

淺談爐渣的宿命與資源化的重要性

陳盈良 助理教授

國立成功大學資源工程學系

「爐渣」(slag, 也稱作爐渣、爐石)對大多數的人而言可能是一個陌生但卻有點熟悉的名詞。陌生是因為一般人很難清楚的說出爐渣是什麼;有點熟悉的原因則是每隔一段時間就會在新聞媒體聽聞爐渣的相關報導。然而,登上新聞通常都不是好的事件,搜尋相關新聞可發現近期的有:「台南學甲農田爆非法掩埋爐渣,檢方要求清除」(民視新聞網,2022年1月)、「萬丹空地曾遭堆爐渣,清除後又見太空包」(公視新聞網,2021年10月)、「台南後壁農地非法掩埋爐渣,南檢起訴賴姓兄弟」(中央通訊社,2021年9月),而過往較知名的新聞事件則有「台北文創大樓被點名使用爐渣!文化局:最短時間進行全面建物安檢」(風傳媒,2016年3月)、「旗山農地遭回填爐渣,來源指向中鋼」(自由時報,2014年12月)、「林益世收賄6300萬喬爐下渣契約,誣告媒體判刑5月定讞」(東森新聞網,2019年10月)等。因此,我們可以說爐渣就是一個萬惡不赦、一無是處的東西,應該避之惟恐不及嗎?其實,爐渣背負的污名可以說是它天生的宿命,然而從資源永續的角度來看,若能適材適所的將爐渣資源化使用在合宜的地方,它仍然是一個有用途、有價值的材料。以下針對爐渣常見的疑問提供相關的說明,期能讓大家對於爐渣有較清楚的瞭解。

什麼是爐渣?

爐渣一般泛指各種金屬冶煉過程中產生的殘渣,主要包含鋼鐵、鋁、銅的冶煉等,其中係以煉鋼製程產生的爐渣為數最多。煉鋼製程一般可以分為一貫作業煉鋼製程(例如:中鋼、中龍等公司)及電弧爐煉鋼製程(例如:東和、豐興、唐榮等公司)2大類,如圖1與圖2所示。一貫作業煉鋼製程係以「鐵礦」作為原料,製程中添加焦炭、石灰石等物質於高溫下將鐵礦中的氧化鐵還原為鐵水,再逐步脫磷、脫硫後形成鋼液;而電弧爐煉鋼製程可區分為碳鋼與不鏽鋼製程,主要以「廢鐵、廢鋼」作為原料,添加生石灰、焦炭等物質並利用電弧爐的高溫精煉去除雜質後得到鋼液。

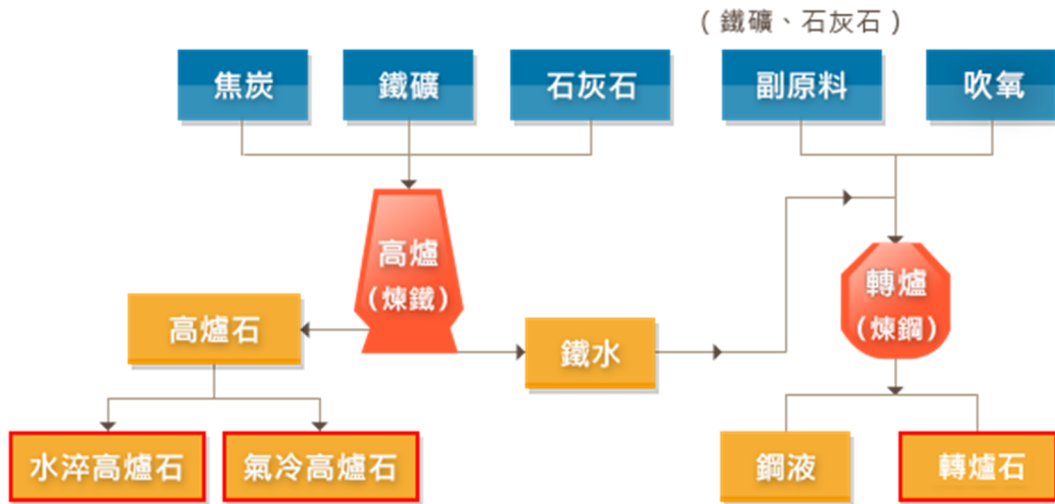


圖 1 一貫作業煉鋼製程

(原始圖片來源：中聯資源公司)

