

目 錄

第一章	前言.....	1
	1.1 資源再利用之意義.....	1
	1.2 粉碎及篩分對資源化製程之重要性.....	1
第二章	破碎、篩分原理.....	5
	2.1 破碎原理.....	5
	2.2 篩分原理.....	19
第三章	破碎設備.....	43
	3.1 顎形破碎機(Jaw Crusher).....	44
	3.2 偏心破碎機(Gyratory Crusher).....	50
	3.3 轉輪破碎機(Rolls Crusher).....	57
	3.4 衝擊破碎機(Impact Crusher).....	61
	3.5 渦旋多葉撞擊式破碎機.....	65
	3.6 剪斷破碎機.....	65
	3.7 複合切斷式破碎機與單軸回轉式破碎機.....	60
	3.8 球磨機(Ball Mill)與棒磨機(Rod Mill).....	67
	3.9 振動磨機(Vibration).....	77
	3.10 攪拌磨機(Agitation Bead Mill)與塔磨機(Tower Mill).....	79
	3.11 豎磨機(Loesche Mill).....	80
第四章	篩分設備.....	87
	4.1 固定篩.....	88
	4.2 震動篩.....	88
	4.3 曲面篩.....	94
	4.4 機率篩.....	95
第五章	老舊廢木材資源化破碎案例.....	101
	5.1 前言.....	101
	5.2 老舊廢木材特性.....	101
	5.3 老舊廢木材資源化處理流程及設備選用.....	103
	5.4 檢測老舊廢木材回收再利用與否之要求.....	109
	5.5 老舊廢木材破碎篩分處理之評估.....	111
	5.6 老舊廢木材資源回收經濟效益分析.....	111
第六章	爐石資源化破碎案例.....	117

	6.1 前言	117
	6.2 不銹鋼電弧爐爐石特性.....	117
	6.3 處理流程	119
	6.4 設備選用規範.....	120
	6.5 處理效果	123
	6.6 經濟效益分析.....	124
第七章	廢塑膠資源化破碎案例.....	129
	7.1 前言	129
	7.2 廢塑膠特性概述.....	129
	7.3 廢塑膠資源化處理流程.....	133
	7.4 廢塑膠資源化設備選用規範.....	135
	7.5 廢塑膠資源化處理效果.....	137
	7.6 廢塑膠資源回收經濟效益分析.....	137
第八章	廢橡膠資源化破碎案例.....	141
	8.1 前言	141
	8.2 廢橡膠特性	141
	8.3 廢橡膠資源化處理流程.....	142
	8.4 廢橡膠資源化設備選用規範.....	147
	8.5 廢橡膠資源化處理效果.....	151
	8.6 廢橡膠資源化回收經濟效益.....	152
第九章	廢電冰箱資源化破碎案例.....	157
	9.1 前言	157
	9.2 廢電冰箱的特性.....	157
	9.3 破碎機的要求.....	157
	9.4 破碎機機械機構、破碎原理和應用.....	158
	9.5 設備選用規格.....	160
	9.6 破碎機處理效果.....	163
	9.7 處理流程說明.....	166
	9.8 經劑效益分析說明.....	171
第十章	大型廢棄物資源化破碎案例.....	177
	10.1 前言	177
	10.2 大型廢棄物特性概述.....	179
	10.3 大型廢棄物資源化處理流程.....	180
	10.4 大型廢棄物資源化設備選用規範.....	181
	10.5 大型廢棄物資源化處理效果.....	188

10.6	大型廢棄物資源回收經濟效益分析.....	190
第十一章	一般廢棄物資源化破碎案例.....	195
11.1	前言.....	195
11.2	廢棄物的特性.....	195
11.3	廢棄物處理和破碎機選用.....	197
11.4	破碎機機械結構、破碎原理和應用.....	197
11.5	選用渦旋多葉層板式破碎機原因.....	198
11.6	破碎機內部構造及作用.....	199
11.7	渦旋多葉片撞擊式破碎機經濟效益檢討.....	202

圖目錄

圖 2.1	破碎機械對材料的施力情況.....	5
圖 2.2	破碎與顆粒中礦物之暴露與單離.....	6
圖 2.3	金屬、岩石和橡膠材料之應力-應變區線示意圖.....	7
圖 2.4	顆粒大小與粉碎能量關係圖.....	10
圖 2.5	各種不同大小球體混合受壓時的破裂機率.....	11
圖 2.6	破碎的機構.....	12
圖 2.7	磨球之間的有效粉碎區域圖.....	13
圖 2.8	破碎機之咬角示意圖.....	16
圖 2.9	正常轉速下磨球之移動情形.....	17
圖 2.10	顆粒過篩示意圖.....	20
圖 2.11	顆粒過篩的倒數與顆粒和篩孔相對尺寸的關係.....	22
圖 2.12	篩分效率的測定.....	25
圖 2.13	篩分效率與篩分時間的關係.....	26
圖 2.14	篩分效率與篩分時間的關係.....	18
圖 2.15	篩分效率與礦石濕度的關係.....	33
圖 2.16	單個顆粒透過傾斜篩面的篩孔示意圖.....	37
圖 3.1	顎形破碎機之構造圖.....	45
圖 3.2	顎形破碎機之尺寸圖.....	49
圖 3.3	偏心破碎機之構造圖.....	51
圖 3.4	偏心破碎機之尺寸圖.....	55
圖 3.5	轉輪破碎機之構造.....	57

圖 3.6	轉輪破碎機之尺寸圖	59
圖 3.7	衝擊破碎機之構造圖	61
圖 3.8	渦旋多葉撞擊式破碎機外觀	63
圖 3.9	渦旋多葉撞擊式破碎機內部構造	63
圖 3.10	剪斷破碎機之側視圖	66
圖 3.11	剪斷破碎機之俯視圖	66
圖 3.12	剪斷破碎機之正視圖	67
圖 3.13	複合切斷式破碎機機械外觀圖	68
圖 3.14	單軸回轉式破碎機外觀圖	69
圖 3.15	球磨機之構造	72
圖 3.16	球磨機之尺寸圖	74
圖 3.17	管狀球磨機之構造圖與各部名稱	75
圖 3.18	管狀球磨機之尺寸圖	76
圖 3.19	振動磨機之構造圖	78
圖 3.20	塔磨機之外觀與構造	80
圖 3.21	豎磨機之外觀圖	81
圖 4.1	慣性震動篩	89
圖 4.2	自調中心震動篩	91
圖 4.3	共振篩的原理示意圖	92
圖 4.4	重力曲面篩原理示意圖	94
圖 4.5	機率篩結構示意圖	96
圖 5.1	木材循環利用 I	102
圖 5.2	木材循環利用 II	102
圖 5.3	木材循環利用 III	103
圖 5.4	粒片準備之流程	105
圖 5.5	盤狀鉋片機	105
圖 5.6	圓筒狀鉋片機	106
圖 5.7	磨切機	106
圖 5.8	使用過老舊材準備過程介於廢料與生產範圍之分嶺線	107
圖 5.9	使用過老舊材準備處理設備之示意圖	108
圖 5.10	木質家具與木質廢料解離方法之示意圖	108
圖 5.11	老舊木製品搗切機	109
圖 5.12	檢測老舊廢木料是否回收再利用應用之流程	110

圖 6.1	電爐石回收流程概念圖	119
圖 7.1	塑膠廢棄物形成流程圖	134
圖 7.2	廢塑膠破碎分離處理流程圖	134
圖 7.3	廢塑膠破碎分離處理設備	136
圖 8.1	廢輪胎待處理管理流程	142
圖 8.2	廢輪胎應用於水泥窯資源再利用流程	143
圖 8.3	廢輪胎粉碎分離後橡膠粒鋪設學校跑道	144
圖 8.4	廢輪胎粉碎分離後橡膠粒作為兒童安全遊樂設施	145
圖 8.5	破碎分離處理流程	145
圖 8.6	利用再生膠粉製造拖鞋及輪胎	145
圖 8.7	利用再生膠粉製造各種橡膠板及地磚	146
圖 8.8	利用再生膠粉製造及汽車零件及浴缸栓	146
圖 8.9	廢輪胎粉碎分離處理設備流程圖	148
圖 8.10	廢輪胎粉碎分離處理設備實景	149
圖 8.11	廢輪胎粉碎鋼絲拆解分離設備	149
圖 8.12	廢輪胎粉碎尼龍纖維及橡膠粒分離設備	150
圖 8.13	廢輪胎粉碎分離之橡膠粒成品包裝	150
圖 9.1	粗絞破碎機結構	159
圖 9.2	橫流壓混機示意圖	160
圖 9.3	二軸式破碎機	161
圖 9.4	強制擠壓進料器	161
圖 9.5	橫流壓混機	162
圖 9.6	批次式進料系統	163
圖 9.7	經破碎所得各類成品	166
圖 9.8	廢電冰箱處理流程	167
圖 9.9	含氟氯碳化物類系統流程圖	168
圖 10.1	大型廢棄處理流程圖	178
圖 10.2	吉野三町村清掃中心機械處理流程圖	184
圖 10.3	破碎機種類	185
圖 10.4	複合切斷式破碎機機械外觀圖	187
圖 10.5	單軸回轉式破碎機外觀圖	187
圖 10.6	大型廢棄物之一次破碎例（切斷粗破碎）	189
圖 10.7	大型廢棄物之二次破碎例（細破碎）	189

圖 11.1	對各種不同物件材質處理效果	201
--------	---------------------	-----

表目錄

表 2.1	金屬、岩石和橡膠材料之破斷應力及應變數值	8
表 2.2	各種球磨機的粉碎能量密度	14
表 2.3	各種球磨機粉碎能量密度與其特點	15
表 2.4	顆粒過篩的機率與顆粒及篩孔相對尺寸的關係	23
表 2.5	石英的篩分效率與時間的關係的試驗資料	27
表 2.6	振動篩的篩分效率與生產率的關係	30
表 2.7	篩面種類	34
表 2.8	篩面水平及傾斜放置時篩下物最大粒度與篩孔寬的關係	38
表 3.1	破碎性質分類及適用破碎機	43
表 3.2	柏克型顎形破碎機各部名稱與主要零件之材質	45
表 3.3	顎形破碎機工作中的故障與消除方法	47
表 3.4	顎形破碎機易磨損零件的使用期限和最低備份數量	48
表 3.5	顎形破碎機之外形尺寸	49
表 3.6	顎形破碎機之破碎能力	50
表 3.7	偏心破碎機各部名稱與主要零件之材質	51
表 3.8	偏心破碎機工作中產生的故障及消除方法	53
表 3.9	偏心破碎機易磨損零件的使用期限和最低備份數量	54
表 3.10	偏心破碎機之外型尺寸	56
表 3.11	偏心破碎機之破碎能力	56
表 3.12	轉輪破碎機之外型尺寸	59
表 3.13	轉輪破碎機之破碎能力與馬力	60
表 3.14	渦旋多葉撞擊式破碎機規格表	65
表 3.15	複合切斷式與單軸回轉式破碎機性能比較表	70
表 3.16	磨機的故障、原因及消除方法	73
表 3.17	球磨機之規格尺寸	74
表 3.18	球磨機之磨礦能力與馬力	75
表 3.19	管狀球磨機之規格尺寸	76
表 3.20	管狀球磨機之磨礦能力與馬力	77

表 4.1	篩分設備的分類.....	87
表 5.1	老舊廢木料經不同回收處理方法之效益分析.....	112
表 5.2	預估廢木料處理費用.....	112
表 6.1	不銹鋼電爐石之礦物成分.....	118
表 6.2	電爐石處理與再生流程之經劑效益比較.....	125
表 7.1	塑膠之分類.....	130
表 7.2	通用工程塑膠、超級工程塑膠.....	130
表 7.3	塑膠皮板管材業.....	131
表 7.4	塑膠膜袋業.....	131
表 7.5	塑膠日用品業.....	131
表 7.6	塑膠皮製品業.....	132
表 7.7	工業用塑膠製品業.....	132
表 7.8	其他塑膠製品業.....	132
表 8.1	廢輪胎處理廠商佈地點及日處理量.....	147
表 8.2	不同廢輪胎及煤之熱值比較.....	151
表 9.1	污染排放標準與實廠監測值.....	169
表 9.2	廢冰箱回收處理廠最終產物處理技術與管道.....	170
表 10.1	各類大型廢棄物之比重.....	180
表 10.2	大型廢棄物破碎機性能比較表.....	185
表 10.3	破碎後單位容積重量的增加表.....	188
表 10.4	選別物的純度及回收率表.....	188
表 11.1	一般廢棄物性質.....	196
表 11.2	渦漩多葉片撞擊式破碎機規格表.....	200

局 長 序

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

工業局為奠定國內產業永續發展之根基，對於推動產業環境保護工作，自來皆以責無旁貸自許勉力而為，由早期「水污染防治法」之頒佈，到前今「工業廢棄物第一期五年計畫」之執行，各階段行政方針除緊密結合潮流趨勢外，最重要的任務即為適當導引國內產業後續之發展方向，以確保國家整體競爭力。

國內廢棄物之產出以產業界佔主要比例，且不斷微幅成長當中，加以全球新近制訂之國際公約，皆不約而同對於工業廢棄物採取嚴謹之規範，甚至與國際貿易相結合而更形複雜。針對這樣的現實環境，本局除於政策上妥為因應外，更期勉產業界能由自身做起，對於其所產出之廢棄物加以分類，並尋求最佳之處理設備。

本設備手冊以最廣泛使用之破碎設備（含篩分設備）為專題，佐以多類常見廢棄物之應用案例，或可做為各界於推動國內廢棄物資源化工作時，有關設備選用之參考，並期能引起各界對於推動廢棄物資源化工作之迴響，以舒解國內廢棄物處理上之壓力。

經濟部工業局局長

中華民國八十八年六月

團 長 序

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

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

本手冊首先以廢棄物破碎及篩分設備為範圍，邀請國內資源回收領域溫紹炳教授、陳載永教授、葉能魁先生、吳有顯先生、林盟博先生及官志誠先生等 7 位學者、專家，共同執筆編撰成冊。同時，亦感謝國立臺灣大學楊萬發教授、張慶源教授、馬小康教授，國立台北科技大學張添晉教授及王金樹教授撥冗參與繁重之審查工作，在此謹致最高之謝忱。

本手冊之資料蒐集不易，雖已盡心修訂，但疏漏之處恐仍難免，尚祈各界先進不吝指正。

工業污染防治技術服務團

中華民國八十八年六月



第一章 前 言

1.1 資源再利用之意義

由於經濟的高度發展，我國的事業廢棄物與年俱增，依據環保署調查推估統計目前台灣地區事業廢棄物年產量已達 1,900 萬噸，其中大部分都是可資源回收再利用，例如紙類，國內造紙廠除文化用紙及衛生紙外，其餘皆使用廢紙為原料，總計約有 70%，但是國內廢紙分類未上軌道，因此我們係再利用進口廢紙，為他國降低廢棄物量，又例如廢棧板類早期民間回收作為燃料或其他用途，現在卻需要付費給專業清理機構妥善處理，既浪費資源又花費事業成本，其他尚包括廢塑膠、廢橡膠、廢金屬物、廢玻璃等皆屬於可以資源再利用的廢棄物，總計約有 980 噸/年，佔 50% 以上，值得資源再利用。

二次資源的利用與原始資源相較，除了可節省大量的能源外，還可節省原料的開採量及因此產生的棄渣等廢棄物量及其可能造成的污染。在美國，每生產一噸鋼鐵，其中就有半噸的原料來自二次資源。其他例如 70% 的金屬銅與 30% 的金屬鋁也都來自二次資源。由此可知，資源再利用可有效地減緩對環境之衝擊及天然資源的涸竭。

1.2 粉碎及篩分對資源化製程之重要性

資源再利用有三種方式：

1. 有價成份回收：將廢棄物中有價成份回收成為二次資源，可使廢棄物減量，如廢金屬的再資源化等。處理的技術包括物理的分選與化學的冶鍊等過程，與原始資源的處理過程頗為類似。但是二次資源有許多特性與原始資源不同，例如礦石一般均具有硬而脆的碎磨性質，而廢輪胎則具有韌性及耐磨的性質，二者在碎磨特性上極為不同，因此不同廢棄物的處理技術與流程常需做個別的深入研究與開發。
2. 資源轉用：將廢棄物轉換為其他用途的原材料，如鋼鐵爐渣做為築路材料或高爐水泥，垃圾堆肥做為有機肥料；紙廠的淤泥乾燥後造粒，做為熔融金屬的表



第一章 前言

面保溫材料，熔鋁廠的鋁灰，做熔融金屬表面發熱保溫材，鋼板的壓延鐵屑做電弧爐熔鐵的昇溫促進劑等轉用成功的實例。

- 3.能源回收：將廢棄物中所含的可燃成分焚化燃燒以回收熱能，同時達到廢棄物減量化與安定化之最終目的，如可燃性垃圾，廢塑膠等的焚化。可燃性垃圾之分類須賴一般民眾的配合，其發熱值變化大，問題較為複雜。

不論是有價成分之回收、資源轉用或是能源回收，所需執行的第一步皆是破碎，破碎後將有用物料與無用物料單離，再藉篩分將其分離，以達到資源化處理程序或再利用的目的。例如老舊廢木材之破碎，由於廢木材通常由傢俱或建築物而來，其中可能含有鐵釘或玻璃等雜質，因此需先用剪斷破碎機將其破碎，才能將雜質分開；爐石之資源化則需先將爐石以顎形破碎機或衝擊破碎機碎成小顆粒，才能將其中之小鐵球分選出；廢橡膠及廢塑膠之資源化利用，需將其以剪斷破碎機將其碎成小顆粒，才能熱裂解處理；至於大型廢棄物如廢電冰箱等，由於其成分複雜，也必須以破碎機將其破碎，使各種成分達到單離，才能將其分選。

本文將針對破碎與篩分二單元操作做詳細描述。廢棄物資源化的第一步工作是將廢棄物破碎以達到單離，使單一顆粒僅含單一材質或單一組成，至於達成單離的粒徑，則需視不同材質的粒徑而定，粒徑愈小，則應破碎粒徑愈小。破碎後，並需再篩分將已破碎達要求粒度的細小顆粒篩分出為破碎產物，以供為下一步操作的進料，而將未達要求粒徑的顆粒再送回破碎機進行破碎。



第一章 前言



第一章 前言

第二章 破碎、篩分原理

2.1 破碎原理

2.1.1 目的

任何一種破碎機都不是只有用一種力破碎材料，通常是以某種力為主，配合上其他種力的作用，因此，破碎機施於材料上的力是複雜的，為了便於分析和研究，常常著重考慮主要的力，對於其他種力的影響又作附帶研究。破碎機械的施力情況，可以分為壓碎、劈開、折斷、磨剝和衝擊等，如圖 2.1 所示。對於壓碎方面就應當考慮材料的抗壓強度；劈開就要注意其抗拉強度；折斷要注意其抗彎強度；磨剝就應考慮其抗剪切強度；衝擊時要考慮其抗衝擊強度。

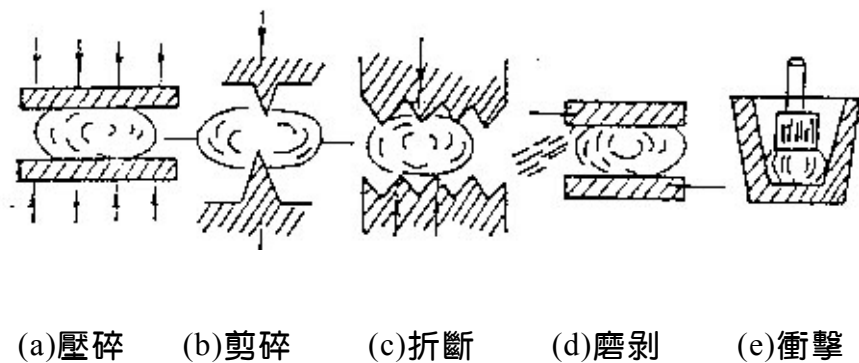


圖 2.1 破碎機械對材料的施力情況

破碎作業的主要目的有三：

1. 單離或暴露：如圖 2.2 再生程序中，常有使用到分選作業，例如汽車的引擎中，常有部分零件是用鋁合金，車體內的電線則為銅線，要將他們分選出來以前，

必須先予以單離，所謂單離就是成份分離，例如將金屬變成一塊只包含一種金屬，使得分選作業得以進行。尤其是金屬製品都是用裝配而成，使用螺絲鉚釘接和，單離無法靠拆解時，就得使用切割或撕裂。有些金屬回收程序是要靠化學溶解法將部分金屬溶於溶液中而達到回收目的；此時，要回收的金屬必須要暴露於容易能接觸的地方而不能被包於不溶物之中。在分選或溶解之前，必須先達到單離或暴露，故此為金屬切碎作業的首要目標。

