



他山之石 國外爐石 / 渣之應用

張復盛¹ ■ 許伯良²

國內幾乎每隔一段時間，便會有爐石 / 渣的新聞事件，內容大致皆與爐石 / 渣含重金屬、戴奧辛污染、爐石 / 渣使用不當有關。究竟目前國內對於爐石 / 渣類別與管理有哪些法源依據？行政院公共工程委員會施工規範對於爐石 / 渣應用的技術規範又是如何要求？以及國際上先進國家對於爐石 / 渣的應用與管理又是如何？本文將針對爐石 / 渣類別與管理的法源依據、公共工程委員會施工規範的應用技術管理、以及先進國家對於爐石 / 渣的應用與管理，做一有系統性地、完整地介紹，以期讓民眾與工程單位瞭解爐石為有用資源材料，非有害事業廢棄物、並不會造成重金屬與戴奧辛環境污染，適材適用才是正確。

前 言

國內於民國 95 年發生彰化的鎘米事件、98 年 西濱快速公路台江大道的波浪路面事件、98 年 高雄大寮的戴奧辛鴨事件、98 年 台南縣後壁鄉的鎘米污染事件等一件件關於爐石 / 渣的負面新聞充斥在我們生活週遭，到底是爐石 / 渣本身就具有危害的問題、抑或者是人為導致問題不斷。其實源自台灣早期發展鋼鐵業產出大量電爐渣及電爐集塵灰，當時業者環保觀念薄弱及法令缺乏，常將電爐渣混合電爐集塵灰處理，造成環境污染，環保署官員常說，這是「歷史共業」；目前所發生之爐渣污染環境事件，其實根源就是早期電爐集塵灰未妥善處理所致，與爐石無關。高爐石、轉爐石與電爐渣經環保署檢驗為無毒害不含戴奧辛之物質。

資源再生、永續發展之理念大家皆有，唯實際面對資源再生應用問題時，部份環保團體總以爐石會造成污染為訴求，影響爐石 / 渣資源化應用，其實應該如同古人大禹治水一樣『疏導才是上策』，遵循國家標準與施工綱要規範進行各種再利用。

爐石 / 渣類別

何謂爐石 / 渣？爐石為冶煉鋼鐵時所產生的副產物，主要成份為氧化矽 (SiO_2)、氧化鋁 (Al_2O_3)、氧化鈣 (CaO)、氧化鎂 (MgO) 以及氧化鐵 (Fe_2O_3) 等成份所形成的矽酸鹽與鐵酸鹽化合物。依據日本爐石協會⁽¹⁾的定義，在鋼鐵金屬冶煉領域下，爐石 / 渣區分為兩大類，分別是煉鐵製程所產生的爐石 / 渣，統稱為『高爐石』，以及煉鋼製程所產生的爐石 / 渣，統稱為『煉鋼爐石』。大致的類別與產出流程如圖 1。

煉鐵製程是在『高爐』中冶煉，故稱為『高爐石』，高爐石在高溫尚屬液態階段時，隨著不同的降溫冷卻過程會分別產生『氣冷高爐石』與『水淬高爐石』，前者為在空氣中徐徐冷卻的產物，後者為以高壓水柱迅速淬冷到常溫的產物，全國一年的總產量約 430 萬公噸⁽²⁾。

中聯資源(股)公司 ¹總經理 ²研發處工程師

至於煉鋼製程，則又分為一貫作業煉鋼廠的『轉爐』煉鋼以及非一貫作業煉鋼廠的『電弧爐』煉鋼。轉爐煉鋼的最大宗原料為來自高爐的鐵水，因為製程為由鐵礦石一路煉成鐵再煉成鋼，故稱為一貫作業煉鋼，一貫作業煉鋼所產生的煉鋼爐石/渣稱為『轉爐石』，國內目前僅中鋼、中龍有轉爐石之產出，一年的總產量約 150 萬公噸⁽³⁻⁴⁾；『電弧爐』煉鋼的原料主要為回收的廢鋼廢鐵，所產生的爐石/渣則區分為前製程的『電弧爐氧化渣』以及後製程的『電弧爐還原渣』，有時亦會分別簡稱『氧化渣』與『還原渣』，全國一年的總產量氧化渣約 86 萬公噸、還原渣約 24 萬公噸⁽⁵⁻⁶⁾。

