

# 焚化爐及燃煤電廠飛灰底渣無機物指紋鑑識計畫

## Characterization of the Inorganic Fingerprint for Incineration Ash and Power Plant Ash

蔡坤龍(Q,L,Tsai) 葉王珍 曹明浙 許志福 莊士群

### 摘要

垃圾焚化廠與燃煤電廠之灰、渣在國內產生量極大，一旦棄置環境均不易找到污染源。對於非法棄置廢棄物案件，為了迅速找到污染源或產源，減少人為判斷的依賴度，釐清責任歸屬，有賴於指紋資料庫之建立，本研究嘗試以 XRF/XRD 來探討建立其無機重金屬成分指紋資料庫。

藉由 XRF 檢測樣品的成分，並配合 XRD 對樣品結晶構造的分析，可建立交互比對來區隔產源的指紋指標資料。研究發現，經由 XRF/XRD 檢測所建立的特徵指紋圖譜資料，能夠鑑識燃煤電廠、垃圾焚化廠等來源產業類別，對於非法棄置廢棄物案件，能大幅提升其找到污染源或產源的可行性。

### 一、前言

為因應我國以往不肖業者之隨意棄置事業廢棄物問題，必須發展事業廢棄物相關環境法醫技術，建置「環境污染物指紋資料庫」，提供足夠的產源污染指標資料，經由廢棄物特性之比對，可快速蒐尋與縮小範圍，幫助追蹤查證可能的廢棄物產源。環保署環境檢驗所（以下簡稱本所）從民國 91 年開始發展指紋資料庫建置計畫，發展指紋鑑識技術，重點放在高污染產業，且以有機污染物為重點，惟垃圾焚化廠與燃煤電廠之飛灰、底渣在國內產生量極大，且主成分以無機成分為主，為了能迅速判斷棄置案件的產業來源與焚化爐或燃煤電廠之相關性，本研究希望能建立鑑識此兩種行業廢棄物特徵的資料。

鑑別性指紋特徵為：高特異性、普遍存於該類廢棄物中、複雜混合物基質能辨識量測、不受氣候影響、獨特存在之成分。

為建立能夠鑑別垃圾焚化廠與燃煤電廠之飛灰、底渣之指紋，期能符合上述特徵，本研究嘗試以波長分散式 X 光螢光分析儀(簡稱 WDXRF)與 X 光繞射分析儀（簡稱 XRD）來建立上述兩種產業之無機物指紋。

XRF 是一項非破壞性的元素定性和定量分析的技術，本研究採用之 WDXRF，其原理是根據樣品中元素之內層軌域電子被入射 X 光提昇到激發態，電子在回復到基態時，會因元素種類和含量不同而放射出不同波長、強度之二次 X 光線的特性，即 X 光螢光

（Secondary-emission X-ray），由收集 X 螢光之波長、強度的信號，可對樣品完成定性、定量分析。



XRD 會根據廢棄物組成與結晶型態不同的特性，依 X 光信號掃描結果，繪製不同強度、角度的 XRD 圖譜，可建立交互比對來區隔產源的指紋指標資料。

焚化廠處理的垃圾，依其物理組成分為：可燃性垃圾（布類、天然纖維、果皮、木竹、稻草、廚餘等）、不可燃性垃圾（陶瓷、磚石、灰燼、砂土、花盆等）。垃圾在焚化爐中以 850 °C~1000°C 的溫度焚化，底渣即由爐內排出至出灰器，經水冷方式冷卻後，再由機械裝置連續排出至輸送機，將底渣貯存於底渣貯坑。焚化飛灰主要係指隨廢氣自燃燒室帶出，而由集塵設備捕集之細顆粒物質。

燃煤電廠其所使用之燃料為煤炭，煤炭組成以碳氫化合物為主，其無機元素則以鋁、矽、鈣、鐵居多。煤炭燃燒後所剩下的灰燼就是「煤灰」。由於火力發電廠燃燒的煤炭都先經磨成粉狀微粒，亦稱為微粉煤燃燒方式，當煤粉燃燒達 1000°C~1300°C 以上時後，約有 80% 的灰燼會隨著燃氣上升，當煙氣流到靜電集塵器時，煙氣中大多數的灰燼幾乎都被去除。此部份的煤灰稱為「飛灰」；而另外一部份的煤灰粒徑較粗，重量較大，直接掉到鍋爐底部則稱為「底渣」。

