-Brkic, V., Radic, D., Obradovic, M., Todorovic, D., Josipovic, S. and Stanojevic, M., Use of solid recovered fuel (SRF) in cement industry-economic and environmental implications, *6th International Symposium on Industrial Engineering*, 24-25th, September, 2015.

15. Duodu, G.O., Anim, A.K., Serfor-Armah, Y., Sarfo, D.K., Assessment of the levels of toxic and potentially toxic metals in sediments from the Weija dam Ghana, *Elixir Pollution*, 38, 4320-4324, 2011.

16. El-Shazly, M.M., et al., Water cytotoxicity and dioxins bioaccumulation in an Egyptian delta wetland ecosystem. *African Journal of Aquatic Science*, 41(3), 289-296, 2016.

17. Fairbrother, A., et al., Framework for metals risk assessment, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 68(2), 145-227, 2007.

18. Fyffe, J.R., Breckel, A.C., Townsend, A.K. Webber, M.E., Use of MRF Residue as alternative fuel in cement production, *Waste Management*, 47, 276-284, 2016.

19. Garg, A., Smith, R., Hill, D., Simms, N. J. and Pollard, S. J. T., Wastes as co-fuels: The policy framework for solid recovered fuel (SRF) in Europe, with UK implications, *Environmental Science & Technology*, 41, 4868-4874, 2007.

20. Garg, A., Smith, R., Hill, D., Longhurst, P. J., Pollard, S. J. T., and Simms, N. J., An integrated appraisal of energy recovery options in the United Kingdom using solid recovered fuel derived from municipal solid waste, *Waste Management*, 29, 2289-2297, 2009.

21. Gisi, S.D., Chiarelli, A., Tagliente, L. and Notarnicola, M., Energy, environmental and operation aspects of a SRF-fired fluidized bed waste-to-energy plant, *Waste Management*, 73, 271-286, 2018.

22. Hakanson, L., An ecological risk index for aquatic pollution-control - a sedimentological approach, *Water Research*, *14*(8), 975-1001, 1980.

23. Huang, W. Y., Huang, C. W., Li, Y. L., Huang, T. P., Lin, C., Ngo, H. H., Bui, and X. T., Reduced pollution level and ecological risk of mercury-polluted sediment in a alkali-chlorine factory's brine water storage pond after corrective actions: A case study in Southern Taiwan, *Environmental Technology and Innovation*, 29, 103003, 2023.
24. Li, L., Sun, F., Liu, Q., Zhao, X., and Song, K., Development of regional water quality criteria of lead for protecting aquatic organism in Taihu Lake, China, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 222:112479, 2021.
25. Li, X., Chi, W., Tian, H., Zhang, Y., and Zhu, Z., Probabilistic ecological risk assessment of heavy metals in western Laizhou Bay, Shandong Province, China, *PLOS One*, 14(3):e0213011, 2019.
26. Li, Z., Guo, S., Li, Z., Wang, Y., Hu, Y., Xing, Y., Liu, G., Fang, R. and Zhu, H., $PM_{2.5}$ associated phenols, phthalates, and water soluble ions from five stationary combustion sources, *Aerosol and Air Quality Research*, 20, 61-71, 2020.
27. Lyndall, J., Fuchsman, P., Bock, M., Barber, T., Lauren, D., Leigh, K., Perruchon, E., Capdevielle, M., Probabilistic risk evaluation for triclosan in surface water, sediments, and aquatic biota tissues, *Integrated Environmental Assessment and Management*, 6(3), 419-40, 2010.
28. Jafarabadi, A. R., Bakhtiyari, A. R., Toosi, A. S., and Jadot, C., Spatial distribution, ecological and health risk assessment of heavy metals in marine surface sediments and coastal seawaters of fringing coral reefs of the Persian Gulf, Iran. *Chemosphere*, *185*, 1090-1111, 2017.
29. Jakimska, A., Konieczka, P. Skóra, K. and Namieśnik, J., Bioaccumulation of metals in tissues of marine animals, Part I: the role and impact of heavy metals on organisms, *Polish Journal of Environmental Studies*, 20(5), 1117-1125, 2011.
30. Jang, K.W., Jung, Y.W. and Hong H.H., Estimated CO_2 emissions and analysis of solid recovered fuel (SRF) as an alternative fuel, *Asian Journal of Atmospheric Environment*, 7, 48-55, 2013.
31. Karbassi, A. R., Monavari, S. M., Nabi Bidhendi, G. R., Nouri, J., & Nematpour, K. Metal pollution assessment of sediment and water in the Shur River. *Environmental Monitoring and Assessment*, *147*(1-3), 107-116, 2008.
32. Ke, X., Gui, S., Huang, H., Zhang, H., Wang, C. and Guo, W., Ecological risk assessment and source identification for heavy metals in surface sediment from the Liaohe River protected area, China, *Chemosphere*, *175*, 473-481, 2017.
33. Kuo, Y.M., Huang, S.W. and Kuan, W.Y., Characteristics of Emissions from Reclamation of Solid-recovered fuel (SRF) in a cogeneration plant, *Aerosol and Air Quality Research*, 21, 210112, 2021.

34. Liu, S., Wu, Z., Xu, Z., Lu, S. and Li, X., Study on characteristics of organic components in condensable particulate matter before and after wet flue gas desulfurization system of coal-fired power plants, *Chemosphere*, 294, 133668, 2022.

35. MacDonald, D. D., Ingersoll, C. G., & Berger, T. A., Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, *39*(1), 20-31, 2000.

36. Nasrullah, M., Vainikka, P., Hannula, J., Hurme, M. and Hurme, M., Elemental balance of SRF production process: Solid recovered fuel produced from commercial and industrial waste, *Fuel*, 145, 1-11, 2015.

37. Nasrullah, M., Vainikka, P., Hannula, J., Hurme, M. and Kärki, J., Mass, energy and material balances of SRF production process. Part 1: SRF produced from commercial and industrial waste, *Waste Management*, 34, 1398-1407, 2014.

38. Newman, D. J., Cragg, G. M., and Snader, K. M., The influence of natural products upon drug discovery, *Natural Product Reports*,. 17(3), 215-34, 2000.

39. Pedersen, F., Bjornestad, E., Andersen, H. V., Kjolholt, J., & Poll, C.. Characterization of sediments from copenhagen harbour by use of biotests, *Water Science and Technology*, *37*(6-7), 233-240, 1998.

40. Pedersen, M.N., Jensen, P.A., Hjuler, K., Nielsen, M. and Dam-Johansen, K., Agglomeration and deposition behavior of solid recovered fuel, *Energy & Fuels*, 30, 7858-7866, 2016.

41. Posthuma, D., De Geus E. J., Baaré, W. F., Hulshoff Pol, H. E., Kahn, R. S., and Boomsma, D. I., The association between brain volume and intelligence is of genetic origin, *Nature Neuroscience*, 5(2), 83-84, 2002

42. Raju, K., Vijayaraghavan, K., Seshachalam, S., & Muthumanickam, J. Impact of anthropogenic input on physicochemical parameters and trace metals in marine surface sediments of Bay of Bengal off Chennai, India, *Environmental Monitoring and Assessment*, *177*(1-4), 95-114, 2011.

43. Rovira, J., Mari, M., Nadal, M., Schuhmacher, M. and Domingo, J. L., Partial replacement of fossil fuel in a cement plant: Risk assessment for the population living in the neighborhood, *Science of the Total Environment*, 408, 5372-5380, 2010.

44. Ryu, J.Y., Mulholland, J.A., Takeuchi, M., Kim, D.H., and Hatanaka, T., $CuCl_2$-catalyzed PCDD/F formation and congener patterns from phenols, *Chemosphere*, 61, 1312-1326, 2005.

45. Kooijman, S., A safety factor tor LC_{50} values allowing for differences in sensitivity among species, *Water Research*, 21, 269-276, 1987.

46. Staples, E. R., McDermott, E. M., Reiman, A., Byrd, P. J., Ritchie, S., Taylor, A. M., and Davies, E. G., Immunodeficiency in ataxia telangiectasia is correlated strongly with the presence of two null mutations in the ataxia telangiectasia mutated gene. *Clinical and Experimental Immunology*, 153(2), 214-20, 2008

47. Szewczynska, M., Posniak, M. and Dobrzynska, E., Determination of phthalates in particulate matter and gaseous phase emitted into the air of the working environment, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17, 175–186, 2020.

48. Torre-Bayo, J. J. D. L., Zamorano, M., Torres-Rojo, J. C., Rodriguez, M. L., and Martin-Pascual, J. M., Analyzing the production, quality, and potential uses of solid recovered fuel, *Process Safety and Environmental Protection*, 172, 950-970, 2023.

49. Wang D., Xu, X., Zheng, M., and Chiu, C.H., Effect of copper chloride on the emissions of PCDD/Fs and PAHs from PVC combustion, *Chemosphere*, 48, 857-863, 2002.

50. Van, S., and Nico, M., Theory of ecological risk assessment based on species sensitivity distributions. Species sensitivity distributions in ecotoxicology, *CRC Press*, 61-72, 2001.

51. Wang, D., Xu, X., Zheng, M., and Chiu, C. H., Effect of copper chloride on the emissions of PCDD/Fs and PAHs from PVC combustion, *Chemosphere*, 48, 857-863, 2002.

52. Wang, Q., Du, Y., Sun, F., Deng, X., and Chang, H., Ranking ecological risk of metals to freshwater organisms in lake Taihu, *Journal of Chemistry,* 2020, 1-6, 2020.

53. Wasielewski, R, Glod, K. and Lasek, J., Industrial tests of co-combustion of alternative fuel with hard coal in a stoker boiler, *Journal of the Air & Waste Management Association*, 71, 339-347, 2021.

54. Slijkerman; W. F. J., Looyestijn, W. J., Hofstra, P. and Hofman, J. P., Processing of multi -acquisition NMR data , *SPE Reservoir Evaluation & Engineering*, 3, 492–497, 2000.

55. Wu, H., Pedersen, A.J., Glarborg, P., Frandsen, F.J., Dam-Johansen, K. and Sander, B., Formation of fine particles in co-combustion of coal and solid recovered fuel in a pulverized coal-fired power station, *Proceedings of the Combustion Institute*, 33, 2845-2852, 2011.

56. Wu, Y., Xu, Z., Liu, X.S., Tang, M.H. and Lu, S., Effects of the changes of load and flue gas temperature on the emission of particulate matter from the coal-fired unit, *Aerosol and Air Quality Research*, 22, 1-12, 2022.

57. Wu, Y., Xu, Z., Liu, X.S., Tang, M.H. and Lu, S, Migration and emission characteristics of N-alkanes and phthalates in condensable particulate matter from coal-fired sources, *Journal of Cleaner Production*, 305, 127203, 2021.

58. Yang, H.H., Arafath, S.M., Lee, K.T., Hsieh, Y.S. and Han Y.T., Chemical characteristics of filterable and condensable $PM_{2.5}$ emissions from industrial boilers with five different fuels, *Fuel*, 232, 415-422, 2018.

59. Yang, W.S., Lee, Y.J., Kang, J.G., Shin, S.K. and Jeon, T.W., Assessment of quality test methods for solid recovered fuel in South Korea, *Waste Management*, 103, 240-250, 2020.

60. Zhang, Y., Liu, Y., Niu, Z., Jin, S., Ecological risk assessment of toxic organic pollutant and heavy metals in water and sediment from a landscape lake in Tianjin City, China, *Environmental Science and Pollution Research International*, 24(13), 12301-12311, 2017

61. 方真、房小滿，循環流體化床鍋爐摻燒固體再生燃料試驗研究，**能源工程**，第 3 期，2023。

62. 行政院環境部，廢塑膠容器處理後衍生廢棄物輔導去化專案工作計畫，2019。

63. 行政院環境部，廢塑膠袋膜燃料化及試驗能源回收工作計畫，2020。

64. 行政院環境部，事業廢棄物燃料化推動及管理計畫，2021。

65. 行政院環境部，事業廢棄物燃料化推動及處理策略專案工作計畫，2019 至 2020。

66. 行政院環境部，固定污染源許可管理及燃料使用管制策略推動計畫，2020。

67. 行政院環境部，固體再生燃料製造技術指引及品質規範，2020。

68. 行政院環境部，固體再生燃料(SRF)推動情形及請地方配合事項，2021。

69. 行政院環境部，廢塑膠容器衍生廢棄物採 SRF 處理再利用去化可行性評析專案工作計畫，2021。

70. 林致旺，廢棄物再利用燃料之空氣污染排放改善之研究，碩士論文，國立臺北科技大學環境工程與管理研究所，2022。

71. 美國環保署，空氣污染技術資源，https://www.epa.gov/technical-air-pollution-resources，檢索日期：2023/1/10

72. 桃園市政府，桃園市戴奧辛排放量推估及健康風險評估，2022。

73. 張家驥，工業用鍋爐使用生質燃料模式與選用生質燃料注意事項，臺灣生質能技術發展協會，2021。

74. 張家驥，台灣生質能發展與挑戰，能源資源教育總中心，2020。

75. 張家驥，生煤鍋爐使用替代燃料技術與與效益，臺灣生質能技術發展協會，2022。

76. 張家驥，固體再生燃料製造與應用，臺灣生質能技術發展協會，2021。

77. 張慶源、張家驥，機械生物處理(Mechanical Biological Treatment, MBT)，台灣生質能技術發展協會，2018。

78. 張瓊芬、張家驥，固體再生燃料現況與展望，**中華民國環境工程學會電子報**，2022。

79. 郭博堯，全球化石能源危機時代與我國所面臨挑戰，**國政研究報告**，財團法人國家研究政策基金會，2002。

80. 新竹縣政府，新竹縣一般性廢棄物分選轉製固體再生燃料(SRF)供應事業單位評估與監督計畫評估建議計畫書（修正版），2022。

81. 經濟部工業局，生質能暨環保產業推動計畫(2/4)，2018。

82. 經濟部工業局，生質能暨環保產業推動計畫(3/4)，2019。

83. 經濟部工業局，固體再生燃料(SRF)相關管理方式，2021。

84. 經濟部能源局，110 年度我國燃料燃燒二氧化碳排放統計與分析，2022。

85. 謝永昌，SRF 媒合去化及實廠試燒實務案例分享，環興科技股份有限公司，2021。

86. 羅時芳、吳周燕，台灣生質燃料產業趨勢分析，**經濟前瞻**，頁 112-117，2017。

87. 雷炳莉、黃聖彪、王子健，生態風險評價理論和方法，2009。

附錄一、計畫評選委員審查意見回覆

李委員俊璋

審查意見	意見回覆
1.關於 SRF 使用廠排放調查，建議有系統之分類後，依分類建立篩選準則，以利系統性建立資料，同時才具代表性。	1.今年有關 SRF 使用廠排放調查之廠家篩選說明請參閱 5.4.1 章節（第 151 頁）。 2.關於篩選準則，本計畫初步規劃先以 112 年 SRF 申報量排序，以 SRF 使用量大、SRF 專燒爐、SRF 混燒比高之廠家列為優先檢測對象，再者，挑選不同製程設備，包含水泥廠及電弧爐集塵灰資源化處理廠的旋轉窯等。 3.計畫執行後與國環院研議及配合大氣司相關 SRF 計畫時程，SRF 使用廠的篩選及採樣作業時程有所調整，規劃 12 場次的污染物採樣且其中必須包含 2 家水泥廠及挑選 1 家進行重複採樣。經討論決議今年將針對尚未採樣的國內 SRF 使用廠做一次全面污染物排放調查。
2.有關廢氣、廢水及廢棄物中各種成分含量分析之 QA/QC 項目及內容規範請說明。	1.有關廢氣、廢水及廢棄物中各種成分含量分析之 QA/QC 規範請參閱附錄五。 2.有關數據品保報告結果請參閱附錄七。
3.在污染物排放擴散模擬似使用 AERMOD 進行模擬，該模式在遇有水域時，在乾溼沉降模擬如何進行請說明。	AREMOD 模擬時已利用雨量資料一同進行乾濕沉降計算，其地域資料僅考慮受體地點之地形高程，該空氣品質並未特別針對水域相關地點進行模擬。
4.在環境風險評估未進行人體健康	本研究目的主要為針對 SRF 廠排放

風險評估，未進行食物攝食評估，恐低估實際風險，請考量。	污染物可能對環境及生態造成的危害進行評估，結果可作為後續是否進行完整生態及人體影響風險之參考，若危害商數大於 1 者，則會建議相關部會做為進一步執行健康風險評估之參考。
5.各污染物之環境風險是否加總?如何計算?請說明。另是否考量背景值?	依目前生態風險的指標僅做初步篩選並未考慮加成作用，此外目前環境風險僅考量 SRF 廠的增量風險，因此這部分能夠直接反應 SRF 的排放貢獻，故無考量背景風險。

陳委員家揚

審查意見	意見回覆
1.計畫書 2.2.8 節，列出諸多關於 SRF 燃燒污染排放的單一研究，若能加以整合列出綜合結論，將極具參考價值。	感謝委員意見，將於期末成果報告彙整全部數據後，提出綜合改善建議。
2.第 59 頁，計畫書指出不同之發電鍋爐以及水泥廠其適用之 SRF 顆粒尺寸不同，請問本計畫對於生產 SRF 之顆粒尺寸建議為何?	1.用於發電鍋爐之 SRF 顆粒尺寸範圍建議 5 毫米至<300 毫米，其中流體化床 10-200 毫米，發電廠使用粒徑 20 毫米（中位數）的 SRF 運作效果最佳。 2 水泥廠可耐受最大粒徑為 30 毫米。
3.本計畫主要針對使用 SRF 廠之污染排放和環境風險進行評估，建議能對照對應的火力廠（使用全煤、燃油），亦能由效益處觀點評估使用 SRF 之良窳。	感謝委員意見，會盡可能蒐集使用全煤之數據來進行比較。
4.112 年已訪視了 9 家使用 SRF 廠家，請明確指出今年會訪視蒐集資料的家數，剩餘 11 家皆會訪視完畢嗎?	今年訪視的廠家數為 15 家，已於 3 月執行完畢，訪廠紀錄請參閱附錄四。
5.假如得標執行，建議未來的期中與期末報告，能精簡撰寫，減少重複的敘述，例如：我國 SRF 的主要使用對象，20 家在北中南東的分布等相同資訊，在服務建議書中出現多次。	感謝委員意見，遵照辦理。
6.本計畫包含之污染物種類眾多，本計畫將如何以統計方式找出對於使用 SRF、SRF 組成、其他混燒燃料、廠商操作參數與型態多項變數與排放污染物之關聯?	本計畫重點在於了解與評析以 SRF 為煤之替代燃料所造成之污染物排放差異及其環境風險，因此今年將會分析至少兩種投入燃料（包含 SRF）之成分來進行探討。

7.進行環境風險評估時，貴團隊預期由那些資料庫蒐集各污染物物化特性與生態毒理資料?生態毒理資料所使用之測試生物可能變化甚多，如何納入評估流程?暴露情境如何假設?	本研究相關多介質參數蒐集來源包括： (1)美國加州政府環境健康危害評估辦公室所發布之評估指引(The Air Toxic Hot Spots Program Risk Assessment GuidelineManual for Preparation of Hcalth Risk Asscssment) (2)USEPA 及雪城研究公司(SRC)研發的 EPI Suite™進行進行。 (3)台灣港務股份有限公司。 2.此外，本研究毒理資料則是各國環保署所公布的生態篩選值，例如美國環保署生態土壤篩選值(Ecological Soil Screening Levels, Eco-SSLs)或是加拿大環境部 Soil Quality Guidelines (SQG)（表38）。 3.由於本研究環境風險為初步篩選，故暴露情境一般是假設污染物經排放到空氣、土壤、水介質之濃度(PEC)與生態篩選值(PNEC)進行比較，故一般會假設各介質最敏感的物種直接暴露介質的污染物後所產生的危害，這類型的物種多為美國環保署生態土壤篩選值/加拿大環境部 SQG 中建議之最敏感物種（例：鳥類、哺乳類、無脊椎動物）。
8.進行蒙地卡羅模擬時，預期可有多少點的資訊可用(ｎ＝？)會假設資	1.N=5000 2.使用 Oracle Crystal Ball 蒙地卡羅

料之分佈型態為何?模式會放入那些參數?	模擬軟體進行擬合分佈,軟體會依照 Anderson-Darling 值,自動選取最適切之分佈模式。 3.考量多介質模式參數多為固定或預設值,故本研究主要以總沉降量進行模擬
9.計畫書中關於使用 SRF 之污染物生成解析,可否補充說明如何推估由 SRF 的貢獻度?	感謝委員意見,會盡可能蒐集使用全煤及 SRF 混燒後之數據來進行比較,藉此了解 SRF 的貢獻度。
10.3.5.4 節對於污染物減量之建議措施,主要為一般性之建議,可否說明透過本計畫,可能進一步得到使用 SRF 時哪些減少污染物排放之特定措施?例如計畫書第 120 頁,找出污染物濃度最低之燃料/SRF 配比,會如何進行?	1.感謝委員意見,由於本計畫每一場次的採樣只有採集當天使用的 SRF 燃料與紀錄當下的操作條件數據,因此較難找出最佳之燃料/SRF 配比,建議可列為明年計畫內容。 2.本計畫會蒐集資料,了解燃料中的 S/Cl 比與抑制戴奧辛生成之關係。
11.表 47 指出大部分樣本送至國環院分析,為何需編列高達 245 萬元之採樣檢測技術費以及 60 萬元的儀器使用費?	1.本計畫送至國環院進行分析的項目只有戴奧辛與部份的塑化劑樣品,其他污染物皆由本單位或國環院認證實驗室進行採樣,樣品前處理及分析。 2.本計畫使用貴重儀器包含 GC/MS、GC/MS/MS、ICP-AES、ICP-MS 等,故有編列儀器使用費。
12.經費需求編列環境風險評估的委託費,請問將委託給何單位執行?陽明交大嗎?若檢測和風險評估皆外包,貴單位在本計畫的角色為何?	本計畫分工如下: (1) 工研院:負責 SRF 使用廠家基本資料建立、訪廠、污染物排放廠家篩選、調查、採樣及分析、數據解析及降低環境風險之改善建議等。 (2) 陽明交大:污染物大氣擴散及沉降推估及環境風險評估。

許委員元正

審查意見	意見回覆
1.污染物排放調查之廠址選擇多偏重於鍋爐汽電共生程序，請補充說明理由。	1.今年有關 SRF 使用廠排放調查之廠家篩選說明請參閱 5.4.1 章節（第 151 頁）。 2.關於篩選準則，本計畫原規劃先以 112 年 SRF 申報量排序，以 SRF 使用量大、SRF 專燒爐、SRF 混燒比高之廠家列為優先檢測對象，經調查國內以鍋爐蒸氣產生程序為主。 3.為擴大調查對象，本計畫今年挑選不同製程設備，包含水泥廠及電弧爐集塵灰資源化處理廠的旋轉窯等皆列入今年規劃檢測對象。 4.計畫執行後與國環院研議及配合大氣司相關 SRF 計畫時程，經討論決議今年將針對尚未採樣的國內 SRF 使用廠做一次全面污染物排放調查。
2.計畫執行內容是否能包含風險評估相關軟體應用之教育訓練以落實計畫成果擴散。	感謝委員意見，依院裡相關單位需求最後可提供相關多介質模擬的教育訓練。
3.計畫成果建議草擬 SRF 廠排放污染物減量操作指引，將相關成果有系統整理。	感謝委員意見，待期末成果報告彙整兩年的調查數據，撰寫降低 SRF 使用之環境風險改善建議。

楊委員喜男

審查意見	意見回覆
1.進料成分包括元素分析(Cl、S)、重金屬（4 項)、塑化劑等，請說明選定分析項目之原因?	1.進料成分之 Cl、S 元素及 Cu、Fe 等金屬與戴奧辛生成有關。 2.中研院的「細懸浮微粒($PM_{2.5}$)化學成分監測與分析計畫」，指出煙道排放有 DEHP（塑化劑的一種)，因此國環院交辦需進一步了解是否與 SRF 的使用有關，故本計畫納入分析塑化劑。
2.調查 12 場次 SRF 廠（6 家廠商）選定使用量較少廠商，其風險評估代表性請再說明。	1.今年有關 SRF 使用廠排放調查之廠家篩選說明請參閱 5.4.1 章節（第 151 頁)。 2.關於篩選準則，本計畫先以 112 年 SRF 申報量排序，以 SRF 使用量大、SRF 專燒爐、SRF 混燒比高之廠家列為優先檢測對象，經調查國內以鍋爐蒸氣產生程序為主。 3.為擴大調查對象，本計畫今年挑選不同製程設備，包含水泥廠及電弧爐集塵灰資源化處理廠的旋轉窯等皆列入今年規劃檢測對象。 4.計畫執行後與國環院研議及配合大氣司相關 SRF 計畫時程，經討論決議今年將針對尚未採樣的國內 SRF 使用廠做一次全面污染物排放調查。

沈委員建中

審查意見	意見回覆
1.服務建議書第 68 至 69 頁關於環境風險評估參數的選擇，建議以本土參數為主，以降低評估結果發生偏差失真等情形。	本研究在參數選擇上會優先以本土參數為主（例：水域體積、水域面積、水體置換次數），若缺乏之參數才會參考美國加州政府環境健康危害評估辦公室所發布之評估指引(The Air Toxic Hot Spots Program Risk Assessment GuidelineManual for Preparation of Hcalth Risk Asscssment)。
2.服務建議書第 130 頁請就 12 場次 SRF 使用廠的排放採樣，是否提前於 6 月底前完成，以利後續相關檢測項目分析及環境風險評估。	本計畫規劃 8/31 前完成 12 場次污染物之採樣。

附錄二、啟動會議意見回覆

審查意見	意見回覆
1.有關今年執行 SRF 使用廠之污染物排放調查，原則篩選六家，每家安排 2 次檢測，共計 12 場次。第一輪檢測若有廠家之 SRF 進料組成穩定，或經由資料蒐集能證明該廠之環境風險極低，建議該廠可以只做一次檢測，原餘之量能再另行安排其他風險較高之廠家（例如：空氣污染防制設備較不完善的小廠）進行檢測。此外，建議於第一輪即安排 2 家水泥廠進行調查。	1.今年 12 場次 SRF 使用廠之污染物排放調查廠家篩選請參閱 5.4.1 章節（第 151 頁）說明，依照國環院指示需包含 2 家水泥廠、並從中挑選一家進行重複採樣。 2.國內具有 SRF/RDF 設置、操作許可共有 20 家，去年已完成 5 家之檢測調查，今年針對剩下的 15 家進行訪廠，其中正常運轉中的廠家有 11 家。 3.欲將國內 SRF 使用廠進行一次全面調查，故挑選正常運轉中的 10 家為今年調查對象（台 O 鋼聯因「旋轉窯出口廢氣溫度無法符合需求，現已停止收受 SRF 物料，因此未列入今年採樣」。 4.剩餘 2 家是配合國環院施政需求，1 家是挑選去年檢測過的正 O 后里廠來執行塑化劑相關研究。此外，挑選水泥製程規模最大之台 O 水泥和平廠為重複採樣對象。 5.以上 12 場為今年污染物排放調查之採樣對象。
2.有關廢氣中持久性有機污染物、廢水中持久性有機污染物與塑化劑及廢棄物中持久性有機污染物與塑化劑等，由本院檢測技術中心協助分析。	遵照辦理，將於數據分析彙整表中標註說明分工。
3.廢氣的塑化劑採樣及分析、廢水中持久性有機污染物樣品之前處理、廢	遵照辦理，將於數據分析彙整表中標註說明分工。

棄物樣品之破碎及過篩前處理等，皆由工業技術研究院協助執行。	
4.由於中部地區之 SRF 使用廠家及鍋爐座數最多，故今年環境風險評估，建議以中部地區為主。	遵照辦理，相關內容請參閱第 234 頁說明。
5.SRF 成分分析中重金屬檢測部分，建議加做鋁金等其他金屬元素。	遵照辦理，以已分析鋁元素。
6.有關污染物採樣工作建議能及早完成，以利污染物分析及環境風險評估作業。	初步規劃今年 8 月 31 日前完成 12 場次的污染物採樣工作。

