

序

資源回收與再生利用是未來人類社會的一個導向。資源回收與再生利用可使廢棄物中有用資源循環再利用，達到廢棄物減量與節省蘊藏資源開採之目的，也是人類想獲得更豐富的生活物質與更完善的生活環境所必須要建立的科技。正如二百年前發生的工業革命，人們發展製程建立消費流程（動脈工程），在即將來臨的二十一世紀，我們必須再建立一相對應的回收再生流程（靜脈工程），以維持人類社會與自然環境的調和。

鋼鐵材料一直是營造、運輸、工程及工業用機械設備基材，因此，鋼鐵使用量被視為一個國家工業化程度指標，且鋼鐵工業亦被喻為「一切工業之母」，其重要性由此可見。鋼鐵生產需要耗用大量的原料與燃料，且涵蓋之製程種類繁雜，因此，相對的製程產生的副產物亦呈現量大而特性複雜的情形。以往此等副產物常被視為廢棄物，未充分再利用，僅依賴管末處理或缺乏完善管理的海拋及填低窪地方式處理，此等處理方式非但需投資龐大的污染防治成本，且不易符合日益嚴格的環保法規，故從製程減廢、資源回收與再生利用等方向著手解決才是治本之道。本團為落實並推廣電弧爐煉鋼業污染防治技術，特將歷年輔導業界累積之經驗及廣泛收集之國內外相關污染防治與減廢技術資料，彙整完成編印「電弧爐煉鋼業污染防治技術」手冊，期能提供業者從中汲取相關技術經驗，以利執行污染防治工作時得以參考應用。

另鑒於鋼鐵業者對於資源回收與再生利用之需求日漸殷切，但對其相關技術之觀念甚為薄弱。乃配合行政院推動之「工業廢棄物五年處理計畫」，於民國 83 年成立專案，進行鋼鐵業廢棄物資源化處理現況調查推估，並廣泛收集國內外相關資源化技術資料，予以整理並編印成冊，除提供業者從中汲取資源化技術經驗外，並供為政府機關研擬政策、學術研究單位及相關工程業界研究開發參考，俾利共同促進廢棄物資源化技術落實應用，開創資源永續利用循環系統，提升產業競爭能力，達到環境保護與經濟發展兼籌並重的目標。

感謝參與本書編寫之黃順明、陳萬財等諸位工程師從事資料之蒐集、整理與撰寫，盡心盡力使本彙編得以順利完成，但由於時間匆促，且實務資料蒐集彙整不易，內容如有疏漏之處，尚祈不吝指正為幸

工業污染防治技術服務團

楊萬發

中華民國八十五年五月

第一章 前言

資源回收與再生利用是未來人類社會的一個導向。礦產資源乃是一種耗竭性的資源，隨著採礦、選礦與冶煉技術之進步，低品位的礦產也已經被大量開採與利用。廢棄物資源化不但可使資源循環使用，節省天然資源，而且可節約大量的初生冶煉或製造所需的能源，同時，可以達到廢棄物妥善處理與污染防治等多重目的。

鋼鐵工業為國家工業之母，具有高度的產業關聯性，下游涵蓋金屬製造業、機械業、運輸工具業、電工器材業、土木工程業及建築業等。歷年來，國內鋼鐵工業快速成長，至民國 82 年鋼鐵表面消費量已突破 2,500 萬公噸，不但產量增加，產品品級亦逐步提昇，對下游加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質，且生產時所需耗用之原料及燃料亦甚為龐大，因此生產過程伴生的廢棄物種類繁雜且數量龐大。事實上，“廢棄物”與“資源”僅一念之隔，吾人可透過適當分離純化回收程序，將已經被混合稀釋的物質再濃縮使用，或經適當摻合調配改質程序，即可製成再生材料循環使用。

工業污染防治技術服務團(以下簡稱服務團)累積多年來執行經濟部工業局委辦之工廠輔導經驗，有感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亦已有成效外，大部份業者仍處於啟蒙階段。乃配合行政院推動之「工業廢棄物五年處理計畫」成立「工業廢棄物資源化輔導成效推估專案」，旨在調查推估鋼鐵業廢棄物資源化處理現況，並彙整國內外鋼鐵業廢棄物資源化技術，供進一步推廣廢棄物資源化處理應用參考，以輔導業者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。

為精簡篇幅及方便資料查詢，本彙編乃先以產業概況及製程概述兩章作為背景描述，就鋼鐵業做一輪廓式之敘述，並說明產業之分類及結構，以及其未來發展趨勢。廢棄物特性與現況一章則針對廢棄物來源、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。廢棄物資源化回收技術一章則針對相關之資源化技術做一探討說明。廢棄物資源化案例一章則蒐集已實際執行之各項資源

化措施，並就資源化執行成效及經濟效益進行量化評估，進而確實推動執行資源化工作。

第二章 產業概況

2.1 產業結構

鋼鐵工業為國家工業之母，具有高度的產業關聯性，下游涵蓋金屬製造業、機械業、運輸工具業、電工器材業、土木工程業及建築業等。我國鋼鐵工業之發展，歷經民國 40 年代政府開始推動四年經建計畫，民國 50 年代舊船開放進口，民國 60 年代中鋼公司一貫作業煉鋼廠投入生產，民國 70 年代政府選定策略性工業發展項目，帶動高級鋼品及特殊鋼之發展，至民國 77 年鋼鐵表面消費量突破 1,000 萬公噸，至民國 80 年粗鋼產量也突破 1,000 萬公噸，至民國 82 年鋼鐵（包括普通鋼及特殊鋼）表面消費量更快速成長至 2,500 萬公噸。

依據台灣區鋼鐵工業同業公會之分類，鋼鐵業可區分為 13 類，包括煉鋼業、合金鐵業、鑄造業、條鋼業、型鋼業、製線業、鋼管業、不銹鋼管業、鋼結構業、鋼捲鋼材加工業，不銹鋼剪裁業、焊條業、鋼鐵加工業等。截至民國 83 年 5 月底止，參加公會之鋼鐵業家數為 410 家，從業人員約 6 萬人，其佔製造業之比例分別為 0.5% 及 2.6%。總資本額達 1,671 億元，其中公營事業 4 家，資本額 945 億元，佔 57%；而民營事業 406 家，資本額 717 億元，佔 43%。至於其規模亦頗大，其中有 57 家名列全國 500 名大企業，顯見國內鋼鐵工業之業者均在製造業平均水準以上。

2.2 產業現況

近十餘年來，我國粗鋼產量已有大幅成長，成長率達 113% 以上，但因舊船板軋料日益減少，整體而言，僅及 63%。因此平均年成長率粗估已達 6~7%。在這期間由於電弧爐煉鋼之擴充，已使轉爐煉鋼比率由民國 72 年的 67.92%，下降至民國 83 年的 45.49%，已低於電弧爐煉鋼的比率。

再就鋼品產量而言，我國鋼品主要包括棒鋼、線材、型鋼、鍍鋅鋼捲、熱軋鋼板、熱軋鋼捲、冷軋鋼捲、焊接鋼管及特殊鋼等，民國 72 年至 82 年間平均年成長率達 10~12%。其中成長最快速約為特殊鋼、冷軋鋼捲及棒鋼等。

總之，民國 82 年我國粗鋼產量 1,193 萬公噸，鋼品產量 1,932 萬公噸，直接產值達 2,500 億元，占整個製造業比重為 4.7%，而鋼鐵需求更超過 2,500 萬公噸。就廠家而言，除中鋼高爐廠外，電弧爐煉鋼業有 38 家，55 座電弧爐，煉鋼年產能 677 萬噸。

近年來國內鋼鐵自給率維持在 50~55% 之間，以致於每年需再自國外進口 500~600 萬噸鋼胚及 400~500 萬噸鋼品，而形成上游窄、下游寬的鋼鐵產業發展型態。反觀，主要工業國家目前之粗鋼產量自給率均相當高，如日本為 111%、德國 108%、法國 111%，即使是南韓亦達 99%，而美國亦有 85%，顯見國內鋼鐵工業在扮演滿足國內公民營建設及下游工業鋼材需求為目的之角色上，仍有可發揮的空間。

展望 2001 年台灣鋼鐵表面消費量將超過 3,000 萬噸，屆時中鋼第四階段擴建完成增產 250 萬噸，合計產能 800 萬噸，電弧爐業投資新建大型直流電弧爐將超過 10 座，使產能擴增 600 萬噸以上，電弧爐業產能將達 1,200 萬噸，總計鋼胚產能將達 2,000~2,100 萬噸，自給率可提高至 65~70%。

第三章 製程概述

依製造程序的差異，鋼鐵業可區分為三大類，即煉鐵、煉鋼、及軋鋼。其中煉鐵包括煉製生鐵及矽鐵、錳鐵、矽錳鐵等合金鐵；煉鋼包括冶煉鑄造普通鋼胚、鋼錠、特殊鋼、鑄鋼等產品；至於軋鋼則包括軋製鋼筋、型鋼（包括角鋼、槽鋼、二字鋼、扁鋼等）、棒鋼、盤元、線材、鋼板、熱軋鋼捲片及冷軋鋼捲片等。

3.1 煉鐵製程

所謂煉鐵乃是指以鐵礦、廢鐵及生鐵為原料煉製生鐵及合金鐵之製程。其中由鐵礦石煉製生鐵的原理簡單來說就是在高溫高壓的條件下，將鐵礦石中的氧化鐵，以還原性氣體一氧化碳將其還原成游離態的熔融金屬鐵，其製程包括原料處理（燃料、助熔劑、鐵）、熔煉、製模及澆鑄、後處理四部份，其中熔煉部份包括加料、熔化、再加料、精煉、除渣及使熔融金屬流入盛裝鐵桶或直接澆鑄。至於在合金鐵方面，其製程則分為原料處理、熔煉及產品處理三部份，熔煉過程乃是以石灰石為助熔劑，以煤或焦炭為還原劑，將原料與矽、錳、鉻等金屬所形成的金屬氧化物還原、除渣，最後再進行澆鑄。

在煉鐵過程中，煉焦的目的為製作煉鐵時所需的還原劑及燃料，也就是焦炭。焦炭因具無煙、火力強、價廉等特性，所以成為煉鐵時最常被使用的燃料，它除了具有還原作用能使鐵之氧化物還原為金屬鐵外，還能供給熱能使還原之鐵熔化成鐵水而與爐渣分離。

由於燒結礦具有較佳的還原性與高溫性質，於高爐使用時可增加鐵水產量與節省燃料，故成為高爐煉製鐵水之主要原料。一般以較細之鐵礦砂、細焦炭、助熔劑（石灰石、蛇紋石及白雲石）及其它製程所產生之灰渣在高溫下進行燒結，藉高溫將鐵礦砂與助熔劑結合，形成強而有力之燒結礦，整個製程中焦炭層的作用為提供燒結所需的熱量。

高爐又稱為鼓風爐，其外壁包以鋼板，內部則以耐火磚堆砌而成，下部為爐床，用以容納熔化流下之爐渣及鐵水，最後爐渣會升至出渣口排出，而熔融之鐵水由流道流出後可直接送至轉爐煉鋼或至澆鑄廠做成生鐵，爐之下部則裝有風

投入的合金鐵用量也多，而且熔渣對轉爐耐火材爐襯會造成較高的熔蝕，甚至影響吹煉作業的穩定性，以及鋼液的產出率與品質。因此先進鋼鐵廠的鐵水前處理方式是把鐵水中的矽及磷成份在注入轉爐前先予以去除，僅保留碳成分作為轉爐吹煉時之熱源。

轉爐是煉鋼爐中最有效的一種，其基於原理為吹氧管噴嘴吹射氧氣流至轉爐內，使鋼液發生激烈的攪拌作用及急速的反應，此反應包括氣體－鋼液間的反應，即典型的脫碳反應，另外，隨著碳渣化的進行，同時也發生了渣－鋼液間的反應，即典型的脫磷反應，隨著吹煉的進行，鋼液中的主要元素如碳、矽、錳、磷、硫等之濃度均發生變化，當濃度達到預期濃度時，吹煉即終止。轉爐煉鋼製程如圖 3.2 所示。

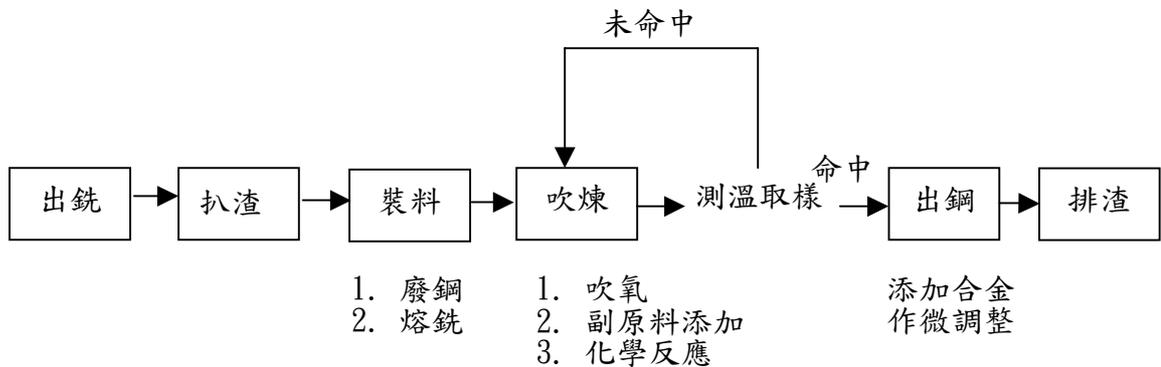


圖 3.2 轉爐煉鋼製程

2. 電弧爐煉鋼

所謂電弧爐煉鋼係利用在高壓電情況時，將電流通過人造石墨電極與廢鋼原料，使之產生電弧，並高溫放熱而溶解廢鋼，達成冶煉鋼鐵之目的。典型之電弧爐煉鋼製程如圖 3.3 所示。

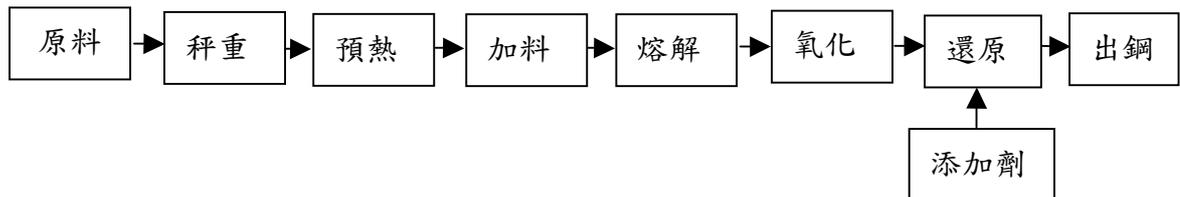


圖 3.3 電弧爐煉鋼製程

原料經初步之分類、秤重後，由天車操作從爐頂加料，並將人造石墨電極插入爐體內之廢鋼中，再通以電流，藉石墨電極與廢鋼原料間產生高溫電弧而將廢鋼熔解成液態鋼水，至於雜質則氧化成氣態氧化物（廢氣）或固態氧化物（熔

渣)，此時為加速氧化作用可通入高壓氧氣，其操作冶煉時間為 1.5~2.5 小時，為批式作業。

電弧爐操作時，爐中產生之反應可分為熔解、氧化及還原期。在電弧爐通電產生電弧後，溫度急速上升，使廢鋼熔解，是為熔解期；氧化期由於必須將廢鋼中之雜質氧化，故一般通入氧氣，因而產生大量之高溫廢氣；還原期則加入大量石灰石、碳粉等副料，主要功能乃是與氧化物反應，產生浮渣並去氧脫硫，以清潔鋼液。最後熔融之鋼液可經連鑄或澆鑄等程序製成鋼胚或鑄件。

3.3 軋鋼製程

由轉爐或電弧爐生產所得之鋼液經連續鑄造後，即成為鋼胚。鋼胚須經過軋延後才可製成鋼板、線材及條鋼等產品，以下針對長條形鋼、鋼板、熱軋、冷軋及鍍製鋼品等五個部份做一說明：

1.長條形鋼

由連鑄工廠生產出來之大鋼胚經秤重後，切成小鋼胚最佳剪切長度，再送入加熱爐加熱，加熱爐以焦爐氣為燃料，將大鋼胚加熱至 1,150°C 之後出爐軋延。高級產品軋延前需先送至除銹機除去表面銹皮，再進入熱燒除機燒去表面缺陷，最後在往復式粗軋機經五道軋延，以使鋼胚變細。粗軋後之鋼胚再經連續式精軋機組的垂直軋延機及水平軋延機，各作一次軋延即成最後成品小鋼胚。

製作好之小鋼胚可依其需要再加工成條線（如鋼筋）或盤元等鋼材。其程序為將小鋼胚經過秤重、測量長度後，送入加熱爐加熱至軋延溫度，再送入軋延機軋延成產品。軋延機分成粗軋機、中軋機及精軋機三部份，至於產品則視其需要軋延成條鋼產品或線材盤元。

為了得到較佳的加工性，有些盤元必須經過球化退火處理。所謂球化處理即是將軋延後之盤元先經酸洗處理後，再送入球化爐。球化爐為一間接加熱爐，盤元被置於內通氮氣的退火爐中，外部則以焦爐氣為燃料加熱之，並依不同鋼種之需要設定加熱溫度，處理完成後之盤元鋼品再經過酸洗被覆及包裝後即為成品。

2.鋼板

一般軋製鋼板所用之原料為扁鋼胚。扁鋼胚先在加熱爐加熱至 1,150~1,200°C，經除銹處理後，即進入軋延機軋延成所需厚度之鋼板，軋延後之鋼

板隨即以水冷裝置將其急速冷卻至 300°C 或常溫，藉此一熱處理步驟可使鋼板內部結構改變，進而達到提升鋼品強度之功能。冷卻後之鋼品再經整平機整平，而後再冷卻至 100°C 以下，經端切機、邊切機、分切機等切成所需之規格後，鋼板產品即完成。

3. 熱軋軋鋼

鋼胚經由加熱爐由常溫加熱至 1,250°C 左右，在經過除銹處理後隨即進行軋延作業，軋延機之主要構造為兩個運轉的軋輥 (roller)，除銹後之鋼胚先進入連續式粗軋機進行粗軋，再經過精軋機進行精軋作業。軋延後之鋼品經冷卻至適當溫度後，再由盤捲機捲成粗鋼捲，並送至熱軋精整工廠，經必要的調質、剪切、檢驗、秤重、包裝、標記等作業後即為成品。

4. 冷軋軋鋼

冷軋製程是將熱軋後之鋼捲經酸洗及除銹後，在常溫以冷軋機軋延成較薄的冷軋鋼片，軋延後之鋼品需以電解及酸洗方式除去殘留的軋延油，並將鋼捲經退火到再結晶溫度以調整鋼品材質，最後經調質軋延及冷軋精整而得冷軋成品。

5. 鍍製鋼品

鍍製鋼品是為了補足冷軋鋼片低耐蝕性之缺點而被開發出來，它不但具有冷軋鋼片之良好加工性，還具高耐蝕性，可以滿足客戶的要求。鍍製鋼品之工業製造法可分為熱浸法與電鍍法兩種。前者又可分鍍鋅、鍍鋅鎳、鍍錫、鍍鉻、鍍鎳、鍍銅等種類。其中最有效且最經濟之鋼材防蝕方法即屬鍍鋅，依鍍鋅製程之不同又可分成熱浸鍍鋅與電鍍鍍鋅兩類。整個鍍製過程乃是將鋼品經過熱鹼洗槽、電解清洗槽、酸洗槽及水洗槽後，在鍍製區接受鍍製處理，鍍製後之鋼品再經後處理、抗指紋塗覆、切割及包裝等過程即為產品。

第四章 廢棄物特性與現況

鋼鐵生產需要耗用大量的原料與燃料，平均生產 1 噸的生鐵約需使 2.6 噸的原料，其餘的 1.6 噸皆成為「副產物」。這些「副產物」中以爐石佔最大部份，就高爐煉鐵而言，平均生產 1 噸的生鐵約產生 310~320 公斤的高爐石，就轉爐與電弧爐煉鋼而言，平均生產 1 噸粗鋼約產生 100~130 公斤的爐石。產生次多的是粉塵類，平均生產 1 噸的粗鋼約產生 50 公斤的粉塵（濕式及乾式）。其它也會產生污泥、廢油、廢酸、廢耐火材等廢棄物。

4.1 廢棄物來源及特性

4.1.1 一貫作業煉鋼廠廢棄物

一貫作業煉鋼廠的生產製程複雜而龐大，製程涵蓋煉鐵、煉鋼及軋鋼等相關程序單元。自原料輸送開始，便有粉塵產生，以至最下游的產品包裝工廠，亦有廢棄物產生。中鋼公司為國內唯一的一貫作業煉鋼廠，其製程所產生的廢棄物約有 55 種，依特性區分為 7 大類，如表 4.1 所示。

1. 爐石

高爐煉鐵係將鐵礦石、焦炭和助熔劑等加入高爐以煉製生鐵，同時也副生爐渣。爐渣乃是以 SiO_2 和 Al_2O_3 為主要成份的鐵礦及焦炭的灰份和助熔劑的 CaO 、 MgO 等成份發生反應而產生的。在爐內溫度 $1,500^\circ\text{C}$ 以上的環境中，生鐵和爐渣皆呈熔融狀態，在出鐵水時爐渣亦同時流出，利用鐵水和爐渣兩者比重的差異而分離。爐渣自高爐排出後冷卻所得之固體物，通常稱之"高爐石"，由於高爐石冷卻方式不同，可分為"氣冷高爐石"與"水淬高爐石"兩種。氣冷高爐石係將高溫爐渣暴露於大氣中噴水，緩緩冷卻所得之塊狀物。水淬高爐石係高溫爐渣由爐內流出後，以高壓冷水急速冷卻所得之粒狀物。

鐵水經脫硫處理後轉移至轉爐中摻混部份廢鋼吹氧煉鋼，亦需添加助熔劑造渣，產生之高溫爐渣自轉爐排出後徐徐冷卻所得之固體物，通常稱之為"轉爐石"。

爐石以 SiO₂和 CaO 為主要成份，高爐石另含有 Al₂O₃和 MgO 等；轉爐石則另含有 FeO、MgO 和 MnO 等。爐石的化學組成和地殼的組成類似，成份和普通沉積岩或卜特蘭水泥相近，如表 4.2 所示。

氣冷高爐石類似塊狀岩石，其所含的 SiO₂和 CaO 已結合成矽酸鈣鹽類結晶。轉爐石亦類似塊狀岩石，然其中的礦物除含有多種的矽酸鈣鹽類、石灰固溶體外，尚含有游離的 CaO。游離的 CaO 和空氣中的 H₂O 及 CO₂發生作用為轉爐石膨脹、崩解的主因，因此需要堆存一段時間使其安定。氣冷高爐石及轉爐石一般物理性質如表 4.3 所示。水淬高爐石一般物理性質如表 4.4 所示。

2.脫硫渣

高爐煉得鐵水中含有硫，因此鐵水排至魚雷車後，需以脫硫劑將其中的硫脫除，所得的渣體排出魚雷車後，徐徐冷卻呈細粒狀，稱之為"脫硫渣"。鐵水脫硫所使用的脫硫劑種類繁多，一般而言，可概分為 4 類，第 1 類是蘇打灰系 (soda ash)，第 2 類是碳化鈣系 (calcium carbide)，第 3 類是石灰系 (lime)，第 4 類是氧化鎂系 (magnesium)。實際上，目前煉鋼廠所使用的脫硫劑有兩種，一種是消石灰—石灰系，其主要成份為 Ca(OH)₂與 CaO，另一種是石灰石—石灰系，其主要成份為 CaCO₃與 CaO，其餘之附屬成分為螢石與焦炭粉。

表 4.1 一貫作業煉鋼廠廢棄物種類及化學組成

分類	名稱	化學組成
爐石及爐渣	高爐石	CaO、MgO、SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 、S、FeO、MnO、TiO ₂
	轉爐石	CaO、MgO、SiO ₂ 、MnO、FeO、Al ₂ O ₃ 、S、TiO ₂
	脫流渣	T.Fe、T.C、SiO ₂ 、MgO、Al ₂ O ₃ 、S、MnO、CaO
	鋼液渣	CaO、SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 、Fe、MnO
	底灰	Al ₂ O ₃ 、SiO ₂ 、P ₂ O ₃ 、CaO、MgO、TiO ₂ 、Fe ₂ O ₃
	焊渣	SiO ₂ 、MgO、MnO、Al ₂ O ₃ 、Cr、Mo
	鋁渣	Al、Al ₂ O ₃ 、T.Fe、MgO、CaO、SiO ₂
	鉛浴爐渣	PbO、C
粉塵	焦炭粉塵	C、H ₂ O、MgO、CaO、Al ₂ O ₃ 、SiO ₃ 、S、P、Fe、Mn
	高爐粉塵	T.Fe、C、SiO ₂ 、CaO、Al ₂ O ₃ 、Zn、Pb
	高爐配料粉塵	CaO、Al ₂ O ₃ 、C、Ca(OH) ₂ 、T.Fe
	高爐出鐵粉塵	T.Fe、SiO ₂ 、CaO、Al ₂ O ₃ 、C
	石灰粉塵	CaO、Al ₂ O ₃ 、C、Ca(OH) ₂
	轉爐粉塵	Fe ₂ O ₃ 、SiO ₂ 、CaO、C
	飛灰	C、SiO ₂ 、CaO、Al ₂ O ₃ 、SO ₂ 、MgO、Fe ₂ O ₃ 、Na ₂ O、P ₂ O ₃

表 4.1 一貫作業煉鋼廠廢棄物種類及化學組成 (續)

分類	名稱	化學組成
礦泥及污泥	水池沉澱污泥	Al ₂ O ₃ 、Fe ₂ O ₃ 、C
	盤元污泥	Fe(OH) ₃ 、CaCl ₂ 、Ca ₃ (PO ₄) ₂
	高爐污泥	T.Fe、C、CaO、SiO ₂ 、MgO、Zn、Pb、Na ₂ O、K ₂ O、Al ₂ O ₃
	轉爐污泥	T.Fe、C、CaO、SiO ₂ 、MgO、Zn、Pb、Na ₂ O、K ₂ O、Al ₂ O ₃
	熱軋污泥	H ₂ O、Org.、T.Fe、Mn
	冷軋污泥	H ₂ O、Org.、T.Fe、SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 、CaO
	生化污泥	H ₂ O、Org.、T.Fe、Mn、Al、CaO
	除銹水污泥	H ₂ O、Fe、Fe ₂ O ₃ 、Org.
	氧化污泥	Fe、FeO、Zn、Pb
	含鉻污泥	Cr(OH) ₃ 、Zn(OH) ₃ 、Fe(OH) ₃ 、Org.、Ca(OH) ₂
	連續退火清洗槽污泥	T.Fe、H ₂ O、NaOH
	電解清洗槽污泥	T.Fe、清潔劑
	鉻酸槽渣	Cr、Fe、Fe ₂ O ₃
油脂及油泥	廢濃油	主要為石油類碳氫化合物
	廢油脂	主要為石油類碳氫化合物
	焦油污泥	煤碳渣、煤焦油
	冷軋軋延油	動植物脂肪
	乳化油脂	油脂
	冷氣油泥	濾紙、油脂、污泥
	軋延油水	水、油脂
	矽藻土油泥	SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 、Oil
鐵銹及鐵屑	鐵銹渣	Fe、Fe ₂ O ₃
	鐵銹粉塵	Fe、Fe ₂ O ₃
	鋼片磨屑	Fe、Fe ₂ O ₃
	軋輓磨屑	鎢、合金磨鐵、砂箱磨屑、鈷、錫
	軋鋼銹皮	Fe、Fe ₂ O ₃
	鋼砂	鋼
	軋輓廢屑	碳鋼、合金鐵、砂輪

表 4.1 一貫作業煉鋼廠廢棄物種類及化學組成 (續)

分類	名稱	化學組成
廢耐火材料	廢耐火材料	SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 、CaO、Fe ₂ O ₃ 、MgO
其他	廢濾布	聚酯、玻璃纖維
	廢酸	FeCl ₂ 、HCl、H ₂ O
	廢砂輪片	
	廢輪胎	
	營繕廢棄物	
	廢砂輪	
	冷軋抽風室過濾器	
	廢鉻酸	
	廢鹼污泥水	

資料來源：國立中央大學環工所，低污染工業製程及污染防治技術之調查研究—鋼鐵業。

表 4.2 爐石化學組成 (單位：%)

爐石 成份 種類	高爐石	轉爐石	電弧爐石		山土	安山岩	普通卜特 蘭水泥
			氧化爐石	還元爐石			
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 CaO/ 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

資料來源：技術與訓練 6 卷 9 期 (民國 70 年 9 月)，爐石的資源化。

表 4.3 氣冷爐石一般物理性質

物理性質 爐石種類	壓實單位 體積重量 (T/m ³)	吸水量 (%)	抗壓 強度 (T/cm ²)	硬度	硫酸鈉 健性損失 (%)	洛杉磯 磨損率 (%)	酸鹼度 (pH)
氣冷高爐 石	1.78	3.27	0.5	5~7	2.65	44.2	8.8
氣冷轉爐 石	2.77	1.29	1.2	7	1.33	17.6	9.6

