



# 燃油集塵灰資源化技術

致遠管理學院 謝雅敏 助理教授  
成大資源再生及管理研究中心 陳偉聖 助理研究員

燃油集塵灰的組成成分中有大量的未燃碳粒、以及由鈳、鎳金屬元素所構成的少量化合物，這些是具有經濟效益的資源物質，利用溶解、分離、濃縮、純化等濕式冶金處理方法，可在處理燃油集塵灰的同時，有效回收這些資源物質，並防止粉塵二次污染。所回收的大量未燃碳粒可作為廢水處理的吸附材料使用，廢水處理效率可及活性炭，而回收的鈳、鎳濃縮物，藉由化工程序精製，可生產高價的鈳酸銨、硫酸鎳產品。

## 燃油鍋爐產生的集塵灰

在燃油鍋爐燃燒燃料油的過程中，噴霧油珠瞬間劇烈氧化燃燒，轉變為大量的二氧化碳氣體，釋放出高熱量供為熱能、電能所用。而在高溫鍋爐內，燃燒所發生的大量廢氣，除了二氧化碳等氣體之外，還有些微小的粒狀物存在其中，如：未完全燃燒的碳粒，以及原本重油含的硫、鈾、鎳、鐵等少量成分的高溫裂解化合物。根據環保法規訂，廢氣中粒狀物排放總量需要管制(如排氣量在 $10,000\text{Nm}^3/\text{min}$ 以下時，容許排放濃度為 $53\text{mg}/\text{Nm}^3$ 以下)，因此為防止粒狀物擴散造成空氣污染，鍋爐廢氣在排放至大氣之前，會先通過集塵器攔截收集粒狀物，即所謂的燃油集塵灰。

國內的燃油鍋爐數量眾多達數千座以上，火力發電用途為主的大型燃油鍋爐有2座，位於台電的協和廠與大林廠，其餘都是工業用的中小型燃油鍋爐，由於工業用中小型鍋爐數量眾多，燃油集塵灰的發生量除台電有確實的統計資料外，其餘的僅有推估資料。根據民國94年經濟部能源統計年報指出的石油消耗量，台電發電鍋爐燃料油年消耗量為4,304千公秉，發生燃油集塵灰合計2,700噸左右，以燃油消耗量等比例估計，中小型工業鍋爐的燃料油年消耗量為20,811千公秉，估計集塵灰量約在13,500噸左右，合計國內年總量在

16,200公噸左右。

目前台電處理燃油集塵灰是以減量、處置為優先考量，運用混燒技術處理燃油集塵灰，將燃油集塵灰採低比例直接混入燃煤中，運送至燃煤鍋爐燃燒，使集塵灰中碳粒燃燒達成減量，同時也回收碳所含的部分熱質，台電本身有燃煤鍋爐設備，採用混燒技術可達成廠內的資源再利用，具有免除委外處理的優點，然而此處理方式，無法資源化其中的硫、鈾、鎳等成分，過程中浪費這些資源物質，十分可惜。在國際間，先進國家將燃油集塵灰視為鈾、鎳資源的提煉原料，多採用濕法處理燃油集塵灰，以回收其中的鈾、鎳成分，生產高經濟價值的產品，如五氧化二鈾、偏鈾酸銨、硫酸鎳、硫化鎳等，在日本與加拿大已有資源化廠實際商業化運轉中，相關的資源化研發技術彙整於表1所示。有鑒於國內缺乏天然金屬礦藏，資源多仰賴進口，對於每年發生量大且蘊藏高價資源的燃油集塵灰，未來應朝向提煉有價資源的方向，積極從事燃油集塵灰資源化工作，使資源充分利用。

