

電弧爐煉鋼還原渣 資源化應用技術手冊



誌 謝

本「電弧爐煉鋼還原渣資源化應用技術手冊」之印行，首先要感謝工業局永續發展組施組長延熙、黃副組長孝信及潘技士建成從手冊編輯開始，至草稿討論、審核及定稿期間，親自參與、指導，並給予支持與鼓勵。此外，亦感謝所有編審委員(名單如附表)於編輯期間不辭勞苦的協助審查文稿，提供寶貴的經驗，以作為本手冊初稿之修改及補充的依據，使其更切合業者的實用需求。最後對於參與編輯工作之本公司人員盡心盡力的工作態度，表達感謝與敬佩之意。

中興工程顧問股份有限公司 謹識

附表 電弧爐煉鋼還原渣資源化應用技術手冊編審委員名單

姓 名	職 稱	單 位
余騰耀	副主任	中技社綠色技術發展中心
林平全	經 理	中聯爐石公司
施延熙	組 長	工業局永續發展組
黃兆龍	教 授	台科大營建系
蔡敏行	教 授	成大資源工程系

(依姓名筆劃排列)

目 錄

	<u>頁次</u>
第一章 前言.....	-1-
第二章 產業概況.....	-3-
2.1 產業結構.....	-3-
2.2 產業現況.....	-5-
第三章 製程概述.....	-10-
3.1 製程簡介及電弧爐體型態.....	-10-
3.2 碳鋼廠.....	-16-
3.3 不銹鋼廠.....	-18-
3.4 鑄鋼廠.....	-18-
第四章 還原渣特性與處理現況.....	-20-
4.1 還原渣來源、組成及性質特性.....	-20-
4.2 還原渣產生量及處理現況.....	-31-
第五章 電弧爐煉鋼還原渣資源化技術評析及案例彙編.....	-33-
5.1 國內外還原渣資源化利用概況.....	-33-
5.2 還原渣資源化技術及案例.....	-42-
5.2.1 冶煉原料回收再利用.....	-42-
5.2.2 道路用(路基材料、瀝青混凝土骨材)及回填工程 材料.....	-48-
5.2.3 肥料及酸性土壤改良劑.....	-50-
5.2.4 建材製品.....	-53-
5.2.5 爐渣水泥原料及水泥摻配料.....	-59-
5.2.6 固化劑或硬化劑.....	-64-
5.3 還原渣資源化技術評析.....	-66-
第六章 電弧爐煉鋼還原渣資源化技術效益評估範例.....	-72-
6.1 還原渣粉資源化處理廠之先期規劃.....	-72-
6.1.1 還原渣替代水泥應用於混凝土之基本原理.....	-72-
6.1.2 還原渣粉資源化處理廠建廠要件評估.....	-73-

6.1.3	建廠工程先期規劃	-75-
6.2	還原矽粉廠效益評估範例.....	-80-
6.2.1	工程預算.....	-80-
6.2.2	還原矽粉廠經濟效益分析	-81-
6.2.3	不同設廠規模之投資方案分析	-86-
6.2.4	不同設廠方案之經濟效益比較	-88-
6.3	提高還原矽資源化應用業者應配合注意事項	-88-
	參考文獻	-92-

圖目錄

	<u>頁次</u>
圖 2.1-1 鋼鐵產業關連圖	-3-
圖 2.2-1 電弧爐煉鋼業歷年鋼鐵產量統計圖	-6-
圖 2.2-2 電弧爐煉鋼業工廠分佈圖	-8-
圖 2.2-3 電弧爐煉鋼業爐體公稱噸數分佈圖	-9-
圖 3.1-1 電弧爐煉鋼製造流程	-10-
圖 3.1-2 三電極交流電弧爐構造圖	-14-
圖 3.1-3 單電極直流電弧爐構造圖	-15-
圖 3.2-1 一般碳鋼製造流程圖	-16-
圖 3.3-1 不銹鋼廠製造流程圖	-18-
圖 3.4-1 鑄鋼廠製造流程圖	-18-
圖 4.1-1 電弧爐煉鋼還原渣產生點	-21-
圖 4.1-2 CaO-SiO ₂ -Al ₂ O ₃ 相圖	-22-
圖 5.1-1 電弧爐煉鋼爐渣的利用途徑	-33-
圖 5.1-2 還原渣活性圖	-37-
圖 5.2-1 日本 TOPY 製鐵株式會社豐橋工場電弧爐爐渣殘鋼回收處理 流程.....	-44-
圖 5.2-2 日本大同特殊鋼株式會社知多工場電弧爐爐渣殘鋼回收處理 流程.....	-45-
圖 5.2-3 電弧爐還原渣直接返回電弧爐作煉鋼熔劑之流程圖	-47-
圖 5.2-4 日本電弧爐爐渣再利用為路基材料處理流程	-49-
圖 5.2-5 寶山鋼鐵廠煉鐵流程	-51-
圖 5.2-6 各種水泥之抗壓強度發展比較圖	-54-
圖 5.2-7 利用 ATK 水泥製造混凝土之流程圖	-55-
圖 5.2-8 利用 ATK 水泥製造混凝土之試驗結果.....	-56-
圖 5.2-9 愛知製鋼集團所生產之建材製品及人工魚礁試驗結果	-57-
圖 5.2-10 爐渣白水泥製造流程	-59-
圖 5.2-11 電弧爐還原渣水淬處理流程	-61-

圖 5.2-12 還原渣白水泥生產流程圖	-62-
圖 5.2-13 典型處理建設污泥之處理流程	-65-
圖 6.1-1 電弧爐煉鋼還原渣粉資源化處理流程	-77-

表目錄

	<u>頁次</u>
表 2.2-1 國內鋼鐵生產量統計.....	-6-
表 4.1-1 各類爐渣化學成分比較表.....	-24-
表 4.1-2 電弧爐煉鋼爐渣化學組成.....	-24-
表 4.1-3 還原爐渣初步物理性質分析及輻射檢測結果	-28-
表 4.1-4 電弧爐煉鋼還原渣之毒性溶出試驗(TCLP)結果	-30-
表 4.2-1 台灣地區電弧爐操作及爐渣產量統計表	-32-
表 5.1-1 世界主要鋼鐵生產國家煉鋼爐渣利用狀況(1979 年).....	-34-
表 5.1-2 日本煉鋼爐渣利用狀況(1999 年).....	-35-
表 5.1-3 美國煉鋼爐渣利用狀況.....	-35-
表 5.1-4 還原渣活性指數試驗.....	-37-
表 5.2-1 電弧爐還原渣直接返回電弧爐作煉鋼熔劑之效益分析表	-47-
表 5.2-2 寶山鋼鐵廠高爐渣化學成份.....	-51-
表 5.2-3 ATK 水泥之成份及礦物組成.....	-54-
表 5.2-4 利用 ATK 水泥製造混凝土之試驗條件.....	-55-
表 5.2-5 人工魚礁之表面處理方式.....	-56-
表 5.2-6 還原渣與水泥熟料化學成份表.....	-61-
表 5.2-7 主要設備與構築物一覽表.....	-63-
表 5.2-8 還原渣白水泥之技術經濟指標.....	-63-
表 5.3-1 煉鋼還原渣資源化技術評析.....	-70-
表 6.2-1 還原渣粉廠工程預算表(10000 公噸/月).....	-80-
表 6.2-2 還原渣粉廠經濟效益分析 (10000 公噸/月)	-85-
表 6.2-3 還原渣粉廠經濟效益分析(5000 公噸/月).....	-87-
表 6.2-4 不同設廠方案之經濟效益比較一覽表	-88-

第一章 前言

工業製程廢棄物之資源化，係以資源回收再利用之技術，將廢棄物轉換成有用之物質，以減少對環境生態之衝擊，達到自然資源保育之目的，並提昇工業經營之效率。在現今環保意識日愈提昇及全球資源日益匱乏之趨勢下，廢棄物資源化再利用之推廣，應可營造工業良好潔淨之形象，並使環境保護與經濟發展得以相輔相成。

鋼鐵具有優異的強度與延展性組合，使用範圍極廣，是所有金屬材料中用量最大者，舉凡所有營建工程、運輸工具及工業用之機械設備，均須仰賴鋼鐵為基材，以增加產品強度與抗撓性，延長機械壽命。由於鋼鐵工業對國家整體工業發展具有關鍵性之影響，鋼鐵消費量常被用作一國工業化程度之指標，鋼鐵工業因此被籲為「一切工業之母」。近年來，國內鋼鐵工業快速成長，不但產品品級逐步提昇，且產量亦逐年增加，適時對下游工業提供質優且價格合理的穩定料源。由於鋼鐵屬於大宗物資，且生產時耗用的原料及能源甚為龐大，因此生產過程伴生的「副產物」數量亦甚為龐大。

電弧爐煉鋼爐渣係電弧爐煉鋼過程所產生的副產物，依冶煉過程，可分為氧化渣及還原渣，由於產生量甚為龐大且以往均未妥善再利用而任意棄置，因此普遍認定其為廢棄物。事實上，經由適當的加工處理程序，即可將煉鋼爐渣予以資源化再利用，並進而呈現多方面的效益，諸如提昇產業競爭力、降低環境污染風險、減少天然礦產開採等。環顧世界各工業先進國家均已有相關資源化再利用經驗，而就國內而言，中鋼公司爐渣資源化工作推動模式及經驗，相當值得引為借鏡。

鑑於鋼鐵業普遍對於空氣污染防治已頗具成效，但除少數業者對於廢棄物處理及資源化再利用亦初具成效外，大部份業者仍處於起步階段，經濟部工業局乃自 87 年度起積極推動電弧爐煉鋼爐渣資源化技術開發與推廣，以協助促進電弧爐煉鋼爐渣資源化技術落實應用，對於電弧爐煉鋼氧化渣部分，目前係朝路盤材料以及填地材料等應用方向著手研究，但尚未達實用階段；還原渣部分因具粉化現象且化性與高爐爐石粉相近，目前朝以水泥摻配料之資源化技術於混凝土中取代部分水泥之應用方向著手研究。而還原渣除可選用前述資源化技術外，仍有其他許多成熟之資源化技術可以參考選用，為使國內電弧爐煉鋼業者易於掌握選用

還原渣資源化技術之考量因素，經濟部工業局爰委託中興工程顧問公司，調查電弧爐煉鋼業還原渣資源化處理現況，並彙整國內外電弧爐煉鋼還原渣資源化技術，編製「電弧爐煉鋼還原渣資源化應用技術手冊」(以下簡稱本手冊)，俾供電弧爐煉鋼業者未來進一步自行或結合同業聯合籌組共同清除處理機構，推動還原渣資源化時之應用參考，以解決廢棄物污染問題，並提昇產業競爭能力，達到環境保護與經濟發展兼籌並重的目標。

本手冊共計包含六章，第一章前言首先說明編輯本手冊之緣由及目的。第二章產業現況與第三章製程概述則作為背景描述，其中除了對產業現況做整合性的報導外，另說明電弧爐煉鋼製程，使讀者對電弧爐煉鋼業有一概要性的瞭解。第四章還原渣特性與處理現況，則針對還原渣來源、特性及所蘊含資源做一說明，並調查評估其產生量及處理現況，以做為還原渣資源化利用之基礎。第五章電弧爐煉鋼還原渣資源化技術評析及案例彙編，乃說明國內外還原渣資源化利用概況及國內未資源化之原因分析，並對國內外較成熟之資源化技術做一探討說明並列舉相關案例說明其資源化成效。第六章電弧爐煉鋼還原渣資源化技術效益評估範例，則試就成熟之資源化技術中挑選一資源化技術為例，進行該廠先期規劃及效益評估，俾作為業界推動資源化之參考範例，此外，並列述提高資源化成效，業者於製程管理上應配合注意之事項，以供業界參照應用。

第二章 產業概況

2.1 產業結構^{1)[2][3][4][5]}

鋼鐵業是產業關連度最高的產業之一，相關從業人員超過十萬人，賴以維生者更超過數十萬人。相關的產業從傳統的營建製造業到高科技、高附加價值的電腦、通訊電子業等，圖 2.1-1 為鋼鐵產業關連之示意圖。

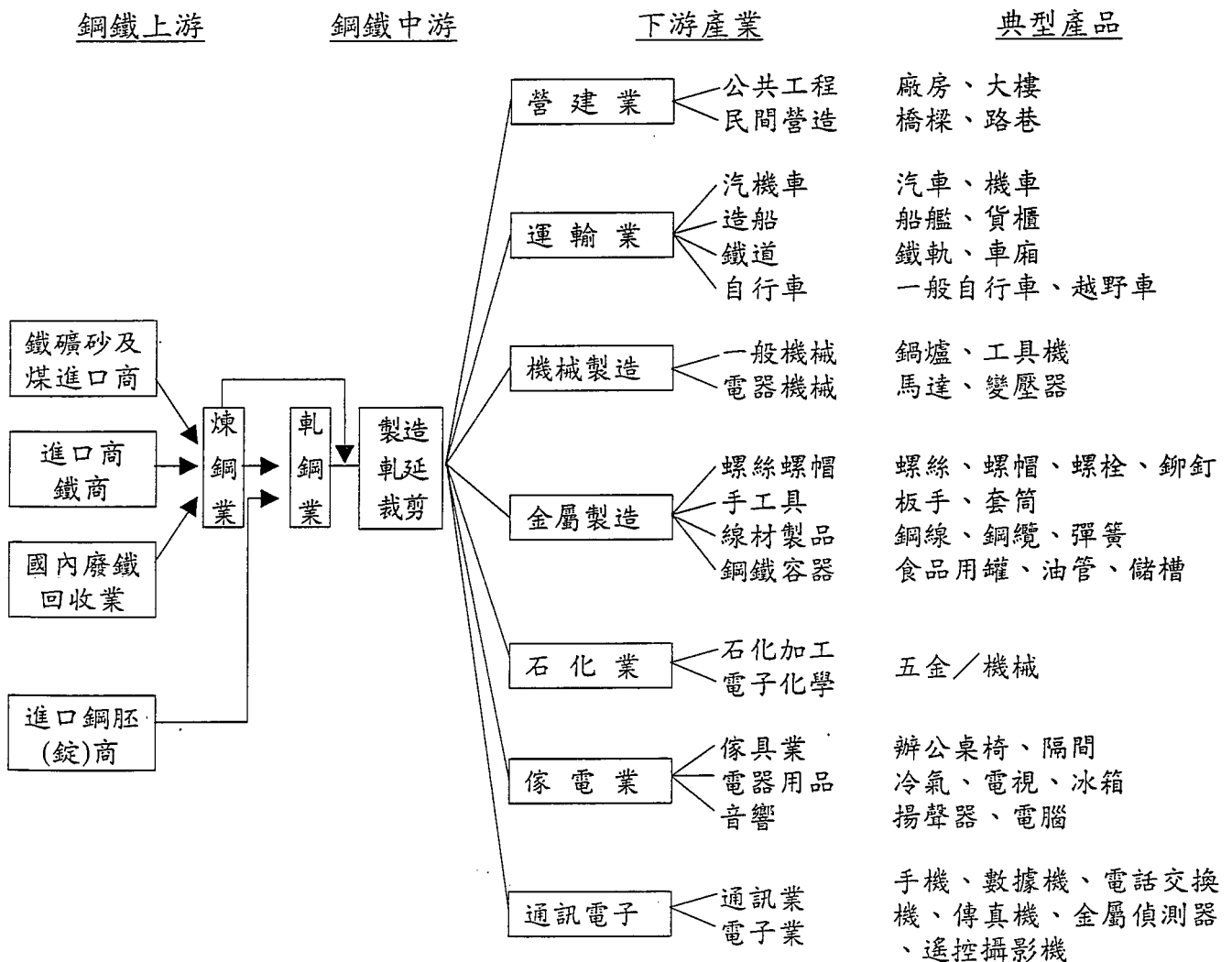


圖 2.1-1 鋼鐵產業關連圖^[3]

由圖中之產業及產品即可了解鋼鐵之經濟效能涵蓋相關廣泛。國內煉鋼業包括一貫作業煉鋼廠及電弧爐煉鋼廠，一貫作業煉鋼廠是採高爐及轉爐並以鐵礦砂及煤為原料製成鋼胚，部份供給中游產業，部分進行軋延及加工後生產鋼筋、棒鋼、角鋼及型鋼等各類鋼品提供下游產業使用。電弧爐煉鋼廠則是採電弧爐並以進口廢鐵及國內回收廢鐵為原料冶煉製成鋼胚，部分供給中游產業，部分再行加工後提供下游產業使用。

台灣煉鋼業興起於民國 40 年代，當時因戰後台灣地區沈船及廢鐵較多，業者於是引進電弧爐煉製鋼胚再行加工軋製普通鋼材，供應國內工程建設之用。民國 50 年代由於越南鋼鐵需求量大，我國鋼鐵開始外銷，以致產量活絡。

民國 60 年代政府推動十大建設，成立中鋼公司，在中鋼公司一貫作業大煉鋼廠加入生產行列穩定提供上游原料支應下，使台灣煉鋼業蓬勃發展，並帶動台灣經濟起飛，初期提供鋼筋、棒鋼、線材及鋼板，除了在量上滿足經建所需鋼材外，在質的方面更跨出一大步，開始建立鋼鐵下游加工產業，如螺絲、螺帽、鋼線、鋼纜及造船業等，間接加工出口是此期一大特色。

由於平板類鋼材大宗的熱軋、冷軋鋼品仍需依賴進口，在原材料受制於人下，極難提升鋼鐵下游產品的國際競爭力，因此在民國 70 年代中鋼公司分別完成第二及第三階段擴建，產製熱軋及冷軋鋼材替進口，在這一段期間，唐榮不銹鋼廠及民間熱冷軋廠亦積極從事建廠，並陸續投入生產，使鋼鐵下游關聯產業如鋼管、腳踏車、機車、貨櫃、鋼製傢俱、電吊扇及製傘業等在獲得充份料源下，均有明顯的提升其競爭力，並在出口外銷上占有一定的地位，上下游鋼鐵產業體系逐漸形成。

民國 80 年代以來，藉助資金人才及技術累積，鋼鐵工業進入第二波發展高峰，各廠大舉進行產能擴充，惟此階段擴充不僅止於量的增加，質的提升更為重點，特別是部分業者如燁隆及桂裕公司也闢建電弧爐煉鋼製程，並朝向一貫作業煉鋼廠發展，可望打破中鋼公司獨大局面，將國內鋼鐵工業帶向多元化時代。

依據經濟部工業局八十九年六月「電子與鋼鐵產業國際市場供需失衡與其對我國產業之影響」計畫成果報告分析我國鋼鐵產業發展具有下列特色：

一、在發展過程中，最初以替代進口為主，其次是以加工外銷導向為主，最後再演變為將鋼材直接出口。

- 二、在產品型態上：由直條類鋼材發展到平板類鋼材。
- 三、在產品種類上：由碳素鋼發展至不銹鋼。
- 四、製程上：由拆船軋鋼至電爐煉鋼，再到一貫作業鋼廠。
- 五、鋼鐵產業結構呈現金字塔形，上游煉鋼不足、下游軋鋼供過於求。

截至民國 88 年，我國粗鋼表面消費量達 2,447 萬噸，佔全球表面消費量 3.2%，居第 8 位，平均每位國民年消費量 1,183 公斤，居世界前茅。在粗鋼生產方面，粗鋼年產量 1,538 萬噸，佔世界 2.2%，居世界第 13 位，粗鋼自給率約 63%。由粗鋼生產與消費分析，可以發現我國鋼鐵產業結構呈現金字塔形，粗鋼生產不足，自給率僅 63%，但下游成品卻供過於求，導致每年需進口大量鋼胚半成品，估計年需進口小鋼胚 400~500 萬公噸，扁鋼胚 400 萬噸，這種半成品依賴進口的結構是產業競爭力無法有效提升的一大因素。

六、在中下游產業方面並無大型的用鋼產業

與日韓等鋼鐵業最大的差異點是我國鋼鐵產業中、下游如製管、運動器材、腳踏車、車身零件、螺絲螺帽、鋼線鋼纜、手工具等行業均以中小企業為主，單位廠商用鋼需求不大，與日韓等國高度依賴汽車、重機業的型態不同。

七、加工外銷型鋼材受歐美景氣波動影響大

加工外銷型鋼材如熱冷軋、電鍍鋅、電磁鋼片等，由於其終端產品以出口至歐美市場為主，不論加工廠是否外移至大陸，對鋼料的需求均深受歐美景氣好壞的影響。

2.2 產業現況^{[1][2][4]}

一、產銷概況

依據台灣區鋼鐵工業同業公會統計資料(表 2.2-1)顯示，民國八十、八十一年初期因受國內公共工程開發及建築業蓬勃發展刺激下，鋼鐵產量由 1,070.6 萬公噸增加為 1,197.0 萬公噸，其中電弧爐煉鋼產能由 528.5 萬公噸增加至 572.6 萬公噸，成長比例達 12%，如圖 2.2-1 所示。同時為滿足國內需求，由國外進口鋼鐵量也由 1,059.5 萬公噸大幅增加至 1,290.5 萬公噸。民

國 83 年以後由於建築業不景氣，加上多項公共工程弊端延緩工程施工進度，造成鋼鐵產業產能大幅萎縮至 1,159.4 萬公噸，電弧爐煉鋼產量跌至 546.7 公噸，跌幅達 14%，造成部份工廠在營運不佳之情況下關廠，或進口國外鋼胚進行軋鋼工作，減少熔煉成本付出，所以進口鋼鐵量仍在 1,152.1 萬公噸，此時鋼鐵自給率只維持在 50.15%，大部份鋼廠尋求外銷市場，以減緩國內市場壓力。

表 2.2-1 國內鋼鐵生產量統計^[4]

單位：千公噸

曆年	鋼鐵生產量		
	電弧爐	高爐	合計
80	5,143	5,829	10,972
81	5,285	5,421	10,706
82	5,726	6,244	11,970
83	5,467	6,127	11,594
84	5,763	6,224	11,987
85	5,893	6,668	12,561
86	6,647	9,593	16,240
87	7,071	9,810	16,881
88	6,109	9,267	15,376
89	6,869	9,971	16,840

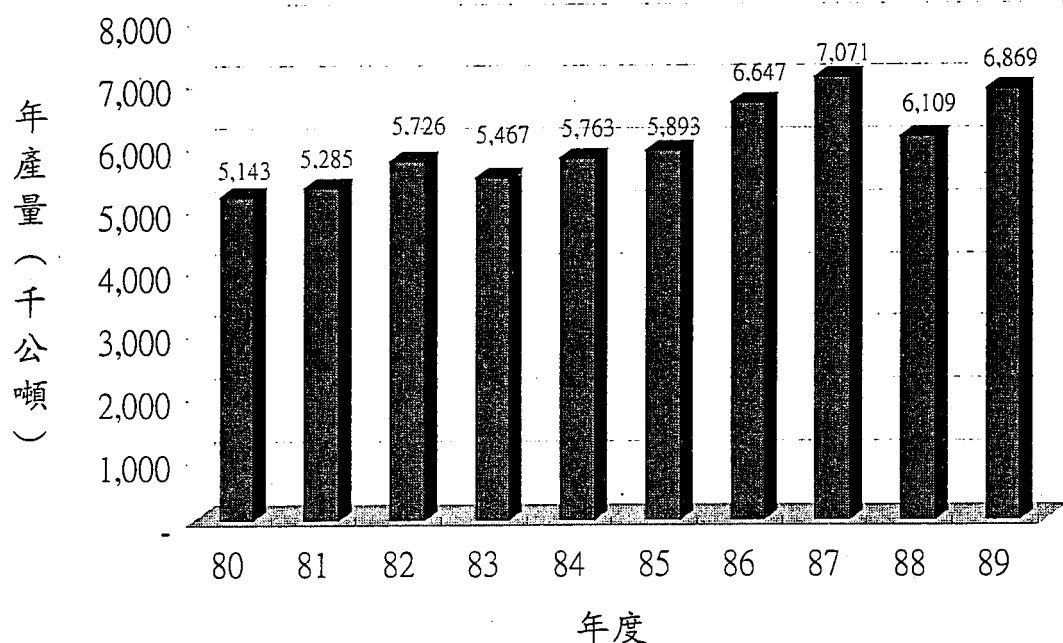


圖 2.2-1 電弧爐煉鋼業歷年鋼鐵產量統計圖^[4]

民國 85 年豐興、威致等廠均已投入全能生產，位於台中港之桂裕鋼鐵公司 150 噸電弧爐廠於 86 年底進行試車及量產階段；雖然 87 年震台 55 公噸電弧爐停工，泰隆 15 公噸電弧爐停產，但其他電弧爐廠量有增加的趨勢，導致電弧爐煉鋼之產量由 86 年之 664.7 萬公噸上升至 87 年之 707.1 萬公噸，成長率達 6.4%。但是民國 87 年受東南亞金融風暴影響，電弧爐煉鋼產能由 87 年之 707.1 萬公噸下降至 610.9 萬公噸，88 年 921 地震後因應重建工程電弧爐煉鋼之產量有上升至 89 年之 686.9 萬公噸，但因近年來國內經濟環境陷入長期低彌狀態，加上中鋼公司氧氣煉鋼轉爐於 85 年第四階段擴建陸續完成試車，進入全能生產後，電弧爐煉鋼廠之產量比例逐年降低，造成電弧爐煉鋼業者經營壓力，根據業者表示每廠都有近 30%~50%減產。

二、工廠分布及規模

台灣地區電弧爐煉鋼業目前仍在經營之企業體計有 22 家公司，共有 24 個工廠，其中 15 個工廠以生產碳鋼為主，4 個為不銹鋼廠，5 個為鑄鋼廠，合計有 34 座爐體，總公稱噸數為 1,820 公噸/批次，爐體大小以 50 公噸/批次最多，工廠家數分佈主要集中於中、南部地區，如圖 2.2-2 所示，以高雄市 7 家工廠 10 座爐體最多，但爐體總公稱噸數以台中縣 515 公噸/批次最高，主要是因為南部地區電弧爐工廠廠齡較舊，工廠爐體公稱噸數都在 70 公噸/批次以下，而中部地區工廠廠齡較低，部份近期剛設置完成爐體之公稱噸數都在 110 公噸/批次以上，顯示電弧爐煉鋼業爐體設置有趨向大噸數爐體之趨勢。目前仍在操作之電弧爐則以 50 公噸/批次之爐體數 9 座最多如圖 2.2-3 所示。而根據調查，鑄鋼廠因生產價值較高之鋼鐵鑄品，製程繁雜，不像其他鋼鐵廠採連續鑄造方式，故產能多在 25 公噸/批次以下，遠低於一般碳鋼廠及不銹鋼廠。

由調查資料顯示，各電弧爐煉鋼廠資本額介於 4,000 萬~2,700,000 萬元之間，屬於中、大型企業經營型態，營業額則介於 4,500 萬~1,322,000 萬元。員工人數則介於 34~1420 人，屬於勞力密集產業。其中碳鋼廠資本額較低，介於 10,000 萬~508,000 萬元，不銹鋼廠則資本額較高，介於 700,000 萬~2,700,000 萬。員工人數以不銹鋼廠人數較多，鑄鋼廠員工人數較少。