本研究選擇臺灣北、中、南部垃圾處理量較大之 8 座垃圾焚化廠與發電裝置容量較大之 5 座燃煤電廠進行飛灰、底渣採樣，各廠基本資料如表 1、2。其中焚化廠飛灰樣品 18 件，焚化廠底渣樣品 18 件；燃煤電廠飛灰樣品 19 件，燃煤電廠底渣樣品 19 件。

## 二、材料與方法

- (一) 儀器：本研究主要測定儀器包括 WDXRF：Panalytical 公司之 Axios Advanced；XRD：Bruker D8 ADVANCE。
- (二) XRF 檢量線標準品：以 Panalytical 公司提供 IQ<sup>+</sup> 標準件（共 15 片），建立各元素半定量檢量線，在樣品分析前使用 Panalytical 公司提供之 PC3 標準件測試，若檢查結果合格，則可進行樣品分析。
- (三) 樣品來源：燃煤電廠、垃圾焚化廠之飛灰、底渣樣品共 74 件。
- (四) XRF 樣品製作：將固態之飛灰、底渣風乾後，粉碎、研磨、過篩成 100 mesh 之樣品，添加 Binder(Wax, 蠟)，使樣品與 Binder 的重量比例為 2:1，經球磨機處理，再經 Retsch MM 301 混合後壓錠，製成 31 mm 的錠片。
- (五) XRD 樣品製作：將固態之飛灰、底渣風乾後，粉碎、研磨、過篩成 100 mesh 之樣品。

## 三、結果與討論

## (一) 依顏色與外觀區別焚化廠、燃煤電廠廢棄物

焚化廠底渣外觀為灰白色粒狀，飛灰為灰色、灰白色粉狀；燃煤電廠底渣外觀為黑色粒狀，飛灰為黑褐色粉狀。依顏色與外觀，可區分焚化廠或燃煤電廠的飛灰、底渣。

## (二) 建立焚化廠、燃煤電廠廢棄物的 XRF/XRD 圖譜資料

焚化廠、燃煤電廠廢棄物經由 XRF 檢測，可建立其元素組成特徵指紋圖譜；經由 XRD 檢測，可建立其結晶特徵指紋圖譜。將本研究分析之 8 家焚化廠、5 家燃煤電廠樣品圖譜以疊圖處理，得到代表產業特性之 XRF/XRD 圖譜資料，如圖 1~8。由 XRF 圖譜可彙整焚化廠、燃煤電廠具鑑別性指紋特徵之元素如表 3，針對這兩種產業廢棄物之特徵分述如下：

1. 由 XRF 圖譜資料 (圖 1)，焚化廠飛灰含氯鹽及鈣系之未反應物佔大多數，氯 (10~21%) 主要來自垃圾之 PVC 塑膠類；鈣 (10~25%) 主要來自焚化廢氣中和酸氣使用之消石灰 ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )。
2. 由 XRF 圖譜資料 (圖 3)，焚化廠底渣主要來自不可燃性垃圾之陶瓷、磚石、砂土，其無機元素含量以鈣 (13~17%)、矽 (4~7%)、鋁 (1~3%)、鐵 (2~4%) 為主。
3. 由 XRF 圖譜資料 (圖 5)，燃煤電廠飛灰，其無機元素成分以矽 (8~18%)、鋁 (3~8%)、鐵 (3~8%)、鈣 (0.4~7%) 為主。
4. 由 XRF 圖譜資料 (圖 7)，燃煤電廠底渣，其無機元素成分以矽 (13~18%)、鋁 (6~9%)、鐵 (3~6%)、鈣 (0.6~8%) 為主。
5. XRD 圖譜的應用

以上 1~4 所敘述為 XRF 元素圖譜之應用，而 XRD 結晶圖譜亦可如 XRF 圖譜做為廢棄物鑑別之用。由於樣品晶格排列方式差異，所造成 XRD 圖譜的特徵峰角度分佈的不同 (圖 2, 4, 6, 8)，可視為樣品的結晶特徵圖譜，可用來區分不同型態的廢棄物。

