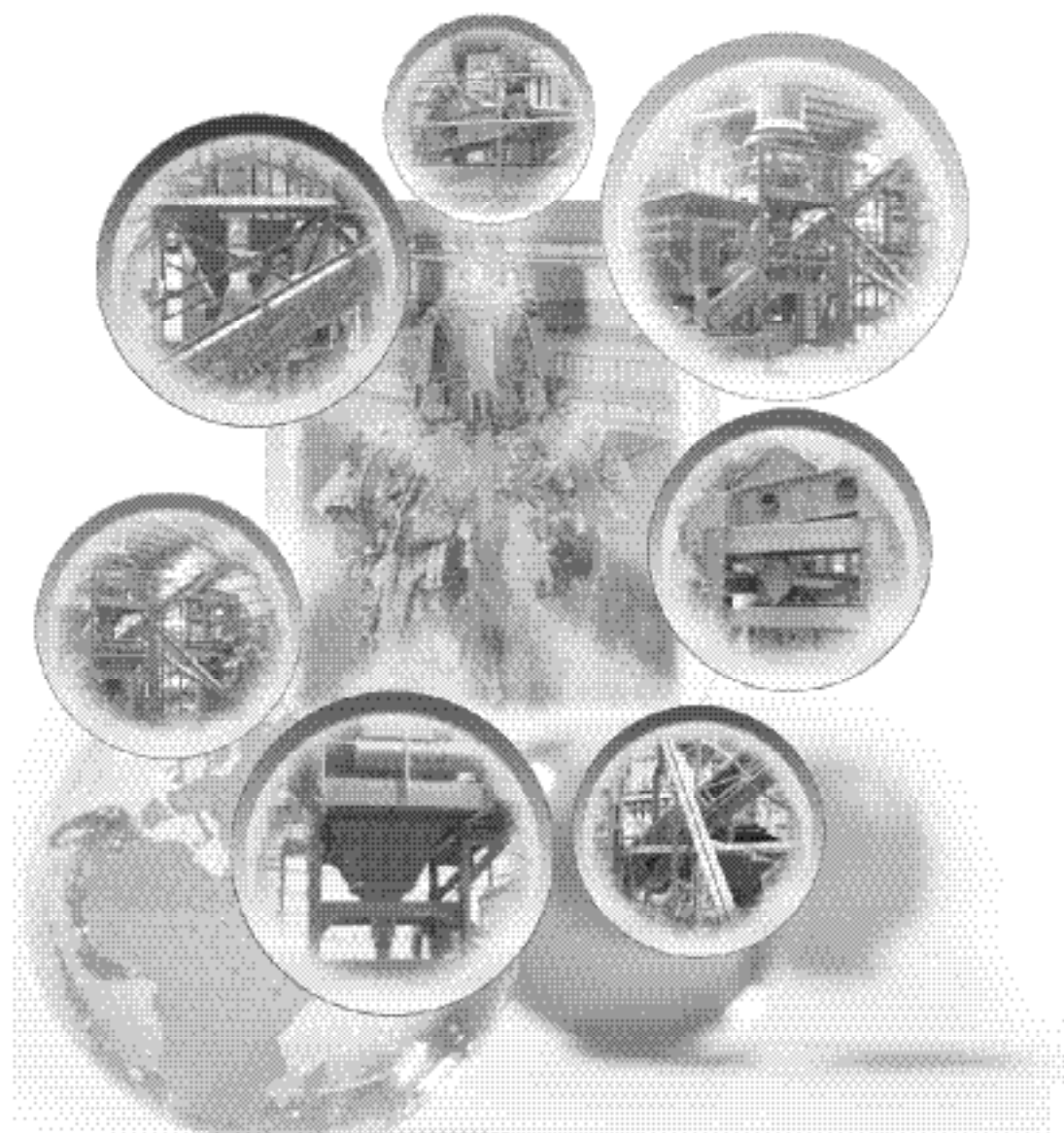


廢棄物資源回收與處理設備 技術手冊及案例彙編 分選技術與設備篇



經濟部工業局 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92年12月

序

國際上有許多的學者預言，二十一世紀將是爭奪資源的世代，亦即主導人類經濟的活動，除了資本與技術之外，最重要將是資源的擁有。因此，資源的有效利用，將是維繫未來人類經濟活動的命脈。現在各國對於處理廢棄物的趨勢，逐步以資源化為主，因為若能正確的把廢棄物資源化，不但可以減緩廢棄物處理設施興建的壓力，亦可創造新的利潤，降低經營成本，使資源永續利用。

本局為提升事業廢棄物再利用量，並促進資源化產業之投資與發展。近年來，持續推動「資源化工業輔導計畫」，在產、官、學、研各界的努力下，國內事業廢棄物資源化的運作方式與管理制度，已漸趨成熟並為各界所接受。若能在自由經濟市場機制下，持續提升資源化工業之技術能力，提供產業界相關技術資訊，當可創造資源化產業之利潤，並有利於資源化產業之發展，達到環保與經濟兼籌並顧的雙贏目標。

分選技術乃廢棄物資源化過程中的關鍵性技術之一，因為具可資源化物質若不能經由分選前處理將其分離，則將影響後續回收處理之操作，並大幅降低回收再利用之可行性。本局特委託台灣綠色生產力基金會針對分選原理、技術與設備、設備選定，以及廢棄物分選案例進行收集整理，並編印成冊。冀望提供業者從中汲取資源化技術經驗，並作為學術研究單位及相關工程業界研究開發參考，俾利共同促進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，感謝國立成功大學資源再生及管理研究中心陳偉聖先生、國立成功大學資源工程學系謝雅敏小姐以及大漢技術學院資源工程學系胡紹華先生參與資料蒐集及編撰，國立台灣大學環境工程學研究所黃錦明先生及國立成功大學資源工程學系溫紹炳教授協助修訂，以及國立成功大學資源再生及管理研究中心蔡敏行教授、工研院環安中心鄭智和經理，以及友達光電股份有限公司張清桂經理之審訂，使本手冊得以付梓。但由於時間匆促，其實務資料蒐集彙整不易，內容如有錯誤漏植之處，尚祈不吝指正。

經濟部工業局 謹識

中華民國九十二年十二月

目錄

第一章 前言	1
1.1 資源再利用的意義	1
1.2 分選對廢棄物處理及資源化之重要性	1
第二章 分選原理	3
2.1 分選原理	3
2.2 分選技術	15
2.3 分選特性	16
2.4 分選效率	17
第三章 分選前處理技術與設備	19
3.1 粉碎技術與設備	19
3.2 篩分技術與設備	29
3.3 分級技術與設備	34
第四章 分選技術與設備	37
4.1 揀選技術與設備	37
4.2 重力分選技術與設備	43
4.3 磁選技術與設備	71
4.4 靜電分選技術與設備	85
4.5 泡沫浮選技術與設備	93
4.6 其他分選技術與設備	111
第五章 分選設備之選定	114
5.1 分選機之分類	114
5.2 分選機之選擇	115
5.3 分選附屬設備	116

5.4 分選流程設計	127
第六章 廢棄物分選案例	131
6.1 燃煤飛灰之分選案例	131
6.2 高爐煉鐵煙塵之分選案例	135
6.3 鋼鐵冶煉爐渣分選案例	140
6.4 混合五金廢料分選案例	147
6.5 電子廢料分選案例	156
6.6 營建混合廢棄物之分選案例	162
參考文獻	172

圖目錄

圖 2.1	強磁性物質之磁化曲線	7
圖 2.2	順磁及反磁性物質之磁化曲線	8
圖 2.3	磁滯曲線	8
圖 2.4	靜電分選原理	11
圖 2.5	顆粒靜電感應帶電	11
圖 2.6	靜電分選顆粒所受之作用力	12
圖 2.7	高壓電選原理	13
圖 2.8	泡沫與固體間之接觸角	14
圖 3.1	顎形破碎機之構造圖	21
圖 3.2	偏心破碎機之構造圖	22
圖 3.3	轉輪破碎機	23
圖 3.4	衝擊破碎機	24
圖 3.5	剪斷破碎機結構圖	25
圖 3.6	球磨機結構示意圖	27
圖 3.7	塔磨機結構圖	28
圖 3.8	自調中心振動篩	32
圖 3.9	共振篩結構示意圖	32
圖 3.10	重力曲面篩原理示意圖	33
圖 3.11	機率篩結構圖	34
圖 3.12	水力分級機	35
圖 3.13	渦錐分級機	36
圖 3.14	空氣分級機	36
圖 4.1	手選轉台	37

圖 4.2	光學分選機.....	39
圖 4.3	Gunson's Sortex MP60 型分選機.....	39
圖 4.4	簡易型顏色分選機.....	40
圖 4.5	RTZ 16 型光學分選機.....	40
圖 4.6	RTZ 19 型挑選機.....	41
圖 4.7	伽瑪散射分選機系統與原理.....	42
圖 4.8	豎槽型風力分選機.....	44
圖 4.9	豎槽型風力分選系統.....	45
圖 4.10	彎曲管道型風力分選機.....	46
圖 4.11	水平式風力分選機.....	46
圖 4.12	氣刀分選機之三種型式.....	47
圖 4.13	震盪型風力分選機之分選原理.....	48
圖 4.14	震盪型風力分選機.....	48
圖 4.15	旋轉型風力分選機.....	49
圖 4.16	上升水流分選設備.....	51
圖 4.17	Wemco 公司上升水流分選機.....	52
圖 4.18	波震分選機剖面圖.....	53
圖 4.19	平流分選原理圖.....	54
圖 4.20	尖縮溜槽.....	57
圖 4.21	雙層圓錐分選機剖面圖.....	58
圖 4.22	螺紋分選機.....	59
圖 4.23	溜洗槽.....	59
圖 4.24	溜流槽之擋條種類.....	60
圖 4.25	搖洗桌.....	61
圖 4.26	帶選機.....	62

圖 4.27	轉動圓流桌	62
圖 4.28	重液分選系統	63
圖 4.29	錐形分選機	66
圖 4.30	鼓形分選機	66
圖 4.31	重液渦錐分選機	67
圖 4.32	磁性流體分選機	69
圖 4.33	慣性力分選設備	70
圖 4.34	磁滑輪磁選機之操作原理	72
圖 4.35	電磁筒磁選機	73
圖 4.36	矩形懸掛式磁選機之使用方法	73
圖 4.37	筒形磁選機	74
圖 4.38	Dings-Roche 帶式磁選機	75
圖 4.39	磁感應筒磁選機操作原理	76
圖 4.40	交叉皮帶磁選機	77
圖 4.41	盤形磁選機	78
圖 4.42	Frantz 磁過濾機	80
圖 4.43	NY 轉筒型磁選機	81
圖 4.44	Jones 轉環型磁選機	82
圖 4.45	罐型高梯度磁選機	83
圖 4.46	轉環型高梯度磁選機	84
圖 4.47	超導磁選機	85
圖 4.48	板式靜電分選機	86
圖 4.49	網式靜電分選機	86
圖 4.50	多部靜電分選機排列成層狀	87
圖 4.51	高壓靜電分選機之外觀圖	88

圖 4.52	高壓靜電分選機之內部構造圖	89
圖 4.53	渦電流分選機之類型	91
圖 4.54	渦電流分選系統圖	93
圖 4.55	Newell 公司之渦電流分選機	93
圖 4.56	柱槽浮選機	95
圖 4.57	Flotaire 柱槽浮選機	96
圖 4.58	WBS 型 S-W 浮選機	97
圖 4.59	泡沫浮選機	98
圖 4.60	Davcra 噴射式浮選機	99
圖 4.61	各類吸氣型浮選機	100
圖 4.62	Fagergren 浮選機	101
圖 4.63	Denver Sub A 浮選機浮選作用示意圖	102
圖 4.64	Denver M 型浮選機之操作情形	103
圖 4.65	Denver 單槽浮選機構造圖	104
圖 4.66	Denver 單槽浮選機之使用情形	104
圖 4.67	Aker 浮選機構造圖	105
圖 4.68	Aker 浮選機 L 型組合	105
圖 4.69	Aker 浮選機 B 型組合	106
圖 4.70	Agitair 浮選機構造圖	106
圖 4.71	OK-50 型浮選機組	107
圖 4.72	Denver D-R 型浮選機操作情形	108
圖 4.73	各類攪拌吹氣型浮選機	109
圖 4.74	Sala AS 型浮選機葉輪操作情形	110
圖 4.75	Sala AS 型浮選機尺寸結構圖	111
圖 4.76	熱粘選鹽法	112

圖 4.77	長度分選機	113
圖 5.1	濃泥池構造圖	119
圖 5.2	離心濃泥裝置	120
圖 5.3	圓筒型真空過濾機	121
圖 5.4	盤型真空過濾機	122
圖 5.5	水平式真空過濾機	122
圖 5.6	帶式真空過濾機	123
圖 5.7	批次式加壓過濾機	124
圖 5.8	連續式加壓過濾機	124
圖 5.9	轉筒型離心機	125
圖 5.10	穿孔轉籃型離心機	125
圖 6.1	鋼鐵冶煉流程圖	140
圖 6.2	高(轉)爐石資源化用途	142
圖 6.3	脫硫渣粉碎、磁選的分選結果	144
圖 6.4	脫硫渣處理流程	146
圖 6.5	廢電線、電纜之分選處理流程	151
圖 6.6	廢電冰箱之專業分選回收處理流程	154
圖 6.7	廢電視機之專業分選回收處理流程	154
圖 6.8	電子廢料之回收處理流程	160
圖 6.9	電子廢料中貴重金屬之回收處理流程	161
圖 6.10	營建廢棄物的分類	163
圖 6.11	建築廢棄物資源化之處理流程	165
圖 6.12	新建施工廢棄物的組成	166
圖 6.13	廢混凝土塊、屑的分選處理流程	167

表目錄

表 3.1	設備特性及適用範圍彙整表	20
表 3.2	篩分設備之分類	30
表 4.1	重力分選準據表	55
表 4.2	搖洗桌設計參數	61
表 4.3	常用之重液	64
表 4.4	常用之重液介質	65
表 4.5	重液渦錐分選機規格表	68
表 4.6	磁感應筒磁選機規格表	76
表 4.7	盤形磁選機規格表	79
表 4.8	各類金屬導電度與比重之比值表	92
表 5.1	顆粒及粒度係數	117
表 5.2	分選機的用水量	118
表 6.1	燃煤飛灰之物理化學性質表	133
表 6.2	飛灰作為混凝土添加料或水泥熟料之物化性質規範	134
表 6.3	各種分選處理法對分選飛灰中未燃碳之適用性評估	134
表 6.4	飛灰原樣與尾礦之波索蘭活性指數試驗結果	135
表 6.5	A 廠高爐礦泥發生量	136
表 6.6	高爐礦泥各篩級之化學成分分析結果	136
表 6.7	高爐礦泥經渦錐處理後之粒度分佈	137
表 6.8	高爐礦泥經濕式渦錐處理後的溢流礦各粒度成分分析	138
表 6.9	高爐礦泥經濕式渦錐處理後的排礦各粒度成分分析	139
表 6.10	鋼鐵冶煉廠爐渣種類及化學組成	141
表 6.11	脫硫渣不同粒度的鐵品位與石墨品位的分析結果	143

表 6.12	不同球磨時間對脫硫渣浮選石墨結果的影響.....	145
表 6.13	台灣地區混合五金廢料的來源.....	148
表 6.14	某處理機構之處理設備及相關設施.....	150
表 6.15	四種廢家電組成材料之比較.....	153
表 6.16	廢家電回收之產物.....	155
表 6.17	電子廢料之組成分析.....	157
表 6.18	廢 IC 板的金屬成分分析.....	158
表 6.19	建築拆除廢棄物組成分析一覽表.....	166
表 6.20	破碎機的種類.....	168
表 6.21	日本各類骨材的品質比較.....	169
表 6.22	日本建設省令所訂水泥、瀝青混凝土粉碎再生骨材之主要用途.....	169
表 6.23	日本再生骨材的暫訂品質基準.....	170
表 6.24	日本水泥混凝土再生骨材之暫定品質基準.....	170
表 6.25	日本營建事業廢棄物的歷年再生率變化.....	171

第一章 前言

1.1 資源再利用的意義

全世界的天然資源已經不再是取之不盡、用之不竭的寶藏，大地藏無盡的傳統觀念也需要矯正，依照目前之消耗速率來估計，未來數十年間，某些資源物質將會開發耗盡，人類已經不得不調整資源使用習慣及研發再利用之可行性。廢棄物中含有許多可以經適當分類、收集、轉化及回收再製，而重新再利用之資源物質。這些廢棄物回收後將可成為工業原料、動力的燃料或填海造地之填料。從廢棄物中回收有用的資源物質，除可達到廢棄物減量的目的，同時也可節省天然資源與能源之消耗，再者也可減輕環境污染量，是為一舉多得的好辦法。尤其在此能源危機及資源短缺之際，資源回收與再利用更成為廢棄物處理及防止公害之重要研究發展方向。

況且台灣之天然資源本就不足，完全仰賴進口，再加上本島土地資源有限，我們更應該注重廢棄物妥善處理及資源回收再利用，為節約自然資源的使用，減少廢棄物產生，促進物質回收再利用，減輕環境負荷，建立資源永續利用的社會。我國政府業於91年7月公布「資源回收再利用法」，藉由本法的公布施行，國內各事業單位及個人就有其責任與義務依循，減少資源之消耗，抑制廢棄物之產生及促進資源回收再利用之原則，改善事業製程(朝減廢及利於回收再利用方式來研發產品)，並適當回收循環再利用製品及再生資源。

總之，廢棄物已不再是以不要的、用壞的及欲丟棄的物質加以定義；相反地，應將其視為另一種形式之資源物質(如同天然資源之礦產)經適當之加工及再製成可用之製品。此外，資源回收再利用可有效減緩天然資源之消耗，更可以減緩廢棄物對環境之衝擊，所以廢棄物資源回收再利用技術，可說是人類未來文明及科技發展之重要課題。

1.2 分選對廢棄物處理及資源化之重要性

從廢棄物中回收資源物質或進行廢棄物之處理時，分選工作往往攸關處理或回收流程之成敗關鍵。廢棄物中之資源物質若不能經由分選之前處理流程將其分離，則可能影響後續回收程序之操作，甚至大大降低回收之可行性；對於廢棄物

之處理也會因有害廢棄物質無法在分選階段加以剔除，而迫使考量其他更昂貴之處理程序。所以分選技術在廢棄物處理及資源回收工作之意義包含以下三項：

- 1.將有害物分離出來，可以減少後續處理或回收工作之操作成本，同時也可減少二次公害之發生。如焚化處理時，將含氯之塑膠物質作有效的分選去除，可降低焚化時戴奧辛之排放。
- 2.利用分選技術回收資源及再利用資源物質或可用物質，如從廢五金中利用分選技術將資源物質之銅、銀、塑膠等回收再利用。
- 3.因廢棄物種類複雜及來源不一，分選技術可以廣泛配合各種不同之處理及回收方法，使其處理或回收效率得以提高。

正因為廢棄物種類繁多及其物化特性變化很大，在處理及回收技術之選擇上考量因素也很多，且分選技術之選定也攸關處理及回收之效率，故不得不慎重考量。有鑑於此，本技術手冊針對固態廢棄物之分選技術及設備，藉由廢棄物之物化特性評析說明，提供業界選用適合之分選技術及設備之參考，以達到降低廢棄物處理成本及提升資源化效益。

第二章 分選原理

2.1 分選原理

任何一種資源廢棄物在其進行回收再利用之處理程序之前，通常都需要利用分選的手段或程序，將目標資源化物質與其他廢棄物質予以分開。而這個分選程序通常是需能量之消耗，以反抗趨向最大亂度之自然傾向。這些物質當中也都各有其獨特之物理或化學特性，供分選程序之使用。分選之目的為回收廢棄物中可再利用之資源及可用物質；同時也可以配合各種不同之回收處理程序，將目標資源物質予以分選出來，以提高後續回收處理程序之回收處理效率；此外，也可從廢棄物中分選出有害物質或有礙後續回收處理程序之廢棄物，如此可以減少二次公害之發生及提高回收再利用物質之品質。

本手冊所提之分選設備所採用之分選特性，有一些是物質之顯性差異，如粒度及顏色等；有的是物質特性經化學藥劑調整後，所顯現之物質特性差異，如浮選時所使用之捕捉劑及起泡劑等。

本節將針對其中幾個較為重要且應用較廣之特性及其分選原理說明如下，至於各別分選設施所採用之分選原理，將於第四章分選技術及設備中加以說明。

1. 比重(或重力)

利用物質比重分選之技術很多，本節僅就應用廣泛以水為介質之重力分選原理作一說明，其他介質或機械之重力分選技術，則於第四章說明。

物質顆粒在水中沈降速度，不僅由顆粒大小所決定，也受到比重及顆粒形狀等因素之影響。如顆粒比重及形狀均相同之操作條件下，僅利用顆粒大小在水中沈降速度之不同。選用大小顆粒沈降速度差之中間速度上昇水流，沈降速度小之顆粒被上昇水流沖上而形成溢流，沈降速度大者逆著水流下降而分成大小兩群顆粒，如此之操作即為分級，也是分粒操作之一種。但若再加上比重大小或顆粒形狀之不同，來分選各種物質之操作，即為重力分選之操作。

物質顆粒在水中沈降現象在分選操作上，運用很廣泛，其原理及特性甚為重要，茲分別說明如下：

(1) 沈降理論

物質顆粒在沈降時所受之阻力與其運動速度、運動方向之截面積、流體之黏度以及流體密度等因素有關。此阻力則依流體之流動狀態(以雷諾數 Re 來定義)概可分為下列三種情況：

A. 層流阻力(或黏性阻力)

當物質顆粒小、重量輕、沈降速度慢時，粒子周圍流體並無顯著擾動(即在穩定的層流中)，顆粒沈降所受到之阻力為液體黏性，此阻力大小由 stocks 導出如下：

$$R_s = 3\pi \cdot \eta \cdot d \cdot v$$

R_s ：阻力之大小(dyne)，層流阻力

η ：流體之黏性係數(poise)

d ：顆粒直徑(cm)

v ：沈降速度(cm/sec)

B. 亂流阻力(或渦流阻力)

當顆粒變大、沈降速度加快時，顆粒沈降與流體黏性關係不大，顆粒沈降所受到之阻力為運動顆粒背後形成之旋渦區，所造成負壓阻礙顆粒沈降。此阻力大小由 Newton 導出如下：

$$R_n = (\pi/16) \cdot d^2 \cdot \rho_l \cdot v^2$$

ρ_l ：液體密度(g/cm³)

R_n ：阻力大小(dyne)，亂流阻力

C. 層流及亂流間之阻力

Stock Law 適用於 $R_e \left(R_e = \frac{V \cdot d \cdot P_t}{\eta} \right) < 1$ 之層流情形，而 Newton Law 適

用於 $Re=103\sim 105$ 之範圍，故 Re 介於 $1\sim 103$ 之間者，既有黏性阻力，又有亂流阻力，可以用 Allen 阻力公式估算：

$$R_a = \frac{5}{4} \pi \cdot d^{1.5} \cdot v^{1.5} \cdot \rho_l^{0.5} \cdot \eta^{0.5}$$

(2) 自由沈降

顆粒沈降時，因料漿濃度不同，會形成不同之沈降情形，當料漿濃度稀少(一般是小於 3%)，顆粒沈降除受流體阻力之外，不受其他粒子影響之沈降，是為自由沈降(free settling)。若料漿濃度增大，沈降粒子受周圍粒子影響或細小顆粒沈降緩慢懸浮其中，形成浮沈柱，做其他顆粒之沈降速度減緩，料漿濃度愈大，此干涉作用越強，是為阻礙沈降(hindered settling)。

大球體在流體中沈降產生速度後，即有阻力產生，此阻力將隨速度加快而變大，待速度大到一定程度，其阻力與有效重量相等時，顆粒將作等速下降，是為終端速度(terminal velocity)。顆粒之沈降主要受到重力及亂流阻力的作用，如下式：

質量×加速度=顆粒重-所受浮力-沈降阻力(Rn)

$$m \frac{dv}{dt} = mg - m'g - Rn$$

$$\frac{dv}{dt} = g \cdot \frac{\rho_o - \rho_l}{\rho_o} - \frac{3\rho_l \cdot V^2}{8d\rho_o}$$

$$\text{當球體達終速時 } \frac{dv}{dt} = 0$$

求得自由沈降之終端速度：

$$V_t = \sqrt{\frac{8gd(\rho_o - \rho_l)}{3\rho_l}}$$

m：球體質量

m'：流體質量

ρ_l ：球體密度

細小球粒在流體中沈降，主要受到重力及黏性阻力為主時，依上述之原理，求得其終端速度為：

$$V_t = \frac{g \cdot d^2 \cdot (\rho_o - \rho_l)}{18\eta}$$

(3)阻礙沈降

顆粒沈降時除受到流體阻力外，還受到周圍粒子之摩擦和碰撞，以及微細顆粒所造成之浮沈室而產生之阻力，尤其是料漿中含有大量比重、粒度、形狀不同之顆粒(重力分選的情形)時，所含之影響因素太多，無法直接由上述之沈降公式求得其終速。

在一般分選操作中，不管分級或重力分選，均將混合不同比重和粒徑之顆粒群為處理對象，因此所含之微細顆粒會使流體之黏性與比重提高，使其他顆粒之沈降所受之阻力變大。含微細顆粒之懸濁液，其粘度可由 Einstein 式求得：

$$\eta_s = \eta(1 + 2.5\gamma)$$

η_s ：懸濁液之粘性係數

η ：水之粘性係數

γ ：單位容積中之懸濁質之容積

另一方面懸濁液之比重改變如下：

$$\rho_s = 1 - \gamma + \gamma \cdot \rho_o$$

ρ_o ：微細顆粒之比重

所以 V_s 及 V_n 改正如下：

$$V_s = \frac{(\rho - \rho_s) \cdot d^2}{18\eta_s}$$

$$V_n = C \cdot \sqrt{\frac{d(\rho_o - \rho_s)}{\rho_s}}$$

2.磁選

物質具有被磁鐵(磁石)吸引的性質即是具有磁性，磁性吸引力之強度受物質本身之性質、磁鐵強度及兩者之距離所影響。利用物質磁性強弱之不同，置於磁場內使強磁性物質被磁極吸引而分選之方法，稱為磁力分選法(磁選法)。

磁選原理茲說明如下：

(1)磁性

當物體置於磁場強度(H)內，此物之磁感應強度(B)，即是指被磁化物體內之磁通量密度為磁場強度(H)與磁化強度 μ 之和。若(B)等於(H)，則表示磁化無法進行。對典型之強磁性、順磁或及反磁性等物質，在不同磁場強度下所得之磁化強度表示如圖 2.1 及圖 2.2，其磁化曲線之斜率為帶磁率(K)，即為磁化強度(μ)除以磁場強度(H)之值。其中順磁和反磁物質呈現一簡單的線性關係，對順磁物質而言，帶磁率為一正數，但其磁化強度卻很小；反磁物質之帶磁率為一負數，磁化強度也是負值；強磁物質之帶磁率以曲線方式增加，直至達到飽和磁化。如果將此磁場強度降低，則磁化強度也隨著降低，但不會回至起始值，如此不可回復性稱磁滯現象(如圖 2.3 所示)，圖中 J_s 是飽和磁化， J_R 為殘留磁化， H_C 為保磁力。

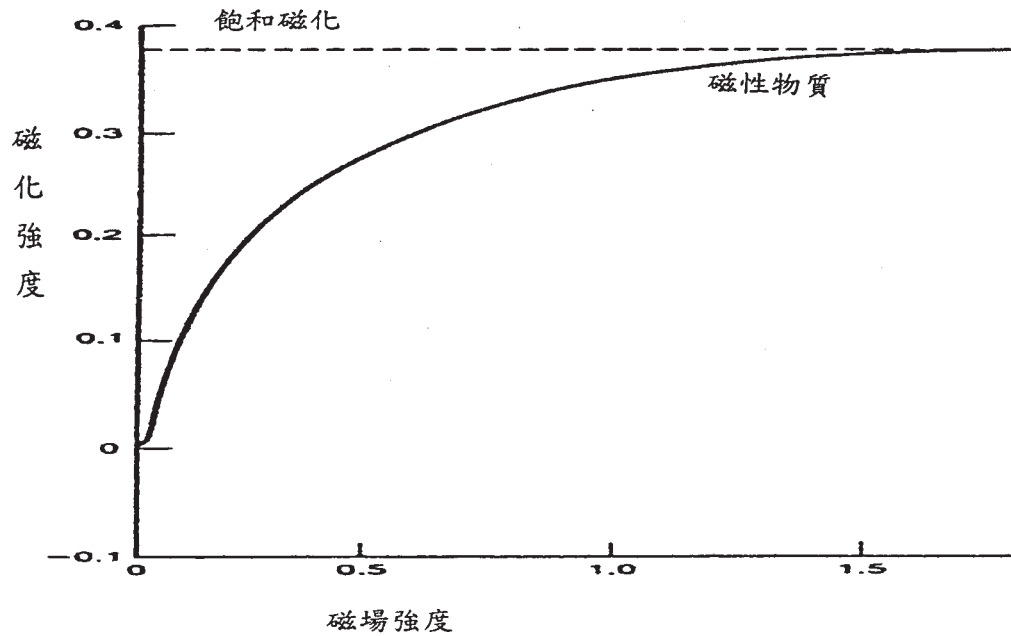


圖 2.1 強磁性物質之磁化曲線

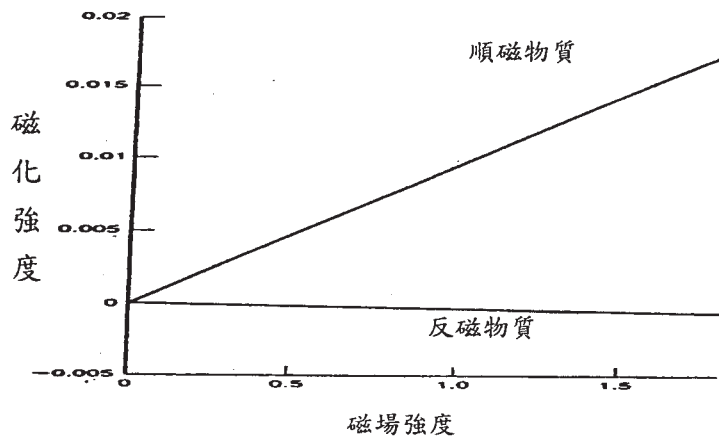


圖 2.2 順磁及反磁性物質之磁化曲線

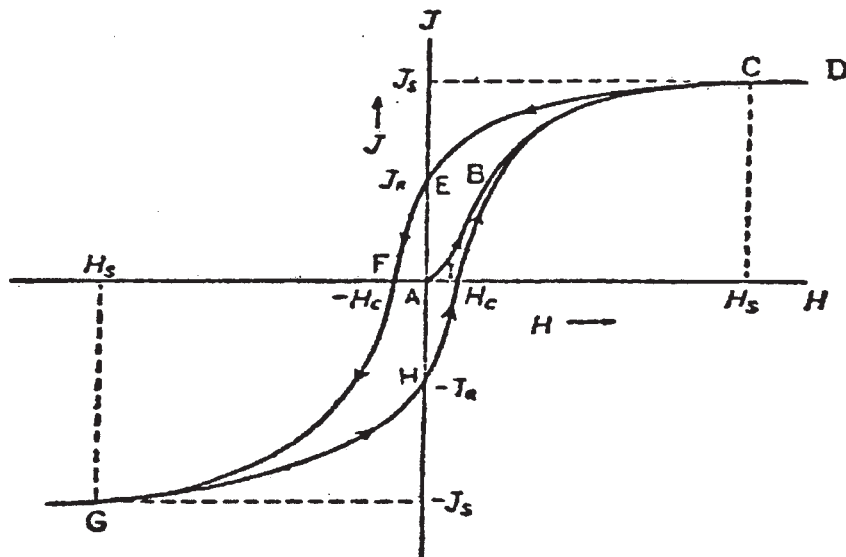


圖 2.3 磁滯曲線

(2)磁極之作用力

置於磁場下之磁性物質，會被磁化而吸引至磁極，此吸引力之大小是由下列因素所影響

- A.磁極之強度
- B.感應所生成之物質磁距大小
- C.物質顆粒與磁極間之距離
- D.作用於物質顆粒之重力
- E.磁力線之形狀

磁極強度(H)是以磁束密度來表示，磁極愈強愈容易將磁性顆粒吸引。磁選機所使用的磁極包括永久磁鐵材料與電磁極兩種。若用永久的磁鐵當磁極，則殘留磁化強度(J)，即為磁極強度。若使用電磁極，則磁極強度為導入線圈之電流強度、鐵心被磁化強度(J)及磁極間隔等所決定，如下式：

$$H = 4\pi n \times (i/10)$$

i：導入線圈之電流程度

n：每公分之線圈數

物質顆粒之磁性強度可由殘留磁化(J)與帶磁率來決定。物質磁性愈強愈容易被磁極所吸引。同一磁性之物質，其粒度越大感應所生成之磁距也越大越容易被吸引，但粒度與重量有關，因此粒度也不能大過作用於它的磁力。一般磁選操作之顆粒大小範圍以 1~5mm 最為適宜。

粒子被磁極吸引之作用力可用庫倫定律估算，磁力之大小與顆粒—磁極間距離平方成反比，而與磁極強度及磁化強度成正比。

3.電導性

靜電分選技術係利用物質之導電性差異，帶同性電荷相拒，帶異性電荷者相吸之原理，所進行之分選方法。其分選原理如下：

(1)物質之導電性(conductivity)

物質之導電性一般可區分成下列三種：

- A.導體：電阻率為 $10^{-5} \sim 10^{-6} \Omega \cdot \text{cm}$

B.半導體：電阻率為 $10^{-2}\sim 10^9 \Omega \cdot \text{cm}$

C.絕緣體：電阻率為 $10^{14}\sim 10^{22} \Omega \cdot \text{cm}$

大都數之金屬廢棄物為導電性物質，而非金屬廢棄物多為絕緣性物質，靜電分選即可依此大致分為導電性物質及絕緣性物質。

(2)比導電性(relative conductivity)

電選中顆粒之導電性常用比導電度(相對導電係數)表示，比導電性越小，則導電性越好。顆粒之導電性除與本身之電阻有關外，還與顆粒及電極間之接觸面電阻有關。電位差小時，電子就不能流入或流出導電性差之顆粒；反之，電位差加大後，電子便能流入或流出顆粒，便表現為導體。

(3)顆粒荷電機構

靜電分選中之物質顆粒帶電方式有下列三種：

A.摩擦帶電

兩種不同物質之顆粒表面互相摩擦，分開後就會分別荷有電量相同，而符號相反之電荷。再進入不同電位電極板間，由於同性電荷相拒、異性相吸，使帶不同電荷之顆粒分開，摩擦荷電方式在靜電分選上並非主要機構。

B.靜電感應帶電

如圖 2.4 所示，A 為金屬之接地轉輪，與此平行置有一荷電電壓之金屬筒 B(可以是正或負電，設帶負電)，稱為高壓電極或對電極，由靜電感應使轉輪 A 帶正電、餵料給入 AB 間之靜電場中，因靜電感應使它分極，靠 A 側帶負電，靠 B 側帶正電。如圖 2.5 所示，若為導電性顆粒與轉輪 A 接觸，則馬上失去負電成為帶正電，而被帶正電之轉輪 A 所排斥；若為絕緣物質與轉輪 A 相接觸，不產生電荷移動之情形，由不同電荷間之吸引力(稱為影像力)，而附著在轉輪 A 上，並隨輪回轉離開靜電場。由此可知分選顆粒受到之作用將包括靜電力、重力、離心力等作用力，而這些作用力之向量合成方向，為顆粒脫離轉輪 A 之方向，如圖 2.6 所示。

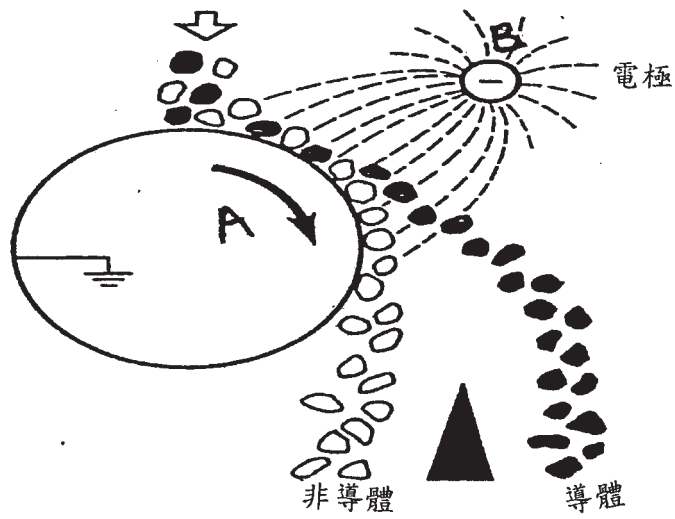


圖 2.4 靜電分選原理

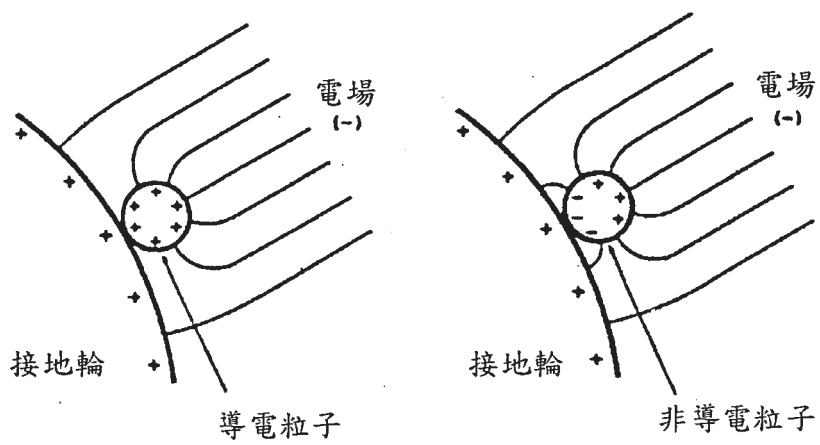


圖 2.5 顆粒靜電感應帶電

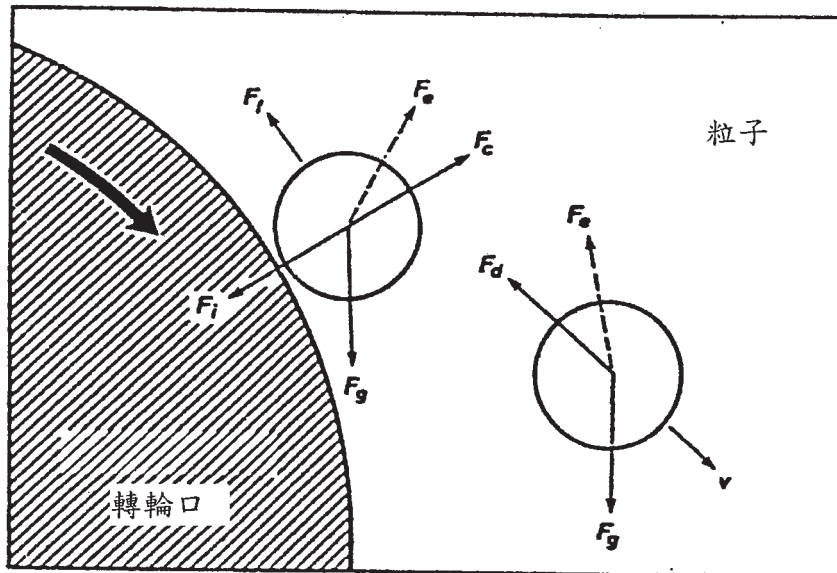


圖 2.6 靜電分選顆粒所受之作用力

C. 電暈放電

荷電構造要件上與靜電感應相類似，僅在高壓電極上不同，此型高壓電極(B)之前呈細長線狀（曲率半徑小），另一(A)電極之曲率半徑則很大，如圖 2.7 所示。慢慢增加(B)電極之電壓，就會使電極發射出大量電子，以高速與空氣分子碰撞，在尖銳前端部分之氣體被電離成離子狀，經不斷之電離，離子數增加，正離子會飛向負極，電性被中和。在 B(負)電極周圍會發出光暈，即形成所謂電暈區，負離子與電子飛向 A(正)極，使整個電暈區以外之空間充滿荷負電之電體，這稱為電暈放電。因此兩極間會有微小電流通，由電暈放電之安定性而言，此(B)電極之帶電性以帶負電為恰當，則接地轉輪(A)為正電形成靜電場，對顆粒之作用與靜電感應之作用相同。顆粒在電暈場中都獲得負電荷，但導體顆粒與接地電極接觸，電荷會被傳走，同時荷上與接地相同符號之電荷產生撥斥力；非導體顆粒則不然，電荷不被傳走，而與接地極互相吸引，隨接地極旋轉再以毛刷強制排除。另外在電暈極之外，併用電極且離筒面略遠之理由，是將導體顆粒由正極筒面吸向負靜極，並阻止非導體礦粒離開筒面。目前，大多數電選機都利用電暈帶電的原理進行分選。

產生電暈放電之電極稱為離子化電極(Ionizing Electrode)，由於兩極間有微電流流通，在嚴密的立場上不能稱為靜電型，應稱為動電型，因此在靜電分選上為著與前者區別，後者稱為高電壓分選技術。

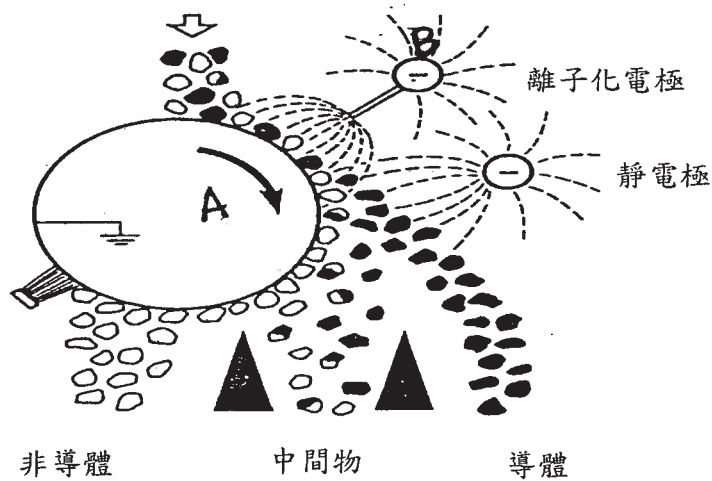


圖 2.7 高壓電選原理

4.浮選原理

浮選是利用氣泡吸附或附著分散在水溶液中之疏水性微細顆粒或膠體，使它與氣泡一起浮上，在氣—液界面形成泡沫層，得與存在水中之親水性顆粒分離之方法。對於懸濁液中之固體顆粒與氣泡之接著問題 以及固體顆粒間不同疏水化程度之形成，都是影響浮選之重要因素。

(1)接觸角與浮游性

固體顆粒對於氣泡之接著與其接觸角之關係甚為密切，所謂接觸角是指固體表面與氣—液之點接觸，從此點沿液相表面所引起之接線與固體表面所形成之角度(如圖 2.8)。固體表面之濕潤程度或固體顆粒之浮游性可用接觸角來表示，接觸角小之親水性顆粒比較難浮；接觸角大之疏水性顆粒比較易浮。

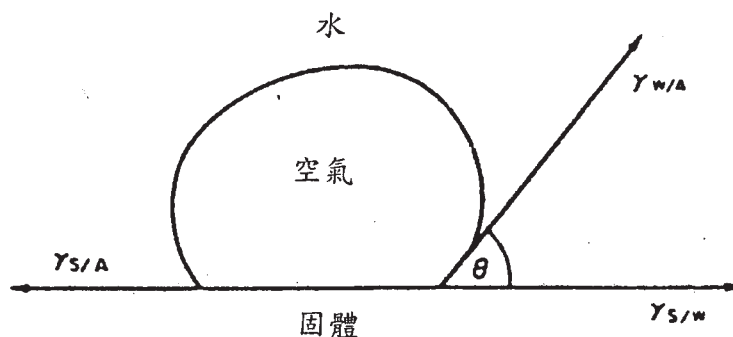


圖 2.8 泡沫與固體間之接觸角

Young 氏以顆粒與氣泡接著所需之能與氣固液三相界面自由能之關係，在平衡狀態下推得下式：

$$W_s/a = \gamma_{w/a}(1 - \cos\theta)$$

W_s/a ：固氣之接著能

$\gamma_{w/a}$ ：液氣之界面自由能

θ ：接觸角

a. 當 θ 為 0 時， W 也是 0，表示顆粒無法接著於氣泡，不具可浮性。

b. 當 θ 越大， $\cos\theta$ 越小， W_s/a 能越大，顆粒濕潤性小，可浮性越增加。

(2) 浮選中之吸附現象

吸附是液體(或氣體)中某種物質在兩相界面，產生濃集之現象。在溶液表面的溶質濃度比溶液內部是過剩或不足之現象，可由 Gibbs 吸附方程式 (Gibbs adsorption) 來求得。該方程式如下：

$$\Gamma = -\frac{1}{RT} \times \frac{dr}{d \ln c} = -\frac{C}{RT} \times \frac{dr}{dc}$$

Γ ：表面過剩量或吸附密度(surface excess or adsorption density)，Mol/cm

C ：溶質濃度，Mol/l

R ：氣體常數，constant

T ：絕對溫度，K

r：表面張力，dyne/cm

吸附密度可以是正值，表示溶質的濃度在表面增加；若為負值即表示溶質的濃度在表面降低。浮選是一種複雜的物理化學現象，包括各類浮選藥劑在氣-液、固-液與固-氣-液等不同界面的吸附，其中以起泡劑吸附於氣-液界面上，降低氣-液界面的自由能，防止氣泡彼此兼併，從而達到穩定氣泡，促進氣泡礦化和形成穩定泡沫層，以及捕集劑或調整劑(抑制劑與活化劑)吸附在固-液界面上，直接影響顆粒表面的疏水性或親水性性質，從而可以調節顆粒的可浮性。

2.2 分選技術

分選技術概可分為人工分選法及機械分選法，惟人工分選法應用在廢棄物之分選上，常因廢棄物中含有各種病原菌、有害物質、易燃物及爆炸物等物質，而增加人工分選之衛生性及安全性問題。此外，當廢棄物量大時，則人工將不勝負荷，故在大規模集中分選作業上，多採用機械法來作分選工作，可以具有較高之分選效率。目前已開發之機械分選技術，主要包括下列各種分選技術：

1. 粒徑分選技術

(1) 篩分技術

(2) 分級技術

2. 揀選技術

3. 重力分選技術

(1) 風力分選

(2) 水力分選

(3) 重液分選

(4) 慣性力分選

4. 磁選技術

5. 靜電分選技術

(1) 靜電分選技術

(2)渦流浮選技術

6.泡沫浮選技術

7.其他分選技術

(1)熱粘法

(2)粘著法

(3)形狀分選法

(4)凝集與分散分選法

2.3 分選特性

茲將各項分選技術及設備所採用各種物質之分選特性說明如下：

1.顏色及色澤

利用物質之顏色或色澤差異而分選，分選的依據可以是視力(人工方式)或光感應設施(機械方式)。分選操作可以是手選方式(人工)，也可以是機械方式之螢光、反射光之光線選別機來執行。

2.比重

乃利用物質間之比重差異而分選輕重物質，分選之根據為質量或比重差異所造成之差異性運動，特別是應用在空氣介質及水介質中。分選操作方式有風力分選機(介質為空氣)；也可用水為介質之分選方式，如波震機、溜洗槽、搖洗桌；也有用重液為介質之重液分選設施或磁性流體；最簡單之應用為慣性力之分選設備。

3.磁性

係利用物質間磁性差異而分選出磁性物質及非磁性物質，分選之依據為物質在磁場中所受之磁感應力之強弱。分選操作方式可以是富集磁性物質的方式，也可以是剔除廢棄物中之有害磁性物質(含鐵物質)。

4.電導性

係利用物質之帶電能力差異而分選，分選方式即為物質受靜電感應所產生導電性差異。分選操作方式為讓顆粒通過高電壓區域，使其感應產生導電現象，

然後根據電導性之差異而分選成為電導物質及絕緣物質。

5. 物質表面反應性質

物質在水中之表面張力差異也可以用來作為分選之依據，分選操作之方式為加入適當之界面活性劑將物質之表面產生親水性及親氣性之變化，再經由浮起之氣泡，分選成為親水性物質及親氣性物質兩大類。

6. 化學反應性質

利用物質在加入適當化學藥劑後，產生性質變化而分選。分選操作方式可以是加入凝集劑或分散劑使物質凝聚沈澱或分散，而達到分選之目的。

7. 形狀

利用物質之形狀差異而達分選之目的，所應用之分選方式為顆粒與分離面之間的磨擦力，操作方式為不同形狀之顆粒在分離斜面上之下滑力量，方形顆粒具有較大之摩擦力，而圓形顆粒則較易下滑之差異，而得到分選效果。

8. 粒度或組成

利用物質本身在廢棄物中之粒度差異或經由粉碎、研磨、篩分及分級等方式予以分選。分選操作方式乃是根據物質在破碎階段所產生物質顆粒之粒度及表面形狀之差異而達到分選。

9. 輻射特性

利用物質放射出輻射線不同而分選，分選依據為物質放射出來之 α 、 β 及 γ 射線輻射量大小差異而分選。

2.4 分選效率

1. 回收率

分選之目的在除去廢棄物中之非資源性物質，而所得富集物中含有資源性物質之比例提高。惟在分選過程中亦希望減少資源物質之損失，應將資源物質回收愈多愈好。這是分選的兩個主要目的及兩個重要決定分選效率之因素。回收率為富集物中資源物質之重量，與原廢棄物餵料中資源物質重量之比，常以%表示之。今以廢棄物過篩為例，篩下物視為富集物，篩上物視為不要物，回收率之計算公式如下所示：

$$\text{回收率(\%)} = \frac{U \cdot w_u}{F \cdot w_f} (100)$$

U：經過篩孔落下富集物之重量，kg/h

F：加入篩選機之廢棄物總重量，kg/h

W_u ：經過篩孔落下富集物中資源物質所佔之重量比率

W_f ：加入篩選機廢棄物中資源物質所佔之重量比率

2. 排斥率

分選之目標為得到高重量百分比之資源物質，且高回收率之富集物，故最理想之操作為餵料之資源物質全部成為富集物回收，且富集物不含任何不要物，如果雖有高回收率，但富集物中所含不要物也多的話，則選別效果還是不好，所以要討論資源物質之回收率之同時，也要考慮非資源物質之回收率。而排斥率則定義如下：

排斥率 = 1 - 富集物中非資源物質之回收率

$$\text{排斥率} = 1 - \frac{U \cdot (1 - w_u)}{F \cdot (1 - w_f)}$$

3. 分選效率

回收率之數值愈大，表示資源物質損失少，亦即資源物回收較多，就資源物質之回收而言，則為分選效率良好。同時，富集物中之非資源物質回收率愈低，則排斥率愈高，分選之效果也會愈好。因此，分選效率之定義如下：

分選效率 = 回收率 × 排斥率

第三章 分選前處理技術與設備

3.1 粉碎技術與設備

粉碎是進行廢棄物資源回收分選工作之第一步，藉由粉碎技術使欲回收物質達到某一程度的分離，並配合後續之分選技術及設備，提供分選之最佳粒度範圍。一般粉碎機之粉碎比在 3~10 之間(餵料粒度與產品粒度之比)，故對破碎比大之物質，需利用數段大小程度不同之粉碎機分階段完成。各階段之破碎粒度範圍大致如下：

1.粗碎(一次破碎)

(1)餵料粒度：500mm~1500mm

(2)產品粒度：150~400mm

2.中碎(二次破碎)

(1)餵料粒度：150~400mm

(2)產品粒度：50~100mm

3.細碎(三次破碎)

(1)餵料粒度：50~100mm

(2)產品粒度：10~30mm

4.再細碎(四次破碎)

(1)餵料粒度：10~30mm

(2)產品粒度：10mm 以下

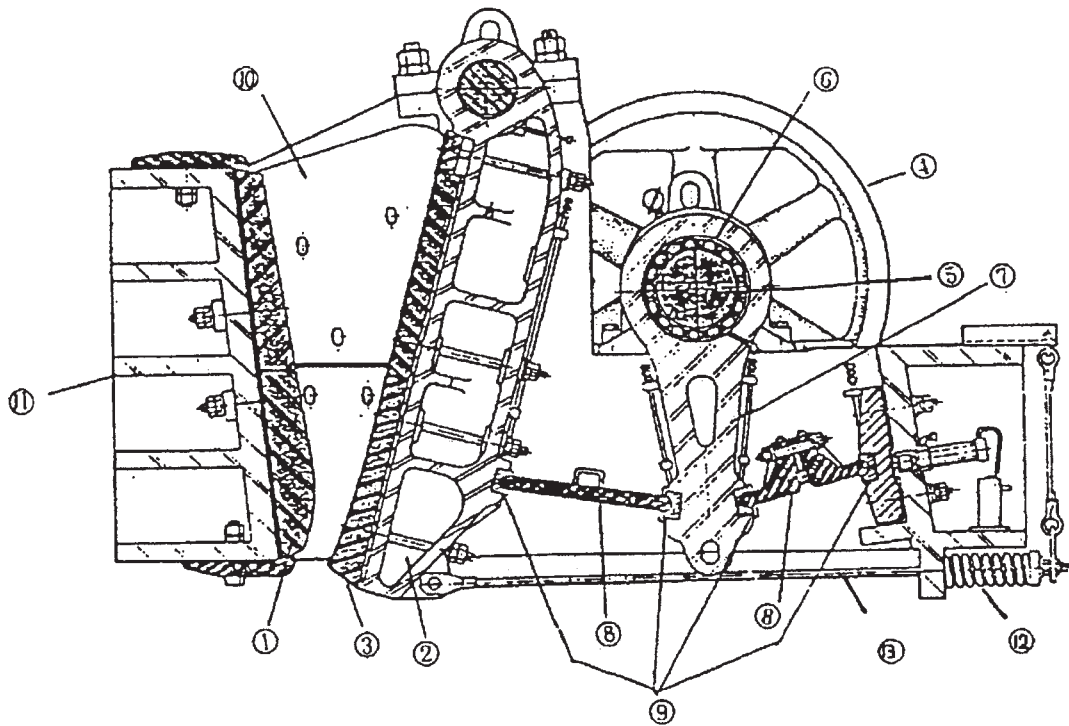
一般採用之破碎機主要為顎型破碎機(Jaw Crusher)及偏心破碎機(Gyratory Crusher)兩種；中、細粉碎機有錐形破碎機(Cone Crusher)、轉輪破碎機(Rolls Crusher)、衝擊破碎機(Impact Crusher)。另有一些較適合軟性及韌性材料之破碎機，如剪斷破碎機、複合切斷式破碎機、球磨機(Ball Mill)及棒磨機(Rod Mill)、振動磨機(Vibration Mill)、攪拌磨機(Agitation Bead Mill)等，如表 3.1 所示茲分別說明如下：

1. 顎型破碎機

顎形破碎機為最常見之破碎機，其中以柏克型(Blake)使用最為普遍，破碎能力佳，通常用於粗碎。由於具有構造簡單，工作可靠，製造容易，維修方便等優點，目前仍廣泛使用。顎形破碎機之構造如圖 3.1

表 3.1 設備特性及適用範圍彙整表

設備名稱	設備特性	適用範圍
顎型破碎機	<ul style="list-style-type: none"> - 構造簡單 - 工作可靠 - 製造容易 - 維修方便 	應用於粗碎階段
偏心破碎機	<ul style="list-style-type: none"> - 主體由兩圓錐體組成 - 以懸軸型最為普遍 - 中碎及細碎機型又稱為錐形破碎機 	具粗碎、中碎及細碎三種機型
轉輪破碎機	<ul style="list-style-type: none"> - 構造簡單 	應用於中、細碎作業
衝擊破碎機	<ul style="list-style-type: none"> - 利用擊槌之衝擊力及物料與碎料板間的撞擊進行破碎 	應用於粗碎及中碎作業
剪斷破碎機	<ul style="list-style-type: none"> - 以少許動力即可發揮極大之破碎力 - 迴轉速率低 - 無噪音、振動、發熱等現象 	適用於軟性與韌性材料(如塑膠、橡膠、海綿、輪胎等)，不適合應用於脆性材質
複合切斷式破碎機	<ul style="list-style-type: none"> - 切斷力強 - 方便處理大型廢棄物 - 慢速切斷，不易產生火花及防止火災發生 - 刀刃使用壽命較長 - 破碎粒徑較小 - 分類效率及純度增加 	適用於大尺寸之可燃及不可燃廢棄物
球磨機/棒磨機	<ul style="list-style-type: none"> - 磨棒及磨球可配合處理之物料大小進行調整 - 可同時混裝大小不同之磨球提升粉碎效率 	適用於多數之脆性材質
振動磨機	<ul style="list-style-type: none"> - 由兩管狀磨筒組成 - 磨筒內之磨球與磨筒做反方向運動 	適用於細磨作業
攪拌磨機	<ul style="list-style-type: none"> - 可用於乾磨與濕磨 - 節省能源 - 效率高 - 沒有噪音及發熱之問題 	適用於研磨微細粉末