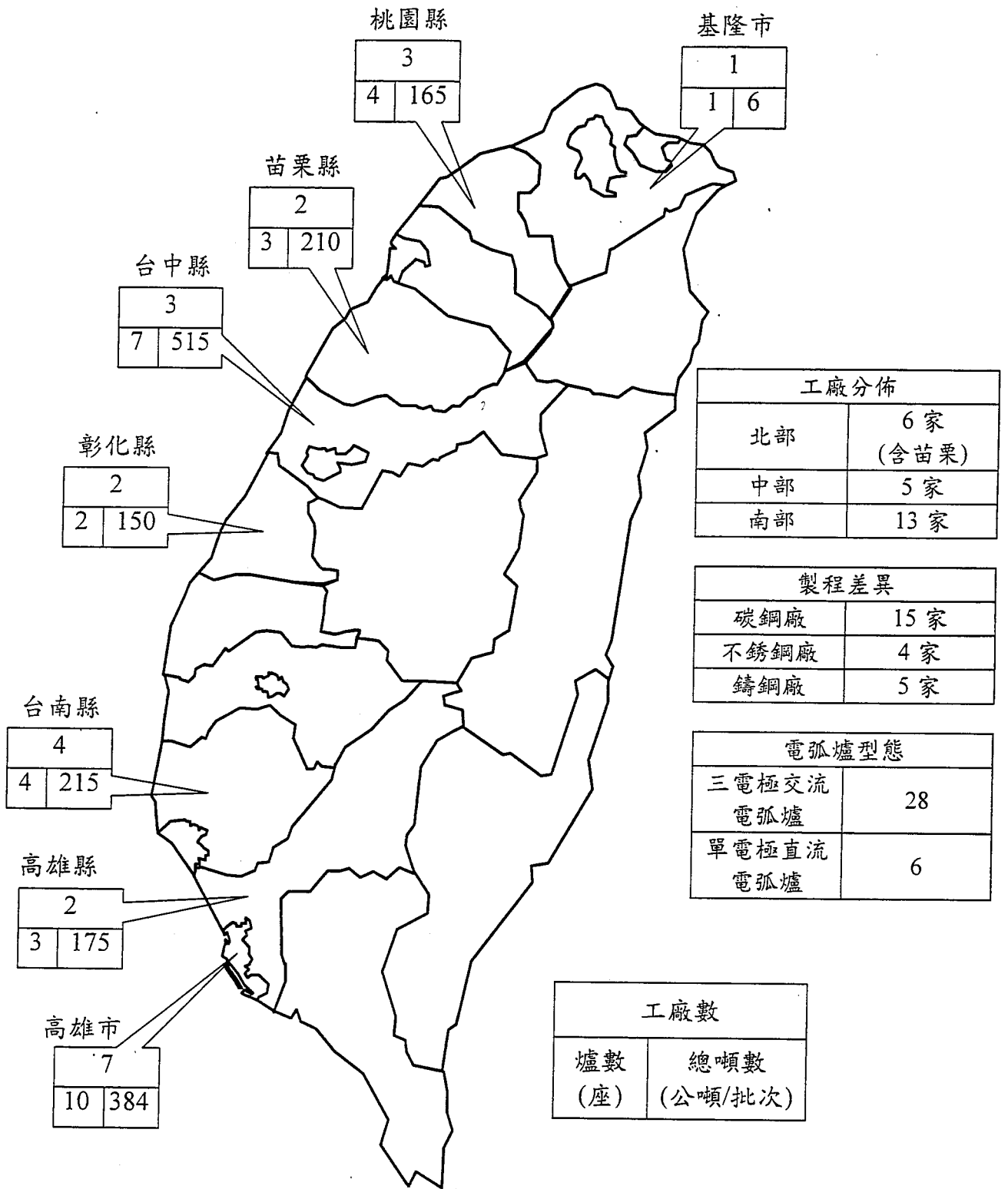


圖 2.2-2 電弧爐煉鋼業工廠分佈圖

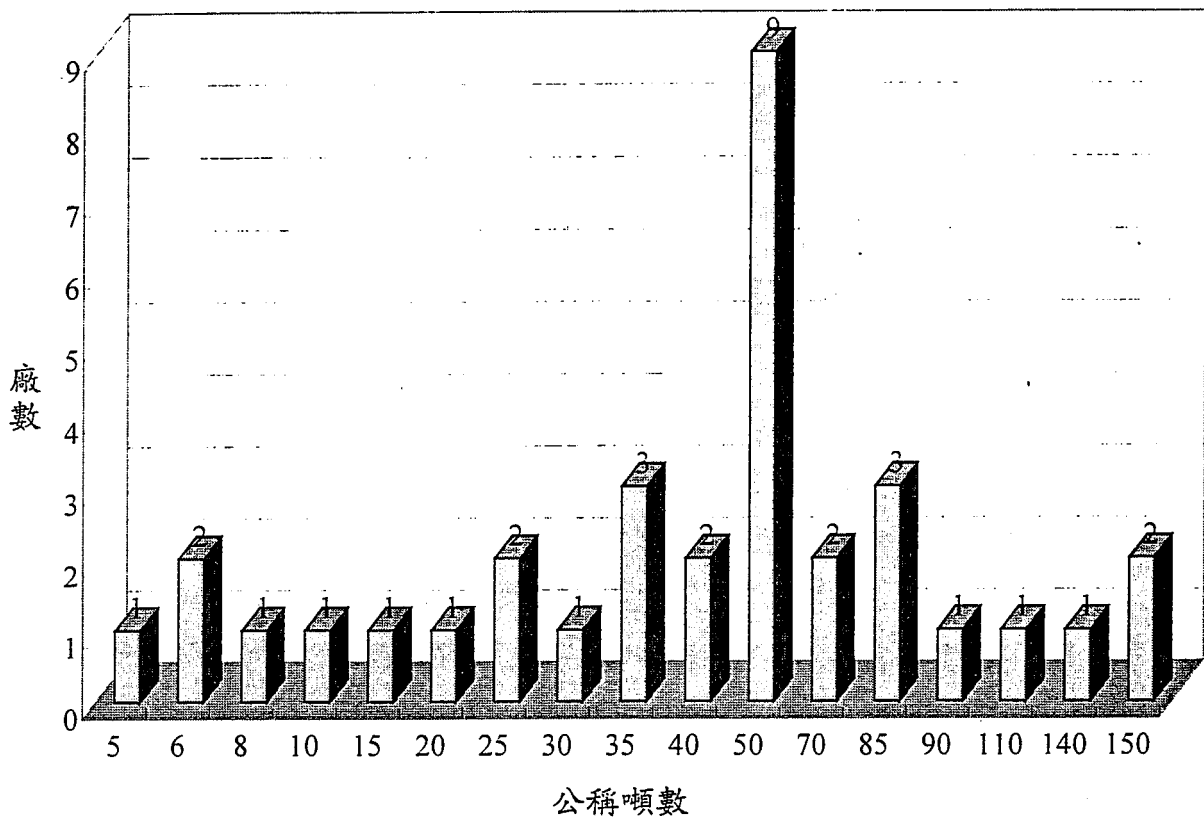


圖 2.2-3 電弧爐煉鋼業爐體公稱噸數分佈圖

第三章 製程概述

3.1 製程簡介及電弧爐體型態

一、製程簡介^[5]

雖然國內每家電弧爐煉鋼廠之製程不完全相同，但主要製程是相似的，一般而言電弧爐煉鋼係利用高電壓情況下，高電流通過人造石墨電極時，交流三電極間產生高溫電弧（直流單電極則於電極棒和爐底電極間產生高溫電弧），高溫電弧則將廢鋼溶解，以達成熔煉鋼鐵之目的。於熔煉過程中，還需加入少量矽鐵、矽錳鐵、焦炭、生石灰與脫硫劑等副原料，並通入純氧助燃，產出符合產品規格要求之鋼胚。電弧爐煉鋼均為批式作業，通常每一批次時間約 1~3 小時，冶煉過程可依其化學反應分成三個階段，分別為熔解期、氧化期及還原期。典型之電弧爐煉鋼流程如圖 3.1-1 所示，原料經初步之分類、秤重後，由天車操作從爐頂加料，並將電極棒通入電流以產生電弧。廢鋼原料經電弧熔解後形成液態鋼水，雜質則氧化成氣態氧化物（廢氣）或固態氧化物（熔渣），此時可通入高壓氧氣，以加速氧化作用。還原期應加入大量石灰石、碳粉等副原料，主要功用是與氧化物反應，產生浮渣並去氧脫硫、清潔鋼液。為控制鋼品品質，可加入各項添加劑如矽鐵、矽錳鐵、焦炭、生石灰等，以調整鋼液成份。融熔之鋼液經連鑄程序製成鋼胚。

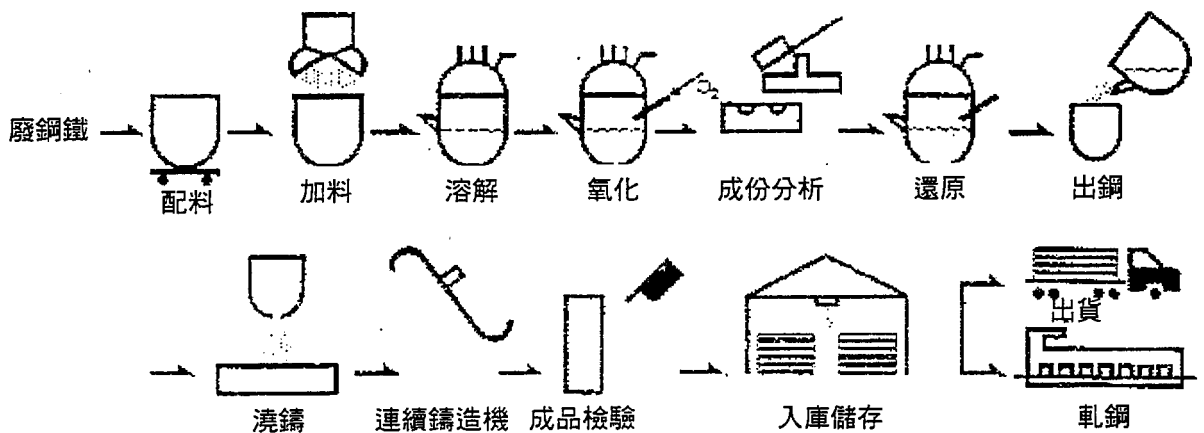
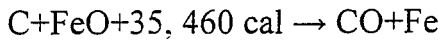


圖 3.1-1 電弧爐煉鋼製造流程^[5]

由於不同時期之操作狀況與添加物各不相同，所發生之化學反應及生成物亦隨之而異，以下針對冶煉過程各階段之化學反應簡述如下：

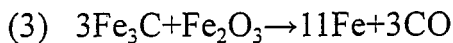
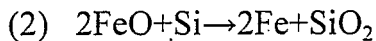
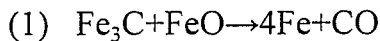
(一) 熔解及氧化期

依電弧爐煉鋼廠之實際操作狀況，可將熔解期及氧化期之化學反應合併討論。此期之化學反應非常複雜，但基本作用則為將氧化鐵還原為鐵，亦伴有其他副反應在內。主要反應可表示為

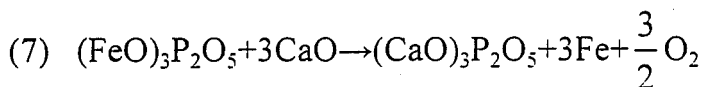
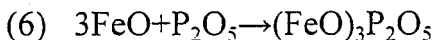
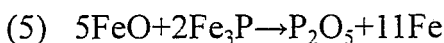
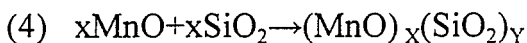
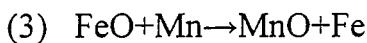
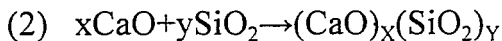
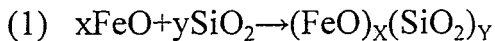


其餘反應可區分為 13 個反應，分別表示如下：

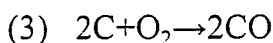
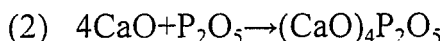
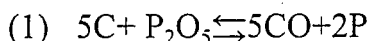
1. 較重要的反應



2. 次要的反應



3. 伴隨與鐵無關的反應



由上述反應可知，此時期除產生熔解外，其餘成份如全部的 Si，及全部或部份的 C、P 及 Mn 等分別被氧化生成各種氧化物，成為熔渣浮於

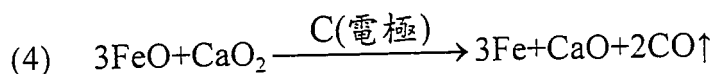
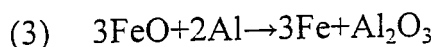
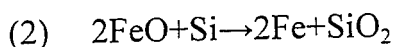
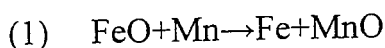
熔鐵表面而可加以去除。

電弧爐剛發展初期，曾以鐵礦石為氧化劑，但目前多以空氣或氧氣取代，其優點為：

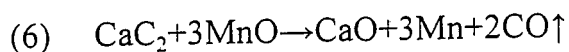
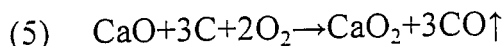
- 以礦石為脫碳劑時，其作用為吸熱反應，使爐內溫度下降；以空氣或純氧作用時，則為放熱反應，可節省能源。
- 精煉時間可縮短，生產力較高且減少爐床的損傷。
- 以鐵礦石為氧化劑時，其所含水份無法事前去除完全，易於爐內分解生成 H_2 ，使得成品鋼的氫含量較高，但若使用純氧，則鋼浴中所含氫氣量可降低至 $3 \times 10^{-4}\%$ 左右，但其缺點則為熔鋼中的含氧量增加。

(二) 還原期

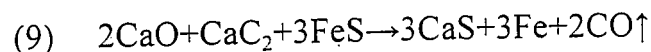
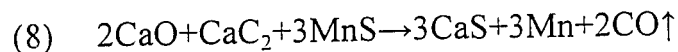
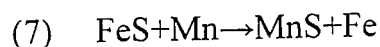
經溶解氧化之後的熔鋼於凝固時(俗稱造塊期)，為避免發生氣體，須酌量加入脫氧劑，以減少氧，並降低 FeO 氧化物之百分比。此期之化學反應式可以下列 16 式表示，(1)至(4)式為 FeO 還原為 Fe。



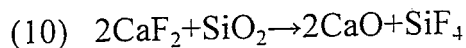
但其中若加入過多鋁，則成品鋼中含氧化鋁量過多，易使鋼質變脆。另一方面，則進行(5)及(6)式的脫氧反應。

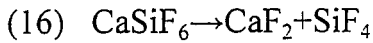
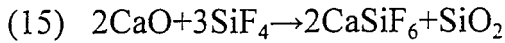
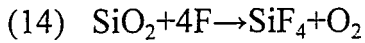
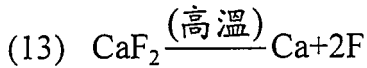
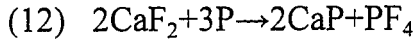
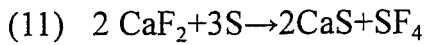


同時，亦伴隨(7)、(8)及(9)式的脫硫反應



其餘(10)至(16)式之反應則為熔渣反應，分別表示為





由(1)至(16)式可知，於還原期初期，得視產品規格分別添加矽鐵、矽錳鐵、焦炭、鋁線、脫硫劑及生石灰等副原料，以控制產品品質。

二、電弧爐爐體型態^{[1][2][5]}

電弧爐爐體型態可分為三電極交流電弧爐及單電極直流電弧爐，目前國內仍在營運之 24 個工廠中採用三電極交流電弧爐者計有 28 座爐體，爐體大小由 5 至 85 公噸/批次都有，多數由日本製造，其電力輸入介於 2.5~42MVA/爐，而單極直流電弧爐爐體計有 6 座，爐體大小介於 85~150 公噸/批次，4 座由日本製造，1 座為法國製作，1 座為瑞典製作，電力輸入介於 82~100MVA/爐，以下茲簡述電弧爐爐體型態組成：

(一) 三電極交流電弧爐

三電極交流電弧爐構造如圖 3.1-2，主要是由三支人造石墨電極、爐蓋與爐體等部份組成。

1. 石墨電極

三電極交流電弧爐擁三支石墨電極棒用於輸入三相交流電力，石墨電極通入電流產生電弧，由於電弧之溫度高達 1,600°C 以上，足以將鋼鐵原料熔化進行煉鋼程序。

2. 爐蓋

爐蓋上設有三孔供電極進出爐體之用，由於電弧爐煉鋼一般採用爐頂加料，故爐蓋多為移動式，以便於加料時旁移。

3. 爐體

爐體為承裝廢鋼原料之主要部份，為避免高溫對爐體造成損害，

通常於爐內側加裝耐火磚。耐火磚可分為鹼性及酸性二種，假如鋼水中含 P 和 S 較多，則必須加入多量的右灰(CaO)使 P 變成 $\text{CaO} \cdot \text{P}_2\text{O}_5$ ，S 變成 CaS 等鹼性爐渣，常用之鹼性耐火材料包括鎂磚、鉻磚、白雲石等。反之，如鋼水中 P 和 S 的含量極少，則無需添加石灰，此時因 SiO_2 較多而形成酸性渣，故應採用酸性耐火材料(如矽磚、矽粉、砂石等)。

由於人造石墨電極會因電流通過或熔煉鋼鐵碰撞而逐漸損耗，根據調查資料顯示，國內三電極交流電弧爐每生產一公噸鋼胚，約造成電極棒 0.32~12 公斤損耗。爐內耐火材料亦會因熔煉鋼鐵碰撞而損耗，每生產一公噸鋼胚約造成 1.8~46.5 公斤之耐火材料耗損。而根據調查資料顯示，在氧化及還原過程中，每生產一公噸鋼胚約產生 4~208 公斤之爐渣。

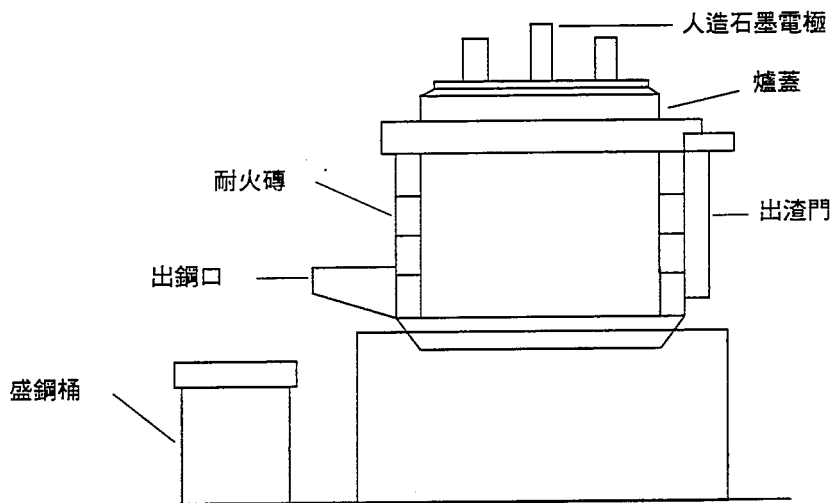


圖 3.1-2 三電極交流電弧爐構造圖^[5]

(二) 單電極直流電弧爐

單電極直流電弧爐如圖 3.1-3 所示，構造上與傳統電弧爐之最大不同為僅有單一電極，且爐底鋪設銅片做為陽極（爐底電極）。銅片上設置耐火磚，為避免影響電流之傳導，每一耐火磚之底部與側面均裝置 L 型鐵片以增加導電度。

1. 石墨電極

三電極交流電弧爐由於電極棒間之電磁斥力，使得熱能之傳導遭

受干擾而不均勻，新式單電極直流電弧爐以單電極直流電力輸入，則可克服因電磁斥力所造成之熱能傳導受干擾導致不均勻之現象。

2. 爐蓋

由於爐蓋僅有一開口供電極棒出入，熔煉過程爐內噪音之外散情形可被降至最低。

3. 爐體

由於電流須穿越熔融鋼液而到達爐底之銅片陽極，鋼液經此一電流擾動而可達成均勻攪拌之目的。此外，國內單電極直流電弧爐皆配合偏心爐底出鋼方式，以簡化爐體設計，減少機械設備，達到減化程序，提高品質功能。根據調查資料顯示國內單電極直流電弧爐每生產一公噸鋼胚約造成 0.04~2.36 公斤之電極棒損耗，而耐火材耗損則介於 2.88~6.25 公斤/公噸之間，生產每公噸鋼胚約產生 82~115 公斤之爐渣。

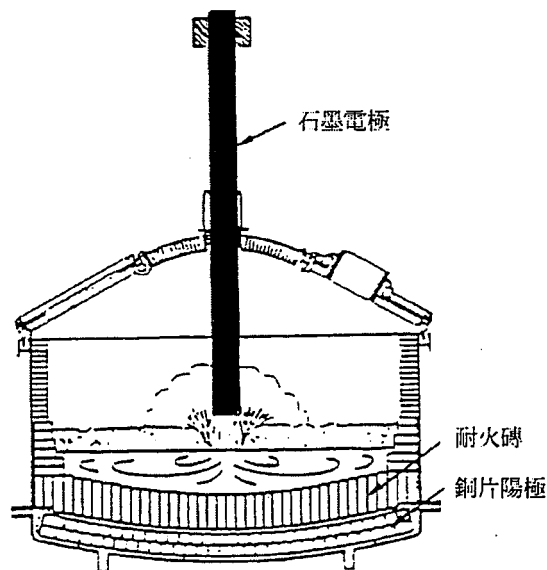


圖 3.1-3 單電極直流電弧爐構造圖^[5]

電弧爐煉鋼製程差異性不大，除前述電弧爐爐體型態之選用不同外，主要因其生產產品類型不同而有些許之差異，就電弧爐煉鋼廠生產型態製程可分為一般碳鋼、不銹鋼及鑄鋼三大類，茲將其生產製程分述於以下章節。

3.2 碳鋼廠 [1][2][25][26][43][44]

碳鋼廠以生產普通碳鋼之鋼胚、鋼筋、型鋼為主之煉鋼廠，主要製程可區分成無盛鋼桶精煉及盛鋼桶精煉兩類。第一類工廠為熔煉與精煉皆在電弧爐內完成，之後直接將鋼液倒入盛鋼桶並進行連續鑄作程序之工廠，此類工廠生產速度較慢，生產品質亦較差；第二類工廠則將電弧爐作為熔煉設備，熔煉後之鋼液倒入盛鋼桶再用其他電極棒進行精煉工作，如此一來較易控制添加物加入，達到控制鋼液品質，並可進行氮氣攪煉，達到調勻鋼液及提高鋼液溫度，以利後續軋鋼處理。一般碳鋼之製造流程如圖 3.2-1。

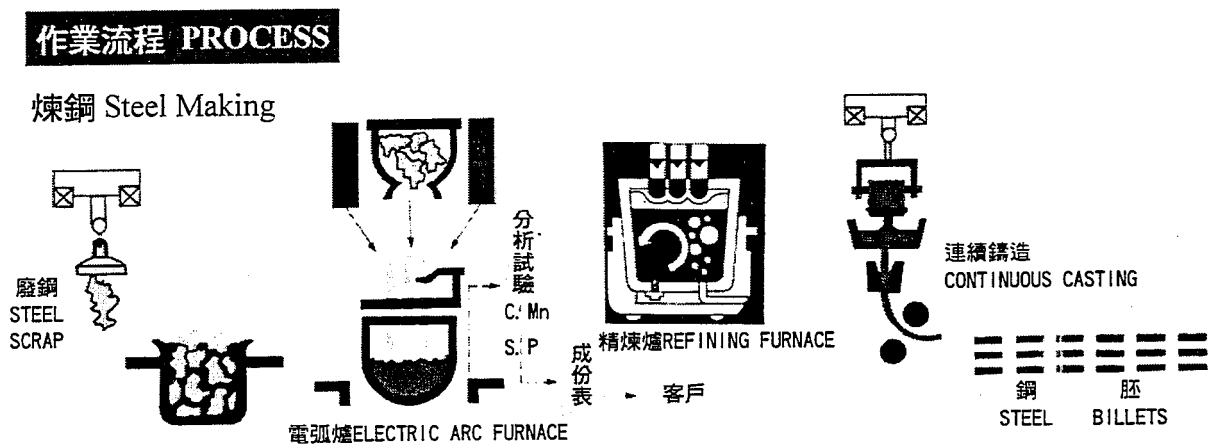


圖 3.2-1 一般碳鋼製造流程圖^[43]

第二類盛鋼桶精煉還有以下節省成本之優點：

- 電弧爐出鋼溫度降低 50~80℃，導致電力消耗減少 30~50 度/公噸鋼胚；而盛鋼桶精煉僅消耗 20~30 度/公噸鋼胚，故整體而言可節省電力 10~20 度/公噸鋼胚。
- 每爐批次時間減少 10~12 分鐘。
- 產量可提高 9~11 公噸/小時。
- 耐火磚損耗節省 10~30%。
- 電弧爐電極棒損耗減少 0.6 公斤/公噸鋼胚；而盛鋼桶精煉須消耗電極棒

0.3~0.5 公斤/公噸鋼胚，故可節省電極棒消耗約 0.2 公斤/公噸鋼胚。

以下茲將其操作步驟簡述如后：

一、電弧爐之操作步驟約可分為下列幾階段：

- (一) 入料期：即投入廢鋼鐵，一般而言，每一爐次約需經過二~三次投料過程，主要煉鋼廠之空氣污染以本期所產生者較多。
- (二) 熔解期：即送電熔解過程(需經過三次送電)，第一次熔解送電所產生之空氣污染物較多，其餘較少產生。
- (三) 氧化期：本階段為投入石灰石及吹氧作業，本期之目的為造渣，將鋼液中之雜質去除。
- (四) 除渣：本階段為將氧化期所產生之浮渣去除。
- (五) 還原期：本期主要為投入合金鐵(如矽錳鐵及錳鐵合金)以調整鋼液之化學成分，達到各種鋼品之化學成分需求。
- (六) 出鋼期：將鋼液澆鑄成鋼胚，部分煉鋼廠採油壓開啟式澆鑄法，可以有效降低出鋼過程所產生之空氣污染情形。

二、精煉爐之操作步驟約可分為下列幾階段：

- (一) 入爐：將電極棒插入鋼液盛桶中。
- (二) 送電、調質：送電入精煉爐中，將鋼液繼續熔煉，並加入副原料調整液成份，底部則以氮氣攪拌，使成份均勻化，精煉爐的操作溫度一般約 1600℃ 以上。
- (三) 出爐：將電極棒移出鋼液盛桶。

目前國內一般碳鋼煉鋼廠有 15 家工廠 22 座爐體、總噸數 1440 公噸，其中有 6 座爐體屬單電極直流電弧爐，總噸數 725 公噸。一般鋼的工廠爐體大小由 15 至 150 公噸都有，其中有 5 座為中、日合作或國產爐體都屬較小噸數，15 座爐體由日本引進(其中有 4 座為單電極直流電弧爐，分別為 85 公噸、90 公噸及 2 座 150 公噸);另外 2 座分別為法國及瑞典引進(分別為 110 公噸及 140 公噸之單電極直流電弧爐)。

3.3 不銹鋼廠 [1][2][45][46]

不銹鋼廠主要係生產不銹鋼材及其他特殊鋼材為主，通常除了電弧爐熔煉外，還配置轉爐進行合金調整工作，有些不銹鋼品質要求更高則需經真空脫碳設備，降低鋼液所含碳成份。這類工廠採用原料除有廢鋼鐵、廢不銹鋼外，仍需填加鉻鐵、鎳等其他合金材料，其製造流程如 3.3-1 所示。目前國內有 4 家工廠 6 座爐體，總噸數為 325 公噸，爐體大小介於 25~85 公噸之中大型爐體，設備來源大都由日本引進。

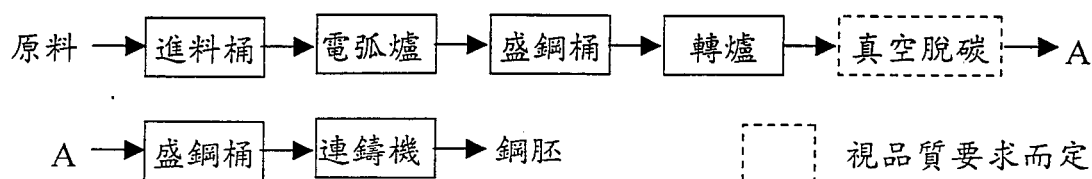


圖 3.3-1 不銹鋼廠製造流程圖^[2]

3.4 鑄鋼廠 [1][2][47]

鑄鋼廠主要是生產鑄鋼產品，其製程與一般鋼鐵鑄造廠相近，差異在於此類工廠熔爐係採用電弧爐，而非一般鑄造工廠使用之週波爐，此外，這類工廠沒有其他電弧爐煉鋼廠之連續澆鑄程序，但有其他電弧爐煉鋼廠沒有之砂模製造程序，其製造流程如圖 3.4-1 所示。

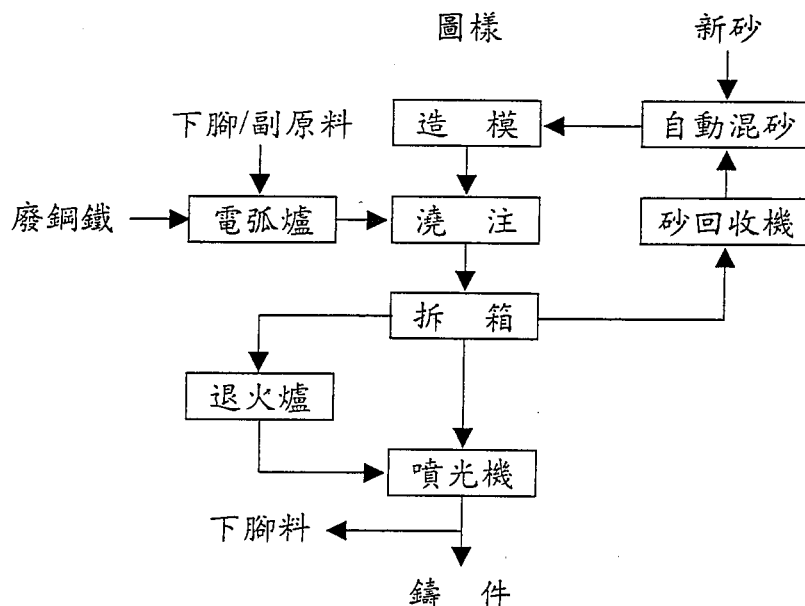


圖 3.4-1 鑄鋼廠製造流程圖^[2]

