

被動電子元件業資源化應用技術手冊

中華民國九十五年七月

被動電子元件業 資源化應用技術手冊

經 濟 部 工 業 局 編 著
財團法人台灣綠色生產力基金會

出版機關： 經濟部工業局

出版日期：中華民國 95 年 7 月

序

被動電子元件是所有電子產品的最上游起點，為資訊、通訊、消費性電子、機械、儀表、航太及汽車等不可或缺之元件，應用範圍廣泛，其中以資訊、通訊及消費性電子等產業為主。在資訊產品方面，在往後幾年許多開發中國家經濟的興起，將會大幅成長；其次是消費性電子產品，電子產品的多功能化，也將會為被動元件帶來另一波新需求。由於被動電子元件種類繁多，製程差異性也大，所產生的廢棄物也有所差異，如何妥善解決廢棄物問題，因應全球永續發展的趨勢，對於被動電子元件業而言，推動污染防治與廢棄物資源化是邁向國際化與永續經營的重要措施之一。

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

本手冊編撰過程，感謝台灣科技大學化學工程研究所王文裕先生、台灣產業服務基金會陳文輝副總經理、全盛興資源科技公司曾德偉經理、工研院能環所楊奉儒經理、台北科技大學材料及資源工程系王錫福教授、晶淨科技公司蔡永興副總經理等參與資料蒐集及編撰；勤益技術學院化工系郭甦隆教授、台北科技大學材料及資源工程系陳志恆教授以及華新科技公司鄭石敖副理等之審訂，使本手冊得以付梓。由於時間匆促，且實務資料之蒐集彙整不易，內容如有錯誤漏植之處，尚祈各界不吝指正。

經濟部工業局 謹識
中華民國九十五年七月

目 錄

第一章 前言	1
1.1 緣起	1
1.2 技術手冊內容說明	1
第二章 產業概況	3
2.1 產業現況	3
2.2 製程概述	9
第三章 廢棄物特性與清理現況	18
3.1 廢棄物來源及特性	18
3.2 廢棄物產生量及清理現況	20
第四章 清潔生產	24
4.1 概論	24
4.2 環境化設計	27
4.3 廠內管理	37
第五章 廢棄物資源化技術	48
5.1 電子零組件資源化技術	48
5.2 廢酸資源化技術	54
5.3 無機污泥資源化技術	70
5.4 廢溶劑資源化技術	93
5.5 廢塑膠資源化技術	108

第六章 技術評估與設備選用程序	119
6.1 資源化技術評估流程	119
6.2 資源化設備選用程序	121
6.3 資源化成本分析	128
第七章 廢棄物資源化案例	131
7.1 電子零組件資源化案例	131
7.2 廢酸資源化案例	134
7.3 無機污泥資源化案例	138
7.4 廢溶劑資源化案例	150
7.5 廢塑膠資源化案例	156
名詞解釋.....	162
參考文獻.....	166
單位換算表.....	169
索 引.....	173

圖 目 錄

圖 2.1 被動元件產業之分類	4
圖 2.2 積層陶瓷技術之流程圖	10
圖 2.3 積層陶瓷電容器之構造	11
圖 2.4 積層陶瓷電容器之典型製作流程	12
圖 2.5 積層電感之構造	13
圖 2.6 典型晶片電感製作流程	15
圖 2.7 典型晶片電阻製作流程	17
圖 5.1 廢電子零組件資源化處理流程	49
圖 5.2 機械刨除作用示意圖	50
圖 5.3 對物料的破碎方式	51
圖 5.4 靜電分選示意圖	52
圖 5.5 貴金屬溼式回收流程	53
圖 5.6 貴金屬乾式回收流程	53
圖 5.7 廢電子零組件火煉流程	54
圖 5.8 電解電容器製程示意圖	55
圖 5.9 聚合反應法回收電蝕鋁箔廢液流程圖	55
圖 5.10 酸-金屬回收法回收電蝕鋁箔廢液設備流程	57
圖 5.11 多重效用罐蒸發濃縮裝置構造圖	58
圖 5.12 多重效用罐蒸發濃縮裝置外觀圖	58
圖 5.13 擴散透析法處理流程圖	59
圖 5.14 薄膜擴散模式流程圖	60
圖 5.15 樹脂吸附法處理流程圖	61

圖 5.16 硫酸置換法回收廢鹽酸流程圖	63
圖 5.17 硫酸置換法回收廢混酸(鹽酸、硫酸)流程圖	63
圖 5.18 鋁陽極氧化製程排出廢硫酸之回收處理流程	64
圖 5.19 利用硫酸置換法回收廢硝酸處理流程	66
圖 5.20 利用氫氟酸置換法回收廢硝酸處理流程	67
圖 5.21 硝酸-磷酸廢液回收流程	68
圖 5.22 氨浸萃取技術流程圖	71
圖 5.23 Am-MAR 酸浸萃取技術流程圖	72
圖 5.24 污泥置換電解金屬回收處理流程(Recontek Co.)	74
圖 5.25 酸浸漬及煅燒法流程圖	77
圖 5.26 污泥乾燥氧化還原回收金屬處理流程	78
圖 5.27 一般製磚流程	78
圖 5.28 水泥製作流程	80
圖 5.29 鋁土污泥作為水泥替代原料資源化流程圖	84
圖 5.30 重金屬污泥資源化及處理技術之六項應用潛力指標之各階層評準 所得之權重	91
圖 5.31 四項重金屬污泥資源化及處理技術在六項技術應用潛力指標評準中 所得之累加權重得分	92
圖 5.32 布雷登有機溶劑回收流程圖	94
圖 5.33 溶劑吸收法流程圖	95
圖 5.34 活性炭吸附再生流程圖	95
圖 5.35 催化燃燒法流程圖	96
圖 5.36 有機混合廢溶劑蒸餾回收流程圖	98
圖 5.37 廢溶劑簡單蒸餾回收裝置	99

圖 5.38 萃取精餾裝置簡圖	100
圖 5.39 滲透蒸發分離	101
圖 5.40 透析原理示意圖	103
圖 5.41 液體噴注式焚化爐示意圖	105
圖 5.42 旋轉窯焚化爐示意圖	106
圖 5.43 廢熱塑性塑膠原料再生處理流程	108
圖 5.44 以磁選加比重分選法篩選塑膠流程	109
圖 5.45 Erema 公司開發的專門用於發泡聚苯乙烯回收設備	111
圖 5.46 廢熱塑性塑膠製造再生棉流程圖	112
圖 5.47 不織布生產流程圖	113
圖 5.48 其他再生棉製品生產流程圖	113
圖 5.49 廢熱塑性塑膠押出發泡成型法流程圖	114
圖 5.50 廢熱塑性塑膠溶解乳化法流程圖	115
圖 5.51 廢熱塑性塑膠熱裂解流程圖	116
圖 5.52 廢熱固性塑膠製成再生料再利用流程圖	116
圖 5.53 燃燒及熱處理再生熱固性塑膠流程圖	117
圖 6.1 資源化系統規劃評估實驗流程	120
圖 6.2 資源化設備評估流程	122
圖 7.1 含金成分之回收資源化流程	133
圖 7.2 溶解置換反應法回收電蝕鋁箔廢液流程圖	134
圖 7.3 液膜式蒸發法回收電蝕鋁箔廢液流程圖	136
圖 7.4 蒸餾冷凝法回收電蝕鋁箔廢液流程圖	137
圖 7.5 置換法回收銅流程	138
圖 7.6 氧化銅法回收氧化銅流程	139

圖 7.7 無機性污泥作為水泥原料資源化流程	141
圖 7.8 鋁土污泥產出流程	143
圖 7.9 鋁土污泥資源化流程	144
圖 7.10 鋁土污泥進料程序	145
圖 7.11 D 廠廢溶劑資源化處理流程圖.....	150
圖 7.12 D 廠廢異丙醇資源化處理流程.....	151
圖 7.13 E 廠廢溶劑資源化處理流程圖	154
圖 7.14 廢塑膠回收再利用為塑膠板材之流程	156
圖 7.15 廢塑膠熱裂解流程圖	158
圖 7.16 廢塑膠容器替代新塑膠容器部分原料回收流程圖	161

表 目 錄

表 3.1 被動元件廠之廢棄物	19
表 3.2 被動電子元件業事業廢棄物產出量統計	21
表 3.3 被動電子元件業廢棄物清理現況	22
表 5.1 含鋁廢硫酸回收品質及能源消耗	65
表 5.2 廢酸資源化技術彙整	69
表 5.3 應用重金屬污泥回收處理流程前之污泥分類	75
表 5.4 國內現行之建築用磚規範值	79
表 5.5 混凝土空心磚相關規範值	80
表 5.6 混凝土空心磚相關規範值	80
表 5.7 CNS 61 R2001 卜特蘭水泥規範化學成分標準規定	81
表 5.8 CNS 61 R2001 卜特蘭水泥規範物理性質標準規定	82
表 5.9 CNS 61 R2001 卜特蘭水泥規範化學成分任選規定	87
表 5.10 重金屬污泥資源化技術	89
表 5.11 含重金屬污泥回收資源化及處理技術特點評析	90
表 5.12 四項重金屬污泥資源化及處理技術所得之總權重得分	91
表 5.13 常見之有機溶劑	94
表 5.14 氣態廢溶劑回收技術之優缺點比較	96
表 5.15 可由滲透蒸發技術分離或純化之產物	102
表 5.16 水泥窯使用廢溶劑作為輔助燃料認定原則	107
表 5.17 廢 PE 袋回收為複合材料之配方	111
表 5.18 廢塑膠回收製造土工材料之專利配方	115
表 5.19 廢塑膠資源化技術評析	118

表 7.1 廢電子零組件之金屬成分	132
表 7.2 廢酸處理成本及回收概算	136
表 7.3 鋁土污泥成分（依實際收受廠家檢測報告彙整）	146
表 7.4 水泥原料成分	146
表 7.5 添加鋁土污泥後水泥原料研磨成生料使用之配比	147
表 7.6 添加比例之設定計算分析	147
表 7.7 鋁土污泥各別成分容許存在之上限值	148
表 7.8 異丙醇之工業規格	153
表 7.9 熱裂解氣化發電成本效益分析表	158

第一章 前言

1.1 緣起

被動元件包括電容器、電阻器及電感器等，凡與電子有關之產品均可能使用到被動元件，且不但產品種類繁多，其上下游產業關聯亦非常密切。我國被動元件發展在國內上下游及材料產業緊密配合之下，產業發展快速，在全球被動元件產業中占有舉足輕重之地位。

目前我國被動元件生產已有朝向晶片化發展的趨勢，整體產業在產銷量上有明顯的成長，惟產業競爭激烈，產品單價有下滑趨勢，持續降低生產成本已為產業必要之課題。由於在製造被動元件過程中衍生出多種事業廢棄物，業者仍多委託掩埋處置固體廢棄物，廢液則排入廢水處理廠處理，廢棄物處理成本較高。而正當 WEEE 及 RoHS 指令之實施在即，且隨著全球環保意識高漲及資源永續利用之推行，環境保護工作已為產業發展必要趨勢，故該產業之廢棄物減量、製程減廢，以及其廢棄物之資源回收與再利用，實為該產業發展之重要課題。

經濟部工業局為維護產業及環境保護之平衡發展，針對被動電子元件業進行廢棄物資源化技術手冊編撰工作，希望能提升被動元件業者對清潔生產與廢棄物資源化專業技術之認知，及提高再利用業者對被動元件業廢棄物回收再利用意願，進而增進產業整體之環境績效，達到經濟與環保相輔相成之目的。

1.2 技術手冊內容說明

本手冊將針對國內外被動電子元件業廢棄物資源化技術及案例進行彙集，並進一步推廣資源化技術，邁向永續發展路程。手冊共分七章，概要說明如下：

第一章：說明本手冊編撰緣由，以及內容中所涉及之被動元件產業範圍及各章節內容。

第二章：介紹被動元件產業範圍及其分類，以及該產業發展現況，並針對被動元件製程進行扼要說明。

第三章：針對被動元件製程之廢棄物來源、特性及產生量，以及主要廢棄物之清理現況進行介紹。

第四章：以廠內管理及環境化設計觀點，敘述該產業於產品設計及生產活動過程之污染預防策略。

第五章：針對適用於該產業之國內外較成熟且較具效益之資源化技術進行探討說明。

第六章：提供資源化技術評估流程、購置資源化設備之選用程序及成本分析之要項，供業者選用資源化技術與設備之參考。

第七章：彙集實際執行之各項廢棄物資源化案例，提供各資源化技術運作情形，以達推廣執行資源化工作之概念。

第二章 產業概況

2.1 產業現況

被動元件 (Passive Components) 顧名思義，就是說電子產品本身無法主動提供電子相關起動、開關、速度及功能控制之運作，必須藉由與主動元件連結才能運作。被動元件依功能上的差異可分為電阻器 (Resistor)、電容器 (Capacitor)、電感器 (Inductor)、濾波器 (Filter) 與振盪器 (Oscillator) 等，如圖 2.1 所示。以全球市場規模而言，最大的是電容器，其次是相差不大的電阻器與電感器，再來依序為振盪器與濾波器。而在台灣被動元件產業中規模最大的是電容器，其次電阻器，再來依序為電感器。

電容器、電阻器及電感器合稱為三大被動電子元件，凡是與電有關的產品均需使用到此三大被動元件，其應用範圍涵蓋資訊、通訊、消費電子及其他工業產品領域，是下游 3C 產業不可或缺的重要零組件。隨著電子產業的蓬勃發展與資訊產品的擴增，對這些被動電子零組件的需求日益殷切。被動元件在每一年代都會隨主流產品成長，90 年代以前主要是靠消費性電子產品，進入 90 年代以後，主要是跟隨 PC 市場成長，進入 2000 年前後，則是依賴手機成長。

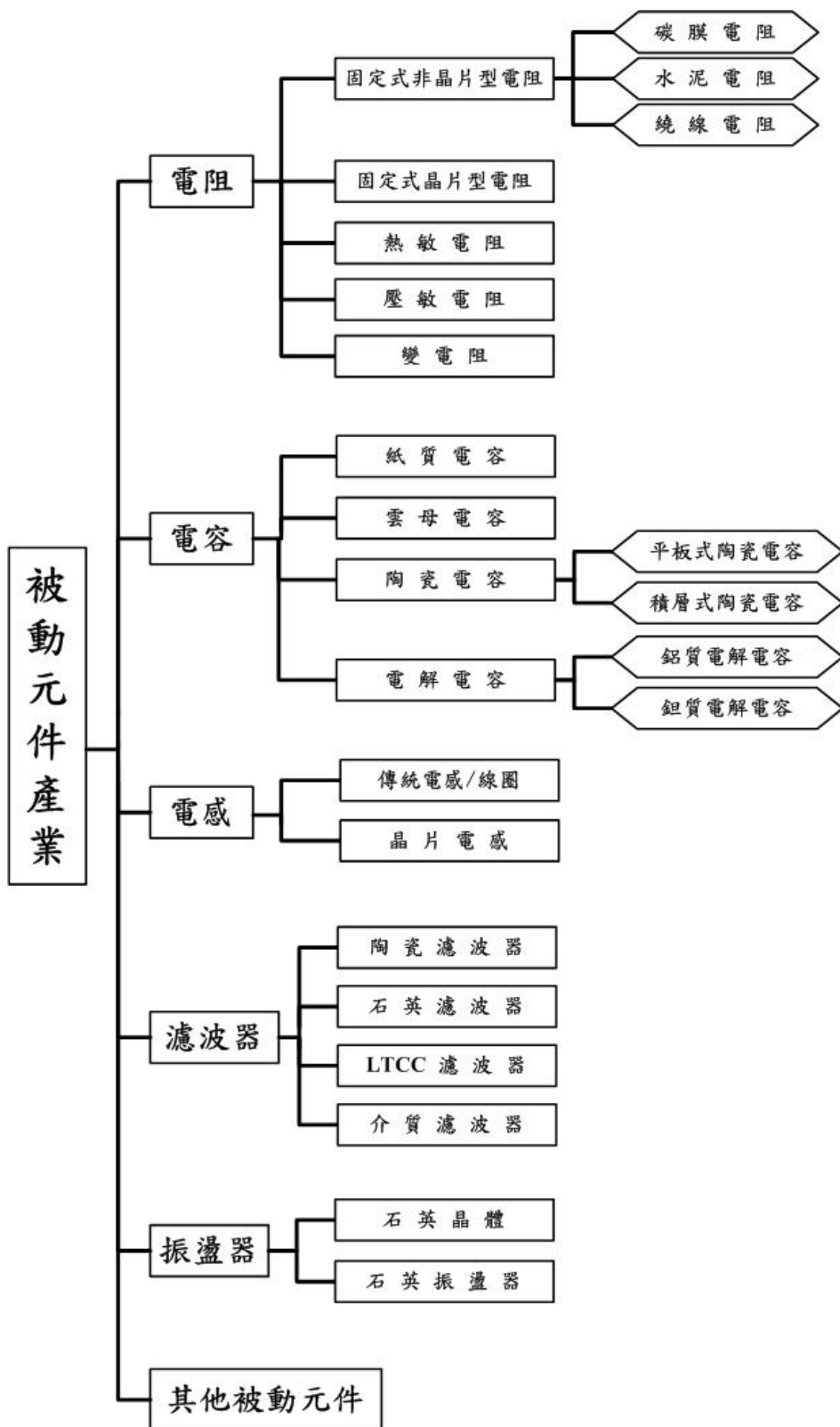


圖 2.1 被動元件產業之分類

2.1.1 電容器

電容器可分為傳統之紙質電容器、陶瓷電容器、鋁質電解電容器、塑膠薄膜電容器、鉭質電容器、鈦質電容器、雲母電容器…等種類，其用途為能量儲存、濾波、旁路、耦合、反耦合及調諧振盪等。電容器的演進以「輕薄短小」為主要訴求，台灣現階段電容器之製程技術已達成熟階段，不論是產品售價或品質上，皆具有相當程度之國際競爭優勢。我國現有製造電容器之廠商約二百餘家，就世界規模而言，產業規模僅次於美國與日本，已是世界第三。由於電容器市場應用十分廣泛，舉凡資訊、通訊、家電、汽車等都可見其蹤影。其產品係配合下游終端產品使用需求而定，因此下游資訊電子終端產品生產量大的我國，對電容器的需求量亦隨之擴大，有利電容器產業的發展。

陶瓷電容器可分為單層平板式及積層型陶瓷電容器（Multi-layer Ceramic Capacitor，簡稱 MLCC）。其中單層平板式型陶瓷電容器呈現穩定發展，產品多運用在耐高壓的環境下，如電源供應器及監視器上，生產廠商包括匯僑工、永嘉及台灣中獅等 40 多家；積層型陶瓷電容器則因具有體積小、相對電容量大、高頻使用時損失率低及穩定性高等特性，在電子產品的輕薄短小趨勢下，未來的發展空間相當大。國內生產廠商包括華新科、天揚、匯僑工、國巨、禾伸堂、業強及達方等 20 多家。MLCC 市場向以日系廠商馬首是瞻，不論產能規模或技術層次，日系廠均具有領導地位，且由於材料開發及技術上具有相當的進入障礙，日系廠地位不易動搖。根據工研院 IEK 統計，2004 年全球 MLCC 市占率前三名為日系前三大廠 Murata、TDK 及 Taiyo，市占率分別為 24%、15%、12%，國巨則與 Taiyo 並列第三，市占率同為 12%。近幾年來，鈮價的持續高漲，積層陶瓷電容器為降低成本，減輕對鈮的依賴，也積極將原有的貴金屬製程電極銀與鈮，轉換成卑金屬製程電極的銅與鎳。除此之外，目前全球 MLCC 產品已朝向高容化、卑金屬化、小型化、多功能化、無鉛化等方向發展，並且配合降低成本、縮小體積、提升效能、及環保訴求等趨勢前進。

電解質電容器通常是電容值比較大的電容器，一般具有極性，通常用於電源穩壓或低頻率的電路（兩個電解電容器背接成 NP 電容，則無極性），目前市面上有鋁質電容器、鉭質電容器及正在研發中的鈮質電容器。鋁質電解電容器的靜電容量大且製造成本較低，使用範圍相當廣泛，包括 3C 電子及電機產品皆會使用到，國內生產的廠商包括世昕、智寶、凱美、立隆、永隆及輝城等一百多家。鋁質電解電容器的關鍵原料是電解鋁箔及電解液，約占總材料成本的七成，因此廠商為降低成本以利競爭，重要的方法之一便是往上游原料發展；另外，增加毛利

較高的 SMD 型電容器比重，或開發高單價的新產品如 V-CHIP 等，亦可改善獲利。近年來由於鋁箔與電解液的不斷改良，運用範圍日益擴大，未來可取代部分高單價之電容器產品。由於下游客戶（如監視器廠商）外移至大陸之後，部分大廠也追隨客戶至大陸設廠，形成台灣廠著重研發及生產高附加價值產品，而大陸廠生產低價產品的模式。鈹質電容器雖適用頻寬廣，漏電流小，但不耐負壓，若接反正負極會造成電容爆炸，且因含有毒性，已逐漸退出市場。

塑膠薄膜電容器是在兩電極之間加入塑膠薄膜，可在極短的時間內釋放電能，且具有阻擋低頻訊號通過的功能，主要運用於中、高壓的相關產品上，包括電視機、監視器、電源供應器及主機板等產品，不過國內關鍵原料（塑膠薄膜）的掌握度不足，仍須受制於進口，生產廠商包括華容、智寶、茂一及大新等。由於上游原料的塑膠薄膜技術層次高，國內廠商無製造塑膠薄膜的能力，廠商多半只是購買生產設備而進行加工組裝，加上生產過程並無技術的障礙性，因此，產業競爭力較弱，廠商的獲利實屬有限。

2.1.2 電阻器

電阻器依功能可分為三類：第一類為固定式非晶片型和固定式晶片型電阻器，功能為降壓、分壓；第二類為可變式電阻器，功能為調整電路電壓；第三類為非線性電阻器、其中又可分為變阻器、熱阻器，功能分別為突破吸收、溫控與感測。非晶片型產品主要包括碳膜電阻器、金屬氧化皮膜電阻器、水泥電阻器及繞線電阻器等，其中繞線電阻器與金屬氧化皮膜電阻器適用於高功率產品，廣泛應用於汽車與通訊工業等產品；碳膜電阻器則應用於精密度要求不高的消費性電子產品，例如玩具、收音機與音響等。而固定式晶片型電阻器又分為晶片電阻器、碳膜電阻器與金屬膜電阻器等，目前以晶片電阻器的產值為最。目前全球電阻器主要生產國為日本、美國、台灣，其中，固定式晶片型電阻器為台灣電阻器產銷的重心。晶片電阻器因製程不同可再分為厚膜製程與薄膜製程，其中厚膜晶片電阻器主要是利用網版印刷技術，將氧化物印刷在氧化鋁基板上，薄膜晶片電阻器是利用真空鍍膜技術將阻質均勻材料鍍在氧化鋁基板上。一般少量多樣之低階產品主要交由家庭工廠生產，量大之中低階電阻則多交由中大型業者採自動化生產。近年外銷數量呈現增加趨勢，晶片電阻器已成為國內電阻器產業的主流產品，由於電阻器單價每年逐漸下滑，相關廠商正積極擴充產能，以達到生產規模，降低單位生產成本。

依工研院材料所 ITIS 計畫統計資料，固定式非晶片型電阻器過去拜電源供

應器與監視器需求旺盛之賜，供應商曾達 230 家，近年因組裝業外移，部分供應商為就近供貨亦赴中國大陸設廠生產，現存國內較具規模之供應商僅剩 50 家左右、包括國巨、旺詮、幸亞、百美，豐雅及第一電阻等。國內生產晶片電阻器的廠商皆兼做排列/網路電阻，主要生產廠商包括國巨、旺詮、大毅、華亞、幸亞、台灣飛利浦、麗智等；國內生產薄膜晶片電阻器的廠商較少，包括乾坤、國巨等廠商；而生產可變電阻器的廠商則包括華容、台灣飛利浦、鉅祥等。

晶片電阻器市場由於技術門檻低於 MLCC，因此日系廠並不具有絕對優勢，台灣廠商具有領導地位，根據工研院 IEK 統計，2004 年全球 Chip-R 市占率第一名為國巨的 33%，二到四名則為日系三大廠 Rohm、Matsushita 及 Koa，市占率分別為 14%、13%、10%，其它廠商合計市占率則為 30%。以市占率而言，台灣廠商的全球市占率總合應該接近 50%，營收規模應是全球市占率第一。

非線性電阻器擁有控溫、電路過載保護等功能，分為變阻器與熱敏電阻器兩種。變阻器主要功能為突波吸收，避免重要元件遭突波衝擊而損毀；熱敏電阻器主要有陶瓷正溫度係數熱敏電阻器（Positive Temperature Coefficient Thermistor，簡稱 PTC）、陶瓷負溫度係數熱敏電阻器（Negative TC，簡稱 NTC）、高分子正溫度係數熱敏電阻器（Polymeric PTC，簡稱 PPTC）等。熱敏電阻器主要的功能為溫度量測與電流、溫度過載保護，應用範圍涵蓋映像管型監視器與電視機、TFT-LCD 監視器及各類資訊週邊產品。

目前國內氧化鋅變阻器生產廠商包括崧隆、超聯、光基、久尹、舜全、華新科技、業達、昌皓（同皓）、聯順、匯僑、永臻、興勤等 12 家。國內 NTC 熱敏電阻器主要生產廠商有永臻、興勤電子、羅義機電、華新科技、匯僑、久尹、易陶等，其中興勤為最大供應商，由於國內市場有限，永臻以出口為導向，其餘小廠部分退出市場，部分將生產線外移中國大陸。PTC 熱敏電阻器國內主要供應商包括華新科技、永臻、興勤、鉦泰、晉銓、綸麒及台揚維等，其中華新科技為國內最早從事 PTC 產品生產廠商。

目前國內電阻器產業發展面臨部分關鍵材料仰賴進口及小型（如 0402 型或更小尺寸）晶片電阻器生產良率偏低等問題。包括陶瓷管（瓷棒）與著膜材料、陶瓷基板與導電漿墨等多項材料供貨不穩定，致貨源難以掌握，價格起伏不定，為此業者已加強上游材料研發，建立關鍵材料自主性外，配合資訊、通訊及消費性電子產品輕薄短小發展趨勢，透過技術移轉或策略聯盟等方式取得電阻器小型化、多功能化及高功率電阻器 SMT 化技術，以提升市場競爭力。

2.1.3 電感器

電感器方面，其種類有最早期的變壓器、後來演進之線圈以及最新穎之晶片型積層陶瓷電感器（MLCI）等，主要適用在防制電磁波的干擾（EMI），以及過濾電流中的雜訊。電感器依產品型態，大致上可分為傳統線圈式電感器與晶片電感器等兩大類，傳統線圈式電感器包括抗流線圈、震盪線圈、峰化線圈、空心線圈。由於目前電子產品的輕薄短小化已成趨勢，影響到線圈環繞不易小型化的傳統線圈式電感器之發展，故積層晶片型電感器已成電感器的主流產品。國內廠商以生產抗流線圈、震盪線圈及晶片電感器為主。其中，國內抗流線圈及震盪線圈的競爭力逐漸喪失，已有多家廠商外移大陸；晶片電感器則由於廠商大舉擴產，產值逐漸提高，生產廠商包括奇力新、美磊、台慶及年程等十多家。雖然國內產量亦呈成長趨勢，惟亦因單價持續下滑，致產值逐漸衰退，目前晶片電感器占整體電感器產量已達五成，而產值約僅占三成，由於傳統電感器生產競爭力衰退，約有七成已移往大陸生產。隨著電子終端產品往輕薄短小發展，除了小型化以縮小零組件體積外，減少使用的零組件數目也是發展重點，但為不使減少零組件數目而影響功能與穩定性，將數個被動元件整合為整合型元件，遂成發展途徑之一。

目前的整合型元件的技術大多數來自多晶片模組（Multi-chip Modules，簡稱MCM）的生產技術，MCM依據製程技術的不同，可分為低溫共燒陶瓷製程（Low Temperature Co-Fired Ceramic，簡稱LTCC）、薄膜技術（Thin Film Technology），以及內嵌式製程（Embedded Passive）。

隨著整合式元件投入的廠商愈來愈多的情況下，國內廠商不但要面臨現有產業內國際大廠之壓力，也必須正視國內新投入廠商之威脅，已投入LTCC相關之整合式元件開發的廠商包括：台塑訊科、璟德、環隆電氣、禾伸堂、凱宣、信通、飛元、華新科及達方等廠商，多數廠商現階段投入之整合性元件，多半與行動電話、WLAN及藍芽相關之射頻模組應用有關，所整合之零組件除各類被動元件之外，亦涵蓋一些濾波器元件。不過，實際商用化之產品仍以簡易型及可量產的整合性元件為大宗（如晶片型LC濾波器），故在這方面的產品，由於現階段產業內已有不少之廠商競爭（如璟德、華新科及飛元）。目前整合式元件仍未能大規模替代分離式元件之原因，主要在於產品的量產、標準化及價格問題。

2.1.4 其他被動元件

濾波器主要有表面聲波（Surface Acoustic Wave，簡稱SAW）、陶瓷濾波器（Ceramic Filter）、石英濾波器（Monolithic Crystal Filter，簡稱MCF）、LTCC濾

波器(LTCC Filter)及介電質濾波器(Dielectric Filter)。目前全球九成以上的 SAW 濾波器與石英濾波器用於通訊上，陶瓷濾波器與介質濾波器有七成用於無線電話及影音消費性電子產品。

振盪器主要分為石英晶體(Crystal)與石英振盪器(Crystal Oscillator, 簡稱 XO)兩種。石英晶體因構造簡單，所以需要外加複雜的電路匹配；至於石英振盪器又可分為溫度補償型振盪器(Temperature-Compensated XO, 簡稱 TCXO)、恆溫爐式振盪器(Oven-Controlled XO, 簡稱 OCXO)、壓控振盪器(Voltage-Controlled XO, 簡稱 VCXO)與溫度補償型壓控振盪器(Temperature-Compensated Voltage-Controlled XO, 簡稱 TC-VCXO)四種。振盪器的應用領域極廣，幾乎 IT、通訊、消費性電子無所不包。但振盪器在消費性電子產品的應用，因為消費性電子產品的時脈變化不大，所以振盪器的需求變化不大。

2.1.5 小結

全球最大被動元件供應者以日本為首，約占三分之一，其次為西歐和美國。以產品技術而言，日本及歐美國家在高階被動元件產品中較具生產優勢。我國以生產中低價位產品為主，對於高階被動元件多仰賴進口；且在上游關鍵原料方面，日本及歐美亦掌控優勢，我業者難以與之抗衡，且仰賴甚深。被動元件產業基本上是一弱勢產業，就長期而言，產品單價仍是下滑趨勢，廠商須不斷調整因應策略，以免在下一波淘汰賽中出局。故台灣被動元件產業的發展趨勢乃採取橫向策略聯盟、上下游進行垂直整合、提升技術層次、發展新產品及降低成本的策略性發展。

2.2 製程概述

被動元件的種類很多，故其製程方式也很多，差異性也很大。然而仔細瞭解各項製程，其中最常見的製程技術為積層陶瓷技術，由於電子產品朝向輕薄短小、低耗能發展的趨勢，使得電路元件也面臨體積縮減的壓力。因此，積層陶瓷技術乃利用多層堆疊的方式所製作的陶瓷元件，形態就像是兩本一頁一頁交錯疊合的書，其基本流程圖如圖 2.2 所示。

積層陶瓷技術整合了厚膜技術(Thick Film Technology)、薄帶成型技術(Tape Casting Technology)及共燒技術(Cofiring Technology)。它透過製漿和薄帶成型，厚膜印刷、多層堆疊及共燒緻密化，最後上外電極和電鍍，形成元件、複合元件或模組。目前使用積層陶瓷技術製作的被動元件包括積層晶片電容器、晶片電感

器、晶片電阻器、晶片變阻器、和使用低溫共燒陶瓷製程所製作的元件或模組如濾波器及天線模組。

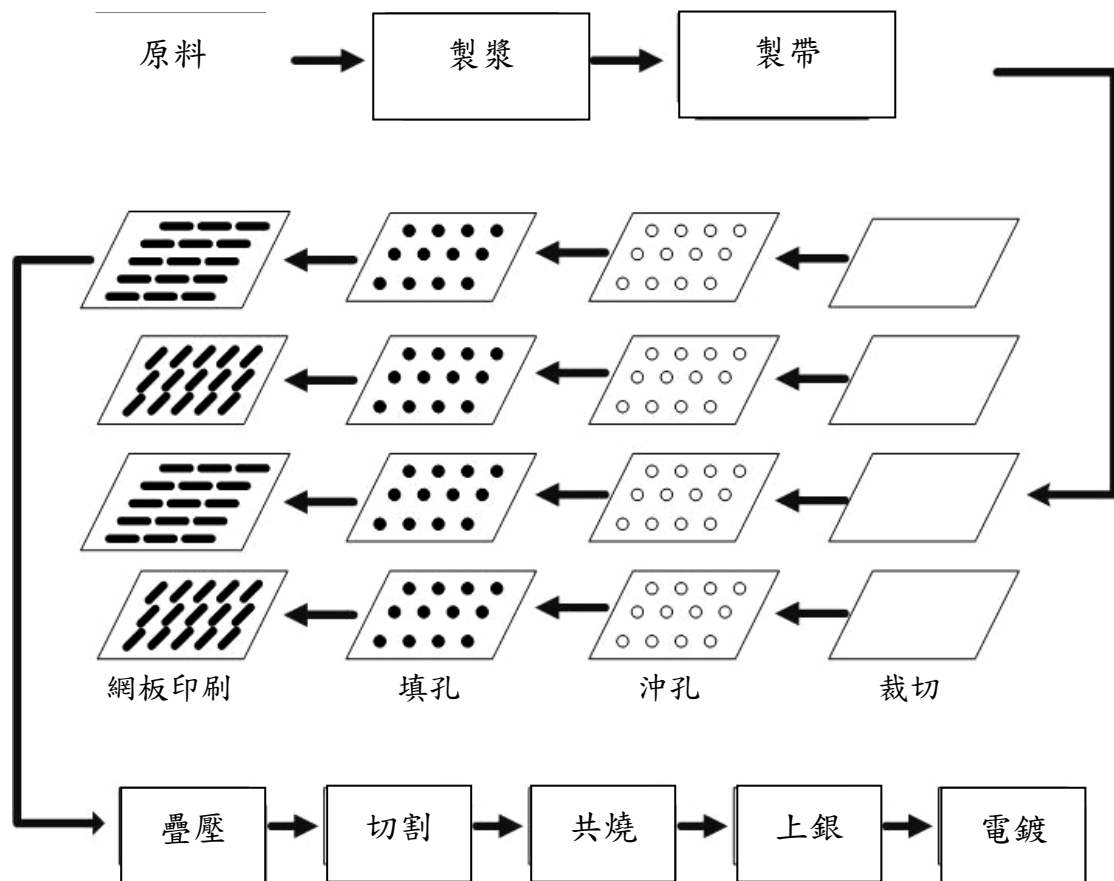


圖 2.2 積層陶瓷技術之流程圖

2.2.1 積層陶瓷電容器製程

積層陶瓷電容器的製造是利用介電材料厚度不變之情況下，增加電極面積和減少介電材料的厚度之原理，首先將介電材料製成相當薄的薄帶（約 $20\mu\text{m}$ 以下），再將此薄帶印刷上電極，然後一片片堆疊在一起，各層間的電極以交互錯開型式排列，使其成並聯組成（如圖 2.3）。積層陶瓷電容器之製程分成二種基本方法包括乾式法及濕式法，此二種方法的基本流程如圖 2.4 所示。

乾式製程又稱薄帶成型法，利用刮刀機或類似功能的技術，將加入適當黏結劑、分散劑、可塑劑、溶劑與介電材料粉末所形成的漿料來製作成薄帶，於其上印刷內電極，並切成適當大小，以相互交錯堆疊形成圖 2.3 所示的積層結構，再

經精密切割後送入高溫爐中脫脂燒結。在濕式製程中，漿料的製備也類似乾式法，在介電材料陶瓷配方粉末中加入黏結劑，如 PVB 或壓克力系樹脂、分散劑、溶劑以進行球磨使之形成適當黏度的漿料，然後將此漿料過濾，再以淋幕塗佈、噴塗或浮動刮刀方式，塗佈於基板上，待加熱乾燥後，再印上內電極，如此交互塗佈印刷，便會形成積層陶瓷電容器之結構，其後的製程與乾式法相同。因為濕式製程在介電層數高，厚度薄之高容產品製造上較為困難，故目前除了信昌及青葉部分使用濕式製程外，大部分使用乾式製程。

積層陶瓷容器之製程如果以內電極的種類不同，可分為貴金屬內電極（Noble Metal Electrode，簡稱 NME）製程及卑金屬內電極（Base Metal Electrode）製程。NME 製程使用純 Pd 或 Ag-Pd 合金作為內電極，在大氣中進行燒結，其端電極使用 Ag，再電鍍上 Ni 及 Sn。而 BME 製程依陶瓷燒結溫度高低使用 Cu 或 Ni 作為內電極，為了避免 Cu 及 Ni 氧化，必須在還原氣氛燒結，其介電材料及黏結劑的配方也必須配合此製程作調整，使介電材料具抗還原性，同時黏結劑也必須在脫脂過程中完全氧化去除，不產生碳化現象，另外 BME 製程可使用 Cu 作為端電極，外層依序再鍍上 Ni 及 Sn。國內除了少數公司全部使用 NME 製程外，大部分廠商同時使用 NME 製程及 BME 製程，BME 製程產量已超過總數之 50%。

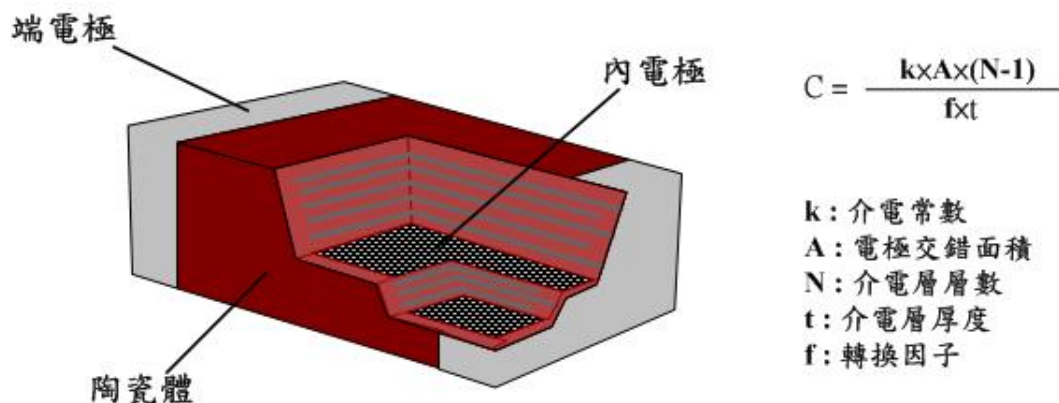


圖 2.3 積層陶瓷電容器之構造

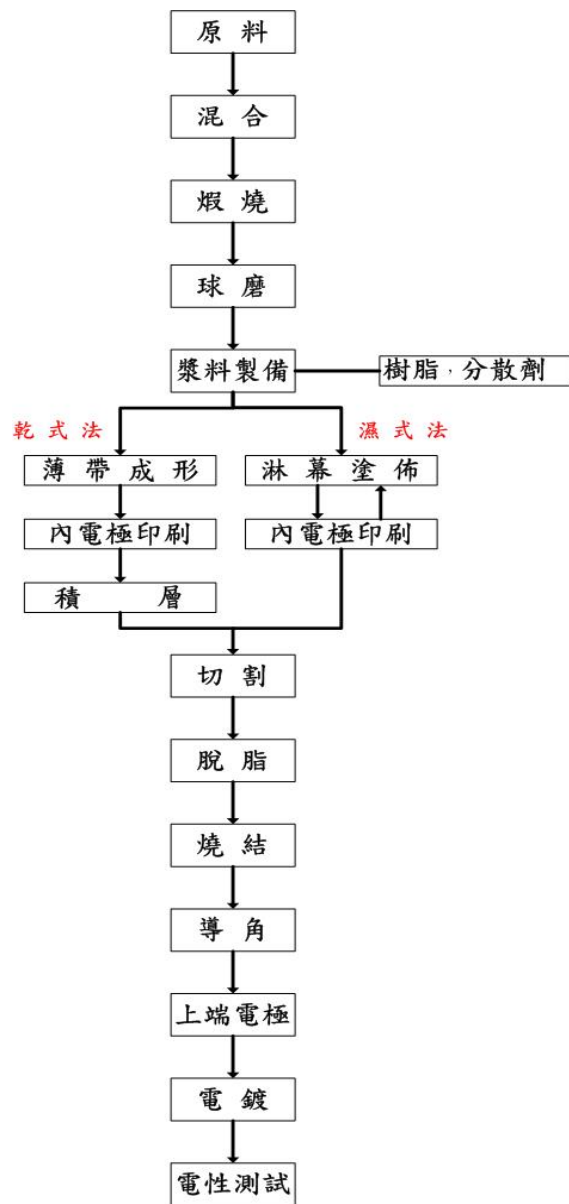


圖 2.4 積層陶瓷電容器之典型製作流程

2.2.2 積層晶片電感器製程

積層晶片電感器是由磁性陶瓷材料與內部金屬線圈材料經積層及共燒合為一體，形成積層複合結構構造。圖 2.5 為積層電感器之構造示意圖。晶片式積層電感器之製造方法基本上分為：(1)半濕式—印刷積層法；(2)濕式；(3)乾式—生胚積層法三種。

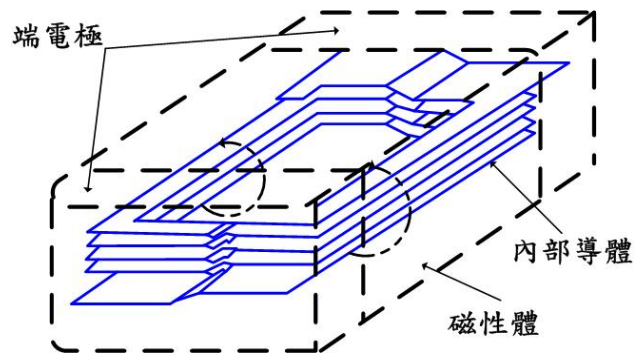


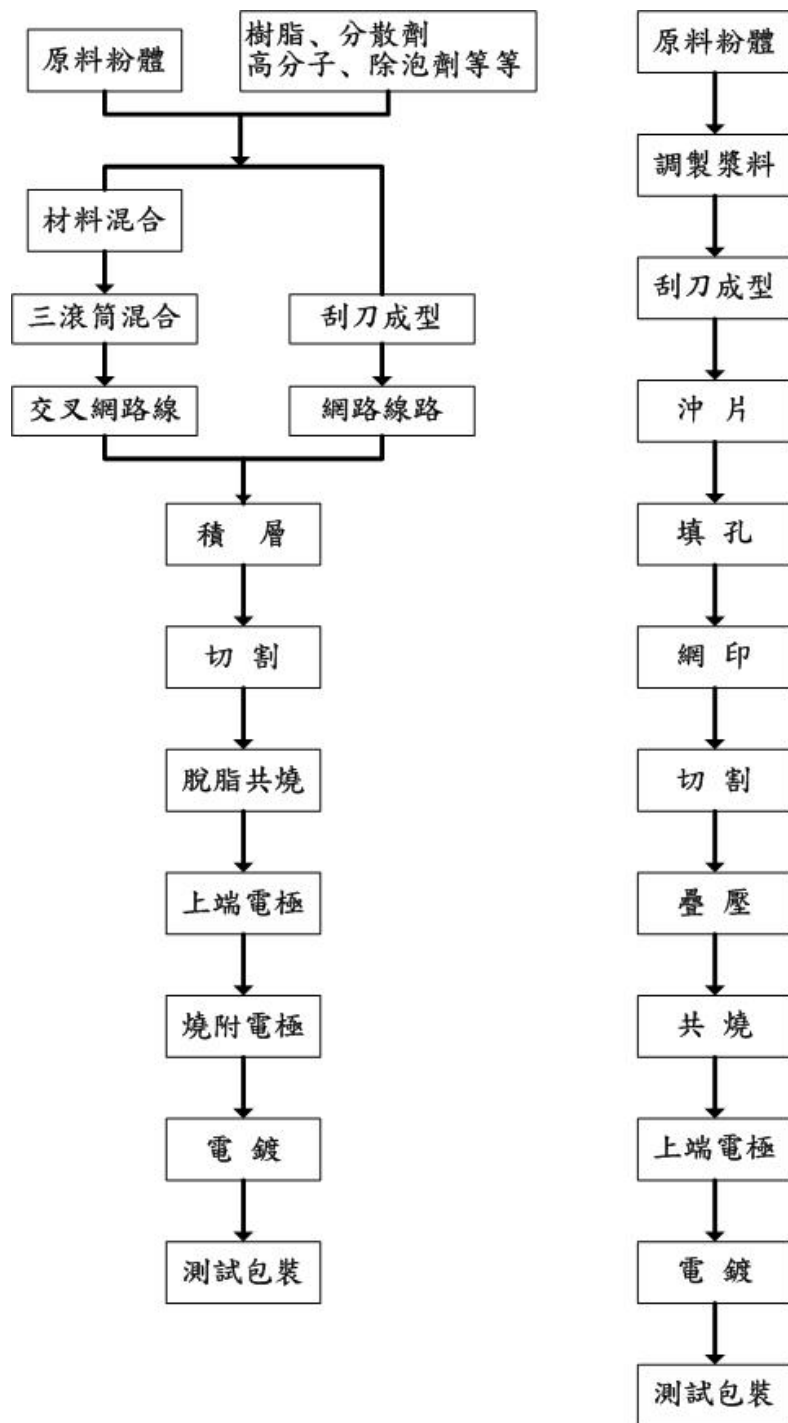
圖 2.5 積層電感之構造

乾式製程不以交叉網印的方式製作積層晶片電感器的內部線圈，而先以刮刀成型技術製作磁芯材質的生胚薄帶，然後在生胚薄片上製作穿孔(Via Hole)，於孔中填入內部電極，並在生胚薄片上做內部線圈的厚膜網印，再按序積層壓合，藉穿孔來連接層與層之間的導線，而成一組線圈。此法的關鍵技術在於生胚的穩定度與積層壓合時的精準對位，至於後段的切割、共燒等程序與半濕式或濕式相同，其製程如圖 2.6 所示。

半濕式的生產方式其主要是在生胚薄片，以交叉厚膜網印的方式將內導線及材料的油墨印製成內部線圈的結構，再經積層、壓合、切割、共燒等程序製成電感器，其中磁性體作為內部導體間之絕緣層，所以印刷膜及導線的對位準確性及膜厚的均勻性是很重要的因素。濕式製程的流程與半濕式相當的類似，兩者唯一的差別在於上下基板的製作方式，濕式法為利用印刷方式製作基板，而半濕式是利用生胚薄片，此方法的好處在於可免除製作生胚的刮刀成形技術及熱壓疊層的技術等設備之購置及避免熱壓造成扭曲，但由於全程印刷，難度較高。

上述三種製程，就設備投資成本分析，濕式製程由於不須購買製作生胚薄片的設備-刮刀成型機，因此其設備投資成本最低，乾式製程除了須購買刮刀成型機外，尚須購買鑽孔機、對位機等對位與穿孔設備，其設備的投資最高。由於濕式製程的設備投資成本最低，因此就相同產品分析，濕式製程的單位生產成本最低，半乾式製程次之，乾式製程最高。就製程的複雜度分析，濕式製程由於全部採用網版印刷方式製作電感器，因此製程最為簡單，半乾式製程除的運用網版印刷的技術外，尚須具備刮刀成型的製程技術，製程的困難度次之，乾式製程除了需具有上述兩種製程技術外，尚須考慮到壓合與對位的問題，製程的困難度最高。就技術延伸性分析，乾式製程除了生產晶片電感器等積層元件外，尚可生產

積層晶片複合元件，雖然濕式製程與半乾式製程同樣也可用來生產積層晶片複合元件，但若考量產品的良率，則以乾式製程為最佳的選擇。由於上述三種製程各有其優缺點，因此分別有國內廠商採用，其中以半濕式製程的使用比例最高，包括美磊、台慶、奇力新、華新科等廠商，均採用此種製程為主。濕式製程由於設備投資成本低，所以也有部分廠商採用，以鈦鎧為代表。乾式製程由於技術延伸性佳，目前國內有許多廠商紛紛投入此類製程技術的研發。



a. 電感製程-半濕式

b. 電感製程-乾式

圖 2.6 典型晶片電感器製作流程

2.2.3 晶片電阻器製程

晶片電阻器一般分為薄膜晶片電阻器及厚膜晶片電阻器，薄膜晶片電阻器有兩種製程：一是以光蝕刻的方式製造；另一種為真空鍍膜技術。光蝕刻製程類似 IC 光罩製程，但是卻因量產不易、污染性高等缺點使其成本高出厚膜晶片電阻器 4-8 倍，因此由於薄膜晶片電阻器成本較厚膜高，目前的市場不大，但是未來因應電子產品輕薄短小的趨勢，薄膜電阻器擁有體積小、溫度係數低、精密度高、穩定係數高的優勢，必是未來主流產品。