附錄三、第一次工作進度報告審查意見回覆

審查意見	意見回覆
1.12 場次的採樣工作請盡量於 113 年 8 月底前完成。	遵照辦理，執行單位會掌握各廠採樣時程。
2.關於 2 家進行重複採樣的對象，建議挑選 1 家水泥廠及 1 家使用 SRF 的專燒爐工廠，如永豐餘新屋廠或正隆竹北廠，以可檢視數據之再現性。	1.環境部大氣司今年也有 SRF 使用的污染物稽查計畫，為了避免檢測資源浪費，重複採樣對象有進行調整。 2.重複採樣對象是挑選水泥製程規模最大之台 O 水泥和平廠。 3.另 1 家為配合國環院業務需求而改選去年檢測過的正 O 后里廠執行塑化劑相關研究。
3.請執行單位及早規畫安排副座的參訪時間與行程，參訪重點項目包含 SRF 與其他燃料之進料及混燒方式、SRF 水分的影響等。	遵照辦理，規劃於 9 月份進行參訪。
4.引用政府機關的網站數據資料，請務必加註資料來源及放入參考文獻中。	遵照辦理，會於報告書內加註資料來源。
5.環境風險評估請執行單位多蒐集、引用國內本土的參數及毒理試驗資料，建議於期中報告能有一章節，說明今年與去年引用參數的來源差異與精進作法，期末報告加強說明風險評估結果的不確定度分析。	本研究現階段回顧國內外文獻，搜尋預測無效應濃度(PNEC)相關建立方法，並試著整理以本土物種建立之 PNEC 以作為後續研究危害商數推估之依據。相關內容請參閱章節 5.6.3（第 241 頁）。
6.明年已是執行 SRF 計畫的第 3 年，請執行單位及早規劃明年的計畫內容，並提供具體的改善建議與做法。工作內容可進行 SRF 使用廠污染物的質量平衡或流佈分析，提供合適的 SRF 混燒比例及範圍等。	遵照辦理，執行單位已於 8 月提供明年的計畫內容大綱，並提供具體的污染排放改善建議與做法。

附錄四、期中報告委員意見回覆

李委員俊璋

審查意見	意見回覆
1.本報告基本摘要所附執行進度及查核點無實際執行進度，亦無預定及實際執行進度%，請補充。	請參閱 1.4 節（第 5 頁）計畫執行進度說明。
2.本報告文字格式及大小不一，表格請分章節予以編號，請修正。	遵照辦理，已於成果報告完成修正。
3.本報告三種版本之摘要，包括基本摘要、簡要版、詳細版內容差異極小，詳細版應有較多執行結果及討論，請修正。	三種摘要格式與內容已依據招標文件要求進行修正。
4.依第三章工作方法之工作項目中第四工項應依調查結果與管制標準進行研析討論，內容缺乏請補充。	請參閱 4.6 章節（第 269 頁）說明。
5.依表 66 取得設置許可應有 5 家業者，而基本摘要及 P.135 均說明為 4 家，請釐清。	截至 113 年 11 月止，取得設置許可有 5 家業者，摘要相關內容皆已於成果報告完成修正。
6.國內 SRF/RDF 之設置許可量與使用許可量建議進行供需平衡之統計與說明。	1.根據 2.3.4 之二、SRF 生產製造說明：113 年國內運作生產之 SRF 相關產品，包含產品代碼 170044（固體再生燃料、SRF）、產品代碼 170399（其他燃料）、產品代碼 140017（木屑）及產品代碼 220099（其他未列名塑膠製品）共有 54 家，統計 112/1 至 112/12 之申報產量資料，年製造量約 29 萬公噸。 2.根據 4.1 章節說明，至今年（民國 113 年）11 月為止，國內具有 SRF/RDF 設置許可有 5 家，操作及燃料使用許可有 18 家，扣除重複 1 家，共計 22 家（桃園地區 3

	家 SRF 廠因桃園市政府尚未核發設置許可證，故未列入）。統計 SRF/RDF 之許可最大使用量約 196 萬公噸/年（設置許可與操作許可總計）。 3.根據上述資料顯示生產 SRF 只佔 SRF 最大許可使用量的 15%，呈現供不應求之情況。
7.15 家 SRF 使用廠維持正常運轉僅 11 家，其餘未正常運轉之原因為何請說明。	1.國內具有”SRF 或 RDF”為燃料之固定污染源”設置”或”操作及燃料使用”許可共有 22 家，目前正常運作有 16 家，其中造紙廠 9 家、水泥廠 3 家、汽電共生廠 2 家、石化業 1 家、食品廠 1 家。 2.剩下 6 家分別為：1 家退場（日〇造紙）、1 家停止收受 SRF（台〇鋼聯，因旋轉窯目前的旋窯出口溫度僅約 500 至 700℃，無法符合＞850℃需求，現已停止收受 SRF 物料）、2 家試運轉測試中（上〇嘉義、潤〇精密材料宜蘭冬山廠）、1 家停止試車（宗〇綠能，因周界異味超標以及防制設備壓降錶無法反映實際操作情形，高雄市政府去函停止試車）、1 家設備興建中（揚〇實業）。請參閱 4.2 章節（第 149 頁）說明。
8.依表 67 項次 15 潤〇精密冬山廠並未使用 SRF，僅未來規劃中，既未完成規劃，建議剔除計入訪廠數量。	依據現勘訪廠，該廠目前使用木屑及 SRF 為替代燃料，於氣化爐內進行氣化試驗。後續會將 SRF 生成的合成氣應用於水泥製程。因有實際

	訪廠，建議仍列入訪廠數量內。
9.依表 68 項次 19 亞泥花蓮廠，113 年訪廠得知有混燒 SRF，但申報量為零，SRF 混燒比 5-10%，有混燒未申報是否違法請說明。	該廠具有 SRF 操作及燃料許可，至於使用 SRF 的申報量資料是統計 112 年，依據廠方說法，112 年該廠暫無使用 SRF，故申報量為零，但該廠 113 年已有使用 SRF，SRF 混燒比 5-10%是 113 年訪廠時紀錄的混燒條件。
10.表 69、70 均為原規劃內容，未有實際執行內容，請說明實際執行情形。	1.原規劃內容係服務建議書內初步規畫執行的內容。 2.國內目前使用 SRF 燃料正常運轉有 16 家，去年已完成 5 廠(七場次)調查。 3.依據 113 年 2 月 26 日啟動會議結論，今年欲將國內 SRF 使用廠進行全面調查，因此從正常運轉中挑選 12 場次進行調查。本計畫亦配合大氣司相關 SRF 計畫時程，規劃 8/31 前完成 12 場次的污染物採樣且其中必須包含 2 家水泥廠及挑選 1 家進行重複採樣。 3.實際執行內容請參閱 4.3.1 及 4.3.2 說明（第 154 頁）。
11.關於 SRF 使用 TPM 及 CC 未訂允收標準，而 TCS 及 YY 均訂有允收標準，其污染物排放量如 PCDD/Fs 有相當大差異，請評估是否應有強制規定。	SRF 允收標準是各廠根據自家燃燒設備、操作條件，污染防制設備、污染物排放濃度符合排放限值下針對欲購買 SRF 的品質所訂下的規格，通常較環境部「固體再生燃料製造技術指引與品質規範」嚴格，有助於購買到高品質的 SRF，進而減少污染物的排放。此為廠方自主行為，建議各廠可根據自家實際需求制訂購買

	SRF 的允收標準。
12.各廠污染物排放高低不同，請探討可能原因(如允收標準有無、燃燒條件、污染防制設備有無、混燒比例等)。	污染物的排放濃度數值是多重因子下的結果，根據今年調查結果，只有 PCDD/Fs 排放濃度有超標，故各廠會針對 PCDD/Fs 排放濃度進行詳細解析，相關內容請參閱 4.5.2 章節說明（第 211 頁）。
13.關於各廠排放係數之代表性應予以說明，尤其各廠運作之變動性。	期中報告中提及的排放係數係根據一次的排放檢測濃度來計算，因有代表性不足之疑慮，為避免讓人引用錯誤，故成果報告已刪除排放係數名稱及計算內容。
14.依表 97 之結果顯示該濃度甚較作業環境空氣中之濃度低，完全缺乏採樣分析意義。	1.塑化劑檢測係根據評選須知的計畫工項，因此必須執行。 2. 理論上塑化劑於高溫燃燒下(>850℃)應已被分解破壞，排放濃度應很低，根據本次排放管道塑化劑檢測結果亦符合此推論，此結果可供國環院作為後續計畫是否仍列為執行工項之考量依據。
15.在環境風險評估上，為何提供四月之風玫圖，請補充全年之風玫圖。	感謝委員意見，本計畫已於期末成果報告補充雲林、台中 2023 年風玫圖（第 275 頁）。
16.環境風險評估完成之內容過於簡略，許多內容缺乏，請補充。	感謝委員意見，礙於空氣品質模式模擬以及環境風險皆仰賴排放管道檢測數據的提供，因此期中報告未能完成環境風險評估，目前環境風險評估皆於成果報告完成。
17.第六章期中執行成果與規範之格式，若不是，建議刪除，其內容與三版摘要均重複。	遵照辦理，成果報告已刪除。

陳委員家揚

審查意見	意見回覆
1.2.4.2 SRF 品質規範，敘述多國對於 SRF 之品質規定。建議能將文獻或資料來源直接引述於本文。此外，是否可以請執行團隊，對於這些規範提供概要性總結，並比較我國現有規定，哪些標準是較為重要的、以及規範或建議數值是否需進一步討論。	1.遵照辦理，相關 SRF 品質之文獻或資料來源已直接引述於本文及表格下方。 2.我國與國際各國之 SRF 品質比較及建議請參閱 2.3.2 章節之八及 4.6 章節，對於 SRF 中的 Cl 及 Cu 有建議的管制數值。
2.對於 SRF 產源（P28-29），可否建議現有一般廢棄物與事業廢棄物在收集流程上，能有何進一步作為，有助於協助提升 SRF 原料產源品質？	SRF 原料來源主要是收集不易進行物質再利用之可燃廢棄物，因此有效提升 SRF 原料產源品質之作為是廢棄物分類工作，然後再利用機械分選設備，包括破碎、篩分、磁選、風選、渦電流分離、氣動分離、光學分選、等方式，才能將 SRF 品質提升，然而目前國內 SRF 製造廠很少有光學分選設備，它能有效分選出含氯塑膠(PVC)，因此含氯量無法有效降低。
3.諸多敘述主詞使用「本廠」，似乎不妥。建議改用「該廠」	遵照辦理，成果報告已全部修正為該廠。
4.2.4.8 節使用 SRF 排放污染物調查，內文敘述諸多個別研究的結果。可否請綜合整理，大致各研究所得之重點、相同與主要差異之處、可供本計畫執行或是計畫委託單位參採的論述等？敘述 SRF 配比時，請釐清是什麼燃料配比 SRF，例如提	1.遵照辦理，關於使用 SRF 排放污染物之綜合整理請參閱 2.3.8 章節之二、小結（第 60 頁）。 2.敘述 SRF 配比已修正並詳細說明。 3.Wu *et al*. (2011)在一座 400 MW 發電鍋爐內進行 SRF 與煤的混燒實驗，發現與純燃煤相比，混燒 SRF

出最佳混燒比例 1：4，SRF 是 1 還是 4，主詞不清楚。此外，這些研究似乎並無探討排放 fine particulates 的議題；建議可針對這方面文獻進行補充說明。	會增加次微米粒子的生成及排放，尤其是直徑小於 0.2 μm 之超細微粒，細微粒中 Ca、P、K 含量比單純燃煤略高、而 S 含量相對較低。 5.去年國環院計畫執行 7 場次混燒 SRF 鍋爐排放管道 $PM_{2.5}$ 檢測濃度，範圍介於 2.63 至 24.58 mg/Nm^3，與純燒煤差異不大。
5.本報告書中文以細明體為主，請一致。P56 第三段第 4 行，「明顯低於」此四字字體不同。	遵照辦理，成果報告已修正。
6.表 38 (P.63) SRF 對污染物排放之影響，敘述上是否有可能量化，而不僅是「增加」、「減少」，卻無增減多少。	表 2.3-35（第 67 頁）影響因子已加入量化數值，但由於各廠使用的 SRF 種類及品質差異甚大，加上污染物排放為多重因子的結果，因此在解析各廠污染物排放時較能具體量化，關於通用性的量化因子必須蒐集足夠的數據較具代表性。
7.表 49 (P.94)，112 年 SRF 申報量，無單位，請修正。	遵照辦理，表 3.3-3（第 98 頁）成果報告已修正。
8.理論上，PAEs 經燃燒後應絕大部分已破壞，報告中亦有提及。煙道採樣是否有需要進行？此外，PAEs 的分析空白背景為何？	1.塑化劑檢測係根據評選須知所列的計畫工項，因此必須執行。 2.塑化劑於高溫燃燒下(>850℃)應已被分解破壞，理論上排放濃度應很低，根據本次排放管道塑化劑檢測結果亦符合此推論，可供國環院作為後續計畫是否列為執行工項之參考依據。 3 根據 NIEA 812 方法之品質要求，煙氣 PAEs 的分析空白背景需< 500 ng，本計畫各樣品空白數值範

	圍，皆符合方法要求。
9.本計畫 SRF 廠因 SRF 性質不同、空污防制設備亦有差異，請問如何由所得結果提出排放係數？	期中報告中提及的排放係數只根據一次的排放濃度測值、排氣量、單位時間燃料投入量或單位時間蒸氣產量來計算，因代表性有疑慮，故成果報告已刪除相關內容。
10. P.128，報告指出混燒 SRF 會比單純燒煤產生的灰量增加 4-6 倍。除了產生量之外，請問是否會大幅改變飛灰以及底灰的性質？是否會影響兩者再利用？	混燒後產生的底渣及飛灰性質變化及再利用的影響說明請參閱請參閱 2.3.9 說明（第 61 頁）。
11. P.133，二氧化硫 SO2，2 請下標。	遵照辦理，成果報告已修正。
12. P.133，對於控制 NOx 的產生，其原則敘述可否量化，而非僅是「減少」、「降低」等；請問減少至何量？降低至幾度？另一方面，減少燃燒供氧、降低燃燒溫度、減少在主燄區停留時間等，與一般焚化爐操作的 3Ts 原則不同；雖可降低 NO_x 生成，但是可能導致燃燒不完全、增加 PCDD/Fs 等問題。	依據廠方實務經驗，關於 NO_x 排放，混燒 SRF 可能會有 thermal NO_x 問題，因此建議的燃燒溫度能低於 1000℃，故兼顧 de-dioxin 及 de-NO_x，建議的溫度範圍是 850 至 1000℃。
13. P.134，SNCR 中文建議改為選擇性無觸媒還原，SCR 建議改為選擇性觸媒還原。	遵照辦理，成果報告已修正。
14. P.154-155，關於 SRF 廠的採樣對象、採樣分析內容為重複敘述，請整合敘述。	遵照辦理，成果報告已修正。
15.對於 TPM 廠，P158 頁所指後續仍需分析飛灰的 PCDD/Fs，是本計畫會執行嗎？	本計畫會同時分析煙氣、底渣、飛灰及排水之 PCDD/Fs 濃度。
16. 4.5 SRF 使用過程之污染物排放，說明甚多 PCDD/Fs 的煙道排放，	各廠煙氣、底渣、飛灰、廢水之 PCDD/Fs 濃度及廠內流佈請參閱

可惜並未比較其在飛灰、底渣、廢水等之濃度情形。既然這些基質有進行採樣，能否進行對照，以PCDD/Fs 的總量來看，而非以煙道產生 PCDD/Fs 的濃度來解釋使用SRF 的影響。	4.5.2 章節說明（第 211 頁）。
17.表 97-101，排放管道 DEHP 各場濃度為 1.0-3.8 μg/Nm^3，飛灰 TPM 與 CC 廠各為 13.8 μg/kg 與 11.7 μg/kg，FDG 排水 CC 廠與 YY 廠各為 1.69 μg/L 與 2.29 μg/L，放流水 CC 廠、CHPC 廠、YY 廠分別為 1.58 μg/L、2.46 μg/L、1.73 μg/L。這些不同廠但 DEHP 濃度相近，是否有可能為背景值（來自分析）？	1.燃料中的塑化劑於高溫燃燒下(>850℃)應已被分解破壞，理論上排放濃度應很低，根據本次塑化劑檢測結果亦符合此推論。 2.本計畫分析每批樣品之塑化劑皆有要求實驗室空白需<500 ng（參閱附錄八之四），由於實際分析樣品中的 DEHP 值皆遠大於空白值，因此並非是背景值。
18.本報告目前呈現之結果以煙道排放為主，對於飛灰、底渣、放流水等敘述不多。期末報告能否補齊資訊？	由於期中報告進度只有煙氣的分析數值，成果報告會加入各廠煙氣、底渣、飛灰及排水之污染物濃度資訊。
19.環境風險評估，建議能對照完全使用煤炭或燃油的廠，而非單獨看使用 SRF 的廠，以凸顯使用 SRF 相對上的影響為何。	感謝委員意見，本計畫目前僅針對 SRF 廠不同燃料比例所排放之空氣污染物環境風險進行探討，若有不同燃料 SRF 檢測及擴散模擬數據，本團隊亦可進行環境風險推估。
20.附表 1 與附表 2 列出品保目標，請問目前檢測之 QC 是否皆符合？	本計畫的檢測數值，皆符合各方法所的 QA/QC 要求。

張委員立德

審查意見	意見回覆
1.期中進度已適切掌握。	謝謝委員肯定。
2.4.2 節底下僅有 4.2.1 節，建議直接用 4.2 節進行統一說明。	遵照辦理，成果報告已修正。
3.第四章「執行成果」、第五章「期中報告執行成果」建議可整併為同一章。	遵照辦理，成果報告已修正。
4.計畫中所蒐集之網站數據資料，請清楚列出來源網址並列入參考文獻中。	遵照辦理，成果報告已修正。
5.期中報告已蒐集本土物種之 PNEC 資料，期末報告時請適切進行環境（生態）風險評估，並進行不確定性分析之討論。	感謝委員意見，本研究已將各廠的土壤污染物推估濃度與我國建議之生態土壤篩選值進行比較，並計算危害商數(參考表 4.7-50 至表 4.7-53)，並於附件中說明模擬過程及不確定性分析。

楊委員喜男

審查意見	意見回覆
1.建議英文縮寫依環境部訂定定義撰寫，如廢棄物衍生燃料(RDF)、固體再生燃料(SRF)等。	遵照辦理，成果報告已修正。
2.排放管道及廠內其餘測項目前無管制值分析項目者，建議收集參考文獻以利比對。	遵照辦理。
3.污染物生成解析是否會執行 SRF 成分、混燒比及處理設備等因子，與廢氣 PSN、Dioxins、PAHs、重金屬及塑化劑等相關性分析，會進行如能評估出主要因子改善後其環境風險降低度。	請參閱成果報告 4.6 章節說明（第 269 頁）。
4.SRF 製造廠及使用廠家數資料，建議再確認。	遵照辦理，請參閱成果報告 2.3.4 章節（第 33 頁）。

許委員元正

審查意見	意見回覆
1.目前執行進度在環境風險評估部分尚無具體解析評估，請加速進行，以提供後續計畫執行參酌。	遵照辦理，成果報告已加入環境風險評估內容，請參閱 4.7 章節(第 274 頁)。
2.各檢測結果彙整表，各工廠名稱請以一致的順序排列方便閱讀及數據比對。	遵照辦理，成果報告已修正。

巫委員月春

審查意見	意見回覆
1.表 95 至表 101 有關塑化劑濃度數值為 ND 時所對應之百分比請以”－”表示。	遵照辦理，成果報告已修正。
2.請執行單位與委託單位討論報告書內是標註工廠名稱或對應之工廠代號或以其他合適方式呈現。	成果報告書內是標註工廠代號，另會製作工廠名稱與工廠代號對照表給國環院。
3.有關李老師提及排放管道塑化劑檢測濃度甚較作業環境空氣中之濃度低，缺乏採樣分析意義，請執行單位於期末報告書中詳述說明理由及建議，供後續計畫檢討是否選擇列入執行工項之參考。	塑化劑於高溫燃燒下(>850℃)應已被分解破壞，理論上排放濃度應很低，根據本次排放管道塑化劑檢測結果亦符合此推論，可供國環院作為後續計畫是否列為執行工項之參考依據。
4.報告書中之污染物「排放係數」僅是根據一次的檢測數據計算而得，缺乏代表性且可能讓人錯誤引用，建請詳細標註說明此為單次的計算結果，或改用生產單位蒸氣所排放的污染物量來表示。	期中報告中提及的排放係數係根據一次的排放檢測濃度來計算，因有代表性不足之疑慮，為避免讓人引用錯誤，故成果報告已刪除排放係數名稱及計算內容。
5.建請執行單位於期末報告中說明同時控制 NO_x 及 PCDD/Fs 之合適條件。	依據實務經驗，關於 NO_x 排放，混燒 SRF 可能會有 thermal NO_x 問題，因此建議的燃燒溫度能低於 1000℃，故兼顧 de-dioxin 及 de-NO_x，建議的溫度範圍是 850 至 1000℃。

氣候變遷研究中心

審查意見	意見回覆
1.期中報告於 113 年 7 月 31 日送進本院，經審查後發現格式不符契約書附件目錄中附件三之格式規定，故要求工業技術研究院修正，並於 113 年 8 月 30 日提送修正版進院裡進行審查。	本項已根據主席及會議紀錄之裁示辦理。
2.期中報告修正版審查後發現基本摘要(3)「…報請國環院同意後擬定採樣時程，規劃 8/31 前完成 12 場次之污染物排放採樣作業，目前已完成 11 場次採樣…」，不符契約書第五條規定，期中報告至少須完成 12 場次 SRF 使用廠的排放採樣(如附件 1)，建請執行單位說明，並與委員意見修正後再提送修正版至院裡辦理後續核銷作業。	8/31 前完成 12 場次之污染物排放採樣作業。
3.有關期中報告使用的工廠代號，無法知道是哪家工廠，建請於報告內放置工廠名稱與代號對照表，以利後續追朔。	遵照辦理，工廠名稱與代號對照表已提供。
4.參考文獻格式建請再次檢閱並統一。	遵照辦理，成果報告已修正。
5.因 SRF 使用廠排放管道部分,已有戴奧辛、塑化劑及重金屬的分析數據，建請在環境風險評估部分應進行初步解析及評估，而非僅有文獻收集及強調物種係數需使用 US EPA 之可行性。	感謝委員意見，關於重金屬及戴奧辛因為樣品分析中，無法於期中報告更新，本部分皆已於成果報告補充完成，並於附件中說明模擬過程及不確定性分析。塑化劑部分因煙道檢測濃度極低，且不易經大氣擴散而蓄積於環境中，過去僅針對塑

	膠產業進行職業風險評估，故並無進行環境風險評估之必要性。

附錄五、期末報告委員意見回覆

李委員俊璋

審查意見	意見回覆
1.依據 1.4 計畫執行進度說明之甘特圖顯示各項工作均已完成，進度達 100%，惟各項工作項目之佔比缺，難以評估各階段完成度。	已於修正稿 1.4 章節之計畫執行進度說明（第 5~6 頁）加入各工項的佔比、完成日期與完成度，每一工項完成度皆為 100%。
2.詳細版摘要建議置於目錄前，且詳細版摘要對於環境風險評估之方法、參數集結應有較詳細之描述，請補充。	1.有關委員提議詳細版摘要建議置於目錄前，但「詳細版摘要」的位置係參照「國家環境研究院期中及成果研究報告撰寫要求及紙本印製格式」之規定，詳細版摘要須放置於目錄後。 2.感謝委員意見，詳細版摘要已補充說明環境風險評估之方法、參數集結內容（請參閱第 I～XIII 頁）。
3.在 SRF 之使用廠家盤點上，依據表 4.1-2、國內具有 SRF/RDF 之設置及燃料使用許可廠家資料調查結果顯示，許可類別屬於設置有 5 家，且這 5 家均有 SRF/RDF 之使用，為建置供需狀況，請補充一欄位，加入這 5 家之 SRF/RDF 生產量，並於表格最後加入小計，以利說明 SRF/RDF 之生產及使用量。	1.表 4.1-2 是說明國內具有 SRF 或 RDF 為燃料之固定污染源設置或操作及燃料使用許可，並非生產製造 SRF 之許可工廠。 2.有關委員提及建議補充一欄位，加入這 5 家之 SRF/RDF 生產量，並於表格最後加入小計，以利說明 SRF/RDF 之生產及使用量。 3.但這 5 家工廠有生產 SRF 僅有 2 家，分別是正〇后里廠及上〇資源嘉義廠。 4.統計 112 年正〇后里廠 SRF 申報年產量為 50,645 公噸，同年 SRF 之申報使用量 69,291 公噸；至於上〇資源嘉義廠 112 年 SRF 申報年產量 392 公噸，該廠同年 SRF 之申報使用量為 218 公噸。

4.在 SRF/RDF 之供需狀況，文中提及供不應求，依據表 4.1-2、國內具有 SRF/RDF 之設置及燃料使用許可廠家資料調查結果顯示，許多廠家 SRF+RDF 混燒比(%)均高，甚至有達 100%，各廠之空氣污染防治設備是否裝設？應予以說明。若未裝設，建議評估裝設之需求性。	1.今年執行 15 家訪廠，彙整各廠採用之空氣污染防制設備說明如表 4.2-1（第 149~151 頁）。 2.113 年 6 月 20 日修正公告之「公私場所固定污染源燃料混燒比例成分及防制設施管制標準」草案，其中新增以分類方式管理資源循環燃料應具備之設施及應採行之防制設施，參見表 2.3-12（第 29 頁）。 3.針對特定污染物超標之工廠會給予建議安裝合適的空氣污染防制設備，請參閱 4.5.1 章節之（四）（第 176~178 頁）及 4.6.2 章節（第 285~286 頁）。
5.在排放污染物的檢測調查工作中，發現其中有 3 家 SRF 使用廠排氣的 PCDD/Fs 濃度超標，這三家使用的 SRF 燃料中 Cu 的含量皆較其他廠高，而 Cu 為 PCDD/Fs 低溫再合成之觸媒。此外，其中 1 家因採樣期間處於啟爐不穩定階段導致排放濃度較高。廢棄物樣品中只有 1 家飛灰 PCDD/Fs 濃度超標，因其 SRF 混燒比高(86.2%)且飛灰中 Cu 含量最高，PCDD/Fs 的生成和排放與 SRF 或替代燃料中的 Cl 及 Cu 元素含量及飛灰中 Cu 含量成正相關，建議針對這三家分析其 SRF 燃料之來源、成分含量，評估改善可行性。	遵照辦理，針對 PCDD/Fs 超標之三家工廠有進行 PCDD/Fs 排放評析，請參閱 4.5.1 之（四）（第 176~178 頁）、4.5.2（第 225、244 及 263 頁），有針對使用的 SRF 及替代燃料之來源、成分含量進行探討，最後並給予改善建議。

6.由前述結果顯示，由於銅會催化 PCDD/Fs 於低溫再合成，建議應研擬修正「固體再生燃料製造技術指引與品質規範」中銅之含量標準，以降低 PCDD/Fs 的生成和排放。由前述結果顯示，由於銅會催化 PCDD/Fs 於低溫再合成，建議應研擬修正「固體再生燃料製造技術指引與品質規範」中銅之含量標準，以降低 PCDD/Fs 的生成和排放。	1.有關 SRF 品質中的 Cu 含量建議請參閱 4.6.1 節之二、2、(3)說明（第 280 頁）。 2.此項建議建請國環院參酌。
7.本計畫針對台中、雲林等地區之 SRF 使用廠排放源使用 AERMOD 進行其 PCDD/Fs、PAHs 及重金屬等污染物之擴散沉降模擬，同時使用加州多介質模式帶入臺灣本土環境參數，且利用蒙地卡羅分析降低不確定性，目前 Tier 1 環境風險推估情形，在不同廠區中，不同介質（土壤、水體、底泥）中不同化學物種（PCDD/Fs、PAHs、重金屬）推估之環境風險的危害商數(RQ 值)皆小於 1，結論認為表示目前無立即執行生態或人體健康風險評估之需要。然危害商數(RQ 值)係屬評估環境生態風險，非人體健康風險之指標，且無長期暴露累積之評估，建議刪除人體健康風險。	感謝委員建議，本研究之估算風險為環境生態風險，非人體健康風險。故修正稿內已將人體健康風險字眼移除，避免混淆或過度解讀。請參閱 5.1 節之四、2.（第 392 頁）。
8.在排放污染物的檢測調查工作中，發現其中有 3 家 SRF 使用廠排氣的 PCDD/Fs 濃度超標，建議評估此三家廠商之影響範圍有無農作物及畜牧產業，以避免再度發生類	有關委員的建議，經估算，SRF 廠家煙氣的 PCDD/Fs 濃度超標者其 RQ 風險並無超過建議值，推測原因可能為大氣擴散模擬中代入不同參數有關，例如：各廠家煙囪高度、氣象

