

廢棄製品中石綿檢測方法

中華民國 111 年 10 月 24 日環署授檢字第 1117107199 號公告

自公告日生效
NIEA R411.21C

一、方法概要

本方法對石綿纖維之定義為長度直徑比大於 3:1，具有石綿的光學性質者。於立體顯微鏡下自廢棄製品樣品新斷面採取纖維，使用偏光顯微鏡 (Polarized light microscope, PLM) 定性分析纖維是否為石綿纖維；或依樣品為無機或有機成分，研磨或灰化以及酸化前處理後，製備為一次分析試樣或定性用二次分析試樣，使用 X 射線繞射分析儀 (X-ray diffractometer, XRD) 及相位差顯微鏡 (Phase contrast microscope, PCM) 分散染色法 (Dispersion staining) 定性分析判定是否含有纖維狀石綿，對於經定性分析判定含石綿之樣品，製備定量用二次或三次分析試樣以基底標準吸收修正法之 X 射線繞射定量方法測定石綿含量。

二、適用範圍

本方法適用於下列 (一) 及 (二) 等廢棄製品中石綿定性及定量。

- (一) 建築廢棄物如屋頂材料 (波形石綿瓦等)、煙囪材料、隔熱材料、耐火被覆材 (噴附材料等)、內裝材料 (成形板)、地磚、外裝材料 (成形板與水泥砂漿) 等。
- (二) 散裝材料如隔熱材料、紡織品 (織物)、密封材料、伸縮接頭等廢棄物之石綿檢測。

除以蛭石為原料之噴附材料外，其餘可能含有石綿不純物的天然礦物，或以此類天然礦物為原料製成的製品廢棄物，不適用本方法分析。

三、干擾

略

四、設備與材料

- (一) 立體顯微鏡：10 倍至 45 倍。
- (二) 偏光顯微鏡：具下列或同等功能之設備。
 1. 具有偏極鏡及分析鏡。
 2. 可 360° 旋轉具有小刻度之載物臺。
 3. 聚焦照明設備。

4. 物鏡：10 倍、20 倍及 40 倍或相近者。
5. 目鏡：最小 10 倍。
6. 目鏡細網：十字絲。
7. 分散染色物鏡（具中央光阻或相襯型石綿專用物鏡）。
8. 互補板：例如 $550 \text{ nm} \pm 20 \text{ nm}$ 。

(三) X 射線繞射分析儀：具下列或同等功能者。

1. 具旋轉式粉末載臺及濾紙載臺（含基底標準吸收修正之鋁板或鋅板）。
2. X 射線光管靶材：銅 (Cu)。
3. 管電壓：40 kV 以上。
4. 管電流：30 mA 至 40 mA。
5. 單光器（移除 K_{β} 射線）：鎳濾片或石墨單光器。
6. 時間常數 (s)：1。
7. 發散狹縫： 1° 。
8. 散射狹縫： 1° 。
9. 受光狹縫：0.3 mm。
10. 定性分析
 - (1) 全範圍 (cps)：1000 至 2000。
 - (2) 掃描速度 ($^{\circ}/\text{min}$)：1 至 2。
 - (3) 掃描範圍 (2θ)： 5° 至 70° 。
11. 定量分析
 - (1) 掃描速度：
連續掃描 ($^{\circ}/\text{min}$)：1/8 至 1/16；或
分段掃描： 0.02° 維持 10 秒至 20 秒。
 - (2) 掃描範圍 (2θ)：包含定量繞射特徵波峰前後約 2° 至 3° 範圍。

(四) 相位差顯微鏡：具下列或同等功能者。

1. 配備透射照明光源，其聚光器具有對應其位相差與分散物鏡之內建相位環。
2. 具載物臺能安裝載玻片，且可移動整個表面觀察。
3. 物鏡備有分散染色觀察用 10 倍分散物鏡（數值光圈 0.25），及

40 倍分散物鏡（數值光圈 0.75）。

4. 備有 10 倍或 15 倍之目鏡，且具有可供計數之接目鏡網格（雙目顯微鏡時其中之一具有即可）。
5. 在物鏡與目鏡之間裝設可 180° 旋轉之偏光板。

- (五) 恆溫振盪水槽：可維持溫度於 30 °C ± 2 °C。
- (六) 超音波洗淨器。
- (七) 高溫爐：溫度可達 500 °C，溫度穩定性 ± 10 °C，可設定升溫速率或時間，附排氣裝置。
- (八) 抽氣櫃：具高效率空氣微粒過濾器 (High-efficiency particulate air, HEPA)。
- (九) 分析天平：可精稱至 0.1 mg。
- (十) 研磨設備、研磨鉢和研杵：威力氏粉碎器 (Wiley mill)、超離心裁刀，鋁製、瑪瑙或瓷器或氧化鋯研磨罐及研磨球等。
- (十一) 電磁攪拌加熱器及攪拌子。
- (十二) 濾紙及玻璃過濾裝置：氟樹脂濾紙與玻璃過濾器組合為過濾裝置，濾紙直徑建議為 25 mm，或選擇與 X 射線繞射分析儀濾紙載臺相符之直徑。
- (十三) 標準篩網：0.425 mm 至 0.500 mm 孔徑（如 ASTM E11 No.40）。
- (十四) 鑷子、分開針、闊扁抹刀、探針、外科手術刀、裁刀、具低速螺旋錐手鑽、木槌或鐵鎚等。
- (十五) 具栓塞之試管、錐形瓶、培養皿。
- (十六) 微量吸管。
- (十七) 載玻片及蓋玻片：依物鏡選擇適當尺寸規格。
- (十八) 樣品容器：可密封容器（如：可密封塑膠袋、附螺旋蓋之塑膠瓶或玻璃瓶等）。
- (十九) 坩鍋：陶瓷或其他適用於灰化裝置之材質，可耐 500 °C 以上。
- (二十) 抽氣裝置。

