

水中金屬及微量元素檢測方法—感應耦合電漿原子發射光譜法

中華民國 102 年 12 月 4 日環署檢字第 1020104839 號公告
自中華民國 103 年 3 月 15 日生效
NIEA W311.53C

一、方法概要

本方法利用同時式 (Simultaneous) 或連續式 (Sequential) 感應耦合電漿原子發射光譜儀，搭配側向 (Radial/Side-on) 或軸向 (Axial/End-on) 之譜線觀測，來進行樣品中多元素的測定。樣品經霧化後，所形成的氣膠 (Aerosol) 藉由載流氣體輸送至電漿焰炬，經由無線電波 (Radio-frequency) 感應耦合電漿的加熱，將各待測元素激發。由各激發原子或離子所發射出的光譜線，經由光柵 (Grating) 分光，分解出各特定波長的發射譜線。各譜線的強度，再由光檢器 (Photosensitive devices) 予以偵測。

二、適用範圍

本方法適用於飲用水、飲用水水源、地面水體、放流水、地下水及廢 (污) 水中鋁、砷、銀、鎘、鉻、銅、鐵、鉛、鎂、錳、汞 (註 1)、鎳、硒、銻、鉍、鈷、鈳、鈦、鋅、鋇、硼、鈾、鈾及釷等 24 種元素之總量及溶解量之測定。除以上元素外，若經適當的驗證程序確認可行，本方法亦可適用於其他元素的分析。

對汞、硒、砷、銻、鉛或其他元素，若方法偵測極限無法達到法規所要求之管制濃度時，則必須經適當的樣品前處理後，再行測定；或使用效率較高之樣品導入裝置 (註 2)。

三、干擾

使用感應耦合電漿原子發射光譜儀進行樣品分析時，其分析結果常會受到許多干擾因素的影響，而導致誤差的產生。常見的干擾可分為兩類，分別為光譜性干擾及非光譜性干擾，以下就其發生原因及解決方式作一說明。

(一) 光譜性干擾

1. 譜線重疊

其發生的原因有兩種，其一是因基質中其他元素與待測元素的測定波長相同，而造成譜線完全重疊之干擾；另外一種情況則是當干擾元素與待測元素的波長相近，且干擾元素濃度很高時，造成譜

線變寬，而與待測元素之譜線產生部份重疊的干擾。此類型之干擾，可以藉由選擇元素之其他測定波長、使用干擾校正係數或儀器廠商所開發之電腦自動譜線干擾解析軟體來進行校正。

2. 寬帶重疊

當樣品基質、溶劑或大氣導入電漿時，所形成之分子離子（例如 N_2^+ 、 OH^- 、 NO^+ 、 CN^- 等）或未完全解離的化合物（例如 AlO^+ 等），會導致寬帶分子發射譜線的產生，因而造成待測元素背景的提升。此類寬帶重疊的干擾，一般可利用背景校正法予以克服。

3. 背景效應

由於電漿中離子或原子間的連續放射或結合放射等原因，導致背景之飄移變化，以致對待測元素的測定譜線造成干擾。一般可利用背景校正法來作校正。

4. 自吸收效應

當含高濃度待測元素之樣品導入電漿時，分佈於電漿溫度較低區域的元素，會吸收由溫度較高區域的激態元素所放射之譜線，而造成該元素分析濃度偏低的結果。可藉由樣品稀釋或提高電漿溫度，來避免此效應的發生。

5. 迷光輻射

主要係由於高濃度元素所產生的大量發射譜線，在光譜偵測系統中產生迷光，造成背景飄移的效應。一般可利用樣品稀釋或背景校正法來作校正。

(二) 非光譜性干擾

1. 物理性干擾

因樣品與標準溶液間物理性質（如黏度、表面張力或密度等）的差異，導致兩者在電漿系統中有不同的輸送效率，影響分析訊號而形成干擾。一般可利用樣品稀釋、內標準品或用標準添加法來避免此類干擾。

2. 阻塞干擾

在分析過程中，因樣品溶液所含有的高濃度鹽類或懸浮微粒，

會逐漸阻塞焰炬內管或霧化器，造成干擾效應。此類干擾可將基質稀釋或使用耐高鹽類的霧化器配合內徑較大的注入內管來避免。

3. 記憶效應干擾

樣品中待測元素或基質，由於元素特性或濃度太高之原因，導致樣品殘留於管路中，而對於下一個樣品的分析造成干擾。為避免此類干擾的發生，在分析流程中須對管路進行清洗，並分析空白溶液，以確認管路中待測元素的殘留是否已被清洗乾淨。

4. 游離干擾

當易游離元素（鹼金屬或鹼土族）的濃度太高時，會大量游離產生電子，而影響電漿內待測元素的游離平衡，造成分析訊號的偏差。可使用標準添加法或稀釋樣品，以避免此類干擾。

5. 化學干擾

主要係由於待測元素在電漿中與基質形成穩定的分子化合物，以致影響待測元素的訊號強度。可適當地改變電漿溫度（如調整入射功率及霧化氣體流速），或使用標準添加法避免或校正此類干擾。