資料來源：爐石利用推廣手冊。

表 4.4 水淬高爐石一般物理性質

物理性質 爐石種類	單位體積重 (乾基) (T/m ³)	含水量 (6%)	玻璃質率 (%)	平均粒徑 (mm)	比重
水淬高爐石	1.0~1.2	7~12	>95	1.0~1.3	2.9

資料來源：第一屆工業減廢技術與策略研討會（民國 80 年 6 月），中國鋼鐵公司
爐石資源化簡介。

脫硫渣之化學組成(<10mm 部份)如表 4.5 所示，主要成份為 CaO 約 40~45 %；Fe 約 20~30%；SiO₂ 約 20%；其它次要成份為 C、MgO、Al₂O₃ 與 S，在所有成份中除了 S 與 Al₂O₃ 外，其餘成份都是煉鐵所需的原料。

表 4.5 脫硫渣化學組成 (<10mm 部份)

成份 (Wt%) 種類	T.Fe	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	ZnO	P ₂ O ₆	K ₂ O	C	S
脫硫渣	24.8	48.8	0.69	18.3	2.64	0.03	0.18	0.04	1.7	1.18
含鐵部份*	45	35.1	0.59	11.3	1.7	0.04	0.25	0.04	2.6	0.96
殘餘部份*	2.3	63.7	0.79	26.2	3.73	0.02	0.08	0.03	0.7	1.46

註：*係以馬蹄型磁鐵人工磁選（未經破碎）。

3. 污泥

一貫作業鋼廠所產出的污泥，大致區分為二類，即含鐵污泥與有機污泥。各種污泥化學成份如表 4.6 所示。含鐵污泥產自高爐、轉爐（濕式粉塵）與熱軋鋼場，其主要成份為 Fe、C、CaO 等；有機污泥則產自煉焦工場與軋延工場，其

表 4.6 污泥化學組成

成份	C	T.Fe	CaO	MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Zn	Cr	S
轉爐污泥	28	30	9.0	1.2	5.0	2.3	1.0	0.1	1.0	0.1	—
轉爐污泥	4.0	60	9.0	1.0	2.0	0.3	0.8	0.1	0.7	0.1	—
熱軋鋼污泥	6.2	63.8	0.8	1.0	1.2	0.2	0.05	0.01	0.2	0.4	0.07
冷軋鋼污泥	17.8	12.2	26.4	9.3	1.2	0.4	0.19	0.02	0.05	0.4	1.05
生化污泥	17.4	31.1	5.7	0.8	5.0	0.8	0.1	0.04	0.04	0.07	0.9

註：乾基

資料來源：中鋼公司八十二年度工業減廢工作報告。

4.1.2 電弧爐煉鋼廠廢棄物

電弧爐煉鋼業，係以廢鋼鐵為原料，經電弧爐熔煉而生產鋼胚，再經軋延程序而生產鋼筋、棒鋼、角鋼及型鋼各類鋼品。依其原料來源而論，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。由於廢鋼鐵來源複雜，其中金屬除鐵金屬外，亦含有鋅、鉛、鎘、鋁、銅、鉻及鎳等金屬，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副生之廢棄物。

電弧爐煉鋼業主要廢棄物可分為爐渣及爐塵灰，爐渣又可分為氧化渣、還原渣及不銹鋼渣，其中不銹鋼渣及爐塵灰之重金屬溶出試驗超出標準，屬於有害事業廢棄物。

1. 爐渣

電弧爐煉鋼均為批式作業，冶煉過程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。在初步分類、稱重後加料，使廢鐵原料熔解成液態鋼水，但為了加速熔解，則通入高壓氧氣以加速氧化作用，此時廢鋼中含有之氧化物開始生成少量之氧化渣，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，其作法是加入大量石灰石、碳粉等副料，主要使其與氧化物反應，產生還原浮渣並去氧脫硫，以清潔鋼液。為了控制鋼品品質，此時可加入各種添加劑（如矽鐵、錳鐵、焦炭、生石灰等）以調整鋼液成分。無論氧化渣或還原渣皆以殘鐵或氧化鐵、氧化鈣、二氧化矽、三氧化二鋁、氧化鎂及氧化錳為主成分，

如表 4.7 所示。其礦物組態如同轉爐石除含有多種的矽酸鈣鹽、石灰固溶

體外，尚含有游離的 CaO。游離的 CaO 和空氣中的 H₂O 及 CO₂ 發生作用會導致膨脹、崩解。氧化渣膨脹率約 1.5%，還原渣膨脹率約 20~30%，因此，需堆存一段時間使其穩定。

表 4.7 電弧爐爐渣主要化學組成

成份 種類	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	S	MnO	TiO ₂
氧化渣	19.0	38.0	7.0	15.2	6.0	0.38	6.0	0.7
還原渣	27.0	51.0	9.0	1.5	7.0	0.5	1.0	0.7

資料來源：中國技術服務社，電弧爐煉鋼廢棄物減量資源回收及處理示範計畫報告。

2. 爐塵灰

電弧爐煉鋼過程中，由於電弧產生高溫及吹氧助熔之反應，使精煉期之鋼液沸騰，造成鋼液中之鋅、鉛、鎘等重金屬揮發。這些重金屬揮發後，與氣流中之氧反應形成氧化物，凝結沈積，產生微細之爐塵灰。

爐塵灰之化學成份與廢鋼之種類及添加之合金有關。爐塵灰之組織主要是尖晶石相，結構與 Fe₃O₄(Magnetite) 或 ZnFe₂O₄(Zinc Ferite) 相近。美國 Lehigh 大學對美國 25 家電弧爐煉鋼廠 33 個爐塵灰樣品進行分析，結果如表 4.8 所示。煉製普通碳鋼之爐塵灰成份以鐵及鋅最多，其餘重金屬成份為鉛、錳及鉻等。原因是原料廢鋼在其過去使用時常以鋅、鉛、銅、鉻、鎳等金屬電鍍防蝕，或以鋅、鉛、鎘類之油漆塗裝。煉製不銹鋼所產生之爐塵灰除了鐵成份外，以鉻、鎳及錳較多，原因是鋼液中含多量合金元素。

國內電弧爐煉鋼之主要原料乃是廢鋼，至於可能代替廢鋼的還原鐵，價格仍比廢鋼略高，故未被採用。國內產生的廢鋼中，拆船廢鋼的來源隨著拆船業逐漸沒落而中斷；一些較薄及品質較差的廢鋼，除極少數業者擁有處理設備外，絕大多數均未經處理或預熱即直接入爐。因原料含雜質較多，故熔煉一噸鋼液約產生 21 公斤爐塵灰，此排放率約為美國的 3 倍。

成功大學礦冶（資源工程）研究所於民國 74 年間曾對國內 14 家煉鋼廠所收集的爐塵灰進行取樣分析，除了中鋼公司外，其餘 13 家皆為電弧爐業者。其中產量較大的 7 家工廠，爐塵灰中主要成份經定量分析之結果如表 4.9 所示。

可看出 A 工廠轉爐產生之溼式爐塵灰之成份以 Fe 及 Ca 為最多，其餘電弧爐工

廠爐塵灰之成份以 Fe 及 Zn 為主。至於爐塵灰中重金屬含量的分析結果如表 4.10 所示。顯示國內電弧爐塵灰之 Fe 含量在 15% 至 40% 之間；Zn 含量約在 7% 至 28 % 之間，其中大於 20% 者 9 家，皆為生產碳鋼之工廠。因 D 工廠及 J 工廠二廠生產低合金鋼，採用處理過的乾淨廢鋼，故 Zn 含量不及 10%。而 G 工廠及 M 工廠二廠設有廢鋼壓縮剪切機，可去除部份附著表面之污染物，故爐塵灰的 Zn 含量較低。爐塵灰中 Pb 含量之範圍在 0.68% 至 3.2% 之間，Mn 含量在 1.55% 至 3.99% 之間，Cr 含量在 0.1% 至 0.6%，Cu 含量在 0.1% 至 0.3%，Ni 含量則在數百 ppm 左右，Cd 含量在百 ppm 至萬 ppm 之間，視加料種類而異，各廠爐塵灰之重金屬含量變化頗大。

表 4.8 美國電弧爐塵灰之化學組成

成分 \ 種類	普通碳鋼電弧爐塵灰 (Wt%)	不銹鋼電弧爐塵灰 (Wt%)
Fe	35.1	31.7
Fe (II)	1.7	3.1
Zn	15.4	1.0
Cd	0.028	0.16
Pb	1.5	1.1
Mn	3.0	5.6
Cr	0.38	10.2
Ni	0.07	2.1
SiO ₂	5.3	8.2
Al ₂ O ₃	0.37	0.69
CaO	4.8	3.1
Na ₂ O	0.83	1.34
C	0.44	0.29
S	0.36	0.23
F	0.9	3.3
Cl	1.0	0.3

資料來源：金屬工業發展中心，經濟部 77 年度科技研究發展專案技術報告，電弧爐煉鋼粉塵處理技術之評估。

表 4.9 爐塵灰之主要化學組成 (Wt%)

元素 工廠	Si	K	Na	Fe	Mg	Ca	Mn	Pb	Zn
A 廠	1.94	0.21	0.79	38.80	1.14	15.29	0.69	0.19	2.87
B 廠	1.42	1.61	2.46	18.70	2.58	4.29	2.40	1.70	24.60
C 廠	1.71	1.25	1.95	30.32	1.36	1.93	3.74	1.90	20.70
D 廠	4.51	2.52	1.24	27.20	6.33	3.07	6.40	1.66	6.83
E 廠	1.23	1.40	1.95	22.79	0.80	0.94	2.49	2.12	26.90
F 廠	1.83	1.00	5.63	28.80	2.27	2.50	2.76	1.61	20.20
G 廠	1.36	0.47	1.01	37.10	1.60	4.97	3.18	0.68	12.10

資料來源：蔡敏行，國科會 75 年度專題研究報告。

表 4.10 爐塵灰之重金屬成份 (Wt%)

元素 工廠	Fe	Zn	Mn	Pb	Cr	Cu	Ni*	Cd*
A 廠	38.80	2.87	0.69	0.19	0.13	—	218	164
B 廠	18.70	24.60	2.04	1.70	0.22	0.20	226	1,100
C 廠	30.32	20.73	3.74	1.90	0.30	0.22	221	538
D 廠	27.20	6.83	6.40	1.66	0.40	0.11	450	183
E 廠	22.70	26.85	2.49	2.12	0.18	0.32	310	2,200
F 廠	28.78	20.16	2.76	1.61	0.19	0.32	317	1,900
G 廠	37.11	12.08	3.18	0.68	0.28	0.26	552	979
H 廠	19.93	22.50	1.55	2.56	0.23	0.24	306	357
I 廠	18.95	24.65	3.84	2.16	0.38	0.35	428	9,600
J 廠	15.02	7.31	7.65	0.72	0.34	0.23	3,100	195
K 廠	19.04	20.17	3.99	1.15	0.42	0.20	308	338
L 廠	22.38	27.32	2.77	2.93	0.62	0.28	294	326
M 廠	35.12	12.76	1.81	1.11	0.57	0.22	487	137
N 廠	23.56	27.79	3.28	3.20	0.47	0.22	350	429

註*：Ni、Cd 以 ppm 為單位

資料來源：蔡敏行，國科會 75 年度專題研究報告。

至於生產不銹鋼之工廠，其爐塵灰的重金屬含量如下：Fe 含量為 23%，Cr

含量為 7%，Ni 含量為 0.65%，Mn 含量為 3.7%。爐塵灰中含多量重金屬之原因在於廢鋼表面常附著 Zn、Pb、Ni、Cr 及 Cu 等金屬鍍層或油漆，而 Pb 及 Zn 又是油漆之原料。

爐塵灰所含重金屬在酸、鹼液中的可溶性頗高，成功大學亦對上述國內電弧爐爐塵灰樣品進行溶出試驗 (Leaching Test)，結果如表 4.11 所示。其中 Zn、Pb、Cr、Cu 及 Cd 等是兩性元素，既可溶於酸亦可溶於鹼，故在強酸、強鹼之情況下，這些元素會大量的溶出。由於重金屬溶出量超過環保署訂定的溶出試驗標準，故國內電弧爐爐塵灰被列為有害事業廢棄物。

表 4.11 爐塵灰溶出試驗結果

單位：mg/L

元素 pH	Fe	Zn	Mn	Pb	Ni	Cr	Cu	Cd
1	0.2	2,050.0	239.0	10.0	1.3	0.2	2.1	118.0
2	0.2	860.0	78.0	8.8	0.6	0.2	0.2	98.0
3	—	1.8	1.1	0.5	0.2	0.2	0.1	11.8
4	—	0.8	0.4	0.3	0.1	0.2	—	6.0
5	—	0.7	0.3	0.3	0.2	0.1	—	6.0
6	—	0.9	0.3	0.2	0.1	0.1	—	4.2
7	—	0.8	0.3	0.2	0.1	0.1	—	3.8
8	—	0.5	0.1	0.2	0.1	0.1	—	4.2
9	—	0.4	0.1	0.2	0.2	0.1	—	4.5
10	—	0.5	0.1	0.2	0.2	0.1	—	4.5
11	—	0.6	0.1	0.2	0.2	0.1	—	4.8
12	—	0.8	—	1.0	0.2	0.1	—	5.0
13	—	106.0	—	5.3	0.2	0.5	—	10.1

資料來源：金屬工業發展中心，經濟部 77 年度科技研究發展專案技術報告，電弧爐煉鋼粉塵處理技術之評估。

4.1.3 軋鋼及加工廠

冷軋鋼廠之酸洗製程，早期在歐美係以硫酸為主流，然由於其處理不易，目前已逐漸改為以鹽酸為主。國內目前之冷軋鋼廠皆以鹽酸為酸洗液，其濃度約為 16~18%，溫度為 80~85°C，經過連續式浸洗後，鐵離子達 110~130g/L。即為飽和老化的廢酸，自由酸為 60~192g/L。國內冷軋鋼廠廢酸分析值調查資料，如表 4.12 所示。

鋼鐵在鍍塗或機械加工前置於空氣中，因熱度、水氣、氧氣等之接觸，而生

成黑色及紅色之四氧化三鐵、三氧化二鐵、二價及三價之氫氧化鐵等，緊密覆蓋於鋼鐵表面，如不徹底去除勢必影響鍍塗層之附著及生成。一般業者使用除銹方法即為酸洗，即將鋼鐵浸漬於酸液中而使外層之氧化物或氫氧化物溶解。通常考慮經濟性及效率而使用鹽酸或硫酸。酸洗溫度和酸液的濃度對酸洗效率都有很大的影響。一般鹽酸以常溫（20~35°C）使用，硫酸則加熱至 50~60°C 使用。酸液的濃度兩者都使用約 10~15%。酸洗時間則以生銹程度之不同差異，但通常約在 20~30 分鐘。由鍍錫鋼板、鍍鋅鋼板、鋼管、鋼線（鐵絲）及批式熱浸鍍鋅等工廠所產生之廢酸進行分析，其結果如表 4.13 所示。由盤元二次加工廠所產生之廢酸進行分析，其結果如表 4.14 所示。

表 4.12 冷軋鋼廠廢酸分析

廠別	Fe (g/L)	自由酸 (g/L)	pH 值
1	120	80~150	<0
2	125	135~192	<0
3	110	60	<0
4	130	120	<0
5	89.75	18.5	<0
6	120	80~120	<0
7	120	80~120	<0

註：強酸性，pH 計呈現負值，已無法正確測得

資料來源：工研院能資所，經濟部工業局 84 年度工業減廢技術擴散中心計畫，全國廢酸調查。

表 4.13 鍍塗廠廢酸分析

廠別	酸別	Fe (g/L)	Zn (mg/L)	Cd (mg/L)	Pb (mg/L)	Cu (mg/L)	Ni (mg/L)	Cr (mg/L)	自由酸 (g/L)	pH 值	比重
鍍錫鋼板	鹽酸	4.8	0.01	0.01	0	0	0.22	0.08	14.60	1	0.99
鍍錫鋼板	硫酸	16.7	2.95	0.09	3.34	0.86	2.58	5.55	22.54	0.9	1.05
鍍鋅鐵絲	鹽酸	130.6	37.65	0.32	3.27	26.7	24.77	10.36	91.25	<0**	1.26
批式鍍鋅	鹽酸	61.8	147.4*	2.78	1,193	5.29	32.46	27.26	93.49	<0**	1.33
鍍鋅鋼管	鹽酸	121.5	18.3*	1.13	139.6	9.36	22.07	10.65	100.01	<0**	1.25
鍍鋅鋼板	鹽酸	110.8	35.8*	0.85	237.5	6.72	30.25	21.15	89.78	<0**	1.28

註：* 表示單位為 g/L

** 強酸性，pH 計已無法正確測得

資料來源：工研院能資所，經濟部工業局 84 年度工業減廢技術擴散中心計畫，全國廢酸調查。

表 4.14 盤元二次加工廠廢酸分析

廠別	酸別	Fe (g/L)	Zn (mg/L)	Cd (mg/L)	Pb (mg/L)	Cu (mg/L)	Ni (mg/L)	Cr (mg/L)	自由酸 (g/L)	pH 值	比 重
鋼板	鹽酸	89.75	2.18	0.8119	2.422	2.716	10.94	28.86	18.5	<0	1.21
鋼板	鹽酸	86.12	1.757	0.4673	2.587	2.080	14.64	31.27	18.26	<0	1.19
盤元線材	鹽酸	122.7	3.44	0.8612	1,429	6.223	21.11	62.78	76.54	<0	1.34
螺絲	硫酸	138.5	2.025	0.6205	3.709	0.3625	13.69	43.8	94.57	<0	1.42

資料來源：工研院能資所，經濟部工業局 84 年度工業減廢技術擴散中心計畫，
全國廢酸調查

不銹鋼加工製程中，在軋延前的退火程序 (annealing) 若採光輝處理，因不接觸空氣，鋼材外表無氧化膜披覆，其後不需酸洗；若以退火爐處理，則有黑色氧化膜披覆，需酸洗去除。此黑色皮膜有三層，外為金屬氧化物，中為尖晶石層 ($\text{FeFe}_{2-x}\text{Cr}_x\text{O}_4, 0 \leq x \leq 2$)，內為不含鎳、鉻之合金鋼層，此三層極難溶於酸。故酸洗時常以硝酸與氫氟酸之混酸滲過皮膜，將底材溶解，使皮膜無所依附而去除。混酸之組成百分比視需要而有不同配方，一般介於硝酸 6~25% (V/V)，氫氟酸 0.5~8% (V/V) 之間，因此，使用後老化廢酸成份平均約為 NO_3^- : 5.8% ; F^- : 3.0% ; Fe : 2.8% ; Cr : 0.3% ; Ni : 0.5% 。

4.2 廢棄物產生量及處理現況

4.2.1 一貫作業煉鋼廠廢棄物

一貫作業煉鋼廠的生產製程複雜而龐大，主要製程包括原料輸送、煉焦、燒結、煉鐵、煉鋼與連續鑄造、軋鋼精整與表面處理等六項。自原料輸送開始，便有粉塵產生，以至最下游的包裝鋼帶工廠，亦有不良品的廢棄物產生。中鋼公司為國內唯一之一貫作業煉鋼廠，民國 83 年粗鋼年產量為 612.2 萬公噸，約佔國內粗鋼年總產量之 53%，且目前正進行第四階段擴廠計畫，預計擴廠完成後粗鋼年產量達 805.4 萬公噸。由此可見中鋼公司產生之廢棄物量與種類在國內鋼鐵業界獨佔鰲頭，甚至遠超過其他業者之廢棄物產生量總和。目前每年產生廢棄物約有 269 萬噸，可區分為 55 種，依廢棄物特性可區分為 7 大類。各類廢棄物之產生量如表 4.15 所示，其中以爐石及爐渣類產生量居首位，佔 81.8%，其次為礦泥及污泥類，佔 7.5%；再依次為鐵銹及鐵屑類，佔 6.7%；粉塵類，佔 2.9%；油脂及油泥類，佔 0.6%；廢耐火材，佔 0.4%；其他，佔 0.1%。

中鋼公司對於廢棄物之管理一向極為重視，其清理作業除遵循法規辦理外，

並極力自行研發或引進應用國外先進處理技術，依「減量化」、「回收」、「資源化再利用」、「安定化」等邏輯程序處理廢棄物，並以「零」排放「全」回收為最終目標。

表 4.15 中鋼公司廢棄物種類及產生量

分類	種類	數量 (噸/年)	比率 (%)
爐石及爐渣	高爐石、轉爐石、脫硫渣、鋼液渣、底灰、焊渣、鉛浴爐渣及鋁渣等。	2,203,620	81.8
爐石及污泥	高爐礦泥、轉爐礦泥、盤元污泥、冷軋污泥、熱軋污泥、生化污泥、除銹水污泥、氧化污泥、含鉻污泥、連續退火清洗槽污泥、電解清洗槽污泥及水池粉塵沉澱污泥等。	202,056	7.5
粉塵	焦炭污泥、高爐粉塵 (含配料及出鐵)、石灰粉塵、轉爐粉塵及飛灰等。	78,120	2.9
油脂及油泥	機油、黃油、輕油、焦油污泥、軋延油、乳化油脂、軋延油水及油泥等。	15,720	0.6
鐵銹及鐵屑	鐵銹渣、鐵銹粉塵、鋼片磨屑、軋鋼銹皮及鋼砂等。	179,448	6.7
廢耐火材	—	12,000	0.4
其他	—	3,600	0.1
合計	—	2,694,564	100

資料來源：國立中央大學環工所，低污染工業製程及污染防治技術之調查－鋼鐵業。

1.廢棄物之「減量化」

中鋼公司為善盡企業之社會責任，自產之廢棄物將以百分之百自行妥善處理為原則，因此，目前已興建一座大型高效率設計日處理能力為 100 噸之流體化床焚化爐乙座，將可有效處理全廠所產出的可燃性廢棄物，並解決部份礦泥無法回收至燒結場使用的困境。

2.廢棄物之「資源化」

中鋼公司深切體認「廢棄物即資源」的意義，業已妥善規劃完整的事業廢棄物資源回收系統，真正符合「化腐朽為神奇」的精神。

(1) 爐石資源化

爐石是煉鐵鋼煉鋼過程中所產生的副產物，可分為高爐石與轉爐石，高爐石又可分為水淬爐石及氣冷爐石，目前二、三號高爐裝設有爐石水淬設備，已生產水淬爐石，並外售做為爐石水泥原料，一號高爐已規劃預計民國 85 年增

設水淬設備，而目前一號高爐所產生的高爐石、煉鋼轉爐所產生的轉爐石、及

二、三號高爐水淬爐石設備修護時產生的高爐石，均屬氣冷爐石。爐石主要成份為 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 ，與一般水泥成份相近，所以水淬爐石可當水泥熟料或做高爐水泥應用於水泥工業，另外在混凝土方面水淬高爐石粉可取代部份水泥；氣冷高爐石可當混凝土原料，取代黏土及部份石灰石，且可適用於道路基礎，細顆粒則可應用於道路基層、底層，亦可做為土壤改良劑，中和酸性土壤，應用於混凝土用輕骨材，使結構物重量減輕。

中鋼公司歷年來不斷推動爐石資源化工作，歷年來資源化數量不斷增加，目前資源化比率將近 90% 左右。

(2) 廢料燒結資源化

中鋼公司充分利用鋼鐵製程穩定及製程廢棄物與主、副原料可搭配的特性，在不影響產品品質保證原則下，將 a. 各式集塵設備所收集的粉塵，例如焦炭粉塵、高爐粉塵、轉爐粉塵、鋼胚集塵灰等；b. 廢水處理場礦泥，例如高爐礦泥、轉爐礦泥、冷軋礦泥、熱軋礦泥等；及 c. 軋延過程中產生的鐵銹皮等皆送至拌料場中分區貯存，經過適當調配後，轉送至燒結場使用，充分利用「鐵」資源，並降低廢棄物處理成本。

(3) 廢酸再生資源化

鹽酸在鋼鐵工業中主要被用於鋼鐵表面銹皮之去除，使能得到表面品質較佳之鋼品，但是使用鹽酸之過程所產生之廢酸處理卻是一項頗為棘手的問題。中鋼公司之連續鋼帶酸洗工場為鹽酸最大的使用者，基於減廢與資源再生的原則，在設備投資興建時即配合設置第一號廢酸液再生工場，其製程係將廢酸液（主要成份為 $\text{FeCl}_2 + \text{HCl} + \text{H}_2\text{O}$ ）經過預濃縮塔提高廢酸濃度後送入焙燒爐進行反應，經反應後可得氧化鐵粉（ Fe_2O_3 ）及氯化氫氣體，氯化氫氣體再經吸收塔吸收可得再生鹽酸。由於廢酸液再生之經濟效益極為顯著，因此，中鋼公司又於擴建過程中配合另一條酸洗製程線，設置第二號廢酸液再生工場。

(4) 廢金屬回收

對於廠區內各單位產出的雜項金屬，皆集中貯存，並外售給雜項金屬回收廠商或送到轉爐工場做為冷卻材。

(5) 廢油回收

對於廠內各單位產出的雜油以油桶盛裝，送至煤製備工場與煤均勻混合後，再送往煉焦工場，節省雜油處理成本並取代部份能源。

(6) 廢輪胎回收

對於各處所新報廢之輪胎，集中貯存堆置，並交由廢輪胎回收基金會清除回收。

(7) 廢紙回收

於行政區普設雜紙回收箱收集雜紙，再由指定專責單位統一收集貯存標售，另外推動部份影印或印刷紙改用再生紙，節省紙張及木材資源。

3. 廢棄物之「無害化」

對於含有害物質的廢棄物處理處置原則，首重製程改善減少廢棄物產生量，其次針對無法避免產生的廢棄物進行安定化或無害化處理，例如電氣鍍鋅工廠產出的含鉻污泥，係委託具有環保署核發許可執照之代處理機構，以安定固化法將有害物質包匣於固化體內部的結晶組織，避免有害物質再溶出，造成污染。

4.2.2 電弧爐煉鋼廠廢棄物

依據服務團於民國 80 年調查國內 33 家電弧爐煉鋼廠之資料顯示，此 33 家電弧爐煉鋼廠生產之粗鋼總量為 307 萬公噸。其爐渣年總產生量為 32 萬公噸，約佔各廠使用廢鐵原料量之 1~36% 之間，如表 4.16 所示，平均每使用 1 公噸廢鐵原料產生 70 公斤爐渣。而爐塵灰年總產生量為 5.8 萬公噸，約佔各廠使用廢鐵原料量之 0.22~6.67% 之間，如表 4.16 所示，平均每使用 1 公噸廢鐵原料產生 12.4 公斤爐塵灰。

依據鋼鐵公會於民國 82 年之統計資料顯示，國內電弧爐煉鋼業年產能 617 萬公噸，因此，以生產每噸粗鋼產生 100 公斤爐渣為基準，則可推估國內爐渣年產生量約為 62 萬公噸；以生產每噸粗鋼產生 21 公斤爐塵灰為基準，則可推估國內爐塵灰年產生量約為 13 萬公噸，如表 4.17 所示。

目前大部份爐渣及爐塵灰係違法傾棄於河川地、山谷或窪地等，僅少部份爐塵灰經代處理業者以固化技術進行處理後掩埋。由於其產生量逐年增加，故其對環境之污染亦逐年加遽。基於污染減量及廢棄物資源化的理念，經濟部工業局及行政院環境保護署已積極推動成立電弧爐煉鋼業廢棄物處理體系，而大部份業者亦積極參與投資成立處理體系，目前已分別於高雄及台中成立處理體系並積極籌辦設廠事宜，完成設廠後將可妥善處理廢棄物並逐年提昇處理技術達到資源化的目標。

表 4.16 民國 80 年國內電弧爐煉鋼廠爐渣及爐塵灰產生量

工廠 代號	廢鐵原料用量 (公噸/月)	爐渣量 (公噸/月)	百分率 (%)	爐塵灰量 (公噸/月)	百分率 (%)
1	11,000	1,000	9	110	1
2	4,600	30	1	60	1.09
3	7,000	60	1	30	0.86
4	32,000	3,000	9	190	0.59
5	15,400	1,400	9	315	2.05
6	4,800	340	7	150	3.13
7	11,000	750	7	50	0.45
8	12,000	500	4	80	0.67
9	5,000	50	1	45	0.9
10	18,000	1,000	6	150	0.83
11	3,300	150	5	30	0.91
12	12,000	900	8	60	0.5
13	4,000	60	2	15	0.38
14	35,000	3,240	9	383	1.09
15	4,500	200	4	300	6.67
16	600	10	2	2	0.33
17	2,400	80	3	20	0.83
18	5,500	60	1	36	0.65
19	27,000	600	2	120	0.44
20	600	15	3	3	0.5
21	6,000	300	5	50	0.83
22	1,600	350	22	20	1.25
23	670	60	9	1.5	0.22
24	30,000	900	3	240	0.8
25	8,000	312	4	156	1.95
26	16,345	2,077	13	300	1.83
27	40,000	2,000	5	545	1.36
28	98,800	600	6	200	2.04
29	10,600	3,750	36	210	1.98
30	30,000	2,000	7	500	1.67
31	4,000	90	2	45	1.13
32	7,000	650	8	150	2.14
33	9,239	468	5	231	2.5
合計	388,963	26,947	7	4,818	1.24