似彰化線西戴奧辛鴨蛋事件。	條件、煙囪內徑、排氣速度、排氣溫度等條件，本研究調查 RQ 風險時亦同時記錄當年度的縣市政府統計年報中觀察出區域（鄉鎮村里）大概的產業狀況。（參考行政院農業部農業統計年報、行政院農業委員會甘藷整合管理、彰化縣政府統計年報、台中市政府統計年報、行政院農業試驗所甘藷健康管理技術暨操作手冊）。
9.在環境風險評估上，表 4.7-22 之多介質模式參數彙整，採用 Cal-EPA 建議，當考慮種植與肉品等生產時採用 0.15 m，用於食入及皮膚暴露計算則採用 0.01 m ，本計畫採 tier 1 若使用 0.15 m 可能人體健康風險有低估之虞，僅能評估環境生態風險。	感謝委員意見，修正稿已將人體健康風險字樣移除（第 392 頁）。

王委員雅玢

審查意見	意見回覆
1.計畫資料豐富，簡報上資料建議也一起放進修正稿，此外，以目前所掌握的資料是否能提出對 SRF 政策推動之有利說帖？表 2-3-19 整理各部會規範，在法令上是否有競合或可再調整的地方？	1.謝謝委員建議，兩年計畫執行了桃園地區 2 場次及中部地區 5 場次的環境風險評估，結果顯示在不同廠區中，土壤、水體、底泥中 PCDD/Fs、PAHs、重金屬推估之環境風險的危害商數（RQ 值）皆小於 1，顯示適量使用品質高的 SRF 作為鍋爐替代燃料、維持鍋爐正常運作、安裝完善空氣污染防制設備，對於造成的環境風險是低的，此結果可提供環境部做為 SRF 政策推動之有利說帖參考。 2.有關 SRF 品質管理，建議能有一個公正的第三方單位來監督及認證，確保使用者購買的 SRF 品質是符合需求。 3.有關表 2-3-19 是整理各部會 SRF 管理規範，環境部為強化料源管理、製造規範、使用管理及申報監控等，已於 113.11.5 預告訂定「共通性事業廢棄物作為固體再生燃料原料再利用管理辦法」草案。
2.報告中使用正 O 及 CC 來對採樣對象進行識別，是否需要統一？	本報告之工廠名稱與代號對照表請參閱附錄十一（第 561 頁）。
3.建議將去年 7 場次及今年 12 場次資料整理成簡報 15 頁的模式，以利比較。	遵照辦理，請參閱表 4.3-1 及 4.3-2（第 153~154 頁）。
4.P26 頁，比較戴奧辛超標的廠家，其中 ACH 的 SRF 進料僅 4%，其他廠皆超過 50%，在討論上宜留	1.感謝委員意見，根據採樣期間每日操作紀錄表資料顯示 ACH 廠的 SRF 進料量為 8%，但 SRF 中的 Cu

意。CC 廠除戴奧辛外，有多項樣品測值濃度亦偏高，建議一起討論。	含量皆明顯較其他廠使用的 SRF 高，Cu 為低溫再合成之重要觸媒。此外，採樣前一天傍晚該廠才重新啟爐，採樣第一天水泥旋窯可能尚處於未穩定狀態，導致排放管道 PCDD/Fs 濃度超標，不過三次的採樣濃度有隨運作時間增長趨於穩定（圖 4.5-29，第 266 頁），第三次樣品濃度已達 0.1 ng-TEQ/Nm3。 2.有關 CC 廠排放管道之 PCDD/Fs、PAHs 濃度偏高原因相似，皆是 SRF 混燒比很高、鍋爐內溫度分佈不均導致燃燒不完全，並且未安裝合適的空氣污染防制設備所致。至於底渣及飛灰重金屬濃度較高與使用的 SRF 品質及混燒比有關。
5. SRF 排放的污染物和 SRF 種類、混燒配比、鍋爐型式、燃燒條件及空氣污染防制設備(Air pollution control device, APCD)有關，建議討論可以多著墨。	感謝委員意見，根據檢測結果顯示使用 SRF 最可能產生之污染問題為 PCDD/Fs，本計畫 4.5.2 章節有針對各廠使用的 SRF 種類、成分、混燒比、鍋爐型式、燃燒條件及 APCD 與其 PCDD/Fs 排放進行評析及改善建議說明（第 215 頁）。

張委員立德

審查意見	意見回覆
1.期末報告內容豐富，值得肯定。	感謝委員肯定。
2.P.35 至 P.88 的頁首應為「第三章背景」，請更正。	遵照辦理，已於修正版完成所有更正（第 9~88 頁）。
3.第三章執行方法的文字敘述，請修正為「已執行完畢」的表述方式。	遵照辦理，已於修正版第三章完成更正（第 89~130 頁）。
4.蒙地卡羅分析之結果，應於 P.325 正文當中說明其結果，而非只將數據置於附件 9。	感謝委員建議，已將蒙地卡羅不確定性分析相關說明及結果移至內文 4.7.4 之三（第 337 頁），且新增更詳細之方法描述。
5.4.7.3 節中所彙整之文獻，請務必納入第六章之參考文獻中。	感謝委員指教，已將缺失之文獻於第六章補齊（第 395 頁）。
6.危害商數計算時所用的濃度，是採用 50%或 95%的區間值?請清楚說明。	感謝委員意見，在危害商數計算時統一使用不確定性分析後結果第五十百分位數，進行後續多介質濃度以及風險的計算，已新增在內文（請參閱第 336 頁）。
7.圖 4.6-3 中 SRF 之含 Cu 量有一家 >600 mg/kg，請予以確認並釐清。	感謝委員意見，有關圖 4.6-6 是彙整去年與今年的 SRF 數據，>600 mg/kg 為去年 Z 廠 SRF 的 Cu 含量數據。

許委員元正

審查意見	意見回覆
1.本計畫為多年期計畫，最後須有明確產出，因此後續執行請在環境風險評估多加探討著墨。	本研究比較中部與北部地區之 SRF 廠家風險估算之結果差異，試著釐清 RQ 風險是否與污染防制設備、SRF 進料組成、及煙道檢測濃度是否有關聯；經比對環境之危害商數結果與煙道檢測濃度數據，發現並無相關；與預測環境濃度(PEC)濃度較有顯著相關，推測差異原因可能為大氣擴散模擬中需代入不同參數，例如：各廠家煙囪高度、氣象條件、煙囪內徑、排氣速度、排氣溫度等條件，都會有所不同，因而造成不同的 RQ 風險結果，內容請參閱 4.7.4 之六（第 378 頁）。
2.第五章結論與建議，結論的敘述中不宜再出現”建議”等字眼，造成混淆。	遵照辦理，修正稿「結論與建議」章節，結論的敘述中已刪除”建議”字眼。請參閱第五章（第 391 頁）
3.建議一節內文的敘述方向，請先再與委託單位討論。	遵照辦理。
4.請加註 PAHs 高低分子量之界定。	有關 PAHs 高低分子量之界定，PAHs 主要分為 2~3 環之低分子量(LMW)、4 環之中分子量(MMW)及 5~6 環之高分子量(HMW) PAHs。

楊委員喜男

審查意見	意見回覆
1.第二類資源循環燃料品質檢測中 Cu 尚未有標準或規範，但報告中說明 2 個廠 SRF 中 Cu 較高，請補充說明其判定方式?	根據本計畫調查資料顯示多數 SRF 中 Cu 含量<100 mg/kg，但有三廠的 SRF 含 Cu 量高於 200 mg/kg，例如 TCS、YTS 及 ACH 廠，此三家的 Cu 含量明顯高於他廠。
2.同上，DEHP 或 6 種塑化劑測值之判定是否有文獻?	1.未找到排放管道塑化劑文獻。 2.DEHP 或 6 種塑化劑測值與 SRF 的成分有關，若含 PVC，SRF 中的 DEHP 含量高。本計畫 SRF 中的 DEHP 含量較高者有 TCH 廠，DEHP 高達 1,260~1,530 mg/kg，因其 SRF 為透明塑膠片 。
3.同上，2 家漿紙污泥（但非所有漿紙污泥）Hg 偏高，是否可由收集資料中研判來源?	部分漿紙污泥中 Hg 含量偏高的可能原因有：(1)來自廢紙的纖維，可能因印刷油墨或塗層中的汞、(2)廢水處理廠之富集效應，處理過程中的沉澱作用會濃縮汞，因此污泥中的汞含量偏高。請參閱第 168 頁。

國環院氣候變遷研究中心

審查意見	意見回覆
1.成果報告於 113 年 11 月 15 日送進本院，經審查後格式符契約書附件目錄中附件三之格式規定。	謝謝委員。
2.本計畫的工作項目於成果報告初稿中均有如實呈現，符合契約書規定。	謝謝委員。
3.表 4.5-5 至 4.5-8 重金屬彙整表中有些金屬元素的濃度值< QDL，請將 QDL 值呈現於表下方，以利環境風險評估解析之用。	表 4.5-5 至 4.5-8 中重金屬之 QDL 數值皆已填入表內（第 191~194 頁）。
4.4.6 節中調查結果與管制標準研析部分，應針對鍋爐空氣污染物排放標準部分多加探討，而非僅以幾個相關性的圖表示。	遵照辦理，新增鍋爐空氣污染物排放標準探討內容，請參閱 4.6 章節（第 273~286 頁）。
5.內文中的多環芳香烴化合物的英文所寫是 PAHs 而非 PAH，協請將其內文中錯誤部分統一修正。	已於修正稿內完成修訂。
6.環境風險評估的推估結果與不確定性分析部分，應加以詳細說明，尤其本計畫已執行第二年，已有北部及中部的推估資料，建請進行比較與解析。	1.感謝委員意見，不確定性分析內容已補充說明（參見 4.7.4 之三，第 337 頁） 2.已補充北部與本研究中部廠家的比較，詳見 4.7.4 章節之六（第 378 頁）。
7.有關成果報告使用的工廠代號，無法知道是哪家工廠，建請於報告內放置工廠名稱與代號對照表，或是於附件 5 使用廠家的訪視紀錄中標註，以利後續追朔。	工廠名稱與代號對照表請參閱附錄十一（第 561 頁）。
8.參考文獻格式建請再次檢閱並統	已於修正稿完成修訂，請參閱第六

一，如期刊名有的用縮寫，有的則以全名表示。	章（第 395 頁）。
9.本計畫結論與建議中，有關「建議」的部分請再調修，內容中不應將第三年要執行之工項寫入該建議內。	遵照辦理，已於修正稿完成內容修訂，請參閱 5.2（第 393 頁）。

國環院環境治理中心

審查意見	意見回覆
1.本中心與本計畫針對塑化劑及重金屬部分有採集相同煙囪，但分析數據有所差異，建議後續能與執行團隊針對此問題進行討論。	遵照辦理。

環境部大氣司

審查意見	意見回覆
計畫分析 SRF 中氯成分及對應排放管道 PCDD/Fs 濃度，發現兩者呈正相關，並以本司預告之戴奧辛排放標準(0.1 ng-TEQ/Nm^3)代入線性關係式，推估建議 SRF 之含氯量建議為 0.4%，此研究對資源循環燃料管制規範擬訂具有相當助益，建請貴院另以電子郵件提供本司承辦人，有關旨揭計畫執行之成分檢測、排放管道檢測資料，包括廠名、檢測數據以及計算公式等原始資料，俾作為本司未來研訂空氣污染管制相關規範之參考。	探討 SRF 中氯成分及對應排放管道 PCDD/Fs 濃度之 Cl 含量、廠名、PCDD/Fs 檢測數據以及計算公式等資料及說明，已提供給國環院。

環境部資源循環署

審查意見	意見回覆
1.本署於 113 年 3 月 22 日函頒修正「事業廢棄物清理計畫書審查作業參考指引」之附件四「固體再生燃料製造技術指引與品質規範」，整份成果報告各部分如有引用上開規範資訊，請依照最新版本規範內容，如：SRF 品質標準、使用設施等。	感謝委員意見，本計畫有關 SRF 品質標準與使用設施已參照 113 年 3 月 22 日公告之「固體再生燃料製造技術指引與品質規範」內容完成修正，請參閱表 2.3-9 及表 2.3-10（第 25~26 頁）。
2.P.25，表 2.3-8，請註明各標準係屬何國家之規定。	表 2.3-8 已於修正稿完成註明（第 24 頁）。
3.P.28 大氣司已於 113 年 6 月 20 日預告草案時，將原分三級「資源循環燃料」修改名稱，請再確認修正。	感謝委員意見，已於修正稿完成修正，請參閱第 27~29 頁。
4.P.30，本計畫並未依本署 113 年 3 月 22 日修正函頒「固體再生燃料製造技術指引與品質規範」進行評析，且誤認大氣司原預告修正資源循環燃料分級標準為 SRF 品質標準，致誤認為我國 SRF 品質標準較寬鬆，請修正。	感謝委員意見，本計畫有關 SRF 品質標準與評析已參照 113 年 3 月 22 日公告之「固體再生燃料製造技術指引與品質規範」內容完成修正。請參閱 4.4（第 160~164 頁）。
5.P.37，有關 112 年 SRF 製造量，本署對外公布皆為 29 萬公噸，請確認。	感謝委員意見，已於修正稿將 112 年 SRF 製造量修正為 29 萬公噸（第 33 頁）。
6.P.30，報告中敘述 Cu 是戴奧辛低溫再聚合之重要觸媒一節，請完整引用參考文獻內容，說明其適用條件，並檢視並說明本計畫進行 Cu 之檢測條件及數據，是否符合前述文獻情形，而非僅臚列各檢測數據	有關 Cu 金屬作為低溫再合成 PCDD/Fs 之催化劑相關研究請參照 3.5.4 章節 一、之說明（第 131 頁）或參閱 Chin et al., 2012; Ryu et al., 2005; Wang et al., 2002;等文獻（參考文獻第 9、第 36 及第 39）。

後逕下結論。	
7.成果報告 P.41，表 2.3-17，潤 O 精密材料宜蘭冬山廠目前非為本署認定之 SRF 使用廠，該廠是否已取得固污操作許可及 SRF 燃料許可，請確認。	從環境部「固定污染源管理資訊公開平台」查詢潤〇精密材料股份有限公司宜蘭冬山廠，113 年 5 月發的該廠 M01 水泥製造程序之固定污染源操作及燃料使用許可證內之燃料用量規定：E013 預熱機及 M01 水泥製造程序內皆有固體再生燃料(170399)項目，水泥製造程序之 SRF 最大許可量為 18,000 公噸/年。

附錄六、SRF 使用廠家之訪視記錄（15 家）

1.永O餘楊梅廠

<table>
<tr><td colspan="2">訪廠時間</td><td colspan="5">113 年 3 月 11 日（一）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">廠商基本資料</td><td>廠家名稱</td><td colspan="2">永O餘消費品實業股份有限公司楊梅廠</td><td>管制編號</td><td colspan="2">HOOO</td></tr>
<tr><td>生產物品</td><td colspan="5">生產衛生紙</td></tr>
<tr><td colspan="2">使用 SRF 製程名稱及編號</td><td colspan="5">M02 鍋爐蒸氣產生程序操作及燃料</td></tr>
<tr><td rowspan="6">燃料種類</td><td rowspan="5">固定污染源許可資料（最大量）</td><td>製程</td><td colspan="4">M02 (E002)</td></tr>
<tr><td>種類</td><td>公噸/小時</td><td colspan="2">公噸/年</td><td>熱值(kcal/kg)</td></tr>
<tr><td>煙煤</td><td>1.914</td><td colspan="2">17000</td><td><6500</td></tr>
<tr><td>SRF</td><td>0.616</td><td colspan="2">5400</td><td>3870</td></tr>
<tr><td>漿紙污泥 (R-0904)</td><td>0.144</td><td colspan="2">1000</td><td>700</td></tr>
<tr><td colspan="2">SRF 混燒重量比(%)</td><td colspan="4">23</td></tr>
<tr><td rowspan="8">SRF 資料</td><td>來源</td><td colspan="5">外購 1 家</td></tr>
<tr><td>主成分</td><td colspan="5">木片</td></tr>
<tr><td>成分數值</td><td colspan="3">公司 SRF 允收標準</td><td colspan="2">實測值</td></tr>
<tr><td>熱值 (kcal/kg)</td><td colspan="3">3000 至 6000</td><td colspan="2">3870</td></tr>
<tr><td>尺寸(mm)</td><td colspan="3">-</td><td colspan="2">寬<25 mm
長<40 mm</td></tr>
<tr><td>Cl(%)</td><td colspan="3">≤0.1</td><td colspan="2"><MDL (0.00155%)</td></tr>
<tr><td>Pb (mg/kg)</td><td colspan="3"><0.6</td><td colspan="2">ND</td></tr>
<tr><td>Cd (mg/kg)</td><td colspan="3"><0.125</td><td colspan="2">ND</td></tr>
<tr><td>Hg (mg/kg)</td><td colspan="3"><0.02</td><td colspan="2">ND</td></tr>
</table>

爐體設備	E002	
鍋爐型式	氣泡式流體化床鍋爐（2008 年）	
蒸氣量 （公噸/小時）	12 公噸/小時（實際：9 至 10.8 公噸/小時）	
操作時間	24 小時/日、365 日/年	
操作溫度	830 至 950℃	
燃料實際投入量	煙煤	1.7 公噸/小時
	SRF	0.2 公噸/小時
	漿紙污泥	0.144 公噸/小時
	SRF 混燒重量比(%)	9.7
空氣污染防制設備	M02： 鍋爐→袋式集塵機(BF)除塵→O_3 氧化脫硝→濕式排煙脫硫(FGD)→煙囪 鍋爐內無噴入石灰石 無噴入活性碳 O_3：濃度 120 g/Nm^3、噴注量 7 kg/h FGD 洗滌流率：950 L/min, pH 7~9 排氣量：400 Nm^3/h	
底渣	15 kg/h	
飛灰	119 kg/h	
FGD 排出水	2.5 T/h	
廢水處理廠放流水	550 L/min	
廢棄物處理	廢棄物 代碼	終端再利用 簡述
	R-1106	CLSM
	R-1107	CLSM
	D-1199	CLSM

2.永O餘新屋廠

<table>
<tr><td colspan="2">訪廠時間</td><td colspan="5">113 年 3 月 11 日（一）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">廠商基本資料</td><td>廠家名稱</td><td colspan="2">永O餘工業用紙股份有限公司
新屋能源廠</td><td>管制編號</td><td colspan="2">HOOO</td></tr>
<tr><td>生產物品</td><td colspan="5">牛皮紙、白板紙</td></tr>
<tr><td colspan="2">使用 SRF 製程名稱及編號</td><td colspan="5">M01、M03、M06</td></tr>
<tr><td rowspan="9">燃料種類</td><td rowspan="8">固定污染源許可資料（最大量）</td><td>製程</td><td>M01</td><td colspan="2">M03</td><td>M06</td></tr>
<tr><td>單位</td><td>公噸/年</td><td colspan="2">公噸/年</td><td>公噸/年</td></tr>
<tr><td>煙煤</td><td>167500</td><td colspan="2">171252</td><td>-</td></tr>
<tr><td>廢橡膠</td><td>41875</td><td colspan="2">10050</td><td>9232</td></tr>
<tr><td>SRF</td><td>41875</td><td colspan="2">56950</td><td>66592</td></tr>
<tr><td>漿紙污泥
(R-0904)</td><td>-</td><td colspan="2">53626.8</td><td>-</td></tr>
<tr><td>有機性污泥</td><td>-</td><td colspan="2">10050</td><td>-</td></tr>
<tr><td>廢塑膠</td><td>-</td><td colspan="2">16750</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">SRF
混燒重量比(%)</td><td>16.7</td><td colspan="2">17.9</td><td>87.8</td></tr>
<tr><td rowspan="6">SRF 資料</td><td>來源</td><td colspan="5">自製 1 家、外購 1 家</td></tr>
<tr><td>廠家</td><td colspan="3">自製（3000~4000 公噸/月）</td><td colspan="2">外購</td></tr>
<tr><td>主成分</td><td colspan="3">廢紙排渣</td><td colspan="2">木片（未造粒）</td></tr>
<tr><td>佔比(%)</td><td colspan="3">70</td><td colspan="2">30</td></tr>
<tr><td>成分數值</td><td colspan="5">公司 SRF 允收標準</td></tr>
<tr><td>Cl(%)</td><td colspan="5">≤0.3</td></tr>
</table>

爐體設備	M06 鍋爐汽電共生程序（2020 年）	
鍋爐型式	循環流體化床鍋爐 (E607)	
蒸氣量	70 公噸/小時	
發電量	76000000 度/年	
操作時間	24 小時/日、333 日/年	
操作溫度	850~880℃	
鍋爐編號	E607	
燃料實際投入量	種類	最大量（公噸/小時）
	廢橡膠	1.154
	SRF	8.324
	SRF 混燒重量比(%)	87.8
空氣污染防制設備	M02： 鍋爐→選擇觸媒還原(SCR)➡袋式集塵機(BF)除塵→濕式排煙脫硫(FGD)→煙囪 爐內石灰石添加量 0.117 公噸/小時 SCR 具 de-NOx 及 de-PCDD/Fs 雙功能 SCR 入口溫度 250~420℃ 25%氨水：0.077 公噸/小時 FGD：NaOH (pH 7-9)	
廢棄物處理	終端再利用簡述	
	底渣 CLSM	
	飛灰 CLSM	

3.台O石化麥寮一廠

<table>
<tr><td colspan="2">訪廠時間</td><td colspan="6">113 年 3 月 15 日（五）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">廠商基本資料</td><td>廠家名稱</td><td colspan="3">台O石化股份有限公司麥寮一廠</td><td>管制編號</td><td>POOO</td></tr>
<tr><td>生產物品</td><td colspan="5">石化原料</td></tr>
<tr><td colspan="2">使用 SRF 製程名稱及編號</td><td colspan="6">M28 鍋爐汽電共生程序　循環流體化床鍋爐(ES01) (Alstom)
M29 鍋爐汽電共生程序　循環流體化床鍋爐(ET01) (Alstom)</td></tr>
<tr><td rowspan="6">燃料種類</td><td rowspan="5">固定污染源許可資料（最大量）</td><td>製程</td><td colspan="2">M28</td><td colspan="2">M29</td><td></td></tr>
<tr><td>種類</td><td>公噸/年</td><td>公噸/小時</td><td>公噸/年</td><td>公噸/小時</td><td></td></tr>
<tr><td>生煤</td><td>399456</td><td>57</td><td>499320</td><td>57</td><td></td></tr>
<tr><td>SRF</td><td>24966</td><td>2.85</td><td>24966</td><td>2.85</td><td></td></tr>
<tr><td>製程氣</td><td>195607.296 KNm^3/年</td><td>26.516 KNm^3/h</td><td>195607.296 KNm^3/年</td><td>22.329 KNm^3/h</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">SRF 佔固體燃料混燒重量比(%)</td><td>5.9</td><td>4.8</td><td>4.8</td><td>4.8</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="4">SRF 資料</td><td>來源</td><td colspan="6">1 家（生活垃圾）</td></tr>
<tr><td>進貨量</td><td colspan="6">1181 公噸/月</td></tr>
<tr><td>熱值 (kcal/kg)</td><td colspan="6">4200~4500</td></tr>
<tr><td>尺寸(mm)</td><td colspan="6"><5 公分 不造粒</td></tr>
<tr><td>Cl(%)</td><td colspan="6">≤1%</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>製程編號</td><td colspan="2">M28</td><td colspan="2">M29</td></tr>
<tr><td>鍋爐型式</td><td colspan="2">循環流體化床鍋爐(ES01)</td><td colspan="2">循環流體化床鍋爐(ET01)</td></tr>
<tr><td>蒸氣量(公噸/小時)</td><td colspan="2">500（實際 400）</td><td colspan="2">500（實際 400）</td></tr>
<tr><td>發電量(MW)</td><td colspan="2">148</td><td colspan="2">148</td></tr>
<tr><td>操作熱值(kcal/kg)</td><td colspan="2">6322</td><td colspan="2">6322</td></tr>
<tr><td>操作時間</td><td colspan="4">24 小時/日、365 日/年</td></tr>
<tr><td>操作溫度</td><td colspan="4">870~950℃</td></tr>
<tr><td rowspan="3">燃料實際投入量</td><td colspan="2">生煤</td><td colspan="2">40~45 公噸/小時</td></tr>
<tr><td colspan="2">SRF</td><td colspan="2">2.85 公噸/小時
約佔 5%</td></tr>
<tr><td colspan="2">製程氣</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>空氣污染防制設備</td><td colspan="4">M28：
循環流體化床鍋爐鍋爐（加入石灰石乾式脫硫）→旋風集塵器→SNCR（氨水）→SCR（氨水）→活性碳注入設備→整合式脫硫除塵設備（袋式集塵機 BF）→煙囪

爐內加入石灰石最大量 2~5 公噸/小時
SNCR：20% 氨水 (10~610 L/h)
SCR：20% 氨水(10~400 L/h)
活性碳：1 kg/h
熟石灰:：~3400 kg/h
BF：濾袋 GORE PTFE（4000 支濾袋）
二次除酸：$CaO+H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$

M29 與 M28 一樣</td></tr>
<tr><td>底渣</td><td colspan="4">ES01: 1000~3000 公斤/小時（但再次循環）</td></tr>
<tr><td>飛灰</td><td colspan="4">ES01: 5000~8000 公斤/小時</td></tr>
<tr><td rowspan="2">廢棄物處理</td><td>項目</td><td colspan="2">廢棄物代碼</td><td>終端再利用
簡述</td></tr>
<tr><td>飛灰</td><td colspan="2">R-1107</td><td>預拌混泥土廠
(CLSM)</td></tr>
<tr><td>其他說明</td><td colspan="4">煤：高位發熱量≥5000 kcal/kg、汞≤0.15μg/g、灰分≤20%
S≤0.8%
SRF 儲存場裝設熱成項分析儀監控防止火災</td></tr>
</table>

4.中O紙漿股份有限公司久堂廠

<table>
<tr><td colspan="2">訪廠時間</td><td colspan="5">113 年 3 月 21 日（四）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">廠商基本資料</td><td>廠家名稱</td><td colspan="2">中O紙漿股份有限公司久堂廠</td><td>管制編號</td><td colspan="2">SOOO</td></tr>
<tr><td>生產物品</td><td colspan="5">文化用紙</td></tr>
<tr><td colspan="2">使用 SRF 製程名稱及編號</td><td colspan="5">M04 鍋爐汽電共生程序</td></tr>
<tr><td rowspan="9">燃料種類</td><td rowspan="8">固定污染源許可資料（最大量）</td><td>製程</td><td colspan="4">M04</td></tr>
<tr><td>種類</td><td colspan="2">公噸/年</td><td colspan="2">公噸/小時</td></tr>
<tr><td>煙煤</td><td colspan="2">217980</td><td colspan="2">26.25</td></tr>
<tr><td>漿紙污泥</td><td colspan="2">26400</td><td colspan="2">4.2</td></tr>
<tr><td>SRF</td><td colspan="2">129750</td><td colspan="2">15.625</td></tr>
<tr><td>生質燃料（木質顆粒）</td><td colspan="2">7266</td><td colspan="2">0.875</td></tr>
<tr><td>廢木材</td><td colspan="2">934</td><td colspan="2">0.113</td></tr>
<tr><td>廢橡膠</td><td colspan="2">1142</td><td colspan="2">0.138</td></tr>
<tr><td colspan="2">SRF 混燒重量比(%)</td><td colspan="4">33.1</td></tr>
<tr><td rowspan="7">SRF 資料</td><td>來源</td><td colspan="5">外購 4 家</td></tr>
<tr><td colspan="6">SRF 允收標準</td></tr>
<tr><td>直徑<35 mm</td><td>揮發份<80%</td><td>低熱值≥3600 kcal/kg</td><td colspan="3">Hg<0.1 mg/kg</td></tr>
<tr><td>長度<50 mm</td><td>鐵<0.1%</td><td>Cl≤0.1%</td><td colspan="3">Cd<0.125 mg/kg</td></tr>
<tr><td>水分<25%</td><td>非鐵金屬<0.1%</td><td>S≤0.0393</td><td colspan="3">Pb<2.2 mg/kg</td></tr>
<tr><td>灰份<5%</td><td>非可燃雜物<0.5%</td><td>N≤0.5%</td><td colspan="3">As<0.04 mg/kg</td></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td colspan="3">Cr^{6+}<0.009 mg/kg</td></tr>
</table>