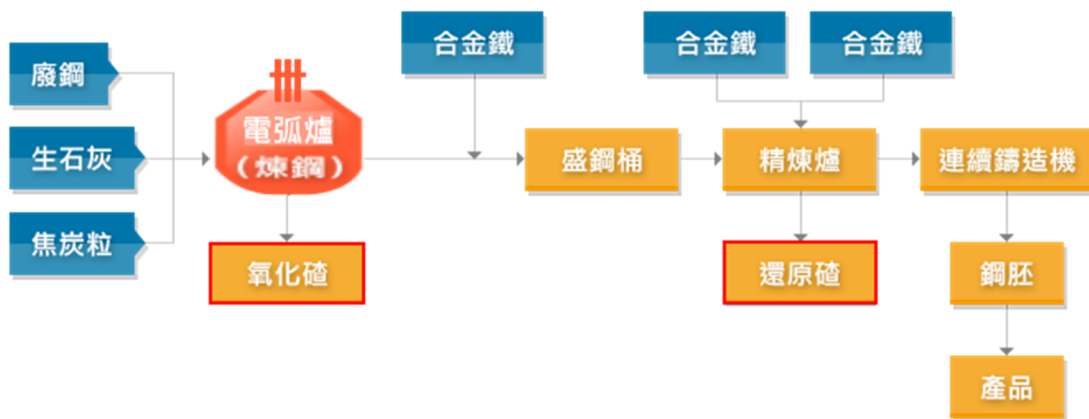


圖 2 電弧爐煉鋼製程

(原始圖片來源：中聯資源公司)

一貫作業煉鋼製程會產出高爐石 (blast furnace slag)、轉爐石 (basic oxygen furnace slag) 及脫硫渣 (desulfurization slag) 等數種爐渣，電弧爐煉鋼製程則會產出氧化渣 (oxidizing slag) 及還原渣 (reducing slag)，統稱為電弧爐爐渣 (electric arc furnace slag)。根據行政院環境保護署針對各種爐渣定義之說明，高爐煉鐵產生的高爐石經過露天自然冷卻後形成氣冷高爐石，國內每年約產生 15 萬公噸；而經過水柱急速冷卻粒化則會成為玻璃態的水淬高爐石，屬於經濟部公告之再生資源，每年產量約為 270 萬公噸。一貫作業煉鋼製程產出之轉爐石與脫硫渣之平

均年產量則分別約為 150 萬噸與 37 萬噸。電弧爐煉鋼製程包含氧化期與還原期等 2 階段，各階段分別產出氧化渣與還原渣，國內平均年產量約為 108 萬噸與 43 萬噸。圖 3 為各種煉鋼爐渣之外觀，氣冷高爐石由於冷卻速度較慢因此具有較大的粒徑，且表面與內部常可發現孔洞的構造；水淬高爐石在急速冷卻下則被粒化為玻璃質的小顆粒，外觀類似砂砂。轉爐石與電弧爐渣經過粉碎、篩分等程序後外觀與天然碎石相似。相較於天然碎石，煉鋼爐渣通常具有較高的比重（2.4~3.6）與顆粒強度（100~200 N/mm²），以及相近的吸水率（1~2%）與抗凍融能力（<0.5%），因此適合作為土木、道路等工程材料使用（歐洲爐渣協會，2020）。