由於這類工廠生產品都為機械設備主體鑄件，品質要求嚴格，所以這類工廠都是購買鋼鐵錠料或是乾淨鋼鐵下腳料為原料，因此，其熔煉排放污染程度比其他電弧爐煉鋼廠輕微。在品質嚴格要求下，精煉時間亦較長，故整體熔煉時間較其他電弧爐煉鋼廠長約2~4倍。目前國內屬這類型工廠計有5個廠6座爐體，總噸數55公噸，爐體大小介於5~20公噸間，皆屬小型電弧爐爐體，根據調查資料顯示這類工廠爐體大都是由中、日技術合作製造，年產量一般約數仟公噸。

第四章 還原渣特性與處理現況

4.1 還原渣來源、組成及性質特性

一、來源^{[6][9][10][38]}

電弧爐煉鋼業係以廢鋼鐵為原料，經通以電流，藉石墨電極與廢鋼鐵原料間產生電弧，高溫放熱熔煉廢鋼而生產鋼胚，再經軋延程序而生產鋼筋、棒鋼、角鋼及型鋼等各類鋼品。依其原料來源而言，電弧爐煉鋼業實為典型的資源回收工業。國內電弧爐煉鋼廠所使用廢鋼鐵原料，有購自國內市場，亦有自國外進口者，一般以拆船廢鐵、汽車廢鐵、壓鑄廢鐵、民間廢鐵為主，其中拆船廢鐵的來源隨著拆船業逐漸沒落而減少，一些較薄及品質較差的廢鋼鐵，除少數業者擁有處理設備外，絕大多數均未經前處理或預熱即直接入爐熔煉。由於廢鋼鐵來源複雜，其中金屬除鐵金屬外，許多在過去使用時為防蝕而鍍有鋅、鋁、鎳、銅等金屬；廢棄之不銹鋼中含有鎳、鉻等合金元素；另馬口鐵廢料、汽車廢料都是鋅含量多的廢鐵，經熔煉反應後，大部份非鐵金屬與添加之副原料便形成煉鋼過程所排出之熔渣，也就是煉鋼爐渣，電弧爐煉鋼爐渣產生量及成份即與上述進料之種類有關。

電弧爐爐渣係為電弧爐煉鋼過程中所產生之副產品，電弧爐煉鋼均採批次作業，熔煉過程依其化學反應分成三個階段，分別為溶解期、氧化期及還原期。在初步分類、稱重後加料，使廢鐵原料溶解成液態鋼液，此為溶解期，並為加速溶解，再通入高壓氧氣以加速氧化作用，此階段為氧化期，此時，部份的鐵及其它雜質(如矽、錳)生成氧化物和先期投入的少量石灰開始形成少量之氧化渣，再通入更多的氧氣，雜質則氧化生成更多量的固態氧化渣及氣態氧化物(廢氣)。此時因鋼液中含氧量過高，因此需加以還原，其作法是先將氧化渣排除，再加入大量石灰石、碳粉等副原料重新造渣，此階段即為還原期，主要使其與氧化物反應，產生還原渣並去氧脫硫，以清潔鋼液。而隨著該爐鋼水冶煉完成，製程中所產生的爐渣因其比重較小的原理與鋼液分離，因此就成了電弧爐煉鋼的主要廢棄物，爐渣自電弧爐排出冷卻所得之固體物，一般稱之為"電爐渣"，又稱"電爐石"，其產生點如圖 4.1-1。

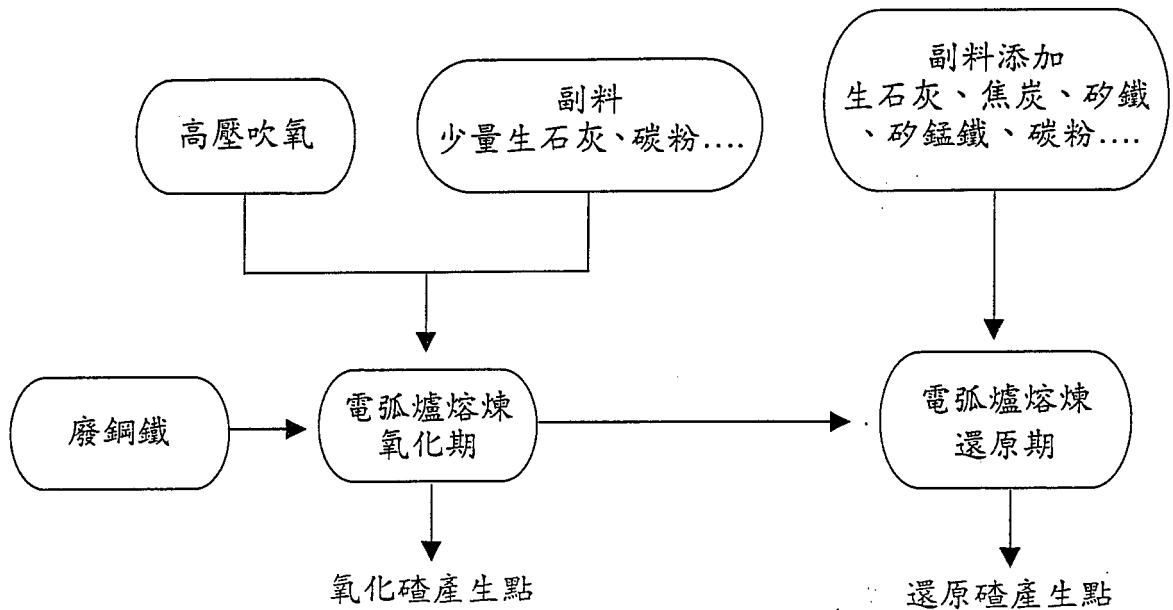


圖 4.1-1 電弧爐煉鋼還原渣產生點

二、組成及性質特性^{[6][9][14][30][38]}

(一) 組成

一般來說，煉鋼爐渣的組成主要來源至少包括下列六種：

1. 鐵水及廢鋼中所含鋁、矽、錳、磷、硫、鈮、鉻及鐵等元素氧化後形成的氧化物。
2. 金屬料帶入的泥沙等。
3. 加入的造渣劑，如石灰、螢石等。
4. 作為氧化劑或冷卻劑使用的鐵礦石、燒結礦、氧化鐵銹皮等。
5. 侵蝕下來的煉鋼爐耐火材料。
6. 脫氧用合金的脫氧產物和熔渣的脫硫產物等。

煉鋼過程中所產生的煉鋼爐渣會因為不同的原料、不同的煉鋼方法、不同的鋼種生產、不同的生產階段及不同的爐次等種種因素，其產生量與組成會有差異。電弧爐煉鋼爐渣由於出渣時期不同，分成氧化渣和

還原渣兩種。而電弧爐每生產 1 公噸的鋼胚約產生 100 公斤的煉鋼爐渣。

在礦物組成方面，煉鋼爐渣從冶金化學角度上看，主要是含鈣、鎂、鋁、鐵和矽等元素組成的 $\text{CaO}(\text{MgO})\text{-Al}_2\text{O}_3\text{(Fe}_2\text{O}_3\text{)-SiO}_2$ 三元系統(如圖 4.1-2 所示)，且介於矽酸鹽水泥熟料和高爐爐渣之間的產物；從礦物組成上看，一般煉鋼爐渣均含有矽酸三鈣(C_3S)、矽酸二鈣(C_2S)、鐵鋁酸鈣(C_4AF)、鐵酸鈣(C_2F)、鈣鎂橄欖石(CMS)、鎂薔薇輝石(C_3MS_2)和少量游離氧化鈣及 RO 相等多種礦物。其中矽酸鈣、鐵鋁酸鈣等是活性組成份，具有膠凝性，鈣鎂橄欖石和鎂薔薇輝石是惰性礦物，而游離氧化鈣是有害物質，RO 相是鎂、鐵和錳等少量二價氧化物的固溶體，通常是穩定的。

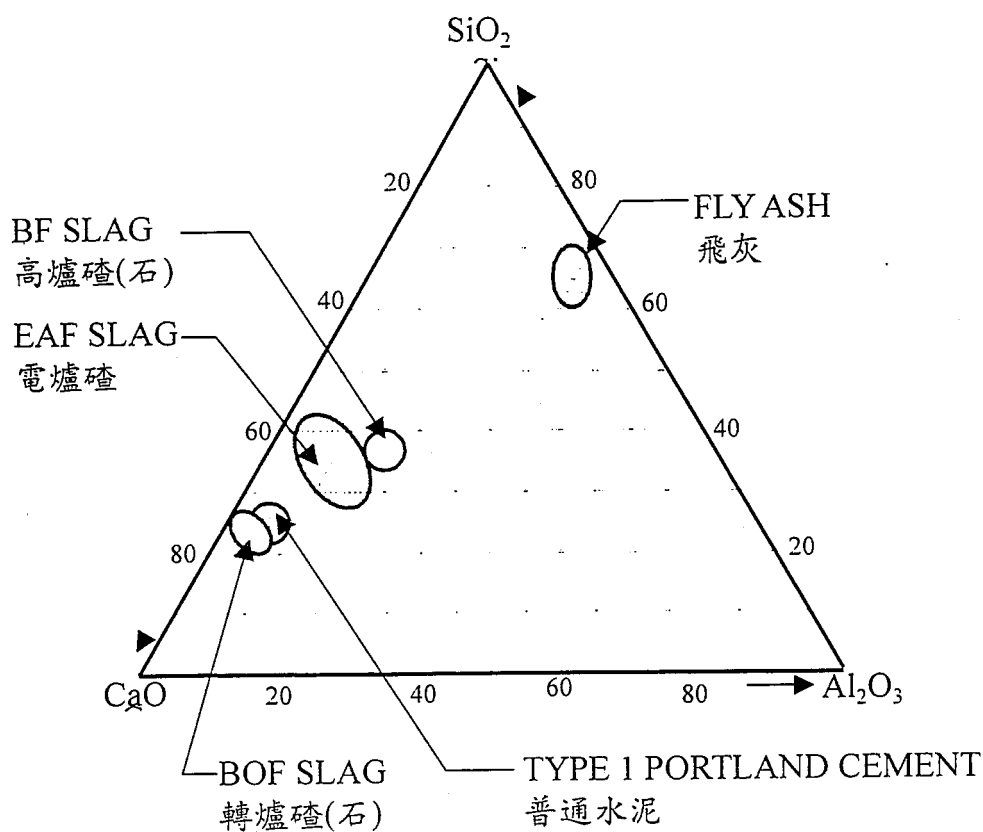
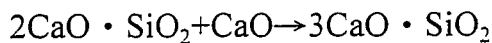
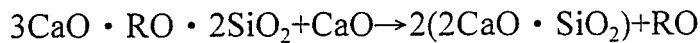
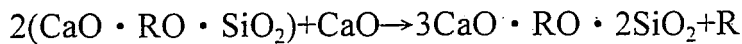
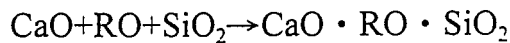


圖 4.1-2 $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 相圖^[38]

又根據煉鋼爐渣的鹼度不同，礦物可以分為橄欖石、薔薇輝石、矽酸二鈣和矽酸三鈣。在冶煉過程中，鹼度逐漸提高，則依次發生下列反應：



式中 RO 代表二價金屬(Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Mn^{2+})氧化物的連續固溶體。

煉鋼爐渣的活性與其組成有密切相關，其活性通常用鹼度係數 $R(R = \text{CaO}/\text{SiO}_2$ 或 $\text{CaO}/(\text{SiO}_2 + \text{P}_2\text{O}_5))$ 表徵。低鹼度的鋼渣如氧化渣，常含有橄欖石($\text{CaO} \cdot \text{RO} \cdot \text{SiO}_2$)、薔薇輝石($3\text{CaO} \cdot \text{RO} \cdot \text{SiO}_2$)、RO 相($\text{MgO} \cdot \text{MnO} \cdot \text{FeO}$)的固溶體。鹼度高之還原渣具有矽酸二鈣($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)和矽酸三鈣($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$)是和矽酸鹽水泥熟料的主要礦物相似。鹼度係數提高，活性礦物含量隨之增多，其水硬膠凝性能也隨之增大，水化活性亦隨之提高，可作為水泥類建材之用。

以化學成份分析而言，不論是氧化渣或還原渣之化學成份皆以氧化鐵、氧化鈣、二氧化矽、三氧化二鋁、氧化鎂及氧化錳等為主要成分，一般而言，氧化渣中氧化鈣含量會較低，氧化鐵含量會較高，而還原渣剛好相反。鋼鐵冶煉過程所產生之各類爐渣(含高爐渣、轉爐渣及電弧爐煉鋼爐渣)化學成分比較如表 4.1-1 所示，由表中可知還原渣之化性與高爐渣較類近。另依經濟部工業局“電弧爐爐渣利用推廣手冊”所列國內某鋼鐵廠所提供之氧化渣及還原渣化學成份組成如表 4.1-2 所示，其還原渣亦較氧化渣類近於水泥化性。

表 4.1-1 各類爐渣化學成分比較表^[14]

(單位：%)

種類 成份	高爐渣	轉爐渣	電 弧 爐 渣		山 土	安山岩	普通卜特 蘭水泥
			氧化爐渣	還原爐渣			
SiO ₂	33.4	10.9	25.2	28.2	59.6	59.6	22.1
CaO	41	42.9	40.4	49.4	0.4	5.8	64.6
Al ₂ O ₃	14.5	1.5	4.8	11.8	22	17.3	5.4
FeO	0.4	20.7	18.5	2.1	-	3.1	3.1*
MgO	6	7.2	3.7	7.6	0.8	2.8	1.4
S	1	0.09	0.06	0.26	0.01	-	2.0**
MnO	0.7	5.2	6.5	0.2	0.1	0.2	-
TiO ₂	1.5	1.4	0.3	-	-	0.8	-
鹽基度 Ca/SiO ₂	1.0~1.3	2.5~5.0	1.2~3.0	1.5~3.5	-	-	-

註：*以 Fe₂O₃ 表示

**以 SO₃ 表示

表 4.1-2 電弧爐煉鋼爐渣化學組成^[38]

	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	MnO	TiO ₂	S	SO ₃	Fe ₂ O ₃	T-Fe	f- CaO	有效鹼 Na ₂ O+ 0.658KO
氧化渣	23.89	15.75	2.69	1.89	1.29	0	0.05	0	33.61	14.20	0	0.03
	35.11	20.43	5.83	7.97	3.15		0.08	0.03	38.19	27.98	0.16	0.09
還原渣	48.45	22.41	14.11	6.23	0.22	0	0.77	0.04	1.53	2.03	0.30	0.03
	48.69	28.98	17.60	9.82	0.30		1.53	0.38	1.13	2.68	7.66	0.16
水 泥	64	21	6	2	—	—	—	2	3	—	<3%	0.5

若依照水泥材料的要求，分析電弧爐煉鋼還原渣，則可將主要構成分為三部份，其中有效成份為氧化矽(SiO_2)與氧化鈣(CaO)，還原渣之氧化矽的含量大都在 22%~29%不等，氧化鈣則在 48%左右，其次還原渣中氧化金屬含量約在 15%~19%不等，其中大部分為氧化鐵(Fe_2O_3)及氧化鈣(Al_2O_3)，其他物質如氧化錳(MnO)及氧化鈦(TiO_2)的含量極少，這一類成份基本上對混凝土的性質影響不大。各類氧化物特性如下：

1. 氧化鈣(CaO)；(lime)

氧化鈣為水泥及高爐爐石之主要的成分，一般而言氧化鈣含量越高其活性亦越大，還原渣的 CaO 含量與高爐渣相當接近，但由於生成方式不同，故結構不同，其中高爐渣係以水淬方式急速冷卻，因此較具活性，而還原渣則多為緩慢冷卻，故活性將受影響而降低。

2. 氧化鎂(MgO)；(Magnesia)

大多數之氧化鎂與氧化矽及氧化鈣結合成穩定型化合物，一般而言含量低於 20%則無健度問題之顧慮，同時 MgO 之存在可使爐渣之顯微結構較開放而增加其活性。另相關文獻亦指出，氧化鎂是造成電弧爐渣體積不穩定的主要因素之一，由表 4.1-2 顯示還原渣氧化鎂的含量約在 6.23%-9.82%不等，因此在未安定化前將爐渣拌製混凝土，將可能造成拌製混凝土後，體積膨脹的因素之一。

3. 氧化矽(SiO_2)；(Silica)

此成分含量多寡對於形成玻璃質結構有密切關係，由於爐渣中 CaO 與 MgO 之總含量太少，使 SiO_2 無法充分結合形成玻璃質結構，但 SiO_2 含量過多時反而使活性降低。

4. 氧化鐵(Fe_2O_3)；(Ferric Oxide)

一般高爐渣的氧化鐵含量均在 1%-3%範圍內，還原渣中亦類似，但電弧爐渣之 Fe_2O_3 (包括 FeO) 含量則高達 30%以上，遠較還原渣含量高。

5. 硫(S)；(Sulphur)

硫在爐渣中多以硫化物存在(MnS ， CaS)，但在 MnO 存在之情況

下較易生成 MnS，而 MnS 與水作用會發生體積膨脹現象，而使結構物強度減弱，一般高爐渣中硫之含量範圍為 1%-2.5%，由表 4.1-2 亦可看出氧化渣及還原渣之 S 及 SO₃ 含量均在安全範圍內。

6. 其他雜質

電弧爐煉鋼爐渣(氧化渣及還原渣)內可能仍含有各類物質，由於含量甚低，一般認為只會使爐渣微觀結構更加開放，進而增加其活性。

(二) 性質特性

電弧爐煉鋼爐渣是由多種礦物組成的固溶體，隨化學成份的變化而有所不同，其性質也和化學成份有著密切的關係。一般而言煉鋼爐渣普遍具有下列性質特性。

1. 密度

由於煉鋼爐渣含鐵量較高，因此其密度較高爐渣為大，一般約為 3.1-3.6kg/cm³。

2. 單位容積重量(乾搗單位重)

煉鋼爐渣之單位容積重量不但受到成份的影響，還與粒度有關。一般而言，通過 80 目標準篩的渣粉，電弧爐渣為 1620kg/m³ 左右，轉爐渣為 1740kg/m³ 左右。

3. 易磨性

由於煉鋼爐渣結構較為緻密，故較為耐磨。以易磨指數表示，標準砂為 1，高爐渣為 0.96，而煉鋼爐渣為 0.7。由於煉鋼爐渣較耐磨，充當路面材料時較高爐渣為佳，但用於生產水泥，則會降低水泥磨的生產能力。

4. 活性

C₃S、C₂S 等為活性礦物，具有水硬膠凝性。當煉鋼爐渣中 CaO/SiO₂+P₂O₃ 之比值大於 1.8 時，便含有 60%-80% 的 C₃S 和 C₂S，並且隨著比值(鹼度)提高，C₃S 含量也增加，當鹼度高於 2.5 的煉鋼爐渣與 10% 的石膏研磨，其強度可達大陸之國家標準 325 標號水泥強度。

(7 天抗壓強度 15.0MPa、28 天 32.5MPa；7 天抗彎強度 3.0MPa、28 天 5.5Mpa)。因此， C_3S 、 C_2S 含量高的高鹼度煉鋼爐渣(還原渣)，可作為水泥生產原料和製造建材製品。

5. 穩定性

煉鋼爐渣含游離氧化鈣(free-CaO)、MgO、 C_3S 、 C_2S 等，這些組成在一定條件下都具有不穩定性。鹼度高的熔渣在緩緩冷卻時， C_3S 會在 1250°C 到 1100°C 時緩緩分解為 C_2S 和 free-CaO； C_2S 在 675°C 時 β - C_2S 會相變為 γ - C_2S ，並且發生體積膨脹，其膨脹率達 10%。

另外，煉鋼爐渣吸水後，free-CaO 會消解為氫氧化鈣[Ca(OH)₂]，體積將會膨脹 100-300%，MgO 會消解為氫氧化鎂[Mg(OH)₂]，體積膨脹約 77%。因此含有 free-CaO、MgO 的常溫煉鋼爐渣是處於不穩定狀態。只有當 free-CaO、MgO 消解完成或含量很少時，才會穩定。

由於煉鋼爐渣的這些特性，因此在處理和應用煉鋼爐渣時必須注意下列各點：

- (1) 用作生產水泥的煉鋼爐渣要求 C_3S 含量要高，因此在進行冷卻處理時，最好不要用緩冷技術。
- (2) 含 free-CaO 高的煉鋼爐渣不宜作水泥和建築製品生產及工程回填材料。
- (3) 利用 free-CaO 消解膨脹的特性，可對含 free-CaO 高的煉鋼爐渣採用餘熱自解的處理技術。

另根據經濟部工業局「工業廢棄物共同清除處理計畫」於民國 90 年調查分析全國 21 個工廠還原渣樣品之初步物理性質分析結果如表 4.1-3 所示，國內各工廠之還原渣性質特性說明如下：

1. 外觀

電弧爐氧化渣表面外觀粗糙，凹凸富有稜角且有多處孔洞與天然火成岩類似，還原渣較緻密，表面孔洞比氧化渣少。電弧爐氧化渣的顏色均呈黑褐色，電弧爐還原渣的顏色有呈黑褐色，也有如高爐石粉呈灰白色粉末狀，有些還原渣表面還具金屬光澤。

表 4.1-3 還原爐渣初步物理性質分析及輻射檢測結果

序號	PH	莫氏 硬度	比重	吸水率 (%)	篩分析 (FM)	乾搗單位重 (Kg/m ³)	輻射量 (微西弗/小時)	工廠類型
1	9.79	5	2.96	0.4	-	-	0.02	一般碳鋼
2	9.45	3	2.6	1.36	-	1298	0.02	一般碳鋼
3	9.54	4	3.06	0.49	8.6	1734	0.02	一般碳鋼
4	11.99	-	3.12	32.21	1.62	1211	0.02	一般碳鋼
5	12.33	-	2.94	4.46	2.55	1720	0.02	一般碳鋼
6	12.12	-	3.12	7.24	2.85	1945	0.02	一般碳鋼
7	12.46	-	2.38	35.69	2.42	931	0.02	一般碳鋼
8	10	3	2.44	2.37	-	-	0.02	一般碳鋼
9	12.35	-	2.88	1.86	7.08	1792	0.02	一般碳鋼
10	9.57	9	2.53	0.94	-	-	0.07	一般碳鋼
11	12.02	-	2.78	12.04	6.55	1573	0.02	一般碳鋼
12	11.65	-	3.12	7.67	2.79	-	0.02	一般碳鋼
13	9.5	4	2.5	2.25	8.3	1550	0.02	一般碳鋼
14	12.28	-	3.33	17.4	2.96	1662	0.02	不銹鋼
15	10.97	-	2.94	3.29	2.97	1818	0.02	不銹鋼
16	12.24	-	2.94	29.62	0.95	1279	0.02	不銹鋼
17	11.53	-	2.94	39.75	1.33	1251	0.02	不銹鋼
18	9.57	6	2.82	0.8	-	-	0.02	鑄鋼
19	10.17	4	2.18	8.43	-	740	0.02	鑄鋼
20	10.17	5	2.95	3.35	7.48	1591	0.02	鑄鋼
21	9.46	4	2.37	2.08	-	-	0.02	鑄鋼

註：全國 24 家中有三家因故未能配合執行採樣。

2. 比重及吸水率

經測定之 21 個還原渣樣品比重皆在 2.18 以上，有 11 個工廠樣品大於比重 2.9 之水淬爐石粉，部分樣品與卜特蘭水泥之 3.15 相近。

3. 篩分析

由篩分析求得之 FM 值(細度模數)，可知樣品粒徑的分佈情況，若 FM 值高，則樣品粒徑較粗，於研磨成水泥膠結料時，需較高的耗能，FM 值小者，其資源再利用之效益較高，表 4.1-3 所示 21 個樣品中，有 7 個樣品粒徑超過 2 1/2"，無法進行篩分析，其餘 14 個樣品中，FM 值多集中在 3.0 以下，有 9 家，其他 5 家在 6.55~8.6 之間。

4. 乾搗單位重

比較材料的乾搗單位重與 FM 值及比重以配合判斷顆粒分佈及充填性，全國 21 個工廠樣品在 740~1945kg/m³ 間。

5. pH 值

由於電弧爐煉鋼製程於還原期時須加入大量石灰石、碳粉等副料以產生浮渣並去氧，且添加石灰石愈多，可使得 Fe 還原愈完全，故其 pH 值在還原期都偏高，而 pH 值高的樣品其活性較大，由表 4.1-3 中得知，各廠家之還原渣 pH 值皆未超過環保署所列有害廢棄物標準 pH12.5 之規定。

6. 莫氏硬度

由於國內部分電弧爐煉鋼業未於電弧爐後加精煉爐煉鋼，因此氧化渣及還原渣同在一電弧爐爐體中分期形成，而為控制鋼品品質，廠商亦加入各項添加劑(矽鐵、矽錳鐵、焦炭、石灰石等)調整鋼液，因此部分廠商產生之還原渣含氧化鐵成分較多，硬度較高。全國 21 個樣品中顆粒較大(尺寸>6cm)且堅硬的 10 個樣品，之莫氏硬度在 3~9 之間。

為探討還原渣中污染物質在環境中的溶出潛勢及其幅射劑量，以評估其資源化再利用時有無公害之虞，該計畫亦針對所採樣品進行相關之毒性溶出試驗及輻射檢測，以下茲就試驗結果說明如后：

1. 輻射檢測

電弧爐煉鋼係利用廢鐵、廢鋼為原料，在原料進廠前均須經過廠

區設置之輻射偵檢設備檢測後方可進廠，因此煉鋼之原料理論上已無輻射之問題，再者，經過高溫電弧(1600°C 以上)來熔解廢鋼，以達成冶煉鋼鐵之目的所產生之爐渣，理論上應該也無輻射之問題。但基於行政院原委會「建築材料用事業廢棄物之放射性含量限制要點」中規定，為使事業廢棄物可合理地再利用於建築材料上，並防止其原有的天然放射性物質含量，不致危害環境輻射安全，以維護人體健康。因此依據該要點第四條第三項「事業廢棄物的伽瑪等效劑量率在每小時0.2 微西弗(含背景值)以下時，則不必作比活度分析，即可用於建築材料」之規定，進行還原渣之輻射檢測，其檢測結果如表 4.1-3 所示，全國 21 個工廠還原渣樣品均遠低於 0.2 微西弗/小時以下規定，顯示還原渣無輻射之問題。

2. 毒性溶出試驗

為探討還原渣中污染物質在環境中的溶出潛勢，以確保其資源化再利用時有無二次公害之虞，該計畫依煉鋼廠規模產量、類型選出 5 個具代表性的樣品(含二個不銹鋼廠，三個碳鋼廠)，經毒性特性溶出試驗(TCLP)結果如表 4.1-4 所示，由表中可看出各種有害重金屬成分之溶出結果，皆遠低於環保署有害事業廢棄物認定標準以下，故可被認為一般事業廢棄物，因此未來將還原渣資源化再利用時，對環境應不致造成影響。

表 4.1-4 電弧爐煉鋼還原渣之毒性溶出試驗(TCLP)結果

序號	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Pb (mg/L)	Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)	Cr ⁶⁺ (mg/L)
1	ND	0.250	ND	ND	ND	0.0005	ND	0.010
2	ND	0.200	ND	ND	ND	0.0005	ND	0.030
3	ND	0.215	ND	ND	ND	0.0007	ND	0.014
4	ND	0.119	ND	ND	ND	0.0006	0.001	0.027
5	ND	0.206	ND	ND	ND	0.0005	0.0011	0.025
法規標準	<15.0 mg/L	<25.0 mg/L	<5.0 mg/L	<1.0 mg/L	<5.0 mg/L	<5.0 mg/L	<0.2 mg/L	<2.5 mg/L
備註	MDL= 0.029	MDL= 0.013	MDL= 0.059	MDL= 0.011	MDL= 0.0005	MDL= 0.0004	MDL= 0.0004	MDL= 0.010

註：低於方法偵測極限值(MDL)之測定以“ND”。

4.2 還原渣產生量及處理現況^{[2][6]}

根據經濟部工業局「工業污染防治技術服務計畫」在民國八十八年所做調查資料顯示，目前每生產一公噸鋼胚平均約產生 100 公斤之爐渣，而就各類鋼廠而言，一般碳鋼廠產生 30.0~115.4 公斤，不銹鋼廠介於 124.4~358.2 公斤之間，鑄鋼廠則介於 4.2~100.0 公斤爐渣，很明顯地，鑄鋼使用較乾淨原料，其爐渣產生量較一般碳鋼及不銹鋼為低。

另依據經濟部工業局「工業廢棄物共同清除處理計畫」於民國 90 年就目前仍在運轉之電弧爐煉鋼業者進行全面性的訪談調查結果如表 4.2-1 所示，目前鋼胚年生產量約為 689 萬公噸，爐渣產生量約為 69 萬噸，其中還原渣約佔 15%~30%，其餘多為氧化渣。