對於煤燃電廠底渣、飛灰而言，兩者無機元素組成相近，僅由 XRF 圖譜無法有效分辨燃煤飛灰與底渣在組成上的不同 (圖 5, 7)，但輔以 XRD 圖譜之特徵角度 (圖 6, 8)，則可達到分辨燃煤電廠飛灰與底渣區別的目的。例如煤燃電廠飛灰、底渣，因粒徑大小迥異，造成結晶型態不同，煤燃電廠底渣 XRD 圖譜於特徵角度於  $21.5^\circ\text{C}$  出現信號 (圖 8)，而飛灰在此角度並無出現明顯信號出現 (圖 6)，利用 XRD 圖譜特徵角度的差異，可分辨燃煤飛灰與底渣。

## (三) 不同產源的飛灰，利用 XRF/XRD 鑑別



同樣是燃燒後的飛灰，但由於進料、燃燒溫度的不同，導致焚化廠飛灰與燃煤電廠飛灰性質會有所差異。依 XRF 的檢測結果，焚化廠飛灰 Cl、Ca 含量高，而燃煤電廠飛灰則 Si、Al、Fe 含量高，兩者飛灰成分明顯不同，由 XRF 元素組成圖譜（圖 1，5），可分辨焚化廠、燃煤電廠飛灰之差異。

比較焚化廠飛灰與燃煤電廠飛灰 XRD 圖譜（圖 2、6），兩者飛灰 XRD 圖特徵峰出現的角度不一致、分佈型態也不同，焚化飛灰 XRD 圖譜出現較多的特徵峰，顯示其結晶成分較為複雜。綜合上述，利用 XRF 元素圖譜輔以 XRD 結晶圖譜，相互交互比對，可分辨源自焚化廠或燃煤電廠之飛灰。

#### 四、結論

- （一）經由 XRF/XRD 檢測所建立的特徵指紋圖譜資料，能夠鑑識飛灰與底渣廢棄物屬於燃煤電廠或垃圾焚化廠之產業類別。
- （二）利用 XRF 對固體廢棄物組成的分析，輔以 XRD 對於結晶物晶相的檢測，對於非法棄置廢棄物案件，經由 XRF/XRD 圖譜比對，可快速蒐尋與縮小範圍，幫助追蹤查證可能的廢棄物產源。

#### 參考文獻

1. 劉沛宏等，2010。「污染源鑑識資料庫建置與應用」。20 週年所慶研討會論文集，行政院環境保護署環境檢驗所，p.95-102。
2. 行政院環境保護署，2004。鋼鐵冶煉業集塵灰之指紋技術建立計畫，計畫編號：EPA-93-103-02-01。
3. 王世冠等，2010。「焚化飛灰理化特徵研究」。環境檢驗所環境調查年報第十七期，p.212-233。

表 1 垃圾焚化廠採樣點基本資料

廠名	98 年廢棄物 總計(公噸)	全國 排序	地 址
台北縣樹林	315364.79	6	台北縣樹林市中山路三段 212 號

台北縣八里	410851.36	2	臺北縣八里鄉下罾村下罾子 65 號
桃園縣	432629.39	1	桃園縣中壢市中壢工業區松江北路 16 號
台中縣烏日	329562.54	4	台中縣烏日鄉東園村 11 鄰慶光路 800 號
彰化縣溪州	290743.84	11	彰化縣溪州鄉水尾村彰水路一段臨 1 號
台南縣永康	325190.04	5	台南縣永康市中山北路 1099 巷 140 號
高雄市南區	306751.7	8	高雄市小港區北林路 6 號
高雄縣仁武	375136.34	3	高雄縣仁武鄉烏林村仁安二巷 100 號

表 2 燃煤電廠採樣點基本資料

廠名	燃煤機組(MW)	地址
台中發電廠	5780	台中縣龍井鄉麗水村龍昌路 1 號
興達發電廠	4326	高雄縣永安鄉鹽田村興達路 6 號
大林發電廠	2400	高雄市小港區海澄裡大林路 3 號
麥寮電廠	1800	雲林縣麥寮鄉三盛村台塑工業園區 7 號
林口發電廠	900	台北縣林口鄉下福村 139-1 號