資料來源：服務團問卷調查資料整理。

表 4.17 民國 82 年國內電弧爐煉鋼廠爐渣及爐塵灰產生量推估

區別*	廠家 (家)	爐數 (座)	爐總容量 (噸)	粗鋼產能量 (噸/年)	爐渣產生量 (噸/年)	爐塵灰產生量 (噸/年)
北區	11	15	248	1,042,200	104,220	21,886
中區	9	16	298	1,429,800	149,280	31,349
南區	17	23	665	3,638,400	363,840	76,406
合計	37	54	1,211	6,173,400	617,340	129,641

註：*北區：苗栗以北，中區：台中至嘉義，南區：台南以南。

4.2.3 軋鋼及加工廠廢棄物

鋼鐵業由鐵礦經轉爐或由廢鋼經電弧爐煉鋼後，再經軋鋼或製管程序，分別產製板、管、線、棒等鋼材，此等鋼材在其後續之系列加工製程中，部份需以酸液進行酸洗處理。以板材言，中鋼公司每年約有 150 萬噸，其他公司約有 170 萬噸，合計約 320 萬噸，在熱軋後冷軋前需酸法；其二次加工製程如鍍鋅、鍍錫和其他鋼品之鍍塗類等，每年約有 110 萬噸需前處理（含酸洗）。而線材在伸線前或二次加工後，每年約有 150 萬噸亦需酸洗。因此，每年軋鋼及加工業至少有 550~600 萬噸之鋼品需經由酸洗過程處理。另就特殊鋼而言，我國現階段年消耗量已達 103.6 萬噸，其中不銹鋼佔 52.6 萬噸，其於國內自產部份，用退火爐退火（annealing）後亦需酸洗處理。

依據工研院能資所於民國 83 年之調查，國內 7 家冷軋鋼製造加工廠，每年冷軋鋼加工產量約為 269 萬噸，廢酸產生量約為 20 萬噸，其中自行回收處理約佔 95%，約 19 萬噸；委託處理約佔 5%，約 1 萬噸。就鍍塗類鋼材廠產生之廢酸而言，鍍錫鋼板廠每年約產生 2,220 噸；鍍鋅鋼板廠每年約產生 2,500 噸；鍍鋅鋼管廠每年約產生 4,300 噸；批式熱浸鍍鋅廠每年約產生 10,890 噸，由此推估國內鍍塗類鋼材廠所產生之廢酸量每年約為 19,910 噸，有關盤元衍生之加工業產生之廢酸，按每噸產品產生廢酸量約 0.072 噸，及國內每年約有 150 萬噸之盤元加工量推估，顯示國內每年由盤元衍生之加工業伴生之廢酸約在 10~11 萬噸之間。不銹鋼廠之酸洗液為硝酸及氫氟酸之混酸，大部份由生產冷軋鋼板之工廠產生，以板片廠而言每年產生之廢酸約 16,000 噸，棒線廠約 15,100 噸，管材廠則不超過 300 噸，總計由不銹鋼廠產生之廢酸每年約 31,400 噸。

總之，國內每年約有 550~600 萬噸碳鋼鋼品需經酸洗加工，其廢酸總量約

達 33 萬噸，其中約 20 萬噸為板材類連續式鹽酸酸洗製程所產生，其廢酸由噴霧焙燒法回收鹽酸及氧化鐵，減廢及資源化效益顯著，在設備維護得宜下，較無二次公害之虞；另外約 13 萬噸則為各類鋼品塗鍍類及盤元系列之二次加工品批式酸洗所產生，其經營者多為規模中小之企業，其中四分之三，即約 10 萬噸，係以中和沉澱法處理，惟處理所得之污泥，體積龐大、呈膠性、不易處理，業者在「花錢仍處理不好」情形下，亦不乏有伺機排放者。而 13 萬噸中另外四分之一，約 3.25 萬噸，則委由「清運」公司外運，進行所謂資源化工作，惟實際上，這當中還是有部份被隨意排放，對環境造成污染；真正進行資源化者，則僅約 2.5~3 萬噸，技術係採氯化、濃縮處理，並將其當成電路板蝕刻液或水處理膠凝劑。但由於部份資源回收廠設備已較老舊，可能成為另一污染源。至於不銹鋼廠每年產生約 31,400 噸之硝酸及氫氟酸混合廢酸，業者普遍採中和沉澱法處理。

第五章 廢棄物資源化回收技術

人類文明從其發展歷史過程上可以發現，人類一直在使用種種天然資源來滿足生活之所需，同時，隨著文明的進展，人類便開發使用另一種新的材料資源，例如：石器時代、銅器時代、鐵器時代、複合材料時代等。由於科技的高度發展，礦產資源以及其所衍生出來的各種材料更是被廣泛利用著。

大量的礦產資源正由於人類的活動而持續地分散於自然環境中，就其活性而言，這些礦產資源的總量並沒有改變，但因為這些資源的存在型式由高濃度轉變為低濃度，已無法直接再利用，亦即由可用資源轉變為所謂的廢棄物，事實上，"資源"與"廢棄物"僅一念之隔，理論上是可以設計一套分離純化回收程序將已經被稀釋的物質再濃縮使用，或經適當調配摻合改質程序，即可製成再生材料循環使用。

5.1 爐石資源化

爐石資源化是目前鋼鐵業中最為人所熟知的廢棄物資源化技術。所謂爐石係指一貫作業鋼鐵廠在煉鐵煉鋼過程中所產生的副產物，可分為高爐石與轉爐石，而高爐石又可區分為水淬高爐石與氣冷高爐石二種。事實上，一般電弧爐煉鋼亦會產生爐石，但目前鋼鐵業界仍慣稱為爐渣，由於其特性與轉爐石相近，故二者可併稱為煉鋼爐石。

一般而言，高爐每煉製一噸生鐵約產生 310 公斤的高爐石，轉爐每冶煉一噸粗鋼則約產生 130 公斤的轉爐石。而電弧爐煉鋼隨著廢鐵原料品質差異，產生之爐石量亦有較大之變動，每冶煉一噸粗鋼約產生 70~170 公斤的電弧爐石。爐石的主要化學成份為 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 FeO 等，與一般水泥組成相近，故可做為水泥製造的原料。圖 5.1 所示為中鋼公司高轉爐石資源化用途。

以下即針對水淬高爐石、氣冷高爐石、轉爐石及電弧爐石資源化技術作一說明：

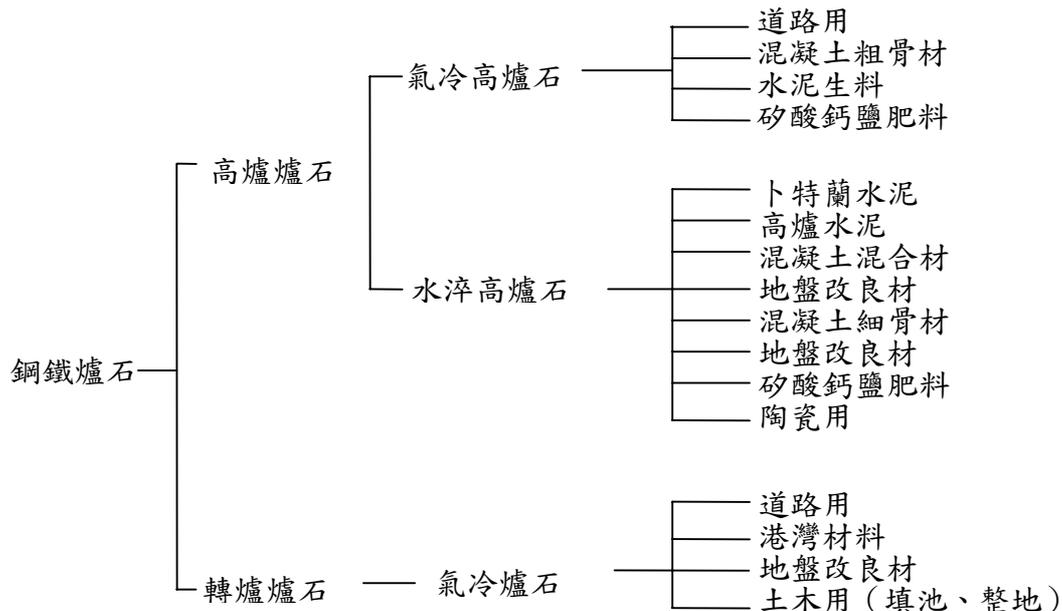


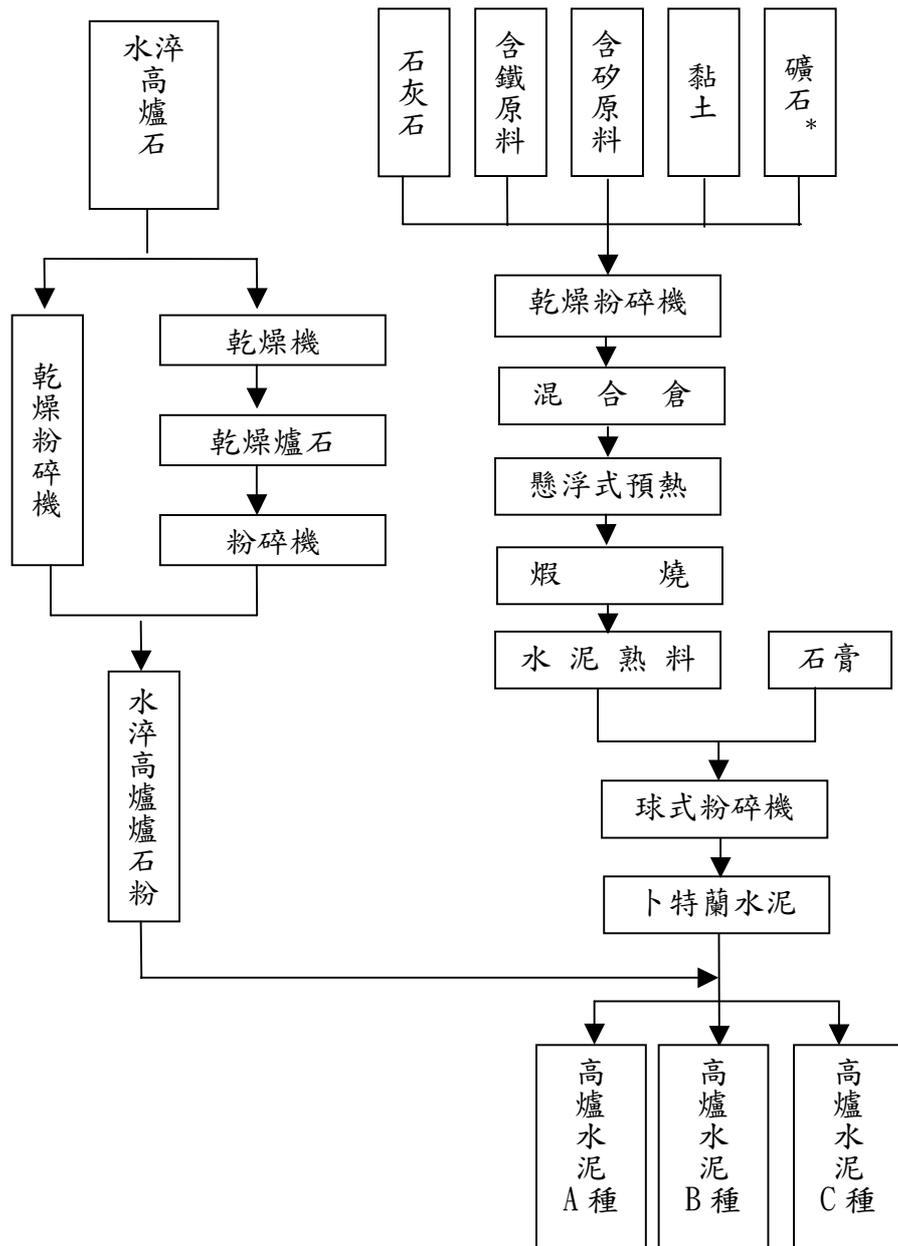
圖 5.1 中鋼公司高轉爐石資源化用途

1. 水淬高爐石

水淬高爐石除成份與氣冷高爐石一樣外，更因其乃是噴水急速冷卻而成，因此使得爐石的矽酸鹽類分子無法形成良好結晶，仍維持著高溫熔融狀態下的不規則排列，成為玻璃態，此種結構形態缺陷多而開放，不但其矽酸鹽組織不完整，同時也因熔入更多的雜質而容易受到外界觸媒的引發，進行水化反應產生強度，故水淬爐石可直接利用成為水泥熟料使用。其利用方式有下列三種：

- (1) 水淬高爐石做為水泥原料，與石灰石、矽砂、黏土、鐵砂等一起做配料控制，燒成水泥熟料後，再攪入石膏研磨成水泥。
- (2) 水淬高爐石做為水泥熟料，個別研磨後再與水泥混合，或與水泥熟料先行混合後再一起研磨，製成卜特蘭水泥或卜特蘭高爐水泥。
- (3) 水淬高爐石先行單獨研磨成粉後，運送至工地，於工地取代部份水泥用量，與石料、砂、水拌合成混凝土漿，應用在工程建築上。

水淬高爐水泥由於具有潛在的膠結性，因此在 $\text{CaO-H}_2\text{O}$ 、 NaOH 、石膏或卜特蘭水泥水合物等觸媒的引發之下，會產生相當好的膠結性能，這是因為水淬高爐石必須先與上述催化劑水合後產生的氫氧化鈣反應，才能激發爾後的反應，如此可使混凝土中未結合的氫氧化鈣含量降低，並增加矽酸鈣及氧化鋁的含量，如此將可減少混凝土的溫度上升，另外亦可避免因鹼骨材反應所產生之膨脹現象，降低滲透性，對各種化學侵蝕具有較佳的抵抗力，晚期混凝土抗壓強度發展較好，並對海水及天然酸性水質有較佳的抵抗能力，圖 5.2 所示為水淬高爐石粉末之分離粉碎方式及卜特蘭高爐水泥之製造程序。



註：*指水淬、氣冷高爐石及轉爐石之混合爐石

圖 5.2 水淬高爐石粉及卜特蘭高爐水泥製程

2. 氣冷高爐石：

不同於水淬高爐石，氣冷高爐石是以空氣冷卻而成，爐渣經過爐渣流道時，並不施以特別處理，完全靠空氣使其冷卻，由於是緩慢冷卻，因此其結晶長成良好，至於外觀則有如普通岸石一般。氣冷高爐石雖然也有多種用途，但受限於種種因素，因此有逐漸被水淬高爐石取代的趨勢。氣冷高爐石主要用於下列用途：

- (1) 道路用：氣冷高爐石經粉碎整粒後，具有穩定的機械性質，可用作路盤材料。而經過加工處理後的爐石粒料，具有抗磨損率高、單位重量輕、表面多孔粗糙、內磨擦角大、完全非塑性、排水性及透氣性佳等特性，符合道路工程之規範。而且由於氣冷高爐石在壓平時不受含水率的影響，因此容易施工，即使在雨天也不妨礙工程的進行，是優良的路盤材料。
- (2) 做為混凝土骨材：經破碎後的氣冷高爐石，不含黏土、有機物等有害物質，同時外表粗糙多孔，水泥塗漿容易附著，因而早期強度高，具有耐熱隔熱防火等性質，可廣泛運用於建築物，鋪裝橋樑和預鑄產品。不過由於中鋼公司處理氣冷爐石的方式與其它國家略有差異，熔融爐石在冷卻過程亦噴水以加速冷卻，故磨損測試值較一般石料差，較不適用為一般混凝土的骨材，但仍可使用在強度需求較低之混凝土。
- (3) 做為玻璃助熔劑：高爐石用作玻璃助熔劑時，有促進玻璃熔融和淨化、降低窯爐操作溫度、節省燃料及增加窯爐引出量的效果。然而由於爐石所含的鐵粉將會影響玻璃的呈色，因此在使用時因應產品需要必須做適當程度的脫鐵處理。
- (4) 做為陶瓷面磚原料：高爐石可做為陶瓷面磚的原料，取代黏土等材料，有利於穩定原料品質，可供大量生產陶瓷面磚用。不過高爐石中的硫份會影響產品品質，若釋放至大氣中，又易造成環保問題，因此技術上仍待克服。
- (5) 做為酸性土壤改良劑：當土壤因人們的過度使用及長期受酸雨的侵害後，會使得土壤酸化，並導致作物呈矮化、根淺、收成不良並且易罹患嚴重之病害，以往人們均以施灑生石灰、消石灰來改善土壤之酸化現象，然因過於強烈的中和反應會使得土壤中之 Mn、B 等元素流失，及使土壤之固結劣化，導致氣水不通，降低地力。爐石屬於弱鹼性物質，其中和反應較生石灰緩和，故不致引起施用量過多的傷害，且爐石尚能提供少許之 Mg 元素，其性質實是高出生石灰甚多。另由於高爐石所含的 SiO_2 雖達 35%，然其中可溶性矽酸為 25~28%，可使植物莖部增強，不易倒伏，增強陽光利用率，且具防止病蟲害，提高磷的吸收率，緩和氮肥過多之害。

3.轉爐石：

將高爐所產出的熔融鐵水於轉爐吹煉成鋼液的同時，為了要除去鐵水中的不純物，因此必須吹入純氧及加入石灰等助熔劑以造渣，雜質氧化成轉爐熔渣

後因比重較小而浮在鋼液上層，吹煉完成後爐渣倒出冷卻後即成為轉爐石。由於熔渣倒出時無法完全與鋼液分離乾淨，因此轉爐石中常含有鐵份；此外為了保證能去除鋼液中的雜質，也常加入過量的石灰，因此轉爐石中也常含有未反應的石灰。

由於轉爐石中含有鐵份，因此也增加了轉爐石使用的困難度，因為鐵份會使攪碎作業中的機械設備磨損及故障，而且因為轉爐石的硬度高，故不易研磨成粉。而轉爐石中所含的石灰，由於吸水後體積將膨脹為原先的二倍，會造成轉爐石顆粒的膨脹崩壞，因此要利用轉爐石時必須先克服這些問題。

目前中鋼公司利用破碎磁選去除轉爐石中所含的鐵份，至於石灰的水合問題，因無足夠空間做六個月以上的堆存處理，因此僅做初步填平低窪地整地利用，另有少部份回收添加入高爐，作為調整成份之用。

4. 電弧爐石

電弧爐煉鋼產生的爐石（爐渣）可區介為氧化爐石、還原爐石及不銹鋼爐石三類，目前在國內不銹鋼爐石，僅一家不銹鋼廠產生，產生量較少。電弧爐石與轉爐石特性較為相近，兩者均有含鐵份、硬度高不易研磨及含游離的 CaO 易膨脹、崩解的特性。目前世界各鋼鐵生產國均積極發展各種資源化技術，其中日本及中國大陸已有較顯著的成就。

一般日本電弧爐石資源化產品包括回收鐵、做為道路級配料及土壤改良劑等，其處理程序包括粉碎、磁選及養生。以大同製鋼知多工廠為例，爐石進入處理廠後，先經顎式磁選機粗選出部份鐵，而後由主壓碎機將爐渣壓碎至粒徑 120mm 以下，再經懸吊式磁選機選出鐵，之後經往復的粉碎及磁選步驟後，可將大部份鐵分選出來，而其餘爐石粒料則可供作道路級配料及土壤改良劑，其處理流程如圖 5.3 所示。由於電弧爐石中含有游離的 CaO，因此在供作道路級配料前須先經養生過程。該公司將所產生的氧化爐石以空氣養生需時約 3~6 個月，而還原爐石以蒸汽養生需時 20 天，經養生後之爐石性質穩定，即可供作道路級配料使用。

在中國大陸，電弧爐石除粉碎、磁選回收鐵外，並可將其加工製成水泥及礦物棉等製品。爐石水泥係以還原爐石為主要原料，其它工業廢渣或天然活性礦物為輔助原料，並添加適量活性激發劑及調凝劑共同研磨，即可產製白/彩色水泥及快凝快硬水泥。而礦物棉係以氧化爐石為主要原料，將氧化爐石於專用爐中加熱熔融，並添加配料調整成份及黏度，經離心送風成棉及壓鏈板整形

後，即可產製礦物棉及相關加工製品。

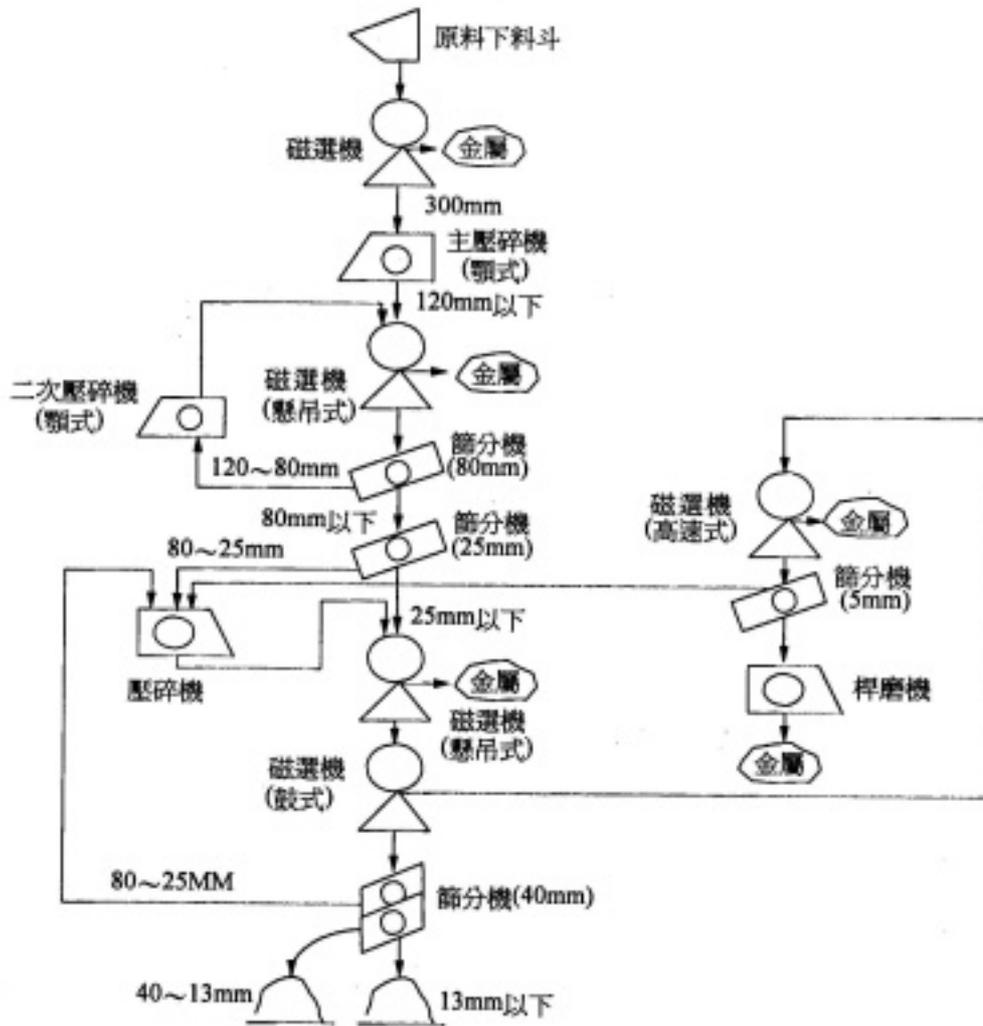


圖 5.3 日本大同製鋼知多工廠電弧爐石資源化處理流程

5.2 爐塵灰資源化

爐塵灰是煉鐵煉鋼廠所產生的主要污染物，不管是一貫作業煉鋼廠或是電弧爐煉鋼廠，在操作時都會產生大量的爐塵灰。一般而言，爐塵灰具有顆粒微細、氧化鐵含量高的特性。一貫作業煉鋼廠使用之原料，主要為鐵礦砂與焦炭燒結之燒結礦，僅添加少量之廢鋼，因此，其爐塵灰含大量的氧化鐵、氧化鈣及碳，另含有少量之鋅及鉛等重金屬氧化物。電弧爐煉鋼廠使用之原料，主要為廢鋼，因此，其爐塵灰中含大量的氧化鐵，另亦含有大量之氧化鋅及氧化鉛等重金屬氧化物。

爐塵灰之收集方式，可分為文氏洗滌塔及濕式靜電集塵機所收集的礦泥狀濕爐塵灰；及旋風分離機、袋式集塵機及乾式靜電集塵機所收集的乾爐塵灰。國內中鋼公司目前主要採用文氏洗滌塔及乾式靜電集塵機收集爐塵灰，因此，分別會產生礦泥狀濕爐塵灰及乾爐塵灰，其中大部份回收至拌料場，再製成燒結礦，或逕行回收至高爐使用；另有部份則回收供作水泥原料、或回收鋅、或其他用途。國內電弧爐煉鋼業者則完全採用袋式集塵機收集爐塵灰，而收集之爐塵灰目前尚缺乏較妥善的資源回收技術，然國外此類爐塵灰資源回收技術，已甚為成熟，足為國內業者借鏡。

以下分別針對高轉爐及電弧爐爐塵灰資源化技術做一說明：

1. 高轉爐爐塵灰資源化

高轉爐爐塵灰含有大量的氧化鐵，通常被做為煉鐵原料再利用。但由於爐塵灰粒徑極微細，直接投入高爐，將會妨礙爐內的通風，再者，若爐塵灰中含有過量的鋅，亦會影響高爐的操作，因此回收再利用前，必須先進行造粒或除鋅前處理。有關這些前處理技術說明如下：

(1) 燒結法

將爐塵灰、鐵礦粉和石灰粉、焦炭粉共同混合加熱至半熔融狀態而使其結成團塊的方法，燒結後得到的團塊經過冷卻、破碎及篩選後即可用於高爐。不過由於燒結是對於粗顆粒礦石的結團方法，因此對於微細的爐塵灰，在使用上有一定的限度，最好先以造粒機將其團粒化後再做燒結。

(2) 迷你丸粒 (mini pellet) 燒結法

將高爐、轉爐及燒結爐等各種微細爐塵灰混合後，置於盤形造粒機做成丸粒。盤形造粒機是個直徑 3~6m 的傾斜旋轉圓盤，供給含有適當水份的粉塵造粒，通常所得的顆粒直徑為 2~6mm。迷你丸粒不能直接投入高爐使用，必須先和其它原料混合後，再經燒結才能當作高爐原料來使用。

(3) 氧化造粒法

氧化造粒是將未燒結的丸粒在旋轉窯內燒製而成。其粒徑在 8mm 以上，由於經過燒成，因此強度比迷你丸粒要高，可直接投入高爐中使用。

(4) 還原造粒法

還原造粒法即是在爐塵灰中加入焦炭粉為還原劑，並將其燒製成丸粒狀的方法，燒製過程中鋅在燃燒爐中揮發而使丸粒所含之鋅濃度降低，且由於

此種丸粒本身即具還原性，因此在當做高爐原料使用時可降低高爐還原劑的用量。至於揮發後的鋅則以氧化鋅的形態被收集，再利用為鋅精煉的原料。

(5) 冷結造粒法

冷結造粒法是一種不用加熱過程即能增加丸粒強度的方法。由於不需加熱，因此能源消耗量少，也不曾排出 NO_x、SO_x 等污染物質。通常製造程序是將爐塵灰與做為黏結劑的水泥混合，然後用碟形造粒機將其粒化，經數日後丸粒可成熟到壓碎強度達 100kg/cm² 以上，此時即可投入高爐，平均粒徑在 10mm 左右。此法可與漩分器 (hydrocyclone) 除鋅法組合併用。

2. 電弧爐爐塵灰資源化

電弧爐爐塵灰含有大量的鐵、鋅及鉛等金屬氧化物，其主要資源化技術係回收鐵、鋅及鉛等金屬，其次，剩餘之殘渣亦可當成再生礦物使用。典型回收技術說明如下：

(1) 直接回爐法

直接回爐法係將爐塵灰再加入電弧爐重熔，利用電弧產生之高溫，將低融點之金屬揮發，同時非揮發性成份如鐵及氧化鈣等則可回收於鋼液中。依爐塵灰再加入電弧爐方式差異，可分為直接吹射及造粒造塊二種方法。

直接回爐的爐塵灰其鋅含量若能提高至 50% 以上，則可直接運至煉鋅廠回收鋅。但目前直接回爐的爐塵灰其鋅含量初次增加後，往後的再回爐過程通常無法再提高鋅含量，因新產生的爐塵灰會將回爐的爐塵灰稀釋，使鋅含量無法達到 50% 以上。這些鋅含量在 20~50% 之間的爐塵灰可供製造肥料或再經集中處理，將鋅含量提高至 50% 以上。

