

# 鋁渣處置與管理現況探討

林健榮

嘉南藥理科技大學環境資源管理系副教授

盧幸成

成功大學資源再生及管理研究中心助理研究員

葉俊廷、蔡志威

嘉南藥理科技大學環境資源管理系碩士生

戴年禧

嘉南藥理科技大學環境資源管理系研究助理

## 摘 要

鋁具有優異物化特性，廣泛利用於機械設備、建築、航太、電子及日常生活等相關領域，是國家經濟發展的重要基礎原料。然而鋁金屬在冶煉的過程中會產生副產物鋁渣及鋁集塵灰，兩者具有易與水或潮濕空氣反應的特性，處置不當會衍生空氣與水污染之環境問題。本文就金屬鋁冶煉現況、鋁渣危害特性與國內管理現況進行剖析，期能藉由瞭解鋁渣處置遭遇問題，正視國內事業廢棄物去化與管理相關議題。

關鍵字：鋁渣、鋁集塵灰、資源化

## 一、鋁的冶煉現況

鋁為地殼中含量最豐富的金屬元素，其存量僅次於氧與矽。由於鋁具有優異材料特性，例如材質輕、導電率僅次於銀和銅、導熱快速、延展性佳、抗磁化、反射性高及耐腐蝕等。因此相關材料廣泛被應用在機械設備、建築、航太、電子及日常生活等相關領域，是國家經濟發展的重要基礎原料。

由於金屬鋁的活性很高，容易與氧結合，自然界中鋁元素主要是以氧化鋁水合物-鋁土礦的型態存在於地殼中。金屬鋁之冶煉可分為一次冶煉及二次冶煉，一次冶煉為直接從鋁礦土煉製金屬鋁，主要包括鋁土礦開採、氧化鋁生產和電解



還原鋁金屬等三個步驟。一次冶煉程序提煉鋁金屬屬於能源密集型產業，多集中在具有鋁土礦的國家，如中國大陸、美國、澳洲、巴西等。其中廣泛用在生產氧化鋁步驟所採用的拜耳法(Bayer process)，亦會產生對環境具有危害性的廢棄物赤泥，赤泥組成含有無法被苛性鹼溶解的氧化鐵、二氧化鈦、氧化矽及微量重金屬不純物，酸鹼值高達 12 以上。由於每提煉一噸氧化鋁會產生 1 到 1.6 噸赤泥，估計全世界每年產生赤泥達 1 億 2000 萬噸<sup>(1)</sup>。再者一次冶煉程序在電解還原鋁金屬過程中，因為依賴大量電力需求而與 CO<sub>2</sub> 排放緊密相關外，陽極同時會產生 CF<sub>4</sub> 及 C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> 兩種溫室效應氣體<sup>(2)</sup>。因此著眼於環境保護與地球永續發展，透過二次冶煉程序煉製金屬鋁的比例越來越高。

利用回收含鋁物質提煉金屬鋁的程序稱為二次冶煉，鋁二次冶煉設備多數使用傳統火法冶金爐，如反射爐或坩堝爐等。所有的鋁製產品使用後都可以回收利用，典型的廢鋁來源是用飲料罐、鋁箔、擠壓件及商業廢料等。熔煉過程之衍生廢棄物以鋁渣及鋁集塵灰為大宗。熔煉一噸鋁錠約產生 100 公斤鋁渣及 10 公斤集塵灰。鋁的回收利用在煉鋁產業是極其重要的一環。與原生鋁相比，提煉再生鋁只須消耗一次冶煉 5% 的能源、5% 的溫室氣體排放。此外，二次冶煉節省了原料鋁礦土開採，人類活動製造的含鋁廢棄物可被再利用，同時減少廢棄物處置費用。根據統計，1990 年全球鋁總產量約為 2800 萬噸（其中超過 800 萬噸是從鋁廢料回收再利用），而 2010 年的總產量約為 5600 萬噸（其中超過 1800 萬噸是從廢料回收而來）。目前在歐洲國家，有超過一半的鋁是回收煉製而來，回收趨勢正持續成長（原生鋁總產量為 300 萬噸，而 450 萬噸的鋁來自二次冶煉）<sup>(3)</sup>。對於台灣、日本等缺乏天然鋁礦土國家，能源亦高度仰賴進口，因此鋁金屬取得與鋁製品加工皆仰賴進口或藉熔煉回收鋁廢料之二次冶煉程序。

