

# 序

鋼鐵工業為國家建設重要基本工業，是經濟建設發展必須重視的關鍵產業，具有帶動下游相關工業發展，促進整體經濟持續成長的功能。鋼材製品生產過程需耗用大量原料與燃料，且涵蓋之製程種類繁雜，故製程產生的廢棄物亦呈現量大而特性複雜的情形。而如何進行廢棄物減量及資源回收再利用，以達到環境保護與經濟發展兼籌並重的目標，亦成為該產業發展之重要課題。

有鑑於此，本局特委託台灣綠色生產力基金會廣泛蒐集國內外相關資源化技術資料，並彙整編印成冊。本手冊內容共分七章，分別針對「產業概況」、「廢棄物特性與清理現況」、「清潔生產」、「廢棄物資源化技術」、「技術評估與設備選用程序」等不同面向進行探討說明，並將各類廢棄物資源化之實際執行措施彙整成「廢棄物資源化案例」，冀能提供相關業者從中汲取經驗，並作為學術研究單位及相關工程業界研究開發之參考，俾利共同促進該產業廢棄物資源化技術之落實與應用，進以開創資源永續利用。

本手冊編撰過程，感謝中國鋼鐵股份有限公司陳勝榮組長、余承聖博士、莊惠景先生、洪德賢先生、台灣大學環境工程研究所黃錦明先生及台灣科技大學化學工程研究所王文裕先生參與資料蒐集及編撰；台灣大學環境工程研究所楊萬發教授、臺灣區鋼鐵工業同業公會吳聖峰總幹事，以及中國鋼鐵股份有限公司邱義豐組長之審訂，使本手冊得以付梓。由於時間匆促，其實務資料之蒐集彙整不易，內容如有錯誤漏植之處，尚祈各界不吝指正。

經濟部工業局 謹識

中華民國九十三年七月

# 目 錄

第一章 前言 .....	1
1.1 緣起 .....	1
1.2 技術手冊內容說明 .....	1
第二章 產業概況 .....	3
2.1 產業現況 .....	3
2.2 製程概述 .....	13
第三章 廢棄物特性與清理現況 .....	20
3.1 廢棄物來源及特性 .....	20
3.1.1 鋼材製品業廢棄物產生源 .....	20
3.1.2 鋼材製品業廢棄物特性 .....	20
3.2 廢棄物產生量及清理現況 .....	24
3.2.1 子行業別廢棄物產生量及清理現況 .....	24
3.2.2 廢棄物別廢棄物產生量及清理現況 .....	25
第四章 清潔生產 .....	32
4.1 環境化設計 .....	32
4.1.1 清潔生產介紹 .....	32
4.1.2 減廢技術 .....	34
4.2 廠內管理 .....	36
第五章 廢棄物資源化技術 .....	38
5.1 廢酸資源化技術 .....	38
5.2 鉻酸鹽廢液資源化技術 .....	48
5.3 油泥資源化技術 .....	57
5.4 廢溶劑資源化技術 .....	68
5.5 污泥資源化技術 .....	89

第六章 技術評估與設備選用程序 .....	94
6.1 資源化技術評估流程 .....	94
6.2 資源化設備選用程序 .....	95
6.3 資源化成本分析 .....	102
第七章 廢棄物資源化案例 .....	110
7.1 廢酸資源化技術案例 .....	110
7.2 鉻酸鹽廢液資源化技術案例 .....	116
7.3 油泥資源化技術案例 .....	118
7.4 廢溶劑資源化技術案例 .....	118
7.5 污泥資源化技術案例 .....	124
名詞解釋 .....	126
參考文獻 .....	131

## 圖 目 錄

圖 2.1	長條類軋延業生產流程.....	13
圖 2.2	平板軋製業生產流程.....	14
圖 2.3	鋼管製造業生產流程.....	15
圖 2.4	不銹鋼管製造業生產流程.....	15
圖 2.5	鋼構業生產流程.....	16
圖 2.6	低碳鋼/低合金鋼線材生產流程 .....	17
圖 2.7	高碳鋼線材生產流程.....	17
圖 2.8	鍍面鋼材業生產流程.....	18
圖 2.9	鋼捲(片)裁剪業生產流程 .....	18
圖 2.10	不銹鋼鋼捲(片)裁剪業生產流程 .....	19
圖 3.1	長條類軋延製程廢棄物產生源.....	21
圖 3.2	平板軋製業製程廢棄物產生源.....	21
圖 3.3	鋼管製造業(含不銹鋼管)製程廢棄物產生源.....	21
圖 3.4	鋼構業製程廢棄物產生源.....	21
圖 3.5	製線業製程廢棄物產生源.....	22
圖 3.6	鍍面鋼材業製程廢棄物產生源.....	22
圖 3.7	鋼捲(含不銹鋼)裁剪業製程廢棄物產生源.....	22
圖 3.8	鋼材製品業廢水處理製程廢棄物產生源 .....	23
圖 3.9	鋼材製品業子行業別廢棄物產生分布 .....	24
圖 3.10	鋼材製品業廢棄物類別分布.....	26

圖 5.1	鹽酸酸洗鋼捲廢酸液再生及產製氧化鐵粉流程圖 .....	40
圖 5.2	PYROMARS 高溫焙燒回收不鏽鋼廢酸液 (HF-HNO <sub>3</sub> -Me(Fe,Cr,Ni))製程 .....	41
圖 5.3	硫酸置換蒸餾法回收廢酸液(氯化亞鐵)流程.....	43
圖 5.4	純化廢酸液之流程.....	45
圖 5.5	流體床焙燒法生產細粉狀氧化鐵粉流程 .....	47
圖 5.6	大氣蒸發濃縮設備構造圖.....	51
圖 5.7	離子交換膜將電解質分離之機構.....	51
圖 5.8	隔膜電解之流程圖.....	53
圖 5.9	流體化床電解流程圖.....	53
圖 5.10	鍍鎳作業採用逆滲透回收系統實例.....	54
圖 5.11	離子交換樹脂回收鉻酸流程.....	55
圖 5.12	鉻系廢液直接鉻鹽回收法流程圖.....	57
圖 5.13	油泥低溫溶解處理流程圖.....	60
圖 5.14	油泥直接壓濾處理流程.....	62
圖 5.15	BP 油泥萃取處理流程圖.....	63
圖 5.16	油泥離心處理操作流程圖.....	64
圖 5.17	泥燃劑製造流程圖.....	65
圖 5.18	烤漆鋼捲生產流程圖.....	69
圖 5.19	廢溶劑簡單蒸餾回收裝置.....	74
圖 5.20	有機混合廢溶劑之蒸餾流程圖.....	76
圖 5.21	廢溶劑之蒸餾及前處理與後處理流程圖 .....	77

圖 5.22 萃取精餾裝置.....	78
圖 5.23 以苯為共沸劑分離水及乙醇裝置.....	80
圖 5.24 廢溶劑回收再利用為泥燃劑流程.....	81
圖 5.25 滲透蒸發之機構示意圖.....	82
圖 5.26 滲透蒸發之裝置示意圖.....	83
圖 5.27 廢塗料焚化回收熱能之流程.....	88
圖 5.28 污泥水濃縮脫水處理流程.....	90
圖 5.29 中鋼公司污泥集塵灰拌料流程.....	91
圖 5.30 污泥拌料造粒與造塊流程.....	91
圖 5.31 污泥造塊機例.....	92
圖 5.32 污泥高溫還原流程.....	92
圖 5.33 高溫熔融還原製程例（FASTMET）.....	93
圖 6.1 資源化系統規劃評估實驗流程.....	95
圖 6.2 資源化設備評估流程.....	97
圖 7.1 廢酸液純化及噴霧焙燒回收處理流程.....	111
圖 7.2 酸液純化流程.....	113
圖 7.3 隔膜電解及加熱蒸發濃縮設備流程.....	117
圖 7.4 廢溶劑蒸餾回收再生溶劑流程.....	119
圖 7.5 中鋼礦泥集塵灰回收系統.....	124
圖 7.6 中鋼廢棄物資源回收場(IWI)流程圖.....	125
圖 7.7 中鋼礦泥爐塵回收造粒系統（Mini-Pellet System）.....	125

## 表 目 錄

表 3.1	鋼材製品主要廢棄物種類來源與特性 .....	23
表 3.2	鋼材製品業子行業別廢棄物產生量及清理現況 .....	25
表 3.3	鋼材製品業各類廢棄物清理及再利用申報量 .....	27
表 3.4	鋼材製品業各類廢棄物申報清理及再利用現況 .....	29
表 4.1	減廢案例－原物料改變.....	35
表 4.2	減廢案例－製程技術之改進.....	35
表 4.3	廢棄物資源化案例.....	36
表 5.1	鉻酸回收方式之比較.....	56
表 5.2	各類油泥之含油量.....	58
表 5.3	低溫法處理油泥之優缺點比較.....	60
表 5.4	直接壓濾法處理油泥之優缺點比較.....	61
表 5.5	離心處理法處理油泥之優缺點比較.....	64
表 5.6	泥燃劑之成分比例及規格要求.....	65
表 5.7	泥燃劑處理法處理油泥之優缺點比較 .....	65
表 5.8	廢油泥資源化技術評析.....	66
表 5.9	廢油泥資源化技術可行性評估.....	67
表 5.10	漆料常使用之有機溶劑特性一覽表.....	68
表 5.11	鋼材製品業相關廢溶劑申報量.....	69
表 5.12	鋼材製品業廢溶劑清理及再利用申報現況 .....	70
表 5.13	國內廢溶劑處理機構一覽表.....	72
表 5.14	混合廢溶劑之蒸餾操作條件與回收成分 .....	77
表 5.15	各種工業用再生溶劑產品.....	77
表 5.16	水泥窯試燒測試結果.....	86
表 5.17	一貫作業鋼鐵廠污泥之化學成分例（乾基，wt.%） ...	90

表 5.18 鋼鐵廠熱軋與冷軋污泥化學成分例(乾基，wt.%) .....	90
表 6.1 不同設廠方案之經濟效益比較.....	109
表 7.1 廢酸液經酸液純化流程及噴霧焙燒法產製再生酸之 典型製程操作參數 .....	112
表 7.2 廢酸液經酸液純化流程及噴霧焙燒法產製再生酸之 回收率計算案例及資源化產品品質 .....	114
表 7.3 廢酸液經純化製程處理後各種雜質之減量比例 .....	115
表 7.4 鉻酸回收之經濟效益分析.....	117
表 7.5 日本 Ohgaki 工廠操作費用比較表.....	119
表 7.6 ICI 清洗溶劑產品及相對化學名稱 .....	121



# 第一章 前言

## 1.1 緣起

鋼鐵工業為國家建設重要基本工業，是經濟建設發展必須重視的關鍵產業，其產業關聯效果極大，下游涵蓋金屬製造業、機械業、汽車業、造船業、運輸工具業、電工器材業、土木工程及建築業等。具有帶動下游相關工業發展，改善工業結構及促進整體經濟持續成長的功能。

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「工業之母」，其重要性由此可見。鋼鐵生產過程需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回填低窪地等方式處置，此等處置方式非但須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。

經濟部工業局基於維護產業及環境生態之平衡發展，因此彙整國內鋼材製品業廢棄物資源化技術，以供業者參考應用，希望能提升業界對廢棄物資源化專業技術之認知，進而增進產業整體之環境績效，另可提供欲投入本產業之資源再利用業者投資之參考，達到經濟與環保相輔相成之目的。

## 1.2 技術手冊內容說明

「鋼材製品業」係以上游煉鋼廠冶煉產出的鋼胚半成品為原料，進行軋延、伸線、擠型、表面鍍塗處理等加工作業生產各類鋼品，再提供下游相關產業使用。

「鋼材製品業」範疇，以台灣區鋼鐵工業同業公會之分類中排除冶煉業、鋸條業及鋼鐵加工業等，其餘業別均屬之，即包括：

- 一、長條類軋延業；
- 二、平板軋製業；
- 三、鋼管業；
- 四、不鏽鋼管業；

- 五、鋼結構業；
- 六、製線業；
- 七、鍍面鋼材業；
- 八、鋼捲裁剪業；
- 九、不銹鋼板裁剪業。

本手冊將針對上述 9 類鋼材製品子行業之廢棄物資源化技術及案例進行彙集。手冊分為七章，概要說明如下：

第一章：說明本手冊編撰緣由，以及內容中所涉及之「鋼材製品業」產業範圍及各章節內容。

第二章：介紹「鋼材製品業」產業發展現況，並針對其製程進行詳述。

第三章：針對「鋼材製品業」製程之廢棄物來源、特性及產生量，以及主要廢棄物之清理現況進行介紹。

第四章：以廠內管理及環境化設計觀點，敘述該產業於產品設計及生產活動過程之污染預防策略，以供業界運用，降低產業成本，提升生產效率。

第五章：針對適用於該產業之國內外較成熟且較具效益之資源化技術進行探討說明。

第六章：提供購置資源化設備系統之選用程序及評估要領，供業者選用資源化設備之應用。

第七章：彙集實際執行之各項廢棄物資源化案例，並就資源化執行成效及經濟效益進行評估，供業者執行資源化工作之參考。

## 第二章 產業概況

### 2.1 產業現況

以下就「鋼材製品業」9類子行業之產業現況說明如下：

#### 1.長條類軋延業

##### (1)線材

民國 67 年以前，線材主要來源為電弧爐煉軋鋼業及部份以拆船板軋製線材的單軋廠。中鋼公司投產後，逐漸供應不同材質的線材，導致下游加工業如鋼線鋼纜、傘骨、鉸條、螺絲螺帽等的興起。國內線材需求持續的成長，促使線材廠之設立，如豐興、嘉益及聚亨(在泰國投資設廠，生產線材)等，也因此進口量市場占有率逐漸滑落至 90 年之 12%。92 年因下游對線材之強勁需求，進口量市場占有率提高至 22.3%。

線材主要下游加工業為螺絲螺帽、鋼線鋼纜（含伸線）及鉸條業等。民國 71 年至 92 年，線材需求平均年成長率 8.1%。92 年以外銷的螺絲螺帽及公共工程為主的鋼線鋼纜帶動線材需求成長，成長率 5.1%。

短期面，螺絲螺帽業因美國景氣好轉，外銷動力增強；製線業受惠於高鐵及捷運工程之推動，景氣仍佳；鉸條業則因營建景氣回溫及中船造船訂單滿檔，需求成長，整體線材需求將呈中度成長。長期面，螺絲螺帽進入美國汽車市場，需求成長；鋼線鋼纜囿於營建業景氣低度成長，需求持平；傘骨及鉸條業外移，需求減少，整體線材需求可能衰退。

##### (2)棒鋼

民國 67 年以前，國內棒鋼主要供應來源為電弧爐煉軋鋼業，66 年底中鋼公司投產後，料源及品質供應無虞，促使國內需求大幅成長，國內業者也擴充產能供應。目前，棒鋼主要供應來源中鋼公司及豐興鋼鐵等，進口量市場占有率最高曾達 35%，92 年為 24%。

棒鋼係產製螺絲螺帽、手工具、揚聲器導磁零件的主要原料，民國 71 至 92 年，棒鋼需求平均年成長率 7.7%。92 年歐美景氣復甦，汽車及營建業

呈現榮景，螺絲螺帽銷量大幅成長，帶動棒鋼需求成長，成長率高達 15.5%。

短期面，螺絲螺帽與汽機車零組件延續前一年景氣，外銷成長；手工具需求持平；揚聲器需求續呈衰退，整體棒鋼需求將呈穩定的成長。長期面，螺絲螺帽業打入美國汽車市場（業者表示螺絲螺帽 90% 外銷，民國 82 年至 92 年外銷量平均年成長率 8.4%，全球市場占有率 10.6%，預測民國 92 年至 101 年螺絲螺帽外銷量平均年成長率 6.3%，全球市場占有率 18%）；大陸汽機車市場蓬勃成長，零組件需求增加；揚聲器導磁零件業外移嚴重，需求衰退；手工具轉向高品級發展，惟有外移隱憂，整體棒鋼需求僅能微幅成長。

### (3) 不銹鋼棒線

國內不銹鋼棒線主要供應廠為華新麗華、榮剛材料科技及燁興等 3 家公司，前二家有煉鋼及軋鋼設備，燁興則為單軋廠，外購小鋼胚軋延不銹鋼線材。燁興公司與不銹鋼電弧爐及平板軋延廠燁聯公司計畫合併。華新麗華計畫至中國大陸設立不銹鋼平板廠。不銹鋼棒線自民國 85 年起，出口量已大於進口量，進口量市場占有率逐漸滑落至 92 年之 27.8%。

不銹鋼棒線主要下游行業為螺絲螺帽、車輛、五金及食品加工業。民國 79 至 92 年，不銹鋼棒線需求平均年成長率達 8.4%。92 年因螺絲螺帽及車輛業景氣回升，帶動不銹鋼棒線需求，惟前一年比較基期過高，僅成長 1.8%。

短期面，螺絲螺帽及車輛業景氣尚佳，惟前一年比較基期已高，成長恐受影響。長期面，螺絲螺帽及中國大陸汽機車業蓬勃成長，可望帶動需求的成長，不過，受產業外移的影響，不銹鋼棒線需求成長幅度恐有限。

### (4) 鋼筋

國內鋼筋幾乎全數由國內業者（電弧爐及單軋廠）供應，中鋼公司在民國 75 年停止供應鋼筋後，僅在民國 82 年政策性的生產內銷 4,000 公噸。國內鋼筋軋延產能遠大於煉鋼產能，因此每年進口為數不少的小鋼胚以供軋延，單軋廠及電弧爐廠營運因而易受廢鋼及小鋼胚供需變動之影響。

鋼筋用戶為營建及公共工程，因此營建業的榮枯直接影響鋼筋業的盛衰。民國 79 年至 92 年，國內鋼筋需求平均年成長率 1%。92 年受 SARS(嚴重急性呼吸道症候群)影響，營建與公共工程建設一度停擺及延宕，鋼筋較前一年減少 17.1%。

短期面，高雄捷運及中科、南科等民間廠房建設進入施工高峰期，營建業景氣回溫，申請建造執照核發面積大幅增加，加以，前一年比較基期低，鋼筋需求可望回升。長期面，高鐵等土建工程完工，用料高峰期已過；營建業景氣低度成長，再加上鋼結構等材料之替代，鋼筋需求展望趨於保守。

#### (5)型鋼

型鋼分為 H 型鋼、角鋼、U 型鋼、I 型鋼及其他型鋼。國內 H 型鋼在民國 84 年以前幾乎全數仰賴進口，東和型鋼廠在 84 年 7 月全能生產後，取代部分進口貨。87 年更有桂裕公司及東和公司高雄廠投入生產 H 型鋼，91 年 H 型鋼進口量市場占有率僅 2%，至於角鋼及 U 型鋼，國內自給率也已達 80% 以上。東和公司在中國大陸福建投資型鋼及鋼構加工廠。

型鋼以 H 型鋼需求量最大，其次依序為角鋼、U 型鋼、I 型鋼及其他型鋼。型鋼主要用在建築及公共工程，少數用在機械、運輸及金屬製品，營建業景氣的好壞關係著型鋼需求的盛衰。民國 78 年至 92 年，國內 H 型鋼、角鋼及 U 型鋼需求平均年成長率分別為 10.3%、-8% 及 -0.6%，角鋼及 U 型鋼呈現負成長乃因 H 型鋼需求成長快速，取代角鋼及鋼筋所致。92 年受益於捷運工程及廠房擴建工程，H 型鋼、角鋼及 U 型鋼需求分別成長 8.4%、3% 及 23.6%。

短期面，營建業景氣逐漸回溫，H 型鋼、角鋼及 U 型鋼需求可望有溫和的成長。長期面，新十大建設等公共工程之推動，僅能挹注部分需求，營建業低度成長下，H 型鋼、角鋼及 U 型鋼需求僅能微幅成長甚或衰退。

## 2.平板軋製業

#### (1)鋼板

國內鋼板在民國 77 年以前，除了進口貨外，主要由中鋼及台灣煉鐵兩家公司供應。民國 78 年，台灣煉鐵公司遷廠暫停生產，民國 84 年元月復工生產，但僅間歇性生產，目前處於停工狀態。88 年東和公司開始量產窄幅鋼板，惟鋼板主要供應來源仍來自中鋼公司及進口貨，進口量市場占有率自 77 年以來，達 20% 以上，最高將近 40%，顯示國內業者尚有努力的空間。

鋼板的主要下游業為鋼結構及船舶製造業，其它如機械、汽機車及貨櫃業也使用鋼板。民國 71 年至 92 年，鋼板需求平均年成長率 7.2%，92 年由

於國際經濟景氣復甦，國內廠房擴建工程大幅增加（尤以電子光電產業為最），政府、金融及商辦大樓相繼釋出，再加上高鐵車站及捷運工程步入用料高峰期，需求成長 5%。

短期面，國內景氣逐漸加溫，民間廠房擴建工程陸續展開；捷運工程適值用料高峰期；再加上自 91 年 9 月以來，船租及運費大幅上漲，船東造船意願提高，中船訂單滿檔，鋼板需求仍有不錯的成長。長期面，政府規劃 93 年至 97 年新台幣 5,000 億元新十大建設，以公路為主，鋼板需求成長有限；中船訂單至 96 年滿檔，但僅能挹注部分需求；營建業低度成長；加以 92 年鋼板需求比較基期高，預期鋼板需求停滯。

## (2) 熱軋鋼品

國內熱軋鋼品在民國 71 年以前，端賴進口貨供應。民國 71 年中鋼公司第二階段擴建完工後，國內熱軋鋼品泰半由中鋼公司供應，發揮替代進口的效果。隨著中鋼公司三階段的擴建完工，國內熱軋鋼品自給率逐漸提高。民國 80 年，國內民營的熱軋廠安鋒公司正式投入生產，成為國內第二家熱軋供應廠。民國 86 年中鋼公司第 2 條熱軋線及燁隆公司熱軋產線投產的影響，國內熱軋鋼品供給大幅增加，進口量市場占有率在民國 87 年達到最低點 12.8%，92 年則為 19.9%。而安鋒公司因財務陷入困境，目前僅止於受委託代工生產。

熱軋鋼品是產製冷軋及鍍面鋼品之原料，冷軋鋼品又是鍍鋅、彩色鋼片、馬口鐵及電磁鋼片之底材。熱軋鋼品亦可產製鋼管、鍍鋅、輕型鋼、貨櫃及容器(如瓦斯鋼瓶)，其關聯效果大。民國 71 至 92 年熱軋鋼品需求平均年成長率 9.3%，92 年隨鋼市自谷底翻揚，加以中國大陸強勁的需求帶動，國內熱軋鋼品需求成長 9.7%。

短期面，中國大陸冷軋及鍍面鋼品強勁需求，衍生對國內熱軋鋼捲需求的增加，預估熱軋鋼品需求將有不錯的成長。長期面，熱軋主要下游產業如冷軋、鍍面等國內供給多半大於需求，再加上直接用戶如電腦機殼、自行車及涼椅等產業嚴重外移，導致對熱軋鋼品的衍生需求不再快速成長，未來需求成長的主要動力將來自冷軋及鍍面產品的直接出口，熱軋鋼品需求僅能溫和成長。

### (3)不銹鋼熱軋鋼品

國內不銹鋼熱軋鋼品在民國 83 年中鋼公司投入生產以前，只有唐榮公司不銹鋼廠產製鋼胚，委請國外或中鋼公司代軋，以供應其冷軋用料及部份酸洗後鋼捲的市場需求。民國 84 年燁聯公司的投產，國內不銹鋼熱軋鋼品由原來需仰賴進口的局面為之改觀，89 年國內不銹鋼熱軋鋼品已可自給自足，出口量且大於進口量。

不銹鋼熱軋鋼品主要下游業為冷軋鋼廠、石化桶槽、機械、工廠設備及製管等行業。民國 79 至 92 年，熱軋鋼捲需求平均年成長率高達 22.1%，主要係不銹鋼冷軋鋼廠大肆擴建，以因應需求快速增加。92 年中國大陸對不銹鋼冷軋鋼品的強勁需求，帶動熱軋鋼品需求成長 6.6%。

短期面，中國大陸不銹鋼冷軋鋼品因撤銷最終保障措施，國內不銹鋼冷軋鋼品恢復銷往中國大陸市場，不銹鋼熱軋鋼品需求在配管及構造用途仍可維持。預估不銹鋼熱軋鋼品需求中度成長。長期面，中國大陸經濟穩定成長，冷軋鋼品需求回復，帶動熱軋鋼品需求，不銹鋼熱軋鋼品需求將呈溫和成長率。

### (4)冷軋鋼品

冷軋鋼品在民國 71 年以前，民間單軋廠即少量生產，惟絕大部份仍仰賴進口。民國 71 年中鋼公司投入冷軋生產，72 年中鋼公司全能生產後，市場結構產生很大變化。隨著市場需求的成長及民間冷軋業者陸續建廠，除了少量材質、鋼種及尺寸無法自產需賴進口外，絕大部份均能自產。民國 92 年，國內冷軋業者內銷量即占國內需求量之 93.9%，進口量市場占有率僅 6.1%。

冷軋需求的主要產業有製管、電腦週邊設備、電吊扇、自行車及其零組件、汽機車零件及鍍面業等。自民國 71 年至 92 年，冷軋鋼品需求平均年成長率 7.6%，92 年下游產業中，汽機車零件及鍍面業冷軋需求成長，電腦機殼、電扇及自行車零件需求衰退，整體需求成長 13.2%。

短期面，電吊扇、嬰兒車、自行車、燈飾及電腦機殼等製造業受產業外移及開發中國家競爭之影響，對冷軋鋼品需求減少；冷軋下游鍍鋅及彩色鋼片出口暢旺，冷軋鋼品需求增長，惟前一年比較基期偏高，預估冷軋鋼品需求僅能溫和成長。長期面，主要下游產業如自行車、電吊扇、電腦機殼等產

業外移，鍍面業出口成長已成為冷軋需求成長的主要因素，過去中高度成長將不復見，冷軋鋼品需求可能持平或微幅衰退。

#### (5)不銹鋼冷軋鋼品

民國 79 年不銹鋼冷軋鋼品自給率達 60%，由於需求成長快速，陸續有廠商加入生產，目前自給率已超過 100%，外銷比率也逐漸提高。從事不銹鋼冷軋生產的有唐榮、燁聯、東盟、千興等公司。目前燁聯公司在中國大陸廣州設立聯眾不銹鋼有限公司，年產 30 萬公噸不銹鋼冷軋鋼品。

冷軋鋼品主要供應製管、鐵捲門、水塔容器等，少部分用於產製刀叉及餐櫥具，因此營建業的景氣榮枯影響國內需求的成長。民國 79 年至 92 年，國內不銹鋼冷軋鋼品需求平均年成長率 5.2%，92 年因中國大陸需求殷切，帶動不銹鋼製品需求，不銹鋼冷軋鋼品需求大幅成長 16.5%。

短期面，房地產景氣逐漸回溫，有助於不銹鋼冷軋鋼品需求回復，不銹鋼冷軋鋼品需求溫和成長。長期面，國內建築業景氣低度成長；加工製品需求發展微幅成長，不銹鋼冷軋鋼品需求僅能低度成長。

#### (6)電磁鋼片

民國 76 年以前，電磁鋼片幾乎全賴進口。77 年中鋼及燁隆公司先後成功開發電磁鋼片，當時由於市場區隔、關稅、生產技術及成本等因素，國內業者市場占有率並不高。燁隆公司更在 82 年第一季宣布停產電磁鋼片，目前，中鋼為國內唯一電磁鋼片生產廠。進口量市場占有率雖有滑落現象，92 年仍高達 34.7%，主要原因為電磁鋼片中有方向性及非方向性之區分，方向性電磁鋼片中鋼公司尚無法產製。

電磁鋼片主要供應電扇、馬達及變壓器製造業，民國 78 年至 92 年，電磁鋼片需求平均年成長率 4%。92 年國內電扇及變壓器銷售量衰退，馬達銷售量卻大幅成長，因此電磁鋼片需求成長 24.8%。

短期面，馬達銷售量仍可延續成長，變壓器扭轉衰退之局勢，電扇銷量預估下滑；中國大陸對電磁鋼片強勁需求，帶動國內分條鋼捲銷售之成長，電磁鋼捲需求成長可預期。長期面，電扇及變壓器製造業外移嚴重，對電磁鋼片需求僅能持平甚至衰退；馬達製造業則因國產馬達品質提升，取代日貨及政府管制廢五金趨嚴，再生馬達銳減，維持穩定成長。電磁鋼片需求僅能低度成長。



### 3.鋼管業

鋼管以製程區分為焊接鋼管及無縫鋼管，國內鋼管廠尚無法產製無縫鋼管。鋼管產量自民國 88 年達到高峰期後即逐漸滑落，出口量漸增，進口量市場占有率近幾年來都在 20% 上下。高興昌公司著眼於中國大陸西氣東輸及中俄跨國管線之市場，與中國大陸石油氣公司合資 2000 萬美元(高興昌公司股份 97%，中資 3%)在江蘇設立鋼管廠。

鋼管業係熱軋及冷軋鋼品之下游產業。鋼管業產製黑鋼管及鍍鋅鋼管供應營建業，冷軋鋼管供應金屬家具及自行車業，熱軋鋼管供應運動器材及汽機車業。民國 71 至 92 年，鋼管需求平均年成長率僅 2%。92 年運動器材、汽機車零件等需求上揚，帶動鋼管需求，加以，前一年比較基期低，因而成長 13%。

短期面，營建業逐漸回溫；汽機車零組件業需求強勁；家具管及嬰兒車管等需求未見起色，整體鋼管需求溫和成長。長期面，營建業低度成長；汽機車零組件業比較基期高，僅能持平或微幅成長；家具管、涼椅及嬰兒車產業持續外移，前景不樂觀。

### 4.不銹鋼管業

國內主要不銹鋼製管廠有彰源、允強、新東興及昌翰等公司。由於進入障礙不高，投入容易，行業規模不大，競爭激烈，製管總產能大，產能利用率偏低。進口量市場占有率約在 10% 左右，出口量逐漸增加，91 年出口量已超過國內需求量之 50%。由於市場胃納小，彰源公司自民國 90 年以來，在江蘇陸續投資 630 萬美元，設立不銹鋼製管廠。大成公司也在石家莊及保定設立不銹鋼製管及配件廠。

不銹鋼管區分為配管及構造用管，主要用途為製造門窗、鐵門、扶梯、花管加工及公共工程欄杆。民國 79 年至 92 年，不銹鋼管需求平均年成長率高達 8.6%，92 年不銹鋼管需求成長 5.2%。

短期面，房地產景氣逐漸回溫，惟不銹鋼管替代碳鋼管之作用逐漸褪色，預估不銹鋼管需求溫和成長。長期面，營建業景氣低度成長，無法維持不銹鋼管需求，不銹鋼管需求成長不甚樂觀。

### 5.鋼結構業

鋼結構因具高強度、高韌性、預製性及易於自動化機械施工，可大幅縮短

工期，減少勞力及快速回收投資，在高層大樓及橋樑工程是極具競爭力與發展性的建築材料。

國內鋼鐵公會鋼結構小組的會員廠商有 30 家，年產能 120 萬公噸以上，未參加鋼鐵公會之小廠有 100 餘家，年產能 100 萬公噸，鋼結構年產能合計 220 萬公噸以上，但需求量僅約 100 萬公噸左右，產能嚴重過剩。

政府自 81 年全面實施容積率管制，造成建商大量搶建，該年申請核發建造執照面積創下高峰，83 年申請核發使用執照也達到高峰，房地產景氣自此衰退，21 層以上高樓興建動數明顯減少，另一方面，政府財政緊絀，固定投資續呈減少，這些因素皆影響鋼結構業之發展，顯而易見的是鋼結構業榮枯與房地產景氣及公共工程之推動息息相關。

鋼結構業是內需型產業，近年來國內自給率高達 93% 以上，出口比率約 3 %，進口占需求約 7%，隨著產業外移，廠房建設工程及大樓的鋼結構需求減少，橋樑對鋼結構的需求則大幅增加，在國內營建業景氣僅能低度成長及囿於政府財政壓力，難以推動龐大公共工程的情況下，鋼結構業重心將擺在液晶顯示器面板大舉擴廠(估計鋼構量需求達 40~50 萬公噸)、捷運工程及高速鐵路車站之陸續施工。

## 6. 製線業

國內製線業產品包括鋼線及其製品、鋼線、鋼纜、鋼絞線、預力製品、鐵線及其製品、鋼棒、不銹鋼線及其製品、其他鋼線製品，產品繁雜，主要供應公共工程、工業機械、運輸器具、手工具、運動器材、林礦及船舶業等，屬於內需型產業。

製線業發展超過 50 年，如同其他產業，發展階段可分為仰賴進口、替代進口、自給率提高、開拓外銷及合理化等，台灣區鋼線鋼纜業工業同業公會會員廠 95 家，民國 85 年主計處工商普查調查鋼線鋼纜廠高達 216 家，與其他鋼鐵製品工業比較，製線業成本占營收之比率最高，每位員工產值高，利潤率卻最低，可見製線業面臨國內進入障礙不高、現有廠商競爭激烈、顧客力量強及供應商力量強(原料價格難議價)的局面。

國內鐵線(非鍍鋅鐵線及鍍鋅鐵線)及鋼纜銷售量統計顯示，10 年來鐵線銷售量持平，單價卻降低，鋼纜銷售量增價漲，製線業者為求成長，已有華新麗華公司至中國大陸及印尼投資，志聯公司及榮周集團至中國大陸投資設廠生產。

## 7.鍍面鋼品業

### (1)鍍鋅鋼品

鍍鋅鋼品含熱浸鍍鋅、電鍍鋅及鍍鋅後的彩色鋼片，由於具有優越的耐蝕性及環保意識的覺醒，需求成長快速，國內業者自民國 80 年代紛紛設廠生產供應。以熱軋鋼品為底材的熱軋熱浸鍍鋅有燁輝、彥武及廣春等公司生產，以冷軋鋼品為底材的冷軋熱浸鍍鋅有燁輝、彥武、盛餘及中鋼等公司生產，電鍍鋅有中鋼、弘運及震營等公司生產，彩色鋼片則有盛餘、燁輝及尚興等公司生產供應。鍍鋅鋼品進口量市場占有率，熱浸鍍鋅及彩色鋼片逐漸滑落，民國 92 年分別為 15.4%及 2.61%，已充分發揮進口替代的效果，電器鍍鋅鋼品仍高達 38.6%，顯示國內業者仍有很大的努力空間。

熱軋熱浸鍍鋅用以產製 C 型鋼及鍍鋅管，冷軋熱浸鍍鋅主要做為彩色鋼片之底材、樓層板及汽車零件等，電鍍鋅供應電腦、汽車、家電及家具五金業等，彩色鋼片用以產製牆面板、鐵捲門、冷凍庫及裝潢等。民國 78 年至 92 年，熱浸鍍鋅、電鍍鋅及彩色鋼片需求平均年成長率分別為 12.9%、7.3%及 4.6%。民國 92 年熱浸鍍鋅鋼品在彩色鋼片外銷成長幫助下，需求成長率 4.4%；電鍍鋅鋼品在前一年比較基期低的情況下，大幅成長 11.1%；彩色鋼片則因國內建築業景氣回溫，需求成長 8.2%。

短期面，熱浸及電鍍鋅鋼品在電腦及汽車業景氣看好下，需求預估溫和成長，彩色鋼片則在營建業景氣逐漸回溫下，微幅成長。長期面，中國大陸熱浸鍍鋅產能大幅擴充，相對地將減少國內熱浸鍍鋅鋼品之需求，國內電腦與汽車業景氣由絢爛歸於平淡及營建業低度成長情況下，熱浸鍍鋅、電鍍鋅及彩色鋼片僅能低度成長。

由於國內市場趨於飽和及著眼於中國大陸廣大的市場，燁輝公司投資 80 億新台幣在中國大陸江蘇設立年產 100 萬公噸的酸洗冷軋鍍鋅烤漆線；盛餘公司也將投資 80 億新台幣在華中設立年產 20 萬公噸的鍍鋅烤漆線。

### (2)馬口鐵

台機公司是國內最早的馬口鐵製造廠，年產能 9 萬公噸。馬口鐵上游原料為冷軋廠生產的底片，馬口鐵為製罐的原料。民國 75 年，統一實業公司與日本川崎製鐵公司共同設立鍍錫鍍鉻產線後，年產能 24 萬公噸。84 年 10 月統一實業公司底片廠正式生產，年產能 60 萬公噸，不僅可滿足自用量，

尚有餘力外銷。85 年統一實業公司購併台機公司，成為國內馬口鐵唯一供應廠。馬口鐵進口量市場占有率自民國 80 年以來，居高不下，雖出口量持續成長，然而 92 年進口量市場占有率仍高達 48.6%。

國內馬口鐵主要產製食品、飲料、油脂、化學品及噴霧鐵罐，飲料罐為馬口鐵主力市場。民國 80 年至 92 年，馬口鐵需求平均年成長率呈現—4%，92 年受其他包裝競爭材料的影響，需求衰退 7.8%。

短期面，由於前一年比較基期低，加以國內經濟穩定成長，馬口鐵需求可望成長。長期面，國內馬口鐵主要用在飲料罐（咖啡、茶類及花生湯等），目前每人每年消費馬口鐵罐約 110 個，與美國比較，每人每年消費馬口鐵罐 120 個，已相當接近。在其它包裝材料的替代效果下，除非有新的用途，馬口鐵未來需求不容樂觀。

## 8.鋼捲裁剪業

鋼捲裁剪業係廠商自鋼廠購買平板鋼品後，經過裁邊、剪切、分條及包裝等加工，再出售給直接用戶。由於國內直接用戶生產規模小，所需規格及尺寸種類繁多，用戶若直接向鋼廠購料有單項最低訂購量之限制，將面臨積壓資金及原料無處擺放之困窘，不合經濟效益，鋼捲裁剪業即以其集貨、調節市場供需及資金調度的功能，服務客戶，鋼捲裁剪業在鋼廠出貨量排名，非居第 1 即屬第 2，可見鋼捲裁剪業在鋼鐵工業的重要性。

國內鋼捲裁剪業者為數眾多，據了解工廠規模 15 人以下的廠家占有裁剪業者 2/3 以上，小型廠以自有資金為主，一般而言，為維持供貨穩定，常需保有 1~3 個月的庫存量，因此裁剪業面對進貨跌價損失及倉儲積壓資金的風險。鋼捲裁剪業產品含蓋範圍多，包括鋼板、熱軋、冷軋、電磁鋼片、熱浸鍍鋅、電氣鍍鋅及彩色鋼片等，然而也有些鋼捲裁剪廠主要業務針對特定行業，因此裁剪業規模與專業也有不同。

隨著直接用戶如自行車、嬰兒車、電扇、燈飾及電腦機殼等產業外移，已逐漸產生群聚效應，為就近供料，鋼捲裁剪業春源及美亞等公司將部分資金及設備移往中國大陸生產，裁剪業未來購料對象、型態及客戶結構可能轉變，對國內鋼鐵業將有一定程度的影響。

## 9.不銹鋼板裁剪業

國內不銹鋼板裁剪業者眾多，較具規模者有北部的新鋼公司(客戶為下游直接用戶)及南部的燁茂實業公司(以中盤商為主)，92 年中之後，不銹鋼管廠允強公司介入不銹鋼板裁剪業，初期月產能 1,500~2,000 公噸，不銹鋼板裁剪市場競爭更形激烈。

不銹鋼與碳鋼品質特性不同，因此裁剪業務少有重疊，即不銹鋼裁剪業者鮮少兼營碳鋼業務，而不銹鋼裁剪業務量有限情況下，不銹鋼裁剪業者兼營其他不銹鋼產品業務，如不銹鋼管及不銹鋼棒線；同時有冷軋不銹鋼單軋廠兼營裁剪業，另外亦有不銹鋼裁剪業者生產不銹鋼製品(如餐具)，在不銹鋼裁剪業領域，垂直整合程度不亞於碳鋼裁剪業。

不銹鋼產品主要供應建築、運輸、食品器皿、機械、石化、發電廠、焚化爐及廢水處理設備等行業，在不銹鋼冷軋鋼捲廠前往中國大陸設廠生產下，不銹鋼板裁剪業看好其市場，正規劃跟隨。

## 2.2 製程概述

茲將「鋼材製品業」9 類子行業之生產製程說明如下：

### 1.長條類軋延業製程概述

長條鋼製品通常以小鋼胚為素材，先將小鋼胚送入加熱爐加熱，熱胚通過連續之粗、中及精軋機連串(或往復式單座軋機)軋延成直條狀條鋼，包括鋼筋、圓條、扁鐵、方鋼、六角棒等。再由剪切機定尺切長、包紮、檢驗後運送至下游客戶進行加工。

(1)生產流程：如圖 2.1 所示。

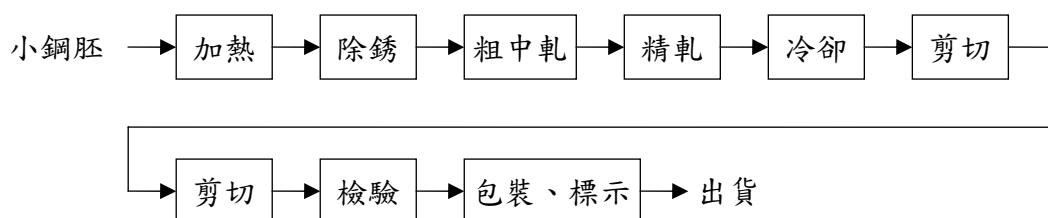


圖 2.1 長條類軋延業生產流程

(2)主要生產設備：生產線包括加熱爐、粗軋前高壓水除鏽器、粗軋機、中軋機、精軋機、冷卻床等。

(3)主要原物料：原料為小鋼胚，物料則有耐火材、燃料(重油、天然氣、液化油汽...)、水(冷卻、除鏽)、油(潤滑油、軋延油)、軋輥。

(4)主要產品：鋼筋、圓條、扁鐵、方鋼、六角棒。

## 2. 平板軋製業製程概述

熱軋(鋼帶)製程為例：熱軋鋼帶製品通常使用鋼錠或連鑄分塊的扁鋼胚為素材，以厚度 130 至 300 mm 間之扁鋼胚送入加熱爐再加熱，熱胚通過粗軋機及精軋機連串(或往復式單座軋機)軋延成厚度 1.0~25.4 mm 間的鋼帶後，再由盤捲機捲取成為粗軋鋼捲，待鋼捲冷卻後再送至各精整調質生產線生產成熱軋鋼捲(調質鋼捲)，供裁剪業或分條業進一步加工或供酸洗、冷軋製程產製成冷軋產品。