晶片電阻器製程中將電阻原料（電阻膏）印刷在氧化鋁基板的兩端電極之間，並與兩端電極連接，使通過的電流產生阻抗，晶片電阻器焊接上電路板後，通電時電流由背電極經由錫橋跨接到表電極上，在通過電阻層時，達到控制電流、電壓的目的。厚膜晶片電阻器之後印刷製程包括電阻層的印刷、玻璃保護層及文字的印刷。生產元件在印刷後，除了經過乾燥程序之外，還需要燒成的作業，燒成後再進行下一部的印刷程序，其製造流程如圖 2.7 所示。

除了一些低層數或耐高壓的產品以外，為了達到廢棄物減量的目標，國內被動元件製造廠商也積極進行各項改善計劃包括產品無鉛化、廢棄物減量、及廢棄物再生利用。在產品無鉛化方面，進行以未含重金屬（Pb、Cd、Hg 等）之原料取代現有原料、以符合歐盟電子產品無鉛化的要求。目前除開始使用國外原料廠商提供的無鉛粉體外，許多國內被動元件製造者也積極自行開發，期待早日達到目標。另外在端電極表層的鍍料也由原先的 Sn/Pb 電鍍，經由製程的改善改成純 Sn 電鍍，以達到產品無鉛化。廢棄物減量也是環境管理改善的重要一環，被動元件製造廠商近程以採取包括減少廢溶劑的產生，製程上盡量利用可重覆使用的載具、容器、包裝品及手套等措施。對於已產生的廢棄物則交由資源化再利用處理單位進行再生利用，特別是不良品的貴金屬回收過去已有許多實績。

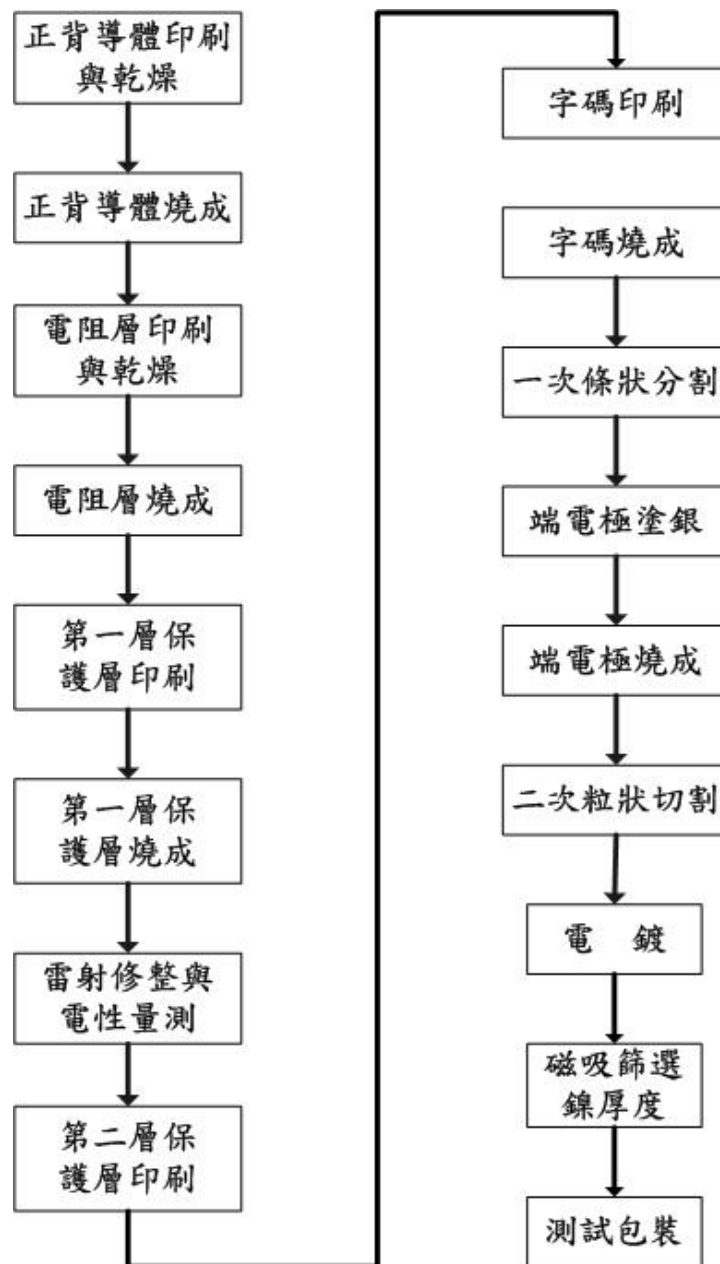


圖 2.7 典型晶片電阻器製作流程

第三章 廢棄物特性與清理現況

3.1 廢棄物來源及特性

由於被動電子元件的種類繁多，其製程的差異性也很大，每一種產品所使用的原料及其後續製程也不同，故其所產生的廢棄物也有所差異。以台灣的被動元件產業而言，由於許多傳統式製造技術層次或高人力需求的被動元件產業已外移大陸，目前台灣的被動元件產業以晶片電感器、晶片電容器、晶片電阻器及鋁質電解電容器等為主，而其製程大多以積層陶瓷製程技術為主，它透過製漿和薄帶成型，厚膜印刷、多層堆疊及共燒緻密化，最後上外電極和電鍍，形成原件、複合元件或模組，這些被動元件所產生的廢棄物屬性也相似。

表 3.1 為利用積層陶瓷製程技術製造被動元件所產生的廢棄物及其發生源，可將廢棄物分類為固體廢棄物及液體廢棄物。固體廢棄物包括：污泥及粉塵、不良產品或製程中淘汰之電子零組件、製程中之邊料或廢料、廢油膏、製程用舊容器、冶具、廢陶瓷冶具、廢棄之製程用高分子、塑膠材料、維護保養耗材、工程人員廢棄物、包裝用廢棄物及一般行政廢棄物等，其中廢塑膠材料包括 OPP 膜、PET 膜、洩漿用軟塑膠管、透明導管等種類。液體廢棄物包括電鍍廢水、廢酸、廢溶劑、清理溶劑及化學溶液等，其中廢溶劑及清理溶劑主要以甲苯、乙醇、甲醇、異丙醇等為主。除被動陶瓷元件之外，鋁質電解電容鋁箔原料廠（電解箔及化成箔製造）所產出的廢酸及污泥，以量而言亦不容忽視。由於被動陶瓷電子元件所使用的材料，其純度要求很高，生產線上所產生的廢棄物很少直接回收使用，大部分需委外焚化處理、掩埋或固化處理、或回收資源化處理。

在表 3.1 所列出的廢棄物中，若考量環保署事業廢棄物申報的分類及其產量的多寡，則主要可歸類為生活垃圾、電子零組件、廢溶劑、無機污泥、廢酸、廢塑膠及其他廢玻璃、陶瓷、磚、瓦及黏土等混合物等類別。廢電子零組件包括下腳品、不良品、混合五金廢料及印刷電路板廢料等；廢溶劑包括廢液閃火點小於 60°C、非有害有機廢液或廢溶劑；污泥包括無機污泥、電鍍製程之廢水處理污泥、污泥混合物；廢塑膠包括廢塑膠混合物、廢塑膠容器（PS 發泡）；廢酸則包括鹽酸、硫酸、磷酸、硝酸或其混酸。

表 3.1 被動元件廠之廢棄物

類型	類別	項目	發生源
固體廢棄物	污泥及粉塵	廢漿料、廢污泥、陶瓷粉塵	調漿、刮帶、製粉
	不良產品或製程中淘汰之電子零組件	因品管不及格而廢棄之產品(含陶瓷材料及金屬電極)、廢陶瓷晶粒	各站、切割、燒結、端銀
	製程中之邊料或廢料	陶瓷薄帶(含 PET 膜及陶瓷膜)、已印刷薄帶(含金屬)、廢鍍膜鍍鉻合金靶材	刮帶、打孔、疊層、熱壓、切割、濺鍍
	廢油膏	電阻膏、銀膏、鍍膏、銅膏、印字油墨	印刷、沾銀
	製程用舊容器、治具	墨罐、鋼珠、陽極袋、紙捲軸、切割刀片(鎢鋼刀)、棉芯、導電球、擦拭紙	調漿、電鍍、包裝、切割、印刷
	廢陶瓷治具	氧化鋁基板、氧化鋁粉、舊匣鉢、鋸砂、氧化鋁球	印刷、燒結、導腳、電鍍
	廢棄之製程用高分子、塑膠材料	OPP 膜、PET 膜、洩漿用軟塑膠管、透明導管、真空 PE 塑膠袋、廢薄帶、雙面膠帶、切割膠片、JIG 板膠帶、塑膠空桶、塑膠捲軸、外層保護膠、廢 PE 膜	製帶、均壓、切割、沾銀、印刷、電鍍、包裝、均壓
	維護保養耗材	活性碳濾心、廢機油、無塵布、廢燈管、超純水濾心、空壓油過濾器、油氣分離器、空氣濾清器	電鍍、空壓機房
	工程人員廢棄物	活性碳口罩、口罩、棉布紗手套、洗衣手套、美固手套、耐酸鹼手套、電子棉手套、電子尼龍手套、免洗手套、拋棄式手套	印刷、製帶
	包裝用廢棄物	自粘性標籤、牛皮紙膠帶、包裝紙箱、封箱膠帶、紙板、抬車布、下層帶	製帶、印刷、包裝
	一般行政廢棄物	飲料鐵鋁罐、紙張、飲食包裝用品、一般垃圾	各站

表 3.1 被動元件廠之廢棄物（續）

液體廢棄物	電鍍廢水	磷酸三鈉、LG 補充劑、LG 開缸劑、氨基磺酸鎳、聚磷酸、表面活性劑、二甲苯、HC 酸、硫酸鎳、保護鹽、鹽酸、pH 控制劑、導電鹽、磷酸三鈉、硝酸、烷基磺酸、工業硫酸	電鍍
	廢酸、廢溶劑、清理溶劑、化學溶液	甲苯、乙醇、甲醇、異丙醇、香蕉水、網版清潔劑、廢化學溶劑、廢酸	印刷、網板室、研發

3.2 廢棄物產生量及清理現況

3.2.1 廢棄物產出量

被動電子元件之製程與產品種類多樣，不同產品使用之原物料、製程及產出之廢棄物種類及數量均互有差異，所產出之廢棄物因其製程差異，使其廢棄物種類具有多樣性，若考量環保署事業廢棄物申報分類及產出量較大者，其廢棄物種類主要為生活垃圾、電子零組件、廢溶劑、無機污泥、廢酸、廢塑膠及其他廢玻璃、陶瓷、磚、瓦及黏土等混合物等類別。依據環保署事業廢棄物上網申報資料及生產線數量進行歸納分析結果顯示，被動電子元件業之廢棄物產出總量約為 112,365 公噸/年，其中包括污泥類為 2,969 公噸/年、廢酸類 102,500 公噸/年、廢電子零組件類 2,514 公噸/年、廢溶劑類 1,106 公噸/年、廢塑膠類 722 公噸/年、其他廢玻璃、陶瓷、磚、瓦及黏土等混合物 420 公噸/年，以及生活垃圾 2,078 公噸/年等，被動電子元件業事業廢棄物產出量統計如表 3.2 所示。

表 3.2 被動電子元件業事業廢棄物產出量統計

廢棄物類別	產出量 (公噸/年)	資料來源
廢電子零組件類（包括下腳品、不良品、混合五金廢料及印刷電路板廢料）	2,514	環保署事業廢棄物管制中心 94 年度 申報資料彙整
廢溶劑類（包括廢液閃火點小於 60℃、非有害有機廢液或廢溶劑）	1,106	
污泥類（包括無機性污泥、電鍍製程之廢水處理污泥、污泥混合物等）	2,969	
廢塑膠（包括廢塑膠混合物、廢塑膠容器（PS 發泡））	778	
其他廢玻璃、陶瓷、磚、瓦及黏土等混合物	420	
生活垃圾	2,078	以生產線數量估算
廢酸類	102,500	
合 計	112,365	

3.2.2 廢棄物清理現況

環保署已於 91 年 7 月 11 日將產出事業廢棄物量大且含有害事業廢棄物之被動電子元件製造業，公告為應上網申報廢棄物清理流向之事業，且為加強管制產出之有害廢液流向之追蹤管制，已規定自 91 年 12 月 10 日起，清運該廢棄物之車輛需裝置即時追蹤系統(GPS)。被動元件業產出廢棄物以廢電子零組件、下腳品、不良品、混合五金廢料、廢水污泥、廢酸、廢塑膠、其他廢玻璃、陶瓷、磚、瓦及黏土等混合物，以及製程中使用溶劑時所產生之廢液（C-0301 閃火點小於 60℃）或非有害有機廢液或廢溶劑(D-1504)為主。

依據環保署事業廢棄物管制中心相關申報資料顯示，被動電子元件業廢棄物清理現況如表 3.3 所示，廢棄物清理方式採焚化、固化、掩埋處理及排入廢水處

理場之比例仍然偏高，主要再利用廢棄物為無機污泥作為水泥替代原料。

表 3.3 被動電子元件業廢棄物清理現況

廢棄物類別	清理現況	廠外再利用比例 (%)	再利用用途
廢電子零組件類（包括下腳品、不良品、混合五金廢料及印刷電路板廢料）	委託清理或境外處理	0	-
廢溶劑類（包括廢液閃火點小於 60℃、非有害有機廢液或廢溶劑）	委託焚化處理及回收再利用	0.1	燃料
污泥類（包括無機污泥、電鍍製程之廢水處理污泥、污泥混合物等）	委託境外處理、掩埋或固化處理	52.0	水泥替代原料
廢塑膠（包括廢塑膠混合物、廢塑膠容器（PS 發泡））	委託焚化處理、掩埋處理及回收再利用	3.5	再製塑膠品
其他廢玻璃、陶瓷、磚、瓦及黏土等混合物	委託掩埋處理	0	-
廢酸類	廠內再生、排入廢水處理場	0	-
生活垃圾	委託焚化處理或掩埋處理	0	-

資料來源：環保署事業廢棄物管制中心申報資料彙整（94 年度）。

3.2.3 廢棄物處理遭遇問題

被動電子元件業廢棄物進行回收再利用之比例仍然偏低，分析其原因與產業廢棄物處理可能遭遇之問題如下：

- 1.業者對於各類廢棄物再利用機構之資訊瞭解不足，影響廠內分類貯存回收之規劃及設施，且廢棄物以委託處理或排入廢水處理廠為主，尚未進行再利用。
- 2.部分工廠產出廢棄物種類繁多而產出量少，不易尋求合格之清理機構或再利用機構。
- 3.部分工廠廢酸產出量大，多排入廢水處理場處理，或未依合法管道進行清理且未進行網路申報作業，廢棄物處理成本高且有違法之虞。

第四章 清潔生產

4.1 概論

4.1.1 國際趨勢

人類為追求經濟發展、提升生活品質，以滿足本身的需求，長期並大量地利用各種科學技術，對自然資源進行漫無限制的開發。其結果是對天然資源造成不可挽救的破壞，例如熱帶雨林的過度砍伐、野生動物的濫捕、化石燃料的枯竭、水資源的污染等，亦使全球性的生態平衡受到破壞，例如酸雨現象、溫室效應、土壤沙漠化等，正逐漸嚴重威脅人類和其他生物的生存。另外，產業製造過程中與產品使用過後所產生的污染問題，例如空氣污染、水污染、廢棄物棄置，以及許多人工合成的毒性化學物質等，亦均直接或間接地危害我們的生活環境與健康。

當前，因國際間日益重視溫室效應、臭氧層破壞、生物滅種，以及廢棄物處理問題等環境議題，促使多項環境相關公約順應而生。例如，氣候變遷綱要公約、蒙特婁議定書、華盛頓公約、生物多樣化協定、生物安全議定書、巴賽爾公約等近二十種挾帶貿易性制裁之跨國性條款，約束相關國家必須採取某些措施以保護環境。正使各國的產業不得不面臨新的「國際綠色貿易障礙」，這也彰顯出環保問題不再只是區域性的議題，而已逐漸演變成為全球關注的焦點。

除了國際公約之外，歐盟、北美及日本等國家，也已紛紛制訂諸如：廢電子電機設備(Waste Electrical and Electronic Equipment, WEEE)及危害物質限用指令(The Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment, RoHS)，以規範特定產品製造廠的產品環保責任。另外，由國際性大廠制訂達成其環境績效的規格，以做為綠色供應鏈的採購要求，也逐漸形成新一波之環保趨勢，例如 Canon 公司的「綠色採購標準」、Sony 公司的「綠色夥伴(Green Partner, GP)」，乃至華碩公司的「GA(Green ASUS)」等。

由此可見，現今在國際貿易及環保層面之間的互動已日趨複雜。綜合國際公約、區域指令及企業採購規範的發展現況，乃至於能資源日益枯竭的現象中，我們可以發現，環境保護已無國界之分。在全球環保意識高漲下，環境議題也已由「理念」發展成為「技術」，並進一步結合市場機制，而以環保貿易之型態，形

成對企業或對國家的「約束」。但若從另外一個角度思考，「約束」也可能是企業或國家永續發展的大好「機會」：當企業以主動及預知性的態度，預先規劃並遵循綠色經營理念，除了可跳脫貿易條款之制裁，更可因而提昇企業整體之競爭力，並開創永續經營之先端。

4.1.2 清潔生產定義

自 1980 年代開始，國際間陸續提出了「污染預防」、「工業減廢」、「清潔生產」及「環境管理」等相關之理念、技術、活動或管理系統。有鑒於其管理系統之精神與方法趨於一致，但均欠缺明確的定義或清楚的技術範疇。因此，聯合國環境規劃署(United Nations Environmental Program, UNEP) 於 1989 年率先整合並定義「清潔生產」(Cleaner Production, CP)為：「指持續地應用整合且預防的環境策略於製程、產品及服務中，以增加生態效益和減少對於人類及環境的危害」。隨後，UNEP 亦根據理事會會議之決議，於全球推動清潔生產活動。

清潔生產之定義與範疇，充分涵蓋製程、產品及服務三大面向，其中：

- 就製程策略而言，減少原物料與能源耗用量，儘量不使用有毒性之原料，並使廢氣、廢水及廢棄物在製程排出前，即降低其總量及毒性。
- 就產品策略而言，藉由產品生命週期評估，使得從原料之取得至產品被使用後之最終處置過程，對環境之影響減至最低。
- 對服務而言，由系統設計到整個資源使用的服務過程中，皆須考慮以生命週期評估方法，對融入環境之考量，包括儘量使用綠色產品，以減低對環境的影響。並指出清潔生產需藉由改變態度，並以有責任的環境管理與評估之科學方法來達成。

自此，清潔生產遂成為國際性共同的語言。其可由產業界自發性的參與、執行，或由政府部門有計畫性的推動。此等努力不僅為了追求企業的永續經營，也在追求人類永續發展的福祉。

由於，清潔生產之範疇係涵蓋了由原料取得、製造和使用，到產品的最終處置，乃至於相關服務部門的服務功能。因此，清潔生產是為緊密的圍繞於整個產品的生命週期(Life Cycle)當中，一項具整合應用特性之持續性及預防性的措施，並對其製程、產品及服務三面向加以關注的環境策略。

由於，上述清潔生產的定義與範圍仍極為廣泛與抽象。所以，企業除了需要引進專門技術來改善製程、改良產品、與提供適切的服務之外，更應藉由改變經

營態度與企業文化來持續達成清潔生產的目標。並且，清潔生產並非以消極的避免環境被破壞為前題，而是以積極提高生態效益為終極目標。

台灣地區地狹人稠、資源有限。過去數十年來，由於工商業快速發展，使台灣社會由農業型態進入了工商業型態。經濟的發展、工業的進步，相對產生了種種環境污染的問題。為此，我國政府自 70 年代末期開始，即積極投入產業環境保護工作：透過訂定環保法規、提供行政資源與推動輔導措施，以規範及誘導產業做好污染防治工作。特別是，國內中小企業占有所有產業總數的 95% 以上，因此使得我國工業污染防治的工作，較其他先進國家更加困難。惟綜觀台灣地區產業環保之歷程與作為，均可見政府單位配合與輔導製造業由管末處理、工業減廢、污染預防、環境管理、清潔生產的階段性成果。甚至，可見近期為因應國際趨勢，而也逐步跨向整合性污染防治與綠色生產力的境界。

4.1.3 被動元件產業環安概況

被動元件是每一項電子產品的基本元件，故而電子產品市場的走向，將影響被動元件產業的榮枯。因此，被動元件是一個對我國十分重要的產業。數年前，個人電腦產業的興起，帶動了第一波被動元件產業的蓬勃發展；第二波被動元件的景氣則由通訊產業帶動起。未來，光纖及無線傳輸（藍芽）技術逐漸成熟後，被動元件產業的發展，更將無可限量。

簡要而言，以積層陶瓷電容元件(MLCC)的生產製程為例，其流程係以陶瓷粉末為基本材料，加入甲苯分散劑進行混料研磨作業後，進行薄帶製作、生胚內電極印刷、疊層單元及切割等程序，並於 1,000°C 以上的高溫燒結爐中完成陶瓷體（表面）結晶作業，再以金屬銅為底材，沾附外部端電極，經鍍鎳、鍍錫、測試及包裝等作業後，即完成電子用電容器專業製造。若以積層型晶片電感元件及電感線圈製造為例，其製程係以三氧化二鐵(Fe_2O_3)、氧化鋅及氧化銅等為基本材料，於加入黏結劑進行混料研磨作業後，進行薄帶製作、銀漿印刷及切割程序，再於 1,000°C 以上的高溫燒結爐中完成燒結作業，再經銀漿端銀、鍍鎳、清洗及鍍錫等程序，完成電感元件專業製造。兩者的製造方法相當類似。

若由電容器、電阻器、電感器等三大被動元件產業現存的各項環保、工安問題觀之，約可綜合歸納其環安特徵，如下：

- 1.廢棄物種類、特性相對單純，廠商普遍具有基本處理設施及管理機制。
- 2.電鍍製程應可再尋求最佳操作條件。

- 3.電鍍、燒結、空調等能源使用仍有持續改善空間。
- 4.對化學物品的管理與管制應再加強。
- 5.部分電鍍廢水處理技術、粉塵回收裝置、有機溶劑處理裝置仍有改善空間。
- 6.應對廠內之用電安全進行全盤的檢討。
- 7.部分產品之製程原物料，例如電感器產品之銀漿端銀部分及繞線線圈的銅線；鐵蕊產品之鐵蕊粉末，均具有資源化效益。

以上之問題，可藉由逐步落實下列原則，以達到清潔生產、永續經營的終極目標：

- 1.加強培育人員素質，持續提昇經營、行銷、生產能力。
- 2.持續注意國際環保工安趨勢，生產綠色產品。
- 3.致力於製程、產品之研究，並積極參與資源化的開發技術。
- 4.改善製程管理能力，進而提高成品率、減少廢棄物。
- 5.強化全方位的生產管理，並改善生產、作業環境。
- 6.提昇用電、用水效率，加強能資源管理。
- 7.設置環保處理設備，妥善處理、處置廢棄物。
- 8.加強工安教育及管理，降低職業災害。

被動元件產品種類繁多，本章將針對電容器、(晶片)電阻器及電感器三大主要產品，提供在「廠內管理」與「環境化設計」兩個面向相關的清潔生產技術與管理，以供參考。

4.2 環境化設計

「環境化設計(Design for the Environment, DfE)」或稱為「為環境而設計」，是指在產品設計過程中，充分考慮到預防廢棄物產生及採行較佳的材料管理等措施，以達到包括：減低環境負荷、提昇企業形象等無形的效益，以及降低成本、增強市場競爭力等直接效益。

若以預防廢棄物產生而言，因其可能會涉及製造者與消費者，所以方法可包括：減少使用有毒原物料、縮小物件體積、提昇能源與功能的效率、使用較少的

(包裝)材料、延長產品使用壽命等措施，以減少產品製造過程中及消費者使用後的廢棄物產生量。而在採行最佳的材料管理方面，則可包括使產品易於再製、拆解、回收再利用、資源化，安全地焚化處理，及回收能源等。

總而言之，即是藉由產品的妥善設計、導入新技術，使其在製造過程中及使用後，將對環境所造成的不利影響減至最低。故而，為環境而設計亦常被稱為「綠色設計(Green Design)」。

若要進行被動元件製造業的環境化設計工作，應充分瞭解、檢討每一步生產過程。幾乎每一製程單元、工作流程、管理作業均有相當大的潛在改善空間，以落實將對環境所造成的不利影響，減至最低的目標。以下主要針對電容器、電阻器、電感器製程，舉例說明相關製程技術分析與環境化設計重點作業。

4.2.1 生產改善

1. 產品開發

在資訊與無線通訊結合的市場趨勢下，被動元件產業將有無限寬廣的空間可發揮。其中，資訊電子產品與通訊產品已朝向輕薄短小、多功能化、高可靠度的方向發展，故而，被動元件也必須隨之改變。例如被動元件由最早期之插腳式電阻器、電容器，演進到目前先進之表面黏著元件(Surface Mounted Device, SMD)。另外，隨著製造技術的革新，單一通訊產品中的電阻、電容元件數逐漸減少；而且，部分主動與被動元件已可被整合，即所謂被動元件模組化。亦即，為了因應這類產品高密度電路系統的需求，小型化、晶片化、高頻化、無鉛化、高電容化、積體化及整合化，以及藉由導入新材料、提高元件基本性能等，將成為被動元件的必然發展途徑。

在環保議題日益迫切下，業者應從製程改善、開發新產品與引進新技術，來達到工業減廢、清潔生產與廢棄物資源化的目的，並深入探討如何達到省電、省水、省工、自動化等效果。例如，開發愈小型的元件產品，通常意味著在製程中就會用到相對較少的原物料、耗費較少的能資源，以及使用後，將產生較少的廢棄物量。如此，才能真正達到環境化設計與對環境友善的積極目的。

以下為針對製程改善與新技術之生產流程，說明可進行工業減廢、清潔生產與資源化的切入點：

(1) 小型化

以晶片型的被動元件而言，它們的尺寸規格是以兩組數字來表示，分別

代表元件的長和寬（大的數字在前，如 0402、0603），而且較常是以英制單位（英吋）來表示。以 0603 為例，就代表了 $0.06 \times 25.4 = 1.524$ 公厘， $0.03 \times 25.4 = 0.762$ 公厘的長寬大小。近幾年來，元件在尺寸上縮減的幅度已經相當的大。規格上 2220、1812、1210 等尺寸已經很少見了。目前，較常見的規格是以 1206、0805、0603 到 0402 為主。至於，更小的 0201，甚至 01005，則由於體積實在太小了，所以製造技術上相當困難。

當然，為了達成縮小體積的目標，即需使用更昂貴複雜的製程。例如，當晶片元件尺寸縮小到 0402 以下時，面對高速封裝中的機械臂在吸取、置放上的精密度，就受到了嚴苛的考驗。因此，元件的尺寸想要再加以縮減時，就必須採取其他的方法。例如，將一些製程上較為近似的元件，一起「印刷」在同一片基板上，甚至將其立體化。這樣的技術既可以節省空間、減少原物料的耗用，也可以解決封裝上的難題。

但是，小型化仍有其他的弱點。例如，雖然 MLCC 具有輕薄短小的優勢，但其電容量不高，故而在高電容量的應用領域方面，仍有努力空間。過去，被動元件的小型化一直為產業的發展趨勢，但是面對現今電子產品的功能挑戰與快速變化，小型化的被動元件似已無法完全符合系統產品的需求。

(2) 高頻化

小型化、高頻化與環保要求為被動元件短期的發展重心。為了提高通訊品質、傳輸距離及資料量，目前通訊產品的傳輸頻率都已朝高頻化發展。例如，傳統利用磁性材料所製作的電感器受限於材料特性，無法大幅使用頻率，故使得陶瓷材料應運而生。業者也正尋找更佳之介電材料，以提高電感元件的應用頻率。而隨著有線變無線與 IC 晶片高速化發展，為提高通訊與資料傳輸品質，電容器也正往高頻化發展。

(3) 整合或積體化

前述以小型化縮小零組件體積之外，減少使用的零組件數目也是發展重點。但為了不因減少零組件數目，而影響功能與穩定性。所以，將數個被動元件整合為整合型元件，遂成產品重要的長期開發方向之一。其中，電容器與電阻器一樣，均將更進一步往整合性發展，也就是將終端電子產品的電路設計朝向模組化發展，以將被動元件進行整合，做高度的集積化。這樣的整合方向更有利於未來主、被動元件的整合。

所謂整合型元件的觀念就是減少多層電路板，而僅使用單一電路板，也就是將原本黏於基板上的電阻器、電容器、電感器等被動元件，製作成多層結構，而內藏在一片電路板中，以達到縮小基本使用面積的目的。如此一來，由於可以一併減少電路板的焊錫點，進而可以降低高頻所產生不必要的效應。同時，由於整合型元件係將被動元件藏於電路板中，因此可以減少濕度、腐蝕等問題，進而達到增加使用年限的效果。所以，整體而言，整合型元件可以比傳統的分離式被動元件具有更高的系統可靠度、較適用於高頻環境、縮小體積、增加使用時間的優點。

以目前發展現況分析，各類型整合性被動元件相較於分離元件在生產成本、電路板使用空間、應用頻率及可靠度等構面上均具有優勢。但因整合式元件無法透過修整方式來提高元件的公差精確度，故產品精度仍將遠不及分離式的元件。除此之外，由於整合式元件的標準化程度較低，致使在供應來源穩定度與產品彈性上，亦仍略遜於分離式的元件。

2.技術開發

(1)低溫共燒陶瓷技術

前面提到的三種被動元件製程，在製作過程和材料上有很多共同點。例如，使用網印技術和高溫燒結程序。此方法就是用於使原本是一顆一顆黏到電路板上的陶瓷被動元件，整合成一個「被動元件的積體電路—低溫共燒陶瓷(LTCC)」。

低溫共燒陶瓷的原料分成基板材料、介電材料與導電材料。這三種原材料都是以膏狀漿墨（paste）的形態出現。製作時，係直接將每個元件內部的構成和元件間的連接線路加以整合，並全部設計到印刷網版上。每一層的印刷網版都不相同，印上一層之後即加以乾燥，再印另一層。當數百層的材料相互堆疊起來，就像蓋了一棟摩天大樓，而每層樓的每個房間都可以有不同的格局和用途。

印刷完成後的生胚需再經過高溫燒結的程序，以使導線、電容及電阻元件可埋入多層陶瓷基板中，或直接燒製於基板表面。如此才能增加線路與元件密度並節省空間，以供主動元件使用，並造成立體的構裝結構，達到縮小基板尺寸的目的。

當整塊低溫共燒陶瓷模組黏到電路板上時，裡面就包含了上百顆的被動

元件和部分的線路。這樣做的好處，除了可以大幅縮減元件之間的空間，並且可以將元件朝立體化堆置，並收納電路板上部分的複雜線路。因此，可以說低溫共燒陶瓷技術發揮了最有效的空間利用率。此外，此技術尚具有其他優點，包括以易於多層化、配線集中於內層回路，面積較小、散熱性高，可搭載其他元件等優點。

但是，低溫共燒陶瓷技術還是有它的限制和缺點。例如不同的材料隨著疊印層數的增加，會使得製作的困難度越來越高。其次，元件模組化之後，就不能再將其分割。一旦，萬一線路設計有所修改，共燒陶瓷的網版便要全部重做。因此，會被做成共燒陶瓷模組的電路大多是為了某一個特定功能的電路。

(2) 薄膜技術

利用薄膜製程可以將積體電路（主動元件）與被動元件加以整合，放到同一塊基板上，這樣也可以節省很多的空間。主動、被動元件最大的差異在於製造技術，主動元件用的是曝光、顯影、鍍膜、擴散、蝕刻等「薄膜製程」，每層的厚度很少超過一個微米。而被動元件使用的是網版印刷與高溫燒結等「厚膜製程」，每一層的厚度至少都有數個微米。在線寬的解析度上，兩者更相差了百倍以上！因此，以共燒陶瓷與積體電路，很難做在同一塊基板上，以進一步減少封裝所占的面積。

此時，就可以採用薄膜製程來製造被動元件。因為，薄膜技術的線寬只有網印技術的百分之一而已。所以，使用薄膜製程可以使元件所占的體積縮得更小。在使用這些昂貴的製程之後，除了可以縮減元件體積之外，更提供了一個與積體電路整合的可能性，讓主動、被動元件可以同時「長」在一塊基板上。未來，打開電子產品後，看到的可能只是一塊小小黑黑的元件集合體，再也看不見繁雜的電路和瑣碎的元件了！

(3) 埋入式技術

為了提高被動元件效能，減少被動元件數量，降低電路板面積，被動元件技術的發展將會由傳統式獨立式被動元件(Discrete Passives)，逐漸變成埋入式被動元件的功能化設計。

埋入式電容材料技術是所有被動元件材料開發中較為困難且棘手的關鍵技術。但是，這種技術可以因應電子產品的高功能化需求，以及解決訊號

傳輸高速高頻化之後，被動元件與主動元件比例大幅增加的狀況，並且減少被動元件數量，及降低電路板（載板）面積。所以，埋入式被動元件的功能化設計，已成為電子產品高功能化的必然趨勢。

(4)黏著技術

封裝業為達到元件高密度與高封裝產能之目標，著手開發表面黏著技術(Surface Mounted Technology，簡稱 SMT)，以縮減體積及降低耗能。早年的電路板使用插件型的元件，電路板要先鑽洞，元件插腳穿過後再加以焊接，造成元件體積增大、插腳間無法太過靠近、電路板的背面又是焊接接點，無法加以利用等現象。

近年來，這些缺點已漸漸被表面黏著式的晶片元件所取代。配合多層線路的印刷電路板，兩面均可黏著晶片式電子元件，大大地提高了線路的密集程度。此種「無接腳」的封裝技術可以使 PC 線路板佈局簡單化，減少不必要之雜訊產生，更能大幅度節省元件於 PC 板上所占空間約 35%。如此，即可達到零件之高密度安裝需求。一般而言，表面黏著式被動元件的工作原理與插件式相同，但是，結構上卻有所調整。

表面黏著型的電容器又稱為晶片陶瓷電容器，它的製作相當複雜。因為電容量的大小與電極面積成正比，而積層陶瓷電容器的尺寸又比傳統圓板形陶瓷電容器小得多。因此，電極的排列就朝向立體化發展。同樣使用網印的技術，將導體與介電層交錯地印刷在塑膠薄片上，隨著堆疊層數增加，電極的總面積也跟著變大。這種利用積層堆疊的方式所製作的陶瓷電容元件，形態就像是兩本一頁一頁交錯疊合的書，兩個電極間使用高介電陶瓷材料加以區隔，並沒有直接導通。經過這樣的安排，就可以把很大的電極面積放進一個外觀很小的元件裡。

同樣的製作方式也應用到積層晶片電感器，只是這次導體在疊印的過程中是連通的。積層陶瓷被動元件就是利用疊印技術，將每一層的導體與絕緣體縮減到只有幾十微米的厚度。因此，小小的一個元件可以堆疊了數十層，甚至上百層，而外觀的厚度卻只有一、二公厘而已。相對於插件型元件，表面黏著式的晶片元件體積自然是小得多了。

由於，表面黏著被動元件(SMD)可內藏到 PCB 基板內，因此可以大量減少所需面積。舉例而言，藍芽模組有 38%以上的表面黏著被動元件內藏於基

板中，單面組裝基板可縮小 15~25%的面積；雙面組裝的基板面積可縮小一半。由於，將大量被動元件埋入基板中，也可大幅減少電路板之焊錫接點，故通常可比現有低溫共燒陶瓷模組製程，減少約一半的製程成本。

此技術非常適合高效率、高產能及高速度之全自動化封裝設備，除可大量生產外，其獨特而簡易之焊接方式也能保有一定程度之品質。零件可靠度一旦提高，也相對提升了最終產品品質與壽命。

4.2.2 改變原物料

1. 卑金屬化

印刷技術是中國的一項古老發明，也可以說是複製圖案最簡便快速的方式。陶瓷被動元件的整個製造過程核心，就是網印技術與燒結程序。現今的電子產業應用了很多的印刷技術來製造電子元件。陶瓷被動元件所使用的印刷網版是不鏽鋼絲製成的極細網布，以獲得精密的線寬。而所使用的膏狀漿墨，不論是導體或是絕緣體，其顆粒都必須能透過極為細小的網孔。因此，在製作上除了原料的顆粒大小必須加以控制外，在分散的過程中也要防止粒子過度聚集，製作的環境也要加以管制，以免灰塵雜質的污染，造成塞網現象。

導體膏狀漿墨包含了導電粒子、樹脂、溶劑和少許的玻璃粉，藉由樹脂和溶劑形成了類似麥芽糖的黏稠載體，將導電粒子及玻璃粉均勻分散其中。導電粒子一般是直徑在一個微米左右的銀或鈀銀合金等貴金屬，在燒結的過程中溶劑會揮發、樹脂會氧化，存留下的少許玻璃會將導電粒子彼此黏結形成導電通路，燒成後的被動元件體積很小。因為，貴金屬具有不易氧化的特性，在經過攝氏 800 度的高溫燒結後，鈀銀等貴金屬仍能保持良好的導電性。

近幾年來，鈀價的持續高漲，積層陶瓷電容器為降低成本，及減輕對鈀的依賴，也積極將原有的貴金屬製程電極-銀與鈀，轉換成卑金屬製程電極的銅與鎳。也就是利用便宜又容易取得的鎳，來取代昂貴的鈀銀。例如，卑金屬製程的 MLCC 內電極使用鎳，外電極則使用銅。以一顆 50 至 100 層的 0603 規格 MLCC 為例，卑金屬製造成本將降低 30%至 50%左右。未來，卑金屬製程將大量取代電解電容器及薄膜電容器，故而將是廠商營收及獲利成長的重要因素。雖然，短期內不一定會顯現出效果，但長遠來看卻有舉足輕重的地位。

卑金屬製程的技術瓶頸在於陶瓷粉末配方的研製困難與燒結爐內的環境控制設定不易。由於，在燒結的過程中樹脂需要氧化燒除，但金屬鎳又不能氧

化。由於，鈦在燒結時不易氧化，故在正常環境下燒結即可，可是鎳在燒結時容易氧化。因此，燒結爐內必須控制通入燒結爐的氧氣含量，並填充氮氣、氫氣及水蒸氣，以防止鎳的氧化，製程技術相當高。

2.精密陶瓷

未來，精密陶瓷(Fine Ceramic)技術將在被動元件扮演一相當重要角色，並將開啟以精密陶瓷為主要材料的 MLCC 及晶片電阻器之投資熱潮。例如，MLCC 之主要材料即為陶瓷粉末，晶片電阻器之主要材料則為陶瓷基板。

陶瓷電容器主要可分為單層陶瓷電容器（盤式電容器）及 MLCC（屬於晶片電容器）。由於，SMT 應用的普及，MLCC 的成長空間隨之擴大。而且，MLCC 可以在很小的體積中提供高電容，因此在行動電話、筆記型電腦等重視外型大小的產品上廣為利用。陶瓷電容器有低阻抗及適合高電路的發展特性，加上體積小、耗用量較其他電容器產品數倍以上，故長期而言，將逐步取代其他類型的電容器。

3.導電膏狀漿墨

以晶片電阻器為例，其關鍵材料為氧化鋁陶瓷基板與導電膏狀漿墨。導電膏狀漿墨分為網版印刷所需的電阻器（即所謂的內電極），以及與外界導通的導電銀膠。內電極的主要材料為二氧化鈦（ RuO_2 ），內電極影響晶片電阻器的電阻值與電阻濃度係數之高低，故是晶片電阻器的關鍵材料。由於，晶片電阻器的材料成本占總成本的 35% 以上，尤以氧化鋁陶瓷基板與導電漿墨為高。雖然，導電漿墨用量不高，但是其單價高。所以，已經有廠商利用濺鍍製程來製作端電極，如此即可不需用到導電銀膠，故可以大幅降低成本。

4.無鉛化

為因應歐盟環保指令，全球產業已掀起另一波綠色產品的趨勢。諸多國際大廠已率先採用環保零組件，並紛紛宣告環保產品及綠色生產的管理政策。此等現象當然立即使全球系統供應商，將此等壓力加諸於電子零組件的製造廠商之上，並將此列為選擇供應商的關鍵因素。例如 SONY 公司的綠色夥伴(GP)、國內華碩公司的 GA 認證等。我國廠商實應及早進行驗證，方能開創出更大的市場商機。至於，具體製程技術改善方面，即例如：電阻器、電容器也都將以淘汰錫鉛焊接之封裝方式，來逐步走向無鉛化。

4.2.3 產業結構調整

目前我國被動元件生產已有朝向晶片化發展的趨勢。近年來，整體產業在產銷量上有明顯的成長，但大多是低價位電容器。由於，價格競爭激烈，利潤下降。因此，過去被動元件產業一直被視為資訊產業中的傳統產業，產業的成長性不高。

被動元件中的電阻器與電容器在所有電子產品中，可說是幾乎無所不在，所以電阻器與電容器產業的景氣榮枯會也與下游的應用終端產品相似。近來，因手機等新產品對被動元件的需求大增，頓時造成供不應求的產業榮景。其中，日本廠商長期以來即占據全球被動元件極高之市場占有率，在一片缺貨聲中，產能多已轉向生產高層數、高單價、高利潤的通訊元件，而放棄毛利較差的資訊元件市場。其所逐漸釋放出來的資訊產品元件，訂單轉到台商手中，遂使台灣被動元件廠商極具成長空間。

被動元件在電子產品中所扮演的角色雖然不像主動元件般被倚重，但卻是不可或缺的元件之一。但就長期而言，被動元件產業基本上仍是一弱勢產業。由於，其生命週期長，產品價格就在眾多競爭者角逐中連年滑落。除少數新技術外，傳統被動元件因其單價低，且製造技術不高，故須不斷擴充產能以追求經濟規模，並以其製程、良率及成本控制作為決定獲利的主要因素。所以，廠商更須藉由調整產業結構，來逐步達成強化體質、提高產值的目的。

1. 廠商間的策略聯盟

雖然，被動元件產品的種類、規格繁多，但下游客戶的重疊性相當高，且單一下游客戶對產品的需求數量龐大，加上產品低單價的特性。因此，對客戶而言，能夠提供完整的產品線，以簡化採購流程，將比個別被動元件的單價高低來得重要。

例如，國內電阻器大廠已與其他廠商策略聯盟，將三大被動元件整合在一起，提供客戶一次購足的便利性。另外，甚至有廠商與異業（半導體廠商）進行策略聯盟（彼此客戶重疊性高），以擴大彼此的行銷網路。又如分別生產塑膠薄膜電容器、變壓器、MLCC、晶片電阻器等廠商策略聯盟，進一步整合各廠商的生產及行銷資源，以擴大市場占有率。

2. 上下游垂直整合

近幾年來，因為進入了電子工業時代，更使電子零組件製造業發展迅速，並且形成特有而完整之上、下游產業生態。不過，由於下游電子產業相繼外移，

扮演中游角色之零組件製造業也隨之轉移陣地，進駐大陸市場。因電子被動零組件的產品單價在電路組裝的成本上所占比例不高。所以，產品供應商經常需要追隨著下游的使用者供貨，使產業特性如同逐水草而居。但由於單價每年逐漸下滑，相關廠商正積極擴充產能，以達到生產規模，降低單位生產成本。一般少量多樣之低階產品主要交由家庭工廠生產，量大之中低階電阻器則多交由中大型業者採自動化生產。

又由於被動元件產業的原料成本占總成本的比率相當高，而國內廠商對上游原料的掌握度明顯不足。例如，鋁質電解電容器的關鍵原料是電解鋁箔及電解液，約占總材料成本的七成，因此廠商為降低成本以利競爭，重要的方法之一便是往上游原料發展。所以，廠商有必要進行垂直整合，以獲取較高的利潤。

3.持續降低成本

被動元件產品生命週期長，單價自然在競爭者爭相進入的環境下，呈現下滑趨勢，廠商必須持續降低生產成本，才能創造較大的獲利空間。除了嚴控管銷費用之外，也可透過自動化大舉擴產而達到經濟規模。

4.深化管理與體質升級

除了上述清潔生產所有相關之技術工具、體系運作、管理機制中，所講求的污染防治、工業減廢、綠色設計及環境管理外，相關廠商也應該於實務運作上應將品質管理系統、環境管理系統，甚至產品環境品質保證系統等予以整合。如此，才可以讓生產線上的日常運作都能具備一體、不重複之有效率管理，更應持續注意未來綠色產品管理系統(Green Product Management System, GPMS)的發展，及早建制並尋求驗證。

特別是在「環境管理系統」上，仍須強化「環境稽核」，審視「環境績效」，進而落實產品的「綠色設計」及「生命週期評估」。讓此等持續改善之動力源自組織功能提昇及綠色產品開發，並進一步以「企業環境報告書」、「環境成本會計」、產品的「環境設計」，達成「綠色供應鏈」的完整循環。最後對「利害相關者」良好的溝通，善盡企業社會責任，即能有助於提昇企業之綠色生產力與全球競爭力。

4.3 廠內管理

藉由廠內有效的管理，可以達成污染預防、工業減廢、清潔生產的目標。這

也是企業進行清潔生產最簡單且有效果的作法。

廠內管理是整個被動元件生產體系中重要的單元體。為了進一步提昇產業，必須借助並引進有效的工廠管理系統。普遍而言，被動元件產業的經營管理者與員工，其教育水準及管理、生產知識，大都優於其他行業。因此，若能適當引進良好的管理理念與工具，並適時因應國際品質、環保、工安趨勢，即能有效管理人力、機具、物料、成品、成本、銷售等事務。如此，經營管理者與生產者即可經由分析、比較電腦報表，而掌握廠內的即時動態。

面對瞬息萬變的商場競爭、精益求精的生產效能、愈趨嚴格的國際標準，惟有生產管理上軌道，才能擴充企業的規模，以更增加企業的競爭優勢。因此，被動元件生產業者可以朝向人員、管理系統、物料、製程、能資源等方向著手。

4.3.1 全員環安意識提升

隨著人類科技文明的發展，各式新穎的電子資訊產品也紛紛地大量生產。但在享受科技所帶來的便利之際，也由於該類產品具有快速汰換的特性，故而衍生出為數龐大的電子廢棄物。近年來，國際間均已陸續訂出相關規範，以抑止該類廢棄物的持續成長。其中，又以歐盟地區最為積極，該地區早在 1992 年即提出「整合性產品政策 (Integrated Product Policy, IPP)」，以延長生產者責任 (Extended Producer Responsibility, EPR) 的原則，透過產品生命週期的觀點，提昇產品環境績效，藉以發展對環境更為友善的產品。

其後，歐盟地區所推行的包裝材指令 (Packaging and Packaging Waste, 1994)、廢棄車輛指令 (End of Life Vehicle, ELV, 2000)、危害物質限用指令 (RoHS, 2003)、廢電機電子設備指令 (WEEE, 2003)、使用能源產品生態化設計指令草案 (Eco-design Requirement for Energy Using Product, EuP, 2003) 等，均將工業減廢、清潔生產、環境化設計 (DfE) 等概念融入其中。此等指令的推行係以產品之全生命週期為考量，來強化業者應負之生產者責任。舉凡產品的易回收設計和產品之去毒化，皆需強化產業的設計、研發及改進產品的環境友善性。

其中，WEEE 及 RoHS 所制定的法規與實施要點，已於 2005 年起陸續實施，預期將對台灣每年輸往歐洲新台幣 2,400 億元以上的電機電子產品造成衝擊。除了歐盟的環保指令要求外，跨國企業公司對電機電子產品的「環境友善性要求」也是我國業者必須正視的壓力。

針對這波環保指令之衝擊，下列四項建議可做為被動元件產業因應 WEEE、

RoHS 之參考作法。

- 1.透過網際網路、電子郵件、我國駐外單位、歐盟的代理商和回收服務機構及跨國企業大廠等途徑之協助，以廣泛收集即時相關資訊。
- 2.持續提升企業本身的環境管理系統之運作績效。對於國內大廠而言，可透過中衛體系之運作模式來積極帶動上、中、下游材料及零組件業者做好其環境管理工作，而形成相依、可信賴的綠色供應鏈。
- 3.建立本身綠色產品的設計開發能力，以改進既有產品或開發新產品。初步可每年改進數項產品，持續進行下去，並爭取能獲得歐盟等或國內的環保標章，或在國內外之綠色產品網站上登錄。對於銷歐的產品，當以符合 WEEE、RoHS 為優先的要求。
- 4.掌握國際環保趨勢，開發並保有本身綠色產品之關鍵技術，爭得先機。

在全球永續發展的潮流帶動下，歐盟地區未來以環保為訴求的管制內容將更加嚴峻，此舉也將帶動日本、北美等其他地區管制作業之跟進。這股綠色趨勢演進，勢將影響往後 5 到 10 年之間產業的競爭力。故廠商及其所有員工應持續觀察國際永續發展趨勢，並進行因應措施，以強化永續發展體質，創造美好之前景。

4.3.2 相關管理系統整合

材料與製程在被动元件的清潔生產中，扮演極為重要的角色。由於，國內大部分的被动元件製造工廠皆已獲得品質管理系統（ISO 9001 或 QS 9000）及環境管理系統（ISO 14001）之驗證。因此，大多已經能夠自行藉由系統化的管理方式，掌握製造場所中的品質與環境議題。所以，以下將著重於說明生產管理體系與實際應用層面的整合。

