

汽車排放空氣污染物光學遙測方法

中華民國 115 年 9 月 30 日環部授研字第 1155111912 號

自中華民國 116 年 1 月 15 日生效

NIEA A460.80B

一、方法概要

本方法利用光線穿過汽車行駛過後所排出的尾氣，藉由光線被尾氣吸收後衰減程度（註 1），量測各氣體相對於二氧化碳比值換算出各污染物濃度，再結合車牌辨識系統等設備，作為汽車排放空氣污染物遙測之工具。

二、適用範圍

本方法適用於汽車（指在道路上不依軌道或電力架設，而以原動機行駛之車輛，包括機車）行駛道路排放污染物（一氧化碳、二氧化碳、碳氫化合物、一氧化氮）濃度遙測。

三、干擾

- （一）降雪、下雨或過多煙塵之天氣會影響吸收光譜的辨識結果。
- （二）在低溫環境時，汽車排氣所產生的蒸汽過多會使光譜波長被吸收或散射而產生干擾。
- （三）汽車行駛過於密集，排放煙團重疊會影響污染物濃度判定。

四、設備與材料

（一）環境量測設備

- 1.溫度計：測量範圍 -10°C 至 50°C ，其最小刻度為 1.0°C 。
- 2.大氣壓力計：測量範圍 80 kPa 至 110 kPa，其最小刻度為 1 kPa。
- 3.測距儀：最小刻度為 0.5 公分。

（二）氣體光譜偵測設備（以下簡稱遙測設備）

- 1.氣體光譜儀：主要包含光源及偵測模組(Source and detector module, SDM)、光束反射鏡面等，光源模組發射光束通過汽車尾氣至對向反射鏡面，光束反射後至偵測模組，或光束通過汽車尾氣至對向偵測模組，每輛車輛排氣取樣時間應小於 1 秒，取樣數量每秒至少 100 個樣品($\geq 100\text{ Hz}$)。
- 2.氣體光譜儀偵測污染物種類、測量範圍及準確度規範如表一。

（三）汽車速度量測設備

量測範圍至少包含 20 km/h 至 110 km/h，誤差須小於 ± 3 km/h，量測汽車速度之取樣頻率為 10 Hz 或更佳。

（四）車牌辨識系統

- 1.由數位攝影機及供電電源組成，且可配置焦距、光圈等遠端控制模組，將圖像資料傳輸到主控電腦。
- 2.拍攝功能：具備拍攝通過汽車圖片與辨識車牌號碼功能，且最小解析度須達 1,280 像素×720 像素以上。
- 3.影像處理要求：車牌辨識速度須小於 3 秒，車牌圖像捕獲率須達 95 % 以上，車牌圖像辨識率須達 85 % 以上。

（五）資料處理及傳輸設備

- 1.主控電腦：具備獨立設備作業系統，協調各部件工作，完成汽車視頻及環境資訊、排氣濃度資料擷取、進行資料分析和資料傳輸等功能。
- 2.連網功能：具備固定網路或 Wi-Fi 5（含）以上、4G（含）以上無線網路連網能力。
- 3.設備作業系統：須具備設備光學校正、測量氣體濃度品質確認、可顯示與記錄污染物濃度、汽車圖像、環境量測設備數值、汽車行駛速度、加速度等功能。

