

煙火之光，暗藏儀器分析原理

蔡坤龍

煙火（圖 1）所牽涉的化學反應相當複雜，爆炸時有晶體結構的改變、熔化、氯化等過程。氧化劑反應大量放熱，使得燃燒劑、助燃劑、發光、發色劑燃燒，反應溫度需達 3000 K 以上。

常見的煙火顏色及其對應的金屬離子，如鈉 (Na^+): 黃色，鉀 (K^+): 紫色，鈣 (Ca^{2+}): 磚紅色，鎂 (Mg^{2+}): 白色，鋁 (Al^{3+}): 白色，銦 (Sr^{2+}): 血紅色，鋇 (Ba^{2+}): 綠色。不同金屬放出不同顏色光線的現象，與某特定元素存在有關。由量子化學理論可知，每一元素均具有特定的能階，這些元素的能階高低因元素不同而異。在常溫時，大部份元素的電子均位於最低能階狀態，稱為基態。但在高溫的環境下時，電子可由基態被提昇至激發態，由於激發態的電子不穩定，且停留時間甚短，很快回到基態，就會釋放出特定波長的光，即輻射光，如圖 2 所示。輻射光之波長是特定元素的特性，而輻射強度則與特定元素的含量成比例，華麗煙火之光即為各種金屬原子的發射光譜。

感應耦合電漿原子發射光譜法（Optical emission spectral analysis with inductively coupled plasma, ICP-OES）為發射光譜法之一種，因激發能量較高，具有可激發之光譜線較多，常用於樣品之元素主成分、副成分、微量成分之分析與元素濃度之測定。儀器結構主要分為四部份：(1)激發源 (2)樣品導入系統(3)光學系統(4)電腦控制與數據處理系統。對於大多數元素，ICP-OES 檢測極限可達 ppb 等級。

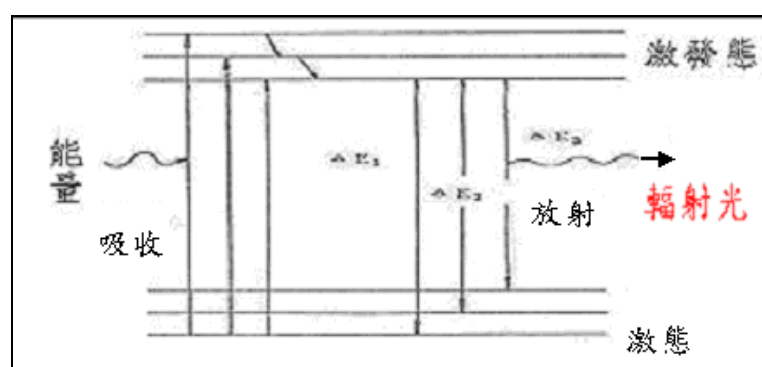
對於土壤、底泥、廢棄物、各類水質等環境樣品。樣品在分析前，以適當的方法將樣品溶解或消化，將待測之樣品導入霧化器（Atomizer），經霧化後藉由攜行氣體輸送至電漿焰炬，以高能量之感應耦合電漿加熱、激發，將之氣化分解成原子，甚至一部分解離成離子，被激發之原子或離子會放出許多特定波長之光譜線，經由光學轉換與分光後，由偵測器，如光電增幅管（Photomultiplier tube）

或光檢器（Photosensitive devices）予以偵測。以 ICP-OES 檢測樣品，必須先配製已知濃度之特定元素校正溶液，並於特定元素相對之波長下，測定濃度與發射強度之關係，繪製該元素之檢量線（Calibration curve）或校正曲線，即可據以測定待測樣品之特定元素濃度或含量。

由於 ICP-OES 具有高靈敏度、高穩定性、樣品基質干擾效應小、線性範圍大、並具多元素分析能力等特性，已廣泛被應用在元素分析方面，為無機實驗室不可缺少的重要儀器。



圖 1 繽紛炫爛的煙火



← 不穩定激發態電子回到基態，釋放輻射光

圖 2 原子發射光譜的原理