## 二、鋁渣的來源

金屬鋁的活性高，在高溫冶煉時極易氧化，因此在二次冶煉過程中，會藉由添加鹽類混合物，使低熔點鹽類先形成熔渣保護層，阻絕熔融鋁金屬和表面氣體接觸。例如在利用旋轉爐提煉鋁金屬過程中，除了添加浮渣廢料/廢鋁料作為原料外，還會投入氯化物或氟化物等鹽類混合物（最高達 50%）。當利用重油或天然氣加熱過程中，熔融態鋁金屬及鹽類接觸到空氣時會在熔體表面形成鋁氧化物，這層物質可防止鋁金屬與大氣作用，提高冶煉比例<sup>(4)</sup>。同時亦具有減少爐溫散失、富集分離金屬，並捕集熔煉過程中不純物（例如存在廢鋁料中有機物、塑膠

以及塗料在冶煉過程中將衍生的氧化物、亞硝酸鹽、磷酸鹽、硫酸鹽、碳化物等產物<sup>(5)</sup>等功用。待熔融程序結束後，表層液態金屬和浮渣可從熔爐中耙除，此時原料中的非金屬成分完全地被熔液(liquid flux)吸收，該熔液降溫後形成所謂的鋁渣<sup>(6)</sup>。一般而言鋁渣含有 5-7%殘留的金屬鋁、15-30%的氧化鋁、30-55%的氯化鈉及 15-30%的氯化鉀，因廢料成分不同還有可能含有與鋁結合之碳化物、氮化物、硫化物及磷化物<sup>(7,8)</sup>等。

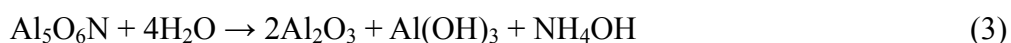
### 三、鋁渣對環境危害特性

二級冶煉廢鋁渣在我國雖然屬於一般事業廢棄物，然而其遇水容易產生化學變化的特性，在歐洲危險廢物目錄(European Waste Catalogue and Hazardous Waste List)<sup>(9)</sup>中，鋁渣被列為有害廢棄物(編號 10 03 08: wastes from aluminum thermal metallurgy, salt slags from secondary production)。它被認為是具"高度易燃"(H3-A: 廢棄物與水或潮濕空氣接觸，量多時易產生易燃氣體)、"刺激性"(H4: 非腐蝕性物質或製劑，當長期或重複接觸皮膚或黏液膜可會造成發炎)，"對人體有害"(H5: 如果它們被吸入、攝入或穿透皮膚，會涉及否些健康風險) 和"具溶出性的"(H13: 廢棄物經處理後會產生另一種物質)<sup>(9,10)</sup>。

因此，鋁渣若經不當處置，除有害金屬離子可能會透過地表水釋出而污染環境外<sup>(11)</sup>，鋁渣與水的高度反應性(甚至是空氣中的濕氣)將導致形成有毒、對人體有害、具爆炸性和令人不舒服的惡臭氣體，如氨、甲烷、磷化氫、氫氣和硫化氫等，對環境安全將造成威脅。相關反應如下所示<sup>(4,12-18)</sup>：