爐體設備	M04	
鍋爐型式	循環流體化床(E601)	
蒸氣量 （公噸/小時）	200（實際 180~190）	
發電量 （萬千瓦小時）	4.35（實際 3.2~3.5）	
操作時間	24 小時/日、346 日/年	
操作溫度	850~860℃	
燃料實際投入量	煙煤	26~28 公噸/小時
	SRF	1 公噸/小時
	漿紙污泥	1 公噸/小時
	SRF 混燒重量比(%)	4~5
空氣污染防制設備	M04： 鍋爐（石灰石乾式脫硫+SNCR）→靜電集塵機(ESP)除塵→煙囪 石灰石注入量 30 公噸/日 25%氨水注入量 400 kg/h 無噴注活性碳	
底渣排出量	15 公噸/日	
飛灰排出量	50 公噸/日	
廢棄物處理	CLSM	
	水泥原料	
其他說明	1.進場前須找一天上工安課後再入廠(3h) 2.廠方建議安排 5 月執行採樣 3.規劃興建袋式集塵機設備 4.煤與 SRF 混合後再進爐內	

5.台O汽電官田廠

<table>
<tr><td colspan="2">訪廠時間</td><td colspan="4">113 年 3 月 22 日（五）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">廠商基本資料</td><td>廠家名稱</td><td colspan="2">台O汽電共生股份有限公司
官田廠</td><td>管制編號</td><td>ROOO</td></tr>
<tr><td colspan="2">使用 SRF 製程名稱及編號</td><td colspan="3">M01 鍋爐發電程序</td></tr>
<tr><td rowspan="6">燃料種類</td><td rowspan="5">固定污染源許可資料
(最大量)</td><td>製程</td><td colspan="3">M01</td></tr>
<tr><td>種類</td><td colspan="3">公噸/小時</td></tr>
<tr><td>煙煤</td><td colspan="3">21.534</td></tr>
<tr><td>SRF</td><td colspan="3">6.5</td></tr>
<tr><td>廢橡膠</td><td colspan="3">6.582</td></tr>
<tr><td colspan="2">SRF
混燒重量比(%)</td><td colspan="3">10</td></tr>
<tr><td rowspan="6">SRF
資料</td><td>來源</td><td colspan="4">外購 2 家</td></tr>
<tr><td>廠家</td><td colspan="2">A</td><td colspan="2">B</td></tr>
<tr><td>主成分</td><td colspan="2">廢紡織、塑膠</td><td colspan="2">廢塑膠</td></tr>
<tr><td>熱值(kcal/kg)</td><td colspan="2">5200</td><td colspan="2">5000</td></tr>
<tr><td>尺寸(mm)</td><td colspan="2">3~5 cm 棒狀</td><td colspan="2">3~5 cm 棒狀</td></tr>
<tr><td>進料量
（公噸/月）</td><td colspan="2">1000</td><td colspan="2">300</td></tr>
<tr><td colspan="2">鍋爐型式</td><td colspan="4">循環流體化床(E501)</td></tr>
<tr><td colspan="2">蒸氣量（公噸/小時）</td><td colspan="4">200（實際 150~160）</td></tr>
<tr><td colspan="2">發電量(MW)</td><td colspan="4">48（實際 30 ）</td></tr>
<tr><td colspan="2">操作時間</td><td colspan="4">24 小時/日、340 日/年</td></tr>
<tr><td colspan="2">操作溫度</td><td colspan="4">850~900</td></tr>
<tr><td colspan="2">操作熱值(kcal/kg)</td><td colspan="4">5800~6000</td></tr>
</table>

燃料實際投入量	煙煤	13.9 公噸/小時
	SRF	1.1 公噸/小時
	廢橡膠	6.8 公噸/小時
	SRF 混燒重量比(%)	約 5
空氣污染防制設備	M01： 爐內噴注石灰石粉（乾式脫硫）+爐內噴入 20%氨水脫硝(SNCR)→靜電集塵機(ESP)除塵→煙囪	
廢棄物處理	底渣排出量 500 公噸/月	
	飛灰排出量 2000 公噸/月	
	有混燒：D-1199（一般性飛灰或底渣混合物）	
	無混燒：R1106	
	再利用：CLSM	
其他說明	1.該廠 SRF 備料不足問題 2.發電有全載及降載時段，降載時不投入 SRF 3.CEMS 有 PSN 及不透光度 4.之後可能再加裝一套 SNCR（高低位置不同）	

6.正O股份有限公司竹北廠

<table>
<tr><td colspan="2">訪廠時間</td><td colspan="6">113 年 3 月 25 日（一）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">廠商基本資料</td><td>廠家名稱</td><td colspan="3">正O股份有限公司竹北廠</td><td>管制編號</td><td>JOOO</td></tr>
<tr><td>生產物品</td><td colspan="5">生產衛生紙</td></tr>
<tr><td colspan="2">使用 SRF 製程名稱及編號</td><td colspan="6">M01 鍋爐蒸氣產生程序（20 T/h 3 座，2 用 1 備）
M02 鍋爐汽電共生程序（90 T/h 1 座）</td></tr>
<tr><td rowspan="10">燃料種類</td><td rowspan="9">固定污染源許可資料（最大量）</td><td>製程</td><td colspan="2">M01</td><td colspan="2">M02</td><td></td></tr>
<tr><td>編號</td><td>E101</td><td>E102</td><td colspan="2">E201</td><td></td></tr>
<tr><td>種類</td><td>公噸/小時</td><td>公斤/小時</td><td>公噸/年</td><td>公噸/小時</td><td></td></tr>
<tr><td>煤</td><td>1.805</td><td>1.805</td><td>71832</td><td>8.2</td><td></td></tr>
<tr><td>漿紙污泥</td><td>2.1</td><td>2.1</td><td>39420</td><td>4.5</td><td></td></tr>
<tr><td>SRF</td><td colspan="2">-</td><td>162060</td><td>18.5</td><td></td></tr>
<tr><td>種類</td><td colspan="2">公噸/年</td><td>-</td><td>-</td><td></td></tr>
<tr><td>煤</td><td colspan="2">31906.8</td><td>-</td><td>-</td><td></td></tr>
<tr><td>漿紙污泥</td><td colspan="2">34776</td><td>-</td><td>-</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">SRF
混燒重量比(%)</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">59.3</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="5">SRF 資料</td><td>來源</td><td colspan="6">集團自產 1 家</td></tr>
<tr><td>主成分</td><td colspan="6">廢紙排渣</td></tr>
<tr><td>熱值
(kcal/kg)</td><td colspan="6">4540</td></tr>
<tr><td>尺寸(mm)</td><td colspan="6">95% 為散料、5%為棒狀</td></tr>
<tr><td>允收標準</td><td colspan="6">Cl(%)<1.02
Pb (mg/kg)<19.8
Cd (mg/kg)<1
Hg (mg/kg)<0.1</td></tr>
</table>

SRF 爐體設備	M02		
鍋爐型式	循環流體化床(E201)		
蒸氣量（公噸/小時）	90		
發電量(kWh)	16000		
操作溫度	850~900℃		
爐內停留時間	>2 秒		
燃料實際投入量	煙煤	50 公噸/日（2.08 公噸/小時）	
	SRF	200 公噸/日（8.3 公噸/小時）	
	漿紙污泥	50 公噸/日（2.08 公噸/小時）	
	SRF 混燒熱值佔比(%)	80~85	
空氣污染防制設備	M02： 鍋爐+SNCR（25%氨水）→旋風集塵機(CY)→選擇觸媒還原(SCR)→袋式集塵機(BF)除塵→濕式排煙脫硫(FGD)→濕式靜電集塵(WESP)→加熱器（蒸汽預熱至 90±5℃）→煙囪 其他說明： 因漿紙污泥內含 30%石灰石，故爐內不再加入石灰石除酸 SNCR 及 SCR：使用 25%氨水，加入量約 1 m^3/h SCR 入口溫度 400℃（V_2O_5 觸媒） BF 濾袋材質：PTFE 無噴注活性碳 FGD：使用 $NaOH_{(aq)}$ 排氣量約 100000 Nm^3/h		
底渣及飛灰產出	140 公斤/小時		
FGD 排出水	30 m^3/日		
廢棄物處理	底渣	D-1199	CLSM
	飛灰	D-1199	CLSM
其他說明	M01 目前並未使用 SRF		

7.台O鋼聯

<table>
<tr><td colspan="2">訪廠時間</td><td colspan="5">113 年 3 月 26 日（二）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">廠商基本資料</td><td>廠家名稱</td><td colspan="3">台O鋼聯股份有限公司</td><td>管制編號</td><td>NOOO</td></tr>
<tr><td>生產物品</td><td colspan="5">粗氧化鋅</td></tr>
<tr><td colspan="2">使用 SRF 製程名稱及編號</td><td colspan="5">M01 其他金屬或無機鹽製造程序（一號窯 E001）
M03 其他金屬或無機鹽製造程序（二號窯 E063）</td></tr>
<tr><td rowspan="5">燃料種類</td><td rowspan="4">固定污染源許可資料（最大量）</td><td>製程</td><td colspan="2">M01
(E001)</td><td colspan="2">M03
(E063)</td></tr>
<tr><td>種類</td><td>公噸/年</td><td>公噸/小時</td><td>公噸/年</td><td>公斤/小時</td></tr>
<tr><td>焦炭</td><td>30800</td><td>3.670</td><td>34000</td><td>4.050</td></tr>
<tr><td>焦炭替代燃料
(SRF)</td><td>13424</td><td>1.600</td><td>16576</td><td>1.970</td></tr>
<tr><td colspan="2">SRF
混燒比(%)</td><td colspan="2">30.4</td><td colspan="2">32.8</td></tr>
<tr><td rowspan="10">SRF 資料</td><td>來源</td><td colspan="5">外購 2 家</td></tr>
<tr><td>廠家</td><td colspan="2">A</td><td colspan="3">B</td></tr>
<tr><td>主成分</td><td colspan="2">塑膠</td><td colspan="3">塑膠</td></tr>
<tr><td>熱值
(kcal/kg)</td><td colspan="2">7509</td><td colspan="3">8387</td></tr>
<tr><td>尺寸(mm)</td><td colspan="2"><5 cm</td><td colspan="3"><5 cm</td></tr>
<tr><td colspan="6">該廠 SRF 允收標準</td></tr>
<tr><td>淨熱值
(kcal/kg)</td><td colspan="5">≥2392</td></tr>
<tr><td>Cl(%)</td><td colspan="5">3%</td></tr>
<tr><td>Pb(mg/kg)</td><td colspan="5">150</td></tr>
<tr><td>Cd(mg/kg)</td><td colspan="5">5</td></tr>
<tr><td>Hg(mg/kg)</td><td colspan="5">5</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>爐體設備</td><td colspan="2">E001</td><td colspan="2">E063</td></tr>
<tr><td>鍋爐型式</td><td colspan="2">旋轉窯（一號）</td><td colspan="2">旋轉窯（二號）</td></tr>
<tr><td rowspan="7">原料</td><td>名稱</td><td>最大用量
（公噸/小時）</td><td>名稱</td><td>最大用量
（公噸/小時）</td></tr>
<tr><td>電爐集塵灰及污泥</td><td>11.410</td><td>電爐集塵灰及污泥</td><td>14.090</td></tr>
<tr><td>混合石灰</td><td>3.710</td><td>混合石灰</td><td>4.580</td></tr>
<tr><td>集塵灰替代料</td><td>4.220</td><td>集塵灰替代料</td><td>14.090</td></tr>
<tr><td>石灰類替代料</td><td>1.860</td><td>石灰類替代料</td><td>4.580</td></tr>
<tr><td>砂石類替代料</td><td>3.710</td><td>矽砂替代料</td><td>4.580</td></tr>
<tr><td>砂石、矽砂</td><td>3.710</td><td>砂石、矽砂</td><td>4.580</td></tr>
<tr><td>操作時間</td><td colspan="4">24 小時/日、350 日/年</td></tr>
<tr><td>旋窯操作溫度</td><td colspan="4">物料出口 1100~1300℃</td></tr>
<tr><td rowspan="4">燃料實際投入量</td><td colspan="2">種類</td><td>E001</td><td>E063</td></tr>
<tr><td colspan="2">焦炭（公噸/小時）</td><td>1.5</td><td>2</td></tr>
<tr><td colspan="2">SRF（公噸/小時）</td><td>0.3</td><td>0.3</td></tr>
<tr><td colspan="2">SRF 混燒比(%)</td><td>16.7</td><td>13.0</td></tr>
<tr><td colspan="3">氧化鋅最大產量（公噸/年）</td><td>34320</td><td>42510</td></tr>
<tr><td>空氣污染防制設備</td><td colspan="4">M01：
旋轉窯(1300℃)→重力集塵室→文氏驟冷管→旋風集塵器→產品袋式集塵器（一階）→活性碳及消石灰混拌注入→袋式集塵器（二階）→煙囪

M03：
旋轉窯(1300℃)→重力集塵室→文氏驟冷管→旋風集塵器→產品袋式集塵器（一階）→活性碳及消石灰混拌注入→袋式集塵器（二階）→煙囪

活性碳+消石灰注入量: 5~10 kg/h</td></tr>
<tr><td>旋轉窯爐渣
(R-1207)</td><td colspan="4">9.120 公噸/小時
112 年 96229 公噸
作為再利用粒料</td></tr>
<tr><td>廢水處理廠</td><td colspan="4">放流量 200 m^3/日</td></tr>
</table>

其他說明	1.產品氧化鋅濃度約 55~65% 2.一號窯預計 7~9 歲修; 二號窯預計 9 月歲修 3.環評承諾排放濃度： PCDD/Fs ≤0.25 ng-TEQ/Nm^3 粒狀物≤20 mg/Nm^3 SO_2≤150 ppm NOx≤180 ppm Zn≤0.997 mg/Nm^3 Pb≤0.22 mg/Nm^3 Cd≤0.0035 mg/Nm^3 Hg≤0.232 mg/Nm^3 Mn≤5 mg/Nm^3 4.工廠放流水匯流水體： (1)廠內廢（污）水來源：製程爐碴冷卻水、洗車廢水、道路清洗廢水、地表逕流廢水、員工生活污水。 (2)廢（污）水處理方式（無放流地面水體）：綜合收集池→調勻池→pH 調整兼快混池→慢混池→第一沉澱池→第二沉澱池→回收及放流暫存桶→優先回收再利用製程造粒用水及其次作為廠區道路灑水→廢污水量>回收水量時→納管放流（彰濱污水下水道系統）

8.永O餘清水廠

<table>
<tr><td colspan="2">訪廠時間</td><td colspan="6">113 年 3 月 26 日（二）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">廠商基本資料</td><td>廠家名稱</td><td colspan="3">永O餘消費品實業股份有限公司清水廠</td><td>管制編號</td><td>LOOO</td></tr>
<tr><td>生產物品</td><td colspan="5">生產衛生紙</td></tr>
<tr><td colspan="2">使用 SRF 製程名稱及編號</td><td colspan="6">M04 鍋爐蒸氣產生程序
M05 鍋爐蒸氣產生程序</td></tr>
<tr><td rowspan="7">燃料種類</td><td rowspan="6">固定污染源許可資料（最大量）</td><td>製程</td><td colspan="2">M04</td><td colspan="2">M05
（申請異動中）</td></tr>
<tr><td>種類</td><td>公噸/年</td><td>公斤/小時</td><td>公噸/年</td><td>公斤/小時</td></tr>
<tr><td>廢木材(EPB)</td><td>1944</td><td>234.8</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>漿紙污泥</td><td>810</td><td>97.8</td><td>1620</td><td>585</td></tr>
<tr><td>SRF</td><td>14490</td><td>1750</td><td>5054.2</td><td>188</td></tr>
<tr><td>煙煤</td><td>4140</td><td>472.6</td><td>11041.9</td><td>1278</td></tr>
<tr><td colspan="2">SRF 混燒重量比(%)</td><td colspan="2">68.5</td><td colspan="2">9.2</td></tr>
<tr><td rowspan="8">SRF 資料</td><td>來源</td><td colspan="5">外購 2 家</td></tr>
<tr><td>廠家</td><td colspan="2">A</td><td colspan="3">B</td></tr>
<tr><td>主成分</td><td colspan="2">木質顆粒</td><td colspan="3">塑膠</td></tr>
<tr><td>熱值(kcal/kg)</td><td colspan="2">3800</td><td colspan="3">5300</td></tr>
<tr><td>尺寸(mm)</td><td colspan="2">4~8 cm 細棒狀</td><td colspan="3">4~8 cm 棒狀</td></tr>
<tr><td>Cl(%)</td><td colspan="2">≤0.6%</td><td colspan="3">≤0.5%</td></tr>
<tr><td>Hg (mg/MJ)</td><td colspan="2">-</td><td colspan="3">≤0.3</td></tr>
<tr><td>灰分(%)</td><td colspan="2">≤5</td><td colspan="3">≤8</td></tr>
<tr><td>水分(%)</td><td colspan="2">≤10</td><td colspan="3">≤10</td></tr>
</table>

爐體設備	M04	M05
鍋爐型式	氣泡式流體化床(E008)	氣泡式流體化床(E018)
蒸氣量（公噸/小時）	16	12
操作時間	24 小時/日、345 日/年	
操作溫度	950℃	
燃料實際投入量	煙煤	30 公噸/日（1.25 公噸/小時）
	SRF	25 公噸/日（1.04 公噸/小時）
	漿紙污泥	3 公噸/日（0.125 公噸/小時）
	廢木材	1.5 公噸/日（0.0625 公噸/小時）
空氣污染防制設備	M04： 鍋爐（de-NOx 燃燒器）→袋式集塵機(BF)除塵→低溫 O_3 氧化脫硝→濕式排煙脫硫(FGD)→煙囪 M05： 鍋爐（de-NOx 燃燒器）+有 SNCR（但目前未使用未噴尿素）→袋式集塵機(BF)除塵→低溫 O_3 氧化脫硝→濕式排煙脫硫(FGD)→煙囪 BF：PTFE 濾袋; 入口溫度: 190~200℃ FGD：45% NaOH(aq) 目前未噴活性碳 O_3：入口濃度 10 g/Nm^3、流量 11 Nm^3/h、溫度 130℃	
底渣	M04：2.5 公噸/日 M05：1.5 公噸/日	
飛灰	M04：0.55 公噸/日 M05：0.35 公噸/日	
FGD 排出水	30 m^3/日	
廢棄物處理	A 公司	CLSM
	B 公司	CLSM
其他說明	1.今年底規劃興建一座 NG 鍋爐（35 公噸/小時）取代目前兩座蒸汽鍋爐 2.SRF 混料使用佔比 恆源：大塑 = 10：1 3.廠內有廢水處理廠 4. M05 目前辦理異動申請中，若通過核可，煤會大幅降低，SRF 用量會提升	

9.上O資源循環股份有限公司嘉義廠

訪廠時間		113 年 3 月 22 日（五）		
廠商基本資料	廠家名稱	上O資源循環股份有限公司嘉義廠	管制編號	QOOO
	生產物品	紙漿、紙及紙製品製造業		
使用 SRF 製程名稱及編號		M05 鍋爐發電程序(E501)		
燃料種類	固定污染源許可資料（最大量）	製程	M05	
		種類	公噸/小時	公噸/年
		SRF	3.75	32850
		漿紙污泥	0.21	1839.6
		天然氣 啟爐 （輔助燃料）	800 m^3/小時	4000 m^3/年
	SRF 混燒重量比(%)		94.7（只算固體燃料）	
SRF 資料	來源	自產及外購 2 家		
	廠家	自產	A	B
	主成分	廢紙排渣、廢塑膠、廢木材	廢紙、廢塑膠	-
	熱值 (kcal/kg)	5000~5300 (5396)	5068	5634
	尺寸(mm)	5~10 cm	-	-
	Cl(%)	<2 (1.68)	<0.15	0.38
	S(%)	0.18	-	-
	Pb (mg/kg)	113.71	63	14.83
	Cd (mg/kg)	2.67	1.03	2.14
	Hg (mg/kg)	4.8	0.23	0.97
	水分(%)	3.28	-	-
	灰分(%)	12.18	-	-
	形狀	散狀 SRF 顆粒狀 SRF	造粒 SRF	-

爐體設備	M05	
鍋爐型式	循環流體化床(E501)	
蒸氣量 （公噸/小時）	25	
發電量(度/日)	47040	
操作時間	24 小時/日、365 日/年	
操作溫度	850~1050℃	
燃料實際投入量	SRF	3 公噸/小時
	漿紙污泥	0.168 公噸/小時
	SRF 混燒重量比(%)	95
空氣污染防制設備	M05： 鍋爐（爐內加入石灰石）→除酸塔（乾粉小蘇打 Na_2CO_3）→觸媒陶瓷纖維過濾器（濾筒型+噴入尿素）→熱交換器→煙囪 石灰石：最大用量 594.7 kg/h BF：釩鈦觸媒濾筒、同時噴入尿素(40~50%, 13 kg)，達到除塵、dioxin 分解及脫硝 BF 入口溫度：300℃ 小蘇打添加量 81.06 kg	
非有害廢集塵灰及其混合物	3472.12 公噸/年	
一般性飛灰及底渣混合物	1272.39 公噸/年	
廢棄物處理	送至可寧衛處理	
其他說明	1.該廠新設 SRF 製造程序(M04)及汽電共生鍋爐(M05)作為廠內可燃廢棄物自行再利用為燃料產生蒸氣及發電提供廠內製程使用。 2.廢紙量 4000~5000 公噸/月，國內佔 90%。 3.廠內廢棄物自行製造 SRF： (1)顆粒狀 SRF。 (2)散狀 SRF：含水率高。 3.廢紙排渣量 400~500 公噸/月，用來製作 SRF。 4.鍋爐目前試車中（專案再利用至 5/2）	

10.宗O綠能

<table>
<tr><td colspan="2">訪廠時間</td><td colspan="4">113 年 3 月 29 日（五）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">廠商基本資料</td><td>廠家名稱</td><td colspan="2">宗O綠能科技股份有限公司</td><td>管制編號</td><td>EOOO</td></tr>
<tr><td>生產物品</td><td colspan="4">廢木材、塑膠再利用、SRF 製造及使用</td></tr>
<tr><td colspan="2">SRF 相關製程名稱及編號</td><td colspan="4">M01 衍生燃料製造程序（操作許可）
M02 其他發電作業程序（設置許可）</td></tr>
<tr><td rowspan="4">燃料種類</td><td rowspan="3">固定污染源許可資料（最大量）</td><td colspan="4">SRF 設置許可資料</td></tr>
<tr><td>種類</td><td colspan="2">公噸/年</td><td>公噸/日</td></tr>
<tr><td>SRF</td><td colspan="2">30240</td><td>84</td></tr>
<tr><td colspan="2">SRF
混燒重量比(%)</td><td colspan="2">100</td><td>100</td></tr>
<tr><td rowspan="5">SRF 資料</td><td>來源</td><td colspan="4">自製</td></tr>
<tr><td>主成分</td><td colspan="4">廢木材、廢塑膠(R0201)</td></tr>
<tr><td>熱值</td><td colspan="4">4000~5000 kcal/kg</td></tr>
<tr><td>尺寸</td><td colspan="4">片狀、5 公分</td></tr>
<tr><td colspan="5">SRF 品質之實測值</td></tr>
<tr><td></td><td>S</td><td colspan="4">≤0.12%</td></tr>
</table>

SRF 使用操作狀態	M02 其他發電作業程序 110 年 11 月核發設置許可 112 年 1 月 10 號高雄市政府來函停止試車
SRF 使用鍋爐型式	旋轉窯(E202)
廢熱回收蒸氣鍋爐	蒸氣鍋爐(E203)
蒸氣量	15 公噸/小時
發電量	1000 kWh
操作熱值	~5000 kcal/kg
操作時間	原許可申請 24 小時/日、360 日/年 目前已停止試運轉
旋窯操作溫度	1400~1800℃
燃料實際投入量	目前已停止試運轉
空氣污染防制設備與設計值	M02： 旋轉窯(SNCR)→二次燃→蒸氣鍋爐→驟冷塔→活性碳與石灰石注入設備→袋式集塵機→煙囪 旋窯直徑 4 米，窯內注入 40%氨水脫硝 二次燃：溫度 9000~1000℃，氣體停留時間 2.5 秒 蒸氣鍋爐出口溫度 450℃ 驟冷塔：二流體噴嘴（450℃下降至 300℃） 袋式集塵機(BF)：使用陶瓷觸媒濾筒 BF 入口溫度：280~350℃
其他說明	1.該廠 112 年 1 月 10 號高雄市政府來函停止試車 目前全廠停止操作 2.SRF 品質參照環境部標準

11.揚O實業彰濱廠

<table>
<tr><td colspan="2">訪廠時間</td><td colspan="5">113 年 3 月 15 日（五）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">廠商基本資料</td><td>廠家名稱</td><td colspan="2">揚O實業股份有限公司彰濱廠</td><td>管制編號</td><td colspan="2">NOOO</td></tr>
<tr><td>生產物品</td><td colspan="5">蒸氣發電</td></tr>
<tr><td colspan="2">SRF 相關製程名稱及編號</td><td colspan="5">M02 鍋爐發電程序（設置許可）
M03 鍋爐發電程序（設置許可）</td></tr>
<tr><td rowspan="4">燃料種類</td><td rowspan="3">固定污染源許可資料（最大量）</td><td colspan="5">M02 及 M03 之 SRF 設置許可資料</td></tr>
<tr><td>製程</td><td colspan="2">M02</td><td colspan="2">M03</td></tr>
<tr><td>SRF</td><td>9.5
公噸/小時</td><td>48000
公噸/年</td><td>9.5
公噸/小時</td><td>48000
公噸/年</td></tr>
<tr><td colspan="2">SRF
混燒重量比(%)</td><td colspan="4">100</td></tr>
<tr><td rowspan="4">SRF 資料</td><td>來源</td><td colspan="5">自製</td></tr>
<tr><td>主成分</td><td colspan="5">廢木材、廢塑膠(R0201)、廢纖維</td></tr>
<tr><td>熱值</td><td colspan="5">3500~4500 kcal/kg</td></tr>
<tr><td colspan="6">SRF 製造廠 目前正在建廠中</td></tr>
<tr><td>鍋爐</td><td colspan="6">目前正在建廠中</td></tr>
</table>

12.亞O水泥花蓮廠

訪廠時間		113 年 3 月 13 日（三）			
廠商基本資料	廠家名稱	亞O水泥股份有限公司 花蓮製造廠	管制編號	UOOO	
	生產物品	水泥產量 320 萬公噸/年			
使用 SRF 製程名稱及編號		水泥製造程序(M01、M02、M03)			
燃料種類	固定污染源許可資料（最大量）	製程	M01 （公噸/小時）	M02 （公噸/小時）	M03 （公噸/小時）
		鍋爐編號	E107	E209	E314
		木屑	3	10	10
		稻草	3	10	10
		RDF （漿紙污泥）	3	5	5
		其他固態燃料(RDF)	6	10	10
		廢潤滑油	0.012	0.012	0.012
		漿紙污泥	3	5	5
		SRF	6	10	10
		RDF （塑膠片）	5	5	5
		廢塑膠	3	5	5
		廢橡膠	1	5	5
		廢木材	6	10	10
		煙煤	25	30	32
		RDF （廢標籤）	-	5	5
		生活垃圾	-	1	1
		廢纖維棉布	-	-	1
		有機性污泥	-	-	3
	SRF 混燒重量比(%)		31.2	31.5	29.9

SRF 資料	來源	外購 3 家	
	SRF 允收標準		
	Cl(%)	Cl<1% 或 <0.7%	
	尺寸	未造粒	
	SRF 許可量	M01: SRF+RDF（漿紙污泥+塑膠片+其他固體）：84000 公噸/年 M02 SRF+RDF（漿紙污泥+塑膠片+廢標籤）：54000 公噸/年 M03 SRF+RDF（漿紙污泥+塑膠片+廢標籤）：54000 公噸/年	
採樣對象爐體設備		水泥製造程序(M02)	
製程設備		生料研磨→預熱器→旋窯熟成→熟料冷卻→產品研磨	
原料		主成分	生料（石灰石+黏土）
		實際投入量（公噸/小時）	350
實際燃料投入量		煤	28
		SRF	2
		總投入量（公噸/小時）	30
		煤以外佔比(%)	5~10
製程設備操作條件		一、煤磨	
		二、生料研磨	
		三、預煅分解（預熱）	
		燃燒器型式/座數:	
		操作溫度：900~1000	
		四、旋窯燒成熟料	
		操作溫度：1300~1400	
		五、熟料冷卻	
		六、水泥研磨	
操作時間		24 小時/日、360 日/年	