五、試劑

檢測時使用之試劑除非另有說明，否則至少必須為試藥級。使用之溶液，可依試藥配製比例製備所需使用體積。

- (一) 試劑水或無塵水：電阻率 $\geq 16 \text{ M}\Omega\text{-cm}$ 之試劑水，或將蒸餾水通

過 0.45 μm 濾膜過濾之無塵水。

- (二) 分散染色用折射率指數 (Refractive index, RI) 液：高色散 (High dispersion) 系列折射率指數 $n_D^{25^\circ\text{C}}$ 1.550、1.605、1.620。
- (三) 折射率指數液：折射率指數 $n_D^{25^\circ\text{C}}$ 1.630、1.618、1.626 (或 1.628)、1.640、1.670、1.680、1.690、1.700。
- (四) 石綿參考標準品。
- (五) 甲酸溶液，20%：取 20 mL 甲酸以試劑水定容至 100 mL。
- (六) 異丙醇。

六、採樣與保存

- (一) 採樣前，可先使用噴霧器或刷子以水潤濕噴樣品表面成潤濕狀態避免逸散。採樣時，採樣人員須採取避免吸入石綿、粉塵之防護措施。
- (二) 採樣時，依目測判定選擇可能來自廢棄製品（如：硬質之材質、噴塗材料或保溫材料之軟質材質等）之廢棄物，每個類型樣品分別於三個不同點採樣後合併為一個樣品置入一大容器，樣品量至少為 200 g。
- (三) 採集之樣品以可密封容器（如：可密封塑膠袋、附螺旋蓋之塑膠瓶或玻璃瓶等）盛裝，避免逸散，常溫保存，再裝入密封容器（雙袋）運送。

七、步驟

石綿纖維定性分析可依（一）或（二）執行。

（一）以偏光顯微鏡定性

在抽氣櫃中，於立體顯微鏡下自樣品新斷面以鑷子將纖維取出，放置於載玻片上，加入折射率指數液（註 1），輕蓋蓋玻片，以偏光顯微鏡定性是否含石綿（參照「含石綿物質及廢棄物中之石綿檢測方法 (NIEA R401.2)」（註 2）中七、（一）偏光顯微鏡定性部分執行），如判斷含有石綿，依七、（三）及（四）執行定量分析。

（二）X 射線繞射分析儀及相位差顯微鏡分散染色法定性

1. 無機成分樣品之一次分析試樣製備

- (1) 在抽氣櫃中，從密封容器中，在 3 個不同取樣點，採取 3 個必要且約等量的無機成分試樣，投入同一研磨設備，為避免過度研磨影響石綿纖維型態，以多次短時間研磨及過篩方式操作（註 3）。

- (2) 研磨後樣品通過孔徑 0.425 mm 至 0.500 mm 篩網，並混合作為一次分析試樣。取 3 份試樣作為 X 射線繞射分析用，取 1 份作為分散染色相位差顯微鏡定性用。

2. 有機成分樣品之一次分析試樣製備

- (1) 取坩鍋稱重 (m_c)。
- (2) 在抽氣櫃中，從密封容器中，在 3 個不同取樣點，採取 3 個必要且約等量的有機成分試樣，投入同一坩鍋內，稱量含樣品坩鍋重 (m_a)。
- (3) 含樣品坩鍋放入高溫爐（或其他灰化裝置，低溫灰化裝置亦可），設定溫度 $450\text{ }^\circ\text{C} \pm 10\text{ }^\circ\text{C}$ ，加熱 1 小時以上，可視樣品情形增加加熱時間或溫度，惟為免白石綿纖維受高溫影響，溫度避免超過 $485\text{ }^\circ\text{C}$ 。
- (4) 樣品於乾淨乾燥處冷卻至室溫，稱重 (m_b) 後，依下列公式算出失重率 r 。

$$r = \frac{m_b - m_c}{m_a - m_c} = \frac{m}{m_0}$$

r ：失重率

m_a ：加熱前試樣及坩鍋之質量 (g)

m_b ：加熱後試樣及坩鍋之質量 (g)

m_c ：坩鍋之質量 (g)

m_0 ：加熱前一次分析試樣之質量 (g)

m ：加熱後一次分析試樣之質量 (g)

3. 定性用二次分析試樣製備（註 4）

- (1) 稱取待置入 X 射線繞射分析儀試樣容器之一次分析試樣必要量，置入錐形瓶中，每 100 mg 試樣加入 20 mL 20 % 甲酸溶液，及 40 mL 試劑水，並以超音波洗淨器分散 1 分鐘。
- (2) 置入溫度設定於 $30\text{ }^\circ\text{C} \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ 的恆溫振盪水槽內連續振動 12 分鐘後，使用裝有直徑 25 mm 的玻璃過濾器內裝孔徑 $0.8\text{ }\mu\text{m}$ 濾紙之抽氣過濾裝置，在減壓下施行過濾。取過濾乾燥後的試樣作為 X 射線繞射分析用之二次分析試樣。

