

序

綜觀全球環境保護之演進趨勢，世界各國之環境保護工作皆由廢水、廢氣污染防治開始，進而擴及廢棄物及其他領域。目前，我國已然面臨廢棄物處理之關鍵時期。

工業局為奠定國內產業永續發展之根基，對於推動產業環境保護工作，自來皆以責無旁貸自許，勉力而為，舉凡有系統之污染防治、工業減廢專案之執行，到目前整合性環境管理系統輔導建置工作之推展，各階段行政方針除緊密結合潮流趨勢外，最重要的任務即為適當導引國內產業後續之發展方向，以確保國家整體競爭力。

國內廢棄物之產出以產業界佔主要比例，且仍在微幅成長當中，加以全球新近制訂之國際公約，皆不約而同對於廢棄物問題採取嚴謹之規範，甚至與國際貿易相結合而更形複雜。產業界面對此全球趨勢之挑戰下，對於廢棄物妥善處理處置莫不全心投入，然而常有技術資訊不足的窘境。

以往對於廢棄物皆認為是無用的物質，因此在處理處置上須投入相當大的資源與人力，近來由於廢棄物資源化工作之推動，此觀念已有所改變。本局除了在政策上妥為規劃因應外，更希望對於國內廢棄物處理處置有實質的提昇，使產業界對於其所產出之廢棄物進行處理處置時，能有所依循，並尋求最適用之技術。

本彙編涵蓋多類常見工業廢棄物之資源化技術，對於國內產出日益多樣化、複雜化之廢棄物問題，應可引起各界集思廣益與熱烈迴響，以舒解國內廢棄物處理所面臨之壓力。

經濟部工業局 局長

中華民國八十八年六月

主任序

廢棄物為現代化文明社會之必然副產物，此為人類追求物質享受的同時，雖不願意面對卻也無法避免，且必須設法解決之難題。

綠色技術發展中心自成立以來，除了伴隨著產業界共同投身且經歷國內環境保護各階段之重要里程碑外，更無時不以社會中堅為自我期許，除致力於產業界污染防治工作成效之提昇外，同時亦與國內外學者、實務專家等多方交流，以蒐羅最新開發之相關技術資訊，期能為國內產出逐年增加之工業廢棄物，尋求最佳之解決對策。廢棄物資源化工作在我國之實際推動已相當久遠，眾所皆知如：廢玻璃瓶、廢紙、廢鐵等物品之回收再利用，全由民間古物小販默默執行，然而面臨現今種類更繁雜之各式廢棄物，此一單純的資源化體系，已不敷應用。因此，對不同類型之廢棄物資源化技術，實有建立參考資料之迫切性。

本彙編以廢酸等 18 類工業廢棄物為對象，蒐集國內外相關之資源化技術，由本團呂正期、潘建成、鄭宏德、蔡永興、古晏菁、張明倉及趙佩琪等 7 位工程師，共同執筆編纂成冊。同時，亦感謝國立臺灣大學楊萬發教授、張慶源教授，國立成功大學張祖恩教授、國立台北科技大學張添晉教授及國立宜蘭技術學院張章堂教授撥冗參與繁重之審查工作，在此謹致最高之謝忱。

本彙編之資料蒐集不易，雖已盡心修訂，但疏漏之處恐仍難全免，尚祈各界先進不吝指正。

綠色技術發展中心 主任

中華民國八十八年六月

目 錄

頁次

前言	1
第一篇 有機類資源性廢棄物	3
第一章 廢食用油資源化技術	5
1.1 前言	5
1.2 現有廢食用油資源化技術	9
1.3 廢食用油資源化技術評析	14
1.4 國內廢食用油清除處理及資源化成效	15
1.5 廢食用油資源化案例	16
第二章 廢木材資源化技術	21
2.1 前言	21
2.2 現有廢木材資源化技術	22
2.3 廢木材資源化技術評析	31
2.4 廢木材資源化案例	32
第三章 廢橡膠資源化技術	51
3.1 前言	51
3.2 現有廢橡膠資源化技術	54
3.3 廢橡膠資源化技術評析	64
3.4 廢橡膠資源化案例	66
第四章 廢塑膠資源化技術	75
4.1 前言	75
4.2 現有廢塑膠資源化技術	76
4.3 廢塑膠資源化技術評析	84
4.4 廢塑膠資源化案例	85
第五章 有機污泥資源化技術	93
5.1 前言	93
5.2 現有有機污泥資源化技術	94
5.3 有機污泥資源化技術評析	107
5.4 有機污泥資源化案例	108
第六章 廢油泥資源化技術	113

6.1 前言.....	105
6.2 現有廢油泥資源化技術.....	115
6.3 廢油泥資源化技術評析.....	122
6.4 廢油泥資源化案例.....	124
第七章 廢潤滑油資源化技術.....	129
7.1 前言.....	129
7.2 現有廢潤滑油資源化技術.....	129
7.3 廢潤滑油資源化技術評析.....	136
7.4 廢潤滑油資源化案例.....	138
第二篇 無機類資源性廢棄物.....	145
第八章 廢電器用品資源化技術.....	147
8.1 前言.....	147
8.2 現有廢電器用品資源化技術.....	151
8.3 廢電器用品資源化技術評析.....	157
8.4 廢電器用品資源化案例.....	158
第九章 廢印刷電路板及邊料資源化技術.....	169
9.1 前言.....	169
9.2 現有廢印刷電路板及邊料資源化技術.....	173
9.3 廢印刷電路板及邊料資源化技術評析.....	177
9.4 廢印刷電路板及邊料資源化案例.....	178
第十章 廢電線電纜資源化技術.....	185
10.1 前言.....	185
10.2 現有廢電線電纜資源化技術.....	185
10.3 廢電線電纜資源化技術評析.....	188
10.4 廢電線電纜資源化案例.....	189
第十一章 金屬污泥資源化技術.....	197
11.1 前言.....	197
11.2 現有重金屬污泥資源化技術.....	199
11.3 重金屬污泥資源化技術評析.....	211
第十二章 廢酸資源化技術.....	217
12.1 前言.....	217
12.2 廢鹽酸及廢硫酸回收技術.....	218
12.3 廢硝酸及廢氫氟酸回收技術.....	228
12.4 國內廢酸處理現況.....	232

12.5 廢酸資源化技術評析.....	233
第十三章 爐塵灰資源化技術.....	243
13.1 前言.....	243
13.2 現有爐塵灰資源化技術.....	243
13.3 爐塵灰資源化技術評析.....	254
13.4 爐塵灰資源化案例.....	254
第十四章 爐渣資源化技術.....	267
14.1 前言.....	267
14.2 現有爐渣資源化技術.....	268
14.3 爐渣資源化處理技術.....	273
14.4 爐渣資源化技術評析.....	275
14.5 水淬高爐渣資源化案例.....	276
第十五章 廢白土資源化技術.....	289
15.1 前言.....	289
15.2 廢白土之產生及特性.....	289
15.3 現有廢白土資源化技術.....	290
15.4 廢白土資源化技術評析.....	299
15.5 廢白土資源化市場評析及未來展望.....	300
15.6 廢白土資源化案例.....	301
第十六章 廢觸媒資源化技術.....	307
16.1 前言.....	307
16.2 現有廢觸媒資源化技術.....	309
16.3 廢觸媒資源化技術評析.....	312
第十七章 煤灰資源化技術.....	317
17.1 前言.....	317
17.2 現有煤灰資源化技術.....	318
17.3 煤灰資源化技術評析.....	322
17.4 煤灰資源化案例.....	324
第十八章 廢電池資源化技術.....	329
18.1 前言.....	329
18.2 現有廢電池資源化技術.....	329
18.3 廢電池資源化技術評析.....	336

圖 目 錄

頁次

圖 1.1	廢食用油產生、回收及處理途徑	8
圖 2.1	木業廢材堆肥流程圖	21
圖 2.2	木業廢材製造活性碳流程圖	25
圖 2.3	廢棧板及包裝材原形利用流程圖	26
圖 2.4	廢棧板及包裝材製造堆肥流程圖	27
圖 2.5	廢棧板及包裝材製造粒片板流程圖	28
圖 2.6	廢棧板及包裝材製造紙漿流程圖	28
圖 2.7	廢棧板及包裝材製造活性碳流程圖	29
圖 2.8	廢棧板及包裝材製造成型棧板流程圖	30
圖 2.9	粒片板廠基本流程圖	32
圖 2.10	粒片板廠製造設備流程圖	34
圖 2.11	紙漿製造流程圖	38
圖 2.12	電木粉製造基本流程圖	41
圖 2.13	培養土製造流程圖	44
圖 3.1	廢橡膠資源再利用技術	53
圖 3.2	再生輪胎流程圖	54
圖 3.3	廢輪胎與浮筒製作浮動碼頭	54
圖 3.4	廢輪胎用作人工土堤	55
圖 3.5	廢輪胎海底魚礁	56
圖 3.6	廢橡膠焚化流程圖	57
圖 3.7	循環式流體化鍋爐配置示意圖	58
圖 3.8	廢輪胎以 CFB 汽電共生流程圖	59
圖 3.9	廢輪胎應用於乾式水泥生產流程圖	60
圖 3.10	一般輻射車胎之組成重量百分比	60
圖 3.11	廢橡膠高溫熱裂解處理流程示意圖	61
圖 3.12	廢橡膠低溫熱裂解處理流程圖	61
圖 3.13	廢輪胎粉碎研磨處理流程示意圖	63
圖 3.14	A 廠廢輪胎處理流程圖	66
圖 3.15	B 廠廢輪胎處理流程圖	68
圖 4.1	熱塑性塑膠資源回收分類標誌圖例	75
圖 4.2	廢保特瓶製造再生棉流程圖	76

圖 4.3	不織布生產流程圖	77
圖 4.4	其他再生棉製品生產流程圖	77
圖 4.5	廢塑膠低溫觸媒裂解處理流程示意圖	78
圖 4.6	廢塑膠原料再生處理流程圖	78
圖 4.7	以磁選加比重分選法篩選塑膠流程	79
圖 4.8	押出發泡成型法流程圖	80
圖 4.9	溶解乳化法流程圖	80
圖 4.10	溶劑萃取法流程圖	81
圖 4.11	PVC 及 PU 表面處理之合成皮(布)回收流程圖	82
圖 4.12	熱固性塑膠原料再利用流程圖	82
圖 4.13	磨粉再生處理 FRP 塑膠流程圖	83
圖 4.14	燃燒及熱處理再生 FRP 塑膠流程圖	83
圖 4.15	ABS 廢料回收流程圖	84
圖 4.16	W 廠對 PVC、PU 及 ABS 之萃取流程圖	86
圖 4.17	W 公司電線、電纜 PVC 及銅料回收處理流程	87
圖 4.18	W 公司 PVC 及 PU 表面處理之合成皮(布)回收處理流程	87
圖 4.19	W 公司其他塑膠產品回收處理流程	88
圖 5.1	整合性污泥處理、處置及資源化系統	94
圖 5.2	典型堆肥化處理流程	98
圖 5.3	通氣靜堆槽送風管排列及鑽孔示意圖	99
圖 5.4	典型風道式堆肥處理流程圖	99
圖 5.5	風道式堆肥法操作示意圖	100
圖 5.6	密閉式堆肥發酵場房氣體流程示意圖	100
圖 5.7	密閉式堆肥發酵場房氣體流程示意圖	101
圖 5.8	消化氣體發電流程示意圖	102
圖 5.9	典型氣流乾燥法處理流程圖	103
圖 5.10	有機污泥直接焚化流程圖	104
圖 5.11	有機污泥共同焚化流程圖	105
圖 5.12	A 廠有機污泥消化發電流程圖	108
圖 5.13	B 廠污泥熔融處理流程圖	109
圖 6.1	油泥低溫溶解處理流程圖	116
圖 6.2	油泥直接壓濾處理流程	117
圖 6.3	BP 油泥萃取處理流程圖	119
圖 6.4	油泥離心處理操作流程圖	120

圖 6.5	泥燃劑製造流程圖	121
圖 7.1	酸-白土法回收處理廢油流程	131
圖 7.2	溶劑萃取法回收處理廢油流程	132
圖 7.3	蒸餾法回收處理廢油流程	133
圖 7.4	低溫批次廢油回收處理流程	136
圖 7.5	新加坡 A 公司廢油資源化處理流程	139
圖 7.6	KTI 及 UOP 之廢油回收處理流程	140
圖 7.7	B 廠廢潤滑油處理流程	140
圖 8.1	廢棄物清理法第十條之一條文架構	148
圖 8.2	廢棄物清理法第十條之一相關單位權責區分圖	149
圖 8.3	環保署現行規劃廢電子電器回收處理體系流程	149
圖 8.4	台灣地區廢電器用品回收處理體系主要流程	152
圖 8.5	德國含氟氣碳化物廢家電回收處理系統圖	153
圖 8.6	德國含映像管及其他類廢家電回收處理系統圖	155
圖 8.7	日本廢家電資源化處理流程圖	156
圖 8.8	D 公司電視拆解廠處理流程	161
圖 8.9	日本廢家電資源回收示範廠處理流程圖	163
圖 9.1	電路板種類與用途	170
圖 9.2	剝離法酸洗廢板邊料回收處理流程	174
圖 9.3	廢板邊料溶蝕金屬回收處理流程	175
圖 9.4	廢板邊料搖洗浮選金屬回收處理流程	175
圖 9.5	廢板邊料焚化金屬回收處理流程	176
圖 9.6	廢板邊料直接冶煉金屬回收處理流程	177
圖 9.7	廢印刷電路板案例資源化處理流程	179
圖 9.8	廢鍍金印刷電路板剝離單元操作流程	180
圖 9.9	破碎分選單元操作流程	181
圖 10.1	廢電線電纜機械法處理流程	186
圖 10.2	化學法資源再生技術處理流程	187
圖 10.3	冷凍法資源再生技術處理流程	188
圖 10.4	W 公司溶劑處理流程	189
圖 10.5	W 公司電線、電纜 PVC 及銅料回收處理流程	190
圖 10.6	W 公司 PVC 及 PU 表面處理之合成皮(布)回收處理流程	191
圖 10.7	W 公司其他塑膠產品回收處理流程	192
圖 11.1	美國 RECONTEK 法回收重金屬處理流程圖	202

圖 11.2	氨浸法回收重金屬處理流程圖	202
圖 11.3	高溫熔融法回收貴重金屬流程圖	203
圖 11.4	重金屬污泥固定化處理流程圖	204
圖 11.5	重金屬污泥鉻鹽回收法處理流程	211
圖 12.1	噴霧焙燒法處理流程圖(Nordac 法).....	221
圖 12.2	流體化床焙燒法處理流程圖(Lurgi 法).....	221
圖 12.3	擴散透析法處理流程圖	222
圖 12.4	真空蒸餾法回收廢鹽酸流程圖	222
圖 12.5	樹脂吸附法處理流程圖	223
圖 12.6	硫酸置換法回收廢鹽酸流程圖	223
圖 12.7	硫酸置換法回收廢混酸(鹽酸、硫酸)流程圖	225
圖 12.8	冷卻結晶法回收廢硫酸流程圖	226
圖 12.9	真空濃縮法回收含鋁廢硫酸流程圖	227
圖 12.10	燃燒接觸法回收廢硫酸流程圖	228
圖 12.11	加水分解法回收廢硝酸流程圖	230
圖 12.12	硫酸置換法回收硝氟廢混酸流程圖	231
圖 12.13	溶劑萃取法回收硝氟廢混酸流程圖	235
圖 12.14	氫氟酸置換法回收含鋁廢硝酸流程圖	237
圖 12.15	廢酸液噴霧焙燒回收處理流程	238
圖 13.1	Tetronics 電漿爐法處理流程	246
圖 13.2	SKF 電漿爐法處理流程	247
圖 13.3	Uddeholm 感應電爐法處理流程	248
圖 13.4	低週波爐法處理流程	249
圖 13.5	火焰反應器法處理流程	249
圖 13.6	旋轉窯法處理流程	251
圖 13.7	半鼓風爐法處理流程	252
圖 13.8	強鹼溶出／電解處理流程	253
圖 14.1	爐渣資源化用途	270
圖 14.2	高爐水泥生產流程圖	278
圖 14.3	高爐水泥與卜特蘭水泥抗壓強度比較	280
圖 14.4	高爐水泥與卜特蘭水泥試體浸泡於 5% 硫酸鈉溶液之膨脹率與齡期關係	281
圖 14.5	各種水泥混凝土緻密性比較	282
圖 14.6	高爐水泥與卜特蘭水泥預防鋼筋腐蝕比較	282
圖 15.1	「泥燃劑」製造流程圖	291

圖 15.2	廢白土溶劑萃取回收油份之流程圖	298
圖 16.1	廢鈇/鉬觸媒以濕式法回收貴重金屬鈇、鉬之處理流程	311
圖 16.2	廢阮尼鎳觸媒再生回收處理流程圖	312
圖 17.1	煤灰資源化發展圖	320
圖 17.2	電廠煤灰資源化流程圖	324
圖 18.1	Feistriz(奧地利)之廢鉛酸蓄電池資源再利用處理流程	330
圖 18.2	BRM(英國)廢鉛酸蓄電池資源再利用處理流程	331
圖 18.3	泰銘(台灣)廢鉛酸蓄電池資源再利用處理流程	332
圖 18.4	德國 Batterierecycling Schonebeck GmbH 混合廢電池資源再利用處理流程	333
圖 18.5	Recytec SA(瑞士)混合廢電池資源再利用處理流程	334
圖 18.6	廢棄物處理發展中心(日本)混合廢乾電池資源再利用處理流程	334
圖 18.7	廢鎳鎘電池焚化處理流程	335

表 目 錄

	頁次
表 1.1 飼料用動物油脂須符合之成分標準	10
表 1.2 廢食用油與一般燃料油之性質	13
表 1.3 廢食用油資源化技術評析	14
表 1.4 廢食用油資源化產品市場之評析	15
表 2.1 木業廢材之產出比例	22
表 2.2 木業廢材之原形利用方式	23
表 2.3 廢木材資源化技術評析	31
表 2.4 各類培養土之配料比例	45
表 2.5 廢棄物製作培養土之使用量統計表	45
表 3.1 TMAC 統計全球車用輪胎產量變化	51
表 3.2 我國與歐美各國廢輪胎產出及回收概況	52
表 3.3 廢輪胎和煤之組成比較	57
表 3.4 廢橡膠資源化技術評析	65
表 4.1 熱塑性塑膠之分類	75
表 4.2 廢塑膠資源化技術評析	85
表 5.1 有機污泥與無機污泥差異性分析	93
表 5.2 典型生物污泥化學特性	95
表 5.3 生物污泥與商業肥料肥分之比較	95
表 5.4 各國對有機污泥土地施用之土壤最大容許標準	96
表 5.5 堆肥與土地施用之比較	97
表 5.6 消化氣體與其他各種燃料發熱量的比較	102
表 5.7 各種乾燥裝置特性比較	103
表 5.8 熔渣之種類、形成方法及特性	106
表 5.9 熔渣之用途	106
表 5.10 有機污泥資源化技術評析	107
表 6.1 各類油泥之含油量	114
表 6.2 泥燃劑之成份比例及規格一覽表	121
表 6.3 廢油泥資源化技術評析	122
表 6.4 廢油泥資源化技術可行性評估	124
表 7.1 廢潤滑油資源化技術評析	137
表 8.1 國內廢電器成份表	150

表 8.2	廢電器用品資源化技術評析	158
表 8.3	日本廢電器用品資源回收處理廠處理量	162
表 8.4	日本廢家電資源回收示範廠處理流程說明	164
表 9.1	印刷電路板業產生之固體廢棄物來源及特性	170
表 9.2	廢電路板三成分及熱值分析	171
表 9.3	廢電路板元素分析	172
表 9.4	廢板邊料金屬分析	172
表 9.5	廢印刷電路板及邊料資源化技術評析	178
表 10.1	廢電線電纜資源化技術評析	189
表 11.1	國內重金屬污泥產生現況	197
表 11.2	國內重金屬污泥處理處置現況	198
表 11.3	重金屬污泥分離回收技術現況	200
表 11.4	重金屬污泥資源化技術評析	212
表 12.1	產生各種廢酸之主要行業	218
表 12.2	廢酸資源化技術評析	232
表 12.3	廢酸液噴霧焙燒回收之效益評估	235
表 12.4	廢酸再生鐵鹽資源化之效益評估	239
表 13.1	爐塵灰資源化技術評析	255
表 13.2	Tetronics 電漿爐回收爐塵灰之效益評估	259
表 14.1	爐渣資源化技術評析	276
表 14.2	高爐水泥與卜特蘭水泥水合熱比較	280
表 14.3	高爐水泥節省資源效益評估	283
表 14.4	高爐水泥降低二氧化碳生成量效益評估	284
表 15.1	酸活性白土特性分析	290
表 15.2	泥燃劑之成份比例及規格一覽表	292
表 15.3	廢白土含量不同之肉雞飼料對飼養結果之影響(0~4 週)	293
表 15.4	廢白土含量不同之蛋雞飼料對飼養結果及雞蛋品質之影 響(2x28 天).....	294
表 15.5	利用己烷萃取廢白土回收之黃豆油品質	298
表 15.6	廢白土資源化技術評析	299
表 16.1	ROC/FCC 廢觸媒 TCLP 分析結果	308
表 16.2	ROC 廢觸媒之化學組成	308
表 16.3	ROC 廢觸媒粒度分析	309
表 16.4	ROC 廢觸媒取代陶瓷原料之經濟效益分析	310

表 16.5	廢觸媒資源化技術評析	313
表 17.1	典型飛灰的化學成分、特徵與水泥比較表	317
表 17.2	國外煤灰（飛灰）產量、利用及相關情形	319
表 17.3	煤灰的利用用途	321
表 17.4	飛灰再利用之優點	322
表 17.5	煤灰資源化技術評析	323
表 18.1	廢電池資源化技術評析	337



前 言

國內廢棄物之產生量，隨著生活水準之不斷提高，亦逐年在緩慢成長當中，然而對於國內長久以來所面臨地狹人稠之既存壓力下，此現象不啻是加重政府對於國內社會、環境與生態問題之間，更形複雜交錯而難以因應。

近來世界各國同樣面臨到廢棄物在處理處置方面的困擾，以往的方式為不斷改進處理設備之功能，即管末處理的概念，以期能提高對於廢棄物之處理效率，但仍難以完全解決廢棄物之產出問題；因此，近來由於對廢棄物觀念上之改變，已不再對廢棄物將其視為完全無用之物，即「別人之廢棄物，我可用之資源」，如此一來，使得現有極大部份之廢棄物，轉而成為具有再利用經濟價值之物資。舉凡生活中常見之油脂、木材、紙張、玻璃、金屬及電池等，甚至工業製程之有機污泥、爐渣、煤灰、觸媒和印刷電路板等，皆可透過適當之資源化技術，予以回收再利用，一方面緩和了廢棄物堆積且污染環境之窘境，另一方面，亦可節約地球資源，以為後代子孫所永續利用，其效益實難以估計。

有鑑於國內工業廢棄物之產量居高不下，工業局除致力於輔導業者進行一系列污染控制、工業減廢措施外，為因應資源永續利用之世界潮流，惟有將廢棄物資源回收再利用的作法融入廢棄物處理體系中，使之成為國民日常生活中的一環，則應可有效解決目前所面臨之挑戰。

本彙編針對 18 類國內常見之事業廢棄物，經蒐集、彙整國內外相關之資源化再利用技術後編撰成冊，其目的即希望能同時提供產業界較廣泛、多樣化之資源化技術訊息，藉此帶動國內資源化再利用技術之開發與研究，達到「拋磚引玉」之目的。



第一篇 有機類資源性廢棄物



第一篇 有機類資源性廢棄物

本篇就七類有機廢棄物之資源化技術作分章介紹，各章之內容如下：

第一章 廢食用油資源化技術

第二章 廢木材資源化技術

第三章 廢橡膠資源化技術

第四章 廢塑膠資源化技術

第五章 有機污泥資源化技術

第六章 廢油泥資源化技術

第七章 廢潤滑油資源化技術



第一篇 有機類資源性廢棄物



第一章 廢食用油資源化技術

1.1 前言

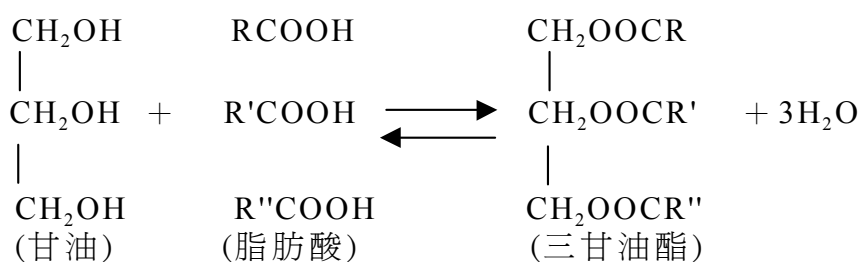
廢食用油為極具資源化利用之廢棄物類別，僅須簡易之處理步驟即可多方面應用於其他工業製程與產品，經調查，廢食用油的產生主要來自餐廳、速食業、食品工廠及機關團體等。目前回收管道十分紊亂，包括合法之清除機構、地下食用油行及餿水油行等。處理途徑屬正常管道者，有添入飼料、製作肥皂及硬脂酸等方式。而一些不法業者將回收的廢食用油作重煉再生，重新流入市面，對於環境衛生與人體健康造成嚴重的威脅。因此，期望藉由本文之介紹，未來廢食用油之處理能朝向資源化利用之方向，進而建立其回收處理之靜脈管道及體系，以提昇國內廢棄物資源化之成效。

1.1.1 食用油脂之介紹

油脂長久以來被認為是最重要的人體必需品，因為其能提供最大能量及人體所必需之脂肪酸，且是構成細胞組織和細胞膜功能的重要物質。假如食物中沒有油脂，不但乾澀無味，更不容易引起人們的食慾。

依照韋氏字典(Webster's dictionary)的定義，「油脂」為一切能溶於乙醚、氯仿或其他有機溶劑，而僅略溶於水中的化合物及其衍生物，且與蛋白質、碳水化合物同為生物體細胞構造的主成分。它的比重比水小，在常溫下以液體狀態存在者稱為油(oils)，以固體狀態存在者則通稱為脂(fats)。油脂係由 CO_2 與 H_2O 在動植物體中合成之有機化合物，其主要成分為脂肪酸及甘油酯(glyceride)，一般油脂常含數種甘油酯之混合物，而非純粹之一種，故無明顯之熔點。

通常油或脂常含六種或六種以上不同之脂肪酸，亦有多至十餘種者，且同一甘油分子中，其連接之酸基亦不盡相同，一般式如下所示：



油脂以脂肪酸之甘油酯為主要成分外，尚含有微量之其他成分，如卵磷酯(lecithin)及植磷酯(kephalin)等磷酯類(phosphatides)，或各種不皂化物及游離脂肪酸等。

1.1.2 廢食用油之性質

各種食用油脂在出廠前須經過嚴格之品質管制，合乎了國家標準後才能出廠，我國中央標準局亦針對各類食用油脂訂定 CNS 標準(如 CNS 193、CNS 749、CNS 4988、CNS 4989、CNS 7525)。針對其顏色、游離脂肪酸含量、過氧化物含量、飽和程度、比重、金屬含量等均需合乎標準，否則就不能販賣。

但一瓶新鮮的油可存放多久呢？這與油貯放環境的光線、溫度、濕度以及油中所含金屬離子多寡有關，至於油炸油又受到食物中之水份、空氣中氧氣、油炸溫度、油炸食品中的萃出物以及油炸時間等的影響，這些因素都會造成油炸油分解劣變。

油脂和氧氣反應，經過一段氧化誘導期後，開始產生過氧化物，因過氧化物受熱後不穩定，故不斷地形成又不斷地分解，而一部份分解物會發生聚合反應使油的粘度增高，進而引起發泡及油耗味的產生，此時油就已經劣變了。

至於油炸油在油炸過程中受高溫之影響，油脂更容易劣變，在油炸過程中，油脂暴露於空氣、水氣及高溫之下，產生了許多化學反應，如氧化(oxidation)、水解(hydrolysis)、異構化(isomerization)、聚合(polymerization)及裂解(pyrolysis)等，造成油脂發生許多物理、化學性質之改變。故當油炸油重覆使用之後，經常可看到油色變深，粘度增大，易冒煙起泡，進而產生一些危害人體健康的物質及不良的氣味。



1.1.3 廢食用油之劣敗標準

如何判斷油脂是否已發生劣敗情形，一般可利用簡易的油脂品質感官判定法：

- 1.油變粘稠的程度—油脂粘度加大，表示油劣變程度加重。
- 2.油耗味的強弱—油脂氧化程度與其產生之油耗味成正比。
- 3.起泡的多寡—因粘度隨劣變程度增高，油沫亦隨之產生。
- 4.顏色的變化—油脂因加熱或與食品反應，會導致油脂顏色加深。
- 5.油冒煙的程度—使用後的油中游離脂肪酸濃度加大，促使發煙點降低，煙量大增。

以上五種利用感官的方式判定油的品質，因過於主觀且不很準確，祇能做為參考性之判斷方法。若須確實瞭解油劣變程度，可由實驗室中的一些檢驗方法來獲得。

- 1.物理方法：發煙點、泡沫試驗、油色、粘度、紫外光吸收度、比界面張力、介電張數、官能評價法等。
- 2.化學方法：酸價、過氧化價、碘價、羰基價、總極性化合物、Fritest、RAU-test、Spot test 等。

由於不同種類油脂之脂肪酸組成不同，油炸油中之變化各異，因此油炸油中最困難的是訂定劣敗標準(cut-off levels)，劣敗標準必須經過完整之感官品評及動物試驗才能確定，目前以總極性物質測定法(total polar method)較常使用，總極性物質是定量不溶於石油醚之極性物質，優點為比石油醚不溶物法快速，再現性良好，目前 28%之總極性物質已被廣泛採用作為一般油炸油之丟棄標準。

而日本亦訂出了炸油之使用極限，以油炸馬鈴薯風味明顯降低時，訂為「風味點數 3」(帶有油騷、油臭、重味)，作為判定炸油已變質之標準；經分析，風味點數 3 的油脂其羰基價(CV)為 14 左右。

1.1.4 廢食用油對人體之影響

廢食用油的毒性問題很早即被人研究，研究發現在油炸過程中，產生了許多

揮發性及非揮發性的微量化合物，其中有些已被證實具有毒性，例如會降低食慾、抑制生長、降低腸壁吸收能力、引起肝臟、胃臟和胸腺腫大、肝臟油脂性壞死、降低紅血球數、血紅素、血球比容和血清蛋白質、胃腸脹氣、胃潰瘍和出血、肝臟和腎臟細胞萎縮或分裂不正常，甚至被懷疑具有致癌性。

一般被懷疑存在廢炸油中之毒性微量化合物有極性物質、環狀單體及尿素不結合物等三種，科學家將油炸油中之這些毒性微量化合物分離出來餵食老鼠，發現會造成老鼠消化道潰瘍，以及肝臟、腎臟細胞之傷害，引起脂肪肝等現象。雖然此結果多由動物實驗所獲得，但依常理判斷，只要將能危害老鼠的量加大到相當強度，應該會導致人體產生疾病。故食用劣變油對人體健康影響極大，不能不謹慎。

1.1.5 廢食用油產生現況

廢食用油產出對象可說相當複雜，包括：家庭、機關學校等團體之伙食餐廳、速食業、餐飲業、食品加工業或甚至是路邊小販等皆是，故要對廢食用油之產生源加以管理，實為不易。

另一方面目前國內廢食用油回收處理管道十分紊亂，宜導向合法處理途徑。有關國內廢食用油之產生及回收處理途徑如圖 1.1 所示。

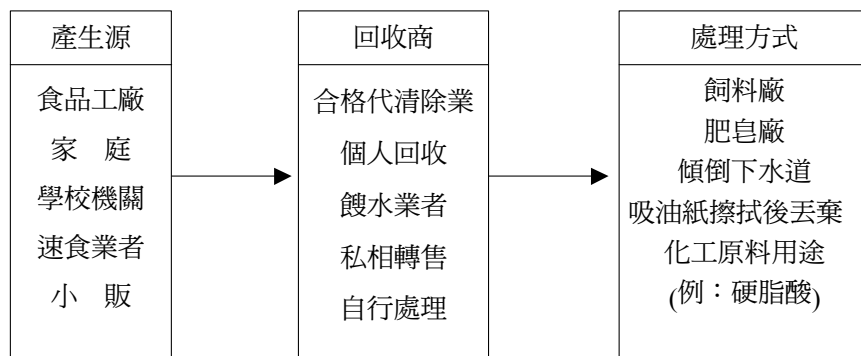


圖 1.1 廢食用油產生、回收及處理途徑



第一章 廢食用油資源化技術

有關國內廢食用油各產生源之每年廢食用油單位產出因子，以及每年總產生量之推估如下：

1. 家庭

- (1) 個人每年廢油產生率 0.7~1.1 公斤/人/年
- (2) 推估國內家庭廢油數量約 1.5~2.3 萬公噸/年

2. 餐飲業(不含速食業)

- (1) 個人每年廢油產生率 1.5 公斤/人/年
- (2) 推估國內餐飲業廢油數量約 3.15 萬公噸/年

3. 速食業

- (1) 炸雞類 132 家，1.6 公噸/店/月
- (2) 漢堡類 313 家，0.6 公噸/店/月
- (3) 廢油產量推估約 4,788 公噸/年

4. 機關團體、油炸食品小販：目前仍欠缺統計資料

5. 食品業者

會產出廢食用油之食品包括：速食麵、沙茶醬、麵筋、油炸零食類、餅乾類、冷凍食品等。

- (1) 各類食品之廢油產生量與油品使用量間之比例約 7~10%
- (2) 依食品業者產量推估其廢食用油推估數量為 2~2.5 萬公噸/年

加總以上 1~5 各項推估值，可得國內廢食用油總量推估約為 7~8.5 萬公噸/年。

1.2 現有廢食用油資源化技術

廢食用油被認定為高資源價值物質主要係因其可利用之途徑十分廣泛，國內常見的再利用方式除可用作飼料添加、肥皂及硬脂酸原料外，亦被應用於模板脫模使用、肥料添加及機械加工用油等用途，而國外相關文獻亦證實可用於替代燃

料油使用，及作為塗料原料等再利用方式。以下將針對幾項廢食用油之資源化利用技術作一介紹。

1.2.1 用作飼料添加物

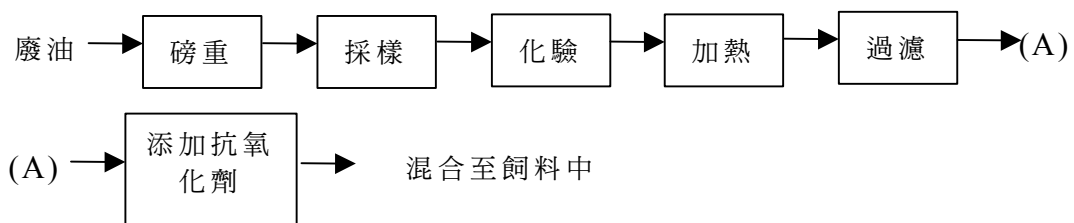
一般飼料廠多在飼料中添加 1~4% 之油脂，以增加其熱能及肥育效能，我國對於飼料之添加油脂有一 CNS 3400 規範，其要求之成份標準，如表 1.1 所示，水分須低於 2%，且游離脂肪酸之含量不得超過 20%，故對於用作飼料添加之廢食用油脂所要求之品質較其他再利用方式為高。

表 1.1 飼料用動物油脂須符合之成分標準

項目	標準說明
外觀	色澤正常、無發霉酸敗現象
水分	不超過 2.0%
總脂肪酸	不低於 90%
游離脂肪酸	不超過 20%
不皂化物	不超過 5.0%
不溶物	不超過 1.0%
過氧化價	不超過 10

資料來源：摘錄自中國國家標準 CNS 3400

一般而言，廢食用油在回收並添加於飼料前，尚須經數道簡單之前處理步驟：

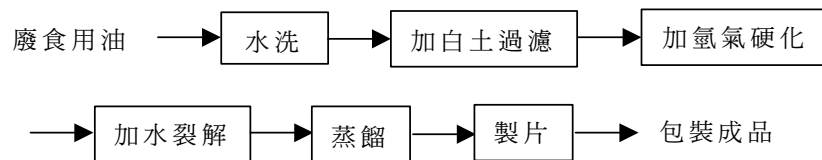


由於廢油之要求品質高，故一般而言，以新鮮之廢油最佳，且在製成飼料之

過程中，須視需要添加抗氧化劑，以避免油脂之腐敗變壞；此技術國內已有實廠運作，對於取代各飼料廠目前使用之進口三級牛油而言，國內回收廢食用油品質更好，效益頗佳。

1.2.2 製成工業原料硬脂酸

硬脂酸為許多工業產品（如：輪胎、橡膠等）之重要原料，國內之總需求量頗為可觀，而廢食用油多為動植物性油脂，屬於三酸甘油脂類，故經適當之化工步驟，可分解為硬脂酸及甘油等兩種重要之工業原料，其原理及流程如下：



- 1.將廢食用油經水洗去除水溶性雜質後，再添加白土過濾，以濾除油中之油炸屑等雜質。
- 2.前處理後之廢油泵入氫化釜，添加鎳觸媒及氫氣，於高溫下氫化產生硬化油。
- 3.再將氫化後之硬化油經裂解釜及添加適當水份，分解為硬脂酸及甘油。
- 4.並視產品之需要，再經近 220°C 高溫及高真空蒸餾，提高硬脂酸之純度及色澤，製成成品。

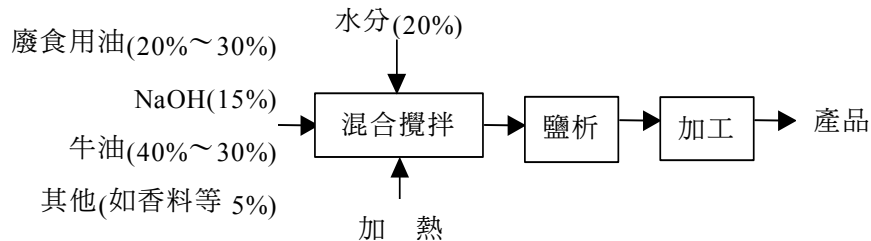
製成硬脂酸之純度高達 99% 以上，可直接應用作為工業原料，雖然因需增設廢油之前處理設備，其花費之成本甚且較使用新油生產略貴，但以對於廢食用油脂有效利用之觀點作長期考量而言，其對環保及資源永續之整體效益仍是值得的。

1.2.3 作為肥皂原料

油脂加上鹼液，可皂化產生肥皂，此原理十分簡單且很早即被廣泛應用，國內肥皂製造廠目前之廢油來源仍多以進口之三級牛油、羊油及棕櫚油為主，而為降低成本考量，可在不影響產品品質之條件下添加 30% 左右之廢食用油。

一般而言，因可容忍之油品品質較寬鬆，凡屬動植物油均予以回收，事先並

不予以分析其油濃度及雜質，僅以目視判斷其油品品質是否可接受，其再利用之流程如下：



廢食用油入場後可存貯於油槽中並進行加熱攪拌，生產時再予以加入製程，一般均不須經其他前處理步驟，有關廢食用油之加入比例多寡，常與此肥皂產品之要求硬度有關，故多由現場人員依經驗判斷，一般約在 20~30%之間。

1.2.4 作為燃料油使用

廢食用油的熱值約在 9,300~9,500 仟卡/公斤左右，在燃燒時可與一般鍋爐使用的燃油一樣產生大量的熱，故可以作為替代燃料油之用，但是它的性質仍與一般的燃油有異，表 1.2 即為廢食用油與重油間性質之差異比較；在發熱量上僅比重油少約 10%左右，其相差不大，但在引火點上，重油約在 75°C 左右，而廢食用油則在 230~240°C 之間，故啟動燃燒較為困難，一般而言，多需藉由重油來點火，或與重油混合降低引火點等方式來促使燃燒反應之發生。

由於廢食用油中多含有水份，而水會嚴重影響燃燒反應，因此貯存的廢油必需靜置以分離其中的水分。而廢食用油較重油作燃料為佳之處在於含氮及硫之成分較低，此可在空氣污染防制的投資及成本上節省除氮、除硫設備之支出。此外，廢食用油之流動點較重油高，故在冬季低溫下，要增設燃料輸送管的加熱裝置，以避免廢食用油之凝結而造成輸送之困難。

故廢食用油雖具有高熱值、低污染等優點，但在燃料利用上仍須藉由一些前處理及加裝設備等方能順利使用，目前日本已有多處實廠運用實例，國內則尚未進行實作。

表 1.2 廢食用油與一般燃料油之性質

項目	食用回收油	重油燈油
發熱量 Kcal/Kg	9,300~9,500	10,000~11,000
引火點°C	230~240	40~75
比重	0.90~0.93	0.75~0.85
硫份%	0.0020~0.0025	0.004~0.010
氮素%	0.005~0.010	0.001~0.040
動粘度 cSt	25~30	3
流動點°C	4~7.5	39
殘留炭素%	0.50~0.55	0.04
灰分%	0.05~0.15	0.004
酸價 mgKOH/g	20~45	0.1~0.5
反應性	弱酸性	中性

1.2.5 替代機械加工用油

機械加工用油的應用範圍相當廣泛，一般視其製程特性選擇適用之油品性質加以利用。種類若依特性不同可區分為：切削油、研磨油、冷潤油、軋延油、伸線油、沖壓油及鍛造油等。依其組成成份不同可分為油性、水溶性及固體型等三種，而廢食用油之摻配則較適用於油性之冷潤油為宜，用在拉削、銑床、孔鑽等較需高度潤滑性之工作為主。

由於廢食用油屬動植物性油脂，此類油脂較礦物油易受氧化及水解，故直接作為油性機械加工用油之情況並不多見，一般而言，仍以和潤滑油作適度摻配較常見，據國內實際運作工廠提出之參考數據，廢食用油脂與潤滑油之體積摻配比最高可至 2:1，但實際比例仍易受廢食用油品之酸度、水分及雜質成分所影響，一般而言，酸度低、水分及雜質含量少，且愈新鮮之廢食用油可摻配之比例愈高。由於本項用途尚屬實驗階段，故許多應用上之參數仍需作進一步之研究與證實。

1.2.6 其他用途

根據相關文獻及研究，廢食用油尚可應用於肥料之添加，以增加其肥份及流動性；亦可作為事先塗抹於模板上，以利模板脫模時方便剝離使用，且對模板亦

具有良好之防潮作用，惟一般而言，塗佈用量不可過多，以免影響到混凝土之品質。此外，日本亦有工廠將廢食用油加工作為塗料、油漆之原料。故廢食用油之資源化用途可謂十分廣泛且成功。

1.3 廢食用油資源化技術評析

有關前述各項廢食用油相關資源化技術之評析如表 1.3 所示，而依目前資源化產品市場加以評析如表 1.4 所示。

表 1.3 廢食用油資源化技術評析

技術名稱	原理、流程	適用對象	成品與適用範圍	技術成熟度與實績	特點(含應用限制)
製成工業原料	1.廢食用油經過水洗、過濾其雜質 2.廢油再經觸媒氫化為硬化油 3.將硬化油分解硬脂酸及甘油	廢油品質要求較高	硬脂酸及甘油	已有實廠運作	1.屬高價值之再利用用途 2.廢油品質要求高，否則前處理費用增加
摻入飼料使用	1.油脂添加在飼料中，以增加熱能及肥育功能。 2.替代目前使用之進口三級牛油	廢油品質要求較高，且需新鮮未腐敗者	飼料之添加劑 (1~5%)	已有實廠運作	1.國內需求量大 2.廢食用油應避免腐敗，保持新鮮度，或酌量添加抗氧化劑
替代部份機械加工用油	1.可摻配於油性潤滑油中 2.用作銑床機具潤滑、冷卻使用	廢油之含水率及雜質須注意	摻配比例，廢食用油：潤滑油約 2：1	尚屬實驗階段	1.滑潤效果易受油品酸化程度，水分及雜質成分影響 2.經濟效益甚為可觀
燃料油使用	1.具有高燃燒熱(9,500kcal/kg)，可作重油替代品 2.成分中含硫與氮量極少，節省空氣污染防治支出	廢油之含水率及雜質須注意	替代部份之重油	國外已有實廠使用	1.須控制水分、雜質量及流動性 2.因引火點高，仍須使用重油點火
肥皂原料	1.替代目前肥皂業使用之進口油脂 2.油脂加鹼皂化產生肥皂	油品質之要求不高	作為肥皂原料	已有實廠運作	1.原理簡單，不須複雜程序 2.使用油脂品質等級不高
模板脫模利用	1.塗佈於模板上，以利脫模使用 2.具有模板防潮作用	油品質之要求最低	營建模板脫模使用	已有實際運作情形	1.塗佈用量不可過多，以免影響混凝土品質 2.國內用量有限

表 1.4 廢食用油資源化產品市場之評析

項目	硬脂酸原料	摻入飼料	肥皂原料	機械加工用油	燃料油	模板脫模
產品效益	佳	佳	較差	佳	較差	差
市場需求	中	大	大	大	中	小
廢油品質	高	最高	不拘	高	高	不拘
廠家規模	大	大	小	小	小	小
程序步驟	較複雜	中等	簡易	中等	中等	易

1.4 國內廢食用油清除處理及資源化成效

有關廢食用油之清除處理現況可分為兩大部分：

1.4.1 委託清除處理業者

委託清除機構清運者主要為速食業及食品工廠，目前國內取得環保單位核准許可者計 5 家，而尚未核准者則在 10 家以上。

1.4.2 自行處理

家庭、餐飲業及機關團體則多將廢食用油排放至下水道或用紙吸附後併入廢棄物處理。由此可知，家庭、機關團體及餐飲業者之廢油資源回收觀念仍待加強，目前大多倒入下水道或用吸油紙吸附後併廢棄物處理；而委託清除處理業者則藉由清除機構收集後送至飼料廠作飼料添加物、肥皂原料及工業原料(如硬脂酸、甘油等)，但這些再利用工廠經環保署核准家數僅四家，其處理總容量不超過 4,400 公噸/年，故對於每年國內廢油數萬公噸之產生量，仍有極大的推廣空間。

國內有許多可資源化之工業廢棄物未獲妥善回收利用，主要原因為廢棄物之資源價值較低，或處理程序複雜，或資源產品市場受限，可是廢食用油之資源化工作則沒有這些問題，因為廢食用油屬高價值之廢棄物，一般回收價格可高達 3~5 元/公斤，且資源化利用途徑十分廣泛，且無須繁複步驟，而且資源化產品如肥皂、硬脂酸或是飼料等，均為市場需求量甚大的產品，故未來在廢食用油之回收清理上之前景將是欣然可見的。

1.5 廢食用油資源化案例

A 廠為一中部之飼料廠，而飼料之製造過程中需添加許多營養成份以促使增加其熱能及肥育效能，包括維生素、油脂等，其中油脂之標準須符合「CNS3400 飼料用動物油脂」所要求之成分標準，以往多藉由進口國外三級牛油來取得，但由於品質不太穩定，時有酸價或過氧化價過高之問題，且價格亦稍高，故自數年前即開始轉為向國內收取廢食用油來替代進口之三級牛油。該廠委託合格之廢食用油清除回收商，向速食業者收購每日換下之廢炸油作為飼料添加之油脂，為保持廢油之新鮮度，其要求收購商須於回收當日即送至該飼料廠進行利用，以避免過長貯存所造成之油脂腐敗問題。

由於添加於飼料之廢油要求較高之品質，故每批回收油均需經過嚴格之品質管制及檢驗（其廠內所訂之標準稍高於 CNS 要求之標準），以避免對於飼料品質造成影響，一般而言，飼料中添加油脂之比例多在 1~4% 之間，而目前因國內廢油之回收率仍偏低，故仍有部份飼料用油脂須藉由國外進口取得。

未來，如何增加廢油之回收率，以減少仰賴國外進口之依賴，以及如何控制好的廢油回收品質將是該廠所訂定之努力目標。



參考文獻

- 1.食品工業發展研究所，食用油脂化學及加工，1988。
- 2.楊博光，油脂加熱及油炸過程中品質之測定，台大食品科技研究所碩士論文，1986。
- 3.鄭宏德等，淺談日本廢食用油之管理與再利用，工業污染防治報導，No.110，1997。
- 4.尾本五郎，廢食用油脂的有效利用，油化學，Vol.43，No.4，1994。
- 5.薄木理一郎，日本廢食用油發生、回收、再生之現狀及問題點，Vol.42，No.11，1993。
- 6.日本農水省，廢食用油之燃料利用，油脂，Vol.45，No.8，1992。
- 7.經濟部中央標準局，中國國家標準 CNS3400-動物油脂(飼料用)，1995(修訂)。
- 8.鄭宏德，「廢食用油資源化利用技術與回收體系建立座談會」書面資料，經濟部工業局，1998。
- 9.Alkahtani, H. A. "Survey of Quality of Used Frying Oils from Restaurants", JAOCS , Vol.68, No. 11,1991



第一章 廢食用油資源化技術



第一章 廢食用油資源化技術



第一章 廢食用油資源化技術



第二章 廢木材資源化技術

2.1 前言

我國木業原極為發達，但近來由於受到山林保育政策，原木生產國控制原木來源與產業外移至國外之交互影響，使得產業之發展逐漸呈現萎縮的趨勢。

國內廢木材之來源可包括以下三大類：

1. 木業（包含製材及合板等）廢材

加工過程中所產出之廢材，如：樹皮、邊材、木屑、木塊等，其特性等於天然之樹木材質，由國內 83 年統計進口原木量及製材量，可計算得原木及製材個別產生廢材率分別為 45% 及 20%，藉此可推估得到國內木業廢材之產出量總和，可達每年約 100 萬公噸⁽¹⁾。

2. 廢棧板及包裝材

本類廢木材來自應用於貨物包裝及運輸所廢棄之棧板、包裝箱等，其特性為表面可能含有噴漆以及接合用之鐵釘等其他物質。

3. 廢棄傢俱及建築廢材

本類廢木材來自廢棄之木質傢俱、裝潢建材或橋樑等大型木製品，其材質特性更為複雜，除同第二類廢木材所含物質外，可能還包括含塑膠、橡膠等材質之附屬配件。

由於國內尚未建立廢木材之資源回收體系⁽²⁾，且各類廢木材之產出，往往佔據了有限的清理容量，因此，若能適切將其導入資源化再利用市場，除可解決有關廢木材之清理問題，同時開發原木以外之木材來源之外，對於全球之生態環境將有重大之助益⁽²⁻⁵⁾。



2.2 現有廢木材資源化技術

2.2.1 木業廢材回收技術

2.2.1.1 原形利用

原形利用由字面之意義可知為：對於廢木材之物理形態，不再做進一步改變其外形（例如：破碎或粉碎等）且不經過物理或化學之加工過程為原則下，直接進行再利用，表 2.1 為木業生產作業中各類廢材產生之比例，可知其產出比例相當高。

表 2.1 木業廢材之產出比例

廢材種類	產出比例 (%)
邊材、木塊	17~20
鋸 屑	7~10
樹 皮	5~8
合 計	29~38

就木業廢材而言，無論是那一類之廢料，皆可以供做原形利用之用途，例如：邊材及木塊可依其大小，裁切成需要之尺寸，用做修補或角材，其他尚包括手工藝品及材薪等；鋸屑之原形利用則多為直接施灑，因其形體已減小許多，具有吸濕的功能，故可用作家畜墊料、油類吸附劑之用，其他直接之用途則為燃料；至於樹皮之應用亦同鋸屑，因其本身之材質較木材部為鬆散，但產量少，亦可應用於家畜墊料、燃料等方面。

表 2.2 木業廢材之原形利用方式

廢材種類	原形利用方式
邊材、木塊	木器修補、裁切成材、園藝造景、手工藝品製作、材薪、菇類栽培
鋸屑	家畜墊料、油類吸附劑、堆肥添加基質、土壤改良劑、果樹根部覆蓋防寒、粒片板原料、燃料
樹皮	家畜墊料、燃料、堆肥添加基質

2.2.1.2 農業利用

由於本類廢料之成份與天然樹木相同，因不含非天然成份之雜質，故應用於農業利用方式時，可降低對原料進行篩選，分類之成本，其中又以鋸屑為最適用之素材，可分為下列幾種方式：

1. 有機堆肥（土壤改良劑）

以往人們在於施肥時，大量使用了價廉速效的化學肥料，雖然短期得到了可觀的農產收穫量，但是另一方面確造成了土壤，甚至地下水中都殘存了一定量的化學肥料的成分，故對於肥料的使用上，一方面除了不斷研究、改良化學肥料，另一方面人們則體認到應以使用有機肥料來代替化學肥料。

有關木業廢材應用做為有機堆肥時，多利用其豐富之木質纖維，使堆肥具有膨鬆多孔之特性，以蓄含更多之養分及水分，供給作物生長所需，堆肥製造流程如圖 2.1 所示。其他之應用方法，尚可與造紙污泥、豬糞或酒糟等有機性污泥共同混合製成培養土⁽⁴⁻⁷⁾。

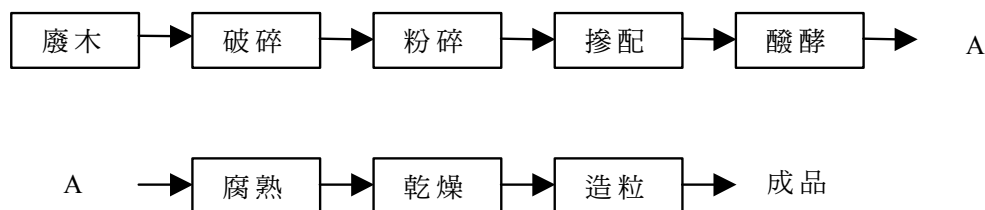


圖 2.1 木業廢材堆肥流程圖



2. 作物覆蓋

農作物在栽培過程中，為了確保其最終的收穫，往往必須有若干的防護措施，而防寒措施即是其中之一。將木屑覆蓋於作物根部，並配合其他必要的防寒作法，可以保護農作物不受寒害。

3. 其他農業利用

其他農業利用方法尚包括養菇太空包的培養基^(7,8)，然而據菇農之經驗指出，因菇類之生長習性及多方試驗的結果顯示，菇類對於養分利用來源的樹種具有專一的現象，僅為相思樹單一樹種，故其市場之發展明顯受到潛在限制。

2.2.1.3 粒片板(particle board)、成型棧板製造

粒片板為以不同粒徑之鋸屑或鉋花，經加入膠合劑膠合、熱壓及成型步驟後，即可製成粒片板⁽⁹⁾。粒片板之主要用途為供應傢俱業用作原料，近年來由於原木之取得受限於原木出口國，且受經濟之衝擊，因而影響傢俱業者之生存，以致紛紛外移大陸。為維持國內業者對於原木的持續需求量，如何將國內之廢木材進行有效資源化再利用，均有其正面之貢獻與迫切需要。

成型棧板之製造原理同粒片板，差異點為成型棧板為產品而非原料板材。

2.2.1.4 製漿

我國為造紙技術的發明地，對於造紙自然有深入的瞭解。造紙最重要的原料即為紙漿，常用做紙漿原料的樹種以闊葉樹（L材）較多，而以針葉樹（N材）較少。由於現代工業生產技術的不斷改良與分工日趨精細的要求下，造紙工業與製漿工業儼然已各自成為獨立發展的工業。

製材業所產出之廢料，因尚未經過任何加工過程，故最接近於自然狀態，可用做製造紙漿之原料。然而，由於對紙張成品品質之考量，製漿原料仍以L材為主，故於進行資源化再利用時，需予以篩選。

2.2.1.5 燃料製品

廢木材原本即可以直接燃燒，但熱量小且易產生大量之煙及灰燼，形成空氣污染問題。若將廢料再製成其他燃料製品，如：煤炭及原子炭等，則可以得到較高的熱量，然而空氣污染問題依然無法改善，加以目前生活水準已有相當之提高，因此本項製品之市場已大大萎縮⁽⁷⁾。



2.2.1.6 製造活性碳

活性碳為一具有多孔性結構、極大比表面積的物質，化學成分上接近 100% 皆為碳元素，而其物理形狀可區分為顆粒狀活性碳(GAC)及粉末狀活性碳(PAC)兩大類，各有其適用的特性，目前多利用其吸附特性而應用在污染防治方面，例如：水污染、空氣污染之污染物控制等；亦可考慮作為生物處理上微生物附著的基材，使得生物處理方法更為有效。

木業廢材由於其大多不含雜質，故皆可用作活性碳之製作原料，而其中以鋸屑最適合製造粉末狀活性碳，因鋸屑之粒徑已不須減形，可有效降低因破碎所需之能源消耗，有關廢木料製造活性碳之製造流程，如圖 2.2 所示。

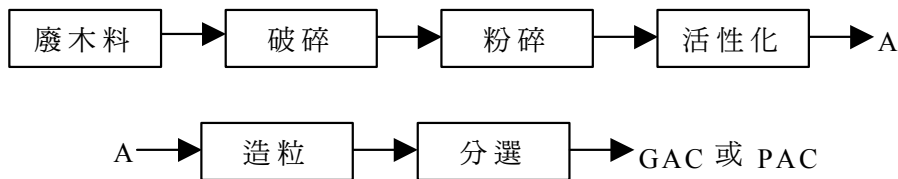


圖 2.2 木業廢材製造活性碳流程圖

2.2.1.7 製造電木粉⁽¹⁰⁾

木屑研磨成木粉後混合酚醛樹脂製成塑膠與木屑之複合物，亦稱為電木粉，其用途為當作絕緣成型材料，一般以汽車內裝之面板、器具配件（握把、柄等）、一體成型之桌椅等皆是常見之產品。

2.2.1.8 製造木材粒片水泥板⁽¹¹⁾

製材過程中所產生之廢木材粒片，尚可與水泥混合固化，再製成木材粒片水泥板，在國外已成為常用之建築材料，惟須克服若干樹種成分對水泥凝結所產生



之抑制作用。經適當調製之成品其非破壞性彈性係數 (MOEn) 及破壞係數 (Modulus of Rupture, MOR) 皆與成品之密度呈正比，且成品之膨脹率及吸水率亦較粒片板小，顯示有較佳的尺寸安定性。

2.2.2 廢棧板及包裝材回收技術

本類廢木材與前項之最明顯不同點，為含有金屬成份 (例如：鐵釘、鋼捲條) 之廢棄物，此項成份將會造成廢木材資源再利用上之困難，如：廢木材之減形、破碎、篩選、分類等前處理工作，各步驟皆必須納入預先考量，除此之外，皆與製材廢木材之應用相同，以下列舉其中若干資源化利用技術。

2.2.2.1 原形利用

本類廢料之原形利用，為將廢棧板或包裝材經過拆解步驟，直接把拆解所得之木片、木條或木塊等，以其物體外形，用做其他木質製品之修補材料；或者將此木片、木條或木塊，再製成其他木質製品的應用途徑，其流程如圖 2.3 所示。

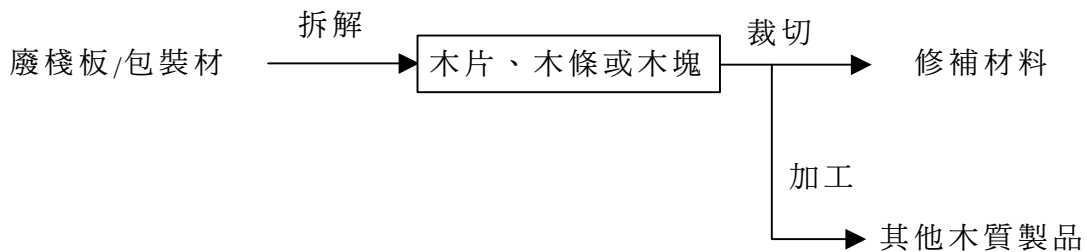


圖 2.3 廢棧板及包裝材原形利用流程圖

2.2.2.2 農業利用

有關廢棧板應用做為有機堆肥時，因為受限於木材本身的化學成分，使用上多半做為堆肥之添加成分，以調整有機肥料成品所含之適當養分。再者，因為廢棧板及廢木材多為已經過使用之木料，於添加入堆肥系統前，必須經過相當的前處理步驟，以確保後續堆肥成品的品質，其流程如圖 2.4 所示。



第二章 廢木材資源化技術

將廢棧板及廢木材等經過破碎、粉碎及分選的步驟後，加工所得到的木屑即可同製材業廢木料之用法來使用。而附帶需注意之事項為使用後之廢木屑可納入堆肥系統，以免造成後續環境上的污染問題。

其餘農業利用方式與製材業廢料相同。

2.2.2.3 粒片板製造

由於粒片板之製造過程中，各項機具最忌金屬雜物混雜其間，故仍以由廢棧板、木箱中分離金屬物質為考量原則。製造粒片板流程如圖 2.5 所示。

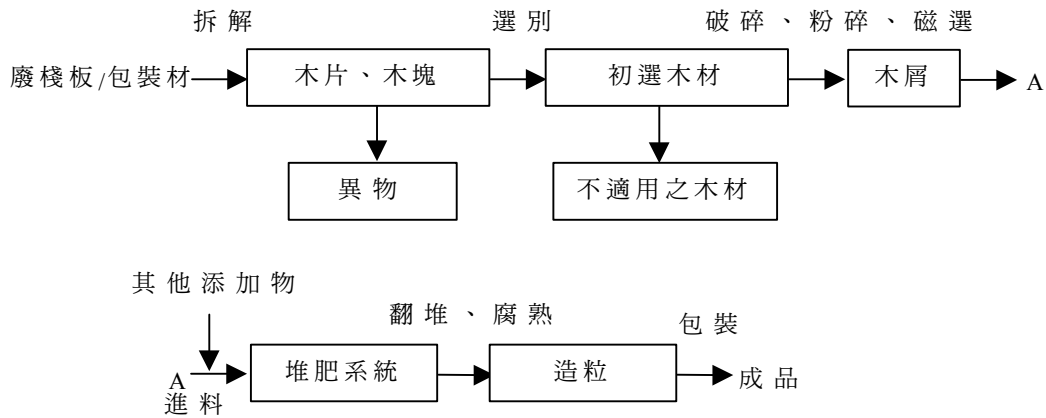


圖 2.4 廢棧板及包裝材製造堆肥流程圖



第二章 廢木材資源化技術

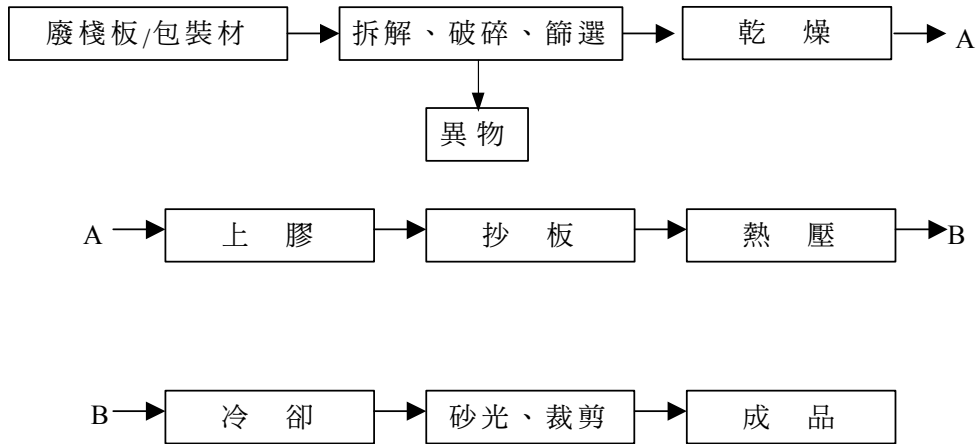


圖 2.5 廢棧板及包裝材製造粒片板流程圖

2.2.2.4 製漿

以廢棧板或包裝材用於製造紙漿時，限於前述製漿之要求，並非完全可納入製漿作業，其製造步驟如圖 2.6 所示。

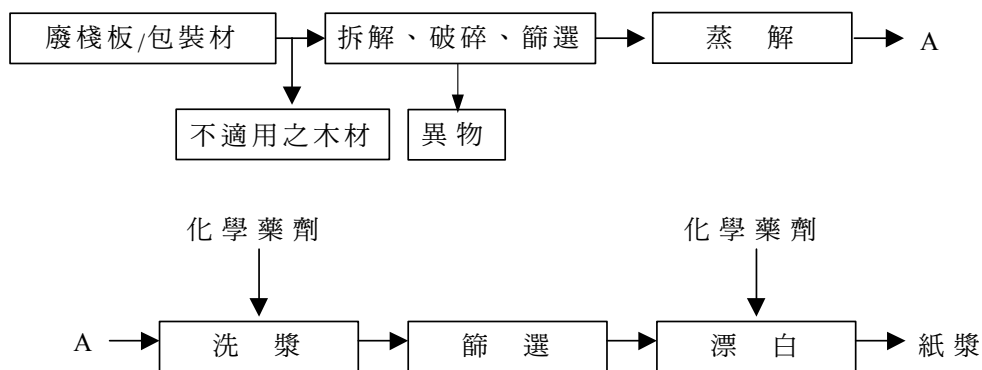


圖 2.6 廢棧板及包裝材製造紙漿流程圖



2.2.2.5 活性碳製造

以廢棧板或包裝材來製造活性碳之建議流程，如圖 2.7 所示。

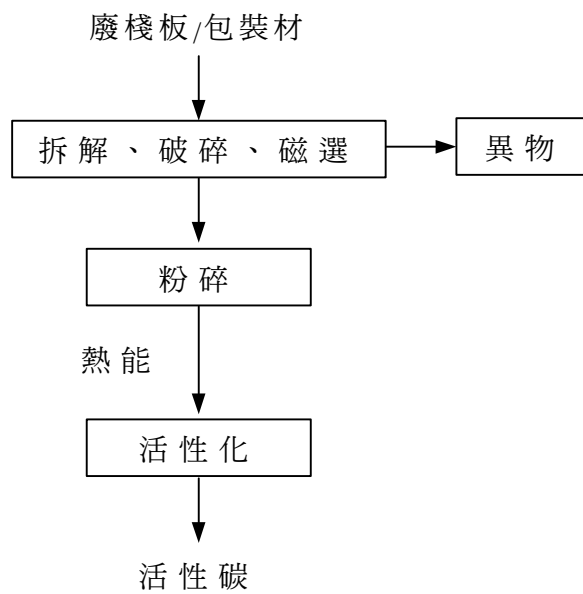


圖 2.7 廢棧板及包裝材製造活性碳流程圖

2.2.2.6 成型棧板製造

以廢棧板或包裝材來製造成型棧板之流程，如圖 2.8 所示。

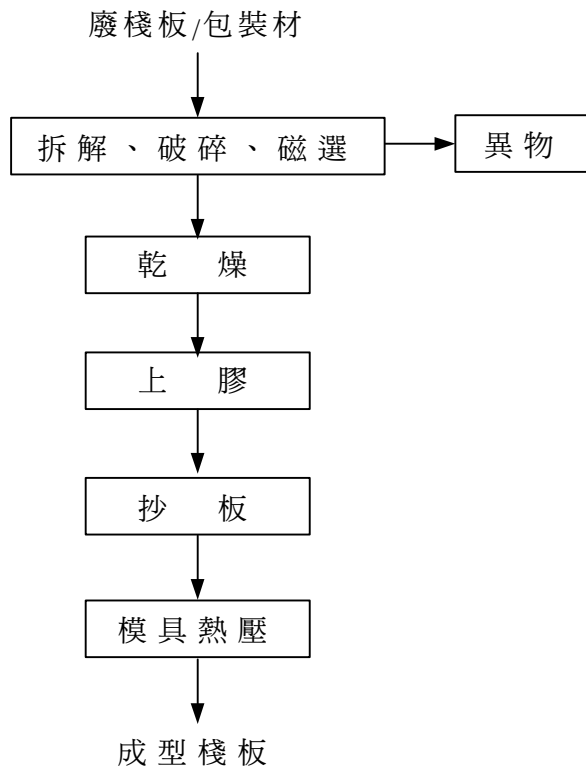


圖 2.8 廢棧板或包裝材製造成型棧板流程圖

2.2.3 大型木質廢料回收技術

本類廢木材之成份為最複雜之木質廢料，故就技術上而言皆同前述之回收技術，唯一的關鍵則在於成本上是否可以符合效益需求。例如：國外曾有將整座報廢之木橋拆除後，將拆解所得之木料再加工製成休閒桌、椅等實用木製品⁽¹²⁾，即屬於原形利用。

2.3 廢木材資源化技術評析

由以上各項資源化技術，綜合各項技術、原理流程、適用對象、適用範圍、技術成熟度及特點等要項，彙整如表 2.3 所示。

表 2.3 廢木材資源化技術評析

技術名稱	原理、流程	適用對象	成品與適用範圍	技術成熟度與實績	特點(含應用限制)
原形利用	1. 堪用木料用於修復或更換 2. 直接施灑	修補用時，材質須堪用 直接施灑則否	1. 修補木料 2. 吸濕劑	已商業化	1. 利用程度視木材損壞情形而定 2. 須大量人力成本
農業利用	1. 廢木材為有機質，可經腐熟後作為堆肥基材 2. 家畜墊料有以木屑替代稻草之趨勢 3. 用作土壤改良劑或培養土	無特定之要求	1. 肥料摻配基質 2. 吸濕劑	已商業化	1. 宜選用表面未經防菌處理之廢木材 2. 廢木材需大量能量來破碎成為木屑
粒片板、成型棧板製造	1. 將木材切成小片狀或塊狀加膠合劑熱壓成板狀 2. 可運用於家具、裝飾材及建材	以去除雜質之木屑(片)較適合	1. 合板業及傢俱業原料 2. 成型棧板同棧板之用途	已商業化	1. 可用作替代木料 2. 需求量大，且為較高價值之再利用用途 3. 產業已嚴重萎縮
製漿	將廢木材切成木片再進行製漿	依紙張品質要求而定	回收木材以材質硬、油脂少之闊葉樹種為主	已商業化	1. 因紙漿品質不佳，已減少使用量 2. 為減少產業污染，多已進口紙漿代替製漿
製造活性炭	利用木屑炭化製成活性炭	無特定之要求	1. 污染防治單元 2. 淨水工程 3. 生產製程純化	已商業化	1. 市場前景受進口品影響已衰退 2. 破碎成木屑耗能極大
電木粉	以木屑與酚醛樹脂混合製成複合成品	—	1. 木紋飾板製造 2. 握把等配件製造 3. 一體成型物品製造	已商業化	製品具有類似木材之質感應用範圍廣泛
木材粒片水泥板	以木材粒片加水泥混合固化後製成複合板材	—	建築材料	已商業化	1. 尺寸安定性優於粒片板 2. 屬輕質建材，具市場潛力

2.4 廢木材資源化案例

2.4.1 案例一

2.4.1.1 前言

A 廠是國內知名木業公司，為目前國內最大之粒片板製造廠，該廠自民國 45 年接受行政院經合會之貸款，由西德購買製板機一套，更於 74 及 78 年接受工業局輔導再增設兩套新型製板設備。該廠係以收集台中縣內及鄰近大部份製材廠、木器廠之廢棄木屑及鉋花為主要原料。目前有粒片板製造線兩條，如兩條線同時運轉，每天可將收集之木屑 120 噸至 150 噸，製成 9、12、15、18、25、30mm 等不同厚度之粒片板約 120 噸至 150 噸。由於該廠原料全數使用國內木業產生之廢材，不僅協助解決中部地區之廢材問題，回收有效資源，更提供價廉之粒片板供應國內家具業作為材料使用，因而於 83 年 4 月獲得環保署環保標章的使用證書。該廠更投資龐大資金於污染防制設備克服了粒片板製程中乾燥機之空氣污染問題，並獲得台中縣 83 年推動環保優良廠商獎。

2.4.1.2 製程及原理

粒片板(particle board)又稱塑合板，乃將木材切成細小粒片，經乾燥後，上膠、抄板及熱壓而成板狀，粒片板有塑合板、均質木材、人造木材、削片板或鉋花板等稱呼。粒片板廣泛應用於家具製造，諸如書桌、餐桌、木椅、床板、櫥櫃、書架、酒櫃…等。圖 2.9 為粒片板廠基本流程，圖 2.10 為粒片板廠製造設備流程。茲將各項程序分述如下：

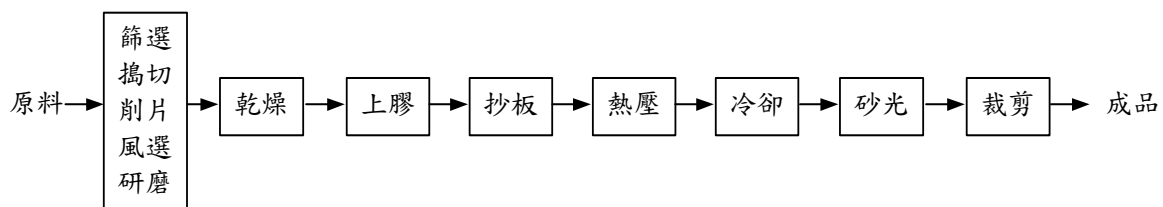


圖 2.9 粒片板廠基本流程圖



1.原理

原料品質之優劣狀況是影響粒片板品質之關鍵因素。國外生產粒片板多以小徑木處理為粒片後製造；而國內則因實際狀況限制，木質原料全數來自木業工廠之鉋花及鋸屑廢料，或者收集製材廠切割之邊皮及端材再切削處理成粒片。因原料收集自各廠，故導致原料材種複雜、性質不均且夾雜雜質，嚴重影響粒片板生產品質之提昇，增加生產之困難度，惟對廢材之有效利用則具顯著功效。

2.原料處理

從木業工廠收集之鋸屑、鉋花及邊皮材等，經篩選、搗切、削片、風選及研磨等程序，製備成粒片備用。因原料來源複雜，含有許多雜質如鐵片、砂石等，可以震動篩料器除去，並以磁鐵吸除鐵片，務必將雜質減至最低限度。

3.乾燥

利用裁剪機之裁邊及砂光機之砂光屑收集後送至鍋爐燃燒，燃燒後之熱氣用於乾燥器乾燥粒片，利用旋風集塵器收集乾燥粒片，乾燥後部份廢氣回收至鍋爐循環，其餘廢氣則排至空氣污染防制設備處理。

4.上膠

將粒片及膠合劑利用上膠機按比例混合。粒片板使用之膠合劑主要是以尿素甲醛樹脂為主，只有在生產防水性粒片板才使用酚甲醛樹脂或三聚氰胺樹脂為膠合劑。由於採用低甲醛尿素膠，可降低製造過程及成品之甲醛釋出量。用膠量相當於粒片之10%，由於使用廢材為粒片原料，故用膠量較國外產品高，導致下游加工業加工較困難及刀具磨損等問題。

5.抄板

國內粒片板之製造有三層構造及多層構造兩類，該廠目前製造之產品為多層構造。在抄板成型(forming)時，將上膠量較多之細小粒片配置於表底，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由表底層向中層遞減而為密度剖面(density profile)，如此可充份的提高其靜曲強度及表面之貼面加工性。

第二章 廢木材資源化技術

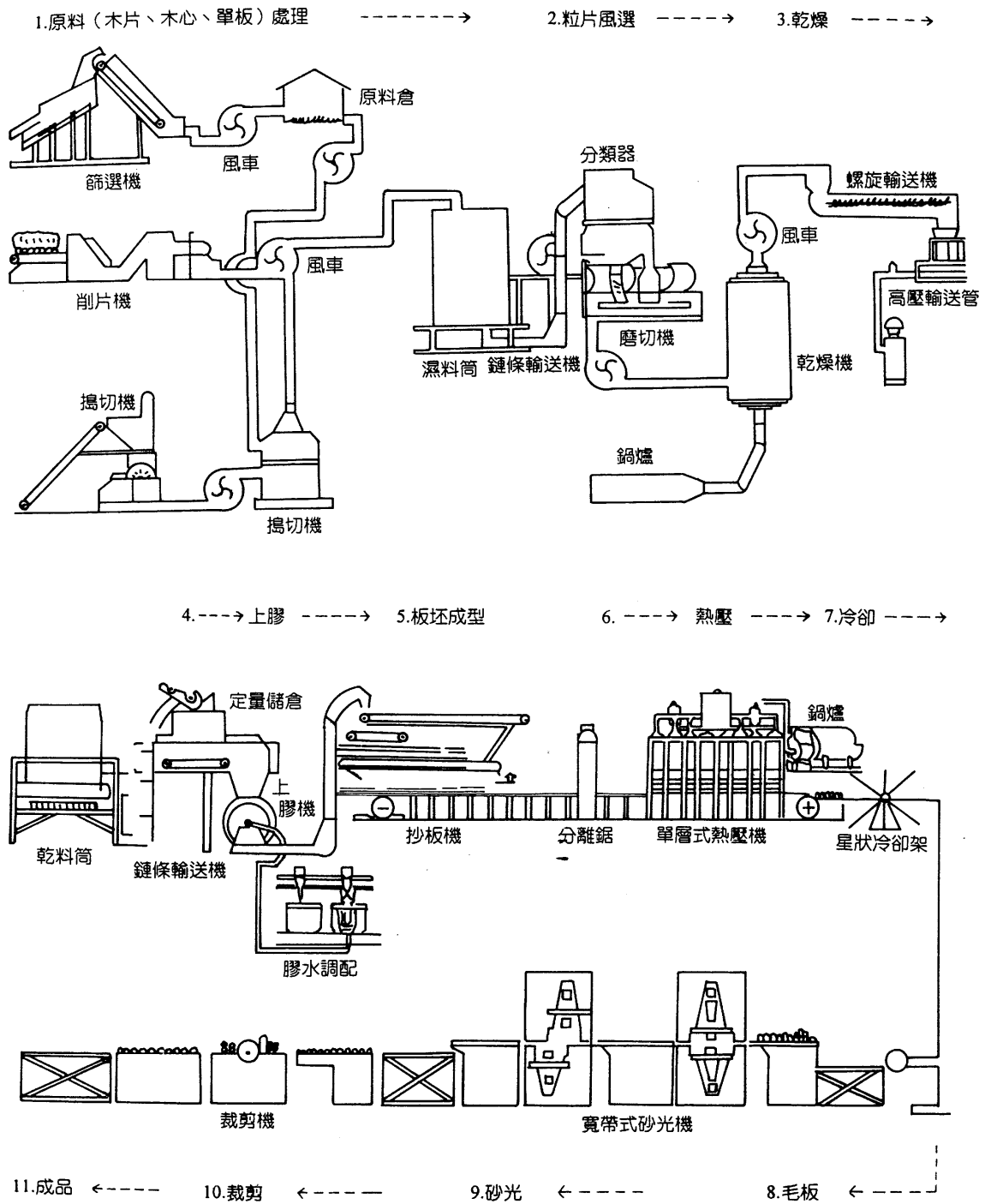


圖 2.10 粒片板廠製造設備流程圖



6. 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。

2.4.1.3 資源化成效

該廠 83 年生產粒片板 32,110 噸，等於 45,871 立方公尺，主要收集台中縣附近之製材廠、木器廠之廢棄木屑及鉋花，全年使用 32,000 噸之廢木材，為國內單一廠商使用廢材最多者。不僅協助解決木業廢材隨處拋棄或任意燃燒所造成之污染問題，更可節省國內原木進口量，提供價廉之粒片板供應國內家具業原料。若以木材生長每年每公頃 20m 計算，相當於節省森林資源 2,293.5 公頃；若以每公頃 3,000 株杉木計算，則相當於杉木 6,880,650 株。由於塑合板之生產極符合環保概念，該廠亦於 83 年 4 月獲得環保署環保標章的使用證書。