(1)生產流程：如圖 2.2 所示。

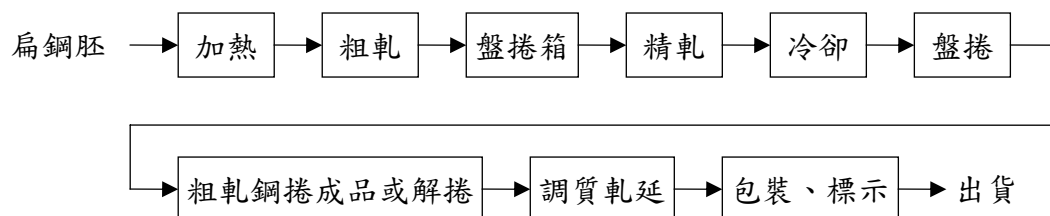


圖 2.2 平板軋製業生產流程

(2)主要生產設備：A.熱軋生產線包括加熱爐、粗軋前高壓除鏽器、邊軋機、粗軋機、盤捲箱、端切機、精軋前高壓除鏽器、精軋機、層流冷卻系統、盤捲機；B.調質生產線包括解捲機、整平機、調質機、盤捲機等。

(3)主要原物料：原料為扁鋼胚，物料則有耐火材、燃料(重油、天然氣、液化石油氣...)、水(冷卻、除鏽)、油(潤滑油、軋延油)、軋輥。

(4)主要產品：熱軋粗鋼捲、熱軋鋼捲(調質鋼捲)、熱軋鋼板、熱軋鋼片。

## 3. 鋼管製造業製程概述

鋼管可分為無縫鋼管及銲接鋼管兩大類，主要用於水、電、油、氣配管、

油井鑽管、鍋爐熱交換器、機械結構、車輛、傢具、展示架及運動器材等用途。

無縫鋼管係使用實心圓形、方形、多角形鋼胚或鋼錠為素材，於熱間以軋延或擠壓法製管，必要時再以冷抽或冷軋法精製。

銲接鋼管通常使用冷軋鋼捲、熱軋鋼捲、鋼板等為素材，經分條後，以孔型、輥輪、沖壓或螺旋管成形等方法形成圓筒，再經銲接、切斷等加工而成。

(1)生產流程：如圖 2.3 所示。

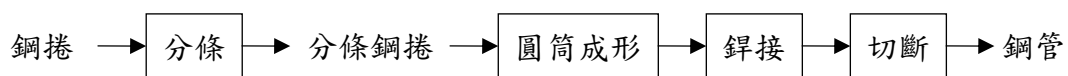


圖 2.3 鋼管製造業生產流程

(2)主要生產設備：解捲機、分條機、成形機、銲接機、剪切機等。

(3)主要原物料：原料為冷軋鋼捲、熱軋鋼捲、鋼板等，物料則有潤滑油、輥輪等。

(4)主要產品：圓管、長方管、角管、異形管等。

#### 4.不銹鋼管業製程概述

不銹鋼管可分為無縫不銹鋼管及銲接不銹鋼管兩大類，主要用於耐腐蝕、耐熱及高溫用如食品工業、石化工業等之配管、鍋爐之熱交換器、機械結構、車輛、傢俱、展示架及運動器材等用途。

無縫不銹鋼管係使用實心圓形、方形、多角形鋼胚或鋼錠為素材，於熱間以軋延或擠壓法製管，必要時再以冷抽或冷軋法精製。

銲接不銹鋼管通常使用不銹鋼捲為素材，經分條後，以孔型、輥輪、沖壓或螺旋管成形等方法形成圓筒，再經銲接、切斷等加工而成。

(1)生產流程：如圖 2.4 所示。

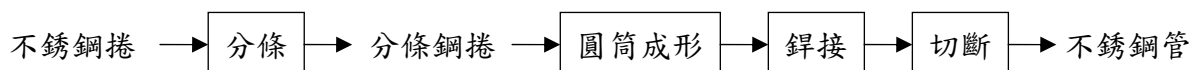


圖 2.4 不銹鋼管製造業生產流程

(2)主要生產設備：解捲機、分條機、成形機、銲接機、剪切機等。

(3)主要原物料：原料為不銹鋼捲，物料則有潤滑油、輥輪。

(4)主要產品：圓管、長方管、角管等。

## 5.鋼構業製程概述

鋼構產品係使用鋼板或軋延之型鋼、角鋼、槽鋼作為原料，經由切割、組立、電焊、整修、噴砂、塗裝等加工製程，做成 H 型或箱型之組件，再運送至工地組立為廠房、高樓或橋樑之大型鋼構。由於製程經鋼鐵切割、焊接和表面處理，對於環境的影響以加工過程產生的廢氣為主。

(1)生產流程：如圖 2.5 所示。

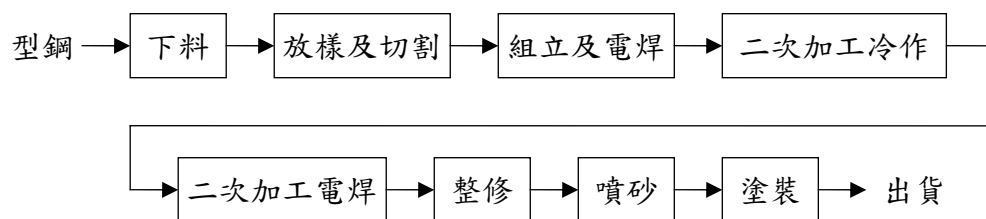


圖 2.5 鋼構業生產流程

(2)主要生產設備：包含切割機、電焊機、研磨機、鑽孔機、冷作機、油壓機、噴砂機、噴漆機等加工設備，以及天車、吊車、堆高機等大型輸送機具。

(3)主要原物料：原料包含鋼板或軋延之型鋼、角鋼、槽鋼，物料則有焊條、氧氣、LPG、鋼珠、油漆和水等。

(4)主要產品：廠房鋼構、大樓鋼構和橋樑鋼構等。

## 6.製線業製程概述

製線業以棒鋼、線材為原料，經酸洗、抽線、球化退火、冷打、淬火熱處理、表面處理...等複雜製程，可製造出高附加價值產品，低碳鋼/低合金鋼線材可製造如螺絲/螺帽、揚聲器、扳手、套筒、扣件、焊條...等，另彈簧、鋼索、預力鋼線、鍍鋅鋼絞線、鋼釘、車條...為高碳鋼線材所製造，其相關生產流程說明如下：



### (1)生產流程

A.低碳鋼/低合金鋼線材：如圖 2.6 所示。

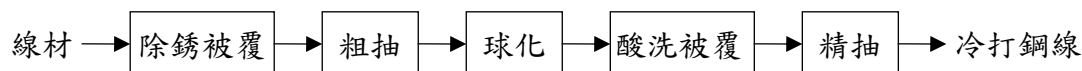


圖 2.6 低碳鋼/低合金鋼線材生產流程

B.高碳鋼線材：如圖 2.7 所示。

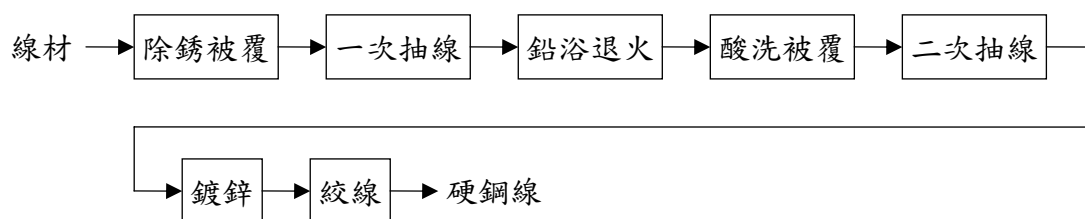


圖 2.7 高碳鋼線材生產流程

(2)主要生產設備：酸洗槽、抽線機、鉛浴退火熱處理線、鍍鋅槽、攪線機、球化退火爐等。

(3)主要原物料：原料為棒鋼、線材等，物料則有耐火材料、燃料(重油、液化石油氣)、酸(鹽酸、硫酸)、水、油脂等。

(4)主要產品：球化線材、硬鋼線、鋼索、預力鋼線、鍍鋅鋼絞線。

### 7.鍍面鋼材業製程概述

熱浸鍍鋅產品以不同底材可區分為熱軋鍍鋅鋼捲(HGI)及冷軋鍍鋅鋼捲(CGI)，以不同鍍層材質可區分為鍍鋅鋼捲、鍍 55%鋁鋅鋼捲(GALVALUME)及鍍 5%鋁鋅鋼捲(GALFAN)，其以 0.15~4.50mm 厚的冷熱軋鋼捲送入連續式熱浸鍍鋅生產線，經退火軟化、鍍鋅、抗指紋樹脂塗覆、調質及鉻酸處理，而後盤捲成鋼捲。

(1)生產流程：如圖 2.8 所示。

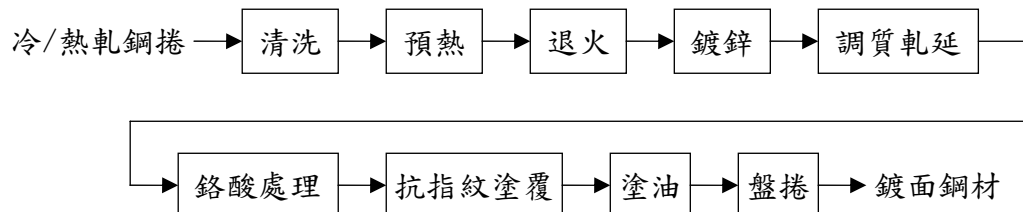


圖 2.8 鍍面鋼材業生產流程

(2)主要生產設備：解捲機、焊接機、清洗設備、預熱爐、退火爐、鍍槽、調質機、張力整平機、鉻酸處理設備、耐指紋樹脂塗覆機、收捲機。

(3)主要原物料：原料為冷熱軋鋼捲，物料則有鹼液、爐輥、軋輥、耐指紋樹脂、鉻酸溶液、耐火材、燃料、油(軋延油、潤滑油、防銹油)等。

(4)主要產品：熱軋鍍鋅鋼捲、冷軋鍍鋅鋼捲、鍍 55%鋁鋅鋼捲、鍍 5%鋁鋅鋼捲。

## 8.鋼捲(片)裁剪業製程概述

鋼捲（片）製品通常使用熱軋鋼捲、冷軋鋼捲、塗鍍鋼捲為素材，經過分條或剪切等加工成分條鋼捲或鋼片，供加工成各類零件。

(1)生產流程：如圖 2.9 所示。

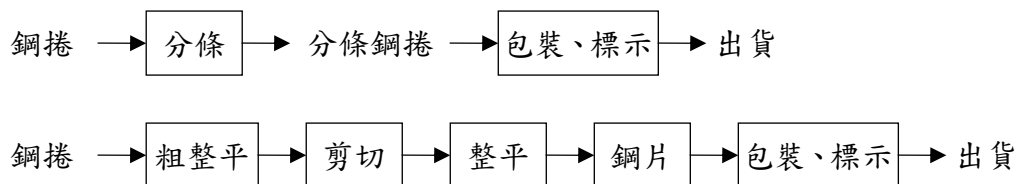


圖 2.9 鋼捲(片)裁剪業生產流程

(2)主要生產設備：解捲機、分條機、盤捲機、整平機、剪切機等。

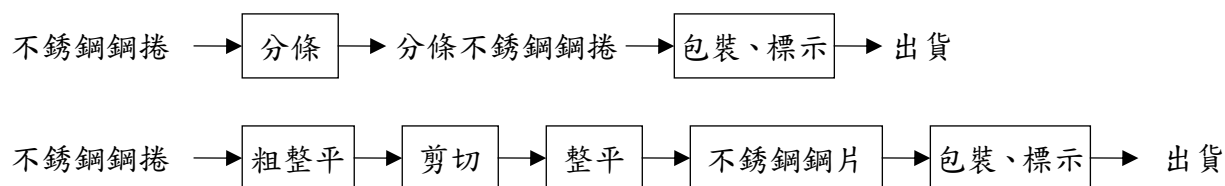
(3)主要原物料：原料為熱軋鋼捲、冷軋鋼捲、塗鍍鋼捲等，物料則有潤滑油、整平輥等。

(4)主要產品：分條熱軋鋼捲、分條冷軋鋼捲、分條塗鍍鋼捲、熱軋鋼片、冷軋鋼片、塗鍍鋼片等。

#### 9.不銹鋼鋼捲(片)裁剪業製程概述

不銹鋼鋼捲（片）製品通常使用不銹鋼冷軋鋼捲為素材，經過分條或剪切等加工成分條不銹鋼鋼捲或不銹鋼鋼片，供加工成各類零件。

(1)生產流程：如圖 2.10 所示。



**圖 2.10 不銹鋼鋼捲(片)裁剪業生產流程**

(2)主要生產設備：解捲機、分條機、盤捲機、整平機、剪切機等。

(3)主要原物料：原料為不銹鋼冷軋鋼捲，物料則有潤滑油、整平輥等。

(4)主要產品：分條不銹鋼冷軋鋼捲、不銹鋼冷軋鋼片。

## 第三章 廢棄物特性與清理現況

### 3.1 廢棄物來源及特性

「鋼材製品業」所產出較重要之廢棄物大致可區分為固體廢棄物與廢酸液兩大類，其中主要固體廢棄物又可區分為鐵銹皮、氧化鐵粉、廢金屬混合物、無機污泥與含油污泥；廢酸亦可區分為有害廢酸液( $\text{pH} \leq 2$ )與非有害廢酸液。

針對各主要廢棄物之產出及其特性，分別說明如下：

#### 3.1.1 鋼材製品業廢棄物產生源

鋼材製品業生產製程所產出的主要固體廢棄物鐵銹皮主要來自鋼材加熱爐處理、除銹皮過程及水洗階段(如圖 3.1~3.7 所示)；氧化鐵粉則來自廢酸處理液經回收處理時，原溶於廢酸液中之鐵離子氧化成純度甚高之氧化鐵粉；廢金屬混合物(含鋼渣、鐵屑、研磨屑、焊渣等)主要來自鋼材製品製程、整平、精整、研磨、裁剪、電焊、噴砂等過程，所含金屬主要有鐵、鉻、銅、鋅等。無機污泥主要來自廢水處理場，廢水經沉澱、脫水處理後之產物(如圖 3.8.a, b 所示)，其主要成分有鐵、鋅、鉻、鎳、鈣等之氫氧化物；含油污泥主要來自鋼材製品去脂、去油及鋼材表面水洗過程所排放之廢水(如圖 3.8.c 所示)，經化學處理、沉澱及脫水後所產出之污泥，其主要成分除氧化鐵、氧化鈣外還有油份。

至於廢酸則主要來自鋼材製品製程，例如冷軋、鍍面處理、抽線、鋼管等加工過程之酸洗作業，廢酸種類有鹽酸、硫酸、草酸、磷酸及鉻酸等，其中濃度較高者可以再回收，但仍有廢酸排放，所排放之廢酸可由一般廢水處理場處理(如圖 3.8.a,b 所示)，產生不同成分的污泥(屬無機污泥)，假如重金屬成分超過 TCLP 之管制值，則屬於有害事業廢棄物，廢液之  $\text{pH}$  若  $\leq 2$  亦屬有害事業廢棄物。

#### 3.1.2 鋼材製品業廢棄物特性

表 3.1 所示七種廢棄物，均產自各種鋼材之加工處理過程，絕大部分廢棄物均屬無害，且成分單純，以鐵或氧化鐵為主，因此容易資源化，表列以外之廢棄物數量較少，成分亦較不穩定，本章不做討論。綜合而言，鋼材製品業對環境所造成的污染較輕，廢棄物容易回收再利用，唯酸洗處理過程所產出之廢酸若未做回收處理，則必須依相關法規慎重處理，否則易造成區域土壤或地下水之污染。

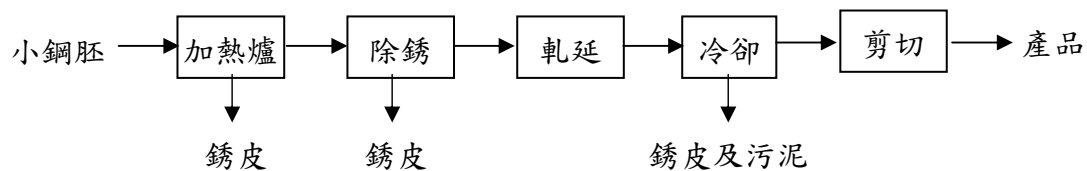


圖 3.1 長條類軋延製程廢棄物產生源

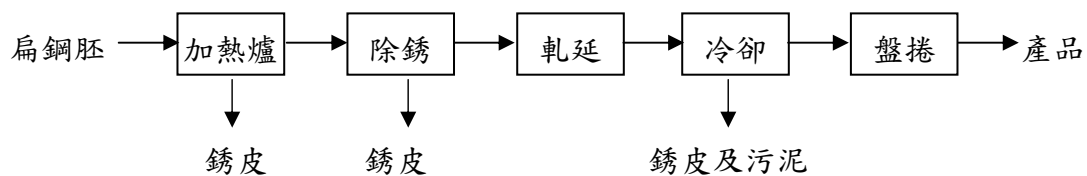


圖 3.2 平板軋製業製程廢棄物產生源

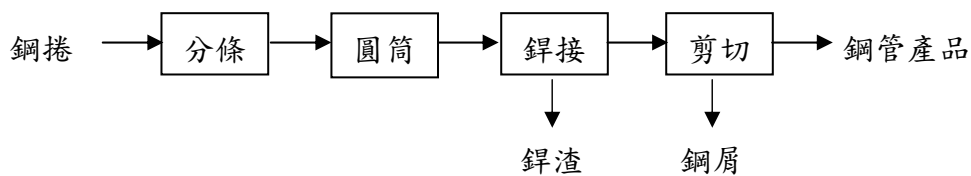


圖 3.3 鋼管製造業(含不銹鋼管)製程廢棄物產生源

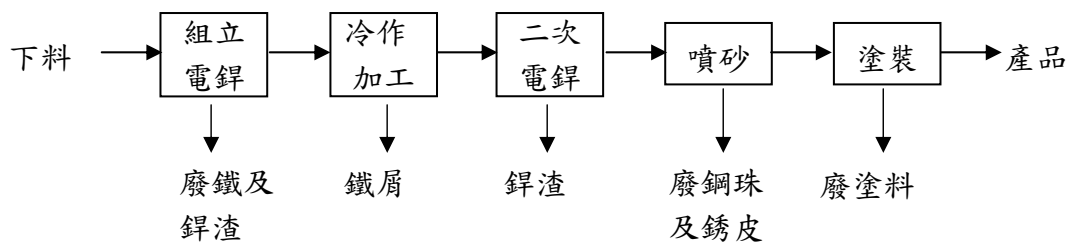


圖 3.4 鋼構業製程廢棄物產生源

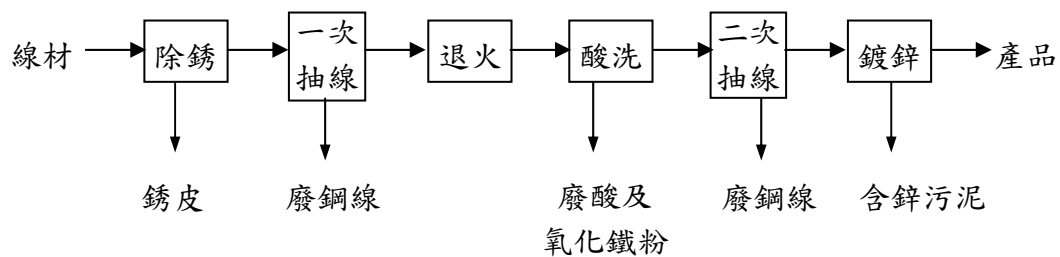


圖 3.5 製線業製程廢棄物產生源

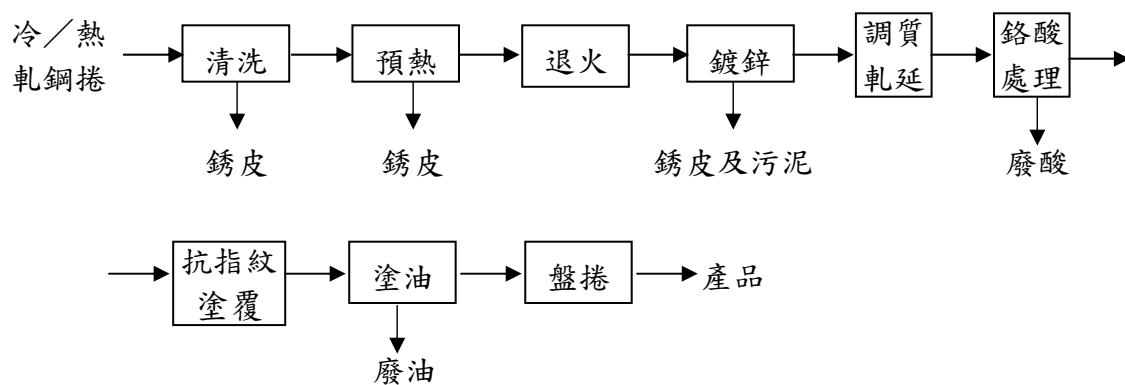


圖 3.6 鍍面鋼材業製程廢棄物產生源

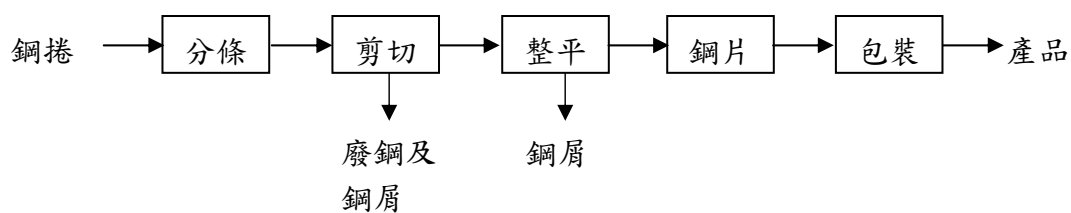


圖 3.7 鋼捲(含不銹鋼)裁剪業製程廢棄物產生源

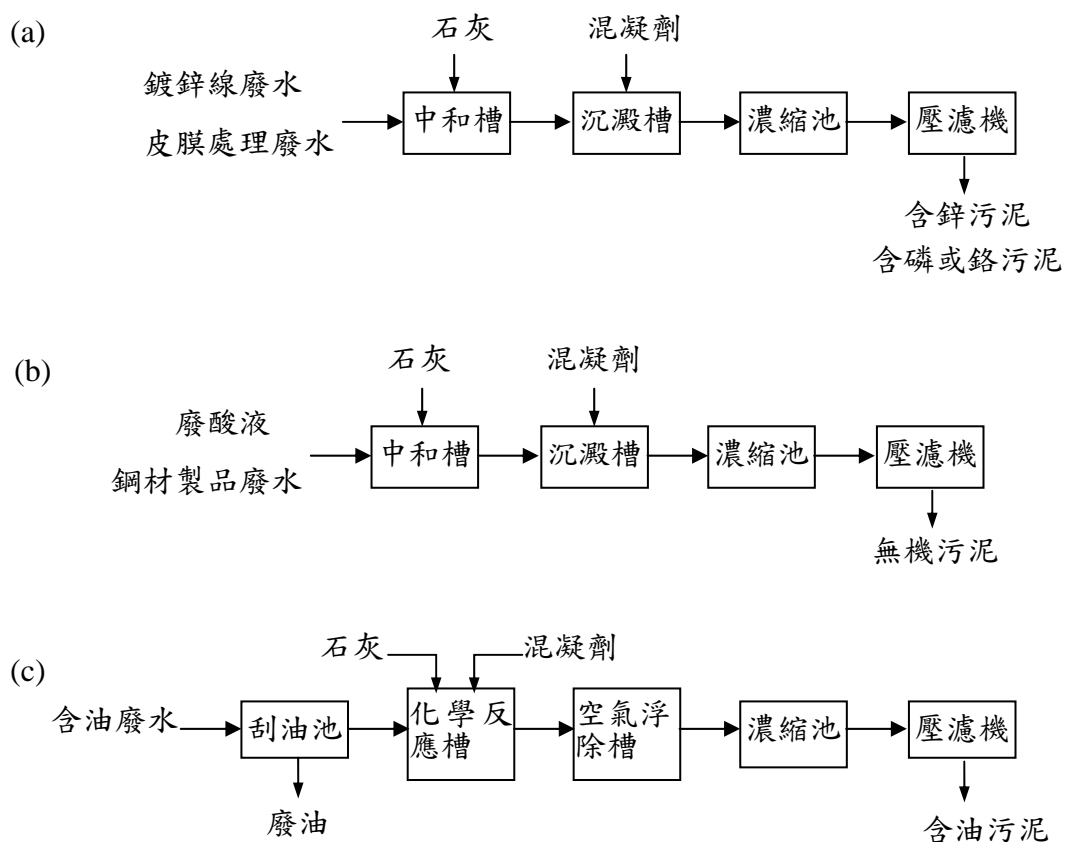


圖 3.8 鋼材製品業廢水處理流程廢棄物產生源

表 3.1 鋼材製品主要廢棄物種類來源與特性

廢棄物種類	來源(製程)	特性(物性與成分)
鐵銹皮	板類、管件或條線加工熱處理及去銹皮過程	片狀或粉狀，主要成分為 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$
氧化鐵粉	廢酸回收製程之副產物	細粉狀，主要成分為 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$
廢金屬混合物	鋼材切割、研磨、電鍍、噴砂、鍍面等處理	塊狀或粉狀，主要成分為 Fe, Zn, Cu, Pb, Cr 等金屬及其氧化物
無機污泥	鋼材軋延製程、酸洗處理等之廢水處理產物	含金屬或非金屬氧化物
含油污泥	鋼材表面鍍塗處理、去脂處理、去油處理等之廢水處理產物	含油脂或有機碳氫化合物或其乳化物
有害廢酸液	鋼材製品製程酸洗處理、皮膜處理	鹽酸、硫酸或磷酸且 $\text{pH} \leq 2$
非有害廢酸液	鋼材製品製程酸洗處理、皮膜處理	鹽酸、硫酸、草酸或磷酸且 $\text{pH} > 2$

## 3.2 廢棄物產生量及清理現況

「鋼材製品業」之事業廢棄物產生量統計乃以台灣區鋼鐵工業同業公會中屬前述 9 類之會員 92 年度事業廢棄物上網申報進行統計分析。

### 3.2.1 子行業別廢棄物產生量及清理現況

依據統計分析資料顯示，「鋼材製品業」92 年度事業廢棄物申報總量為 127,424 公噸，其分佈如圖 3.9 所示，其中鋼結構業占 21.92% (27,930 公噸/年)；平板軋製業占 17.46% (22,246 公噸/年)；鋼管業占 16.64% (21,207 公噸/年)；製線業占 13.25% (16,887 公噸/年)；鋼捲裁剪業占 13.00% (16,569 公噸/年)；鍍面鋼材業占 8.67% (11,048 公噸/年)；長條類軋延業占 5.28% (6,728 公噸/年)；不銹鋼管業占 1.95% (2,489 公噸/年)；不銹鋼板裁剪業占 1.82% (2,320 公噸/年)。

「鋼材製品業」廢棄物清理以回收再利用及廠外清理占絕大部分，分別占 53.48% (68,141 公噸/年)及 45.33% (57,767 公噸/年)，廠內清理僅占 1.19% (1,516 公噸/年)。進一步依相關子行業進行廢棄物清理現況分析顯示，申報回收再利用比例前三高之子行業分別為長條類軋延業 (95.30% (6,412 公噸/年))、製線業 (81.23% (13,718 公噸/年)) 及鍍面鋼材業 (70.78% (7,820 公噸/年))；申報廠外清理比例前三高之子行業分別為不銹鋼板裁剪業 (99.87% (2,317 公噸/年))、不銹鋼管業 (92.05% (2,291 公噸/年)) 及平板軋製業 (63.06% (14,028 公噸/年))。詳如表 3.2 所示。

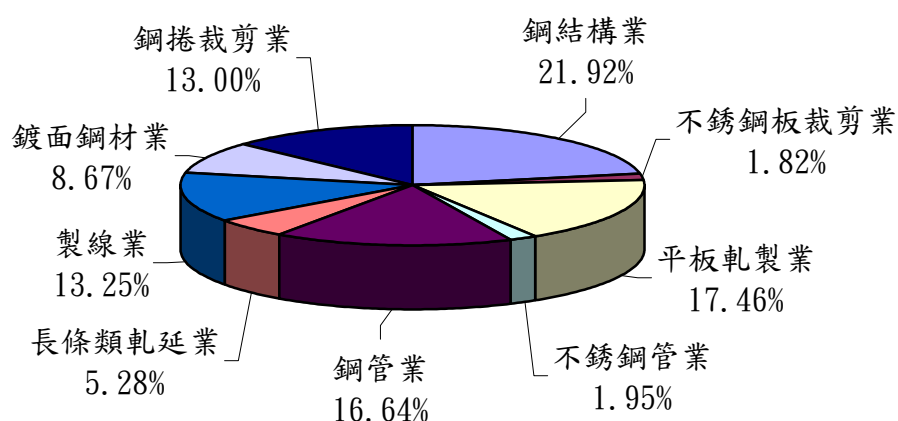


圖 3.9 鋼材製品業子行業別廢棄物產生分布



**表 3.2 鋼材製品業子行業別廢棄物產生量及清理現況**

申報量	廠內清理申報量		廠外清理申報量		回收再利用申報量		總申報量	
	(公噸)	(%)	(公噸)	(%)	(公噸)	(%)	(公噸)	(%)
子行業別								
鋼結構業	0	0	13,235	47.39	14,695	52.61	27,930	100
平板軋製業	0	0	14,028	63.06	8,218	36.94	22,246	100
鋼管業	0	0	12,501	58.95	8,706	41.05	21,207	100
製線業	1,240	7.34	1,929	11.42	13,718	81.23	16,887	100
鋼捲裁剪業	78	0.47	7,922	47.81	8,569	51.72	16,569	100
鍍面鋼材業	0	0	3,228	29.22	7,820	70.78	11,048	100
長條類軋延業	0	0	316	4.70	6,412	95.30	6,728	100
不銹鋼管業	198	7.95	2,291	92.05	0	0	2,489	100
不銹鋼板裁剪業	0	0	2,317	99.87	3	0.13	2,320	100
合計	1,516	1.19	57,767	45.33	68,141	53.48	127,424	100

資料來源：92 年度事業廢棄物管制中心申報資料彙整

### 3.2.2 廢棄物別廢棄物產生量及清理現況

依據 92 年度事業廢棄物上網申報資料進行歸納分析顯示，「鋼材製品業」製程及污染防治設施產生之主要廢棄物種類包括污泥、廢酸、金屬廢料、爐(礦)渣、集塵灰及廢油等六大類。上述六大類廢棄物占總申報量之 88.87%，生活垃圾占 9.59%，其他廢棄物占 1.54%，詳細如圖 3.10 及表 3.3 所示。

污泥類包括無機性污泥 (D-0902)、污泥混合物 (D-0999)、鐵鉻合金製程之排放控制之灰渣或污泥 (成分：鉻) (A-7301)、有機性污泥 (D-0901)、非有害油泥 (D-0903) 等，合計申報量為 38,900 公噸，占總申報量之 30.53%。廢酸類包括金屬基本工業及表面處理業製造業廢酸洗液 (R-2502)、鋼鐵工業鋼材製品之廢酸液(成分：六價鉻、鉛) (A-7201)、廢液 pH 值小(等)於 2.0 (C-0202)、非有害廢酸 (D-1503) 等，合計申報量為 19,700 公噸，占總申報量之 15.46%。金屬廢料類包括其他單一非有害廢金屬或金屬廢料混合物 (D-1399)、廢鐵 (R-1301)、廢鋅 (R-1303)、廢鐵容器 (R-1306)、廢電線電纜 (E-0201)、廢鋁 (R-1304)、廢銅 (R-1302) 等，合計申報量為 41,458 公噸，占總申報量之 32.54%。爐(礦)渣類包括非有害礦渣 (D-1202)、金屬冶煉爐渣 (含原煉鋼出渣) (D-1201)、爐渣 (D-1101)、不良礦石 (D-1203)、爐石(碴)或礦渣混合物 (D-1299) 等，合計申報量為 10,280 公噸，占總申報量之 8.18%。集塵灰類包括非有害廢集

塵灰或其混合物(D-1099)、噴砂廢棄物(D-2407)等，合計申報量為 1,526 公噸，占總申報量之 1.20%。廢油類包括廢油混合物(D-1799)、廢潤滑油(含廢機油)(R-1701)等，合計申報量為 1,384 公噸，占總申報量之 1.09%。

各類廢棄物申報清理及再利用現況，如表 3.4 所示。經歸納分析顯示，污泥類回收再利用方式包括製磚原料、再生泥燃劑等。廢酸類回收再利用方式包括廠內線上重複使用、再生氯化鐵及氯化亞鐵等。金屬廢料類回收再利用方式包括再生鋼鐵、再生鋅錠、再生鋅氧粉、再生鋁錠、再生銅錠、添加劑(水泥、鋼鐵、油漆、柏油及玻璃等)、拆解粉碎回收、輸出日本等。爐(礦)渣類回收再利用方式包括建材原料、水泥原料、瀝青混凝土原料、製磚原料等。廢油類回收再利用方式包括再生泥燃劑、廢潤滑油再製成其他成品等。集塵灰類則尚無回收再利用。

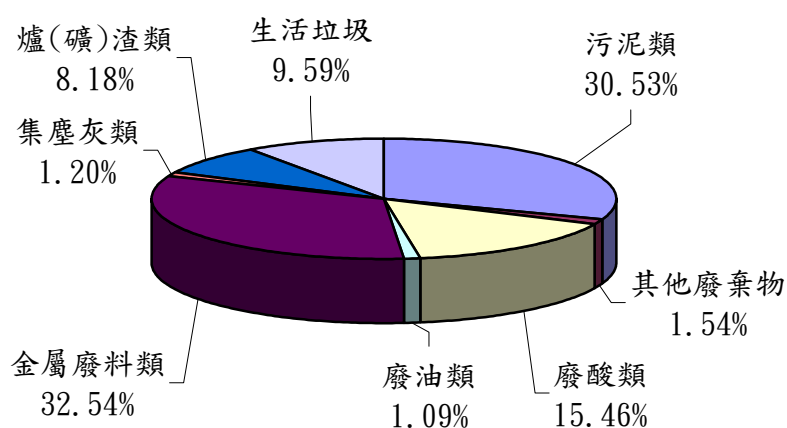


圖 3.10 鋼材製品業廢棄物類別分布

表 3.3 鋼材製品業各類廢棄物清理及再利用申報量

廢棄物 代碼	廢棄物名稱	廠內清理申報量 (公噸)	廠外清理申報量 (公噸)	回收再利用申報量 (公噸)	總申報量 (公噸)
D-0902	無機性污泥	0	26,948	6,741	33,689
D-1399	其他單一非有害廢金屬或金屬廢料混合物	34	1,336	17,891	19,261
R-1301	廢鐵	0	0	17,235	17,235
D-1801	生活垃圾	0	12,218	0	12,218
R-2502	金屬基本工業及表面處理業製造業廢酸洗液	0	0	9,874	9,874
D-1202	非有害礦渣	0	61	5,712	5,773
R-1303	廢鋅	0	0	4,455	4,455
A-7201	鋼鐵工業鋼材製品之廢酸液(成分：六價鉻、鉛)	0	1,965	2,443	4,408
C-0202	廢液 pH 值小(等)於 2.0	67	2,961	975	4,003
D-1201	金屬冶煉爐渣(含原煉鋼出渣)	0	2,235	1,586	3,821
D-0999	污泥混合物	0	3,243	0	3,243
D-0903	非有害油泥	0	1,919	0	1,919
D-1503	非有害廢酸	1,415	0	0	1,415
D-1099	非有害廢集塵灰或其混合物	0	1,371	0	1,371
D-1799	廢油混合物	0	1,370	0	1,370
D-1101	爐渣	0	504	174	678
C-0301	廢液閃火點小於 60°C (不包含乙醇體積濃度小於 24%之酒類廢棄物)	0	524	54	578
R-0701	廢木材(板、屑)	0	0	503	503
R-1306	廢鐵容器	0	0	338	338
C-0104	鉻及其化合物(總鉻)(成分：鉻)	0	260	0	260
D-2407	噴砂廢棄物	0	155	0	155
E-0201	廢電線電纜	0	135	0	135
D-1001	焚化爐飛灰(屬一般事業廢棄物者)	0	119	0	119
D-0799	廢木材混合物	0	118	0	118

表 3.3 鋼材製品業各類廢棄物清理及再利用申報量（續 1）

廢棄物 代碼	廢棄物名稱	廠內清理申報量 (公噸)	廠外清理申報量 (公噸)	回收再利用申報量 (公噸)	總申報量 (公噸)
D-0501	廢耐火材	0	64	0	64
D-0699	廢紙混合物	0	63	0	63
R-2408	廢活性碳	0	0	56	56
R-0201	廢塑膠（容器）	0	0	40	40
A-7301	鐵鉻合金製程之排放控制之灰渣 或污泥（成分：鉻）	0	31	0	31
D-1203	不良礦石	0	26	0	26
R-1304	廢鋁	0	0	25	25
D-0299	廢塑膠混合物	0	22	1	23
D-1701	廢油漆、漆渣	0	18	0	18
D-0901	有機性污泥	0	18	0	18
D-0503	廢土	0	17	0	17
R-0601	廢紙	0	0	15	15
D-0599	土木或建築廢棄物混合物	0	14	0	14
R-1701	廢潤滑油（含廢機油）	0	0	14	14
D-0499	其他廢玻璃、陶瓷、磚、瓦及黏 土等混合物	0	13	0	13
D-0701	廢木材棧板	0	11	0	11
D-1103	焚化爐底渣	0	11	0	11
R-1302	廢銅	0	0	9	9
D-1299	爐石(碴)或礦渣混合物	0	8	0	8
D-0899	廢纖維或其他棉、布等混合物	0	5	0	5
D-1504	非有害有機廢液或廢溶劑	0	4	0	4
合計		1,516	57,767	68,141	127,424

資料來源：92 年度事業廢棄物管制中心申報資料彙整

表 3.4 鋼材製品業各類廢棄物申報清理及再利用現況

廢棄物代碼	廢棄物名稱	廠內清理方式	廠外清理方式	回收再利用方式	總申報量(公噸)
D-0902	無機性污泥	—	委託掩埋、委託固化處理並掩埋、委託焚化處理	製磚原料	33,689
D-1399	其他單一非有害廢金屬或金屬廢料混合物	—	再生鋼鐵	再生鋅氧粉、再生鋼鐵、添加劑(水泥、鋼鐵、油漆、柏油及玻璃)、輸出日本	19,261
R-1301	廢鐵	—	—	再生鋼鐵	17,235
D-1801	生活垃圾	—	委託焚化處理、委託掩埋	—	12,218
R-2502	金屬基本工業及表面處理業製造業廢酸洗液	—	—	再生氯化鐵	9,874
D-1202	非有害礦渣	—	委託掩埋	建材原料、水泥原料	5,773
R-1303	廢鋅	—	—	再生鋅錠、再生鋅氧粉	4,455
A-7201	鋼鐵工業鋼材製品之廢酸液(成分：六價鉻、鉛)	—	再生氯化鐵	再生氯化鐵	4,408
C-0202	廢液 pH 值小(等)於 2.0	物理化學處理	再生氯化鐵及氯化亞鐵	再生氯化鐵及氯化亞鐵	4,003
D-1201	金屬冶煉爐渣(含原煉鋼出渣)	—	委託掩埋	瀝青混凝土原料	3,821
D-0999	污泥混合物	—	委託掩埋	—	3,243
D-0903	非有害油泥	—	回收再利用、再生泥燃劑、委託焚化處理	—	1,919
D-1503	非有害廢酸	廠內線上重複使用、物理化學處理	—	—	1,415
D-1099	非有害廢集塵灰或其混合物	—	委託掩埋	—	1,371

表 3.4 鋼材製品業各類廢棄物申報清理及再利用現況（續 1）

廢棄物代碼	廢棄物名稱	廠內清理方式	廠外清理方式	回收再利用方式	總申報量（公噸）
D-1799	廢油混合物	—	回收再利用、再生泥燃劑、委託焚化處理	—	1,370
D-1101	爐渣	—	委託掩埋	製磚原料	678
C-0301	廢液閃火點小於 60°C（不包含乙醇體積濃度小於 24%之酒類廢棄物）	—	回收再利用、蒸餾回收、委託焚化處理	作為水泥窯之輔助燃料	578
R-0701	廢木材（板、屑）	—	—	原料	503
R-1306	廢鐵容器	—	—	再生鋼鐵	338
C-0104	鉻及其化合物(總鉻)（成分：鉻）	—	委託固化處理並掩埋	—	260
D-2407	噴砂廢棄物	—	委託掩埋	—	155
E-0201	廢電線電纜	—	拆解粉碎回收	—	135
D-1001	焚化爐飛灰(屬一般事業廢棄物者)	—	委託掩埋	—	119
D-0799	廢木材混合物	—	委託焚化處理	—	118
D-0501	廢耐火材	—	委託掩埋	—	64
D-0699	廢紙混合物	—	委託焚化處理	—	63
R-2408	廢活性碳	—	—	再生活性碳	56
R-0201	廢塑膠（容器）	—	—	再生塑膠粒	40
A-7301	鐵鉻合金製程之排放控制之灰渣或污泥（成分：鉻）	—	委託固化處理並掩埋	—	31
D-1203	不良礦石	—	委託掩埋	—	26
R-1304	廢鋁	—	—	再生鋁錠	25
D-0299	廢塑膠混合物	—	委託焚化處理、委託掩埋	再生塑膠粒	23
D-1701	廢油漆、漆渣	—	回收再利用、委託焚化處理	—	18
D-0901	有機性污泥	—	委託掩埋	—	18
D-0503	廢土	—	委託掩埋	—	17

表 3.4 鋼材製品業各類廢棄物申報清理及再利用現況（續 2）

廢棄物代碼	廢棄物名稱	廠內清理方式	廠外清理方式	回收再利用方式	總申報量（公噸）
R-0601	廢紙	—	—	再生紙	15
D-0599	土木或建築廢棄物混合物	—	委託掩埋	—	14
R-1701	廢潤滑油（含廢機油）	—	—	廢潤滑油再製成其他成品	14
D-0499	其他廢玻璃、陶瓷、磚、瓦及黏土等混合物	—	委託掩埋	—	13
D-0701	廢木材棧板	—	委託掩埋、委託焚化處理	—	11
D-1103	焚化爐底渣	—	委託掩埋	—	11
R-1302	廢銅	—	—	再生銅錠	9
D-1299	爐石(碴)或礦渣混合物	—	委託掩埋	—	8
D-0899	廢纖維或其他棉、布等混合物	—	委託焚化處理	—	5
D-1504	非有害有機廢液或廢溶劑	—	再生泥燃劑	—	4
合計		1,516	57,767	68,141	127,424