<table>
<tr><td rowspan="4">空氣</td><td>空氣種類</td><td>對象</td><td>溫度(℃)</td></tr>
<tr><td>一次空氣</td><td>煤</td><td>100</td></tr>
<tr><td>二次空氣</td><td>熟料</td><td>1300</td></tr>
<tr><td>三次空氣</td><td></td><td>800</td></tr>
<tr><td rowspan="3">廢熱鍋爐及發電設備</td><td>鍋爐型式</td><td>座數</td><td>每座蒸氣量
（公噸/小時）</td></tr>
<tr><td>廢熱回收鍋爐</td><td>2</td><td></td></tr>
<tr><td>發電設備</td><td>1</td><td>9000 萬度/年</td></tr>
<tr><td rowspan="2">產品</td><td colspan="3">水泥產量</td></tr>
<tr><td colspan="3">320 萬公噸/年</td></tr>
<tr><td>空氣污染防制設備</td><td colspan="3">M02 設備說明：
De-NOx：預熱機內添加 30%氨水(SNCR)
除酸：石灰石原料即有除酸功能
除塵：(1)預熱機:袋式集塵機(BF)
(2)冷卻機:袋式集塵機(BF)
(3)水泥研磨:袋式集塵機(BF)
主煙囪（檢測位置）：預熱機煙囪</td></tr>
<tr><td>其他說明</td><td colspan="3">1.水泥的生產流程包含開採石灰石、破碎、研磨生料、預熱器（是一系列垂直旋風分離器）、預煅燒、燒製熟料、熟料冷卻、混合與研磨水泥。
(1)預熱器：生料通過其中，生料與旋轉的熱窯氣體接觸，兩者方向相反。旋風分離器從熱煙氣中回收熱能，並在生料進入窯前對其進行預熱（生料溫度被提高到 900˚C 以上）。
(2)預煅燒：煅燒是將石灰石分解成石灰。“預煅器”位於預熱器底部的燃燒室，部分位於窯中。排放 60-70%的總 CO_2，燃料燃燒產生其餘的碳排放。
(3)旋轉窯中生產熟料：預煅的生料然後進入窯。窯中達到高達 1450°C。隨著窯轉動（大約每分鐘旋轉三到五次），物料在越來越熱的區域內滑動和下落，朝向火焰。強烈的熱量引起化學和物理反應，將生料部分熔化成熟料。
(4)冷卻：來自窯的熱熟料在爐排冷卻器上迅速從 1000˚C 以上冷卻到 100˚C。冷卻器將進入的燃燒空氣吹向熟料。
(5)混合：熟料與其他礦物成分混合，製成水泥。水泥含有約 4-5%的石膏，以控制水泥的凝固時間。爐渣、粉煤灰、石灰石或其他物料可以被混合或混磨以替代部分熟料。這樣生產出混合水泥。
(6)磨粉：冷卻後的熟料和石膏混合物被磨成灰色粉末，稱為波特蘭水泥，或與其他礦物成分一起磨，製成混合水泥。</td></tr>
</table>

	2.亞泥：煤以外的燃料佔比約 5~10% 3.煤：30 公噸/小時 4.SRF：2 公噸/小時 5.水泥產量：320 萬公噸/年 6.預熱過程鍛燒約 60%、旋窯內約 40% 7.底渣、非灰皆全回收為水泥原物料

13.台O和平廠

<table>
<tr><td colspan="2">訪廠時間</td><td colspan="5">113 年 3 月 13 日（三）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">廠商基本資料</td><td>廠家名稱</td><td colspan="2">台O水泥股份有限公司
和平分公司和平廠</td><td>管制編號</td><td>UOOO</td></tr>
<tr><td>生產物品</td><td colspan="4">水泥</td></tr>
<tr><td colspan="2">使用 SRF 製程名稱及編號</td><td colspan="4">水泥製造程序(M01、M02)</td></tr>
<tr><td rowspan="11">燃料種類</td><td rowspan="10">固定污染源許可資料（最大量）</td><td>製程</td><td>M01
（公噸/小時）</td><td>製程</td><td>M02
（公噸/小時）</td></tr>
<tr><td>編號</td><td>E139
預熱機</td><td>編號</td><td>E140
預熱機</td></tr>
<tr><td>事業廢棄物一般垃圾</td><td>0.650</td><td>事業廢棄物一般垃圾</td><td>0.650</td></tr>
<tr><td>廢潤滑油</td><td>2.0</td><td>廢潤滑油</td><td>2.0</td></tr>
<tr><td>廢木材</td><td>12</td><td>廢木材</td><td>12</td></tr>
<tr><td>木屑</td><td>12</td><td>木屑</td><td>12</td></tr>
<tr><td>半煙煤</td><td>25.7</td><td>半煙煤</td><td>25.7</td></tr>
<tr><td>非有害油泥</td><td>1</td><td>非有害油泥</td><td>1</td></tr>
<tr><td>漿紙污泥</td><td>3</td><td>漿紙污泥</td><td>3</td></tr>
<tr><td>有機性污泥</td><td>1</td><td>有機性污泥</td><td>1</td></tr>
<tr><td>SRF</td><td>12</td><td>SRF</td><td>12</td></tr>
<tr><td colspan="2">SRF
混燒重量比(%)</td><td>17</td><td>SRF
混燒重量比(%)</td><td>17</td></tr>
</table>

使用 SRF 製程名稱及編號		水泥製造程序(M01)	
SRF 資料	來源	外購 4 家	
	SRF 允收標準		
	Cl(%)	≤0.5%	
	尺寸	無造粒	
採樣對象爐體設備		水泥製造程序(M01)	
製程設備		生料研磨→預熱器→旋窯熟成→熟料冷卻→產品研磨	
原料		主成分	生料（石灰石+黏土）
		實際投入量（公噸/小時）	560
實際燃料投入量		煤	600 公噸/日（25 公噸/小時）
		SRF	20 公噸/日（0.8 公噸/小時）
		木屑	250 公噸/日（10.4 公噸/小時）
		總投入量	870 公噸/日（36.25 公噸/小時）
		煤以外佔比(%)	31
製程設備操作條件		一、煤磨	
		二、生料研磨	
		三、預煅分解（預熱）(尾窯）	
		操作溫度：900~1000	
		四、旋窯燒成熟料（頭窯）	
		操作溫度：1300~1400	
		五、熟料冷卻	
		六、水泥研磨	
操作時間		24 小時/日、330 日/年	

<table>
<tr><td rowspan="4">空氣</td><td>空氣種類</td><td>對象</td><td>溫度(℃)</td></tr>
<tr><td>一次空氣</td><td>煤</td><td>100</td></tr>
<tr><td>二次空氣</td><td>熟料</td><td>1300</td></tr>
<tr><td>三次空氣</td><td></td><td>800</td></tr>
<tr><td rowspan="3">廢熱鍋爐及發電設備</td><td>鍋爐型式</td><td>座數</td><td>每座蒸氣量
（公噸/小時）</td></tr>
<tr><td>廢熱回收鍋爐</td><td>M01 2 座
M02 2 座</td><td>—</td></tr>
<tr><td>發電設備</td><td>1</td><td>20000 kWh</td></tr>
<tr><td rowspan="2">產品</td><td colspan="3">水泥產量</td></tr>
<tr><td colspan="3">284 萬公噸/年</td></tr>
<tr><td>空氣污染防制設備</td><td colspan="3">M01 設備說明:
除酸: 石灰石原料即有除酸功能
除塵: (1)預熱機:袋式集塵機(BF)
(2)冷卻機:袋式集塵機(BF)
(3)水泥研磨:袋式集塵機(BF)
主煙囪（檢測位置）: 預熱機</td></tr>
<tr><td>其他說明</td><td colspan="3">1.水泥的生產流程包含開採石灰石、破碎、研磨生料、預熱器（是一系列垂直旋風分離器）、預煅燒、燒製熟料、熟料冷卻、混合與研磨水泥。
(1)預熱器：生料通過其中，生料與旋轉的熱窯氣體接觸，兩者方向相反。旋風分離器從熱煙氣中回收熱能，並在生料進入窯前對其進行預熱（生料溫度被提高到 900°C 以上）。
(2)預煅燒：煅燒是將石灰石分解成石灰。“預煅器”位於預熱器底部的燃燒室，部分位於窯中。排放 60-70%的總 CO2，燃料燃燒產生其餘的碳排放。
(3)旋轉窯中生產熟料：預煅的生料然後進入窯。窯中達到高達 1450°C。隨著窯轉動（大約每分鐘旋轉三到五次），物料在越來越熱的區域內滑動和下落，朝向火焰。強烈的熱量引起化學和物理反應，將生料部分熔化成熟料。
(4)冷卻：來自窯的熱熟料在爐排冷卻器上迅速從 1000°C 以上冷卻到 100°C。冷卻器將進入的燃燒空氣吹向熟料。
(5)混合：熟料與其他礦物成分混合，製成水泥。水泥含有約 4-5%的石膏，以控制水泥的凝固時間。爐渣、粉煤灰、石灰石或其他物料可以被混合或混磨以替代部分熟料。這樣生產出混合水泥。
(6)磨粉：冷卻後的熟料和石膏混合物被磨成灰色粉末，稱為波特蘭水泥，或與其他礦物成分一起磨，製成混合水泥。</td></tr>
</table>

	2.燃料： M01：燃料不含汽化爐排氣 M02：燃料含汽化爐排氣（CO 濃度約 3-4%） 3.M01 燃料： 煤：600 公噸/天 廢木屑：250 公噸/天 SRF：20 公噸/天 煤以外的燃料佔比：約 40% 其中廢木屑又佔 90%、故廢木屑佔約 35% SRF 只佔約 5% 煤佔 60% 4.水泥產量：8600 公噸/天 5.底渣、非灰皆全回收為水泥原物料。 6.M01 及 M02 各有兩座廢熱回收蒸氣鍋爐 兩股蒸氣進入一台渦輪發電機(20000 kwh) 7.CEMS： M01：SO_2, NO_x, 不透光率, O_2 M02：SO_2, NO_x, 不透光率, O_2, CO, HCl 8.APCD 皆為電袋式集塵機

14.台O蘇澳廠

<table>
<tr><td colspan="2">訪廠時間</td><td colspan="5">113 年 3 月 19 日（二）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">廠商基本資料</td><td>廠家名稱</td><td colspan="2">台O水泥股份有限公司
蘇澳廠</td><td>管制編號</td><td>GOOO</td></tr>
<tr><td>生產物品</td><td colspan="4">水泥產量 140 萬公噸/年</td></tr>
<tr><td colspan="2">使用 SRF 製程名稱及編號</td><td colspan="4">水泥製造程序(M03)</td></tr>
<tr><td rowspan="11">燃料種類</td><td rowspan="9">固定污染源許可資料（最大量）</td><td>製程</td><td>M03
（公噸/小時）</td><td>製程</td><td>M03
（公噸/小時）</td></tr>
<tr><td>編號</td><td>E307
預熱機</td><td>編號</td><td>E308
旋轉燒成窯</td></tr>
<tr><td>木屑
(140017)</td><td>30</td><td>煙煤
(070003)</td><td>11.48</td></tr>
<tr><td>SRF
(170044)</td><td>12</td><td>非有害油泥
(D-0903)</td><td>0.15</td></tr>
<tr><td>橡膠片
(210048)</td><td>1.4</td><td>其他
H-0002
D-0299
D-0399
D-1799
D-0699
D-0899
R-0701</td><td>0.070</td></tr>
<tr><td>廢木材
(R-0701)</td><td>1.27</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>煙煤
(070003)</td><td>17.22</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>廢塑膠
(R-0201)</td><td>1.8</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td>廢人造纖維
(R-0801)</td><td>0.7</td><td>—</td><td>—</td></tr>
<tr><td colspan="2">SRF
混燒重量比(%)</td><td>18.6</td><td>SRF
混燒重量比(%)</td><td>0</td></tr>
</table>

使用 SRF 製程名稱及編號		水泥製造程序(M03)			
燃料種類	固定污染源許可資料（最大量）	製程	（公噸/年）	製程	（公噸/小時）
		木屑 (140017)	100000	煙煤 (070003)	216754.75
		SRF (170044)	55000	非有害油泥 (D-0903)	1100
		橡膠片 (210048)	11000	其他 H-0002 D-0299 D-0399 D-1799 D-0699 D-0899 R-0701	555.5
		廢木材 (R-0701)	10000	-	-
		煙煤 (070003)	216754.75	-	-
		廢塑膠 (R-0201)	14000	-	--
		廢人造纖維 (R-0801)	5500	-	-

SRF 資料	來源	外購 3 家
	SRF 允收標準	
	Cl(%)	≤0.35%
	尺寸	≤5 公分，未造粒
	水分	≤15%
	收到基發熱量	≥5500 kcal/kg

採樣對象爐體設備	水泥製造程序(M03)	
製程設備	生料研磨→預熱器→旋窯熟成→熟料冷卻→產品研磨	
原料	主成分	生料（石灰石+黏土）
	實際投入量（公噸/小時）	300~310
實際燃料投入量	煤	20
	SRF	2
	木屑	8
	廢木材	不定時少量
	漿紙污泥	無
	廢潤滑油	無
	油泥	無
	廢塑膠	不定時少量
	總投入量（公噸/小時）	約 720 (240+480)公噸/天 30 公噸/小時
	煤以外佔比(%)	33.3
製程設備操作條件	一、煤磨：	
	空污防制設備：袋式集塵基→煙囪	
	二、生料研磨	
	三、預煅分解（預熱）(尾窯）	
	操作溫度： 900~1000	
	四、旋窯燒成熟料（頭窯）	
	操作溫度：1200~1300	
	五、熟料冷卻	
	空污防制設備：靜電集塵基→煙囪	
	六、水泥研磨	
	燃燒器型式/座數：4	
	空污防制設備：袋式集塵基→煙囪（8 支）	
操作時間	24 小時/日、365 日/年	

<table>
<tr><td rowspan="4">空氣</td><td>空氣種類</td><td>對象</td><td>溫度(℃)</td></tr>
<tr><td>一次空氣</td><td>煤</td><td></td></tr>
<tr><td>二次空氣</td><td>熟料</td><td></td></tr>
<tr><td>三次空氣</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">廢熱鍋爐及發電設備</td><td>鍋爐型式</td><td>座數</td><td>每座蒸氣量
（公噸/小時）</td></tr>
<tr><td>廢熱回收鍋爐</td><td>1</td><td>—</td></tr>
<tr><td>發電設備</td><td>1</td><td>80000 kWh</td></tr>
<tr><td rowspan="2">產品</td><td colspan="3">水泥產量</td></tr>
<tr><td colspan="3">140 萬公噸/年</td></tr>
<tr><td>空氣污染防制設備</td><td colspan="3">M01 設備說明：
除酸：石灰石原料即有除酸功能
除塵：
(1) 預熱機：SNCR+袋式集塵機（電袋 BF）
40~50%尿素(1300~1600 L/h)
(2)冷卻機：袋式集塵機(ESP)
(3)水泥研磨：袋式集塵機(BF)
主煙囪（檢測位置）：預熱機</td></tr>
<tr><td>其他說明</td><td colspan="3">1.水泥的生產流程包含開採石灰石、破碎、研磨生料、預熱器（是一系列垂直旋風分離器）、預煅燒、燒製熟料、熟料冷卻、混合與研磨水泥。
(1)預熱器:生料通過其中，生料與旋轉的熱窯氣體接觸，兩者方向相反。旋風分離器從熱煙氣中回收熱能，並在生料進入窯前對其進行預熱（生料溫度被提高到 900°C 以上）。
(2)預煅燒:煅燒是將石灰石分解成石灰。“預煅器”位於預熱器底部的燃燒室，部分位於窯中。排放 60-70%的總 CO_2，燃料燃燒產生其餘的碳排放。
(3)旋轉窯中生產熟料：預煅的生料然後進入窯，窯中達到高達 1450°C。隨著窯轉動（大約每分鐘旋轉三到五次），物料在越來越熱的區域內滑動和下落，朝向火焰。強烈的熱量引起化學和物理反應，將生料部分熔化成熟料。
(4)冷卻：來自窯的熱熟料在爐排冷卻器上迅速從 1000°C 以上冷卻到 100°C。冷卻器將進入的燃燒空氣吹向熟料。
(5)混合：熟料與其他礦物成分混合，製成水泥。水泥含有約 4-5%的石膏，以控制水泥的凝固時間。爐渣、粉煤灰、石灰石或其他物料可以被混合或混磨以替代部分熟料。這樣生產出混合水泥。
(6)磨粉：冷卻後的熟料和石膏混合物被磨成灰色粉末，稱為波特蘭水泥，或與其他礦物成分一起磨，製成混合水泥。</td></tr>
</table>

	2.燃料： M03：燃料 煙煤：20 公噸/小時 木屑+SRF：10 公噸/小時 木屑：SRF= 4:1 故木屑：8 公噸/小時 SRF：2 公噸/小時 燃料總進料量：30 公噸/小時 3.SRF： 外購 3 家 SRF 允收標準 水分≤15% 發熱量≥5500 kcal/kg Cl≤0.35% 粒度≤5 cm 4.三家 SRF 堆置於一個共同儲存廠內，無分堆，採隨機進料 5.旋窯（頭窯）只投入煙煤、預熱器（尾窯）則投入煙煤+SRF+木屑 6.生料研磨、預熱器、旋窯三股廢氣共用一座集塵設備（電袋式集塵機）→煙囪(廢氣採樣位置) 7.水泥產量：140 萬公噸/年 8.底渣、飛灰：皆全回收為水泥原物料。 9.廢熱回收蒸氣鍋爐： 一台蒸氣進入一台渦輪發電機（發電量 80000 kWh） 10 固污許可最大量： SRF 55000 公噸/年 木屑 100000 公噸/年 煙煤 210000 公噸/年 實際投入用量約最大量的 9 成

15.潤O精密冬山廠

<table>
<tr><td colspan="2">訪廠時間</td><td colspan="5">113 年 3 月 19 日（二）</td></tr>
<tr><td rowspan="2">廠商基本資料</td><td>廠家名稱</td><td colspan="2">潤O精密材料股份有限公司
宜蘭冬山廠</td><td>管制編號</td><td>GOOO</td></tr>
<tr><td>生產物品</td><td colspan="4">水泥</td></tr>
<tr><td colspan="2">製程名稱及編號</td><td colspan="4">M01 水泥製造程序</td></tr>
<tr><td rowspan="10">燃料種類</td><td rowspan="10">固定污染源許可資料（最大量）</td><td>製程設備</td><td colspan="3">E013 預熱機</td></tr>
<tr><td>種類</td><td>公噸/年</td><td colspan="2">公噸/小時</td></tr>
<tr><td>漿紙污泥</td><td>18000</td><td colspan="2">2.3</td></tr>
<tr><td>燃油鍋爐集塵灰</td><td>18000</td><td colspan="2">2.3</td></tr>
<tr><td>煙煤</td><td>120384</td><td colspan="2">10</td></tr>
<tr><td>木屑</td><td>36000</td><td colspan="2">4.6</td></tr>
<tr><td>SRF</td><td>18000</td><td colspan="2">2.3</td></tr>
<tr><td>SRF 混燒重量比(%)</td><td colspan="3">10.7</td></tr>
<tr><td>製程設備</td><td colspan="3">E014 旋轉式燒成窯</td></tr>
<tr><td>煙煤</td><td>120384</td><td colspan="2">7</td></tr>
<tr><td>SRF 資料</td><td>來源</td><td colspan="4">目前水泥製程並無使用 SRF</td></tr>
<tr><td>木屑</td><td>來源</td><td colspan="4">2 家</td></tr>
<tr><td colspan="2">爐體設備</td><td colspan="4">目前興建一座汽化爐，進行燃燒木屑生成合成氣試驗</td></tr>
<tr><td colspan="2">鍋爐型式</td><td colspan="4">氣化爐</td></tr>
<tr><td colspan="2">木屑投入量</td><td colspan="4">約 2 公噸/小時（50 公噸/日）</td></tr>
</table>

其他說明	1.目前水泥製程並無使用 SRF，未來規劃將 SRF 先以氣化方式生成合成氣之後再應用於水泥製程。 2.目前先以木屑為燃料，於興建的氣化爐內進行氣化試驗。 3.氣化爐產生合成氣、焦油與固態碳，焦油冷卻後以容器收集，固態碳則與煤研磨成粉狀後再與合成氣氣流、焦油加入預熱器內。 4.水泥製程窯頭與窯尾之煤注入量各佔 50%

附錄七、廢氣、廢水及廢棄物中各種成分含量分析之 QA/QC 項目及內容規範

檢驗數據之品保內容規範

為使本計畫之檢測品質達到一定水準，於計畫執行期間乃制定以下檢驗項目數據品保目標，說明如下（附表 1~附表 5）：

檢驗數據品保工作項目

一、 空白分析：

每批次之樣品(或每 10 個樣品)執行一次方法空白分析(Method blank sample)。方法空白樣品又稱試劑空白樣品(Reagent blank sample)，係指為監測整個分析過程中可能導入污染而設計之樣品，前述樣品經與待測樣品相同前處理及分析步驟，由方法空白樣品之分析結果，可判知樣品在分析過程是否遭受污染或樣品之背景值。

二、 查核樣品分析：

每批次之樣品(或每 10 個樣品)執行一次查核樣品分析，其測定值依下計算其回收率(P %)。

$$P(\%) = \frac{S}{T} \times 100\%$$

T：查核樣品標準值

S：查核樣品分析值

查核樣品(Quality check sample)係指將適當濃度之標準品(其來源與配製檢量線之標準品不同)添加於與樣品相似的基質中，所配製成的樣品，或濃度經確認之樣品。前述樣品經與待測樣品相同前處理及分析步驟，藉此可確定分析結果的可信度或品質。

三、 重複分析：

每批次之樣品(或每 10 個樣品)執行一次重複分析。同一樣品重複分析二次，得測定值 X_1、X_2，依下式計算其相對差異百分比 RPD。可視需要可將重複分析樣品依濃度劃歸為數個濃度管制範圍。

$$RPD(\%) = \frac{|X_1 - X_2|}{\frac{1}{2}(X_1 + X_2)} \times 100\%$$

重複分析(Duplicate analysis)係指為確定分析結果的精密度，以同一樣品重複分析二次。所得測定值計算其相對差異百分比。重複分析一般為同一樣品重複分析(Sample duplicate)，但當樣品濃度為未檢出(Non-detected，ND)時，則必須使用添加待測物到基質中稱為一個基質添加分析(Matrix spike/matrix spike duplicate，MS/MSD)。若因樣品量不足等原因仍無法執行時，至少應執行查核樣品之重複分析。

四、 添加分析：

每批次之樣品(或每 10 個樣品)執行一次添加分析。添加樣品分析之百分回收率 P：

$$P = \frac{(SSR - SR)}{SA} \times 100\%$$

其中：SSR＝添加樣品中待測物之測定量

SR＝原樣品中待測物之測定量

SA＝標準品添加量

或者

$$P = \frac{M - B}{T} \times 100\%$$

其中： T＝目標值，即添加於樣品中之標準品之濃度

M＝添加樣品中待測物之測定濃度

B＝原樣品中待測物之測定濃度

添加分析(Spiked analysis)為確認樣品中有無基質干擾或所用的檢測方法是否適當，將樣品分為二部分，一部分依與待測樣品相同前處理及分析步驟直接檢測，另一部分添加適當量之待測物標準品後，再依樣品前處理、分析步驟

檢測。藉此可了解檢測方法之適用性及樣品之基質干擾。

五、 方法偵測極限(MDL)：

方法偵測極限之建立原則上係參照環保署環境檢驗所頒佈之「環境檢測標準方法驗證程序準則」及檢驗室品管手冊來進行，但方法另有特別說明者，則依其規定執行之，樣品若經稀釋或濃縮，則方法偵測極限亦將隨之修正。

表附 1、檢驗數據之品保目標及檢驗方法編號

編號	檢測項目	方法編號	檢量線相對感應因子 (RSD, %)	檢量線查核相對誤差 (%)	精密度 (%)	準確性(%)		
					重複分析	空白分析	添加分析	查核樣品
1	排放管道 戴奧辛及呋喃	NIEA A807.75C NIEA A808.75B	25~30	25~30	—	現場空白＜5MDL 試劑空白＜2MDL	—	70~130
2	排放管道 多氯聯苯	NIEA A807.75C NIEA M803.00B	20~25	70~130 50~150	—	現場空白＜5MDL 試劑空白＜2MDL	—	50~150
3	排放管道 重金屬	NIEA A302.73C ICP-OES	＜10	＜10	＜20	＜2MDL	75~125	75~125
		ICP-MS	＜10	＜10	＜20	＜2MDL	75~125	75~125
		CVAAS-Hg	＜20	＜20	＜20	＜2MDL	75~125	80~120
4	排放管道 粒狀物	NIEA A101.75C	—	—	—	現場空白＜1.0 mg 實驗室空白＜0.5 mg	—	—
5	排放管道 PAHs	NIEA A730.70C	＜30	＜30	＜30	＜PQL	—	50-150
6	排放管道 塑化劑	NIEA A812.70B	＜25	±30	—	鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯空白<500 ng	—	60~140
7	廢水 戴奧辛及呋喃	NIEA W790.51B	20~25	20~25	—	設備空白＜5MDL	—	70~130
8	廢水 重金屬	NIEA W311.54C NIEA W330.52A	＜10 ＜20	＜10 ＜20	＜20 <20	＜2MDL ＜2MDL	80~120 75~125	80~120 80~120
9	廢水 塑化劑	NIEA W801.55B	<25	<30	—	—	—	—
10	廢棄物 戴奧辛及呋喃	NIEAM801.13B	20~25	20~25	—	<最低限值 <法規管制值 1/3	—	70~130
11	廢棄物 重金屬	NIEA M104.02C NIEA M318.01C	＜20	＜20	＜20 ＜20	＜2MDL ＜2MDL	75~125 80~120	75~125 80~120
12	廢棄物 重金屬	NIEA M353.02C	＜10	＜10	＜20	＜2MDL	75~125	75~125
13	固體再生燃料中金屬及微量元素	NIEA M360.01C	—	＜10	＜25	＜2MDL	75~125	75~125

編號	檢測項目	方法編號	檢量線相對感應因子 (RSD, %)	檢量線查核相對誤差 (%)	精密度 (%)	準確性(%)		
					重複分析	空白分析	添加分析	查核樣品
14	燃料元素分析 (S, Cl)	NIEA M217.00C	—	—	＜20	高濃度＜測值 10% 低濃度＜測值 30%	—	80~120

表附 2、酸性氣體檢驗數據之品保目標及檢驗方法編號

編號	檢測項目	方法編號	轉化效率 E(%)	分析儀校正誤差			採樣系統偏差				校正偏移	
				零點	高濃度	中濃度	零點	中濃度	零點	中濃度	零點	中濃度
1	排放管道硫氧化物	NIEA A413.76C	>95	±2%全幅	±2%全幅	±2%全幅	±5%全幅	±5%全幅	±5%全幅	±5%全幅	±3%全幅	±3%全幅
2	排放管道氮氧化物	NIEA A411.75C	>90									

附表 3、排放管道重金屬方法偵測極限(MDL)

元素	報告偵測極限(mg/Nm^3)
	ICP/MS
鉛(Pb)	0.000505
鎘(Cd)	0.00071
汞(Hg)	0.00047
砷(As)	0.0063
鋁(Al)	0.0200
鉻(Cr)	0.0040
銅(Cu)	0.0080
鎳(Ni)	0.0040
硒(Se)	0.0200
鋅(Zn)	0.0080