1.產品設計開發

設計部門在清潔生產中扮演著龍頭角色。無論在材料選用、產品結構、製造設備選擇及製造程序上，都會直接、間接影響後續大量生產時的環境衝擊。例如，在製漿、端銀、電鍍等關鍵表面處理製程的材料選用上，倘若已經避開各項禁用、限用化學物質，則產品將可完全免除被檢出毒性化學物質的疑慮。至於，產品在進行清潔生產之設計階段，下列相關文件即需備齊：產品規格書、原材料規格書、環境禁限用物質管制標準、相關排外管制條款（一旦限於技術瓶頸，暫時得用限用物質成分時），方能確實加以掌控。

2.綠色採購供應鏈

綠色採購之落實，即為坊間風行的綠色供應鏈管理。其涵蓋面從供應商的供應商至客戶的客戶，亦即跨越了企業的圍牆，建構以消費者為導向的思維模式。目前，最被熟悉的莫過於 SONY 公司的 GP 或我國華碩公司的 GA 制度等。

對於歐盟所提出的環境訴求，導致許多國際大廠如 Dell、HP、IBM、SONY、Canon、EPSON、Panasonic 等皆開始要求其供應商所提供之產品，不得含有指令中所規定之各項禁用、限用物質；並對供應商實施「綠色生產」系統之評核，以確定其合作夥伴確實提供符合綠色環保規格之產品。

在執行綠色採購之推展時，應審酌考慮執行下列事項：

- (1)明確並向供應商宣達綠色採購方針。
- (2)加強供應商對環境理念之要求與宣導。
- (3)確認環境要求事項，採用產品標準或環境品質量測系統。
- (4)評估供應商之環境管理系統及績效。
- (5)落實材料規格書內禁用、限用化學物質之要求。
- (6)公布原材料之重新承認及其環境管理辦法。
- (7)要求供應商提供不使用禁用化學物質之切結書。
- (8)要求供應商提供禁用、限用化學物質近期內（例如半年）之檢測報告。
- (9)確實做好製程/材料變更時，得納入環境查核事項；明訂雙方管理者之簽核，始得變更之要求。

3.協力廠商環境品質保證體系

協力廠商為產品生產中之合作夥伴，攸關母廠清潔生產落實與否之主要一環。因此，下列之相關要項必須被加以制定與執行。

- (1)制訂供應商管理辦法。
- (2)簽訂環境禁用、限用物質不使用協議書。
- (3)提供第三公正實驗室破壞性檢測，例如 ICP（Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometer，感應耦合電漿原子發射光譜分析儀）之檢測數據。

- (4)提供材質組成證明及物質安全資料表(MSDS)。
- (5)環境管理體系之建立及輔導。
- (6)環境管理體系之定期稽核。
- (7)重新承認綠色料件之相關證據。
- (8)自我評核體系。
- (9)變更管理體系之確認。

4.採購與業務

採購與業務部門為公司推動綠色供應鏈的起點。因此，需對客戶之環境相關需求，具備主動、積極、敏銳之特質，以確實掌握客戶環境需求。諸如國際大廠之綠色採購的內容、導入時間點等，必須瞭若指掌，以力求在第一時間執行下列事項與任務。

- (1)收集售貨地區之環境需求相關情資。
- (2)產品符合國際大廠環境需求之發布。
- (3)綠色產品承認規格書之取得與簽認。
- (4)對客戶之環境承諾。

5.廠內綠色產品之確保

在國際環境聲浪及明確要求下，各被動元件廠兼具承上啟下之環境要求與被要求的角色。所以，非但要將品質、環境、工業安全等諸項相近要求一併在系統中呈現，更重要的要落實執行下列相關作業。

- (1)落實人員之教育測驗，與宣導原材料定期檢測及監控。一般普遍訂為一年至二年，必須對原材料再行檢測乙次。
- (2)製程之管控，確保禁用物質不被使用。
- (3)成品之定期檢測與控管。
- (4)標識與可追溯性之系統建立。
- (5)有效的變更管理系統。
- (6)不合格品之處置。
- (7)綠色品質管理之內稽系統的建立。

(8)環境禁用物質之使用記錄與保管。

(9)綠色生產環境之持續改善推動。

4.3.3 物料管理

被動元件產品種類繁多，以積層陶瓷電容器、晶片電阻器、電感器而言，其主要基本材料有：

- 1.積層陶瓷電容器：陶瓷粉末（鈦酸鋇）、內外電極材料（鈰、銀、銅、鎳膏）。
- 2.晶片電阻器：陶瓷基板、電阻膏、端極金屬膏或電極濺鍍鈰材、膏狀漿墨。
- 3.電感器：鐵粉蕊、三氧化二鐵、錳、鋅、鎳、銅、銅線、銀漿、內外電極。

另外，若以積層型晶片電感元件及電感線圈製造為例，依其相關製造流程可能用到的原材料則可有：粉末製造（鐵氧磁粉末、其他金屬粉末）、製漿（甲苯、乙醇、分散劑、塑化劑）、製帶（OPP 膠膜）、印刷（銀漿、稀釋劑）、壓合（真空袋、紙片）、切割（刀片）、燒結（匣鉢、熱傳導粉末）、磨邊（研磨石、水）、上銀（銀漿、膠膜）、銀燒（鐵網）、電鍍（錫濃縮液、開缸劑、助導物、錫球、皇冠鎳、純水、氯化鎳、硼酸、補充劑、錯合劑、磷酸三鈉、胺基磺酸鎳）、測試（測盤、測頭）、包裝（包裝帶、封口帶）、成品等。

由於，被動元件是每一項電子產品的基本元件。因此，歐盟之 RoHS 指令當然也會對被動元件的生產、製造產生影響。該指令主要是管制電機電子設備產品中，所使用的鉛、鎘、汞、六價鉻、多溴聯苯（PBBs）、多溴化二苯乙醚（PBDEs）這六種化學物質的含量。另外，由於歐盟所提出的這些環境訴求，導致許多國際大廠如 Dell、HP、SONY 等也皆開始要求其供應商之產品，在端銀、電鍍等表面處理製程中，不得刻意使用指令中所規定之各項禁用、限用物質。不過，被動元件本體材質之氧化鐵材質，其含鉛量暫時不被列管。此部分值得被動元件的生產製造廠商注意。

在被動元件的製造中，鉛、鎘等極有可能在被動元件的生產原料中出現。不過，由於許多化學元素/物質是既存於大自然之中的，例如鉛，因此，即使再進入工業製程，也無法完全去除。這種所謂的天然雜質(Natural Impurity)常常存在於例如三氧化二鐵等金屬鐵氧化物之中。所幸，針對電子元件之本體目前尚可適用於 RoHS 指令之附件的排除條款中，而暫不受濃度管制的限制。不過，於生產製造中，仍應逐年考慮降低相關物質的使用，並注意其他加工作業或外包材料等，是否會使用到禁用、限用物質。

因此，廠商需要有效且隨時、定時地管理製程所需的原物料。如此，才能防止呆料、荒料、混料、重複購置或缺貨等，影響製造與生產的因素。另外，更應特別注意禁用、限用物質的採購、使用、混料、污染等現象，以避免最終產品違反下游廠商的採購允收規定。否則，不只影響生產流程、耗費人力、能源，更會產生許多大量且不必要的不良品或廢棄物。

4.3.4 機械、設備改善與操作效率提昇

雖然，改善設備常須花費巨額經費。但是，機具、設備常會因長久的使用、操作，而產生折損、老舊，更可能因此而增加不正常的廢棄物。所以，仍應針對設備改善與效率提昇加以深入探討。可考慮採行的工業減廢、清潔生產方向，如下所示：

- 1.定期更新生產用的老舊設備：這是改善製程、提升生產效率、減少廢棄物最直接的方式。
- 2.改良、維護生產設備：將生產設備局部更新、改良、保養，以維持正常生產或增加生產。
- 3.設備自動化：減少人力及可能的人為誤差，並可穩定生產、掌控品質。
- 4.擴充及增設週邊設備：增加週邊設備，以使原料在進入主生產設備時，可節省操作時間，或減少耗材、耗品、能源的浪費。
- 5.處理廢水及廢棄物：依廢水、廢棄物（特別是包裝材料）的不同成分、含污量，加以集中或分開處理，以節省能源及耗材。處理後的水及/或包裝材料，可考慮回收再利用。

以被動元件製程而言，操作效率的提昇有如下例子：

1.電鍍操作條件最佳化

- (1)降低槽液蒸發量：電鍍所用之化學藥劑會因槽液之加溫而蒸發逸散，因此可依據鍍件之型式及體積於槽體上方設計活動式蓋板，以便將蒸發之氣體凝聚迴流至槽內，並減少集氣系統之動力設施與其可能產生之操作噪音。
- (2)利用導電度計算合理補充水量：電鍍槽液在使用過程中，因雜質的累積而造成槽液的老化現象，往往會縮短槽液的使用期限。廠商可以設置比導電度計進行監測，替代定量補充槽液之方式，以節省槽液補量，減低鍍液純化設備之操作成本。

(3)減少帶出液量：減少槽液帶出的主要目的在於減少槽液的排放量，並且回收部分槽液再利用，以降低廢水中污染物濃度並減少清洗水量。減少槽液帶出的方式，有掛具的選擇、延長排滴時間、設置滴板、設置回收槽等方式來達成。

(4)改善清洗方式，節約用水量：電鍍製程末端清洗單元，耗用水量頗高，可採多段逆向清洗程序節省用水。

(5)批次排放電鍍廢液：避免電鍍槽之槽液採一次全部排放的操作方式。應考慮以定期補充槽液或逐段排放的方式處理。當其槽液循環使用一段時間而需廢棄時，應以廢棄量及廢棄頻率設置適當體積之廢液貯槽，再以定量泵輸送至廢水處理場處理，以避免因瞬間之排放，造成後續處理單元之負荷，而增加整體廢水處理系統之加藥量。

2.廢水操作條件最佳化：利用異質核化程序，將廢水沉澱槽之局部污泥回流至快混槽作為晶核，並將未完全反應之高分子凝集劑回流再利用，以降低廢水處理成本及污泥產生量。

3.袋式集塵器操作改善：製程中之切割等單元會產生粉塵，一般係採用袋式集塵器(Bag Filter)處理。以集塵機而言，一般係採用以下方式調整操作方式，增加效率並降低操作費用。

(1)調整清洗濾袋的排列次序，以跳躍噴洗的排列次序（簡稱跳躍噴洗方式）來取代依序噴洗方式。如此，可以使用同樣的清洗空氣量，而獲得較佳的濾布清洗效果及透氣率，以及降低系統的壓降，故可以獲得增加產量及能源節約的功效。

(2)控制濾袋清洗時間(Pulse Duration)。一般工廠設定之濾袋清洗時間皆過長，所以，可以考慮縮短操作時間至 0.10-0.15 秒。如此，除可確保產生較強力之短震波，並確保濾袋清洗效果，亦可節省空壓機的操作。

4.節省水資源：一般而言，冷卻水塔的主要用水損失為蒸發損失、排放損失與飛散損失。其中，防止蒸發損失之改善空間較小，但可朝向減少排放損失或飛散損失著手。例如，飛散損失可由簡單地加強水塔周圍護網，即可達節水之功效。

4.3.5 原物料、設備與廠房維護管理

生產設備的有效使用，可維持工廠的正常運轉。若欲增長機械設備的使用年限，且減少不正常的當機，惟有靠定期的機械保養，及每日的使用後清潔保養，

方能達成。除此之外，正確地管理原物料並營造乾淨、整潔、安全的工作環境，亦可提高員工的工作效率，並提昇工廠形象，更能改善環境品質。例如：

- 1.設置適當的存放場所：化學物質或其他物件的存放場所應保持通風良好、乾燥，以避免鍍件生鏽或氧化增加處理之化學藥劑使用量。
- 2.保持良好的作業環境：製程中之假燒及本燒操作，常會有粉塵逸散的現象。此可藉由廠內改善，即改變製程或加強管理，以減少污染物的排放。一般而言，除控制鍋爐等燃燒源所產生之污染，稍有不同外，工廠廢氣處理設施的主要部分有氣罩、吸塵風管、風車、空氣清淨裝置、煙囪等，以上之組合可稱為局部排氣(Local Exhaust System)。若能有效運作上述設施，可改善廠房內部的空氣品質，進而達到保護勞工健康與環保安全之目的。
- 3.加強原物料庫存管理：對毒性化學原料或高濃度的酸鹼劑等的庫存管理須特別加強，並且建立領用登記制度，以有效掌握原物料的使用狀況，避免濫用或誤用的情形發生。同時，應秉持「先到先用、先進先出」的原則。
- 4.建立物質管制資料：應建立廠內使用原物料之物質安全資料表，使員工在貯存、運送及使用、處置化學藥品時，能認知化學藥品的危害性，並能採取適當防範措施。在意外發生時，亦能具備緊急應變處理能力。

4.3.6 節約能源管理

一般工廠若欲進行能源節約，可以考慮下列的項目。而廠商更可藉由推行各項節約能源措施，及進行廠內溫室氣體排放盤查或建制 ISO 14064（溫室氣體-組織排放及消滅的定量及報告規範）管理系統，以呼應「京都議定書」對溫室氣體排放減量之訴求，並善盡企業之社會責任。

- 1.功率因數的改善：可利用加裝電容器於適當位置（例如各負載中心或各負載裝置處），以減少電力在線路上的損失，進而改善用電的功率因數。另外，若能將電容器裝於各負載中心，或各負載裝置處，則用戶亦可同樣降低線路的損失。
- 2.負載率之最適當化：電動機的最高效率應設計於負載率 75~125%之間。一般而言，最好讓電動機在負載率 80~90%之間運轉。
- 3.空轉的防止：短時間的設備空轉，雖然損失很小，但長期累積下來，亦非常驚人。一般而言，設備空轉所造成的損失，會占總損失的 25~33%。因此，應詳加研究機械設備是否會因時間性或季節性，而有不恰當的運轉與空轉狀況。其次，當工作一段落後，有些機器會因操作程序的原因，而任其空轉，此亦應避

免之。

- 4.動力傳動裝置之適當化：傳動裝置係介於電動機與負載之間。依據不同的連結及動力傳動方式，其效率可分為下列四種：皮帶傳動方式(70~90%)、鏈條傳動方式(75~85%)、齒輪傳動方式(93~96%)、直結(99~100%)。廠商應選擇適當的傳動裝置，方可提高效率、節省能源。
- 5.節省空調用電：作業場所的冷氣可以設定於26-28度，並搭配電風扇的使用，即可以節省大量的用電；或評估裝設冰水式冷凍機的可行性，以於離峰時間中，藉由冷凍機結冰，作為尖峰（上班）時間冷氣機的冷媒。
- 6.電源安定化：當電壓、頻率變動時，則電動機的效率、功率因數將會改變。因此，要有穩定的電源，才能節約電能。
- 7.最適當之配電方式：採用較高的電壓可提高功率因數，亦可有效地減少配線損失。
- 8.可變速電動機之應用：傳統的機械控制方式係以擋板或閥之開度，來控制風量、流量，但其馬達的轉速不變，故浪費能源甚鉅。現代的能源節約控制方式，則以馬達轉速來控制流量。
- 9.高效率電動機之採用：採用高效率的電動機乃為節約能源的趨勢。新式電動機的設計，即可大幅降低運轉時的損失，提高效率。雖然，價格略為昂貴，但由於效率提高，所以可因節省能源費用，而在短期內回收初期投資所增加的費用。
- 10.電子省電器之應用：裝置省電器是利用感應電動機在輕載時適當的減低電壓、抑制電流、改善功率因數，而提高效率、減低輸入功率消耗。此裝置可節約電力約10~50%。
- 11.保養維護的加強：工廠內通常都會有許多的節電方式，但其效果仍有賴於平時的保養與維護。例如，冷卻風扇的過濾網附著塵埃、動力傳動裝置調整不當、零件間的摩擦、驅動機械潤滑不良等，皆足以造成整個系統效率的降低，而增加電力的浪費。若能排除這些不良因素，或使電動機的通風良好、養成隨時關燈/關電的好習慣，即可使損失減少，並延長設備的使用壽命。

以被動元件製程而言，改善實例有：

- 1.通常，燒結製程之燒結爐及電鍍槽液的溫度會較室溫為高。因此，即應針對該設備的保溫措施進行補強。尤其，廠房內一般均會有空調低溫送風，故會造成

雙重的能量損失。

- 2.生產廠房常因有有機溶劑作業，而設有整體或局部通風、排風裝置。但現場常因部分排氣風管有破洞、或排氣之抽風口風量太大等因素，造成不必要之能源耗損。
- 3.進行調漿製程前，應要求預先製作標準作業程序，以及精準的調漿配方。作業時，應要求作業人員確實遵守，以取用合乎配方的基本原料及配製適量的漿墨，以免因錯誤造成棄置，或因調製過多數量的漿墨，而造成浪費。

4.3.7 改善工安問題

一般而言，被動元件的生產場所，並非屬於特別具有立即危害的場所。但是，仍可能在有機化學物質作業、粉塵、電鍍、燒結等作業中、潛藏各種危害因子。故可能的改善方向，有：

- 1.重新規範化學品作業程序：應取得化學品之物質安全資料表，放置於工作現場，並依規定每3年更新一次，並應依規定於包裝容器上適當標示。
- 2.建立危害物用量清單、危害通識計畫。對員工實施危害通識教育訓練，提升員工對化學品危害的認知。
- 3.於現場劃定固定化學品放置區。若為液體化學品應設置盛液盤；若為可燃性、易燃性物品應於附近加強消防措施，並規定安全存量，限制廠房內化學品堆置數量。作業場所建議加裝洗眼器；另液氮儲存槽管制需進行日常檢點作業。
- 4.電焊作業之感電預防作業。例如於電焊機應上加裝自動電擊防止裝置，以保障人員作業安全。
- 5.清查並維護電器設備接地情形。於廠區內之電源箱、分電盤等，標示感電注意圖示、配電區域、供應電力伏特數及權責人員。另外，可依勞工安全衛生施行細則 276 條，實施如下所列之管理事項：
 - (1)電氣器材之裝設與保養（包括修理、換保險絲等），非合格之電氣技術人員不得擔任。
 - (2)為調整電動機械而停電，其開關切斷後，須立即上鎖或掛牌標示並簽字之。復電時，應由原掛簽人取下安全掛簽後，始可復電，以確保安全。
 - (3)發電室、變電室或受電室，非工作人員不得任意進入。
 - (4)不得以肩負方式攜帶過長物體（如竹梯、鐵管、塑膠管等）接近或通過電氣

設備。

(5)開關之開閉動件應確實，如有鎖扣設備，應於操作後加鎖。

(6)非職權範圍，不得擅自操作各項設備。

(7)如遇電氣設備或電路著火，須用不導電之滅火設備。

6.應注意使用機械、器具、設備等引起之危害。

7.應注意進行裝卸、搬運、堆積等作業引起之危害。

8.因處於有墜落、崩塌等之虞的作業場所引起之危害。

9.應注意因粉塵、噪音（85 分貝以上）等引起之危害。

這些潛在的安全問題，有些是業主的責任，另外，則可能導因於操作人員的疏忽，尤其是新進人員。因此，業主應該致力於改善工業安全衛生條件，以維護員工的安全、作業環境的舒適，以及確保企業之永續發展。

第五章 廢棄物資源化技術

為促進被動電子元件業廢棄物朝向資源化應用，本章將針對適用之國內外相關資源化技術進行探討，探討範圍包括：電子零組件、廢酸、無機污泥、廢溶劑及廢塑膠等五類產出量較大之廢棄物資源化技術。

5.1 廢電子零組件資源化技術

依據環保署事業廢棄物管制中心 94 年度相關申報資料顯示，目前被動電子元件業之廢電子零組件仍以境外處理的清理方式為主。一般所謂的電子零組件係指構成電子機器或電子應用機器的零件。電子零件經設計並組裝後，即成為電子計算機、電腦、手機...等各型各色的電子產品。電子零組件依其功能，則可分為主動零件、被動零件以及機電零件等幾類。主動零件是指當其由外部獲得能量供給時，可以發揮放大、振盪...等機能之零件而言，例如電晶體、電子管、積體電路(IC)...，而被動零件則指如電阻器、電容器...等。

被動電子元件為發揮其特定之功能，必須使用含有塑膠/陶瓷/金屬之複合材料，當電子產品因功能不足或喪失功能之後，就形成廢電子零組件（或稱為電子廢料），大多以電路板附著電子零組件的型態呈現。被動廢電子零組件當中金屬（或金屬化合物）之材質因屬於有價的資源，因此成為資源化技術的最主要回收標的物。

為獲得最佳之資源化效果，廢電子零組件資源化流程通常採各種物理、化學程序搭配交互應用，例如溼式精鍊、火法冶鍊...等技術。典型之廢電子零組件（電路板附著電子零組件）資源化處理流程，如圖 5.1 所示。

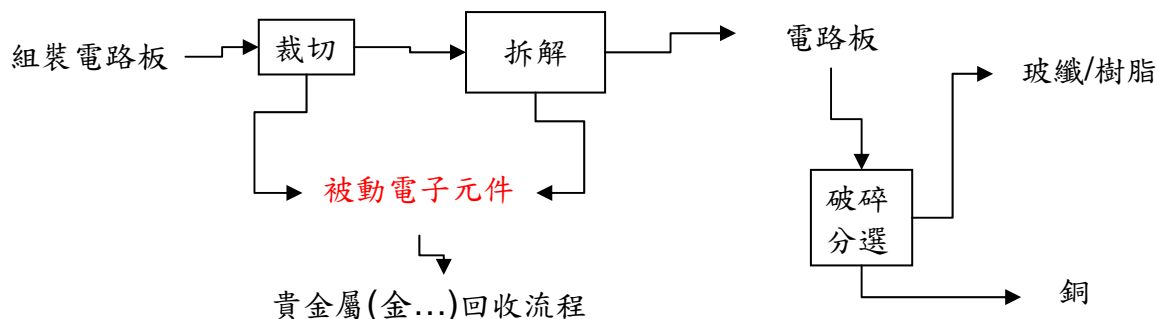


圖 5.1 廢電子零組件資源化處理流程

處理流程當中，先將廢組裝電路板（含有電子零件的印刷電路板）中含有貴金屬部分（被動電子零件）採用裁切/拆解的方式取出，此部分之資源回收目標物為金屬，故採用金屬回收流程；已除去金手指及電子零件的電路板，則採破碎分選方式以分離其中的玻纖/樹脂，回收銅的部分。

對於廢電子組件資源化處理程序當中所採用的各項步驟，包括：裁切/拆解、破碎分選、金屬回收等，將分別說明如下：

5.1.1 裁切與拆解

在廢電子零組件當中含有金屬的部分在整體比例上較低，但卻集中在部分的組件上，為提昇金屬的回收效率，必須先從電路板上移除分離，這些包括俗稱金手指的電路板接腳、IC，以及被動電子元件...等部分。

對於以焊錫附著於電路基板上的被動零組件而言，要將其拆解下極不好處理。要將被動電子零組件從電路板上拆解下來，常用的方式是將電路板透過加熱的方式，加溫直到焊錫溶化之後，大幅降低了被動電子零組件與電路板的附著力，再以敲擊等方式讓電路板產生震動，將被動電子零組件”抖落”後收集，待後續處理。當然，此種方式確實較為簡單，但將搭載被動電子零組件的電路板先升溫再降溫的處理過程，在能源以及時間上的消耗仍有極多的可改善之處。

另外一類移除被動電子零件的方式則是採用機械作用力，其主要的設計理念是採用刨除的動作將被動電子零件從電路板上予以去除。機械刨除的典型結構設計係採用雙滾輪方式，當組裝電路板通過滾輪間的間隙時，由於兩個滾輪的轉速並不均一，通過滾輪的電路板零組件受到極大的剪切作用力，因而從電路板上剝

除。滾輪的表面採用非平面式的設計，例如齒溝...，可加強剝離之效果。圖 5.2 顯示機械刨除的作用原理。

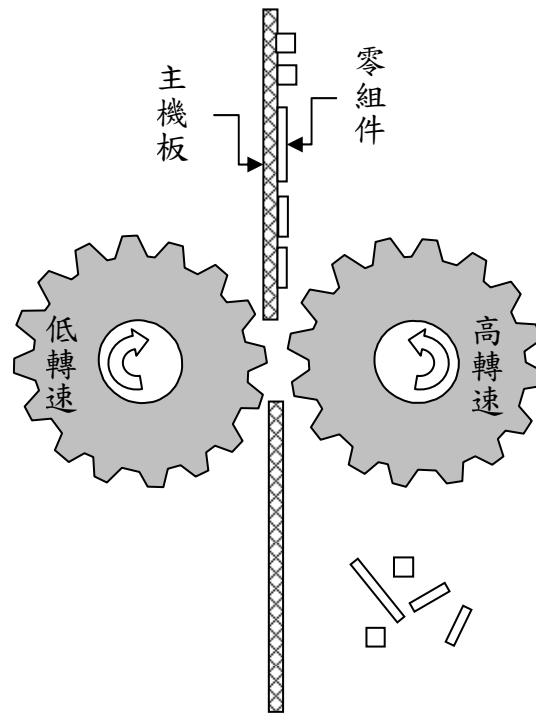


圖 5.2 機械刨除作用示意圖

5.1.2 破碎與分選

被動電子零組件主要由金屬、塑膠以及樹脂所緊密組成，所以必須先經破碎的程序，將其間的緊密結構予以破壞。破碎的方式有很多類型，主要依據被碎物料的物性不同，而採用不同的破碎方法。

利用機械力破碎物料，依其施力方法的不同，大致上可分為：折斷、剪碎、壓碎、衝擊和磨剝等方法，如圖 5.3 所示。任何一種破碎的過程中，施於物料的作用力往往很複雜，通常是幾種作用力同時存在，當然在某些的破碎設備中，也會有單獨一種或二種的施力方式。

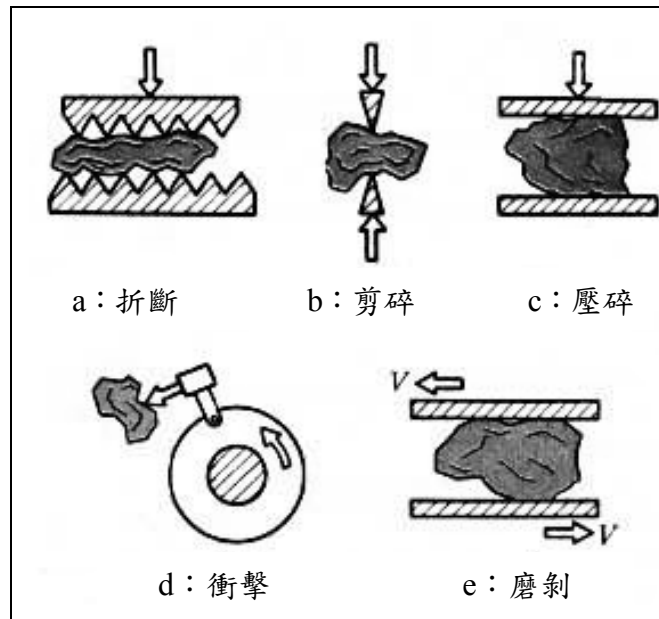


圖 5.3 對物料的破碎方式

使用於電子元件的破碎方式通常是採分階段進行，先採具有旋轉刀具的粗破碎裝置，以剪切、衝擊...等複合方式將其破成碎片，這些碎片再以衝擊方式（例如鎚碎機）將其碎至金屬、陶瓷、樹脂相互分離的情形。

經破碎後之物質尚須經過分選後始達到有效利用之目的，特別是銅箔的部分，以下說明可用於分離回收銅箔的方式：

- 1.重力分選：此種方式係利用物質比重之不同，在介質（可為水、空氣、懸浮液...等）當中產生不一致的運動速率，進而達成分離/分選之目標，一般有風選、浮沈分選...等。以重力分選為基礎，搭配氣泡浮力（界面作用力）衍生的分選方式稱為浮選，其原理係利用吹入或機械攪拌捲入空氣在介質中產生氣泡，氣泡將水溶液中疏水性物質予以吸附或附著，使其與氣泡一起浮上，進而與親水性物質分離之技術。另一種以重力為基礎搭配慣性力的分選設備，稱為搖洗床的裝置，亦有被應用於分離金屬。
- 2.渦電流分選：本方式係利用物質具有不同的導電性而加以分離/分選的方式，當導電體通過磁場時會產生感應電流，此感應電流會產生與磁場方向相反之排斥力，而給予分離之助力。高導電性者其產生的感應電流越大，因此反向斥力亦相對較高，無導電性者則無感應電流亦不會產生斥力。此種方式不適合於磁性物質（鐵/鈷/鎳...）之分選。

3.靜電分選：此種分選方式同樣是利用物質不同導電性的差異進行分離，但其作用原理則是利用電場讓物質帶電，而非磁場。導體物質易於產生電荷但也容易流失電荷，非(半)導體物質則不易產生電荷，然一旦產生電荷後也較不易消失。因此當分選物質通過電場時，無論導體或非導體皆被強迫帶電，當其離開電場後，導體的電荷消失，非（半）導體則暫未消失，因此帶電的非（半）導體易受帶電平板，或帶電滾輪的吸引，產生運動軌道的偏離，而與導體物質分離。板式及滾輪式分選機，其分選過程示意如圖 5.4 所示。

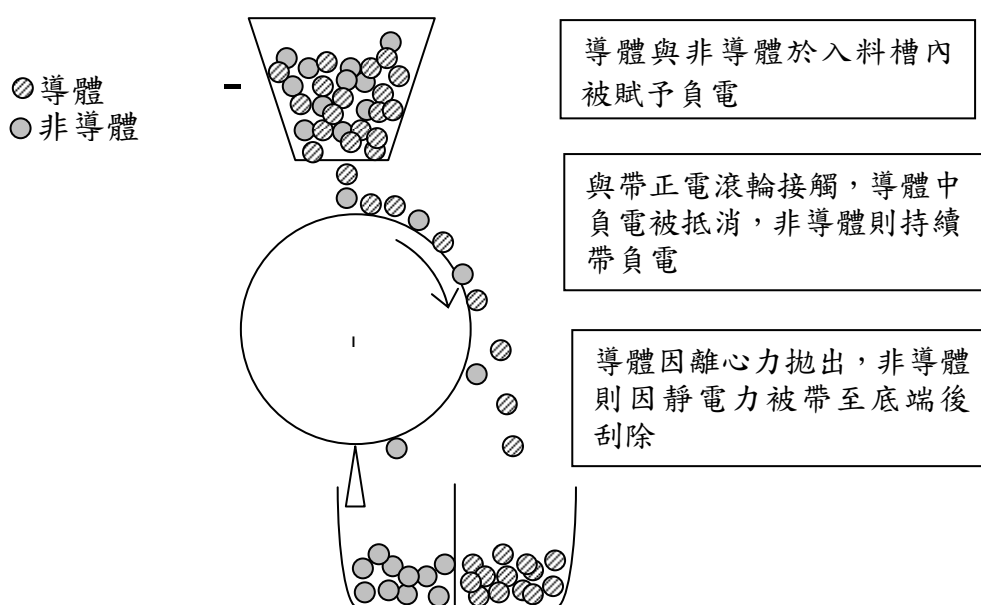


圖 5.4 靜電分選示意圖

5.1.3 金屬回收

廢被動電子零組件當中的積層陶瓷電容器、晶片電阻器... 因含有銀、鈮、鉑等有價金屬，具良好的市場價格，極具回收價值。這類電子零組件所含之貴金屬，其回收方式略有不同。

以鈮的回收為例，主要採用溼式冶金程序，係以溶解方式將金屬部分予以溶出，再透過置換析出（或是選擇性沉澱）之步驟初次取得粗鈮（純度較低）溶液，再採用還原/電析程序取得高純度之鈮。其處理流程如圖 5.5 所示。

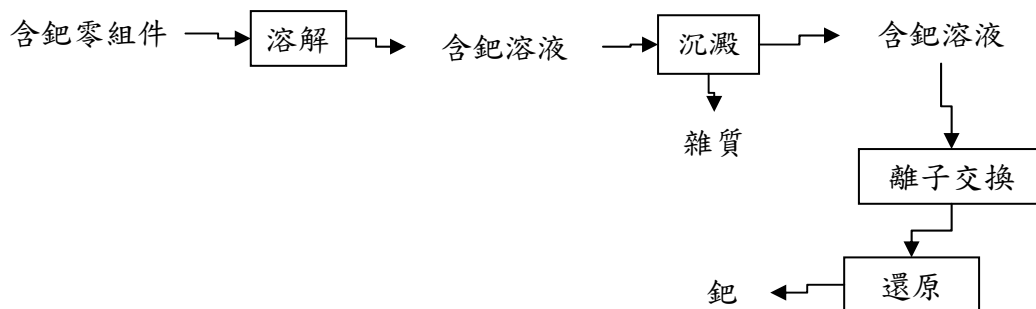


圖 5.5 貴金屬溼式回收流程

濕式冶金法目前已廣泛應用回收廢電子零組件中之有價金屬成分，例如以氰化液剝離廢料中之含金成分，其回收率可達 95%，但處理過程中使用大量之酸液及氰化液，會產生廢氣及廢水，需再加以防制以免造成二次污染。

至於包覆於被動元件內部的成分，則需先將其包覆層予以去除方能回收，但由於包覆在內部的金屬非常細小，若採用破碎方式將不易於金屬的回收，應採用他方式。

元件之封裝包覆物質可分成無機系列與有機系列兩大部分，針對包覆物質為樹脂之部分，可以利用有機物質易於焙燒氧化之特性，先以 400℃ 之溫度將樹脂封裝物加以焙燒碳化，經碳化後所得之產物為金屬導線架與樹脂填充物之灰渣，接著採用研磨方式，因金屬具延展特性，所以在研磨過程展延變形但不斷裂，而樹脂填充物灰渣則屬脆性，研磨過程不斷碎解變小，此兩者之粒徑差異逐漸擴大，以篩分使金屬與樹脂灰渣分離，因篩分所得之金屬物已幾乎去除所有的有機物質，可直接鎔鑄成貴金屬錠，提供後續貴金屬電析精煉過程使用。其處理流程如圖 5.6 所示。

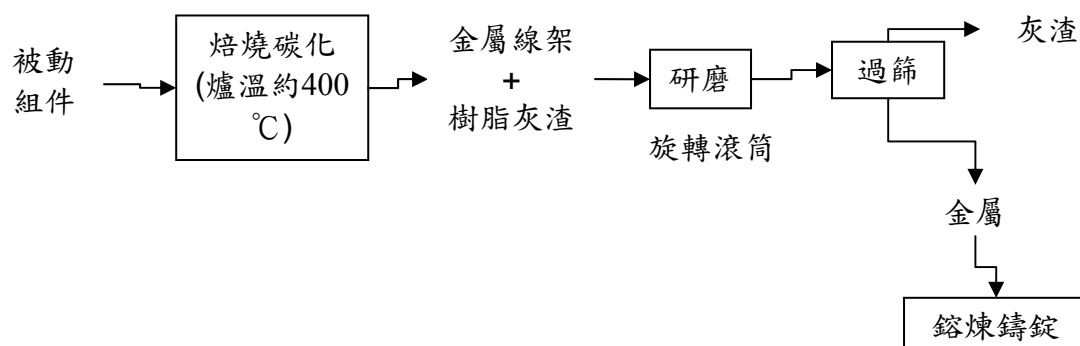


圖 5.6 貴金屬乾式回收流程

另一種乾式程序亦稱火煉法之方式者，則是以冶鍊方式（富氧的情形）先將廢電子零組件中不純物（如鋅、鐵、鉛、鎳、錫...等）去除，這些金屬不純物於高溫及強氧化之條件下可將其氧化並與造渣材料作用形成爐渣，其他部分（如金、銀、銅...等金屬）形成合金錠，再以電解精煉之方式，依次（以電位差）分別回收銅、金、銀等金屬，如圖 5.7 所示。

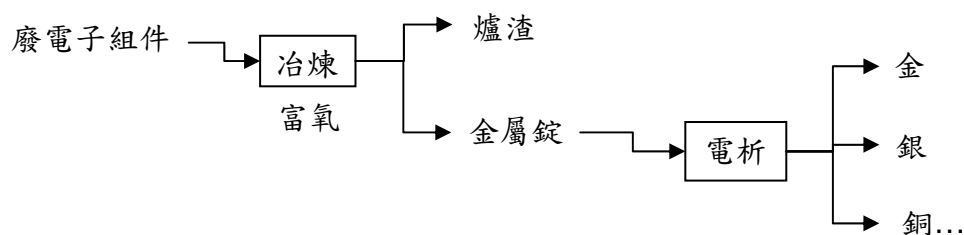


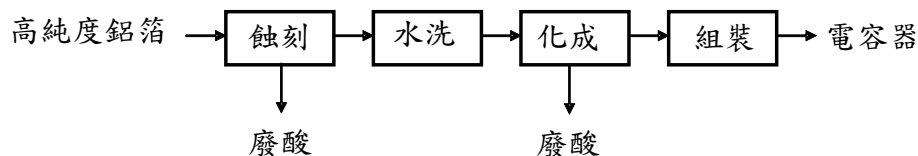
圖 5.7 廢電子零組件火煉流程

5.2 廢酸資源化技術

廢酸產生源主要來自生產電解電容器主要元件（包括電蝕鋁箔及化成鋁箔）之電子材料工廠，其生產過程如圖 5.8 所示，產出廢酸種類包括鹽酸、硫酸、硝酸、磷酸或混酸等。生產電解電容器需使用鋁箔，高純度鋁箔之電蝕程序（電蝕鋁箔）包括二種方式，一為將鋁箔浸入鹽酸（或鹽酸加硫酸）中進行，屬於物理性蝕刻；另一為電解方式，將鋁箔置於陽極，並利用鹽酸（或鹽酸加硫酸）水溶液進行，屬於電化學蝕刻，電蝕處理後即會衍生大量廢酸。化成鋁箔廢液則是以電蝕鋁箔為原料，經饋電、特化、預熱及洗淨等化成處理單元後產生，化成鋁箔廢液以廢磷酸及己二酸銨成分為主。依據環保署事業廢棄物管制中心 94 年度相關申報資料顯示，目前廢酸的清理方式有廠內再生及排入廢水處理場處理。

經過蝕刻後的廢酸要進行再利用時，回收酸及副產品的用途是必須特別考慮的。一般而言，回收酸的用途不外乎：(1)用於原製程中，及(2)用於其他不同製程中。若回收酸中不純物及濃度不確定，品質又不穩定，如果再精製又需投入一筆成本，此時則回用到原製程，有時為提高副產品之價值，需再投入相關材料；若為使回收酸濃度提高，添加純酸也是常見的。

以下針對電解電容鋁箔原料廠所產出之廢酸資源化技術分別說明之。



資料來源：資源化產業資訊電子報，第 14 期，2004 年 6 月。

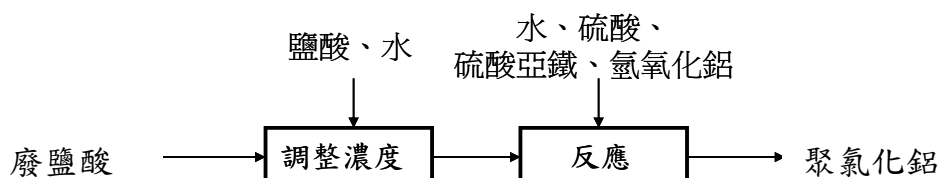
圖 5.8 電解電容器製程示意圖

5.2.1 溶解置換反應法

溶解置換反應法資源化處理流程，是將回收的廢鹽酸與工業鹽酸混合調至一定濃度，並將廢鋁箔用水洗淨除去雜質後，再將廢酸液與廢鋁箔計量後放入特製反應器中，在常溫下反應約 6 小時，自然熟化 48 小時後即可得到含 Al_2O_3 10%(重量比)、鹽基度大於 40% 的無色透明液態鹼式氯化鋁，若將液體產品通過滾筒乾燥，於筒內通入蒸汽加熱，筒外刮刀卸料裝入包裝袋內，即得固體產品。

5.2.2 聚合反應法

利用廢鹽酸可作為聚氯化鋁的原料，首先將廢鹽酸與工業鹽酸進行濃度調整，然後再與濃硫酸、氫氧化鋁等進行聚合反應及 pH 值調整，即可得聚氯化鋁成品，其流程如圖 5.9 所示。若產源工廠的廢鹽酸濃度不足，無法做為再利用原料，於再利用前須先行濃縮。因此產生源業者應先做好分流及有效收集（其間要考量鹽酸濃度之循環或重覆使用之時程掌握），廢鹽酸之濃度至少達 20% 左右。廢鹽酸未再利用時，必須以廢水中和程序處理，產生大量沒有利用價值之廢鹽酸；採取聚合反應再利用方式，則廢鹽酸不需再做中和處理。



資料來源：資源化工業網站(<http://www.iw-recycling.org.tw/>)，資源化產業資訊電子報，第 14 期，2004 年 6 月。

圖 5.9 聚合反應法回收電蝕鋁箔廢液流程圖

5.2.3 蒸發法

電解鋁箔廠所排放的混合廢酸液可利用液膜式蒸發法進行廢酸回收，使回收廢酸液中的 Al_2O_3 及 Fe 分別降至 0.1% 和 0.02% 以下，廢酸回收率可達 85% 以上。採用液膜式蒸發法之特點是製程簡單、傳導係數高、處理量大，適用於低黏度、沒有結晶析出的稀溶液回收處理，且設備造價低廉。蒸發法除回收鹽酸外，還可得到副產品—硫酸鋁或偏矽酸鋁、三氧化二鋁等。試驗結果顯示，蒸餾的殘液可全部轉化為偏矽酸鋁，而僅具蒸餾後剩餘的硫酸鋁，經簡單處理後可得硫酸鋁，由於無廢酸液排放，每年可節省後續廢酸處理費用。

5.2.4 蒸餾冷凝法

採用蒸餾-冷凝法對廢酸液進行回收，處理流程為用 0.2~0.5 MPa 低壓蒸汽當熱源，將廢酸混合液以 108~110℃ 蒸餾，經冷凝後回收鹽酸。回收之鹽酸濃度為 4.10~5.78 mol/L，無色透明，不含金屬離子，純度高，不僅可用於生產系統（與少量濃酸混合至要求濃度），還可用於醫藥等行業。利用回收鹽酸可配製酸洗液返回生產系統循環使用，蒸餾殘液可製備鋁酸鈉水處理劑，每立方米廢液的蒸餾殘液為 150 公升，可製成 200 公斤水處理劑。

5.2.5 酸-金屬回收法

美國田納西州一家鋁質電解電容器製造廠於電容器製造過程中以鹽酸蝕刻鋁箔，因此於生產過程有廢鹽酸之產出，且其處理處置價格相當昂貴。該公司為符合“零排放”之目標，乃委託 Foster-Miller 公司設計及製造回收處理設備，其設計流程是以連續離子交換樹脂吸附鋁離子，並回收鹽酸，再以逆洗方式形成氯化鋁，最後再將此氯化鋁進一步蒸發濃縮、蒸餾純化，回收氯化鋁可售予除臭劑製造廠當原料使用，其相關設備如圖 5.10 所示。



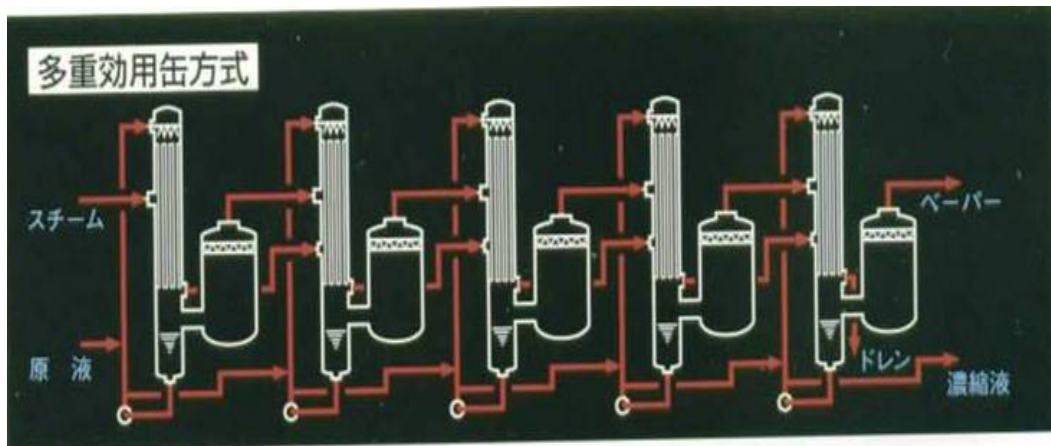
資料來源：Foster-Miller 公司網站，<http://www.foster-miller.com/>。

圖 5.10 酸-金屬回收法回收電蝕鋁箔廢液設備流程

5.2.6 蒸發濃縮法

日本松下電子部品株式會社轄下 LCR 設備公司的電容器製造廠，其主要產品包括電極箔、鋁質電解電容器、鉭電解電容器、積能性高分子電解電容器、雙層電容器等，產品廣泛應用於通訊及資訊產品之關鍵零組件。其電容器製程是以鋁箔為原料，利用鹽酸蝕刻使表面粗面化以增加表面積，再經化成處理形成酸化皮膜後，組立製成電容器產品。由於電容器製造過程中使用鹽酸蝕刻鋁箔，故產出廢鹽酸。為回收廢鹽酸，Matsushita 公司委託 DAIDO CHEMICAL ENGINEERING CORP 設計二套廢鹽酸回收設備，所採用之回收設備為蒸發濃縮裝置—四重效用罐方式回收酸，每套設計容量為 250 M³/日，利用鹽酸蝕刻鋁箔產生 AlCl₃ 作為混凝劑，廢酸經此蒸發濃縮裝置後回收再利用。設備費用為 5 億日圓，第一套廢酸回收設備運作時間已有 15 年，第二套設備運作時間亦達 6 年，目前廠內回收設備之維修皆由 DAIDO 公司負責，其設備之檢查頻率為一年兩次。

此多重效用罐之裝置乃利用第一效用罐產生之蒸氣，作為第二效用罐的加熱源，其熱源依序作為其他效用罐之循環使用。各罐的運轉蒸氣溫度範圍介於 100~130℃ 間，設備之構造及外觀圖請參見圖 5.11 及圖 5.12。



資料來源：日本 DAIDO CHEMICAL ENGINEERING CORP 公司目錄。

圖 5.11 多重效用罐蒸發濃縮裝置構造圖



資料來源：日本 DAIDO CHEMICAL ENGINEERING CORP 公司目錄。

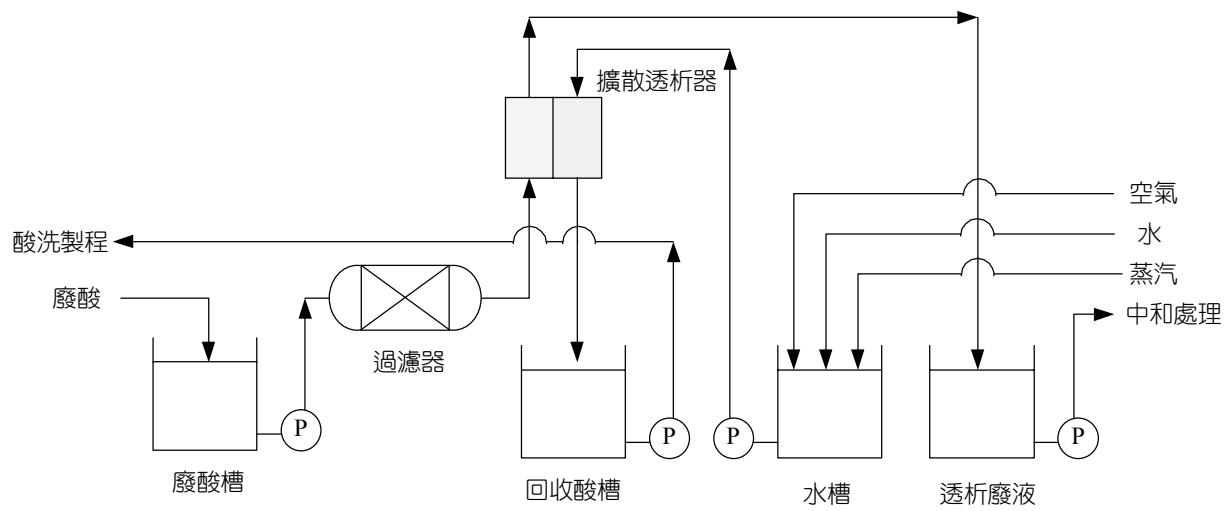
圖 5.12 多重效用罐蒸發濃縮裝置外觀圖

5.2.7 擴散透析法

以擴散透析法進行廠內回收方式處理電解鋁箔廠廢酸液，係利用薄膜只允許溶質透過而不透過水的特性，將高濃度的廢液注入一側，而另一側注入清水，使薄膜兩側形成濃度差驅動力，廢酸中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，一般回收酸使用的薄膜係採用陰離子交換膜。