註：“—”表無資料

資料來源：92 年度事業廢棄物管制中心申報資料彙整

## 第四章 清潔生產

### 4.1 環境化設計

以往產業界強調生產規模要達到經濟規模，才能獲得最低單位生產成本，最大獲利，但並未就其原料取得及後端污染物處理與防治工作所需的成本納入計算。近年來，在國際間暢談產品生命週期評估、清潔生產、綠色生產、環境化設計及環境管理系統的潮流下，如何在激烈競爭的產業環境中，做到原物料減少使用、良率提升及成本降低，以創造獲利空間，係廠商企圖努力達成的目標。因此，業界均朝向清潔生產和廠內管理兩大方向投入研發及規劃工作，除可達到減少原物料之使用外，亦可減少、甚至避免廢棄物之產出，更進一步降低後續之廢棄物、廢水及廢氣之處理成本支出。

#### 4.1.1 清潔生產介紹

根據 1997 年初聯合國環境規劃署(UNEP)的定義：清潔生產(Cleaner Production, CP)是指持續地應用整合性及預防性的環境策略於製程、產品及服務上，以增加生態效益和減少對於人類及環境的危害。

- 1.對製程而言：清潔生產包含了節省原料及能源、避免使用毒性之原物料，並且減少排放物及廢棄物產生量，以降低其危害性。
- 2.對產品而言：清潔生產在於減少整個產品於生命週期中，即從原料的取得到產品用後之最終處置，對環境所可能造成的衝擊。
- 3.對服務而言：清潔生產在於達到所提供服務的過程中，減少對環境所造成的影響。

因此，在產品設計及提供服務的生命週期評估中，應將環境因素的考慮融入其中。清潔生產的推動需要藉由改變態度、有責任的環境管理及評估的科技方法來達成。

就鋼材製品業之清潔生產方向而言，包含清潔的能源、清潔的生產過程、清潔的產品等三大主題，簡要說明如下：



### 1.清潔的能源：

- (1)有效率的使用能源：包括利用可再生能源及合理的能源使用管理。
- (2)開發新能源：包括太陽能及替代能源的使用及提高熱能轉換效率。
- (3)節能技術的研發：提高加熱設備的能源使用效率。

### 2.清潔的生產過程：

- (1)原料替代：儘量以無害性原物料取代有害性原物料。
- (2)低風險設計：避免使用易燃、易爆物質，生產機器設備儘量減少高溫、高壓、高震動狀態。
- (3)提高設備效率：最佳使用量設計，避免浪費。
- (4)操作步驟最適化調整：自動化生產，簡化製程操作步驟，並充分利用生產特性，提高原物料使用率。
- (5)回收再利用：製程中之水、氣、電、原物料等充分運用或轉化成其他可用之資源加以循環使用。
- (6)生產管理：建立教育訓練及管理制度據以執行，減少人為誤差所可能造成的損壞及災害；此外，建立提案獎勵制度，以鼓勵員工提出更方便、更有效率之生產操作方式。

### 3.清潔的產品：

- (1)節省使用能資源：避免使用或少用稀有及貴重之原物料。
- (2)環境衝擊考量：產品使用中及廢棄後，以不影響人體健康及環境生態為主要考量因素，並且強調使用壽命的延長。

若將清潔生產的觀念運用在生產上下游的能資源問題上，可分為下列三個方向來敘述：

- 1.清潔資源的利用：從前未被考慮使用的資源，因為清潔生產技術的不斷研發而創造出新的用途及使用方式。
- 2.製程所產生廢棄物之運用：製程所產生之廢棄物，原本需花費額外費用處理，且易造成二次污染問題，由於處理技術進步，可利用新的回收再利用方式處理。

3.原物料、成品和下腳料之資源化：於生產過程中，有許多種非產品的物質將伴隨著產品而產生，有些是加過量的原物料，有些是不合高標準的成品瑕疵品，或是裁切所剩的下腳料，在鋼材製品業中尤以後者為最，但其並非廢棄物，尚可回爐重製成新材料，或供應給需要較小尺寸的下游廠商予以應用，藉由產源回收和新的再利用方式，重新賦予新的用途及價值。例如：運送貨物前需要加以包裝，貨物拆解後，產生大量包裝廢棄物，透過供應商及資源化廠商的回收再利用，可大量廢棄物處理的問題及減低環境負荷。

由於世界自然資源有限，如何將資源有效分配及利用，將是人類下一步面臨的挑戰，藉由清潔生產的研究及推動，繼續朝向永續發展努力。

#### 4.1.2 減廢技術

減廢乃是為減少廢棄物產生所進行之措施，在清潔生產中，減廢是較容易達到成本降低的方式之一，在生產前、中、後皆可實施。工業減廢不外乎 5R 原則：減量（reduction）、再使用（reuse）、再循環（recycle）、回收（recovery）、再生（regeneration），在新興產業中更加入研究（research）成為 6R，分別說明如下：

- 1.減量：有效率地使用資源，廢棄物的產生自然減少，生產製造過程根據標準手冊及累積的經驗，可以找出最適當的原料進料控制條件，避免添加過量而產生未反應的原料卻變成需要處理的廢棄物。另外，生產單位有效率且適度使用水資源，定期保養檢修各類水管，則能確實掌握製程用水、減少清潔用水之需求。
- 2.再使用：由製程中產生的廢棄物可作為其他製程之原料。
- 3.再循環：將使用後特性或濃度改變不多之原物料，經簡單處理程序後回到製程中使用。
- 4.回收：將產生之廢棄物或下腳料經過適當處理後，可回收使用，例如：裁切之後所餘留的下腳料部分，可以在回爐重製再生為產品。
- 5.再生：將廢棄物經過加工後成為產品之原料。
- 6.研究：研發低污染、高效率之減廢技術。

為確實執行減廢政策，達到降低環境負荷及生產成本的目的，各行業需依其產業不同的特性，確定如何實施，訂定目標及標的，使執行者有明確努力的方向與標準。一般而言，減廢方式可分為下列幾項：

1.來源管制：可分為改變原物料之特性與包裝材料簡化、控管。

製程中原物料特性對產品品質好壞有很大的影響，因此對原物料的選擇除了品質因素必須考量外，對後續產生的污染嚴重性也是不容忽視，原物料特性的掌握及選擇，是後續處理量及難易度的重要指標。因此在不影響產品品質的原則下，所選擇的原物料可採低污染性、低消耗性、易處理、使用後可資源化的物質做為原料，可以達到減廢之目的，表 4.1 所示彙整案例，就製程原物料特性改變說明減廢的方式。

2.製程中設計：製程中改善可分改變產品設計、改進製程技術及操作參數最佳化三方面來討論。藉更有效率的生產及更有效率的原物料使用，進而提生產能，降低報廢率及處理成本。表 4.2 所示為製程技術改進之案例。

3.廢棄物資源化：實施減量使用、回收、再循環、再使用、再生及廢棄物交換等措施，如前文說明，現就資源化案例說明彙整如表 4.3 所示。

表 4.1 減廢案例－原物料改變

案例	說明
VOCs 減量	塗漆輥所產生的 VOCs 並未收集處理，因此除在塗漆輥加裝集氣罩將廢氣收集，一併送至廢熱鍋爐燃燒外，並將塗料改採低 VOCs 的塗料，從源頭加以控管。

表 4.2 減廢案例－製程技術之改進

案例	說明
化成處理液品質維護	鉻系廢水為化成處理程序所產生，後續處理產生大量的廢水污泥，藉由對化成液成分品質的控制，可明確掌握延長化成液之使用時間，更進一步對化成液加以回收再利用。
冷卻水之使用方式	鍍鋅及烤漆線需個別進行冷卻程序，直接噴灑冷卻方式，藉由分流之改善設計，加上考慮採用間接冷卻方式，除減少冷卻水用量外，更提高冷卻水之回收利用價值。
製程中 VOCs 之減量措施	塗料攪拌區所產生的 VOCs 直接以氣罩收集，但未經處理及排放至大氣，增設過濾及活性炭單元予以處理後，再排放至大氣中。
熱鍍鋅槽之廢氣處理	鍍鋅槽產生含鋅的廢氣，在增設採用槽縫側吸式氣罩予以收集後，再經袋濾集塵器予以處理，除改善廢氣排放品質外，也提升作業環境品質。
酸洗程序之改良	由於鋼捲酸洗除銹會形成大量廢酸，檢討生銹成因，縮短鋼捲原料於室外暴露的代工時間，並予以加蓋降低銹蝕機會。此外，於酸洗前，加設機械除銹單元，以減少酸洗液的使用量。
廢酸回收場之操作改善	廢酸以蒸發焙燒方式予以回收 HCl，但袋濾集塵器之濾袋亦破損，造成氧化鐵粉末飛散，進一步清查濾袋破損原因，並將洗滌塔改採鹼液以提高處理效能，並減少濾袋破損之機率。

表 4.3 廢棄物資源化案例

案例	說 明
減量使用	· 廢水來源動線改善，系統簡化，減少廢水處理量及處理費用。
回收	· 電解鹼洗加熱循環後的廢鹼液，和鹼洗廢水分流，可供作中和及廢酸回收場洗滌液之使用。 · 化成處理液使用時間及品質的控制，可促進化成液的回收再利用。
再循環	· 廢水處理後可循環利用在次要目的的處所。
再使用	· 軋延程序所使用的軋延油，回收利用前先以磁鐵將鐵屑吸除，並使用過濾系統後，予以回收利用。 · 廢酸回收場產生大量的氧化鐵粉末，將其進一步純化去除鹽分後，提高使用價值。

## 4.2 廠內管理

廠內管理除了製程設備上的管理外，尚有許多有助於清潔生產的管理方式，透過管理的方式達到有效運用的目的，以下為大多數廠商常用之方式：

### 1. 實施教育訓練，建立清潔生產的觀念

對於需要人為控制、設定的地方，要降低錯誤的發生或減少能資源的浪費，對員工實施教育訓練為不可或缺的手段。各家廠商進行的教育訓練方式不盡相同，一般而言，大都採用三階段教學：第一階段為資深員工擔任指導者進行教導，學習者觀摩並記錄心得；第二階段為學習者依學習記錄之原理及步驟進行操作模擬，由指導者在旁觀察，確認其動作之正確性，必要時予以糾正其動作；第三階段為學習者不看學習記錄，以背誦方式唸出操作步驟並執行操作程序，指導者在旁觀察，確認其正確性並適時糾正錯誤動作。此三段式教學法可避免錯誤摸索所造成之損失，也可確認學員於操作上之熟練度，以確保上線時，得以應付任何突發狀況，完成生產目標。

### 2. 廠內執行 5S 及保養計畫

5S 代表：清潔、清掃、整理、整頓、紀律(習慣)，在傳統產業已行之有年，工廠內執行 5S 活動，可增加環境清潔程度，落實生產紀律，提升工作士氣，為製程及產量帶來有形和無形的增加效益。

DWM 計畫(Daily-Weekly-Monthly Plan)為每日、每週、每月之清潔保養工作。按照每日維持周圍作業平台清潔；每週至少做一次作業機台下方及周圍的

清潔、每月至少做一次高架地板下方及所有地面之清潔，消除異物帶給製程上的影響，有助於良率提升、不良品降低。此外，落實保養計畫也可減少設備誤差所造成原物料之污染及浪費，也可減少不良品產出。

### 3. 良率改善

廠內管理無非是要提升良率，減少報廢品的產生及原物料的浪費，廠內大多數製程工程師的任務就是良率及產量的提升。良率的改善是持續性的，維持良率只是消極的做法，積極的做法是發現產品為何不良的原因，進而提出解決方案，改善製程流程加以改善。在此介紹藉由品管的手法，即時發現問題，進而解決不良的成因。

統計製程管制 (Statistical Process Control, SPC) 是指自製程中去搜集資料，加以統計分析，並從分析資料中去發覺異常原因，立即採取改正行動，使製程恢復正常的方法。

傳統的製造程序是分兩部門進行，其中：製造部門負責生產，品管部門負責成品檢查，並剔除不良品。雖然各公司大量從事此類工作，但實際上對品質的提升毫無助益，因為生產的浪費已為既成的事實，而實施 SPC，即可在生產當初就避免不良品的發生，如此，才是積極且有效提升品質的方法之道。

## 第五章 廢棄物資源化技術

### 5.1 廢酸資源化技術

鋼鐵廠以酸液酸洗鋼材表面氧化銹皮而產生廢酸液。普通碳鋼以鹽酸為酸洗液，廢酸液主成分為氯化亞鐵( $\text{FeCl}_2$ )。不銹鋼以氫氟酸及硝酸之混合酸做為酸洗液，廢酸液主成分為  $\text{HF-HNO}_3\text{-Me(Fe,Cr,Ni)}$ 。在鋼材廢酸液資源化技術尚未開發前，廢酸液通常以埋入地下隨時間礦化之方式處理。此種處理方式無法適用於地狹人稠之地區。所幸，隨著化學及材料科學工程技術之進步，量化回收廢酸液成為再生酸之技術在 1960 年代已開發出來，1970 年以來持續蓬勃發展，且廢酸資源化製程除了回收再生酸循環使用外，副產品之資源化及排放廢氣是否符合環保法規等更為 1980 年以後技術開發之重點。由於廢酸資源化及其副產品資源化製程技術之日趨成熟，不但廢酸液可完全回收利用且排放之廢氣等皆能符合環保規定，使得廢酸液成為相當有價值之資源，且不會破壞周遭之環境。

本文就鋼材廢酸液之回收技術包括：噴霧焙燒法、流體床焙燒法及硫酸置換蒸餾法等加以論述，同時為增加氧化鐵粉及硫酸亞鐵等副產品之價值，本文並例舉一種純化酸液之製程加以說明，另外也對流體床焙燒法如何產出細粒徑氧化鐵粉之製程作一描述，使得氧化鐵粉副產品純度更高、比表面積更高，成為更具價值之資源。而針對硫酸置換蒸餾法之硫酸亞鐵副產品如何進一步開發成色料用氧化鐵也略作闡述，此製程具有開發奈米級色料粉體之基礎，雖為早期建立之技術，但仍應具有前瞻性，如此使得鋼材廢酸液資源化技術更能達成實用、環保、完全資源化及跟上時代發展腳步之目的。

#### 1. 鋼材酸洗廢酸之來源

熱軋碳鋼之表面因高溫氧化而具有氧化銹皮(Scale)，厚度約為 5~20mm，主要成分為氧化亞鐵( $\text{FeO}$ )及四氧化三鐵( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )。熱軋鋼捲或條棒線材鋼需先將表面之氧化銹皮以鹽酸液或硫酸液浸泡加溫洗除後才能進行冷軋鋼或抽線之製程，洗除銹皮後之廢酸液主要成分為氯化亞鐵( $\text{FeCl}_2$ )或硫酸亞鐵( $\text{FeSO}_4$ )。由於鹽酸再生製程之開發，及鹽酸在洗除銹皮之速率較硫酸快，鋼材表面呈現光澤等較具經濟效益考量下，1963 年以後，冷軋及線材鋼鐵廠幾乎全面改用鹽酸酸

洗製程。不銹鋼則使用氫氟酸及硝酸混合酸液洗除銹皮，且分別於熱軋及冷軋製程後各進行一次酸洗，酸液組成為 HF-HNO<sub>3</sub>-Me(Fe,Cr,Ni)。

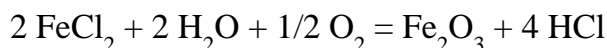
## 2. 回收鋼材廢酸液再利用之方法

氯化亞鐵(FeCl<sub>2</sub>)及 HF-HNO<sub>3</sub>-Me(Fe,Cr,Ni)酸液一般採用兩種製程回收，一為高溫(650~700℃)焙燒製程、另一為低溫(50~70℃)結晶蒸餾法製程回收鹽酸、氫氟酸及硝酸。其中高溫焙燒製程又區分為兩種，一為噴霧焙燒法(Spray-roasting process)，一為流動床焙燒法(Fluidized bed roaster)。高溫焙燒法回收再生酸之回收率與低溫結晶蒸餾法相當。各種廢酸液回收再生酸之製程原理說明如下。

### (1) 噴霧焙燒法

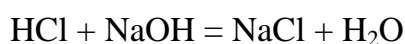
氯化亞鐵(FeCl<sub>2</sub>)廢酸液以噴霧液滴方式流入高溫焙燒爐內加熱分解，其回收鹽酸之製程如圖 5.1 所示。此製程首先將約 80~90℃之廢酸液導入文氏管預濃器(Venturi recuperator)，與來自焙燒爐之高溫鹽酸氣進行熱交換使廢酸液中氯化亞鐵濃度提高，並將約 400℃之鹽酸氣冷卻至約為 100℃，隨後再以去離子水吸收此鹽酸氣，將鹽酸氣轉化為再生鹽酸，濃度約為 18wt%，重覆作為鋼材氧化銹皮之酸洗液，此製程回收鹽酸之回收率高達 99% 以上。未完全吸收之鹽酸氣則繼續導入洗滌塔以氫氧化鈉(NaOH)或碳酸鈉(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)及硫代硫酸鈉(Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)吸收，使煙囪排放之氣體中不含任何氯氣(Cl<sub>2</sub>)，且鹽酸氣(HCl)小於 2 mg/m<sup>3</sup>。

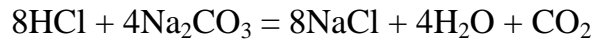
經由文氏管(Venturi)濃縮之廢酸液以噴嘴(nozzle)噴成霧滴後，以焙燒爐內約 650~700℃ 高溫含氧之燃燒氣體加熱分解成鹽酸氣及氧化鐵粉，反應式如下：



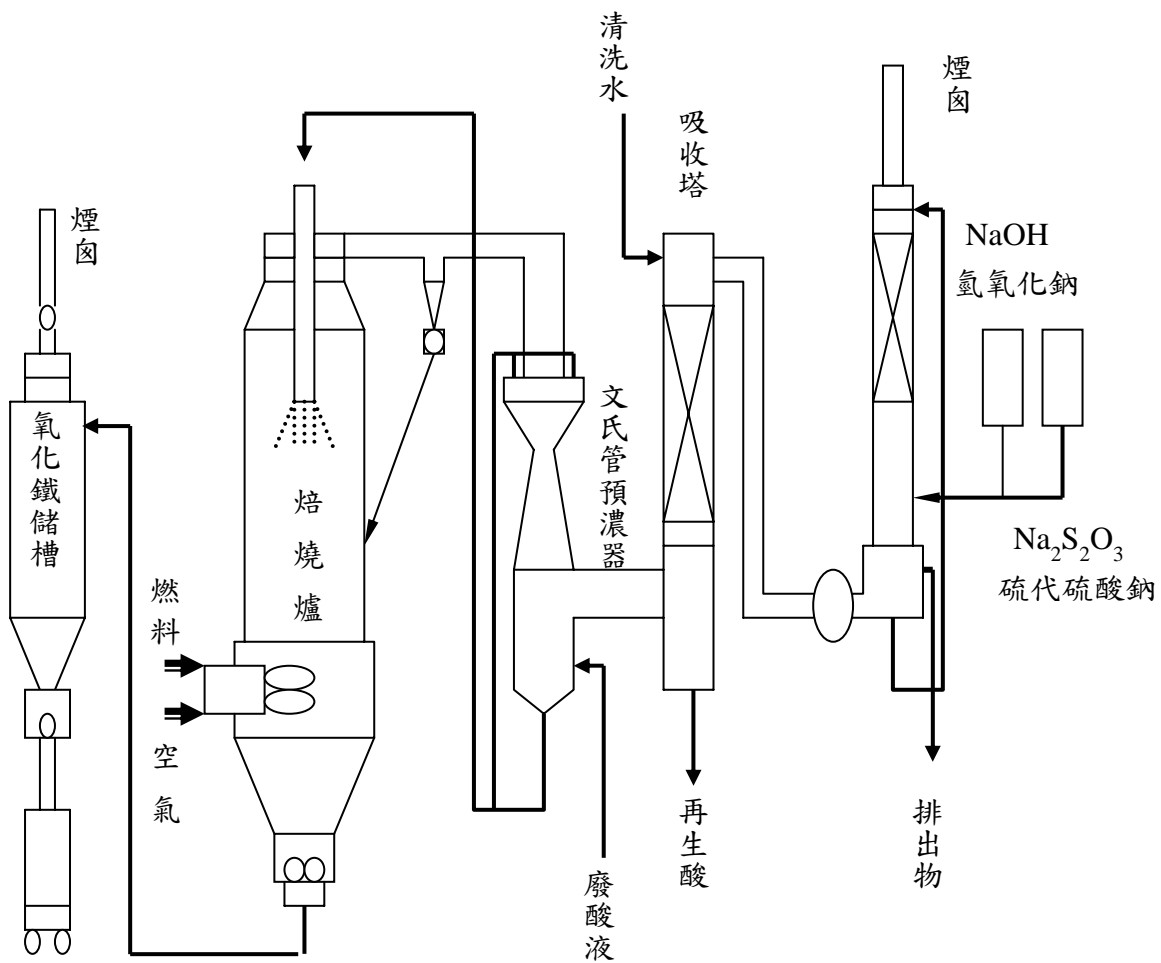
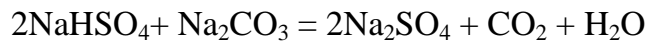
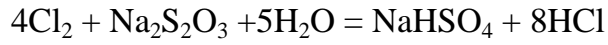
加熱分解所得副產品氧化鐵粉(Hematite, α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)為磁性材料之重要原料，氧化鐵粉雜質含量、粒徑粗細及比表面積高低決定其等級、價位及用途。

未被吸收之鹽酸氣(HCl)於排放前，可經由氫氧化鈉(NaOH)或碳酸鈉(Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)轉換為 NaCl：





氯氣( $\text{Cl}_2$ )可經由硫代硫酸鈉( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ )轉換為  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ：



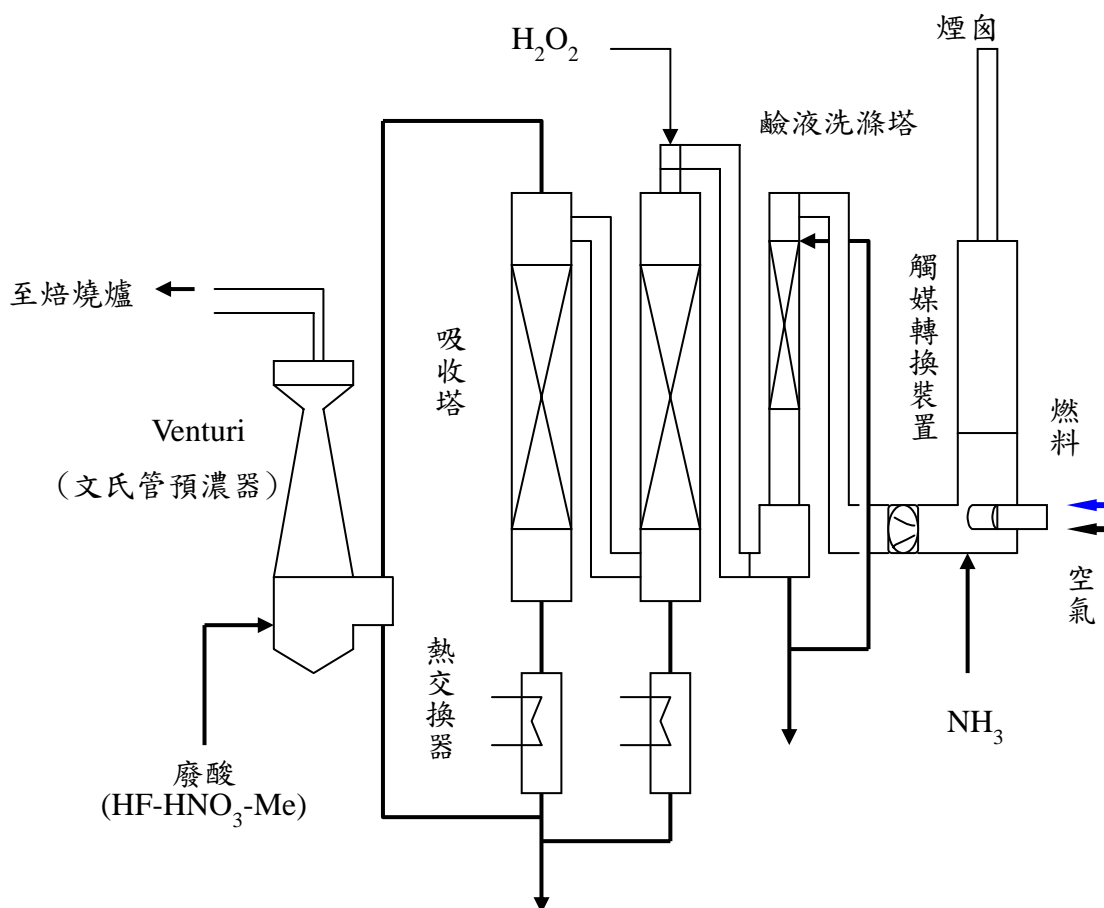
資料來源：中國鋼鐵公司

圖 5.1 鹽酸酸洗鋼捲廢酸液再生及產製氧化鐵粉流程圖



如此經由鹼液處理排放鹽酸氣及採用硫代硫酸鈉轉換氯氣，使排放之廢氣符合環保規定。噴霧焙燒法再生鹽酸之代表廠商為奧地利 Andritz-Ruthner 公司，全球約有三百座以上之鋼材廢酸液採用噴霧焙燒法回收鹽酸再生利用。此法除了具有高回收率外，副產品氧化鐵粉亦是具有商業價值之鐵氧磁材原料，因此廢酸液幾乎可完全資源化回收利用。

不銹鋼廢酸液  $\text{HF-HNO}_3\text{-Me(Fe,Cr,Ni,Mo)}$  亦可經由噴霧焙燒法回收氫氟酸及硝酸。噴霧焙燒法回收不銹鋼廢酸液之製程稱為 Pyromars 製程，其與噴霧焙燒製程主要差異則在於等溫吸收塔製程及排氣清洗製程如圖 5.2 所示。



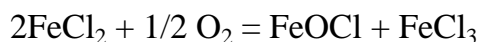
資料來源：中國鋼鐵公司

圖 5.2 PYROMARS 高溫焙燒回收不銹鋼廢酸液製程

不銹鋼廢酸液先經文氏管預濃器濃縮後，噴霧進入焙燒爐，產生 Fe-Cr-Ni 氧化物，此粉狀氧化物再經造粒後回收作為不銹鋼熔煉原料。而高溫氣體則經由兩道吸收塔製程冷卻回收酸液，第一道冷凝之酸液可作第二道吸收塔之吸收液。第二道吸收塔同時注入過氧化氫(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)以轉換 NO 為 NO<sub>2</sub>，使吸收轉換為 HNO<sub>3</sub> 容易些。Pyromars 製程對 HF 之回收率可達 95%，對 HNO<sub>3</sub> 之回收率約為 75%。未被吸收之氣體經由鹼液洗滌塔將殘餘之 HF 氣體反應移除，殘餘之氣體含有 NO<sub>x</sub>，則先經觸媒轉化器，以 NH<sub>3</sub> 或尿素等做為還原劑，使 NO<sub>x</sub> 轉換化為無害之氮氣及水。

## (2) 流動床焙燒法

流動床焙燒法與噴霧焙燒法最大之差異為 FeCl<sub>2</sub> 之加熱分解反應係在流動床之流動介質上反應，其流動介質為 1~3mm 顆粒狀之氧化鐵。流動床焙燒法之廢酸流程與圖 5.1 所示之噴霧焙燒法相同。流動床法雖不需高壓幫浦提供噴霧液滴，但需高壓鼓風機將廢酸以噴注方式打入流體化床內，並造成床體介質呈流體化狀態，反應過程所形成之氧化鐵直接於介質上形成，當顆粒過粗時會沉積於爐底並排出收集。流動床分解 FeCl<sub>2</sub> 之溫度約為 480~500℃，但需以約 950℃ 之熱空氣才能保持流動介質達到此反應溫度，熱空氣除了提供反應溫度外，也提供了流動介質之流動力。處理 4.5m<sup>3</sup>/hr 之廢酸液其所需之空氣量約達 9,500~11,000 Mm<sup>3</sup>/hr。FeCl<sub>2</sub> 在流體床介質上之反應依據空氣中過量氧含量、蒸汽量及溫度而可能形成 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 及 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>。尤其 FeCl<sub>2</sub> 先接觸到介質進行熱分解反應時，在 250~500℃ 之溫度區間，氧化反應可能使得其進行如下之反應：

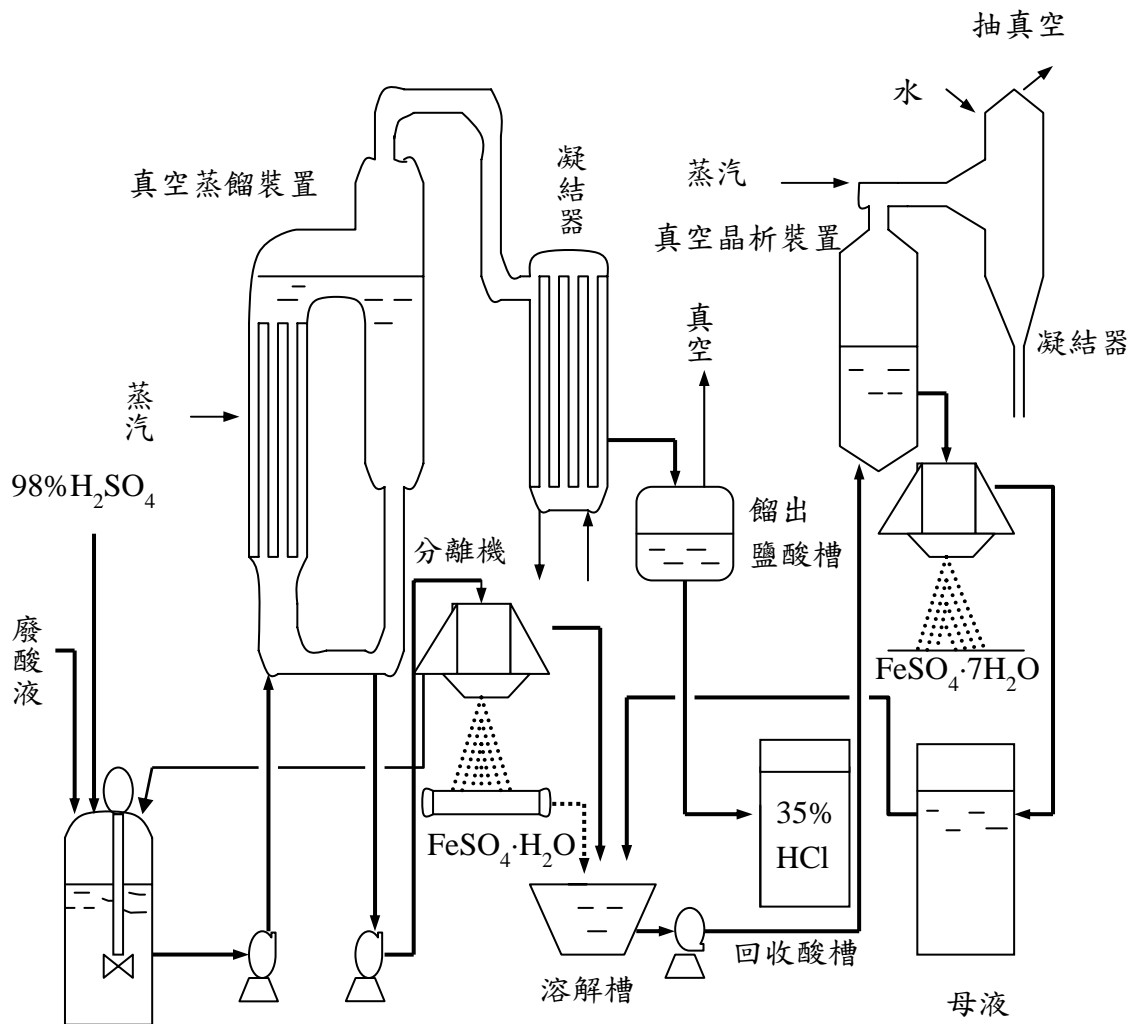
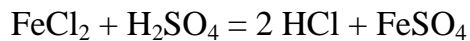


FeOCl 及 FeCl<sub>3</sub> 在蒸汽及含氧之空氣中氧化分解為 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>。所以氧化鐵粗顆粒含有兩種組成 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 及 Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>，此兩種組成之比例與空氣中過氧含量控制有關。流體床焙燒法回收鹽酸率亦可達 99%，副產品為粒徑約 3mm 之顆粒狀氧化鐵粉。顆粒狀氧化鐵粉優點為緻密、鬆胚比重高達 3 g/cm<sup>3</sup> 以上，所占體積小，無粉塵；噴霧焙燒氧化鐵粉之鬆胚比重僅約為 0.5 g/cm<sup>3</sup>，所占儲存空間大。但顆粒狀氧化鐵粉用途有限，因顆粒粗如未經研磨無法使用於鐵氧磁材之製造，經研磨後相對成本提高，且僅能用於低價之硬磁(永久磁石)，不具競爭力。

不銹鋼廢酸液也可經由流體化床焙燒法回收 HF 及 HNO<sub>3</sub>，其流動介質為 Fe-Cr-Ni 之氧化物顆粒。排出之 Fe-Cr-Ni 之氧化物顆粒可作為電弧爐冶煉不銹鋼之原料。

### (3) 硫酸置換蒸餾法

圖 5.3 所示為硫酸置換蒸餾法回收廢鹽酸之流程圖。首先在氯化亞鐵 (FeCl<sub>2</sub>) 廢酸液中加入高濃度之硫酸，使其與氯化亞鐵發生如下之反應：



資料來源：中國鋼鐵公司

圖 5.3 硫酸置換蒸餾法回收廢酸液(氯化亞鐵)流程

反應後之酸液導入真空蒸餾裝置，利用抽真空減壓及低溫(約 50~70℃)操作使 H<sub>2</sub>O 及 HCl 蒸餾出來後，再以冷凝器冷卻鹽酸氣成為 18~35%之鹽酸，鹽酸回收率約為 98%。而真空蒸餾器裝置底部可以分離機回收 FeSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O 結晶。隨後將此結晶溶解於水中，再以真空晶析裝置析出純度更高之 FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 結晶及硫酸。此法回收鹽酸濃度高，但回收硫酸濃度僅約為 50%，部份硫酸轉化為 FeSO<sub>4</sub>，硫酸回收率低。硫酸亞鐵可作為肥料及食物添加劑，廢水處理之凝結劑，皮革之染料，除草劑等，但使用量少。硫酸置換蒸餾法為低溫製程，成本較低，但副產品 FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O 銷售去化較不易。如果將硫酸亞鐵製成色料用之氧化鐵則硫酸亞鐵之價值可大幅提高。

不銹鋼廢酸液為氫氟酸及硝酸之混合酸液，亦可以硫酸置換蒸餾法回收。如同圖 5.3 所示流程，混合廢酸液與高濃度之硫酸先進行反應形成硫酸金屬鹽，產生之氫氟酸及硝酸被真空蒸餾裝置底部上升之蒸汽加熱而餾出，由冷凝器冷凝為硝氟混酸，回收再利用。

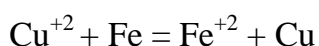
### 3.純化鋼材廢酸液之方法

各種廢酸液回收再生酸液之同時，皆有副產品產生，這些副產品包括氧化鐵粉，Fe-Cr-Ni 氧化物，硫酸亞鐵結晶及將硫酸亞鐵中和、氧化產生黃色氧化鐵等各有其用途。廢酸液之資源化處理除了回收再生酸液循環使用外，如何產生有價值之副產品亦為資源化之重點。為產生有價值之副產品，通常需針對廢酸液進行純化處理，使副產品單價提高並確保品質符合需求，或直接由廢酸液中抽取高單價之金屬，達到廢酸液完全資源化之目標。

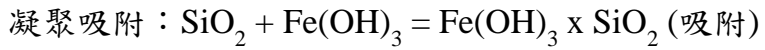
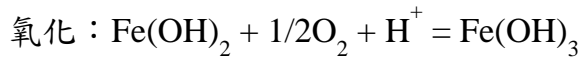
鋼材廢酸液可經由圖 5.4 所示之酸液純化製程去除對應用時有害之雜質。例如應用於 MnZn 鐵氧磁材之氧化鐵粉，嚴格要求 SiO<sub>2</sub>、P、Ca、Al、Cu 等雜質之含量，去除氧化鐵粉之雜質則須從純化廢酸液著手。圖 5.4 顯示酸液純化製程，其包括：鋼片浸漬、加 NH<sub>3</sub> 調整酸液 pH 值進行 Fe(OH)<sub>2</sub> 沉析、氧化、加凝結劑凝聚雜質，及沉降過濾，使雜質隨著濾泥排除等。主要反應如下：

鋼片浸漬(Leaching)： $2\text{HCl} + \text{Fe} = \text{FeCl}_2 + \text{H}_2$

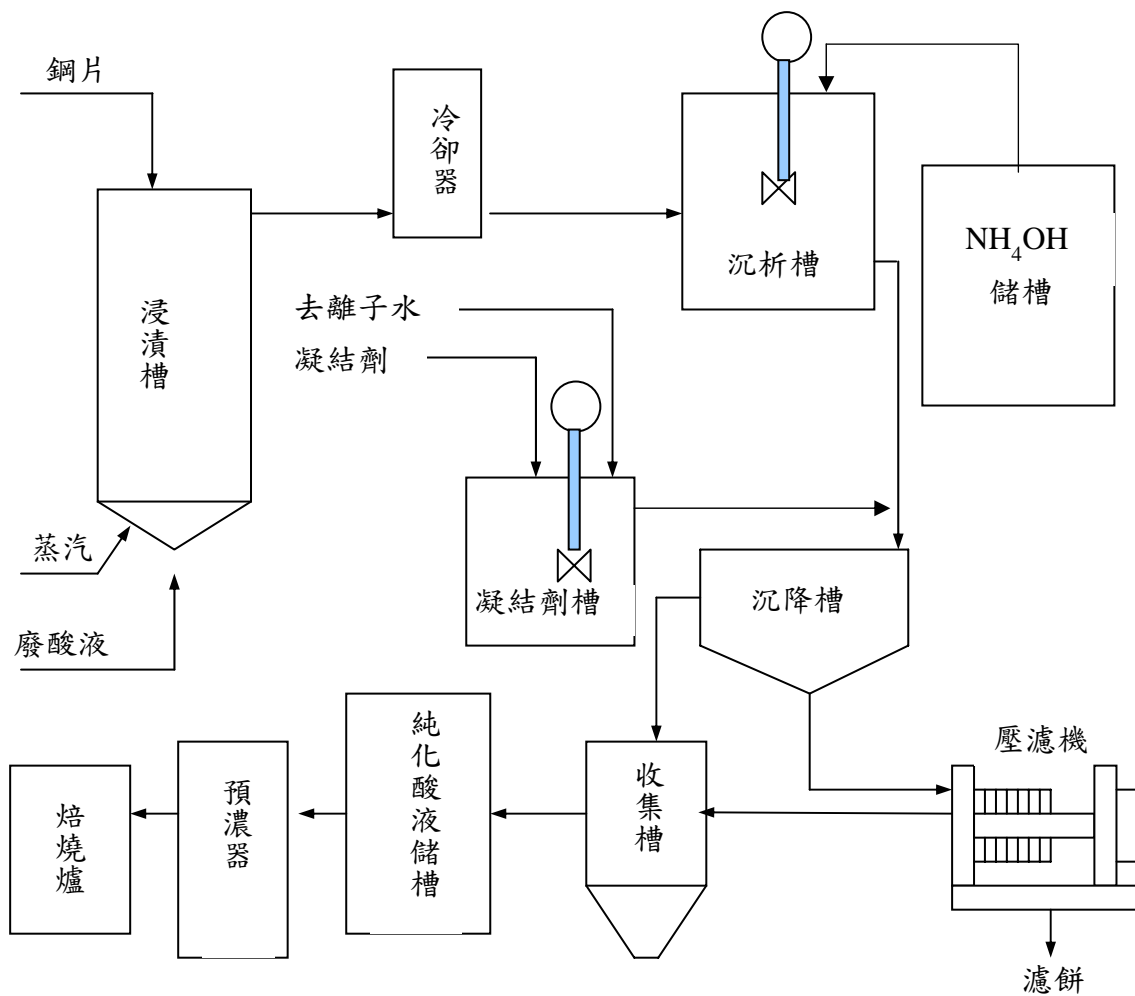
在浸漬槽內部份雜質 Cu<sup>+2</sup>、Ni<sup>+2</sup> 可與鋼片進行取代反應：



pH 調整： $\text{HCl} + \text{NH}_4\text{OH} = \text{NH}_4\text{Cl} + \text{H}_2\text{O}$



凝聚吸附之雜質除了  $\text{SiO}_2$  外，尚包括 P、Al 等雜質，凝聚雜質之效果與酸液 pH 調控是否最佳有關。經由圖 5.4 純化酸液之流程可使得氧化鐵總雜質含量低於 500 ppm， $\text{SiO}_2$  雜質低於 100 ppm。



資料來源：中國鋼鐵公司

圖 5.4 純化廢酸液之流程

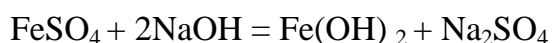
此酸液純化製程亦可使用  $\text{AlCl}_3$  於沉析反應，以  $\text{Al}(\text{OH})_3$  輔助  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  增加穩定性較佳之吸附源。有些酸液純化製程則先將  $\text{FeCl}_2$  氧化為  $\text{FeCl}_3$ ，再以有機溶媒 MIBK( $\text{CH}_3\text{COC}_4\text{H}_9$ ) 萃取  $\text{FeCl}_3$ ，金屬離子及殘留酸液排出。有些酸液純化製程則將已經過圖 5.4 純化處理後之酸液再以結晶分離法去除雜質，特別是 Ni 及 P 雜質。至於硫酸置換蒸餾法中，晶析分離之酸液可經由薄膜擴散透析法進一步純化。

#### 4. 回收廢酸液製程副產品之資源化利用

噴霧焙燒法之副產品粉末狀氧化鐵粉基本上為球殼形氧化鐵粉，粒徑範圍約為 20~400 $\mu\text{m}$ ，經過輸送撞擊管壁粉碎可得粒徑範圍為 1~120 $\mu\text{m}$ ，球殼內為更細小之一次粒子，粒徑為 0.1~1 $\mu\text{m}$ ，比表面積約為 3~4  $\text{m}^2/\text{g}$ ，可作為鐵氧磁材(Ferrite)之原料。雜質含量愈低、比表面積愈高者，等級、價位愈高。高等級之氧化鐵粉其雜質  $\text{SiO}_2 < 100\text{ppm}$ 、 $\text{P} < 20\text{ppm}$ 、 $\text{Al} < 40\text{ppm}$  等可用於 MnZn 鐵氧軟磁、 $\text{SiO}_2 < 200\text{ppm}$  中等級之氧化鐵粉可用於 NiZn 鐵氧軟磁(Soft ferrite)， $\text{SiO}_2 < 500\text{ppm}$  低等級之氧化鐵粉可用於鋇系、鋇系等方性或異方性硬磁(Hard ferrite)。無法作為軟、硬性鐵氧磁材原料之低價位氧化鐵粉則可視同高純度之鐵礦，回收作為高爐煉鐵原料，或可作為煉鋼用之鐵水脫矽、脫磷劑。