#### (一)產生氨氣

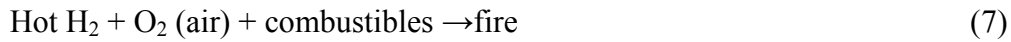
氨氣為鋁渣中氮化物水解所致，其為鋁渣不當堆置時主要的臭味產生來源，反應如下：



#### (二)產生氫氣



氫氣易溶於水，同時會造成周遭酸鹼度提高至 pH 9 或更高，在高 pH 值環境下進一步會溶解鋁渣粒子表層上之氧化鋁層，造成內層未反應的金屬鋁與水反應產生氫氣，反應如下：



### (三)產生甲烷

鋁渣中碳化鋁 ( $\text{Al}_4\text{C}_3$ ) 與水反應時會產生甲烷，因此鋁渣中甲烷氣潛在釋出量可從其所含碳化鋁量的多寡來推估，反應式如下：



### (四)產生氰化氫

此外當鋁渣存在於較高溫度與壓力下 (如掩埋場的底層)，亦有可能產生氰化物，進一步水解釋出有害物質氰化氫，其反應如下：



### (五)產生磷化氫與硫化氫

鋁渣中除了氮化鋁與碳化鋁之外，鋁渣尚存在鋁的磷化物與硫化物，兩者皆同樣會快速與水或潮濕空氣發生反應，產生有毒磷化氫或硫化氫，反應如下：



因此，若直接以掩埋方式處置鋁渣，相關污染物阻隔設施會提高處置成本，而且恐怕仍存在污染空氣與水的環境風險。

## 四、鋁渣管理現況

環保署依據廢棄物清理法第三十一條，公告事業登記資本額新臺幣一百萬元以上，或一般事業廢棄物實際或設計最大月產量十公噸以上，或產出有害事業廢棄物者應檢具事業廢棄物清理計畫書並應以網路傳輸方式申報廢棄物產出、貯

存、清除、處理及再利用情形。台灣鋁渣與鋁集塵灰主要產源為鋁鑄造業與鍊鋁業等鋁基本工業，符合上述條件由環保署列管之廢鋁渣與鋁集塵灰產源事業於 98 年度計有 85 廠家，廢鋁渣與鋁集塵灰年平均產出量分別為 10,000 公噸及 2,600 公噸，廢鋁渣占全國事業廢棄物總量約 0.06%~0.08%，主要仍以掩埋方式處理；鋁集塵灰則約占 0.02%~0.03%，以掩埋、固化及廠內再利用為主。

廢鋁渣與鋁集塵灰屬一般事業廢棄物，國內年產出量約 1 萬 2,600 公噸。根據監察院公報於 100 年 3 月針對廢鋁渣處置不當問題提出之調查報告（派查字號：0990800394），目前國內營運中之民營掩埋場計有 6 場，可供掩埋處理廢鋁渣及鋁集塵灰等事業廢棄物之民營掩埋場僅剩高雄市（控管進場量 5.8 萬公噸/年，剩餘掩埋年 3.2 年）、桃園縣（控管進場量 3 萬公噸/年，剩餘掩埋年 1.5 年）兩座掩埋場。公有一般廢棄物掩埋場部份，由於以處理家戶垃圾為主，相關污染防治設施規模、效能、技術及操作條件恐無法收納如鋁渣、鋁集塵灰等污染潛勢較高之一般事業廢棄物，因此自民國 96 年起即未開放處理事業廢棄物。

目前全國不可燃事業廢棄物 94 年至 98 年平均掩埋需求量約為每年高達 45 萬公噸，整體掩埋容量存在不足現象，間接造成廢鋁渣與鋁集塵灰進場處理排擠效應與處理費用日趨高漲等問題，導致近年來相關廢棄物因不當堆置造成環境污染問題時有所聞。鑑於社會大眾對於環境品質的意識崛起，以謹慎態度規範各種工業廢棄物處置方式蔚為世界潮流。鋁渣因其特殊物化特性（鋁渣鹽類的可溶性與受潮時易產生有毒、易爆的氣體），導致掩埋處置費用(operational cost)過高。目前歐美等先進國家都傾向減少以掩埋方式處置鋁渣等事業廢棄物，藉此降低任何鋁或其他金屬污染環境之風險。越來越多的環保法規已迫使歐美國家的再生鋁工業考慮相關回收技術、減少生產過程廢物的產生。