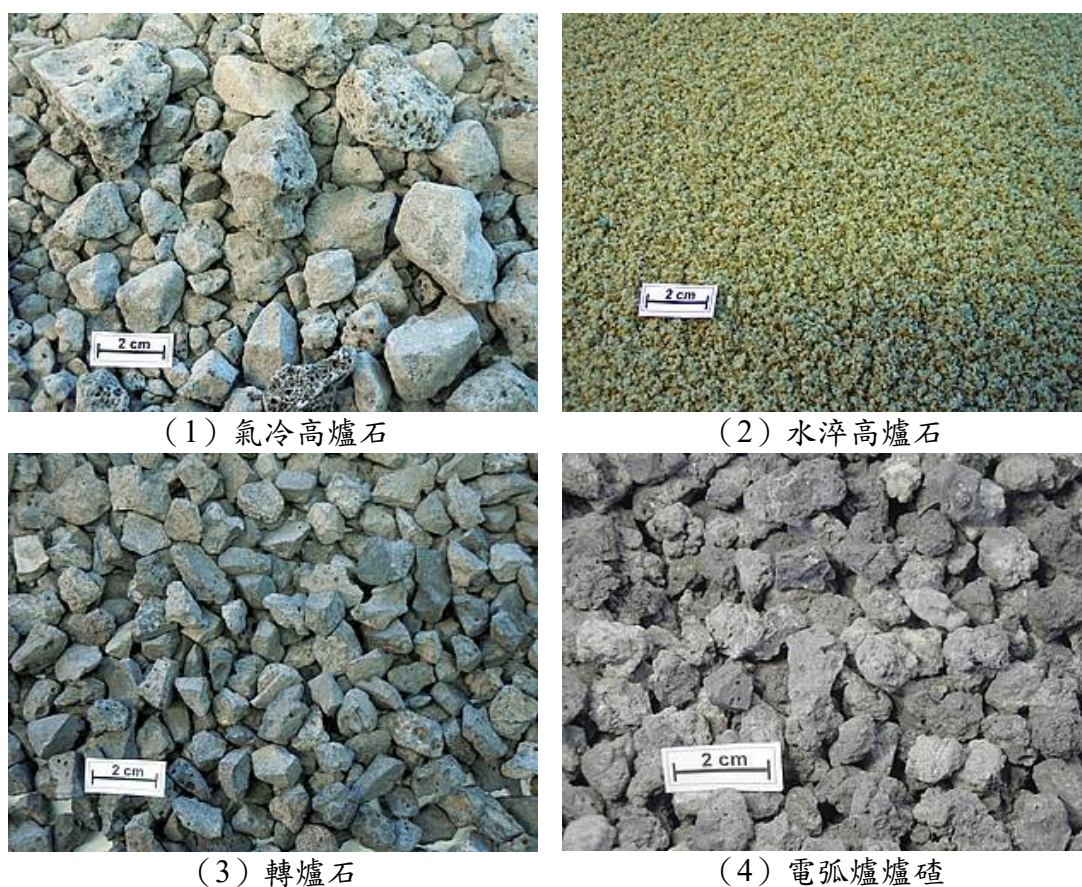


圖 3 各種煉鋼爐渣之外觀

（圖片來源：歐洲爐渣協會）

日本爐渣協會（Nippon Slag Association）指出各類煉鋼爐渣之主要成分皆以氧化鈣（CaO）及二氧化矽（SiO₂）為主，其他組成包含氧化鎂（MgO）、氧化鋁（Al₂O₃）及微量的硫（S）、五氧化二磷（P₂O₅）、氧化錳（MnO）等化合物。煉鋼製程之爐渣亦常富含鐵及鐵氧化物，常以總鐵（T-Fe）表示。表 1 為各類煉鋼