2.4.1.4 結語

國內粒片板製造廠原有 6 家，目前因木業萎縮及空氣污染等問題，現今僅存中部兩家，每年約處理 4.5 萬噸之廢材。由於國內塑合板製造廠所需之木質原料，來自進口木材加工後之木業廢材，從原料之觀點，粒片板製造業是一般木材加工廠之下游工業，然其粒片板製品又為供應木工廠加工原料之上游工業，其間相輔相成，是目前國內粒片板工業所具有之獨特角色。利用廢材生產塑合板，雖然品質與採用小徑木製造之進口粒片板略有差異，但在解決國內木業廢棄物處理問題及有效利用剩餘資源上，確實有相當之貢獻及重要性，值得鼓勵及保護該產業之繼續發展空間。

2.4.2 案例二

2.4.2.1 前言

B 廠為國內最大之紙漿廠，成立於民國 57 年，產品有闊葉樹漂白木漿、針葉樹漂白木漿、道林紙及塗布紙，其中以闊葉樹漂白木漿為主，佔總產量 99%。該廠每生產 1 噸之紙漿，需使用絕乾木片 2 噸或相當於原木 4 噸，使用之木材資源相當多，而國內因缺乏自產之木材，故對國外原木及木片原料十分依賴。然近年來基於東南亞國家對森林保護意識日漸抬頭，或為發展本國林木產業，乃相繼限



制林木出口，使得木材供應價格呈逐步上揚趨勢，製漿原料取得成本偏高。該廠目前除大量自國外進口木片及原木製漿外，亦收集部份國內製材廠之廢材，經搗切(chopping)成木片(chip)，合併於進口木片中製漿，如此利用方式不僅解決廢材之問題，更使木業可從廢材木片銷售中獲得部份利潤。

2.4.2.2 製程及原理

該廠係以木材為原料，以硫酸鹽法(sulfate or kraft pulp, 簡稱 K.P.)製成紙漿。所用藥品為苛性鈉(NaOH)及硫化鈉(Na_2S)，其為將木材在高溫高壓下加以蒸煮，以使可溶性木質素(lignin)及單寧(tannin)等與不溶性之纖維分離，再經洗滌及漂白等過程，製成生產造紙用之漂白木漿。因該廠係採用密閉式生產程序，其製造程序可分為紙漿製造工程及藥液回收工程兩大部份。製造流程如圖 2.11 所示，各工程之流程詳述如下：

1. 紙漿製造工程

(1) 備木工程

原料木材先經剖材、剝皮、切片、篩選等程序處理後送入木片倉，將不同種類木片適度配比後送蒸解釜。

(2) 蒸解工程

將木片倉送入之木片與蒸煮藥液置入蒸解釜，藥液經循環泵在加熱器通入蒸氣加熱循環，經升溫、保持等溫蒸煮一段時間後（裝料、送液、通氣、昇溫、保持、噴漿，每一循環約 4 小時），將解離之紙漿噴入噴漿槽中。噴漿時之熱量則經熱回收系統回收製造熱水供洗漿使用。

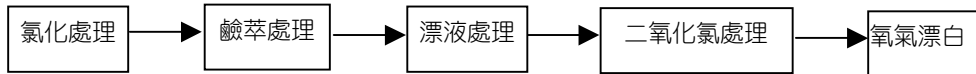
(3) 未漂漿之洗滌與篩選工程

蒸解後之紙漿尚含小部份未解離之粒渣及木節等，先經密閉篩及強生篩篩出送回蒸解再處理，篩過之紙漿則經三段逆洗洗漿機用水洗淨紙漿內所含藥液及其他雜質，分離出濾液（即所謂黑液），將該黑液送回收工程回收藥品，其回收率約為 96~98%。經洗滌後之紙漿尚含有小部份較粗或未解離的纖維，須經篩選機及脫水機精製，經此製程後之紙漿原質再送漂白。



(4)漂白工程

試廠之漂白工程係採用四段漂白，其漂白程序如下：



經漂白工程後之紙漿經密淨機、壓力篩精選、脫水機後即可送至抄漿工程抄造紙漿。

(5)抄漿工程

漂白後之漿料送抄漿工程，經網部成形脫水，壓部壓榨脫水，再經烘缸乾燥，成形紙漿再經切紙機、整理機處理成形。整齊之漿板經包裝後，即為紙漿成品。

2. 藥液回收工程

硫酸鹽紙漿之蒸解廢液—黑液(black liquor, 簡稱 B.L.)含有殘留藥品，經洗漿過程濾出後，約含 16~18%之固體物，因濃度太低無法使廢液燃燒，須先將廢液濃縮至固體量 60%以上。因此藥液回收過程必經下列工程：

(1)黑液濃縮

該廠原有二套處理系統，250T/D RBI 系統因設有直接蒸發器(CE)之回收鍋爐，稀黑液經氧化處理後，再經管式六效蒸發罐，其固體量已增至 45~50%，再經直接蒸發器後，通常可使廢液中所含之固體量達 60%以上。400T/D RB3 之系統則無直接蒸發器，故稀黑液經蒸發罐處理，可使黑液濃度由 16%直接濃縮到 60%以上。

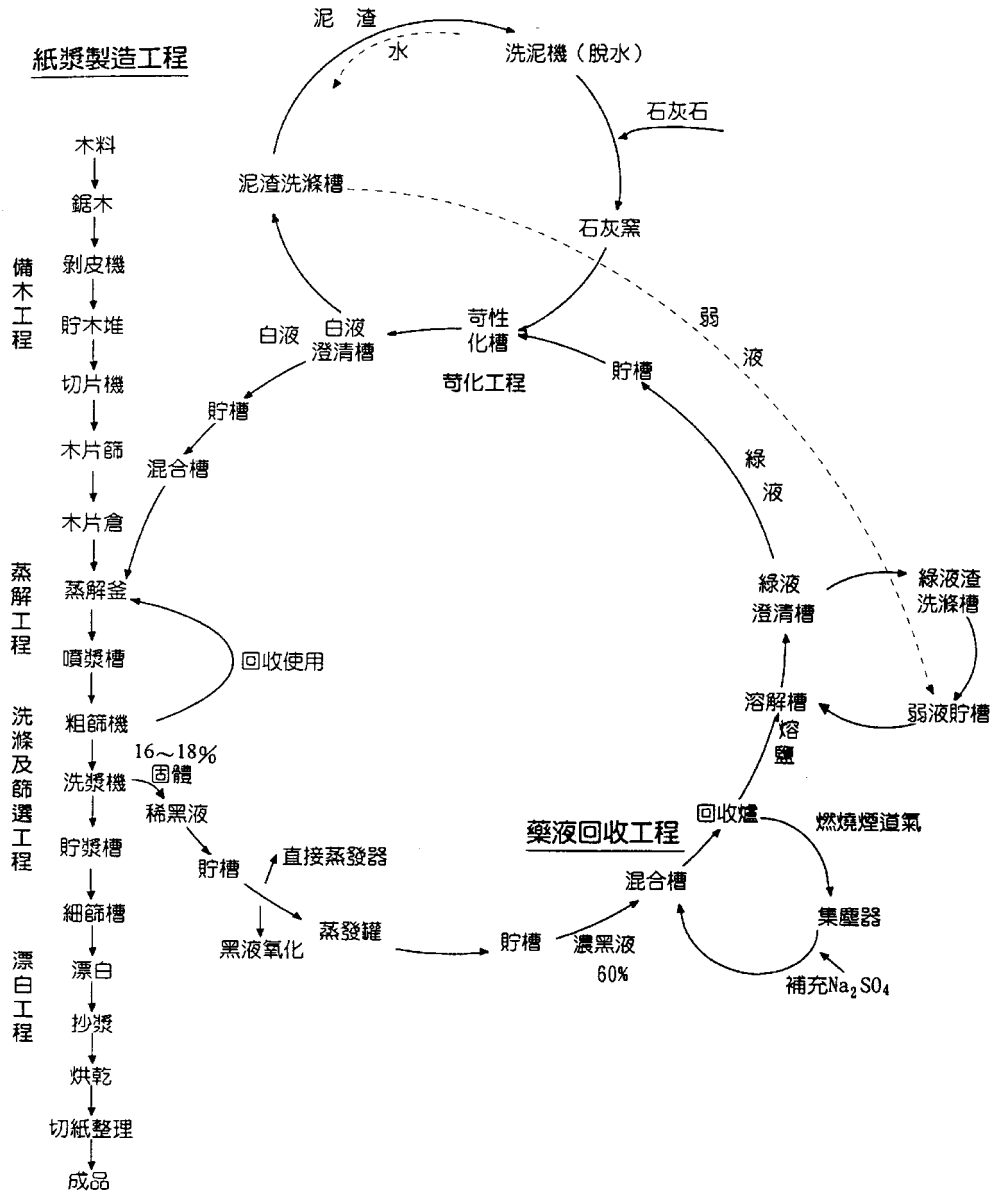


圖 2.11 紙漿製造流程圖



(2) 濃縮黑液之燃燒

將濃縮黑液送入回收鍋爐燃燒，其目的除可將廢液中之有機物(如木質素)燃燒，而供給熱能產生蒸氣(60 kg/cm^2)發電外，尚可回收其中之藥品(鹼)。

(3) 靜電集塵器

廢液在回收鍋爐燃燒時，排氣所夾帶之化學灰經煙道排出，如任其排放將造成空氣污染，故設靜電集塵器予以捕集，捕集之化學灰再與濃縮黑液混合送至回收鍋爐處理。

(4) 苛化工程

黑液在回收鍋爐燃燒後無機物熔解成熔渣狀態流出，鈉與硫的化合物形成碳酸鈉(Na_2CO_3)及硫化鈉(Na_2S)。此熔融狀態的無機化合物以苛化之稀白液溶解稀釋而成為綠液(green liquor，簡稱 G.L.)。

此綠液送再苛性化(re-causticize)處理前，應先經澄清處理後，以澄清之綠液與石灰反應，反應後的乳狀液再經澄清後，即成為蒸解使用的白液(white liquor，簡稱 W.L.)，沉澱的泥渣(lime mud)含有很高的鹼性藥液需以溫水洗滌，再次澄清，澄清液即為稀白液，而沉澱的泥渣先經洗泥機(lime mud filter)脫水後送入石灰窯(lime kiln)燃燒為石灰後，再送苛性化循環使用。

如上述過程，苛化的白液送蒸解，洗漿後的黑液送蒸發罐(VE)濃縮，再送回收爐(RB)燃燒而成為綠液，綠液又送苛性化槽(RC)製成白液的這種循環系統，以及泥渣燃燒成石灰，石灰在苛性反應又生泥渣供石灰窯(LK)燒的另一個循環系統，即為藥液回收的全部過程。

2.4.2.3 資源化成效

該廠目前生產紙漿 20,700 噸/月，使用絕乾木片 41,400 噸/月，其中以進口木材及木片為主要原料，約佔 90%以上，由於該廠木片原料使用量龐大，若能採用國內木業之廢材木片為部份原料，則對於木業有絕大的幫助。該廠 87 年之木屑使用量溼重約為 483,000 噸/年(相當於乾重約為 242,000 噸/年)，對於廢材之利用有很大助益。

但隨著製材業逐漸萎縮導致廢材量減少，國內之廢木材回收管道仍未建立，



第二章 廢木材資源化技術

以及紙漿品質要求提高，對所收集之材種逐漸設限之交互影響下，導致目前廢材木片之使用量大減，僅能回收國內約 300 噸/月絕乾木片，回收之材種以材質硬、油脂少之闊葉樹種為主，收購價格為 1,300~2,900 元/絕乾噸，價格隨樹種而有所差異，但仍是協助部份工廠解決了廢木片的問題。

2.4.2.4 結語

廢邊皮材若採焚化方式處理，易造成空氣污染之問題；若將廢材搗切成木屑後再使用，則所需之動力成本過高。將廢材搗切木片後製漿，則不僅有效地利用國內每年進口之木材資源，減少森林資源浪費，亦是幫助木業解決該項事業廢棄物之出路，紙漿廠在可行的情況下應儘可能收集木片製漿，不僅開拓木片原料之來源，亦可減少購買國外木片之困難。

2.4.3 案例三

2.4.3.1 前言

C 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。

2.4.3.2 製程及原理

酚醛樹脂成型材料(phenolic resin molding compound)又稱電木粉，其製造基本流程如圖 2.12 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。各項製造程序分述如下：

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、無機填充劑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。

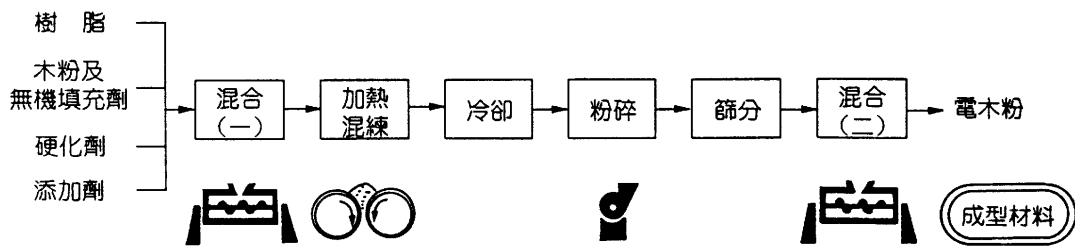


圖 2.12 電木粉製造基本流程圖

2.混合(一)

此工程的作用有二，其一為藉配方中各原料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；其二為使各配方成份原料間能均勻分散，以使隨後之混練階段能維持均一狀態下進行反應。

3.混練

此工程是於加熱狀態下進行，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

為方便下游客戶成型操作，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

利用固定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。

2.4.3.3 資源化成效

該廠目前每年生產酚醛樹脂成型材料（電木粉）約 3 萬噸，需使用木屑溼重約 10 萬噸／年，其中國內木屑約 6 萬噸／年，國外木屑約 4 萬噸／年。國內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花，經過乾燥處理後之木屑，該廠收購價可達 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。

2.4.3.4 結語

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置問題有相當的助益。

2.4.4 案例四

2.4.4.1 前言

D 廠為一容器苗植栽供應商，為供應該公司自營農場花卉、苗木及果樹等之植栽需要，以及供應社區、風景區、公園及公共工程等之育苗植栽工程需要，該



第二章 廢木材資源化技術

廠必須調配各種適用之植栽培養土，以供應該公司每年約 20 萬立方公尺以上的需求。該廠利用木屑混合建築基地田土、造紙污染、製鹼污泥、養豬場廢渣及稻穀粗糠等多項廢棄物調配成培養土產品，不僅供應該公司之植栽需求，更將各項廢棄物確實加以資源化再利用。

2.4.4.2 製程及原理

1. 培養土分類

該廠為配合不同用途，須調配各種適用之植栽培養土，植栽培養土可分類為如下四類：

- (1) 花卉苗木栽培用培養土
- (2) 成苗樹、果樹、草皮種植用培養土
- (3) 容器苗使用培養土
- (4) 植栽穴使用培養土

2. 原料

該廠製作培養土所使用之原料有木屑、建築基地田土、造紙污泥、製鹼污泥、稻穀粗糠、養豬場廢渣及其他有機肥料等多種廢棄物，其中部份原料之來源分項說明如下：

(1) 木屑

宜蘭地區之製材廠於鋸切及鉋光過程中所產生之鋸屑及木屑粉塵，其含水率約 40~60%。

(2) 造紙污泥

以紙漿為原料，經散漿、練漿、配料、抄紙等製程，產製各種不同之紙製品。而造紙污泥係來自抄紙廢水經分離、沉澱、脫水處理後產生，其含水率約 80~85%。

(3) 製鹼污泥

以工業鹽及石灰石 (CaCO_3) 為原料，採用索耳未法(Solway process)製造純鹼。而製鹼污泥係來自純鹼母液蒸餾回收 (NH_3) 製程所產生之廢液，經分離、沉澱處理所產生之污泥，其含水率約 40~60%。

3. 製程

培養土的製作流程如圖 2.13 所示，將各項入廠原料根據各類培養土不同之配料比例，經粗碎、細碎、混合及篩分各項程序後即可獲得所需之培養土，各類培養土之配料比例如表 2.4 所示。調配好之培養土堆置於室內，堆置時間約 1~2 天，堆置期間並以帆布覆蓋。

經花卉、苗木田間試驗得知，C/N 比（有機物碳／氮比）維持在 40 左右對植物生長有幫助，而該廠之培養土經分析其 C/N 比在 30~40 之間，對植物生長頗為適用。

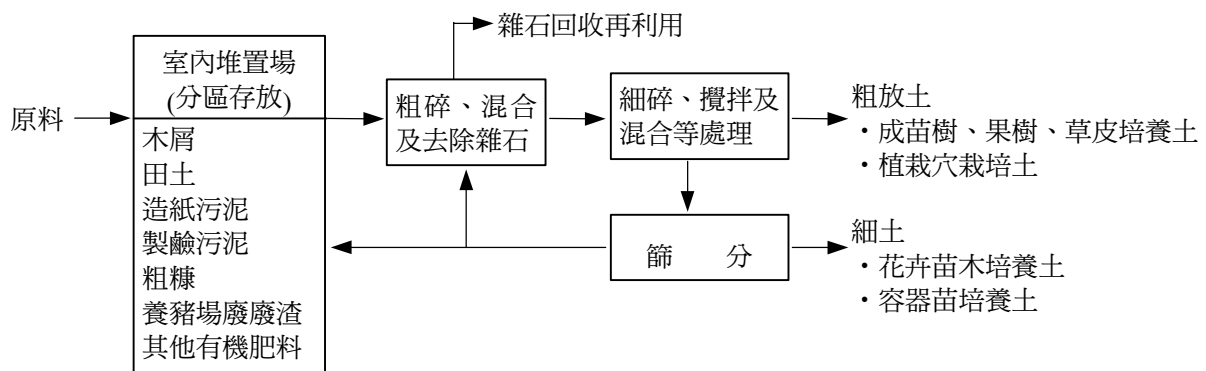


圖 2.13 培養土製造流程圖

表 2.4 各類培養土之配料比例

原料名稱 \ 培養土類別	花卉苗木培養土		成苗樹、果樹、草皮 培養土		容器苗培養土		植栽穴 培養土	
	濕基	乾基	濕基	乾基	濕基	乾基	濕基	乾基
建築基地田土	35	45	35	44	15	21	25	34
造紙污泥	20	7	20	9	20	7	20	7
養豬場廢渣	5	3	5	3	15	9	10	6
木屑	10	11	10	11	10	13	10	12
稻穀粗糠	10	14	10	14	10	17	10	16
製鹼污泥	10	9	10	9	10	10	15	14
其他有機肥料	10	11	10	10	20	23	10	11
合計	100	100	100	100	100	100	100	100

2.4.4.3 資源化成效

該廠每年約需 20 萬噸以上之培養土，主要皆為使用宜蘭地區之各項廢棄物，其每年廢棄物製作培養土之使用量統計表如表 2.5 所示。其中使用量較大者為建築基地廢棄土、造紙污泥及製鹼污泥。由於木屑並非培養土之主要原料，該廠每年約使用 5,000 噸木屑，此數量雖非十分龐大，但已確實協助解決宜蘭地區製材廠之木屑大量堆積之困境，並且亦同時將 20 萬噸／年之廢土及廢棄物加以資源化再利用。

表 2.5 廢棄物製作培養土之使用量統計表

單位：公噸／年

廢棄物名稱	年再利用率(濕基)	年再利用率(乾基)	重量百分比(乾基)
養豬場廢渣	3,000	1,050	0.9
木屑	5,000	3,650	3.2
稻穀粗糠	5,000	4,500	3.9
造紙污泥	45,000	9,000	7.9
製鹼污泥	40,000	22,000	18.8
建築基地廢棄土	102,000	74,300~78,300	65.3
合計	2,000,000	114,500~118,500	100



第二章 廢木材資源化技術

2.4.4.4 結語

除了上述利用木屑製作培養土外，木屑亦可作為堆肥（有機肥）之副資材。透過培養土或堆肥之製作過程，可將多項無害之有機性及無機性廢棄物予以資源化再利用，使其回歸農地及大自然，並有效改良土壤、提高地力，使農業經營達到永續性的生產。在未來可預見的是結合工業及農業技術，把各項廢棄物資源化再利用並回歸土地之方式，將是廢棄物處理之重要方向。



參考文獻

1. 工業污染防治技術服務團計畫專案，木業廢棄物資源化案例彙編，經濟部工業局，1996。
2. 呂正期，「廢棧板資源化利用技術與回收體系建立座談會」書面資料，經濟部工業局，1998。
3. 彭武財，今日台灣廢棄木料之規劃與再資源化，台灣林業，第廿二卷，第七期，pp.15-19，1995。
4. 王松永，木材利用與環境保護，林產工業，第十一卷，第二期，pp.133-142，1992。
5. 洪榮爵，木質廢棄物之資源回收，台灣林業，第廿二卷，第九期，pp.52-57，1995。
6. 工業污染防治技術服務團計畫專案，有機事業廢棄物堆肥處理技術，經濟部工業局，1997。
7. 邱應志、張章堂、林凱隆，木材加工業廢棄物資源化與田間試驗之研究，行政院環保署研究報告(EPA-86-E3H1-09-02)，1997。
8. 彭武財，廢棄木料及其纖維質類之零污染腐植堆肥化，台灣林業，第廿三卷，第三期，pp.67-73，1996。
9. Pease, A. D., Wood Process Adapted to Straw Particleboard, Wood Technology, pp.20-24, Sep. 1995.
10. English, B., et al., Waste Wood Derived Fillers for Plastics, Forest Products Laboratory Report, FPL-GTR-91, 1996.
11. 陳載永、黃速汝，省產材用於木材粒片水泥板製造之研究—(II) 省產材木材粒片水泥板之理學及力學性質，中興大學實驗林研究報告，No.15(1)，pp.43-54，1993。
12. Block, D., Bringing Added Value to Recycled Wood Products, Bio Cycle, pp.63-64, Sep., 1997.



第二章 廢木材資源化技術



第二章 廢木材資源化技術



第二章 廢木材資源化技術

第三章 廢橡膠資源化技術

3.1 前言

橡膠為現代生活中不可或缺的重要物質之一。由於其耐熱、絕緣、耐磨、富彈性及易加工之特性，使得橡膠廣泛地應用於襯墊、密閉、接合、包覆、帶動皮帶及醫療器材等用途，例如：熱圈、墊片、膠鞋(墊)、電線包覆層、帶動皮圈與醫療用注射管材等，產品可謂包羅萬象，國內工業所產製之主要合成橡膠可包括：苯乙烯丁二烯橡膠（SBR）、丁基橡膠（BR）及丙烯腈丁二烯橡膠（NBR）等三大類。

然而橡膠最大量使用之用途，仍為輪胎之製造。自從公路運輸日漸發達，車輛的數目立即快速成長，加以航空業亦迎頭趕上陸運能量，因而使得輪胎的產量隨之呈現驚人速度增加，請參見表 3.1，故廢輪胎已成為全世界不易處理之廢棄物種類之一，表 3.2 所示為我國與歐美各國廢輪胎產出及回收概況。

表 3.1 TMAC 統計全球車用輪胎產量變化⁽¹⁾

項目 \ 年度	1997	1998	1999
非隨車原裝	208.5	214.4	218.7
隨車原裝	63.8	63.8	64.5

*本表為轎車胎及輕型卡車胎之總和，單位：百萬個

**1999 年為 Tire Market Analysis Committee, TMAC 之預測值

表 3.2 我國與歐美各國廢輪胎產出及回收概況

項目		國家					
		美國	德國 ⁽⁴⁾	法國 ⁽⁴⁾	英國 ⁽⁴⁾	義大利 ⁽⁴⁾	我國
年產量(萬公噸/年)		225 ⁽²⁾	55	35	29	15	10 ⁽⁵⁾
處理	掩埋(%)	—	—	77	36	—	53 ⁽⁶⁾
	焚化(%)	—	—	—	25	—	
資源回收(%)		27 ⁽³⁾	—	10	—	—	—
再製(%)		—	—	13	—	—	—
出口(%)		—	—	—	8	—	—
其他(不詳或待處理)		73	—	—	31	—	47 ⁽⁶⁾

由前述可知，本類廢棄物之來源相當廣泛，其相關資源化技術彙整如圖 3.1 所示，分述如以下各節。

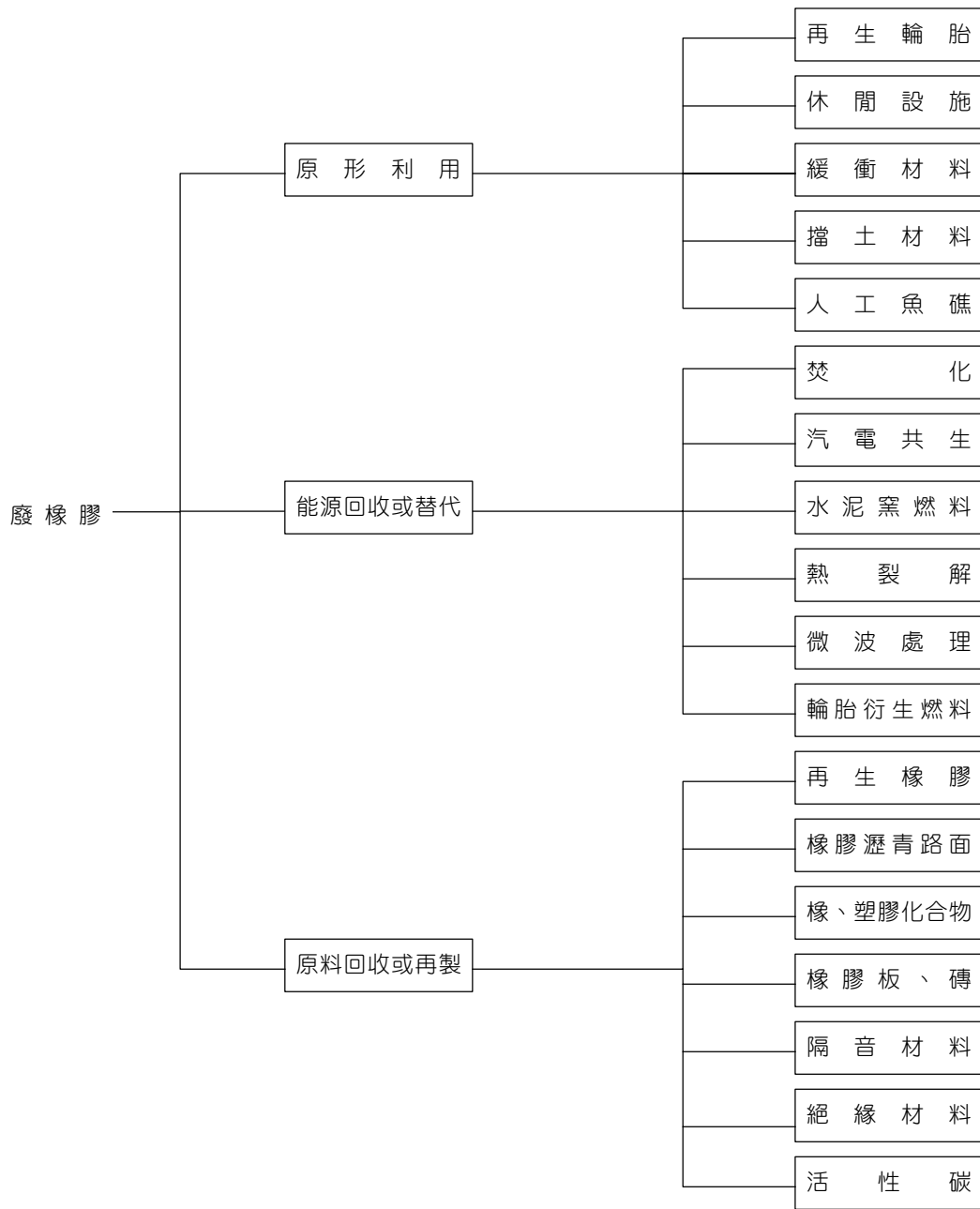


圖 3.1 廢橡膠資源再利用技術

3.2 現有廢橡膠資源化技術

3.2.1 原形利用技術

本法之應用係以廢輪胎為應用對象，其原理為利用廢輪胎之不易變形、具有彈性、可浮於水面等主要物理性質，在經過若干不改變其外形之前處理步驟後，而予以再利用。各方式介紹如下：

3.2.1.1 再生輪胎

再生輪胎為將廢輪胎表面磨光處理後，再製成表面仍有新紋之再生輪胎，又稱翻修胎，但產品之品質較遜於新製胎，其流程如圖 3.2 所示。

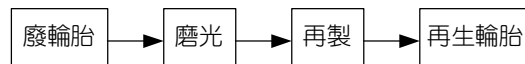


圖 3.2 再生輪胎流程圖

3.2.1.2 休閒設施

此項原形利用方式用於，鞦韆、庭園造景等，或與浮筒配合，做成水面浮動碼頭（如圖 3.3）。



圖 3.3 廢輪胎與浮筒製作浮動碼頭⁽⁷⁾



3.2.1.3 緩衝材料

本項原形利用方式如：卸貨台之擋板、船舶護舷、港口護岸等。

3.2.1.4 擋土材料

將廢輪胎直接或灌注混凝土後，堆疊於河岸坡地，以保護邊坡之穩定，或海岸防波功能（如圖 3.4）。



圖 3.4 廢輪胎用作人工土堤⁽⁹⁾

3.2.1.5 人工海礁

將部份廢輪胎灌注水泥後，與未灌水泥之廢輪胎固定後，可形成人工海礁（如圖 3.5），其他可與廢輪胎配合製造人工海礁之材料，尚有廢水泥電桿可供使用⁽⁵⁾。

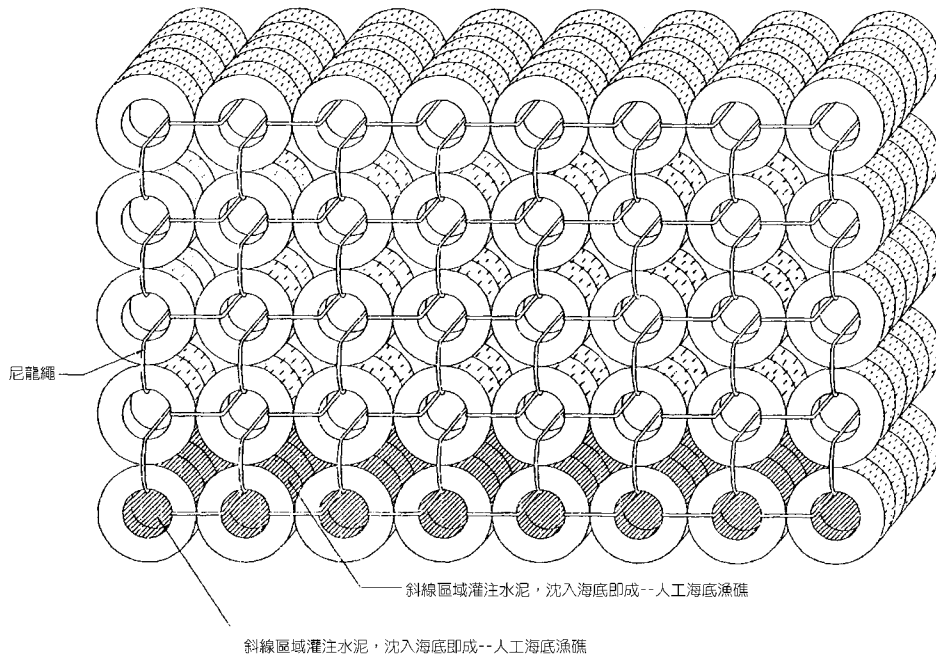


圖 3.5 廢輪胎海底魚礁⁽⁷⁾

3.2.2 能源回收或替代

由於廢橡膠之熱值相當高約 8,000~9,000 kcal/kg⁽⁸⁾，以廢輪胎為例，其熱值約與重油、煤等燃料相近(表 3.3)，故具有能源回收或替代之潛力。以下為相關之應用方式。

3.2.2.1 焚化

焚化為能源回收最直接之方式，就廢棄物進入焚化廠為例，其流程大致如圖 3.6 所示，惟加入廢橡膠之焚化，因其含有硫成份，對於後段之污染防治措施須有妥善之因應，以免發生二次污染。

表 3.3 廢輪胎和煤之組成比較⁽²⁾

項目 \ 類別	廢輪胎 (wt %)	廢輪胎 (平均值, wt %)	E.US Bitum. Coal (典型值, wt %)	
揮發性物質	60-70	63.1	34.0	
固定碳	15-30	22.0	47.1	
灰份	5-20	12.3	11.1	
水份	0.5-10	2.6	7.8	
元素組成	碳	60-85	72.2	67.7
	氫	5.5-7.5	6.4	4.6
	氮	0.25-0.5	0.3	1.1
	硫	1.2-1.7	1.3	2.3
	水份	0.5-10	2.6	7.8
	氯	0.03-0.15	0.1	0.01
	氧	2-10	4.8	5.5
	灰份	5-25	12.3	11.0
高位發熱量熱值 (kcal/kg)	6,900-9,200	7,800	6,700	

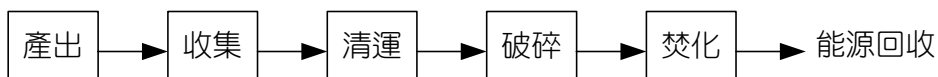


圖 3.6 廢橡膠焚化流程圖

3.2.2.2 汽電共生⁽²⁾

本方法原理同焚化，將廢橡膠或廢輪胎用於鍋爐補充燃料，可取代部份燃煤之消耗，以節省成本之支出。若以廢輪胎為主要之投入物時，須考慮並非所有型式之鍋爐皆適合加入廢輪胎，以 stoker 鍋爐、cyclone 鍋爐及循環式流體化鍋爐

(circulating fluidized boiler, CFB)等三類鍋爐之比較，前兩者因排氣中含有高濃度之 SO_x 及 NO_x ，已不適於現今之廢氣排放考量，而 CFB 除低濃度 SO_x 及 NO_x 排放外，其他優點尚包括：燃料選擇較具彈性、進料系統簡單及高燃燒效率等，為適當之選用型式，其配置圖如圖 3.7 所示。本法之應用方式，自廢輪胎前處理到蒸氣之獲得，如圖 3.8 所示。

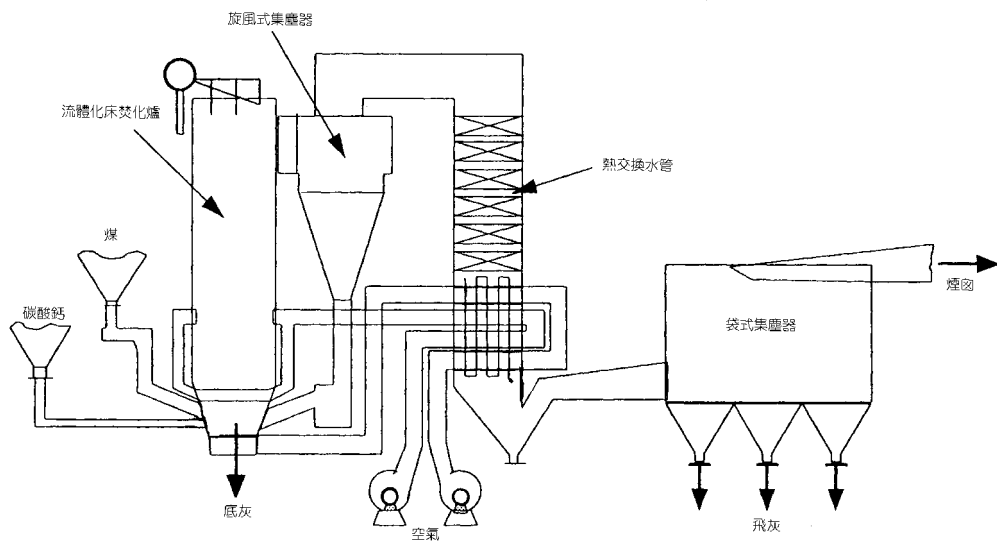


圖 3.7 循環式流體化鍋爐配置示意圖⁽²⁾

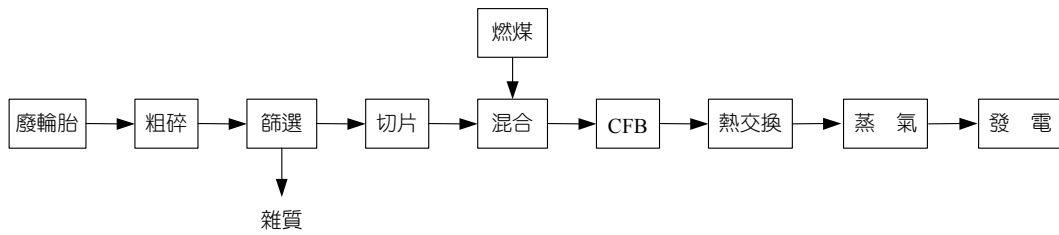


圖 3.8 廢輪胎以 CFB 汽電共生流程圖

3.2.2.3 充當水泥窯燃料

水泥為建築之基本材料，主要化學成分係由 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 與 Fe_2O_3 所構成，依原料處理方式之不同，可區分為：乾式、半乾式及濕式三類。水泥之生產流程可概分為：1.原料開採；2.生料研磨；3.熟料鍛燒；4.成品研磨等四階段。

其中熟料鍛燒步驟，因鍛燒溫度大於 $1,500^\circ\text{C}$ 以上，為相當消耗能源之過程，故可考慮以廢輪胎代替部份燃料。

廢輪胎於本法應用時，無論是整條廢輪胎或已經過破碎、切片等處理步驟，皆可近於完全燃燒。然而，若以灰渣處理或機械維護之考量時，仍以製成輪胎衍生燃料之使用較佳。

依據國外實廠操作結果顯示，以輪胎取代部份燃煤時，輪胎可與煤完全混合燃燒，其中內含的鋼絲於水泥窯之高溫下，可轉化成氧化鐵，而所含之硫份與碳酸鈣則於高溫下反應成石膏，轉變成為水泥原料的一部份，因此不會有鋼絲分離及 SO_x 過高的問題產生，其餘之污染問題如飛灰則可由水泥廠原有之污染防治設備予以控制。圖 3.9 為乾式水泥混合廢輪胎之製造流程圖。

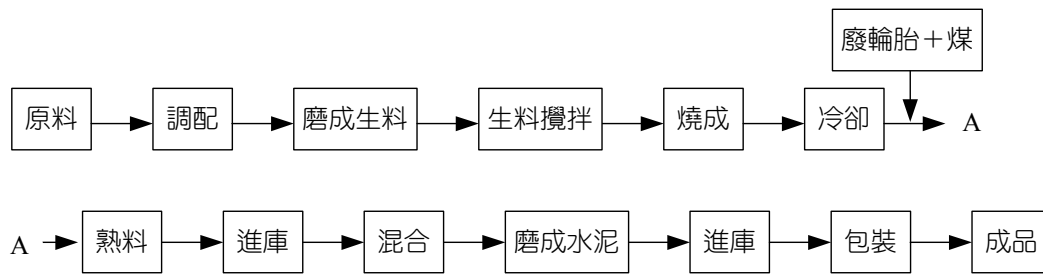


圖 3.9 廢輪胎應用於乾式水泥生產流程圖

3.2.2.4 熱裂解(Pyrolysis)

輪胎為一組成複雜之現代工業產品，以一般輻射轎車胎為例，其組成重量百分比如圖 3.10 所示。

由上圖可知，重量組成之前三位依序為：碳黑、合成橡膠及天然橡膠等共約佔 70%，其餘則為可分餾之油品及其他雜質，故就能源回收之觀點來看，可視為一具有回收價值之廢棄物，而熱裂解即為其中一項回收方式。

熱裂解之基本原理為在缺氧或厭氧下，將含有多碳之有機化合物，經加熱而分解、氣化成低碳數之有機化合物產品。由於本技術主要牽涉到能源之輸入，本類技術尚可區分為：

1. 高溫熱裂解—即於一般裂解所需溫度（約 800°C）下進行之裂解程序。

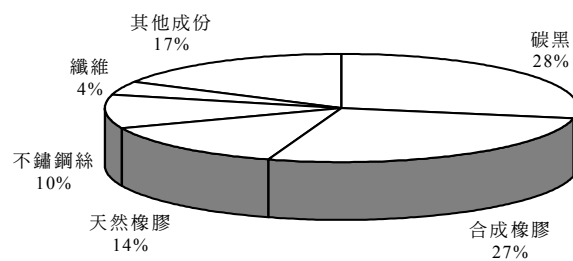


圖 3.10 一般輻射車胎之組成重量百分比⁽⁹⁾

2. 低溫熱裂解—在添加觸媒至裂解過程中，有效使裂解所需溫度(可降低至約 300 °C) 大幅下降之裂解程序。

高溫熱裂解法乃將廢輪胎利用破碎機破碎，再以熱裂解爐將橡膠予以裂解成氣態氣體與碳黑，其中碳黑部份經磁選機分離內含金屬後即可用於其他用途。氣體部份經冷凝後即可得到重油與不可凝集之氣體兩種物質，皆可做為燃料使用。其處理流程如圖 3.11 所示。低溫熱裂解則如圖 3.12 所示。

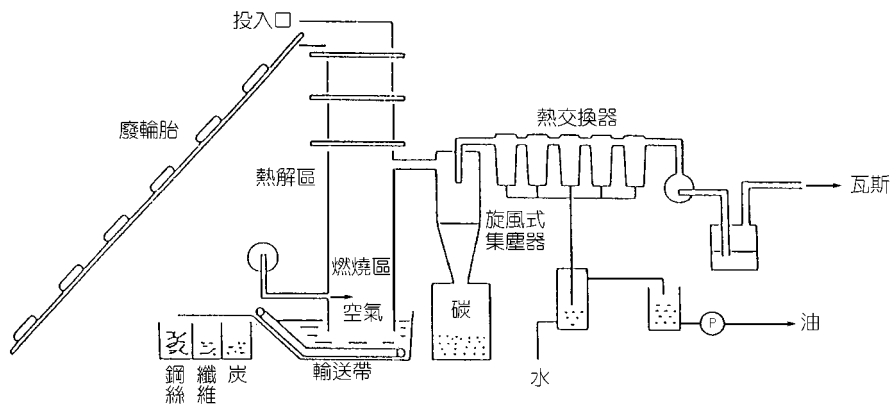


圖 3.11 廢橡膠高溫熱裂解處理流程示意圖⁽¹⁰⁾

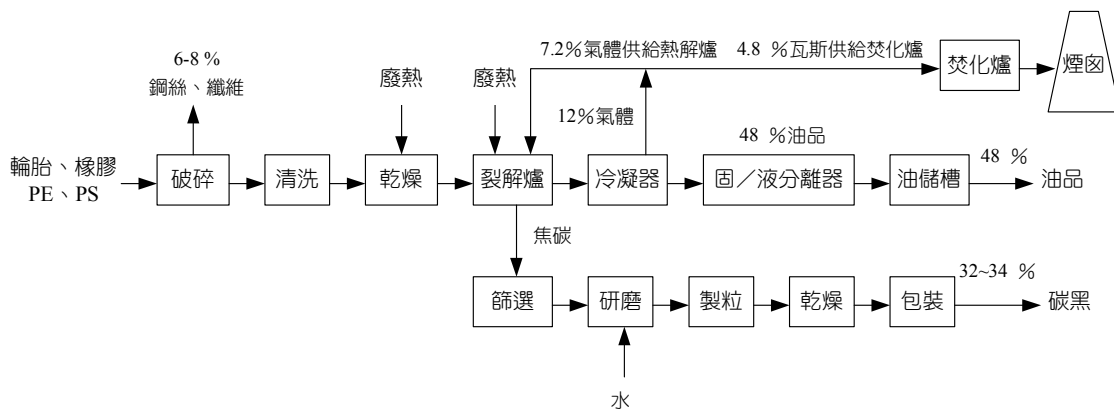


圖 3.12 廢橡膠低溫熱裂解處理流程圖

3.2.2.5 微波(Microwave)處理法⁽⁴⁾

本法為最新開發之處理技術，其功能類似熱裂解之程序，將廢輪胎予以解離回收，目前在加拿大安大略省已有示範模型廠之設置，但相關之資訊仍不充份。

3.2.2.6 輪胎衍生燃料(Tire derived fuel, TDF)

輪胎衍生燃料顧名思義即指由廢輪胎所加工製造的燃料。其製造流程最重要的步驟在於使輪胎體積減小，體積愈小則燃燒效率愈高，但花費成本亦將相對提高。TDF 一般約為邊長 4~6 公分大小之正方形，含原有之鋼絲及纖維等。

本項能源替代品因其所熱值相當可觀，若能廣泛納入使用，將可降低對燃煤、石油等消耗性資源之依賴，惟使用上應對於污染控制問題一併考慮，以便得到最佳之應用成果。其適用對象如前述水泥業或造紙業等，以燃煤為主要燃料之鍋爐及焚化爐⁽¹¹⁾等，而其中又以供應水泥旋窯作燃料為最佳用途。

3.2.3 原料回收或再製技術

本類資源化再利用方式，為針對廢輪胎之橡膠部分，進行破碎、分離與再製。廢輪胎利用機械方法將輪胎予以破碎成橡膠顆粒，處理流程如圖 3.13 所示，再依不同處理技術製成各種成品，如做成再生膠、道路鋪材、運動跑道鋪材及橡塑化合物等。有關廢輪胎之破碎，除傳統之機械破碎外，目前亦有冷凍破碎技術(cryogenic technology)可供採用⁽⁴⁾。

3.2.3.1 再生橡膠

廢輪胎中的橡膠可利用脫硫使廢橡膠恢復可塑性，再藉著精煉使橡膠粒子微細化，而增大橡膠的可塑性及粘性，可使用於較低要求的橡膠用品或添加於新橡膠中製成高性能的橡膠。目前已有若干商業化之技術例如：TIRECYCLE[®]，其製程為將廢橡膠研磨後，再將所得之橡膠粉予以表面活性化，使得後續化學反應得以順利進行。

3.2.3.2 橡膠瀝青路面

以橡膠粉料添加於瀝青中，供做各種道路鋪面材料⁽¹²⁾，其與傳統的瀝青路面比較，有下列特性：

1.耐用年限增長

2.對於反射性裂隙，具有較強的抵抗性

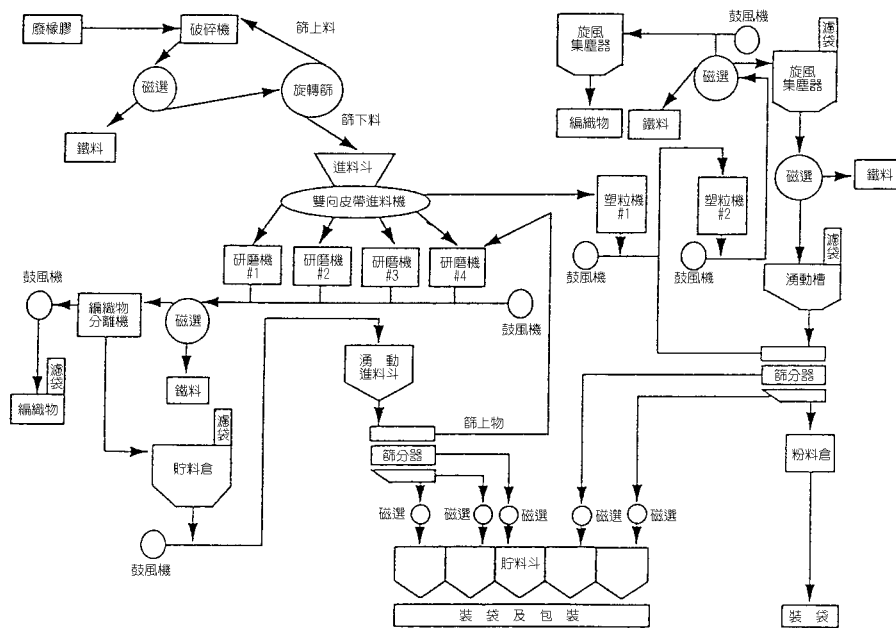


圖 3.13 廢輪胎粉碎研磨處理流程示意圖

- 3.路面變形小
- 4.抗老化性增加
- 5.抗滑性增加
- 6.除冰能力增大
- 7.路面噪音大幅降低
- 8.排水性強
- 9.反光程度小



10. 維護費用低

本法之應用，尚可包括其他地面之鋪設，如：運動場、遊樂場等。

3.2.3.3 製成橡膠與塑膠化合物

廢橡膠可與聚乙烯、乙烯共聚合物及聚丙烯等物質利用聚合技術形成塑膠製品，使其具有良好的衝擊強度、張力硬度、抗磨損性、撕裂強度、割削阻力及低溫撓性等特性，可製成汽車保險桿、鞋底、容器、輪子等物品。

3.2.3.4 其他橡膠再製品製造

橡膠原已廣泛應用在多方面之產品製程，因此，回收之橡膠除非有特殊之製程或產品品質考量因素外，多半可以再回到生產製程。以下列舉若干應用方式：

1. 橡膠板、磚
2. 隔音材料
3. 人工草皮
4. 透水路面鋪設材料
5. 管線絕緣覆皮
6. 活性炭

由以上之產品可再次印證橡膠廣泛使用範圍之特性，而就資源回收而言，若能朝向高附加產品價值之用途，持續開發新技術，必能使廢橡膠之資源化更加順暢且成熟。

3.3 廢橡膠資源化技術評析

由以上各項資源化技術，綜合各項技術、原理流程、適用對象、適用範圍、技術成熟度及特點等要項，彙整如表 3.4 所示。

表 3.4 廢橡膠資源化技術評析

第三章 廢橡膠資源化技術

技術名稱	原理、流程	適用對象	成品與適用範圍	技術成熟度與實績	特點(含應用限制)
再生輪胎	原形利用及再製	未經破碎之廢輪胎	品質較佳之廢輪胎，但成品之品質較新品差	已商業化	同輪胎之生產
休閒設施	原形利用	未經破碎之廢輪胎	廢輪胎無特定要求，以浮動碼頭應用量較大	已商業化	使用著重廢輪胎配置與固定技術
緩衝材料	原形利用	無特定之要求	廢輪胎無特定要求，用於船舷、港口、碼頭之保護	已有應用實例	使用量有限
擋土材料	原形利用	未經破碎之廢輪胎	廢輪胎無特定要求，用於坡地、河岸或海岸之穩固	已有應用實例	使用量大，但無灌注水泥應注意環境衛生問題
人工魚礁	原形利用	未經破碎之廢輪胎	廢輪胎無特定要求，用於製造人工魚礁	已有應用實例	使用量大
焚化	能源回收	依焚化爐型式而定	廢棄物焚化廠或事業機構之燃燒設備	已有應用實例	須考量廢輪胎之投入體積、污染防治措施（特別是針對含硫及氯之成分）及灰燼處置
汽電共生	能源回收	經破(粉)碎者為佳	成品為蒸汽，再經由發電機轉換成電力	已商業化	以 TDF 型式供應最佳、污染防治措施（特別是針對含硫及氯之成分）及灰燼處置
水泥窯燃料	能源替代	經破(粉)碎者為佳	替代部份燃料之使用，且可補充水泥之成分	已有應用實例	廢輪胎無特定要求，以 TDF 型式供應更佳，須維持原有污染防治設備之正常操作
熱裂解	能源回收	經破(粉)碎者為佳	廢輪胎無特定要求，經前處理效果佳	已商業化	回收產品有固、液、氣三相，以低溫觸媒熱裂解之效益較高
微波處理	能源回收	—	—	美加地區已有試驗廠規模	—
輪胎衍生燃料	能源替代	經破(粉)碎者為佳	其一般大小約為 2"×2" 含鋼絲及纖維之廢輪胎片	已商業化	廢輪胎無特定要求，可代替燃料使用，但須考慮污染防治成本
再生橡膠	原料回收	經破(粉)碎者為佳	成品為經分離、粉碎之橡膠粉，再重新予以活化再製新橡膠	已商業化	廢輪胎無特定要求，原料分離、粉碎設備依需求考量
橡膠瀝青路面	原料回收、再製	經破(粉)碎者為佳	成品為橡膠及瀝青混合物，可適用於不同路面需求	已商業化	依路面需求與瀝青調配適當配比，鋪面之耐久性佳，但成本較高
其他複合或再製品	原料回收、再製	經破(粉)碎者為佳	橡膠板(磚)、隔音材等，可應用再製之項目極多	已商業化	—

3.4 廢橡膠資源化案例

3.4.1 案例一

3.4.1.1 前言

A 廠為國內已通過 ISO 14001 環境管理系統驗證之民營廢棄物處理廠，設立於 1965 年，在廢輪胎之資源化方面，具有處理、精製之能力，提供再生之橡膠粉。其處理技術係藉由產學合作方式，共同開發而來，故不僅為國內堆積如山的巨量廢輪胎，找到可以減量的解決途徑，同時亦達到維護國民之生活環境品質。另一方面廢輪胎經資源回收後，其再生用途包括橡膠瀝青路面、再生膠及橡膠再生地磚等各項產品或原料，除解決了環境污染問題外，並為廢棄物開創高附加價值之效益。

3.4.1.2 製程及原理

廢輪胎之處理原理，主要在於減小體積，亦即將廢輪胎予以破碎。然而，廢輪胎原來就由多種物質複合而成，故於破碎處理後，接著便是需要進行碎料之分離。輪胎之組成包括：橡膠、棉絮及鋼絲等，因此，針對此三類碎料之不同性質將其分離、收集，以提高資源化之利用率。處理流程如圖 3.14 所示。

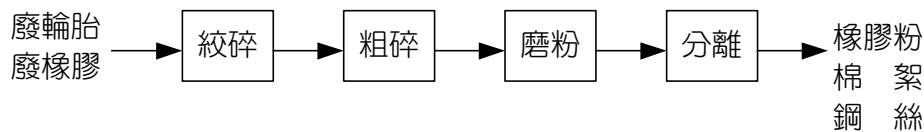


圖 3.14 A 廠廢輪胎處理流程圖

3.4.1.3 資源化成效

1. 克服以往廢橡膠活化、膠化之困難，提高再生產品性能。



第三章 廢橡膠資源化技術

- 2.將橡膠、鋼絲、棉絮分離、分類、回收再利用。
- 3.分離、回收再利用率高且具有完善之污染防治措施。
- 4.可直接生產橡膠地墊、地磚、砲道、鞋用製品等。
- 5.橡膠粉可轉製成再生膠，供業界添加使用。
- 6.橡膠粉混合瀝青鋪設道路，增加耐用性。

3.4.1.4 結語

國內之廢輪胎產量已達每年 10 萬公噸，為舒解廢輪胎對空間與環境衛生所造成之壓力，實應妥為規劃因應。由廢輪胎之性質來看，納入資源化回收途徑是最適合之方式，不僅使橡膠得以重覆有效使用，同時也能減少若干新橡膠之產生，增加日後廢棄物之產出量。未來除努力提高其再製產品之品質外，對於回收產品之推廣與銷售市場之開拓，亦可能為其待克服之瓶頸。

3.4.2 案例二

3.4.2.1 前言

B 廠為波多黎各於 1994 年新設立之民營橡膠回收公司，亦為加勒比海回收基金會(Caribbean Recycling Foundation)之創始會員之一。波多黎各每年廢輪胎產生量在 4~5 百萬個（約 360~450 百萬公噸）之間，而目前已在掩埋場之廢輪胎數量估計有 3 億個，皆可當做原料之供應。由於目前已有立法收取處置費之提議，但尚未決定針對新產出或已存在掩埋場之廢輪胎為對象，然而就民眾不願付費之心態，已使得非法棄置之問題日益嚴重。

3.4.2.2 製程、原理

傳統之廢輪胎回收，是以大型破碎機為工具，將廢輪胎破碎成片狀或更小之顆粒，就操作而言，其缺點為：能源之需求大，機具磨損須維護、更換，且後續分離之效率會受到影響。

B 廠採用美國已有實廠運轉之 Crumb Rubber Technology，其主要流程如圖 3.14 所示，包括以下四步驟：

- 1.破碎—將廢輪胎初步破碎、切片成為 2 英吋見方之橡膠片。



2. 冷凍—經切片後之橡膠片，以輸送帶送至冷凍室，將橡膠片冷凍至-130°C。
3. 粉碎—已冷凍之橡膠片，再導入錘碎設備中予以進一步粉碎。粉碎後之橡膠粉末，因邊緣極為粗糙，有利未來再製產品時之密合。
4. 分離—可以將橡膠粉、鋼絲及棉絮纖維等，完全分離。

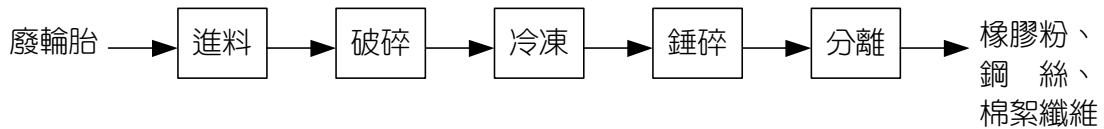


圖 3.15 B 廠廢輪胎處理流程圖

3.4.2.3 資源化成效

1. 處理能力—每小時 175 個廢輪胎，每年可達 150 萬個廢輪胎。
2. 獲得產品—以平均每個廢輪胎為 20 磅計算，可獲得 15 磅橡膠，4 磅鋼絲及 1 磅棉絮纖維，其中，橡膠粉之粒徑分佈約如表 3.5 所示。

表 3.5 廢輪胎破碎後橡膠粉粒徑分佈

粒 徑	百分比(%)
< 20 mesh	25.6
40 mesh	34.7
80 mesh	19.9
200 mesh	19.8
總 計	100



第三章 廢橡膠資源化技術

- 3.生產成本—每個廢輪胎處理成本為美金 0.95 元（含機械折舊費），而含銷售之完全成本則為美金 2.2 元，約為所得回收產品售價之 60 %（不含到府回收費）。
- 4.銷售對象—橡膠之銷售用途有：1.橡膠瀝青混合，2.橡膠製品，3.輪胎，4.運動場覆面材料，5.鞋類製品及 6.燃料製品。

3.4.2.4 結語

廢輪胎經過有效之處理後，已可成功地轉化成為各類產品之原料，可供國內參考之關鍵在於回收制度之建立、回收方式及相關立法程序之配合等，值得國內相關業者及主管機關引以為借鏡之處。



參考文獻

1. Hebert M., TMAC Predicts More Records for Replacement Passenger and Light Truck Tire Demand, Rubber Manufacturers Association News, 1998.11.
2. Tsao, T.C.R., Wichester, D.C., and Pham, H.N., Use of Waste Tires for Cogeneration, 廢輪胎資源化利用技術與策略研討會，財團法人中華民國廢輪胎處理基金會，台北，1996.5。
3. Ward, M.L. Sr., Recyclers Trying to Tread-Right Path in Procossing Tires, pp.82-84, 1994.4.
4. Forteza, A.C., Tire Recycling in Europe, North American Recycled Rubber Association, 1998.11.
5. 沈建全，利用廢輪胎與廢水泥電桿製作新型人工魚礁之技術—大量事業廢棄物資源化之積極處理方式，國科會研究計畫(NSC-87-2611-E-002-004)，1998.6。
6. 財團法人中華民國廢輪胎處理基金會，廢輪胎資源化利用技術與策略研討會序，財團法人中華民國廢輪胎處理基金會，台北，1996.5。
7. 廖忠義，廢輪胎海域、河川、湖泊等資源化應用，廢輪胎資源化利用技術與策略研討會，財團法人中華民國廢輪胎處理基金會，台北，1996.5。
8. 楊萬發等，台北市垃圾焚化廠工程計畫—第十三年垃圾取樣分析，台北市政府環境保護局研究報告，1995.6。
9. 固特異(Good year)輪胎公司，全球資訊網資料，1998。
10. 日本自動車輪胎協會，廢輪胎的知識，1988.4。



第三章 廢橡膠資源化技術

- 11.楊金鐘，廢輪胎的有效利用方式：「胎得福」(TDF)燃料，能源季刊， Vol.21， No.1， pp.114-131， 1991。
- 12.陳志恆，廢輪胎於橡膠瀝青資源化技術之應用與推廣，廢輪胎資源化利用技術與策略研討會，財團法人中華民國廢輪胎處理基金會，台北，1996.5。



第三章 廢橡膠資源化技術



第三章 廢橡膠資源化技術



第三章 廢橡膠資源化技術

第四章 廢塑膠資源化技術

4.1 前言

塑膠為石化工業的重要產品之一，且其產品種類繁多，又因其具有穩定與易加工的特性，適用於多種不同之用途，舉凡：食、衣、住、行、育、樂，各方面皆不難發現其蹤跡，可說是與現代生活關係相當密切的物質。

我國塑膠工業相當發達，且由於國人習於使用塑膠容器或包裝袋，故造成國內一般廢棄物之產出，有相當比例（濕基約佔 15%）⁽¹⁾為此種穩定、不易分解又含有高熱值的廢棄物，因而衍生出相當多廢棄物清理之問題。

廢塑膠依使用來源可分為工業製程及民生用品兩部份所產生，而根據環保署廢棄物統計資料推估，來自工業製程之產量大約 13,333 公噸/月⁽²⁾，其中已大部份納入回收再利用；民生用品廢塑膠產量約 120,000 公噸/月(依台灣省、台北市及高雄市之垃圾產出量總和，乘上 15%)，目前仍以掩埋為主。

廢塑膠依加熱性質之不同，可區分為熱塑性塑膠(如表 4.1、圖 4.1)及熱固性塑膠兩大類，以下即分別介紹其回收技術。

表 4.1 熱塑性塑膠之分類

中文名稱	英文簡寫	比重	資源回收編號
聚乙烯(瓶)	PET	1.34~1.60	1
高密度聚乙烯	HDPE	0.95	2
聚氯乙烯	PVC	1.3~1.5	3
低密度聚乙烯	LDPE	0.91~0.925	4
聚丙烯	PP	0.90	5
聚苯乙烯	PS	1.05	6



圖 4.1 熱塑性塑膠資源回收分類標誌圖例

4.2 現有廢塑膠資源化技術

4.2.1 熱塑性塑膠回收技術

4.2.1.1 製造再生棉

本方法係利用廢保特瓶再回收生產聚乙烯對苯二甲酸酯（polyethylene terephthalate, PET）再生棉，其製程係將廢塑膠料製成再生聚酯粒、或直接用保特瓶粉碎後經擠壓、熔融、抽絲、延伸、切棉等各項步驟，製成再生棉（如圖 4.2 所示）。

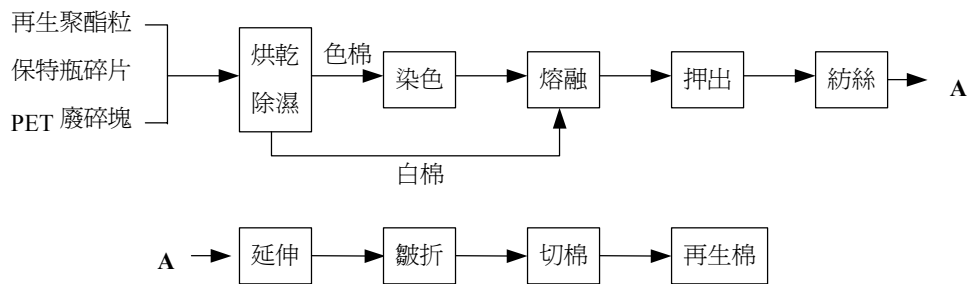


圖 4.2 廢保特瓶製造再生棉流程圖

由於再生棉可供應用於不織布、地工布、過濾材等各類製品之原料，再者由本法所抽成之色棉，因可直接添加色母於原料中，色棉之耐日光及耐水洗特性良好，同時又可免除溼式染色法所產生的廢水問題，故實為兼顧資源再利用與污染減量的可行技術，國內已有實廠之設立。

4.2.1.2 製造不織布等再製品

將上述再生棉用做紡織的原料，即可進一步製成附加價值較高之資源化再利用產品，如：不織布(圖 4.3)、地工織布⁽³⁾、鞋材及其他製品(圖 4.4)。

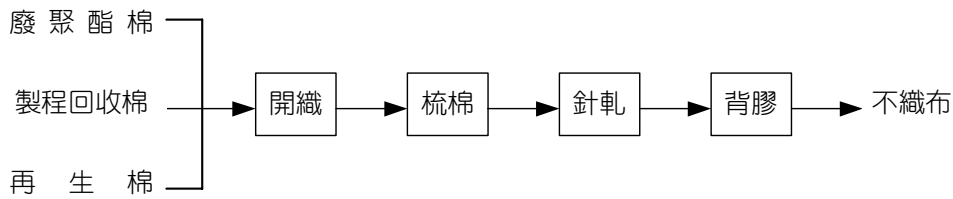


圖 4.3 不織布生產流程圖

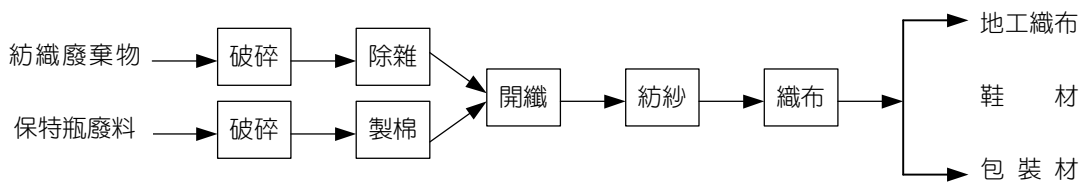


圖 4.4 其他再生棉製品生產流程圖

4.2.1.3 熱裂解

熱裂解(pyrolysis)為厭氧或無氧狀態下，將長鏈狀有機化合物加熱而使其分子鍵斷裂，最後分解成較小分子結構之副產物（如：燃料油品等）及水。廢保特瓶及其他廢塑膠，皆屬長鏈型有機化合物，當缺氧條件下，加熱達到一定溫度($\geq 800^{\circ}\text{C}$)時，即可進行高溫熱裂解反應。然而有鑑於高溫熱裂解消耗之能量相當龐大而不經濟，因而另有低溫熱裂解技術之產生。其主要之不同為加入觸媒，使得產生裂解反應的臨界溫度可以大幅度降低，但由於塑膠的種類繁多，於進行熱裂解反應之特性亦有不同。低溫熱裂解之處理流程如圖 4.5 所示。

經過熱裂解後，可得到固態、液態及氣態等三相副產物：固態為焦炭，可用於精製成碳黑；液態為燃料油；氣態為可燃性氣體等。然而就熱塑性塑膠中的 PVC、PS 進行熱裂解時，應分別考量 PVC 之脫氯(dechlorination)步驟，以及如何將 PS 轉換成單體型式，以利熱裂解轉換之進行⁽⁴⁾。

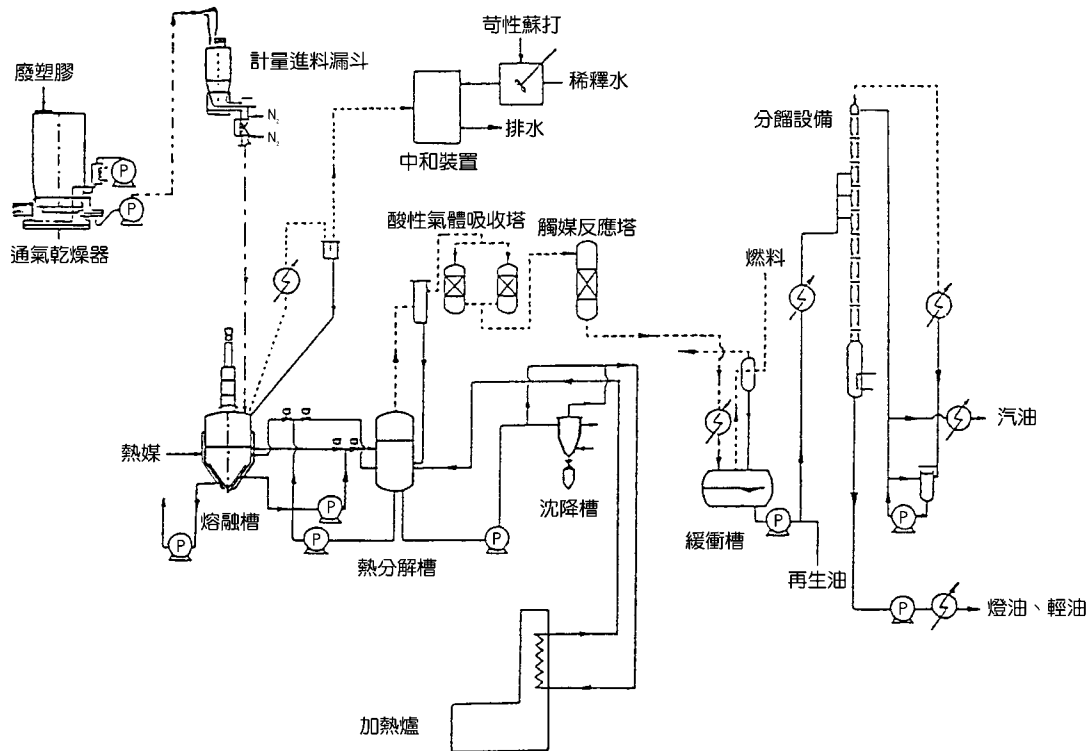


圖 4.5 廢塑膠低溫觸媒裂解處理流程示意圖

4.2.1.4 原料再生

熱塑性塑膠經適當之回收步驟後，可以直接製成再生塑膠粒，若與一定比例之新製塑膠粒混合後，可以製成再生產品。有關再生塑膠粒之處理流程係將廢塑膠收集後，利用粉碎、清洗、乾燥、切粒等程序予以回收，其處理流程如圖 4.6 所示。依其回收的塑膠成份可分成單純性塑膠及複合性塑膠兩種。



圖 4.6 廢塑膠原料再生處理流程圖

上述再生處理流程中，最重要的工作為分選步驟，若配合磁選設備不但可以去除含金屬類雜質外，亦可將混合塑膠廢料分離，而得各類單一塑膠回收廢料(如圖 4.7 所示)。

4.2.1.5 複合再生材料製造

前述成分單純之塑膠再生使用時與塑膠生料接近，而成份較混雜之塑膠可以與其他物質混合後，以押出發泡成型及溶解乳化等方法，製成複合再生材料，以進行再利用。押出發泡成型法可製成土木、建築、漁業、農業及工業材料(如圖 4.8 所示)。

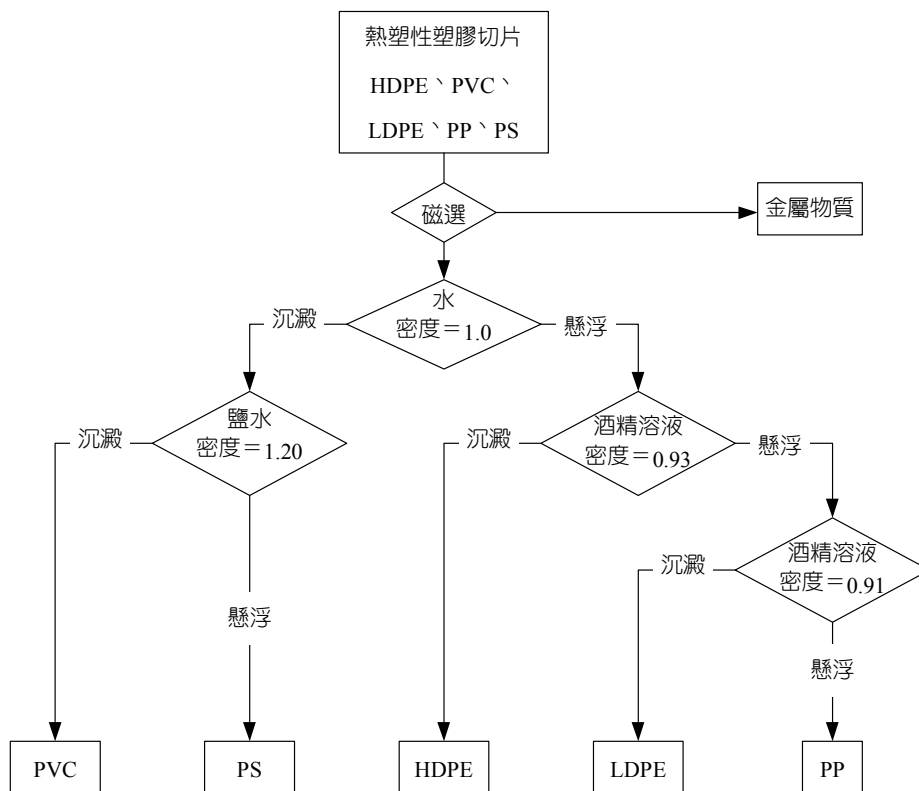


圖 4.7 以磁選加比重分選法篩選塑膠流程

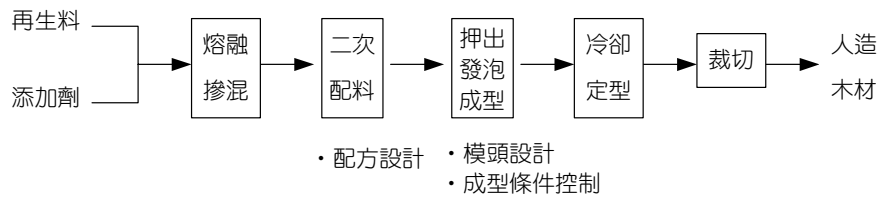


圖 4.8 押出發泡成型法流程圖

溶解乳化法處理時，先將塑膠加入廢油與少量溶劑，加熱溶解後再添加乾沙或金屬廢棄物、污泥為填充料，充分混合後再壓製為面磚、花盆等成品。溶解乳化法流程如圖 4.9 所示。

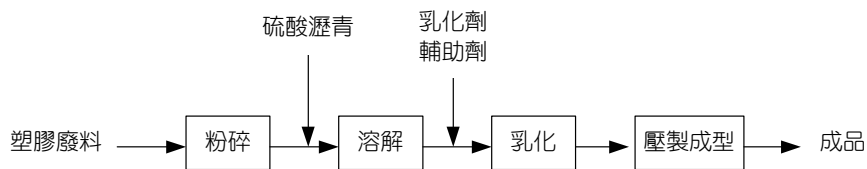


圖 4.9 溶解乳化法流程圖

4.2.1.6 溶劑萃取法

本法為德國所開發之專利新技術，以分離電線電纜之覆皮(含 PVC、PU)及銅線為目的，有效取代原有之焚燒法、酸溶出處理法或機械分離法等，進而得到更加純化之銅線，同時分離所得之 PVC 仍可回收使用。其處理流程如圖 4.10 所示。



第四章 廢塑膠資源化技術

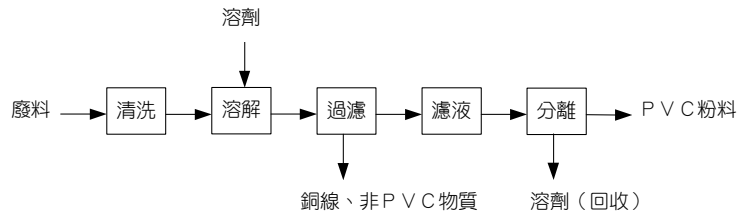


圖 4.10 溶劑萃取法流程圖

本法之特性有三：

1. 溶劑有專一性，只溶解單一種類之材質(如：PVC 或 PU)，因此不同類之塑膠得以有效分離。
2. 溶劑可以回收再利用，故有效節省處理成本。
3. 處理所得之副產品，如銅線及 PVC 粉料之純度高，具回收價值，其應用實例如圖 4.11 所示。