附表 4、戴奧辛標準品檢量校正相對感應因子品管限值

	相對感應因子	
	起始檢量校正	每日(批次)檢量校正
待測物	RSD	%差異度
2,3,7,8-TeCDD	25	25
2,3,7,8-TeCDF	25	25
1,2,3,7,8-PeCDD	25	25
1,2,3,7,8-PeCDF	25	25
2,3,4,7,8-PeCDF	25	25
1,2,3,4,7,8-HxCDD	25	25
1,2,3,6,7,8-HxCDD	25	25
1,2,3,7,8,9-HxCDD	25	25
1,2,3,4,7,8-HxCDF	25	25
1,2,3,6,7,8-HxCDF	25	25
1,2,3,7,8,9-HxCDF	25	25
2,3,4,6,7,8-HxCDF	25	25
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	25	25
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	25	25
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	25	25
OCDD	25	25
OCDF	30	30
內標準品		
$^{13}C_{12}$-2,3,7,8-TeCDD	25	25
$^{13}C_{12}$-1,2,3,7,8-PeCDD	30	30
$^{13}C_{12}$-1,2,3,6,7,8-HxCDD	25	25
$^{13}C_{12}$-1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	30	30
$^{13}C_{12}$-OCDD	30	30
$^{13}C_{12}$-2,3,7,8-TeCDF	30	30
$^{13}C_{12}$-1,2,3,7,8-PeCDF	30	30
$^{13}C_{12}$-1,2,3,6,7,8-HxCDF	30	30
$^{13}C_{12}$-1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	30	30
擬似標準品		
$^{37}Cl_4$-2,3,7,8-TeCDD	25	25
$^{13}C_{12}$-2,3,4,7,8-PeCDF	25	25
$^{13}C_{12}$-1,2,3,4,7,8-HxCDD	25	25
$^{13}C_{12}$-1,2,3,4,7,8-HxCDF	25	25
$^{13}C_{12}$-1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	25	25
替代標準品		
$^{13}C_{12}$-1,2,3,7,8,9-HxCDF	25	25

附表 5、戴奧辛內標準品回收率品管規範

化合物	回收率
內標準品(Internal standard solution)	
$^{13}C_{12}$-2,3,7,8-TeCDD	40% ~ 130%
$^{13}C_{12}$-1,2,3,7,8-PeCDD	40% ~ 130%
$^{13}C_{12}$-1,2,3,6,7,8-HxCCD	40% ~ 130%
$^{13}C_{12}$-1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	25% ~ 130%
$^{13}C_{12}$-OCDD	25% ~ 130%
$^{13}C_{12}$-2,3,7,8-TeCDF	40% ~ 130%
$^{13}C_{12}$-1,2,3,7,8-PeCDF	40% ~ 130%
$^{13}C_{12}$-1,2,3,6,7,8-HxCDF	40% ~ 130%
$^{13}C_{12}$-1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	25% ~ 130%
擬似標準溶液(Surrogate standard solution)	
$^{37}Cl_4$-2,3,7,8-TeCDD	70% ~ 130%
$^{13}C_{12}$-1,2,3,4,7,8-HxCDD	70% ~ 130%
$^{13}C_{12}$-2,3,4,7,8-PeCDF	70% ~ 130%
$^{13}C_{12}$-1,2,3,4,7,8-HxCDF	70% ~ 130%
$^{13}C_{12}$-1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	70% ~ 130%
替代標準溶液(Alternate standard solution)	
$^{13}C_{12}$-1,2,3,7,8,9-HxCDF	—

附錄八、採樣紀錄摘要

一、煙氣污染物採樣

公私場所：	TPM 廠
製程、主要設備：	鍋爐汽電共生程序(M28)： 循環流體床鍋爐(ES01) 乾式排煙脫硫(AS01)、選擇無觸媒還原(SNCR)設備(AS02)
排放管道編號：	PS01

樣品編號	分析項目	採樣起訖時間	乾式氣體體積	排氣含水率實測值	煙道排氣平均溫度	煙道排氣平均流速	濕基排氣平均流量	乾基排氣平均流量	排氣組成		
			$V_{m(std)}$	B_{ws}	T_s	V_s	Q_s	Q_{sd}	CO_2	O_2	CO
			Nm^3(dscm)	%	℃	m/sec	Nm^3/min(scmm)	Nm^3/min(dscmm)	%	%	%
BF1130408601	Dioxins	113/04/08 12:35~13:16	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130408601	Dioxins	113/04/08 15:05~17:10	1.807	9.9	118.1	22.7	8019.15	7225.25	10.4	8.9	ND <0.1
A1130409601	Dioxins	113/04/09 10:25~12:30	1.796	9.3	120.6	22.7	8016.06	7270.57	9.9	10.1	ND <0.1
A1130409602	Dioxins	113/04/09 14:15~16:20	1.792	9.2	119.3	22.7	8035.16	7295.93	10.3	9.8	ND <0.1
BF1130410601	EDHP	113/04/10 09:55~10:26	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130410601	DEHP	113/04/10 11:00~13:05	1.793	8.1	119.2	22.4	7947.83	7304.06	8.4	11.5	ND <0.1
BF1130410602	PAHs	113/04/10 14:02~14:49	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130411601	PAHs	113/04/11 10:15~12:20	1.935	8.1	119.8	22.1	7821.11	7187.60	8.2	11.8	ND <0.1
A1130411602	PAHs	113/04/11 13:40~15:45	1.928	8.7	119.6	22.2	7860.50	7176.64	9.2	10.5	ND <0.1
A1130412601	PAHs	113/04/12 10:00~12:05	1.954	8.6	119.2	22.5	7958.99	7274.52	9.2	10.6	ND <0.1

公私場所：	TCS 廠
製程、主要設備：	水泥製造程序(M03)： 乾式研磨設施(E301)、預熱機(E307)、旋轉式燒成爐(E308) 靜電複合脈動式集塵器(A301)
排放管道編號：	P301

樣品編號	分析項目	採樣起訖時間	乾式氣體體積	排氣含水率實測值	煙道排氣平均溫度	煙道排氣平均流速	濕基排氣平均流量	乾基排氣平均流量	排氣組成		
			$V_{m(std)}$	B_{ws}	T_s	V_s	Q_s	Q_{sd}	CO_2	O_2	CO
			Nm^3(dscm)	%	℃	m/sec	Nm^3/min(scmm)	Nm^3/min(dscmm)	%	%	%
BF1130422601	PAHs	113/04/22 11:53~13:23	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130422601	PAHs	113/04/22 15:55~18:10	2.046	14.6	89.1	15.1	6917.24	5907.32	17.9	10.4	ND <0.1
A1130423601	PAHs	113/04/23 10:10~12:25	2.054	20.0	90.3	15.4	7031.37	5625.10	16.9	11.4	ND <0.1
A1130423602	PAHs	113/04/23 14:55~17:10	1.859	11.1	89.7	14.9	6814.33	6057.94	18.7	10.4	ND <0.1
BF1130424601	DEHP	113/04/24 09:19~09:47	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130424601	DEHP	113/04/24 11:00~13:15	2.255	11.3	89.9	14.7	6745.82	5983.54	18.3	10.7	ND <0.1
BF1130424602	Dioxins	113/04/24 14:39~15:12	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130425601	Dioxins	113/04/25 10:05~12:20	2.313	10.6	90.3	14.7	6727.74	6014.60	19.3	10.2	ND <0.1
A1130425602	Dioxins	113/04/25 13:50~16:06	2.312	10.6	91.0	14.8	6740.86	6026.33	19.0	10.4	ND <0.1
A1130426601	Dioxins	113/04/26 15:42~17:58	2.301	10.2	91.3	14.7	6663.24	5983.59	18.9	10.3	ND <0.1

公私場所：	CC 廠
製程、主要設備：	鍋爐汽電共生程序(M02)： 循環流體床鍋爐(E201) 選擇無觸媒還原(SNCR)設備(A201)、選擇觸媒還原設備(A203)、脈動式集塵器(A205)、濕式排煙脫硫(A207)、濕式靜電集塵器(A209)-備用
排放管道編號：	P201

樣品編號	分析項目	採樣起訖時間	乾式氣體體積	排氣含水率實測值	煙道排氣平均溫度	煙道排氣平均流速	濕基排氣平均流量	乾基排氣平均流量	排氣組成		
			$V_{m(std)}$	B_{ws}	T_s	V_s	Q_s	Q_{sd}	CO_2	O_2	CO
			Nm^3(dscm)	%	℃	m/sec	Nm^3/min(scmm)	Nm^3/min(dscmm)	%	%	%
BF1130513601	PAHs	113/05/13 09:49~10:34	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130513601	PAHs	113/05/13 13:45~15:26	1.656	20.4	95.7	16.1	2215.09	1763.21	10.0	9.0	ND <0.1
A1130514601	PAHs	113/05/14 10:45~12:26	1.782	19.6	95.8	17.6	2420.17	1945.82	9.3	9.6	ND <0.1
A1130514602	PAHs	113/05/14 15:10~16:51	1.769	20.0	94.9	17.4	2398.52	1918.82	9.1	10.3	ND <0.1
BF1130515601	DEHP	113/05/15 10:10~10:59	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130515601	DEHP	113/05/15 13:40~15:21	1.378	21.3	97.3	17.4	2382.98	1875.41	8.3	11.0	ND <0.1
BF1130515602	Dioxins	113/05/15 16:51~17:34	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130516601	Dioxins	113/05/16 10:58~12:44	1.352	20.1	95.9	17.4	2399.25	1917.00	7.6	11.8	ND <0.1
A1130516602	Dioxins	113/05/16 15:08~16:53	1.375	19.9	95.1	17.6	2419.99	1938.41	6.2	13.4	ND <0.1
A1130517601	Dioxins	113/05/17 10:35~12:19	1.277	19.7	98.5	16.2	2210.01	1774.64	8.8	10.4	ND <0.1

公私場所：	CHPC 廠										
製程、主要設備：	鍋爐汽電共生程序(M04)： 流體化床鍋爐(E601) 靜電集塵器(A004)、排煙脫硫設備(A005)、脫氮設備(A006)										
排放管道編號：	P015										
樣品編號	分析項目	採樣起訖時間	乾式氣體體積	排氣含水率實測值	煙道排氣平均溫度	煙道排氣平均流速	濕基排氣平均流量	乾基排氣平均流量	排氣組成		
			$V_{m(std)}$	B_{ws}	T_s	V_s	Q_s	Q_{sd}	CO_2	O_2	CO
			Nm^3(dscm)	%	℃	m/sec	Nm^3/min(scmm)	Nm^3/min(dscmm)	%	%	%
BF1130520601	PAHs	113/05/20 09:34~10:48	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130520601	PAHs	113/05/20 14:45~16:32	1.665	14.0	154.9	10.3	3758.46	3232.28	14.3	6.0	ND <0.1
A1130521601	PAHs	113/05/21 10:45~12:34	1.598	21.6	149.4	10.2	3781.45	2964.66	14.6	5.1	ND <0.1
A1130521602	PAHs	113/05/21 14:30~16:16	1.488	15.2	150.0	10.1	3731.64	3164.43	14.7	5.0	ND <0.1
BF1130522601	DEHP	113/05/22 08:45~10:08	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130522601	DEHP	113/05/22 11:30~13:16	1.629	15.7	138.3	10.3	3921.58	3305.89	14.4	5.1	ND <0.1
BF1130522602	Dioxins	113/05/22 14:37~15:35	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130523601	Dioxins	113/05/23 10:03~11:55	1.503	14.8	137.2	9.5	3623.33	3087.08	14.8	5.1	ND <0.1
A1130523602	Dioxins	113/05/23 13:25~15:16	1.513	15.0	139.1	9.5	3599.45	3059.53	15.1	5.1	ND <0.1
A1130524601	Dioxins	113/05/24 10:32~12:30	1.466	15.2	139.3	9.1	3456.29	2930.93	15.1	4.5	ND <0.1

公私場所：	YY 廠
製程、主要設備：	鍋爐蒸氣產生程序(M02)： 流體化床鍋爐(E002) 脈動式袋式集塵器(A001)、洗滌塔(A003)
排放管道編號：	P002

樣品編號	分析項目	採樣起訖時間	乾式氣體體積	排氣含水率實測值	煙道排氣平均溫度	煙道排氣平均流速	濕基排氣平均流量	乾基排氣平均流量	排氣組成		
			$V_{m(std)}$	B_{ws}	T_s	V_s	Q_s	Q_{sd}	CO_2	O_2	CO
			Nm^3(dscm)	%	℃	m/sec	Nm^3/min(scmm)	Nm^3/min(dscmm)	%	%	%
BF1130527601	PAHs	113/05/27 10:00~10:47	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130527601	PAHs	113/05/27 12:20~14:01	1.693	18.3	58.8	5.5	261.29	213.47	10.1	10.0	ND <0.1
A1130528601	PAHs	113/05/28 10:55~12:36	1.874	16.8	58.6	6.2	295.59	245.93	10.0	9.8	ND <0.1
A1130528602	PAHs	113/05/28 14:40~16:21	1.860	16.6	57.7	6.1	291.62	243.21	9.7	10.2	ND <0.1
BF1130529601	DEHP	113/05/29 09:53~10:28	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130529601	DEHP	113/05/29 11:25~13:06	1.550	17.2	57.8	5.7	272.96	226.01	10.3	9.7	ND <0.1
BF1130529602	Dioxins	113/05/29 14:46~15:26	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130530601	Dioxins	113/05/30 10:07~11:50	1.692	16.9	57.1	6.1	292.43	243.03	10.2	9.6	ND <0.1
A1130530602	Dioxins	113/05/30 13:54~15:38	1.712	17.5	58.1	6.1	290.99	240.07	10.1	9.8	ND <0.1
A1130531601	Dioxins	113/05/31 10:09~11:53	1.694	17.3	59.2	6.1	290.89	240.57	10.7	8.9	ND <0.1

公私場所：	YH 廠										
製程、主要設備：	鍋爐發電程序(含事業廢棄物再利用或處理程序)-鍋爐汽電共生程序(M06)： 循環流體化床鍋爐(E607) 選擇觸媒還原(SCR)設備(A604)、脈動式袋式集塵器(A605)、濕式排煙脫硫(A606)										
排放管道編號：	P601										
樣品編號	分析項目	採樣起訖時間	乾式氣體體積	排氣含水率實測值	煙道排氣平均溫度	煙道排氣平均流速	濕基排氣平均流量	乾基排氣平均流量	排氣組成		
			$V_{m(std)}$	B_{ws}	T_s	V_s	Q_s	Q_{sd}	CO_2	O_2	CO
			Nm^3(dscm)	%	℃	m/sec	Nm^3/min(scmm)	Nm^3/min(dscmm)	%	%	%
BF1130617601	PAHs	113/06/17 10:00~10:40	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130617601	PAHs	113/06/17 14:30~16:02	1.629	20.1	66.6	17.4	1472.43	1176.47	11.6	7.2	ND <0.1
A1130618601	PAHs	113/06/18 10:30~12:01	1.616	19.7	65.1	17.5	1488.84	1195.54	11.1	7.9	ND <0.1
A1130618602	PAHs	113/06/18 14:05~15:37	1.623	18.8	60.7	17.3	1489.85	1209.76	11.7	7.3	ND <0.1
BF1130619601	DEHP	113/06/19 09:45~10:41	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130619601	DEHP	113/06/19 12:10~13:44	1.442	18.9	61.3	18.1	1557.19	1262.88	11.0	8.1	ND <0.1
BF1130619602	Dioxins	113/06/19 15:02~15:47	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130620601	Dioxins	113/06/20 10:33~12:05	1.392	18.1	61.4	17.5	1503.92	1231.71	12.4	7.1	ND <0.1
A1130620602	Dioxins	113/06/20 14:10~15:44	1.463	17.5	61.8	18.4	1576.03	1300.22	12.0	7.5	ND <0.1
A1130621601	Dioxins	113/06/21 10:35~12:08	1.434	17.0	61.3	17.8	1528.54	1268.69	11.5	7.5	ND <0.1

公私場所：	YTS 廠
製程、主要設備：	鍋爐蒸氣產生程序(M04)： 流體化床鍋爐(E008) 低氮氧燃燒設施(A001)、脈動式袋式集塵器(A002)、濕式排煙脫硫(A014)、臭氧脫硝系統(A015) ★台中市自治規則：含氧參考基準—6%
排放管道編號：	P003

樣品編號	分析項目	採樣起訖時間	乾式氣體體積	排氣含水率實測值	煙道排氣平均溫度	煙道排氣平均流速	濕基排氣平均流量	乾基排氣平均流量	排氣組成		
			$V_{m(std)}$	B_{ws}	T_s	V_s	Q_s	Q_{sd}	CO_2	O_2	CO
			Nm^3(dscm)	%	℃	m/sec	Nm^3/min(scmm)	Nm^3/min(dscmm)	%	%	%
BF1130624601	PAHs	113/06/24 10:40~11:24	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130624601	PAHs	113/06/24 14:50~16:14	1.563	19.3	61.3	9.1	330.58	266.78	8.5	11.6	ND <0.1
A1130625601	PAHs	113/06/25 11:12~12:36	1.581	16.9	59.8	9.5	345.92	287.46	8.4	11.9	ND <0.1
A1130625602	PAHs	113/06/25 15:10~16:34	1.623	17.8	58.2	9.5	346.89	285.14	7.7	12.6	ND <0.1
BF1130626601	DEHP	113/06/26 10:20~11:00	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130626601	DEHP	113/06/26 12:57~14:21	1.545	17.4	57.8	9.2	337.70	278.97	7.9	12.4	ND <0.1
BF1130626602	Dioxins	113/06/26 15:42~16:28	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130627601	Dioxins	113/06/27 10:42~12:06	1.481	17.9	62.8	8.9	321.87	264.26	8.8	11.4	ND <0.1
A1130627602	Dioxins	113/06/27 14:00~15:24	1.458	16.9	57.7	8.6	315.18	261.91	9.0	11.2	ND <0.1
A1130628601	Dioxins	113/06/28 11:15~12:39	1.519	17.4	57.7	9.1	333.46	275.44	10.3	10.4	ND <0.1

公私場所：	CC 廠（第二次）
製程、主要設備：	鍋爐汽電共生程序(M02)： 循環流體床鍋爐(E201) 選擇無觸媒還原(SNCR)設備(A201)、選擇觸媒還原設備(A203)、脈動式集塵器(A205)、濕式排煙脫硫(A207)、濕式靜電集塵器(A209)-備用
排放管道編號：	P201

樣品編號	分析項目	採樣起訖時間	乾式氣體體積	排氣含水率實測值	煙道排氣平均溫度	煙道排氣平均流速	濕基排氣平均流量	乾基排氣平均流量	排氣組成		
			$V_{m(std)}$	B_{ws}	T_s	V_s	Q_s	Q_{sd}	CO_2	O_2	CO
			Nm^3(dscm)	%	℃	m/sec	Nm^3/min(scmm)	Nm^3/min(dscmm)	%	%	%
BF1130701602	Dioxins	113/07/01 09:26~10:48	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130702601	Dioxins	113/07/02 09:55~11:36	1.652	20.0	100.7	15.4	2075.88	1660.70	12.3	6.0	ND <0.1
A1130702602	Dioxins	113/07/02 13:45~15:26	1.639	18.1	100.0	15.5	2093.28	1714.40	11.9	6.6	ND <0.1
A1130702603	Dioxins	113/07/02 16:45~18:26	1.635	20.7	99.9	15.5	2093.84	1660.42	12.0	6.3	ND <0.1

公私場所：	TCH 廠（第一次）
製程、主要設備：	水泥製造程序(M02)： #2 生料研磨設備(E210)、#2 旋窯(E211)、#2 預熱機(E237)、氯旁路系統(E239)、氣化爐(E241)、熱風爐(E243) 電袋複合式集塵器(A206)、二氧化碳捕集設備(A227)、選擇無觸媒還原(SNCR)設備(A6227)
排放管道編號：	P206

樣品編號	分析項目	採樣起訖時間	乾式氣體體積	排氣含水率實測值	煙道排氣平均溫度	煙道排氣平均流速	濕基排氣平均流量	乾基排氣平均流量	排氣組成		
			$V_{m(std)}$	B_{ws}	T_s	V_s	Q_s	Q_{sd}	CO_2	O_2	CO
			Nm^3(dscm)	%	℃	m/sec	Nm^3/min(scmm)	Nm^3/min(dscmm)	%	%	%
BF1130708601	PAHs	113/07/08 09:54~10:38	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130708601	PAHs	113/07/08 12:10~13:45	1.440	13.1	104.5	15.0	11373.04	9883.17	19.9	10.0	ND <0.1
A1130709601	PAHs	113/07/09 09:40~11:16	1.393	7.7	100.3	14.8	11335.54	10462.70	19.1	10.4	ND <0.1
A1130709602	PAHs	113/07/09 13:15~14:52	1.441	10.5	97.7	14.5	11173.20	10000.01	19.1	10.4	ND <0.1
BF1130710601	DEHP	113/07/10 09:01~09:38	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130710601	DEHP	113/07/10 11:00~12:38	1.506	10.3	98.6	14.7	11322.54	10156.32	19.9	10.0	ND <0.1
BF1130710602	Dioxins	113/07/10 14:13~14:40	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130711601	Dioxins	113/07/11 09:25~10:59	1.533	11.5	97.9	14.9	11462.96	10144.72	19.7	10.0	ND <0.1
A1130711602	Dioxins	113/07/11 12:24~13:58	1.547	11.0	99.1	15.3	11720.17	10430.95	19.9	9.7	ND <0.1
A1130712601	Dioxins	113/07/12 09:46~11:21	1.520	11.0	100.3	15.0	11442.68	10183.99	20.1	9.8	ND <0.1

公私場所：	CH 廠										
製程、主要設備：	鍋爐汽電共生程序(M07)： 循環流體化床鍋爐(E701)、污泥乾燥區(E710) 乾式排煙脫硫(A705)、選擇無觸媒還原設備(A706)、旋風分離器(A707)、選擇觸媒還原設備(A708)、半乾式排煙脫硫(A709)、脈動式袋式集塵器(A710) ★台中市自治規則：含氧參考基準—6%										
排放管道編號：	P701										
樣品編號	分析項目	採樣起訖時間	乾式氣體體積	排氣含水率實測值	煙道排氣平均溫度	煙道排氣平均流速	濕基排氣平均流量	乾基排氣平均流量	排氣組成		
			$V_{m(std)}$	B_{ws}	T_s	V_s	Q_s	Q_{sd}	CO_2	O_2	CO
			Nm^3(dscm)	%	℃	m/sec	Nm^3/min(scmm)	Nm^3/min(dscmm)	%	%	%
BF1130715601	DEHP	113/07/15 10:07~11:13	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130716601	DEHP	113/07/16 11:00~12:27	1.344	16.5	114.2	10.8	1705.09	1423.75	15.2	4.8	ND <0.1
BF1130716601	PAHs	113/07/16 14:21~15:23	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130717601	PAHs	113/07/17 10:10~11:37	1.423	15.7	123.2	11.5	1775.80	1497.00	16.0	3.9	ND <0.1
A1130717602	PAHs	113/07/17 13:30~14:57	1.455	15.5	109.6	11.2	1790.95	1513.35	15.9	3.8	ND <0.1
A1130717603	PAHs	113/07/17 16:45~18:12	1.447	16.3	104.9	11.0	1780.85	1490.57	15.8	4.0	ND <0.1
BF1130718601	Dioxins	113/07/18 09:30~10:13	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130718601	Dioxins	113/07/18 11:20~12:47	1.244	15.5	106.8	11.2	1804.15	1524.51	15.9	3.5	ND <0.1
A1130718602	Dioxins	113/07/18 14:10~15:37	1.241	16.0	106.8	11.2	1804.15	1515.49	15.9	3.6	ND <0.1
A1130719601	Dioxins	113/07/19 10:35~12:02	1.197	16.5	120.3	11.6	1800.79	1503.66	16.2	3.4	ND <0.1

公私場所：	TC 廠
製程、主要設備：	鍋爐發電程序(M01)： 循環流體化床鍋爐(E002)、貯料倉(E003) 靜電集塵器(A001)
排放管道編號：	P001

樣品編號	分析項目	採樣起訖時間	乾式氣體體積	排氣含水率實測值	煙道排氣平均溫度	煙道排氣平均流速	濕基排氣平均流量	乾基排氣平均流量	排氣組成		
			$V_{m(std)}$	B_{ws}	T_s	V_s	Q_s	Q_{sd}	CO_2	O_2	CO
			Nm^3(dscm)	%	℃	m/sec	Nm^3/min(scmm)	Nm^3/min(dscmm)	%	%	%
BF1130722611	DEHP	113/07/22 09:35~10:08	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130722611	DEHP	113/07/22 13:10~14:40	1.419	10.6	157.6	29.3	3468.34	3100.70	15.3	4.4	ND <0.1
BF1130722612	Dioxins	113/07/22 16:26~17:04	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130723611	Dioxins	113/07/23 10:07~11:36	1.455	12.6	157.9	29.4	3456.97	3021.39	15.1	4.5	ND <0.1
A1130723612	Dioxins	113/07/23 13:55~15:24	1.452	11.9	158.4	29.6	3476.45	3062.75	15.0	4.7	ND <0.1
A1130723613	Dioxins	113/07/23 17:10~18:39	1.486	13.0	159.9	30.7	3592.19	3125.21	14.9	4.7	ND <0.1
BF1130729601	PAHs	113/07/29 13:29~14:26	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130729601	PAHs	113/07/329 16:15~17:44	1.524	11.9	163.1	30.0	3506.42	3089.16	15.0	4.5	ND <0.1
A1130730601	PAHs	113/07/30 10:20~11:49	1.557	13.9	164.6	31.0	3617.11	3114.33	15.1	4.7	ND <0.1
A1130730602	PAHs	113/07/30 14:15~15:44	1.562	13.9	162.7	30.9	3621.17	3117.83	15.4	4.4	ND <0.1

公私場所：	YTS 廠（第二次）
製程、主要設備：	鍋爐蒸氣產生程序(M04)： 流體化床鍋爐(E008) 低氮氧燃燒設施(A001)、脈動式袋式集塵器(A002)、濕式排煙脫硫(A014)、臭氧脫硝系統(A015) ★台中市自治規則：含氧參考基準—6%
排放管道編號：	P003

樣品編號	分析項目	採樣起訖時間	乾式氣體體積	排氣含水率實測值	煙道排氣平均溫度	煙道排氣平均流速	濕基排氣平均流量	乾基排氣平均流量	排氣組成		
			$V_{m(std)}$	B_{ws}	T_s	V_s	Q_s	Q_{sd}	CO_2	O_2	CO
			Nm^3(dscm)	%	℃	m/sec	Nm^3/min(scmm)	Nm^3/min(dscmm)	%	%	%
BF1130807602	Dioxins	113/08/07 09:45~10:26	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130807601	Dioxins	113/08/07 12:30~13:30	1.158	19.9	60.0	9.4	340.74	272.93	9.3	10.7	ND <0.1
A1130807602	Dioxins	113/08/07 15:30~1630	1.103	20.1	60.0	9.5	344.00	274.86	10.0	10.1	ND <0.1
A1130807603	Dioxins	113/08/07 18:00~19:00	1.099	20.1	60.7	9.5	343.28	274.28	9.9	10.2	ND <0.1

公私場所：	TCH 廠（第二次）
製程、主要設備：	水泥製造程序(M02)： #2 生料研磨設備(E210)、#2 旋窯(E211)、#2 預熱機(E237)、氯旁路系統(E239)、氣化爐(E241)、熱風爐(E243) 電袋複合式集塵器(A206)、二氧化碳捕集設備(A227)、選擇無觸媒還原(SNCR)設備(A6227)
排放管道編號：	P206

樣品編號	分析項目	採樣起訖時間	乾式氣體體積	排氣含水率實測值	煙道排氣平均溫度	煙道排氣平均流速	濕基排氣平均流量	乾基排氣平均流量	排氣組成		
			$V_{m(std)}$	B_{ws}	T_s	V_s	Q_s	Q_{sd}	CO_2	O_2	CO
			Nm^3(dscm)	%	℃	m/sec	Nm^3/min(scmm)	Nm^3/min(dscmm)	%	%	%
BF1130722601	DEHP	113/07/22 09:44~10:22	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130722601	DEHP	113/07/22 12:25~14:04	1.553	11.3	105.3	11.6	8746.10	7757.79	19.9	10.0	ND <0.1
BF1130722602	PAHs	113/07/22 15:20~16:06	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130722602	PAHs	113/07/22 16:45~18:24	1.458	11.9	114.9	12.3	9006.82	7935.01	20.0	9.8	ND <0.1
A1130723601	PAHs	113/07/23 10:35~12:15	1.411	11.4	120.3	12.2	8802.65	7799.15	20.4	9.4	ND <0.1
A1130723602	PAHs	113/07/23 14:05~15:44	1.441	11.4	117.4	12.3	8903.42	7888.43	20.2	9.7	ND <0.1
BF1130812601	Dioxins	113/08/12 14:47~15:13	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130813601	Dioxins	113/08/13 10:30~11:52	1.287	10.9	94.5	14.2	11040.26	9836.87	20.0	9.9	ND <0.1
A1130813602	Dioxins	113/08/13 13:30~14:54	1.250	11.5	93.8	14.2	11049.50	9778.81	20.2	9.9	ND <0.1
A1130813603	Dioxins	113/08/13 16:20~17:42	1.251	10.8	92.3	14.1	10994.62	9807.20	20.1	9.8	ND <0.1