表 3 具鑑別性指紋特徵之 XRF 元素

廢棄物名稱	特徵元素
垃圾焚化廠飛灰	Cl、Ca、Zn
垃圾焚化廠底渣	Al、Si、Ca、Fe
燃煤電廠飛灰	Si、Al、Ca、Fe
燃煤電廠底渣	Si、Al、Ca、Fe

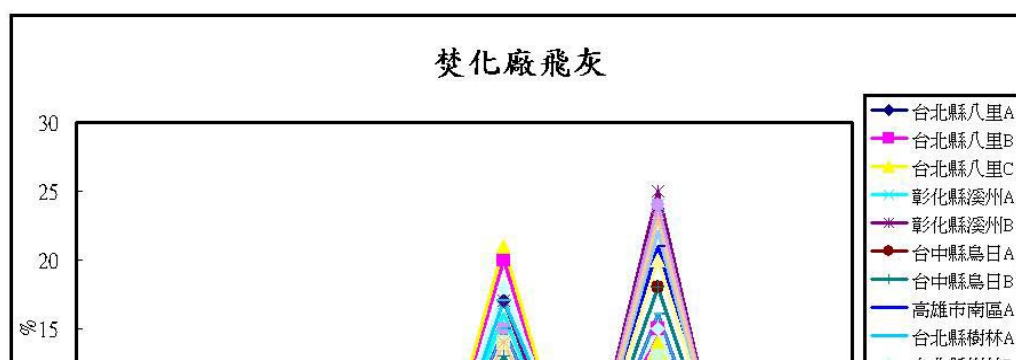




圖 1 焚化廠飛灰 XRF 圖譜