4.2.2 熱固性塑膠回收技術

熱固性塑膠因加熱時，分子之間的鍵結相當安定不易產生形變，除此之外，本類塑膠所適用之回收技術大多與熱塑性塑膠相同。

4.2.2.1 原料再生

本方法之處理程序與熱塑性塑膠之回收相似，但因本類塑膠體積較大，故減少體積之破碎程序亦相當重要(如圖 4.12 所示)。

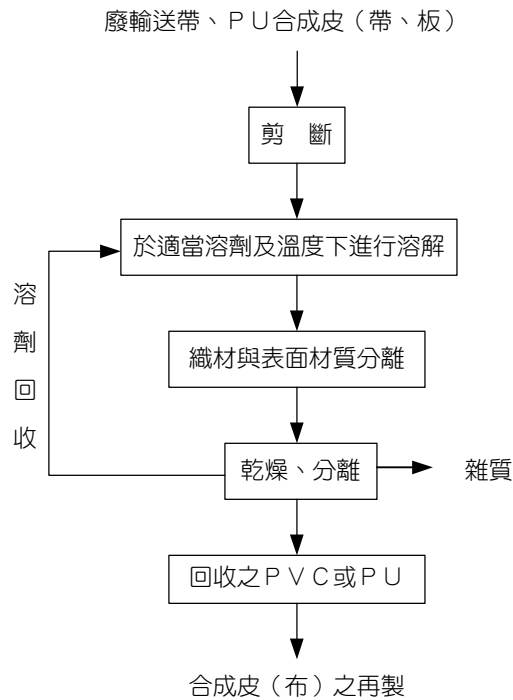


圖 4.11 PVC 及 PU 表面處理之合成皮(布)回收流程圖

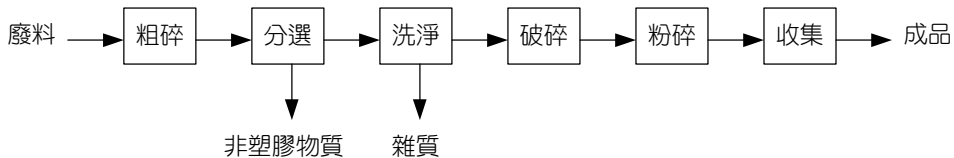


圖 4.12 熱固性塑膠原料再利用流程圖

有關本方法之應用，以熱固性塑膠用於製作強化塑膠(fiber reinforced plastics, FRP) 產品為例，於分類程序後，廢料藉機械方式先切為條狀，使其體積能符合粗碎機之餵料大小。粗碎產物再細碎或切碎，每個切斷的步驟都會有一些非塑膠物質脫落出來，必須挑揀或分選出來，例如：金屬物品送往熔煉，避免妨害再生利用價值。破碎作業的產物最後經過磨粉，成為 300~450 mesh 細粉，做為製作 FRP 產品時的填充料。為確保成品之強度，需注意塑膠廢料的清潔，必要時需洗淨處理。其流程如圖 4.13 所示。

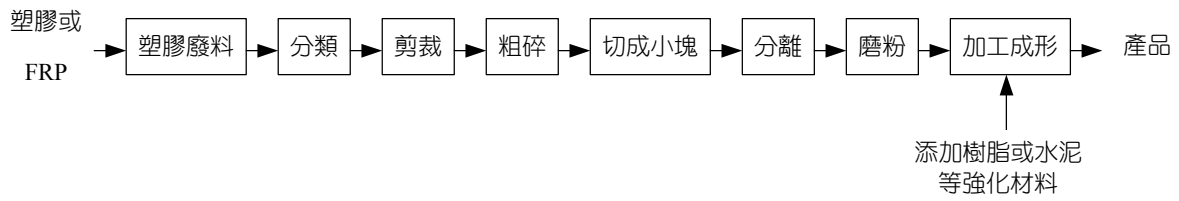


圖 4.13 磨粉再生處理 FRP 塑膠流程圖

4.2.2.2 熱裂解

本方法同熱塑性塑膠之熱裂解。圖 4.14 為 FRP 之燃燒及熱裂解處理之流程圖，可知經處理後，不論是殘渣、回收熱、氣體、油份等，皆有進一步再利用之價值。

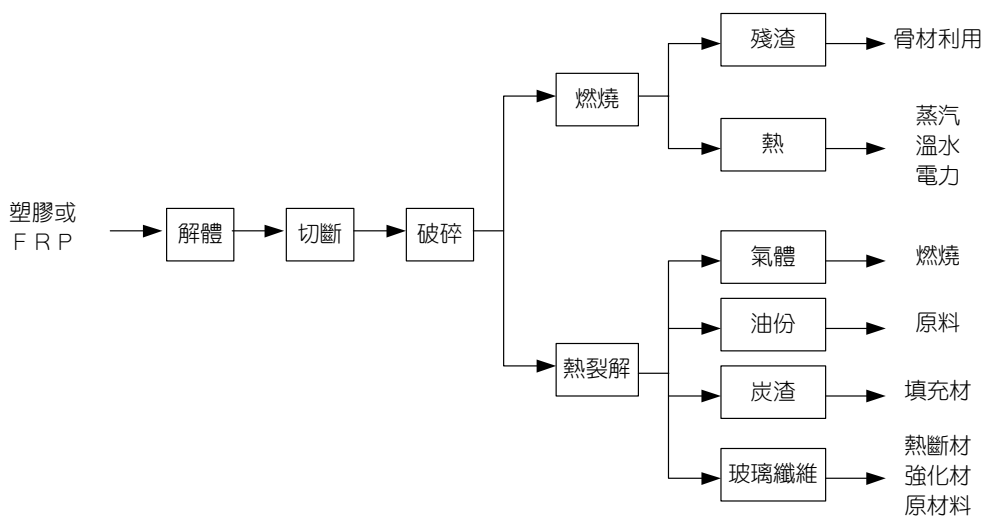


圖 4.14 燃燒及熱處理再生 FRP 塑膠流程圖

4.2.2.3 溶劑萃取法⁽⁵⁾

同熱塑性塑膠之溶劑萃取法。以下為回收丙烯腈丁二烯苯乙烯（acrylonitrile butadiene styrene, ABS）廢料之溶劑萃取法流程圖。

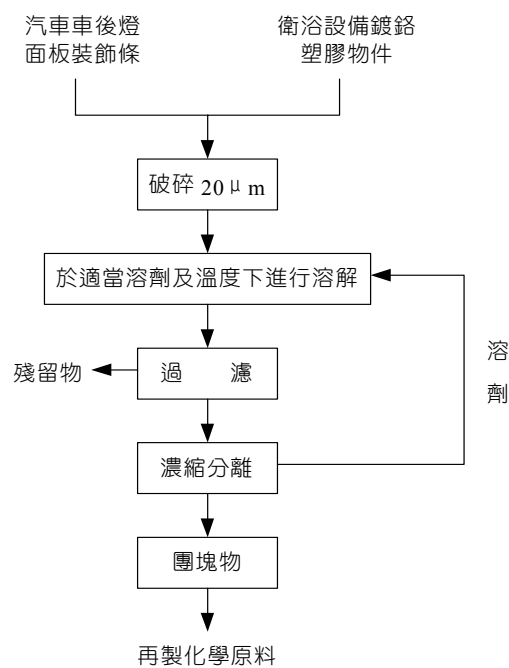


圖 4.15 ABS 廢料回收流程圖

4.3 廢塑膠資源化技術評析

由以上各項資源化技術，綜合各項技術、原理流程、適用對象、適用範圍、技術成熟度及特點等要項，彙整如表 4.2 所示。

表 4.2 廢塑膠資源化技術評析

技術名稱	原理、流程	適用對象	成品與適用範圍	技術成熟度與實績	特點(含應用限制)
製造再生棉	機械破碎→熔融→抽絲	保特瓶、廢聚酯粒	再生棉或填充材料	已商業化	可替代部份新棉之製造，但其品質要求須達一定之標準，應考量二次廢棄物之收集與處理
製造不織布等再製品	機械破碎→製再生棉→混紡	再生棉、紡織廢棄物	不織布製造	已商業化	產品用途廣，應考量二次廢棄物之收集與處理
熱裂解	破碎→(觸媒)→裂解→分餾	所有類型之塑膠	能源回收油品、可燃性氣體及焦炭	已商業化	副產品皆可再利用，應考量造成酸性廢氣之收集與處理
原料再生	1.比重法 機械破碎→分選→粉碎→造粒或摻配用	熱塑性塑膠	回收塑膠料	已商業化	將各類塑膠分離，應考量二次廢棄物之收集與處理
	2.磨粉法 粗破→分選→破碎→粉碎→收集→再利用	熱固性塑膠	回收塑膠料	已商業化	再生料為混合狀態，應考量二次廢棄物之收集與處理
複合再生材料製造	再生料與其他材質混合，製成複合再生材料	熱塑性塑膠	電木粉等一體成型之物件	已商業化	用途配合汽車內裝之發展而逐漸推廣，應考量二次廢棄物之收集與處理
溶劑萃取法	廢料→清洗→溶解→過濾→分離	PVC、ABS等專一類別	回收塑膠料	已商業化	再生料純度高，可得其他純度高之副產品，如：銅線，溶劑應注意其揮發之控制

4.4 廢塑膠資源化案例

4.4.1 案例一

4.4.1.1 前言

W 廠為德國一專門回收電線電纜之回收處理公司。原有廢電線電纜之回收處理法有以下四種：

- 1.酸溶出法：以強酸溶解塑膠，以回收銅線。
- 2.焚燒法：將塑膠焚燒，以回收銅線。
- 3.人工剪碎：人工剪碎電線，回收銅線。



4.機械分選：以機械破碎、配合篩選，以分離塑膠和銅。

但上述方法易產生嚴重污染問題（酸溶出法、焚燒法），或無法有效分離塑膠及銅線（人工剪碎、機械分選）。

4.4.1.2 製程及原理

德國 W 廠自行研發出針對 PVC、PU 及 ABS 等塑膠之專用溶劑，藉由主要處理流程（如圖 4.16）來達到金屬與塑膠分離目的。

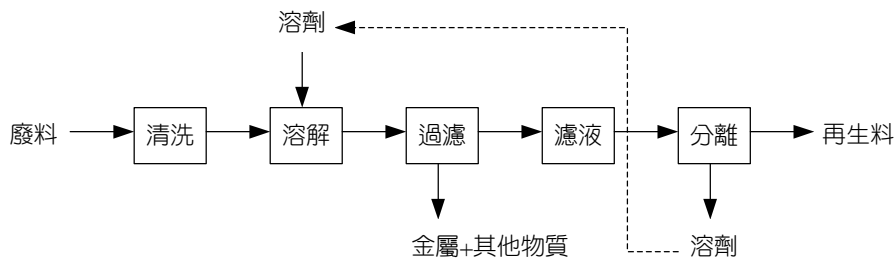


圖 4.16 W 廠對 PVC、PU 及 ABS 之萃取流程圖

溶劑萃取法主要的優點在於除了可回收高純度銅線(非銅粉)，亦可回收軟質 PVC 等塑膠，而在回收 PVC 時，並不將其他 PE、PP 等物質一併溶出，故能有效控制其回收物之品質及純度。

4.4.1.3 資源化成效

本方法之具體應用如下：

1. 電線、電纜 PVC 及銅料回收處理流程如圖 4.17 所示。

第四章 廢塑膠資源化技術

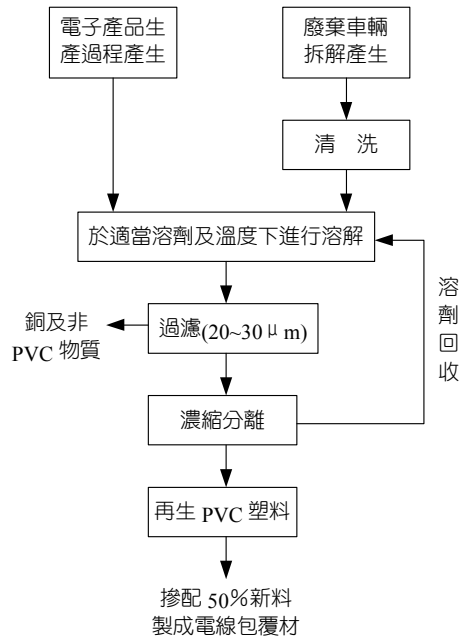


圖 4.17 W 公司電線、電纜 PVC 及銅料回收處理流程

2.PVC 及 PU 表面處理之合成皮(布)回收處理流程如圖 4.18 所示。

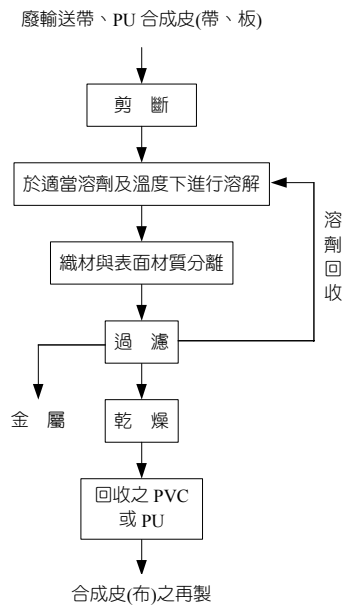


圖 4.18 W 公司 PVC 及 PU 表面處理之合成皮(布)回收處理流程

3.其他塑膠產品(如 ABS)之回收處理流程如圖 4.19 所示。

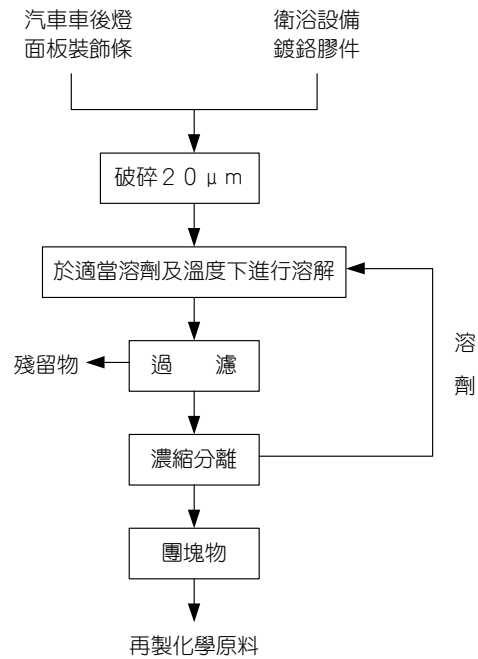


圖 4.19 W 公司其他塑膠產品回收處理流程

4.4.1.4 結語

以 W 廠回收之 PVC 為例，每公斤新製 PVC 需耗能量 70.4MJ(百萬焦耳)(約 16,800kcal/kg)，若使用再生 PVC，僅耗能量達每公斤 17.2MJ(約 4,100kcal/kg)，倘扣除清洗步驟，即每公斤再生 PVC 僅耗能量達 12.6MJ(約 3,000kcal/kg)，故可見溶劑萃取法於能量節省方面的驚人成效。



參考文獻

1. 楊萬發等，台北市垃圾焚化廠工程計畫—第十三年垃圾取樣分析，台北市政府環境保護局研究報告，1996.6。
2. 行政院環境保護署，有害事業廢棄物清理管制計畫—管制中心(第二年)，行政院環境保護署研究報告(EPA-87-H103-03-12)，1998.6。
3. 嚴子明等，A Study on PET-Bottle Recycling Non-woven Geotextiles for Filtration/Drainage Usage, 華岡紡織期刊, pp.27-36, 1997.3。
4. 蘇宗榮，國內推動廢塑膠資源化的現況，工業污染防治，No 59, pp.111-124，1996.7。
5. 鄭宏德、林黃修，「歐洲廢棄物資源化及有害廢棄物處理技術」出國報告，工業污染防治技術服務團計畫專案，1997.11。



第四章 廢塑膠資源化技術



第四章 廢塑膠資源化技術



第四章 廢塑膠資源化技術

第五章 有機污泥资源化技術

5.1 前言

污泥(sludge)係指自然界水體之底部所沉積之物質，或經由淨水或廢(污)水處理程序，如：過濾、沉澱、混凝、生物處理或浮除等各單元，收集所得之固體物質⁽¹⁾。由於工業之高度發達，在生活與經濟改善的同時，亦產生許多令人及環境同感不悅的廢棄物，前述第二類有機污泥即是其中之一。

污泥依其化學性質之不同，可區分為有機污泥及無機污泥兩大類，其差異性分析，如表 5.1 所示。

表 5.1 有機污泥與無機污泥差異性分析

種類 \ 項目	產出之水處理單元	產出之行業	一般性質
有機污泥	初沉池、生物污泥終沉池、污泥消化槽、浮除槽、滴濾池	食品業、造紙業、化工製品業、紡織業、畜牧業	1. 具有泥土般氣味 2. 含有機成份高 3. 久置將因腐敗而生臭味
無機污泥	沉砂池、砂濾池、混凝沉澱池、濕式洗滌塔	電鍍業、印刷電路板業、石材加工業、金屬加工業、家電業	1. 可能因產業之不同而有不同顏色及氣味 2. 污泥之生物安定性高 3. 可能含有劇毒性

根據調查推估國內污泥之產量將近每年 400 萬公噸⁽²⁾，故所面臨之清除、處理壓力與日俱增，而其中又以有機污泥之產出有較高的比例。有鑑於國內之掩埋容量已近飽和，以及有機污泥本身所蘊含的資源價值，若能有效導入資源化再利用途徑，則對於國內的廢棄物清理問題，將會有極大的助益。

國內外對於污泥處理之研究已十分成熟，依主要之處理程序來看，已開發之技術相當完備，圖 5.1 為就整體面考量之污泥處理、處置及資源化系統。有關各

類資源化技術，分別介紹如下節。

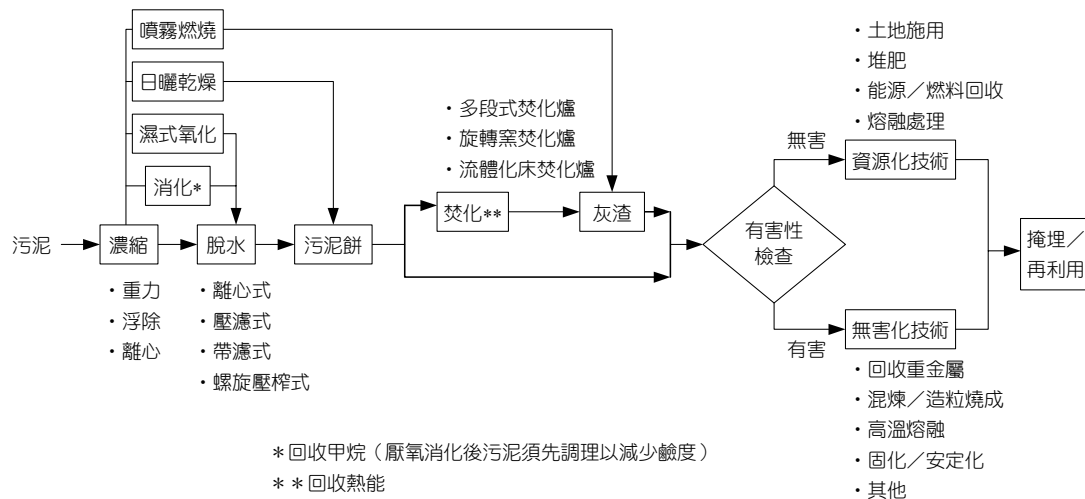


圖 5.1 整合性污泥處理、處置及資源化系統

5.2 現有有機污泥資源化技術

5.2.1 土地施用技術⁽³⁾

無論是否須乾燥之程序，因有機污泥含有揮發性固體物、氮、磷、鉀及鹼度等多種與肥料相同之成分（如表 5.2 及 5.3 所示），故具有直接施用於土壤，以改良土地肥力之利用價值。然而因有機污泥之產出來源相當廣泛，故其化學成分並非固定，所以對於有機污泥之土地施用上，世界各國皆有其法規所規定之成分容許濃度，特別是針對重金屬之濃度，以免對施用土地產生污染。除了濃度之限值外，於施用量方面亦有明確之限制，以防止污染物因總量過大而生累積之現象，各國之濃度限值如表 5.4 所示。

表 5.2 典型生物污泥化学特性⁽³⁾

項目	活性污泥	初沉污泥	廢棄活性污泥	消化污泥
總固體物(%)	0.83~1.16	3~8	0.5~1.0	5.0~10.0
揮發性固體物(%)	59~88	60~90	60~80	30~60
蛋白質(% of TS)	32~41	20~30	32~41	15~20
氮(% of TS)	2.4~5.0	1.5~4.0	2.5~7.0	1.6~6.0
磷(P,% of TS)	61~240	0.8~2.8	1.0~7.0	1.4~4.0
鉀(K,% of TS)	0.21~0.29	0.1~1.0	0.2~0.5	0.1~3.0
pH	6.5~8.0	5.0~6.5	6.5~7.5	6.5~7.5
鹼度(mg/L as CaCO ₃)	580~1,100	500~1,500	200~500	2,500 ~35,000
有機酸(mg/L)	1,100~1,700	—	—	200~800
熱值(kcal/kg)	4,400~5,500	3,300~3,600	2,800~3,800	1,400~3,300
Cd (mg/g)	10	16	—	76
Cr (mg/g)	500	110	—	160
Cu (mg/g)	800	200	—	340
Pb (mg/g)	500	500	—	—
Ni (mg/g)	80	46	—	63
Zn (mg/g)	700	620	—	930

表 5.3 生物污泥與商業肥料肥分之比較⁽³⁾

項 目	N (%)	P (%)	K (%)
商業肥料	5	10	10
典型廢水污泥	3.3	2.3	0.3
下水污泥	5.2	0.5	—

表 5.4 各國對有機污泥土地施用之土壤最大容許標準⁽³⁾

國別 項目	美 國 (mg/kg)	英 國 (mg/kg dry sludge)	歐 盟 (mg/kg dry sludge)	日 本 (ppm)
As	75	50	—	50
Cd	85	3~5	1~3	5
Cr	3,000	400~600	—	—
Cu	4,300	80~225	50~210	< 600
Hg	57	1~1.5	1~1.5	2
Mo	75	4	—	—
Ni	420	50~125	30~112.5	—
Pb	840	300	50~300	—
Se	100	3~5	—	—
Zn	7,500	200~500	150~450	< 1,800
氟化物	—	500	—	—
其 他 要 求 及 說 明	1. 土壤重金屬總量管制。 2. 致病菌數管制。 3. 監測頻率規定。 4. 施放之濃度與間距限制。	1. 土壤重金屬總量管制。 2. 為施用於土壤或牧草地之綜合限定範圍。 3. 土壤施用為地表下 20cm 深；牧草地為地表下 7.5cm 深。 4. 依土壤之 pH 範圍而有個別規定。	1. 土壤重金屬總量管制。 2. 施用之最大容許濃度依土壤 pH 範圍而規定。	1. 對植物不致造成異常生長現象。 2. 須經幼苗試驗檢定異常生長之可能性。

5.2.2 堆肥化技術⁽⁴⁾

本方法是發展及應用上最為成熟和廣泛之资源化技術，與土地施用之比較可歸納如表 5.5 所示。

表 5.5 堆肥與土地施用之比較

項目 \ 技術	堆 肥	土地施用
可直接應用於土壤	○	○
化學成份穩定	○	×
成品含水份高	×	○
易腐敗生臭味	×	○
有特殊氣味	×	○
含有大量微生物	×	○
須考慮污染物累積性	×	○
須經處理程序	○	×
為有價之資源化產品	○	×
提供植物養分	○	○
提供土壤 pH 緩衝能力	○	○

堆肥法係以好氧通氣方式，利用微生物來分解、轉化有機污泥所含的易腐敗之揮發性有機質，使其安定化的資源化技術。在堆肥的過程中，藉由微生物之酵素合成作用下，可促進糖類、氨基酸、脂肪、蛋白質及核酸等物質聚合為腐植質（腐植酸、黃酸或腐植膠等有機聚合物），此外堆肥中亦含有木質素、氮、磷、鉀（含量視原料、副資材及添加物而定）等。故堆肥之施用對土壤及作物具有下列效益：

- 1.改善土壤物理特性，促進通氣及排水特性。
- 2.增加土壤保水能力。
- 3.緩慢釋放植物所需之營養元素。
- 4.鉗合微量營養元素及協助植物營養素之溶解度。
- 5.增加土壤之緩衝力，使土壤之酸鹼反應緩和。
- 6.吸附及交換植物營養元素，提高肥料緩效性。



- 7.提供土壤有益微生物活動之環境，使土壤微生物大量增殖。
- 8.減少人為或天然之毒性物質及作用。
- 9.部份組成分有助植物生長功效。
- 10.色黑有助吸熱及早春種植等。
- 11.增加根系生長及發育。
- 12.增加作物生長及生產。
- 13.增加細胞的透水性。
- 14.刺激種子發芽等功能。

典型的有機堆肥法之處理流程如圖 5.2 所示。而堆肥設施一般可分為通氣靜堆式(aerated static pile) (圖 5.3)、風道式(windrow system) (圖 5.4~5.5)、密閉機械系統(enclosed mechanical system) (圖 5.6~5.7) 三大類。

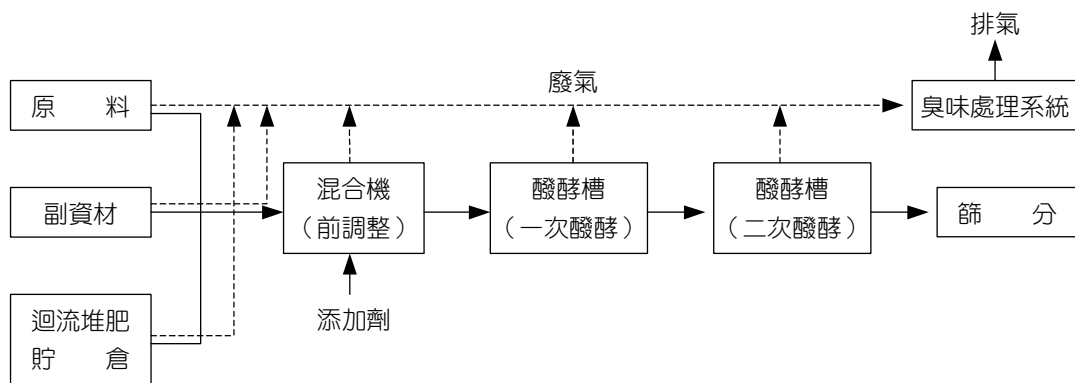


圖 5.2 典型堆肥化處理流程

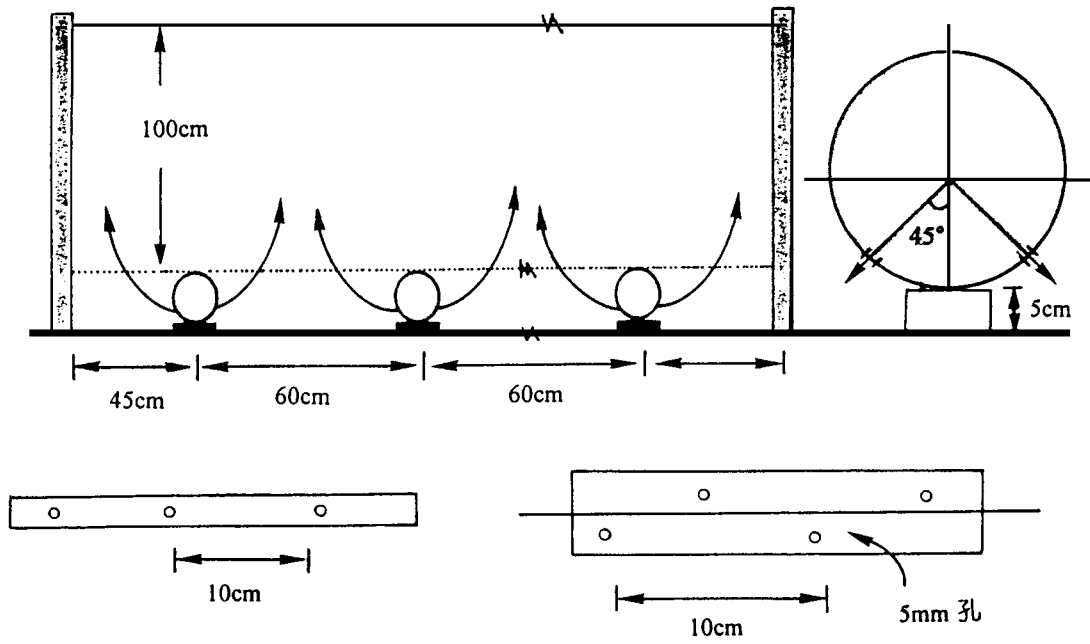


圖 5.3 通氣靜堆槽送風管排列及鑽孔示意圖

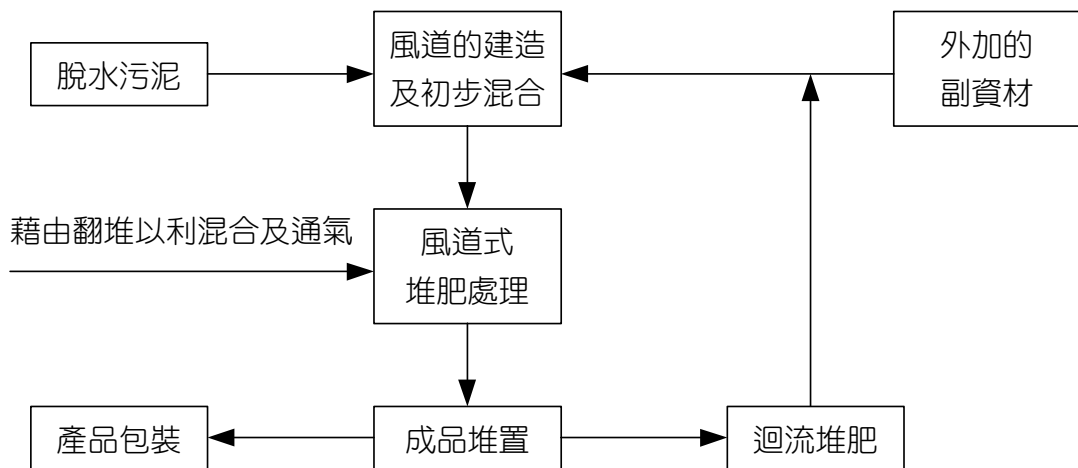


圖 5.4 典型風道式堆肥處理流程圖

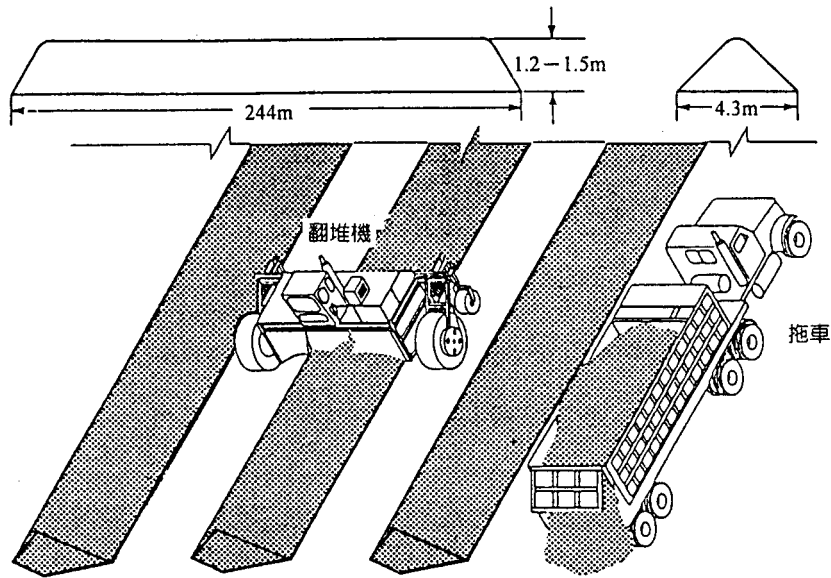


圖 5.5 風道式堆肥法操作示意圖

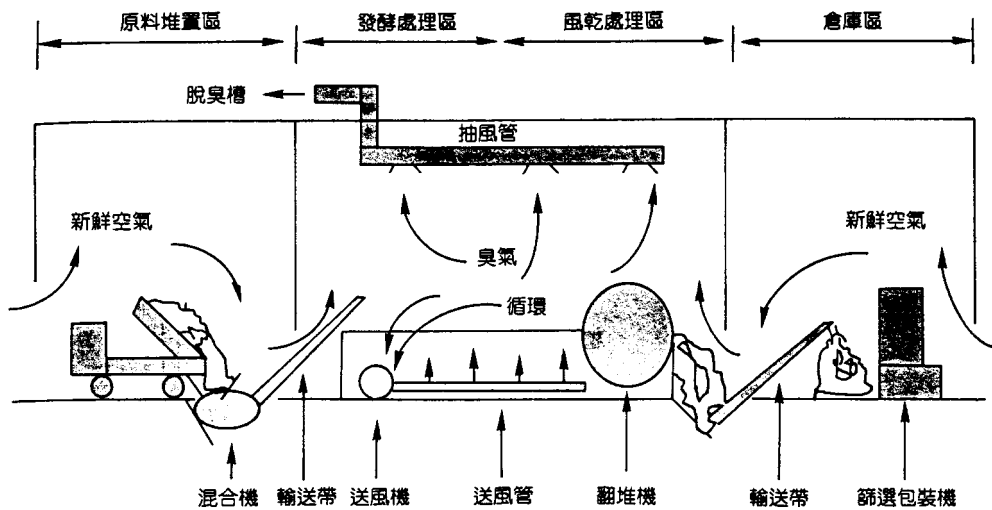


圖 5.6 密閉式堆肥發酵場房氣體流程示意圖

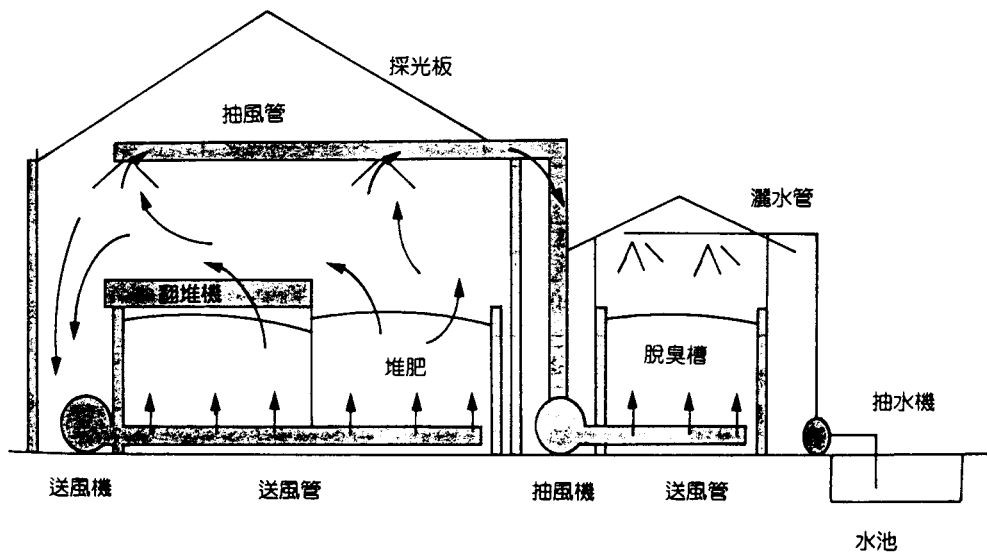


圖 5.7 密閉式堆肥發酵場房氣體流程示意圖

5.2.3 能源或燃料回收技術

本類資源化技術，幾乎都與熱處理有關，其相關資源化技術，亦多已發展成熟，茲分述如以下各節。

5.2.3.1 厭氧消化(anaerobic digestion)

本方法係傳統之有機污泥處理法，其目的為經由微生物分解去除有機污泥中過多之揮發態有機質及病原菌，而使其安定化、無害化、減量化，及進一步資源化。有機污泥經厭氧消化後，可得到消化污泥及消化氣體，消化污泥則可再用於前述堆肥應用方式，而消化氣體之產量約為每公斤揮發性有機質即可產生 1 立方公尺（標準狀態）之消化氣體，其中甲烷氣體約 65%⁽⁵⁾，而其熱能介於 5,400~6,000kcal/Nm³，具能源利用之價值（如表 5.6），除少量用於厭氧消化槽之加熱外，尚可供作發電或其他能源應用⁽⁶⁾。

表 5.6 消化氣體與其他各種燃料發熱量的比較

燃料種類	發熱量 (kcal/Nm ³)
消化氣體	5,400~6,000
純甲烷氣	8,550
液化瓦斯	9,100
重油	10,500
混合瓦斯	3,000~3,500

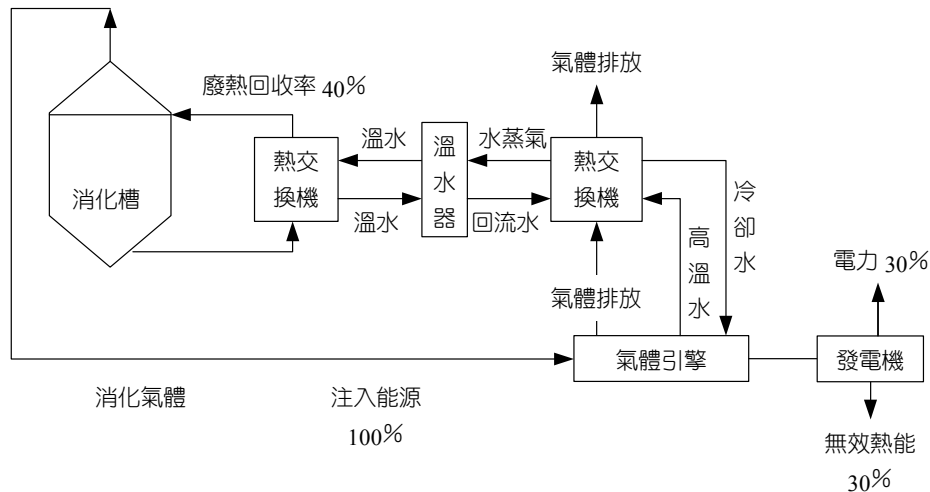


圖 5.8 消化氣體發電流程圖

5.2.3.2 污泥衍生燃料(sludge derived fuel, SDF)

富含有機成份之有機污泥，因其可燃份比例高，故若能去除所含之水份，則一方面除大量縮減污泥的重量及體積，另一方面乾燥後之污泥則可以作為前述之土壤改良劑或污泥衍生燃料(sludge derived fuel, SDF)。一般乾燥裝置有旋轉筒式、噴霧乾燥式、水蒸氣管乾燥式、板階式乾燥及氣流乾燥式等，各裝置之比較如表 5.7 所示，而典型氣流乾燥法處理流程如圖 5.9 所示。

表 5.7 各種乾燥裝置特性比較

特性	旋轉圓筒式	噴霧乾燥式	水蒸氣管 乾燥式	板階乾燥式	氣流乾燥式
原理概述	熱風與污泥接觸於裝有隔板之圓筒內乾燥，污泥被隔板扒上、流下，依序前往出口	將液狀污泥噴入乾燥室內與熱風接觸乾燥	水蒸氣替代熱風為熱媒體與污泥接觸，排氣濕度較高	利用已乾燥之污泥為乾粒核心與濕污泥混合，經轉動輕質而推動污泥在板上運動，以乾燥濕污泥薄層	使用分散機將污泥散成小顆粒，隨熱風並流前進乾燥
污泥成品形狀	粉狀或粒狀	粒狀	粉狀或粒狀	粒狀	粉狀或粒狀
排氣塵粒量	中	中	少	少	大
熱媒溫度(°C)	> 500	400	200	110	500
設備佔地面積	中	大	大	小	小
設備價格	中	高	高	中	低

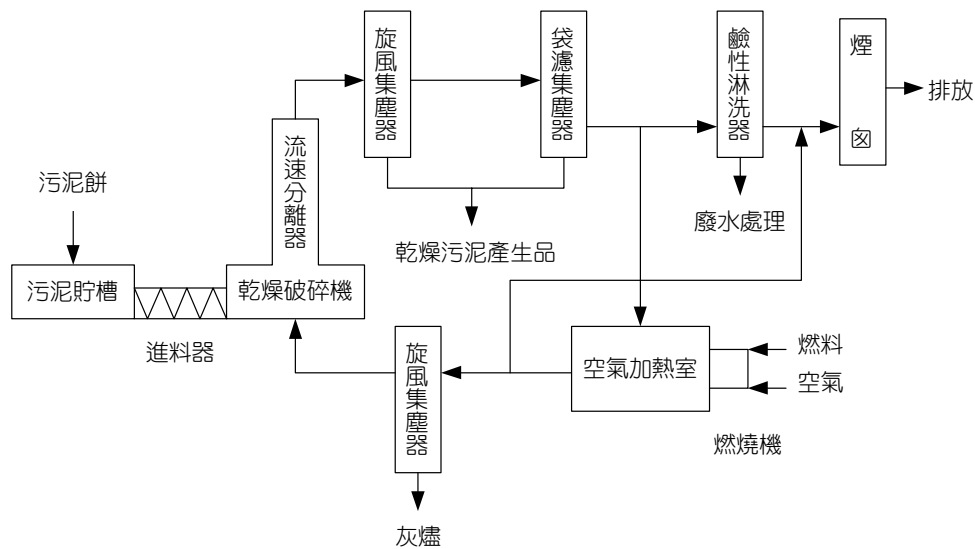


圖 5.9 典型氣流乾燥法處理流程圖

5.2.3.3 熱裂解(pyrolysis)⁽⁷⁾

有機污泥為求快速而有效達成減量化、安定化、無害化及資源化的目標，亦



可以熱裂解方式進行處理，熱解後之產品為接近重柴油等級之暗棕色油品。經消化之有機污泥，因有機成分已被分解，以致於熱裂解油產量較少；而未消化之污泥進行熱裂解時，則可得到較多之油品，但熱裂解油中含氮量則亦較高，若用作燃料時，將有產生 NO_x 排放之可能。

5.2.3.4 焚化

有機污泥可藉焚化處理之方式直接回收熱能，其方式可分為直接焚化及共同焚化兩類：

1. 直接焚化

係單就有機污泥之焚化處理為考量，故所採用焚化爐之共同特性即為可達較高爐溫或燃燒效率佳為要求，如：多段式焚化爐(multiple hearth incinerator)、旋轉窯式焚化爐(rotary kiln incinerator)及流體化床焚化爐(fluidized bed incinerator)皆是適合處理有機污泥之焚化設備。本法所得之灰渣由於完全來自有機污泥，因此於资源化再利用上較有其回收價值(如圖 5.10)。

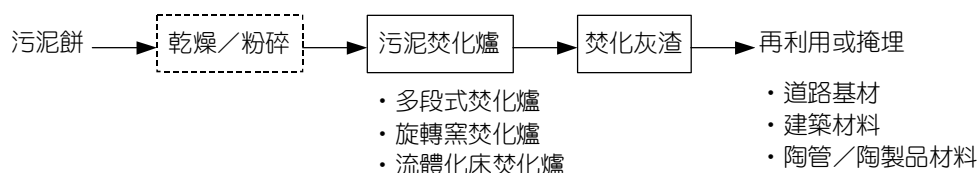


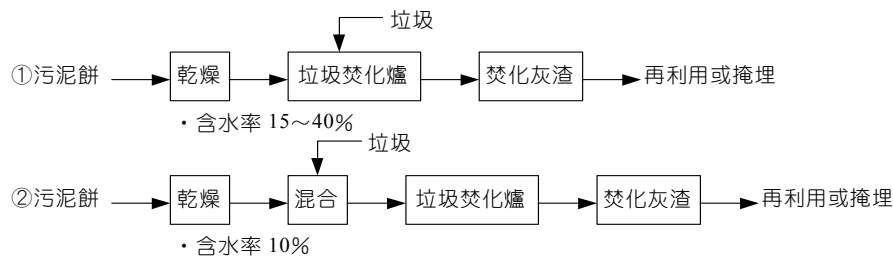
圖 5.10 有機污泥直接焚化流程圖

2. 共同焚化

則為將有機污泥併入垃圾焚化爐中燃燒，但需考慮者為污泥之含水份高低的問題，若水份過高，應配合較高熱值之廢棄物之焚化，如：塑膠、橡膠等，可以調節爐壁之承受溫度，以免超出設計限值，否則將會使得爐內之溫度下降，導致燃燒不完全，進而衍生出其他污染問題(如圖 5.11)。



第五章 有機污泥资源化技術



*若垃圾焚化爐為流體化床式焚化爐，則垃圾於混合或加入焚化爐前需先篩選移除金屬及玻璃等物質，且當污泥餅所佔比例很少時，則混合並非絕對必要

圖 5.11 有機污泥共同焚化流程圖

5.2.3.5 其他物質回收

有機污泥可藉由水解、醱酵，而回收乙醇；或以 NaOH 溶解其蛋白質後，與硫酸反應生成氨基酸沉澱物，最後經加工製成家禽之飼料；或經乾燥、炭化而製成活性炭。

5.2.4 污泥熔融技術⁽⁸⁾

熔融為一高耗能之處理技術，主要係針對具輻射性之核能廢料或含重金屬之有害廢棄物，予以安定化、固定化之處理技術。若應用在核廢料處理時，稱為玻璃化法(vitrification)；處理有害廢棄物時，稱為熔融玻璃化法(molten glass process)；若處理焚化灰渣或下水污泥時，則稱熔融處理法(melting process)。熔融之溫度介於 1,200~1,600°C，在此高溫條件下，有機質成分已完全氧化，無機質成分則會形成玻璃質之熔渣，而此時重金屬可因受到玻璃結晶之形成，而穩定地拘限於結晶格中，而降低其溶出之可能性。有關熔渣之形成，依不同的控制條件，將產出不同物化特性之成品(表 5.8)，此部份之產出過程與中鋼爐渣相類似。

污泥經熔融處理後，其资源化用途亦與爐渣相近，可用作建築材料(如：製磚、混凝土等)、管材及道路基材等用途(如表 5.9)。

表 5.8 熔渣之種類、形成方法及特性⁽⁸⁾

熔渣種類		形成方式	熔渣特性
水冷熔渣	直接水淬渣	將融熔液放在水中或噴水，冷卻速度約為 10℃/分。	細粒狀，含有少量細長纖維狀，玻璃質含量多，比重輕，透水性良好，易碎，黑色，粒度分佈較山砂差。
	間接水淬渣	間接水冷	塊狀，玻璃質，強度比水淬渣大。
氣冷熔渣		融液在空氣中冷卻	塊狀，粒徑 5~15 公釐集中，粒形多角，扁平，低結晶化熔渣，較水液溶渣緻密堅固，機械強度較大。
保冷結晶化熔渣		控制冷卻速度，確保結晶化所需溫度和時間。完全結晶化按結晶化所需熱處理溫度 1,100℃~1,150℃，保持熱處理時間約 30 分鐘。	含部份結晶玻璃，強度大，岩石狀。
加熱結晶化熔渣		先經成份調整，熔液冷卻至 650℃再加熱玻璃軟化點，轉移溫度。	含結晶化玻璃，強度大，砂狀，碎石狀，岩石狀。可得到針狀結晶的鈣長石(anorthite)及矽灰石(β-wollastonite)，用核形成劑取得錯綜複雜均一的狀態，強度、硬度、耐藥性、耐熱性、外觀等都優於結晶化熔渣。
低溫結晶化熔渣		水液渣或退火渣加熱到 900~950℃熱處理時間約 30 分黏著物的成長，滯留時間局部的短縮，出口部閉塞，引起爐操作障礙。須預防水淬熔渣互相粘著，不產生粘著物為進行低溫結晶化的必要條件。	結晶化進行，強度大，細砂狀，砂狀，塊狀，碎石狀。
特殊溶液		風液、發泡等瞬時冷卻。	有孔玻璃狀，纖維狀風液渣、發泡渣。

表 5.9 熔渣之用途⁽⁸⁾

利用方法	利用內容
路基材料	<ul style="list-style-type: none"> 水冷熔渣可做為下層路盤材，而熔渣替代率必須在 20%以下。 空冷熔渣可做為一般道路之下層路盤材，亦可做輕交通道路（自行車與人行道等）之上層路盤材。
透水材料	<ul style="list-style-type: none"> 水冷熔渣的均等係數須在 4~5 以下，且其粒徑為粒徑累積曲線通過率達 10%時所對應的值。
過濾材料	<ul style="list-style-type: none"> D10 須在 0.6~1.0cm 之間，且透水性佳者，可做為透水材及集水過濾材。
混凝土骨材	<ul style="list-style-type: none"> 水冷熔渣可做為步道與車道間的分界磚，亦可做為混凝土磚的細骨材（熔渣替代率須在 50%以下）。
混凝土二次製品材料	<ul style="list-style-type: none"> 空冷熔渣與結晶化熔渣之用途，以低強度的混凝土為例，包括小型構造物之混凝土細骨材等。
互鎖磚	<ul style="list-style-type: none"> 水冷熔渣可做為互鎖磚基層部的細骨材（熔渣替代率須在 50%以下）。



5.3 有機污泥資源化技術評析

由以上各項資源化技術，綜合各項技術、原理流程、適用對象、適用範圍、技術成熟度及特點等要項，彙整如表 5.10 所示。

表 5.10 有機污泥資源化技術評析

技術名稱	原理、流程	適用對象	成品與適用範圍	技術成熟度與實績	特點(含應用限制)
土地施用	污泥→濃縮→脫水→(乾燥)→土地施用	有機成份高者較適合	土壤改良	國外已廣泛採用	須考量重金屬、病原菌對土地之污染與累積
堆肥	污泥+其他基材→調和→堆肥→成品	有機成份高者較適合	農業利用、土壤改良	已商業化	技術發展相當成熟
能源 / 燃料 回收	1. 污泥→厭氧消化→消化污泥+甲烷	有機成份高者較適合	產生之甲烷及消化污泥皆可應用	已商業化	回收甲烷可供燃料用
	2. 污泥→乾燥→SDF	有機成份高者較適合	燃料應用	已商業化	可用作燃料或土壤改良劑
能源 / 燃料 回收	1. 污泥→熱裂解→熱裂解油+固體殘渣	有機成份高者較適合	· 未經消化之污泥油產量高 · 固體殘渣尚可再利用	仍在持續研究中	· 裂解油產量須考慮 NOx 之排放 · 熱裂解之能源需求高
	2. 污泥→焚化→熱能+灰渣	有機成份高者較適合	· 熱能回收 · 直接焚化之灰渣成份較單純	已商業化	· 直接焚化之灰渣再利用較單純 · 共同焚化須考慮污泥對焚化操作之影響
	3. 污泥→水解→醱酵→乙醇 NaOH H ₂ SO ₄ 污泥→溶解→氨基酸沉澱→飼料 污泥→乾燥→炭化→活性炭	有機成份高者較適合	· 所有有機污泥皆可適用 · 所得之產品皆為有價之物質	已開發技術，尚未商業化	· 須考量產品之市場及製造成本 · 有機污泥之有機成分需要較高，雜質較少者佳
熔融處理	污泥→熔融→熔渣	無特別限制	· 所有有機污泥皆可適用 · 熔渣之再利用價值高	已商業化	· 能源耗費量極大 · 產品之二次污染程度低



5.4 有機污泥资源化案例

5.4.1 案例一

5.4.1.1 前言

A 廠為日本國內一都市污水處理廠，為響應日本厚生省對於有機固體廢棄物资源化之環境政策，配合日本國內對於有機廢棄物之技術與設備不斷進步之下，因而對廠內所產生之污泥進行高溫及高濃度下污泥消化程序，不僅有效處理所產生之污泥，同時可產出高產量及高利用價值之消化氣體，此產品可以供作發電機組燃料使用，減少廠內原有之耗電量達 25%，可謂成效卓著。

5.4.1.2 製程及原理

A 廠將有機污泥導入高溫、高濃度之污泥消化槽，使其快速進行厭氧消化，其產品包括：消化污泥及消化氣體等，最後將消化氣體導入發電機組發電，以回收電能。流程如圖 5.12 所示。

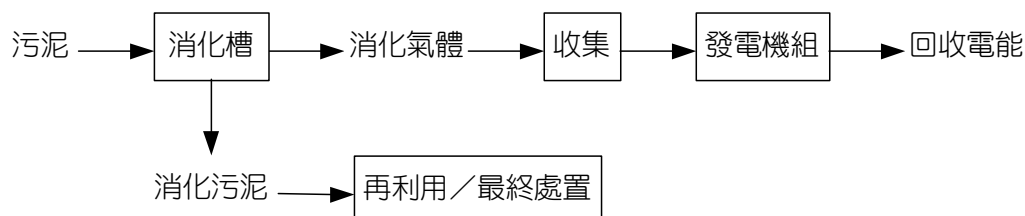


圖 5.12 A 廠有機污泥消化發電流程圖

5.4.1.3 资源化成效

1. 有機污泥有效減量化、安定化、無害化及资源化
2. 有機污泥所含之能量轉換成電能加以應用
3. 總發電量 15,000 千瓦，相當於 12.9 百萬千卡熱能
4. 所得之消化氣體尚可精製成氫氣燃料，提供更清潔之燃料
5. 有效減少溫室氣體之排放



5.4.1.4 結語

由以上资源化之成效顯示，有機污泥隨著資源技術及設備之發展，已逐漸成為另一種能源提供的素材，對於國內仍以掩埋為主之處置方式，不啻為另一選擇。

5.4.2 案例二

5.4.2.1 前言

B 廠為美國某市立污泥處理廠，為有效處理該市所產生之污泥，仍設立了一套污泥熔融爐，用以處理此大量之污泥。此污泥熔融爐之特點為可處理含水量達 80% 之污泥，且能夠大幅縮小污泥之體積，並產生具资源化價值之副產品可供利用。

5.4.2.2 製程及原理

本案例即應用污泥熔融之技術，對污泥進行熔融程序，以有效使其轉化為資源再利用之產品(如圖 5.13)。

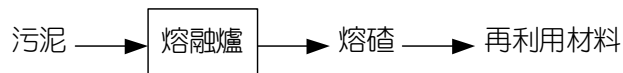


圖 5.13 B 廠污泥熔融處理流程圖

5.4.2.3 资源化成效

1. 可直接處理未經乾燥之污泥
2. 處理能量每天 27.5 公噸
3. 污泥體積可由 16.82m^3 減少至 0.76m^3
4. 熔渣可用於製造路基骨材，人行道磚等

5.4.2.4 結語

有機污泥以熔融法處理所得之熔渣，同煉鋼爐渣亦可用作建材原料，唯其處理成本仍相當高昂，應用上仍需多加評估。



參考文獻

- 1.駱尚廉等，環境保護辭典，茂昌圖書有限公司，1997。
- 2.行政院環境保護署，有害事業廢棄物清理管制計畫—管制中心(第二年)，行政院環境保護署研究報告(EPA-87-H103-03-12)，1998.6。
- 3.張祖恩、呂明和，生物污泥之土地施用及處置技術，工業污染防治，No.64，pp.120-137，1997。
- 4.工業污染防治技術服務團計畫專案，有機事業廢棄物堆肥處理技術，經濟部工業局，1997。
- 5.國立台北工專，污泥资源化回收再利用技術研討會，經濟部工業局，1993。
- 6.賴俊吉，生物污泥之資源回收技術，工業污染防治，No.64，pp.112-119，1997。
- 7.林正芳、洪文宗，都市污水廠污泥熱解之资源化研究，第十一屆廢棄物處理技術研討會論文集，pp.142-150，1996。
- 8.江康鈺、王鯤生，污泥熔融處理及資源再利用技術，工業污染防治，No.64，pp156-188，1997。



第五章 有機污泥资源化技術



第一篇 有機類資源性廢棄物



第六章 廢油泥資源化技術

6.1 前言

廢油泥由於富含油份、水份及固形物，熱值極高，在國內之產生量大，故其處理處置漸受重視，茲將其定義、產生源、資源化技術以及資源化案例分析加以介紹如下。

6.1.1 油泥之定義及產生源

油泥係指煉油業及石化業所產生之含油污泥，其種類包括：

- 油槽底泥：原油及各類油品貯槽清洗槽體後產生之底泥。
- 製程塔底油泥：由反應槽、蒸餾塔等製程設備中產生之含油污泥。
- 廢水處理場油泥：廢水處理場之除油設備(CPI、API 及 DAF)產生之含油污泥。

1. 油槽底泥

油槽底泥來源為原油貯槽及成品貯槽，其中因原油中所含雜質較多，產生之底泥量亦多，清槽之頻率較多；而成品槽之油質較少雜質，底泥量極少，一般清槽次數甚少（約為 8 年一次）。

2. 製程塔底油泥

製程塔底油泥為非連續排放之油泥，排放時間須視操作情形而定，一般在歲修或定期維修時才會排放。

3. 廢水處理場油泥

含油廢水經除油設備（如 CPI、API、DAF）回收浮油送至貯槽後混入基礎油再煉；沉澱之油泥殘渣含水量約為 95%，經脫水後稱為廢水處理場油泥。

6.1.2 油泥產生量

油泥最重要產生源為煉油業，其次是石化業。中油公司為國內廢油泥之最主要產出者，其中油槽底泥 15,185 公噸/年，塔底油泥 319.3 公噸/年，廢水處理場油泥 12,520.7 公噸/年，合計 28,025 公噸/年，油泥產生量十分龐大。



6.1.3 油泥之性質

油泥之成份因油品來源及油品不同而稍有差異，一般分析項目為：

- 1.含油量(oil and grease)%
- 2.含水量(water content)%
- 3.總固體物(total solid, TS)%
- 4.熱值(kcal/kg)

油泥因其來源複雜，因此其組成變化頗大，以原油槽油泥為例，油泥內包括無機成份（如鐵銹、泥土、砂粒）、游離水份及有機成份（如原油、蠟(wax)、柏油精(asphaltene)及中間成份之乳化狀態油水），其中以原油、蠟份及柏油份佔全體之 60~70%（其含量因油槽儲存原油種類及操作情況不同而異）。而清槽過程中各階段清理之油泥性質亦有差異，初期油泥含量較高，流動性較佳；至後期油泥含量減少，無機成份增加。

不管資源回收的物質是油品或熱值，最重要的關鍵皆在於油泥中油份之含量，根據以往煉油廠自行檢驗之結果，整理各類油泥之含油量如表 6.1 所示。其中原油槽之油泥約佔所有油泥產量 60%以上，且其油份含量達 60~70%，其熱值將可達 7,000~8,000kcal/kg；而其餘各類油泥之熱值亦多在 2,000~5,000kcal/kg，由此可知油泥為一適燃性物質，可用作熱能之回收再利用。

表 6.1 各類油泥之含油量

油泥種類	油份(%)
原油槽油泥	60~70
燃料油槽油泥	40~50
塔底油泥	20~30
API、CPI 油泥	20~30
DAF scum*	3~5

*DAF scum 含水量頗高，若經脫水程序，則可與污泥合併處理

6.2 現有廢油泥資源化技術

由於廢油泥之流動性大且熱值高，煉油廠在處理方式之選擇上普遍考慮使用焚化處理。在攝氏 800 度以上，絕大多數碳氫化合物皆可被熱破壞分解成二氧化碳與水，達到減量及熱能回收之處理目標。然而焚化爐處理設備投資費用過於龐大，操作與維護費用亦高，係採用此法必須考量評析之重點。而除了焚化處理外，固化(solidification)或安定化(stabilization)處理亦有成功之實例，該法係利用有機與無機安定劑之混合體，以達到固定化油泥中之重金屬與油脂物質。這些固化劑多含有水泥、波索蘭物質與有機安定劑等成份，唯固化處理最大之缺點在於成份比例之控制較難，且固化後之體積增大（增大率 10~70%）亦違反了廢棄物資源化之未來趨勢。

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

6.2.1 加熱處理法

6.2.1.1 高溫法

本法係將油泥加熱至 450°C，使油泥中之廢油份裂解揮發後，油氣再經冷凝單元進行油份回收，而殘留之渣滓則以掩埋方式處理。由於高溫處理時，廢油泥中的蠟與柏油會造成裂解而發生臭味與硫化氫，且油料回收率僅 34%，因此本法目前已停用。

6.2.1.2 低溫法

為改善高溫法所產生臭味之困擾，另一種技術為將加熱溫度降為 130~150°C，如此油泥中的蠟或重質油份之黏度降低，可直接回收其溶解油及由冷凝管回收揮發油氣。這些回收之溶解油可直接摻配燃料油進行再煉製，其操作流程如圖 6.1 所示，程序說明如下：

1. 粘稠狀之油泥經輸送至廢油泥處理釜後，點火加熱至 60°C，油泥即開始溶解，繼續加熱至 80°C 左右，上方會產生一含油水層，此一水層則排放至 CPI 處理。
2. 再經加熱至 90°C 左右，輕質油份及水份開始蒸發排出，經冷卻器冷凝後流入油水分離槽。爐火則繼續加熱至 130°C 左右（加熱時間約為 8 小時）熄火。

3. 靜置約 8~10 小時，使固體物沉澱至爐子底部，溫度降至 90°C 左右，即以油泵抽送至槽車，再運送至燃料油槽。
4. 輸送完成後，利用油泵將殘留管線中之油料泵回廢油泥處理釜，以防止油料因溫度下降而造成堵塞管線之情況發生。

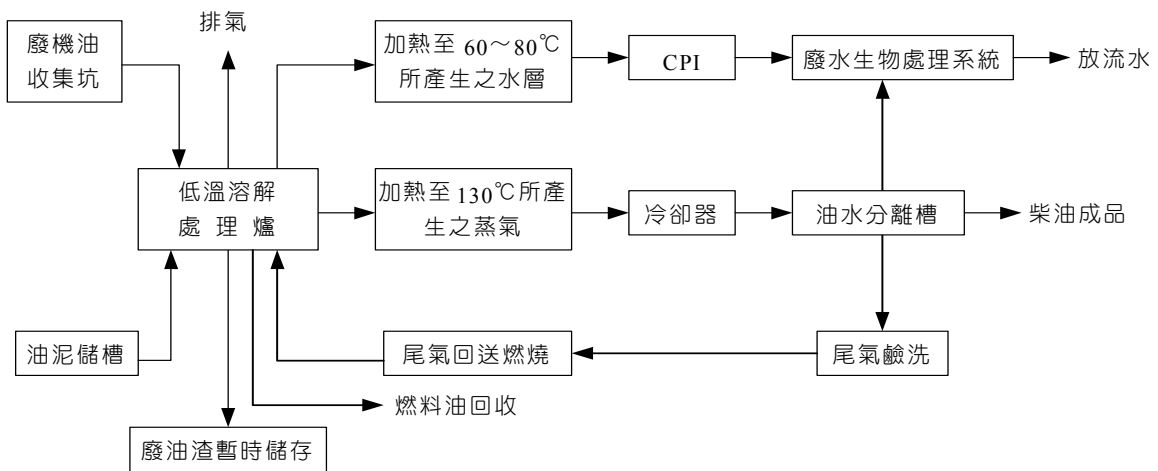


圖 6.1 油泥低溫溶解處理流程圖

本法之優點為：

1. 操作溫度低，可節省能源耗用
2. 尾氣經洗滌後排放，可改善臭味問題
3. 減少煙囪廢氣之排放量

缺點則為：

1. 油份回收率僅達 72.5%
2. 批次操作處理量有限
3. 殘渣油份含量仍高，不利於最終處置

6.2.2 直接壓濾法

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

本法利用助濾劑添加於油泥中並預覆於濾布上，在終端壓力為 6kg/cm^2 之情況下，壓濾時間為 30 分鐘，將油泥中之水份與油份壓出，且破壞油泥中原有乳化狀態，壓出之油份於去乳化後自動分層，約可回收 85~90% 油份，分層後之廢水經生物處理達放流水標準後排放，廢油則送回製程再煉。而壓濾之泥餅中殘餘油份約 10%，含水率 $<50\%$ ，其處理流程如圖 6.2 所示。

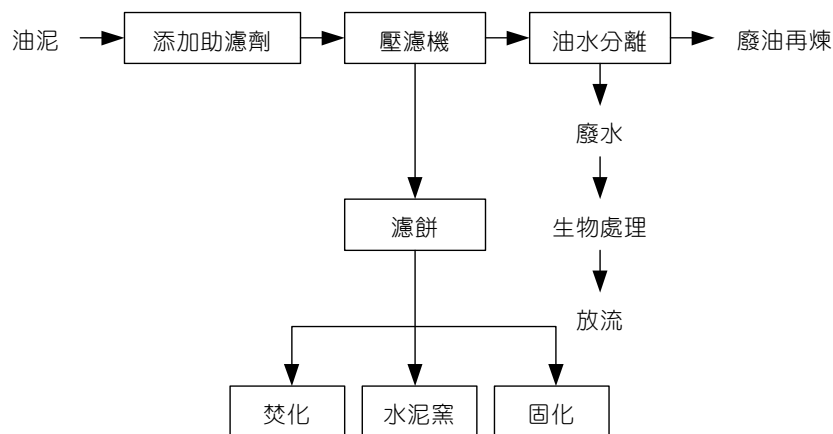


圖 6.2 油泥直接壓濾處理流程

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

本法優點有：



- 1.操作維護容易
- 2.體積減量佳
- 3.初設費用低
- 4.操作維護成本低

本法缺點有：

- 1.後續焚化處理初設費高
- 2.殘餘油份仍有 5~10%
- 3.批次操作，濾布清洗不易

6.2.3 溶劑萃取法

廢油泥中含有許多 $C_4\sim C_{10}$ 之揮發性碳氫化合物及油品，可以溶劑萃取分離回收碳氫化合物，殘渣則經固化或掩埋處置。已知採用之溶劑萃取法有四種：

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

以臨界流液態氣體及揮發性碳氫化合物為溶劑。該法尚在實驗階段。

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

以多種溶劑多段萃取回收不同之油品，本法尚在模廠階段仍未商業化。

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

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

4.BP 回收法

BP 法為英國石油公司(British Petroleum Corp.)研發之回收方法，其處理流

程如圖 6.3 所示，油泥先經壓濾脫水，控制溫度在 38~66°C、壓力 100 psi 時分離油份與水份，再將廢油回收再煉，濾餅則送至萃取反應槽中以溶劑反覆萃取其中之碳氫化合物成份，一般而言，總油份之回收率可達 98%，而最後殘渣則以固化處理，目前本法已經商業化運轉。

6.2.4 離心處理法

本法為利用離心原理，將成份複雜的油泥分為油、水及固形物三態，並回收油份重煉，以達到資源回收之目的，其操作流程如圖 6.4 所示，廢油藉蒸汽之熱導作用加熱使其保持流動性，並通過過濾器將顆粒物質篩除後送入離心機，依其比重之不同而分為三相層，廢油由管線輸往煉油設備回收，廢水則併入生物處理系統處理，泥渣則經脫水後焚化處理。

此處理設施之心臟部份為一三態直立式分離機，其特點為：

- 離心力高達 6,000 G
- 每小時可處理 15~30m³ 油泥
- 分離物品質穩定，回收油之純度高

在不同物性之進料下仍可繼續操作

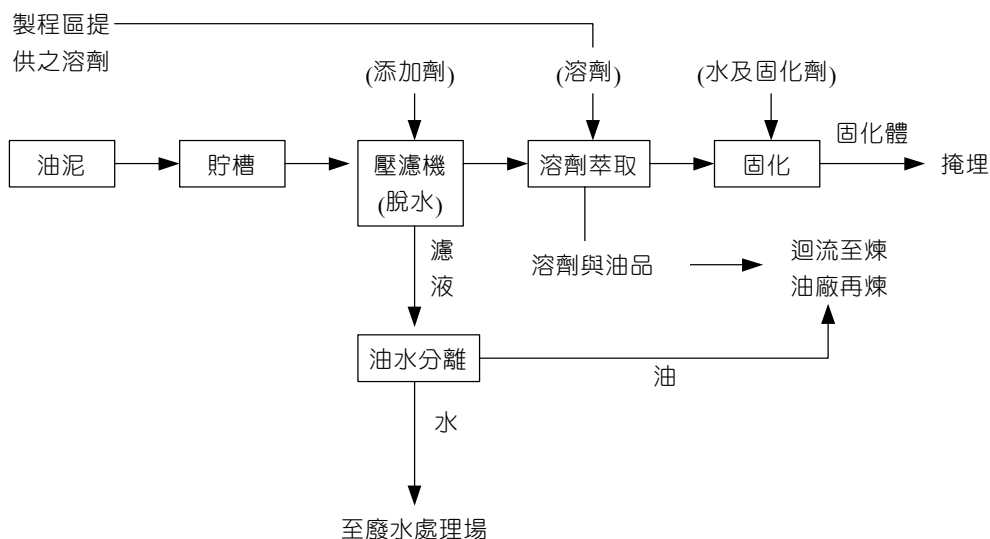


圖 6.3 BP 油泥萃取處理流程圖

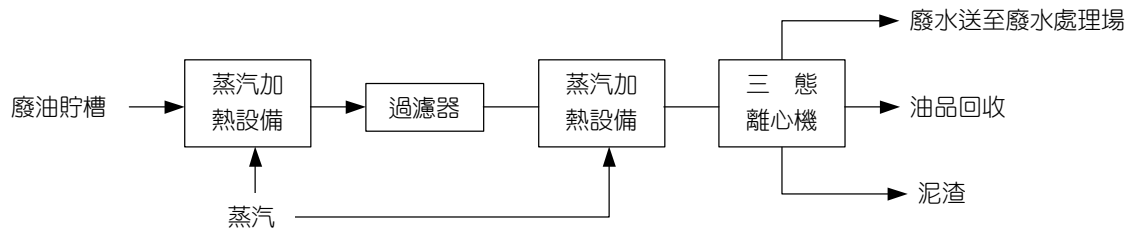


圖 6.4 油泥離心處理操作流程圖

本法之優點為：

- 1.操作費用低
- 2.油份回收率高
- 3.操作簡易
- 4.所佔空間不大

本法之缺點為：

- 1.須導入蒸汽
- 2.尚有泥渣處置問題
- 3.進料中水份須高於 25%，過低則流動性不足，易阻塞管線

6.2.5 泥燃劑製程

國內已有廠商引進日本技術，利用各事業機構產生之廢棄物，諸如油泥、廢液、廢油、廢白土、污泥及集塵灰等，依各組合物之熱值分析，經由粉碎、過篩、攪拌、輸送及混煉過程，並添加適量之乳化安定劑，製成熱值達 4,000 kcal/kg 以上之輔助燃料（稱之「泥燃劑」，slurry fuel），其製程如圖 6.5 所示。

有關泥燃劑之成份比率及規格如表 6.2，目前已使用於台灣的水泥廠旋窯中作為輔助燃料之用。

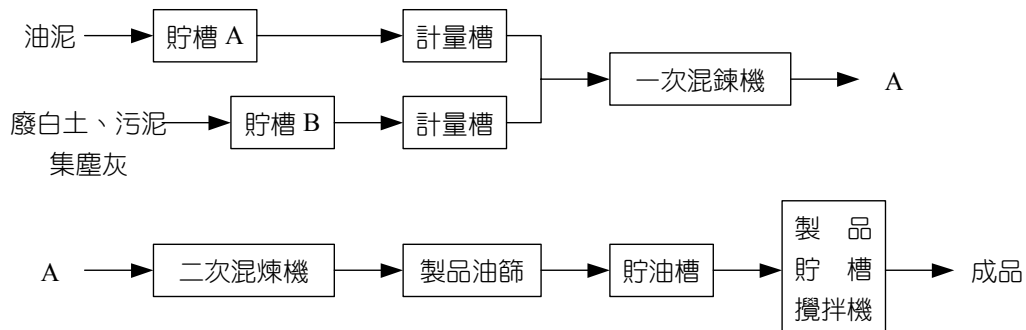


圖 6.5 泥燃劑製造流程圖

表 6.2 泥燃劑之成份比例及規格一覽表

成份比例		規格要求	
油份	30~60%	熱值	4,000~4,500kcal/kg
水份	20~30%	黏度	500~1,000 cp
固形物	10~50%	氯含量	<2,000 ppm
		最大粒徑	5 mm

資料來源：林雲騰，事業廢棄物資源回收再利用處理，第四屆(1994)工業減廢技術與策略研討會文集，pp309~323，1994。

本法之優點為：

- 1.操作維護費用較小
- 2.最終處置之殘餘量最小
- 3.混合較低熱值廢棄物共同焚化處理



本法之缺點為：

- 1.採樣分析作業頻繁
- 2.摻配程序及成份屬專利，不容易取得

6.3 廢油泥資源化技術評析

由以上各項資源化技術，綜合各項技術、原理流程、適用對象、適用範圍、技術成熟度及特點等要項，彙整如表 6.3 所示。

表 6.3 廢油泥資源化技術評析

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

6.3.1 國內再利用技術使用現況

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

6.3.2 國內處理技術與環境需求

油泥資源化之產品大多為製成再製油一途（除泥燃劑外），由於發生源以煉油業為主，故回收之廢油由廠內自行摻配再煉，無須新設其他設備，不會增加操作處理成本，而摻配再煉亦對其原產品並無影響。

由於國內之油泥產生量頗為可觀且來源單純，因此採用之回收處理技術所需考慮因素偏重於技術性及回收效益，包括下列各項條件：

1. 回收處理須為已商業化且穩定操作之技術
2. 初設費用
3. 操作成本應符合經濟效益
4. 能源回收之用途及經濟價值
5. 操作技術之訓練完整
6. 維修保養簡易
7. 無二次公害污染問題

6.3.3 技術可行性

若依上述考量因素分析各技術之可行性，其評估結果及使用現況彙整如表 6.4，前四項再利用方式產生之泥渣（或泥餅）尚需經由焚化處理，而泥燃劑則主要用作水泥窯之輔助燃料，就其技術可行性而言，除直接焚化是一項昂貴且難操作維護之投資外，其餘方式均屬可行；而其經濟效益則與事業機構本身之環境條件及最終處理設備（有無焚化爐）有密切關係，尚待進一步之評估才能決定再利用之選擇方式。

表 6.4 廢油泥資源化技術可行性評估

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

6.4 廢油泥資源化案例

6.4.1 案例

1.前言

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

2.製程及原理

有關 F 廠之技術流程介紹於前 6.2.4 節已作一詳細介紹，廢油泥係藉由通以蒸汽加熱來保持其流動性，且經由事前之過濾設備將油泥中之泥砂等顆粒物



第六章 廢油泥資源化技術

質先行除去，以避免造成後續處理設備之損害，其後為一組三相離心分層機，將油泥藉由離心原理分層為油份，水份及固形物等三種型態，分別用導管將其排出，而達到油泥資源化處理之目的。

3. 資源化成效

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

4. 結語

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



參考文獻

1. 謝鴻旌，廢油泥處理，第一屆工業減廢技術與策略研討會論文集，pp.4-15 ~ 4-23, 1991。
2. 姚俊宇，油污泥減量處理措施，第四屆工業減廢技術與策略研討會論文集，pp.181-192, 1994。
3. 中國石油股份有限公司，廢潤滑油回收清除處理計畫書及審查會意見答覆說明，1995。
4. 陳琪璜、陳黃鶯，煉油廠廢油泥減廢處理策略技術，第三屆工業減廢技術與策略研討會論文集，pp.16-1 ~ 16-3, 1993。
5. 中法污染防治股份有限公司，三相離心油泥處理設備。
6. 黃耀幟，廢棄物資源化再利用處理廠介紹，減廢資訊雙月刊，No.27，pp.29-34，1993。
7. 清宇環保實業股份有限公司，廢棄物資源化再利用廠簡介。
8. 林雲騰，事業廢棄物資源回收再利用處理，第四屆工業減廢技術與策略研討會論文集，pp.309-324, 1994。



第六章 廢油泥資源化技術



第六章 廢油泥資源化技術



第七章 廢潤滑油資源化技術

7.1 前言

潤滑油在使用過程中，會因混入外來金屬粉屑及其他油脂等雜質，產生老化、變質、失效等結果，經過一段時間後則必需更換；一般而言此類廢棄油脂 COD 污染濃度高達數萬 mg/l；若未經妥善處理而逕排入承受水體或土壤中，將造成嚴重之有機污染問題。因此，如何有效地處理此類廢油以符合環保法規要求，仍業者及環保單位相當重要之課題。

由於廢潤滑油為高價物質，故有許多資源再利用技術被開發出來。目前擁有之資源再生利用技術由做為低價燃料油，漸漸發展出酸—白土法、溶劑等萃取法、蒸餾法等乃致發展到薄膜氫化法、薄膜白土法、溶劑萃取氫化法及低溫批次廢油回收處理等技術，以下僅就各項技術概述之。

7.2 現有廢潤滑油資源化技術

將廢棄物回收再利用謂為資源化。隨著科技的發展，資源化處理技術亦不斷更新，主要朝向以下幾個方向發展：

1. 自動化—減少對人之依賴
2. 回收產品附加價值高—提升投資效益
3. 處理範圍擴大—能處理不同廢棄物
4. 能源耗用小—降低運轉成本
5. 資源回收—減少資源耗用
6. 無二次污染或污染性降低

非消耗性之油品，使用一段時日後，必然產生老化、變質、失效等結果，而必須更換，潤滑用油亦不例外。為減少廢油之產生量，執行適當減廢措施與有效



的用油管理，將可減少處理廢油的困擾，此為根本之對策。

廢油資源化之處理方法，以往是將其以適當比例混入燃料油中燃燒，供作輔助燃料，但由於燃燒過程中可能會產生嚴重的空氣污染問題，因此，此法實非上策，而任意傾倒廢棄物則將造成土壤及水污染，故廢油之回收處理絕對有其必要性。本節就傳統及最新的廢油回收處理技術，逐一介紹。

7.2.1 傳統回收處理法

7.2.1.1 酸—白土法(acid-clay process)

傳統的廢油回收處理方法中以酸—白土法最為普遍，由於此法之設備投資金額小，操作彈性大，對於油品的回收率約 50%，因此，早期國內許多無照廢油處理工廠多採用此法，但對廢油所含之鹵素物無處理能力，且回收處理過程中易造成嚴重的二次污染公害，日本已自 1975 年停止使用，此法之處理流程如圖 7.1 所示，各處理單元說明如下：

1. 脫水(dehydration)

廢油經重力或加熱方式分離廢油成份及輕油，便於後續之淨化處理。

2. 酸處理(acid treatment)

經過初步脫水處理後，加入濃硫酸，使廢油中具有活性的碳氫化合物與硫酸反應，形成聚合物，並中和廢油中的鹼性氮，同時使廢油中的添加劑、硫化物、碳粒、瀝青成份及易氧化合物等合成酸性污泥，同時也具有改善再生油品顏色之功能。

3. 沉澱分離(sedimentation)

靜置約 16~48 小時，藉重力沉降方式進行酸性污泥沉澱分離，分離出之酸泥則需另行處理。

4. 白土處理(clay treatment)

添加白土（即瓷土或矽酸鋁）與廢油接觸，進一步去除廢油中雜質、膠狀成份、有機酸、蠟質成份及脫色等。

5. 過濾分離(filtration)