公私場所：	ACH 廠
製程、主要設備：	水泥製造程序(M02)： (#2)乾土機(E204)、乾式研磨設施(#2 生料磨機)(E206)、(#2)預熱機/旋窯(E209)、衝碎機(#2 碎石機)、旋轉分離器(#2 生料選粉機)(E229) 脈動式袋式集塵器(A227、A228)
排放管道編號：	P206

樣品編號	分析項目	採樣起訖時間	乾式氣體體積	排氣含水率實測值	煙道排氣平均溫度	煙道排氣平均流速	濕基排氣平均流量	乾基排氣平均流量	排氣組成		
			$V_{m(std)}$	B_{ws}	T_s	V_s	Q_s	Q_{sd}	CO_2	O_2	CO
			Nm^3(dscm)	%	℃	m/sec	Nm^3/min(scmm)	Nm^3/min(dscmm)	%	%	%
BF1130814601	DEHP	113/08/14 13:51~14:56	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130814601	DEHP	113/08/14 16:40~18:31	1.585	7.7	169.6	26.1	8364.67	7720.59	14.6	12.2	ND <0.1
BF1130816601	Dioxins	113/08/16 09:17~10:03	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130816601	Dioxins	113/08/16 11:20~13:11	1.626	7.9	162.2	25.9	8465.45	7796.68	16.0	11.2	ND <0.1
A1130816602	Dioxins	113/08/16 14:30~16:21	1.678	9.2	141.3	25.8	8858.17	8043.22	15.5	11.7	ND <0.1
A1130816603	Dioxins	113/08/16 17:50~19:41	1.570	9.1	151.0	25.0	8389.37	7625.94	14.5	12.0	ND <0.1
BF1130817601	PAHs	113/08/17 08:45~09:33	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130817601	PAHs	113/08/17 10:40~12:31	1.919	9.0	150.9	27.8	9343.64	8502.71	15.1	11.6	ND <0.1
A1130817602	PAHs	113/08/17 14:30~16:21	1.882	10.0	148.3	27.2	9181.22	8263.10	14.9	11.7	ND <0.1
A1130817603	PAHs	113/08/17 18:00~19:51	1.816	8.9	148.7	26.5	8937.65	8142.20	14.6	12.2	ND <0.1

公私場所：	TCS 廠（第二次）
製程、主要設備：	水泥製造程序(M03)： 乾式研磨設施(E301)、預熱機(E307)、旋轉式燒成爐(E308) 靜電複合脈動式集塵器(A301)
排放管道編號：	P301

樣品編號	分析項目	採樣起訖時間	乾式氣體體積	排氣含水率實測值	煙道排氣平均溫度	煙道排氣平均流速	濕基排氣平均流量	乾基排氣平均流量	排氣組成		
			$V_{m(std)}$	B_{ws}	T_s	V_s	Q_s	Q_{sd}	CO_2	O_2	CO
			Nm^3(dscm)	%	℃	m/sec	Nm^3/min(scmm)	Nm^3/min(dscmm)	%	%	%
BF1130823601	DEHP	113/08/23 09:10~09:42	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130823601	DEHP	113/08/23 11:35~13:37	1.376	13.7	86.2	17.5	8095.29	6986.24	18.8	10.1	ND <0.1

公私場所：	TPM 廠（第二次）										
製程、主要設備：	鍋爐汽電共生程序(M28)： 循環流體床鍋爐(ES01) 乾式排煙脫硫(AS01)、選擇無觸媒還原(SNCR)設備(AS02)										
排放管道編號：	PS01										
樣品編號	分析項目	採樣起訖時間	乾式氣體體積	排氣含水率實測值	煙道排氣平均溫度	煙道排氣平均流速	濕基排氣平均流量	乾基排氣平均流量	排氣組成		
			$V_{m(std)}$	B_{ws}	T_s	V_s	Q_s	Q_{sd}	CO_2	O_2	CO
			Nm^3(dscm)	%	℃	m/sec	Nm^3/min(scmm)	Nm^3/min(dscmm)	%	%	%
BF1130904601	EDHP	113/09/04 10:28~11:05	*	*	*	*	*	*	*	*	*
A1130904601	DEHP	113/09/04 12:30~14:04	1.291	11.6	129.0	24.1	8232.05	7277.13	11.0	8.1	ND <0.1

二、其他介質污染物採樣

1.SRF、替代燃料及水泥生料：

項次	廠商代號	樣品編號	採樣日期
1	TPM 廠 SRF	O1130409601	113.4.9
2	TCS 廠 SRF	O1130426601	113.4.26
3	TCS 廠木屑	O1130426603	113.4.26
4	TCS 廠 SRF 生料	O1130426602	113.4.26
5	CC 廠紙漿污泥	O1130517602	113.5.17
6	CC 廠 SRF	O1130517601	113.5.17
7	CHPC 廠紙漿污泥	O1130524602	113.5.24
8	YY 廠紙漿污泥	O1130531602	113.5.31
9	CHPC 廠紙 SRF	O1130524601	113.5.24
10	YY 廠 SRF	O1130531601	113.5.31
11	YTS 廠紙漿污泥	O1130628601	113.6.28
12	YH 廠橡膠	O1130621602	113.6.21
13	YH 廠 SRF	O1130621606	113.6.21
14	TCH 廠生料	O1130712603	113.7.12
15	TCH 廠水泥生料	O1130723605	113.7.23
16	CH 廠紙漿污泥	O1130719602	113.7.19
17	YTS 廠 SRF	O1130628605	113.6.28
18	TCH 廠 SRF	O1130712601	113.7.12
19	TCH 廠木屑	O1130712602	113.7.12
20	ACH 廠生料	O1130816603	113.8.16
21	TCH 廠木屑（第二次採樣）	O1130723604	113.7.23
22	TC 廠 SRF	O1130723601	113.7.23
23	TC 廠橡膠	O1130723602	113.7.23
24	CH 廠木質顆粒	O1130719601	113.7.19
25	ACH 廠 SRF	O1130816601	113.8.16
26	ACH 廠 RDF（塑膠片）	O1130816602	113.8.16
27	TCH 廠 SRF（第二次採樣）	O1130723603	113.7.23

2.底渣、飛灰及熟料：

項次	廠商代號	樣品編號	採樣日期
1	TPM 廠飛灰	S1130409601	113.4.9
2	TCS 廠飛灰	S1130426602	113.4.26
3	TCS 廠熟料底渣	S1130426601	113.4.26
4	CC 廠底渣	S1130517601	113.5.17
5	CC 廠飛灰	S1130517602	113.5.17
6	CHPC 廠底渣	S1130524601	113.5.24
7	CHPC 廠飛灰	S1130524602	113.5.24
8	YY 廠底渣	S1130531601	113.5.31
9	YY 廠飛灰	S1130531602	113.5.31
10	YH 廠底渣	S1130621601	113.6.21
11	YH 廠飛灰	S1130621602	113.6.21
12	YTS 廠底渣	S1130628601	113.6.28
13	YTS 廠飛灰	S1130628602	113.6.28
14	TCH 廠底渣（熟料）	S1130712601	113.7.12
15	CH 廠底渣	S1130719601	113.7.19
16	CH 廠反應灰	S1130719602	113.7.19
17	CH 廠集塵灰	S1130719603	113.7.19
18	TC 廠底渣	S1130723601	113.7.23
19	TC 廠飛灰	S1130723602	113.7.23
20	TCH 廠底渣（熟料）	S1130723603	113.7.23
21	ACH 廠底渣（熟料）	S1130816601	113.8.16
22	CC 廠底渣（第二次）	S1130827601	113.8.27
23	CC 廠飛灰（第二次）	S1130827602	113.8.27
24	YTS 廠飛灰（第二次）	S1130827604	113.8.27

3.廢水：

項次	廠商代號	樣品編號	採樣日期
1	CC 廠 FGD 水	W1130517601	113.5.17
2	CC 廠放流水	W1130517602	113.5.17
3	CHPC 廠放流水	W1130524601	113.5.24
4	YY 廠 FGD 水	W1130531601	113.5.31
5	YY 廠放流水	W1130531602	113.5.31
6	CC 廠 FGD 水	W1130613601 (重採)-1L*2	113.6.13
7	YH 廠 FGD 水	W1130621601	113.6.21
8	YH 廠放流水	W1130621602	113.6.21
9	YTS 廠 FGD 水	W1130628601	113.6.28
10	YTS 廠放流水	W1130628602	113.6.28
11	TCH 廠放流水	W1130712601	113.7.12
12	CH 廠放流水	W1130719601	113.7.19
13	TC 廠放流水	W1130723601	113.7.23
14	TCH 廠放流水	W1130723602	113.7.23

附錄九、數據品保報告書

一、重金屬檢測之品保目標及執行情形

（一）固體樣品中總汞檢測

樣品編號	空白樣品分析		檢量線確認		檢量線查核		重複樣品分析		查核樣品分析		添加樣品分析	
	空白分析值 (ng Hg)	管制範圍 (ng Hg)	相對誤差值	管制範圍	相對誤差值	管制範圍	相對差異百分比值	管制範圍	回收率值	管制範圍	回收率值	回收率管制範圍
O1130409601	<MDL (0.053)	<2MDL (0.11)	-7.0%	±20%以內	4.4%	±20%以內	1.2%	20%以內	90.5%	80~120%	112.4%	80~120%
S1130409601												
O1130426601												
O1130426602												
O1130426603												
S1130426601	<MDL (0.053)	<2MDL (0.11)			9.3%	±20%以內						
S1130426602												
O1130517602												
S1130517601												
S1130517602												
O1130517601	<MDL (0.053)	<2MDL (0.11)	-7.3%	±20%以內	4.9%	±20%以內	0.6%	20%以內	94.9%	80~120%	104.1%	80~120%
O1130524601												
O1130524602												
S1130524601												
S1130524602												
O1130531601	0.069	<2MDL (0.11)			-4.4%	±20%以內						
O1130531602												
S1130531601												
S1130531602												
S1130723603												

樣品編號	空白樣品分析		檢量線確認		檢量線查核		重複樣品分析		查核樣品分析		添加樣品分析	
	空白分析值 (ng Hg)	管制範圍 (ng Hg)	相對誤差值	管制範圍	相對誤差值	管制範圍	相對差異百分比值	管制範圍	回收率值	管制範圍	回收率值	管制範圍
S1130621601	<MDL (0.053)	<2MDL (0.11)	-3.0%	±20%以內	5.5%	±20%以內	4.0%	20%以內	90.7%	80~120%	84.2	80~120%
S1130621602												
S1130628601												
S1130628602												
S1130712601												
O1130621602	<MDL (0.053)	<2MDL (0.11)			-0.1%	±20%以內						
O1130621606												
O1130628601												
O1130712603												
S1130621601												
O1130712601	<MDL (0.053)	<2MDL (0.11)	-0.1%	±20%以內	7.8%	±20%以內	3.6%	20%以內	95.7%	80~120%	100.6%	80~120%
O1130712602												
O1130719602												
O1130723605												
O1130628605												
S1130719601	<MDL (0.053)	<2MDL (0.11)			-5.0%	±20%以內						
S1130719602												
S1130719603												
S1130723601												
S1130723602												

樣品編號	空白樣品分析		檢量線確認		檢量線查核		重複樣品分析		查核樣品分析		添加樣品分析	
	空白分析值 (ng Hg)	管制範圍 (ng Hg)	相對誤差值	管制範圍	相對誤差值	管制範圍	相對差異百分比值	管制範圍	回收率值	管制範圍	回收率值	管制範圍
O1130719601	<MDL (0.053)	<2MDL (0.11)	10.3	±20%以內	7.0	±20%以內	0.4	20%以內	90.3	80~120%	94.3	80~120%
O1130723601												
O1130723602												
O1130723604	<MDL (0.053)				-7.4	±20%以內						
S1130816601												
O1130816603												
O1130723603	0.081	<2MDL (0.11)	3.1	±20%以內	10.6	±20%以內	0.2	20%以內	95.0	80~120%	95.4	80~120%
O1130816601												
O1130816602												
S1130827601	0.059				-2.2	±20%以內						
S1130827602												
S1130827604												

（二）排放管道中金屬 ICP-OES 檢測

樣品編號	空白樣品分析		檢量線確認		檢量線查核		重複樣品分析		查核樣品分析		添加樣品分析	
	空白分析值 (mg/L)	管制範圍 (mg/L)	相對誤差值	相對誤差值管制範圍	相對誤差值	相對誤差值管制範圍	相對差異百分比	相對差異百分比管制範圍	回收率	回收率管制範圍	回收率	回收率管制範圍
BR1130423601	<2MDL (0.0001~0.0036 mg/L)	<2MDL (0.002~0.006 mg/L)	-5.0~7.3%	±10%以內	-3.0~3.3%	±10%以內	1.9~15.9%	20%以內	91.2~104.1%	75~125%	96.3~102.2 %	75~125%
A1130423602~4												
BR1130506601												
A1130506602~4												
BR1130528601	<2MDL (0.0001~0.0047 mg/L)	<2MDL (0.002~0.006 mg/L)	-8.9~8.4%	±10%以內	-5.0~3.9%	±10%以內	0.1~11.1%	20%以內	95.0~106.6%	75~125%	94.4~108.4 %	75~125%
A1130528601~03												
BR1130528602												
A1130528604~06												
BR1130612601	<2MDL (0.0001~0.0027 mg/L)	<2MDL (0.002~0.006 mg/L)	-3.6~5.1%	±10%以內	-5.9~2.5%	±10%以內	0.9~13.0%	20%以內	94.7~104.0%	75~125%	96.9~108.4 %	75~125%
A1130612601~03												
BR1130628601												
A1130628601~03												
BR1130723601	<2MDL (0.0003~0.0042mg/L)	<2MDL (0.002~0.006mg/L)	-3.4~2.1%	±10%以內	-3.7~1.7%	±10%以內	0.3~15.7%	20%以內	98.1~103.1%	75~125%	98.3~105.9 %	75~125%
A1130723621~623												
BR1130819601												
A1130819601~3												
BR1130823601	<2MDL (0.0000~0.0003mg/L)	<2MDL (0.002~0.006mg/L)	-3.2~7.9%	±10%以內	-3.6~0.4%	±10%以內	0.1~17.3%	20%以內	92.4~103.5%	75~125%	89.7~102.2 %	75~125%
A1130823601~3												
BR1130827601												
A1130827601~3												
BR1130828601												
A1130828601~3												

BR1130924601 A1130924601~3	<2MDL (0.0000~0.0007mg/L)	<2MDL (0.002~0.006mg/L)	-0.2~8.6%	±10%以內	1.4~8.2%	±10%以內	0.1~1.5%	20%以內	90.2~99.6%	75~125%	88.3~97.0%	75~125%

（三）排放管道中金屬 ICP-MS 檢測

樣品編號	空白樣品分析		檢量線確認		檢量線查核		重複樣品分析		查核樣品分析		添加樣品分析	
	空白分析值 (μg/L)	管制範圍 (μg/L)	相對誤差值	相對誤差值管制範圍	相對誤差值	相對誤差值管制範圍	相對差異百分比	相對差異百分比管制範圍	回收率	回收率管制範圍	回收率	回收率管制範圍
BR1130423601	<2MDL (0.011~0.042 μg/L)	<2MDL (0.02~0.03 μg/L)	0.8~6.3%	±10%以內	-6.1~6.8%	±10%以內	0.8~11.3%	20%以內	91.1~100.1%	75~125%	91.9~104%	75~125%
A1130423602~4												
BR1130506601												
A1130506602~4												
BR1130528601	<2MDL (0.001~0.005 μg/L)	<2MDL (0.02~0.03 μg/L)	4.3~8.8%	±10%以內	-4.0~9.7%	±10%以內	0.1~11.8%	20%以內	90.5~100.0%	75~125%	88.7~99.7%	75~125%
A1130528601～3												
BR1130528602_1A												
A1130528604～6												
BR1130612601	<2MDL (0.001~0.006 μg/L)	<2MDL (0.02~0.03 μg/L)	3.0~8.0%	±10%以內	0.3~3.4%	±10%以內	2.5~11.1%	20%以內	91.6~97.9%	75~125%	92.5~97.0%	75~125%
A1130612601~3												
BR1130628601												
A1130628601~3												
BR1130723601	<2MDL (0.001~0.014ug/L)	<2MDL (0.02~0.03ug/L)	3.4~9.2%	±10%以內	3.1~7.3%	±10%以內	5.0~13.6%	20%以內	88.8~96.7%	75~125%	92.3~95.1%	75~125%
A1130723621~623												
BR1130819601												
A1130819601~3												
BR1130823601	<2MDL (0.001~0.027ug/L)	<2MDL (0.02~0.03ug/L)	3.2~8.4%	±10%以內	-7.4~0.4%	±10%以內	0.2~15.5%	20%以內	91.9~97.4%	75~125%	91.2~96.8%	75~125%
A1130823601~3												
BR1130827601												
A1130827601~3												
BR1130828601												

A1130828601~3												
BR1130924601	<2MDL (0.000~0.012ug/L)	<2MDL (0.02~0.03ug/L)	3.5~8.2%	±10%以內	-0.7~3.9%%	±10%以內	0.7~1.2%	20%以內	91.7~95.1%	75~125%	93.0~97.4%	75~125%
A1130924601~3												

（四）排放管道中汞檢測

樣品編號	空白樣品分析		檢量線確認		檢量線查核		重複樣品分析		查核樣品分析		添加樣品分析	
	空白分析值 (mg/L)	管制範圍 (mg/L)	相對誤差值	相對誤差值管制範圍	相對誤差值	相對誤差值管制範圍	相對差異百分比	相對差異百分比管制範圍	回收率	回收率管制範圍	回收率	回收率管制範圍
BR1130423601	<2MDL (ND)	<2MDL (0.00002 mg/L)	2.0%	±20%以內	4.9~7.0%	±20%以內	8.3~15.4%	20%以內	92.5~95.5%	80~120%	87.7~99.3%	75~125%
A1130423602~4												
BR1130506601												
A1130506602~4												
BR1130528601	<2MDL (ND)	<2MDL (0.00002 mg/L)	0.9%	±20%以內	2.1~5.0%	±20%以內	0.0~2.0%	20%以內	94.6~99.9%	80~120%	93.7~98.9%	75~125%
A1130528601～03												
BR1130528602_1A												
A1130528604～06												
BR1130612601	<2MDL (ND)	<2MDL (0.00002 mg/L)	7.3%	±20%以內	4.4~7.0%	±20%以內	2.2~9.4%	20%以內	85.6~90.0%	80~120%	89.3~99.1%	75~125%
A1130612601~03												
BR1130628601												
A1130628601~03												
BR1130723601	<2MDL (ND)	<2MDL (0.00002mg/L)	-2.6%	±20%以內	4.5~9.6%	±20%以內	0.5~6.2%	±20%以內	96.6~103.3%	80~120%	87.9~97.4%	75~125%
A1130723621~623												
BR1130819601												
A1130819601~3												
BR1130823601	<2MDL (ND)	<2MDL (0.00002mg/L)	-4.3%	±20%以內	2.4~8.6%	±20%以內	0.1~10.1%	±20%以內	95.9~105.3%	80~120%	91.5~103.4%	75~125%
A1130823601~3												
BR1130827601												
A1130827601~3												

BR1130828601 A1130828601~3												
BR1130924601 A1130924601~3	<2MDL (ND)	<2MDL (0.00002mg/L)	-3.9%	±20%以內	4.5~5.4%	±20%以內	0.6~3.3%	±20%以內	93.6~99.9%	80~120%	90.0~96.8%	75~125%

（五）水中金屬 ICP-OES 檢測

樣品編號	空白樣品分析		檢量線確認		檢量線查核		重複樣品分析		查核樣品分析		添加樣品分析	
	空白分析值 (mg/L)	管制範圍 (mg/L)	相對誤差值	相對誤差值管制範圍	相對誤差值	相對誤差值管制範圍	相對差異百分比	相對差異百分比管制範圍	回收率	回收率管制範圍	回收率	回收率管制範圍
W1130517601	<2MDL (0.002~0.014 mg/L)	<2MDL (0.001~0.015mg/L)	-8.1~6.8%	±10%以內	-6.6~5.3%	±10%以內	1.1~3.4%	20%以內	94.3~107.8%	80~120%	91.0~103.1%	80~120%
W1130517602												
W1130524601	<2MDL (ND~0.001 mg/L)	<2MDL (0.001~0.015mg/L)	-7.0~5.0%	±10%以內	-3.0~3.8%	±10%以內	0.3~0.7%	20%以內	95.7~107.6%	80~120%	100.0~111.2%	80~120%
W1130531601												
W1130531602												
W1130621601												
W1130621602												
W1130628601												
W1130628602												
W1130712601												
W1130719601												
W1130723602												

（六）水中汞檢測

樣品編號	空白樣品分析		檢量線確認		檢量線查核		重複樣品分析		查核樣品分析		添加樣品分析	
	空白分析值 (mg/L)	管制範圍 (mg/L)	相對誤差值	相對誤差值管制範圍	相對誤差值	相對誤差值管制範圍	相對差異百分比	相對差異百分比管制範圍	回收率	回收率管制範圍	回收率	回收率管制範圍
W1130517601	<2MDL (ND)	<2MDL (0.0001mg/L)	2.8%	±20%以內	1.5%	±20%以內	11.8%	20%以內	92.2%	80~120%	99.4%	75~125%
W1130517602												
W1130524601	<2MDL (ND)	<2MDL (0.0001mg/L)	0.9%	±20%以內	3.5%	±20%以內	8.0%	20%以內	96.4%	80~120%	92.6%	75~125%
W1130531601												
W1130531602												
W1130621601	<2MDL (ND)	<2MDL (0.0001mg/L)	5.9%	±20%以內	-1.5%	±20%以內	0.0%	20%以內	91.8%	80~120%	94.7%	75~125%
W1130621602												
W1130628601	<2MDL (ND)	<2MDL (0.0001mg/L)	2.3%	±20%以內	4.4%	±20%以內	4.2%	20%以內	91.9%	80~120%	93.6%	75~125%
W1130628602												
W1130712601	<2MDL (ND)	<2MDL (0.0001mg/L)	-0.2%	±20%以內	5.7%	±20%以內	1.1%	20%以內	107.8%	80~120%	90.3%	75~125%
W1130719601												
W1130723602												

（七）廢棄物中金屬 ICP-OES 檢測

樣品編號	空白樣品分析		檢量線確認		檢量線查核		重複樣品分析		查核樣品分析		添加樣品分析	
	空白分析值 (mg/kg)	管制範圍 (mg/kg)	相對誤差值	相對誤差值管制範圍	相對誤差值	相對誤差值管制範圍	相對差異百分比	相對差異百分比管制範圍	回收率	回收率管制範圍	回收率	回收率管制範圍
S1130409601	<2MDL (ND~1.0mg/kg)	<2MDL (0.5~10mg/kg)	-5.4~1.7%	±10%以內	-9.3~2.5%	±10%以內	0.1~16.0%	20%以內	97.8~105.2%	75~125%	75.7~100.7%	75~125%
S1130426601												
S1130426602												
S1130517601												
S1130517602												
S1130524601												
S1130524602												
S1130531601	<2MDL (ND~1.1mg/kg)	<2MDL (0.5~10mg/kg)	-6.8~2.4%	±10%以內	-2.6~3.5%	±10%以內	2.7~12.0%	20%以內	98.6~107.8%	75~125%	81.5~95.0%	75~125%
S1130531602												
S1130621601												
S1130621602												
S1130628601												
S1130628602												
S1130712601												
S1130719601												
S1130719602												
S1130719603												
S1130723601	<2MDL (ND~1.6mg/kg)	<2MDL (0.5~10mg/kg)	-4.8~3.8%	±10%以內	-2.8~2.1%	±10%以內	2.0~14.0%	20%以內	100.2~107.6%	75~125%	85.3~112.0%	75~125%
S1130723602												
S1130723603												
S1130816601												
S1130827601												

S1130827602												
S1130827604												

（八）SRF 中金屬 ICP-OES 檢測

樣品編號	空白樣品分析		檢量線確認		檢量線查核		重複樣品分析		查核樣品分析		添加樣品分析	
	空白分析值 (mg/kg)	管制範圍 (mg/kg)	相對誤差值	相對誤差值管制範圍	相對誤差值	相對誤差值管制範圍	相對差異百分比	相對差異百分比管制範圍	回收率	回收率管制範圍	回收率	回收率管制範圍
O1130409601	<2MDL (ND~2.6mg/kg)	<2MDL (1.3~25mg/kg)	-5.7~4.8%	±10%以內	-5.9~-4.5%	±10%以內	0.1~14.1%	20%以內	96.0~106.4%	75~125%	89.7~100.9%	75~125%
O1130426601												
O1130426602												
O1130426603												
O1130517601												
O1130517602												
O1130524601												
O1130524602												
O1130531601												
O1130531602												
O1130621602	<2MDL (ND)	<2MDL (1.3~25mg/kg)	-3.3~1.3%	±10%以內	-6.7~-2.3%	±10%以內	0.1~1.1%	20%以內	98.7~103.3%	75~125%	91.1~99.4%	75~125%
O1130621606												
O1130628601												
O1130628605												
O1130712603												
O1130719602												
O1130723605												
O1130712601	<2MDL (0.1~1.2mg/kg)	<2MDL (1.3~25mg/kg)	-6.3~-2.9%	±10%以內	-6.9~-2.2%	±10%以內	0.1~0.6%	20%以內	91.4~105.8%	75~125%	87.5~102.6%	75~125%
O1130712602												
O1130719601												
O1130723601												
O1130723602												

O1130723603												
O1130723604												
O1130816601												
O1130816602												
O1130816603												

三、排放管道 PAHs 之品保目標及執行情形

工廠代號	樣品編號	檢量線查核				重複樣品分析		查核樣品分析		同位素標幟標準品回收率	
		Daily_RPD	管制範圍	RSD	管制範圍	相對差異百分比	相對差異百分比管制範圍	回收率	回收率管制範圍	回收率	回收率管制範圍
TPM 廠	BF1130410602	0.1~26.1%	<30%	0.83~15.97%	RSD<30%	-	-	-	-	70~105%	50~150%
	A1130411601									67~110%	
	A1130411602									78~106%	
	A1130412601									83~109%	
	B1130429701									79~103%	
	Q1130429701	-	-	-		4.3~28.2%	0~30%	90~111%	50~150%	74~105%	
	Q1130429701D							73~99%		94~131%	
TCS 廠	BF1130422601	0.1~26.1%	<30%	0.83~15.97%	RSD<30%	-	-	-	-	79~104%	50~150%
	A1130422601									76~110%	
	A1130423601									85~121%	
	A1130423602									78~115%	
	B1130429701									79~103%	
	Q1130429701	-	-	-		4.3~28.2%	0~30%	90~111%	50~150%	74~105%	
	Q1130429701D							73~99%		94~130%	
CC 廠	BF1130513601	0~14.8%	<30%	0.83~15.97%	RSD<30%	-	-	-	-	69~110%	50~150%
	A1130513601									81~114%	
	A1130514601									62~132%	
	A1130514602									95~118%	
	B1130603701									60~113%	
	Q1130603701	-	-	-		0.8~4.5%	0!30%	93~124%	50~150%	72~112%	
	Q1130603701D							95~125%		68~100%	

工廠代號	樣品編號	檢量線查核				重複樣品分析		查核樣品分析		同位素標幟標準品回收率	
		Daily_RPD	管制範圍	RSD	管制範圍	相對差異百分比	相對差異百分比管制範圍	回收率	回收率管制範圍	回收率	回收率管制範圍
YY 廠	BF1130527601	0~9.2%	<30%	0.83~15.25%	RSD<30%	-	-	-	-	80~110%	50~150%
	A1130527601									70~109%	
	A1130528601									76~110%	
	A1130528602									50~107%	
	B1130604701									71~111%	
	Q1130604701	-	-	-		0~9.1%	0~30%	95~128%	50~150%	77~104%	
	Q1130604701D							93~123%		87~109%	
CHPC 廠	BF1130520601	0~9.2%	<30%	0.83~15.25%	RSD<30%	-	-	-	-	85~110%	50~150%
	A1130520601									68~113%	
	A1130521601									75~117%	
	A1130521602									80~107%	
	B1130603701									58~113%	
	Q1130603701	-	-	-		0.8~4.5%	0~30%	93~124%	50~150%	72~112%	
	Q1130603701D							95~125%		68~100%	
YH 廠	BF1130617601	0~9.2%	<30%	0.83~15.25%	RSD<30%	-	-	-	-	50~102%	50~150%
	A11306017601									60~101%	
	A1130618601									50~100%	
	A1130618602									63~100%	
	B1130708701									64~113%	
	Q1130708701	--	-	-		1.1~5.2%	0~30%	71~124%	50~150%	75~101%	
	Q1130708701D							74~126%		64~103%	