- 2.適合之分選作業大小：每一種分選作業，都有適用的金屬物件大小範圍，有些分選作業適用愈大件愈好，例如人工手選同樣的手選件數之下，單離體愈大，選出物重量愈多，單離體愈大愈好。但是若單離體大到數十公斤而超過人力負荷時，反而不能用手工搬運，因此，手選作業有一定適用的大小範圍。
- 3.適用之產品大小：有些單離不必要經過分選作業的回收再生資源，為了裝載、搬運或是其他使用之限制，常常也要再予切碎，例如輪胎，做為水泥燃料使用時，為了燃燒方便而將它切成小塊。

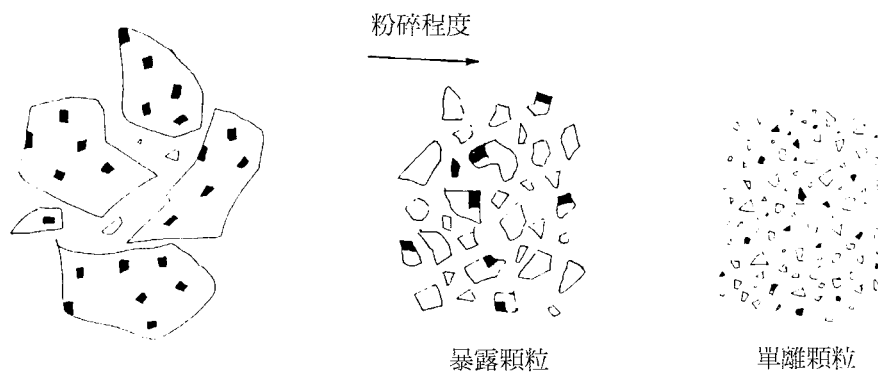


圖 2.2 粉碎與顆粒中礦物之暴露與單離

2.1.2 破碎特性要求

資源回收程序所涉及的材料一般可分為金屬類、陶瓷玻璃岩石類及橡膠、塑膠有機製品類。這三大類材料有極大的基本差異，在切割或粉碎作業時，這些材料的基本性質是決定作業機器之主要決定因素。這三大類材料的代表性性質表示於圖 2.3，以材料受力時的應力與應變來表示岩石類、金屬類及橡膠類的性質，岩石受力產生應變，超過某一程度即破壞，應力應變變化成直線比例，此比例即為岩石之楊氏模數。金屬的應力應變前稱為彈性變化，和岩石相似的為直線比例，但金屬在破壞以前有相當大比例的塑性變形，變形量達到本身原來大小的 70% 左右時，才產生破壞。橡膠則受力很小即產生很大變形，破壞時，變形量要達到原來大小的七、八倍，這三種材料的破斷應力，應變列於表 2.1。因此，針對各類廢棄物材質特性，應選用不同施力情況的破碎設備，以達到切割目的。

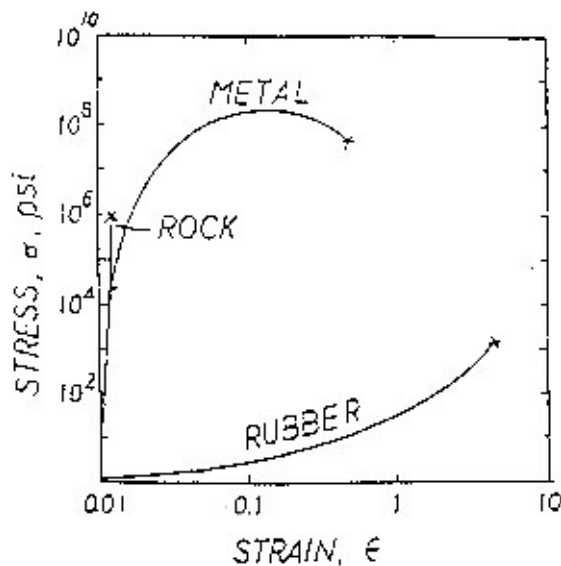


圖 2.3 金屬、岩石和橡膠材料之應力—應變區線示意圖

表 2.1 金屬、岩石和橡膠材料之破斷應力及應變數值



第二章 破碎、篩分原理

材料種類	應力(psi)	應變
岩石	10 ⁶	0.1%
金屬	10 ⁷	60%
橡膠	10 ³	80%

2.1.3 單離(Liberation)與暴露(Exposure)

單離與暴露的基本觀念來自於高汀(Gaudin)的單離模式。由物理分選的觀點，粉碎後的顆粒可分為單離顆粒及互鎖顆粒。由浸漬分選的觀點，則可分為暴露晶粒與非暴露晶粒。

在物理分選作業中，互著顆粒中的異相物質未完全分離，富集後的純度必不高，必須將互鎖顆粒粉碎成為單離顆粒，才有可能繼續提高。其分離程度，可用單離度(degree of liberation)來表示，其定義是：某物質單離顆粒的重量與總重量的比值。單離度愈高表示其中單離顆粒比例愈高，亦即互著顆粒比例愈小。即：

$$\text{單離度} = \frac{\text{某物質單離顆粒之重量}}{\text{總重量}} \dots\dots\dots(2.1)$$

若顆粒大小均一時，公式(2.1)可寫為

$$\text{單離度} = \frac{\text{某物質單離顆粒顆粒數}}{\text{總顆粒數}} \dots\dots\dots(2.2)$$

在顆粒中，若回收物露出於顆粒表面，則為曝露型，若完全被包裹在顆粒中，則為未暴露晶粒。暴露度在化學浸漬作業中，只有暴露型才可經浸漬而溶解，因此可用於描述溶出率的指標，一般是以暴露度(degree of exposure)表示，其定義是暴露型重量與所有存在顆粒中的晶粒(包含暴露與未暴露)重量之比。

$$\text{暴露度} = \frac{\text{某物質暴露顆粒之重量}}{\text{總重量}} \dots\dots\dots(2.3)$$



總重量

若顆粒大小均一時，公式(2.3)可寫為

$$\text{暴露度} = \frac{\text{某物質暴露顆粒之顆粒數}}{\text{總顆粒數}} \dots\dots\dots(2.4)$$

2.1.4 顆粒強度

粉碎是將顆粒壓碎，在進行壓碎時，施力必須大於顆粒的強度，而顆粒強度之定義為：顆粒破裂的瞬間，單位受力截面積所承受之外力，即：

$$\text{顆粒強度} = \frac{\text{顆粒所受外力}}{\text{顆粒的受力截面積}} \dots\dots\dots(2.5)$$

由於不規則的顆粒其受力面一般比平均截面積要小很多，為得到合理的強度，一般均假設平均截面積等於 10 倍接觸面的大小，因此，不規則顆粒的強度是以實際所測強度的 10 倍計算如下式。試驗顯示，顆粒的強度隨著顆粒大小之降低而增加。其原因可以歸納為下面三個理由：

- 1.小顆粒中的裂痕比大顆粒中的裂痕小而且少，因此要在小顆粒中產生裂痕並擴大，應力相對較大。
- 2.顆粒在破裂前，可儲存的彈性能量與體積成正比，但是產生裂痕之能量則與顆粒截面積成正比，因此，顆粒的強度與粒徑成反比，亦即顆粒愈小強度愈大。
- 3.異質結構在顆粒粒徑變小時，可能成為均質之單晶顆粒，強度因而增加。

2.1.5 破碎能量

破碎能量是指破碎一單位體積或一單位質量顆粒所需要之能量。在咬碎或壓碎顆粒時，所需應力並非恰等於將顆粒壓碎所需之壓力。因此粉碎機之耗能一般無法由破碎能量之計算獲得。但其可作為分析粉碎機壓碎微小程序的有效方法，像在兩個圓球之間壓碎單一顆粒，兩滾輪壓碎，兩顆粒撞擊，或是槳葉打擊顆粒等。

圖 2.4 所示為石灰石顆粒以壓力及衝擊力打碎所需的破碎能量與粒徑之關係。圖中的縮減比(Reduction Ratio, r.r)為進料顆粒與出料間隙之比值。顯示縮減

比愈大所需破碎能量亦愈高。衝擊試驗是試驗顆粒 50%破碎時的動能。與壓碎的破碎比為 1.3 時很接近衝擊試驗的數值，可以用為代表破碎能量的數值。

圖中顯示破碎能量隨顆粒粒徑之減小而大幅增加，粒徑在 100 μm 時石灰石所需破碎能量約為 0.9J/g。此數值是粒徑 1000 μm 的 6 倍左右。依此趨勢，對於微米大小的顆粒其破碎能量可能將達到 10J/g 左右。

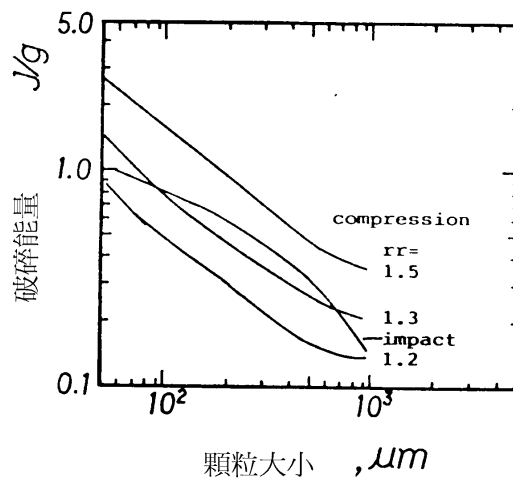


圖 2.4 顆粒大小與粉碎能量關係圖⁽¹⁾

2.1.6 粒間破碎 (Interparticle Breakage)

在一般破碎操作中常用發生所謂層狀壓碎的現象，即較大顆粒直接被粉碎面壓碎，但較小的顆粒則被較大顆粒的阻擋而是間接壓碎。在細碎或超微細碎的操作用中，此種粒間破碎為主要的破碎方式。它有的特點是：

1. 只有部分顆粒被壓碎，雖然四周壓力非常大，仍然很難有全部的粒間顆粒破碎。
2. 壓碎的顆粒大小集中在某一個粉碎極限之上。

3. 餵料中若已有微粉時，再次壓碎的微粉會依次降低。

顆粒在層狀壓碎時受力狀況決於排列情況。在兩顆粒之間的小顆粒受到的應力要比大顆粒受到兩顆小顆粒擠壓的應力大得多。大顆粒壓小顆粒時，小顆粒受應力是和大小顆粒的比例成二次方正比。在圖 2.5 中，以玻璃珠 2mm，1mm 及 0.5mm 混合壓碎試驗，橫座標為 2mm 大球所佔比例，縱座標是玻璃珠破碎之機率，施加的壓力是一定值，顯示了大顆粒玻璃珠被小顆粒所保護。(即大顆粒比例低時，破碎機率非常小)。小顆粒在大顆粒之間的破碎比例則大得多(大顆粒比例大時，破碎機率很大)。

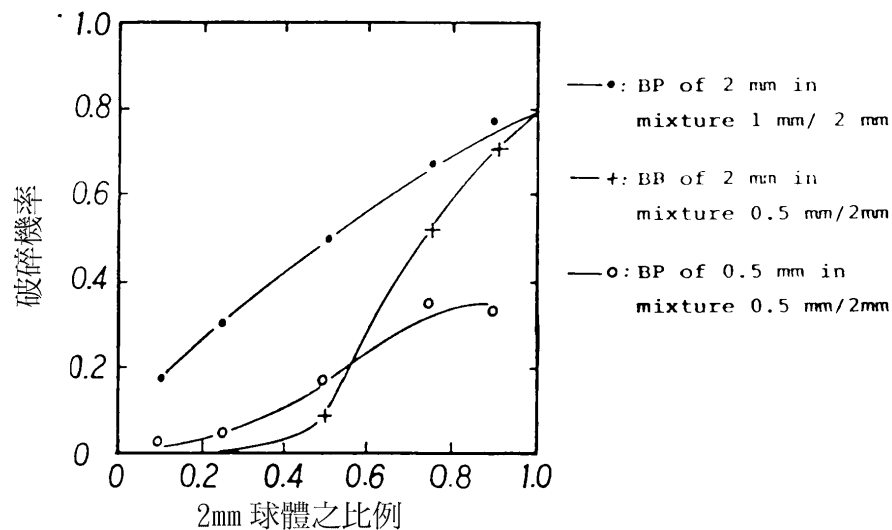
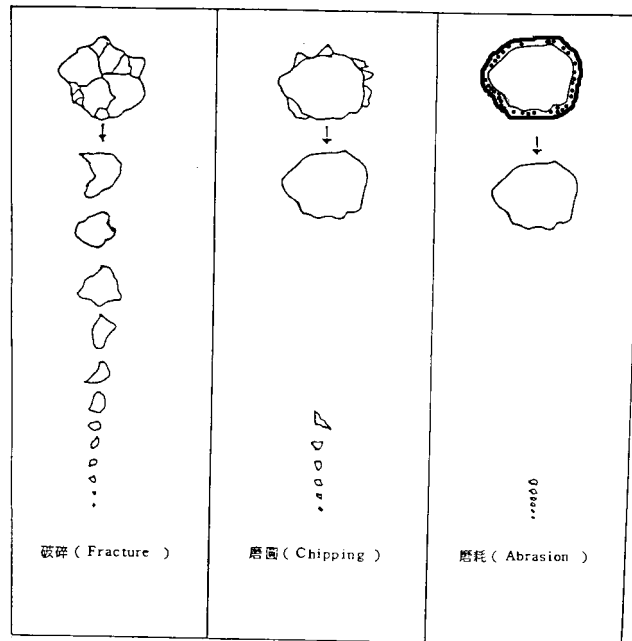


圖 2.5 各種不同大小球體混合受壓時的破裂機率⁽²⁾

2.1.7 磨耗(Abrasion)

粉碎時，顆粒破碎的機構有三種：(1)破碎；(2)磨圓；(3)磨耗；其示意圖如圖 2.6。摩擦力在微粒粉碎時非常重要，不規則的顆粒會因為磨耗作用而變得較圓並產生微小碎塊。這種破碎機構會隨著顆粒變得愈圓而漸漸減少，到此時，要再研細幾乎不可能了。



(1)破碎 (2)磨圓 (3)磨耗

圖 2.6 破碎的機構

2.1.8 磨球之有效粉碎空間

在磨球之間，顆粒被兩顆磨球壓迫，能夠有效咬住顆粒並予施力的空間如圖 2.7 顯示，假設 α_0 是有效空間的圓心角，則：

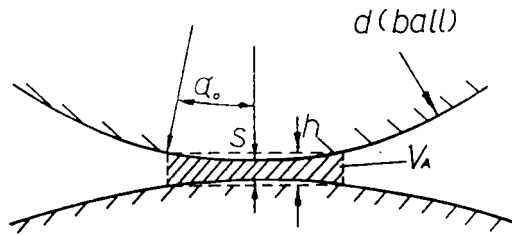


圖 2.7 磨球之間的有效粉碎區域圖⁽¹⁴⁾

$V_A = (\pi h d^2 \alpha_0^2) / 4$ 這個體積很接近圓柱體，高為 h ，圓半徑 $r\alpha_0 = d\alpha_0 / 2$ ，所以

$$\text{體積} = \pi \cdot (d\alpha_0 / 2)^2 \cdot h \dots\dots\dots(2.6)$$

α_0 數值決定於球直徑 d ，顆粒大小 X ，摩擦係數 u ，及粉末填充比例。在乾磨時， α_0 接近 u 之值，約為 $0.3d/X$ ，在 15 左右。在單一粒子層粉碎時， h 可以用顆粒大小 X 來代替，此時有效的粉碎體積，可以用一個磨球體積 $V_B = \pi d^3 / 6$ 的比例來代表，假設上式 V_A 中， $\alpha_0 = 0.3$ 代入，則

$$V_R = V_A / V_B = 3/2(X/d) \cdot \alpha_0^2 = 0.145X/d \dots\dots\dots(2.7)$$

即磨球與被磨顆粒比例的 14.5% 為有效粉碎體積。若以 d/X 為 15 推算有效粉碎體積大約為球體積的 1% 左右。當磨球愈大，或是被磨顆粒變得小時，有效粉碎體積都變得比較小，全體磨球的粉碎效率因而降低。

2.1.9 磨球之粉碎能量密度

兩顆磨球接近時產生的應力施予被磨顆粒而將之粉碎稱為微觀粉碎程序，這個程序所釋放出的能量施於有效粉碎體積內之顆粒上面，是這些被磨顆粒承受之微觀粉碎能量密度。設磨球的動能為 E_{VB} ，則

$$E_m = E_{VB} \cdot (V_B / V_A) / (\rho_m \cdot (1 - \varepsilon_m) V_A) \dots\dots\dots(2.8)$$

式中 $\rho_m \cdot (1 - \varepsilon_m)$ 為有效粉碎體積內之質量， ρ_m 為物質比重， ε_m 為物質在 V_A 之內的孔隙率。磨球的動能 E_{VB} 可以用磨球加速度 a ，球密度 ρ_B ，及磨球

廢棄物資源回收及處理設備 - 破碎

平均落下之自由行程入表示為

$$E_{VB} = \rho_B \cdot a \cdot \lambda = \xi \rho_B \cdot a \cdot D ; \quad \xi = \lambda / D \dots \dots \dots (2.9)$$

式子中 ξ 為磨球落下自由行程以磨機直徑 D 為單位之無單位數量，上兩式結合成為

$$E_m = \xi (1 - \varepsilon_m)^{-1} (\rho_B / \rho_m) (V_B / V_A) (a \cdot D) / V_A \dots \dots \dots (2.10)$$

由此計算出來的能量密度和實際顆粒粉碎所需的能量密度比較，可以得知顆粒所承受能量是否足以被打碎。上式中 ξ 之數值一般在 0.01-0.1 之間，則 E_m 變為

$$E_m = \xi (2/3) (\rho_B / \rho_m) (d/X) \cdot a \cdot D / V_A (1 - \varepsilon_m) \dots \dots \dots (2.11)$$

則可知微觀粉碎能量與磨機直徑 D ， d/X 比例及加速度 a 成正比，加速度 a 則來自：(1)轉磨機時是重力加速度 g ；(2)振動磨機為振動加速度 $4An^2 \pi^2 = zg$ ， z 在 5-10 之間；(3)行星磨機之離心加速度 zg ， z 在 10-30 之間；及(4)攪拌磨機是攪拌棒外緣的離心加速度 $2U^2/Ds$ ， U 為外緣速度， Ds 為攪棒攪拌直徑。

ξ 數值，在轉磨機部分已經過試驗得到數值介於 0.05-0.15 之間，振動磨機為 0.004-0.3 之間，攪拌磨機則為 0.01，行星磨機接近轉磨機。經過這些數字的估算，得到粉碎能量密度如表 2.2 所示。

表 2.2 各種球磨機的粉碎能量密度

種類	ξ	a(加速度)	粉碎能量密度， E_m
轉磨機	0.1	1g	(0.4-0.08) • D(m)J/g
振動磨機	0.02	10g	(0.8-0.16) • D(m)J/g
行星式磨機	0.1	20g	(8.0-1.6) • D(m)J/g
攪拌磨機	0.01	25g(U=110m/sec)	(1.0-0.2)J/g

表 2.3 各種球磨機粉碎能量密度與其特點

轉磨機	$E_m=(0.4-0.08) \times D(m)J/g$	D 可以大至 5m, E_m 可以大至 2.0J/g, 傳動機構最複雜, 能量損耗大, 充球率 50%。
振動磨機	$E_m=(0.8-0.16) \times D(m)J/g$	D 最大只能達到 0.5m, E_m 最大到 0.4J/g, 傳動機構最簡單, 能量損耗最小, 充球率可達 90%。
行星式磨機	$E_m=(8.0-0.16)(Dm)J/g$	D 大約 150mm, E_m 最大 1.2J/g 機型大小限制了它的發展。
攪拌磨機	$E_m=(1.0-0.2)J/g$	E_m 與機器大小無關, 比轉磨機及振動磨機大, 適用於微細粉碎。