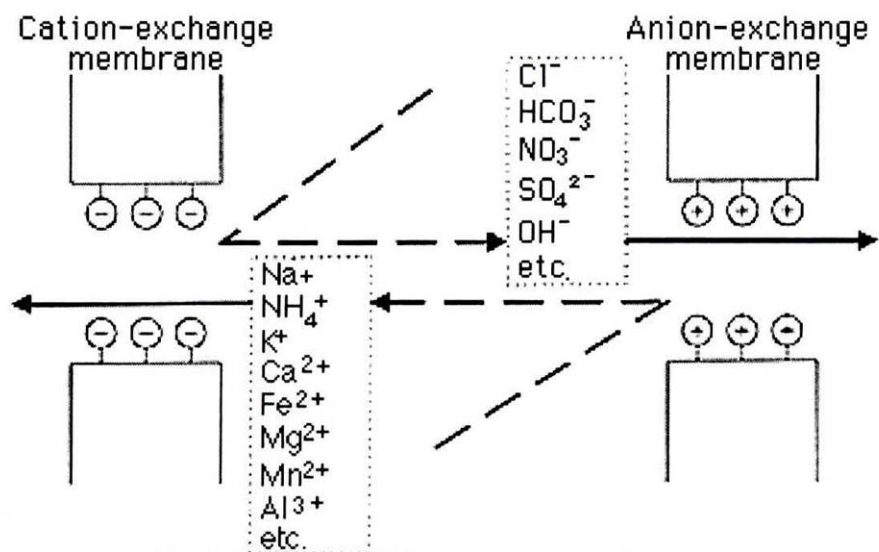
擴散透析法處理流程如圖 5.13 所示，首先將廢液由貯槽中以泵抽出，經過濾

器濾除廢酸中的雜質後，再打入擴散透析器之一側，另一側則注入清水，利用濃度擴散及薄膜的選擇性作用，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，其薄膜擴散模式如圖 5.14 所示，至於剩餘廢液則可交由廢水處理場處理，或利用其他回收技術回收所含的重金屬。

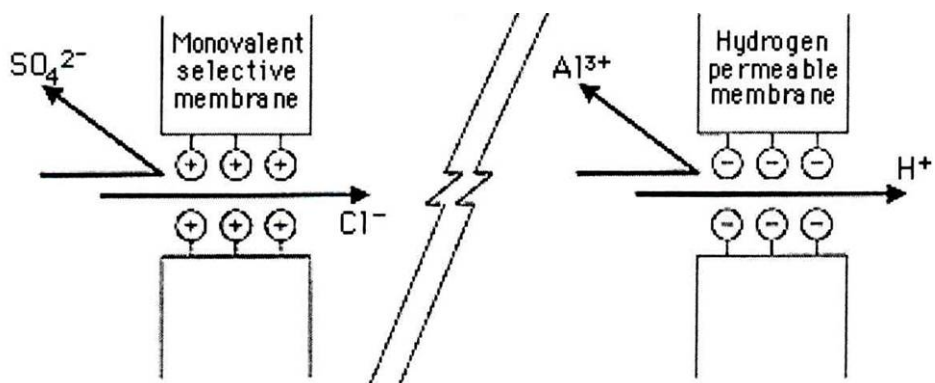


資料來源：廢棄物資源化技術資料彙編，經濟部工業局，1999 年 6 月。

圖 5.13 擴散透析法處理流程圖



(a)陽離子交換膜及陰離子交換膜



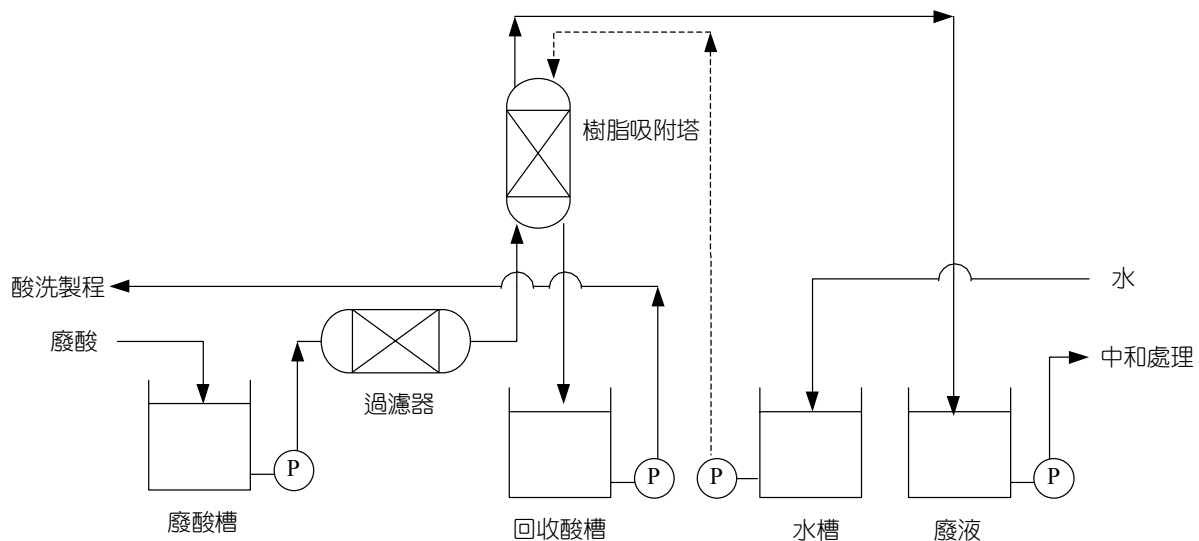
(b)單價離子交換膜及氫離子交換膜

資料來源：Asahi Glass Company 網站，<http://www.agc.co.jp>。

圖 5.14 薄膜擴散模式流程圖

5.2.8 樹脂吸附法

樹脂吸附法之核心技術係利用一吸附酸之特殊樹脂裝於吸附塔內，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。當樹脂吸附飽和時，再以軟水將吸附飽和酸之樹脂沖洗，以回收酸，圖5.15為樹脂吸附法之處理流程。



資料來源：廢棄物資源化技術資料彙編，經濟部工業局，1999 年 6 月。

圖 5.15 樹脂吸附法處理流程圖

5.2.9 硫酸置換法

圖5.16為硫酸置換法回收廢鹽酸的處理流程，在廢鹽酸中加入硫酸，使其與廢鹽酸中的氯化鋁發生複分解反應。反應後之酸液導入真空蒸餾裝置，利用減壓操作蒸餾出水及HCl，再以冷凝器將其冷凝以回收鹽酸，回收之鹽酸濃度可達18～35%。此外，在真空蒸餾罐底可回收 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 結晶，此結晶經溶解、真空晶析罐再度結晶後則可製取 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ 。

本法亦可應用於處理廢鹽酸、廢硫酸混合液，回收鹽酸及硫酸鋁；或用於其他酸類混合液之回收。如圖5.17所示，廢鹽酸及廢硫酸在反應槽進行複分解反應生成的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鹽酸（濃度約20%），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 $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 。針對電容器廢酸主要成分之不同，其相關硫酸置換技術，說明如下：

1. 廢硫酸

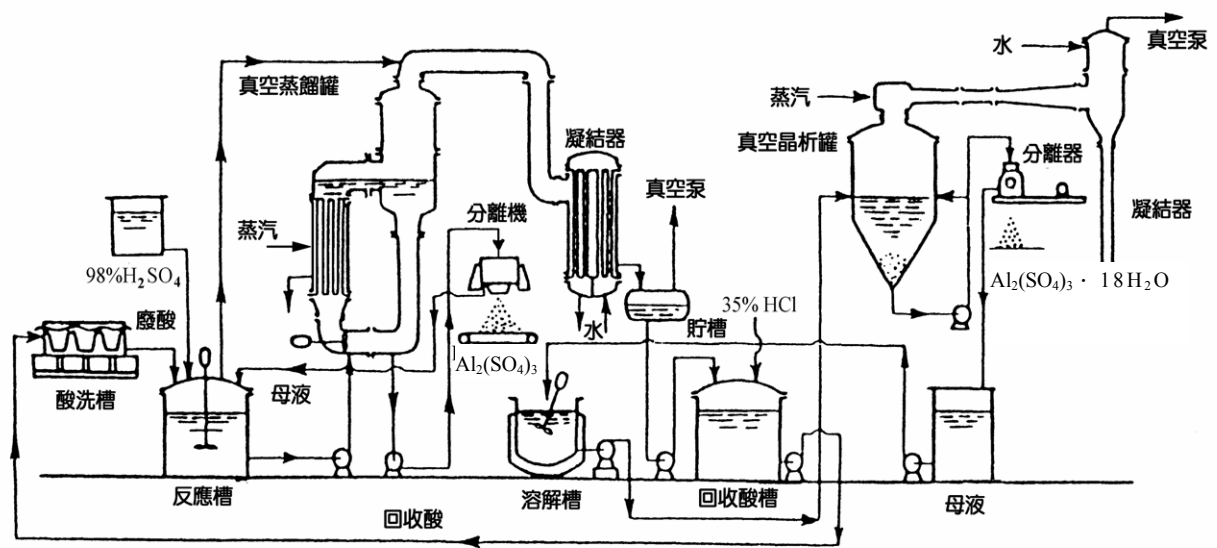
鋁材表面處理產生之廢硫酸多來自陽極氧化程序，圖 5.18 為含鋁廢硫酸之典型資源化方式，廢酸經過收集後抽入真空濃縮罐中進行濃縮，濃縮液再經由晶析設備使形成硫酸鋁結晶，最後利用離心分離機將再生硫酸及硫酸鋁結晶分離，產生之硫酸鋁可用於水處理凝集劑。表 5.1 是廢酸、廢鹼、產物及消耗能源等資料。

2. 廢鹽酸

含鋁廢鹽酸的處理方法有兩種，一為硫酸置換法，另一為氯化鋁法，硫酸置換法是加 10-30%硫酸於廢鹽酸中，利用真空濃縮回收鹽酸，並得到硫酸與硫酸鋁溶液，硫酸與硫酸鋁溶液可利用上節所述方式進行分離，並製得硫酸鋁。氯化鋁法則是於含鋁之廢硫酸濃縮液中添加廢鹽酸，使形成氯化鋁結晶，分離出的氯化鋁可作為 PAC 的原料，至於其他程序可參考前述廢硫酸的回收程序。

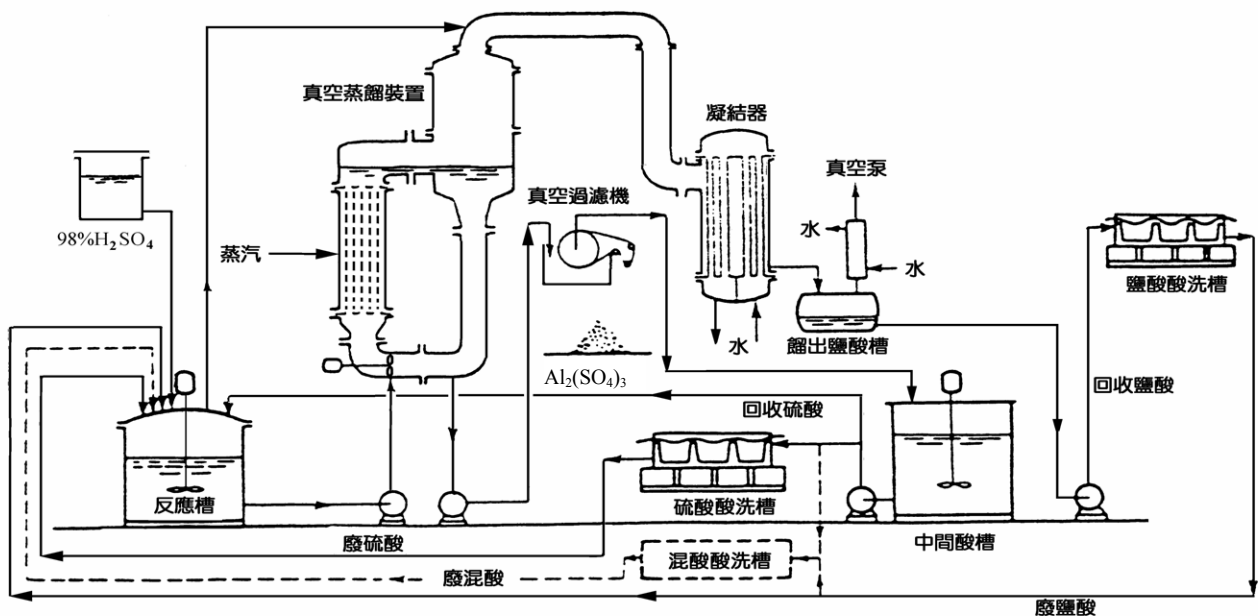
3. 廢硝酸-磷酸系

含鋁硝酸-磷酸之回收方法，需視實際製程而定，若為廢硝酸可單獨分流，利用硫酸置換法回收處理廢硝酸，圖 5.19 為詳細回收處理流程，所產生之硝酸可回用於原製程。圖 5.20 是氫氟酸置換法回收處理廢硝酸，所製得的氯化鋁可作為產品出售。若工廠製程中廢硝酸-磷酸無法分流，則可利用圖 5.21 所示之回收處理流程，產物硫酸鋁可回收再利用。除了上述幾種回收處理方式外，目前已有國家利用電解濃縮液的方式來研發處理綜合廢酸之程序。



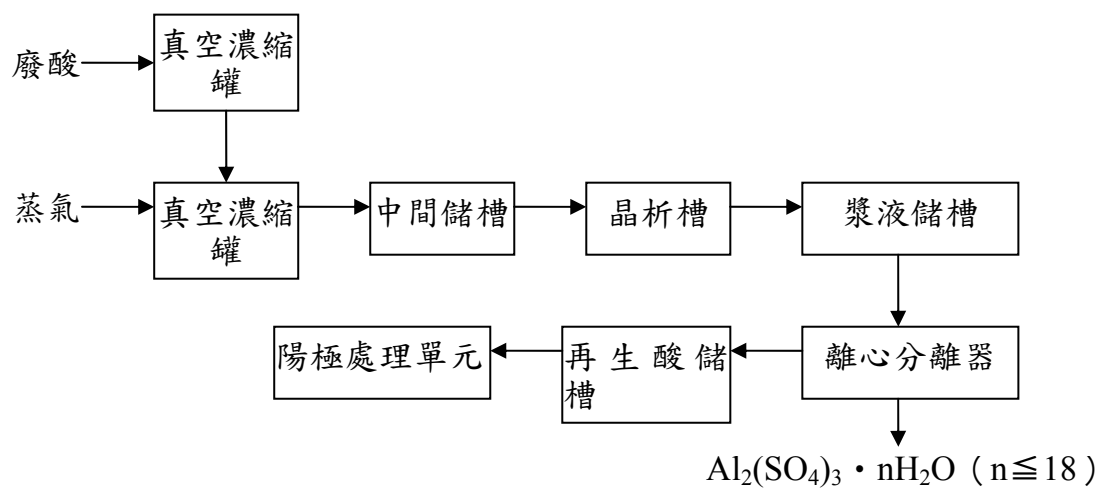
資料來源：廢棄物資源化技術資料彙編，經濟部工業局，1999 年 6 月。

圖 5.16 硫酸置換法回收廢鹽酸流程圖



資料來源：廢棄物資源化技術資料彙編，經濟部工業局，1999年6月。

圖 5.17 硫酸置換法回收廢混酸(鹽酸、硫酸)流程圖



資料來源：清潔生產雙月刊，第三期，1995 年 10 月。

圖 5.18 鋁陽極氧化製程排出廢硫酸之回收處理流程

表 5.1 含鋁廢硫酸回收品質及能源消耗

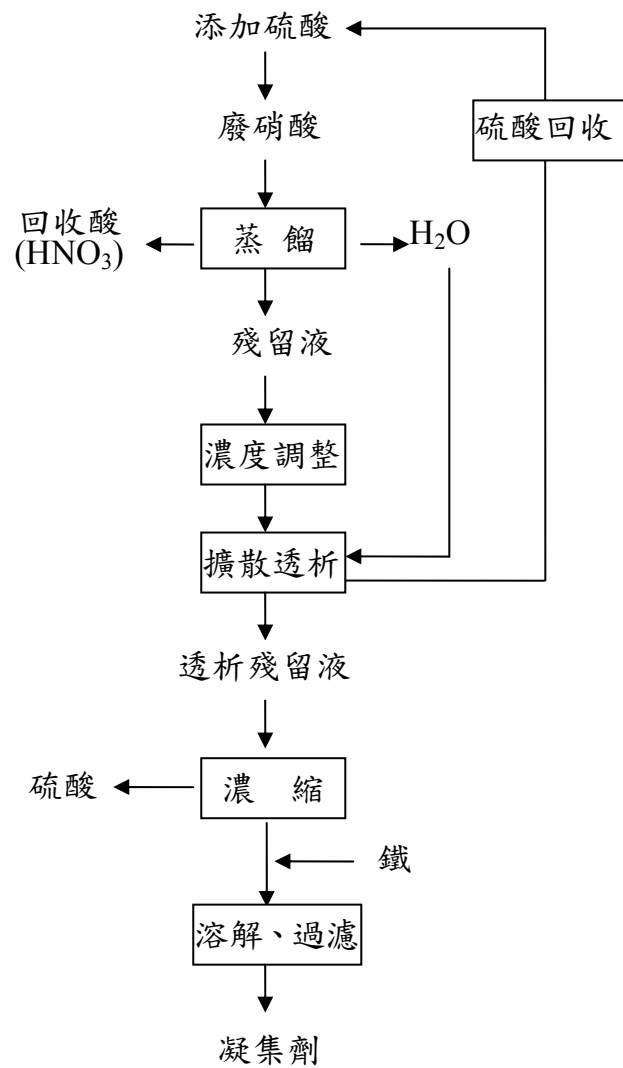
(a)廢硫酸及生成物品質

廢硫酸		再生硫酸	
處理量	500 Kg／H	再生硫酸量	205 Kg／H
H ₂ SO ₄	12.5%	H ₂ SO ₄	約 30%
Al ₂ (SO ₄) ₃	7.9%	Al ₂ (SO ₄) ₃	約 7.4%
溫度	常溫	溫度	25 ⁰ C
比重(20 ⁰ C)	1.2	生成物 Al ₂ (SO ₄) ₃ · nH ₂ O (n ≤ 18)	約 73 Kg／H

(b)能源消耗

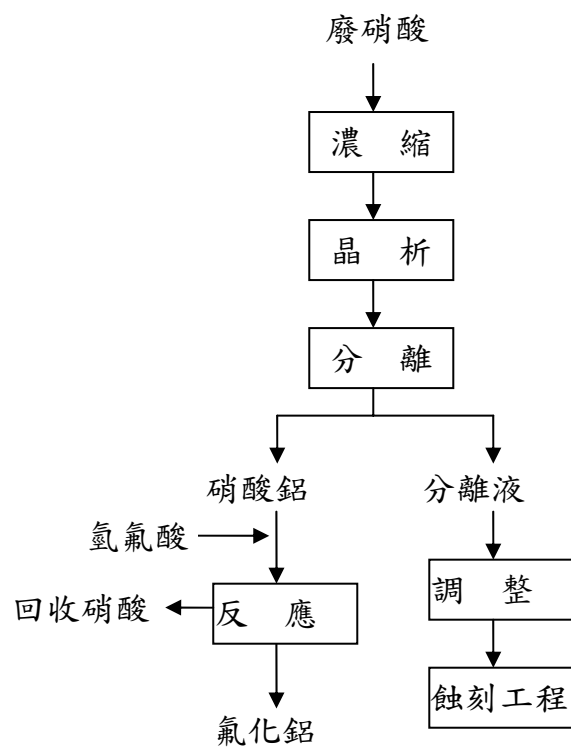
蒸汽	晶析工程	200 Kg／H
	濃縮工程	610 Kg／H
電力(440V,60Hz)		60 KWH
冷卻水	晶析工程(10 ⁰ C)	2.5 m ³ ／H
	濃縮工程(30 ⁰ C) 循環水	60 m ³ ／H
	供給水	6 m ³ ／H
工業用空氣		150 L／Min

資料來源：清潔生產雙月刊，第三期，1995 年 10 月。



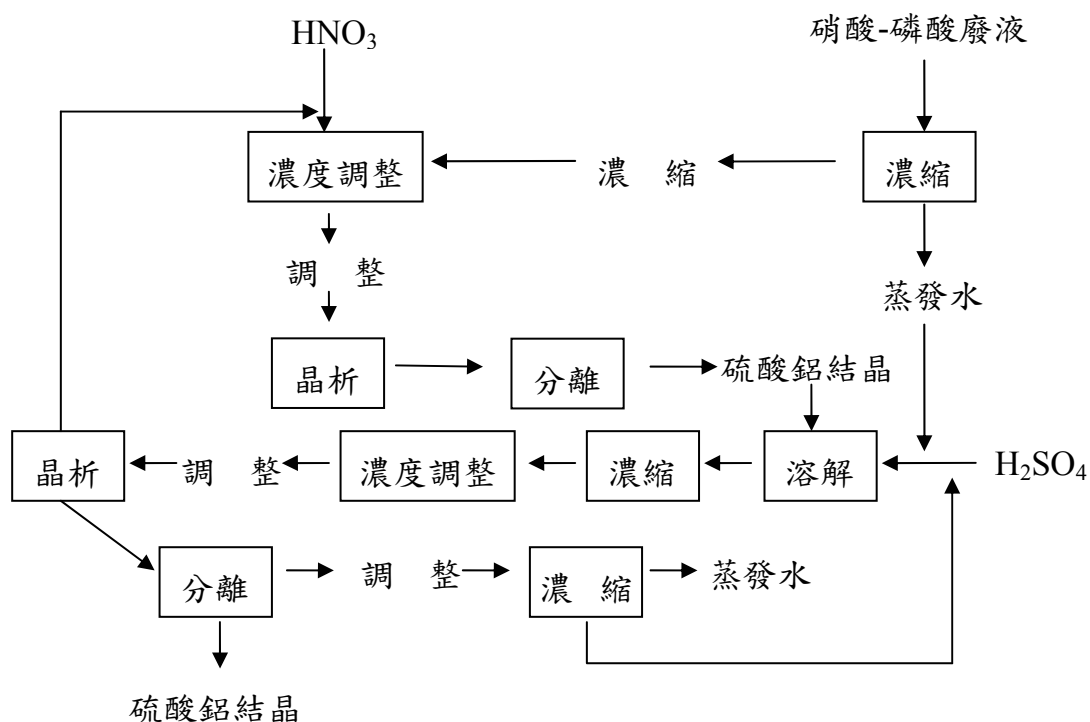
資料來源：清潔生產雙月刊，第三期，1995 年 10 月。

圖 5.19 利用硫酸置換法回收廢硝酸處理流程



資料來源：清潔生產雙月刊，第三期，1995 年 10 月。

圖 5.20 利用氫氟酸置換法回收廢硝酸處理流程



資料來源：清潔生產雙月刊，第三期，1995 年 10 月。

圖 5.21 硝酸-磷酸廢液回收流程

5.2.10 廢酸資源化技術評析

總之，金屬表面處理產生的廢酸如何資源化處理方式，隨著環境的變遷而改變，以往認為沒有經濟效益的回收處理方式，在環保意識逐漸抬頭之際，則又被一一提出。廢酸回收再利用時，特別要注意的是廢酸的種類、品質、回收酸及副產品的用途，不同的廢酸及不同的回收酸各有其較適用的資源化技術。這些資源化方法的原理、流程技術說明列於表 5.2，至於要選擇最有效且最具經濟價值的資源回收方式，可能還需檢視工廠本身的現況，再參考現有各種技術，做詳細之評估考量，才能使資源化的工作達到真正效益。

表 5.2 廢酸資源化技術彙整

技術名稱	原理、流程	技術說明
溶解置換反應法	利用廢鋁箔與廢鹽酸製成聚氯化鋁	先將廢鹽酸與鹽酸原料進行濃度調整，然後再加入廢鋁箔，進行溶解置換反應，即得鹼式氯化鋁。
聚合反應法	利用廢鹽酸作為聚氯化鋁原料	先將廢鹽酸與鹽酸原料進行濃度調整，然後再與濃硫酸、氫氧化鋁等進行聚合反應及 pH 調整後，即得聚氯化鋁。
蒸發法	利用加熱蒸發冷卻回收	以液膜式蒸發法進行廢酸回收，除了回收鹽酸外，副產品有硫酸鋁、偏矽酸鋁及三氧化二鋁等。
蒸餾冷凝法	利用蒸餾-冷凝回收	利用蒸餾-冷凝法進行廢酸回收，除了回收鹽酸外，再加入適量鋁酸鈉水溶液，製成水處理劑（硫酸鋁及氯化鋁）。
酸-金屬回收法	利用離子交換樹脂、蒸發及蒸餾回收	先利用離子交換樹脂進行廢酸回收，逆洗之廢液再以蒸發及蒸餾純化回收副產品氯化鋁。
蒸發濃縮法	利用蒸發濃縮裝置－四重效用罐方式回收酸	利用鹽酸蝕刻鋁箔產生 $AlCl_3$ 作為混凝劑，而廢酸經過此四重效用之蒸發濃縮裝置回收得以再利用。
擴散透析法	利用離子交換薄膜回收酸	利用濃度差且以離子交換薄膜（厚度為 $100\sim 200\mu m$ ）回收酸，副產品 $AlCl_3$ 作為混凝劑。
樹脂吸附法	利用離子交換樹脂回收酸	利用樹脂吸附金屬回收酸，逆洗產生副產品 $AlCl_3$ 作為混凝劑。
硫酸置換法	加入硫酸置換反應回收酸	利用加入硫酸置換反應回收酸，副產品為 $Al_2(SO_4)_3$ 。

資料來源：蘇茂豐、李明美、王義基，電解鋁箔廢液現況及處理技術介紹，工業污染防治季刊，2005 年 10 月。

5.3 無機污泥資源化技術

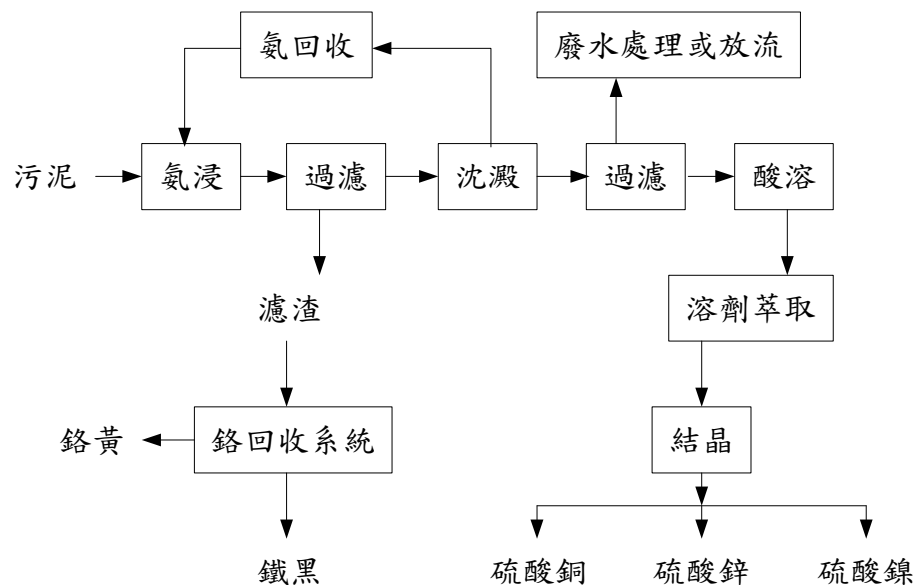
被動電子元件業製造電容用鋁箔多層陶瓷電容器或晶片型電容器、電阻器、電感器時會使用到銅、鎳、錫、鉛等電鍍，因而產生廢無機污泥，其中多為含重金屬有害性污泥；製造電容用鋁箔之廢水，中和後之鋁土污泥，則屬一般性無機污泥。依據環保署事業廢棄物管制中心 94 年度相關申報資料顯示，目前無機污泥的清理方式有委託境外處理、掩埋或固化處理、再利用為水泥替代原料(50.0%)。綜觀實際資源化現況，目前可被採用之資源化技術，含重金屬有害性污泥可配合印刷電路板相關行業之含銅污泥資源化再利用，以濕式處理（如氨浸萃取、酸浸漬、置換電解），或以乾式處理（如煅燒、高溫融熔）等。一般性無機污泥則可考量添加一定比例作為製磚或水泥副原料；鋁土污泥則有於水泥窯回收再利用計畫之實例。上述重金屬污泥資源化技術及一般性無機污泥資源化技術各有其特點，依序說明之。

5.3.1 重金屬污泥資源化技術

重金屬污泥資源化技術可概分為濕式處理、濕乾式處理、乾式處理等，如以技術來評估，各類技術均成熟；但如何提高資源化經濟效益則為關鍵所在。

1. 濕式處理－氨浸萃取技術

由於氨浸萃取技術早在 1970 年代已有文獻記載，但只有中國大陸在最近十年有實廠運轉之文獻記載。並在美國、加拿大等國及工研院化工所均曾以氨浸萃取技術，進行重金屬污泥資源化研發工作，其處理流程如圖 5.22，由於污泥中之重金屬成分多以氫氧化物方式存在，經過碳酸氨溶液浸漬後，形成鎳、銅、鋅、鎘等可溶性錯氨碳酸鹽存於溶液中，而鉻與鐵金屬元素則因形成錯氨鹽後會繼續水解產生氫氧化物沈澱，過濾固液分離後，濾渣經過鉻回收系統可得鉻黃及鐵黑等資源化產品，而濾液則經過置換、萃取及結晶等步驟可得硫酸鹽產物。但是氨浸法則需面對如何加強氨浸提高浸出率及氨之回收率等問題。

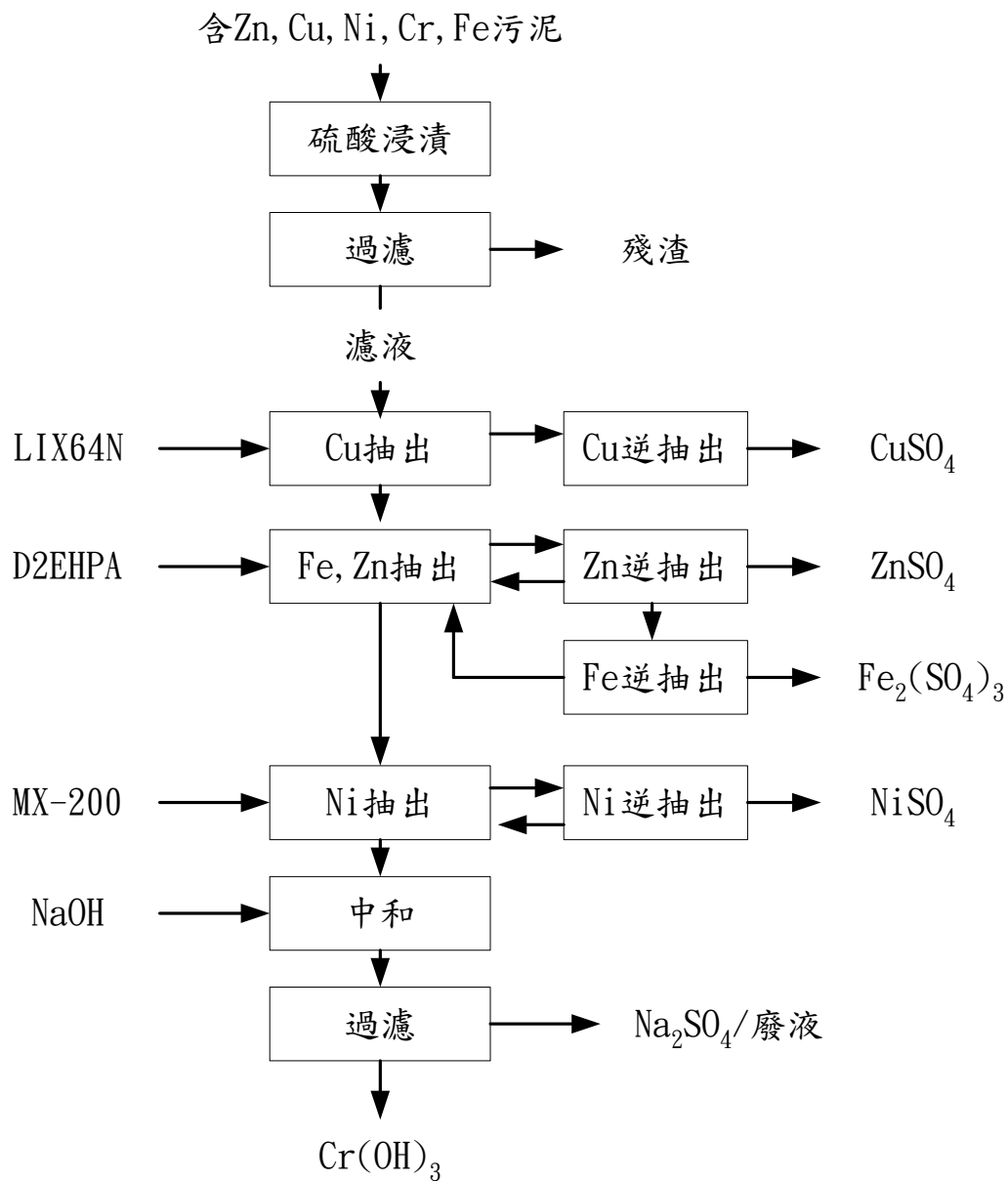


資料來源：工業污染防治技術服務團，印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編，
經濟部工業局，1996 年 5 月。

圖 5.22 氨浸萃取技術流程圖

2. 濕式處理－酸浸漬技術

電鍍污泥所含重金屬除了利用氨浸漬外，還可考慮利用 MAR (metals and acid recovery) 法，瑞典 Am-MAR (Ammonical Carbonate Leaching-Metals and Acid Recovery) 以濕式處理－酸浸漬處理含重金屬污泥已完成模廠規模，使用 H_2SO_4 對重金屬污泥進行浸漬，再利用 Lix 系列萃取劑（例如 LIN64N、O2EH9A、MX-200 等）萃取金屬，經過 H_2SO_4 反萃後可獲得各種硫酸鹽結晶，其處理流程如圖 5.23 所示。但其操作程序需經過多次的萃取與反萃，步驟較為繁複。



資料來源：經濟部，印刷電路板製造業廢棄物資源化案例彙編，1996 年。

圖 5.23 Am-MAR 酸浸萃取技術流程圖

3.濕式處理－置換電解回收金屬

利用置換、電解、結晶等傳統化工單元，整合成為從污泥中資源回收重金屬之流程，其技術代表者為美國 Recontek 公司之重金屬污泥資源回收處理流程（如圖 5.24 所示）。首先此技術應用前，應先將污泥分為二類，亦即含鋅及不含鋅兩類，其兩類典型之組成如表 5.3：

(1)A 類污泥（含鋅）

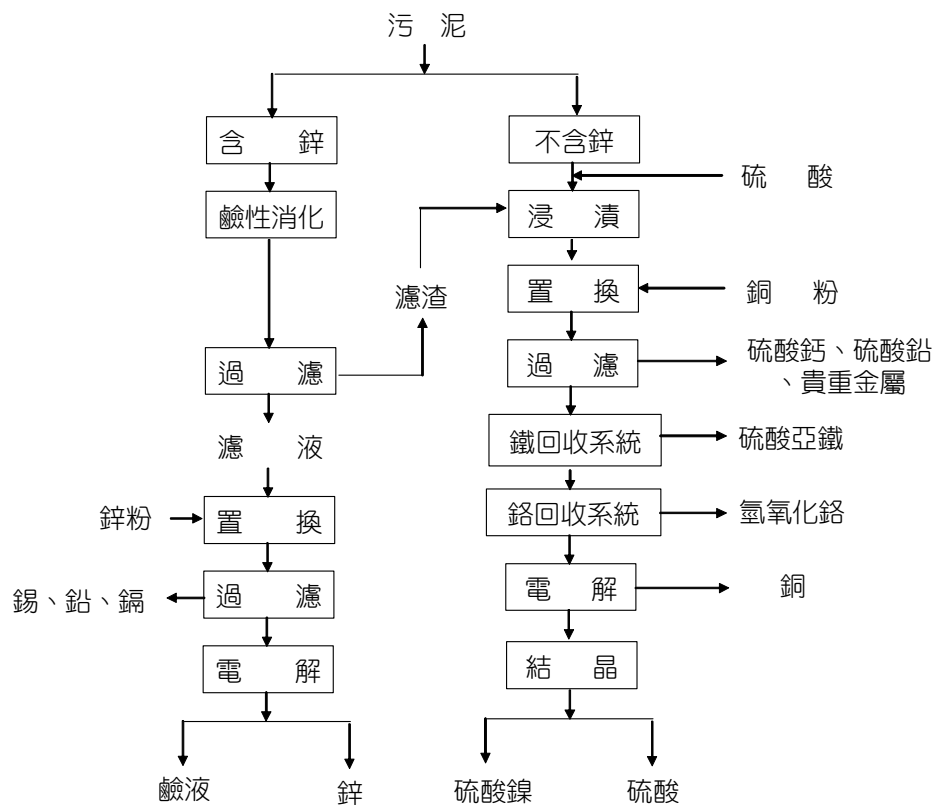
係利用鹼性消化來溶解鋅、鉛及鎘，而銅、鎳、鐵與鉻則不溶。當反應完成，污泥經過濾後，不可溶（濾渣）之部分送往 B 類污泥之處理系統。濾液則送往置換系統(cementation system)。在置換系統內，加入足量鋅粉，任何陰電性較鋅為高之金屬（鉛、鎘）都會被沈澱出來。鉛與鎘經乾燥後即可出售。此時，溶液之中僅剩鋅以鋅酸鈉(Na_2ZnO_2)之形式存在。以電解法處理之後即可回收鋅。而剩餘之鹼性溶液則可回收再利用。

(2)B 類污泥（不含鋅）

A 類污泥經鹼化過濾後之濾渣（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、充氣、加溫等程序亦同時施行以加速反應。在反應完成後，加入足量之銅粉可將貴金屬（尤其是銀）沈澱出來。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 HBO_3 之形態回收，硝酸鹽則分解為 N_2 與 H_2O ，剩餘物經加水，過濾後再可送往鐵回收系統，鐵被轉化成硫酸亞鐵($\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$)之形態回收，如回收品質良好的話，可以售予肥料製造商或水處理公司。鉻則以 $\text{Cr}(\text{OH})_3$ 之形態回收並出售給不銹鋼工業。經鐵、鉻回收系統後，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，鎳回收係用蒸發及結晶法。其原理特點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分以提高 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沈降率，此一程序至溶液密度達 50~60 波美(Beo)可以視為完成，雖此溶液之中尚含有 NiSO_4 。蒸發之水分經收集後，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

給鎳之製造廠。剩下之濾液為不含金屬之硫酸溶液濃度達 75%，可以回用於廠內。

由於進廠處理之廢液或污泥成分變化多端，因此某些物質，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，只有極少部分會在鹼性消化時溶解；大部分將會進入酸性消化系統。在酸性消化系統中，部分會溶解而以 $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ 之形態存在，加入 H_3PO_4 後會形成磷酸鐵 FePO_4 沈澱。經過濾後再將之轉化成氧化亞鐵出售。



資料來源：工業污染防治技術服務團，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 年 5 月。

圖 5.24 污泥置換電解金屬回收處理流程(Recontek Co.)

表 5.3 應用重金屬污泥回收處理流程前之污泥分類

A 類（含鋅）	B 類（不含鋅）
Cu：8~10%	Cu：1~2%
Ni：0.5%	Ni：8~10%
Sn：0.5%	Sn：0.1%
Pb：4~5%	Pb：0.1%
Fe：2~3%	Fe：—
Cr：1~2%	Cr：1~2%
Zn：8~10%	Zn：—
Cd：0.1%	Cd：—

資料來源：工業污染防治技術服務團，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 年 5 月。

4.濕式處理－磷酸浸漬技術

日本 Yoshizaki 和 Tomida（2000 年）發表使用 20%磷酸及 2% H_2O_2 浸漬活性污泥，其中含重金屬 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb、Zn 和 Fe、Mn 等金屬成分。經過 1 小時的浸漬，除 Cr、Fe、Hg 的溶出率在 50-60%之間，其餘金屬元素可達 80%以上，而 Pb 的浸出率更可達 100%，比使用 1N HCl、 H_2SO_4 和 HNO_3 的浸漬效果更理想，其後再利用樹脂離子交換法回收金屬成分，而磷酸則可回收循環使用，節省操作成本。

5.濕乾式處理－酸浸漬及煅燒技術

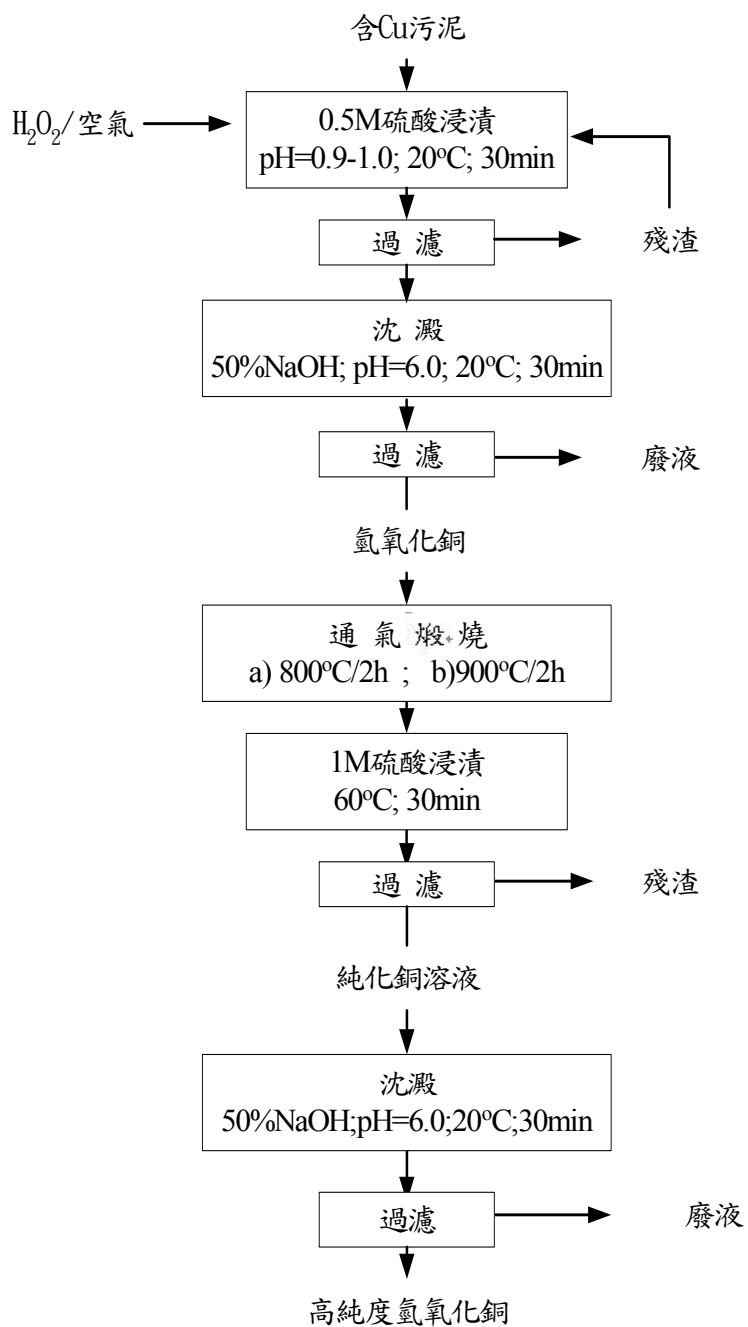
另外 Jitka Jandova 等人則將重金屬污泥經曝氣硫酸浸漬後，在浸漬液中添加 50%NaOH，調整 pH 至 6.0 使產生沉澱，再將沉澱物經 800~900℃煅燒後，可以生成如 FeAl_2O_4 等難溶於酸之尖晶石礦物相及氧化銅相，因此利用酸浸漬可以獲得較純的含銅溶液，最後再加入 50% NaOH 使產生氫氧化銅沉澱，其處理流程如圖 5.25 所示，但是其缺點則是需要消耗巨額能源。

6.乾式處理－乾燥氧化還原回收金屬

由於廢水污泥中含較高之水分，本技術首先利用乾燥設備進行前處理。經初步烘乾後之污泥，必需進一步進行乾燥，以確保污泥中之水分因加熱後完全蒸發。同時將污泥中之金屬氫氧化物轉化成金屬氧化物，一般於 600~750℃

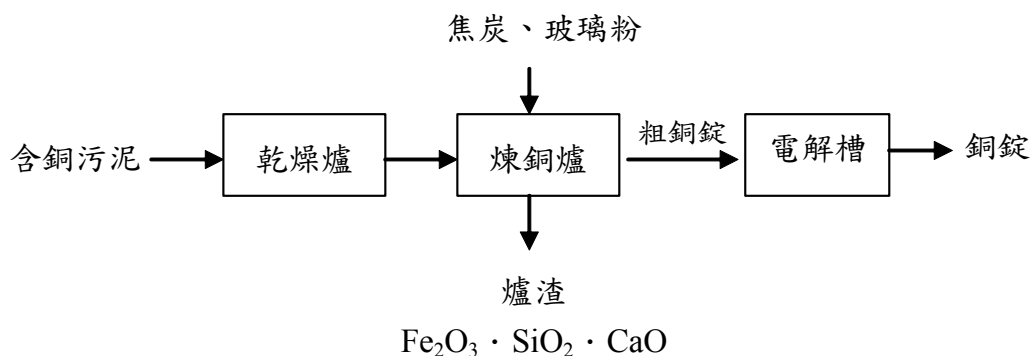
高溫環境下進行。經乾燥、氧化處理後之金屬氧化物，再進行更高溫（1,300～1,600℃）之還原反應（同時加入焦炭），其目的是將金屬氧化物還原為金屬。

如以廢水污泥成分來分析，除了銅離子外，鐵離子含量也不低。建議為提高銅之純度等級，於還原反應程序中，同時加入含矽化物之造渣材料，其目的在於結合鐵氧化物成為熔點較高之複合物，並以爐渣方式排出。經以上程序之後，預估所得銅之純度等級約為 90% 左右。為了提高銅成分含量，可再利用電解方式進行精製工程。以上所述之流程如圖 5.26 所示。



資料來源：Jitka Jandlova, Tatana Stetanova, Romana Niemczykova, Recovery of Cu-concentrates from waste galvanic copper sludges, Hydrometallurgy, Vol. 57 pp77~84, 2000.