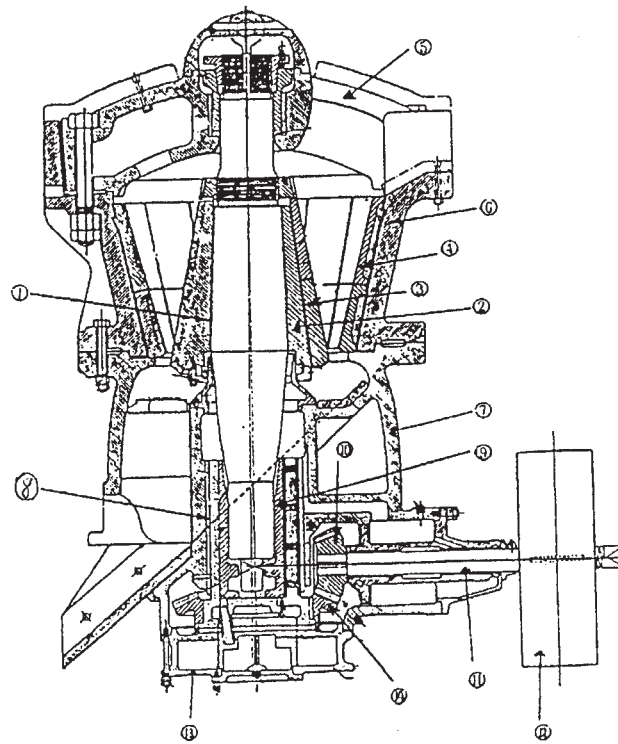


- | | | | |
|--------|--------|----------|-------|
| ① 固定顎 | ② 動顎 | ③ 動顎板(齒) | ④ 飛輪 |
| ⑤ 偏心軸 | ⑥ 偏心軸座 | ⑦ 直聯桿 | ⑧ 橫聯桿 |
| ⑨ 橫聯桿座 | ⑩ 頰板 | ⑪ 機座 | ⑫ 彈簧 |
| ⑬ 拉桿 | | | |

圖 3.1 顎形破碎機之構造圖

2. 偏心破碎機

偏心破碎機構造為圓形，以懸軸型最為普遍。主體是由兩個圓錐體(可動圓錐和固定圓錐)組成。粗碎、中碎、細碎的機型皆有，中碎與細機型又稱錐形破碎機。偏心破碎機之外型如圖 3.2。



- | | | | |
|-------|--------|------|--------|
| ①主軸 | ②可動圓錐 | ③襯板 | ④襯板 |
| ⑤錐形壓套 | ⑥固定圓錐 | ⑦下機架 | ⑧中心套筒 |
| ⑨偏心軸套 | ⑩小圓錐齒輪 | ⑪傳動軸 | ⑫三角皮帶輪 |
| ⑬機架下蓋 | ⑭大圓錐齒輪 | | |

圖 3.2 偏心破碎機之構造圖

3.轉輪破碎機

轉輪破碎機是一種古的破碎設備，構造簡單，主要作用於中、細碎作業。轉輪破碎機的構造如圖 3.3 所示。

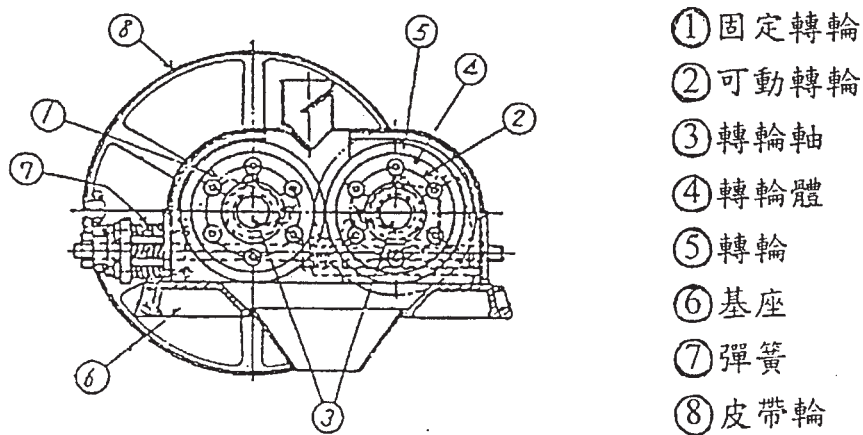


圖 3.3 轉輪破碎機

4.衝擊破碎機

衝擊破碎機是應用衝擊力破碎物料的設備。物料進入破碎機後，受到高速迴轉的擊鏈的衝擊，物料即沿著節理面或接界面破裂。被衝擊後的物料獲得巨大的動量，並以高速拋向碎料板，經料板的反擊，再次被擊碎，從碎料板返回的物料，又遭擊鏈的重新接擊，進一步破碎。當物料在擊鏈和碎料板之間往返時，除了擊鏈及碎料板的衝擊外，物料間亦發生相互接擊。上述過程不斷進行直到破碎後的物料小於擊鏈及碎料板之間間隙時，才從破碎機下部排出。衝擊破碎機之構造如圖 3.4 所示。

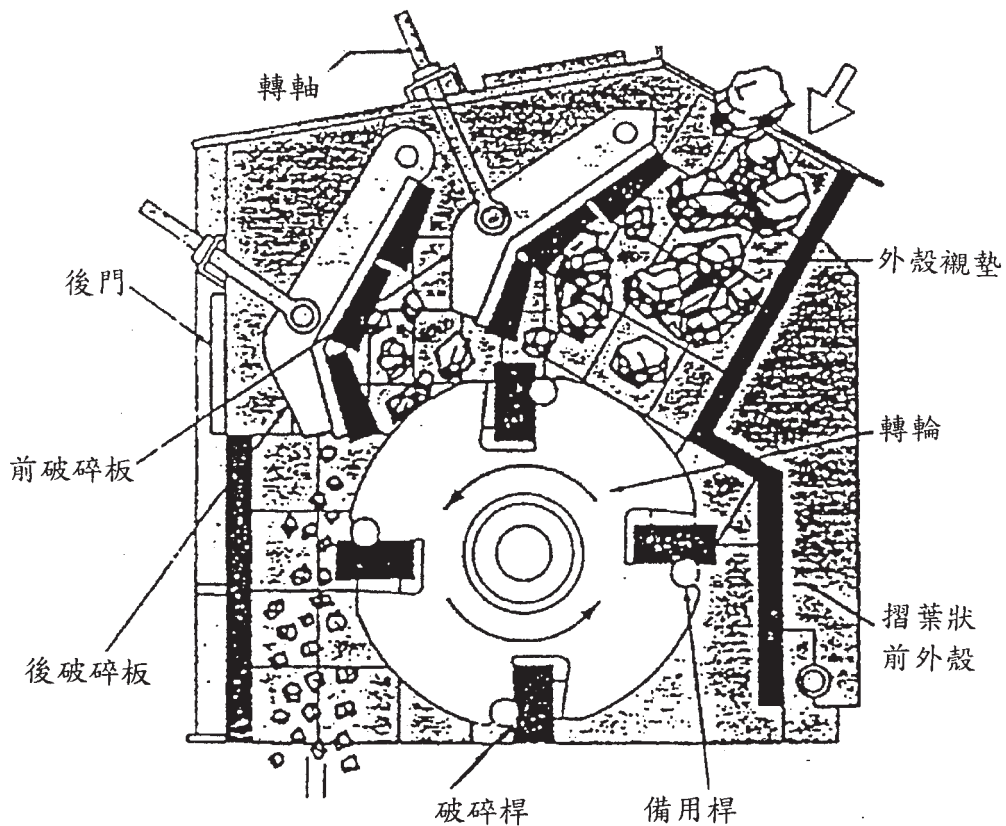


圖 3.4 衝擊破碎機

5. 剪斷破碎機

剪斷破碎機屬於較新發展之機種，主要用於軟性與韌性物料之破碎，其結構示於圖 3.5。此機為二軸剪斷式，其破碎室內有特殊設計的破碎刀刃，與墊圈交互安裝於兩平行轉軸上，二轉軸通過齒輪箱而由一台減速馬達來驅動。此二轉軸是以不同的迴轉由外向內轉動，將物料投入二軸之間，刀刃即能將之切斷、破碎。如鈎爪般的特殊刀刃，其角度會隨著軸的轉動而變換，故以少許動力就能發揮極大的破碎力，提昇效率。此二轉軸的迴轉速極低，故幾乎無噪音、振動、發熱等現象。

此破碎機適用於軟性與韌性的材質，不適用於脆性材質，與一般之破碎機不同。塑膠、橡膠、海綿、輪胎等皆可破碎外，材質組成複雜之廢棄物如電視機、電冰箱、電腦等也可破碎，具有多方面的粉碎功能。

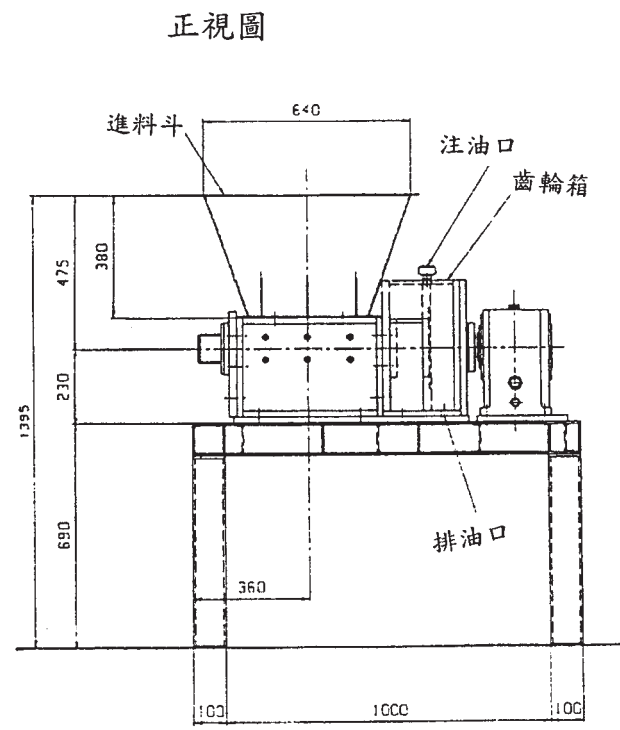
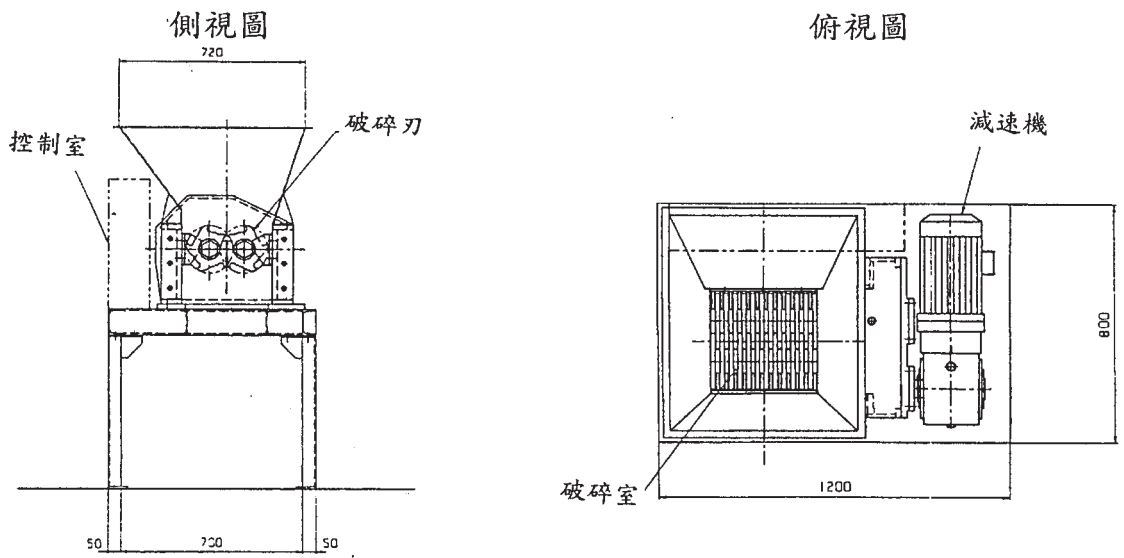


圖 3.5 剪斷破碎機結構圖

6. 複合切斷式破碎機與單軸回轉式破碎機

複合切斷式破碎機主要是將大尺寸之可燃物及不可燃物破碎成較小尺寸為目的。其可先將大尺寸之可燃物切斷破碎後，送至焚化爐，再將不可燃物及混合材質之大型廢棄物切斷破碎成較小尺寸，然後送至後處理細破碎。其優點為複合切斷式破碎其採用油壓慢速切斷，其切斷力有 100 公噸。切斷力非常強，對於大型廢棄物可輕而易舉處理之，同時切斷機之切斷箱尺寸非常大，可以容納大尺寸之廢棄物，由於是慢速切斷，不易產生火花及防止火災之發生。對於後處理之破碎機之刀刃使用壽命可以延長，同時亦增加破碎之破碎效率。而單軸回轉式破碎機之優點是破碎粒徑較小，對於分類效率及純度增加，同時後處理之設備亦可以採用較小尺寸，對於設備之設置費用亦可節省。另外雙軸回轉式破碎機與剪斷破碎機相似。

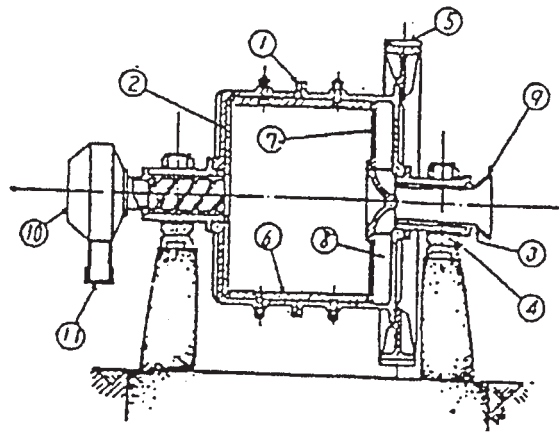
7. 球磨機與棒磨機

球磨機為最普遍使用之磨機，磨球之形狀，以圓球形者最多，但亦有短柱形、餅形、錐形者。棒磨機之工作原理與球磨機相似，將磨球改用磨棒，棒磨機中鋼棒填充量為磨機容積的 35%~40%，更可高達 45%，所使用之鋼棒長度與磨機內側直徑比例為 1.4~1.6。

球磨機之構造如圖 3.6 所示，磨球大小之選擇，須視物料之性質，物料顆粒之大小，及磨機之直徑與轉速而定。大磨球之衝擊力強，破碎能力大，但磨球數少，亦即衝擊之次數少，總研磨面積亦小，故磨礦效率反而可能不佳。一般而言，物料硬度大，物料粒徑大者，因需較大之破碎力，故常用較大之磨球；此外磨機之直徑及轉速，亦與球之破碎力量有關，磨機直徑大者，打擊力亦大。磨機以其臨界轉速之 75% 運轉時，可得最大之打擊力。

普通球磨機內裝球數量，以佔磨機內部容積之 45 至 50% 為佳，磨機開始運轉時，應以各種大小不同之球混合裝入，因打力靠大球，而小球可增加摩擦面，故混合裝的效率較佳。

磨機開始運轉後，可依據實際情形，每日或每班補充適量之最大磨球，因大球將逐漸磨小，在正常的操作情形下，大小球之數量，可維持最佳之比例；倘有太小或太多破碎的球，即應加以清理，將其剔除。



- ① 機殼
- ② 端板
- ③ 耳部
- ④ 耳部軸承
- ⑤ 傳動齒輪
- ⑥ 襯板
- ⑦ 篩板
- ⑧ 提昇器
- ⑨ 排料口
- ⑩ 給料鼓
- ⑪ 給料匙

圖 3.6 球磨機結構示意圖

8. 振動磨機

振動磨機，由兩管狀磨筒組成，直徑從 200mm 至 650mm 不等，內裝磨球。振動磨機之磨球在磨筒內之運動方式與球磨機不同，它們的運動方向是與磨筒的轉動方向相反，例如磨筒做順時針方向轉動，則磨球做逆時針方向運動。除了這種運動外，尚有自轉運動。送入磨機之物料在高頻衝擊和研磨作用下，被磨細而排出。

9. 攪拌磨機與塔磨機

塔磨機屬一種大型的攪拌機如圖 3.7 所示，可用於乾磨與濕磨。塔磨機是由日本塔磨機公司設計發展，是一個研磨微細粉末的有效磨機，比傳統的轉磨機節省相當多能源。在細磨時，轉磨機由於球/料比相當大而顯得沒有效率，塔磨機則無此缺點。另外塔磨機運轉時亦沒有噪音及發熱。塔磨機特別適用於研磨 $74\mu\text{m}$ 以下之產品。在 $74\mu\text{m}$ 以上，塔磨機與轉磨機的功效沒有特別的區分。

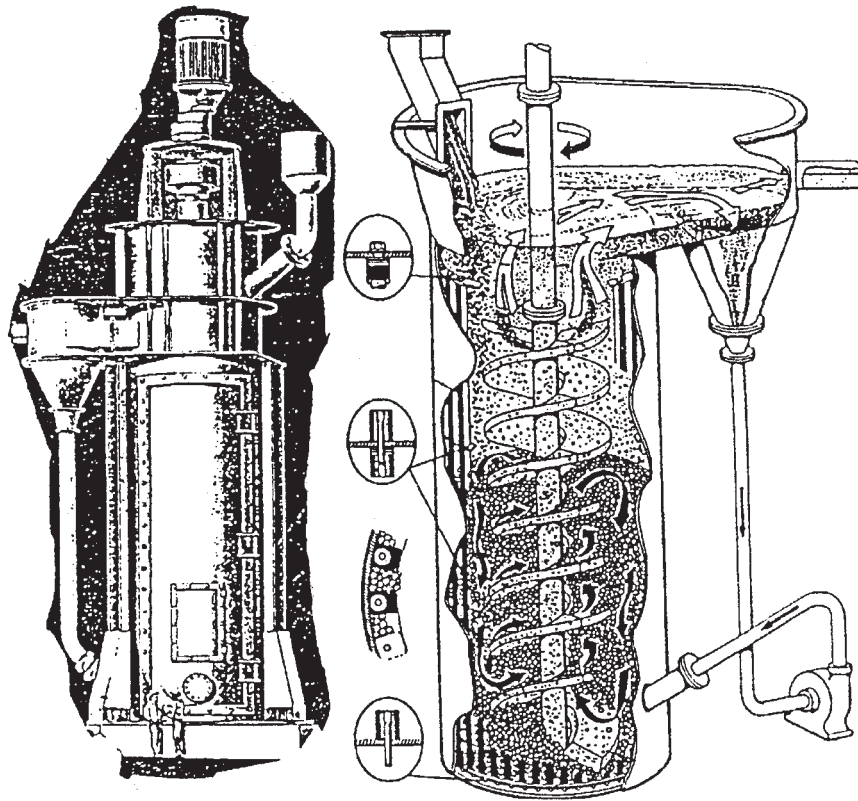


圖 3.7 塔磨機結構圖


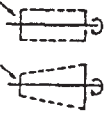

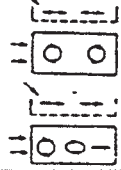

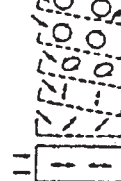
3.2 篩分技術與設備

在破碎流程中若能成功地使用篩分機，則可讓小於破碎機排出口之顆粒，經由篩選分離而不用再進入破碎機內，可提高破碎機之能力，同時也可將破碎機產品之粒度加以控制，減少過細的顆粒產生，使粒度合乎要求，同時篩分技術也可應用在廢棄物資源回收作業中，並以粒度作分選依據。

篩分作業之效率取決於篩面開孔率之大小與如何充分使用全部篩面之篩網構造因素，以及顆粒所含水分與泥量、粒度形狀、過細篩粒含量、物料之均勻度等操作因素。篩孔面積與整個篩面積之比為篩面開孔率，此值愈大表示單位面積上之篩孔數愈多，顆粒通過篩孔的機會越多，因而單位篩面之生產率與篩分效率愈高。大部分篩網的開孔率在 50~80%，各類篩面中以金屬絲編織的長方形篩孔之開孔率為最大，即長方形>方形>圓形。但開孔率過大反而會使篩面強度下降，所以篩分粗粒者，採用鋼沖孔之圓孔篩面；細粒者宜選用金屬絲編織方孔篩面。近年來出現以橡膠或聚氨脂(polyurethane)為材質之篩面，由於具有較佳之彈性，在篩分過程中礦粒在篩面上之鬆散度加強，因此提高過篩效率，而且可使用壽命增長、噪音減少等優點。

分選作業中常使用的篩分機械，依其構造與篩面之運動特徵，可分類如表 3.2 所示：

表 3.2 篩分設備之分類

類型	篩面運動方式說明圖	振幅	振動數	適用粒度	傾斜角	篩分量 T/m ² /H(mm)	常用規格
固定條篩				25~200mm	20° ~50°	25mm~75mm 27~40	寬 0.9~1.2m 長 2.4~3.0m
固定曲面篩				100mm 以下	弧形曲率半徑 R=500~600mm	170	1m ²
滾軸篩				500mm~15mm	10° ~15° 平均 12°	50mm~100mm 50~80	寬 1.0~1.5m 長 2.4~3.0m
圓滾篩			臨界轉速的 1/3~1/2，或 15~20rpm	6~60mm 濕式可至 1mm	3° ~15° 平均 5°	乾式 0.2~0.5 濕式 0.5~1.0	直徑 0.9~1.2m 長 1.5~2.5m 馬力 2.5~5HP
搖動篩		10~100	300~600	10mm 以下	10° ~20°	1~4	直徑 0.3~1.5m 長 1.5~6.0m 馬力 0.5~1.0 HP/m ² 篩面
旋轉震動篩		50	150~600	12mm~60Mesh 有可能篩分至 300Mesh	5°	0.2mm 約 10 0.1mm 約 328 篩分效率 60%~80%	
電磁式 垂直震動篩		0.3~0.8	900~700	8~100Mesh	30° ~40°	2~8	
機械式 垂直震動篩		2~12	1000~1800	25mm~150Mesh	乾式 20° 濕式 5~10°	4~5	

1. 固定篩

固定篩是由平行排列的鋼條或鋼棒所組成，鋼條和鋼棒稱為篩條，篩條藉橫桿連接在一起。固定篩有兩種：即斜篩及格篩，前者為斜置，傾角約 25°~50°，後者為水平置放。格篩安裝於粗的入口，以除去大塊物料。斜篩則在粗料進入粗碎機前，用於先行除去細料，安裝時傾角的大小應能使物料沿著篩面自動下滑，亦即傾角應大於物料與篩面的摩擦角。視物料的大小及是否含土質成分，傾角可作適當調整。篩條的長度通常為寬度的 2~2.5 倍。

固定篩的優點是構造簡單，無運動部件，也不需要動力，但缺點是易於堵塞，所需高度落差大，篩分效率低，篩分效率僅為 50%~60%。

2.震動篩

震動篩為資源處理廠普遍採用的分粒設備，根據篩面的運動軌跡，可以分為圓周運動震動篩和直線運動震動篩兩類。圓周運動震動篩包括單軸慣性震動篩、自調中心震動篩和重型震動篩。直線運動震動篩包括雙軸慣性震動篩(直線震動篩)和共振篩。

(1)慣性震動篩

慣性震動篩是由震動器的偏心軸迴轉運動產生的離心慣性力(稱為激振力)傳給篩架，激起篩面的震動，並維持震動之振幅。篩上物料，受篩面向上運動的作用力而被拋起，前進一段距離後，再落回篩面。

(2)自調中心震動篩

圖 3.8 為自調中心震動篩的外觀圖。主要由篩架、振動器、彈簧等部分組成。篩架用鋼板和鋼管銲接成，篩網用角鋼壓板壓緊在篩架上。在振動器的主軸上；除中間部分製成偏心外，在軸的兩端並裝有可調節配重的皮帶輪和飛輪。馬達以三角皮帶帶動震動器、震動器的偏心效應與慣性震動篩的情形相似，使整個篩產生震動。

(3)共振篩

共振篩(也叫彈性桿式震動篩)，是用有彈簧的曲柄連桿機構驅動，使篩在接近共振狀態下工作，達到篩分的目的。圖 3.9 是共振篩的原理示意圖，此篩主要由篩架 1、支架 2(即平衡支架)、傳動裝置 3、共振彈簧 4、片狀彈簧 5、避震彈簧 6 等部件生成。當馬達通以皮帶與裝於支架上的偏心軸，心軸轉動使連桿作往復運動。連桿通過其端部的彈簧將往復運動傳給篩架，同時支架也受到相反方向的作用，使篩架和支架沿著共振彈簧的方向振動，但它們運動方向彼此相反。篩架和彈簧裝置形成一個彈性系統，這彈性系統有其振動頻率，傳動裝置也有一強制頻率，當這兩個頻率接近相等時，篩即可在接近共振狀態下工作。

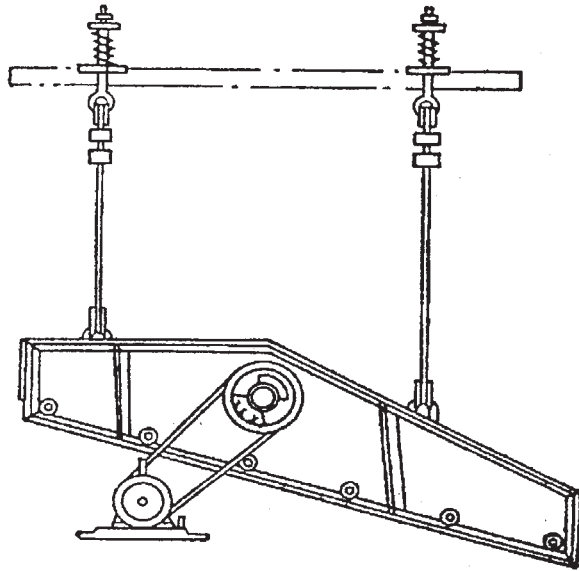
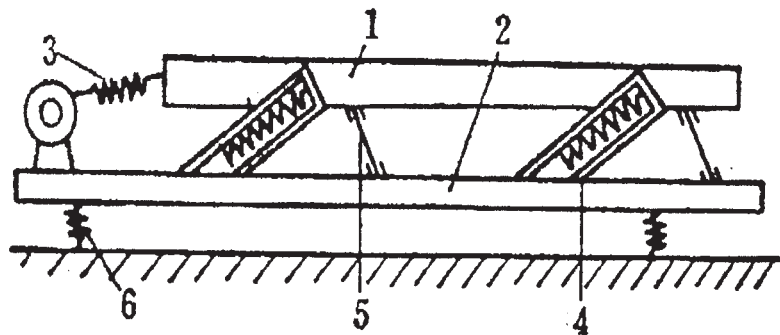


圖 3.8 自調中心振動篩



- | | | |
|--------|--------|--------|
| 1.篩架 | 2.平衡支架 | 3.傳動裝置 |
| 4.共振彈簧 | 5.片狀彈簧 | 6.避震彈簧 |

圖 3.9 共振篩結構示意圖

3. 曲面篩

曲面篩是新型的固定篩設備，結構簡單，沒有運動部件，篩面為是弧形，由等距離、相互平行的固定篩條組成，篩條的排列方向不與物料運動方向垂直。篩條為梯形斷面，用不銹鋼製成。亦有以尼龍材料製造者，耐磨性能良好。

曲面篩的給料方式有兩種，一種為重力給料，另一種為壓力給料。重力給

料的曲面篩如圖 3.10 所示，需篩分的物料於儲料箱 1，儲料箱內有一塊傾斜的溢流板 2，形成一個上寬下窄逐漸收縮的隔槽，漿料由隔槽的出口藉重力均勻地沿切線方向均勻分布在篩面 3 上下流，然後被分為篩上和篩下產品。

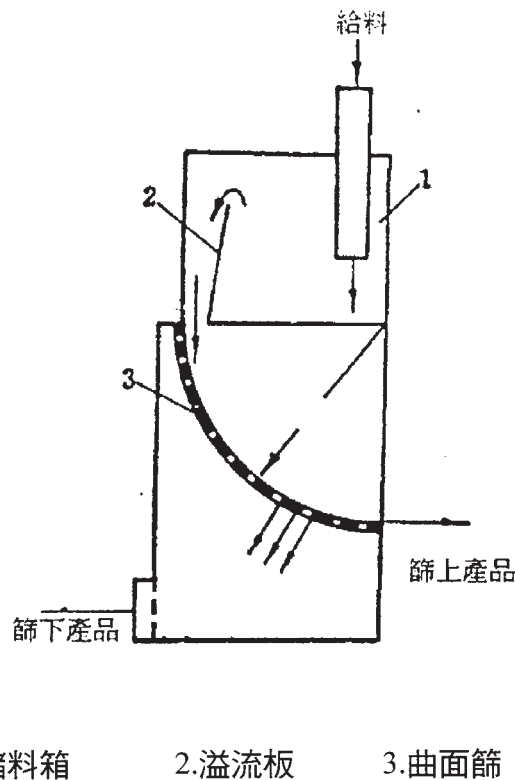


圖 3.10 重力曲面篩原理示意圖

4. 機率篩

此種篩雖也是一種震動篩，但它的篩分作用與以往的震動篩完全不同，它是利用大篩孔、多層篩面、大傾斜角的原理進行篩分。在相同的篩分粒徑與精度要求下，可篩到 25 目到 400 目，用於細粒者使用篩網可篩分 50 目以下之物料。

機率篩是一種具有擊振裝置的細粒篩分設備。擊振裝置分為兩類：一類是利用機械或氣動活塞結構的擊振裝置；另一類是利用裝在篩架上的偏心馬達產生的振動。這兩類擊振裝置都是通過瞬間的撞擊，使篩面引起振動，藉此來消除篩孔的堵塞。

採用機械敲擊裝置的機率篩結構簡單，它可以在一支軸上裝設數個打擊

鏈，同時敲擊一排並列的篩。機率篩的結構如圖 3.11 所示，上部是一個給料機，下部是由鋼板銲接成的篩框，內裝有篩架和篩面，篩架的背面有一敲擊裝置。

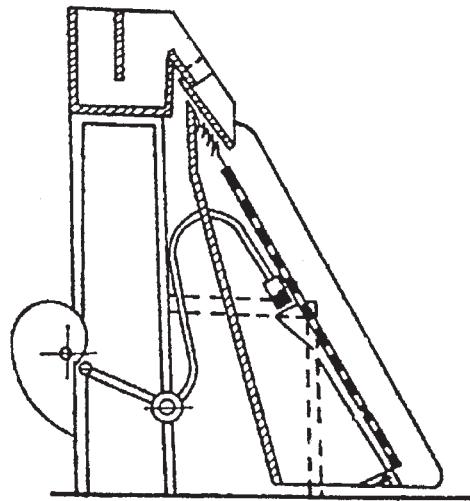


圖 3.11 機率篩結構圖

3.3 分級技術與設備

分級機是利用在水中沈降顆粒的大小，具有不同沈降速度之原理，將大小顆粒分開之分粒機械。分級機所處理之物料，若有比重不同之顆粒在一起時，此機械不但將顆粒依大小分粒，同時也會出現比重之影響。

1. 水力分級機(Hydraulic Classifier)：將有壓力之水由外部導入機內，使機內產生上昇水流，較上昇水流流速大之沈降顆粒下沈，小者隨水流溢出機外而得到分粒之分級機。如圖 3.12 所示，由料漿導入板(Feeding Sole)、沈降部分(Pocket)、分級部分(Sorting Column)與壓力水導入箱(Pressure box)所構成。給入的料漿經一道一道不同之上昇水流分級，分出一系列粗細不同之粒度。

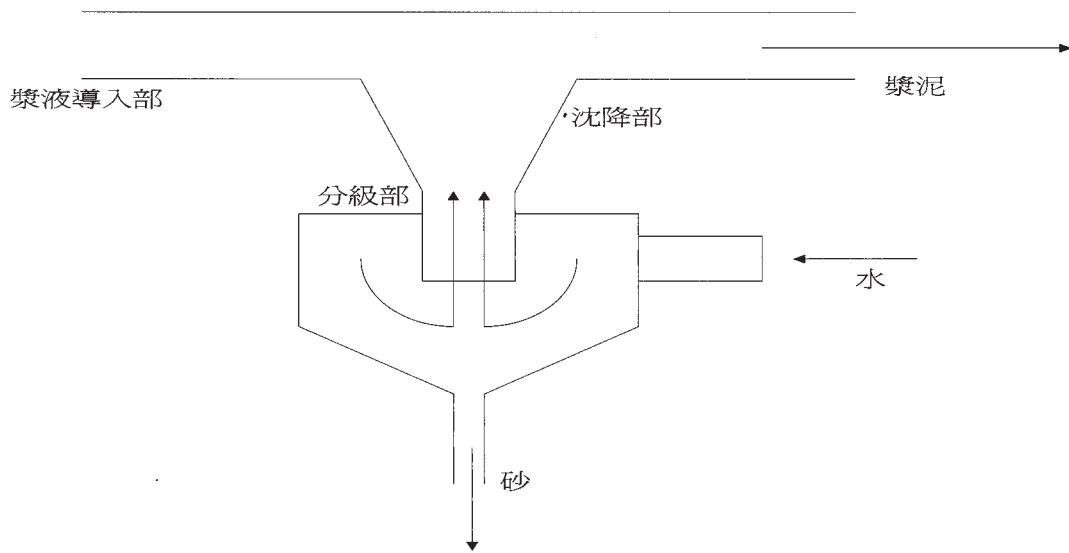


圖 3.12 水力分級機

2. 平流分級機(Horizontal Current Classifiers)、沈積分離機(Slime Separator)：包括濃縮機(Thickener)、沈澱池(Settling Pond)等，固—液分離或泥與砂分離為目的。將要分離之料漿導入機內不另外加水，使機內之水流保持比較穩靜，讓易沈者下降、不易沈的隨水流溢流而出之分離機。
3. 機械分級機(Mechanical Classifier)：沈澱部分由機械不斷搬出，細粒(或比重小者)隨水流溢出。螺旋分級機：利用螺旋帶之旋轉動將沈積之砂運出；耙式分級機：在耙式沈澱池上加裝一大而淺之盤槽，可加強分級效果；無極帶分級機：利用裝有刮板之無極帶或鏈將沈砂運出；轉筒螺旋分級機：傾斜裝置之圓筒內有螺旋帶，當圓筒旋轉時，螺旋帶將沈於筒底之砂運出。
4. 渦錐分級機(Cyclone Classifier)：利用漿液之旋渦所生之離心力分出粗細粒，有乾式與濕式。係利用離心力加速顆粒沉降的連續操作之分級裝置，在分選工程之細粒分粒上是一種很重要之裝置，主要用在閉迴路研磨系統之分級、脫泥濃縮，其構造如圖 3.13 所示，構造簡單、容易製造、設備成本低、佔用面積少、可以掛著使用、分級效率高，因此使用率年年提高，是目前最有效的細粒分級設備。將要處理之料漿用壓力(泵)給入與圓筒部尺寸範圍，由 50~1000mm，常用者為 125~500mm 成切線之進口，使料漿成旋渦狀運動產生離心力，料漿中較粗及較重之顆粒因慣性離心力大被拋向器壁，沿著圓筒壁逐漸向下流動經錐形部由尾部開口排出，而較小及較輕之顆粒則由旋渦管上昇而成為溢流。

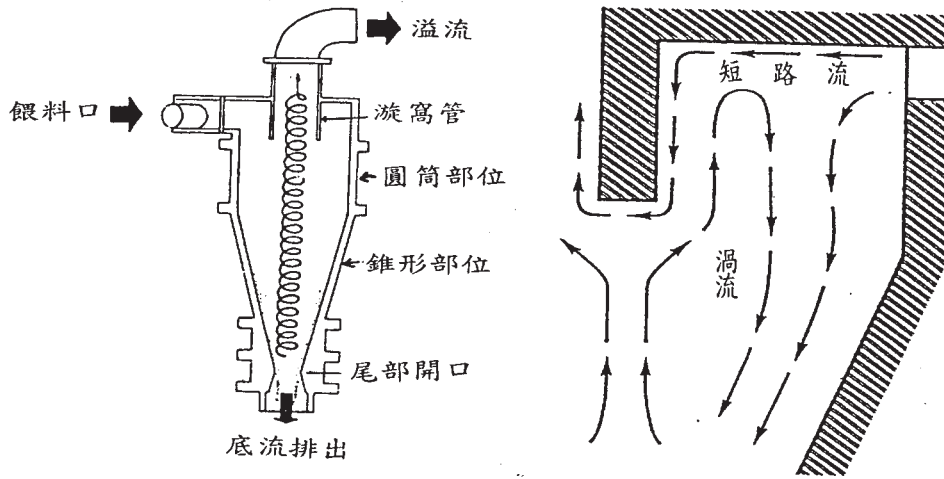


圖 3.13 渦錐分級機

5. 空氣分級機 (Air Separator 或 Pneumatic Dust Separator)：利用空氣之旋渦所產生之離心力分出粗細粒，與渦錐分級機相似。此機之構造如圖 3.14，由一筒錐形外殼與一筒錐內殼所構成。餵料由給料管給入，落於分散板，因板之旋轉，成薄層散出，下端風扇所產生之上升風流，將分散之餵料吹起，但上端風扇所產生之旋流，因離心力作用，將粗粒帶至筒錐內殼之內壁而沿壁落下，由內錐收集排出，是為粗粒產品。而細粒則被帶至外殼與內殼之間，亦因離心力之作用，使至外殼內壁，大部分沿壁落下，在外殼之錐部收集。

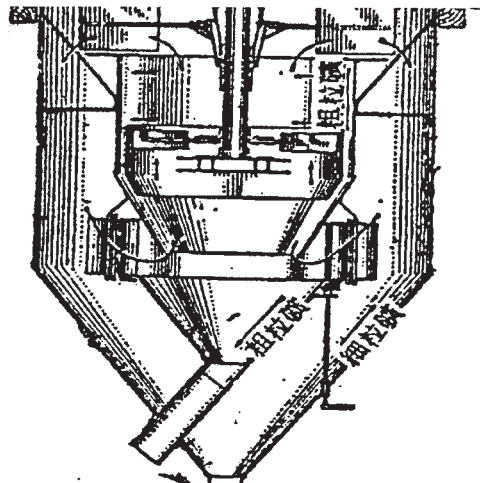


圖 3.14 空氣分級機

第四章 分選技術與設備

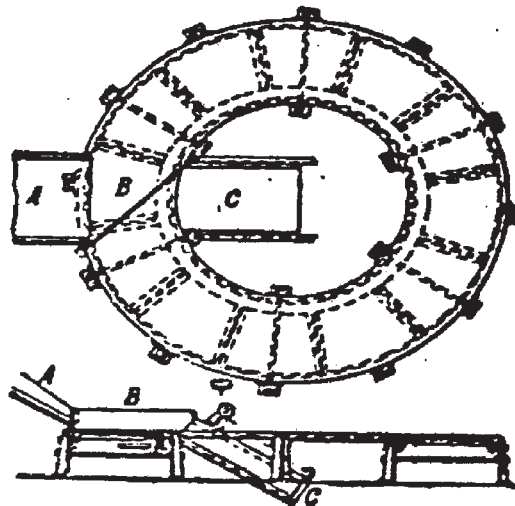
4.1 揀選技術與設備

揀選技術主要分成手選及電子挑選等兩大類，茲分述如下：

1. 手選

人工手選是靠人工用眼睛與大腦研判廢棄物中，物質之不同顏色、光澤、比重或其他人類可分辨之特性，而使物質分開。除可利用自然光線外，有時也可利用人為光線(如紫外線)。手選之粒度範 0.5~18 吋之間，但以 0.5~3 吋之間為最好。

手選場所光線要充足，工作台可以是固定或移動，移動桌面有多種，如圖 4.1 為手選轉台(revolving picking table)，餵料由斜槽(A)給入至桌面，其外徑 16~25 呎，桌面緩緩旋轉，外緣速度為 20~40 呎/分。工人 12~26 人圍桌站立，將廢棄物中之有用物質選出，不要物則留在桌面，至刮板(B)才刮入斜槽(C)中。



A. 入料斜槽 B. 刮板 C. 出料斜槽

圖 4.1 手選轉台

橡皮輸送帶或鐵盤輸送帶是手選最常用之移動工作面，橡皮帶寬 24~30 吋

者，用一排手選工，帶寬 36~48 吋者用二排人工，工人相距 3~6 吋，於其側或對面設置收集槽，以備放入選出之回收物，帶速通常為 10~80 呎/分，速度太快則工作不便，速度太慢則回收量減少，粒徑小時因挑選次數增多，帶之速度須慢，帶之長度亦需增加。

2. 電子挑選法

手選是將廢棄物鋪平成單層，由人的眼睛看，經大腦的判斷、用手揀取選別。若用機械選別代替人工操作，則需靠機械設備完成下列四項動作：

- (1) 將餵料鋪成單層之給料機
- (2) 區別不同物質之感應器
- (3) 判別感應資料之電子系統
- (4) 利用氣柱或水柱進行分選動作之設備

感應系統是電子挑選技術之最主要部分，茲將常用之分選感應設施分述如下：

(1) 光學分選機(photometric sorter)

係利用雷射光照射通過挑選帶上單層排列的廢棄物，將不同物質顆粒之反射光，經光電管偵測後轉變成為相異之電訊號，再透過電腦解析進而控制噴出器，適時噴出氣柱(氣流)而將物質分選。此類挑選機(如圖 4.2 所示)對 35~65mm 及 70~150mm 之餵料而言，其處理能力分別為 50 公噸/小時及 200 公噸/小時。

最典型之光學分選機為 Gunson's Sortex MP60 型分選機，如圖 4.3 所示。粒度範圍 10~150mm 之餵料，其處理量為 150 公噸/小時。此機是將輸送帶上之餵料震盪成單層，並以一定速度前進，在輸送帶末端用石英--鹵素燈為光源，並以固狀攝影機以每秒一千次掃瞄進料，將所得訊息傳給電腦，並由系統根據訊息作出控制氣體噴出開關來分選。

Sortex G414 為簡易型之顏色分選機，如圖 4.4 所示。係利用光學分判器去比較顆粒顏色與背景參考顏色之差異，以控制氣體噴出開關使餵料分選。圖 4.5 為 RTZ 16 型之光學分選機，其雷射掃瞄系統是將雷射光射出經 20 面滾筒之鏡面，反射至輸送帶上欲分選之顆粒表面，經顆粒表面反射回滾筒鏡上，並由光電管偵測，將訊號送由電腦處理，而將物質顆粒加以分選。

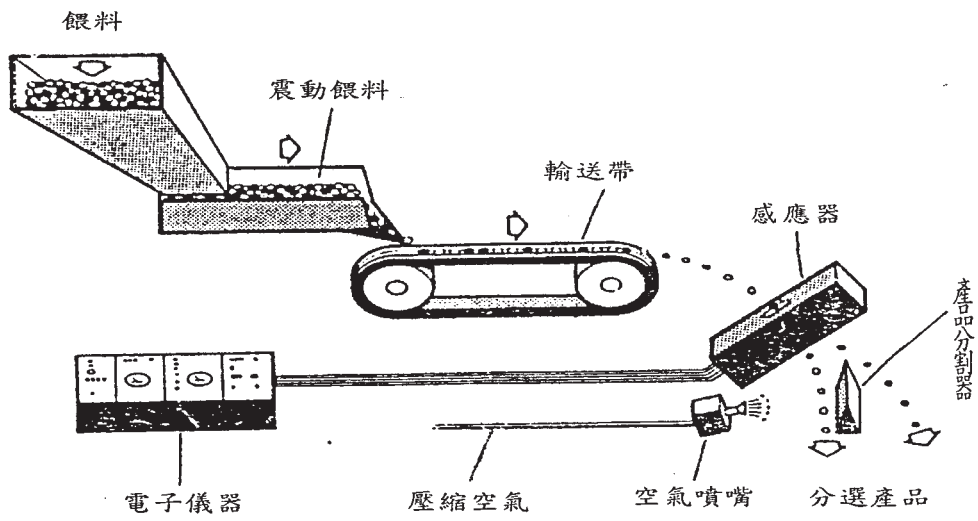


圖 4.2 光學分選機

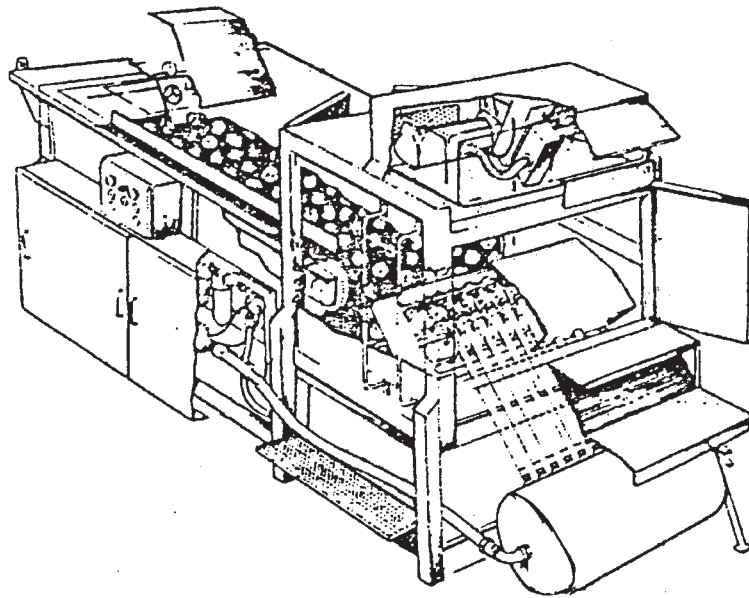


圖 4.3 Gunson's Sortex MP60 型分選機

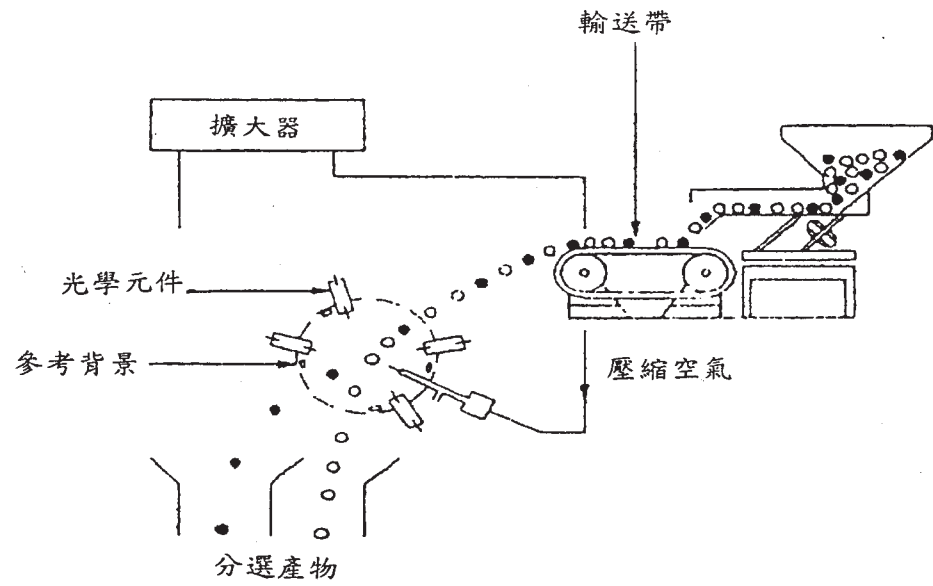


圖 4.4 簡易型顏色分選機

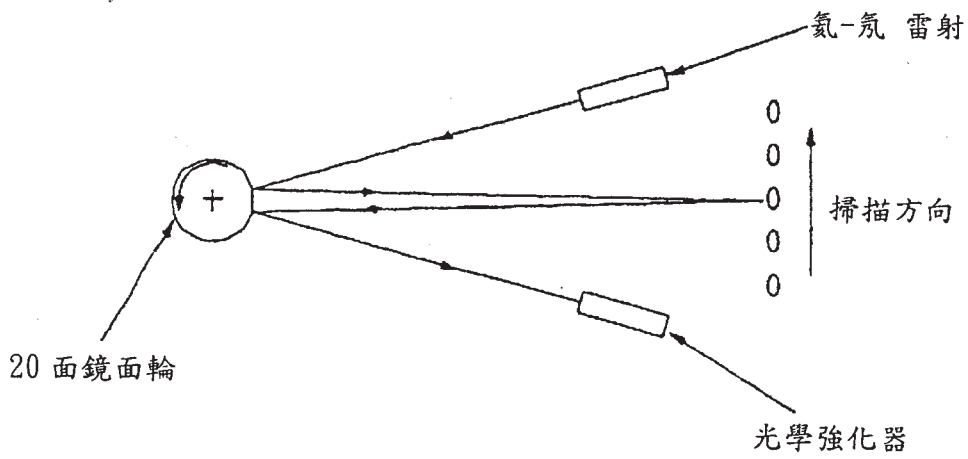


圖 4.5 RTZ 16 型光學分選機

(2) X 光分選機

X 光分選機應用在礦物分選工程上之鑽石分選，鑽石在 X 光之照射下，會有螢光反應，再由光電管偵測後加以分選。

(3) 伽瑪射線分選機

電子挑選機應用於分選放射性物質，係利用物質伽瑪射線作分選之依據。此機主要分選裝置為由 NAI(Th)之閃爍偵測器，接收物質放射出來之伽瑪射線，其裝置與上述之挑選機相類似。

(4) 中子吸收分選

中子吸收分選法曾應用在硼礦之分選上，硼礦具有中子放射源，中子束經偵測器偵收後加以分選，本法在資源回收再利用上並未使用過。

(5) 導電性/磁性反應訊號分選機

若是將物質顆粒之光學訊號，改以導電性/磁性之反應訊號，所設計出來之電子挑選機，如圖 4.6 所示之 RTZ 19 型挑選機，此機可挑選之粒徑範圍為 35~150mm。以 150mm 之粒徑餵料而言，其處理能力為 120 公噸/小時。

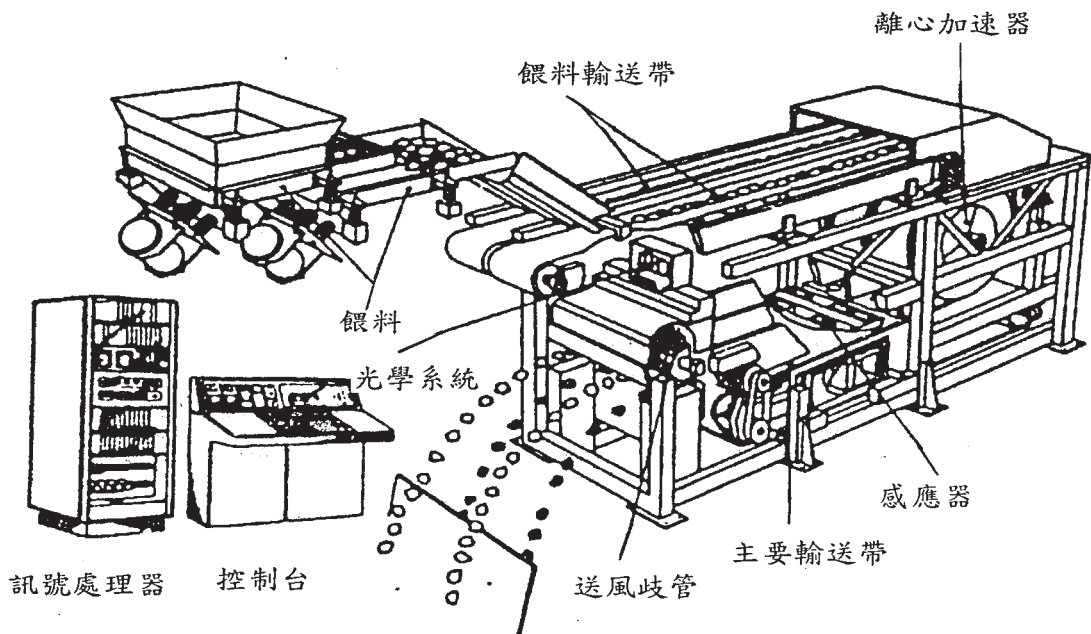


圖 4.6 RTZ 19 型挑選機

(6)伽瑪散射分選機

Precon 機型是在芬蘭開發出來之分選機種，利用伽瑪射線之散射原理作分選，其機械原理與上述各電子挑選機均相同。本機適合分選含金屬之廢棄物，回收物與不要物之金屬含量差異可在 5% 以上，適合分選之金屬包括鉻、鐵、鈷、鎳、銅及鋅，或者是以上任何金屬之混合廢五金。散射分析器每秒可偵測 15 個顆粒，對 150mm 之餵料而言，其處理能力為 40 公噸/小時，其分選原理及系統如圖 4.7 所示。

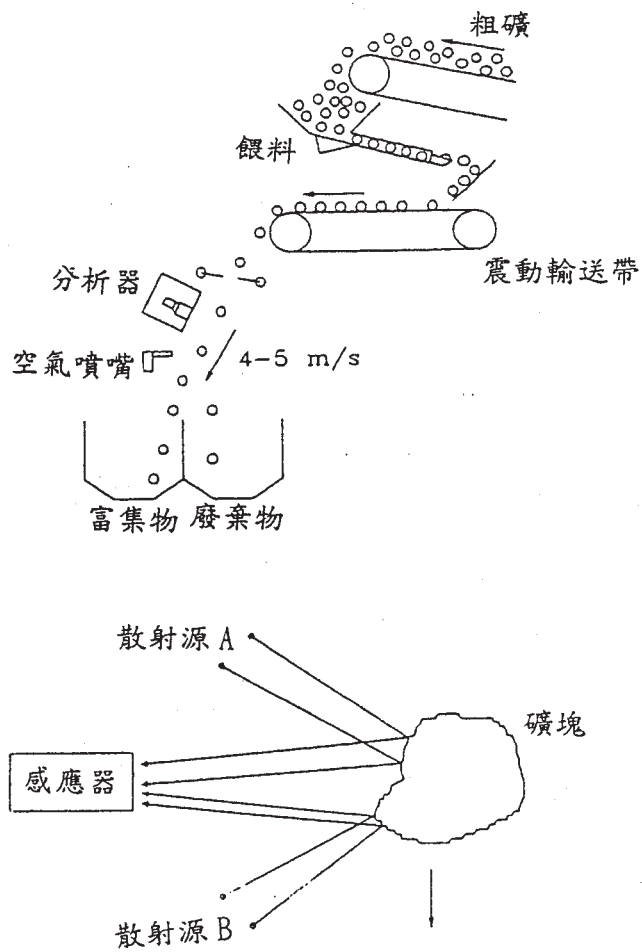


圖 4.7 伽瑪散射分選機系統與原理

4.2 重力分選技術與設備

利用不同廢棄物間之比重差異，將欲資源回收之物質富集的方法稱為重力分選技術或比重分選技術(gravity concentration)。利用重力分選技術可將廢棄物分為輕質部分及重質部分，且重力分選可在空氣中或在液體中進行，在液體中又以水及重液較為廣泛使用。

若僅利用不同物質本身所具比重差異，分選出不同比重物質群之分選法，稱為絕對分選法(absolute process)，若不僅僅以物質之比重差異為主要分選依據，且就其粒徑大小、顆粒形狀之不同，在流體中以流動以及摩擦阻力所產生之影響為輔助因素，而使物質分離富集的法，則稱為相對分選法(relative process)。

相對分選法通常在水流中進行，所以又稱為水流分選法，所應用之水流方向可分為垂直流與水平流兩種。垂直水流分選法係利用昇流或降流水流分選之方法；平流分選法係利用與分離面平行的水流分選方法，如以搖洗桌(shaking table)分選法或螺旋運動的水流如螺旋分選法(spiral concentration)。以下分別就在空氣中作重力分選之風力分選技術，在水中作重力分選之水力分選技術及在重液中作重力分選之重液分選技術等項目分別說明。

1. 風力分選

風力分選技術與水力分級技術類似，可以利用水柱或氣柱分別依其粒子在介質中之沈降速度，分選混合固體物質成為兩種或多種物質群。所以本分選技術之重點為需要包含一個分選柱，用以提供穩定速率之上升水流或氣流。物質粒子之沈與浮則視各物質粒子之終端速度是否大於流體介質之上升速度而定。因此分選柱將混合物質分選為下降終端速度小於介質流體上升速度及大於上升速度之兩種物質，分級技術是非常適合應用於比重差異物質之分選技術上。

風力分選技術是一種簡單又有效率之分選技術，而且能廣泛應用於各種不同廢棄物之餵料，但是物質粒子必須以顆粒形態流動，所以長形之纖維物質需要先經剪碎，風力分選設施之投資成本及操作成本都不高。

風力分選技術最早是使用在花生與花生殼之分選上，當然也被用來分選玻璃瓶上之紙質標籤，分選操作上必須避免待分選之物質與風扇有所接觸，所以任何風選系統中，在分選柱與風扇間均包含旋風集塵設施或袋式集塵設施。

風力分選機有下列六種：

(1) 豎槽型風力分選機(vertical air classifier)