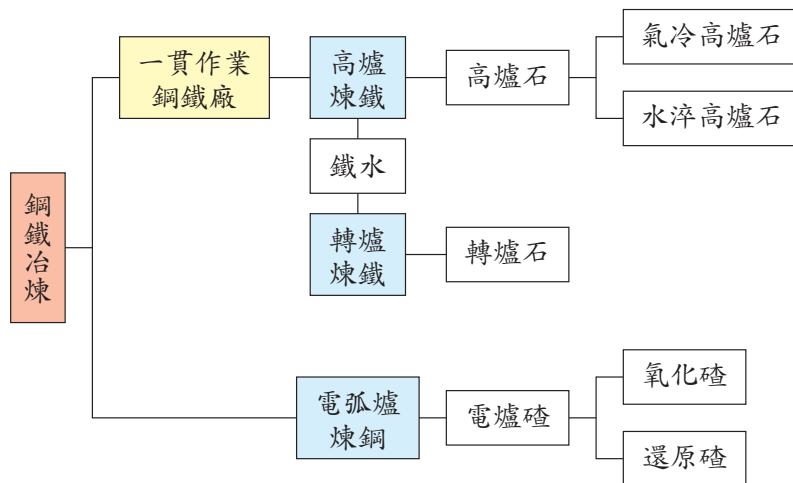


圖1 爐石/渣分類與產出流程示意圖

與爐石 / 渣管理相關之法源依據

圖 1 所示的各類爐石/渣中，氣冷高爐石、水淬高爐石與轉爐石為中鋼、中龍依法登記之產品，非屬事業廢棄物，僅須符合 CNS 標準相關之產品品質規定以及各相對應用用途的需求規範即可。而電弧爐氧化渣、還原渣雖為煉鋼製程的副產品，但仍屬事業廢棄物管理的範疇，目前國內對事業廢棄物管理之法源依據，主要源於『廢棄物清理法』以及『經濟部事業廢棄物再利用管理辦法』。

『廢棄物清理法』管理內容與管理對象主要區分為三種類別，分別是：一般廢棄物、一般事業廢棄物與有害事業廢棄物。一般廢棄物是指由家戶或其他非事業所產生之垃圾；一般事業廢棄物是指由事業所產生有害事業廢棄物以外之廢棄物；有害事業廢棄物則是指由事業所產生具有毒性、危險性，其濃度或數量足以影響人體健康或污染環境之廢棄物，而有害事業廢棄物之認定，由中央主管機關會同中央目的事業主管機關公告之。

『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，再利用之事業廢棄物種類、數量、許可、許可期限、廢止、紀錄、申報及其他應遵行事項之管理辦法，由中央目的事業主管機關會商中央主管機關、再利用用途目的事業主管機關定之⁽⁷⁾；根據第三十九條規定，經濟部訂立『經濟部事業廢棄物再利用管理辦法』。

『經濟部事業廢棄物再利用管理辦法』對再利用管理的型態主要區分為三類型，分別是：個案再利用、通案再利用以及公告再利用。管理模式則分別為：若屬個案以及通案再利用，皆須要申請再利用許可；若事業廢棄物之性質安定或再利用技術成熟者，其種類及管理方式經經濟部公告後，事業及再利用機構得逕依該管理方式進行再利用，即是所謂的公告再利用。目前電弧爐石/渣是屬『經濟部事業廢棄物再利用管理辦法』公告再利用種類編號第十四項，內容明訂氧化渣/石與還原渣/石須分類儲存，公告再利用用途包含：水泥原料、水泥製品原料、瀝青混凝土粒料原料、瀝青混凝土原料、非結構性混凝土粒料原料、非結構性混凝土原料或鋪面工程（機場、道路、人行道、貨櫃場或停車場）之基層或底層級配粒料原料⁽⁸⁾，詳述如表 1。