圖 5.25 酸浸漬及煅燒法流程圖



資料來源：含重金屬污泥的再資源化技術，污泥處理與處置技術研討會，經濟部，p5-21，1991 年 3 月。

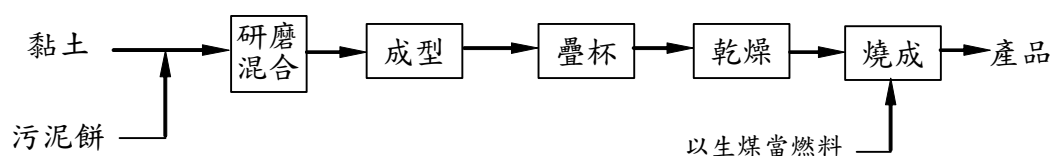
圖 5.26 污泥乾燥氧化還原回收金屬處理流程

5.3.2 一般性無機污泥資源化技術

一般性無機污泥資源化技術可概分為製磚資源化技術、水泥原料替代資源化技術等，如以技術來評估，各類技術均成熟；但如何符合磚塊品質要求及避免二次污染則為關鍵所在，茲將各回收處理技術說明如下：

1. 製磚資源化技術

一般製磚製程之主要原料為黏土，如能添加一定比例之無機污泥作為副原料，而且不造成磚塊品質要求及二次污染問題，應是值得鼓勵之事。原料摻配後，經研磨、混合及加入一定比例之水分，再經成型、疊杯、乾燥等步驟，並以生煤做為燃料燒成後，使黏土與污泥燒結，一般製磚流程如圖 5.27 所示。



資料來源：經濟部工業局，半導體業廢棄物資源化技術手冊，2001 年 12 月。

圖 5.27 一般製磚流程

如前所述，製磚技術原本就相當成熟，其整個管控重點在於添加量比例與磚塊品質要求等。一般而言，污泥應用於製磚方面之主要試驗項目為抗壓強度、吸水率、體積收縮率及 TCLP 等。而污泥添加量愈大，其抗壓強度愈低，吸水率及體積收縮率愈高。表 5.4 為國家標準 CNS 對建築用普通磚所規定之規範值。

另外，值得一提的是混凝土空心磚有別於高溫燒製而成之建築用磚，混凝土空心磚則是使用水泥固結骨材而成之磚。根據國家標準 CNS 8905 A2137 混凝土空心磚規範，混凝土空心磚可依品質分為 A 種磚（普通輕質基本磚）、B 種磚（防水中質基本磚）、C 種磚（普通重質橫筋磚），如表 5.5 乃針對上述 A、B 與 C 三種磚所訂定之規範值。

一般混凝土空心磚可再依單位重分為重質磚（ $>2,002 \text{ kg/m}^3$ ）、中量質磚（ $>1,680 \text{ kg/m}^3$ 至 $\leq 2,002 \text{ kg/m}^3$ ）及輕質磚（ $>1,362 \text{ kg/m}^3$ 至 $\leq 1,682 \text{ kg/m}^3$ ）等三類，混凝土空心磚之尺寸亦有相關規定值如表 5.6 所示。

2. 水泥原料替代資源化技術

水泥廠生產水泥所需之原料包括石灰石、黏土、矽砂、鐵渣及石膏，其中石灰石、黏土、矽砂及鐵渣係送入至旋窯製成熟料之生料，石膏則是熟料送入水泥磨時所需添加之摻料。水泥製造之過程除原料之開挖外，主要包括生料研磨、熟料燒成、熟料冷卻、水泥研磨及包裝出貨等五個程序，其製造流程如圖 5.28 所示。污泥則可於水泥生料中添加以取代部分之黏土，一般添加率以不超過 0.1% 為宜。至於國內常見之水泥種類，以波特蘭水泥為主，另有應用於水泥壩料的砌壩水泥。該二類水泥皆有其相關規範，表 5.7 與表 5.8 分別是波特蘭水泥之化學與物理性質標準規定表。

表 5.4 國內現行之建築用磚規範值

種類	吸水率	抗壓強度	尺寸許可差
一級磚	$< 15\%$	$> 150 \text{ kg/cm}^2$	15%
二級磚	$< 19\%$	$> 100 \text{ kg/cm}^2$	20%
三級磚	$< 23\%$	$> 75 \text{ kg/cm}^2$	30%

註：建築用普通磚之尺寸應為長 230 mm、寬 110 mm 及高 60 mm。

資料來源：CNS 382 R2002，1978 年。

表 5.5 混凝土空心磚相關規範值

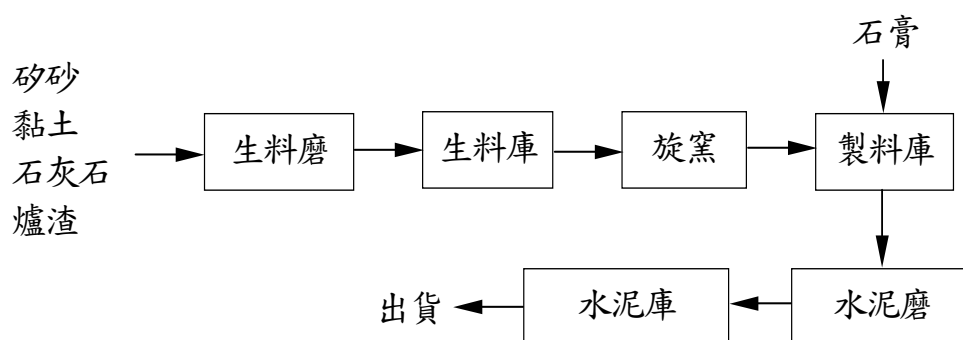
種類	氣乾容積比重	全斷面抗壓強度(kgf/cm ²)	吸水率(g/cm ³)	透水性(cm)	最大吸水率之含濕率(%)
A 級磚	<1.7	40	0.45	10 以下	40 以下
B 級磚	<1.9	60	0.35	10 以下	40 以下
C 級磚	—	80	0.20	10 以下	40 以下

資料來源：CNS 8905 A2137，2000 年。

表 5.6 混凝土空心磚相關規範值

形 狀	尺 度			許可差
	長度	高度	厚度	長、寬與厚度
基本磚	390 mm	190mm	190mm	±2mm
			140mm	
			90mm	
異形磚	與基本磚尺度相同之橫筋磚與角磚，其尺度及許可差比照基本磚			

資料來源：CNS 8905 A2137，2000 年。



資料來源：經濟部工業局，半導體業廢棄物資源化技術手冊，2001 年 12 月。

圖 5.28 水泥製作流程

表 5.7 CNS 61 R2001 卜特蘭水泥規範化學成分標準規定

水泥型別	I	I A	II 及 II A	III 及 III A	IV	V
二氧化矽 最小值%	—	—	20.0	—	—	—
氧化鋁 最大值%	—	—	6.0	—	—	—
氧化鐵 最大值%	—	—	6.0	—	6.5	—
氧化鎂 最大值%	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
三氧化硫 最大值%						
當鋁酸三鈣為 8% 以下時	3.0	3.0	3.0	3.5	2.3	2.3
當鋁酸三鈣為大於 8% 時	3.0	3.5	*	4.5	*	*
燒失量 最大值%	3.0	3.0	3.0	3.0	2.5	3.0
不溶殘渣 最大值%	4.30	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
矽酸三鈣 最大值%	—	—	—	—	35	—
矽酸二鈣 最小值%	—	—	—	—	40	—
鋁酸三鈣 最大值%	—	—	8	15	7	5
鋁鐵酸四鈣加兩倍之鋁酸三鈣或固溶體採用兩者中之最適合者 最大值%	—	—	—	—	—	25.0

註：符號“*”表該項不適用。

資料來源：CNS 61 R2001，2001 年。

表 5.8 CNS 61 R2001 卜特蘭水泥規範物理性質標準規定

水泥型別	I	I A	II	II A	III	III A	IV	V
塢料之空氣含量，體積百分率：								
最大值，%	12.0	22.0	12.0	22.0	12.0	22.0	12.0	12.0
最小值，%	—	16.0	—	16.0	—	16.0	—	—
細度或比表面積 m/kg^2 （兩者選一）								
濁度計法，最小值	160	160	160	160	—	—	160	160
氣透儀法，最小值	280	280	280	280	—	—	280	280
強度，各試驗齡期強度不得少於下列各值：								
抗壓強度(psi)								
1 天	—	—	—	—	1800	1450	—	—
3 天	1800	1450	1500	1200	3500	2800	—	1200
7 天	2800	2250	2500	2000	—	—	1000	2200
28 天	4000	3200	4000	3200	—	—	2500	3000
凝結時間（兩法任用其一）：								
吉爾摩氏針法								
初凝時間（分鐘），不小於	60	60	60	60	60	60	60	60
終凝時間（分鐘），不多於	600	600	600	600	600	600	600	600
費開氏針法								
初凝時間（分鐘），不少於	45	45	45	45	45	45	45	45
不多於	375	375	375	375	375	375	375	375

資料來源：CNS 61 R2001，2001 年。

5.3.3 鋁土污泥（高鋁含量）資源化技術

此處針對污泥組成成分中含高比例的三氧化二鋁為技術說明指標，電子被動元件業中，鋁質電解電容器產業主要關鍵材料為鋁箔，應用於鋁質電解電容器中的鋁箔，生產流程中陽極處理製程後由於廢水處理所產生的污泥，皆含有高比例的三氧化二鋁，其濃度不足以作為濃縮回收鋁元素成為資源化產品，但如能利用其單一成分較高的優勢作為資源化產品生產原料中的摻配料使用，將可以達成有效廢棄物資源化的目標。

如單純以可行之資源化技術來看，鋁土污泥適用前一章節所提到的一般無機性污泥的資源化技術其包含：製磚資源化技術、水泥替代原料資源化技術等，但

考量添加比例（攸關資源化處理量）、資源化產品的穩定性問題，本節將以作為水泥生產替代原料為資源化技術說明。

1.水泥替代原料資源化技術說明

水泥的主要原料是石灰石、粘土、矽砂及鐵渣。由礦區開採之石灰石以破碎機破碎後，以索道或其他輸送設備運送至水泥廠內之石灰石大倉中堆置儲存，由於鋁土污泥的含水率問題與均勻佈料，故一般入料混合與拌料時將鋁土污泥設置於石灰石大倉中，將可以取得較佳的混拌配料效果。水泥生產時，將石灰石（內含固定比例的鋁土污泥）、粘土、矽砂與鐵渣等原料分別自原料大倉刮料再輸送到原料貯槽，依比例稱重混合後送入生料磨研磨成粉狀，其較細之粉末則經由靜電集塵機收集，再以滑運機送入生料庫中進行勻和及貯存，生料磨係利用旋窯之廢熱氣將研磨之原料加以乾燥。

生料自生料庫以滑運機送出，經稱重後進入預熱機中利用旋窯產生之熱氣加以預熱，預熱後之生料再進入旋窯中燒成。旋窯係為水泥製造流程之心臟，為重要核心，為氣、固直接加熱型態，即生料與高溫氣體成逆流方式進行熱交換，以提高生料之溫度。

除最初點火加溫時使用重油外，整個燃燒過程中，煤粉自旋窯出口端噴入燃燒，而生料則由預熱機入口端進入，並徐徐向窯出口端推進。生料進入點溫度約為 400°C ，至熟料生成約為 $1,550^{\circ}\text{C}$ 之加熱過程中燒成。該 400°C 之高溫廢氣經由噴霧塔冷卻降溫，以霧水噴灑廢熱氣使之降溫至 250°C ，再經由生料磨乾燥原料使廢熱氣之溫度繼續降至 $100\sim 110^{\circ}\text{C}$ ，以確保靜電集塵機之處理效率。

生料經高溫加熱起反應作用成熔融狀之化合物，其由旋窯出口端進入冷卻機，以大量冷空氣急速冷卻至 120°C 左右，即得綠黑色結晶粒狀生成物之熟料。冷卻機前段之較高溫廢氣($900\sim 1,100^{\circ}\text{C}$)尚可引入旋窯及預熱機供作二次空氣之使用，而中段之較低溫廢氣則可引入煤乾機及煤磨機中供作乾燥之用，而後段主要大量廢氣則以靜電集塵機集塵後排放。

冷卻後之熟料係送入熟料庫中貯存，研磨水泥時再經稱重機出料稱重後與 5% 左右之石膏混合送入水泥磨中研磨，再經由選粉機進行粗細分離，成品水泥送入水泥庫貯存，再經包裝機或散裝水泥出料系統以袋裝或散裝水泥方式出貨。水泥製造流程中原料、半成品（熟料）及成品（水泥）等全屬乾料之操作，於貯存、輸送、裝卸及包裝等過程中為避免粉塵污染環境，設置集塵機及靜電

集塵機進行防制污染處理，使廢氣排放口之粉塵含量低於規定標準。鋁土污泥作為水泥原料替代資源化流程如圖 5.29。

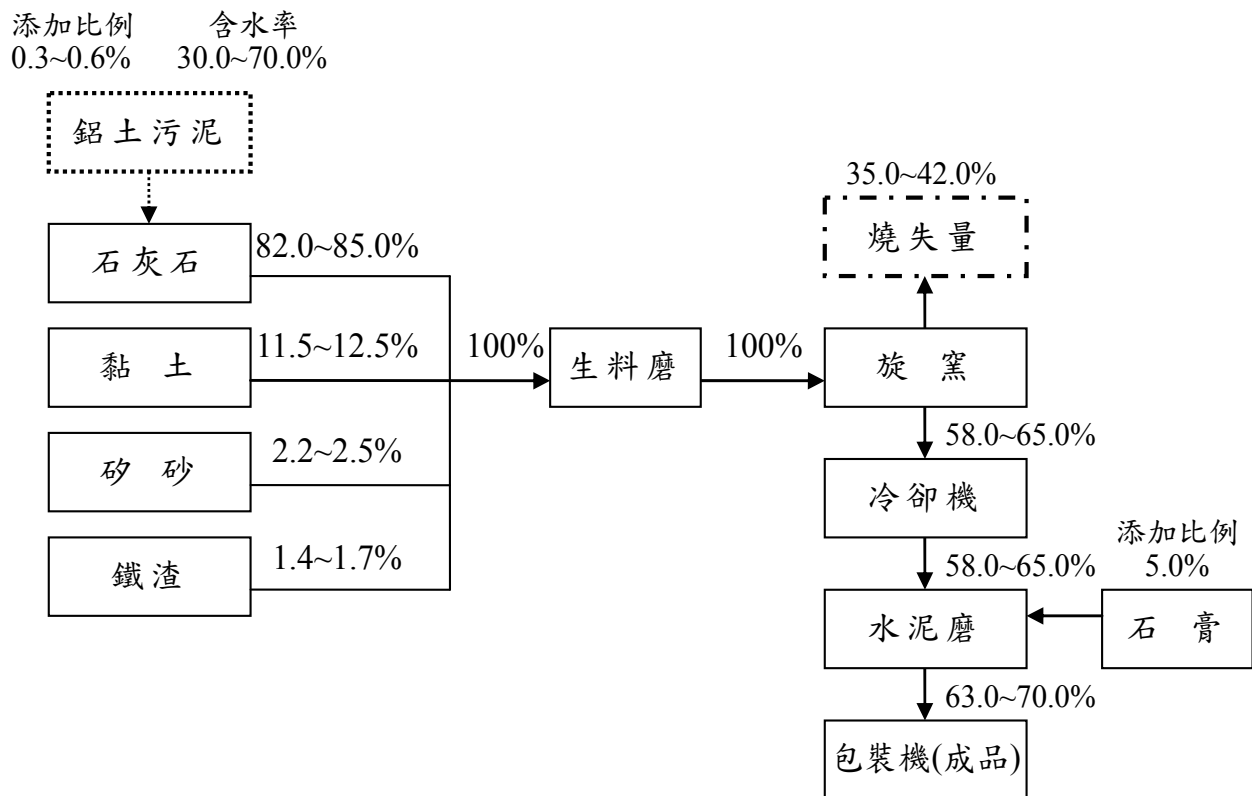


圖 5.29 鋁土污泥作為水泥替代原料資源化流程圖

2. 資源化技術考量原則

水泥窯作為廢棄物資源化設備由於其具有高 3T 的優勢，故形成強大的涵容能力，一般廢棄物在不含有高氯、高鹼度的前提下，以低比例添加的方式配合生產配方的調整皆能夠透過生產管制的手段將資源化產品（水泥）達到 CNS 的標準。以符合 CNS 61 R2001 卜特蘭水泥規範為目標，資源化前應考量的原則如下：

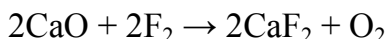
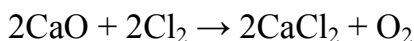
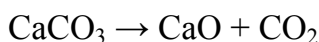
(1) 高溫製程中分解後結合為氯化鈣與氟化鈣之影響

水泥旋窯之燒成帶溫度為 $1,550^{\circ}\text{C}$ ，窯長度超過 70 公尺以上， $1,000^{\circ}\text{C}$ 以上之熱氣滯留時間約 5~10 秒。氯在 $1,550^{\circ}\text{C}$ 之燒成帶分解，且存在於碳、氫、氯等組成之高溫氣流裡，在高溫中與充滿氧化鈣之粉體混合，且有 5~10

秒之反應時間，故足以完成化學反應。若有未完成化學反應之氯隨熱氣流離開旋窯進入四級之懸浮式預熱機，將使氯回流入窯與氧化鈣再次進行化學反應結合成氯化鈣，如此反覆循環終使氯存在於熟料中，不致造成排氣污染。

美國、加拿大、瑞典、波多黎各、挪威等國家利用水泥窯處理有害廢棄物之毀解率（Destruction and Removal Efficiency，簡稱 DRE）達到 99.999%，且添加之鋁土污泥以無機物質為主，因此氯經旋窯生產流程將不會產生戴奧辛(Dioxins)之有害物。鋁土中之氯成分與水泥原料中之氧化鈣將化合成為安定之氯化鈣存在於水泥，氯成分亦與氧化鈣化合成為安定之氯化鈣，而達到無害化處理之目的，不會排出氯氣體。

其反應過程如下：



(2) 氯離子可能之影響（氯離子含量相關 CNS 規定請參閱表 5.9）

污泥之氯來源為水洗等相關作業，而某些工廠係使用地下水，為避免藻類滋生，故加入 NaOCl 3~5 mg/L，故就以此資料說明其可能影響如下：

A. 水泥廠旋窯設計處理量假設為 230 T/H，處理排氣量為 4,500 Nm³/min，處理效率為 99.9900%，由此資料推估，假設添加藥劑中之氯離子可完全轉移至鋁土污泥中，則換算排出氯氣含量為 4.70042×10^{-9} ppm，遠低於排放標準(30 ppm)，周界管制標準(0.02 ppm)；且換算出水泥中之氯離子含量為 0.00175 g/kg，遠低於自然界中氯離子在旋窯中平均含量 0.858 g/kg，故對於水泥旋窯應不會造成影響，其計算過程如下：

本計算係假設以 NaOCl 進行消毒，而 OCl⁻ 完全進入廢水污泥，且該污泥添加進入水泥當原料時，OCl⁻ 亦會排出之情況下所進行。

地下水用量： 1,370 CMD

NaOCl 添加量： 5 mg/l (6.9 kg/d)

OCl⁻ 存在量： 4.7 kg/d

廢水污泥產生量： 4,000 kg/d

OCI⁻於污泥之含量： 506 ppm

石灰石中鋁土污泥添加率： 0.6%（預定添加比例）

水泥中石灰石含量： 83.6%

Cl⁻於水泥之含量： 1.75 ppm（0.00175 g/kg，遠低於水泥中之氯化物含量）

旋窯設計處理量： 230 T/hr

處理排氣量： 4,500 Nm³/min

處理效率： 99.9900%

計算推估排出Cl⁻： 149 ng/Nm³

換算為氯氣(Cl₂)含量 4.70042×10^{-9} ppm

相關法令標準：氯氣 30 ppm（排放管道）

0.02 ppm（周界）

B.依據以上之標準式反推出鋁土污泥中氯含量為 7.444×10^6 ppm(7,444 g/kg)時，經旋窯處理後，排放廢氣中的氯含量才會超出周界管制標準(0.02 ppm)，且因氯含量已超過 100%為不可能存在之情況，亦即鋁土污泥均為氯離子所構成，其廢氣中之氯含量也不會超過周界管制標準。

假設Cl⁻於水泥之含量： 7.444×10^6 ppm(7444 g/kg)

旋窯設計處理量： 230 T/hr

處理排氣量： 4,500 Nm³/min

處理效率： 99.9900%

計算推估排出Cl⁻：

$230 \text{ T/hr} \times 7.444 \times 10^6 \text{ ppm} / 60 \text{ min/hr} / 10^9 / 4,500 \text{ Nm}^3/\text{min} \times (1 - 99.9900\%)$
 $= 6.34 \times 10^8 \text{ ng/Nm}^3$

換算為氯氣(Cl₂)含量 0.02 ppm

相關法令標準：氯氣 30 ppm（排放管道）

0.02ppm（周界）

(3)鹼含量過高之影響

參考 CNS 61 R2001 卜特蘭水泥規範化學成分任選規定，水泥成品一般皆自行規範要求，除符合上述氯含量要求外，鹼度要求也是其中之一，故添

加鋁土污泥前應控制鹼含量的濃度，避免造成水泥產品超出標準，影響水泥品質，其規定如表 5.9。

表 5.9 CNS 61 R2001 卜特蘭水泥規範化學成分任選規定

水泥型別	I 及 IA	IA 及 IIA	III 及 IIIA	IV	V	備註
鋁酸三鈣 ⁽¹⁾ (C ₃ A) 最大值，%	-	-	8	-	-	適用於抵抗中 度硫酸鹽侵蝕
鋁酸三鈣 ⁽¹⁾ (C ₃ A) 最大值，%	-	-	5	-	-	適用於抵抗中 度硫酸鹽侵蝕
矽酸三鈣 ⁽¹⁾ (C ₃ S)及鋁 酸三鈣(C ₃ A)之和 最大值，%	-	(2) 0.6	-	-	-	適用於中度水 合熱
鹼類(Na ₂ O+0.65K ₂ O) 最大值，%	(3) 0.6	(3) 0.6	(3) 0.6	(3) 0.6	(3) 0.6	低鹼水泥
氯離子(Cl ⁻) 最大值，%	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	-

5.3.4 無機污泥資源化技術評析

無機污泥資源化技術需依據污泥種類而定，其種類繁多，回收技術也隨之多樣化；一般性無機污泥資源化則多為燒製磚塊或回收至水泥窯。國內重金屬污泥常用之資源化技術包括氨浸萃取、置換-電解、酸浸漬及乾燥氧化還原等，目的均為將金屬分離與純化，提煉高價金屬銷售。表 5.10 將重金屬污泥資源化技術的種類及原理加以彙整，表 5.11 則將這些資源化技術的特點加以評析，同時也將這些資源化技術，與高溫熔融法及固化法兩種最終處理技術一併比較。特別要注意的是：氨浸法有產生二次污染之慮；酸浸法不適合混合型態污泥，有產生二次污染之慮；置換電解法及乾燥氧化還原皆不適合混合型態污泥。

成大及台大的研究團隊曾將重金屬污泥資源化及處理技術，分成氨浸法（代碼 T1）、酸浸法（代碼 T2）、高溫熔融（代碼 T3）、固化（代碼 T4）四類，針對技術之潛力評估的要求，考量技術面、經濟面及環境面，運用一般最佳可行技術（BAT）之評選架構及層級分析法（AHP），嘗試建構技術潛力評估方法，將 6 項技術應用潛力指標包括技術成熟性（代碼 SC1）、技術安全性（代碼 SC2）、易推動性（代碼 SC3）、淨收益（代碼 SC4）、二次污染性（代碼 SC5）、資源化程

度（代碼 SC6）進行量化研究，如圖 5.30 所示。以電路板業所產生的重金屬污泥作為範例，進行分析。層級分析法由專家對技術評準進行評判給分，經過問卷計算所得，4 項資源化技術所得之總權重得分整理於表 5.12，結果顯示 4 項技術之排名為酸浸法、固化、氨浸法、高溫熔融，因此在此研究中之最具潛力技術為酸浸法，其次則仍沿用現有之固化法。就此初步分析，對於氨浸法及熔融法而言，專家的評分顯示仍有較多的顧慮。由圖 5.31 可得 4 項技術分別在 6 項次評準所得之權重得分，由於 SC1、SC4 及 SC5 之權重較高，且 T2 在 SC4 與 SC5 之得分較高，意即酸浸法的優勢在於其可達到較高之淨收益及較低之二次污染，因此才有較高之總權重得分；而固化（T4）之技術成熟性（SC1）最高，但資源化程度（SC6）卻為最低；高溫熔融（T3）在技術成熟性（SC1）、技術安全性（SC2）及易推動性（SC3）皆低於其他技術，因此其總權重得分為最低。而由圖 5.31 可得 4 項技術分別在 3 項主評準所得之權重得分，由於經濟性之權重較高，酸浸法（T2）在此項所得得分為最高，而固化（T4）在技術性考量占有最大優勢，但於經濟性及環境性則皆差於其他技術；氨浸法（T1）的總得分些微落後固化法（T4），其遜色的地方在於技術面，但另兩項主構面的得分則略高，可見氨浸法在提高其穩定度及成熟度之後仍有可能取而代之；高溫熔融（T3）在技術性與環境性所得之權重得分較低於其他技術，而失去其優勢。

國內重金屬污泥資源回收管道，以具共通性及數量較多之電鍍製程廢水處理污泥（A-8801 電鍍污泥）和污染防治設施或製程產生之含銅污泥（C-0110 含銅污泥）為例，依據環保署申報資料統計每年產生量約 5 萬公噸，因具回收金屬價值，促使再利用業者以較低清理費用投入處理市場，此再利用業之收受廢棄物費用（含銅污泥約 5 元/公斤）較固化處理業者（含銅污泥大於 10 元/公斤）低，使得固化處理喪失競爭優勢，市場占有率由 2002 年至 2003 年約萎縮 50%，因而轉為進行資源回收再利用。

表 5.10 重金屬污泥資源化技術

類別	原理簡介
氨浸萃取 (多種金屬污泥)	以含氨之碳酸鹽溶液作為浸漬劑，將氫氧化物污泥中之鎳、銅、鋅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酸後會繼續水解，再度形成氫氧化物沉澱而留在污泥中，故系統中可溶性鐵、亞鐵及三價鉻之含量極低。可溶性錯銨酸鹽經過濾後，浸漬殘渣部分可經乾燥、煅燒、萃取而資源化成鉻黃與鐵黑產品；而濾液主要是銅、鎳、鋅之錯銨酸，經通入蒸氣解離後會形成鹼式碳酸鹽沉澱並回收氨，之後加入硫酸溶解而形成銅、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。
酸浸漬 (單一銅污泥)	利用酸在溶提槽中與污泥充分攪拌混合，藉由酸之溶提能力，將污泥中之重金屬由固相轉移到液相。完全溶提後，將過濾後之酸溶液置換，因其銅離子還原電位甚高，故加入鐵粉將其還原出來。待完全置換後加入沈澱劑，沉澱鉛、鎳、鋅等離子。其過濾後之污泥仍有重金屬殘留其中，故須進行反沖洗，利用清水反洗污泥餅，以充分達到污泥無害化。
置換-電解 (含鋅之多種金屬污泥)	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，不可溶之部分（濾渣）送往不含鋅污泥之處理系統，濾液則送往置換系統。在置換系統內，加入足量之鋅粉，使鉛、鎘等陰電性較鋅高之金屬沉澱出來，再經乾燥後即可出售。此時，溶液中僅剩鋅以鋅酸鈉之形態存在，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。
置換-電解-結晶 (不含鋅之多種金屬污泥)	以硫酸浸洗，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）經乾燥後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HBO ₃ 之形態回收，硝酸鹽則被分解為氮與水等物質，經加水過濾後便可送往鐵回收系統，鐵被轉化成硫酸亞鐵之形態回收後可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鏽鋼工業。經鐵鉻回收系統後之殘餘濾液中僅剩銅及鎳，利用電解法回收銅，純度可達99%。僅含鎳之殘餘液利用蒸發結晶法，蒸發去除濾液中之水分以提高H ₂ SO ₄ 濃度，NiSO ₄ 因此得以結晶析出。鎳在其鹽類中之含量約 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%，可以回收利用。
磷酸浸漬	使用20%磷酸及2%H ₂ O ₂ 浸漬活性污泥，其中含重金屬As、Cd、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb、Zn和 Fe、Mn等金屬成分。經過1小時的浸漬，除Cr、Fe、Hg的溶出率在50-60%之間，其餘金屬元素可達80%以上，而Pb的浸出率更可達100%，其後再利用樹脂離子交換法回收金屬成分。

表 5.10 重金屬污泥資源化技術(續)

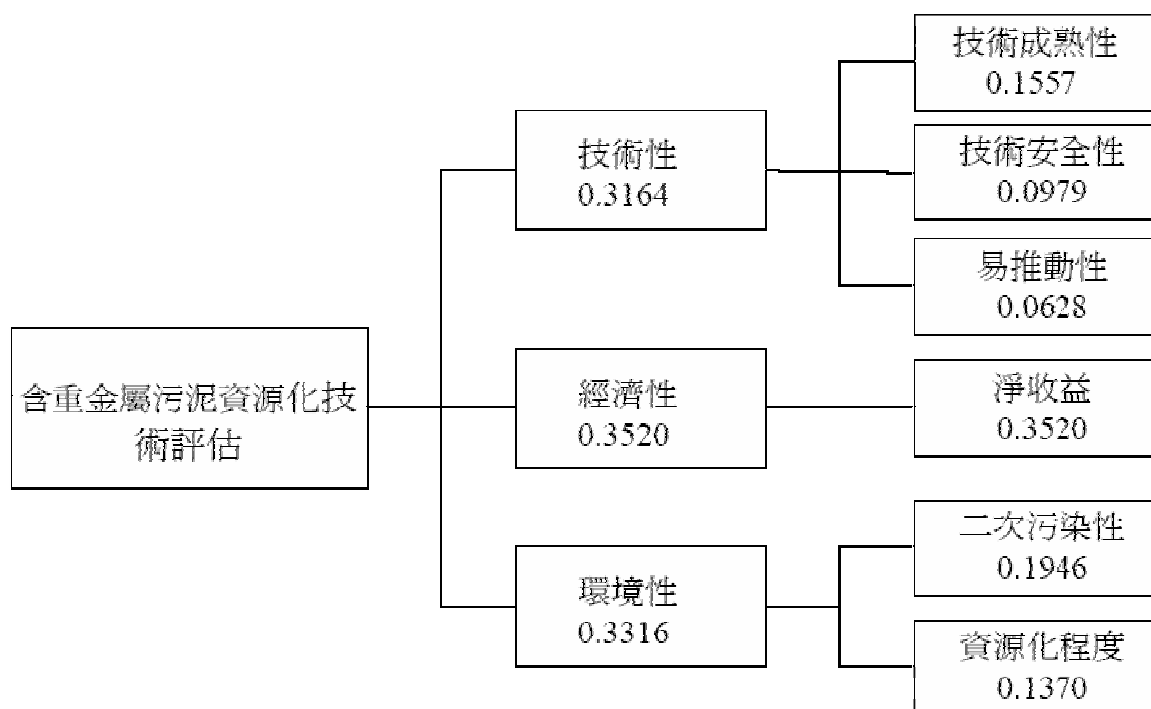
類別	原理簡介
酸浸漬及煅燒	將重金屬污泥經曝氣硫酸浸漬後，在浸漬液中添加50%NaOH，調整pH至6.0使產生沉澱，再將沉澱物經800~900℃煅燒後，可以生成如 FeAl_2O_4 等難溶於酸之尖晶石礦物相及氧化銅相，因此利用酸浸漬可以獲得較純的含銅溶液，最後再加入50% NaOH使產生氫氧化銅沉澱。
乾燥氧化還原（含銅污泥）	於600~750℃下將污泥中之水分完全蒸乾，並使污泥中之金屬氫氧化物轉化成金屬氧化物，再於1,300~1,600℃高溫下，加入焦炭進行熔煉，使金屬氧化物還原為金屬。於熔煉過程中，加入含矽化物之造渣材料，結合鐵氧化物成為熔點較高之複合物，以提高銅之純度，所得銅之純度約為90%左右。為再提高銅含量，可再以電解方式進行精製工程。

資料來源：林冠嘉，國內重金屬污泥資源回收再利用現況，資源化產業資訊電子報，第22期，2005年3月。

表 5.11 含重金屬污泥回收資源化及處理技術特點評析

技術種類		比較項目	優點	缺點	產品／用途
濕式法	氨浸法		·資源化市場成熟 ·初設費及操作費低 ·處理彈性大	·有產生二次污染之慮	化工原料
	酸浸法		·初設費及操作費低	·不適合混合型態污泥 ·回收產品層次低 ·有產生二次污染之慮	化工原料
	置換電解法		·回收產品層次高	·初設費及操作費高 ·不適合混合型態污泥	化工原料
乾式法	乾燥氧化還原		·資源回收效益高	·不適合混合型態污泥 ·造價高 ·操作費用高	單一金屬， 金屬鹽類／ 色料
高溫熔融法			·處理污泥型態廣泛	·造價高 ·回收產品層次低 ·操作費用高	玻璃態固體 ／ 建材，藝術品
固化法			·初設費低 ·處理容易	·資源回收效益低 ·處理成本高	建材、鋪路、填土

資料來源：資源化產業資訊電子報，第3期，2003年6月。



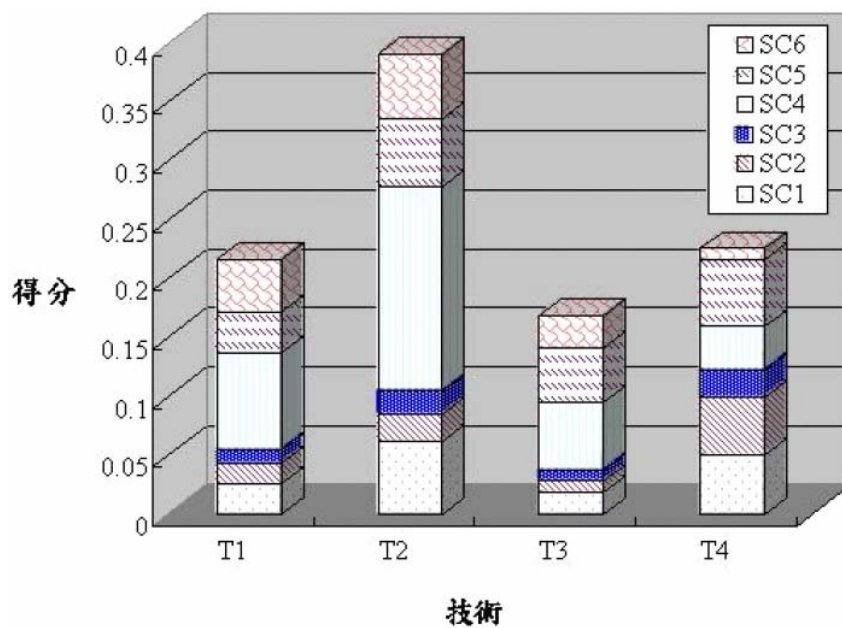
資料來源：施勵行、謝孟芳、蕭宏荊、周瑋珊、蔡敏行，重金屬污泥资源化技術發展及潛力評估架構，工業污染防治季刊，PP.151~172，第 91 期，2004 年。

圖 5.30 重金屬污泥资源化及處理技術之六項應用潛力指標之各階層評準所得之權重

表 5.12 四項重金屬污泥资源化及處理技術所得之總權重得分

技術名稱	總得分	技術面得分	經營面得分	環境面得分
氨浸法 (T1)	0.2160	0.0538	0.0828	0.0794
酸浸法 (T2)	0.3909	0.1042	0.1738	0.1129
高溫熔融 (T3)	0.1679	0.0367	0.0580	0.0732
固化 (T4)	0.2252	0.1216	0.0374	0.0662

資料來源：施勵行、謝孟芳、蕭宏荊、周瑋珊、蔡敏行，重金屬污泥资源化技術發展及潛力評估架構，工業污染防治季刊，PP.151~172，第 91 期，2004 年。



資料來源：施勵行、謝孟芳、蕭宏荊、周瑋珊、蔡敏行，重金屬污泥資源化技術發展及潛力評估架構，工業污染防治季刊，PP.151~172，第 91 期，2004 年。

圖 5.31 四項重金屬污泥資源化及處理技術在六項技術應用潛力指標評準中所得之累加權重得分

5.4 廢溶劑資源化技術

廢溶劑之種類複雜，其產生源大體上可分為兩類，溶劑製造商及溶劑使用商，一般而言，溶劑製造商除國外進口者，均歸屬於化學原料製造業工廠；而溶劑使用商則涵括之行業別較多，多作為製程中清洗、表面塗裝或作為添加劑之用，如電子業、半導體業、電機製造業、汽機車及自行車製造業、油漆製造業、乾洗業及印刷業等工業，均在生產過程中產生不同之廢溶劑，除了有污染環境之虞外，在作業環境中亦有安全及衛生等相關問題。

廢有機溶劑污染性高、處理不易，亦為被動電子元件業困擾的廢棄物處理問題之一，而被動電子元件業常見之廢溶劑為甲苯、丙酮、異丙醇及乙醇等，依據環保署事業廢棄物管制中心 94 年度相關申報資料顯示，目前仍以委託清理方式的方式為主。一般常見之廢溶劑資源化處理方式可分為廢溶劑回收處理後再利用、焚化處理以及作為輔助燃料，下面就各資源化技術說明如下。

5.4.1 廢溶劑回收處理再利用

一般廢有機溶劑可分廢氣與廢液兩大類，且大多數的有機溶劑（常見有機溶劑物化性質詳表 5.13）皆屬易燃、易爆物，縱使為不燃性也具有相當程度的毒性，所以在安全性的考慮上是極為重要的，應予以正視並妥善處理之。

廢溶劑回收處理方式可分為氣態回收及液態回收處理，其處理方式分別說明如下。

1. 氣態廢溶劑回收處理方式

依據國內外文獻資料，有關氣態廢溶劑回收處理方式彙整如下。

(1) 低溫冷凝法

此法適合有一定溫度沸點之有機高濃度廢氣，將其導入冷凝管低溫冷凍，使溶劑冷凝析出，所得之溶劑可回收再利用，但設備較複雜。但當廢氣中溶劑濃度過低時，冷凍能源消耗大於回收溶劑之利益，並不符合經濟效益。

具代表之有機氣體回收系統為布雷登循環溶劑回收流程（詳如圖 5.32 所示），該系統是以具冷卻與加熱能力之布雷登熱泵為基礎所設計出之一種具經濟及高能源效率之系統。此用於冷凝回收溶劑的系統，極具市場發展潛力。

表 5.13 常見之有機溶劑

名 稱	沸點 (°C)	密度 (g/cm ³)	特 性	名 稱	沸點 (°C)	密度 (g/cm ³)	特 性
二氯甲烷	40.1	1.335	醚香、不燃	醋酸丁酯	116.5	0.869	水果香、易燃
三氯甲烷	61.2	1.485	特臭、不燃	醋酸戊酯	134.0	0.864	芳香、易燃
三氯乙烷	75.0	1.325	芳香、不燃	甲基乙基酮 (MEK)	79.6	0.0826	丁酮香、易燃
四氯化碳	76.74	1.585	不燃、有毒	丙酮	56.1	0.797	芳香、易燃
三氯乙烯	86.7	1.459	醚香、不燃	丁酮	79.6	0.826	丙酮香、易燃
四氯乙烯	121.00	1.625	醚香、不燃	甲基異丁基 酮(MIBK)	115.8	0.804	芳香、易燃
甲醇	64.5	0.792	易燃	苯	80.1	0.879	芳香、易燃
乙醇	78.0	0.816	葡萄酒香、易燃	甲苯	110.70	0.860	苯味、易燃
異丙醇(IPA)	82	0.785	橡膠酒精味	二甲苯	137.20	0.860	淡苯味、易燃
丁醇	99.5	0.805	強烈香、可燃	己烷	68.742	0.660	芳香、易燃
戊醇	137.80	0.824	特臭、可燃	二甲基甲醯 胺(DMF)	152.8	0.953	可燃
醋酸甲酯	54.05	0.924	芳香、易燃				
醋酸乙酯	78-80	0.886	芳香、易燃				
醋酸丙酯	96-102	0.887	芳香、易燃				

註：粗體字為被動電子元件業常使用之有機溶劑。

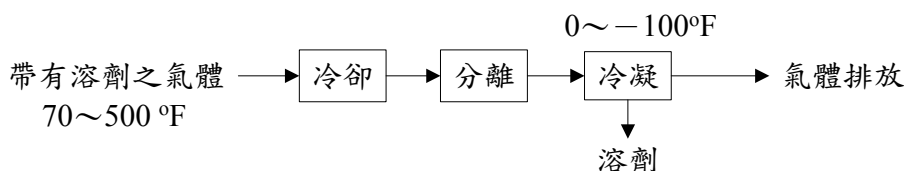


圖 5.32 布雷登有機溶劑回收流程圖

(2) 溶劑吸收法

溶劑吸收法適用於連續產生低濃度廢氣之作業場合，當吸收劑之溶劑達到飽和（即二分壓相等），趨於平衡時吸收終止，之後對飽和之吸附劑加溫，被吸收之成分依沸點不同，依序自吸收劑中逸出，經冷凝後分離之。再生後之吸收劑可重複使用，惟應注意吸收劑之選擇。此法亦可與自動化系統同時規劃，使製程連續化，藉吸收、蒸餾、分離以達淨化廢氣之目的，吸收法回收流程如圖 5.33 所示。

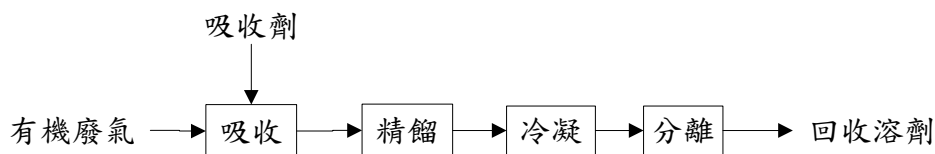


圖 5.33 溶劑吸收法流程圖

(3) 活性碳吸附法

吸附法是固體吸附介質與廢氣分子相互接觸，藉固／氣兩相間之吸引力，氣體分子被固體表面捕捉，而達到淨化的目的。常用的吸附介質是具有大量毛細孔，且比表面積高達 $1,100 \text{ m}^2/\text{g}$ 的活性碳，藉分子間凡得瓦力作用吸附大量廢氣分子。若吸附飽和後可加溫再生，使被吸附的分子釋放出來，吸附劑可再生利用。

再生劑通常使用水蒸氣，然要注意灰塵、雜質等，常會堵塞有效毛細孔並使碳床結垢，影響吸附效果。另外亦可將此法結合催化劑燃燒系統，將固定床改為流動床式，吸附過程改為流動狀態，可有效提高介質吸附效率。傳統的吸附及再生過程如圖 5.34 所示。

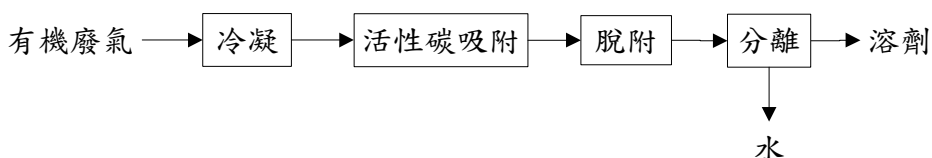


圖 5.34 活性碳吸附再生流程圖

(4) 催化燃燒法

此法適合於連續產生高濃度廢氣之情形，可降低起燃溫度，從直接燃燒之 900°C 降到 300°C 左右，因溶劑轉換為熱能可大量節省能源。催化燃燒法中載體及催化劑的選擇尤其重要，載體需自由空間大、本身磨損小、氣流阻力小、比表面積大且不易產生粉塵與堵塞物者，常用之載體有矽酸鹽類、陶

瓷類及高溫合金類等製品。催化劑則用於載體表面上以增加負載活性，常見之催化劑有貴金屬及硝酸鹽類或氯化物等。催化燃燒法流程如圖 5.35。

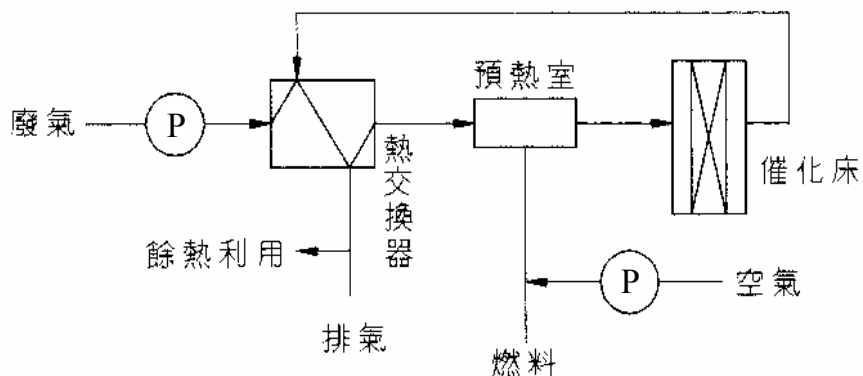


圖 5.35 催化燃燒法流程圖

綜合上述各類氣態廢溶劑回收技術之優缺點比較彙整如表 5.14。

表 5.14 氣態廢溶劑回收技術之優缺點比較

技術名稱	優點	缺點
低溫冷凝法	經濃縮後之回收率高。	1.能源消耗大。 2.對低濃度而言，須配合其他方法。
溶劑吸收法	1.效率穩定。 2.不須蒸氣，無腐蝕及廢水問題。 3.可自動化操作。	對濃度低或流量小於 1,698.9 m ³ /hr 之廢氣而言，不符合經濟效益。
活性碳吸附法	1.可批式操作。 2.對低濃度仍具經濟效益。 3.以氮氣脫附，可回收含氯化物。	1.有碳床阻塞及著火之虞。 2.效率較低，活性碳需再生。 3.部分有遲滯作用，而不易洗出。
催化燃燒法	1.可連續操作。 2.適合高濃度之氣態廢溶劑。 3.廢熱可再利用。	1.需額外提供能源。 2.無法回收再利用。 3.操作溫度雖可降低，但須更換觸媒。

資料來源：工研院環安中心。

2.液態廢溶劑回收處理方式

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

(1)循環再利用

以廢溶劑作為第一度清洗脫脂、剝離舊塗膜、清洗機具或簡單過濾後，直接用於塗料之稀釋添加上。

(2)蒸餾回收法

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

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

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

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

若以異丙醇之蒸餾回收為例，假設原廢溶劑中含異丙醇 90%，其餘為水，則廢溶劑中異丙醇與水之莫耳分率比約為 1.5:0.5(即異丙醇之 X_i 為 0.75)。在一大氣壓下異丙醇之沸點為 82.4°C，亦即該溫度時異丙醇之飽和蒸氣壓為 760mmHg，但相對之該溫度時，水之飽合蒸氣壓僅為 385mmHg，因此初始氣相中之成分絕大部分為異丙醇，蒸餾前段所得到之餾出物，可謂純度極高之異丙醇。然而，隨著氣相中異丙醇被蒸出之比例愈來愈高，液相中異丙醇相對於水之莫耳分率即逐漸降低，所蒸出之氣體中水之比例(P_w 愈大)乃

愈來愈高，亦即蒸餾回收之異丙醇純度愈來愈低。因此，單階段之蒸餾操作所回收之溶劑純度有一定之限制乃屬必然，化工廠之操作其實是藉由多段式之分餾塔反覆調整氣—液相中成分之組成比例，以獲得單一成分組成較高之回收液。但是對於廢溶劑回收處理業者而言，每批次所取得之廢溶劑不僅組成百分比變化不定，連成分亦為大幅度波動，因此操作條件永遠無法固定，換言之，回收之成分難以控制維持一定，這是廢溶劑不可能藉由蒸餾法回收原化學品之主要原因。此外，若除水分外，尚另含二種以上其他成分，則共沸現象更是在所難免，在共沸點(azeotropic point)時所獲得之餾出物永遠維持一定之組成比例，故回收高純度溶劑極為困難。

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

有關廢溶劑之蒸餾流程如圖 5.36 所示。

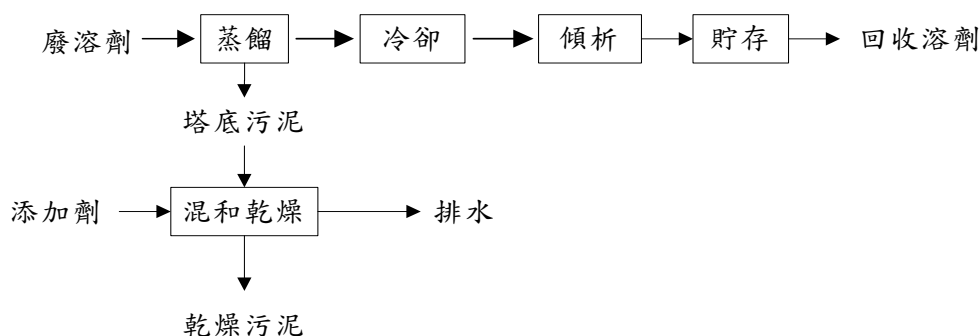


圖 5.36 有機混合廢溶劑蒸餾回收流程圖

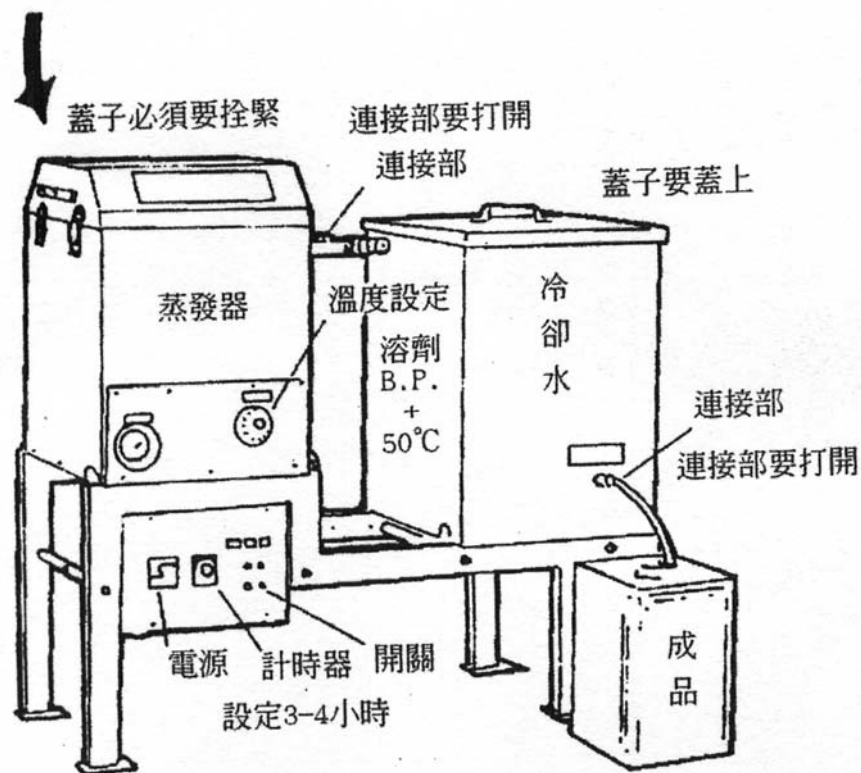
A. 整體回收

本法適合量大且可做全廠的工廠自動化回收系統規劃，並非各廠都適用，要考慮經濟性與合理化。常用於電子業之清洗劑回收以及 PU 合成皮之二甲基甲醯胺(DMF)或膠帶上膠塗布等之自動化作業系統中。其回收原理和有機溶劑廢氣部分之相關處理方法類似（如圖 5.34 及 5.35）；若設計

規劃得當，可節省鉅額費用，降低製造成本，提高企業競爭能力，值得採行，惟初期投資額較大，並非一些小型廠所能承受。

B. 簡易回收裝置

此法為最簡單的現場回收裝置，乃將廢溶劑收集後，在現場以簡易型的溶劑回收裝置（如圖 5.37 所示）加溫簡單蒸餾回收，所需設備投資少，操作簡易，回收之溶劑可再使用，目前國內有不少廠家使用，但回收量限於設備容量，無法大量操作，且在特定狀況下，需考慮防爆需求。