目前台灣煉鋼爐渣之處理普通採用露天方式堆置於渣場內並將氧化渣及還原渣混合存放，而且煉鋼所用的爐渣桶內面的耐火磚土也大都伴隨剝落，而與爐渣一同廢置。爐渣一般皆在廠內以怪手破碎回收粒度較大的鐵塊供回爐使用，其餘通常由廠方自行或付費委託清除公司代為清除，大部份被掩埋於山谷或河谷，少數則由再利用事業機構依環保署公告之「一般事業廢棄物再利用類別及管理方式」作為工程填地材料等使用，大部分應用於填土整地或廠內低窪地，少部分用於鋪築便道。若是委託清理則由於未作處理即行清運掩埋，故運送路程越遠，清運費越高，據調查目前每公噸清理費用介於 300~2000 元之間。

表4.2-1 台灣地區電弧爐操作及爐渣產量統計表

序號	電弧爐數目(座)	電弧爐公稱噸數(噸)	批次時間(min)	熔煉溫度(°C)	生石灰使用量(公斤/噸鋼液)	氧化鎂使用量(公斤/噸鋼液)	鋼胚年產量(噸)	氧化渣/鋼胚(%)*	還原渣/鋼胚(%)*	有無精煉爐	爐渣場有無噴水處理	生產鋼材
1	2	50/50	75	1,650	25	-	350,000	9	3	X	○	一般碳鋼
2	1	15	60	1,650	22	2.28	70,000	10	-	X	X	一般碳鋼
3	1	50	70	1,650	21	1	150,000	7	-	X	X	一般碳鋼
4	2	50/50	70~75	1,640	25	-	120,000	6	3	X	X	一般碳鋼
5	1	110	72	1,650	42.5	5	700,000	10	1	○	○	一般碳鋼
6	3	85 35/35	70	1,610	30	1	800,000	6	4	○	X	一般碳鋼
7	2	150/150	70	1,650	30	12	600,000	13	1.3	○	○	一般碳鋼
8	2	25/35	70	1,650	23.5	-	300,000	10	-	X	○	一般碳鋼
9	1	140	45~60	1,600	20	-	500,000	10	1	○	X	一般碳鋼
10	1	50	100	1,660	30	-	150,000	8	-	X	X	一般碳鋼
11	1	90	60	1,600	30	4.5	500,000	6	1	○	○	一般碳鋼
12	2	30/50	75	1,640	30	-	500,000	10	-	○	○	一般碳鋼
13	1	70	75~85	1610~1640	30	7.2	300,000	20	<1	○	○	一般碳鋼
14	1	50	65	1,650	25	7	360,000	-	-	X	X	一般碳鋼
15	1	70	50~60	1650~1700	25~30	7	216,000	12	3	○	○	一般碳鋼
16	1	50	60~70	1,650	130	6	120,000	11	37	○	○	不銹鋼
17	1	25	90	1,190	120	140	27,600	20	20	X	○	不銹鋼
18	2	85/85	110	1,650	35	3.5	900,000	8	14.4	○	○	不銹鋼
19	2	40/40	120	1,660	100	14	200,000	12	13	○	○	不銹鋼
20	1	6	240	1,650	50	-	1,200	-	12	X	X	鑄鋼(合金鋼)
21	1	10	150	1,650	30	-	2,000	10	-	X	X	鑄件
22	1	5	180	1,650	5	-	1,400	2	1	X	X	鑄鋼(合金鋼)
23	2	6/8	150	1,650	100	-	360	5	2	X	X	鑄鋼(合金鋼)
24	1	20	180	1700	25	-	21,000	-	-	X	X	鑄鋼(合金鋼)
總計	34	1,820	-	-	-	-	約690萬噸	-	-	-	-	電弧爐渣年產量約為69萬噸

備註：1.*表示僅供參考，一般電弧爐煉鋼爐渣約佔鋼胚產量之10%。

2."-"表示無此數據或工廠未提供資料。

第五章 電弧爐煉鋼還原渣資源化技術評析及案例彙編

5.1 國內外還原渣資源化利用概況 [6][9][30][31][38]

一、國內外還原渣資源化利用概況

電弧爐煉鋼均為批次作業，冶煉過程依其化學反應分成三個階段，分別為溶解期、氧化期及還原期。而在氧化期及還原期的過程中均會產生爐渣，前者稱為氧化渣，後者稱為還原渣。但大多數爐渣之處理過程都會將此物理性能及化學性質完全不同的這兩種爐渣混在一起。在二十世紀初期國外開始研究煉鋼爐渣的利用，但由於爐渣成份複雜，各種成份含量的變化幅度大等原因，過去對爐渣利用率一直不高，致各國都有大量爐渣棄置堆積，佔用土地，影響環境，但隨著煉鋼技術及資源化再利用技術的發展，礦源、能源之缺乏，1970 年代以來不少國家對於爐渣的利用迅速提高。圖 5.1-1 列示電弧爐煉鋼爐渣的各種用途，主要的有道路用、水泥用、混凝土用、肥料用和土壤改良材用。

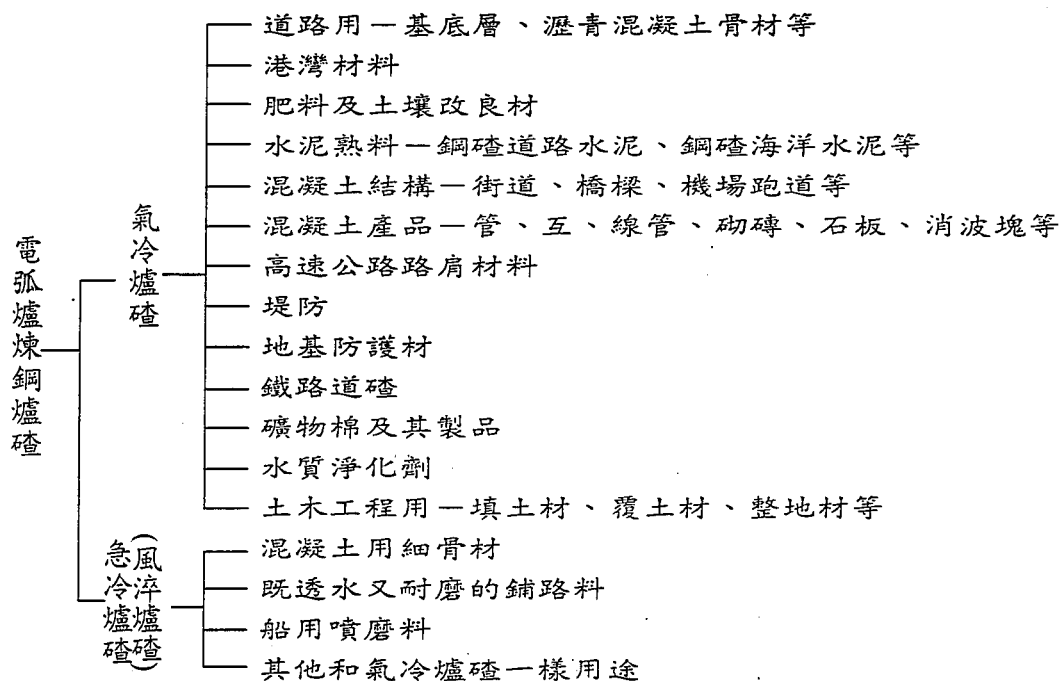


圖 5.1-1 電弧爐煉鋼爐渣的利用途徑 [38]

根據聯合國 1979 年世界主要鋼鐵生產國家之煉鋼爐渣的利用情況資料，如表 5.1-1 所示，顯示煉鋼爐渣以利用在道路方面最多，約 44%，其次是肥料用、再利用，少量作為水泥用(約 2%，以日本佔絕大部份)。在法國，煉鋼爐渣 100%用於肥料方面，蘇聯和美國的煉鋼爐渣高比例用在道路方面(分別為 83.7%、99%)等現象都是值得注意的地方。而在西德方面，煉鋼爐渣 30.7%再利用、30%道路用、24%肥料用。日本的情形則為 19%再利用、9.5%道路用、6.2%水泥用、2.2%肥料用。另外由於中國大陸於工業大躍進時期盛行土法煉鋼，導致大量電弧爐爐渣產生，目前除回收爐渣中的鐵份外，並將爐渣做成白/彩色水泥及礦物棉等製品。由以上的說明可了解爐渣的利用範圍非常廣泛，且世界上多數國家都將此爐渣用作為瀝青混凝土的骨材，然而其爐渣中存在的氧化鈣(CaO)和氧化鎂(MgO)會引起膨脹現象，因此世界各國均要求要將爐渣安定化之後才可進行再利用。

表 5.1-1 世界主要鋼鐵生產國家煉鋼爐渣利用狀況(1979 年)^{[6][9]}

用途 國名	再利用		道路用		水泥用		肥料用		其他用		合計		利用率 %
	千噸	%	千噸	%	千噸	%	千噸	%	千噸	%	千噸	%	
二十國 合計	5,532.8	13.4	18,057.9	43.7	945.0	2.3	5,808.0	14.1	10,982.0	26.5	41,325.7	100	64.7
西德	1,602.0	30.7	1,568.0	30.0	-	-	1,252.0	24.0	798.0	15.3	5,220.0	100	87.1
法國	-	-	-	-	-	-	2,235.0	100	-	-	2,235.0	100	100.0
蘇聯	1,100.0	10.8	8,500.0	83.7	-	-	560.0	5.5	-	-	10,160.0	100	42.0
美國	N.D.	-	6,940.0	90.0	-	-	-	-	771.0	10.0	7,711.0	100	-
日本	2,800.0	19.0	1,390.0	9.4	920.0	6.2	320.0	2.2	9,330.0	63.2	14,760.0	100	100.0
其他 十五國 小計	1,632.8	25.3	1,277.9	19.0	25.0	0.4	2,693.0	41.7	881.0	13.6	6,459.7	100	-

因為大多數爐渣之處理均將兩種爐渣混在一起，所以無法單獨以還原渣之資源化概況展現出來，以下僅再以近幾年來日本及美國之煉鋼爐渣的利用概況來說明。

根據日本鋼鐵爐渣協會資料，如表 5.1-2 所示，1999 年日本煉鋼爐渣之利用率已達 96.3%左右，另外 3.7%則採掩埋處理。轉爐爐渣中約有 31.0%作為土木用(主要為臨時工程用)，28.2%再利用(煉鐵工廠內資源回收再利用)，31.9%道路用，6.9%水泥用，1.8%其它用。電弧爐爐渣之利用率僅達 85%

，其中 60.7%作為道路用，12.1%土木用，8.1%再利用，1.7%水泥用，2.4%其它用。

表 5.1-2 日本煉鋼爐渣利用狀況(1999 年)^[38]

用途別		轉爐爐渣		電弧爐爐渣		合 計	
		千噸	%	千噸	%	千噸	%
有效利用	土 木 用	3,001	31.0	373	12.1	3,774	29.6
	再 利 用	2,733	28.2	249	8.1	2,982	23.4
	道 路 用	3,089	31.9	1,862	60.7	4,951	38.8
	水 泥 用	670	6.9	51	1.7	721	5.6
	其 它 用	169	1.8	73	2.4	242	1.9
	小 計	9,662	99.8	2,608	85	12,270	96.3
掩 埋		17	0.2	459	15	476	3.7
合 計		9,679	100	3,067	100	12,746	100

根據美國鋼鐵爐渣協會資料，顯示 1994 至 1998 年煉鋼爐渣之利用狀況如表 5.1-3 所示，其主要用途也是用在瀝青混凝土骨材、鐵路之道渣、道路的路基、肥料用、土木工程填築料及其它用。

表 5.1-3 美國煉鋼爐渣利用狀況^{*1*2} (千公噸與千美元)^[38]

用 途	1995		1996		1997		1998	
	使用量	價值 ^{*3}	使用量	價值 ^{*3}	使用量	價值 ^{*3}	使用量	價值 ^{*3}
瀝青混凝土骨材	1,040	4,800	1,000	4,170	1,870	7,780	1,110	5,620
填築料	1,380	3,600	1,330	3,330	1,940	5,000	1,390	3,400
鐵路道渣	168	533	182	534	182	578	171	530
道路路基	2,820	7,940	2,430	8,500	1,640	5,890	2,450	8,330
其他 ^{*4}	1,760	5,630	1,700	5,020	1,400	5,690	1,060	5,060
合 計	7,160	22,600	6,640	21,500	7,040	24,900	6,180	22,900

註：* 1.數據來自美國三個重要區域（北區：伊利諾州、印地安那州、密西根州，俄亥俄州；中區：馬里蘭州、紐約州、西維吉尼亞州、賓州；其他區域：阿拉巴馬州、加州、肯塔基州、猶他州），輸入除外。

* 2.回爐重煉者除外。

* 3.售價是以處理場之牌價為基礎。

* 4.包括冰的控制、土壤改良和雜項利用。

由以上煉鋼爐渣之利用簡史，可知其利用範圍之廣泛。然而目前台灣煉

鋼爐渣之處理，亦是同大多數國家一樣將兩種爐渣混在一起，一般皆在廠內以怪手破碎成小塊，僅回收粒度較大之鐵塊以供回爐使用，其餘則由廠方自行或委託清運公司代為清除，大部份被掩埋於山谷或河谷，因此被逕行掩埋的量仍相當多，極少被利用於土木工程、填土整地及鋪路使用。

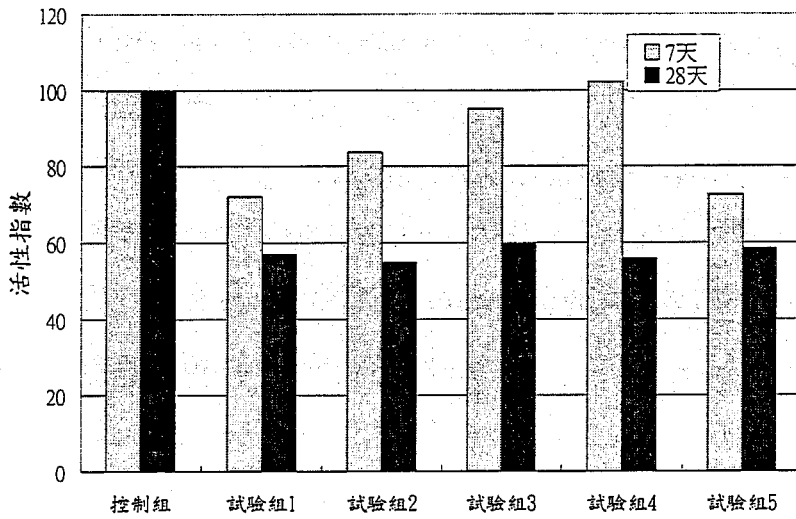
自從民國八十五年六月十日環保署公告「未經公告再利用類別及管理方式之一般事業廢棄物再利用計畫申請程序」後，國內電弧爐煉鋼廠於爐渣再利用始合法化，但大部分應用於填土整地或廠內低窪地，少部分用於鋪築便道。而自民國八十七年度起工業局「工業污染防治技術服務計畫」即著手推動電弧爐煉鋼爐渣資源化技術合作與推廣，除致力氧化渣資源化技術研究外並推動將電弧爐渣列為公告再利用之項目之一。

經由各界人士努力結果，環保署於民國八十九年十二月十二日公告「一般事業廢棄物再利用類別及管理方式」將電弧爐煉鋼爐渣納入，其再利用用途可分為道路工程級配料，混凝土骨材、水泥原料及工程填地材料等。國內爰始有電弧爐渣處理廠之設立，進行電弧爐渣資源化應用，該廠位於高雄小港臨海工業區附近，其將收集來的電弧爐渣經破碎、磁選、水洗、篩分等程序，所產生之產品分別為殘鋼供煉鋼廠當冶煉原料，爐渣級配料供道路工程及混凝土骨材應用，而水洗後含石灰之還原渣則供水泥廠當原料應用。

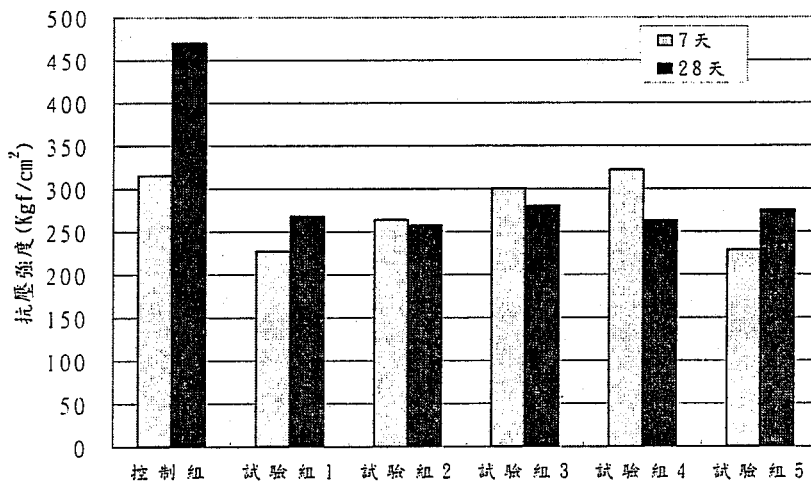
目前國內對於還原渣之應用及研究，除上述之爐渣處理廠外，尚有中央大學土木系黃偉慶教授、台灣科技大學營建系黃兆龍教授、中聯爐石公司及中興工程顧問公司進行還原渣之研究，其中中興工程顧問公司取國內三家碳鋼廠及二家不銹鋼廠之還原渣，依據 ASTM C311 卜作嵐活性指數試驗方法進行活性指數之試拌，試驗條件為以 20% 的還原爐渣取代卜特蘭水泥，製作 1 : 2.75 的水泥砂漿 5×5×5 試體，進行各齡期的抗壓強度測試並據以計算活性指數，其初期試驗結果如表 5.1-4 及圖 5.1-2 所示。

表 5.1-4 還原碓活性指數試驗

	7 天		28 天	
	抗壓強度 (Kgf/cm ²)	活性指數	抗壓強度 (Kgf/cm ²)	活性指數
控制組	315.2	100	470	100
試驗組 1	227.2	72.1	268	57.0
試驗組 2	263.9	83.7	257.5	54.8
試驗組 3	300.1	95.2	280	59.6
試驗組 4	321.8	102	263	56.0
試驗組 5	228.7	72.5	275	58.5



(a) 還原碓活性指標圖



(b) 強度圖

圖 5.1-2 還原碓活性圖

表 5.1-4 為所求得之活性指數結果，並將結果製成圖 5.1-2 還原渣活性圖，由圖 5.1-2(a)可知還原渣的活性指數隨著齡期增加而減少，在 7 天時以試驗組 4 的 102%為最高，試驗組 3 的 95.2%次之，而在 28 天時雖然活性指數大幅滑落，但在圖 5.1-2(b)的強度圖上，可知 7 天到 28 天的強度發展緩慢，不若控制組的強度發展速率，故促使活性指數降低，此時(28 天)活性指數最高為試驗組 3 的 59.6%，強度為 280kgf/cm^2 ，其強度折減率約為 40%，其活性指數降低的原因，可能肇因於還原渣粉的製程，尤其冷卻速度、成分和料源等因素。該試驗材料隨機取樣於各廠的貯存處置場所，材料原為製品端末的廢棄物，並無嚴謹的品質管制程序，其性能的「均勻性」與「穩定性」無法與中鋼生產的爐石粉相提並論。但由爐石粉的水化機理可瞭解，爐石粉仰賴水泥水化時釋放出鹼性離子溶液來激發其潛在膠結功能，故其初期水化較緩慢，以致影響混凝土早期強度之發展，但在有充分鹼性離子供應下，且爐石粉亦屬高活性性能時，則強度發展快速，且由於晚期水化作用行為類似火山灰反應，會消耗 CH 生成 C-(S/A)-H 膠體，且填充原 CH 所佔有之空間，使得空隙結構更為緻密，所以晚期強度發展佳。

就強度發展而言，在水泥中添加還原渣的應用是可行的，但必須針對水泥性質、水灰比及還原渣性質等加以考慮而限量添加，後續必須再不斷的試驗，建立還原渣最佳添加量及使用程序，以邁向實用的目標。

二、國內還原渣尚未資源化之原因與困難^{[6][9][20]}

目前國內還原渣資源化應用之研究尚屬於啟蒙階段，惟為推動還原渣之資源化，除廠商之品質控制困難及有成份差異外，相關配套措施無法配合(如 CNS 標準等)也是推動資源化應用之困難關鍵之一。

以下茲就國內未資源化之原因及困難分析如下：

(一) 氧化渣與還原渣之分類

以往電弧爐爐渣多被視為廢棄物處理普遍均採露天堆置於渣場內，待冷卻後自行或付費委外處理，雖然目前業經環保署公告為一般事業廢棄物再利用項目之一，但由於尚未發展出還原渣資源化方式，故還原渣粉粒仍與較粗大的氧化渣塊混合，一起作為路基材料或填地使用，難

以單獨分類出來使用，因此必須進行初步篩選方能取得較具價值之粉粒狀還原渣，此外粉粒狀還原渣經日曬雨淋，其活性大幅衰減，未來如欲加以資源化應用，必須要先協調各煉鋼廠將氧化渣及還原渣於堆渣場內分別置放於不同的渣桶或區域，以利其依不同性質進行不同的資源化處理，堆渣場內亦必須設置足以遮風蔽雨的設施。

(二) 爐渣穩定化

如前所述，由於爐渣中存在的氧化鈣(CaO)和氧化鎂(MgO)會引起膨脹現象造成體積不穩定，影響爐渣應用於土木相關工程，因此於資源化再利用前必須提高其穩定性，以達到再利用工程需求。以下茲將其體積不穩定之因素及提高其穩定性之處理技術說明如后：

1. 體積不穩定因素

(1) C_2S 晶相轉變(Phase Transfer)

當純 C_2S (矽酸二鈣) 由 β 相轉變為 γ 相時，體積會膨脹 10%，這是煉鋼爐渣產生體積膨脹原因之一。

(2) MgO 之水化

MgO 之水化亦會使爐渣體積膨脹，這亦即為何規定水泥內 MgO 含量不超過 6% 之原因。但是煉鋼爐渣內所含 MgO 並不以單獨相存在，而是與 FeO 形成固溶體，甚至 MgO 存在於 FeO 相內，因此當 $MgO / (FeO + MnO) < 1$ 時，煉鋼爐渣內 MgO 並不行水化反應。

(3) Free Lime(f-CaO)之水化

f-CaO 與水反應生成 $Ca(OH)_2$ ，使體積膨脹約 100%~300%，同時使煉鋼爐渣疏鬆，這亦是煉鋼爐渣體積膨脹原因之一。同時 f-CaO 常固溶於 FeO 內，使水化反應減緩但不停止，這使得煉鋼爐渣應用增加困難，因此煉鋼爐渣在應用前應先測定養生是否完成，膨脹是否停止。

2. 提高煉鋼爐渣穩定性之處理技術

(1) 水淬法

水淬法係利用壓力水泵噴出高壓水柱將高溫熔渣流沖碎、冷卻成粒渣。而水淬法又分爐前水淬和室外水淬兩種方式。

(2) 氣碎法

氣碎法與水淬法之處理機制稍有類似，不同處在於水淬法係直接以高壓水柱沖碎高溫熔渣，而氣碎法則以高壓氣體代替高壓水柱沖碎高溫熔渣。

(3) 餘熱自解法

煉鋼爐渣餘熱自解，一般是利用 400~800°C 的高溫煉鋼爐渣淋水後產生溫度應力及 f-CaO 吸水(水蒸汽)消解後產生的體積膨脹應力等使煉鋼爐渣冷卻、龜裂及粉化。餘熱自解法有以下幾種方式：渣桶自解、渣堆自解、封閉倉常壓自解、密封罐加壓自解。

(4) 熱潑法

熱潑法是將煉鋼爐排出的熔渣先用渣桶運送到熱潑場，再將熔渣倒在坡度為 3-5% 的熱潑床上。待熔渣自流成渣餅稍冷後，噴水使之急冷，渣餅因溫度應力等而龜裂成大塊。待溫度降到 300-400°C 時，再在其上潑第二層、第三層……，渣餅也因為溫度反覆變化而進一步龜裂。當渣層總厚度達到 500-600mm 時，用推土機推起，用磁盤吊選出大塊殘鋼，塊渣便可送去加工。

(5) 淺盤潑法

淺盤潑法也稱為淺盤水淬法。煉鋼爐排出流動性好的熔渣，由渣桶倒入特製的大盤中，熔渣自流成渣餅後，噴水使之急冷，渣餅龜裂成大塊渣。當渣溫降到約 500°C 時，把塊渣由淺盤倒進受渣車進行第二次噴水冷卻，渣塊繼續龜裂粉化。最後，待渣塊溫度降到約 200°C 時，再把渣塊由受渣車倒入渣池進行第三次冷卻，渣塊也進一步龜裂粉化。水渣由池中取出脫水後，即可送去加工。

(6) 快速處理法

利用 CO₂ 和溫水對爐渣進行快速穩定化處理，CO₂ 可來自石

灰窯廢氣或其他來源，溫度 250°C，經過 48 小時處理後，風化膨脹率從 5.1%減少到 0.2%，低於用溫水處理後的膨脹率，這種方法的原理是使 CaO 不僅變成 Ca(OH)₂，而且變成 CaCO₃，從而提高了煉鋼爐渣的穩定性。

(7) 改質法

煉鋼爐出渣前將改質劑“飛灰”或“赤土”加入渣罐中，採用機械攪拌，使渣中 f-CaO 降到 1%以下。這種方法的原理是使 CaO 變成 2CaO · SiO₂ 和 2CaO · Fe₂O₃，抑制煉鋼爐渣風化膨脹。

(8) 自然風化法。

即將煉鋼爐渣運送到渣場有規律地堆放，讓煉鋼爐渣自然降溫、淋雨、吸潮，以達到粉化的目的。利用時，以挖掘機開採即可。

比較上述處理技術，改質法是提高煉鋼爐渣穩定性的最佳方法，因為改質法使 f-CaO 變成鈣鹽，其穩定性優於鈣的氫氧化物。

(三) 還原渣品質控制

由於電弧爐煉鋼之方式分為碳鋼、鑄鋼(合金鋼)及不銹鋼等製程，且依廠商訂購不同鋼品，其添加之副料及冶煉時間各不相同，造成還原渣成份及品質控制困難影響資源化利用率，因此在還原渣品質管理上應建立符合 ISO 9000 系列之品質保證制度，將品質不確定因素降至最低，確保品質以利未來推廣及應用。在品質控制上可於還原渣各作業階段導入相關管制措施諸如出渣、冷卻、材料管制、倉儲管制、機器設備維護管制等。

(四) 相關如 CNS 標準規範訂定之資源化應用配套措施

鑑於中鋼公司爐渣資源化工作之推動模式及經驗，中鋼公司在推動初期雖然資源化應用技術成熟且在工程性能上獲肯定，但實際欲大量應用於公共工程時，多因無國家標準及工程規範而大大影響資源化利用率，經中鋼公司多年推動，始有卜特蘭水泥(第 IS 型，可加少於 5%之水淬高爐渣)，卜特蘭高爐水泥(可加水淬高爐渣 25%至 65%)，水淬高爐渣(石)粉，水淬高爐渣(石)等國家標準。可見得相關國家標準及工

程規範之訂定對資源化推動應用之重要性。

國內電弧爐爐渣的資源化應用尚在起步階段，而環保署雖已公告電弧爐煉鋼爐渣為再利用類別之一，但在實際執行層面上，再利用於公共工程時仍需符合國家標準及工程規範，環顧世界各國均已紛紛制(修)定鋼鐵爐渣相關標準以為應用之依據，因此制定或公告適用法規及標準，促進煉鋼爐渣資源化技術落實應用，除有利於煉鋼爐渣資源化應用時之品質目標管制，俾達到工程品質規範，並期適用「政府採購法」第九十六條規定，允許 10% 以下之價差優先採購電弧爐爐渣資源化產品，開創資源永續利用循環系統，提昇產業競爭力，達到環境保護與經濟發展兼籌並進的目標。

5.2 還原渣資源化技術及案例

5.2.1 冶煉原料回收再利用^{[6][9][19][21][31][40][48]}

一、技術說明

(一) 殘鋼回收

由於煉鋼爐渣中含有殘鋼，此等殘鋼是最重要的回收材料，電弧爐煉鋼過程中，會有一些鋼液懸浮在熔融的爐渣中。排渣過程中，因熔融金屬和爐渣間的界限不是相當的明顯，所以煉鋼過程中，部份金屬損失是不可避免的。而電弧爐氧化渣中一般含有 7%~10% 殘鋼，經粉碎及加工磁選後，可回收其中 90% 的殘鋼。至於電弧爐還原渣一般含有 2%~5% 殘鋼，經粉碎及加工磁選後，亦可回收其中之殘鋼，均是有效之資源回收方式。