4. 使用 X 射線繞射分析儀以二次分析試樣執行定性分析

- (1) 以二次分析試樣填入 X 射線繞射分析儀樣品載臺，此載臺一般具凹槽供盛裝試樣，可依儀器廠商使用手冊裝填試樣，使表面均勻且齊平。
- (2) 以 X 射線繞射分析儀測定並觀測所得 X 射線繞射圖譜。
- (3) 將試樣的 X 射線繞射圖譜與試樣相同條件下所測得石綿參考標準品圖譜相比較，確認繞射峰。亦可使用國際繞射數據中心 (International centre for diffraction data, ICDD) 確認繞射峰。
- (4) 檢驗是否與圖一所示的待測石綿圖譜 (註 5) 一致。惟透閃石與陽起石為化學組成連續變化的固溶體，因此難以依 X 射線繞射圖譜加以區分，應視為同一分析種類，其分析結果以透閃石／陽起石之結果表示。

5. 使用相位差顯微鏡分散染色法對一次分析試樣定性分析

試樣經分析認定具有石綿 X 射線繞射峰時，對測得石綿種類進行相位差顯微鏡分散染色法，如未顯示石綿 X 射線繞射峰，每一可能含有的石綿種類均需進行相位差顯微鏡分散染色法分析。每個試樣執行 3 個重複分析。

(1) 試樣製備

A. 試樣之 X 射線繞射圖譜顯示具石綿類特徵波峰時：

- a. 取 10 mg 至 20 mg 的一次分析試樣及 20 mL 至 40 mL 的試劑水置入容量 50 mL 之附有栓塞試管內，經劇烈振盪後，移入 50 mL 錐形瓶內。
- b. 攪拌子放入錐形瓶，以電磁攪拌器攪拌同時，使用微量吸管每次吸取 10 μ L 至 20 μ L，吸取 3 次，每次分別滴至已擦拭乾淨的載玻片上不同位置，或每次滴至不同載玻片上後，置於加熱板上乾燥。
- c. 由 X 射線繞射圖譜認定之石綿種類，選擇附表所示高敏銳色折射率指數液。
- d. 於經乾燥之載玻片具試樣位置處，滴入前項所選擇之浸液適量或 1 至 2 滴後，將擦拭乾淨的蓋玻片輕輕蓋於其上。

B. 試樣之 X 射線繞射圖譜未顯示石綿類特徵波峰時：

- a. 依七、(二) 5. (1) A. a 及 b 準備試樣。

- b. 由附表所示高敏銳色之折射率 $n_D^{25^\circ} = 1.550$ 、1.618、1.620、1.626（或 1.628）、1.680 或 1.690 指數液，選擇可能石綿種類相當之折射率指數液。
- c. 若無法判定可能之石綿種類，則選擇附表中顯示石綿高敏銳色之所有折射率指數液。
- d. 如使用所示高敏銳色折射率指數液，未檢出石綿，則從附表所示高敏銳色以外選擇剩餘折射率指數液執行再確認。
- e. 於經乾燥之載玻片具試樣位置處，滴入前項所選擇之折射率指數液適量或 1 至 2 滴後，將擦拭乾淨的蓋玻片輕輕蓋於其上。

(2) 以相位差顯微鏡分散染色法定性分析（註 6、註 7）

- A. 將依七、（二）5. (1) 製備之試樣，放置於相位差顯微鏡之載物臺上。
- B. 使用 10 倍分散物鏡確認粒子是否均勻分散。
- C. 已確認均勻分散的試樣，改換成 40 倍分散物鏡，確認是否有附表所示分散色纖維（註 8）。
- D. 使用相位差顯微鏡 10 倍目鏡，觀察目鏡上分刻直徑 100 μm 圓形內之所有纖維狀粒子，移動視野進行數量計算，直至粒子總數達 1000，記錄附表所示分散色的石綿種類及粒子數量。亦可依顯微鏡及其附加軟體功能使用手冊執行數量計算。
- E. 載玻片上試樣使每次視野能觀察到約 10 個粒子，且對 100 個左右視野進行計數為佳。
- F. 由於石綿纖維為天然礦物，且依產地而異具有不同的折射率，如使用高敏銳色折射率指數液，無法以顯微分析檢出時，進一步針對各種石綿，以附表所示高敏銳色以外剩餘的折射率指數液，分別再製備 3 個試樣，同樣進行 A 至 D 之操作，以檢測顏色之變化。

（三）使用 X 射線繞射分析儀定量用二次與三次分析試樣製備（註 9）
（參照圖三）

1. 定量用二次分析試樣製備：每一試樣依此法製備 3 個。

- (1) 將空白濾紙稱重後，置於 X 射線繞射分析儀濾紙載臺上，以 X 射線繞射分析儀測定其繞射強度，作為基底標準。

- (2) 稱取一次分析試樣 100 mg (M_1 : 一次分析試樣重量) 置入錐形瓶, 加入 20 mL 的 20% 甲酸溶液及 40 mL 試劑水, 使用超音波洗淨器振動分散 1 分鐘。
- (3) 置入溫度設定於 $30\text{ }^\circ\text{C} \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ 的恆溫振盪水槽內持續振盪 12 分鐘。將濾紙裝於玻璃抽氣過濾裝置, 在減壓下將樣品溶液過濾。
- (4) 濾紙乾燥後稱量, 扣除空白濾紙重計算在濾紙上的試樣重 (M_2 : 定量用二次分析試樣重量), 若殘留率 (M_2/M_1) 小於 0.15 時, 使用二次分析試樣進行 X 射線繞射分析儀定量。
- (5) 殘留率 (M_2/M_1) 超過 0.15 時, 製備定量用三次分析試樣。