爐塵灰直接回爐亦可能影響鋼液品質，如造成小鋼胚發生較大氣孔，鋼液及爐渣的微量元素增加，故依據產品等級，有些工廠並不適於爐塵灰的直接回爐。

(2) Tetronics 電漿爐法

電漿爐回收爐塵灰，主要是利用碳還原爐塵灰中之有價重金屬，而殘留之成份則形成無害之爐渣。英國 Tetronics 公司近年來開發之小型電漿爐回收技術，由於投資成本低，且能有效回收鋅/鉛 (碳鋼粉塵) 或鉻/鎳 (不銹鋼粉塵)，極適合煉鋼廠內部之爐塵灰處理。回收處理之流程如圖 5.4 所示，爐塵灰與還原劑 (煤、焦炭)、助熔劑 (矽石) 共同投入電漿中，當電流由

電漿炬（陰極）經爐料而到達爐底陽極區時，藉由氣體介質的部份離子化而將電能轉化成熱能。旋風集塵機與鋅凝結器位於電漿爐後方，用以去除大顆粒爐渣與凝結鋅蒸氣。為避免鋅、鉛蒸氣之再氧化現象，可將螺旋槳浸入鋅液中快速旋轉，產生微細之液滴以迅速捕集鋅、鉛蒸氣，未被捕集蒸氣氧化成 ZnO 後，以袋濾集塵機去除。由於鋅之再氧化現象與凝結器之捕集效率有限，鋅凝結器之鋅回收率約 75% 。

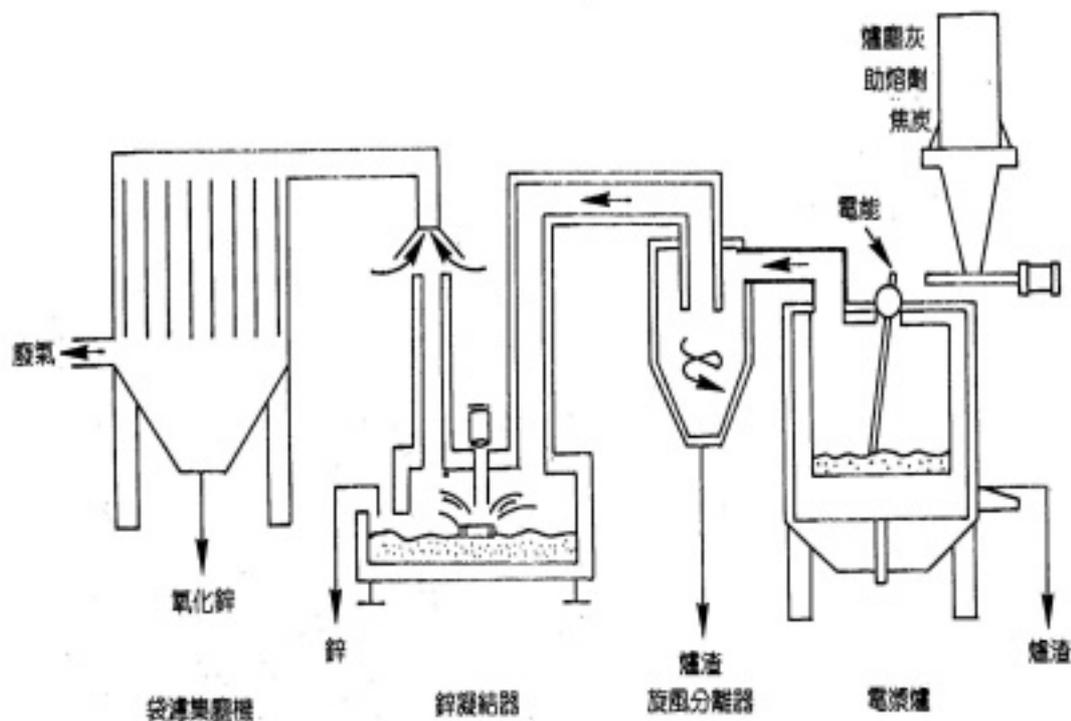


圖 5.4 Tetronics 電漿爐法處理流程

改良方式電漿爐回收法以氫氣取代碳為還原劑，利用本法可獲得品質較佳之爐渣，且不產生 CO 氣體，減少爆炸事故之發生。此外，鋅之回收及使用噴水裝置取代鋅凝結器，使鋅蒸氣氧化成固體氧化鋅，回收氧化鋅中之鋅成份約為 50~58%。

(3) SKF 電漿爐法

此法係瑞典 SKF 電漿科技公司研究發展的製程，可回收生產普通鋼、不銹鋼的電弧爐爐塵灰以及鋼鐵工業產生的含氧化鐵廢棄物。工廠的主體有

原料前處理設備、輸送、吹射系統、熔解還原電漿爐、鋅/鉛凝結器、廢氣冷卻、除塵及水處理設備。其處理流程如圖 5.5 所示，先將爐塵灰或污泥、矽砂、煤粉（粒度小於 0.1mm）加入混合槽內，經過攪拌、過濾、壓碎等步驟，製成鐵/鋅比為定值的小顆粒。這些粒度小於 2mm 的原料由氣體吹入電漿發生器內，在充滿焦炭的豎形爐底部，原料被一氧化碳還原。含飽和碳的鐵水及爐渣由爐床流出，與煉鐵高爐相似。鋅蒸氣與廢氣由爐頂排出，經過凝結器冷卻後再製成鋅錠，純度大於 98%。

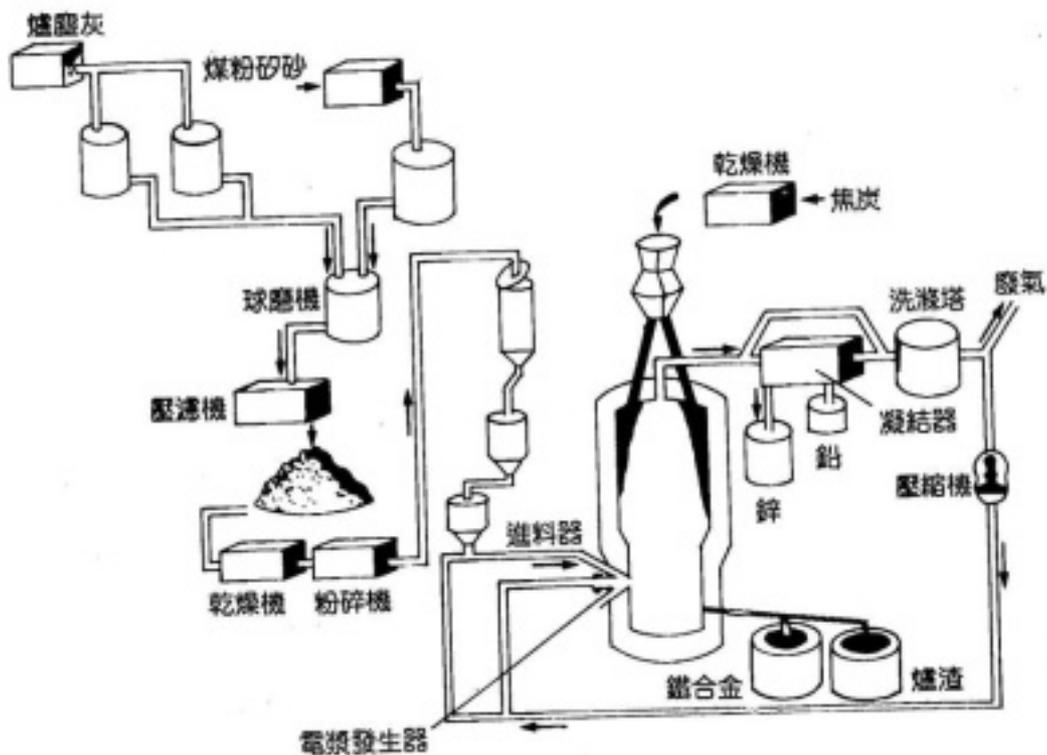


圖 5.5 SKF 電漿爐法處理流程

(4) 感應電爐法 (Iron-Melt Injection Reactor)

瑞典於 1971 年發展一種以槽型感應爐 (channe linductor) 來回收爐塵灰的方法，亦稱 Uddacon reactor，如圖 5.6 所示，爐塵灰與還原劑（碳）一起吹入槽型感應爐開口處的高溫區，Zn 與 Pb 氣化後與廢氣一起排出至濾袋室收集。爐塵灰的 Zn 含量可由原來的 18% 提高至 50%（以 ZnO 存在）。Zn 在二次粉塵中的回收率為 100%，鐵的回收率為 95%（形成鐵水），另有 2% 的鐵仍留在二次粉塵中。加料爐塵灰若與 8% 的含氧化鐵廢棄物（如銹皮）混合，則可

避免爐塵灰飛散問題。由於 Zn 在廢氣中發生再氧化放熱反應，故加料速率不可太快，亦要有足夠的抽風量以免損毀濾袋。

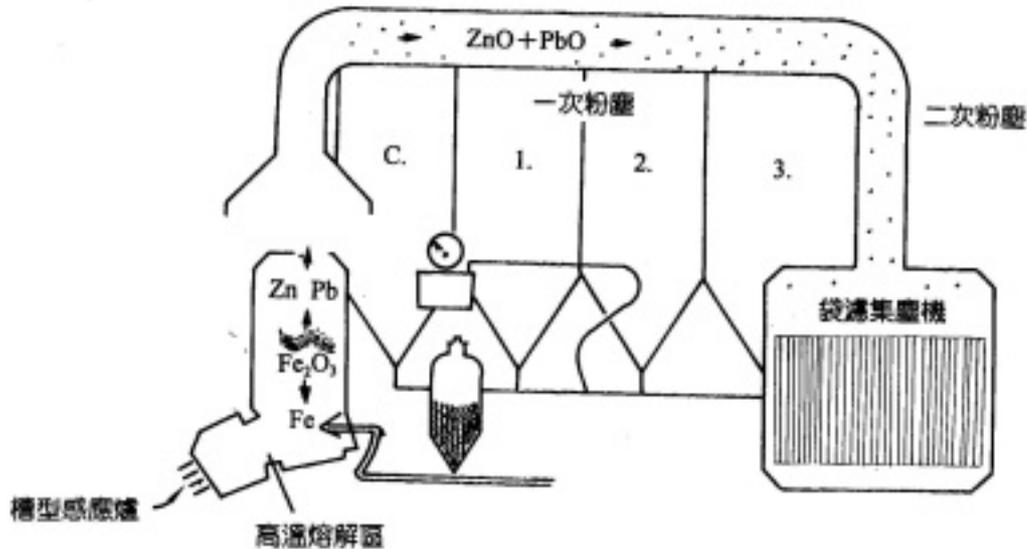


圖 5.6 Uddeholm 感應電爐法處理流程

(5) 低週波爐法

低週波爐法由日本 Sumitomo 公司所發展之新技術，由於豎爐產生之金屬氧化物較少，而低週波爐操作穩定，故被組合應用於電弧爐爐塵灰之回收操作。低週波爐法之流程如圖 5.7 所示，爐塵灰與還原劑、助熔劑經造粒後加入豎爐，豎爐用以熔化丸粒成為熔渣，而熔渣則流入低週波爐進一步熔煉，產生生鐵及爐渣。在熔煉過程中鋅成份將汽化成蒸氣逸出，並由噴灑式鋅凝結器所捕集，豎爐排出之氣體在燃燒爐完全燃燒後，通入一個包括集塵器、滌氣塔與除霧器之處理設備後排放，以降低污染。由於本方法為新開發之技術，故其處理成效與經濟效益仍有待進一步之評估。

(6) 火焰反應器法 (Flame Reactor Process)

火焰反應法是美國 Horsehead 公司發展成功的製程。爐塵灰中的 Zn、Pb、Cd 以氧化物型態被回收，再送到煉鋅廠製成鋅錠或鋅粉。其處理流程如圖 5.8 所示。

- ① 乾燥的焦炭粉或煤粉以壓縮空氣吹入上部燃燒區，與兩側吹入的富氧空氣充介混合並燃燒，溫度超過 2,000°C，產生高溫的還原性氣體。
- ② 在下部反應區，以壓縮空氣將爐塵灰吹入燃燒區正下方的高溫還原氣體中。反應區平均溫度達 1,600°C，Zn、Pb、Cd、Co、Ni、Ca 等金屬氧化物皆被還原蒸發或熔解。助熔劑可與加料一起吹進爐內，降低爐渣的融點至 1,100~1,200°C。

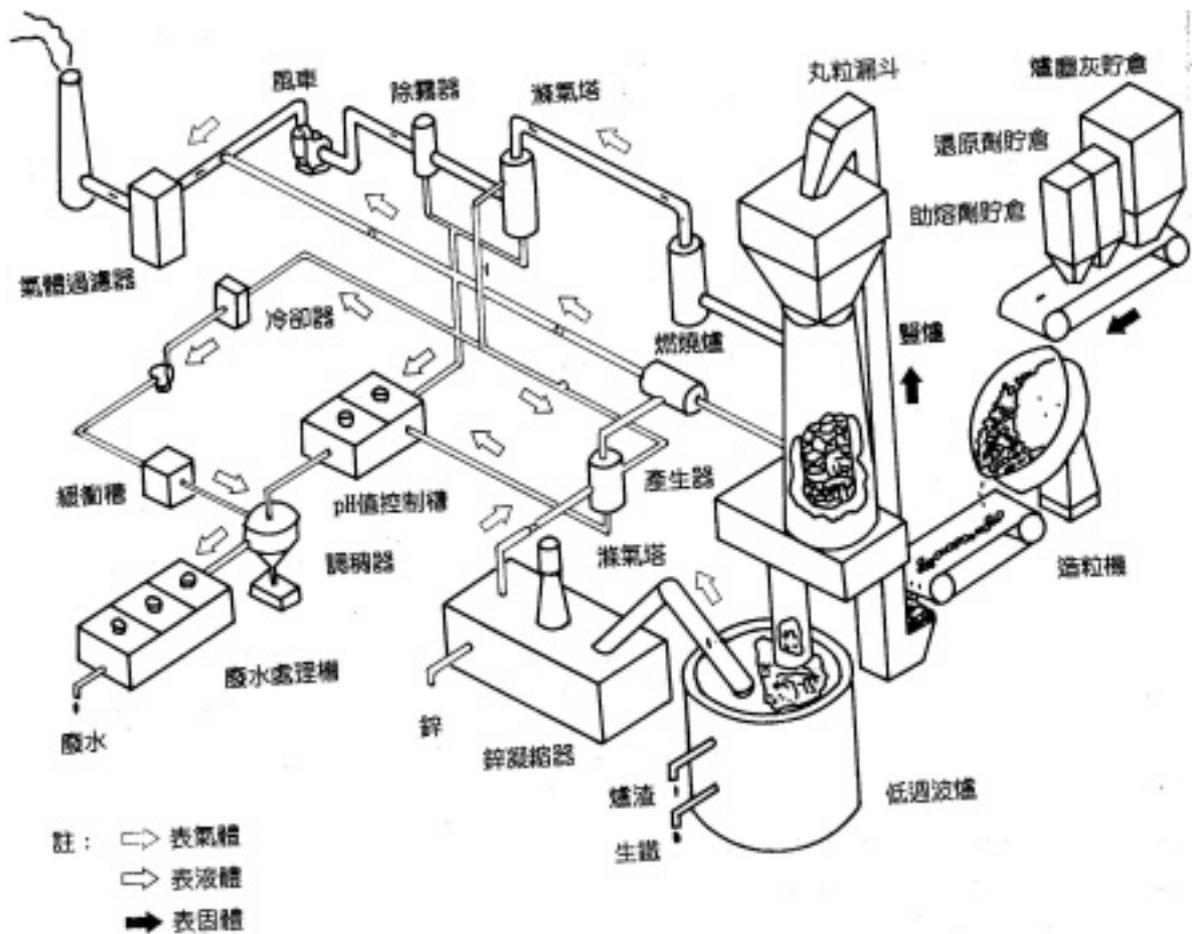


圖 5.7 低週波爐法處理流程

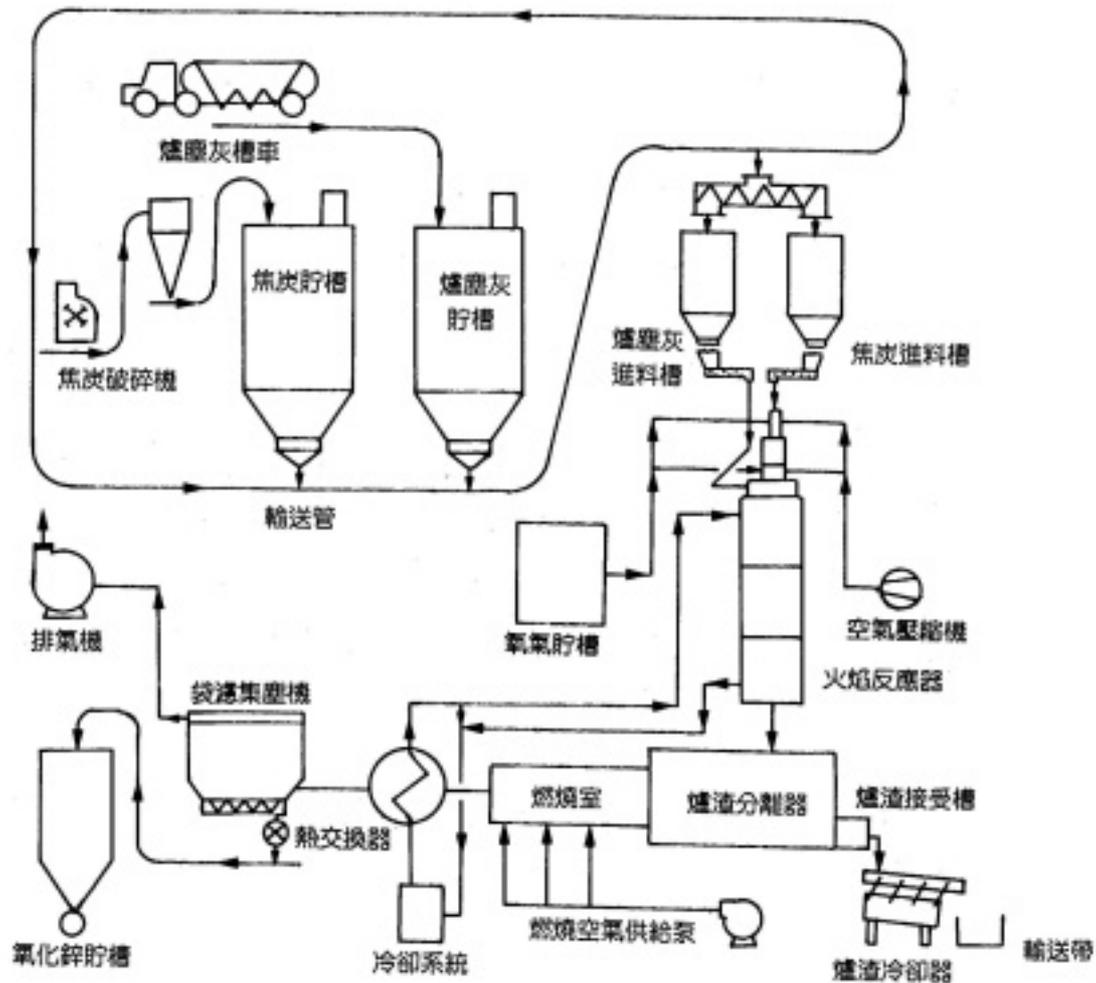


圖 5.8 火焰反應器法處理流程

③部份熔融的爐渣在爐內壁凝固形成保護層，其餘則與爐氣流入分離槽內，兩者在此分離。爐渣由出渣口連續排出，溫度 $1,100\sim 1,400^{\circ}\text{C}$ 。爐氣經過燃燒室與吹入的空氣或氧氣發生二次燃燒， CO 與 H_2 被燃燒成 CO_2 與 H_2O 。 ZnO 經過冷空氣稀釋，噴水冷卻及熱水交換器等方法冷卻至 200°C 以下，最後進入袋濾集塵機收集，其含 Zn 量為 $50\sim 55\%$ 。若將 ZnO 再回爐處理一次則可提高 Zn 含量至 62% 。

(7) 旋轉窯法 (Waelz kiln or HTR process)

“Waelz” 意指滾動，乃形容原料在旋轉窯內的移動情形，這種將鋅蒸發回收的製程早在 1910 年就獲得專利，可用來處理不同的原料，如礦石、

爐渣、尾礦、殘渣及含鋅鐵礦（鐵為主產品）等。後來被應用來回收電弧爐爐塵灰所含的 Zn、Pb。

日本姬路鋼鐵公司依據選擇還原法的原理將旋轉窯改良製程，稱為"HTR Process"，並於 1975 年開始操作處理電弧爐爐塵灰。其處理流程如圖 5.9 所示。

- ① 先將從不同工廠運來之爐塵灰混合，以減少成份之差異。儲存區須有屋頂覆蓋，以避免重金屬溶出。
- ② 將爐塵灰水份含量控制在 10% 左右，加入石灰（dolomitic limestone）助熔劑，其目的在控制原料之酸度。通常 $(CaO+MgO)/SiO_2$ 的比例保持在最低值 1.35。
- ③ 將上述混合物與煤炭或焦炭還原劑加入旋轉窯。還原劑之粒度須夠大，以免隨廢氣排出，但亦須儘量細小，以加速反應。
- ④ 旋轉窯加熱至 $1,200^{\circ}C$ ，金屬氧化物被碳還原，Zn、Pb、Cd 揮發後迅速再氧化，隨著廢氣排出，先經旋風集塵機收集粗粉塵，冷卻後進入袋濾集塵機收集較細粉塵。

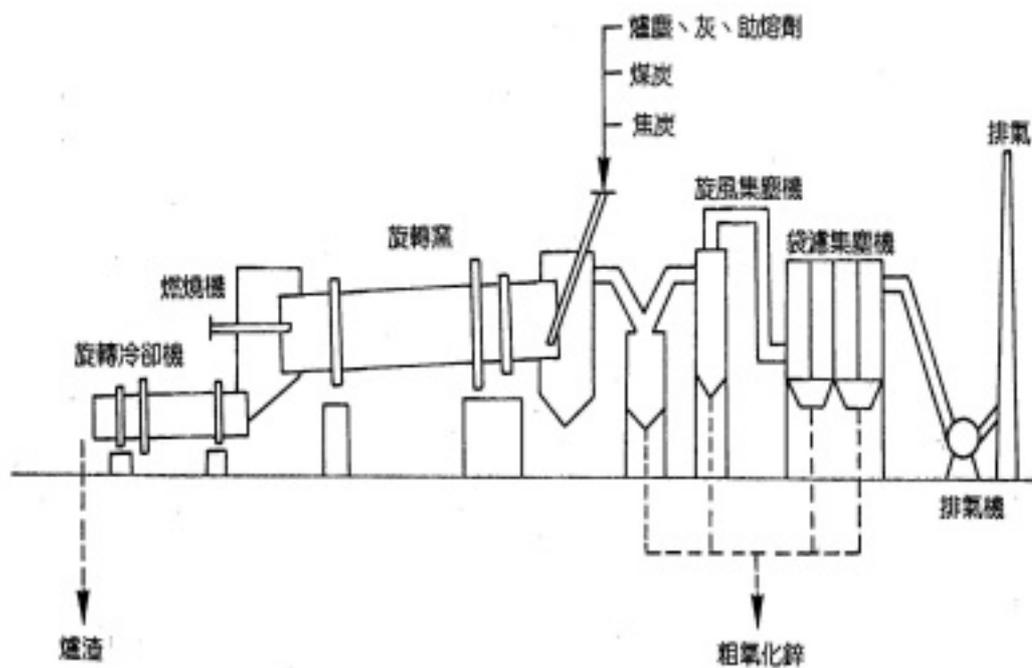


圖 5.9 旋轉窯法處理流程

- ⑤收集的粗 ZnO 含 50~55%Zn 及 5~7%Pb，以輸送帶運至燒結工廠，製成不純鋅燒結塊。產品可供製造肥料或運至煉鋅廠製成鋅錠或純 ZnO。
- ⑥排放的爐渣可供回收製成低錳鏡鐵 (Spiegeleisen)，含 Mn20%，可再供高爐與鑄造業使用。另因殘渣不含 Zn、Pb、Cd，被列為無害廢棄物，可以掩埋處理或做為路基，供製造水泥，安定廢液中所含重金屬等用途。

(8) 半鼓風爐法

半鼓風爐為日木三井金屬礦業株式會社於 1965 年所開發應用的技術，初期主要係處理直立式鋅蒸餾礦渣 (vertical retort residue)。1985 年以後，開始大量處理回收電弧爐爐塵灰，其處理流程如圖 5.10 所示，電弧爐爐塵灰、直立式鋅蒸餾礦渣及其它廢棄物與矽砂、煤炭等定量配比混合，並添加紙漿廢液 (亞硫酸鹽母液) 後送入旋轉乾燥機中乾燥，再以棒狀研磨機 (rod mill) 粉碎後送入製塊機 (brigquette machine) 中壓製成團塊。置於加料槽中與部份焦化區爐氣接觸而預熱乾燥。預熱後，進入爐內之熔煉區，爐體一側配置一系列噴口，將預熱至 300°C 左右的空氣吹入爐體內。鋅及鉛在爐內還原、揮發，再與爐側面所導入二次空氣接觸而氧化變成氧化鋅及氧化鉛，與排放之氣體一同經過鍋爐、氣體冷卻器及袋濾集塵機而被收集。銅及貴金屬濃縮成銅液 (matte) 與熔渣一齊連續排出，再以沉澱器 (settler) 分離。熔渣再以水淬方式處理成細顆粒狀。

(9) 濕式冶金法

濕式冶金中的溶出/電解方式可應用於回收鋅，並使爐塵灰的其它重金屬溶出，而成為可用掩埋處理的無害廢棄物，以溶出方式處理少量爐塵灰的設備成本比高溫冶金方式較低，適用於廠內回收處理。

一般而言，低溫的濕式冶金處理對特定化合物的要求比高溫冶金方式嚴格許多，其反應易受兩個因素的影響：

- ①化合物的物理與化學特性。
- ②化合物與溶出劑 (leaching agents) 之間的反應。

例如以強鹼溶出鋅化合物，加入 NaOH 後，ZnO 可溶解成 Na_2ZnO_2 ，但 ZnFe_2O_4 即不可溶。強鹼溶出可用於回收高爐爐塵灰中的鋅，但電弧爐爐塵灰中含大量 ZnFe_2O_4 (zinc ferrite)，故較不易回收處理。圖 5.11 所示為強鹼溶出電弧爐爐塵灰的流程， ZnFe_2O_4 的殘渣可回收至電弧爐，以還原成 ZnO。