四、設備及材料

（一）感應耦合電漿原子發射光譜儀

1. 光譜偵測系統可為同時式或連續式；電漿觀測位置可為側向觀測或軸向觀測之型式。須具有背景校正及波長校正的功能。建議使用質流調節器（Mass flow controller）調節氫氣流量，以更精確控制電漿狀態。
2. 一般基質單純的水樣分析，可使用石英材質製之電漿焰炬；但對於高鹼性的樣品溶液分析，為避免石英玻璃表面受腐蝕，建議焰炬內管改用氧化鋁（Alumina）或陶瓷（Ceramic）材質的製品。
3. 高純度氫氣供應裝置，氫氣純度等級 99.99%。
4. 蠕動幫浦：具有可調速度功能，以輸送樣品及標準溶液至霧化器。

（二）加熱板或適當之加熱消化裝置：具有抗酸腐蝕表面及溫度調整之功能者。

(三) 分析天平：能精稱至 0.1 mg。

五、試劑

試劑中若含有不純物會嚴重影響分析結果之準確性及精密度，因此在本方法中使用的各種試劑，均為分析級以上或經確認合乎品質要求的其他等級試劑。

(一) 試劑水：比電阻 $\geq 16 \text{ M}\Omega\text{-cm}$ 。

(二) 濃硝酸。

(三) 硝酸 (1:1)：加入 500 mL 濃硝酸於 400 mL 試劑水中，以試劑水稀釋至 1 L。

(四) 濃鹽酸。

(五) 鹽酸 (1:1)：加入 500 mL 濃鹽酸於 400 mL 試劑水中，以試劑水稀釋至 1 L。

(六) 標準儲備溶液 (Standard stock solution)

可自行以超高純度之金屬或化合物 (純度至少為 99.99%) 溶解配製而得，或購買具可追溯濃度確認證明文件之 ICP 用市售標準儲備溶液。

(七) 檢量線混合標準溶液 (Mixed calibration standard solutions)

一般的混合標準溶液組合如表二，於 500 mL 定量瓶內混合適量體積的標準儲備溶液，續加入 20 mL (1:1) 硝酸及 20 mL (1:1) 鹽酸，最後以試劑水稀釋至標線，或購買具可追溯濃度確認證明文件之市售標準儲備溶液。在配製此溶液之前，需預先分析所配製標準儲備溶液中不純物的含量，並確認其濃度在可接受的範圍，配製時須注意各元素間之相容性、穩定性及光譜干擾等問題，並選擇合適的分析波長及背景校正位置。將此溶液儲存於經預先清洗乾淨的惰性材質 (鐵氟龍瓶或聚乙烯) 容器中，定期 (約一週) 以品管樣品來檢查此混合標準溶液的濃度是否已有改變；若有變化，則需重新配製。

(八) 空白溶液

本方法需要三種空白溶液，第一種為檢量線空白溶液

(Calibration blank)，用於製備檢量線；第二種為方法空白溶液 (Method blank)，用來評估樣品製備過程中是否導入污染；第三種為洗滌空白溶液 (Rinse blank)，用來作為樣品間之沖洗溶液。

1. 檢量線空白溶液及洗滌空白溶液

試劑水經酸化所得之溶液，所加入之酸液濃度，需與檢量線標準溶液之酸液濃度相同。

2. 方法空白溶液

於試劑水中加入與樣品前處理同量之酸，並經由與樣品相同之前處理程序後所得的溶液。

(九) 電漿溶液 (Plasma solution)

感應耦合電漿原子發射光譜儀之操作條件，可藉由測定含有靈敏度較低的元素 (如本方法使用之鉛與硒) 溶液之訊號強度，作為選取儀器最佳操作條件之依據。此溶液係取適量體積的鉛與硒標準儲備溶液，加入 20 mL (1 : 1) 硝酸及 20 mL (1 : 1) 鹽酸，以水稀釋至 500 mL，配製成含有各 10 mg/L 之鉛與硒溶液後保存備用。

(十) 光譜干擾檢核溶液 (Spectral interference check solution)

當分析元素受到基質元素的光譜干擾時，須以預先求出的光譜干擾校正係數乘上基質元素的濃度，來校正並求出正確的分析元素濃度。在一般的情況下，並不需要經常更新所求得的光譜干擾校正係數，惟實驗室負責人需視儀器的狀況及樣品中基質的複雜程度等因素，來決定是否需重新修正校正係數。