2. 定量用三次分析試樣製備

- (1) 取濾紙上試樣 10 mg 至 15 mg, 在試劑水中使其分散。
- (2) 另取空白濾紙稱重, 置於 X 射線繞射分析儀濾紙載臺上, 以 X 射線繞射儀測定其繞射強度, 作為基底標準。
- (3) 將濾紙裝於玻璃抽氣過濾裝置, 過濾試劑水中分散之試樣後, 放置乾燥。
- (4) 濾紙乾燥後稱重, 扣除空白濾紙重計算在濾紙上的試樣重 (M_3 : 定量用三次分析試樣重量), 此即為三次分析試樣。
- (5) 製備定量用三次分析試樣時注意事項
 - A. 如試樣可依七、(二) 經加熱灰化減量時, 亦可使用灰化後的一次分析試樣製備定量用二次分析試樣。
 - B. 若依七、(三) 1. 製備的試樣殘留率超過 0.15, 但濾紙上試樣不足夠製備定量用三次分析試樣時, 可再執行以一次分析試樣製備定量用二次分析試樣之步驟, 取得試樣以製備定量用三次分析試樣。

(四) 基底標準吸收修正法之 X 射線繞射定量分析

1. 檢量線製備

檢量線製備可依立體顯微鏡目視觀察預估的石綿含量, 擇一採用檢量線 I 法或檢量線 II 法。

- (1) 檢量線 I 法: 預估石綿含量 1% 以上時使用。
 - A. 先將空白濾紙稱重後, 置於 X 射線繞射儀濾紙載臺上, 以 X 射線繞射儀量測其繞射強度 I_{Zn}^0 (以 Zn 或其他金屬材質作為基底標準)。

- B. 稱取 0.1 mg、0.5 mg、1.0 mg、3.0 mg 及 5.0 mg 的經粉碎之石綿參考標準品，分別置入 5 個錐形瓶內，再分別加入 0.02 mL、0.1 mL、0.2 mL、0.6 mL 及 1.0 mL 的 20 % 甲酸溶液，及分別為 0.04 mL、0.2 mL、0.4 mL、1.2 mL 及 2.0 mL 的試劑水，以超音波洗淨器振動分散 1 分鐘。
- C. 置入溫度設定於 $30\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 恆溫振盪水槽內，持續振盪 12 分鐘。
- D. 將濾紙裝於玻璃抽氣過濾裝置，在減壓下施行過濾。乾燥過濾後試樣即為檢量線試樣濾紙。
- E. 基底標準吸收修正法
- 將預定使用的空白濾紙裝於 X 射線繞射分析儀濾紙載臺，量測其基底標準金屬板（鋅板，或其他金屬材質）含空白濾紙之繞射波峰強度 I_{Zn}^0 。
 - 將檢量線試樣濾紙裝於 X 射線繞射分析儀濾紙載臺，以旋轉掃描方式量測基底標準金屬板繞射角（以鋅板為例）與石綿繞射角，兩個繞射波峰強度為 I_{Zn} 與 I_m 。
 - 裝有檢量線試樣濾紙的鋅標準板之繞射線強度 I_{Zn} 會比僅安裝空白濾紙時減少，計算此減少率 T ($= I_{Zn} / I_{Zn}^0$)，並依下列公式計算修正係數 K_f 。

$$K_f = \frac{-R_0 \cdot \ln T}{1 - T^{R_0}}$$

R_0 ：鋅板繞射角正弦值 ($\sin\theta_{Zn}$) 相對於待測物質（石綿）繞射角正弦值 ($\sin\theta_m$) 之比
($= \sin\theta_{Zn} / \sin\theta_m$)

以白石綿特徵繞射波峰 (2θ) 位於 12.1° ，鋅板特徵繞射波峰 (2θ) 位於 38° 為例，

$$R_0 = \sin 6.05 / \sin 19$$

\ln ：自然對數

- 依下列公式計算各檢量線試樣濾紙之繞射線波峰強度 I 。

$$I = I_m \times K_f$$

I_m ：待測物質（石綿）之繞射波峰強度

e. 將 0.05 mg 至 5 mg 範圍之檢量線石綿重量設為橫軸，各別繞射線波峰強度 I 設為縱軸，製作檢量線。

(2) 檢量線 II 法：預估石綿含量未達 1% 時使用。

- A. 將空白濾紙稱重後，置於 X 射線繞射分析儀濾紙載臺上，以旋轉方式在 X 射線繞射分析儀量測其繞射強度 I_{Zn}^0 ，作為基底標準。
- B. 稱取 10 mg 的石綿參考標準置入 500 mL 燒杯中，在 100 mL 至 150 mL 異丙醇中攪拌，再使用超音波洗淨器徹底振動分散，移置 1000 mL 定量瓶內，加入異丙醇定容至 1000 mL 作為母液。每 mL 母液相當於 0.01 mg 的石綿。
- C. 從母液中各 3 點以微量吸管分別取 5 mL、10 mL、30 mL、50 mL 及 100 mL 的懸濁分液（註 10），置入錐形瓶中。
- D. 在分取的各溶液中分別加入 0.01 mL、0.02 mL、0.06 mL、0.1 mL 及 0.2 mL 的 20% 甲酸溶液，並攪拌 1 分鐘。
- E. 置入溫度設定於 $30\text{ }^\circ\text{C} \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ 的恆溫振盪水槽內，持續振盪 12 分鐘。
- F. 將濾紙裝於玻璃抽氣過濾裝置，在減壓下施行過濾。乾燥過濾後試樣即為檢量線試樣濾紙。
- G. 檢量線試樣濾紙固定於 X 射線繞射分析儀濾紙載臺上，以旋轉掃描方式量測基底標準板與相關的石綿之 X 射線繞射強度，並依七、（四）1. (1) E 基底標準吸收修正法製作檢量線。

