

石油產品硫含量檢測方法—能量分散式 X 射線螢光光譜法

中華民國 110 年 12 月 2 日環署授檢字第 1101006607 號

自中華民國 111 年 3 月 15 日生效

NIEA A443.75C

一、方法概要

石油產品中的硫元素經由 X 射線(X-ray)照射後，硫元素會放出特性 X 射線(Characteristic X-ray)，其累積讀值與先前由標準品所建立之檢量線比較，由內插法求得石油產品之硫含量。

二、適用範圍

- (一) 本方法為碳氫化合物如柴油(Diessel)、石油腦(Naphtha)、煤油(Kerosine)、殘餘油(Residuals)、潤滑油(Lubricating base oils)、機械用油(Hydraulic oils)、原油(Crude oils)、無鉛汽油(Unleaded gasoline)、蒸餾油(Distillates)及航空燃油、船舶燃油、燃料用油等石油產品總硫含量之分析方法。
- (二) 本方法適用於重量百分率濃度約 0.015 % 至 5.0 % 石油產品硫含量之分析。由於應用本分析方法之各實驗室，所使用的儀器廠牌型號各異，靈敏度也各不相同，所以當樣品中硫含量低於 0.015 % 時，需由各實驗室個別量測判定本分析方法之適用性。其他濃度範圍若經驗證，亦可適用。
- (三) 樣品中硫含量高於 5.0 % 或檢量線範圍時，可用白油或礦物油將樣品稀釋至檢量線適用範圍內再行分析。

三、干擾

- (一) 部分樣品的成分元素因會放出 X 射線，而致使偵測器無法解析硫元素所產生的 X 射線放射光譜，因此造成所謂的光譜干擾(Spectral interference)。結果會造成分光光譜上線條的相互重疊。光譜干擾的造成可能來自樣品中含有水、烷基鉛、矽、磷、鈣、鉀及鹵化物等成分。其干擾物含量在硫含量的十分之一以上，或幾百個 ppm 以上。請依循儀器操作指南來補償所造成的干擾。
- (二) 樣品中元素的濃度變異亦會造成基質效應(Matrix effect)。這些變異直接影響到 X 射線的吸收及改變對元素的量測強度。例如，汽油中添加用來強化效率的氧化物，就會影響到硫含量的讀取。
- (三) 上述兩種型態的干擾以內建軟體來加以補償。建議這些干擾隨時

加以檢查，而不應以廠商所提供的軟體修正所顯現的表面情形為準。修正值應以新算式來加以調整。

- (四) M-85 及 M-100 是指燃油中分別含有 85 % 及 100 % 的甲醇而言。因此，它們具有高含量以及對硫元素 $K\alpha$ 輻射的吸收。此種油品可用本測試方法加以分析，其中校正標準品已配合樣品母液加以配製。或許會遺失靈敏度及精確度。本試測方法的重複性、再現性及偏差並不包括 M-85 及 M-100 的樣品。
- (五) 總而言之，石油物質中具有不同於七、(四) 1 所特指之白油組成者，其分析或可藉由具相同或相似組成之基礎物質所製成之標準品。因此，汽油可藉由異丁烷及甲苯的混合來加以模擬，混合比例約等同於將分析之樣品中的芳香族含量。如藉模擬汽油製成之標準品可獲得比使用白油更精確的結果。

四、設備與材料

能量分散式 X 射線螢光分析儀須包含下列特徵：

- (一) X 射線激發光源：其能量在 2.5 keV 以上，如 Ti 靶 X 光管、Ag 靶 X 光管等，亦可使用其他適用之元素靶 X 光管。
- (二) 樣品杯：提供至少 4 公釐的樣品深度，並裝置有可替換式 X 射線可穿透之塑膠薄膜窗口。
- (三) X 射線偵測器：在 2.3 keV 時具高感度，以及不超過 800 eV 的鑑別度。一種充滿氣體的等比計數器亦適用。
- (四) 濾材：可區別硫元素 $K\alpha$ 輻射及更高能量 X 射線。其它可區別硫元素 $K\alpha$ 輻射及更高能量 X 射線的方法亦可。
- (五) 訊號調節及數據處理系統：包括 X 射線強度計數功能，兩區段能量之最小值（修正背景 X 射線），分光重疊修正，以及轉換硫元素 X 射線強度為硫元素之濃度百分比。
- (六) 通氣體系統：含惰性氣體導入裝置（如 He）用以分析低硫成分。
- (七) X 射線透明薄膜(X-ray transparent film)（註 1）：選用適合該機器、耐樣品腐蝕、不含硫元素且可使 X 光充分穿透之薄膜，適宜的薄膜材料包括有聚酯物、聚丙烯、聚碳酸及聚亞醯胺等。若樣品中含高含量的芳香環且可能溶解聚酯及聚碳酸薄膜時，應選用其他材質薄膜，如聚亞醯胺箔片。雖然聚亞醯胺箔片較之其他薄膜更會吸收硫元素的 X 射線，其較能抵抗芳香環的破壞以及有較好的機械強度。

