

減容技術與設備手冊及案例彙編(下)

經 濟 部 工 業 局

財團
法人

台灣綠色生產力基金會

編著

出版機關： 經濟部工業局

出版日期：中華民國 96 年 8 月

序

國際上許多學者預言，二十一世紀將是爭奪資源的時代，亦即主導人類的經濟活動，除了資本與技術之外，最重要者為資源的擁有。因此，資源的有效利用將是維繫未來人類經濟活動的命脈。目前各國對於廢棄物處理的趨勢，逐步朝向資源化方向，不但可減緩廢棄物處理設施興建的壓力，亦可創造新的利潤，降低企業經營成本，同時使資源得以永續利用。

減容技術係廢棄物資源化過程中之關鍵性技術之一，廢棄物經減容處理後，不僅提升再生利用效率，資源化產品之附加價值亦隨之提高。為推廣應用各項減容技術，本局特委託財團法人台灣綠色生產力基金會針對壓縮、破碎、分選、脫水、乾燥、熔融及熱裂解等 7 項技術原理與設備作介紹，前已彙編成上冊。本下冊就前開技術介紹國內外減容實廠案例及操作維護管理。冀望提供業者資源化技術經驗，並作為學術研究單位及相關工程業界研究開發之參考，俾利共同促進廢棄物資源化之落實與應用，進而開創資源永續利用。

本手冊編撰過程，感謝義守大學機械系郭振明教授、福泰多科技股份有限公司翁維聰董事長、綠電再生股份有限公司隋學光經理、晶淨科技股份有限公司鄭宏德總經理、塑膠工業技術發展中心沈曉復經理、工業技術研究院廖錦聰顧問、親民技術學院蔡尚林教授、成功大學資源再生中心陳偉聖研究員等參與資料蒐集及編撰；台灣水環境再生協會歐陽嶠暉理事長、台灣大學機械工程學系馬小康教授以及中山大學環境工程研究所楊金鐘教授等之審訂，使本手冊得以付梓。但由於時間匆促，其實務資料蒐集彙整不易，內容如有錯誤漏植之處，尚祈不吝指正。

經濟部工業局 謹識
中華民國 96 年 8 月

目 錄

第四章 減容技術與經濟評估	1
4.1 減容技術與經濟評估程序	1
4.1.1 工作組織與規劃	2
4.1.2 工廠清查	2
4.1.3 方案評估	3
4.1.4 可行性分析	5
4.1.5 成效定性考核	7
4.2 減容設備選用程序	8
4.2.1 壓縮設備	8
4.2.2 破碎設備	9
4.2.3 分選設備	10
4.2.4 脫水設備	12
4.2.5 乾燥設備	14
4.2.6 熔融設備	15
4.2.7 熱裂解設備	17
第五章 國內外廢棄物減容案例	18
5.1 電子廢料減容案例	18
5.1.1 廢印刷電路板與邊料	18
5.1.2 廢電子零組件	29
5.1.3 廢電冰箱	32
5.1.4 廢資訊品	41
5.2 塑化廢料減容案例	51
5.2.1 廢光碟片	51
5.2.2 廢寶特瓶	62
5.3 污泥減容案例	71
5.3.1 含銅污泥	71
5.3.2 氟化鈣污泥	78

5.4 廢金屬減容案例	83
5.4.1 廢電線電纜	83
5.4.2 金屬廢料	94
5.5 灰渣減容案例	103
5.5.1 燃煤飛灰	103
5.5.2 煉鋼集塵灰	113
5.6 廢木材減容案例	123
參考文獻	136

圖 目 錄

圖 4.1-1	減容技術評估之主要階段步驟	1
圖 4.2-1	各種乾燥機分類	14
圖 5.1-1	A 廠溼式分選流程	19
圖 5.1-2	A 廠處理單元照片	20
圖 5.1-3	B 廠乾式分選流程	22
圖 5.1-4	C 廠乾式分選流程	25
圖 5.1-5	C 廠處理單元照片	25
圖 5.1-6	氣選機照片	30
圖 5.1-7	設備進料與分選處理後之質量平衡	30
圖 5.1-8	環戊烷爆炸三角圖	33
圖 5.1-9	廢電冰箱處理流程	34
圖 5.1-10	德國 MOCO AZ5F 型粗破碎機	42
圖 5.1-11	德國 HERAEUS VT 6060P 型負壓乾燥爐	43
圖 5.1-12	德國 VICOR LCD-20 型 LCD 裂解觸媒	44
圖 5.1-13	映像管玻璃清淨流程圖	45
圖 5.1-14	處理前後之錐管玻璃	46
圖 5.1-15	映像管玻璃洗淨機主要設備	47
圖 5.2-1	CD 光碟片製造流程	51
圖 5.2-2	光碟片剖面示意圖	53
圖 5.2-3	廢光碟片乾式處理廠	55
圖 5.2-4	廢光碟片乾式處理流程	56
圖 5.2-5	研磨後之廢光碟片	56
圖 5.2-6	廢光碟片濕式處理流程	59
圖 5.2-7	廢水處理系統流程	59

圖 5.2-8	德國拜耳公司回收 PC 塑料之用途比例	61
圖 5.2-9	小規模廢寶特瓶再生碎瓶片流程	64
圖 5.2-10	廢寶特瓶處理流程	65
圖 5.2-11	資金回收年數與回收料、產物價格關係圖	68
圖 5.2-12	投資報酬率與回收料、產物價格關係圖	69
圖 5.3-1	硫酸銅製造流程	71
圖 5.3-2	銅箔或銅塊置換流程	72
圖 5.3-3	氧化銅製造流程	72
圖 5.3-4	銅錠冶煉流程	73
圖 5.3-5	電解法回收銅流程	73
圖 5.3-6	做為水泥添加劑處理流程	79
圖 5.3-7	中鋼使用煉鋼助熔劑流程	79
圖 5.3-8	某廠煉鋼使用煉鋼助熔劑流程	80
圖 5.4-1	廢電線電纜及含油脂廢電線電纜剖線處理流程簡摘	84
圖 5.4-2	含一般披覆材之電線電纜處理流程	86
圖 5.4-3	廢電線電纜處理單元照片	87
圖 5.4-4	廢電線電纜處理後之產品照片	88
圖 5.4-5	含油脂廢電線電纜脫脂粉碎處理流程	90
圖 5.4-6	二次熔煉鋁渣資源化廠簡易流程	95
圖 5.4-7	自鋁渣中回收金屬鋁之處理流程	95
圖 5.4-8	以機械物理方式單離原理示意圖	96
圖 5.4-9	SO-CL-220/480 型大型水平管狀棒/球磨機實體圖	96
圖 5.4-10	水平管狀球磨機結構示意圖	97
圖 5.4-11	含氯化鋁之氧化鋁渣粉安定資源化流程	98
圖 5.4-12	水力渦旋分離錐	99

圖 5.4-13	以串聯式水力渦旋分離錐處理 含氮化鋁之鋁渣粉流程	99
圖 5.5-1	燃煤飛灰資源化分選流程	108
圖 5.5-2	機械攪拌式浮選設備示意圖	109
圖 5.5-3	浮選流程及槽體配置示意圖	110
圖 5.5-4	J 廠電弧爐集塵灰資源化流程	116
圖 5.5-5	粗氧化鋅精製流程	119
圖 5.6-1	國外塑木製品之應用領域	124
圖 5.6-2	塑木產品應用系列	125
圖 5.6-3	粒片準備流程	126
圖 5.6-4	粒片板製作流程	126
圖 5.6-5	盤狀鉋片機	127
圖 5.6-6	圓筒狀鉋片機	127
圖 5.6-7	搗切機	128
圖 5.6-8	磨切機	129
圖 5.6-9	電木粉製造流程	133

表 目 錄

表 4.1-1	執行方案之次序決定原則	5
表 4.2-1	廢棄物壓縮之方式與應用	8
表 4.2-2	破碎機之分類及適用對象	10
表 4.2-3	分選設備的分類	11
表 4.2-4	各型脫水機相對比較表	13
表 4.2-5	各乾燥設備特性比較表	15
表 4.2-6	焚化灰渣熔融方式的特性	16
表 5.1-1	A 廠設備明細表	19
表 5.1-2	B 廠設備明細表	21
表 5.1-3	C 廠設備明細表	24
表 5.1-4	廢印刷電路板處理設備投資營運經費比較表	27
表 5.1-5	A、B、C、D 等 4 家廠商優缺點分析	28
表 5.1-6	開辦與預估費用分析	31
表 5.1-7	設廠預估損益分析	32
表 5.1-8	發泡冷媒回收設備優缺點比較表	35
表 5.1-9	回收線設備保養、修護記錄表	37
表 5.1-10	月份日常檢查項目表	38
表 5.1-11	廢電冰箱處理設備投資損益表	39
表 5.1-12	目前台灣合法廢電冰箱處理公司名錄	41
表 5.1-13	錐管玻璃清淨機設備投資損益表	48
表 5.1-14	廢資訊品回收清除處理補貼費用	49
表 5.1-15	目前台灣合法廢資訊物品處理公司名錄	50
表 5.2-1	DVD 光碟片規格與結構	52
表 5.2-2	廢光碟乾式處理廠設備一覽表	55

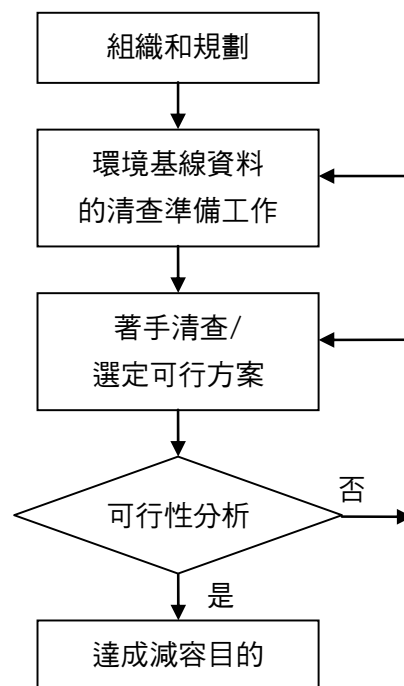
表 5.2-3	廢光碟乾式處理廠之經濟效益評估	57
表 5.2-4	廢光碟濕式處理廠設備一覽表	58
表 5.2-5	廢光碟濕式處理廠之經濟效益評估	60
表 5.2-6	全球聚酯樹脂在各領域需求量變遷趨勢	62
表 5.2-7	1997~2005 年台灣各類塑膠回收量統計	63
表 5.3-1	製造硫酸銅經濟效益分析	75
表 5.3-2	置換成銅箔或銅錠經濟效益分析	75
表 5.3-3	製造氧化銅經濟效益分析	76
表 5.3-4	冶煉成銅錠經濟效益分析	77
表 5.3-5	電解法回收銅經濟效益分析	77
表 5.3-6	氟化鈣污泥隨各廠廢水處理方式不同之差異	78
表 5.3-7	做為水泥添加劑使用之經濟效益	81
表 5.3-8	中鋼使用煉鋼助熔劑之經濟效益	82
表 5.3-9	某廠煉鋼使用煉鋼助熔劑之經濟效益	82
表 5.4-1	電線電纜及含油脂廢電線、電纜之組成	83
表 5.4-2	電信用含油脂電線電纜之組成	89
表 5.4-3	電信用含油脂電線電纜中石油蠟質油脂組成	89
表 5.4-4	廢棄物處理方案	92
表 5.5-1	飛灰作為混凝土添加料或水泥熟料之物化性質規範	104
表 5.5-2	煤灰之化學組成	105
表 5.5-3	典型電弧爐集塵灰成分	114
表 5.5-4	集塵灰之重金屬含量分析	114
表 5.5-5	進料物重量及組成	115
表 5.6-1	國內外廢木材再利用方法分類	123
表 5.6-2	廢木料經不同回收處理方法之效益分析	131
表 5.6-3	廢木料之處理費用	131

第四章 減容技術與經濟評估

「廢棄物資源化」是把人們曾使用過的東西或是製造過程的廢棄物，重新當作資源看待，藉著技術的開發，運用至各種用途的方法。在這當中減容技術有助於達成廢棄物減量化、安定化及資源化之目的，減容技術影響著資源化成本之支出及選擇最終處置或資源化之關鍵。本章以減容技術方案評估流程及設備選用程序為主，詳述如下。

4.1 減容技術與經濟評估程序

為有效推動工作，需要一套系統性方法，指導使用者展開工作、清查工廠收集資料、選定減容技術目標、確認計畫方案、分析可行性、執行最可行方案，並追蹤、考核成果。減容技術評估之主要階段步驟如圖 4.1-1，說明如下：



資料來源：工業減廢作業程序，經濟部工業局，1994 年 1 月

圖 4.1-1 減容技術評估之主要階段步驟

4.1.1 工作組織與規劃

要發揮減容實際功效，以求事半功倍，首先需於單位內成立評估小組，小組成員除了內部人員外，尚可考慮外部人員如專家顧問等，以使其更臻完善，而成員之考量如下所述：

- 1.誰瞭解單位之作業程序？
- 2.誰瞭解工廠之再利用製程及操作？
- 3.執行減容之適當階層？
- 4.執行減容之相關人員？

另外在減容目標之考量可依下列原則進行：

- 1.行業之特性為何？
- 2.主要廢棄物為何？
- 3.產品品質變異性？
- 4.有無相關可行之回收再利用技術？
- 5.執行減容之障礙性？
- 6.財務情況？
- 7.客戶訂單錯誤及產品退貨率？
- 8.工作環境配合度？
- 9.原流程之相容性？
- 10.預期效果之評估？

4.1.2 工廠清查

首先需了解工廠目前生產狀況，清查著點眼如下：

- 1.目前生產程序及操作？
- 2.目前物料使用情況？
- 3.目前設備使用率？

4.目前能源使用情況？

執行步驟說明如下：

1.瞭解工廠製程

- (1)列出生產單元次序
- (2)建立流程圖
- (3)建立維護保養記錄表

2.確定程序進料

- (1)表列使用之進料
- (2)調查進料之貯存及處理過程之損失
- (3)記錄用水量、蒸汽使用量、用電量
- (4)衍生二次廢棄物處理情形

3.確定程序出料

- (1)程序出料量化
- (2)建立製程排放廢棄物之簡易流程及相關數據
- (3)規劃廢棄物儲存系統及處理方式
- (4)計算單位產品所耗用之物料及能源量

4.質能平衡

於前3步驟之詳實記錄並經計算或測量後，初步完成質能平衡圖，然因現場之一些特殊因素，仍有待適度之校正，才能完成一可接受之物質及能量平衡圖。

4.1.3 方案評估

由評估小組長時間收集廠內資料，依工廠現況配合行業之相關法規、工廠未來生產策略、目前工廠制度、員工操作等，分析歸納及彙集所有之減容方案。執行步驟如下：

1.評估未來需求

首先以工廠之現有特質，依目前之現實環境、法規，對未來生產做簡易歸類，找尋適合現實特質及獲利率最佳之產品，訂出行銷制度，決定未來生產策略。

在改變生產策略上宜對生產系統做適度評估，須考慮投入料、程序設備（machine-based processes）及人員運作（people-based procedures）。原則上，人員運作之改變具低投資特性，但投入料及程序設備的改變宜考慮如下：

- (1)產品品質之完整性
- (2)原物料減量
- (3)原物料之替代性
- (4)衍生二次廢棄物減量
- (5)產業已有成功案例
- (6)執行時效
- (7)操作及維修成本
- (8)法規要求

2.建立方案評估次序表

依生產策略掌握目前情況，預測未來需求，決定數個符合需求之方案。為求最佳效益，須在這些方案中決定執行次序，其決定原則如表 4.1-1，也就是說將只須作少許投資，在簡單運作上即可達成改善者，列為第一優先；而須更新技術複雜之設備且投資額較高之方案則列為長期考量。

在這樣的原則下，針對每一計畫方案及每一目標準則，計算其加權率，然後再針對每一計畫方案累加這些加權率，並計算其方案平均值，如此不論由加權率總和或方案平均值，均可決定出執行次序。

3.再檢驗執行方案

重新再檢驗每一步驟，同時對優先之方案進行初步技術與經濟評估。

表 4.1-1 執行方案之次序決定原則

選 擇 原 則	特 性	優先性
低度投資/技術簡單/操作管理	易於改善	短期
低度投資/技術簡單/設備改善	設備修理保養	短期
中度投資/技術複雜/人員訓練	操作系統改善	中期
高度投資/技術簡單/設備更新	部分設備更新	長期
高度投資/技術複雜/設備更新	新製程	長期

資料來源：工業減廢作業程序，經濟部工業局，1994 年 1 月

4.1.4 可行性分析

針對上述數個較優先方案做可行性分析，比較其優劣點決定出最具成效之執行方案，並依此方案訂出執行次序，以取得適合工廠之最佳可行性方案。在方案之可行性分析上須考量如下：

- 1.技術面之可行性、功能性、舊設備相容性及人員配合度
- 2.經濟面之投資抵減條例、成本、預期利益及財務可行性

對於技術面之可行性分析宜由具技術水準之人員，依實際情況，考慮政府法規，依下列程序進行：

1.資料之確定

藉廠外資料驗證廠內收集資料之可靠度，然後再依驗證後之廠內資料，參酌外界資料來分析廠內之生產程序。

2.可行性分析

在進行可行性分析時，可採取問答方式以檢驗方案是否確實可行，問答方式舉例如下：

- (1)符合政府之資源政策?
- (2)符合公司之環保策略?
- (3)空間是否足夠?

- (4)是否有公共設施（如水、電、蒸氣）之配合?是否因安裝它們，而增加過高之投資成本?
- (5)新設備或技術是否與現在的操作程序、工作流程和生產率相容?
- (6)產品品質是否可維持?
- (7)新設備系統安裝需要多久?
- (8)生產將停多久，以便安裝新設備系統?
- (9)是否需要專業知識來操作或維護新設備系統?是否供應商能提供可接受服務?
- (10)新設備系統是否產生其他環境問題?
- (11)新設備系統是否安全?
- (12)是否有任何法規上的障礙?

3.新資料利用性分析

為讓減容方案能適應工廠未來需求，在此也需要考慮將來產品規劃改變時，變異因素在哪裡及有無新技術可用，而該方案是否仍能適用，及利用性是否很高。經由技術確定方案可行後，也需依工廠財務狀況做成本及獲利等效益分析。本處所述重點為節省直接成本，即分析比較每一減容計畫之投資和操作成本及其相對應之獲利能力。

常見之效益分析以回收期、內部回收率及淨現值最常見，說明如下：

(1)回收期（payback period，PBP）

回收期是計畫最初現金投資回收所需的時間。典型的回收期是以年來估算，對低風險性的投資而言，3~4 年的回收期通常是可以接受的。若含有較大的資本投資，則通常須做更詳細的分析。

(2)內部回收率（internal rate of return，IRR）

指一個能使專案的預期現金流入量之淨現值剛好等於現金流出量之現值的折現率。

(3)淨現值（net present value，NPV）

淨現值指的是投資方案的現值（市場價值）與成本的差異。

內部回收率（IRR）和淨現值（NPV）均為決定效益的折現流動方法，許多工廠使用這些方法以決定投資計畫。計畫的資本投資可能在回收期後產生正式的現金流動，以了解可接受的投資回收。IRR 和 NPV 以計畫未來的淨現金流動來了解錢的時間價值。對於低風險性投資而言，12 至 15% 的稅後 IRR 通常是可接受的。大多數個人電腦的試算表程式均可用來計算一系列現金流動的 IRR 和 NPV，並可參考任何財務管理、成本會計或工程經濟等有關 IRR 或 NPV 的資料。

至於非直接性成本之節省，包括法規及責任（liability），前者如廢棄物清理法、水污染防治法、空氣污染防制法等母法及其衍生之法規要求，因而造成操作、維修（O&M）和廢棄物處理及清除成本，後者如環境污染和社區安全衛生等。

4.1.5 成效定性考核

經由環境資料清查、減容技術方案選定及可行性評估分析和執行後，減容定性成效可由下列準則考核之：

1. 確定工廠所衍生廢棄物之定性及定量資料，包括來源、物性及化性、數量、產生速率（例如每單位再生產品之二次產棄物產生量）及變動情形、管理（包括貯存、清除、處理及處置）及成本等。
2. 從所彙整的資料，包括單元製程、進料、再生產品、用水量、二次廢棄物產生量等，正確評估製程效率。
3. 確認並找出廢棄物減量機會，並訂定目標。
4. 減少污染量與其可能需要的處置費用。
5. 歸類出「問題廢棄物」並加以管理。
6. 找出整體性、有效率之廢水處理與回收再利用系統。
7. 強化廢棄物管理與經營系統，符合相關法規基本要求或更多。

4.2 減容設備選用程序

本手冊上冊之第三章已針對各減容設備加以詳述，本節將概括介紹壓縮、破碎、分選、脫水、乾燥、熔融及熱裂解等單元設備及其選用程序。

4.2.1 壓縮設備

應用壓力或重力對廢棄物加壓並保持一段時間後再去除作用力，可將廢棄物壓縮，使其體積減小；依壓縮方式及作用力大小可將壓縮之方式進行分類，其中依作用力大小可以 0.6895 MPa（見上冊第 5 頁）為區隔分為高壓壓縮及低壓壓縮兩類。另外，依壓縮方式可區分為密閉壓縮式及開放壓縮式兩種，表 4.2-1 為廢棄物壓縮之方式與應用。壓縮設備之選用須考量以下：

表 4.2-1 廢棄物壓縮之方式與應用

分類方式	壓縮方式	應 用
作用力方式	密閉壓縮式	密封式壓縮垃圾收集車 壓縮式貨櫃搬運車 固型化壓縮處理設備 轉運站轉運貨櫃垃圾壓縮裝置
	開放壓縮式	掩埋場夯實機重力壓實
作用力大小	低壓壓縮式	密封式壓縮垃圾收集車 轉運用壓縮垃圾車
	高壓壓縮式	垃圾固型化處理

資料來源：固體廢棄物處理，高立圖書有限公司，2004 年 1 月。

- 1.進料物之性質：如顆粒尺寸大小、成分、水分高低、密度等。
- 2.運送與填送於壓縮機之方法。
- 3.壓縮後之廢棄物後續處理方法與用途。
- 4.壓縮機之設計因素：如負荷重在 0.76~0.84 噸/立方米，以便決定倒入之最大廢棄物體積。
- 5.回程時間：回程時間係指從開始到壓縮完成又回到開始所需時間在 20~60 秒（詳見上冊第 6 頁）之間，回程時間大小將影響每日壓縮處理容量。

- 6.機械容量：包括設備操作容量、設計壓縮壓力及嵌入深度等。
- 7.壓縮比：廢棄物壓縮前原體積與壓縮後體積比，一般介於 2：1 到 8：1 之間。
- 8.操作因素：包括動力數、維修保養、可靠性及其他公害如噪音、空氣污染、水污染等。
- 9.空間需求：放置地點的考慮，如面積、高度等環境因子之考量等。

4.2.2 破碎設備

依據破碎時水分添加情況可分成濕式、半乾式及乾式破碎三大類。乾式破碎技術可依破碎時之作業控制溫度分成常溫破碎及超低溫破碎二類。塑膠、橡膠等破碎過程易因刀具與廢棄物劇烈摩擦導致溫度上升而使廢棄物軟化糾結成團塊狀，妨礙破碎機具之運作。此類廢棄物之破碎可利用超低溫破碎程序，於破碎前將廢棄物浸漬於液態氮中或於破碎過程添加液態氮等，利用廢棄物之溫度降低後變脆之特性進行破碎。另外，依據破碎作用機械力之類別，可區分為回轉衝擊式及剪（切）斷式二類破碎技術。各種破碎機之分類、適用對象整理說明如表 4.2-2。破碎設備之選用考量以下：

- 1.進料廢棄物性質之限制與要求：不同破碎機械對進料廢棄物之特性均有特定之要求，宜以進料廢棄物之平均特性並考量最大之變異情況選擇破碎設備。
- 2.破碎後產物顆粒粒徑大小等性質之要求：不同破碎機械破碎後尺寸大小等物理性質不同，選擇破碎機具時須配合破碎後續處理或回收設施進料顆粒大小等性質之要求。
- 3.操作方式：考慮設備設計容量、待破碎處理量，選擇適當之作業方式。
- 4.操作特性：包括動力數、日常及特殊保養的需要、操作難易、刀具更換費用、操作業績與可信度及噪音、空氣污染、水污染等防治之需要性等。
- 5.設施空間之需求：考量撕碎器供應、罩蓋容積及吊車空間需要等。
- 6.空間配置：考慮如面積、高度、走道、噪音及環境因素限制等。
- 7.其他：破碎後廢棄物之貯存及其後續處理功能之要求貯存量等。

表 4.2-2 破碎機之分類及適用對象

破碎機制	破碎機型式	破碎後 粒徑範圍	適用對象	磨耗度
壓縮破碎	顎式壓碎機 錐式壓碎機 轉輪壓碎機	10~400 mm	適用於高硬度、性脆之大塊廢棄物	小
衝擊破碎	衝擊破碎機	10~30 mm	適用於高硬度、性脆之大塊廢棄物破碎，易產生噪音、振動與粉塵，且破碎過程產熱會軟化樹脂類	中
剪切破碎	往復剪切機 回轉剪切機	50 mm 以上 10~400 mm	適用於具韌性之大型廢棄物 適用於破碎具延展性之廢電線、廢電路板、廢塑膠、廢輪胎	大
	旋切機	1~10 mm	適用於塑、橡膠之微破碎	
衝擊剪切 破碎	橫式衝擊剪切機 立式衝擊剪切機	10~50 mm	適用於破碎廢汽車、廢家電等大型金屬與橡膠綜合產品	小

資料來源：固體廢棄物處理，高立圖書有限公司，2004 年 1 月

4.2.3 分選設備

分選設備包含揀選、重力分選、磁選、靜電分選、泡沫浮選等設備，表 4.2-3 是關於分選設備的分類。分選機之選擇注意如下：

1. 選擇分選設備之前，宜先要有廢棄物資源回收再利用之充分知識，首先要能了解欲分選之廢棄物中含有物質之種類及含量多寡。接著進行分選可行性之評估，廢棄物中各資源物質及非資源物質間是否有可供分選之物理、或表面特性差異存在，初步篩選可應用欲分解資源物質之技術及設備。通常在選擇分選設備時，要考慮分選設備之多功能性，因為分選目標及作用並非單靠一種分選機制可以完成較佳之分選效果，往往會再靠第二種分選過程來達到更好的分選目標。由於分選之程序可能不只使用單一分選設備，所以也要考量分選單元之上下游所使用之前處理或其他分選設備，也要考慮分選流程所使用之方式，而作為選用分選單元之參考依據。
2. 在分選機之目標及容量都可符合需求後，其他相關之一般性問題也要合併考量，如影響操作成本之能量消耗、操作難易度、機具之可靠度、維修保養之問題、操作安全性問題、配置位置之適宜性、作業環境及環保污染問題等。

表 4.2-3 分選設備的分類

分選機制	分選方法	分選機型式
揀選	手選	手選轉台
	電子挑選	光學分選機 X 光分選機 伽瑪射線分選機 中子吸收分選機 導電性/磁性反應訊號分選機 伽瑪散射分選機
重力分選	風力分選	豎槽型風力分選機 彎曲管道型風力分選機 水平式風力分選機 空氣刀風力分選機 震盪型風力分選機 旋轉型風力分選機
	水力分選	垂直流（上升水流）分選機 平流（薄流）分選機（可分為靈薄流槽分選與搖動薄流分選兩種） 搖動薄層分選機
	重液分選	重力式重液分選機（又分為錐形、鼓式兩種） 離心式重液分選機
	慣性力分選	彈力分選機 反彈力分選機 傾斜輸送分離機
磁選	乾式低（中）強度	磁滑輪磁選機 電磁筒磁選機 矩形懸掛式磁選機
	濕式低強度	筒型磁選機 Dings-Roche 帶式磁選機
	乾式高強度	磁感應筒磁選機 交叉皮帶磁選機 盤型磁選機
	濕式高強度	Frantz 磁過濾機 NY 轉筒型磁選機 Jones 轉環型磁選機
	高梯度	罐型高梯度磁選機 轉環型高梯度磁選機
	超導體	超導磁選機

表 4.2-3 分選設備的分類（續）

分選機制	分選方法	分選機型式
靜電分選	靜電	板式靜電分選機 網式靜電分選機
泡沫浮選	吹氣式	柱槽浮選機 Flotaire 柱槽浮選機 S-W 浮選機 泡沫浮選機 Davcra 噴射式浮選機
	機械攪拌式 吸氣型	Booth 浮選機 Wedag 浮選機 Wemco 浮選機 Fagergren 浮選機 Denver Sub A 浮選機 Denver M 型浮選機 Denver 單槽浮選機
	機械攪拌式 吹氣型	Aker 浮選機 Agitair 浮選機 OK 浮選機 Denver D-R 型浮選機 BCS 浮選機

資料來源：廢棄物資源回收與處理設備技術手冊及案例彙編

—分選技術與設備篇，經濟部工業局，2003 年 12 月

4.2.4 脫水設備

脫水設備乃藉機械作用產生壓力或離心力等而使污泥達成固液分離之目的，降低污泥含水率，減少污泥體積。常用之污泥脫水機形式有離心式脫水機、板框壓濾式脫水機、帶濾式脫水機及真空過濾式脫水機等，表 4.2-4 針對各型作相對比較。選擇脫水設備考慮事項如下：

- 1.與現有設備之一致性。
- 2.與處理廠之規模之一致性。
- 3.與最終處置方式之一致性。
- 4.二級處理和先前污泥處理的影響。

- 5.化學調理的要求。
- 6.脫水時之固體截獲量。
- 7.勞力需求。
- 8.環境影響的考慮。
- 9.長程的實用性。
- 10.處理廠之位置。
- 11.其他處理廠現有相同設備之操作經驗。
- 12.個人或主管機關之偏好。

表 4.2-4 各型脫水機相對比較表

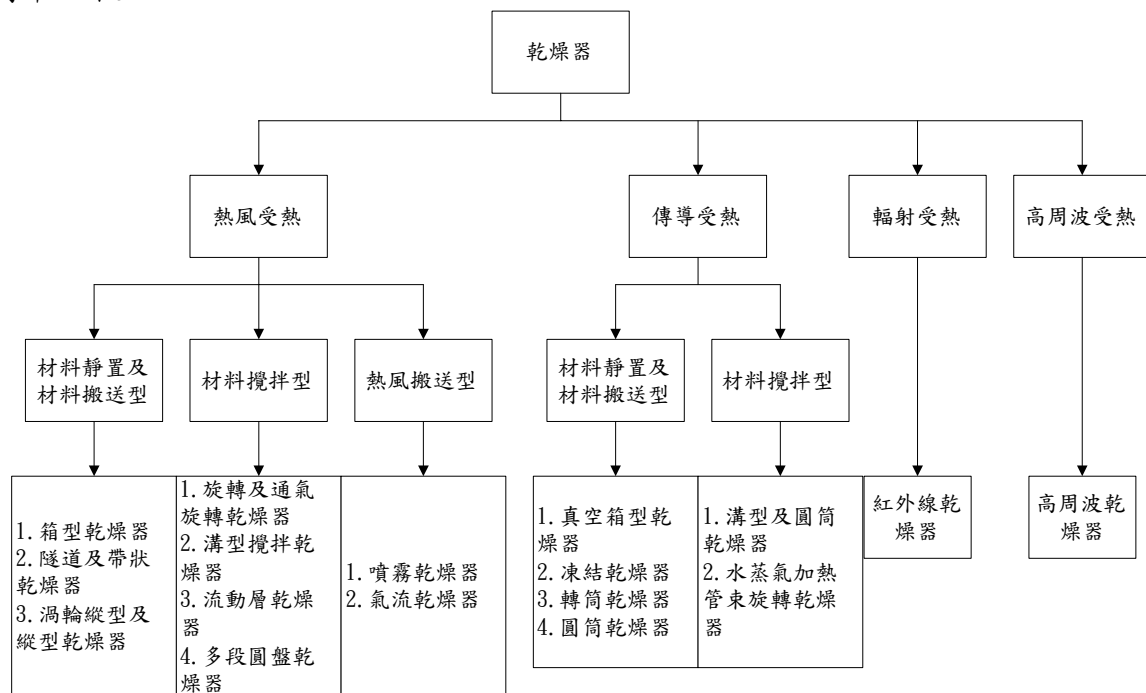
型 式 評估項目	真空過濾式 脫水機	離心式 脫水機	框板壓濾式 脫水機	帶濾式 脫水機
脫水機造價	中	低	高	低
加藥量	大	中	中	大
操作費	中	中	高	低
脫水機占地	大	小	大	中
加藥設備占地	大	中	大	中
操作難易	易	中	難	中
每小時處理容量	大	中	大	中
濾布洗淨水用量	中	小	中	中
懸浮固體物回收率	中	低	高	中
污泥餅含水量	中	低	低	高
噪音、振動、危險性	中	高	中	無
過濾液調整 pH 值	需要	不需要	需要	不需要
污泥餅增量	多	少	多	少
消耗動力	大	大	中	小
輔助設備	中	少	多	中
臭氣量	多	少	中	多

資料來源：廢水處理單元設計及異常對策，經濟部工業局污染防治技術服務團，

1993 年 6 月

4.2.5 乾燥設備

工業用乾燥設備因材料、製品種類而有很多型式。單是污泥乾燥也因性質、乾燥目的不一，無一般性的適用形式。圖 4.2-1 依受熱方式、材料放置狀態分類工業用乾燥設備。表 4.2-5 為各種乾燥設備的特性，針對附著性污染處理、製品形狀、塵量、排熱量、加熱源、有機物劣化、熱效率、裝設面積及設備價格等作簡單比較。



資料來源：污泥處理工學，復漢出版社，1997 年 12 月

圖 4.2-1 各種乾燥機分類

表 4.2-5 各乾燥設備特性比較表

種 類 比較項目	熱風受熱式					傳導受熱式	
	熱風旋轉 乾燥機	攪拌機的有熱 風旋轉乾燥機	氣流 乾燥機	通氣帶 乾燥機	噴霧 乾燥機	水蒸氣管 式乾燥機	高速攪拌 溝型乾燥機
附著性污 泥處理	可	良	良	良	良	可	良
製品形狀	不一致	粒狀	粉狀	粒狀或板狀	粒狀	不一致	粒狀
塵量	中	中	大	極少	中	少	少
排熱量	中	中	大	大	大	極少	極少
加熱源	熱風	熱風	熱風	熱風	熱風	蒸氣	蒸氣
有機物 劣化	有	稍有	有	有	無	無	無
熱 效 率 (%)	60~70	60~70	60~70	60~70	60~70	75~85	75~85
裝設面積	中	小	小	大	大	大	小
設備價格	中	中	低	中	高	高	中

資料來源：污泥處理工學，復漢出版社，1997 年 12 月

4.2.6 熔融設備

熔融設備以熔融方式可分為：薄膜式熔融爐、焦炭床熔融爐、迴旋熔融爐、電弧熔融爐、電阻熔融爐、電漿熔融爐、電氣熔融爐等。有關各種熔融設備之特性比較分析如表 4.2-6。選定熔融設備需掌握以下各點：

- 1.被熔物特性：先了解欲處理物之特性，例如熔點，再針對其特性選擇適合之設備。
- 2.設備保養管理性、操作性、安全性。
- 3.前處理設備及後處理設備是否達到一致性。
- 4.設備維護費及管理成本是否合乎預算。
- 5.通風及散熱問題是否解決。
- 6.空間配置問題：熔融設備通常屬於中大型設備，占地較大。
- 7.減容率是否達到預估之標準。

表 4.2-6 焚化灰渣熔融方式的特性

熔融設備	熔融方式	熔融爐特性	減容率（乾灰）*
薄膜式 熔融爐	煤油火焰加 熱	<ol style="list-style-type: none"> 1. 爐內溫度約 1,400℃ 2. 被熔物粒度均勻 3. 構造比較簡單 4. 可處理不燃物熔渣 5. 排氣量比電爐多 	假設乾灰表觀比重為 9，渣滓表觀比重為 1.5 時，其熔融比率為 0.74
焦炭床 熔融爐	焦炭加熱	<ol style="list-style-type: none"> 1. 爐內溫度約 1,700℃ 2. 以焦炭作熱源，投入石灰石調整鹼度 3. 產生渣滓性狀良好 4. 排氣量比電爐多 	對濕灰 1t，要投入石灰石及焦炭各 0.3 使熔融比率為 1.0
迴旋熔融爐	未燃灰+ 電熱器	<ol style="list-style-type: none"> 1. 爐內溫度約 1,300℃ 2. 焚化灰未燃碳以 10～15%為熱源熔融 3. 與焚化爐連結一體管理 4. 熔融熱源價廉 	因與焚化爐成一體，故不能去除灰分中金屬類，致使進料口殘渣量多 熔融比率如同表面熔融爐
電弧熔融爐	電弧加熱	<ol style="list-style-type: none"> 1. 爐內溫度約 1,400℃ 2. 熔融的安定性好 3. 由基本金屬的熱電傳導良好 4. 爐壓控制措施完備 5. 電極自動供應 	假設渣滓的表觀比重為 1.5 時，其熔融比率 0.74，如同表面熔融爐
電阻熔融爐	電阻加熱	<ol style="list-style-type: none"> 1. 爐內溫度約 1,500℃ 2. 爐頂溫度約 300℃由灰層蓋在頂上 3. 熱損失比他種爐小 4. 爐內廢氣由爐壓排出，燃燒是由小型噴嘴燃燒後排氣 	同上
電漿熔融爐	電漿加熱	<ol style="list-style-type: none"> 1. 爐內溫度約 1,500℃ 2. 無電噪音、無閃光 3. 傳熱好、裝置小 4. 排氣少，但需防制 NO₂ 	同上
電氣熔融爐	電氣加熱	<ol style="list-style-type: none"> 1. 爐內溫度約 1,400℃ 2. 附設補助爐於熔融爐，分離鐵與渣滓 3. 熱攪拌與熱傳導好 	因在實驗時在灰上加泥土及焦炭 5%，使減容率比其他電爐較高