在上面表 2.3 的能量密度計算看來, 以行星磨機的數值最大, 比其他各種球磨機的能量密度大約十倍, 這是因為它球體所受的加速度數值最大之故。也因為如此, 這種機器現在只能設計出直徑在 100-200mm 大小的實驗室型磨機, 再加大則有機械設計上的困難。

在各種機器的能量密度來看, 最大數值在 1J/g 左右, 前面提到的破碎能量在顆粒小於 100 μm 時都超過此數值。因此, 在磨球之間, 並不是一層的顆粒同時受到磨球壓碎, 而只是一些顆粒被壓碎於磨球間。

2.1.10 咬角

破碎機的咬角(Angle of Nip 或 Wedge Angle), 係給礦與兩碎礦面接觸之點所作切線所成之角。如圖 2.8 之 N。咬角之大小, 對碎礦機之操作影響甚大。

以轉輪機為例, 如礦石大小與排礦開口相等, 則咬角為 0° , 礦石增大則咬角隨之增大; 不僅礦石大小, 即轉輪直徑及排礦開口之大小, 亦將影響咬角之值, 其關係可以下式表之。

$$\cos \frac{N}{2} = \frac{D/2 + S/2}{D/2 + d/2} = \frac{D + S}{D + d} \dots \dots \dots (2.12)$$

即 $N=2\cos^{-1} \frac{D+S}{D+d}$, N 為咬角(楔角), D 為轉輪之直徑, d 為給礦之直徑, S 為排礦開口。

理論上咬角最大限度為 $33^\circ 24'$, 事實上為碎礦操作順利起見, 隨著微細粉末存在, 顆粒或碎礦面平滑程度, 接觸面會引發許多迴轉而變化咬角小於此數, 約在 11° 至 25° 之間。

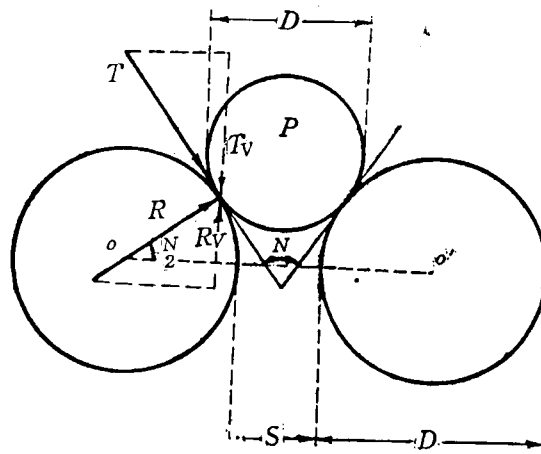


圖 2.8 破碎機之咬角示意圖⁽¹⁴⁾

2.1.11 轉磨機之轉速及研磨作用

磨機之轉速對磨體之研磨作用，及磨機之效率及能力等，均甚關重要。倘磨機轉速過快，則磨體將附著機殼隨同旋轉，如此則甚少研磨作用。一般都用正常轉速(臨界轉速之 70%~85%)運轉在此轉速下，球有打擊及研磨作用，研磨效率高，能力亦大，而球及襯板之消耗不甚大，動能消耗亦不過多。臨界轉速通常為表示轉磨機轉速之參考數值，是代表磨球在重力加速度為 1G 時的轉速，即：

$$N_k = \frac{76.7}{\sqrt{D' - d'}} \quad \text{或} \quad N_k = \frac{42.2}{\sqrt{D'' - d''}} \dots\dots\dots(2.13)$$

其中 N_k 為臨界轉速(R.P.M)

D 為磨機之直徑(D' 單位為呎)或(D'' 單位為公尺)

d 為磨球之直徑(d' 單位為呎)或(d'' 單位為公尺)

球磨機在正常轉速下，球之移動情形，根據(E.W.Davis)的分析，有四個帶的存在，如圖 2.9，即(I)無球帶，(II)球沿拋物線落下帶，(III)球不活動帶，(IV)球滾動運動帶。球在磨機底部隨機殼作滾動運動，至相當高度如 A(或 E)後，即沿



拋物線 AMD(或 EGF)落下，打在機殼 D 或機底部的球上，故 CFD 線為落下時之打擊碎礦區域。又球在滾動運動帶內有滾動及滑動發生，亦當有研磨礦石之作用。惟球在不活動帶內者，則甚少移動，故研磨作用很少。

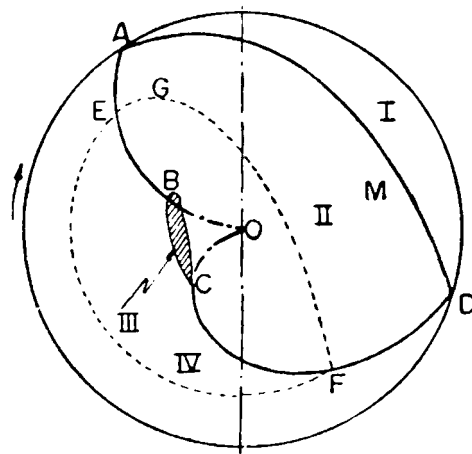


圖 2.9 正常轉速下磨球之移動情形⁽¹⁴⁾

2.1.12 停留時間分佈

在連續粉碎運轉中，顆粒停留在磨機中的時間會影響產品的顆粒大小分佈，各種磨機型式中，停留時間與顆粒大小無關。研磨介質的對流運動加上混合作用會增加停留時間分佈寬度，使得未磨細的粗大顆粒流出之機率大增。這種現象在產品無法分級的微粒粉碎更要特別注意，應設法加以降低，也就是設法將停留時間分佈予以變窄。可以用下列方式來改進：

- 1.降低進料的縱向運動，可以增加磨筒的長度，或減少磨筒直徑。
- 2.分隔磨筒成幾個獨立的小磨筒，隔層並防止逆流發生，則可以窄化停留時間分



佈。

3.利用較小磨機串聯研磨以取代一個較大之磨機。

2.1.13 碎磨理論

碎磨理論來自於礦石碎磨現象，即理論上碎磨礦石所需之耗能，目前尚無一致的結論，各方說法不一，但不論其說法如何，都有一相同處，即不論顆粒之大小或形狀如何，碎磨所需之耗能，與產品顆粒大小成正比例。以下式三種最主要的研磨理論：

1.雷廷格氏理論(Rittinger's Law)：

雷廷格氏認為：外力粉碎物體所作之功，轉化為新生表面積上的表面能，故粉碎過程所消耗的功與新生表面積成一次方正比例，粉碎產品的表面積與顆粒大小成一次方反比例，故關係式可以寫成為：

$$E=K\left(\frac{1}{D_n}-\frac{1}{D_1}\right)\dots\dots\dots(2.14)$$

D：顆粒大小

K：比例常數，即生成一個單位新生面積所需的功

2.吉克氏理論(Kick's Law)：

粉碎物體的外力所作的功，完全用於使物體發生變形，到了變形應變能儲至極限，物體即被破壞。所以吉克氏認為：幾何上相似的同種物料，粉碎成同樣形狀的產品，所需的功與它們的體積或重量成正比。故粉碎能量與粉碎次數成比例，

$$E=K\log\left(\frac{D_1}{D_n}\right)\dots\dots\dots(2.15)$$

Klog：比例係數，即破碎一個單位體積的物體所需的功。

3.邦德氏理論(Bond's Law)

破碎顆粒時，外力作用的功首先是使物體發生變形，當局部變形超過臨界



點，即生成破裂，之後儲在物體內的變形應變能使破裂擴展成斷面。輸入功的有用部分轉化為新生表面上的表面能，其他部分成為熱損失。因此，破碎所需的功，應當考慮應變能和表面能兩項。應變能和體積成正比，表面能與表面積成正比。假定等量考慮這兩項，所需的功應當與它們幾何平均值成正比，即與 $\sqrt{V \cdot S}$ ($=\sqrt{D^3 \times D^2} = D^{5/2}$) 成比例。對於單位體積的物體，就是與 $D^{5/2}/D^3 = \frac{1}{\sqrt{D}}$ 成比例。

$$E=K \left(\frac{1}{\sqrt{D_n}} - \frac{1}{\sqrt{D_1}} \right), K \text{ 為比例係數} \dots\dots\dots(2.16)$$

由上面敘述可看出，這三個理論各說到破碎過程的一個階段。吉克氏注意的是受外力發生形變的階段，邦德氏注意到裂縫的形成和發展，雷廷格氏看到的是破碎後生成新表面。因此，它們都有片面性，不互相矛盾，卻互相補充。在碎磨時的粉碎比不大，新生表面積不多，應變能占主要部分，因而用吉克氏理論的誤差較小。磨碎時粉碎比大，新生表面積多，表面能是主要的，因而用雷廷格氏理論較適宜。邦德氏理論是用一般碎礦及磨礦設備作實驗定出的，在中等粉碎比的情況下，都大致與它符合。

2.2 篩分原理

將顆粒大小不同的混合物料，通過單層或多層篩子而分成若干個不同粒度級別的過程稱為篩分。鬆散物料的篩分過程，可以看作兩個階段組成：

1. 易於穿過篩孔的顆粒通過不能穿過篩孔的顆粒所組成的物料到達篩面。
2. 易於穿過篩孔的顆粒穿過篩孔。

要使這兩個階段能過實現，物料在篩面上應具有適當的傳動，一方面使篩面上的物料層處於鬆散狀態，物料層將會產生粒度分層，大顆粒位於上層，小顆粒位於下層，容易到達篩面，並穿過篩孔。另一方面，物料和篩子的傳動都促使堵在篩孔上的顆粒脫離篩面，有利於顆粒穿過篩孔。

實驗證明，物料粒度小於篩孔 3/4 的顆粒，很容易通過粗粒物料行程的間隙，到達篩面，到達篩面後它就很快穿過篩孔。這種顆粒稱為"易篩粒"。物料粒度大

於篩孔 $3/4$ 的顆粒，通過粗粒組成的間隙比較困難，這種顆粒的直徑愈接近篩孔尺寸，它透過篩孔的困難程度就愈大，因此，這種顆粒稱為"難篩粒"。下面用顆粒通過篩孔的機率理論來作說明。

顆粒通過篩孔的可能性稱為篩分機率，一般來說，顆粒通過篩孔的機率受到下列因素影響：(1)篩孔大小；(2)顆粒與篩孔的相對大小；(3)篩子的有效面積；(4)顆粒運動方向與篩面所成的角度；(5)物料的含水量和含泥量。

由於篩分過程是許多複雜現象和因素的綜合，使篩分過程不易用數學形式來全面地描述，這裡僅僅從顆粒尺寸與篩孔尺寸的關係進行討論，並假定了某些理想條件（如顆粒是垂直地投入篩孔），得到顆粒透過篩孔的機率的公式。

鬆散物料中粒度比篩孔尺寸小得多的顆粒，在篩分開始後，很快就落到篩下產物中，粒度與篩孔尺寸愈接近的顆粒，穿過篩孔所需的時間愈長。所以，物料在篩分過程中通過篩孔的速度取決於顆粒直徑與篩孔尺寸的比值。

研究單離顆粒穿過篩孔的機率如圖 2.10 所示。假設有一個由無限細的篩絲製成的篩網，篩孔為正方形，每邊長度為 L 。如果一個直徑為 d 的球形顆粒，在篩分時垂直地向篩孔下落。可以認為，顆粒與篩絲不相碰時，它就可以毫無阻礙地穿過篩孔。換言之，要使顆粒順利地穿過篩孔，在顆粒下落時，其中心應投在繪有虛線的面積 $(L-d)^2$ 內(圖 2.10a)。

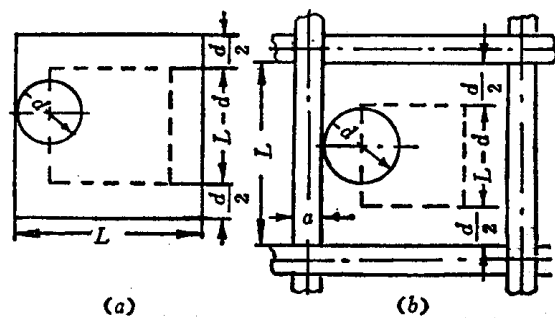


圖 2.10 顆粒過篩示意圖⁽¹⁷⁾

由此可見顆粒穿過篩孔或者不穿過篩孔是一個隨機現象。如果顆粒投到篩面



第二章 破碎、篩分原理

上的次數有 n 次，其中有 m 次穿過篩孔，那麼顆粒穿過篩孔的頻率就是

$$\text{頻率} = \frac{m}{n} \dots\dots\dots(2.17)$$

當 n 很大時，頻率總是穩定在某一個常數 P 附近，這個穩定值 P 就叫篩分機率。因此篩分機率也就客觀地反映了顆粒過篩可能性的

$$P = \frac{m}{n} \dots\dots\dots(2.18)$$

既然機率是某事件出現的可能性的

$$0 \leq P \leq 1 \dots\dots\dots(2.19)$$

可以設想有利於顆粒穿過篩孔的次數，與面積 $(L-d)^2$ 成正比，而顆粒投到篩孔上的次數，與篩孔的面積 L^2 成正比。因此，顆粒透過篩孔的機率，就決定於這兩個面積的比值

$$p = \frac{(L-d)^2}{L^2} = \left(1 - \frac{d}{L}\right)^2 \dots\dots\dots(2.20)$$

顆粒被篩絲所阻礙，使它不穿過篩孔的機率之值等於 $(1-P)$ 。

當某事件發生的機率為 P 時，使該事件以機率 P 出現如需要重復 N 次， N 值與機率 P 成反比，即

$$p = \frac{1}{N} \dots\dots\dots(2.21)$$

在這裡所討論的問題， N 值就是顆粒穿過篩孔的機率為 P 時必須與顆粒相近的篩孔數目。由此可見，篩孔數目越多，顆粒透過篩孔的機率越小，當 N 值無限增大時， P 愈接近於零。

取不同的 d/L 比值，計算出的 P 和 N 值，見表 2.3，利用這些數據可畫出圖 2.11 的曲線。曲線可大體劃分為兩段，在顆粒直徑 d 小於 $0.75L$ 的範圍內，曲線較平緩，隨著顆粒直徑的增大，顆粒透過篩面所需的篩孔數目有所增加。當顆粒直徑超過 $0.75L$ 以後，曲線較陡，顆粒直徑稍有增加，顆粒透過篩面所需的篩孔

數目就需要很多。因此，用機率理論可以證明，在篩分實驗中把 $d < 0.75L$ 的顆粒叫"易篩粒"和 $d > 0.75L$ 的顆粒叫"難篩粒"是有道理的。

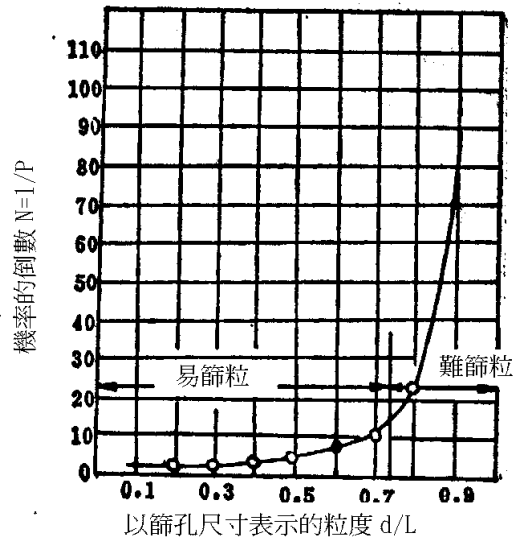


圖 2.11 顆粒過篩的倒數與顆粒和篩孔相對尺寸的關係⁽¹⁷⁾

若考慮篩絲的尺寸(圖 2.10b)，與上面所討論的原理一樣，得到顆粒透過篩面的機率公式：

$$P = \frac{(L-d)^2}{(L+a)^2} = \frac{L^2}{(L+a)^2} \cdot \left(1 - \frac{d}{L}\right)^2 \dots\dots\dots(2.22)$$

式中 a：篩絲直徑；L：方形篩孔的邊長。

上式說明，篩孔尺寸愈大，篩絲和顆粒直徑愈小，則顆粒透過篩孔的可能性愈大。

2.2.1 篩分效率

在使用篩子時，既要求它的處理能力大，又要求盡可能將小於篩孔的細拉物



第二章 破碎、篩分原理

料過篩到篩下產物中去。因此，篩子有兩個重要的工作指標：一個是它的處理能力，即篩孔大小一定的篩子每平方公尺篩面面積每小時所處理的物料噸數(噸/米²·時)，它是表明篩分工作的數量指標。另一個是篩分效率，它是表明篩分工作的質量指標。

在篩分過程中，按理說比篩孔尺寸小的細級別應該全部穿過篩孔，但實際上並不是如此，它要根據篩分機械的性能和操作情況以及物料含水量、含泥量等而定。因此，總有一部分細級別不能穿過篩孔成為篩下產物，而是隨篩上產品一起排出。篩上產品中，未透過篩孔的細級別數量愈多，說明篩分的效果愈差，為了從數量上評定篩分的完全程度，要用篩分效率這個指標。

表 2.4 顆粒過篩的機率與顆粒及篩孔相對尺寸的關係

d/L	P	N=1/P
0.1	0.81	2
0.2	0.64	2
0.3	0.49	2
0.4	0.36	3
0.5	0.25	4
0.6	0.16	7
0.7	0.09	11
0.8	0.07	25
0.9	0.01	100
0.95	0.0025	400
0.99	0.0001	10,000
0.999	0.000001	100,000

所謂篩分效率，是指實際得到的篩下產物重量與入篩物料中所含粒度小於篩孔尺寸的物料的重量之比。篩分效率用百分數或小數表示。



$$E = \frac{C}{Q \cdot \frac{\alpha}{100}} \times 100\% = \frac{C}{Q\alpha} \times 10^4\% \dots\dots\dots(2.23)$$

式中 E：篩分效率，%；

C：篩下產品重量；

Q：入篩原物料重量；

α ：入篩原物料中小於篩孔的級別的含量，%。

但實際生產中要測定 C 和 Q 是比較困難的，因此必須改用下面推導出的結果來進行計算。

按圖 2.12 所示，假定篩下產品中沒有大於篩孔尺寸的顆粒，就可以組成兩個方程式

1.原料重量應等於篩上和篩下產物重量之和，即 $Q=C+T$

2.原料中小於篩孔尺寸的粒級的重量，等於篩上產物與篩下產物中所含有的小於篩孔尺寸的物料的重量之和。

$$Q\alpha = 100C + T\theta \dots\dots\dots(2.24)$$

式中 T 為篩上產物重量； θ 為篩上產物所含小於篩孔尺寸粒級的含量(%)。

其他符號的意義同前。最後可得

$$E = \frac{C}{Q\alpha} \times 10^4 = \frac{\alpha - \theta}{\alpha(100 - \theta)} \times 10^4\% \dots\dots\dots(2.25)$$

必須指出，上式是指篩下產物中不含有大於篩孔尺寸的顆粒的條件下列出的物料平衡方程式；由於實際生產中，篩網常常被磨損，部分大於篩孔尺寸的顆粒總會或多或少的穿過篩孔進入篩下產物，如果考慮這種情況，篩分效率應按下式計算。

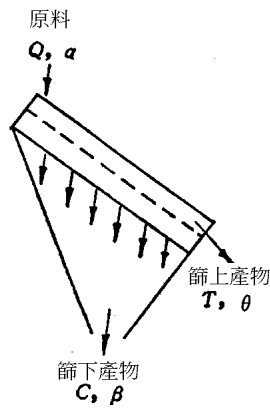


圖 2.12 篩分效率的測定

$$E = \frac{\beta(\alpha - \theta)}{\alpha(\beta - \theta)} \cdot 100\% \dots\dots\dots(2.26)$$