2. 偵測極限及定量極限

對製備檢量線時所配製最低石綿參考標準品試樣，依 X 射線繞射分析儀重複 10 次量測，計算 X 射線繞射強度之標準差。

偵測極限計算公式：

$$C_k = \frac{\sigma/a}{M_1} \times 100$$

定量極限計算公式：

$$C_t = \frac{3\sigma/a}{M_1} \times 100$$

C_k ：偵測極限 (%)

C_t ：定量極限 (%)

σ ：量測 10 次 X 射線繞射強度之標準差

a ：檢量線斜率

M_1 ：一次分析試樣之稱重 (100 mg)

3. 定量分析步驟

- (1) 製備的定量用二次或三次分析試樣固定於 X 射線繞射分析儀的濾紙載臺上。
- (2) 使用與製作檢量線相同的儀器條件，量測基底標準板與相關的石綿之 X 射線繞射強度，並依基底標準吸收修正法（見七、（四）1. (1) E）測定兩繞射波峰之吸收修正強度。
- (3) 由製備的檢量線計算試樣中的石綿質量，求出石綿之含量。
- (4) 對 3 個定量用二次或三次分析試樣重複執行 (1) 至 (3) 之步驟。

八、結果處理

（一）定性分析結果判定

1. 若使用「含石綿物質及廢棄物中石綿檢測方法 (NIEA R401.2)」中偏光顯微鏡定性部分執行定性分析者，依其方法規定判定。
2. 使用 X 射線繞射分析儀及相位差顯微鏡分散染色法執行定性分析者，判定方式依以下說明，如圖二：
 - (1) 若 X 射線繞射之定性分析結果，測得圖一所示繞射峰，不論強弱即使 3 個試樣中只有 1 個認定為有繞射峰，且依相位差顯微鏡之定性分析結果，全部 3 個試樣所計數總計 3000 粒子當中，石綿纖維粒子認定為 4 個以上時，則試樣判定為「含有石綿」。
 - (2) 若 X 射線繞射之定性分析結果，雖然 3 個試樣之任一試樣認定無圖一所示石綿繞射峰，但依相位差顯微鏡之定性分析結果，全部 3 個試樣所計數總計 3000 粒子當中，石綿纖維粒子認定為 4 個以上時，則試樣判定為「含有石綿」。

- (3) 若 X 射線繞射之定性分析結果，至少有 1 個分析試樣測得圖一所示石綿繞射峰，惟相位差顯微鏡之定性分析結果，全部 3 個試樣所計數總計 3000 粒子當中，石綿纖維粒子認定少於 4 個時，試樣依七、(二) 5 以相位差顯微鏡分散染色法再次執行定性分析。
- A. 再次分析時，可使用二次分析試樣，或製備新試樣，並使用一次分析試樣以 X 射線繞射峰認定的石綿種類及其他可能的石綿類作為對象進行相位差顯微鏡分散染色法分析。
- B. 若再分析之結果，認定少於 4 個石綿纖維粒子時，試樣判定為「未含有石綿」；如認定石綿纖維粒子 4 個以上時，試樣判定為「含有石綿」(註 6)。
- (4) 若 X 射線繞射之定性分析結果，3 個試樣之任一試樣認定無圖一所示石綿繞射峰，且依顯微鏡之定性分析結果，全部 3 個試樣所計數總計 3000 粒子當中，石綿纖維粒子認定少於 4 個時，試樣判定為「未含有石綿」(註 5)。

(二) 石綿含量計算

1. 由定量用二次分析試樣計算石綿含量

$$C_i = \frac{A_{si}}{M_{li}} \times r \times 100$$

$$C = \frac{C_1 + C_2 + C_3}{3}$$

C_i ：每一個分析試樣之石綿含量 (%) (C_1 、 C_2 及 C_3)

A_{si} ：每一個由檢量線讀取的定量用二次分析試樣之石綿質量 (mg)

M_{li} ：每一個一次分析試樣之稱重 (mg)

r ：失重率，如無減量時， $r=1$ (計算方式見七、(二) 2. (4))

C ：廢棄製品中石綿含量 (%)

2. 由定量用三次分析試樣計算石綿含量

$$C_r = \frac{A_{si} \times (M_{2i} / M_{3i})}{M_{1i}} \times r \times 100$$

$$C = \frac{C_1 + C_2 + C_3}{3}$$

C_r ：每一個分析試樣之石綿含量 (%) (C_1 、 C_2 及 C_3)

A_{si} ：每一個由檢量線讀取的定量用三次分析試樣之石綿質量 (mg)

M_{1i} ：每一個一次分析試樣之稱量值 (mg)

M_{2i} ：每一個定量用二次分析試樣之稱量值 (mg)

M_{3i} ：每一個定量用三次分析試樣之稱量值 (mg)

r ：失重率，如無減量時， $r=1$ (計算方式見七、(二) 2. (4))

九、品質管制

- (一) 每年度或更換 XRD 光學配件，則重新以 XRD 測定檢量線。
- (二) 檢量線查核：稱取接近檢量線中間重量參考石綿標準品製備 1 個試樣執行檢量線查核，其相對誤差值在 20 % 以內。
- (三) 重複樣品分析：每個樣品執行 3 個重複樣品分析，其相對標準偏差在 30 % 以內。

十、精密度與準確度

略

十一、參考資料

- (一) 中華民國國家標準，建材製品中石綿測定法—第 2 部：石綿存在判定之取樣及定性分析法，CNS15546-2，中華民國 110 年。
- (二) 中華民國國家標準，建材製品中石綿測定法—第 3 部：石綿含量之 X 射線繞射定量分析法，CNS15546-3，中華民國 110 年。
- (三) Japanese Industrial Standard, Determination of asbestos in building material products — Part 2: Sampling and qualitative analysis for judgement of existence of containing asbestos, JIS A 1481-2, 2016.
- (四) Japanese Industrial Standard, Determination of asbestos in building material products — Part 3: Quantitative analysis of containing

asbestos by X-ray diffraction method, JIS A 1481-3, 2014.