五、試劑

- (一) 所有測試應使用試劑級之化學藥品。除非另有指明，否則所有試劑應符合美國化學學會分析試劑委員會之陳述。其它等級若須使用，必須確定試劑具備足夠的高純度，且不致減低分析之精確度。
- (二) 二丁硫醚(Butyl sulfide) (一種對硫含量經驗證分析過之高純度標準品)：分子量 146.29。當計算校正標準品之確實濃度時，應使用驗證過之硫含量。(註：二丁硫醚為易燃並具毒性)。
- (三) 礦物油 (或白油(White oil))：美國化學學會試劑級(ACS)或硫含量低於 2 mg/kg 的基礎油。當自行配製標準品，偵測低硫含量樣品時 (小於 200 mg/kg)，計算檢量線標準品硫濃度，須將配製檢量線標準品的基礎油所含的硫濃度包括在內。
- (四) 標準品：除自行用二丁硫醚及礦物油配製標準品外，亦可使用經濃度確認並可追溯至國家或國際標準 (如美國 NIST 之標準品等) 之市售標準品 (註2)。

六、採樣與保存

- (一) 公私場所固定污染源及移動污染源使用之相關石油產品，可於儲存桶槽及其相關進樣管線、預熱槽體之開口、閥件與可採得樣品之處進行採樣，採集足夠分析之體積樣品置於深色玻璃瓶中 (註3)。
- (二) 樣品採集後，汽油產品應保存於 0 °C 至 5 °C，其餘石油產品可保存於室溫環境下，並於採樣日起三個月內完成分析。

七、步驟

- (一) 儀器校正：依照廠商之儀器操作手冊或標準作業程序執行相關校正程序，儀器應維持在最佳狀態。
- (二) 若使用可回收的樣品杯，必須清洗乾淨並乾燥後才能再使用。丟棄式的樣品杯部分不可再行使用。當使用可再利用的樣品杯時，在分析樣品前應使用新的 X 射線薄膜。避免接觸樣品杯內部、杯內透明薄膜或 X 射線照射的儀器視窗。當分析低硫含量樣品時，手指印的油脂會影響分析準確性。薄膜上的皺摺會影響 X 射線的穿透率。因此透明薄膜需要緊繃、平整且乾淨以確保數據的可靠性。當改變薄膜種類或厚度時，需要重建檢量線。當樣品注入樣品杯後，外蓋需設有排氣孔。對於不同批次的聚酯薄膜，其不純物及厚度有所差異，可能會影響低硫含量樣品的偵測。因此開始使用新的或不同批次的薄膜時，檢量線需再確認。
- (三) 在聚酯薄膜中曾發現雜質及厚度的變異，且變異情形多樣，均足以影響低濃度硫含量的測量。因此，開始使用新一捲的薄膜

時，檢量線必須加以修正。

(四) 標準品製備

在基質與樣品相似的情形下，可採用經公認之標準組織所驗證的檢量線標準品，包括依 NIST 所驗證及配製之 SRM(Standard reference material)，亦即柴油中硫含量之 SRM 2724。所使用之標準品必須涵蓋表一中所描述之濃度範圍。標準品製備可參考下列步驟：

- 1.雖然也有可能以單一條檢量線來量測不同基質中的硫含量，仍強烈建議在可以的情形下，檢量線必須隨基質改變而改變，亦即如柴油檢量線應基於柴油標準品，尤其在低濃度硫含量量測時更必須如此。因此，基質的稀釋液應儘可能接近被分析的基質形態。若使用礦物油亦能接受。
- 2.在正常濃度 0.1 % 到 5 % 的重量百分比下，單獨配製各一級標準品，而不要採取以單一母液逐次稀釋的方法配製。而確實的標準品硫含量計算到小數點第四位。
- 3.精確稱重到 0.1 mg 的基質稀釋液（如表二），倒入適當大小的窄頸瓶，並精確稱重二丁硫醚。在室溫下完全混合（建議使用 PTFE 包覆的攪拌子）。
- 4.使用七、(四) 1 配製的基質稀釋液以及七、(四) 2 的一級標準品，配製可以涵蓋預期之樣品中含硫濃度範圍的檢量標準品，分別包括空白與已知之標準濃度。參酌製造商的說明來決定校正範圍以及標準品的數量。表二提供了一個例子，說明如何在兩個濃度範圍下，以基質稀釋液來稀釋並配製一級標準品。
- 5.如果儀器檢量線範圍已包含表一所示之範圍 1，則範圍 2 的 1 號標準品並非必要的。參酌儀器操作手冊的檢量線製作說明，以免有特別的要求。
- 6.以選擇性來講，NIST 的可追溯已驗證標準品，其以上述方法配製或由業經分析之基質組成者，亦可使用。
- 7.如果用來配製標準品之基質稀釋液含有硫元素，應將硫含量數值加入所配製標準品的硫含量計算之中（請供應商提供硫含量的驗證值，或以測試方法 D3120 測試礦物油，或任何 MDL 不超出 1 ppm 的對等之低硫含量測試方法）。
- 8.以所建議的質量稱重二丁硫醚及基質稀釋液至 0.1 mg。由於已知真實質量，因此配製標準品的真實濃度可經由計算並輸入儀器中，以為校正之用。依下列式子可計算硫含量的濃度：