五、試劑

混合標準氣體：含一氧化碳、二氧化碳、丙烷、一氧化氮，其濃度及規範詳如表二，其氣體濃度品質須能追溯至國家或國際標準。

六、採樣與保存

（一）環境條件

- 1.無雨、無霧、路面無積水、無明顯揚塵。
- 2.環境溫度：10 °C 至 50 °C。
- 3.大氣壓力：86 kPa 至 106 kPa。

（二）遙測設備設置地點

- 1.量測地點優先選擇視野良好，且路面平整的長上坡（坡度 ≤ 5 %）直線道路。
- 2.量測地點車流方向前方 20 公尺內無紅綠燈設置。

3.量測路段優先選取單車道路段，其次為雙車道路段。

4.設置地點須有足夠空間，放置遙測設備及提供操作人員安全執行遙測。

(三) 設備架設

1.水平式遙測設備：

(1) 光束反射式：反射鏡面應放置於光源及偵測模組對面，光源與偵測模組置於同側。其遙測設備偵測水平距離建議介於 1 公尺至 9 公尺間，示意圖如圖一。

(2) 光束直偵式：光源與偵測模組置於對面，光源發射光束直接由對向偵測模組進行測量。其遙測設備偵測水平距離建議介於 1 公尺至 9 公尺間，示意圖如圖一。

2.垂直式遙測設備：

(1) 光束反射式：反射鏡面應放置於光源及偵測模組下面，光源與偵測模組置於同側。其遙測設備偵測高度建議至少離地面 5 公尺以上，示意圖如圖二。

(2) 光束直偵式：光源與偵測模組置於上下側，光源發射光束直接由下側偵測模組進行測量。其遙測設備偵測高度建議至少離地面 5 公尺以上，示意圖如圖二。

七、步驟

(一) 遙測設備設定

1.開啟主控電腦及氣體光譜儀電源，將光束照射於反射鏡或對向偵測模組進行光學偵測強度校準，水平式遙測設備須能測量距道路中心路面高度 20 公分至 40 公分。

2.調整光源/偵測模組與光束反射鏡面固定裝置，校準光束強度，並依據原廠技術手冊之規定設定。

(二) 影像拍攝與資料傳輸

1.車牌辨識系統置放於道路側邊或道路門架上，連接影像訊號至主控電腦，攝像鏡頭對準道路中心，並視道路實際情況調整鏡頭角度。

2.藉由汽車圖像確認汽車車牌可明確辨識。

(三) 標準氣體確認及遙測

1.遙測設備於開始量測前及每 24 小時執行 1 次標準氣體濃度確認，

使用序號3混合標準氣體鋼瓶（如表二）進行準確度確認。

- 2.將標準氣體鋼瓶開關旋轉至全開，並調整次級壓力錶輸出壓力值調整至約 2.1 kg/cm^2 至 2.8 kg/cm^2 或依原廠規範要求設定。
- 3.啟動遙測設備作業系統，導入各濃度標準氣體並記錄讀值，其與標準氣體之差值均符合表一靜態確認之誤差範圍內。
- 4.將序號3混合標準氣體導入光源鏡面前，量測出鋼瓶內各氣體與二氧化碳濃度之比值，以 CO_2 濃度作為 X 軸，各氣體濃度為 Y 軸，分別繪製各氣體與 CO_2 之不同濃度關係圖。
- 5.藉由前述各氣體濃度與二氧化碳濃度之比值，產生修正係數 (Correction factors, CF) 俾後續遙測汽車排放空氣污染物之測值修正（註2）。
- 6.汽車經過遙測設備時，需先量測背景值；從汽車通過光束期間，於 0.7 秒期間取每 10 毫秒數據之平均值作為尾氣最低濃度，找出二氧化碳最高電壓值作為乾淨空氣基準值 (Clean air reference, CAR) 或以其他適當方式決定，以作為後續所有濃度扣除之依據。
- 7.使用遙測設備量測汽車尾氣並記錄汽車通過氣體光譜儀時行駛之速度與加速度，俾計算汽車行駛負載之汽車比功率 (Vehicle specific power, VSP)（註3）。
- 8.使用遙測設備配置之速度量測設備取得汽車速度，其量測原理為利用設置於道路兩側之光學感測器或雷射測速設備（註4），當車輛通過檢測區域時，車輪會依序切斷這些平行光束，觸發系統內部的計時器，因兩道光束間的距離 (L) 固定，系統透過兩者之間時間差，即可計算出汽車通過該區間瞬時車速 (V)。
- 9.利用兩組固定間距之雷射光束形成電子閘門，記錄前輪與後軸輪胎通過兩道光束之時間，藉由已得汽車車速據以計算加速度。汽車於量測區內如為等加速度運動，前輪與後軸輪胎量測所得之速度差可用以推算縱向加速度 (a)（註5）。
10. 量測結束後，依據七、（三）1.至 4. 確認氣體光譜儀準確度。