(五) International Standard, Air quality — Bulk materials — Part 1: Sampling and qualitative determination of asbestos in commercial bulk materials, ISO 22262-1, 2012.

- 註 1：若經立體顯微鏡觀察纖維疑為白石綿，可選擇 1.550 折射率指數液；疑為青石綿或褐石綿，選擇 1.680 或 1.700 折射率指數液；疑為直閃石綿或透閃石綿，可選擇 1.605 折射率指數液；疑為陽起石綿可選擇 1.630 折射率指數液。
- 註 2：本文引用之公告方法名稱及編碼，以行政院環境保護署最新公告者為準。
- 註 3：若為硬質試樣，使用裁刀、磨粉器等削除側面部分再投入粉碎機。
- 註 4：若經立體顯微鏡、偏光顯微鏡目視觀察或 XRD 圖譜石綿特徵波峰得知，採取之試樣石綿含量多時，可直接使用一次分析試樣替代二次分析試樣以 X 射線繞射進行定性分析。
- 註 5：石綿的 X 射線繞射峰之特徵波峰接近 10° 至 12° ，或第二特徵波峰接近 24° 至 30° 。具有與白石綿相同的 X 射線繞射峰之礦物有蛇紋石（葉蛇紋石、蜥蛇紋石）、綠泥石與高嶺土礦物（高嶺石、和礫石）及褐色針硫鎳礦。另外，滑石具有與褐石綿、青石綿及直閃石相同的 X 射線繞射角度為 9° 至 10° 。
- 註 6：除使用相位差顯微鏡之分散染色法外，石綿之定性分析亦可使用偏光顯微鏡，或使用掃描式電子顯微鏡或穿透式電子顯微鏡及類似方法進行，分析方法可參照中華民國國家標準 CNS 15546-1。
- 註 7：有別於他種石綿，白石綿因產地而異具有不同的纖維長度，特別是來自美國加州柯林加 (Coalinga) 的白石綿具有未滿 $5\ \mu\text{m}$ 的短纖維，卻可依 X 射線繞射分析方法定性測得白石綿之繞射峰，當此試樣不以纖維長度判定，而使用相位差顯微鏡之分散染色法或偏光顯微鏡時，其粒子之長寬比若為 3 以上，則能予以檢出。如難以確認長寬比時，宜使用掃描式電子顯微鏡 (Scanning electron microscope, SEM) 或穿透式電子顯微鏡 (Transmission electron microscope, TEM) 確認是否為白石綿。
- 註 8：分散色鑑定時，可使用顯微鏡偏光板，以偏光振動方向平行與正交於纖維長向觀測，可確認分散色。
- 註 9：試樣經七、步驟 (二) 1. 至 4. 灰化、酸化等前處理後，定性分析認定含有石綿，惟 X 射線繞射定性圖譜顯示具有其他天然礦物難以 X 射線繞射分析儀定量石綿時，參照「含石綿物質及廢棄物中之石綿