$$S = [(BS \times S_{BS}) + (MO \times S_{MO})] / (BS + MO)$$

其中

S：配製標準品的硫含量重量百分比。

BS：二丁硫醚的真實質量，單位為 g。

S_{BS}：二丁硫醚中硫含量的重量百分比，基本值為 21.91 %。

MO：礦物油的真實質量，單位為 g。

S_{MO}：礦物油中硫含量的重量百分比。

(五) 檢量線製備

1. 依儀器操作手冊的說明，在合適的範圍內進行儀器檢量線製備。基本上，檢量線製備程序包括量測已知濃度的標準品，記錄硫中 X 射線的強度，依據表三所建議的計數時間取得兩次的標準品讀值。在最小的延遲情形下，使用最新配製的樣品杯及標準品再重複本程序。一旦所有標準品均已分析完成，就依儀器操作手冊，以每個已分析四次之各標準品的淨硫量來產生最佳檢量線。而在檢量線一完成，立即分析一或數個檢量線確認標準品(Calibration check standards)的硫含量濃度。量測值與驗證值之相對誤差值應在 3 % 以內。如果沒有，則檢量線製備或檢量線確認為可疑的，應即採行修正步驟。在檢量線製備時，樣品及標準品間基質不符合的程度亦應列入考量。
2. 雖然 X 射線（註 4）僅穿透樣品中的一小段距離，來自樣品杯及樣品的散射仍可能變異。分析者必須確認樣品杯中樣品填充在最小深度以上，一般而言，至少填充在樣品杯容量的四分之三以上應已足夠。樣品杯頂端須空出部分空間。檢測揮發性樣品時，樣品杯頂端應有孔洞以避免樣品杯薄膜可能會產生的彎曲。

(六) 樣品分析

依七、（五）1 所描述將待量測物注入樣品杯中。對黏滯性樣品應先加熱，以方便倒入樣品杯中。確認槽中窗口及液態樣品間無氣泡。依表三所列濃度範圍對應之計數時間量測每個樣品，在最小延遲時間下，以新製備的樣品杯及樣品重複量測，取得未知樣品兩次硫含量的平均讀值。若平均讀值未落在檢量線範圍內，則須使用可包含樣品平均值的檢量線，重複相同的樣品量測兩次。

八、結果處理

- (一) 儀器自動校正曲線中讀出樣品中硫含量。
- (二) 報告單位為重量百分比 % (m/m) 或以 SI 制單位 mg/kg 表示。
- (三) 每個樣品均須依七、(六) 執行重複樣品分析，重複分析相對差異百分比或相對標準偏差須符合九、品質管制規定，以平均值出具報告。

九、品質管制

- (一) 儀器設備之保養與校正
儀器設備應定期保養與校正並記錄。
- (二) 檢量線確認：檢量線製備完成即應分析一或數個檢量線確認標準品之硫含量濃度作確認，使用與檢量線不同來源或同來源不同批次之檢量線確認標準品來確認檢量線之有效性，若無不同來源或同來源不同批次之檢量線確認標準品，至少應使用另一獨立配製之標準品。檢量線確認之相對誤差值應在 3% 以內。
- (三) 檢量線查核：於每批次或每 12 小時為週期之樣品分析工作前執行檢量線查核。檢量線查核之相對誤差值應在 3% 以內。
- (四) 查核樣品分析：使用二丁硫醚及白油或礦物油配製適當濃度之查核樣品（註 2），或使用濃度經確認之標準品作為查核樣品進行規律性的測試。記錄查核樣品分析結果並以管制圖或其它統計上相當的技術加以分析，以確保整個測試程序的統計管制狀態。每批次或每 10 個樣品至少執行 1 個查核樣品分析。查核樣品回收率應在 90% 至 110% 範圍內。
- (五) 空白樣品分析：樣品分析前應先以白油或市售空白標準品分析或確認不含硫之油品分析空白樣品，以確定分析過程及儀器未受污染。每批次或每 10 個樣品至少執行 1 個空白樣品分析，空白樣品分析值須低於待測物方法偵測極限的 2 倍或低於待測物法規管制標準值的 5%。
- (六) 重複樣品分析：每個樣品均須執行 2 重複分析，其相對差異百分比應在 10% 以內。