八、結果處理

（一）遙測數據資料須符合下列要求（註6）：

- 1.汽車比功率 VSP 須介於 0 kW/ton 至 30 kW/ton 。
2. $\text{CO} + \text{CO}_2$ 體積濃度 $\leq 21 \%$ 。
3. HC 體積濃度 $\leq 20,000 \text{ ppm}$ 正己烷 (C_6H_{14})。
4. CO_2 體積濃度 $\leq 16 \%$ 。

5.NO 體積濃度 $\leq 7,000$ ppm。

(二) 數值表示與轉換

- 1.遙測結果一氧化碳(CO)、二氧化碳(CO₂)以%表示；碳氫化合物(HC)、一氧化氮(NO)以 ppm 表示。
- 2.結果需記錄遙測二氧化碳最大分子濃度、平均濃度及樣品取樣數，及各污染物平均濃度及樣品取樣數。
- 3.丙烷/正己烷轉換因子： $C_6H_{14}(\text{ppm})=C_3H_8(\text{ppm})\times F_t$ ，轉換因子(F_t)為 0.5。

(三) 報告須列下列各項

- 1.量測日期、量測時間、測值單位。
- 2.量測期間氣象狀態（降雨狀況等）。
- 3.各種設備之廠牌、型號、序號，及其靜態動態確認結果及混合標準氣體有效期限等。
- 4.現場遙測各設備設置之配置圖。

九、品質管制

(一) 氣體光譜儀需檢附實驗室校正檢量線（吸光度與濃度相比）報告或原廠測試報告並列出允收範圍，如有更換氣體光譜儀相關光源設備需重新校正並符合規定。

(二) 量測前、後各標準氣體(CO、C₃H₈、NO)不同濃度分別與 CO₂ 不同濃度至少 5 筆數據繪製關係圖，其各線性擬合度(Straight line, r^2) 需大於或等於 0.99。

(三) 每年進行遙測靜態確認，其執行內容詳如附錄，確認結果均須符合表一誤差規定。

(四) 每年執行遙測動態確認，其程序詳如附錄，結果須符合表一規定。

十、精密度與準確度

略

十一、參考資料

(一) 環境部，汽車排氣污染導入科技監視及精進使用中汽車管理專案計畫成果報告，中華民國 112 年。

(二) US EPA, Guidance on Use of Remote Sensing for Evaluation of I/M Program Performance, EPA420-B-04-010, July 2004.

(三) Potential of Remote Sensing Devices (RSDs) to screen vehicle

emissions, JRC Technical Report, 2019.

- (四) Generation 2 Colorado On-road Vehicle Emissions Remote Sensing (GEN2COVERS) Specifications, 2021.
- (五) Sina Kazemi Bakhshmand, Eamonn Mulholland, Uwe Tietge, Felipe Rodríguez, International Council on Clean Transportation(ICCT), Remote Sensing of Heavy-Duty Vehicle Emissions in Europe, Aug, 2022.
- (六) US EPA, Exhaust Emission Rates for Light-Duty Onroad Vehicles in MOVES5, Nov 2024.

註 1：解釋名詞

遙測檢驗法：利用紅外線(IR)和紫外線(UV)光譜能量吸收原理，感測行駛中汽車排放污染物的方法。其中汽車定義依據空氣污染防治法，汽車為指在道路上不依軌道或電力架設，而以原動機行駛之車輛，包括機車。

註 2：計算理論比值(Q_{theory})：若標準氣體認證濃度為 $\text{CO} = 4.0\%$ 、 $\text{CO}_2 = 12.0\%$ ，則理論比值為 0.333。計算實測比值(Q_{measure})：系統經由線性迴歸分析獲取噴氣數據之斜率。若實測斜率為 0.300，產生校正係數(CF)： $\text{CF} = Q_{\text{theory}} / Q_{\text{measure}}$ (例： $0.333 / 0.300 = 1.11$)，此係數將自動寫入系統，將後續量測的比值乘上此校正係數以進行修正，前述方式亦可由原廠設定與調校進行。