*：減容率（乾灰）以磁選機去除鐵分後，假設含金屬 2%的乾灰（含水分<5%）。減容率=（減容前體積－減容後體積）/減容前體積。

資料來源：廢棄物處理再利用，國立空中大學，2003 年 1 月

4.2.7 熱裂解設備

熱解設備包含：固定爐床式熱解爐、流體化床式熱解爐、循環流體化床式熱解爐、磨削式熱解爐、旋轉錐式熱解爐、渦流式熱解爐及真空熱解爐等。直接加熱與間接加熱為其中主要之差異。熱裂解設備的選擇：反應器是熱解反應進行的場所，是整個熱解過程的中樞，不同的反應器有不同的燃燒床條件和物料流動方式。一般來說，固定燃燒床處理量大，而流態燃燒床溫度可控性好。氣體與物料逆流行進使物料在反應器內滯留時間相對延長，從而有較高的有機物轉化率，而氣體與物料順流行進方式可促進熱傳導，加快熱解過程。選擇設備就從需求上做取捨。

第五章 國內外廢棄物減容案例

5.1 電子廢料減容案例

本節以廢印刷電路板與邊料、廢電子零組件、廢電冰箱以及廢資訊品等減容案例說明如下：

5.1.1 廢印刷電路板與邊料

廢印刷電路板處理方式分為直接掩埋、固化處理、破碎/粉碎分選回收、熱處理（焚燒、裂解）回收及化學處理回收（酸洗溶蝕分離等）等，目前台灣廠商多採用破碎/粉碎分選回收與化學處理（酸洗溶蝕分離等）等 2 種方式為主，因考量環保與處理費用等因素僅少數廠商設置小型高熱焚燒熔爐回收處理；化學處理歷史悠久技術純熟，有多家業者相繼投入，對回收金、銀、鈮、鉑等貴重金屬有不錯成績，也陸續開發其他稀有金屬回收技術。

本節案例以溼式及乾式物理分選方式作說明，並簡單說明日本處理廠對於收取廢料處理方式，也對於實際運作效益與操作問題提出說明。

（一）案例一

1. 案例概述

A 廠位於中國大陸南方，採用溼式物理分選設備，物料來源為印刷電路板廠下腳料與廢板材，或是由國外進口之廢資訊板材。所有設備皆為人工控管，產量雖因此受到限制，但操作與維修成本皆低，目前中國幾乎所有廠家皆採用此種設備。

2. 處理流程與設備概要

A 廠設備（如表 5.1-1）與系統採用礦山礦石處理設備，主要是利用粗破碎、細破碎將廢料尺寸逐漸地研磨至微細顆粒，再利用金屬與塑料比重差異原理，以震動搖洗分離出混合的金屬與非金屬物質，處理流程詳圖 5.1-1，相關處理單元照片如圖 5.1-2。所獲得金屬與塑料皆帶有水分，必須再一次烘乾處理。

該廠採用之設備只有單一流程，不停地粉碎但不回送篩選，因此設備構造上非常單純，相對損耗也較為劇烈。如同拿個錘頭不停槌擊物料，當物料粉碎至足夠通過濾網（鋼板上鑽孔）粒徑時才會排出。

3.操作維護管理

本套設備以人力操作為主，噪音粉塵等以現場操作者經驗控制。

4.小結

因整個設備設計就是以礦場條件為依據，將設備移入室內時須做噪音與粉塵防制設備升級，但由於整體設備精密度不足，在破碎機外圍加裝吸音擋板減少噪音時須留意操作者無法目視投料與檢視運作問題，此外須保留更換擋板之拆卸空間。

這套設備可說是破碎粉碎設備的原型系統，後續介紹之設備也依據相同原理加上自動送料、自動控制與靜電分選，以提高單位產量並降低人事成本支出。除此之外相關耗材材質之選用、設備總耗電量等因素，都會影響整體成本高低，並非單純以購入設備成本來分析，這是規劃設備常會疏忽之處。而處理量高低在於人力素質良莠，制定標準作業流程並訓練現場操作人員可提高整體產量並降低工安問題，這也是大陸採用此套設備廠商可以再加強之處。

表 5.1-1 A 廠設備明細表

明細 編號	設備名稱	數量	主要功用
1	粗破碎機	2	進料粗破碎
2	細破碎機	6	將粗破碎後廢料集中於平台上以人工推送進入細破碎機
3	抽水幫浦	1	細破碎後物料集中送進料坑利用抽水幫浦送至搖洗床
4	搖洗桌	4	利用金屬與塑料比重差原理震動分離，利用水的浮力分選並防止粉塵逸散
5	料坑	1	細破碎後導進料坑集中

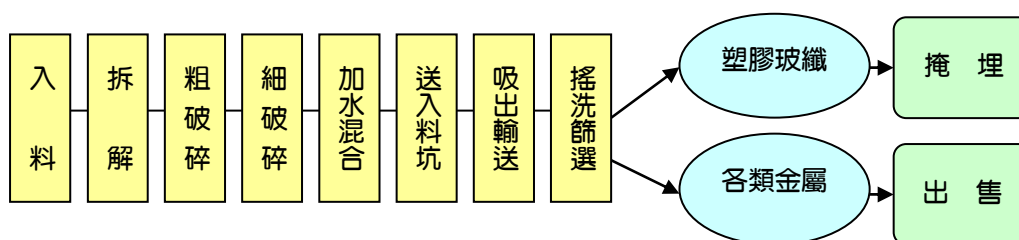


圖 5.1-1 A 廠溼式分選流程



▲過濾網(鋼板鑽孔)



▲待粉碎之廢印刷電路板與邊料



▲粗破碎後之廢印刷電路板



▲以人工將廢印刷電路板推入破碎機粉碎



▲搖洗桌現場操作

圖 5.1-2 A 廠處理單元照片

(二) 案例二

1. 案例概述

B 廠設備技術原理也來自於礦山開採技術，與 A 廠最大差別是：B 廠以歐洲先進處理系統為仿效對象，採用封閉式鉗磨機降低粉塵與噪音、以簡單電路控制方式管理、物料傳送採輸送帶系統、規劃篩分系統將部份物料分選回送處理、設置袋式集塵器吸取鉗磨過程產生粉塵，並在鉗磨機外側設大型隔音罩以降低噪音污染。

2.處理流程與設備概要

B 廠設備（如表 5.1-2）系統主要為台灣廠商自行設計開發，原理與大陸破碎分選方式相似（處理流程如圖 5.1-3），機械設備以雙軸刀片鎚磨機取代大陸破碎粉碎設備，並搭配德國進口之靜電分選機取代搖洗分選設備。

規畫處理流程與 A 廠相似，仍採用單向送料方式。這種設計優點在於不需要複雜自動控制系統，物料只要通過篩網就回送至靜電分選機。靜電分選採獨立儲料與自動控制系統，可避免送料產生粉塵污染。

表 5.1-2 B 廠設備明細表

明細 編號	設備名稱	數量	主要功能
1	裙板式輸送帶	3	最初進料板料輸送與袋式集塵後物料輸送
2	粗破碎機	1	進料並破碎篩選至 30mm 以下
3	磁選機	1	將物料中含鐵的物料成分吸出
4	提運機	4	將物料垂直輸送
5	儲料槽	2	作為粗破碎物料進入鎚磨機前之緩衝區域，也作為鎚磨機粉碎後物料進入靜電分選機前之緩衝區域
6	螺旋輸送帶	5	破碎後物料為避免污染以螺旋輸送帶運送，尤其以粉碎後物料必須封閉式輸送
7	雙軸刀片鎚磨機	2	設置 2 台雙折刀片式鎚磨機以提升產量
8	袋式集塵器	2	分別吸取破碎粉碎產生粉塵
9	震動篩選機	1	將粉碎後物料篩選需要粒徑送入靜電分選機，過大顆粒則再回送鎚磨機粉碎處理
10	靜電分選機	1	將導電性粒子（如金屬微粒）將因滾筒離心力自滾筒表面被拋出。而非導電性粒子（如塑膠）則因電場關係被吸引在滾筒表面，使金屬與塑膠分離。
11	大型隔音罩	1	設置於鎚磨機外側以降低噪音
12	搖震式 除塵過濾器	1	為避免因粉塵阻斷電壓而破壞靜電分選器的分選作業，物料進入靜電分選器之前須先以抽風機將粉塵抽引至過濾器除塵。

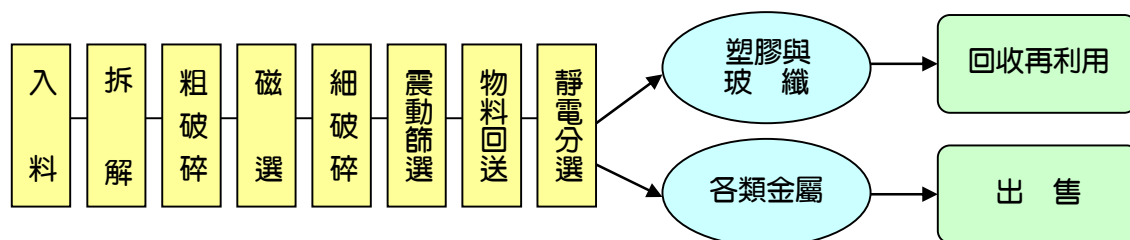


圖 5.1-3 B 廠乾式分選流程

3.操作維護管理

物料送入靜電機時須先將粉塵除去以免造成塵爆；袋式集塵投料系統採用裙板式輸送帶須留意卡料與送料人員長時間整理物料產生疲勞之問題；設置儲料斗接收袋式集塵後之物料，可調節粗破碎機與細破碎機物料處理平衡，也避開複雜自動控制系統設計，但須留意儲料斗物料堆積問題。若配合袋式集塵機械設計改為批次投料，效率更佳。

較為理想設計則是如汽車生產線，全部以電腦自動化控制，但中途如有暫存設計勢必會造成作業流程不順暢。

4.小結

操作上除建立整合系統外，也必須改良各單機品質穩定性及找到適合耗材材質。因電路板中之玻璃纖維樹脂帶有相當韌性，不似礦石堅硬，又銅箔基板具相當硬度，所以破碎粉碎機採用金屬耗材過於堅硬或韌性太高都不適合，太硬或太軟金屬容易脆裂崩落造成機械損傷，這是尋找耗材必須考量之處。

(三) 案例三

1.案例概述

C 廠採用德國西門子電子廢棄物處理廠相同設備與製程，回收處理資訊電子廠家產生之製程報廢料與下腳料，也就是廢印刷電路板與邊料為主，該設備也可處理主機板、鍵盤、家電機板、電話手機與通訊交換機板等廢電子零組件，將 5.1.2 節介紹。本案例僅就處理廢印刷電路板與邊料流程說明如下。

2.處理流程與設備概要

C 廠設備（如表 5.1-3）與系統採用全套德國進口，主要是利用粗破碎、細破碎與篩選等過程，將廢料尺寸逐漸地減小，使得廢料中原本緊密結合的金屬

材質與非金屬得以分開，搭配適當分選設備進一步分離混合的金屬與非金屬物質，所分離出的較大物質需再循環重回粉碎、分選的程序。處理流程如圖 5.1-4，相關處理單元照片如圖 5.1-5 所示。基本上與採礦設備相同，主要差別在於礦石只有單一硬度材質，印刷電路板則有多層版軟板等各種不同混合材質。採礦設備只有單一功能就是粉碎，處理印刷電路板則需要經過不同分選階段，才能將緊密黏著於玻璃纖維板材上銅箔取下。

3.操作維護管理

歐洲設備系統其實有一定的可靠度，材質選用、維修便利性、安全系統設計與自動控制系統都非常穩定，依照正常操作保養都可平順生產。所有維修都可自行完成，但須留意耗材與零件之供貨及取得時間。此外歐洲電路系統與台灣所熟悉日本電路系統南轅北轍，必須有受過歐洲系統訓練的操作人員帶領現場人員。

4.小結

歐洲系統最大問題在於價格昂貴，但相對能夠提供品質穩定之操作，稼動率高相對回收也快。由於台灣與歐洲氣候溫度溼度差異，使用時也發現培林與橡膠材質元件很快就老化，最初一年內問題層出不窮但也一一克服，日後基本上細心對待、勤於保養，歐系設備問題並不多。

表 5.1-3 C 廠設備明細表

	設備名稱	數量	主要功用
1	粗破碎機	1	進料並破碎篩選至 30mm 以下
2	包覆式輸送帶	1	連接粗破碎機至鎚磨機，採包覆式主要是避免粉塵外漏
3	震動式進料導槽	1	將物料均勻送入鎚磨機以免因進料不均造成鎚磨機損傷
4	鎚磨機	1	內有 32 支 80mm x 80mm x 1800mm 高碳鋼鐵錘利用旋轉產生離心力將粗破碎料進一步粉碎研磨
5	卸料震動導槽	1	將鎚磨機送出物料均勻送至鋸齒型篩選機
6	鋸齒型篩選機	1	利用負壓將粉碎物料分為輕質與重質，輕質送至多圓錐分選器，重質送至磁選機
7	磁選機	1	將重質物中含鐵的物料成分吸出
8	震動式進料斗槽	1	將重質物粒料均勻進料
9	螺旋輸送帶	7	除了主輸送帶為包覆式輸送帶，其他所有輸送帶皆採螺旋輸送帶，目的為均勻輸送粉碎粒料
10	震動篩分離器（重質物）	1	主要篩選 2mm~8mm 間粒料
11	多圓錐分選器	1	輕質部份經風機抽送至多圓錐形篩選器中藉由吹氣閥送出之氣體吹除粉末後，排料至震動篩分離器。
12	震動篩分離器（輕質物）	1	主要篩選 1.5m~8mm 間粒料
13	逆洗式袋式集塵器	1	經多圓錐篩選器除塵程序後，被吹除的含塵氣體，經此處過濾集塵後排放。
14	負壓抽風機	1	將鋸齒型篩選器中的輕質顆粒抽出，送至多圓錐形篩選器除塵及袋式集塵器過濾集塵後排放。
15	風選機	1	藉由物質比重不同而將金屬成分與塑膠成分之顆粒有效的分離。風選時被風機抽出之粉塵，經袋濾器過濾後，由旋轉閥排入收集桶內回收。
16	搖震式除塵過濾器	1	過濾風選機輸送過程所排出的含塵氣體，並收集至集塵袋。
17	靜電分選機	1	針對輕而微細的物質無法在風選階段分離者，再進一步將金屬與非金屬加以有效地分離。靜電分選階段，導電性粒子（如金屬微粒）將因滾筒離心力自滾筒表面被拋出。而非導電性粒子（如塑膠）則因電場關係被吸引在滾筒表面，使金屬與塑膠分離。
18	PLC 自動控制系統	4	前破碎機、風選機與磁選機各 1 台，主系統 1 台負責整合各系統
19	搖震式除塵過濾器	1	為避免因粉塵阻斷電壓而破壞靜電分選器的分選作業，物料進入靜電分選器之前須先以抽風機將粉塵抽引至過濾器除塵。

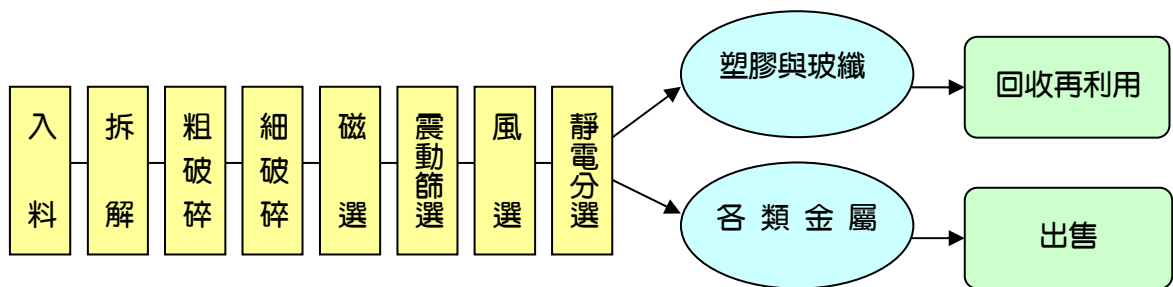


圖 5.1-4 C 廠乾式分選流程



圖 5.1-5 C 廠處理單元照片

廢印刷電路板處理設備誠如前述，因當地法令規範、設備購置金額與人力資源條件不同，而有不同投資構想規劃。三廠所在地條件不同，A 廠所在中國大陸近年來經濟大幅成長，環保問題日趨嚴重。廠商利用開礦設備處理廢印刷電路板也紓解一部分環保問題，此外大量使用人力也幫助地方就業，解決下崗帶來社會問題。B 廠台灣廠商結合先進國家設計規劃構想開發設備，具有一定工藝水準，也提供廠商較低成本設置處理廠。C 廠全部引進德國設計製造設備，雖然購入成本高後續維護保養成本也高，但設備可靠度與節省下能源人力成本相當可觀，相對單位時間產能高也是最大優點。

於表 5.1-4 假設相關參數，設立條件訂為台灣設廠，在此條件參數下設備購入成本比較，薪資也以相同工資水準計算，此外設備折舊與修繕則依照購入設備比較參數推估，這樣條件下無論在何地設廠採用設備不同也可做簡單比較。設備投資上 A 廠最低，設備也最單純。C 廠設備投資最大，三廠設備購入比較為 1：15：30。即是 A 廠購入設備費用為 1 萬元時 B 廠為 15 萬元 C 廠為 30 萬元。其他設廠土地廠房構建等成本因在同一地三廠應相同。此外單位薪資水準也列為相同參數，由使用人力數量來比較三廠為 5：2：1，即是 A 廠聘用 5 名現場員工 B 廠 2 名 C 廠則只需 1 名員工操作，這是設備自動化程度影響現場操作或搬運工的數量。最後在處理量比較三廠為 1：2：5，即是 A 廠單位時間處理 1 噸時 B 廠則能處理 2 噸，C 廠則能處理 5 噸。

除此之外還有設備可靠度、耗材的耐用度與耗電量等都會影響投資回收速度，如果設備常故障待修或是耗材雖然便宜但必須每日更換，都會影響處理的速度與產能。還有一項隱藏性費用就是電費，如果設備效率低單位處理量所耗能源高，日積月累數年後電費也是相當可觀。這些相關因素無法在同一表內用數字呈現，僅提出供參考。

表 5.1-4 廢印刷電路板處理設備投資營運經費比較表

廠 別		A 廠	B 廠	C 廠
項 目	設備投資	1	15	30
	新建廠房	1	1	1
	其他費用	1	1	1
	投資金額			
營 運 經 費	薪資費用	5	2	1
	折舊費用	1	15	30
	修繕費用	1	15	30
處理量計算		1	2	5

註 1: 本表係依三廠皆於台灣設廠，相同地理環境條件與給薪水準設計此項比較表。

註 2: 設備投資 A 廠設備購入價由人民幣換算為台幣，B 廠設備購入價由歐元換算為台幣相同幣制基礎下比較。B 廠設備價格為 A 廠 15 倍，C 廠設備價格為 A 廠 30 倍。

註 3: 本表係依相同土地成本、薪資成本與新建廠房成本基礎上比較，所有比較數據相同則以 1 呈現。

註 4: 使用人力多寡影響薪資費用多寡，單位薪資水準則以台灣設廠相同標準計算，並非以大陸較低薪資計算。A 廠單位人力薪資為 5，B 廠單位人力薪資為 2，C 廠單位人力薪資為 1。

註 5: 依購入設備成本推算三廠中以 A 廠設備成本最低，推估修繕與維修費用也依此比例計算。

註 6: 處理量係以設備量產產能為比較依據，A 廠單位產量為 1 時，B 廠為 2，C 廠為 5。

另日本金屬冶煉大廠（以下簡稱 D 廠）利用既有大型冶煉爐，各個地區工廠分工處理不同種類廢棄物，再將處理後產生有價金屬類集中再資源化處理。處理廢棄物之包括：金銀渣（占年處理量 12.65%）、廢銅（15.43%）、銅渣（0.8%）、廢酸（6.9%）、廢鹼（15.39%）、碎紙機碎紙（2.98%）、廢油（3.64%）、廢 OA 機器（0.9%）、貴金屬再生原料（2.18%）及污泥（36%）等，總處理量每年約 24.75 萬噸。

從回收處理廢棄物種類分析，該廠最大獲利來源是貴金屬（占處理量 15%），其他廢棄物則可收取處理費或作為熱源輔助等。這些大廠經過百年整併發展，在運作資源與條件上非一般中小企業能夠比擬，因此在日本幾乎沒有中小型回收處

理廠存在空間。這些大廠都有一系列後續產品，包括電子材料研發（銅箔基板與貴金屬產品等），可將所回收之金屬充分開發利用，這是競爭優勢所在。表 5.1-5 為 A、B、C、D 等 4 家廠商優缺點分析比較。

歐洲也是如此發展模式，但在台灣或中國要設立營運大型非鐵金屬熔煉爐費用高昂，且在歐美日廠商掌握全世界非鐵金屬礦源下，原料來源是最大問題。

表 5.1-5 A、B、C、D 等 4 家廠商優缺點分析

技術名稱	優點	缺點
溼式物理分選 (A 廠)	1.全部為大陸國產設備採購維修簡單，造價低廉 2.現場操作不需特別訓練專業人員 3.孔狀擋板耗材現場製作不需委外 4.製程單純、管理方便 5.個別單機控制可分別操作，不會整場當機 6.所有設備皆為平面式鋪陳操作，維修容易	1.噪音污染大 2.耗能設備功率差 3.空氣污染嚴重 4.機具耗損率高，耗材每日更換 5.搖洗桌易造成周遭環境污染與水污染 6.搖洗桌銅回收折損率高 7.安全措施簡陋、專業訓練缺乏易產生工安問題 8.現場作業人力需求量大 9.無自動化設計，產量無法提升
乾式物理分選 (B 廠)	1.具初步自動化功能 2.大部分設備採用國產，零件備品與維修無虞 3.後段銅分離採靜電分選，效率高 4.製程單純回送率低 5.採雙儲料斗設計，當一部份設備當機時還可局部開工	1.進料採裙板式輸送帶，易造成卡料問題 2.無階段性分離物料設計，處理速度無法提高 3.設備設計耗能高、單位產值低 4.無自動化控制系統，現場操作有工安疑慮 5.機具與耗材耐用性差，必須時常維修更換零件
乾式物理分選 (C 廠)	1.能源消耗小 2.自動控制人員精簡 3.噪音與空氣污染小 4.單位時間內產量大 5.後段銅分離採靜電分選，效率高 6.德國設備安全措施設計佳，較無工安問題	1.投資金額大、回收期長 2.維修保養須特別訓練 3.設備精密度較高，需要專業人員操作管理 4.零配件為外國製，取得較不易 5.整體系統設計只要一台設備出問題，所有機具停擺，必須恢復正常後才能整廠開機
其他處理方式 (D 廠)	1.相對金屬冶煉製程來看，處理流程較單純 2.合併處理其他廢棄物可獲得其他補助 3.處理成本合併計入金屬冶煉製程	1.投資金額非常大，常附屬於大型金屬冶煉公司 2.防制污染設備操作與維護成本高

5.1.2 廢電子零組件

由於廢電子零組件上有電阻、電容、變壓器與散熱片裝置等各類金屬與塑膠不同材質元件，最有效率的應用當然是依照材料不同將所有元件拆下分別處理，一部分回到市場正常使用，剩下的就擷取有用金屬。依實廠運作之經驗數據來看，廢電子零組件組成成分一般以塑膠及塑膠粒為主，約占總量之 55%；其次為銅（銅線圈）、鎳、錫（焊錫）、鉛、鋁（散熱片或鋁箔）及鋅等金屬，約占 13.5~18%，鐵約占 13.5%。大致可區分為非鐵金屬、非金屬與鐵等 3 大類，主要處理依照比重分選與磁選方式可分選大部分材料，主要關鍵在於非鐵金屬處理是否可分選乾淨以獲得較高價值。

1. 案例概述

5.1.1 節 C 廠採用德國西門子電子廢棄物處理廠相同設備與製程，同樣設備在處理印刷電路板與廢電子零組件製程差別在於利用比重差篩選，印刷電路板需不停回送粉碎將銅箔塑料分離，廢電子零組件則在處理過程中可分批回收各種比重不同金屬。在德國將回收之廢電子產品簡單拆解分類後，帶有元件之主機板則投入破碎粉碎處理，最後交由鎔鍊爐精煉。

2. 處理流程與設備概要

處理流程與 5.1.1 節 C 廠所述相同，最大差異在於處理過程中依照比重不同取出不同金屬，廢電子零組件中主要金屬為銅、鐵與鋁（銅比重 8.93、鐵比重 7.9、鋁比重 2.7），其他則為少量錫、金、鈀金等，廢印刷電路板則以銅為主。處理過程中經過磁選將鐵金屬取出，然後利用多道氣選方式（氣選機詳圖 5.1-6）分選其他金屬，經由不同出料口收取。設備進料與分選處理後之質量平衡詳圖 5.1-7。



▲氣選機

正面前方旋鈕為氣流調節開關



▲氣選機輕質物出料口

圖 5.1-6 氣選機照片

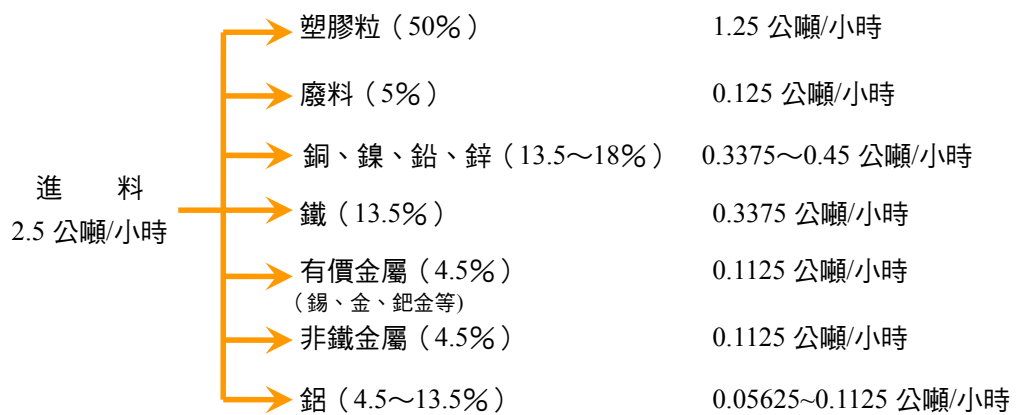


圖 5.1-7 設備進料與分選處理後之質量平衡

3.經濟效益分析

表 5.1-6 所列為開辦預估費用，這以台灣設廠處理方式推估。表 5.1-7 則是以設廠五年內損益推估，第一年由於操作與管理生疏以設備可處理總量 50% 推估。而後每年增加 15~10% 所得結果，依照目前市場售價加上處理成本來看，呈現入不敷出狀態。

4.小結

廢電子零組件在目前市場是屬於高單價廢料，因為元件內有多種貴金屬，也可拆下當做二手零件，台灣或歐日等由於薪資成本高無法各個拆解集中利用，部份廠商考量成本價值境外輸出中國、越南等人力成本低廉之國家拆解零件組合再使用，也有進入前節所提之破碎、粉碎分選回收與熱處理回收系統。而且目前雖有國際環保法規限制有害事業廢棄物輸出，由於上海銅價格高於倫敦市場價格甚多，部份清除業者在台灣高價標購後送至大陸處理，造成市場收購價格高騰。合法業者投鉅資取得證照卻需面對無料可收窘境。

表 5.1-6 開辦與預估費用分析

開發專案	預估費用（萬元）	預估費用分析
購置土地	6000	土地面積 1500 坪
廠房興建	7,500	每坪造價為 6 萬元
購置機具設備	6,210	自德國進口整廠設備
週轉金	1,250	營運期間營運成本及購料費用週轉之用
開辦費	1,000	開辦期間證照申請費、人事費及其它雜項支出。
合計	21,960	

註：不包含銀行貸款利息支付

註：土地面積至少需 1,500 坪，廠房與倉庫暫存區至少 1,200 坪

註：設備訂購至現場裝機驗收完成至少需 10 個月時間

註：證照申請至少需要一年半以上時間

註：廠地以政府編定工業區最佳可免去環評用地變更問題

表 5.1-7 設廠預估損益分析

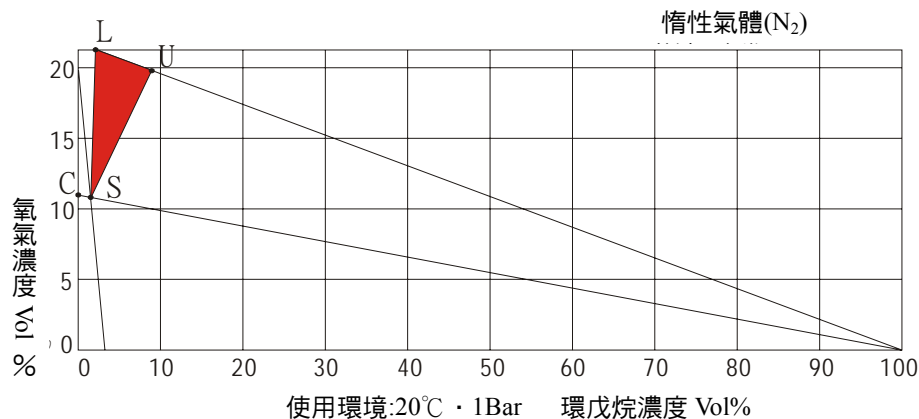
進 貨 支 出	年 度	第一年 (50%)	第二年 (成長 15%)	第三年 (成長 10%)	第四年 (成長 10%)	第五年 (成長 10%)
A.處理量 (噸/年)		9,900	11,385	13,093	15,057	17,316
B.收購單價 (萬元/噸)		6	6	6	6	6
C. 小 計 (萬 元 / 年) (C=A*B)		59,400	68,310	78,558	90,342	103,896
處 理 成 本	D.每噸處理成本(萬元/噸)	0.4646	0.4086	0.3598	0.3175	0.2806
	E.年處理費 (萬元/年) (E=A*D)	4,599	4,651	4,710	4,780	4,858
銷 貨 收 入	F.資源再生量 (噸/年) (以 回 收 35% 之 銅 計) (F=A*35%)	3,465	3,985	4,583	5,269	6,060
	G.銷售單價 (萬元/噸)	15	15	15	15	15
	H. 小 計 (萬 元 / 年) (H=F*G)	51,975	59,775	68,738	79,049	90,909
	I.稅前利潤 (萬元/年) (I=H-C-E)	-12,024	-13,186	-14,530	-16,073	-17,845

註：銷貨收入以銅含量計算並未計入其他貴金屬收入

註：由於收購金額（進貨支出）高漲利潤嚴重壓縮

5.1.3 廢電冰箱

台灣廢棄家用電器（以下簡稱「廢家電」）的處理始於民國 89 年 1 月，為全亞洲地區最早實際運轉的國家。廢家電因富含鐵、銅、鋁、塑膠等而極具回收價值，但因為回收冷媒（CFCs）中有環戊烷類存在可能，由圖 5.1-8 可知當氧氣濃度及環戊烷濃度超越標準值，即會產生自爆危險，故回收處理宜全面加裝監測防爆系統，以維護操作人員生命安全。由此可知，合理無害的資源化是一個十分重要的課題。由於廢家電種類繁多，本文僅就其中較具代表性之廢電冰箱做說明。



圖例說明：

- (L)最低燃爆限 1.3%
- (U)最高燃爆限 8.0%
- (S)氧氣最低燃爆濃度(10.4%)(1.4%環戊烷濃度)
- (C)氧氣濃度啟動最高限 10.6%
- (Vs)標準蒸氣壓

圖 5.1-8 環戊烷爆炸三角圖

1. 案例概述

E 廠係由國內 12 家大型家電廠商共同投資興建，與德國艾得蒙公司技術合作，引進處理及資源化技術，並致力於資源化技術之研發。回收項目包括：廢視機、廢電冰箱等等廢棄家電。

2. 處理流程與設備概要

廢電冰箱整體之回收處理流程如圖 5.1-9，廢電冰箱進入處理廠後，先將壓縮機及系統管路內之冷媒、冷凍油等有害物質抽出，接著將壓縮機、馬達、電裝品、大件可拆物及內裝品等進行初步分解，個別分類存放。隨後，利用帶式輸送機將剩餘之外殼送入密閉之四軸破碎機（詳見上冊第 81 頁之剪斷破碎機）進行常溫破碎作業，並利用風力選別將輕物質（如隔熱泡棉、粉塵等）吹往儲存筒，進行擠壓減容工程；金屬類由磁選機選別將鐵類分離產出，殘留之物質以渦電流分選機分離非鐵金屬與非金屬二類物質，非鐵金屬經再粉碎後由尺寸分選機和比重風力分選機將銅、鋁分選產出。塑膠類再粉碎後利用比重方式將不同材質之塑膠分選回收。處理流程細述如下：

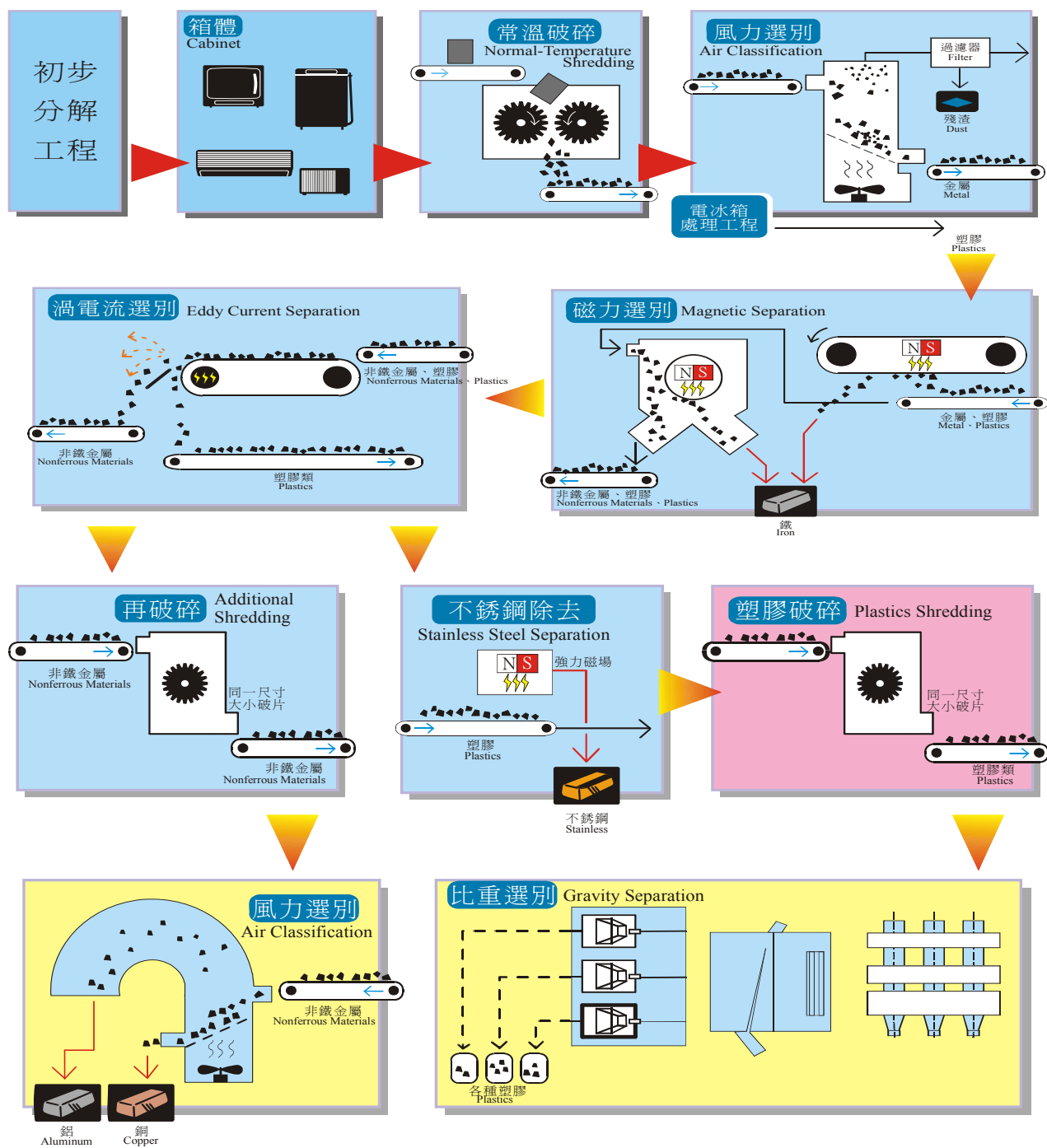


圖 5.1-9 廢電冰箱處理流程

- (1)將電冰箱之可拆內裝品取下，並將系統冷媒及冷凍油，以冷媒回收機吸取分離存放。再將壓縮機拆除後，將殘留箱體以皮帶輸送機送入主破碎機破碎。
- (2)而後之處理流程考慮台灣人工費用高昂，而以自動操作方式設計。將之設計於系統當中之 PLC(programmable logic controller, 可程式邏輯控制器)程式，分為 3 種模式自動判斷執行：
 - A.模式 1：以玻璃棉為隔熱方式之電冰箱，將無冷媒回收。
 - B.模式 2：以 R-11 或類似冷媒為隔熱方式之電冰箱，將以液態方式回收冷媒儲存。
 - C.模式 3：以環戊烷（C-pentane）或類似冷媒為隔熱方式之電冰箱，將發出警告，將自動啟動氮氣釋放系統，令之充填整個破碎室，以降低氧氣濃度，避免爆炸危險。而後進行作業，並以液態方式回收冷媒儲放。