## 燃油集塵灰特性與資源化關鍵

燃油集塵灰是一種易隨風飄揚的黑色粉塵，主要是由微細的未燃碳粒所構成，未燃碳粒表面附著一些硫酸鹽、氫鹽、以

表1 燃油集塵灰資源化技術歸納彙整表

國別	濕法/火法	純化技術	產物	參考文獻
加拿大*	濕法	沉澱	五氧化二釩	William M. Henry(1965)
法國	濕法	沉澱	五氧化二釩、氧化鈣	Philippe Guillaud(1975)
加拿大	濕法	溶媒萃取	偏釩酸銨	H. Otterturn(1979)
加拿大	火法焙燒再濕法	水氣焙燒，晶析	五氧化二釩	Gomez bueno(1981)
義大利	濕法	溶媒萃取	五氧化二釩	Carlo Giavarini(1982)
加拿大	火法	融煉	釩、鐵、鎳合金	C.A.Pickles(1983)
日本*	濕法	晶析	五氧化二釩	塚越邦光(1985)
日本*	濕法	晶析 沉澱	偏釩酸銨 硫酸鈣	金子紀男(1992)
韓國	濕法	沉澱 晶析	五氧化二釩 硫酸鎳	Kyung_Ho Park(1993)
日本	濕法	沉澱 溶媒萃取	硫化鎳 偏釩酸銨	Shigendo Akita(1995)
中華民國	濕法	溶媒萃取 溶媒萃取	硫酸鎳 偏釩酸銨	蔡尚林(1997)

\*已商業化運轉

(資料來源整理自文獻：蔡尚林，成功大學博士論文，民國87年，1-6頁)

及少量金屬物等，化學成份比例約是40～65%的碳、20～30%的硫酸鹽、10%以下的銨鹽、以及各在1～2%的少量金屬化合物。將燃油集塵灰置入酸、鹼度調整適當的水溶液中，硫酸鹽、銨鹽、金屬化合物等成分會自碳粒表面溶解至溶液中，此時將固體與溶液分離，可提出含鹽類與金屬物離子的溶液，留下未燃碳粒，利用此特性可以使鈾、鎳等資源物質回收在溶液中，含鈾、鎳的溶液後續再由已相當成熟的冶金技術予以濃縮、純化，即可達成生產鈾、鎳產品的目的。

在上述資源化燃油集塵灰的濕法處理技術中，不論採用何種酸鹼溶液處理，皆會留下未燃碳粒，由國內燃油集塵灰的年發生量推測，蘊含未燃碳粒六千到一萬噸左右，發生量龐大不容忽視。未燃碳粒顆粒微細、輕質，露天堆置易造成粉塵飛揚污染，又蓬鬆(堆積密度僅約 $0.2\text{g}/\text{cm}^3$ )佔空間，資源化處理廠在回收鈾、鎳資源後，留下體積量僅略少於進料量的大量未燃碳，如何妥善將其資源化成為產品，避免耗費高額廢棄物掩埋或焚化成本，則是燃油集塵灰資源化廠實際運轉的重要關鍵。

近年來能源價格大幅增多，仰賴石油、煤炭製造的碳材料價格也隨之水漲船高，發展未燃碳資源化成為碳材料的研究工作逐漸受到各界注意。未燃碳的資源特性眾多，有近似活性碳的吸附能力、類似石

油焦炭的石墨化性、高熱質、高化學穩定性等，資源化用途有多方向發展的可能，建議從未燃碳年發生量六千噸到萬噸左右的立場，考慮市場接納量足夠的用途，如吸附材料、燃料等。

## 國內技術介紹

國內燃油集塵灰資源化技術開發開始於民國76年左右，由國立成功大學礦冶材料系(現在的資源工程系)蔡敏行教授帶領研究生投入研究開始，陸續引起台電研發人員與相關學者的重視；至民國88年，提出國內自行研發的資源化技術，並完成先導廠實驗取得操作重要參數。國內技術特色主要是採用兩段式浸漬方式，分別回收鎳、鈾資源以及未燃碳，技術流程如圖1。燃油集塵灰經過第一段銨浸漬回收鎳，鎳溶液經過萃取處理，濃縮成為硫酸鎳溶液，濃度可達 $28.5\text{g}/\text{L}$ 以上，已可販售做為電鍍液使用。剩下固體渣經過第二段鹼浸漬以回收鈾，鈾溶液經過萃取處理，濃縮成為偏鈾酸銨溶液，濃度可達 $30\text{g}/\text{L}$ 以上，可販售作為工業原料使用。第二段剩下的固體渣經洗淨大部分殘留鹼液後，獲得未燃碳粒，由於鹼浸漬而來的未燃碳粒，對成分複雜的實際染整廢水有相當於活性碳的脫色效率，可販售作為廢水處理之吸附材料使用。