空氣由槽底輸入至頂上，其風力恰僅足以吹送輕質部分之廢棄物，重質部分則掉落至槽底。風力吹送之大小可藉由加入之廢棄物負荷量、送風量的比例及單位面積之風量調整。餵料之方式由分選柱體之上方以氣閘(air lock)控制送入(如圖 4.8)，氣流將輕質物質向上帶出，重質物質則降落至下方之輸送帶上。

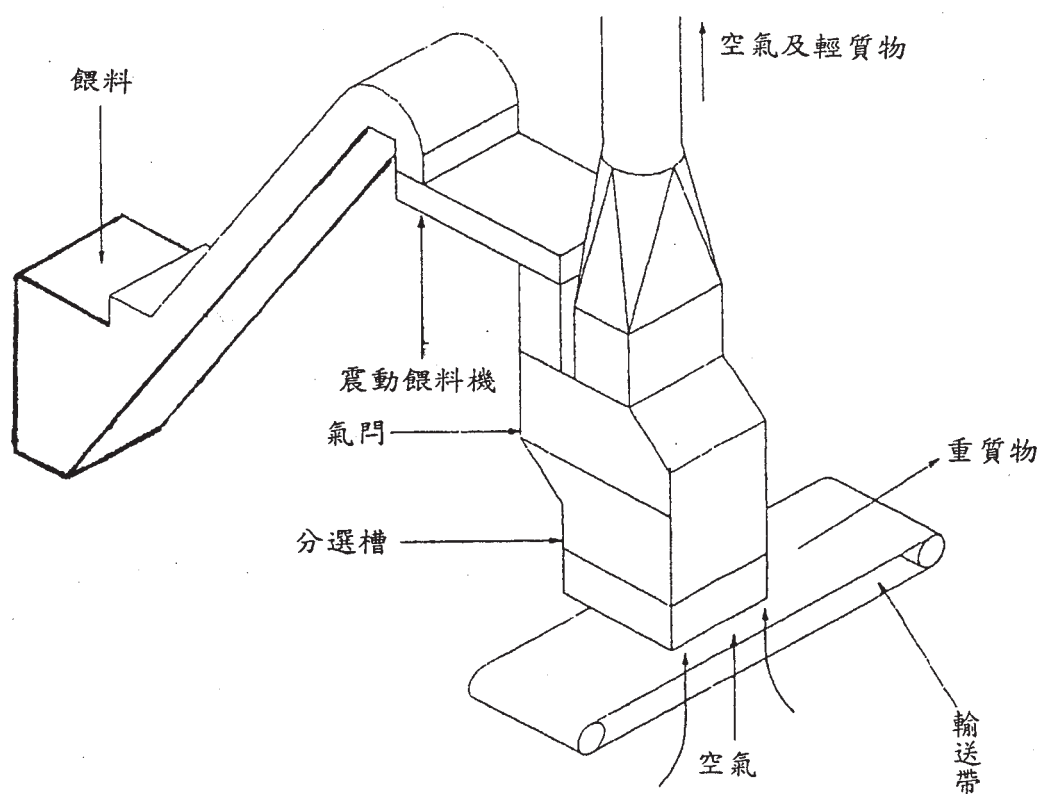


圖 4.8 豎槽型風力分選機

圖 4.9 之豎槽型風力分選機是開發作為非磁性汽車破碎物質之輕質物質分選設備，本設施也可應用在都市垃圾之非磁性輕質物質之分選，餵料點也是在靠近分選槽頂部之位置。

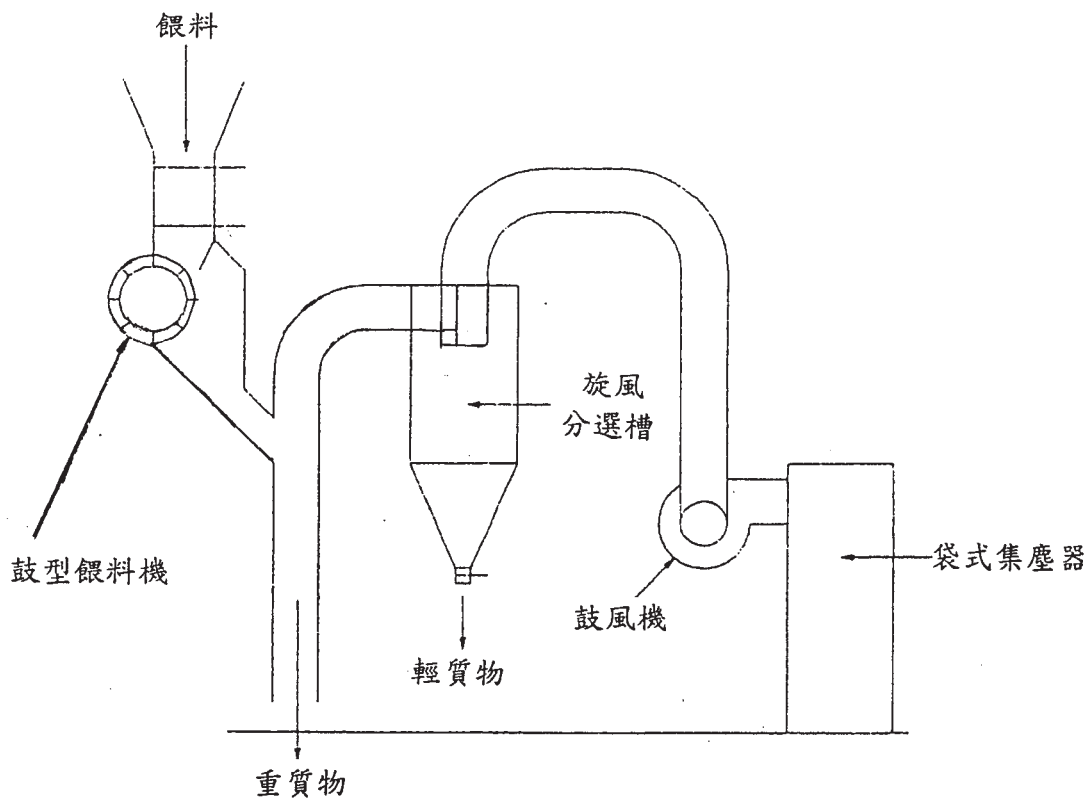


圖 4.9 豎槽型風力分選系統

(2) 彎曲管道型風力分選機(zigzag air classifier)

傳統式之豎型分選槽中沒有彎道或緩衝板，空氣由管底急速向上，然而對於集結成團塊之廢棄物，其分選效果必然不佳，因此如果能在分選柱中提供紊流及剪力，以使結成團塊之粒子分散，達到更清楚之分選作用。彎曲管道型風力分選設施之餵料粒子大小，以不超過管道直徑四分之三粒徑為限(詳見圖 4.10 所示)。

(3) 水平式風力分選機(horizontal air classifier)

傳統豎型槽式分選機僅僅利用氣流分選餵料中之輕質物質，但水平式分選機則可同時利用上升氣流及粒子慣性力，來分選輕質、重質或介於中間之不同物質群。鼓風機在本系統中，同時具有兩種力量，其一方面為拉力，另一方面也有推力，推力可以將餵料中之重質及輕質物質推開，拉力則進一步

將輕質物質拉進輕質物質群中。由於這個系統採用空氣循環迴流設計，所以使用本分選系統不需要再增加任何大型空氣污染控制系統(詳見圖 4.11)。

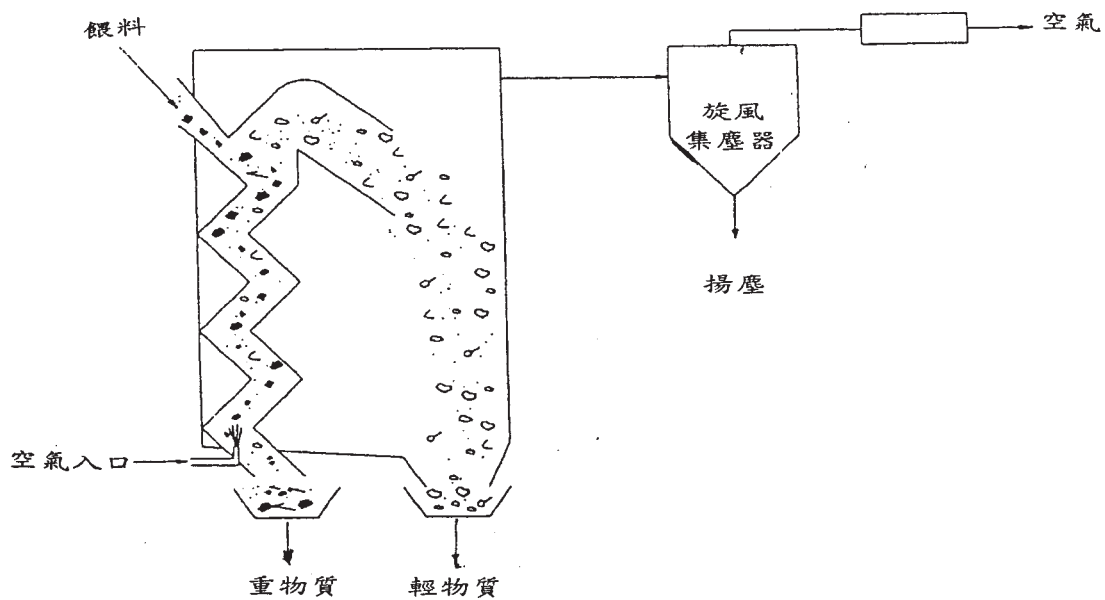


圖 4.10 彎曲管道型風力分選機

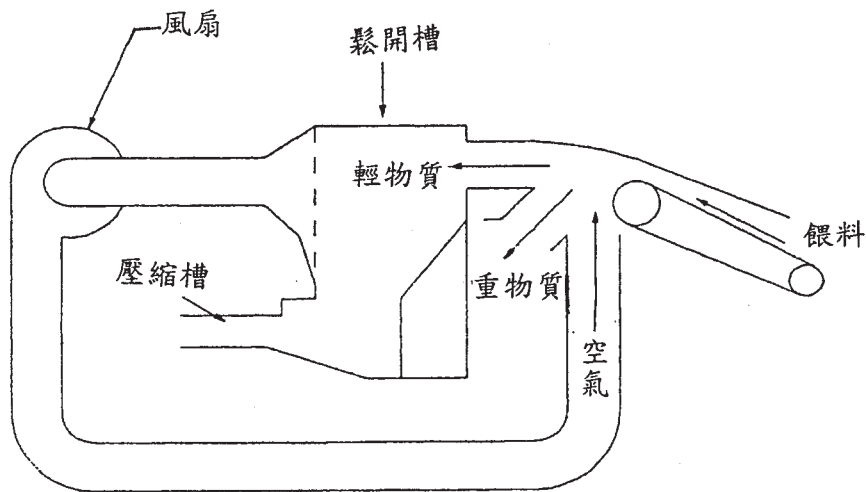


圖 4.11 水平式風力分選機

(4) 空氣刀風力分選機 (air knives)

本風力分選設施之分選原理及型式與水平式風力分選機相同，且最適合

應用於分選醱酵之殘渣，氣刀分選機之型式如圖 4.12 所示，可以是僅分選輕質及重質物或者是可以分選數種不同等級之輕質或重質物。

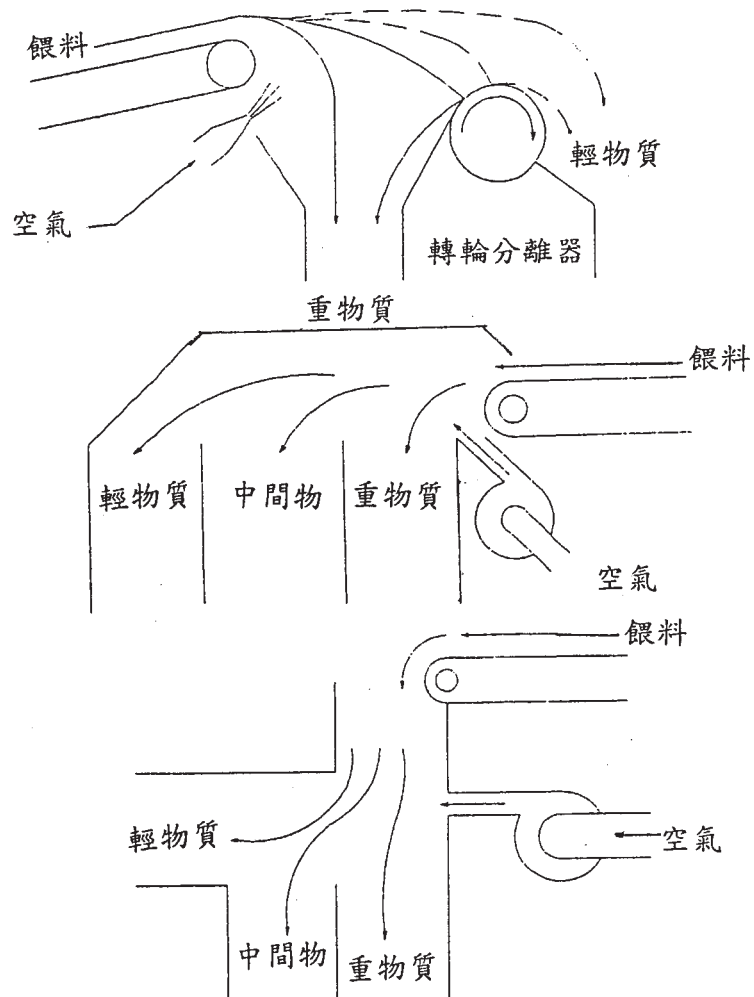


圖 4.12 氣刀分選機之三種型式

(5) 震盪型風力分選機(vibrating air classifier)

本型風力分選機主要是水平式風力分選機結合餵料口之震動作用力，本分選機之分選作用分成三個部分，其一為餵料口之震動力，其作用為將餵入之廢棄物在斜板上先作分層處理，即是使重質物質沈底，而輕質物質上浮，

而達到分離為輕質重質兩部分；其二為慣性效應(inertial effect)，當廢棄物餵入落下時，空氣吹力使廢棄物得到重力加速；其三為浮動空氣力(fluidizing air)改變了輕質廢棄物之方向，並隨排氣流向輕質物質群(詳見圖 4.13 及圖 4.14)。

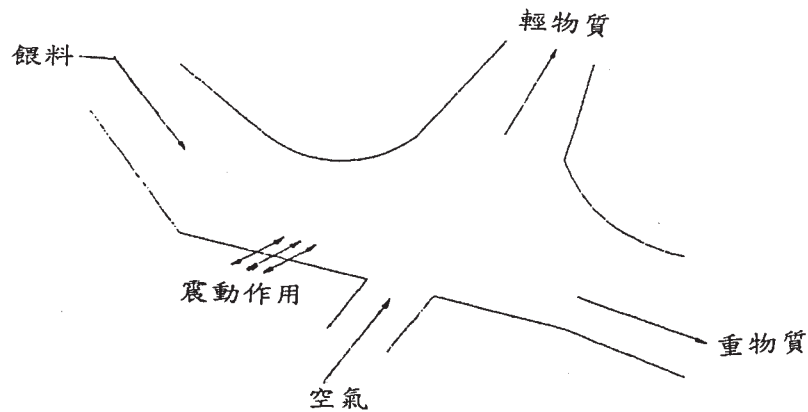


圖 4.13 震盪型風力分選機之分選原理

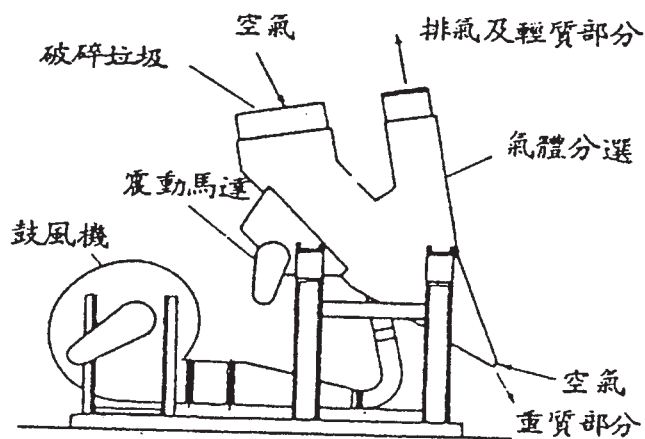


圖 4.14 震盪型風力分選機

(6)旋轉型風力分選機(rotary air classifier)

本型風力分選機乃是結合旋轉式圓筒篩與氣流浮力作用而成的。當圓筒篩旋轉時，氣流之浮力作用使輕質部分懸浮在氣流中而向輕質產物之收集端前進；細且重之物質則直接從圓筒篩之篩孔中掉落；至於大又重之物質則是

從圓筒篩之底端排出，而達到分選之目的(詳圖 4.15)。

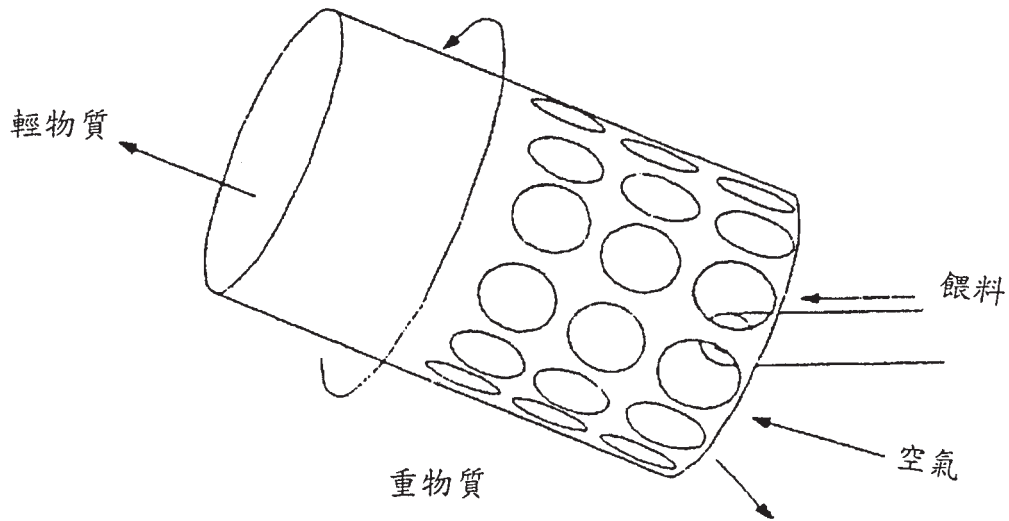


圖 4.15 旋轉型風力分選機

風力分選機之浮動流速為風力分選之最重要設計參數，因各種固體廢棄物成分與設備不同而會有所不同，一般採用之固氣比介於 0.2~0.8 之間，但對於破碎紙片可減低至 0.02。Dallavalle 氏曾提出下列方程式，以計算橫式及豎式管中傳送之最小速度。

橫式：

$$V = 6,000 \frac{S}{S+1} d^{25}$$

豎式：

$$V = 13,300 \frac{S}{S+1} d^{35}$$

式中 V：空氣流速(ft/s)

S：物質之比重

d：最長顆粒直徑(in)

風力分選機選擇應考慮下列各項因素：

A. 破碎後廢棄物之物質

物質包括大小、等級、形狀、濕度、凝聚性、纖維含量等。

B. 輕質物之規格。

C. 輸送及餵入分選機之方法。

D. 分選機之設計特性。

包括固氣比(kg 固體/kg 空氣)、浮動流速(m/min)、單位容量(m³/hr)、總氣體流量(m³/hr)及壓力損失(m, 水柱)等。

E. 操作特性

包括動力大小、經常及特殊維護的需要、操作的難度、業績及可靠度、噪音/水/空氣的污染等。

F. 地點考慮

包括面積、高度、通道、噪音及其他環境限制因素之考量。

2. 水力分選

水力分選技術依水流方向分為垂直流及水平流兩種，茲分別說明如下：

(1) 垂直流(上升水流)分選機

垂直流分選技術亦可稱為上升水流分選法，其分選原理與 3.3 節之分級技術與設備相類似；同時也與風力分選機具有相同之分選原理，不同的只是使用的介質不同。水力分選使用上升水流將輕質粒子浮起，而使重質粒子下沉。這種分選技術應用在非磁性物質分選上，也可與重液分選技術一樣具有相當之分選效率，圖 4.16 為典型上升水流分選設備。目前已有數種這類型之分選機開發完成，如圖 4.17 之 Wemco 公司之上升水流分選機或者是 Newell 公司之水流分選機，該機為在鋼槽結構中包含一個輸送設備，且槽內分成兩個槽室，其中一室為具有上升水流能分選汽車廢料中之非鐵金屬及殘渣廢棄物，非鐵金屬因比重較大故下沉，並由輸送設備在水面下收集至第二個槽室，再由另一個輸送帶送至槽外收集；殘餘之廢棄物相對較輕，則收集至槽邊之脫水篩網上，這個系統設施可將廢汽車中之非鐵金屬富集至 40~60% 之金屬成分。

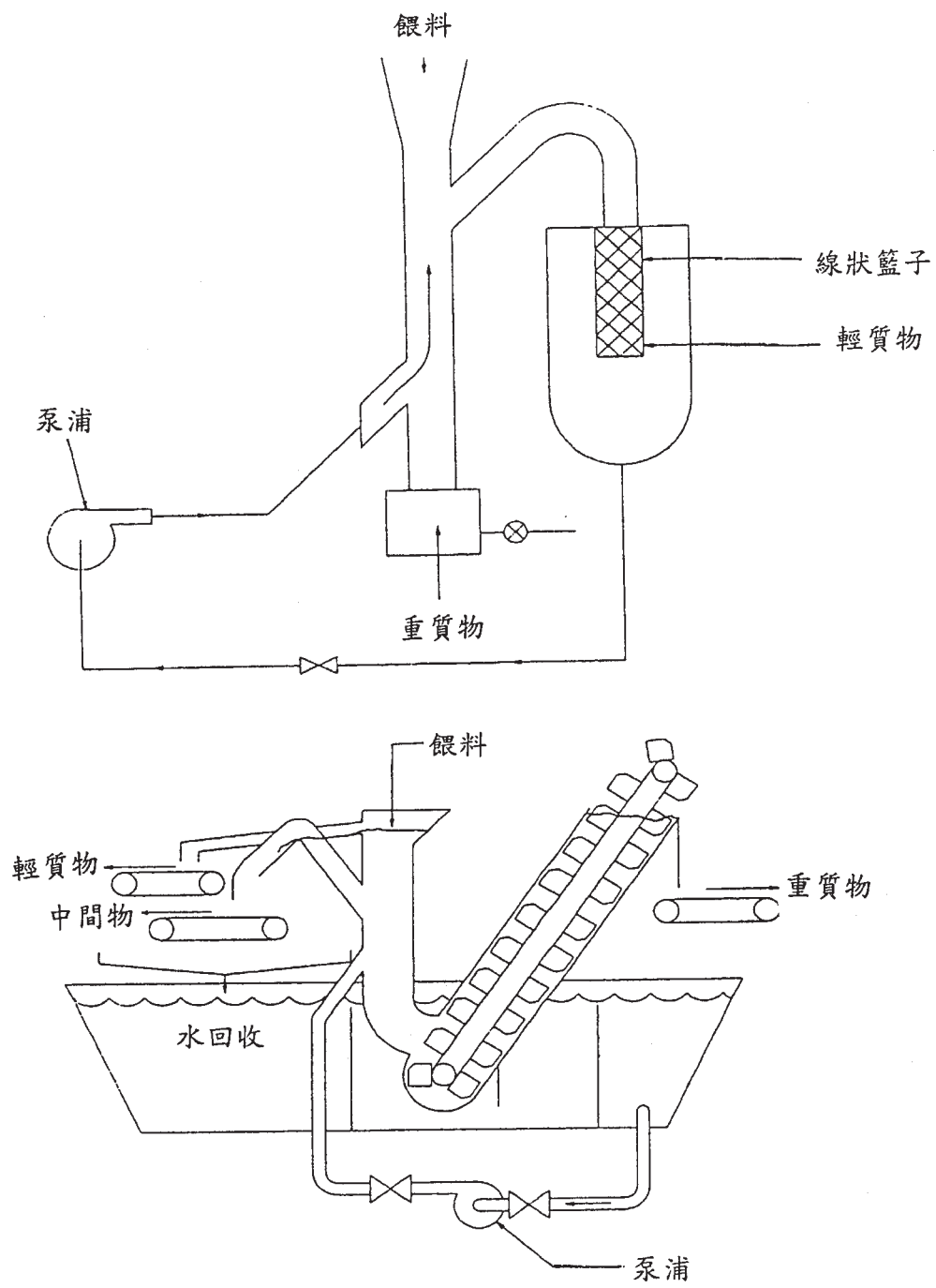


圖 4.16 上升水流分選設備

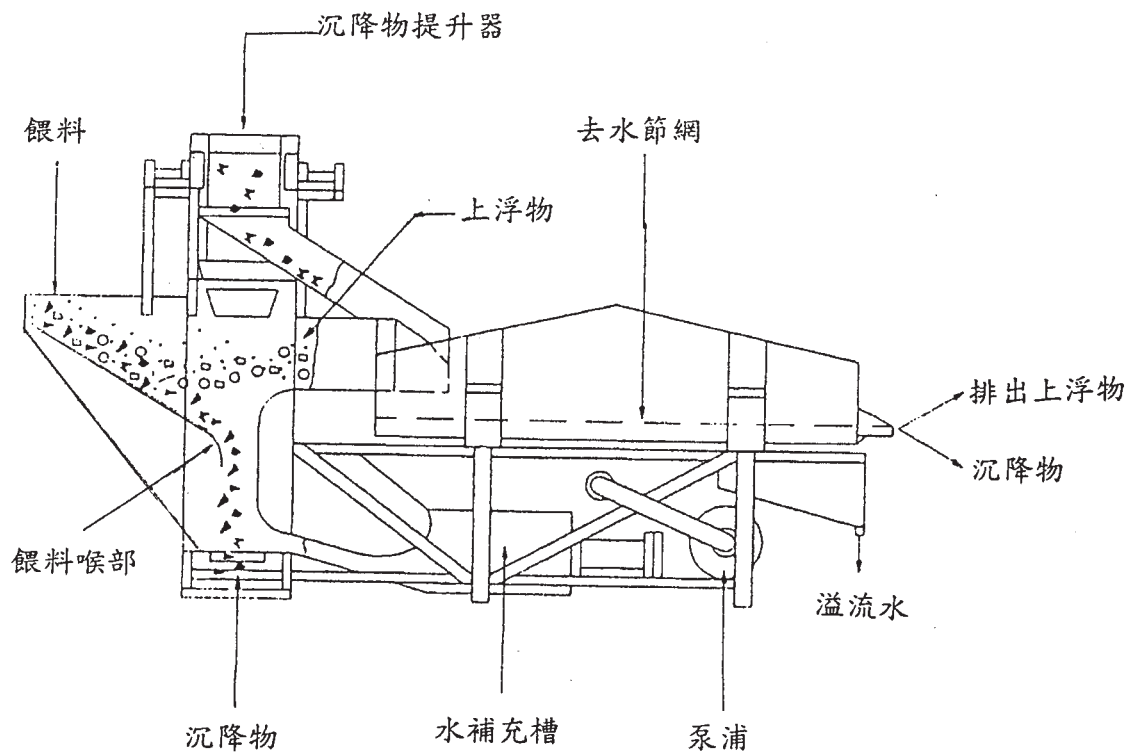


圖 4.17 Wemco 公司上升水流分選機

另一種在資源回收再利用使用較多之垂直流分選技術為波震分選機 (Jig)。本機乃是利用垂直(波震)運動之水流(或空氣流)將比重不同之廢棄物分層，使比重大的廢棄物在下層、比重小的廢棄物在上層，而分別取出重質物質及輕質物質之分選法。波震機之主要部分如圖 4.18 所示(剖面圖)，水槽被隔板區分為兩部分，右邊為波振分選室，內裝有篩網，可以讓水流通過；左邊為隔膜室或活塞室，由偏心輪帶動隔膜或活塞上下運動，使槽內的水流產生昇流與降流之交變水流運動，在此水流作用下，波震分選室內之廢棄物，受到一而再之鬆散昇流與差異沈降運動而按比重分層，餵料由槽之一端不斷地給入，經波震分選室之分層，而從另一端分別分層排出。波震分選機及搖洗桌曾被應用在非磁性之廢汽車元件之分選，尤其是針對粒徑在二分之一英吋以下之廢棄物，只可惜目前為止並沒有獲得較滿意之分選結果。

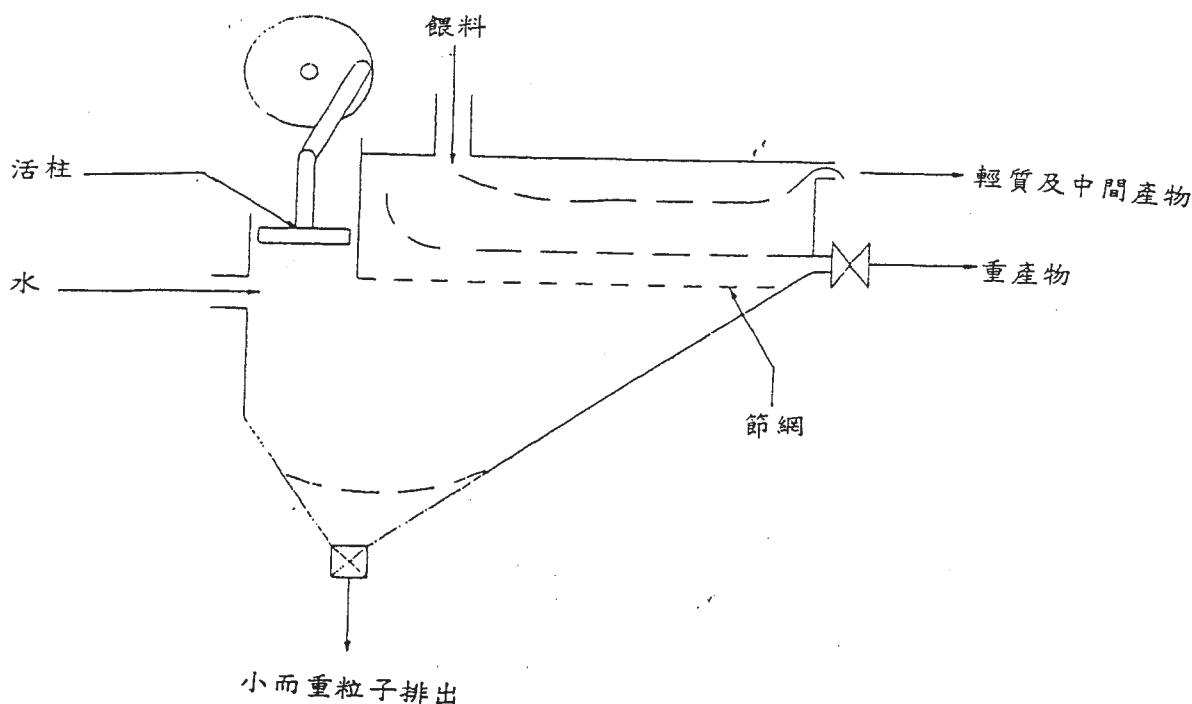


圖 4.18 波震分選機剖面圖

波震分選機之種類主要是依其產生垂直波震水流之方式，定篩波震分選機是由外力之作用使水流產生波震運動，篩面固定不動，而作用於此定篩波震分選機之外力方式包括活塞方式、隔膜方式、壓氣方式及壓力水等。另一大類為動篩波震分選機，是由篩網之上下運動而產生垂直波震水流。另依垂直之流體介質可分類為空氣波震機及水流波震機。而以富集物質之收集方式，分為篩上收集及篩下收集兩種型式。

波震分選技術之分選原理，主要包括初加速度(initial acceleration)、阻礙沉降(hindered settling)與沈積穿漏(consolidation trickling)等三項作用因素。首先是利用物質顆粒間初加速度之差異而達到分選作用，一般顆粒在水中沉降時，剛開始沉降時，其沉降速度很小，而可以忽略，此時初加速度則比較重要。初加速度僅與顆粒及流體之比重有關，而與粒度大小、形狀等無關。亦即比重大者，其初加速度大；比重小者之初加速度則較小。因此，餵料顆粒經周期短，波震數高之昇降流作用，由於沉降時間短促，初加速度對不同比重顆粒之沉降差異效果要比等速(終速)沉降顯著，使重質顆粒(不管其粒度大

小如何)比輕質顆粒具有較大之加速度，沈降在輕質顆粒之下，而達到分層作用。第二個分選作用為阻礙沈降，波震分選機之分選室物質顆粒擁擠，其沈降為阻礙沈降。在此阻礙沈降條件下，兩比重不同之顆粒，若粒徑相同，則比重較大者終端速度大，若終端速度相同，則比重輕者粒徑較大。所以在昇流過程中，輕質顆粒較重質顆粒早開始上昇，重質顆粒到達最高點，則較輕質顆粒早，而且所上升之距離又較輕質顆粒小；在降流過程中，重質顆粒之沈降速度快，距離又短，將先達到篩面，而輕質顆粒沈降速度慢，則落在重質顆粒層之上，因此得到分層之作用。

第三個分選作用為沈積穿漏(consolidation trickling)，顆粒沈降至篩網形成層床，因下降水流之繼續作用，粗顆粒物質受篩網之阻隔無法再下降，而細顆粒物質則由粗粒物質間隙穿過繼續向下沈降，結果細顆粒物質落在粗顆粒物質之下，即所謂沈積穿漏作用。波震分選技術主要是以波震水流給予顆粒之初加速度，僅與欲分選顆粒之比重有關，而與粒徑大小無關，所以重質顆粒加速度快。再加以阻礙沈降可使初加速度之分選效果更為顯著，使重質顆粒之床層形成在輕質顆粒床層之下。再加上沈積穿漏現象之協助，使細粒物質落於粗粒物質之下。由此推論，波震分選機對粒度分布較大之物質分選操作上，應採波震周期短、頻率高，儘量利用初加速度之差異而獲得波震分選效果。

(2)平流(薄流)分選機

兩種不同比重之顆粒若置於微傾斜之分離面上，藉著重力沿斜面向下流的水層，會因此比重之差異而使此兩種顆粒產生不同的運動，比重小的顆粒將會被水流沖得更遠，這種利用在薄層水流中的運動差異而進行物質分選之方法稱為平流或薄流分選法，如圖 4.19 所示。

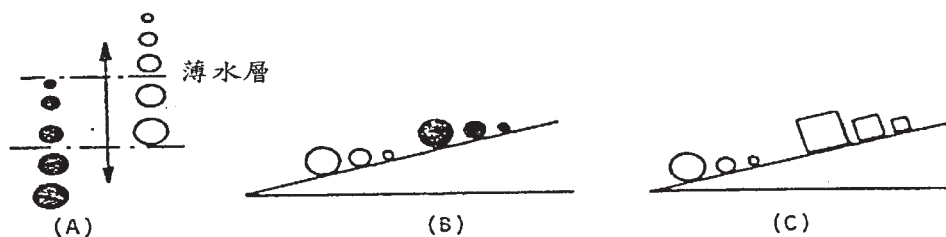


圖 4.19 平流分選原理圖

薄流分選之方式可分靈薄流槽分選與搖動薄流分選兩種，薄流槽分選法之水層較厚，因各種物質顆粒間之比重與粒徑不同，使得沈降槽底的時間也不同，沈至槽底者摩擦力較大，且在槽底之水流流速較小，水之推力也較小，因此形成輕質顆粒在平流之上層流速快，而重質顆粒在下層流速慢之情形，在斜槽之末端用一隔板分離在平流底部之重質物與平流上層之輕質物質。在槽底設置檔條(riffle)或舖上毛毯作成粗糙面(rough surface)等以沈積較重之顆粒。

搖動薄流分選技術為上述薄流分選原理加上在分離面與水流方向近乎垂直之搖動，使重質顆粒與輕質顆粒分層收集，雖然所用水流較薄，但這薄層水流仍然支配著各種物質顆粒之不同運動情形。重質顆粒靠近分離面摩擦力大，流速慢，受到橫向之搖動力也大，因此較重物質在分離面之運動方向產生差異而由不同位置排出。

此類分選設施主要有搖洗桌(shaking table)、帶選機(vanner)、轉動圓洗桌(revolving round table)等，其中以搖洗桌應用於廢棄物分選上較多，薄流分選所能分選之物質顆粒粒度較波震分選設備為細，以砂粒狀大小最為適宜，因水層薄、推力小，粒子太大不易推動，粒子太小不易沈降也難處理，一般以 $74\mu\text{m}\sim 4\text{mm}$ 為可處理範圍， $0.5\sim 1.5\text{mm}$ 為最有效之處理粒徑。若是重質物之比重與輕質物之比重差異不大，則其分選粒徑也要較大才行。

物質間比重之差異及顆粒之粗細，對重力分選之難易有很大的關係，其中以比重相差大及粒度較粗的，比較容易以重力來分選。重力分選準據(concentration criteria)為比重較大的物質比重(P1)與比重較小的物質比重(P2)，各減去 1 之後的比值 $C=(P1-1)/(P2-1)$ ，此準據可以用作評估這兩種物質在重力分選時的難易程度。表 4.1 為不同分選準據應用水選時可以分選的粒度。

表 4.1 重力分選準據表

分選準據(c)	可分選之粒度
負值或大於 2.50	粒度 200 篩目，尚可分離富集
2.50~1.75	粒度粗於 65~100 篩目尚可分選，但有時困難
1.75~1.50	粒度大於 10 篩目尚可分選，但有時困難
1.50~1.25	粒度大於 0.25 時尚可分選，但有時困難
小於 1.25	相對重力分選法不能應用，須用絕對重力分選技術

搖動薄流分選作用原理包括阻礙沈降、沈積穿漏、薄層水流原理及不對稱運動，其中要使物質顆粒在作不對稱運動的搖洗桌上作相對運動，則只有當顆粒的慣性力大於桌面之摩擦力時，才有可能，即

$$ma \geq Gf$$

m ：為顆粒之質量

a ：顆粒之慣性加速度

G ：顆粒在水中之重量

f ：顆粒與桌面之摩擦係數

顆粒由靜止至開始沿桌而移動時所需的最小慣性加速度，稱為臨界加速度(a_c)。

$$a_c = (G/m) \times f$$

其中

$$G = \frac{\pi d^3}{6} (\rho - \rho') \times g$$

$$m = \frac{\pi d^3}{6} \rho$$

$$\text{所以 } a_c = \frac{\rho - \rho'}{\rho} \times g \times f$$

d ：顆粒直徑

ρ ：顆粒比重

ρ' ：水比重

薄流分選機目前應用於礦物工程較多，這類型之分選機包括尖縮溜槽，圓錐分選機、螺紋分選機及溜洗槽等。其中尖縮溜槽是餵料端寬，排出端窄之木製溜槽，其構造如圖 4.20 所示，其兩側壁向內成 1/10 左右之角度收縮，槽底是一光滑平面，適宜長度在 1~1.2m，置於水平傾角 16°~20°，當餵料漿液從溜槽寬的一端給入，流向尖縮之排出端過程中進行輕重物質之分層作用，由於側壁收縮，使水層厚度不斷加大，當到達排出口時，流水層會形成一扇形面流出。上流層帶輕質物質沖出較遠，而下流層帶重質物質則以近似

垂直流下。再應用截取器(splitter)將扇面分割，即可分選輕、重物質。

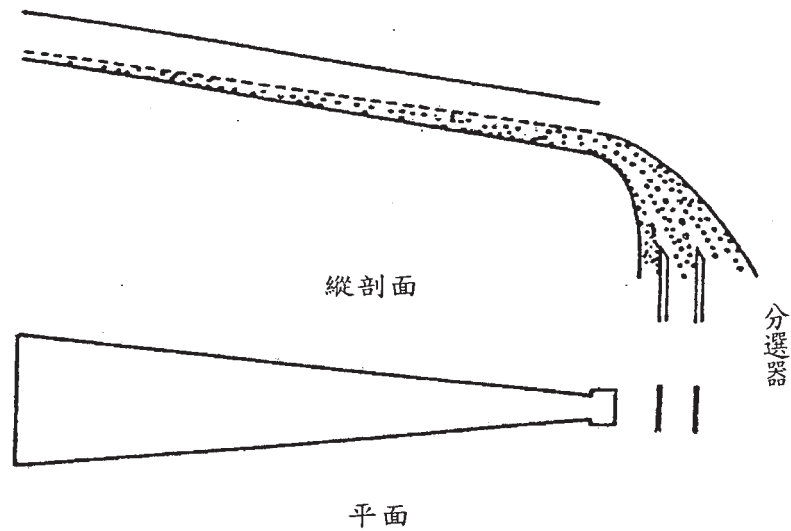


圖 4.20 尖縮溜槽

圓錐分選機係由尖縮溜槽演變而來，將尖縮溜槽之餵料端與餵料端，排出端與排出端並排，並去掉側壁，自然形成一倒置之錐面，即為分選中之分選錐，分選原理則與尖縮溜槽完全相同。每一單層分選錐直徑約 2m，分選帶長 75~85cm，錐面坡度 17° ，在分選錐面上方設一正面圓錐，其目的是將餵料均勻地分配至分選錐面上，稱為分配圓錐。為提高處理量，大多將兩個分選錐重疊起來，成為雙層圓錐分選機(如圖 4.21)。

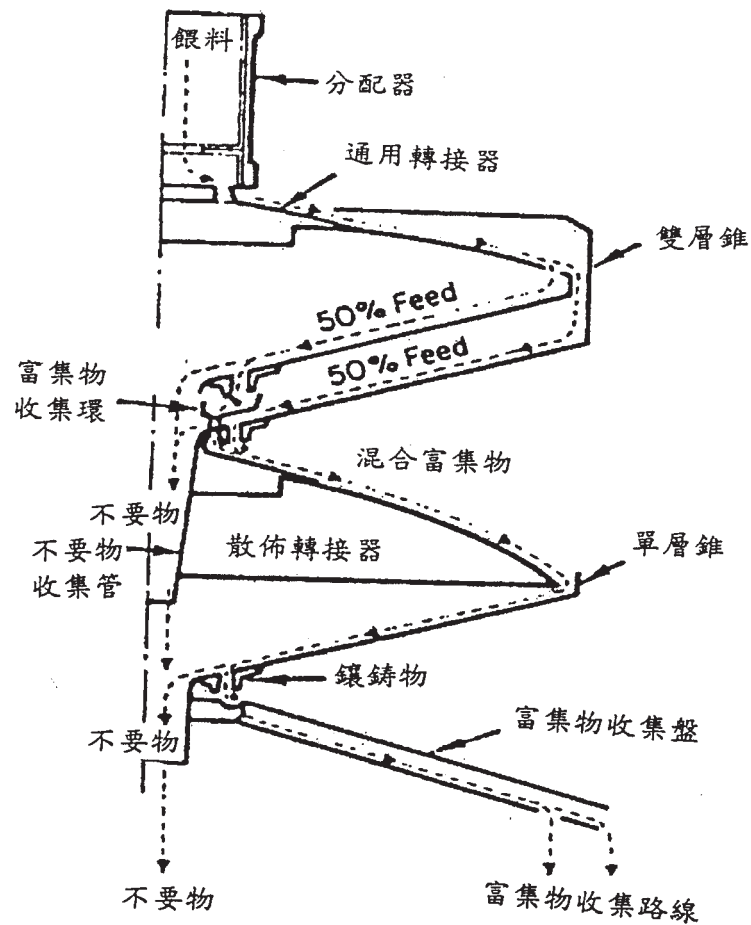


圖 4.21 雙層圓錐分選機剖面圖

螺紋分選機主要是由 3~6 層沿直軸旋繞之螺紋槽，給水設備及重質物截取器所構成。餵料由頂端給入，沿著螺紋槽面向下運動，顆粒受到重力、離心力、摩擦力及水流沖力等作用，因此比重、粒度和形狀不同的顆粒會朝向不同方向運動。比重大的顆粒處於下層，比重小的處於上層，而上層的顆粒會以很快的速度，沿螺紋槽向下運動產生較大之離心力，也因此輕質顆粒橫向移往槽之外側，而重質顆粒受離心力小，且摩擦力大，被推向槽的內側。同理，粒度大的顆粒往槽外側，粒度小者往內側。如此可將不同比重，粒度之顆粒達到分層，如圖 4.22 所示，槽內側之重質顆粒以截取器取下，槽外側之輕質顆粒則由槽之下端排出。此分選機餵料之最大粒徑為 10 篩目，此機設備簡單、佔地小，且無可動部分易於保養，每具每小時之處理量為 0.1~1.5 公噸，視分選顆粒大小及分選條件而異。

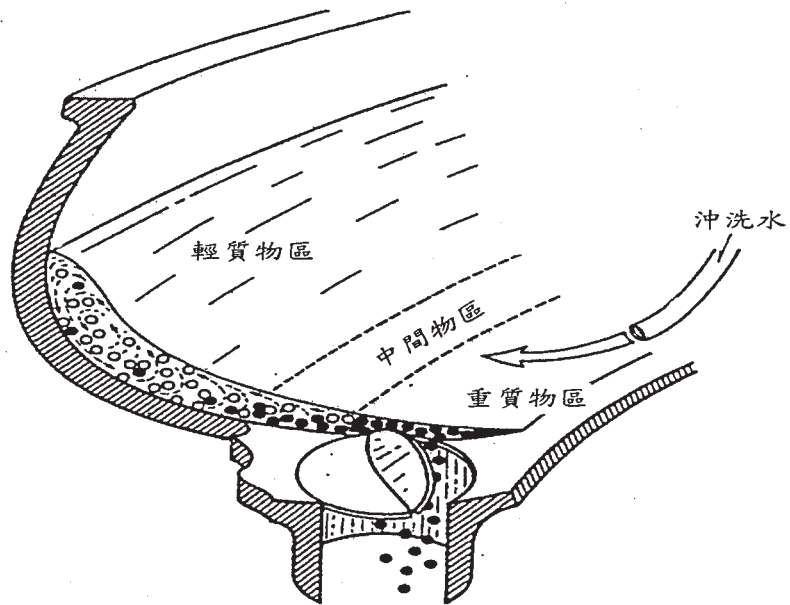


圖 4.22 螺紋分選機

溜洗槽為一木槽，如圖 4.23 所示。其尺寸視處理量及顆粒之粒度而異，常用者內側寬約 12 吋，每段長 6~10 呎，坡度約 1%，可數段木槽連接使用，槽底置擋條，使成不平之底，以利沈積重質顆粒，擋條之種類甚多，如圖 4.24 所示，槽底通常棕衣麻布或舊麻氈作為粗糙面。

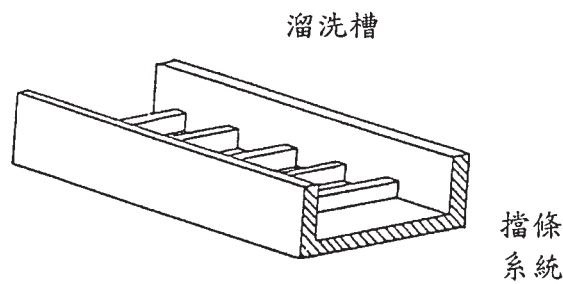


圖 4.23 溜洗槽

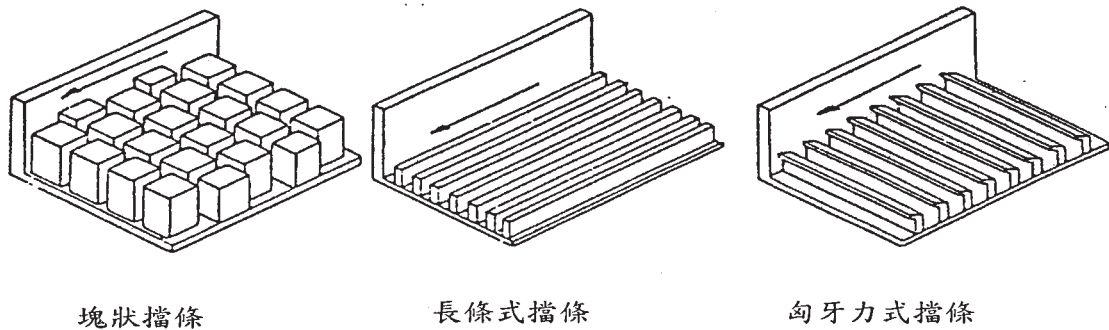


圖 4.24 溜流槽之擋條種類

(3) 搖動薄層分選機

搖動薄層分選機包括搖洗桌、帶選機及轉動圓洗桌等。搖洗桌是由一長方形桌面，桌面微向排出口側(橫面)傾斜，其坡度約 $0^{\circ}\sim 3^{\circ}$ (可以視情況調整)，在桌面上釘有擋條，並有相連接之驅動部分，使沿縱向作緩進急回之不對稱往復運動，構造如圖 4.25 所示。餵料與給水由橫向傾斜桌面之上方靠驅動部分側給入，水流沿傾斜方向成薄水流，再由每分鐘 150~300spm (shakes per minute) 不對稱之往復運動，在桌面上進行不同比動顆粒之薄層水流分層。擋條阻擋以及縱向搖動之綜合作用使不同比動之顆粒在桌面上呈現扇形分布，因此輕質顆粒受水流影響大，受搖動之影響小，沿接近桌面傾斜之水流方向排出。重而小之顆粒受搖動之影響大，水流之影響小，沿桌面縱向運動，由連接驅動部分之反對邊排出。驅動裝置可由偏心連桿方式、凸槓桿方式、凹輪搖臂方式以及彈簧平衡方式等構成。搖洗桌可處理粒徑範圍為 4~200 篩目，而其可變因素如表 4.2 所示，含洗桌設計、動程大小、速度及操作因素。

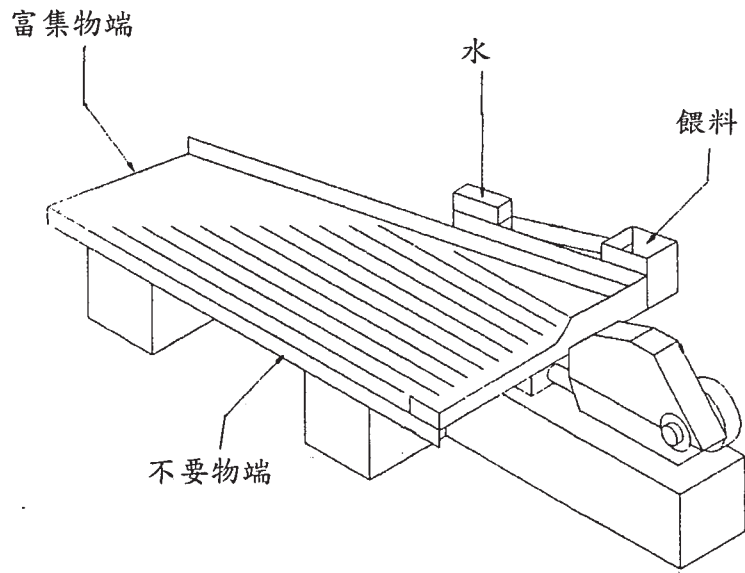


圖 4.25 搖洗桌

表 4.2 搖洗桌設計參數

設計參數	桌面形狀 桌面之材質 擋條之形狀 擋條之格式 加速及減速方式 餵料方式
操作速度	馬達速度 滑輪大小
驅動裝置	橫連桿 振動座
操作控制	桌面傾斜度 餵料水漿濃度 沖洗水 分選物質排出位置

帶選機(vanner)係利用具有些微傾斜角之無極帶作為分離面，由上端給水及給料，而無極帶以緩慢之速度往上端移動，利用薄水層原理讓輕質顆粒隨水流往下端流動，重質顆粒被無極帶移往上端排出，如圖 4.26 所示。另外加機械力震動無極帶協助分離面上顆粒之鬆散分層，增進分選效果。其震動型式側動型(水平面震動與帶行之方向垂直)、端動型(震動方向與帶行方向平行)、波動型(與帶行方向垂直)、迴旋型(帶面作迴旋運動)。無極帶寬 4~6 吋，帶速 30~150 吋/分，震數約 120~240vpm (vibrations per minute)，震幅在 0.75~1.75 吋之間，主要用於 100 篩目以下之粒度分選。

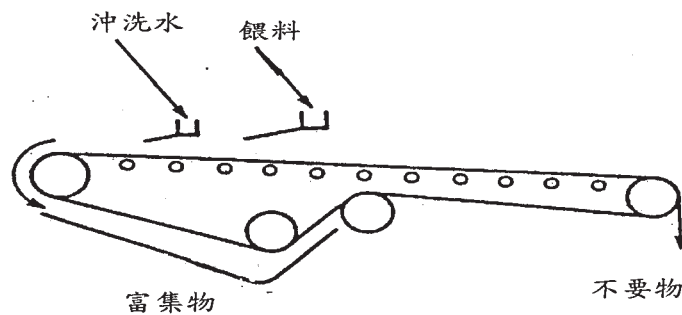


圖 4.26 帶選機

另有轉動圓洗桌(round table)，其分選原理與搖洗桌均相同，為直徑 10~30 呎之錐形桌面，坡度在 1.25~1.5 吋/呎，以中心軸支持，並由齒輪帶動作 0.33~1rpm (rotations per minute) 之旋轉，餵料槽在桌面中心，如圖 4.27。

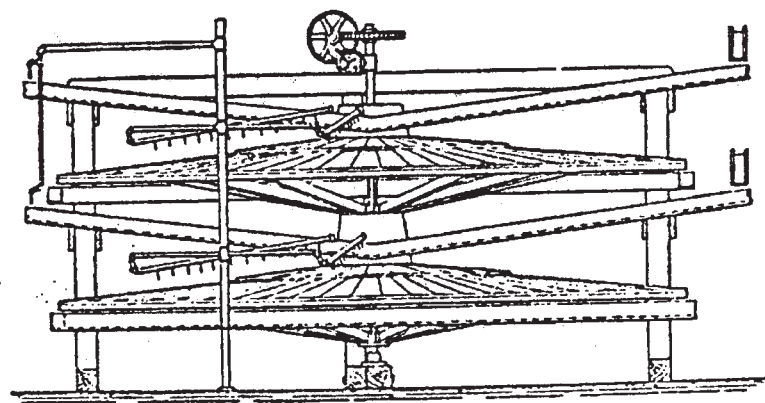


圖 4.27 轉動圓流桌

3.重液分選

欲分選兩種比重不同之物質，選用具有此兩種物質比重中間比重之重液，將欲分選之廢棄物投入此重液中，比重大者下沉，比重小者上浮，使兩者達到完全之分離。理論上重液分選僅就物質之比重差異而達分選，而與粒度及重液物質無關，但當粒度過小之顆粒，在重液中之沉降速度變小或受重液粘性之影響，而無法達到分離之目的。因此，本分選法除受到顆粒之比重差異及重液比重影響外，處理之顆粒粒度及重液之粘性也是重要的因素。分選粒度範圍在2mm~100mm之間，而離心式可處理0.5mm~20mm。典型重液分選系統如圖4.28所示。

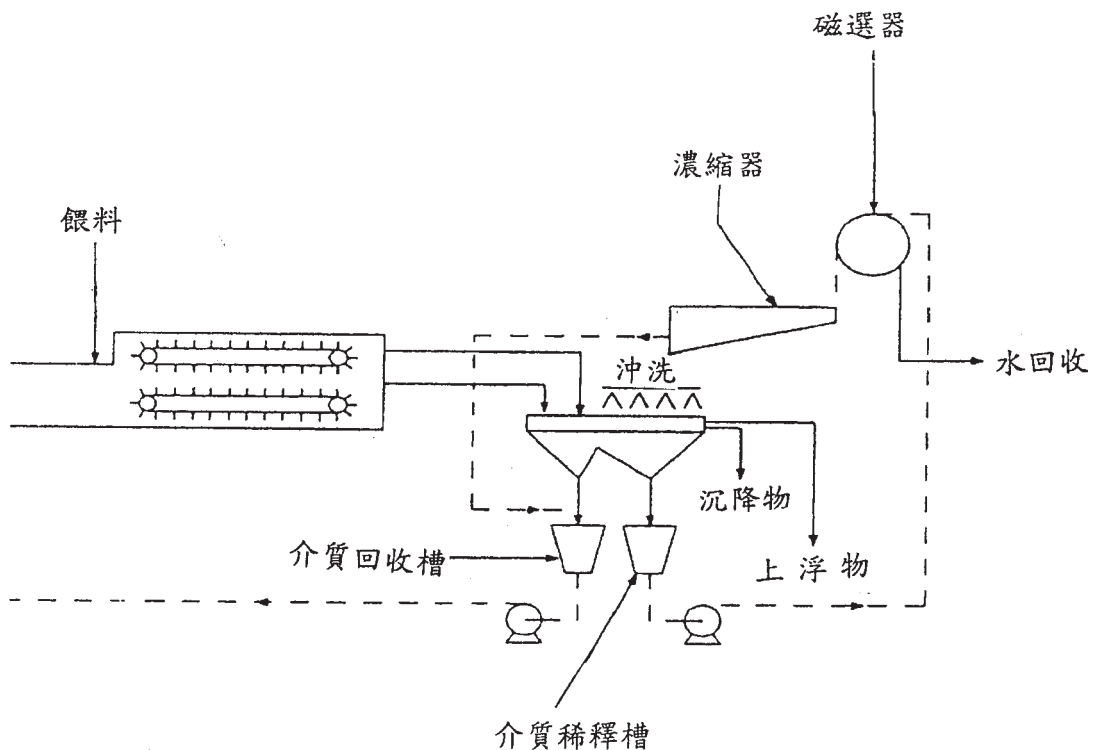


圖 4.28 重液分選系統

(1)重液性質

A.真重液

為真正之溶液，可以是各種可溶性大之鹽類所溶成之溶液，或是高比

重之有機溶液，常用之重液如表 4.3 所示。此類重液可保持長時間之物理穩定性，但價格貴，操作損失較難全部回收，使得操作成本提高，而且具有腐蝕性及毒性，在大量操作中較少使用。