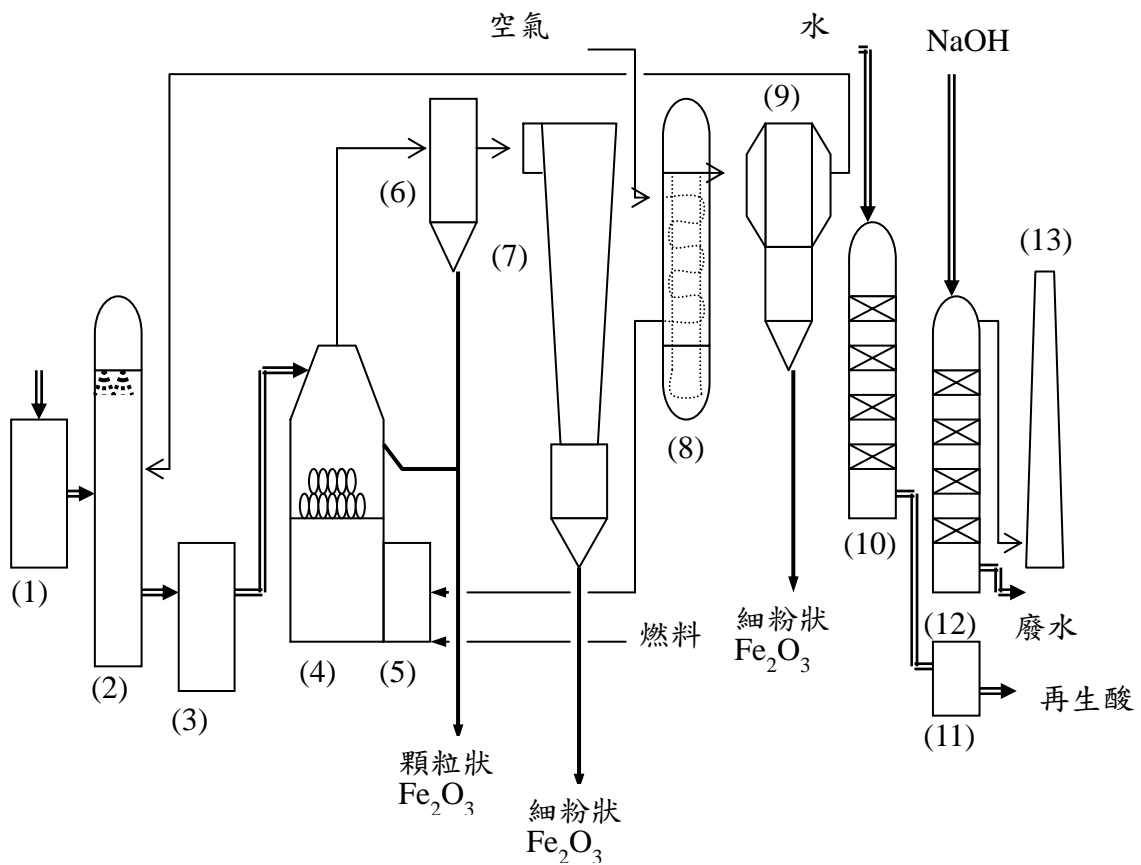
流體床焙燒法亦可產出粒徑極為細小、比表面積甚高之氧化鐵粉。如圖 5.5 所示，其回收氧化鐵之製程除了原有之流體床排出之粗顆粒外，尚包括旋風分離器製程，可從氣體中分離出細粉狀氧化鐵，以及靜電集塵器吸附氧化鐵粉，能產出此種氧化鐵粉之代表性廠家為日本新日鐵君津(Chemirite)場之廢酸回收製程，其流體床、旋風分離器及靜電集塵器所產出氧化鐵之比例分別為 23%、23%及 54%。靜電集塵器所得之氧化鐵粉其比表面積高達 5  $\text{m}^2/\text{g}$ ，對錳鋅軟磁業者而言其為已商業化、且為高單價之氧化鐵粉原料。

硫酸亞鐵可經由 Penniman-Zoph 製程製造化學合成之黃色氧化鐵粉，此製程是將氫氧化鐵粒子作為種子(Seeds)放入含有硫酸亞鐵及廢鋼之溶液中，加熱並通入空氣(氧氣)，使得氧化鐵在種子上成長，其化學反應如下：



氫氧化鐵粒子作為種子

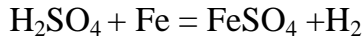
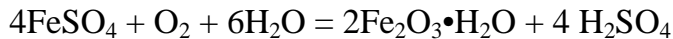




- |            |            |
|------------|------------|
| (1) 廢酸儲槽   | (8) 氣體冷卻器  |
| (2) 熱交換器   | (9) 靜電集塵器  |
| (3) 酸液純化裝置 | (10) 鹽酸吸收塔 |
| (4) 流體床焙燒爐 | (11) 再生酸儲槽 |
| (5) 熱鼓風機   | (12) 洗滌塔   |
| (6) 集塵器    | (13) 煙囪    |
| (7) 旋風分離器  |            |

資料來源：中國鋼鐵公司

**圖 5.5 流體床焙燒法生產細粉狀氧化鐵粉流程**



廢鋼必需持續作為中和劑，氧化反應必需適當控制條件才能形成之氫氧化鐵( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = 2\text{FeOOH}$ )，其顏色為黃色。由於反應初期氫氧化鐵粒徑細小，為淺黃色，當反應持續進行而粒徑逐漸增加時，平均粒徑範圍在  $0.1 \sim 0.5 \mu\text{m}$ ，顏色轉為深黃色、黃紅色等，所以反應時間依據所需之顏色而定，最後粒子經清洗、烘乾而得色料用氧化鐵。此種製程具有開發奈米級粉體之基礎，頗具發展之潛力。硫酸亞鐵經過 Penniman-Zoph 製程反應生成色料用氧化鐵，將使得硫酸置換蒸餾法更具經濟效益，達到完全資源化之目地。

合成氫氧化鐵之製程如果適當調控反應條件，可產出立方體形或圓球形之磁鐵(四氧化三鐵)，粒徑分佈窄  $0.1 \sim 0.3 \mu\text{m}$ ，比表面積約為  $6 \sim 12 \text{ m}^2/\text{g}$ ，可作為影印機碳粉匣(Toner)之載體(carrier)。

前述高溫焙燒法及低溫結晶分離法皆可達成回收鋼材廢酸液為再生酸之目的，而高溫噴霧焙燒法更廣為鋼鐵業者所採用，主要因為此法所得副產品氧化鐵粉為鐵氧磁材最重要之原料所致，而鐵氧磁材為電子資訊業不可或缺之零組件，隨著電子資訊業為近來產業發展之重心，因而更鞏固了以高溫噴霧焙燒法資源化鋼鐵廢酸液之地位。但是低溫結晶分離法之硫酸亞鐵具有開發前瞻性用途粉體之潛力，亦不容忽視。

## 5.2 鉻酸鹽廢液資源化技術

鋼材軋延加工進行鉻酸鹽皮膜處理，將表面所披覆一層氧化鐵銹皮予以去除，以利後續製程之進行，此程序一般係採用鉻酸進行化成處理，但化成液用久會老化，就必須加以置換更新，若未妥善加以處理，會對環境造成嚴重的污染。老化液過去採用稀釋方式打進廢水處理廠予以處理，傳統的化學混凝沉澱法對於處理廢水中的重金屬，在操作及設備維護良好的情況下，具有相當良好的去除效果，但所產生的污泥卻因重金屬含量偏高，係屬有害事業廢棄物，其後續之處理處置均屬不易。近年來，由於再生技術及原料價格提昇，使得廠商願意加以資源化處理，進而從中獲得一些經濟利益。

資源回收再利用技術著重於廢水、廢液或污泥中之重金屬的回收再利用，主要係利用各類分離技術以分離濃縮各種重金屬並再利用。就技術之經濟規模與適



用性而言，可區分為廠內製程回收技術與廠外集中資源化技術兩類。一般常見的廠內製程回收技術，大多屬於單一回收單元技術，適用對象主要為廢水及高濃度廢液(液態廢棄物)，且所需經濟規模較小，例如蒸發濃縮法(evaporator)、電解法(electrolysis)、離子交換樹脂法(ion exchange resin)及逆滲透法(reverse osmosis)等；而廠外集中資源化技術，主要係為各種化工或冶金單元所組合之整合性系統技術，適用對象主要為高濃度廢液與污泥，且所需經濟規模較大，例如鉻系廢液及污泥回收鉻酸鹽技術、綜合污泥回收金屬技術、污泥混練再生材料技術等。本文即介紹廠內製程回收技術及鉻系廢液集中資源化技術。

## 1. 製程廢水回收金屬

### (1) 蒸發濃縮法

蒸發濃縮法為應用原理相當簡單的一種回收技術，主要將鉻酸廢液或清洗廢水中的水分在蒸發器內予以蒸發，再將其回收到清洗槽中循環使用，而廢水中的鉻酸則經過濃縮至相當程度後，可再回到鉻酸槽中重新使用。較常應用的蒸發器，大略有下列四種形式：淋膜式蒸發器、使用廢熱之突沸式蒸發器、沉淹管式蒸發器及常壓蒸發器，而蒸發濃縮法可分為加熱器加熱濃縮、真空蒸發濃縮及大氣蒸發濃縮三種方式，說明如下。

#### A. 加熱器蒸發濃縮

主要設備有加熱器及貯槽，加熱時將液體溫度提高至  $90\sim 100^{\circ}\text{C}$ ，使其產生蒸氣蒸發而提高液體濃度。此法之操作係在一般正常氣壓下進行，可以提昇之溫度有限，故蒸發量少，回收效率較低，所產生的蒸氣量不大，較難回收利用；但其設備較簡單，投資費用亦低。

#### B. 真空蒸發濃縮

採用真空蒸發濃縮時，由於鉻酸可能會在較高溫度下分解，故蒸發過程往往需要在真空下( $0.1\sim 0.5\text{atm}$ )進行，以降低廢水之沸點(維持在  $44\sim 83^{\circ}\text{C}$  即可)。至於選擇在何種真空下操作，則隨蒸發器形式與廢液性質而定。由於真空蒸發濃縮系統為完全密閉式，所有的廢液或清洗廢水經過蒸發處理後，清水部分送回清洗槽使用，而濃縮後之鉻酸則可補回鉻酸槽重新使用，理論上，不會有廢水產生。此系統之主要設備有加熱器及真空槽等，由於必須維持在真空下操作，故操作技術需要訓練，然而其回收效率可以

達到相當高之程度。

### C.大氣蒸發濃縮

大氣蒸發濃縮之主要設備有熱交換器、散熱板及抽風機。由於此法操作上較真空蒸發濃縮法簡單，應用較廣泛。處理流程係先將廢液送入熱交換器提昇溫度至 40~50°C 後，再打到散熱板予以散佈，令其與由下面的排風裝置吸引進入的大氣接觸，將水分帶出，而達濃縮的目的。

根據國外的處理經驗，大氣蒸發濃縮回收效率可以達到 90% 以上，然而由於台灣地區濕度較高，一般使用的回收效率並不如預期中的理想，再者，因廢液中的雜質過高，因此，業者多半與電解法併用。圖 5.6 所示為大氣蒸發濃縮構造圖。

## (2)電解法

電解法為使用相當普遍的技術，其原理係利用電化學作用，在外加電場之作用下，控制電解質離子之移動方向，以達到分離及濃縮之目的。依使用的方式不同，可分為電透析、隔膜電解及流體化床電解法。

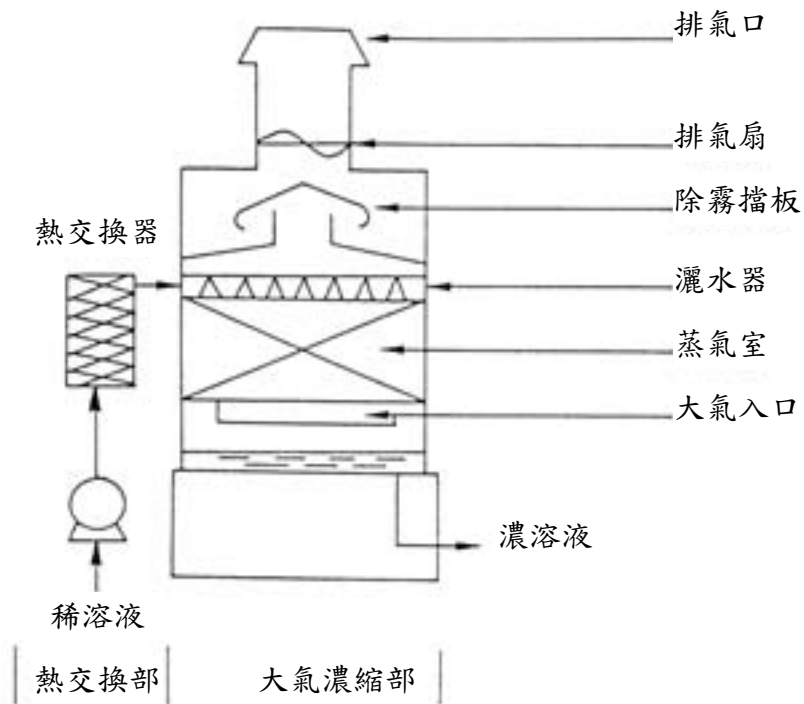
### A.電透析

此法基本上屬薄膜程序，其原理係利用滲透之理論，藉離子交換膜之良好選透性，在外加電場之作用下，控制電解質離子之移動方向，以達到分離及濃縮之目的。離子交換膜將電解質分離之機構如圖 5.7 所示，在膜的兩端藉提供之電位差而產生一電場，迫使帶負電之陰離子往陽極方向移動，並使其被膜內表面帶正電荷之孔道所吸附，然後經由孔道內之離子傳送而擴散至膜的另一端，如此處理流程，即可達到將電解質分離或濃縮之目的。

電透析的影響因素主要有電流密度、操作溫度及濃縮液濃度三項，分別說明如下：

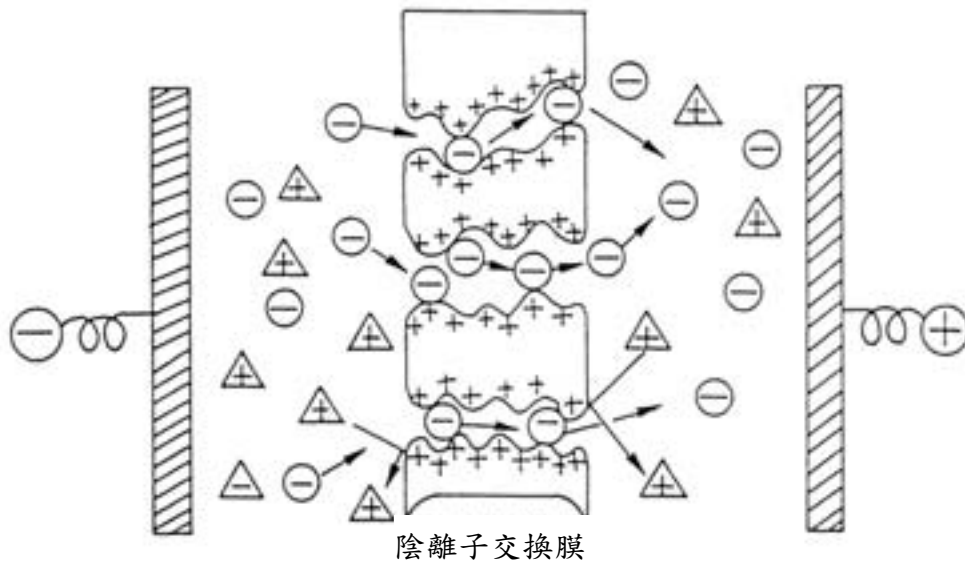
#### a.電流密度

一般而言，高電流密度會有較好的電流效率，但當電流達到極限值時，選擇通過離子交換膜膜面的離子濃度將接近於零，反而降低電流效率。



資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85 年 3 月

**圖 5.6 大氣蒸發濃縮設備構造圖**



資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85 年 3 月

**圖 5.7 離子交換膜將電解質分離之機構**

#### b.操作溫度

溫度會影響反應槽內溶液的粘滯係數(PA)，而改變目標離子的擴散係數及移動度，因此，提高電透析系統的操作溫度，可以增加效率，但也不能太高，一般操作溫度維持在 50~60℃ 之間為最佳條件。

#### c.濃縮液濃度

濃縮液濃度高時，進行反應所需之電流密度亦較高，故電流強度須依濃縮液濃度作適當調整，以符合實用性。

電透析的回收處理效果，根據研究，將濃度為 625mg/L 的含鉻帶出液(dragout)，直接引入電透析槽進行分離及濃縮處理，結果發現鉻酸可在濃縮室內被濃縮成 2,500mg/L 以上。

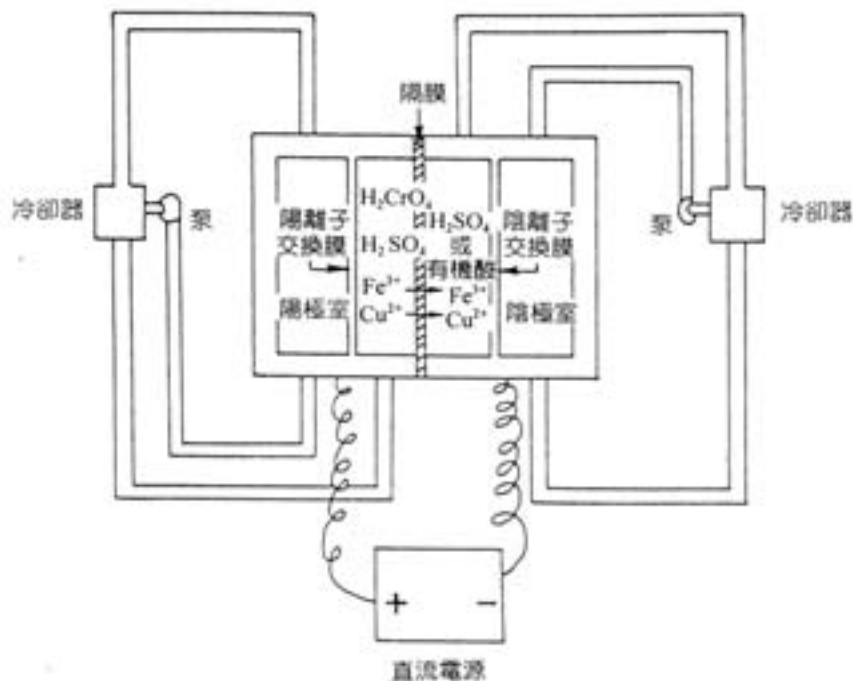
### B.隔膜電解

隔膜電解與電透析之構造類同，均屬於薄膜程序的一種，在電位的驅動力作用下，溶液中的離子化雜質會向兩端電極移動，因而達到去除溶液中雜質的效果。與電解法不同的是，隔膜電解只使用單一的離子交換膜，處理對象為高濃度廢鉻液，處理目的則為去除廢液中的其他金屬雜質，而直接純化回收鉻液，使其能回到化成槽中再循環使用。

隔膜電解槽的構造，為槽中央放置隔膜，把電解槽分為陽極室與陰極室。陽極室以鉛板為陽極，回收液在陽極室循環；陰極室亦以鉛板為陰極，並放入擬回收之廢液。當電解反應進行時，陰極室中回收液之陰離子向陽極室回收，陽極室的金屬不純物，如鐵、鎳、銅、鋅等，則移入陰極室，附著於陰極板而被除去。隔膜電解常與大氣蒸發濃縮設備併用，目前國內相關業者已能熟練地應用隔膜電解來純化鍍液，回收效率亦可高達 90% 以上，圖 5.8 所示為隔膜電解之流程圖。

### C.流體化床電解法

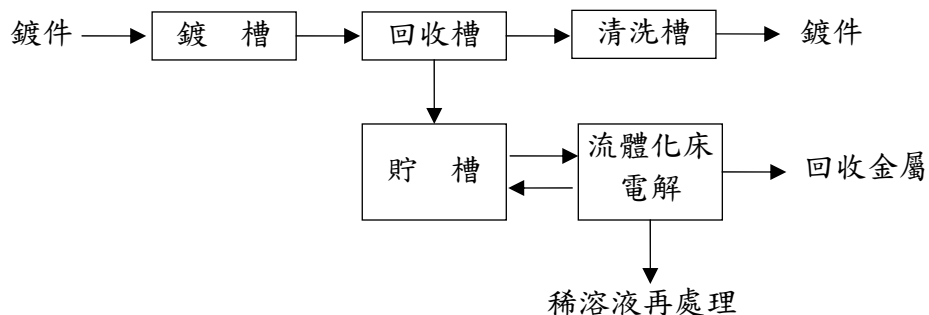
此法係利用進流水將電解槽內大量的介質揚起，藉由介質在槽內不斷的移動而與電極產生撞擊的作用，並破壞離子間的電雙層，以降低極化作用，並藉由增加極限電流密度，減少擴散層的厚度，使流體化離子能在電極板上形成金屬而析出。



資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85 年 3 月

圖 5.8 隔膜電解之流程圖

流體化床電極板有網狀及片狀二種，材質為耐酸鹼之鈦金屬，操作過程中會產生  $H^+$ ，至 pH 值降低，故需添加鹼劑適當調整 pH 值，而電解液之 pH 不可小於 1，有機雜質不可大於 20mg/L，電流密度必須小於  $1KA/m^2$ 。目前業者常將此設備用以回收鎳、銅等較貴重之金屬。圖 5.9 所示為流體化床電解流程圖。



資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85 年 3 月

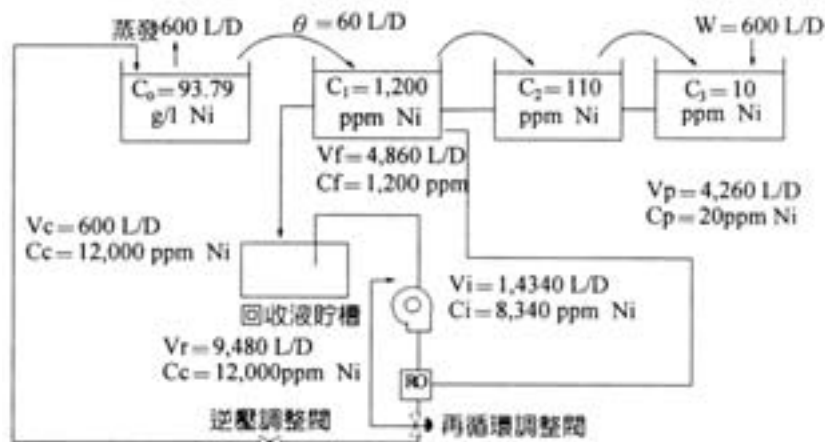
圖 5.9 流體化床電解流程圖

### (3) 逆滲透法

逆滲透法是以壓力差為驅動力的滲透膜分離程序。廢液在外加壓力下選擇性的經過半滲透膜的微孔後，分為淨化的滲透液和濃縮液，濃縮液可再送回鉻酸槽中使用，純化後的水則可作為清洗水之用。此法在美國已商業化，並用於大規模的酸性鍍鎳之清洗水的濃縮，而國內因受限於易於堵塞及沉積的問題，使用上仍不廣泛。

逆滲透技術用於表面處理廢水之回收系統實例，如圖 5.10 所示，最初清洗槽所含雜質濃度較高之清洗水，經溢流泵送至逆滲透系統處理，處理後的濃縮液回至鍍槽補充蒸發的水分及被帶出的鍍液，滲出液則回到最後的清洗槽作為補充清洗用水。由於逆滲透的濃縮能力有限，濃縮液有時需搭配採用蒸發濃縮法做進一步的處理。

商業使用的逆滲透系統有管式、螺旋纏繞式及空心纖維型三種型式，使用時各有其優缺點。



資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85 年 3 月

圖 5.10 表面處理廢水採用逆滲透回收系統實例

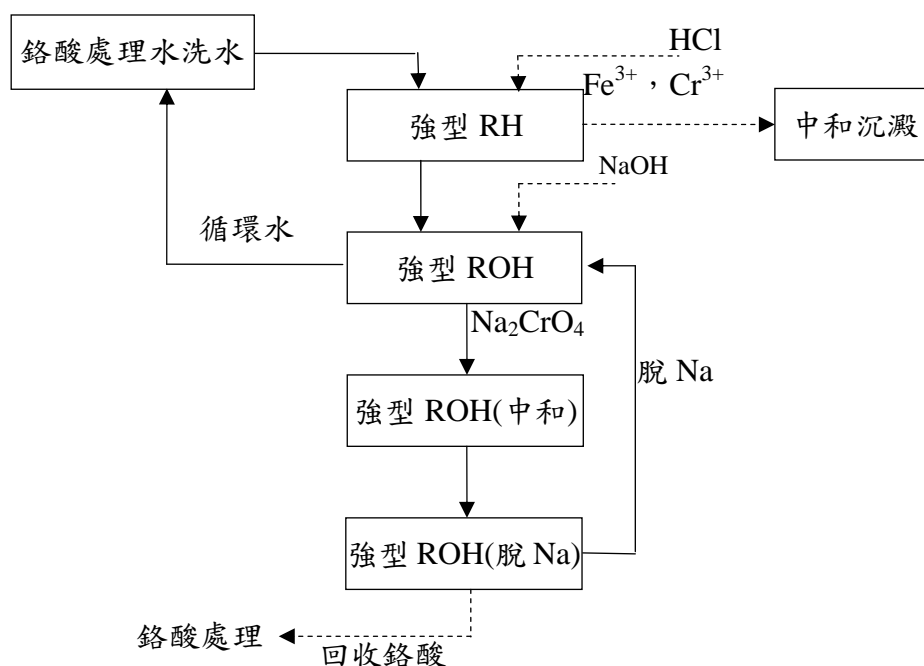
### (4) 離子交換樹脂法

離子交換現象為一種可逆的化學反應，係指溶液中可溶性離子藉由與樹脂中特定物質表面的作用基進行交換反應，而達到分離的目的。離子交換樹脂是高分子合成聚合物，在其表面分佈著許多可反應的作用基，這些反應基可以解離並與其周圍的離子進行化學反應，由於其為可逆反應，因此，當反

應趨近於完全飽和時，可利用酸及鹼將陽離子樹脂回復至原來的化學狀態，如此樹脂就可進行再一次的交換反應。由於離子交換樹脂具有對高價金屬的優良交換性，已成功的應用在表面處理及相關廢液資源回收處理上，從廢液或廢水中回收金屬及水，有效地降低了污染負荷。

離子交換樹脂除可去除毒性高之重金屬外，對於高價值金屬的回收也有很大的效果。如鉻酸處理製程中， $\text{CrO}_4^{2-}$  會有部份還原成  $\text{Cr}^{3+}$ ，除少量的  $\text{Cr}^{3+}$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Zn}^{2+}$  外，在水洗過程大約含有數十至數百 mg/L 的  $\text{CrO}_4^{2-}$ ，就由離子交換樹脂的作用，將鉻酸回收至鉻酸槽中，其處理流程如圖 5.11 所示。清洗水經前段處理後可循環再使用。

茲將不同鉻酸回收技術的類別、主要設備及其主要特性彙整如表 5.1 所示，以利各界參考使用。



資料來源：電鍍業廢棄物資源化案例彙編，85 年 3 月

圖 5.11 離子交換樹脂回收鉻酸流程

表 5.1 鉻酸回收方式之比較

項目	區分	主要設備	主要特性
蒸發法	加熱器 蒸發濃縮	加熱器 耐蝕槽體	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 設置成本低，操作簡單</li> <li>· 濃縮效率低</li> <li>· 蒸氣不易回收再用</li> </ul>
	真空蒸發 濃縮	真空槽 加熱器	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 設置成本高，操作程序多</li> <li>· 濃縮效率可達相當程度</li> <li>· 蒸氣可以回收再用</li> </ul>
	大氣蒸發 濃縮	蒸發器 加熱器	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 常使用於鉻酸帶出液濃縮</li> <li>· 設置成本不高，操作亦簡單</li> <li>· 濃縮效率一般可達 90% 以上</li> <li>· 蒸氣可以回收再用</li> </ul>
電解法	電透析	電解池 半滲透膜	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 回收重金屬，分離雜質</li> <li>· 操作簡單，所需人力少</li> <li>· 半滲透膜易故障</li> <li>· 可達相當高之濃縮效率</li> </ul>
	隔膜電解	隔膜板 耐蝕槽體	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 可同時去除多種金屬離子</li> <li>· 一般薄膜抗氧化性能較低</li> <li>· 帶出液純化效率高，但處理量較小</li> </ul>
	流體化床	鈍性鋼珠 流體化電解槽	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 設置成本較高，操作方便但維護較不易</li> <li>· 陰/陽極板昂貴</li> <li>· 重金屬回收效率相當高</li> </ul>
逆滲透法		半滲透膜	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 可回收有用物質及清水</li> <li>· 所需能量及人工較小</li> <li>· 需較高之操作技術，薄膜易氧化</li> </ul>
離子交換 樹脂法		前處理（過濾）設備 離子交換樹脂	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 適合低濃度帶出液之回收再用</li> <li>· 設備低廉，操作簡單</li> <li>· 再生廢液/廢料處理不易</li> </ul>

## 2. 鉻系廢液集中資源化技術

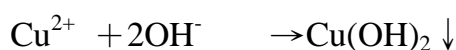
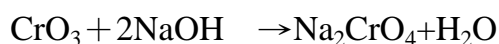
業者對於濃厚廢鉻液一般均以還原中和法處理，但應用此法不僅浪費大量處理藥劑且會產生大量污泥，不利於後續之處理處置。

直接鉻鹽回收法（Direct Recovery Chromate Method，DRCM）在理論上及實務操作上已獲證實具有回收效益之處理方法，其處理設計程序如圖 5.12 所



示。處理原理係於鉻廢液中加入 NaOH 溶液，並調整其 pH 值至約 9~10，即可將鉻廢液中主要成分鉻酐( $\text{CrO}_3$ )資源化為鉻酸鈉溶液，同時使其他金屬離子和氫氧根離子鍵結成不溶於水的氫氧化物沉澱，藉由過濾機將沉澱物分離去除，則可回收鉻酸鈉水溶液。但如果加入太多 NaOH 使 pH 值超過 10，則各種金屬氫氧化物的沉澱物將會再溶解成水溶性的金屬離子。

其化學式如下：



上述反應的產物鉻酸鈉 ( $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ ) 可供作染料或色料中鉻黃的原料替代品，但需控制廢液來源之雜質，否則無法達到該類產品之商品標準規格。

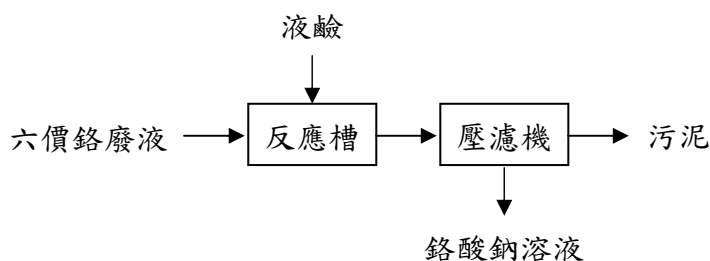


圖 5.12 鉻系廢液直接鉻鹽回收法流程圖

### 5.3 油泥資源化技術

#### 1. 油泥之來源

鋼材製品業的軋延製程中，軋延油使用後產生大量的廢油，還有部分機械設備所使用的潤滑油、機油等，使用後經過油水分離機處理後，形成廢油泥，由於富含油份、水份及固形物，熱值極高。在鋼材製品業及相關產業之產生量大，其處理處置之規模有增大趨勢，茲將油泥之產生源及資源化技術介紹如下。

### (1)油泥產生源

鋼材製品業所產生的油泥係指鋼材表面鍍塗處理、去脂處理、去油處理等製程之後續廢水處理程序中所產生之含油污泥。由於廢水處理場之除油設備（API、CPI 及 DAF）可將油水分離，含油廢水經除油設備回收浮油送至貯槽後再委託清理；沉澱之殘渣含水量約為 95%，經脫水後即為油泥。

### (2)油泥產生量

鋼材製品業產生油泥最多的製程是鋼材表面鍍塗處理、去脂處理、去油處理等製程，根據事業廢棄物管制中心申報系統顯示 92 年油泥有 1,919 公噸。

### (3)油泥之性質

油泥之成分因製程不同而稍有差異，主要成分除油分外，還有氧化鐵，氧化鈣，一般分析項目為：

A.含油量(oil and grease, %)

B.含水量(water content, %)

C.總固體物(total solid, TS, %)

D.熱值(kcal/kg)

不管資源回收再利用之目的是回收油品或其熱值，最重要的關鍵皆受到油泥中油份之含量所決定，根據文獻整理各類油泥之含油量如表 5.2 所示。其中 API、CPI 油泥之油份為 20~30%，熱值為 2,000~4,000kcal/kg，較原油槽之油泥為低，但仍可視為具適燃性的資源，適合作為替代燃料，提供熱能之回收再利用。

表 5.2 各類油泥之含油量

油泥種類	油份(%)	熱值(kcal/kg)
原油槽油泥	60~70	7,000~8,000
燃料油槽油泥	40~50	4,000~5,000
塔底油泥	20~30	3,000~4,000
API、CPI 油泥	20~30	2,000~4,000
DAF scum*	3~5	2,000~3,000

\*DAF scum 含水量頗高，若經脫水程序，則可與污泥合併處理

資料來源：廢棄物資源化技術資料彙編，85 年 6 月

## 2.現有廢油泥資源化技術

由於廢油泥之流動性大且熱值高，在處理方法選擇上，通常考慮使用焚化處理。依燃燒理論而言，如果燃燒溫度達  $800^{\circ}\text{C}$  以上，絕大多數的有機碳氫化合物 (organic carbon compound) 皆可被熱破壞分解成二氧化碳與水，達到減量及熱能回收之處理目標。然而，焚化處理設備之投資費用過於龐大，操作與維護費用亦高，係採用此法必須考量評析之重點。除了焚化處理外，固化 (solidification) 或安定化 (stabilization) 處理亦有成功之實例，固化法或穩定化法係利用有機與無機安定劑之混合體，以達到將油泥中之重金屬與油脂物質固定化的目的。此類固化劑多含有水泥、波索蘭物質與有機安定劑等成分，固化或穩定化處理之最大缺點在於廢棄物之成分與安定劑比例之控制較難，且處理後之重量及體積均增大 (增大率  $10\sim 70\%$ )，違反了廢棄物處理之基本原則—減量化，除非能再進一步加以再利用。

因此，為使油泥之回收處理符合資源化之目標，茲評估下列五種廢油泥資源化技術以供參考。

### (1)加熱處理法

#### A.高溫法

高溫法係將油泥加熱至  $450^{\circ}\text{C}$ ，使油泥中之油份裂解揮發，所產生的油氣再經由冷凝單元進行油氣回收，而殘留之渣滓則以掩埋方式處理。由於高溫處理時，廢油泥中的蠟與柏油會造成裂解，而發生臭味與硫化氫，且油料回收率僅  $34\%$ 。

#### B.低溫法

為改善高溫法所產生臭味之困擾，低溫法技術係將加熱溫度降為  $130\sim 150^{\circ}\text{C}$ ，使油泥中的蠟或重質油份之黏度降低，直接回收其溶解油及由冷凝管回收揮發的油氣，本法之優缺點整理如表 5.3 所示。這些回收之溶解油可直接摻配燃料油進行再煉製，其操作流程如圖 5.13 所示，處理程序說明如下：

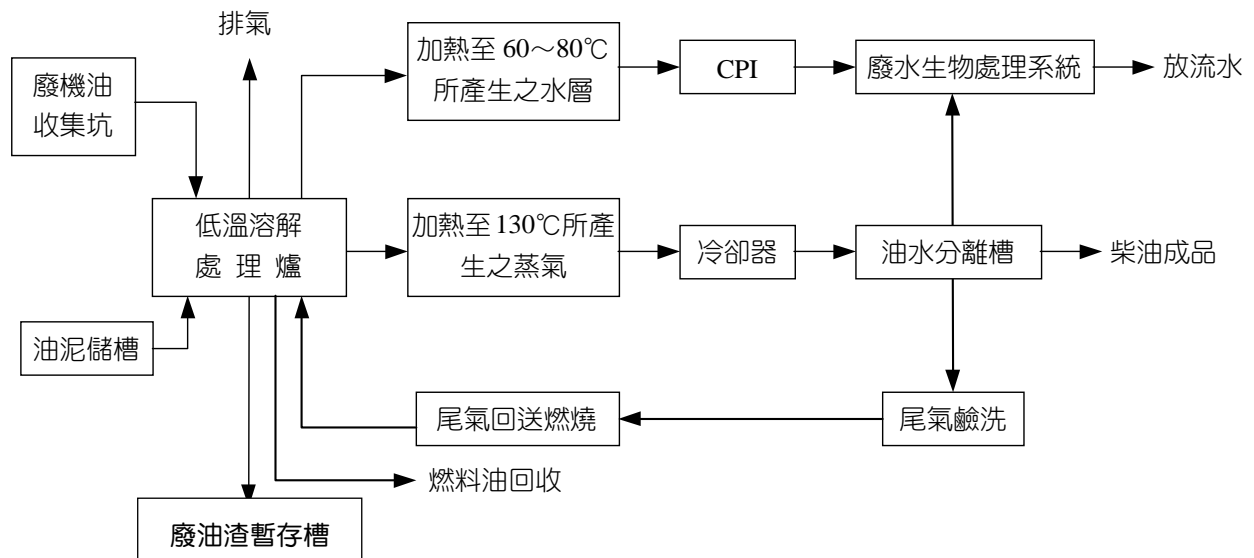
- a. 粘稠狀之油泥經輸送至廢油泥處理釜後，點火加熱至  $60^{\circ}\text{C}$ ，油泥即開始溶解，繼續加熱至  $80^{\circ}\text{C}$  左右，上方會產生含油水層，此一水層排放至 CPI 進行油水分離處理。

- b.再繼續加熱至 90℃ 左右，輕質油份及水份開始蒸發排出，經冷卻器冷凝後流入油水分離槽。再繼續加熱至 130℃ 左右，維持加熱時間約為 8 小時之後熄火。
- c.靜置約 8~10 小時，使固體物沉澱至處理釜底部，溫度降至 90℃ 左右，即以油泵抽送上層液至槽車，再運送至燃料油槽。
- d.抽送完成後，再利用油泵將殘留管線中之油料泵回廢油泥處理釜，以防止油料因溫度下降而造成堵塞管線之情況發生。

表 5.3 低溫法處理油泥之優缺點比較

優 點	缺 點
1.操作溫度低，可節省能源耗用。 2.尾氣經洗滌後排放，可改善臭味問題。 3.減少煙囪廢氣之排放量。	1.油份回收率僅達 72.5%。 2.批次操作處理量有限。 3.殘渣油份含量仍高，不利於最終處置。

資料來源：廢棄物資源化技術資料彙編，85 年 6 月



資料來源：廢棄物資源化技術資料彙編，85 年 6 月

圖 5.13 油泥低溫溶解處理流程圖

## (2)直接壓濾法

直接壓濾法屬物理處理方法，由於油泥中含水份達 65% 以上，油份含量約 30%，以壓濾方式去除油泥中大部份之含水份及油份，其體積減少率可達 90% 以上，此法適用於流動性較佳之油泥。

本法利用助濾劑添加於油泥中並預覆於濾布上，在終端壓力為  $6\text{kg/cm}^2$  之情況下，壓濾時間為 30 分鐘，將油泥中之水份與油份壓出，且破壞油泥中原有乳化狀態，壓出之油份於去乳化後自動分層，約可回收 85~90% 油份，分層後之廢水經生物處理達放流水標準後排放，廢油則送至煉油製程再煉製。而壓濾之泥餅中殘餘油份約 10%，含水率  $<50\%$ ，其處理流程如圖 5.14 所示。

壓濾後之濾餅熱值仍有 2,500~3,000 kcal/kg，可採焚化處理，或將濾餅送水泥窯摻配於原料中燒成，因其所含成分均屬無害，且添加之摻配量與水泥總量間之比例極小，因此對於水泥產品之品質並無影響。本法之優缺點比較如表 5.4 所示。

表 5.4 直接壓濾法處理油泥之優缺點比較

優 點	缺 點
1.操作維護容易。 2.體積減量佳。 3.初設費用低。 4.操作維護成本低。	1.後續焚化處理初設費高。 2.殘餘油份仍有 5~10%。 3.批次操作，濾布清洗不易。

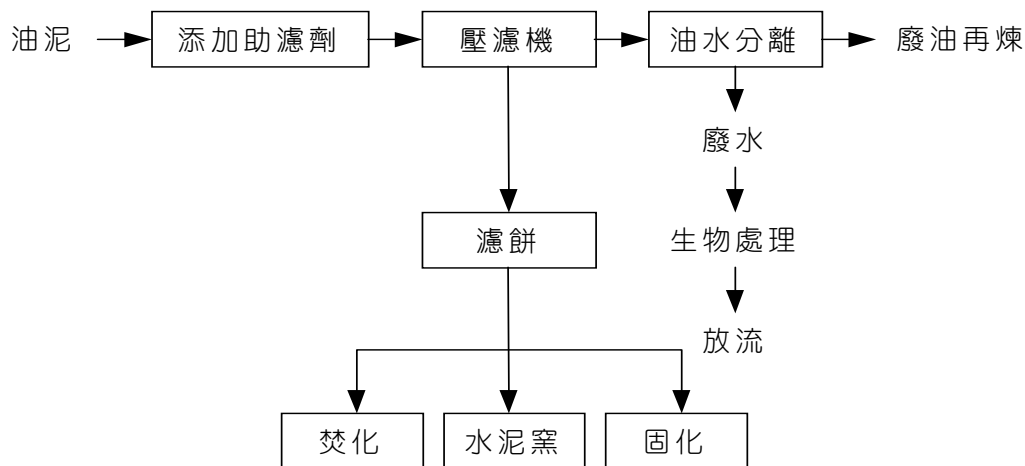
資料來源：廢棄物資源化技術資料彙編，85 年 6 月

## (3)溶劑萃取法

廢油泥中含有許多 C4~C10 之揮發性碳氫化合物(volatile organic compounds)及油品，可以溶劑萃取將碳氫化合物分離回收，分離後之殘渣則以固化或掩埋處置。已知之溶劑萃取法有下列四種方法：