式中 β ：篩下產物中所含小於篩孔級別的含量，%。

篩分效率的測定方法如下：在入篩的物料流中和篩上物料流中每隔 15~20 分鐘取一次樣，應連續取樣 2~4 小時，將取得的平均試樣在檢查篩裡篩分，檢查篩的篩孔與生產上用的篩子的篩孔相同。分別求出原料和篩上產品中小於篩孔尺寸的級別的百分含量 α 和 θ ，代入公式中可求出篩分效率 E 。如果沒有與所測定的篩子的篩孔尺寸相等的檢查篩子時，可以用套篩作篩分分析，將其結果繪成篩析曲線，然後由篩析曲線圖中求出該級別的百分含量 α 和 θ 。

有時用全部小於篩孔物料來計算篩分效率，這樣算得的結果叫總篩分效率。有時只對其中的幾個粒級作計算，算得的結果叫部分篩分效率。全部小於篩孔的物料，包含易篩粒和難篩粒，所以總篩分效率就是這兩類粒子的篩分效率組成的。倘若部分篩分效率是用易篩粒求得的，它必然比總篩分效率大；如果是用難篩粒算出的，它比比總篩分效率小。

因為有以上講的這些情況，在遇見篩分效率時，就要注意是用什麼公式算的，是總篩分效率還是部分篩分效率，否則就會對所研究的問題認識不清。

2.2.2 篩分動力學及其應用

篩分動力學主要研究篩分過程中，篩分效率與篩分時間的關係。在鬆散物料的篩分過程中，不論是什麼場合，都存在一種普遍規律，這種規律表現在：篩分開始後，篩分效率增加得很快，以後，增長速度逐漸降低(圖 2.13)。產生這種現象的原因是，篩分開始後，易篩粒很快透過篩孔，因此篩分效率增長快。隨著篩分時間的增長，篩面上的易篩粒愈來愈少，以至篩上只剩下難篩粒，而難篩粒透過篩孔，需要較長的時間，所以篩分效率的增加就變慢了。下面用篩分石英顆粒時篩分效率隨篩分時間的變化關係來作說明。

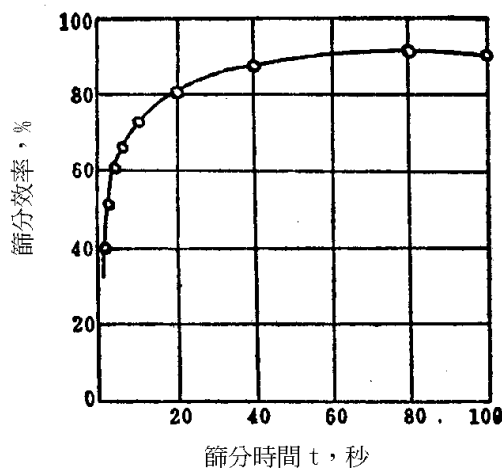


圖 2.13 篩分效率與篩分時間的關係

如果把表中的第三行和第五行數據繪在對數坐標紙上，以橫坐標表示 $\log t$ ，以縱坐標表示 $\log \frac{1-E}{E}$ ，就可以得到一條直線，如圖 2.14 所示。對圖 2.14 可以寫出直線方程式：

表 2.5 石英的篩分效率與時間的關係的試驗資料

篩分時間 t(秒)	由實驗開始計算的篩 分效率 E	$\log t$	$\log\left(\log\frac{1}{1-E}\right)$	$\log\frac{1-E}{E}$
4	0.534	0.6021	-0.47939	-0.05918
6	0.645	0.7782	-0.34698	-0.25665
8	0.758	0.9031	-0.21028	-0.49594
12	0.830	1.0792	-0.11379	-0.68867
18	0.913	1.2553	+0.02531	-1.02136
24	0.941	1.3802	+0.08955	-1.20273
40	0.975	1.6021	+0.20466	-1.57512

$$\log\frac{1-E}{E} = -m \log t + \log a \quad \dots\dots\dots(2.27)$$

式中 m：直線斜率

$\log a$ ：直線在縱座標上的截距。

因此，

$$\log\frac{1-E}{E} = \log(t^{-m} \cdot a) \quad \dots\dots\dots(2.28)$$

$$\text{即 } E = \frac{t^m}{t^m + a} \quad \dots\dots\dots(2.29)$$

公式中的參數 m 及 a 與物料性質及篩分進行情況有關，對於振動篩，m 可取 3，由公式可導出 $a = \frac{1-E}{E} \cdot t^m$ ，若 E=50%時， $a = t_{50}^m$ ，所以參數 a 是篩分效率為 50%時篩分時間的 m 次方。因此參數 a 可以看作是物料的可篩性指標。

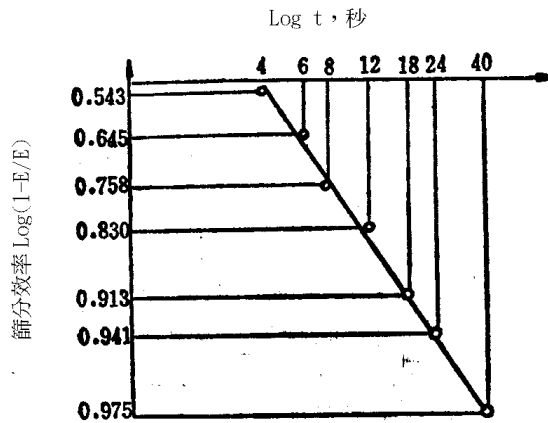


圖 2.14 篩分效率與篩分時間的關係

經過試驗證明：篩分不分級物料，例如破碎產物，篩分結果可以用幾段直線組成的折線表示。這種情況表明，方程式的參數在不同的線段上有不同的數值。第一段直線的篩分效率約 40-60%，第二段直線的篩分效率約 90~95%；第三段直線相當於更高的篩分效率。對接近於篩孔尺寸(0.75L 到 L)的窄級別物料進行篩分時，篩分效率從 5~10%到 95%的整個範圍內，都可以用一條直線表示。

篩分時間與篩分效率之所以有上述的關係，可以用下面的理論來解釋。

令 W 為某一瞬間存在於篩面上的比篩孔小的礦粒的重量， dW/dt 為比篩孔小的礦粒被篩去的速率(t 是篩分時間)，因為每一瞬間的篩分速率可假設為與該瞬間留在篩面上的比篩孔小的礦粒的重量成正比，即

$$\frac{dW}{dt} = -kW \dots\dots\dots(2.30)$$

式中的 k 為比例係數，負號表示 W 隨時間的增加而減少。積分上式得

$$\ln W = -kt + C \dots\dots\dots(2.31)$$

設 W 是給礦中所含比篩孔小的礦粒的重量，當 t=0 時， $W=W_0$ ，即



$$\ln W_0 = C \dots\dots\dots(2.32)$$

因此，

$$\ln W - \ln W_0 = -kt \quad \text{或} \quad \frac{W}{W_0} = e^{-kt} \dots\dots\dots(2.33)$$

比值 W/W_0 是篩下級別在篩上產物中的回收率，因此篩分效率 E 應為

$$E = 1 - \frac{W}{W_0} \quad \text{或} \quad E = 1 - e^{-kt} \dots\dots\dots(2.34)$$

更符合實際的公式為

$$E = 1 - e^{-kt^n} \quad \text{或} \quad 1 - E = e^{-kt^n} \dots\dots\dots(2.35)$$

將上式取兩次對數，可得到

$$\log\left(\log \frac{1}{1-E}\right) = n \log t + \log(k \log e) \dots\dots\dots(2.36)$$

若以縱座標軸表示 $\log\left(\log \frac{1}{1-E}\right)$ ，橫座標軸表示 $\log t$ ，由上式作出的圖形是一條直線，直線的斜率為 n 。參數 k 和 n ，既決定於被篩物料的性质，也決定於篩分的工作條件。如果設 $k=1/t^n$ ，則 $E = 1 - e^{-kt^n}$ 變為 $E = 1 - \frac{1}{e} = 63.4\%$ ，因此叫參數 k 為可篩性指標。

2.2.3 篩分動力學的應用之一

利用篩分動力學公式可以研究篩子的負荷與篩分效率的相互關係。如果篩孔尺寸和物料沿篩面運動的速度一定，篩面上的物料層厚度取決於篩子的給料量。給料量愈多，物料層厚度就愈大，篩分效率則愈低。因為小於篩孔的級別比較難於通過較厚的物料層而過篩。給料量很大時，為了達到相同的篩分效率，必須增加篩分時間。因此，可以近似地認為，篩分效率不變時，篩子的生產率與篩分時間成反比，即

廢棄物資源回收及處理設備
— 破碎

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{t_2}{t_1} \dots\dots\dots(2.37)$$

式中 Q_1, Q_2 ：篩子的生產率；

t_1, t_2 ：達到規定篩分效率所需要的篩分時間。

當篩分時間相同，而給礦量為 Q_1 及 Q_2 ，相應的篩分效率為 E_1 及 E_2 則

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \sqrt[m]{\frac{E_2(1-E_1)}{E_1(1-E_2)}} \dots\dots\dots(2.38)$$

以上公式表達出篩子的生產率和篩分效率的關係。應用這個公式時，要先知道 m 值。如果收集到一些生產率和相應的篩分效率的實驗數據，就可以找出它。振動篩可以取 $m=3$ ，按照公式計算的結果列於表 2.6 中，表中取篩分效率為 0.9 時的相對生產率是 1。並列出實驗平均值。可以看出按公式計算結果與實驗值基本相近。

表 2.6 振動篩的篩分效率與生產率的關係

篩分效率	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.92	0.94	0.96	0.98
計算值	2.3	2.1	1.9	1.6	1.3	1.0	0.9	0.8	0.6	0.4
實驗平均值	2.36	2.09	1.82	1.57	1.31	1.0	0.92	0.83	0.72	0.59

2.2.4 篩分動力學的應用之二

利用篩分動力學公式可以研究篩分效率與篩面長度的關係。在選礦廠中，有時需要提高篩子的篩分效率和處理能力，為縮小碎礦產物粒度和增加碎礦機生產能力創造條件，措施之一就是配置條件允許的情況下增加篩子的長度，篩分動力學為這種措施提供了理論依據。

令 t_1, L_1 和 E_1 為第一種情況下的篩分時間、篩面長度和篩分效率； t_2, L_2 和



E_2 為第二種情況下的篩分時間、篩面長度和篩分效率。因為篩分時間與篩面長度成正比，故公式可以寫為

$$E_2 = \frac{L_2^n E_1}{L_1^n - L_1^n E_1 + L_2^n E_1} \dots\dots\dots(2.39)$$

對於振動篩，n 值為 3。

2.2.5 影響篩分效率的因素

1. 第一類影響因素—物料的性质

(1) 物料的粒度特性

被篩物料的粒度組成，對於篩分過程有決定性的影響，在篩分實驗中，可以看到，比篩孔愈小的顆粒愈容易穿過篩孔，顆粒大到篩孔 3/4，雖然比篩孔尺寸小，但卻難於過篩。直徑比篩孔略大的顆粒，常常遮住篩孔，妨礙細粒穿過。直徑在 1~1.5 倍篩孔尺寸的顆粒形成的料層，不易讓難篩粒穿過。但直徑在 1.5 倍篩孔尺寸以上的顆粒形成的料層，對易篩粒或難篩粒穿過它去接近篩面的影響並不大。因此，物料中的粒子有三種粒度界限值得注意：

- ① 小於 3/4 篩孔尺寸的顆粒叫易篩粒；
- ② 小於篩孔尺寸但大於 3/4 篩孔尺寸的顆粒叫難篩粒；
- ③ 粒度為 1~1.5 倍篩孔尺寸的顆粒叫阻礙粒。

顯然，含易篩粒愈多的物料愈好篩。因此，當增加物料中的易篩粒含量時，篩子的生產率迅速增加，或者說，在保持生產率一定的情况下，可以得到較高的篩分效率。原因是當易篩粒含量多的物料給到篩上時，細粒很容易迅速通過篩孔，留在篩上的物料量減少了，這時即使在篩上還有一些難篩粒，由於受其他顆粒對它們影響的程度也相對地減少了，所以也有利於一部分難篩粒穿過篩孔。相反，當原物料中含難篩粒和阻礙粒愈多，因它們阻礙細粒與篩面接觸而穿過篩孔，使篩分效率降低。

當原料中細級別含量少，而篩上物本身又過於粗，其粒度大大超過篩孔尺寸的時候，可以採取增加輔助篩分的方法，用篩孔尺寸較大的輔助篩，預先排出篩上產物過粗的級別，然後篩分含有大量細級別的較細物料，相

廢棄物資源回收及處理設備 | 破碎



對而言，是完全合理的。在這樣兩次篩分的條件下，可以提高篩分效率和延長篩網的使用期限。

物料顆粒最大容許尺寸與篩孔尺寸之間的一定比例關係沒有明確的規定，一般認為最大粒度不應大於篩孔尺寸的 2.5~4 倍。

在精確計算振動篩的生產率時，需要測定給礦中小於 1/2 篩孔尺寸的顆粒含量和大於篩孔尺寸的顆粒含量。因為它們既影響生產率，也影響篩分效率。

(2)被篩物料的含水量和含泥量

物料所含的水分有兩種，一種叫外在水分，處於顆粒的表面；另一種叫內在水分，處於物料的孔隙、裂縫中。後者對篩分過程沒有影響。

物料中所含的表面水分在一定程度內增加，黏滯性也就增大，物料的表面水分能使細粒互相黏結成團，並附著在大顆粒上，黏性物料也會把篩孔堵住。這些原因使篩分過程進行較難，篩分效率將大大降低。

以不同篩孔的篩子篩分含水量相同的同一種物料，則水分對篩分效率的影響是不同 2 的。篩孔尺寸愈大，水分的影響愈小。這是因為篩孔尺寸愈大，篩孔堵塞的可能性就愈小。另外，更重要的原因是因為水分在各粒級內的分布是不均勻的，粒度愈小的級別，水分含量愈高。因此，當篩孔大時，就能夠很快的把水分含量高的細粒級別篩出去，篩上物料的水分於是大大降低，使它不致影響篩分過程的進行。因此，當物料含水量較高，嚴重影響篩分過程時，可以考慮採用適當加大篩孔的方法來提高篩分效率。

水分對篩分某種物料的具體影響，需要根據試驗結果來判斷。篩分效率與物料濕度的關係以礦石為例，如圖 2.15 所示，圖中曲線說明，物料所含水分如達到某一範圍，篩分效率急劇降低。這個範圍取決於物料性質和篩孔尺寸。物料所含水分超過這個範圍後，顆粒的活動性又重新提高，物料的黏滯性反而消失了，此時，水分有促進物料通過篩孔的作用，並逐漸達到濕法篩分的條件。



第二章 破碎、篩分原理

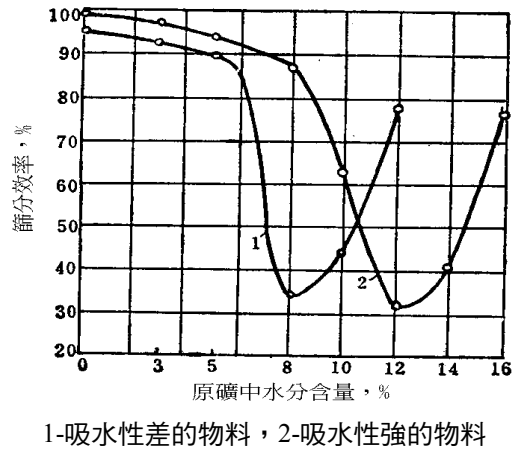


圖 2.15 篩分效率與礦石濕度的關係

圖 2.15 中，兩種物料所受水分的影響不同，產生差別的原因，可以由這兩種物料具有不同的吸水性能來解釋。如果物料中含有易於結團的黏性物從質(如黏土等)，即使在水分很少時，也會黏結成團，使細泥混入篩上產物；此外，也會很快堵塞篩孔。

篩分黏性顆粒時，必須採取有效措施來強化篩分過程，如用濕法篩分，或者在篩分前進行預先洗礦，將泥質排除。

(3) 物料的顆粒形狀

物料顆粒如果是圓形，則穿過方孔和圓孔較容易。破碎產物大多是多角形，透過方孔和圓孔不如透過長方孔容易，條狀、板狀、片狀物料難以透過方孔和圓孔，但較易透過長方形孔。

2. 第二類影響因素—篩面種類及工作參數

(1) 篩面種類

篩子的工作面通常有三種，鋼棒製造的、鋼絲編織的和鋼板軋孔的。它們對篩分效率的影響，主要和它們的有效面積有關。

表 2.7 篩面種類

篩面種類	棒條篩	鋼板軋孔篩	鋼絲編織篩
有效面積	最少	次少	較大
使用壽命	最少	次少	最短
價格	最低	次低	最貴

有效面積愈大的篩面，篩孔佔的面積愈多，礦粒較易穿過篩孔，篩分效率就較高，但壽命較短。選用什麼樣的篩面，應結合實際情況考慮。當磨損嚴重，成為主要矛盾時，就應當用耐磨的棒條篩或鋼板軋孔篩；當需要精細篩分的場合下，就要用織絲篩。

(2) 篩孔形狀

篩孔形狀的選擇，取決於對篩分產物粒度和對篩子生產能力的要求。圓形篩孔與其他形狀的篩孔比較，在名義尺寸相同的情況下，穿過這種篩孔的篩下產物的粒度較小。一般認為，實際上穿過圓形篩孔的顆粒的最大粒度，平均只有透過同樣尺寸的正方形篩孔的顆粒的 80~85%。

長方形篩孔的篩面，其有效面積較大，生產能力較高；處理含水較多的物料時，能減少篩面堵塞現象。它的缺點是容易使條狀及片狀粒通過篩孔，使得篩下產物不均勻，因此，當要求篩上物中不含細粉，篩下物中允許有條狀和片狀粒，物料濕而黏易引起堵塞，以及希望篩下產物較多等情況，採用長方形篩孔比較有利。

在選擇篩孔的型式時，最好與物料的形狀相適合，如處理塊狀物料應採用正方形篩孔，處理板狀物料應採用長方形篩孔。

不同形狀篩孔尺寸與篩下產品最大粒度的關係，按下式計算：

$$d_{\text{最大}} = K \cdot a \dots\dots\dots(2.40)$$

式中 d：篩下產品最大粒度，毫米



第二章 破碎、篩分原理

a：篩孔尺寸係數，毫米

K：篩孔形狀係數

- 圓形 0.7
- 方形 0.9
- 長方形 1.2~1.7

(3) 篩孔尺寸

篩孔愈大，單位篩網面積的生產率愈高，篩分效率也較好，但篩孔的大小取決於採用篩分的目的和要求。倘若希望篩上產物中含小於篩孔的細粒盡量少，就應該用較大的篩孔；反之，若要求篩下產物中盡可能不含大於規定粒度的粒子，篩孔不宜過大，以規定粒度作為篩孔寬的限度。

篩子的篩孔寬，應當結合破碎機型式來選擇。在破碎中，總有數量不等的比排篩口約大 1~3 倍的未達到破碎要求的殘餘粒。預先篩分的作用，就是先將給入破碎機的物料中接近殘，顆粒大小以下的礦粒篩除去，不必把它們送去破碎。因此，預先篩分用的篩子的篩孔大小，可在破碎機的排口寬和它的產物中的最大粒範圍內選擇。如果破碎機的負荷較輕，篩孔尺寸可以等於或稍大於破碎機的排口寬度。如果破碎機過負荷時，它的給料宜少，篩孔尺寸應大些，可以等於或稍小於破碎產品中的最大塊粒度。與細碎機構成閉路的檢查篩，其作用在於控制破碎機最終產物的粒度適合磨碎機的要求，因而它的篩孔寬有兩種辦法來選取。第一種辦法，選取篩孔尺寸約等於排口寬。這種辦法的好處是篩下產物都是合格的細粒，但篩子負荷就比較大。第二種辦法，選取篩孔尺寸比排口寬度大。這種辦法的缺點是篩下產物中含有一些不合格的粗粒，但合格細粒也必然更多地進入篩下，篩子的生產能力將得到提高。所取的篩孔尺寸究竟比排口大多少才合適，與被破碎的物料性能有關，如果篩孔放大得合適，篩下物中雖有少量不合格粗粒，但也增加了一些細粒，總體看來，第二種辦法的篩下產物與第一種辦法得到的同樣是磨碎機所允許的。這兩種定篩孔寬度的辦法雖然不同，但對磨碎機進料的要求來講，都是一樣的。與前面講的篩分效率和篩分動力學結合起來，就不難理解制訂第二種辦法的根據了。