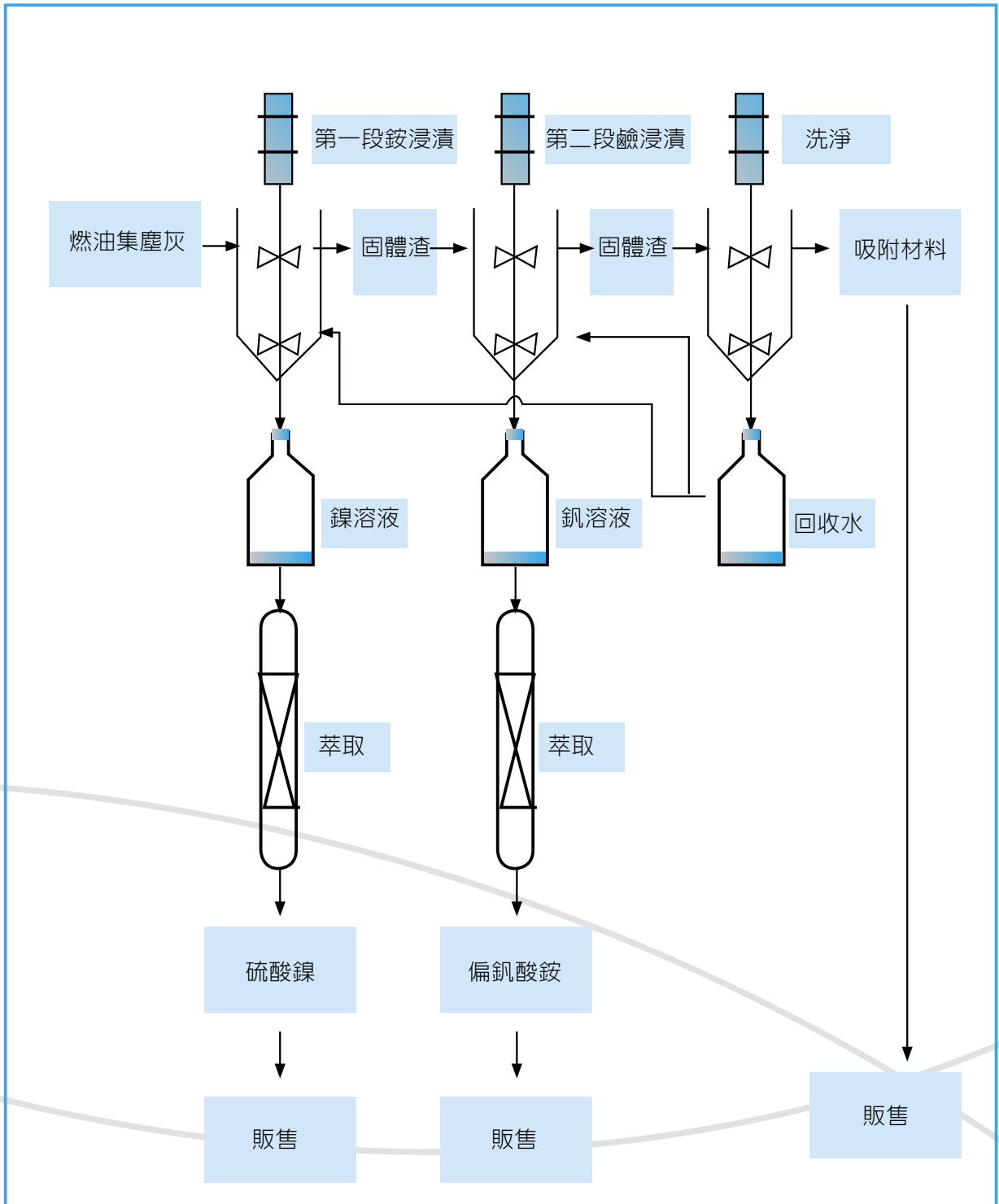


圖 1 燃油集塵灰資源化技術流程圖





## 結語

燃油集塵灰的組成中含有未燃碳、鈾、鎳等資源，依資源物質含量比例與市值估計價值總合每噸高達四萬台幣以上，經濟效益可觀。希望藉由國內技術介紹，幫助促成環保業投入成立燃油集塵灰資源化廠，在獲得高經濟效益的同時，也達到資源充分利用，為國內環境保護盡一份心力。

## 參考文獻

1. 蔡尚林，博士論文，燃油飛灰性質及資源化研究，國立成功大學，民國87年。
2. 謝雅敏，博士論文，燃油飛灰中未燃碳資源化之基礎研究，國立成功大學，民國94年。
3. 中華民國發明專利I262107，「用於處理廢水之殘碳吸附劑及處理廢水之方法」。