### A.臨界流體萃取法(critical fluid extraction, CFE)

以臨界流液態氣體及揮發性碳氫化合物為溶劑，該法尚在實驗階段。



資料來源：廢棄物資源化技術資料彙編，85 年 6 月

**圖 5.14 油泥直接壓濾處理流程**

#### B.低能量萃取法(low energy extraction process, LEEP)

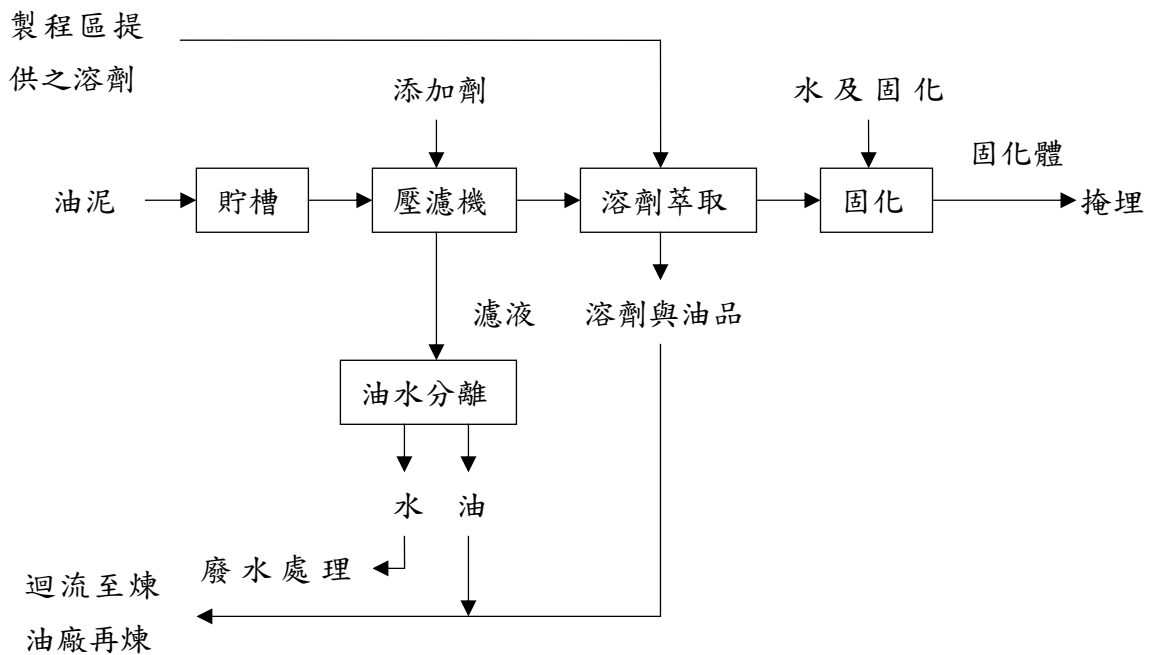
以多種溶劑多段萃取回收不同之油品，本法尚在模廠階段。

#### C.三乙胺萃取法(triethylamine extraction process，又稱 B.E.S.T 法)

本法之特色為以三乙胺(triethylamine, TEA)為萃取溶劑，藉由三乙胺在低溫時極性大，可與水互溶，而高溫時三乙胺極性小，可與油脂互溶之特性，在操作程序中先控制溫度在 4°C 萃取出油脂類後，再提高溫度至 54°C，將油水分層並將水份去除，最後以蒸氣汽提(steam stripping)方式回收油脂。本法為 RCC 公司 (Resource Conservation Corp.)開發之油泥處理方式，目前已商業化運轉，每噸油泥處理費用約為台幣 1,100~4,125 元（視其處理規模而定）。

#### D.BP 回收法

BP 回收法為英國石油公司(British Petroleum Corp.)研發之油泥回收方法，其處理流程如圖 5.15 所示，先將油泥經壓濾脫水，操作溫度控制在 38~66°C，操作壓力為 100 psi，使油份與水份分離，再將廢油回收予以重煉，濾餅則送至萃取反應槽中，以溶劑反覆萃取其中之碳氫化合物成分，一般而言，總油份之回收率可達 98%，而最後殘渣則以固化處理，目前本法已經商業化運轉。



資料來源：廢棄物資源化技術資料彙編，85 年 6 月

**圖 5.15 BP 油泥萃取處理流程圖**

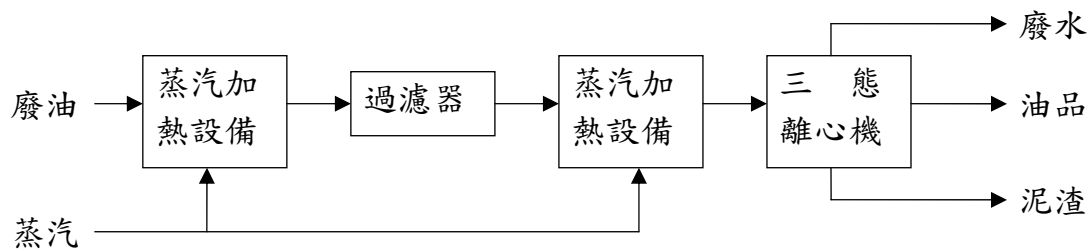
#### (4)離心處理法

本法係利用離心原理，將成分複雜的油泥分為油、水及固體物三態，並回收油份重煉，以達到資源回收之目的，其操作流程如圖 5.16 所示，廢油藉蒸汽之熱導作用予以加熱，使其保持流動性，以利通過過濾器，將顆粒物質篩除後送入三相分離離心機，依各相比重之不同而分為三相層，油分由管線輸往貯槽暫存，再送至煉油設備回收，水分則併入生物處理系統處理，剩餘的泥渣則經脫水後焚化處理。

此處理設施之心臟部份為一三態直立式分離機，其特點為：

- A.離心力高達 6,000 G。
- B.每小時可處理 15~30m<sup>3</sup> 油泥。
- C.分離物之品質穩定，回收油分之純度高。
- D.在不同物性之進料下仍可繼續操作。

油泥採用離心處理法的優缺點比較如表 5.5 所示。



資料來源：廢棄物資源化技術資料彙編，85 年 6 月

**圖 5.16 油泥離心處理操作流程圖**

**表 5.5 離心處理法處理油泥之優缺點比較**

優 點	缺 點
1.操作維護容易。 2.體積減量佳。 3.操作維護成本低。 4.所占空間不大。 5.油份回收率高。	1.須導入蒸汽。 2.尚有泥渣處置問題。 3.進料中水份須高於 25%，過低則流動性不足，易阻塞管線。

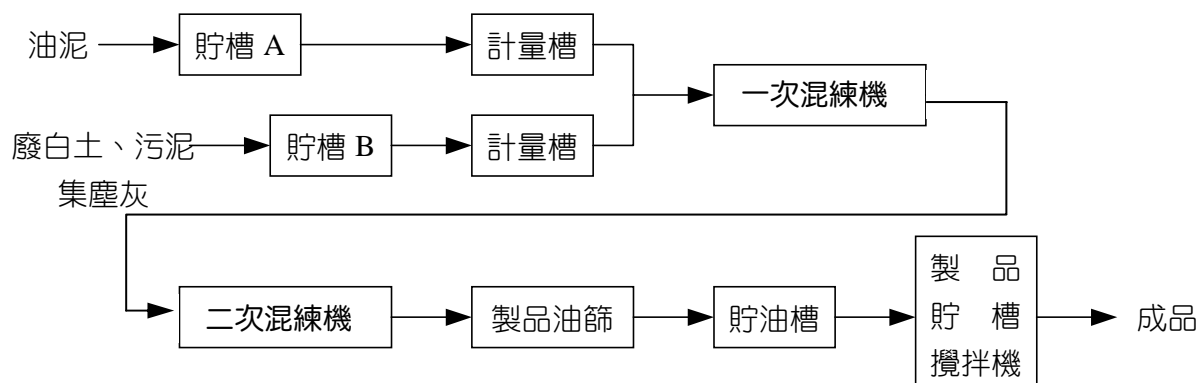
資料來源：廢棄物資源化技術資料彙編，85 年 6 月

#### (5) 泥燃劑製程

國內已有廠商引進日本技術，利用各事業機構產生之廢棄物，諸如油泥、廢液、廢油、廢白土、污泥及集塵灰等，依各組合物之熱值分析，經由粉碎、過篩、攪拌、輸送及混煉過程，並添加適量之乳化安定劑，製成熱值達 4,000 kcal/kg 以上之輔助燃料，稱為「泥燃劑」(slurry fuel)，其製程如圖 5.17 所示。

有關泥燃劑之成分比率及規格如表 5.6 所示，目前已使用於台灣的水泥廠旋窯中作為輔助燃料之用。本法之優缺點比較如表 5.7 所示。





資料來源：廢棄物資源化技術資料彙編，85 年 6 月

**圖 5.17 泥燃劑製造流程圖**

**表 5.6 泥燃劑之成分比例及規格要求**

成分比例		規格要求	
油 份	30~60%	熱 值	4,000~4,500kcal/kg
水 份	20~30%	黏 度	500~1,000 cp
固形物	10~50%	氯 含 量	< 2,000 ppm
		最大粒徑	5 mm

資料來源：廢棄物資源化技術資料彙編，85 年 6 月

**表 5.7 泥燃劑處理法處理油泥之優缺點比較**

優 點	缺 點
1. 操作維護成本低。 2. 體積減量佳，最終處置之殘餘量最小。 3. 混合較低熱值廢棄物共同焚化處理。	1. 採樣分析作業頻繁。 2. 摻配程序及成分屬技術專利，需付專利授權使用費用。

資料來源：廢棄物資源化技術資料彙編，85 年 6 月

### 3. 廢油泥資源化技術評析

根據上述各項資源化技術，就各項技術原理、流程、適用對象、成品與適用範圍、技術成熟與實績及特點等要項，彙整如表 5.8 所示。

表 5.8 廢油泥資源化技術評析

技術名稱	原理、流程	適用對象	成品與適用範圍	技術成熟與實績	特點(含應用限制)
低溫溶解法	加熱溫度至 130℃，利用沸點之不同，回收油品	較無限制	回收油重煉	已有實績	1.操作溫度低，可節省能源 2.油份回收率僅 72.5%
直接壓濾法	利用經助濾劑預覆之濾布，將油泥中之水份與油份壓出分離	較無限制	回收油重煉	已有實績	1.體積減量佳且初設費低 2.濾布清洗不易
溶劑萃取法	以溶劑萃取分離回收油泥中之碳氫化合物	較無限制	回收油重煉	部份技術尚在實驗階段	1.溶劑可回收使用，節省成本 2.許多方法尚在實驗階段
離心處理法	利用離心原理，將油泥分為油、水及固體物三態	較無限制	回收油重煉	已有實績	1.油份回收率可高達 95% 2.進料中水份須高於 25%，否則易阻塞
製作泥燃劑	利用各事業廢棄物不同配比，製程熱值達 4,000kcal/kg 之水泥窯輔助燃料	較無限制	泥燃劑	已有實績	1.最終處置殘餘量小 2.製程中須增加採樣分析作業

資料來源：廢棄物資源化技術資料彙編，85 年 6 月

#### (1)國內再利技術使用現況

目前國內油泥再利用技術除前述中之「溶劑萃取法」外，其餘已成功自國外引進使用，中油公司內部使用之處理法有：桃煉廠採低溫溶解處理法，高雄總廠為直接壓濾法，而大林廠為直接焚化法（非再利用技術）。另國內有兩家甲級廢棄物處理機構分別將油泥製作成「泥燃劑」（目前僅作為水泥業輔助燃料）及使用「離心處理法」（回收油份送中油公司重煉）。

#### (2)國內處理技術與環境需求

由於鋼材製品業產生油泥數量並不多，資源化之產品目前係以泥燃劑為主，雖然，所含物質具回收價值，在選擇採用之回收處理技術所需考慮因素偏重於技術性及回收效益，包括下列各項條件：

A.回收處理須為已商業化且穩定操作之技術。

B.初設費用。

C.操作成本應符合經濟效益。

D.能源回收之用途及經濟價值。

E.操作技術之訓練完整。

F.維修保養簡易。

G.無二次公害污染問題。

### (3)技術可行性

若依上述考量因素分析各技術之可行性，其評估結果及使用現況彙整如表 5.9 所示，前四項再利用方式產生之泥渣（或泥餅）尚需經由焚化處理，而泥燃劑則主要用作水泥窯之輔助燃料，就其技術可行性而言，除直接焚化是一項昂貴且難操作維護之投資外，其餘方式均屬可行；而其經濟效益則與事業機構本身之環境條件及最終處理設備（有無焚化爐）有密切關係，尚待進一步之評估才能決定再利用之選擇方式。

表 5.9 廢油泥資源化技術可行性評估

技術方案 項目	熱處理— 低溫法	直接壓濾法	溶劑萃取法	直接焚化法	離心處理法	製作泥燃劑
1.商業化穩定 操作之技術	是	是	是	是	是	是
2.初設費	低	低	中	高	中	中
3.操作成本	中	低	中	高	中	中
4.能源回收之 用途及經濟 價值	· 用途：再煉 · 降低原油煉 製成單位成 本	· 用途：再煉 · 降低原油煉 製單位成本	· 用途：再煉 · 降低原油煉 製單位成本	· 用途：廢熱 回收 · 視處理量大 小而定	· 用途：再煉 · 降低原油煉 製單位成本	· 用途：製作 泥燃劑 · 作水泥窯輔 助燃料出售
5.操作技術	簡單	簡單	較高	高	簡單	高
6.維修保養	易	易	易	較難	易	易
7.二次公害污 染防治	無需	無需	無需	需完善 之規劃	無需	無需
8.國內使用情 形	石油煉製廠廠 內設置	石油煉製廠廠 內設置	尚未引進，研 發中	石油煉製廠廠 內設置	甲級處理業使 用技術	甲級處理業使 用技術

資料來源：廢棄物資源化技術資料彙編，85 年 6 月

## 5.4 廢溶劑資源化技術

### 1. 廢溶劑特性及鋼材製品業廢溶劑產源

工業上使用之溶劑，大都屬於有機溶劑，而有機溶劑係指在正常溫度及氣壓下為揮發性液體，且具有溶解其他物質特性之有機化合物，目前有 55 種有機溶劑列入 89.12.27 勞委會「勞工安全衛生法」之管制，而這 55 種也是工業上應用最廣泛之溶劑。常見之有機溶劑除了作為填料、稀釋、清洗等溶劑用途，以及參與化學反應之工業製程上使用外，在我們日常生活也與之息息相關，如清潔劑、稀釋劑、香蕉水、調薄水、乾洗油、去漬油、松香水、黏著劑、強力膠、金屬除污劑、油墨、油彩、油漆、凡立水、殺蟲劑、表面處理劑等都是有機溶劑混合物，可說是隨時暴露於有機溶劑下，而不可忽略其可能潛在之健康危害，數種在漆料中常使用之有機溶劑之特性如表 5.10 所示。

表 5.10 漆料常使用之有機溶劑特性一覽表

種類	密度(g/cm <sup>3</sup> )	閃火點(°C)	沸點(°C)	自燃溫度(°C)	特性
異丙醇(IPA)	0.786	11.7	82.4	453	易燃
甲基乙基酮(MEK)	0.826	-4.4	79.6	515	芳香、易燃
丙酮	0.792	-9.4	56.2	537	芳香、易燃
乙酸丁酯	0.882	36.6	126.3	421	水果香、易燃
甲苯	0.866	4.4	110.7	536	淡香、易燃
二甲苯	0.860	27.2~46.1	135.0~150.0	527	芳香、易燃

資料來源：化學化工百科辭典，曉園出版社，81 年。

鋼材製品業的廢溶劑主要產源來自軋延鋼捲後段的烤漆製程，如圖 5.18 所示。彩色烤漆鍍面鋼捲共有底漆、面漆及背面漆三道。面漆共有四種，一般為聚酯樹脂、矽化聚酯樹脂、PVC 塑膠脂和聚二氟乙烯樹脂；背面漆採用環氧樹脂及聚酯樹脂；底漆則使用環氧樹脂。

烤漆主要製程單元有化學前處理及面漆、底漆、背面漆。

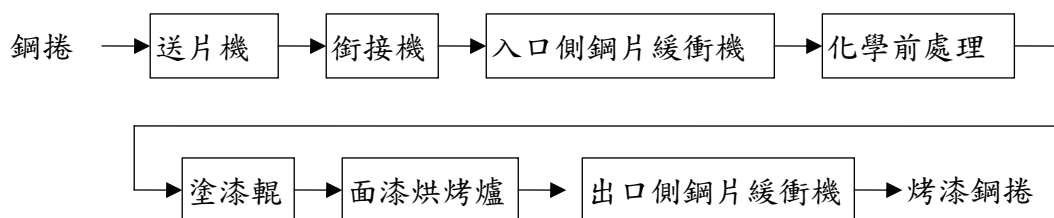
#### (1) 化學前處理

化學前處理步驟包括脫脂、熱水水洗、冷水水洗、表面調整(鹼液)、水洗、化學前處理液、水洗等，主要的廢水來源為化學前處理液及水洗水。

為配合不同的鋼捲種類而採用不同的化學前處理液。鍍鋅鋼板採用磷酸鹽系，鍍鋁鋅鋼板則採鉻酸鹽系。磷酸鹽具有防蝕的作用，其方法為在鋼板上塗佈一層磷酸鹽，以作為油漆之底層即可。

## (2)面漆、底漆、背面漆

烤漆製程中使用的烤漆量 10% 用於漆料調配，並產生 0.5% 烤漆量的廢溶劑及約 5% 烤漆量的廢漆。底漆及面漆烘烤爐為密閉式，有抽氣設備將揮發性物質抽至廢熱鍋爐燃燒，回收熱能。



資料來源：整理自污染防治服務團工廠輔導報告

**圖 5.18 烤漆鋼捲生產流程圖**

依據環保署事業廢棄物管制中心資料統計，民國 92 年鋼材製品業相關之廢溶劑申報量如表 5.11 所示，包含閃火點小於 60°C 廢液(不包含乙醇體積濃度小於 24% 之酒類廢棄物)、廢油漆與漆料、非有害有機廢液或廢溶劑共 600 公噸。其申報之清理方式及再利用方式如表 5.12 所示，包括蒸餾、焚化、再生泥燃劑、作為水泥窯之輔助燃料等。

**表 5.11 鋼材製品業相關廢溶劑申報量**

廢棄物代碼	廢棄物名稱	總申報量 (公噸)	廠內清理申報量 (公噸)	廠外清理申報量 (公噸)	回收再利用申報量 (公噸)
C-0301	廢液閃火點小於 60°C(不包含乙醇體積濃度小於 24% 之酒類廢棄物)	578	0	524	54
D-1701	廢油漆、漆渣	18	0	18	0
D-1504	非有害有機廢液或廢溶劑	4	0	4	0
合計		600			

資料來源：92 年事業廢棄物管制中心申報資料彙整

表 5.12 鋼材製品業相關廢溶劑清理及再利用申報現況

廢棄物代碼	廢棄物名稱	廠內清理方式	廠外清理方式	回收再利用方式
C-0301	廢液閃火點小於 60°C(不包含乙醇體積濃度小於 24%之酒類廢棄物)	---	回收再利用、蒸餾回收、委託焚化處理	作為水泥窯之輔助燃料
D-1701	廢油漆、漆渣	---	回收再利用、委託焚化處理	---
D-1501	非有害有機廢液或廢溶劑	---	再生泥燃劑	---

資料來源：92 年事業廢棄物管制中心申報資料彙整

## 2.廢溶劑之資源化及處理現況

民國 89 年 5 月間發生高雄縣旗山溪因昇利化工公司將所收集之廢溶劑非法傾倒，造成嚴重污染之事件以來，政府單位為了積極解決廢溶劑所造成之嚴重問題，依據行政院 90 年 1 月 17 日「全國事業廢棄物管制清理方案」，有關廢溶劑之具體實施措施，包括由環保署積極輔導及加速審查合法業者申請或變更廢溶劑處理等相關許可，並於 90 年 3 月 7 日所修訂之「有害事業廢棄物認定標準」中，將閃火點低於 60°C 以下之廢溶劑，並採焚化或熱處理者，得認定為一般事業廢棄物，但處理前之貯存、清除，應符合有害事業廢棄物相關規定；另由經濟部工業局研擬「水泥窯或旋轉窯使用廢溶劑作為輔助燃料認定原則」，建請環保署於 89 年 11 月 7 日函頒為依法許可之事業廢棄物處理方式，核准水泥業者以廢溶劑作為輔助燃料，以協助解決廢溶劑去處問題。環保署函頒之「水泥窯或旋轉窯使用廢溶劑作為輔助燃料認定原則」內容如下：

因水泥窯/旋轉窯具有一般焚化爐應具備之 3 T 條件(溫度、時間及攪拌)，其燒成溫度為 1,200~1,450°C，滯留時間為 5~10 秒。美國、加拿大、英國、法國及日本等國家均利用其功能處理事業廢棄物，而該類廢棄物之熱值如達 2,000kcal/Kg 以上，即可充當輔助燃料以取代生產中使用之燃料，同時達到處理事業廢棄物及降低燃料成本之雙重目的，因而大幅降低生產成本，並妥善處理事業廢棄物。然採用廢有機溶劑以取代燃煤或其他燃料時，應就水泥窯／旋轉窯本身之操作條件及限制加以考量，而生產之產品品質是否受廢棄物之內容物影響，亦是重要考慮因子。根據國內外實際處理資料，擬定「水泥窯或旋轉

窯使用廢溶劑作為輔助燃料認定原則」如下，以供各界參採。

- A.廢溶劑之熱值應高於 2,000kcal/Kg。
- B.廢溶劑之灰分應低於 12%。
- C.廢溶劑之含氯量應低於 1,000ppm，芳香族氯化物不得檢出。
- D.廢溶劑之含硫量應低於 2%。
- E.廢溶劑之含 Pb、Cd、Cr、Zn、As、Hg 量各應低於 50ppm。
- F.廢溶劑之 pH 值應介於 4~12.5 之間。

使用時，並應搭配下列相關管理措施：

- (1)水泥窯/旋轉窯應增設噴霧設備，提高霧化作用。
- (2)應設置攪拌調勻槽，使噴進窯內之液體廢棄物發熱值、含水、硫、氯量均勻，掌握穩定之操作狀況。
- (3)進場之廢棄物管理應注意其相容性，以免發生燃燒、爆炸或堵塞等意外事件。
- (4)進行處理前，廢有機溶劑之收集貯存及其黏度、水分與氯含量應加以品質控管。並應加以拌勻至一定品質水準後（熱值與微量元素均勻化），由窯前及（或）Calcliner 噴入加以再利用，以防燃燒、爆炸或堵塞之問題。
- (5)水泥窯/旋轉窯應以實際仍在生產者為限，且操作溫度超過 1,200℃、滯留時間 5 秒以上者為限。
- (6)應依環保相關法規規定，以做好二次污染防治工作與查核資料管理。

此認定原則自 89 年執行迄今，廢溶劑再利用之技術及用途日趨成熟，其再利用之用途已非僅限作為水泥窯或旋轉窯之輔助燃料，因此環保署考量實際情況，遂於 93 年 1 月 2 日公告將於 93 年 9 月 1 日起停止適用前述之認定原則，使以廢溶劑作為水泥窯或旋轉窯輔助燃料之階段性任務暫告完成，未來廢溶劑之再利用將依其實際之再利用方式，依照相關之再利用規定辦理。

現有廢溶劑之處理方式，除了少部份由溶劑製造業者所設之簡易型焚化爐逕行處理外，亦有部份經由使用業者所設之線上回收處理設施，以回收品質較佳之溶劑進行再使用；而遭污染或純度較差無法於廠內回收再利用者，則委託清理機構及再利用機構代行清理或再利用，目前國內廢溶劑處理機構及再利用機構計有 24 家，總核准處理容量約為每年 1,275,300 公噸，如表 5.13 所示。

表 5.13 國內廢溶劑處理機構及再利用業者一覽表

機構名稱	核准處理種類	處理方式	核准處理量	說明
總合溶劑	廢液閃火點小於 60℃（不包含乙醇體積濃度小於 24%之酒類廢棄物） 非有害有機廢液或廢溶劑	蒸餾	720 公噸/月	處理機構
日友環保科技	廢液閃火點小於 60℃（不包含乙醇體積濃度小於 24%之酒類廢棄物）	焚化	1,140 公噸/月	處理機構
圓立環保	廢液閃火點小於 60℃（不包含乙醇體積濃度小於 24%之酒類廢棄物）、非有害有機廢液或廢溶劑	蒸餾	360 公噸/月	處理機構
鈺辰企業	廢液閃火點小於 60℃（不包含乙醇體積濃度小於 24%之酒類廢棄物）	焚化	712 公噸/月	處理機構
幸福水泥東澳廠	廢液閃火點小於 60℃（不包含乙醇體積濃度小於 24%之酒類廢棄物）、非有害有機廢液或廢溶劑	再利用(作為替代原物料)	33,720 公噸/月	清理機構
宇鴻科技	廢液閃火點小於 60℃（不包含乙醇體積濃度小於 24%之酒類廢棄物）、非有害有機廢液或廢溶劑、廢油漆、漆渣	焚化	3,450 公噸/月	清理機構
順倉	廢液閃火點小於 60℃（不包含乙醇體積濃度小於 24%之酒類廢棄物）、非有害有機廢液或廢溶劑	蒸餾	2,844 公噸/月	清理機構
易增	廢液閃火點小於 60℃（不包含乙醇體積濃度小於 24%之酒類廢棄物）、非有害有機廢液或廢溶劑、廢油漆、漆渣	蒸餾	720 公噸/月	清理機構
勁銖科技	廢液閃火點小於 60℃（不包含乙醇體積濃度小於 24%之酒類廢棄物）、非有害有機廢液或廢溶劑、廢油漆、漆渣	焚化	561 公噸/月	清理機構
環偉實業	非有害有機廢液或廢溶劑、廢油漆、漆渣	焚化	1,800 公噸/月	處理機構
南亞塑膠工業麥寮總廠	非有害有機廢液或廢溶劑、廢油漆、漆渣	焚化	6,000 公噸/月	處理機構
昌冠企業	非有害有機廢液或廢溶劑、廢油漆、漆渣	焚化	720 公噸/月	處理機構
達和清宇	非有害有機廢液或廢溶劑、廢油漆、漆渣	調配泥燃劑	9,000 公噸/月	處理機構
欣榮企業	非有害有機廢液或廢溶劑、廢油漆、漆渣		40,500 公噸/月	清理機構
亞洲化學楊梅一廠	EBR（晶邊清洗劑）廢液	蒸餾	150 公噸/月	再利用機構



表 5.13 國內廢溶劑處理機構及再利用業者一覽表（續）

機構名稱	核准處理種類	處理方式	核准處理量	說明
昇利化工	甲苯、二甲苯、甲醇、乙醇、異丙醇、正丁醇、醋酸丁酯、丙酮、丁酮等廢液	蒸餾	400 公噸/月	再利用機構
李長榮化工林園廠	異丙醇、丙酮等廢液	蒸餾	760 公噸/月	再利用機構
台灣肥料新竹廠	洗淨液廢液(D.M.S.O)、剝離劑廢液(S.P.X)	蒸餾	815 公噸/月	再利用機構
勝一化工彰濱廠	異丙醇、丙酮廢液	蒸餾	150 公噸/月	再利用機構
勝一化工永安廠	乙酸正丁酯廢液	蒸餾	100 公噸/月	再利用機構
駿瀚生化	光阻液剝離劑廢液	蒸餾	150 公噸/月	再利用機構
長春石油化學苗栗二廠	剝離劑廢液、浸洗劑廢液	蒸餾	876 公噸/月	再利用機構
三合化學楊梅廠	異丙醇廢液	蒸餾	600 公噸/月	再利用機構
台灣水泥蘇澳廠	廢溶劑	輔助燃料	30 公噸/月	再利用機構

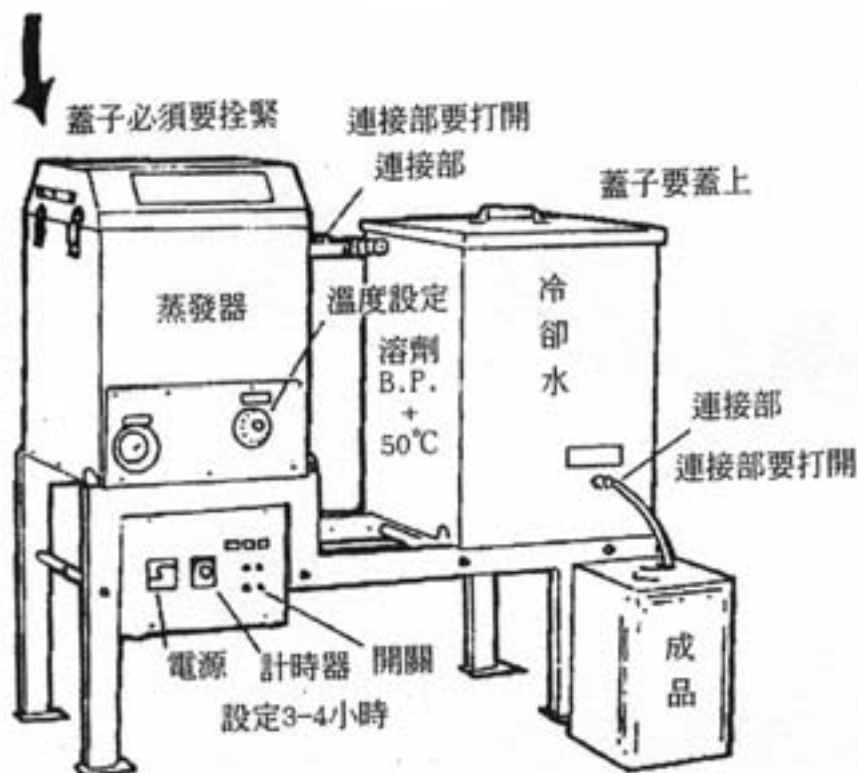
資料來源：財團法人台灣綠色生產力基金會彙整

### 3.廢溶劑資源化技術

廢溶劑之妥善處理方式當以資源化為最佳策略，但究竟是物質回收或是熱能回收處理(thermal treatment)，因前者係以化學物品之回收再利用為主要用途，因此其純度等級乃為首要考慮之要項，故必須著重於蒸餾(distillation)、萃取(extraction)、滲透蒸發、擴散透析、超臨界流體萃取(supercritical fluid extraction)等各種化學分離程序；而後者則主要進行熱能之回收，而如何維持混合均勻之廢溶劑摻配技術及建立穩定之操作及控制參數乃為重點。廢溶劑以物質回收方式應是最佳之途徑，至於回收過程之殘渣，則須再以熱處理方式進行。

#### (1)簡易回收裝置

此法為最簡單的現場回收裝置，乃將廢溶劑收集後，在現場以簡易型的溶劑回收裝置(如圖 5.19 所示)加溫簡單蒸餾回收，所需設備投資少，操作簡易，回收之溶劑可再使用，目前國內有不少廠家使用，但回收量限於設備容量，無法大量操作，且在特定狀況下，需考慮防爆需求。



資料來源：國內廢溶劑回收處理及處置現況，工程雙月刊第 74 期第三卷，p.32~41，民國 90 年 4 月

**圖 5.19 廢溶劑簡單蒸餾回收裝置**

## (2) 蒸餾回收

有機溶劑具有低沸點及高揮發性之特點，而在常溫下即具有較高之蒸氣壓，因此可藉由沸點不同之差異，將混合廢溶劑中各不同之成分分離乃為最簡易之方式，其優點為操作簡單，可將廢溶劑回收再使用，且適合大量處理。

依據 Raoult's law，混合液中各成分之蒸氣分壓依其在水中之莫耳分率而定：

$$P_i = P_{0i} \times X_i$$

其中， $P_i$  為成分  $i$  在氣相中之蒸氣分壓， $P_{0i}$  為純成分  $i$  之飽合蒸氣壓(依溫度而定)， $X_i$  為  $i$  成分在液相中之莫耳分率，一般廢溶劑除主成分外，其餘多以水為主，對水而言，則為  $P_w = P_{0w} \times X_w$ ，因此任何溫度之氣相總蒸氣壓 ( $P_T$ ) 皆為該溶劑與水之組成 ( $P_T = P_i + P_w$ )。

若以異丙醇之蒸餾回收為例，假設原廢溶劑中含異丙醇 90%，其餘為水，

則廢溶劑中異丙醇與水之莫耳分率比約為 1.5 : 0.5 (即異丙醇之  $X_i$  為 0.75)。在一大氣壓下異丙醇之沸點為  $82.4^{\circ}\text{C}$ ，亦即該溫度時異丙醇之飽和蒸氣壓為 760mmHg，但相對之該溫度時，水之飽和蒸氣壓僅為 385mmHg，因此初始氣相中之成分絕大部份為異丙醇，蒸餾前段所得到之餾出物，可謂純度極高之異丙醇。然而，隨著氣相中異丙醇被蒸出之比例愈來愈高，液相中異丙醇相對於水之莫耳分率即逐漸降低，所蒸出之氣體中水之比例( $P_w$  愈大)乃愈來愈高，亦即蒸餾回收之異丙醇純度愈來愈低。因此，單階段之蒸餾操作所回收之溶劑純度有一定之限制乃屬必然，化工廠之操作其實是藉由多段式之分餾塔反復調整氣—液相中成分之組成比例，以獲得單一成分組成較高之回收液。但是對於廢溶劑回收處理業者而言，每批次所取得之廢溶劑不僅組成百分比變化不定，連成分亦為大幅度波動，因此操作條件永遠無法固定，換言之，回收之成分難以控制維持一定，這是廢溶劑不可能藉由蒸餾法回收原化學品之主要原因。此外，若除水份外，尚另含二種以上其他成分，則共沸現象更是在所難免，在共沸點(azeotropic point)時所獲得之餾出物永遠維持一定之組成比例，故回收高純度溶劑極為困難。

採取蒸餾法時，應針對廢溶劑成分之組成，考慮最佳之經濟效益，操作於最適合之蒸餾條件。一般而言，欲回收主成分中之 80% 是極易經由蒸餾獲得，但欲再回收殘存之 20%，則所花費之成本將更遠高於前者。由此可知，蒸餾回收所面臨之基本技術問題，在於回收率低則殘留量高，後續處理成本也偏高；但若欲提高蒸餾回收率，則多次蒸餾之成本卻更將巨幅增加。

因此，採取蒸餾法將僅限於以下之應用時機：

- A. 廢溶劑之收集管理系統，已達到除主成分外不得混雜其他成分之目標。
- B. 回收物質非以化學品為再利用目標。如前述之異丙醇若欲作為化學品之用途，則純度之要求較嚴格，但若僅以作為稀釋劑等用途，則純度要求之限制將較低。

除此之外，採取蒸餾法應注意下列事項：

- A. 捕捉揮發氣體時，應避免煙火造成之工安災害，與員工吸入時之潛在健康危害。
- B. 餾出物之再純化步驟，可考慮吸附、薄膜分離等技術。

C.塔底殘渣之再處理，一般當以熱處理方式減量為最可行。

混合廢溶劑之蒸餾流程如圖 5.20 所示，表 5.14 所示則為混合廢溶劑在下列操作條件之回收結果。表 5.15 所示為各種工業用再生溶劑產品之例子。

A.原料填充量：3m<sup>3</sup>/批。

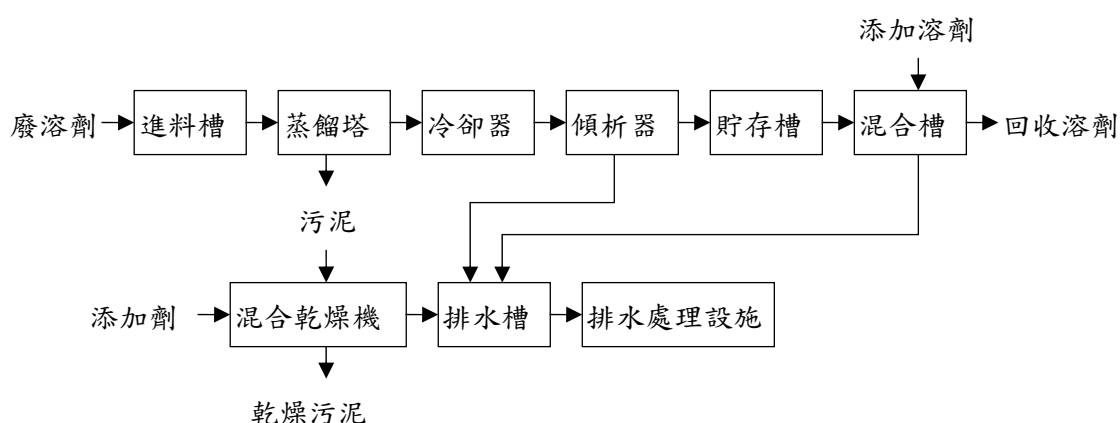
B.蒸餾時間：4~8 小時/批。

C.蒸餾溫度：65~100℃。

D.使用蒸氣壓力：7kg/cm<sup>2</sup>。

E.使用蒸氣溫度：170℃。

在回收廢有機溶劑前，其使用過之廢有機溶劑有些需經前處理。回收處置之前處理目的是為了後續的流程，去除了一些可能之干擾物質，而使後續處理流程更為順利。一般而言，如重力沈澱、過濾、浮除為一些典型的前處理技術。另外也包括其它單元：如在蒸餾(或分餾)之前，先分離高沸點物質，以利提高後段蒸發回收之純度；另外在使用活性碳吸附前，若先行以生物分解較易分解之物質，可確保活性碳使用期限延長，提高吸附能力。國內廢有機溶劑回收業者一般採取的處理流程如圖 5.21 所示。目前國內廢溶劑回收廠商，在回收廢有機溶劑時，應儘可能避免採取太多手續之前處理，因為部份前處理可能需用大量之清水，因而造成二次污染處理之負擔，而提高回收處理費用。



資料來源：經濟部工業局，事業廢棄物處理與資源化技術，P.38，民國 84 年 8 月

圖 5.20 有機混合廢溶劑之蒸餾流程圖

表 5.14 混合廢溶劑之蒸餾操作條件與回收成分

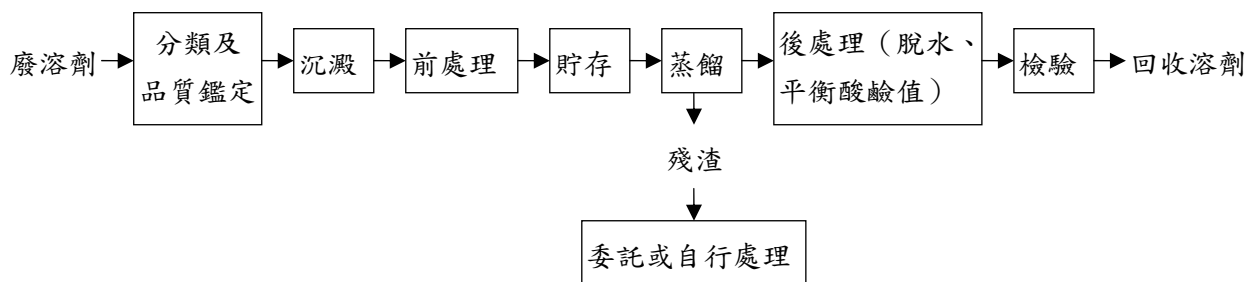
廢溶劑排出源	蒸餾溫度(°C)	蒸餾時間 (hr)	溶劑成分 (vol%)	殘渣成分 (vol%)	主要成分	備註
印刷、油墨	65~100	4	75	25	酯、酮、甲苯	照相凹版、書籍
塗料、塗裝	80~100	8	80	20	二甲苯、甲苯、酯	建築、汽車、船舶
電器	70~100	6	70	30	MEK、甲苯、Anon	磁帶、印刷、基板
接著劑	65~100	6	60	40	酯、酮、甲苯	粘著膠帶、接著劑
醫藥品	65~80	4	95	5	酒精、丙酮	抽出
食品	65~80	4	95	5	酒精、丙酮	抽出

資料來源：經濟部工業局，事業廢棄物處理與資源化技術，民國 84 年 8 月

表 5.15 各種工業用再生溶劑產品

項目	印刷、油墨	塗料、塗裝	電器	接著劑	醫藥品	食品
外觀	透明	透明	透明	透明	透明	透明
色度(APHA)	10 以下	15 以下	10 以下	10 以下	10 以下	10 以下
比重(4°C)	0.865	0.865	0.89	0.89	0.795	0.795

資料來源：經濟部工業局，事業廢棄物處理與資源化技術，民國 84 年 8 月



資料來源：清潔生產雙月刊第 25 期(民國 88 年 8 月)

圖 5.21 廢溶劑之蒸餾及前處理與後處理流程圖

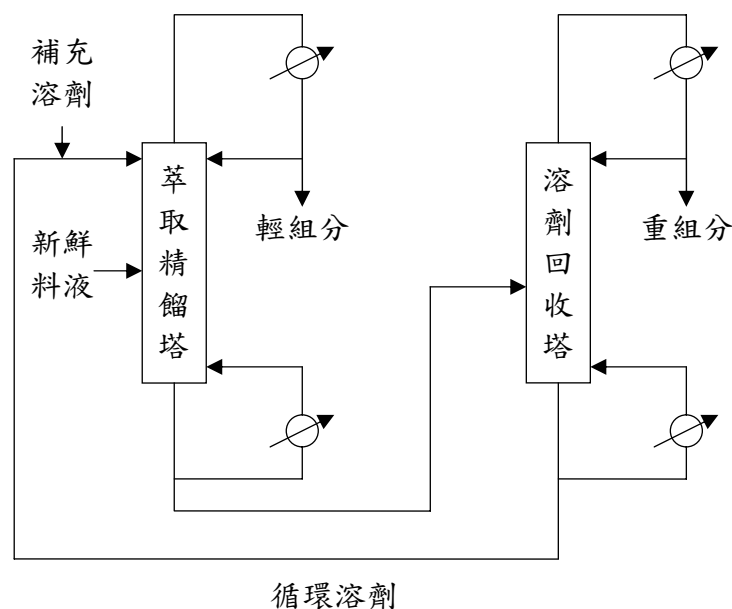
### (3) 萃取精餾

含水之廢溶劑常會形成共沸物，而須藉由加入新鮮溶劑，利用其與水份及有機成分間之作用力不同，而改變原成分間之相對揮發度，如此即可用一般之精餾方法予以分離。而新鮮溶劑之沸點又較原有之任一成分為高，將隨

底流離開精餾塔，此即萃取精餾。如圖 5.22 所示，萃取精餾之主要設備為萃取精餾塔，而為了在絕大部分之塔板上能維持較高溶劑濃度，新鮮溶劑之加入口一定要在進料口上端，但又不能從塔頂引入，因為其加入口以上須還有若干塊塔板，以組成溶劑再生段。新鮮溶劑與重成分一起自塔底引出後，送入溶劑回收裝置。一般此裝置皆使用蒸餾塔將重成分自新鮮溶劑中蒸出，再重新返回萃取蒸餾塔使用。整個流程中新鮮溶劑係循環再生利用，故損失不大，只需添加少量補償即可。