綜觀發泡冷媒回收設備，目前大致分為二類，其優缺點如表 5.1-8：

表 5.1-8 發泡冷媒回收設備優缺點比較表

項 目 系 統 別	初期購入成本	持續操作成本	安 全 性 (對環戊烷類)
液態氮回收系統	較 高	較 低	較 高
活性碳回收系統	較 低	較 高	較 低

- (3)進入破碎機後，可自動破碎為 38mm 以下之碎片，此處對於破碎機之選擇，可以考慮下列 3 點：
 - A.四軸破碎機：優點是降低刀具磨損，減輕設備投資，節省空間。
 - B.雙軸破碎機*二座：優點是刀具便宜，加快處理速度。
 - C.渦旋多葉撞擊式破碎機：優點是增加產出物純度，降低雜質。

而後鐵物質經由「懸掛式永磁式磁選機」（詳見上冊第 139 頁之矩形懸掛式磁選機）自動分選至輸送帶，而外送至通箱存放。在此同時，輕質物由風選系統（詳見上冊第 113 頁之豎槽型風力分選機）抽至粉碎機，進行粉碎至 0.3mm，並利用此過程將隔熱材於封閉氣室中將發泡冷媒 CFCs 破壞逸

出，再經由液態氮冷媒回收機低溫冷凝回收，並接著將之擠壓減容為固定形狀（如：餅狀、棒狀..）委外處理。

(4)剩餘物質則進入渦電流分選系統（詳見上冊第 152 頁）。首先，為避免殘留之極少部分鐵物質進入系統，產生高溫傷及皮帶，故必須設計鼓式磁選機（詳見上冊第 138 頁）於第 1 站去除殘留之鐵物質。接下來再以振動輸送機將剩餘物質振鬆鋪平送入渦電流分選機，分離出非鐵金屬（銅、鋁....等）及非金屬（塑膠....等），使用 2 條個別獨立的輸送機，送入下一流程單元。

(5)為利於分選，利用粉碎機將該 2 類物質粉碎至 3~5mm，分別送入尺寸分選機、比重分選機（詳見上冊第 116 頁震盪型風力分選機），自動分離出銅、鋁、塑膠及粉塵雜物，完成資源化處理工程。

3.操作維護管理

廢電冰箱處理設備在操作上因多屬自動化設備，所以對於各相關感測器（sensor）的維護與正常功能之確保，即成為維護重點。在機械部分的維護保養則以四軸主破碎機之妥善率為最重要，因廢電冰箱雖經前段初步分解工程之拆解後，已將其中大多數可拆解零件卸除，但其箱體仍屬龐大堅固物體，所以直接擔負與箱體接觸之破碎刀具與提供動力之馬達或是油壓泵浦之能否正確工作，便成為整廠是否可以維持稼動率之關鍵設備。

另外，由於處理對象為廢棄之電冰箱（不同於一般生產線之原料），其本身多少有泥沙、粉塵、油污、食物殘渣之污染附著，在實際處理作業時，這些外表上的污染多會對處理設備造成一定程度之損傷。所謂「預防勝於維修」，對於投入前之廢電冰箱宜先進行必要之清潔工作，但須注意清潔過程當中不可因此造成另一種污染。

針對上述各種設備宜建立設備定期保養表，例如：回收線設備保養、修護記錄表（如表 5.1-9）、月份日常檢查項目表（如表 5.1-10）等作為設備保修履歷，確保維護品質與週期，以利營運。

在紀錄維修過程當中，詳實紀錄其基本數據，比如壓力、電流數值等，基本上機械設備廠在設計之初均會在必要監測點上設計壓力表、油位表等儀表，處理廠工作人員可藉由其中數值之變化，定期添加或更換相關耗材。

相對於機械設備原廠之設計監測點之外，建議針對溫度與噪音值進行每日不定期之量測記錄，許多先期的機械故障可藉由觀察該 2 筆數據之變化曲線，

而預先研判設備狀況之良莠，可防範未然。

再者，由於處理廠處理對象關係，工作環境中粉塵、水氣、油氣對於電氣部品之傷害會遠高於一般工廠，所以維護工作宜加入清潔與散熱項目，以確保其工作正常度。

表 5.1-9 回收線設備保養、修護記錄表

(每項目作業時間均須填寫)

項目 日期	洗衣機 破碎機	電冰箱 破碎機	擠壓機	渦電流 分選機	塑膠 研磨機	金屬 研磨機	設備保 養、修 護過程	工作 人員	確認

表 5.1-10 月份日常檢查項目表

機 械 名：電冰箱破碎機

管理號碼： SL-S-01

單位：

月份日常檢查項目表

項 目 \ 日 期		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	備 註
每 日	1、緊急停止開關是否正常																																
	2、各部緊急停止器是否正常																																
	3、檢查輸送帶上是否有雜物																																
每 月	1、轉動部位施打黃油																																
	2、添加潤滑油																																
擔 當 者 簽 章																																	
備 註	1、判定符號：○ 良好 △ 要修理 2、發現有不良之處時，應立即向所屬主管報告。 3、所屬主管在確認後，應立即採取補修動作，並在檢查欄中記入日期。 4、每年更換潤滑油及刀具組。														檢 查 項 目	1、本體及各項裝置（操作機能）。 5、壓縮空氣。 2、動力傳動機構。 6、電氣系統。 3、治 具。 7、外 觀。 4、給油系統。 8、其 他。																	

4.經濟效益分析

如前所述，廢電冰箱處理設備因規劃方式、使用設備不同，而有不同投資範圍，故不考慮土地廠房費用、加價回收、運費等條件下，純以設備投資部分而做成之效益評估簡列於表 5.1-11。

由表可以清楚瞭解，雖然設備的投資已儘量精簡，但由於目前國內處理廠家已遠超過市場供需，造成回收數量無法達到設備處理能力，所以在固定成本不變而稼動不足之情形下，基本獲利是無法確保的。另外，如果再考慮土地、廠房等費用，虧損將會再提高。這是全世界先進國家，對於廢電冰箱之處理均需要提供補助之道理即在於此。

表 5.1-11 廢電冰箱處理設備投資損益表

項次	項 目	金 額	備 註
投資金額	設 備 投 資	40,000 千元	
	新 建 廠 房	0 千元	本處暫不考慮
	其 他 費 用	5,000 千元	相關管路、籠架、盛具等費用
	投 資 合 計	45,000 千元	
營運經費	薪 資 費 用	4,800 千元	
	折 舊 費 用	5,000 千元	七年折舊+一年殘值，其他費用視同消耗品，當年度折舊完畢，本處不列入。
	修 繕 費 用	4,000 千元	
	間 接 材 料 費	1,000 千元	
	其 他 費 用	7,000 千元	動力費、保險費、職工福利金....等
	小 計	21,800 千元	
獲利	年 處 理 台 數	46,500 台	非設備能力，考慮目前國內現況，實際可能回收量
	年 度 收 入	18,600 千元	
	獲 利 金 額	-3,200 千元	
	獲 利 率	-17.2%	

5.小結

廢電冰箱屬環保署公告應回收項目，目前處理補貼費率已於 95 年 12 月 18 日公告調整為每台 635.5 元，目前合法廢電冰箱處理公司摘列表 5.1-12。廢電冰箱處理設備之規劃方式眾多，並無何者優劣問題，其中之取捨提供參考如下：

(1)系統設計基本原則：單純物質在破碎之前儘量取出

因一旦進入破碎系統後，所有物質即全數混合，要再分類取出所要使用的設備與資源是非常多且不易。所以，一個有效且完善的初步拆解工程設計是非常重要的。

(2)考量以下游承接業者需求作為系統設計目的，例如：

- A.鐵金屬之回收再利用業者，對於產出物之尺寸、雜質含量與種類有其一定之規則，並據以決定買價。因篩網孔徑決定破碎速度與設備之損耗，在考量售價與該二者之平衡後，可得到破碎機之篩網孔徑尺寸。
- B.銅鋁金屬之單獨分離亦或混合販賣，取決於投入設備之投資報酬率。以目前國際銅價居高不下的情形，當然將銅鋁金屬分離販售為佳，但未來銅價是否可以支撐，則需靠業主自行判斷。
- C.塑膠產出物之單獨分離或混合直接售予下游分選業者，均因時因地而有不同之規劃。以鄰國日本為例，大多以熱回收為考量方式；反觀台灣則因廢塑膠處理工業發達，故大都以分類後製成二次料再利用。

(3)考量後續維修能力與零件

設備的取得與系統之架構，由於可供參考或是商購的來源許多，基本上並非難事。真正的問題是在設備安裝完畢正式運轉之後。由於設備使用的壽命有限，基本自主維修保養能力的建立及必要消耗品零件的現地化，才是決定企業是否有能力回本獲利，甚或永續經營之關鍵點。

表 5.1-12 目前台灣合法廢電冰箱處理公司名錄

編號	統一編號	機構名稱	工廠地址	電話號碼
1	16181490-1	惠嘉電實業(股)公司	台中縣台中縣外埔鄉二崁路 83 巷 10 號	(04)26804889
2	16393240-1	宏青企業(股)公司	屏東縣屏東市工業路 1 號	(08)7213593
3	16636181-1	綠電再生(股)公司-台北廠	台北縣樹林市佳園路二段 70 號	(02)26688776
4	16636181-2	綠電再生(股)公司-楊梅廠	桃園縣楊梅鎮三湖里七鄰 5 號	(03)4855278
5	16725373-1	博威特實業(股)公司	高雄縣仁武鄉鳳仁路 358 號	(07)3718988
6	16821593-1	綠建(股)公司	高雄縣阿蓮鄉中正路 138 巷 3 號	(07)6316919
7	22926912-1	久發環保工程(股)公司	高雄縣大寮鄉興業路 21 號	(07)7877260
8	80703951-1	大祈環保科技有限公司	高雄縣大寮鄉田單四街 3 號	(07)7871512
9	27224616-1	大南方資源再生(股)公司	台南縣麻豆鎮麻豆口麻口里 10-4 號	(06)570466

資料來源：行政院環保署資源回收管理基金會 <http://recycle.epa.gov.tw/>

5.1.4 廢資訊品

台灣資訊產品之研發與生產，向執世界之牛耳。資訊產業不斷研發出高品質及新功能的產品，以符合消費者的便利與需求，導致產品快速地汰舊換新。以個人電腦而言，平均使用年限僅 4~6 年，工業發達的國家都面臨資訊產品消費量大增後，數量龐大的淘汰報廢物品常被任意荒置，產生污染物質擴散、管理不易、空間不足的嚴重性問題，亦使未來廢資訊物品的處理顯得更加重要。以下針對廢資訊物品（包括：電腦主機、電腦監視器、印表機、筆記型電腦等）之處理簡介說明。

1. 案例概述

F 廠為環保署基管會廢資訊物品回收處理業者，歷年來積極回收處理國內廢電子電器及廢資訊物品，並採用德國 ADELMANN 公司設計製造之處理設備，利用物理乾式原理將廢棄物品變成質精量純的原物料。

2. 處理流程與設備概要

廢資訊物品進入處理廠後，以氣、電動工具拆除外殼上的螺絲後分類收集外殼，接下來以非破壞方式拆下各類電池、所有直徑超過 1 公分高度超過 2 公分（或相當體積者）之電容器、含水銀之零組件、各類電線以及印表機中的碳粉匣、墨水匣、色帶等物品並分類妥善貯存。主機板及其它介面卡（如顯示卡、音效卡、網路卡…等）在統一收集後，定期投入破碎機系統，進行破碎分選作業。以下針對 LCD 與 CRT 處理說明如下：

(1)液晶顯示器（liquid crystal display，LCD）以人工方式拆下外殼，其中的排線、接頭及其它電子零件需完全拆卸，作業中不得將該 LCD 打破。當收集每 20 公斤後，則投入「LCD 無害化裂解系統」處理為無害的氣體、玻璃殘渣及塑膠碎片。LCD 無害化裂解系統處理流程說明如下：

A.LCD 檢查投入

將 LCD 由廢棄物中初步拆解，以獲得單純 LCD 面板。

B.破碎工程

將單純 LCD 投入德國 MOCO AZ5F 型（如圖 5.1-10，馬力 3KW）粗破碎機中進行破碎。

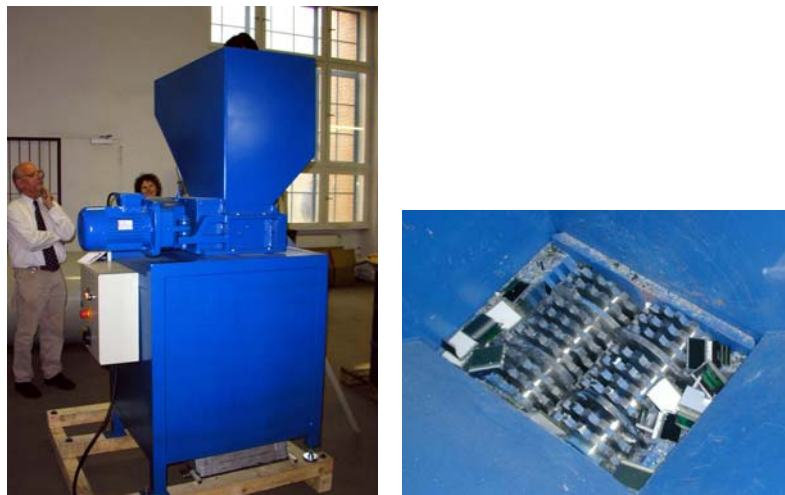


圖 5.1-10 德國 MOCO AZ5F 型粗破碎機

C. 秤重批次存放

將粗破碎後之 LCD 碎片以管制每 6.6 公斤存放於一不鏽鋼儲存箱。

D. 投入工程

將德國 HERAEUS VT 6060P 型（如圖 5.1-11）負壓乾燥爐（vacuum drying oven）加熱至 220°C 以上，再將一定重量之 LCD 碎片放入其中。



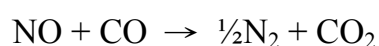
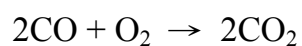
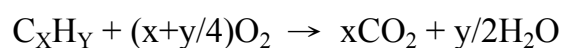
圖 5.1-11 德國 HERAEUS VT 6060P 型負壓乾燥爐

E. 熱處理析出

將負壓乾燥爐抽至 250mbar 以下，進行 40 分鐘之作業。因液晶之封裝設施已為之前的破碎工程破壞，故在低壓、高溫環境下會全數氣化變成蒸汽形式。

F. 觸媒法分解

液晶蒸汽進入德國 VICOR LCD-20 型（如圖 5.1-12）LCD 裂解觸媒後，分解為二氧化碳、水及氮氣，其方程式如下：



G.後續處理

經過上述之種種作業處理後，LCD 殘留物質為玻璃與塑膠，因可通過毒性特性溶出程序（TCLP）檢驗合格，故可以一般事業廢棄物方式委外處理。



圖 5.1-12 德國 VICOR LCD-20 型 LCD 裂解觸媒

(2)廢電腦監視器進入處理廠後，依彩色與黑白顯示器進行分類分批處理。處理流程說明如下：

- A.將顯示器送上作業平台或是工作線台，使用氣動起子或同類手工具拆解取下後蓋，並依其物質種類、顏色分類貯存。
- B.拆除其中之印刷電路基板、偏向線圈、喇叭等部品，接續使用氣動起子或同類手工具拆解取下前蓋，依其物質種類、顏色與前述之後蓋分類貯存，待累積一定量後進行粉碎分選，以利後續製粒再利用。
- C.使用手動切割輪切斷外框鐵質防爆線圈。
- D.進行表面清潔，去除乾淨表面之貼紙、橡皮墊。
- E.剩餘之 CRT（cathode ray tube，陰極射線管）映像管使用 CRT 分割機，利用上下玻璃材質不同之特性，以加熱方式分解成錐管及平面二類玻璃，取出金屬隔屏（彩色才有）減容貯存販售，再使用吸塵裝置將附著其上之螢光粉吸取集中處理。

F.剩餘之面板與錐管玻璃分別送入專用破碎機進行破碎減容，並由磁選機將玻璃與金屬（含鐵物質）分類。為求提高錐管玻璃之再利用率，必須先去除表面所覆蓋之石墨。

G.將破碎完成之錐管玻璃碎片（尺寸約 40*40mm）送入 CRT 玻璃清淨處理流程（如圖 5.1-13），利用堆高機等工具將之送入進料平台，以人工控制定量進料，投入進料輸送機，送入玻璃清淨機進行研磨清洗作業。經清洗完畢後，玻璃將自動進入振動篩選機，進行尺寸篩選及表面粉塵清除工作。完成後將自動進入出料輸送機，即得到乾淨之玻璃碎片（如圖 5.1-14）。此外，本系統於處理設備上，全程加附袋式集塵系統，以防止空氣污染（懸浮微粒）之影響。

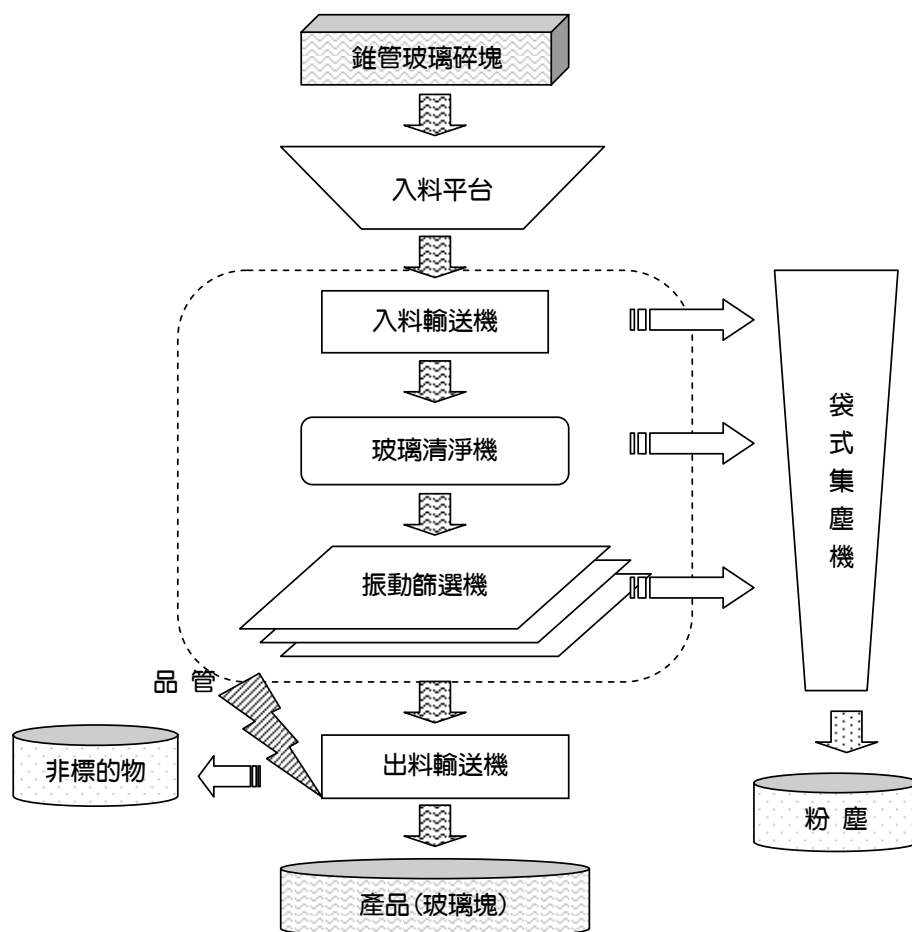


圖 5.1-13 映像管玻璃清淨流程圖

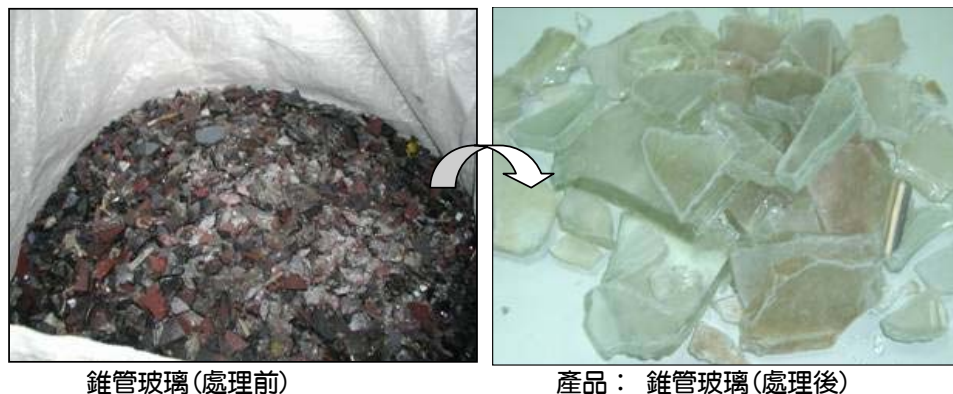


圖 5.1-14 處理前後之錐管玻璃

本文所介紹之設備規格及容量係為日本所開發之映像管玻璃洗淨機（設備如圖 5.1-15），是一套完整有效之錐管玻璃再利用設備，其原理是將錐管玻璃破碎至 30~100mm，再送入外徑 900mm 長 4,000mm 之圓筒內，加予震動讓玻璃碎片相互摩擦，以將玻璃表面塗佈之碳粉、氧化鐵等雜物去除。其主要組成規格及容量簡述以下：

A.玻璃進料輸送機 1 式

B.玻璃洗淨機 1 式

型式：RDSO-900-4.2 型

尺寸：Φ900 * L 4,000 (mm)

材質：外層：SS400，內層襯墊：SUS304

動力：7.5KW 4P (220V 60Hz)

重量：約 3,000kg

設備能力：每小時可處理 900 公斤碎玻璃。

C.振動篩選機 1 式

型式：RVS-450-2.0 型

尺寸：W 450 * L 2,000 (mm)

材質：外層：SS400，內層襯墊：SUS304

動力：0.75KW *2 (220V 60Hz)

重量：約 500kg

設備能力：每小時可處理 900 公斤碎玻璃。

D.皮帶玻璃輸送機 1 式

E.袋式粉塵集塵機 1 式

型式：SDC-2200BPX-R

動力：2.2KW 2P (220V 60Hz)

處理風量：30 m³/min

重量：約 320kg



入料平台與入料輸送帶



玻璃洗淨機



振動篩選機



↑ 袋式集塵器

← 濾袋組



圖 5.1-15 映像管玻璃洗淨機主要設備

3.操作維護管理

廢資訊物品處理設備之維護管理，基本上與廢電冰箱處理設備類似，請參閱前節所述，此處僅就差異點補充：LCD 無害化裂解系統針對：時間、溫度及觸媒壽命進行管制；而玻璃清淨機系統則對：投入數量、頻率、清淨機運轉時數、內部隔版耗件及袋式集塵器運轉效果、濾袋壽命進行監控與記錄。

4.經濟效益分析

廢資訊物品處理設備進入門檻並不高，規劃方式與使用設備也因百家倍出而有不同之投資範圍，如無其他較大技術或設備差異，其實並無法與傳統一般拆解業者產生經濟差異，甚至會因設備、廠房、土地等之投資反倒居劣勢。在合法、合理的處理管制下，要產生經濟優勢只有在廢棄物上努力，例如：所介紹之玻璃清淨機系統，即是將原本價值極低和產量極大之監視器玻璃，進行資源化以產生產值。另外，對於資訊產品中之貴金屬如能順利取出，亦是另一個造成經濟差異之方式。針對玻璃洗淨之投資效益評估如表 5.1-13，由表可看出，雖然設備的初期投資較高，但是由於創造玻璃的附加價值，不僅可節省原本需要委外成本，相反的變成獲利經濟來源。對長遠來說這種設備的投資是值得的。

表 5.1-13 錐管玻璃清淨機設備投資損益表

項次	項目	金額	備註
投資金額	設備投資	12,000 千元	
	新建廠房	0 千元	暫不考慮
	其他費用	300 千元	相關管路、籠架、盛具等費用
	投資合計	12,300 千元	
營運經費	薪資費用	1,680 千元	
	折舊費用	1,500 千元	七年折舊+一年殘值，其他費用視同消耗品，當年度折舊完畢，本處不列入。
	修繕費用	1,200 千元	
	間接材料費	800 千元	
	其他費用	1,000 千元	動力費、保險費、職工福利金....等
	小計	6,180 千元	
獲利	年處理數量	2760 噸	
	年度收入	8,280 千元	
	獲利金額	2,100 千元	
	獲利率	25.3%	

5.小結

廢資訊品屬環保署公告應回收項目，目前處理補貼費率已於 95 年 12 月 18 日公告調整如表 5.1-14，台灣合法廢資訊物品處理公司摘列如表 5.1-15。廢資訊物品之處理並非如常人想像能從當中取得一定量之貴金屬回收，因經過回收體系進入正規處理廠之廢資訊物品，其中之有價物或可再使用之零件大多在第一線回收時，即已遭拆除，真正之價值所剩實在有限。以主機為例，當中的 CPU、記憶體、硬碟機、光碟機、軟碟機、介面卡絕大多數均已遭拆除，進入處理廠的僅剩下政府規定的電源供應器、機殼、主機板等，其他如印表機、監視器、筆記型電腦等亦同。所以，對於廢資訊物品有興趣之回收處理業者，宜先有這一層考量。

表 5.1-14 廢資訊品回收清除處理補貼費用

項 目	補 貼 費 用
廢資訊品	1、廢主機：採差別補貼方式 (1)含機殼、主機板、硬式磁碟機、電源器：182 元/台 (2)含機殼、主機板、硬式磁碟機：157 元/台 (3)含機殼、主機板、電源器：137 元/台 (4)含機殼、主機板：91 元/台 2、廢監視器：215 元/台 廢監視器（液晶部分）：303 元/台 3、廢筆記型電腦：303 元/台 4、廢印表機：150 元/台

資料來源：「應回收廢棄物品回收清除處理補貼費率（不含廢機動車輛類及廢照明光源類）」，行政院環保署，2006 年

表 5.1-15 目前台灣合法廢資訊物品處理公司名錄

編號	統一編號	機構名稱	工廠地址	電話號碼
1	22104578-1	上祈企業有限公司	高雄縣大寮鄉潮寮村田單一街 15 號	(02)23069525~1
2	22926912-1	久發環保工程(股)公司	高雄縣高雄縣大寮鄉華東路 15-1 號	(07)7871707
3	97211972-1	佳龍工程(股)公司	桃園縣觀音工業區榮工南路 12 號	(03)4833486
4	16798087-1	全亞冠科技(股)公司	苗栗縣造橋鄉龍升村中潭 21-1 號	(037)-651839
5	16725373-3	博威特實業(股)公司	高雄縣仁武鄉鳳仁路 358 號	(07)-3718988
6	16393240-1	宏青企業(股)公司	屏東市工業路 1 號	(08)7213593-7
7	16636181-1	綠電再生(股)公司-台北廠	台北縣樹林市佳園路二段 70 號	(02)-26688776
8	16636181-1	綠電再生(股)公司-楊梅廠	桃園縣楊梅鎮三湖里 7 鄰 5 號	(03)-4855278
9	16181490-1	惠嘉電實業(股)公司	台中縣外埔鄉二崁路 83 巷 10 號	(04)26804889
10	27448475-1	城礦資源(股)公司	苗栗縣竹南鎮仁愛路 1365 巷 10 號	(037)-586979
11	16821593-1	綠建(股)公司	高雄縣阿蓮鄉中正路 138 巷 3 號	(07)-6316919
12	22104578-1	上祈企業有限公司二廠	高雄縣大發工業區田單三街 16 號	(07)7881605-6

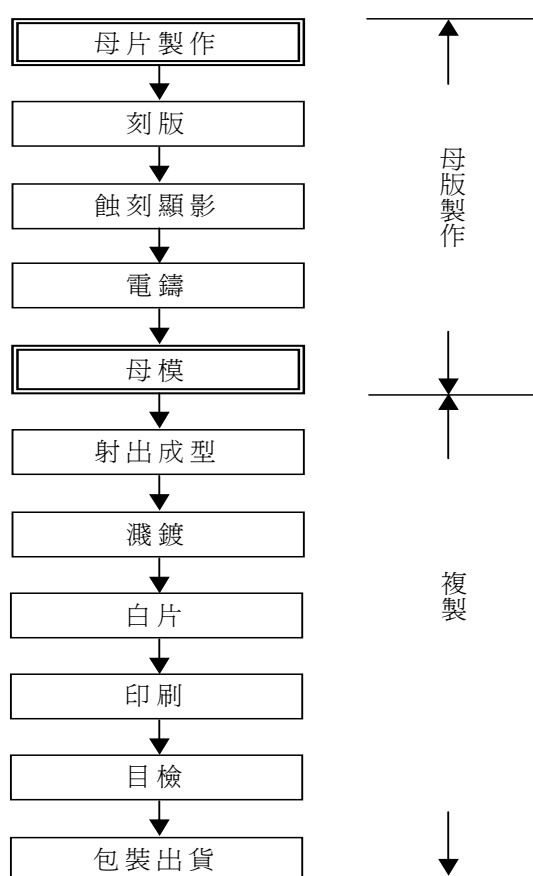
資料來源：行政院環保署資源回收管理基金會 <http://recycle.epa.gov.tw/>

5.2 塑化廢料減容案例

本節分為廢光碟片及塑膠廢料-PET 說明如下：

5.2.1 廢光碟片

光碟片具有記錄容量大、雜訊小、壽命長、成本低、體積小且攜帶方便等優點，因而形成大量生產與使用普及，台灣主要光碟製造商有銖德、中環、巨擘、精碟、國碩、利碟、訊碟、鈺德、遠茂、華鎂光等廠商，光碟片主要製造流程如圖 5.2-1，為先經過射出製模（injection molding）、染料鍍膜（dye coating）及濺鍍（sputtering）等程序。根據 2005 年統計台灣年產量約有 55 億片，居世界之冠，產量約占全世界 8 成左右，其中 47 億片外銷，8 億片內銷，而製造過程中所產生之不良片比率在 5%~8%之間，約有 3 至 4 億片廢片，加上家用、學校等報廢片 6 至 7 千萬片，由此可知目前廢光碟所需處理量為多大。



資料來源：廢光碟片回收清理探討計畫，行政院環保署，2002 年 10 月

圖 5.2-1 CD 光碟片製造流程

光碟片又稱「光紀錄媒體」，主要利用光能作為記錄與讀取之儲存媒體，此產品主要可區分為 CD 與 DVD 等大類，分述如下：

(1)CD (compact disc)：

依荷蘭飛利浦公司 (PHILIPS) 與日本新力公司 (SONY) 聯合相關公司制定之世界標準規範如下：

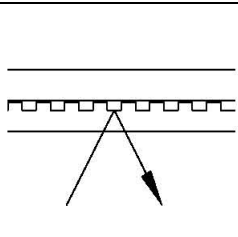
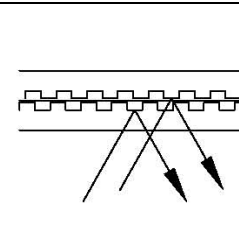
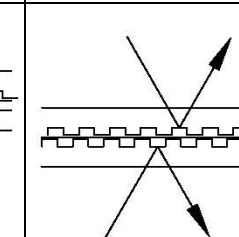
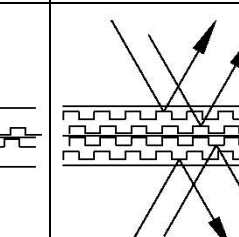
- A.CD-DA (digital audio)：數位音樂光碟。
- B.CD-ROM (compact disc-read only memory)：唯讀式光碟。
- C.CD-I (compact disc interactive)：互動式光碟。
- D.CD-Recordable：可紀錄式光碟。
- E.VIDEO-CD：影音光碟。
- F.Enhanced-CD：加強型光碟。

(2)DVD (digital versatile disc)：

為未來紀錄媒體主流，以紀錄層來看可分為 4 種（以直徑 120mmDVD 為主），請參見表 5.2-1。

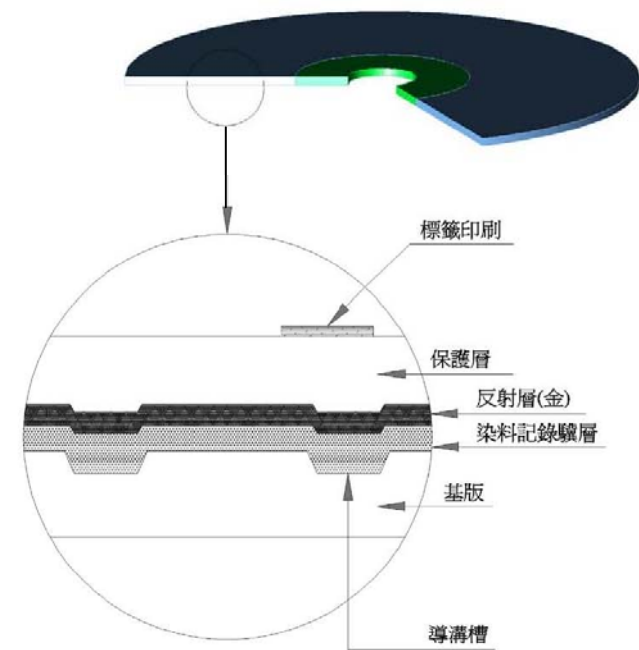
- A.單面單層：紀錄容量為 4.7GB (DVD5)。
- B.單面雙層：紀錄容量為 8.54GB (DVD9)。
- C.雙面單層：紀錄容量為 9.4GB (DVD10)。
- D.雙面雙層：紀錄容量為 17.08GB (DVD18)。

表 5.2-1 DVD 光碟片規格與結構

光碟規格	單面單層	單面雙層	雙面單層	雙面雙層
120mm	4.7GB (DVD5)	8.54GB (DVD9)	9.4GB (DVD10)	17.08GB (DVD18)
光碟構造				

資料來源：產業技術知識服務計畫，經濟部技術處，2000 年 6 月

若依基材劃分則可分為鋁片(CD-ROM、VCD)、金/銀/銀鈦片(CD-R)、CD-RW及DVD等大類。光碟主要材質如圖 5.2-2 所示，包含油墨層、保護層（以上兩層約占 0.5~1%）、反射層金屬（約占 0.0007~0.18%）及塑膠底層 PC(polycarbonate，聚碳酸酯塑膠，約占 98.8%)。



資料來源：廢光碟片資源化技術盤查分析之研究，朝陽科技大學
環境工程與管理系碩士論文，2005 年 1 月

圖 5.2-2 光碟片剖面示意圖

目前廢光碟片來源主要有 2 種，說明如下：

(1)製造過程中所產生之不良片

製造過程中所產生之不良片依產源之不同可細分為 3 類：

A 類：由 PC 原料經射出成型至蒂頭下腳料切除過程所產生之廢品。

B 類：當 CD 成型時，經染色程序後之光碟片廢品。

C 類：完成染色之光碟繼續經薄膜濺鍍或經噴塗瓷漆後之廢品。

(2)使用後報廢片

使用後報廢片如：軟體供應商、唱片業者、視聽社、政府單位查獲之盜版光碟、事業單位、學校及個人或家庭使用後之報廢片，此詳細數量較難以

統計。廢片「形式」又可分為白片（料頭、貫碎不良品）、染色片、鍍金廢片、鍍銀廢片、鋁片等；「形狀」可分為完整圓片與碎片兩種。

資源回收再利用是全世界共通的趨勢，歐美先進國家已明文規定製造者需負回收之責，故德國拜耳公司於 15 年前即從事廢光碟片回收技術的研究，於 8 年前開始有廢光碟片回收事業。因塑膠占掩埋場大量空間，故德國部分掩埋場更規定塑膠類製品不得進場，以節省掩埋年限。目前廢光碟资源化處理技術大致可分為乾式與濕式處理兩種，「乾式處理」主要以物理方式為主，包含有破碎法、研磨法（刨除法）、噴砂法及高壓水刀等方式；「濕式處理」主要以化學方式為主，包含有鹼脫脂與有機脫脂等剝離液方式。一般而言，「乾式處理」技術原理簡單，清洗水可循環使用，二次污染較小，但自動化較難達成、處理量較小，操作成本較大，其處理限制為無法處理 DVD 光碟片；「濕式處理」技術原理較繁複，使用鹼液及界面活性劑去除鍍膜，自動化較易達成，操作成本較低，處理範圍較廣可處理 DVD 光碟片，但清洗水耗用量大，二次污染需注意。以下分別介紹乾式處理（研磨法）及濕式處理（破碎法配合剝離液方式處理）案例作為說明。