油泥之混合物經過泵浦送入過濾設備分離，一般多使用板框式過濾器全量處理。再生基礎油產品及含油廢白土分別裝桶或進行後續處理。

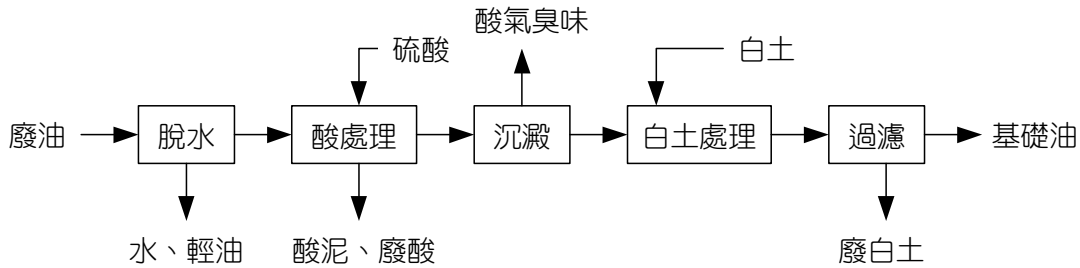


圖 7.1 酸－白土法回收處理廢油流程

7.2.1.2 溶劑萃取法(solvent deasphalting process)

此法採用溶劑來萃取廢油中之重金屬、膠狀瀝青成份等雜質。由於需進行溶劑回收，故設備投資及操作費大，且能源消耗多，但回收率可提高至 60~70%，且產生之廢酸及酸泥只有酸－白土法之 1/10，但對鹵素化合物之污染仍無法處理，其處理流程如圖 7.2 所示，各處理單元說明下：

1. 脫水(dehydration)

去除廢油中過多的廢水，使後續處理作業單純化。

2. 丙烷萃取(propane extraction)

以丙烷做為溶劑加入廢油中，將油中懸浮物質、瀝青與金屬化合物及樹脂一併沉澱。但對不溶解於丙烷的固體顆粒及化合物則仍殘留於廢油渣中。

3. 離心分離(centrifugal separation)

用離心機將上層萃取液與下層殘留的不溶物分開。

4. 汽提回收丙烷(stripping propane)



加熱汽提使丙烷溶劑與廢油分離，溶劑再循環使用於萃取過程。

5.酸—白土處理(acid-clay treatment)

廢油經過溶劑萃取後，再採用「酸—白土法」進一步處理。

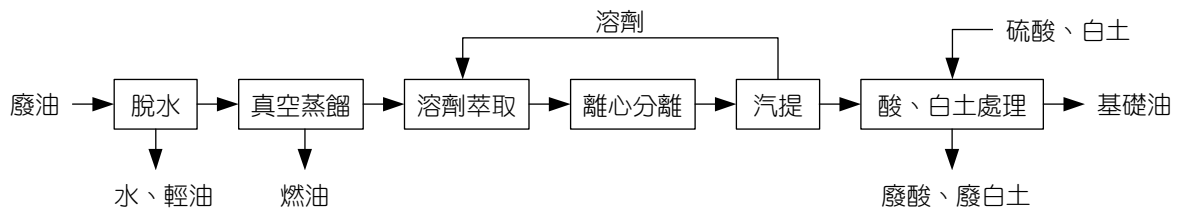


圖 7.2 溶劑萃取法回收處理廢油流程

7.2.1.3 蒸餾法(distillation process)

廢油在進行酸—白土法處理前，先行真空蒸餾處理過程以提高廢油之淨化效果，但投資成本及操作費用卻大為提高，其回收效率約為 60~70%，比傳統酸—白土法高，且硫酸與白土之用量，以及產生的廢酸和酸泥均與溶劑萃取差不多，對鹵素化合物之污染亦無法處理，其處理流程如圖 7.3 所示，各處理單元分別說明如下：

1.脫水(dehydration)

去除廢油中過多之廢水，簡化後續處理作業。

2.真空蒸餾(vacuum distillation)

廢油脫水後，利用真空蒸餾方式將廢油先淨化，去除殘渣及膠狀雜質，以利後續之「酸—白土處理」。

3.酸—白土處理(acid-clay treatment)

廢油經過真空蒸餾去除厚重膠狀雜質後，再採用「酸—白土法」進一步處理。

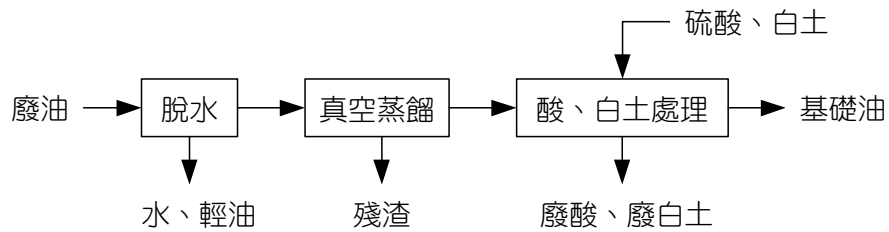


圖 7.3 蒸餾法回收處理廢油流程

7.2.2 最新回收處理技術

由於傳統廢潤滑油回收處理法於過程中均會產生廢酸及酸泥，易造成二次污染問題。因此，在歐美國家（如美、加、德、法、義等國）均已停止使用傳統回收處理法，而改採無二次污染之最新回收處理法。但亞洲之新加坡、菲律賓等國仍延續使用「酸—白土」法。以下介紹較成熟之幾種最新潤滑油回收處理技術。

7.2.2.1 薄膜氫化法(thin film/hydrotreating process)

此法主要特點在於利用高效率薄膜蒸器來分離廢油與雜質，並藉由加氫來淨化廢油以避免二次污染產生，並獲得高品質再生油品。有關本法之各處理單元及原則說明如下：

1. 脫水(dehydration)

於常壓下進行加熱蒸餾，脫除廢油中的水份及輕油，便於後續處理。

2. 真空蒸餾(vacuum distillation)

在真空狀態下，將廢油中之輕質碳氫化合物蒸餾出來，主要為油氣成份。

3. 薄膜蒸發(thin film evaporator)

在真空狀態下，利用高溫薄膜非常快速的分離油中殘餘物，油品回收率可達 95% 左右。

4. 氫化分餾(hydrogenation/fractionation)



氫化的主要作用在於將氯、氮、氧、硫等化合物從廢油中去除，同時使再生油之酸鹼度、顏色、氣味等能一併符合要求。至於再生油品之分級則需再進一步分餾處理。

7.2.2.2 薄膜白土法

此法與薄膜氫化法的差異，主要在於以活性催化白土處理取代氫化分餾過程，故設備投資費用較少。由於無需加酸處理，故無酸泥及廢酸產生。

有關本法之各處理單元及原則說明如下：

1. 脫水(dehydration)

於常壓下加熱蒸餾，去除廢油中水分及輕質油氣，以便於後續處理。

2. 薄膜蒸餾(thin film evaporator)

在真空狀態下，採用薄膜蒸發器來有效分離廢油中殘餘物。

3. 活性白土處理(activated clay treatment)

加入具催化劑性質的活性白土與廢油接觸，以達成脫色及去除雜質等目的。

4. 過濾處理(filtration)

經活性白土處理過的廢油，泵入板框式過濾器進行全量過濾，將產品再生油與油泥餅分離。

7.2.2.3 溶劑萃取氫化法

本法採用溶劑萃取配合氫化處理，投資成本高，油品回收效果與再生油品質均較佳，唯實際應用尚不普遍。其各處理單元及原則說明如下：

1. 脫水(dehydration)

脫水去除水份及輕油，便於後續處理。

2. 丙烷萃取(propane extraction)

將廢油中無法被丙烷溶解的雜質分離以淨化廢油，便於氫化處理。

3. 氫化處理(hydrofinishing)



丙烷與廢油之混合液均進行氫化處理，達成脫硫、脫氮、脫脂及芳香烴，分離氧化物、脫色等淨化廢油的目的，以穩定油之品質。

4.分餾處理(fractionation)

氫化處理後的再生油品，再經分餾處理以分離出數種規格的基础油，供應不同需求。

7.2.2.4 低溫批次廢油回收處理法

上述三種最新處理技術均採高溫連續操作方式，並將廢油再生為基礎油，因設備投資成本及操作費用高，設備處理容量需達相當量才能符合經濟原則，故較適合於代處理業投資設置。為符合個別工廠少量廢油回收處理的需求，現在發展採低溫批次操作的處理技術，相關此類回收處理流程如圖 7.4，其各處理單元及原則說明如下：

1.廢油分析(used oil analysis)

針對每一批待處理的廢油，先取樣分析該廢油品質，作為後續處理操作控制上的依據。

2.加藥處理(coagulant treatment)

將廢油加溫到 86°C 左右，並維持該溫度進行加藥處理，添加特殊配方的凝集劑，將廢油中之雜質聚集沉澱去除。

3.真空蒸餾(vacuum distillation)

在真空狀態下，溫度不超過 90°C 的操作條件下，將水份或輕質溶劑去除，由於不會發生熱聚合反應，且不會破壞廢油中的添加劑。因此，對油的品質不會產生影響。

4.過濾(filtration)

完成前述雜質過程，最後將清潔再生油通過 0.5~1.0 μm 孔徑的過濾器，獲得純淨油品。

5.最終調理(final adjustment)

廢油經過前述處理已達可再利用的品質，再依客戶個別的特殊需求，摻配



必要的添加劑，以及調整黏度、閃火點等，使再生油品之特性完全符合現場加工之需要。

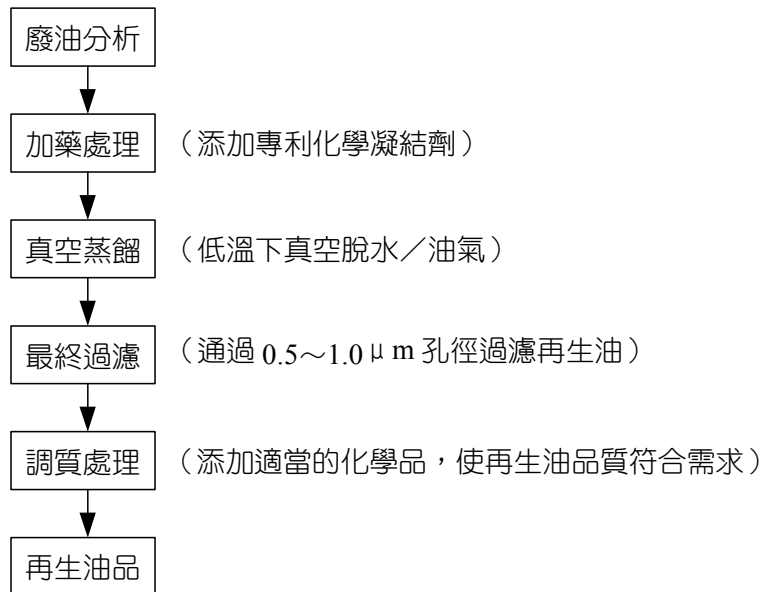


圖 7.4 低溫批次廢油回收處理流程

7.3 廢潤滑油資源化技術評析

廢潤滑油早期普遍的利用方法乃是將其做為燃料油焚化，既使目前在歐美、日本等國家亦有 30~40%仍採用之。但此一方法易造成二次（空氣）污染之虞，因此各國亦逐漸不鼓勵採用此種方法。致於利用其他方法來回收廢潤滑油中基礎油有先酸—白土法，此一方法操作便利且具彈性，因此國內有許多無照的廢油回收廠皆採用此一方法，但是酸—白土法亦會產生嚴重的污染問題，因此國外也已漸漸廢止採用。而為獲得較佳的基礎油回收，近年來亦陸續發展出各種回收技

術，其優劣點比較如表 7.1 所示。

表 7.1 廢潤滑油資源化技術評析

技術名稱	原理、流程	適用對象	成品與適用範圍	技術成熟度與實績	特點(含應用限制)
蒸餾法	脫水、真空蒸餾、酸-白土處理等	廢潤滑油	基礎油	已商業化 (歐美、日)	1. 設備投資成本及操作費用高 2. 回收效率 60~70%。 3. 對鹵素化合物無法處理。 4. 亦有廢酸及酸泥產生。
薄膜氫化法	脫水、真空蒸餾、薄膜蒸餾、氫化分餾等	廢潤滑油	基礎油	已商業化 (歐美 KTI、UOP、CEP、EFP 及 Meinken)	1. 利用蒸餾來分離廢油與雜質。 2. 以加氫來去除油中鹵化合物。 3. 可獲得高品質生油(與原油提供之成品相近) 4. 設備投資成本高。
薄膜白土法	脫水、薄膜蒸餾、白土處理及過濾等	廢潤滑油	基礎油	已商業化 (歐美)	1. 以活性催化白土代替氫化分餾。 2. 設備投資費用較低。 3. 無酸泥及廢酸產生。 4. 可得高品質再生油品。
溶劑萃取氫化法	脫水、萃取、離心、汽提、酸-白土處理等	廢潤滑油	基礎油	模廠實驗中 (尚不普遍)	1. 以溶劑萃取配合氫化處理。 2. 設備投資成本高。 3. 回收率及再生油品佳。
低溫批次廢油回收	加藥、真空蒸餾、過濾、最終調理等	廢潤滑油	再生潤滑油	已商業化 (歐美、新加坡)	1. 適合工廠小量回收處理。 2. 設備投資費用低。



7.4 廢潤滑油資源化案例

7.4.1 案例一

7.4.1.1 前言

新加坡的 A 公司引進德國 Bernd Meinken 之舊技術，於 1984 年成立廢油資源化工廠，其回收處理再利用流程，包括廢油回收處理程序及再生油品摻配製作程序二大部份。相關廢油回收處理部份之流程如圖 7.5 所示。

7.4.1.2 製程及原理

有關 A 公司主要處理單元之控制重點說明如下：

1. 高溫熱解單元

操作溫度控制在 $340^{\circ}\text{C} \sim 350^{\circ}\text{C}$ ，目的是將碳氫長鏈切斷成短鏈，分離雜質與油品間鍵結，便於後續淨化作業。

2. 酸處理單元

添加 6~12% 濃硫酸處理廢油，產生化學反應，硫化物自然可獲得去除。酸與活性碳氫化合物聚合化及與氮基鹽之中和化所形成瀝青質成份及氧化雜質均可獲得脫除；酸化處理也附帶脫色功能。加酸處理所產生的酸泥副產物，經由碳化鈣的中和，形成固體廢棄物加以掩埋。

3. 白土脫色處理單元

白土脫色處理，油中蠟質及懸浮不純物，均為活性白土所吸附脫除。進一步淨化了再生基礎油的品質。除非特殊原因，目前所有新建廢油資源化的工廠，已不再見到如前圖 7.1 加酸處理的製程。

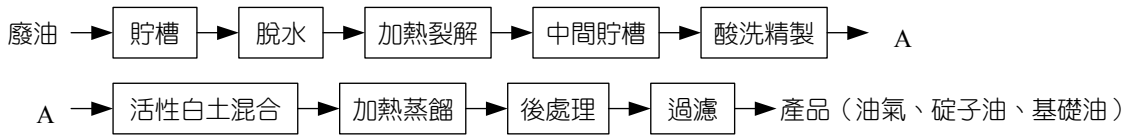


圖 7.5 新加坡 A 公司廢油資源化處理流程

7.4.2 案例二

7.4.2.1 前言

目前氫化還原法有三種製程可供選擇，即 KTI 製程、UOP 製程及 Mohawk 製程。KTI 為 Kinetics Technology International 的縮寫，是一家荷蘭化學與環境工程公司，該公司在世界上已建造了四座機油氫化處理廠，且均已商業化運轉中；UOP 則為一家美國化學環境公司，亦為世界有名的石化廠設計工程公司，該公司發展一套廢機油回收處理製程，並操作運轉多年尚無問題，相關 KTI 及 UOP 之廢油回收處理流如圖 7.6 所示。而 Mohawk 製程與 KTI 製程相似，硬體設備幾乎完全相同，亦為 KTI 公司所設計，惟軟體略有不同，目前在美國及印尼各有三座此種製程之廢機油處理廠，技術相當成熟且可靠。本節即介紹位於美國採用 Mohawk 製程的 B 廠。該廠廢油回收年產量約為 50,000 公噸，全廠佔地面積約 28,000m²，廢油回收處理流程如圖 7.7 所示。

7.4.2.2 製程及原理

B 廠主要處理單元之處理原則如下：

1. Mohawk 前處理單元

藉由添加化學藥劑來穩定廢油中的添加劑，並保持進料品質的均一性，避免因進料性質變異而造成後續處理上之困擾，諸如堵塞、腐蝕、催化劑中毒等。故 B 廠之操作相當順利。

2. 薄膜蒸發單元

有效去除雜質及能源節省是薄膜蒸發器的重點，廢油中 95% 的基礎油可經由此再生系統回收。薄膜蒸發器底部排放的瀝青溶質是鋪路瀝青的良好添加溶



質。

3. 氫化處理單元

氫化處理的效果以及催化劑的壽命，從早期三個月更換一次催化劑，到目前已能延長催化劑使用壽命超過一年，進步可觀。氫化使得再生基礎油的品質等於或超過直接來自原油的基礎油。

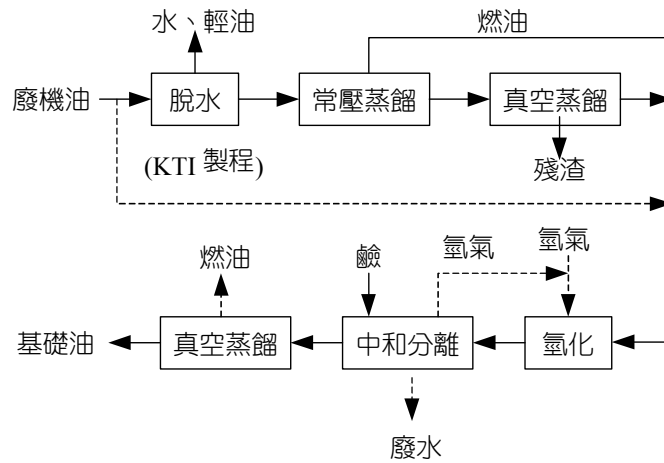


圖 7.6 KTI 及 UOP 之廢油回收處理流程

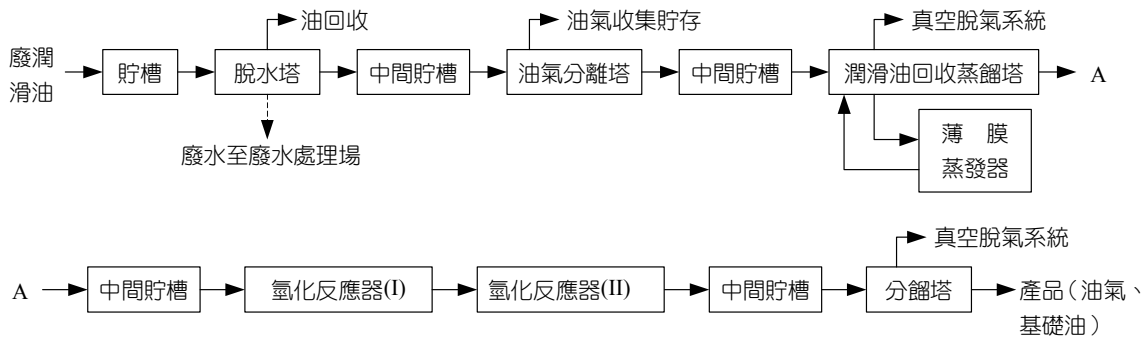


圖 7.7 B 廠廢潤滑油處理流程



參考文獻

1. Nachtman, E. S., Metalworking Lubrication Definitions, Waste Minimization and Wastewater Treatment of Metalworking Fluids, pp.5-6, 1990.
2. EPA Draft Guidance for Hazardous Waste Generation on the Elements of a waste Minimization Program, US EPA Federal Register, Vol.54, No.111, 1989.
3. Waste Minimization: Manufacturers Strategies for Success. National Association of Manufacturers, Washington D.C., 1989.
4. Hanlon and Fromm, Waste Minimization Opportunity Assessments, H.M. Freeman, McGraw Hill, 1990.
5. Beattie, P. J., Health and Safety of Metalworking Fluids, Waste Minimization and Wastewater Treatment of Metalworking Fluids, pp.26-30, 1990.
6. 工業污染防治技術服務團計畫專案，廢棄物資源化利用技術評估整合，經濟部工業局，1998。
7. 工業污染防治技術服務團計畫專案，廢棄物資源回收及處理設備整合與推廣—破碎、乾燥及分選，經濟部工業局，1998。
8. 工業技術研究院，廢油回收再利用報告，1991。
9. 上海石油商品應用研究情報室，金屬加工潤滑劑資料彙編，1991。
10. 王永根，乳化油和金屬軋製用油，煙加工出版社，1990。



第二篇 無機類資源性廢棄物



第二篇 無機類資源性廢棄物



第二篇 無機類資源性廢棄物



第二篇 無機類資源性廢棄物

本篇就十一類無機廢棄物之資源化技術作分章介紹，各章之內容如下：

第八章 廢電器用品資源化技術

第九章 廢印刷電路板及邊料資源化技術

第十章 廢電線電纜資源化技術

第十一章 重金屬污泥資源化技術

第十二章 廢酸資源化技術

第十三章 爐塵灰資源化技術

第十四章 爐渣資源化技術

第十五章 廢白土資源化技術

第十六章 廢觸媒資源化技術

第十七章 煤灰資源化技術

第十八章 廢電池資源化技術



第二篇 無機類資源性廢棄物



第八章 廢電器用品資源化技術

8.1 前言

鑑於經濟發展的快速成長，民眾的消費水準日益提昇，電器用品的使用跟著現代化腳步日漸普及，伴隨而來地是廢棄的電器用品數量大幅增加，這些體積龐大、不易清除處理、長期不易腐敗且含可回收再利用物質之廢棄物，不僅造成環保主管單位在廢棄物管理上極大的困擾，亦浪費了許多具回收再利用價值的資源。

行政院環保署依其政策施行成果及社會現況需要，「廢棄物清理法」在施行多年後，提出「廢棄物清理法」部份條文修正案，此案於 86 年 3 月 11 日在立法院三讀通過，並於 3 月 28 日公布施行。條文中的第 10 條之 1 明示，一般廢棄物凡具有下述性質之一：(1)不易清除、處理；(2)含長期不易腐化之成份；(3)含有害物質之成份；(4)具回收再利用之價值，且有嚴重污染環境之虞者，由該物品或其包裝容器之製造、輸入、販賣業者，負責回收清除處理。

環保署並於同年 7 月 5 日依據「廢棄物清理法」修正案第 10 條之 1 第 2 項，公告「廢棄之電視機、電冰箱、洗衣機及冷、暖氣機為不易清除、處理及含長期不易腐化成份之一般廢棄物」，有關修正條文第 10 條之 1 之條文架構如圖 8.1 所示，其相關權責區分流程則如圖 8.2 所示。同年 12 月 5 日環保署公告「應回收清除、處理之廢電子電器物品之種類、業者範圍及其開始回收清除、處理日期」，公告中明定於 87 年 3 月 1 日起，業者應開始執行回收清除、處理之工作。因此環保署主導於 86 年 12 月 29 日先成立廢電子電器物品資源回收管理基金管理委員會，後於 87 年 7 月 1 日歸併入環保署資源回收管理基金管理委員會，負責統籌規劃國內廢家電之回收處理體系，所規劃之廢家電回收處理體系流程如圖 8.3 所示。

第八章 廢電器用品資源化技術

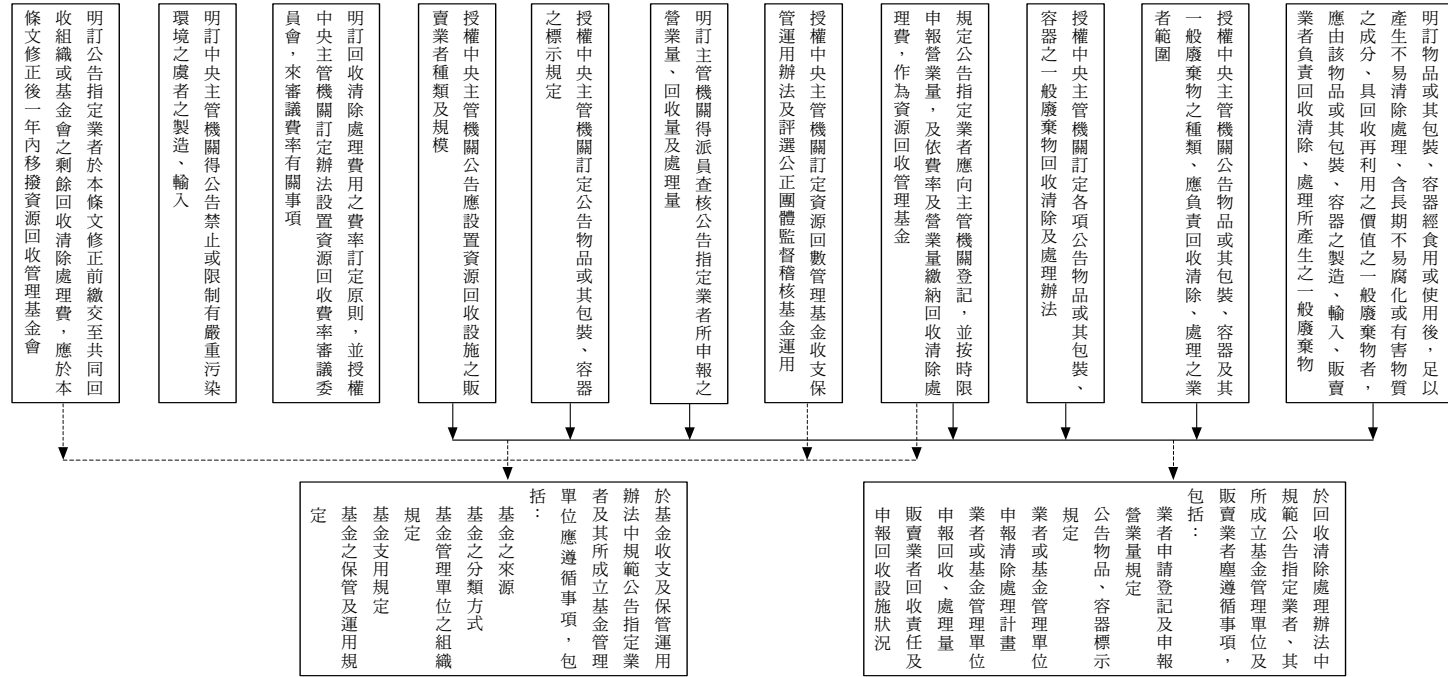


圖 8.1 廢棄物清理法第十條之一條文架構

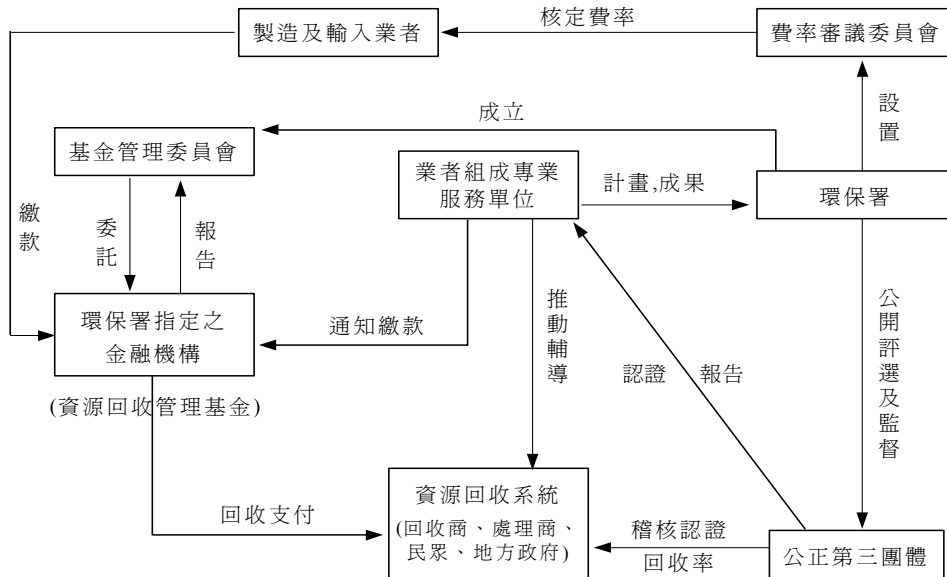


圖 8.2 廢棄物清理法第十條之一相關單位權責區分圖

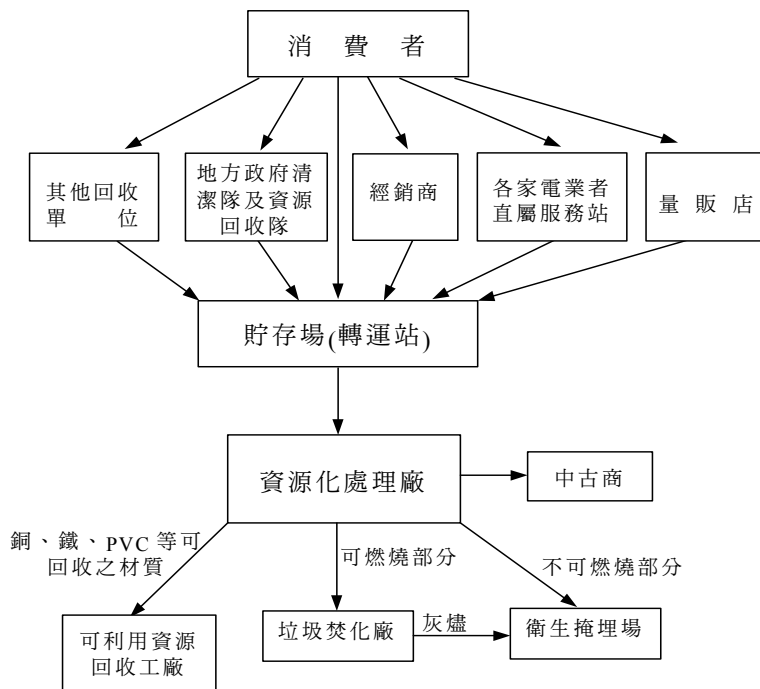


圖 8.3 環保署現行規劃廢電子電器回收處理體系流程

根據中華民國一般廢棄物回收清除處理基金會 1995 年的統計報告，推估每年報廢的廢家電中電冰箱約 53 萬台，冷氣機約 74 萬台，洗衣機約 54 萬台、電視機約 74 萬台及電腦機組 74 萬台（四機一腦），驚人的數量除造成掩埋堆棧空間的負擔，不當拆解處理更會造成環境污染，由於廢家電產品特殊的功能與一般廢棄物不同，其所含之成份有些具有毒性或環境污染性，如氟氯碳化物、海龍、螢光粉及各式耐火材料等；而其成份中多含可資源回收物質如鐵、銅、鋁、玻璃及塑膠等，故廢電子電器的回收處理工作已成為各界重視的問題。

目前台灣地區廢棄電器用品之成份如表 8.1 所示，仍以金屬、塑膠、泡綿、及玻璃為主要成份，但各類電器產品中，亦不乏許多有害性物質（如螢光粉、CFC、及有害廢五金等），須經特殊回收處理方法，方能防止二次公害之產生。

表 8.1 國內廢電器成份表

成份	廢冰箱 ¹	廢冷氣機 ²	廢電視機 ³	廢洗衣機 ⁴
鐵	50.50%	50.40%	3.10%	43.60%
銅、鋁	5.05%	14.60	1.64%	0.89%
塑膠	18.20%	4.62%	11.90%	51.50%
廢電路板、電纜	2.07%	3.81%	22.96	3.01%
冷卻壓縮機	13.90%	24.50%	—	—
礦油	0.59%	0.51%	—	—
R11,R12(CFC 冷媒)	1.55%	1.16%	—	—
玻璃	2.03%	—	45.60%	—
PU	5.96%	—	—	—
保麗龍	—	0.40%	—	—
木質	—	—	14.8%	—
螢光粉塗佈	—	—	0.02%	—
其他	1.5%	—	—	—

註:1. 60.45kg 廢冰箱

4. 37.71 kg 廢洗衣機

2. 50 kg 廢冷氣機

5. 單位為重量百分比

3. 17 kg 廢電視機



8.2 現有廢電器用品資源化技術

廢家電的種類繁多，單元組成與元件成份亦大相逕庭，所以其回收處理技術的良莠，關係著廢電子電器回收處理工作的成敗。工業污染防治技術服務團計畫專案已針對國內外現行廢電子電器回收處理技術作一調查瞭解，並將於下節對廢電器用品相關處理技術及實廠案例，作進一步敘述。

8.2.1 國內回收處理技術

因以往國內資源回收法令不夠嚴謹，有關廢電器用品之回收管道多以地下工廠為大宗，以廉價自電器零售業者及拾荒者取得廢電器貨源，再以傳統方式拆解，取得市場價值高之零件（如壓縮機、散熱片、馬達及金屬部份），一部份販售至二手貨市場，剩餘部份則被當做一般廢棄物交由處理業或等待清潔隊選擇性清運處理。國內在「廢棄物清理法」部份條文修正未修正前，國內廢電器主要回收處理方式，以隨意丟棄、拾荒者或舊貨商收購及垃圾車載走處理等三大類，主要流程如圖 8.4 所示。

一般而言，廢冰箱及冷氣機在拆卸壓縮機時，冷媒部份常以排至大氣方式處理，壓縮機礦油部份亦排至地面或水溝方式解決；電視機部份，則以修復完整性及二手貨市場需求，作為回收考量因素，無法再修復販售者，則以廢棄物類別處理；洗衣機部份，則回收馬達及脫水鋼槽部份，剩餘外殼部份則以廢棄物處理。

在處理技術上，就廢電冰箱及廢洗衣機而言，先以人工拆解回收壓縮機或馬達、廢鐵、塑膠、銅等有價物質，剩餘部份則送至掩埋處置。壓縮機及馬達以每公斤 6~7 元賣出；廢鐵以廠內的小型電弧爐冶煉回收；各類塑膠則經分選與回收後，送交資源化工廠回收利用。

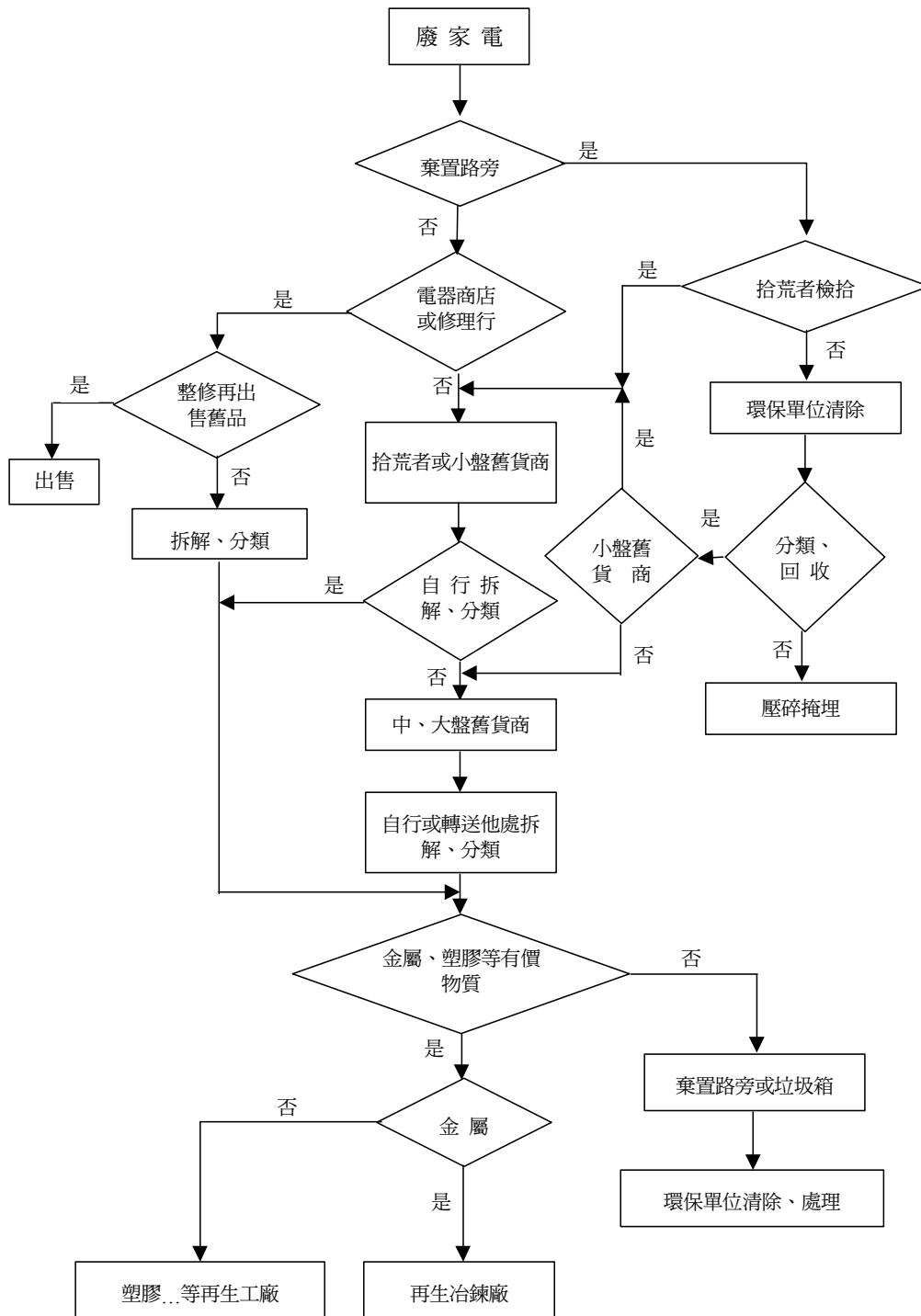


圖 8.4 台灣地區廢電器用品回收處理體系主要流程



8.2.2 德國回收處理技術

德國的回收處理技術，則將廢家電用品分為二大類：第一大類為含氟氯碳化物類家電（電冰箱、冷氣機等），第二大類為含映像管類家電（電視機、電腦螢幕與主機等）、洗衣機和其它家電，且在處理作業上，將整個作業程序分為前段拆解及後段處理二階段。在前段拆解作業階段，分別設立拆解作業線，以拆解冰箱、冷氣機中之冷卻壓縮單元、隔板、散熱板、電線，電視機螢幕中之映像管、電路板、電線等較大型零件為主。拆解後之後段處理作業階段，原則上依含氟氯碳化物類家電、含映像管家電合併其它類家電分流處理，茲將此二類廢電器用品的處理技術分述如下。

8.2.2.1 含氟氯碳化物類廢電器系統

含氟氯碳化物廢家電類，主要為裝置有冷卻壓縮單元、聚胺基甲酸乙酯 (polyurethane, PU, 以下簡稱“聚胺酯”) 和石綿等隔熱發泡材之電冰箱、冷氣機等。在處理流程中必須在前段分別拆解外殼、壓縮機，吸取回收其中的氟氯碳化物及礦油。後段在閉封的環境內，將廢棄物粉碎分類，並回收鐵、銅、鋁等金屬，PS 塑膠及聚胺酯隔熱材等項目。處理系統如圖 8.5 所示。

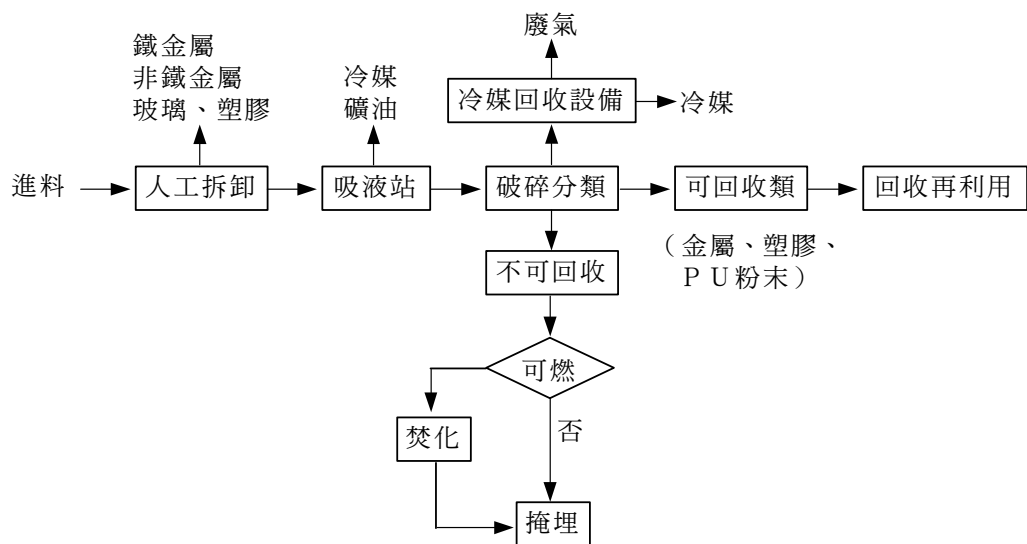


圖 8.5 德國含氟氯碳化物廢家電回收處理系統圖



1.前段拆卸處理

前段拆卸處理以滾筒輸送帶與機械工具併同輔助人工作業，先行拆解冷卻壓縮機，及體積較大之含鐵金屬、非含鐵金屬、玻璃及塑膠等元件，直接分類回收，並以多用途之吸收器，自冷卻壓縮機中吸取回收冷媒與礦油。

2.後段處理

後段粉碎分類處理，可以將鐵金屬、非鐵金屬、塑膠及含聚胺酯材等可回收物質分類收集。破碎隔熱材所溢散出之氟氯碳化物，可以經超低溫冷凝回收，或鹽化技術轉化為工業用鹽，伴隨產生的廢氣再經活性碳吸附後，排放至大氣中。另外聚胺酯、保麗龍和石綿等不同隔熱材，以分批方式處理來增加回收物的純度。

8.2.2.2 含映像管類及其他類廢電器系統

含映像管類之廢電器用品(如電視機、監視器和電腦螢幕等)，其映像管之材質以玻璃為主，並在顯示面上塗佈有螢光性金屬(鋇/鋇)，可將此類廢電器用品歸類為「棕色物系」，合併為一條拆解作業線處理；先拆解映像管進行面部與頸部玻璃之分離處理，回收可用玻璃，並吸取螢光塗佈粉以避免污染擴散，另拆除電路板及電線，以進行後段電路板、電纜及外殼處理。其它如洗衣機、脫水機、電熱器等廢電器，可以歸類為「白色物系」，另合併為一條拆解作業線處理，進行拆解大型馬達、塑膠、含鐵金屬等元件，以便直接回收再利用。棕色物系與白色物系分流分類拆解後，外殼部份可同以破碎單元破碎分類，廢電路板及廢電線部份則以電子廢料處理系統處理，粉碎分類後再生可用資源。處理系統如圖 8.6 所示。

1.前段拆卸處理

(1)棕色物系

棕色物系廢電器用品以人工拆解方式配合機械拆解，取出已通氣的映像管，接著可以(1)分鋸法或(2)熱解法二者之一的方式，來分離含鉛的錐形玻璃和含鋇的前螢幕玻璃。

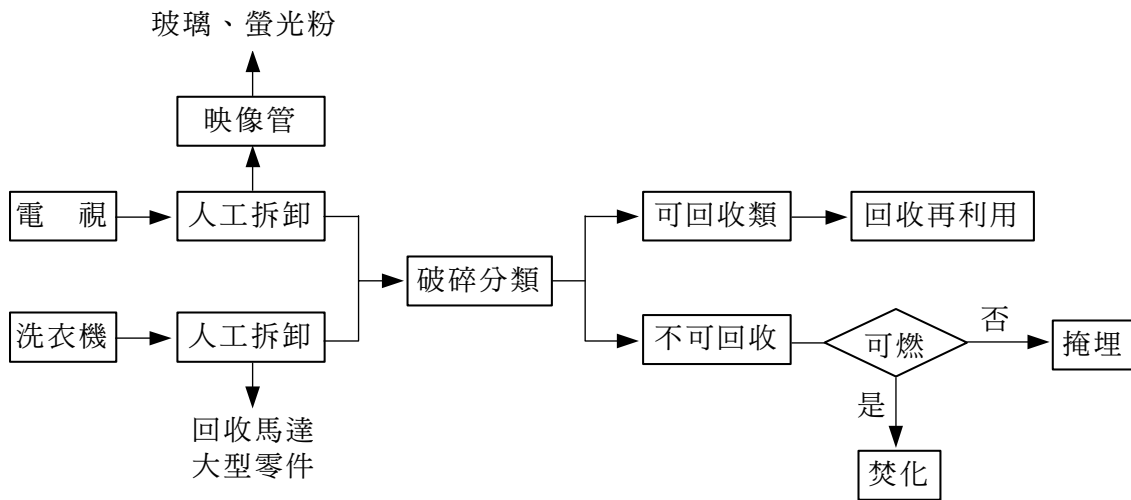


圖 8.6 德國含映像管及其他類廢家電回收處理系統圖

(2) 白色物系

藉助叉式裝卸機或板車將電器放到滾動輸送帶。滾動輸送帶可同時作為前破碎時所需的堆棧空間，在此可拿掉洗衣機的軟管、滾桶和外蓋。

2. 後段處理

首先拆解小型器械、電路板和電器構造中有害物質成份，之後可連結絞碎和分選階段，擴充成一套大型系統。其設備功能組成首先為粗絞碎階段，包括計量、絞碎物篩選，在此藉助可調節式平板輸送帶計量、輸出物料，並送到磨碎機給料帶，並為了降低粗物料被線材纏繞，絞碎物會經一特別輸送裝置送到篩選機，將其分成包括有粗大塑膠塊、電路板塊和已結球金屬部分的重質物與包括易碎陶瓷及鐵粉心等經破碎的輕質兩類。

接著為經篩選絞碎物質進行分選和除塵，將絞碎物經分送槽送到滾桶式磁選機，分離含鐵物質，而不具磁性的物料送至風力分選機分離，分選出來的物質經定量轉輪送出，並通過一個氣動閘門和一帶有調節閘間進行空氣洗，所分選的物料最後送到儲存槽計量存放。

8.2.3 日本回收處理技術現況

日本廢家電的處理方式，傳統都是以回收點收集再併合其他廢棄物統一處理的方式，先經採用破碎及粉碎處理再經過選別，其中金屬類可再資源化，非金屬類就只有焚化、掩埋。另外由於傳統回收處理技術的效率問題，日本目前正研究開發極低溫破碎技術、金屬分離技術、及塑膠分離粉碎技術等，應用於金屬回收及塑膠回收系統上，其處理流程可如圖 8.7 所示，其處理程序可分為下列五項單元。

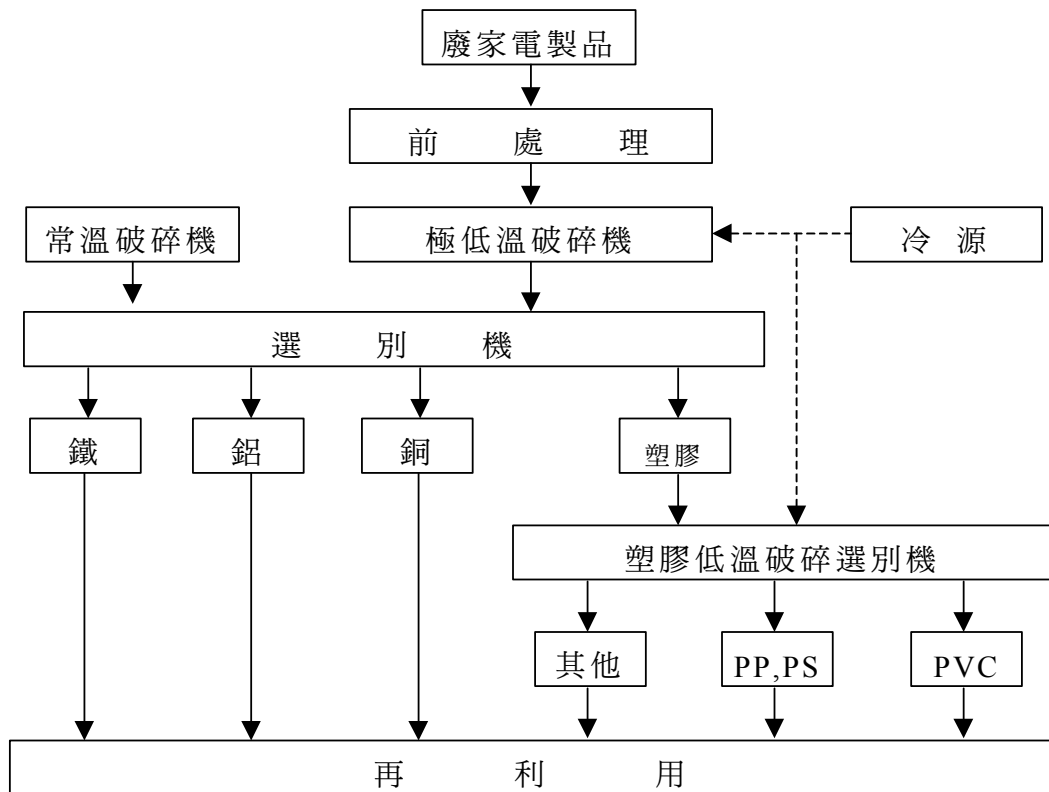


圖 8.7 日本廢家電資源化處理流程圖



1. 極低溫破碎技術

電冰箱的壓縮機與洗衣機的馬達，常溫下難以破碎處理，故使用液態氮，使降溫至約零下 200°C，利用超低溫可有效地粉碎高硬度金屬，其特點包括：複合材料容易分離、能處理室溫不易破碎之物品及減少破碎所需能量。

2. 隔熱材分選及氟氯碳化物(CFC)之收集

利用風選機分離 PU 泡棉，在經過抽氣、凝縮及液化後回收 CFC，其特點包括：將傳統技術很難分離的 CFC 自隔熱材中分離出來，並對廢氣以抽氣處理以減少斷熱材之體積。

3. CFC 分解技術

收集之 CFC 可利用觸媒催化在 400°C 下分解，其分解率達 99.99%，其特點為：處理設備體積小、耗能低及高分解率。

4. 金屬選別技術

利用磁選機與渦電流分離鐵、非鐵金屬（銅、鋁）及塑膠混合物，此外，利用風力選別機分離非鐵金屬中之銅及鋁。

5. 低溫破碎塑膠及比重選別技術

結合低溫時塑膠之脆性及比重差異，破碎並分選出 PVC、PS/ABS 及 PP/PE，其特點包括為僅須利用食鹽、酒精及水當溶液，即可回收塑膠進行再利用。

8.3 廢電器用品資源化技術評析

由以上各項資源化技術，綜合各項技術、原理流程、適用對象、適用範圍、技術成熟度及特點等要項，彙整如表 8.2 所示。

表 8.2 廢電器用品資源化技術評析

技術名稱	原理、流程	適用對象	成品與適用範圍	技術成熟度與實績	特點(含應用限制)
超低溫冷凝	溢散之氟氯碳化物經超低溫冷凝回收或鹽化	含氟氯碳化物之廢電器	冷凝氟氯碳化物及工業用鹽	已商業化	伴隨產生的廢氣須經處理後方可排放至大氣中
破(粉)碎	以物理方式	大型物件	小粒徑顆粒	已商業化	壓縮機等硬物須先拆解
分選	風力、磁選、重力、密度、浮力、渦電流	各性質廢棄物	不同性質廢棄物	已商業化	不同性質廢棄物須選用其適合的分選法
極低溫破碎	使用液態氮使溫度降至約零下 200°C	高硬度金屬	金屬	尚未普遍	複合材料容易分離、能處理室溫不易破碎之物品及減少破碎所需能量
CFC 分解技術	觸媒催化在 400°C 下分解	氟氯碳化物	—	尚未普遍	處理設備體積小、耗能低及高分解率
破碎及選別塑膠技術	結合低溫時塑膠之脆性及比重差異，	廢塑膠	破碎並分選出 PVC、PS/ABS 及 PP/PE	尚未普遍	僅須利用食鹽、酒精及水當溶液，可回收塑膠進行再利用

8.4 廢電器用品資源化案例

8.4.1 案例一

8.4.1.1 前言

德國廢電器用品回收處理技術，依廢棄物的特性大致可以分成：含氟氯碳化物電器用品（如電冰箱、冷氣機）、含映像管類電器用品（如電視機、電腦）與其他電器用品（如洗衣機）等三類。其處理流程原則可將含氟氯碳化物電子電器和含映像管類與其他電器分開處理。

8.4.1.2 製程及原理

有關廢電器用品之處理在德國已有相當具商業化的技術，如電冰箱專業回收處理公司、環保技術公司廢家電處理廠等。以下就各項技術概述之。

1. 廢冰箱回收處理



A 公司主要的處理方式可分為兩個階段：

(1)以機動車輛現地進行 CFC 回收

統計資料顯示，電冰箱中之 CFC 有 30%是在長途運輸中破漏掉出的，A 公司以機動車輛方式，直接至回收站現地進行 CFC 液體之抽取收集，以避免運輸過程產生洩漏，主要收集之類別包括 CFC R12/R22/R502 等冷媒物質。

(2)運至集中場進行密閉式分解及選別處理工作

可依實際需求以“活動工廠”或“集中處理”兩方式進行「氣密式分解程序」，以回收鐵、鋁、泡綿及塑膠等物質，不致造成粉塵、噪音等二次公害問題。

此種電冰箱回收處理技術尚有以下幾個特點：

(1)拆解下之壓縮機可完整回收，方便直接再利用。

(2)將含有 CFC 之 PU 泡綿磨成粉狀，回收附著在 PU 結構中之 CFC 物質，以達成 CFC 之 100%完全回收，而粉狀之 PU 泡綿則製成吸油物質。

2.廢冰箱、廢電視與電子廢料回收處理廠

B 公司為廢冰箱、廢電視與電子廢料回收處理廠，主要設備方面為人工拆卸站、吸液設備、入料輸送機，絞碎機、橫流壓混機、風選機、磁選機、鋁選機、空氣除塵過濾設備、冷媒回收貯存設備、氮氣控制及貯存設備及防爆設計。

此廠每日 8 小時作業時間，處理量：冰箱 79,200 台/年，電視 79,200 台/年，電子廢料 2,160 噸/年。人力需求：冰箱 5 人，電視 6 人，電子廢料 4 人，各區行政人員數名。

該廠運作方面除了前段大件物需人工拆解外，其餘部分均自動化處理，前段吸取的冷媒及後段分選出之 PU、保麗龍粉末均可回收再利用，冰箱所含的鐵、銅、鋁、塑膠成份亦可達到 95~98%以上的純度回收，做最終處理的剩餘雜物只佔 5%以下。

3.電子廢料回收分類廠

C 公司為電子廢料回收分類廠，其電子廢料來源為各地電視、電腦、冰箱及其它廢家電回收拆解、處理廠，所拆解下來的 PC 板、小型馬達、電纜線及



變壓器等電子廢料。

所有電子廢料分成二條處理線，一為電子廢料，另一為電纜線，處理流程均先經由粗破碎後進入細破碎，利用風力分選將細破碎後物質分成輕、重物質，重質物經由磁選、振動及空氣風選出輕質物金屬及重質物金屬；輕質物則經貫流式及切線式旋風分離器分離出含金屬之物質，剩餘物則經袋式集塵設備分離出粉塵及氣體。

金屬含量高者利用渦電流分離，含量低者則利用靜電分離，再經振動及空氣分選出各種不同比重之材質，其中袋式集塵器可收集自破碎 PC 板過程中所產生的貴重金屬粉塵，再經過水洗振動平台分選後，將金、銀、銅、鐵、雜類金屬等依比重不同分選，而塑膠部分和其它雜質則利用過濾袋分離回收處理。此法可減少粉塵飛揚，而水洗過程中之處理水可重覆使用，處理設備可設立於密閉及負壓的空間內操作，可避免粉塵飛揚。經此系統破碎分類出來的各個回收比例亦可達到 90% 以上。

4. 電視拆解廠

D 公司為電視拆解廠，主要將含映像管類之廢家電如電視機、監視器和電腦螢幕等廢品，利用人工方式將電路板、電線、外殼先行拆解，以進行後段電路板、電纜及外殼處理，螢光幕部份則拆解映像管進行面部與頸部玻璃之分離處理，回收可用玻璃，並吸取螢光塗佈粉以避免污染擴散。

首先在拆卸工作平台上裝置滾動輸送機，較大型的電器(特別如電視機)則藉助手動操作機放置到上面，在處理電器螢幕(如電視機、電腦)時，於進料區額外設有通氣設備，通氣時將後板拿掉，映像管頸部置於防護罩下打開。

經過前段的人工拆解取出已通氣的映像管，接著進入拆解映像管階段，有分鋸法及電熱法兩種不同的方式來分離含鉛的錐形玻璃和含鋇/鋇的前螢幕玻璃，目前該工廠為電熱法處理方式。處理量是依拆解人員的熟練度和拆解程度而定，一台電視的拆解時間約需 8~12 分鐘。

映像管分離設備是一個帶有特殊過濾器的密封容器，以自動門用人工進料方式，在分選平台上配有一可人工操控的制動器，在防護門自動關閉後，映像管就會進入分選平台處理，接著使電熱線通過導線以自動安置在映像管上，操作人員設定時間讓電流通過，並利用安培計來控制鎢絲電流的強度，及手動調整它，電壓是限在 42 伏特。



主機預熱後，加熱約 120~150 秒，即噴入氣體和水於線圈與映像管銜接處，使溫度急速冷卻，利用熱漲冷縮原理，使映像管與加熱線圈接觸部份裂開，熱電線導線和升降台導回原處，防護門打開，再利人工輕敲映像管，使錐型部份與前螢幕玻璃分離，取掉映像管上部，分離帶有孔狀的防護鋼板並吸取螢光幕上的螢光體。

前螢幕玻璃可送至再生廠溶融再做玻璃，後面錐型含鉛玻璃可送至煉鉛工業回收使用，PC 板及電線可送至電子廢料處理廠處理，螢光體材料是映像管中唯一的垃圾產品，必須送到特殊廢棄物掩埋場，此部份約只佔總材質重量的 0.02%。

D 公司的電視拆解系統流程可歸納如圖 8.8 所示：

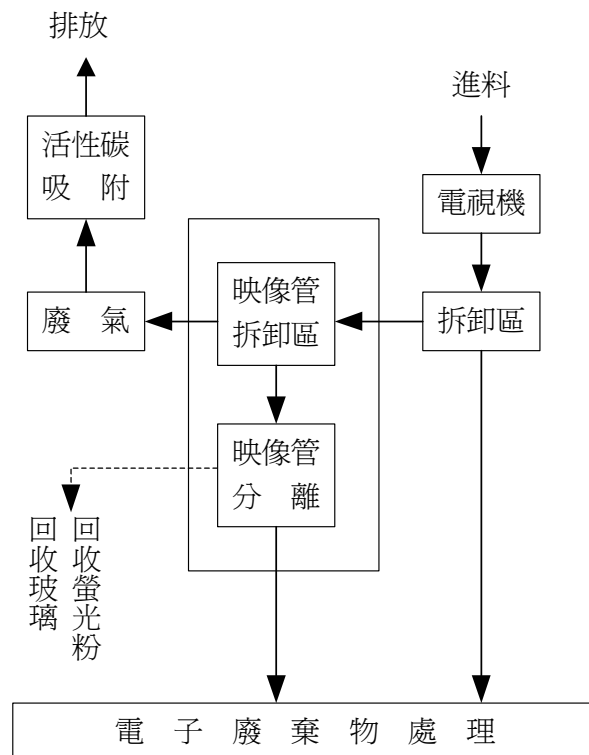


圖 8.8 D 公司電視拆解廠處理流程



8.4.2 案例二

8.4.2.1 前言

由日本某協會與通產省合作開發，為日本廢電器用品處理資源化系統開發示範廠，設廠總經費共 50 億日幣，其中通產省補助三分之一的費用，此廠負擔三分之二的費用，其處理量為 15 萬台/年(240 日/年，6 小時/日計算)，其處理量是以一百萬人口數的都市為基準，廠房總面積為 6,000m²，廠區總面積為 18,000 m²，以處理廢電視、廢冷氣、廢洗衣機、廢冰箱為主，其處理量如表 8.2 所示。

8.4.2.2 製程及原理

廢電視機主要回收項目包括：外殼、映像管及多層印刷電路板 (PCB)，主要處理流程包括：初步拆解、移除映像管、將面部及基部之玻璃分離與粉碎、評估回收物質之純度、分解與粉碎廢塑膠等步驟。

表 8.3 日本廢電器用品資源回收處理廠處理量

種類	台/年	台/時
電視機	51,000	35
冷氣機	36,000	25
洗衣機	39,000	27
電冰箱	24,000	17
合計	150,000	104

廢電冰箱主要回收項目包括：外殼、隔熱材及壓縮機，主要處理工作項目包括：回收 CFC 與礦油、移除與處理壓縮機、分解 CFC、評估回收物質之純度、分解與粉碎廢塑膠等步驟。

廢洗衣機主要回收項目包括：外殼及馬達，主要處理工作項目包括：移除與處理馬達、處理平衡器、評估回收物質之純度、分解與粉碎廢塑膠等步驟。

廢冷氣機主要回收項目包括：外殼、熱交換器及壓縮機，主要處理工作項目



包括：回收 HCFC 與礦油、移除與處理壓縮機、從熱交換器分解出銅與鋁、評估回收物質之純度、分解與粉碎廢塑膠等步驟，其廢家電資源回收主要製程如圖 8.9 所示，各流程之說明見表 8.4。

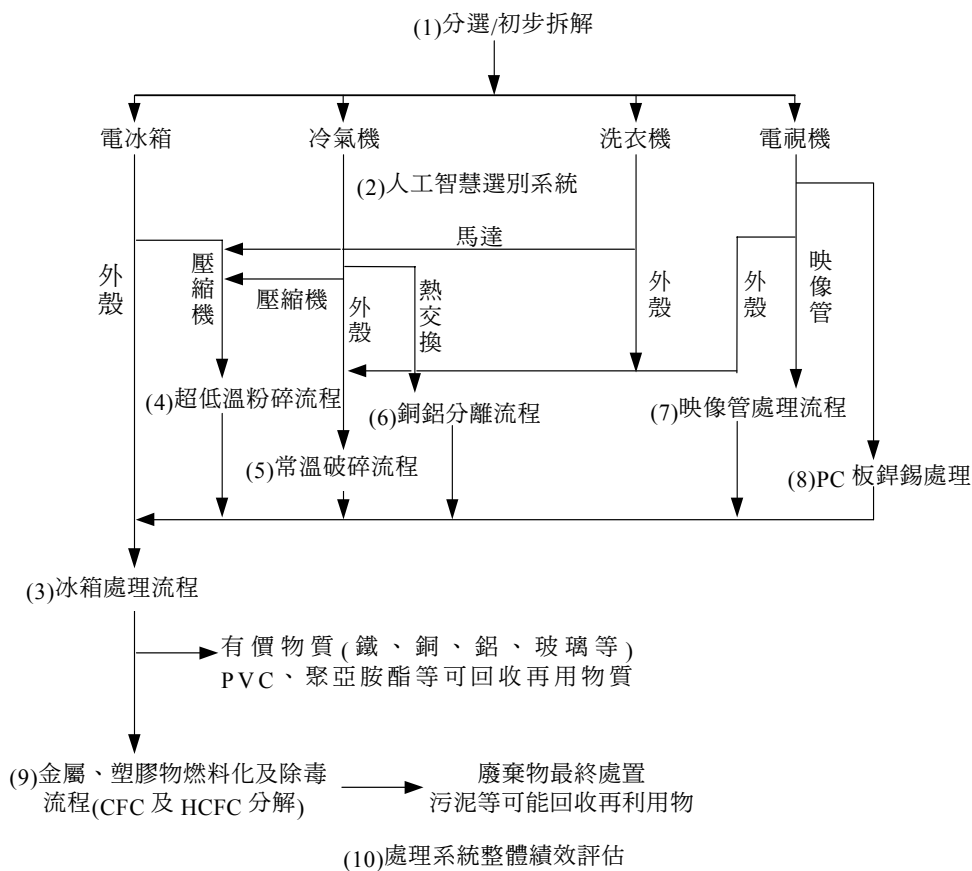


圖 8.9 日本廢家電資源回收示範廠處理流程圖

表 8.4 日本廢家電資源回收示範廠處理流程說明

處理流程	說明	研發單位
(1)分選/初步拆解	接收、分選及人工拆解四種廢家電	三菱(Mitsubishi Electric Corp.)
(2)人工智慧選別系統	利用人工智慧系統自動控制個別處理流程及全盤管理	
(3)電冰箱處理流程	電冰箱外殼粉碎處理及聚胺酯保溫材中之CFC回收	日立(Hitachi, Ltd.)
(4)超低溫粉碎流程	利用超低溫處理有效地粉碎、分離及回收高硬度金屬	
(5)常溫破碎流程	粉碎電冰箱及冷氣機之外殼、分類回收各種資源物	
(6)銅鋁分離流程	旋轉粉碎冷氣機之熱交換器，以分離、回收高純度之銅及鋁	三菱(Mitsubishi Electric Corp.)
(7)映像管處理流程	拆解映像管，並粉碎、清洗及分類各部份，回收映像管中之玻璃	Matsushita Electric Industrial Co., Ltd. SONY Corp.
(8)PC 板鍍錫處理	利用加熱及刷洗回收電視機 PC 板之鍍錫合金	SONY Corp.
(9)金屬、塑膠物燃料化及除毒流程	回收再利用經由熱處理各流程回收之塑膠所產生之燃料油	三菱(Mitsubishi Electric Corp.)
(10)處理系統整體績效評估	評估此回收處理系統操作效率、成本效益及未來的擴充與推廣	日立(Hitachi, Ltd.) 三菱(Mitsubishi Electric Corp.)



參考文獻

- 1.廢棄物清理法，行政院環保署，1998。
- 2.廢物品及容器回收清除處理辦法，行政院環保署，1998。
- 3.廢家電、廢輪胎等巨大垃圾的資源化研究(第一年)，行政院環保署，1990。
- 4.廢家電、廢輪胎等巨大垃圾的資源化研究(第二年)，行政院環保署，1991。
- 5.廢一般容器回收管制查核及作業系統建置計畫報告，行政院環保署，1996。
- 6.台灣地區一般及巨大垃圾回收資源之再利用及市場調查，行政院環保署，1989。
- 7.廢家電回收之收集、清運、貯存、處理系統示範規劃，財團法人中華民國廢電器處理基金會籌備處，1996。
- 8.廢電器回收技術暨媒合研討會技術資料，經濟部投資業務處技術引進服務中心，1998。
- 9.日本廢家電資源化處理考察綜合報告，台灣區電機電子工業同業公會，1997。
- 10.清潔生產資訊雙月刊，No.17，1998。
- 11.楊振峰、李政憲、葉能魁，含氟氣碳化物廢家電資源化回收處理技術探討，第11屆廢棄物處理技術研討會論文集，1996。
- 12.關家倫、李吉祥、陳誼彰、楊炎勝，日本家電業環保策略，No.11，工業污染防治，1995
- 13.工業污染防治技術服務團計畫專案，廢棄物資源回收及處理設備整合與推廣-破碎、乾燥及分選，經濟部工業局，1996



第八章 廢電器用品資源化技術



第八章 廢電器用品資源化技術



第八章 廢電器用品資源化技術

第九章 廢印刷電路板及邊料資源化技術

9.1 前言

電路板製造業（以下簡稱電路板業）是集光學、電學、化學、機械、材料及管理科學的綜合工業，也是國內電子工業的兩大零件製造業之一，隨著電子資訊工業的蓬勃發展，使得該產業的成長更加快速，民國 87 年的年產值已經達到台幣 1,092 億元以上，對我國經濟發展有很大貢獻。由於電路板製造業複雜，使用多種化學藥劑及特殊原料，因此排放的廢水、廢液及廢棄物等種類繁多，除了含有多種有機性污染物外，更蘊含大量銅、鉛及鎳等重金屬。此等重金屬若未予以回收循環使用而任意排棄，其影響所及不僅造成農漁受害，污染飲水水源，破壞環境，損及人體健康，亦造成企業體及社會成本增加。

電路板的種類很多，用途也相當廣泛，其在各科技領域及民生用品的應用可以圖 9.1 表示，在製程上大致可區分為乾式(dry process)及濕式製程(wet process)。以典型多層板製程而言，乾式製程包含裁板、乾膜壓實、疊板層壓、鑽孔、成型裁邊等。濕式製程包含內層刷磨、內層顯像、內層去墨或剝膜、黑／棕氧化、去毛邊、除膠渣、鍍通孔、全板鍍銅、外層刷磨、外層、線路鍍銅、鍍錫鉛、防焊綠漆、前處理刷磨、防焊線漆顯像、鍍鎳鍍金、噴錫前／後處理、成型清洗及綠漆褪洗等，由製程之繁雜足可見其使用物料及產生廢棄物之多樣性，隨後將針對產生量較大及較具資源回收潛力之廢印刷電路板資源化技術進行探討。

9.1.1 廢棄物來源及特性

印刷電路板業製程中所產生的固體廢棄物，從製程初步的裁切銅箔基板至適當尺寸，即會產生成份含環氧樹脂或玻璃纖維與銅箔的廢邊料，接著後續的微蝕單元產生廢硫酸銅、剝膜顯影單元產生。

膜渣，鑽孔與刷磨單元產生含金屬粉塵、噴錫鉛單元產生廢錫鉛渣，至最後成型與品管檢查單元產生含銅及廢樹脂的廢板與廢邊料。茲將印刷電路板一般製程中單元所產生的廢棄物與主要成份，綜合歸納製成表 9.1。

第九章 廢印刷電路板及邊料資源化技術

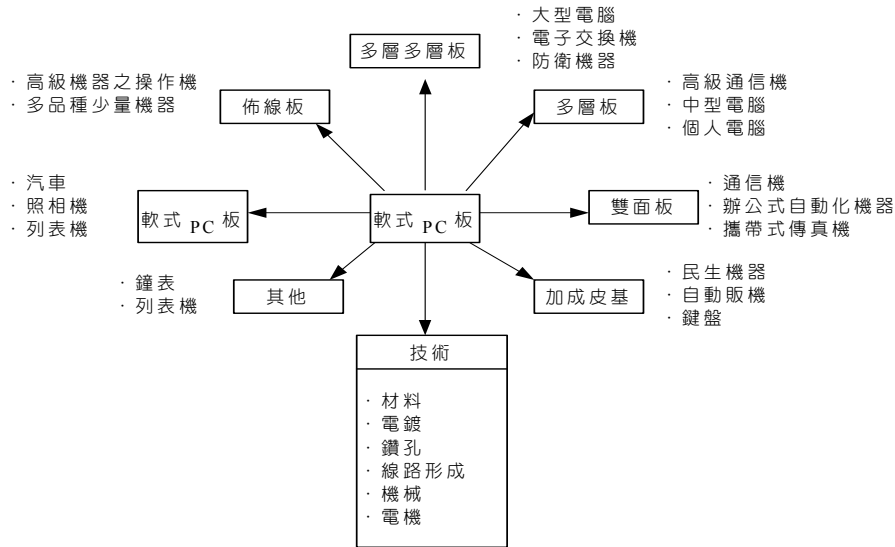


圖 9.1 電路板種類與用途

表 9.1 印刷電路板業產生之固體廢棄物來源及特性

序號	製程單元	廢棄物	成份
1	裁板	邊料	樹脂、玻璃纖維
		墊板	電木
2	微蝕	硫酸銅結晶	CuSO ₄
3	壓膜	塑膠膜	PE、PET
4	製板	底片	AgBr、樹脂
5	顯像	膜渣	樹脂、顏料
6	剝膜	膜渣	樹脂、顏料
7	層壓	膠片	樹脂
		銅箔	Cu
8	鑽孔	墊板	電木
		鋁板	Al
		粉塵	Cu、Al、電木、玻璃纖維、樹脂
9	刷磨	銅粉	Cu
10	噴錫鉛	錫鉛渣	Pb、Sn、Flux
11	成型	成型邊料	Cu、玻璃纖維、樹脂
		整邊屑	Cu、玻璃纖維、樹脂
12	品檢	廢板	Cu、玻璃纖維、樹脂
13	廢水處理	污泥	Cu、Pb
14	其它	原料桶、廢紙、棧板等	

表 9.1 顯示印電路板業的廢板及廢邊料中，且含有相當成份的金屬及樹脂，然而部份仍具高經濟回收價值，如銅箔、銅粉、鋁板及錫鉛渣等；已由原料提供廠商或廢金屬回收廠商進行收購；部份數量較少且屬一般事業廢棄物者，業者通常並無分類貯存而逕行衛生掩埋處置。目前產生量較多且仍具資源回收潛力者為廢板邊料，經不當燃燒可能產生含溴有毒性氣體及含金屬煙塵之有害氣體。

電路板是以基板(laminates)為原料製成的電子組裝基地。一般而言，基板由高分子聚合物（樹脂）、玻璃纖維或牛皮紙、及高純度銅皮三者所構成之複合材料，而這三者亦是構成廢板邊料的主要材質。將廢板邊料進行三成分分析、熱值分析及元素分析，並將分析結果製成表 9.2 及 9.3。由下表可知廢板邊料中除 C、H、O 等元素外，尚含有危害性較高之 Br 元素約 9%，且由於熱值 2,300kcal/kg，顯示在當燃火條件適宜下，一旦被引燃即可自給燃燒所需的熱能而且能持續燃燒，並排放出含溴之危害性氣體；而由於廢料邊板亦含有氯及有機物，若不當燃燒將造成戴奧辛的產生。

為實際瞭解廢邊板中所含的金屬及塑膠成份百分比，分別採樣 8 家印刷電路板製造廠的廢邊板，進行成分含量分析，將廢邊板經粉碎後，利用搖洗浮選法將金屬、樹脂及玻璃纖維分離，並將分離後的金屬分析其銅、錫、鉛、鎳等金屬含量，其分析結果如表 9.4。表中顯示硬板製造廠廢板邊料之金屬含量約 4.26~25.74%，而軟板製造廠廢板邊料之金屬含量約 41.74~64.05%，由此可見廢板邊料極具金屬資源回收之潛力及效益。

表 9.2 廢電路板三成分及熱值分析

項目	三成分分析 (%)			熱值分析 (kcal/kg)
	水分	可燃分	灰分	
檢測值	0.44	32.4	67.18	2,292.7

表 9.3 廢電路板元素分析

項目	元素分析 (%)						
	C	H	O	N	S	Cl	Br
檢測值	21.51	2.02	5.77	0.66	<0.01	1.67	8.76

註：1.以重量百分率為基準

2.資料來源：印刷電路板業廢棄物減量資源回收及處理示範計畫 (epa-82-104-09-15)

表 9.4 廢板邊料金屬分析

來源含量(%)	A 廠	B 廠	C 廠	D 廠	E 廠	F 廠	G 廠	H 廠
Cu	19.49	4.19	21.06	21.29	12.75	23.4	63.68	41.35
Sn	0.49	0.05	0.7	0.42	0.46	1.38	0.24	0.27
Pb	0.29	0.02	0.53	0.03	0.34	0.96	0.12	0.12
Ni	0.005	0.001	0.001	0.007	0.001	ND	0.006	0.004
金屬	20.29	4.26	22.29	21.75	13.55	25.74	64.05	41.74
樹脂及玻璃纖維	79.71	95.74	77.71	78.25	86.45	74.26	35.95	58.26

註：1.F 廠為雙面板製造廠；G 及 H 廠為軟板製造廠

2.資料來源：電路板業廢水污泥與廢板邊料之特性分析及處理處置方案評估綜合報告。

9.1.2 廢棄物產生量及處理現況

典型電路板工廠製程單元中產生廢棄物以廢板邊料的量最大，約佔 70%以上。茲以國內電路板廠之用料面積為基準值；各原料之密度、基材邊料比率、成型邊料比率及報廢比率為計算參數，計算廢板邊料產生量。可知在壓合後剪邊時，將會切去邊，故切去之邊框，約佔出貨面積之 14%左右，再加上良品率 92%來計算（指報廢板而言），所以全國每月約有 6,710,000m² 廢板及報廢邊料，故若以 0.157cm 之標準厚度與 1.9cm³ 的密合計算時，可推算出民國 87 年國內廢板及廢邊板產生量約為 20,017 公噸。

行政院環保署於民國 82 年推動由 19 家電路板製造業者結合 2 家有意願參與



清除處理之廠商組成「衛華電路板資源再生品股份有限公司」，並建立一座廢板邊料每日處理量為 1 噸的示範廠，該廠處理流程主要為前處理（破碎）、中間處理（焚化）及後處理（研磨配料），再將研磨配料之產品售予國外金屬冶煉廠回收金屬。由於該廠主要目的在於驗證技術及市場之可行性，並期望未來在法規、技術、市場等限制條件皆能適當配合時，可再依據廠商及市場需要，擴充廢板邊料的處理容量。因此該廠目前尚未能對廢板邊料資源化妥善處理提供立即改善的實質助益。

整體而言，目前除少數電路板業者將廢板邊料粉碎後，委託廢棄物處理業予以固或清運掩埋外，大多數業者還是將這些廢板邊料貯存於廠內，規模較大之業者通常約有 1~2 年的貯存量。另外由於巴塞爾公約約束各締約國對於有害廢棄物進行國與國之間的越境轉移處理，應予以嚴格管制規範，且締約國與非締約國除非具有雙邊協議外，應嚴格禁止有害廢棄物越境轉移，尤其不得將其轉移至第三世界。

9.2 現有廢印刷電路板及邊料資源化技術

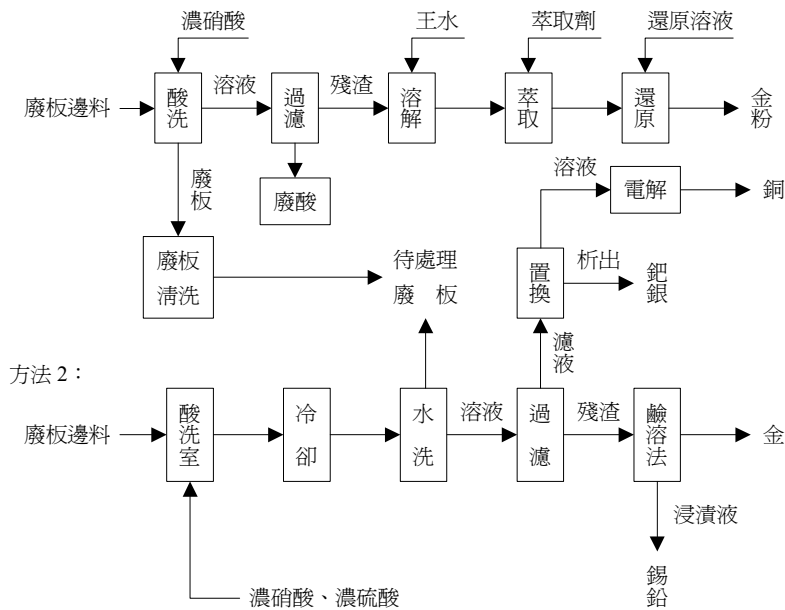
廢板及廢邊料回收金屬資源處理技術包括剝離法、溶蝕法、搖洗浮選法、焚化法及直接冶煉法等，其中部份技術已趨成熟，但污染防治方面則須進一步改善，部份技術則尚屬實驗室階段，茲將各回收處理技術說明如下：