表 1 電弧爐石 / 渣公告再利用用途

用途及品質規定 類別	再利用用途	再用品質規定
氧化渣 / 石	<ol style="list-style-type: none"> 1. 水泥原料 2. 水泥製品原料 3. 瀝青混凝土粒料原料 4. 瀝青混凝土原料 5. 非結構性混凝土粒料原料 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 再利用於左列第 2~7 項用途時，應先經破碎、磁選及篩分等處理。 2. 再利用於左列第 7 項用途時，品質應符合 CNS 15305 級配粒料基層、底層及面層用材料之國家標準。 3. 其他規定。（請自行參考『經濟部事業廢棄物再利用管理辦法』）
還原渣 / 石 (不銹鋼製程除外)	<ol style="list-style-type: none"> 6. 非結構性混凝土原料 7. 鋪面工程（機場、道路、人行道、貨櫃場或停車場）之基層或底層級配粒料原料 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 除左列第 1 項用途外，其餘用途應經安定化處理措施，並依 CNS15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法，檢測之七天膨脹量不得超過百分之〇·五。 2. 再利用於左列第 7 項用途時，品質應符合 CNS 15305 級配粒料基層、底層及面層用材料之國家標準。 3. 其他規定。（請自行參考『經濟部事業廢棄物再利用管理辦法』）
還原渣 / 石 (不銹鋼製程所產生)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 水泥原料 2. 水泥製品原料 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 除左列第 1 項用途外，其餘用途應經安定化處理措施，並依 CNS15311 粒料受水合作用之潛在膨脹試驗法，檢測之七天膨脹量不得超過百分之〇·五。

先進國家爐石 / 渣的應用概況

高爐石在高溫尚屬液態階段時，直接以高壓水柱迅速淬冷到常溫的產物稱為水淬高爐石，水淬高爐石經研磨成細粉後稱為水淬高爐石粉，市面上泛稱為高爐石粉。高爐石粉具有卜作嵐反應特性，可與卜特蘭水泥均勻混拌後產製高爐水泥或作為混凝土礦物摻料使用，可提昇混凝土後期強度、緻密性及硫酸鹽耐久性，且同時具有低水合熱、防止白華以及抗鹼-骨材反應之特性，歐、美、日等先進國家於百年前即廣泛地應用於營建工程，取代水泥直接做為膠結材料使用，除可具有一般純水泥混凝土所沒有的特性外，更可達節能減碳之目的；氣冷高爐石、水淬高爐石亦可做為混凝土的骨材以及道路的基底層材料使用。一般而言，高爐石無論氣冷的或水淬的，因化學成份與性質皆穩定，已廣為土木工程界所應用與接受。

歐、美、日等先進國家對於鋼爐渣的應用如圖 2-4，雖各國的分類名稱與各類別應用率有

些許不同，但仍可看出幾個最廣泛的應用項目以道路工程為主，佔有近一半之應用比例，其他如瀝青混凝土、水泥生料、水利工程、大地工程等，亦個別有1成至2成的應用比例。特別值得注意的是美國對鋼渣在道路工程的應用比例，更清楚地區分出有12.1%應用於瀝青混凝土以及46.8%應用於道路基底層，總應用於道路工程的比例達近60%。

鋼爐渣因隨煉鋼的鋼種多樣化，化學成份與性質便不如高爐爐渣穩定，例如轉爐石與電弧爐還原渣若未經處理則具有體積膨脹性，應用前須經爐渣陳化處理（ageing）使達到相當的體積安定性、或應用於不在乎膨脹或不會接觸水使其產生後續膨脹之用途。

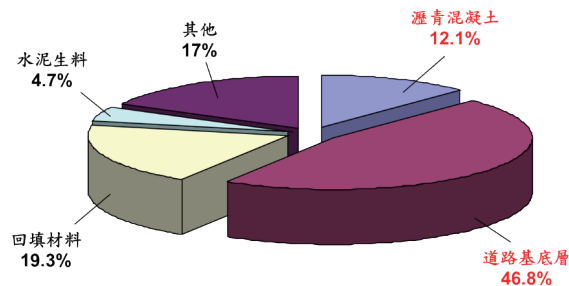


圖2 美國鋼渣再利用狀況
(資料來源：美國內政部2011) (9)