（一）案例一

1. 案例概述

G 廠為一持有甲級清除及處理執照之清理機構，清理項目種類為含電鍍金屬之廢塑膠（廢棄物代碼 E-0213），為專業之廢 PC 塑料處理廠。由光碟回收處理後所得 PC 塑料，可與其他原料混合（如 PBT、ABS 等）製成高強度複合材料，使廢塑料再生利用。該廠廢光碟來源為一般家庭、光碟片製造廠、唱片行、學術單位及政府機關查報走私盜版光碟片銷毀等，處理量每月平均為 150 公噸，最大處理量為 210 公噸，服務項目包括磨片、粉碎與塑膠造粒、廢光碟片代工處理及再生 PC 塑料交易等。

2. 處理流程與設備概要

G 廠至事業單位清除運送廢棄光碟片至處理廠（如圖 5.2-3），該廠設備如表 5.2-2，處理流程如圖 5.2-4，主要以乾式處理為主，廢光碟經研磨後如圖 5.2-5，以清水沖洗並風乾，乾燥後經粉碎及造粒成為 PC 原料。



圖 5.2-3 廢光碟片乾式處理廠

表 5.2-2 廢光碟乾式處理廠設備一覽表

編號	設備項目	數量	備註
1	磨片機	6 套	研磨廢光碟片
2	磨片附屬設備	-	含壓濾機、備品、輸送帶、粉碎機、集塵器、空壓機、鋼刷磨片機
3	造粒機	2 套	將研磨破碎後之廢光碟製粒成型
4	廢水處理設備	1 套	回收清水沖洗研磨後廢光碟之廢液，以重複再利用

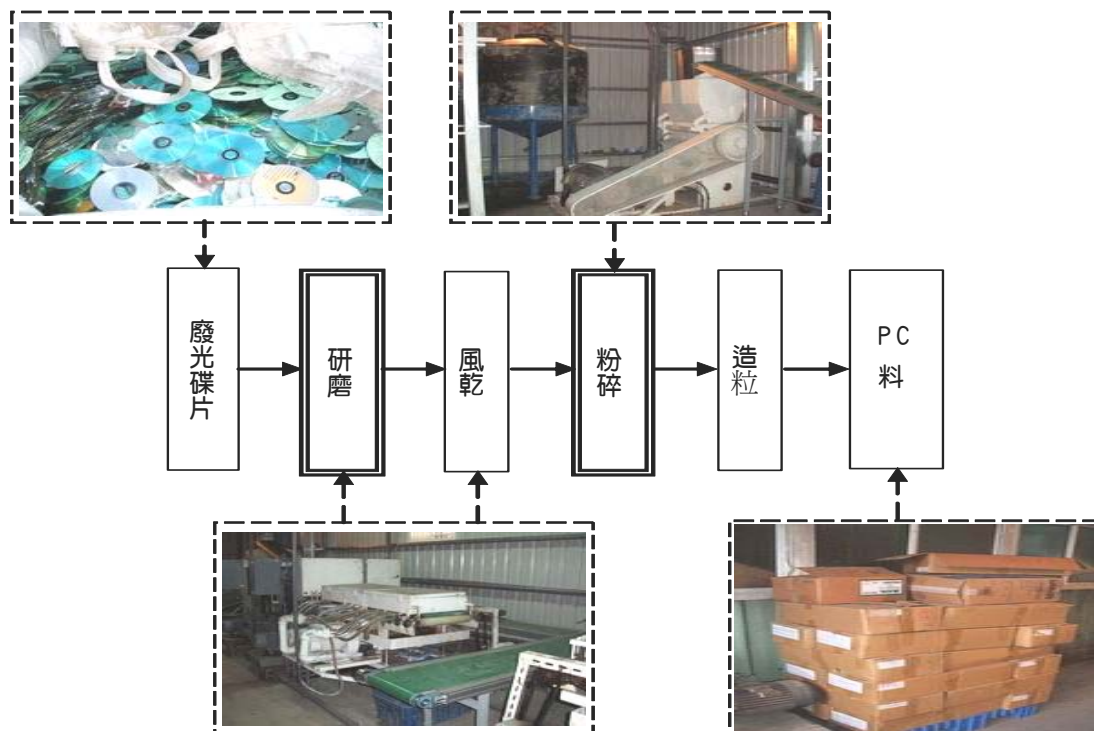


圖 5.2-4 廢光碟片乾式處理流程



圖 5.2-5 研磨後之廢光碟片

3.操作維護管理

該廠人力共 14 人，其中管理人力 5 人（包含：總經理、廠務經理、業務經理及會計等）及操作人力 9 人（包含：前處理人員、研磨處理人員及品管人員

等)，正常操作為 5 台研磨機具運轉，剩餘一台研磨機具為備用或保養維修，其他廢水處理及造粒設備正常運作。

4.經濟效益分析

該廠初期設置成本分別為主設備及週邊設備費用、廢水處理工程及辦公室費用等，合計 1,250 萬元，其操作維護成本約 208.1 萬元/月，包含：人員薪資、操作維修、運輸費用、廠租、水電雜費等。設置運轉後收入費用（含處理及抽粒）約 255 萬元，總計每月約有 46.0 萬元盈餘，設備回收期限約 2 年 4 個月。有關該廠設備之效益評估如表 5.2-3 所示。

表 5.2-3 廢光碟乾式處理廠之經濟效益評估

項次	項目	費用 (新台幣 萬元)	備註
設備工程 費用	磨片設備	500	
	破碎設備	50	
	廢水處理設備	120	
	附屬設備	80	
	廠房修繕	30	
	辦公室器具與雜支	70	
	水電工程設備	50	
	PC 抽粒設備	350	
小計		1,250	
每月支出 成本	廠房租金	6	
	操作人員 9 人	35.1	1 人 3 萬/月 (9 人*3 萬*1.3=35.1)
	管理人員 5 人	26	1 人 4 萬/月 (5 人*4 萬*1.3=26)
	水電費	35	
	辦公室雜支	35	
	器材維修保養 (含砂紙)	35	
	貨運費	16	
	其他雜支	20	
小計		208.1	
每月收入 費用	代工處理	150	每公噸 1 萬元 (每月處理 150 公噸)
	抽粒費用	105	每公噸 0.7 萬元 (每月抽粒 150 公噸)
小計		255	

5.小結

廢光碟乾式處理廠由於操作人力多，故人事成本支出甚高，但其優點為操作彈性高，可配合當月收貨量之多寡來決定開機數量，以有效管控到貨量與成本支出間之平衡。此外，由於技術之發展成熟，其對於每片廢光碟處理後之磨損消耗量可有效控制在 3~5%，提高 PC 料之回收量，且技術簡易不需複雜操作程序，亦少廢水等二次污染問題。不過，乾式技術所能處理廢光碟種類有限，不適合處理破碎廢光碟及廢 DVD 光碟，限制了其進貨之類別。

(二) 案例二

1. 案例概述

H 廠為濕式處理之廢光碟片處理廠，主要廢光碟片來源為一般家庭及光碟片製造廠等，處理量每月平均為 180 公噸，最大處理量為 240 公噸，服務項目包括廢片粉碎、塑膠造粒、廢光碟片代工處理及再生 PC 塑料交易等。

2. 處理流程與設備概要

H 廠主要至事業單位清運廢光碟片，可於廠內破碎後運出或直接運至處理廠中再行破碎。該廠處理設備如表 5.2-4，處理流程如圖 5.2-6，主要先經由人工分選作業後投入粉碎機進行粉碎，再由輸送機將碎片放至浸漬箱內批次進料，送入反應槽加入剝離液以去除金屬層及染料層，並配合加熱系統加速反應，分離後之 PC 料送入中和槽及清洗槽去除多餘剝離液，最後脫水收集。製程中產生之廢水進入圖 5.2-7 之廢水處理系統，混凝沉澱處理後排放或回收再利用，污泥及殘渣經由固化後交由合法業者清除處理。使用後之剝離液則送至精煉，回收其中之貴重金屬。

表 5.2-4 廢光碟濕式處理廠設備一覽表

編號	設備項目	數量	備註
1	反應系統設備	1 套	反應槽、中和槽、清洗槽、浸漬箱及機具設備等
2	廢水處理設備	1 套	混凝槽、膠凝槽、沉澱槽、反應藥品、污泥濃縮、脫水設備及回收管路設備等
3	造粒機	2 套	將研磨破碎後之廢光碟製粒成型
4	附屬設備	1 套	含粉碎機、集塵器、輸送帶、螺旋輸送機、空壓機及備品等

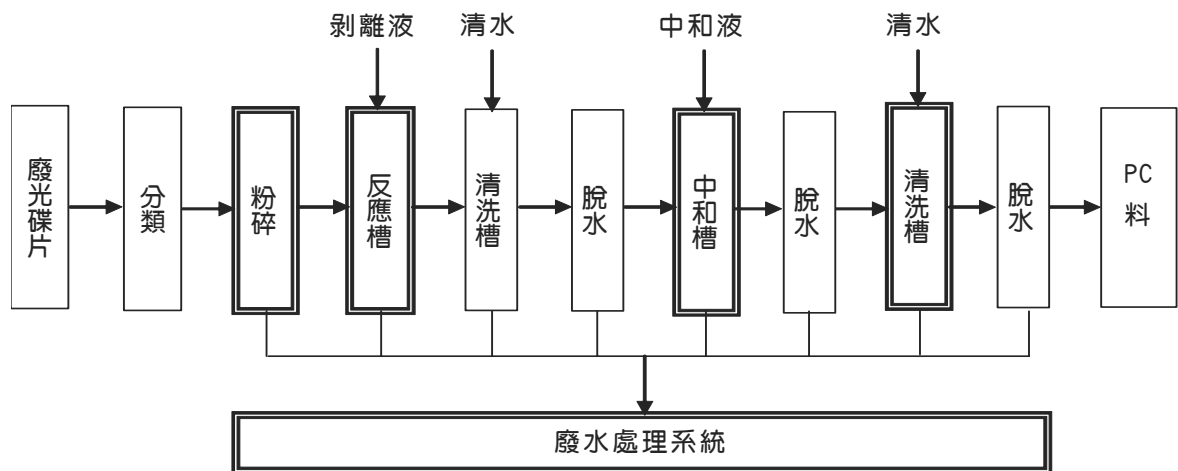


圖 5.2-6 廢光碟片濕式處理流程

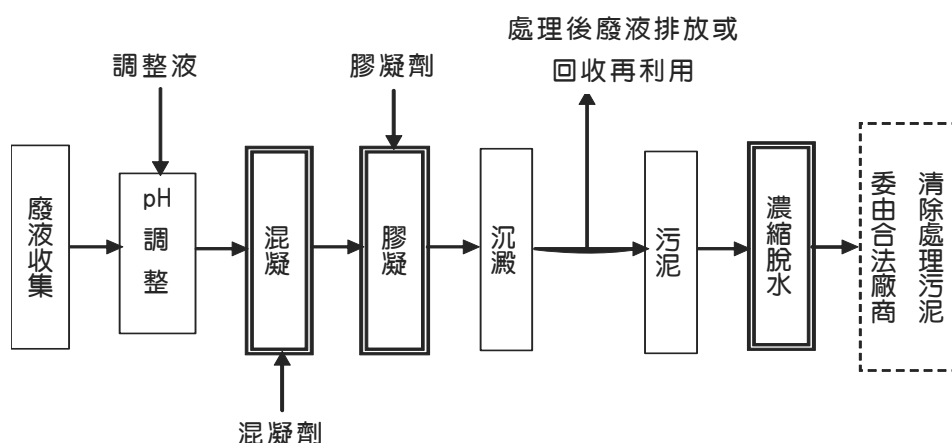


圖 5.2-7 廢水處理系統流程

3.操作維護管理

H 廠人力共 12 人，其中管理人力 5 人（包含：總經理、廠務經理、業務經理及會計等）及操作人力 7 人（包含：分選操作人員、處理人員、廢水處理人員及品管人員等）。

4.經濟效益分析

該廠初期設置成本分別為主設備及週邊設備費用、廢水處理工程及辦公室費用等，合計 1,720 萬元，其操作維護成本約 250.3 萬元/月，包含：人員薪資、操作維修、運輸費用、廠租、水電雜費等。設置運轉後收入費用（含處理代工及抽粒）約 306 萬元，總計每月約有 55.7 萬元盈餘，設備回收期限約 2 年 6 個

月達成，有關該廠設備之效益評估如表 5.2-5 所示。

表 5.2-5 廢光碟濕式處理廠之經濟效益評估

項次	項目	費用 (新台幣 萬元)	備註
設備工程 費用	反應系統設備	800	
	破碎設備	50	
	廢水處理設備	240	
	附屬設備	100	
	廠房修繕	30	
	辦公室器具與雜支	70	
	水電工程設備	80	
	PC 抽粒設備	350	
小計		1,720	
每月支出 成本	廠房租金	12	
	操作人員 7 人	27.3	1 人 3 萬/月 (7 人*3 萬*1.3=27.3)
	管理人員 5 人	26	1 人 4 萬/月 (5 人*4 萬*1.3=26)
	水電費	40	
	辦公室雜支	35	
	器材維修保養 (含藥品)	60	
	貨運費	20	
	其他雜支	30	
小計		250.3	
每月收入 費用	代工處理	180	每公噸 1 萬元 (每月處理 180 公噸)
	抽粒費用	126	每公噸 0.7 萬元 (每月抽粒 180 公噸)
小計		306	

5.小結

廢光碟濕式處理廠建廠成本較乾式處理廠昂貴，但優點為自動化處理、可減少操作人事成本支出，且可處理 DVD 光碟及破損碎片，另如需處理含有智慧財產權之廢光碟時，可於事業廠內現地破碎後再送至處理廠內處理，可有效避免資料流出問題。該技術處理選擇性高，可依不同種類進行不同處理。但需專門人員操作，另須注意廢水處理產生之二次污染及污泥問題。

承前所述，廢光碟片處理後主要產品包括回收 PC 塑料及貴金屬，其中 PC 塑料自 1956 年出現後，因具有透光性、耐衝擊、高耐熱及化性安定等特點，被廣泛運用於各領域，被稱為塑膠中之黃金，而光碟結構中 PC 塑料占 50%以上，極具回收價值。有關回收 PC 塑料之通路，參考德國拜耳公司之回收用途如圖 5.2-8 所示，主要有 3 方面：

- (1)再出售：將處理完之 PC-CD 回收料出售予下游廠商供射出及混合用，此回收用途約占再利用之 15%。
- (2)再製料：將 PC-CD 回收料與較高分子量之 PC 混合，配製成不同成品規範供客戶再利用射出成品，此回收用途約占再利用之 65%。
- (3)塑膠合金 (PC+ABS)：將 PC 塑料與不同性質之塑膠結合製成塑膠合金，以保有兩方材質之優點，此回收用途約占再利用之 20%。

台灣為全世界最大的光碟片製造產地，每年台灣本地的光碟片消費量高達 8 億 8 千萬片，並且以將近 30%的驚人速度成長中。用得多，相對的廢棄不要的光碟片也快速成長。光碟片本身含有金、銀、銅等重金屬，如果送到焚化爐容易產生戴奧辛污染，用掩埋場掩埋可是好幾十年都不會腐化，對環境造成的影響可見一斑。根據行政院環保署評估，每年所回收廢棄光碟片約有 6 千萬片之多，因此為了避免廢棄光碟片造成環境負擔，減少對生態造成衝擊，並促進資源之永續利用，建議透過回收體系作有效回收並妥善再利用，才能降低環境傷害。

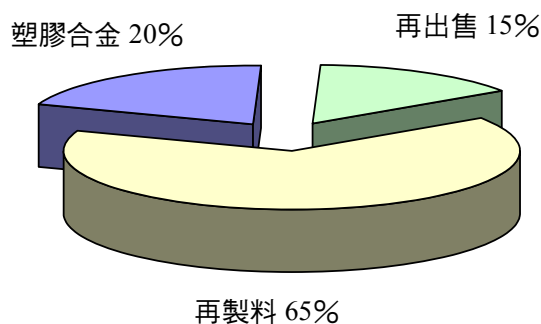


圖 5.2-8 德國拜耳公司回收 PC 塑料之用途比例

5.2.2 廢寶特瓶

聚對苯二甲酸乙二酯（polyethylene terephthalate，聚酯，PET）是 1953 年由杜邦公司最早實現工業化的線型熱塑性聚合物，因其在較寬的溫度範圍內能夠保持優良的物理性能和力學性能，耐疲勞性、耐摩擦性和耐老化性優異，電絕緣性突出，對大多數有機溶劑和無機酸穩定，而且生產耗能低、加工性良好等優點，一直被廣泛用作塑膠包裝瓶、薄膜及合成纖維等。根據 2001 年 12 月在日內瓦舉行的 2001 年聚酯樹脂世界會議的報告，2000 年全球的需求量為 2,840 萬公噸，2010 年預計將成長至 5,610 萬公噸，平均年成長率為 7%。由表 5.2-6 可看出寶特瓶在聚酯樹脂需求量中所占比率有逐年升高的趨勢。

表 5.2-6 全球聚酯樹脂在各領域需求量變遷趨勢

單位：萬公噸

領域別	1990 年	2000 年	2010 年
纖維	890	1,880	3,330
寶特瓶	110	710	1,890
薄膜	100	140	170
其他特殊樹脂	70	110	220
合計	1,170	2,840	5,610

資料來源：聚酯樹脂世界會議報告，瑞士，2001 年 12 月

用 PET 做成的包裝瓶，俗稱 PET 瓶、聚酯瓶或寶特瓶。寶特瓶由於具有比重小、手持和運輸方便，強度大、不容易破損，透明度高、表面光潔和外觀漂亮，衛生安全性能優良，以及易於回收再利用等特點，廣泛應用在飲料、調味品、洗化用品和醫藥品的包裝，尤其是軟飲料包裝。又台灣在 1997 年回收之寶特瓶重量只有 7,600 公噸，由表 5.2-7 可看出 2001 年 56,000 公噸，2005 年則遽增至 81,800 公噸以上，表示寶特瓶於日常生活中的應用已普遍化，且寶特瓶回收推動已 15 年以上，配合回收獎勵金制度，使得寶特瓶回收成效年年增加，目前回收率約為 80%。

表 5.2-7 1997～2005 年台灣各類塑膠回收量統計

單位：公噸

年份	PET	PVC	PP/PE	PS 未發泡	PS 發泡
1997	7,633.91	115.50	515.66	—	616.54
1998	33,564.14	4,509.34	4,829.48	43.53	2605.17
1999	42,234.26	2,582.21	11,573.60	205.87	2686.77
2000	47,428.66	3,126.53	22,543.80	562.43	2920.60
2001	56,020.11	2,992.26	33,826.11	1,663.83	2957.13
2002	63,316.60	2,377.22	41,264.36	2,021.46	2305.44
2003	69,082.97	2,359.92	48,651.58	1,930.19	491.32
2004	80,357.95	2,531.62	56,495.48	2,467.71	342.12
2005	81,828.44	1,784.63	60,107.02	3,901.82	423.67

資料來源：行政院環保署資源回收管理基金會 <http://recycle.epa.gov.tw/>

寶特瓶回收之物理方法是將廢寶特瓶經過分離、破碎、洗滌及乾燥處理後進行再造粒，技術流程主要有兩種：(1)廢寶特瓶切碎成片，從中分出高密度聚乙烯(HDPE)、鋁、紙和膠粘劑，再將 PET 碎片經洗滌、乾燥和造粒；(2)將廢寶特瓶上的瓶蓋、座底、標籤等雜質用機械方法分離，再經洗滌、破碎和造粒。圖 5.2-9 是小規模廢寶特瓶再生碎瓶片流程示意圖。以上兩種回收技術均有工廠採用，其技術各有特點：第 1 種回收方法較易形成規模生產，但分離技術比較複雜，分離設備較多，投資較大；第 2 種方法產品純度較高，使用設備較少，投資較省，但僅適用於無破損的完整飲料瓶，被壓扁或有破損的飲料瓶需分離出去，用其他方法另行回收。回收之關鍵在於收集分類和分離篩選。目前用於 PET 瓶的分離方法主要有以下幾種：

(1)手工分離

手工分離係在瓶子通過一個移動的運輸帶時，訓練有序的技工依其不同的特性手工分類整理。瓶上除了有可回收標誌外，還可借助紫外光等光源可加速分離速度。

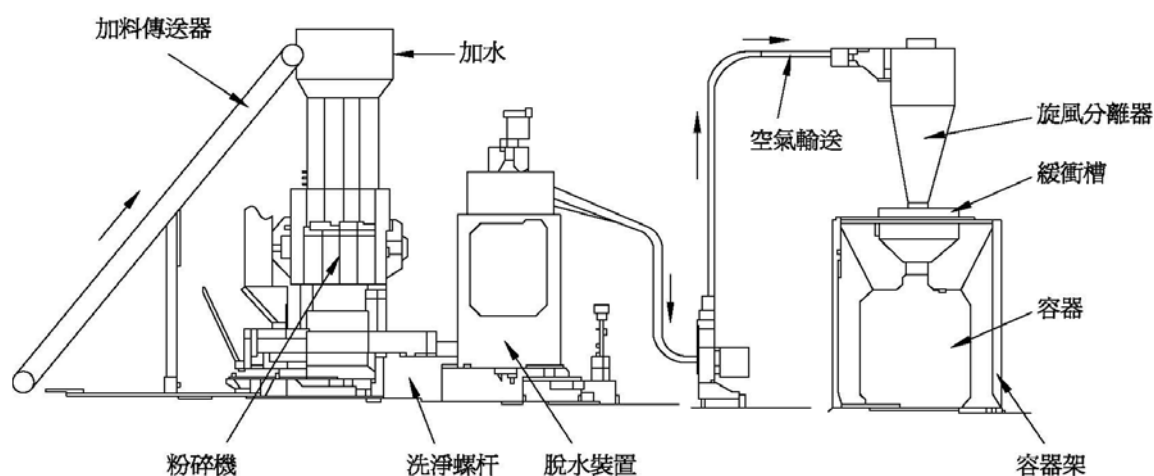
(2)溶劑選擇性回收分離

美國凱洛格公司和 Rensselaer 工學院共同開發了一種用溶劑將廢塑膠分類回收的技術，是將混雜的廢塑膠碎片加入特定溶劑中，溶劑可在不同溫度下選

擇性溶解。二甲苯最好的溶劑，用它分離不同的塑膠，僅需調節溫度即可，且在回收過程中幾乎無溶劑損失，目前已能分離 PVC、PS、聚丙烯（PP）、PET 等。

(3) 其他方法

目前適用於 PET 瓶的分離技術還有浮降分離法、光分離法、靜電分離法、減小尺寸分離法及熔點分離法等。



資料來源：PET 瓶回收應用進展，中國塑料，第 20 卷第 1 期，2006 年 1 月

圖 5.2-9 小規模廢寶特瓶再生碎瓶片流程

1. 案例概述

I 廠處理方法係將廢寶特瓶破碎分解成片狀包裝出售。

2. 處理流程與設備概要

廢寶特瓶處理流程示意如圖 5.2-10。製程單元功能說明如下：

A. 磅秤

每個投入之瓶磚須過磅實際重量，確實無誤後，讀取自動列印並登錄。磅秤須定期委託經濟部標準檢驗局校正。

B. 瓶磚輸送機

機體平面有 3 條鏈條，過磅後瓶磚由夾式堆高機放置於鏈條上，輸送至待開機處，同時放置 6 個瓶磚，手動控制將瓶磚送至開拆散瓶輸送機內。

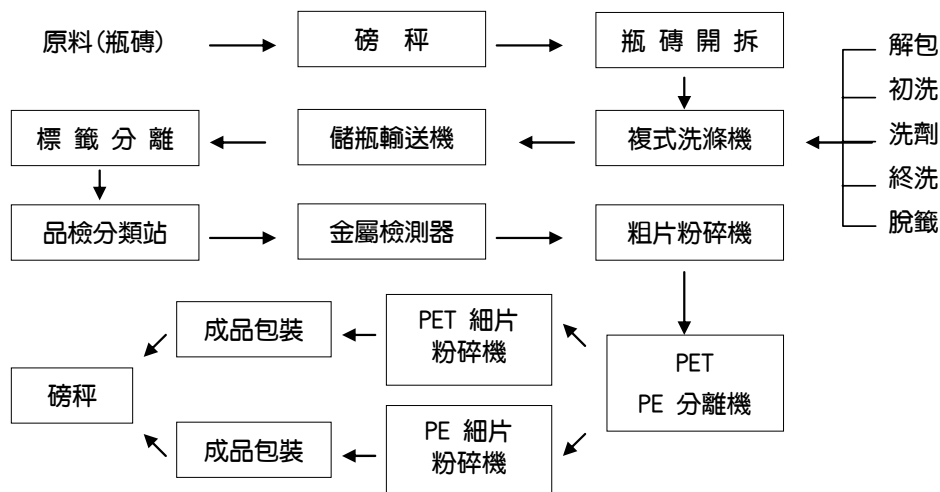


圖 5.2-10 廢寶特瓶處理流程

C.開拆散瓶輸送機

機體平面皮帶加攔板式，兩側加高擋板，手動控制，瓶磚定位後以氣動剪剪斷捆綁瓶磚鐵絲，擋板可避免因剪斷鐵絲後瓶子因應力外彈掉落地面及傷及操作人員。每次可操作 3~4 個瓶磚，放置本輸送機上等待送入洗滌機。

D.複式洗滌機

機體臥式滾筒狀容器，前有操作平台，平台上方有進料口，與開拆散瓶輸送機連接，下方有出料口與儲瓶輸送機連接，後面設有馬達保養平台，頂部設有進水口 3 個，底部設有排水口 1 個，每次可進料 3~4 個瓶磚約 900kg~1,200kg，洗滌時間 30 分鐘，進料、入水、排水、解包、脫籤、洗瓶為全自動控制。

E.儲瓶輸送機

機體平面為鏈條，皮帶攔板式，兩側加高擋板容量 15m³，以容納洗滌機每批次所清洗完之瓶子，再將瓶子輸送至吸標籤機內。

F.吸標籤機

機體由鏈條傳動平面為鐵條，下方有 2 組條狀吸入口，瓶子經過時標籤由吸入口送至標籤打包機內，瓶子由鏈條輸送至品檢輸送機皮帶上。

G.品檢分類站

機體為平面皮帶輸送，由品檢員品檢出：(a)非此批次生產之色瓶；(b)未脫落標籤；(c)未洗乾淨瓶身；(d)瓶身材質不是 PET、PE 者。經選別後由前方丟入口進入太空袋，再經人員處理。

H.金屬檢測器

品檢分類輸送線末端設置金屬檢測器，當內外含有金屬物體之瓶子通過時，金屬檢測器受感應品檢線即自動停止，待排除後按下復歸鈕，才繼續運行。品檢後瓶子則輸送至粗片粉碎機，檢出之瓶子則丟入前方入口進入太空袋後，再經人工處理。

I.粗片粉碎機

機體內有一組旋轉刀及一組固定刀，兩組刀具間僅有 0.15~0.20m/m 間隙，刀具組下方有一組 20m/m 濾網。當瓶子進入粉碎機時，就持續在兩組刀具間粉碎，直到碎片可通過網目即完成粉碎。碎片通過網目後掉進螺旋輸送機，送入 PET、PE 分離槽內。

J.PET、PE 分離槽

機體為長方型底部 U 型容器水槽，PET、PE 粗片料由螺旋輸送機壓入水槽底部，應用水比重原理將 PET、PE 分離，PET 粗片料由水槽底部螺旋輸送機送出後再進入脫水機，而 PE 粗片料浮於水面，經螺旋輸送機收集後輸送至 PE 細片粉碎機內粉碎。

K.脫水機

PET 粗片料由脫水機下方進入，用離心力原理去除水份，料由上方排出送入細片粉碎機內。

L.細片粉碎機

此設備功能與粗片粉碎機相同，只是把濾網改為 10m/m。

M.螺旋輸送機

經細片粉碎機粉碎後，PET 細片由此螺旋輸送機送入成品儲斗內，本設備可克服粉塵問題。

N.包裝

PET、PE 等細片分別送至所屬產品儲斗內，積存一定量即以太空袋包

裝成每袋約 600~700kg 重成品。

O.磅秤

每個太空袋須過磅實際重量無誤後，讀取自動列印並登錄，且太空袋上須書寫此袋製造流水號碼及重量。

3.操作維護管理

(1)操作及維護保養說明

本功能試車及正式運轉均編撰操作維護手冊，並請管理單位亦配合人員之甄選，以便在工程進行之同時參與各項機械設備之安裝，試運轉及正常操作之作業，所有人員之編制宜及早組成，並分與任務，以便完工驗收後及早運轉啟動及進入正常操作階段；在此期間一切機械設備之預備作業、協調、檢視、修正等均須依序進行；另外對人員編組、值班、操作、教育、訓練、現場操作訓練亦宜擬訂計畫，使運轉問題發生之可能性降至最低並達到處理設備預期處理成效，場區之安全防護措施，緊急應變計畫需依照正常操作程序實施，以使達到預期效果。

(2)操作維護手冊內容宜包括：

- A.設備內容及性能
- B.設備運轉操作程序說明
- C.試車操作記錄及維護手冊
- D.操作維護管理工作注意之細節及檢視項目
- E.設備異常處理措施及安全措施
- F.原製造廠商所提供之各項設備之操作維護資料
- G.機械設備名稱、型錄及製造廠商或代理商之名冊

4.經濟效益分析

廢寶特瓶處理設備是在以每年 10,000 公噸廢 PET 處理量的評量基準下，進行建廠的程序設計與成本估算，本套系統每小時產能最低 1,800 公斤，最大產能 2,400 公斤，每班每小時產量 1,800 公斤，每日以 7.5 小時計共 13.5 公噸，每月以 24 天計共 324 噸，三班全能生產每月產能 972 噸，最大產能共計 1,200 噸。該廠設備投資費用約為新台幣 5,200 萬元，操作成本每年約需 3,900 萬元。

根據現階段台灣地區的操作需求，以每年處理 10,000 公噸的 PET 為分析基準，而每年可生產 PET 與 PE 共 9,000 公噸。計算此工廠投資資金的回收年數 N 及投資報酬率 R 如下：

(1)資金的回收年數

$$N = C1 / (9,000X - 10,000Y - C2) \dots\dots\dots (5-1)$$

其中：

C1：固定投資費用；

C2：製造成本；

X：PET 與 PE 平均每公噸的價格；

Y：廢 PET 進料每公噸的價格。

圖 5.2-11 是根據式 (5-1) 對於不同產物和進料價格所計算資金回收年數的結果。由圖中的結果可看出，隨著產物價格的增加或進料成本的降低，資金回收的年數會隨之遞減。根據現有的分析基準，經濟效益分析的結果顯示，再生工廠的廢 PET 處理量以每年 10,000 噸左右的經濟規模最適宜。如當產物平均價格在新台幣 22,000 元/噸、進料廢 PET 的價格在 14,000 元/噸時，再生廢 PET 工廠的設備投資回收約需 2.5 年。

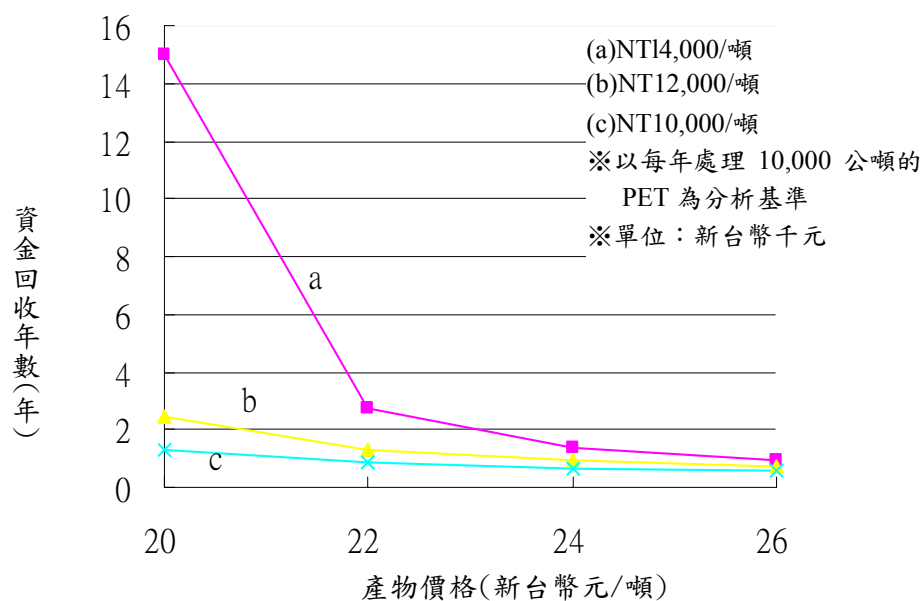


圖 5.2-11 資金回收年數與回收料、產物價格關係圖

(2)投資報酬率

投資效益除了可以資金回收年數為指標外也可以利用投資報酬率 R 估算。而 R 恰為 N 的倒數如下：

$$R=1/N=(9,000X-10,000Y-C2)/C1\cdots\cdots\cdots (5-2)$$

圖 5.2-12 是根據式 (5-2) 對於不同產物和進料價格所計算資金投資報酬率的結果。經濟效益分析的結果顯示，當產物的價格在新台幣 22,000 元/噸、進料廢 PET 的價格在 16,000 元/噸時，此再生工廠可達稅前損益平衡，當產物的價格在 24,000 元/噸、進料廢 PET 的價格在 16,000 元/噸時，此再生工廠稅前的年投資報酬率約為 33%。

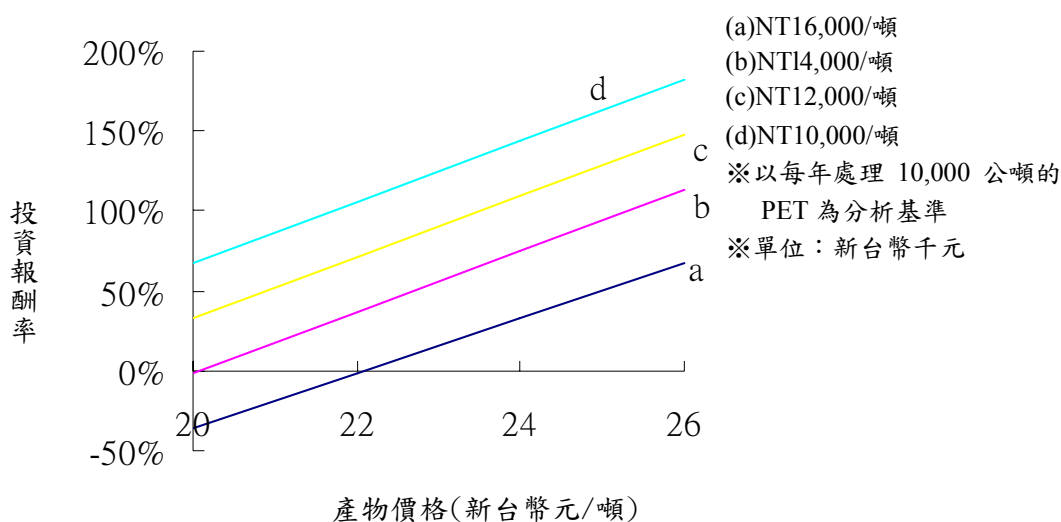


圖 5.2-12 投資報酬率與回收料、產物價格關係圖

5.小結

在寶特瓶回收之再生原料應用上，填充纖維是主要市場，目前台灣每年約需 1 萬公噸的填充纖維，用於睡袋、枕頭、玩具、雪衣的內層填充物。此外，拉鏈、綑綁帶、工程用塑膠、熱封膜片都可以採用回收的寶特瓶作為原料，但是應用在紡織領域比例並不高。

近年來由於 PET 瓶是在水果飲料瓶、瓶裝水及運動飲料中使用最多的塑膠包裝瓶，因此未來發展空間還是很大。建議可朝下列用途發展：

(1)回收 PET 直接使用

將回收料經熔融紡絲用作纖維填充料、地毯襯裏、棉絮和捆紮繩等。

(2)回收 PET 與新 PET 混用

將回收料依 20~25% 比例摻入新料，直接製作食品包裝用途以外之成型品。

(3)回收 PET 經固相縮聚後再使用

回收料通過固相縮聚可提高分子量，使其再次具備成型條件，可用於製作拉鏈、容器（用於包裝農藥、化學藥品等）、浴盆和裝飾板等。

(4)回收 PET 回收料與 PC 共混

回收料與 PC 共混並經過增粘和增韌處理後，可獲得與 ABS 性質相似的 PC/ PET 合金，因其能克服 PC 熔融粘度大、容易產生應力開裂以及不耐化學試劑之缺點，又可掩蓋 PET 結晶速度慢及製品容易翹曲的不足。因此，可被運用於製作面板、保險桿和引擎蓋等等汽車零件。