爐渣典型的化學組成，可發現爐渣含有的主成分種類與安山岩、水泥相似，但各成分之含量則因爐渣種類而有顯著差異。高爐石含有較多的二氧化矽，使得其特性近似於卜特蘭水泥；轉爐石、還原渣含有較高量的氧化鈣，由於煉鋼製程停留時間較短使得部分氧化鈣反應不完全而以游離的形態存在，造成爐渣遇水膨脹、粉化的現象。除了上述的主要成分之外，另有研究調查美國與加拿大 58 個煉鋼廠共 73 個爐渣樣品中所含有的重金屬（Proctor 等人，2000），調查結果顯示鉻（Cr）為爐渣中主要存在的重金屬，以總鉻含量而言，高爐石、轉爐石、電弧爐爐渣（未區分氧化渣與還原渣）之平均含量分別為 132 mg/kg、1,271 mg/kg 及 3,046 mg/kg，然而僅電弧爐渣含有微量六價鉻，平均含量約為 1.2 mg/kg。其他重金屬之含量則因各廠製程而有顯著差異，但多數均小於 100 mg/kg。值得注意的是，煉鋼爐渣含有的重金屬等物質對於應用於農牧用地、水質水源保護區等敏感地區應審慎評估對於環境、生態、食安的潛在風險。

表 1 各類煉鋼爐渣之典型化學組成

組成	高爐石	轉爐石	電弧爐渣		安山岩	卜特蘭水泥
			氧化渣	還原渣		
CaO (%)	41.7	45.8	22.8	55.1	5.8	64.2
SiO ₂ (%)	33.8	11.0	12.1	18.8	59.6	22.0
T-Fe (%)	0.4	17.4	29.5	0.3	3.1	3.0
MgO (%)	7.4	6.5	4.8	7.3	2.8	1.5
Al ₂ O ₃ (%)	13.4	1.9	6.8	16.5	17.3	5.5
S (%)	0.8	0.06	0.2	0.4	-	2.0
P ₂ O ₅ (%)	<0.1	1.7	0.3	0.1	-	-
MnO (%)	0.3	5.3	7.9	1.0	0.2	-
備註：						
1. 資料來源：日本爐渣協會。						
2. 高爐石依據冷卻方式可分為氣冷高爐石與水淬高爐石。						

爐渣有什麼用途？

由於不同爐渣的特性迥異，適合的用途也大相逕庭。氣冷高爐石粒徑大、性質穩定，適合用於各種營建、道路工程；水淬高爐石粒徑小、水化活性高，經研磨為粉末後可替代水泥熟料或添加於混凝土使用。轉爐石因為形狀有菱有角、比重大、耐磨性佳及親油性等性質，多作為瀝青混凝土粒料、施工便道等工程應用。氧化渣可作為水泥原料、水泥製品原料、瀝青混凝土粒料、非結構性混凝土粒料

或鋪面工程（道路、人行道、停車場等）之基層或底層級配粒料。還原渣則因為氧化鈣含量高而易於粉化，主要適合作為水泥替代原料（行政院環境保護署，2012）。日本爐渣協會統計各類煉鋼爐渣之資源化用途比例依序為：水泥(49.3%)、道路(25.8%)、再使用(7.2%)、土木工程(6.9%)、混凝土骨材(4.4%)、地盤改良材(1.8%)、其他(4.0%)、加工用原料(0.3%)，而煉鋼爐渣用於掩埋等僅占0.4%，顯示多數煉鋼爐渣具有工程相關之利用價值，故通常非以廢棄物之角度進行處置。