表 4.3 常用之重液

藥劑名稱	化學式	比重 Kg/L	配製溶液之最大比重 Kg/L
氯化鈉(鹽)Rock Salt	NaCl	2.1-2.2	1.17
氯化鈣 Calcium Chloride	CaCl ₂	2.15	1.30
三氯乙烯 Trichloroethylene (Ethylen Trichloride)	C1CHCCl ₂	1.47	1.47
四氯化碳 Carbon Tetrachloride	CCl ₄	1.59	1.59
五氯乙烷 Pentachloroethane(Pentalin)	CHCl ₂ CCl ₃	1.68	1.68
氯化鋅 Zine Chloride	ZnCl ₂	2.91	2.07
二溴代乙炔 Acetylene Dibromide (Dibromoethylene)	CH ₂ : CBr ₂	2.17	2.17
四溴乙烷 Tetarbromoethane	CH ₂ CBr ₄	2.94	2.94
二溴甲烷 Methylene Bromide	CH ₂ Br ₂	2.97	2.96
三溴甲烷(溴仿)Bromoform	CHBr ₂	2.89	2.89
二溴化錫 Stannic Bromide	SnBr ₂	3.34	3.34
碘化鈣汞 Calcium Mercury Iodide	CaHgI ₄	3.10	3.10
二碘甲烷 Methylene Iodide(Diiodomethane)	CH ₂ I ₂	3.3	1.42
碘化鋇汞 Barium Mercury Iodide	BaHgI ₄	3.65	3.65
磺酸胺和氧化鉛混合物 Pb Aminosulpho Acid	NH ₂ (SO ₃ H)+PbO	4.00	4.00
卡里時溶液 Clerici Solution	CH ₂ (COOTI) ₂ +HCOOTI	4.06	4.40

B. 擬重液

為一種懸浮液，係由水與懸浮於水中之微細固體所組成，介質懸浮水中之穩定性較不易保持，需設計適當之裝置使其保持懸浮狀態。由於使用介質之價格較便宜，且可回收再使用，無毒性及腐蝕性，可調配 1.58~3.8 之比重液。常用之介質如表 4.4 所示，選用介質首要考慮之因素為比重，

以便在適當之容積濃度下(一般為 23%)調製成比重合乎要求之擬重液；其次為便於回收，最好是能用簡單的磁選、浮選或分級將隨產物排出之介質回收再使用；同時也要考慮來源廣泛、價格便宜及不污染產物。其中應用最多的介質為矽鐵，因其硬度大、耐磨、帶強磁性，容易以磁選回收。

表 4.4 常用之重液介質

介質名稱	比重	配成重液 最大比重	硬度 (摩氏)
酸性岩石(砂、岩石、燧石)	2.60	1.58	5~7
鹼性岩石(玄武岩)	3.00	1.64	5~7
重晶石(Barite)	4.48	2.05	3~3.5
黃鐵礦(Pyrite)	5~5.2	2.38	6~6.5
磁鐵礦(Magnetite)	5~5.2	2.38	5.5~6.5
方鉛礦(Galena)	7~7.6	2.75	2.5~2.75
細磨矽鐵(Ferrosilicon Si : 12~15%)	6.7	3.20	7.3~7.6
粉狀矽鐵	6.7	3.80	4.2~7.6

(2)重液分選機

A.重力式重液分選機

分選機含有餵料、重液之給入口及浮物/沈物之排出設備所構成。其中排出方法，浮物可用耙式或溢流方式排出；沈物之排出則須考慮如何避免同時排出過多之重液，而擾亂容器內比重分層之進行。

a.錐形分選機

如圖 4.29 所示，錐形槽直徑可大至 6 公尺，給料最大粒度可達 10 公分，而處理量約為 500 公噸/小時。餵料及補充重液直接給入浮物面下幾公分處，槽中有一主軸可以是空心軸，帶著攪拌片旋轉，使重介質維持均勻的懸浮。浮物溢流排出，沈物下沉至錐間，由泵浦抽出或空心軸之空氣提升機排出。

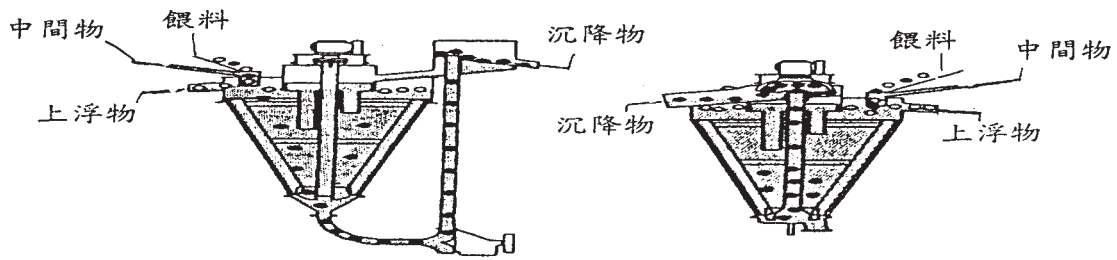


圖 4.29 錐形分選機

b. 鼓形分選機

如圖 4.30 所示，是由直徑 4.3 公尺，長 6 公尺之圓筒，最大處理量可達 4500 公噸/小時，可處理最大粒度為 30 公分。圓筒水平安裝，利用齒輪以 2rpm 之轉速轉動，餵料與重液由筒的另一端給入。在筒內重質顆粒沈至筒底，再由筒壁所焊之揚板提升至沈物溜槽排出機外；浮物則隨重液由另一端溢流排出。

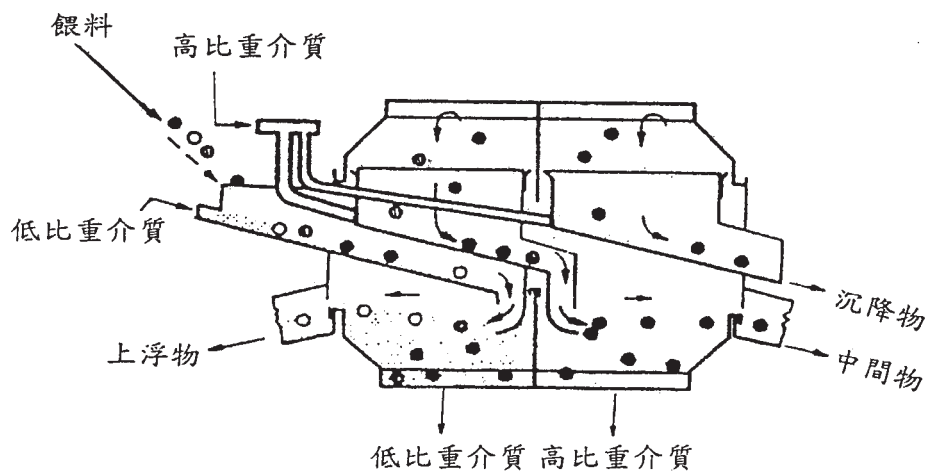


圖 4.30 鼓形分選機

B. 離心式

離心式是以離心力取代重力之分選力量，且有效降低重液粘性對分選之阻礙，使其比單純利用重力之重液分選更有效率，分選粒度可以細至 0.5mm 左右。此類裝置之缺點為重液在容器內高速旋轉，使重液介質之泥化程度提高，而增加損失量，同時也使設備容器易於磨損。最具代表性之離心式重液分選機為重液渦錐分選機(dense medium cyclone)，其構造與原理跟一般之濕式渦錐分級機相同，只是所用之介質為重液。進入渦錐器之餵料受離心力之作用，比重大於重液之顆粒所受離心力大，向外側運動集中於器壁，沿錐形部向下由沈物排出口排出。比重小於重液之顆粒所受離心力小，向中心集中由旋渦管排出成為浮物，如圖 4.31 所示，分選機之規格與處理量詳表 4.5。

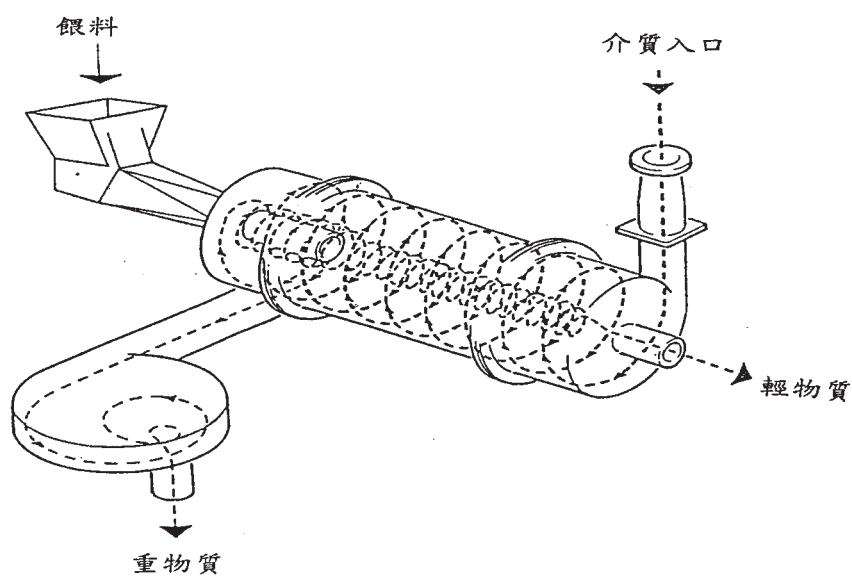
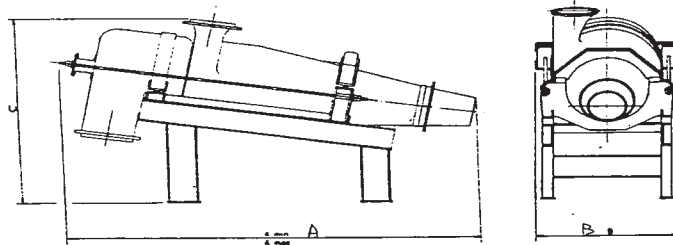


圖 4.31 重液渦錐分選機

表 4.5 重液渦錐分選機規格表



Size of Cyclone (mm)	500	600	650	700	750	800
Pulp Capacity m ³ /h	125	190	225	265	300	365
Dimensions in mm						
A (min)	1820	2170	2350	2530	2610	2840
A (max)	1930	2280	2460	2640	2730	3000
B	850	900	950	1000	1050	1100
C	1350	1550	1650	1750	1840	2050

(3) 磁性流體之比重分選

所謂磁性流體係指某種能夠在磁場或者磁場與電場連合作用下磁化，呈現似加重現象，對顆粒具有磁浮力作用的穩定分散液。磁流體通常採用強電解質溶液、順磁性溶液和磁性膠體懸浮液。在磁性流體中之非磁性物所受之磁性浮力，可由磁場強度之變化使它任意的改變，因此用同一種磁性流體就可分選各種高比重之非磁性物質。利用磁性流體在磁場上所產生之浮力，可分選對象物之比重限制可大幅地擴大，傳統重液分選無法分選之重質物(比重大於 3.8)及金屬類都可進行。本分選技術可應用於汽車切片、電器廢料及焚化爐灰渣等所含有之非磁性金屬類之相互分離。因為利用磁性流體作比重分選之對象應為非磁性物質，所以分選前應先將磁性物質去除。此外還須有一套回收附著於分選對象物之磁性流體與再調製之設備。

磁性流體分選機構造如圖 4.32 所示，分選對象物由輸送帶至分選槽中之磁性流體池，分為浮上物與沈下物，再分別排出，分選槽之大小為每邊 20 公分，此機可應用於鋅合金與黃銅混合廢料之分選，也可用於汽車切片之廢料。此外也可採用 Sr 或 Sm-Co 永久磁鐵為磁場，由 50cm×13cm×5cm 尺寸之兩片磁鐵所構成，採永久磁鐵可使裝置小型化，且不必耗用電力，同時也可改用易回收之水性磁性流體。

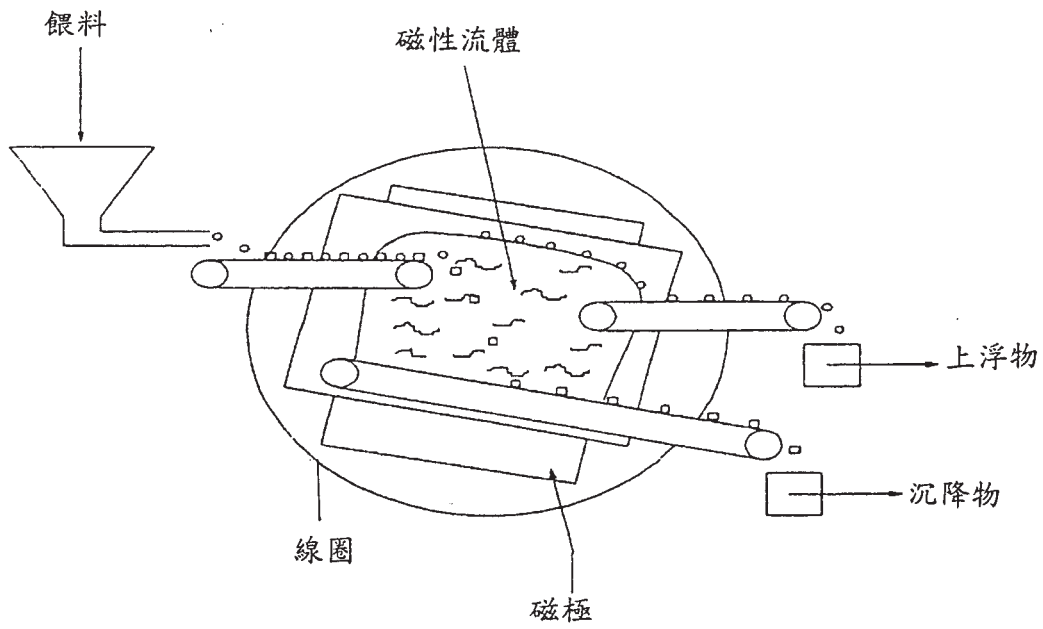


圖 4.32 磁性流體分選機

4.慣性力分選技術

慣性力分選法係利用廢棄物之物性質(彈性/重量)之不同，分選出其中各種不同成分之方法。本法可分成下列三種分選設備(詳見圖 4.33 所示)：

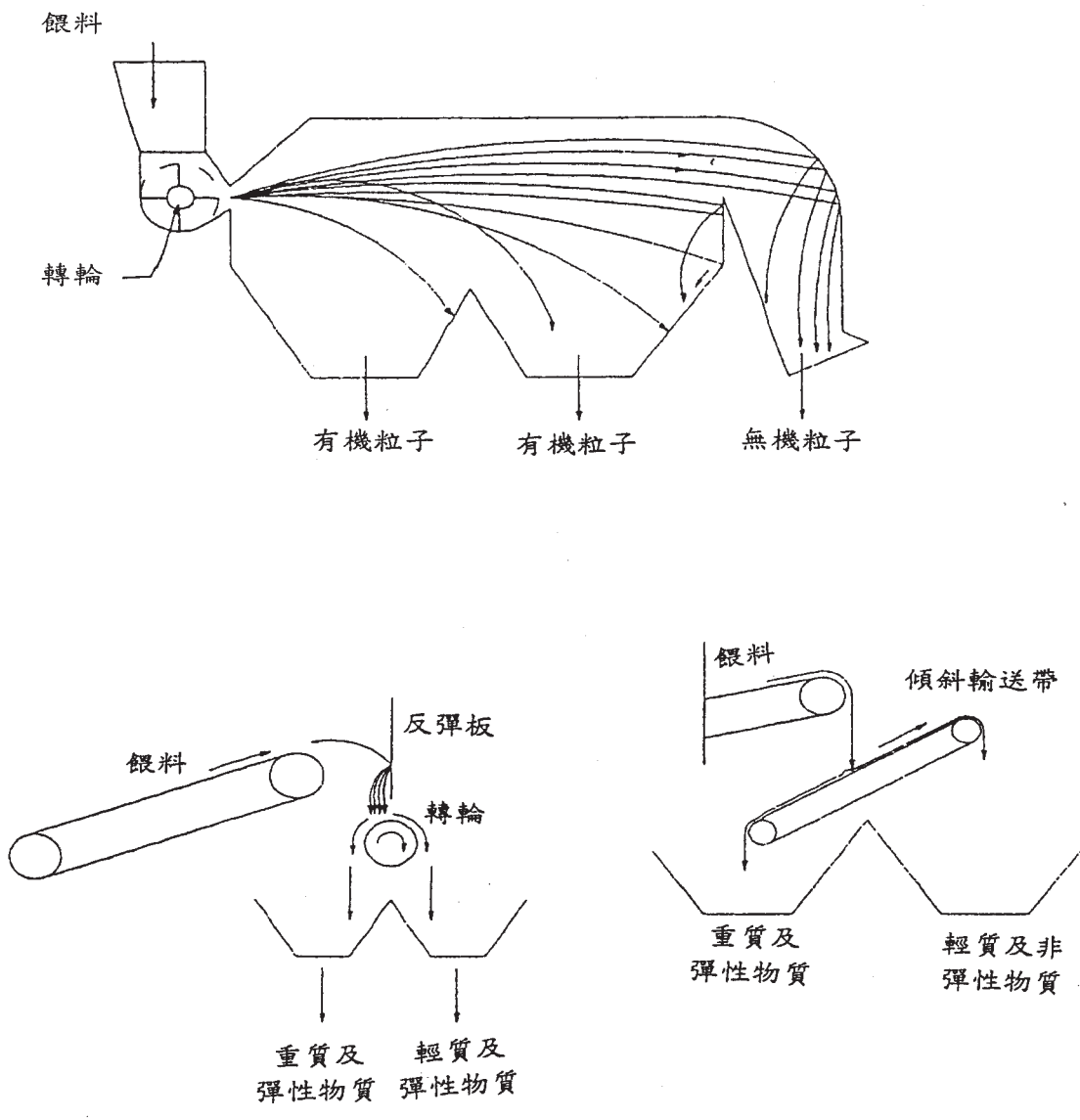


圖 4.33 慣性力分選設備

(1)彈力分選機

餵料經由滾輪之滾動力彈出，重質顆粒因重量重，慣性力及彈力較大而飛向遠端；反之，輕質顆粒因彈力及慣性力較小，而在近餵料端落下。

(2)反彈分選機

餵料藉由輸送帶產生之動量，在碰到反彈板後，依物質顆粒之反彈力大小，而分選輕、重物質之分選設備。

(3)傾斜輸送分離機

本機與平流分選機中之帶選機之原理相同，但是本機是用於乾式系統，而不用水作為介質及水流沖洗之作用，僅利用物質顆粒之慣性力，在傾斜輸送帶上之分離面，使重質顆粒靠本身之重力下沉至帶底端之重質顆粒收集區；輕質顆粒則被輸送帶帶至頂端之輕質顆粒集中區排出。

4.3 磁選技術與設備

利用礦物所具磁性強弱之不同，置於磁場內使強磁性物質被磁極吸引而分選之方法，稱為磁選法。早期採用電磁極產生磁場分選，其後使用永久磁極，然後再用一平面磁極及尖削磁極之組合，使產生磁場梯度(不均勻磁場)，使磁性物質集中於尖削磁極，也讓磁選機之應用日漸廣泛。為分選弱磁性物質，磁選機之發展不斷提高其磁場強度和梯度，也就是在兩磁極之間，充填多層聚磁介質(齒板或小球)，因而製造出高強度磁選機(High Intensity Magnetic Separator, HIMS)與高梯度磁選機(High Gradient Magnetic Separator, HGMS)。目前為再提高磁選機的磁場強度，已對一些超導體材料進行研究，擬利用超導材料零電阻，不耗電能之優點製造超導電磁極，則可獲得體積小、重量輕、磁場強度與梯度大之磁選機。

磁選設備若按用途分類，可分為磁選機、磁力脫水機、除鐵器、預磁器及脫磁器等。以結構體來分類，則可分為圓筒式、圓錐式、圓盤式、滾輪式、轉環式與帶式等。所採用之磁場發生方式有永磁與電磁兩種，而且磁場又有強弱之分。按操作條件有乾式與濕式兩種。依上述之特徵分類不易，故可用磁場條件(即磁場強度與磁場梯度之相成積)作為磁選機之分類標準，再以操作條件及磁選機結構為輔。一般以磁場條件 10×10^6 (oe²/cm) 以下為低強度磁選機，以 $10 \times 10^6 \sim 100 \times 10^6$ (oe²/cm) 為中強度；以 100×10^6 (oe²/cm) 以上為高強度磁選機(可再分為高強度及高梯

度)。磁選機之磁場條件值小，則表示僅能對強磁性物質有作用；若磁場條件值大之磁選機，對弱磁性物質也可產生分選作用。茲將常用之分磁機說明如下：

1. 乾式低(中)強度磁選機

(1) 磁滑輪磁選機(magnetic pulleys)

如圖 4.34 所示之裝置，主要用於去除混雜在廢棄物中之鐵塊及鐵片等含鐵物質。

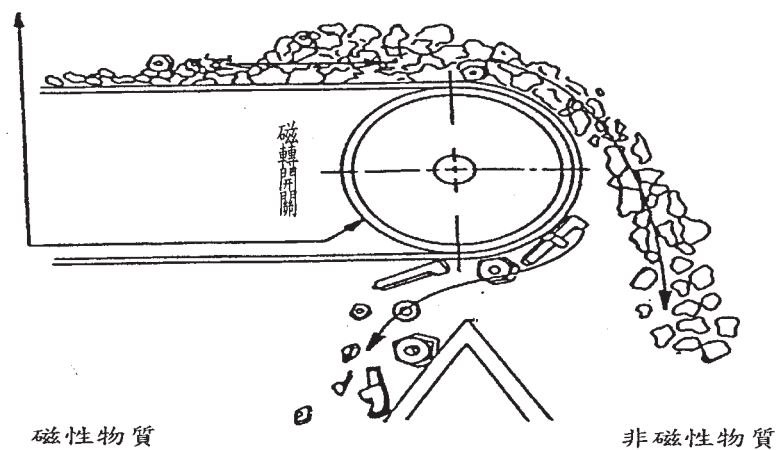


圖 4.34 磁滑輪磁選機之操作原理

(2) 電磁筒磁選機(magnetic drum separator)

如圖 4.35 所示之裝置，也是以分選廢棄物中之含鐵物質為主。由分選機上方餵入欲分選之物質，非磁性物質則直接落入圓筒下方之非磁性物質收集處排出，而磁性物質隨圓筒轉至左側脫離磁場，由圓筒左側排出。

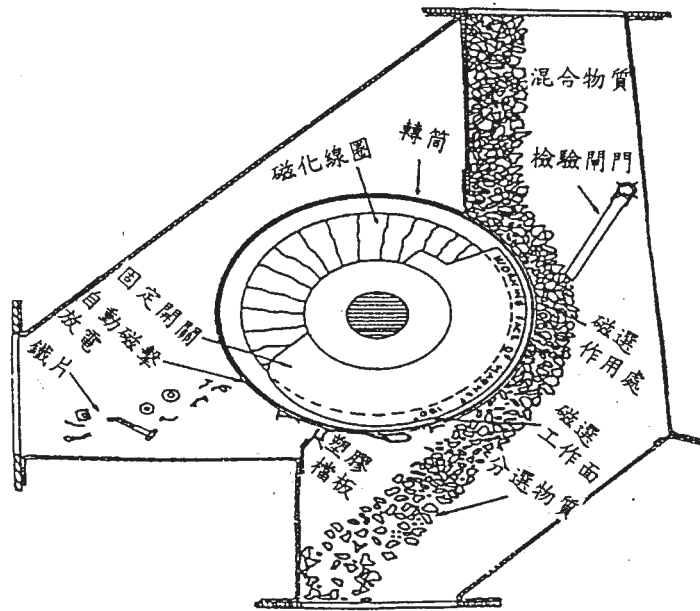
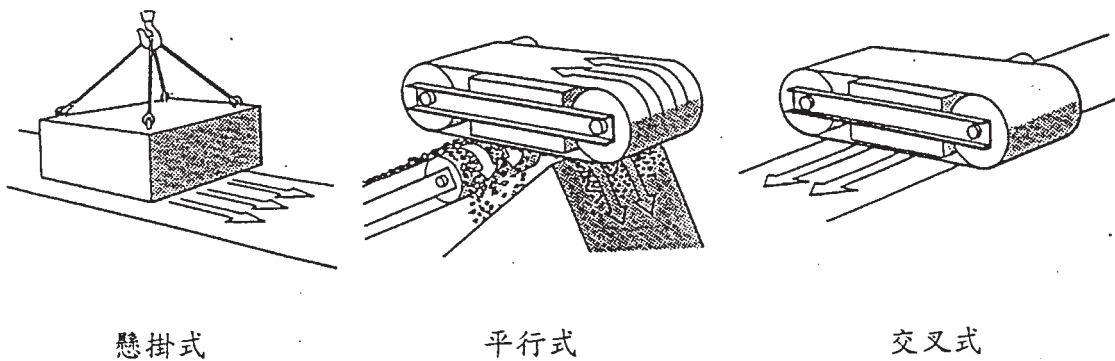


圖 4.35 電磁筒磁選機

(3) 矩形懸掛式磁選機(rectangular suspended magnets)

在皮帶輸送機上懸掛一電磁鐵，用於去除廢棄物中之鐵質物。圖 4.36 所示之懸掛式磁選裝置，包括懸吊磁鐵方式、平行餵料之連續分選裝置及交叉皮帶方式之連續分選裝置等三種型式。



懸掛式

平行式

交叉式

圖 4.36 矩形懸掛式磁選機之使用方法

2. 濕式低強度磁選機

濕式低強度磁選機用於分選強磁性物及重液分選中之重介質回收，其磁極可用永久磁鐵，但若磁場強度要求較高時，也可用電磁鐵。

(1) 筒形磁選機(drum magnetic separator)

此磁選機主要由不銹鋼圓筒，極性沿圓周交替的永久磁鐵、不銹鋼槽及支架組成，如圖 4.37 所示。磁極數通常有 5 個以上可產生磁極交替之翻動作用。依據槽體構造型式不同，分為順流型、逆流型及半逆流型等三種型式。順流型之餵料方向與圓筒的旋轉方向或磁性產物移動方向一致，非磁性物質由圓筒下方之槽間隙排出，磁性物質被圓筒吸住，隨圓筒旋轉至磁極邊緣之磁場弱處排出。逆流型之餵料方向與圓筒旋轉方向或磁性產物的移動方向相反。半逆流型之餵料進入磁選槽，遇到壓力水使其呈鬆散狀態進入磁場，磁性物質吸住圓筒一起向上移動之過程中，受到磁極交替之翻動作用，夾雜在磁性物質中之非磁性物質易被清除。

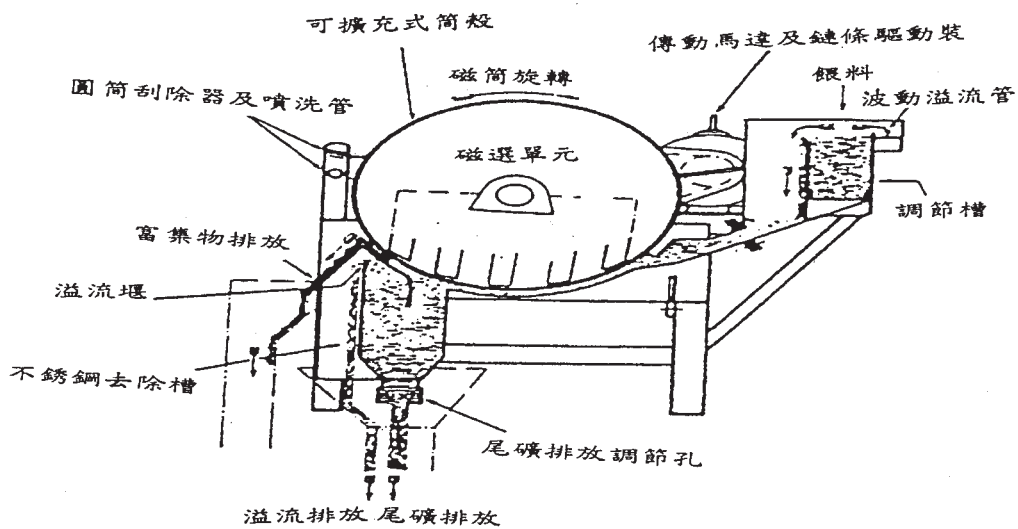
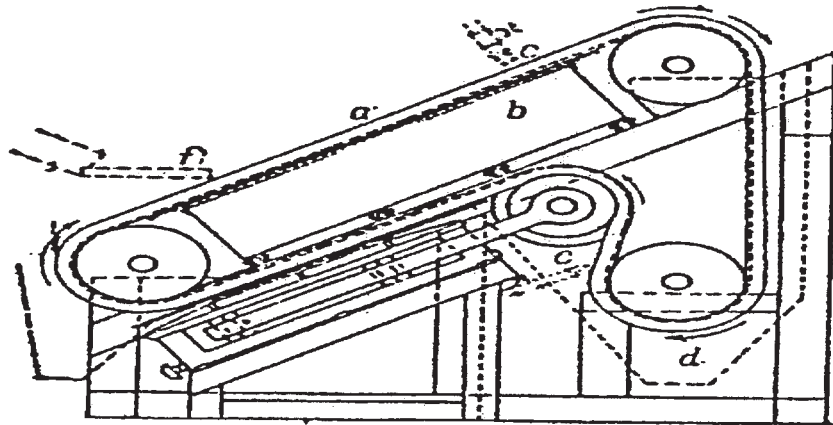


圖 4.37 筒形磁選機

(2) Dings-Roche 帶式磁選機

本磁選機之構造外型與重力分選之帶選機(Vanner)相類似，如圖 4.38 所

示，也是在一傾斜 30° 左右的無極輸送帶(f)處給入餵料，置於輸送帶下方之(b)為 20 個異極排列之電磁極，而輸送帶依照箭頭方向運動，磁性物質隨輸送帶上行，受到異極排列之作用著磁物質產生翻動，再加上(c)的洗淨水，可將夾帶之非磁性物質洗下由下方排出，而著磁物質在(d)水槽被洗下。



a.輸送帶 b.電磁極 c.洗淨水 d.洗滌槽 f.入料口

圖 4.38 Dings-Roche 帶式磁選機

3. 乾式高強度磁選機

(1) 磁感應筒磁選機(induced roll magnetic separator)

本磁選機主要由磁感應筒、磁軛及激磁線圈所構成，如圖 4.39 所示。餵料進入到快速旋轉的磁應筒(Induced Roll)頂部，被帶到轉筒與可調磁極之間的磁場內，餵料中之磁性物質被吸在磁感應筒上，隨著轉筒旋轉至分選擋板之後脫離，此處之磁場強度低。另外，非磁性物質則在磁場內由轉筒的離心力拋出，此磁性物質早離開轉筒而在分選擋板的另一邊成為非磁性產物。若用在去除含鐵物質，則將在第一磁感應筒的非磁性產物，經第二次磁感應筒進行再選，本磁選機之規格詳見表 4.6。

(2) 交叉皮帶磁選機(cross-belt magnetic separator)

本機之磁極係由兩個或多個馬蹄形電磁鐵所組成，其磁極一個在輸送帶之上方，一個在下方，上方磁極呈尖狀，下方磁極呈平面，這就會使磁場會聚而使弱磁性質被吸向尖狀磁極，由無極揀選帶排出，如圖 4.40 所示。

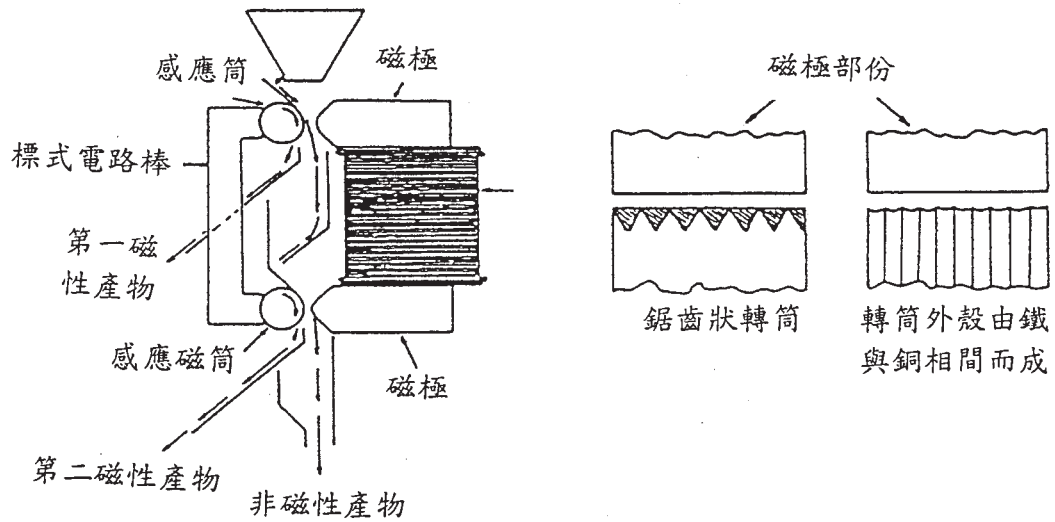


圖 4.39 磁感應筒磁選機操作原理

表 4.6 磁感應筒磁選機規格表

磁感應筒長度mm	筒數	外觀尺寸			傳動功率kw	機重kg
		高mm	長mm	寬mm		
127	1	813	914	610	0.4	318
	2	1067	914	610	1.1	590
	3	1321	914	610	1.1	680
254	2	1676	1219	762	1.1	1815
	3	1981	1219	914	1.1	2268
	4	2743	1219	914	2.3	3175
	5	3048	1219	1067	2.3	3630
508	2	1676	1372	1295	1.2	3175
	3	1981	1372	1448	1.2	3855
	4	2743	1372	1600	2.5	4990
	5	2048	1372	1600	2.5	5670
762	2	1676	1524	1626	1.5	4080
	3	1981	1524	1778	1.5	4990
	4	4743	1524	1930	3.0	6350
	5	3048	1524	1930	3.0	7255
1524	2	1676	2134	1626	2.0	5445
	3	1981	2134	1778	2.0	6350
雙列726mm筒 對稱平行配置	4	2743	2134	1930	4.0	7255
	5	3048	2134	1930	4.0	8165

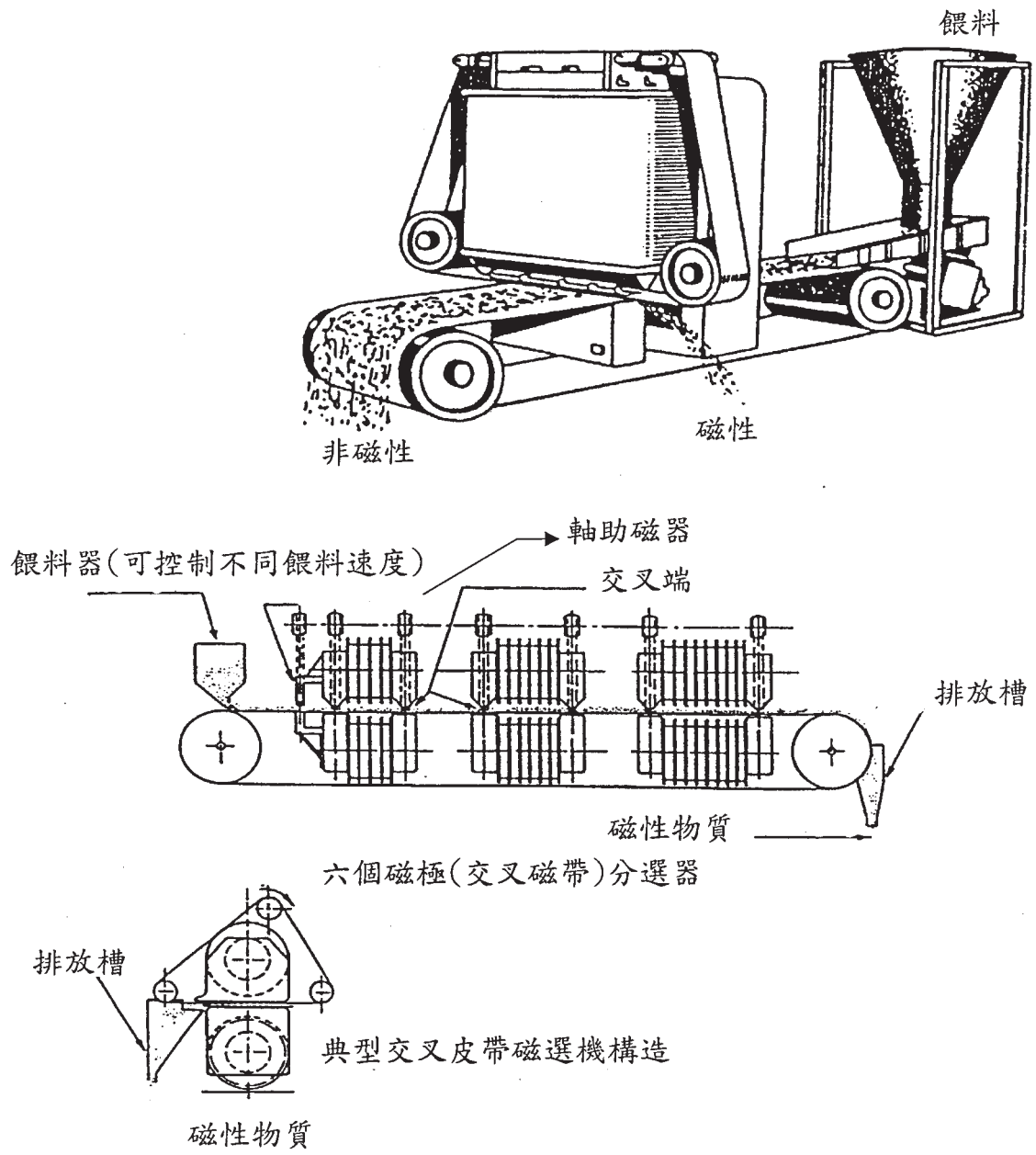


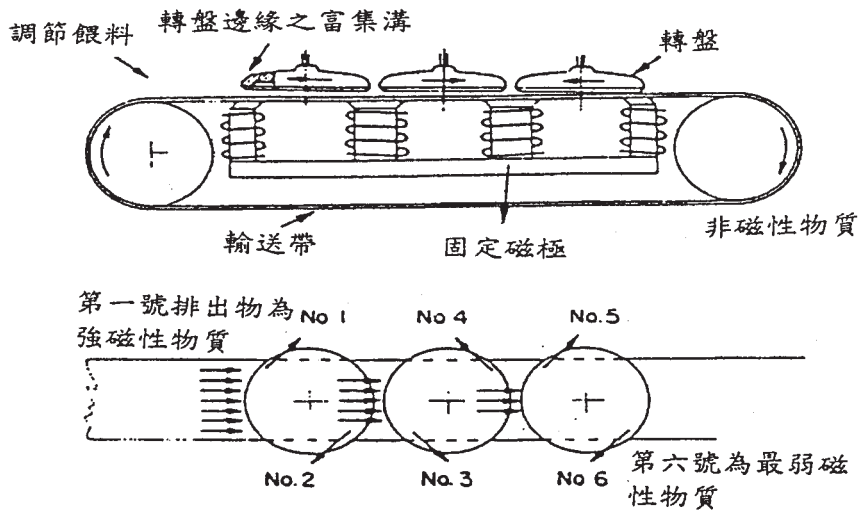
圖 4.40 交叉皮帶磁選機

(3) 盤形磁選機 (ring type magnetic separator)

盤形磁選機是交叉帶磁選機之改良型，將角尖形磁極與交叉帶改為帶有溝之圓盤，使兩磁極空隙減小，增加選擇性。目前使用的盤形磁選機有單盤、雙盤及三盤(如圖 4.41)等三種型式。圓盤在安裝時使前緣與輸送帶之空隙稍

大於後緣之空隙，如此可使每一圓盤分選兩種導磁率不同之磁性物質。其操作原理與交叉帶磁選機相同，盤形磁選機之圓盤直徑稍大於輸送帶寬度，可將磁性物質帶至輸送帶外邊，在磁場中性區被刮入磁性物質收集槽中。其規格詳見表 4.7。

磁選及高強度分選機



盤式磁選機分選示意圖

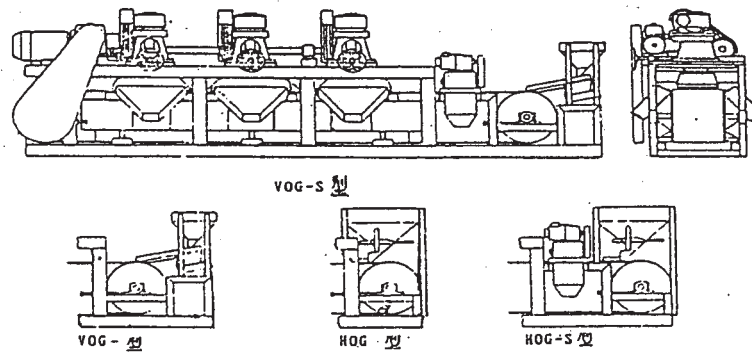


圖 4.41 盤形磁選機

表 4.7 盤形磁選機規格表

型號	帶寬 mm	激磁線圈		傳動 電機 kw	外型尺寸mm			淨重 kg
		kw 銅線	鋁線		A	B	C	
					長×寬×高			
HOG 110	254	0.6	1.0	1.5	1880×1022×838			591
HOG 210	254	0.9	1.4	1.5	2413×1022×838			850
HOG 310	254	1.2	1.7	1.5	2946×1022×838			1175
HOG 115	381	1.0	1.6	1.5	2261×1334×991			942
POG 215	381	1.6	2.4	2.2	2997×1334×991			1905
HOG 315	381	2.2	3.1	4.0	3759×1334×991			2868
HOG 110S	254	0.6	1.0	1.5	2388×1022×838			691
HOG 210S	254	0.9	1.4	1.5	2921×1022×838			950
HOG 310S	254	1.2	1.7	1.5	3454×1022×838			1275
HOG 115S	381	1.0	1.6	1.5	2769×1334×991			1062
HOG 215S	381	1.6	2.4	2.2	3505×1334×991			2025
HOG 315S	381	2.2	3.1	4.0	4267×1334×991			2988
VOG 110	254	0.6	1.0	1.5	2210×1022×838			826
VOG 210	254	0.9	1.4	1.5	2743×1022×838			1085
VOG 310	254	1.2	1.7	1.5	3277×1022×838			1410
VOG 115	381	1.0	1.6	1.5	2591×1334×991			1210
VOG 215	381	1.6	2.4	2.2	3327×1334×991			2160
VOG 315	381	2.2	3.1	4.0	4089×1334×991			3100
VOG 110S	254	0.6	1.0	1.5	2667×1022×838			926
VOG 210S	254	0.9	1.4	1.5	3200×1022×838			1185
VOG 310S	254	1.2	1.7	1.5	3734×1022×838			1510
VOG 115S	381	1.0	1.6	1.5	3048×1334×991			1330
VOG 215S	381	1.6	2.4	2.2	3785×1334×991			2280
VOG 315S	381	2.2	3.1	4.0	4547×1334×991			3219

4.濕式高強度磁選機

(1)Frantz 磁過濾機

本機在過濾機部分之過濾網是採用不銹鋼絲或篩板，將料漿給入槽內流經過濾網，非磁性物質直接流過，而磁性物質被鋼絲吸引住，採批次方式操作，可得分選效果，也是今日 HGMS 之雛形(如圖 4.42)。

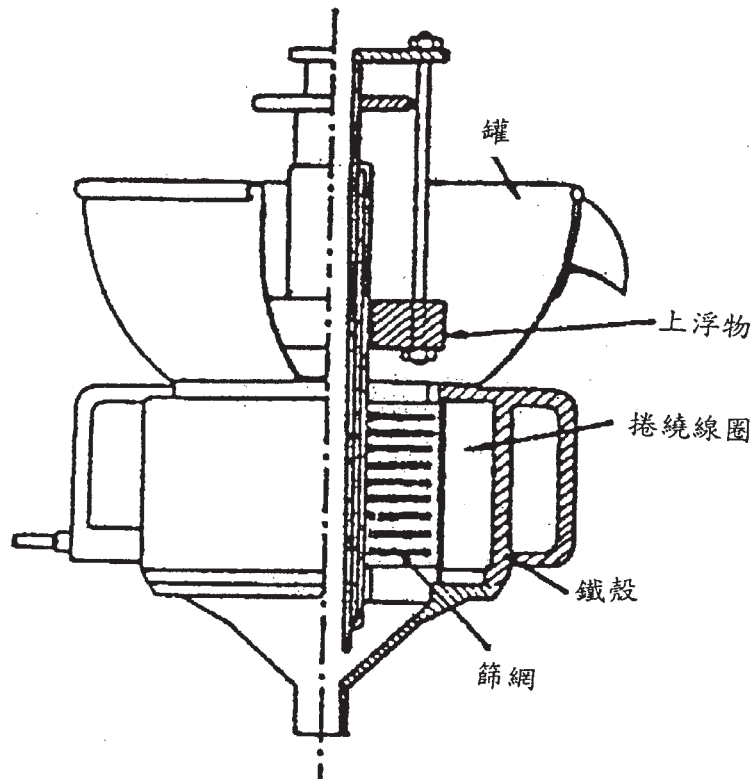


圖 4.42 Frantz 磁過濾機

(2)NY 轉筒型磁選機

本機之構造與濕式低強度筒型磁選機之基本特徵相似，不同之處是在圓筒表面設置一層磁介質(球或棒)，在分選槽中有篩網以便磁介質循環使用，如圖 4.43 所示。在圓筒表面呈方格子狀配置高透磁率鋼球，隨著圓筒以一定速度轉進料漿槽中，由於鋼球間都成為點狀磁場，不但加強磁場強度也提昇磁場梯度，可將料漿中弱磁性物質吸引在鋼球上隨圓筒轉動至另一邊，由壓力水沖洗而獲得分選。

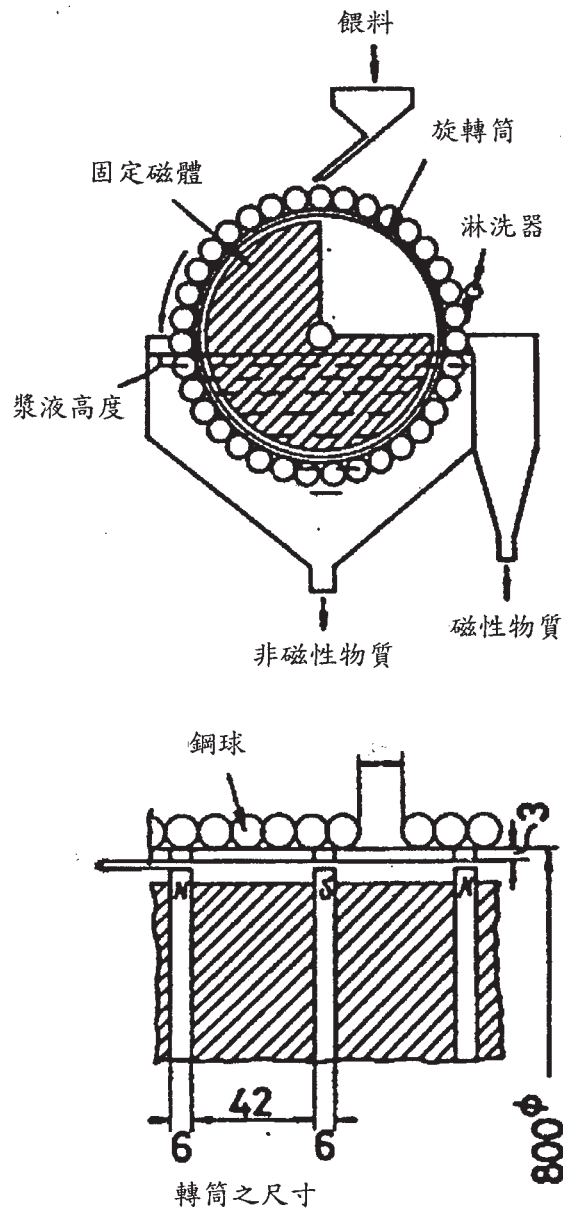


圖 4.43 NY 轉筒型磁選機

(3) Jones 轉環型磁選機(Jones wet HISM)

機體由鋼製門形框架組成，在框架上裝有兩個 U 型磁軛，在磁軛之水平部分套有勵磁線圈，線圈外部有密封之保護殼，用風扇進行空氣冷卻。由馬達帶動裝有上下兩分選轉盤的垂直軸，安裝在兩 U 形磁軛間(轉盤起鐵蕊作

用)與磁軛構成閉合磁回路。轉盤周邊設有分選室，內裝鋸齒狀的不銹鋼聚磁板(板間距1~3mm左右)，詳圖4.44。料漿自磁場進入口處連續給入分選室，隨著轉盤之旋轉而進入磁場內。非磁性物質隨著料漿之流動穿過聚磁板間隙流入下面之非磁性物質收集槽。磁性物質被吸在分選室之聚磁板上，隨轉盤一起轉動，在轉到距給料口60°位置時，即脫離磁場之前，以加壓水清洗夾雜之非磁性物質成中間產物。當轉到120°位置時，即處於磁場中性區，用高壓水將吸引在聚磁板上之磁性物質洗下成為富集物。

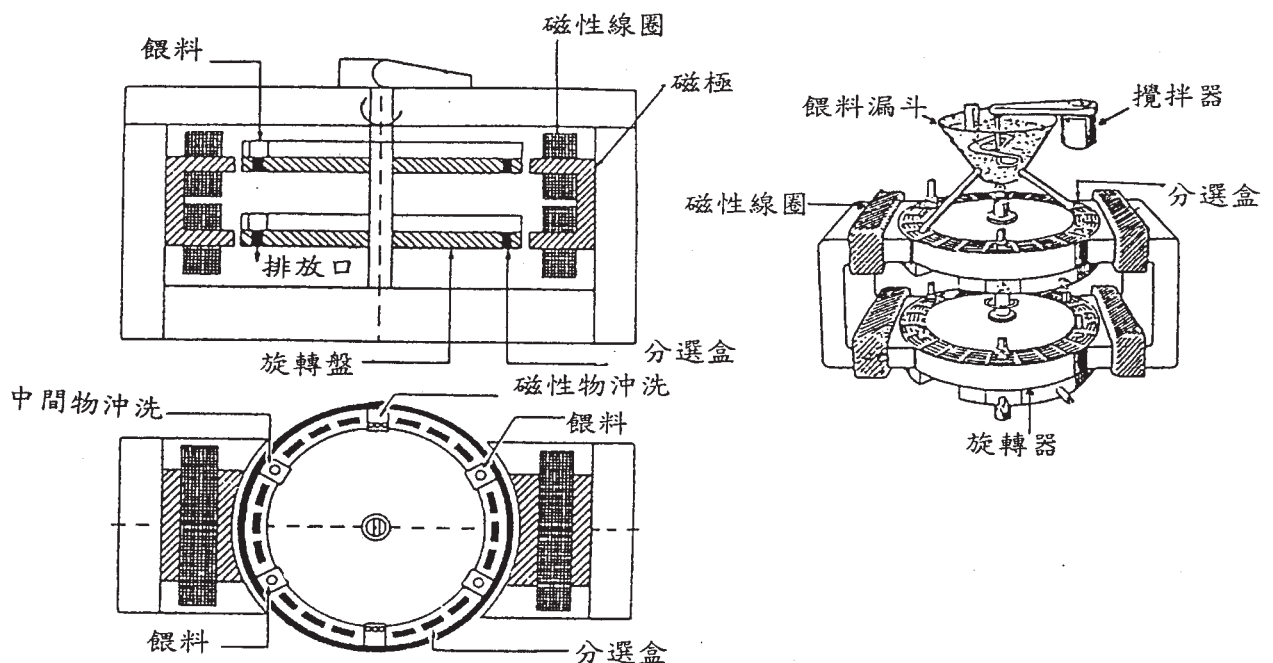


圖 4.44 Jones 轉環型磁選機

5. 高梯度磁選機(HGMS)

(1) 罐型高梯度磁選機(canister type HGMS)

本機(如圖 4.45)使用螺線管型線圈之內部磁作為分選空間，在此分選空間內填充磁介質，如耐磨耗性、耐腐蝕性佳的鋼絲或金屬網。在螺線管型線圈之外面以鐵框圍住，以構成磁漏少的閉合磁回路，所用之線圈材料為中空銅線，以利冷卻水對線圈之冷卻，通入低電壓電流激磁，即可獲得強大之磁場力。使通過之弱磁性物質被磁化鋼絲吸引，而非磁性物質不受影響的情形下得到分選。經一段操作時間之後，需要中斷餵料進行清洗，再關掉電源消

除磁場，並逆洗清除著磁物質，因而操作是不連續的，工作循環約為 10~15 分，運轉效率並不算太高。

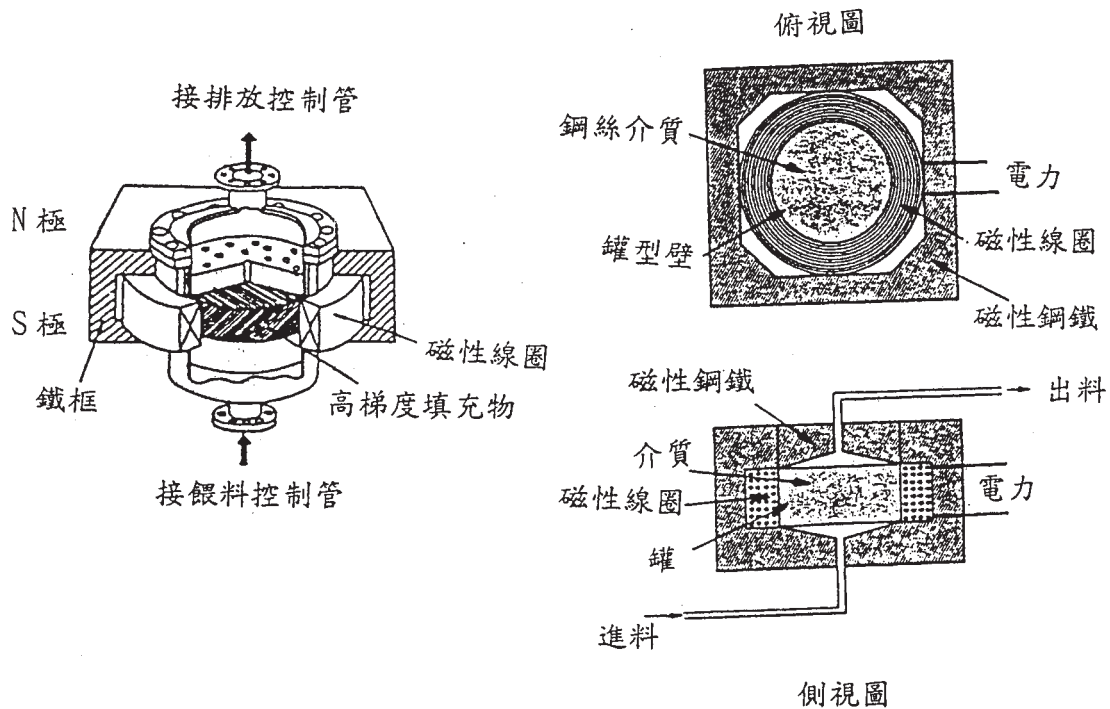


圖 4.45 罐型高梯度磁選機

(2)轉環型高梯度磁選機(carousel type HGMS)

此機由轉環、馬鞍形螺線管線圈、圍住螺線管之鐵殼與裝有磁介質之分選槽等組成。操作原理與 Jones HIMS 相類似，最大不同點在於磁極的構造上，此機所用之磁極原理與罐型 HGMS 相同，為產生均勻的磁場，由兩個分開上下對稱的馬鞍形螺線管線圈組成，如此裝配也便於轉環通過，在線圈周圍再用鐵框架包圍起來構成閉合磁回路。料漿由磁化區的分選槽給入處送入，非磁性物質隨料漿流過磁介質的間隙，到分選槽之非磁性物質收集區；弱磁性物質被吸引在磁化之聚磁介質上，並隨轉環進入清洗段，進一步清洗掉雜質(非磁性物質)，然後離開磁化區，用壓力水沖洗吸引在介質上之弱磁性物質，而獲得分選。如此之裝置可連續操作及提高操作效率，更可處理較高濃度及弱磁性物質較多之料漿，如圖 4.46 所示。