(二) 作燒結熔劑

燒結礦的生產，需配加石灰作熔劑。電弧爐還原渣一般都含有 45~55% 的 CaO，1 噸爐渣相當於 700~750 公斤的石灰石。把爐渣加工到小於 10mm 的爐渣粉，便可代替部分石灰石直接作燒結配料用。配加量視精礦品位及含磷量確定，一般品位高，含磷低的精礦，可配加 4~8%。爐渣作燒結熔劑，不僅回收利用了爐渣中的鈣、鎂、錳、鐵等有價元素，並可提高燒結機利用係數和燒結礦的質量，降低燃料消耗。

以電弧爐還原渣當作燒結熔劑之資源化效益，以經驗值計算利用 1 噸電弧爐還原渣，可節省 300~480 kg 的鐵礦砂、530~620 kg 的石灰石、110~120 kg 的白雲石、140~180 kg 的錳礦及 80~120 kg 的焦炭。

(三) 作煉鋼熔劑

此技術是日本愛知製鋼株式會社於 1996 年研究電弧爐還原渣直接返回電弧爐回收再利用之研究成果，此流程為當電弧爐精煉完成後，將還原渣傾倒於渣車，並立即將還原渣倒入下一批次電弧爐冶煉中充當煉鋼熔劑，充分應用其熱能及 CaO 等資源。

二、案例介紹

(一) 殘鋼回收：日本 TOPY 製鐵株式會社豐橋工場及日本大同(DAIDO)特殊鋼株式會社知多工場。

1. 前言

日本 TOPY 製鐵株式會社及大同(DAIDO)特殊鋼株式會社均為日本生產鋼鐵的電弧爐煉鋼廠，其中 TOPY 製鐵(株)於 1921 年 10 月創業，大同特殊鋼(株)於 1916 年 8 月創業。

一般日本電弧爐爐渣回收金屬主要程序為破碎、磁選及篩分，以日本 TOPY 製鐵株式會社豐橋工場為例，每生產 1 公噸粗鋼，其爐渣之產生量為 110 公斤，含電弧爐爐渣 9%，精煉爐渣 1.6% 及可回收之金屬 0.3%。

2. 製程及原理

TOPY 製鐵豐橋工場之詳細殘鋼回收處理流程如圖 5.2-1 所示，爐渣送入進料器後經二段破碎、磁選，回收之金屬再經桿磨機粉碎並經磁選後取得殘鋼回收至煉鋼廠使用。

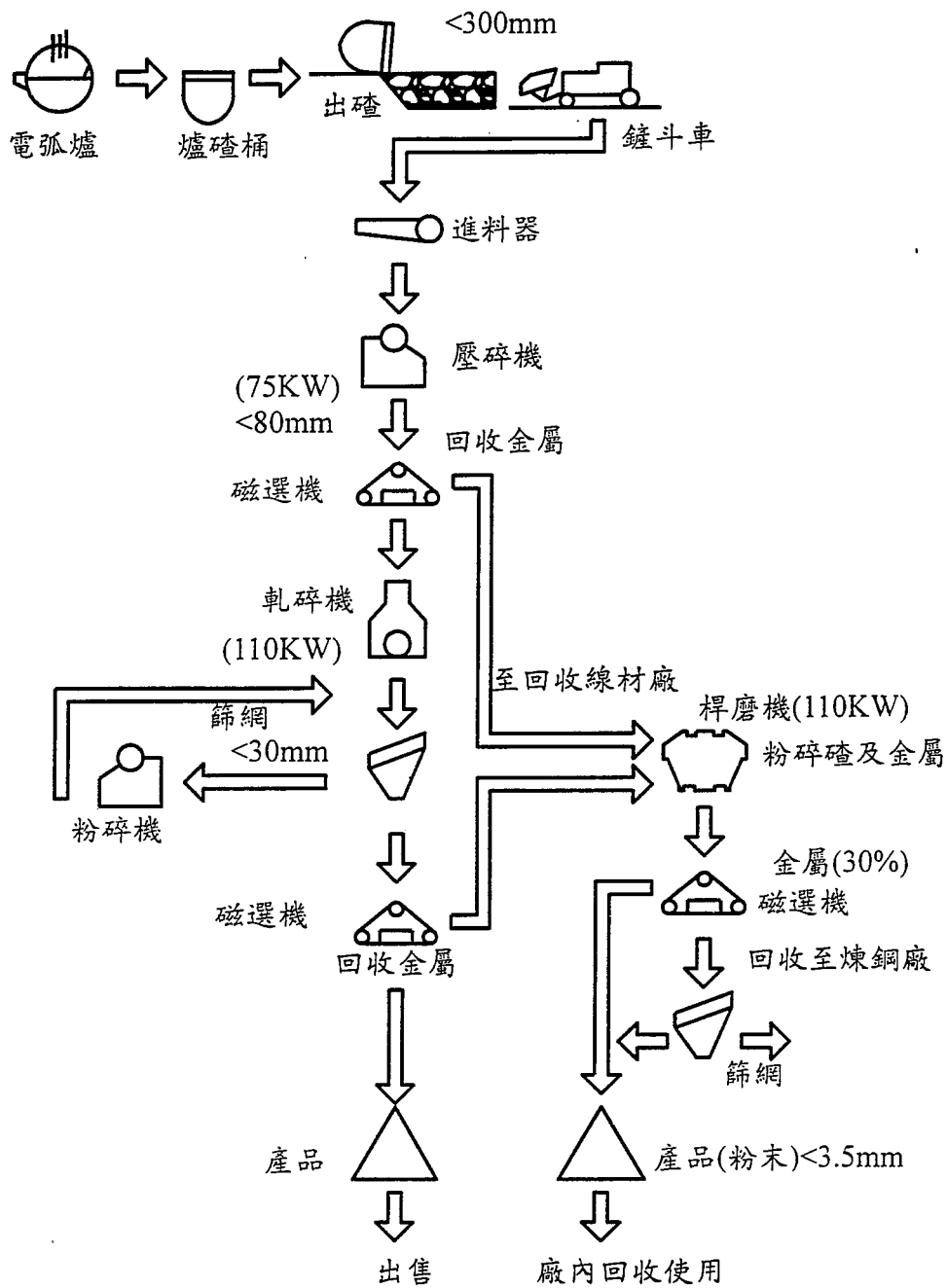


圖5.2-1 日本TOPY製鐵株式會社豐橋工場電弧爐爐渣殘鋼回收處理流程^[19]

在此處理流程中除回收殘鋼外並將篩選出 300mm、80mm、30mm 及 3.5mm 之爐渣，除 3.5mm 在廠內製程回收外，餘均供道路路基材施用。日本大同特殊鋼(株)知多工場電弧爐爐渣之殘鋼回收處理程序如圖 5.2-2 所示，其與前者相似。

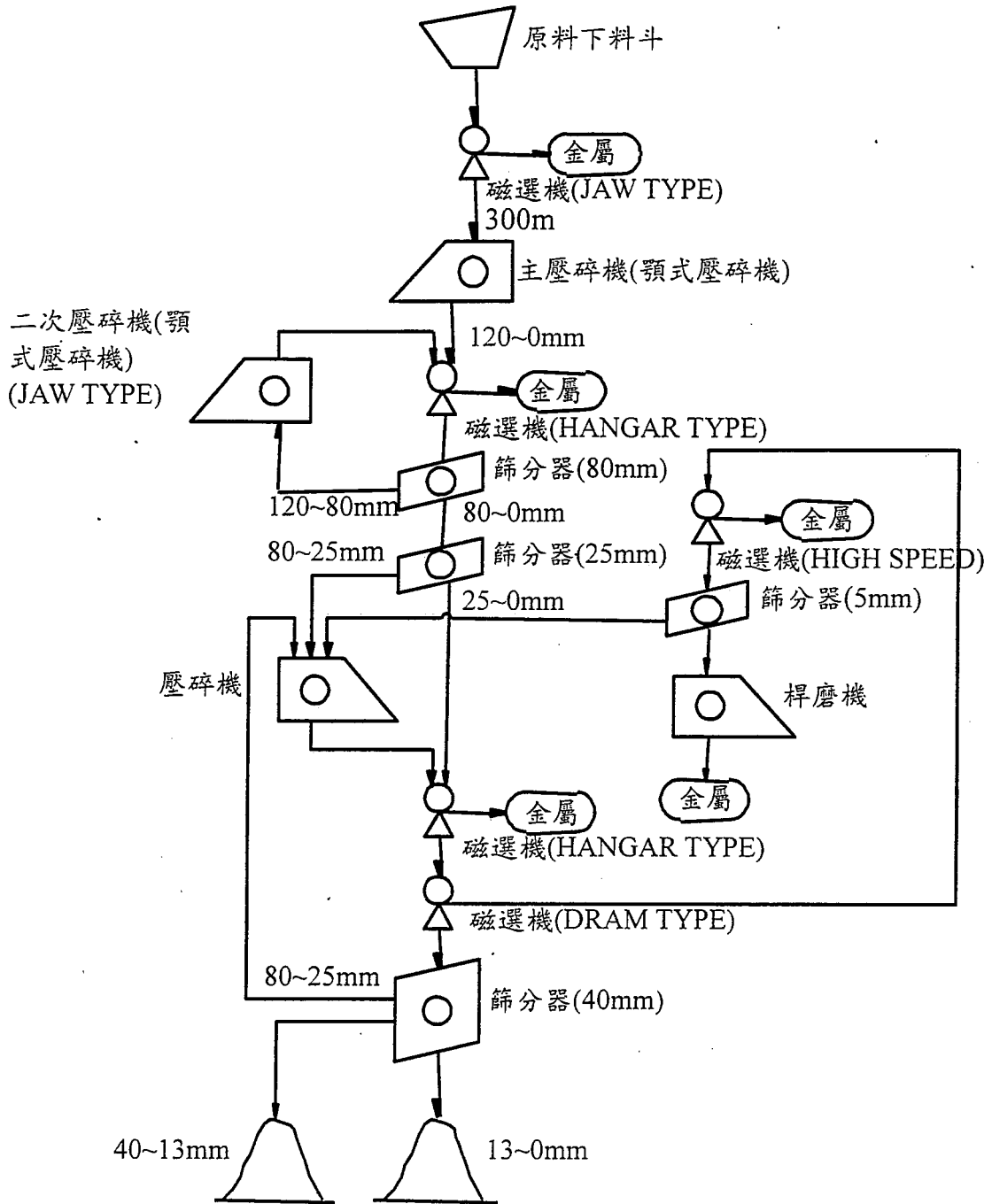


圖 5.2-2 日本大同特殊鋼株式會社知多工場電弧爐爐渣殘鋼回收處理流程

3. 資源回收成效

本殘鋼回收之處理方式之具體成效明顯是在有效資源回收使用，可將還原渣中 2%~5%之殘鋼，經粉碎及加工磁選後至少回收其中之 90%以上，對於全球資源日益匱乏的今天，將可節省開採地球資源，並降低煉鋼廠原料採購成本。

4. 結語

直接回收殘鋼的資源化再利用方式具有節省部分原料，降低成本的優點，適合應用於規模較大的產業於廠內設置相關設備進行回收再利用，以達到資源回收、降低成本的目的。

(二) 作煉鋼熔劑

1. 前言

日本愛知製鋼株式會社為一生產特殊鋼之電弧爐煉鋼廠，該株式會社創立於 1940 年 3 月，主要生產熱間壓延特殊鋼材及鍛造品，於 2000 年 4 月至 2001 年 3 月間之銷售量約為 105 萬噸，其每年產生之廢棄物包括爐渣約 19.2 萬噸、氧化鐵銹皮約 3.9 萬噸、電弧爐(EAF)爐塵灰約 2.3 萬噸、混合廢棄物 1.1 萬噸及污泥約 1 萬噸合計約 30 萬噸廢棄物，在 1991 年資源回收比例約 77%，2000 年回收比例約達 95%，預計 2005 年達到廢棄物全面回收再利用，目前氧化渣及還原渣每月產生量約為 8000 噸及 7000 噸全部應用於路基材料，其廢棄物處理費由 1994 年每年 20 億日圓降至 1998 年的 8.4 億日圓，在 4 年間減少了 12 億日圓的支出。近年來為了達到 2005 年零廢棄物的目標，於 1996 年研究出電弧爐還原渣直接返回電弧爐充作煉鋼熔劑，充分應用其熱能及 CaO 含量資源。

2. 製程及原理

本流程為當電弧爐精煉完成並將還原渣傾倒於渣車後，即回爐充當下一批次電弧爐冶煉中之煉鋼熔劑，此回收技術在品質、生產及安全性等因素的變化控制下，已能完全掌握其操作參數。其生產流程如圖 5.2-3 所示。

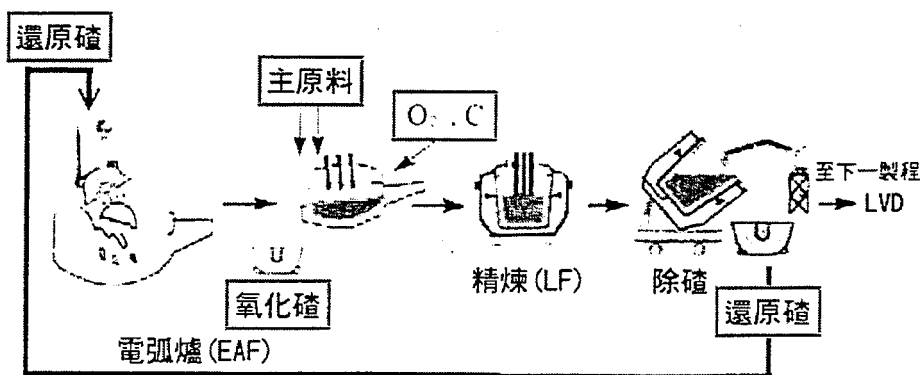


圖 5.2-3 電弧爐還原渣直接返回電弧爐作煉鋼熔劑之流程圖^[48]

此技術有以下四點特徵：

- (1) 對於煉鋼之品質而言，還原渣的脫磷效率有提昇現象(脫磷含量提高 0.0023%)。
- (2) 脫硫後，含硫份平均約增加 0.006%，不影響後段精煉程序的品質。
- (3) 不增加電力的消耗量，爐渣顯熱可有效利用。
- (4) 熱間回收再利用法能降低電弧爐石灰的投入量，約減少一半的石灰投入量。

3. 資源化成效

依愛知製鋼(株)之研究成果，其電弧爐還原渣直接返回電弧爐作煉鋼熔劑之效益分析如表 5.2-1 所示。

表 5.2-1 電弧爐還原渣直接返回電弧爐作煉鋼熔劑之效益分析表^[48]

	添加石灰石	熱間還原渣回收再利用
脫磷效率%	0.0075	0.0052
脫硫效率%	0.0244	0.0321
電力消耗 kwh/t	459	453
石灰石投入量 kg/t	18.7	8.3

由表中可知該還原渣的處理方式之具體成效是明顯反應在有效之資源再利用、減輕燃料及石灰石等資源消耗、降低二氧化碳產生及顯熱回收降低能耗等各方面。因為充作煉鋼熔劑時，相當於提供部分煉鋼所需之燃料及石灰石，所以可節省燃料消耗及石灰石資源之開採，避免燒成作業石灰石分解產生二氧化碳之排放，至於熱間還原渣之顯熱回收則具降低能耗之資源化成效。

4. 結語

由上所述可知，直接將熱間還原渣回爐再利用為煉鋼熔劑，具有減輕燃料及石灰石等資源消耗並降低二氧化碳等優點，對於國內具有精煉爐之煉鋼廠而言應有參考應用之價值。

5.2.2 道路用(路基材料、瀝青混凝土骨材)及回填工程材料^{[6][9][19][40]}

一、技術說明

轉爐、電弧爐等所產生之爐渣，稱為煉鋼爐渣，比起高爐爐渣，其所含矽土較少而鐵份較多。由於煉鋼在精煉時所添加生石灰的一部份未溶解而原狀殘留在爐渣中，因為這些游離石灰(free CaO)和水反應後會使煉鋼爐渣膨脹崩壞，以往未將其做為路基材料使用。現在可以經由養生和促進養生來抑制膨脹的技術已經確立，使得煉鋼爐渣在使用上毫無問題。因此，煉鋼爐渣現在可以單獨做為路基材料，或與高爐渣混合後做為複合路基材料來使用。而且煉鋼爐渣與天然骨材比較，由於煉鋼爐渣比重較大、且質硬、耐磨耗性優異，採用這種骨材的瀝青混凝土將可被廣泛使用於各地磨耗激烈的公路上。

用煉鋼爐渣作回填工程材料的基本要求是，必須為養生後的煉鋼爐渣，粉化率不能高於5%，要有適當的級配，最大塊的直徑不宜超過300 mm，並且最好與適當的飛灰或粘土混合使用。特別是煉鋼爐渣具有活性，能板結成大塊，用煉鋼爐渣在沼澤地築路，更具有其它材料不能替代的效用。

二、案例介紹

(一) 前言

日本大同特殊鋼株式會社(DAIDO Steel Co.,Ltd.)主要為生產特殊鋼鋼材之電弧爐煉鋼業，於2000年底其約產生47萬噸/年之廢棄物，

其中煉鋼爐渣約佔 56%有 26.4 萬噸，其廠內廢棄物資源回收再利用比率 1995 年約達 82%至 2000 年回收比率約達 88%，預期 2002 年回收比率可達 95%。

目前其煉鋼爐渣中氧化渣每年約有 17.7 萬噸，還原渣每年約有 8.7 萬噸，已全數資源化再利用作為道路之基底材及土質改良材使用，其 26.4 噸之爐渣經由再利用為路基材料之處理流程可產生約 20.8 萬噸的路基材。

(二) 製程及原理

由於煉鋼爐渣較天然骨材具有比重大、且質硬、耐磨耗性優異特性，所以可被廣泛使用於各地磨耗激烈的公路上，目前將爐渣用作道路鋪設用路基材料是日本電弧爐爐渣最主要之資源化途徑之一，用量約為全部爐渣之 30%~40%，其可與回收金屬之工作一併進行，在回收金屬後之爐渣必須送至一個場地中進行養生，這是因為煉鋼過程中在精煉時所添加生石灰的一部份未溶解而原狀殘留在爐渣中，由於這些游離石灰 (free CaO) 和水反應後會使爐渣膨脹崩壞，所以必須經由養生處理以避免因爐渣膨脹率過大或不穩定而造成道路裂痕，一般而言，氧化渣膨脹率為 1.5%，還原渣膨脹率為 10%~20%，故欲有效利用還原渣，需加蒸氣養生。日本大同特殊鋼(株)知多工場盛鋼桶精煉爐(Ladle Furnace)產生之爐渣採用如圖 5.2-4 之處理程序，將所產生之還原渣用蒸氣養生 10 天，而氧化渣則仍需養生 3~6 個月。

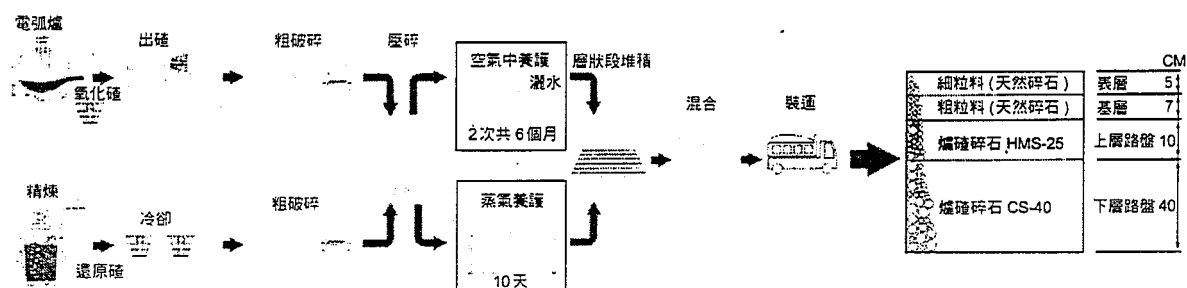


圖 5.2-4 日本電弧爐爐渣再利用為路基材料處理流程^[40]

(三) 資源化成效

由上所述可了解，以爐渣作為道路用路基材料，較天然骨材為佳，除可解決其龐大廢棄物處理問題外，更可因販售此一資源化產品而創造利潤。

(四) 結語

台灣為海島型國家，先天上即較缺乏天然資源，近年來河川砂石資源亦逐漸呈現匱乏之困境，因此相關主管單位無不絞盡腦汁，尋求替代物料之來源。由上所述電弧爐煉鋼爐渣，屬於佳品質等級砂石之替代料源，可以其供為砂石之替代料源，應用於公共工程上，以期節省天然資源並解決電弧爐煉鋼爐渣當做廢棄物處理時所衍生之諸多問題，有利於國家整體利益。其在技術方面並不十分困難，但需考量養生所需之土地問題。

5.2.3 肥料及酸性土壤改良劑^{[11][12][32]}

一、技術說明

由於還原渣含有鈣、鎂、矽、磷等元素，而且矽、磷等氧化物的溶解性高，可根據元素含量作不同的利用，對於秋天休耕的水田作為土壤改良材或酸性土壤之改良材來使用非常有效，另矽酸鹽類可為植物之養份，矽是水稻生長需要量大的元素，含 SiO_2 超過 15% 的還原渣，磨細至 60 目以下，即可作矽肥用於水稻田。

還原渣因含磷量較低，不適合做磷肥，但其鹼性高，將含鈣、鎂高的還原渣，磨細後製成鈣鎂肥，可作為酸性土壤改良劑。且這種肥料僅含少量磷酸鹽，但主要成份是矽酸鈣和游離石灰(土壤調節劑)，於水解時酸性土壤的 H^+ 離子會與水反應，而諸如二價離子(Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ...)等主要肥料成份則變成土壤腐植土與黏土交換複合物的一部份。在德國這些渣大部分用作石灰肥料或作為石灰處理劑中和酸性土。因此還原渣的優點是其含石灰會溶解為矽酸鈣，導致在土壤中產生中度的石灰轉化，這適用於土的酸性成份。因此這種石灰處理劑也能用於林業，對在林業中腐植土之肥料的控制轉化是有益的。

二、案例介紹

(一) 前言

由於還原渣與高爐渣性質類近，故茲以中國大陸寶山鋼鐵廠利用高爐生產矽肥之案例進行說明，寶山鋼鐵廠有三座高爐，每年排放高爐渣達 200 餘萬噸，資源非常豐富，其煉鐵廠煉鐵流程如圖 5.2-5 所示。

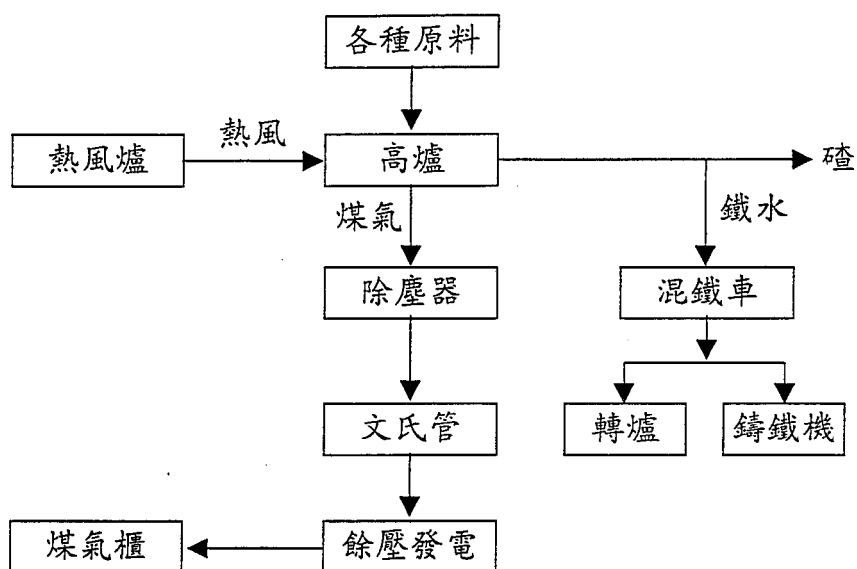


圖 5.2-5 寶山鋼鐵廠煉鐵流程^[11]

(二) 製程及原理

生產矽肥的主要原材料是煉鐵過程中產生的高爐渣。寶鋼有三座大高爐，每年排出高爐渣達 200 餘萬噸，資源非常豐富。寶鋼高爐渣主要化學成份如表 5.2-2 所示。

表 5.2-2 寶山鋼鐵廠高爐渣化學成份^[11]

高爐渣	化學成份(%)						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	S
	34.82	15.06	0.54	39.57	5.95	1.76	0.70

矽肥的加工過程為：把高爐渣磨細，細度為 80 目、100 目；
 添入適量矽元素活化劑；攪拌混合後裝袋(或攪拌混合造粒後裝袋)。

生產矽肥主要設備是：烘乾機 1 台、球磨機 1 台、提昇機 2 台、攪

拌機 1 台、螺旋輸送機 1-2 台、手提縫包機 1-2 台及其他附屬設備。如果生產顆粒狀的，應再增加 1-2 台造粒機。綜合而言矽肥的製造技術及設備是比較簡單的。

(三) 資源化成效

矽肥生產經濟效益的分析。依中國大陸相關研究報導資料顯示，如利用既有廠房建一家年產 1 萬噸的矽肥廠，只需作如下投資：設備購置費 60~70 萬元人民幣，流動資金 30~50 萬元人民幣，總投資約為 100~120 萬元人民幣。生產 1 萬噸矽肥，其成本約為 200~220 萬元人民幣左右，銷售價按 300 元人民幣/噸計算，則產銷 1 萬噸矽肥可獲得 80~100 萬元人民幣左右。又因此類項目屬中國大陸三廢治理，根據其有關規定可五年免徵所得稅，故矽肥生產廠家可獲得較高經濟效益。

(四) 結語

矽肥是一種以含二氧化矽(SiO_2)和 CaO 為主的礦物質肥料，它是水稻等作物生長不可缺少的營養元素之一。自 50 年代以來，日本、韓國、東南亞等許多國家對矽肥在農業上的推廣應用進行了富有成效的研究開發。矽肥現被國際土壤學界確認為繼氮、磷、鉀之後第四大元素肥料。如水稻生產過程中所吸收大量的矽，有 20~25% 的矽是由灌溉水提供的，75~80% 的矽來自土壤。以每畝產稻穀 500kg 計算，其莖幹和稻穀吸收矽量多達 75kg/畝，比吸收氮、磷、鉀三者總合高出 1.5 倍。隨著有機肥施用量的不斷減少和農作物產量的持續提高，土壤中矽元素已被急劇的吸收和消耗，而土壤中能被農作物吸收的有效矽元素含量，已遠遠不能滿足農作物持續增產的需要。因此根據作物特性，適量施矽肥補充矽元素是達到使農作物增加產量的一條有效途徑。為提高矽肥作用，矽肥一搬移作基肥使用，水稻上每畝用量 50~60kg 左右。若以目前國內電弧爐還原渣產量約 13 萬噸左右而言，若全部使用來當矽肥，將至少可供 217 畝稻田應用，減少化學肥料對土壤酸化之影響。

5.2.4 建材製品^{[19][40][48]}

一、技術說明

將具有活性的煉鋼爐渣，與飛灰按一定比例配合、磨細、成型、養生，即可生產出不同規格的磚、瓦、砌塊、板等各種建材製品。生產建材製品的煉鋼爐渣，一定要控制好 free-CaO 的含量和鹼度(活性)。

因電弧爐煉鋼爐渣又細分為氧化渣和還原渣，在日本之電弧爐煉鋼工業中由精煉(LF)程序所產生之爐渣(亦即還原渣)，每年約有 140 萬噸。其主要處理應用方式有兩種，約有 40%之還原渣是以蒸氣養生之方式，來加速其安定化或穩定化，此穩定化之還原渣可以被利用來作為路基材料；另剩餘約 60%之還原渣是與氧化渣相混合充當臨時便道用之路基材料。目前在日本對於路基材料之需求已漸漸減少，故興起了多方面之研究，包括作為混凝土骨材及製成環保水泥等，例如將還原渣添加石膏研磨製成水泥，再與電弧爐氣冷氧化渣(當粗骨材)及電弧爐水淬氧化渣(當細骨材)混煉後，製成 U 型溝、平板、敷石、涵管、岸壁、水泥磚、景觀材、消波塊及人工魚礁等水泥建材製成品。

二、案例介紹：愛知製鋼(株)、東京白煉瓦(株)及東海 pre-con(株)

(一) 前言

愛知製鋼(株)為一生產特殊鋼之電弧爐煉鋼廠，其每年產生之廢棄物包括爐渣約 19.2 萬噸、氧化鐵銹皮約 3.9 萬噸、電弧爐(EAF)爐塵灰約 2.3 萬噸、混合廢棄物約 1 萬噸及污泥約 1.1 萬噸，總計約 30 萬噸廢棄物。在 1991 年回收比例約達 77%，另約 23%掩埋，於 2000 年回收比例達 95%，掩埋則佔約 5%，預計 2005 年廢棄物全面回收再利用。目前氧化渣產生量每月約 8,000 噸，還原渣約 7,000 噸，全部應用為路基材料。為了朝更高附加價值之應用及達到 2005 年零廢棄物之目標，近年來已發展出相當多的技術及商業化應用。