9.2.1 剝離法

利用剝離法回收廢板邊料中的金屬，其回收處理流程如圖 9.2 所示。剝離法係將含貴重金屬之廢板邊料以強酸或強氧化劑處理，取得貴金屬的剝離沉澱物，再分別將其還原成金、銀、鈮等金屬產品，含有高濃度銅離子的廢酸則可回收硫酸銅或電解銅。但往往由於經濟價值明顯降低，導致經貴重金屬回收後的廢板邊料及含銅離子廢酸遭任意傾棄或掩埋，而造成嚴重的二次污染，雖然回收了貴重金屬，卻付出了高昂的環境成本。同時酸洗回收處理過程會產生酸霧及酸泥，若未妥善收集處理，亦會造成嚴重的二次污染。



方法 1 :



方法 2 :

圖 9.2 剝離法酸洗廢板邊料回收處理流程

9.2.2 溶蝕法

利用氯化銅溶蝕法(cupric chloride dissolution)回收廢板邊料中的金屬，其回收處理流程如圖 9.3 所示。氯化銅溶蝕法主要用於回收含貴金屬接點銅金底材，將其置於氯化銅溶蝕液中，在適當的氧化還原電位值控制下將銅底材溶蝕，但貴金屬則保持不溶並加以回收，溶蝕後氯化亞銅母液再以氯氣氧化，得氯化銅溶蝕液循環使用，溢流廢液則以鋅渣置換(cementation)回收銅粉後，再以中和法處理，使尾液合乎排放標準。氯化銅溶蝕液廣泛應用於電路板之蝕刻液(etchant)，應用於廢板邊料之外層銅及貴金屬回收處理應屬可行，且銅之溶蝕率高，但對於粗碎後多層板內層銅面之溶蝕仍相當困難。同時以鋅渣置換回收銅粉時，會產生含鋅廢水污泥。

9.2.3 搖洗浮選法

利用搖洗浮選法回收廢板邊料中的金屬，其回收處理流程如圖 9.4 所示。利用機械粉碎的方法，將廢板邊料粉碎後以篩分器篩選粒徑小於 10 mesh 之過篩物，並以搖洗桌及浮選機分離富集金屬相與非金屬相，再將富集金屬以鹼熔燒焙



第九章 廢印刷電路板及邊料資源化技術

法回收錫，氨水浸漬法回收銅後，以磁選分離法分離磁性之鐵、鎳金屬與非磁性之金、銀、鉛金屬；非金屬部份則可做為補強材料之再利用。

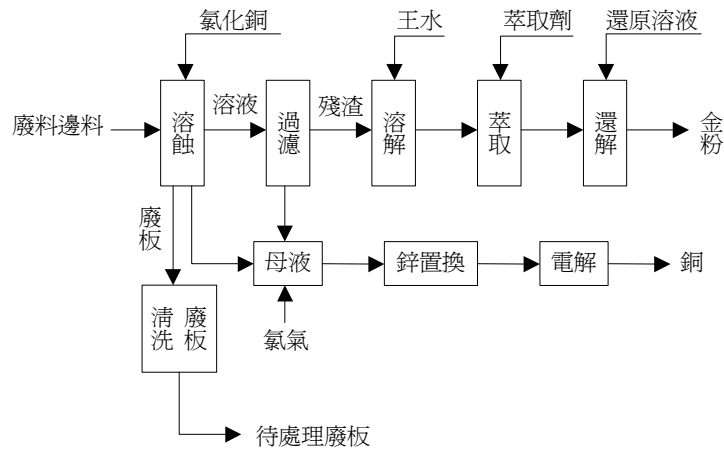


圖 9.3 廢板邊料溶蝕金屬回收處理流程

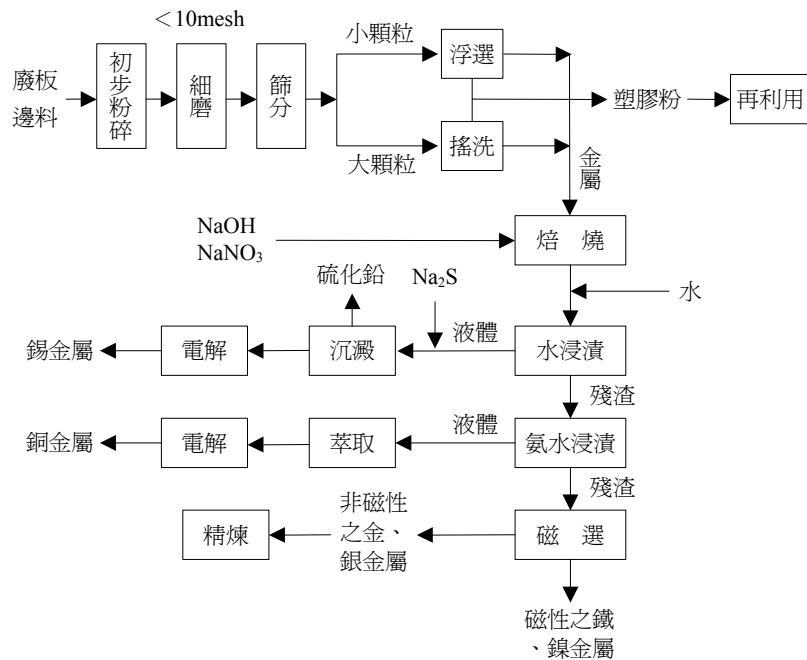


圖 9.4 廢板邊料搖洗浮選金屬回收處理流程

工業廢棄物資源化技術資料彙編

9.2.4 焚化法

利用焚化法回收廢板邊料中的金屬，其回收處理流程如圖 9.5 所示。廢板邊料經機械破碎後，送入焚化爐中焚燒，將所含約 40% 的樹脂分解破壞，剩餘之殘渣即為裸露之金屬及玻璃纖維，經粉碎後即可送往金屬冶煉廠進行金屬回收。由於金屬與玻璃纖維已非黏結狀態，故均適合以濕法或火法冶煉回收。不過因廢板邊料為有害事業廢棄物，焚化過程可能產生含溴廢氣，故相對焚化爐及空氣污染防制設施的設置規範要求較嚴格。

9.2.5 直接冶煉法

利用直接冶煉法回收廢板邊料中的金屬，其回收處理流程如圖 9.6 所示。經焚化處理後之廢板邊料可供為陽極精煉(anode casting) 或燒結(sintering)之原料，而未經焚化處理之廢板邊料亦可直接供為烘焙(roasting)之原料，經烘焙處理後即可再送燒結製程進行處理。事實上，此類金屬冶煉廠係為綜合性廢五金再生冶煉廠，其製程繁複包括前處理、冶煉、精煉，所產出之產品包括各類貴金屬及重金屬，其品質則可直接供入金屬原料市場。

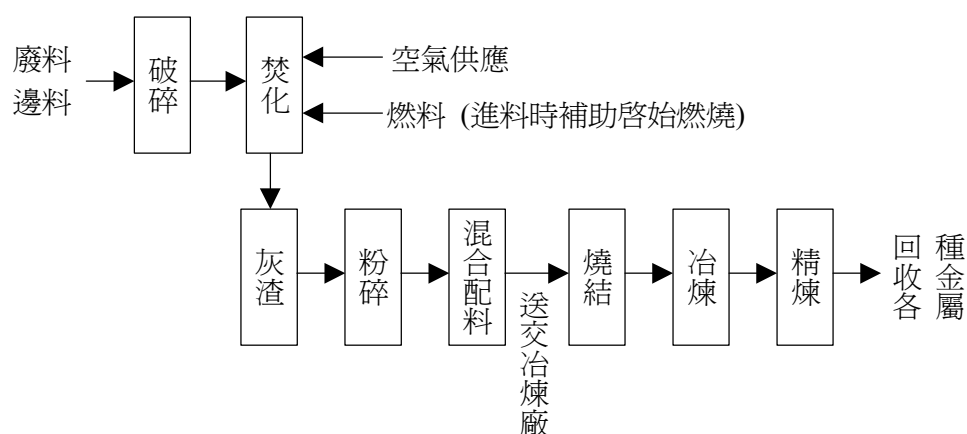


圖 9.5 廢板邊料焚化金屬回收處理流程

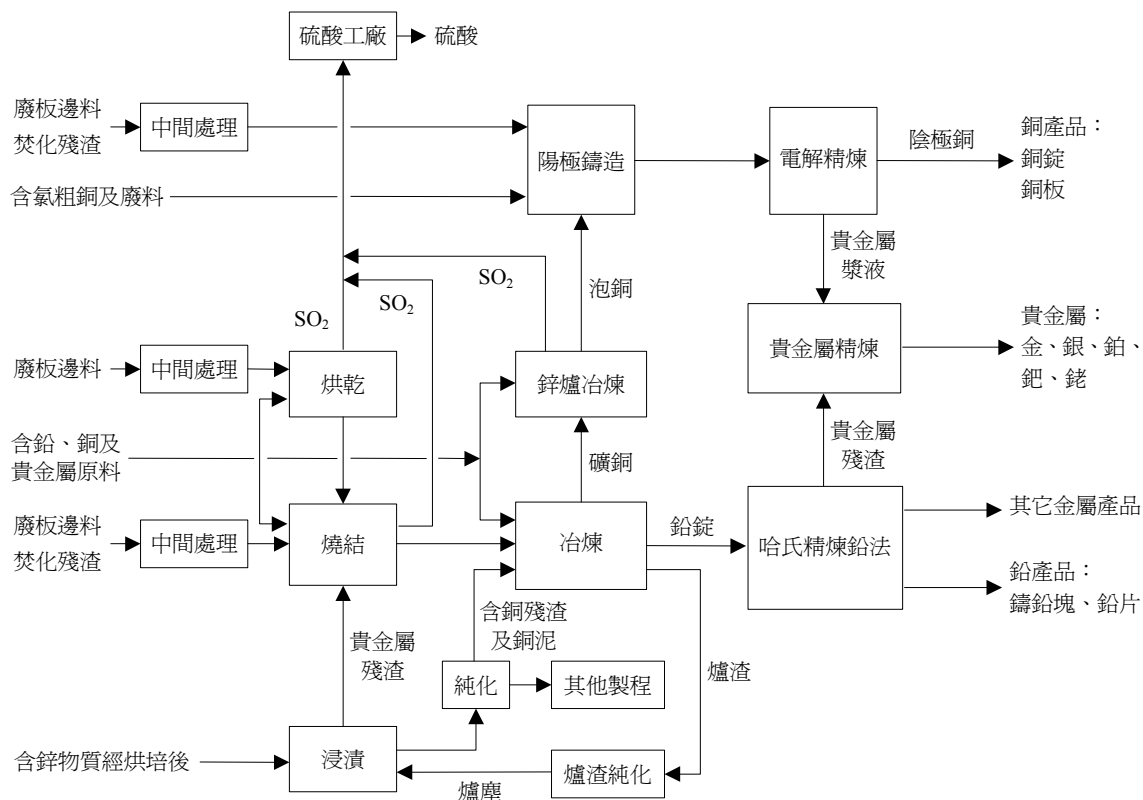


圖 9.6 廢板邊料直接冶煉金屬回收處理流程

9.3 廢印刷電路板及邊料資源化技術評析

由以上各項資源化技術，綜合各項技術、原理流程、適用對象、適用範圍、技術成熟度及特點等要項，彙整如表 9.5 所示。

表 9.5 廢印刷電路板及邊料資源化技術評析

技術名稱	原理、流程	適用對象	成品與適用範圍	技術成熟度與實績	特點(含應用限制)
剝離法	將含貴重金屬之廢板邊料，以強酸或強氧化劑處理，取得貴金屬的剝離沉澱物，再分別將其還原成金、銀、鈀等金屬產品	廢印刷電路板及其邊料	粗份貴重金屬	已商業化	高濃度剝離廢液、酸霧及酸泥為有害廢液須妥善處理
溶蝕法	溶蝕液在適當的氧化還原電位值控制下將含銅底材溶蝕，但貴金屬則保持不溶並加以回收	廢印刷電路板及其邊料	粗銅土	已商業化	對多層板內層銅面之溶蝕仍相當困難。同時會產生含鋅或含鐵廢水污泥
搖洗浮選法	機械粉碎法、篩分搖洗及浮選機分離、鹼熔燒焙法、氨水浸漬法、磁選分離法	廢印刷電路板及其邊料	錫、銅、鐵、鎳、金、銀及鉛金屬	已商業化	回收金屬及非金屬成分
焚化法	焚化將所含之樹脂分解破壞，金屬與玻璃纖維之殘渣適合以濕法或火法冶煉回收。	廢印刷電路板及其邊料	裸露之金屬及玻璃纖維粉碎後可送金屬冶煉廠進行金屬回收。	已商業化	焚化過程可能產生含溴廢氣，故空氣污染防治設施的規範要求較嚴
直接冶煉法	前處理、冶煉、精煉	廢印刷電路板及其邊料	各類貴重金屬及重金屬	尚不普遍	技術性較高與複雜

9.4 廢印刷電路板及邊料資源化案例

9.4.1 案例

9.4.1.1 前言

本案例工廠為廢印刷電路板及廢電子零件的混合廢五金回收處理工廠，設計的處理容量為每日 60 噸。廠區規劃有行政區、廢棄物接收區、貯存區、破碎分選區、拆解區、溶蝕區、剝離區、金精煉區、品管區及廢氣、廢水處理區，廢棄物在接收區先進行數量清點、重量過磅、品質檢查，再送至合乎法規標準的暫存區貯存，再進行後續的回收處理作業，回收經處理後的為銅、塑膠、玻璃纖維及黃金。由於本章主題以廢印刷電路板及邊料為主要處理對象，故以下各節將針對廢印刷電路板回收處理加以介紹。

9.4.1.2 製程與原理

該廠規劃之資源化處理方法為利用破碎、分選、溶蝕、剝離及金精煉方式，先將整塊廢印刷電路板進行貴重金屬的溶蝕或剝離程序，溶蝕反應後產生之銅土，可以出售熔鍊金屬銅；鍍金層剝離反應後的含金鹼液，予以電析回收與離子交換樹脂回收。經過上述步驟處理的廢印刷電路板，再以破碎及分選方式，回收其中的銅、塑膠及玻璃纖維，不但解決廢板邊料處理處置問題，亦可以有效減容，回收有用資源，該廠規劃之資源化處理流程如圖 9.7 所示。

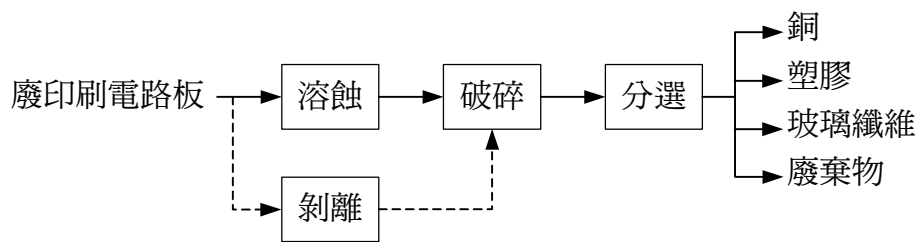


圖 9.7 廢印刷電路板案例資源化處理流程

茲將本回收處理流程重心的溶蝕、剝離、破碎分選操作現況詳敘如下：

1. 溶蝕單元

將廢 PC 板放入溶蝕槽中，將溶蝕液抽送至溶蝕槽，並打入空氣攪拌進行溶蝕作業，溶蝕作業完成後再經水洗後置回。作業後之溶蝕廢液自廢液貯槽送至置換槽，於置換槽放置廢鐵與銅離子進行置換，再每隔一段期間，將銅土取出，水洗後曬乾，再用磁鐵將未反應之廢鐵磁選分離出，銅土可直接出售。

2. 剝離單元

剝離單元主要是回收廢印刷電路板上的鍍金膜，其實際操作流程如圖 9.8 所示。本單元以鹼性氰化鈉對鍍金膜進行剝離，含高濃度金之鹼性剝離液部份

以電析回收粗金，剩餘剝離廢液則送至廢液處理機構處理，而含金濃度較低之清洗水則流經離子交換樹脂塔進行吸附，待金濃度低於 0.1ppm 時再排至廢水處理廠進行廠內處理。

3. 破碎分選單元

粉碎設備設計處理量為每日 60 噸（三班操作），廢印刷電路板經粗碎機（shredder）粗破碎後，以磁選機分離鎳鐵等磁性物質，再經鎚磨機（Hammer mill）細碎，過篩後小粒徑直接進入靜電分選機內分選，粒徑較大者再經回鎚磨機粉碎。靜電分選機可將金屬部份與非金屬部分分離，金屬部分（混合金屬）經鑄錠熔成塊狀後，再以電解回收金屬銅。非金屬部分主要為玻璃纖維與樹脂（酚醛樹脂與環氧樹脂），此部分再利用作為填充材，但其首要條件為銅之溶出試驗必需低於 15ppm，本製程經國外實廠多次測試銅之毒性溶出值為 10ppm 左右。本單元之實際操作流程如圖 9.9 所示。

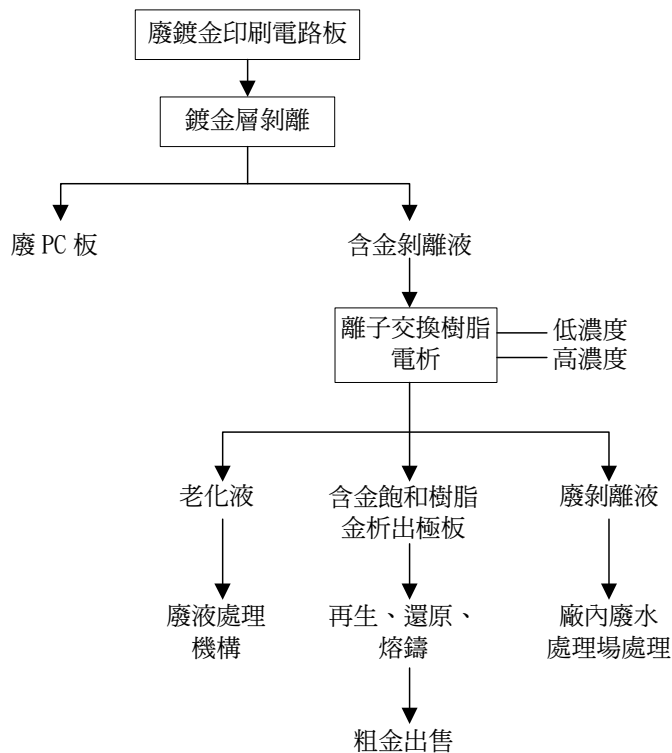


圖 9.8 廢鍍金印刷電路板剝離單元操作流程

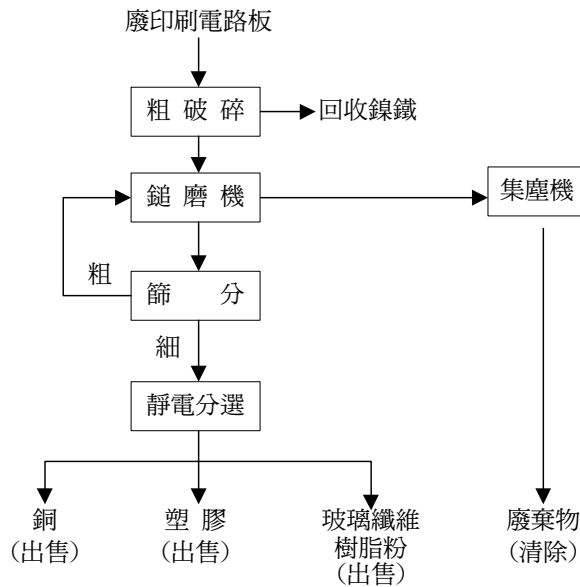


圖 9.9 破碎分選單元操作流程

9.4.1.3 資源化成效

該資源回收處理廠估計每日能處理 60 噸的廢印刷電路板及電子廢料，估計每天可回收 6 公斤的粗金、30 公斤的銅土、24 噸的銅、16 噸的塑膠及 18 噸的玻璃纖維。

9.4.1.4 結語

高科技產業的蓬勃發展，已漸成為台灣產業的明日之星，相對地，高科技產業在製造過程所產生的污染，也對傳統的污染防治方式帶來挑戰。印刷電路板業所產生的廢板及廢邊料，在現行的處理方式上，已進行至對其有價物值回收再利用的商業化營運上，所以若能將國內產生量日漸增加的印刷電路板廢料進行有效的回收再利用，不僅能減少有害事業的待處理量，減輕有害事業廢棄物待處理需求的負擔，也可將回收物質再運到民生用品的製造，減緩開發自然界物質的損耗程度，邁向環境保護與物質文明需求並進的境界。



參考文獻

1. 工業污染防治技術服務團計畫專案，電路板業減廢與回收技術講習會講義，經濟部工業局，1993。
2. 簡繹驥、李懷安、黃鈺軫、王鴻博，印刷電路板廢料資源化處理技術研究，第四屆工業減廢技術與策略研討會，經濟部工業局，1994。
3. 吳敏煌、王文裕、張皇珍、賴英智、楊成誠，印刷電路板業廢棄物資源回收及處理示範計畫，第四屆工業減廢技術與策略研討會，經濟部工業局，1994。
4. 曾迪華、張木彬、李穎銘、吳宗南，印刷電路板業污染預防與控制之回顧與評析，第六屆工業減廢技術與策略研討會，1996。
5. 中鼎工程股份有限公司，印刷電路板業工業減廢示範計畫，行政院環保署，1991。
6. 工業污染防治技術服務團計畫專案，電路板業廢水污泥與廢邊板料之特性分析及處理處置方案評估綜合報告，經濟部工業局，1995。
7. 楊能輝，廢 IC 板有價物之分離與回收研究，國立成功大學礦冶及材料科學研究所，碩士論文，1990。
8. 王文裕、劉邦俊、吳敏煌、楊成誠，廢印刷電路板與蝕刻廢液回收處理技術，第三屆工業減廢技術與策略研討會，1993。
9. 工業污染防治技術服務團計畫專案，印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編，經濟部工業局，1996。
10. Elaine Y.L. Sum “The Recovery of Metals from Electronic Scrap”，Journal of Metal，1991。



第九章 廢印刷電路板及邊料資源化技術



第九章 廢印刷電路板及邊料資源化技術



第十章 廢電線電纜資源化技術

10.1 前言

國內最早汽車工業或電子（含電線電纜）產業所產生之廢電線、電纜，係藉由（露天）焚化方式，經去除表面塑膠後以回收銅線，雖然操作費用低廉，但由於焚化過程中，往往無法控制燃燒溫度，進而產生危害人體及嚴重污染週遭環境的戴奧辛（Dioxin），因而被嚴格禁止採用。目前國內外之廢電線電纜處理多採破碎（粗破、細破）、篩選（乾式、濕式）等方式，以分選出銅及塑膠等物質，並回收利用。而廢電線電纜之資源再生技術主要是將被覆於銅線或鋁線外緣的橡膠、PVC、PP 及瀝青等物質予以分離，使銅線或鋁線得以熔煉再生，在目前常見再生技術有機械法、化學法和低溫冷凍法等。以下僅就各相關技術分述之。

10.2 現有廢電線電纜資源化技術

10.2.1 機械法資源再生技術

10.2.1.1 製造原理

機械法資源再生技術是目前國內外使用最廣泛的方法，其特點是機械設備構造簡單，且操作技術成熟。其原理主要是利用機械剪刀將電線電纜破碎成顆粒狀，再利用比重、磁力或靜電分選方法，將破碎之非金屬與金屬予以分離。

10.2.1.2 處理流程

機械法係將廢電線電纜以剪刀機將其切成適當的長度，再以粉碎機將其粉碎至適當的粒徑予以分離，其處理流程如圖 10.1 所示。

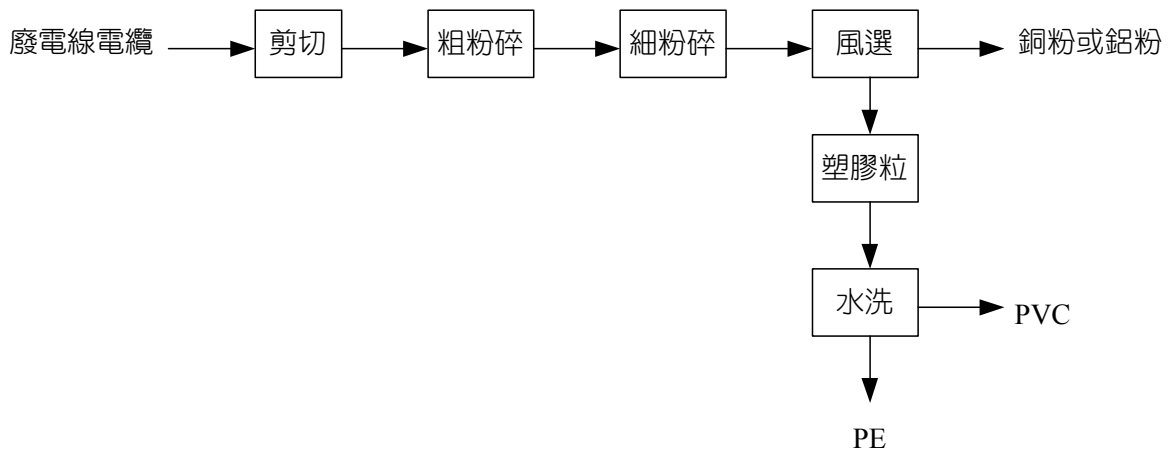


圖 10.1 廢電線電纜機械法處理流程

1. 剪切單元：以鋸刀式剪切機將廢電線剪切成適當的長度，其長度隨著電線電纜的直徑而異。
2. 粗碎、細碎：利用刀式破碎機將電纜破碎至 15mm 左右。
3. 分離：分離單元首先可用篩網來確保粉碎顆徑達到一定的範圍。再用氣動分選機可將金屬粒、絕緣顆粒及中間產品（帶有絕緣物的金屬粒）予以分離，其中間產物可再送回二次粉碎機再行處理，若含鐵質則需進行磁選；一般而言，此一分離可回收 90~99.5% 的金屬。另塑膠部份再利用水洗程序可將 PVC 與 PE 材質塑膠進行分類。

10.2.2 化學法資源再生技術

10.2.2.1 原理

化學法是利用不與金屬(銅、鋁)發生反應的鹽類溶液或有機溶劑來溶解絕緣體，使得以回收絕大部份的金屬物質。一般而言，如 PVC 可採用二氯乙烷、環己酮、甲醯替二甲胺、四氫呋喃或丁酮等作溶劑。

10.2.2.2 處理流程

化學法處理流程如圖 10.2 所示。

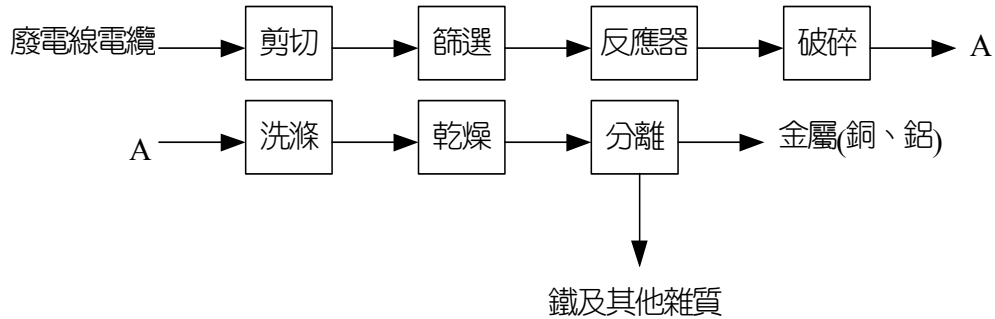


圖 10.2 化學法資源再生技術處理流程

1. 剪切：首先將廢電線電纜切成 6~12mm
2. 篩選：利用篩選以確保電線電纜顆粒粒徑均一
3. 反應器：將電線電纜顆粒送入化學反應器中，並加入適當量之溶劑，加熱至 230~290°C，1.5~3 小時如此可將電線電纜上之絕緣物與錫、鉛等焊料去除。之後，再冷卻至 140°C
4. 破碎：冷卻後之裸線送入破碎機破碎
5. 洗滌、乾燥：將金屬顆粒中之化學物質予以清洗乾淨並乾燥之
6. 分離：再將金屬顆粒送到磁選機及氣動分選機，以確保回收金屬顆粒之純淨度

10.2.3 冷凍處理資源再生技術

10.2.3.1 處理原則

冷凍法是利用冷凍劑處理廢電線電纜，經冷凍後之絕緣物、氧化金屬、鋅及鋅合金會變得很脆，而易於破碎，然銅和鋁則仍具有塑性，如此，即可利用磁選、篩分、水力分級、比重分選而將電線電纜中之各種物質區分出來。一般冷凍劑採用液態氮或乾冰（固態 CO₂）。



10.2.3.2 處理流程

冷凍法之處理流程如圖 10.3 所示。

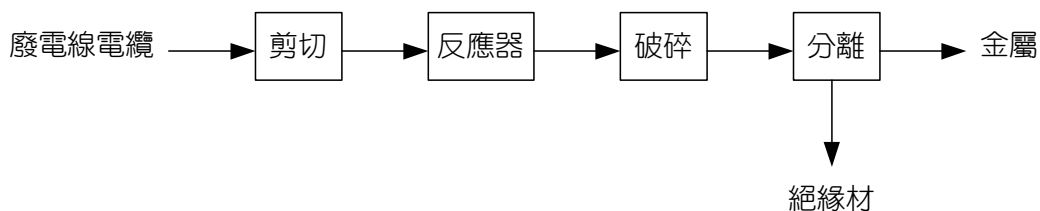


圖 10.3 冷凍法資源再生技術處理流程

將廢電線電纜予以剪切適當的長度，再送入冷凍器內，加入液態氮（重量比 3：1），使溫度降低至 -98°C ，然後送入錘式破碎機破碎至粒徑 3~25mm，再以比重分離，而得純度較高的金屬物質，至於絕緣物則變為廢棄的泥渣。

10.3 廢電線電纜資源化技術評析

目前國內從事廢電線電纜資源化回收處理廠商大致集中在南部高雄大發工業區內，處理技術大致以機械法資源再生為主，雖然並非是最新之處理技術，但其二次污染皆能符合國內環保法規之要求，而機械分類法仍存在下列問題：

一為分離物質之純度未能達百分之百，故銅線中仍摻雜塑膠屑，影響到再生銅料之價格，二為不同類型之塑膠如 PVC 及 PE 之間難以分離，常需人工方式做事前選別。

因此，在國外有化學法資源再生之成功案例（將於下節介紹），可提昇分離物質之純度並回收 PE 及 PVC；而冷凍法主要回收鋅及鋅合金，目前在國內外較少見；茲將三種方法優、缺點列表分析如表 10.1。

表 10.1 廢電線電纜資源化技術評析

技術名稱	原理、流程	適用對象	成品與適用範圍	技術成熟度與實績	特點(含應用限制)
機械法	將廢電線電纜破碎，再進行分離	廢電線電纜無限制	可得金屬及塑膠	國內外大致採用	覆皮或金屬皆為顆粒狀
化學法	廢電線電纜經剪切、篩選後以溶劑溶解絕緣體	特定材質之覆皮有特定溶劑	可得金屬線及溶解之塑膠	歐洲已有成功案例	低耗能，但溶劑之使用上須注意其控制
冷凍法	以液態氮或乾冰冷凍，再經磁選等分離	廢電線電纜無限制	可得金屬及塑膠	國內較少見	絕緣覆皮轉為廢棄泥渣

10.4 廢電線電纜資源化案例

10.4.1 案例

10.4.1.1 前言

上述常見之兩種資源化技術—機械法及化學法，在國內外機械法皆有多年處理回收經驗，在此僅介紹目前在國內少見之案例—化學法，期與讀者交流觀摩。

10.4.1.2 原理及流程

德國 W 公司自行研發出數種不同之可溶解於 PVC (polyvinyl chloride)、PU (polyurethane) 及丙烯 丁二烯 苯乙烯 (acrylonitrile butadiene styrene, ABS) 等塑膠之溶劑，藉由下列主要處理流程來達到金屬與塑膠分離之目的：

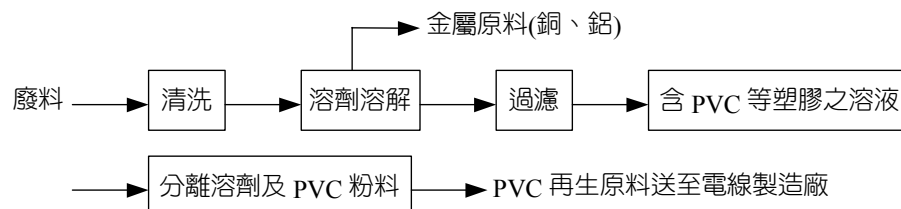


圖 10.4 W 公司溶劑處理流程



德國 W 公司之處理法主要的優點在於除了可回收高純度之銅線（非銅粉），並且亦可回收軟質 PVC 等塑膠，而在回收 PVC 時，並不會將其他 PE、PP 等物質一併溶出，故能有效控制其回收物之品質及純度。有關 W 公司 PVC 回收實例及流程如下：

1. 電線、電纜 PVC 及銅料回收處理

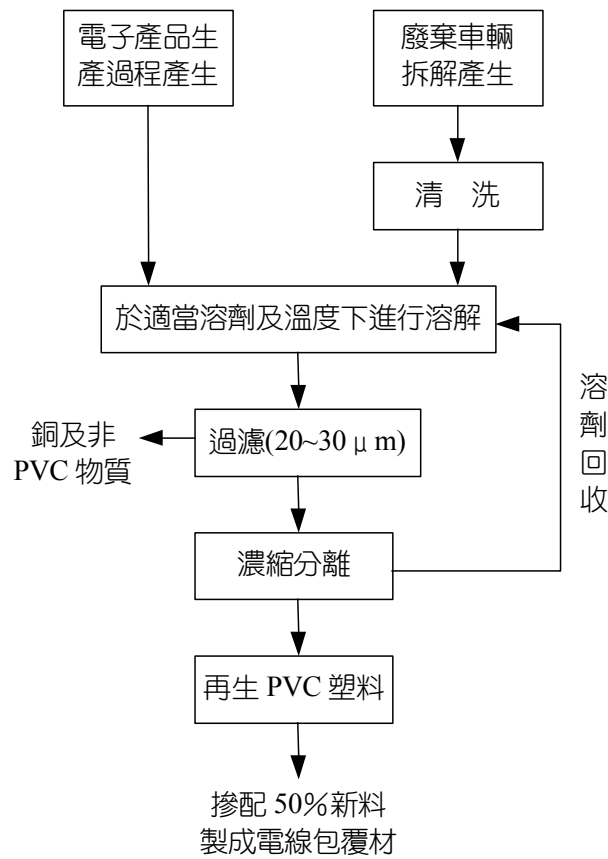


圖 10.5 W 公司電線、電纜 PVC 及銅料回收處理流程



1. PVC 及 PU 表面處理之合成皮(布)回收處理

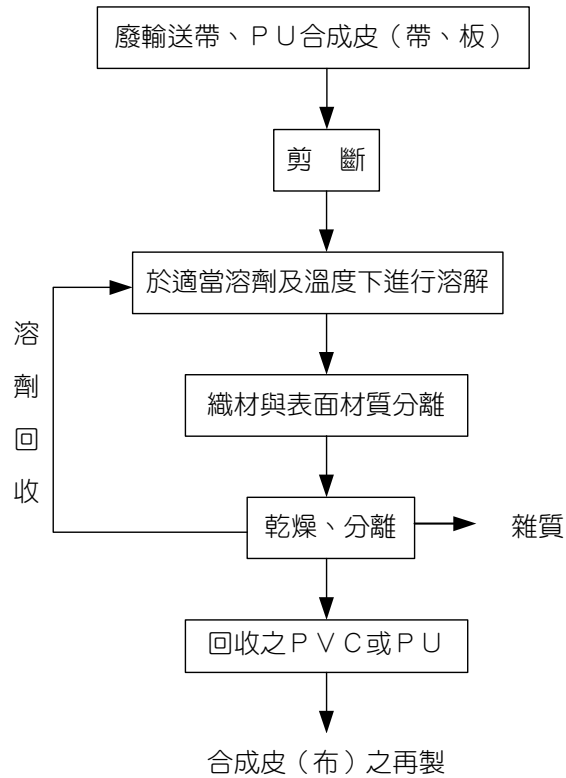


圖 10.6 W 公司 PVC 及 PU 表面處理之合成皮(布)回收處理流程



3.其他塑膠產品(如 ABS)之回收

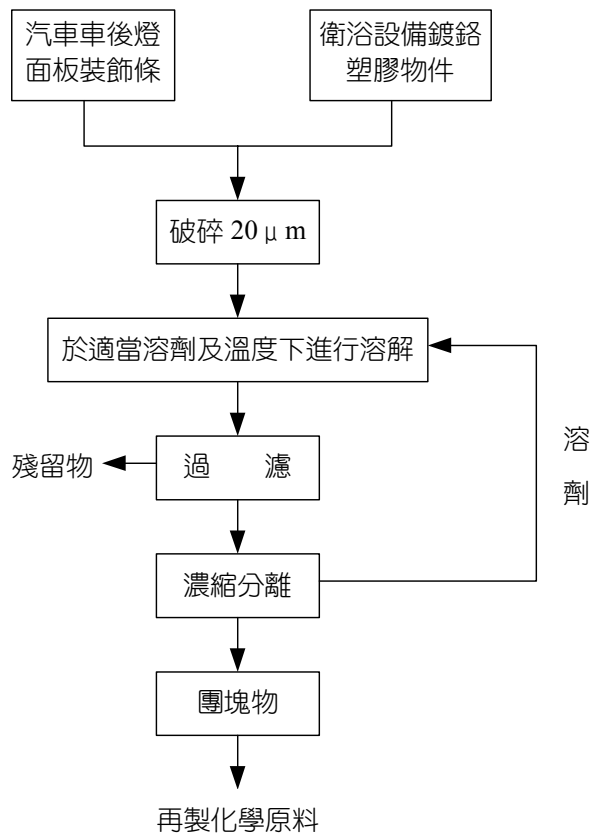


圖 10.7 W 公司其他塑膠產品回收處理流程

其技術重點主要有二：一為調配適當之溶劑，使其具有專一性，祇能溶出欲回收之塑膠類別，二為反應之控制參數（如溫度等），由於以上二者為該公司之 KNOW-HOW，故無法獲得進一步詳細資料，僅能從問答中得知，該溶劑類別屬



第十章 廢電線電纜資源化技術

酮或酯類物質，而反應均控制於高溫狀況下運作。

另該公司亦委託德國慕尼黑大學進行經濟分析，研究證實 Audi A4 車種所需之 PVC 原料，每公斤 PVC 新料之取得需 70.4MJ(百萬焦耳) (約 16,800kcal/kg) 的能量，若以公司之再生 PVC 作原料僅需 17.2MJ/kg PVC (約 4,100kcal/kg)，而若再省卻清洗步驟，則僅需 12.6MJ/kgPVC (約 3,000kcal/kg)。

由此可知，對於國內外回收處理頗為頭痛之 PVC 塑膠，未來將可藉由此一新技術做有效之回收利用，並且於生產過程中達成節省能源之目的，並提昇欲分離金屬之純度 (可達 99.9%)，實為一值得推廣與觀摩學習之新回收處理技術。



參考文獻

1. 工業污染防治技術服務團，廢棄物資源化利用技術評估整合，經濟部工業局，1998。
2. 工業污染防治技術服務團，廢棄物資源回收及處理設備整合與推廣—破碎、乾燥及分選，經濟部工業局，1998。
3. 工研院化工所，廢金屬再生及資源化技術成果及效益，1998.1。
4. 衛適密廢物減量科技有限公司，電子業廢料金屬資源聯合處理體系先驅計畫，1993.7。
5. 黃海松，塑膠廢料處理技術，1976.8。
6. 于寧，廢塑膠再生資源化技術成果及效益，1998.10。
7. Molten Metal Technology, Elemental Recycling: The Future of Environmental Technology, 1995.6。
8. Curlee, T., Plastic Waste Management: Control Recycling and Disposal, 1991.1。



第十章 廢電線電纜資源化技術



第十章 廢電線電纜資源化技術

第十一章 重金屬污泥資源化技術

11.1 前言

重金屬污泥之產生源業別多、分布廣、種類複雜且數量龐大，依據經濟部工業局於 84~87 年度針對國內 37 個行業及國營事業所做的調查資料顯示⁽¹⁾，國內每年由事業機構所產生的含重金屬污泥或殘渣逾 32 萬公噸，其中尤以印刷電路板業、金屬工業、化學材料業、電鍍業及皮革業為主要產生來源，詳如表 11.1 所示。

表 11.1 國內重金屬污泥產生現況

行 業 別	產生量 (公噸/年)	主要重金屬種類
印刷電路板業	83,300	Cu、Ni、Pb
金屬工業	61,000	Zn、Cr、Ni、Cu
化學材料業	57,500	Cr、Pb、Zn
電鍍業	43,000	Ni、Cr、Cu、Zn、Ag
皮革業	32,000	Cr
石油煉製業	22,000	Cr、Pb
化學製品業	11,800	Cr、Pb、As
電池製造業	2,100	Pb、Zn
電線電纜業	1,400	Cu
其他製造業	5,900	Zn、Cr、Pb、Ni、Cd
合 計	320,000	—

資料來源：經濟部工業局工業污染防治技術服務團計畫專案

若以污泥之類別區分，則大致可區分為塔底污泥（殘渣）、無機性廢水污泥、有機性廢水污泥及非廢水污泥等 4 類。塔底污泥之主要來源為化學材料業及石油

煉製業，大都屬製程有害事業廢棄物且含有部分重金屬，其處理處置方式大都採回收利用(39%)或廠內焚化處理(44%)，少部分則委交由代清理業處理(13%)或廠內暫時貯存(4%)。

無機性含重金屬廢水污泥之年產生量約 145,300 公噸，其來源主要為印刷電路板業、電鍍業、電池製造業、電線電纜業及金屬工業之表面處理，因其污泥中所含重金屬經 TCLP 測試後大都超過法規標準，且國內現有之甲級代處理業之年處理能力僅約 8 萬公噸⁽²⁾，故此類型重金屬污泥為國內目前最迫切需要妥善處理之事業廢棄物之一。

有機性含重金屬廢水污泥之主要來源為皮革業及部分化學製品業，目前之處理方式絕大多數均委託代清除處理業處理。至於含重金屬之非廢水污泥，其主要來源為金屬工業之一貫作業煉鋼製程所產生的高鋅礦泥與塔渣，及各行業表面塗裝製程所產生漆渣，前者目前均已於廠內回收再利用，後者則大都交由代清理業處理。有關國內重金屬污泥之處理處置現況詳如表 11.2 所示。

表 11.2 國內重金屬污泥處理處置現況

處理方式 \ 污泥類別	塔底污泥	廢水污泥		非廢水污泥	合計
		無機性	有機性		
回收利用	32,500	2,800	—	46,400	81,700
委託代清理	10,700 (1,000)	127,600 (82,000)	42,000 (2,200)	3,700 (800)	184,000 (86,000)
廠內焚化	36,200	14,900	—	—	51,100
其他	3,000	—	—	200	3,200
合計	82,400	145,300	42,000	50,300	320,000

註 1：() 內數字代表委交由甲級廢棄物處理機構處理。

2.資料來源：經濟部工業局工業污染防治技術服務團計畫專案

11.2 現有重金屬污泥資源化技術

重金屬污泥所含的金屬種類與濃度隨不同產業而異，一般而言其資源再生技術有兩大類。第一類是分離污泥中的重金屬成份，回收其有價的重金屬，相關技術有置換電解、高溫熔融、酸液（氨、硫酸）浸漬萃取及微生物回收等；第二類是將之固定化，做為它種用途，如磚化燒結、改質塑膠製品、發泡煉石、陶瓷顏料等。以下就兩種不同類別的技術分述之。

11.2.1 分離回收技術

分離回收技術是目前有關重金屬污泥資源化研發的重點方向，其大致可分為三類：一為以傳統之化工單元操作技術為主，二為開發年代較短之氨浸技術，三為最新開發之高溫融熔技術，其適用的對象與發展現況如表 11.3 所示。

資源化技術之選用需考量技術面、經濟面及適用性，如熔融法在國外雖然已經成熟，但是其應用對象係以含貴重金屬或量大之下水道污泥為主，對於產出量不大且含重金屬濃度較高之電鍍污泥等，則較不符合經濟效益⁽³⁾；H-MAR 對於耗酸性大之鹼性電鍍污泥，除了不經濟以外尚須考慮殘留在污泥中之氰化物可能與酸反應而產生劇毒之氰酸；氨浸法雖然在七十年代就已有文獻記載，但是只有中國大陸在近十年有實廠運轉之文獻記載，且當處理低濃度重金屬污泥時，由於氣體—固體之間及液體—固體之間存在的平衡關係不能有效地分離重金屬，致處理費用過高不符合經濟原則。換句話說，分離回收技術一般較適合於污泥中含有高濃度(例如 0.1%以上)的重金屬，濃度在 0.1%以下的重金屬則不合適。

11.2.1.1 置換、電解、結晶法(4)

美國 Recontek 公司係以置換、電解、結晶等傳統化工單元操作為主要資源化技術，污泥以是否含鋅被分為二類：

1.A 類含鋅污泥

係利用鹼性消化來溶解鋅、鉛及鎘，而銅、鎳、鐵與鉻則不溶。當反應完成，污泥經過濾後，不可溶（濾渣）之部份送往 B 類污泥之處理系統，濾液則送往置換系統。在置換系統內，加入足量之鋅粉，使任何陰電性較鋅為高之金屬（鉛、鎘）沉澱出來，鉛與鎘經乾燥後即可出售。此時，溶液之中僅剩鋅以鋅酸鈉(Na_2ZnO_2)之形式存在，再以電解法處理後即可回收鋅，而剩餘之鹼性溶

液則可回收再利用。

表 11.3 重金屬污泥分離回收技術現況

技術名稱	適用對象	技術成熟度
美國－RECONTEK CO. *置換、電解、結晶等濕法冶金技術	含多種金屬污泥、廢酸、廢鹼	商業化
瑞典－MX-Processor Reinhardt & CO. *Am-MAR *H-MAR	含多種金屬污泥	pilot plant
中國大陸－氨浸法	含多種金屬污泥	商業化
美國－馬里蘭大學 *碳酸銨次氯酸鈉浸漬法	含鎳、鉻污泥	實驗室階段
台灣－化工所 *氨浸法	含多種金屬污泥	實驗室階段
日本－日本礦業公司 *融熔法	含多種金屬污泥	商業化
瑞士－SEPC 公司 *高溫融熔法	有毒工業廢料、含多種金屬污泥	商業化
台灣－能資所 *高溫融熔	含多種金屬污泥	實驗室階段

2.B 類污泥（不含鋅）

A 類污泥經鹼性消化過濾後之濾渣（含銅、鎳、鐵、鉻）與 B 類污泥混合攪拌後以硫酸浸洗(leach)，將污泥中之銅、鎳、鉻與其他金屬溶解，亦可同時施行充氣、加溫等程序以加速反應進行。在反應完成後，加入足量之銅粉可以將貴金屬（尤其是銀）沉澱出來，經過濾後，不溶物（硫酸鈣、硫酸鉛、銀）經乾燥可以出售給貴金屬精製商。濾液中含有銅、鎳、鐵、鉻等金屬經蒸餾程序後，濾液中之氯化物、硼酸鹽以 HCl 及 HBO₃ 之形態回收，硝酸鹽則被分解

為 N_2 與 H_2O ，剩餘物經加水，過濾後便可送往鐵回收系統，鐵被轉化成硫酸亞鐵($FeSO_4 \cdot H_2O$)之形式回收後可以售予肥料製造商或水處理公司，鉻則以 $Cr(OH)_3$ 之形態回收並出售給不銹鋼工業。

經鐵、鉻之回收系統後，濾液中僅剩銅及鎳，將濾液利用電解法回收銅，此法可將濾液中之硫酸銅濃度降低至 500 mg/L，而回收陰極銅之純度可達 99%。濾液此時被送往鎳回收系統進行鎳回收，鎳回收係利用蒸發以及結晶法，原理為硫酸鎳之溶解度隨 H_2SO_4 濃度升高而降低。因此，利用蒸發去除濾液中之水份以提高 H_2SO_4 濃度， $NiSO_4$ 因此得以結晶析出。為避免溶液之密度增大而減緩沉降率，此一程序至溶液密度達 50~60 波美(Be')可以視為完成，雖然此時溶液之中尚含有 $NiSO_4$ 存在。蒸發之水份經收集後，可以回用。經過濾清洗後，鎳在其鹽類中之含量約在 23~25%，可以出售給鎳之製造商，剩下之濾液為不含金屬之硫酸溶液濃度達 75%，可以回收用於廠內。

由於進廠處理之廢液或污泥成份變化多端，某些物質例如鈉與鐵會在濾液中累積，因此，需要後處理來去除回收累積之不純物。鈉可以經由蒸發、結晶之方式以硫酸鈉之形態回收，而蒸發之水則可以回收再用。99%的鐵是隨著含鋅污泥一同進入處理廠，只有極少部份會在鹼性消化時溶解，大部份將會進入酸性消化系統。在酸性消化系統中，部份會溶解而以 $Fe_2(SO_4)_3$ 之形態存在，加入 H_3PO_4 後會形成磷酸亞鐵 $FePO_4$ 沉澱，經過濾後再將之轉化成氧化亞鐵出售，其處理流程大致如圖 11.1 所示。

11.2.1.2 氨浸法⁽⁵⁾

氨浸法是以含氨之碳酸鹽溶液為浸漬劑，將氫氧化物污泥中如鎳、銅、鋅、鎘等金屬形成可溶性錯銨碳酸鹽，而被浸漬至溶液中。而鉻與鐵在形成錯銨鹽後會繼續水解，再度形成氫氧化物產生沉澱而留在污泥中，故系統中可溶性鐵、亞鐵、三價鉻之含量極低。

可溶性錯銨碳酸鹽經過濾後，浸漬殘渣部份可經乾燥、煨燒、萃取而資源化成鉻黃與鐵黑產品；而濾液主要是以銅、鎳、鋅之錯銨鹽為主，經通入蒸氣解離後會形成鹼式碳酸鹽沉澱並回收氨，之後加入硫酸溶解形成銅、鎳、鋅的硫酸鹽溶液，再利用已商業化的有機溶劑進行重金屬溶劑萃取，將銅、鎳、鋅予以分離純化成各單一金屬的硫酸鹽溶液，最後再應用結晶技術，將其製成資源化產品，其處理流程如圖 11.2 所示。



第十一章 重金屬污泥資源化技術

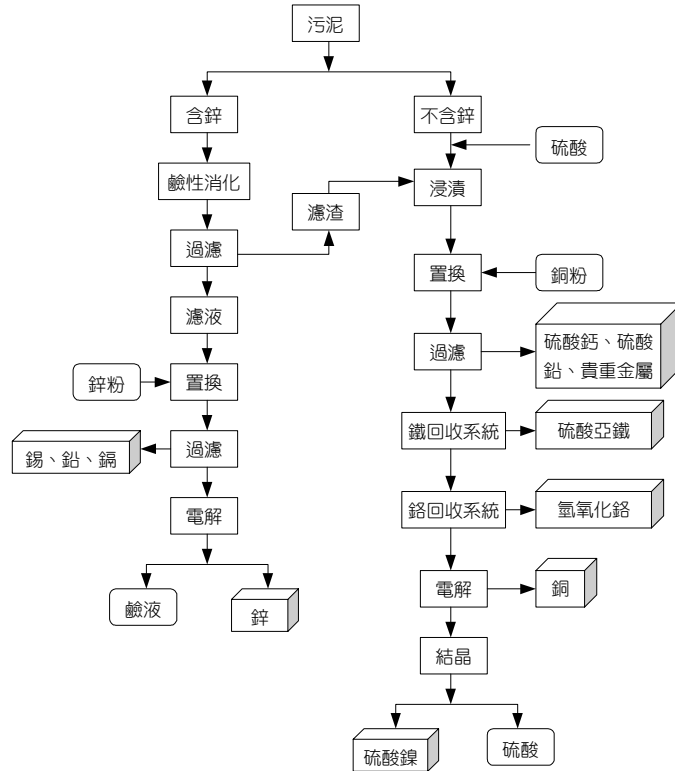


圖 11.1 美國 RECONTEK 法回收重金屬處理流程圖

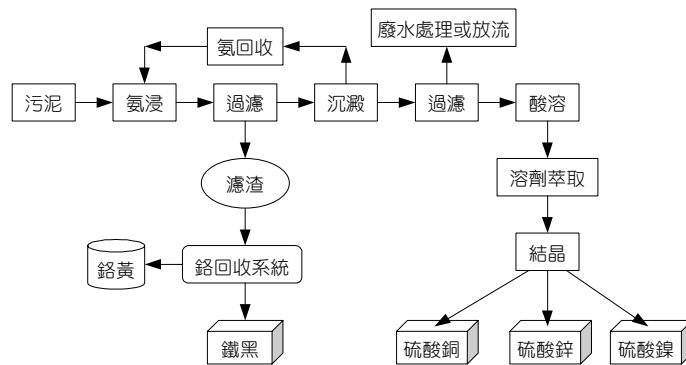


圖 11.2 氨浸法回收重金屬處理流程圖

11.2.1.3 高溫熔融法

係利用高溫熔融將重金屬污泥予以還原熔解而回收污泥中之有價金屬，其處理流程如圖 11.3 所示。此法在日本已有商業化的實廠運轉。

11.2.1.4 微生物回收金屬

以微生物代替傳統的物理化學技術提取電鍍污泥及廢液中之重金屬，此法在中國大陸已進行實廠化運用研究⁽³⁾。從電鍍污泥中獲得之 SRI 功能菌處理電鍍廢液及污泥中之重金屬，可去除 95% 以上的六價鉻、鎳、鋅及鎘金屬。其生物反應器已達 0.5 噸/天之規模。而提取之重金屬再經純化過程則可分別回收各種重金屬。

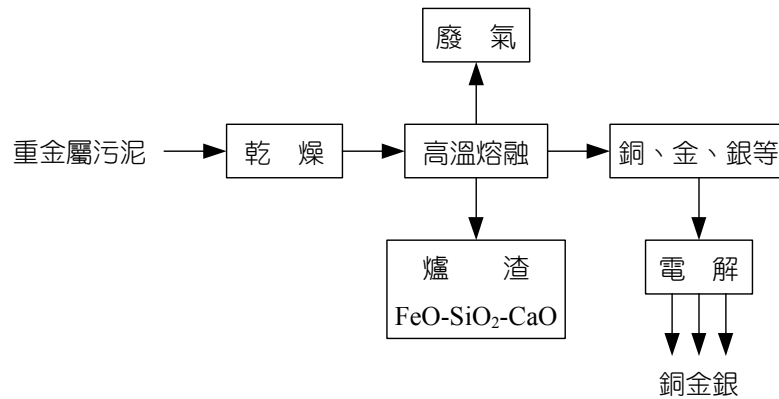


圖 11.3 高溫熔融法回收貴重金屬流程圖

11.2.2 固定化處理技術⁽⁶⁾

11.2.2.1 處理技術概述

固定化處理方法係利用添加化學物質於重金屬污泥中使產生化學反應，化學反應之生成物是一種網狀組織，這種網狀組織不但把重金屬包在裡面而且同重金屬形成物理鍵及化學鍵。由於此二項作用，重金屬很穩定地存在於污泥中，穩定性的強弱視固定化技術的優劣及是否合適來決定。通常處理過的污泥成為具有一



定強度的固化體，固定化處理後之污泥其單位體積之表面積減少，又滲透係數降低，因此有強化污泥保住重金屬的能力，這種將事業廢棄物先施以穩定化處理再加以固化處理的方式被稱為固定化處理，其處理流程如圖 11.4 所示。

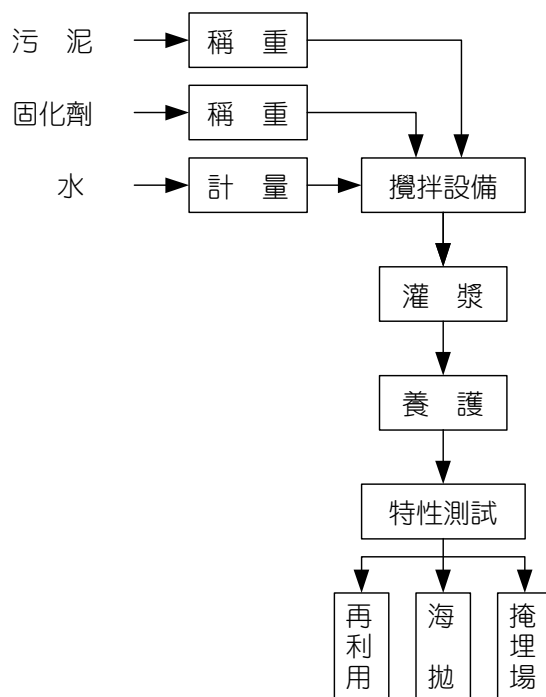


圖 11.4 重金屬污泥固定化處理流程圖

基本上固定化法中之穩定化操作包括沉澱、吸附、離子交換、包圍等方式，通常所產生的沉澱物為氫氧化物、硫氧化物、矽酸鹽、碳酸鹽、磷酸鹽、無機錯鹽及有機錯鹽，這些物質對水之溶解度相當低，因此，可有效地阻止重金屬再進入自然生態環境中。固定化處理過的重金屬污泥其第 28 天的單軸抗壓強度一般可達到 30~500 公斤/平方公分之間，這種高強度固化體可以再利用，重金屬污



泥固化後再利用將於後述說之。

而國內正式商業化之固化劑以台泥公司出品者居多，長久以來，一直是污泥處理的主要利器，其主要成份為矽酸鈣，目前依處理對象之不同而分為下列四種類型：

第一型：適用於一般污泥之脫臭與固化

第二型：適用於處理含重金屬之污泥

第三型：適用於高含水量，高有機物含量污泥之固化或一般污泥快速固化之用

第四型：適用於處理油基性污泥及強酸性廢料之固化

固定化處理技術一般可依固化劑種類之不同而區分成下述五大類：

1. 無機化學系列

此系列技術大部份採用來處理較複雜的無機性事業廢棄物如重金屬污泥，其目的為產生對生態無毒害之固化體之以利掩埋或再利用。此類技術在固定化處理重金屬時，固化劑不但同重金屬產生某種程度的化學反應，同時固化劑本身也發生反應以產生化學上及機械上安定的固體。反應所產生網狀結構的性質視反應劑、催化劑及凝結劑的種類及配比之不同而異，種類好及配比高的反應可產生每平方公分數百公斤強度的固體。

此類技術基本上可分成二種，第一種為有加體積添加劑(bulking agent)，第二種為沒有加體積添加劑。有加體積添加劑的主要功能為增加廢棄物的黏度，並防止重金屬在固化前產生晶析。至於固化劑種類一般可有下列選擇：

- (1) 卜特蘭水泥系
- (2) 卜特蘭水泥／黏土系
- (3) 卜特蘭水泥／飛灰系
- (4) 卜特蘭水泥／可溶性的酸鹽系
- (5) 卜特蘭水泥／石灰系
- (6) 石灰／飛灰系
- (7) 石灰／黏土系



(8)水泥／石灰旋轉爐粉塵系

此類技術的特點為：

- (1)處理費用低
- (2)物理及化學性質穩定性高
- (3)化學添加劑很豐富
- (4)化學添加劑無毒性
- (5)工程操作簡單
- (6)不受紫外線的影響
- (7)對微生物分解的抗性高
- (8)水溶解度相當低
- (9)固化體之機械及結構性優良

此類技術之缺點為：

- (1)不能處理有機性污泥
- (2)滲透係數高
- (3)容易晶析
- (4)耐候性不很好

2.有機化學系列

基本上此類技術僅可處理有機性污泥及輻射性污泥，對一般工業所產生之重金屬污泥則效果不佳。此系列技術大體可分成二大類—熱塑膠及熔融系以及聚合物系。

(1)熱塑膠／熱熔融系

此類技術所使用之固化劑有瀝青、聚乙烯等，當採用此方法處理有機或輻射性廢棄物時，首先熔融固化劑，然後倒入廢棄物並加入混合，當固化劑凝固時則把廢棄物包在其網狀組織中，廢棄物所含有的水份在高溫時已蒸發。

(2)聚合物系



利用有機物單體之聚合把廢棄物包在聚合物中之網狀組織係此項技術的精華，所使用的有機物單體固化劑有甲醛尿素單體，丁二烯單體等，當使用此技術處理廢棄物時，先讓有機物單體固化劑產生聚合而後倒入廢棄物，充分混合讓廢棄物均勻分散在聚合物的網狀結構中。

此類技術有下列缺點：

- 處理成本高
- 在紫外線環境下固化體易分裂呈不穩定狀態
- 容易受微生物之分解而分裂
- 不能處理無機廢棄物

3. 無機／有機化學系列

有鑑於無機化學系固定化技術不能有效處理有機污泥而有機化學系固定化技術不能處理重金屬污泥，本技術的發展係為克服上述缺點而使用二種固化劑，固化劑甲係無機化學物質用以處理重金屬，固化劑乙係有機化學物質用來處理有機污泥。這種技術的特點為：

- (1) 廢棄物處理成本低
- (2) 固化劑可以簡單、方便且大量地在市場上買到
- (3) 固化劑無害且化學及物理性質穩定
- (4) 處理操作簡單
- (5) 不受紫外線及微生物之影響
- (6) 水溶解度非常低
- (7) 滲透係數低，一般在 1~10 公分／秒之間
- (8) 固化體單軸抗壓强度高
- (9) 固化體之機械及結構性優良
- (10) 固化體之物理及化學性質隨時間之增加而增強

4. 非化學物質系列



此類技術並不添加任何化學物質，僅是利用物理方式來處理廢棄物。

5. URRICHEM 固定化技術

任何一種優勢的固化技術其所產生的固化體必須具備有六種特性，這些特性是低溶解性，高密度，低自由水量，低滲透係數，高抗壓強度和強耐候性。這些特性可由添加適當的添加物來達成。這些添加物可能是飛灰或是矽石粉，添加物的作用為 C-H 反應產生 C-Si-H (含水膠狀矽酸鈣)，這些 C-Si-H 添充了結晶結構中的空隙因而降低了固化體的空隙。然而若在上述反應中不添加 URRICHEM (URRICHEM 固化技術的固化助劑) 時矽粉將釋放出自由矽酸鹽加速膠質合成速率，這種現象俗稱快速沉凝 (flash setting)，快速沉凝現象造成結構之不均勻並減低固化體之抗壓強度及增加滲透係數。因而固化體容易風化及龜裂造成二次污染。

URRICHEM 固化技術係利用固化劑及固化助劑來達成固化有害廢棄物使之無害化的目的。固化劑是用卜特蘭物質—水泥、爐渣、爐灰、水泥旋轉窯灰、石灰旋轉窯灰、飛灰、矽酸鹽等。固化劑的作用係把有毒廢棄物變成水泥狀的硬塊來達成巨視上非移動的目的。固化助劑 (URRICHEM) 係無害的有機物及無機物的混合物，它具有緩慢及加速的作用。URRICHEM 中之緩慢劑增加廢棄物之粘度，它是一種相當有效的粒子潤滑劑，用來增加廢棄物的均勻度並減低水泥化反應，以消除快速沉凝之發生。URRICHEM 中之加速劑，則於廢棄物混合均勻後加速其化學作用的進行。換句話說固化助劑 (URRICHEM) 的作用係有效地控制水泥化反應速度，使反應均勻，產生完美的結晶體，同時配合固化劑產生網狀的物理及化學力量把有害廢棄物強列地吸附在結晶格子內。對這種作用來講，固化助劑具有安定化的作用。

基於上述特點，URRICHEM 固化技術係一種具備有理論及實際基礎的固化／安定化技術，它可以同時固定化處理液體、泥狀及固體有機及無機廢棄物，產生水泥狀的結塊，所產生結塊的密度及抗壓強度皆比傳統固化技術之固化體高。因而固化體之溶出速率及滲透係數甚低。一般來講，高密度之固化體具有較低滲透係數及高抗壓強度，又因其體內之裂縫較少，因此減少龜裂分化之可能性，也就是說減少造成二次公害的可能性。

廢棄物處理再利用已有數千年的歷史，最早有歷史記錄之廢棄物再利用可遠溯至古羅馬時代，當時人類利用火山灰、石灰摻加細砂合成砂漿建材。火山灰係卜特蘭物質(pozzolanes)，卜特蘭物質為不具或微具水泥性質的矽氧化物及鋁氧化物，在常溫下，卜特蘭物質能和鹼與鹼土族金屬的氫氧化物化學反應而呈水泥硬化性，這種反應也即是所謂的卜特蘭反應(pozzolanic reaction)。廢棄物處理後再利用在近十年很廣泛地被研究著，廢棄物經過適當處理後可以改良廢棄物的物理及化學特性，並增加固化體的機械特性，因此可廣泛地被利用。

1. 低級再利用

基本上重金屬污泥經過初級處理過後，其單軸抗壓強度在 10~30 公斤／平方公分之間，此時的固化體可利用在：

- (1) 低凹地填土
- (2) 海岸線之填海造地
- (3) 道路及建築物之初級級配
- (4) 其他環保再利用

處理過固化體之單軸抗壓強度在 10 公斤／平方公分（在美國須在 50 磅／平方公分）以上即可陸地掩埋。美國環保署(U.S.EPA)准許超級基金計劃下之廢棄物經適當處理過後合乎環保要求時可以掩埋在原儲存廢棄物之凹地，海岸線之填海造地也在數十年前被採用，最具體的例子有日本大阪灣之掩埋以建造機場以及台電公司興達發電廠之飛灰及底灰填海。廢棄物經處理過後不但可以造就可用之地並可避免拋棄造成二次公害污染。

人造碎石或初級級配之製造技術遠在民國 50 年代英國及美國即有人開始研究以飛灰來製造，此種技術製成之人造碎石粒徑在 1/4 吋至 2 吋之間具有 30~120 公斤／平方公分之強度。

在環保應用方面，美國 New Jersey 理工學院研究發現飛灰及天然黏土所製成之吸附材能有效地應用於工廠廢水處理移除廢水中之重金屬、有毒陰離子以及有機物，其處理成本僅為傳統活性氧化鋁之 10%。紐約州立長島大學及佛羅里達州立理工學院研究進行以飛灰固化處理下水道含油污泥，結果顯示利用發電廠之廢棄物—飛灰可以非常有效地把有機物(油份)固定化，結果對環境不再造成污染。



飛灰含有豐富的矽、鐵、鋁及氮之氧化物，台電電力研究所曾於民國 69 年研究飛灰對土壤改良之影響，結果發現用飛灰改良黏質土壤及砂質土壤，確實可改良土質進一步增加稻米產量。

2. 中級再利用

廢棄物如重金屬污泥經過中級處理過後，其單軸抗壓強度在 30~120 公斤／平方公分之間，這些固化體可利用於：

- (1) 低抗壓強度磚塊
- (2) 防風牆
- (3) 其他

重金屬污泥混以飛灰水泥可以製成磚塊，如果添加特殊的固化助劑則磚塊品質更好，強度更高。美國及日本利用固化技術處理電廠排煙脫硫系統所產生之副產品—石膏泥。固化品可製成磚塊，圍牆或低抗壓強度之人工漁礁，強度在 30~40 公斤／平方公分之間，美國長島大學曾製成此強度之人工漁礁並投入海灣中，數年的成果追蹤顯示效果相當地滿意。

3. 高級再利用

廢棄物經過高級處理過後，其單軸抗壓強度在 120 公斤／平方公分以上，這種高強度產品可利用於：

- (1) 高強度人工漁礁
- (2) 消波塊
- (3) 防波堤
- (4) 道路
- (5) 廣場及停車場

中華民國首次高強度人工漁礁係由台電電力研究所、高雄縣政府、中研院及海洋學院共同開發，所製作之人工漁礁其 28 天抗壓強度為 100 公斤／平方公分，抗壓強度在一年後增加至 200 公斤／平方公分以上。所製成之人工漁礁於民國 73 年 6 月 14 日投放於興達港，人工漁礁之形狀為 30 公分正立方形，民國 74 年 8 月更投放筒型 7 噸級漁礁及堡型 20 噸漁礁，經追蹤結果良好。由於抗壓强度高，利用層面廣，可更為深廣利用，如利用加壓成型可製成空心磚、行

道磚等水泥製品，利用灌漿澆置，則可製造大型人工漁礁、消波塊及防波堤，利用滾壓施工則可做道路、廣場及停車場等。

11.2.2.3 燒結固化⁽⁷⁾

固定化處理技術除傳統以添加固化劑或固化助劑進行固化處理外，尚可利用高溫燒結或熔融技術，使廢棄物變成有用之資源化產品，如陶瓷顏料、耐火磚等，其資源化處理流程如圖 11.5 所示。

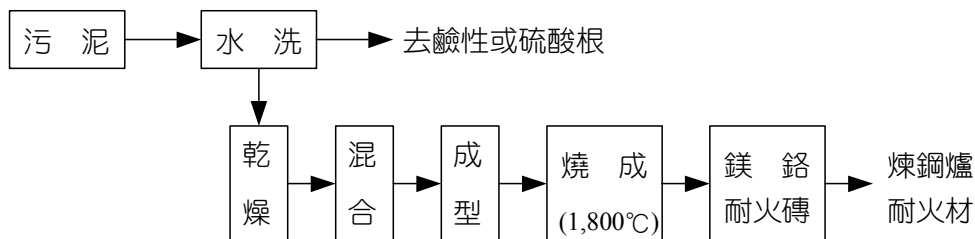


圖 11.5 鉻污泥製造耐火磚流程圖

11.3 重金屬污泥資源化技術評析

重金屬污泥資源再生技術之特性如表 11.4 所示。由表中可看出以固化方式作為重金屬污泥之資源再生技術已相當成熟且經濟，因此也是目前國內最多業者所使用的方式。但是由於固化方式是使金屬穩定地存在於它種物質中，因此除了污泥體積變大外，且金屬元素無法再回收使用，故此一技術並非最佳的資源回收方法，為因應此一原因，近年來已開發出許多分離技術，雖然可以回收大部份的金屬元素再使用，但這些技術不是處理費用偏高，就是尚在實驗模廠階段，目前仍無法大規模的應用。

表 11.4 重金屬污泥資源化技術評析

技術名稱	原理、流程	適用對象	成品與適用範圍	技術成熟度與實績	特點(含應用限制)
安定化	固定化	重金屬污泥、油泥	被覆土	已商業化	
固化	固定化	含多種重金屬污泥、有害廢棄物及受污染土壤處理	1.磚 2.人工漁礁	已商業化 •松聖、中聯爐石 •URRICHEM (美國) •電力所(中華民國) •美國長島大學 •日本	1.物理及化學性質穩定性高 2.化學添加劑種類多 3.工程操作簡單 4.設備投資低、維修簡單 5.處理費用低 6.資源回收效益低
燒結	固定化	單一重金屬污泥	陶瓷顏料、耐火磚	—	1.資源回收效益高 2.不適合混合形態污泥 3.操作費用高，國內未有適合冶煉廠
置換法	分離	多種成份之重金屬污泥	銀、鉛、鎘、錫、銅、鋅、硫酸鈣、硫酸鉛、硫酸鎳、氫氧化鉻、硫酸亞鐵	商業化 •RECONTEK CO. (美國)	1.可得相當純淨的各類金屬元素 2.浸漬液(酸鹼)可回收連續使用
氨浸法	分離	多重成份之重金屬污泥	鉻黃、氧化鐵、硫酸銅、硫酸鋅、硫酸鎳	模廠試驗 •MX-PROCESSOR Reinhardt & co. (瑞典) 商業化 •中國大陸 實驗室階段 •中華民國	1.資源化市場成熟、處理彈性大 2.有發生二次污染之虞 3.氨、硫酸、萃取劑皆可於製程回收再用 4.適合處理 0.1%以上高濃度重金屬污泥
微生物回收金屬	分離	多種成份之重金屬污泥	鉻、鎳、鋅、鎘等金屬回收	模廠試驗階段 •中國大陸	1.可以回收 95%以上的鉻、鎳、鋅及鎘
高溫熔融法	分離	多重成份之重金屬污泥	1.鉻、鎳、鋅、鎘、銅、鐵等金屬回收 2.玻璃態固體、建材、藝術品	商業化 •日本礦業 •瑞士 SEPC 公司 實驗室階段 •中華民國	1.處理污泥形態廣泛，設置、操作費用高 2.氯、氫化合物含量要低於 1,000mg/L 3.不能含有 Hg、F



參考文獻

1. 工業污染防治技術服務團計畫專案，工業廢棄物處理現況調查及資料建立，經濟部工業局，1995~1998。
2. 行政院環保署，公民營廢棄物清除處理機構基本資料，1998。
3. 謝哲雄等，污泥資源化回收再利用技術研討會議義，經濟部工業局，1993。
4. 京華環境工程公司，電鍍污泥回收金屬資源化示範計畫，行政院環保署，1994。
5. 楊維鈞等，印刷電路板製造廠含銅污泥資源化技術研究，1995 國際工業減廢技術與策略研討會，pp.625-634，1995。
6. 楊金鐘，固化及穩定化技術於廢棄物處理之應用，化工技術，第 3 卷第 6 期，pp.138-148，1995。
7. 周欽隆，重金屬污泥與紅磚土混合燒成之探討，第十屆廢棄物處理技術研討會論文集，pp.479-484，1995。
8. 工業污染防治技術服務團計畫專案，事業廢水無機污泥共同或聯合處理規劃及推動專案報告，經濟部工業局，1994。



第十一章 重金屬污泥資源化技術



第十一章 重金屬污泥資源化技術



第十一章 重金屬污泥資源化技術

第十二章 廢酸資源化技術

12.1 前言

酸為多種工業製程之基本化學原料，其功能隨著不同製程而有所差異，在金屬工業、電子工業及玻璃製品工業等主要係應用於物件表面之加工處理；在石化、化學及化工製品等行業則多應用於消耗性原料與反應製程用途，故當製程所使用之酸因溶入雜質或反應後失去了原有的特性或功能時，即稱之為廢酸。

國內廢酸之產生源種類極為多樣化，而其特性亦隨產生源之不同而各有差異，如廢酸中自由酸濃度高低、有機物種類及濃度、金屬種類及濃度、及兩種以上酸液混合等，一般常見廢酸可概分為廢鹽酸、廢硫酸、廢硝酸、廢磷酸、廢氫氟酸、廢醋酸及廢混酸等七大類。

表 12.1 所示為產生各種廢酸之主要行業⁽¹⁾，就表面處理加工使用後而產生之廢酸而言，國內較具規模或較常見之產生源為鋼鐵材料壓延及製品加工之酸洗製程；積體電路之清洗、去光阻及蝕刻製程；印刷電路板之酸性蝕刻、微蝕、剝錫鉛及剝掛架製程；而部份石化中游業於產品生產製程中，雖無使用酸液為原料，但伴隨反應發生，亦會產出所謂廢酸之副產物。

雖然廢酸的特性隨著產生源之不同而異，但其資源回收再生技術大致可區分為噴霧焙燒法、流動床焙燒法、擴散透析法（薄膜透析）、樹脂吸附法、真空蒸餾法、硫酸置換法、冷卻結晶法、溶劑萃取法及加水分解法等方法，且不同性質的酸則有不同的回收處理技術，以下僅就相關技術及適用酸種類概述之。

表 12.1 產生各種廢酸之主要行業

種類	行業	金屬工業				電子工業			化學製品業				石化 中 游 業
		鋼 鐵 壓 延	五 金 酸 洗	金屬 加工 處理	金屬製 品零 件	半 導 體	被 動 元 件	印刷 電 路 板	製 藥	染 顏 料	界 面 活 性 劑	填 縫 接 著 劑	
硫酸		●	●	●	●	●	●		●	●		●	
鹽酸		●	●	●	●	●	●	●	●		●	●	
硝酸		●	●	●		●	●	●	●				
氫氟酸		●	●	●		●	●						
醋酸									●		●	●	

12.2 廢鹽酸及廢硫酸回收技術^{(2) (3)}

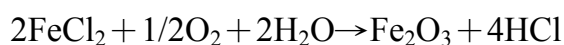
12.2.1 鋼材酸洗廢酸

鋼材之酸洗向來以採用硫酸為主，但因其容易產生污跡，使表面光澤喪失成為灰暗色，而若以鹽酸替代硫酸則可減少污跡量，呈顯金屬光澤，酸洗速度亦可加速，因此，近年來鋼材之酸洗已大多改用鹽酸進行酸洗作業。

12.2.1.1 噴霧焙燒法(Spray-roasting 或 Ruthner 法)

1. 處理原理

噴霧焙燒法是將廢鹽酸中所含氯化亞鐵，利用高溫方式將酸液中的鹽酸予以蒸發，再經吸收塔吸收後得到純度相當高的鹽酸(16~18%)而予以回收再利用，至於氯化亞鐵則分解氧化成三氧化二鐵(Fe₂O₃)用於製造磁鐵原料或電子工業肥粒鐵(ferrite)原料、顏料等用途。其反應式如下：