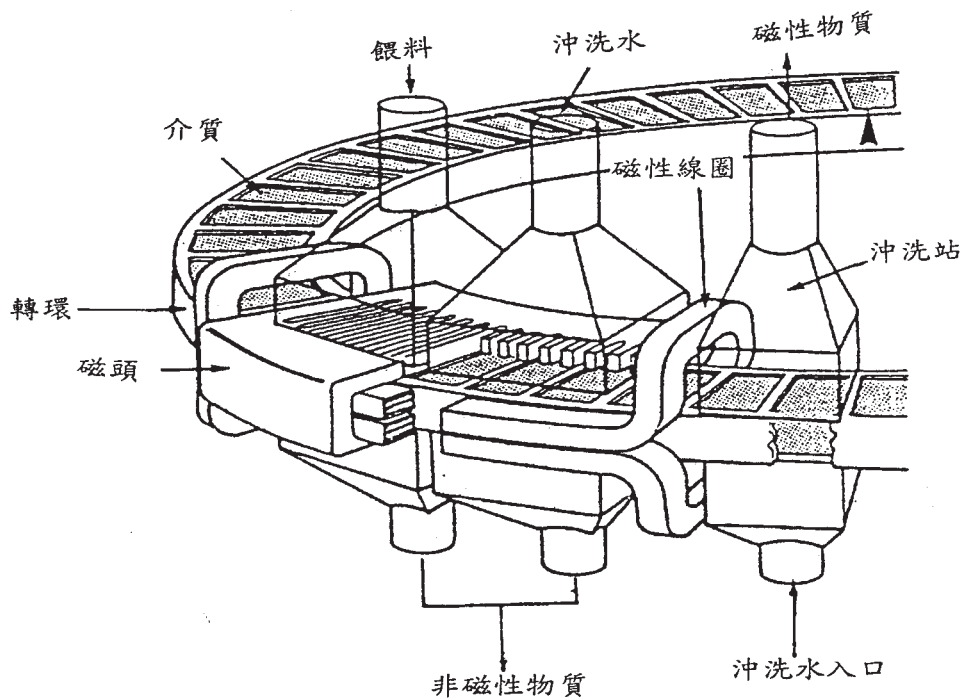


圖 4.46 轉環型高梯度磁選機

6. 超導磁選機

超導磁選機是將超導體作成之超導磁體替代上述之傳統磁體，從而產生很高的磁場強度、能量消耗低、重量輕、體積小的最尖端設備。在目前而言，超導材料價格昂貴，需要高超技術的冷卻設備，因此製造成本相當高，但隨著超導材料與冷卻技術之進步，將來仍有一天會廣泛地應用在實際之磁選作業。

美國 Eriez Magnetics 公司設計有如圖 4.47 之超導磁選機。其構造為鐵框架包裹螺線管，環狀線圈中心之室溫孔直徑為 152mm，長 508mm，可以裝入一直徑 102mm，長 508mm 充填有鋼絲介質的分選罐，此構造與罐形 HGMS 相同，只不過多一套冷卻設備，使用液氮與液氦冷卻。

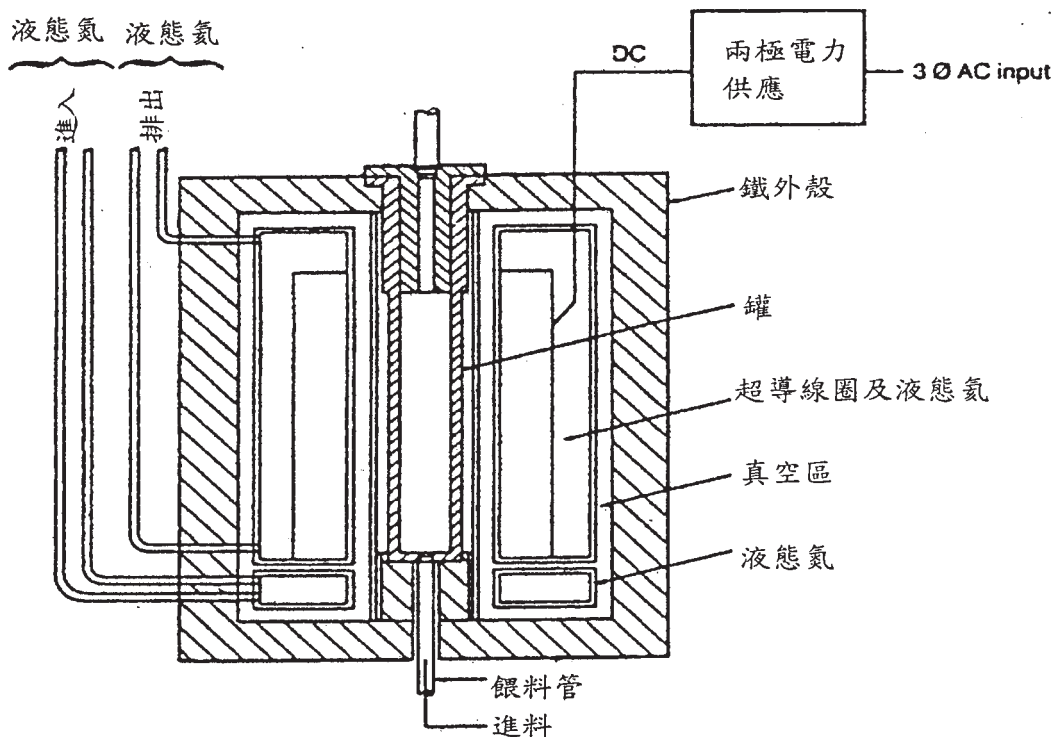


圖 4.47 超導磁選機

4.4 靜電分選技術與設備

1. 靜電分選機

靜電分選法是利用各種物質不同的導電性來進行分選之技術，其餵料大都經重力分選或磁選所得之富集物，因此電選通常應用在精選作業上，以提高富集物品位或分選含兩種以上物質的初步富集物，以便作綜合回收。

電選機種類很多，由過去的電暈電選機、電暈靜電複合電場電選機發展為高壓電選機，當前之發展趨勢是研製高效率、大處理量的高壓電選機。

靜電分選機之構造特徵有轉輪式、板式(詳圖 4.48)、網式(詳圖 4.49)及箱式；由於靜電分選之餵料通常成層狀給入，無法使每一顆粒都與接地轉輪接觸，因此在單一靜電分選機上，無法得到完全之分離，在實際操作上都是以多部靜

電分選機排列成層狀，如圖 4.50 所示。高壓靜電分選機(high tension separator)之外型及內部構造如圖 4.51 及圖 4.52 所示。

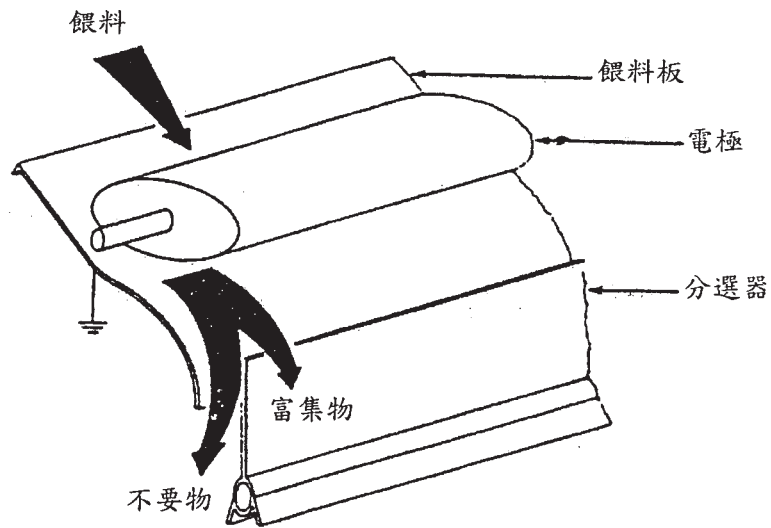


圖 4.48 板式靜電分選機

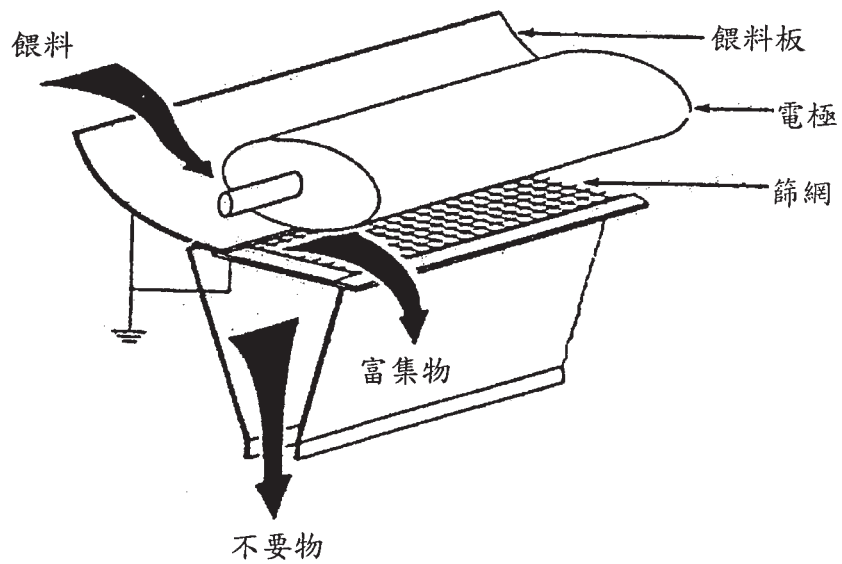


圖 4.49 網式靜電分選機

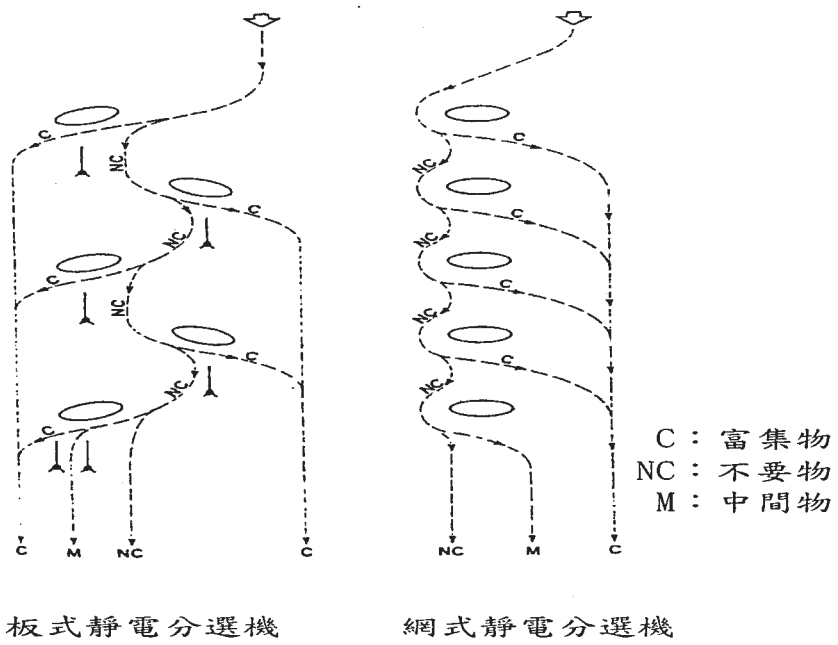


圖 4.50 多部靜電分選機排列成層狀

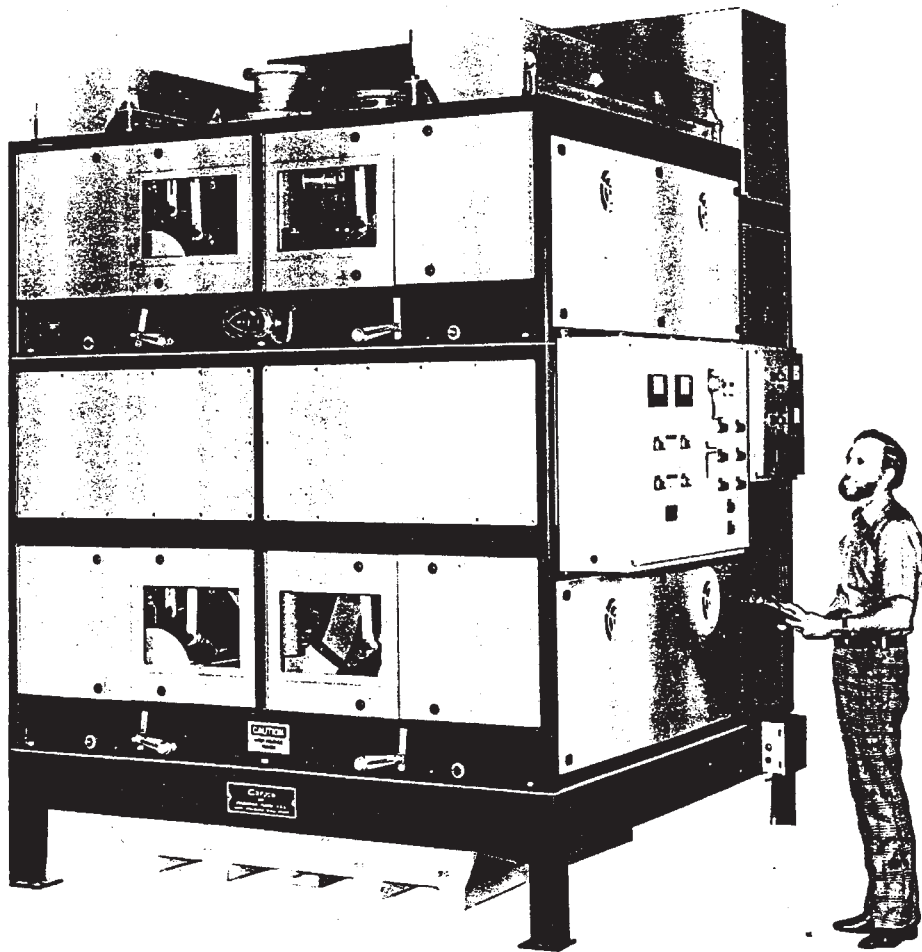


圖 4.51 高壓靜電分選機之外觀圖

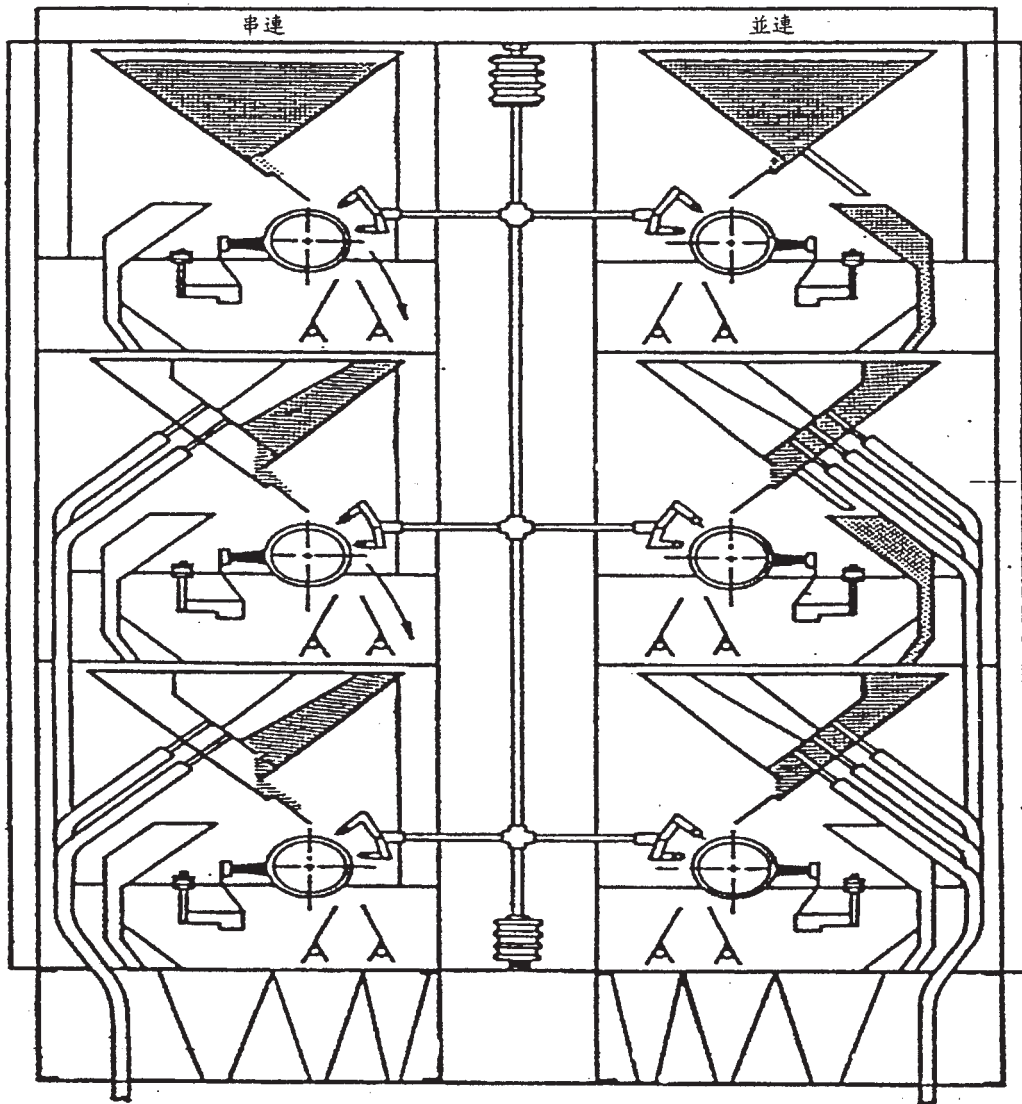


圖 4.52 高壓靜電分選機之內部構造圖

2. 渦電流分選

(1) 渦電流分選原理

渦電流分選之原理為基礎電學中所提及之帶電粒子在磁場中運動所產生之力，其基本公式如下：

$$f = qV \times B$$

如果帶電粒子依其在磁場 B 中之運動軌跡 (s) ，其單位電荷所產生之電動

力(ε)如下式:

$$\varepsilon = 1/q \int f \times ds = \int (v \times B) \times ds$$

將上述兩個方程式結合，可得帶電粒子在兩個不同強度之磁場內運動時，也會產生電動力，其估算公式如下:

$$\varepsilon = V \times w \times (B_1 - B_2)$$

w: 為 $B_1 - B_2$ 磁場寬度

兩個磁場間之磁場差異可以用磁通量來表示，磁通量之變化可以用下列方程式來表示:

$$d\Phi = (B_1 - B_2) \times w \times v \times dt$$

所以電動力也可直接表示成下式:

$$\varepsilon = -d\Phi/dt = -(B_1 - B_2) \times w \times V$$

此式也就是楞次定律(Lenz's Law)之精神，即感應電流會產生一個磁場去對抗感應磁場，渦電流分選之操作最主要也是依據這個定律。

渦電流分選是由粒子在變動的磁場中，使其發生感應電流，進而產生感應磁場，一般會使用下列三種方式來產生磁通量之變化:

- A. 粒子在固定的不均勻磁場下運動。
- B. 讓固定磁極產生移動磁場。
- C. 讓磁極移動經過欲分選之粒子。

第一種方式就是利用線性感應馬達所產生之磁通量變化；第二種模式就是變化電流使產生電動磁場；第三種方式則是利用永久磁極之移動(最常用的是迴轉方式)而產生磁通變化，均可造成渦電流分選效果。

(2) 渦電流分選機之類型

渦電流分選機之類型，隨著高強度永久磁極之開發，目前已較少使用線性感應馬達及電動磁場之方式，而永久磁極之使用概可分為下列三種類型，詳見圖 4.53 所示:

- A. 金屬分選機：固定而且交互排列之磁極使落下之餵料產生橫向位移而分選(如圖(a)所示)。

B.旋轉磁盤分選機：餵料由兩個旋轉磁盤中自由落下，當穿越變動磁場後，達到分選之目的(如圖(b)所示)。

C.尾輪迴轉分選機：在輸送帶尾端設有一個含永久磁極之滾筒，讓此滾筒高速迴轉而產生變動磁場，進而使餵料中之非鐵金屬產生渦電流排斥力，向遠方拋出，而與廢棄物流分離(如圖(c)所示)。

(3)渦電流分選機之應用

渦電流分選法可用於分選玻璃中之鋁金屬，因為這兩種物質之比重差異不大，想利用重力來分選是不可能的。這種利用磁場來突顯導體間排斥力之分選法，可作為各種金屬間之分選工作，分選指標為電導性(σ)與物質比重(ρ)之比值(σ/ρ)，各金屬之電導性與比重之比值，如表 4.8 所示。

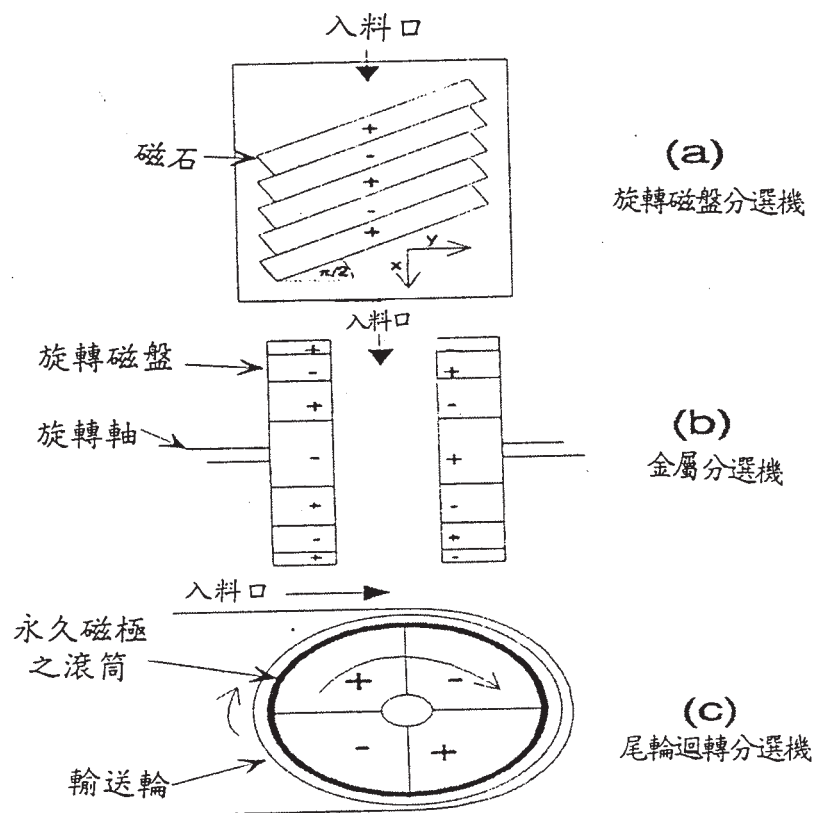


圖 4.53 渦電流分選機之類型

表 4.8 各類金屬導電度與比重之比值表

金屬	導電度 $\sigma (10^{-8} \text{mho/m})$	比重 $\rho (10^3 \text{kg/m}^3)$	$\frac{\sigma}{\rho}$ $(10^{-13} \text{mho-m}^2/\text{kg})$
鋁	0.35	2.7	13.1
銅	0.59	8.9	6.6
銀	0.63	10.5	6.0
鋅	0.17	7.1	2.4
黃銅	0.14	8.5	1.7
錫	0.09	7.3	1.2
鉛	0.05	11.3	0.4

渦電流分選機早期之發展是以線性感應馬達(Liner Induction Motors, LIMS)為重點，在各種不同設計機型中，皆以線性感應馬達裝設於輸送帶之上方、下方及側面等方式來進行分選，也有配合重力之垂直分選方式，但是這些方式都有耗用較多能量及操作成本太高之缺點。

隨著高強度永久磁極之開發，使得耗能低的非鐵金屬分選系統也跟著開發出來。藉由永久磁極在分選轉筒內之高速轉動(達到 3000rpm)，則可產生變動磁場以分選從轉筒上經過之餵料，物質以不同之產品離開轉筒，非鐵金屬被圓筒之斥力遠遠地拋出；非金屬藉由重力飛離轉筒；鐵金屬吸附於轉筒上，最後再刷下富集，如圖 4.54 所示。

Newell 工程公司開發一套非金屬分選系統，也是利用永久磁極之渦電流分選原理，其設備費用比 LIMS 型式者便宜 45%，且節省電能達 98%以上，處理能力為 4~5 公噸/小時，詳見圖 4.55 所示。

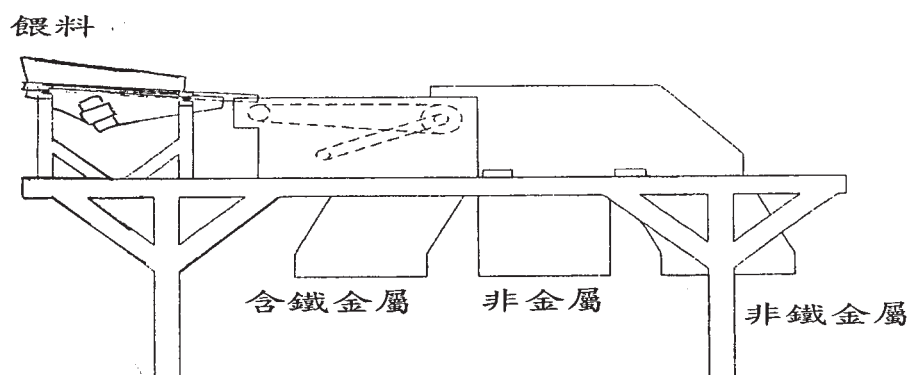


圖 4.54 渦電流分選系統圖

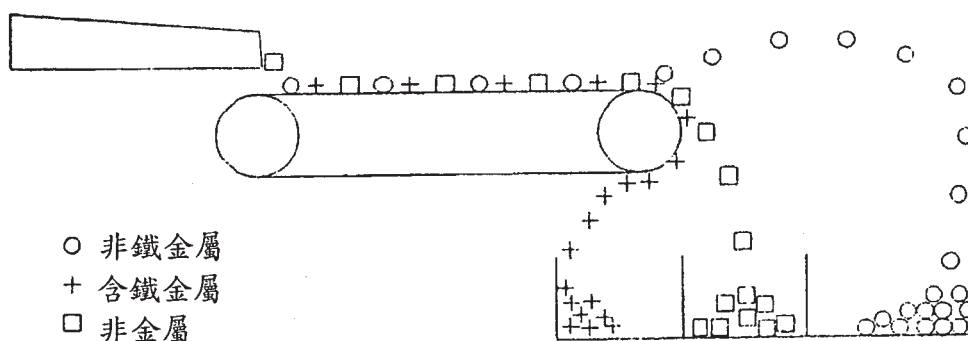


圖 4.55 Newell 公司之渦電流分選機

4.5 泡沫浮選技術與設備

浮選機應具備之功能包括使料漿之顆粒在浮選槽內保持懸浮狀態，進入浮選槽內之氣泡能均勻分散，使疏水性顆粒易於附著於氣泡上，保持平衡之泡沫層及避免顆粒脫落，能連續操作及便於控制液面。

浮選機之分類以空氣導入法為綱，氣泡之產生方式為目，輔以料漿之流動方式可分類如下：

1. 空氣吹壓法(pneumatic type)

此類型之浮選機是利用壓縮空氣吹進料漿中，形成氣泡之同時也產生料漿之攪拌混合作用。

- (1) 固定隔膜型：槽型及柱槽型。
- (2) 可動隔膜型。
- (3) 無隔膜型。
- (4) 噴射型。

2. 機械攪拌法(mechanical type)

由機械轉動之漿葉攪動料漿，使液面捲進空氣造成氣泡者，也可由漿葉轉動生成負壓吸入空氣者。

- (1) 單純攪拌型。
- (2) 水流瀑布型：幫浦外置型及幫浦內置型。
- (3) 吸氣型。
- (4) 攪拌吹氣型。

空氣吹入式為早期浮選之主要機型，但由於其料漿攪拌混合性較差，目前只有 WBS 型 S-W 還有使用外，其他都被機械式之吸氣型及攪拌吹氣型所取代。目前開發出新而有效之空氣吹入式有 Column 型、Froth 分選機、Davcra Cell 與 AFT Cell 等。然而機械式為目前浮選技術與設備之主流，廣泛使用的有吸氣型與攪拌吹氣型。茲將各類浮選設備分述如下：

1. 吹氣式浮選機

(1) 柱槽浮選機

本機外型為圓柱形或上方下圓柱分離槽兩種，如圖 4.56 所示。柱槽內無機械攪拌裝置，料漿在富集物溢流口下方 3mm 處泵入，在柱料漿中，將疏水顆粒上浮至泡沫層，因有厚 1~1.5m 泡沫層，可得高品位富集物，不要物下降由底部排出。充氣器為本機的關鍵性主件，直接影響氣泡的分散程度以及浮選效率，其構造型式有爐條式、豎管式、床石式、旋剷式與噴射式等。

所送入之空氣壓應保持穩定，一般要求在 $1\sim 1.5\text{kg/cm}^2$ 的風壓， $1.6\sim 2.0\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{min}$ 的風量。本機為構造簡單，製造安裝容易，佔地面積小，處理量大，尤其對於微細顆粒的浮選效果特佳。缺點為充氣器在用石灰作調整劑的高鹼度料漿中容易結垢堵塞氣孔，粗顆粒難以浮上，選別效果差。

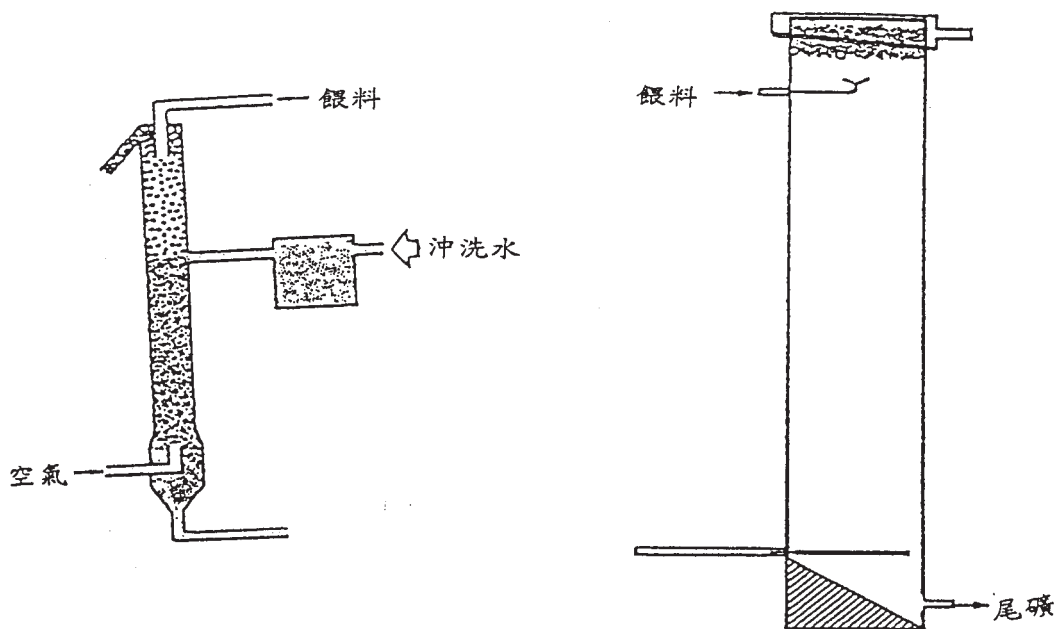


圖 4.56 柱槽浮選機

(2) Flotaire 柱槽浮選機

本機為柱槽型之構造，有四種規格，柱槽高約 $4\sim 4.6\text{m}$ ，直徑為 1.98 、 2.44 、 3.05 與 3.66m 。浮選過程是藉助溶有起泡劑，壓力為 $35\sim 45\text{lb/in}^2$ 的高壓水進入柱槽之同時由吸氣器吸入的空氣，將含有空氣的壓力水送至餵料室與柱槽底部有打孔的壓縮板下方，然後均勻地向上噴出生成上升氣泡，與下降之料漿形成對流。疏水性顆粒被帶入上面泡沫層由溢流管排出，而不要物下降由壓縮板的中心，排料管排出，如圖 4.57 所示。本機之優點為分選效率高，處理量大，可分選較粗顆粒。

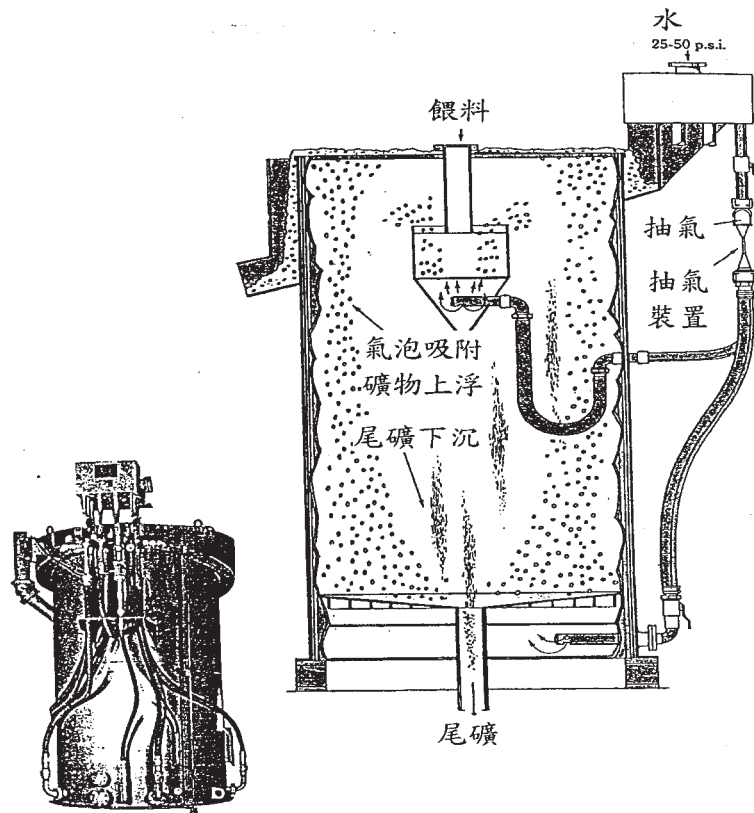


圖 4.57 Flotaire 柱槽浮選機

(3)S-W 浮選機

此類浮選機為早期所使用的氣壓式浮選機，其分選作用都是吹入空氣，利用氣泵(air lift)使氣泡在浮選槽中與料漿產生混合作用，並將疏水物質帶至泡沫層。

就 WBS 型浮選機而言，其斷面呈 V 字型之長槽，在中心線上垂直排列多支與主風管連接之進氣管，由此吹入空氣使氣泡與料漿在氣泵室混合上升，遇上擋板改變流向往下，使料漿與液面產生激烈之衝突而獲得充分之混合作用，而後沿著擋板而下，由擋板之下方或細孔流向分離室。此擋板可使混合攪拌不妨害分離室的液面穩定，同時整個擋板剛好形成一密閉室，可由氣壓調整控制料漿流向分離室的量。所生成之泡沫由槽之兩端扒出，不要物則由餵料的另一端設置閘門控制排出，如圖 4.58 所示。

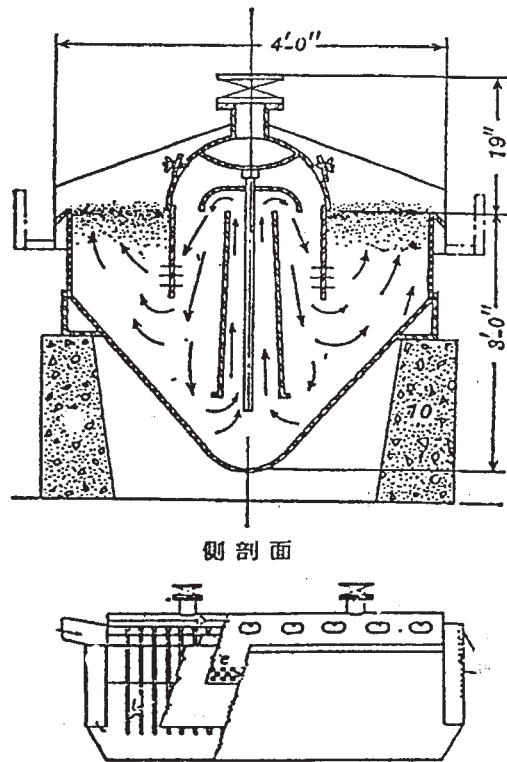


圖 4.58 WBS 型 S-W 浮選機

(4) 泡沫浮選機

本機之分選原理與一般浮選機不同，將調好浮選藥劑的料漿從浮選槽上部的泡沫層給入，讓疏水顆粒就附著在泡沫層，由兩側溢流成為富集物，而親水性顆粒則通過泡沫層，並穿過充氣器之空隙進入錐形槽的料漿中，由排出口排出，如圖 4.59 所示。外形高長寬為 3000×2100×1800mm，充氣器 (Aerators) 安裝在槽的上部，距溢流堰下 200~1000mm 處。依據浮選作業的要求，可以是淺槽或深槽，為兩排 40~60 孔/cm² 的多孔橡膠管，以 171b/in² 的壓力進氣，氣體消耗量在 2m³/min 以下，對餵料濃度 50~70% 的料漿，每小時可處理 50 公噸。

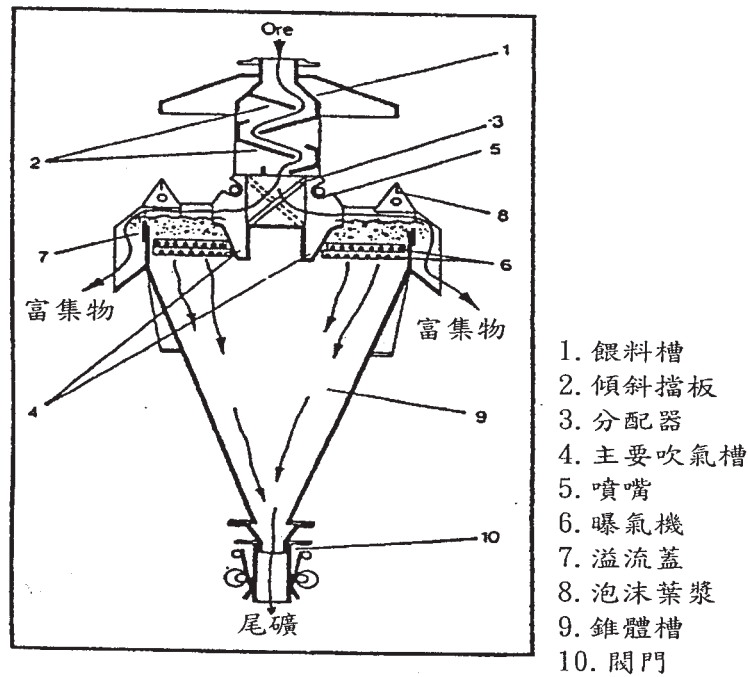


圖 4.59 泡沫浮選機

(5) Davcra 噴射式浮選機

本機由方形浮選槽，餵料噴嘴，將料漿與空氣混合流體以 $1.1\sim 1.4\text{kg/cm}^2$ 的壓力依旋流方式噴入浮選槽，與擋板撞擊使氣-液獲得充分混合，同時料漿沿噴入流體的周圍旋轉折回，使水平噴射旋轉層變成垂直，而析出大量細小的均勻氣泡附著疏水顆粒，平穩地上升形成泡沫層，再由泡沫槽排出，不要物則由擋板後方的排出口排出，此不要物排出口也用來控制浮選槽的液面高低。本機之特徵在於有很厚的泡沫層，一般為 $0.3\sim 0.7\text{m}$ ，有時厚達 $1\sim 2\text{m}$ 也具有大處理量，一個 2m^3 容積的浮選槽，每小時可處理 68 公噸，如圖 4.60 所示。

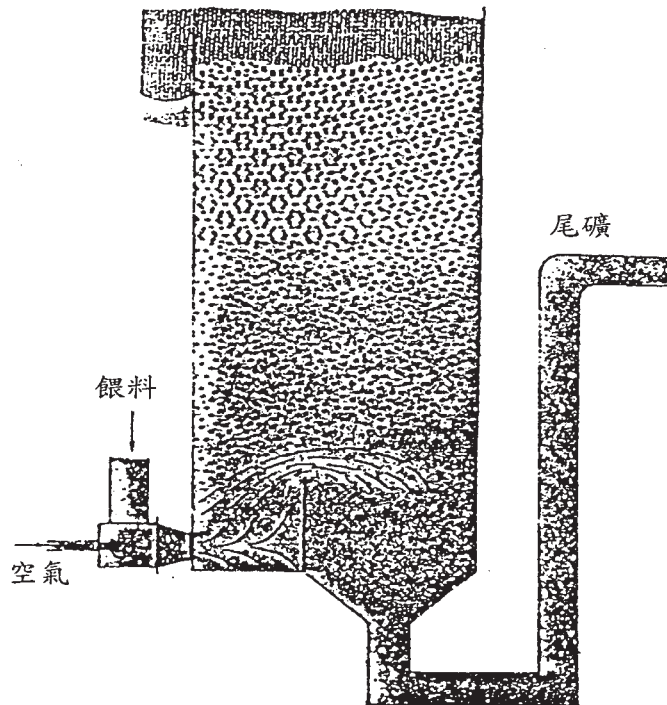


圖 4.60 Davcra 噴射式浮選機

2. 機械攪拌或吸氣型浮選機

(1) Booth 浮選機

特徵是浮選槽較淺，在轉動軸上裝有兩個葉輪，上葉輪為吸氣葉輪，靠近料漿液面之下，用來吸入空氣並分散氣泡。下葉輪為攪拌輪，呈螺旋槳形，按裝在軸下端，用來使料漿維持懸浮狀。由於採用上下葉輪的關係，料漿循環有力，液面平穩吸氣量大，適於粗顆粒浮選，如圖 4.61(a)所示。

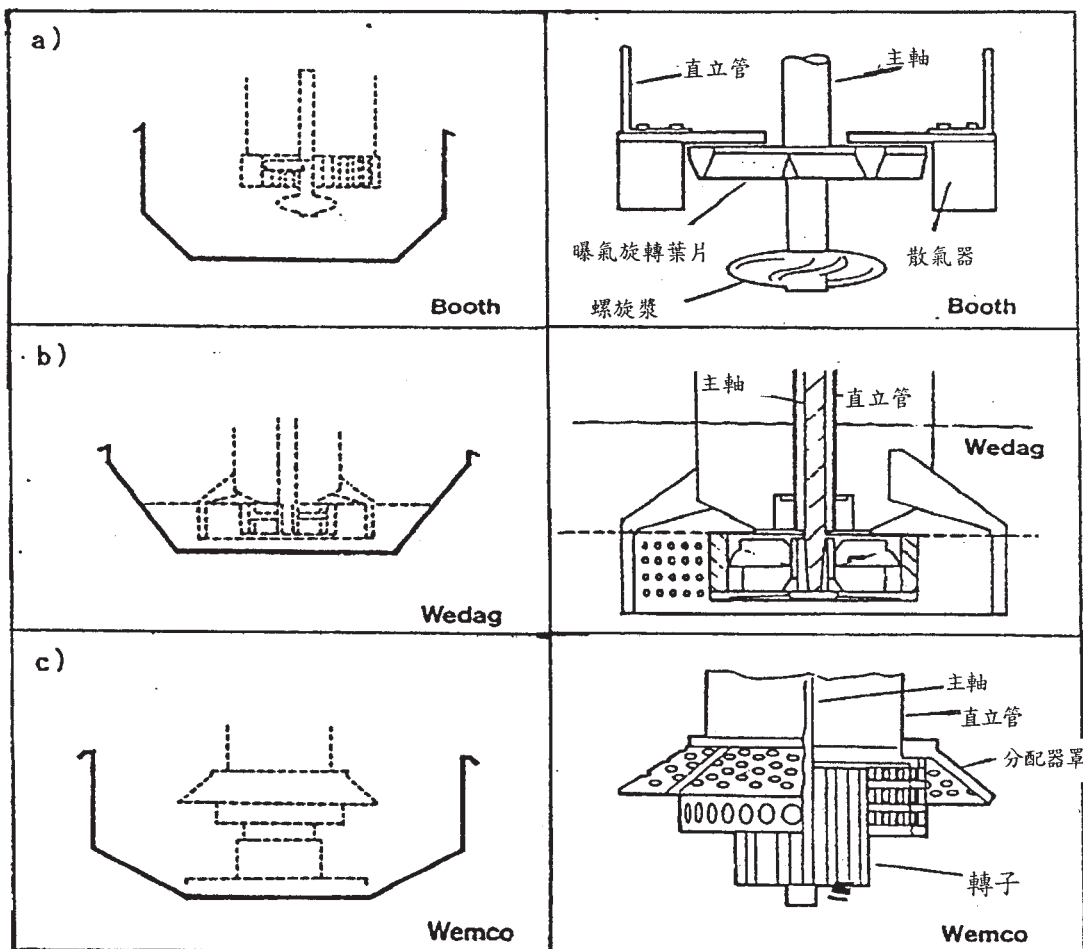


圖 4.61 各類吸氣型浮選機

(2) Wedag 浮選機

本機浮選槽淺而寬，採用雙側刮泡方式。其特徵在於葉輪結構新穎，採用多搖擺葉輪，它由數塊垂直的徑向葉片，由盤式扇形體連結起來，每堆交錯的扇形體旋轉相反方向傾斜，葉輪每轉一圈，料漿會產生多次的翻滾，可大大地增加料漿的吸氣量，浮選槽內設計有多道的穩壓風柵，提高泡沫穩定性，如圖 4.61(b)。

(3) Wemco 浮選機

本機適用於金屬物質與非金屬物質的浮選之外，也可用於工業廢料的浮選分離如舊紙脫墨等，本機的重要改進是在攪拌機構中的迴轉架(rotor)與擴

散器(disperser)，採用有 8~10 葉片的星形迴轉架與具有橢圓孔的擴散器，如此可使快速旋轉的迴轉子吹入大量的空氣與維持料漿的懸浮狀，而由擴散器將迴轉架所產生的料漿渦流與泡沫層隔離，保持泡沫層平穩，操作情形如圖 4.61(c)所示。

(4)Fagergren 浮選機

此機種是世界上應用最早最廣的浮選設備之一，屢經改進，現有標準型與改良水平型二種。標準型為圓型或方型浮選槽，槽與槽之間有區隔，依階梯落差排列構成浮選機組，再由一槽再一槽的方式進行浮選。水平型則以數槽為一浮選機組，採用無間隔流通式進行浮選。二者所使用的造泡攪拌機相似，由迴轉架與固定籠架所構成，如圖 4.62 所示。

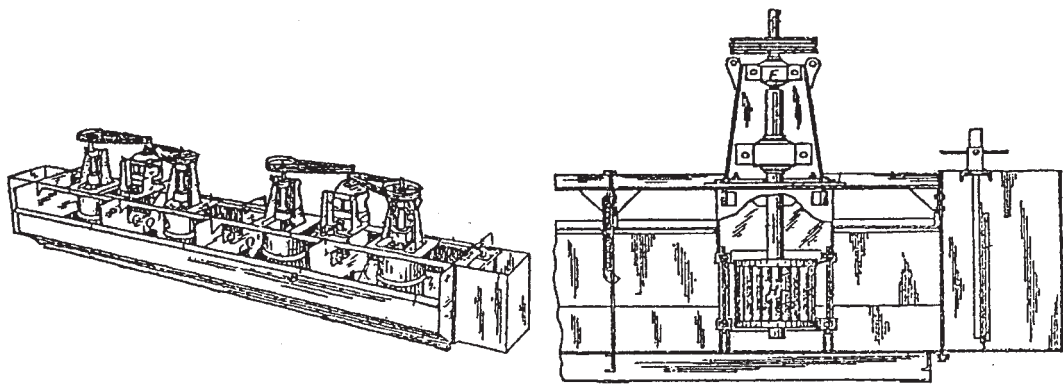


圖 4.62 Fagergren 浮選機

(5)Denver Sub A 浮選機

主要由方型槽體、溢流堰閘門與轉軸部分所構成。轉軸為重要部分，裝置在槽中心，用軸承固定在主架上，主軸之外殼為一豎管也就是空氣導入管，最下端裝有葉輪，在葉輪與固定罩之間有分散器因葉輪與分散器之間隙很小，當葉輪轉動產生負壓，有如泵作用一樣，由豎管吸入空氣，同時也將鄰槽溢流過閘門通過餵料管的料漿吸入，在此產生氣-液混合，再由分散器擴散至浮選槽，由於在槽之底部裝有放射狀的四片角翼，可防止渦流使生成的氣泡穩穩上升，而獲得穩定的泡沫層，其作用方式如圖 4.63 所示。溢流堰閘門裝於兩浮選槽之間，用來調節浮選槽液面高度，同時也用來誘導料漿溢流

至下一浮選槽的餵料管，或是用來控制不要物的排出。

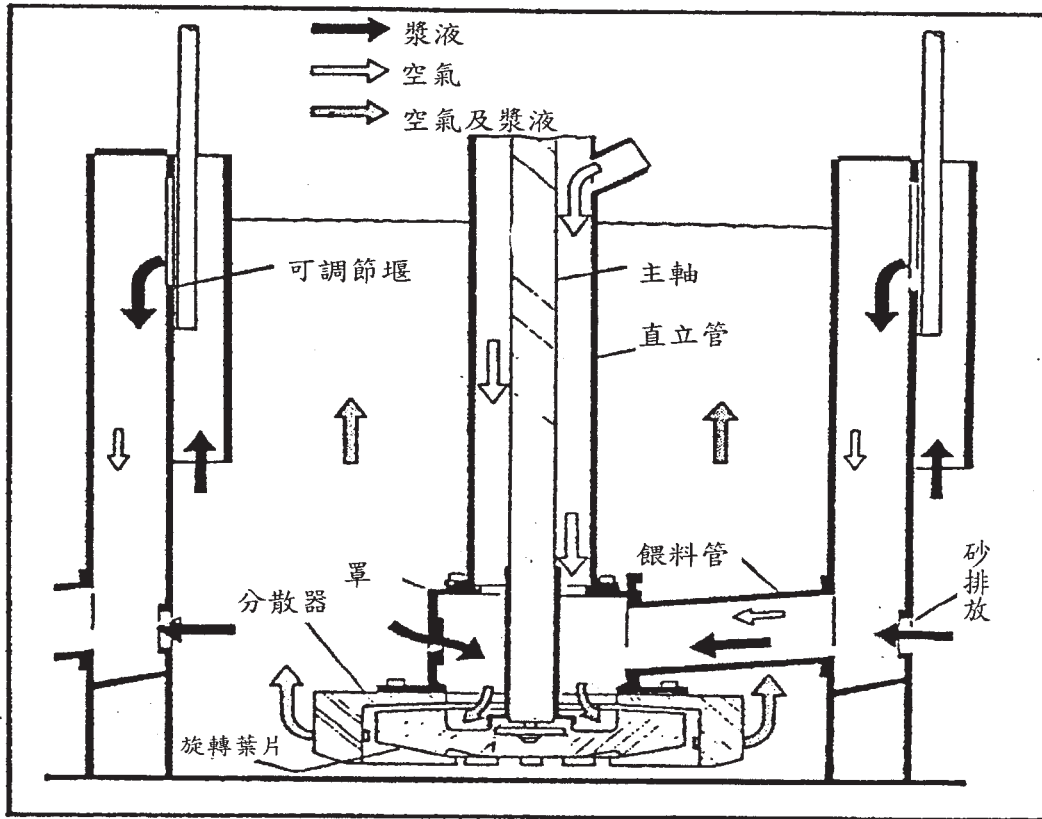


圖 4.63 Denver Sub A 浮選機浮選作用示意圖

(6)Denver M 型浮選機

本機為上述的 Denver Sub A 標準型的改良型，除了具有 Sub A 標準型葉輪之外，在轉軸中間位置增設一攪拌翼，使攪拌力加強，同時也使吸入空氣增大，提高氣泡產生量，因此適於處理較粗粒物質，可用為粗選機或掃選機(詳見圖 4.64)。M 型機大都以 2~6 個浮選槽組合成一組使用，採用槽間流通方式，而由末端槽之閘門控制浮選液面，可由幾組連在一起使用，也可與 Sub A 標準型組合一起使用。

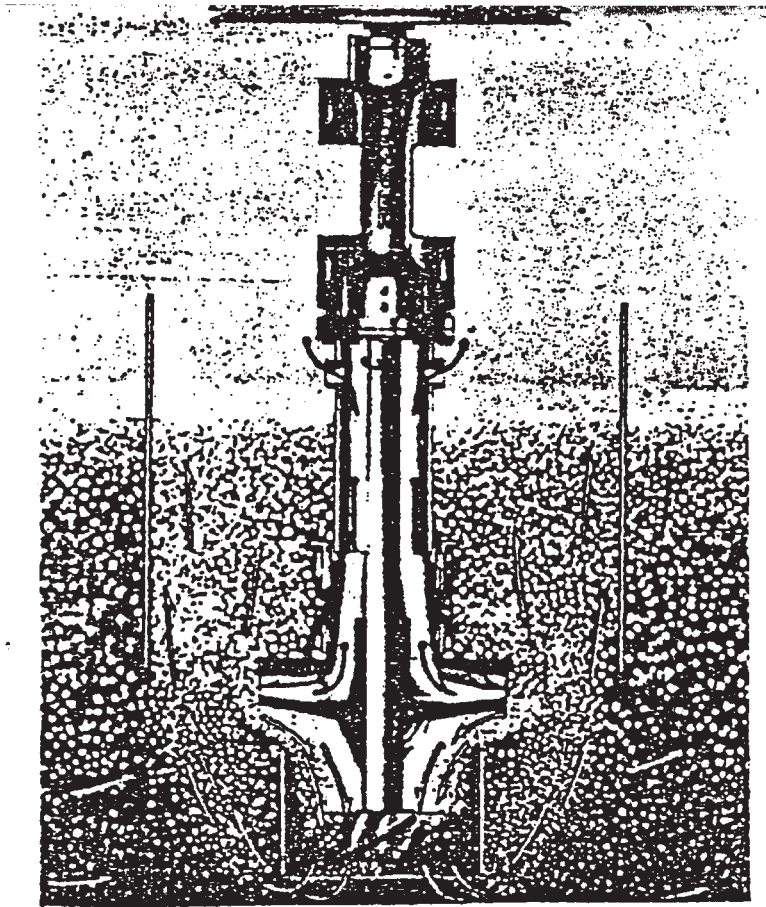


圖 4.64 Denver M 型浮選機之操作情形

(7)Denver 單槽浮選機

本機主要裝在研磨回路中，將已達解離之顆粒早期分離回收為目的，本機在研磨回路中可發揮極大的效果。其構造如圖 4.65 所示，槽深較淺其餘與 Sub A 浮選機無多大差異，是採用適於粗粒浮選的圓錐盤葉輪與圓錐盤分散器組合，又因料漿直接由磨機導入，粗顆粒以及磨體碎片之混入是不能避免，特地在浮選槽底設一錐形槽，好讓粗顆粒或碎片沈積而排出。圖 4.66 所示為本機與磨礦機，分級機或濕式渦錐器組成回路之使用情形。

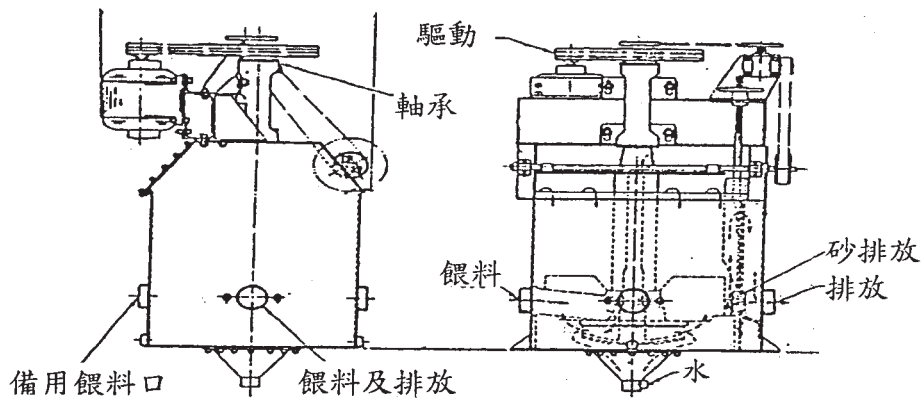


圖 4.65 Denver 單槽浮選機構造圖

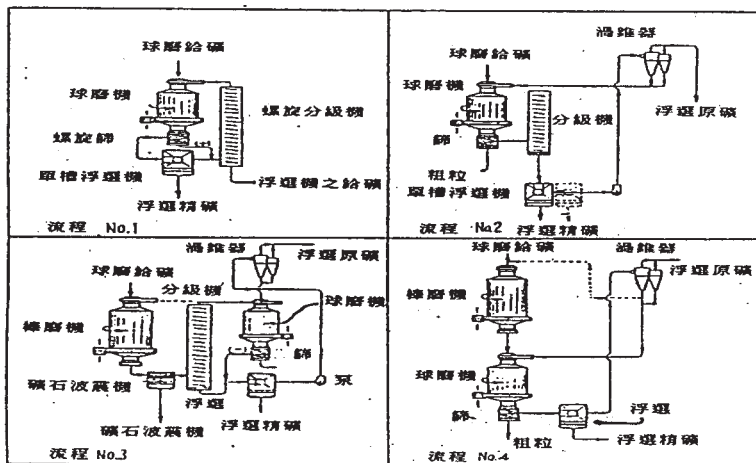


圖 4.66 Denver 單槽浮選機之使用情形

3.機械攪拌式吹氣型浮選機

(1)Aker 浮選機

本機造泡機構是由星狀葉輪與輻射狀排列的垂直板型分散器構成，壓縮空氣經連接管通過中空軸給入葉輪腔內，由葉片間的氣孔噴出，同時料漿也由葉輪上下端捲入與空氣混合，經分散器穩定成微細氣泡，均勻地上浮形成平穩的液面(其構造詳圖 4.67)。由於每立公尺料漿中的充氣量可高達 $1\sim 2\text{m}^3/\text{min}$ 。本機使用的組合方法，可分為串聯的 L 型與並聯的 B 型，如圖 4.68 及 4.69 所示。