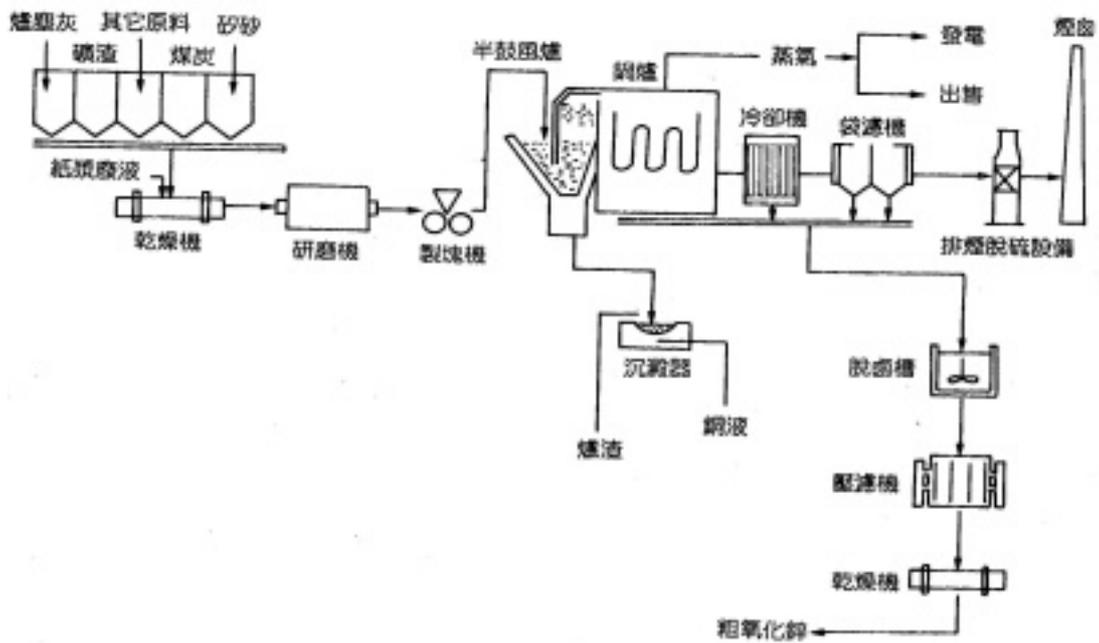


圖 5.10 半鼓風爐法處理流程

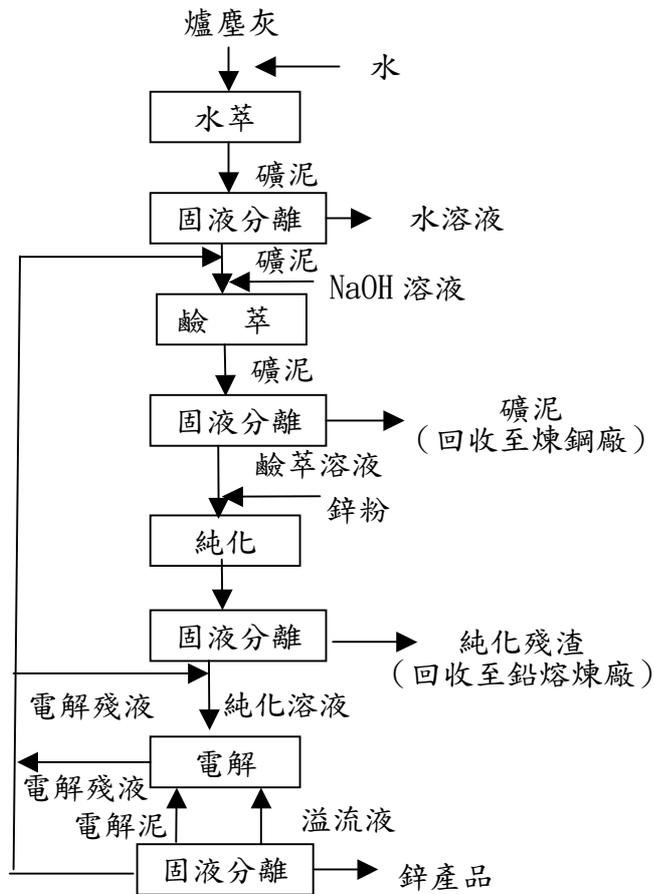


圖 5.11 強鹼溶出/電解處理流程

傳統式鋅的電解提煉法是以電解硫酸鋅為主，有人嘗試以硫酸化煅燒法（sulfation roasting）回收電弧爐爐塵灰，將爐塵灰造粒後與硫酸鐵混合，在大氣中加熱至 650°C，形成可溶性硫酸鹽，以水溶出硫酸鋅後可回收 96% 的鋅，而 $ZnFe_2O_4$ 也被硫酸化。

氯化煅燒法（chlorination roasting）是另一種可從電弧爐爐塵灰中回收鋅的方法。它已被應用於黃鐵礦渣（pyrite cinders）中提煉鋅，稱 Zincex process，其溶出液含鋅及鐵的氯化物及硫酸鹽，再利用二段萃取法以氯、磷酸回收 98% 的鋅。

5.3 廢酸資源化

熱軋後的鋼材，表面會因高溫氧化而被覆一層鐵或合金氧化膜，此一氧化膜必須在冷軋或加工前予以去除。一般除去金屬氧化膜通常藉由酸洗程序來完成，而一般碳鋼常使用的酸洗液是鹽酸及硫酸；不銹鋼則常使用硝酸及氫氟酸混合酸液。

由酸洗設備所產生的廢酸，有酸洗槽產生的較高濃度廢酸液及水洗槽流出的稀薄廢酸兩種。由水洗槽流出的稀薄廢酸，主要為稀酸及鐵鹽。由於濃度不高，單獨回收不符合經濟效益，因此通常是進行中和沉澱處理。即先用石灰中和稀薄廢酸，再使其與空氣充份接觸，使得其中的鐵份氧化成二價或三價鐵，當 pH 值升高到鹼性範圍時，鐵離子即生成氫氧化鐵沉澱，這些沉澱的氫氧化鐵污泥可供做製鐵原料而被再利用。

由酸洗槽產生的高濃度廢酸液，可利用焙燒法、鐵鹽回收法、擴散透析法及溶劑萃取法等予以資源回收。針對各類技術說明如下：

1. 噴霧焙燒法

噴霧焙燒法之主要步驟係將廢酸經由加壓噴嘴分散成霧狀後，進入約 800°C 的焙燒爐中，分解生成 HCl 氣體與 Fe_2O_3 的微粒，再以水吸收 HCl 而回收得 18~20% 的再生鹽酸，同時副產品 Fe_2O_3 則可供作製鐵原料、磁性材料及顏料等。圖 5.12 所示，為典型的 Ruthner 法處理流程，此法係基於英國 Woodall-Daekham 公司之 Nordac Div 所開發的基本技術，再由奧地利 Ruthner 公司完成工程設計，本法目前國內有多家較大型鋼鐵廠使用。

2. 流體化床焙燒法

流體化床焙燒法與噴霧焙燒法主要差異，在於氯化亞鐵的熱分解反應是在流體化床之氧化鐵顆粒表面發生。流體化床焙燒不需高壓泵，焙燒爐較小型，

爐內溫度分布均勻，且所得到的粒狀氧化鐵較易於爾後的再處理程序。本法較著名約為三菱重工所設計的 Lurgi 法，其處理流程如圖 5.13 所示。

3. 鐵鹽回收法

鐵鹽回收法係利用蒸發濃縮、冷卻結晶或加氯氧化等技術，使硫酸或鹽酸洗液中的鐵離子生成硫酸亞鐵或氯化鐵結晶析出，並與酸液分離。再生酸液之酸濃度提高，且鐵離子含量降低，可送回酸洗製程使用。而副生之硫酸亞鐵或氯化鐵結晶則可供作一般之原料或化學混凝劑使用。圖 5.14 所示為鋼鐵硫酸酸洗廢酸的濃縮回收處理流程，廢酸先送入第一效蒸發罐內，以水蒸氣加熱蒸發濃縮後，再送入第二效蒸發罐，藉第一效蒸發罐產生之水蒸氣，再加熱濃縮後，送入真空結晶罐中產生 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 結晶，並以分離機除去析出的結晶，分離液則可再度進行濃縮、結晶程序或逕行送回酸洗製程循環利用。

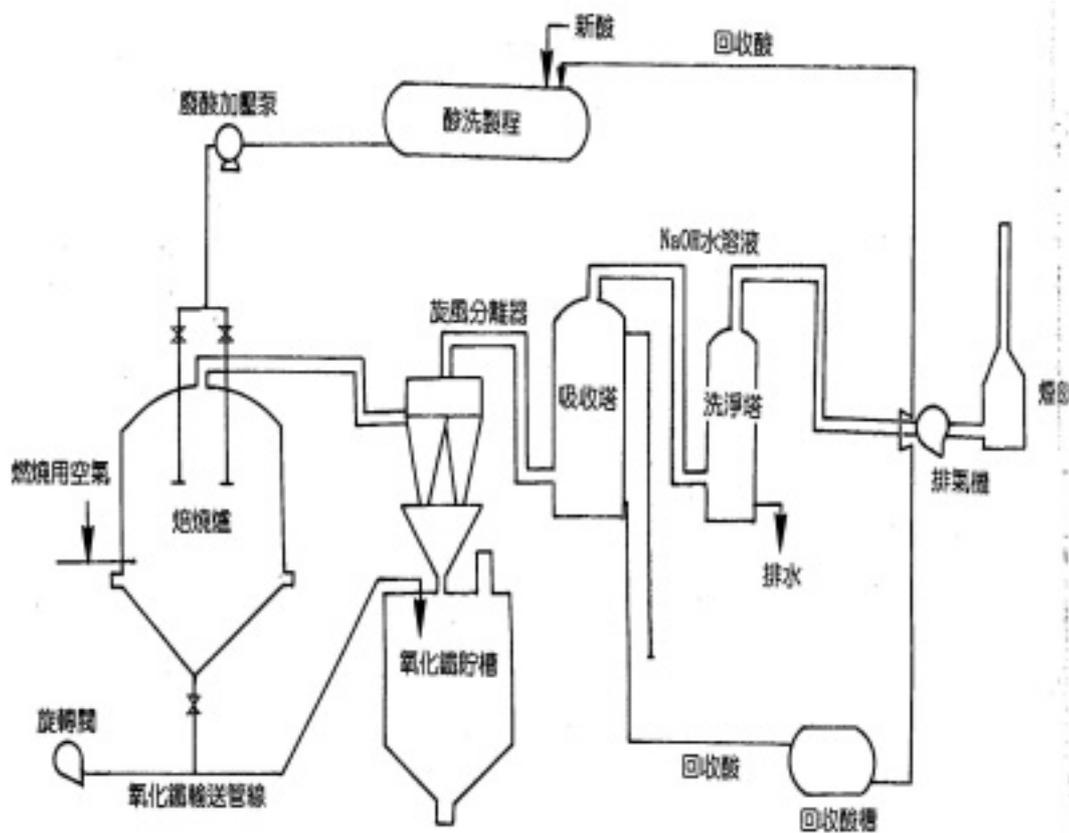


圖 5.12 噴霧焙燒法處理流程 (Ruthner 法)

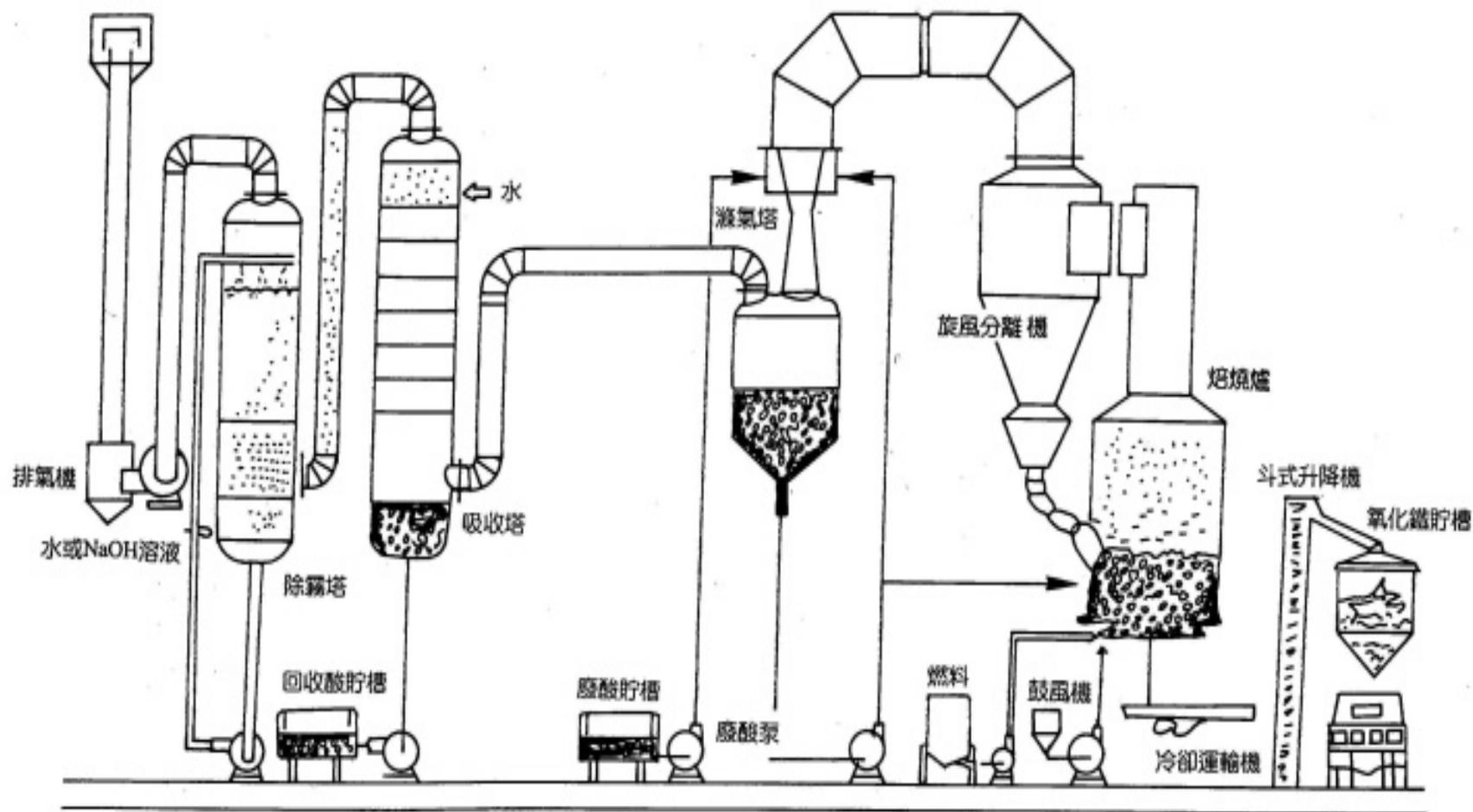


圖 5.13 流體化床焙燒法處理流程 (Lurgi 法)

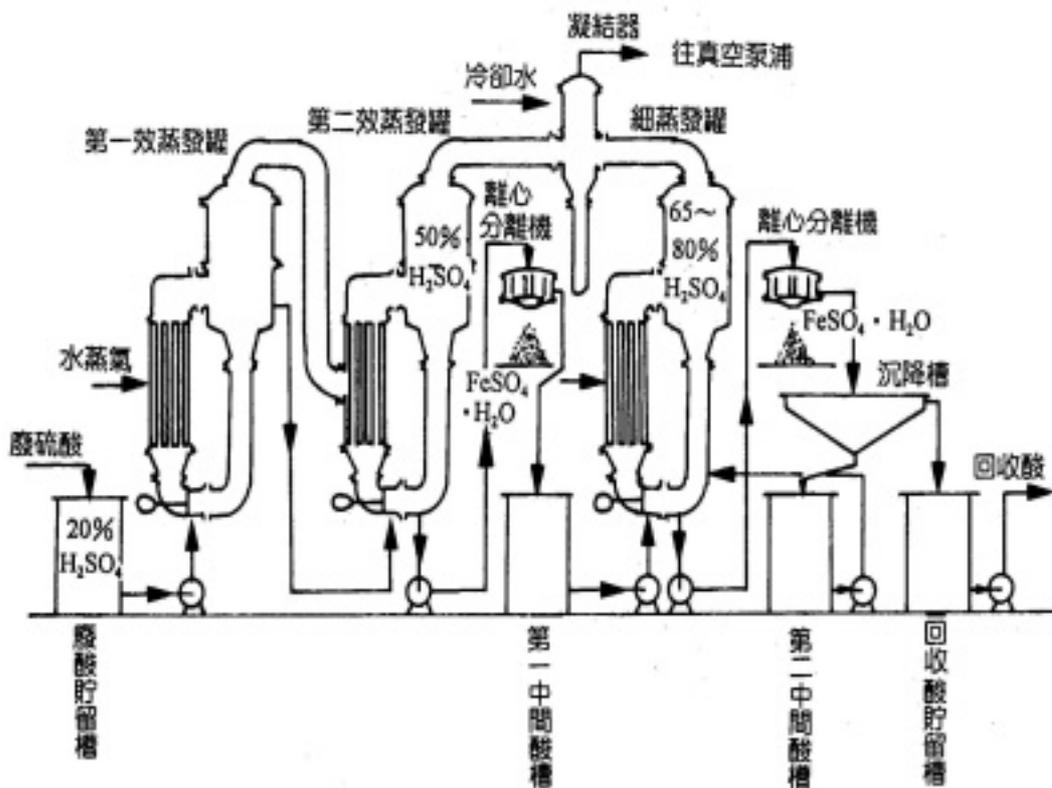
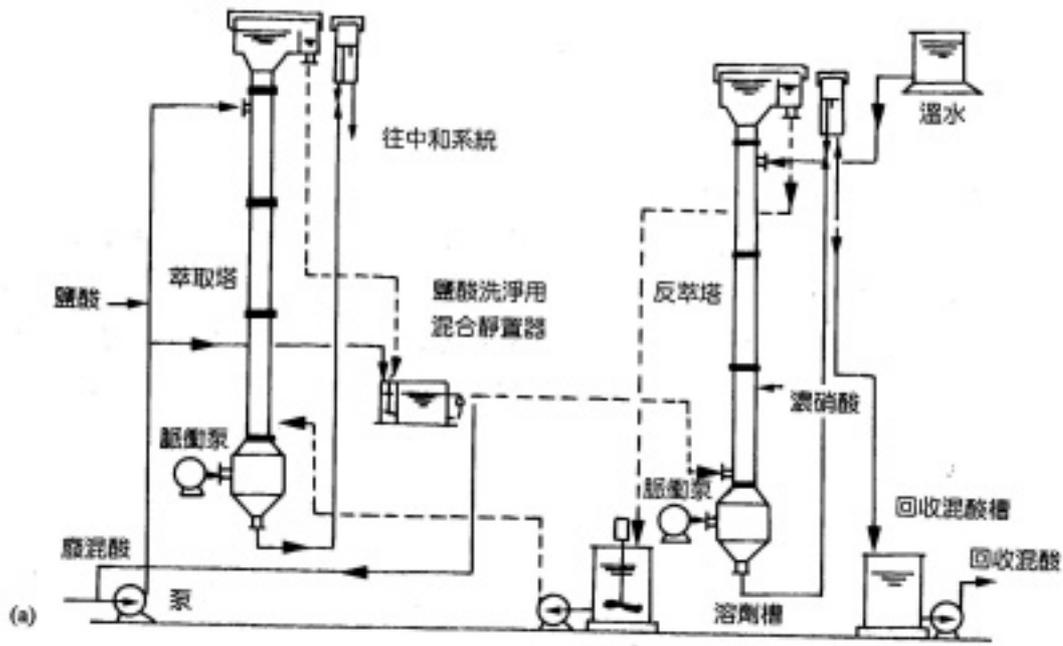


圖 5.14 真空蒸發濃縮廢硫酸處理流程

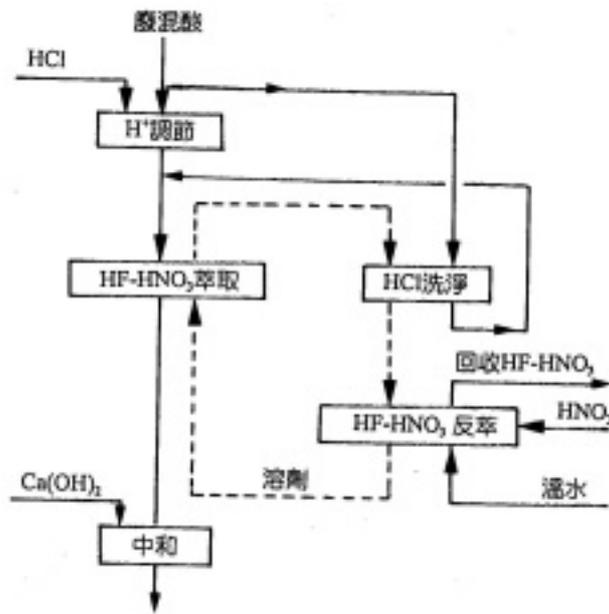
4. 溶劑萃取法

溶劑萃取法係利用廢酸中之酸在溶劑中選擇性溶解移動，將之分離回收。主要對象為用於不銹鋼酸洗而含大量重金屬的硝酸、氫氟酸系廢混酸，其處理流程如圖 5.15 所示。由萃取塔、反萃塔及混合靜置器組成，兩塔都藉脈衝泵施加脈動，虛線表示溶劑路徑，實線表示其他液路徑。

硝氟廢混酸先以泵送出後，在途中添加鹽酸，供給萃取塔上部而下降。另一方面，從萃取塔下部供給溶劑而上升，廢混酸、溶劑兩者逆流接觸，硝酸及氟酸在溶劑中溶解移動（液液萃取）。萃取塔底排出含金屬氯化物的廢液送至中和系統中和，離開萃取塔頂的溶劑送往混合靜置器，在此用原廢酸的一部份攪拌洗淨，除去溶劑中的少量鹽酸。接著，溶劑送往反萃塔下部，在塔內上升，與塔上部下降的溫水逆流接觸，反萃溶劑中的硝酸及氟酸，回收混酸再使用，來自反萃塔的溶劑也循環使用。必要時，回收混酸可分為硝酸與氟酸，硝酸回收率約 99%，氟酸的回收率約 70%。溶劑對高濃度酸也很安定。



(a)



(b)

圖 5.15 溶劑萃取法廢混酸處理流程

5.擴散透析法

散透析法係利用離子交換薄膜（ion exchange membrane）及滲透壓（osmotic pressure）原理處理回收廢酸。薄膜將反應槽分成兩室，廢酸及清水分別以逆向方式進入薄膜兩側，由於廢酸及水分子之滲透壓不同，使得游離酸分子得以擴散方式經由薄膜滲入水中，而使水中游離酸濃度逐漸增加，達到酸與雜質分離回收的目的。純化之酸液則可送回酸洗製程循環使用，而含金屬雜質之濃廢液則需進一步處理或回收。

第六章 廢棄物資源化案例

6.1 高爐石水淬資源化

1. 前言

A 工廠為國內唯一由鐵礦砂冶煉製鋼的一貫作業煉鋼廠，在經過三階段的建廠及擴建工程後，粗鋼年產能目前已達 565.2 萬公噸，佔民國 83 年國內粗鋼年產能 1,242.5 萬公噸之 45.49%，規模為全國最大，同時亦位居國際鋼鐵協會會員前二十名內，而未來（民國 86 年）第四階段擴建工程完成後則可增至 805.4 萬公噸。該廠鋼鐵生產流程主要包括六項製程，即 1.原料輸送，2.煉焦，3.燒結，4.煉鐵，5.煉鋼與連續鑄造，6.軋鋼、精整與表面整理等。其所生產的鋼品大都為上游產品，主要包括鋼板、條鋼、線材、熱軋鋼品、冷軋鋼品、生鐵及鋼胚等。

該廠對於由鋼鐵生產製程中所伴生大量無法直接再利用的物料管理極為重視，其清理作業除遵循政府法規辦理外，並積極自行研發或引進國外先進技術，依「減量化」、「回收」、「資源化再利用」、「安定化」等邏輯順序應用於製程中所伴生之龐大物料，並以「零」棄置為最終目標，期能消弭對環境的負面影響，進一步降低營運成本，達到「永續發展」的終極目的。

2. 製程及原理

高爐煉鐵係將鐵礦石、焦碳和助熔劑（石灰石）等原料加入高爐以煉製生鐵，同時並副生爐渣。爐渣乃是礦石中之主要成份 SiO_2 、 Al_2O_3 及焦炭的灰份和助熔劑的 CaO 、 MgO 等成份發生反應而產生的。在爐內溫度 $1,500^\circ\text{C}$ 以上的高溫環境中，生鐵和爐渣皆呈熔融狀態，在出鐵作業時鐵水和爐渣同時流出，利用鐵水和爐渣兩者比重的差異而分離，爐渣自高爐排出後冷卻所得之固體物，通常稱之為“高爐石”，由於高爐石冷卻方式不同，可分為“氣冷高爐石”與“水淬高爐石”兩種。氣冷高爐石係將高溫液態渣暴露於大氣中冷卻或經噴水，緩緩冷卻後所得之塊狀物。水淬高爐石係高溫爐渣由爐內流出後，經高壓噴水設備急速沖刷冷卻所得之細顆粒狀物。

該廠以往高爐石係以氣冷高爐石方式生成，即將熔融狀態的爐渣，直接排放入開放空間的渣坑，在每一次排渣結束後直接將冷卻水噴入渣坑內以冷卻爐石，此種爐石經濟價值甚低，通常只供為填地、填海等低價值用途，或逕行海拋，且清運處理費用需由該廠支付。

由於該廠氣冷高爐石產量極為龐大且無較高經濟價值之適當再利用方式，因此爐石往往被定位為“廢棄物”。民國 71 年以後開始生產水淬高爐石，其製程是由開放空間轉為密閉系統，配以大量高壓水柱噴水冷卻，使其急速冷卻而生成細顆粒狀物的水淬高爐石，並供做水泥原料，其製程如圖 6.1 所示。

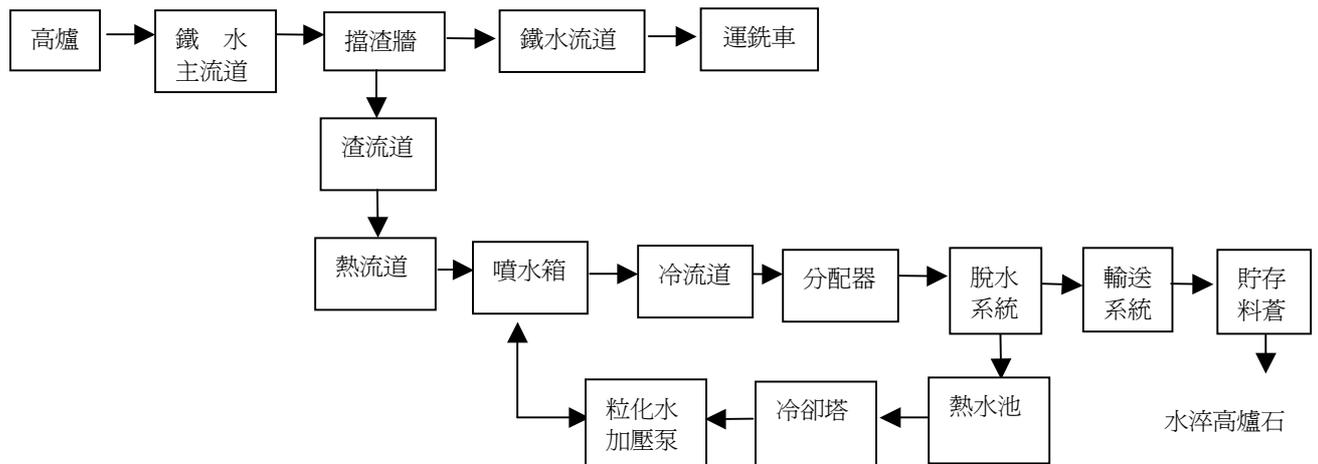


圖 6.1 高爐石水淬製程

水淬高爐石供做水泥原料之原理，乃是利用其化學成分和水泥熟料成份極為類似，且其含有高量玻璃質，故具有潛在的膠結能力，若加以適當的催化作用如氫氧化鈣或石膏等鹼鹽，以激發其水化活性，會與石灰進行波索蘭反應（prozzolanic reaction），生成類似水泥熟料之水化物 C-S-H 膠體，又因其含極低之鹼性物質，因而可製成抗蝕性極佳的高爐水泥或水淬爐石粉。

一般水淬高爐石之物性及化物，在國家標準 CNS 12223 中，皆有詳細規定。就該廠水淬高爐石而言，其物理性質為(1)單位重(乾基)為 $1.0\sim 1.2T/m^3$ 。(2)含水量為 7~12%。(3)玻璃質率在 95%以上。(4)平均粒徑為 1.0~1.3mm。(5)比重約 2.90。表 6.1 所示為水淬高爐石與卜特蘭水泥化性比較。圖 6.2 所示為高爐熟料與卜特蘭水泥成份之 C-A-S-F 相位平衡圖。

表 6.1 水淬高爐石與卜特蘭水泥化性比較

化學氧化物(%)	台泥品牌第一型卜特蘭水泥	水淬高爐石	
		一般	中鋼
氧化矽 (SiO ₂)	20.69	28~38	34.35
氧化鋁 (Al ₂ O ₃)	6.04	8~24	13.80
氧化鐵 (Fe ₂ O ₃)	3.29	—	0.42
氧化鈣 (CaO)	63.91	30~50	41.67
氧化鎂 (MgO)	2.04	1~18	7.45
氧化硫 (SO ₂)	1.81	1~2.5	0.88