目前廢 PET 容器為環保署公告應回收項目，補貼費率已於 95 年 6 月 29 日公告調整為每公斤 5 元。

5.3 污泥減容案例

本章分為含銅污泥及氟化鈣污泥說明如下：

5.3.1 含銅污泥

1. 案例概述

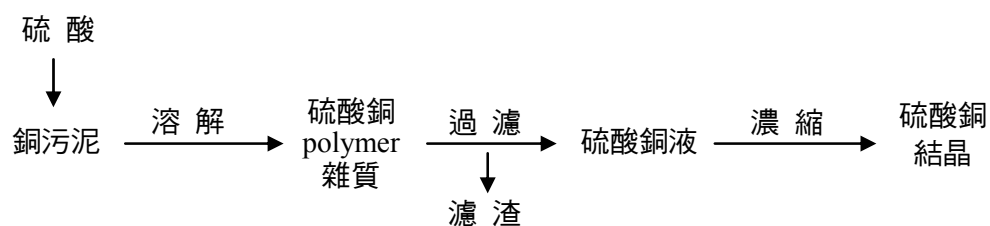
銅污泥係於製造電路板時，經酸性蝕刻液蝕刻及經鹼性溶液之中和，而產生的含氫氧化銅污泥，因此在製造電路板時有兩股廢棄物產生—為酸性蝕刻液及經水洗、中和而產生的銅污泥，其含銅量在 5% 以上。

對於這些酸性蝕刻液及銅污泥，台灣已有 6~7 家工廠在回收製造銅副產品，唯視其目的產物而可分成回收硫酸銅、氧化銅、電解銅、銅金屬及銅錠者。

2. 處理流程與設備概要

(1) 製造硫酸銅

進廠後的銅污泥一般含有水分約 50~70%，可直接置入塑膠製 2 立方米的桶槽中，加入濃度 30~40% 的硫酸，將銅污泥中的銅轉換成硫酸銅液，經壓濾機過濾去除 polymer 及雜質後，以加熱方式將濾液濃縮則可得含 5 個結晶水的硫酸銅。其流程如圖 5.3-1，所運用之設備包括：溶解槽、壓濾機及濃縮槽等等。



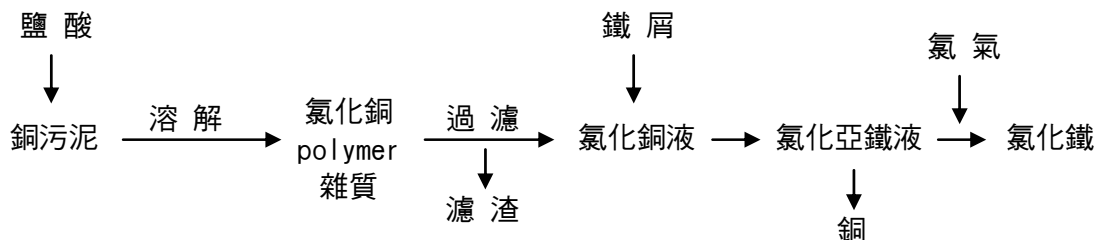
資料來源：資源化產業技術人才培訓班教材，經濟部工業局，2004 年

圖 5.3-1 硫酸銅製造流程

(2) 置換成銅箔或銅塊

銅污泥加入濃度 30% 的鹽酸使其溶解後，以壓濾機過濾去除 polymer 及雜質，然後於溶液中加入鐵屑，則氯化銅溶液之銅（因電位差之故）會被鐵所置換形成銅金屬析出。另外，溶液為含二價之氯化亞鐵，再通入氯氣，則氯化亞鐵形成三價氯化鐵，氯化鐵則可做為印刷電路板之蝕刻液使用或做為廢水處理之凝集劑代替 PAC 使用。其流程如圖 5.3-2，所運用之設備包括：

溶解槽、壓濾機、置換槽及過濾機等等。

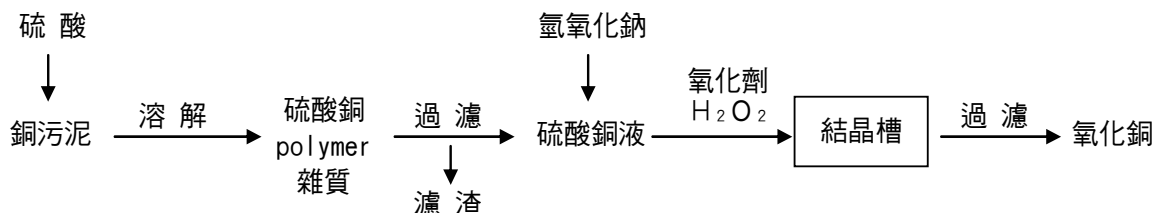


資料來源：半導體封裝業資源化應用技術手冊，經濟部工業局，2004 年 7 月

圖 5.3-2 銅箔或銅塊置換流程

(3)製造氧化銅

此方法是將銅污泥以酸（硫酸）溶解去除聚合物（polymer）及雜質，然後含銅液再加入氫氧化鈉使其再形成氫氧化銅，於反應槽中再加入過氧化氫或高錳酸鉀等氧化劑，則形成氧化銅及副產品 Na_2SO_3 ，可得氧化銅純度 40 % 以上之產物，其流程如圖 5.3-3，所運用之設備包括：溶解槽、過濾機、結晶槽及壓濾機等等。



資料來源：半導體封裝業資源化應用技術手冊，經濟部工業局，2004 年 7 月

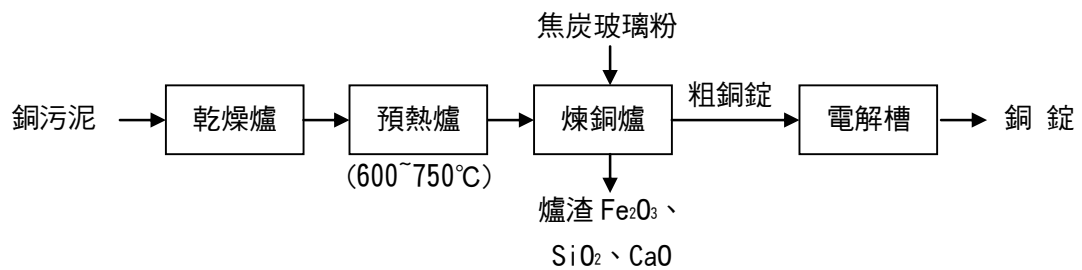
圖 5.3-3 氧化銅製造流程

(4)冶煉成銅錠

含銅污泥經乾燥後先以 $600\sim 750^{\circ}\text{C}$ 加熱使其形成氧化銅，然後再於 $1,300\sim 1,600^{\circ}\text{C}$ 以下經還原反應，使其形成金屬銅，然後再經電解則可得到純銅，其流程如圖 5.3-4，所運用之設備包括：高溫熔融爐、乾燥設備及耐火坩堝等。

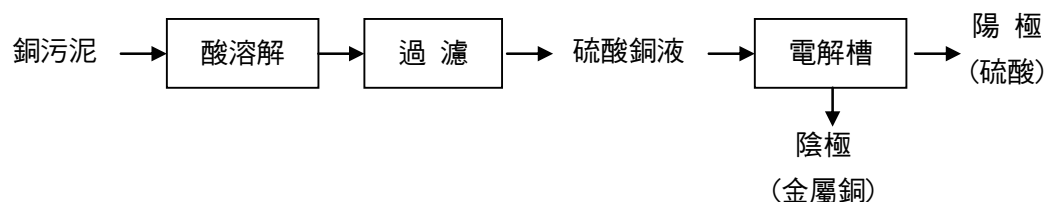
(5)電解法回收銅

銅污泥以硫酸溶解後過濾去除雜質及 polymer，濾液中含有硫酸銅，控制硫酸銅濃度置入電解槽中電解，則金屬銅會在陰極析出，而陽極會產生硫酸。其流程如圖 5.3-5，所運用之設備包括：溶解槽、壓濾機及電解槽等。



資料來源：半導體封裝業資源化應用技術手冊，經濟部工業局，2004 年 7 月

圖 5.3-4 銅錠冶煉流程



資料來源：資源化產業技術人才培訓班教材，經濟部工業局，2004 年

圖 5.3-5 電解法回收銅流程

3.操作維護管理

(1)製造硫酸銅

製造硫酸銅的程序與設備較簡單，所獲得的硫酸銅品質，需視原料來源而定，一般的設備只需酸溶解槽，壓濾機及濃縮槽就可。操作上需注意硫酸的使用，不可有濺出或潑出的行為，以免受傷。所有製造過程所使用的器具均需塗上耐酸漆或膜以防止被酸侵蝕有酸氣產生，需做防治設施。

(2)置換成銅箔或銅塊

程序與設備亦簡單，利用電位勢的原理可以把鐵將銅置換出來，所用的鐵棒以純鐵者為佳，操作時鐵棒慢慢會被氯化銅的銅所置換，而變成氯化亞鐵及銅金屬，將銅取出洗淨即可得純銅，而氯化亞鐵再經氯化可得氯化鐵，可再作為電路板蝕刻液用。所有製造過程所使用的容器均需使用耐酸者。有酸氣產生，需做防治設施。

(3)製造氧化銅

製造氧化銅其特點是在銅污泥中添加有錯合劑，可使氫氧化銅的銅污泥轉化成黑色的氧化銅，這種錯合劑推測是含有過氧化氫的氧化劑，操作時需要注意的事項是第一不可有溶液濺出，第二要使用具有耐酸性的容器或反應器，尾氣具有酸性，需有污染防治的設施。

(4)冶煉成銅錠

需使用高溫熔爐（1,400℃）及石墨質耐火坩堝，銅污泥在耐火坩堝中，並添加焦炭作為還原劑，則在高溫可使氫氧化銅還原成金屬銅，高溫熔爐需以高矽質耐火材料築成，耐火坩堝則使用石墨質者為佳，此種設備無法使用連續式是其缺點，耐火坩堝是消耗品，溫度的控制及在高溫環境下操作是較辛苦。

(5)電解法回收銅

由於銅污泥的組成主要為氫氧化銅，因此需以硫酸（鹽酸）先予溶解，再進行過濾以去除高分子凝結劑，所得到的濾液配成一定濃度後置入電解槽，以固定電流電解則可得到陰極有金屬銅及陽極產生硫酸的產物，電解法回收銅首先需注意電解液的濃度及電解時的電流強度。

4.經濟效益

(1)製造硫酸銅

製造硫酸銅固定投資與操作成本如表 5.3-1，由表中可知營收項目為 A.處理 1 噸銅污泥原廠可補助 3,000 元計；B.處理 1 噸銅污泥預計可回收硫酸銅 150 公斤計；C.硫酸銅每公斤售價 30 元計，則

成品收入：150 公斤×30 元/公斤×3 噸=13,500 元

原廠補助：3,000 元×3 噸=9,000 元

稅前獲利：22,500 元－8,500 元=14,000 元

表 5.3-1 製造硫酸銅經濟效益分析

固定投資	操作成本
廠地：	人工（3 人） 4,500
廠房：	水電 2,000
設備：	其它 2,000
溶解槽（塑膠） × 3 150,000	
壓濾機 × 1 300,000	
濃縮槽 × 1 500,000	
其它 500,000	
合計 1,450,000	合計 8,500

註：以每天處理 3 噸銅污泥計

(2)置換成銅箔或銅錠

置換成銅箔或銅錠固定投資與操作成本如表 5.3-2，由表中可知營收項目為 A.處理 1 噸銅污泥原廠可補助 3,000 元計；B.處理 1 噸銅污泥預計回收銅 38 公斤計；C.銅每公斤售價 100 元計，則

成品收入：38 公斤×100 元/公斤×2 噸=7,600 元

原廠補助：3,000 元×2 噸=6,000 元

稅前獲利：13,600 元－8,500 元=5,100 元

表 5.3-2 置換成銅箔或銅錠經濟效益分析

固定投資	操作成本
廠地：	人工（3 人） 4,500
廠房：	水電 2,000
設備：	其它 2,000
溶解槽（塑膠） × 3 150,000	
置換槽（塑膠） × 3 100,000	
壓濾機 × 1 500,000	
其它 500,000	
合計 1,250,000	合計 8,500

註：以每天處理 2 噸銅污泥計

(3)製造氧化銅

製造氧化銅固定投資與操作成本如表 5.3-3，由表中可知營收項目為 A.處理 1 噸銅污泥原廠可補助 3,000 元計；B.處理 1 噸銅污泥預計回收氧化銅 53 公斤計；C.氧化銅每公斤售價 40 元計，則

成品收入：53 公斤×40 元/公斤×2 噸=4,240 元

原廠補助：3,000 元×2 噸=6,000 元

稅前獲利：10,240 元－8,500 元=1,740 元

表 5.3-3 製造氧化銅經濟效益分析

固定投資		操作成本	
廠地：		人工（3 人）	4,500
廠房：		水電	2,000
設備：		其它	2,000
溶解槽 × 3	150,000		
壓濾機 × 1	500,000		
結晶槽 × 2	100,000		
其它	500,000		
合計	1,250,000	合計	8,500

註：以每天處理 2 噸銅污泥計

(4)冶煉成銅錠

冶煉成銅錠固定投資與操作成本如表 5.3-4，由表中可知營收項目為 A.處理 1 噸銅污泥原廠可補助 3,000 元計；B.處理 1 噸銅污泥預計回收銅 38 公斤計；C.銅錠每公斤售價 100 元計，則

成品收入：38 公斤×100 元/公斤×2 噸=7,600 元

原廠補助：3,000 元×2 噸=6,000 元

稅前獲利：13,600 元－11,500 元=2,100 元

表 5.3-4 冶煉成銅錠經濟效益分析

固定投資		操作成本	
廠地：		人工（3 人）	4,500
廠房：		水電	2,000
設備：		燃料費	2,000
高溫熔融爐（1,400℃）	1,500,000	耐火坩堝	1,000
乾燥設備	500,000	其它	2,000
其它	500,000		
合計	2,500,000	合計	11,500

註：以每天處理 2 噸銅污泥計

(5)電解法回收銅

電解法回收銅固定投資與操作成本如表 5.3-5，由表中可知營收項目為
A.處理 1 噸銅污泥原廠可補助 3,000 元計；B.處理 1 噸銅污泥預計回收銅 38 公斤計；C.銅錠每公斤售價 100 元計，則

成品收入：38 公斤×100 元/公斤×3 噸＝11,400 元

原廠補助：3,000 元×3 噸＝9,000 元

稅前獲利：20,400 元－13,500 元＝6,900 元

表 5.3-5 電解法回收銅經濟效益分析

固定投資		操作成本	
廠地：		人工（3 人）	4,500
廠房：		水電	5,000
設備：		電極	2,000
溶解槽	100,000	其它	2,000
壓濾機	500,000		
電解槽	1,000,000		
淨清槽	100,000		
其它	500,000		
合計	1,300,000	合計	13,500

註：以每天處理 3 噸銅污泥計

5. 小結

銅污泥是在製造印刷電路時，經酸溶解線路所得的溶液經中和、沈澱所得的含銅污泥。銅是有價物質，一般均以製造硫酸銅、氧化銅、電解銅及銅錠等方式回收，由銅污泥回收銅的工廠台灣約有 6~7 家，這些工廠主要的利潤還是需靠原產污泥廠的補助。

銅污泥中含有銅成分 5% 以上，國外如日本具有煉銅工廠，因此不像國內利用種種方法回收銅，日本把銅污泥視為銅礦的一種，直接將銅污泥置入冶煉爐中當原料提煉銅。

5.3.2 氟化鈣污泥

1. 案例概述

電子廠常以氟化氫清洗零件，清洗後的廢液一般均在廠內和其它生產線排出的廢水，如磨晶廢水混合就地以氟化鈣或石灰進行中和處理，氟化鈣／石灰和氟化氫作用即形成氟化鈣污泥，這種氟化鈣污泥視產生的各廠而別，其成分約在 25~66% 之間，此種污泥含水份約 50~70%，乾燥後即形成微粉狀，因此用途受限，每年約有 3,000~4,000 噸產生。氟化鈣污泥除主成分為氟化鈣外，尚有氫氧化鈣及二氧化矽，目前的處置方法是部分以太空袋裝後運往掩埋場掩埋處置，每噸約 6,000 元，部分做為水泥添加劑以及煉鋼時熔劑之用。

氟化鈣污泥隨各廠廢水處理方式的不同，成分亦有很大差異，如表 5.3-6：

表 5.3-6 氟化鈣污泥隨各廠廢水處理方式不同之差異

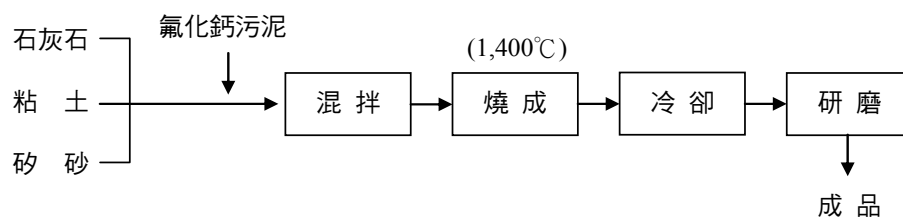
成分 公司	CaF ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	P
A	45.1	24.1	4.3	11.5	0.90	0.36	0.11
B	24.6	52.6	3.9	9.2	0.23	0.07	0.15
C	28.8	31.5	5.0	10.5	0.11	0.10	N.D
D	28.0	31.0	2.3	20.1	0.75	0.23	0.33
E	46.7	7.91	22.6	2.6	0.45	0.08	0.02
F	57.0	10.1	2.9	16.3	0.63	0.06	0.08
G	66.3	16.2	3.9	4.5	0.38	0.05	N.D
H	55.1	13.9	2.7	19.9	0.35	0.05	N.D
I	38.0	9.5	10.2	13.9	0.33	0.07	N.D

資料來源：氟化鈣污泥資源化計畫，工研院環安中心，1992 年

2.處理流程與設備概要

(1)做為水泥添加劑

氟化鈣污泥中的 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 均為水泥的主成分，但 CaF_2 卻可降低水泥燒成溫度，然而 CaF_2 中的 F 並不是水泥所需者，因此其使用量不宜超過總量的 5%，僅做添加劑使用，處理過程完全和製造水泥時相同。其流程如圖 5.3-6，所運到之設備包括：混拌機、旋轉窯、研磨機及包裝機等。

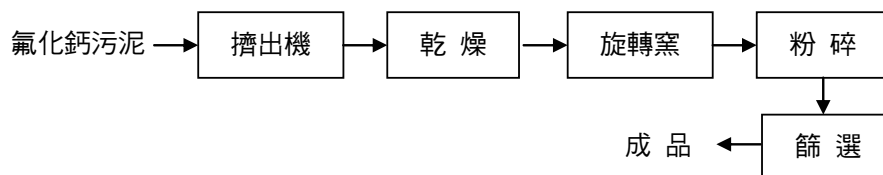


資料來源：氟化鈣污泥資源化計畫，工研院環安中心，1992 年

圖 5.3-6 做為水泥添加劑處理流程

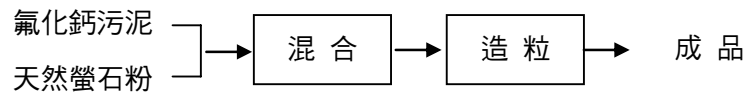
(2)煉鋼助熔劑使用

氟化鈣為良好的助熔劑，一般常用在煉鋼時做為降低溫度及去浮渣之用，台灣的中鋼公司（流程如圖 5.3-7）及其它回收鐵煉鋼廠（流程如圖 5.3-8）均有使用，唯氟化鈣污泥的 CaF_2 成分較天然螢石低，且乾燥後又呈粉末狀，因此使用時必需加工處理，其方式是先把氟化鈣污泥於 700°C 加熱，使其結成塊狀後再粉碎至所需尺寸 2~10 mm 即可，經製成 2 噸送中鋼實際應用證明可代替現行的螢石。中鋼公司所運用之設備包括：擠出機、烘乾機、旋轉窯、粉碎機及篩選機等；某廠煉鋼使用混拌機及造粒機等。



資料來源：氟化鈣污泥資源化計畫，工研院環安中心，1992 年

圖 5.3-7 中鋼使用煉鋼助熔劑流程



資料來源：氟化鈣污泥資源化計畫，工研院環安中心，1992 年

圖 5.3-8 某廠煉鋼使用煉鋼助熔劑流程

3.操作維護管理

(1)做為水泥添加劑使用

氟化鈣污泥質細而含有 50~70% 的水分，做為水泥添加劑時必需先予乾燥、粉碎後使用，形成操作上的困擾，另外污泥成分中 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 原就是水泥的成分， CaF_2 是當作助熔劑使用，因含有氟，使用量也不能多，一般在 5% 以下。

(2)煉鋼助熔劑使用

A.中鋼使用

中鋼使用螢石需為粒狀，粒度需求 2~10mm，而不含水分，因此必需先予 700℃ 煅燒後破碎篩選，製造過程較繁雜，也增加成本，經製作 2 噸送做試驗證實可行，唯無人投資而停止。

B.某廠煉鋼使用

台灣煉鋼廠除中鋼係由礦砂直接煉鋼外，其他煉鋼廠均由回收的廢鐵再提煉，因此使用的爐是轉爐，所使用的氟化鈣污泥無需煅燒，經與外加螢石混合，提高 CaF_2 成分後，造粒即可。唯需控制水分在 2~5%。

4.經濟效益分析

(1)做為水泥添加劑使用

做為水泥添加劑使用之固定投資與操作成本如表 5.3-7，由表中可知營收項目為 A.處理 1 噸氟化鈣污泥原廠補助 4,000 元計；B.水泥廠添加 1 噸氟化鈣污泥可增加水泥量 0.5 噸計；C.水泥售價每公斤 2 元計，則

成品收入：5 噸×2000 元/公斤=10,000 元

原廠補助：4,000 元×10 噸=40,000 元

獲利：10,000 元+40,000 元=50,000 元

表 5.3-7 做為水泥添加劑使用之經濟效益

固定投資	操作成本
廠地：(已有)	人工 (已有)
廠房：(已有)	水電 (已有)
設備：	其它
乾燥機 (已有)	
粉碎機 (已有)	
混拌機 (已有)	
旋轉窯 (已有)	

註：每天處理 10 噸氟化鈣污泥計

資料來源：氟化鈣污泥資源化計畫，工研院環安中心，1992 年

(2)煉鋼助熔劑使用

A.中鋼使用

做為煉鋼助熔劑使用之固定投資與操作成本如表 5.3-8，由表中可知營收項目為 A.處理 1 噸氟化鈣污泥原廠補助 4,000 元計；B.處理 1 噸氟化鈣污泥可回收氟化鈣 0.5 噸計；C.氟化鈣售價每噸 2,000 元計，則

成品收入：2,000 元/噸×5 噸=10,000 元

原廠補助：4,000 元×10 噸=40,000 元

獲利：50,000 元－17,500 元=32,500 元

B.某廠煉鋼使用

某廠煉鋼使用之固定投資與操作成本如表 5.3-9，由表中可知營收項目為 A.處理 1 噸氟化鈣污泥原廠補助 4,000 元計；B.氟化鈣售價每噸 2,000 元計，則

成品收入：2,000 元/噸×3 噸=6,000 元

原廠補助：4,000 元×3 噸=12,000 元

獲利：18,000 元－12,500 元=5,500 元

表 5.3-8 中鋼使用煉鋼助熔劑之經濟效益

固定投資		操作成本	
廠地：		人工（5 人）	7,500
廠房：		水電	5,000
設備：		燃料	3,000
擠出機	700,000	其它	2,000
烘乾機	300,000		
旋轉窯	10,000,000		
粉碎機	500,000		
篩選機	500,000		
其它	500,000		
合計	12,700,000	合計	17,500

註：以每天處理 10 噸氟化鈣污泥計

資料來源：氟化鈣污泥資源化計畫，工研院環安中心，1992 年

表 5.3-9 某廠煉鋼使用煉鋼助熔劑之經濟效益

固定投資		操作成本	
廠地：		人工（3 人）	4,500
廠房：		水電	3,000
設備：		燃料	3,000
混拌機	500,000	其它	2,000
造粒機	1,000,000		
其它	500,000		
合計	2,000,000	合計	12,500

註：以每天處理 3 噸氟化鈣污泥計

資料來源：氟化鈣污泥資源化計畫，工研院環安中心，1992 年

5.小結

氟化鈣污泥是積體電路廠於生產過程經氟化氫清洗經氟化鈣或石灰作用而產生者，由於各廠的廢水處理常會有其他股的排水流入，因此除氟化鈣成分外，尚其他的雜質混入，這種污泥台灣每年有 3,000~4,000 噸產生，經試驗證明氟化鈣純度雖在 28~66%，但可做為水泥製造原料及煉鋼助熔劑使用，目前則以供應水泥製造為主。

5.4 廢金屬減容案例

本節分為廢電線電纜及金屬廢料說明如下：

5.4.1 廢電線電纜

由於銅具有良好的導電性及延展性，因此製造電線電纜均以銅線作為導線，而為達到安全、可靠、經濟、耐用及美觀之目的，又依其用途在外層被覆必須的絕緣材料，如塑膠、橡膠、樹脂漆等。而少數採用鋁為導線之電線，一般均無外層被覆。電線電纜製造業主要生產裸銅線、漆包線、電子線、電力用電線及電纜及通訊用電線及電纜等製程，所涵蓋的商名品多達上百種。其中由事業單位更換之廢電線電纜主要為電力電纜及通訊電纜，依實地訪問大發工業區業者，此部分每年約 2~3 萬噸左右，由事業單位標售處理，另製程產生之不良品每年約 2~3 千噸，於廠內自行回收或標售處理。本節就國內廢電線電纜處理技術介紹回收案例如下。

1. 案例概述

J 廠成立於民國 79 年，以拆解、粉碎方式處理國內產生之電線電纜等。主要處理項目為廢電線電纜及含油脂之充膠廢電線電纜等。

2. 處理流程與設備概要

廢電線電纜及含油脂廢電線電纜之組成如表 5.4-1 所示，處理流程簡摘如圖 5.4-1，主要為剖線處理、粉碎分選及脫脂處理等 3 類，各別說明如下：

表 5.4-1 電線電纜及含油脂廢電線、電纜之組成

種 類 \ 成 分	電纜外皮 (%)	銅線外皮 (%)	銅 (%)	油脂 (%)
廢電線電纜	10~30	10~50	20~80	—
含油脂廢電線、電纜	18~22	10~15	45~63	3~5

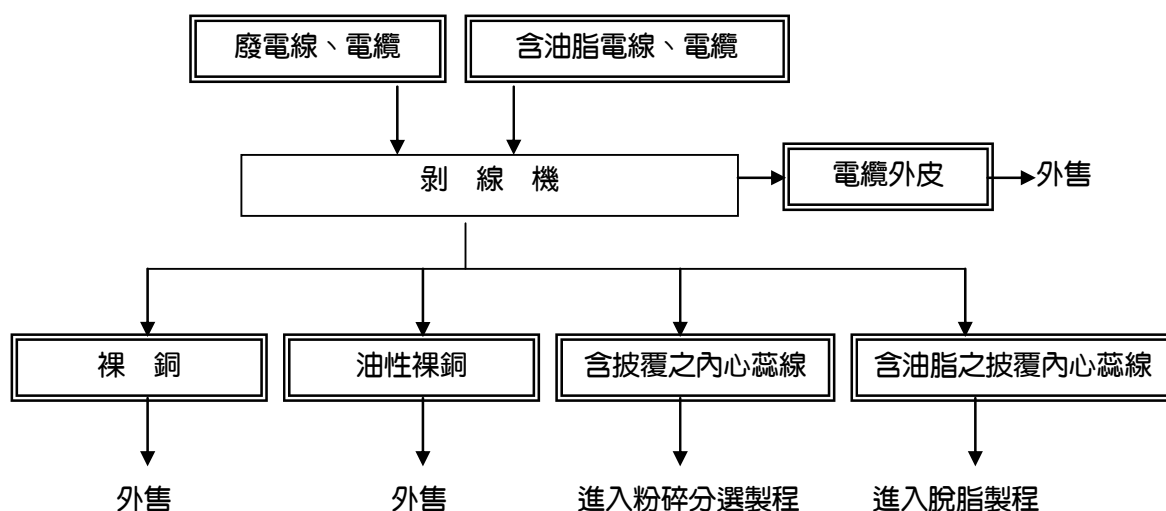


圖 5.4-1 廢電線電纜及含油脂廢電線電纜剝線處理流程簡摘

(1)含一般披覆材電線電纜

此項目菊花銅線、鋁絞線、鐵邊線等即為一般所謂不含油脂電纜電線。關於含一般披覆材電線電纜含銅約 20~90%、塑膠約 10~80%。處理流程如圖 5.4-2，相關處理單元如圖 5.4-3，處理後產品如圖 5.4-4，包含剝皮、剪裁、粉碎、篩選等步驟，說明如下：

A.剝皮

分類後先以剝皮機剝離成電纜外皮與電線，電纜外皮外售，而含一般披覆材之廢電線則進入下列粉碎分選步驟。

B.破碎（壓剪）

含一般披覆材之電線電纜先以人工控制方式，將電線以油壓式破碎機剪斷至每段在 10~20 公分之間，以提升後續處理能力，並降低直接送入粗粉碎機所產生之噪音量。

C.初步粉碎

以輸送帶送入粗粉碎機中，將廢電線電纜之規格降至每段 1 公分以下。

D.細步粉碎

經過前述粗粉碎後之電線電纜及塑膠部份，以輸送帶送入細粉碎機進行第二次及第三次粉碎後，所有金屬銅及塑膠可以完全分離。

E.風選震動篩分

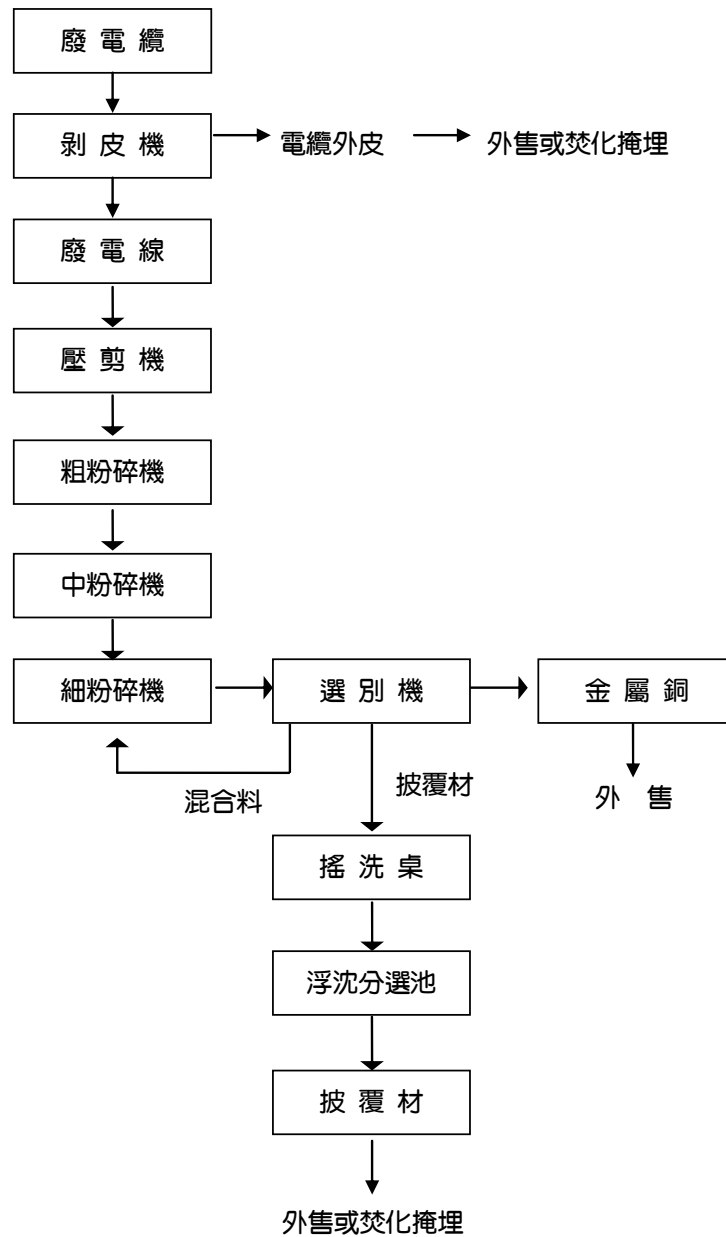
經由細粉碎機處理獲得之半成品，經由選別機進行分選。由於選別機是除運用震動分選外也輔以風選方式，因此可以將塑膠及金屬進行非常有效之分離，其中分離相當完全之金屬銅部份（金屬銅含量 99.5% 以上）將直接進行收集，夾雜金屬銅含量相當低之塑膠（金屬銅含量在 0.5% 以下）經由風送系統直接送入搖洗桌進行後續處理，混合料部份則送至圓形篩分機進行分選。

F. 震動篩分

為增加分選效率並減少能源之使用，經由前步驟所獲致之混合料，送回粉碎機進行再次粉碎分選時，會先將其送入震動篩分機中，藉由震動篩可以將部份金屬銅分離回收，至於未分離及塑膠之部份則送往細粉碎機進行再度粉碎。

G. 濕式篩分

為提升回收塑膠之品位及增加金屬銅回收率，經風選震動篩分後金屬含量相當低之塑膠及集塵設備收集之塑膠粒，經搖洗桌及浮沈分選池進行濕式篩分處理。經此步驟，除沾附於塑膠表面之灰塵、泥沙可以清除外，可直接獲得塑膠及二級銅，而過程所使用之水，也經由浮沈分選池之沉降作用後可循環使用。



資料來源：廢電線電纜處理技術分析，環境工程會刊，第 14 卷第 2 期，1993 年 6 月

圖 5.4-2 含一般披覆材之電線電纜處理流程



剖 線



裸 銅 線



電 纜 膠 皮



乾式篩分出銅



破碎進料



濕式篩分



乾式篩分出塑膠



浮選池回收塑膠

圖 5.4-3 廢電線電纜處理單元照片



粉碎銅產品



粉碎塑膠產品

圖 5.4-4 廢電線電纜處理後之產品照片

(2)含油脂電線電纜

含油脂電線電纜為使用於地下管路之電纜線，可分為電力用之含油脂電線電纜與電信用含油脂電線電纜兩類，分述如下：

A.電力用含油脂電線電纜

其構造主要由菊花銅線與外層電纜皮及前述兩者間充注之絕緣油所組成，其處理方式係以簡單之剝皮機或手工具分類拆解成單類金屬及塑膠膠披覆材，惟須注意剖線剝皮過程中，略具流動性之絕緣油的收集動作。

B.電信用含油脂電線電纜

俗稱充膠電纜，構造主要由直徑約 0.5~1mm 左右之銅線其外層被覆 0.2~0.5mm 厚之 PE 塑膠所成小電線數拾條捲為一捆，而後外層再以 PE 塑膠封裝成電纜線，為了促進此電纜線的防水性，以避免其使用於地下管路中因水份的浸溼而造成短路，在小電線與小電線及外層塑膠封層之孔隙注有石油蠟質絕緣油脂（俗稱石油膏）作絕緣保護。

電信用含油脂之電線電纜組成如表 5.4-2 所示，含有銅約 45~63%、油脂約 3~5%，PE 塑膠約 28~37%，其中油脂的成分分析如表 5.4-3 所示，為長鏈狀的飽和碳氫化合物，含有碳分約 85~87%，氫約 12~13%。此類石油蠟質油脂之特性，在常溫時為黏度甚大之膏狀物，融點為 106℃ 左右，閃火點為約 220℃，經色層分析顯示大都為碳數 30 以上之蠟質化合物。

表 5.4-2 電信用含油脂電線電纜之組成

項 目	含 量 (%)	備 註
油 線 外 皮	18~22	PE 材 質
油 脂	3~5	石 油 臘 質
銅 線 外 皮	10~15	PE 材 質
銅 線	45~63	—