1. 光譜干擾校正係數之求得

有關光譜干擾校正係數的獲得方式，可以錳對銀的干擾為例作一說明。首先製備銀之檢量線，其次配製 0.1 mg/L 之銀溶液，並在當中添加干擾元素錳 200 mg/L，繼由檢量線求得此溶液中銀的濃度 (假設為 x mg/L)。則錳基質對銀元素的干擾校正係數可由下式求得：

$$\text{光譜干擾校正係數} = \frac{(x - 0.1)}{200}$$

表三所示為分別配製 100 mg/L 或更高濃度之儲備溶液，依上

述方式所求得之光譜干擾校正係數表。一般檢驗單位需就其分析元素，定期（約一季）更新光譜干擾校正係數。除了針對表三列舉之元素定期求取光譜干擾校正係數外，一般在例行檢驗時，仍需視分析樣品中主基質元素的干擾情況，重新更新光譜干擾校正係數。

2. 光譜干擾之校正方式

$$\text{校正後之濃度 (mg/L)} = \text{分析物之測得濃度 (mg/L)} - (\text{光譜干擾校正係數}) \times (\text{干擾元素之濃度(mg/L)})$$

六、採樣及保存

依據檢測目的之不同，水樣分析結果有總量及溶解量等兩種表示方式。對於水樣之總量分析，採樣後水樣不經過濾，應立即添加硝酸使水樣之 pH 值 ≤ 2 ；對於水樣之溶解量分析，則需於採樣後，先經 0.45 μm 孔徑的濾膜過濾（註 3），再以硝酸酸化水樣至 pH 值 ≤ 2 （對大部分環境水樣與飲用水，每 1 L 中添加 1.5 mL 濃硝酸或 3 mL (1:1) 硝酸已足夠，但若水樣具高緩衝容量，應適當增加硝酸體積）。加酸後之水樣應貯藏於 $4 \pm 2^\circ\text{C}$ 下，以避免因水分蒸發而改變水樣體積。在此保存條件下可保存 180 天（但汞元素保存時間最多為 14 天）。

七、步驟

（一）水樣前處理

水樣前處理依檢測項目（總量或溶解量）之不同選擇下列消化處理程序。

1. 溶解量分析

取部分經過濾且酸化保存之水樣（ ≥ 20 mL），添加適量（1:1）硝酸，使其硝酸濃度約為 1%（v/v）（例如添加 0.4 mL (1:1) 硝酸至 20 mL 水樣），混合均勻後即可逕行分析，若水樣欲分析汞，則取另一份水樣，另外添加適量鹽酸，使鹽酸濃度為 1%（v/v），以匹配檢量線溶液之混酸（硝酸+鹽酸）濃度並減少記憶效應。若在分析前發現有沉澱物產生，則需依下節之總量分析消化步驟，進行樣品之前處理。

2. 總量分析

濁度小於 1 NTU 之飲用水可採直接分析方式測定，即取未過

濾且酸化保存之樣品，依上述溶解量分析前處理步驟處理，其餘樣品或為了濃縮飲用水樣品，則依下述消化程序處理。此外消化步驟亦可參考「水中金屬元素萃取消化法—微波輔助酸消化法（NIEA W312）」。

- (1) 將酸化保存之水樣搖晃均勻，取 100 mL（或適量體積）於容器中，繼加入 2 mL（1：1）硝酸及 1 mL（1：1）鹽酸。
- (2) 置於加熱板或適當之加熱消化裝置上，將溫度控制於 85°C 左右，加熱至體積約剩 20 mL（注意：不能讓樣品沸騰）。
- (3) 此時蓋上錶玻璃，繼續加熱迴流 30 分鐘（此階段可讓樣品稍微沸騰，但仍不能讓樣品過度劇烈沸騰）。
- (4) 經上述消化處理後之水樣，再以試劑水稀釋至 50 mL，如發現有不溶解顆粒，可以靜置自然沉澱法或離心法分離，若分離後仍有不溶解顆粒會阻塞霧化器，則可取部分消化溶液進行過濾，惟過濾過程中應避免可能之污染。

（二）儀器調校

1. 電漿最適化

電漿最適化目的在於獲得待測元素最大訊號對背景的比值（S/N ratio），此調校並不需每日執行，但在儀器安裝、維修、更換配件（例如更換焰炬管或噴霧腔等）或更改操作條件（例如更改功率、霧化氣體流速等）後，則需重新進行調校。電漿最適化可依下列建議步驟或儀器廠商之建議加以執行。

- (1) 參照表四之範例，選擇適當的無線電頻輸入功率（RF power），並調整反射功率至最小（有些儀器具有自動調整反射功率至最小之功能，可徵詢廠商之建議）。在此條件下自然吸入 1000 mg/L 之鈮標準溶液（若無法自然吸入，則可參考儀器廠商之建議，設定適當之蠕動幫浦流速），調整霧化氣體之流速或壓力，使產生的藍色電漿（此為鈮的離子發射譜線）大致出現在工作線圈上方約 5 至 20 mm 範圍。記錄此時的霧化氣體流量或壓力設定，以作為未來實驗的參考。
- (2) 在上述設定的霧化氣體流速下，讓霧化器以自然方式吸入方法空白溶液至少 3 分鐘，由吸入溶液的體積除以時間，求出每分鐘的平均吸取速率。將蠕動幫浦的溶液導入速率，調整至與