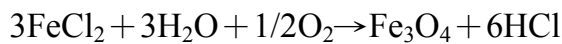
2.處理流程

噴霧焙燒法係由英國 Nordac DIV.開發的基本技術所衍生，再由奧國之 Ruthner 公司與美國之 Dravo 公司完成工程化所共同建立的技術，其處理流程如圖 12.1 所示。廢酸係用加壓噴嘴以霧狀分散進入焙燒爐中，經 800°C 的焙燒反應後完全蒸發，廢酸分解形成 HCl 氣體與 Fe₂O₃ 微粒，HCl 氣體於吸收塔中以水吸收，回收 16~18% 的再生鹽酸（回收率約 95%），而 Fe₂O₃ 微粒則經由集塵設備收集，並依純度品質差異而分別用於製鐵原料或電子工業用肥粒鐵原料。

12.2.1.2 流體化床焙燒法(Fluidized bed roasting)

1.處理原理

流體化床焙燒法原理類似噴霧焙燒法，其最大差異為 FeCl₂ 之熱分解反應係在流體化床的氧化鐵顆粒介質表面上進行，所以氧化鐵顆粒直徑會逐漸成長，通常其直徑將達 1mm 左右，故較易收集，而氧化鐵成份主要為 Fe₃O₄ 及 Fe₂O₃ 之混合形態。其主要反應式如下：



2.處理流程

流體化床焙燒法處理流程如圖 12.2 所示。廢酸液供給為一般噴注方式，故無需使用高壓泵，但由於需造成流體化現象，故需使用高壓鼓風機，廢酸（含鐵 110~140g/l，游離酸 3~5%）以噴注方式打入流體化床內，並以高壓鼓風機造成床體流體化狀態。在反應過程中所形成的氧化鐵即為流體化床的一部份，當形成較大顆粒的氧化鐵會沉積於爐底並適時排出收集，而形成之 HCl 氣體及水蒸氣經旋風分離機送至蒸發塔，藉由文氏洗滌器作用與廢酸液進行熱交換，使廢酸液先進行濃縮後再送入焙燒爐，另一方面 HCl 氣體及水蒸汽之溫度降低至約 100°C，隨後再以吸收塔將 HCl 氣體吸收回收 16~18% 的再生鹽酸。

12.2.1.3 擴散透析法

1.處理原理



擴散透析法係利用薄膜只透過溶質而不透過水的特性，將高濃度的廢液注入一側，而另一側則注入清水，使薄膜兩側造成濃度差的驅動力，使廢酸的游離酸能滲透遷移至清水側，而達到回收酸液的目的。其特點為不消耗電能且操作管理簡單，一般回收酸的薄膜係採用陰離子交換膜。

2. 處理流程

擴散透析法處理流程如圖 12.3 所示。首先將廢液由貯槽中以泵抽出，經過濾器來濾除廢酸中的雜質後，再打入擴散透析器之一邊，另一邊則注入清水，其間利用濃度擴散作用及薄膜的選擇性，使酸根離子（如 SO_4^{2-} ， SO_3^{2-} ， Cl^- ， NO_3^- 及 F^- 等）能通過薄膜而達到酸回收的目的，至於剩餘的廢液則可交由廢水處理廠來處理或其他回收技術來回收所含的重金屬。

12.2.1.4 真空蒸餾法

真空蒸餾法係在減壓操作下，將廢鹽酸加熱沸騰，使水及 HCl 餾出後，再以冷凝器將其冷凝回收鹽酸液，另外可以獲得約 35% 濃度的 FeCl_2 溶液，在此溶液中加入 Cl_2 使其發生加氯氧化反應，即可產生 FeCl_3 溶液，並可將其再利用為廢水混凝劑、金屬表面蝕刻劑及相關用途等。真空蒸餾法之處理流程如圖 12.4 所示，本法可回收高純度的鹽酸，但其僅能回收自由態的鹽酸，並且需用大量熱能蒸餾；另加氯氧化反應時應設置氯氣阻絕系統，以避免氯氣不慎洩漏所造成之嚴重污染。

12.2.1.5 樹脂吸附法

樹脂吸附法核心技術係利用一特殊吸附酸之樹脂，裝於吸附塔內，當含有金屬離子及剩餘自由酸的廢酸液通過樹脂床時，樹脂即吸附廢酸中的自由酸，殘留的酸液及金屬離子則排出塔外。當樹脂吸附飽和，再以軟水將吸附飽和酸之樹脂沖洗，以回收酸。圖 12.5 所示為樹脂吸附法流程圖。

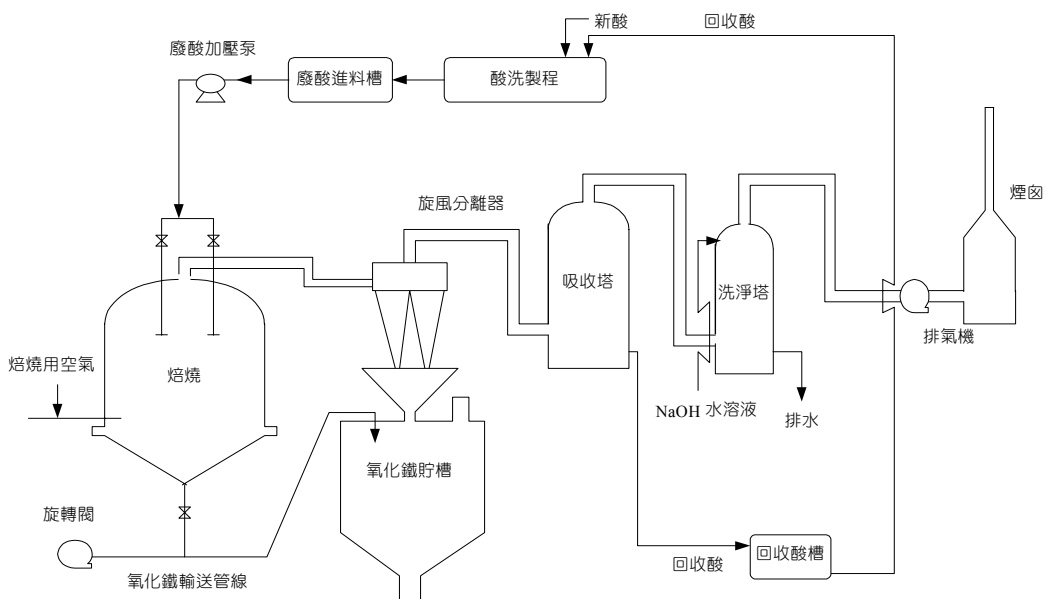


圖 12.1 噴霧焙燒法處理流程圖(Nordac 法)

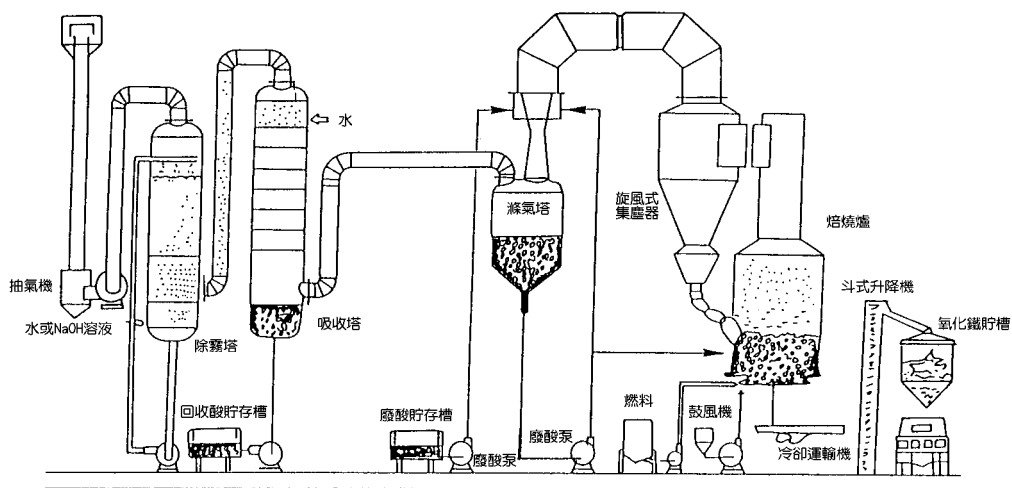


圖 12.2 流體化床焙燒法處理流程圖(Lurgi 法)

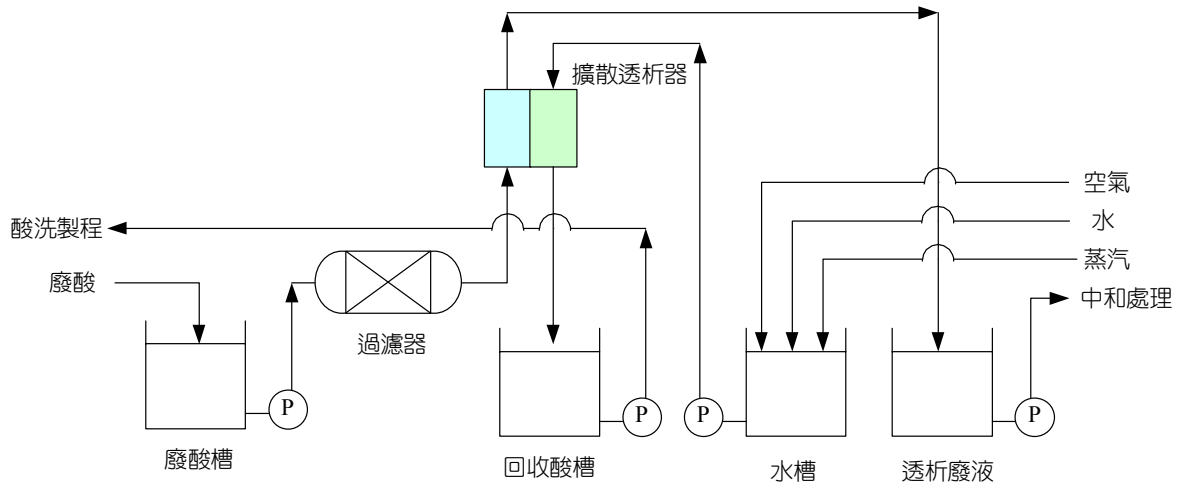


圖 12.3 擴散透析法處理流程圖

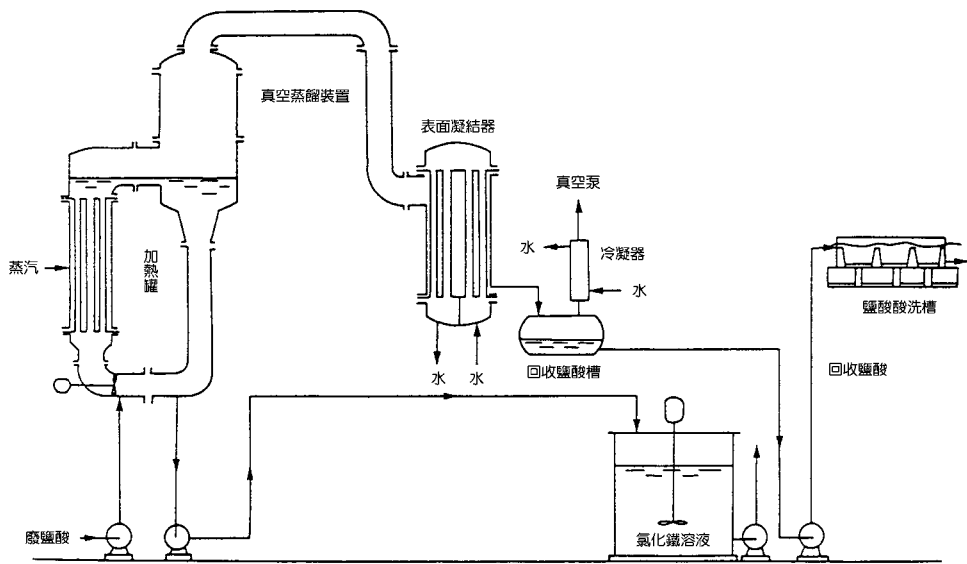


圖 12.4 真空蒸餾法回收廢鹽酸流程圖

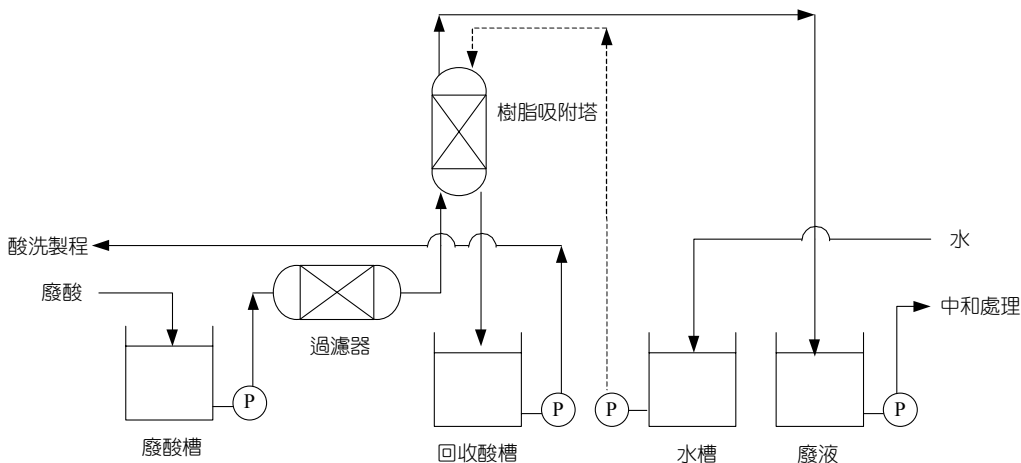


圖 12.5 樹脂吸附法處理流程圖

12.2.1.6 硫酸置換法

圖 12.6 所示為硫酸置換法回收廢鹽酸的流程圖。在廢鹽酸中加入硫酸，使其與廢鹽酸中的氯化亞鐵發生複分解反應，反應如下：

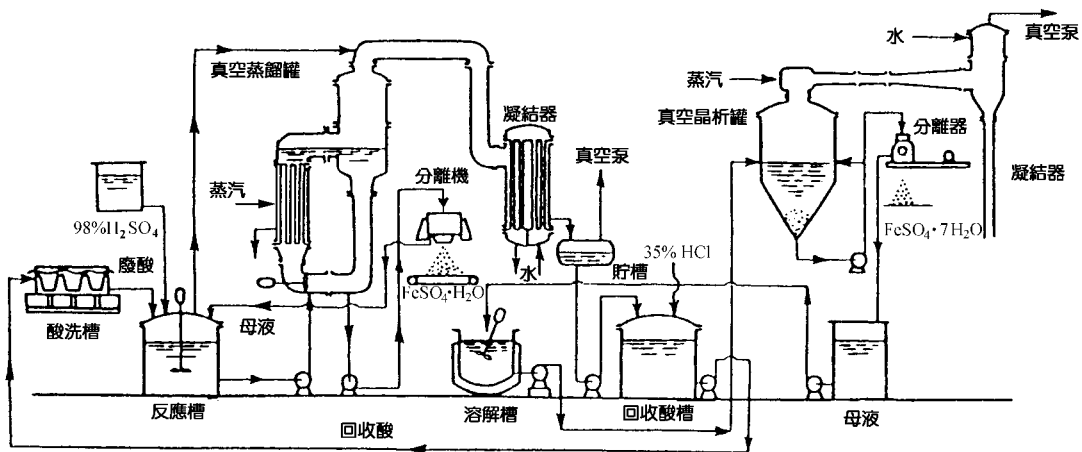
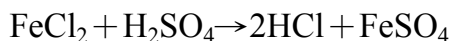


圖 12.6 硫酸置換法回收廢鹽酸流程圖



反應後之酸液導入真空蒸餾裝置，利用減壓操作使水及 HCl，蒸餾出後，再以冷凝器將其冷凝回收鹽酸，回收之鹽酸濃度可達 18~35%。另在真空蒸餾罐底可回收 $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 結晶，此結晶經溶解，再利用真空晶析罐再度結晶，則可製取 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 。

本法與前述之焙燒法不同，其可用比常溫稍高的溫度，且在完全密閉的裝置內以濕式進行反應，而回收純度極高的鹽酸，這是優於焙燒法的特徵；此外本法亦可應用於處理廢鹽酸、廢硫酸混合液回收鹽酸及硫酸亞鐵。圖 12.7 所示為例，廢鹽酸及廢硫酸在反應槽進行複分解反應，此反應生成的 HCl 與廢酸中原有的 HCl 及水分成為蒸氣後，以冷凝器將其冷凝成為約 20% 的鹽酸，反應槽殘留液送至真空蒸餾裝置，經蒸餾、濃縮、真空過濾後，即可分離回收 50~60% 硫酸及 $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 。

12.2.1.7 冷凍結晶法

1. 處理原理

冷凍結晶法係利用冷凍機將廢硫酸液降至 0°C 以下，使廢酸中之 FeSO_4 結晶成 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 而達到分離效果，如此即可回收純淨的酸液。

2. 處理流程

冷凍結晶法之處理流程如圖 12.8 所示。係將廢酸送入結晶機中將酸液溫度降至 0°C 以下，使 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 結晶析出，再以離心分離機將其分離，即可回收濃度 20~35% 的硫酸。

12.2.2 鋁材表面處理廢酸

鋁材表面處理業產生之廢硫酸大部份來自陽極氧化程序。而此類廢硫酸回收方式亦可採用與鋼材酸洗廢酸回收相同的真空濃縮法。圖 12.9 所示為真空濃縮法回收廢硫酸流程圖。廢硫酸經收集後抽入真空濃縮罐中進行濃縮，濃縮液再經由晶析罐使形成硫酸鋁結晶，最後利用離心分離機將硫酸及硫酸鋁結晶分離。硫酸再送回製程使用，硫酸鋁則可供為水處理凝集劑。

對於含鋁之廢鹽酸亦可直接真空濃縮使形成氯化鋁結晶，分離出的氯化鋁則可作為生產多元氯化鋁(PAC)的原料。

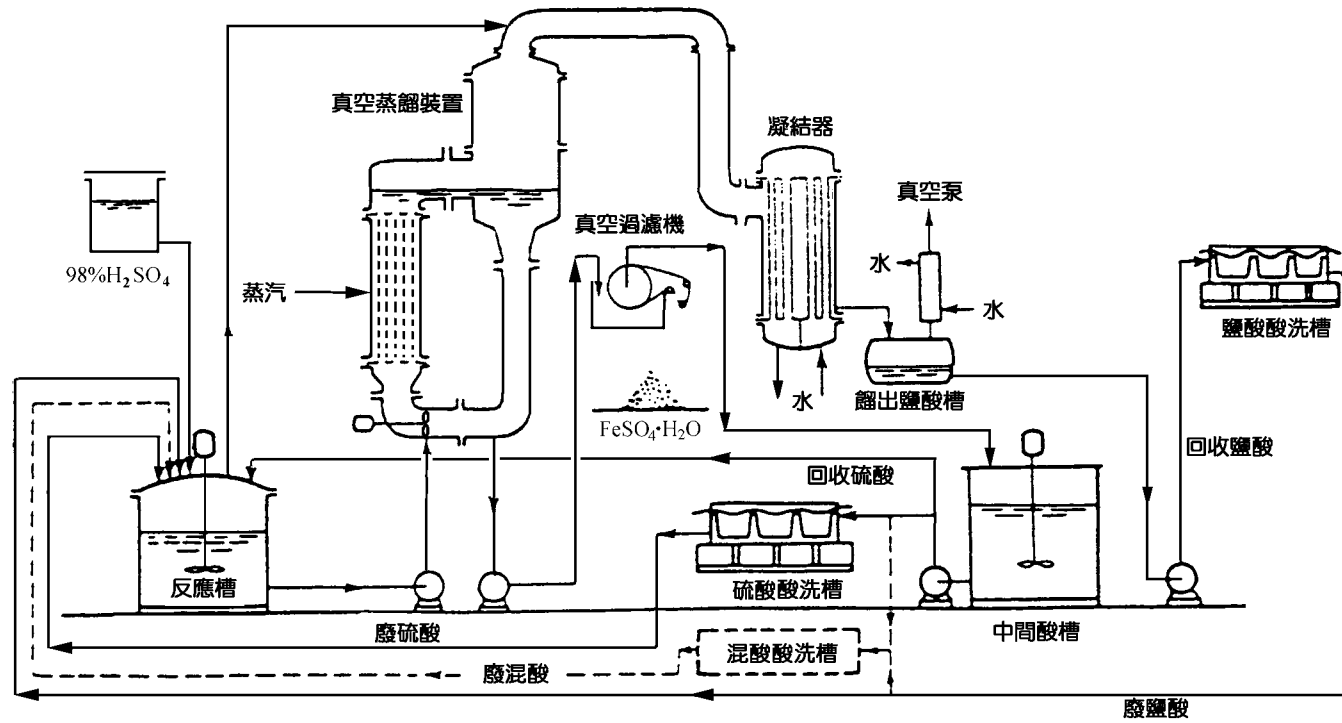


圖 12.7 硫酸置換法回收廢混酸(鹽酸、硫酸)流程圖

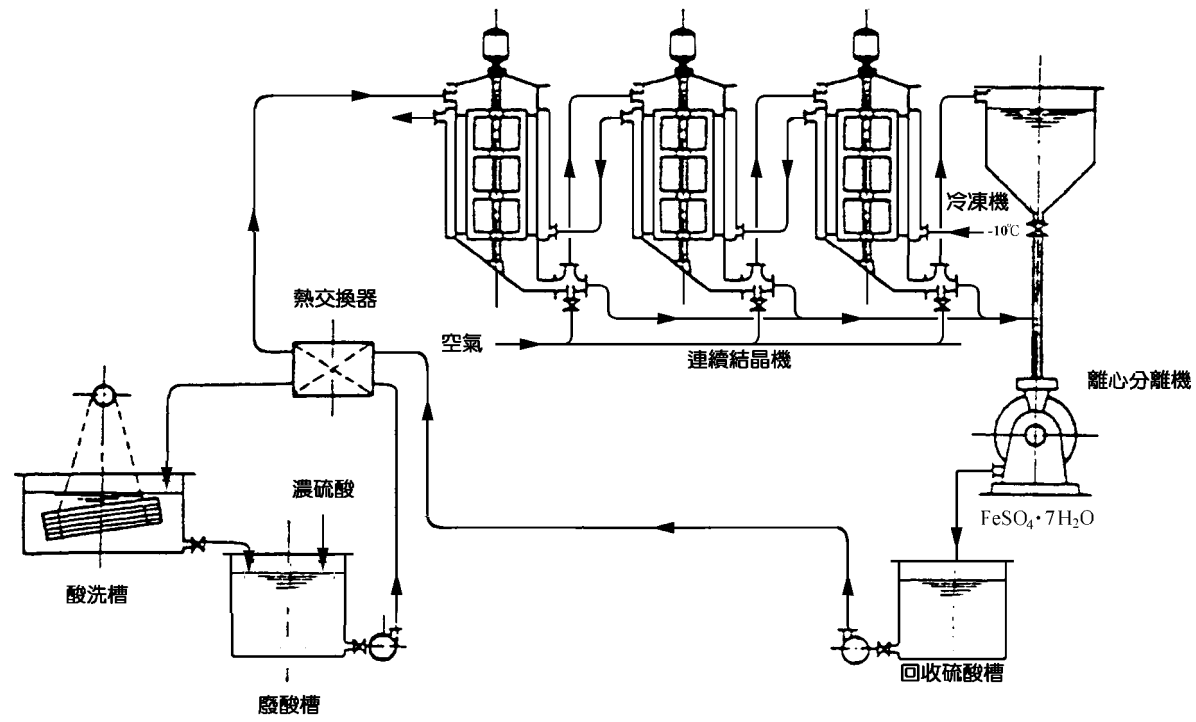


圖 12.8 冷卻結晶法回收廢硫酸流程圖

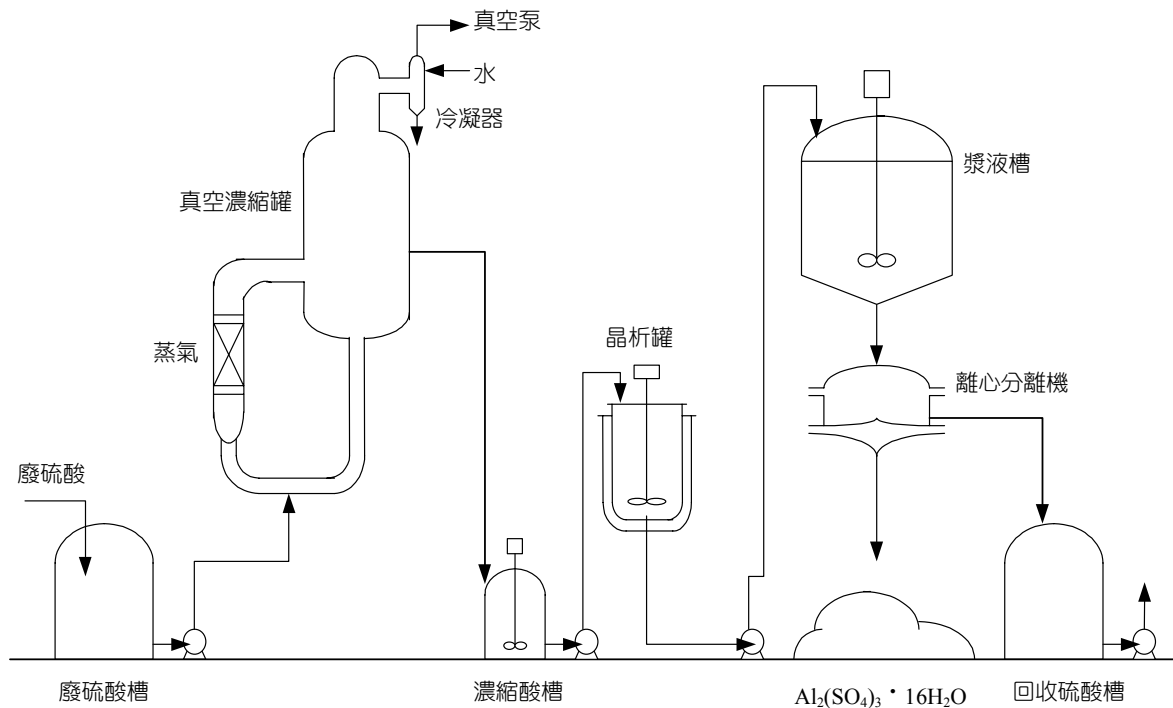


圖 12.9 真空濃縮法回收含鋁廢硫酸流程圖

12.2.3 石化業廢酸

石化業製程副產物之廢硫酸中，除硫酸成份外，其餘雜質主要為有機成分，因此其回收技術主要考量以燃燒法將其中之有機雜質完全燃燒去除，而硫酸被分解後，再利用觸媒接觸轉化吸收技術將其再回收。圖 12.10 所示為燃燒接觸法回收廢硫酸流程圖。工廠產生之廢硫酸經蒸發罐將較低沸點之有機物蒸發分離並冷凝回收，殘留之廢硫酸則送入燃燒爐予以燃燒分解，產生主要含有 SO_2 成分的高溫氣體，經廢熱鍋爐回收高壓蒸汽並供為發電及廠內使用蒸汽後，再經驟冷塔、靜電集塵機及乾燥塔分別處理後，即送入轉化反應爐中，藉由觸媒催化反應將 SO_2 轉化成 SO_3 ，再將此含大量 SO_3 之氣體送入吸收塔中，以硫酸將其吸收回收成濃硫酸及發煙硫酸。

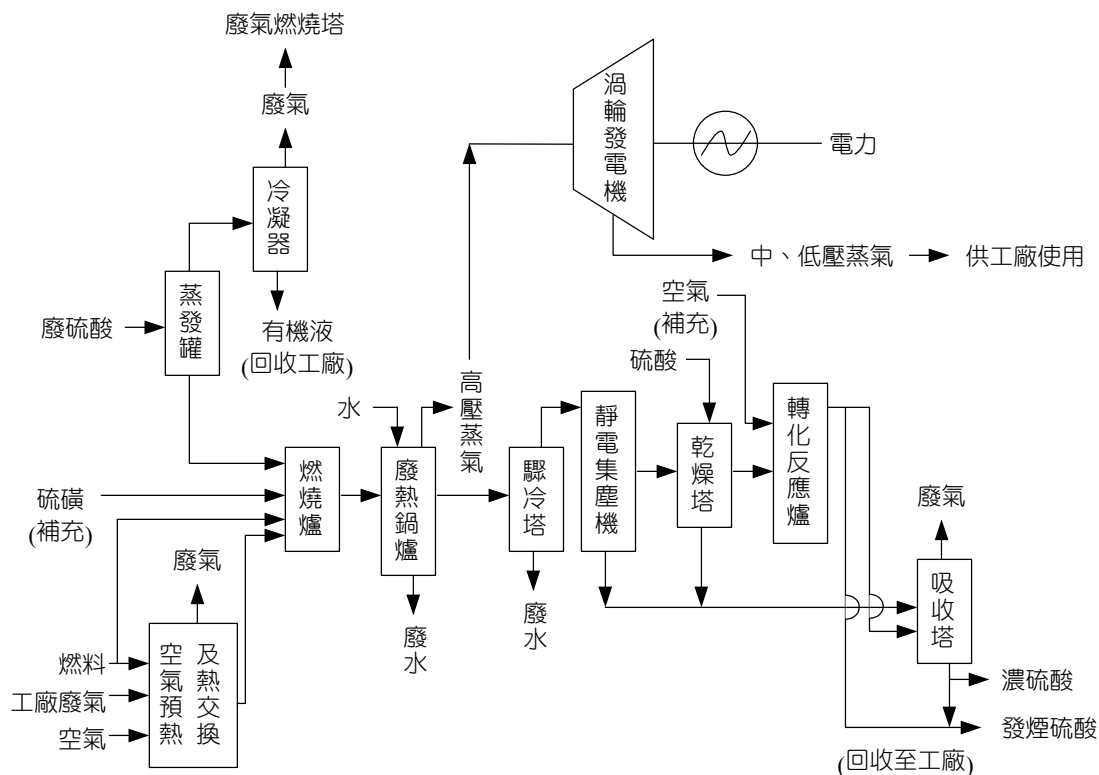


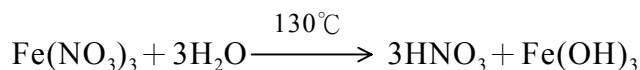
圖 12.10 燃燒接觸法回收廢硫酸流程圖

12.3 廢硝酸及廢氫氟酸回收技術⁽²⁾⁽³⁾

12.3.1 鋼材酸洗廢酸

12.3.1.1 加水分解法

鋼材酸洗一般使用硫酸或鹽酸作為酸洗液，但在塗裝、電鍍、包層、熔射等塗（膜）層處理前，須做適當的表面粗化處理，因此經常單獨使用硝酸。而其產生之廢酸主成分為 HNO_3 與 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 。如為游離酸則與廢鹽酸一樣以單純蒸餾法即可回收硝酸，但因 NO_3^- 大部分成為硝酸鹽，此時對全部 NO_3^- 之回收效果並不理想，然而 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 在高溫水溶液中加熱即容易發生加水分解反應，其反應如下：



所以將比重 1.6 以上的 $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 溶液加熱至約 130°C ，則游離硝酸和與 Fe 結合之 NO_3^- 成份全部都能以 HNO_3 回收，因此硝酸之回收率極高。

又如不銹鋼之酸洗廢酸， HNO_3 混有 HF 時，同樣可用本法回收處理。但生成之 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 有部分與 HF 反應生成 FeF_3 ，故 HF 之餾出量少，只能回收 HF 量約 10% 而已。但將析出的沉澱物經過濾後並加熱至 400°C 以上，即可回收 FeF_3 中全部的 HF。

12.3.1.2 直接蒸餾晶析法

首先將廢酸中多餘之水分蒸餾濃縮，繼續加熱蒸餾使部份 HF 及 HNO_3 和水一起餾出後，以冷凝器將其冷卻回收。在蒸餾後殘留之高濃度氟化物濃縮液中添加 HF，使其與氟化物充分反應後，冷卻使 Fe 及 Cr 分別以 $\text{FeF}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 及 $\text{CrF}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 結晶析出，利用結晶分離機將結晶及濾液分離，濾液回補至前述餾出酸調整濃度即為回收酸。

最初之所以要做水分蒸餾濃縮，係為保持水量平衡，避免在以蒸汽直接加熱時因蒸汽冷凝而增加水分。本法 HF 之回收率約在 30% 左右，主要原因為 HF 大部份成為金屬氟化物並以結晶方式排出系統。

12.3.1.3 硫酸置換法

加水分解法及直接蒸餾晶析法兩者，對於硝氟廢混酸中硝酸之回收率雖然都較高，但是氫氟酸之回收率則較低。由於氫氟酸比硝酸價值更高，故提高氫氟酸回收率則較有利益。利用與廢鹽酸回收處理之相同原理，在硝、氟廢混酸中添加硫酸，使混酸中之金屬鹽與硫酸反應產生複分解反應，產生之游離硝酸及氫氟酸再予以蒸餾回收。

12.3.1.4 溶劑萃取法

溶劑萃取法係利用廢酸中之酸在溶劑中選擇性溶解移動，將之分離回收。主要對象為用於不銹鋼酸洗含大量重金屬的硝酸、氫氟酸廢混酸，其處理流程如圖 12.11 所示。由萃取塔、反萃取塔及混合靜置器組成，兩塔都藉脈衝泵施加脈動，虛線表示溶劑路徑，實線表示其他廢液路徑。

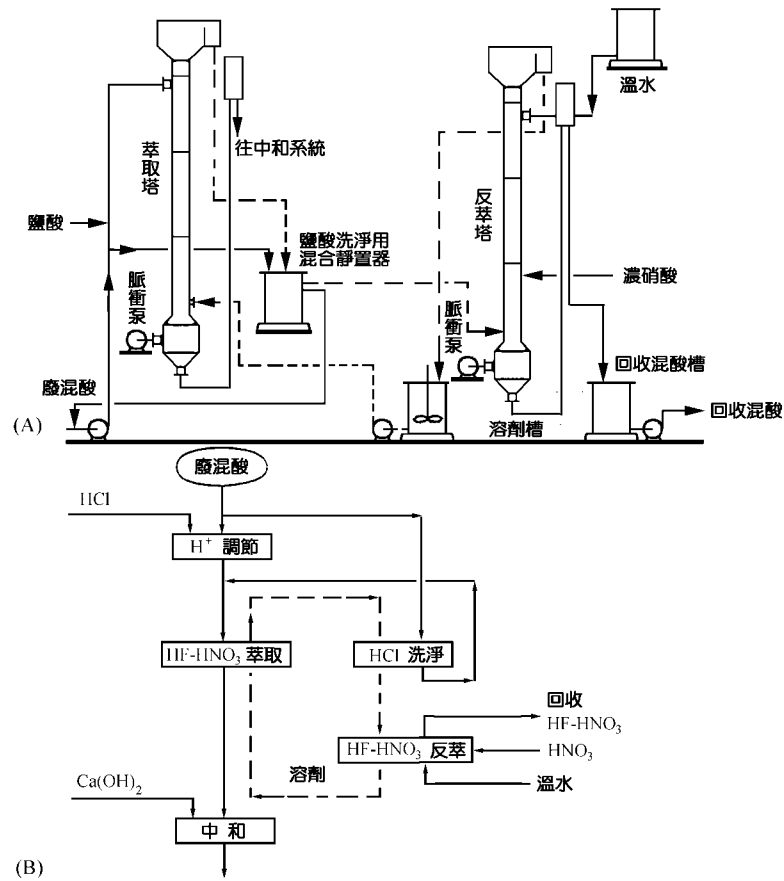


圖 12.11 溶劑萃取法回收硝氟廢混酸流程圖

硝氟廢混酸先以泵送出後，在途中添加鹽酸，供給萃取塔上部而下降。另一方面，從萃取塔下部供給溶劑而上升，廢混酸、溶劑兩者逆流接觸，硝酸及氫氟酸在溶劑中溶解移動（液液萃取）。萃取塔底排出含金屬氯化物的廢液送至中和系統中和，離開萃取塔頂的溶劑送往混合靜置器，在此用原廢酸的一部份攪拌洗淨，除去溶劑中的少量鹽酸。接著，溶劑送往反萃取塔下部，在塔內上升，與由塔上部落下的溫水逆流接觸，反萃溶劑中的硝酸及氫氟酸，回收混酸再使用，來自反萃取塔的溶劑也循環使用。必要時，回收混酸可分為硝酸與氫氟酸，硝酸回收率約 99%，氫氟酸的回收率約 70%，所含金屬雜質之萃餘液則需進一步處理或回收。

12.3.1.5 薄膜透析法

可單獨或組合採行擴散透析(diffusion dialysis)、電透析(electrodialysis)或雙極膜電透析(bipolar membrane eletrodialysis)等技術進行處理回收，其主要核心技術仍是薄膜透析原理。

12.3.2 鋁材表面處理廢酸

鋁材表面處理產生之含鋁廢硝酸—磷酸之回收方法，可利用硫酸置換法回收處理廢硝酸，或可利用氫氟酸置換法回收處理廢硝酸，所製得之氟化鋁可作為產品出售，其流程如圖 12.12 所示。廢硝酸經濃縮後，送入晶析罐使形成硝酸鋁結晶，利用離心分離機將結晶分離，在此結晶中添加氫氟酸，使其反應產生氟化鋁結晶及硝酸，經分離即可回收硝酸並送至調整槽與原硝酸鋁濾液混合調整成分後，即可送回製程再利用。

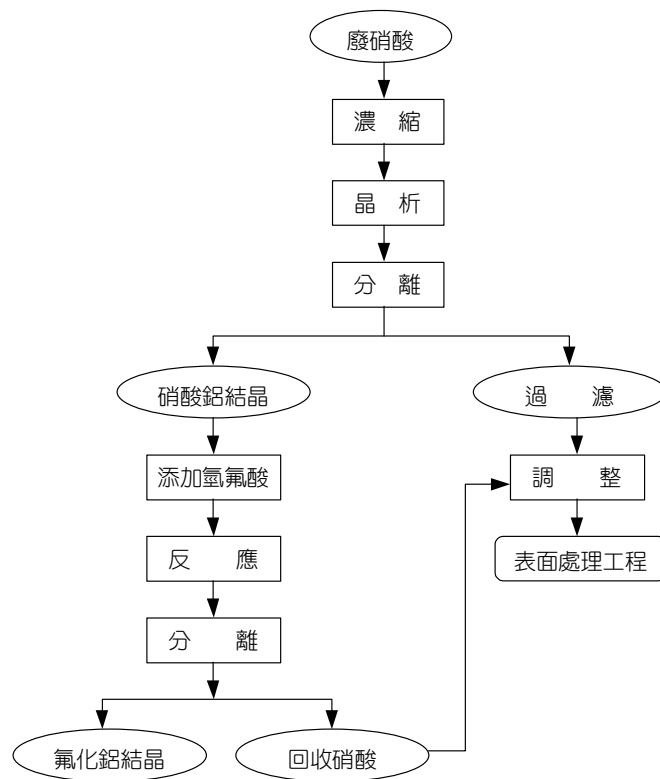


圖 12.12 氫氟酸置換法回收含鋁廢硝酸流程圖

12.4 廢酸資源化技術評析

由以上各項資源化技術，綜合各項技術、原理流程、適用對象、適用範圍、技術成熟度及特點等要項，彙整如表 12.2 所示。

表 12.2 廢酸資源化技術評析

技術名稱	原理、流程	適用對象	成品與適用範圍	技術成熟度與實績	特點(含應用限制)
噴霧燒焙法	噴霧、加熱、燒焙	廢鹽酸、廢硝酸、廢硝酸混	冶金、塗料、顏料、永久磁鐵、磁帶(含氯化亞鐵廢鹽酸)	已商業化	1.再生酸回收率可達 98% 2.再生鹽酸濃度達 16~18% 3.資源化產品為 Fe ₂ O ₃ 4.連續式操作(800°C)，設置成本高，有經濟規模限制 5.無水污染及污泥產生，但有空氣污染物排放
流體化床燒焙法	以流體化介質加熱燒焙	廢鹽酸、廢硝酸、廢硝酸混	冶金、塗料、顏料、拋光劑、磁性墨、磁帶塗覆(含氯化亞鐵廢鹽酸)	已商業化	1.再生酸回收率可達 98% 2.再生鹽酸濃度達 16~18% 3.資源化產品為 Fe ₃ O ₄ 4.連續式操作(800°C)，設置成本高，有經濟規模限制 5.無水污染及污泥產生，但有空氣污染物排放
擴散透析法	薄膜透析	各種廢酸	—	已商業化	1.再生酸回收率與回收濃度依廢酸中自由酸濃度而定 2.設置成本低，可於常溫下連續式操作，無空氣污染物排放，但有含重金屬廢液處置問題 3.會產生污泥，須進行後續處理
硫酸置換法	加入硫酸置換反應	廢鹽酸、廢硝酸、廢硝酸混	廢水處理劑、肥料飼料添加劑、防腐劑(含氯化亞鐵廢鹽酸)	已商業化	1.再生酸回收率可達 98% 2.再生鹽酸濃度達 16~18% 3.資源化產品為 FeSO ₄ •H ₂ O 4.無水污染及污泥產生
真空蒸餾法	真空蒸餾	廢鹽酸、廢硝酸、廢硝酸混	廢水處理劑、媒染劑、製造氯化鐵(含氯化亞鐵廢鹽酸)	已商業化	1.再生酸回收率與回收濃度依廢酸中自由酸濃度而定 2.半連續式操作(85°C)，無水污染與污泥產生 3.資源化產品 FeCl ₂ (35%)
樹脂吸附法	樹脂吸附	各種廢酸	—	已商業化	1.再生酸回收率與回收濃度依廢酸中自由酸濃度而定 2.設置成本低，可於常溫下連續式操作，無空氣污染物排放，但有含重金屬廢液處置問題 3.會產生污泥，須進行後續處理

12.5 廢酸資源化案例⁽⁴⁾

12.5.1 案例一

12.5.1.1 前言

A 工廠為國內唯一由鐵礦砂冶煉製鋼的一貫作業煉鋼廠，該廠鋼鐵生產流程主要包括六項製程，即 1.原料輸送，2.煉焦，3.燒結，4.煉鐵，5.煉鋼與連續鑄造，6.軋鋼、精整與表面處理等。其所生產的鋼品大都為上游產品，主要包括鋼板、條鋼、線材、熱軋鋼品、冷軋鋼品、生鐵及鋼胚等。

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

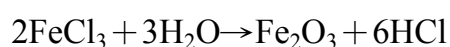
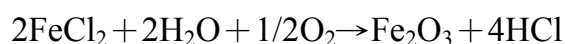
12.5.1.2 製程及原理

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

對於上述酸洗製程所產生的兩股含酸廢液之處理方式，該廠係採用 Ruthner 公司所發展的噴霧焙燒法製程(spray roasting process)以再生鹽酸重覆使用。同時在廢酸再生製程中，產出副產品氧化鐵粉。而氧化鐵粉為一種供軟、硬磁製造所需之高附加價值原料，因此廢酸再生不但可將資源回收再利用，並可產出高附加價值之副產品(氧化鐵粉)，其處理流程如圖 12.13 所示。首先是將廢酸液經由過濾槽去除雜質，再經過預濃縮塔提高廢酸液濃度後，輸送至焙燒爐頂部，以高壓噴嘴將廢酸液均勻噴灑於爐內，藉由爐內約 800°C 的高溫，將氯化亞鐵焙燒氧化



分解為粉狀三氧化二鐵與氯化氫氣體，氣體部份經旋風分離器將粒徑較小之三氧化二鐵再次分離後，輸送至預濃縮塔進行熱交換，再輸送至吸收塔以清洗水吸收生成濃度約 16~18% 的再生鹽酸，並送回酸洗製程重覆使用，經過焙燒製程所回收之鹽酸可達 95% 以上之回收率，其餘廢氣經處理符合排放標準後即可排放至大氣中。而三氧化二鐵粉則利用螺旋輸送機及打包機裝袋後出售以供下游軟、硬磁粉業者使用。焙燒爐進行之化學反應如下：



該廠廢酸再生製程之操作，完全採用自動化控制模式，操作人員按三班四輪編制，除操作人員必須進行每班固定之巡檢外，並輔以 CCTV 監控系統及必要之先期警報裝置，故能完全掌握設備異常狀況。在操作維護之管理方面，依該廠生產作業之規定，均已制訂標準操作程序，設備安全工作程序及維護作業規範，層層督導，確實執行，管理制度完備，堪稱嚴謹。

12.5.1.3 資源化成效

該廠廢酸再生是目前最符合環保要求的製程。廢酸經由過濾、預濃縮、燒焙、旋風分離及吸收等操作程序，回收濃度約 16~18% 的再生鹽酸，並送回酸洗製程重覆使用，經過燒焙製程所回收之鹽酸可達 95% 以上之回收率。而副產物三氧化二鐵粉純度較高者可供為磁粉材料使用，附加價值極高，純度較低者亦可供為高爐煉鐵原料。就該廠年產量 100 萬噸之冷軋酸洗鋼捲，每小時需去除 700 公斤鏽皮而產生之廢酸量約 6,000 公升/時而言，廢酸噴霧焙燒回收設備之初設成本約為 1.2 億元，每年操作維護費用包括燃料、水電、維護保養、勞力及雜項費用等共計約 4,812 萬元，每年產品回收及可節省費用包括鹽酸回收(16~18%)、三氧化二鐵回收及廢酸處理藥劑費(液鹼)等共計約 1.5 億元。估算該回收設備之回收期限約 1.22 年，相關之效益評估如表 12.3 所示。

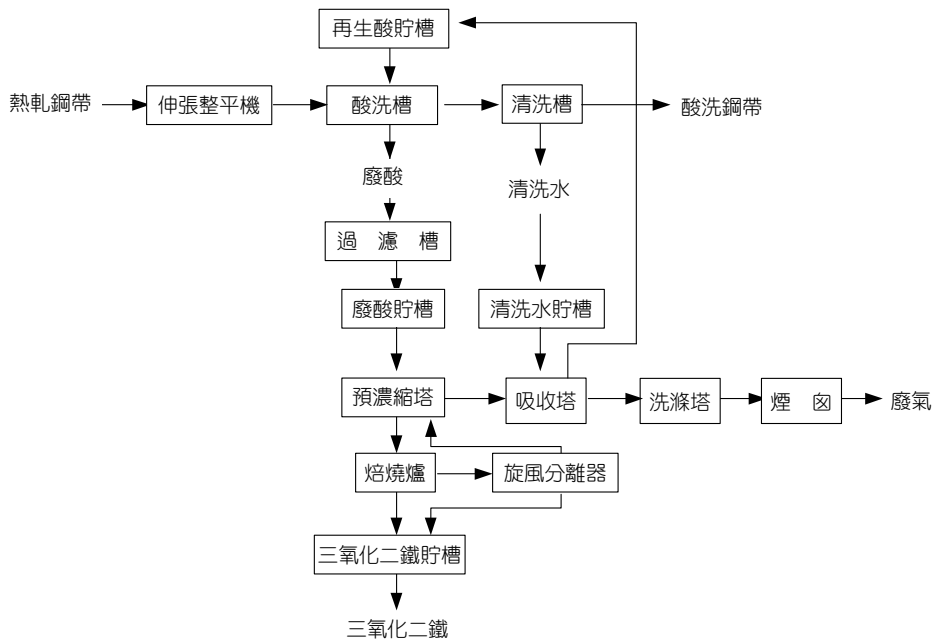


圖 12.13 廢酸液噴霧焙燒回收處理流程

表 12.3 廢酸液噴霧焙燒回收之效益評估

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

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

n (設備使用年限) = 10 年



12.5.1.4 結語

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

12.5.2 案例二

12.5.2.1 前言

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

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

12.5.2.2 製程及原理

該廠目前設計廢鹽酸及廢硫酸資源化處理量各為 1,000 噸／月，其資源化處理流程分別如圖 12.14 及圖 12.15 所示。一般廢酸進廠時，由於殘存之自由酸濃度仍較高，因此需先以鐵屑與之反應，以降低自由酸濃度並提高鐵離子濃度，經取樣檢驗分析確認成份後，以板框過濾機濾除殘存之固體物，即分別為氯化亞鐵及硫酸亞鐵溶液半成品。氯化亞鐵溶液半成品直接經加氯氧化反應，即可得到氯化鐵溶液產品。每 1 噸廢鹽酸，若未經加熱濃縮，則可產製濃度 40 波美(Be°)的

氯化鐵溶液約 1.1 噸；若經加熱濃縮，則可產製濃度 45 波美(Be°)的氯化鐵溶液約 0.9 噸，另再經熱交換器降低溫度及結晶槽進行結晶反應，則可產製氯化鐵結晶產品。硫酸亞鐵溶液半成品經進一步氧化反應，即可得到所謂之“速淨鐵”產品。另若經結晶槽進行結晶反應，則可製得硫酸亞鐵結晶體，再經離心脫水機進行脫水及旋轉乾燥機進行乾燥，即可產製硫酸亞鐵產品。每 1 噸廢硫酸，可產製 0.4 噸之硫酸亞鐵產品。

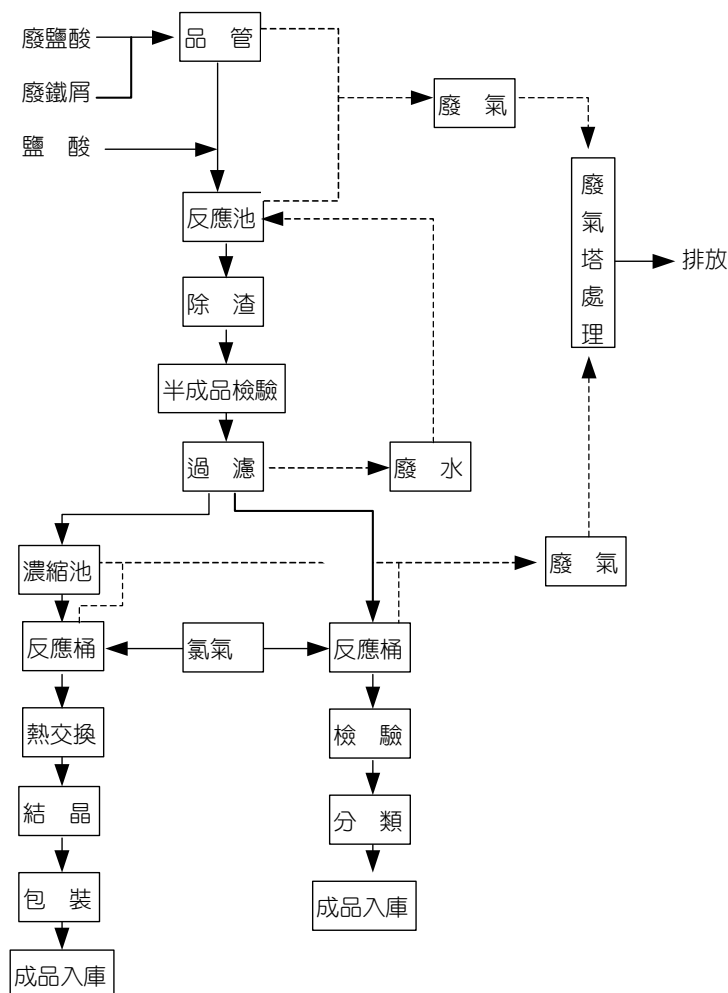


圖 12.14 廢鹽酸再生氯化鐵處理流程

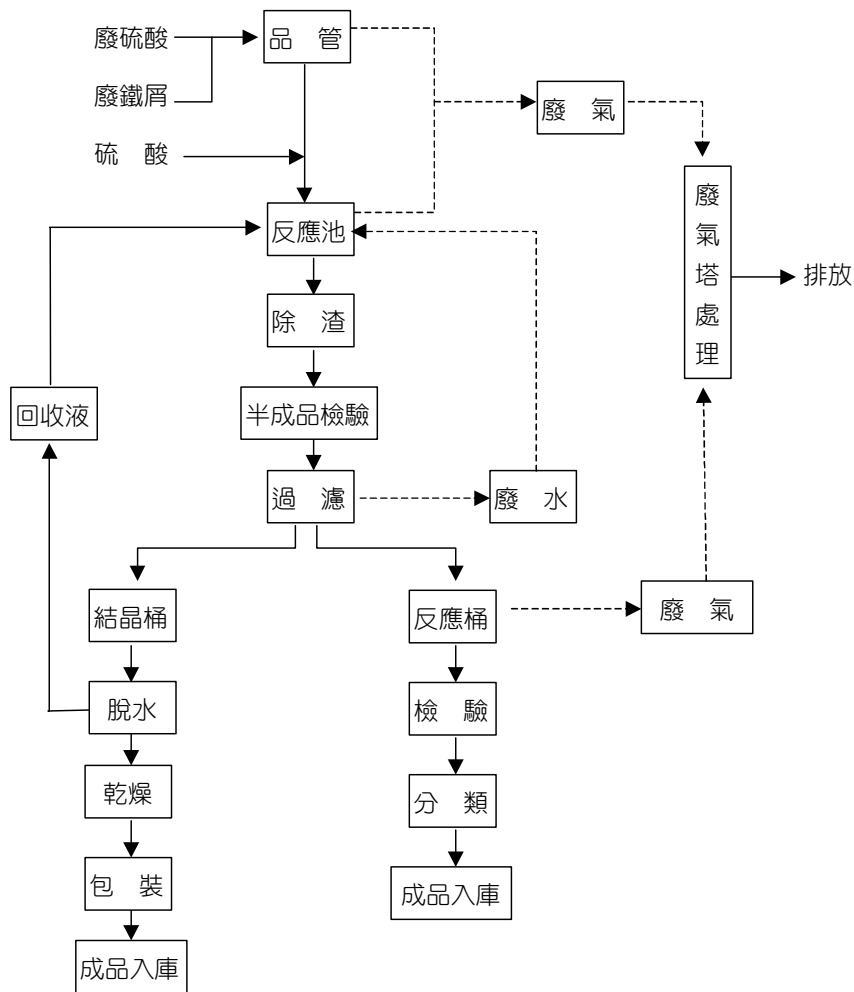


圖 12.15 廢硫酸再生硫酸亞鐵處理流程

12.5.2.3 資源化成效

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

污染。

該廠廢酸資源化再生氯化鐵及硫酸亞鐵等相關產品，係落實廢棄物資源化再利用之典範，為廢酸集中資源化提供一極具效益的處理處置模式。該廠初設成本包括廠房建設、廢鹽酸資源化設備、廢硫酸資源化設備、污染防治設備及相關設備等共計約為 6,000 萬元，每年操作維護費用包括人事及管銷、原料、維護保養、燃料、水電及雜項費用等共計約 7,249 萬元，每年產品回收利益包括氯化鐵及硫酸亞鐵等產品共計約 9,600 萬元。估算該廠之回收期限約 2.6 年，詳細之效益評估如表 12.4 所示。

12.5.2.4 結語

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

表 12.4 廢酸再生鐵鹽資源化之效益評估

項次	項 目	單位費用	費 用
初設成本	• 廠房建設		13,300,000 元
	• 廢鹽酸資源化設備		11,593,000 元
	• 廢硫酸資源化設備		221,486,000 元
	• 污染防治設備		5,210,000 元
	• 相關設備		8,400,000 元
	合 計		59,989,000 元
每年操作維護費用	• 人事及管銷費	約初設費用之 10%	40,000,000 元
	• 原料費		20,000,000 元
	• 維護保養費		5,989,000 元
	• 燃料費	約設費用之 5%	1,500,000 元
	• 水電費		2,000,000 元
	• 雜項費用		2,999,000 元
	合 計		81,426,000 元
每年投資費用	• 設備折舊費用	*CRF=0.149	8,938,000 元
	• 操作維護費用		72,488,000 元
	合 計		81,426,000 元
每年產品回收利益	• 氯化鐵	4,000 元/噸	48,000,000 元
	• 硫酸亞鐵	4,000 元/噸	48,000,000 元
	合 計		96,000,000 元
每年總淨節省費用=96,000,000-81,426,000 元=14,574,000 元			
回收期限=59,989,000 元÷(96,000,000 元/年-72,488,000 元/年)≈2.6 年			

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



參考文獻

1. 工業污染防治技術服務團計畫專案，工業廢棄物資源化技術講習會講義，經濟部工業局，1998。
2. 工業污染防治技術服務團計畫專案，廢酸資源化技術講習會講義，經濟部工業局，1996。
3. 工業污染防治技術服務團計畫專案，廢酸資源回收技術合作開發與推廣專案報告，經濟部工業局，1997~1998。
4. 工業污染防治技術服務團計畫專案，鋼鐵業廢棄物資源化案例彙編，經濟部工業局，1996。



第十二章 廢酸資源化技術



第十二章 廢酸資源化技術

第十三章 爐塵灰資源化技術

13.1 前言

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

爐塵灰之收集方式，可分為文氏洗滌塔及濕式靜電集塵機所收集的礦泥狀濕爐塵灰；及旋風分離機、袋式集塵機及乾式靜電集塵機所收集的乾爐塵灰。國內中鋼公司目前主要採用文氏洗滌塔及乾式靜電集塵機收集爐塵灰，因此，分別會產生礦泥狀濕爐塵灰及乾爐塵灰，其中大部份回收至拌料場，再製成燒結礦，或逕行回收至高爐使用；另有部份則回收供作水泥原料、或回收鋅、或其他用途。國內電弧爐煉鋼業者則完全採用袋式集塵機收集爐塵灰，而收集之爐塵灰目前尚缺乏較妥善的資源回收處理，所幸，部份業者在工業局及環保署積極的輔導之下，目前已集資籌設資源回收處理廠，該廠預計於 88 年完成試車後，即可協助部份業者進行爐塵灰資源回收工作。

13.2 現有爐塵灰資源化技術

世界各主要產鋼國家，早已將煉鋼爐塵灰列入有害事業廢棄物進行管制，並發展出數種資源回收技術，可將其中有價金屬予以回收再利用。以下分別針對高、轉爐及電弧爐爐塵灰資源化技術做一說明：

13.2.1 高、轉爐爐塵灰資源化

高、轉爐爐塵灰含有大量的氧化鐵，通常被做為煉鐵原料再利用。但由於爐塵灰粒徑極微細，直接投入高爐，將會妨礙爐內的通風，再者，若爐塵灰中含有



過量的鋅，亦會影響高爐的操作，因此回收再利用前，必須先進行造粒或除鋅前處理。有關這些前處理技術說明如下：

13.2.1.1 燒結法

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

13.2.1.2 迷你丸粒(mini pellet)燒結法

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

13.2.1.3 氧化造粒法

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

13.2.1.4 還原造粒法

還原造粒法即是在爐塵灰中加入焦炭粉為還原劑，並將其燒製成丸粒狀的方法，燒製過程中鋅在燃燒爐中揮發而使丸粒所含之鋅濃度降低，且由於此種丸粒本身即具還原性，因此在當做高爐原料使用時可降低高爐還原劑的用量。至於揮發後的鋅則以氧化鋅的形態被收集，再利用為鋅精煉的原料。

13.2.1.5 冷結造粒法

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

13.2.2 電弧爐爐塵灰資源化

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

13.2.2.1 直接回爐法

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

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

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

13.2.2.2 Tetronics 電漿爐法

電漿爐回收爐塵灰，主要是利用碳還原爐塵灰中之有價重金屬，而殘留之成份則形成無害之爐渣。英國 Tetronics 公司近年來開發之小型電漿爐回收技術，由於投資成本低，且能有效回收鋅／鉛(碳鋼粉塵)或鉻／鎳(不銹鋼粉塵)，極適合煉鋼廠內部之爐塵灰處理。回收處理之流程如圖 13.1 所示，爐塵灰與還原劑(煤、焦炭)、助熔劑(矽石)共同投入電漿中，當電流由電漿炬(陰極)經爐料而到達爐底陽極區時，藉由氣體介質的部份離子化而將電能轉化成熱能。旋風集塵機與鋅凝結器位於電漿爐後方，用以去除大顆粒爐渣與凝結鋅蒸氣。為避免鋅、鉛蒸氣之再氧化現象，可將螺旋槳浸入鋅液中快速旋轉，產生微細之液滴以迅速捕集鋅、鉛蒸氣，未被捕集蒸氣氧化成 ZnO 後，以袋濾集塵機去除。由於鋅之再氧化現象與凝結器之捕集效率有限，鋅凝結器之鋅回收率約 75%。

改良方式電漿爐回收法以氫氣取代碳為還原劑，利用本法可獲得品質較佳之爐渣，且不產生 CO 氣體，減少爆炸事故之發生。

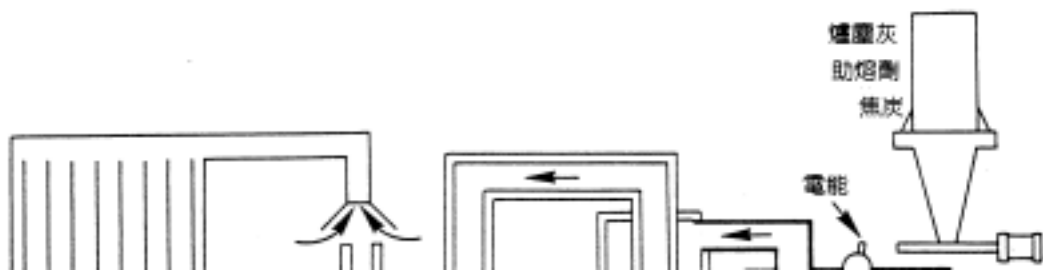




圖 13.1 Tetronics 電漿爐法處理流程

13.2.2.3 SKF 電漿爐法

此法係瑞典 SKF 電漿科技公司研究發展的製程，可回收生產普通鋼、不銹鋼的電弧爐爐塵灰以及鋼鐵工業產生的含氧化鐵廢棄物。工廠的主體有原料前處理設備、輸送、吹射系統、熔解還原電漿爐、鋅／鉛凝結器、廢氣冷卻、除塵及水處理設備。其處理流程如圖 13.2 所示，先將爐塵灰或污泥、矽砂、煤粉（粒度小於 0.1mm）加入混合槽內，經過攪拌、過濾、壓碎等步驟，製成鐵／鋅比為定值的小顆粒。這些粒度小於 2mm 的原料由氣體吹入電漿發生器內，在充滿焦炭的豎形爐底部，原料被一氧化碳還原。含飽和碳的鐵水及爐渣由爐床流出，與煉鐵高爐相似。鋅蒸氣與廢氣由爐頂排出，經過凝結器冷凝後再製成鋅錠，純度大於 98%。

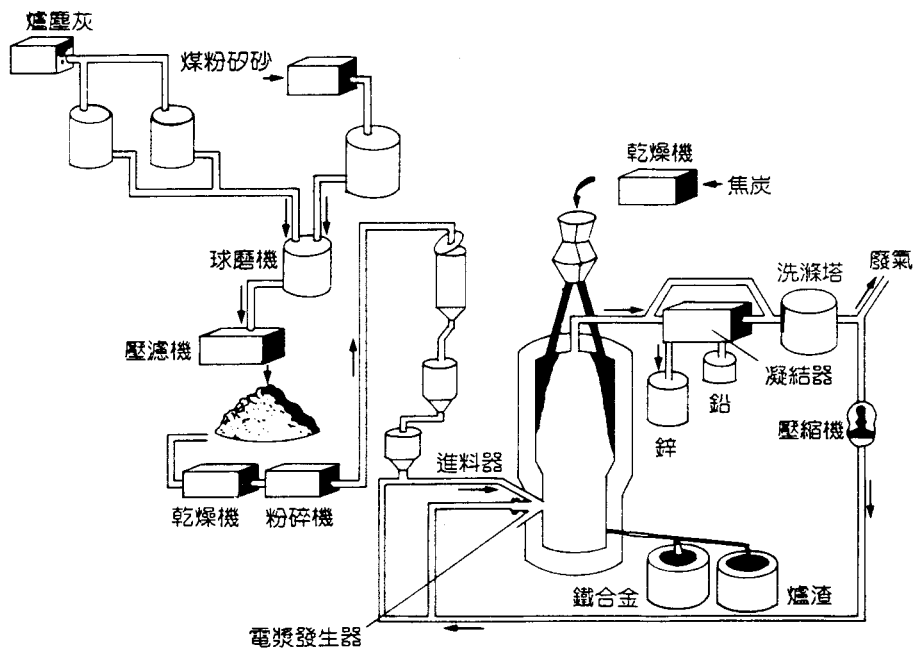


圖 13.2 SKF 電漿爐法處理流程

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

瑞典於 1977 年發展一種以槽型感應爐(channel inductor)來回收爐塵灰的方法，亦稱 Uddacon reactor，如圖 13.3 所示，爐塵灰與還原劑(碳)一起吹入槽型感應爐開口處的高溫區，Zn 與 Pb 氣化後與廢氣一起排出至濾袋室收集。爐塵灰的 Zn 含量可由原來的 18%提高至 50%(以 ZnO 存在)。Zn 在二次粉塵中的回收率為 100%，鐵的回收率為 95% (形成鐵水)，另有 2%的鐵仍留在二次粉塵中。加料爐塵灰若與 8%的含氧化鐵廢棄物(如銹皮)混合，則可避免爐塵灰飛散問題。由於 Zn 在廢氣中發生再氧化放熱反應，故加料速率不可太快，亦要有足夠的抽風量以免損毀濾袋。

13.2.2.5 低週波爐法

低週波爐法係由日本 Sumitomo 公司發展之新技術，由於豎爐產生之金屬氧化物較少，而低週波爐操作穩定，故被組合應用於電弧爐爐塵灰之回收操作。其

操作流程如圖 13.4 所示，爐塵灰與還原劑、助熔劑經造粒後加入豎爐，豎爐用以熔化丸粒成為熔渣，而熔渣則流入低週波爐進一步熔煉，產生生鐵及爐渣。在熔煉過程中鋅成份將汽化成蒸氣逸出，並由噴灑式鋅凝結器所捕集，豎爐排出之氣體在燃燒爐完全燃燒後，通入一個包括集塵器、滌氣塔與除霧器之處理設備後排放，以降低污染。

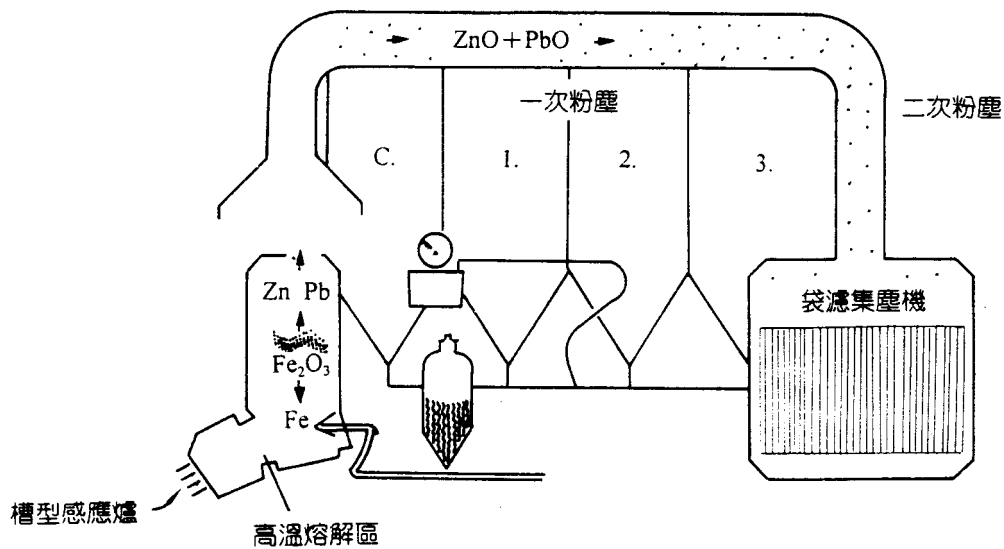


圖 13.3 Uddeholm 感應電爐法處理流程圖

13.2.2.6 火焰反應器法(Flame Reactor Process)

火焰反應法是美國 Horsehead 公司發展成功的製程。爐塵灰中的 Zn、Pb、Cd 以氧化物型態被回收，再送到煉鋅廠製成鋅錠或鋅粉。其處理流程如圖 13.5 所示。

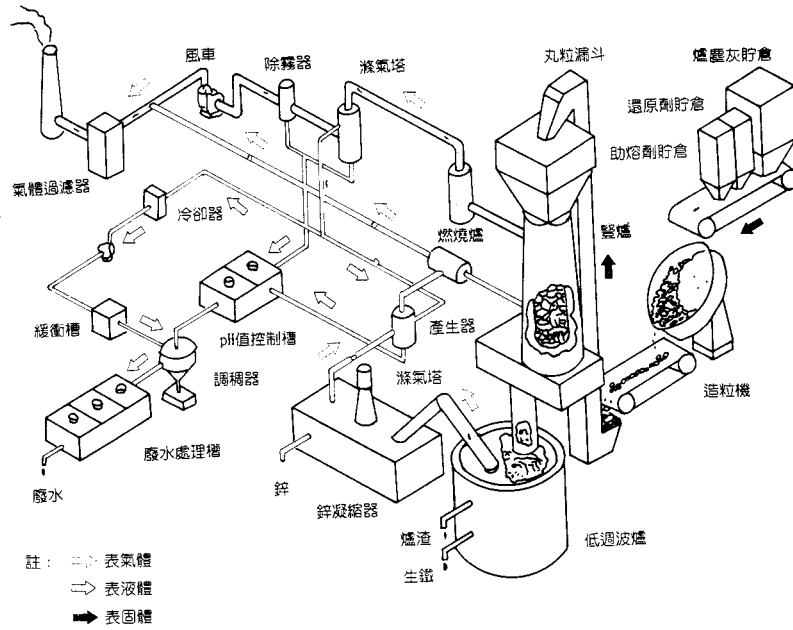


圖 13.4 低週波爐法處理流程

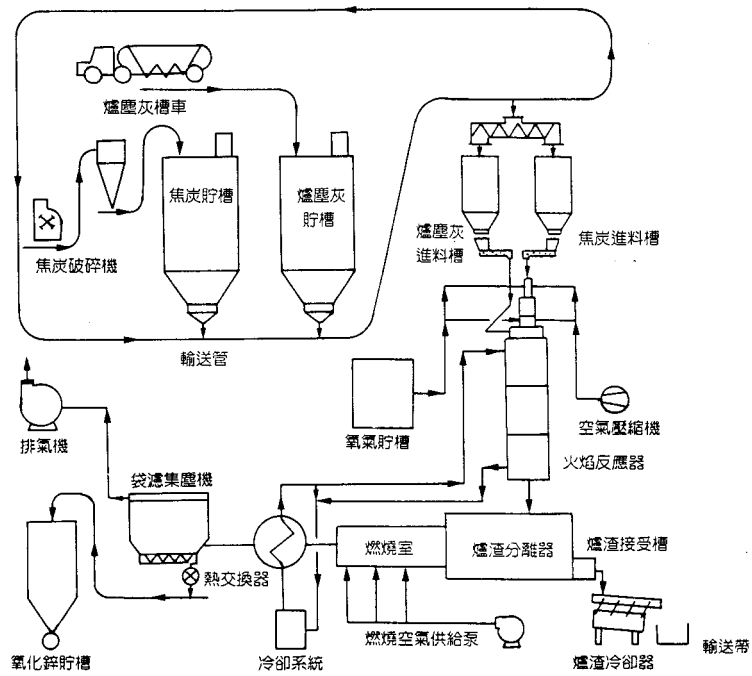


圖 13.5 火焰反應器法處理流程



1. 乾燥的焦炭粉或煤粉以壓縮空氣吹入上部燃燒區，與兩側吹入的富氧空氣充分混合並燃燒，溫度超過 2,000°C，產生高溫的還原性氣氛。
2. 在下部反應區，以壓縮空氣將爐塵灰吹入燃燒區正下方的高溫還原氣體中。反應區平均溫度達 1,600°C，Zn、Pb、Cd、Co、Ni、Ca 等金屬氧化物皆被還原蒸發或溶解。助熔劑可與加料一起吹進爐內，降低爐渣的融點至 1,100~1,200°C。
3. 部份熔融的爐渣在爐內壁凝固形成保護層，其餘則與爐氣流入分離槽內，兩者在此分離。爐渣由出渣口連續排出，溫度 1,100~1,400°C。爐氣經過燃燒室與吹入的空氣或氧氣發生二次燃燒，CO 與 H₂ 被燃燒成 CO₂ 與 H₂O。ZnO 經過冷空氣稀釋，噴水冷卻及熱水交換器等方法冷卻至 200°C 以下，最後進入袋濾集塵機收集，其含 Zn 量為 50~55%。若將 ZnO 再回爐處理一次則可提高 Zn 含量至 62%。

13.2.2.7 旋轉窯法(Waelz kiln or HTR process)

"Waelz"意指滾動，乃形容原料在旋轉窯內的移動情形，這種將鋅蒸發回收的製程早在 1910 年就獲得專利，可用來處理不同的原料，如礦石、爐渣、尾礦、殘渣及含鋅鐵礦（鐵為主產品）等。後來被應用來回收電弧爐爐塵灰所含的 Zn、Pb。

日本姬路鋼鐵公司依據選擇還原法的原理將旋轉窯改良製程，稱為"HTR Process"，並於 1975 年開始操作處理電弧爐爐塵灰。其處理流程如圖 13.6 所示。

1. 先將從不同工廠運來之爐塵灰混合，以減少成份之差異。儲存區須有屋頂覆蓋，以避免重金屬溶出。
2. 將爐塵灰水份含量控制在 10%左右，加入石灰(dolomitic limestone)助熔劑，其目的在控制原料之酸度。通常(CaO+MgO)/SiO₂ 的比例保持在最低值 1.35。
3. 將上述混合物與煤炭或焦炭還原劑加入旋轉窯。還原劑之粒度須夠大，以免隨廢氣排出，但亦須儘量細小，以加速反應。
4. 旋轉窯加熱至 1,200°C，金屬氧化物被碳還原，Zn、Pb、Cd 揮發後迅速再氧化，隨著廢氣排出，先經旋風集塵機收集粗粉塵，冷卻後進入袋濾集塵機收集較細

粉塵。

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

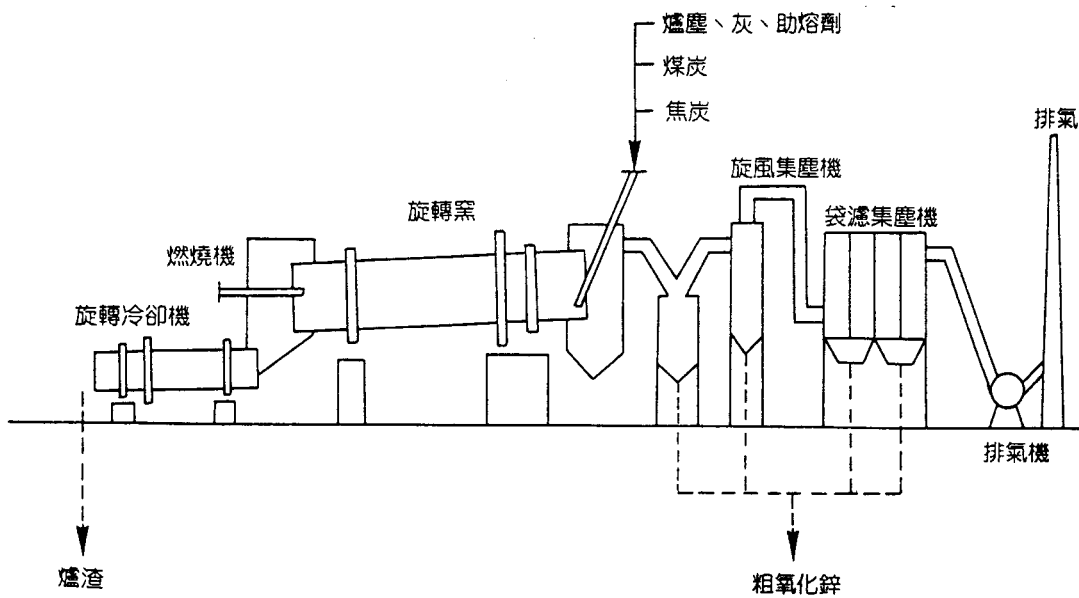


圖 13.6 旋轉窯法處理流程

13.2.2.8 半鼓風爐法

半鼓風爐為日本三井金屬礦業株式會社於 1965 年所開發應用的技術，初期主要係處理直立式鋅蒸餾礦渣(vertical retort residue)。1985 年以後，開始大量處理回收電弧爐爐塵灰，其處理流程如圖 13.7 所示，電弧爐爐塵灰、直立式鋅蒸餾

礦渣及其它廢棄物與矽砂、煤炭等定量配比混合，並添加紙漿廢液（亞硫酸鹽母液）後送入旋轉乾燥機中乾燥，再以棒狀研磨機(rod mill)粉碎後送入製塊機(brigette machine)中壓製成團塊。置於加料槽中與部份焦化區爐氣接觸而預熱乾燥。預熱後，進入爐內之熔煉區，爐體一側配置一系列噴口，將預熱至 300°C 左右的空氣吹入爐體內。鋅及鉛在爐內還原、揮發，再與爐側面所導入二次空氣接觸而氧化變成氧化鋅及氧化鉛，與排放之氣體一同經過鍋爐、氣體冷卻器及袋濾集塵機而被收集。銅及貴金屬濃縮成銅液(matte)與熔渣一齊連續排出，再以沉澱器(settler)分離。熔渣再以水淬方式處理成細顆粒狀。