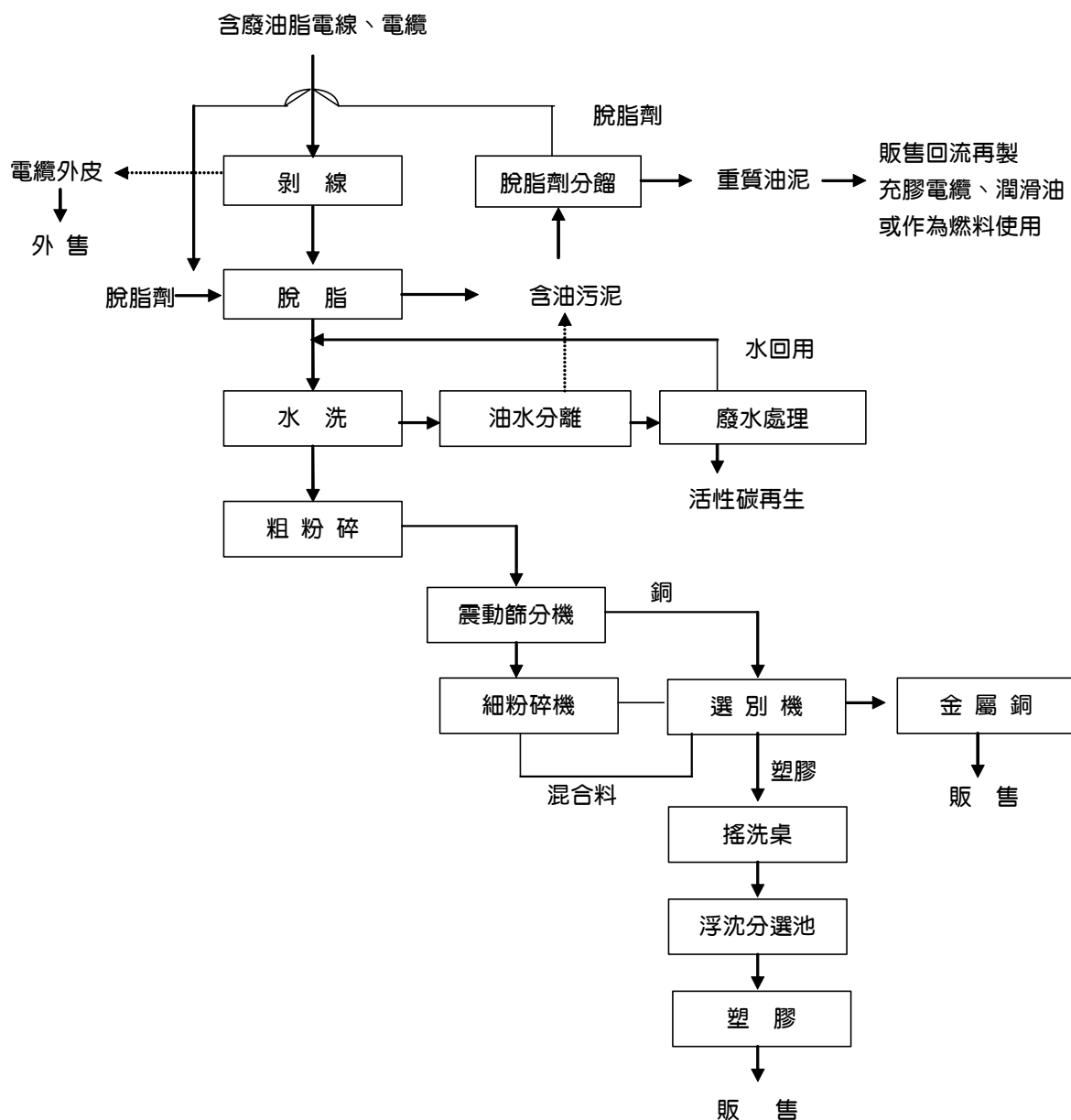
資料來源：廢電線電纜處理技術分析，環境工程會刊，第 14 卷第 2 期，
1993 年 6 月

表 5.4-3 電信用含油脂電線電纜中石油蠟質油脂組成

元 素	C (%)	H (%)	O (%)	S (%)	Cl (%)	N (%)	備 註
樣品 A	85.83	12.75	0.34	0.70	<0.0004	<0.01	石油蠟化合物
樣品 B	85.62	13.14	0.35	0.54	<0.0004	<0.01	石油蠟化合物
樣品 C	86.20	12.55	0.32	0.63	<0.0004	<0.01	石油蠟化合物

資料來源：廢電線電纜處理技術分析，環境工程會刊，第 14 卷第 2 期，1993 年 6 月

關於電信用含油脂之電線電纜處理流程如圖 5.4-5，首先將屬電纜者以剝皮機剝離成電纜外皮與含油脂之內蕊線，電纜外皮則視其材質之不同分別處理，例如屬 PE、PP、PVC 者可外售回收成塑膠粒原料，屬橡膠或紙材質則進入焚化爐或掩埋場最終處理。而對於含油脂之內蕊線處理技術為利用石油系乾洗油之脫脂溶劑洗淨沾附於內蕊線上之油脂，則此乾淨之含銅內蕊線可如同上述含一般披覆材之電線直接進行粉碎分選，回收銅與塑膠，油脂則可供販售回流再製充膠電纜、潤滑油或作為燃料使用。



資料來源：廢電線電纜處理技術分析，環境工程會刊，第 14 卷第 2 期，1993 年 6 月

圖 5.4-5 含油脂廢電線電纜脫脂粉碎處理流程

3.操作維護管理

該廠為物理處理流程，操作維護管理除定期隨時進行刀具更換與機具潤滑外，主要著重於空、水、廢、噪等二次污染防治，概述如下：

(1)空氣污染防治

- A.於易產生粉塵之設備（包括粉碎機與震動篩）上方安裝集塵罩。
- B.以旋風集塵器與袋式集塵器，將上述收集排氣管道氣體中之塑膠塵粒進行

回收處理。

C.已加裝差壓計定時觀測，將廢氣排放口置於半密閉區間，以期早期發現故障情事。

D.定期進行檢測以確保廢氣排放符合環保法規要求。

(2)噪音與振動防治

A.將高噪音量之震動機具以隔音室加以隔離，以降低噪音量。

B.將濕式震動機置於隔音室後方，運用遮蔽效應來降低傳至廠外之噪音量。

C.定期維修/檢查，使機械維持最佳狀態，以避免因機械異常所產生之噪音。

D.嚴格要求操作人員於粉碎系統操作時，戴耳罩並避免進入隔音室中。

E.定期進行監測，以確保噪音值符合環保法規要求。

(3)污水防治

A.運用污水/雨水分流設施，將污/雨水分別收集進入工業區系統。

B.廢水經由沉降池，將廢電纜線粉碎後之塑膠粉上沾附之少量金屬銅粉與灰泥加以沉澱後，循環回浮沈分選池，於歲修時排入污水收集管線。

C.廢水處理廠於每季不定期針對排放廢水進行抽樣檢測。

(4)廢棄物防治

在操作運轉期間會產生廢棄物者包括集塵器所收集之粉塵、一般事業廢棄物（紙屑、塑膠紙）及員工生活垃圾。由於廢棄物處理方式與廢棄物之認定有相當大之關係，對於一般事業廢棄物與有害事業廢棄物之處理方式迥然不同，因此在運轉期間對於廢棄物之管理，宜從廢棄物減量、廢棄物認定及廢棄物管理三方面進行，達到保護環境之目的。

在表 5.4-4 所列集塵器收集粉塵、一般事業廢棄物（紙屑、塑膠紙）及員工生活垃圾均委由合格之清除機構進行清除。

表 5.4-4 廢棄物處理方案

項目	事業廢棄物屬性	委託代廢棄物清除機構
集塵器收集粉塵	有害	有害廢棄物〔集塵灰〕進行暫貯存，至一定量後送交合法清除處理公司。
處理產生之一般事業廢棄物	一般	送交合法清除處理公司。
員工生活垃圾	一般	送交合法清除處理公司。

4.經濟效益分析

該廠日處理量 30 噸之處理廠，投資經費約為新台幣 5,500 萬元，投資經費概算說明如下：

(1)固定成本

A.設備費用

拆解、剝線單元	粉碎分選單元
天車（2 組） 100 萬	粉碎機（4 座） 200 萬
風壓機（2 台） 10 萬	分選機（3 台） 200 萬
剝線機（2 座） 25 萬	風選機（2 台） 60 萬
手工具（1 批） 30 萬	廢水處理設施（1 組） 150 萬
	廢氣處理設施（1 組） 100 萬
	管路、施工 125 萬
小計： 1,000 萬	

B.土地廠房 2,000 萬

C.開辦費用 500 萬

D.營運資金 1,000 萬

合 計 4,500 萬

(2)操作成本

A.人員配置

該廠需專業人員 13 人（含操作人員）、行政人員 3 人，合計 16 人，其中包括具甲級廢棄物處理執照之技術員 1 人，以符合申請甲級處理設施操作之必備條件。

另外配合勞工安全衛生法第十四條規定設乙員勞工安全衛生管理員，負責廠區之職業災害防止計畫，安全衛生管理執行事項、定期檢查—重點檢查，檢點及其他有關檢查督導事項，定期或不定期實施巡視，提供改善工作方法，擬定安全作業標準工作。

B.操作維護管理費

該廠年操作維護管理費分析如下：

a.人事費

技術人員 13 人 \times 35,000 元/人月 \times 14 人月=637 萬元/年

行政人員 3 人 \times 25,000 元/人月 \times 14 人月=105 萬元/年

小計 742 萬元/年

b.維護費

以處理設備（1,000 萬元）之 10% 估算 100 萬元/年

c.執行環保工作所需經費

（a）水質監測計畫： 5 萬元/年

（b）廢氣監測計畫： 5 萬元/年

（c）固體廢棄物處理（清除、處理） 80 萬元/年

（d）安全防護工作： 12 萬元/年

（e）緊急應變措施： 12 萬元/年

小計 114 萬元/年

C.勞工安全衛生執行費

2 萬元/月 \times 12 月 =24 萬元/年

D.合計 742 萬+100 萬+114 萬+24 萬= 980 萬/年

5. 小結

全球每年約有一半的銅是由電線電纜廢料而來，銅金屬的用途依其可再生利用性可區分為消散性用途（dissipative uses）及非消散性用途（nondissipative uses）2 種，銅金屬作消散性用途時或因分散使用（如用為飼料、殺菌劑等）原則上無法加以收集再生使用，非消散性用途如作為電線電纜、印刷電路板等導電材質、鑄件、管件等則為銅金屬再生之主要集中對象。一般而言，金屬之單一用途愈大則其再生比例愈高，自廢電線電纜中回收金屬即為明顯之實例。

5.4.2 金屬廢料

目前台灣在金屬廢料資源化方面，由於近年來原料價格不斷上揚，基本上已經接近全量回收資源化的程度，所有的金屬廢料，包括鐵、鋁、銅等基本金屬，均已形成完整的回收與資源化物流系統。以歐盟為例，各國二次熔煉產出的鋁，占全年鋁原料的供應比例已超過 50%。二次熔煉產出的鋁渣，與一次熔煉產出的鋁渣性質差異相當大。早期在處理一次熔煉產生的鋁渣上，最為廣泛應用的是 RSF（rotary salt furnace）技術，鋁渣在旋轉窯中與添加的鹽類加熱至鋁熔點以上的溫度，最後分離成金屬鋁與鹽渣（salt cake）。此種技術由於會產生含高濃度鹽分的廢棄物，近十幾年來已經逐漸被無鹽技術（salt-free process）取代。此類鹽渣的處理方式複雜程度高，且不適用於二次熔煉鋁渣的減容與資源化。

台灣地區廢鋁料的二次熔煉，目前多採用直接熔融方式，將廢鋁料直接於熔爐中加熱成鋁水，使氧化鋁自然形成渣相與鋁水分離，並形成抗氧化層，阻止鋁水繼續氧化，鋁水最後進行澆鑄製成鋁錠，供應下游廠商。至目前為止無論技術上或是物流通道上都已接近成熟階段，而在鋁渣的後續減容與資源化上，國內也已有成功的案例。廢鋁料二次熔煉產生的鋁渣為案例說明如下。

1. 案例概述

H 廠為廢鋁料二次熔煉產生的鋁渣處理廠。

2. 處理流程與設備概要

該廠的二次熔煉鋁渣處理技術分為：渣中金屬鋁回收、渣粉安定資源化以及鑄鑄鋁錠等 3 部分，簡易流程如圖 5.4-6。各操作單元介紹以下：

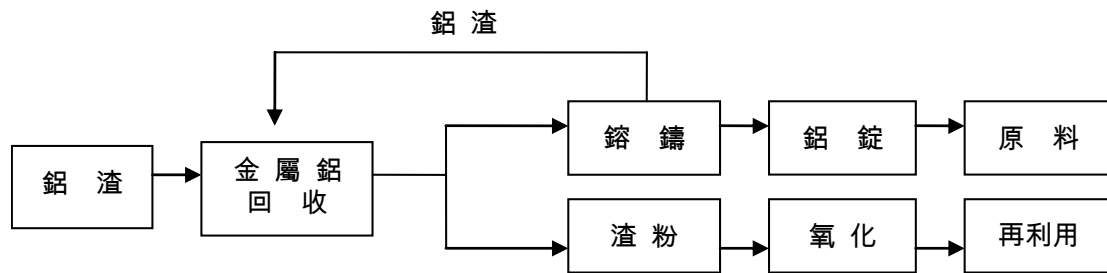


圖 5.4-6 二次熔煉鋁渣資源化廠簡易流程

(1) 鋁渣中金屬鋁回收

鋁渣中金屬鋁大多兩種不同形式存在：一為熔融不完全之金屬鋁塊，此種金屬多為大塊狀物，表面或多或少覆有氧化鋁層，大小則與熔鋁爐進料有關；另一種為微細金屬鋁粉，生成原因為渣相與鋁水分離不完全，鋁水液滴進入渣中後自然冷卻而形成，表面氧化鋁覆蓋率極低，大小由數至數十微米。

由於上述金屬鋁與其他渣相中之物質，並未形成複雜的共熔晶體或合金，因此在金屬鋁的回收如圖 5.4-7 所示，以機械物理方式即可進行，所利用的便是金屬鋁與氧化鋁粉末間粒徑大小之差異，主要技術包括單離、過篩與磁選，若欲提高產率與回收率，可以將單離-過篩先後順序加以調整，並採取多階段式操作，說明如下：

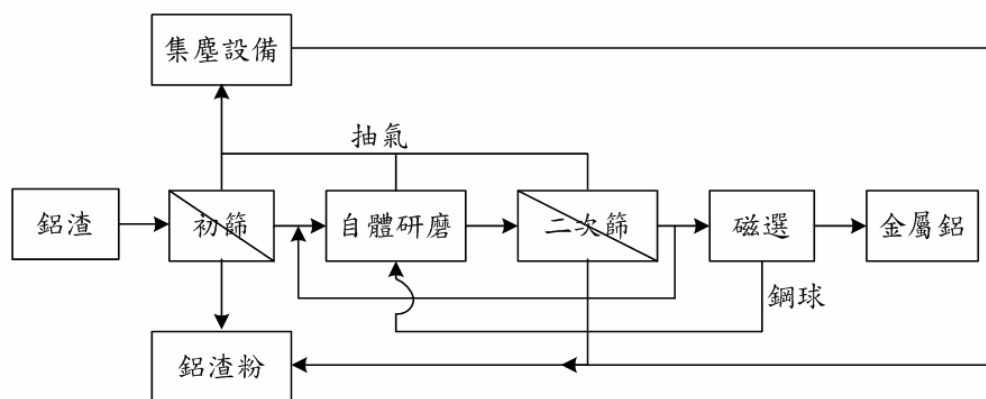


圖 5.4-7 自鋁渣中回收金屬鋁之處理流程

A 破碎單離

單離是指將聯生或是僅以簡單機械力結合之不同物質加以分離，因此通常在單離時，也多以簡單的機械方式進行。圖 5.4-8 為單離原理示意圖。

在鋁渣處理時，主要目的不在破碎，目的在於將金屬鋁與表面附著之氧化鋁加以分離。由於鋁渣中所含的為高韌度之金屬鋁與高硬度之氧化鋁（Mohr's 硬度 9），因此在單離步驟採用傳統研磨技術即可，但是為了避免造成不必要的破碎，故採用機械應力較小，可自由移動之球狀、棍狀、半圓錐狀研磨體（grinding body）之研磨機即可。圖 5.4-9 為德國 Hosokawa Alpine 公司 SO-CL-220/480 型大型水平管狀棒/球磨機，處理量依轉速約為每小時 2~10 噸。

單離後之氧化鋁為微細粉末，為防止篩網阻塞，降低處理效能，因此可使用無篩網之設備。由於破碎單離過程會產生大量粉塵，因此無論運輸或破碎設備均需配有抽排氣設施，並連接至除塵機組，以避免空氣污染的排放。圖 5.4-10 為德國 Gebr. Pfeiffer 公司配有抽排氣裝置之兩端進料、中央出料式滾桶式球磨機（10~200 噸/小時）。

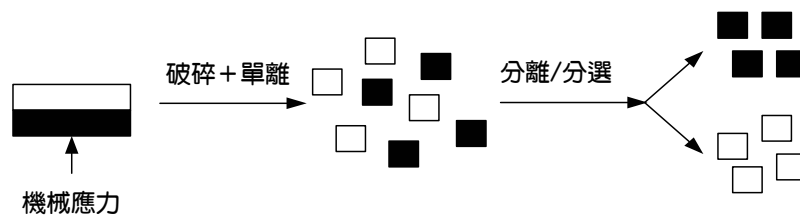


圖 5.4-8 以機械物理方式單離原理示意圖



圖 5.4-9 SO-CL-220/480 型大型水平管狀棒/球磨機實體圖

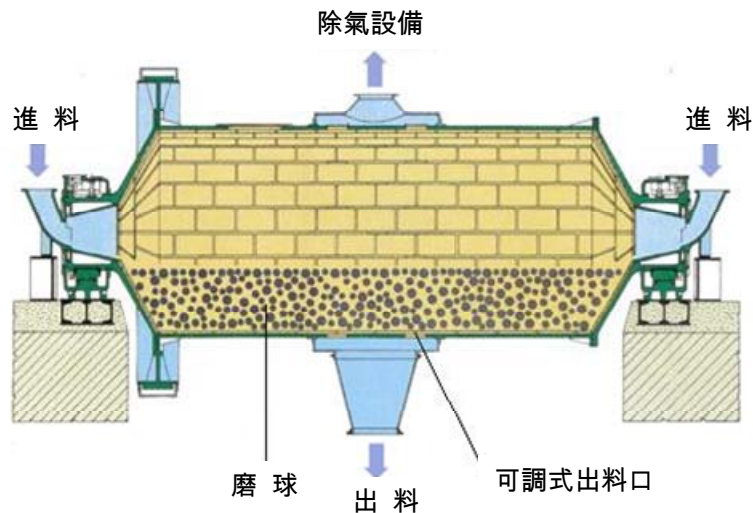


圖 5.4-10 水平管狀球磨機結構示意圖

B.過篩

單離後之氧化鋁多為粉末形式，因此可利用簡單過篩程序將金屬鋁選出。

C.磁選

過篩所得之金屬鋁中，含有自體研磨所加入之鋼質磨球，因此接下來可使用一般簡易型磁選設備進行分選。磁選機基本上可分為強磁場與弱磁場兩大類，由於鋼製磨球屬於鐵磁性物質，因此採用弱磁場磁選設備即可。經磁選後，磨球可回至破碎機繼續使用，非磁性金屬鋁則為產品。

(2)鋁渣粉安定資源化

在高溫熔煉過程中，金屬鋁由於高化學活性的緣故，除了會與空氣中的氧進行氧化反應外，在高於 900°C 的高溫下尚會產生高溫氮化反應，因此，經過上述流程中產出之二次熔煉鋁渣粉末中除了氧化鋁外，尚含有氮化鋁成分。氮化鋁具有些微壓電性，是一種良好的半導體與陶瓷材料。該廠以加溫與曝氣的方式，加速氮的揮發，以達到平衡偏移以及除氮除臭的效果，並且以價格低廉的工業級石灰作為水解劑。在水解反應除臭後，再經過固液分離、脫水、乾燥等程序，即獲得高氧化鋁含量的安定產品，可後續作為砂石替代品，或是其它陶瓷與建材原料之用。簡易流程如圖 5.4-11，此圖為批次式操作。為節省製程水的消耗，上述流程採用逆向流清洗，並將壓濾後產生的濾液回流，作為水解反應所需。

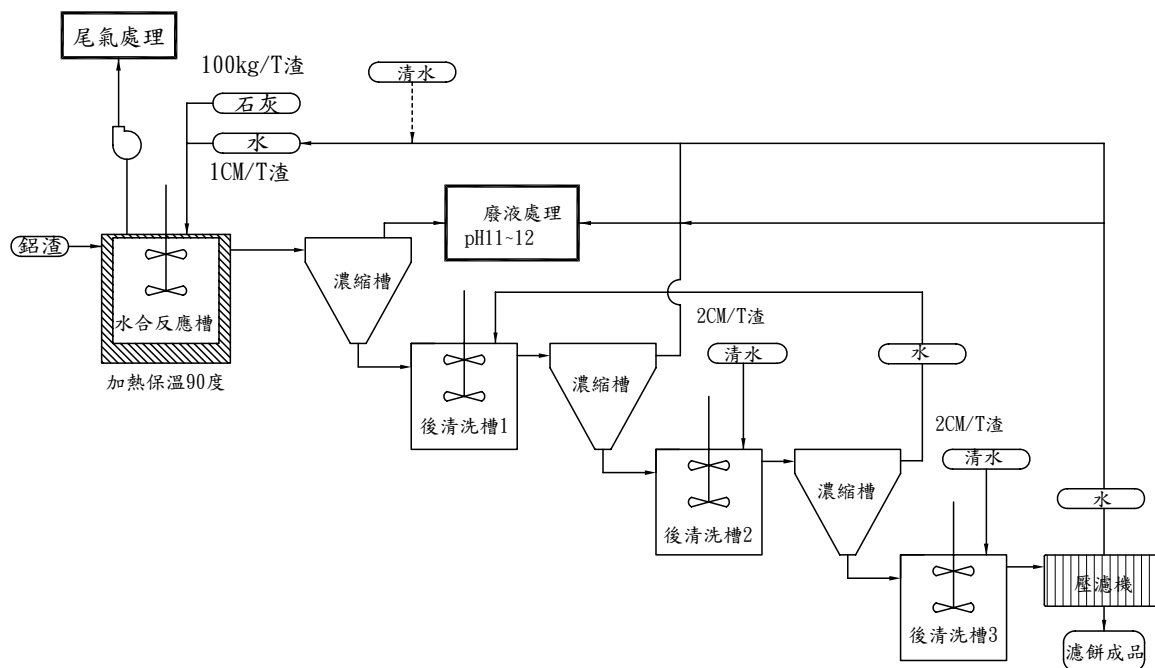
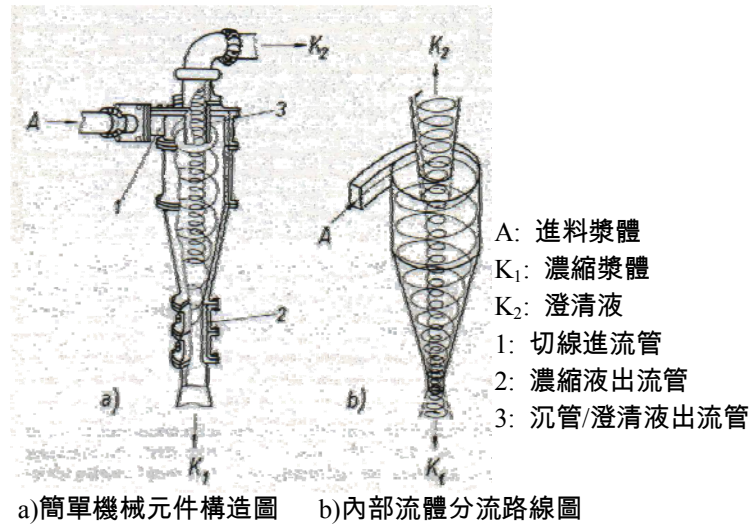


圖 5.4-11 含氮化鋁之氧化鋁渣粉安定資源化流程

當進料量大時，可以連續式操作進行水解反應，以提高處理量。在連續操作時，可以採用水力渦旋分離錐設備（hydro cyclone）作為水解反應容器。水力渦旋分離錐與氣相之渦旋分離原理與構造完全相同，構造與原理如圖 5.4-12 所示。水力渦旋分離錐本為去除流體中固體微粒而發展，但是由於流速高、固液接觸大，因此也可用於簡單的化學反應以及清洗之用。在設計時可以串聯進行多階段式，而以並聯提高處理量。以水力渦旋分離錐設備除臭流程如圖 5.4-13，經過此種水解除臭處理程序，氮去除率一般可達到 85% 以上，且可連帶去除渣粉中含有的氯成分。

(3) 金屬鋁鎔鑄

在較具規模的處理廠內，在成本與經費允許條件下，可將所獲得之金屬鋁繼續鎔鑄成為價值更高之鋁錠。此程序與技術，與一般廢鋁料二次熔煉相關技術與流程一致，因此不再詳加介紹。



資料來源: Aufbereitung fester Stoffe, 1996

圖 5.4-12 水力渦旋分離錐

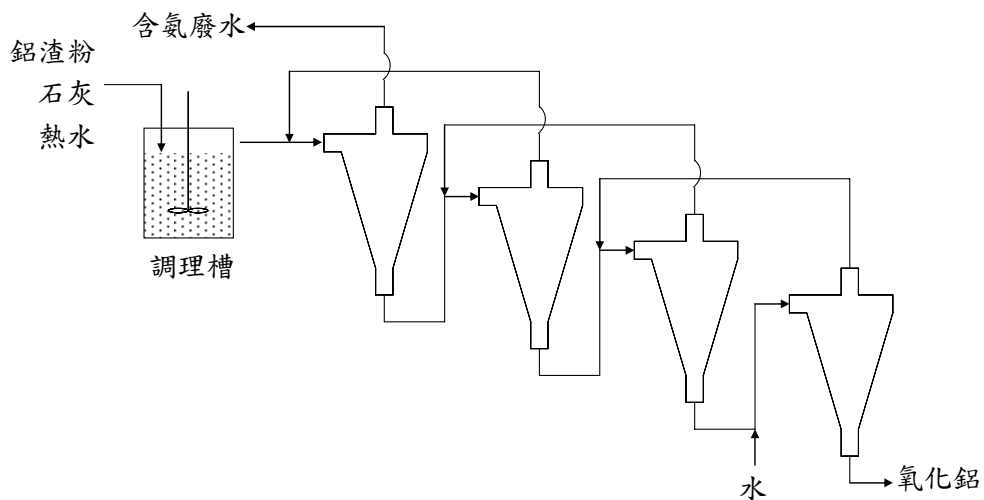


圖 5.4-13 以串聯式水力渦旋分離錐處理含氮化鋁之鋁渣粉流程

3. 操作維護管理

以下就金屬鋁回收與鋁渣粉除臭 2 部分說明操作維護上需注意之事項。

(1) 鋁渣中金屬鋁回收

金屬鋁回收是屬於乾式物理程序，各單元於操作維護上需注意：

A. 破碎分離

破碎單離時需注意機械應力與物料硬度間的配合，以避免細度粉碎研磨，而造成出料的困難與煙塵問題。所使用的磨球大小 d 也必須遠小於滾桶直徑 D ($d/D < 1/20$)，否則還需考慮研磨球體直徑對應力大小與離心速度造成的影響。由於磨球會隨著使用時間而耗損，因此需隨時視量補充添加或更換。

B. 過篩

由於鋁渣中所含之氧化鋁與氮化鋁均屬於微細粉體，使用剛性篩網容易造成網目阻塞，必要時須停機清理，因此可考慮使用具有自清功能的彈性篩。篩網網目大小的選擇，則須依據進料狀況以及設定之回收率而定。彈性篩操作頻率也會影響分級效率，最佳操作條件須以實際物料測試以確定之。

篩網與機件部分由於長期接觸高硬度之氧化鋁粉末，因此磨損狀況高，除了定期停機清理外，元件以及篩網更換也必須定期實施。

C. 磁選

進料宜使用震盪給料或類似設備，確保物料於輸送帶上呈單層分散，避免屏蔽效應，以達到最佳分選效果。

(2) 鋁渣粉安定資源化

以水解反應進行氮化鋁降解時，操作維護上注意事項如下：

A. 反應槽體

由於氧化鋁屬於高比重物質，因此攪拌反應時需注意驅動裝置馬力，以及攪拌軸機械強度。採用水相旋風離心設備時也宜挑選高硬度材質，減少磨損。

B. 反應進行

水解反應會產生大量氣體，在加料與攪拌時宜注意速度與曝氣的配合，以避免大量產氣泡。

C. 脫水

由於水相中溶有大量氨，在脫水不完全狀況下，乾燥後仍會在氧化鋁中殘留大量氨，臭味問題仍然存在，因此脫水後宜將固體含水量降至 70

%以下。

D.排氣

無論機械或濕式化學流程，均須配置抽排氣與集塵裝置，水解反應之產氣為氨氣，後端需設置尾氣洗滌設備，以防外漏。

4.經濟效益分析

該廠整廠經濟效益分述如下：

(1)初設成本

以年處理量為 12,000 噸之生產線，前段金屬鋁回收與鋁渣粉除臭所需設備計有連續式彈性篩分級機、滾桶式球磨機、弱磁場磁選機連進料設備、輸送裝置、攪拌反應槽、自動加藥進料裝置、板框式壓濾機、排氣曝氣用鼓風機、尾氣洗滌塔以及加壓幫浦，計約新台幣 5,000 萬元。後段鑄造程序所需設備計有 10 噸級預鑄反射爐、集塵設備、自動控溫裝置以及澆鑄設備等，計為新台幣 6,100 萬元。因此整廠初設成本約為新台幣 1 億 1 千 1 百萬元。

(2)操作維護費

每月操作費用包括水、電、鋼質磨球、石灰、燃料等；維護費用包括篩網更新、機械維修、爐體耐火材更換等；設備折舊以 5 年攤提計算約為新台幣 2,220 萬元。計每年總費用為新台幣 4,020 萬元。

(3)收益

以 12,000 噸年處理量與金屬鋁回收率為 20% 計算，收益部份包括鋁渣處理費每噸 1,000 元、鋁錠售價每噸 70,000 元，氧化鋁作為砂石替代品，售價與運費相互抵消，因此總營業額為每年 1 億 8 千萬元，扣除操作維護與機械折舊費用後，毛利約每年 1 億 3 千 9 百萬元。

5.小結

鋁渣含有大量金屬鋁，是屬於高附加價值的熔煉產業副產品之一，所介紹的案例為臺灣地區目前少數具有完整處理流程的業者之一，在技術成熟度與經濟效益上，均達到可行與獲利的程度，且可節省大量最終掩埋用地。

在回收金屬鋁流程上，目前產業界所採用的商轉技術已臻成熟，但是對於產出的含氮化鋁之氧化鋁渣粉安定資源化技術應用，先前一直遭到忽略，直到

最近才進入量產階段，可說是二次熔煉鋁渣邁向全量資源化的一大步。除了在經濟上可為業者獲取可觀的利益外，更可以大幅降低國內對進口鋁原料的仰賴，此外氧化鋁渣粉安定資源化技術的應用，也降低最終掩埋的需求，兼具經濟、資源、環境的永續經營。

5.5 灰渣減容案例

本節將介紹灰渣類廢棄物之減容案例，案例的選擇主要是以國內燃煤電廠之燃煤飛灰及電弧爐煉鋼廠之煉鋼集塵灰等 2 種灰渣類廢棄物為標的，就國內這兩種廢棄物處理之實廠操作案例，分別說明如下。

5.5.1 燃煤飛灰

隨著國內高度之經濟發展，能源需求大增，每年消耗的能源量已達 1 億公秉油當量，其中石油占 50% 左右、煤炭 33%、核能 8%、天然氣 7%、其餘為水力發電，由此可知煤炭為國內能源的主要來源之一。根據經濟部能源委員會的統計資料，民國 92 年的煤炭消費量達 5,400 萬公噸，其中 57% 用於台電的發電用煤、19% 用於工業汽電共生鍋爐、10% 左右用於鋼鐵業煉焦用途、4% 供為水泥業燃料使用，顯示出有高達 76% 的煤炭是燃燒發電用燃煤。

煤炭是由可提供熱值的碳氫化合物以及少部分礦物所組成，在燃燒過程中，碳氫化合物快速轉變為二氧化碳與水蒸氣，同時釋放出高熱供為發電用，而少數的礦物成分也在此高熱環境下成為氧化物，因此煤炭在燃燒之後，會剩下氧化物等灰成分以及少部分碳氫化合物未完全燃燒所形成的碳粒。據了解少部分較重質或顆粒較大的灰份，會沈降在燃燒鍋爐的底部，這些稱為底灰，而大部分輕質的灰份與未燃碳，會隨著煙氣流動，在煙氣排放之前，會被燃燒鍋爐配備之集塵器捕捉下來，即是所謂的燃煤飛灰（coal-fired fly ash）。

根據前述國內煤炭消費結構，除水泥與鋼鐵業外，台電與汽電共生鍋爐為發生燃煤飛灰的主要來源；目前台電每年產生飛灰約 160 萬公噸左右，依一般工業汽電共生鍋爐的煤炭使用比例，約為台電的 33%，估計汽電共生鍋爐產生燃煤飛灰有 50 萬公噸左右，因此國內燃煤飛灰的年產生量應差不多在 210 萬公噸左右。

燃煤飛灰是由氧化矽、氧化鋁、氧化鐵、氧化鈣、碳等成分，以及一些量少的鎂、鉀、鈉、鈦等氧化物所構成，除了未燃碳以及量少的部分氧化物，矽、鋁、鐵、鈣等氧化物的比例總共占有 70% 以上，由於這些氧化物相似於水泥的組成物，也具有波索蘭（pozzolan）特性，經過水合固化可形成堅硬的混凝土塊，如水泥凝固一般，因此燃煤飛灰可利用為水泥添加料或熟料使用，不過若含有較多的未燃碳或者鎂、鈉氧化物等成分，則會影響水泥製品之品質與性能。

為了再利用煤灰為水泥替代料時可以確保摻配煤灰之水泥製品的品質與性能，各國家標準局均有訂定有關煤灰再利用之標準規範，如表 5.5-1 所示。由於未燃碳是主要可燒失成分，因此通常以燒失量作為未燃碳含量的表示。由表 5.5-2

中所列出的燃煤飛灰組成，可知鎂、鈉等妨礙成分均可符合規範要求，但是飛灰的未燃碳含量有些多達 30%，會超過規範要求（例如國內標準中 C 級、F 級、N 級燃煤飛灰各須在 6%、6%、10% 以下）。因此燃煤飛灰雖可替代水泥作為預拌混凝土原料，但是若其未燃碳含量超過規範則不宜使用，需要進一步處理脫除。

在國際間，前蘇聯、大陸、美國、南非、英國等是燃煤飛灰產生量較大的國家，年產生量都達千萬公噸以上，由於產生量大，處理不易，資源化率明顯較低，僅在 1~36% 之間，粗估全球每年有達上億噸的燃煤飛灰未資源化，成為數量驚人的廢棄物。由於燃煤飛灰的組成顆粒十分微細，若不妥善處理，容易引發大規模的粉塵污染，因而是世界各國面臨的棘手問題。

表 5.5-1 飛灰作為混凝土添加料或水泥熟料之物化性質規範

國 家 規範項目	中華民國				美國 ASTM C618-80		日本
	CNS 3036			CNS 11271	C 級	F 級	JIS A6201
	C 級	F 級	N 級				
SiO ₂ %（最小值）				45			45
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ %（最小值）	50.0	70.0	70.0		50.0	70.0	70.0
CaO%（最大值）							6.0
MgO（最大值）	5.0	5.0	5.0		5.0	5.0	5.0
SO ₃ （最大值）	5.0	5.0	4.0		5.0	5.0	5.0
有效鹼（Na ₂ O 計）（最大值）	1.5	1.5	1.5		1.5	1.5	
燒失量%（最大值）	6.0	6.0	10.0	5	6.0	12.0	10.0
含水量%（最大值）	3.0	3.0	3.0	1	3.0	3.0	3.0

資料來源：1. 燃煤飛灰資源化之研究，國立成功大學資源工程學系碩士論文，1999 年
 2. CNS3036 混凝土用飛灰及天然或煅燒卜作嵐攪和物，經濟部標準檢驗局，1993 年

表 5.5-2 煤灰之化學組成

樣品編號	CS1	CS2	SD
物理性質			
外觀顏色	淺黑色	深黑色	褐色
中位粒徑 (μm)	22.5	51.7	29.3
密度 (g/cm^3)	2.20	2.07	2.42
化學組成與性質			
SiO ₂	44.4	34.0	51.8
Al ₂ O ₃	18.6	14.9	19.2
Fe ₂ O ₃	2.2	8.6	6.1
CaO	0.7	3.4	3.3
MgO	0.6	0.4	1.8
Na ₂ O	1.3	1.1	1.4
K ₂ O	0.7	0.5	0.8
TiO ₂	0.4	1.0	1.1
SO ₃	0.8	0.1	0.5
C	23.3	31.2	6.7
燒失量 (%)	24.5	33.4	7.4
pH 值	8.1	8.5	9.5