十、精密度與準確度

- (一) 精密度：本測試方法的精密度，得自實驗室測試結果的統計分析說明如下：

1. 重複性(Repeatability)

相同操作員以相同器材，在固定條件及相同測試物質下，於正

常及正確的測試方法操作下，連續兩次測試結果間的差異，在 20 次中僅有 1 次超出下列數值：

$$0.02894(X+0.1691)$$

其中

X：硫含量之重量百分比。

2.再現性(Reproducibility)

不同的操作員在不同的實驗室，以相同的測試物質所得到的單一及彼此獨立的結果間的差異，在 20 次中僅 1 次超出下列數值：

$$0.1215(X + 0.05555)$$

其中

X：硫含量之重量百分比。

(二) 準確度：實驗室間比對 6 個 NIST 參考物質，驗證數值及偏差 (Bias) 如表四。

十一、參考資料

- (一) 美國材料試驗協會，Standard Test Method for Sulfur in Petroleum and Petroleum Products by Energy-Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry，ASTM D-4294，2003。
- (二) 中華民國國家標準(CNS)，總號 14472，類號 K61063，2000。
- (三) 美國材料試驗協會，Standard Test Method for Trace Quantities of Sulfur in Light Liquid Petroleum Hydrocarbons by Oxidative Microcoulometry，ASTM D3120，2003。

註 1：檢測樣品屬高芳香族化合物，有可能會溶解 Polycarbonate 薄膜，檢驗人員應注意薄膜是否有滲漏以免污染機器。

註 2：市售標準品應參考標準品濃度確認證明文件 (Certificate of analysis, CoA) 或原廠建議進行保存。標準品及查核樣品應存放於棕色玻璃瓶中，並以玻璃塞、惰性塑膠螺帽或其它不透氣的封口物密

封，並置於陰涼處，直至需要取用為止。一旦發現任何標準品或查核樣品有沈積物或濃度變化，應立即拋棄不用。

- 註 3：若於管線處採集之樣品具有混濁沉澱物，建議可先放流適量體積（例：採樣口面積乘採樣口直徑 3 至 5 倍長度之體積）再進行採樣。
- 註 4：暴露在過量 X 射線對人體健康有危害性。操作者需做適當防護措施以避免身體暴露於一次輻射、二次輻射及散射輻射。X 射線光譜儀應依據我國行政院原子能委員會「放射性物質與可發生游離輻射設備及其輻射作業管理辦法」規定操作。

表一 校正標準品

| 範圍 | 1 | 2 |
|----------|------------|---------|
| 硫重量百分比 % | 0.0020—0.1 | 0.1—5.0 |
| 標準品 1 | 0.000 | 0.000 |
| 標準品 2 | 0.0020 | 0.100 |
| 標準品 3 | 0.0050 | 0.500 |
| 標準品 4 | 0.0100 | 1.00 |
| 標準品 5 | 0.0300 | 2.50 |
| 標準品 6 | 0.0600 | 5.00 |
| 標準品 7 | 0.100 | |

表二 一級標準品的組成

| 硫含量，重量百分比 | 基質稀釋液質量，g | 二丁硫醚質量，g |
|-----------|-----------|----------|
| 5 | 48.6 | 14.4 |
| 0.1 | 43.6 | 0.200 |

表三 硫含量分析之計數時間

| 硫含量範圍，重量百分比 % | 計數時間，秒 |
|---------------|-----------|
| 0.000 到 0.100 | 200 到 300 |
| 0.100 到 5.00 | 100 |

表四 偏差

| NIST 標準 | 硫重量百分比 % | 偏差 | 顯著性 |
|-----------|----------|---------|-----|
| SRM 1616a | 0.0146 | 0.0009 | 無 |
| SRM 2724a | 0.0430 | 0.0008 | 無 |
| SRM 1617a | 0.173 | 0.0003 | 無 |
| SRM 1623c | 0.381 | -0.0119 | 有 |
| SRM 1621e | 0.948 | -0.0198 | 無 |
| SRM 2717 | 3.02 | 0.0072 | 無 |

註：顯著性為差值與重複性之比較。