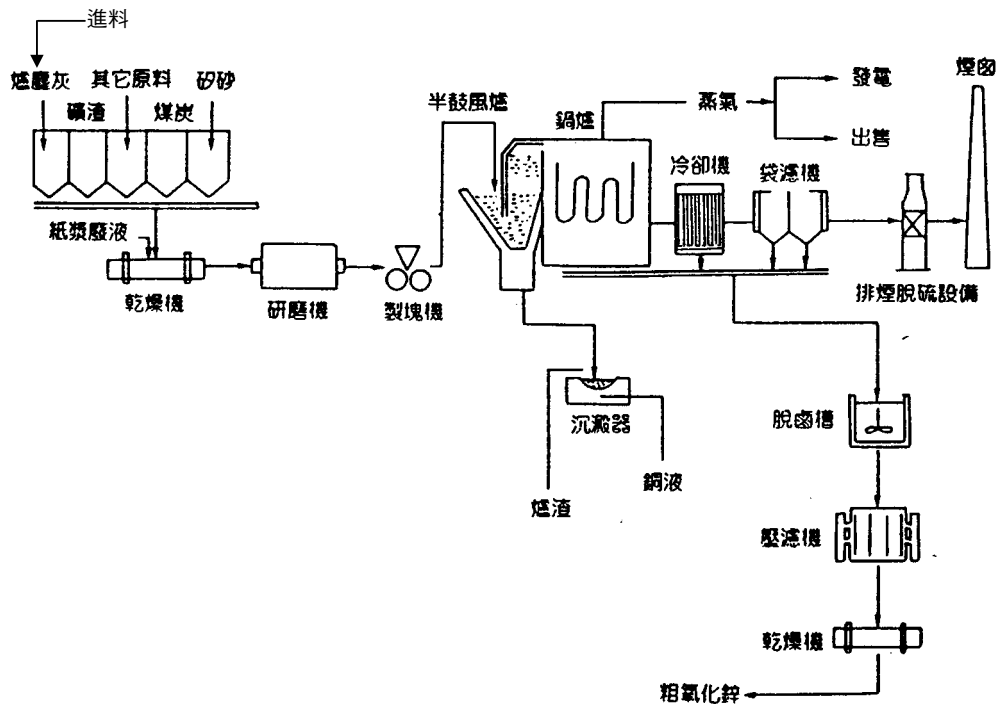


圖 13.7 半鼓風爐法處理流程

13.2.2.9 濕式冶金法

濕式冶金中的溶出／電解方式可應用於回收鋅，並使爐塵灰的其它重金屬溶

出，而成為可用掩埋處理的無害廢棄物，以溶出方式處理少量爐塵灰的設備成本比高溫冶金方式較低，適用於廠內回收處理。一般而言，低溫的濕式冶金處理對特定化合物的要求比高溫冶金方式嚴格許多，其反應易受兩個因素的影響：

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

例如以強鹼溶出鋅化合物，加入 NaOH 後，ZnO 可溶解成 Na_2ZnO_2 ，但 ZnFe_2O_4 即不可溶。強鹼溶出可用於回收高爐爐塵灰中的鋅，但電弧爐爐塵灰中含大量 ZnFe_2O_4 (zinc ferrite)，故較不易回收處理。圖 13.8 所示為強鹼溶出電弧爐爐塵灰的流程， ZnFe_2O_4 的殘渣可回收至電弧爐，以還原成 ZnO。

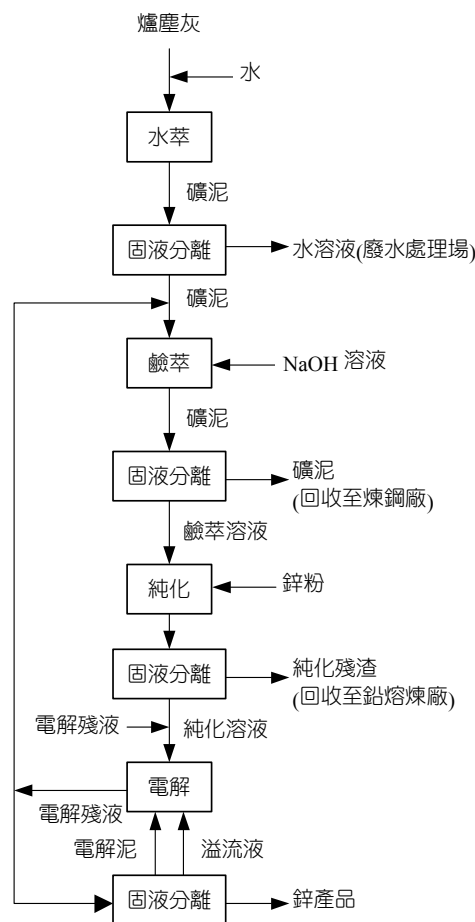


圖 13.8 強鹼溶出／電解處理流程



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

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

13.3 爐塵灰資源化技術評析

綜合評析爐塵灰資源化技術，歸納處理模式可區分為廠內資源化及廠外集中資源化。一般而言，高、轉爐之煉鋼產量較大，相對爐塵灰產生量亦較大，故普遍採廠內資源化方式處理，主要回收供為高爐燒結礦利用。而電弧爐煉鋼規模相對於高、轉爐煉鋼規模則較小，故爐塵灰產生量亦較小，且直接將其置入電弧爐中回收可能對鋼液造成不良之影響，最後亦會產生含高濃度 ZnO 、 PbO 之爐塵灰，嚴格而論，直接置入電弧爐回收僅有減量之效果。

故電弧爐爐塵灰普遍採廠外集中資源化方式處理，當然，亦有少數於廠內另設一座較小規模之回收爐的方式，無論何種方式，其主要供為回收鋅或其氧化物之原料（不銹鋼爐塵灰則可回收鎳、鉻等元素）。各類爐塵灰資源化技術比較如表 13.1 所示。

13.4 爐塵灰資源化案例

13.4.1 案例一

13.4.1.1 前言

本案例工廠是美國金屬生產發展中心(CMP)於 1988 年委託 Bethlehem 鋼鐵公司與 Tetronics 研究發展中心(TRD)合作建立之小型電漿爐雛型工廠。該廠係以傳遞式電漿弧產生的高溫還原電爐爐塵灰，並分別以螺旋漿噴濺式凝結器及袋濾集塵機回收鋅／鉛金屬及氧化鋅粉塵。產生之爐渣為無害性，亦可供再利用。由於工業先進國家回收爐塵灰，大都利用大型冶煉設備，所需經濟規模較大，且投資成本龐大，此外，煉鋼業者仍須支付處理費用。而此種小型電漿爐之投資成本較

低，可設於廠內或集中處理附近煉鋼廠的爐塵灰。若回收碳鋼爐塵灰時，處理量約 6,000 噸／年即可達經濟規模，回收金屬主要為鋅／鉛金屬。而處理不鏽鋼爐塵灰時，主要是回收鎳／鉻合金鐵，其經濟價值更高。

表 13.1 爐塵灰資源化技術評析

技術名稱	原理、流程	適用對象	成品與適用範圍	技術成熟度與實績	特點(含應用限制)
燒結法	1.高、轉爐塵灰與鐵礦粉、石灰粉、焦炭粉混練後高溫燒結	高、轉爐塵灰	高爐燒結礦	已商業化 中國鋼鐵公司等	1.直接與鐵礦石及石灰粉等混合燒結 2.燒結後需整粒至一定規格
迷你丸粒燒結法	1.高爐、轉爐、燒結爐等爐塵灰混練後造粒 2.與鐵礦粉、石灰粉、焦炭粉混練後高溫燒結	高、轉爐塵灰	高爐燒結礦	已商業化	1.各類微細粉塵混合造粒後進行燒結 2.造粒後與鐵礦石及石灰粉等混合燒結
氧化造粒法	1.高爐、轉爐、燒結爐等爐塵灰混練後造粒 2.造粒後以旋轉窯燒結	高、轉爐塵灰	高爐燒結礦	已商業化	1.造粒後利用旋轉窯進行燒結 2.強度比迷你丸粒高 3.可直接投入高爐使用
還原造粒法	1.爐塵灰與焦炭粉混練後燒製成還原性丸粒	高、轉爐塵灰	高爐燒結礦	已商業化	1.直接與焦炭粉混合造粒並燒結 2.爐塵灰中之鋅鉛等可於燒結過程揮發 3.燒結丸粒具還原性
冷結造粒法	1.爐塵灰與黏結劑(水泥)混練造粒	高、轉爐塵灰	高爐原料	已商業化	1.爐塵灰與水泥混合造粒 2.不需加熱、故節省能源，並降低NO _x 及SO _x 之污染
直接回爐法	1.爐塵灰經造粒造塊或直接吹射加入電弧爐	電弧爐爐塵灰	回收鐵、鎳、鉻等金屬，並使鋅、鉛提濃	已商業化	1.回收鐵、鎳、鉻等金屬，並使爐塵灰中之鋅、鉛提濃 2.達到爐塵灰減量之目的 3.可能會影響鋼液品質
Tetronics 電漿爐法	1.以電漿加熱熔融方式操作 2.以焦炭粉或氫氣為還原劑	電弧爐爐塵灰	粗鋅或粗氧化鋅、鐵合金	已商業化 International Mill Service(美國)	1.以電漿加熱熔融方式操作 2.可同時回收粗鋅、粗氧化鋅、鐵合金 3.可以焦炭粉或氫氣為還原劑
SKF 電漿爐法	1.以氣體吹射進料，並以電漿加熱熔融方式操作 2.爐體較類似高爐	電弧爐爐塵灰	粗鋅或粗氧化鋅、鐵合金	已商業化 SKF 電漿科技公司(瑞典)	1.以電漿加熱熔融方式操作 2.可同時回收粗鋅、粗氧化鋅、鐵合金 3.爐體較類似高爐
感應電爐法	1.以感應加熱熔融方式操作	電弧爐爐塵灰	粗氧化鋅、鐵合金	已商業化 Uddeholm 公司(瑞典)	1.以感應加熱熔融方式操作 2.爐塵灰中 ZnO 濃度由 18%提濃至 50%



表 13.1 爐塵灰資源化技術評析

技術名稱	原理、流程	適用對象	成品與適用範圍	技術成熟度與實績	特點(含應用限制)
低週波爐法	1. 豎爐及低週波爐搭配操作 2. 利用噴灑式凝結器回收粗鋅	電弧爐爐塵灰	粗鋅、鐵合金	已商業化 Sumitomo 公司 (日本)	1. 豎爐及低週波爐搭配操作 2. 利用噴灑式凝結器回收粗鋅
火焰反應器法	1. 以壓縮空氣吹射進料，並以火焰直接加熱熔融方式操作	電弧爐爐塵灰	粗氧化鋅	已商業化 Horsehead 公司 (美國)	1. 以壓縮空氣吹射進料，並以火焰直接加熱熔融方式操作 2. 僅回收粗氧化鋅
旋轉窯法	1. 爐塵灰經造粒後投入旋轉窯，旋轉窯內以半熔融狀態操作	電弧爐爐塵灰	粗氧化鋅	已商業化 Hemeji、Lurgi 等公司	1. 爐塵灰經造粒後投入旋轉窯，旋轉窯內以半熔融狀態操作 2. 排出熔渣可供製成低錳鏡鐵
半鼓風爐法	1. 與各類廢渣混合造塊後投入半鼓風爐，爐內完全呈熔融狀態	電弧爐爐塵灰	粗氧化鋅	已商業化 三井金屬公司 (日本)	1. 可併同各類渣一起熔融回收 2. 排出熔渣經水淬製成水泥原料

13.4.1.2 製程與原理

Tetronics 小型電漿爐回收爐塵灰之處理流程如圖 13.1 所示。該工廠主要的設備有原料處理及加料系統、電漿爐及電漿發生器、鋅／鉛凝結器、集塵系統等。

1. 原料處理及加料系統

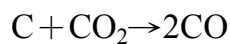
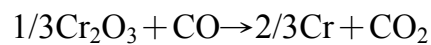
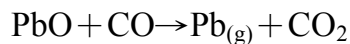
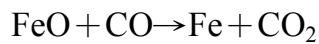
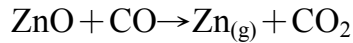
電弧爐爐塵灰、還原劑（煤、焦炭）及助熔劑（矽砂）等原料經初步篩選並進行均質調配混拌後，置於加料貯存槽中，以計量加料器稱重並經螺旋進料器輸送，由電漿爐頂一側進料。一般隨反應控制為選擇性還原或完全還原則有不同的原料添加比率，若控制為選擇性還原時，還原劑添加比率約為 10%；若控制為完全還原時，則還原劑添加比率約為 25%。再者，視原料成份差異，必要時另添加矽砂，使爐渣之 CaO/SiO_2 比率約為 1，即能控制理想的爐渣條件為：
①液相線溫度 $< 1,500^\circ\text{C}$ 。②黏度 $< 5\text{poise}$ 。③體積小。

2. 電漿爐及電漿發生器



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

藉由電漿弧產生的高溫，使爐內產生下列各項主要反應：



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

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

3. 凝結器

平衡狀態下，鋅揮發後易發生再氧化，形成 ZnO 而進入凝結器鋅液表層的浮渣內或濾袋室內。若將鋅蒸氣急冷，可避免發生再氧化。其操作方法係將螺旋槳浸入鋅液中快速旋轉，產生微細的液滴以捕集鋅、鉛蒸氣。凝結器啟動操作前須以瓦斯燃燒器將耐火磚烘乾並預熱至 732°C 。以另一座熔解爐熔解鋅錠，將鋅液加入凝結器，直到覆蓋螺旋槳。電漿爐啟動時，立即開啟螺旋槳馬達，維持固定轉速為 400rpm 。並調整水冷線圈高度，使鋅液溫度保持在 $480 \sim 530^\circ\text{C}$ 之間。由溢流槽收集流出的鋅液，鑄成鋅錠。由出渣口定時清除浮渣，否則阻礙螺旋槳轉動，降低捕集效率。一般而言，進入凝結器之廢氣溫度應大於



925°C， $\text{CO}_2/\text{CO} < 0.01$ ，以避免形成 ZnO 浮渣。再者，若鋅液溫度不足，則鋅蒸氣易凝結成霧狀，降低捕集效率。不論溫度與 CO_2/CO 的比例變化，爐塵灰所含 PbO 皆可被完全還原成 Pb 蒸氣，Pb 溶於鋅液中達飽和後即沉積於凝結器底部。另當爐塵灰的 Fe_2O_3 含量大於 60% 時，少量的 Fe 進入凝結器形成 Zn-Fe 合金(含 Fe 1~2%)，稱為硬鋅(hard zinc)，呈泥漿狀而沉積於鋅液底部。可用多孔杓子將其撈出，而讓鋅液自孔洞流出。

4. 集塵系統

電漿爐與凝結器之間設置旋風集塵機，以收集爐渣類大顆粒，亦可冷卻廢氣。離開凝結器的廢氣含 CO 、 H_2 、鋅蒸氣及可燃物等，進入袋濾集塵機前與吸入空氣先行發生二次燃燒。袋濾集塵機收集之粉塵含 70%ZnO，可再加入電漿爐回收。廢氣離開凝結器煙道後發生燃燒，若火焰顏色由黃轉白，即表示大量未凝結的鋅蒸氣逸出，此時可發現凝結器鋅液面降低，捕集效率亦變差。

13.4.1.3 資源化成效

Tetronics 小型電漿爐處理碳鋼爐塵灰時，回收金屬主要為鋅／鉛合金，而處理不鏽鋼爐塵灰時回收金屬主要為鉻／鎳合金鐵。回收碳鋼爐塵灰之效益評估如表 13.2 所示。其處理量以 6,500 噸／年為基準，操作費用皆以美國條件為基礎並以 33 元台幣／美元換算。爐塵灰的鋅含量為 26.5%、鉛為 4.1%、鐵為 21.8% 時，處理一噸爐塵灰可獲利約 2,110 元，回收期限約 2.4 年。

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

表 13.2 Tetronics 電漿爐回收爐塵灰之效益評估

第十三章 爐塵灰資源化技術

項次	項目	單位費用	費用
初設 成本	· 投資總額	63,030,000 元/廠	63,030,000 元
	合 計		63,030,000 元
每 年 操 作 維 護 費 用	· 煤	2,475 元/噸	3,395,535 元
	· 電力	1.65 元/KWH	17,443,140 元
	· 矽砂	495 元/噸	160,875 元
	· 氫氣	1.87 元/1,000m ³	1,031,745 元
	· 耐火材料		1,188,330 元
	· 冷卻水	6.2 元/噸	971,685 元
	· 電漿電極		694,980 元
	· 維護保養	約初設費用之 5%	3,151,005 元
	· 雜項費用	約初設費用之 2.5%	1,576,575 元
	· 勞力	495 元/小時	10,424,700 元
	· 資金成本 20%		12,606,165 元
	合 計		52,644,735 元
每年 產品 回收 利益	· 鋅/鉛回收	33,000 元/噸	62,618,985 元
	· 氧化鋅/氧化鉛回收	6,600 元/噸	602,745 元
	· 鐵回收	2,310 元/噸	3,142,425 元
	合 計		66,364,155 元
淨 利			13,714,915 元 (2,110.76 元/噸·爐塵灰)

註：*設計容量：6,500 噸/年

**爐塵灰之金屬含量為：26.5%Zn、4.10%Pb、21.80%Fe

***以匯率 33 元台幣/美元換算

13.4.1.4 結語

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



會。

13.4.2 案例二

13.4.2.1 前言

本案例是台灣地區電弧爐煉鋼業為解決其爐塵灰之處理問題，依據“經濟部、行政院環保署推動工業廢棄物處理體系輔導要點”之規定，共同集資成立之“電弧爐煉鋼爐塵灰共同處理體系”。該體系名稱為“台灣鋼聯股份有限公司”，係由台灣地區 12 家電弧爐煉鋼業所共同投資，其投資額為新台幣 10 億元，爐塵灰資源化處理廠設置於彰濱工業區，所採用之處理技術為德國 Lurgi 公司所設計之旋轉窯法(Waelz Kiln Process)，設計年處理量為 50,000 噸。該廠目前仍於設廠中，預計於民國 88 年 6 月完成試車量產後，可使台灣地區之電弧爐煉鋼爐塵灰處理技術更上一層樓。

13.4.2.2 製程與原理

該廠採用之旋轉窯法(Waelz Kiln Process)在歐美及日本應用於爐塵灰回收處理已有 20 多年之歷史，屬商業化成熟之技術，處理流程可分為二部份，第一部份為粗氧化鋅提濃，將造粒後之爐塵灰與焦炭、矽砂混合成進料物送入直徑 3.6m、長 50m 之旋轉窯中，在 1,100~1,200°C 的溫度下處理，產生之含塵廢氣由重力集塵器、廢氣冷卻器及袋濾集塵器處理後收集之粉塵顆粒即為粗氧化鋅(半成品)。第二部份為粗氧化鋅精製，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%)則販售給鋅提煉廠，達到資源化回收處理目的。

粗氧化鋅提濃部份之主要設備包括原料貯存槽、進料器、旋轉窯、爐渣排除設施、重力集塵器、廢氣冷卻器、袋濾集塵器、誘引抽風機及煙囪等。

- 1.原料貯存槽：依爐塵灰、焦炭、矽砂及迴流焦炭等分為四個不同的原料貯存槽，並經稱重式輸送機依不同配比送至進料器中。
- 2.進料器：將混合後的原料送入進料器中，可藉由與控制室連線控制，將適量之進料物送入旋轉窯中。
- 3.旋轉窯：旋轉窯由三組滾輪支撐成一微傾斜狀。進料物由旋轉窯前端進入，與廢氣呈反方向，緩慢由旋轉窯末端排出，廢氣則由進料端排出。旋轉窯操作溫



度約為 1,100~1,200°C 之間，窯內進料充填比例約為 20%，進料物在窯內滯留時間約數小時，依作用可分為乾燥區、加熱區及還原區等三區。進料物經乾燥、加熱後，在還原區藉由焦炭充當還原劑將爐塵灰中之鋅氧化物還原成金屬鋅並揮發出來。

4. 爐渣排除設施：由旋轉窯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，然後經磁選機分離成回流焦炭及爐渣。回收之焦炭則送入回流焦炭貯存槽，爐渣則可供為路基級配料等再利用。
5. 重力集塵器：從旋轉窯內排出之廢氣由於含有粉塵，藉由重力方式予以先行收集廢氣中較大顆粒粉塵，收集之粉塵經輸送帶送回進料口進入窯內再處理。
6. 廢氣冷卻器：廢氣經由重力集塵器排出後，進入水汽化冷卻器將廢氣溫度降至約 300°C，在進入袋濾集塵器前再以空氣調節方式再將之降至約 160°C。
7. 袋濾集塵器：袋濾集塵器為一可自動清除濾餅之高效率集塵器，經清除而降下收集之濾餅粉塵即為粗氧化鋅，連同冷卻器所收集之粗氧化鋅一同被送至中間貯存槽。
8. 誘引抽風機及煙囪：由袋濾集塵器排出之廢氣經由誘引抽風機之抽送，使整個系統之壓力均保持在一負壓之狀態下操作並得將廢氣抽送至煙囪進而排至大氣中。

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，此等鹵化物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目的。粗氧化鋅由中間貯存槽排出經過稱重式輸送機輸送，進入濕式旋分器中進行分離處理，其後的氧化物礦漿流入攪拌槽中，同時加入碳酸鈉攪拌約 2 小時，此時外加熱源，使反應溫度維持在約 70°C，加速鹵化物分解。

從攪拌槽排出之礦漿再送入濃縮槽，而濃縮槽中較濃稠之泥狀物則再送入迴轉式真空過濾器中過濾，從過濾器排出之過濾液則循環送至濃縮槽，濃縮後之乾淨溢流水則送往污水處理廠處理。

過濾後之濾餅含水率約 30%，續經水洗攪拌溶解以去除鹵素，淨化後之氧化



第十三章 爐塵灰資源化技術

鋅再送入另一濃縮槽，從濃縮槽排出之含氧化鋅礦泥再經一高效率濾管式壓濾機，再將含水率降至約 14%，即為精製後之氧化鋅，而從管式壓濾機排出之過濾液再循環迴流至濃縮槽。

13.4.2.3 資源化成效

該爐塵灰資源化處理廠係由台灣地區 12 家電弧爐煉鋼業所共同投資，其投資額為新台幣 10 億元，所採用之處理技術為德國 Lurgi 公司所設計之旋轉窯法 (Waelz Kiln Process)，設計年處理量為 50,000 噸，預計每年可回收 14,000 噸粗氧化鋅，45000 噸爐渣。粗氧化鋅可售予美國、韓國及日本等國之鋅精煉廠提煉鋅錠，爐渣則可供為道路用骨材或級配料。該廠目前仍於設廠中，預計於民國 88 年完成試車量產後，可使台灣地區之電弧爐煉鋼爐塵灰處理技術更上一層樓。

13.4.2.4 結語

近年來，政府積極推動環境保護與經濟發展兼籌並顧政策，除提供金融及租稅獎勵外，更積極瞭解業界技術提升過程所遭遇之困難，進而給予必要之技術支援輔導，本案例即為其中之一。數年來經業界、政府及輔導單位鍥而不捨的努力，終於促成該廠之誕生，使國內電弧爐煉鋼爐塵灰資源化處理進入落實階段，從而獲取環境保護、資源再生及經濟發展等多重效益。



參考文獻

1. 工業污染防治技術服務團計畫專案，鋼鐵業廢棄物資源化案例彙編，經濟部工業局，1996。
2. 財團法人中國技術服務社，電弧爐煉鋼廢棄物減量資源回收及處理示範計畫，行政院環境保護署，1994。
3. 黃順明、林坤讓、余騰耀，電弧爐煉鋼爐塵灰回收鋅及鉛實廠介紹，工業污染防治，No.52，pp.147-159，1994.10。
4. 李慶安，製鋼粉塵處理，邁向二十一世紀我國鋼鐵工業發展策略研討會論文集，pp.375-393，1993。
5. 陳文雄、劉文海，電弧爐煉鋼粉塵處理技術之評估，金屬工業發展中心，1988。
6. 馬寧元、劉文海，國內電弧爐煉鋼粉塵回收技術可行性研究，金屬工業發展中心，1990。
7. 馬寧元等，與南非 MINTEK 技術合作回收國內電弧爐粉塵之可行性評估，金屬工業發展中心，1990。
8. 林崇田，電弧爐粉塵最新處理技術，工業污染防治，No.41，pp.41-47，1992.1。
9. 蔡敏行，煉鋼煙塵回收有價物之研究，國科會研究報告，1986。
10. 蔡敏行，電弧爐煉鋼煙塵重金屬回收之研究，國科會研究報告，1989。
11. Y. Ojima, Y. Ishikawa, M. Yasukawa, Production of Zinc Oxide for Zinc Smelting Process from Steelmaking Dusts at Shisaka Works, Sumitomo Metal Mining Co., Ltd. Japan, 1984.
12. Chapman C., Plasma Treatment for Recovery of Steel Plant Dusts, Steel Times, pp258-259, 1998.5.
13. Mac Rae D. R., Electric Arc Furnace Dust Disposal, Recycle and Recovery, Research Department Technology Group. Bethlehem Steel Corporation, 1985.5.



第十三章 爐塵灰資源化技術

14. Guggilam C. Sresty, Recycling of Electric Arc Furnace Dust, IIT Research Institute Chicago, Illinois, 1990.5.



第十三章 爐塵灰資源化技術



第十三章 爐塵灰資源化技術

第十四章 爐渣資源化技術

14.1 前言

鋼鐵工業為國家工業之母，具有高度的產業關聯性，下游涵蓋金屬製造業、機械業、運輸工具業、電工器材業、土木工程業及建築業等。歷年來，國內鋼鐵工業快速成長，不但產量增加，產品品級亦逐步提昇，對下游加工業提供質優且價格合理的穩定料源。由於鋼鐵屬於大宗物資，且生產時所需耗用之原料及助熔劑亦甚為龐大，因此生產過程伴生的爐渣數量亦甚為龐大。

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

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

電弧爐煉鋼係以廢鋼為原料進行批式冶煉作業，冶煉過程依其化學反應分成三個階段，分別為溶解期、氧化期及還原期。在初步分類、稱重後加料，電極通電使廢鐵原料溶解成液態鋼液，但為了加速溶解，則通入高壓氧氣以加速氧化作用，此時廢鋼中含有之氧化物開始生成少量之氧化渣，再通入更多的氧氣，雜質則氧化生成更多量的氧化渣。此時因鋼液中含氧量過高，因此需加以還原，其作法是加入大量石灰石、碳粉等副料，主要使其與氧化物反應，產生還原浮渣並去氧脫硫，此時所排出之爐渣即為還原渣。

一般而言，高爐每煉製一噸生鐵約產生 310 公斤的高爐渣，轉爐每冶煉一噸粗鋼約產生 130 公斤的轉爐渣。而電弧爐煉鋼隨著廢鐵原料品質差異，產生之爐



渣量則有較大之變動，每冶煉一噸粗鋼約產生 70~170 公斤的電弧爐渣。爐渣的主要化學成份為 CaO 、 SiO_2 、 Al_2O_3 、 FeO 等，與一般岩石組成相近，故可做為骨材、水泥製造的原料，或相關資源化產品。

14.2 現有爐渣資源化技術

由於爐渣產生量甚為龐大，對環境產生極大的影響及衝擊，各國均視為棘手的問題。事實上，經由適當的加工處理程序，即可將爐渣予以資源化再利用，並進而呈現多方面的效益，諸如提昇產業競爭力、降低環境污染風險、減少天然礦開採等。

爐渣品質穩定性會影響其資源化用途，而爐渣品質穩定性主要受產源製程穩定性及後續處理技術之影響，圖 14.1 所示為各類爐渣資源化用途。以下針對水淬高爐渣、氣冷高爐渣、轉爐渣及電弧爐渣資源化技術作一說明。

14.2.1 水淬高爐渣

水淬高爐渣除成份與氣冷高爐渣一樣外，更因其乃是噴水急速冷卻而成，因此使得爐渣的矽酸鹽類分子無法形成良好結晶，仍維持著高溫熔融狀態下的不規則排列，成為玻璃態，此種結構形態缺陷多而開放，不但其矽酸鹽組織不完整，同時也因熔入更多的雜質而容易受到外界觸媒的引發，進行水化反應產生強度，故水淬高爐渣可直接利用成為水泥熟料使用。其利用方式有下列三種：

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

水淬高爐水泥由於具有潛在的膠結性，因此在 $\text{CaO-H}_2\text{O}$ 、 NaOH 、石膏或卜特蘭水泥水合物等觸媒的引發之下，會產生相當好的膠結性能，這是因為水淬高爐渣必須先與上述催化劑水合後產生的氫氧化鈣反應，才能激發爾後的反應，如此可使混凝土中未結合的氫氧化鈣含量降低，並增加矽酸鈣及氧化鋁的含量，如



此將可減少混凝土的溫度上升，另外亦可避免因鹼骨材反應所產生之膨脹現象，降低滲透性，對各種化學侵蝕具有較佳的抵抗力，晚期混凝土抗壓強度發展較好，並對海水及天然酸性水質有較佳的抵抗能力。

14.2.2 氣冷高爐渣：

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

1. 道路用

氣冷高爐渣經粉碎整粒後，具有穩定的機械性質，可用作路盤材料。而經過加工處理後的爐渣粒料，具有抗磨損率高、單位重量輕、表面多孔粗糙、內磨擦角大、完全非塑性、排水性及透氣性佳等特性，符合道路工程之規範。而且由於氣冷高爐渣在壓平時不受含水率的影響，因此容易施工，即使在雨天也不妨礙工程的進行，是優良的路盤材料。

2. 做為混凝土骨材

經破碎後的氣冷高爐渣，不含黏土、有機物等有害物質，同時外表粗糙多孔，水泥塗漿容易附著，因而早期強度高，具有耐熱隔熱防火等性質，可廣泛運用於建築物，鋪裝橋樑和預鑄產品。不過由於中鋼公司處理氣冷高爐渣的方式與其它國家略有差異，熔融爐渣在冷卻過程亦噴水以加速冷卻，故磨損測試值較一般石料差，較不適用為一般混凝土的骨材，但仍可使用在強度需求較低之混凝土。

3. 做為玻璃助熔劑

高爐渣用作玻璃助熔劑時，有促進玻璃熔融和淨化、降低窯爐操作溫度、節省燃料及增加窯爐引出量的效果。然而由於爐渣所含的鐵粉將會影響玻璃的呈色，因此在使用時因應產品需要必須做適當程度的脫鐵處理。



第十四章 爐渣資源化技術

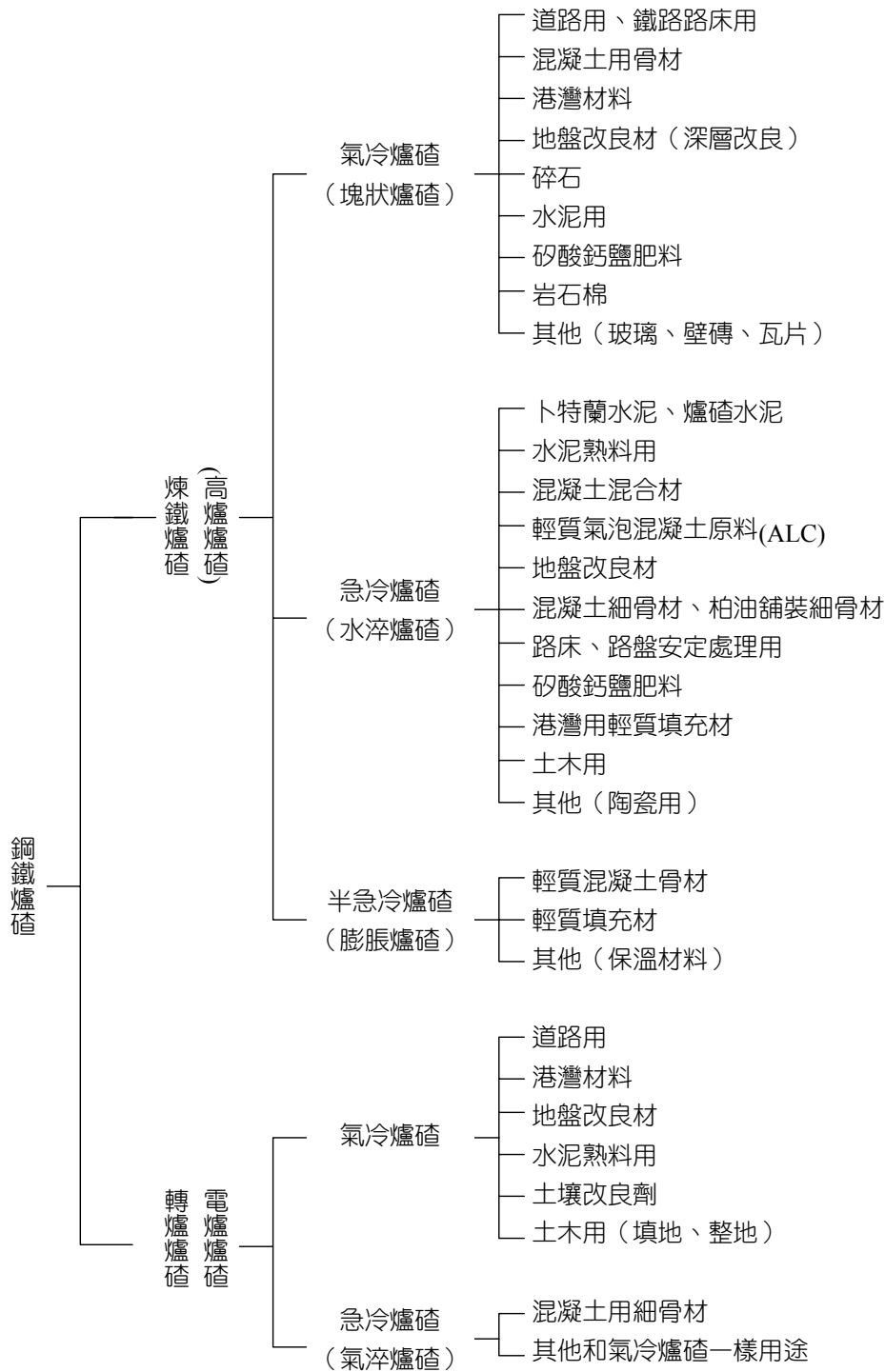


圖 14.1 爐渣資源化用途



4. 做為陶瓷面磚原料

高爐渣可做為陶瓷面磚的原料，取代黏土等材料，有利於穩定原料品質，可供大量生產陶瓷面磚用。不過高爐渣中的硫份會影響產品品質，若釋放至大氣中，又易造成環保問題，因此技術上仍待克服。

5. 做為酸性土壤改良劑

當土壤因人們的過度使用及長期受酸雨的侵害後，會使得土壤酸化，並導致作物呈矮化、根淺、收成不良並且易罹患嚴重之病害，以往人們均以施灑生石灰、消石灰來改善土壤之酸化現象，然因過於強烈的中和反應會使得土壤中之 Mn、B 等元素流失，及使土壤之固結劣化，導致氣水不通，降低地力。爐渣屬於弱鹼性物質，其中和反應較生石灰緩和，故不致引起施用量過多的傷害，且爐渣尚能提供少許之 Mg 元素，其性質實是高出生石灰甚多。另由於高爐渣所含的 SiO_2 雖達 35%，然其中可溶性矽酸為 25~28%，可使植物莖部增強，不易倒伏，增強陽光利用率，且具防止病蟲害，提高磷的吸收率，緩和氮肥過多之害。

14.2.3 煉鋼爐渣

事實上，轉爐渣及電弧爐渣之產生源均來自煉鋼過程，一般通稱為“煉鋼爐渣”，兩者之特性較為類似，其資源化用途亦相似。綜觀國內外將煉鋼爐渣資源化再利用的經驗，煉鋼爐渣可供作為鋼鐵冶煉的溶劑、水泥摻配料或生產煉鋼爐渣礦渣水泥、築路和回填工程材料、生產建材製品、農肥及土壤改良劑及回收廢鋼等。

14.2.3.1 作鋼鐵冶煉溶劑

1. 燒結溶劑

燒結礦的生產，需配加石灰石作溶劑。煉鋼爐渣一般都含有 40~50% 的 CaO ，1 噸煉鋼爐渣相當於 700~750 公斤的石灰石。因此，將煉鋼爐渣粉碎加工至小於 10mm 的煉鋼爐渣粉，便可代替部份石灰石直接作燒結配料用。

2. 高爐煉鐵溶劑

將煉鋼爐渣破碎加工處理成 10~40mm 的煉鋼爐渣粒，亦可替代配加石灰石，供作高爐煉鐵溶劑。替代數量視實際狀況而定。



14.2.3.2 生產煉鋼爐渣水泥或作水泥摻配料

1. 煉鋼爐渣礦渣水泥

高鹼度煉鋼爐渣含有大量的 C_3S (矽酸三鈣)、 C_2S (矽酸二鈣) 等活性礦物，具有極佳的水硬性。將經適當處理的煉鋼爐渣與一定量的水淬高爐渣、煨燒石膏、水泥熟料及少量激發劑配合球磨，即可生產出與普通矽酸鹽水泥指標相同的煉鋼爐渣礦渣水泥。生產煉鋼爐渣礦渣水泥的煉鋼爐渣，鹼度($CaO/Si_2 + P_2O_5$)不得低於 1.8，金屬鐵含量不超過 1%，f-CaO (游離氧化鈣) 含量不超過 5%，並不得混入廢耐火材等雜物。

2. 水泥摻配料

由於煉鋼爐渣具有活性，因此，煉鋼爐渣也被作為普通矽酸鹽水泥摻配料。摻配 10~15% 煉鋼爐渣生產的普通矽酸鹽水泥，對其特性及使用均無不良的影響，只是比其它原料難磨罷了。作水泥摻配料煉鋼爐渣的要求，與生產鋼爐渣礦渣水泥的煉鋼爐渣相同。

3. 煉鋼爐渣白水泥

電弧爐還原渣除含有大量的 C_3S 、 C_2S 外，並有很高的白度，與煨燒石膏和少量外加劑混合、磨製，即可生產出煉鋼爐渣白水泥。

14.2.3.3 作築路和回填工程材料

煉鋼爐渣抗壓強度高，養生後性能已基本穩定。因此，可將養生處理後的煉鋼爐渣作路基材料和回填工程材料。特別是煉鋼爐渣具有活性，能板結成大塊，用煉鋼爐渣在沼澤地築路，更具有其它材料不能替代的效用。用煉鋼爐渣作工程材料的基本需求是：必須是養生後的煉鋼爐渣，粉化率不能高於 5%；要有適當的級配，最大塊的直徑不宜超過 300mm，並且最好與適當的粉煤灰或粘土混合使用。

14.2.3.4 生產建材製品

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



14.2.3.5 作農肥和土壤改良劑

煉鋼爐渣含 Ca、Mg、Si、P 等元素，並且 Si 及 P 氧化物的溶解性高，可根據元素含量不同作不同的利用。矽是水稻生長需要量大的元素，含 SiO₂ 超過 15% 的煉鋼爐渣，磨細至 60 目以下，即可作矽肥用於水田。含 P₂O₅ 超過 4% 的煉鋼爐渣，可作為低磷肥料用，相當於等量磷的效果。含鈣鎂高的煉鋼爐渣經磨細後，可作酸性土壤的改良劑，並且也利用了煉鋼爐渣中的磷等元素。

14.2.3.6 回收殘鋼

煉鋼爐渣一般含 7~10% 殘鋼，加工磁選後，可回收其中 90% 的殘鋼。

14.3 爐渣資源化處理技術

爐渣處理技術的選用，需視再利用用途而定。一套完整的爐渣處理技術，可分為四階段程序，包括：爐渣預處理程序、爐渣加工程序、爐渣養生程序及殘鋼精加工程序。但是，落實到一個企業應用，不一定四個程序都要有，可根據需求而取捨。

14.3.1 爐渣預處理程序

爐渣預處理程序的功能，係將冶煉爐排出的熱熔渣處理成粒徑小於 300mm 的常溫爐渣粒或渣塊，以備後續加工。目前採用的爐渣預處理程序有水淬法、氣碎法、餘熱自解法、熱潑法及淺盤潑法等。

1. 水淬法

水淬法係利用壓力水泵噴出高壓水柱將高溫熔渣流沖碎、冷卻成粒渣。小於 5mm 的粒渣量，一般佔 95% 以上。水淬法又分爐前水淬和室外水淬兩種方式。

2. 氣碎法

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

3. 餘熱自解法

爐渣餘熱自解，一般是利用 400~800°C 的高溫爐渣淋水後產生溫度應力及



f-CaO 吸水（水蒸汽）消解後產生的體積膨脹應力等使爐渣冷卻、龜裂及粉化。爐渣的粉化率（粒徑小於 10mm 的粉渣含量）一般隨 f-CaO 含量增加而增加。餘熱自解法有以下幾種方式：渣桶自解、渣堆自解、封閉倉常壓自解、密封罐加壓自解。

4. 熱潑法

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

5. 淺盤潑法

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

此外，還有自然風化法。該法類似傳統的棄渣法，即將爐渣運送到渣場有規律地堆放，讓爐渣自然降溫、淋雨、吸潮，以達到粉化的目的。利用時，以挖掘機開採即可。

14.3.2 爐渣加工程序

爐渣加工程序的功能，是將經預處理後的爐渣，再破碎、磁選、篩分等，選出殘鋼（含鐵 55% 以上），分級成符合要求的規格渣。殘鋼則可再進行精加工直接按不同的規格供燒結、高爐、轉爐或電弧爐使用。規格渣除供鋼鐵冶煉的熔劑、水泥原料、土壤改良劑外，供道路工程或建材材料尚需進行養生程序。

爐渣加工，因破碎原理不同可分為機械破碎法和自磨法兩種。

1. 機械破碎法

一般爐渣加工所使用的設備，破碎機有顎式破碎機、圓錐式破碎機、反擊式破碎機和雙輥破碎機等；磁選機有懸掛式和帶式電磁鐵磁選機；篩分機有格



篩、單層振動篩和雙層振動篩等。煉鋼爐渣加工程序，就是用皮帶輸送機，按不同要求將這幾種設備連接起來，組合成各種處理流程。

2. 自磨法

爐渣自磨法，是利用爐渣在旋轉的自磨機內，藉由自身的互相撞擊和壓磨達到破碎和磨細。粒度小於自磨機周邊出料孔徑的爐渣自行漏出，未能磨小漏出的殘鋼，達到一定量時即卸出。

14.3.3 爐渣養生程序

爐渣養生程序的功能，是為了使 f-CaO 等進一步消解，使爐渣趨於穩定，以確保爐渣用於築路、建材方面的產品品質與工程的安全。一般而言，未經任何預處理的轉爐渣及氧化爐渣以空氣養生需時約 3~6 個月，而還原爐渣以蒸汽養生需時約 20 日，養生後的爐渣性質即可穩定。

14.3.4 殘鋼精加工程序

加工磁選出的殘鋼，一般含鐵量在 55% 以上，可進行簡單的分類，小於 10mm 級作燒結的精礦粉用，中塊作高爐原料用，大塊作轉爐原料或冷卻劑用。若作電弧爐的原料用，則必須進行精加工，使含鐵量提高到 90% 以上。殘鋼精加工可採用棒磨機處理，殘鋼在旋轉的棒磨機內，經過鋼棒和大塊鋼的磨打，使渣與鋼分離。經磁選後，即可得到含鐵量 90% 以上的殘鋼。也可用棒磨機和投射式破碎機聯合使用，大塊殘鋼用棒磨機處理，小塊殘鋼用投射式破碎機處理。

14.4 爐渣資源化技術評析

由以上各項資源化技術，綜合各項技術、原理流程、適用對象、適用範圍、技術成熟度及特點等要項，彙整如表 14.1 所示。



表 14.1 爐渣資源化技術評析

技術名稱	原理、流程	適用對象	成品與適用範圍	技術成熟度與實績	特點(含應用限制)
水泥熟料	1.熔渣經噴水急速冷卻，形成玻璃態爐渣細料 2.將爐渣細料研磨成細粉	水淬高爐渣	1.高爐石粉 2.高爐水泥 3.波特蘭高爐水泥	已商業化 中聯爐石公司等	1.節省能源及石灰石 2.水合熱低 3.長期強度提昇 4.耐化學侵蝕
水泥原料	1.爐渣與其它水泥原料等混合鍛燒 2.將鍛燒料研磨成細粉	高爐渣、轉爐渣、電弧爐渣	1.波特蘭水泥	已商業化 建台水泥公司等	1.節省部份原料，降低水泥成本
道路用級配料原料	1.將爐渣進行破碎、磁選、篩分等程序	高爐渣、轉爐渣、電弧爐渣	1.道路用級配料	已商業化 中聯爐石公司等	1.具有膠結性，可提高路基穩定性 2.抗剪力較大，提高土層之承載力 3.施工時較不會塵土飛揚
混凝土用骨材原料	1.將爐渣進行破碎、磁選、篩分等程序	高爐渣、轉爐渣、電弧爐渣	1.混凝土用骨材	已商業化 中聯爐石公司等	1.表面粗糙，提高混凝土握裹強度
玻璃助熔劑原料	1.將爐渣進行乾燥、粗碎、磨粉、磁選、篩分等程序	高爐渣	1.玻璃助熔劑	商業化推廣	1.提高窯爐引出量 2.降低窯爐溫度 3.降低燃料成本 4.改進玻璃品質 5.提高生產力
陶瓷面磚原料	1.將爐渣進行乾燥、粗碎、磨粉、磁選、篩分等程序	高爐渣、轉爐渣、電弧爐渣	1.陶瓷面磚	商業化推廣	1.節省部份原料，降低成本
土壤改良劑原料	1.將爐渣進行乾燥、粗碎、磨粉、磁選、篩分等程序	高爐渣、轉爐渣、電弧爐渣	1.土壤改良劑	已商業化 美、法、德、日等國	1.增加土壤肥力 2.可溶性矽酸高 3.使植物莖強硬 4.抑制病蟲害
鋼鐵冶煉熔劑原料	1.將爐渣進行粗碎、細碎、磁選等程序	轉爐渣、電弧爐渣	1.鋼鐵冶煉熔劑	已商業化 川崎製鐵千葉工廠等	1.減少原料使用 2.提高燒結還原能力 3.含磷太多則無法使用
回收殘鋼原料	1.將爐渣進行粗碎、細碎、磁選等程序	轉爐渣、電弧爐渣	1.回收殘鋼	已商業化 中聯爐石公司等	1.節省部份原料，降低成本

14.5 水淬高爐渣資源化案例

14.5.1 案例

14.5.1.1 前言

本案例工廠為國內一家利用高爐煉鐵所產出之水淬高爐渣為原料，資源化生產高爐水泥及爐渣粉之專業工廠。該廠係配合政府推動之廢棄物減量及資源化政

策，經由輔導成立之重大投資工廠。該廠為中國鋼鐵公司轉投資事業之一，由中國鋼鐵公司、中國鋼鐵結構公司、中鋼碳素化學公司及國內三大水泥公司—台灣水泥公司、亞洲水泥公司及嘉新水泥公司共同合資設立。該廠成立於民國 80 年 5 月 25 日，總投資額為 20 億 950 萬元，採用德國 Krupp Polysius 公司發展之高壓研磨機系統，研磨水淬高爐渣，每年可生產研磨爐渣粉 60 萬噸，並與卜特蘭普通水泥拌合，每年可生產卜特蘭高爐水泥 120 萬噸。

14.5.1.2 製程與原理

高爐煉鐵過程中，有大量的爐渣產出，一般而言生產一噸生鐵約可伴生 0.3 噸以上的高爐渣。以往國內皆以拋海及道路級配等來處理氣冷高爐渣，資源化價值偏低，而在歐美日先進國家，皆視爐渣為高價值資源產物。以熔融爐渣經高壓水流噴射之水淬設備處理後，造粒成為水淬高爐渣，具有十分穩定而優異的物理及化學性質，其主要成份為 SiO_2 、 CaO 、 Al_2O_3 及 MgO 等，其他成份則為少量之 MnO 、 FeO 、 TiO_2 及 S 等，很類似水泥熟料(clinker)成份，因水淬高爐渣含有高量玻璃質，故具有潛在的膠結能力，若加以適當的催化作用如氫氧化鈣或石膏等鹼鹽，以激發其水化活性，會與石灰進行波索蘭反應(pozzolanic reaction)形成類似水泥熟料的水化物 C-S-H 膠體，又因其含極低的鹼性物質，因而可製成抗蝕性極佳的高爐水泥。

水淬高爐渣資源化製造高爐水泥製程如圖 14.2 所示。該工廠的主體包括水淬高爐渣原料貯存、石膏原料貯存、水淬高爐渣研磨處理、爐渣粉存放筒倉、普通卜特蘭水泥存放筒倉、混拌處理及高爐水泥出廠等。

1. 水淬高爐渣原料貯存

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

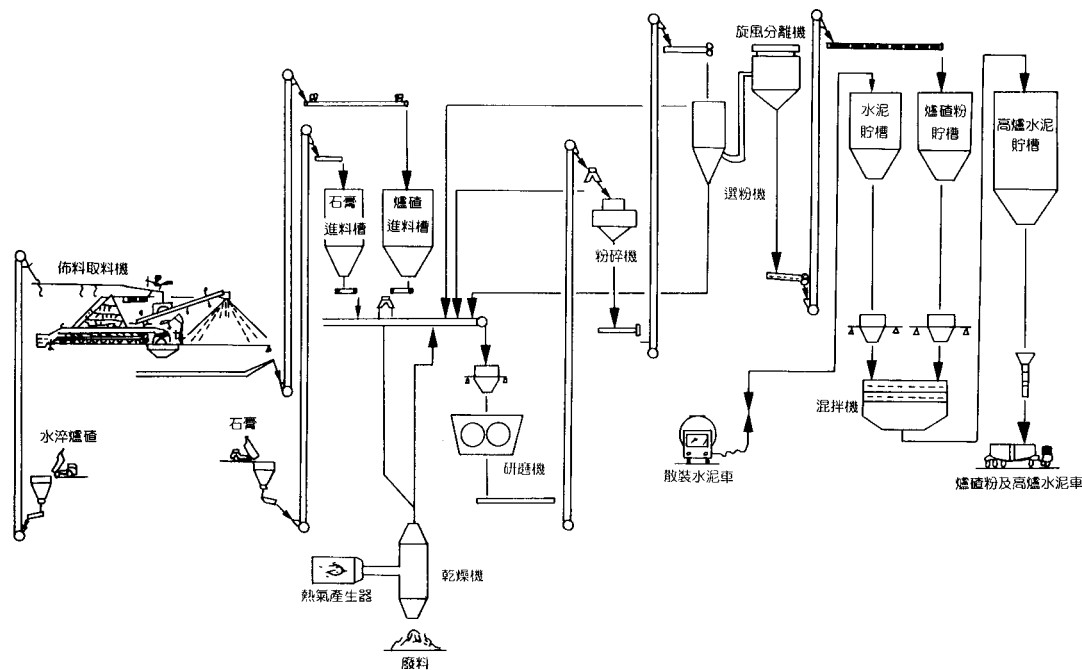


圖 14.2 高爐水泥生產流程圖

2. 石膏原料貯存

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

3. 水淬高爐渣研磨處理

由配料筒槽下料經由配料系統控制爐渣與石膏混合。若爐渣含水份低於 12%，則直接由輸送帶輸送經稱重機，控制輸送量後送入滾輪研磨機研磨。若爐渣含水份高於 12%，則給料閥打開，爐渣落入烘乾機，粗粒爐渣經由底部排出，細粒爐渣由熱風吹入旋風分離機。藉離心力原理使較粗之爐渣從旋風離心機落入輸送帶，而較細之粉末由風扇抽出送至選粉機。爐渣經由滾輪研磨機研磨後，形成爐渣餅落入輸送帶，輸送至垂直筒形斗昇機，並進入粉碎機粉碎。



經粉碎後之爐渣粉落入氣滑槽，輸送至垂直筒形斗昇機，再輸送至選粉機，分離粉末與粗粒爐渣。粗粒爐渣經磁選器分離殘留鐵屑，並再經研磨。而粉末則由排氣機抽送至除塵器收集，再由氣滑槽輸送至筒形斗昇機。

4. 爐渣粉貯槽

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

5. 普通卜特蘭水泥貯槽

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

6. 混拌處理

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

高爐水泥在歐美日先進國家中，已經是一項十分成熟的產品，具有優異的特性如下：

1. 具有優異的後續強度增延性

以爐渣粉或高爐水泥拌合生產之混凝土，於 14~28 日材齡時，其強度水準與普通卜特蘭水泥相比，已達相等或更高的強度。而長期強度更是凌駕其他種類的水泥，故可建造持久而耐用的各類土木工程構造物。高爐水泥與普通卜特蘭水泥抗壓強度比較，如圖 14.3 所示。

2. 具低水合熱的特性

爐渣粉及高爐水泥之水合熱遠比普通卜特蘭水泥為低，因此高爐水泥之水合熱隨著高爐渣粉末之置換混合比率之增加而逐漸降低，近年來隨著土木結構建物之大型化，巨積混凝土溫度裂紋問題亦日益受到矚目，高爐水泥即可有效地克服此困擾。高爐水泥與普通卜特蘭水泥水合熱比較，如表 14.2 所示。

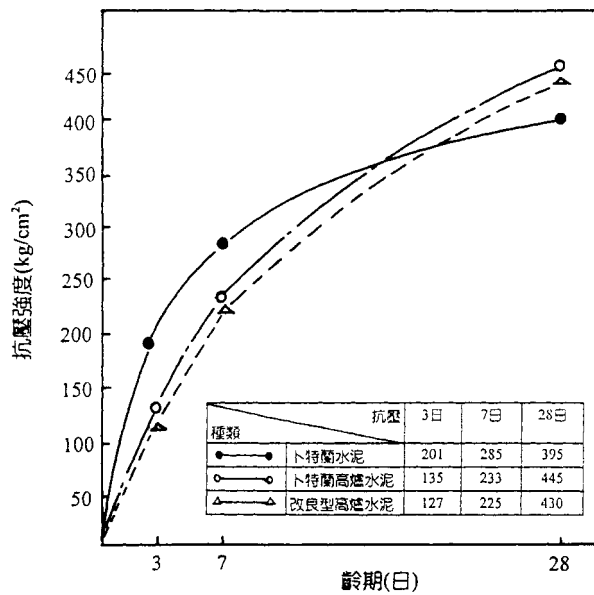


圖 14.3 高爐水泥與卜特蘭水泥抗壓強度比較

表 14.2 高爐水泥與卜特蘭水泥水合熱比較

水 泥 種 類	水合熱(kcal/kg)	
	7 日	28 日
卜特蘭水泥 Type I	76.59	85.67
卜特蘭水泥 Type II	68.03	77.95
高爐水泥*	52.00	64.06

*爐渣粉細度：4,700 cm²/g，爐渣粉含量：50%

3. 提升混凝土的耐久性

處於酸雨威脅地區、溫泉地帶、具有侵蝕性土壤之環境、或是下水道設施

及海岸構造物等，皆要求具備化學耐久性。水泥的化學抵抗性中，主要考慮由硫酸鹽引起的劣化崩壞現象。這種現象是水泥水化物中的游離 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 與硫酸鹽反應而產生硫酸鈣。

高爐水泥混凝土與普通卜特蘭水泥混凝土比較，得知水化物中之 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 較少，所以高爐水泥混凝土比較適合於海水、污水及溫泉水等，有化學腐蝕性的環境，爐渣粉含量愈高，對化學抵抗性愈好，如圖 14.4 所示。

4. 可獲得高緻密性的混凝土

高爐水泥混凝土，因高爐渣粉末的滲入，大幅提昇新拌混凝土的工作度，且固化後的混凝土因具有波索蘭反應效果故緻密性極佳，因此擁有優異的水密性及耐磨性。各種水泥混凝土緻密性比較，如圖 14.5 所示。

5. 預防混凝土鋼筋腐蝕

以保護層 70 公厘厚度的高爐水泥混凝土而言，其鋼筋開始腐蝕期遠較普通卜特蘭水泥 (Type I) 混凝土延後約 100 年。如圖 14.6 所示。

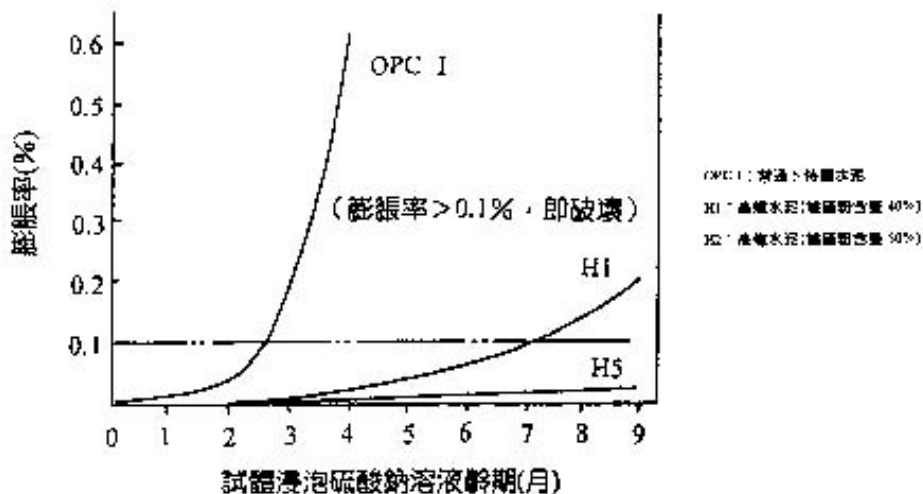


圖 14.4 高爐水泥與卜特蘭水泥試體浸泡於 5% 硫酸鈉溶液之膨脹率與齡期關係

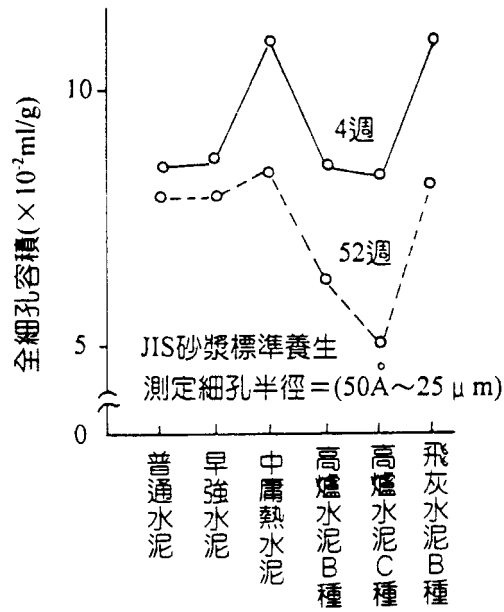


圖 14.5 各種水泥混凝土緻密性比較

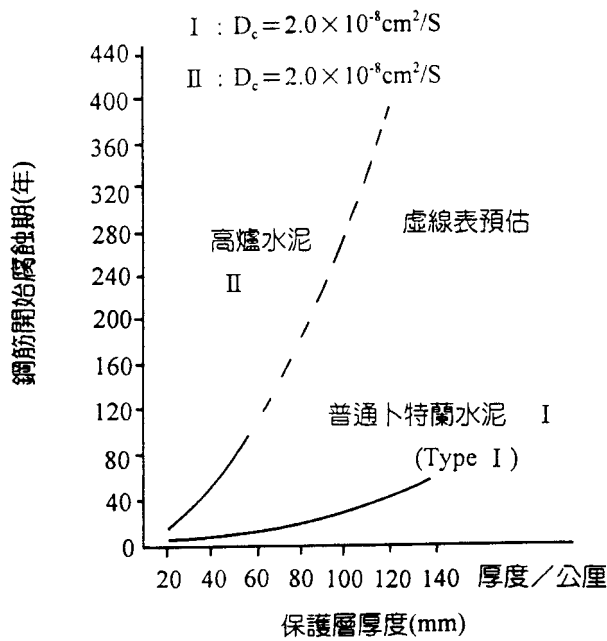


圖 14.6 高爐水泥與卜特蘭水泥預防鋼筋腐蝕比較

14.5.1.3 資源化成效

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

以日本水泥工業界之經驗數據為基礎，試算生產卜特蘭水泥與高爐水泥之能源消耗，相關燃料、電力、石灰石之比較如表 14.3 所示。由於水淬爐渣粉製造高爐水泥之摻配比率可達 50%，若以該廠水淬爐渣粉總產出量達 60 萬噸／年計，每年可節省之當量煤料為 57,600 噸／年；電力為 24,000,000KWH/年；石灰石為 720,000 噸／年。

至於二氧化碳生成量之降低，亦可由卜特蘭水泥與高爐水泥之生產所產出之二氧化碳量比較如表 14.4 所示。若以該廠水淬爐渣粉總產出量 60 萬噸／年計，可減少二氧化碳之生成量約 $600,000 \times 0.79 = 474,000$ 噸／年，而民國 83 年國內水泥產出量約為 22,000,000 噸，概估二氧化碳生成量約為 19,360,000 噸。故高爐水泥之全力生產可降低水泥業二氧化碳生成總量之 2.45%。

表 14.3 高爐水泥節省資源效益評估

消耗之資源	單位	卜特蘭水泥	高爐水泥	差額
當量煤料	公斤／噸產品	110	14	96
電力	KWH/噸產品	110	70	40
石灰石	公斤／噸產品	1,200	—	1,200

表 14.4 高爐水泥降低二氧化碳生成量效益評估

二氧化碳發生源	單位產出量(噸/噸產品)		
	卜特蘭水泥	高爐水泥	差 額
石灰石分解	0.48	—	0.48
煤料燃燒	0.28	0.035	0.245
電力消耗相當之二氧化碳產出	0.12	0.055	0.065
合 計	0.88	0.090	0.790

聯合國環境規劃署(UNEP)及世界氣象組織(WHO)於 1988 年共同成立氣候變化政府間專家委員會(IPCC)，針對全球氣候變化趨勢進行監測與研究。依 IPCC 的研究成果與建議，聯合國於 1992 年 5 月 9 日通過「氣候變化綱要公約」(Framework Convention on Climate Change, FCCC)。同年 6 月在巴西里約「地球高峰會議」上有 155 個國家簽署，公約並於 1994 年 3 月 21 日正式生效。公約希望到公元 2000 年將 CO₂ 排放量削減至 1990 年的排放量，以共同努力遏止全球氣候的繼續惡化。其後相繼於 1995 年 3 月，1996 年 7 月分別在柏林、日內瓦召開第一、二屆締約國大會，並於 1997 年 12 月在日本京都舉行第三屆締約國大會，通過具法律效力之京都議定書，以有效規範溫室氣體的排放。

以日本而言，水泥業排放出之二氧化碳量約達全國總量的 7%，故有 23 家主要水泥業者集合苦思削減二氧化碳之對策，經由其估算概約尚可經由能源策略降低二氧化碳生成量 1.4%，但卻將迫使卜特蘭水泥生產成本上升約 ¥1,000/噸。若以此數據為基礎，該廠若能將 60 萬噸/年之水淬爐渣應用於水泥上，對環境保育之貢獻折算成新臺幣可達 60 億元以上。(約合 ¥1,000/(¥5.5/1NTD)×(2.45%/1.4%)×19,360,000 噸/年=6,160,000,000NT/年=新台幣 62 億元/年)

14.5.1.4 結語

將高爐渣有效的推廣應用於水泥工業，非但增加爐渣資源化利用途徑，並對國內資源保育、能源節約、污染防治及生態環境改善等均具有顯著的效益。再者，



第十四章 爐渣資源化技術

因高爐水泥及水淬爐渣粉具有多項優於普通卜特蘭水泥的特性，對於提昇各項工程建設之品質及耐久性亦有正面的效益。

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



參考文獻

1. 工業污染防治技術服務團計畫專案，電弧爐爐渣資源化技術合作開發與推廣，經濟部工業局，1998。
2. 財團法人中國技術服務社，電弧爐煉鋼廢棄物減量資源回收及處理示範計畫，行政院環境保護署，1994。
3. 中鋼公司八十二年度工業減廢工作報告，中國鋼鐵股份有限公司，1993。
4. 蔡馬陵、吳泰雯，高爐石在水泥上的應用，技術與訓練，Vol.17，No.1，pp18-30，1992.2。
5. 楊貫一，中鋼公司爐石應用的過去與未來，技術與訓練，Vol.17，No.1，pp31-46，1992.2。
6. 蔡辛慈、金崇仁，日本電爐煉鋼業的爐渣處理，技術與訓練，Vol.18，No.3，pp11-19，1993.6。
7. Shun-ichi Tohyama，Kenji Tanoue，Shigenobu Shimazaki，Minoru Nakajima，Utilization of Iron and Steel Slag，Kobe Steel Engineering Reports，Vol. 43，No.2，pp5-8，1993。
8. Osamu Tamari，Development of Stabilization Technology for Arc Furnace Slag，Daido Steel Co. Ltd.，Vol. 78，pp225-228，1992。



第十四章 爐渣資源化技術



第十四章 爐渣資源化技術



第十五章 廢白土資源化技術

15.1 前言

廢白土目前被視作一般事業廢棄物中之無害性污泥看待，但由於廢白土中含有高含量(20~30%)之殘留油脂，不能直接進行安定掩埋，故國內廢白土之處理情形，多由事業單位委託地方清除機構載至衛生掩埋場中棄置填埋。

但由於廢白土容易自燃之特性常造成掩埋場焚燒之危險，再者，白土為有機物質，且其吸附油脂後具有約 2,000~3,000 kcal/kg⁽¹⁾高熱值之適燃特性，掩埋丟棄實是一種資源上的浪費，故研究如何自廢白土中回收熱能及將其轉化為再利用物質之技術不斷地被開發探討，將於本章中作一討論。

15.2 廢白土之產生及特性^(1,2)

油脂脫色用吸附劑一般常用者有天然白土、活性白土和活性碳等三類，其中活性白土在脫色效率及經濟考量上遠比二者為佳，所以一般都用在黃豆油的脫色。

為使脫色白土的脫色效果更為顯著，在脫色過程中必須將油脂與白土充分混合，大多數的黃豆油精煉廠，現在都採用真空脫色處理，以代替以前的常壓脫色處理法，白土之性質如表 15.1 所示。

廢白土之顏色從茶色至深褐色均有，呈現粉顆粒狀，一般廢白土含有重量比 20~30%的油份，熱值約在 2,000~3,000 kcal/kg，廢白土通常是直接倒入衛生掩埋場內，但因富含有不飽和油脂，易因內部熱能的蓄積而產生燃燒現象，引起掩埋場火災之危險。

根據美國 Norris⁽³⁾和 Goebel⁽⁴⁾研究顯示，美國黃豆油和棉籽油的食油精煉廠，一般白土添加與油脂產量之比值都在 1%左右。另根據 Patterson⁽⁵⁾的說法，吸除微量殘皂和膠質所需，白土最少用量為 0.2~0.4%，最大用量則在 1.5~2.0%左右。對於品質好的燒鹼脫酸黃豆油，經過水洗到低殘皂的程度時，配合連續式真空脫色設備之使用，其添加酸活化白土的劑量只需 0.25~0.5%。



表 15.1 酸活性白土特性分析

特 性	數 值
化學性質	
燒失量(LOI)(%)	4.24 ~ 10.27
SiO ₂ (%)	73.49 ~ 78.16
Al ₂ O ₃ (%)	6.94 ~ 10.63
Fe ₂ O ₃ (%)	1.53 ~ 4.45
MgO(%)	1.19 ~ 2.84
CaO(%)	0.19 ~ 0.92
殘留酸度(KOH-mg/g)	0.5 ~ 1.5
pH 值(蒸餾水懸浮液 10%)	2.5 ~ 3.5
物理性質	
比重	2.3 ~ 2.5
比表面積(BET 測定)(m ² /g)	245
水份(%)	7.0 ~ 9.0
揮發物(%)	18 ~ 22
視密度(g/ml)	0.65~0.75

根據經驗，精煉過程中白土之添加比例約在 0.5~1.0%，而依黃豆油產銷統計得知，國內沙拉油及一級黃豆油（粗製黃豆油因不經脫色程序，不予考慮）年產量共計 348,248 公噸，在乘上白土之添加比例 0.5~1.0%及廢白土油脂量約 25% 後，可推估國內每年廢白土產生量約在 2,176~4,353 公噸之間，中值為 3,264 公噸。若與全國事業廢棄物總量 1,800 萬公噸/年⁽⁶⁾相比較，所佔比重極為輕微。

15.3 現有廢白土資源化技術

15.3.1 水泥窯之燃料及原料^(1,2)

水泥中除含大量之氧化鈣(CaO)外，尚有部份為氧化矽(SiO₂)及氧化鋁(Al₂O₃)之成份，此項成份主要係由水泥原料中黏土及矽砂提供。廢白土中除所吸附之油份及有機雜質外，其餘均為原來白土之無機成份，表 15.1 所示為白土之化學組成，由表可知白土之主要成份即為氧化矽(SiO₂)，故廢白土應用於水泥製造時，

可取代矽砂原料。

廢白土中含有油份 20~30%，其熱值約 2,000~3,000kcal/kg，可應用為製造水泥之輔助燃料。其可行之進料位置為旋窯之窯尾處，此處溫度通常即可達 950℃ 以上，燃燒氣體溫度可達 1,100℃，可充份將廢白土中之有機物加以焚化破壞，並達到回收熱能之目的。

由於生產水泥之條件需將原料受熱達 1,425~1,485℃ 以上之高溫，相對於氣體溫度達 1,650℃，此外，生產過程為鹼性及氧化環境，以及較長之氣體停留時間（約 6~10 秒），且水泥窯皆裝設有靜電集塵器及袋濾集塵器等空氣污防制設備，以收集回收廢氣中之粉塵。因此，水泥窯在製造水泥過程中確實能有效處理廢棄物。另外，廢白土中所含之大量氧化矽即為水泥原料，所以不致影響水泥之品質。但因廢白土直接進料位置在窯尾處，當白土添加之數量頗大時，為使燒成之水泥能符合要求，則生料之組成及進料量亦應相對配合調整，系統之操作狀況亦需有所更動。

15.3.2 製成水泥窯輔助燃料⁽⁷⁾

廢白土之另一再利用方式為製成於水泥窯輔助燃料，然後代替部份之粉煤噴入水泥窯中燃燒，其進料位置於窯頭處。國內目前已有廠商引進日本技術，利用各事業機構產生之廢棄物，諸如油泥、廢液、廢油、廢白土、污泥及集塵灰等，依各組合物之熱值分析，經由粉碎、過篩、攪拌、輸送及混煉過程，並添加適量之乳化安定劑，製成熱值達 4,000 kcal/kg 以上之輔助燃料（稱之「泥燃劑」，slurry fuel），其製作過程如圖 15.1 所示。

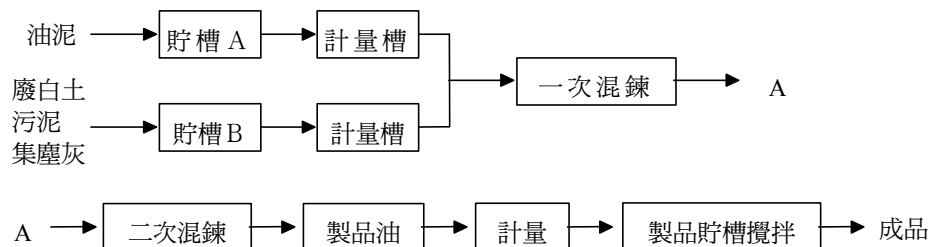


圖 15.1 「泥燃劑」製造流程圖



有關泥燃劑之成份比率及規格如表 15.2 所示，目前已實際使用於台灣的水泥廠旋窯中作為輔助燃料之用。

表 15.2 泥燃劑之成份比例及規格一覽表⁽⁷⁾

成份比例		規格要求	
油份	30~60%	熱值	4,000~4,500kcal/kg
水份	20~30%	黏度	500~1,000 cP
固形物	10~50%	氯含量	<2,000ppm
		最大粒徑	5mm

15.3.3 動物飼料添加品

廢白土含有約 20~30%的油份，許多實驗指出，這些殘留油脂若伴隨廢白土添加至動物飼料中，對於飼料之品質及動物之影響，均不會產生任何問題。Ong 等人^(8,9)利用含 20~35%(w/w)油脂的黃豆油廢白土和棕櫚油廢白土作為家禽飼料的調配，以廢白土取代約 20%的標準飼料，結果顯示餵食含有 20%棕櫚油廢白土的飼料和餵食標準飼料的雞隻平均獲重相同，而雞隻餵食含有 20%黃豆油廢白土的飼料其平均獲重則稍差(8%less)，可能原因是黃豆油廢白土的油脂中聚合物含量多，無法被消化利用。Babuchowski 等人⁽¹⁰⁾則利用含 20.9%(w/w)油脂的廢白土，取代 10%和 20%雞的飼料，結果顯示雞隻的平均獲重率，以含 10%廢白土的飼料最重，其次依序為含 20%廢白土飼料、原始標準雞飼料及含 8%活性白土之飼料。另外，鄭智和⁽²⁾指出將含有 27%殘留油脂的廢白土，按 10~20%的比例餵於蛋雞，結果產蛋率和增重率都沒有差別，但是雞蛋所含脂肪的亞油酸組成會增加，而且蛋黃顏色較淺淡，由官能品評結果得知，含有廢白土的飼料，對於蛋雞並沒有造成特別的影響。

Herstad⁽¹¹⁾曾利用廢白土針對肉雞、蛋雞等進行餵食試驗。首先以 10 及 20%之廢白土摻配為肉雞飼料時，其結果如表 15.3 所示，發現對於肉雞無任何負面影響，即摻配飼料與標準飼料之飼養結果間沒有任何明顯差異。其次以 10 及 20%之廢白土摻配為蛋雞飼料時，其結果如表 15.4 所示，除蛋雞每日攝食量略為增

加，其餘並無明顯差異；而雞蛋中所含之亞油酸增加，棕櫚酸及油酸則降低；蛋黃顏色則隨著廢白土量增加而明顯變淡，其原因是廢白土對色素的吸附降低雞隻對飼料中色素的攝取；另外官能品評結果得知，含廢白土之飼料並不會對雞蛋造成影響。

表 15.3 廢白土含量不同之內雞飼料對飼養結果之影響(0~4 週)⁽¹¹⁾

實驗組別		—	二	三
要項				
1.飼料組成*				
廢白土	%	—	10	20
黃豆油	%	—	—	—
黃豆粉	%	26	30	34
大麥	%	35.4	21.4	7.4
2.營養分				
粗蛋白質	%	21.8	22.1	22.4
熱能/公斤飼料	kcal	2,815	2,755	2,695
鈣	%	1.04	1.05	1.05
磷	%	0.72	0.69	0.67
3.飼養成果				
雞隻數	g	60	60	60
損失數	%	0	1	0
體重	l:	299	315	308
FCR	%	100.0	105.4	103.0
		2.23	2.25	2.30
所需熱能/公斤增加體重	Mcal	100.0	100.9	103.1
維生素 A/公克 肝	gamma	6.28	6.20	6.20
雞肉官能品評分數	pts	144	—	168
		7.6	—	7.0

註*：各組的飼料組成中其餘之 38.6%是相同的

表 15.4 廢白土含量不同之蛋雞飼料對飼養結果及雞蛋品質之影響(2×28 天)⁽¹¹⁾

要項	實驗組別			
	—	二	三	
1. 飼料				
廢白土	%	0	10	20
黃豆粉	%	0	5	10
礦物質	%	0	2	4
標準蛋雞飼料*	%	100	83	66
2. 營養分				
粗蛋白質	%	14.5	14.4	14.3
熱能/公斤飼料	kcal	2,600	2,510	2,430
鈣	%	3.17	3.12	3.08
磷	%	0.74	0.76	0.78
3. 飼養效果				
蛋雞數		8	8	8
起始重量	kg	1.61	1.80	1.67
飼料量/天	g	113	126	127
雞蛋成果	%	85.3	84.3	83.2
平均蛋重	g	58.1	58.1	55.4
FCR/公斤雞蛋	kg	2.33	2.63	2.64
熱能/公斤雞蛋	Mcal	6.06	6.60	6.42
4. 雞蛋品質				
比重(蛋殼品質)		1.081	1.081	1.081
蛋黃顏色(Roche fan)		9.5	8.4	7.3
血蛋白高度	mm	5.7	5.6	5.6
官能品評分數	pts	7.8	8.0	7.5

註*：標準蛋雞飼料成份：20%魚粉；9.6%黃豆粉；13.0%小麥；7.0%帶麩的小麥粉；7.0%大麥；12.0%燕麥；32.7%玉米；2.0%糖蜜；2.0%蒸餾器乾燥可溶物(distiller dried solubles)；3.0%grass meal；0.1%維生素；9.6%礦物質；0.02%甲硫胺酸

以黃豆油生產方式為例，每 600 噸之黃豆可製得 120 噸之黃豆油及 480 噸之黃豆粉，其廢白土產生量約為 1 噸。若將廢白土加入黃豆粉製成飼料，則不僅可



將廢白土內之油脂資源化利用，且因廢白土含量極微，將不致影響飼料品質。

Werner⁽¹²⁾曾建議，若在雞豬等家禽、家畜飼料中以 5%之上限添加廢白土，將不會對於飼體本身產生維他命 A 及礦物質之缺乏；且這些附著於廢白土表面之油脂能快速且高效地被生物所分解使用。

綜合以上之結論，可知廢白土摻配應用於飼料之用途為確實可行。但廢白土之飼料價值乃在於其油脂的含量，且必須考慮油脂氧化所造成之風險。通常多元不飽和脂肪酸(polyunsaturated fatty acid) 的含量愈高則油脂的氧化速率愈快。由於油脂氧化對於其飼料用途有負面影響，因此廢白土有必要添加抗氧化劑(antioxydant)，有效的抗氧化劑(如 ethoxyquine、BHT)添加量為 500ppm，且必須在精製程序後產生廢白土時立刻添加完成，愈早添加則效果愈佳。故基於各項實驗結果證明，以少量廢白土加入黃豆粉製成飼料，或直接添加飼料中，應是一項資源再利用之可行途徑。

15.3.4 油份回收

當廢白土從過濾機上取下時，含有約 20~30%的油份，這些殘餘的油份代表著漂白過程中大量的成本流失，如何儘可能地加以回收是很重要的。但無論如何，若使用太澈底的回收方式亦會造成吸附在白土上之雜質再度脫附，而降低回收油之品質。以下之數種油份回收方式中，有些是在廢白土濾餅仍於過濾機中時進行，其餘則為廢白土已從過濾機上取下後進行。

1. 通蒸氣於過濾機之廢白土濾餅

通蒸氣於濾餅時，可降低油份至約 20%；但建議不要將油份降至低於 25% 以下，因為蒸氣的濕潤力(wetting power)會導致吸附於白土上之雜質部份脫附，而降低回收油品質。實際上此種降低白土油份之方式已廣泛使用於國內油脂業者。