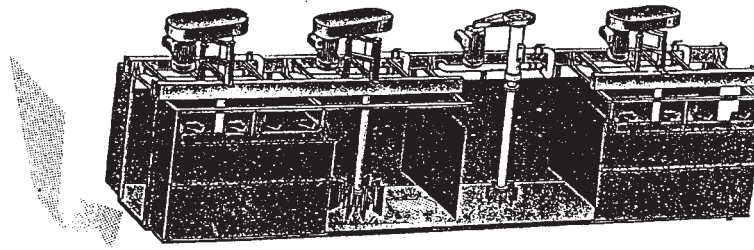


圖 4.67 Aker 浮選機構造圖

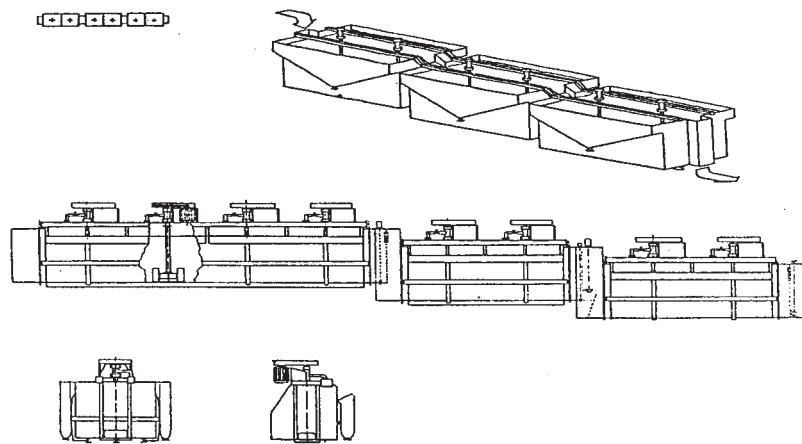


圖 4.68 Aker 浮選機 L 型組合

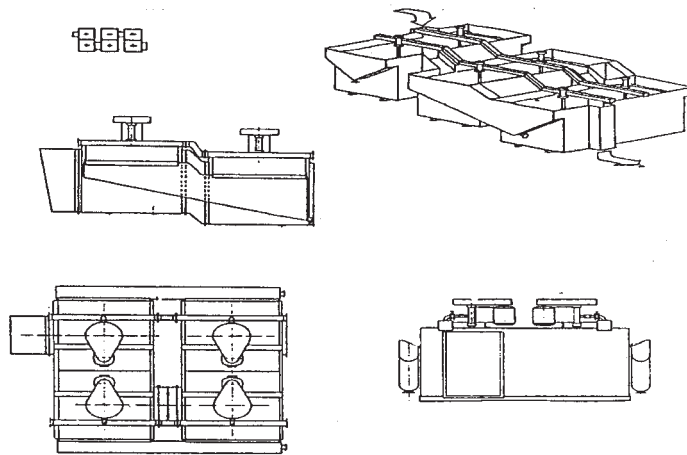


圖 4.69 Aker 浮選機 B 型組合

(2) Agitair 浮選機

其構造如圖 4.70 所示，有單軸槽與四軸槽兩種。其中葉輪與二段所構成的中空軸連結，使葉輪位置易於調整，而 20~30mm 安裝一根垂直鋼棒，鋼棒數量視負荷量不同而定，16~32 根，葉輪周轉速為 4.6~8.9m/s，壓縮空氣由中空軸進入，向葉輪周邊逸散，與料漿接觸混合，由圍繞葉輪四周的 16 片或 24 片穩流板來防止料漿之渦流，並加強攪拌效果。

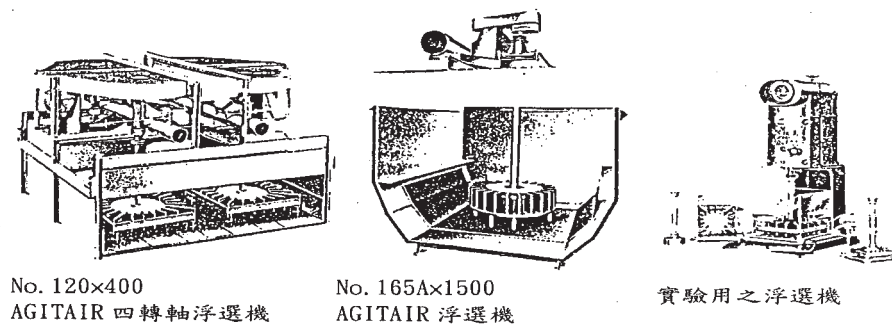


圖 4.70 Agitair 浮選機構造圖

(3) OK 浮選機

本機主要特點是採用能把大量空氣均勻分散在整個浮選槽各部位的新

型葉輪。此葉輪斷面為旋渦狀，其垂直葉片的翼形似一平切的拋物線，底部小而上部大並有頂蓋。葉輪的作用有如泵一樣，可將料漿從其下部吸入，再依螺旋狀使料漿上升，而由空心軸進入的壓縮空氣則從葉輪片間的空隙逸出與料漿混合，再由一圍繞葉輪的放射狀分散器有效地分散成微細氣泡上升達成浮選目的。本機的浮選槽採用 U 形槽，比方形槽輕且堅固，沒有死角幾乎都是有效容積，又可防止料漿短路循環，詳見圖 4.71。

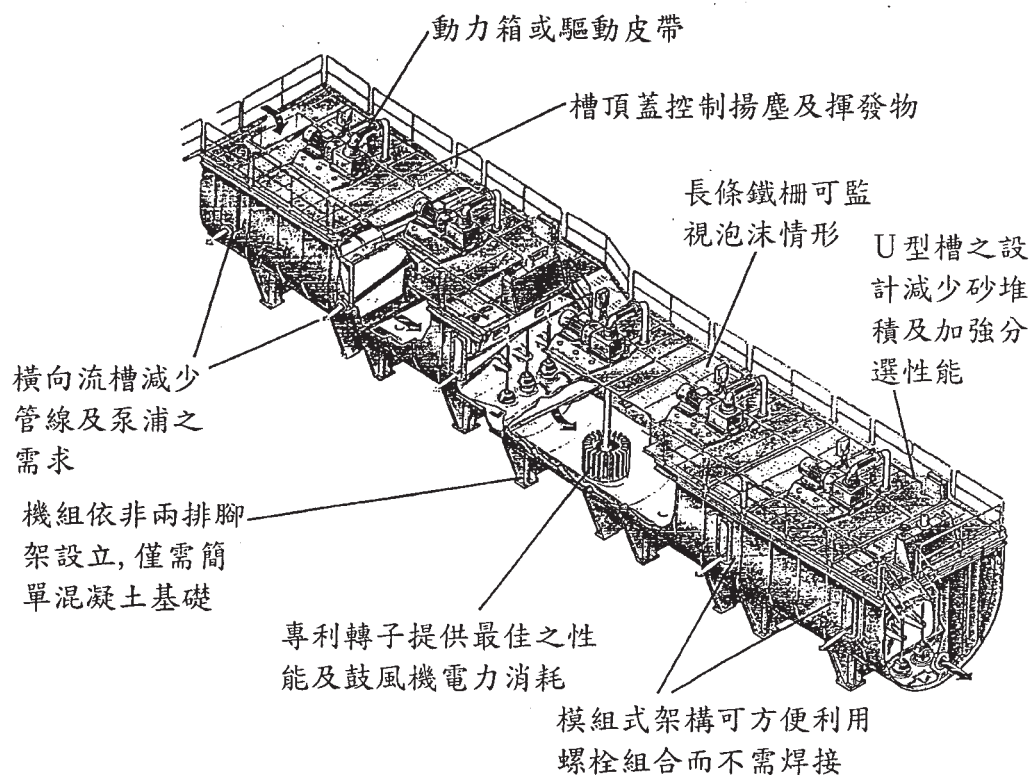


圖 4.71 OK-50 型浮選機組

(4) Denver D-R 型浮選機

其外形與結構上基本與 Sub A 相同，如圖 4.72 所示，在轉軸的套管上加裝一吹氣管接口，以及在分散器上增設料漿循環筒。由鼓風機送入空氣到葉輪，再由葉輪的作用使空氣與料漿混合形成氣泡，因循環式的設置使料漿與氣泡垂直向上形成大循環，促使氣泡上升至料漿表面，如此可達成深槽浮選

的目的。本機含 2~6 浮選槽為一浮選機組，在機組內槽與槽之間的料漿流動是採用自流方式，而機組間增設控制閘門的中間槽以便調節液面。

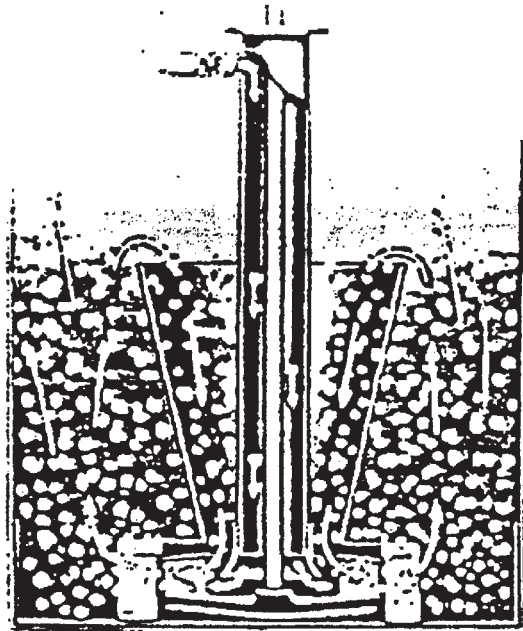


圖 4.72 Denver D-R 型浮選機操作情形

(5)BCS 浮選機

本機由法國 Minemet 公司所生產，葉輪構造為其特徵，如圖 4.73(e)所示，是由兩組交叉排列的圓棒連接兩個不同直徑的圓盤，形成雙截錐葉輪，因此在葉輪內可將吹入的空氣與料漿充分混合而獲得有效的浮選效果，特別適於粗顆粒的浮選。

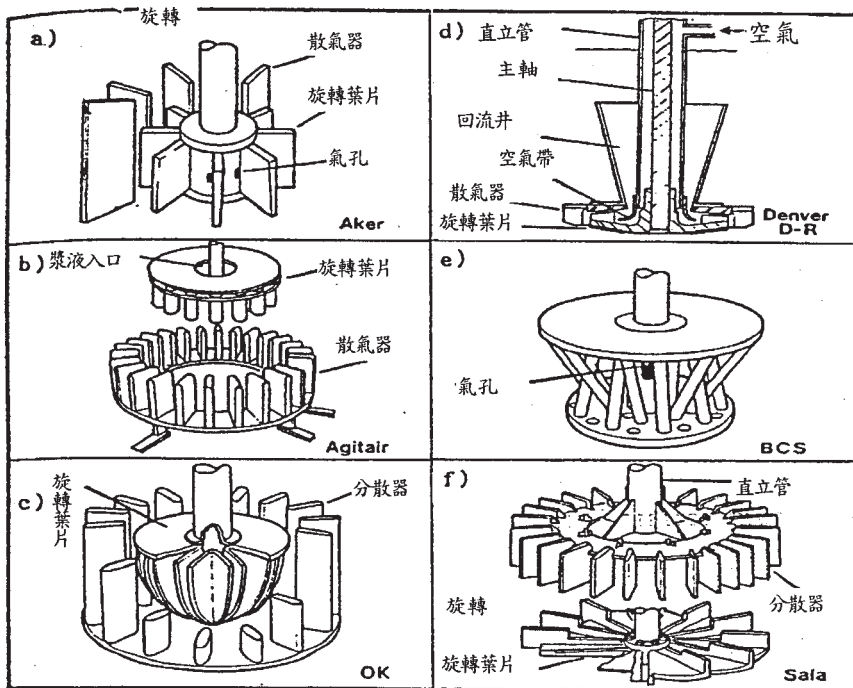
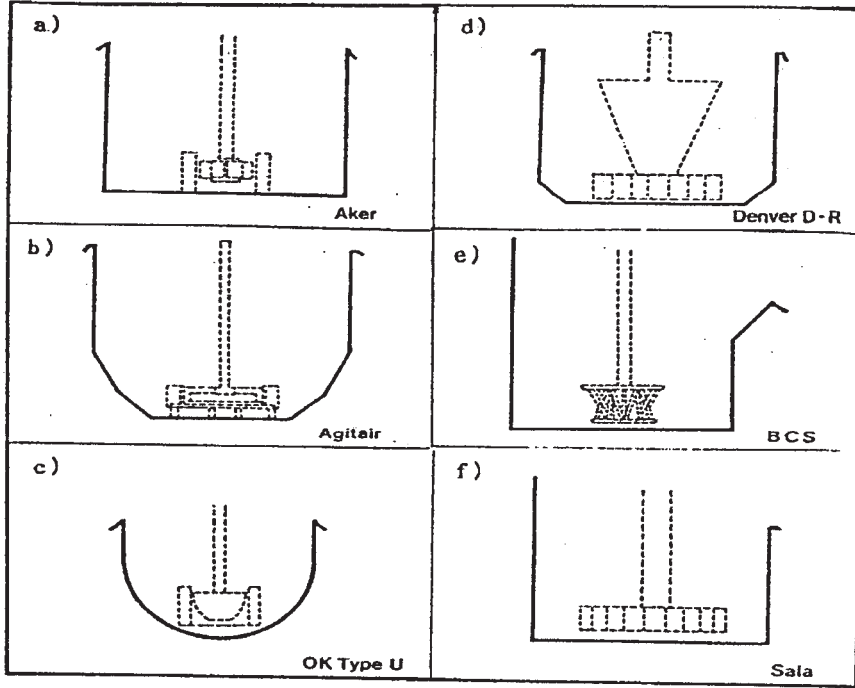
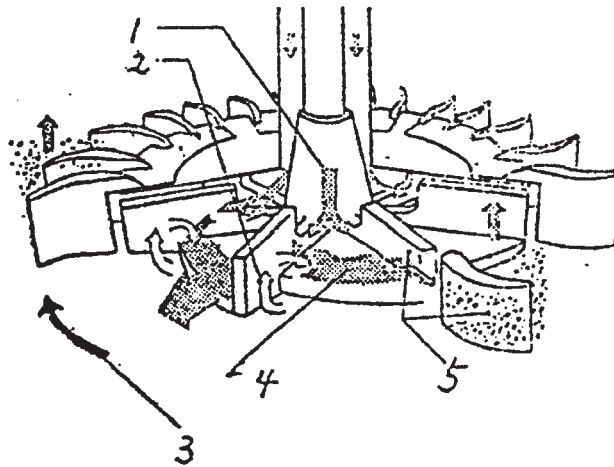


圖 4.73 各類攪拌吹氣型浮選機

(6)Sala AS 型浮選機

本機之設計原理與其它浮選機不同，大多數浮選機都以料漿的垂直接動來維持理想的顆粒懸浮，而本機之設計則將循環料漿流減至最低，認為料漿自然分層有利於浮選，因此將葉輪設計在緊靠分散器頂盤的下面，使其進入葉輪的料漿都由下面進來。而葉輪由兩面都裝有垂直散射狀的圓盤，在葉片的圓盤邊緣作成缺口，如此可使轉動的葉輪上面葉片攪拌由鼓風機進入的空氣，葉輪下面的葉片攪動槽底的料漿由缺口上昇到葉輪上面與空氣混合，再由分散器擴散成穩定的料漿，其操作如圖 4.74 所示，結構如圖 4.75。



1. 空氣 2. 礦漿 3. 轉動方向
4. 氣-液混合 5. 氣-液擴散

圖 4.74 Sala AS 型浮選機葉輪操作情形

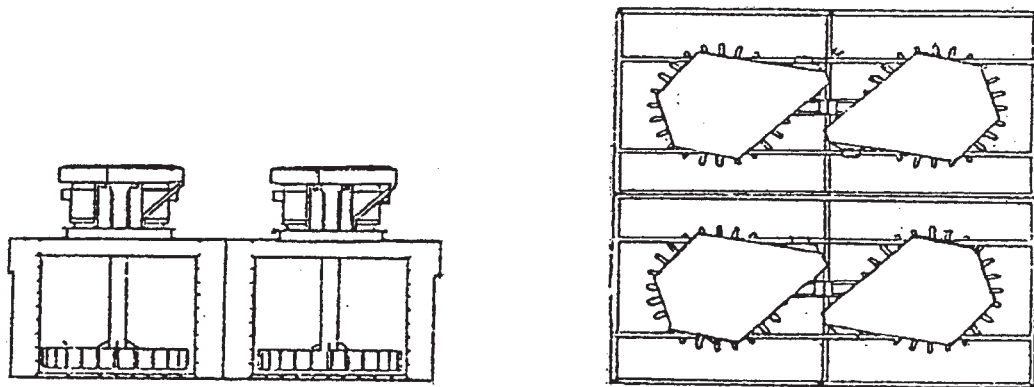


圖 4.75 Sala AS 型浮選機尺寸結構圖

4.6 其他分選技術與設備

在本章前述各種分選技術與設備之外，另有四種利用其他分選原理之技術與設備將在本節說明。

1. 熱粘法(thermo adhesive method)

本法應用在岩鹽之分選上，係利用純淨岩鹽為白色不吸熱，而雜質有顏色會吸收熱能，因而溫度增高，再利用遇熱會熔化的樹脂(heat-sensitive resin)將雜質粘住。如圖 4.76 所示，岩鹽由(F)處給入，在震動給入機(A)前進時，受 240 個 500 瓦的紅外線裝置(L)照射，淨鹽為白色吸熱少，雜質有顏色吸熱上升。岩鹽給入塗有遇熱易熔的樹脂於輸送帶(B)上，淨鹽不被樹脂粘住，在輸送帶之一端，自由落入淨鹽槽(C)中。雜質因溫度升高，會被樹脂粘住，隨輸送帶至線刮器(S)處才被刮下，落入雜質槽中(T)，中砂(M)則可能在中途落下。

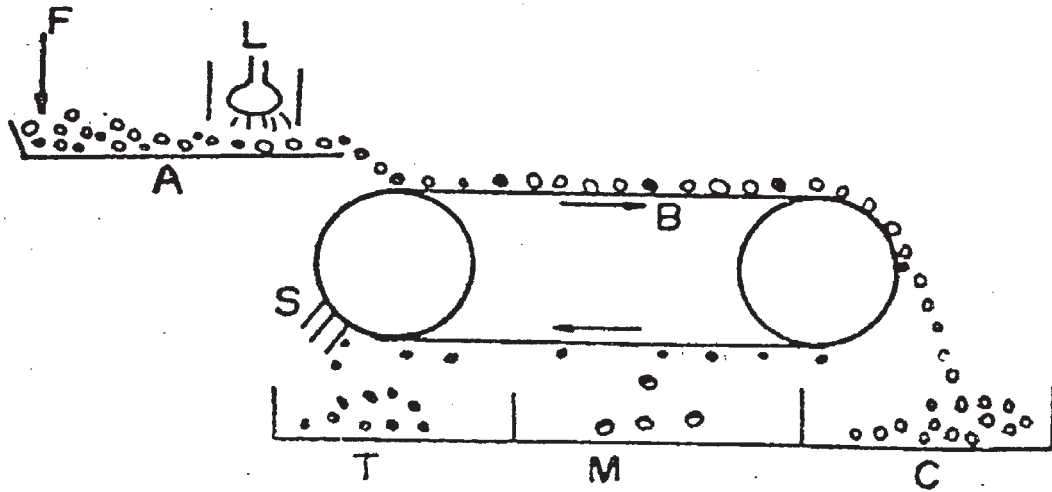


圖 4.76 熱粘選鹽法

2. 粘著法(adhesion method or grease belt process)

本法係利用物質會被油質物粘著之特性來加以分選，如金鋼石會被黃油粘住的特性，南非即是以此技術回收分選金鋼石。其操作方式為在斜桌面上敷以黃油，礦砂在桌面流下、脈石被水流沖走，而金鋼石則被黃油粘住，不致被水沖走，故可以其回收之方法。

3. 形狀分選法

長度分選機為形狀分選法之一種，但僅僅利用顆粒之一維(即長度)來作分選，跟用兩維來分選之篩選法有所不同。如圖 4.77 所示，振動床使不同之碎片鋪平後，經過一個分選間隙，短者由間隙中自由落下，長者則通過而達分選效果。

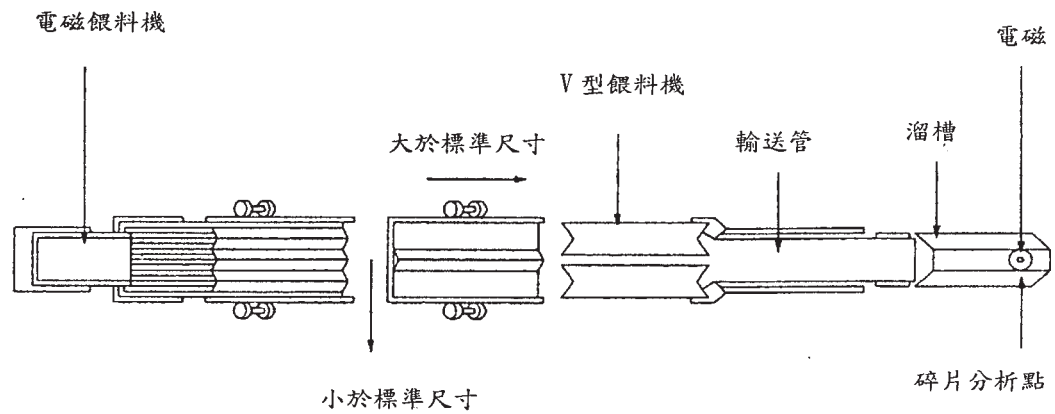


圖 4.77 長度分選機

4.凝集與分散分選法

物質顆粒在水溶液中，由於顆粒表面之解離或從溶液中吸附一些離子，使其表面荷電形成所謂電雙層(electrical double layer)。表面荷電之顆粒互相接近時，電雙層相互作用，產生反撥力；相反地當懸浮顆粒互相接近時也會出現凡得瓦之吸引力。本分選法即是利用物質顆粒在加入適當之凝集劑或分散劑，以改變物質顆粒之荷電量，而使其顆粒間吸引力大於反撥力，而形成膠羽沈降分離之現象，反之加入分散劑則可使水中之物質顆粒凝聚物分散開來。

故以這種化學劑(凝集劑或分散劑)來改變物質顆粒表面電性，而形成凝聚(或分散)沈降，以達到分選的目的。

第五章 分選設備之選定

5.1 分選機之分類

分選機之種類相當複雜，其分類方式只能以各種分選技術(或方法)為綱，而以操作條件或其他分選原理之應用為目，再輔以分選機之材質或結構形式。

以分選技術來分，可分為下列各項：

- 1.粒徑分選技術之分選設備
- 2.揀選技術之分選設備
- 3.重力分選技術之分選設備
- 4.磁選技術之分選設備
- 5.靜電分選技術之設備
- 6.泡沫浮選技術之設備
- 7.其他分選技術之設備

若以操作條件來分類的話，主要為乾式及濕式兩大類，操作條件對分選設備之選擇有很大的關係，也影響到後續流程分選設備之選定。目前在揀選技術及靜電分選技術僅於乾式條件下操作，泡沫浮選則多在濕式條件下操作；粒徑分選重力分選及磁選法則可分為乾式及濕式兩種。

若以其他分選原理進一步區分各分選技術則可分類如下：

- 1.粒徑分選分成顆粒大小(篩分設備)及上升水流(分級機)兩種方式。
- 2.重力分選則分為下列四項：
 - (1)風力分選機(乾式)
 - (2)慣性力分選機(乾式)
 - (3)水力分選機(濕式)
 - A.水平流分選機
 - B.垂直流分選機

(4)重液分選機(包括磁性流體)

3.磁選

(1)低強度磁選機

(2)中強度磁選機

(3)高強度磁選機

(4)高梯度磁選機

4.電選

(1)高壓靜電分選機

(2)渦電流分選機

若以分選機之結構體來分類，則更加複雜，只能在各主要分選設備項下加以探討說明(可參考第四章各章節對分選設備之分析說明)。

5.2 分選機之選擇

選擇分選機之前，應先要有廢棄物資源回收再利用之充分知識，首先要能瞭解欲分選之廢棄物中含有物質之種類及含量多寡。接著進行分選可行性之評估，廢棄物中各資源物質及非資源物質間是否有可供分選之物理、化學或表面特性差異存在，初步篩選可應用欲分選資源物質之技術及設備。

舉例說明，廢棄物中含有資源物質與非資源物質間如有磁性差異，就可以選用磁選技術及相關設備加以分選。如其間有導電性之性質差異時，則可考慮用靜電分選機及渦電流分選機。如有表面物化性質之差異的話，可選用浮選技術及設備加以分選。如有其他如粒徑、顏色、長短、形狀等之差異，則可考慮採用篩分、分級、光學、形狀分選機等設備予以分選。如果是考慮比重差異，而欲選擇重力分選設備時，則可利用重力分選準據(如表 4.1 之分選準據)作為選擇重力分選設備之依據，重力分選準據(C)為比重較大的物質比重(P1)與比重較小的物質比重(P2)，各減去 1 之後的比值 $C=(P1-1)/(P2-1)$ ，此準據可以用作評估這兩種物質在重力分選時的難易程度。重力分選除了物質間比重之差異外，其顆粒之粗細，對重力分選之難易有很大的關係，其中以比重相差大及粒度較粗的，比較容易以重力來分選。反之(即比重相差較小，且粒子大小在 200 篩目以下之物質)，則較不易以重力分選設備來分選。

再來是考量分選機之最佳餵料粒度，欲分選資源物質是否需進一步破碎及分類。最後是分選機之處理能力是否能符合需求。通常每一種分選設備，在不同設備規格下都有其餵料速度及處理容量上之限制，所以在選用設備時，應參考設備供應商所提供之設備規格表及其處理能力及容量表，再據以分析選擇適合之設備大小。

通常在選擇分選設備時，要考慮分選設備之多功能性，因為分選目標及作用並非單靠一種分選機制可以完成較佳之分選效果，往往會再靠其第二種分選力量來達到更好的分選目標。以粒徑大小之分選設備來說，可以選用篩網或濕渦錐分選機，但濕渦錐分選機除了可以分選粒徑大小外，還可以利用物質間之比重差異來加以分選，所以可以用作重力分選設備使用。此外，這兩種設備也都可以用來作固、液分離之設備，也可達到一定之脫水效果。

由於分選之程序可能不只使用單一分選設備，所以也要考量分選單元之上下游所使用之前處理或其他分選設備，也要考慮分選流程所使用之方式(分乾式及濕式)，而作為選用分選單元之參考依據。

在分選機之目標及容量都可符合需求後，其他相關之一般性問題也要併同考量，如影響操作成本之能量消耗、操作難易度、機具之可靠度、維修保養之問題、操作安全性問題、配置位置之適宜性、作業環境及環保污染問題等等。

5.3 分選附屬設備

分選作業之相關附屬設備包括儲料倉、餵料設施、脫水設施、廢水處理設施及廢氣控制設備等。其中脫水乾燥部分，經濟部工業局已於90年12月完成乾燥設備篇之技術手冊。至於廢水處理設施及廢氣控制設備也在環境工程相關技術手冊中有詳盡之說明，本文在此不再贅述。

1. 儲料倉：

為不影響分選流程之運轉，故資源廢棄物餵料在流程中之流量須調節，同時資源廢棄物之進廠數量及運輸條件，以及資源回收物之運出配合，都需要加以調節與貯存，因此設立儲料倉具有緩衝餵料流量之功效。

儲料倉之功能是在調節一定的餵料量時，其容量不必太大，若是用在調節操作時差之目的，其容量則需要配合操作量，同時也要把安全係數一併考量進去，所以容量會較大。對於機械故障儲存之必要容量、廢棄物進廠量、資源物

質出廠量，則視日操作量之大小及選定之安全係數而定，並可成為儲料倉容量之設計依據。若儲料倉容量已決定，其尺寸之大小應由廢棄物之比重、孔隙率求得視比重，並以此視比重之容積為設計尺寸基準。儲料倉之形狀、出料條件等因素所影響之有效容積也須考慮，一般以儲料倉之 70~75% 為有效容積加以設計。

儲料倉之外形可分為方形與圓形，出料口之設置位置可分為側壁下端與底部兩類。出料口在側壁下端的，都是利用底部之傾斜度讓物料本身滑向出料口處，此類側壁下端的儲料倉大都採用方形儲料倉較多，其構造材料也都採用木材或水泥作成儲料倉。方形儲料倉之角落部分容易形成死角，而且所要之建材又多，所以大規模儲料倉多以圓筒形較多。

出料口大小是由儲存物質之大小與粒度構成狀況所決定，最小排出口之尺寸應為儲存中最大顆粒尺寸乘上粒度構成係數，粒度係數詳見表 5.1 所示。儲料倉之設計應考量下列各因素：

- (1) 決定需要之儲存容量。
- (2) 儲存物料之視比重。
- (3) 選擇儲料倉之形狀。
- (4) 排料口之大小。
- (5) 排料之控制方式。

表 5.1 顆粒及粒度係數

粗顆粒佔有率 (%)	95~100	60~80	40~60	23~30	5~10
粒度係數	3.5	3	2.5	2	1.5

2. 餵料機：

由儲料倉之排料口均勻給出之餵料機種類包括裙帶式、旋轉槌式、輸送帶式、帶裙式、板撐帶式、轉輪式、往復運動式、活塞式、自動隔膜式、螺旋推進式、Ross 鏈條式、Hardinge 等各式餵料設施。這些餵料設施之選擇，仍是以儲料之性質而定，供給各分選機械之餵料量，一般都希望餵料量能一定，但在流程中要控制餵料量適當是很困難的，尤其是那些對餵料量敏感之分選機械，因此在分選機械之前設置儲存倉及餵料機，以確保餵料量之穩定。

3.脫水相關設備：

分選技術大都採用水為分選介質，以進行分級、分選與水力運送等，水的使用量將依分選機具之選用及操作方式而有所不同，表 5.2 所示為各種分選技術所使用之水量。因此分選所得之富集資源物質及廢棄物，都會含有大量的水分，資源物質可供出售或成為後續再利用之原料，必須要將水分去除；而廢棄物質中之水分也需要進一步去除，以減少廢棄物之處理量及運送重量，由此可知脫水操作是分選作業中相當重要的一環。

表 5.2 分選機的用水量

分選機	用水量(m ³ /t 廢棄物)
球磨機	4~7
水力分級機	3~6
波震機	4~6
搖洗桌	6~8
浮選機	3~6

脫水操作可利用物質顆粒與水之物理性質差異，以及含水量之多寡，選擇下列各種處理方式：

(1)沈降濃泥相關設備：

分選機所排出之料漿，其固體含量在 10~25%左右，可利用物質顆粒在水中沈降之特性，使成濃泥層與水層而去除大部分的水，而將濃泥中之固體含量提升為 55~65%。如波震分選機或搖洗桌所分選之顆粒較粗，可用各種分級機或過篩等簡單方法代替沈降濃泥，而將大部分之水分去除，使固體含量提高至 80~85%。

沈降分離裝置之主要設備如下：

A. 濃泥池：

如圖 5.1，可由鐵板、水泥或木材所構成，料漿連續送入使懸濁固體沈積於槽底，而底部呈漏斗狀以刮泥板將這些沈泥集中於中央出口處成濃泥排出，而澄清液由槽上溢流，而達固液之分離，適合處理含固體量少且水量大之裝置。

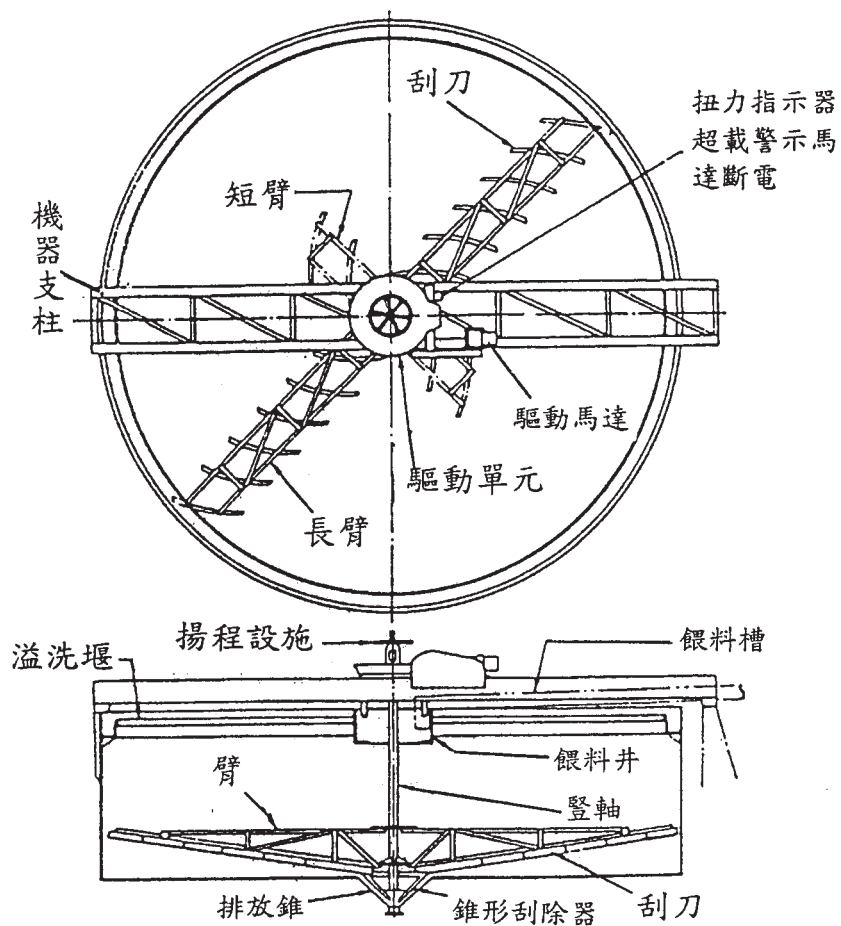


圖 5.1 濃泥池構造圖

B. 沈澱槽：

以易沈澱之顆粒為對象，適用於處理含固體量多而水量少的，可與傾斜板併用促進沈澱。

C. 沈澱池：

具有較大之池面，大都置於戶外，沈澱與蒸發都讓它自然進行，一般設有沈澱物取出裝置。

(2) 離心濃泥相關設備：

利用高速旋轉之離心力也可加速沈澱速度，由於離心力作用使水中比水重之顆粒運動向離心力之方向，可迅速分離。離心沈澱機之原理，在離心作用方向之途中裝置只允許水通過之濾材時，固體停留在濾材上而水分透過飛散為離心脫水機之原理。離心濃泥裝置如圖 5.2。

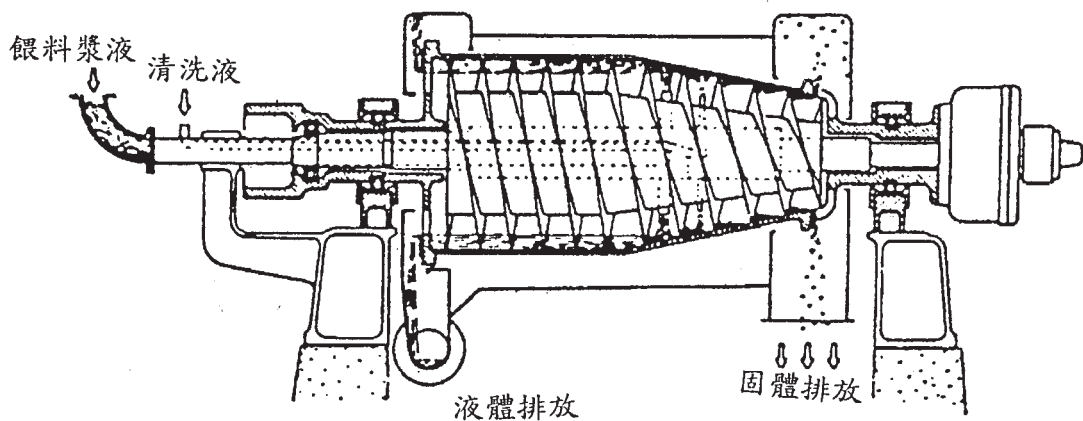


圖 5.2 離心濃泥裝置

(3) 過濾相關設備：

一般經沈澱所得濃泥其含水分都還很高無法成型，在處理操作上不方便，往往有進一步將其脫水之必要，那就是過濾。過濾是以布、多孔板或砂層為濾材，使溶液通過而留下固體之操作。可由自然之重力脫水（但速度

慢),可用減壓或真空將液體抽出,也可用加壓法將液體壓出等提高過濾效率。

過濾操作後可分為濾渣與濾液,有時為著要提高濾渣之純度或要將濾液完全回收,常伴隨洗淨之操作。

過濾機之規格是以產生合乎要求之過濾產品之表面積來表示,亦即是以過濾面之大小來表示。過濾機之基本操作方式可分為兩種,(1)恆壓過濾為保持某一定壓力進行過濾,在過濾剛開始時,由於各種抵抗阻力小,而有最高的濾液流速,隨濾餅之形成,抵抗阻力增加,濾液流速緩慢下降,真空連續過濾機可視為按此原則操作。(2)恆速過濾,在過濾過程中,隨濾餅之形成所增加之抵抗阻力而逐步提高壓力。一般之過濾操作係採用恆速過濾至某抵抗阻力,其餘時間則用恆壓過濾,如此之操作方式可獲得抵抗阻力較小(結合鬆散)之初層濾餅,使濾液容易過濾。

過濾機依其過濾方式可分為真空過濾機、加壓過濾機與離心機等。

A.真空過濾機:最廣泛地應用於分選礦所獲得之富集物過濾。這類過濾機之過濾壓力雖然僅限於一大氣壓以內,但能保持最經濟而有效的連續作業。有圓筒型(圖 5.3)、盤型(圖 5.4)、水平式(圖 5.5)及帶濾式(圖 5.6)等四種。

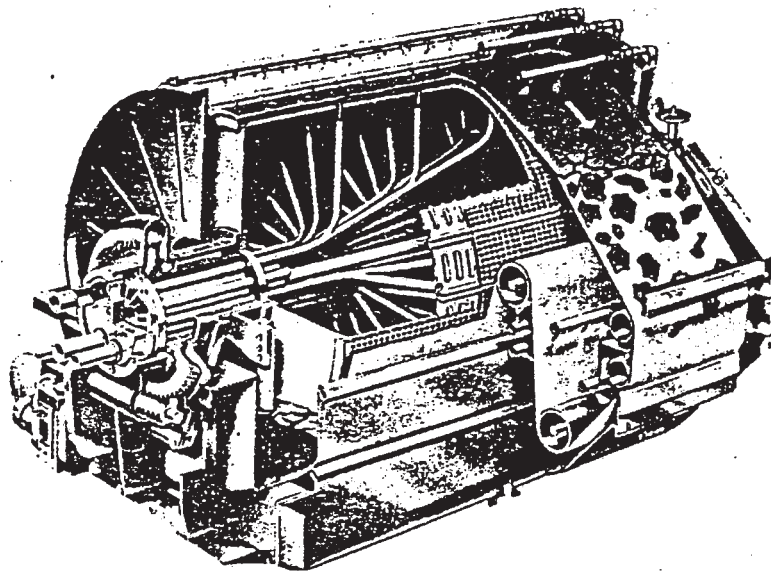


圖 5.3 圓筒型真空過濾機

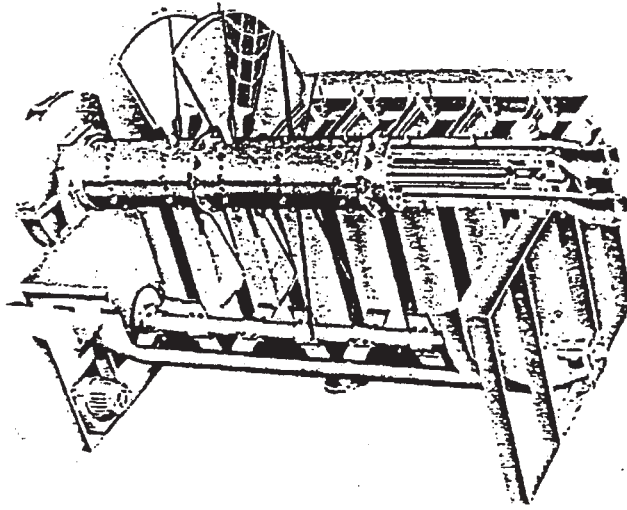


圖 5.4 盤型真空過濾機

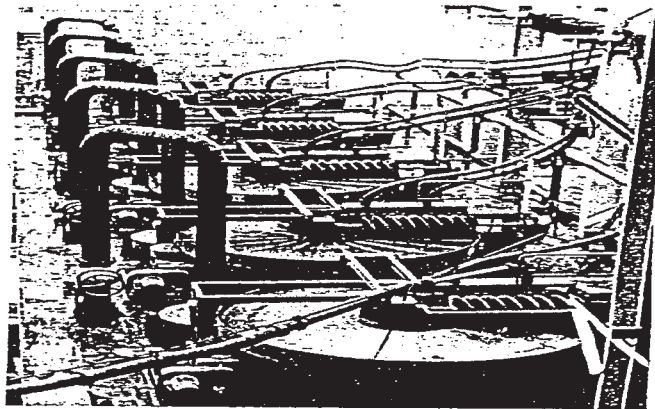


圖 5.5 水平式真空過濾機

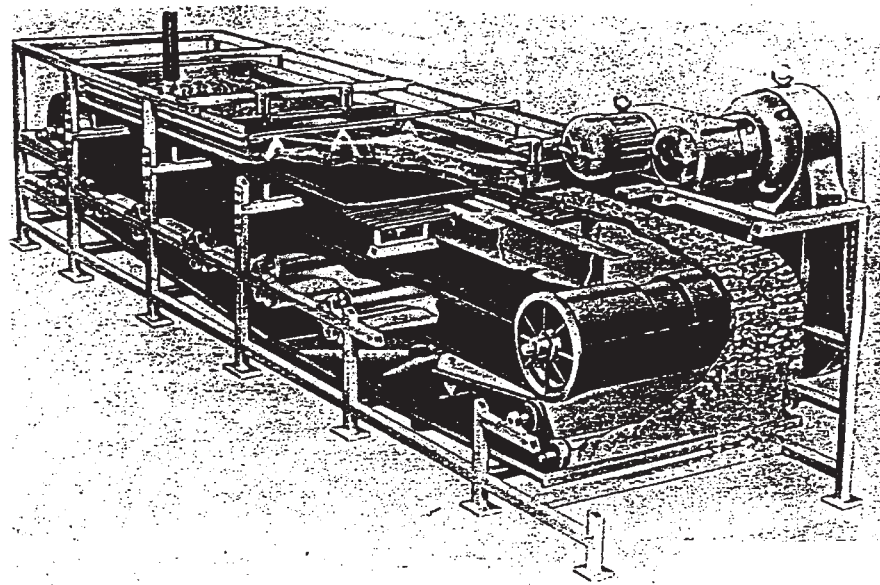


圖 5.6 帶式真空過濾機

B.加壓過濾機：分批次過濾方式與連續過濾方式，廣泛地應用於分選工廠，過濾壓高可得含水量少之濾餅，機械設備較便宜，佔地面積小，操作靈活性較高。

a.加壓批次過濾機如圖 5.7。

b.加壓連續過濾機之操作流程如圖 5.8。

C.離心機，可用於分級機、澄清機、濃泥機與過濾機，價格較昂貴。

a.轉筒型離心機如圖 5.9。

b.穿孔轉籃型離心機如圖 5.10。

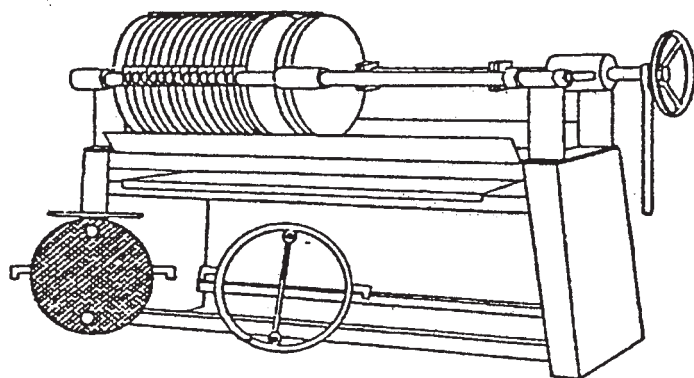


圖 5.7 批次式加壓過濾機

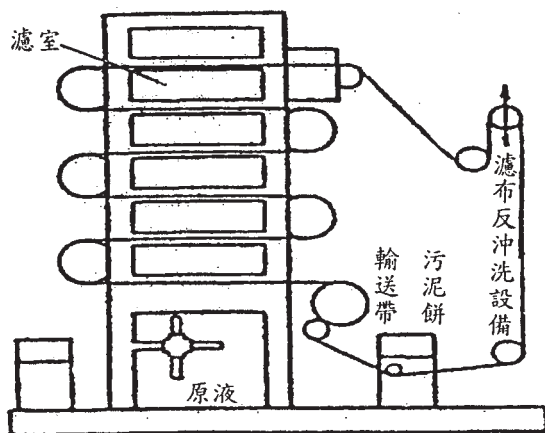


圖 5.8 連續式加壓過濾機

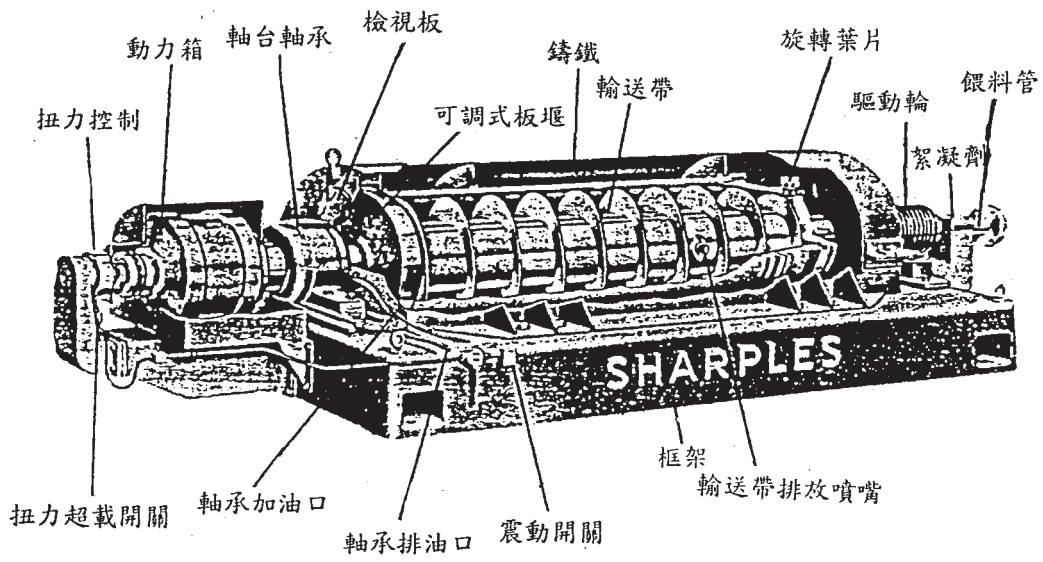


圖 5.9 轉筒型離心機

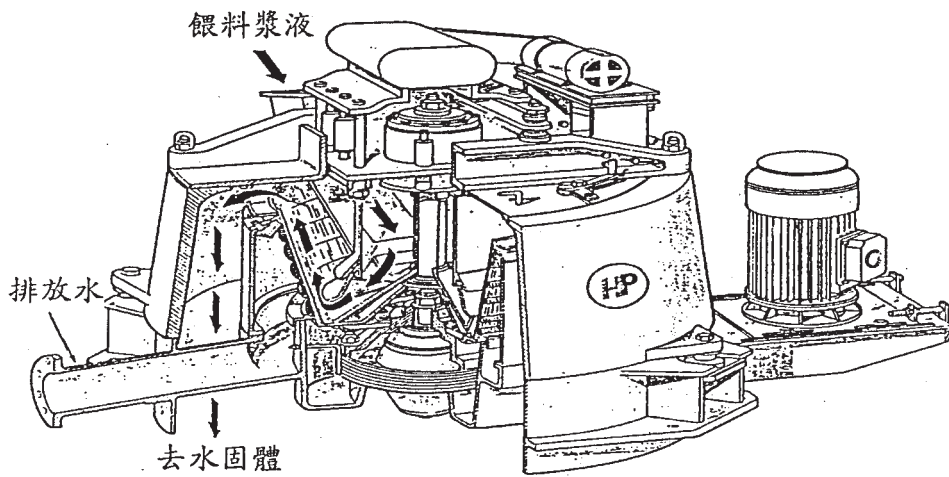


圖 5.10 穿孔轉籃型離心機

(4) 乾燥相關設備

乾燥是指上述沈降以及過濾所得產品中所含水分進一步降至某一含量以下，使產品適於搬運、銷售或下一步處理所需。由於過濾脫水難將水分降至 25% 體積以下，當要求較低水分時，則需用陰乾日曬法將所附水分慢慢蒸發，或用高溫將顆粒加熱使水分蒸發。前者雖然費用較省但費時，需要空間較大，不適合操作量大之工業生產，後者費用較昂貴，但適於工業應用。

(5) 污染防制相關設備

A. 廢水處理

分選流程如選用濕式流程，則有後續廢水處理之問題。廢水處理流程及設備之選用，也是依照分選操作單元所產生廢水之水質及水量而定。一般廢水處理之技術與設備分為下列各項：

a. 物理處理法

- (a) 沈澱法
- (b) 浮除法
- (c) 過濾法
- (d) 氣提法
- (e) 蒸發法
- (f) 冷凍法
- (g) 淘洗法

b. 化學處理法

- (a) 中和法
- (b) 離子交換法
- (c) 氧化還原法
- (d) 混凝沈澱法
- (e) 薄膜分離法
- (f) 溶劑萃取法
- (g) 吸附法

c. 生物處理法

- (a) 活性污泥法
- (b) 污水塘及氧化池
- (c) 滴濾處理法
- (d) 旋轉生物圓盤法
- (e) 生物流動床法
- (f) 厭氣消化處理

B. 廢氣處理

分選流程如採用乾式流程，則會有空氣污染物之排放問題，故需要處理各個分選單元所產生之空氣污染物。一般用於分選廠之空氣污染防制技術及設備如下：

a. 粒狀物

- (a) 旋風集塵器
- (b) 濕式洗塵器
- (c) 織品過濾器
- (d) 靜電集塵器

b. 氣狀污染物(CO、SO_x、NO_x、HC)

- (a) 吸附法
- (b) 吸收法
- (c) 催化分解或還原法

5.4 分選流程設計

分選主要以機械的、物理的、表面化學的操作方法，藉其性質之差異分離為資源物質及非資源物質。分選比後續之回收再利用處理流程便宜，分選可以降低回收處理程序之成本，且可提高回收處理效率之前處理程序。分選流程設計時，所應考量之要點如下：

1. 蒐集分選技術、資源回收再利用程序之最新科技資訊，作為分選流程設計之基

本資料，並作分選流程之概念設計，供決策部門參考及檢討。

- 2.富集物品位及回收率之決定，應由富集物之收入及操作成本去衡量。
- 3.富集物之品位要能符合下游產業要求之規範。
- 4.對於伴隨其他有用之資源物質，應該也要考慮分離回收，作為副產品。
- 5.系統操作要單純化、自動化、集中化，品質要穩定。
- 6.選定分選流程中各分選單元處理能力相當之設備，使整個流程均勻一致。
- 7.採用信賴度較高之機械製造廠的產品，以減少故障。
- 8.採用機械設備之安全性要適當。
- 9.儘量採用大型機械，使系統簡略化。
- 10.機組之配置位置要適宜，並且預留將來擴充機組之用地位置。
- 11.機械維修保養之作業場所及作業方式要考慮。
- 12.照明通風、除塵、工安、衛生等作業環境之考慮。
- 13.分選流程伴隨產生之廢水、廢氣及廢棄物應要有妥善之處置計畫。
- 14.分選流程之相關附屬設備也要事先規劃設計。

分選作業開始於接受工廠所運來欲回收之廢棄物起，從欲分選廢棄物貯存料倉至回收資源物質之產出與最後廢棄物質之處理處置，都應包含在分選設計流程之內。廢棄物中之資源物質及非資源性物質可能糾雜在一起，要先經由破碎、打碎或剪碎等方式將其分離，達到解離目的，才能利用分選設備將資源物質富集回收。

分選流程之設計步驟及內容，茲分別說明如下：

1.初步可行性研究

初步可行性研究應包括下列各項之資料加以蒐集研判，以及各項資料間互相之關係加以檢討規劃：

- (1)計畫目標之說明。
- (2)資源廢棄物產生量及含量估算。
- (3)初步分選實驗結果。

- (4)分選流程之確立及質量平衡計算。
- (5)初步之平面配置圖。
- (6)資源物質之價值估算。
- (7)分選設備清單及預算估計。
- (8)投資金額估算。
- (9)操作成本估算。
- (10)經濟性評估。
- (11)環境評估。

2.概略設計(決定基本方針)

本階段進入決定分選廠設計之基本方針，也就是分選廠之骨架設計，完成分選程序設計，作成機械配置圖以及附屬設備配置圖、管線配置、所需機械明細表，逐項列出如下：

- (1)處理量及富集資源物質品位之設定。
- (2)分選程序之決定。
- (3)分選效率之推定(品位及回收率)。
- (4)工作天數及時數之規劃。
- (5)分選系統圖之訂定。
- (6)分選流程之質量平衡計算。
- (7)機械與裝置之型式、大小、馬力、配電等之佈置圖，並作成所需器材之明細表。
- (8)廠房構造及附屬設備。如用水、廢水、廢棄物之處理、運搬、修理工廠、分析室、儲料倉之佈置圖。
- (9)工程預定進度表之訂定。
- (10)工程設計準則與標準之訂定。
- (11)設備投資之概算。

(12)場外費用之估算。

等之佈置圖，並作成所需器材之明細

廢棄物之處理、運搬、修理工廠、分

(6)分選流程之質量平衡計算。

(7)機械與裝置之型式、大小、馬力、配電表。

(8)廠房構造及附屬設備。如用水、廢水、

(13)收益率之估算。

3.細部設計及製圖

依據概略設計所決定之事項，著手進行設計圖、施工圖以及工作內容說明書之完成，以供機械器材之採購或製造以及廠房、土木建築之施工所使用。一般分選廠所使用的機械如破碎機、篩分選、浮選機、壓縮機、水泵、輸送機等等，都有專門工廠製造供應，因此僅就各製造工廠所提供之目錄，選擇適合本分選廠所須之構造、性能與特性者，若為特殊規格之機械採購，則選擇經驗良好之廠商訂購。所以要真正進行詳細的設計與規劃都是一些附屬工程，如儲料倉、配管、廠內物料輸送、電力、計測、土木、建築等。

4.建廠施工與試車

- (1)器材、機械之採購與訂製。
- (2)土木、建築工程之進行。
- (3)安裝。
- (4)試車。
- (5)編寫操作手冊、維護保養手冊。

第六章 廢棄物分選案例

6.1 燃煤飛灰之分選案例

1. 前言

燃煤飛灰為燃燒煤碳的火力發電廠及工業汽電共生鍋爐之集塵裝置所捕集之飛灰，台電每年約產生 150 萬公噸的飛灰，若依煤炭的使用比例加以推估，一般工業之汽電共生鍋爐所產生之飛灰量每年約 60 萬公噸左右，可知國內年產生約 210 萬公噸的燃煤飛灰。

燃煤飛灰大體上是由 SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 等氧化物及相當比例的未燃碳所構成(如表 6.1 所示)，因為所含之矽、鋁、鈣、鎂等氧化物等會形成波索蘭物質，遇到水會形成具有膠結力之水化物，可再利用為混凝土添加料或水泥熟料，但所含未燃碳會影響其水泥製品之性能，因此 CNS 規定含碳量在 12% 以下者方可作為水泥替代料使用，其它詳細規範如表 6.2 所示。國內約有 140 萬公噸左右的燃煤飛灰符合表 6.2 之規範可再利用為混凝土添加料或水泥熟料，其餘的 70 萬公噸燃煤飛灰之含碳量高於規範，而是以棄置、填地或投入水泥窯燒成水泥之方式處理。