資料來源：燃煤飛灰資源化之研究，國立成功大學資源工程學系
碩士論文，1999 年

在國內方面，台電公司的火力發電為主要的煤灰發生源，目前其處置方式是將燃煤飛灰開放給水泥相關業者競標，作為水泥添加料等用途使用，不過視未燃碳含量多寡而煤灰品質不一，整體資源化率僅約 60% 左右，每年還剩下燃煤飛灰約 64 萬公噸，有些是廢棄物處置，有些則是投入水泥窯當成生料；但是不論是廢棄物處置或是投入水泥窯當生料，皆因將原本可作為水泥使用的大量灰分一併處理，導致資源浪費，處理效率不佳。

至於台電之外，其他汽電共生廠發生燃煤飛灰的處置現況，有些較佳處置是交由本案例廠進行分選，分選出水泥成分品質極佳且穩定，碳含量在 1% 以下，可大量添加在水泥中使用，無混凝土品質變差的疑慮。目前交由該廠處理之煤灰每年約千公噸左右，其餘大部分汽電共生廠的煤灰則是交由水泥預拌廠，將燃煤飛灰以少量混入預拌混凝土的方式處置，由於未燃碳比重不同於水泥成分，會從水泥漿內析出發生上浮現象，導致固化後在混凝土局部或表面處有大量碳的累積，造成該處混凝土抗壓強度極差，連帶影響營建工程的品質。此外，近年來隨

著環保意識抬頭，空氣污染防治要求提高，火力發電低硫、低氮的排氣要求，已是各國環保法規實施的重點，也因此近年來 low-NO_x 設計的燃煤鍋爐逐漸成為主流。此種鍋爐在使用時，所生成飛灰含碳量較多，可預期未燃碳的發生量將會增加，將來會有更多高碳煤灰產生，因此目前勉強將未除碳煤灰混入水泥作為添加料的作法，恐會引發更多營建問題，因此迫切需要落實煤灰脫碳處理工作，改善大量待處理煤灰逐年累積的處理難題。

煤灰在成為資源化產品前，必先去除其中所含碳成分，以下就主要的脫碳分選技術與現況說明如下：

1.再燃燒法

此法為美國電力研究院（EPRI）所研發，將飛灰導入 425~700℃ 的燃燒流體化床，將未燃碳燒掉，可將煤灰碳含量降低至 6% 以下。但是此技術需提供相當多的能量才能將未燃碳氧化，有處理成本較高、經濟效益差、未燃碳無法再利用等缺點。

2.靜電分選法

利用未燃碳粒與氧化物粒相互摩擦後，使顆粒表面分別產生電性相反的靜電，在通過帶有一組正負電的帶電極板時，藉由同性相斥、異性相吸原理而使碳粒與氧化物粒分開。美國 STI 公司（Separation Technologies, Inc.）利用此法開發出商業化之處理技術，將碳含量為 6~25% 之飛灰，分選出含碳量降低到 3% 以下的氧化物部分、以及含碳量 15~60% 的碳富集部分。靜電法適合處理粒度在 100 微米到 4 毫米的較粗顆粒，對於粒度有 90% 在 100 微米以下的煤灰而言，此法的效果有一定程度以上的使用限制，而從上述含碳量 15~60% 的碳富集部分得知，此碳富集部分受到限制，再行多次靜電精選也難以有效提高碳含量，因此會留下含碳量 15~60% 的尾礦，需另外委由其他方法處理。

3.浮選法

利用煤灰組成顆粒表面不同的特性，未燃碳粒表面具有疏水性，氧化物顆粒表面具有親水性，在水中疏水顆粒會附著空氣泡，而親水顆粒會完全潤濕等現象，而結合選礦方法中既有的浮選技術，發展出煤灰浮選方法，主要是將煤灰分散在水中，再使水中產生大量氣泡，隨氣泡上浮將疏水的未燃碳粒帶出，親水的氧化物維持在水中，達到分選效果。以燃料油為溶劑，添加 4.1kg/T 時，可將煤灰含碳量由原本 6.8% 降低至 1.8%，達到水泥再利用標準。比較靜電技

術，浮選技術適合粒度在數微米到數百微米的範圍，浮出的碳富集部分可經過重複多次浮選步驟，再提高碳含量。但是由於未燃碳目前尚無資源回收之經濟誘因，所以現有浮選廠對於碳富集部分沒再進一步精選未燃碳。

綜上所述，再燃燒法之經濟效益顯然不高，且讓已經燃燒過之未燃碳再一次高溫處理，原先已吸附於未燃碳之空氣污染物質再一次釋放至廢氣中，然後再一次地被後續之空氣污染防制設備收集下來，似乎並不是經濟及環保之再利用方式。靜電分選法及浮選法能將灰份與碳分選後分別再利用，灰分可以成為很好的水泥替代料，碳可以再活化後作為廢水及廢氣之吸附材料使用，均可得到較高之再利用價值。

本案例廠即採用浮選技術進行未燃碳分選，處理規模約每月 2,000 噸左右，可生產碳含量在 1% 以下的水泥產品，以及碳含量在 50% 左右之副產物。案例說明如下：

1. 案例概述

I 廠自民國 87 年 7 月創立於高雄縣大發工業區，營業項目為：飛灰浮選機械設備、分離飛灰裡面優質矽灰機械設備、分離飛灰裡面未完全燃燒的精碳機械設備、分離電廠底灰精碳設備、分離電廠底灰細質灰等設備組立、及加工處理等業務。有鑑於現今之電廠燃燒煤碳所產生的底灰及飛灰之含碳量過高，及響應政府推行資源再利用的環保趨勢下，積極投入飛灰、底灰和未完全燃燒碳的處理及再利用，而現今的標準已能符合營建署的法規。

2. 處理流程與設備概要

該廠為目前國內唯一從事煤灰分選的公司，每年約處理 2.4 萬公噸煤灰，屬於中小規模的處理廠，此外尚未有其他煤灰分選廠。該廠之燃煤飛灰資源化分選流程如圖 5.5-1 所示，流程說明如下：

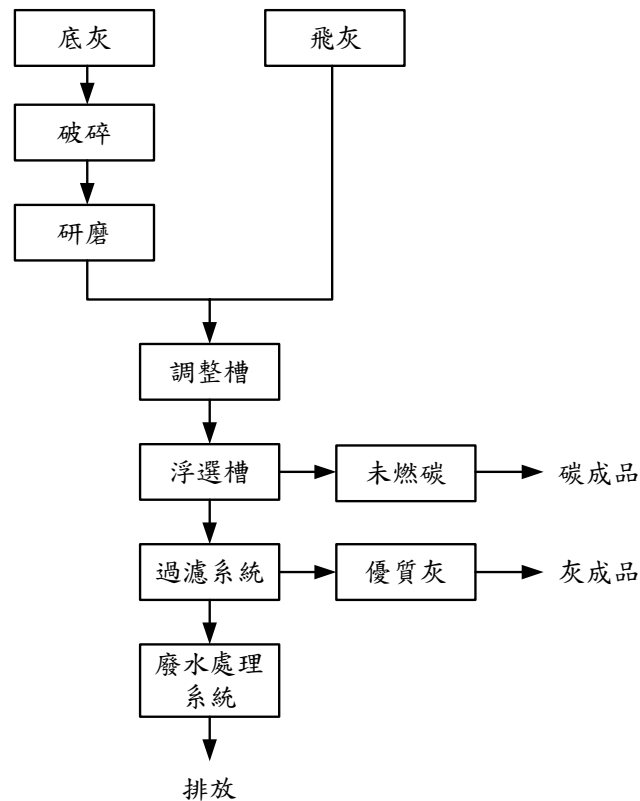


圖 5.5-1 燃煤飛灰資源化分選流程

(1) 破碎

主要作為底灰進廠進行浮選分離前之前處理，主要是將結渣在一起之底灰部份先予以破壞，以方便進入後續之研磨設備中進行研磨。

(2) 研磨

浮選最適合之粒徑為數微米到數百微米，而底灰未研磨前可能粒徑太大，所以需在破碎後再進一步研磨，使其研磨後粒徑落在適合浮選之範圍內，以方便浮選作業。

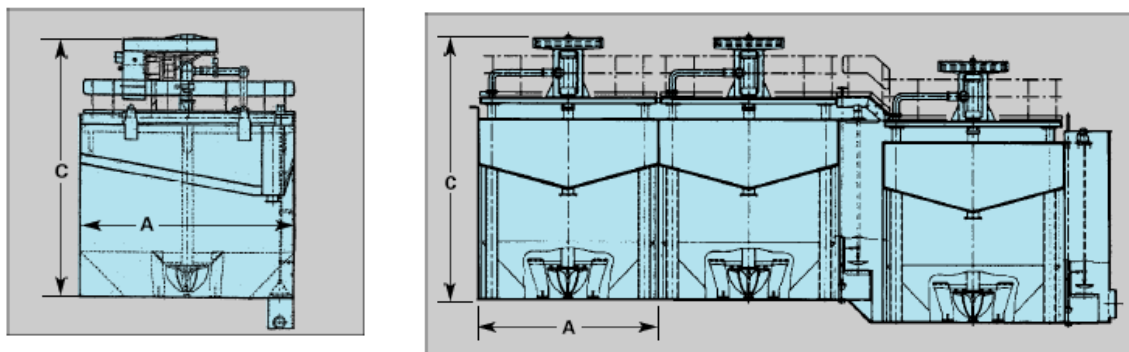
(3) 調整

浮選操作最重要的步驟為添加浮選藥劑，溶劑、活化劑、起泡劑等均在泡沫浮選作業前添加，並使各藥劑能與礦漿充份混合均勻，以利後續之浮選操作。這個階段又可稱為擦洗步驟，是藉由加入一些分散劑，促使漿體中固體微粒能完全分散。這個步驟在天然礦物浮選上有時可省略，但是在處理廢棄物時卻為必要，這是因為廢棄物微粒間經常混有如油脂或其他膠結性雜

質，使得微粒在漿化過程中無法完全分散，大幅降低後續浮選的回收率與純度。所加入分散劑大多為酸或鹼。調理時須特別注意 pH 值的變化，以確保位於各種輔助藥劑的最佳吸附條件範圍內。

(4) 浮選

浮選作業通常是多段式，分為粗選、再選及精選等不同階段，浮選之產物分為浮上物及浮下物，並且分別進行固液分離程序。該廠之浮選槽設備如圖 5.5-2 所示。這種設備是以壓力空氣以及機械式攪拌為主，為了達到最佳氣泡－漿體混合效果，壓力空氣管設置於攪拌軸內，開口位於攪拌軸底部，攪拌器則包含轉子與固定子兩部份，轉子葉片高速旋轉時會與固定子間造成高度紊流區（雷諾數 $>10^6$ ），當氣泡離開管路時便受到攪拌葉片的打擊以及高流體動力作用，而產生更小的氣泡。這種曝氣-攪拌單元通常會配合底部漿體進流設備，漿體入口會設於攪拌器正下方，或是直接注入軸中壓力空氣管內。



機械攪拌式浮選設備，Dorr-Oliver 公司 DO 系列

圖 5.5-2 機械攪拌式浮選設備示意圖

轉子與固定子的設計式樣相當多。而槽體本身也有多種不同設計，包括矩形槽、筒型槽，而槽底也有平底、切角平底、圓底、多邊形、小角度尖底與大角度尖底等不同設計。該廠使用之大型工業用浮選設備則較複雜，且為多槽串聯設計，因此在槽與槽間漿體流動的順暢性，以及各階段泡沫刮除均為設計及操作的重點。在該廠應用浮選技術進行煤灰及未燃碳分選時，均是以連續式操作為優先考量。由於單一浮選槽的分選效果必有其極限，為了提高處理產品的純度與回收率，均以多槽串聯式設計，以階段式提高的方式，

一方面避免單一槽體停留時間過長負荷量過高，另一方面也可提高整體浮選的效能，圖 5.5-3 即為單一浮選單元的簡易流程圖與槽體配置示意圖。串聯槽體間若以物流配置來區別，可分為前浮選、純化浮選及後浮選等階段，說明如下：

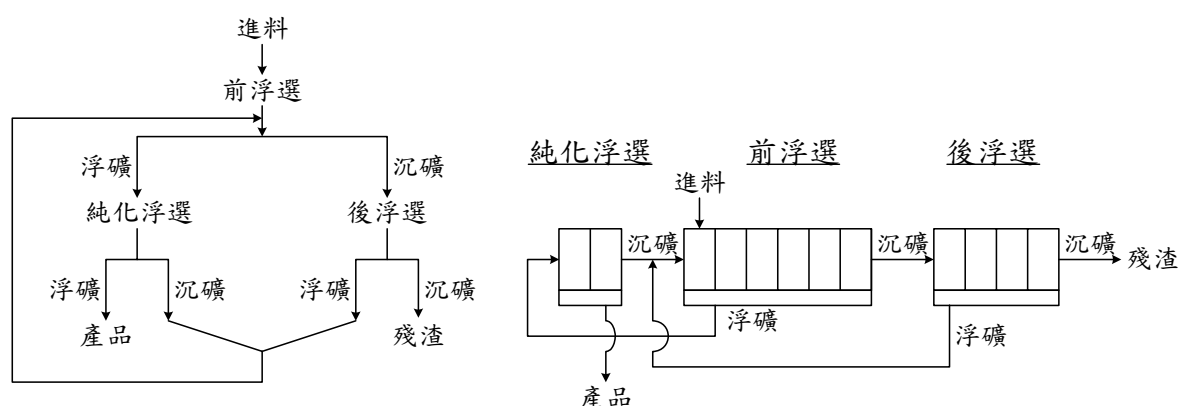


圖 5.5-3 浮選流程及槽體配置示意圖

A. 前浮選

前浮選（primary flotation）是為漿體進料後的第一段，此階段的主要目的是儘可能將進料中的有價物質全數浮出，因此本階段的要求是浮礦產率與回收率高，也稱為粗選（roughing），但是因為在儘量收集有價物質的同時，也連帶會夾雜許多其他物質，因此在這一階段的產物純度通常很低。

B. 純化浮選

前浮選產出的浮礦在這一階段進行純化浮選（purification flotation），主要目的就是將夾帶的雜質與有價物質進一步分離，以提高產品純度，也稱為精選（cleaning）。此階段的槽數設定，需視物料特性、選擇性高低以及純度要求而定。

C. 後浮選

理想狀況下，粗選產生的沉礦應該僅含有不需要的殘渣，但在實際操作時，沉礦通常還夾帶一定比例的有價物質，因此後浮選（post flotation）的目的即在將這些加以回收，以提高整體回收率，也稱為掃選（scavenging）。

(5) 濃縮及過濾

固液分離的作業可以分為濃集固體及過濾分離等 2 部份，過濾程序是採用真空過濾設備。

(6)乾燥

過濾後之灰份因仍有水份，須進一步將其中之含水量降低，才能成為灰份成品，所以要再經過烘乾機進一步除水份。

3.操作維護管理

該廠的主要工作為浮選煤灰，所以操作作業也是以濕式程序為主，可能的各種環境污染及操作維護管理，說明如下：

(1)空氣

可能的空氣污染物為燃煤飛灰之料堆及破碎系統等之逸散性粒狀污染物，這些逸散性污染物須加強物料管理及操作管理，以減少粒狀污染物之逸散量。煤灰進場堆置時間不宜過久，宜妥善管理控制，依作業排程進入處理系統中，成品烘乾後儘速裝袋外運。

(2)廢水

大多數之廢水，特別是浮選的用水，經過處理後，均迴流作為下批次之浮選用水，所以實際用水量並不大。

(3)廢棄物

由於燃煤飛灰在進行分選為優質灰及未燃碳等產品後，可以說是全量資源化，並不會有衍生的廢棄物產生，所以沒有後續衍生廢棄物處理問題。

(4)噪音

浮選作業所使用之槽體，因有機械攪拌及打入空氣等作業，馬達及空壓機使用量較大，其所產生之噪音，勢必在所難免，所以作業場所之噪音減量及防制工作也很重要。

4.經濟效益分析

(1)主要設備及操作現況

該廠現有燃煤浮選除碳分選設備主要包括：進料貯槽、破碎設備、研磨設備、攪拌桶槽、浮選桶槽、過濾系統及乾燥系統。此套處理設備約 4 仟萬元，設計處理量每年 24,000 噸，主要操作參數包括：浮選藥劑使用量、煤灰

之粒度、優質灰含碳量 $<6\%$ 、進料量 70~80 噸，每日 16 小時操作，每月操作 25 天。

(2)操作維護成本分析

A.維護費用：50 萬元/年。

B.操作費用：45 萬元/月，即 540 萬元/年。

a.藥品費：6 萬元/月（含浮選藥劑費用）。

b.燃料費：3 萬元/月。

c.電費：6 萬元/月。

d.水費：3 萬元/月。

e.人事費：25 萬元/月。

f.其他費用：2 萬元/月。

C.煤灰成本：160 元/噸，即 384 萬元/年。

D.單位成本：405 元/噸。

E.產品收入：以全年處理 24,000 噸煤灰，而資源化產品優質灰年產量約 18,000 噸，每噸售價 800 元，銷售收入為 1,440 萬元。未燃碳部份待提升品位方能出售，目前暫以無價值估算。

F.淨效益：每年淨效益約 466 萬元。

5.小結

水泥為營建的基本原料，價格穩定，部分煤灰的未燃碳含量較低，不需處理可直接販售、替代水泥使用，在成本上具競爭性，因此相關業者對於低含碳煤灰的資源化意願高。相較之下，高含碳煤灰需要進一步脫除未燃碳，處理程序與成本都會增加，在分選後還剩大量待處理的未燃碳副產物，在尚未開發出未燃碳的資源化技術之前，高碳煤灰的脫碳處理無法增加經濟效益，導致有意處理的實廠數量十分有限，煤灰處理推廣困難，所以煤灰整體的資源化效率低，換言之，脫碳處理的經濟效益是大量高碳煤灰資源化作為水泥的問題關鍵，因此需由未燃碳資源化技術著手研發，建立可創造未燃碳高經濟價值的資源化製程技術，免除未燃碳廢棄處置所造成之資源浪費，同時增加煤灰分選處理的經濟效益，才是謀求雙贏的解決之道。

5.5.2 煉鋼集塵灰

台灣地區之鋼鐵冶煉業包括一貫作業煉鋼廠及電弧爐煉鋼廠兩大類，一貫作業煉鋼廠是以鐵礦砂及煤炭為主要原料在高爐及轉爐中冶煉成為鋼胚，以供給中游產業或是進行軋延及加工後生產各類鋼品供下游產業使用；電弧爐煉鋼廠則是以國內回收之廢鐵、廢鋼或是進口之廢鋼料為原料經電弧爐冶煉製成鋼胚，其中部份供給中游產業，部份自行加工後提供下游產業使用，因此電弧爐煉鋼業也可視為廢鐵、廢鋼之資源再生產業，其廢料來源以拆船廢鐵、汽車廢鐵、壓鑄廢鐵及民間廢鐵，一般未經任何前處理即直接入爐熔煉，所以電弧爐煉鋼製程之原料較為複雜。

煉鋼煙塵為鋼鐵生產過程中，空氣污染防治設備所熔之細粉料，鐵份含量高，由於一貫作業鋼廠與電弧爐煉鋼廠使用之原料不同，致其煉鋼過程熔之集塵灰成分差異頗大，因而其資源化利用途徑不同。即使是同為電弧爐煉鋼業者，又可區分為碳鋼電弧爐煉鋼廠及不銹鋼電弧爐煉鋼廠，其煉鋼集塵灰之性質及成分差異也很大。本節主要介紹的案例為國內碳鋼電弧爐煉鋼廠之煉鋼煙塵減容減量及資源化處理廠。

1. 案例概述

J 廠為煉鋼煙塵處理廠，係依「廢棄物清理法」第 13 條第 4 項規定所訂之「工業廢棄物共同清除處理機構管理輔導辦法」，經環保署廢管處、經濟部工業局共同輔導設立，主要目的為清除、處理及暫存國內所有碳鋼電弧爐煉鋼業所產生之集塵灰，以達到集塵灰回收處理及資源化之目的。

依據行政院環保署 96 年 7 月 4 日公告之「有害事業廢棄物認定標準」規定，電弧爐煉鋼產生之集塵灰為“列表”中之“電爐製鋼過程污染控制之集塵灰”屬製程有害事業廢棄物，表 5.5-3 所列為典型電弧爐集塵灰成分組成，由表中得知氧化鐵及氧化鋅含量最多約占 64%。至於集塵灰重金屬含量分析列於表 5.5-4，可看出主要重金屬鋅（Zn）含量約 20%，鉛（Pb）約 1.9%，鎘（Cd）約 0.1%，鉻（Cr）約 0.35%。其中 Zn、Pb、Cd 等低揮發點重金屬，在製程溫度下隨廢氣由廢氣處理系統收集成為該廠主要副產品—氧化鋅，為資源化之產品，其他高揮發點重金屬如 Fe、Mn 等轉化為爐渣，經溶出試驗判定合格後成為可再利用之水泥摻料及路基材料，其他如 CaO、MgO、矽砂（SiO₂）等之含量僅對操作狀況產生影響，可經由加入 SiO₂ 調整，F、Cl 之含量則影響氧化鋅銷售價格。

表 5.5-3 典型電弧爐集塵灰成分

化 學 成 份	重量百分比(%)	化 學 成 份	重量百分比(%)
FeO	2.8	MnO	2.8
Fe ₂ O ₃	40.0	P ₂ O ₅	0.5
ZnO	24.2	Na + K	0.4
PbO	4.1	Cu + Ni	0.9
CaO	5.1	C	1.7
SiO ₂	4.8	S	0.6
MgO	1.3	Cl ⁻	3.3
Al ₂ O ₃	2.4	Cr, Cd 及其他物質	5.1

資料來源：電弧爐煉鋼業空氣污染防治現況，工業污染防治，第 43 期，1992 年

表 5.5-4 集塵灰之重金屬含量分析

元素	Fe	Zn	Mn	Pb	Cr	Cu	Ni*	Cd*
1	18.70	24.60	2.04	1.70	0.22	0.20	226	1,100
2	30.32	20.73	3.74	1.90	0.30	0.22	221	538
3	27.20	6.83	6.40	1.66	0.41	0.11	450	183
4	22.70	26.85	2.49	2.12	0.18	0.32	310	2,200
5	28.78	20.16	2.76	1.61	0.19	0.32	317	1,900
6	37.11	12.08	3.18	0.68	0.28	0.26	552	979
7	19.93	22.50	1.55	3.56	0.23	0.24	308	357
8	18.95	24.65	3.84	2.16	0.38	0.35	428	9,600
9	15.02	7.31	7.65	0.72	0.34	0.23	3,100	195
10	19.04	20.17	3.99	1.15	0.42	0.20	308	338
11	22.38	37.32	2.77	2.93	0.62	0.28	294	326
12	35.12	12.75	1.81	1.11	0.57	0.22	487	137
13	23.56	27.79	3.28	3.20	0.47	0.22	350	429
AVG	24.52%	19.52%	3.50%	1.88%	0.35%	0.24%	565ppm	1,406ppm

註：Ni*、Cd*單位為 ppm；其他為 wt%。

資料來源：電弧爐煉鋼煙塵之性質與資源化研究，國立成功大學博士論文，1993 年

集塵灰性質因各煉鋼廠而異，該廠在接收集塵灰時須作其成分分析以利後續進料之依據。雖成分各異然差異不大，此於製程影響較小；造粒品質則為攸關，造粒不良之集塵灰易導致旋轉窯製程穩定性差、易結渣，需特別拌料處理。目前該廠已改以槽車將各電弧爐煉鋼廠之未造粒集塵灰運至資源化廠內造粒後進旋轉窯，以提升金屬資源回收效率。進料主要考慮為矽砂、焦炭之配比，矽砂應加入之量由集塵灰之鹽基度決定，焦炭之加入量以集塵灰之含水量及鋅鉛含量決定，為使製程穩定，負責進料之操作人員不需經常計算矽砂及焦炭之進料量，在接收集塵灰確定其成分後，操作人員需依據鋅鉛含量，將高低不同之集塵灰混合至接近平均值（約 23%），以使焦炭進料量不致變動太大，矽砂之進料量則視混合後之鹽基度而增減達到理想操作值（約 0.35）。

2.處理流程與設備概要

該廠採用之處理方法，因考慮到集塵灰本身之性質及特性，所以採行熱回收法程序，以處理電弧爐煉鋼業所產生的集塵灰，預計處理量為 4,166 噸/月，採用 Waelz Kiln Process，使用之物料為集塵灰(EAF dust)、焦炭渣(coke breeze)及矽砂(silica)等依不同配比需求混合成的進料物，其重量及組成分如表 5.5-5。此處理程序在歐美、日本應用於集塵灰處理已有 20 多年之歷史，屬商業化成熟之技術。處理流程分為 2 部份，分述如下：

表 5.5-5 進料物重量及組成

進料物	噸/年 (Wet)	噸/小時 (Wet)
集塵灰	59,000	7.7
矽 砂	11,000	1.4
焦 炭	24,000	3.2
合計	94,000	12.3

(1)第 1 部份

依不同配比量，將進料物混合處理，混合後之進料物藉由旋窯進料器定量進入旋轉窯內，而旋轉窯為一逆流式操作，即進料物由旋窯前端進入經鍛燒後緩慢由旋窯末端排出，廢氣則依反方向由旋窯前端排出，並將進料物先行乾燥，由旋窯末端排出之爐渣 (slag) 部份為可回收之焦炭，經水淬輸送磁選後，成為迴流焦炭再送入進料混合槽內，不可回收之部份則經冷卻器冷卻後，經刮除輸送予以貯存作為路基材料使用。熱廢氣由旋窯前端排出後，

溫度為 1,100°C 先經一粉塵室在此處行重力集塵，將廢氣中較大顆粒粉塵予以收集，收集之粗顆粒粉塵（preoxide）則經輸送再送回旋窯處理，然後廢氣再進文氏管及旋風集塵器中，將廢氣溫度降至 180°C 以下，廢氣經降溫後再進入袋式集塵器中予以收集粉塵，經收集之粉塵則連同旋風集塵器沈澱之粉塵一同被輸送至貯存槽，此即為粗氧化鋅，為該廠資源回收之半成品，廢氣經袋式集塵器處理後，內含少量粉塵經抽風機抽送由煙囪排入大氣中。

(2)第 2 部份

係為氧化鋅精製，將粗氧化鋅加水調成礦漿後，以碳酸鈉洗淨、過濾、濃縮、過濾製成氧化鋅原料；最後之產品氧化鋅（65%~70%）則販售給 Zn 提煉廠。處理流程如圖 5.5-4，說明如下：

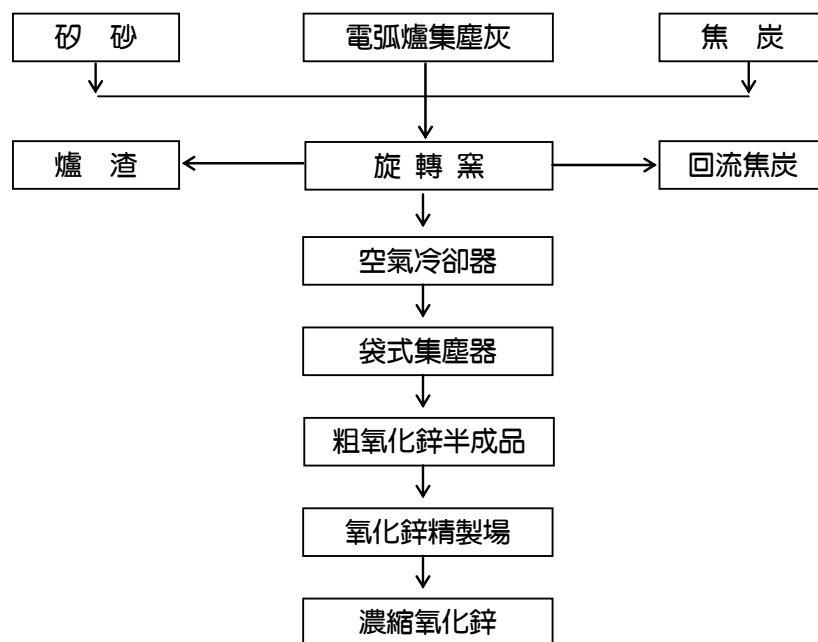


圖 5.5-4 J 廠電弧爐集塵灰資源化流程

(1)進料器

將混合後之進料物送入進料器中可藉由與控制室連線控制，將適量之進料物送入爐中。

(2)旋轉窯

旋轉窯為此流程之主要處理體，處理量為 4,166 噸/月，進料物由旋轉窯

前端進入與廢氣以相反方向緩慢由旋轉窯末端排出，鍛燒後之廢氣則從進料端排出。爐體操作溫度為 $1,100^{\circ}\text{C} \sim 1,200^{\circ}\text{C}$ ，滯留時間約數小時，進料物在爐內可分為乾燥區、加熱區及還原區等 3 區，在還原區裡，鋅氧化物藉由焦炭渣充當還原劑還原成鋅（Zn）金屬，控制窯口送風量為提供 Zn(g) 金屬之氧化功能，保持爐渣適當溫度方能持續良好反應。當一定比例混合之集塵灰、焦炭、矽砂等原料送入旋轉窯中沿著爐內壁滾動前進，同時被爐內逆流氣體加熱。旋轉窯的主要燃料是焦炭，亦用柴油作輔助燃料，當窯內溫度達 $1,000^{\circ}\text{C}$ 時鋅及鉛便極易還原和揮發，且氧化鐵亦會還原至金屬狀態。

(3) 爐渣（slag）排除設施

由爐體排出之爐渣經一傾斜滑道在此以高壓水水淬再送入水槽中，結塊和大塊物在斜槽冷卻器上方攔截，經冷卻後移除，在冷卻器中的爐渣則經由刮泥機刮除，然後輸送至磁選機分選，使之分離成回流焦炭（return coke）及爐渣（slag），回收之焦炭則送入回流焦炭貯槽，爐渣則作為路基級配、填地材料等再利用。

(4) 重力集塵室

從爐內排出之廢氣由於含有粉塵，藉由重力造成速度差之方式予以先行收集較大顆粒粉塵，收集後之粉塵則經鏈式輸送帶系統輸送，將之循環送回進料口，進入爐內再處理。

(5) 文氏管及旋風集塵器

廢氣經由重力集塵器排出後進入文氏管及旋風集塵器，經由大量的冷空氣打入廢氣流中，將廢氣溫度由 600°C 快速降溫，降至 180°C 以下，在旋風集塵器內收集之粉塵，為資源化產品，亦即是粗氧化鋅，收集後鏈式輸送機輸送至貯槽中，並設置包裝機，將成品予以裝袋後售出。

(6) 袋式集塵器

經旋風集塵器排出之廢氣再送入袋式集塵器中，收集後之粉塵即為資源化之產品即粗氧化鋅，而袋濾機乃採可自動清除式之高效率集塵器，經處理後之乾淨氣體僅含極少量之殘留粉塵，而收集之含鉛和鋅粗氧化物則連同冷卻塔所收集之粗氧化鋅一同被收集後經由鏈式輸送機輸送先做中間貯存。所收集之粉塵即是粗氧化鋅，為該廠之主要成品，並設置包裝機，將成品予以裝袋後售出。

(7) 活性碳噴注設備及二段袋式集塵器

主要用以去除旋轉窯熱處理所衍生之戴奧辛物質。戴奧辛控制排放技術主要採用噴入活性碳與觸媒破壞兩種類型，兩者均能有效去除煙道排氣中之戴奧辛，而活性碳技術是目前使用最普遍的技術，其大致可以分為噴入活性碳、流動床式、與固定床式。一般噴入活性碳與流動床式對戴奧辛去除率可達 95% 以上，而固定床則只有 80%。另外活性碳吸附不僅能吸附戴奧辛，同時也能去除燃燒過程中所產生的揮發性有機污染物及重金屬污染物，為更有效降低戴奧辛排放濃度。

(8) 誘引抽風機

由袋濾機排出之廢氣經由誘引抽風機之抽送，使整個流程內之壓力均保持在一負壓之狀態下操作，並使廢氣得以排出。

(9) 煙囪

煙囪主要功能係將處理後之乾淨氣體藉由煙囪之擴散理論排至大氣中。

(10) 粗氧化鋅精製廠處理流程

經旋轉窯高溫鍛燒還原而回收之粗氧化鋅，含有氟化物及氯化物，此鹵素物質對冶金程序有不良影響，因此須先予以清洗分解水洗達到純化之成效。中間貯存的粗氧化鋅從貯存槽排出經由稱重式輸送機 (weight conveyor) 輸送，進入水力渦旋分離錐中作分離處理，其後的氧化物礦漿流入攪拌槽中同時加入碳酸鈉 (soda) 攪拌約 2 小時，這時由外界加入熱源 (如廠內蒸汽) 使反應溫度大約維持在 70°C 左右，以加速鹵化物之分解反應，粗氧化鋅精製流程如圖 5.5-5 所示。

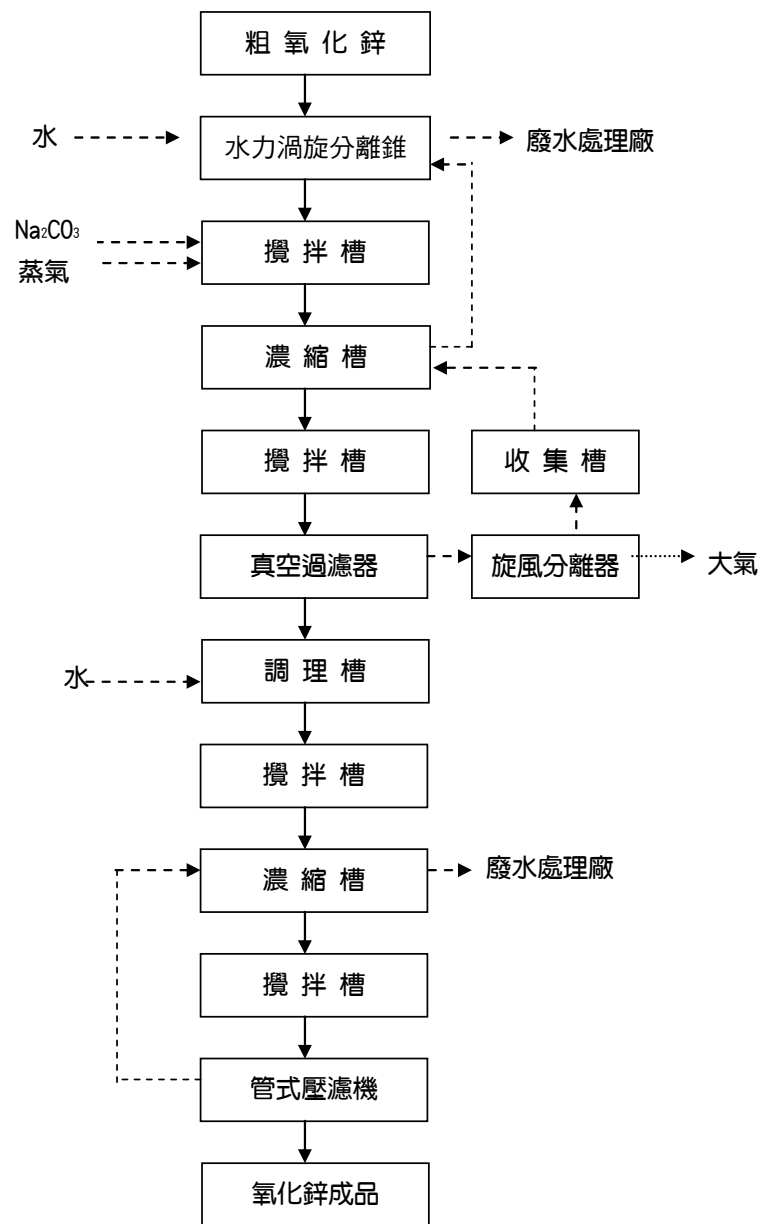


圖 5.5-5 粗氧化鋅精製流程

3.操作維護管理

可能的各種環境污染及操作維護管理說明如下：

(1)廢氣

該廠廢氣污染源主要來自旋轉窯所排出熱廢氣中之粒狀污染物，另考慮到整個處理系統能夠維持在正常穩定操作情況下，宜考慮下列處理原則：

- A.集塵灰及進料物的貯存、運輸、處理皆須考慮以密閉方式進行，防止溢散造成污染。
- B.各項污染防制設備在製造安裝時宜注意其密合性不可有廢氣洩漏之現象。
- C.根據設計選擇最適當的污染防制設備，使污染降至最低且合乎法規管制標準。
- D.採乾式設備進行廢氣處理，避免二次污染，完全回收所收集的粉塵，以達資源回收及減廢目的。
- E.廠內鋪設混凝土或柏油路面，並設置自動灑水裝置或以灑水車灑水，防止塵灰、砂土飛揚。
- F.針對處理設備之操作、維護進行全盤考量分析，以利操作人員進行相關設備零件之操作、維護確保處理設備之效率。
- G.為減少污染物質之排放，必須將廢氣溫度予以冷卻（降至 180℃），該廠採用之集塵設備包括重力集塵室及袋式集塵器等。重力集塵之功用係為先行收集廢氣中較大顆粒之粉塵，以避免後段處理設備負荷過重，其原理係利用廢氣在集塵室內造成速度差，使較大顆粒粉塵因本身重力沉降而予以收集；袋式集塵器之原理是以濾布當介質，藉著濾布表面附著之濾餅過濾廢氣中微細之塵粒，對粉塵之去除率可達 99%以上，依濾袋清理方式可分為機械振動式、逆洗空氣式及脈動式等 3 種，由於濾袋清理方式之差異，操作條件亦有不同，以脈動式最為一般使用者所採用。而袋式集塵器在設計上須考量過濾速度、濾布材質選定、濾袋清洗方式、出灰方式、壓差之影響，及濾袋數目決定等參數，同時亦須考慮到日後維修之難易。
- H.袋式集塵器之維護
 - a.設有煙道自動監測系統，平時可觀察煙囪排放口之不透光率，了解濾袋破損是否發生，採取緊急修護工作。
 - b.設有專人負責檢查集塵系統，記錄集塵室之壓損、輸送帶、入氣溫度、脈衝氣體撞擊（pulse air zap）等，遇有異常數值時需檢討及檢查系統異常部位並儘速排除或調整。
 - c.排定定期保養週期，對超過壽命週期之濾袋、氣閥門等零組件實施檢查及更新工作。

d.集塵系統設設備紀錄表，以了解不良部位之設備，供日後保養及改善用。

(2)廢水

廢水來源主要來自粗氧化鋅精製廠濃縮後產生之廢水，廢水量約 20.5 m³/hr，以消石灰水溶液 (Ca(OH)₂) 及硫化鈉 (Na₂S) 予以中和酸鹼值及化學混凝沉降去除懸浮固體物 (SS) 和重金屬物質，處理過之廢水最後被泵送經過壓濾機予以脫水處理，壓濾機產生的過濾液經檢驗認定符合工業區污水下水道排放標準後始可放流。另外，壓濾過後產生之污泥則經收集後送至旋窯作處理。