而低油份含量的廢白土中之油份（在白土顆粒上呈現微細分散的形式）當暴露於空氣中時氧化迅速，對於某些高度不飽和油脂，如魚油、黃豆油，此廢白土將可能著火。

2. 循環熱水於過濾機之廢白土濾餅

約 95°C 之熱水用泵浦以高流速流經濾餅約 30 分鐘，利用此方式可降低濾餅之油份含量至約 20%。



3. 循環溶劑於過濾機上之濾餅

當過濾完成時，先小心地用蒸氣吹濾餅，而後用含約 3% 油份之 half-miscella 循環濾餅約 20 分鐘，得到含 12% 油份之 miscella 再加以蒸餾，而 half-miscella 則再用新鮮的己烷(hexane)清洗，最後，濾餅再用蒸氣吹並由過濾機上取下。經由萃取方式可將廢白土之油份含量由 30% 降至 5%，但此法通常適用於較高價值之油類，如橄欖油及可可油等。

4. 將廢白土濾餅及壓片原料(milled oilseed)混合並進入萃取程序

國外有些工廠採用將濾餅及壓片原料混合進入萃取程序的方式，但利用此方式仍須考慮以下問題：

- (1) 白土會增加黃豆粉中礦物質含量
- (2) 含高度不飽和油脂（如黃豆粉）的廢白土有燃燒的可能。
- (3) 廢白土中的高度不飽和油脂（如黃豆油）迅速產生變質。

5. 溶劑萃取(solvent extraction)廢白土回收油份

溶劑萃取可說是回收油份最有效的方法，其處理流程如圖 15.2 所示，己烷是最常使用的溶劑，如果採用極性大的溶劑，如丙酮(acetone)或三氯乙烯(trichloroethylene)，則可能將廢白土上吸附的色素(color pigments)及其他雜質移至回收油中。利用溶劑萃取廢白土中之油脂，仍會遭遇如前所述之油脂變質的困難，特別是如黃豆油等高度不飽和油脂。因為此原因將導致回收成本過高，故此法只適用於高價值、飽和度高及較安定之油脂。使用溶劑回收油份應注意以下因素之影響。

- (1) 廢白土吸附高度不飽和油脂（黃豆油）時，易因接觸空氣氧化而燃燒。
- (2) 高度不飽和油脂極易因接觸空氣氧化，影響回收率及回收油品質，其影響結果如表 15.5 所示，廢白土中油脂品質明顯受時間影響而迅速劣化，故應儘快於廢白土產生後，立刻回收油脂。
- (3) 白土之油脂回收必須有足夠之數量，如每天(24 小時)至少 60 公斤以上才是經濟可行⁽¹³⁾，在回收工廠周圍若有多家製油工廠是較合適之方式，否則運輸及廢白土變質皆將成為問題。
- (4) 適合處理含高價值、飽和高及較安定油脂之廢白土。



(5)剩餘白土仍須考量其處置問題。

6.鹼液煮沸廢白土回收油份

利用鹼性水溶液煮沸廢白土以回收油份之方式為一早已存在的方法。使用之水溶液有兩種，一種是使用純鹼及鹽，將水溶液及廢白配土成泥漿(slurry)，其組成為水(60~70%)、NaCl(2~3%)、Na₂CO₃(3~10%)及廢白土(25~40%)^(8,9)；另一方式是使用燒鹼，將廢白土配成白土：水=1:2(重量比)，其中含有相對於白土重量 1.5~2.5%的濃燒鹼⁽¹³⁾。將上述廢白土泥漿予以煮沸後，使油份分離而上浮所得的殘油係深棕色，只適於工業用油，例如做為脂肪酸原料。當油經提取後，白土泥漿經離心機處理，由此所得的白土係固體狀，含有 50%水份、45%白土及 5%油份，該白土係淡灰色，幾乎無臭味，並且不會自燃。

分離後之廢水(含有部份白土及油份)可經酸浮除、化學沉澱及生物分解等程序處理；或者在化學沉澱後，添加聚合物以離心機分離之。

而利用煮沸法回收廢白土油份之優點是既簡單又便宜，但其缺點則為尚有廢水及濕白土處置之問題。此回收法所產生之廢水含有大量有機物(如皂化油、油之水溶性成份及有色物質等)而導致高 COD 值，以及含有大量為破壞乳化及加速油水分離之鹽類，徒增廢水處理之困擾及負荷，造成二次污染。

15.3.5 廢白土再生

由於廢白土吸附了油份及其他有機雜質，若能將此類有機物質去除，則可達到廢白土再生之目的。目前最有效之方式即為採用焚化方式。國內食品研究所⁽¹⁶⁾曾利用實驗室之高溫爐，在 750°C、2 小時之條件下生成之再生白土，與原始白土比較仍有 91%之效率，重覆使用 6 次後之再生白土仍可達 81%之效率。

McDermott⁽¹⁷⁾則建議可使用多爐床式焚化爐來達到脫油的目的。此再生方式雖原則可行，但因涉及初設費價昂及後續之集運費等問題，是否經濟可行則仍待評估。

溶劑萃取回收油份後之廢白土，因仍含部份油份，一般而言，仍應清運至衛生掩埋場。Daido⁽¹⁴⁾則建議可再利用為水泥及屋頂瓷磚的原料或土壤改良劑。Svensson(1976)則建議鹼液煮沸回收油份後廢白土(50%水份、45%白土及 5%油份)可做為填土材料。唯考量土壤掩埋後，此 5%油份對土壤及地下水可能之影響，建議以水泥、製磚及屋頂瓷磚等高溫程序之再利用方式仍屬較為可行之方式。

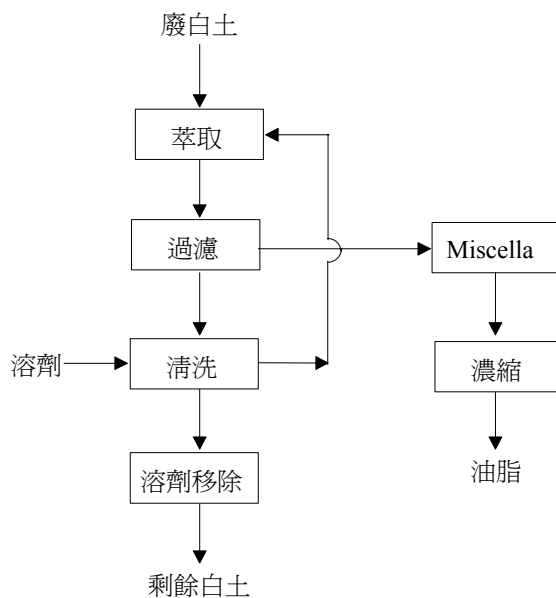


圖 15.2 廢白土溶劑萃取回收油份之流程圖⁽¹⁴⁾

表 15.5 利用己烷萃取廢白土回收之黃豆油品質⁽¹⁵⁾

分析項目	條件	廢白土	
		從過濾器移下後 3 小時	貯存在 70°C，40 小時後
萃取產率(%)		28.0	4.5
回收油之品質			
酸值(mg KOH/g)		7.8	61.2
過氧化物值(meq/kg)		44.8	13.7
碘值		108.2	43.1
聚合物(%)		17.3	22.3

15.4 廢白土資源化技術評析

茲將各項廢白土之資源化利用技術彙整如表 15.6，依其技術之原理、適用對象、技術成熟度及應用限制等項目作一評析。

表 15.6 廢白土資源化技術評析

技術名稱	原理、流程	適用對象	成品與適用範圍	技術成熟度與實績	特點(含應用限制)
水泥窯直接進料	1.廢白土主要成分為氧化矽，可取代水泥之矽砂原料 2.於窯尾處進料，高溫將廢白土之有機成分焚化，且不影響水泥品質	較無限制	水泥成品	國外已有實廠運作	1.完全再利用，無最終處置問題 2.水泥製程中生料組成及進料量僅需稍作調整 3.不影響水泥品質，且節省原料成本
製成水泥輔助燃料	1.與其他物質混鍊成水泥窯輔助燃料 2.進料位置於窯頭處，可回收廢白土之熱能	較無限制	泥燃劑	已有實廠運作	1.可節省部份燃料，減少能源開發 2.水泥製程中生料組成及進料量僅需稍作調整 3.成本較直接進料為高
動物飼料添加品	1.以少量比例添加於動物飼料中 2.使廢白土之油脂充分被生物體利用	廢白土之雜質須注意	飼料	尚無實績，但技術成熟	1.完全再利用，無最終處置問題 2.不對飼料品質及動物產生不良影響 3.為防止油脂腐壞，須酌量添加少量抗氧化劑
油份回收 1.溶劑萃取法 2.鹼液萃取法	1.利用物理方法將廢白土之油脂降低至5%左右 2.脫附出之油份進行回收利用	較無限制，但含油份高者較有利用價值	工業用油	已有實廠使用	1.油份回收率不高，仍有殘留廢白土須處置 2.回收油脂用途有限，僅適用於工業用油
廢白土再生	利用高溫 750°C、2 小時燒焙，可達成白土再活化之效果	較無限制	再生白土	技術成熟，但經濟價值不高，故較少使用	1.再生白土仍有 91%之吸附效率 2.須設置焚化爐，初設費用昂貴



15.5 廢白土資源化市場評析及未來展望

前曾述及廢白土之再利用技術主要包括投入水泥窯中混燒、飼料添加品及回收油脂等方式，此將就各再利用方式之市場性作一評估。

15.5.1 水泥窯業

根據台灣地區水泥工業同業公會統計資料，台灣區共 13 家水泥公司，除油源公司生產白色卜特蘭水泥，南華公司利用國內生產熟料研磨水泥，其餘均利用石灰石生產卜特蘭水泥（普通水泥），至於非會員公司騰輝公司係以進口熟料來研磨水泥，中聯爐石公司則生產爐石水泥為主。

台灣地區利用石灰石生產卜特蘭水泥者計 11 家，分轄 15 個水泥廠、25 座旋窯，旋窯型式以 NSP 窯(new suspending preheater kiln)為主，年產能合計 2,175 萬公噸。台灣地區水泥廠因受限於石灰石礦原料分佈，故集中在高雄、嘉義、新竹、宜蘭及花蓮等區設置。

若考慮以廢白土取代水泥原料中之矽砂成份，生產 1 公噸水泥之平均需要矽砂約 0.05~0.10 噸，依國內 84 年水泥產能估計，廢白土若以 0.05 噸/噸水泥之數量添加，推估水泥業每年可處理廢白土約 109 萬公噸；根據前推估目前廢白土產量約在 2,176~4,353 公噸/年之間，則祇需一座水泥窯之容量即可完全處理所有廢白土，故以水泥窯處理廢白土在市場供需上，應是相當寬廣可行的。

15.5.2 飼料業

由於許多黃豆油製造商亦投資設有飼料工廠，將來若將廢白土添加於飼料中，可完全由廠方自行回收利用。台灣地區豬、雞飼料產量及廢白土利用量推估統計，其中飼料業者屬黃豆油製造商者有 7 家公司（分轄 11 家工廠），以豬、雞飼料合計產能約在每年 1,369,176 公噸，若以全國總產能計為每年 4,665,011 公噸，考慮採用 Werner⁽¹²⁾之建議，以 5% 為廢白土添加飼料之上限比例，推估廢白土可添加量，若以黃豆油業者而言，約為 68,458 公噸/年，而以全國總飼料業計，可利用量更高達 233,250 公噸/年。

上述資料顯示，由於國內飼料業之產能與廢白土之量相較，可謂超出甚距，目前廢白土用作飼料添加物已公告為再利用方式之一，黃豆油製造廠將可藉由所屬之飼料廠進行少量之摻配，順利解決廢白土之處理問題。



15.5.3 廢白土回收油份

利用鹼液煮沸及溶劑萃取等方式，可降低吸附後白土中之油份至約 5%，而脫附下來之油脂，因所含雜質過多，祇適用於工業用油，其用途除作為脂肪酸原料及肥皂外，將無法作為原油提煉，故回收油脂之經濟價值不高，且回收之市場有限。

經脫附油份後之廢白土呈淡灰色，由於油份已降低，不致起自燃反應，但由於白土中之殘油仍有漏出(leaching)污染土壤之危險，故多以拋棄掩埋場處置為主；在現今掩埋土地難覓，現有掩埋場不足之情況下，廢白土經回收油份後朝向掩埋處置之途，是否可列為資源再利用處理方式之一，實尚待商榷。

15.5.4 廢白土再生

經實驗證明再生白土之吸附效果仍高達 91%，故將來廢白土經再生後，回收之再生白土仍可供應原油脂廠重覆使用，且回收使用之意願應不低，惟因白土之價格便宜，每公斤僅約新台幣 15 元左右，若以再生法回收，則須投資一焚化爐所費不貲，且焚化之操作維護費用頗高，嚴重減低油脂廠商對此之投資意願，故對此技術未來應用情形之評估將不甚樂觀。

15.6 廢白土資源化案例

15.6.1 案例

15.6.1.1 前言

C 廠為一製造泥燃劑之工廠，其可處理之廢棄物除了廢白土之外，尚可包括污泥，油泥及含水份之 EP 粉塵、油灰等廢棄物，其產品「泥燃劑」則供作水泥窯之輔助燃料，且燃燒後之灰燼可完全溶入於水泥生料中，當作水泥的部份原料。

15.6.1.2 製程及原理

泥燃劑的製作流程及所含之成份比例已於前 15.3.2 節中作一介紹，其製程為藉由抓斗式吊車配合輸送帶作業將上述原料送入一次混鍊機，並與其他液體進料充份攪拌，以保持其流動性，其後，再經加入乳化安定劑並經二次混鍊槽做進一步混鍊後，經振動篩去除不純物後，即成為最後產品「泥燃劑」。

15.6.1.3 結語



第十五章 廢白土資源化技術

由於該廠使用之技術可處理之廢棄物種類繁多，對於解決許多工業之廢棄物問題有十足之幫助，在技術引進國日本中，亦獲得日本通產省許可設立之「Clean Japan Center」機構之公開表揚，表彰其對產業界所提供之貢獻。



參考文獻

- 1.經濟部工業局，以水泥窯處理事業廢棄物並回收資源之技術，美國／台灣工業減廢技術轉移研習會，1995。
- 2.鄭智和，廢白土產生源及再利用資源化途徑，減廢資訊雙月刊，No. 39，pp.5-7，1995。
- 3.Norris, F., Bleaching Bailey's Industrial Oil and Fat Products, 3rd ed., pp.769-792, 1964.
- 4.Goeble, E. H., J. Am. Oil Chem. Soc. No.53, pp.342-343, 1976.
- 5.Patterson, H. B. W., J. Am. Oil Chem. Soc., No.53, pp.339-341, 1976.
- 6.行政院環境保護署，有害事業廢棄物清理管制計畫－管制中心(第二年)，行政院環境保護署研究報告(EPA-87-H103-03-12)，1998.6。
- 7.林雲騰，事業廢棄物資源回收再利用處理，第四屆(1994)工業減廢技術與策略研討會論文集，pp.309-323，1994。
- 8.Ong, J. T. L., et al., Recycling and Utilization of Spent Bleaching Earth, Fette-Seifen-Anstrichmittel, 85, Jahrgang, No. 8, pp.304-306, 1983.
- 9.Ong, J. T. L., Oil Recovery from Spent Bleaching Earth and Disposal of the Extracted Material, JAOCS, No.60(2), pp.314-315, 1983.
- 10.Babuchowski, K., et al., Possibility of Using Oil-containing Bleaching Earth in Boiler Feeding, Zeszyty-Naukowe-Akade-mii-Technicznej-W-Olsztynie-Technologia-Zyquosci, No. 18, pp. 119-129,1983.
- 11.Herstad, O., Waste Fat in Fat-containing Bleaching Earth as Feed for Chickens, Acta, Agric. Scandinavica, No.26, pp.87-93, 1976.



第十五章 廢白土資源化技術

- 12.Zschau, W., Spent Bleaching Earth Practical Solutions, INFORM, No. 5(12), pp.1375-1377, 1994.
- 13.Svensson, C., Use or Disposal of By-products and Spent Material from the Vegetable Oil Processing Industry in Europe, No. 53, pp.443-445, 1976.
- 14.Daido, M., A Recovery and Reuse System for Fatty Oils from By-products and Waste Materials of Vegetable Fatty Oil Production, Conservation & Recycling, No.10(4), pp.273-278, 1987.
- 15.Hong, W. M., Quality of Byproducts from Chemical and Physical Refining of Palm Oil and Other Oils, JAOCS, No.60(2), pp.316-321, Feb.1983.
- 16.江文德、朱燕華，油脂脫色精製後所產生之廢白土其處理及利用之探討，台灣區糧食發展基金會研究報告，No. 84-1044，1995。
17. McDermott, G. N., Bailey's Industrial Oil and Fat Products, vol.2, 4th ed., pp.527-586, John Wiley & Sons, 1982.



第十五章 廢白土資源化技術



第十五章 廢白土資源化技術



第十六章 廢觸媒資源化技術

16.1 前言^(1, 2, 4)

由於環保意識的抬頭，對於工業廢棄物處理的要求也愈來愈嚴格，除了不污染環境外，廢棄物資源化利用亦是重要的課題之一。

對國內廢觸媒產生之主要來源石化工業裂解脫硫程序的廢觸媒而言，原油經過常壓蒸餾和真空蒸餾後會產生大量的製氣油(gas oil)和殘渣油(residual oil)。這些重油經過觸媒裂解，大部分可以被轉化成汽油、氣體和積碳(coke)。自 1942 年流體觸媒裂解(fluid catalytic cracking, FCC)之觸媒(其主要活性金屬為鈀、鈷及鎳，擔體為氧化矽-氧化鋁及沸石)被開發成功後，流體觸媒裂解程序隨即在煉油廠中扮演了重要的角色。

流體觸媒裂解程序使用的進料油可分為兩種，一為製氣油，另一為殘渣油。早期的流體觸媒裂解工場是以製氣油為進料油，後來由於汽油來源短缺，殘渣油之用途有限，遂再發展而有殘渣油的裂解工場。目前製氣油裂解工場簡稱為 FCCU，而殘渣油裂解工場簡稱為 residual FCCU 或 ROCU(residual oil cracking unit)。

進行觸媒裂解時，進料油內所含的重金屬會附著在觸媒表面上，造成觸媒活性降低、汽油產量減少以及氣體和積碳產量增多等現象。製氣油所含的鎳、鈳等金屬極少，觸媒的活性衰退速度較慢。但殘渣油中則含有約 2~200 ppm 之鎳、鈳金屬。在殘渣油觸媒裂解工場裡，觸媒的活性衰退很快，裂解工場為了維持反應器內觸媒的活性，每日需要排放大量的平衡觸媒，並且補充等量的新觸媒。

ROC 與 FCC 廢觸媒經由毒性溶出試驗(toxicity characteristic leaching procedure, TCLP)結果如表 16.1 所示，顯示這些廢觸媒屬於無害事業廢棄物，且經 1,200°C 鍛燒之 ROC 廢觸媒檢測其重金屬溶出量，亦低於法規標準。

ROC 廢觸媒經 5 次取樣後其平均的化學成份分析如表 16.2 所示，主要成份為氧化鋁(Al_2O_3 ，約 41%)及二氧化矽(SiO_2 ，約 45%)，其他亦有少量的氧化鐵(Fe_2O_3)、氧化鈣(CaO)及氧化鎂(MgO)。



ROC 廢觸媒經篩分析之結果如表 16.3 所示，具有微細粉狀的特性，其中 85 % 以上的 ROC 廢觸媒其粒徑小於 100 μm ，配合其他化學成份及結晶相分析之結果判斷具有做為陶瓷原料的潛力。反之，若未加以妥善處置，將因其顆粒微細易飛揚而對環境造成影響。

表 16.1 ROC/FCC 廢觸媒 TCLP 分析結果⁽¹⁾

單位：mg/L

觸媒型態 \ 項目	總鉻	銅	總鉛	鋅	總鎳	總汞	總砷
ROC 廢觸媒(大林廠)	0.53	0.36	0.44	0.53	0.01	<0.001	<0.01
FCC 廢觸媒(高雄廠)	0.82	0.35	0.11	0.07	0.01	ND	ND
經 1,200°C 鍛燒之 ROC 廢觸媒	0.04	0.06	0.02	0.05	0.02	<0.001	<0.01
法規標準 ⁽⁵⁾	5.0	15.0	5.0	25.0	1.0	0.2	5.0

註：溶出標準參 88.1.13，「有害事業廢棄物認定標準」，行政院環境保護署。

表 16.2 ROC 廢觸媒之化學組成⁽¹⁾

單位：%

分析項目 \ 批次別	1	2	3	4	5	平均
灼熱減量	13.30	7.20	1.57	2.17	1.92	5.23
SiO ₂	46.00	44.60	43.22	46.39	44.07	44.86
Al ₂ O ₃	36.40	38.40	44.59	41.09	44.22	40.94
Fe ₂ O ₃	1.80	1.20	1.94	3.94	1.85	2.14
CaO	1.10	0.90	0.68	0.13	0.53	0.67
MgO	1.00	7.60	4.16	4.27	3.96	4.20

表 16.3 ROC 廢觸媒粒度分析⁽¹⁾

篩號	孔徑 (μm)	篩上殘留量 (%)	篩上累積量 (%)
65	208	0	0
100	147	0.38	0.38
150	104	14.56	14.94
170	88	6.18	21.12
230	61	45.21	66.33
270	53	22.17	88.50
400	38	11.50	100

中國石油公司於 1990 建立殘渣油裂解(ROC)工場，每天排放約 6~8 噸 ROC 廢觸媒，預計每年會有 2,000 噸的 ROC 廢觸媒產生。如此巨量的廢觸媒，因粒徑很小，造成廢棄物處理上的困難，必須妥善處置，以免造成環境污染。

16.2 現有廢觸媒資源化技術

根據國內廢觸媒產生現況，其資源化利用之技術主要用途為瀝青混凝土填充料、燒結製磚、回收貴重金屬（如鉬、釩等）與廢觸媒回收再利用等多種技術。以下即針對各類資源化技術作一概述。

16.2.1 充作瀝青混凝土填充料⁽²⁾

由於台灣地區屬於海島亞熱型氣候，溫度高、濕度大、地下水位高是其特色，加上近年來車輛載重不斷增加，使瀝青混凝土路面承受嚴重考驗，路面經常發生龜裂、車轍、剝脫等現象，嚴重影響路面服務的品質，所以提高瀝青混凝土勁度為目前當務之急。

由於瀝青混合料是一種多相多成份的結構，以膠體理論出發可以認為它是一種多級分散體系，以粗粒料的分散介質，分散在瀝青砂漿分散相中，而瀝青砂漿的細粒料又作為分散介質，分散於瀝青膠漿的分散相中，成為一種膠凝結構，由瀝青材料將骨材膠凝為一個整體。是故充作瀝青混凝土填充料之技術，乃是利用廢觸媒本身主要成份為氧化鋁(42±15%)及氧化矽(50±15%)，外形為細小粒子狀，故可用於瀝青混凝土之填充物，以增加瀝青混凝土之抗車轍及浸水剝脫的能力，



且可降低瀝青混凝土之成本。經研究結果發現，在常溫下，添加廢觸媒對瀝青混凝土抵抗車轍變形有正面的效應，且對路面品質及成效可維持在一定之容許範圍內，因此可應用於一般鄉間道路及車流量不多之地區使用。

16.2.2 充作燒結製磚原料⁽⁴⁾

廢觸媒的主要成份為二氧化矽(SiO_2 ，平均 45 %)及氧化鋁(Al_2O_3 ，平均 41 %)，經 TCLP 試驗之結果證實，並無重金屬溶出之虞，但由於廢觸媒其顆粒微細且數量龐大，常造成處理處置的困擾。本技術應用主要係因廢觸媒之主要成份與陶瓷建材業(包括地磚、面磚等生產工廠)及耐火材料之化學組成二氧化矽(SiO_2 ，56~76 %)、氧化鋁(Al_2O_3 ，9~27 %)相近，因此可以適當的添加比例作為陶瓷的原料。廢觸媒可取代之陶瓷原料，包括矽砂、金門土、滑石、焦寶土及火粘土等。一般研究得知廢觸媒之添加量隨著陶瓷成品或燒結溫度的不同而有所差異。一般添加量之範圍約介於 2~40 %，其中面磚最高添加量為 2 %，地磚添加量 35 %，粘土磚 20 %，耐火磚 40 %，絕熱磚 20 %。表 16.4 為 ROC 廢觸媒取代陶瓷原料及取代量多寡所計算每 100 噸原料可節省之成本。由表 16.4 可知使用 1 噸 ROC 廢觸媒最高可節省陶瓷原料成本達 2,400 元。若以中油公司每年產生之 ROC 廢觸媒約 2,000 噸而言，若全部被利用，則最高可節省陶瓷原料成品 480 萬元。

表 16.4 ROC 廢觸媒取代陶瓷原料之經濟效益分析⁽¹⁾

種類	被取代之陶瓷原料單價	ROC 廢觸媒最高添加量	每 100 噸原料可節省成本
面 磚	350 元/噸	2 %	700 元
地 磚	2,000 元/噸	35 %	70,000 元
粘土磚	2,000 元/噸	20 %	40,000 元
耐火泥	2,400 元/噸	40 %	96,000 元
絕熱磚	2,000 元/噸	20 %	40,000 元

註：節省成本以民國 83 年為計算基準。

16.2.3 回收觸媒中貴重金屬鈳、鉬⁽⁶⁾

茲以濕式回收廢觸媒鈳、鉬為例，介紹廢觸媒資源化之用途。其回收貴重金屬鈳、鉬之處理流程如圖 16.1 所示。首先將廢觸媒與碳酸鈉混合後，以焙燒高溫方式使廢觸媒中之鉬、鈳氧化物轉化成可溶性的碳酸鹽。經集塵設備收集之塵粒與焙燒過後之廢觸媒經研磨過程後，再以鹽水將可溶性之鉬、鈳碳酸鹽予以浸漬溶出。續經壓濾固液分離後，固態殘渣則可供作磁磚燒培的原料使用。壓濾分離液則先以硫胺加入鹽析槽內，後經固液離心分離步驟。分離液經鈳酸鉍沉析分離轉換後，繼續乾燥與融爐熔融後而成氧化鈳。氧化鈳可作為鈳鐵合金之原料，此為回收貴重金屬鈳的部分。鹽析槽後離心分離之固體物，經用硫酸調整 pH 之晶析槽後，可將鉬酸鹽析出，後經乾燥與融爐熔融鍛燒而可得三氧化鉬。而析出壓濾的剩餘分離液則可採離子交換樹脂而再回浸漬單元重覆使用。

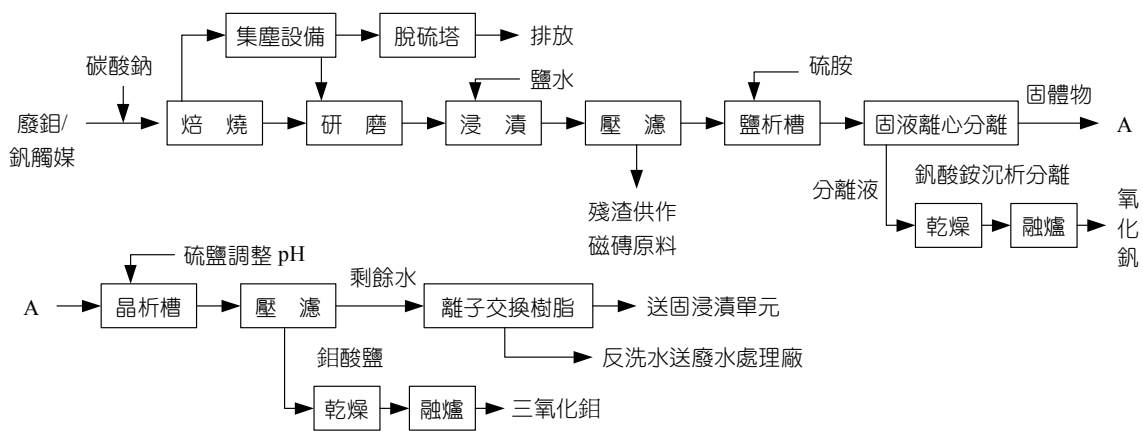


圖 16.1 廢鈳/鉬觸媒以濕式法回收貴重金屬鈳、鉬之處理流程⁽⁶⁾

16.2.4 廢阮尼鎳觸媒(waste raney nickel catalyst)回收再利用⁽³⁾

高活性阮尼鎳觸媒使用一段時間後活性會降低，需予以汰換以維持製程穩



定。過去廢阮尼鎳觸媒回收方式，大部分均採用加鋁混合後高溫熔化回收製成鋁鎳合金再以鹼液進行消化反應製成阮尼鎳觸媒。因產品純度受限制，且耗費較多之能源，較無商業化之價值。以往使用後之阮尼鎳觸媒以廢料之名義拍賣，其價格偏低。因此如何將汰換之廢鎳觸媒回收利用高成份之鎳並提高其價值，實是一項重要課題。

廢阮尼鎳觸媒含有高成份之鎳，若加以回收不僅可以提高產值並可有效處理廢棄物，在考慮成本效益為要之情況下，回收製造觸媒仍最為有利。整個廢觸媒回收處理流程如圖 16.2 所示。為能增進觸媒之使用壽命，且考慮處理成本問題，以不改變觸媒之基本結構(不用熔融或酸溶解)方式，增加鋁在觸媒表面之含量，以進一步提高觸媒之使用壽命。再生利用技術是將廢鎳觸媒以鹼液氫氧化鈉進行再生，再加入鈍化劑及加鋁(氯化鋁)金屬進行反應，經水洗過濾與乾燥後即可得到非燃性的阮尼鎳觸媒成品。

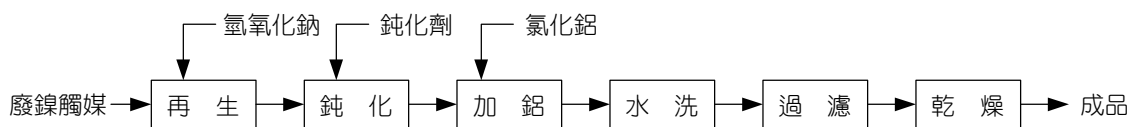


圖 16.2 廢阮尼鎳觸媒再生回收處理流程圖⁽³⁾

16.3 廢觸媒資源化技術評析

廢觸媒資源再利用的技術中，以將廢觸媒做為瀝青混凝土的添加劑為最經濟的方式，但其只能受限於某幾類的廢觸媒，且在國內此一技術目前仍停留在實驗

階段。而將廢觸媒予以回收貴金屬後，再將殘餘之單體做為陶瓷器之素材，在經濟上或應用範圍上考量是相當可行的技術。至於廢觸媒再生技術雖已有相當成熟的技術，但由於操作成本較高，只能應用於高單價的觸媒。有關廢觸媒資源再利用技術之比較如表 16.5 所示。

表 16.5 廢觸媒資源化技術評析

技術名稱	原理、流程	適用對象	成品與適用範圍	技術成熟度與實績	特點(含應用限制)
充作瀝青混凝土填充料	1.利用瀝青混凝土之多相多成份結構，於常溫下添加允許量 2.直接添加	ROC/FCC 廢觸媒	瀝青混凝土填充料，應用於一般鄉間道路及車流量不多之地區	實驗階段	1.增加瀝青混凝土車徹強度 2.增加浸水剝脫能力 3.降低瀝青混凝土成本
燒結製磚	1.利用廢觸媒與陶瓷建材及耐火材料組成相近之原因 2.直接添加	ROC/FCC 廢觸媒	陶瓷、建材及耐火材	已商業化	1.可添加至陶瓷原料中達 2~40% 2.可降低陶瓷製造成本
回收再利用廢阮尼鎳觸媒	鹼液進行再生，再加入鈍化劑及氯化鋁金屬進行反應得阮尼鎳觸媒成品	廢阮尼鎳觸媒	不改變觸媒之基本結構，增加鋁在觸媒表面之含量，以進提高觸媒之使用壽命	現場試用證實有效	1.於乾燥過程中注意溫度之維持 2.注意觸媒乾燥後殘餘水份之控制
回收貴重金屬鈳、鉬	濕式法回收氧化鈳及三氧化鉬等鈳、鉬貴重金屬	脫硫廢觸媒	觸媒擔體可做磁磚素材	已商業化	1.可回收貴重金屬鈳、鉬元素 2.乾式冶金處理程序有污染空氣之虞，需投入大量污染防治設備 3.濕式冶金處理程序較複雜，需有高度技術



參考文獻

- 1.徐文慶等，ROC 廢觸媒資源化利用，第四屆工業減廢技術與策略研討會論文集，1994.6。
- 2.林志棟等，ROC 觸媒在瀝青混凝土之利用，第五屆工業減廢技術與策略研討會論文集，1995.11。
- 3.蔡榮鳴、蘇祐隆，由廢阮尼鎳觸媒回收製造非燃性阮尼鎳觸媒，第二屆國際工業減廢技術與策略研討會論文集，1992.6。
- 4.廖錦聰等，廢觸媒之陶瓷建材資源化利用，1998 工業減廢暨永續發展研討會論文集，1998.12。
- 5.有害事業廢棄物認定標準，行政院環境保護署，1999.1。
- 6.工業污染防治技術服務團計畫專案，廢棄物資源回收及處理設備整合與推廣——破碎、乾燥及分選，經濟部工業局，1998。



第十六章 廢觸媒資源化技術



第十六章 廢觸媒資源化技術

第十七章 煤灰資源化技術

17.1 前言

煤灰為火力發電廠燃燒煤炭發電後的副產物。煤炭經研磨後，以噴霧方式送入鍋爐燃燒，煤的灰份在此高溫下是呈熔融狀態，一部分掉落鍋爐底部灰斗，在此凝固而取出者稱之為底灰(bottom ash)。大部分熔融態的灰隨高溫燃燒，經降溫過程中凝聚的灰粒稱為飛灰(fly ash)，利用靜電集塵器或濾灰袋收集後送入灰倉。

煤雖蘊藏豐富，價格低廉，但其燃燒後所產生的產物，若未經適當處置則會危及自然環境與人體健康。目前供應台灣地區電力需求為主的台電公司，估計民國 90 年，台灣地區之飛灰產出將達 200 萬公噸／年，其對環境所造成之潛在衝擊實在不可輕忽。

由於煤灰中飛灰約佔 4/5，底灰約佔 1/5，因此就組成分析而言，飛灰的化學組成以元素而論，主要是矽、鋁和鐵，次要元素為鈣、鎂、硫、鉀、鈉及未燃碳，其他微量元素(trace elements)和土壤類似可能多達數十種。底灰的化學組成與飛灰相似，不過鐵、鈣、硫等元素分布於底灰的濃度常較飛灰中多。據 ASTM 規範將飛灰分成兩大類，即 F 級飛灰與 C 級飛灰兩種。F 級飛灰主要來自燃燒無煙煤和煙煤；C 級飛灰則多來自燃燒亞煙煤和褐煤。由外觀上可看出，F 級飛灰多呈灰色，C 級飛灰則呈黃褐色，兩者皆具波索蘭(pozzolan)性質。表 17.1 即為典型飛灰化學成分、特徵與普通卜特蘭水泥的比較。

表 17.1 典型飛灰的化學成分、特徵與水泥比較表⁽¹⁾

主要化學成分(%)	F 級飛灰	C 級飛灰	卜特蘭水泥
SiO ₂	54.9	39.9	22.6
Al ₂ O ₃	25.8	16.7	4.3
Fe ₂ O ₃	6.9	5.8	2.4
CaO (Lime)	8.7	24.3	64.4
MgO	1.8	4.6	2.1
SO ₃	0.6	3.3	2.3
顏色	灰色	淺褐色	灰色

就台灣地區煤灰資源化發展至今而言，歷程概可分三階段：



1. 民國 45 年初次利用飛灰至民國 71 年，只有台電自用飛灰，此時期煤灰產量不大（年產量都在 40 萬公噸以下）。
2. 民國 72 年至 76 年間煤灰產量，年年大幅增加，台電積極籌謀對策，如成立煤灰小組，實施免費供灰辦法，並著手多項煤灰利用之研究，國內學術界陸續投入參與研究，並開始利用媒體宣導煤灰利用。不過此時期社會大眾對「飛灰」相當陌生，對其應用因而有甚多之誤解與排斥。
3. 民國 77 年以後，本土之煤灰相關技術報告紛紛問世，學術界培育之種子人才亦分散到全省各地，影響帶動社會各層面對煤灰及飛灰資材的認識瞭解，進而願意去利用它。飛灰混凝土的經濟效益與對工程品質之影響漸漸受到肯定，飛灰混凝土利用慢慢化暗為明，飛灰之其他多方面用途開始萌芽。此時期台電煤灰年產量都在 125 萬公噸以上，而煤灰利用量逐年穩定增加。

17.2 現有煤灰資源化技術

煤灰是燃煤後之固體副產品，不僅化學性質穩定，物理上亦見有許多優越的性質，過去由於實驗及現場應用的結果，煤灰應用於工程材料的基本特性已被普遍接受。表 17.2 為世界主要產煤地區以及煤灰利用較見成效國家之煤灰量、利用及相關情形。煤灰資源化的方式很多，圖 17.1 為煤灰資源化發展樹圖，在國內許多人士的多年共同努力下，這棵樹現在已具備良好的根基與大部分主幹。

在用途方面，飛灰因具有波索蘭之性質，最常應用於水泥和混凝土的添加物，一般在卜特蘭水泥中煤灰的取代量從 15~25%，在巨積混凝土中甚至更高。飛灰可使混凝土增加許多有利的性質，如改善工作度、減少浮水、降低水化作用所產生之水化熱，並增加製品的後期強度。底灰的化學成分與飛灰相似，不過鐵、硫的含量比飛灰較高，粒徑亦較粗，故多僅用於煤灰品質無嚴格要求之填土及道路工程級配等用途，亦有部份底灰用於農業利用，對於粘質土壤有減少穿刺阻力、增加疏水性和通氣性質等正面影響。表 17.3 說明了煤灰（飛灰和底灰）的多種用途。

第十七章 煤灰資源化技術

表 17.2 國外煤灰（飛灰）產量、利用及相關情形⁽⁴⁾

資料	美國	英國	*德國	*丹麥	*荷蘭	日本	*澳洲	*南非	中國大陸	台灣
1988	1988	1989	1987	1987	1987	1989	1987	1987	1987	1995
煤灰產量(千噸/年)	70,203	13,000	21,700	1,209	739	5,000	5,750	12,770	41,000	1,522
煤灰利用量(千噸/年)	19,630	5,791	9,120	876	720	2,200	564	580	9,500	970
煤灰利用率(%)	28.0	44.5	42.0	73.4	97.4	44.0	9.8	0.5	23.2	63.7
灰用途(%)										
混凝土用	36.1	10.0				2.6				80.0
水泥混合		3.0		40.8	51.3	52.8			3.2	10.3
水泥替代物			17.8	14.0	7.8		89.0	29.3	16.3	4.6
土木部份										
建築部份		57.0	1.0						34.7	2.5
磚	3.3		18.0	5.3	4.0	5.2	5.3			0.1
道路用			2.2		15.3	1.8			0.5	
人工輕骨材	5.9						1.7			
控制冰雪用	2.0			4.2	20.8	4.8		0.8		
瀝青填充物	1.0	4.0							24.2	
灌漿用	16.2	15.0	3.2	33.9						
結構物填充料	3.1					32.8				
填鋪用			46.3					69.1		
煤礦坑利用	32.4	2.0	11.5	1.8	0.8		4.0	0.9	21.1	2.5
農漁部份										
其他										
合計 100%										
發電廠國/民營	民營	國營		民營	國營	民營	#	民營	國營	國營
煤灰處理有無法令配合	有	#	#	有	#	有	#	#	有	有
政府支持與否	是	是	是	是	是	是	#	#	是	是
外界之阻力		水泥公司抵制	無	無	無		#	#	無	
國外進/出口煤灰製品	無		無	無	進口十餘萬噸	無	無	無	無	無
煤灰資源化後衍生事業	無		無	無	無	無	無	無	無	無
煤灰尚未/緩慢資源化之理由	已資源化	已資源化	已資源化	已資源化	已資源化	已資源化	地廣人稀煤灰處置不成問題	地廣人稀煤灰處置不成問題	已資源化	
煤灰開始資源化之理由	煤灰產量大僅次於煤、石故資源化利用	長期工業大量用煤，產生嚴重處理問題	煤灰處置成本高且環境受限制		缺乏天然資源	地小人稠基於空氣污染及環保政策限制				

註：*表示飛灰統計資料；#表示無進一步詳細資料

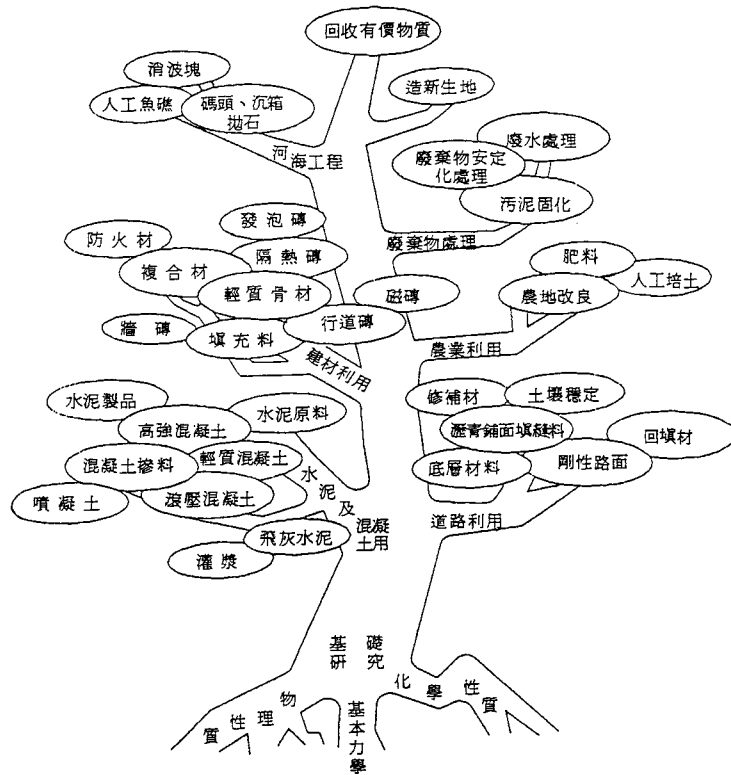


圖 17.1 煤灰資源化發展圖⁽¹⁾

此外，飛灰亦可作為其他用途，諸如道路工程之路基底材、農業利用、人工魚礁、製磚及廢棄物固化處理等利用。飛灰的另一用途是作為結構性或流動性之回填材料，諸如擋土牆回填、管槽回填及廢棄地下結構物封填等，尤其是深度深而不易夯實之回填或基礎工程，更能彰顯其經濟與工程效益。

飛灰是一種價格低、用途廣泛的材料，主要影響之因素為運費、市場需求和煤灰的取得，此外利用煤灰亦可坐收省略處理費用的經濟效益，隨著時間增長，所節省處理費用的效益更加明顯，因此，煤灰的資源化利用除了可利用於降低材料的生產成本及改善材料的性質外，更可維護自然資源及減少煤灰的必須清理費用。表 17.4 說明煤灰利用於土木建築之各種應用時的優點。

表 17.3 煤灰的利用用途

種類	用途
飛灰	<ol style="list-style-type: none"> 1.卜特蘭水泥的生料。 2.混凝土中取代水泥。 3.預鑄混凝土產品中取代水泥。 4.加氣混凝土材料。 5.瀝青混凝土的填充料。 6.公路路基穩定骨材。 7.道路基底材料中之骨材。 8.輕質骨材製造之生料。 9.結構性回填材料。 10.流動性回填材料。 11.回收提鍊金屬。 12.塑膠的填充材料。 13.衛生掩埋場覆土或襯裡材料。 14.控制廢棄礦坑下沉之填充材料。 15.礦坑火災消防。 16.土壤改良。 17.製磚原料。 18.屋頂隔熱氈原料。 19.礦棉隔熱材的原料。 20.中空材料的來源。 21.灌漿材料。 22.油料洩漏吸收材料。 23.公用事業所用之過濾絕緣油的介質材料。 24.污泥除水吸收劑。 25.硫酸鹽污泥的固化劑。 26.砂模流動劑。
底灰	<ol style="list-style-type: none"> 1.冷拌瀝青的骨材。 2.瀝青穩定公路基底的材料。 3.卜特蘭水泥穩定公路基底的材料。 4.路面冰雪控制。 5.過濾材。 6.結構性回填。

表 17.4 飛灰再利用之優點

分類	用途	優點
水泥製造業	水泥原料（生料）	代替粘土，大量使用可降低水泥成本。
	水泥混合料（熟料）	製造卜特蘭飛灰水泥，減少水泥製量，保持國家天然資源，維護自然景觀。
預拌混凝土業	飛灰混凝土	取代部份水泥或細砂添加於混凝土中拌合，降低混凝土成本。
土木工程	水壩	施工容易、降低水化熱、後期強度大。
	隧道	適於 concrete pump 施工。
	港灣	抗硫酸鹽侵蝕，耐海水性強。
	下水道	防止硫酸鹽侵蝕，化學抵抗性強。
	剛性路面	膨脹收縮小，抗彎强度高，施工容易。
	柔性路面	瀝青混凝土填充料，取代石灰、石粉等材料。
	柱、樑結構物	增加工作度，易於施工。
	灌漿	收縮性小，減少裂縫，增加工作度。
骨材業	人工骨材	代替碎石、砂等材料，質輕、價廉、安全性高。
建築材料	牆磚、磁磚、地磚、屋頂隔熱磚、空心磚、室內耐火性複合材料、工業用隔熱磚	質輕、强度高、耐火、隔熱、隔音、取代部份昂貴的粘土，降低產品價格。
其他	填築路堤、新生地、農業利用	增加土地使用價值，調整土壤酸鹼值，增加保水和養份保持力。

17.3 煤灰資源化技術評析

利用煤灰除了可坐收省卻處理費的經濟效益，其替代高價值材料所省下之原料成本更為可觀；惟煤灰在未被穩定而直接利用時，所含之微量元素於特定情況下仍有溶出之可能，故於規劃再利用用途上，尚有些特殊之要求與管制。有關煤灰之資源化技術評析如表 17.5 所示。

表 17.5 煤灰資源化技術評析

技術名稱	原理、流程	適用對象	成品與適用範圍	技術成熟度與實績	特點(含應用限制)
製成飛灰水泥	代替水泥原料(粘土)或熟料使用。	飛灰	飛灰水泥	成熟	1.可降低製作成本、減少水泥原料開採,維護自然景觀。 2.因飛灰品質要求嚴格,燒失量需達 5%以下,並不易做到。
飛灰混凝土製品	利用飛灰之波索蘭性質,取代部分水泥或細砂添加於混凝土中拌合。	飛灰	飛灰混凝土	成熟	1.減少水泥添加之成本,且具有改善工作度、減少泌水、降低水化熱及增加後期強度等優點。 2.應注意初期強度減弱及混凝土中性化問題,故飛灰含量有一定限值。
結構性及流動性回填材料	應用於擋土牆回填、管槽回填及廢棄地下結構物封填。	飛灰	回填材料	成熟	1.對於回填材料之凝結時間及抗壓強度影響極微。 2.混凝土砂漿流動性佳,特別適用於出入不易之施工地區。
河海工程築堤及人工魚礁	運用次級飛灰作為築堤材料、消波塊或人工魚礁。	飛灰	消波塊或人工魚礁	成熟	1.具有優良之抗氯鹽及硫酸鹽特性,可增加堤防及魚礁之耐久性。 2.國內外已實例,證明其與海洋生態之相容性。
築路工程應用	作為道路底層材料路基穩定化處理及瀝青混凝土之填縫料。	飛灰	道路底層及瀝青混凝土之填縫料	成熟	1.用在剛性路面時,具有膨脹收縮小,抗彎强度高,施工容易等優點。 2.柔性路面使用時,可替代石灰、石粉,具有滑潤填縫效果,使瀝青混凝土更加密實。
製磚之利用	製作建築用燒結磚、隔熱磚、陶瓷面磚及混凝土磚等。	飛灰	建築用磚及混凝土磚等	成熟	1.製成磚具有質輕、强度高、耐火(熱)、隔音等優點。 2.取代部份昂貴的粘土,降低產品價格。
飛灰輕質骨材	以飛灰為原料,做成燒結型及冷結型骨材。	飛灰	燒結及冷結型骨材	成熟	1.本土化技術已開發,產品品質與國外進口骨材無異。 2.飛灰輕質骨材質輕,在預鑄、運輸、加工、裁切、吊裝上費用可降低。
農業利用	改良酸性土壤及製作矽酸鉀肥料。	飛灰	改良土壤及製作肥料	成熟	1.對於礫質、砂質土壤的保水力和養分保持力有改善效果。 2.須注意是否造成某些元素在土壤中受抑制或過量累積等負面影響。
廢棄物處理利用	用作液態廢棄物之吸收劑或併同石灰、水泥作為廢棄物安定化處理材料。	飛灰	用作廢棄物吸收劑或安定化處理材料	成熟	1.利用飛灰波索蘭反應進行「似水泥固化」,能有效固化廢棄物。 2.固化試體確能達到法規要求之強度及 TCLP 溶出標準。
築路工程使用	冷拌瀝青的骨材與公路基底穩定材料。	底灰	瀝青骨材與公路基底材料。	已商業化	1.底灰粒徑較粗,可用來替代砂石,作為道路工程級配。 2.已證實底灰在路基穩定化有良好功效。
結構性回填材料	建築物基礎回填、廢棄地下結構物回填之材料。	底灰	基礎回填材料	已商業化	1.已證實用在基礎回填時,底灰中之無機物質不會影響環境。 2.因要求煤灰之品質不高,底灰於成本上較優於飛灰。
農業利用	用作土壤改良資材、農作物防霜,以及特殊肥料等用途。	底灰	土壤改良資材	已商業化	1.底灰因有良好之透氣性及透水性,當作土壤改良資材相當適合。 2.防霜作用尚未實際運用於田間試驗。



17.4 煤灰資源化案例

17.4.1 案例

17.4.1.1 前言

A 廠為國內一火力發電廠位於本省南端，佔地 35 公頃，由淺灘造陸而成，全廠投資金額為新台幣 289 億元。該廠總裝置容量 2,573.5 萬 KW，佔全省電力供應總量之 9.99%。目前煤灰中 80% 為飛灰產量為 9.6 萬公噸／年，飛灰貯槽共 2 只；底灰約佔 20%，產量為 2.4 萬公噸／年，底灰貯槽亦有 2 只。

17.4.1.2 製程及原理

有關 A 廠煤灰的資源化流程如圖 17.2 所示。

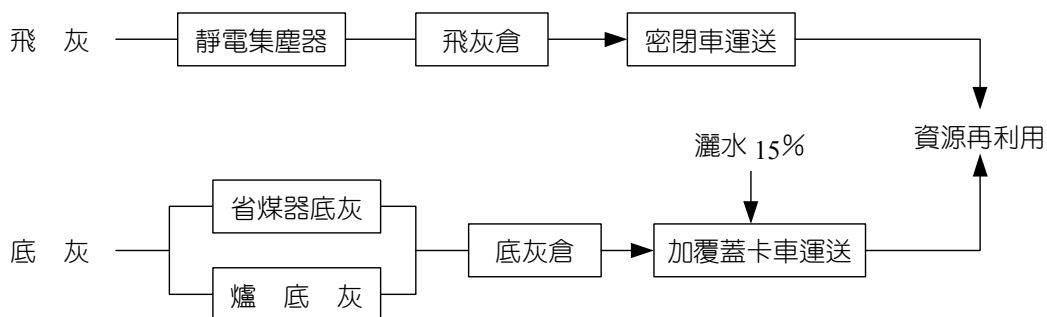


圖 17.2 電廠煤灰資源化流程圖⁽³⁾

17.4.1.3 資源化成效

A 廠為推廣資源再利用，於民國 69 年起即成立煤灰處理與利用推廣小組，積極致力煤灰資源化利用技術之研究，因此目前煤灰標售給資源再利用業者，用



第十七章 煤灰資源化技術

於水泥業及建材業者應用於填土、道路工程、水泥及混凝土填充原料等資源利用，而其中 87 年飛灰之回收使用率幾達 100%。

17.4.1.4 結語

該廠煤灰資源化利用之實例包括：煤灰填地、鋪設道路、網球場、消波塊、各式建築用磚、電線桿及農作物土質改良用等，未來該廠加強飛灰分級措施，以提高煤灰資源再利用之價值，應是重要課題。



參考文獻

- 1.台灣地區煤灰利用之研發及其應用之調查研究，台灣電力公司，1993.6。
- 2.王銘隆等，飛灰處理作為陶瓷原料之研究，1994.11。
- 3.推動國營及大型事業機構清理廢棄物輔導計畫現勘簡報資料，大林發電廠，1998.10。
- 4.工業污染防治技術服務團計畫專案，廢棄物資源回收及處理設備整合與推廣—破碎、乾燥及分選，經濟部工業局，1998。



第十七章 煤灰資源化技術



第十七章 煤灰資源化技術



第十八章 廢電池資源化技術

18.1 前言

電池在工業及一般日常生活上的使用非常的普遍，尤其隨著電子與資訊化的腳步，舉凡交通工具、各式各樣可攜帶的電子電器用品、營業場所或工業上之不斷電系統（UPS）及國防上都使用許多電池，因此電池的生產量也不斷的增加。由於電池含有水銀、鎘、鎳、鉛、鋰等重金屬成分，被消費者使用過後若未經回收而直接被送進焚化爐焚燒會釋放重金屬成分於空氣中；若被送進掩埋場也易透過溶出而滲透進入地下水，其對環境及人體健康不僅有潛在的威脅甚至會造成傷害。因此廢電池的回收、資源化處理不僅可以將重金屬回收再製使用，以達到自然資源的永續始用，且可減少對環境及人類的潛在危險。目前市面上所使用的電池種類非常多，一般常用之電池可分為鉛酸蓄電池、鎳鎘電池及水銀電池。

18.2 現有廢電池資源化技術及案例

18.2.1 廢鉛酸蓄電池

鉛酸蓄電池廣泛地被使用於汽、機車，通常一個廢鉛酸蓄電池平均含有 8 公斤可回收的鉛、4 公升的硫酸、和大約 1.4 公斤的塑膠外殼（polypropylene）。一般廢鉛酸蓄電池中的鉛可再被冶煉為軟鉛（soft lead）或製成二級鉛（secondary lead；hard lead）供工業市場使用；而硫酸可回收使用或在經窯爐熱解時回收其氣體再製成肥料使用；而塑膠外殼（聚丙烯）可回收再製使用。以下針對不同國家所使用的資源化技術加以討論。

1. Feistritz (奧地利)⁽¹⁾

此法乃將廢電池中含鉛之物質包含不純的鉛、氧化鉛、硫化鉛、及有機物質置於窯爐（shaft furnace）中後加入炭及鐵，其間窯爐被維持為還原狀態約（400-700°C），使所產生之二氧化碳與炭還原產生一氧化碳；而硫化鉛與加入的鐵反應，被還原成氧化鉛及亞硫酸鐵，繼之與一氧化碳反應產生鉛及二氧化碳，其鉛可加入其他金屬製成二級鉛。其資源化技術流程見圖 18.1，Shaft Furnace



能適用於任何處理量的回收處理廠。

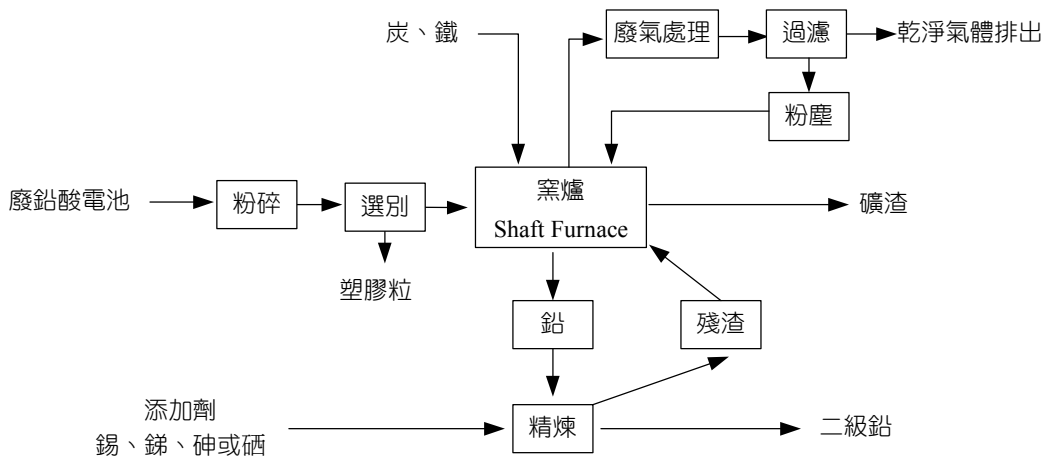


圖 18.1 Feistritz (奧地利)之廢鉛酸蓄電池資源再利用處理流程

2. BRM(英國)⁽²⁾

Britannia Refined Metals (BRM)公司結合 Engitec CX 技術之資源化廠設計處理量每小時為 16 噸的廢電池，經粉碎分離塑膠後，並以窯爐(isasmelt furnace)來鎔煉廢電池，產生軟鉛、銻合金等，經由精煉製成適當之合金。粉碎電池後含鉛的部份、硫酸、及所加入的液態氫氧化鈉，一起反應產生氧化鉛達到去硫化的目的。去硫化後的混合物被送進窯爐，加炭及燃料油燃燒至溫度 800°C 時產生軟鉛 (soft lead)，其鉛純度為 99.8%，若再加入鐵及石灰，於還原狀態下並升高溫度至 1,150°C 冶煉則產生硬鉛 (hard lead)，其中銻的含量達到 20.6%。其資源化技術流程見圖 18.2。

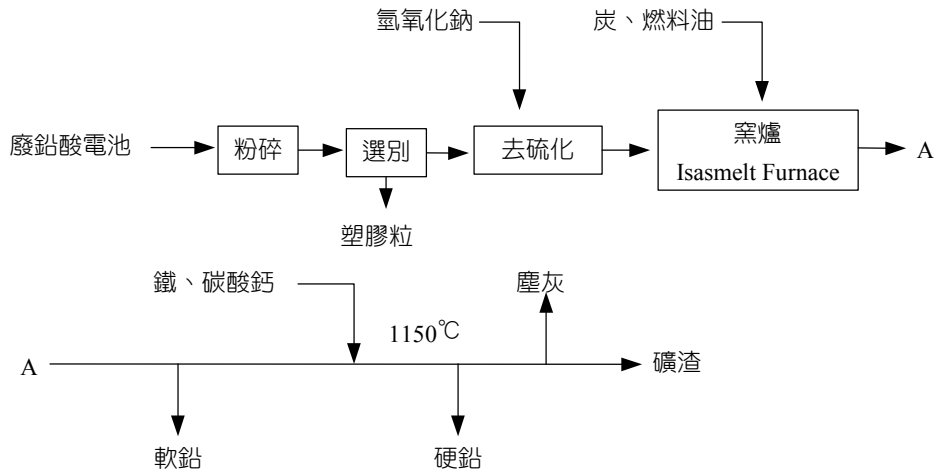


圖 18.2 BRM(英國)廢鉛酸蓄電池資源再利用處理流程

3. B.J. Industries (法國)⁽³⁾

旋轉爐(rotary furnace)最適合被使用於產能為 10,000 到 30,000 公噸/年的廢鉛酸蓄電池回收處理廠。位於法國 Tournes 的小型回收處理工廠使用旋轉爐每年回收 18,000 公噸的電池 (相當於 1,200,000 個廢電池)，回收再生鉛 10,000 噸，冶煉再製成其他合金。此小形工廠的優點在於以小區域為目標以減少收集及運輸成本。

4. 泰銘(台灣)⁽⁴⁾

泰銘為國內目前唯一合法化之廢鉛酸蓄電池回收處理廠，其回收之廢電池粉碎後，用水選方式將鉛粉及塑膠粒予以分離，塑膠粒乾燥後可送至塑膠工廠再生使用，而鉛粉可經冶煉方式製成鉛錠。其資源化技術流程見圖 18.3。

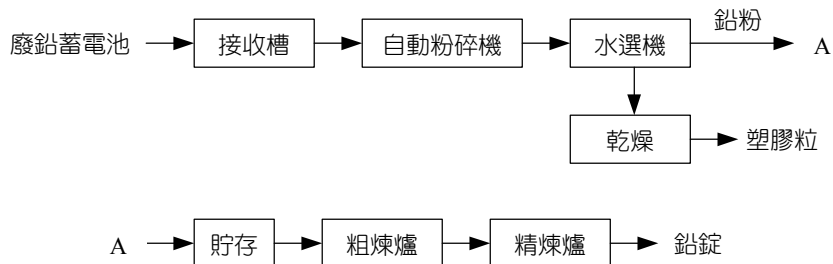


圖 18.3 泰銘(台灣)廢鉛酸蓄電池資源再利用處理流程

18.2.2 混合廢電池資源再利用技術

1. Batterierecycling Schonebeck GmbH (德國)⁽⁵⁾

BATENUS 過程為在一個密閉循環使用的試劑中，利用電化學及薄膜技術來冶煉金屬，此回收處理廠目前每年可處理 7,500 噸。使用溼式冶煉法 (hydrometallurgy) 回收金屬混合物有下列好處：可幾乎完全回收所有金屬、高純度金屬產物、冶煉時耗能低、且可避免高溫冶煉時自爐中排出的重金屬氣體。此技術被使用於回收含碳鋅電池、鹼錳電池、鋰電池、及鎳鎘電池。首先先篩選出含汞之鈕扣電池，其餘經過粉碎以磁選機分離含鐵的碎片，剩餘物被磨成粉末，且加入稀硫酸並過濾，其濾餅含氧化錳及碳可回收再製；而濾液中所含少許的汞可先藉離子交換樹脂分離出，其後經過硫酸萃取、離子交換樹脂而分離出金屬鋅、銅、鎳、鎘等。其資源化技術流程見圖 18.4。

2. Recytec SA (瑞士)⁽⁶⁾

由於混合廢電池中的汞及過多的鋅會影響電弧爐煉鋼的品質，因此 Recytec 過程被視為一個低成本的廢電池處理廠的前處理步驟，其乃經過兩次的熱處理以達到完全去汞 (demercurization) 的目的，所產生之粗產物—鋅-錳粉末，可送至窯爐 (Waelz kiln) 再冶煉為鋅，整套設備之設計處理量為 4,000-5,000 噸廢電池/年，除此之外，此設備之批次模廠亦可使用於處理其他含少量汞的廢棄物和其他廢棄物，例如：溫度計、觸媒、汞合金、離子交換樹脂及廢水污泥。其資源化技術流程見圖 18.5。

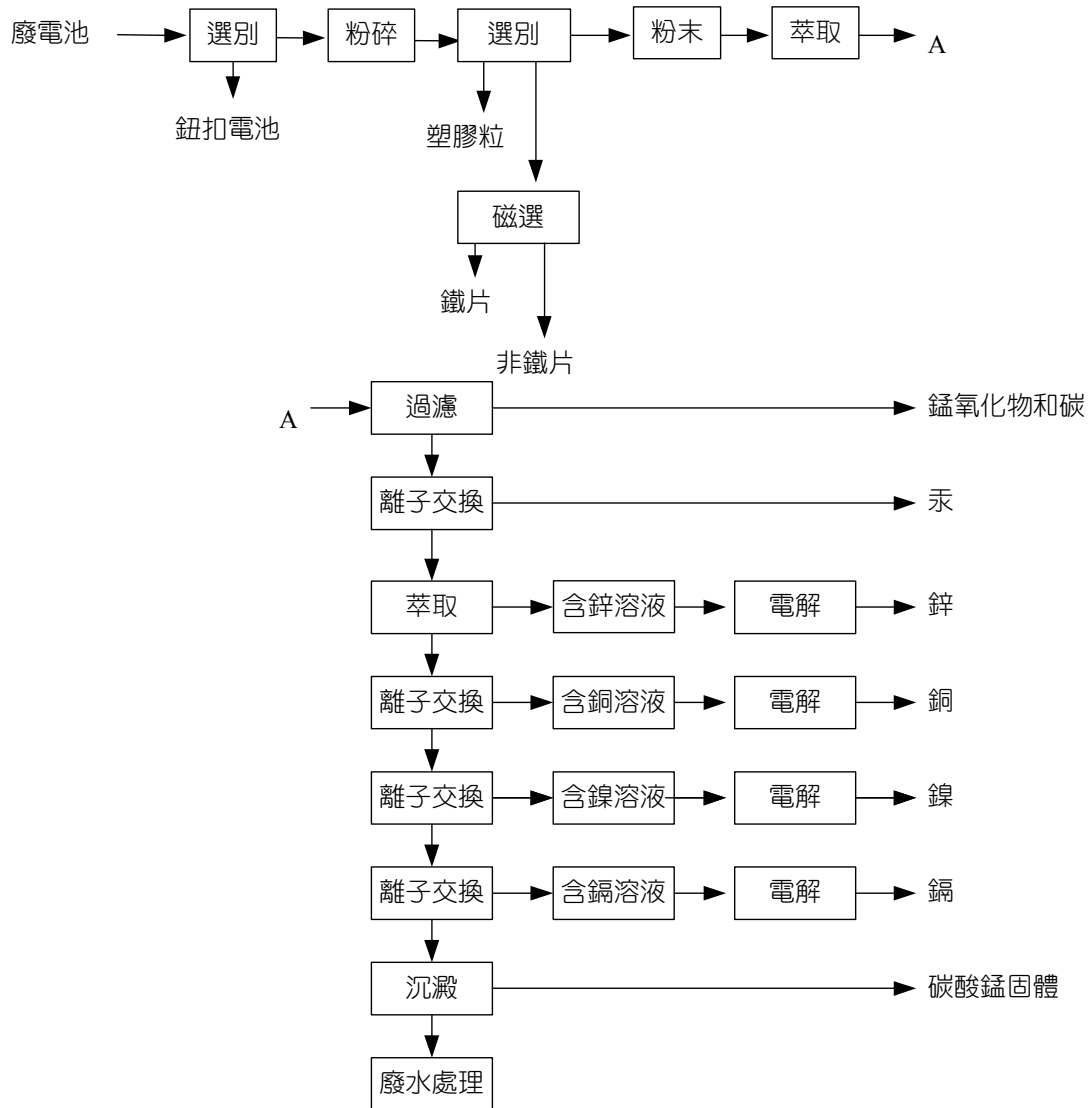


圖 18.4 德國 Batterierecycling Schonebeck GmbH 混合廢電池資源再利用處理流程

18.2.2.3 廢棄物處理發展中心(日本)⁽⁶⁾

此技術被使用來處理混合式廢乾電池，首先經過以丙烷為燃料並且燃燒溫度為 600-800°C 的旋轉爐，汞蒸氣被回收，其餘固體被磨碎經磁選機分離出粗鋅。其資源化技術流程見圖 18.6。



第十七章 煤灰資源化技術

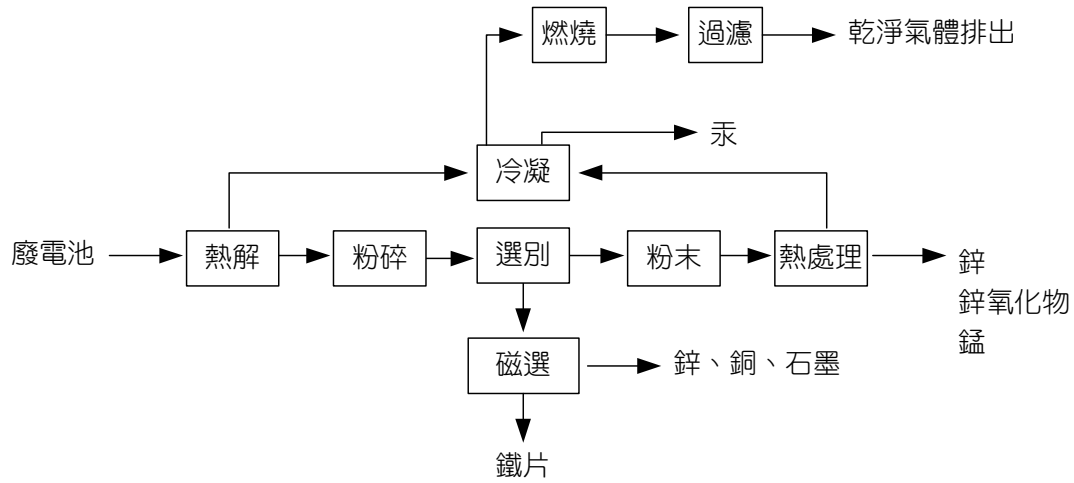


圖 18.5 Recytec SA (瑞士)混合廢電池資源再利用處理流程

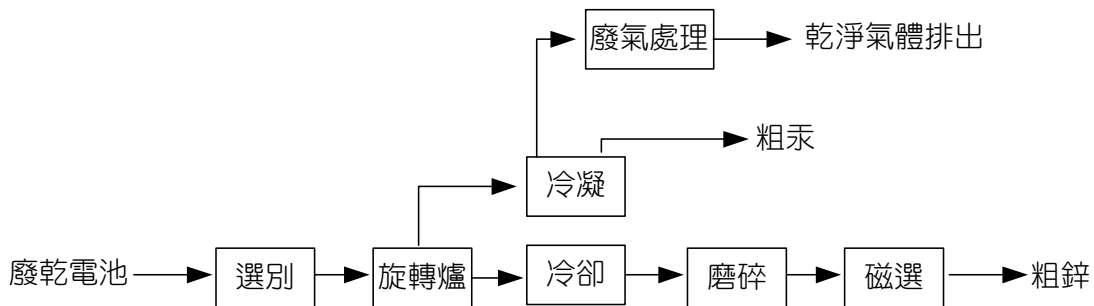


圖 18.6 廢棄物處理發展中心(日本)混合廢乾電池資源再利用處理流程

18.2.3 廢鎳鎘電池資源再利用技術

目前廢鎳鎘電池資源再利用技術主要有焚化法、碳酸化分離、碳酸銨溶解、電解萃取、複合分離及有機溶劑萃取分離等方法，以下就各種處理技術加以說明。

1. INCO (美國), SNAM (法國), SAVAM (法國)

焚化法處理是目前世界上被廣泛應用的方法，其主要是將溫度加熱至 90 °C，使金屬鎘昇華成蒸氣，經冷凝後可收集金屬鎘及氧化鎘，作為電池原料；而鎳、鐵殘渣則可被作為煉鋼廠的原料。焚化法處理的優點是製程簡單，處理流程如圖 18.7 所示。

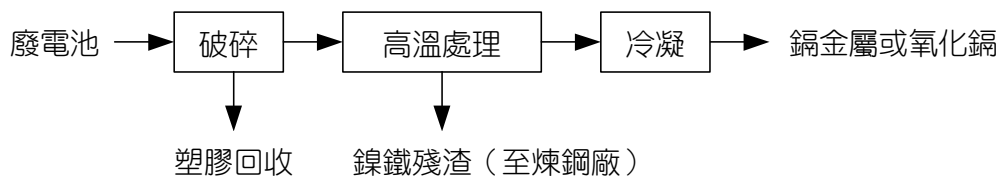


圖 18.7 廢鎳鎘電池焚化處理流程

2. H. Hamsmatsa

碳酸分離法係將廢電池用硫酸將電極溶解，(pH 值控制在 4~5) 再加入過量的 NH_4HCO_3 溶液，使鎘與碳酸根離子反應成不溶解的碳酸鎘沉澱而達到分離目的，其中萃取液 NH_4HCO_3 可反覆再使用。

3. H. Renhardt, Nife (瑞典)

碳酸銨溶解法係將廢電池中的極板在加碳且高溫的狀態下還原成金屬態，再以碳酸銨溶液($\text{NH}_4\text{HCO}_3 + \text{NH}_4\text{OH}$)將灰渣中之鎳與鎘萃取出，再以螯合劑將鎳分離出來，達到分離鎳與鎘之目的，由於碳酸銨溶液對鎘、鎳溶解速率很小，因此，於進行萃取程序時必須連續反覆的操作，如此會導致設備投資費用較高。

4. T. Faruse, Yuasa Battery Co. Ltd



電解萃取分離法係將電池予以粉碎後，經篩選程序分離出的金屬粉粒，以硫酸來溶解金屬元素，隨後再用電解方式來回收硫酸溶液中的鎘金屬，其回收鎘金屬純度可達 99.95%，而電解殘餘液則可加入石膏經結晶沉澱，即獲得硫酸鎳。

5. 芬陽電子廠（中國大陸）

複合物分離法將廢電池在高溫 600°C 下焚燒一小時，使有機物質（如塑膠）裂解焚化，再以硫酸溶解灰渣，隨後通入氨於硫酸溶液中使氨與鎘生成複合反應物，當靜置時鐵元素會形成不溶解性的化合物而沉澱分離，隨即在硫酸溶液中加入碳酸與金屬鎘產生反應，即可獲得碳酸鎘。

6. TNO Process（荷蘭）

有機溶劑萃取分離法將廢電池予以粉碎篩選，使粒徑小於 2.8mm，再加入 6N 的鹽酸在 90°C 下浸置 2 小時如此鎳與鎘會溶解於鹽酸中，再以溶劑 TBP(tributyl phosphate)將鹽酸溶液中鎘成分萃取出，然後以電解方式來分離出鎳與鎘，此法可回收電池中 99.5% 鎘金屬。

18.3 廢電池資源化技術評析

由以上各項資源化技術，綜合各項技術、原理流程、適用對象、適用範圍、技術成熟度及特點等要項，彙整如表 18.1 所示。

表 18.1 廢電池資源化技術評析

技術名稱	原理、流程	適用對象	成品與適用範圍	技術成熟度與實績	特點(含應用限制)
熱處理法	廢鉛酸蓄電池經粉碎、選別及熱解精煉	鉛酸蓄電池	軟鉛、硬鉛	已商業化 泰銘(台灣) East Penn(美國) BRM(英國) B.J. Industries (法國) Feistriz (奧地利)	1.在粉碎過程會有酸氣產生，因此需有空氣污染防治設施 2.有回收相當純度的鉛錠
濕式冶煉法	利用電化學及薄膜技術在密閉溶劑系統中分離金屬	混合廢電池	汞、鋅、銅、鎳、鎘	已商業化 Batterierecycling Schonebeck GmbH(德國)	1.幾乎可完全回收所有金屬 2.冶煉時耗能低 3.無熱解時的空氣污染問題
熱處理法	廢電池經熱解、粉碎、選別及再熱解以達到去汞及鋅	混合廢電池	汞、鋅、鋅氧化物、錳	批次模廠 Recytec SA(瑞士)	1.低成本之廢電池前處理，以達到去汞之目的 2.可使用於處理其他含少量汞之廢棄物或其他廢棄物
焚化法	廢電池經粉碎、熱解及冷凝以收集鎘及氧化鎘	鎳鎘電池	金屬鎘、氧化鎘	已商業化 INCO(美國) 韓國(1家) 日本(3家) SNAM(法) SAVAM(法)	1.製程簡單 2.產物附加價值低 3.回收經濟性易受金屬鎘、鎘之商價格影響 4.需有特別的污染防治措施 5.只適用於鎳鎘電池回收
碳酸化分離法	利用電解產生碳酸鎘沉澱	鎳鎘電池	碳酸鎘、碳酸鎳	已商業化 H. Hamsmatsa	1.操作簡單 2.溶劑(NH ₄ HCO ₃)容易回收 3.回收之鎳、鎘純度有限，需進一步純處理
碳酸銨溶解法	高溫還原鎳、鎘，再以整合劑分離鎳、鎘	鎳鎘電池	金屬鎳、碳酸鎘	已商業化 H. Renhardt. Nife, Sweden	1.此法只會溶解鎳與鎘，但其溶解使率小 2.設備費用投資昂貴 3.使的整合劑價格高
電解萃取分離法	廢電池經粉碎，經硫酸溶解，以電解回收金屬鎘	鎳鎘電池	硫酸鎳、鎘	已商業化 T.Faruse, Yuasa Battery CO. Ltd	1.回收鎘純度可高達 99.95% 2.由於兩金屬電位差很低且接近，因此需依小心控制 3.能源消耗大
複合物分離法	廢電池經高溫裂解，以硫酸溶解，並與加入之碳酸形成碳酸鎘	鎳鎘電池	碳酸鎘	已商業化 芬陽電子廠 (中國大陸)	1.操作繁複 2.對鐵元素反覆去除，導致操作成本高 3.有廢液及廢棄物需進一步處理
有機溶劑分離法	廢電池經粉碎，浸漬於鹽酸中以溶解鎳、鎘，以 TBP 萃取鎘，加以電解純化	鎳鎘電池	鎳、鎘	已商業化 TNO Process (荷蘭)	1.鎘萃出達可達 99.5% 2.鐵份被率入水及有機相使得去除處理變為複雜 3.萃取溶劑昂貴



參考文獻

- 1.Kircher, J., Journal of Power Sources, No.28, pp.85-91, 1989.
- 2.Ramus, K. and Hawkins, P., Journal of Power Sources, No.42, pp.299-313, 1993.
- 3.Bourson, J. L., Journal of Power Sources, No.57, pp.81-83, 1995.
- 4.資源再生業技術能力評估與輔導專案，經濟部工業局 86 年度專案計畫。
- 4.Frohlich, S. and Sewing, D., Journal of Power Sources, No.57, pp.27-30, 1995.
- 5.Ammann, P., Journal of Power Sources, No.57, pp.41-44, 1995.
- 6.Kanemaru, T. and Matsuoka, T., Journal of Power Sources, No.57, pp.23-26, 1995.

廢棄物資源化技術資料彙編

出版日期：中華民國八十八年六月初版

發行人：汪雅康

總編輯：鄭清宗

編撰企劃：呂正期、潘建成、鄭宏德、蔡永興、
古晏菁、張明倉、趙佩琪、吳美惠

執行編輯：林冠嘉、蘇雪華

發行所：經濟部工業局

台北市信義路三段 41-3 號

TEL: (02)2754-1255

TAX: (02)2704-3753

出版所：財團法人中技社綠色技術發展中心

台北市忠孝東路四段 310 號 11 樓

TEL: (02)8773-7335

FAX: (02)8773-7276

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

郵政劃撥帳號：17668731 號

戶名：財團法人中技社

(請備註：綠色技術發展中心)

印刷承製：大加廣告印刷有限公司

版權所有 翻印必究