(4) 篩子的運動狀況

雖然篩分質量首先決定於被篩物料的性質，但同一種物料用不同類型

的篩子篩分，可以得到不同的效果。實際經驗指出，固定不動的篩子，它的篩分效率很低，至於可動的篩子，它的篩分效率又和篩體的運動方式有關。篩體如果是振動的，顆粒在篩面上以接近於垂直篩孔的方向被抖動，而且振動頻率較高，所以篩分效率最好。在搖動著的篩面上，顆粒主要是沿篩面滑動，而且搖動的頻率比振動的頻率小，所以效果較振動篩的差，轉動的圓筒形篩，篩孔容易堵塞，篩分效率也不高。各種篩子的篩分效率大致如下：

篩子類型	篩分效率
固定條篩	50~60%
圓滾篩	60%
搖動篩	70~80%
振動篩	>90%

即使同一種運動性質的篩子，它的篩分效率又隨運動強度不同而有差別。篩體的運動可以使物料在篩面上散開，有利於細粒經過料層穿過篩孔，篩分效率因此提高。但物料沿篩面的運動速度，又和篩體的運動強度有關，篩面的運動強度過大，其上的物料運動較快，顆粒透過篩孔的機會少，效果就較差。如果篩面的運動強度過小，其上的物料不能散開，也不利於細粒穿過篩孔。

(5) 篩子的長度和寬度

在生產實際中可以體會到：對一定的物料，生產率主要取決於篩面寬度，篩分效率主要取決於篩面長度。篩面愈長，物料在篩上被篩分的時間愈久，篩分效率也愈高。篩分時間（或篩面長度）和篩分效率的關係如圖 2.12 所表明的情況。最初，稍微增加篩分時間，就有許多易篩粒大量穿過篩孔，篩分效率就很快增加。後來，易篩顆粒大都被篩去了，剩下些難篩顆粒，時間雖增長，它們被篩下的並不多，篩分效率增加也不大。因此，篩分時間太長也是不合理的。因為當篩面傾角一定，要增加篩分時間，只有增加篩面長度。篩面太長並不好，浪費廠房空間，篩子構造笨重，篩分效率提高不多，所以篩子長度必須適當。只有在高負荷工作的篩子，為了



保證較高的篩分效率，如果配置條件許可，適當增加篩子長度，有時是有利的。

篩面的寬度也必須適當，而且必須與篩面長度保持一定比例關係。在篩子負荷相等時，篩子寬度小而長度很大，篩面上物料層厚，細粒難於接近篩面和穿過篩孔。相反，當篩面寬度很大而長度小時，物料層厚度固然減小，細粒易於接近篩面，但由於顆粒在篩面上停留時間短，物料通過篩孔的機會就少了，篩分效率必然會降低。一般認為篩子的寬度與長度之比為 1：2.5~1：3。

(6) 篩面的傾角

在一般情況下，篩子都是傾斜安裝的，便於排出篩上物料，但傾角要合適。角度太小，達不到這個目的；角度太大，物料排出太快，物料被篩分的時間縮短，篩分效率就低。當篩面傾斜放著時，可以讓顆粒順利通過的篩孔的面積只相當於篩孔的水平投影，如圖 2.16 所示。能夠無阻礙地穿過篩孔的顆粒直徑等於

$$d = L \cos \alpha - h \sin \alpha \dots\dots\dots(2.41)$$

由此可見，篩面的傾角愈大，使顆粒通過時受到的阻礙愈大。因此，篩面的傾角要適當。表 2.9 所示，為篩面傾角和篩分效果的關係。實際上破碎廠常見的振動篩的傾角一般在 $0^\circ \sim 25^\circ$ 。固定棒條篩的傾角一般為 $40^\circ \sim 45^\circ$ 。

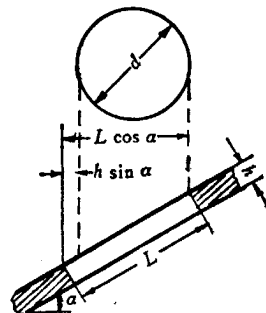


圖 2.16 單個顆粒透過傾斜篩面的篩孔示意圖

表 2.8 篩面水平及傾斜放置時篩下物最大粒度與篩孔寬的關係

篩下物 最大粒徑	保證篩去此最大粒徑必須的篩孔大小			
	圓 孔		方 孔	
	水平	40° ~45° 傾斜	水平	40° ~45° 傾斜
d	1.4d	(1.85~2)d	1.16d	1.52d

3. 第三類影響因素—操作條件

(1) 給料要均勻和連續

均勻、連續地將物料給人篩子上，讓物料沿整個篩子的寬度佈滿成一薄層，既充分利用了篩面，又便於細粒穿過篩孔，因此可以保證獲得較高的生產率和篩分效率。

(2) 給料量

給料量增加，生產能力增大，但篩分效率就會逐漸降低，原因是篩子產生過負荷。篩子產生過負荷時，就成為一個溜槽，實際上只提供運輸物料的作用。因此，對於篩分作業，既要求篩分效率高，又要求處理量大，不能片面追求一方面，而使另一方面大大降低。



參考資料

1. T.Allen, Particle Size Measurement, 2nd ed., Chapman and Hall, 1974.
2. C.E.Lapple, "Particle-Size Analysis and Analyzers," Chem. Eng., Vol.75, pp149-156, 1968.
3. A.S.Foust et al., Principles of Unit Operations, 2nd ed., Wiley, 1980.
4. P.A.Korpi, "Angular Spiral Lining Systems in Wet Grinding Grate Discharge Ball Mills," presented to 107th AIME Annual Meeting, New Orleans, 1979.
5. T.Andren and G.Nilsson, "Appraisal of the Use of Rubber Linings in Grinding Mills," Proc. 10th Int. Min. Proc. Congr., London, pp123-142, 1973.
6. E.Sarapuu, "Electro-Energetic Rock Breaking Systems," Min. Congr. J., Vol.59, pp44-54, 1973.
7. H.E.Rose and J.E.English, "Theoretical Analysis of the Performance of Jaw Crushers," Trans. IMM. Vol.76, ppc32-c43. 1967.
8. L.G.Austin, D.R.Van Orden and J.W.Perez, "A Preliminary Analysis of Smooth Roll Crushers," Int. J. Miner. Process., Vol.6, pp321-336, 1980.
9. R.P.King, "Determination of Particle Size Distribution from Measurements on Sections," Powder Technol., Vol.21, pp147-150, 1978.
10. J.Tsubaki and G.Jimbo, "A Proposed New Characterisation of Particle Shape and its Application," Powder Technol., Vol.22, pp161-169, 1979.
11. A.P.Prosser, "Analysis of Mineral Separation Processes," Chem. Proc. Eng., Vol.49, pp86-88, 1969.
12. P.Harriott, Process Control, McGraw-Hill, 1964.



第二章 破碎、篩分原理

- 13.H.A.Steane, "Coarser Grind May Mean Lower Metal Recovery but High Profits,"
Can. Min. J., Vol.97, pp44-47, 1976.
- 14.李文鐘, 選礦學, 世界書局, 中華民國, 民國七十九年八月八版.
- 15.E.G.Kelly and D.J.Spottiswood 著, 胡力行等譯, 選礦導論, 冶金工業出版社,
中國大陸, 1989.
- 16.神保元二等著, 王少儒和孫成林譯, 粉碎, 中國建築工業出版社, 中國大陸, 1985.
- 17.李啟衡, 碎礦與磨礦, 冶金工業出版社, 中國大陸, 1980.
- 18.蔡敏行, 選廠設計上課講義, 1997.
- 19.蔡敏行, 高等選礦上課講義, 1996.
- 20.蔡敏行, 資源再生特論上課講義, 1997.
- 21.徐錦上, 非均質岩石於粉碎程序中之單離與暴露研究, 博士論文, 1995.
- 22.官志誠, 粉碎程序中的暴露程度模式探討及應用研究, 碩士論文, 1992.



第二章 破碎、篩分原理



第二章 破碎、篩分原理



第三章 破碎設備

破碎設備的選擇應視工廠規模、被粉碎物性質及縮減比大小而定。如果被粉碎物的體積相當大，通常必須採取多段破碎方式。各階段之破碎分類範圍及使用之機器設備如下說明：

- 1.粗碎：餵料粒徑為 1,500mm~500mm 之間，破碎到 400mm~150mm，通常使用顎形破碎機或偏心破碎機。
- 2.中碎：餵料為粗碎產物，破碎到 100mm~50mm，通常使用之設備有小型顎形破碎機、錐形破碎機等。
- 3.細碎：餵料為中碎產物，破碎到 30mm 以下，使用之設備通常為錐形破碎機、轉輪破碎機、衝擊破碎機等。

另外選擇破碎機時須注意一點，進料口大小須大於餵料最大粒徑之 125~135%以上。另以破碎性質分類為脆性材料及韌性材料之破碎機如表 3.1 所示。

表 3.1 破碎性質分類及適用破碎機

破碎對象	廢棄物種類	破碎機
脆性材料	1.廢木材 2.廢石材 3.高密度塑膠 4.廢玻璃	1.顎形破碎機 2.偏心破碎機 3.衝擊破碎機 4.轉輪破碎機 5.渦旋多葉撞擊式破碎機
韌性材料	1.廢金屬 2.廢橡膠 3.低密度塑膠 4.廢纖維類 5.廢 PU 6.大型廢棄物	1.剪斷破碎機 2.複合切斷式破碎機 3.單軸回轉式破碎機 4.球磨機與棒磨機



3.1 顎形破碎機(Jaw Crusher)

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，通常用於初碎。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。

3.1.1 構造

顎形破碎機之構造如圖 3.1。表 3.2 為顎型破碎機各部名稱與使用材質。

3.1.2 工作原理

顎形破碎機有數種結構不同的類型，但是工作原理基本上相似，差別在於動顎的運動軌跡。操作時，動顎板對固定顎板作週期性的往復運動，當動顎板靠近固定顎板時，處在兩顎板間的物料受到擠壓、劈裂和彎曲折斷的聯合作用而破碎；當動顎板離開固定顎板時，已破碎的物料在重力作用下，經破碎機的排料口排出。

顎形破碎機在操作時，給料速度必須均勻，無法以充塞方式給料，一般都要設置專用的給料設備。為減少喉部阻塞之機會，近年來齒板之縱斷面設計成為凸形的曲齒板，破碎之速度可以加快，故破碎能力增大，且排料大小更加均勻。

3.1.3 正確的操作

正確的操作是保證破碎機連續正常運轉的重要因素之一，操作不當或者操作過程中的疏忽大意，往往是造成設備和人員事故的重要原因。

啟動前的準備工作：1.在顎形破碎機啟動以前，必須對設備進行全面而仔細的檢查；2.檢查破碎齒板的磨損情況，調整排料口尺寸；3.檢查破碎室內有無給料，若有大塊給料，必須排出；4.螺絲是否鬆動；5.皮帶輪和飛輪的保護外罩是否完整；6.三角皮帶和拉桿彈簧的鬆緊程度是否合適；7.潤滑貯油箱油量和潤滑系統的完好情況。

操作中的注意事項：在啟動破碎機前，應該先開動油泵電動機和冷卻系統，經 3~4 分鐘後，待油壓和油流指示器顯示正常時，再開動破碎機的電動機。啟動以後，如果破碎機發出不正常的聲響，應停止運轉，查明並消除障礙後，重新啟動機器。

表 3.2 柏克型顎形破碎機各部名稱與主要零件之材質

編號	各部名稱	材質名稱	材質記號
1	固定顎	JIS 金屬 4806 高錳鋼鑄造品	SMn75
2	動顎	JIS 金屬 5101 鑄鋼品 2 種	SC45
3	動顎板(齒)	JIS 金屬 4806 高錳鋼鑄造品	SMn75
4	飛輪	JIS 金屬 5501 鑄鋼品 3 種	FC19
5	偏心軸	JIS 金屬 3201 鑄鋼品 5 種 JIS 金屬 3101 一般構造用壓延鋼材 3 種	SF55 SS50
6	偏心軸座	JIS 金屬 6651 青銅鑄物 5 種 1 號或 JIS 金屬 7501 白合金	BC5A 或 WJ4
7	直聯桿	JIS 金屬 5101 鑄鋼品 2 種	SC45
8	橫聯桿	JIS 金屬 5501 鑄鋼品 2 種	FC15
9	橫聯桿座	JIS 金屬 3201 鑄鋼品 2 種	SF55
10	頰板	JIS 金屬 4806 高錳鋼鑄造品	SMn75
11	機座	JIS 金屬 5101 鑄鋼品 2 種	SC45
12	彈簧	—	SMn60
13	拉桿	—	SMn60

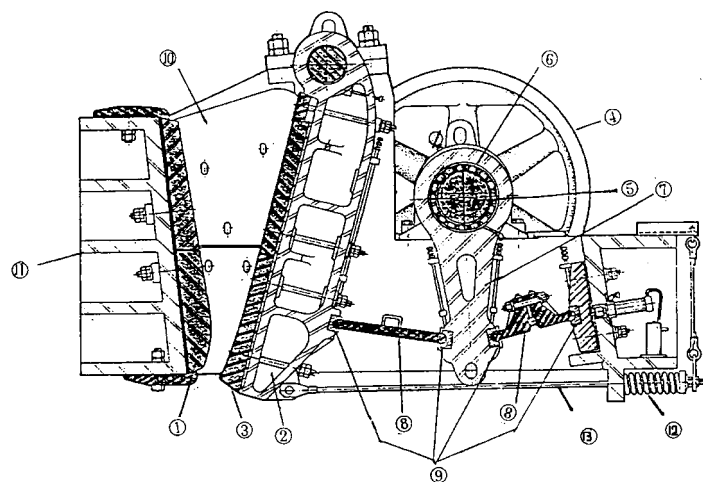


圖 3.1 顎形破碎機之構造圖⁽¹⁷⁾



第三章 破碎設備

破碎機必須空載啟動，啟動後經一段時間，顯示運轉正常，方可開動給料設備。操作中必須注意給料速度均勻，不可以充塞給料。運轉中，如果給料太多或破碎室堵塞，應該暫停給料，待破碎室中的給料碎完後，再開動給料機，在此期間破碎機不可停止運轉。如果給料口被大塊給料卡住，應使用專門器具排除，嚴禁用手處理。

破碎機的停機，必須依照下面的順序進行。首先停止給料，待破碎室內的給料全部排出後，再停破碎機和皮帶輸送機。當破碎機停止後，方可停止油泵的電動機。破碎機因故停車，當事故處理完畢，準備開機以前，必須清除破碎室內積存的給料，方可開始啟動重新運轉。

3.1.4 維護與檢修

顎形破碎機的構造簡單，維修也較易，通常只有與物料接觸的部分，即齒板與破碎室兩側之頰板，由於磨耗較大須定期更換外，較無其他問題；近年來有些襯板已改採用橡膠襯裏以減少磨耗。另外，為防止意外損壞，破碎機大都有安全設施。顎型破碎機偏心軸軸承蓋的螺絲，常設計成為最弱的部份，當遭遇無法破碎的硬物時，此最弱部分最先損壞，以便保護其他機件，所謂「兩害相權，取其輕」之意。此設計上最弱的部份，即為經濟損毀點(Cheap Breaking Point)，此外亦有選橫聯桿作損毀點的，以其易於更換且成本低廉之故。

顎形破碎機在使用操作中，必須重視常維護與定期檢修。顎形破碎機的工作條件是非常嚴苛的，設備的磨損本是不可避免，但機器零件的過度磨損，甚至斷裂，往往是由於操作不當與維護不周所造成的，例如，潤滑不良將會加速軸承的磨損等。表 3.3 所列是常見的故障原因及排除方法。

在正常條件下操作的設備，其零件的磨損是規律的，操作一定時間之後，就需進行修復或更換，這段時間稱為零件的磨損週期，或零件的使用期限。表 3.4 是顎形破碎機主要零件的使用期限及最低備份數量。

表 3.3 顎形破碎機操作中的故障及排除方法

項次	故障內容	產生原因	消除方法
1.	破碎機工作中聽到金屬的撞擊聲，破碎齒板抖動。	破碎室側面襯板和破碎齒板鬆弛，固定螺絲鬆動或斷裂。	檢查襯板固定情況，鎖緊襯板上的固定螺絲，或者更換齒板上的固定螺絲。
2.	橫聯桿座中產生撞擊聲。	彈簧拉力不足或彈簧損壞，橫聯桿座磨損或鬆弛，橫聯桿損壞。	調整彈簧的鬆緊或更換彈簧，更換橫聯桿座或橫聯桿。
3.	直聯桿產生撞擊聲。	偏心軸座磨損。	更換偏心軸座。
4.	破碎產品粒度增大。	破碎齒板下部顯著磨損。	將破碎齒板調轉 180°；或調整排料口，減小寬度尺寸。
5.	劇烈的劈裂聲音，動顎停止震動，飛輪繼續迴轉，直聯桿前後震動，拉桿彈簧鬆弛。	掉入無法破碎的物體，使橫聯桿破壞。直聯桿下部安裝橫聯桿座的凹槽出現裂縫。安裝沒經計算的保險橫聯桿。	鎖緊螺帽，取下直聯桿彈簧，將動顎向前撐起，檢查橫聯桿座，更換橫聯桿。修理直聯桿
6.	震動。	固定螺栓鬆弛，特別是組合機架的螺絲鬆弛。	鎖緊全部螺絲。
7.	飛輪迴轉，破碎機停止工作，橫聯桿從橫聯桿座中脫出。	拉桿的彈簧損壞，拉桿損壞，拉桿螺帽鬆脫。	清除破碎室內給料，檢查損壞原因，更換損壞零件，安裝橫聯桿。
8.	飛輪顯著的震動，偏心軸迴轉漸慢。	皮帶輪和飛輪鬆弛或損壞。	更換皮帶或飛輪。
9.	破碎機下部出現撞擊聲。	拉桿緩衝彈簧的彈性消失或損壞。	更換彈簧。

根據磨損週期的長短，還要對設備進行計劃檢修。計劃檢修又分為小修，中修和大修。

1. 小修：是設備正常操作期間所進行的維修工作，即設備的日常維護檢修工作。小修主要是檢查及更換嚴重磨損的零件，如，破碎齒板和橫聯桿座等；維修軸座，刮削軸承；鎖緊螺絲；檢查潤滑系統，補充潤滑油等。
2. 中修：是在小修的基礎上進行的。根據小修中檢查和發現的問題，制定維修計劃，確定需要更換的零件項目。中修時經常要進行機組的全部拆卸，詳細檢查重要零件的使用狀況，並解決小修中不能解決的零件修理和更換問題。



3.大修：是對破碎機進行比較徹底的維修。大修除包括中、小修的全部工作外，主要是拆卸機器的全部部件，進行仔細的全面檢查，修復或更換全部磨損零件，並對機器設備進行全面的工作性能測定，以達到原設備設計的性能。

表 3.4 顎形破碎機易磨損零件的使用期限和最低備份數量

易磨損零件名稱	使用壽命(月)	最低儲備量
可動顎的破碎齒板	4	2 件
固定顎的破碎齒板	4	2 件
後橫聯桿	—	4 件
前橫聯桿	24	1 件
橫聯桿座	10	2 套
偏心軸座	36	1 套
動顎的懸掛軸承	12	1 套
彈簧(拉桿)	—	2 件

3.1.5 規格

顎型破碎機的規格及各部分尺寸如圖 3.2 及表 3.5 所示。機號是以進料口寬(A)及顎距(B)的數值用英吋表示之數字。例如 2415 表示 A 的尺寸為 24 英吋，即 600mm，B 的尺寸為 15 英吋，即 380mm。破碎能力、耗用馬力及迴轉速則列於表 3.6。破碎能力除了與機台大小有關以外，也與破碎機出口大小有關。