目前鋁渣回收與資材化技術，在經濟面和法規面等因素驅策下已漸漸發展成熟。例如鋁渣成份中金屬鋁可透過粉碎篩分、浮除、靜電分離、溶媒萃取等技術組合進行回收。鹽類可透過粉碎與水洗方式回收氯化鈉、氯化鉀，重複使用於冶煉程序<sup>(19)</sup>。另外經過金屬回收過程後鋁渣殘留物（含有氧化鋁和其他合金），在水洗或鍛燒後有潛力可被使用在水泥生料、陶瓷材料、鋁化合物合成、農地改良劑等各種領域中<sup>(20-23)</sup>。

依據我國廢棄物清理法第三十九條規定，事業廢棄物之再利用，應依中央目的事業主管機關規定辦理。目前鋁渣與鋁集塵灰再利用中，僅鋁集塵灰納入公告之事業廢棄物再利用種類及管理方式（表 1），當鋁集塵灰可溶性鋁達 17%以上時，可作為高爐鐵水脫硫摻配料。其餘鋁渣再利用皆以個案申請為主，去化數量



相當有限，因此主管機關如何落實源頭管理，暢化鋁渣處理與資源化管道，實為當務之急。

表 1 鋁集塵灰公告再利用之管理方式

再利用種類	再利用管理方式
編號三十八、鋁二級冶煉程序集塵灰	一、事業廢棄物來源：鋁鑄造業於鋁熔煉製程（熔化鋁製程、回收鋁液製程或冷卻製程）在空氣污染防治設備所收集之集塵灰，且可溶性鋁含量在百分之十七以上者。但依相關法規認定為有害事業廢棄物者，不適用之。 二、再利用用途：高爐鐵水脫硫摻配料。 三、再利用機構應具備下列資格：領有工廠登記證或符合免辦理登記規定之製造業，其產品至少為下列之一項：鋼錠、鋼胚、鑄鋼、鑄鐵品或其他相關產品。 四、運作管理： (一)再利用機構應具有鐵水脫硫等相關設備。 (二)再利用後之剩餘廢棄物應依廢棄物清理法相關規定辦理。 (三)再利用用途之產品應符合國家標準、國際標準或該產品之相關使用規定。

## 五、結語

目前我國廢鋁渣與鋁集塵灰年產出量約 1 萬 2,600 公噸，雖屬一般事業廢棄物，環境毒性較低，惟其去化管道仍未能滿足妥善管理需求。建議相關主管機關除積極輔導業者提升冶煉技術，降低廢鋁渣與鋁集塵灰年產出量外，可同時進行鋁渣嫌惡性臭味降低或控制/穩定化技術探討，使鋁渣貯存或再利用過程，不致衍生臭味而招致民眾陳情。

## 參考文獻

1. Klauber, C., Gräfe, M., and Power, G., Bauxite residue issues: II. Options for residue utilization. Hydrometallurgy., Vol.108, pp.11-32, 2011.
2. Zheng, L. and Soria, A., Prospective Study of the World Aluminum Industry, JRC Scientific and Technical Reports, EUR 22951EN, JRC European Commission, Brussels, 2007.
3. IAI, Global Aluminium Recycling: A Cornerstone of Sustainable Development, Global Aluminium Recycling Committee, International Aluminum Institute,