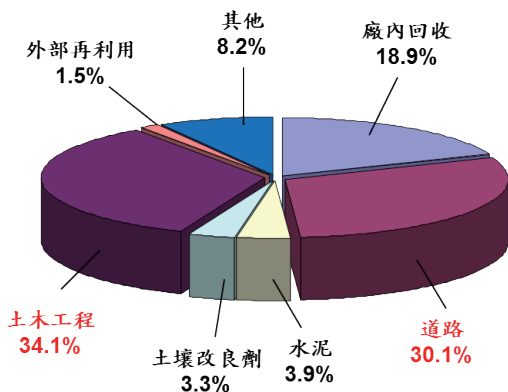


圖3 日本鋼渣再利用狀況
(資料來源：日本爐石協會2012) (1)

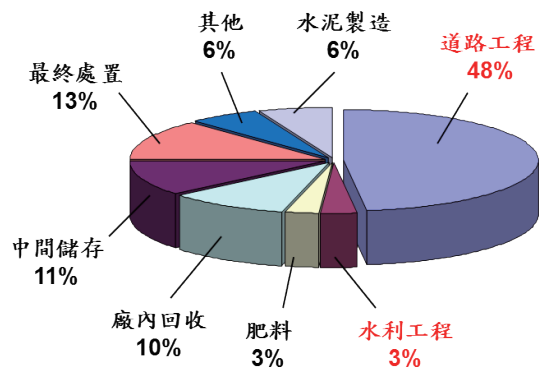


圖4 歐盟國家鋼渣再利用狀況
(資料來源：歐洲爐渣協會2010) (10)

國內外爐石 / 渣應用相關的標準與工程規範 (11-12)

一般而言，爐渣在各種應用用途經過多年各方的研究驗證確認使用無虞時，通常會建立相關應用的標準與規範，一方面為使使用能夠常態化，另一方面則可避免誤用、濫用的情況發生。舉德國、美國、日本為例，對於各類爐渣相關的應用標準列舉如表2。

台灣對於爐渣在各種應用用途相關的標準與規範其實已建立不少，今將其系統性地整理並列舉如表3，同樣以各種不同的應用領域以及允許使用的爐渣類別做區分，使可與表2德、美、日的爐渣應用標準相互比對。

結 論

減少對自然資源之開採、資源循環使用零廢棄為目前世界各國之環保趨勢，亦為行政院與環保署既定政策。瞭解爐石/ 渣的特性並善用其本身的優點於合適的工程，並透過本文瞭解爐石/ 渣類別與管理的法源依據和公共工程委員會施工規範的應用技術管理、以及先進國家對於爐石/ 渣的應用與管理，期能使工程界以及政府工務單位對爐石/ 渣有更深的認識，響應資源循環以達成政府節能減廢及永續發展政策，同時化解民間對爐石/ 渣有毒之疑慮。

表 2 德、美、日 爐渣應用相關標準

應用領域	標準	標準所指之爐渣類別	
水泥 混凝土 用	膠結材料	1. DIN EN 15167 Ground granulated blast furnace slag for use in concrete, mortar and grout 用於混凝土、砂漿、灌漿之水淬高爐爐渣粉（德國標準） 2. ASTM C595/C595M Standard Specification for Blended Hydraulic Cements 混合水泥標準（美國材料協會標準） 3. JIS R 5211 Portland blast-furnace slag cement 卜特蘭高爐水泥（日本標準） 4. JIS A 6206 Ground granulated blast-furnace slag for concrete 用於混凝土之水淬高爐爐渣粉（日本標準）	水淬高爐爐渣
	粒料	1. DIN 4301 Ferrous and non-ferrous metallurgical slag for civil engineering and building construction use 用於土木工程與建物之煉鐵爐渣與冶煉非鐵金屬爐渣（德國標準）	高爐爐渣及其他冶煉非鐵金屬爐渣
		2. JIS A 5011-1 Slag aggregate for concrete-Part 1: Blast furnace slag aggregate 混凝土用高爐爐渣（日本標準）	高爐爐渣
	3. JIS A 5011-4 Slag aggregate for concrete-Part 4: Electric arc furnace oxidizing slag aggregate 混凝土用電弧爐氧化渣（日本標準）	電弧爐氧化渣	
道路 用	級配粒料基層、底層、面層	1. ASTM D1241-07 Standard Specification for Materials for Soil-Aggregate Subbase, Base, and Surface Courses 級配粒料基層、底層及面層用材料（美國材料協會標準） 2. ASTM D2940/D2940M-09 Standard Specification for Graded Aggregate Material For Bases or Subbases for Highways or Airports 公路或機場底層、基層用碎石級配粒料（美國材料協會標準）	爐渣 ^(註1)
	瀝青 混凝土	1. ASTM D5106-13 Standard Specification for Steel Slag Aggregates for Bituminous Paving Mixtures 瀝青鋪面混合料用鋼爐渣粒料（美國材料協會標準）	鋼爐渣