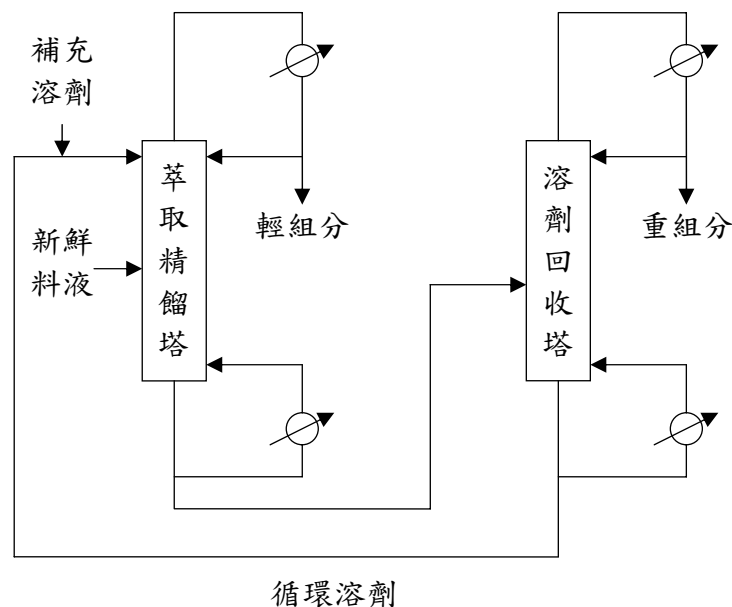
資料來源：國內廢溶劑回收處理及處置現況，工程雙月刊第 74 期第三卷，p.32~41，民國 90 年 4 月。

圖 5.37 廢溶劑簡單蒸餾回收裝置

(3) 萃取精餾法

含水之廢溶劑常會形成共沸物，而須藉由加入新鮮溶劑，利用其與水分及有機成分間之作用力不同，而改變原成分間之相對揮發度，如此即可用一

般之精餾方法予以分離。而新鮮溶劑之沸點又較原有之任一成分為高，將隨底流離開精餾塔，此即萃取精餾。萃取精餾之主要設備為萃取精餾塔，而為了在絕大部分之塔板上能維持較高溶劑濃度，新鮮溶劑之加入口一定要在進料口上端，但又不能從塔頂引入，因為其加入口以上須還有若干塊塔板，以組成溶劑再生段。新鮮溶劑與重成分一起自塔底引出後，送入溶劑回收裝置。一般此裝置皆使用蒸餾塔將重成分自新鮮溶劑中蒸出，再重新返回萃取蒸餾塔使用。整個流程中新鮮溶劑係循環再生利用，故損失不大，只需添加少量補償即可。萃取精餾裝置如圖 5.38 所示。



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

圖 5.38 萃取精餾裝置簡圖

(4) 薄膜(Membrane)分離法

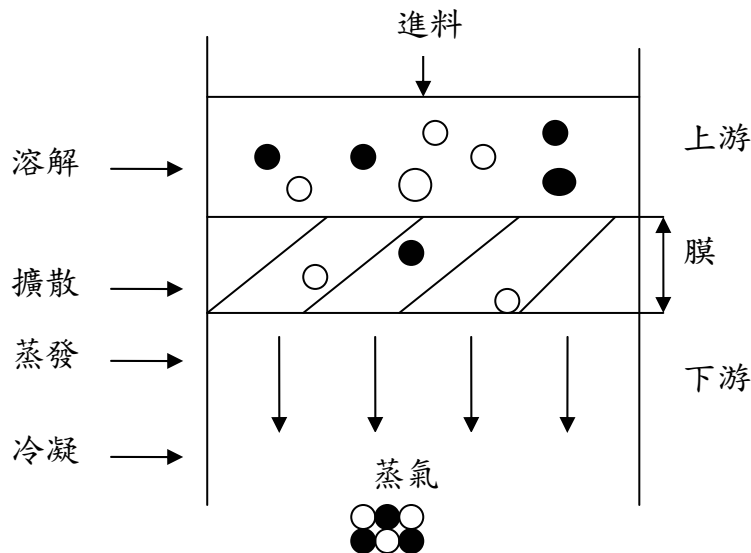
薄膜分離係指分子混合狀態之氣體或液體，經過特定薄膜之滲透作用，改變其分子混合物組成，從而達到使某一種分子與混合物分離之目的。其作用機制是由於分子間之作用力而引起，即所謂之趨動力(Driving force)，來自於薄膜兩側化學勢之差，如壓力差、電位差和濃度差等。在多種薄膜分離法

中，較可能用於廢溶劑回收之操作方法，當屬滲透蒸發及擴散透析兩種。以下即其概要說明：

A. 滲透蒸發

滲透蒸發是液體混合物在膜的一側與膜接觸，其較容易滲透成分溶解在膜上並擴散通過薄膜，在膜的另一側氣化，而達到分離（其原理如圖 5.39 所示）。基於省能源及設備簡單之特點，滲透蒸發程序在分離共沸物、熱敏感混合物和沸點相近溶液方面被廣泛應用。其分離程序主要分成三步驟，包括某一成分溶解而進入薄膜中；於薄膜中傳送；在薄膜之下游界面揮發，同時被帶離薄膜。其優點為：

- 操作簡單，且節省能源，又不占空間。
- 易於分離共沸物，可應用於多成分含水混合物之分離。
- 可處理多重廢溶劑，且不致造成二次污染問題。目前國外經由滲透蒸發技術分離或純化之產物參表 5.15。



資料來源：田民波，劉德全，薄膜科學與技術手冊，機械工業，1991 年。

圖 5.39 滲透蒸發分離

表 5.15 可由滲透蒸發技術分離或純化之產物

種類	化學式	種類	化學式
醇類(Alcohols)	—	酯類(Esters)	—
甲醇(Methanol)	CH ₄ O	醋酸甲酯(Methyl acetate(MeAc))	C ₃ H ₆ O ₂
乙醇(Ethanol)	C ₂ H ₆ O	醋酸乙酯(Ethyl acetate(EtAc))	C ₄ H ₈ O ₂
丙醇 (Propanol(both Isomers))	C ₃ H ₈ O	醋酸丁酯(Butyl acetate(BuAc))	C ₆ H ₁₂ O ₂
丁醇(Butanol(all Isomers))	C ₄ H ₁₀ O	醚類(Ethers)	—
戊醇 (Pentanol(all Isomers))	C ₅ H ₁₂ O	3 丁基甲醚 (Methyl tert-butyl ether(MTBE))	C ₅ H ₁₂ O
環己醇(Cyclohexanol)	C ₆ H ₁₂ O	3 丁基乙醚 (Ethyl tert-butyl ether(MTBE))	C ₆ H ₁₄ O
苯甲醇(Benzyl alcohol)	C ₇ H ₈ O	異丙醚(Di-isopropyl ether(DIPE))	C ₆ H ₁₄ O
酮類(Ketones)	—	四氫呋喃(Tetrahydro furan(THF))	C ₄ H ₈ O
丙酮(Acetone)	C ₃ H ₆ O	二氧陸園(Dioxane)	C ₄ H ₈ O ₂
甲基乙酮 (Butanone(MEK))	C ₄ H ₈ O		
甲基異丁酮 (Methyl isobutyl ketone(MIBK))	C ₆ H ₁₂ O	有機酸類(Organic Acids)	—
芳香族類(Aromatics)	—	醋酸(Acetic acid)	C ₂ H ₄ O ₂
苯(Benzene)	C ₆ H ₆	腈類(Nitriles)	—
甲苯(Toluene)	C ₇ H ₈	乙腈(氰化甲烷)(Acetonitrile)	C ₂ H ₃ N
酚(Phenol)	C ₅ H ₆ O		
胺類(Amines)	—	脂肪族化合物類(Aliphatics)	From C ₃ to C ₈
三乙基胺(Triethylamine)	C ₆ H ₁₅ N	鹵化碳氫化合物類 (Chlorinated hydrocarbons)	—
吡啶(Pyridine)	C ₆ H ₅ N	二氯甲烷(Dichloro methane)	CH ₂ Cl ₂
苯胺(Aniline)	C ₆ H ₇ N	四氯乙烯(Perchloroethylene)	C ₂ Cl ₄

資料來源：

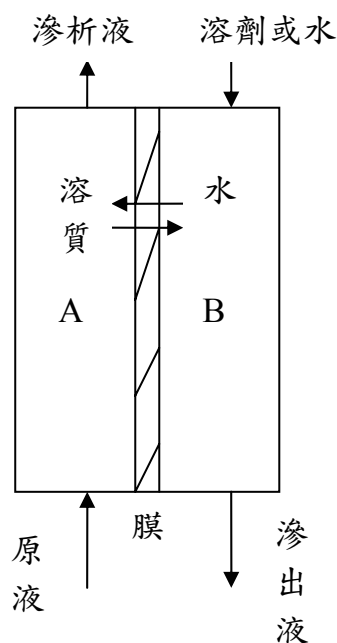
http://www.sulzerchemtech.com/eprise/SulzerChemtech/Sites/products_services/pervap.html。

B. 擴散透析

擴散透析是由於液體相中之小分子，因濃度差而穩定通過多孔隙薄膜並擴散至另一液相，大分子通過薄膜比較困難。如圖 5.40 所示，中間以膜相隔，A 側通入原液，B 側通入溶劑，溶質及溶劑相互進行移動，低分子比高分子擴散速度快。

擴散透析中之擴散，本質上是一種熱力學平衡效應，其現象為溶質由高濃度區移向低濃度區；而透析則是溶液中溶質穿透薄膜之現象。各種不同溶質可藉由其擴散性差異而被分離，使溶質由高濃度區穿透薄膜移向低濃度區。

基於電中性原理，離子交換薄膜兩側均保持離子電位中性。因此，兩側之陰離子必須以等速率方式穿透薄膜而互相交換，或每一陰離子擴散須伴隨一陽離子。由於氫離子之物理尺寸相當小，所以極容易伴隨與其連結之陰離子（如 Cl^- 、 F^- 、 NO_3^- 或 SO_4^{2-} 等）而遷移穿透選擇性離子交換薄膜；相對地金屬離子之物理尺寸較大，所以較不易與其連結之陰離子穿透，但金屬離子滲透(Leakage)仍會發生。



資料來源：田民波，劉德全，薄膜科學與技術手冊，機械工業，1991 年。

圖 5.40 透析原理示意圖

(4)超臨界流體萃取法

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

- A.以 CO_2 為萃取劑時，無毒且不殘餘，安全性極高。
- B.選擇低臨界溫度流體，製程可在低溫操作，適合熱敏感性物質。
- C.萃取劑分離容易，產品品質佳。
- D.在溶解力或分離效率不佳時，可添加少量共溶劑(Cosolvent)調整物性，以提高萃取性能。
- E.可與吸附、層析等分離法並用，以達到高度分離之效果。
- F.質傳速度快，適合高黏度或低濃度物質之處理。

但超臨界流體萃取在實際應用上，仍侷限於特定用途，其缺點為：

- A.須高壓裝置，設備製作困難，投資成本大。
- B.高壓狀態下之物性、相平衡資料不足，萃取機制尚不清楚。
- C.目前實廠放大之營運操作等經濟性資料不足。
- D.分離精密度不足，產品差別化困難，因此在處理對象成分複雜時，選擇率偏低。
- E.共溶劑之選擇須用試誤法，目前尚無理論基礎可預測。

5.4.2 廢溶劑焚化處理

由於廢溶劑在回收溶劑次級品有其應用限制，因此在考慮回收資源化方式之外應考慮其他之處理方式，目前較常使用處理方式為焚化處理。其優點為有效減量、完全破壞分解有害成分；就焚化處理廢溶劑之爐型選擇，一般常使用液體噴注式焚化爐及旋轉窯式焚化爐。另外，由於其含高熱值(8,000~15,000 Kcal/Kg)亦可作水泥窯之輔助燃料。

1.液體噴注式焚化爐

液體噴注式焚化爐(如圖 5.41)用於處理可以泵(Pump)輸送的液體廢棄物，

其結構簡單，通常為內襯耐火材料的圓筒，可裝置一個或多個燃燒噴嘴，廢溶劑通過噴嘴霧化為細小液滴，在高溫火燄區域內以懸浮態燃燒。可採用旋流或直流方式燃燒，以使廢液霧滴與助燃空氣良好混合，增加停留時間（一般燃燒時室停留時間為 0.3~2.0 秒），使廢溶劑在高溫內（溫度 1,100~1,600℃）充分燃燒。

通常廢溶劑混合液之熱值需大於 4,450 kcal/kg，如此可減少補助燃料之供應，降低處理成本。避免使用水分含量超過 60%廢溶劑，因容易發生火燄中斷及不穩定現象。而含有懸浮顆粒的廢液，需要過濾去除以避免堵塞噴嘴或霧化器。另外為需嚴格管制進料之氯含量，一般控制含氯廢溶劑中氯的質量分數 <30%，以限制煙氣中有害氣體氯的含量。

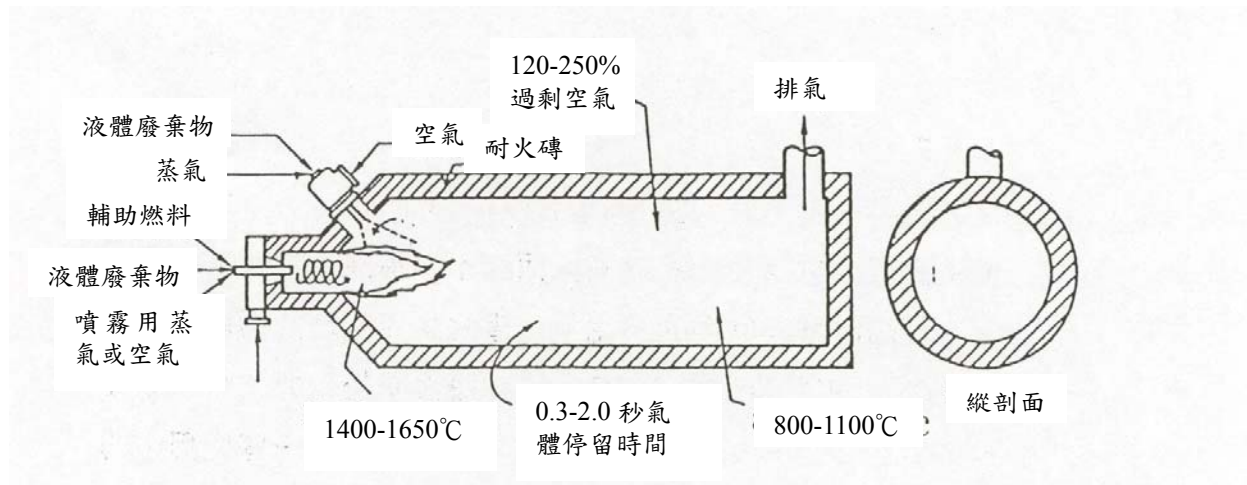


圖 5.41 液體噴注式焚化爐示意圖

2. 旋轉窯焚化爐

旋轉窯焚化爐（如圖 5.42）因爐內操作溫度可高達 1,600℃，可充分破壞含有機鹵素類可燃性有害事業廢棄物，並且適合處理高含水分之廢水污泥，屬多功能之混燒式焚化爐；旋轉窯焚化爐的轉動除了可造成廢棄物的輸送外，更可使廢棄物得到良好的混合，提高其焚化效率。廢棄物在窯內的停留時間通常為一至數小時。

旋轉窯燃燒爐通常稍微傾斜放置，並配以後置燃燒器，旋轉窯一般長徑比 2~10，轉速 1~5 rpm，安裝傾角為 1~3℃，操作溫度上限為 1,600℃。旋轉窯的轉動將廢棄物與燃氣混合，經過預燃和揮發將廢液轉化為氣態和殘灰，轉化後

氣體通過後置燃燒器的高溫區(1,100~1,370°C)進行完全燃燒，氣體在後置燃燒器中平均停留時間為 1.0~3.0 秒。旋轉窯之焚化底灰以重力方式自然掉落底部的濕式或乾式灰渣處置系統，然後裝進移動式槽車中或以輸送帶送至灰渣堆置區，等待運輸至固化處理單元或掩埋場。

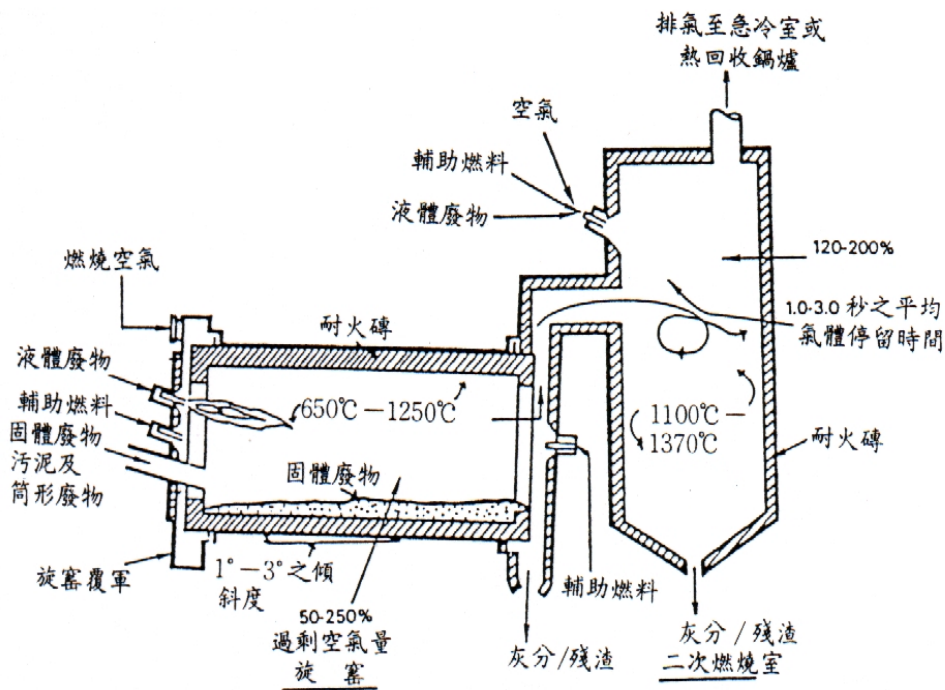


圖 5.42 旋轉窯焚化爐示意圖

5.4.3 廢溶劑作為水泥窯輔助燃料

以廢溶劑作為水泥窯之輔助燃料，除可節省燃料外，亦因其具有達 1,200~1,450°C 高溫、5~10 秒廢氣滯留時間等操作條件，而能有效破壞具毒性之有害廢溶劑。是以國內已有水泥業者利用現有之水泥窯，經過設備擴充後，進行以廢溶劑作為輔助燃料之實廠操作。然而應注意的是，水泥窯仍有其限制，即其不適用於處理鹼性金屬（如鈉、鉀等）或鹽類含量高之廢溶劑，因鈉、鉀等鹽類之沸點及熔點較低，將因窯內高溫而揮發後，混入水泥熟料中，導致水泥品質之劣化。除此之外，以水泥窯處理廢溶劑亦具有下列優點：

1. 一般水泥窯長度約為 50~200 公尺，因溫度區間高、熱負荷率大，不易受廢溶劑之影響。

2. 僅需增加貯槽、混合槽、進料管路、噴霧器等基本設備，即可進行處理，因而投資成本不高及施工期短，且不中斷其生產製程。
3. 只須將鹵素、硫分及重金屬等成分之濃度控制於適當範圍內，即不致增加空氣污染。
4. 水泥原料中之碳酸鈣，可中和燃燒後產生之酸性氣體，以減少 HCl、SO_x 之排放。

在採用廢有機溶劑以取代燃煤或其他燃料時，應就水泥窯本身之操作條件及限制加以考量，而生產之產品品質是否受廢棄物之內容物影響，亦是重要考慮因子。根據國內外實際處理資料，環保署於民國 89 年 11 月 7 日函各環保局，凡符合經濟部工業局所訂「水泥窯或旋轉窯使用廢溶劑作為輔助燃料認定原則」處理廢溶劑之方式，為中央主管機關許可之廢溶劑之處理方式，作為各界再利用之參考依循。其管理內容如表 5.16 所示。

表 5.16 水泥窯使用廢溶劑作為輔助燃料認定原則

廢溶劑特性	認定原則
熱值	大於 2,000 Kcal/kg
灰分	小於 12%
含氮量	小於 1000 ppm，芳香氮不得檢出
含硫量	小於 2%
Pb、Cd、Cr、Zn、As、Hg 等重金屬含量	小於 50 ppm
pH 值	介於 4~12.5 之間

此認定原則自 89 年執行迄今，廢溶劑再利用之技術及用途日趨成熟，其再利用之用途已非僅限作為水泥窯或旋轉窯之輔助燃料，因此環保署考量實際情況，遂於 93 年 1 月 2 日公告自 93 年 9 月 1 日起停止適用前述之認定原則，使以廢溶劑作為水泥窯或旋轉窯輔助燃料之階段性任務暫告完成，經濟部工業局於 95 年 3 月 24 日公告修正「經濟部事業廢棄物再利用種類及管理方式」，使混合廢溶劑（半導體製造業及光電材料及元件製造業所產出者）可逕行再利用作為水泥廠之水泥窯輔助燃料，並應依照相關之再利用規定辦理。

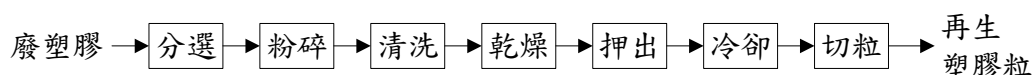
5.5 廢塑膠資源化技術

被動電子元件業的廢塑膠產源主要為製程用高分子、塑膠材料、包裝用廢棄物，形態包括廢塑膠混合物、廢塑膠容器（PS 發泡）。其中製程用廢塑膠非常複雜，包括真空 PE 塑膠袋、廢 PE 膜、OPP 膜、PET 膜、外層保護膠、洩漿用軟塑膠管、透明導管、廢薄帶、雙面膠帶、切割膠片、塑膠捲軸、塑膠空桶。依據環保署事業廢棄物管制中心 94 年度相關申報資料顯示，目前主要處理方式為委託焚化處理、掩埋處理或再製塑膠品，其中再製塑膠品僅占 3.5 %。由於被動電子元件業所產生的各種廢塑膠或包裝材的型態繁多，以下則依不同的原材料及原物料，區分為熱塑性及熱固性廢塑膠，分別敘述其資源化技術。

5.5.1 熱塑性塑膠回收技術

1. 回收單一廢熱塑性塑膠製造再生塑膠粒

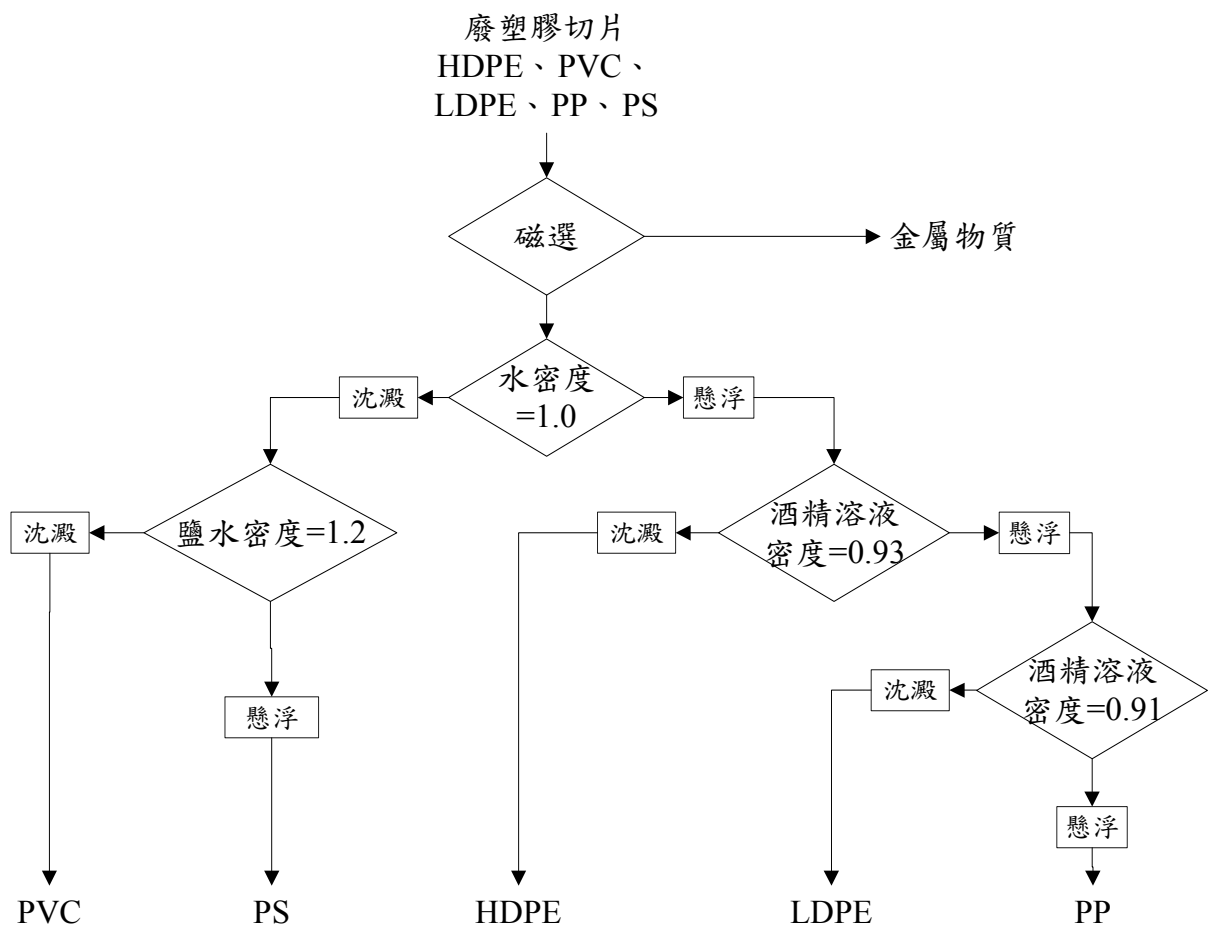
熱塑性塑膠經適當之回收步驟後，可以直接製成再生塑膠粒，若與一定比例之新製塑膠粒混合後，可以製成再生產品。有關再生塑膠粒之處理流程係將廢塑膠收集後，利用粉碎、清洗、乾燥、切粒等程序予以回收，其處理流程如圖 5.43 所示。



資料來源：廢棄物資源化技術資料彙編，經濟部工業局，1999 年 6 月。

圖 5.43 廢熱塑性塑膠原料再生處理流程

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，建議之分選流程如圖 5.44 所示。



資料來源：廢棄物資源化技術資料彙編，經濟部工業局，1999 年 6 月。

圖 5.44 以磁選加比重分選法篩選塑膠流程

2.回收 PE 膜再生拉伸薄膜

LDPE 回收料的一個主要來源是拉伸包裝薄膜，幾乎每個配送服務都使用 LDPE 拉伸包裝薄膜使負荷穩定在貨盤上。這種拉伸包裝薄膜的重要特徵是不含顏料，因此幾乎可以用於各種彩色的場合或產品。傳統上認為，由於膠黏劑的存在，吹塑拉伸薄膜很難回收。以聚異丁烯和丙烯酸膠水等化合物為基礎的膠黏劑使回收技術複雜化，而且黏著性的拉伸包裝薄膜很容易吸附土和雜質。Dow Plastics 和 Advanced Environmental Recycling Technologies 共同研發的回收技術是由拉伸薄膜中除去紙、土和其他雜質，然後使回收薄膜能夠用於薄膜和吹塑製品的生產。Dow 經由安裝有脫氣裝置的排氣式擠出機加工拉伸薄膜，可使膠黏劑的含量由最初的 5% 下降到 0.5%。

3.回收廢 PE 袋製成複合再生材料

前述成分單純之塑膠再生使用時與塑膠生料接近，而成分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。從廢塑膠中分檢出容易回收的 HDPE，剩餘的 PE 袋與其他聚烯烴混合塑料，把混合塑料中摻入 30% 的 PET 或 PS，通過擠出機螺桿的作用，把細粒塑料拉長成直徑約為 10 μ m 的長纖維，這種纖維與纖維補強複合材料類似。其配方如 5.17 所示，操作步驟係將廢塑膠袋去除雜質，洗淨後晾乾，再加熱溶化，使其體積縮小。在雙錕機或熱煉機中加入洗淨後的廢塑膠袋熔融原料、乙烯-乙酸乙烯酯共聚物，加熱升溫進行混煉，混煉溫度以原料可熔化而不黏為佳，一般為 140 $^{\circ}$ C 混煉 10min 後，加入尿素、ZnO、輕質 CaCO₃、偶氮二甲酰胺及過氧化二丙苯，繼續混煉 5 min。混煉塑化均勻後，拉片出來即可得到發泡物料片，剪裁整齊。廢塑料複合材料可代替木材等牆體材料、隔音隔熱材料及天花板等。

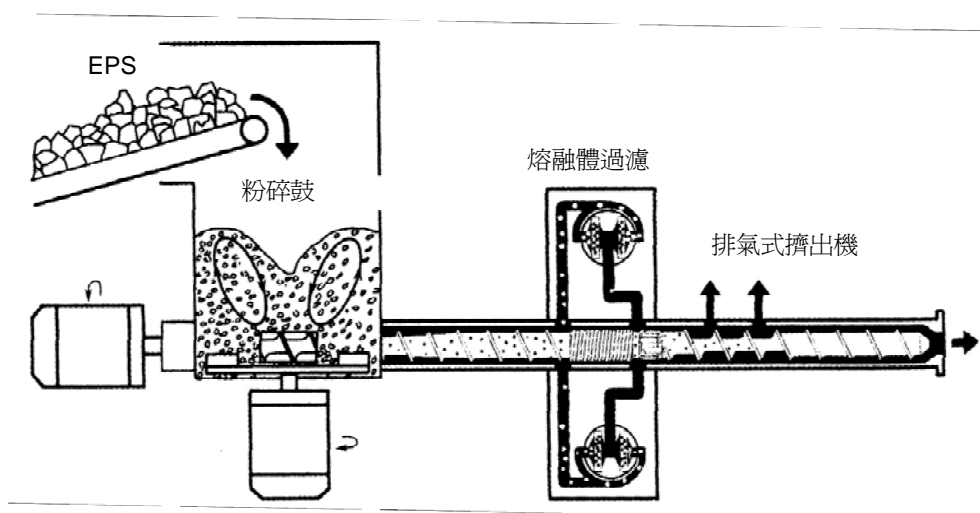
表 5.17 廢 PE 袋回收為複合材料之配方

名稱	重量比	名稱	重量比
廢塑膠袋	45~55	CaCO ₃	130~150
乙烯-乙酸乙烯酯 共聚物	45~55	偶氮二甲酰胺	1.20~1.40
尿素	1.05~1.30	過氧化二丙苯	0.5~0.7
氧化鋅	5~6		

資料來源：劉廷棟、劉京、張林，回收高分子材料的配方，化學工業出版社，2002 年。

4. 回收再生 EPS 廢發泡聚苯乙烯

Erema 回收公司(Linz, Austria)開發的專門用於發泡聚苯乙烯回收技術，可直接將廢發泡聚苯乙烯轉化成純的脫氣粒料，並用於生產新的 EPS。Erema 系統首先將 EPS 廢發泡聚苯乙烯在專用的粉碎機轉鼓中壓實，然後直接定量輸送到裝有熔融過濾和排氣裝置的單螺桿排氣式擠出機中(如圖 5.45)。熔融的 PS 自擠出機中輸送到動態混合器中，並在動態混合器中排氣。Erema 技術的特點是高度自動化和相鄰步驟間良好的工程介面。



資料來源：John Scheirs, polymer Recycling: Science Technology and Applications, John Wiley & Sons Ltd, 1998.

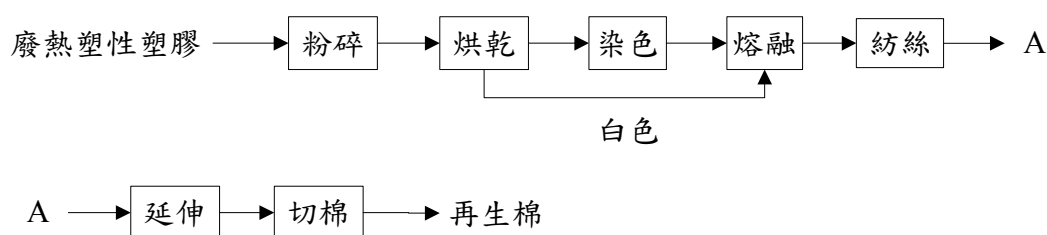
圖 5.45 Erema 公司開發的專門用於發泡聚苯乙烯回收設備

在 Erema 回收 EPS 技術中的擠出機裝有專門設計的螺桿，螺桿上有兩個排氣口及壓縮和減壓區。在擠出過程中，EPS 熔融並經過一個反衝換網器除去粒子狀的雜質。加油裝置隱藏在防爆區內，加油後 PS 熔融體經過條狀模口擠出，冷卻並造粒。這些粒子可直接用於任何使用 EPS 的場合（非食用接觸場合）。Erema 回收技術的主要優點是聚合物只經歷一次熱程序，而其他的 PS 回收工藝使材料至少經歷兩次熱程序。

機械回收的 PS 有許多商品等級，如 BASF 公司已商品名 Polystyrol RC 400，這種材料以粒料形式供應，密度為 1.05g/cm^3 ，落錘衝擊強度為 45kg/m^3 。美國 NOVA 公司以回收 EPS 為基礎生產的另一種材料為 R100095B。Dow 公司生產的為含有 5% 回收料的 PS，商品名為 Retain PS-4000，這一等級的熔融指數為 5.5g/10min，可用於注塑方面，少量的惰性材料如紙、鋁和土會以雜質的形式存在於這一等級的材料中。

5. 回收廢 PE 及 PET 塑膠製造再生棉及不織布等再製品

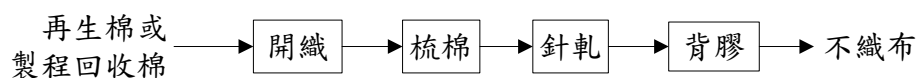
本方法係利用廢熱塑性聚乙烯及對苯二甲酸酯回收生產再生棉，其製程係將廢塑膠經擠壓、熔融、抽絲、延伸、切棉等各項步驟，製成再生棉，其流程如圖 5.46 所示。



資料來源：廢棄物資源化技術資料彙編，經濟部工業局，1999 年 6 月。

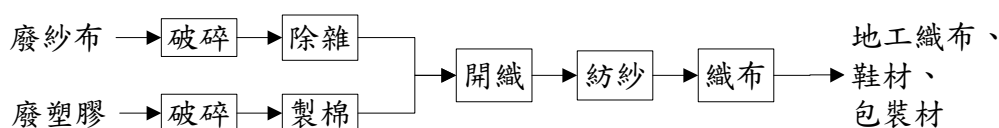
圖 5.46 廢熱塑性塑膠製造再生棉流程圖

將上述再生棉用作紡織的原料，即可進一步製成附加價值較高之資源化產品，如不織布（製程如圖 5.47 所示）、地工織布、鞋材及其他製品（製程如圖 5.48 所示）。



資料來源：廢棄物資源化技術資料彙編，經濟部工業局，1999 年 6 月。

圖 5.47 不織布生產流程圖



資料來源：廢棄物資源化技術資料彙編，經濟部工業局，1999 年 6 月。

圖 5.48 其他再生棉製品生產流程圖

6. 回收廢熱塑性塑膠製造製成複合再生材料

應用押出發泡成型法可將廢熱塑性塑膠製成土木、建築、漁業、農業及工業材料，如圖 5.49 所示。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 5.50 所示。

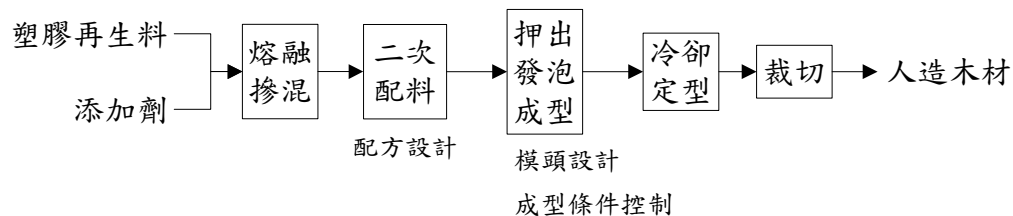
河北保定市裕南工程處材料廠，開發廢塑膠回收製造土工材料之專利，編號為 CN1068837A，其配方如表 5.18 所示。它使用的是冶煉金屬鋁的排放廢物赤泥，赤泥比一般泥土硬度高，其中含有 5%~10% 的鋁粉，可增加機械強度，在 160℃ 下，赤泥可變軟，因此具有較大的可塑性，可以與 PVC、ABS 塑料混合，再一定的流程下擠出成型材。赤泥不燃燒，高溫下變軟不變形，隔音性、耐水性、耐腐蝕性、耐候性都優於塑料，具有硬度高、抗壓、耐老化性能好等。過去製造土工材料的應用都是埋、鋪或插入地下，一般不再取出，並不要求質材美觀，只要求符合某些物理性能和化學性能的技術指標，因此利用廢塑料生產土工材料是有好處的。如廢塑料 PP 或 HDPE 加工成降低地表水位的盲溝或防止滑坡坍方的土工格柵，用廢 PP 製造土筋（加強土的拉力），利用廢尼龍、HDPE、PP 可製成植草的絲網，以廢聚氯乙烯或 LDPE 加工防漏或保水的水工膜，用廢 PVC 製造整治鐵路基床翻漿冒泥的排水板，以及用廢

LDPE 膜加工用於軟土或超軟土地基的排水帶等。也可以製成護牆板、窗簾盒、樓梯扶手、室內裝修物架、房屋隔斷、旅遊點的野餐桌、椅等。

安徽大學高分子研究所開發用廢塑膠生產聚烯烴發泡板材新技術生產包裝、輕工材料，該技術利用廢棄的聚烯烴包裝材料與薄膜加工成回收料，經化學改性發泡，製成發泡板和硬板，其中發泡材可用於旅遊鞋、運動鞋、皮鞋和布鞋的內襯材料和背包或行李箱的緩衝材料；硬板既可作彈性地板，又可作鞋廠的沖裁墊板。

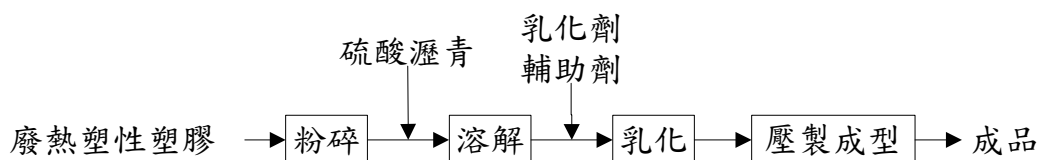
廣州化學研究所則利用廢聚乙烯吹成薄膜作為包裝材料及垃圾袋，將廢聚乙烯及聚氯乙烯分別與木粉共混，用以製成纖維用絡絲筒、建築用裝飾材料，還可加入碳酸鈣作聚氯乙烯廢料的活性填料，製備高含量鈣的塑膠材料等。

美國路易斯安州的一家公司利用廢塑膠生產出合成木材，首先把廢塑料輾碎成均勻顆粒，然後加溫熔成糊狀，最後通過機器擠壓，把黏稠的塑料混合物壓成所需的形狀，這種合成木材可用鋸、釘、鉗等各種手段加工，它耐潮，耐腐蝕，但對油漆的黏附力不佳，美國用以製造船塢、分界牆等。



資料來源：廢棄物資源化技術資料彙編，經濟部工業局，1999 年 6 月。

圖 5.49 廢熱塑性塑膠押出發泡成型法流程圖



資料來源：廢棄物資源化技術資料彙編，經濟部工業局，1999 年 6 月。

圖 5.50 廢熱塑性塑膠溶解乳化法流程圖

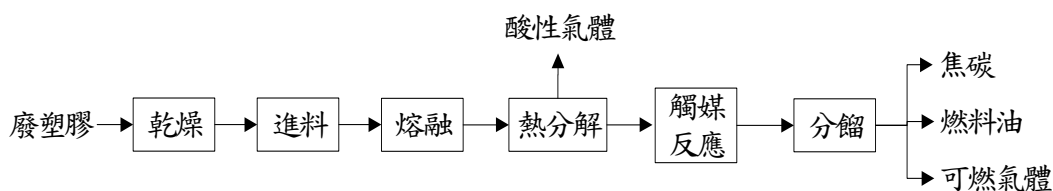
表 5.18 廢塑膠回收製造土工材料之專利配方

廢塑料	30~50 %
赤泥	35~65 %
熱穩定劑	1~2 %
抗老化劑	4~9 %

資料來源：中國專利 CN1068837A。

7. 高溫熱裂解法

熱裂解(Pyrolysis)為於厭氧或無氧狀態下，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。其處理流程如圖 5.51 所示。



資料來源：廢棄物資源化技術資料彙編，經濟部工業局，1999 年 6 月。

圖 5.51 廢熱塑性塑膠熱裂解流程圖

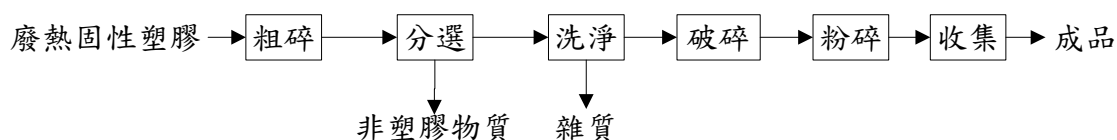
經過熱裂解後，可得到固態、液態及氣態等三相副產物：固態為焦炭，可用於精製成碳黑；液態為燃料油；氣態為可燃性氣體。

5.5.2 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。

1. 製成再生塑膠粒

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 5.52 所示。

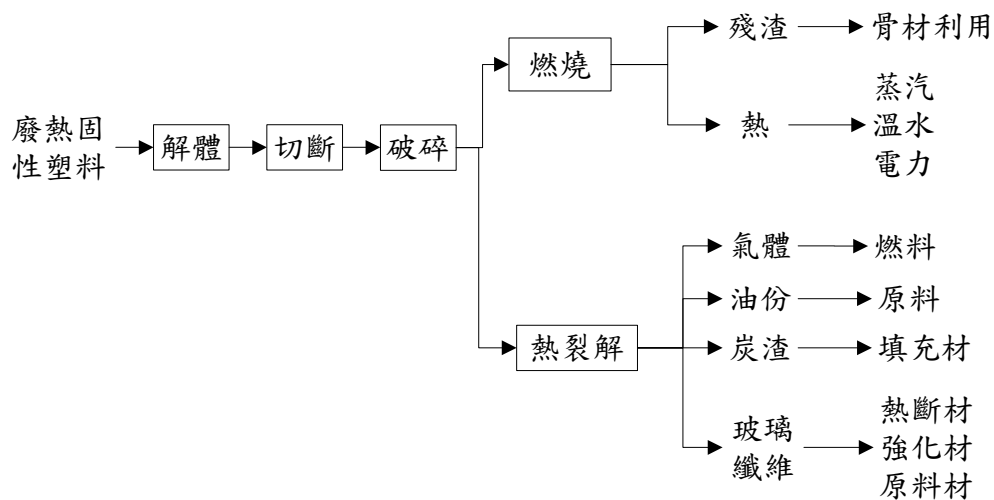


資料來源：廢棄物資源化技術資料彙編，經濟部工業局，1999 年 6 月。

圖 5.52 廢熱固性塑膠製成再生料再利用流程圖

2. 高溫熱裂解法

本方法同熱塑性塑膠之熱裂解。圖 5.53 所示為熱固性塑膠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、油分等，皆有進一步再利用之價值。



資料來源：廢棄物資源化技術資料彙編，經濟部工業局，1999 年 6 月。

圖 5.53 燃燒及熱處理再生熱固性塑膠流程圖

5.5.3 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 5.19 所示。其中需特別注意的是，由於不同種類的塑膠間彼此相容度不一，對不同的資源化方法，其對混合塑膠的容許度亦不同，例如高溫熱裂解法對混合塑膠容許度較高，再製塑膠品的方法對混合塑膠容許度較低，因此適當的塑膠分類對特定的資源化技術是必須的。

表 5.19 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	特點 (含應用限制)
製造再生棉	機械破碎→熔融→抽絲	廢熱塑性塑膠	再生棉或填充材料	已商業化	可替代部分新棉之製造，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。
製成不織布等再製品	破碎→製棉→混紡	製程回收棉、廢紗布	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。
高溫熱裂解法	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，應考量產生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。
製成複合再生材料	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。

資料來源：廢棄物資源化技術資料彙編，經濟部工業局，1999年6月。

第六章 技術評估與設備選用程序

本章節針對廢棄物資源化工作時，如何評估與選用設備之程序，舉出相關基本原則及注意事項。

6.1 資源化技術評估流程

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

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

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

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

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

- 1.背景資料：製程概述、廢棄物質量、場地狀況、人員狀況。
- 2.適用性研究：廢棄物品質分析、類似工廠處理經驗蒐集、資源化可行性實驗、綜合評估、流程建議、模擬實際計畫。
- 3.模擬實驗（模擬廠試驗）：資源化效率驗證、操作穩定性、未來擴展彈性、工程設計資料求取（蒐集）、經濟效益評估。

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

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

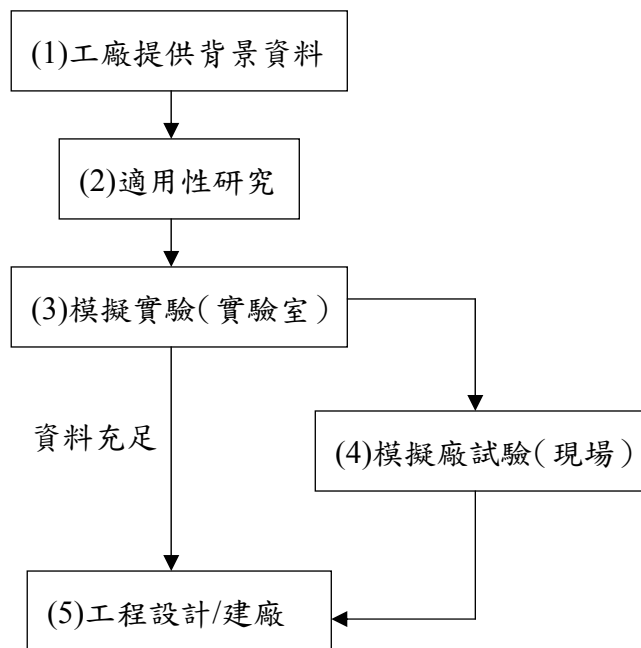


圖 6.1 資源化系統規劃評估實驗流程

6.2 資源化設備選用程序

圖 6.2 說明理想的資源化設備評估，包括工廠、技術顧問單位、研究單位及工程施工單位四個角色的分工合作以及密切配合。工廠在遭遇廢棄物資源化問題時，首先委託技術顧問單位進行規劃，技術顧問單位在接受委託之後，站在工廠的立場運用其專業知識，謀求解決方案。若是工廠可運用已有的經驗進行規劃，則在背景資料蒐集及擬定基本的處理流程之後進行基本設計及細部設計，在這過程之中，顧問公司應對其設計的理念及所選流程的優缺點充分與委託者（工廠）溝通說明，若處理流程有多重選擇時，仍由委託者做最後的決定。