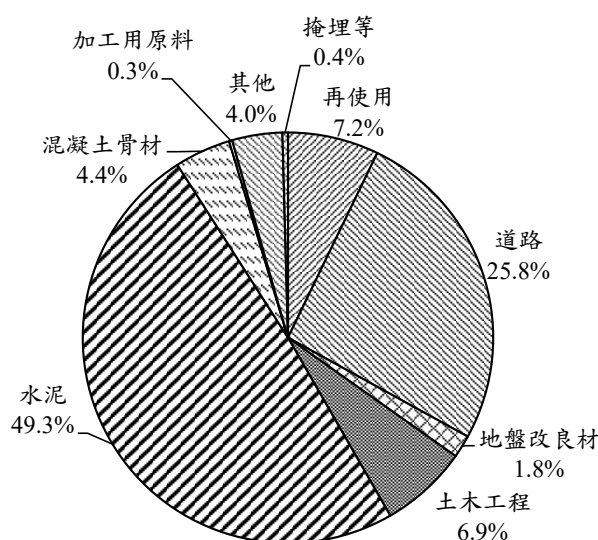


圖 4 日本煉鋼爐渣資源化用途比例（2020 年）

（資料來源：日本爐渣協會）

為何爐渣問題層出不窮？

既然不同爐渣的特性有其適合的資源化用途，為何爐渣非法棄置、誤用等問題仍層出不窮？歸納可能的原因有以下幾點：

（1）產銷失衡

如同農產品一樣，產銷失衡的情況會導致市場通路受阻、價格崩跌、隨意棄置等問題的發生。爐渣為金屬冶煉的副產品，故其產量隨著金屬生產量而定，一般常年均維持穩定的數量，無法因應資源化市場的需求變動而調整，因此爐渣產銷失衡的情況是很常見的。面對產銷失衡的問題，除了相關業者須有足夠的空間堆存、調度之外，開發大型資源化案場與多元的市場通路應是緩解產銷失衡的有效辦法。填海造陸與港灣開發等大型工程案場係為國家政策須主導開發的方向，

但相關業者仍應多元發展爐渣資源化通路，在合理的成本下維持各通路的量能，建立長期的合作關係才能減少產銷失衡的狀況發生。

(2) 排擠相似物料市場

由於爐渣的物化特性近似於水泥與砂石等材料，可應用於混凝土製品、瀝青鋪面、填築材料等用途，因此在通路上亦與前述用途之原料大幅重疊。在市場競爭下，爐渣含有的雜質、膨脹性等特性缺點就容易被加以放大，使得爐渣的資源化受到阻礙。常見的情況可能藉此削價或要求補貼運費、工程費，尤有甚者在市場上以報載新聞事件打擊爐渣，藉此確保自身相似物料之銷售量，在在加重爐渣的負面形象。透過市場競合機制、政府輔導與宣導、公共工程示範使用等方法或可使爐渣在市場上逐漸找到立足之地。

(3) 公務體系的保守態度

以轉爐石為例，轉爐石作為瀝青鋪面粒料是一種良好的資源化用途，相較於天然砂石，運用轉爐石所建造之道路鋪面具有更好的耐磨性、抗滑性、抗車轍能力、抗剝脫能力，因此可提升道路的品質與耐久性。然而在十多年來的推動下，轉爐石應用於瀝青鋪面仍處在各縣市政府專案使用的階段。除了前述的原因之外，轉爐石比重大影響工程計價、瀝青刨除料流向管制等財務、會計、管理等方面的問題亦是主要因素。道路建設屬於政府機關之權責，公務體系為了確保民眾利益、避免有圖利業者嫌疑的考量下採取較為穩健的做法是可以理解的，但也因此容易落於過度保守、自縛手腳的狀況。

(4) 不瞭解爐渣特性

前述提及爐渣的特性與其適合的用途大不相同，但多數爐渣的外觀卻極為相似，一般情況下非熟悉爐渣特性的相關工作者實在難以加以辨識、區別，也容易因此發生將爐渣誤用在不適當的用途上。過往亦曾發生煉鋼爐渣作為施工便道鋪設的用途，但在工程後期由於施工單位不瞭解煉鋼爐渣的特性或便宜行事的情況下，將其挪作道路基底層粒料進行二次使用，後續因煉鋼爐渣吸水膨脹造成路面凹凸不平影響工程品質。因此，將爐渣應用於適切的用途以及避免二次使用與轉移亦是需要注意的重要課題，目前相關業者編修的爐渣使用手冊及公共工程委員訂定的施工綱要規範對於減少因不瞭解爐渣特性而誤用的問題應有所幫助。