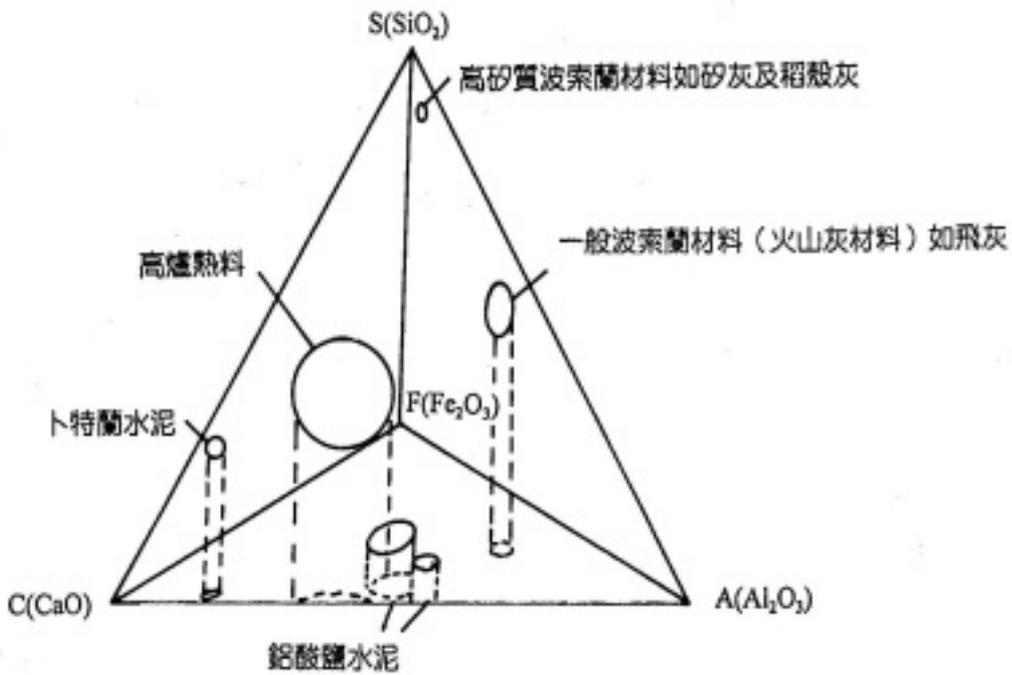


圖 6.2 高爐水泥及卜特蘭水泥成份之 C-A-S-F 相位平衡圖

3. 資源化成效

該廠爐石基本處理方式可分為回收利用、填地、海拋三大類。以往因回收利用及填地規模有限，無法完全消化高爐石，因此每年須利用海拋方式處理約 180 萬噸的高爐石，近年來由於水淬高爐石資源化利用逐年增加，現已大量減低海拋量以減輕對環境生態的影響。

另一方面，水淬高爐石資源化供做水泥原料之具體成效亦明顯的反映在節約燃料、電力、石灰石等資源消耗及降低二氧化碳產生等各方面。普通卜特蘭水泥（ordinary portland cement, OPC）之生產，乃是電力及燃料消耗十分鉅大的工業，電力主要消耗在原料及熟料的研磨及運搬上，燃料則消耗於燒成作業上。而水淬高爐石生產高爐水泥和水淬爐石粉則不須再經燒成作業，僅需經乾燥及研磨作業即可，因此可節省石灰石資源之開採，燒成作業之燃料消耗，避免燒成作業石灰石分解產生二氧化碳及燃料燃燒過程產生之二氧化碳排放和節省電力消耗等。

該廠三號高爐之水淬設備於民國 82 年 7 月至 83 年 6 月間生產水淬高爐石 620,000 噸為基準，高爐石水淬設備之初設成本約為 62,265 萬元，每年操作維護費用包括勞力、維護保養、公用設施及雜項費用等共計約 3,391 萬元，每年產品回收及可節省費用包括水淬高爐石回收及減少氣冷爐石清運費費用等共計約 25,063 萬元。估算該水淬設備之回收期限約 2.9 年，相關之效益評估如表 6.2 所示。

表 6.2 高爐石水淬資源回收之效益評估

項次	項目	單位費用	費用
初設成本	• 三號高爐水淬設備	—	622,650,000 元
	合計		622,650,000 元
每年操作維護費用	• 勞力費用	—	590,904 元
	• 維護保養費用	—	23,573,229 元
	• 公用設施費用	—	9,273,747 元
	• 雜項費用	—	467,911 元
	合計		33,905,791 元
每年投資費用	• 設備折舊費用	*CRF=0.149	92,774,850 元
	• 操作維護費用	—	33,905,791 元
	合計		126,680,641 元
每年產品回收及可節省費用	• 水淬爐石回收外售	335 元/噸	207,700,000 元
	• 減少氣冷爐石清運費費用	69.24 元/噸	42,928,800 元
	合計		250,628,800 元
每年總淨節省費用：250,628,800 - 126,680,641 元 = 123,948,159 元			
回收期限：622,650,000 ÷ (250,628,800 元/年 - 33,905,791) ÷ = 2.9 年			

[註]* 以三號高爐水淬設備於民國 82 年 7 月~83 年 6 月間生產水淬高爐石 620,000 噸為基準

**CRF (設備投資還原因子) = $i(1+i)^n / ((1+i)^n - 1)$, i (年利率) = 8%
 n (設備使用年限) = 10 年

4.結語

該廠推動水淬高爐石資源化應用，歷時十餘年，投注了大量的人力與經費，方才有目前豐碩的成果。事實上，就資源化應用在高爐水泥混凝土方面為例，期間除了該廠的努力外，仍有賴於政府相關單位、水泥業者、學術研究單位及工程師等多方面的努力與配合。

政府相關單位（中央標準局及營建署）除了在標準及應用上，訂立相關的規範以供業者遵循外，並且在節省資源及避免環境破壞的前提下，配合學術界及工業界的研究成果，積極立法並鼓勵政府單位能在相關工程上優先採用，以對社會大眾起示範作用；水泥業者則應致力於研究提昇高爐水泥的品質、最佳配比及適用的工程，使其客戶得以安心使用；學術研究單位，則應負起資源化應用知識傳播的責任，並進一步研究高爐水泥的特性，促使工業界能有更大的配比使用彈性，並能產生品質佳、用途廣的混凝土；工程師們則依需要，儘快的將高爐水泥混凝土應用到最適切工程上。

6.2 水淬高爐石資源化

1.前言

B 工廠為國內一家利用高爐煉鐵所產出之水淬高爐石為原料，資源化生產高爐水泥及爐石粉之專業工廠。該廠係配合政府推動之廢棄物減量及資源化政策，經由輔導成立之重大投資工廠。該廠為中國鋼鐵公司轉投資事業之一，由中國鋼鐵公司、中國鋼鐵結構公司、中鋼碳素化學公司及國內三大水泥公司—台灣水泥公司、亞洲水泥公司及嘉新水泥公司共同合資設立。該廠成立於民國 80 年 5 月 25 日，總投資額為 20 億 950 萬元，採用德國 Krupp Polysius 公司發展之高壓研磨機系統，研磨水淬高爐石，每年可生產研磨爐石粉 60 萬噸，並與普通水泥拌合，每年可生產卜特蘭高爐水泥 120 萬噸。

2.製程與原理

高爐煉鐵過程中，有大量的爐石產出，一般而言生產一噸銑鐵約可伴生 0.3 噸以上的高爐石。以往國內皆以拋海及道路級配等來處理氣冷高爐石，資源化價值偏低，而在歐美日先進國家，皆視爐石為高價值資源產物。以融融爐渣經高壓水流噴射之水淬設備處理後，造粒成為水淬高爐石，具有十分穩定而優異的物理及化學性質，其主要成份為 SiO_2 、 CaO 、 Al_2O_3 及 MgO 等，其他成份則為少量之 MnO 、 FeO 、 TiO_2 及 S 等，很類似水泥熟料（clinker）成份，因水淬高爐石含有高量玻璃質，故具有潛在的膠結能力，若加以適當的催化作用

如氫氧化鈣或石膏等鹼鹽，以激發其水化活性，會與石灰進行波索蘭反應（pozzolanic reaction）形成類似水泥熟料的水化物 C-S-H 膠體，又因其含極低的鹼性物質，因而可製成抗蝕性極佳的高爐水泥。

水淬高爐石資源化製造高爐水泥製程如圖 6.3 所示。該工廠的主體包括水淬高爐石原料貯存、石膏原料貯存、水淬高爐石研磨處理、爐石粉存放筒倉、普通卜特蘭水泥存放筒倉、混拌處理及高爐水泥出廠等。

（1）水淬高爐石原料貯存

卡車運送水淬高爐石至資源化廠，傾卸進入接收筒槽，爐石落入輸送帶，輸送至垂直筒形斗昇機，再送爐石入輸送帶，後送至佈料機堆料成錐形。再由取料機在錐形堆料取爐石，送入輸送帶輸送至筒形斗昇機，再經由輸送帶送入配料筒槽。

（2）石膏原料貯存

卡車運送石膏至資源化廠，傾卸進入接收筒槽，石膏落入輸送帶，輸送至垂直筒形斗昇機，再經由輸送帶送入配料筒槽。

（3）水淬高爐石研磨處理

由配料筒槽下料經由配料系統控制爐石與石膏混合。若爐石含水份低於 12%，則直接由輸送帶輸送經稱重機，控制輸送量後送入滾輪研磨機研磨。若爐石含水份高於 12%，則給料閥打開，爐石落入烘乾機，粗粒爐石經由底部排出，細粒爐石由熱風吹入旋風分離機。藉離心力原理使較粗之爐石從旋風離心機落入輸送帶，而較細之粉末由風扇抽出送至選粉機。爐石經由滾輪研磨機研磨後，形成爐石餅落入輸送帶，輸送至垂直筒形斗昇機，並進入粉碎機粉碎。經粉碎後之爐石粉落入氣滑槽，輸送至垂直筒形斗昇機，再輸送至選粉機，分離粉末與粗粒爐石。粗粒爐石經磁選器分離殘留鐵屑，並再經研磨。而粉末則由排氣機抽送至除塵器收集，再由氣滑槽輸送至筒形斗昇機。

（4）爐石粉貯槽

爐石粉末經由筒形斗昇機輸送至可換位擺門，可選擇輸送路線，然後爐石粉末經由氣滑槽輸送至貯槽存放。

（5）普通卜特蘭水泥貯槽

壓縮空氣機提供壓縮空氣經由氣輸總管，接上裝滿卜特蘭水泥卡車，將卜特蘭水泥打入貯槽中，以便與爐石粉混合調配成高爐水泥。

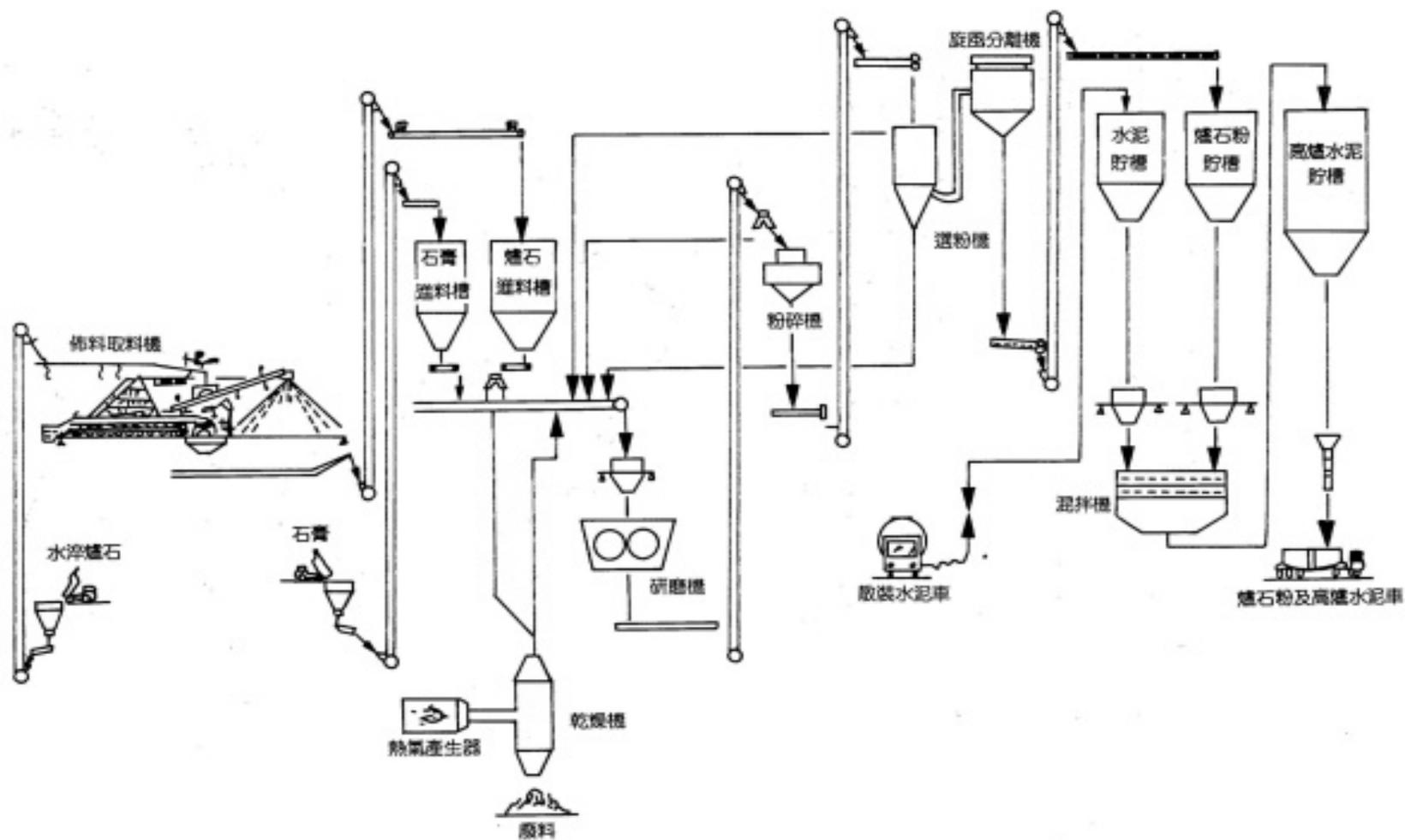


圖 6.3 高爐水泥生產流程圖

(6) 混拌處理

貯槽內的爐石粉與卜特蘭水泥經由出口設備排入氣滑槽，並送入混合機混拌調製高爐水泥。調製完成之高爐水泥經氣滑槽輸送至筒形斗昇機，再輸送至成品貯槽中存放備用。

高爐水泥在歐美日先進國家中，已經是一項十分成熟的產品，其有優異的特性如下：

(1) 具有優異的後續強度增延性

以爐石粉或高爐水泥拌合生產之混凝土，於 14~28 日材齡時，其強度水準與普通卜特蘭水泥相比，已達相等或更高的強度。而長期強度更是凌駕其他種類的水泥，故可建造持久而耐用的各類土木工程構造物。高爐水泥與普通卜特蘭水泥抗壓強度比較，如圖 6.4 所示。

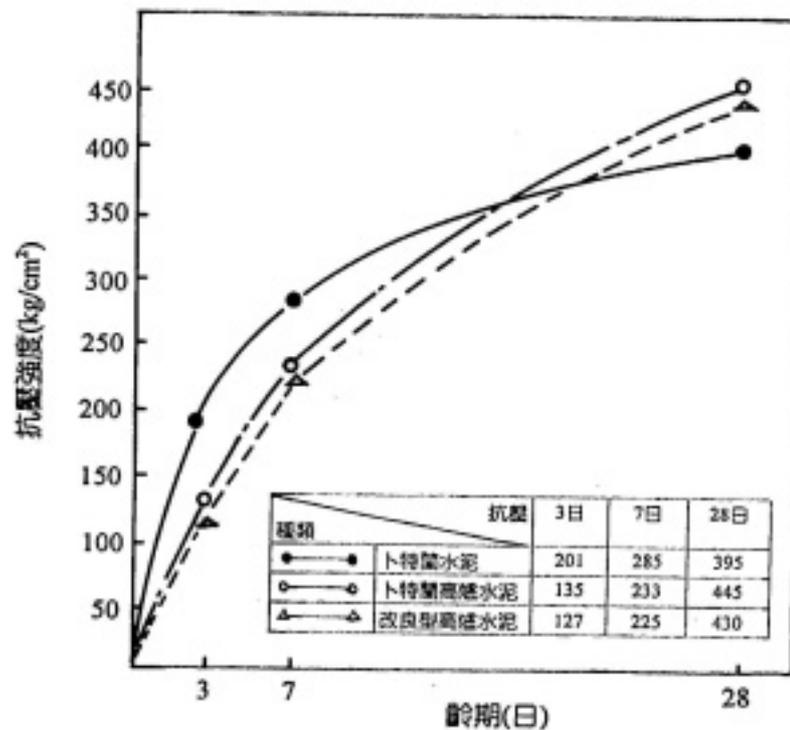


圖 6.4 高爐水泥與卜特蘭水泥抗壓強度比較

(2) 具低水合熱的特性

爐石粉及高爐水泥之水合熱遠比普通卜特蘭水泥為低，因此高爐水泥之水合熱隨著高爐石粉末之置換混合比率之增加而逐漸降低，近年來隨著土木結構建物之大型化，巨積混凝土溫度裂紋問題亦日益受到矚目，高爐水泥即

可有效地克服此困擾。高爐水泥與普通卜特蘭水泥水合熱比較，如表 6.3 所示。

表 6.3 高爐水泥與卜特蘭水泥水合熱比較

水泥種類	水合熱 (cal/g)	
	7 日	28 日
卜特蘭水泥 Type I	76.59	85.67
卜特蘭水泥 Type II	68.03	77.95
高爐水泥*	52.00	64.06

*爐石粉細度：4,700cm²/g，爐石粉含量：50%

(3) 提升混凝土的耐久性

處於酸雨威脅地區、溫泉地帶、其有侵蝕性土壤之環境、或是下水道設施及海岸構造物等，皆要求具備化學耐久性。水泥的化學抵抗性中，主要考慮由硫酸鹽引起的劣化崩壞現象。這種現象是水泥水化物中的游離 Ca(OH)₂，與硫酸鹽反應而產生硫酸鈣。

高爐水泥混凝土與普通卜特蘭水泥混凝土比較，得知水化物中之 Ca(OH)₂較少，所以高爐水泥混凝土比較適合於海水、污水及溫泉水等，有化學腐蝕性的環境，爐石粉含量愈高，對化學抵抗性愈好，如圖 6.5 所示。

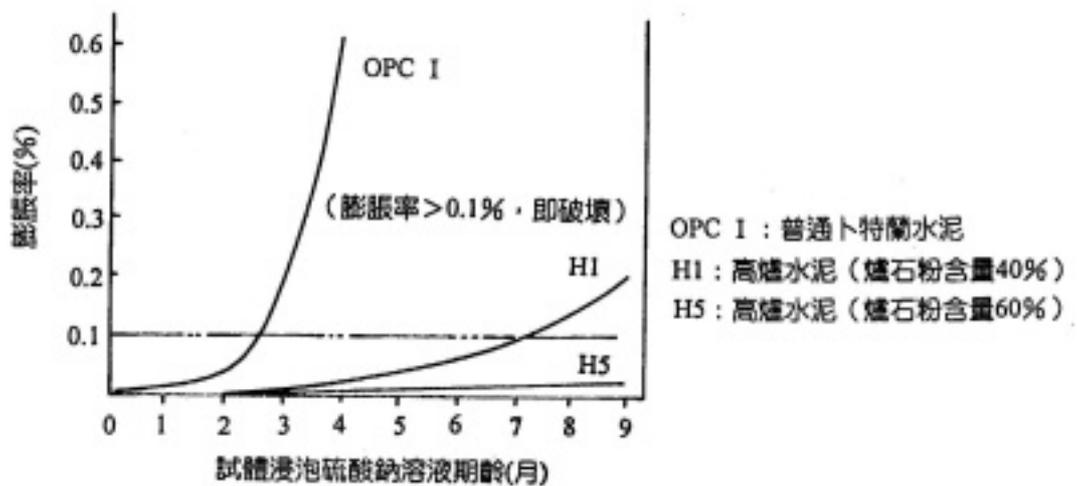


圖 5.6 高爐水泥與卜特蘭水泥試體浸泡於 5% 硫酸鈉溶液之膨脹率與齡期關係

(4) 可獲得高緻密性的混凝土

高爐水泥混凝土，因高爐石粉末的滲入，大幅提昇新拌混凝土的工作度，且固化後的混凝土因具有波索蘭反應效果故緻密性極佳，因此擁有優異的水密性及耐磨性。各種水泥混凝土緻密性比較，如圖 6.6 所示。

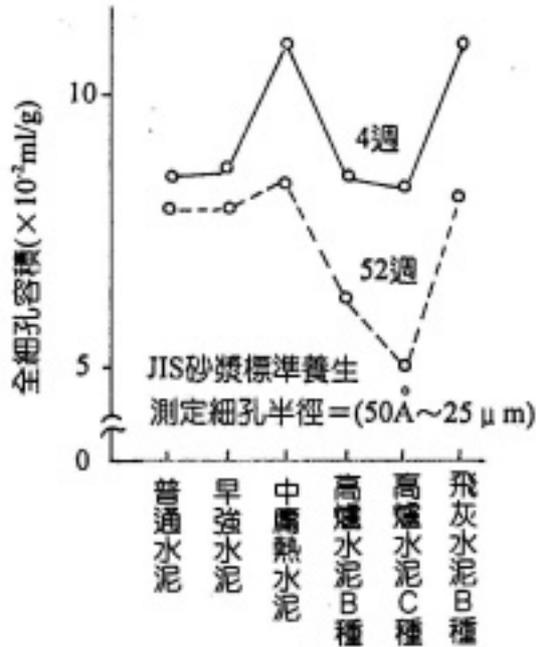


圖 6.6 各種水泥混凝土緻密性比較

(5) 預防混凝土鋼筋腐蝕

以保護層 70 公厘厚度的高爐水泥混凝土而言，其鋼筋開始腐蝕期遠較普通卜特蘭水泥 (Type I) 混凝土延後約 100 年。如圖 6.7 所示。

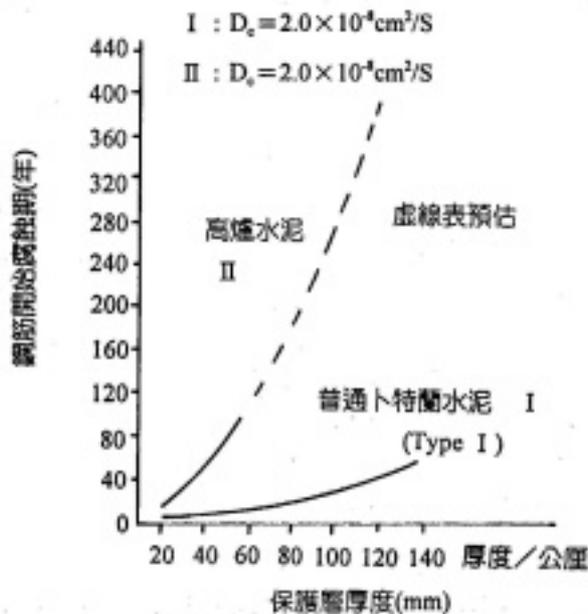


圖 6.7 高爐水泥與卜特蘭水泥預防鋼筋腐蝕比較

3.資源化成效

該廠水淬高爐石資源化供做水泥原料之具體成效明顯的反映在節約燃料、電力、石灰石等資源消耗及降低二氧化碳產生等各方面。普通卜特蘭水泥（ordinary portland cement, OPC）之生產，乃是電力及燃料消耗十分鉅大的工業，電力主要消耗在原料及熟料的研磨及運搬上，燃料則消耗於燒成作業上。而水淬高爐石生產高爐水泥和水淬爐石粉則不須再經燒成作業，僅需經乾燥及研磨作業即可，因此可節省石灰石資源之開採，燒成作業之燃料消耗，避免燒成作業石灰石分解產生二氧化碳及燃料燃燒過程產生之二氧化碳排放和節省電力消耗等。

以日本水泥工業界之經驗數據為基礎，試算生產卜特蘭水泥與高爐水泥之能源消耗，相關燃料、電力、石灰石之比較如表 6.4 所示。由於水淬爐石粉製造高爐水泥之摻配比率可達 50%，若以該廠水淬爐石粉總產出量達 60 萬噸/年計，每年可節省之當量煤料為 57,600 噸/年；電力為 24,000,000KWH/年；石灰石為 720,000 噸/年。

至於二氧化碳生成量之降低，亦可由卜特蘭水泥與高爐水泥之生產所產出之二氧化碳量比較如表 6.5 所示。若以該廠水淬爐石粉總產出量 60 萬噸/年計，可減少二氧化碳之生成量約 $600,000 \times 0.79 = 474,000$ 噸/年，而民國 83 年國內水泥產出量約為 22,000,000 噸，概估二氧化碳生成量約為 19,360,000 噸。故高爐水泥之全力生產可降低水泥業二氧化碳生成總量之 2.45%。

表 6.4 高爐水泥節省資源效益評估

消耗之資源	單位	卜特蘭水泥	高爐水泥	差額
當量煤料	公斤/噸產品	110	17	96
電力	KWH/噸產品	110	70	40
石灰石	公斤/噸產品	1,200	—	1,200

表 6.5 高爐水泥降低二氧化碳生成量效益評估

二氧化碳發生源	單位產出量	卜特蘭水泥	高爐水泥	差額
石灰石分解	噸/噸產品	0.48	—	0.48
煤料燃燒	噸/噸產品	0.28	0.035	0.245
電力消耗相當之 二氧化碳產出	噸/噸產品	0.12	0.055	0.065
合計	噸/噸產品	0.88	0.090	0.790

在 1988 年 11 月 6 日由聯合國環境規劃署(UNEP)及世界衛生組織(WHO)共同舉辦之地球環境問題國際會議上，各先進國家同意於西元 2000 年起，二氧化碳排放量凍結在會議當時的水準。以日本而言，水泥業排放出之二氧化碳量約達全國總量的 7%，故有 23 家主要水泥業者集合苦思削減二氧化碳之對策，經由其估算概約尚可經由能源策略降低二氧化碳生成量 1.4%，但卻將迫使卜特蘭水泥生產成本上升約 $\text{¥}1,000/\text{噸}$ 。若以此數據為基礎，該廠若能將 60 萬噸/年之水淬爐石應用於水泥上，對環境保育之貢獻折算成新臺幣可達 60 億元以上。
(約合 $\text{¥}1,000/(\text{¥}5.5/\text{INTD}) \times (2.45\%/1.4\%) \times 19,360,000 \text{ 噸}/\text{年} = 6,160,000,000 \text{ NT}/\text{年} = \text{新台幣 } 62 \text{ 億元}/\text{年}$)

4. 結語

將高爐石有效的推廣應用於水泥工業，非但增加爐石資源化利用途徑，並對國內資源保育、能源節約、污染防治及生態環境改善等均具有顯著的效益。再者，因高爐水泥及水淬爐石粉具有多項優於普通卜特蘭水泥的特性，對於提昇各項工程建設之品質及耐久性亦有正面的效益。

高爐水泥及水淬爐石粉之運用，在各先進國家業已獲得充分之肯定，並持續擴增其使用之領域及數量。由於國內鋼鐵業持續發展，爐石產量激增，迫切地需要將高爐石推展至水泥領域之運用上。唯此項推廣運用受限於使用者之習慣(熟識於普通卜特蘭水泥之使用)和欠缺對該項新材料特性的瞭解和相關法規之配合不足等因素。因此，該等困難問題之克服仍為今後努力之方向。

6.3 SKF 電漿爐法回收爐塵灰

1. 前言

C 工廠是瑞典一家以電弧爐爐塵灰資源化回收為專業之工廠。該廠係以瑞典 SKF 電漿科技公司研究發展的電漿爐為主要處理製程，由 Landskrona Finans 投資公司、SKF 鋼鐵工程公司與 Uddeholm 鋼鐵公司投資興建，由 SKF 鋼鐵工程公司於 1982 年 5 月開始承包設計建廠，並於 1984 年中完工正式運轉。該廠投資總額約 10.4 億元(4,000 萬美元)，廠區總面積為 $21,000\text{m}^2$ ，設計每年可處理爐塵灰 70,000 噸，並可回收金屬及爐渣分別為 35,000 噸及 30,000 噸。

2. 製程及原理

SKF 電漿爐法之回收處理流程如圖 6.8 所示。該工廠的主體有原料前處理設備，輸送、吹射加料系統，熔解還原電漿爐，Zn/Pb 凝結器，廢氣冷卻、集塵及廢水處理設備。

(1) 原料前處理

該廠設有濕式原料前處理設備，可處理乾燥爐塵灰及洗塵器污泥。爐塵灰與污泥先被吸入兩個體積 400m^3 的攪拌器內，均勻攪拌混合後再送入體積為 40m^3 的混合槽內，同時加入煤與造渣劑（砂）。此時混合物含 50% 固體與 50% 水分，均勻混合後再送至壓濾機內脫水，使水份減至 15~20%。濾餅經短期儲存，使水量進一步減少，然後經烘乾、壓碎成 2mm 以下的原料，再送入儲存桶內。最後由儲存桶落入三個轉移漏斗內，由此經吹射加料系統進入爐內反應區。

煤與砂是先在球磨機內加水研磨至 80% 的粒度皆小於 0.1mm，然後加入混合槽內。另外粒度為 20~60mm 的焦炭先經烘乾、篩選後，經由輸送帶由爐頂加入充滿反應爐內。若只處理乾燥的爐塵灰，則建廠時只需設置簡易的乾式處理設備，可減少設備成本。