(二) 製程及原理

愛知製鋼(株)之還原渣可製成 ATK 水泥(A—Aichi Steel Corporation、T—Toyota Central R&D Labs.、K—Koukatai)，並由其子公司東京白煉瓦(株)製造販賣，而製造部份東京白煉瓦(株)則委託東海 pre-con(株)。

其製品包括 ATK 水泥及其混凝土製品，而混凝土製品之配方為 ATK 水泥(還原渣+脫硫石膏)、骨材(氧化渣+VSC 爐渣)、 α (顏料+混合劑)

應用於水泥方面，以 ATK 水泥而言其成份及礦物組成如表 5.2-3 所示，而抗壓強度變化如圖 5.2-6 所示。其特性包括(1)具有快凝快硬之特性，使操作時間縮短，(2)低收縮、緻密性高、抗壓強度高等優點，(3)因白度高易於設計應用，(4)對重金屬有固化之作用，(5) pH 值約 10~11，(6)低成本等有優點。

表 5.2-3 ATK 水泥之成份及礦物組成^[48]

水泥的種類	主要成份(%)				礦物組成(%)			
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	SO ₃	C ₃ S	β -C ₂ S	C ₁₂ A ₇	CaSO ₄
ATK 水泥	50	15	13	9.1	—	(γ -)36	34	20
Jet 水泥	59.1	13.8	11.4	10.2	50.7	1.7	20.6	22.4
波特蘭水泥	66.2	22.2	5.1	1.6	52.7	29.9	—	3.5

註：C₃S：3 CaO•SiO₂
 C₂S：2 CaO•SiO₂
 C₁₂A₇：12 CaO•7Al₂O₃

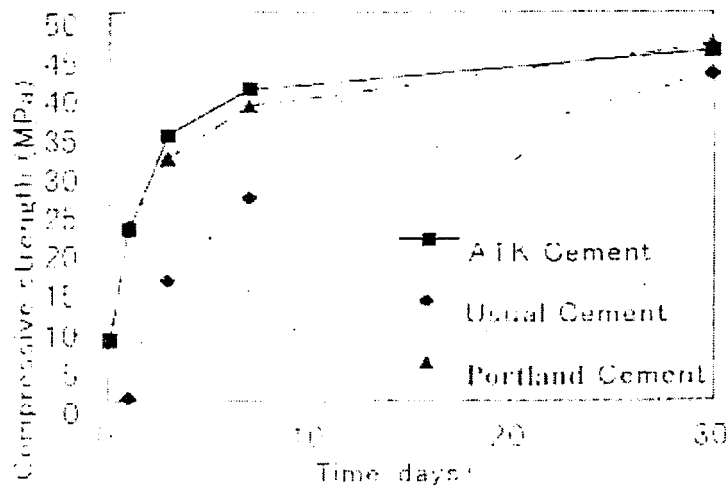


圖 5.2-6 各種水泥之抗壓強度發展比較圖^[48]

利用 ATK 水泥製造混凝土之基礎研究方面，其製造流程如圖 5.2-7 所示，試驗條件如表 5.2-4 所示，而試驗結果如圖 5.2-8 所示。該試驗所使用之材料混合比為 ATK 水泥：細骨材：粗骨材=3：3：4，其抗彎強度僅一組破壞試驗低於日本國家標準(JIS) 混合比為水泥：細骨材：粗骨材=3：2：5。由此可見當粗骨材增加時，則其強度發展成長將漸漸升高。所以從以上試驗之結論，可以推論當粗骨材是穩定的且粗骨材增加時，並不影響其使用之安全性。

表 5.2-4 利用 ATK 水泥製造混凝土之試驗條件^[48]

摻配比	ATK 水泥：BF 水淬砂(細骨材)：EAF 爐渣 No.1~6=3：3：4 No.7~14=3：2：5，添加 super 200 藥劑，為水泥之 0.5%
拆模條件	60°C，蒸汽養生 2 小時，脫模，自然剝離
標準	JIS 標準 6.5 kN，傳統混凝土強度 9 kN

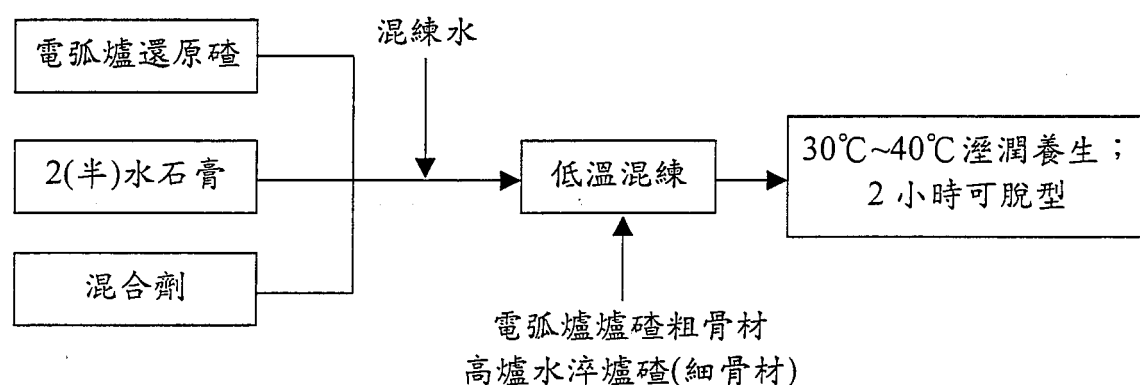


圖 5.2-7 利用 ATK 水泥製造混凝土之流程圖^[48]

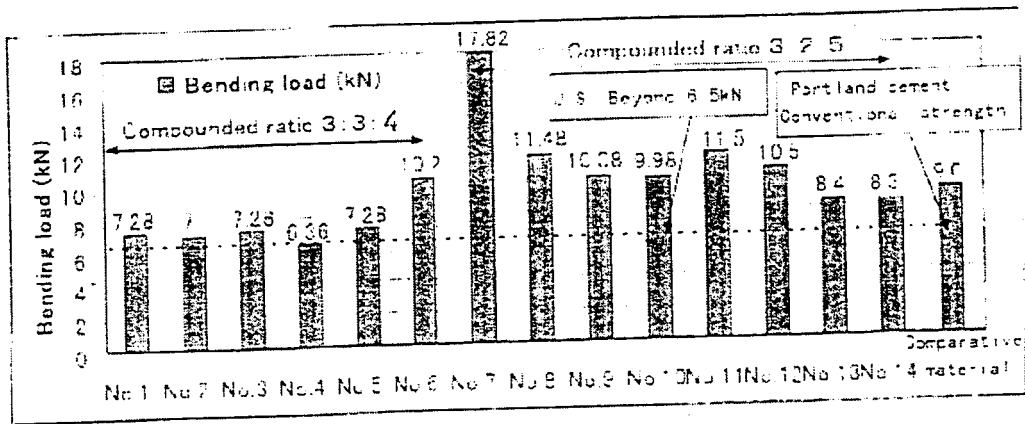


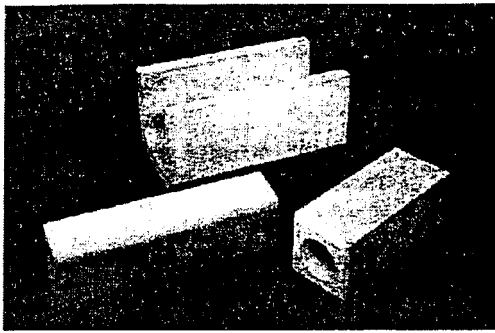
圖 5.2-8 利用 ATK 水泥製造混凝土之試驗結果^[48]

而應用於生產景觀材料之特性包括(1)由於快凝快硬之特性，使生產性良好，定量生產是可行的，(2)因製成品為白色，故彩繪容易，(3)添加輕質骨材和石膏使重量減輕是可行的應用，(4)低成本。由以上之特性及實際應用之結果得知，其工作性及產能為傳統之混凝土製品之兩倍。

以 ATK 水泥應用於人工魚礁方面，其試驗如表 5.2-5 所示。於表中 NO.1~6 是此試驗之操作條件，從 1998 年 12 月開始放置於三重縣古浦漁港內進行試驗，試驗期間於 1999 年 4 月及 9 月從海中拉出進行觀察，此試驗所需觀察之項目如后，(1)水草：水草附著於人工魚礁之位置，以照相記錄之，(2)調查水草之種類及多年生之水草形成機制(推論)，(3)調查水中動植物棲息之狀況等。截至目前觀察之結果，確實水草附著量及水中動植物均明顯增加比用波特蘭水泥所製成之人工魚礁成長較快，對於海洋生態貢獻良多。該廠生產之建材製品及人工魚礁試驗結果如圖 5.2-9 所示。

表 5.2-5 人工魚礁之表面處理方式^[48]

人工魚礁編號	使用水泥	表面修飾
No.1	波特蘭水泥	平滑表面
No.2	ATK 水泥	平滑表面
No.3	ATK 水泥	以硫酸鐵侵蝕
No.4	ATK 水泥	電弧爐爐渣
No.5	ATK 水泥	貝殼類和少量天然石投
No.6	ATK 水泥	附著一層鈦



ATK 水泥製成之建材製品



三重縣古和浦漁港內人工魚礁設置情形(1998)



圖 5.2-9 愛知製鋼集團所生產之建材製品及人工魚礁試驗結果^[48]

(三) 資源化成效

茲以 ATK 水泥製成之建材製品人工魚礁說明資源化成效，鑑於日本政府委託工技院及鋼鐵聯盟，鋼鐵爐渣協會等進行爐石應用於海洋生態保護之研究，利用爐石所含之磷、矽、鐵成分當作海洋植物性浮遊生物之營養源，用來固定空氣中的二氧化碳，這種多效益之研究是屬世界首創。同時 NKK 也提出以工廠生產所排放的二氧化碳來固化爐渣製成噸級的大魚礁及愛知製鋼應用其生產之還原渣及氧化渣製成的人工魚礁，業經實驗證實此兩類魚礁所養生之海藻為水泥製魚礁之三倍，天然石魚礁之二倍以上，目前正著手實用規模之規劃

海洋植物幾乎都是藻類，其中大型藻類稱為海藻，而微細藻類則稱為植物性微生物或植物性浮遊生物(plankton)。藻類本身泡在水中受到水浮力的關係，不需要維管束，連大型藻類也沒有必要具備非生產性枝幹的支持部位，因此藻類本身全部可有效地進行光合作用，若在光與營養鹽適合的環境中，其成長速率要大於陸上植物的幾拾倍，以極為迅速的成長速率進行繁殖。

全世界的海洋藻類生產量，一般都認為與陸上的全部植物之生產量相當，每年約為 200 億噸炭重量，為全世界每年所排放 CO₂ 量約 60 億噸(炭重量)的三倍多(OECD, 1997)。在中緯度的國家如日本，在其沿岸一帶繁盛成長的大型海藻群，可稱之為“海中林”，其純生產力可達 1~2kgc/m²/year，較熱帶雨林的生產力 0.5~1.3kgc/m²/year 要高出許多。在藻類中的大型藻類僅全體的佔 10%左右，而其繁殖沿岸水域的面積也僅佔全部海洋的 1%而已。由此可知要有機化固定 CO₂，以擴大大型海藻群之繁殖要比陸上植林的效率高，而且海中林為海洋保育所不可欠缺的部分，所以擴大其繁殖面積，對環境與生態系都有益處。

另一方面屬於微細藻類的植物性微生物由於海洋中營養鹽不足的關係，其生產力約 0.1~0.5kgc/m²/year 較大型海藻群為低。若能充分供給營養鹽，而在適當的光環境下，其生產力應該也可以同樣達到 1~2kgc/m²/year 的程度，此項事實業經日本東北電力公司研究開發中心在 1999 年加以證明。

營養鹽(Nutrients)可分為大量而且是必要的成分者為Macronutrients，而微量卻具有特效者稱為Micronutrients，前者一般單稱為“營養鹽”，後者一般是指微量金屬為特效營養鹽。海洋營養鹽的主成分為硝酸、亞硝酸、銨、尿酸、尿素(以上為氮源)，磷酸(磷源)以及矽酸(矽源)依生物海洋學的Redfield ratio，各元素C：N：Si：P之比為106：16：15：1，為植物性微生物進行光合成所必需營養成分。各種金屬離子都可當為特效營養鹽，而鐵離子是最近受注目的微量金屬，其有效濃度依文獻的平均值約為0.001，由de Baar(1994年)換算為整個營養鹽的成分組成重量比，則為C：N：Si：P：Fe=1273：224：421：31：0.06。若海水中的營養鹽組成與此相接近，則此海水為富營養鹽的環境，其中的某一成分極端的過多或極端的不足此海水則呈現營養不足。

沿岸海域由於人類生活的廢水注入，一般都呈現氮源過多，若能以煉鋼爐渣所含的磷、矽與鐵為補充源，而使其營養鹽成分獲得適當之比例，可能將受污染之海水一變為培養水，所以由爐渣製成海藻礁、魚礁、消波塊(Tetrapod)投入海中，或以爐渣為防波堤、岸壁、港灣的建設材料都可適當地達成海中林的建造。

(四) 結語

因此以還原渣所製成人工魚礁所顯示之意義說明，其附著很穩定，不易隨海流波動，對魚群聚集及 CO₂ 固定均有很大之貢獻。若能應用此技術之發展，不僅對漁業資源，廢棄物再利用、CO₂ 減量抑制及環境生態等資源化成效將無可限量。

5.2.5 爐渣水泥原料及水泥摻配料^{[6][9][11][12][28][29]}

一、技術說明

(一) 爐渣白水泥

煉鋼爐渣除了做為水泥原料 FeO 的供給源之外，也能利用其主要成份 CaO 及 SiO₂ 來降低石灰石的使用量，以達到節省資源之功能。

由於煉鋼爐渣具有活性，因此煉鋼爐渣也被作為普通矽酸鹽水泥的摻配料。摻配 10%~15% 煉鋼爐渣生產的矽酸鹽水泥，對其特性及使用均無不良的影響，只是比其它原料難磨罷了。作水泥摻配料煉鋼爐渣的要求，如作為白 / 彩色水泥：

此技術為中國大陸針對電弧爐煉鋼爐渣所研究之爐渣資源化技術，中國大陸已將還原渣資源化作為白 / 彩色水泥，其製程包含粗碎、粉碎配料及研磨，其製程如圖 5.2-10 所示，製程中以白色粉狀電弧爐還原渣為主要原料，白色活性 / 非活性、人工 / 天然礦物為輔料，添加適量煅燒石膏和一定量的方解石或白水果共同粉磨而成的白色水硬性膠凝材料，即得爐渣白水泥。若在研磨過程中，同時投入適量礦物顏料，即可產出彩色水泥。

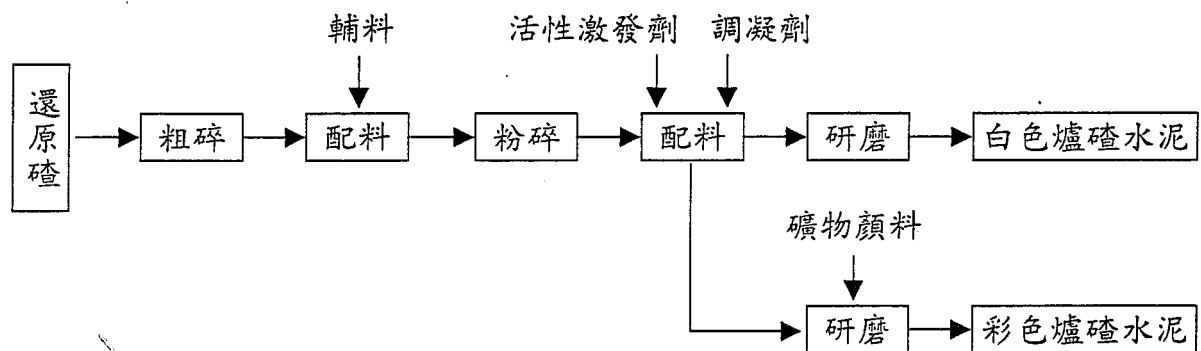


圖 5.2-10 爐渣白水泥製造流程^[6]

爐渣白水泥具有早凝早強及耐磨、高強等特性，其用途與白色磷酸鹽水泥相近，並且用於製作彩色水磨石、彩色地面磚(公園、廣場、人行道等等)、空格裝飾牆等製品時，更具有生產周期短、耐磨、耐碳化性能好、色彩鮮麗等優點，且成本僅為磷酸鹽白水泥製品的一半左右。

(二) 快凝快硬爐渣水泥

以電弧爐還原渣為主要原料，其他工業廢渣或天然活性礦物為輔料，加入適當活性激發劑共同研磨，即得快凝快硬爐渣水泥。

現有的快凝快硬爐渣水泥(以下簡稱雙快水泥)均以石灰石、粘土、釩土、螢石等配燒水泥熟料，添加少量石膏共同研磨而成。由於要求較高之石灰飽和以及較特殊之原料，對水泥熟料的鍛燒設備及操作水平有較高的要求，生產製程較複雜、成本高、產能低。

雙快水泥是充分利用還原渣自身含有之雙快型水泥礦物— $C_{12}A_7$ 、 $C_{11}A_7$ 、 CaF_2 固熔體及 CA 、 C_3A 與大量鋁酸鹽礦物，配合輔料而成。與現有雙快水泥相比，因縮減了生料設備及熟料鍛燒兩大環節，所以大大簡化了製程，節省設備及建築面積，所以具有顯著之節能和經濟效益。此外爐渣的利用率可高達水泥重量之 80%，所以有著極佳之“環境”及“資源”效益。

二、案例介紹—萊蕪鋼鐵廠利用電弧爐還原渣生產白水泥

(一) 前言

1. 生產品種與規模

該工廠有四座 5 噸之電弧爐，生產合金鋼、軸承鋼、彈簧鋼等特殊鋼，每年約 10 萬噸。

2. 生產處理流程簡介和爐渣來源

其電弧爐還原渣的處理是採用水淬法，其處理流程如圖 5.2-11 所示。電弧爐鋼水經精煉合格後，渣與鋼水一起倒入鋼水包送去鑄定，待鋼水澆注完，將渣倒入底部有一帶孔的中間包，水淬時把孔打開，流出的爐渣即被在水淬溝裡之壓力噴嘴所噴出的壓力水沖碎冷卻，並與水一起流入水淬渣池。經沉澱後，用抓斗抓入料倉，進一步脫水後，供白水泥生產用。

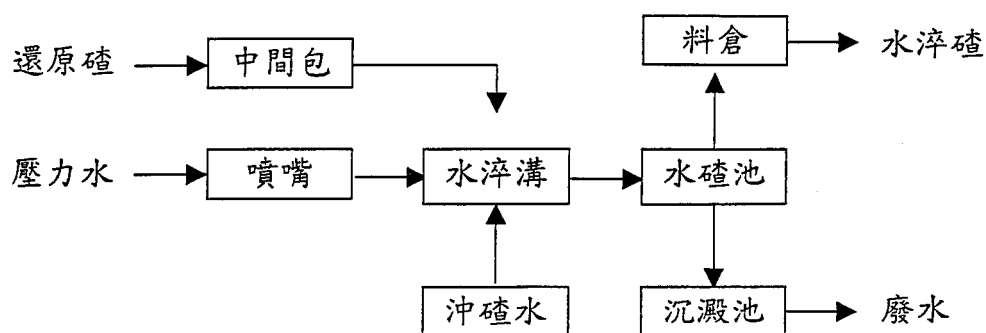


圖 5.2-11 電弧爐還原渣水淬處理流程^[11]

3. 還原渣的組成、性質與產生量

電弧爐還原渣是在電弧爐冶煉後期的還原氣氛下形成的高溫熔融渣，其化學成份如表 5.2-6 所示，與水泥熟料成份相近。

表 5.2-6 還原渣與水泥熟料化學成份表^[11]

成份(%) 種類	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃
還原渣	20	13	52	11.5	1.5
水泥熟料	20-24	4-7	62-67	1-4.5	2-5

還原渣的礦物組成有七鋁酸十二鈣與氟鋁酸鈣固溶體(C₁₂A₇·C₁₁A₇·CaF₂)、β型矽酸二鈣(β-C₂S)、鋁酸三鈣(C₃A·CA)等活性礦物，以及γ型矽酸二鈣(γ-C₂S)方鎂石及黃長石等惰性礦物。在渣鹼度較高時，活性礦物含量達 60%，因此還原渣在一定條件下能夠水化，產生一定強度，是一種較好的水硬性膠凝材料。

每生產 1 噸特殊鋼約產生 120 公斤的爐渣，其中還原渣約佔 45%，亦即 54 公斤。

(二) 製程及原理

1. 還原渣白水泥生產流程與操作條件

白水泥生產的原料是電弧爐還原渣、石膏及適量的外加劑。還原渣成份要符合表 5.2-6 的要求，白度在 50 度以上，石膏是激發劑，並

參加水化硬化反應，決定水泥凝結時間。其成份是氧化鈣含量 37~40% ， SO_3 為 48~56% ， SiO_2 為 1~2.5% 。配料前石膏要在溫度 750~850℃ 下恆溫 24 小時進行煅燒。煅燒後的石膏水量 $<0.5\%$ ， $f-CaO <1.0\%$ ， $SO_3 >50\%$ ，白度 >80 度。

外加劑的作用是減緩七鋁酸十二鈣與氟鋁酸鈣的水化速度，控制與調節水泥凝結時間，同時還可降低爐渣帶入水泥中方鎂石的相對含量，改善水泥的蒸壓安定性。白度高的外加劑提高水泥的白度。現選用的外加劑為糖蜜和 PNA 減水劑，兩種減水劑含糖量 $>40\%$

白水泥生產流程如圖 5.2-12 所示。還原渣先經 50×50mm 規格篩篩選掉大塊渣，再經磁選機選出鋼粒，送入料倉儲存，石膏經煅燒後破碎，石膏粉送入石膏庫儲存，外加劑直接進行配料。三種料按比例配好後，送入磨頭倉或直接入球磨機。磨機尾端設有提昇機，把磨好的水泥提送入水泥庫，經雙嘴包裝機包裝後入成品庫待出廠。

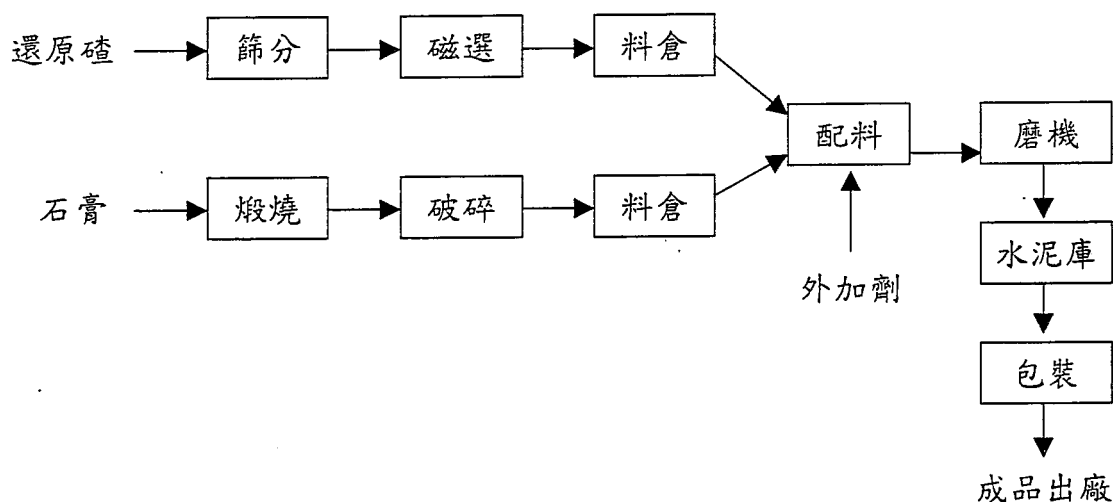


圖 5.2-12 還原渣白水泥生產流程圖^[11]

2. 原料配比

還原渣：石膏 = 80：20，外加劑摻量一般控制在 0.2~0.5%

3. 白水泥技術指標

28 天抗折/抗壓強度 5.4/31.9 MPa

初凝/終凝時間	30/240 min
細度 4900 孔篩篩餘量	6~8%
MgO 含量/ SO ₃ 含量	<8.5%/<10.5%

4. 主要設備及構築物

白水泥生產的主要設備與構築物如表 5.2-7 所示。

表 5.2-7 主要設備與構築物一覽表^[11]

序號	名稱	單位	數量	規格
1	球磨機	台	1	Φ1200×4500mm
2	提昇機	台	1	SHL300mm
3	皮帶機	台	2	B500×12000
4	錘式破碎機	台	1	-
5	燒窯	座	1	20×4×2.5m
6	料倉	個	2	-

(三) 資源化成效

利用電弧爐還原渣生產白水泥工廠，於 1970 年建成投產，以生產出白水泥 10 萬噸，產品一直供不應求。主要技術經濟指標如表 5.2-8 所示。

表 5.2-8 還原渣白水泥之技術經濟指標^[11]

水淬渣生產設備		還原渣白水泥生產設備	
處理能力	1 t/min	工廠成本	165 元/噸
基建投資	50 萬元	生產成本	108 元/噸
成本	3 元/噸渣	煤耗	0.33 噸/噸(水泥)
總水淬率	>60%	利潤	35 元/噸

(四) 結語

利用電弧爐還原渣生產白水泥，使廢渣變成了有用的資源，併解決

了佔地堆放，污染環境問題。利用還原渣生產白水泥，製程簡單、投資省、耗能低、效益高、見效快等優點，是還原渣有效利用途徑之一。

5.2.6 固化劑或硬化劑^[49]

一、技術說明

土壤固化劑是土的一種化學添加劑，加入土中經過化學反應使土壤達到增加強度和耐水浸泡的工程要求，它被廣泛應用於各種公共土木工程的地基處理中。如高速鐵路、公路的路基修築、機場跑道的基礎、快速軍用便道的修建、水利建築的河堤、湖泊河堤的修建及防洪、各類廠房市政建設基礎的處理、超軟弱土之改良處理、水庫及河川湖泊之淤泥處理、受重金屬污染土壤之處理等，甚至可以應用於台灣山坡地因土石流影響之地盤的穩定化處理。

根據日本對於電弧爐還原渣應用於超軟弱土之改良文獻中顯示，其分為室內及現地試驗研究結果說明如后：

- (一) 在實驗室內添加 10~30%的電弧爐還原渣於超軟弱土強度之改善是有益的。
- (二) 在現地試驗中添加 20%的電弧爐還原渣於超軟弱土強度性質與添加 5%的水泥所得到的結果相似，均具有硬化土壤之效益。
- (三) 評估還原渣之土壤改良能力最有效之方式是依其吸水率之高低而定。
- (四) 這個改善機制被推論是由電弧爐還原渣中之 $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ 與水引起之水硬性反應的結果。

由於相關研究顯示，以水泥水硬特性標準來試驗電弧爐還原渣的鹽基度、化學成份是與水泥相似的。因此在日本對於電弧爐還原渣之利用已發展出固化劑或硬化劑，此土壤固化劑的主要特點可以快速固化各種土壤，特別是含水量高的軟土，且土體一旦固化後遇水也不會在軟化、泥化或膨脹。

二、案例介紹：日本千代田 ECO-Recycle 株式會社

(一) 前言

千代田 ECO-Recycle(株)公司利用電弧爐還原渣研發出土壤改良劑、固化劑或硬化劑。傳統上對於地盤穩定均使用水泥或石灰，但因其

pH 值較高及水泥中含 Cr^{6+} 造成環境之問題，因此該公司利用電弧爐還原渣研發出「Eco-HARD」之固化劑，其主要成份包含 A 劑脫硫渣及還原渣、B 劑 polymer 凝集劑及 C 劑 α (包括高孔隙含水比調整材)。其特徵為(1)粒狀固化—硬度指數 4 以上之強度、(2)中性—pH 值 5.8~8.6、(3)短時間固化—混鍊機使用之場合約 3 分鐘、(4)不溶出—凝集固化經攪拌後之污泥微粒不溶出、(5)安全性—急性毒性試驗合乎標準。用途包括推進、基礎及浚深工事之含水殘土處理、河川及海底之廢泥水處理、其他高含水率污泥之處理。

(二) 應用流程

其典型處理建設污泥之處理流程如圖 5.2-13 所示，其中標準配合之中性固化劑(A)為 280 kg/m^3 ；中性固化劑(B)為 5.5 kg/m^3 。但尚需依實際情形去調配中性固化材之使用量。