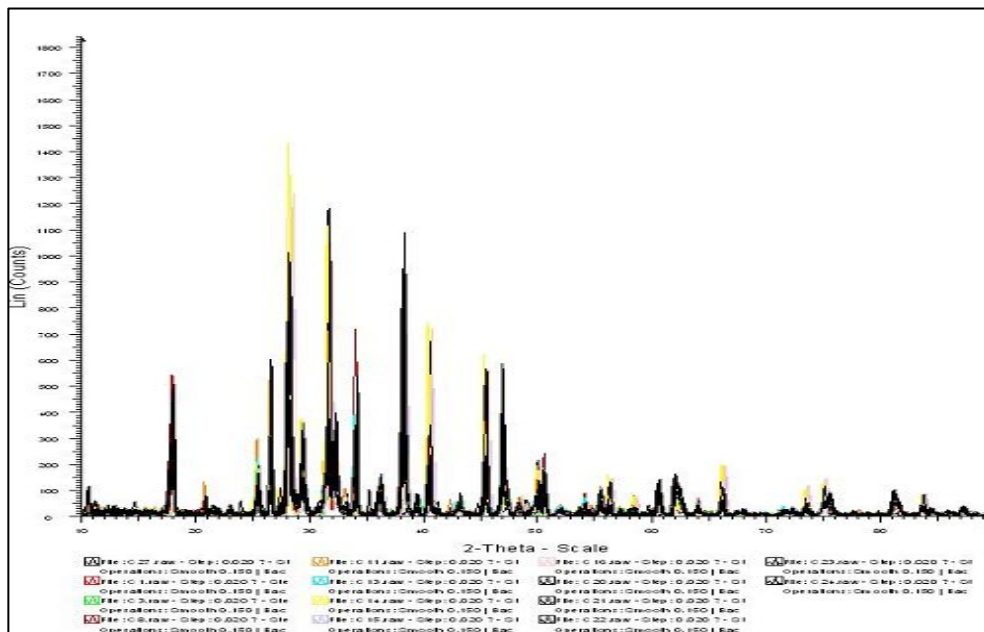


圖 2 焚化廠飛灰 XRD 圖譜



圖 3 焚化廠底渣 XRF 圖譜

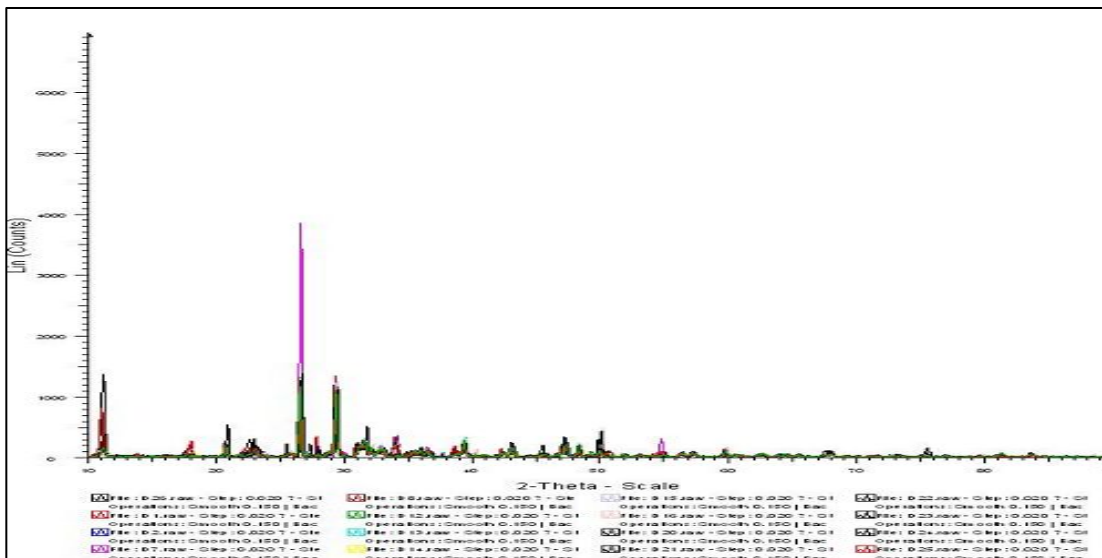


圖 4 焚化廠底渣 XRD 圖譜

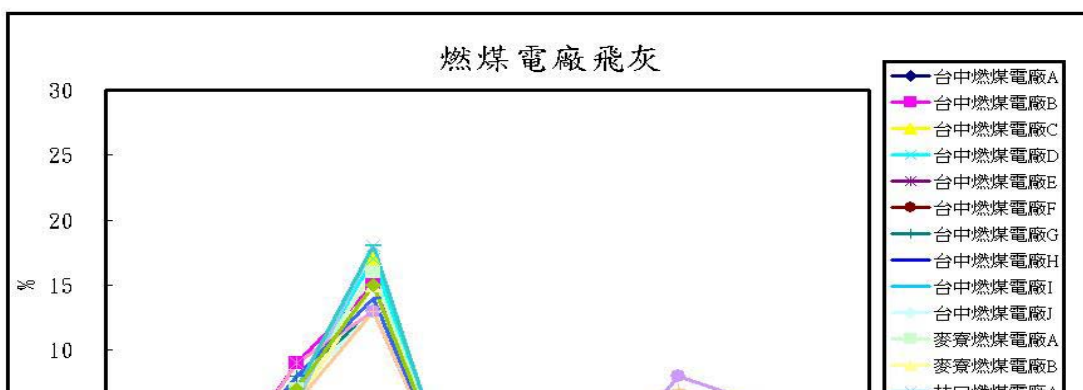




圖 5 燃煤電廠飛灰 XRF 圖譜