(5) 管理制度存在模糊地帶

轉爐石、脫硫渣等爐渣經加工處理後係以副產品的名義登記為中鋼與中龍公

司的產品，在制度上二者屬於經濟部管理的對象；但氧化渣、還原渣等相似的物料卻是屬於公告再利用之事業廢棄物，主管機關屬於行政院環境保護署。對於上述性質、用途相近的煉鋼爐渣卻有不同的管理制度與主管機關，因而使得爐渣資源化存在了模糊的地帶，在相關問題發生時導致管理權責不清，政府機關與業者間出現認知落差等情況。有鑑於此，「廢棄物清理法」於 2017 年修訂後，針對廢棄物之定義增列了「製程產出物不具可行之利用技術或不具市場經濟價值者」，本應是期望廢棄物的認定不受到產品登記與否的限制或排除。例如已登記為產品的煉鋼爐渣，若由於產銷失衡等因素在市場上須付費委託資源化時，應回歸廢棄物管理體系加以控管。然而「不具可行之利用技術」或「不具市場經濟價值者」在實務上仍無法明確加以定義，執行面上仍有相當的困難。

(6) 不肖業者與便宜行事；

各行各業都有不遵守規定的害群之馬，不肖業者在利益的驅使下容易鋌而走險，收受爐渣後未依既定的資源化用途使用而非法棄置於人煙稀少的地方，藉此賺取龐大利潤。唯有維持前述資源化通路的穩定暢通，減低爐渣堆存壓力，方能逐漸汰除不當的資源化業者趁虛而入。

結語

其實爐渣與你我生活的距離並非如此遙遠，爐渣來自於煉鋼等基礎金屬工業，提供了我們生活中建築、車輛、家電、手機、電腦、食品包裝等製品所需的重要材料，這些金屬工業的上下游產業更與無數家庭的生計息息相關。為了我們日常生活所需而大量製造的金屬材料勢必伴隨爐渣的產生，這可謂是爐渣天生的宿命，若要消滅或禁止爐渣產生無疑是要顛覆現代生活或是需要革命性的技術才有可能達到。而倡議藉由進口取代國內生產相關金屬材料以杜絕爐渣問題亦是牽涉國際貿易、經濟發展、戰略安全，以及無數家庭生計的巨大難題；轉嫁爐渣問題至其他國家更是自私且不道德的做法。唯有正視爐渣資源化的重要性，確保長期、穩定的資源化通路與使用量，再加上業者落實自主管理配合主管機關確實查核，方能逐漸杜絕爐渣非法棄置、誤用等相關問題的發生。此外，爐渣有效的資源化亦能減少砂石、水泥等物料的開採與製造，減少生態破壞與環境污染，一舉數得，何樂而不為呢？

參考資料

D. M. Proctor, K. A. Fehling, E. C. Shay, J. L. Wittenborn, J. J. Green, C. Avent, R. D. Bigham, M. Connolly, B. Lee, T. O. Shepker, and M. A. Zak, Physical and chemical characteristics of blast furnace, basic oxygen furnace, and electric arc furnace steel industry slags, *Environmental Science & Technology*, 34 (8), 1576-1582, 2000.

中聯資源股份有限公司，網址：<https://www.chc.com.tw>，2022 年 3 月 15 日存取。

日本爐渣協會（Nippon Slag Association），網址：<https://www.slg.jp/e/index.htm>，2022 年 3 月 15 日存取。

行政院環境保護署，各類爐渣之定義，2012 年。

歐洲爐渣協會（Euroslag），網址：<https://www.euroslag.com/>，2022 年 3 月 15 日存取。

經濟部工業局，網址：

<https://www.moeaidb.gov.tw/ctrl?PRO=document.rwdDocContentView&t=0&iid=5766>，2022 年 3 月 15 日存取。