第三章 破碎設備

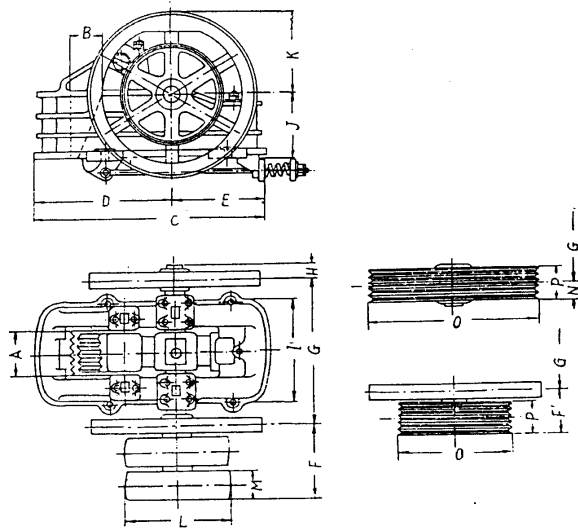


圖 3.2 顎形破碎機之尺寸圖⁽¹⁷⁾

表 3.5 顎形破碎機之外形尺寸(mm)

尺寸 機號	A	B	C	D	E	F	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
0806	200	150	1,070	620	450	320	160	560	60	420	460	410	500	135	—	720	110
1007	250	180	1,320	770	550	410	220	740	90	500	530	500	640	175	—	720	150
1509	380	230	1,680	990	690	620	200	1,030	100	720	600	575	720	230	—	1,000	120
2010	500	250	1,880	1,100	780	680	230	1,250	120	860	660	650	800	300	—	1,000	140
2415	600	380	2,300	1,380	920	770	330	1,530	140	1,030	820	750	1,000	340	—	1,000	220
3018	750	450	2,680	1,610	1,070	880	—	1,870	160	1,260	950	900	1,250	390	150	1,600	240
3624	900	600	3,400	2,100	1,300	1,000	—	2,400	180	1,550	1,200	1,000	1,600	450	190	1,800	310

表 3.6 顎形破碎機之破碎能力

機號	給礦口大小 (mm)	碎礦能力(t/h)											所要動力 (KW)	迴轉速 rpm
		出口大小(mm)												
		10	15	20	25	30	40	50	65	80	100	125		
0806	200x150	0.5	0.8	1.0	1.2	1.5							2.5~4	275
1007	250x180		1.7	2.5	3	3.5	5						4~5.5	275
1509	380x230			5	6	7	9	11					6~9	250
2010	500x250					10	12	15	19				10~14	250
2415	600x380						19	23	28	36			18~24	250
3018	750x450							31	38	45	54		25~35	225
3624	900x600								54	63	76	91	40~55	225

3.2 偏心破碎機(Gyratory Crusher)

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。中碎與細碎的機型又稱錐形破碎機(Cone Crusher)。

3.2.1 構造

偏心破碎機之外型如圖 3.3 所示。表 3.7 為偏心破碎機各部零件及使用材質。

3.2.2 工作原理與特性

可動圓錐的主軸支撐在破碎機橫樑上面的懸掛點，並且斜插在偏心軸套內，主軸的中心線與機器的中心線夾角約 2~3°。當可動圓錐靠近固定圓錐時，兩錐體間的物料就被破碎；而另一邊，物料則以重力經排料口排出。這種破碎工作是連續進行的，與顎形破碎機的工作原理不同。物料在偏心破碎機中，主要是受到擠壓作用而破碎，但同時也受到彎曲作用而折斷。

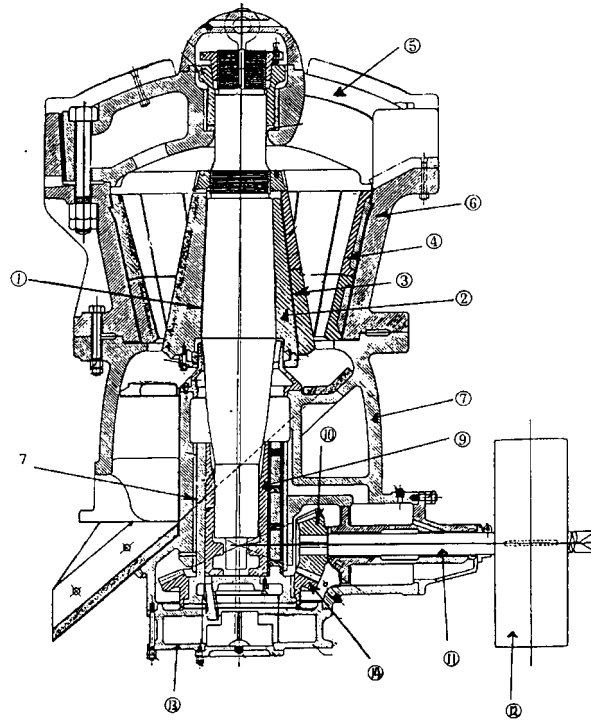


圖 3.3 偏心破碎機之構造圖⁽¹⁷⁾

表 3.7 偏心破碎機各部名稱與主要零件之材質

編號	各部名稱	材質名稱	材料記號
1	主軸	JIS 金屬 3201 鍛鋼品 5 種	SF55
2	可動圓錐	JIS 金屬 4806 高錳鋼鑄造品	SMn75
3	襯板	JIS 金屬 5501 鑄鐵品 3 種	FC19
4	襯板	JIS 金屬 4806 高錳鋼鑄造品	SMn75
5	錐形壓套	JIS 金屬 5101 鑄鐵品 2 種 JIS 金屬 5501 鑄鐵品 3 種	SC45 FC19
6	固定圓錐	JIS 金屬 5101 鑄鐵品 2 種 JIS 金屬 5501 鑄鐵品 3 種	SC45 FC19
7	下機架	JIS 金屬 5101 鑄鐵品 2 種 JIS 金屬 5501 鑄鐵品 3 種	SC45 FC19

表 3.7 偏心破碎機各部名稱與主要零件之材質（續）

編號	各部名稱	材質名稱	材料記號
8	中心套筒	JIS 金屬 5201 鑄鐵品 2 種 JIS 金屬 5501 鑄鐵品 3 種	SC45 FC19
9	偏心軸套	JIS 金屬 6651 青銅鑄物 5 種 1 號 JIS 金屬 7501 白合金 4 種	BC5A WJ4
10	小圓錐齒輪	—	—
11	傳動軸	—	—
12	三角皮帶輪	—	—
13	機架下蓋	JIS 金屬 5101 鑄鐵品 2 種 JIS 金屬 5501 鑄鐵品 3 種	SC45 FC19
14	大圓錐齒輪	JIS 金屬 5101 鑄鐵品 2 種	SC45

偏心破碎機相較於顎形破碎機的優點為：

1. 破碎室深度大，工作連續，生產能力高，單位耗電低。
2. 操作時出力平穩，震動較輕，機器設備的基礎重量較小。
3. 可充塞給料。
4. 偏心破碎機易於啟動，不像顎形破碎機需藉由飛輪。
5. 偏心破碎機的產物多呈塊狀，而顎形破碎機則多片狀。

其缺點為：

1. 機身較高，故廠房的建築費用較大。
2. 機器重量較大，故設備投資費用較高。
3. 不適用於破碎潮濕或含泥物料。
4. 安裝、維護比較複雜，檢修亦不方便。



3.2.3 安裝與操作

偏心破碎機的地基應與廠房地基隔離，地基的重量為機器重量的 1.5~2.5 倍。裝置時，首先將下部機架安裝在地基上，然後依次安裝中部和上部機架。在安裝工作中，要注意校準機架套筒的中心線是否同心。接著安裝偏心軸套和圓錐齒輪，並調整間隙。隨後將可動圓錐置入，再裝設懸掛裝置及橫樑。

安裝完畢，進行 5~6 小時的空載運轉。在運轉中須仔細檢查各個機件的聯結情況，並隨時量測油溫是否超過 60°C。空載運轉正常，再進行加載運轉。

在啟動之前，須檢查潤滑系統、破碎室以及傳動機件之狀況。檢查完畢，開動油泵 5~10 分鐘，使破碎機的各傳動部件都有潤滑作用，然後再開動主馬達。先令破碎機空轉 1~2 分鐘後，再開始給料。破碎機工作時，須經常依操作規定檢查潤滑系統，並注意在密封裝置下面不要堆積過多的給料。停機前，先停止給料，待破碎室內的給料完全排出以後，才能停主馬達，最後關閉油泵。停機後，檢查各部件，並進行日常的修理工作。

3.2.4 維護與檢修

潤滑油要保持流動性良好，但溫度不宜過高。氣溫低時，須用油箱中的電熱器加熱。氣溫高時，則須用冷卻過濾器冷卻。潤滑油必須定期更換。偏心破碎機的潤滑系統及設備與顎形破碎機相同。懸掛裝置用黃油潤滑，定期用手壓油泵打入。表 3.8 是偏心破碎機工作中的故障及排除方法。表 3.9 是偏心破碎機主要零件的使用期限及最低備份數量。

表 3.8 偏心破碎機操作中的故障及排除方法

項次	故障內容	產生原因	清除方法
1.	油泵裝置產生強烈的敲擊聲。	油泵與電動機之轉軸不同心。	使其軸線安裝同心。
2.	油泵發熱。	稠油過多。	更換比較稀的油。
3.	油泵工作，但油壓不足。	吸入管阻塞。 油泵的齒輪磨損。 壓力表不精確。	清洗油管。 更換油泵。 更換壓力表。
4.	油的指示器中無油或油流中斷，油壓下降。	油管阻塞。 油的溫度低。 油泵工作不正常	檢查和修理油路系統。 加熱油。 修理或更換油泵。
5.	在循環油中發現顆粒雜質。	濾網破裂。 工作時油未經過濾器。	更換濾網。 使油通過過濾器。

表 3.8 偏心破碎機操作中的故障及排除方法（續）

項次	故障內容	產生原因	清除方法
6.	流回的油減少，油箱中的油也顯著減少。	油在破碎機下部漏掉。 排油溝阻塞。 油從密閉管線中漏出。	檢查和消除漏油原因。調整給油量，清洗或加深排油溝。
7.	冷卻器前後溫差過小。	水閥開的過小，冷卻水不足。	開大水閥，正常給水。
8.	冷卻器前後的水與油的壓力差過大。	散熱器堵塞。 油的溫度低於容許值。	清洗散熱器。 將油加熱。
9.	回油溫度超過 60°C。	偏心軸套中摩擦面產生不正常摩擦。	拆開檢查偏心軸套，清除溫度增高原因。
10.	隨著排油溫度的升高，油壓也增加。	油管或破碎機零件上的油溝堵塞。	找出並清除溫度升高的原因。
11.	油箱中發現水或水中發現油。	冷卻水的壓力超過油的壓力。冷卻器的水管破裂，使水滲入油中。	使冷卻水的壓力比油壓低。檢查冷卻器的水管聯接部分。
12.	油被灰塵污染。	防塵裝置未起作用。	清洗防塵及密封裝置，清洗油管並換油。
13.	強烈劈開聲音，可動圓錐停止，皮帶輪繼續轉動。	主軸折斷。	拆開破碎機，找出折斷損壞原因，安裝新的主軸。
14.	破碎時產生強烈的敲擊聲。	可動圓錐襯板鬆弛。	校正鎖緊螺絲。當鑄鋼剝落時，須重新澆鑄。

表 3.9 偏心破碎機易磨損零件的使用期限和最低備份數量

易磨損零件名稱	使用壽命(月)	最低儲備量
可動圓錐的上部襯板	6	2 套
可動圓錐的下部襯板	4	2 套
固定圓錐的上部襯板	6	2 套
固定圓錐的下部襯板	6	2 套
偏心軸套	36	1 件
齒輪	36	1 件
傳動軸	36	1 件
排礦槽的護板	6	2 套
橫樑護板	12	1 件
懸掛裝置的零件	48	1 套
主軸	—	1 件

有關偏心破碎機的小修、中修和大修：

- 1.小修：檢查破碎機的懸掛裝置；檢查防塵裝置零件，並清除塵土；檢查偏心軸套的接觸面及其間隙，清洗潤滑油溝，並清除沉積在零件上的油渣；量測傳動軸和軸套之間間隙；檢查青銅圓盤的磨損程度；檢查潤滑系統並更換油箱中的潤滑油。
- 2.中修：除了完成小修的全部任務外，主要是維修或更換襯板、機架及傳動軸承。一般約半年進行一次。
- 3.大修：一般為五年進行一次。除了完成中修的全部內容外，主要是維修下列各項零件：懸掛裝置的零件，大齒輪與偏心軸套，傳動軸與小齒輪，密封零件，支撐墊圈以及更換全部磨損零件和部件等。同時，還必須對大修以後的破碎機進行校正和測定工作。

3.2.5 規格

偏心破碎機的規格與各部尺寸如圖 3.4 及表 3.10 所示。機號是以給料口寬(A)及直徑(B)顯示之。破碎能力、所需動力及迴轉速度則列於表 3.11。

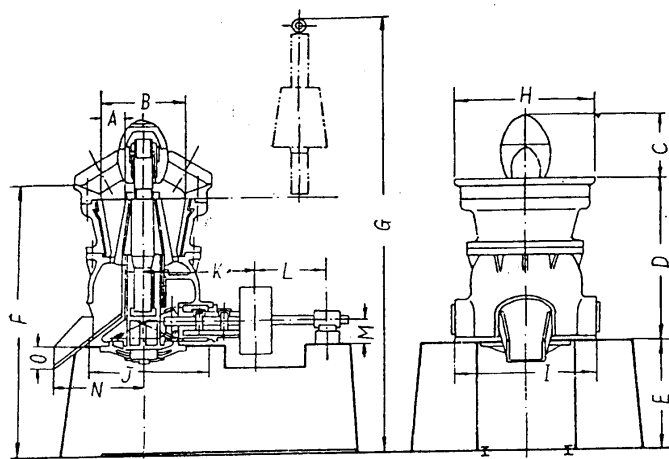


圖 3.4 偏心破碎機之尺寸圖⁽¹⁷⁾

表 3.10 偏心破碎機之外型尺寸(mm)

尺寸 機號	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	130	500	280	1,000	760	1,760	2,740	850	860	640	590	410	155	590	190
2	150	620	350	1,150	800	1,950	3,040	1,000	930	740	720	490	155	670	220
3	180	700	365	1,460	1,060	2,520	3,860	1,090	1,120	900	900	550	205	770	250
4	200	850	505	1,690	1,200	2,890	4,470	1,355	1,370	1,120	1,060	650	230	960	300
5	250	1,000	540	2,150	1,400	3,550	5,500	1,600	1,700	1,500	1,250	800	275	1130	350
6	300	1,100	780	2,200	1,500	3,700	5,900	1,800	1,800	1,700	1,450	900	295	1200	400
7	380	1,400	810	2,720	1,800	4,520	7,200	2,240	2,000	1,900	1,650	1,050	350	1400	450
8	450	1,700	930	3,100	2,020	5,120	8,100	2,580	2,300	2,100	1,750	1,100	360	1550	500
9	530	1,900	1,040	3,450	2,250	5,700	9,000	2,880	2,560	2,260	1,900	1,200	405	1740	560
10	600	2,100	1,230	3,700	2,400	6,100	10,000	3,100	2,700	2,400	2,000	1,250	440	1850	600

表 3.11 偏心破碎機之破碎能力

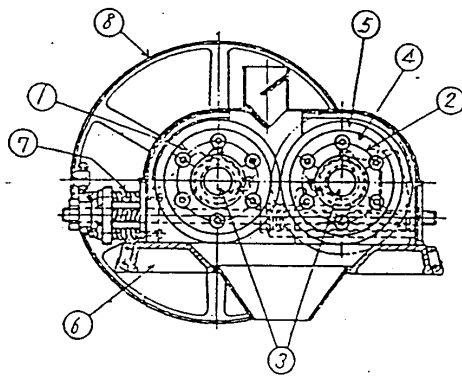
機號	給礦口大小 (mm)	碎礦能力(t/h)											所要動力 (KW)	迴轉速 rpm
		出口大小(mm)												
		10	15	20	25	30	40	50	65	80	100	125		
1	130x500	1.5	3	4.5	6.5	8							3~5	600
2	150x620			6	8	11	16						7~9	575
3	180x700				10	13	20	24					10~11	525
4	200x850					18	26	33	42				17~20	475
5	250x1,000						31	39	50	60			21~26	450
6	300x1,100						41	51	66	81			32~40	450
7	380x1,400							73	94	114	140		46~61	420
8	450x1,700								115	140	172	210	58~75	400
9	530x1,900									166	205	252	75~90	350
10	600x2,100									184	227	280	90~112	350

3.3 轉輪破碎機(Rolls Crusher)

轉輪破碎機是一種古老的破碎設備，構造簡單，主要作用於中、細碎作業。

3.3.1 構造

轉輪破碎機的構造如圖 3.5 所示。



- (1) 固定轉輪 Fixed roll
- (2) 可動轉輪 Movable roll
- (3) 轉輪軸 Roll shaft
- (4) 轉輪體 Roll core
- (5) 轉輪 Roll shell(Tire)
- (6) 基座 Frame
- (7) 彈簧 Spring
- (8) 皮帶輪 Pulley

圖 3.5 轉輪破碎機之構造⁽¹⁷⁾

3.3.2 工作原理

轉輪破碎機之主要構造為水平軸上平行裝置兩個向內對滾之轉輪，其中一轉軸固定，另一轉軸是可動的。操作時兩個轉輪作相向旋轉，由於給料與轉輪之間的摩擦作用，將給入的物料捲入兩輪所形成的破碎間隙內而被壓碎。產品在重力作用下，從兩輪之間的間隙排出。該間隙的大小即決定破碎產品的最大粒徑。

轉輪破碎機的轉輪表面有光滑和粗糙兩種。光面的粉碎作用主要是壓碎，並



兼有研磨作用。這種破碎機主要用於中硬物料的中碎及細碎。粗糙面的破碎作用以劈裂為主，同時亦有研磨作用，適用於脆性和軟性物料的粗碎及中碎。轉輪破碎機主要用於中、細碎，由於產品大小不均一，故須採閉路系統破碎(closed-circuit crushing)。縮減比低，濕式或乾式破碎均可，但一般多用乾式。

3.3.3 轉輪破碎機的操作

轉輪破碎機的操作結果決定於輪面的磨損程度，只有當輪面處於良好狀態下，才能獲得較高的產能及產出合格粒徑的產品。因此，影響輪面磨損的因素及操作中應注意的問題須隨時注意，並定期檢查輪面磨損情況，及時進行維修及更換。

在正常破碎物料時，輪面的磨損是逐漸累積，影響輪面磨損的主要因素有：物料的硬度、輪面材料的強度、輪面的粗糙度、規格尺寸以及操作條件、給料方式及物料粒徑等。

輪面的使用期限，視進料在轉輪整個長度上分佈的情形而定。進料分佈如果不均勻，輪面不但很快磨損，而且轉輪表面會出現環狀溝槽，使產品粒徑極不均一。因此，大多數的轉輪破碎機都設有給料機，給料機的寬度與轉輪的寬度相同，以確保物料是均勻分佈在轉輪面上。在破碎機的運轉中，還要注意給料的粒徑大小，給料粒徑大，將產生劇烈的衝擊，輪面會磨損嚴重，此在粗碎時尤其顯著。

為了消除輪面磨損不均的現象，在破碎機運轉時，應經常注意產品的粒徑，而且應定期將其中可動轉輪之輪軸平行移動，移動的距離約等於給料粒徑的 1/3。

當需要改變縮減比而移動轉輪時，必須使轉輪平行移動，嚴防轉輪軸歪斜，否則會導致輪面迅速產生不均的磨損，嚴重時，還會造成事故。

轉輪破碎機工作時粉塵較大，必須裝設密閉的吸塵安全罩。罩上應留有檢查孔，以便檢查轉輪的磨損狀況。

為了保持破碎機的正常工作，機器的潤滑應特別注意，滑動軸承的潤滑，可採用定期注入黃油或用油杯加油的方式，亦可使用注油器注入稠油的方式。轉輪破碎機的規格與各部分尺寸如圖 3.6 及表 3.12 所示。機號名稱是以轉輪之直徑與寬用英吋表示，如 1810 表示轉輪直徑 18 英吋，即 450mm，轉輪寬 10 英吋，即 250mm。其破碎能力、所需動力、迴轉數及給料最大粒徑列於表 3.13。