工廠代號	樣品編號	檢量線查核				重複樣品分析		查核樣品分析		同位素標幟標準品回收率	
		Daily_RPD	管制範圍	RSD	管制範圍	相對差異百分比	相對差異百分比管制範圍	回收率	回收率管制範圍	回收率	回收率管制範圍
YTS 廠	BF1130624601	0~9.2%	<30%	0.83~15.25%	RSD<30%	-	-	-	-	75~100%	50~150%
	A1130624601									72~102%	
	A1130625601									74~102%	
	A1130625602									74~104%	
	B1130708701									64~113%	
	Q1130708701	-	-	-		1.1~5.2%	0~30%	71~124%	50~150%	63~106%	
	Q1130708701D							74~126%		64~103%	
TCH(I)廠	BF1130708601	0~16.5%	<30%	0.83~15.25%	RSD<30%	-	-	-	-	54~100%	50~150%
	A1130708601									51~129%	
	A1130709601									52~103%	
	A1130709602									50~91%	
	B1130722701									54~102%	
	Q1130722701	-	-	-		1.2~17.9%	0~30%	78~127%	50~150%	58~101%	
	Q1130722701D							66~120%		58~100%	
TCH(II)廠	BF1130722602	0~10.3%	<30%	0.83~15.25%	RSD<30%	-	-	-	-	50~97%	50~150%
	A1130722602-1									50~114%	
	A1130723601									50~137%	
	A1130723602									50~111%	
	B1130813701									50~102%	
	Q1130813701	--	-	-		1.8~18.6%	0~30%	100~148%	50~150%	52~88%	
	Q1130813701D							83~144%		53~89%	

工廠代號	樣品編號	檢量線查核				重複樣品分析		查核樣品分析		同位素標幟標準品回收率	
		Daily_RPD	管制範圍	RSD	管制範圍	相對差異百分比	相對差異百分比管制範圍	回收率	回收率管制範圍	回收率	回收率管制範圍
CH 廠	BF1130716601	0~16.5%	<30%	0.83~15.25%	RSD<30%	-	-	-	-	50~116%	50~150%
	A1130717601									51~98%	
	A1130717602									51~104%	
	A1130717603									56~110%	
	B1130722701									54~102%	
	Q1130722701	-	-	-		1.2~17.9%	0~30%	79~127%	50~150%	58~101%	
	Q1130722701D							76~120%		58~100%	
TC 廠	BF1130729601	0~10.3%	<30%	0.83~15.25%	RSD<30%	-	-	-	-	72~101%	50~150%
	A1130729601									65~103%	
	A1130730601									53~107%	
	A1130730602									80~118%	
	B1130813701									50~102%	
	Q1130813701	-	-	-		1.8~18.6%	0~30%	100~148%	50~150%	52~88%	
	Q1130813701D							83~144%		53~89%	
ACH 廠	BF1130817601	0~9.2%	<30%	0.83~15.25%	RSD<30%	-	-	-	-	51~102%	50~150%
	A1130817601									50~128%	
	A1130817602									51~111%	
	A1130817603									63~118%	
	B1130820701									63~108%	
	Q1130820701	--	-	-		0.7~17.1%	0~30%	80~145%%	50~150%	60~103%	
	Q1130820701D							92~144%		54~98%	

四、排放管道塑化劑之品保目標及執行情形

樣品編號	空白樣品分析		檢量線確認		檢量線查核		查核樣品分析	
	空白分析值	管制範圍	相對標準偏差	相對標準偏差 管制範圍	相對標準偏差	相對標準偏差 管制範圍	回收率	回收率 管制範圍
A1100515601	223 ng	< 500 ng	10.6~15.2%	<25%	-13.6~22.8%	±30%以內	100~139%	60~140%
A1130522601								
A1130529601								
A1130619601	493 ng	< 500 ng	10.6~15.2%	<25%	-13.6~22.8%	±30%以內	91~136%	60~140%
A1130626601								
A1130710601								
A1130716601								
A1130722601	368	< 500	13.4~22.9	<25	-0.6~28.4	±30%以內	75~135	60~140
A1130722611								
A1130814601								
A1130823601	224	< 500	13.4~22.9	<25	-0.6~28.4	±30%以內	75~126	60~140
A1130904601								

五、排放管道中 SO_2 及氮氧化物之品保目標及執行情形

編號	檢測項目	方法編號	轉化效率 E(%)	分析儀校正誤差			採樣系統偏差				校正偏移	
				零點	高濃度	中濃度	零點	中濃度	零點	中濃度	零點	中濃度
1	排放管道 氮氧化物	NIEA A413.76C	>90	±2%全幅	±2%全幅	±2%全幅	±5%全幅	±5%全幅	±5%全幅	±5%全幅	±3%全幅	±3%全幅
2	排放管道 硫氧化物	NIEA A411.75C	>95									

工廠代號	檢測項目	方法編號	轉化效率 E(%)	分析儀校正誤差			採樣系統偏差				校正偏移	
				零點	高濃度	中濃度	零點	中濃度	零點	中濃度	零點	中濃度
TPM	排放管道 氮氧化物	NIEA A411.75C	94.8	0.1	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0
	排放管道 硫氧化物	NIEA A413.76C	96.3	0.2	0.0	1.2	0.8	0.8	0.8	0.0	0.0	0.8
TCS	排放管道 氮氧化物	NIEA A411.75C	93.8	0.0	0.2	-0.3	0.0	-0.1	0.0	0.2	0.0	0.3
	排放管道 硫氧化物	NIEA A413.76C	95.2	0.1	0.4	0.9	1.5	-0.2	0.9	-0.7	-0.6	-0.5
YTS	排放管道 氮氧化物	NIEA A411.75C	91.3	0.1	0.2	0.2	0.0	-0.1	0.0	0.1	0.0	0.2
	排放管道 硫氧化物	NIEA A413.76C	98.9	0.2	0.3	0.1	0.2	-0.2	0.1	0.1	-0.1	0.3
CC	排放管道 氮氧化物	NIEA A411.75C	95.6	0.2	0.3	0.0	0.0	-0.2	-0.1	-0.5	-0.1	-0.3
	排放管道 硫氧化物	NIEA A413.76C	97.5	0.7	0.7	1.0	0.1	-0.7	0.0	-0.9	-0.1	-0.2
YY	排放管道 氮氧化物	NIEA A411.75C	91.5	0.1	0.3	0.6	0.0	-0.8	0.0	-1.5	0.0	-0.6
	排放管道 硫氧化物	NIEA A413.76C	96.0	0.3	0.5	-0.6	0.3	-0.7	0.5	-0.4	0.2	0.3
CHPC	排放管道 氮氧化物	NIEA A411.75C	94.1	0.2	0.0	-0.9	0.0	-0.2	-0.1	-0.4	-0.1	-0.2
	排放管道 硫氧化物	NIEA A413.76C	96.0	1.0	-0.1	-0.3	0.6	-0.1	0.4	-0.4	-0.2	-0.3
YH	排放管道 氮氧化物	NIEA A411.75C	93.1	0.1	-0.1	-0.5	0.1	-0.1	0.1	0.0	0.0	0.1
	排放管道 硫氧化物	NIEA A413.76C	96.1	0.5	0.0	0.1	0.7	-0.4	0.8	-2.4	0.1	-2.0

工廠代號	檢測項目	方法編號	轉化效率 E(%)	分析儀校正誤差			採樣系統偏差				校正偏移	
				零點	高濃度	中濃度	零點	中濃度	零點	中濃度	零點	中濃度
TCH(I)	排放管道 氮氧化物	NIEA A411.75C	92.3	0.3	0.0	-0.6	-0.1	0.7	-0.1	0.8	0.1	0.2
	排放管道 硫氧化物	NIEA A413.76C	96.8	0.4	-0.1	0.3	1.3	1.0	1.2	1.6	-0.1	0.6
TCH(II)	排放管道 氮氧化物	NIEA A411.75C	91.9	0.3	-1.0	-1.3	-0.1	0.6	0.0	0.7	0.1	0.1
	排放管道 硫氧化物	NIEA A413.76C	96.2	0.2	-0.3	0.7	1.4	-0.2	1.3	-0.9	-0.1	-0.7
CH	排放管道 氮氧化物	NIEA A411.75C	92.0	0.1	0.0	0.2	0.1	-1.2	0.1	-0.4	0.0	0.8
	排放管道 硫氧化物	NIEA A413.76C	95.7	0.5	0.3	1.1	0.5	-0.3	0.6	-1.1	0.1	-0.8
TC	排放管道 氮氧化物	NIEA A411.75C	95.8	-0.1	-0.8	0.8	0.1	-0.7	0.0	-0.6	-0.1	0.1
	排放管道 硫氧化物	NIEA A413.76C	95.9	0.0	0.6	0.5	0.3	-1.0	0.5	-0.6	0.3	0.4
ACH	排放管道 氮氧化物	NIEA A411.75C	92.0	0.1	-0.1	-0.8	0.0	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.0
	排放管道 硫氧化物	NIEA A413.76C	96.6	0.5	1.3	1.0	0.8	0.3	0.6	-1.5	-0.2	-1.8

六、排放管道中粒狀污染物之品保目標及執行情形

工廠代號	品管項目	要求(mg)	數值(mg)
TPM	現場空白	≤1.0	0.75
	實驗室空白	≤0.5	0.35
TCS	現場空白	≤1.0	0.80
	實驗室空白	≤0.5	0.15
YTS	現場空白	≤1.0	0.65
	實驗室空白	≤0.5	0.0
CC	現場空白	≤1.0	0.1
	實驗室空白	≤0.5	0.0
YY	現場空白	≤1.0	0.60
	實驗室空白	≤0.5	0.40
CHPC	現場空白	≤1.0	0.75
	實驗室空白	≤0.5	0.0
YH	現場空白	≤1.0	0.35
	實驗室空白	≤0.5	0.25
TCH(I)	現場空白	≤1.0	0.85
	實驗室空白	≤0.5	0.0
TCH(II)	現場空白	≤1.0	0.60
	實驗室空白	≤0.5	0.0
CH	現場空白	≤1.0	0.85
	實驗室空白	≤0.5	0.35
TC	現場空白	≤1.0	0.45
	實驗室空白	≤0.5	0.35
ACH	現場空白	≤1.0	0.55
	實驗室空白	≤0.5	0.10

附錄十、環境風險模式推估說明

一、排放管道有害空氣污染物擴散模擬

本計畫針對台中市以及雲林縣共五廠 SRF 廠排放管道之有害空氣污染物(戴奧辛、多環芳香烃以及重金屬）進行擴散以及沉降模擬，本計畫使用先前排放管道之有害空氣污染物濃度計算其排放率，計算公式如下：

- 排放率計算(g/sec)：污染物排放濃度($\frac{g}{Nm^3}$) × 乾基排氣量($\frac{Nm^3}{sec}$) × 排放管道

各廠排放管道模擬範圍皆以污染源為中心，為 20 km×20 km 範圍（網格間距大小：500 m），氣象資料則為台中地面氣象站（代號 467490）以及探空站（代號 46734），其排放率則如表 4.7-1 所示，其餘模擬參數如下所示：

TPM 廠

煙囪位置：TWD97 二度分帶 167420,2633630

排氣溫度：339.1 K；排氣速度：6.84 m/s

YTS 廠

煙囪位置：TWD97 二度分帶 212888,2688234

排氣溫度：337.6 K；排氣速度：8.36 m/s

CH1 廠

煙囪位置：TWD97 二度分帶 222087,2686592

排氣溫度：327.8 K；排氣速度：5.27 m/s

CH2 廠

煙囪位置：TWD97 二度分帶 222087,2686592

排氣溫度：327.8 K；排氣速度：5.27 m/s

K 廠

煙囪位置：TWD97 二度分帶 213919,2700665

排氣溫度：328.2 K；排氣速度：12.01 m/s

二、多介質傳輸途徑估算

空氣污染物熱點資訊與評估法」（Air Toxics "Hot Spots" Program, 亦稱 AB 2588）旨在提供關於固定源空氣排放程度及這些排放可能對公共健康產生的影響的訊息。是業主向當地空氣污染控制和空氣品質管理區以及最終向加州空氣資源管理委員會提供“熱點”法案中特定列出的化學物質的排放清單。根據排放量和毒性的多少，區域機構對設施進行優先順序排定後，可能要求這些設施進行健康風險評估。健康風險評估包括對排放的化學物質在空氣中的傳播以及通過所有相關途徑（暴露評估）對人體的暴露程度進行全面分析，這些途徑包括這些化學物質的毒理學（劑量-反應評估）以及暴露社區的癌症風險和非癌症健康影響的估計（風險表徵）。法規明確要求 OEHHA 制定一種“風險可能性”的健康風險評估方法，因此 OEHHA 開發了一種使用暴露變數的分布而不是單一點估計的隨機風險評估方法。通過將暴露的變異性作為輸入，可以使用蒙特卡羅或類似的方法在風險評估模型中傳播暴露的變異性。這種分析的結果是風險的一個範圍，至少在某種程度上表徵了暴露的變異性。這樣的訊息允許風險管理者估計不同風險水平下的人口百分比。是一種層次化的風險評估方法。第一層是使用本文件中推薦的點估計的標準方法。如果有現場特定訊息可以修改一些點估計，而這些訊息比空氣毒物熱點規劃風險評估指南中推薦的點估計更適用，那麼第二層允許使用該現場特定訊息。在第三層，使用風險評估指南中提供的分布進行暴露評估的隨機方法。第四層也是一種隨機方法，但允許使用現場特定的分布，如果這些分布是合理的，並且對評估的站點比風險評估指南中推薦的分布更適用。

空氣排放的暴露評估不僅包括通過吸入途徑的暴露分析，還包括通過非吸入途徑間接接觸空氣有毒物質的途徑。對於某些化合物來說，空氣物質沉積到地表水、土壤、可食用植物（包括食物、牧場和動物飼料）以及通過哺乳汁攝入後，會發生顯著的暴露。檢查直接吸入和間接非吸入途徑的暴露，可以揭示對空氣排放的全面暴露程度。然而在空氣毒物熱點風險評估中，僅對某些化學物通過多途徑途徑進行評估。一般而言，對於具有生物濃縮或生物累積趨勢(例如，親脂性半揮發性有機物)或在環境中積累的化學物，存在較高的間接暴露潛在性（例如：金屬）。半揮發性有機和金屬有毒物質可以直接沉積到地表水、土壤、葉子、水果和蔬菜、牧草等中。

傳統的暴露和風險評估方法是為每個暴露參數（如呼吸速率）分配一個單一值，通常選擇為偏高數值，以防風險被低估。過去對“偏高”值的定義並不清晰，難以確定該值在分布上的位置。相對於單一點估計方法的改進是選擇兩個值，一個代表平均值，另一個代表明確的偏高值。OEHHA 在空氣毒物熱點規劃風險評估指南文件中提供了有關關鍵暴露變數的平均值和明確偏高值的訊息。空氣毒物熱點風險評估中點估計的平均值和“偏高”值是根據該變數的值的機率分布來定義的。選擇使用平均值代表點估計的平均值，使用 95th 百分位數代表點估計的偏高值，這些值來自空氣毒物熱點風險評估文件中確定的分布。因此在數據的限制下，平均值和偏高是分佈上確定的點。並且 OEHHA 更新了點估計方法中使用的參數。通過使用平均和偏高消耗率的估計（分別定義為分布的平均值和 95th 百分位數），而不是單一點估計來完善方法。然而目前多介質模式仍建議使用台灣本土環境參數，因此當進行不同區域以及不同場域的調查時需重新蒐集環境參數。

三、多介質模式推估參數

1.空氣濃度之估算：使用大氣擴散模式模擬所得之污染物濃度。

2.土壤濃度之估算：

公式 A-1：

$$C_s = \frac{Dep \times X}{K_s \times SD \times BD \times T_t}$$

式中：

C_s：評估時期之平均土壤濃度(μg/kg)

Dep：每日之土壤平均沉降量(μg/m^2-d)，使用大氣擴散模式模擬所得之沉降量

X：土壤堆積之積分函數(d)；見公式 A-2

K_s：土壤消除常數(d^{-1})；見公式 A-3

SD：土壤混和深度(m)，見表 B

BD：土壤體積密度(kg/m^3)，見表 B

T_t：總評估期(year)，見表 B

公式 A-2：

$$X = \left[\frac{e^{(-K_s \times T_f)} - e^{(-K_s \times T_o)}}{K_s}\right] + T_t$$

式中：

K_s：土壤消除常數(d^{-1})；見公式 A-3

T_f：評估終止期(d)，見表 B

T_0：評估開始時間(d)，見表 B

T_t：總評估期 T_f-T_o(d)，見表 B

公式 A-3：

$$Ks = \frac{0.693}{t_{1/2}}$$

式中：

$t_{1/2}$：各物質之土壤半衰期(d)，見表 C

3.水中濃度之估算：

公式 B-1：$C_w = C_{depw}$

式中：

C_w：水中平均濃度(μg/kg)

C_{depv}：空氣直接沉降量(μg/kg)

公式 B-2：

$$C_{depw}=\frac{\text{Dep}\times\text{SA}\times 365}{\text{WV}\times\text{VC}}$$

式中：

Dep：每天於水體之直接沉降量 (μg/m^2/d)

SA：水體表面積(m^2)，見表 A

WV：水體體積(kg)，見表 A

VC：水體每年置換次數，見表 A

4.底泥濃度之估算：

(1)污染物吸附於底泥層中的濃度：

$$C_{sb}=f_{bs}\times C_{wtot}\times\left(\frac{Kd_{bs}}{\theta_{bs}+Kd_{bs}\times C_{BS}}\right)\times\left(\frac{d_{wc}+d_{bs}}{d_{bs}}\right)$$ 公式 C-1

參數代號	涵義	值	單位	來源
C_{sb}	污染物吸附於底泥層中的濃度	-	mg/kg	-
f_{bs}	污染物沉澱在底泥層之濃度比例	-	無因次	公式 C-2
C_{wtot}	污染物在總水體（包含水體層與底泥層中的濃度）	-	mg/L	公式 C-3
K_{dbs}	土壤與土壤孔隙水中的分配系數	見表 C	L /kg	美國環保署 SDCM
θ_{bs}	土壤孔隙率（水/沉積物）	0.6	無因次	美國環保署 HHRAP
C_{BS}	底床泥沙濃度	1	g/cm^3	美國環保署 HHRAP
d_{wc}	水體層深度	見表 A	m	台灣港務股份有限公司(106)
d_{bs}	底泥層深度	0.03	m	美國環保署 HHRAP

(2)部分污染物沉澱在底泥層之濃度比例：

$$f_{bs}=1-f_{wc}$$ 公式 C-2

參數代號	涵義	單位	來源
f_{bs}	部分污染物沉澱在底泥層之濃度比例	無因次	-
f_{wc}	部分污染物在水體層之濃度比例	無因次	公式 C-5

(3)污染物在水體層中的濃度：

$$C_{wctot} = f_{wc} \times C_{wtot} \times \frac{d_{wc}+d_{bs}}{d_{wc}}$$ 公式 C-3

參數代號	涵義	值	單位	來源
C_{wctot}	污染物在水體層中的濃度	-	mg/L	公式 C-4
f_{wc}	部分污染物在水體層之濃度比例	-	無因次	公式 C-5
C_{wtot}	污染物在總水體中的濃度	-	mg/L	-
d_{wc}	水體層深度	見表 A	m	台灣港務股份有限公司(106)
d_{bs}	底泥層深度	0.03	m	美國環保署 HHRAP

(4)污染物在水中濃度（水質模擬結果）：

$$C_{dw} = \frac{C_{wctot}}{1+kd_{sw}\times TSS\times(1\times10^{-6})}$$ 公式 C-4

參數代號	涵義	值	單位	來源
C_{dw}	污染物在水中濃度（水質模擬結果）	-	mg/L	水質模式模擬
C_{wctot}	污染物在水體層中的濃度	-	mg/L	-
kd_{sw}	污染物在土壤（底泥）與水間的分配係數	見表 C	L/kg	美國環保署 SCDM
TSS	總懸浮固體物濃度	26.7	mg/L	美國環保署 HHRAP
1×10^{-6}	單位轉換係數	-	kg/mg	-

(5)部分污染物在水體層之濃度比例：

$$f_{wc} = \frac{(1 + kd_{sw} \times TSS \times 1 \times 10^{-6}) \times d_{wc}/d_z}{(1 + kd_{sw} \times TSS \times 1 \times 10^{-6}) \times d_{wc}/d_z + (\theta_{bs} + Kd_{bs} \times C_{BS}) \times d_{bs}/d_z}$$

公式 C-5

參數代號	涵義	值	單位	來源
f_{wc}	部分污染物在水體層之濃度比例	-	無因次	-
kd_{sw}	污染物在土壤（底泥）與水的分配係數	見表 C	L/kg	美國環保署 SCDM
TSS	總懸浮固體物濃度	26.7	mg/L	美國環保署 HHRAP
1×10^{-6}	單位轉換係數	-	kg/mg	-
d_z	水體總深度	-	m	$dwc + dbs$
θ_{bs}	土壤孔隙率（水/沉積物）	0.6	無因次	美國環保署 HHRAP
kd_{bs}	污染物在土壤與土壤孔隙水中的分配系數	見表 C	L/kg	美國環保署 SCDM
C_{BS}	底床泥沙濃度	1	g/cm^3	美國環保署 HHRAP
d_{wc}	水體層深度	見表 A	m	台灣港務股份有限公司(106)
d_{bs}	底泥層深度	0.03	m	美國環保署 HHRAP

表 A、各鄉鎮水域面積

地區	台中清水區	台中梧棲區	台中龍井區	雲林縣麥寮鄉
水域面積(m^2)	404687	252840	1314856	1905658
水域體積(kg)	10340145257	6460307168	13425030989	7203387240
水域置換次數	571.7601785	571.7601785	1430.817313	17554.215

備註：於雲林縣麥寮鄉及 20x20 公里內鄉鎮之水域深度，取評估範圍內之西濱大橋測站之水位水文資料 3.78m 計算（歷年統計資料 2003-2015 年月平均數據）；30×30 公里鄉鎮則取土庫大橋測站 14.37m 計算（歷年統計資料 1984-2015 年月平均數據）。流量部份因僅有土庫大橋測站具相關數據，故採用該測站流量 13.64m'/s 水文資料計算（歷年統計資料 1984-2015 年月平均數據）。資料來源均為經濟部水利署。

*：包含雲林縣麥寮鄉、台西鄉、崙背鄉、東勢鄉、褒忠鄉等鄉鎮

*：指 ISC 模擬範圍 30x30 公里所涵蓋之所有鄉鎮，包括雲林縣麥察鄉、台西鄉、部份崙背鄉、褒忠鄉、東勢鄉、台西鄉、二崙鄉、虎尾鎮、土庫鎮、部分大埤鄉、元長鄉、四湖鄉、部分北港鎮、部分口湖鄉、部分水林鄉、部分西螺鎮、部分斗南鎮，部分竹塘鄉、部分二林鎮等鄉鎮

表 B、多介質模式參數彙整

代號	評估項目	註解
SD	土壤混和深度(m)	採用 Cal-EPA 建議，當考慮種植與肉品等生產時採用 0.15m，用於食入及皮膚暴露計算則採用 0.01m
BD	土壤密度(kg/m^3)	採用土壤及地下水污染場址健康風險評估評析方法建議 1400 kg/m^3
T_o	評估開始時間(d)	假設0天
Tt	總評估時期	假設雲林縣102-104年平均餘命78.07年(28495.55天) 假設台中市108-110年平均餘命81.13年(29612.45天)
T_f	評估終止期(d)	採用雲林縣102-104年平均餘命28495.55天 採用台中市108-110年平均餘命29612.45天
VC	水體每年置換次數	換算為 5824.86-29283.57 次年/，資料來源：水利署

表 C、污染物分配係數表

物質	英文	CAS	kdsw	kdbs	土壤半衰期（天）$t_{1/2}$	來源
六價鉻	Chromium (VI)	18540-29-9	19	19	1.0E+08	SCDM
汞	Mercury	7439-97-6	52	52	1.0E+08	SCDM
砷	Arsenic	7440-38-2	29	29	1.0E+08	SCDM
鈹	Beryllium	7440-41-7	790	790	1.0E+08	SCDM
鉛	Lead	7439-92-1	900	900	1.0E+08	SCDM
鎘	Cadmium	7440-43-9	75	75	1.0E+08	SCDM
鎳	Nickel	7440-02-0	65	65	1.0E+08	SCDM
PCDD/Fs	Dioxins	1746-01-6	1.84E+06	9.80E+05	7.00E+03	SCDM
多環芳香烴	PAHs	50-32-8	9.75E+04	5.20E+04	4.30E+02	SCDM

註 1：由於有機碳在金屬的分配係數中不起主要作用，美國環保署(1994b)假設，無論土壤、懸浮沉積物或底泥沉積物相如何分配皆相同，因此本研究亦假設金屬的分配係數 Kds（土壤-水分配係數）、Kdsw 和 Kdbs 的值相同。

註 2：非無機物情況於 Human Health Risk Assessment Protocol Appendix A-2 具詳細說明。

附錄十一、工廠名稱與代號對照表

工廠名稱與代號對照表

工廠名稱	工廠代號
日〇造紙廠	Z
大〇汽電共生廠	D
正〇大園廠	CD
廣〇造紙台中廠	K
台〇石化麥寮一廠	TPM
台〇水泥蘇澳廠	TCS
正〇竹北廠	CC
中〇紙漿久堂廠	CHPC
永〇餘楊梅廠	YY
永〇餘新屋廠	YH
永〇餘清水廠	YTS
台〇水泥和平廠	TCH
正〇后里廠	CH
台〇汽電共生股份有限公司官田廠	TC
亞〇水泥花蓮廠	ACH
中〇紙漿台東廠	CHPT
味〇第一工廠	WD
台〇鋼聯	TSU
上〇資源循環股份有限公司嘉義廠	TCRC
潤〇精密材料宜蘭冬山廠	RM
宗〇綠能科技股份有限公司	YFG
揚〇實業股份有限公司	YB

附錄十二、計畫成果效益自評表

契約書之預定進度累積百分比(%)					實際執行進度(%)		
工作內容項目	實際執行情形	差異分析(打√)			落後原因	困難檢討及對策	預計改善完成日期
		符合	落後	超前			
1.蒐集與盤點國內 SRF 使用廠資料	113年3月31日完成	√					
2.蒐集彙整環境介質暴露參數	113年5月31日完成	√					
3.進行 SRF 使用廠之訪廠工作及資料彙整	113年4月30日完成15廠	√					
4.SRF 使用廠之污染物排放調查	113 年 8 月 31 日完成	√					
5.調查結果與各管制標準研析討論	113 年 10 月 31 日完成	√					
6.針對採樣分析結果進行環境風險評估	113 年 10 月 31 日完成	√					
7.風險評估結果不確定度分析	113 年 10 月 31 日完成	√					
8.計畫啟動會議	113 年 2 月 26 日完成	√					
9.第一次工作進度報告	113 年 5 月 27 日完成第一次工作進度報告並通過計畫審查	√					
10.期中報告	113 年 7 月 31 日提交期中報告	√					
11.期末成果報告	113 年 11 月 15 日提交成果報告	√					

查核點	完成時間	查核點內容說明
1.	3/31	完成蒐集與盤點國內 SRF 使用廠資料
2.	5/31	完成蒐集及彙整國內環境介質暴露參數
3.	4/30	完成 SRF 使用廠之訪廠工作及資料彙整
4.	8/31	完成 SRF 使用廠之污染物排放調查
5.	10/31	完成調查結果與各管制標準研析討論
6.	10/31	完成採樣分析結果進行環境風險評估
7.	10/31	完成風險評估結果不確定度分析
8.	2/26	完成計畫啟動會議
9.	5/27	完成第一次進度報告

10.	7/31	繳交期中報告 完成期中報告審查
11.	11/15 12/9 12/16	繳交成果報告初稿 繳交成果報告修正稿 繳交成果報告定稿

備註：上表於期末審查時，由執行單位提出實際執行情形，明列於報告中，做為審查依據

統一編號
NERA024113032

＊「本報告係受託單位或計畫主持人個人之意見，僅供本院施政之參考，不代表本院立場」。

＊「本報告之著作財產權屬（委辦者）所有，非經（委辦者）同意，任何人均不得重製、仿製或其他之侵害」。