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

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

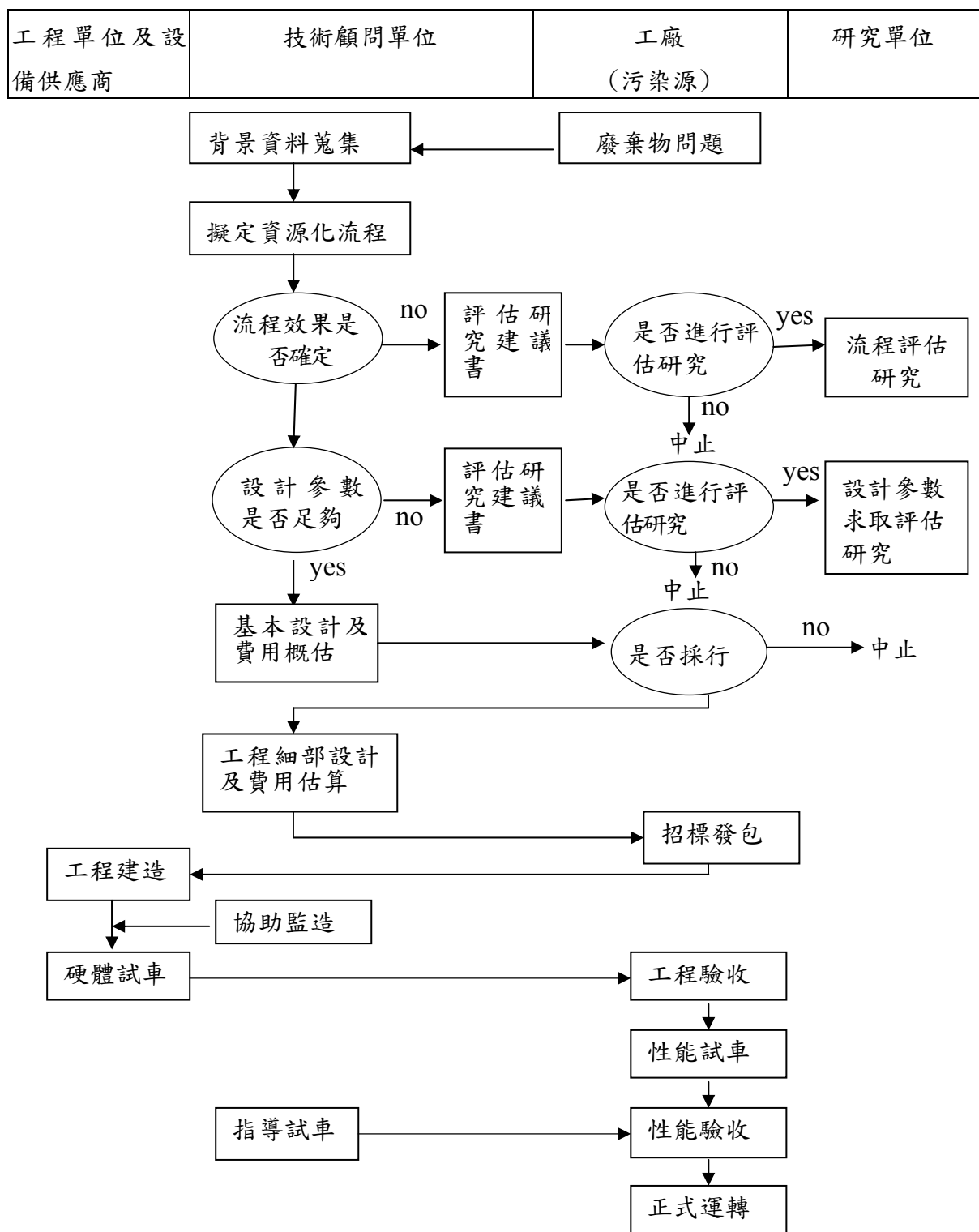


圖 6.2 資源化設備評估流程

1.聘任顧問

一般來說，顧問之工作項目包含：

- 廠內製程單元之污染源清查。
- 分析統計各製程單元之廢污物產生量，並研提可行的資源化方案。
- 評估及選擇合適的回收系統供應商。
- 撰寫回收系統採購說明書，內容包括可行性試驗、設備詳細規格、人員訓練與試車，以及設備處理功能等。
- 協助調整或更改現有製程設備，以配合回收系統之設置。
- 協助廠方審核各回收系統供應商所提之規劃設計書，並就技術觀點提供工廠具體意見。
- 決定回收系統供應商後，繼續協助可行性試驗等相關工作的進行，並監督其執行過程，評估其結果。
- 合約書可能需依可行性的試驗結果加以修改，顧問可進一步審核其更改內容，及其處理功能的保證。
- 評核得標廠商所提供的系統配置圖、製造流程圖，以瞭解廢液或廢棄物收集系統的設置、二次污染的處理情形、洩漏時之處理措施，以及剩餘廢棄物的處置方式是否均能符合環保規定。
- 回收系統正式試車前審核操作維護手冊的完整性。
- 將回收系統之安裝、試車及操作訓練等過程全程錄影，以進一步審核系統的功能。
- 提供廠方操作人員之定期訓練，並校正回收系統之程式控制器準確性。

2.設備選用程序

相關購置回收系統之各階段工作內容說明如下：

(1)訂定回收系統採購說明書

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

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

(2)審核回收系統規劃設計書，並簽訂合約。

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

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

(3)修改廠內製程設備

完成回收系統採購合約之簽訂後，進行廠內製程必要之修改工作，以因應回收系統的設置。

(4)回收系統設置及備用零件貯存

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

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

設計圖編號、預期及實際進貨日期、訂單編號等等，有些重要的閥件，可考慮另列一張清單。

(5)系統測試與試車

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

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

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

3. 供應商評估

(1) 供應商評估及選擇

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

- 供應商的員工、工程師、專屬技術專家、實驗人員及銷售人員等人數。
- 所欲購置之回收系統，該供應商已在市場上推行多久。
- 供應商之年營業額多少，對同類型工廠之營業額如何。
- 供應商對於處理購置該項回收系統的工廠，所編制之人力架構如何。
- 那些物料、配件由其他廠商供應。
- 地區代理商服務及維修能力。
- 是否有供應同類型工廠的其他回收系統。

- 各附屬零件（如泵之軸封、馬達、攪拌器、樹脂、塔槽、偵測儀等）之代理商。
- 系統故障是否能退回。
- 系統運送方式及裝設進度表。
- 是否需加裝隔離設施，以維護製程較敏感的儀器。
- 可提供多少份系統之操作維護手冊。
- 對該工業製程單元瞭解程度。
- 系統之備用零件取得的難易性，以及是否已將備用零件包括在報價單內。
- 買方是否可參與系統設置之規劃設計的審核工作。
- 系統搬運及重新設置是否方便。
- 現有場地面積是否足夠。
- 置放系統之平台的防蝕措施如何（採不銹鋼或玻璃纖維的平台較普通的鋼板耐蝕）。
- 那些零件可在當地購買，而不抵觸系統保證書的內容。
- 製程產能加倍，該設備應做那些更改。
- 系統是否容許 24 小時連續操作。
- 系統是否能被一般運送的貨櫃所容納。
- 廠區配置圖是否與實際狀況吻合。
- 製程上應做那些修改，以配合此項設備的設置。
- 該系統需多少操作人力、維護頻率及時間如何。
- 是否可先瀏覽該系統之操作維護手冊。
- 該系統日常維護項目有那些。

其他次要判斷的項目包含：

- 那些零件最容易故障，修復需多少時間。
- 系統操作時，會有那些狀況產生。
- 是否需額外加裝廢氣處理設施或排氣設施。

- 是否提供該系統之操作維護核對表格，以利系統之管理維護。
- 系統栓緊零件（栓、螺絲、螺帽）是否使用不銹鋼材。
- 控制盤是否有中文標示。
- 誰來負責安裝試車人員之差旅及膳雜等費用。
- 供應商提供所需準備之備用零件是如何決定的。

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

(2)代理商服務及維護能力評定

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

6.3 資源化成本分析

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

以下則以系統化流程，說明其成本分析之要項。

1. 回收處理系統要素評估

(1) 廢棄物之來源、數量及成分穩定性

(2) 處理規模

(3) 物料運輸成本：依地域性而異

(4) 投資模式

A. 委託代清除處理

B. 成立處理體系

C. 申請事業廢棄物再利用計畫

D. 設置廠內回收處理設備

(5) 資源化產品

2. 處理容量規劃

(1) 基本資料

A. 處理量

B. 人員編制

C. 操作條件

• 進料配比

- 操作溫度

(2)質量平衡

(3)系統物料數量計算

(4)槽體體積

3.設備規劃

(1)模廠材質、設備選用及安裝配管

- 材質耐蝕、能承受溫度變化

(2)模廠操作試驗及樣品監測分析

- 試車確保無洩漏
- 控制因子操作試驗
- 試驗參數檢討修正

(3)模廠功能改善

- 設備功能改善
- 操作方式調整
- 設定最佳操作參數

(4)資源化廠先期規劃

- 尺寸放大考量因子
- 處理容量規劃
- 整廠設備規劃
- 人員編制

(5)操作參數

(6)系統設計

(7)設備材質、施工、基地大小

(8)污染防治

- 尾氣處理
- 洩漏預防

- 貯槽防溢

(9)設備單元

- 進料系統、卸料系統、分離系統、熱能供應及整廠儀錶監控系統

(10)設備設計考量要點

- 貯槽、反應槽：操作量、溶液性質及溫度
- 輸送泵：輸送溶液性質
- 管件：輸送量、溶液性質及溫度
- 儀錶：操作方便、耐蝕、價錢
- 特殊設備：物料處理量

(11)設備適用材質

- 貯槽
- 固體分離機
- 輸送泵
- 管件

4.資源化系統效益評估

資源化系統效益評估要項主要為設備成本及操作維護成本，包括：

(1)工程及設備成本

(2)材料成本

(3)操作維護成本：人事及管銷費、維護保養費

第七章 廢棄物資源化案例

7.1 廢電子零組件資源化技術案例

1. 前言

國內某廢資訊物品處理廠，業已申請廢棄物處理機構，處理廢電腦、電子廢料（電子零組件）...等相關廢棄物。該廠係透過資源化程序以回收其中有價金屬，非金屬部分則轉製成複合材料，以增進整廠之資源化之效益。

2. 製程及原理

以下針對該廠有關於電子零組件之回收方式，與資源化程序進行說明：

(1) 廢電子零組件之進廠管理

廢電子零組件以電路板、端子、連接器及積體電路為主要的有價金屬來源，其含有價金屬之成分以 Au 為多，其他如 Ag、Pd、Pt 則屬相對較少。基於不同種類之廢電子零組件所含之金量都不相同，即使是同一類產品亦因各家製程之不同也會造成產品含金量之差異。這種情形使得分析電子廢料當中之貴金屬含量時，面臨決定代表性樣品的困難，亦將影響後續資源化相關操作之最佳條件的決定。

該廠儘可能在有限的資訊/資源下進行一些樣品成分分析，目前實際使用之分析方法仍採傳統之王水溶解，再以原子吸收光譜或是耦合電漿法來進行分析。表 7.1 為廢電子零組件含金屬成分之一例。

表 7.1 廢電子零組件之金屬成分

(單位: wt%)

廢電子零組件種類	Cu	Ni	Au	Ag	Pd	Pt
1.鍍錫邊框	17.166	0.123	0.031	0.00060	-	-
2.鍍金邊框	26.414	0.917	0.035	0.00061	-	-
3.雙面鍍金板	4.138	0.818	0.011	0.00009	-	-
4.鍍金PCB板	4.194	0.194	0.013	0.00015	-	-
5.鍍金PCB板	3.966	0.323	0.006	0.00037	-	-
6.切下金手指	5.649	0.794	0.118	0.00062	-	-
7.鍍金端子(III)	84.659	1.723	0.309	0.00510	-	-
8.鍍金端子(II)	53.224	9.527	0.709	0.00437	-	-
9.鍍金電子零件	86.681	0.449	0.033	0.00674	-	-
10.鍍金連接器(I)	58.902	1.060	0.026	0.00596	-	-
11.鍍金端子(I)	83.350	0.865	0.017	0.00559	-	-
12.鍍金端子(IV)	-	-	1.752		-	-
13.鍍金連接器(II)	47.618	0.809	0.021	0.00235	-	-
14.廢IC (rectangle)	-	10.027	0.006	0.02961	-	-
15.廢IC(square)	-	4.741	0.070	0.02460	-	-
16.廢IC(cpu)	0.048	3.992	0.883	0.01731	-	-
17.陶瓷基板	-	-	0.001	0.01321	0.003	0.058
18.晶片電容器	-	-	0.006	0.11062	2.175	0.001

資料來源：含金廢棄物資源化手冊，工研院環安中心。

(2)自廢電子零組件回收金之流程

該廠主要係將電子零組件（鍍金印刷電路板邊料、不良品、軟性基板及金手指等）以拆解及分類手段將含貴金屬廢料富集後，再以溶蝕、酸洗、浸漬、電解及精煉方法回收金。有關廢電子零組件回收流程如圖 7.1 所示。

廢電子零組件裝入不銹鋼籃內，置入震盪剝離槽，組件當中的鍍金層剝離後再經二次水洗，而印刷電路板經破碎及分選回收銅，含金剝離液加鋅粉置換，即得粗金，再以王水溶解後過濾，加硫酸亞鐵還原沉析，精煉後並以週波爐鑄錠，回收金之品位可達 99.5%。

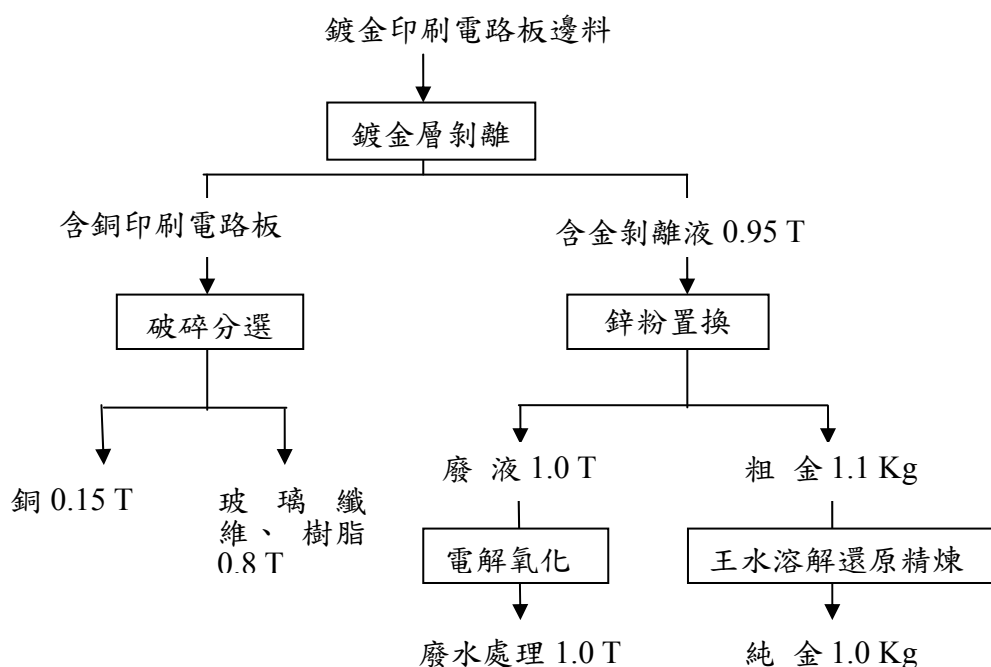


圖 7.1 含金成分之回收資源化流程

3. 資源化成效

該廠有關含金電子廢料的回收資源化製程約為 1 公噸/日，由於零組件當中的含金成分並不一定，而且是逐年下降當中，因此每天回收 1 公斤之金已較為不可能。該廠生產的金，一部分作為鍍金靶材的原料，一部分則進入民間市場作為飾金...等用途。由於金在市場上皆屬於高價之物資，因此在金的銷售上完全沒有問題，亦是目前該廠最具經濟效益的業務。然為更提升其價值，往特殊用途的相關產品（金化學品、靶材...）亦逐漸在開發中。

4. 結語

自電子零組件當中回收有價金屬，甚至金、銀、鉑...等貴金屬，一直是電子廢料回收工作中最吸引人之處，這也是早期在台灣南部引發廢五金回收熱潮的起因。經過若干年代後，台灣金屬資源的回收與資源化因為環保法規限制以及環保意識的抬頭，加上資源化業者本身的覺醒，金屬資源的回收已不再與製造污染畫上等號，甚至逐漸的從廢棄物回收者的層次，不斷地朝向成為工業原料提供者的層次提升，這正是促進台灣整體產業生態化的最佳起始典範。

7.2 廢酸資源化案例

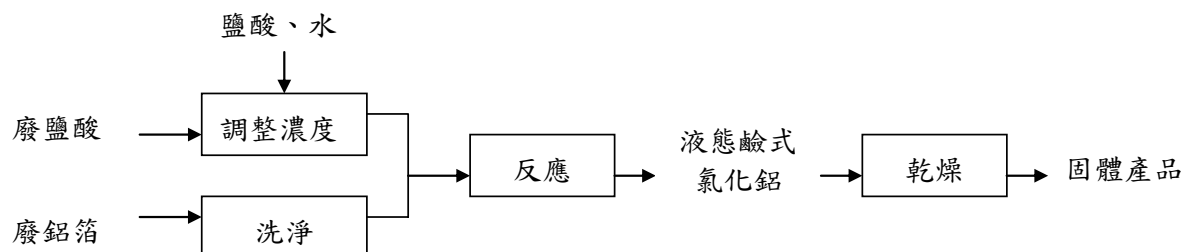
7.2.1 溶解置換反應法

1.前言

在電解鋁箔製造廠的生產過程中，會產生大量之廢鹽酸，以及相當數量之氯化鋁。經分析廢液中未反應的鹽酸(按 31%工業酸計，重量比)為 10~12.2%，含鋁(按 Al_2O_3 計，重量比)為 3.2~3.6%。另外，其產生之下腳料(廢鋁箔)含鋁量達 99%以上，其產量占電蝕處理後之 8%。

2.製程及原理

資源化處理流程是將回收的廢鹽酸與工業鹽酸混合調至一定濃度，並將廢鋁箔用水洗淨除去雜質後，再將廢酸液與廢鋁箔計量後放入特製反應器中，在常溫下反應約 6 小時，自然熟化 48 小時後即可得到含 Al_2O_3 10%(重量比)、鹽基度大於 40%的無色透明液態鹼式氯化鋁，若將液體產品通過滾筒乾燥，於筒內通入蒸汽加熱，筒外刮刀卸料裝入包裝袋內，即得固體產品。其流程如圖 7.2 所示。



資料來源：孫金余、王溪溪，廢鹽酸和廢鋁箔的回收利用，環境保護，第 5 期，pp.47，1996 年。

圖 7.2 溶解置換反應法回收電蝕鋁箔廢液流程圖

3.資源化成效

一個年產值新台幣 1,200 萬元的小型電容器廠為例，其電蝕鋁箔蝕刻製程需工業鹽酸(31%HCl 含量) 7~8 公噸/月，排放之廢酸液為 20 公噸/月左右，全年排放量約 200 公噸/年(按 10 個月計)；每月需用鋁箔 1.5 公噸，按蝕刻

製程要求，腐蝕率為 30%，廢酸液中含鋁達 0.45 公噸，全年排放的廢酸中含鋁 4.5 公噸，加上電容器生產過程中 8% 的下腳損失，廢鋁總量達 5.3 公噸。將廢酸全部回收製成 200 公噸液體鹼式氯化鋁，按每公噸 2,800 元計，產值可達 56 萬元。但需補充鋁 0.4 公噸左右，以廢品收購方式解決，按每公噸 8 萬元計，需投入資金 4 萬元，補充工業鹽酸 5 公噸需 2 萬元，人工及管理費開支 5.6 萬元，設備投資 4 萬元，全年增加純收入 40 萬元，該數額超過原來全年購買工業鹽酸之費用。

4. 結語

溶解置換反應法利用電解鋁箔製造廠生產過程中，產生的大量廢鹽酸和廢鋁箔進行溶解置換反應，達成資源回收再利用之目的，既減少環境污染，又可創造經濟效益。

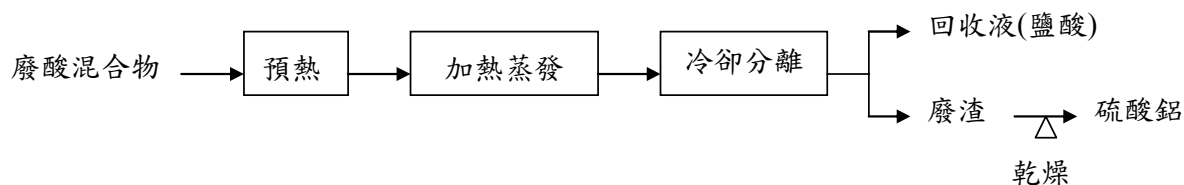
7.2.2 蒸發法

1. 前言

蒸發法的蒸餾分離是利用化合物的揮發性質差異原理，要分離的廢酸液是一種混合物，屬多元體系。在 HCl 與 H₂O 組成的二元體系中，HCl 與 H₂O 組成了一個共沸混合物，其沸點為 108.58℃。

2. 製程及原理

本案例是回收電解鋁箔廠所排放 5 mole 的混合廢酸液，且利用液膜式蒸發法進行廢酸回收，使回收廢酸液中的 Al₂O₃ 及 Fe 分別降至 0.1% 和 0.02% 以下，廢酸回收率亦可達到 85% 以上，其流程如圖 7.3 所示。



資料來源：周達孫、鄧濤聲，電解鋁箔廢酸的回收方法試驗，桂林工學院學報，1997年10月。

圖 7.3 液膜式蒸發法回收電蝕鋁箔廢液流程圖

3. 資源化成效

依據液膜式蒸發法在蒸發過程中所需之汽液比，並按蒸汽的利用率為90%計算，全年用於處理日排入量近20 m³廢酸液的成本，即可回收鹽酸之經濟效益如表7.2所示。

除回收鹽酸外，還可得到副產品—硫酸鋁或偏矽酸鋁、三氧化二鋁等。試驗結果顯示，蒸餾的殘液可全部轉化為偏矽酸鋁，而僅具蒸餾後剩餘的硫酸鋁，經簡單處理後每年可得硫酸鋁71公噸，價值近40萬元，且由於無廢酸液排放，每年可節省近120萬的廢酸處理費用。因此，除去設備折舊及工資等費用外，每年可增加企業320萬元之經濟效益。

表 7.2 廢酸處理成本及回收概算

廢酸液	燃料（煤）
年排入量 5,000 m ³	發熱量 25 MJ
可回收鹽酸 1,240T	年用量 600T
價值 324 萬元（新台幣）	年費用 76 萬元（新台幣）

資料來源：周達孫、鄧濤聲，電解鋁箔廢酸的回收方法試驗，桂林工學院學報，1997年10月。

4. 結語

採用液膜式蒸發法之特點是製程簡單、傳導係數高、處理量大，適用於低粘度、沒有結晶析出的稀溶液回收處理，且造價低廉。

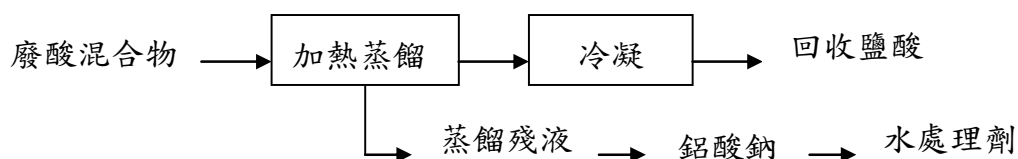
7.2.3 蒸餾冷凝法

1.前言

以一家中型電子元件廠為例，日排放廢液約 8 公噸，其產生源為製造電容器鋁箔用混酸（鹽酸與少量廢硫酸混合）之酸洗處理，處理後所剩廢液中含有大量鹽酸，少量 SO_4^{2-} 和 Al^{3+} ，總酸度（以 HCl 計）約 5 mol/L。

2.製程及原理

其蒸餾回收鹽酸之溫度為 108~110°C，工業上用 0.2~0.5MPa 低壓蒸汽當熱源即可，回收處理流程如圖 7.4 所示。



資料來源：王金閣、胡慶福、劉鴻雁、何喜明，鋁箔酸洗廢液中鹽酸的回收和利用，化工環保，第 19 卷，pp.49~50，1999 年。

圖 7.4 蒸餾冷凝法回收電蝕鋁箔廢液流程圖

3.資源化成效

採用蒸餾-冷凝法從鋁箔酸洗廢液中回收鹽酸，廢液中 HCl 的回收率約 97%，回收鹽酸量為廢液量之 85%，濃度為 4.10~5.78 mol/L。利用回收鹽酸配製酸洗液返回生產系統循環使用，按每天配製鋁箔酸洗液 8 公噸計，每天可節約工業鹽酸 4.485 公噸，按每公噸工業鹽酸 2,600 元計，每年可節省 350 萬元（新台幣）。蒸餾殘液可製備水處理劑，每立方米廢液的蒸餾殘液為 150 L，可製成 200 公斤水處理劑，因此每天可製成 1,600 公斤水處理劑，每公噸按 6,000 元計，每年可增加 288 萬元（新台幣）收入，此項收入可支付整個回收裝置運轉的各種費用。

4.結語

採用蒸餾-冷凝法對廢酸液進行回收，回收之鹽酸濃度高，無色透明，不含金屬離子，純度高，不僅可用於生產系統（與少量濃酸混合至要求濃度），還可用於醫藥等行業。

7.3 無機污泥資源化案例

7.3.1 含重金屬污泥資源化

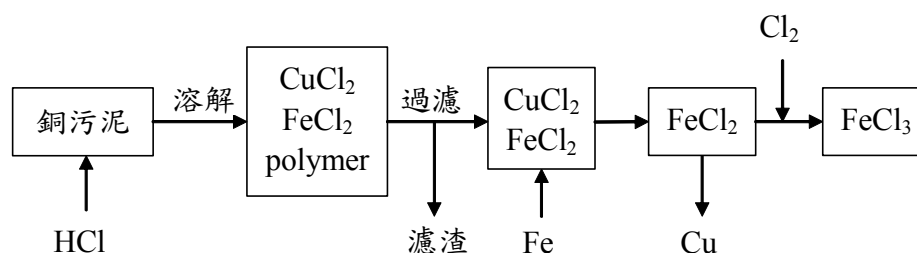
1. 前言

由於被動電子元件業產生之污泥屬無機污泥，其中有含重金屬有害性污泥，係經還原、氧化、酸、鹼中和後，再經凝集、過濾而產生。如第五章所述，含重金屬污泥資源化技術，應用浸漬、置換、電解、還原及氧化等方式，而大部分的技術均有工廠設立運作中。被動電子元件業所產生含銅量較低之污泥，若能搭配印刷電路板相關行業含銅量較高之污泥資源化再利用，則會有較高的效益。

2. 處理流程

(1) 置換取銅

調配好「適當銅污泥」後，再以鹽酸（硫酸或硝酸）溶解，接著進行過濾去除 PAC 等雜質，然後於溶液中加入鐵屑，則氯化銅溶液之銅（因電位差之故）會被鐵所置換形成銅金屬析出。另外，溶液為含二價之氯化亞鐵，再通入氯氣，則氯化亞鐵形成三價之氯化鐵，而氯化鐵則可做為印刷電路板之蝕刻液使用或做為廢水凝集劑代替 PAC 使用。其流程如圖 7.5。

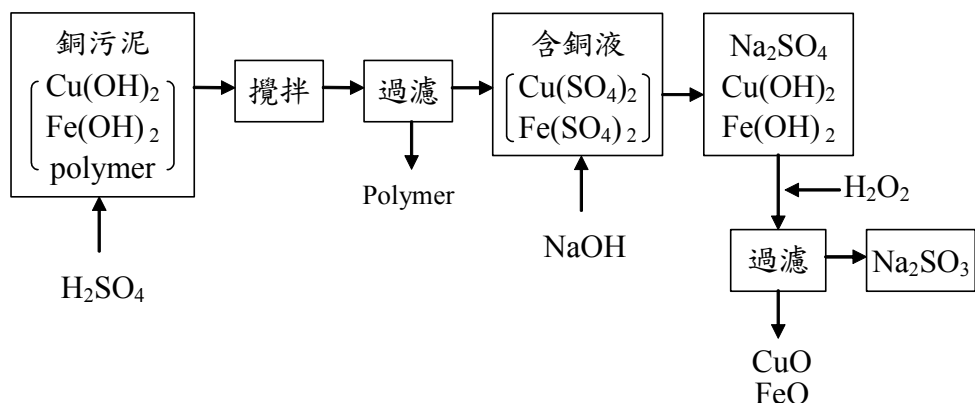


資料來源：半導體業廢棄物資源化技術手冊，經濟部工業局，2001 年 12 月。

圖 7.5 置換法回收銅流程

(2)回收氧化銅

此方法是將調配好「適當銅污泥」先以酸（硫酸）溶解後去除聚合物 (polymer)，然後含銅液再加入氫氧化鈉，使其再形成氫氧化銅及氫氧化鐵等物，於反應槽中再倒入過氧化氫或高錳酸鉀等氧化劑後形成氧化銅及氧化鐵的沉澱以及副產物 Na_2SO_3 ，其流程如圖 7.6。



資料來源：半導體業廢棄物資源化技術手冊，經濟部工業局，2001 年 12 月。

圖 7.6 氧化銅法回收氧化銅流程

(3)煅燒法

先調配好「適當銅污泥」，經烘乾、乾燥等程序來確認污泥中水分完全蒸發，同時將污泥中之金屬氫氧化物轉化成金屬氧化物，一般於 $600\sim 750^{\circ}\text{C}$ 高溫環境下進行。經乾燥、氧化處理後之金屬氧化物，再進行更高溫（ $1,300\sim 1,600^{\circ}\text{C}$ ）之還原反應（同時加入焦炭），其目的是將金屬氧化物還原為金屬。

3.資源化成效

以置換法回收含銅污泥，若以每日回收 70 公噸污泥（含水率以 50% 計算），則約可回收銅 7 公噸，可節省每公噸污泥處理費用約 5,000~9,000 元，且回收銅可銷售。

4.結語

置換法、回收氧化銅法及煅燒法等方法，由於處理方法的不同，其處理

的費用亦有不同，如考量「初設成本」、「年操作維護費用」、「年投資費用」、「資源化收入」等因素，評估得到「年總淨效益」為置換法>煅燒法>回收氧化銅法。總之，含銅污泥如無資源回收，勢必固化掩埋之，形成有價物的浪費與土地的污染。

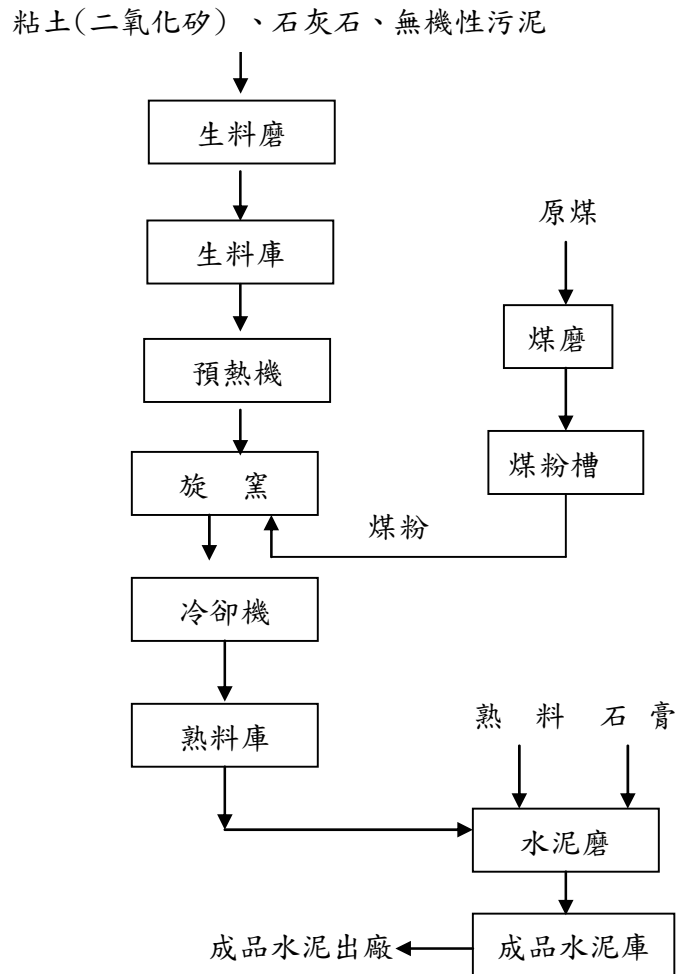
7.3.2 一般無機污泥資源化

1.前言

被動電子元件業產生之部分一般無機污泥，可以替代原料方式應用於相關建材方面，如水泥等。一般此類污泥產生來自廢水處理，係利用化學混凝處理，以 PAC 沈澱劑凝聚而沈澱，以達固液分離作用，上澄液經砂濾器處理回收再利用，沈降之泥漿則回流至濃縮槽經壓濾機將污泥脫水成泥餅。

2.處理流程

本案再利用機構為水泥公司主要是利用石灰石及黏土質為原料，無機性污泥可以補充主要原料所含成分不足，亦可以替代粘土原料使用，如 2CaO (石灰石) + SiO_2 (二氧化矽) $\rightarrow \text{C}_2\text{S}(2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2)$ 為水泥成分，其資源化過程如圖 7.7 所示。



資料來源：經濟部工業局，半導體業廢棄物資源化技術手冊，2001 年 12 月。

圖 7.7 無機性污泥作為水泥原料資源化流程

3. 資源化成效

若根據環保署上網申報之無機性污泥數量約 63 萬公噸，以國內一般事業廢棄物污泥（無害性污泥）進掩埋場入場費 2,500 元/公噸估算，約需 16 億。而無機性污泥經資源化，可替代部分水泥原料，故無機性污泥資源化可增加的水泥產值及節省掩埋費用，在有經濟誘因之下，發展無機性廢棄物水泥資源化技術，將是傳統產業轉型良好契機。

4. 結語

無機性污泥分布範圍極廣，本案例乃是廢水處理污泥，經由沈澱過濾後之污泥，回收為水泥原料之一，水泥業應用此類污泥替代黏土使用頗為適當。

7.3.3 鋁土污泥資源化案例

1.前言

本案例係引用東部某水泥廠已申請獲准並營運超過兩年的實際操作案例，希望透過實務上的分享讓污泥資源化技術獲得各界的認同持續參與推動。

本項資源化技術的起源係來自鋁擠型陽極表面處理製程產生的鋁土污泥，從民國 90 年起首次申請透過水泥廠經過水泥窯高溫煅燒後作為水泥替代原料（利用其中高含量的三氧化二鋁），營運過程中發現效果良好，故於民國 92 年起擴大申請成為通案再利用，同時納入被動電子元件業中化成箔製造廠商所產生的鋁土污泥。化成箔僅是在現有的電解箔上，電鍍氧化處理形成介質作為陽極，其生產過程中主要製程就為陽極處理，且因為原材料也為鋁箔材質，故後段廢水處理後產生的污泥在性質與成分上便與鋁擠型鋁門窗製造廠所產生之污泥十分雷同，因此獲得再利用審查委員的認同，列入鋁土污泥通案再利用範圍。

2.資源化製程及原理

(1)資源化製程

說明鋁土污泥產出流程、廠內資源化流程及進料程序如下：

A.鋁土污泥產出流程如圖 7.8 所示。

B.資源化流程如圖 7.9 所示。

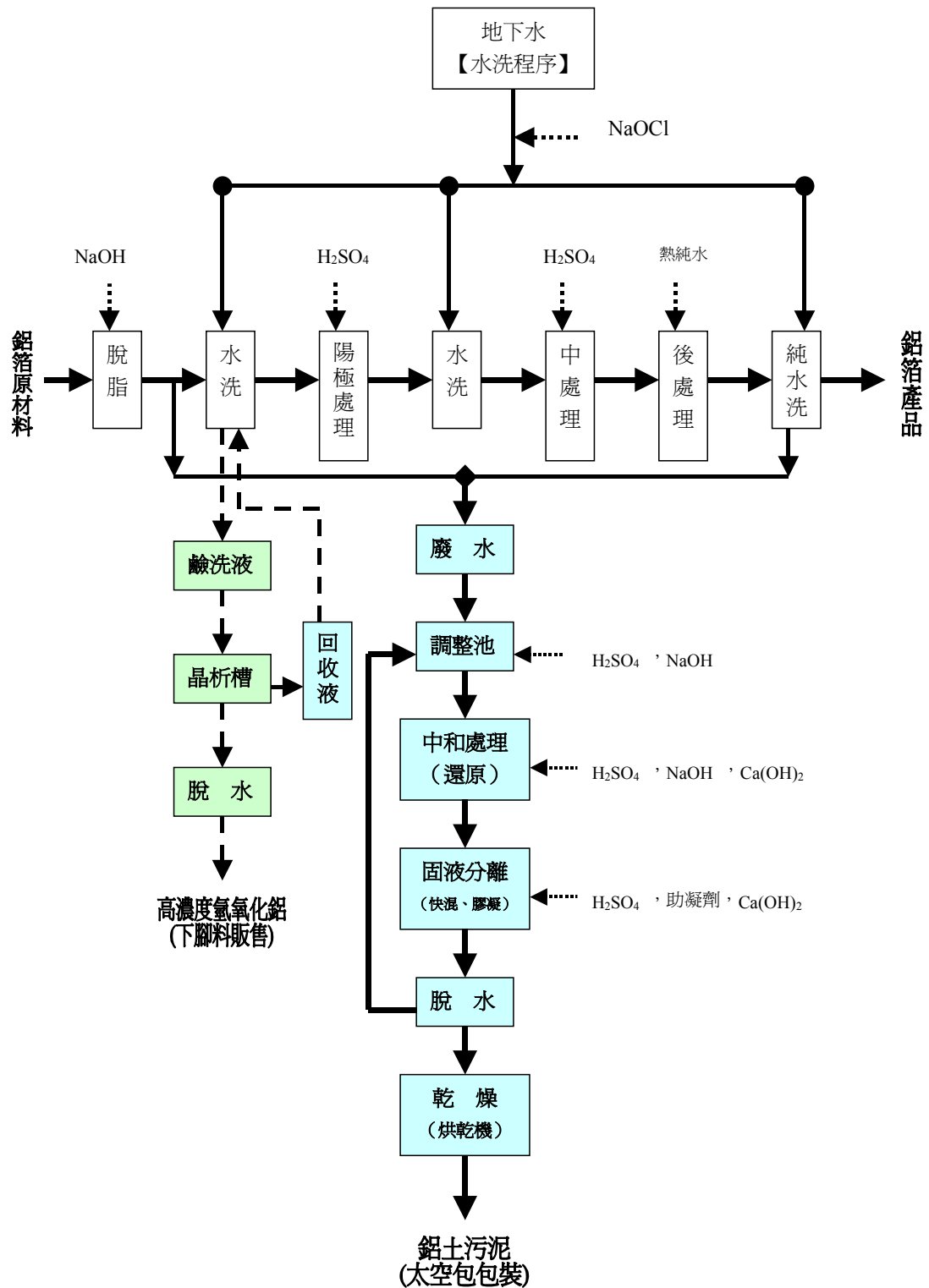


圖 7.8 鋁土污泥產出流程

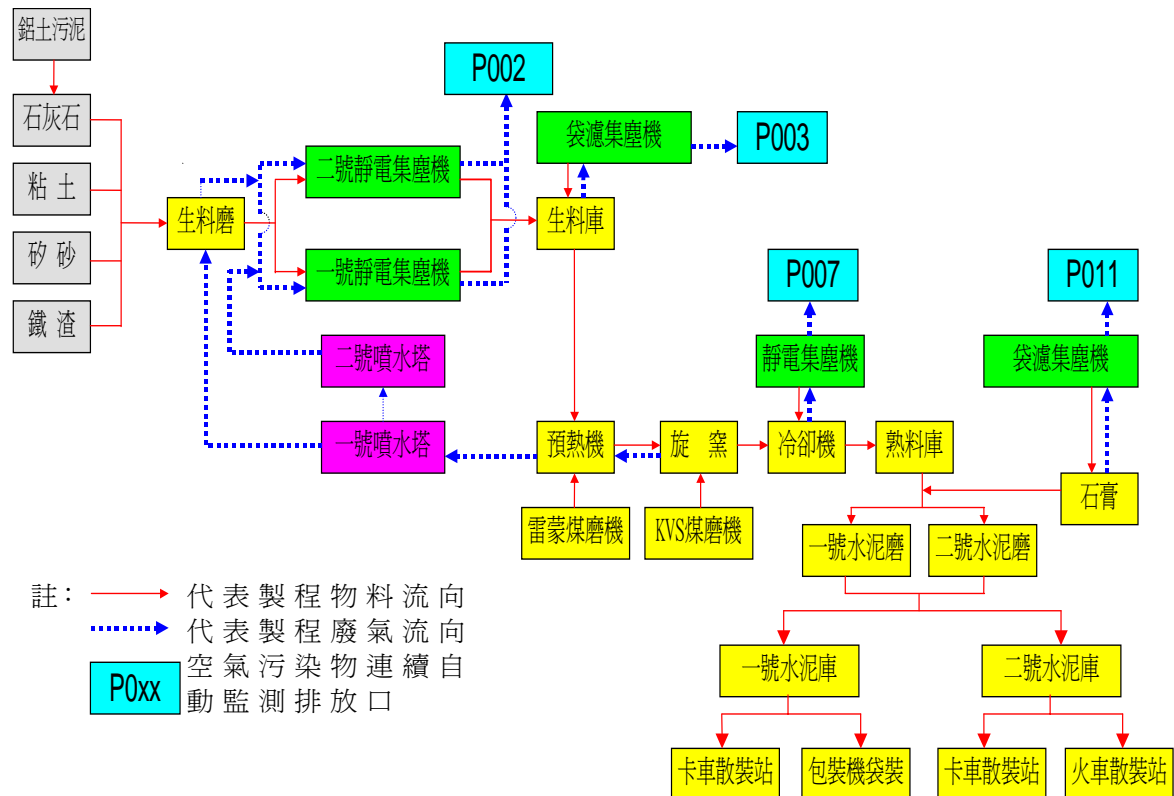


圖 7.9 鋁土污泥資源化流程

C. 鋁土污泥進料程序

鋁土污泥係以輸送帶混合至石灰石原料中，再裝載至石灰石大倉之料機，採移動式均勻佈料於大倉中，之後混合物料再以刮料機送至飼稱機中，並由飼料機以 X-ray 控制各成分之配比，以維持水泥成分之含量，故在進料的作業上將可達到均勻的分布。鋁土污泥進料流程示意圖如圖 7.10 所示，其進料操作條件及基礎數值說明如下：

- 生料磨進料量：230 T/H（平均值）
- 每日操作時間：16 小時
- 鋁土污泥再利用比例：6/1,000（以維持廠內規格為設定基礎）
- 鋁土污泥比重：0.56~0.72 T/m³（取平均值 0.64）
- 鋁土污泥太空包規格：0.8 T/包

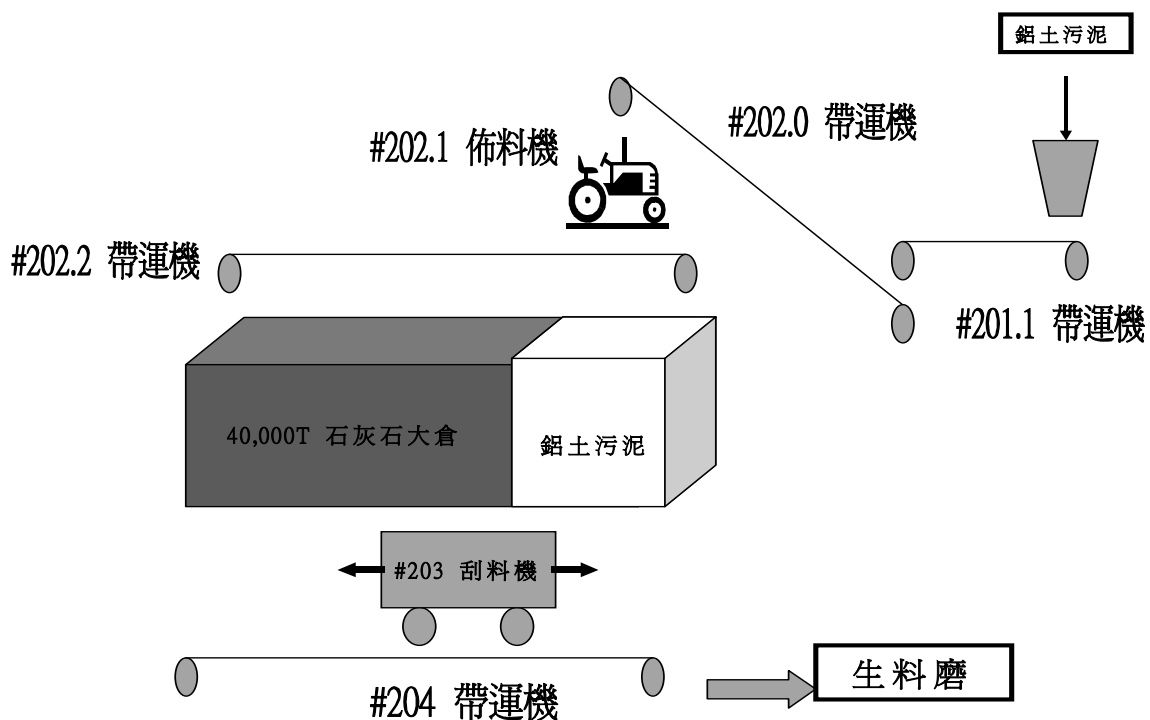


圖 7.10 鋁土污泥進料程序

該廠設計生料磨每小時進料量為 230 公噸，以 6/1,000 添加比例進行鋁土污泥之添加，則在每日有 16 小時之生產操作下，每日最大將進行 22.08 公噸之處理工作，每月將處理 662.4 公噸，其進料量計算式整理如下：

$$a. 230 \text{ T/H} \times (6/1,000) = 1.38 \text{ T/H}$$

$$1.38 \text{ T/H} \times 1,000 \text{ Kg/T} \div 60 \text{ Min/H} = 23 \text{ Kg/Min}$$

$$23 \text{ Kg/Min} \div 1.93 \text{ Kg/鎰} (\text{暫以人力添加鋁土污泥}) = 11.92 \text{ 鎰/Min}$$

$$\approx 12 \text{ 鎰/Min}$$

由於初期污泥進料作業量尚屬小量，故目前採每日二班，每班二人進行人工進料工作，未來於作業量大時，將再行籌設自動進料系統，以節省人力。

$$b. 1.38 \text{ T/H} \times 16 \text{ H/D} \times 30 \text{ D/月} = 662.4 \text{ T/月}$$

由 a 及 b 計算可得：該廠處理鋁土污泥 662.4 T/月，採用人工進料較

符合經濟效益且控制添加量無虞。

(2)資源化原理

分析鋁土污泥各項成分，鋁土污泥單一成分（三氧化二鋁）偏高，無法直接以替代原料方式進行再利用，故以視為水泥摻配料的模式進行生產原料調配使用，各項配方調整與允收標準說明如下。

A.添加率設定之計算基礎

鋁土污泥成分、水泥原料成分、添加鋁土污泥後水泥原料研磨成生料使用之配比及添加比例之設定計算分析如表 7.3-7.6 所示。依該廠之廠內規格上限值為準，並以實測之鋁土污泥各成分最大含量進行添加時，可求出各成分之容許添加上限比率，計算結果為 Al_2O_3 最早達到廠內規格上限值（為 7.596/1,000），故設定此為該廠之理論容許添加上限值。

為預防鋁土污泥成分變異造成水泥品質超出廠內規範，該廠設定以千分之六為添加比例上限值，換算其添加量為 662.4 公噸/月。

表 7.3 鋁土污泥成分（依實際收受廠家檢測報告彙整）

鋁土污泥成分	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO
最小含量(%)	0.00465	2.24	0.098	0.093	0.027
最大含量(%)	20.12	61.77	1.03	1.76	0.96

註：氧化鋁為再利用物料之主要成分。

表 7.4 水泥原料成分

成分(%)	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO
石灰石 (84.00%)	4.5	1.5	0.6	49.6	0.9
粘土(12.03%)	61.5	19.5	6.5	0.98	0.9
矽砂(2.37%)	85.0	5.8	3.2	0.92	0.83
鐵渣(1.60%)	34.3	3.5	54.5	2.00	1.00

表 7.5 添加鋁土污泥後水泥原料研磨成生料使用之配比

成分別	石灰石	粘土	矽砂	鐵渣
配比(%)	83.44	11.83	2.37	1.60

表 7.6 添加比例之設定計算分析

成分 含量	石灰石	鋁土 污泥	黏土	矽砂	鐵渣	原始生料成分(添加最大 含量污泥後) A		燒成換 算比例 (X)	燒成後成分 (添加最大含 量污泥) B=A*X		廠內規格 上限值 C		污泥添加 容許值 E=C-B	
	83.44	0.76	11.83	2.37	1.60	含修正水泥配比								
SiO ₂	0.045	0.201	0.615	0.850	0.343	13.75	%	1.54	21.17	%	22.00	%	0.83	%
Al ₂ O ₃	0.015	0.618	0.195	0.058	0.035	4.22	%	1.54	6.50	%	6.50	%	0.00	%
Fe ₂ O ₃	0.006	0.010	0.065	0.032	0.545	2.23	%	1.54	3.43	%	4.10	%	0.67	%
CaO	0.496	0.359	0.010	0.009	0.020	41.83	%	1.54	64.42	%	65.50	%	1.08	%
MgO	0.009	0.010	0.009	0.008	0.010	0.90	%	1.54	1.39	%	2.50	%	1.11	%

註：燒成換算比例為廠內據以推估生料：熟料之比例數據，係該廠長久營運累積經驗值。

B.允收標準：設定鋁土污泥添加比例為千分之六，並推算依千分之六添加後之各項成分允收標準。

若以千分之六為設定添加率、燒成換算比例及廠內規格，可求出鋁土污泥各別成分容許存在之上限值如表 7.7，其中除 Al₂O₃ 及 Fe₂O₃ 外，其餘皆可超過百分之百，而不易影響廠內規格，故在污泥各成分含量中 Al₂O₃ 及 Fe₂O₃ 兩種成分必須設定控制範圍，以做為再利用之鋁土污泥的允收標準，其標準如表 7.9 所推算分別為 Al₂O₃ 含量為 77.84%及 Fe₂O₃ 含量為 79.21%。

表 7.7 鋁土污泥各別成分容許存在之上限值

成分含量 (%)	石灰石 (%)	鋁土污泥 (%)	黏土 (%)	矽砂 (%)	鐵渣 (%)	水泥生料 成分 (%)	水泥熟料 成分 (%)	廠內規格 上限值 (%)	允收標準 (%)
	83.60	0.60	11.83	2.37	1.60				
SiO ₂	4.50	100.00	61.50	85.00	34.30	14.201	21.8692	22.00	不設定
Al ₂ O ₃	1.50	78.84	19.50	5.80	3.50	4.227	6.5101	6.50	77.84
Fe ₂ O ₃	0.60	74.00	6.50	3.20	54.50	2.662	4.1001	4.10	74.00
CaO	49.60	100.00	0.98	0.92	2.00	42.235	65.0424	65.50	不設定
MgO	0.90	100.00	0.90	1.00	1.00	1.499	2.3078	2.50	不設定