(3)噪音

噪音源主要為輸送帶、旋窯、袋式集塵器、抽水機、鼓風機、空氣壓縮機及運輸車輛等。而在資源化廠設廠時之施工規範中即規定，任何一種噪音源機器，其最大噪音值在距離 1 公尺外，不得超過 85 dB，故在設備進廠安裝前各噪音源機器本身即有防噪音設施，因此運轉階段各噪音源機器的噪音，其音壓位準 (level) 在一公尺處將以 85 dB (A) 估算，預計廠區周界噪音值可符合第四類工廠噪音管制標準。

(4)廢棄物

廢棄物來源為旋窯鍛燒後殘留之爐渣 (slag)，部份經磁選後成回流焦炭，而殘餘部份即為該廠主要廢棄物來源。根據國外研究報告，集塵灰經 Waelz Kiln 處理後產出之爐渣，其經過重金屬溶出試驗 (TCLP) 判定屬一般事業廢棄物，Waelz Kiln 處理後產出之爐渣，未來以作為水泥摻料為主。爐渣經養生後並可作為路基級配材料使用，在歐洲日本均廣泛使用。

(5)環境監測

委託環保署認證之公司辦理該廠操作管理營運期間之環境監測計劃，就營運期間對廠區內之土壤、水質及固定污染源、空氣污染物排放管道等項目進行現場監測，藉由各項環境調查資料之蒐集，以研判環境品質現況之變化，並做為執行減輕環境不利影響對策之依據。

4.經濟效益分析

(1)主要設備及操作現況

該廠現有電弧爐集塵灰處理設備主要包括：(1)進料貯槽及進料器，(2)

旋轉窯，(3)爐渣排除設施，(4)重力集塵室，(5)VENTURI 冷卻器，(6)袋式集塵器，及(7)誘引抽風機。此套處理設備約 10 億元，為德國樂吉（Lurgi Metallurgie）公司於 88 年 8 月建造，設計處理量每年 50,000 噸，主要操作參數包括：(1)重力集塵室溫度 750~800℃，風壓 20~15mbar，(2)爐渣出口溫度 1,050~1,100℃，(3)進料量 7~8 噸，每日 24 小時操作，每月操作 28 天。

(2)操作維護成本分析（以平均每月處理 3,000 噸計算）

A.維護費用：1,521.6 萬元/年。

B.操作費用：1,243.3 萬元/月，即 14,919.6 萬元/年。

a.藥品費：463.5 萬元/月（含焦炭及矽砂費用）。

b.燃料費：39.4 萬元/月。

c.電費：65.9 萬元/月。

d.水費：3.5 萬元/月。

e.人事費：271 萬元/月。

f.其他費用：400 萬元/月（含清除、檢驗、折舊等費用，但不包括爐渣處理費）。

C.處理收入：以每月處理 3,000 噸，全年處理 36,000 噸，每噸處理費用 4,500 元計，年處理費用收入約 16,200 萬元，而資源化產品粗氧化鋅年產量 11,500 噸，每噸售價 3,500 元，銷售收入為 4,025 萬元。

D.單位處理成本：4,567 元/噸。

E.淨效益：每年淨效益約 3,783.8 萬元（未扣除每年約 23,400 噸爐渣處理費用）。

5.小結

該廠自 88 年 9 月建廠完成以來，歷經多年的磨合調整，處理技術與經驗已臻成熟。尚待突破改進之處有：(1)旋窯內部結渣減除，(2)進廠集塵灰區分等級並統一拌勻造粒，促進投料穩定，(3)新裝置空氣污染防制系統之最適操作維護。

依該廠操作維護成本分析結果，電弧爐集塵灰每噸處理成本約 4,567 元，收益方面除收取每噸處理費約 4,500 元外，也包括處理每噸集塵灰所衍生之 0.318 噸資源化產品粗氧化鋅（每噸售價約 3,500 元）。

5.6 廢木材減容案例

在資源循環呼聲日趨高漲及森林資源減少情形下，利用廢棄的木材資源一直是環境保護領域持續研究的課題，國內外也持續研發新的應用方式，表 5.6-1 為國內外依廢木材特性加以再利用的方法分類。塑木複材即是在此訴求下研發出之產品，其商業應用始於 1950 年代，至 1990 年代塑木製品蓬勃發展，美國市場對再生塑木產品需求量劇增，塑木係將塑膠與木粉、木質纖維或刨花混合而成，質感及觸感與木頭相近，而且物性不相上下，既具有木頭加工特性，亦可用處理木頭方式去鋸、刨、鑽洞，或是打釘，且保有塑膠的物理特性，可以防水防蟲，甚至藉由添加配方，可達到防火、防紫外線功能。其應用領域（詳圖 5.6-1）廣泛，與人類生活習習相關，產品應用照片簡列如圖 5.6-2。以下就廢木材生產粒片板說明如下：

表 5.6-1 國內外廢木材再利用方法分類

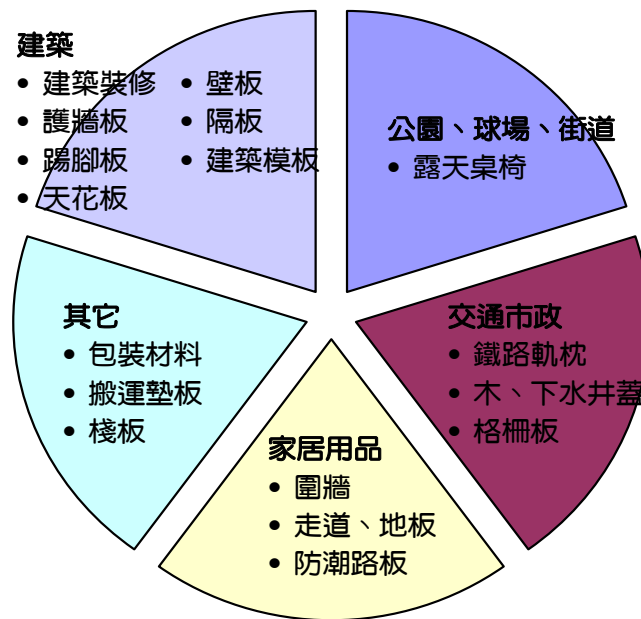
再利用方法	利用形態	用途
物理利用	直接利用	<ul style="list-style-type: none"> • 土壤覆蓋 • 防熱、保溫材料（建築物、冷藏庫等） • 填充用 • 包裝材料 • 研磨用（金屬拋光、皮革洗滌） • 清掃用（研磨併用） • 吸收用（家畜、尿尿等） • 墊材（兼吸收用） • 殺蟲劑基材
	機械加工	<ul style="list-style-type: none"> • 粒片板 • 成型品 • 石膏板 • 水泥製品（粒片水泥板、鋸屑空心磚） • 纖維壁材 • 小型製品（衛生筷、小盒、芯材等） • 木質粉（合成樹脂成形粉基材、合成樹脂接著劑、充填劑、蚊香充填劑、油毛氈填充劑、爆藥充填劑、鑄造用、過濾用） • 窯業用（硅藻土烘爐、磚） • 軟木（栓板櫟）
燃料利用	原形利用	<ul style="list-style-type: none"> • 燃料（家庭用、產業用）
	化學處理	<ul style="list-style-type: none"> • 炭化（成型木炭） • 瓦斯化

表 5.6-1 國內外廢木材再利用方法分類（續）

再利用方法	利用形態	用途
纖維利用	機械加工 （化學處理）	• 木材切片（紙漿、粒片板、纖維板）
	化學處理	• 紙漿 • 纖維膠合板
化學利用	化學處理	• 加水分解（糖化物） • 炭化（活性炭） • 木醋液 • 萃取成分（黃蓮素、蠟質物、單寧等）
生化利用	生化處理	• 堆肥及土壤改良劑 • 飼料 • 食用菇類等微生物培養

註：表中的蚊香、軟木、腊、藥劑等是特種樹木的利用法，而非一般樹木。

資料來源：木業廢棄物資源化案例彙編，經濟部工業局，1996 年



資料來源：智慧住居結合綠建材設計應用研討暨聯盟交流會，

經濟部技術處、傳統產業創新聯盟，2006 年 7 月

圖 5.6-1 國外塑木製品之應用領域



【野餐桌椅】



【公園座椅】



【塑木系列產品】

資料來源：行政院環保署網站 <http://www.epa.gov.tw/>、EIN Engineering Co. Ltd
website:<http://www.ein.co.jp/>

圖 5.6-2 塑木產品應用系列

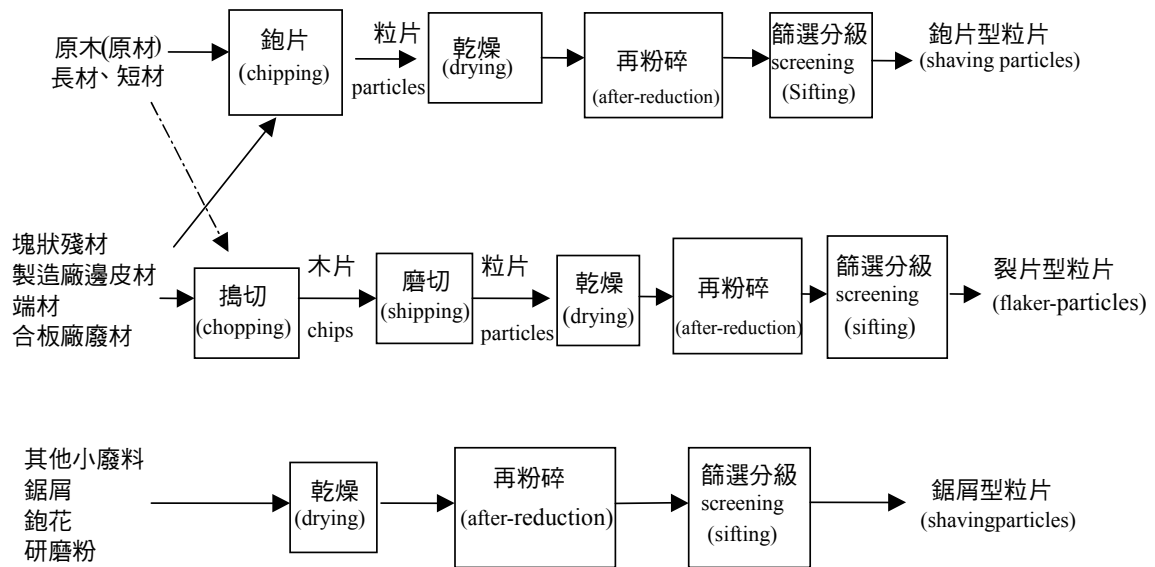
(一) 案例一

1. 案例概述

K 廠是國內知名之粒片板製造廠，該廠係以收集製材廠、木器廠之廢棄木屑及鉋花為主要原料。

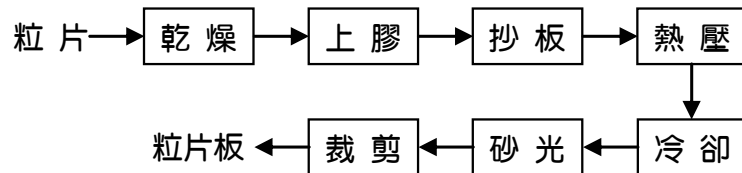
2. 處理流程與設備概要

廢木料處理成為粒片板係將廢木材切成細小片狀或塊狀（流程如圖 5.6-3），再經乾燥、加膠合劑熱壓而成粒片板或塑合板（流程如圖 5.6-4），廣泛應用於家具製造，諸如書桌、餐桌、木椅、床板、櫥櫃、書架等等。相關程序說明如下：



資料來源：廢棄物資源回收及處理設備－破碎，經濟部工業局，1999 年

圖 5.6-3 粒片準備流程



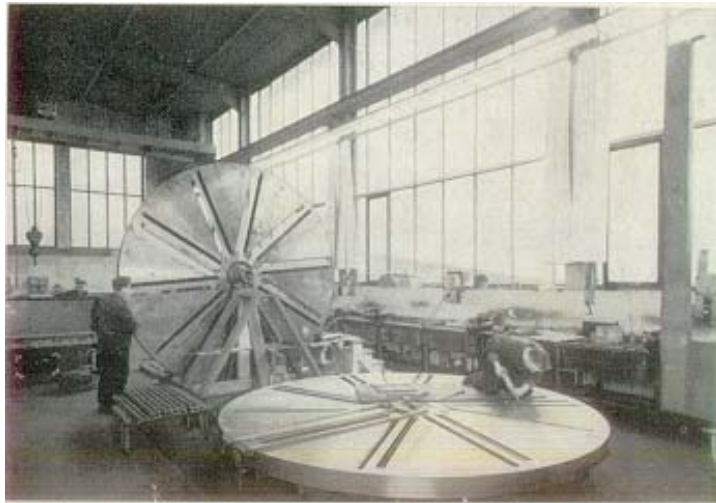
資料來源：木業廢棄物資源化案例彙編，經濟部工業局，1996 年

圖 5.6-4 粒片板製作流程

(1)鉋片

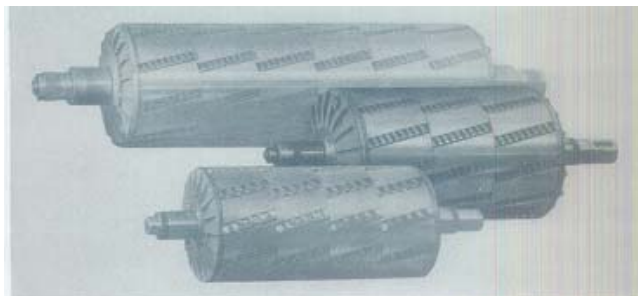
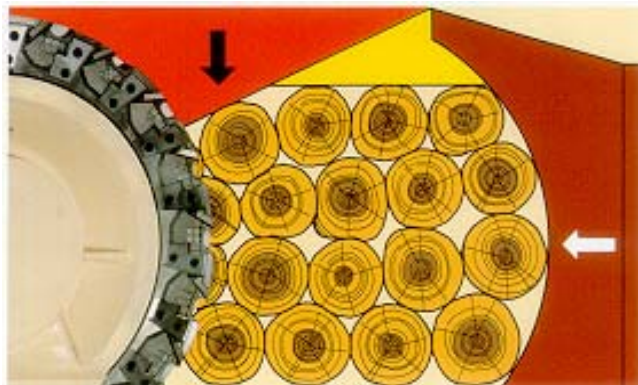
工業上所用之鉋片機分為 2 種：

- A.盤狀鉋片機（disk type chipper，如圖 5.6-5）
- B.圓筒狀鉋片機（cutter spindle chipper，如圖 5.6-6）



資料來源：廢棄物資源回收及處理設備－破碎，經濟部工業局，1999 年

圖 5.6-5 盤狀鉋片機



資料來源：廢棄物資源回收及處理設備－破碎，經濟部工業局，1999 年

圖 5.6-6 圓筒狀鉋片機

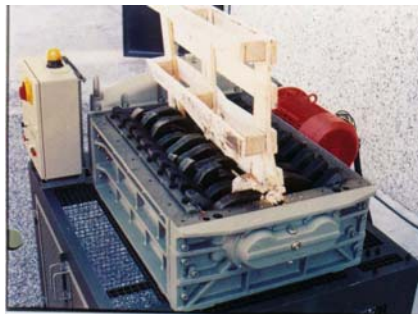
(2) 搗切

將廢邊皮材或林地之樹冠殘餘材，先經搗切機搗切為木片（chips）之形狀，搗切機僅能控制木片之長度。搗切機之種類可分為 3 類，圖 5.6-7 為搗切機型態：

A. 鼓狀搗切機（drum knife hog）

B. 渦輪狀搗切機（turbine knife hog）

C. 盤狀搗切機（disk knife hog）



a. SATRIND Triturazione Senze Ltd., Italy



b. PFLEIDERER Industrie mbH, Rheda, Germany



c. REHOLZ Ingenieurgesellschaft mbH, Dresden, Germany



d. REHOLZ Ingenieurgesellschaft mbH, Dresden, Germany

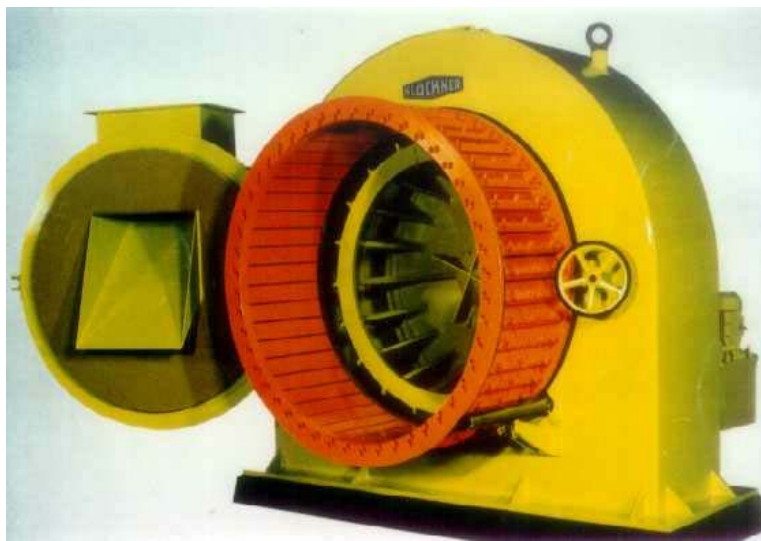
資料來源：廢棄物資源回收及處理設備－破碎，經濟部工業局，1999 年

圖 5.6-7 搗切機

(3) 磨切

原料經搗切過程，處理為木片，稱之為初次切削（primary reduction），隨之將搗切而成之木片，再磨切為裂片型粒片（flaker-particles）則稱為二次切削（secondary reduction）。磨切機之種類眾多，例如：

- A.wing beater mills
- B.hammer-mills
- C.knife-mills
- D.hammer-basket screen mills
- E.toothed disk-mills
- F.knife ring flaker （cutting ring mills）（如圖 5.6-8）。



資料來源：廢棄物資源回收及處理設備－破碎，經濟部工業局，1999 年

圖 5.6-8 磨切機

(4)選別

木片（chips）及粒片（particles）之選別方法如下：

- A.降落選別（fall sifting）；
- B.懸浮選別（suspension sifting）；
- C.投擲選別（throw sifting）；
- D.風力選別（wind sifting）。

(5)篩選

常用之篩選（screening）之機械型式：

- A.傾斜震盪式篩選機（inclined vibrating screen）；

B.水平震盪式篩選機 (horizontal vibrating screen)；

C.圓型旋轉式篩選機 (circular and gyratory screen)。

影響篩選結果之因素有：

A.材料因素 (material factor)：如材料、含水率、形狀等；

B.機械因素 (machine factor)：如機械結構、型式等；

C.進料速度 (feed rate)：如單位時間送料量等；

D.篩選停留時間 (retention time)

(6)上膠

將粒片及膠合劑利用上膠機按比例混合。

(7)抄板

在抄板成型時，將上膠量較多之細小粒片配置於上層，而上膠量較少之粗大粒片配置於中層，使在熱壓後，其表底層成為較緻密、密度較大，而中層較鬆弛、密度較小，即有層狀化之粒片板，粒片板密度在厚度方向之分佈是表底層向中層遞減而為密度剖面，如此可充分的提高其靜曲強度及表面之貼面加工性。

(8)熱壓、冷卻、砂光、裁剪

利用熱壓機加熱使膠合劑硬化成型後，於星狀冷卻架上依序逐漸降溫冷卻，再經砂光及裁剪後可得形狀厚度均一之粒片板成品。砂光屑、裁邊及廢板則回收為乾燥器鍋爐之燃料；或再處理為粒片，重新做為粒片板之原料。

3.操作維護管理

由塗裝或貼面之木質材料，回收產品充當原料或熱源應用，產品中含有塗料、塑膠成分及礦物污染之微細篩選物需進一步清洗或排除。回收廢木製品與新鮮廢木料之處理流程相似，但處理困難度較高。木製品中常含有化學或異類干擾物，影響回收分類切削篩選乾燥之效果，也影響再生複合物產品之性質。

4.經濟效益分析

將含鐵釘、金屬之廢棄包裝木箱、木製品或棧板等廢木材回收，預估經人工處理與機械處理之經濟效益分析，如表 5.6-2 所示。以鋸屑鉋花為原料之粒片板工廠，其原料成本僅約 0.42 元／公斤，故回收廢木料僅由粒片板工廠負擔，

是無法進行的。假使由產生廢料之工廠，負擔處理費用，則現行處理方式是運搬至掩埋場或焚化爐處理場，每公斤費用約 0.68 元。表 5.6-3 為處理廢木料之費用，回收廢料製造粒片板之現行成本與產生事業廢料工廠之補貼（成效評估係以 88 年「廢棄物資源回收及處理設備－破碎」之案例，經物價波動指數調整至 94 年底現值）。

表 5.6-2 廢木料經不同回收處理方法之效益分析

處理方法 項目	傳統人工處理	機械破碎處理
處理能力	每塊 25 公斤，每一小時處理 3 塊	每塊 25 公斤，每一小時處理 30 塊
回收數量	75 公斤／小時	750 公斤／小時
處理費用	人工費 70 元／小時，回收每公斤木料 0.99 元	機械購買 600 萬元 10 年折舊 1 小時成本 218 元 回收每公斤木料之處理成本 0.29 元 機械維修費，每公斤木料 0.05 元 電費，50 匹馬力每小時電費 79 元 回收每公斤木料之電費 0.09 元 人工費用，每公斤 0.1 元
運費	0.52 元／公斤	0.52 元／公斤
合計費用	1.51 元／公斤	1.06 元／公斤

註：88～94 年物價波動指數 1.0486

資料來源：廢棄物資源回收及處理設備－破碎，經濟部工業局，1999 年

表 5.6-3 廢木料之處理費用

費 用 項 目	人工處理（元／公斤）	機械處理（元／公斤）
處理費用	1.51	1.06
粒片板再生工廠之原料成本	0.42	0.42
產生廢料工廠負擔處理費用	0.05	0.68

註：88～94 年物價波動指數 1.0486

資料來源：廢棄物資源回收及處理設備－破碎，經濟部工業局，1999 年

5. 小結

基於地球資源終將耗盡與環保意識高漲，利用廢木材生產粒片板，在解決國內木業廢棄物處理問題及有效利用剩餘資源上，具相當之貢獻及重要性，值得鼓勵及保護繼續發展。另一途徑係利用木質纖維填充塑膠作成再生塑木複材，可達成塑膠減量也可再回收利用。據塑膠工業技術發展中心針對塑木設備、應用領域市場進行研究，發現無論是基於成本考量或現有相關廠商發展現況，塑木都是具有相當不錯競爭力的產品，根據最新報告指出，塑木材料平均以每年 25% 成長率成長，預計為 5 至 10 年間最具發展潛力的產品之一。

(二) 案例二

1. 案例概述

L 廠為國內熱硬化性樹脂（thermosetting resin）的生產大廠，主要生產項目有電木粉、尿素粉、環氧樹脂酚醛、樹脂、三聚氰胺甲醛樹脂、環氧樹脂封裝材、銅箔積層板等，其中電木粉的產量佔國內產量 80% 以上。由於電木粉的生產過程中使用大量廢木屑為填充材，對於木業廢棄物資源化成效顯著。

2. 處理流程與設備概要

酚醛樹脂成型材料（phenolic resin molding compound）又稱電木粉，其處理流程如圖 5.6-9 所示。其基本原料為從粗木屑開始，須經粗篩去除異物後，進入粉碎機打碎，然後經過篩選分級即得所需粒徑之木粉成品。以此木粉成品再與該廠自產的酚醛樹脂，以及硬化劑、添加劑等，經過加熱混練使其分子量逐漸增大至一定程度後，再將它冷卻固化，並經粉碎及篩選出所定粒度之顆粒狀成品後包裝，然後提供給下游客戶成型加工做成各種物件，如：手把、電器開關、電子零件、機械零件、日常用品、容器、機殼等。各程序分述如下：

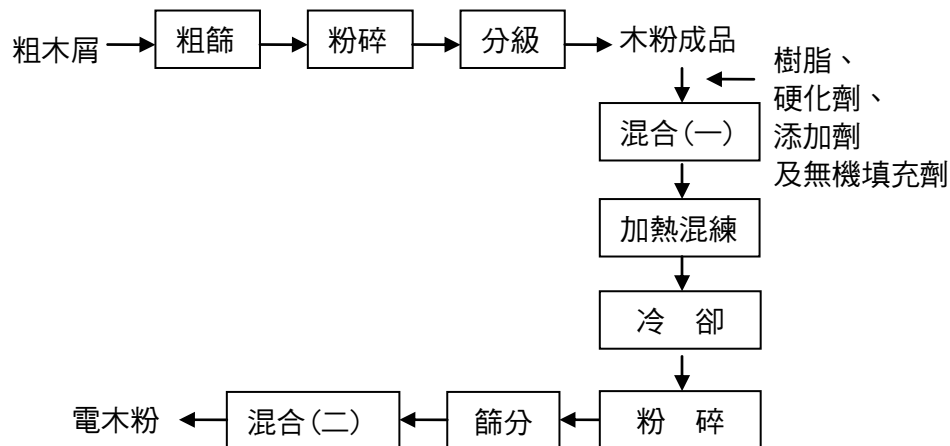


圖 5.6-9 電木粉製造流程

(1)原料（配方）

電木粉配方所使用原料有酚醛樹脂、硬化劑（六甲基四胺）、木粉、無機填充性及其他添加劑如耐燃劑、離型劑、色料等。其中影響電木粉成品特性較大者除樹脂外，木粉亦扮演極重要角色。一般而言，木粉品質除須注意其粒度、水份之外，木材種類的選擇亦相當重要，因此，該廠從粗木屑開始一連串的处理工程都是在廠內進行的。

(2)混合（一）

此項作用有二，其一為藉配方中各原粒混合過程中相互的撞擊，讓部份粗顆粒的原料粒子可進一步的細化；其二為使各配方成分原料間能均勻分散，以使隨後之混練階段能維持均一狀態下進行反應。

(3)混練

於加熱狀態下進行，藉由熔融使樹脂與硬化劑更均勻的熔合在一起，此時酚醛樹脂一方面與硬化劑進行化學反應形成鏈結，使分子量逐漸增大；一方面藉由熔融成半液體狀，使樹脂能均勻分散於充填材之粒子表面，甚至也進行反應形成鏈結。其反應終點是以反應物料在定溫及定壓下之流動特性做為管制指標。

(4)冷卻

混練工程中反應已達終點之物料，經迅速冷卻並使其固化，以中止進一步之化學反應進行，同時物料冷卻固化後，亦較方便粉碎工程之進行。

(5)粉碎

為方便下遊客戶成型操作，冷卻固化後之片狀或塊狀酚醛樹脂成型材料必須打碎成固定細小之顆粒狀粒子，下游客戶使用成型時，其加熱熔融性方可一致。

(6)篩分

利用固化之網目將粉碎工程中過粗或過細之粒子過濾去除，使得成品顆粒粒徑一致。

(7)混合（二）

為保證生產中批次內之成品，其物性能夠均勻一致，對於批次內最終之顆粒狀成品，再進行一次混合，讓各生產階段之所有成品粒子都能很均勻分散，下游客戶使用成型時，其使用成型參數才能一致。

3.操作維護管理

(1)操作及維護保養說明

本功能試車及正式運轉均編撰操作維護手冊，並請管理單位亦配合人員之甄選，以便在工程進行之同時參與各項機械設備之安裝，試運轉及正常操作之作業，所有人員之編制宜及早組成，並分與任務，以便完工驗收後及早運轉啟動及進入正常操作階段；在此期間一切機械設備之預備作業、協調、檢視、修正等均須依序進行；另外對人員編組、值班、操作、教育、訓練、現場操作訓練亦宜擬訂計畫，使運轉問題發生之可能性降至最低並達到處理設備預期處理成效，場區之安全防護措施，緊急應變計畫需依照正常操作程序實施，以使達到預期效果。

(2)操作維護手冊內容宜包括：

- A.設備內容及性能
- B.設備運轉操作程序說明
- C.試車操作記錄及維護手冊
- D.操作維護管理工作注意之細節及檢視項目
- E.設備異常處理措施及安全措施
- F.原製造廠商所提供之各項設備之操作維護資料

G.機械設備名稱、型錄及製造廠商或代理商之名冊

4.經濟效益分析

該廠目前每年生產酚醛樹脂成型材料（電木粉）約 3 萬噸，需使用乾燥木屑約 9,000 噸／年。其使用之木屑來源為收集國內製材廠、木器廠之廢棄木屑及鉋光，經過乾燥處理後之木屑，該廠收購價格可達 3,600 元／噸，木屑經該廠加工製成電木粉，售價約 30～50 元／公斤。由此可知，該廠將木屑生產製成電木粉，已確實協助解決木屑出路之問題，有效地將木材加工後之剩餘資源完全加以利用，極具資源化成效。

5.小結

廢木屑經乾燥後粉碎成木粉，再利用為製造電木粉之填充劑，不僅有效地利用國內進口之有限木材資源，減少廢木屑棄置或焚燒造成之環保問題，更進一步生產成具經濟價值之電木粉，供應內外銷市場。國內目前每年約有 1 萬噸之乾燥木屑再利用於電木粉製造，對於解決木業廢棄物處理問題有相當的助益。

參考文獻

1. 工業減廢作業程序，工業減廢暨資源保育經理人員講習會講義，經濟部工業局，1994 年 1 月。
2. 林健三、林健榮，固體廢棄物處理，高立圖書有限公司，2004 年 1 月。
3. 陳有志，產業減廢與資源化，全威圖書有限公司，pp.8~10，2000 年 8 月。
4. 李汪章，以事業廢棄物資源化建立企業競爭優勢之研究－以台灣水產業為例，元智大學管理研究所碩士論文，2000 年。
5. 廢棄物資源回收與處理設備技術手冊及案例彙編－分選技術與設備篇，經濟部工業局，2003 年 12 月。
6. 廢水處理單元設計及異常對策，經濟部工業局污染防治技術服務團，pp.173~196，1993 年 6 月。
7. 依日光，污泥處理工學，復漢出版社，pp.107~119，1997 年 12 月。
8. 楊盛行、林正芳、王繼國，廢棄物處理再利用，國立空中大學，pp.325~331，2003 年 1 月。
9. 楊慧芬，固體廢物處理技術與工程應用，機械工業出版社，pp.192~217，2003 年 8 月。
10. 工業減廢評估，經濟部工業污染防治技術服務團，pp.33~42，1989 年 8 月。
11. 應回收廢棄物品回收清除處理補貼費率（不含廢機動車輛類及廢照明光源類），行政院環保署，2006 年。
12. 減容技術與設備手冊及案例彙編（上），經濟部工業局，2006 年 7 月。
13. 清潔生產雙月刊，第 17 期，經濟部工業局，1998 年 4 月。
14. 陳文裕，廢光碟片資源化技術盤查分析之研究，朝陽科技大學環境工程與管理系碩士論文，2005 年 1 月。
15. 紀國鍾，我國光電產業現況與展望，經濟情勢暨評論季刊，第 2 卷第 1 期，1996 年 5 月。
16. 產業技術知識服務計畫，經濟部技術處，2000 年 6 月。

17. 2000 年光電工業綜論，經濟部，pp.4-23~4-32，2000 年。
18. 廢電子電器物品(四機)處理後各類材質之資源回收市場及應用情形之分析，行政院環保署，1999 年 7 月。
19. 資源回收月刊，第 17 期，行政院環保署，1999 年 12 月。
20. 工業減廢技術手冊-塑膠製品工業，經濟部工業局，1998 年 6 月。
21. 廢光碟片回收清理探討計畫，行政院環保署，2000 年 10 月。
22. 廖英志、陳忠吾，回收寶特瓶資源回收再利用新穎技術開發，行政院環保署 EPA-93-U1U4-04-012，2004 年。
23. 聚酯樹脂世界會議報告，瑞士，2001 年 12 月。
24. 鄭武順、朱孝碩，PET 廢塑膠分解回收資源化，塑膠資訊，第 55 期，pp.9~16，2001 年 6 月。
25. 陳士宏、楊惠悌、張玉霞，PET 瓶回收應用進展，中國塑料，第 20 卷第 1 期，2006 年 1 月。
26. 半導體封裝業資源化應用技術手冊，經濟部工業局，2004 年 7 月。
27. 資源化產業技術人才培訓班教材，經濟部工業局，2004 年。
28. 有害事業廢棄物認定標準之評析與修正計畫期末報告，行政院環保署，2000 年。
29. 我國金屬再生工業現況調查研究，行政院科技顧問組，1984 年。
30. 蔡尚林、蔡敏行，廢電線電纜處理技術分析，環境工程會刊，第 14 卷第 2 期，pp.30~36，1993 年 6 月。
31. 李宗立，電弧爐煉鋼煙塵之性質與資源化研究，國立成功大學博士論文，1993 年。
32. 吳俊耀、洪文雅、余騰耀，電弧爐煉鋼業空氣污染防治現況，工業污染防治，第 43 期，pp.47~74，1992 年。
33. 楊長浩，燃煤飛灰資源化之研究，國立成功大學資源工程學系碩士論文，1999 年。
34. CNS 3036 混凝土用飛灰及天然或煅燒卜作嵐攪和物，經濟部標準檢驗局，

1993 年。

35. 廢棄物資源回收及處理設備－破碎，經濟部工業局，1999 年。
36. 木業廢棄物資源化案例彙編，經濟部工業局，1996 年。
37. 智慧住居結合綠建材設計應用研討暨聯盟交流會，經濟部技術處、傳統產業創新聯盟，2006 年 7 月。
38. 氟化鈣污泥資源化資源化計畫，新竹科學園區委託計畫，工研院環安中心，1992 年。
39. Mineral Commodity Summaries, Bureau of Mines United States Department of the Interior., 1991.
40. Kertscher, E., Recycling of cable waste, Wire Industry, 61, pp.40~42., 1994.
41. Scrap wire and metal: more valuable than ever, Electrical Apparatus, 51, pp.53~54, 1998.
42. Schubert, Aufbereitung fester Stoffe, Deutsche Verlag fuer Grundstoffindustrie, Stuttgart, 1996.
43. 行政院環保署網站 <http://www.epa.gov.tw/>
44. 行政院環保署資源回收管理基金會 <http://recycle.epa.gov.tw/>
45. EIN Engineering Co. Ltd 網站 <http://www.ein.co.jp/>

國家圖書館出版品預行編目資料

減容技術與設備手冊及案例彙編/經濟部工業局編,財團法人臺灣綠色生產力基金會編著.--初版.--臺北市：工業局出版；臺北縣新店市：臺灣綠色生產力基金會發行，民 96.08

138 面；21×29.7 公分

參考書目：136-138

ISBN 978-986-01-0738-8 (下冊：平裝).--

ISBN 978-986-01-0739-5(下冊：光碟片)

1.廢棄物利用 2.工業廢棄物處理

445.97

96016857

減容技術與設備手冊及案例彙編(下)

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：楊伯耕

編輯企畫：楊義榮、王義基、林政江、余騰耀、張啟達

執行編輯：林冠嘉、林金美

編輯委員：沈曉復、翁維聰、郭振明、陳偉聖、隋學光、廖錦聰、蔡尚林、鄭宏德(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 96 年 8 月初版

設計印刷：信可印刷有限公司

工本費：400 元

GPN：1009602294

ISBN：978-986-01-0738-8(平裝)