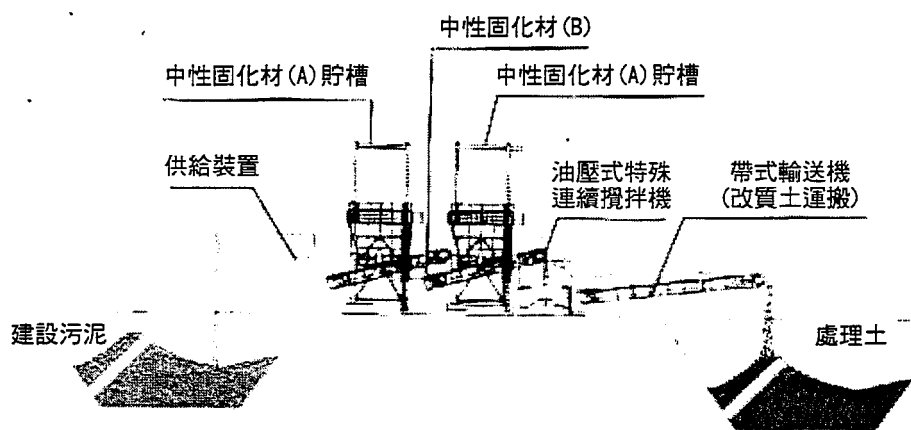


圖 5.2-13 典型處理建設污泥之處理流程^[49]

處理後之土壤需接受各地環保單位及工程單位同意後才能使用，其應用前必須先至現場取樣，經實驗室調整配比試驗後方可應用。此種固化應用實績很多，包括大阪市之河川改良及高桂市等，而電鍍污泥部份則有湯淺電池廠之鉛污泥，其必須先用螯合劑加以固化，再以 Eco-HARD 處理之。

(三) 資源化成效

電弧爐還原渣主要是電弧爐於還原過程中所產生者，其還原渣之形

狀有分為塊狀及粉狀等，另就其冷卻方式之不同而又分成濕式或乾式。經由實驗證實其水硬活性與其吸水率及礦物相結晶有關，因此應用於固化劑，需考量其爐渣預處理程序，且以乾式粉狀最適合來應用。

(四) 結語

如前所述電弧爐還原渣如能評估應用於國內山坡地因 921 地震及豪雨造成土石流影響之地盤穩定化處理之可行性，或可協助解決改善軟弱地質問題並擴大還原渣利用途徑，對廠商亦應具有參考價值。

5.3 還原渣資源化技術評析^{[6][19][20]}

電弧爐煉鋼製程所產生之還原渣可採用前述冶煉原料回收再利用、道路用(路基材料、瀝青混凝土骨材)及回填工程材料、肥料及酸性土壤改良劑、建材製品、爐渣水泥原料及水泥摻配料、固化劑或硬化劑等資源化利用方式予以資源再利用。針對各類資源化技術說明分析如下：

一、冶煉原料回收再利用

(一) 殘鋼回收

電弧爐還原渣中含有 2%~5% 殘鋼，氧化渣含有 7%~10% 殘鋼，因此可將之回收，作法是將其粗碎、研磨細碎後，經過磁選機將殘鋼與渣分離再回收。就技術而言，這種資源化方式很容易進行，國內外也有相當成熟技術與實績，適合規模較大之產業自行購置。

(二) 作燒結熔劑

電弧爐還原渣一般都含有 45~55% 的 CaO，1 噸爐渣相當於 700~750 公斤的石灰石，可把爐渣研磨加工到 10mm 的爐渣料便可替代部分石灰石直接作燒結配料用。可提高燒結機利用係數和燒結礦的質量，降低燃料消耗並節省鐵礦砂、石灰石、白雲石、錳礦及焦炭用量，此技術亦不困難，惟須將還原爐渣加工研磨至小於 10mm 粉末狀使用。但以目前國內煉鐵高爐使用燒結熔劑之用量需求而言，似較無高經濟利用率。

(三) 作煉鋼熔劑

此技術之效益分析成效如前所述，可節省燃料消耗及石灰石資源開

採，減少燒成作業石灰石分解產生二氧化碳之排放及降低電力消耗，適合煉鋼廠於廠內製程中回收再利用，惟其在品質、生產及安全性等因素變化控制下之操作參數，仍需待引進及改良，以符合國內煉鋼業者需求。

二、道路用(路基材料、瀝青混凝土骨材)及回填工程材料

由於現在可以經由養生和促進養生來抑制煉鋼爐渣膨脹的技術已經非常成熟，使得煉鋼爐渣在使用上毫無問題。在台灣的河川砂石料日益枯竭的今天，以爐渣取代部分天然碎石級配鋪築道路基底層或是充當粗骨材(氧化渣)、細骨材(還原渣)拌製混凝土，應為極有價值之應用方向，而且此技術在日本非常成熟且有非常多的應用實績，非常值得推廣，目前國內氧化渣已朝此方向應用推廣，還原渣部分亦可以經由破碎、研磨、磁選、篩分、養生等程序製造成道路用級配細粒料或混凝土用細骨材。惟必須考量養生所須之土地並採購相關研磨、磁選及養生設備。

三、肥料及酸性土壤改良劑

由於還原渣中之 CaO 、 SiO_2 等為肥料成份且不含鎘、汞、砷等有害重金屬，因此可用於矽酸鈣質土壤改良劑。台灣地區酸性土壤較多，而電弧爐渣整體而言係屬鹼性，尤其高鹼度的還原渣更比低鹼度的氧化渣適用於中和土壤中過高之酸性物質。且其中 SiO_2 有部份可溶性矽酸鹽，可使植物莖部增強、不易倒伏，增強陽光利用率、防止蟲害，且有提高磷之吸收率，緩和氮肥過多之害等優點。就技術成熟度而言，在美、法、德、日等國都有相當多的實績。若以目前國內電弧爐還原渣產量約 13 萬噸左右而言，若全部使用來當矽肥，將至少可供 217 公畝稻田應用，減少化學肥料對土壤酸化之影響。惟必須考量爐渣製作成肥料並運至農民手中之相關成本費用是否符合農民經濟需求及農民的使用意願，另外若以肥料使用則須向行政院農委會申請肥料登記證並須符合肥料品目及規格規定，採酸性土壤改良劑時則無相關品目及規格規定。

四、建材製品

將具有活性的還原渣與飛灰按一定比例混合、磨細、混練成型、養生而產出不同建材製品，如水泥磚、景觀材、U 型溝、消波塊及人工魚礁等。

製成建材製品之資源化再利用技術具有節省部分原料，降低成本，縮短操作時間、易於彩繪、可添加輕骨材而減輕重量等特點，可提高附加價值之應用，若作為人工魚礁更因其附著很穩定，不易隨海流波動，對魚群聚集及CO₂固定均有很大貢獻，是非常好的應用技術，在日本已有成熟的技術並正積極進行商業化推廣中，惟其投資額較大且尚在商業化推廣中，廠商投資意願是一個很重要的考慮因素。

五、爐渣水泥原料及水泥摻配料

利用還原渣做為水泥原料及水泥摻配料，製作成爐渣水泥，如爐渣白水泥/彩色水泥及快凝快硬爐渣水泥等，具有製程簡單、效益高等優點，是值得推廣的資源化途徑，但尚需引進國外技術、配方或技術合作。爐渣白水泥中電弧爐還原渣所占比例約為 60%，鋼渣白水泥廠建廠投資回收期約 2~3 年，但由於投資金額大，並將與一般水泥廠、高爐水泥廠競爭，廠商投資意願亦是一個很重要的考慮因素。

六、固化劑或硬化劑

根據日本利用電弧爐還原渣研發成固化劑或硬化劑具有粒狀固化硬度指數高、中性 PH 值不致污染環境、固化時間短、凝集固化後不溶出，安全性高等特點，且用途廣泛，屬於高附加價值之資源化技術，若經評估可應用於國內改善山坡地因土石流影響之地盤，則是值得推廣的資源化途徑之一。但一般在應用前必須先至現場取樣經實驗室調整配比試驗後方可應用，在應用手續上較為煩瑣，若欲在國內採用仍需引進國外技術、配方或技術合作且其投資額可能亦大，廠商投資意願亦是一個很重要的考慮因素。

上述各項還原渣資源回收技術綜合評析如表 5.3-1 所示，各種資源化技術多有相當成熟之技術及實績，其中冶煉原料回收再利用方式適合規模大之工廠自行設置；道路用之級配料或混凝土細骨材亦可使用，但不若氧化渣應用程度廣，另若欲採用時需考量養生土地取得等問題；肥料及酸性土壤改良劑雖是頗為值得推廣之技術，但農民購買之意願仍須加以克服；至於做成建材製品、爐渣白水泥/彩色水泥及固化劑或硬化劑使用雖具有高經濟附加價值，但投資金額較高且需引進國外技術或採中外技術合作，廠商投資意願將是一重要關鍵。

若考量以水泥摻配料之資源化技術將還原渣取代部分水泥應用於混凝土等建材使用，則其投資成本應較直接製造爐渣水泥、建材製品、固化劑或硬化劑為

低，且其應用技術亦非常簡單，而且由於混凝土是使用相當廣泛的一種工程材料，根據調查資料顯示國內相關建築業雖因經濟不景氣，生產規模降產，但 921 重建相關計畫、高速鐵路等公共工程每年仍需要使用大量的混凝土建材，以大高雄地區之高速鐵路南段及高雄捷運工程為例，高速鐵路南段工程需求量为 230 萬立方米，高雄捷運工程總需求量为 370 萬立方米，顯見每年國內仍需大量的混凝土，而依據與還原渣化性相似之高爐渣應用經驗，其目前在國內係以取代水泥廣泛應用在混凝土使用上為主要資源化途徑。據統計其每年應用在混凝土上之年用量至少達 400 萬噸以上，以還原渣每年產生量約僅 13 萬噸左右之數量，若應用在國內拌製混凝土所需水泥之使用量上，其所佔比例不大，市場接受度應為可行，此技術無須仰賴國外，製程簡單且費用較低，可進一步評估其經濟效益，俾利推廣應用。

表 5.3-1 煉鋼還原渣資源化技術評析

項次	技術名稱	原理、流程	成品與適用範圍	技術成熟度與實績	技術複雜度	經濟附加價值	特點(含應用限制)	綜合說明
(一)	回收殘鋼原料	將爐渣進行粗碎、細碎、磁選等程序	回收殘鋼	已商業化 日本、中國大陸等	低	低	節省部份原料，降低成本	較適合規模大之工廠自行設置
	作燒結熔劑	將爐渣進行粗碎、細碎、磁選等程序	燒結熔劑	已商業化 中國大陸、日本	中	低	1.減少原料使用 2.提高燒結還原能力 3.含磷太多則無法使用	較適合規模大之工廠自行設置
	作煉鋼熔劑	直接將渣桶內還原渣返回下一批次電弧爐	煉鋼熔劑	商業化推廣 日本	中	低	節省部份原料，降低成本	較適合規模大之工廠自行設置
(二)	道路用級配料原料	將爐渣進行破碎、磁選、篩分等程序	道路用級配料	已商業化 日本、中國大陸、美國等	中	中	具有膠結性，可提高路基穩定性 抗剪力較大，提高土層之承载力 施工時較不會塵土飛揚	須考量養生所需土地並需引進國外技術
	混凝土用細骨材原料	將爐渣進行破碎、磁選、篩分等程序	混凝土用骨材	已商業化 日本、中國大陸等	中	中	表面粗糙，提高混凝土握裹強度	須考量養生所需土地並需引進國外技術
(三)	肥料及土壤改良劑	1.將爐渣進行乾燥、粗碎、磨粉、磁選、篩分等程序 2.再添入活化劑攪拌混合	土壤改良劑	已商業化 美、法、德、日、英、中國	中	高	1.增加土壤肥力 2.Si及P氧化物溶解性高 3.使植物莖強硬 4.抑制病蟲害	較大量投資金額意願是重大關鍵

表 5.3.3-1 煉鋼還原渣資源化技術評析(續)

項次	技術名稱	原理、流程	成品與適用範圍	技術成熟度與實績	技術複雜度	經濟附加價值	特點(含應用限制)	綜合說明
(四)	建材製品	1.將爐渣進行乾燥、粗碎、磨粉、磁選、篩分等程序 2.再加水石膏、混合劑等添加料低溫混練成型、養生	水泥磚、人工魚礁、消波塊	商業化推廣 日本、中國大陸	高	高	1.節省部份原料，降低成本 2.縮短操作時間	投資較大且尚在商業化推廣
(五)	水泥熟料及摻配料	1.熔渣經噴水急速冷卻，形成玻璃態爐渣細料 2.將爐渣細料研磨成細粉	爐渣水泥	已商業化 中國大陸	中	高	1.節省能源及石灰石用量 2.水合熱低 3.長期強度提昇 4.耐化學侵蝕	較不需引進國外技術及投資金額中等
(六)	固化劑或硬化劑	1.爐渣與其它水泥原料等混合煅燒 2.將煅燒料研磨成細粉 1.還原渣研磨成細粉與脫硫渣摻配 2.再與 Polymer 凝結劑、高孔隙含水比調整材製成固化劑	卜特蘭水泥 爐渣水泥 固化劑或硬化劑	已商業化 中國大陸 商業化推廣 日本	高	高	節省部份原料，降低成本 1.固化時間短 2.中性pH不會污染環境 3.固化後內含物不溶出 4.應用前須至現場取樣經實驗室調整配比較試驗後方可應用	需引進國外技術及投資金額較高，廠商投資意願是重要因素 需引進國外技術及投資金額較高且尚在商業化推廣

第六章 電弧爐煉鋼還原渣資源化技術效益評估範例

在第五章所述之各種資源化技術皆多有相當成熟之技術及實績，可供業者參考應用，惟鑑於國內目前電弧爐煉鋼渣資源化應用尚在起步階段，除南部一家處理廠混合資源化處理還原渣及氧化渣外，並無特別針對還原渣之處理廠成立，在考量國內經濟環境、技術成熟度與實績、技術複雜度及需仰賴國外引進程度、市場需求及接受度，本章節乃試採水泥摻配料之資源化技術，規劃一還原渣粉資源化廠，將還原渣研磨製成還原渣粉出售，取代部分水泥應用於混凝土等建材使用，本範例將介紹說明該技術之利用原理、建廠考量要件、設備容量規劃及應如何進行經濟效益評估，提供擬投入還原渣資源回收相關業者參考比較之用。惟本範例僅為初步規劃階段，未來仍須深入研究產品可適用之規格並配合製定相關 CNS 標準、工程規範及施工要項，以提供使用者實際參考應用。

6.1 還原渣粉資源化處理廠之先期規劃

6.1.1 還原渣替代水泥應用於混凝土之基本原理

一、利用原理

(一) 水合作用及卜作嵐反應

還原渣的礦物組成有七鋁酸十二鈣與氟鋁酸鈣固溶體($C_{12}A_7 \cdot C_{11}A_7 \cdot CaF_2$)、 β 型矽酸二鈣($\beta-C_2S$)、鋁酸三鈣(C_3S)等活性礦物，具有水硬膠凝性，在一定條件下能夠水化產生一定強度，是一種較好的水硬性膠凝材料，研磨成細粉添加於混凝土中會產生卜作嵐反應，而增加混凝土之強度，並使混凝土更加緻密增進其耐久性。

(二) 顆粒堆積效應

由於還原渣研磨成細粉後之顆粒可較水泥顆粒細小，故將還原渣粉適量摻用於混凝土中，可使其原有的顆粒堆積程度更加緻密。

(三) 漿體體積效應

還原渣之比重略小於水泥，故研磨後之還原渣粉以相等重量替代部

份水泥時，膠結料總重量不變，但漿體實質佔有之體積會增加，亦即漿體對骨材之體積比會因而提高，有助於混凝土之工作性。

二、利用方式

- (一) 還原渣作為水泥原料，與石灰石、矽砂、黏土、鐵砂等一起作為原料，煅燒成水泥熟料後，再摻入石膏研磨成水泥。
- (二) 還原渣當作水泥熟料，個別研磨後再與水泥混合或與水泥熟料先行混合，再一起研磨製成水泥。
- (三) 還原渣先行單獨研磨成粉後，運送至工地，於工地內取代部份水泥用量，與石料、砂、水拌和成混凝土漿，應用在土木工程。

就節約能源的觀點，第二種及第三種方式將還原渣視作水泥熟料免於再經一次燒結，較為節省能源與資源，經濟效益應較高。

6.1.2 還原渣粉資源化處理廠建廠要件評估

籌設還原渣粉資源化處理廠（以下簡稱還原渣粉廠）之初，首要考慮的條件有以下五項：

一、還原渣之來源、數量及品質

籌設還原渣粉廠，首先要考慮的重點為還原渣的來源及產生數量，無原料之供應，則投資設廠資金無法回收，形成投資浪費，此外，各還原渣來源之品質成份穩定，亦為一重要考量因子。還原渣原料品質需先調查及試驗是否合乎相關用途規範或 CNS 標準之要求，確定原料品質，可供加工及利用。

二、處理規模

依據第四章第 4.2 節經濟部工業局「工業廢棄物共同清除處理計畫」調查結果顯示，全省電弧爐煉鋼業工廠主要集中在中、南部地區，尤其還原渣產生量比例較大的不銹鋼廠集中在台南及高雄，根據調查資料顯示，南部地區還原渣數量年產量約為 10 萬噸，故初步建議資源化處理廠之處理規模可設計在年產量 10 萬噸左右，未來視市場需求及回收效益再進一步評估擴大處理量能之必要性。

三、市場需求

由於各項公共工程的推動與建築業發展，水泥混凝土需求量大，相對地還原渣當作水泥熟料替代水泥應用於混凝土中，在佔有比例上不大且只要價格合理，應無滯銷之虞。

四、廠址位置選定

廠址之選擇對於日後的經營關係非常密切，選擇廠址需考慮下列因素：

(一) 靠近料源

靠近料源，除原料不虞中斷避免待料停工，遭到無謂的損失外，亦可減輕原料運送費用，降低生產成本，並易於管理。

(二) 交通便利

還原渣粉為類近水泥之材料，散裝時通常以水泥槽車運輸為主，成本比例亦高，故交通運輸的因素即顯得格外重要，儘可能選擇靠近主幹道交通便利地點設廠。

(三) 水電供應無虞

還原渣粉廠均以重機械作業，需使用大量電力，另使用水量包括員工生活用水及車輛設備清洗用水，因此電力可否供應及水源是否充足，須予調查勘定。

(四) 廠地面積

還原渣粉廠用地，除機具設備必須有足夠之空間佈置外，尚需考慮污染防治設施等用地，並預留適當之場地以貯存原料及產品。

(五) 附近環境

還原渣粉之原料及產品均以卡車及水泥槽車運輸，致運輸量較為龐大，加工過程之主要作業為還原渣之磁選排鐵、破碎研磨及篩分等，故工廠設置地點應以不影響居民生活環境為原則，規劃時即須將公害（噪音、粉塵及路面破損等）防治設施列入考量，以避免設廠後衍生諸多不必要之干擾。

五、投資模式

還原渣粉資源化處理廠投資模式，依法令規範、成立要件、資金來源，可區分為公民營清除處理機構、共同清除處理機構或成立第二類代處理機構

。以公民營清除處理機構而言，係專以清除處理還原渣為營業目的，並取得合理利潤。而共同清除處理機構，顧名思義係由產生還原渣之業者共同投資，或聯合有意願投資者（技術供應者為最佳）合作投資，其優點為未來較無還原渣來源匱乏之困擾；缺點則為投資者眾多，經營政策較易產生歧見。至於第二類代處理機構係指由個別產生源自行投資建廠，主要處理本廠之還原渣，並利用設備尚有之處理容量餘裕，協助其他業者處理。其優點為藉由協助其他業者處理之還原渣所得之收費效益，提升處理廠之經濟效益；缺點則為其他業者將考慮委託處理費用是否合乎其經營成本，進而決定是否委託處理，如此可能導致還原渣來源不穩定。

6.1.3 建廠工程先期規劃

一、處理容量規劃

電弧爐煉鋼爐渣產生量龐大，以往由於業者不瞭解相關資源化再利用技術，且鑑於妥善處理成本過高，影響鋼鐵產品競爭力，因此大部分煉鋼爐渣皆無法妥善再利用而遭逕行掩埋或棄置山谷、窪地及河床等地，殊為可惜。針對佔電弧爐煉鋼爐渣相當比例之還原渣，如前之所述，在世界各國均有相當成熟之資源化再利用技術，且由於其性質與高爐渣類似，並依其應用原理，顯示可替代水泥使用於混凝土上。

依據經濟部工業局「工業廢棄物共同清除處理計畫」所進行之調查結果，由於電弧爐煉鋼業廠家多集中於南部地區，且還原渣產生比例較大之不銹鋼廠亦多集中於南部地區，故初步以南部地區電弧爐煉鋼還原渣年產量作規劃，根據調查資料，南部地區還原渣年產量約為 10 萬噸，故可以還原渣年產量 10 萬噸之處理量為考量本廠設廠規模依據，若再考量設備維修之停機日及員工放假日，每月運轉日數約為 25 日，則規劃之資源化處理廠每月還原渣處理設計容量約可達 10,000 噸。

二、生產流程設計

還原渣粉廠之生產流程設計，首先應考量料源之成份、性質、粒徑、適用性以及還原渣軋碎、研磨特性，其次對機具設備之組合亦應予充分了解，特別是破碎及研磨還原渣的各種特性，及篩分機、顎式碎礦機、錘碎機、球磨機、輸送帶及磁選機等流程的配置，生產過程粒徑分佈、細度、單位時間產能等，再依用途、用量及銷售對象製定生產計畫，確定產品規格及產量，

最後依據此生產計畫，設計出符合此一要求之還原渣粉廠。

由於電弧爐煉鋼還原渣中仍含有殘鋼，故可以顎式碎礦機處理，而另由於不銹鋼電弧爐還原渣中約含有 5% Fe-N-Cr 合金之鋼球，其具有韌性，在碎礦過程中會對碎礦機造成損害，故不銹鋼廠還原渣進廠處理時，在碎礦前須以磁選機去除這些有害物質，並將其以球磨機細碎、磁選收集，所回收之鋼球可供不銹鋼廠回爐使用。

本規劃廠生產流程圖如圖 6.1-1 所示，還原渣自電弧爐出渣後運至倒渣場內，經噴水冷卻再運至還原渣粉廠。進廠後將還原渣卸到貯存區，再以輸送帶送入卸料斗後經磁選機、顎式碎礦機、鏈碎機、研磨機、選粉機等作業流程，才可使還原渣成為符合替代水泥材料應用於混凝土之還原渣粉。

另鑑於碳鋼廠、不銹鋼廠、鑄鋼廠製程不同，還原渣成份差異較大，進廠後宜分類分區貯存並分別進料處理或依未來產品規格需求調配處理，以確保產品品質一致性。

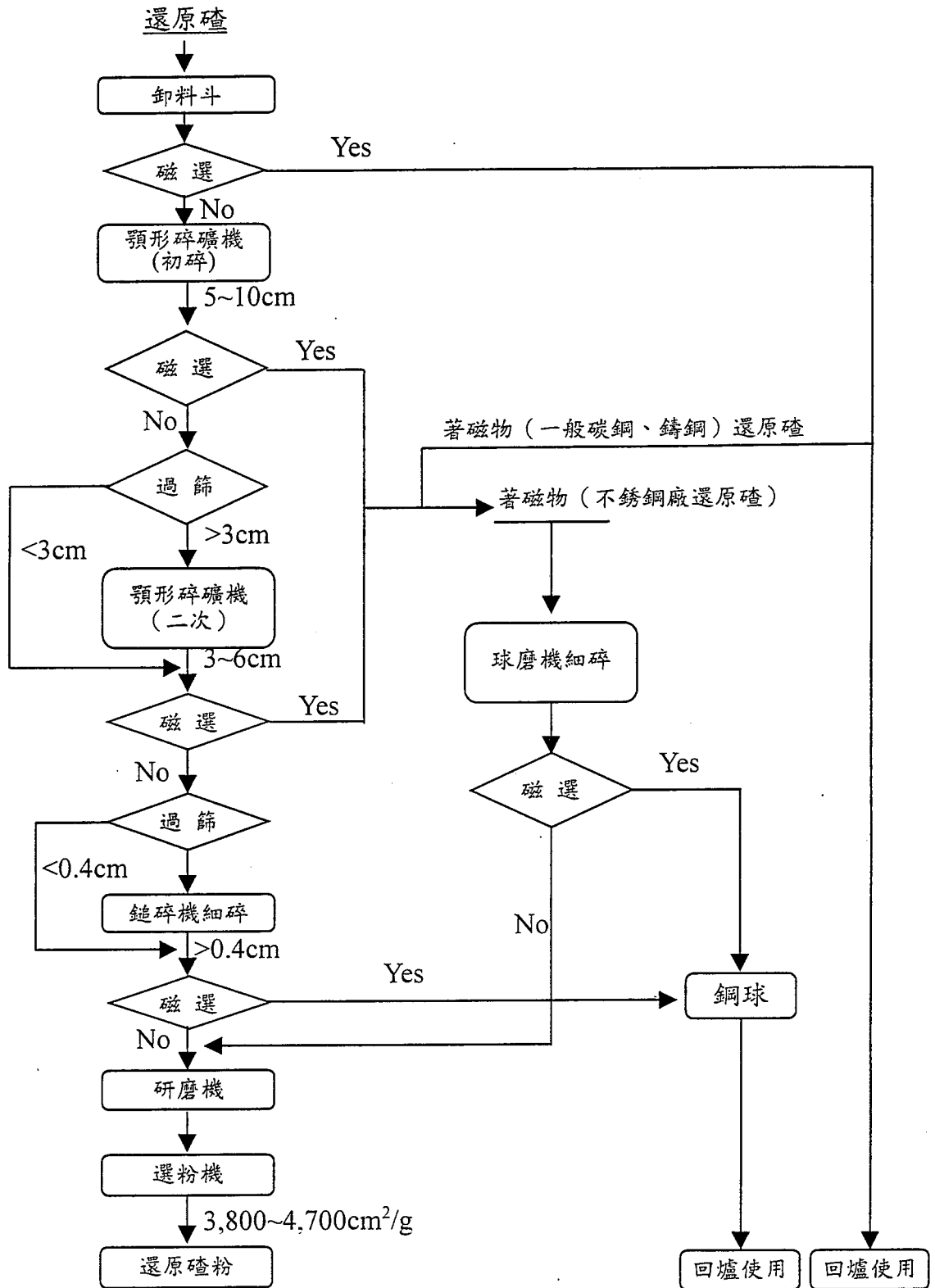


圖 6.1-1 電弧爐煉鋼還原渣粉資源化處理流程

三、設備單元

本規劃廠之製程設備主要單元包括卸料斗、震動飼料機、顎式碎礦機、錘碎機、球磨機、磁選機、篩分機、研磨機、選粉機、輸送機等，另外亦包含污染防治設備以保障工作人員健康及維護環境品質。

(一) 卸料斗

卸料斗具有倉儲調節作用且可與飼料機互相配合控制進料速度，使各項機械設備易於操作並發揮應有的效率。

(二) 震動飼料機

飼料機的主要功能係將還原渣等量持續供應碎礦機等，使之均勻適量的作業，否則若還原渣料過多會阻塞碎礦機，使之降轉或停止運轉增加負荷與消耗，減少產量，還原渣不足則易造成碎礦機空轉或只發揮部分破碎效率，使牙板消耗不平均，產量亦會減少。

震動飼料機以並排鋼條構成，利用上下振動的作用使還原渣料鬆動，增加其流動性並達到篩分及給料的雙重目的。

(三) 顎式碎礦機

顎式碎礦機依其構造，可分為雙肘顎式或單肘顎式兩種。雙肘顎式碎礦機之活動顎，其運作方式為利用往復擺動，使原料受壓而破碎，單肘碎礦機活動顎不僅前後運動且上下移動，故其破碎方式是受壓及磨擦兼而有之。

(四) 錘碎機

錘碎機轉輪上裝有三至六排非固定式錘頭，當轉輪連同錘頭由機軸帶動旋轉時，用錘之衝力將還原渣打碎或打至受擊板上碰碎或剪碎還原渣，再由機體下方之篩條間排出，一般而言，使用錘碎機具有碎礦比大，破碎效率高，產品粒度均勻，選擇性破碎及維修方便等優點，適於整形，故多用為二、三次破碎用。