註：燒成換算比例：水泥品質廠內規格皆規範水泥燒成熟料的各元素成分範圍，但各水泥生料於煅燒過程會有高燒失量（約 35.0648% 左右，1.54 公噸生料約可生成 1 公噸的熟料），燒成換算比例為廠內長時間的統計資料，可用來推算生料組成成分經過燒結後各成分的組成。

3. 資源化成效

(1) 事業端

鋁土污泥資源化在事業端產生的效益如下：

- A. 降低廢棄物處理費用：可直接降低 15%~30% 的廢棄物處理費用。
- B. 控管產出污泥的成分：由於再利用機構設立允收標準，即時與批次抽驗成分分析，可藉以檢視事業機構污泥產出流程是否符合標準。
- C. 達成廢棄物資源化目標。
- D. 避免掩埋處理方式造成二次公害。

(2) 再利用端

鋁土污泥資源化在再利用端產生的效益如下：

- A. 降低水泥原料採購費用：可直接降低 0.5%~1% 的水泥原料費用。
- B. 增加資源化所產生的業外收入。
- C. 達成廢棄物資源化目標。
- D. 提供鋁土污泥最佳的處理模式（水泥製程中皆為零廢棄物產出的狀況）。

(3) 整體效益

以替代水泥原料的再利用模式產生整體效益如下：

- A.提供相對安全的廢棄物處理模式：綜合研判各種污泥資源化的方式，作為水泥替代原料由於水泥窯高 3T 的處理效益及嚴格的品管控制加上銷售無虞的再利用產品的行銷管道，營造出最合理與安全的資源化模式。
- B.有效取代以往污泥的處理方式：無論以經濟、安全、環保等方面來看，此資源化方式都具備較佳的優勢可取代傳統掩埋處理。
- C.擴大鋁土污泥處理管道：水泥窯單一窯體皆具備污泥月處理量 500 公噸以上的能力，提供強大的污泥處理容量，適用性也因為涵容能力大，處理範圍較不受限，具備足夠能力消化業界所產生的數量。

7.4 廢溶劑資源化案例

7.4.1 前言

被動電子元件產業產生之廢溶劑種類常見有甲苯、丙酮、異丙醇及乙醇等，主要用於點膠、混料及清洗等製程所產生，目前國內被動電子元件廠商因其廠內廢溶劑產量較不具廠內回收經濟價值，一般皆委託廠外合格清除處理回收處理。以下介紹兩案例，一為國內一廢溶劑之再利用工廠，一為國內電子業進行廠內回收之案例。

7.4.2 案例一

D 廠為國內一廢溶劑之再利用工廠，並回收溶劑進行純化，提供其他工業製程使用。本案例以廢異丙醇回收說明如下。

1. 製程及原理

(1) 製程

D 廠於有機廢溶劑回收處理前，先採用重力沉降、過濾、浮除等方式進行前處理，以利後續流程順利進行，之後以蒸餾/分餾方式予以回收，而蒸餾後之殘渣則交由合法清理廠商以焚化方式減量處理。其廢溶劑處理流程如圖 7.11 所示。

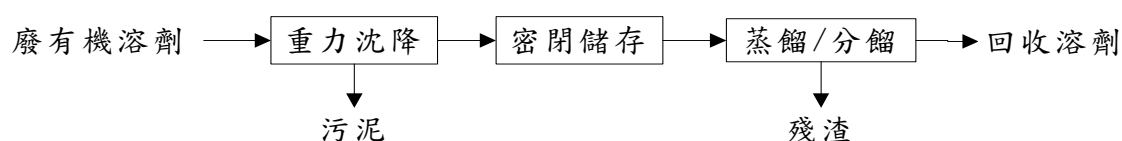
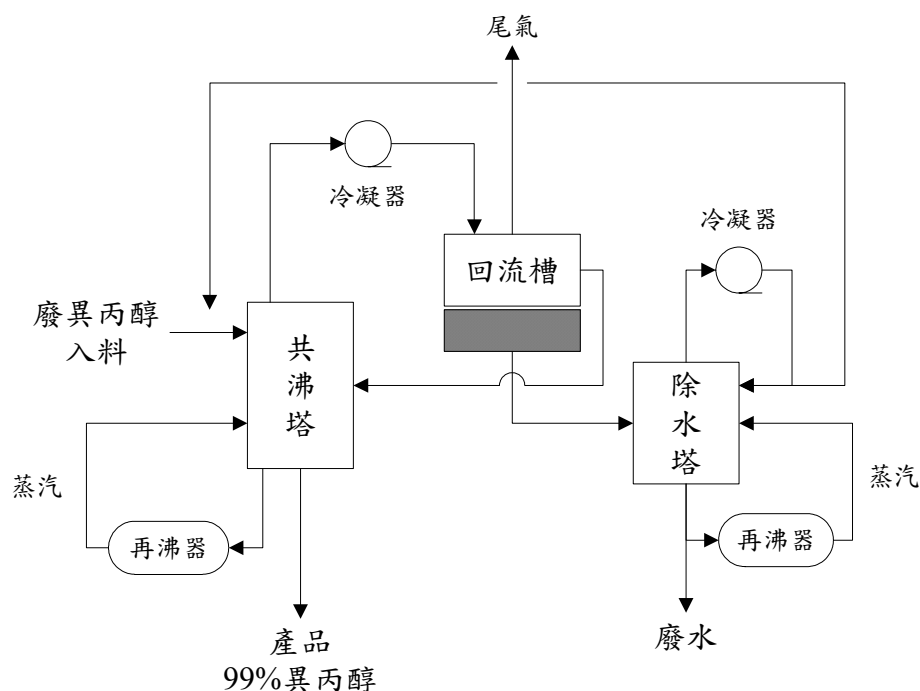


圖 7.11 D 廠廢溶劑資源化處理流程圖

異丙醇(isopropyl alcohol, IPA)為無色液體，沸點為 82.4℃，閃火點 11.7℃，具可燃性，可溶於水，用於製造丙酮及其衍生物、甘油等；常用於作為溶劑、脫水劑、洗劑等。由於具有易揮發性，因此其純化時可利用與其它溶劑沸點之不同而分離。

由於 D 廠所收集來自國內電子及相關產業之廢溶劑，其均含有水分，於純化時是以共沸蒸餾方式將水與異丙醇予以分離，其中使用之共沸劑為非含

苯之飽和溶劑，於製程中可不斷循環使用。廠內設有二座蒸餾塔，一座為共沸塔，塔底餾出物即為純化後之異丙醇產品；第二座為除水塔，廢水自塔底直接排出。整個製程採常壓連續密閉式操作，其中離開回流槽之尾氣(vent gases)則再經過尾氣冷凝器(trim cooler) 後排至大氣。由於 D 廠之原料可為 82~98 wt%之異丙醇廢液，因此一般電子及相關產業所產生之廢異丙醇水溶液均可直接進入製程純化。其資源化處理流程如圖 7.12 所示。



資料來源：半導體業廢棄物資源化技術手冊，經濟部工業局，財團法人台灣綠色生產力基金會編印，民國 90 年 12 月。

圖 7.12 D 廠廢異丙醇資源化處理流程

(2)原理

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

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

$$P_i = P_i^0 \times X_i \quad (7-1)$$

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

若以異丙醇(IPA)之蒸餾回收為例，假設原廢溶劑中含異丙醇 90%，其餘為水，則廢溶劑中異丙醇與水之莫耳分率比約為 1.5：0.5（即異丙醇之 X_i 為 0.75）。在一大氣壓下異丙醇之沸點為 82.4°C，亦即該溫度時異丙醇之飽和蒸氣壓為 760 mmHg，但相對之該溫度時，水之飽和蒸氣壓僅為 385 mmHg，因此初始氣相中之成分絕大部分為異丙醇，蒸餾前段所得到之餾出物，可謂純度極高之異丙醇。然而，隨著氣相中異丙醇被蒸出之比例愈來愈高，液相中異丙醇相對於水之莫耳分率即逐漸降低，所蒸出之氣體中水之比例 (P_w 愈大) 乃愈來愈高，亦即蒸餾回收之異丙醇純度愈來愈低。因此，單段式之蒸餾所回收之溶劑純度有一定之範圍限制，一般進行溶劑蒸餾回收之操作大多藉由多段式之分餾塔反覆調整氣—液相中成分之組成比例，以獲得單一成分組成較高之回收液。

2. 資源化成效

本案例 D 廠基於經濟效益考量，所收集之異丙醇廢液以純度 85% 以上者，申請處理量每日可達 25 公噸以上，其所再製之異丙醇純度亦可達 99% 以上，資源化產品並提供其他工業製程使用，工業級異丙醇（規格如表 7.8）可作為工業原料、溶劑、液體燃料之防凍劑、脫水劑、清潔劑及防腐劑等用途。此外由於工廠為處理揮發性之廢溶劑，且為避免造成空氣污染，物料之輸送均採槽車作業，原料及產品之貯存槽亦採常壓密閉式，貯槽頂端設有呼吸閥，呼吸閥之尾氣則經活性碳吸附後才排至大氣，因此目前廠內並無二次污染之虞。

D 廠主要以回收蒸餾方式處理廢溶劑之處理機構，若廢溶劑摻雜多種溶劑時回收之溶劑較不具經濟價值；基於此，事業單位應妥善做好廢溶劑之分類工作，以及再利用機構適當之前處理步驟，將有利於廢溶劑回收與再利用。

表 7.8 異丙醇之工業規格

工業級產品規格	一般規格	特殊規格
純度 wt%	99.8	99.9
水分 wt% ASTM (D1364-90)	0.15 max	0.10 max
酸度 wt% as Acetic acid ASTM (D1613-91)	0.001 max	0.001 max
色度 APHA ASTM (D1209-93)	10 max	10 max
比重 20/20°C ASTM (D268-90)	0.785~0.787	0.785~0.787
蒸餾範圍°C ASTM (D1078-93)	(include 82.4°C) 1.0	(include 82.4°C) 1.0
不揮發物 mg/100mL ASTM (D1353-92)	5.0	5.0
味道測試 ASTM (D1296-93)	無異味	無異味
水溶解度 ASTM (D1722-90)	符合標準	符合標準

資料來源：廢棄物資源回收及處理設備技術手冊及案例彙編，經濟部工業局，財團法人台灣綠色生產力基金會編印，民國 93 年 7 月。

7.4.2 案例二

E 廠為國內電子工廠，於廠內設置簡易回收設備進行溶劑回收，以提供其他製程清洗使用。本案例以廢丙酮回收說明如下。

1. 製程及原理

(1) 製程

E 廠於有機廢溶劑回收處理前，先於製程中分類收集至貯存容器，後續採用重力沉降方式進行前處理，再以簡易回收設備進行蒸餾/分餾方式予以回收，而蒸餾後之殘渣則交由合法清理廠商以焚化方式減量處理。其廢溶劑處

理流程如圖 7.13 所示。

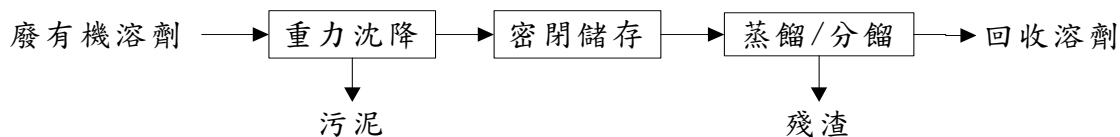


圖 7.13 E 廠廢溶劑資源化處理流程圖

(2)原理

採蒸餾方法回收廢溶劑，其基本原理是利用各物質之沸點不同及物質特有的氣液平衡關係來達到分離之目的。當混合有機溶劑被加熱時，沸點較低的物質先沸騰而變成蒸汽，此有機蒸汽經過冷凝器之後冷凝成有機溶劑，再直接流至產品貯槽，成為成品。沸點高之物質則由蒸餾器底部送出，視其性質決定再處理方案，或直接當產品，無法利用之高燃點殘留物，則送往焚化處理或委外代清理業處理。本案例使用簡易回收設備（如圖 5.37），其特點如下：

- A. 生產工廠作業，回收率達 80~95% 左右。
- B. 安全性高，採密封防爆型設計，無火災之顧慮。
- C. 加溫方式採電熱管油浴或其它安全之加熱方式，並可配合增加溫度、時間控制設備。
- D. 可由已知種類之廢溶劑沸點來設定加溫溫度，節省電能。
- E. 具無熔絲開關、漏電斷路器等裝置，無漏觸電危險之虞。
- F. 裝置主要部分均採強固材質，連接管路為密閉型，溶劑之擴散及洩漏均不易發生，安全性高。
- G. 占用空間極小，安裝容易，移動方便。
- H. 電源為一般 110V 或 220V，且功率不高，不需專門特殊配線。
- I. 廢溶劑處理後之殘渣可輕易取出處理。
- J. 不必專業技術人員，只要按照步驟即能勝任操作。

其適用回收溶劑之種類：

- A. 酮系：丙酮(acetone)、甲基乙基酮(MEK)、甲基異丁酮(MIBK)等。
- B. 酯系：乙酸乙酯(EAc)、乙酸丁酯(BAc)等。
- C. 醇系：異丙醇(IPA)、異丁醇(IBA)、丁醇(BA)等。
- D. 芳香烴：甲苯(toluene)、二甲苯(xylene)等。
- E. 鹵化烴：三氯乙烯、三氯乙烷等氟氯碳化物。

F.溶纖劑：乙基溶纖劑(ECS)、丁基溶纖劑(BCS)等。

G.其它：幾乎各種添加用溶劑都可進行回收，但不宜超過三種。

2.資源化成效

E 廠某一生產線收集之廢溶劑（廢丙酮）平均每日約 50 公斤，每月平均工作天數 26 天，溶劑（丙酮）新品每公斤平均 50 元，由於產品製程要求，故不能直接用於添加，需先做分離回收再利用。

由以上背景資料得知：

該生產線每月產生之廢溶劑價值為

$$50 \text{ 元} \times 50 \text{ 公斤/日} \times 26 \text{ 日/月} = 65,000 \text{ 元/月}$$

每年產生之廢溶劑價值為

$$65,000 \text{ 元/月} \times 12 \text{ 月/年} = 780,000 \text{ 元/年}$$

假設，溶劑簡易回收裝置回收率分別以 80%、85%、90%，分別得之：

$$780,000 \times 80\% = 624,000 \text{ 元}$$

$$780,000 \times 85\% = 663,000 \text{ 元}$$

$$780,000 \times 90\% = 702,000 \text{ 元}$$

回收廢溶劑支出部分：

(1)電費

每次用電為 4 kwh（度），每日上下午各處理一次，電費每 kwh 以 5 元計，每月工作 26 天，則每月電費為

$$5 \text{ 元/kwh} \times 4 \text{ kwh/次} \times 2 \text{ 次/日} \times 26 \text{ 日/月} = 1,040 \text{ 元/月}$$

$$\text{全年電費為 } 1,040 \text{ 元/月} \times 12 \text{ 月/年} = 12,480 \text{ 元/年}$$

(2)人工處理費：

假設每次作業時間為 10 分鐘，每日二次，計時共 20 分。則每月處理時間為

$$20 \text{ 分/日} \times 26 \text{ 日/月} = 520 \text{ 分/月}$$

每年處理時間為

$$520 \text{ 分/月} \times 12 \text{ 月/年} = 6,240 \text{ 分/年}$$

以 6,240 分/年折合工作天數為 13 工作天（每工作天以 8 小時計）。據瞭解該廠本項工作由領班兼任，其待遇每天 1,500 元，折合 13 日之工資為

$$1,500 \text{ 元/日} \times 13 \text{ 日/年} = 19,500 \text{ 元/年}$$

(3)其它支出甚少，除折舊編列外，維護費極少，忽略不計。

故支出總費用：

電費＋人工費＝12,480 元/年＋19,500 元/年＝31,980 元/年

年效益：

該生產線回收率為 85%（最低計）時，總值為 663,000 元/年，減去全年支出總經費（電費及人工費用）31,980 元/年，該生產線每年廢溶劑回收 85% 時之實際利益為 631,020 元/年，若每年廢溶劑回收 90%，實際利益為 670,020 元/年。

7.5 廢塑膠資源化案例

7.5.1 廢塑膠回收再利用為塑膠板材

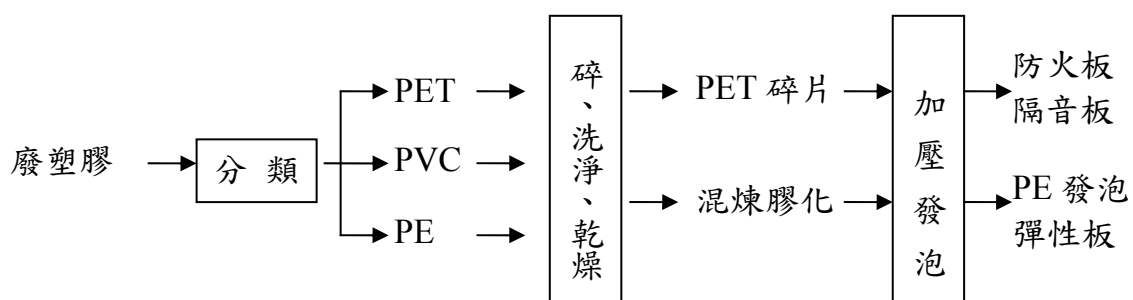
1. 前言

經濟部工業局輔導安順企業之塑膠廢棄物回收處理技術，開發多種高附加價值之產品，包括防火材料、隔間板、保溫材及 PET 材料等。

2. 製程及原理

廢塑膠回收再利用為塑膠板材之流程如圖 7.14 所示。技術重點為：

- 獨特之分類、破碎、清洗製程，提高再生產品品質。
- 利用物理方式有效清洗，無需添加化學藥劑，減少廢水處理之困擾。
- 研發自動化製程設備，降低生產成本，提高經濟效益。



資料來源：安順企業股份有限公司。

圖 7.14 廢塑膠回收再利用為塑膠板材之流程

3. 資源化成效

廢塑膠回收再利用為塑膠板材，其產品特點包括：

- PVC 再生原料製成隔熱建材（已獲國家專利、環保標章），更複合矽酸鈣板為防火建材，為建材界之一大革新。
- 防火複合板符合 CNS 6532 規定之耐燃規格。
- 硬質 PVC 發泡板，經工研院航太中心檢驗符合美國 ABD0031-ASTM E662 毒性氣體測試標準，並取得環保署建材類環保標準。

廢塑膠回收再利用為塑膠板材，其產品用途包括：

- 硬質 PVC 發泡板可廣泛應用於隔音、隔熱領域，並可搭配耐火材料複合形成各類外牆、隔間、天花板等防火建材。
- PET 瓶片出售可供紡紗、織布、製衣、不織布、填充材料之用。
- 各類再生塑膠，可依特定比例調配塑膠原生料，降低製造成本。

4.結語

廢塑膠回收再利用為塑膠板材，其製程簡易，二次污染較低，但不易處理混合廢塑膠，若廢塑膠為混合狀態，應考量廢塑膠之收集與分類。

7.5.2 廢塑膠熱裂解回收

1.前言

廢塑膠在所有類型的工業生產皆會產生，在進料、生產過程、出料、產品維護時都有可能產生。與其他廢塑膠回收技術不同的是，熱裂解法可同時回收混合的工業廢塑膠及一般都市廢棄物中的混合廢塑膠。

2.製程及原理

廢塑膠熱裂解為於厭氧或無氧狀態下，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（如燃料氣等）及焦炭。其處理流程如圖 7.15 所示。

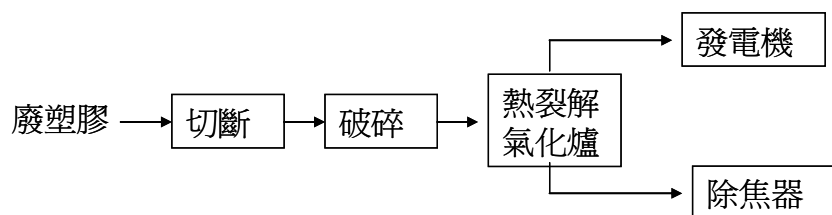


圖 7.15 廢塑膠熱裂解流程圖

3.資源化成效

表 7.9 為廢保麗龍之熱裂解氣化發電成本效益分析表，以每年處理 390 公噸的廢保麗龍為規劃產能，其期初投資成本為 4,300,000 元，操作費用為每年 1,767,150 元，每年可回收的電力、油料，及可節省的廢棄物清理費分別為 12,000 元、1,560,00 元、3,618,000 元。

4.結語

熱裂解為廢塑膠資源化技術之一，且可同時適用於熱塑性塑膠及熱固性塑膠，幾乎所有類型的高分子皆能同時回收，但其仍然是熱處理法之一，應考量產生酸性廢氣之收集與處理。

表 7.9 熱裂解氣化發電成本效益分析表

單位：新台幣元

產 能 規 劃	項目（單位）	
	電力(KW)	100
	廢棄物處理量(kg／hr)	130
	平均每天運轉時數(hr／day)	10
	平均每年運轉天數(days／year)	300
	廢棄物處理量(kg／year)	390,000
	每日作業班次	1

表 7.9 熱裂解氣化發電成本效益分析表(續)

單位：新台幣元

成本評估	期初投資成本(Initial Cost)		
	項目		金額
	1.熱裂解氣化爐(100 KW)		1,200,000
	2.除焦設備		800,000
	3.發電設備		1,600,000
	4.其他控制系統／附屬設備		400,000
	5.安裝費用		200,000
	6.廠房投資		100,000
	合計		4,300,000
	操作費用(Operational Expenditure)		
	項目		金額
	1.前處理費	單價(\$NT/kg)	1.5
		數量(kg/year)	390,000
		總價(\$NT/year)	585,000
	2.直接人工費用	單價(\$NT/月，人)	30,000
		數量(人/月)	2
		數量(月/人)	14
		總價(\$NT/year)	840,000
	3.管銷費用	經濟效益的 5%	180,900
	4.維修費用	期初投資成本的 3.75%	161,250
	合計		1,767,150
效益評估	項目		金額
	電力	單價(\$NT/KW.hr)	4
		數量(KW/hr)	100
		總價(\$NT/year)	1,200,000
	可回收的資源（油料）	單價(\$NT/kg)	10
		數量(kg/year)	156,000
		總價(\$NT/year)	1,560,000
	可節省的廢棄物清理費	單價(\$NT/kg)	2.2
		數量(kg/year)	390,000
		總價(\$NT/year)	858,000
	合計		3,618,000

資料來源：呂嘉弘、周桂蘭，廢塑膠氣化發電經濟效益及潛力調查與評估，第 12 屆廢棄物處理技術研討會論文集，P.65~72，1997 年。

7.5.3 廢塑膠容器回收

1.前言

本案例廢棄物來自電子產業，由於其製程中使用少量多樣的高純度化學品，致使有大量空桶產生。目前產生者廠區內使用之塑膠桶，如依容器盛裝容量來分類，大約可分 55 加侖、5 加侖及 1 加侖（含以下）等三大類，其主要用途為盛裝原物料、化學藥品及廢溶劑等。一般而言，廢棄空桶清除處理為易被忽略而又重要的問題，如何有效清洗且回收再利用則為本案例說明之重點。

2.製程及原理

本案再利用流程可概分為「前處理單元」、「吹塑成型單元」等兩大部分（如圖 7.16 所示），分述如下：

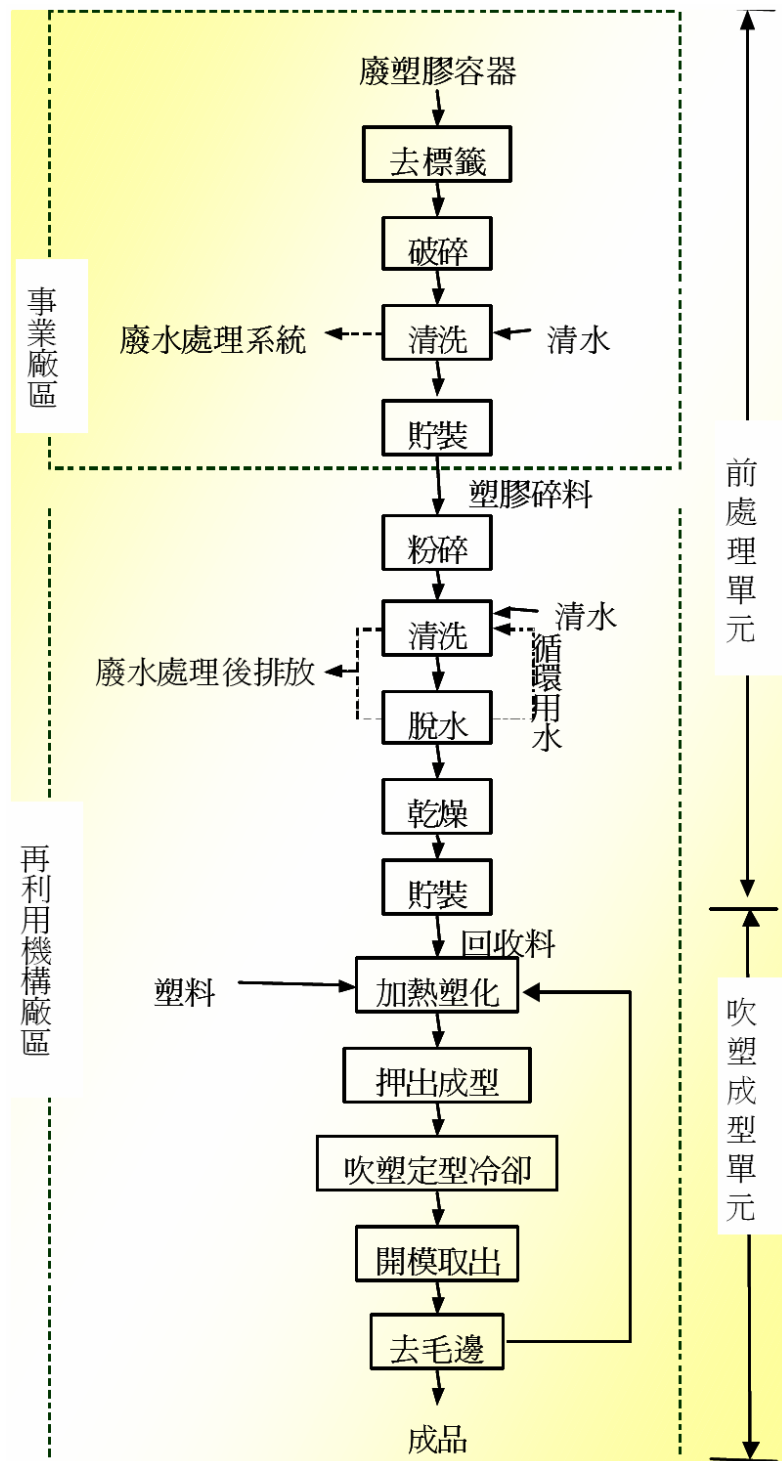
- (1)前處理單元：再利用機構設計一套回收專用移動式車輛至事業機構進行前處理，首先將塑膠桶內殘留之化學藥劑分離收集，然後經去標籤、破碎及清洗等過程後獲得塑膠碎料（40 cm×5 cm），再運回再利用機構。運回再利用機構之塑膠碎料需再清洗以除去運載過程中所附著之塵埃，並經脫水、乾燥等程序後，即成再生料並置於儲槽中備用。
- (2)吹塑成型單元：前處理後之再生料先經加熱熔融成流體，再經螺桿壓縮入料至押出機押出成型胚，最後再經吹塑定型填置於三層容器之中間層，經去毛邊後，即可獲得成品。過程中所產生之毛邊，可再打碎回收重新成型。

3.資源化成效

本案例係將廢塑膠容器經粉碎、清洗、造粒等方式初步處理之後，將廢塑膠料填置於三層容器之中間層，以一只 4.6 kg 的 120 公升三層桶為例，可使用回收料 1.59 kg；一只 10 kg 的 200 公升三層桶，可使用回收料達 5 kg。

4.結語

有鑑於國內盛裝化學品後之廢塑膠容器甚多，如任其堆置或因不當處理易衍生環保問題。廢塑膠容器回收，不僅可降低原料成本，以連續式製程來提升成品品質及生產效率，無污染內裝物與容器表面之疑慮，亦可配合政府的環保政策。



資料來源：鄭智和，黃進修，廢塑膠容器替代新塑膠容器部分原料，資源化產業資訊電子報，2004 年 8 月。

圖 7.16 廢塑膠容器替代新塑膠容器部分原料回收流程圖

名詞解釋

1. 被動元件(Passive component)

不影響信號基本特徵，而僅令訊號通過且未加以更動的電路元件，稱為被動元件。

在電子產品的各種元件當中，可以區分為兩類。能夠執行資料運算、處理的元件，為主動元件，包括各式各樣的晶片。而有些電子元件並不會對通過的電流訊號進行任何運算，只是將其訊號強度放大，或是單純地讓電流訊號通過，這些元件便歸類為「被動元件」，最常見的，就是電阻器、電容器、電感器、變壓器、二極體等。

電感器部分例如有變壓器、線圈、積層陶瓷電感器等；電容器部分例如有雲母電容器、陶瓷電容器、電解電容器、積層陶瓷電容器(MLCC)等；電阻器部分例如有金屬繞線電阻器、碳膜電阻器、晶片電阻器(CHIP-R)等。

2. 電容器(Capacitor)

電容器為存放電荷之電子組件，屬被動元件的一種。包含兩個導電面，由絕緣材料或介質（如空氣、紙、雲母、玻璃、塑膠膜及油等）予以分隔，可阻止直流電流動，允許限量之交流電（視電容量與交流頻率而定）通過，在計算機上廣泛運用其儲存電荷的功能，如電源供應器或動態記憶器的儲存格上。

3. 電解電容器

為電容器的一種，屬於被動元件。其介質是以電解法形成的氧化皮膜而製成。依其介質的不同，可分成不同的種類，其中以鋁質電解電容器及鉭質電解電容器最常見。

4. 鋁質電解電容器

為電解電容器的一種，屬於被動元件。鋁質電解電容器是以鋁當陽極，和以乙二醇、丙三醇、硼酸和氨水等等所組成的糊狀物當電解液所製成，為電容器中最廣泛使用的一種，亦是被動元件中較為成熟的產品。其優點在於靜電容量高，價格便宜，但有易受溫度影響，電容量不穩定，RF 高頻性能不佳，以及容易乾化及漏電解液的缺點。

可應用在家電產品(如音響、電視機)、電源供應器、不斷電系統、主機板、監視器、通訊、電腦及其週邊光電產品、電子安定器等領域。

5. 陶瓷電容器

陶瓷電容器係指以陶瓷為介電質，而將銀直接燒附於陶瓷上，以作為電極之無極性無機質之電容器，依產品結構及生產製造方式，可再區分為單層陶瓷電容器及積層陶瓷電容器。

6. 積層陶瓷電容器(Multi-Layer Ceramic Capacitor, 簡稱 MLCC)

積層陶瓷電容器其電容值含量與產品表面積大小、陶瓷薄膜堆疊層數成正比。近年來由於陶瓷薄膜堆疊技術越來越進步，電容值含量也越來越高，逐漸可以取代中低電容(如電解電容器和鉭質電容器的市場應用)，加上積層陶瓷電容器生產速度比電解電容器和鉭質電容器更快，因此積層陶瓷電容器的市場發展越來越受重視，是發展相當快速的電容器產品。MLCC 主要原料來自鈮金屬，由於鈮金屬僅產於蘇俄，所以鈮金的價格一向與蘇俄動向息息相關。

積層陶瓷電容器具有頻率特性佳及易於晶片化等特點，上游主要材料包括陶瓷粉體、電極及導針，在陶瓷粉體方面是以鈦酸鋇再加上各廠商所調配的添加劑，至於在電極方面，積層陶瓷電容器廠商已陸續將製程轉變為使用銅、鎳等卑金屬的 BME 製程。

7. 電感器(Inductor)

為被動元件的一種，俗稱線圈。電感器是用導線繞成線圈狀，而具有電感性質的元件，藉線圈電流變化，以產生磁通量變化。通常只有單一導線繞成者，會有自感作用，以一個以上導線繞製者，則有互感作用。電感器的主要功能是防止電磁波的干擾，電磁輻射遮蔽，過濾電流中的雜訊。應用範圍廣泛，包括電源供應器、監視器、交換機、主機板、掃描器、電話機、數據機等。

8. 電阻器(Resistor)

電阻器為電路中用於限制電流動(直流降壓)或提供電壓下降(直流分壓)之電子組件，屬被動元件的一種。電阻器把能量轉為熱耗散，藉由此種方式使該能量進行某些特定功能。一般說來，導體的電阻取決於它的形狀、大小和材料的性質。對於由一定材料製成的橫截面均勻的導體，它的電阻(R)與長度成正比，和橫截面(S)成反比。

依工作特性、形狀與用途來區分，一般可分為固定式非晶片電阻器、固定式晶片電阻器、可變式電阻器、熱敏電阻器及變阻器（非線性電阻器）等五大類。依製程可區分為厚膜晶片電阻器及薄膜式電阻器，國內則是以厚膜晶片電阻器為主。

9. 晶片電阻器

晶片電阻器係採用精純氧化鋁結晶陶瓷基板，印上高品質金屬厚膜導體，並於外層塗上玻璃鈣保護體製成，其晶體均勻、品質穩定、安定度及信賴度均高。此外，由於晶片電阻器體積小，功率高，成本較低，因此適用於 3C 產品，如數位相機、行動電話、網路卡、LCD 顯示器、電漿顯示器、汽車音響及防鎖死煞車系統等。

由於固定式晶片電阻器體積小、且可利用自動化生產設備大量生產，因此無論在產品品質、價格均相當合理，非常符合電子產品輕薄短小的發展趨勢，已成為電阻器的主要產品型態。

10. 減廢(Waste minimization)

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

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

11. 清潔生產(Cleaner production)

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

(1)對製程而言：清潔生產包含了節省原料及能源、不用有毒原料、並且減少排

放物及廢棄物的量及毒性。

(2)對產品而言：清潔生產在於減少整個產品生命週期(亦即從原料的萃取到最終的處置)對環境的衝擊。

(3)對服務而言：清潔生產在於減少因提供服務，而對於環境造成影響，因此在設計及提供服務的生命週期中，都應該將環境的考慮融入其中。

12.環境管理系統標準(ISO 14000)

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

13.廠內管理(House keeping)

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

當然前述所述要做好操作的管理，必須要由主管階層上鼓勵、獎勵，以使員工努力於減廢。

14.永續發展(Sustainable development)

是 1992 年 6 月聯合國在巴西里約熱內盧召開「地球高峰會議」所揭示的地球環境觀念。亦即人類的各種活動必須考慮環境的負荷能力及資源節約與有效利用，使地球上之生態環境能永續發展。

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

參考文獻

1. 2004 電子零組件工業年鑑，經濟部技術處，2004 年 5 月。
2. 歐盟環境保指令對我國產業之衝擊與因應對策，經濟部工業局/工研院環安中心，2005 年 5 月。
3. 黃孝信，我國電機電子產業如何因應綠色環保趨勢，兩岸經貿月刊，2005 年 5 月。
4. 兩岸被動電子零組件與交換式電源供應器專題調查，經濟部技術處，2000 年 12 月。
5. 清潔生產推動輔導計畫成果報告，經濟部工業局，2004 年 12 月。
6. 孫金余、王溪溪，廢鹽酸和廢鋁箔的回收利用，環境保護，第 5 期，pp.47，1996 年。
7. 資源化工業網站，<http://www.iw-recycling.org.tw/>。
8. 周達孫、鄧濤聲，電解鋁箔廢酸的回收方法試驗，桂林工學院學報，第 17 卷第四期，pp.391~393，1997 年 10 月。
9. 王金閣、胡慶福、劉鴻雁、何喜明，鋁箔酸洗廢液中鹽酸的回收和利用，化工環保，第 19 卷，pp.49~50，1999 年。
10. Foster-Miller 公司網站，<http://www.foster-miller.com/>。
11. 台灣綠色生產力基金會 91 年日本出國研修報告，經濟部工業局，2002 年。
12. 廢棄物資源化技術資料彙編，經濟部工業局，1999 年 6 月。
13. Asahi Glass Company 網站，<http://www.agc.co.jp>。
14. 清潔生產雙月刊，第三期，經濟部工業局，1995 年 10 月。
15. 蘇茂豐、王義基、李明美，電解鋁箔廢液現況及處理技術介紹，工業污染防治季刊，2005 年 10 月。

- 16.廢棄物資源回收與處理設備技術手冊及案例彙編－純化技術與設備篇，經濟部工業局，財團法人台灣綠色生產力基金會編印，2004 年。
- 17.光電業資源化應用技術手冊－薄膜電晶體液晶顯示器，經濟部工業局，財團法人台灣綠色生產力基金會編印，2003 年 12 月。
- 18.半導體業廢棄物資源化技術手冊，經濟部工業局，財團法人台灣綠色生產力基金會編印，2001 年 12 月。
- 19.陳政澤、陳文卿、賴重光，廢溶劑回收及處理技術與案例探討，工業污染防治季刊第 80 期，2001 年 10 月。
- 20.蔡永興，國內廢溶劑回收處理及處置現況，中國工程師學會會刊第七十四卷第三期，2001 年 4 月。
- 21.蔡永興，國內廢溶劑處理技術介紹，第 14 屆廢棄物處理技術研討會，1999 年 11 月。
- 22.蔡永興，國內廢溶劑處理現況，1999 年工程實務研討會，1999 年 12 月。
- 23.翁文爐，廢有機溶劑回收之清潔生產－純化方法，清潔生產資訊第 25 期，1999 年 8 月。
- 24.蔣維鈞、雷良恒、劉茂林，化工原理（下），第一版，清華大學出版社，1993 年。
- 25.田民波、劉德全，薄膜科學與技術手冊，機械工業，1991 年。
- 26.張一岑，有害廢棄物焚化技術，聯經出版事業公司，1991 年 6 月。
- 27.Stream Saving Process Solvent Recovery System, Technical Report 10, Nittetu Chemical Engineering Ltd, Japan.
- 28.蔡永興，”科學園區廢溶劑處理技術與處理途徑介紹”簡報，中技社綠色技術發展中心，2000 年 12 月。
- 29.蔡永興，”廠內廢溶劑回收再利用可行性辦法及設施介紹”簡報，臺灣區電機電子工業同業公會，2001 年 2 月。
- 30.呂嘉弘、周桂蘭，廢塑膠氣化發電經濟效益及潛力調查與評估，第 12 屆廢棄物處理技術研討會論文集，P.65~72，1997 年。
- 31.John Scheirs, polymer Recycling: Science Technology and Applications, John

Wiley & Sons Ltd, 1998.

32. 劉廷棟、劉京、張林，回收高分子材料的配方，化學工業出版社，2002 年。

單位換算表

長度

1 千米(km)=0.621 英哩(mile)	1 米(m)=3.281 英呎(ft)=1.094 碼(yd)	1 釐米(cm)=0.394 英吋(in)
1 英哩(mile)=1.609 千米(km)	1 英呎(ft)=0.3048 米(m)	1 英吋(in)=2.54 釐米(cm)
1 海哩(n mile)=1.852 千米(km)	1 碼(yd)=0.9144 米(m)	1 英呎(ft)=12 英吋(in)
1 碼(yd)=3 英呎(ft)	1 英里(mile)=5280 英呎(ft)	1 海哩(n mile)=1.1516 英哩(mile)

質量

1 噸(t) =1000 千克(kg) =2205 磅(lb) =1.102 短噸(sh.ton) =0.934 長噸(long.ton)	1 千克(kg) =2.205 磅(lb)	1 短噸(sh.ton) =0.907 噸(t) =2000 磅(lb)
1 長噸(long.ton)=1.016 噸(t)	1 磅(lb)=0.454 千克(kg)	1 盎司(oz)=28.350 克(g)

面積

1 平方公里(km ²) =100 公頃(ha) =247.1 英畝(acre) =0.386 平方英哩(mile ²)	1 平方米(m ²) =10.764 平方英呎(ft ²)	1 公畝(acre) =100 平方米(m ²)
1 公頃(ha) =10000 平方米(m ²) =2.471 英畝(acre)	1 平方英哩(mile ²) =2.590 平方公里(km ²)	1 英畝(acre) =0.4047 公頃(ha) =40.47*10 ⁻³ 平方公里(km ²) =4047 平方米(m ²)
1 平方英呎(ft ²) =0.093 平方米(m ²)	1 平方英吋(in ²) =6.452 平方釐米(cm ²)	1 平方碼(yd ²) =0.8361 平方米(m ²)

壓力

1 兆帕(MPa)=145 磅/英吋 ² (psi) =10.2 千克/釐米 ² (kg/cm ²) =10 巴(bar) =9.8 大氣壓(at m)	1 磅/英吋 ² (psi) =0.006895 兆帕(MPa) =0.0703 千克/釐米 ² (kg/cm ²) =0.0689 巴(bar) =0.068 大氣壓(at m)	1 巴(bar) =0.1 兆帕(MPa) =14.503 磅/英吋 ² (psi) =1.0197 千克/釐米 ² (kg/cm ²) =0.987 大氣壓(at m)
1 大氣壓(at m) =0.101325 兆帕(MPa) =14.696 磅/英吋 ² (psi) =1.0333 千克/釐米 ² (kg/cm ²) =1.0133 巴(bar)		

密度

1 千克/米 ³ (kg/m ³) =0.001 克/釐米 ³ (g/cm ³) =0.0624 磅/英吋 ³ (lb/ft ³)	1 磅/英吋 ³ (lb/ft ³) =16.02 千克/米 ³ (kg/m ³)	1 磅/英吋 ³ (lb/in ³) =27679.9 千克/米 ³ (kg/m ³)
1 磅/美加侖(lb/gal) =119.826 千克/米 ³ (kg/m ³)	1 磅/英加侖(lb/gal) =99.776 千克/米 ³ (kg/m ³)	1 磅/(石油)桶(lb/bbl) =2.853 千克/米 ³ (kg/m ³)
1 波美密度 =140/15.5℃ 時的比重-130	API =141.5/15.5℃ 時的比重-131.5	

體積

1 立方米(m ³) =1000 升(liter) =35.315 立方英呎(ft ³) =6.290 桶(bbl)	1 立方英呎(ft ³) =0.0283 立方米(m ³) =28.317 升(l)	1 千立方英呎(mcf) =28.317 立方米(m ³)
1 百萬立方英呎(MMcf) =2.8317 萬立方米(m ³)	10 億立方英呎(bcf) =2831.7 萬立方米(m ³)	1 萬億立方英呎(tcf) =283.17 億立方米(m ³)
1 立方英吋(in ³) =16.3871 立方釐米(cm ³)	1 英畝·英呎=1234 立方米(m ³)	1 桶(bbl) =0.159 立方米(m ³) =42 美加侖(gal)
1 美加侖(gal)=3.785 升(l)	1 美夸脫(qt)=0.946 升(l)	1 美品脫(pt)=0.473 升(l)
1 美吉耳(gi)=0.118 升(l)	1 英加侖(gal)=4.546 升(l)	

運動粘度

1 英呎 ² /秒(ft ² /s) =9.29030*10 ⁻² 米 ² /秒(m ² /s)	1 斯(St)=10 ⁻⁴ 米 ² /秒(m ² /s)	1 厘斯(cSt) =10 ⁻⁶ 米 ² /秒(m ² /s) =1 毫米 ² /秒(mm ² /s)
---	---	--

動力粘度

1 泊(P)=0.1 帕·秒(Pa·s)	1 磅力秒/英呎 ² (lbf·s/ft ²) =47.8803 帕·秒(Pa·s)	1 千克力秒/米 ² =9.80505 帕·秒(Pa·s)
1 厘泊(cP)=10 ⁻³ 帕·秒(Pa·s)		

力

1 牛頓(N) =0.225 磅力(lbf) =0.102 千克力(kgf)	1 千克力(kgf)=9.81 牛頓(N)	1 磅力(lbf)=4.45 牛頓(N)
1 達因(dyn)=10 ⁻⁵ 牛頓(N)		

溫度

K(開爾文度)=5/9(°F+459.67)	K=°C+273.15	n°F=[(n-32)*5/9]°C
n°C(攝氏度)=(5/9·n+32)°F	1°F(華氏度)=5/9°C(溫度差)	

熱功

1 焦耳=0.10204 千克力·米 =2.778*10 ⁻⁷ 千瓦·小時 =3.777*10 ⁻⁷ 公制馬力·小時 =3.723*10 ⁻⁷ 英制馬力·小時 =2.389*10 ⁻⁴ 千卡=9.48*10 ⁻⁴ 英熱單位	1 卡(cal)=4.1868 焦耳(J)	1 英熱單位(Btu)=1055.06 焦耳(J)
1 千克力米(kgf·m) =9.80665 焦耳(J)	1 英呎磅力(ft·lbf) =1.35582 焦耳(J)	1 米制馬力·小時(hp·h) =2.64779*10 ⁶ 焦耳(J)
1 英制馬力·小時(UKHp·h) =2.68452*10 ⁶ 焦耳(J)	1 千瓦·小時(kw·h) =3.6*10 ⁶ 焦耳(J)	1 大卡=4186.75 焦耳(J)

熱導率

1 千卡/(米 ² ·時·°C)[kcal/(m ² ·h·°C)] =1.16279 瓦/(米·開爾文)[W(m·K)]	1 英熱單位/(英呎 ² ·時·°F)[Btu/(ft ² ·h·°F)] =1.7303 瓦/(米·開爾文)[W(m·K)]
--	--

功率

1 千克力·米/秒(kgf·m/s) =9.80665 瓦(W)	1 英熱單位/時(Btu/h) =0.293071 瓦(W)	1 卡/秒(cal/s)=4.1868 瓦(W)
1 米制馬力(hp)=735.499 瓦(W)		

速度

1 英呎/秒(ft/s)=0.3048 米/秒(m/s)	1 英哩/時(mile/h)=0.44704 米/秒(m/s)
------------------------------	---------------------------------

滲透率

1 達西=1000 毫達西	1 平方釐米(cm ²)=9.81*10 ⁷ 達西
---------------	--

索引

介電材料.....	6, 7, 10, 11, 29, 30, 164
化成箔.....	18, 142
火法冶鍊.....	48
光蝕刻.....	16
共沸點.....	98
低溫共燒陶瓷.....	8, 10, 30, 31, 33
低溫冷凝.....	93, 96
金屬膜電阻.....	6
重力分選.....	51
氨浸法.....	70, 87, 90, 91
真空鍍膜.....	6, 16
高溫爐.....	11
硫酸置換法.....	61, 62, 63, 66, 69
陶瓷基板.....	7, 30, 34, 41, 132, 164
晶片電阻.....	6, 7, 10, 16, 17, 18, 34, 35, 41, 52, 162, 164
渦電流分選.....	51
無鉛化.....	5, 16, 28, 34, 35
萃取精餾.....	99, 100
超臨界流體萃取.....	97, 104
催化燃燒.....	95, 96
塑膠薄膜.....	5, 6, 35
溶解置換反應法.....	55, 69, 134, 135
溼式冶金.....	52
溼式精鍊.....	48
煅燒法.....	139
電解箔.....	18, 142
滲透蒸發.....	97, 101, 102
碳膜電阻.....	6, 162
網版印刷.....	6, 13, 31, 34
聚合反應法.....	55, 69
蒸發法.....	56, 69, 135, 136, 137
蒸發濃縮法.....	57, 69
蒸餾冷凝法.....	56, 69, 137
酸-金屬回收法.....	56, 57, 69
酸浸.....	70, 71, 72, 73, 75, 77, 87, 89, 90, 91
銀漿印刷.....	26
層級分析法.....	87
熱敏電阻.....	7, 164
熱裂解.....	115, 116, 117, 118, 157, 158, 159
導電漿墨.....	7, 34
整合型元件.....	8, 29, 30
樹脂吸附法.....	61, 69
積層陶瓷電容.....	5, 10, 11, 12, 26, 32, 33,

41, 52, 162, 163

靜電分選.....52

薄帶成型.....10, 11, 18

薄帶製作.....26

擴散透析.....58, 59, 69, 97, 101, 103

擴散透析法.....58, 59, 69

國家圖書館出版品預行編目資料

被動電子元件業資源化應用技術手冊/經濟部工業局編,財團法人台灣綠色生產力基金會編著,--初版.—台北市：工業局出版；台北縣新店市：台灣綠色生產力基金會發行，民 95- 190 面：21×29.7 公分
參考書目：166-168 面

含索引

ISBN 986-00-5535-1 (平裝)

1.廢物技術 2.工業廢物處理

445.97

95011328

被動電子元件業資源化應用技術手冊

編 著：經濟部工業局；財團法人台灣綠色生產力基金會

發行人：陳昭義

總編輯：連錦漳

編輯企畫：陳炯立、林政江、余騰耀、張啟達、洪文雅、李明美

執行編輯：林冠嘉、林金美

編輯委員：王文裕、王錫福、陳文輝、曾德偉、楊奉儒、蔡永興(依
姓氏筆畫順序排列)

出版所：經濟部工業局

台北市大安區信義路三段 41 之 3 號

(02)2754-1255

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

發行所：財團法人台灣綠色生產力基金會

台北縣新店市寶橋路 48 號 5 樓

(02)2910-6067

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

出版日期：中華民國九十五年七月初版

設計印刷：信可印刷有限公司

工本費：400 元

GPN：1009501585

ISBN：986-00-5535-1 (平裝)