以資源有效利用的觀點來看現有的飛灰處理方法，將飛灰以棄置、填土方式處理，非但造成環境問題，資源亦無法有效利用，而將高含碳的飛灰作為水泥生料再投入水泥窯燒成以製造水泥，雖然可解決其處置問題，但飛灰本身即是波索蘭材料，再將其投入旋窯燒成不但耗能且無提升飛灰的利用價值。此外，雖然含碳量在 12% 以下的飛灰可應用於預拌混凝土，但此類飛灰數量多，所含少量之未燃碳仍是一項可觀的碳資源，添加於混凝土中只是徒增資源的浪費，而若能在使用前將未燃碳先行分離，不但所含碳資源可以有效利用，且除碳後之飛灰也可靈活應用於水泥熟料或混凝土添加料使用。因此將燃煤飛灰進行分選除碳處理，為有效利用其所含資源物之方式，而目前國際間也相當重視燃煤飛灰之資源化工作，相關除碳處理技術正積極進行中。

2. 特性與分選原理

除碳分選方法包含泡沫浮選法、靜電分選、再燃燒法、流體化床法及篩分

法等，各處理方法之優缺點如表 6.3 所示，其中浮選法較適合由微粒顆粒所構成的煤灰，分選效果也較佳，因此以下就燃煤飛灰中煤灰的浮選技術加以介紹。

浮選是利用氣泡將分散在水中的疏水性礦粒附著，使礦粒附著氣泡上浮濃集於液面形成泡沫層，與存在於水中之親水性礦粒分離。此分選方法是在固-氣-液三相達成平衡的狀態下完成，因此可對具有不同疏水程度的微細礦粒進行有效分選。燃煤飛灰是由粒徑數十微米左右的微細顆粒所構成，其組成顆粒在外貌與成分上略有不同，可分為多孔不規則狀外型的未燃碳粒，以及圓球狀的矽、鋁等氧化物成分，顯示未燃碳與其他氧化物之間為良好的單離狀態，因此有利浮選進行，而且浮選前不需再經過破碎分離等前處理。再者未燃碳顆粒的表面略為疏水性，不同於親水性之矽、鋁等氧化物顆粒，因此燃煤飛灰的浮選技術，即是利用在水中未燃碳顆粒較易附著氣泡，而矽、鋁等氧化物會穩定分散於水中的原理，使未燃碳吸附氣泡後上浮，再將上浮氣泡連同未燃碳刮出達到分選未燃碳的效果。

3. 資源化成效

根據對表 6.1 中 A 與 B 廠燃煤飛灰經過浮選操作所得結果，使用添加量 6kg/Ton 的乳化煤油(Span80+Tween20 的乳化劑)為捕集劑進行浮選，可獲得含碳量為 55%的碳富集部分及含碳 4%之矽鋁質底渣飛灰，碳的去除率為 90%；對於 C 廠燃煤飛灰的處理結果而言，可用 2.5kg/Ton 的添加量乳化煤油添加量，獲得碳品位為 0.5%的矽鋁質底渣飛灰與碳品位為 20%的碳富集部分。所得的矽鋁質底渣進行波所蘭活性指數的試驗結果，得知其齡期 28 天之指數為 88%，(參見表 6.4)，符合 CNS 所規定須高於 75%之規格要求，證實經浮選所得之去碳矽鋁質灰渣不會因為浮選藥劑是否有殘留於其中而對其強度有所影響，可直接再利用於飛灰水泥。

4. 結語

燃煤飛灰的產生量龐大，產量、品質穩定，而且再利用品質規範、法規等也已建立，再利用達到 70%以上，是近年來廢棄物資源化的一個典範。然而目前國內每年仍有數十萬公噸含碳量太高無法再利用之飛灰，針對這些飛灰，應考慮設置除碳的分選處理廠，以避免飛灰掩埋、堆置等問題，使高碳含量的燃煤飛灰與所含碳資源達到更有效的利用。

表 6.1 燃煤飛灰之物理化學性質表

燃煤飛灰 性質及組成	A 廠	B 廠	C 廠
物理性質			
外觀	淺灰色粉末	深灰色粉末	褐色粉末
d ₅₀ (μm)	22.5	51.7	29.3
比表面積(m^2/g)	9.67	18.83	3.40
堆積密度(g/cm^3)	0.61	0.58	0.96
密度(g/cm^3)	2.20	2.07	2.42
化學組成及性質			
SiO ₂ (%)	44.4	34.0	51.8
C(%)	23.3	31.2	6.7
Al ₂ O ₃ (%)	18.6	14.9	19.2
Fe ₂ O ₃ (%)	2.2	8.6	6.1
CaO(%)	0.7	3.4	3.3
MgO(%)	0.6	0.4	1.8
Na ₂ O(%)	1.3	1.1	1.4
K ₂ O(%)	0.7	0.5	0.8
TiO ₂ (%)	0.4	1.0	1.1
SO ₃ (%)	0.8	0.1	0.5
pH 值*	8.1	8.5	9.5

資料來源：楊長浩，燃煤飛灰資源化之研究，碩士論文，成大資源工程所，89 年 7 月

表 6.2 飛灰作為混凝土添加料或水泥熟料之物化性質規範

	CNS3036 混凝土添加用飛灰		CNS11271 水泥熟料用飛灰
	C 類	F 類	
化學性質			
CaO(%)	>10	<10	
SiO ₂ (%)			> 45
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ (%)	> 50	> 70	
MgO (%)	<5	<5	
SO ₃ (%)	<5	<5	
有效鹼 (%，以 Na ₂ O 計)	<1.5	<1.5	
燒失量 (%)	<6	<12	<5
含水量 (%)	<3	<3	<1
物理性質			
停留 45 μm 篩量 (%)	<34	<34	<34
比表面積 (cm ² /g)			> 2400
熱壓膨脹率 (%)	<0.8	<0.8	
與卜特蘭水泥攪合，經 28 天之強度比(%)*	> 75	> 75	> 75
與石灰混合 7 天強度(MN/m ²)	> 5.5	> 5.5	
需水量(%)**	<105	<105	<105

*飛灰以體積量 35%取代水泥拌合養生後，所測得抗壓強度與水泥試體之比

**飛灰以體積量 35%取代水泥拌合所需水量與水泥試體之比

表 6.3 各種分選處理法對分選飛灰中未燃碳之適用性評估

	泡沫浮選法	靜電分選法	流體化床法	再燃燒法	過篩法
分選原理	表面疏水性質	導電性差異	比重大小	燃燒氧化未燃碳	粒度大小
優點	分選礦粒之粒度範圍較廣	乾式分選	乾式分選	乾式處理	方式簡便、乾式分選
缺點	須使用大量的水，分選所得產物須脫水	小於 100μm 者分選效率低	大顆粒之未燃碳易沉於底部	須供給能量	細粒篩分效率低

資料來源：楊長浩，燃煤飛灰資源化之研究，碩士論文，成大資源工程所，89 年 7 月

表 6.4 飛灰原樣與尾礦之波索蘭活性指數試驗結果

	齡期 7 天	齡期 28 天
原樣	60.2%	70.6%
浮選去碳之產物	71%	88.1%

資料來源：楊長浩，燃煤飛灰資源化之研究，碩士論文，成大資源工程所，89 年 7 月

6.2 高爐煉鐵煙塵之分選案例

1. 前言

鋼鐵公司在煉鐵煉鋼過程由爐子所排出的煙氣經過集塵收集之粉塵，稱為煙塵，煙塵以水洗沉澱及脫水處理後之產物稱為礦泥，其成分大部分為赤鐵礦、碳酸鈣及碳，因為含鐵量甚高，若能重新回爐使用則每年約可回收約 10 萬公噸的煉鐵原料，但是礦泥中含有少量之鉛、鋅等妨礙冶煉元素，若大量回爐會造成這些元素的累積，不利於冶煉操作。例如鋅會在高爐下部被一氧化碳所還原而形成鋅的蒸氣，一部分生成細微氧化顆粒與其他物質附著於爐喉與升流管壁上；一部分則附著於爐的內襯而損壞爐壁。而鉛則在爐內被還原後沉積在爐床表面或滲入爐壁中造成爐壁內襯損壞。因此妨礙冶煉元素若能以經濟而有效之方法去除，則煙塵礦泥可以作為原料而重新冶煉，除了節省原料成本並達到資源再利用的目的。

2. 高爐煉鐵煙塵特性與分選原理

(1) 煙塵特性

本案例所提的高爐煙塵是某鋼鐵廠(A 廠)所產生的情形，該公司之鋼鐵年產量約有 565 萬公噸，每天生產量約有 15,000 公噸，由表 6.5 的礦泥發生量來推算，高爐礦泥每天的產量約為鋼鐵產量的 0.8%，轉爐礦泥每天產量約為鋼鐵產量的 1.2%，礦泥總量約為鋼鐵產量的 2%。

表 6.5 A 廠高爐礦泥發生量 (公噸/天)

	1、2 階	3 階	總量
高爐礦泥 (乾基)	75	50	125
轉爐礦泥 (乾基)	105	70	175
總量	180	120	300

資料來源：張金樹，煉鋼高爐煙塵資源化之基礎研究，碩士論文，民國 79 年

高爐礦泥中所含的主要元素為鐵與鈣，其他微量元素為矽、鋁、鋅、鉀、硫及錳。礦泥中固體結晶相主要為赤鐵礦、碳酸鈣、磁鐵礦及石墨。而掃描式電子顯微鏡(SEM)則顯示出高爐礦泥粒徑分布範圍廣泛，大者有數十微米 (μm)，而小者僅數微米，且有小顆粒沾附在大顆粒表面上，經由電子顯微探針分析(EPMA)發現鋅、鉛等微量元素是以細微粒附著於大顆粒上。

由以上的觀察可以知道礦泥中所含的鉛、鋅元素應屬微細顆粒，因此就以此等礦泥進行篩分與分級並對各篩級的成分加以分析，結果如表 6.6 所示。

表 6.6 高爐礦泥各篩級之化學成分分析結果(樣品 A)

樣品 粒徑 (μm)	Zn(%)		Pb(%)		K(%)		Na(%)		Fe(%)		C(%)		Fe ₂ O ₃ +C 品位合 計(%)
	品位	累 積 分 佈 率	品位	累 積 分 佈 率	品位	累 積 分 佈 率	品位	累 積 分 佈 率	品位	累 積 分 佈 率	品位	累 積 分 佈 率	
+147	0.10	100.0	0.06	100.0	0.08	100.1	0.07	100.0	11.74	100.1	69.52	100.1	86.31
-147/+105	0.12	98.9	0.06	98.0	0.08	93.1	0.08	95.3	15.97	97.2	57.95	86.6	80.79
-105/+74	0.14	97.3	0.07	95.4	0.05	84.1	0.07	88.5	16.57	92.2	51.79	72.2	75.49
-74/+53	0.18	94.7	0.10	91.2	0.07	76.4	0.10	80.4	30.90	85.2	31.30	54.7	75.49
-53/+38	0.26	90.4	0.12	83.7	0.05	62.8	0.08	65.7	32.99	68.6	21.32	41.3	68.50
-38	0.79	83.6	0.22	73.8	0.06	52.1	0.08	52.7	20.45	49.1	16.34	31.3	45.58
-30	0.80	74.1	0.22	64.5	0.07	53.1	--	--	17.26	43.0	16.07	26.9	40.75
-20	0.87	71.2	0.23	59.7	0.07	47.0	--	--	15.30	28.4	16.45	24.3	38.33
-10	0.97	57.8	0.26	49.1	0.07	34.2	--	--	14.12	19.1	16.28	17.5	36.47
-5	1.12	38.0	0.36	38.8	0.10	27.9	--	--	13.21	10.2	15.80	9.7	34.69
原品位	0.50		0.16		0.06		0.08		22.19		27.85		

資料來源：張金樹，煉鋼高爐煙塵資源化之基礎研究，碩士論文，民國 79 年

從表 6.6 觀察元素鋅、鉛的品位變化發現：鋅、鉛的品位隨著粒徑的減小而有增加的趨勢，且大部粒度份均分佈在 $38\mu\text{m}$ 以下，因此若以 $38\mu\text{m}$ 作為分選的分隔點，則可將鋅去除 80% 以上；鉛的品位與粒度變化趨勢與鋅相類似。而鐵的回收率約為 50% 左右，由於該分選的粒度甚小，因此考慮利用處理量大且操作簡單的濕式渦錐(hydrocyclone)來處理高爐礦泥。

(2)分選原理

濕式渦錐分離原理是將礦漿利用壓力送入渦錐機，礦漿沿圓筒部分以切線方向運動，因離心力、重力作用，較粗重的礦粒循錐形部向下而由尾部開口排出成為排礦(underflow)，而較細粒的礦粒則由漩渦管上升至頂部開口溢流而成為溢流礦(overflow)。因顆粒在渦錐中受到兩種力量作用，一種是離心力，另一種則是拖曳力，當 $F_c > F_d$ 時顆粒傾向進入排礦端；而 $F_c < F_d$ 時顆粒較不易隨著上升渦流上升在頂端被收集而形成溢流礦。

3.資源化成效

本案例利用濕式渦錐分選脫除高爐礦泥的妨礙成分，實驗操作條件如下：礦漿濃度：固液比為 1/10；輸送壓力：7 psi。

應用上述條件將高爐礦泥礦漿送入濕式渦錐，分離所得的溢流礦與排礦，並進行粒度分析，結果如表 6.7 所示，可以回收約 55%。

表 6.7 高爐礦泥經渦錐處理後之粒度分佈

樣品類別	wt(%)	粒徑 (μm)									
		+147	-147 +105	-105 +74	-74 +53	-53 +38	-38 +30	-30 +20	-20 +10	-10 +5	-5
溢流礦	44.4	1.04	2.82	3.37	4.65	6.01	5.21	2.83	10.78	23.4	39.89
排礦	55.6	8.5	14.90	13.75	18.24	16.25	11.70	3.80	5.62	2.93	4.29

資料來源：張金樹，煉鋼高爐煙塵資源化之基礎研究，碩士論文，民國 79 年

表 6.8 高爐礦泥經濕式渦錐處理後的溢流礦各粒度成分分析

粒徑 (μm)	Fe		Zn		Pb		K		Na	
	品位 (%)	累積分 佈率(%)	品位 (%)	累積分 佈率(%)	品位 (%)	累積分 佈率(%)	品位 (%)	累積分 佈率(%)	品位 (%)	累積分 佈率(%)
+147	8.11	100.0	0.27	99.9	0.14	100.1	0.07	99.9	0.04	100.0
-147 +105	10.36	99.6	0.21	99.5	0.14	99.5	0.03	98.7	0.02	98.1
-105 +74	13.33	98.2	0.24	98.8	0.18	97.8	0.06	97.3	0.04	95.5
-74 +53	17.20	96.1	0.21	97.8	0.11	95.2	0.05	93.9	0.03	89.4
-53 +38	18.38	92.3	0.23	96.6	0.12	93.0	0.06	89.9	0.03	83.1
-38	22.44	87.1	0.92	94.9	0.26	90.0	0.06	83.8	0.02	73.8
-30	21.11	76.7	0.94	90.8	0.25	81.0	0.06	78.4	--	--
-20	21.03	73.6	0.97	90.3	0.25	78.0	0.06	75.6	--	--
-10	21.07	63.0	1.07	85.1	0.29	77.4	0.07	75.3	--	--
-5	20.52	38.7	1.57	78.7	0.38	63.9	0.09	61.1	--	--

資料來源：張金樹，煉鋼高爐煙塵資源化之基礎研究，碩士論文，民國 79 年

表 6.9 高爐礦泥經濕式渦錐處理後的排礦各粒度成分分析

粒徑 (μm)	Fe		Zn		Pb		K		Na	
	品位 (%)	累積分 佈率(%)	品位 (%)	累積分 佈率(%)	品位 (%)	累積分 佈率(%)	品位 (%)	累積分 佈率(%)	品位 (%)	累積分 佈率(%)
+147	10.79	100.1	0.08	100.0	0.05	100.0	0.06	99.9	0.02	100.0
-147 +105	19.44	96.4	0.08	94.5	0.06	94.8	0.05	88.6	0.03	96.3
-105 +74	22.84	84.9	0.09	84.8	0.07	83.8	0.05	72.2	0.04	86.8
-74 +53	27.37	72.4	0.09	74.8	0.08	72.0	0.06	57.1	0.04	75.1
-53 +38	30.90	52.5	0.10	61.5	0.08	54.1	0.04	33.0	0.05	59.6
-38	28.79	32.5	0.21	48.3	0.11	38.2	0.03	18.7	0.07	42.3
-30	24.86	16.5	0.28	37.8	0.14	28.5	0.03	11.0	--	--
-20	20.89	10.7	0.30	31.2	0.16	25.2	0.03	8.5	--	--
-10	14.77	4.2	0.53	31.0	0.23	20.3	0.05	7.9	--	--
-5	12.74	2.2	0.74	25.7	0.35	18.4	0.04	3.8	--	--

資料來源：張金樹，煉鋼高爐煙塵資源化之基礎研究，碩士論文，民國 79 年

而由溢流與排礦的各粒度成分分析結果如表 6.8 及 6.9，發現鐵的回收率約 65%，鋅、鉛的去除率可以達到 75% 以上，結果與國外學者如 Shigetoshi Uno，Akitoshi Shigemi 及 Yuichiro Itoh 等人使用濕式渦錐來脫除煙塵中的鉛、鋅可以達到 75%~80% 的去除率結果接近。該處理方式有助於將脫除鉛鋅元素的排礦重新回爐作為冶煉原料。

4. 結語

高爐礦泥的主要組成礦物為赤鐵礦、磁鐵礦石墨及石灰石，與高爐的給料相類似，若將妨礙冶煉的元素如鉛、鋅等大部分脫除後，可以回爐重新利用。高爐礦泥中所含的微量元素如鉛、鋅成分是以微細粒附著於大顆粒的鐵礦石或石灰石的表面。另外從鋅、鉛的品位變化發現鋅、鉛的品位隨著粒徑的減小而增加，粒徑在 $38\mu\text{m}$ 以下礦泥中，鋅、鉛的分佈率佔有 70% 以上。因此利用濕式渦錐進行分選工作後，可以將高爐礦泥中的大部分鉛、鋅脫除，將回收排礦

55%左右，而鐵的回收率約 65%，且鋅、鉛的去除率可以達到 75%以上，經處理後的高爐礦泥可回爐重新利用，並減少廢棄物的發生量。

6.3 鋼鐵冶煉爐渣分選案例

1. 前言

鋼鐵工業為國家工業之母，與下游工業具有高度的關聯性，鋼鐵產品可以供應金屬製造業、機械業及土木營建工程等範圍廣泛的產業所使用。隨著工業的發展，鋼鐵的消費量至民國 82 年已成長至每年 2,500 萬公噸，但是鋼鐵製程中需使用大量的鐵礦砂、焦炭及助熔劑等原料，平均生產 1 公噸的生鐵約需 2.6 公噸的原料，其餘的 1.6 公噸除了轉變成二氧化碳部分，大多以爐石(渣)的型態排出，煉鋼製成之中，排出的爐渣區分為高爐石、轉爐石及脫硫渣等，如圖 6.1 所示。過去為了處置這些數量龐大的爐渣，多以拋棄或掩埋的方式處理，但是廢棄物與資源事實上只是一念之間，尤其在資源過度開發而造成天然資源持續耗竭的情形下，資源化的工作是一項非做不可的選擇。

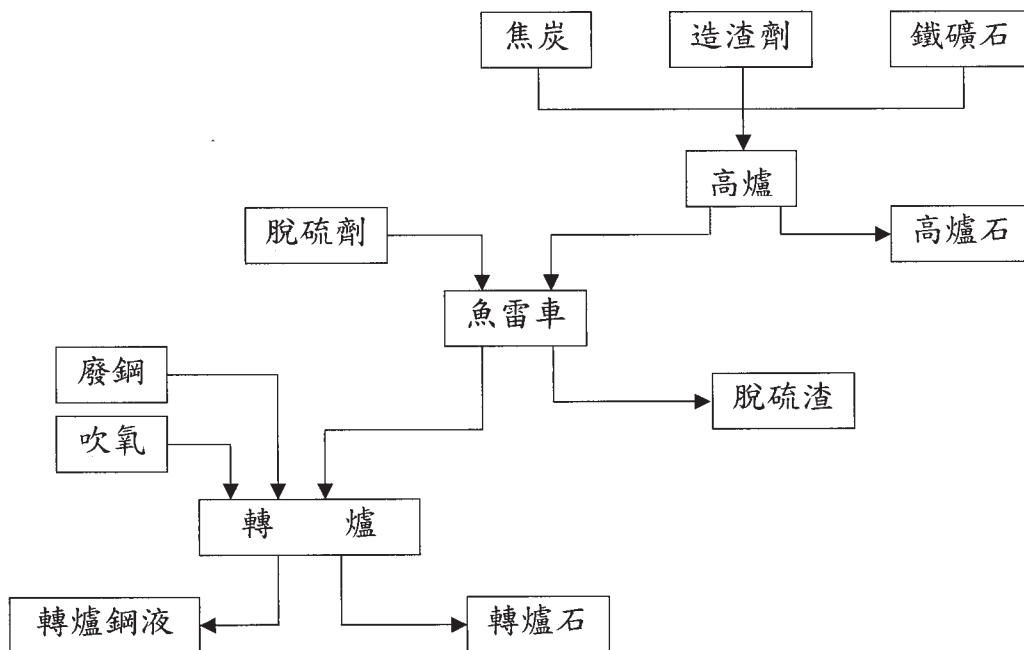


圖 6.1 鋼鐵冶煉流程圖

2. 鋼鐵冶煉爐渣特性與分選

(1) 爐渣特性

鋼鐵冶煉過程所產生的爐渣種類及其化學組成如表 6.10 所示，高爐每生產 1 公噸生鐵會伴隨產出約 0.3 公噸的高爐石，而轉爐生產 1 公噸粗鋼則約產生 0.13 公噸的轉爐石。因為數量大，基於解決堆置問題與資源再利用的因素，爐石資源化是目前最為人所熟知的鋼鐵廢棄物資源化技術，其中高爐石因處理方法不同，區分為水淬高爐石與氣冷高爐石，水淬高爐石是噴水使其急速冷卻造成結構型態缺陷多，容易受到外界引發觸媒作用而進行水化作用，其利用方式有下列三種：

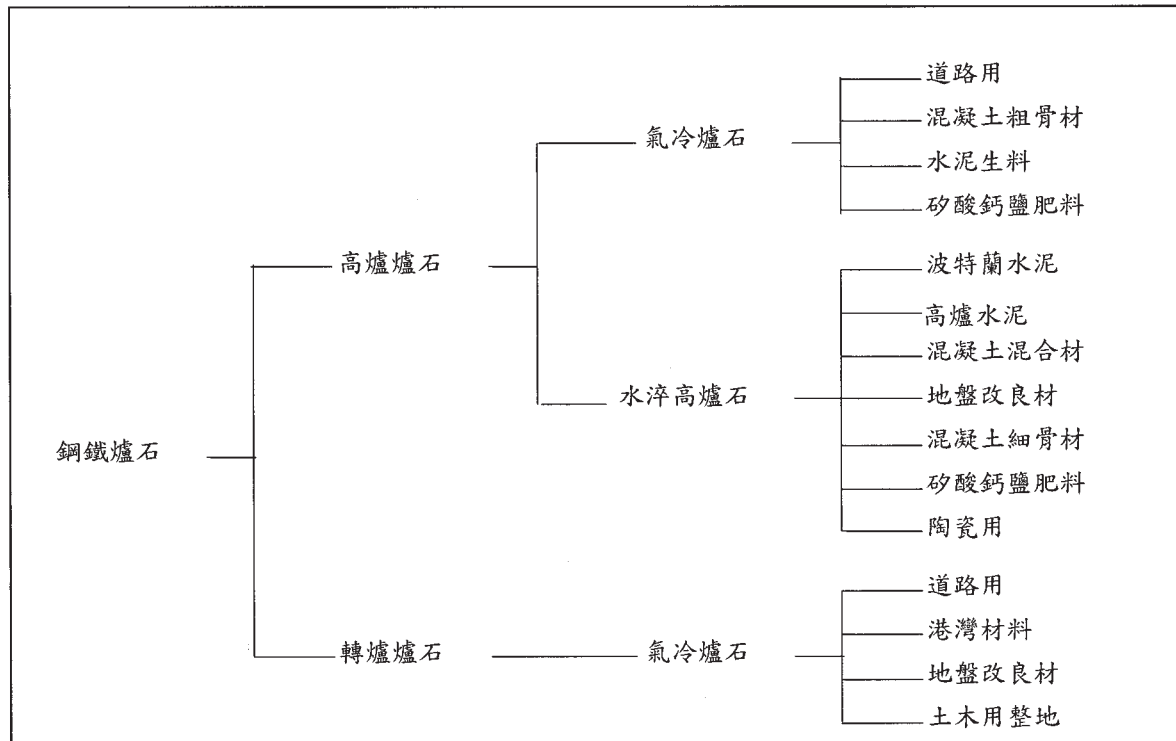
- A. 作為水泥原料與石灰石、砂砂、黏土等一起燒成水泥熟料後，再摻入石膏研磨成水泥。
- B. 作為水泥熟料，研磨後與水泥混合；或與水泥熟料先行混合再一起研磨，製成波特蘭水泥或波特蘭高爐水泥。
- C. 先行研磨成粉運送至工地取代部分水泥。

而氣冷高爐石是利用空氣緩慢冷卻，因此結晶成長良好，可以應用在路基材料、混凝土骨材、玻璃助熔劑、酸性土壤改良劑等用途，但是因為水淬爐石的利用價值高，因此氣冷高爐石有逐漸被水淬爐石取代的趨勢。另外轉爐石因為富含鐵份，在處理過程常會增加機械設備磨損與故障，而且吸水反應後會造成體積膨脹等問題，因此目前多用於整地處理，少部分則回收添加至高爐，作為調整成分使用，其詳細的資源化用途如圖 6.2。

表 6.10 鋼鐵冶煉廠爐渣種類及化學組成

分類	名稱	化學組成
爐石及爐渣	高爐石	CaO、MgO、SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 、S、FeO、MnO、TiO ₂
	轉爐石	CaO、MgO、SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 、S、FeO、MnO、TiO ₂
	脫硫渣	Fe、C、CaO、MgO、SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 、S、MnO
	鋼液渣	CaO、SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 、Fe、MnO
	底灰	CaO、MgO、SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 、Fe ₂ O ₃ 、P ₂ O ₃ 、TiO ₂
	焊渣	SiO ₂ 、MgO、MnO、Al ₂ O ₃ 、Cr、Mo
	鋁渣	Al、CaO、MgO、SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 、Fe
	鉛浴爐渣	PbO、C

資料來源：經濟部，鋼鐵業廢棄物資源化案例彙編，民國 85 年。



資料來源：經濟部，鋼鐵業廢棄物資源化案例彙編，民國 85 年

圖 6.2 高（轉）爐石資源化用途

脫硫渣是因為鐵水含有矽、磷、硫等妨礙鋼鐵品質的成分，因此在鐵水進入轉爐前需添加脫硫劑、脫矽劑、脫磷劑將鐵水中的妨礙元素去除，經上述處理所產生的殘渣統稱為脫硫渣。由於脫硫渣中除了含有大量的 α -鐵是一項值得資源再利用的物質，且脫硫反應時因為一氧化碳濃度的增濃而產生了積碳的現象，稱為 Kish Graphite，其含量在脫硫渣中約佔 3%~4%，此石墨除了結晶性比天然石墨高之外，其餘的柔軟性、潤滑性、疏水性、導電(熱)性及耐酸鹼等特性均與天然石墨相同，可以替代天然石墨在工業上的用途，是一項極具開發潛力的再生資源，因此以下則針對脫硫渣的資源處理作一介紹。

(2)分選方法

- A.經由差別粉碎脫硫渣，再以磁選回收 α -鐵提高含鐵品位，以供為煉鐵原料。
- B.利用浮選方法回收石墨並提高石墨品位。

C.將去除 α -鐵、石墨的脫硫渣，利用高溫水蒸氣去除硫化鈣，使其能夠循環再利用。

3.資源化成效

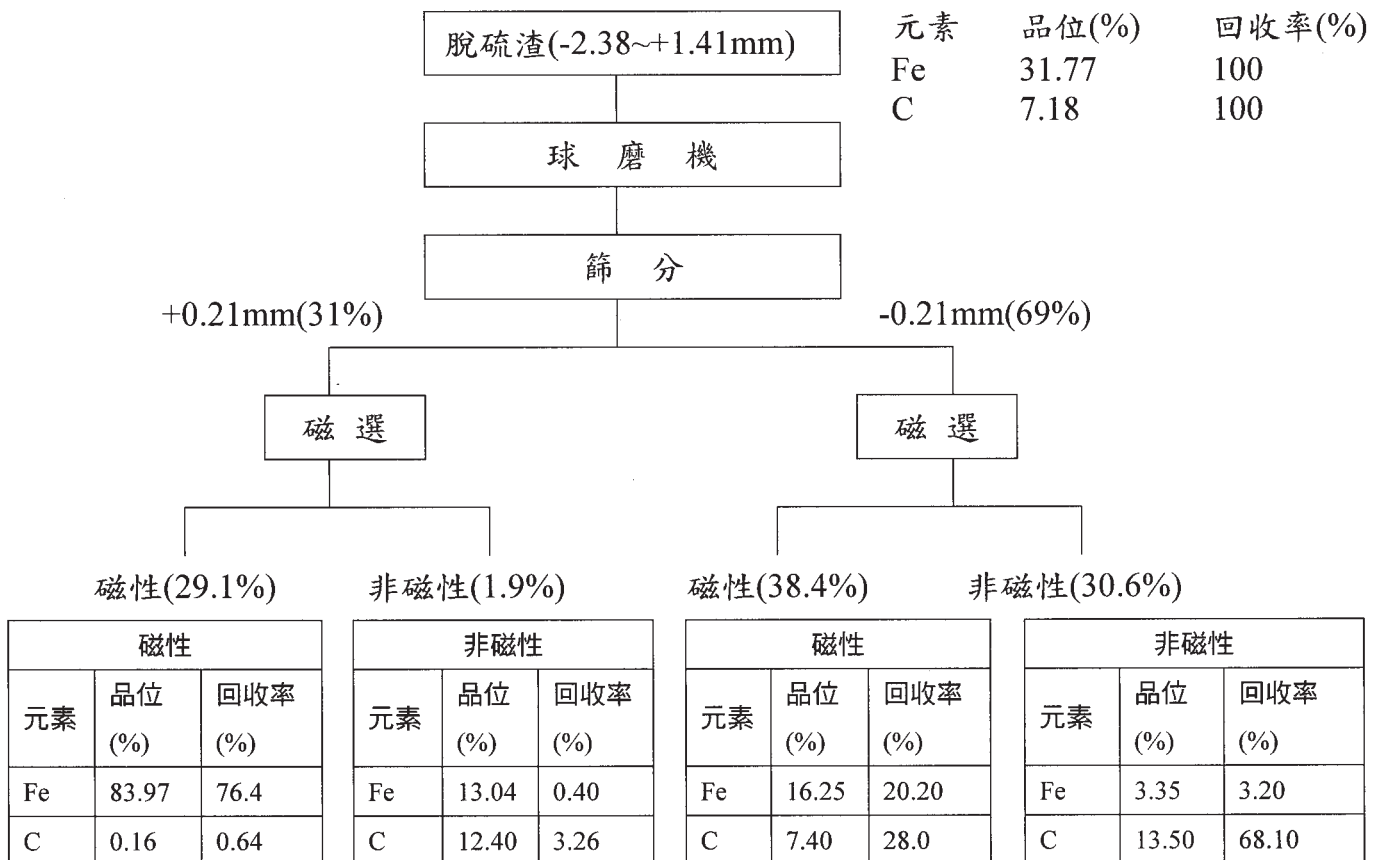
脫硫渣中鐵粒、石墨在各粒級的分佈情形如表 6.11，由表中可以發現大於 2.38mm 顆粒的含鐵量佔脫硫渣中鐵含量的 80.2%且品位均高於 40%。顯示大於 2.38mm 的顆粒含有大量的鐵粒，至於石墨品位則隨粒度減小而增加，顯示石墨富集在 1mm 以下的脫硫渣中。

表 6.11 脫硫渣不同粒度的鐵品位與石墨品位的分析結果

篩級(mm)	+50	-50/ +9.5	-9.5/ +2.38	-2.38/ +1.41	-1.41/ +1.19	-1.19/ +0.5	-0.5/ +0.295	-0.295/ +0.21	-0.21/ +0.15	-0.15/ +0.104	-0.104/ +0.053	-0.053
重量(%)	17.2	27.7	18.0	6.5	2.4	8.9	3.3	4.2	1.9	2.5	3.7	3.7
篩下累積 (%)	100.0	82.8	55.1	37.1	30.6	28.2	19.3	16.0	11.8	9.9	7.4	3.7
鐵(%)	60.3	50.1	45.0	41.8	32.1	28.7	18.1	12.9	11.6	18.3	6.3	4.1
含鐵量(%)	25.7	34.4	20.1	6.7	1.9	6.3	1.5	1.3	0.5	0.5	0.6	0.4
石墨(%)	1.8	2.1	2.6	3.7	4.4	5.6	6.2	7.3	7.0	6.9	3.9	3.0
含石墨量 (%)	9.5	17.8	14.3	7.3	3.2	15.2	16.2	9.4	4.1	5.3	4.4	3.4

資料來源：傅彥培，煉鋼脫硫渣資源化之基礎研究，碩士論文，民國 84 年。

在以粉碎磁選處理程序回收 α -鐵時，需考慮粘結在小鐵粒的脫硫渣未達到有效單離，而無法有效提高著磁物的鐵品位。因此先將乾燥脫硫渣以滾輪碎礦機粉碎，再篩分為 2.38~1.41mm、1.41~0.5mm、0.5~0.21mm、0.21mm(65 目)以下等不同粒徑的樣品。以 2.38~1.41mm 的脫硫渣樣品為例，先對該樣品球磨 2 小時後以 65 目(0.21mm)的篩網過篩，將篩上與篩下物分別磁選分離，結果如圖 6.3，篩上物經磁選後的磁性部分可以將鐵的品位提昇至 84%，而回收率則為 76.4%。而非磁性部分的石墨品位由 0.91%提昇至 12.4%，回收率有 68.1%，由此可知脫硫渣經粉碎、磁選後，大部分石墨成為篩下物或非磁性物。



資料來源：傅彥培，煉鋼脫硫渣資源化之基礎研究，碩士論文，民國 84 年。

圖 6.3 脫硫渣粉碎、磁選的分選結果

以上各粒級利用粉碎、磁選後，可以將各篩級篩上物磁性部分的鐵品位提昇至 84%~64%，可供為轉爐與高爐的原料。

而磁選回收 α -鐵後，所剩餘的殘渣中含有豐富的石墨成分，由於石墨表面易呈非極性，在水中成為疏水性，因此具有自然浮游性，可用浮選方法將石墨回收，由於石墨表面可能有脫硫渣被覆造成表面疏水性不佳，因此需利用球磨使石墨顆粒獲得充分的單離，脫硫渣球磨後的浮選結果如表 6.12，顯示石墨品位隨球磨時間延長而提高，回收率則有下降趨勢，因此以球磨 30 分鐘最為適宜，可以獲得品位 76%，回收率 89% 的石墨精礦，再將石墨精礦以 80°C，6N HCl，浸漬時間 2 小時及 10%HF，浸漬時間 1 小時的處理程序後，可以獲得固定碳為 99% 以上的高純度石墨，可供為鉛筆心、特殊塗料、特殊潤滑油、乾電池、粉末冶金之用。而浮選所產生的強鹼性廢水，經循環使用發現對脫硫渣中

的石墨浮選仍然有效，因此可以形成閉迴路的浮選系統，不致因浮選尾水排出而造成污染。

表 6.12 不同球磨時間對脫硫渣浮選石墨結果的影響

球磨時間	浮選次數	重量百分比(%)	石墨品位(%)	回收率(%)
15 分鐘	一次精礦	50.00	36.41	99.10
	一次尾礦	50.00	0.35	0.89
	二次精礦	33.65	52.70	96.75
	二次尾礦	16.35	1.14	1.02
	三次精礦	27.45	62.67	93.85
	三次尾礦	6.20	8.60	2.90
30 分鐘	一次精礦	37.24	48.63	98.53
	一次尾礦	62.76	0.43	1.47
	二次精礦	25.14	71.12	97.00
	二次尾礦	12.10	4.97	3.00
	三次精礦	21.42	76.18	89.02
	三次尾礦	3.72	36.48	7.40
60 分鐘	一次精礦	37.39	48.50	98.93
	一次尾礦	62.61	0.40	1.07
	二次精礦	23.67	64.28	83.01
	二次尾礦	13.72	4.80	3.59
	三次精礦	20.24	72.50	80.05
	三次尾礦	3.43	35.00	6.55

資料來源：傅彥培，煉鋼脫硫渣資源化之基礎研究，碩士論文，民國 84 年。

由以上可知，脫硫渣中的鐵與石墨成分可以利用粉碎磁選與浮選的方法回收。由於脫硫劑主要成分為 CaO，因此磁選與浮選後的剩餘殘渣中含有 CaO 與因硫化所生成 CaS，而 CaS 是一種非常穩定的物質，需要利用高溫的水蒸氣使部分分解為硫化氫，因此將脫硫渣在沸水加熱 1 小時後，可以將脫硫渣中的硫去除 50%，降低脫硫渣中的硫對環境生態影響的風險，甚至有機會回到製程中再重新作為脫硫劑使用。綜合以上所述，脫硫渣可以圖 6.4 的處理程序進行處置。

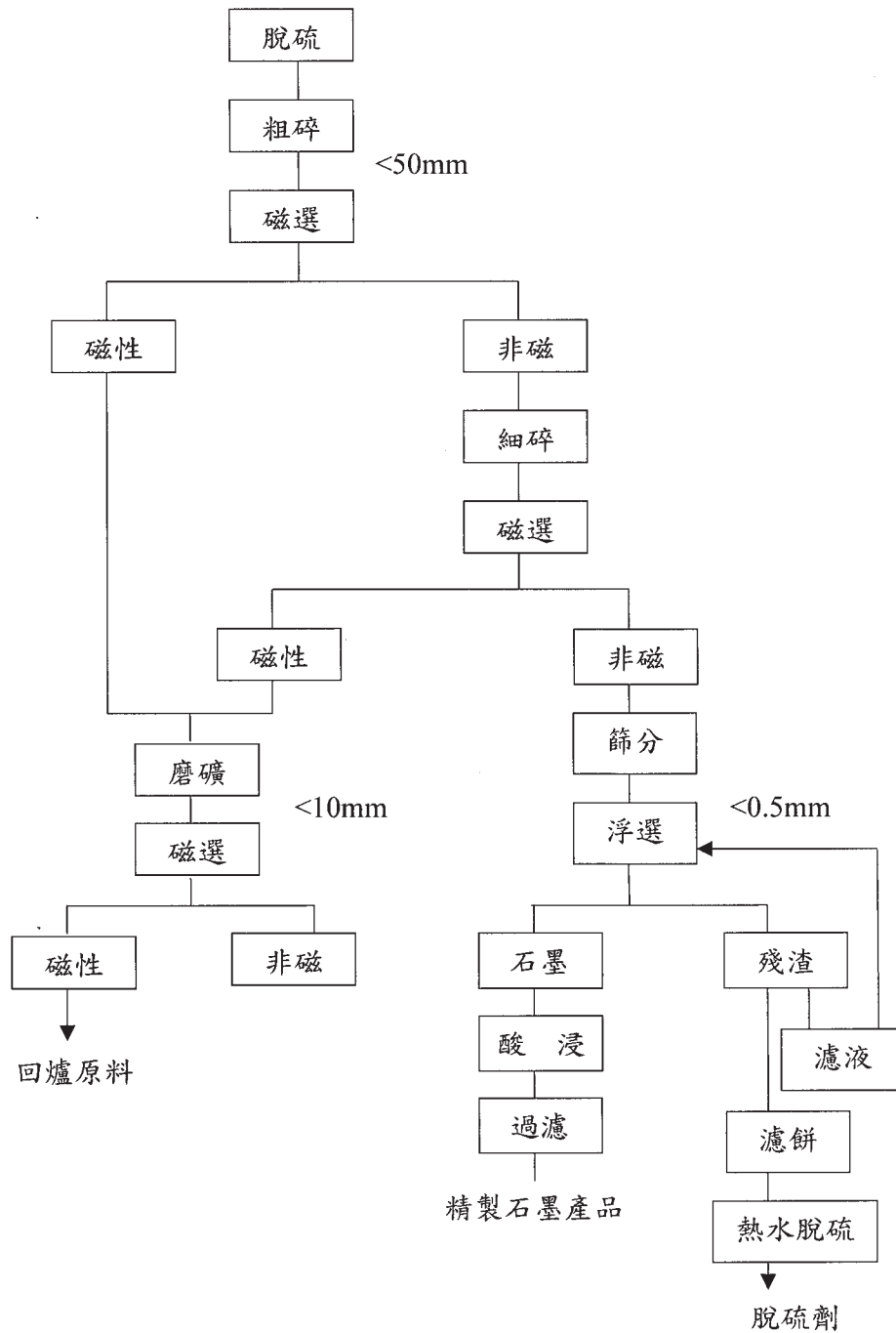


圖 6.4 脫硫渣處理流程

4. 結語

鋼鐵冶煉過程中會產生不同類型的爐渣，過去多以拋棄方式處理，由於爐渣數量大，掩埋需要大量空間，高爐石與轉爐石資源化技術的開發除了將水淬

爐石作為水泥原料的處理方式外，其他類型的爐渣中可能含有其他有價值的物質或妨礙重新利用的元素。因此利用爐渣組成物質的物理化學性質，將各種有用物質分別分選後回到製程中重新應用或開發新素材，才是未來廢棄物資源化的方向。

6.4 混合五金廢料分選案例

1. 前言

一般所謂混合五金廢料，通常是指包含有鐵、銅、鉛、鋅、鋁等有價金屬(value metal)之廢料(scrap)，舉凡廢電線、廢電纜、廢引擎、廢馬達、廢電器、廢電路板等皆屬之，種類繁多。台灣地區曾有一段很長的時間，開放國外的廢五金進口，相關業者利用土法煉鋼方式或自行開發技術或引進國外技術，自混合五金廢料中回收多項金屬物資，從中獲得豐厚之經濟利益，並為國家累積了豐富可觀的外匯。然而，由於當時的經濟環境並未特別注意處理過程所產生環境污染的問題，加上環境保護管制法規並不完備，以致於在大發、灣裡地區常有不肖業者露天燃燒廢五金或將回收金屬所使用的酸蝕液任意排放等事件發生，造成嚴重的戴奧辛與重金屬污染水體及土壤的環境污染問題。民國 76 年環保署成立以來，陸續增訂環保法規，對於廢五金之進口及處理所可能引起的二次污染加強管理，但仍無法有效加以管制非法情事發生。有鑑於此，政府於民國 82 年起全面禁止混合五金廢料之進口，國內相關業者處理的混合五金廢料來源則由進口改變為國內自產，其來源大致歸納如表 6.13 所示。

根據環保署委託中技社進行「有害事業廢棄物清理管制計畫—管制中心第三年」研究報告(1999.6)指出，國內事業機構所產生的金屬廢料、金屬屑、金屬容器、廢電線、廢電纜等混合五金廢料的年產生量約有 11 萬多公噸。另外，依據行政院環保署統計資料，91 年度廢家電回收統計數量約為，廢電視機 54 萬台，廢洗衣機 27 萬台，廢電冰箱 35 萬台，以及廢冷暖氣機 19 萬台共約 5 萬 1 千公噸，其中廢五金共約 2 萬 7 千公噸。由此可知，國內混合五金廢料的年回收量總和可達 14 萬公噸，種類則以廢電器物品、事業機構標售之廢電線電纜、高科技工業之電子廢料為主。

由於混合五金廢料來源的改變，連帶會改變包括其性質、目標金屬(target metal)的含量等。由於，處理原料性質變化的結果，其中所能回收的有價金屬

含量降低，應加上環保法令的規定逐漸加嚴，造成傳統廢五金處理業的營運困難。因此，近年來政府相關主管機關積極輔導位於大發及灣裡專業區的傳統再生業者轉型為廢棄物處理業者，經由環境保護署資源回收基金管理委員會大力推行四機一腦回收的努力、廢棄物清理法的修正、以及今日高科技電子資訊產業的快速發展等因素誘導下，已引起另一波業者投資設廠處理電子廢料的風潮，國內目前已取得處理或清理許可證或正在申請許可之處理廠多達 22 家，其中又以電子電器及電腦器材廢料為各處理廠的熱門處理項目。

表 6.13 台灣地區混合五金廢料的來源

來源	內容
軍品廢料	此廢料以國軍報廢之器材為主，種類繁雜，包括各種特殊車輛、戰車、飛機、武器零件及通訊器材等。
電力設備廢料	主要項目有電纜電線、發電機兩大類，包含國營事業單位（如台電公司）所產生之廢電線電纜，以及較小型的發電機類、變壓器及各項電力零件。
電話通訊器材廢料	主要項目廢電線電纜、廢電話機、廢電信交換機三大類，其中廢機械式交換機有逐漸被廢電子式交換機取代的趨勢。
電子電器及電腦器材廢料	包括印刷電路板、廢 IC、廢電阻、廢電容器、廢連接器、廢電腦、廢印表機、廢冰箱、廢冷氣機、廢洗衣機、廢電視機等。
其他雜項廢料	項目種類繁多，大部分來自老舊建築物或報廢之工廠設備，如馬達類、雜電線、電器用品類、電話主副機、發報機等。此類廢料之種類、數目與成分均不定。

2. 特性與分選

關於混合五金廢料處理技術之分類，可依回收之目標金屬區分為基本金屬（紙鐵、銅、鋁等）及貴金屬（金、銀、鉑、鈮等）兩類。基本金屬的回收處理技術主要為拆解、分類、粉碎及焚化等程序，屬中間處理方法，目的為取得符合基本金屬冶煉廠進料規格之金屬，將其售予冶煉廠，利用乾式冶金方法（pyrometallurgy）製成金屬原料，如廢家電、廢通訊器材、廢電線電纜等中的鐵、銅、鋁等。而貴金屬的回收技術則是先經拆解、分類、粉碎、富集等前處理技術，再經酸洗、溶蝕、剝離、電解、精煉等濕式冶金技術（hydrometallurgy），所得之貴金屬大都供給為銀樓業界之料源，如廢 IC 板、金手指中的金、銀、鉑、鈮等。

由於混合五金廢料的來源種類多，來源不同內含目標金屬的性質也會不

同，因此，就廢棄物處理業中以混合五金廢料為主要處理對象的廢電線、電纜與廢家電之分選處理介紹如下，而至於電子廢料之分選實例則於 6.5 節介紹。

(1) 廢電線、電纜

廢電線、電纜所涵蓋產品種類多，主要為電力電纜及通訊電纜，國內的年產生量約 2~3 萬公噸左右，多由事業機構採標售方式，由相關業者予以回收處理。另外，電線、電纜製造廠生產過程中所產生之不良品每年約有 2~3 千公噸，採廠內自行回收或標售方式處理之。

目前，多數業者所採用的處理流程包含拆解、剪裁、粉碎、篩選等程序，如圖 6.5 所示。廢電線、電纜經拆解後，先以人工控制方式，以油壓式破碎機將其剪斷，控制每段長度在 10~20 公分之間，再以輸送帶送入粗粉碎機中，經此粗粉碎過程，可將廢電線電纜之尺寸規格降至每段 1 公分以下。此程序進行中已有部分金屬銅達到單離，再經由震動篩分機將這些金屬銅移出，送進選別機中，將金屬銅粒、塑膠顆粒(絕緣物)及中間產品(帶有絕緣物的金屬粒)予以分離，其中間產物可再送回二次粉碎機再行處理，若含鐵質則需進行磁選；至於剩下仍被塑膠包覆著的金屬銅則進入細粉碎機中，進行第二次及第三次粉碎，將粒徑減少，以進一步提高金屬銅與塑膠的單離效果。而其後接上選別機則是運用震動與輔以風選的方式來將塑膠及金屬銅分離，以獲得金屬銅含量達 99.5% 以上的金屬銅，而塑膠部分中的金屬銅含量則控制在 0.5% 以下，有時塑膠回收業者會要求塑膠的雜質要少，則塑膠部分必須再送入搖洗桌進行後續處理。另塑膠部分再利用水洗程序可將 PVC 與 PE 材質塑膠進行分類。

表 6.14 為某專門從事廢電線電纜之處理機構所採用之處理設備及相關設施，其主要功能就是利用破碎粉碎及物理分離的原理，將廢電線電纜破碎成顆粒狀，再利用比重、磁力或靜電分選方法，將廢電線電纜中的銅及塑膠包覆材質分離，達到分選回收的目的。

表 6.14 某處理機構之處理設備及相關設施

設備或設施	規 格
裁剪機	馬力：10HP 規格：540cm(L)×165cm(W)×235cm(H)
粗粉碎機	馬力：50HP 規格：243cm(L)×188cm(W)×217cm(H)
中粉碎機	馬力：30HP 規格：180cm(L)×120cm(W)×180cm(H)
細粉碎機	馬力：30HP 規格：162cm(L)×118cm(W)×179cm(H)
乾式振動分離機	馬力：2HP 規格：282cm(L)×125cm(W)×195cm(H)
濕式振動分離機	馬力：1HP 規格：240cm(L)×118cm(W)×12cm(H)
圓型振動分離機	馬力：1HP 規格：120cm(D)×120cm(H)

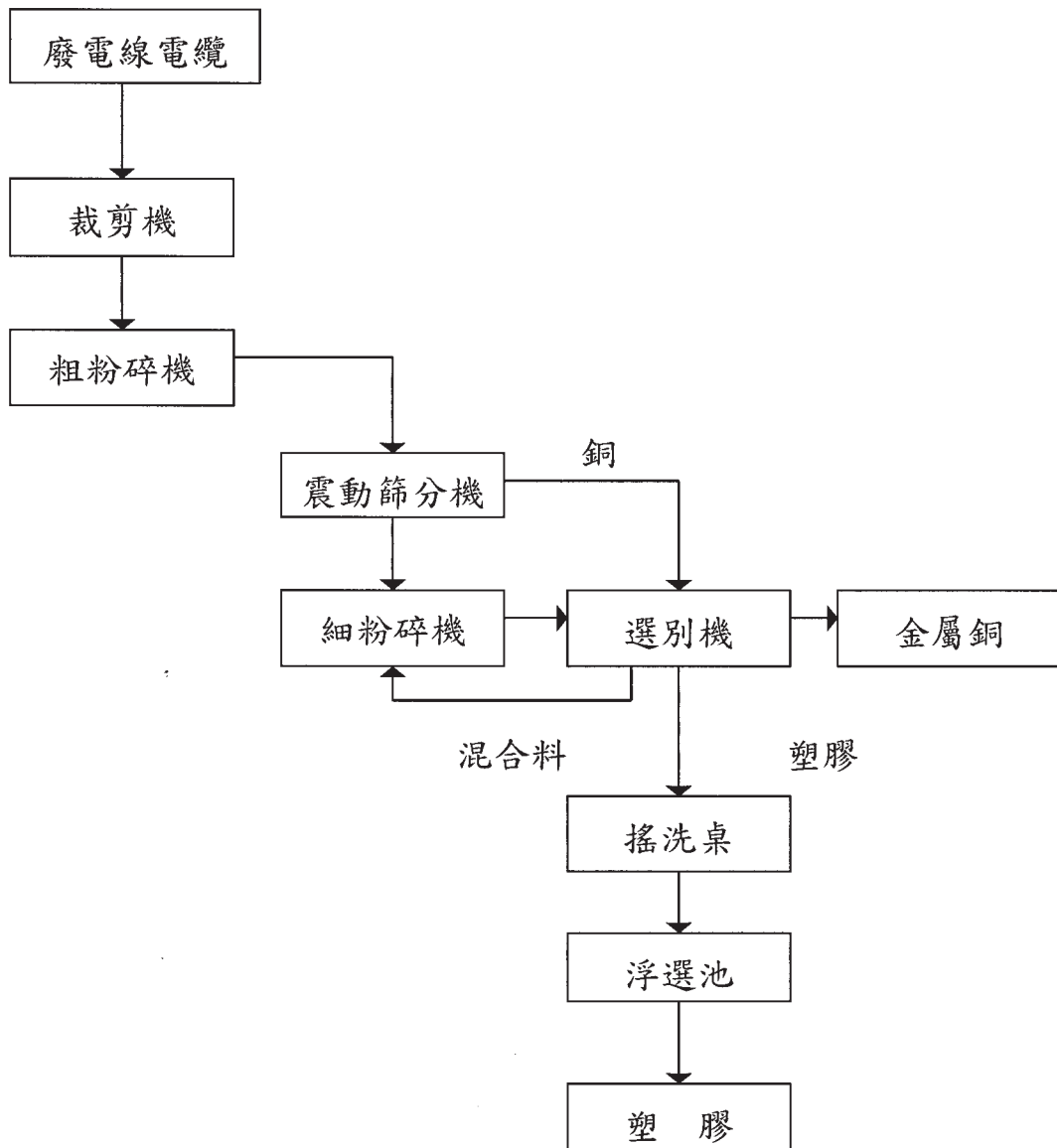


圖 6.5 廢電線、電纜之分選處理流程

(2)廢家電

現代生活家中必備電冰箱、電視機、洗衣機、冷氣機、電話機等家電製品是近代科技的結晶，集各類材質如鐵、鋁、銅、玻璃、塑膠等物料及冷媒、螢光粉、電子鎗、IC 電路板等機能材料所構成，表 6.15 所列之材質組成顯示出各種廢家電含有高比例值得回收再生的金屬資源。有鑑於此，行政院環保署於民國 86 年依據「廢棄物清理法」第十條之一公告「廢棄之電視機、電冰箱、洗衣機及冷、暖氣機為不易清除、處理及含長期不易腐化成分之一般廢棄物」，並於民國 86 年 12 月 5 日公告「應回收清除、處理之廢電子電

器物品之種類、業者範圍及其開始回收清除、處理日期」，指定相關業者應自民國 87 年 3 月 1 日開始執行回收清除、處理工作，並核定回收清除處理費用、補助獎勵回收與再生費用等。自民國 88 年 1 月起至 7 月期間，國內相關業者陸續投資設立六家廢家電拆解處理廠，並通過嚴格審查獲得許可後正式營運，可獲得如表 6.16 的效益。根據訪查資料顯示，業者實際資源回收物質佔進場處理總重量的 70%~80%，其中包括可直接資源化物質約佔 40~50%，及間接資源化物質約佔 30~40%。

以下就廢家電分選處理之流程加以介紹：

A. 廢電冰箱分選回收處理

專業廢電冰箱一貫回收處理流程如圖 6.6 所示，採取粗碎、中碎、細碎等三段粉碎步驟將廢電冰箱予以破碎單離，再藉磁選、風選、渦電流分選及過篩等方式將廢電冰箱中之銅、鋁、鐵、塑膠、玻璃、PU 泡綿等物質予以分開，除此之外，此處理流程尚有兩大特色，其一係以特別設計之鑽孔機打進冰箱之壓縮機，先行將壓縮機內之冷媒與冷凍油回收另行處理，以免將壓縮機破壞時，洩漏冷媒及冷凍油致污染環境，冷凍油以 80°C，12 小時脫附處理後，冷凍油中鹵素殘餘量重量百分比約 0.2%。特色之二為採取密封式之粉碎系統，並以冷凝法回收冰箱夾層聚氨酯(polyurethane, PU)泡綿中之 CFCs 及 Pentane 發泡劑，以避免污染環境情事發生。

B. 廢電視機分選回收處理

專業之廢電視機回收處理流程如圖 6.7 所示，可分為前後兩段部分。前段處理主要是以人工拆解方式，將廢電視予以分解成各種不同材質，如映像管、塑膠外殼、電線、積體電路板等。後段處理流程則著重在處理拆解後之廢映像管。藉由超音波技術之洗滌功能，將廢映像管玻璃表面塗佈之螢光粉予以去除，再將映像管之面盤玻璃與錐管玻璃分別回收，作為再生資源。

表 6.15 四種廢家電組成材料之比較

(60.45Kg 電冰箱為例)

成分	比例	重量(Kg)
冷卻壓縮機	13.9%	8.34
含鐵金屬	50.5%	30.3
含銅金屬	3.04%	1.82
含鋁金屬	2.01%	1.21
PUR、保麗龍	5.96%	3.58
廢電路板、電纜	2.07%	1.24
塑膠	18.20%	10.92
礦油	0.59%	0.35
冷媒 (R11、R12)	1.55%	0.93
玻璃	2.03%	1.22
其它	1.5%	0.9

(20Kg 電視機為例)

成分	比例	重量(Kg)
木質	14.8%	2.9
玻璃	5.90%	1.18
塑膠	11.9%	2.38
鐵金屬	3.10%	0.62
含銅、鋁金屬	1.64%	0.328
映像管前玻璃	26.90%	5.38
映像管後玻璃	12.80%	2.56
螢光粉塗佈	0.02%	0.004
電路板與廢電纜	22.96%	4.59

(50Kg 冷氣機為例)

成分	比例	重量(Kg)
冷卻壓縮機	24.50%	12.25
含鐵金屬	50.41%	25.2
含銅、鋁金屬	14.61%	7.3
保麗龍	0.40%	0.2
廢電路板、電纜	3.81%	1.91
塑膠	4.62%	2.31
礦油	0.51%	0.255
冷媒 (R11、R12)	1.16%	0.58