萃取精餾能否達成所希望之處理目標，新鮮溶劑之選擇常是首要關鍵，一般而言，應符合下述要件：

- A. 能使原有成分之相對揮發度依所希望方向改變，而有較大選擇性。
- B. 易於從被分離之混合物中得到再生，包括不與原成分起化學反應、不形成共沸物，並與原有成分有一定之沸點差等。
- C. 適宜之物性，如與原成分有較大之溶解度，使分佈於塔盤上，可產生分層現象；對於黏度、比重、比熱等影響效率和熱量消耗之物性亦需考量。
- D. 須具有使用安全、無毒性、不腐蝕、熱穩定性好、價格便宜等特性。



資料來源：廢有機溶劑回收之清潔生產—純化方法，清潔生產雙月刊，第 25 期，民國 88 年 8 月

圖 5.22 萃取精餾裝置

#### (4)共沸精餾

共沸精餾與萃取精餾的基本原理是一致的，所不同的是在於共沸劑與所欲分離之溶液混合時，除了影響其相對揮發度外，同時還會與其中一個成分形成共沸物。因此，上述之萃取精餾所討論之溶劑相關問題，原則上都適用於共沸劑。

共沸物的形成對於用精餾方法分離液體混合物的條件有很重大的影響，因此共沸現象一直是許多研究工作的對象。根據二元系成分的活度係數與組成的關係可知，純成分的蒸汽壓相差愈小，則愈可能在較小的正（或負）偏差時就形成共沸物，而且共沸組成愈接近莫耳分率，隨者純成分的蒸汽壓差的增大，最低共沸物向含低沸點成分多的濃度區移動，而最高共沸物則向含高沸點成分多的濃度區轉移。系統的非理想程度愈大，則蒸汽壓—組成曲線就愈偏離直線，極值點也就愈明顯。

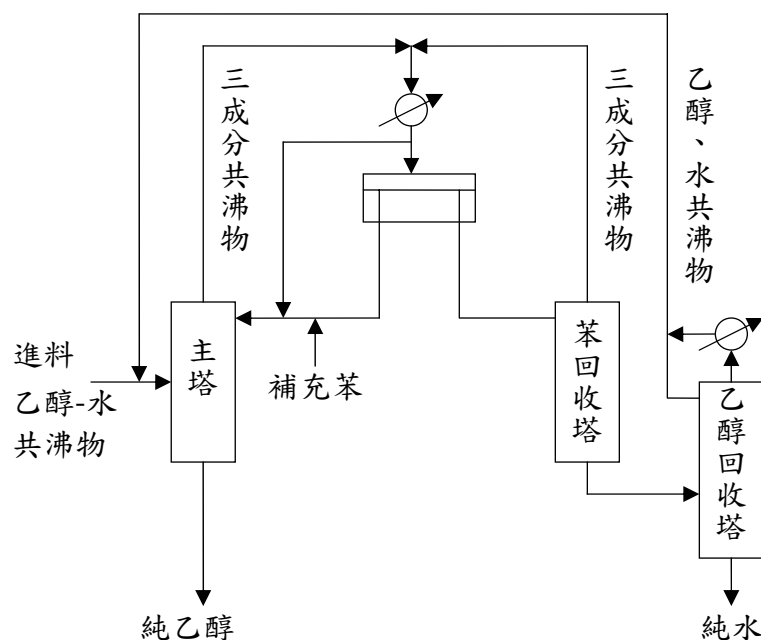
共沸劑至少應與原溶液的成分之一形成一個共沸物，而且該共沸物的沸點應該明顯地低於（或高於）原溶液成分之沸點或原溶液共沸物的沸點。為了達到分離之目的，並不一定要求原來兩成分之一作為純產品分離出來。共沸劑可能同時與兩成分形成共沸物，而此兩成分共沸物會有明顯之沸點差，如此，即可再用一般之精餾方法將其分別純化，達到最終提純之目的。共沸劑之選用除需符合能形成共沸物之需求外，還應考慮下述條件：

- A.共沸劑的用量少，汽化所需熱量少，操作程序較經濟。
- B.共沸劑容易回收，最好能用冷卻分層的辦法回收，一般還可用萃取、鹽析、不同壓力下精餾等等。
- C.共沸劑的熱穩定性好、不腐蝕、無毒性。
- D.共沸劑價格低廉，容易取得。

進行共沸精餾的精餾塔，常常不代表整個流程所需投資的主要部分。回收共沸劑的設備在全部投資中所占的比例也不小，通常還需要有調配進料的設備。例如用共沸精餾分離二元共沸物時，一般都是先經過初步精餾，使進料液組成接近共沸組成以後，才送入共沸精餾塔的。典型的含水乙醇之共沸精餾流程如圖 5.23 所示。乙醇、水和甲苯（共沸劑）形成一最低三元共沸物（其組成為  $X_{C_2H_5OH}=0.228$ ， $X_{H_2O}=0.233$ ， $T_b=64.86\text{ }^{\circ}\text{C}$ ），共沸劑之補充可

隨時由塔頂回流之股流一併進入精餾塔內，也可隨進料一起加入。此操作流程所獲得之塔頂產物為三元共沸物，自塔底得到的是純乙醇。

目前國內已有業者使用共沸蒸餾方法來回收半導體業界之製程所產生之含水異丙醇（含水率約 5wt%）。此純化程序所得到之異丙醇純度可達 99wt%，其可作為製造丙酮及其衍生物之原料，亦可作為脫水劑、防腐劑或溶劑等用途。此回收程序最重要之精神在於『資源之回收再利用』，在環保意識抬頭，及政府鼓勵資源回收再利用之措施下類似的回收再利用程序應發展的空間。



資料來源：廢有機溶劑回收之清潔生產－純化方法，清潔生產雙月刊，第 25 期，民國 88 年 8 月

圖 5.23 以苯為共沸劑分離水及乙醇裝置

#### (5) 製作泥燃劑

如圖 5.24 所示，泥燃劑的製造流程係將廢溶劑、廢油、廢油泥等事業廢棄物按其熱值、酸鹼度、流動性做好分類之後，其中部份類型的事業廢棄物則需前處理，例如破碎至均勻大小的顆粒，或酸鹼中和，或過濾。再按專業處理生產程序及配方經一連串的安定化製程製造成「泥燃劑」。目前國內已有一家代處理業回收廢油及廢溶劑資源化為泥燃劑，每年有 9 萬噸之產能。



再生燃料(泥燃劑)產品特性規範如下：

A.熱值 5,000 kcal/kg $\pm$ 4%。

B.氯含量<2,000 ppm。

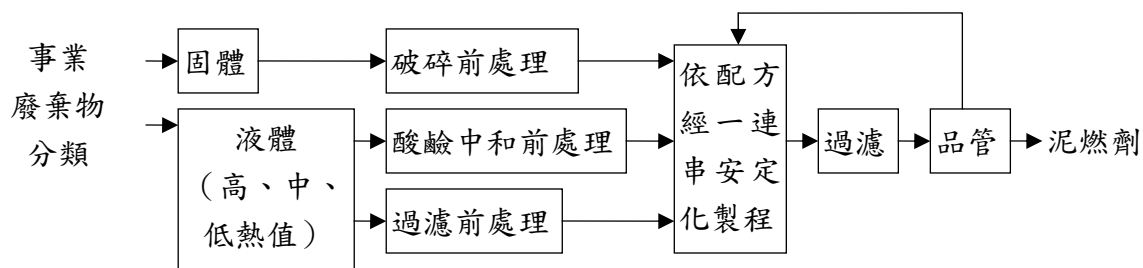
C.硫含量<0.5 wt%。

D.粒徑<4.5 mm。

E.粘度<500 cps。

F.pH 5~9。

G.水份<25 %。



資料來源：廢棄物再利用案例彙編(II)，清潔生產雙月刊，第 15 期，民國 86 年 12 月

圖 5.24 廢溶劑回收再利用為泥燃劑流程

#### (6) 滲透蒸發薄膜分離

隨著產業不斷發展，除了傳統之單元操作，如蒸餾、吸收等程序亦隨之改進外，更新式之分離技術亦不斷地被開發，薄膜分離技術便是其中之一，其在工業上已應用於海水淡化和海水製鹽，現也逐漸擴展到其他工業領域。

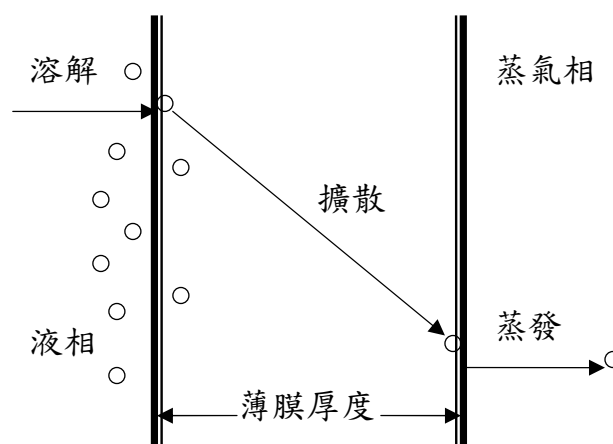
薄膜分離係指分子混合狀態之氣體或液體，經過特定薄膜之滲透作用，改變其分子混合物組成，從而達到使某一種分子與混合物分離之目的。其作用機制是由於分子間之作用力而引起，即所謂之趨動力(driving force)，來自於薄膜兩側化學勢之差，如壓力差、電位差和濃度差等。在多種薄膜分離法中，較可能用於廢溶劑回收之操作方法，當屬滲透蒸發。以下即其概要說明：

基於省能源及設備簡單之特點，滲透蒸發程序在分離共沸物、熱敏感混合物和沸點相近溶液方面被廣泛應用。其分離程序主要分成三步驟，如下：

- A.液體進料溶解進入薄膜中。
- B.進料物種在薄膜中傳送。
- C.在薄膜的下游界面揮發，同時被帶離薄膜。

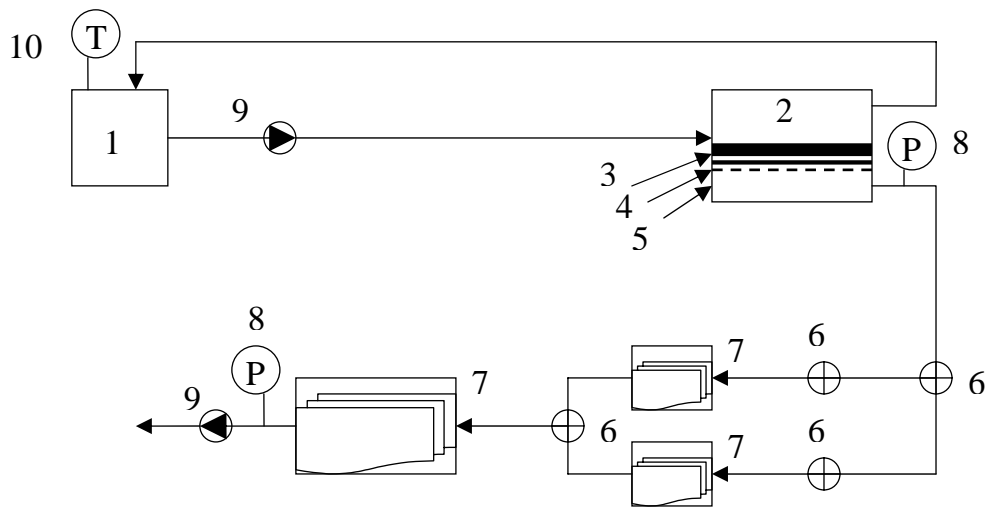
圖 5.25 所示為上述機構之示意圖，而整個分離程序可藉由圖 5.26 所示之裝置流程而達成。首先利用滲透蒸發於共沸物(azeotropic mixtures)之分離者為 Binning，其最先嘗試之系統為乙醇—水之系統，之後逆滲透薄膜亦被用於含水有機物之分離純化，但其需在較高壓力下操作，因此適用性亦多所限制，而滲透蒸發由於其驅動力考慮到各物質蒸汽壓差之問題，故其適用於多種含水有機物之純化程序。有關滲透蒸發程序之優點列舉如下：

- A.節省能源。
- B.易於分離共沸物。
- C.可用於多成分含水混合物之脫水。
- D.可作多重目標應用。
- E.不必考慮產物受共沸劑污染之影響。
- F.不必考慮處理廢料所引發之環境污染問題。
- G.易於操作。
- H.不占空間。



資料來源：廢有機溶劑回收之清潔生產—純化方法，清潔生產雙月刊，第 25 期，民國 88 年 8 月

**圖 5.25 滲透蒸發之機構示意圖**



- |        |           |
|--------|-----------|
| 1.進料   | 6.鐵氟龍閥    |
| 2.滲透槽  | 7.利用液態氮冷卻 |
| 3.薄膜   | 8.真空度計    |
| 4.膜支撐體 | 9.循環泵     |
| 5.多孔板  | 10.溫度計    |

資料來源：廢有機溶劑回收之清潔生產－純化方法，清潔生產雙月刊，第 25 期，民國 88 年 8 月

**圖 5.26 滲透蒸發之裝置示意圖**

#### (7)超臨界流體萃取

超臨界流體萃取技術是利用一維持在高於廢溶劑臨界點之溫度及壓力，作萃取操作，而分離出所欲萃取之物質。超臨界流體之優異萃取性能很早就應用於天然物萃取之研究，1978 年更由德國 HAG 公司將其商業運轉於萃取咖啡因，因其成效極佳，可提供傳統分離程序所無法達成之效能。一般而言，利用超臨界流體作為萃取廢溶劑有下述幾項特點：

- A.以  $\text{CO}_2$  為萃取劑時，無毒且不殘餘，安全性極高。
- B.選擇低臨界溫度流體，製程可在低溫操作，適合熱敏感性物質。
- C.萃取劑分離容易，產品品質佳。
- D.在溶解力或分離效率不佳時，可添加少量共溶劑(cosolvent)調整物性，以提高萃取性能。

E.可與吸附、層析等分離法並用，以達到高度分離之效果。

F.質傳速度快，適合高黏度或低濃度物質之處理。

但超臨界流體萃取在實際應用上，仍侷限於特定用途，其缺點為：

A.須高壓裝置，設備製作困難，投資成本大。

B.高壓狀態下之物性、相平衡資料不足，萃取機制尚不清楚。

C.目前實廠放大之營運操作等經濟性資料不足。

D.分離精密度不足，產品差別化困難，因此在處理對象成分複雜時，選擇率偏低。

E.共溶劑之選擇須用試誤法，目前尚無理論基礎可預測。

#### (8)水泥窯回收熱能法

自 1980 年起，全世界如美、加、英、法及日本等國家皆曾利用至少 20 座水泥窯或旋轉窯(cement kiln 或 rotary kiln)，進行廢溶劑等之試燒研究，其對象包括甲苯、三氯乙烯、氯酚、多氯聯苯等含氯廢溶劑，在適當之操作條件下，其有害成分之破壞去除率(destruction and removal efficiency, DRE)均可高達 99.99% 以上，且發現 90~99% 之氯化物會與窯中之鹼性物質中和，使得含氯成分愈高，其 DRE 亦愈高，但會增加廢氣中之碳氫化合物濃度，惟可控制於 10ppm 內，不致產生空氣污染。利用現有水泥業製程中之水泥窯或旋轉窯，以廢溶劑作為輔助燃料是極為可行之處理方式，除可節省燃料外，亦因其窯內之操作溫度高達 1,200~1,450°C，且廢氣滯留時間約為 5~10 秒，將有效破壞具劇毒性之有害廢溶劑。另外，亦得知廢溶劑中若含鉛成分時，有 90% 以上極易因窯內高溫而揮發後，混入水泥成品中，僅餘少量隨煙氣排出。而以低硫分廢溶劑取代高硫分燃料(如煤及焦炭等)，可有效降低 SO<sub>x</sub> 之排放，其他如 NO<sub>x</sub> 及粒狀污染物等亦無明顯地增加。美國 M. Branscome 及 R. Mourighan 曾分析數個水泥窯之試燒紀錄，其結果如表 5.16 所示，顯示以水泥窯處理有害廢溶劑之處理效果皆屬良好。如此在不影響水泥品質及造成空氣污染之前提下，只要進行部份設備之擴充及性能提昇，即能解決國內日益增多且難以妥善處理之廢溶劑問題，而又不致產生二次污染之問題。是以，國內已有水泥業者利用現有之水泥窯，經過設備擴充後，進行以廢溶劑作為輔助燃料之實廠操作。然而，水泥窯仍有其限制，即其不適用於處理鹼

性金屬(如鈉、鉀等)或鹽類含量高之廢溶劑，因鈉、鉀等鹽類之沸點及熔點較低，將因窯內高溫而揮發後，混入水泥熟料中，導致水泥品質之劣化。除此之外，以水泥窯處理廢溶劑亦具有下列優點：

- A.一般水泥窯長度約為 50~200 公尺，因溫度區間高、熱負荷率大，不易受廢溶劑之影響。
- B.僅需增加儲槽、混合槽、進料管路、噴霧器等基本設備，即可進行處理，因而投資成本不高及施工期短，且不中斷其生產製程。
- C.只須將鹵素、硫份及重金屬等成分之濃度控制於適當範圍內，即不致增加空氣污染。
- D.水泥原料中之碳酸鈣，可中和燃燒後產生之酸性氣體，以減少 HCl、SO<sub>x</sub> 之排放。

典型水泥窯處理廢溶劑所需之主要設備有：

- A.廢溶劑貯槽：2 座，容量各 50m<sup>3</sup>，9mm 厚度之不銹鋼 SUS 316L 製作，附攪拌器、氮封裝置及 VOCs 回收系統。
- B.廢溶劑進料槽：1 座，容量 6m<sup>3</sup>，9mm 厚度之不銹鋼 SUS 316L 製作，附攪拌器。
- C.噴霧器：2 組，修改現存之噴嘴，並覆以不銹鋼表面電鍍。
- D.獨立式儀電控制盤。
- E.可燃性氣體偵測器：於儲槽及操作區域設置固定式偵測器，其範圍為 0.18~1.8%，且至少為本質安全防爆級、防塵 1 級、防水 4 級以下。
- F.油槽靜電消除器：防爆型加電壓式。
- G.閃火點測定儀：全自動潘一馬氏密閉測定儀(依 NIEA R210.20C/ASTM-93 測定法)。
- H.輔助設施：包括進料簡易分析設施、照明設施、耐酒精型泡沫消防系統、火焰偵測器、緊急沖淋器、空壓機、輸送管閥、幫浦等，其中有關馬達、開關箱部份須至少為本質安全防爆級。

表 5.16 水泥窯試燒測試結果

工廠名稱	廢棄物成分	有害物質破壞率(%)	主要有害成分(mg/s)	
			廢液燃燒	基準
St lawrence 加拿大	氯化烴	>99.00	—	—
	氯化芳香族	>99.989	—	—
	多氯聯苯	>99.986	—	—
Norcem 挪威	多氯聯苯	99.9999	—	—
	多環芳香族	99.9999	—	—
Stora vika 瑞典	二氯甲烷	>99.995	<7.3	註
	三氯乙烯	>99.99998	<0.3	註
	氯化烴類	>99.988	10	註
	多氯聯苯	>99.99998	<0.04	註
	氯酚	>99.99999	<0.025	註
	冷凍劑(113 號)	>99.99986	0.03	註
San juan 波多黎各	二氯甲烷	93.292~99.997	94	1.4
	氯仿	92.171~99.96	94	11
	四氯甲碳	91.043~99.996	191	71
Peerless 美國	多氯聯苯	>99.998	0.13~0.55	0.1~0.75
General portland 美國加州廠	二氯甲烷	>99.99	<0.003	<0.1~0.43
	三氯乙烯	99.99	0.005	0.13~0.34
	三甲苯	>99.95	<0.42	0.1~0.76
	二甲苯	>99.99	<0.21	0.1~0.3
Lone star 美國	甲苯	99.940~99.988	4.7	4.7
	二氯甲烷	99.94~99.99	0.9	4.8
	冷凍劑(113 號)	99.999	<0.025	<0.022
	丁酮	97.997~99.998	0.149	0.44
	三氯乙烷	>99.999	0.54	0.44
Rockwell lime 美國	甲苯	99.995~99.998	0.0332	0.0157
	二氯甲烷	99.9947~99.9995	0.0023	0.0008
	丁酮	99.9992~99.9997	0.0105	0.007
	三氯乙烷	99.9955~99.9982	0.0073	0.0027
	三氯乙烷	99.997~99.999	0.0032	0.0027
	四氯乙烷	99.997~99.999	0.0043	0.0028

註：燃料中不含試燒有機廢物，因此未測排氣中此類物質之含量。

資料來源：廢有機溶劑回收之清潔生產－純化方法，清潔生產雙月刊，第 25 期，民國 88 年 8 月

為確保水泥窯穩定的操作運轉，須使進料廢溶劑之熱值及成分等維持均勻，因此對於初期營運規劃重點，如允收標準訂定、清理費用研訂、清運車輛載運路線規劃、廢溶劑接收站設置規劃、入廠前簡易分析之成分比對、入廠後貯槽入料安排與進料規劃、工安環保緊急應變規劃等，其執行措施如下：

- A. 建立適合水泥窯處理廢溶劑之行業別資料庫，包括種類、數量及特性等。
- B. 建立水泥窯處理廢溶劑之燃料替代率，以不影響水泥品質及造成空氣污染為前提。
- C. 結合既有設備及操作能力，建立整套操作及控制參數，整合成一本土化熱處理技術。
- D. 建立不同行業別產生之廢溶劑，可相容、混合種類，以及摻配比例等參數之技術。
- E. 提昇煙氣處理系統的性能與穩定性，以避免二次污染之產生。

國內營運中之水泥窯數量不少，且都散布於產生廢溶劑之主要工業區及都市周圍，是以利用現有之水泥窯處理廢溶劑，可節省其長途運輸所造成之人力、物力浪費或可能因道路阻隔、天災人禍等不可避免等因素，所造成之人身危害或環境污染。參考國外文獻資料，若國內水泥業者以廢溶劑作為輔助燃料之經濟效益，其推估結果由 92 年經濟部生產統計月報資料顯示，國內水泥年產量為 18.5 百萬噸，而主要之乾式水泥製程生產 1 噸水泥成品需煤炭 0.134 噸；因此，國內一年所需煤炭約為 2.5 百萬噸。對於易燃性且熱值高達 4,500~10,000kcal/kg 之廢溶劑，極適合作為水泥製程之輔助燃料；而燃料替代率一般都維持在 30%；所以，以廢溶劑替代水泥製程部分燃料時，則每年可節省 75 萬噸煤炭。此若以煤炭熱值 6,200kcal/kg 或柴油熱值 10,300kcal/kg 為參考計算基準，則每年可節省  $4.65 \times 10^{12}$  kcal 之能源或 50 萬噸柴油。而若以廢溶劑熱值 6,600 kcal/kg 為參考計算基準，則每年可處理約 81.8 萬噸廢溶劑，而台灣地區目前廢溶劑年產量約為 15 萬噸；因此，除少數不適合水泥窯處理之有害廢溶劑外，亦即不符合水泥窯或旋轉窯使用廢溶劑作為輔助燃料認定原則之進場規範，幾乎可以完全處理國內產生之所有廢溶劑。依此回推，若水泥窯完全處理國內產生之 15 萬噸廢溶劑，則每年可節省  $1 \times 10^{12}$  kcal 之能源，亦即節省 16.1 萬噸煤炭或 9.3 萬噸柴油；若以普通柴油每公升 13.1 元計算，則每年可節省約 12.2 億購油成本。同時，節省煤

炭或柴油之燃燒消耗，亦即減少 CO<sub>2</sub> 排放，而依國內能源消費量與 CO<sub>2</sub> 排放量之推估，可減少 366 萬噸 CO<sub>2</sub> 排放量。

#### (9)廢塗料焚化回收熱能法

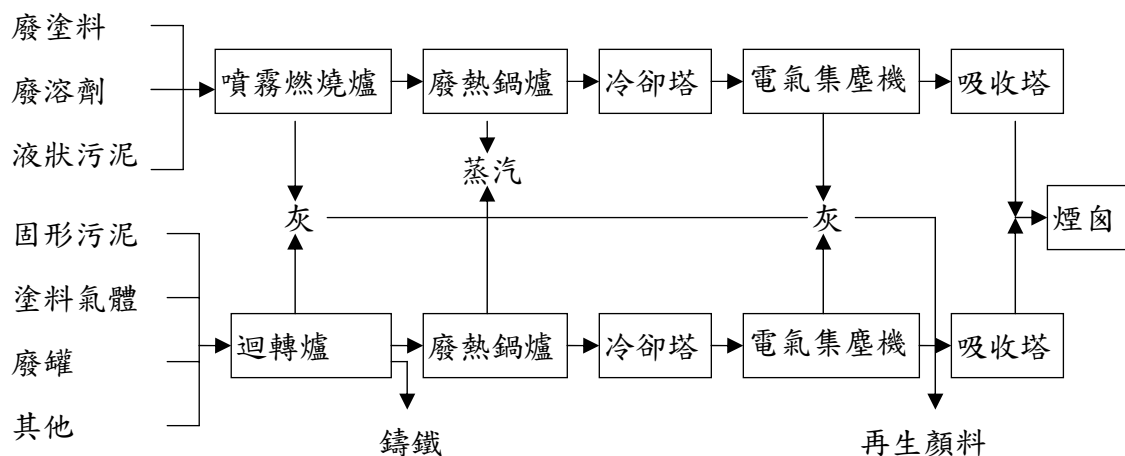
廢塗料焚化回收熱能之流程如圖 5.27 所示，主要設備如下：

##### A.廢塗料之焚化爐型式

- a.噴霧燃燒式：適合可用幫浦輸送之廢塗料，液狀污泥之焚化，簡便且經濟。有高壓噴霧、旋轉噴霧、空氣噴霧及蒸汽噴霧等方式。
- b.旋轉爐：處理對象廣(一個爐即可處理多種廢棄物)，有逆流與並流式。
- c.流動燃燒式：即使大容量設置面積也很小，燃燒效率高，故障少。但燃燒殘渣多時，例如廢罐壁附著有剩餘塗料，則不適合。
- d.固定爐床式：易軟化及融化之塗料剩渣也可焚化，適於灰分少者，大型則不宜。有豎型及橫型。

##### B.集塵裝置

有電氣式、洗淨式、過濾式及離心式等型式。要回收 0.1  $\mu\text{m}$  以下之細微粉末是應採用洗淨式及過濾式較為適合。若考慮壓力損失及電力消費則採用電氣式比較有利。離心式則構造簡單，適合於含塵量較高的排氣。



資料來源：經濟部工業局，事業廢棄物處理與資源化技術，民國 84 年 8 月

圖 5.27 廢塗料焚化回收熱能之流程



### C. 氣體吸收裝置

多段塔、文氏洗滌塔(Venturi-Scrubber)、填充塔、噴霧塔等型式。多段塔適合含塵量較高的排氣，阻塞之顧慮較少。文氏洗滌塔之吸收效果較高。填充塔對總含膠量高的排氣、有阻塞的可能，需在前段併用集塵裝置。噴霧塔裝置簡單，適合於 HCl 之吸收。

## 5.5 污泥資源化技術

鋼鐵廠污泥主要來自高爐、轉爐、電爐、冷軋、熱軋等相關製程之直接洗塵水或直接冷卻水處理系統，經由沉降、濃縮及脫水過程而產生，鋼鐵廠污泥回收利用必須根據其產出製程與污泥成分特性，選用適當的處理方法，才能資源化利用。

鋼鐵廠污泥一般分為含鐵污泥、重金屬污泥、有機污泥（生化污泥）、含油污泥（油泥），可以採用 TCLP 分析判斷是否為有害或無害廢棄物。污泥處理方法包括：脫水乾燥、混合拌料、造粒造塊、高溫燒結、高溫焚化、直接還原、固化等技術，資源化主要用途有水泥原料添加劑、煉鐵原料、煉鋼添加劑、造磚副原料、填地掩埋等應用。

### 1. 鋼鐵廠污泥成分特性

一般鋼鐵廠污泥(如表 5.17 所示)主要成分為總鐵(Total Fe)，例如熱軋污泥總鐵約在 60~65% 間，可替代鐵礦，有 CaO、MgO 成分可替代助熔劑，做為煉鐵原料。雜質成分如 Zn、Pb、Na、K 等化合物，會造成冶煉爐爐壁結塊侵蝕，也會造成集塵設備如濾袋與靜電集塵機極板黏滯問題，因此，高雜質者不宜直接回收。

污泥中氯成分會腐蝕設備，如再回收進燃燒冶煉爐，容易與含油成分或有機物質生成戴奧辛，污泥中氯及油份必須特別管制。有機污泥或生物污泥來自有機廢水處理系統，因含有機碳氫化物，有惡臭味道，亦不適合直接回收。

含油污泥例如熱軋、冷軋污泥(如表 5.18 所示)，油份主要來自製程設備潤滑油流失洩漏而造成，高油份污泥即油泥必須另行脫油處理或送焚化爐焚化。重金屬污泥主要來自冷軋電鍍製程 (EGL)，其 Zn、Cr 含量很高，必須固化或委外處理。

表 5.17 一貫作業鋼鐵廠污泥之化學成分例（乾基，wt.%）

成分 類別	C	T-Fe	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Zn	Cr	S
高爐污泥	28	30	9.0	1.2	5.0	2.3	1.0	0.1	1.0	0.1	—
轉爐污泥	4	60	9.0	1.0	2.0	0.3	0.8	0.1	0.7	0.1	—
熱軋污泥	6.2	63.8	0.8	0.1	1.2	0.2	0.05	0.01	0.2	0.4	0.07
冷軋污泥	17.8	12.2	26.4	9.3	1.2	0.4	0.19	0.02	0.05	0.4	1.05
生物污泥	17.4	31.1	5.7	0.8	5.0	0.8	0.10	0.04	0.04	0.07	0.90

資料來源：中國鋼鐵公司

表 5.18 鋼鐵廠熱軋與冷軋污泥化學成分例(乾基，wt.%)

成分 類別	T-Fe	C	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Zn	Pb	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
熱軋污泥	65	5	0.5	0.4	0.05	0.1	0.13	0.02	0.02	0.005
冷軋污泥	12	3	5.6	1.8	7.1	0.4	29.1	0.02	0.35	0.5

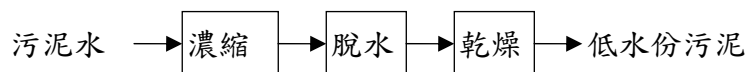
資料來源：中國鋼鐵公司

## 2.鋼鐵廠污泥處理方法

### (1)脫水乾燥

A.處理目的：污泥水濃縮脫水或烘乾降低污泥水份，以利後續處理利用。

B.流程：(如圖 5.28 所示)



資料來源：中國鋼鐵公司

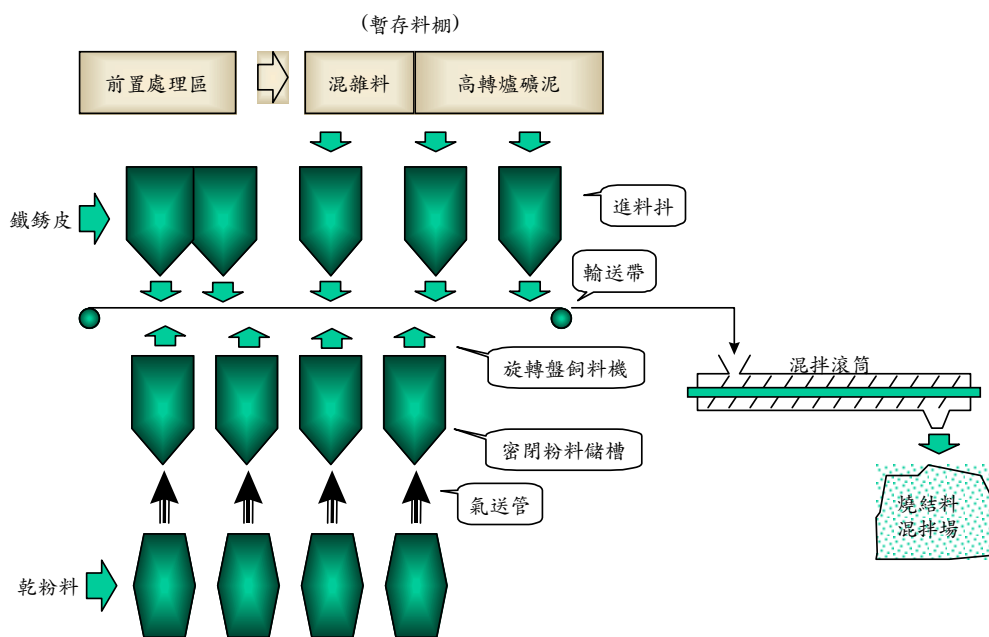
圖 5.28 污泥水濃縮脫水處理流程

C.適用設備：真空脫水機、壓濾機、皮帶式脫水機、離心脫水機、滾筒式乾燥機（旋窯）、流體化床乾燥機…。

## (2)混合拌料

A.處理目的：濕污泥與乾粉配料拌合成低水份混合料，可運送處理利用。

B.流程：(如圖 5.29 所示)



資料來源：中國鋼鐵公司

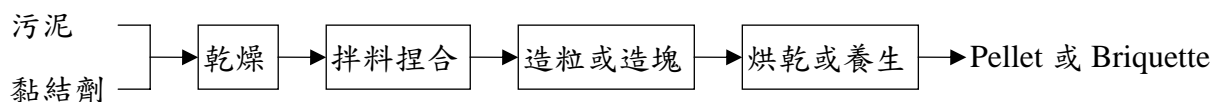
圖 5.29 中鋼公司污泥集塵灰拌料流程

C.適用設備：滾筒式混合機 (Drum Mixer)、Pug Mixer、複軸輪葉型混合機、帶型混合機 (Ribbon Mixer)、圓錐螺旋混合機 (Screw Mixer) ...。

## (3)造粒與造塊 (Pelletizing / Briquetting)

A.處理目的：提昇強度及物理特性，避免堵塞或粉化，可運送處理利用。

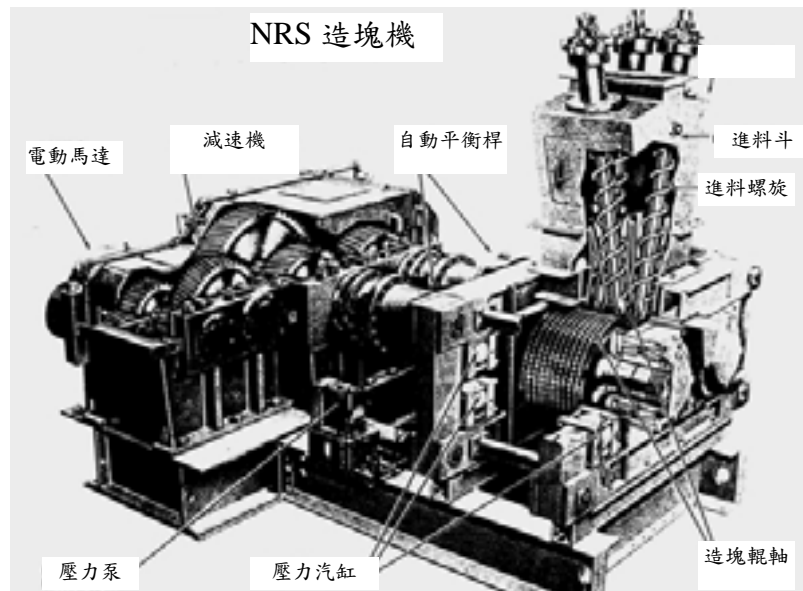
B.流程：(如圖 5.30 所示)



資料來源：中國鋼鐵公司

圖 5.30 污泥拌料造粒與造塊流程

C.適用設備：盤式造粒機（Disc / Pan Pelletizer）、滾筒式造粒機（Drum Pelletizer）、擠出式造粒機、Roller 造塊機（如圖 5.31 所示）。



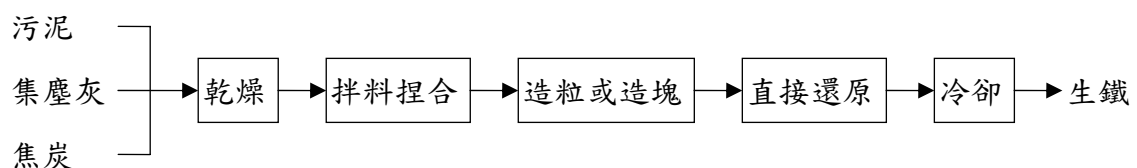
資料來源：中國鋼鐵公司

圖 5.31 污泥造塊機例

#### (4)高溫還原

A.目的：以約 1,000~1,200℃ 高溫直接還原製程，處理高雜質含鐵污泥與集塵灰，提昇含鐵份至 95% 以上，直接做為高爐、轉爐、電爐進料。

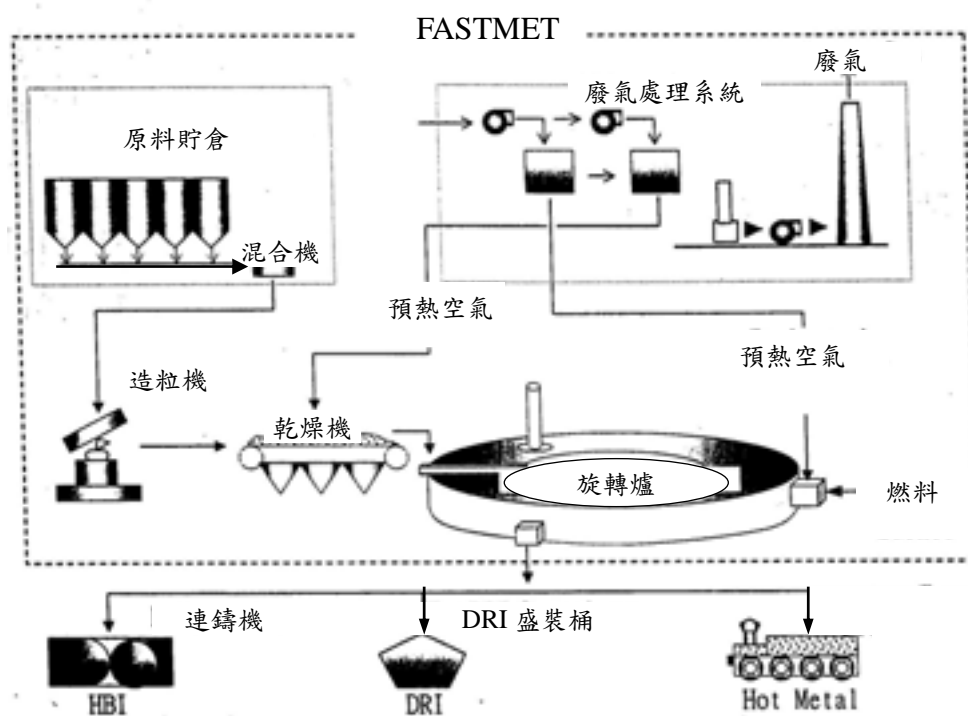
B.流程：(如圖 5.32 所示)



資料來源：中國鋼鐵公司

圖 5.32 污泥高溫還原流程

C.適用流程：RHF (Rotary Hearth Furnace) (如圖 5.33 所示)、電漿冶煉法、Rotary Kiln、Shaft Furnace、流體化床。



資料來源：中國鋼鐵公司

圖 5.33 高溫熔融還原製程例（FASTMET）

## 第六章 技術評估與設備選用程序

本章節將針對「鋼材製品業」產生各類廢棄物（如廢酸、鉻酸鹽廢液、油泥、廢溶劑、污泥等）欲進行資源化工作時，如何評估與選用設備之程序，例舉相關基本原則及注意事項。

### 6.1 資源化技術評估流程

工廠在規劃設置回收系統時，一般必須藉由系統化的程序指導，才能建立確實符合工廠需求的設備，進而達到廢棄物減量及原物料回收之預期目標。各廠可依本身製程特性，規劃完整的設備選用系統之作業程序及預定進度。在先期的系統評估方面有以下三個步驟：

- 1.第一階段：清查製程污染源。
- 2.第二階段：資源化系統實驗規劃評估流程。
- 3.第三階段：評估資源化設備。

針對每一污染源，找出其可應用之資源化方案，並進一步評估各項資源化方案對減少污染產生量之預期效果，且有些資源化方案可能因工廠既有場地面積不足，在此一工作階段即可予以過濾刪除。在執行此階段時，亦可考慮聘用顧問，以協助提供資源化技術建議及評估。此階段可再細分為三項步驟，各步驟如下：

- 1.找出可應用之資源化方案，並選擇較重要者。
- 2.針對較重要之資源化方案，評估預期之資源化成效。
- 3.將評估結果做成記錄，並進行分析。

資源化系統實驗規劃評估係於設備規劃前，透過實驗確認資源化流程的可行性，如圖 6.1 所示，包括以下步驟：

- 1.背景資料：製程概述、廢棄物質量、場地狀況、人員狀況。
- 2.適用性研究：廢棄物品質分析、類似工廠處理經驗蒐集、資源化可行性實驗、

綜合評估、流程建議、模擬實際計劃。

3.模擬實驗(模擬廠試驗)：資源化效率驗證、操作穩定性、未來擴展彈性、工程設計資料求取(蒐集)、經濟效益評估。

4.起動試車：硬體單元測試、資源化設備性能及穩定性測試、人員訓練、操作維護說明書。

由於完整的資源化技術評估作業程序較為複雜，從評估供應商到完成回收系統之設置，所需之工作相當複雜，工廠可考慮聘請在此領域有專長及經驗之專職顧問，以充當工廠與供應商之間的溝通橋樑。

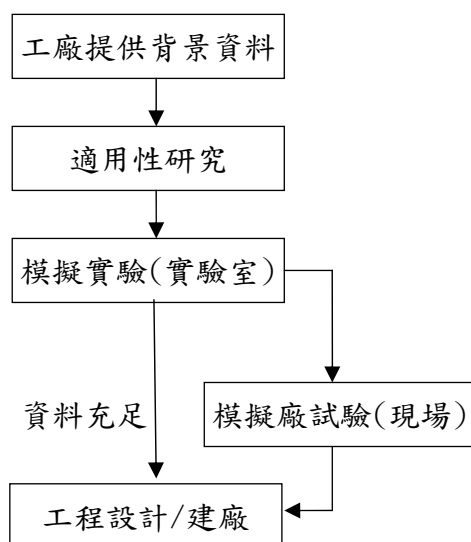


圖 6.1 資源化系統規劃評估實驗流程

## 6.2 資源化設備選用程序

圖 6.2 所示，說明理想的資源化設備評估，包括工廠、技術顧問單位、及工程施工單位四個角色的分工合作以及密切配合。工廠在遭遇廢棄物資源化問題時，首先委託技術顧問單位進行規劃，技術顧問單位在接受委託之後，站在工廠的立場運用其專業知識，謀求解決方案，若是工廠可運用已有的經驗進行規劃，則在背景資料蒐集及擬定基本的處理流程之後進行基本設計及細部設計，在這過程之