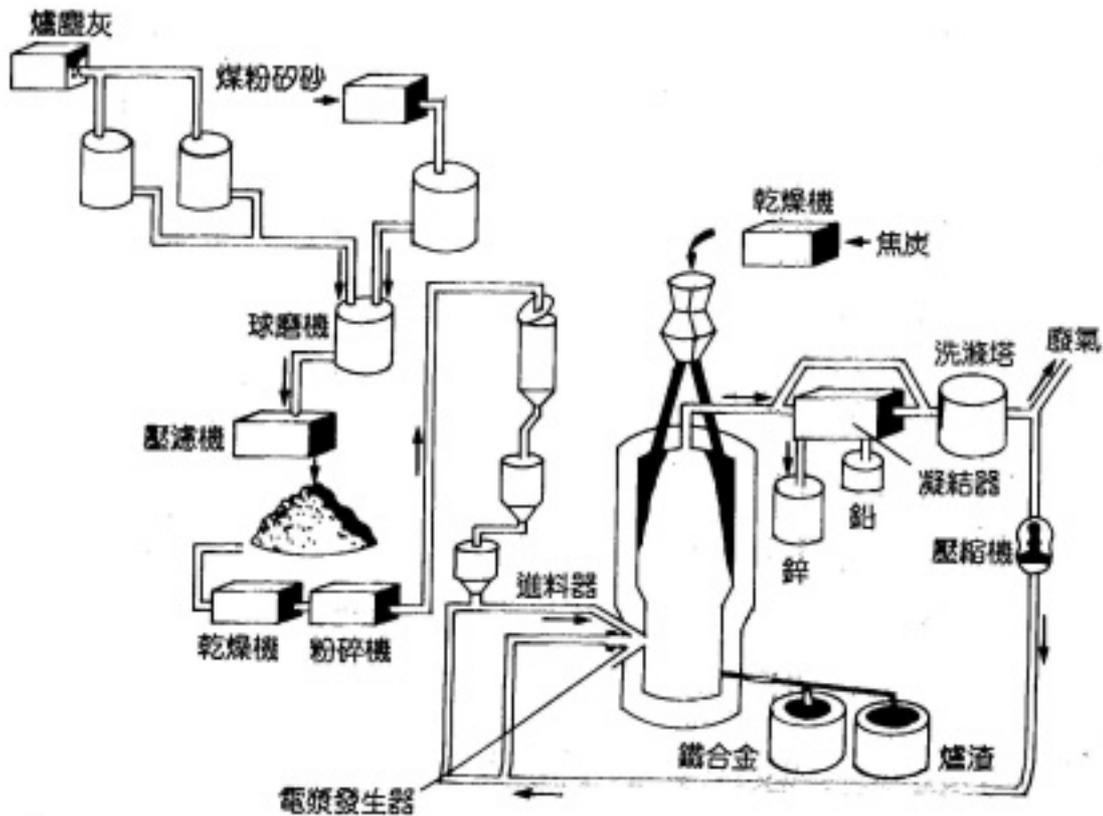


圖 6.8 SKF 電漿爐回收處理流程

(2) 熔解還原

熔解還原過程是在內徑 2m，高 12m 的豎形爐內進行。爐內有耐火磚，外殼為水冷式。爐體下半部設有三支對稱的 6MW 電漿發生器產生非轉移式電弧，以提供吸熱反應所需的能量。

任何應用電漿冶金製程的最重要結構就是電漿發生器。SKF 電漿發生器係採用分段式管狀電極。電弧在前後兩電極間發生後，將氣體由中間的分段式電極吹入通過電弧區離子化後產生高溫電漿。其溫度達 3,000~4,000°C，比傳統燃燒方式高很多。所需的直流電是由裝有閘流體（thyristor）控制的電源供給，而各種氣體皆可當做電漿氣。電漿發生器的功用是將電能轉換成熱能至反應區內，其熱效率是影響整個製程經濟性的重要因素。它是電漿的熱含量與輸入電能的比值，而電漿的能量密度對其有重要影響。實際操作時其熱效率可達 85%，故非常適合需要高溫及高能量密度的製程。電漿是由水冷銅質噴嘴噴入爐內，加料亦由噴嘴吹入，並與電漿混合，其能量密度達 4~5kwh/m³ (0°C, 1bar)。

噴嘴前方的焦炭形成一空穴，還原反應由空穴開始，至鄰近的焦炭層結束並產生爐渣。約 50~70% 的還原反應是由煤粉提供，其餘則由焦炭提供。爐體上部的焦炭區對廢氣提供熱交換與過濾功能，消除 CO₂ 與水蒸氣，防止鋅蒸氣發生再氧化。金屬蒸氣與廢氣一起由爐頂排出，出鐵與出渣的方式則與高爐相同。

(3) Zn/Pb 凝結器

凝結器係採噴洒凝結方式，液態鉛由泵抽至上方的噴嘴，向下噴洒滴狀的鉛，將由下方進入的氣態 Zn/Pb (6~10%Zn) 冷卻並吸附，金屬蒸氣由 1,100°C 冷卻至 500°C 而凝結於液態鉛內，再一起流入靜置爐內冷卻分離。鉛由泵抽回至凝結器循環使用，鋅則澆鑄成鑄錠。靜置爐內 Zn/Pb 金屬液表面有一層粉末狀浮渣 (dross)，含有 Zn/Pb 氧化物、煤粉、SiO₂、CaO、Al₂O₃ 及液態 Pb 微粒。其中鉛可被分離，送回凝結器使用，剩餘的浮渣亦可回收利用。

(4) 集塵系統

廢氣離開爐頂之溫度為 1,050~1,200°C，依操作模式而變動。回收碳鋼爐塵灰時，廢氣先經旋風集塵器去除粗粒粉塵，再進入凝結器，最後流入三

段式文式洗塵器，入口溫度約 500°C，排出的乾淨氣體含塵量小於 5mg/m³。有一半的氣體可再循環利用為電漿氣，剩餘的氣體（主要含 CO 與 H₂）可供做燃料預熱盛鋼桶、烘乾原料或燃燒鍋爐，提供熱源給附近社區利用，每年可回收熱能 65GWh (2.2×10⁸BTU)，相當於 6,500m³ 的燃油。但此種可燃性氣體須先通過充滿硒的多孔質粒狀耐火物濾床，硒氣體中的汞反應形成 HgSe 而去除。粉塵原料中平均汞含量為 5ppm，濾床可去除 97% 以上的汞。

(5) 廢水處理

洗塵器排出的污泥廢水先經砂濾器 (sand filter) 過濾，將污泥與廢水分離。

① 污泥處理

先經混凝處理 (flocculation)，再通過層狀濃縮機，最後進入污泥混合槽回收當做加料。由旋風集塵器收集的粗粒粉塵可與污泥一起混合回收。

② 廢水處理

原料爐塵灰中所含的 K、Na、Cl、F 大部份隨廢氣排出，收集於洗塵水中，須先加入 CaCl₂ 析出 CaF₂。此外爐內部與排放的廢氣皆為強還原性氣氛，廢氣中 HCN 含量為 400~500ppm。因廢水的 pH 值達 10.5，大部份 HCN 會溶於廢水中，使廢水中 CN⁻ 量高達 1,000~2,000ppm。故需加入碳酸氣酸化廢水，使 HCN 降至 5ppm 以下再加入次氯酸鹽使 HCN 降至 0.5ppm 以下才合乎排放標準。而排放的廢氣當做燃料，可使所含的 HCN 完全氧化掉。

將廢水經過壓濾機，使 CaF₂ 污泥與水分離，再將其掩埋或以其他方法處理。將分離的水通過砂濾器進一步過濾，再經過冷卻塔冷至 40°C 後流入儲水池回收至洗塵器。

為保持循環水中 K、Na、Cl、F 的濃度低於可用標準，儲水池必須排放 5% 水量，另外加入清水以補充所排出之量以及在洗塵器、冷卻塔內蒸發損失之量。而整個洗塵器的循環水系統經常保持 200m³/hr 的水量。

3. 資源化成效

該廠係以 SKF 電漿爐處理電弧爐爐塵灰並資源回收，處理對象包括普通碳鋼及合金鋼爐塵灰。最主要的回收有價金屬為鋅，此外爐塵灰中含 2~3% 鉛，亦可由凝結器收集之。回收的生鐵因含較多的微量元素及來自爐塵灰的不

純物如 Cu、S、P 等，故價格較高爐生鐵便宜，另所含的 Ni、Cr、Mo 等合金元素亦較多，故限制其可能的用途。在凝結器的冷卻與分離系統中，有時會產生 4% 鐵的硬鋅 (hard zinc)，可與焦炭一起加入爐內回收。爐渣及少量的 CaF₂ 污泥為該廠僅有的二項固體廢棄物。爐渣經進行 US-EPA 標準溶出試驗，其結果顯示符合標準，故可出售做為築路材料或其他用途。表 6.6 所示為碳鋼爐塵灰回收金屬及產生爐渣的成份分析。

表 6.6 碳鋼爐塵灰回收金屬及爐渣成份

成份 (%) \ 項目	鋅	鐵	爐渣
CaO	—	—	32~36
SiO ₂	—	—	32~38
Al ₂ O ₃	—	—	5~8
MgO	—	—	8~14
V ₂ O ₅	—	—	0.001~0.016
Zn	98.5	—	0.005~0.200
Pb	1.15~1.30	—	0.005~0.150
Cd	0.06~0.09	—	0.001~0.050
Fe	0.02~0.04	—	0.5~4.0
Cr	—	0.6~1.5	0.2~1.2
Ni	—	0.4~1.1	0.02~0.1
Mo	—	0.1~0.4	0.01~0.05
Cu	—	0.4~0.7	0.001~0.150
Mn	—	2~3.5	2.0~6.5
P	—	0.25~0.49	0.02~0.10
S	—	0.020~0.080	0.6~1.5
C	—	4~6	—
Si	—	0.2~1.9	—
Ti	—	0.04~0.15	—
V	—	0.02~0.05	—
Ba	—	—	0.3
F	—	—	0.58
Cl	—	—	0.006

合金鋼爐塵灰所含金屬主要為 Ni、Cr、Mo，亦含少量 Pb、Zn 但未達到回收的經濟價值。故廢氣直接由旋風集塵器流入洗塵器，而不使用凝結器。洗塵污泥含鋅、鉛金屬，可先貯存，待處理碳鋼爐塵灰時可加入原料中一起回收。

該廠 SKF 電漿爐的投資雖然較大，但每年可回收鋅 15,000 噸，鉛 2,000 噸，生鐵 14,000 噸，合金生鐵 4,000 噸及廢熱、爐渣等出售獲利。其詳細的成本分析表如表 6.7 所示，即每噸爐塵灰需向電弧爐業者收取 245.44 元的處理費才能平衡收支。

表 6.7 SKF 電漿爐回收爐塵灰之效益評估

項次	項目	單位費用	費用
初設 成本	• 投資總額	855,400,000 元/廠	855,400,000 元
	合計		855,400,000 元
每 年 操 作 維 護 費 用	• 煤	1,560 元/噸	15,397,200 元
	• 焦炭	2,340 元/噸	7,698,600 元
	• 矽砂	390 元/噸	2,256,800 元
	• 電力	1.04 元/KWH	137,592,000 元
	• 電漿電極	—	17,108,000 元
	• 維護保養	約初設費用之 5%	42,770,000 元
	• 勞力	390 元/小時	36,855,000 元
	• 雜項費用	約初設費用之 2.5%	21,285,000 元
	• 廠內廢棄物處理費	260 元/噸	9,100,000 元
	• 資金成本 20%		171,080,000 元
	合計		461,242,600 元
每 年 產 品 回 收 利 益	• 鋅回收	25,480 元/噸	376,703,600 元
	• 鉛回收	9,360 元/噸	15,724,800 元
	• 鐵回收	1,820 元/噸	29,356,600 元
	• CO/H ₂ 回收	91 元/MM.Btu	22,295,000 元
	合計		444,061,800 元
淨利			-17,180,800 元/年 (-245.44 元/噸·爐塵灰)

註：*設計容量：70,000 噸/年

**爐塵灰之金屬含量假設為：22%Zn、3%Pb、24%Fe

***以匯率 26 元台幣/美元換算

4.結語

瑞典 SKF 電漿科技公司研究發展的高溫電漿製程可解決電弧爐爐塵灰及鋼鐵工業產生類似的氧化廢棄物所造成的環境污染問題。目前此種技術主要用來處理電弧爐煉鋼爐塵灰，可回收碳鋼爐塵灰所含的 Zn 及 Fe，亦可回收合金鋼爐塵灰所含的 Cr、Ni 及 Mo 成份。所產生的固體廢棄物包括：(1) 無害的爐渣—可出售供為築路材料或其他用途。(2) 少量的 CaF_2 污泥—可掩埋或其他方式處理。而廢氣、廢水的排放濃度皆能符合當地的環保標準。

6.4 Tetronics 電漿爐法回收爐塵灰

1.前言

D 工廠是美國金屬生產發展中心 (CMP) 於 1988 年委託 Bethlehem 鋼鐵公司與 Tetronics 研究發展中心 (TRD) 合作建立之小型電漿爐離型工廠。該廠係以傳遞式電漿弧產生的高溫還原電爐爐塵灰，並分別以螺旋漿噴濺式凝結器及袋濾集塵機回收鋅/鉛金屬及氧化鋅粉塵。產生之爐渣為無害性，亦可供再利用。由於工業先進國家回收爐塵灰，大都利用大型冶煉設備，所需經濟規模較大，且投資成本龐大，此外，煉鋼業者仍須支付處理費用。而此種小型電漿爐之投資成本較低，可設於廠內或集中處理附近煉鋼廠的爐塵灰。若回收碳鋼爐塵灰時，處理量約 6,000 噸/年即可達經濟規模，回收金屬主要為鋅/鉛金屬。而處理不鏽鋼爐塵灰時，主要是回收鎳/鉻合金鐵，其經濟價值更高。

2.製程及原理

Tetronics 小型電漿爐回收爐塵灰之處理流程如圖 6.9 所示。該工廠主要的設備有原料處理及加料系統、電漿爐及電漿發生器、鋅/鉛凝結器、集塵系統等。

(1) 原料處理及加料系統

電弧爐爐塵灰、還原劑 (煤、焦炭) 及助熔劑 (矽砂) 等原料經初步篩選並進行均質調配混拌後，置於加料貯存槽中，以計量加料器稱重並經螺旋進料器輸送，由電漿爐頂一側進料。一般隨反應控制為選擇性還原或完全還原則有不同的原料添加比率，若控制為選擇性還原時，還原劑添加比率約為 10%；若控制為完全還原時，則還原劑添加比率約為 25%。再者，視原料成份差異，必要時另添加矽砂，使爐渣之 CaO/SiO_2 比率約為 1，即能控制理想的爐渣條件為：①液相線溫度 $<1,500^\circ\text{C}$ 。②黏度 $<5\text{poise}$ 。③體積小。

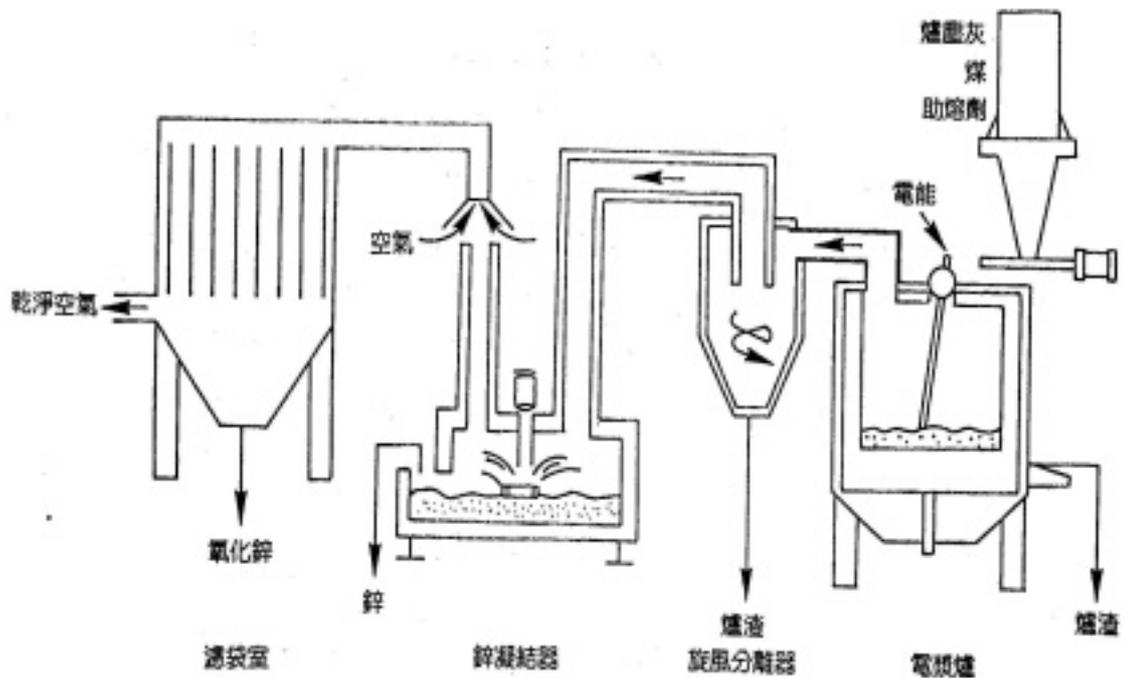
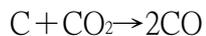
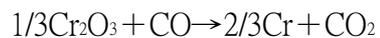
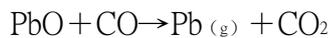
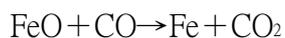
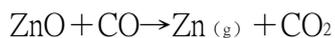


圖 6.9 Tetronics 電漿爐回收處理流程

(2) 電漿爐及電漿發生器

電漿爐之電漿發生器係採用傳遞式電漿弧，藉由氣體介質的部份離子化而將電能轉換成熱能。能量由陰極（電漿炬）經爐料到達爐底陽極區。其能量密度可比非傳遞式電漿弧高出 30 倍，適合在高電流、低電壓條件下操作。

藉由電漿弧產生的高溫，使爐內產生下列各項主要反應：



而其控制反應動力的主要因素為 $\text{C} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO}$ 之反應及渣相內的擴散作用等。

其反應方式可隨需求而控制為選擇性還原或完全還原反應。選擇性還原係藉精確控制反應溫度、 CO_2/CO 比例及爐渣成份，使之對鐵而言為氧化狀態，但對鋅而言卻為還原狀態，即只還原 ZnO ，而 FeO 仍殘留於爐渣內。其反應溫度在 $\text{CO}_2/\text{CO} > 0.1$ 時，約 $1,530^\circ\text{C}$ ；在 $\text{CO}_2/\text{CO} < 0.1$ 時，約 $1,000^\circ\text{C}$ 。選擇性還原之特點為：①回收的鋅主要以 ZnO 存在。②爐渣含大量 FeO 。③還原劑與電能之消耗少。④反應容量提高。完全反應則使用較多的還原劑與電能將 ZnO 及 FeO 同時還原成鋅及鐵，並使用凝結器收集鋅。其反應溫度的 $1,450\sim 1,500^\circ\text{C}$ 。完全還原之特點為：①可回收特殊鋼爐塵灰的合金元素。②處理碳鋼爐塵灰時，同時回收金屬鋅與鐵。③鋅回收率較高。④還原劑與電能消耗較多。

(3) 凝結器

平衡狀態下，鋅揮發後易發生再氧化，形成 ZnO 而進入凝結器鋅液表層的浮渣內或濾袋室內。若將鋅蒸氣急冷，可避免發生再氧化。其操作方法係將螺旋槳浸入鋅液中快速旋轉，產生微細的液滴以捕集鋅、鉛蒸氣。凝結器啟動操作前須以瓦斯燃燒器將耐火磚烘乾並預熱至 732°C 。以另一座熔解爐熔解鋅錠，將鋅液加入凝結器，直到覆蓋螺旋槳。電漿爐啟動時，立即開啟螺旋槳馬達，維持固定轉速為 400rpm 。並調整水冷線圈高度，使鋅液溫度保持在 $480\sim 530^\circ\text{C}$ 之間。由溢流槽收集出的鋅液，鑄成鋅錠。由出渣口定時清除浮渣，否則阻礙螺旋槳轉動，降低捕集效率。一般而言，進入凝結器之廢氣溫度應大於 925°C ， $\text{CO}_2/\text{CO} < 0.01$ ，以避免形成 ZnO 浮渣。再者，若鋅液溫度不足，則鋅蒸氣易凝結成霧狀，降低捕集效率。不論溫度與 CO_2/CO 的比例變化，爐塵灰所含 PbO 皆可被完全還原成 Pb 蒸氣， Pb 溶於鋅液中達飽和後即沉積於凝結器底部。另當爐塵灰的 Fe_2O_3 含量大於 60% 時，少量的 Fe 進入凝結器形成 Zn-Fe 合金（含 Fe $1\sim 2\%$ ），稱為硬鋅（hard zinc），呈泥漿狀而沉積於鋅液底部。可用多孔杓子將其撈出，而讓鋅液自孔洞流出。

(4) 集塵系統

電漿爐與凝結器之間設置旋風集塵機，以收集爐渣類大顆粒，亦可冷卻廢氣。離開凝結器的廢氣含 CO 、 H_2 、鋅蒸氣及可燃物等，進入袋濾集塵機前與吸入空氣先行發生二次燃燒。袋濾集塵機收集之粉塵含 $70\%\text{ZnO}$ ，可再

加入電漿爐回收。廢氣離開凝結器煙道後發生燃燒，若火焰顏色由黃轉白，即表示大量未凝結的鋅蒸氣逸出，此時可發現凝結器鋅液面降低，捕集效率亦變差。

3.資源化成效

Tetronics 小型電漿爐處理碳鋼爐塵灰時，回收金屬主要為鋅/鉛合金，而處理不鏽鋼爐塵灰時回收金屬主要為鉻/鎳合金鐵。回收碳鋼爐塵灰之效益評估如表 6.8 所示。其處理量以 6,500 噸/年為基準，操作費用皆以美國條件為基礎並以 26 元台幣/美元換算。爐塵灰的鋅含量為 26.5%、鉛為 4.1%、鐵為 21.8 %時，處理一噸爐塵灰可獲利約 1,663 元，回收期限約 2.4 年。

表 6.8 Tetronics 電漿爐回收爐塵灰之效益評估

項次	項目	單位費用	費用
初設 成本	• 投資總額	49,660,000 元/廠	49,660,000 元
	合計		49,660,000 元
每 年 操 作 維 護 費 用	• 煤	1,950 元/噸	2,675,270 元
	• 電力	1.3 元/KWH	13,743,080 元
	• 矽砂	390 元/噸	126,750 元
	• 氫氣	1.47 元/1,000m ³	812,890 元
	• 耐火材料		936,260 元
	• 冷卻水	4.9 元/噸	765,570 元
	• 電漿電極		547,560 元
	• 維護保養	約初設費用之 5%	2,482,610 元
	• 雜項費用	約初設費用之 2.5%	1,242,150 元
	• 勞力	390 元/小時	8,213,400 元
	• 資金成本 20%		9,932,130 元
	合計		41,477,670 元
每 年 產 品 回 收 利 益	• 鋅/鉛回收	26,000 元/噸	49,336,170 元
	• 氧化鋅/氧化鉛回收	5,200 元/噸	474,890 元
	• 鐵回收	1,820 元/噸	2,475,850 元
	合計		52,286,910 元
淨利			10,809,240 元 (1662.96 元/噸·爐塵灰)

註：*設計容量：6,500 噸/年

**爐塵灰之金屬含量為：26.5%Zn、4.10%Pb、21.80%Fe

***以匯率 26 元台幣/美元換算

小型電漿爐回收碳鋼爐塵灰的經濟效益與爐塵灰的鋅含量及鋅錠價格有極大的關係。通常鋅錠價格為 20,800 元/噸時，爐塵灰鋅含量須達 30% 以上方有獲利。若鋅錠價格為 36,400 元時，爐塵灰鋅含量只要 15% 即達損益平衡點。世界主要的鋅礦產國如秘魯、墨西哥等，於 1989 年因通貨膨脹情況嚴重；礦工進行大規模罷工，致使國際鋅價大幅上揚，最高曾達到 52,000 元/噸。如此回收碳鋼爐塵灰所得利潤更可觀。至於處理不鏽鋼爐塵灰，由於可回收高價的合金鐵，故其效益更高。

4. 結語

近年來國內鋼鐵生產量逐年上昇，煉鋼時所產生的爐塵灰數量亦逐年增加，這些龐大數量的爐塵灰已合乎建立大型集中處理廠的經濟規模。但其設備成本高昂，相對營運風險亦較高。此外，對於爐塵灰產生量較大的個廠，將爐塵灰進行長途營運送至集中處理廠，將增加額外的運輸成本，亦可能降低其配合之意願。因此，此種小型電漿爐可設於廠內且投資成本亦較低，應可提供業者另一選擇之機會。

6.5 MF 爐法回收爐塵灰

1. 前言

E 廠是日本九州一家含金屬廢棄物資源回收處理廠，該廠設立於 1975 年，係利用三井式專利半鼓風爐 (Mitsui Furnace, MF) 處理工業廢棄物並回收資源，處理之廢棄物包括電弧爐爐塵灰、鋅熔煉渣、銅熔煉爐塵灰、銅銀熔煉渣、廢觸媒、廢橡膠及其他相關廢棄物，回收之資源化產品包括粗氧化鋅、合金、熔渣及蒸汽等。

MF 爐為三井金屬礦業公司於 1965 年所開發應用的技術，初期主要應用處理直立式鋅蒸餾礦渣 (vertical retort residue)，至 1985 年止 20 年期間，該廠已處理回收 210 萬噸鋅蒸餾礦渣。1985 年以後，該廠開始大量處理回收電弧爐爐塵灰。

2. 製程與原理

該廠利用 MF 爐回收電弧爐爐塵灰等類廢棄物之處理流程如圖 6.10 所示。通常塊狀廢棄物可直接投入 MF 爐內，而粉體狀廢棄物則需先經製塊後方可投入爐內進行熔煉。在製塊程序中，電弧爐爐塵灰、鋅蒸餾礦渣及其他廢棄物與矽砂、煤炭等定量配比混合，並添加紙漿廢液 (亞硫酸鹽母液) 做為黏結劑，

隨後送入旋轉乾燥機中乾燥至一定的含水率。再以桿狀研磨機（rod mill）粉碎後送入製塊機（briquette machine）中壓製成團塊，之後定量加入 MF 爐內熔煉。

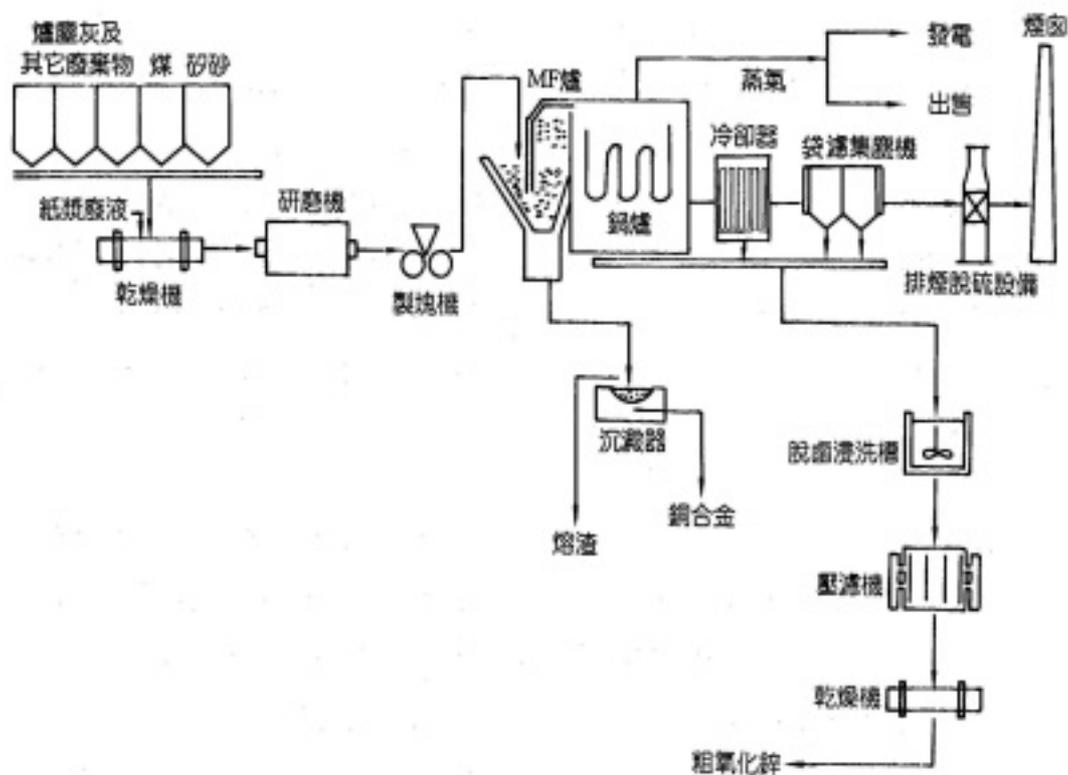
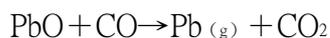
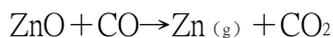
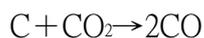
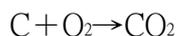
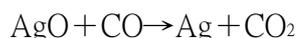
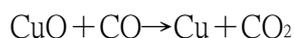
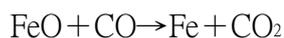