檢測方法 (NIEA R401.2)」執行定量。

註 10：母液須在製備後立即使用，因長時間靜置之母液，分散的石綿可能沉降、凝集，若使用之母液已靜置一段時間，須充分振動並以目視確認石綿均勻分散。

附表 石綿之分散色

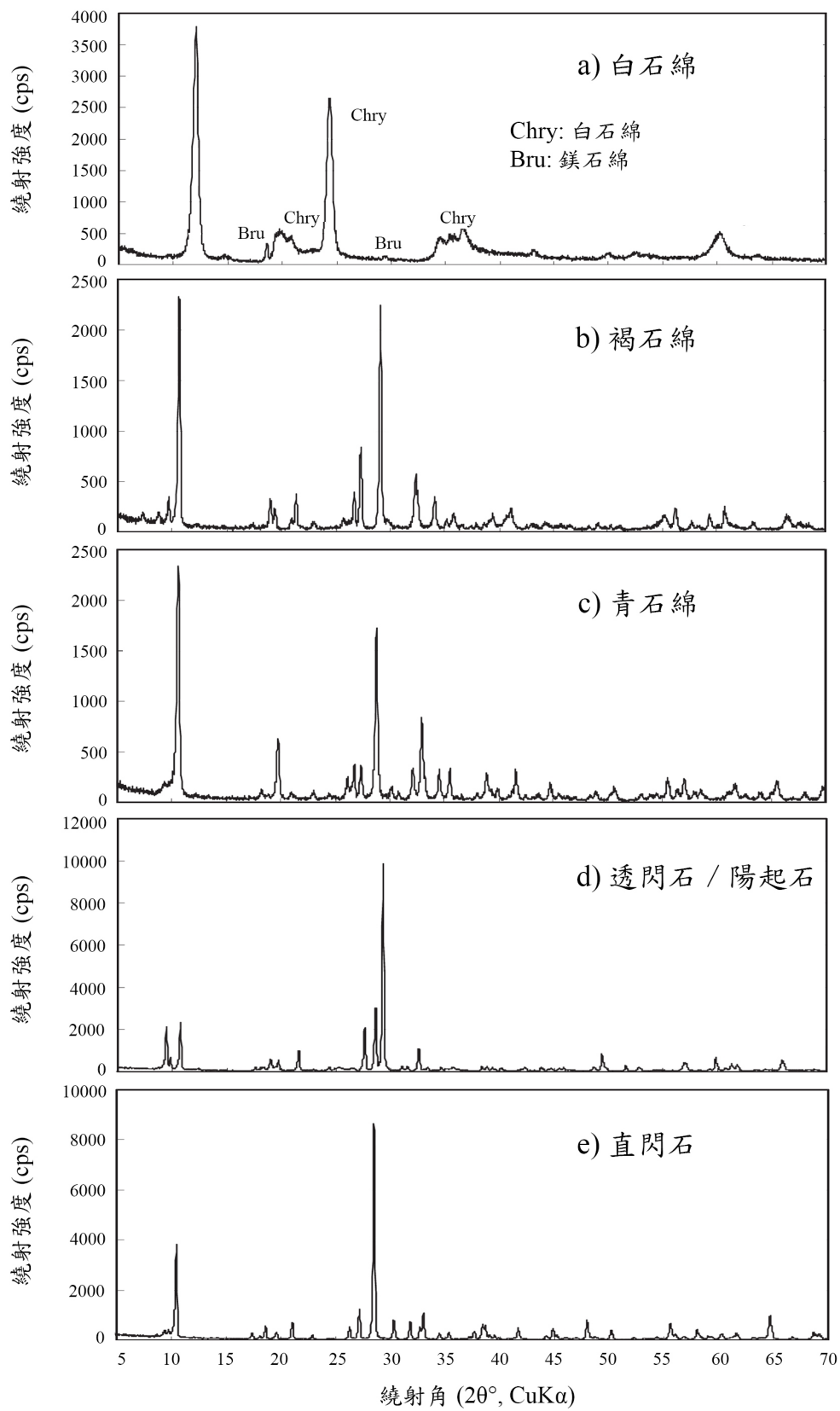
石綿種類	折射率($n_D^{25^\circ C}$) ^(a)	分散色	偏光振動方向 ^(c)	偏光振動方向 ⊥ ^(c)
白石綿	1.550 ^(b)	紅紫～藍	橙	藍
褐石綿	1.680 ^(b)	粉紅	橙	藍
	1.700	藍	暗藍紫～紫	淡藍
青石綿	1.680	橙～紅褐	暗橙	淡橙
	1.690 ^(b)	粉紅	粉紅	粉紅
	1.700	藍	淡藍	暗藍
透閃石	1.605	金黃	金黃	紫
	1.620 ^(b)	紅紫	橙	藍
	1.640	藍	藍	淡藍
陽起石	1.626 或 1.628 ^(b)	紅紫～粉紅	橙～紅紫	藍
	1.630	粉紅～淡藍	橙～紅紫	藍
直閃石	1.605	金黃	淡金黃	橙
	1.618 ^(b)	橙～紅紫	橙	紅紫～藍
	1.640	藍	淡藍	淡藍