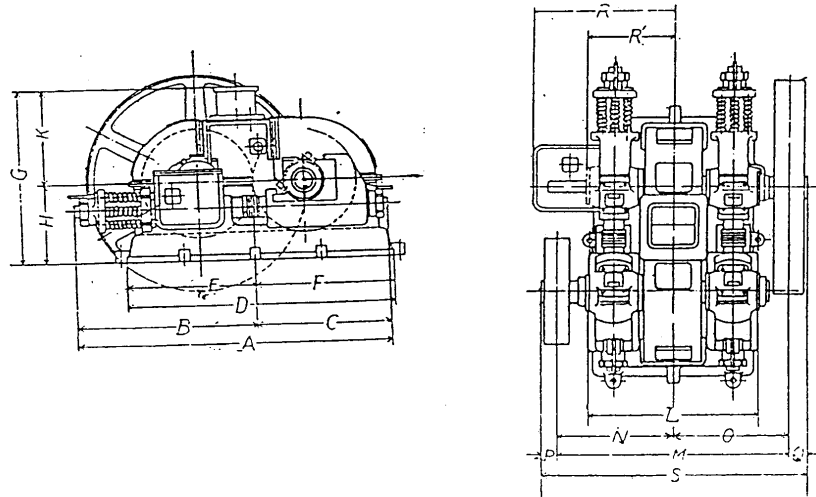


圖 3.6 轉輪破碎機之尺寸圖⁽¹⁷⁾

表 3.12 轉輪破碎機之外型尺寸(mm)

機號 \ 尺寸	A	B	C	D	E	F	G	H	K
1810	1,560	940	620	1,180	580	600	860	400	460
2412	2,020	1,210	810	1,580	710	870	1,080	520	560
3014	2,400	1,410	990	1,920	950	970	1,320	600	720
3616	2,820	1,650	1,170	2,290	1,130	1,160	1,520	700	820
4216	3,300	1,900	1,400	2,650	1,290	1,360	1,720	800	920
4818	3,740	2,250	1,490	3,200	1,550	1,650	1,880	900	980
5420	4,000	2,290	1,710	3,430	1,690	1,740	2,110	990	1,120

表 3.12 轉輪破碎機之外型尺寸(mm) (續)

機號 \ 尺寸	L	M	N	O	P	Q	R	R'	S

1810	860	1,140	570	570	100	100	—	500	1,340
2412	1,110	1,560	770	790	100	110	1,070	640	1,770
3014	1,360	1,940	940	1,000	120	140	1,220	780	2,200
3616	1,490	2,130	1,050	1,080	130	150	1,380	880	2,410
4216	1,570	2,420	1,230	1,190	180	200	1,450	940	2,800
4818	1,750	2,450	1,200	1,250	150	230	1,620	1,010	2,830
5420	1,900	2,830	1,410	1,420	190	250	1,690	1,150	3,270

表 3.13 轉輪破碎機之破碎能力與馬力

機號	轉輪尺寸 徑 X 寬 mm	回轉數 rpm	破碎能力 t/h 輪間距(a)mm				所須 動力 KW	給料最 大粒徑 mm	轉輪軸尺寸 徑 X 寬	
			3	6	9	12			固定軸	可動軸
1810	450X250	100~150	3~5				4~6	a+11	1,120X175	720X175
2412	600X300	80~125	4~6	8~12			5~13	a+14	1,250X200	800X200
3014	750X350	70~115	5~8	10~16			6~17	a+18	1,800X260	900X230
3616	900X400	65~105		13~21	19~31		13~28	a+22	2,000X300	1,000X260
4216	1,050X400	60~100		14~23	21~34		14~31	a+25	2,400X340	1,120X300
4818	1,200X450	55~95		16~28	24~42	32~56	17~46	a+30	2,500X390	1,250X300
5420	1,350X500	50~90			28~50	37~66	25~55	a+34	2,700X450	1,400X340

3.4 衝擊破碎機(Impact Crusher)

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，受到高速迴轉的擊鎚的衝擊，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，經碎料板的反擊，物料再次被擊碎，從碎料板返回的物料，又遭擊鎚的重新撞擊，進一步破碎。當物料在擊鎚和碎料板之間往返時，除了擊鎚及碎料板的衝擊外，物料間亦發生相互撞擊。上述過程不斷進行，直到破碎後的物料小於擊鎚及碎料板之間的間隙時，才從破碎機下部排出。

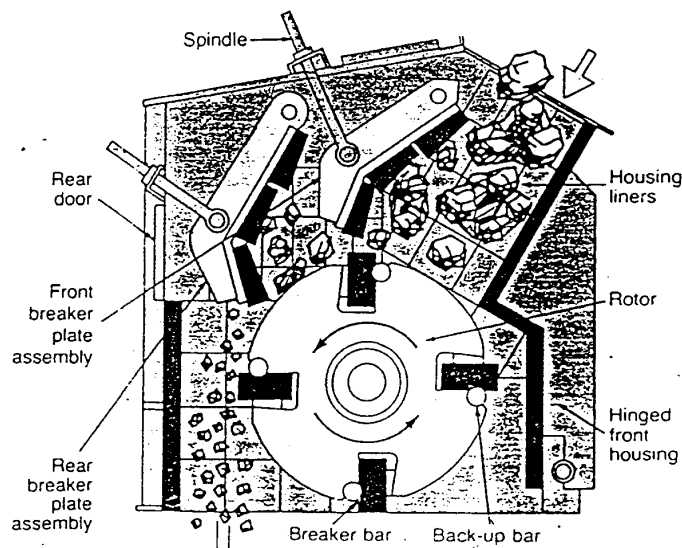


圖 3.7 衝擊破碎機之構造圖⁽¹⁷⁾

衝擊破碎機近年來發展極快，主要是因為它具有下述的重要特點：

- 1.縮減比很大，一般破碎機之縮減比最大不超過 10，而衝擊破碎機之縮減比可高至 30~40，最大可達 150，從而簡化破碎流程，節省投資費用。
- 2.破碎效率高，能源消耗低，物料受到擊鎚的高速衝擊之後，沿著節理面或接界面破裂。
- 3.產品粒徑均勻，過碎現象少，衝擊破碎機是利用動能($E=mv^2/2$)破碎的，物料所承受之動能與其質量成正比，因此大塊物料受到較大程度之破碎，小塊受到較



第三章 破碎設備

少程度之破碎，故產品粒徑較均勻。

4. 可以選擇性粉碎，在衝擊破碎過程中，破裂最易沿不同組成物質間的接界面發生，有利於單離。
5. 適應性大，此種破碎機可以破碎脆性、纖維性和中硬以下之物料，尤以脆性物料之破碎最適合。
6. 設備體積小，重量輕，結構簡單，製造容易，維修方便。

缺點為：襯板磨耗大。

旋錘破碎機(Hammer mill)亦為衝擊破碎機之一種，特點是排礦口設置篩條，破碎主要靠衝擊，其次靠摩擦。

3.5 渦旋多葉撞擊式破碎機

渦旋多葉撞擊式破碎機結構及作用。圖 3.8 為其外觀，圖 3.9 為其內部構造。

1. 旋轉臂

旋轉臂撞擊固體廢棄物使固體廢棄物在旋轉臂的磨襯板與耐磨棒之間反覆撞擊產生顆粒與顆粒間對撞現象，如同颶風般的破碎效果。

2. 層板

在每一層間形成破壞層，除非顆粒經反覆撞擊碎解到足以通過層板與旋轉臂中間的設定間隙，否則顆粒不會直通下一破碎層。





圖 3.8 渦旋多葉撞擊式破碎機外觀



圖 3.9 渦旋多葉撞擊式破碎機內部構造

3.推動塊

維持廢棄物的流動與擾動，與下拉氣流配合動作以控制機體內氣流。

4.離心風葉片

產生巨大氣流吸入大量空氣流經機殼內。



5. 耐磨棒

位在八角形機殼內側，八個對角供作額外撞擊面，並且以楔形鎖定八塊可拆換耐磨襯板。

6. 耐磨襯板

襯在機體內壁特殊設計耐磨耐撞，可拆換保護機殼外層。

7. 轉軸總體

一體轉動驅動固體廢棄物在轉軸總體與內側襯板間反覆破碎，降低廢棄物顆粒所佔空間。

8. 剪斷螺栓

旋轉臂受撞擊超出最大預設力量時，剪斷螺栓被剪斷繞旋軸螺栓為中心擺動，避免撞壞主要機件。

9. 第一、二、三層

在旋轉臂末端產生渦流，使固體廢棄物陷在其中保持碰撞狀態，直到顆粒度小至可穿越旋轉臂與層板之間可調整間隙。此一過程在各層反覆進行，顆粒愈來愈細穿越板層與各撞擊板間隙。該間隙可調整並且逐層遞減。

10. 第四層

離心風葉位在最下層，產生下降氣流流經機殼內部，並且與旋轉臂產生複雜颶風渦流，使廢棄物在其中粉碎成碎片細條後，推入出料口轉至輸送帶。

表 3.14 渦旋多葉撞擊式破碎機規格表

項 目	規 格	備 註
最大處理進料尺寸	大約 5cm ψ 平均粒度	應可處理 10cm~20cm 條狀塑膠、木塊、磚石、玻璃等人工分選不良異物
出料顆粒平均尺寸	大約 5mm ψ	



第三章 破碎設備

每小時處理量	最大可達 30t/hr	
使用馬力	500HP	分成 250HP 二台
重量	大約 35,000lb	
中心軸	6" AISI 1045 鋼	
驅動方式	Woods Ultra-V Bonded V Belts	
入口尺寸	72" 寬 X27" 深	
耐磨板	1/4" 耐磨耗鋼材	
空氣流量	最大 16,000cfm	

3.6 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 3.10、3.11 及 3.12。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數由外向內轉動，將物料投入二軸之間，刀刃即能將之切斷、破碎。如鉤爪般的特殊刀刃，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。

此破碎機適宜處理軟性與韌性的材質，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，另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。

第三章 破碎設備

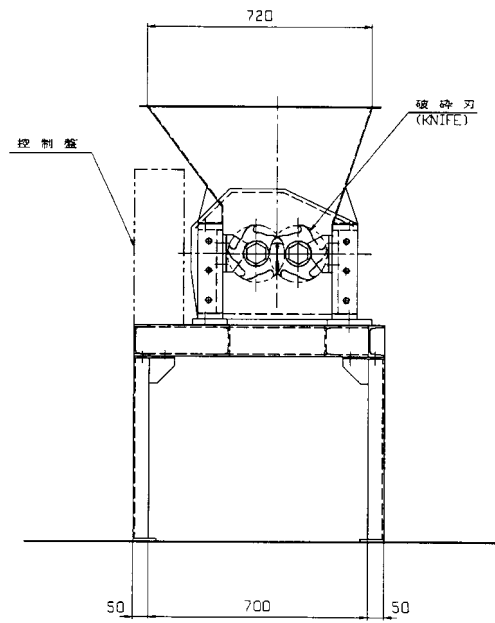


圖 3.10 剪斷破碎機之側視圖⁽¹⁹⁾

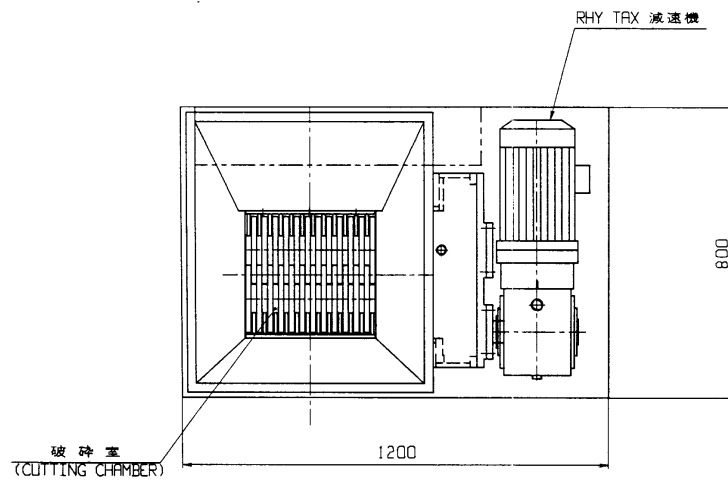


圖 3.11 剪斷破碎機之俯視圖⁽¹⁹⁾

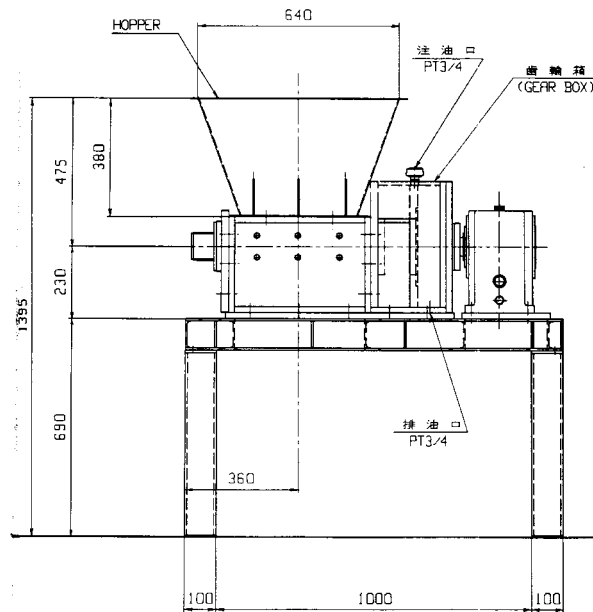


圖 3.12 剪斷破碎機之正視圖⁽¹⁹⁾

3.7 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。其先行之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機其採用油壓慢速切斷，其切斷力有 100T。切斷力非常強，對於大型廢棄物可輕而易舉之處理，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。對於設備之設里費用亦可節省。另外雙軸回轉式破碎機與 3.6 剪斷破碎機相似。



第三章 破碎設備

1. 複合切斷式破碎機，其外觀如圖 3.13

推進方式：採用鏈條推進器

處理物最大尺寸：1000mmW×1000mmH×3000mmL

壓縮力：30t

切斷力：100t

推進速度：5m/min(50Hz)

處理量：2T/Hr(依處理物之比重略有不同)

重量：16.9T

動力：22KW

機械尺寸：4,700mmH×2,000mmW×6,000mmL



圖 3.13 複合切斷式破碎機機械外觀圖



第三章 破碎設備

2.單軸回轉式破碎機，其外觀如圖 3.14

處理能力：3~5T/H

投入口尺寸：1,110X1,560mm

動力：150KW

驅動方式：皮帶驅動

重量：31T



圖 3.14 單軸回轉式破碎機外觀圖

表 3.15 複合切斷式與單軸回轉式破碎機性能比較表

型 式	複合切斷式	單軸回轉式
大型木材較多時：床、廢建材、家俱等...	◎	×
大型金屬較多時：洗衣機、冰箱、腳踏車	○	×
中型物不燃物：容器、電視、雜貨等...	×	◎
垃圾掩埋場、焚化爐、產業廢棄物處理	◎	○併用場合
資源回收系統	◎併用場合	◎併用場合
長尺寸破碎物較多時	◎	×
機台尺寸（相同處理量時）	大	中大
價 格（相同處理量時）	○	△
破碎粒徑	10~40cm W ×1.2-2mL △	§ 15cm 以下 ◎可調整
處理能力（類似尺寸之機械）	○	○
破碎力量	◎	○
消耗電力	◎	△
重 量	重	普通
消耗性零件設備價格（與處理物有關）	高	普通
維修方便性	△	○

備註：上述記號代表適用度為：×不適用、△普通、○好、◎最好。

3.8 球磨機(Ball Mill)與棒磨機(Rod Mill)

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。

3.8.1 構造

球磨機之構造如圖 3.15 所示，磨球大小之選擇，須視物料的性質，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



第三章 破碎設備

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，可得最佳之打擊力。

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，因打擊力靠大球，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，可根據實際情形，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。

3.8.2 維修

要使磨機的運轉效率高，研磨效果好，必須嚴格遵守操作和維修規定，在磨機啟動前，應檢查各連接螺栓是否鎖緊，齒輪及給料機的固定狀況。檢查油箱和減速器內的油面是否足夠，潤滑系統及儀表是否正常，油路是否暢通等。

啟動的順序是，先啟動磨機潤滑油泵，當油壓到達 $1.5\sim 2.0\text{kg/mm}^2$ 時，才啟動磨機，待運轉正常後，才能開始進料。

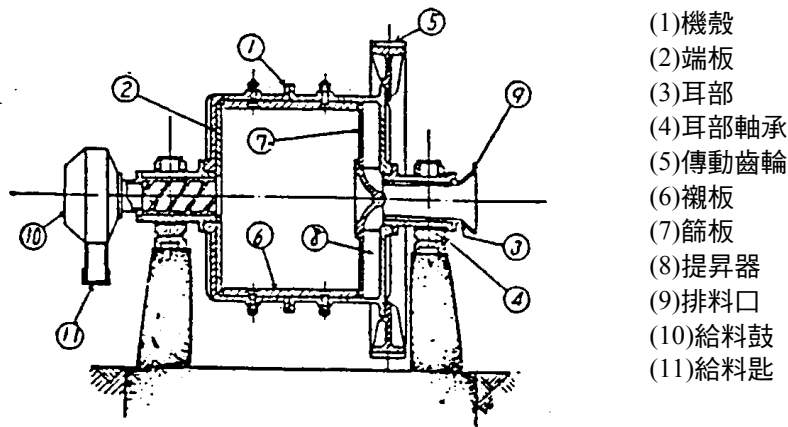


圖 3.15 球磨機之構造⁽¹⁷⁾

停止磨機時，要先停給料機，待磨筒內物料處理完後，再停磨機馬達，最後停油泵。磨機的常見故障原因及其排除方法列於表 3.16 中。

安裝磨機時的工作是磨機能否正常運轉的關鍵。各型磨機的安裝方法和順序大致相同。為確保磨機能平穩地運轉和減少對建築物的危害。必須將它安裝在其重量 2.5~3 倍的鋼筋混凝土機座上。機座應座落在基石的土地上，並與廠房地面最少要有 40~50cm 的距離。

為確保球磨機安全運轉，提高運轉率，延長使用年限，必須做到計劃檢修。檢修可分為三級：

1. 小修：每月進行一次，包括臨時性事故，主要是更換磨損之零件，如球磨機襯板，調整齒輪嚙合狀態，修補漏水處等。
2. 中修：一般每年進行一次，對設備各部件做較徹底的維修及調整，更換大多數易磨零件。
3. 大修：除完成小修、中修外，著重維修及更換主要零件，如軸承、大齒輪等。大修的時間間隔由主要零件的磨損程度決定。



第三章 破碎設備

一般襯板壽命大約 6-8 月，軸承 1 年半至 2 年，小齒輪 1 年，大齒輪 3-4 年。

表 3.16 磨機的故障、原因及排除方法

項次	故障內容	原因	消除方法
1.	主軸承熔化，軸承冒煙或電機超負荷斷電	1.供給軸承的潤滑由中斷 2.砂土落入軸承中	更換或清洗軸承並更換潤滑油
2.	油壓過高或過低	1.油管堵塞，油量不足 2.油黏度不合，過濾機堵塞	清除油壓增加或降低的原因
3.	馬達電源不穩定或過高	1.給料機鬆動 2.中空軸潤滑不良 3.排料濃度過高 4.磨筒周圍襯板重量不平衡，或磨損不均勻 5.齒輪過度磨損 6.電機電路上有故障	鎖緊給料機，改善潤滑狀況，更換襯板，調整操作，更換或修理齒輪，排除電路故障
4.	軸承發熱	1.給料過多或不足，油質不合格 2.軸承安裝不正，或有雜物 3.油路不通，潤滑油環不工作	停止給料，查明原因，更換污油，清洗軸承，檢查潤滑油環
5.	球磨機震動	1.齒輪契合不好，或磨損過甚 2.螺絲鬆動 3.傳動軸承磨損	調整齒輪間隙，鎖緊螺絲，修整或更換軸承
6.	突然發生強烈震動和撞擊聲	1.齒輪咬合間隙混入鐵雜質 2.小齒輪軸鬆動 3.齒輪損壞 4.軸承或固定機座之螺絲鬆動	清除雜物，鎖緊螺絲，修整或更換軸承
7.	端蓋和桶體連結處，襯板螺絲處漿料露出	1.連接螺絲鬆動 2.襯板螺絲鬆動，密封墊圈磨損，螺栓斷裂	鎖緊或更換螺絲，加密封墊圈