圖 6.10 MF 爐回收處理流程

壓製之團塊以輸送帶輸送至 MF 爐腹部之進料斜槽中，與部份焦化區爐氣接觸而預熱乾燥。預熱後，進一步進入爐內之熔煉區。熔煉區係藉由爐體一側配置一系列噴口，將預熱至 300°C 左右的空氣吹入爐體內，並使團塊本身之煤炭等可燃成份燃燒放熱，再進一步還原團塊中之金屬成份。爐內產生之各項主要反應如下：





鋅及鉛等低熔點金屬在爐內還原揮發，再與爐體上方導入之二次空氣接觸而再次氧化生成氧化物，並隨排放之廢氣經過蒸汽鍋爐，氣體冷卻器及袋濾集塵機而被收集。集塵後之廢氣尚含有 SO_x 約 400ppm，經脫硫設備處理後即可將其降低至少於 5ppm，而符合排放標準。被收集之粉塵中殘留氯及氟元素，因此需經浸洗、壓濾及乾燥等程序，即可獲得粗氧化鋅產品，並售予其他鋅製品精煉業者。銅及部份鐵金屬經還原後，逐漸沉積至爐底並濃縮成銅合金液，與熔渣一起經由渣道連續排出，再利用比重差異之原理，藉由沉澱器 (settler) 將兩者分離。銅合金液經冷卻鑄塊後即可售予銅精煉業者；熔渣再以水淬方式處理成細顆粒狀並售予水泥業者供作水泥原料使用。

3. 資源化成效

該廠目前以爐長 7.8m，噴口 26 個之 MF 爐作業，其每年處理回收之電弧爐爐塵灰 70,000 噸、鋅熔煉渣 10,000 噸及其他渣類合計 90,000 噸。其中鋅以 85~90%、鉛以 90~95% 之回收率回收成粗氧化鋅，銅以 85%、銀以 70% 之回收率回收至銅合金液 (Matte) 中。其各項回收產品主要成份如表 6.9 所示。

表 6.9 回收產品主要成份

成份 產品	Zn (%)	Pb (%)	Cu (%)	Fe (%)	Ag (g/t)
粗氧化鋅	56	11	0.1	0.8	120
銅合金	2	0.3	55	20	1,900
爐渣	3.5	0.3	0.5	35	30

4. 結語

日本在電弧爐煉鋼爐塵灰的相關污染防治措施方面，首先於 1968 年制訂空氣污染防制法，又於 1970 年制訂廢棄物之清理及處理相關法規，規定電弧爐爐塵灰屬於特別管理產業廢棄物中所指定的有害產業廢棄物。於 1975 年左右，開始將其加以資源化處理供作鋅及氧化鋅之原料，經回收處理後的剩餘殘渣則可符合重金屬溶出試驗標準，亦可資源化再利用為工程骨材或水泥原料等。因此，

從污染防治及資源再生的觀點看來，電弧爐塵灰回收鋅等重金屬資源乃是必然發展的方向。

6.6 廢酸焙燒回收資源化

1. 前言

F 工廠為國內唯一鐵礦砂冶煉製鋼的一貫作業煉鋼廠，在經過三階段的建廠及擴建工程後，粗鋼年產能目前已達 565.2 萬公噸，佔民國 83 年國內粗鋼年產能 1,242.5 萬公噸之 45.49%，規模為全國最大，同時亦位居國際鋼鐵協會會員前二十名內，而未來（民國 86 年）第四階段擴建工程完成後則可增至 805.4 萬公噸。該廠鋼鐵生產流程主要包括六項製程，即 1.原料輸送，2.煉焦，3.燒結，4.煉鐵，5.煉鋼與連續鑄造，6.軋鋼、精整與表面處理等。其所生產的鋼品大都為上游產品，主要包括鋼板、條鋼、線材、熱軋鋼品、冷軋鋼品、生鐵及鋼胚等。

該廠對於由鋼鐵生產製程中所伴生大量無法直接再利用的物料的管理極為重視，其清理作業除遵循政府法規辦理外，並積極自行研發或引進國外先進技術，依「減量化」、「回收」、「資源化再利用」、「安定化」等邏輯順序應用於製程中所伴生之龐大物料，並以「零」棄置為最終目標，期能消弭對環境的負面影響，進一步降低營運成本，達到「永續發展」的終極目的。

2. 製程及原理

該廠熱軋後的鋼帶，其表面因高溫氧化而披覆一層氧化鐵鏽皮，此一鏽皮必須在冷軋前予以去除。該廠為將此一鏽皮去除以利後續冷軋製程，乃先利用伸張整平機將鋼帶上的鏽皮組織崩裂破壞，再採用含 16~18% 濃度之鹽酸以連續串聯排列之酸洗槽將鏽皮完全反應去除，最後再用清水將鋼帶表面殘酸洗淨。同時，酸洗製程將產生兩種含酸廢液，一種是酸洗後清洗鋼帶的清洗廢水；另一種是經過酸洗反應後，使酸液濃度降低且酸液中溶入過多氯化亞鐵及雜質而無法繼續使用所排出的廢酸液。廢酸液中自由酸含量控制在 2~4%， FeCl_2 含量則為 9~11%；而清洗廢水的含酸量為 0.3~0.5% 間。

對於上述酸洗製程所產生的兩股含酸廢液之處理方式，該廠係採用 Ruthner 公司所發展的噴霧焙燒法製程（spray roasting process）以再生鹽酸重複使用。同時在廢酸再生製程中，產出副產品氧化鐵粉。而氧化鐵粉為

一種供軟、硬磁製程所需之高附加價值原料，因此廢酸再生不但可將資源回收再利用，並可產出高附加價值之副產品，氧化鐵粉。其處理流程如圖 6.11 所示。首先是將廢酸液經由過濾槽去除雜質，再經過預濃縮塔提高廢酸液濃度後，輸送至焙燒爐頂部，以高壓噴嘴將廢酸液均勻噴灑於爐內，藉由爐內約 800°C 的高溫，將氯化亞鐵焙燒氧化分解為粉狀三氧化二鐵與氯化氫氣體，氣體部份經旋風分離器將粒徑較小之三氧化二鐵再次分離後，輸送至預濃縮塔進行熱交換，再輸送至吸收塔以清洗水吸收生成濃度約 16~18% 的再生鹽酸，並送回酸洗製程重覆使用，經過焙燒製程所回收之鹽酸可達 99% 以上之回收率，其餘廢氣經處理符合排放標準後即可排放至大氣中。而三氧化二鐵粉則利用螺旋輸送機及打包機裝袋後出售以供下游軟、硬磁業者使用。焙燒爐進行之化學反應如下：

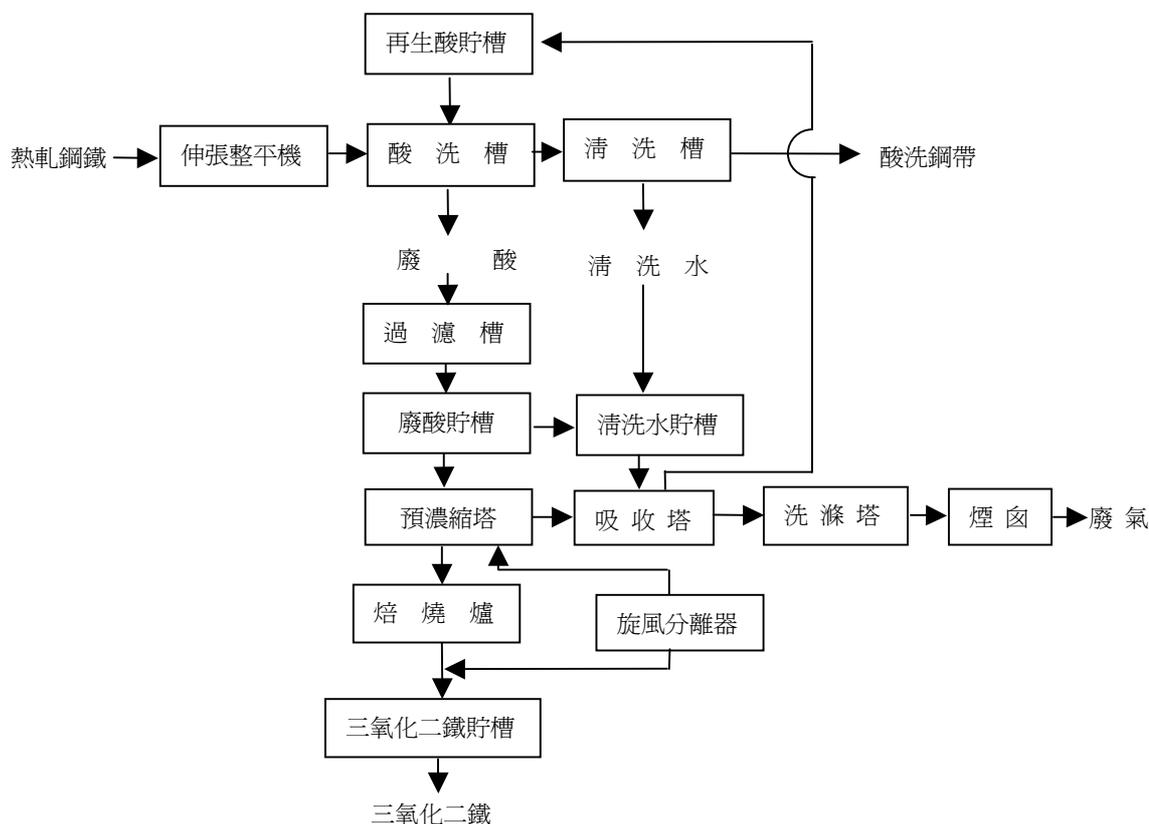
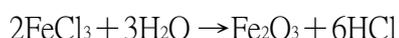
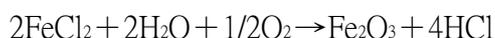


圖 6.11 廢酸液噴霧焙燒回收處理流程

該廠廢酸再生製程之操作，完全採用自動化控制模式，操作人員按三班四輪編制，除操作人員必須進行每班固定之巡檢外，並輔以 CCTV 監控系統及必

要之先期警報裝置，故能完全掌握設備異常狀況。在操作維護之管理方面，依該廠生產作業之規定，均已制訂標準操作程序，設備安全工作程序及維護作業規範，層層督導，確實執行，管理制度完備，堪稱嚴謹。

3.資源化成效

該廠廢酸再生是目前最符合環保要求的製程。廢酸經由過濾、預濃縮、燒焙、旋風分離及吸收等操作程序，回收濃度約 16~18% 的再生鹽酸，並送回酸洗製程重覆使用，經過焙燒製程所回收之鹽酸可達 99% 以上之回收率。而副產三氧化二鐵粉純度較高者可供為磁粉材料使用，附加價值較高，純度較低者亦可供為高爐煉鐵原料。就該廠年產量 100 萬噸之冷軋酸洗鋼捲，每小時需去除 700 公斤鏽皮而產生之廢酸量約 6,000 公升/時而言，廢酸噴霧焙燒回收設備之初設成本約為 1.2 億元，每年操作維護費用包括燃料、水電、維護保養、勞力及雜項費用等共計約 4,812 萬元，每年產品回收及可節省費用包括鹽酸回收 (16~18%)、三氧化二鐵回收及廢酸處理藥劑費 (液鹼) 等共計約 1.5 億元。估計該回收設備之回收期限約 1.22 年，相關之效益評估如表 6.10 所示。

表 6.10 廢酸液噴霧焙燒回收之效益評估

項次	項目	單位費用	費用
初設成本	• 投資總額	120,000,000 元/廠	120,000,000 元
	合計		120,000,000 元
每年操作維護費用	• 燃料費	—	21,600,000 元
	• 水電費	—	5,040,000 元
	• 維護保養費	—	13,800,000 元
	• 勞力	—	7,200,000 元
	• 雜項費用	—	480,000 元
合計		48,120,000 元	
每年投資費用	• 設備折舊費用	*CRF=0.149	17,880,000 元
	• 操作維護費用	—	48,120,000 元
	合計		66,000,000 元
每年產品回收及可節省費用	• 廢酸回收 (16~18%)	1,200 元/噸	36,600,000 元
	• 三氧化二鐵回收	8,000 元/噸	45,000,000 元
	• 廢酸處理藥劑費 (液鹼)	4,000 元/噸	64,920,000 元
	合計		146,520,000 元
每年總淨節省費用 146,520,000/66,000,000 元=80,520,000 元			
回收期限：120,000,000 元 ÷ (146,520,000 元/年 - 48,120,000) = 1.22 年			

[註]*CRF (設備投資還原因子) = $i(1+i)^n / ((1+i)^n - 1)$, i (年利率) = 8%
 n (設備使用年限) = 10 年

4.結語

酸洗廣泛用於一般鋼鐵工業表面鏽皮之去除，使能得到表面品質較佳的鋼品，但經過酸洗製程後所產生的含酸廢液處理卻是一項頗為棘手的環保問題。該廠之連續鋼帶酸洗工場為酸液最大之使用者，於設備投資興建時即考慮到其後續廢酸液處理之必要性，故同時搭配興建酸液再生工廠，且進而選用噴霧焙燒製程，利用焙燒特性將廢酸液中的氯離子與鐵離子有效分離，使同時產生主要再生酸液產品回收重覆使用及副產品三氧化二鐵粉供電磁業者做為軟、硬磁材料，達到污染防治及廢棄物資源化的雙重效益。該廠未雨綢繆進行廢酸液資源回收之實績足為其它各業之最佳典範。

6.7 廢酸再生鐵鹽資源化

1.前言

G工廠為國內一家廢酸（鹽酸及硫酸）資源化回收處理廠，其原料主要來源為鋼鐵加工及電路板表面處理所產生之廢酸液，及機械加工廠所產生之鐵屑等廢料，而資源化回收產品主要為氯化亞鐵、氯化鐵、硫酸亞鐵及速淨鐵等，可售予一般之廢水處理藥劑、蝕刻業藥劑、及飼料廠之飼料添加物等。

該廠位於南部地區，全廠面積 2,800 平方公尺，廠房面積約 1,400 平方公尺，設廠至今已十餘年，在全體員工努力經營下，業績成長卓著，而為響應政府推動之工業減廢及廢棄物資源化等環保政策；該廠則以更積極之行動配合，一方面改善製程及操作技術以避免產生污染物；另一方面則增加廢酸回收處理能力，研發相關資源化技術，並拓展資源化產品於其他業界之可用性，以期未來能成為多元廢酸資源化處理中心。

2.製程及原理

該廠目前設計廢鹽酸及廢硫酸資源化處理量各為 1,000 噸/月，其資源化處理流程分別如圖 6.12 及圖 6.13 所示。一般廢酸進廠時，由於殘存之自由酸濃度仍較高，因此需先以鐵屑與之反應，以降低自由酸濃度並提高鐵離子濃度，經取樣檢驗分析確認成份後，以板框過濾機濾除殘存之固體物，即分別為氯化亞鐵及硫酸亞鐵溶液半成品。氯化亞鐵溶液半成品直接經加氯氧化反應，即可得到氯化鐵溶液產品。每 1 噸廢鹽酸，若未經加熱濃縮，則可產製濃度 40 波美 (Be') 的氯化鐵溶液約 1.1 噸；若經加熱濃縮，則可產製濃度 45 波美 (Be') 的氯化鐵溶液約 0.9 噸。另再經熱交換器降低溫度及結晶槽進行結晶反應，則可產製氯化鐵結晶產品。硫酸亞鐵溶液半成品經進一步氧化反應，即可得到所謂之“速淨鐵”產品。另若經結晶槽進行結晶反應，則可製得硫酸亞鐵結晶體

，再經離心脫水機進行脫水及旋轉乾燥機進行乾燥，即可產製硫酸亞鐵產品。
每 1 噸廢硫酸，可產製 0.4 噸之硫酸亞鐵產品。

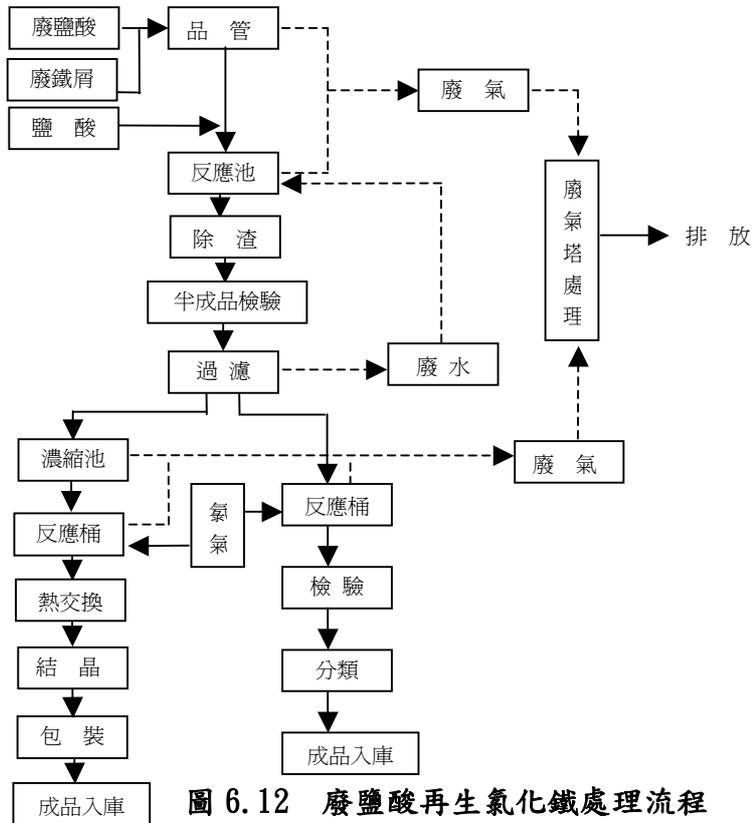
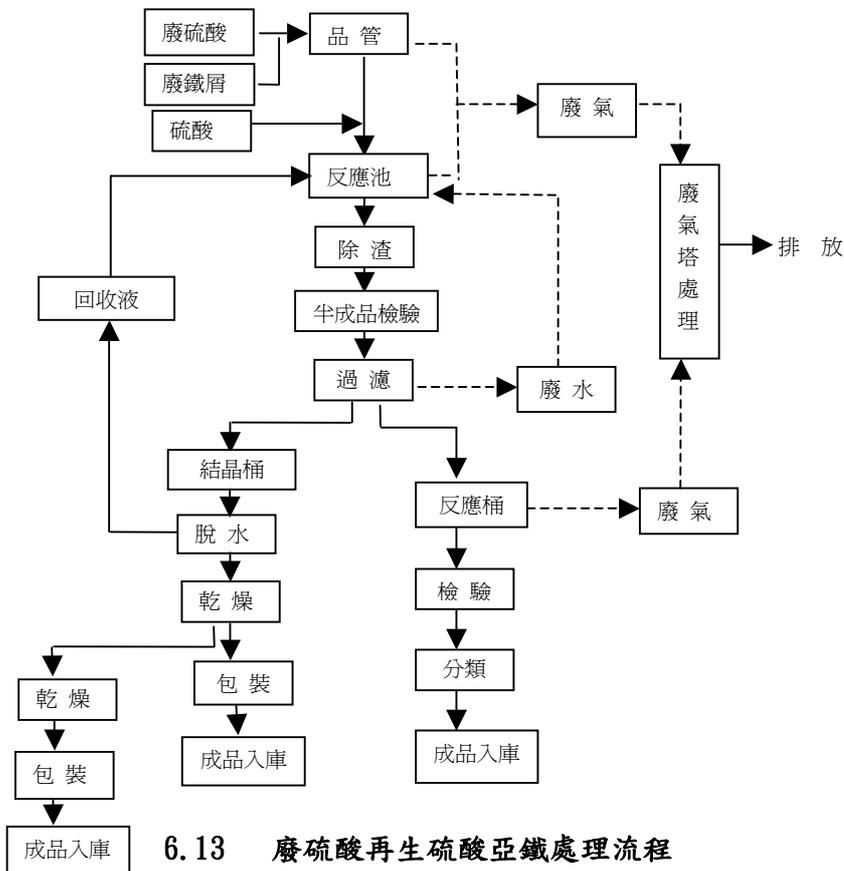


圖 6.12 廢鹽酸再生氯化鐵處理流程



6.13 廢硫酸再生硫酸亞鐵處理流程

3.資源化成效

廢酸主要經由各類表面處理製程而產生，隨著金屬離子及雜質濃度之增加，而逐漸喪失其利用價值。然就資源回收循環利用整體考量，各類廢酸仍是具有再利用價值之資源，而若處理不當或任意排放，則不但浪費資源，更將造成環境之污染。

該廠廢酸資源化再生氯化鐵及硫酸亞鐵等相關產品，係落實廢棄物資源化再利用之典範，為廢酸集中資源化提供一極具效益的處理處置模式。該廠初設成本包括廠房建設、廢鹽酸資源化設備、廢硫酸資源化設備、污染防治設備及相關設備等共計約為 6,000 萬元，每年操作維護費用包括人事及管銷、原料、維護保養、燃料、水電及雜項費用等共計約 7,249 萬元，每年產品回收利益包括氯化鐵及硫酸亞鐵等產品共計約 9,600 萬元。估算該廠之回收期限約 2.6 年，詳細之效益評估如表 6.11 所示。

表 6.11 廢酸再生鹽鐵資源化之效益評估

項次	項目	單位費用	費用
初設成本	• 廠房建設		13,300,000 元
	• 廢鹽酸資源化設備		11,593,000 元
	• 廢硫酸資源化設備		21,486,000 元
	• 污染防治設備		5,210,000 元
	• 相關設備		8,400,000 元
	合計		59,989,000 元
每年操作維護費用	• 人事及管銷費		40,000,000 元
	• 原料費		20,000,000 元
	• 維護保養費	約初設費用之 10%	5,989,000 元
	• 燃料費		1,500,000 元
	• 水電費		2,000,000 元
	• 雜項費用	約初設費用之 5%	2,999,000 元
	合計		72,488,000 元
每年投資費用	• 設備折舊費用	*CRF=0.149	8,938,000 元
	• 操作維護費用	—	72,488,000 元
	合計		81,426,000 元
每年產品回收利益	• 氯化鐵	4,000 元/噸	48,000,000 元
	• 硫酸亞鐵	4,000 元/噸	48,000,000 元
	合計		96,000,000 元
每年淨利 96,000,000 元/年－81,426,000 元/年=14,574,000 元/年			
回收期限：59,989,000 元÷（96,000,000 元/年－72,488,000 元/年）÷2.6 年			

[註]*CRF（設備投資還原因子）= $i(1+i)^n / ((1+i)^n - 1)$ ，i（年利率）=8%
n（設備使用年限）=10 年

4.結語

國內鋼鐵中下游加工廠之廠數不少，其所產生之廢酸數量相當可觀，除少數幾家較大型鋼鐵廠於廠內自行回收廢酸再利用外，大多數廢酸產生廠係將廢酸排至廢水處理設備進行中和處理，甚或違法排放，如此，不但造成資源浪費，甚至造成環境污染。該廠廢酸資源化再生氯化鐵及硫酸亞鐵等相關產品，係落實廢棄物資源化再利用之典範，為廢酸集中資源化提供一極具效益的處置模式，相當值得政府及業界支持與鼓勵。

參考資料

- 1.邁向廿一世紀我國鋼鐵工業發展策略研討會論文集，台灣區鋼鐵工業同業公會，民國 82 年 11 月。
- 2.曾迪華等，低污染工業製程及污染防治技術之調查研究－鋼鐵業，台灣省環境保護處，民國 83 年 6 月。
- 3.財團法人中國技術服務社，電弧爐煉鋼廢棄物減量資源回收及處理示範計畫，行政院環境保護署，民國 83 年 6 月。
- 4.益鼎工程公司，中鋼公司第四階段擴建計畫環境影響評估報告，中國鋼鐵股份有限公司，民國 81 年。
- 5.財團法人中國技術服務社，煉鋼業、非鐵金屬冶煉鑄造業、金屬切割空氣污染管制規範研討計畫第二部份：煉鋼業及金屬切割業，行政院環境保護署，民國 82 年 6 月。
- 6.蔣本基等，平衡鋼鐵產業發展與環境保護策略研究，經濟部工業局，民國 82 年 6 月。
- 7.吳俊耀、洪文雅、余騰耀，電弧爐煉鋼業空氣污染防治現況，工業污染防治，第 11 卷第 3 期，pp47~74，民國 81 年 7 月。
- 8.陳文雄、劉文海，電弧爐煉鋼粉塵處理技術之評估，金屬工業發展中心，民國 77 年 7 月。
- 9.馬寧元、劉文海，國內電弧爐煉鋼粉塵回收技術可行性研究，金屬工業發展中心，民國 79 年 2 月。
- 10.馬寧元等，與南非 MINTEK 技術合作回收國內電弧爐粉塵之可行性評估，金屬工業發展中心，民國 79 年 6 月。
- 11.蔡敏行等，電弧爐煉鋼煙塵資源化之規劃研究，國立成功大學資源工程系，民國 81 年 8 月。

- 12.中鋼公司八十二年度工業減廢工作報告，中國鋼鐵股份有限公司，民國 82 年 3 月。
- 13.工研院能資所，工業減廢技術擴散中心計畫期中報告，經濟部工業局，民國 83 年 12 月。
- 14.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，pp18～30，民國 81 年 2 月。
- 15.楊貫一，中鋼公司爐石應用的過去與未來，技術與訓練，17 卷 1 期，pp.31～46，民國 81 年 2 月。
- 16.蔡武雄，鋼鐵業廢棄物處理的現狀報導，技術與訓練，17 卷 6 期，pp.78～81，民國 81 年 12 月。
- 17.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，pp11～19，民國 82 年 6 月。
- 18.蔣安田，鋼鐵業之資源回收處理，技術與訓練，18 卷 5 期，pp.27～38，民國 82 年 10 月。
- 19.陳逸岳，中鋼公司事業廢棄物管理，技術與訓練，19 卷 1 期，pp.7～15，民國 83 年 3 月。
- 20.黃順明、林坤讓、余騰耀，電弧爐煉鋼爐塵灰回收鋅與鉛實廠介紹，工業污染防治，第 52 期，pp.147～159，民國 83 年 10 月。
- 21.齊藤公夫、西關良夫，電弧爐塵處理技術研討會講義，民國 82 年 8 月。
- 22.林崇田，電弧爐粉塵最新處理技術，工業污染防治，第 41 期，pp41～47，民國 81 年 1 月
- 23.邱義豐、洪德賢，中鋼公司之污泥回收與利用，技術與訓練，19 卷 1 期，pp.128～133，民國 83 年 3 月。
- 24.洪德賢等，燒結靜電集塵之回收處理研究，技術與訓練，19 卷 1 期 pp.134～139，民國 83 年 3 月
- 25.鋼材酸洗廢液之回收處理，減廢資訊，第 33 期，pp.2～7，民國 83 年 2 月。
- 26.蔡敏行，煉鋼煙塵回收有價物之研究，國科會研究報告，民國 75 年 7 月。

- 27.蔡敏行，電弧爐煉鋼煙塵重金屬回收之研究，國科會研究報告，民國 78 年 6 月。
- 28.林景崎、龍村倪等，再生鋅冶煉技術，工研院能資所，民國 79 年 6 月。
- 29.賴耿陽，廢棄物處理工學，復文書局，民國 80 年 5 月。
- 30.Y. Ojima, Y. Ishikawa, M.Yasukawa, Production of Zinc Oxide for Zinc Smelting Process from Steelmaking Dusts at Shisaka Works, Sumitomo Metal Mining Co.,Ltd.Japan,1984.
- 31.M. Yasukawa, H.Kuwata, Recovery of Zinc and Lead from Iron and Steelmaking Intermediates at Shisaka Works, Journal of the Mining and Metallurgical Institute of Japan, Vol 97,P.820,August 1981.
- 32.Chapman C.,Plasma Treatment for Recovery of Steel Plant Dusts,Steel Times,pp.258～259,May 1988.
- 33.Mac Rae D.R., Electric Arc Furnace Dust Disposal,Recycle and Recovery,Research Department Technology Group. Bethlehem Steel Corporation, May 1985.
- 34.Guggilam C. Sresty,Recycling of Electric Arc Furnace Dust, IIT Research Institute Chicago, Illinois, May 1990.
- 35.Proceedings of the 1992 CMP Electric Arc Furnace Dust Treatment Symposium, J.J. Bosley steelcon,Inc.,June.1992.

鋼鐵業廢棄物資源化案例彙編

出版日期：中華民國八十五年五月出版

編 著：工業污染防治技術服務團

發行人：尹啟銘

總編輯：楊萬發

編輯企劃：余騰耀、翁志聖、林坤讓

執行編輯：黃勉善、蘇雪華、徐家玫

發行所：經濟部工業局

台北市信義路三段 41-3 號

(02) 754-1255

出版所：工業污染防治技術服務團

台北市敦化南路二段 97 號 6 樓

(02) 325-5486

打字排版：星光電腦科技有限公司

印刷承製：集思創意設計印刷股份有限公司