中，顧問公司應對其設計的理念及所選流程的優缺點充分與委託者(工廠)溝通說明，若處理流程有多重選擇時，仍由委託者做最後的決定。

若是技術單位在初步評估之後，認為現有資料無法進行處理場的流程規劃，則應向工廠提出評估建議書，再由顧問洽詢研究單位進行流程評估研究，以提供技術顧問單位所需的資料，以便完成規劃。工程單位只在細部設計之後，按照其規格要求施工，並依照規格驗收。性能試車則在技術顧問單位的指導下進行，直到正式運轉為止。性能的優劣則由技術顧問單位負責。

上述過程的優點是將規劃設計與工程施工分段進行，規劃設計階段，技術顧問單位較能站在工廠的立場選擇適當的處理方式，若在現有經驗上無法立即進行流程規劃，亦能建議工廠先進行研究計劃，取得資料之後再進行工程化，較能有效的降低建廠後運轉不順利的風險。

#### 1.聘任顧問

一般來說，顧問之工作項目包含：

- (1)廠內製程單元之污染源清查。
- (2)分析統計各製程單元之廢污物產生量，並研提可行的資源化方案。
- (3)評估及選擇合適的回收系統供應商。
- (4)撰寫回收系統採購說明書，內容包括可行性試驗、設備詳細規格、人員訓練與試車，以及設備處理功能等。
- (5)協助調整或更改現有製程設備，以配合回收系統之設置。
- (6)協助廠方審核各回收系統供應商所提之規劃設計書，並就技術觀點提供工廠具體意見。
- (7)決定回收系統供應商後，繼續協助可行性試驗等相關工作的進行，並監督其執行過程，評估其結果。
- (8)合約書可能需依可行性的試驗結果加以修改，顧問可進一步審核其更改內容，及其處理功能的保證。
- (9)評核得標廠商所提供的系統配置圖、製造流程圖，以瞭解廢液或廢棄物收集系統的設置、二次污染的處理情形、洩漏時之處理措施，以及剩餘廢棄物的處置方式是否均能符合環保規定。



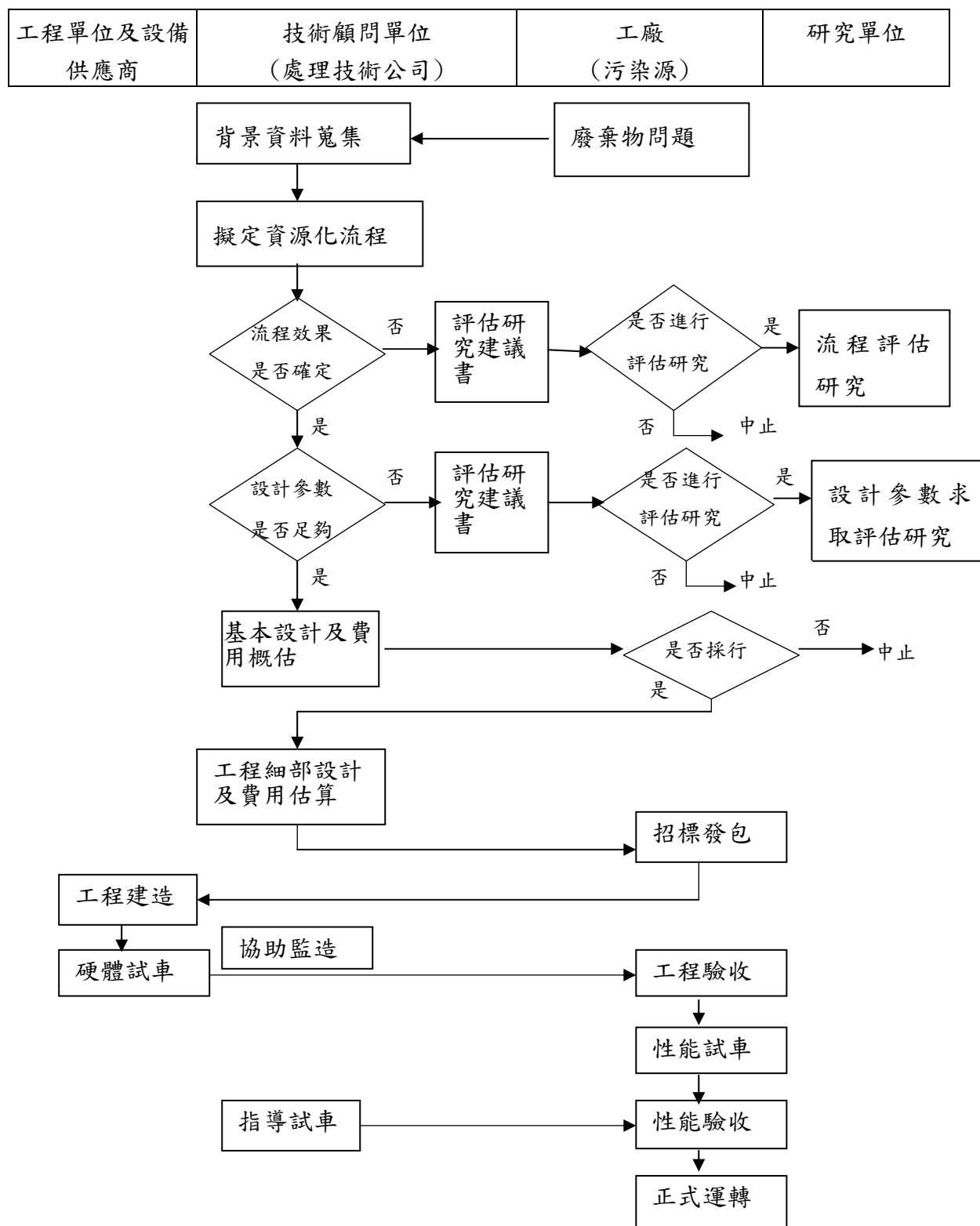


圖 6.2 資源化設備評估流程

- (10)回收系統正式試車前審核操作維護手冊的完整性。
- (11)將回收系統之安裝、試車及操作訓練等過程全程錄影，以進一步審核系統的功能。
- (12)提供廠方操作人員之定期訓練，並校正回收系統之程式控制器準確性。

## 2.設備選用程序

相關購置回收系統之各階段工作內容說明如下：

### (1)訂定回收系統採購說明書

工廠應依本身的需求訂定回收系統採購說明書，內容載明回收系統所需達到的功能要求，並分寄各回收系統供應商。此階段可分為五項步驟，各步驟工作內容說明如下：

- A.工廠之技術人員負責擬定回收系統採購說明書，並經由工廠決策人員核可。
- B.將採購說明書寄至各回收系統供應廠商。
- C.供應商至現場踏勘，並採集樣品進行可行性試驗。
- D.採訪類似回收系統之供應商或製造商。
- E.供應商提出回收系統規劃設計書。

### (2)審核回收系統規劃設計書，並簽訂合約

審核各供應商所提之回收系統規劃設計書，找出其遺漏的地方，並選出較合適之供應商。在規劃書中應詳列系統之主要設備單價明細，一般濕式回收系統之主要設備可能包括泵、液位控制、警報器、桶槽、管件、pH 校正系統、過濾器、攪拌裝置、定量泵、設備平台、設備標示牌、洗眼器及淋浴器等。

審核供應商之規劃設計書後，最好能再與供應商討論，並進一步提出問題，必要時需經試驗確定，因可行性試驗可對回收系統是否能達到預期之處理功能，提供廠內確實的保證。

### (3)修改廠內製程設備

完成回收系統採購合約之簽訂後，進行廠內製程必要之修改工作，以因

應回收系統的設置。

#### (4)回收系統設置及備用零件貯存

回收系統之備用零件應在系統未設置前就應備妥，且回收系統供應商有必要提供廠方備用零件清單，有時供應商提供之備用零件種類及數量超過實際需要，而造成浪費。因此廠方需先評估備用零件清單的內容。此方面廠方可向已設相同種類回收系統之工廠請教。一般的經驗是 pH 計及一些控制零件應比攪拌設備更須準備備品；緊急採購這些零件所花費的時間亦應考慮在內，對於所採購的備用零件應妥善貯存，並予以編號，以利需要時容易取得。

回收系統也應編號以利辨認，編號的方式可將該系統所在之製程線及製程槽納入，此編號可用在採購說明書、訂單及運送該系統之包裝上，整個採購過程即可以此編號系統進行追蹤，並方便查核作業的進行。所有的採購項目可依編號整理成一張清單，並將設備之相關資料納入清單中，如設備之預期處理功能等數據，其組成之電機機械設備、建造材料設備、尺寸及其相關設計圖編號、預期及實際進貨日期、訂單編號等等，有些重要的閥件，可考慮另列一張清單。

#### (5)系統測試與試車

設備在設置前應先行測試，以確保電氣及機械系統的完善，經測試後再行安裝。試車時應進行回收處理前後之取樣檢測工作，以做為評估系統是否能達到預期處理功能。取樣的位置包括進流口及出流口或設備操作前後，樣品應分為三份，工廠保留二份，系統供應商一份，雙方分別檢測後互相印證之。樣品應依標準程序妥善保存、運送，並分析之。檢測結果再由雙方共同評估，若無法對檢驗結果達成共識，則應將第三份樣品送交第三個檢測機構檢測之。

在執行最後階段的測試時，最好能使用相當量的廢液或廢棄物來測試，回收系統的付費方式，儘可能的話，除了運費與設置費外，工廠應保留 10～15% 的設備費用，以防設備無法達到預期功能。保留的期限以在設備設置並達成預期之處理功能後六個月內為限。

設備之安裝費用一般可保留 10% 做為尾款，直到水力、機械及電氣等操作問題完全解決後，方才給清，有時設備供應商會將此費用提高 2%，以充當利息之損失。

### 3. 供應商評估

#### (1) 供應商評估及選擇

在選擇回收系統供應商時，一般可依據下列項目來判斷供應商的技術能力及所提供的回收系統之優缺點。

- A. 供應商的員工、工程師、專屬技術專家、實驗人員及銷售人員等人數。
- B. 所欲購置之回收系統，該供應商已在市場上推行多久。
- C. 供應商之年營業額多少，對鋼鐵業工廠之營業額如何。
- D. 供應商對於處理購置該項回收系統的工廠，所編制之人力架構如何。
- E. 那些物料、配件由其他廠商供應。
- F. 地區代理商服務及維修能力。
- G. 是否有供應同類型工廠的其他回收系統。
- H. 各附屬零件（如泵之軸封、馬達、攪拌器、塔槽、偵測儀等）之代理商。
- I. 系統故障是否能退回。
- J. 系統運送方式及裝設進度表。
- K. 是否需加裝隔離設施，以維護製程較敏感的儀器。
- L. 可提供多少份系統之操作維護手冊。
- M. 對該工業製程單元瞭解程度。
- N. 系統之備用零件取得的難易度，以及是否已將備用零件包括在報價單內。
- O. 買方是否可參與系統設置之規劃設計的審核工作。
- P. 系統搬運及重新設置是否方便。
- Q. 現有場地面積是否足夠。
- R. 置放系統之平台的防蝕措施如何。（採不銹鋼或玻璃纖維的平台較普通的鋼板耐蝕）
- S. 那些零件可在當地購買，而不抵觸系統保證書的內容。
- T. 製程產能加倍，該設備應做那些更改。
- U. 系統是否容許 24 小時連續操作。

V.系統是否能被一般運送的貨櫃所容納。

W.廠區配置圖是否與實際狀況吻合。

X.製程上應做那些修改，以配合此項設備的設置。

Y.該系統需多少操作人力、維護頻率及時間如何。

Z.是否可先瀏覽該系統之操作維護手冊，以及該系統日常維護項目有那些。

其他次要判斷的項目包含：

A.那些零件最容易故障，修復需多少時間。

B.系統操作時，會有那些狀況產生。

C.是否需額外加裝廢氣處理設施或排氣設施。

D.是否提供該系統之操作維護核對表格，以利系統之管理維護。

E.系統栓緊零件（栓、螺絲、螺帽）是否使用不銹鋼材。

F.控制盤是否有中文標示。

G.誰來負責安裝試車人員之差旅及膳雜等費用。

H.供應商提供所需準備之備用零件是如何決定的。

澄清上述的問題後，若能親自訪視幾家新設（三家）或已設（三年）回收系統之工廠，以做為最後選擇回收系統供應商的依據，因經由現場訪視，可進一步瞭解供應商的服務品質及技術能力，以及該系統實際操作情形，並藉由與現場操作人員聊天來查詢回收系統實際操作上的問題所在，再向供應商詢問澄清之。

## (2)代理商服務及維護能力評定

回收系統之地區代理商的服務及維護能力，也是決定回收系統廠牌的重要因素。因回收系統運達工廠後，接下來的系統安裝、試車及操作人員訓練等工作，可能就交由當地代理商負責（一般視廠方與供應商的合約而定），由於各家代理商之技術能力不盡相同，例如有些代理商僅能提供所需附屬零件的更換，有些代理商則可提供此套系統所有技術維修之服務工作。若代理商對工廠製程有相當的瞭解，對往後的維修工作將更有幫助，所以工廠在合約書內應與原設備供應商，釐定清楚地區代理商的責任範圍。

## 6.3 資源化成本分析

廢棄物資源化成本之分析不易，原因包括產源不穩定性，廢棄物質量變異性、產品市場之隱晦與閉塞、收集轉運之暢通性不足等。同時，資源化產品之市場性分析也不易，包括產品規格及供需配合特性、行銷管道、市場價格、經營方式等層面。因資源化產品市場銷售網不易建立、缺乏國外市場資訊、買賣憑証取得困難、資源化成本過高、再生原料市場價格偏低、國外市場價格競爭等問題之變異性非常大，使得成本分析不易。但投資風險仍然得靠成本分析始得釐清，因此對資源化系統的成本分析仍須進行，主要分析項目主要包括投資成本、回收效益、淨效益及回收期限等。以下則以廢硝氟混酸資源化系統為例，說明其成本分析。

### 1. 背景

廢酸之資源化系統，在國內已有噴霧焙燒法 (Ruthner)與離子交換樹脂法實廠，或亦有設備供應商推介使用，評估選用所需之參考資料及分析數據可自設備供應商及設備使用者之處取得。硫酸置換法則國內尚未有實廠設置。

### 2. 廢硝氟混酸回收處理系統要素評估

#### (1) 回收處理系統要素評估

##### A. 廢硝氟混酸之來源、數量及成分穩定性

- a. 來源：不銹鋼鋼板、線材、鋼管加工業。
- b. 數量：不銹鋼廢硝氟混酸約 12,975 公噸/年。
- c. 成分：HF 1~2%、HNO<sub>3</sub> 7~10%、T-Fe 30~40 g/L、T-Cr 2~3 g/L、T-Ni 4~6 g/L。

##### B. 處理規模

- a. 廠外集中處理：國內廢硝氟混酸量及現有廠內回收量。
- b. 廠內回收：依各廠廢酸產出量。

##### C. 物料運輸成本：依地域性而異

##### D. 投資模式

- a. 委託代清除處理。
- b. 成立處理體系。

c.申請事業廢棄物再利用計畫。

d.設置廠內回收處理設備。

E.資源化產品

a.硝氟混酸。

b.硫酸金屬鹽。

(2)處理容量規劃（廠外集中處理容量規劃）

A.基本資料

a.廢硝氟混酸處理量

批次進料，每日 24 小時操作，每月操作 25 日。

日處理量 36 公噸、月處理量 900 公噸。

b.人員編制：整廠人員編制共計 14 人

c.反應操作條件

反應莫耳比： $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{HNO}_3=1/3.6$ 。

反應溫度：85~90℃。

反應壓力：真空度 700 mmHg。

B.質量平衡(略)

C.系統物料數量計算

a.98%硫酸添加量

$$791 \times 6 = 4,746(\text{kg/day})$$

b.10.2%硝酸及 3.0% 氫氟酸回收量

$$5,031 \times 6 = 30,186(\text{kg/day})$$

c.硫酸鹽產生量

$$2,425 \times 6 = 14,550(\text{kg/day})$$

A.槽體體積

a.物料貯槽區

廢硝氟混酸貯槽	x1	10,000L
98% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 貯槽	x1	10,000L
回流濾液貯槽	x1	6,000L

b.反應槽區

反應濃縮槽	x2	4,700L
反應後漿料緩衝槽	x1	5,200L
回收酸槽	x1	5,500L

(3)設備規劃

A.模廠材質、設備選用及安裝配管

材質耐蝕、能承受溫度變化。

B.模廠操作試驗及樣品監測分析

- a.清水試車確保無洩漏。
- b.控制因子操作試驗。
- c.試驗參數檢討修正。

C.模廠功能改善

- a.設備功能改善。
- b.操作方式調整。
- c.設定最佳操作參數。

D.資源化廠先期規劃

- a.尺寸放大考量因子。
- b.處理容量規劃。
- c.整廠設備規劃。
- d.人員編製。

E.操作參數

- a.溫度控制及量測。



- b.真空度設定及維持。
- c.進料濃度控制及回收酸濃度上限。
- d.迴流酸濃度控制及迴流比設定。
- e.反應終點判定。
- f.操作程序設定。

#### F.系統設計

- a.操作程序設定廢酸來源及數量。
- b.反應槽大小(批次)及突沸緩衝空間。
- c.反應槽設計型式。
- d.液體黏度。
- e.貯槽大小。

#### G.設備材質及施工

- a.反應槽貯槽及管線之耐蝕性。
- b.反應槽內壁支架。
- c.結晶物沉積問題。
- d.基地大小。

#### H.污染防治

- a.尾氣處理。
- b.洩漏偵測。
- c.貯槽防溢。

#### I.設備單元

進料系統、反應系統、卸料系統、冷凝導流、硫酸鹽結晶系統、固液分離系統、真空系統、熱能供應及整廠儀錶監控系統。

#### J.設備設計考量要點

- a.貯槽、反應槽：操作量、溶液性質及溫度。
- b.輸送泵：輸送溶液性質。

- c.管件：輸送量、溶液性質及溫度。
- d.儀錶：操作方便、耐蝕、價錢。
- e.特殊設備：物料處理量。

K.廢硝氟混酸資源回收廠設備適用材質

- a.廢酸、回收酸貯槽：P.P.、FRP。
- b.反應槽、製程貯槽：C.S.Teflon coating。
- c.冷凝吸收器：石墨。
- d.熱交換器：石墨。
- e.固體分離機：Rubber lining、P.P.。
- f.輸送泵：PVDF。
- g.管件：C.S.Teflon coating。

3.資源化系統效益評估

- (1)經濟效益分析—包括廠內資源回收設備、回收物質產值、廢酸處理藥品費、廢酸污泥處理費。
- (2)成本分析—包括初設成本、操作維護成本、設備折舊。
- (3)經濟效益分析—包括回收物質產值、清理費用收費。
- (4.)資源化廠設置經費概算

A.工程預算：3,566 萬元

- a.工款部份工程款：1,220 萬元。
- b.材料料款部份：1,790 萬元。
- c.其他費用：556 萬元。

B.物料成本分析

- a.硫酸添加量：118,650(kg/月)。
- b.98%硫酸購買價格：3,000 元/公噸。
- c.98%硫酸成本：每月 355,950 元。

### C.資源化產品產值

#### a.硝酸

回收硝酸：139,953(kg/月)。

55%硝酸購買價格：4,000 元/公噸。

回收硝酸之產值：559,812 元/月。

#### b.氫氟酸

回收氫氟酸：41,163(kg/月)。

55% 氫氟酸購買價格：21,000 元/公噸。

回收氫氟酸之產值：864,423 元/月。

### D.資源回收廠經濟效益分析

#### a.初設成本：35,660,000 元

廠房建設：8,480,000 元。

廢酸貯槽：3,720,000 元。

廢酸回收設備：17,900,000 元。

其他費用：5,560,000 元。

#### b.每年操作維護成本：29,559,426 元/年

人事及管銷費(24 小時操作)14 人計：8,624,000 元/年。

人事費單價：40,000 元/人月×14 月/年＝560,000 元/人年。

管銷費單價：以人事費的 10% 估算＝ 56,000 元/人年。

維護保養費：3,566,000 元/年

以初設成本之 10% 估算，為 3,566,000 元/年。

98% $\text{H}_2\text{SO}_4$  原料費：4,271,400 元/年。

水電費：2,400,000 元/年。

電費：2,160,000 元/年。

水費：240,000 元/年。

燃料費：4,320,000 元/年。

廢酸回收運費：5,400,000 元/年。

回收酸(產出量預估為理論量 90%)運費：978,026 元/年。

c. 每年節省回收費用

回收硝酸(55%)(產出量預估為理論量 90%)：6,045,970 元/年

$139.953 \text{ 公噸/月} \times 4,000 \text{ 元/公噸} \times 0.9 \times 12 \text{ 月/年} = 6,045,970 \text{ 元/年}$

回收氫氟酸(55%)(產出量預估為理論量之 90%)：9,335,768 元/年

$41.163 \text{ 公噸/月} \times 21,000 \text{ 元/公噸} \times 0.9 \times 12 \text{ 月/年} = 9,335,768 \text{ 元/年}$

廢酸代處理費：32,400,000 元/年

$900 \text{ 公噸/月} \times 3,000 \text{ 元/公噸} \times 12 \text{ 月/年} = 32,400,000 \text{ 元/年}$

d. 設備折舊

設備投資還原因子(CRF) =  $i(1+i)^n / [(1+i)^n - 1] = 0.149$

i(綜合年利率) = 8%；n(使用年限) = 10 年

設備折舊費 = 初設成本 × 設備投資還原因子

$35,660,000 \text{ 元} \times 0.149 = 5,313,340 \text{ 元}$

e. 均化值

均化係數 =  $i[(1+i)^n - (1+e)^n] / [(i-e)[(1+i)^n - 1]] = 1.1712$

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

均化年操作維護費 = 操作維護費 × 均化係數

$29,559,426 \text{ 元} \times 1.1712 = 34,620,000 \text{ 元}$

均化年節省回收費 = 節省回收費 × 均化係數

$47,781,738 \text{ 元} \times 1.1712 = 55,961,972 \text{ 元}$

均化年淨效益 = 均化年節省回收費 - 均化年操作維護費

$55,961,972 \text{ 元} - 34,620,000 \text{ 元} = 21,341,972 \text{ 元}$

f. 投資效益

益本比＝均化年節省回收費÷(設備折舊費＋均化年操作維護費)

$$55,961,972 \text{ 元} \div (5,313,340 \text{ 元} + 34,620,000 \text{ 元}) = 1.40$$

現值因子＝初設成本÷均化年淨效益

$$35,660,000 \text{ 元} \div 21,341,972 \text{ 元} = 1.6709$$

投資報酬率  $F = 59.3\%$

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

$$\text{投資回收年限 } N = \ln[A / (A - P \times i)] / \ln(1+i) = 1.86$$

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

#### g. 處理成本

每年回收酸收入＝回收 55% 硝酸收入＋回收 55% 氫氟酸收入

$$6,045,970 \text{ 元} + 9,335,768 \text{ 元} = 15,381,738 \text{ 元}$$

固定成本＝設備折舊費＝5,313,340

營運成本＝每年操作維護費－每年回收酸收入

$$29,559,426 \text{ 元} - 15,381,738 \text{ 元} = 14,177,688 \text{ 元}$$

每公噸處理成本＝(固定成本＋營運成本)÷設計處理容量

$$\text{設計處理容量} = 900 \text{ 公噸/月} \times 12 \text{ 月/年} = 10,800 \text{ 公噸/年}$$

$$\text{處理成本} = 19,491,028 \text{ 元/年} \div 10,800 \text{ 公噸/年} = 1,805 \text{ 元/公噸}$$

表 6.1 所示為代處理費 3,000 元/公噸時，不同設廠方案之經濟效益比較。

表 6.1 不同設廠方案之經濟效益比較

項目	廠外集中資源化		設置廠內回收設備	
	600	900	600	900
處理容量(公噸/月)	600	900	600	900
益本比	1.21	1.40	0.98	1.13
投資報酬率	38.0%	59.3%	5.9%	22.2%
投資回收年限	2.96	1.86	11.63	4.85
每公噸處理成本(元)	2,303	1,805	1,284	929

## 第七章 廢棄物資源化案例

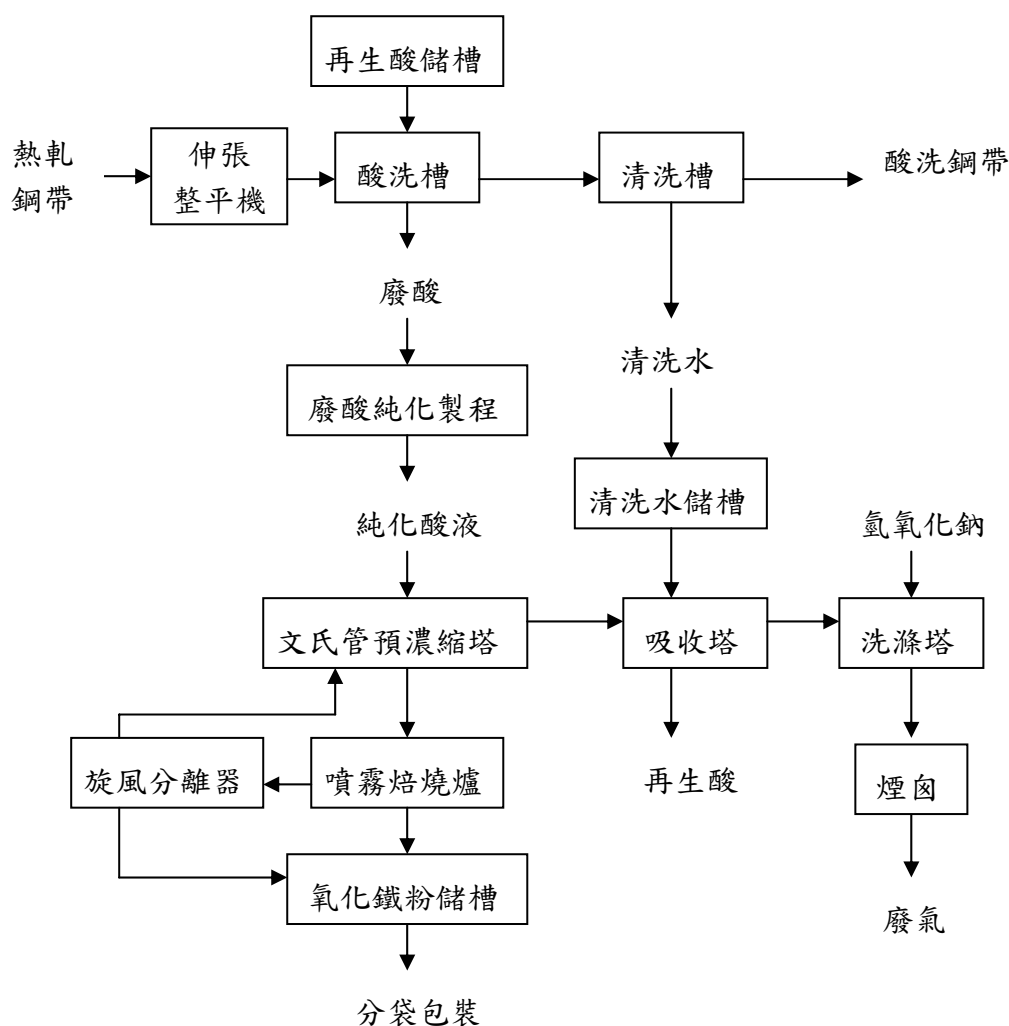
### 7.1 廢酸資源化技術案例

鋼材廢酸液之資源化技術包括：噴霧焙燒法、流體床焙燒法及硫酸置換蒸餾法等。各種方法之流程、廢酸回收率、及副產品特性等已於 5.1 節一一介紹。其中噴霧焙燒法為國內一貫作業大煉鋼廠所採用。此鋼鐵廠生產流程包括：鐵礦燒結、高爐煉鐵、轉爐煉鋼、連續鑄造、熱軋鋼板、熱軋鋼帶、熱軋鋼條、冷軋鋼片、線材。其中由熱軋鋼帶及條鋼後續製成冷軋鋼片及線材前，皆需進行鹽酸酸洗鋼材表面銹皮之製程，氯化亞鐵廢酸液因而產生。此鋼鐵廠不僅擁有噴霧焙燒法之製程設備可處理來自熱軋鋼帶及鋼條之廢酸液，且具有酸液純化技術及設備，產出之副產品氧化鐵粉品質適用於高品級之鐵氧磁材，行銷國內外，廣為磁性材料業者所使用。另一方面，由於純化設備處理廢酸量有一定之限度，未經純化處理之酸液產出之氧化鐵粉品質如果不合市場規格需求或售價過低，則可作為高品級之鐵礦砂進入一貫作業煉鋼廠之鐵礦燒結製程，成為煉鐵原料；或者可作為煉鋼前鐵水脫矽、脫磷劑，降低鋼液中含矽、磷含量。所以此鋼鐵廠之廢酸資源化製程技術除了可回收 16~18%濃度之再生鹽酸重覆使用外，副產品氧化鐵粉不但可銷售，也可作為煉鋼廠之鐵礦原料及脫矽、脫磷劑，達到完全資源化之成效。

本文就該鋼鐵廠廢酸資源化製程技術之實作參數舉例說明，並對產出氧化鐵粉之品質及用途略加闡述，並分析該廠廢酸資源化成效。

#### 1. 製程實作參數

圖 7.1 所示為該廠廢酸液處理流程，其熱軋後之鋼帶，先利用伸張整平機將鋼帶上之氧化銹皮組織以機械力崩裂破壞，再以 16~18%濃度之鹽酸以連續串聯排列之酸洗槽清洗鋼帶表面之氧化銹皮，鹽酸中加入少量之酸洗抑制劑避免溶解過多之鋼材。鹽酸酸洗鋼帶後所得廢酸液先經 5.1.4 節所述之酸液純化製程處理後，再經文氏管預濃縮塔將廢酸液之鐵含量及自由酸含量提高，此濃縮酸以噴嘴噴霧液滴之方式進入焙燒爐分解，高溫鹽酸氣回收成為再生酸，副產品氧化鐵粉則包裝銷售。



資料來源：中國鋼鐵公司

圖 7.1 廢酸液純化及噴霧焙燒回收處理流程

表 7.1 所示為廢酸液經酸液純化流程及噴霧焙燒法產製再生酸其酸液及燃料氣體流量及噴霧焙燒爐爐溫等典型製程參數。廢酸之處理量約為  $6 \text{ m}^3/\text{hr}$ ，酸液中總鹽酸量(T-HCl)約為  $220 \text{ g/L}$ ，總鐵(Fe)含量約為  $150 \text{ g/L}$ 。所得再生鹽酸濃度約為 18wt%，產出量為  $7 \text{ m}^3/\text{hr}$ 。廢酸液先經圖 7.2 所示之純化製程，以蒸氣熱間接加熱方式加熱廢酸至  $90^\circ\text{C}$ ，使具有足夠之溫度溶解廢鋼，溶解廢鋼後酸液中自由酸 HCl 轉化成氯化亞鐵提高酸液中鐵濃度，降低酸液 pH 值，隨後經冷卻水降溫後以氨水調整沉析槽 pH 值約為 4，加入高壓空氣進行氧化，並加入高分子凝結劑凝聚雜質，經沉降槽分離酸液及凝聚物，分離酸液收集後即流

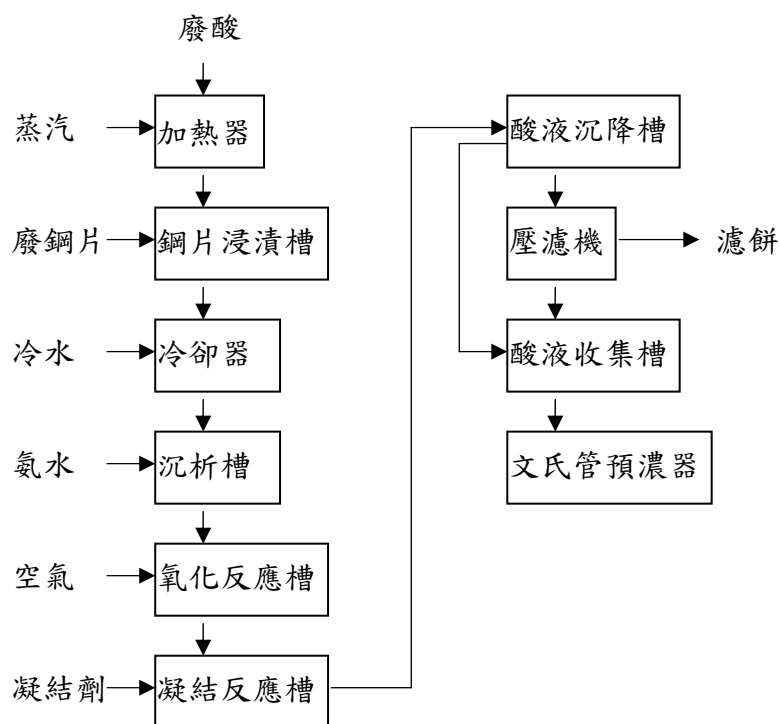
入圖 7.1 所示之酸液再生製程之文氏管預濃縮器，凝聚物以壓濾機分離出濾餅，濾餅則焚化處理。文氏管預濃縮器將酸液體積濃縮 30%，提高酸液中氯化亞鐵濃度，以約 4,000 L/hr 流量噴霧進入焙燒爐，以 660℃ 以上之溫度加熱分解，鹽酸氣經由爐頂排出時溫度約為 425℃，經過兩道旋風分離過程溫度降為 350℃，之後進入文氏管預濃器與純化酸液熱交換濃縮，再以去離子水吸收此鹽酸氣而得鹽酸濃度約為 18% 之再生酸。焙燒副產品氧化鐵粉於爐底溫度約為 555℃，經由氣體輸送至氧化鐵粉儲槽，進入儲槽前以袋濾器進行氣固分離，氣體粉塵分離袋溫度約為 180℃。焙燒爐採用天然氣及煉鋼廠自有之煤焦爐氣作為燃料。

表 7.1 廢酸液經酸液純化流程及噴霧焙燒法產製再生酸之典型製程操作參數

酸 液		製 程 溫 度	
廢酸流量	6 m <sup>3</sup> /hr	焙燒爐燃氣口上方	660 °C
廢酸之總 HCl 量	220 g/L	焙燒爐頂排氣管	425 °C
廢酸之總 Fe 量	150 g/L	文氏管濃縮酸	95 °C
再生酸量	7 m <sup>3</sup> /hr	吸收塔水溫	85 °C
噴入焙燒爐酸液量	4,000 L/hr	排氣煙囪	85 °C
吸收塔流入水量	8.00 m <sup>3</sup> /hr	旋風分離器 1	350 °C
濃縮塔酸液濃縮比	30 %	旋風分離器 2	400 °C
燃 料 氣 體 流 量		爐底氧化鐵粉	555 °C
天然氣(NG)	380 Nm <sup>3</sup> /hr	氣體粉塵分離袋	180 °C
煤焦爐氣(COG)	20 Nm <sup>3</sup> /hr	氣 體 壓 力	
氣體消耗能量	625 Kcal/L	旋風分離器	0.6 KPA
酸液純化處理流程		文氏管預濃器	6 KPA
廢酸流入量	6 m <sup>3</sup> /hr	吸收塔	1.5 KPA
蒸氣流入熱交換器	235 Kg/hr	排氣風扇	12 KPA
廢酸加熱後溫度	90 °C	洗滌塔 1	1 KPA
冷卻水	16 m <sup>3</sup> /hr	洗滌塔 2	0.8 KPA
沉析槽 pH 值	4		

資料來源：中國鋼鐵公司





資料來源：中國鋼鐵公司

圖 7.2 酸液純化流程

表 7.2 所示為廢酸經酸液純化及噴霧焙燒法資源化處理產製再生酸之回收率計算案例。以酸液中總 Cl 流入量與 Cl 經由濾餅、氧化鐵粉、煙囪排氣、及排放水之流失量計算 Cl 回收率可達 99.67%。製程中，廢鋼、氨水、高分子凝結劑、水等為消耗材，水除部份由煙囪排出外，大部份可由水處理廠回收再利用，其它消耗材則進入濾餅中。資源化產品分別為再生酸及氧化鐵粉，再生酸中 Fe 含量僅約為 0.7 g/L，氧化鐵粉中  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量約為 99.3%， $\text{SiO}_2$  約為 70 ppm、Al 約為 24ppm、P 約為 15 ppm、Cr 約為 10 ppm、Cu 約為 10 ppm，此為高純度、高價位之氧化鐵粉，適用於高品級之錳鋅磁蕊。表 7.3 所示為純化處理廢酸液對各種雜質之減量比例，以氧化鐵粉中各雜質在純化處理前後之含量差異計算，其中  $\text{SiO}_2$ 、P 等雜質之去除率達 85% 以上。有些雜質如 Mn、Ca、Ni 等無法經由此純化製程去除，如果需去除此類雜質需引用 5.1.3 節所述之結晶分離法製程去除。

表 7.2 廢酸液經酸液純化流程及噴霧焙燒法產製再生酸

之回收率計算案例及資源化產品品質

1.廢酸流入酸液純化處理製程之流量		2.5 排放水 Cl <sup>-</sup> 流失量	
總量	210 m <sup>3</sup>	總水量	300 m <sup>3</sup>
時間	35 hr	HCl 濃度	0.134 g/L
流量	6 m <sup>3</sup> /hr	Cl <sup>-</sup> 流失量	4 Kg
2.Cl <sup>-</sup> 回收率計算		2.6 Cl <sup>-</sup> 回收率	
2.1 總 Cl <sup>-</sup> 流入量		Cl <sup>-</sup> 總流失量	85.6+38.5+9.26+4 =137.4 Kg
廢酸總量	210 m <sup>3</sup>		
Cl <sup>-</sup> 平均濃度	200 g/L	Cl <sup>-</sup> 回收率	{1-(137.4/42,000)} ×100=99.67%
總 Cl <sup>-</sup> 流入量	42,000 Kg		
2.2 濾餅 Cl <sup>-</sup> 損失量		3.消耗材及能源	
濾餅	713 Kg	3.1 廢鋼	200 Kg/hr
濾餅 Cl <sup>-</sup> 含量	12 %	3.2 氨 NH <sub>3</sub>	46.5 L/hr
Cl <sup>-</sup> 損失量	85.6 Kg	3.3 高分子凝結劑	0.1 Kg/hr
2.3 氧化鐵粉 Cl <sup>-</sup> 損失量		3.4 氫氧化鈉	7.5 g/hr
氧化鐵粉重量	55,000 Kg	3.5 電流	276 kWh
平均 Cl <sup>-</sup> 含量	0.07 %	3.6 總水量	5,620 L/hr
Cl <sup>-</sup> 損失量	38.5 Kg	4.資源化產品品質	
2.4 煙囪排氣 Cl <sup>-</sup> 損失量		4.1 再生酸 Fe 含量	0.7 g/L
煙囪排氣量	8,940 Nm <sup>3</sup>	4.2 氧化鐵粉中 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 含量	99.3 %
HCl 濃度	10 mg/Nm <sup>3</sup>		
Cl <sub>2</sub> 濃度	20 mg/Nm <sup>3</sup>	4.3 氧化鐵粉中雜質含量	
總 Cl <sup>-</sup> 濃度	10×0.96+20=29.6 mg/Nm <sup>3</sup>	SiO <sub>2</sub>	70 ppm
		Al	24 ppm
Cl <sup>-</sup> 損失量	=29.6×8,940×35× 10 <sup>-6</sup> = 9.26 Kg	P	15 ppm
		Cr	10 ppm

資料來源：中國鋼鐵公司

表 7.3 廢酸液經純化製程處理後各種雜質之減量比例

氧化鐵粉 內雜質元 素含量	酸液純化 處理前	酸液純化 處理後	減量比例 (%)	氧化鐵粉 內雜質元 素含量	酸液純化 處理前	酸液純化 處理後	減量比例 (%)
SiO <sub>2</sub>	493	70	86	Cr	106	7	94
P	150	15	90	Mn	3031	3205	-
Al	275	24	91	Ni	130	128	2
Cu	110	10	91	Ca	85	84	1

資料來源：中國鋼鐵公司

此廠廢酸純化製程處理廢酸量之設備能力僅達該廠需處理廢酸量之 2/3，廢酸無法全部經由純化製程處理，所以部份廢酸液僅經由噴霧焙燒製程產製再生酸，副產品氧化鐵粉品質則可能較差，市場需求低迷時，如果不願低價賣出破壞市場行情，則必須回收處理。由於此鋼廠為一貫作業煉鋼廠，本身具有高爐煉鐵製程、低價位之氧化鐵粉純度高達 98.5% 以上，雖不適用於鐵氧磁材，但卻是純度甚高之鐵礦原料，僅需將此粉狀之氧化鐵粉經過該廠 Mini-Pellet 造粒廠造粒，藉由輸送帶傳送進入鐵礦燒結廠即可回收作為高爐煉鐵原料。另外該廠冶煉某些低磷鋼種前，需將脫矽、脫磷劑吹入魚雷車之鐵水內進行脫矽、脫磷處理。脫矽、脫磷劑原料為細燒結鐵礦(Sinter fines)及石灰、螢石等，由於脫矽、脫磷劑之粒徑要求與噴霧焙燒氧化鐵粉之粒徑相當，所以氧化鐵粉可直接取代細燒結鐵礦，作為脫矽、脫磷劑，且脫磷效果相同。如此資源化處理廢酸之所有產品幾乎皆可回收再利用，且符合環保之要求。

## 2. 廢酸資源化成效

由於該廠處理廢酸後之產品皆可再利用及銷售，資源化成效幾乎達 100%，且完全符合環保法規之要求，是目前國內酸液資源化最好之典範。廢酸經由過濾、純化、濃縮、焙燒、吸收成含鐵量甚低之再生鹽酸，濃度達 18%，可送回酸洗線重覆使用，正常運轉時酸液回收率達 99% 以上。純度高之副產品氧化鐵粉可供應鎳鋅、錳鋅鐵氧磁材業者所用，製造出各種高導磁率及低磁損之磁蕊，廣範應用於電腦資訊、通訊等產業，不但回收再生酸可節省成本，且銷售氧化鐵粉收益可觀，高純度氧化鐵粉目前售價每噸達 10,000 元以上，不亞於部份鋼鐵之售價。如以年產量 100 萬噸之冷軋酸洗鋼捲計，每小時去除 700 公斤銹皮

產生廢酸約為  $6 \text{ m}^3/\text{hr}$ ，單純之廢酸噴霧焙燒製程之初設成本約為 1.2 億元台幣，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 5,000 萬元，回收鹽酸及銷售氧化鐵粉效益約為 9,000 萬元，設備折舊約為 1,800 萬元，回收年限約為 5.4 年 $(12 \div (9-6.8) \doteq 5.4)$ 。如果酸液經過純化處理，估計氧化鐵粉生產成本約增加 30%，因氧化鐵粉售價亦相對提高約為 30%，所以回收年限估計大致相同。