註

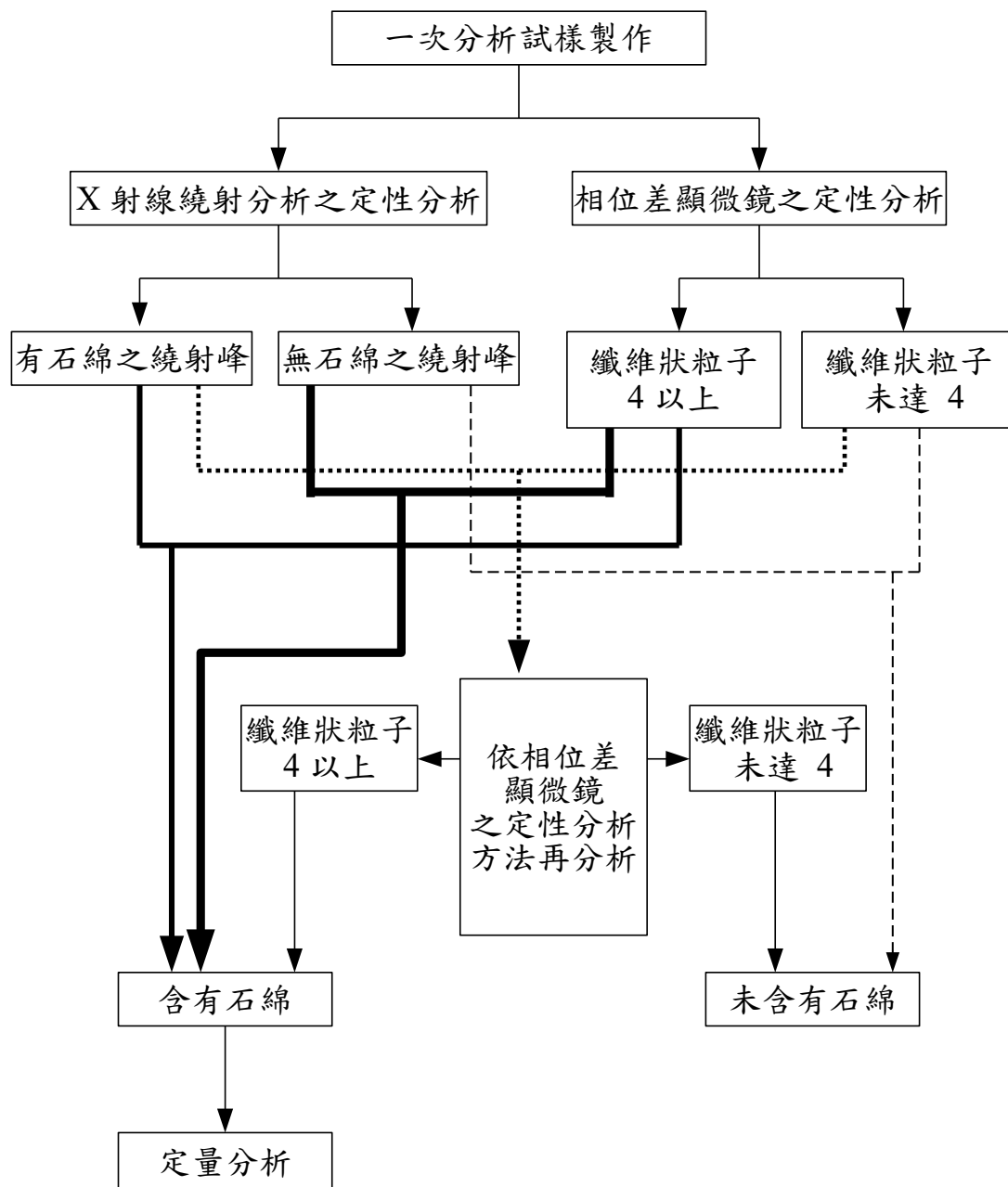
^(a)當不使用顏色補償過濾器時，於 25 °C 之折射率。

^(b)表示個別石綿高敏銳色之折射率。

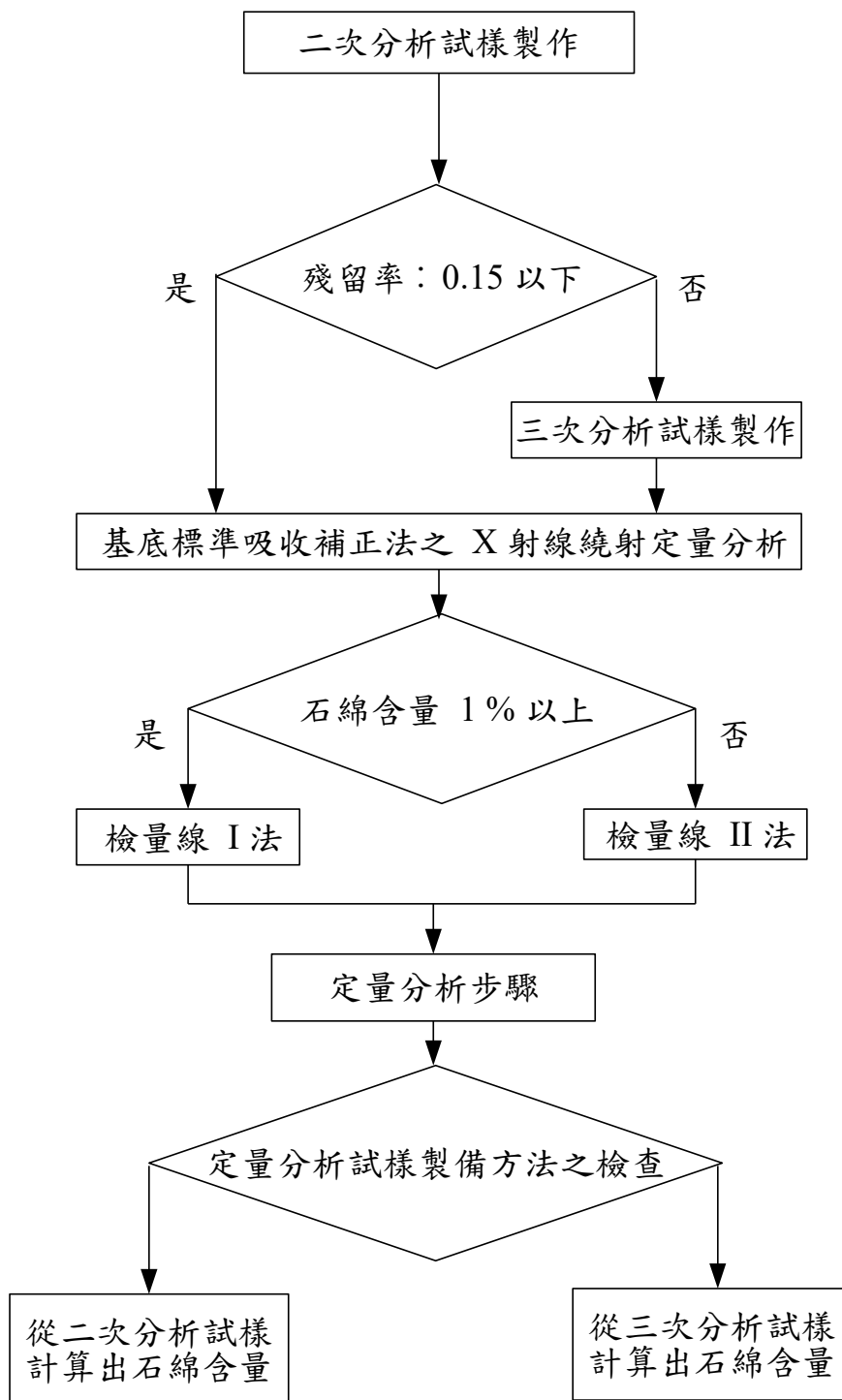
^(c)當使用顯微鏡的偏光板時，適用偏光振動方向，
||：表示偏光振動方向與纖維長向平行。
⊥：表示偏光振動方向與纖維長向正交。



圖一 待測石綿之 X 射線繞射圖譜圖例



圖二 使用 X 射線繞射分析儀及分散染色相位差顯微鏡定性分析判定方式



圖三 使用 X 射線繞射分析儀測定石綿含量流程概要