自然吸入相同之流速後，再進行後續之分析（若非自然吸入，則設定蠕動幫浦至儀器建議之流速）。

- (3) 電漿條件經上述方式調整後，需設定電漿最佳觀測高度。側向觀測之儀器調整方式建議如下，軸向觀測之儀器則可依照儀器廠商之建議進行調校。實驗的方法是導入含 10 mg/L 的硒及鉛之電漿溶液，於工作線圈頂端之上方約 8 至 24 mm 區間內（此區間可徵詢儀器廠商之建議加以選取），高度每變化 1~2 mm，分別收集電漿溶液與檢量線空白溶液之訊號強度，求取硒及鉛於各高度之淨訊號強度。續以各觀測高度淨訊號強度與最高訊號強度之相對訊號百分比為縱座標，電漿觀測高度為橫座標作圖（如圖一所示），選擇兩曲線之交點即為最佳電漿觀測位置。

2. 儀器使用前之準備

- (1) 每日開機後，通常至少需熱機 30 分鐘，使儀器達到熱穩定（註 4）。
- (2) 熱機後需完成光學系統及炬管位置等相關校正（可依照儀器廠商之建議進行調校），並將霧化氣體流速調整至最適化流速（註 5），始可進行後續樣品測定工作。
- (3) 在操作軟體上，設定所欲測定元素之分析波長及背景校正位置（如表一所示）。儀器之操作條件，可參考表四之範例予以設定，由於最適化操作條件會隨使用儀器的不同而有所改變，使用者需參考儀器廠商的建議，自行進行最適化條件的探求。

（三）檢量線製備

1. 在儀器線性範圍內，配製一個空白和至少五種不同濃度的檢量線標準溶液，其濃度範圍如 0 至 10 mg/L，或其他適當範圍。檢量線製作完成應即以第二來源標準品配製接近檢量線中點濃度之標準品確認。
2. 以蠕動幫浦將樣品溶液導入至電漿後，一般至少需經 30 秒後（需隨儀器管路長短不同調整），待系統達成平衡穩定後，方可讀取訊號。
3. 在導入不同的溶液之間，需以洗滌空白溶液清洗管路足夠時間（約 60 秒，或更長），以避免記憶效應之干擾發生。

(四) 樣品分析

1. 於每一樣品分析之前，必須使用洗滌空白溶液來進行樣品導入系統的清洗，清洗時間則約為一分鐘。假若實驗室擬縮減清洗的時間，則該實驗室本身必須進行一系列不同清洗時間的測試，繼而以實際測試結果為依據，來進行清洗時間的修正。
2. 不論測定標準溶液或樣品，均需針對同一標準溶液或樣品進行至少三重複測定，最後再以平均值進行計算。

八、結果處理

$$C = A \times F$$

C：水中金屬及微量元素濃度 ($\mu\text{g/L}$ 或 mg/L)

A：從檢量線得出之金屬及微量元素濃度 ($\mu\text{g/L}$ 或 mg/L)

F：稀釋倍數

九、品質管制

- (一) 檢量線：線性相關係數 (r 值) 應大於或等於 0.995。檢量線確認之相對誤差值應在 $\pm 10\%$ 以內。
- (二) 檢量線查核：每 10 個樣品及每批次分析結束時，以檢量線查核標準溶液進行檢量線查核，檢量線查核標準溶液分析結果之相對誤差值應在 $\pm 10\%$ 以內。
- (三) 空白樣品分析：每批次或每 10 個樣品至少執行一次空白樣品分析，空白分析值應小於二倍方法偵測極限。
- (四) 查核樣品分析：每批次或每 10 個樣品至少執行一次查核樣品分析，其回收率應在 80~120% 範圍內。
- (五) 重複樣品分析：每批次或每 10 個樣品至少執行一次重複樣品分析，其相對差異百分比應在 20% 以內。
- (六) 添加樣品分析：每批次或每 10 個樣品至少執行一次添加樣品分析，其回收率應在 80~120% 範圍內。若回收率超出管制範圍，且分析元素又不能以稀釋方式測得時，必須改用標準添加法進行分析。

十、精密度及準確度

- (一) 單一實驗室針對飲用水、地面水、地下水及廢(污)水之分析精密度及添加回收率，結果如表五至表十一所示。對水樣分析的精密度，皆可控制在 20% 之下；而對添加回收率，亦皆可控制在 80~120% 間。
- (二) 單一實驗室以本方法及火焰式原子吸收光譜法 (NIEA W306)，對各種不同水樣中銅、鐵及鋅的測定，所得結果列於表十二。如表中所示，兩種分析方法所得之結果均頗為一致。

十一、參考資料

- (一) U.S. EPA, Trace elements in water, solids, and biosolids by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry. Method 200.7, Revision 5.0, 2001.
- (二) U.S. EPA, Inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry. Method 6010C, 2007.
- (三) U.S. EPA, Determination of trace elements in water and wastes by inductively coupled plasma-mass spectrometry. Method 200.8, Revision 5.5, 1999.