- London, 2009.
- 4.Unlu, N. and Drouet, M.G., Comparison of salt-free aluminum dross treatment processes, *Resources Conservation & Recycling*, Vol.36, pp.61-72, 2002.
  - 5.Graczyk, D.G., Essling, A.M., Huff, E.A., Smith, F.P., and Snyder, C.T., Analytical chemistry of aluminum salt cake, *Proceedings of Sessions, TMS Annual Meeting, Warrendale, PA*, pp.1135-1140, 1997.
  - 6.Zhang, L., State of the art in aluminum recycling from aluminum dross, in: *Light Metals, Proceedings of Sessions, TMS Annual Meeting, San Antonio, TX*, pp.931-936, 2006.
  - 7.Hwang, J.Y., Huang, X., and Xu, Z., Recovery of metals from aluminum dross and salt cake, *Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering*, Vol.5, pp.47-62., 2006.
  - 8.Jody, B.J., Daniels, E.J., Bonsignore, P.V., and Karvelas, D.E., Recycling of aluminum salt cake, *Journal of Resource Management and Technology*, Vol.20, pp.38-49, 1992.
  - 9.Ireland EPA, European Waste Catalogue and Hazardous Waste List. Valid from 1 January 2002.
  - 10.Lorber, K.E., and Antrekowitsch, H., Treatment and disposal of residues from aluminum dross recovery, *Proceedings 2nd International Conference on Hazardous and Industrial Waste Management, Crete*, pp.B.2.1, 2010.
  - 11.Das,vB.R., Dash, B., Tripathy, B.C., Bhattacharya, I.N., and Das, S.C., Production of  $\eta$ -alumina from waste aluminum dross. *Minerals Engineering*, Vol.20, pp.252–258, 2007.
  - 12.Xiao, Y., Reuter, M.A., and Boin, U., Aluminium recycling and environmental issues of salt slag treatment. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, Vol.40, pp.1861-1875, 2005.
  - 13.Calder, G.V., and Stark, T.D., Aluminum reactions and problems in municipal solid waste landfills, *Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management*, Vol.14, pp.258-265, 2010.
  - 14.Shinzato, M.C., and Hypolito, R., Solid waste from aluminum recycling process: characterization and reuse of its economically valuable constituents, *Waste Management*, Vol.25, pp.37-46, 2005.
  - 15.Bruckard, W.J., and Woodcock, J.T., Recovery of valuable materials from aluminum salt cakes, *International Journal of Mineral Processing*, Vol.93, pp.1-5, 2009.
  - 16.Lorber, K.E., Disposal of dross on landfill. A case study, *Proceedings of International Solid Waste Association (ISWA), World Environment Congress, Istanbul, Turkey*, 2002.



17. Gil, A., Management of the salt cake from secondary aluminum fusion processes, *Industrial & Engineering Chemistry Research.*, Vol.44, pp.8852-8857, 2005.
18. Shen, H., and Forssberg, E., An overview of recovery of metals from slags, *Waste Management.*, Vol.23, pp.933-949, 2003.
19. Bruckard, W.J., and Woodcock, J.T., Recovery of valuable materials from aluminium salt cakes, *International Journal of Mineral Processing.*, Vol.93, pp.1-5, 2009.
20. Pereira, D.A., Aguiar, B., Castro, F., Almeida, M.F., and Labrincha, J.A., Mechanical behaviour of Portland cement mortars with incorporation of Al-containing salt slags, *Cement and Concrete Research.*, Vol.30, pp.1131-1138, 2000.
21. Lopez, F.A., Sainz, E., Formoso, A., and Alfaro, I., The recovery of alumina from salt slags in aluminium remelting, *Canadian Metallurgical Quarterly.*, Vol.33, pp.29-33, 1994.
22. O'Driscoll, M., Alumina in a Spin, *Industrial Minerals.*, Vol.467, pp.36-43, 2006.
23. Bajare, D., Korjakins, A., Kazjonovs, J., and Rozenstrauha, I., Pore structure of lightweight clay aggregate incorporate with non-metallic products coming from aluminium scrap recycling industry, *Journal of the European Ceramic Society* Vol.32, pp.141-148, 2012.

參考網址：

1. 行政院環境保護署：<http://www.epa.gov.tw>
2. 經濟部工業局，工業廢棄物清理與資源化資訊網：  
<http://proj.moeaidb.gov.tw/riw/page7-2-1.asp>