(38Kg 洗衣機為例)

成分	比例	重量(Kg)
含鐵金屬	43.6%	16.57
含銅、鋁金屬	0.89%	0.34
塑膠	51.5%	19.6
廢電路板	3.01%	1.14

資料來源：環保署廢電子電器物品(四機)處理後各類材料之資源回收市場及應用情形之分析
計畫期末報告，民國 89 年

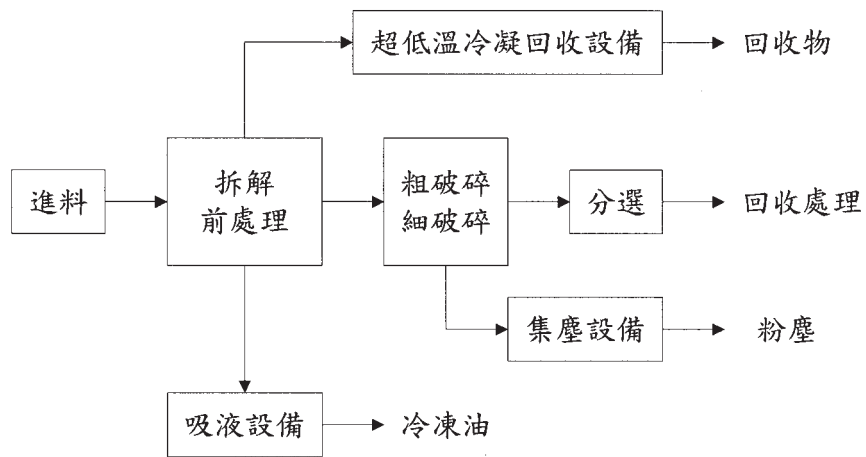


圖 6.6 廢電冰箱之專業分選回收處理流程

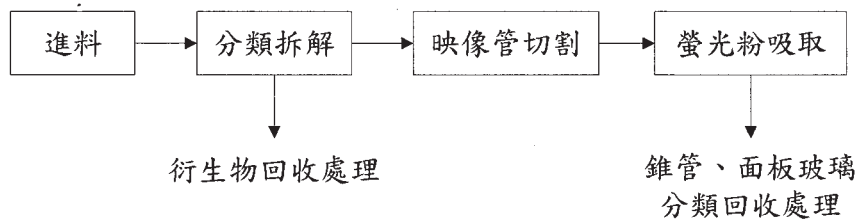


圖 6.7 廢電視機之專業分選回收處理流程

表 6.16 廢家電回收之產物

單位：公斤

機構代號		A	B	C	D	E	F	總計
直接資源化	鐵料	949,510.00	1,288,800.00	1,385,615.00	1,736,053.00	1,561,421.00	1,199,070.00	8,120,469.00
	銅/鋁料	136,700.00	231,010.00	179,409.00	488,391.00	192,545.00	199,260.00	1,427,315.00
	塑膠	470,910.00	620,850.00	513,282.00	466,607.00	692,597.00	614,410.00	3,378,656.00
	木材	0.00	0.00	158,700.00	773,570.00	460,833.00	0.00	1,393,103.00
	小計	1,557,120.00	2,140,660.00	2,237,006.00	3,464,621.00	2,907,396.00	2,012,740.00	14,319,543.00
間接資源化	玻璃	437,960.00	496,270.00	679,309.00	99,451.00	271,151.00	613,466.00	2,597,607.00
	冷媒	414.60	3,238.90	0.00	125,619.00	3,429.00	4,295.00	136,996.50
	礦油	382.00	480.00	0.00	106,273.00	135,817.00	50.00	243,002.00
	馬達	150,070.00	219,190.00	139,009.00	8,443.00	21,456.00	211,970.00	750,138.00
	壓縮機	320,550.00	427,430.00	437,295.00	249,783.00	436,273.00	422,850.00	2,294,181.00
	偏向線圈	19,910.00	0.00	22,556.00	326,819.00	30,820.00	21,940.00	422,045.00
	電子廢料	64,170.00	54,170.00	10,425.00	0.00	0.00	109,985.00	238,750.00
	廢電線電纜	10,610.00	23,270.00	12,465.00	0.00	0.00	19,250.00	65,595.00
	廢電路板	0.00	0.00	86,150.00	0.00	0.00	0.00	86,150.00
	廢潤滑油	0.00	0.00	302.50	0.00	0.00	0.00	302.50
	R11	0.00	0.00	4,105.00	0.00	0.00	0.00	4,105.00
	R12	0.00	0.00	330.10	0.00	0.00	0.00	330.10
	R22	0.00	0.00	1,390.50	0.00	0.00	0.00	1,390.50
	小計	1,004,066.60	1,224,048.90	1,393,337.10	916,388.00	898,946.00	1,403,806.00	6,840,592.60
非資源化	螢光粉	126.70	222.08	298.80	254.00	10,037.00	184.00	11,122.58
	電容器	2,730.00	0.00	9,299.50	9,879.00	586.00	13.00	22,507.50
	燈泡	0.00	0.00	46.00	0.00	0.00	0.00	46.00
	非資源化玻璃	48,910.00	93,560.00	0.00	0.00	0.00	1,960.00	144,430.00
	PUR	0.00	0.00	276,070.00	330,278.00	235,993.00	0.00	842,341.00
	FRP	0.00	0.00	0.00	91,695.00	80,730.00	0.00	172,425.00
	冷凍油	0.00	0.00	0.00	3,137.00	1,483.00	0.00	4,620.00
	基板	0.00	0.00	0.00	104,510.00	74,462.00	0.00	178,972.00
	一般事業廢棄物	326,120.00	448,200.00	157,960.00	10,595.00	19,570.00	408,230.00	1,370,675.00
	小計	377,886.70	541,982.08	443,674.30	550,348.00	422,861.00	410,387.00	2,747,139.08

資料來源：環保署資源回收管理基金管理委員會 92 年 1 月至 6 月統計資料

3.結語

一般而言，混合五金廢料中摻雜有多種金屬資源，有些是單純的金屬成分，有些是含有包覆材，或是因產品結構而與其物質結合在一起，因其具回收價值，如何提升回收處理技術之效能，已引起國內外的高度重視，目前國內已成立有 22 家相關混合五金廢料的回收處理廠(包括拆解廠)，實際運作已逐漸上軌道，所回收的金屬資源已結合金屬之再生管道，經熔煉再製成金屬產品或相關產品。雖然，有部分處理技術是自國外引進，但各種消費產品規格已全球化，因此，在分選及回收技術上，不會有本土性問題發生，如果在回收管道能提升回收率，將可使業者在處理效益上獲得更好的經營條件。

6.5 電子廢料分選案例

1.前言

IC 產業是台灣重要的經濟產業，目前國內的電路板產量排名為世界第三，由於印刷電路板製程中所產生的廢板邊料，如加上無法再製(rework)的不良品以及環保署於民國 87 年修法明文規定廢家電、廢電腦要強制回收，將產生為數可觀的廢 IC 板，根據工業技術研究院的調查估計，目前每年的的廢棄量約 16,000 公噸。電子、資訊產品包含各類型電腦之主機、監視器、印表機、鍵盤等週邊產品及行動電話等，其主要組成材質以塑膠(PS、ABS 等)做外殼、鐵材當支架、鋁材為主體，以達到輕薄短小的消費訴求。另外，相關之控制線路及基板之組成則相當複雜，例如擔任產品主功能之電路板有軟、硬板之分，硬板又有單層、雙層及多層板之分，其結構係由高分子聚合樹脂、玻璃纖維及銅箔等材料經加熱壓合組成，依產品規格需求，電路板之含銅量由 10~60%不等。而 IC 基板上多覆載有 IC 晶片、電容、電感、電阻、濾波器與變壓器等電子零件及焊料，因此，電路板中除了早期使用鉛錒等有害金屬外，現在已使用錒錫或鍍錒方式取代之，此外還有業者慣稱金手指的部分係採用金、銀等貴金屬。為了避免造成對人體健康的危害或對環境的破壞，有必要對此等電子廢料進行處置，更進一步充分利用其中所含的有價金屬，使得地球資源得以持續再生利用。

2.電子廢料特性與分選

(1)電子廢料特性

電子廢料佔大宗者主要為印刷電路板及 IC 晶片電容器電阻線圈等電子零件所構成，再以錒錫連通各線路，因此其中含有極為豐富的銅、鐵、鎳、錫、鉛、鋅、鋁及貴金屬，還有玻璃纖維、環氧樹脂等非金屬，電路板上之 IC 及各式被動元件，如電容、電阻、電感、濾波器、變壓器等其組成如表 6.17 所示，組成成分則如表 6.18 所示。過去國內業者大多以酸洗方式回收貴金屬接點，但是酸洗後的酸洗液，因成分複雜回收處理不易而被當作廢液丟棄或放流，造成嚴重的污染。

表 6.17 電子廢料之組成分析

產品類別	產品名稱	內含物
IC 產品	晶片(chip)	矽(Si)、砷化鎵(GaAs)等
	導線架(Lead frame)	42 合金(41%鎳)、C195、C196 銅合金等
	錒線(Wire Bond)	金線、銀線、鋁線、銅線等
	封裝材料	樹脂、矽鹽料物質等
其他產品	SMD 陶瓷電容	銀、鈮、陶瓷等
	電容	鋁質電容外殼、紙質、塑膠、鋁質薄膜絕緣物、酸性電解液等
	電阻	鐵、樹脂、水泥、銅、陶瓷等
	變壓器	銅線、矽鋼片等
	濾波器	銅線
	連接器	塑膠、銅基鍍鎳金、鐵質鍍錫等

表 6.18 廢 IC 板的金屬成分分析

樣品	元素									
	銅	錫	鉛	鐵	鎳	鋁	鋅	金	銀	其他
A	15.3	4.8	3.4	3.4	2.3	0.5	0.4	0.032	0.152	70.7
B	14.7	4.2	2.9	3.7	2.6	0.3	0.2	0.029	0.164	70.2
C	15.1	4.9	3.3	3.5	2.4	0.5	0.4	0.033	0.160	69.7
平均	15.0	4.6	3.2	3.5	2.4	0.4	0.3	0.031	0.159	70.2

資料來源：楊能輝，廢 IC 板有價物之分離與回收研究，碩士論文，民國 79 年。

電子廢料亦包含各式按鍵開關，及各式 ON-OFF 零件等，由於其接點多為銀、白金、鈹金、黃金，以確保零件之耐久及穩定性。面對如此高度複雜所結合之組成，其回收再利用技術靠物理原理是不夠的，必須再搭配化學反應方可為之，易言之，採用人工拆解、乾式分離、濕式分離、焚化(乾式冶煉)、溶劑溶鍊(濕式冶煉)等五法合一，才能使電子、資訊廢棄物中貴重金屬重生，達到回收再利用之最佳處置。

(2)分選原理

在處理電子廢料時，應先將電子零件與 IC 板拆解分離，避免樹脂材料等非金屬材質與金屬物質的混合，可大幅簡化後續處理流程，有效提升回收各類金屬資源。而 IC 板上所使用的焊料中大多為含有鉛的錫、鉛焊料，分離的過程中若無法徹底的將焊料從電子零件或基板上脫除，而仍有鉛殘留其上，將無法通過有害事業廢棄物認定標準中之毒性溶出試驗(TCLP)，則會被視為有害事業廢棄物，如要進一步將資源物質加以回收再利用，則需先加以處理。因此，需以一妥善的方式能將焊料自電路板與電子零件中完全脫除後，再將電子零件中所含的金屬與貴金屬以粉碎、濕法冶金的程序達到電子廢料資源化的目的。

3.案例說明

國內某廢家電處理機構針對進場回收處理廢家電中所拆解下來的電子廢料，進一步處理回收其中之貴重金屬，茲將其處理流程說明如後：

該廠現有設備及技術應用於電子廢料之處理流程(如圖 6.8 所示)，主要包含：人工拆解、乾式處理(破碎、粉碎)、濕式處理及貴重金屬回收等四階段，而經乾式處理後所得之少量混合物，得再經焚化處理取得混合金屬，混合金屬再經特殊溶劑溶鍊，可分離回收各類金屬。

(1)人工拆解

該廠進行拆解分類等前處理作業，以人工方式處理，就廢棄物處理之技術面而言，人工處理實為廢棄物處理之關鍵因素，因前處理時，可將單一材質如鐵、銅、鋁、塑膠等可用或含貴金屬之零組件先行拆解加以分門別類，避免混入後續之處理，以提升處理效率及分離回收物之純度。

(2)乾式處理(破碎、粉碎)

經人工拆解處理後之主體物質利用物理法處理，先經破/粉碎處理，利用粉碎物中各材質之比重不同，以重力來進行分選，可分離出重質物及輕質物，重質物再以磁選機、渦電流分選機分選出鐵、銅、鋁、塑膠等材質，輕質物則以旋風分離器、偏斜風選機、強力粉碎機、磁選機、振動輸送機、旋風器等分選出較小粒徑之鐵、銅、鋁、塑膠/FRP/樹脂/鋁箔混合物、含金屬之粉塵等。

(3)濕式處理

針對不同塑膠材質之分選技術及貴重金屬溶蝕回收技術，即濕式處理。前者係利用塑膠材質之不同比重，以水洗或調配不同比重的溶劑來分離不同比重之塑膠材質；而電子廢料則可以化學方法剝離、溶蝕及精鍊方法來回收其所含之貴重金屬，如含金配件浸漬於金剝離液中，可得大量之金。

(4)貴重金屬回收

本製程係針對含貴重金屬如金手指、電子零組件及國內自產的印刷電路板廢料、電鍍老化液、水洗液等進行貴重金屬的回收，製程如圖 6.9 所示。利用剝離劑將鍍金層剝離溶解，而含金剝離液、含金電鍍老化液及水洗液於置換槽，加置換劑將貴重金屬置換析出，經過濾分離，濾液為鹼性剝離廢液，因含氰化物必先進行電解處理，將氰化物氧化破壞至 1ppm 以下，再排至廢水處理場進一步處理，濾餅即為含貴重金屬物質，移至溶解槽，加酸溶解過量的置換劑，再經過濾分離，濾液排至廢水處理場，濾餅為含貴重金屬粉狀物，移至溶鍊槽，加溶解液溶解含貴重金屬粉狀物，經過濾分離，濾渣為微

量的電路板碎片、紙屑，濾液含有貴重金屬成分，移入還原槽，加入置換劑將貴重金屬還原析出，再經過濾分離，濾液為排至廢水處理場，濾餅為純海綿貴重金屬物，清洗、烘乾後，置入週波爐熔煉並鑄成貴重金屬錠。所有製程中的置換槽、溶解槽、溶鍊槽、還原槽、週波爐等所產生的廢氣，分別以密閉式集氣罩用抽風機排送至洗滌塔，中和洗滌後，再經煙囪排放。

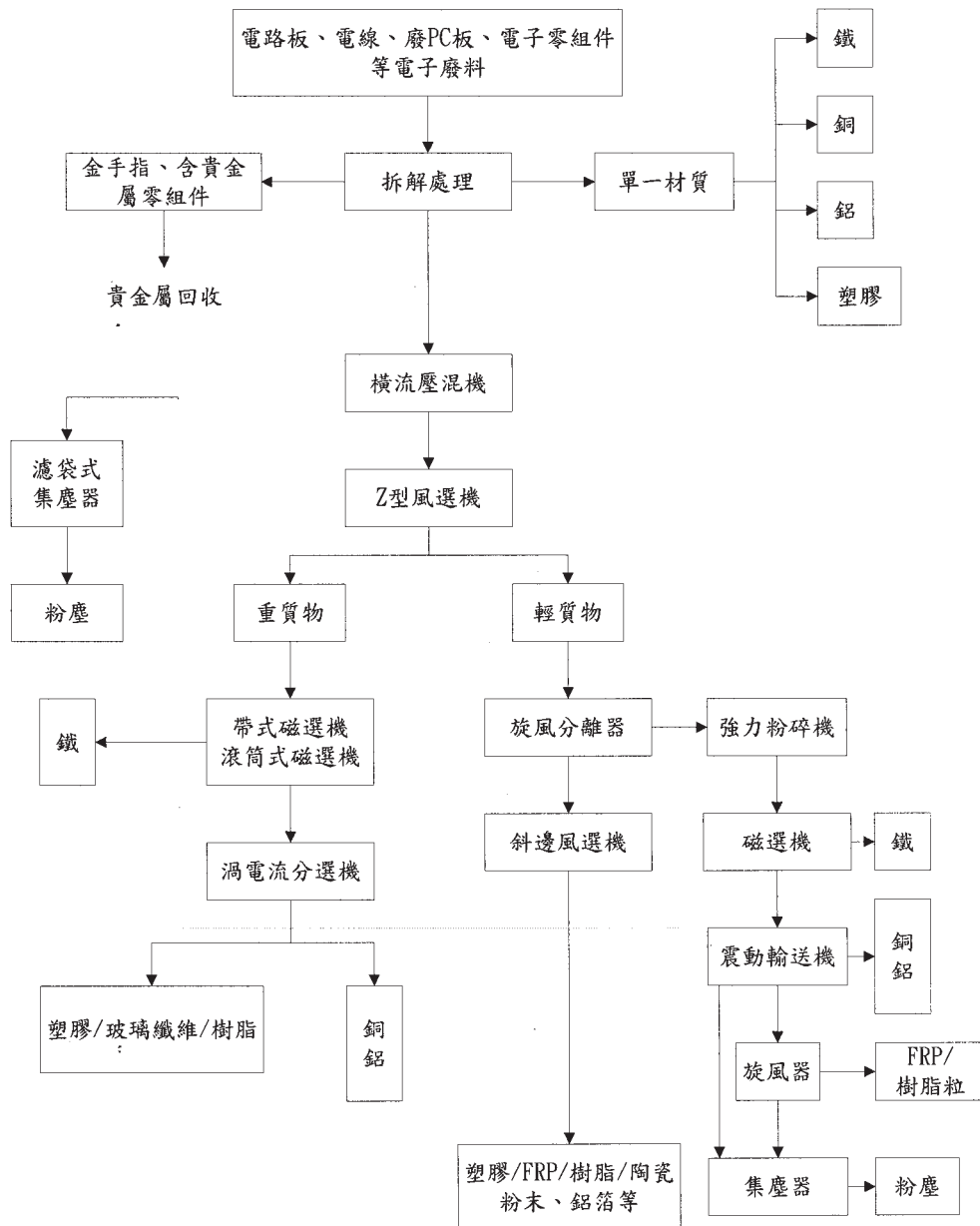


圖 6.8 電子廢料之回收處理流程

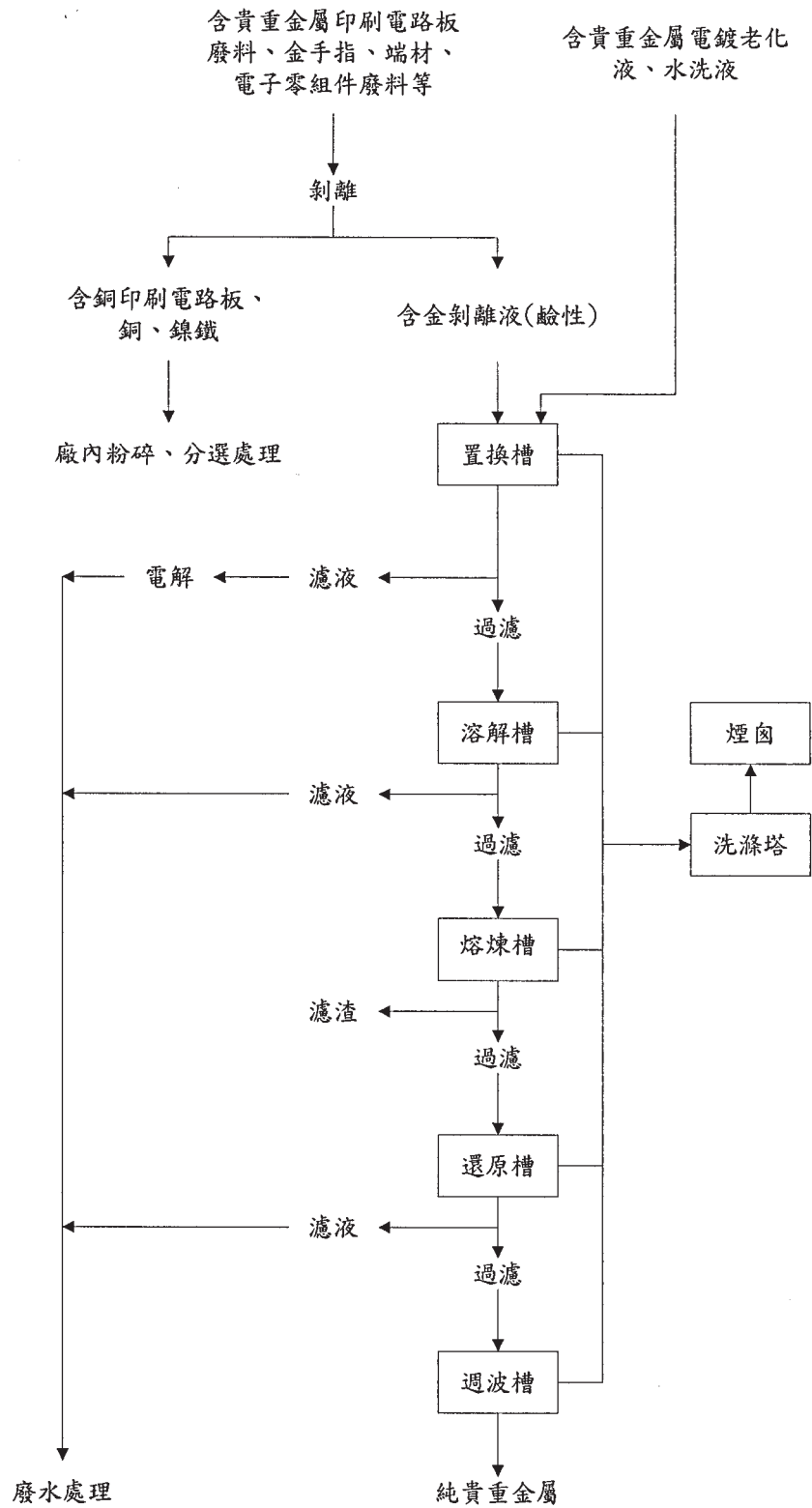


圖 6.9 電子廢料中貴重金屬之回收處理流程

4.結語

過去台灣裡地區曾有業者以王水浸漬方式，進行電子廢料中貴重金屬的回收，但因未加注意高濃度的回收廢液得經過適當的處理，由於不當或隨意的傾棄，造成二仁溪嚴重遭受重金屬的污染，曾有一陣子發生綠牡蠣事件。由此顯示電子廢料中含有相當數量的重金屬成分，任意棄置將造成電子零件所含重金屬的溶出，嚴重影響環境生態及人身健康的安全。由於廢 IC 板的組成約有 70% 為玻璃纖維與樹脂，因此，若能以一簡單的方式將 IC 板上的電子零件與樹脂基板分離，使樹脂基板能夠單獨處理，不致造成粉碎處理過程中有玻璃纖維粉塵的發生，同時自基板剝離的各種電子零件，可以依其所含的金屬成分特性加以回收再利用。另一方面，從資源永續利用的觀點來思考，電子廢料中含有豐富的金屬資源有待進一步開發回收技術，並進而減緩地球上天然資源的開發與破壞，能夠與自然界取得平衡的和諧。

6.6 營建混合廢棄物之分選案例

1.前言

近年來台灣的經濟成長快速，人口往都市集中。在國民追求舒適生活的需求下，都市不斷更新，國民住屋改善與重大公共建設等營建工程如雨後春筍般展開，老舊建築逐漸被淘汰拆除，因此產生為數龐大的營建廢棄物。根據蔡敏行與陳文卿等人研究所推估的結果，國內營建事業廢棄物每年產生量高達一千萬公噸以上，又逢民國 88 年 921 地震災難，拆除毀損建築所產生的營建廢棄物估計超過 1 千萬立方米(以每立方米 1.8 公噸換算達 1.8 千萬公噸)，就 89 年營建廢棄物的產生量而言，已達 3,000 萬公噸之多，顯示國內營建廢棄物的負荷量相當沉重。

關於營建廢棄物的處理方面，依據行政院環保署制訂之「廢棄物清理法」，營建事業廢棄物屬於一般事業廢棄物，依法需運送至棄土場堆置或為填海工程之用(如高雄南星計畫)。然而由於國內地狹人稠，現有合法之 107 座棄土場皆將逐漸飽和，除了部分實行合法的掩埋堆置，仍不乏任意傾倒河川、山谷等污染事件，因此除了掩埋處理之外實需另謀處理途徑。

營建廢棄物主要是由磚瓦、混凝土塊、廢木材、金屬、玻璃、污泥等混合組成(如圖 6.10 所示)，其中除了極少數的有害物質如石綿、廢油等之外，大部

分都是無機物質，而且不乏多種資源物質，如其中的廢鐵、廢木材(板)、廢陶瓷、磚、瓦等已是營建署公告再利用項目，如果予以分選回收，即可進入現有的再生處理體系進行再利用，而廢混凝土塊、污泥等主要是由水泥、砂石所構成，分選回收後再經過破碎、篩分等處理，可再利用為道路級配、再生骨材、製磚原料等用途，此等分選處理的工作技術在日本、荷蘭、德國等國家績效卓越，營建廢棄物之再生率可高達 80% 上，所以將營建廢棄物分選回收處理為廢棄物減量、資源再利用的雙贏對策。有鑑於此，內政部與環境保護署於 90 年 12 月 31 日會銜發布「營建廢棄物共同清除處理機構管理辦法」，除依現有之清理機制辦理廢棄物清理作業外，提供更多元之清理途徑與管道，由營造業者聯合組成共同清除、處理機構，處理自己產出之廢棄物，不久之後，國內營建廢棄物也將行進行分選處理，以達到廢棄物減量與再生資源回收利用的雙重利益。

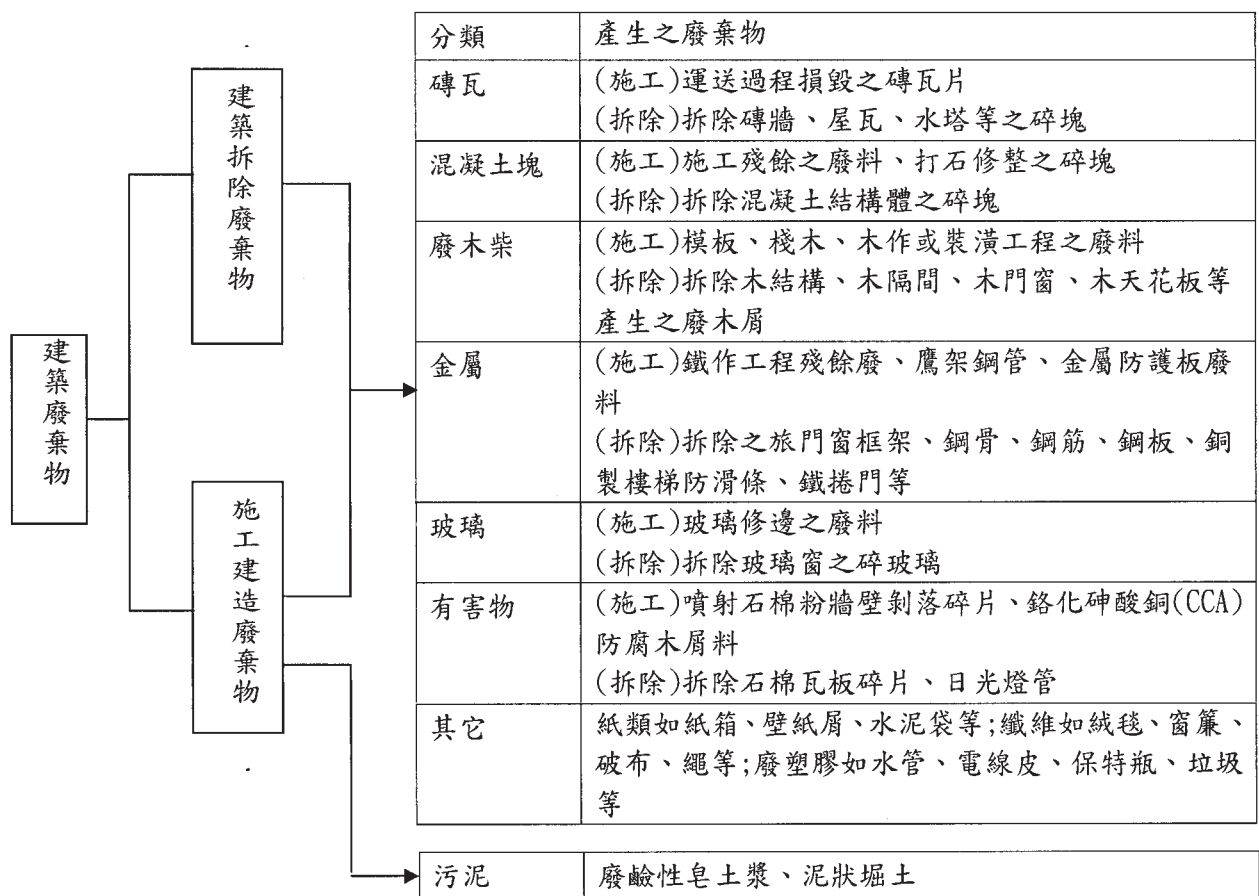


圖 6.10 營建廢棄物的分類

2. 特性與分選原理

建築廢棄物基本上可包括建築拆除廢棄物與施工建造廢棄兩大類，以組成物而言，則有混凝土塊或砂石、廢磚瓦、廢金屬及其他裝潢建材(如木材、塑膠…)等，由於這些組成物在建築工地主要是利用怪手進行搬移、拆解，因此大型資源物的分選，如鋼筋、裝潢隔板、門框、廢混凝土塊等，可由怪手配合特殊夾具初步挑選，所挑選出的廢鐵金屬、廢木材、廢塑膠等可直接再利用為鐵冶煉原料、燃料、或者掩埋。而較小型的混凝土塊、廢磚瓦與混雜其中的廢金屬、廢塑膠、廢木材等，則需進行後續的磁選、風選與手選處理與以回收，處理流程如圖 6.11 所示，磁選機先將廢鐵資源分選出，再由風力選別機將廢塑膠、廢木材等輕質物質分離，然後經過人工手選，檢拾出廢塑膠類、廢木材類、廢非鐵金屬等資源物，這些資源物可進入現有的再利用管道。至於剩餘的廢混凝土塊與廢磚瓦，經過破碎處理後理應可作為再生骨材之用。

根據內政部建築研究所建築廢棄物之再利用技術開發—廢棄混凝土塊再利用及建築廢棄物來源、產生總量推估、分布狀況、清理再利用體系規劃(http://spoil.erl.itri.org.tw/reuse/a_lterm.htm)對營建廢棄物中組成物調查結果，如圖 6.12 與表 6.19 所示，不論是在施工建造廢棄物或是在建築拆除廢棄物中，廢混凝土塊與廢磚瓦皆為主要的組成物，所佔比例之合高達 41%與 83%，所以廢混凝土塊與廢磚瓦的再生處理技術為營建廢棄物分選處理的主要項目。廢混凝土塊之再生技術牽涉到骨材之再生技術與再生骨材之應用技術兩方面，骨材之再生技術主要利用破碎機械將廢混凝土塊破碎，使骨材與水泥脫離達到單離，再以篩分機進行粒度分選而獲得再生骨材，與現行的岩石破碎製造碎石碎砂的技術相同，骨材之再生在技術面上問題並不困難，可採用如圖 6.13 所示之處理流程，選用如表 6.20 所示的適當機械組合進行破碎，所得之再生骨材的品質如表 6.21 所示，與現行所使用的骨材相比較，再生骨材在吸水率的品質上差異較大，此乃骨材再生技術有待研究發展之處。

再生骨材由於高吸水率，日本建設省則令訂其用途如表 6.22 所示，主要供為道路等相關工程的基礎材料或土木構造物的襯裏材料應用。但隨著再生骨材需求量的增加與再生技術的研究開發，因而日本建設省於 1992 年頒布再生骨材與水泥混凝土再生骨材之暫定品質基準如表 6.23 所示，將再生粗骨材分為三個等級，再生細骨材分為二個等級，並訂定其吸水率及安定性規格，以表 6.24 所示的規定，將使用再生骨材的水泥混凝土再細分為三個種類，如以再生一級粗

骨材與普通(標準)細骨材混合水泥，其壓縮強度達 $180\sim 210\text{ kgf/cm}^2$ ，可供水泥鋼筋混凝土或無鋼筋水泥混凝土用，而再生三級粗骨材與再生二級細骨材，所調製之水泥混凝土只能供無規格要求之混凝土等使用。

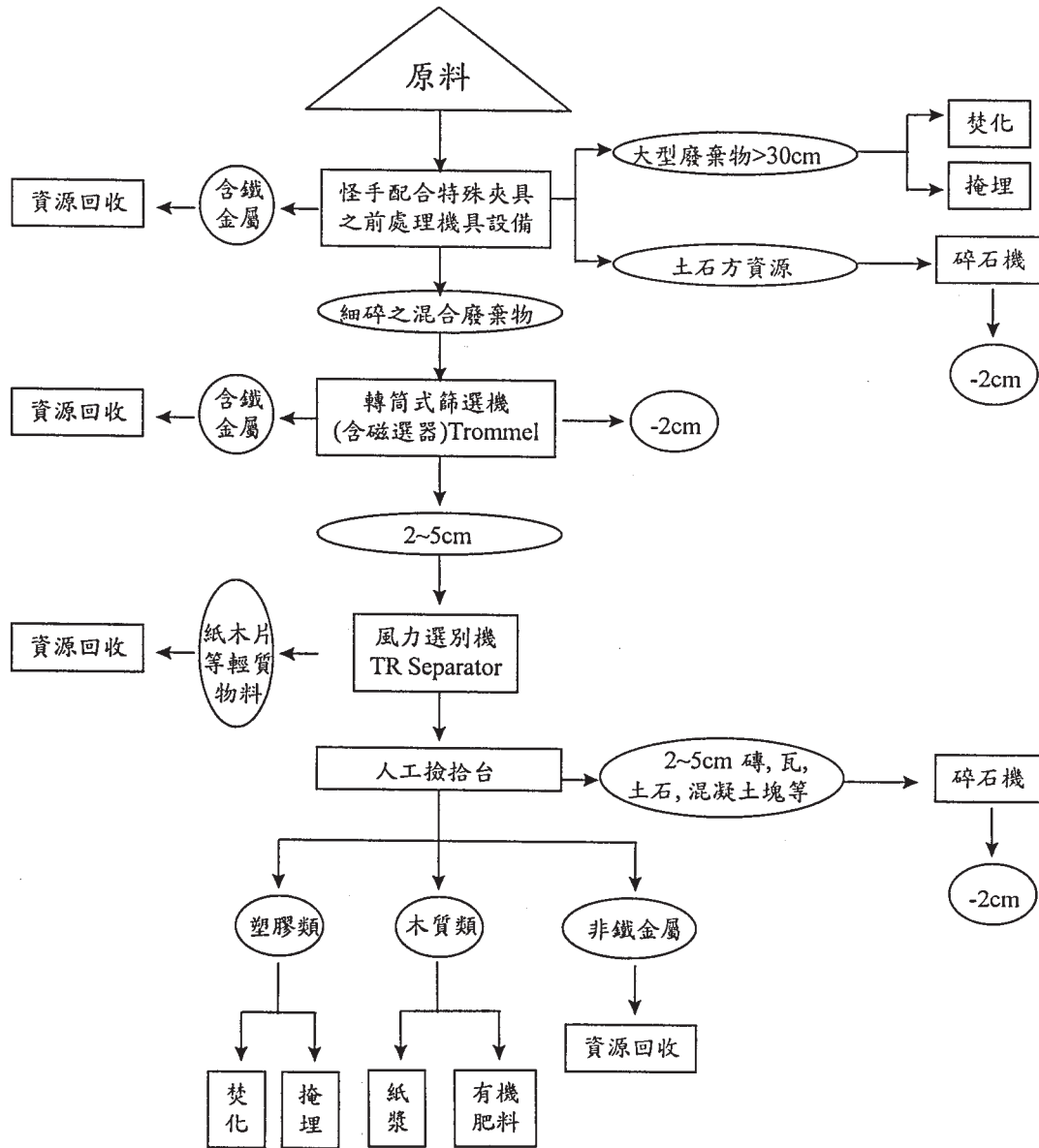


圖 6.11 建築廢棄物資源化之處理流程

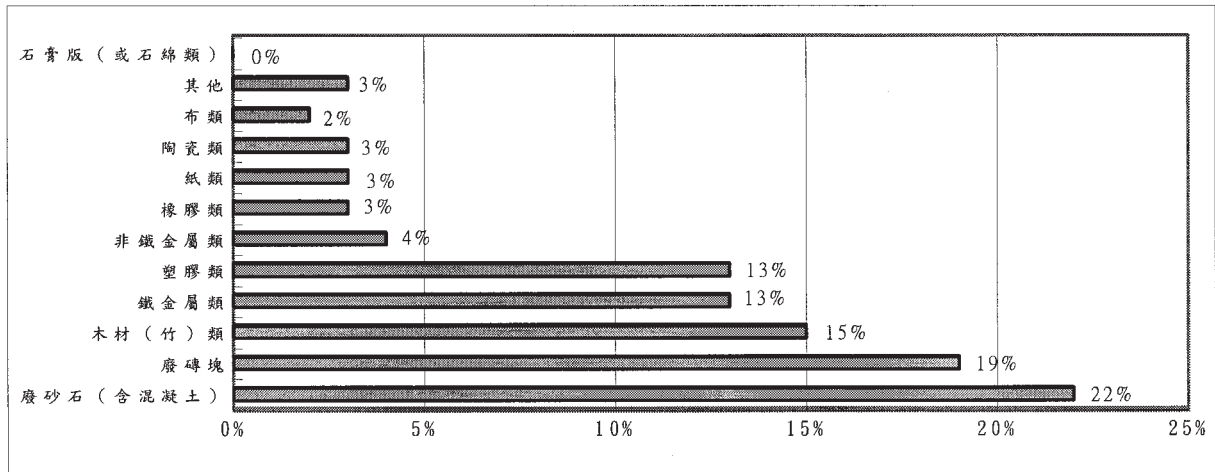


圖 6.12 新建施工廢棄物的組成

表 6.19 建築拆除廢棄物組成分析一覽表

地區	項目	廢棄物比率(重量比%)								
		混凝土	磚瓦	廢土	木料	金屬	橡、塑膠	屋頂材料	隔板類	其他
台灣(台北)* ₁		44	37	-	10	3	-	-	-	6
台灣(高雄市)* ₂		48	37	-	10	4	-	-	-	1
台灣(高雄縣)* ₂		63	21	-	5	10	-	-	-	1
美國(住宅類)* ₃		-	-	-	45	1	-	28	21	6
美國(非住宅類)* ₃		66	1	9	16	5	-	1	-	2
台灣(埔里)* ₄		42.89	31.42	23.93	0.93	0.25	0.34	-	-	0.24
台灣(一般)* ₄		34.12	18.14	36.55	8.62	0.007	1.40	-	-	1.16
台灣(總結)* ₂		54.3	31	-	10.9	3.6	-	-	-	0.1
		廢棄物比率(體積比%)								
台灣(埔里)* ₄		33.66	25.59	37.23	2.54	0.06	0.68	-	-	0.24
台灣(一般)* ₄		20.75	11.49	46.37	18.22	0.002	1.73	-	-	1.437
台灣(總結) _{註1}		36.93	30.33	-	31.96	0.74	-	-	-	0.04
台灣(921 震災廢棄物 15 處臨時堆置場)* ₅		16.20	56.25	0.44	9.74	4.72	0.22	-	-	12.34

資料來源：*1：陳明良碩士論文，1996。*2：內政部建築研究所，1998A。*3：USAEPA，1998。

*4：楊朝平，2000。*5：行政院環境保護署，2000。

註1：將重量比率依附錄一建材單位面積用量轉換方式內之密度值化算。

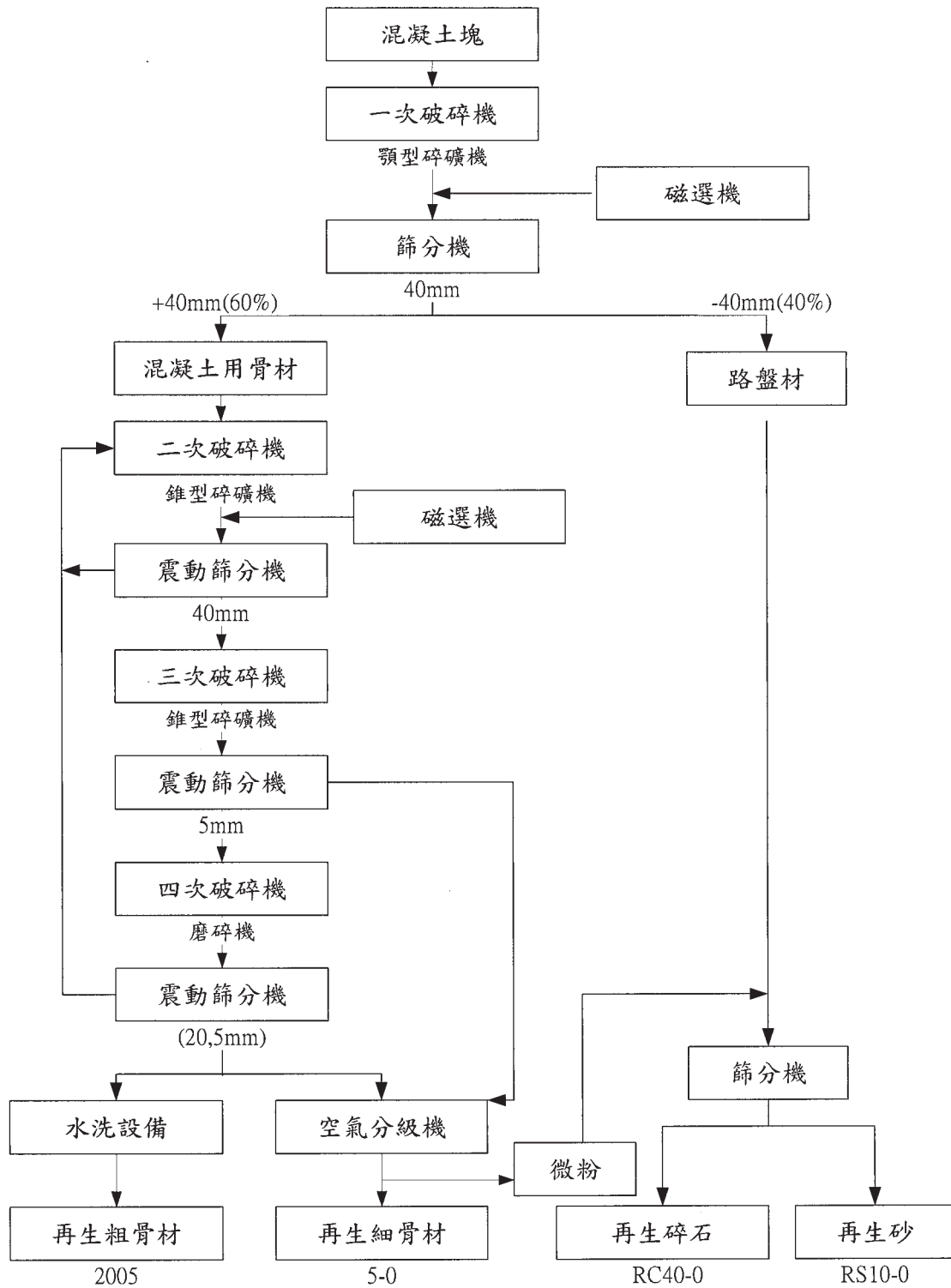


圖 6.13 廢混凝土塊、屑的分選處理流程

表 6.20 破碎機的種類

破碎機的種類	主要破碎機構	用途	產物粒度(mm)
顎型破碎機	壓縮	粗碎	500~15
偏心破碎機			200~50
錐型破碎機		中碎	100~10
轉輪破碎機	20~10		
衝擊破碎機	衝擊		< 30
旋鎚破碎機		< 20	
球磨機	衝擊與摩擦	微粉碎	< 1
棒磨機			< 1
振動球磨機			< 1
振動棒磨機			< 1
轉輪磨機	摩擦	< 1	
盤形磨機		< 0.1	
衝擊磨機	衝擊與摩擦	超微粉碎	< 0.01

資料來源：蔡敏行、施勵行、雷大同、黃紀嚴，“砂石替代物利用研究”，經濟部礦業司專案委託計畫，中華民國八十八年七月。

表 6.21 日本各類骨材的品質比較

項 目	種 類			
	再生粗骨材	碎石(現行標準)	再生細骨材	河砂(現行標準)
表乾密度, g/cm ³	2.48	2.66	2.32	2.62
絕乾密度, g/cm ³	2.37	2.64	2.10	2.58
吸水率, %	4.44	0.64	9.59	1.46
粘土量, %	0.2	0.2	0.5	0.0
水洗損失量, %	0.6	0.5	2.6	2.2
容積密度, g/cm ³	1.39	1.62	1.36	1.80
粒形判定實績, %	60.8	60.9	56.4	—
比重小於 1.95 量, %	1.8	—	7.8	—
安定性, %	27.7	8.1	19.6	1.0
磨損量, %	24.7	—	—	—
破碎值(40 公噸), %	18.8	—	—	—
氯化物含量, %	—	—	0.005	0.000
粒度, mm	25	100	100	—
通過質量百分率%	20	99	96	—
	15	90	72	—
	10	45	30	100
	5	6	4	99
	0.5	1	—	81
	0.2	—	—	60
	0.6	—	—	40
	0.3	—	—	18
	0.15	—	—	4
粗粒率	6.49	6.70	2.98	2.68

資料來源：蔡敏行、施勵行、雷大同、黃紀嚴，“砂石替代物利用研究”，經濟部礦業司專案委託計畫，中華民國八十八年七月。

表 6.22 日本建設省令所訂水泥、瀝青混凝土粉碎再生骨材之主要用途

再生資源	主要用途
再生水泥、瀝青混凝土破碎產物	道路鋪設*1 以及其他鋪設*2 的基層材料。 土木構造物的基礎材或襯裏材料。 建築物的基礎材料。
再生砂*3	營建現場之裝填或基礎材料
粒度調整再生碎石	其他鋪設的底層材料
安定處理再生碎石*4	道路鋪設或其他鋪設之面層材料

*1：道路鋪設需確認再生骨材的強度、耐久性等品質

*2：其他鋪設是指停車場鋪設或庭園鋪設等。

*3：此項僅對水泥混凝土碎屑之細粒部分而言

*4：瀝青混凝土碎屑經加熱再生之安定處理混合物，可供上層路盤材使用。

表 6.23 日本再生骨材的暫訂品質基準(日本建設省'92)

種別	項目	再生粗骨材			再生細骨材	
		一級	二級	三級	一級	二級
吸水率(%)		3 以下	3 以下	5 以下	5 以下	10 以下
安定性(%)		10 以下	40 以下*)	**)	10 以下	**)

*)不考慮凍結融解耐久性時 40 以下可承認

**)無特別規格

表 6.24 日本水泥混凝土再生骨材之暫定品質基準(日本建設省'92)

種類	水泥混凝土種類	骨材		壓縮強度 (kg f/cm ²)
		粗骨材	細骨材	
I	鐵筋混凝土或無筋混凝土	再生一級	普通骨材*)	180~210
II	無筋混凝土	再生二級	普通骨材或再生一級	160~180
III	不要求規格混凝土等	再生三級	再生二級	160 以下

*)不考慮凍結融解耐久性時 40 以下可承認

3. 成效

日本在 1970 年初就已開始對廢混凝土塊進行再生為水泥混凝土粗骨材的實驗，於 1978 年在橫濱市開始設廠進行再生處理，其後各地也隨著陸續設立之水泥混凝土塊破碎再生廠，設置的規模大都在 100~200 公噸/日的處理量，最近設立的再生廠都以大規模的方式，每小時的處理量即達 100 公噸以上。1990 年日本全國的廢水泥混凝土塊產生量，依統計約有 2,500 萬公噸之多，如表 6.25 所示，其中的 860 萬公噸左右是發生在關東地區(包括東京、神奈川、埼玉、千葉、群馬、屬木、茨城的一都六縣)，為日本全國發生量的 34%，此地區設有 172 家破碎再生廠，具有年處理能力 17,020 千公噸(約發生量的兩倍)，其中有 107 處，年處理能力達 13,000 千公噸的破碎再生廠集中在東京、神奈川、埼玉、千葉等，人口集中、廢建材大量產生也大量需求的地區，因此其再生率高達 66.3%，實際績效高於日本全國平均的再生率 48%。

表 6.25 日本營建事業廢棄物的歷年再生率變化

項 目	1990		1993		1995		2000
	發生量(kt)	再生(%)	發生量(kt)	再生(%)	發生量(kt)	再生(%)	再生(%)目標
瀝青混凝土	18,000	50	22,000	78	36,000	81	90
混凝土	25,000	48	25,000	67	36,000	65	90
廢木材	8,000	31	5,000	26	6,000	37	90
混雜廢棄物	10,000	14	8,000	6	10,000	6	50
營建污泥	14,000	8	15,000	2	10,000	6	35
其他	2,000	0	1,000	0	1,000	1	?
營建廢棄物全量	76,000	35	76,000	48	99,000	57	80

4. 結語

營建廢棄物是產生量大之主要事業廢棄物，在日本、荷蘭、愛爾蘭等國家對其產生量與再生量均有完整之統計資料，相關之再生技術、品質、法令規範等已趨成熟。目前國內建築廢棄物的分選回收處理才剛起步，國情相近的日本等國家的實績，確實有值得台灣借鏡之處。建議國內可效法從建築廢棄物產生量、再生技術等方面著手研究，並進而訂定相關再生骨材品質、規格與施工方法之規範，以促進再生骨材之應用。

參考文獻

1. Akitoshi Shigewi, Keiki Fujita, Recycling of Iron-bearing Steelmaking Dusts, Nippon Steel Technical Report, NO.16, Dec, 1980.
2. A.L. Mular, R. B. Bhappu, Mineral Processing Plant Design, AIME, 1980.
3. de Vries, Peter (1993) "Concrete re-cycled", concrete, May, pp.9-13.
4. E. G. Kelly, D. J. Spottiswood, "Introduction to Mineral Processing", p. 171, Wiley Interscience Publication, 1982.
5. Errol G. Kelly and J. Spottiswood, Introduction to Mineral Processing, Wiley, 1982.
6. G. Gabra, A Kinetic Study of the Leaching of Gold from Pyrite Concentrate Using Acidified Thiourea, Precious Metals: Extraction and Processing, ed. By V. Kudryk, D.A. Corrigan, and W.W. Liang, pp.145~171, 1984.
7. G. W. Peng, S. B. Wen, "Beneficiation of Fly Ash", The 2nd. Int. Sym. On East Asian Resources Recycling Tech., 1993.
8. J. W. Cochran, F. S. Kirkconnell, "Method of Fly Ash Beneficiation and Apparatus for Same", U.S. patent 5399194, Mar. 21, 1995.
9. N.L. Weiss, SEM Mineral Processing Handbook, AIME, 1985.
10. Shigetoshi Uno, Yukio Vmotsu, Masaru Ohmizu, Setsuro Manukato, Dezincing Equipment and Operation Based on Wet Classification of Wet-cleaned BF dust, Nippon Steel Technical Report, NO.13, June, 1979.
11. Terkel Rosenqvist, A Thermodynamic Study of Reaction $\text{CaS} + \text{H}_2\text{O} = \text{CaO} + \text{H}_2\text{S}$ and the Desulphurization of Liquid Metals with Lime, Journal of Metals, pp.535~540, 1951.
12. Terry J. Veasey, Robert J. Wilson and Derek M. Squire, The Physical Separation and Recovery of Metals from Wastes, Volume One, Golden and Breach Science Publisher, 1993.
13. T. Itoh, Y. Wanibe, Derivation of Number Based Size Distribution from Modified

- Mass Base Rosin-Rammler Distribution and Estimation of the Various Mean Particle Diameters of Powder, Transactions of the Japan Institute of Metals, Vol.29, No.8, pp.671~684, 1988
14. Yuichiro Itoh, Arthur H. Feiser, Zinc Removal from Blast Furnance Dust, Iron and Steel Engineer, Aug, 1982.
 - 15.張金樹，煉鐵高爐煙塵資源化之基礎研究，碩士論文，民國 69 年。
 - 16.中國礦冶工程學會，鋼鐵冶金學 II，民國 75 年。
 - 17.山田則行、廣末英晴、安部英一，” 回分式振動流動層によう石炭灰中の未燃炭分の低減” ，粉体工學會誌，Vol. 25, No. 11, pp.10~16, 1988.
 - 18.本光雄原（賴耿陽譯），電子用金屬材料實務，台南市，民國 77 年。
 - 19.謝錦松及黃正義編著，固體廢棄物處理，淑馨出版社，民國 77 年。
 - 20.洪德賢、蕭綱衡，礦泥脫鋅方法之評估，中鋼公司研究報告，計畫編號：ST-77-021，民國 78 年。
 - 21.李文鐘，選礦學，世界書局，民國 79 年。
 - 22.楊能輝，廢 IC 板有價物的分離與回收研究，碩士論文，民國 79 年。
 - 23.王英傑，廢 IC 板有價物之分離與回收研究（II）-硫酸浸漬法回收廢 IC 板中金銀之研究，碩士論文，民國 81 年。
 - 24.蔡恩榮，KISH GRAPHITE 回收與精製之研究，碩士論文，民國 82 年。
 - 25.傅彥培，煉鋼脫硫渣資源化之基礎研究，碩士論文，民國 84 年。
 - 26.久保田宏、松田智，“廢棄物工學”，培風館，1995 年初版
 - 27.野澤美樹、鈴木政孝、松崗功，” 浮選による石炭灰からの未燃炭素分の除去に關する基礎的研究” ，資源と素材，Vol. 112 pp.99~105，1996.
 - 28.經濟部工業局，鋼鐵業廢棄物資源化案例彙編，民國 85 年。
 - 29.蔡敏行，高等選礦上課講義，民國 85 年。
 - 30.蔡敏行，選礦概論講義，民國 85 年。
 - 31.六川暢了、阪本宏，集積回路 パッケージかうのリードフレーム金屬の回收，

- 資源與素材，vol. 113，pp. 1071~1073，1997。
- 32.蔡敏行，資源再生特論上課講義，民國 86 年。
 - 33.蔡敏行，選廠設計上課講義，民國 86 年。
 - 34.章裕民，陳永成” 建築施工過程污染及廢棄物產生現況與調查架構研究”，台灣營建研究院，民國 87 年 6 月
 - 35.楊奉儒、陳志恆、陳榮安，廢印刷電路板回收再利用，工業材料 137 期，民國 87 年 5 月，pp. 163~168。
 - 36.蔡敏行、施勵行、雷大同、黃紀嚴，“砂石替代物利用研究”，經濟部礦業司專案委託計畫，民國 88 年 7 月。
 - 37.財團法人中技社，廢棄物資源回收與處理設備技術手冊—破碎篇，經濟部工業局，民國 88 年。
 - 38.行政院環保署，有害事業廢棄物認定標準修正探討計畫，民國 89 年。
 - 39.李清華、蔡敏行，國內廢家電資源再生技術評析，民國 89 年。
 - 40.陳文卿、陳志恆，“建築廢棄物之再利用技術開發—廢棄混凝土塊再利用”，內政部建築研究所委託計畫，民國 89 年 10 月。
 - 41.楊長浩，燃煤飛灰資源化之研究，碩士論文，成大資源工程所，民國 89 年 7 月。
 - 42.蕭寧允，廢 IC 板焊料脫除之研究，碩士論文，民國 90 年。
 - 43.財團法人台灣綠色生產力基金會編印，廢棄物資源回收與處理設備技術手冊—乾燥設備篇，經濟部工業局，民國 90 年。
 - 44.建築廢棄物來源、產生總量推估、分布狀況、清理再利用體系規劃
http://spoil.erl.itri.org.tw/reuse/a_lterm.htm
 - 45.建築廢棄物資源再利用技術的研究與推廣，
<http://www.epa.gov.tw/news/news99112.htm>

國家圖書館出版品預行編目資料

廢棄物資源回收與處理設備技術手冊及案例彙編-分選技術與設備篇
/經濟部工業局，財團法人台灣綠色生產力基金會編著

—初版—台北市；工業局，民 92

200 面 21×29.7 公分

ISBN 957-01-5899-9 (平裝)

1.廢物技術

445.97

92022305

廢棄物資源回收與處理設備技術手冊及案例彙編-分選技術與設備篇

編 著：經濟部工業局；財團法人台灣綠色生產力基金會

發行人：陳昭義

總編輯：曾聰智

編輯企畫：余騰耀、張啟達、鄭淑芬、黃重元、劉曉蘭

編輯委員：江鴻銘、蔡尚林(依姓氏筆畫順序排列)

發行所：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>

出版所：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：中華民國九十二年十二月初版

設計印刷：信可印刷有限公司

工本費：500 元

GPN：1009204406

ISBN：951-01-5899-9 (平裝)