註 1：本方法所述總量分析之樣品前處理程序，並不適用於揮發性有機汞化合物之檢測，然而，若樣品不需要消化，可以藉由直接分析並調整樣品溶液中混酸（硝酸+鹽酸）濃度與檢量線溶液及空白溶液相當而測定樣品溶液中之總汞濃度（無機汞+有機汞）。

註 2：對汞、硒、砷、銻、鉛或其他元素可使用氫化物產生器、冷蒸氣汞原子產生器或超音波霧化器等，以提升偵測能力。

註 3：建議使用玻璃或塑膠過濾設備，若檢測硼元素僅可使用塑膠設備。

註 4：感應耦合電漿原子發射光譜儀操作時，會產生高溫及紫外光波長範圍之譜線，故須遵照儀器廠商制訂之規範小心操作。

註 5：為維持光譜干擾校正的有效性，霧化氣體流速每日需保持固定（改變幅度 $<2\%$ ），若發現霧化氣體流速變動超出 2%，則表示儀器可能出現問題，需探究其原因並予以排除。

表一 本方法對各元素之方法偵測極限及推薦之分析波長及背景校正位置

元素	波長 (nm)	背景校正位置 (nm)		方法偵測極限 mg/L
		向低波長方向位移	向高波長方向位移	
銀 (Ag)	328.068	0.030	0.035	0.003
鋁 (Al)	308.215	0.026	0.047	0.013
鎘 (Cd)	226.502	0.021	0.026	0.001
鉻 (Cr)	205.552	0.019	0.025	0.001
銅 (Cu)	324.754	0.050	0.040	0.002
鐵 (Fe)	259.940	0.032	0.026	0.001
汞 (Hg)	194.168	0.025	0.032	0.006
鎂 (Mg)	279.079	0.034	0.036	0.030
錳 (Mn)	257.610	0.029	0.039	0.001
鎳 (Ni)	231.604	0.043	0.035	0.001
鉛 (Pb)	220.353	0.029	0.029	0.011
硒 (Se)	196.026	0.024	0.034	0.042
鋅 (Zn)	213.856	0.031	0.036	0.001
鋇 (Ba)	493.409	-	-	0.001
砷 (As)	193.759	-	-	0.008
銻 (Sb)	206.833	-	-	0.008
鈹 (Be)	313.042	-	-	0.0003
鈷 (Co)	228.616	-	-	0.002
鉈 (Tl)	190.864	-	-	0.001
鈦 (Ti)	334.941	-	-	0.020
硼 (B)	249.772	-	-	0.002
鉬 (Mo)	202.032	-	-	0.002
銦 (In)	230.606	-	-	0.012
鎵 (Ga)	294.363	-	-	0.004

註 1：上表所列之分析波長及背景校正位置僅供參考，使用者可依儀器廠商之建議設定。

註 2：表中所列方法偵測極限僅供參考，不同樣品前處理或廠牌儀器可能有所差異。

註 3：鋇、砷、銻、鈹、鈷、鉈、鈦參考自 U.S. EPA Method 200.7 Rev.5.0 Jan. 2001.。

表二 檢量線混合標準溶液

檢量線混合標準溶液	元素
I	Ag, As, B, Ba, Cd, Cu, Mn, Sb, Se, Ga
II	Mo, Ti
III	Co
IV	Al, Cr, Hg, Zn, In
V	Be, Fe, Mg, Ni, Pb, Tl

註 1：如果溶液中因加入銀，而導致與鹽酸發生白色之氯化銀沉澱時，則需再加入 15 mL 試劑水，並加熱至沉澱消失為止。本節中所使用的混酸，僅能用於濃度小於 0.5 mg/L 之銀溶液，若需配製 0.5 mg/L 以上之銀標準溶液，則需加入更多量之鹽酸。

註 2：以上所述之各組混合標準溶液，其所含元素間是否存在相互干擾的問題，已由表一所推薦的分析波長及背景校正波長加以驗證，確認在同一組溶液中各元素間不會發生相互干擾的問題。若欲使用其它的混合方式，則實驗室負責人需自行驗證其混合時的相容性、穩定性及是否有元素間的光譜干擾等問題，並選擇合適的分析波長及背景校正位置。