註 1：須透過爐渣陳化處理（ageing）使達到 7 天膨脹量不超過 0.50% 之要求

表 3 台灣爐石 / 渣應用相關標準與規範

應用領域	標準	行政院工程會 施工綱要規範	標準或規範內容 所指之爐渣類別	
水泥混凝土用	膠結材料	CNS 15286 水硬性混合水泥	規範 03050 混凝土基本材料、 ……等（引用左列標準的施工綱 要規範相當多，請自行參考行政 院工程會網站規範第 03 章篇）	高爐爐渣
		CNS 12549 混凝土及水泥砂漿 用水淬高爐爐渣粉		
	粒料	CNS 11824 混凝土用高爐爐渣 粗粒料	---	高爐爐渣
		CNS 11890 混凝土用高爐爐渣 細粒料	---	
CNS 12223 水淬高爐爐渣		---		
	CNS 1240 混凝土粒料	規範 03050 未直接允許使用爐渣 作為粒料，但引用了 CNS 1240	爐渣（註 1）	
道路用	級配粒料 底層	CNS 11827 道路用高爐爐渣 CNS 15305 級配粒料基層、底 層及面層用材料	規範 02726 級配粒料底層	爐渣（註 2）
	級配粒料 基層	CNS 15358 公路或機場底層、 基層用碎石級配粒料	規範 02722 級配粒料基層	
	瀝青混凝土	CNS 15310 瀝青鋪面混合料用 鋼爐渣粒料	規範 02742 瀝青混凝土鋪面	鋼爐渣

註 1：完成必要之前處理程序：有膨脹顧慮時（例如含有鋼爐渣，廢鑄砂成分等），須經必要之安定化前處理程序，使其安定性在預期使用條件下或相同耐久性測試結果，與使用天然粒料之體積穩定性相同或更佳。

註 2：須符合 CNS 15358 規定的 7 天膨脹量不超過 0.50% 之要求。

參考文獻

- (1) NIPPON SLAG ASSOCIATION (<http://www.slg.jp/e/statistics-e.htm>)。
- (2) 劉國忠 (2001)，「煉鋼爐渣之資源化技術與未來推展方向」，環保月刊，第一卷，第三期，第 114-136 頁。
- (3) 許伯良、林平全、徐登科 (2011)，「轉爐石產製與工程應用」，轉爐石應用於瀝青混凝土鋪面研討會論文集，第 10-18 頁。
- (4) 黃隆昇、林登峰、林平全、許伯良 (2010)，「評估煉鋼爐石應用於瀝青混凝土之性質及現場鋪設成效」，中國工程師高雄會刊，第 18 卷，第 2 期，第 47-55 頁。
- (5) 徐敏晃，「廢棄資源物導入土木工程應用思維及管理策略」，廢棄資源物於土木工程應用思維專家座談會，中華民國 102 年 10 月 16 日。
- (6) 何長慶、徐敏晃 (2013)，「電爐石再利用自主管理」，2013 年煉鋼爐石道路工程再利用論壇專輯，第 25 頁。
- (7) 廢棄物清理法。
- (8) 經濟部事業廢棄物再利用管理辦法。
- (9) USGS (<http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/iron&steelslag/>)。
- (10) Dr.-Ing. Heribert Motz, "Production and Use of Blastfurnace and Steel Slags in Europe", IISI 18th/20th Meeting, June 2007.
- (11) 經濟部標準檢驗局 (<http://www.bsmi.gov.tw/wSite/np?ctNode=3996&mp=1>)。
- (12) 行政院公共工程委員會施工綱要規範 (http://pcces.pcc.gov.tw/csinew/Default.aspx?FunID=Fun_9_3&SearchType=B) *