(五) 球磨機

球磨機主要功用在將具韌性之不銹鋼鋼球予以粉碎單離。

(六) 磁選機

還原渣大部份金屬以鐵為主，多具有磁性，可以適合之磁選機加以分離去除，一般常見的磁選機可分為皮帶式電磁鐵磁選機、懸吊式固定電磁鐵磁選機。

(七) 篩分機

篩分機的功用在於篩選還原渣尺寸，以輔助餵料，篩分機種類可分為水平振動篩分機、傾斜振動篩分機、滾筒式篩分機等。

(八) 研磨機

研磨機主要目的在將經鏈碎機破碎至 4mm 以下之還原渣研磨至還原渣粉，符合至少與高爐爐石粉相當之細度(3,800~4,700cm²/g)，以提供混凝土摻料使用。

(九) 選粉機

研磨後之還原渣粉經選粉機篩分符合細度規格之還原渣粉。

(十) 輸送機

原料經初步處理後依設計流程輸送至碎礦機、磁選機、鏈碎機、研磨機、篩分機及選粉機並導引至成品貯倉，其主要功用在於使生產工作得以持續不停，避免斷料。

(十一) 污染防治設備

由於本廠多屬大型重機械，在運作流程中將會產生噪音、粉塵等污染，因此亦必須裝設污染防治設備，以維護員工健康及周遭環境品質。

6.2 還原渣粉廠效益評估範例

6.2.1 工程預算

還原渣粉廠預計以 10,000 噸/月之處理量為設廠規模及經濟效益分析之依據。建廠工程預算包括有還原渣破碎、磁選、篩分、研磨、選粉等主要設備成本及週邊設施與其他如安全衛生、環境保護、保險等其他費用成本。工程預算彙整統計如表 6.2-1 所示。

表 6.2-1 還原渣粉廠工程預算表(10000 公噸/月)

編號	項目	數量	單位	單價(元)	總價(元)	備註
壹	主要設備					
1.	卸料斗	1	式	800,000	800,000	含料庫及鋼架材料
2.	震動飼料機	1	式	950,000	950,000	含鋼架及漏斗
3.	顎式碎礦機	2	式	450,000	900,000	含鋼架及漏斗
4.	鏈碎機	1	式	1,200,000	1,200,000	含鋼架及漏斗
5.	球磨機	1	式	800,000	800,000	含鋼架及漏斗
6.	磁選機	5	式	1,000,000	5,000,000	含鋼架及漏斗
7.	震篩機	2	式	1,200,000	2,400,000	含鋼架及漏斗
8.	研磨機	1	式	800,000	800,000	含鋼架及漏斗
9.	選粉機	1	式	900,000	900,000	
10.	輸送機	200	M	23,400	4,680,000	含單邊走道、保養架
11.	污染防治設備	1	式	1,570,000	1,570,000	
12.	挖土機	1	台	1,000,000	1,000,000	
	小計				21,000,000	
貳	週邊設備					
1.	辦公室	1	式	3,630,000	3,630,000	含辦公室、浴、廁、廚等
2.	土木工程(鋼結構)	1	式	4,300,000	4,300,000	
3.	電子地磅(含地磅室)	1	式	1,500,000	1,500,000	含地磅室、列表機等
4.	電力設施	1	式	4,000,000	4,000,000	約500HP，含申請手續、契約容量及內線配電設施
5.	控制室	1	式	500,000	500,000	
6.	馬達	1	式	900,000	900,000	
7.	夜間照明設備	1	式	130,000	130,000	
8.	保修工具	1	式	260,000	260,000	
9.	整廠安裝	1	式	780,000	780,000	
10.	鏟裝車	1	台	2,000,000	2,000,000	
	小計				18,000,000	
參	其他費用					
1.	利潤及管理費	10	%	3,900,000	3,900,000	(壹+貳)×10%
2.	安全衛生措施	2	%	780,000	780,000	(壹+貳)×2%
3.	工程保險	1	式	200,000	200,000	
4.	品保及監工	18	人月	60,000	1,080,000	
	小計				5,960,000	
肆	稅金	5	%	2,248,000	2,248,000	(壹+貳+參)×5%
	設廠總投資金額				47,208,000	壹+貳+參+肆

6.2.2 還原渣粉廠經濟效益分析

本規劃廠經濟效益評估如表 6.2-2 所示，分析考量項目包括初設成本、每年操作維護成本、設備折舊費、回收殘鋼收入、還原渣粉產品販賣收入等，各項目內容說明如下：

一、初設成本：47,208,000 元

(一) 主要設備：21,000,000 元

(二) 週邊設施：18,000,000 元

(三) 其他費用：5,960,000 元

(四) 稅金：2,248,000 元

二、每年操作維護成本：80,101,800 元

包括土地租金、人事及管銷費、維護保養費、燃料費、生產電費及還原渣、還原渣粉之清運費等。

(一) 土地租金：3,600,000 元/年

全部租用土地約 3,000 坪，部分作處理廠，其他部分作原料及產品貯存場用，每坪每月租金約以 100 元計算，每年租金合計：

$$100 \text{ 元/坪} \cdot \text{月} \times 3000 \text{ 坪} \times 12 \text{ 月} = 3,600,000 \text{ 元/年}$$

(二) 人事及管銷費（8 小時操作）：3,696,000 元/年

本廠人員編制略以廠長 1 人，會計 1 人，品管 1 人，操作人員每班 3 人，每日 1 班，合計 6 名員工。

1. 人事費單價：40,000 元/人月 \times 14 月/年 = 56,000 元/人年

2. 管銷費單價：以人事費的 10% 估算為 5,600 元/人年

3. 人事及管銷費合計

$$(56,000 + 5,600) \text{ 元/人年} \times 6 \text{ 人} = 616,000 \text{ 元/人年} \times 6 \text{ 人} \\ = 3,696,000 \text{ 元/年}$$

(三) 維護保養費：4,720,800 元/年

以初設成本之 10% 估算，為 4,720,800 元/年。

(四) 生產電費：2,565,000 元/年

以動力 500HP 計算，契約容量 = $500 \times 0.746 = 373\text{kW}$

每月基本電費 = $373 \times 213 = 79,449$ 元/月

每月流動電費 = $373 \times 8 \text{ 時} \times 25 \text{ 日} \times 1.8 \text{ 元/度} = 134,280$ 元/月

每年電費 = (每月基本電費 + 每月流動電費) $\times 12$ 月/年 =
 $(79,449 + 134,280) \times 12 = 2,565,000$ 元/年

(五) 燃料費：720,000 元/年

以每處理 1 公噸還原渣約需 6 元油料費估算。

$6 \text{ 元/公噸} \times 10,000 \text{ 公噸/月} \times 12 \text{ 月/年} = 720,000$ 元/年

(六) 還原渣回收運費：36,000,000 元/年

$10,000 \text{ 公噸/月} \times 300 \text{ 元/公噸} \times 12 \text{ 月/年} = 36,000,000$ 元/年

(七) 還原渣粉及回收殘鋼 (產出量預估為理論量之 80%) 運費：28,800,000 元/年

$10,000 \text{ 公噸/月} \times 0.8 \times 300 \text{ 元/公噸} \times 12 \text{ 月/年} = 28,800,000$ 元/年

三、每年節省及回收費用：94,080,000 元/年

(一) 回收殘鋼(產出量預估為理論量之 80%)：10,080,000 元/年

回收殘鋼每公噸 3,500 元，每噸還原渣約以含 3%殘鋼計算。

$10,000 \text{ 公噸/月} \times 3\% \times 3500 \text{ 元/公噸} \times 0.8 \times 12 \text{ 月/年} = 10,080,000$ 元/年

(二) 還原渣粉(產出量預估為理論量之 80%)：48,000,000 元/年

還原渣粉售價，初估以每公噸 500 元計算。

$10,000 \text{ 公噸/月} \times 500 \text{ 元/公噸} \times 0.8 \times 12 \text{ 月/年} = 48,000,000$ 元/年

(三) 還原渣代處理費：36,000,000 元/年

還原渣代處理費初估以每公噸 300 元計算。

$10,000 \text{ 公噸/月} \times 300 \text{ 元/公噸} \times 12 \text{ 月/年} = 36,000,000$ 元/年

四、設備折舊

在進行投資效益分析前，必須將初設成本於一假設之設備使用年限內分年攤提，並考量綜合年利率計算設備折舊費，計算說明如下：

$$(一) \text{設備投資還原因子(CRF)} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = 0.149$$

i (綜合年利率)=8%， n (設備使用年限)=10年

$$(二) \text{設備折舊費} = \text{初設成本} \times \text{設備投資還原因子} \\ = 47,208,000 \text{ 元} \times 0.149 \doteq 7,034,000 \text{ 元}$$

五、估算項目之均化值

為進行後續投資效益分析，需將每年操作維護費及每年節省回收費，考量綜合年利率、物價上漲率及設備使用年限等因子加以均化，在此假設綜合年利率為8%，物價上漲率為4%，設備使用年限則以10年估算，詳細效益計算說明如下：

$$(一) \text{均化係數} = \frac{i[(1+i)^n - (1+e)^n]}{(i-e)[(1+i)^n - 1]} = 1.1712$$

i (綜合年利率)=8%， e (物價上漲率)=4%， n (設備使用年限)=10年

$$(二) \text{均化年操作維護費} = \text{操作維護費} \times \text{均化係數} \\ = 80,101,800 \text{ 元} \times 1.1712 = 93,815,228 \text{ 元}$$

$$(三) \text{均化年節省回收費} = \text{節省回收費} \times \text{均化係數} \\ = 94,080,000 \text{ 元} \times 1.1712 = 110,186,496 \text{ 元}$$

$$(四) \text{均化年淨效益} = \text{均化年節省回收費} - \text{均化年操作維護費} \\ = 110,186,496 \text{ 元} - 93,815,228 \text{ 元} = 16,371,268 \text{ 元}$$

六、投資效益

利用益本比、投資報酬率及投資回收年限，評估本設廠方案之投資效益；益本比為「均化年節省回收費÷(設備折舊費+均化年操作維護費)」，計算得益本比為1.09，顯示年節省回收大於年成本，就整體效益而言值得開發投資。

計算投資報酬率為32.6%，大於本分析所假設之綜合年利率(8%)，至於投資回收年限則為3.41年。

$$(一) \text{ 益本比} = \text{均化年節省回收費} \div (\text{設備折舊費} + \text{均化年操作維護費}) \\ = 110,186,496 \text{ 元} \div (7,034,000 \text{ 元} + 93,815,228 \text{ 元}) = 1.09$$

$$(二) \text{ 現值因子} = \text{初設成本} \div \text{均化年淨效益} \\ = 47,208,000 \text{ 元} \div 16,371,268 \text{ 元} = 2.8836$$

(三) 投資報酬率 F

$$\text{現值因子} = \frac{(1+F)^n - 1}{F(1+F)^n}, n(\text{設備使用年限}) = 10 \text{ 年}$$

$$\text{投資報酬率 } F = 32.6\%$$

$$(四) \text{ 投資回收年限 } N = \frac{\ln[A/(A - P \times i)]}{\ln(1+i)}$$

$$A = \text{均化年淨效益}, P = \text{初設成本}, i(\text{綜合年利率}) = 8\%$$

$$\text{投資回收年限 } N = 3.41$$

七、處理成本計算

處理成本計算項目包括固定成本及營運成本，固定成本即為考量綜合年利率，將初設成本於預計使用年限內計算分年攤提之設備折舊費，營運成本則為每年操作維護費支出扣除回收殘鋼及還原渣粉收入之淨值，由估算結果得知，每公噸之處理成本為 242 元。

$$(一) \text{ 每年回收殘鋼及還原渣粉收入} = \text{回收殘鋼收入} + \text{還原渣粉收入} \\ = 10,080,000 \text{ 元} + 48,000,000 \text{ 元} = 58,080,000 \text{ 元}$$

$$(二) \text{ 固定成本} = \text{設備折舊費}$$

$$(三) \text{ 營運成本} = \text{每年操作維護費} - \text{每年回收殘鋼及還原渣粉收入} \\ = 80,101,800 \text{ 元} - 58,080,000 \text{ 元} = 22,021,800 \text{ 元}$$

$$(四) \text{ 小計} = \text{固定成本} + \text{營運成本}$$

$$(五) \text{ 每公噸處理成本} = (\text{固定成本} + \text{營運成本}) \div \text{設計處理容量}$$

$$\text{設計處理容量} = 10,000 \text{ 公噸/月} \times 12 \text{ 月/年} = 120,000 \text{ 公噸/年}$$

$$\text{處理成本} = 242 \text{ 元/公噸}$$

表 6.2-2 還原渣粉廠經濟效益分析 (10000 公噸/月)

單位：新台幣元

項次	項目	單位費用	費用	計算說明
初設成本	1.主要設備	21,000,000 元/式	21,000,000	一-(一)
	2.週邊設施	18,000,000 元/式	18,000,000	一-(二)
	3.其他費用	5,960,000 元/式	5,960,000	一-(三)
	4.稅金	2,248,000 元/式	2,248,000	一-(四)
	合計		47,208,000	
每年操作維護成本	1.土地租金	3,000 坪，每坪每月租金 100 元	3,600,000	二-(一)
	2.人事及管銷費	616,000 元/人年	3,696,000	二-(二)
	3.維護保養費	10%初設成本	4,720,800	二-(三)
	4.生產電費		2,565,000	二-(四)
	5.燃料費		720,000	二-(五)
	6.還原渣回收運費	300 元/公噸	36,000,000	二-(六)
	7.還原渣粉及回收殘鋼運費	300 元/公噸	28,800,000	二-(七)
	合計		80,101,800	
每年節省及回收費用	1.回收殘鋼	3,500 元/公噸	10,080,000	三-(一)
	2.還原渣粉	500 元/公噸	48,000,000	三-(二)
	3.還原渣代處理費	300 元/公噸	36,000,000	三-(三)
	合計		94,080,000	
折舊	設備投資還原因子		0.149	四-(一)
	設備折舊費		7,034,000	四-(二)
均化值	均化系數		1.1712	五-(一)
	均化年操作維護費		93,815,228	五-(二)
	均化年節省及回收費		110,186,496	五-(三)
	均化年淨效益		16,371,268	五-(四)
投資效益	益本比		1.09	六-(一)
	現值因子		2.8836	六-(二)
	投資報酬率		32.6%	六-(三)
	投資回收年限		3.41	六-(四)
處理成本	每年回收殘鋼及還原渣粉收入		58,080,000	七-(一)
	固定成本		7,034,000	七-(二)
	營運成本		22,021,800	七-(三)
	小計		29,055,800	七-(四)
	每公噸處理成本		242	七-(五)

註：*CRF (設備投資回收因子) = $i(1+i)^n / (1+i)^n - 1$
 i (年利率) = 8% , n (設備使用年限) = 10 年

6.2.3 不同設廠規模之投資方案分析

考量在初探還原渣資源化業務領域，不知市場接受度之情況下，若設計處理規模太大，唯恐業者一次投入過多資本卻無法達到預期之營業數量，因此本小節另以一月處理量 5000 公噸之設廠方案，以相同方式分析估算其單位處理成本、投資報酬率及設備回收期限等，提供擬投入還原渣資源回收市場之相關業者參考比較，待設廠完成正式營運後，若還原渣來源穩定、經營績效良好，得視市場需求再行評估是否進一步進行擴廠計畫。

與 6.2.2 小節採用月處理量 10,000 公噸之設廠方案相較，主要差異在於本方案有較低之初設成本，此外，與處理量相關之參數：如水電、燃料使用量，產品產量等，亦隨之不同；至於計算所用之綜合年利率、物價上漲率與設備使用年限等假設條件則維持不變，就本 5,000 公噸/月設置容量之還原渣粉廠經濟效益之結果如表 6.2-3 所示。

表 6.2-3 還原渣粉廠經濟效益分析(5000 公噸/月)

單位：新台幣元

項次	項目	單位費用	費用
初設成本	1.主要設備	13,200,000 元/式	13,200,000
	2.週邊設施	10,800,000 元/式	10,800,000
	3.其他費用	3,720,000 元/式	3,720,000
	4.稅金	1,386,000 元/式	1,386,000
	合計		29,106,000
每年操作維護成本	1.土地租金	100 元/坪·月	2,400,000
	2.人事及管銷費	616,000 元/人年	3,696,000
	3.維護保養費	10%初設成本	2,910,600
	4.電費	300HP 動力	1,539,000
	5.燃料費		360,000
	6.還原渣回收運費	300 元/公噸	18,000,000
	7.還原渣粉及殘鋼	300 元/公噸	14,400,000
	合計		40,905,600
每年節省及回收費用	1.回收殘鋼	3,500 元/公噸	5,040,000
	2.還原渣粉	500 元/公噸	24,000,000
	3.還原渣代處理費	300 元/公噸	18,000,000
	合計		47,040,000
折舊	設備投資還原因子		0.149
	設備折舊費		4,337,000
均化值	均化係數		1.1712
	均化年操作維護費		47,908,639
	均化年節省回收費		55,093,248
	均化年淨效益		7,184,609
投資效益	益本比		1.05
	現值因子		4.0512
	投資報酬率		21.0%
	投資回收年限		5.09
處理成本	每年回收殘鋼及還原渣粉收入		29,040,000
	固定成本		4,337,000
	營運成本		11,865,600
	小計		16,202,600
	每公噸處理成本		270

6.2.4 不同設廠方案之經濟效益比較

為便於將估算結果進行比較，彙整各方案之益本比、投資報酬率、投資回收年限及每公噸處理成本如表 6.2-4，兩種設廠規模計算所得之益本比分別為 1.05 及 1.09，均大於 1，顯示年節省回收大於年成本，就整體效益而言，兩種方案均可開發投資。

至於投資報酬率分別為 21.0% 及 32.6%，均大於本分析所假設之綜合年利率 (8%)，設備回收年限分別為 5.09 年及 3.41 年，在處理成本計算上，月處理量 5,000 公噸規模之單位處理成本為 270 元，將處理量提昇至每月 10,000 公噸，則可使單位處理成本降為 242 元，降低了 10.4%。

綜合而論，處理規模越大，單位處理成本越低。不論以廠內回收角度或經營投資廢棄物資源化事業，在設廠規劃時均需廣泛蒐集背景資料審慎評估，以使投資方案可落於最佳經濟效益之處。

表 6.2-4 不同設廠方案之經濟效益比較一覽表

項 目	還原渣粉廠	
	5,000	10,000
處理容量(公噸/月)	5,000	10,000
益本比	1.05	1.09
投資報酬率 (%)	21.0	32.6
投資回收年限 (年)	5.09	3.41
每公噸處理成本 (元/公噸)	270	242

6.3 提高還原渣資源化應用業者應配合注意事項

台灣地區地狹人稠，再加上為海島型國家，先天即較缺乏天然資源，若能有效將煉鋼爐渣資源再利用，除可減少天然資源開採外，更可以徹底解決廢棄物處理問題。在煉鋼爐渣中佔一部分的還原渣，是具有再利用價值的資源，而現今資源化再利用技術的成熟度，及回收處理設備的高度商業化，亦為還原渣資源再利用提供強而有力的後盾，然各煉鋼廠所排出之還原渣性質特性因不同製程種類、不同產品需求、添加不同成份之副原料而有所不同，採用之資源化技術設備於操作運轉時亦須跟著調整，尤其目前各煉鋼廠多將氧化渣及還原渣混合堆置，更是增加還原渣資源再利用的困難度，因此對於專業的還原渣粉廠而言，如何有效利

用各產源工廠之製程管理，控制還原渣之特性及組成並有效維持穩定並做好倉儲管制避免氧化渣或爐塵灰等影響物質混入，以符合進廠資源化處理需求，將成為左右本還原渣粉廠資源化效益高低之關鍵。以下就各考量要點說明業者應配合注意事項。

一、瞭解還原渣性質及組成

還原渣的性質特性及組成成份與選用資源化技術及回收成效，具高度的相關性。目前由於各廠多將其與氧化渣混合處置，故多缺乏還原渣產量、性質等基本資料及數據，若擬朝資源化處理方式規劃，首要步驟即是瞭解還原渣性質及組成，清查並建立還原渣資料庫，以作為資源化再利用之基礎。

二、維持還原渣產源及品質穩定

若還原渣來源之產生數量不定、或性質及組成歧異度過高，對於資源化處理設備操作運轉設定往往是極大的困擾，故還原渣的使用應建立符合 ISO 9000 系列之品質保證制度，將品質不確定因素降至最低，以確保進廠品質，符合資源化再利用需求。以下就還原渣再生利用之品質管理與檢驗，說明如下：

(一) 品質管理

還原爐渣之品質受煉鋼廠各作業階段影響，應以全面品質管理 (TQM) 方式導入管理，建立標準化還原渣進廠前處理程序及相關管制措施，以確保其品質，相關管制要點如下列各項：

1. 出渣

還原爐渣出渣時的安全管制。

2. 冷卻

依所需材料性質進行水淬或氣冷的施工管制。

3. 材料管制

煉鋼爐中所加入之材料管制及記錄。

4. 倉儲管制

(1) 還原渣與氧化渣分區貯存。

(2) 定期查驗存量。

(3) 長期（六個月）庫存之還原渣應複驗其品質。

5. 維護管制

擬定機器設備的維護管制措施。

(1) 擬定期檢查計劃。

(2) 定期檢查外觀及安全性。

(3) 回饋施工及檢查成果，供後續參考。

(二) 品質檢驗

各煉鋼廠應定期對產生電弧爐還原渣進行品質檢驗並作成紀錄，提供還原渣粉廠參考，以確保符合進廠標準。品質檢驗相關項目如下：

1. 採樣法

依 CNS 10989「現場粒料減量為試驗樣品取樣法」之規定，以合理之抽樣方法採取需要量試樣。

2. 化學成份分析法概要

(1) 含水量試驗。

(2) 化學成份含量分析：依 CNS 12223 水淬高爐爐渣之相關試驗方法，分析化學成份含量(含 f-CaO)，並加以計算鹽基度。

(3) 玻璃質含量：依 CNS 12458 水淬高爐爐渣玻璃質含量測定法。

3. 物理性質試驗法概要

(1) 比重及吸水率試驗：依 CNS 1167 測試。

(2) 健性試驗：依 CNS 1167 測試。

(3) 細度試驗：依 CNS 486 測試。

影響還原渣粉廠資源化成效之要素，除上述產源有效管理外，業者之配合意願以及將來資源化產品的出路，可適用的規格、規範、施工要領等配套措施亦為考量要素之一，據瞭解若還原渣資源化技術可行且產品出路無問題，則業者均有意願配合執行上述應注意事項，故未來須再深入研究產品可適用之規格並配合製

定相關 CNS 標準、工程規範及施工要項，以提供使用者實際參考應用，達成環境保護與經濟發展兼籌並重的目標。

參考文獻

1. 中技社工業污染防治中心，行業別污染排放清潔指標及規範建立期末報告附冊二行業別污染防治及清潔生產資料彙編，行政院環保署，88.06
2. 中技社綠色技術發展中心，行業別污染排放清潔指標及規範建立計畫，行政院環保署，89.11
3. 陳勝榮，國內鋼鐵產業及技術現況與發展，工程 74 卷 4 期，90.6。
4. 經濟部工業局，電子與鋼鐵產業國際市場供需失衡與其對我國產業之影響，89.6。
5. 經濟部工業局，電弧爐煉鋼業污染防治技術，83.6。
6. 經濟部工業局，電弧爐煉鋼爐渣資源化技術合作開發與推廣，88.6。
7. 以電磁感應加熱促進爐渣中金屬球在粉碎作業之單離研究，國立成功大學資源工程學系碩士論文，謝宗憲，溫紹炳，89.6。
8. 添加矽灰及爐石對水泥薄漿工程性質之影響研究，國立中央大學土木工程學系碩士論文，黃偉慶，潘致遠，88.6。
9. 電弧爐煉鋼爐渣特性及取代混凝土粗骨材之研究，國立中央大學土木工程研究所碩士論文，鄭清元，黃偉慶，89.7。
10. 鋼鐵冶金學，中國礦冶工程學會，75。
11. 鋼鐵工業固體廢物治理，工業污染治理技術叢書固體廢棄物卷國家環境保護局，81。
12. 工業廢渣建築材料，工業污染治理技術叢書固體廢棄物卷國家環境保護局，81。
13. 蔡馬陵／徐登科／倪柏林，煉鋼轉爐石資源化可行性探討，中聯爐石處理資源化股份有限公司。
14. 江慶陞，爐石的資源化，技術與訓練 6 卷 9 期，70.9。
15. 江慶陞，爐渣的物性與化性，技術與訓練 9 卷 3 期，73.3。

16. 歐木己，中國鋼鐵公司爐石資源化簡介。
17. 蔡馬陵/吳泰雯，高爐石在水泥上的應用，技術與訓練 17 卷 1 期，81.2。
18. 蔡武雄譯，鋼鐵業廢棄物處理的現狀報導，技術與訓練 17 卷 6 期，81.12。
19. 蔡辛慈/金崇仁，日本電爐煉鋼業的爐渣處理，技術與訓練 18 卷 3 期，82.6。
20. 楊萬發/余騰耀/黃順明/劉邦俊/吳敏煌/張旺珍/蔡蓬培，電弧爐煉鋼業廢棄物減量資源回收及處理示範計畫，財團法人中國技術服務社，衛適密廢物減量科技有限公司，行政院環保署廢管處。
21. 陳政澤/羅友志/曾迪華/張木彬/廖萬里，電弧爐煉鋼業污染防治技術之現況與發展趨勢，國立中央大學環境工程學刊第二期，84.2。
22. 陶錫富/楊貫一，中鋼公司廢雜料管理，技術與訓練 22 卷 3 期，86.6。
23. 楊貫一，爐石資源化—水淬高爐石再利用做為水泥混凝土材料，技術與訓練 22 卷 3 期，86.6。
24. 溫紹炳/賴維志/徐慧玲/劉慧玲，不銹鋼電爐渣處理利用之研究，私立淡江大學水資源及環境工程學系，第十二屆廢棄物處理技術研討會論文集，86.2。
25. 薛少俊，煉鋼淨化廢氣發電之研究，88.1。
26. 楊光漢，鋼鐵業節能探討，工研院能資所，能源季刊，88.10。
27. 陳立/施正元，以電弧爐爐渣為混凝土粗骨材之工程特性研究，明志技術學院學報第 32 期，89.6。
28. 中國冶金部建築研究總院教授孫樹杉，中國大陸煉鋼爐渣水泥研究及應用，工業廢棄物資源化技術與設備應用講習會，經濟部工業局主辦，中技社工業污染防治技術服務團，88.4。
29. 中國冶金部建築研究總院教授孫樹杉，煉鋼爐渣在建築材料工業中應用。
30. 蘇茂豐/陳立/黃順明/余騰耀/閻嘉義，電弧爐煉鋼爐渣粒料資源化及工程性質評估，工業污染防治第七十三期，89.1。

31. 陳立／黃偉慶／閻嘉義，電弧爐爐渣資源化再利用之可行性評估，國立屏東大學環境工程與科學系，第十五屆廢棄物處理技術研討會論文集，89.12。
32. 林育生／廖秋榮／王銘燦／蘇景明／姜智文，煉鋼爐石資源回收再利用——酸性土壤改良之研究，國立屏東大學環境工程與科學系，第十五屆廢棄物處理技術研討會論文集，89.12。
33. 桂裕公司追求永續發展的步伐永不停止，永續產業資訊雙月刊第三期。
34. 永續產業資訊雙月刊第三期，電弧爐煉鋼爐渣資源化技術及應用推廣。
35. 張相熙，製鐵煉鋼爐渣資源化探討，台協化學股份有限公司。
36. 賴維志，不銹鋼電爐渣處理利用之研究，國立成功大學資源工程研究所碩士論文，85，6。
37. 徐金泉，水淬高爐爐渣(石)粉應用於混凝土技術，87.4。
38. 經濟部工業局，電弧爐爐渣利用推廣手冊，90.1。
39. 行政院公共工程委員會，公共工程高爐石混凝土使用手冊，90.4。
40. 環境報告書，日本大同特殊鋼株式會社，90.3。
41. 廢棄物資源化處理資料，愛知製鋼株式會社，88.8。
42. SKID RESISTANCE OF STEELWORKS SLAGS AS ROAD SURFACING STONE, ARRB PROCEEDINGS, VOLUME 8, 1976.
43. 產品型錄及相關資料，東和鋼鐵企業股份有限公司。
44. 公司簡介，震台鋼鐵企業股份有限公司。
45. 不銹鋼廠簡介，唐榮鐵工廠股份有限公司。
46. 公司簡介，燁聯鋼鐵股份有限公司。
47. 公司簡介，日嘉工業股份有限公司。
48. 產品型錄及相關資料，日本愛知製鋼株式會社。
49. 產品型錄及相關資料，日本代田 ECO-Recycle 株式會社。
50. SLAG—IRON AND STEEL, Rustu S.Kalyoncu, 1998

電弧爐煉鋼還原渣資源化應用技術手冊

出版日期：中華民國九十年十二月

發行人：施顏祥

總編輯：林鴻祺

編輯企劃：江東法、吳幸娟、蕭志清、吳文龍、劉建民

發行所：經濟部工業局

台北市信義路三段41-3號

TEL：(02)2754-1255

FAX：(02)2704-3753

<http://www.moeaidb.gov.tw>

出版所：中興工程顧問股份有限公司

台北市南京東路五段171號

TEL：(02)2769-8388

FAX：(02)2763-4555

<http://www.sinotech.com.tw>

美工排版：中興工程顧問有限公司

印刷承製：信懋印刷

版權所有 翻印必究

工本費：新台幣貳佰五十元整