表三 本方法對各元素之光譜干擾校正係數表（範例）

分析元素	干擾元素	校正係數	分析元素	干擾元素	校正係數
銀 (Ag)	錳 (Mn)	0.00011	鎂 (Mg)	錳 (Mn)	-0.00029
	鐵 (Fe)	-0.00002		鉬 (Mo)	-0.00068
	釩 (V)	-0.00005		鐵 (Fe)	0.00021
鋁 (Al)	釩 (V)	0.01578	錳 (Mn)	鐵 (Fe)	0.00008
	鈷 (Co)	-0.0001	鎳 (Ni)	鈷 (Co)	0.00155
	錳 (Mn)	0.00038	鉈 (Tl)	0.00055	
鎘 (Cd)	鉬 (Mo)	0.01000	鉛 (Pb)	鈷 (Co)	0.00070
	鈷 (Co)	0.00015		鉻 (Cr)	0.00008
	鐵 (Fe)	0.00023		鐵 (Fe)	0.00011
	鎳 (Ni)	-0.00003		鎳 (Ni)	-0.00004
鉻 (Cr)	錫 (Sn)	-0.00026	釩 (V)	0.00002	
	鉍 (Be)	-0.00087	鋁 (Al)	-0.00001	
	銅 (Cu)	-0.00021	硒 (Se)	砷 (As)	0.00036
	鐵 (Fe)	0.00005		鈷 (Co)	0.00056
	鉬 (Mo)	0.00020		鐵 (Fe)	0.00011
	鎳 (Ni)	0.00010	釩 (V)	0.00125	
	釩 (V)	-0.00014	鉬 (Mo)	0.00160	
錳 (Mn)	-0.00020	鋅 (Zn)	銅 (Cu)	0.00252	
銅 (Cu)	0.00037		鐵 (Fe)	0.00012	
汞 (Hg)	鉬 (Mo)	0.00059	鎳 (Ni)	0.00390	
	釩 (V)	0.00468			

表四 本方法所使用之感應耦合電漿原子發射光譜儀的操作條件（範例）

儀器參數	操作條件	
	側向	軸向
電漿觀測模式	側向	軸向
入射操作能量	1100 ~ 1200 W	1100 ~ 1500 W
電漿觀測高度	14~18 mm	—
使用氣體	氬氣	氬氣
霧化氣體流速	0.6 ~ 1.5 L/min	0.6 ~ 1.5 L/min
冷卻氣體流速	15 ~ 19 L/min	15 ~ 19 L/min
樣品導入流速	1 ~ 1.8 mL/min	1 ~ 1.8 mL/min

表五 飲用水之分析精密度及添加回收率（自來水）

元素	重複樣品分析			添加樣品分析		
	濃度, mg/L	相對標準偏差 %	相對差異百分比 ^a , %	添加濃度, mg/L	平均回收率, %	相對差異百分比 ^b , %
銀 (Ag)	N.D.	-	-	0.05	113	3.3
鋁 (Al)	0.088±0.002	2.3	16	0.05	100	1.5
鎘 (Cd)	N.D.	-	-	0.025	104	1.5
鉻 (Cr)	N.D.	-	-	0.025	105	2.4
銅 (Cu)	N.D.	-	-	0.025	100	0.3
鐵 (Fe)	0.048±0.003	6.3	8.0	0.1	99	0.6
汞 (Hg)	N.D.	-	-	0.15	103	6.6
鎂 (Mg)	9.77±0.18	1.8	2.0	5	98	0.8
錳 (Mn)	N.D.	-	-	0.025	101	0.3
鎳 (Ni)	N.D.	-	-	0.025	97	0.8
鉛 (Pb)	N.D.	-	-	0.05	97	1.8
硒 (Se)	N.D.	-	-	0.15	103	6.2
鋅 (Zn)	0.066±0.006	9.1	8.8	0.05	94	0.7

a：指在同一時間對同一水體進行兩次獨立採樣，所得分析結果之相對差異百分比。

b：指對同一樣品作兩次相同濃度之添加，所得待測元素濃度的相對差異百分比。

N.D.：無法偵測（Not detected），表示此測定值小於表一之方法偵測極限值。

表六 飲用水之分析精密度及添加回收率（自來水）

元素	重複樣品分析		添加樣品分析		
	平均濃度, mg/L	相對差異百 分比, %	添加濃度, mg/L	平均回收率, %	相對標準偏 差 ^a , %
硼 (B)	0.0123	6.7	0.1	100	2.9
鉬 (Mo)	N.D.	-	0.1	99	1.8
銦 (In)	N.D.	-	0.1	96	12.9
鎳 (Ga)	N.D.	-	0.1	99	3.6