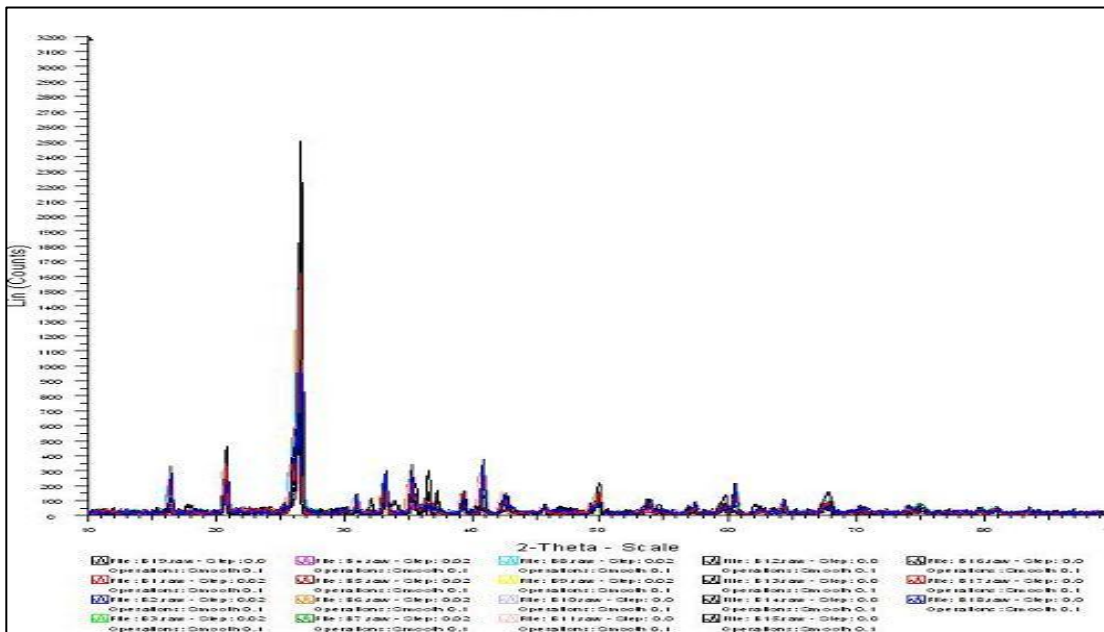


圖 6 燃煤電廠飛灰 XRD 圖譜

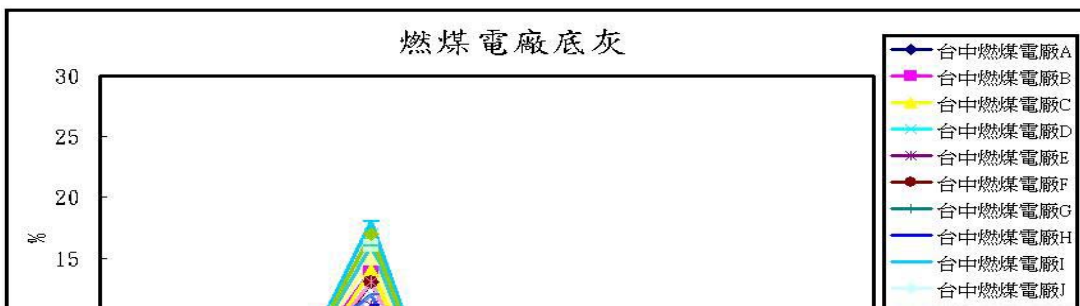




圖 7 燃煤電廠底渣 XRF 圖譜

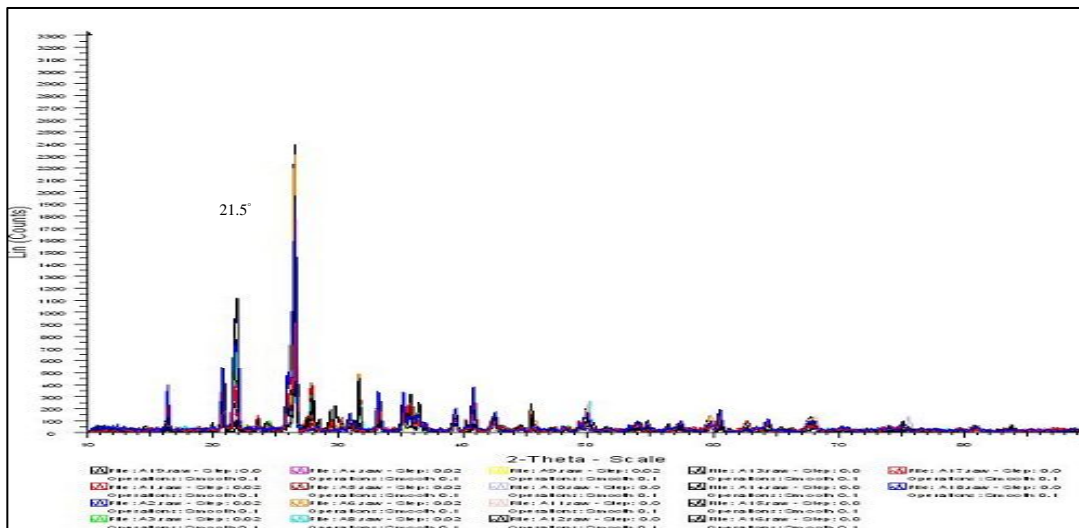


圖 8 燃煤電廠底渣 XRD 圖譜