註 3：汽車比功率(VSP)：汽車行駛過程中，每單位汽車質量引擎實際輸出功率，單位為千瓦/噸(kW/ton)，計算公式：

$$\text{VSP} = v \times (1.1 \times a + 9.81 \times G + 0.213) + 0.000305 \times v^3$$

$$G = \sin \theta$$

v ：汽車行駛速度，單位為(m/s)

a ：汽車行駛加速度（由 v 計算得到），單位為(m/s^2)

G：路面坡度(grade)，無單位

θ ：道路坡度之角度

註 4：其他量測汽車速度方式經驗證後亦可使用。

註 5：汽車速度(V)計算公式：

$$V = \frac{L}{T_2 - T_1}$$

L：兩道光束間的距離，單位為 m

T_2 ：車輪遮斷第二道光束時記錄時間，單位為 sec

T_1 ：車輪遮斷第一道光束時記錄時間，單位為 sec

汽車加速度(a)計算公式：

$$a = \frac{(V_2 - V_1)}{tR_1 - tF_1}$$

$$V_2 = \frac{L}{tR_2 - tR_1}$$

$$V_1 = \frac{L}{tF_2 - tF_1}$$

V_2 ：汽車後輪通過光束區之速度，單位為 m/sec

V_1 ：汽車前輪通過光束區之速度，單位為 m/sec

tF_1 、 tF_2 ：汽車前輪依序通過兩道光束時之時間，單位為 sec

tR_1 、 tR_2 ：汽車後輪依序通過兩道光束時之時間，單位為 sec

註 6：VSP 合理範圍係參據美國環保署提出模式 MOVES5，將 $VSP \geq 30$ 設為最高，是基於「數據代表性」、「防止模型誤差放大」以及

「捕捉極端物理現象（富油燃燒）」，為確保模式在處理極端駕駛行為時，既能反應高排放特徵，又不至於產生計算誤差。對輕型車而言，大腳踩油門即可超過 30 kW/t；但對滿載的重型卡車來說，除非是在極端陡坡或超負荷運作，否則幾乎不會出現 $VSP > 30$ kW/t 的情況。 $VSP \geq 30$ kW/t 是輕型車進入「富油燃燒」保護模式常見物理門檻。在此狀態下，汽車不再維持正常的空燃比，CO 與 HC 排放會呈非線性增長，代表汽車處於「極高污染排放」的狀態。其餘判斷係參據實際汽車燃料及空氣燃燒理論化學計量下最大限度體積濃度。

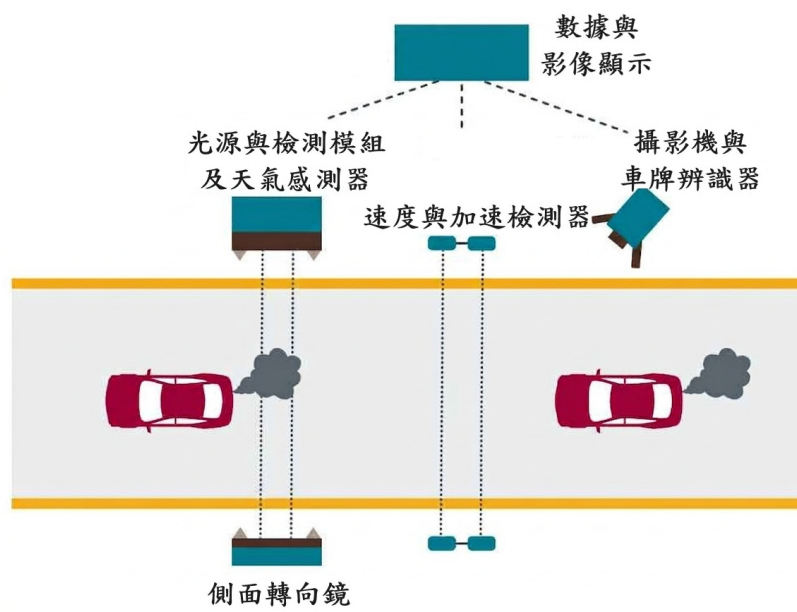
表一 氣體光譜偵測設備規範

污染物種類、單位	量測範圍	靜態準確度確認		動態準確度確認
		絕對誤差 (濃度)	相對誤差 (百分比)	相對誤差 (百分比)
CO ₂ (%)	0~16	0.25 %	10 %	10 %
CO (%)	0~10	0.25 %	10 %	15 %
HC (丙烷) (ppm)註	0~20000	250 ppm	10 %	15 %
NO (ppm)	0~7000	250 ppm	10 %	15 %