a：指對同一樣品作七次相同濃度之添加，所得待測元素濃度的相對標準偏差。

N.D.：無法偵測（Not detected），表示此測定值小於表一之方法偵測極限值。

表七 地面水之分析精密度及添加回收率（湖水）

元素	重複樣品分析			添加樣品分析		
	濃度, mg/L	相對標準偏差 %	相對差異百分比 ^a , %	添加濃度, mg/L	平均回收率, %	相對差異百分比 ^b , %
銀 (Ag)	N.D.	-	-	0.05	102	1.8
鋁 (Al)	0.023±0.002	8.7	16	0.05	109	6.0
鎘 (Cd)	N.D.	-	-	0.025	97	1.6
鉻 (Cr)	N.D.	-	-	0.025	102	0.2
銅 (Cu)	N.D.	-	-	0.025	95	0.6
鐵 (Fe)	0.123±0.001	0.8	9.2	0.1	106	1.3
汞 (Hg)	N.D.	-	-	0.15	104	4.2
鎂 (Mg)	8.77±0.11	1.3	1.6	5	103	1.1
錳 (Mn)	0.033±0.0003.	0.9	1.8	0.025	98	1.2
鎳 (Ni)	N.D.	-	-	0.025	98	1.3
鉛 (Pb)	N.D.	-	-	0.05	103	0.9
硒 (Se)	N.D.	-	-	0.15	96	3.0
鋅 (Zn)	0.037±0.001	2.7	1.8	0.05	101	1.2

a：指在同一時間對同一水體進行兩次獨立採樣，所得分析結果之相對差異百分比。

b：指對同一樣品作兩次相同濃度之添加，所得待測元素濃度的相對差異百分比。

N.D.：無法偵測 (Not detected)，表示此測定值小於表一之方法偵測極限值。

表八 地下水之分析精密度及添加回收率（深井水）

元素	重複樣品分析			添加樣品分析		
	濃度, mg/L	相對標準偏差 %	相對差異百分比 ^a , %	添加濃度, mg/L	平均回收率, %	相對差異百分比 ^b , %
銀 (Ag)	N.D.	-	-	0.05	102	1.5
鋁 (Al)	0.061±0.006	9.8	8.1	0.05	90	1.2
鎘 (Cd)	N.D.	-	-	0.025	103	3.2
鉻 (Cr)	N.D.	-	-	0.025	104	3.4
銅 (Cu)	N.D.	-	-	0.025	108	4.7
鐵 (Fe)	1.969±0.007	0.4	2.2	3	86	2.4
汞 (Hg)	N.D.	-	-	0.15	105	0.1
鎂 (Mg)	13.4±0.03	0.2	0.8	20	98	2.7
錳 (Mn)	0.096±0.001.	1.0	2.8	0.1	99	3.8
鎳 (Ni)	N.D.	-	-	0.025	107	5.6
鉛 (Pb)	N.D.	-	-	0.05	101	10.6
硒 (Se)	N.D.	-	-	0.15	87	6.2
鋅 (Zn)	N.D.	-	-	0.05	101	0.2

a：指在同一時間對同一水體進行兩次獨立採樣，所得分析結果之相對差異百分比。

b：指對同一樣品作兩次相同濃度之添加，所得待測元素濃度的相對差異百分比。

N.D.：無法偵測 (Not detected)，表示此測定值小於表一之方法偵測極限值。

表九 廢水之分析精密度及添加回收率（金屬工業）

元素	重複樣品分析			添加樣品分析		
	濃度, mg/L	相對標準偏差 %	相對差異百分比 ^a , %	添加濃度, mg/L	平均回收率, %	相對差異百分比 ^b , %
銀 (Ag)	N.D.	-	-	0.05	100	1.1
鋁 (Al)	0.169±0.004	2.4	4.2	0.2	88	0.3
鎘 (Cd)	N.D.	-	-	0.025	99	2.6
鉻 (Cr)	N.D.	-	-	0.025	94	4.0
銅 (Cu)	21.1±0.1	0.5	1.0	20	100	0.1
鐵 (Fe)	0.16±0.01	6.3	2.1	0.1	105	1.7
汞 (Hg)	N.D.	-	-	0.15	101	11.6
鎂 (Mg)	6.84±0.40	5.8	2.2	5	98	2.5
錳 (Mn)	0.014±0.001.	7.1	6.5	0.025	103	2.3
鎳 (Ni)	N.D.	-	-	0.025	99	1.5
鉛 (Pb)	N.D.	-	-	0.1	93	4.9
硒 (Se)	N.D.	-	-	0.15	85	1.4
鋅 (Zn)	N.D.	-	-	0.05	98	0.1

a：指在同一時間對同一水體進行兩次獨立採樣，所得分析結果之相對差異百分比。

b：指對同一樣品作兩次相同濃度之添加，所得待測元素濃度的相對差異百分比。

N.D.：無法偵測 (Not detected)，表示此測定值小於表一之方法偵測極限值。

表十 池塘水之分析精密度及添加回收率

元素	重複樣品分析		添加樣品分析		
	平均濃度, mg/L	相對差異百 分比, %	添加濃度, mg/L	平均回收率, %	相對標準偏 差 ^a , %
硼 (B)	0.0391	1.3	0.1	104	3.8
鉬 (Mo)	N.D.	-	0.1	107	4.9
銦 (In)	N.D.	-	0.1	88	9.5
鎳 (Ga)	N.D.	-	0.1	97	5.7