### 3.結語

噴霧焙燒法處理廢酸液在此鋼鐵廠獲得甚佳之實作驗證，幾乎達到 100% 資源化及無環境污染之目標，且其近年來所引進之酸液純化製程亦為國內目前最先進之製程，不但提高廢酸液資源化之成效，亦能提高副產品氧化鐵粉之應用價值，對提升國內外軟磁業者之產品品級頗有貢獻，此種資源化處理不但可達到污染防治及廢棄物資源化之雙重效應，對提升電子產業相關產品之競爭力亦有助益，此鋼廠自 1970 年以來已陸續運轉三座此種廢酸液資源再生工廠，績效卓著，對國家社會貢獻良多。

## 7.2 鉻酸鹽廢液資源化技術案例

該廠為一烤漆鋼板之專業生產公司，生產製程除軋鋼製程外，尚有鍍鋅及烤漆等製程，該廠產生鉻酸鹽廢液的來源主要為鍍鋅生產線的化成處理液（7 噸/月）及烤漆生產線的化學前處理（3 噸/月），原處理方式為採用還原中和法，即將六價各先還原成三價鉻，再以沈澱方式予以處理，但會形成大量的污泥，需進一步加以處理處置。經過技術輔導機構進行分析發現，該廠鉻酸鹽濃度較高，若採回收方式，除可解決廢液問題，亦可獲得回收之經濟價值。

5.2 節中指出一般用於鉻酸回收如表 5.1 所示的方法，該廠則經過技術輔導單位審慎評估後，採用隔膜電解及加熱蒸發濃縮的方法，其設備流程如圖 7.3 所示。該廠應用隔膜電解法將鉻酸純化，除可將三價鉻氧化成六價鉻，提高其回收率外，同時也可將其他雜質去除，並延長鉻酸槽液老化置換的週期，減輕鉻酸廢液處理的負荷。隔膜電解處理所採用的薄膜為多孔性陶瓷膜，整套回收處理設備之經濟效益分析如表 7.4 所示，表中顯示該廠每年可回收鉻酸 1,800 公斤，減少污泥處理量 9.27 公噸，淨效益可達 28 萬元，回收期僅 9.4 月。

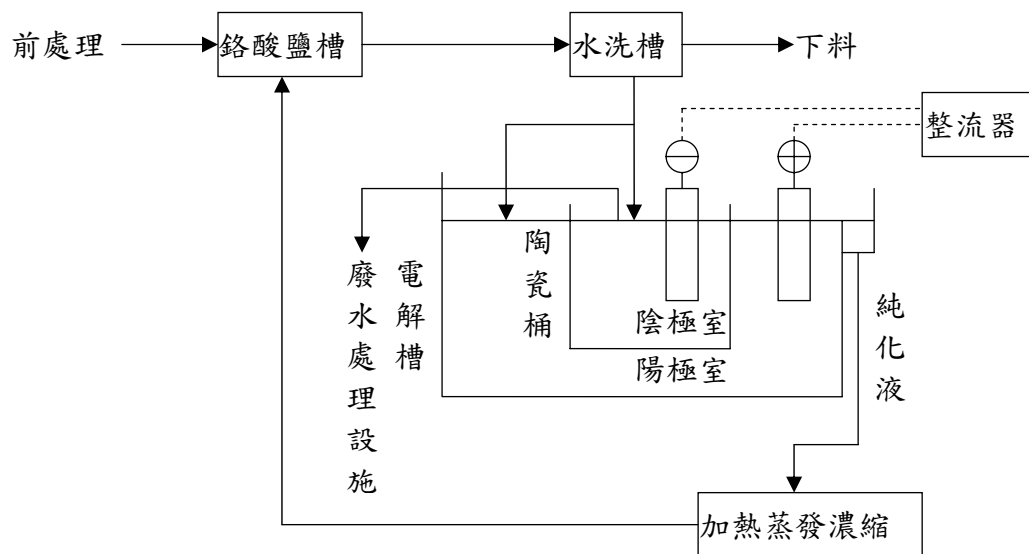


圖 7.3 隔膜電解及加熱蒸發濃縮設備流程

表 7.4 鉻酸回收之經濟效益分析

執行方案	化成處理液品質維護				
比較項目	項目	費用（元）	百分比（%）	小計	合計
硬體投資 成本（A）	隔膜電解設備	70,000	31.8	220,000 元	269,558 元
	加熱蒸發濃縮	150,000	68.2		
每年操作 費用（B）	電費	16,778	33.8	49,558 元	
	設備折舊	32,780	66.2		
投資回收 效益（每年） （C）	鉻酸回收（1,800Kg/年）	126,000	38.0	330,478 元	330,478 元
	減少廢水處理費用	65,428	20.0		
	減少污泥處理費用	139,050	42.0		
	（9.27 噸/年）				
每年淨效益 （C－B）	280,920 元				
回收期 A/（C－B）	9.4 個月				

註：1.硬體投資成本為執行本方案所須添購或維修之硬體投資成本，包括管線、設備及人工等。

2.每年操作費用為執行本方案所須增加之操作費用。

3.設備折舊不計入。

### 7.3 油泥資源化技術案例

該廠為一廢油泥資源化專業處理廠，主要設備係以一廢油泥離心分層機為主體，其特色為屬移動式油泥處理設備，可安置於煉油廠區內直接於油泥貯存槽附近進行處理，以節省油泥輸送上之成本。

#### 1. 製程及原理

有關該廠之技術流程介紹於 5.3 節已作一詳細介紹，廢油泥係藉由通以蒸汽加熱來保持其流動性，且經由事前之過濾設備將油泥中之泥砂等顆粒物質先行除去，以避免造成後續處理設備之損害，其後為一組三相離心分層機，將油泥藉由離心原理分層為油份、水份及固形物等三種型態，分別用導管將其排出，而達到油泥資源化處理之目的。

#### 2. 資源化成效

經分層排出之三種物質，油份可經煉油廠回收再重煉成油品出售，水份則排入該煉油廠之廢水處理廠中併同廠內廢水處理，而固形物則交至煉油廠焚化爐或委託其他代清除處理機構處理之。

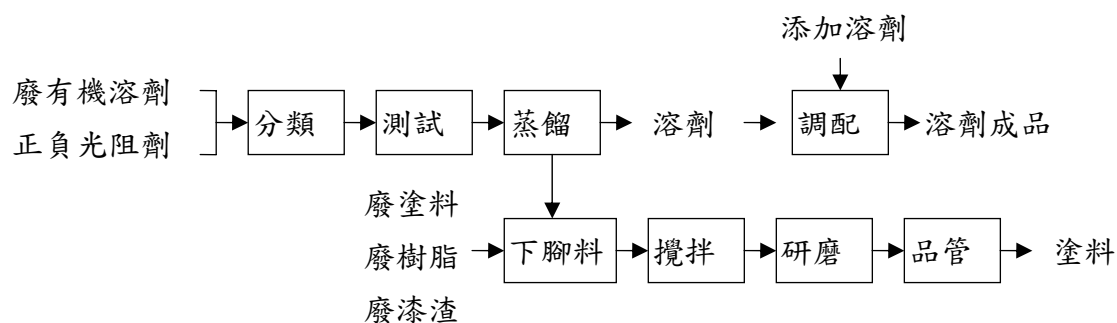
#### 3. 結語

本項廢油泥處理設備為一取得法國專利之技術，對於廢油泥之資源處理有極大的成效，比起一般常用的焚化、掩埋處理方法，除了具有減容效果（約減少 90%），並可回收其中之油份，有效提昇資源、能源之利用率。

### 7.4 廢溶劑資源化技術案例

#### 1. 案例一

該公司成立於民國 81 年，為國內之甲級廢棄物代處理廠，專門從事各種廢有機溶劑、正負光阻劑、廢塗料、廢樹脂、廢油漆渣、廢潤滑油（含各類切削液、液壓油、循環油、機油等）之清除處理業務。該公司占地四千多坪，擁有廢溶劑處理設備及研發人員。如圖 7.4 所示，該公司之處理技術可回收正負光阻、廢塗料、以及廢潤滑油中所含之有機溶劑。



資料來源：廢棄物再利用案例彙編(II)，清潔生產雙月刊，第十五期，民國 86 年 12 月

**圖 7.4 廢溶劑蒸餾回收再生溶劑流程**

## 2. 案例二

在日本的 Ohgaki 工廠，其係使用滲透蒸發程序來處理製程所產生之含水異丙醇，主要之滲透蒸發裝置係採用模組型式，其優點為省能源及具有多目標操作功能等優點。若與共沸蒸餾法相較，其優勢更能由表 7.5 比較得知。

**表 7.5 日本 Ohgaki 工廠操作費用比較表**

比較項目	操作方式	滲透蒸發	共沸蒸餾
公用設施消耗			
水蒸汽(Kg/hr.IPA)		0.3	1.6
電力(Kwh/hr.IPA)		0.03	0.01
冷卻水(t/hr.IPA)		0.055	0.01
操作費用(Yen/Kg.IPA)			
水蒸汽		0.9	4.8
電力		0.6	0.2
冷卻水		0.55	1.0
共沸劑（苯）		—	0.03
薄膜		1.9	—
合 計		3.95	6.03

\*計算基準：水蒸汽：3000Yen/噸    電 力：20Yen/噸  
冷卻水：10Yen/噸    薄膜更新：次/3 年

### 3. 案例三

ICI 公司是目前世界最大清洗溶劑產源，且在該國溶劑之銷售、使用、回收及處理，皆有較為完善且通暢的行銷體系與管道，值得國內推行借鏡。在此略述 ICI 廢有機溶劑回收體系、廢有機溶劑廠外回收系統運作情形、廢有機溶劑回收後殘渣最終處置執行方式與其效果、回收處理體系之效益評估及 ICI 全球廢有機溶劑策略。

#### (1) ICI 廢有機溶劑回收體系

ICI 化學部門的主要工作，是負責化學相關產品的生產及技術支援，其中的一個部門，除了是負責全球主要清洗溶劑生產供應外，也提供有機溶劑使用業者物件清洗技術上的支援，例如客戶物件清洗方面資訊的提供，清洗設備的研發，以及解決顧客清洗後廢有機溶劑的處置與管理，同時 ICI 也聯合其他相關的清理、回收或處理業者，形成更為完善、通暢且合法的管道，使其客戶在使用 ICI 清洗劑時，無任何後顧之憂，ICI 與溶劑使用業者、回收處理業者之間有良好的互動關係。該單位同時也負責氯化溶劑替代品的製造。ICI 製造的清洗溶劑，其產品名稱與相對化學名稱如表 7.6 所示，由表中可略知 ICI 的清洗溶劑種類。

#### (2) ICI 清洗溶劑回收系統運作

- A. 廢有機清洗溶劑回收收取費用，視回收溶劑種類、回收總量及可回收溶劑比例而定，但影響最大的需視回收市場的價值而異。以 ICI 產品名 Triklone 收費為例，在回收數量在 210 升容器 4~10 桶或 20 升容器 40~100 桶時，其回收比例小於 25% 時，每公升可向產生者收 75 辨士，在回收比例為 25~50% 時可不需向產生者收取費用，若可回收比例達 50% 以上時則可付給產生者每公升 10 辨士。因此，可知回收費用其主要因子為溶劑種類、回收總量及溶劑品級而定。
- B. 必須考慮回收成本及廠內操作方便性，ICI 公司在有機廢溶劑回收產品純度方面，一般維持在 90~95%。而國內回收產品純度 90~97% 不等，留在蒸餾後殘渣內之溶劑含量則占 7~10% 左右與 ICI 公司相近，足見國內之蒸餾回收技術並不遜於國外。



表 7.6 ICI 清洗溶劑產品及相對化學名稱

ICI 品名	化學名稱及結構式
TRIKLONE	trichloroethylene $\text{Cl}_2\text{C}=\text{CHCl}$
METHOKLONE	methylene chloride, $\text{CH}_2=\text{Cl}_2$
PERKLONE	perchloroethylene, $\text{Cl}_2\text{C}=\text{CCl}_2$
GENKLENE	methyl chloroform $\text{CH}_3\text{CCl}_3$
PROPAKLONE	a formulation based on methyl chloroform (1-1-1-trichloroethane)
ARKLONE	1,1,2-trichloro-1-2-2-trifluoroethane (CFC-113)

資料來源：(ICI,1994)

### (3)廢溶劑回收技術及其最終處置

ICI 之廢有機溶劑回收流程主要是蒸餾塔及蒸發器，以及不同有機溶劑種類的進料儲槽與回收產品儲槽。該回收廠內有一套蒸餾設備，以通入蒸氣熱交換方式加溫蒸餾，蒸餾塔高約 20 米，內有 316 不鏽鋼製環狀物為其填充物（篩板回流效果較佳，也較沒有阻塞問題，國內溶劑回收業者，填充塔及篩板塔皆有使用）。但各種污染排放標準仍需符合中央政府制訂的法規，如 EPA ( Environment Protection Act )，HNTIP( Her Majesty Inspector of Pollution )和 NRA ( National River Authority )等。近年來該國政府也逐年嚴格管制執照的核發，代處理業者的商業運作不再視為一般行業的交易，除需備有 Site License，（如台灣之土地使用、環境影響等審核證明之雜項執照）和 Operation License（機器設備、處理技術能力等之設置許可），另外也需提出廢棄物之來源及流向和其最終處理方式等之證明，方能獲得當地政府執照之核發，並且在運轉之後，需作不定期之勘驗。

### (4)經濟效益評估

以該廠每月約 500 噸的溶劑處理量，為維持整廠營運效益與一定之利潤，以回收多樣種類的溶劑，是該公司之營運策略。各種溶劑經評估其回收市場的產品價值、回收成本、運輸成本與最終處置費用後，才決定廢溶劑回收所需處理費用或向使用廠商收取之費用。然而，其中影響最大的因素，常屬回收後產品市場價格之變異，尤其是近來受到蒙特婁公約影響，各類清洗溶劑的價格起伏變化很大。較高之溶劑回收比例與較大之回收量，往往可使消費者獲得較好的價格，因此對於物件清洗品質要求高之廠商，可適當調整溶劑回收時機以獲取最大效益。

#### (5)回收市場與殘渣最終處置回收

產品因受限於品質，在產品回銷到次級市場時，對於不太在乎物件清洗品質的廠商，可買來與純溶劑混合後使用。或者是用於其他溶劑產品的使用原料，如修正液等其他對品質要求不高之產品。溶劑回收後的殘渣，目前雖有多項可行技術可供做處置有害廢溶劑。然現行處理技術仍具商業效益者，只有焚化處理一途。由於多數廢氯化溶劑回收後之殘渣，內含污染物質(如機油、潤滑油)，除使殘渣可燃且熱值高外，亦可當作是良好的輔助燃料。另外其灰份比極低( 0.02 ~ 0.65%之間 )，更適合以焚化處理廢有機清洗溶劑之殘渣。

#### (6) ICI 全球廢溶劑策略

自 1989 年 1 月 1 日起蒙特婁議定書（蒙特婁破壞物質管制議定書）為控制氟氯碳化物(CFCs) 排放量，明定 CFCs 和海龍的削減時程，並自 1994 年 1 月全面禁止生產海龍，自 1996 年 1 月 1 日起，除了部份開發中國家外，各國需全面禁用 CFCs，締約國並且成立「多邊信託基金」，援助發展中國家的技術轉移。對於不遵守議定書之國家將對其採取貿易報復條款，此項議定書對 ICI 而言有極大之影響。因此，ICI 對於該議定書亦做了如下之因應對策，包括：

##### A.調整氯化溶劑產品產量

ICI 是供應全世界氯化清洗溶劑最大的產地，並生產多樣不同的產品。三氯乙烷（ICI 品名 GENKLENE）是受蒙特婁公約影響最鉅的氯化溶劑清洗產品，為因應該公約的管制，已從原平均產量 85,000 噸/年，降為現今的 60,000 噸/年，降幅達 30%，且仍逐年降低中，按公約規定於 1996 年完全停產。相對於三氯乙烷的逐年減產，由於部份使用業者轉移到使用三氯乙烯，使得三氯乙烯的產量在尚未有完全取代三氯乙烷新產品上市前，暫時地從 60,000 噸年產量升為 100,000 噸，產率增加達 60%。

##### B.發展清洗溶劑替代品

視清洗物件和清洗方式之特性，輔導使用業者轉向已有之替代品使用新推出之替代品。前者如三氯乙烯、Methylene Chloride，後者如碳氫化合物混合清洗劑系列 CH10，CH11，CH12。這些系列的推出，主要目的是逐步更換成非含氯溶劑清洗劑為目標，這也是目前清洗溶劑更替的潮流及因

應市場需求之道。

### C.改良廠內溶劑清洗回收設備

廠內清洗溶劑使用會造成廢溶劑在空氣中逸散，不但直接造成溶劑的浪費，也造成操作員工健康的危害和大自然環境的破壞。如今各國也都針對揮發性有機溶劑使用的不當，所造成的氣體擴散實施管制。因此，ICI 清潔技術發展部門也推出針對不同行業的清洗設備提出改善方法，以期使清洗效果最佳，溶劑損失量達到最低值。

整體而言，ICI 在廢氯化溶劑的回收、處理的整個架構與流程，已符合現今逐漸受重視的廢棄物處理精神 " 從搖籃到墳墓"，亦即從生產者至販售者到使用者，都應對廢棄物流向負有責任，在這期間，再加上回收業者增進資源再利用價值，延長產品使用壽命；中間處理業者（或最終處理業等）確保廢棄物處理造成對環境之危害降到最低。如此的環節相扣，方是最佳的廢棄物管理方式，也使 "從搖籃到墳墓" 之廢棄物管理精神有更高層次的詮釋。

ICI 是氯化溶劑的產生者，基於道德和整個企業的聲譽，以其在溶劑市場的地位，整合廢溶劑回收及處理業者，在該國本土形成了一個循環體系，加強了對溶劑使用業者的另一層次的服務，也盡了產生者對廢棄物處理道德上的一份責任。

ICI 溶劑回收廠，為了使回收產品與原產品在市場上有所區隔，加上因廢溶劑中存在的污染物的先天條件等負面條件的限制，使得在回收技術應用的層次並不高。基於經濟效益與回收技術的考量，溶劑無法 100% 完全回收，回收產品的純度也在 90~95% 左右。而國內多家回收廠的回收產品純度也在 90~97% 之間，可見國內在廢溶劑的回收技術上並沒有太大的差異。在 ICI 的溶劑回收體系中，為使有機清洗溶劑回收後殘渣無害化處理，焚化爐占有極為重要之角色。因此為解決國內諸多有害廢棄物的處理問題，及早鼓勵民間投資興建有害廢棄物焚化爐，是國內相關單位當務之急。清洗溶劑回收後殘渣，其成分與特性以當作焚化進料或輔助燃料以焚化處理，應是可行方法之一。

## 7.5 污泥资源化技术案例

### 1. 中鋼礦泥集塵灰回收系統

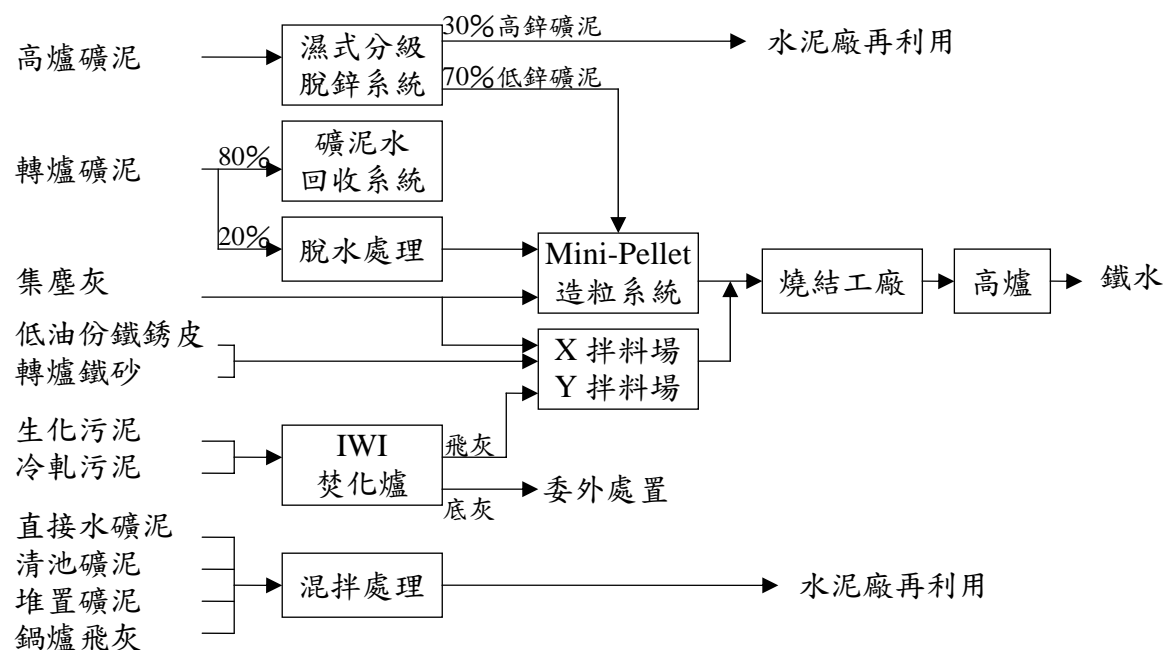
高爐污泥先經漩分器(Hydrocyclone)濕式分級，高鋅礦泥外送水泥廠，低鋅礦泥廠內回收。轉爐污泥直接廠內回收(如圖 7.5 所示)。生化污泥與含油冷軋污泥以工業焚化爐 (IWI)處理(如圖 7.6 所示)，直接水熱軋污泥混拌外送水泥廠。

### 2. 中鋼礦泥煤灰拌合料

中鋼廠內高雜質、高水份、部份過剩礦泥與鍋爐煤灰混合拌料後，外送水泥廠做為水泥副原料，一般水泥可添加氧化鐵副原料最高約 3.5%。拌合料品質：水份 23% 以下，總鐵份 50% 以上，雜質 Cl 0.1% 以下、Zn 1.87% 以下，中鋼礦泥煤灰拌合料每月產生量約在 8,000~10,000 噸。

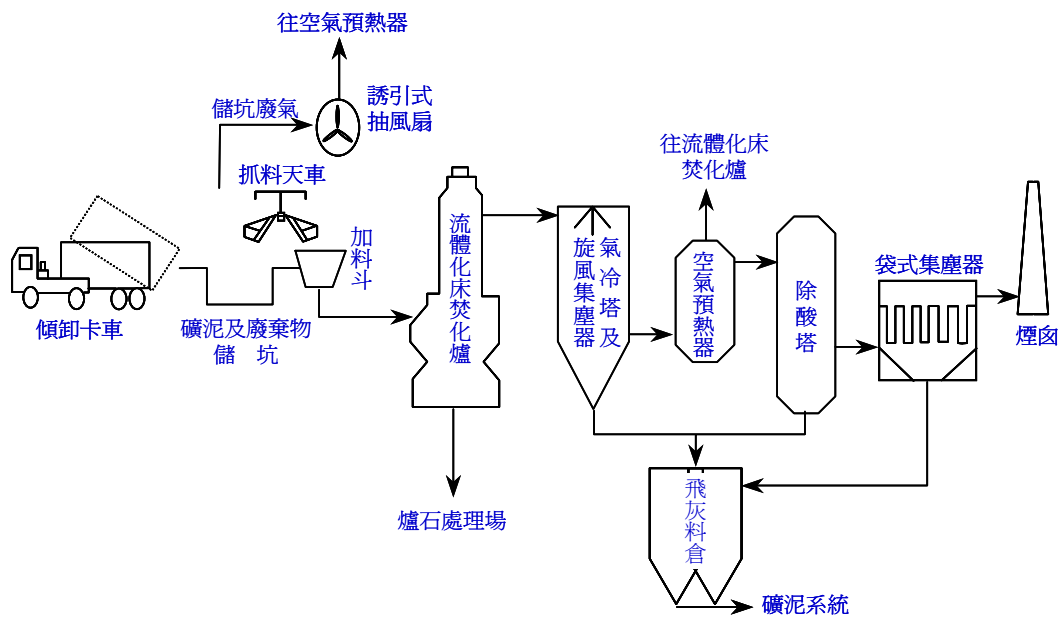
### 3. 中鋼礦泥爐塵回收造粒系統

中鋼廠內高鐵分低雜質之礦泥與集塵灰，配料拌合再以盤式造粒機 (Pan Pelletizer) 造粒後(如圖 7.7 所示)，在廠內燒結場回收，做為煉鐵原料。



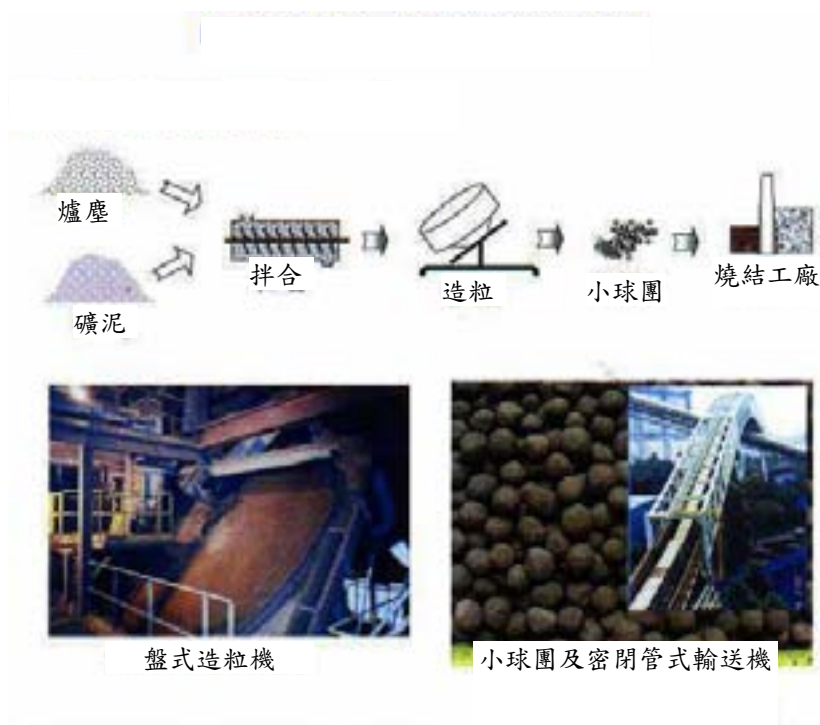
資料來源：中國鋼鐵公司

圖 7.5 中鋼礦泥集塵灰回收系統



資料來源：中國鋼鐵公司

圖 7.6 中鋼廢棄物資源回收場(IWI)流程圖



資料來源：中國鋼鐵公司

圖 7.7 中鋼礦泥爐塵回收造粒系統 (Mini-Pellet System)

## 名詞解釋

### 1.冶煉業(smelting field)

具有氧氣轉爐\電弧爐煉鋼設備、電阻爐設備、高低週波爐、化鐵爐及鑄造設備，生產鋼胚、冶煉合金鐵及生產鑄鋼、鑄鐵之工廠（含碳鋼、不銹鋼轉爐及電爐）。

### 2.長條類軋延業(long steel field)

具有軋鋼或冷滾壓設備，生產鋼筋、元條、盤元、扁鐵、方鋼、六角鋼及各類熱軋型鋼或冷作輕型鋼之工廠（含碳鋼、不銹鋼長條類工廠）。

### 3.平板軋製業(shape steel field)

具有軋延機設備之工廠（含碳鋼、不銹鋼平板類工廠）。

### 4.鋼管業(tube field)

具有製管設備，生產碳素鋼管之工廠。

### 5.不銹鋼管業(stainless tube field)

具有不銹鋼製管設備，生產不銹鋼管之工廠。

### 6.鋼結構業(structure field)

具有鋼板切割、組合及銲接設備，生產銲接型鋼及鋼結構品之工廠。

### 7.製線業(wire-forming field)

具有抽線機設備，生產鋼、鐵線之工廠。

### 8.銲條業(welding rod field)

具有電銲條製造設備之工廠。

### 9.鍍面鋼材業(coating field)

具有鍍塗面鋼品製造設備之工廠。

#### 10.鋼捲裁剪業(coil cutting field)

具有熱、冷軋碳素鋼、合金鋼及鍍塗面鋼板、捲、片裁剪加工設備之工廠。

#### 11.不銹鋼板裁剪業(stainless cutting field)

具有不銹鋼板、捲、片裁剪加工設備之工廠。

#### 12.鋼鐵加工業(steel processing field)

鋼鐵加工製品、沖壓及剪裁等之工廠。

#### 13.連續酸洗線(continuous pickling line)

將熱軋鋼帶，以鹽酸將鋼帶表面之銹皮洗去，以供冷軋軋延的生產線，因設計時酸槽區的鋼帶係連續不斷的運轉，故稱為連續酸洗線。

#### 14.冷軋(cold roll)

以酸洗(pickling)後的熱軋鋼捲為原料，於常溫下經冷軋軋延至預定厚度稱之；通常經冷軋後之產品，其表面精美，且尺寸精密。

#### 15.除銹(descaling)

以化學或機械方式將鋼品表面銹皮去除之作業稱為除銹，例如將剛送出加熱爐之熱扁鋼胚以高壓水破碎並沖走其表面銹皮等作業。

#### 16.熱軋鋼捲(hot rolled coil)

由熱軋鋼帶工場產出，經過熱軋精整工場調質重捲後的鋼捲稱之。

#### 17.熱軋鋼板(hot rolled plate)

由熱軋鋼帶工場產出，經過熱軋精整工場剪切線剪切成所需之長度及寬度，而厚度在 6.0mm(含)以上之產品稱之。

#### 18.熱軋鋼片(hot rolled sheet)

由熱軋鋼帶工場產出，經過熱軋精整工場剪切線剪切成所需之長度及寬度，而厚度在 6.0mm 以下之產品稱之。

#### 19.酸洗(acidic cleaning)

係透過不同種類酸液的選擇，將欲鋼材表面上的氧化皮膜或其他保護層進行浸蝕，以利後續加工程序之進行。常見的酸洗液種類包括：硫酸、鹽酸、硝酸、氫氟酸、磷酸或混合酸等。

#### 20. 鉻酸鹽皮膜處理(chromate coating treatment)

金屬浸漬於以鉻酸為主要成分的藥液中，其表面即會產生一層耐蝕性良好的皮膜。鉻酸鹽處理大致可區分為兩種，一為生成一種耐蝕性優良的有色皮膜，另一為生成光亮皮膜，其耐蝕性雖較前者略差，其表面卻光亮。

#### 21. 電透析(electrodialysis, ED)

係利用滲透理論，藉離子交換膜的良好選透性，在外加電場作用下，控制電解質離子的移動方向，以達到分離及濃縮目的。

#### 22. 毒性溶出試驗(toxicity characteristic leaching procedure, TCLP)

認定毒性事業廢棄物是否為有害廢棄物之測試方法，其萃取溶劑係選用醋酸溶液。

#### 23. 生命週期評估(life cycle assessments, LCA)

利用產品生命週期的概念，由原料開採→生產製造→消費使用→回收利用或棄置處理各階段對環境產生之影響，以評估產品對環境的總體衝擊程度。

#### 24. 減廢(waste minimization)

美國環境保護總署(EPA)最早用於有害廢棄物(hazardous waste)，即指任何藉有害廢污之減量、減毒措施，以達到減少有害廢棄物貯存(storage)、處理(treatment)或處置(disposal)設施負荷之目的。廣泛來講，即「廢(waste)」之排出在生產過程或在進入處理系統之前即予控制，減少其廢污之產量、降低廢污之濃度、改變廢污之污染特性、回收再利用以控制排放等，以減少不必要之廢污產生，甚至可回收再利用，進而減少所需處理之負荷，達到經濟並有效地解決工廠廢污問題之目的。

根據美國國會技術評估局(Congressional Office of Technology Assessment, OTA)認為工業減廢乃從工廠內部改善(in-plant changes)做起，在生產過程中減少廢污之產生，但並不包括一旦產生廢污後之減毒、減量在內。



## 25. 污染預防 (pollution prevention, P2)

工廠在生產過程中藉由各種直接或間接的方法，以減少或消除污染物或廢棄物的行為，稱為污染預防，在美國俗稱為“P2”。這些方法包括污染源減量、原料替代、製程改良、廠內或廠外回收、及良好的生產管理等，污染預防是達成環境保護的最有效方式，同時也可以帶來許多經濟效益，如降低廢污處理／處置成本、原料及能源節約、降低責任風險、及提供更清淨與安全的工作環境等。

## 26. 清潔生產(cleaner production)

依據聯合國環境規劃署(UNEP)於 1997 年重新對「清潔生產」所下之定義：「清潔生產係整合性環境預防策略(an integrated preventive environmental strategy)持續應用於製程、產品、服務，以增進生態效率(eco-efficiency)，並降低對人類及環境之風險」。意指採取整體預防性的環境策略於製程及產品，以減少對人類及環境可能的危害。就製程策略而言，其包括減少原料及能源耗用量，並且使廢氣、廢水及廢棄物在未自製程中排出前，即減低其量及毒性。而就產品策略而言，其藉由生命週期分析，而使得從原料之取得及至產品之最終處置過程中，對環境之影響減至最低。而為達成清潔製程(cleaner production)，則必須藉由 know-how 技術。

類似之常用語包括有清潔技術(cleaner technology)、無廢棄物產生之技術(non-waste technology)、及與環境友善之技術 (environmental sound technology, 或 environmental friendly technology) 等。

## 27. 環境管理系統標準(ISO 14000)

國際標準組織(International Organization for Standardization, ISO)為了將國際環境管理制度整合進而標準化，遂於 1996 年訂定 ISO 14000 系列之國際環境管理標準。ISO 14000 是為保護環境而制定，最終目的促使企業界能結合企業管理體系理念以更有效率的保護環境。

## 28. 廠內管理(house keeping)

在工廠生產過程中藉由一些管理方式的改良，以達成減廢的目的。常見的方法有：(1)調整操作步驟，(2)廢棄物分流收集，(3)物料庫存改善，(4)製造時程改善，(5)損失防止及(6)人員訓練等。

當然前述所述要做好操作的管理，必須要由主管階層上鼓勵、獎勵，以使

員工努力於減廢。

## 29.永續發展(sustainable development)

是 1992 年 6 月聯合國在巴西里約熱內盧召開「地球高峰會議」所揭櫫的地球環境觀念，定義為「能滿足當代人的需求，又不損害子孫後代滿足其需求能力的發展」。亦即人類的各種活動必須考慮環境的負荷能力及資源節約與有效利用，使地球上之生態環境能永續發展。

本項觀念應用於工業生產上稱之為「永續經營」更適切，其乃是針對國家政策、工廠產品及生產製程等做設計，以免除或減少人類經濟活動對環境的衝擊。簡言之即「為環境而設計」。

## 參考文獻

1. 梁明義，陳坤銘，莊惠景，台灣地區鋼品需求預測(民國 92 年至 97 年)，台灣區鋼鐵工業同業公會。
2. 余進福，回首看看 20 歲的鋼線鋼纜業長相如何，鋼線鋼纜會訊，4 卷 8 期，pp.47~56，民國 88 年 10 月 20 日。
3. 黃清雄，產業競爭力關鍵因素之研究-以台灣區鋼線鋼纜業為例，鋼線鋼纜會訊，4 卷 12 期，pp.1~25，民國 89 年 10 月 20 日。
4. 羅永昶，我國鋼結構產業現況分析，經濟部技術服務處產業智庫，民國 92 年 4 月 22 日。
5. 電鍍業水污染防治技術，經濟部工業局工業污染防治技術服務團，財團法人中國技術服務社編印，民國 82 年 6 月。
6. 電鍍業減廢案例彙編，經濟部工業局工業污染防治技術服務團，財團法人中國技術服務社編印，民國 82 年 10 月。
7. 台中電鍍廢液處理示範中心污泥特性分析及處理處置方案評估綜合報告，經濟部工業局工業污染防治技術服務團，民國 83 年 6 月。
8. 廖錦聰等，濃厚鉻廢液資源化利用(上)，環保技術報導，第 17 期，PP.13~20，民國 83 年 4 月。
9. 廖錦聰等，濃厚鉻廢液資源化利用(下)，環保技術報導，第 18 期，PP.6~11，民國 83 年 6 月。
10. 王壬等，電鍍污泥資源化技術研究，第四屆(1994)工業減廢技術與策略研討會論文集，PP.27~40，民國 83 年 6 月。
11. 電鍍業廢棄物資源化案例彙編，經濟部工業局工業污染防治技術服務團，財團法人中國技術服務社編印，民國 85 年 3 月。

12. W. Karner, "New Developments in the Spray-Roasting Process for Pickle Liquor Regeneration," Iron Oxide'91, Falmouth Associates, California, USA Sept. 16-17(1991)
13. W. Karner and W. Hofkirchner, "Modern Pickling and Acid Regeneration Technology" Modern Steel, Session 3, 2/1-2/12(1994)
14. M.J. Ruthner, "The Importance of Hydrochloric Acid Regeneration Processes for the Industrial Production of Ferric Oxides and Ferrite Powders," Proceedings of International Conference in Ferrites(ICF), Oct. Japan(1980)64-69
15. M. J. Ruthner, "Long Term Availability of Spray Roasted Iron Oxides for The Production of Ferrites," Proceedings ICF-5, India(1989)23-33
16. T. Obi and T. Ohkubo, "New Processing Method of The Waste Pickling Liquor in Steel Making with Fluidized Bed Reactor," J. of Testu to Hagane, Japan, 70[14](1984)1758-1764
17. Y. Yamazaki and M. Matsue, "Producing Ferric Oxide and Ferrous Sulfate for Magnetic Materials from Waste Pickling Acid Through Application of Crystallization Technology," Proceedings ICF-6, Japan(1992)136-39
18. M. Tsuzaki, K. Takaki, F. Yoshikawa, M. Shimasaki, "Iron Oxide for High-Quality Soft- Ferrite, "KH-CP" , 川崎製鐵技報, 24[2](1992)148-149
19. S. Tanaka, "Ferrite Developments and the Corresponding Improvements of Iron Oxides as Raw Materials in Japan," Iron Oxide'91, Falmouth Associates, California, USA Sept. 16-17(1991)
20. S. Wadhawan, "Raw Materials for Synthetic Iron Oxide Manufacture," Iron Oxides'95, Texas, USA, Dec.6-8(1995)
21. T. Hara, "Updated Processs of IROX-NKK", presented at the Proceedings of Iron Oxide for Hard & Soft Ferrites Conference, Pittsburgh, PA, U.S.A., 1998
22. A. Chiba and O. Kimura, "Production of Highly Pure Oxide Using A Solvent

Extraction Method, " Proceedings ICF-5, Japan(1989)35-42

23. 木村 修、千葉 明，" 溶媒抽出法應用於高純度酸化鐵之製造，" 粉體及粉末冶金,第 36 卷第 3 号，in Japanese, April(1989)267-271
24. M. T. Moore, "Mono Component Magnetic Toner," Iron Oxides'95, Texas, USA, Dec.6-8(1995)
25. Y. F. Chiu and T. H. Hung: China Steel Research Report PJ80022, 1992.
26. RASA/NGP Process, RASA Corp., Japan, 1988, pp. 1-5.
27. C. P. Heijwegen and W. Kat: Tech. Report A-36, ESTS Hoogovens, Netherlands, 1989, pp. 1-8.
28. C. P. Heijwegen and W. Kat: Tech. Report A-37, ESTS Hoogovens,
29. "Fastmet-RHF 製程簡介"，Kobe Steel, 8/2000。
30. "1993 McMaster Symposium on Ironmaking & Steelmaking", McMaster Univ., Canada, 5/1993.
31. 洪德賢，鄭弘毅，常致泰，蘇福寧，楊茂田，"燒結靜電集塵處理系統之規劃，CSC PJ-82015，，10/1993.
32. 蔡永興，國內廢溶劑回收處理及處置現況，工程雙月刊第七十四期第三卷，p.32~41，民國 90 年 4 月
33. 陳正澤，陳文欽、賴重光，廢溶劑回收及處理技術與案例探討，工業污染防治季刊，p.89~117，第八十期，民國 90 年 10 月
34. 黃耀輝，有機廢液與其資源化考量，工業與污染防治季刊，p.119~138，第八十期，民國 90 年 10 月
35. 劉恩治，液體廢棄物及管理技術，工業污染防治季刊，p.139~153，第八十期，民國 90 年 10 月
36. 陳文卿、賴重光，廢有機溶劑處理與回收技術探討，環保月刊，p.126~143，第二期，民國 90 年 8 月
37. 翁文爐、鄭智和，廢有機溶劑回收及純化技術之探討，環保資訊，p.21~28，

第三十四期，民國 89 年 12 月

38. 李克燮、方邦庭，溶劑回收，兵器工業出版社，1991 年 2 月
38. 經濟部工業局，事業廢棄物處理與資源化技術，民國 84 年 8 月
40. 經濟部工業局，廢棄物資源化技術資料彙編，民國 88 年 6 月
41. Ruthner-- Acid Recovery Plant and Silica Removal Plant, Internal Report , June, 21(1998)
42. 洪德賢、余承聖，"低品位氧化鐵粉廠內回收試用之評估"， CSC 內部報告，TS90773，Jan.(2002)
43. 余承聖、林巖騫、陳金吉、劉明政，"低品級氧化鐵粉作為煉鋼脫磷劑之可行性評估"，CSC 內部報告，TS90780，Apr.(2002)
44. C. S. Yu, T. L. Chiu, C. L. Huang, Y. H. Hung, and Y. T. Chien, "The Characteristics of Spray-Roasted Iron Oxide Made from China Steel Corp. and Application in Soft Ferrites", Powder Metallurgy Industry, Vol. 9 Suppl. pp.74-85, June, Shanghai(1999)
45. 工業污染防治技術服務團，廢酸資源回收技術合作開發與推廣專案報告，經濟部工業局，1997~1998
46. M. J. Ruthner, "Long Term Availability of Spray Roasted Iron Oxides for The Production of Ferrites," Proceedings ICF-5, India(1989)23-33

鋼材製品業資源化應用技術手冊

/經濟部工業局，財團法人台灣綠色生產力基金會編著

—初版—台北市：工業局出版；

台北縣新店市：台灣綠色生產力基金會，民 93

168 面；21×29.7 公分

參考書目：面

ISBN 957-01-7535-4 (平裝)

1.廢物技術 2.工業廢物處理

445.97

93010404

**鋼材製品業資源化應用技術手冊**

編 著：經濟部工業局；財團法人台灣綠色生產力基金會

發行人：陳昭義

總編輯：曾聰智

編輯企畫：王義基、余騰耀、張啓達、洪文雅、黃順明、林金美

編輯委員：王文裕、余承聖、洪德賢、莊惠景、陳勝榮、黃錦明（依姓氏筆畫順序排列）

出版所：經濟部工業局

台北市大安區信義路三段 41 之 3 號

(02)2754-1255

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

發行所：財團法人台灣綠色生產力基金會

台北縣新店市寶橋路 48 號 5 樓

(02)2910-6067

<http://www.tgpf.org.tw>

出版日期：中華民國九十三年七月初版

設計印刷：信可印刷有限公司

工 本 費：500 元

GPN：1009301864

ISBN：957-01-7535-4 (平裝)