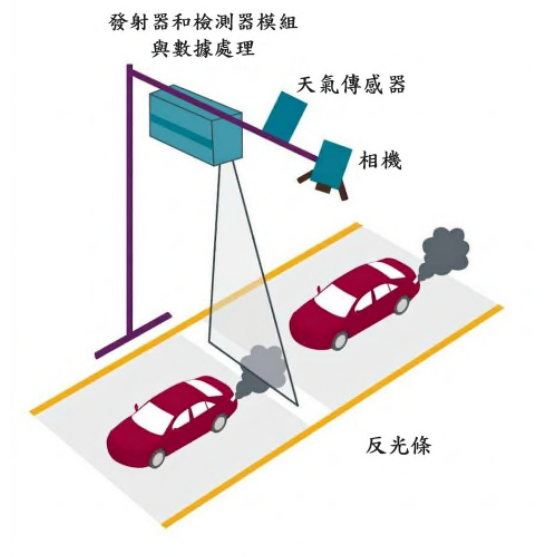
註：以丙烷標準氣體確認，結果以丙烷或正己烷濃度表示。

表二 混合標準氣體濃度及規範

序號	CO(%)	CO ₂ (%)	C ₃ H ₈ (ppm)	NO(ppm)
1	0.5	14.7	500	3,000
2	2.5	13.0	2,000	500
3	4.0	12.0	1,200	2,000
4	5.0	11.5	6,000	250
Balance : N ₂				
備註： 1.各標準氣體真正濃度須在上述設定濃度 ± 3 %內。 2.確認標準氣體的真正濃度須在標稱值的 ± 2 %內。 3.所有確認氣體的濃度必須以容積計算為單位（ppmv 或%(v/v)）。				



圖一、水平式遙測設備示意圖



圖二、垂直式遙測設備示意圖

附錄

氣體光譜偵測設備之確認規範

一、確認週期：每年 1 次。

二、確認項目：靜態確認及動態確認，標準氣體濃度設定依設備量測範圍，參據表二以四種不同濃度混合標準氣體進行確認。

三、靜態確認方法與程序

- (一) 確認使用混合型標準氣體，氣體成分應含 CO、CO₂、C₃H₈ 及 NO。
- (二) 將標準氣體瓶開關旋轉至全開，並調整次級壓力錶輸出壓力值調整至約 2.1 kg/cm² 至 2.8 kg/cm² 或依原廠規範要求設定。
- (三) 啟動遙測設備作業系統並至測量氣體濃度品質校驗功能頁面，導入標準氣體濃度至氣體光譜儀並記錄讀值，與導入之標準氣體濃度比較，再依序執行另三種不同濃度混合氣體進行確認。
- (四) 每種混合標準氣體至少須執行 10 次，10 個讀數中有 9 個且至少 3 個連續讀值應符合表一規範。

四、動態確認方法與程序

- (一) 將標準氣體配置於電動汽車上，並將排氣管路連接至模擬排氣管。
- (二) 將標準氣體瓶開關旋轉至全開，並調整次級壓力錶輸出壓力值調整至約 2.1 kg/cm² 至 2.8 kg/cm² 或依原廠規範要求設定。
- (三) 車速 10 km/h 至 60 km/h 的範圍內，選擇至少 1 個穩定車速駕駛汽車通過遙測量測點，每種混合標準氣體至少須執行 10 次，10 個讀數中有 9 個且至少 3 個連續讀值應符合表一規範。
- (四) 完成動態確認並符合準確度要求後，始得執行遙測。