a：指對同一樣品作七次相同濃度之添加，所得待測元素濃度的相對標準偏差。
N.D.：無法偵測 (Not detected)，表示此測定值小於表一之方法偵測極限值。

表十一 放流水之分析精密度及添加回收率

元素	重複樣品分析		添加樣品分析		
	平均濃度, mg/L	相對差異百 分比, %	添加濃度, mg/L	平均回收率, %	相對標準偏 差 ^a , %
硼 (B)	0.0133	13	0.1	101	1.9
鉬 (Mo)	N.D.	-	0.1	99	3.3
銦 (In)	N.D.	-	0.1	91	7.8
鎳 (Ga)	N.D.	-	0.1	98	2.1

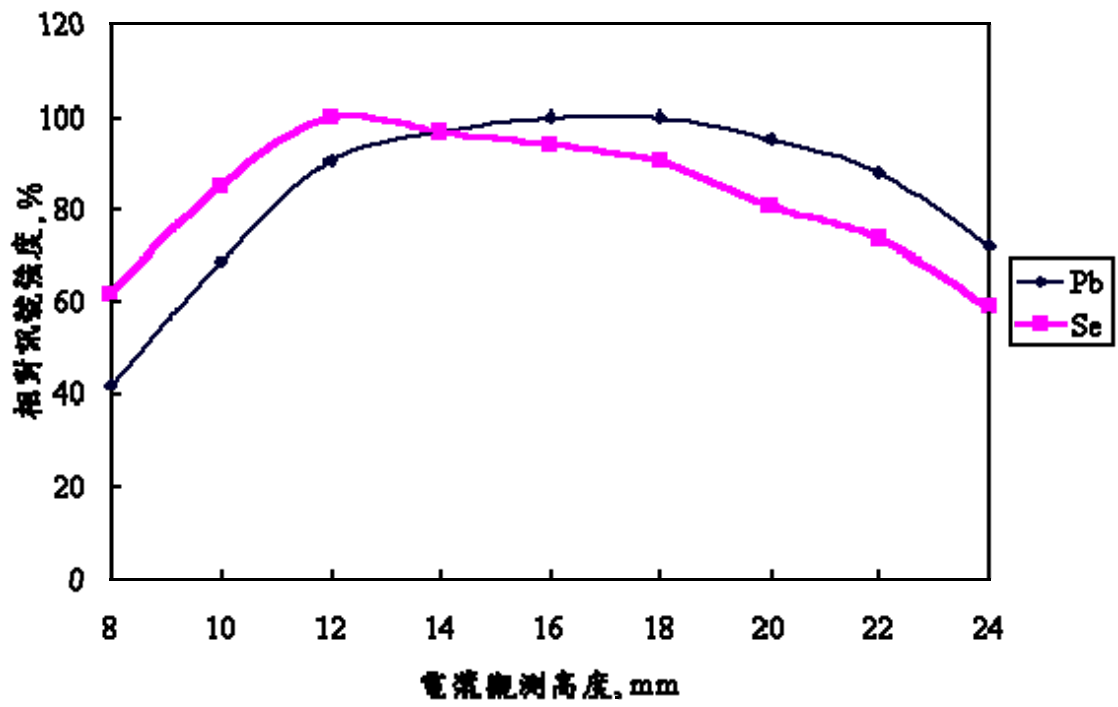
a：指對同一樣品作七次相同濃度之添加，所得待測元素濃度的相對標準偏差。
N.D.：無法偵測 (Not detected)，表示此測定值小於表一之方法偵測極限值。

表十二 同一水樣以本方法及火焰式原子吸收光譜法所得結果之比較

元素	地下水(一)		地下水(二)		金屬工業廢水		電鍍工業廢水	
	AAS ^a	ICP-AES	AAS ^a	ICP-AES	AAS ^a	ICP-AES	AAS ^a	ICP-AES
銅 (Cu)	N.D.	N.D.	N.D.	0.008±0.00 1	4.17±0.05	4.22±0.02	0.21±0.01	0.192±0.00 6
鐵 (Fe)	2.06±0.0 6	1.97±0.0 1	3.64±0.09	3.32±0.07	N.D.	0.032±0.00 2	N.D.	0.032±0.00 2
鋅 (Zn)	N.D.	N.D.	N.D.	0.006±0.00 1	N.D.	N.D.	0.82±0.01	0.81±0.05

a：根據火焰式原子吸收光譜法 (NIEA W306)，進行水中銅、鐵及鋅等元素之分析。

N.D.：無法偵測 (Not detected)，表示此測定值小於表一之方法偵測極限值。



圖一：鉛及硒元素之相對訊號強度與電漿觀測高度關係圖