3.8.3 規格

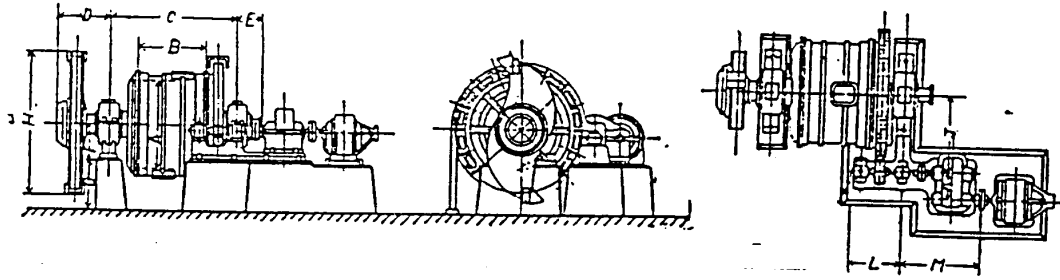


圖 3.16 球磨機之尺寸圖⁽¹⁷⁾

表 3.17 球磨機之規格尺寸(mm)

機號	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M
43	1,200	1,000	1,850	650	300	530	570	1,800	890	260	750	1,300
54	1,500	1,200	2,100	700	300	580	720	2,100	1,140	360	850	1,400
64	1,800	1,400	2,350	900	400	625	975	2,700	1,410	410	960	1,650
75	2,100	1,500	2,850	1,100	450	650	1,150	3,000	1,590	460	1,080	1,850
86	2,400	1,800	3,350	1,350	600	720	1,380	3,500	1,810	530	1,200	2,000

表 3.18 球磨機之磨礦能力與馬力

機號	直徑 X 長度 mm	磨礦能力(t/h)			迴轉數 rpm	磨球裝 入量 t	所需動 力 KW	馬達		
		產品粒徑 mm						KW	迴轉數 rpm	
		25~0.3	10~0.15	5~0.075					900	720
43	1,200X1,000	2.1	1.8	1.7	31	1.7	18	25		
54	1,500X1,200	4.2	3.8	3	29	3.3	35	40	1,000	900
64	1,800X1,400	7	5.5	5	26	5.5	60	75	750	720
75	2,100X1,500	11	8.5	7	23	8	90	100	750	720
86	2,400X1,800	17	13	11	21	13	130	175	600	600

1. End plate
2. Trunnion
3. Trunnion bearing
4. Shell
5. Driving gear
6. Liner
7. Drum feeder
8. Scoop feeder

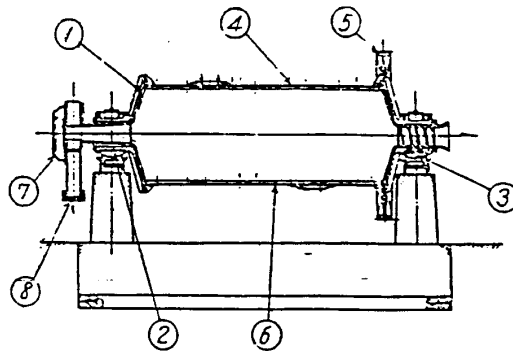


圖 3.17 管狀球磨機之構造圖與各部名稱⁽¹⁷⁾

表 3.19 管狀球磨機之規格尺寸(mm)

尺寸	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M
406	1,200	1,800	2,700	700	400	550	850	2,000	1,100	450	950	1,300
408	1,200	2,400	3,300	700	400	550	850	2,000	1,100	450	950	1,300
410	1,200	3,000	3,900	700	400	550	850	2,000	1,100	450	950	1,300
508	1,500	2,400	3,450	750	500	600	1,000	2,200	1,350	550	1,200	1,560
510	1,500	3,000	4,050	750	500	600	1,000	2,200	1,350	550	1,200	1,560
512	1,500	3,600	4,650	750	500	600	1,000	2,200	1,350	550	1,200	1,560
610	1,800	3,000	4,200	850	550	700	1,150	2,700	1,650	600	1,400	2,100
612	1,500	3,600	4,800	850	550	700	1,150	2,700	1,650	600	1,400	2,100
614	1,800	4,200	5,400	850	550	700	1,150	2,700	1,650	600	1,400	2,100
712	2,100	3,600	4,850	950	600	800	1,300	3,000	1,900	650	1,500	2,250
714	2,100	4,200	5,450	950	600	800	1,300	3,000	1,900	650	1,500	2,250
716	2,100	4,300	6,050	950	600	800	1,300	3,000	1,900	650	1,500	2,250

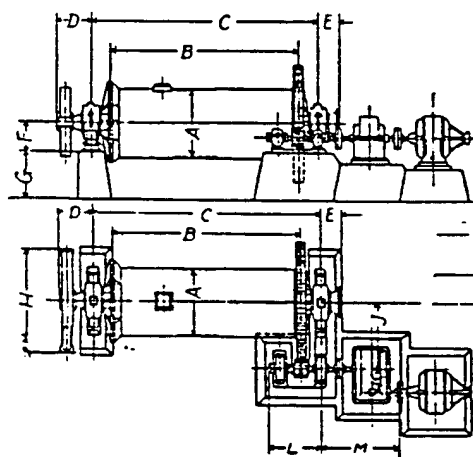


圖 3.18 管狀球磨機之尺寸圖⁽¹⁷⁾



3.9 振動磨機(Vibration)

振動磨機如圖 3.19 所示，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。

表 3.20 管狀球磨機之磨礦能力與馬力

機號	直徑 X 長度 mm	磨礦能力(t/h)		迴轉數 rpm	磨球裝 入量 t	所需動力 KW	馬達		
		產品粒徑 mm					KW	迴轉數 rpm	迴轉數 rpm
		0.6~ 0.075	0.3~ 0.075						
406	1,200X1,800	1.6	1.8	32	3	27	30	1,000	900
408	1,200X2,400	2.1	2.4	32	4	35	40	1,000	900
410	1,200X3,000	2.7	3.0	32	5	44	50	1,000	900
508	1,500X2,400	3.5	3.9	27	6.5	55	60	750	720
510	1,500X3,000	4.3	4.9	27	8	69	75	750	720
512	1,500X3,600	5.2	5.8	27	10	81	100	750	720
610	1,800X3,000	6.4	7.2	23	12	100	125	600	600
612	1,800X3,600	7.7	8.7	23	14	120	125	600	600
614	1,800X4,200	9	10	23	17	140	150	600	600
712	2,100X3,600	10	12	20	20	160	200	600	600
714	2,100X4,200	12	14	20	23	190	200	600	600
716	2,100X4,800	14	16	20	26	220	250	600	600

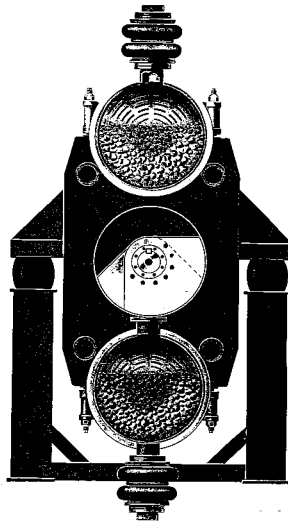


圖 3.19 振動磨機之構造圖⁽¹⁷⁾

振動磨機的振動頻率通常在 1,500~3,000RPM 之間，振幅為 2~4cm，裝球率通常達 75~85%，這三者必須相互配合，才能獲得最佳的衝擊力及良好的研磨效果，否則產品粒徑將變粗，產率也會降低。

振動磨機的磨球是在非常高的頻率下發揮衝擊作用，此高速衝擊力能使物料產生裂縫，並在裂縫中產生高的應力集中，故它能有效地進行超細研磨。進料不宜過粗，而且要均勻加入，通常適用於將 1~2cm 的物料磨至 5~85 μm (乾磨)或 0.1~5 μm (濕磨)。

其優點有：

1. 構造簡單，設備便宜，節省空間。
2. 轉動範圍不大，磨耗零件少，節省能源。
3. 噪音小。



缺點：

- 1.大顆粒的研磨非常慢，餵料大小，直接影響產品大小。
- 2.機型尺寸有一定限制，不能無限制放大。

3.10 攪拌磨機(Agitation Bead Mill)與塔磨機(Tower Mill)

塔磨機屬一種大型的攪拌磨機如圖 3.20 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。在日本，塔磨機用於磨石英粉、岩鹽、煤、大理石、石灰石。最有代表性的產品是 99%通過 $37\mu\text{m}$ ，平均粒徑為 $5\mu\text{m}$ 的石灰石粉。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。

塔磨機之磨筒高度可由 1 米到 10 米，甚至有高達 20 米者。磨球可用鋼球或卵石、瓷球等。內部有一攪拌軸提供攪拌動力。粉碎作用出現在磨球之間的相互運動及帶動粗粒物料下沉的功能。由於欠缺磨球自高處落下的打擊力，故餵料不能超過 5mm，餵料由機器底部的壓力泵餵入，磨機內物料粒徑則為愈細者愈往上流動，產品由上端經過分級後排出。磨球大小由餵料大小來決定，最大不超過 32mm，球可小到 6.4mm，產品 50%通過 $2\mu\text{m}$ 者可以用連續式操作進行研磨。塔磨機之特點有：

- 1.節省動力，以某一石灰石的粉碎為例，用轉磨機要 3500 馬力，用塔磨機只要 1800 馬力。
- 2.較低之設置費用；基礎只要有 30cm 厚水泥地板即可以，比轉磨機的厚重基礎要省事得多。
- 3.節省能源運轉：在阿拉斯加某鋅礦有九座 500 馬力塔磨機，運轉比轉磨機省 50% 能源。
- 4.較省地板空間；450 馬力的塔形磨機只要 $10'\times 10'$ 地板，轉磨機至少要 $15'\times 15'$ 地板。

5.較少過磨。

6.低噪音：轉磨機一般噪音 100db，塔形磨機 85db。

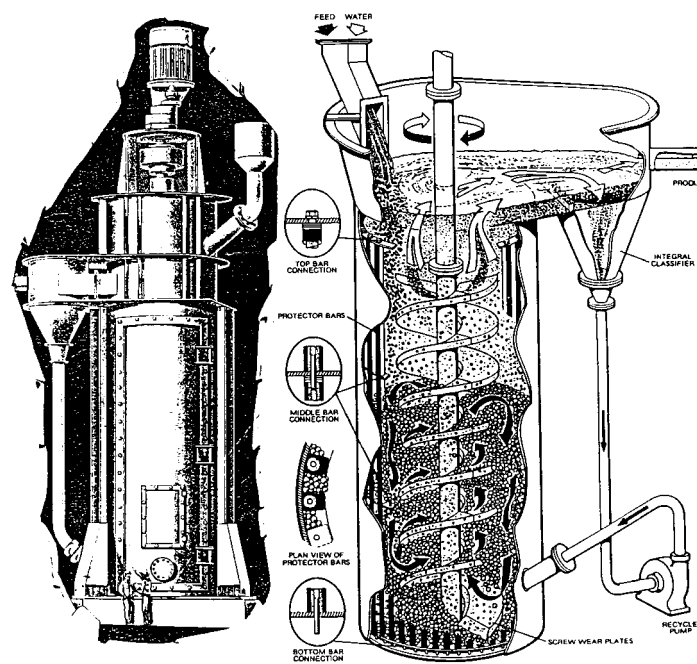


圖 3.20 塔磨機之外觀與構造⁽¹⁷⁾

3.11 豎磨機(Loesche Mill)

豎磨機適於乾磨較軟之物料，其特點有：

1.粉碎效率高，動力消耗量少，磨損部分少，因此維修保養費用低，特別是啟動



第三章 破碎設備

和無負荷運轉時動力消耗極少，運轉時無噪音。

- 2.機體為直立式，佔地面積少，基座建設費用也低。
- 3.主要磨損部分(粉碎盤及粉碎輪的襯板)易於更換，少數操作人員在短時間內即可完成更換工作。
- 4.容易調整產品之粒徑。

進料從機殼上部的溜槽中定量給入，落在粉碎盤中心附近，並藉離心力甩出，夾在盤和輪之間。熱風用於乾燥和排出磨細之產品，由風機產生，自豎磨機的下部，上吹進入粉碎盤周圍的外環，再進入磨機內部。由粉碎盤外圍溢流出的部分產品，被由刮板附近吹出的熱風帶回到粉碎盤上，其餘則被上升氣流帶至上方，至磨機機殼之上部，因斷面面積加大，風的流速減少，粗粒乃回落機內，繼續研磨；而細粒因為所受之離心力小，和排氣一同排出。由於轉輪是以變速馬達帶動，轉速易於改變，因此可以不受風量變化的影響，任意調整粉碎產品的粒徑。

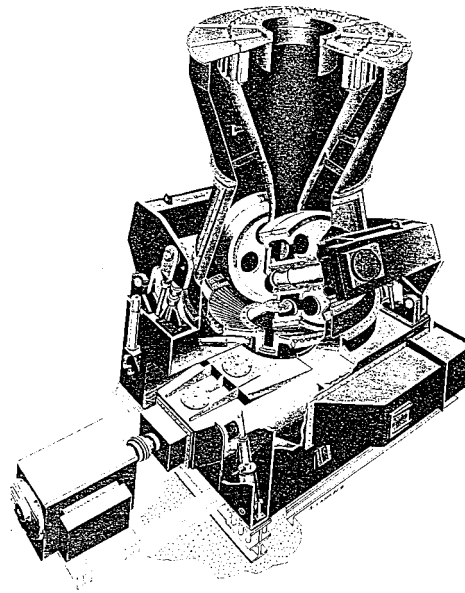


圖 3.21 豎磨機之外觀圖⁽¹⁷⁾



參考資料

- 1.L.R.Mabson, "Primary Crusher Selection," Mine Quarry Eng., Vol27, pp114-121, 1961.
- 2.P.A.Korpi, "Angular Spiral Lining Systems in Wet Grinding Grate Discharge Ball Mills," presented to 107th AIME Annual Meeting, New Orleans, 1979.
- 3.T.Andren and G.Nilsson, "Appraisal of the Use of Rubber Linings in Grinding Mills," Proc. 10th Int. Min. Proc. Congr., London, pp123-142, 1973.
- 4.K.Spink, "Comminution Methods and Machinery," Min. Miner. Eng., Vol.8, pp5-21, 1972.
- 5.B.A.Bartley and G.J. Macdonald, "The Macdonald Impactor: Its Development and How it Relates to Other Crushers," Inst. Of Quarrying, N.Z.Branch Conf., Auckland, 1977.
- 6.E.Sarapuu, "Electro-Energetic Rock Breaking Systems," Min. Congr. J., Vol.59, pp44-54, 1973.
- 7.S.Levine, "An Update or Crushing and Grinding Equipment," Rock Prod., Vol.77, pp59-71, 1974.
- 8.A.J.Lynch, Mineral Crushing and Grinding Circuits, Elsevier, 1977.
- 9.W.J.Whiten, "Ball Mill Simulation Using Small Calculators," Proc. Australas. IMM, Vol.258, pp47-51, 1976.
- 10.K.J.Reid, "A Solution to the Bath Grinding Equation," Chem. Eng. Sci., Vol.20, pp953-963, 1965.
- 11.H.E.Rose and J.E.English, "Theoretical Analysis of the Performance of Jaw Crushers," Trans. IMM. Vol.76, ppc32-c43. 1967.
- 12.L.G.Austin, D.R.Van Orden and J.W.Perez, "A Preliminary Analysis of Smooth Roll Crushers," Int. J. Miner. Process., Vol.6, pp321-336, 1980.
- 13.李文鐘, 選礦學, 世界書局, 中華民國, 民國七十九年八月八版.
- 14.E.G.Kelly and D.J.Spottiswood 著, 胡力行等譯, 選礦導論, 冶金工業出版社,



第三章 破碎設備

中國大陸, 1989.

15. 神保元二等著, 王少儒和孫成林譯, 粉碎, 中國建築工業出版社, 中國大陸, 1985.

16. 李啟衡, 碎礦與磨礦, 冶金工業出版社, 中國大陸, 1980.

17. 蔡敏行, 選廠設計上課講義, 1997.

18. 蔡敏行, 高等選礦上課講義, 1996.

19. 昌晟公司機器型錄.



第三章 破碎設備



第三章 破碎設備



第三章 破碎設備

第四章 篩分設備

工業用篩的種類眾多，各種篩之比較如表 4.1。較常見之工業篩介紹如下。

表 4.1 篩分設備的分類⁽¹⁴⁾

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	



4.1 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份，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，無運動部份，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%。

4.2 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。

震動篩的應用範圍廣，適用於中、細碎前的進料預先篩分及產物的分粒，具有以下的優點：

1. 篩面以低振幅、高振動頻率作強烈震動，消除了物料的堵塞現象，使篩的篩分效率及產能均提高。
2. 動力消耗小，構造簡單，操作、維護檢修方便。
3. 由於產率及效率很高，所需的篩網面積小，可以節省廠房面積和高度。

4.2.1 慣性震動篩

1. 工作原理

慣性震動篩如圖 4.1 所示，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。



第四章 篩分設備

一般震動篩的迴轉速均選擇遠離共振頻率，即工作轉數比共振轉數大數倍。因此振幅比較平穩，彈簧的剛度可以較小。如此可減少彈簧數量，使機器輕便，而且由於彈簧剛度小，傳給基礎的負荷小，機器的隔振效果好。但是此種震動篩在起動和停止時，篩的轉速都會經過共振範圍，引起系統的瞬間共振，此時，篩架的振幅很大，為克服此瞬間之共振，可安裝能自動移動偏心配重位置的激振器。

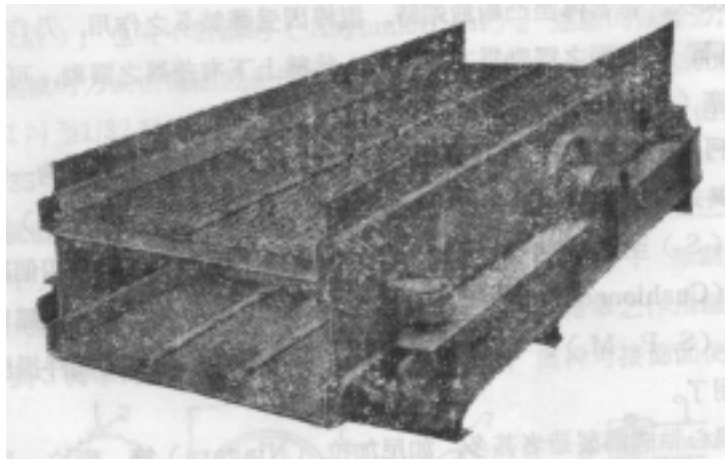


圖 4.1 慣性震動篩⁽¹⁰⁾

由於震動篩選用的彈簧剛度小，振幅也不大。因此篩架運動過程中，彈簧變形小，作用於篩架上的彈性力也很小，可以忽略不計。如果振動中心是選在彈簧--篩體的靜平衡位置，則可以認為彈簧的作用只是用來抵消篩重的影響，在運動過程中可以不考慮彈簧的作用。這時就好象篩懸空一樣。若保持兩個回轉質量平衡，它將不受外力的作用進行自由振盪。



2.性能與用途

慣性震動篩的振動器安裝在篩架上，軸承中心線與皮帶輪中心線一致，隨著篩架的上下振動，從而引起皮帶輪振動，這種振動會傳給馬達，影響馬達的壽命，因此此種篩的振幅不宜太大。此外，由於慣性震動篩振動次數高，啟動中必須十分注意它的操作情形，特別是軸承的狀況。

慣性震動篩由於振幅小而振動次數高，適用於篩分中、細粒物料，且給料速度必須均一。因為當負荷加大時，篩的振幅減小，容易發生篩孔堵塞現象；反之，當負荷過小時，篩的振幅加大，物料顆粒會快速的跳躍越過篩面，這兩種情況都會導致篩分效率減低。由於篩分粗粒物料需要較大的振幅，才能把物料帶動，且篩分粗粒物料時，很難做到均勻給料，故慣性振動篩只適宜於篩分中、細粒物料，它的給料粒度一般不能超過 100mm。

4.2.2 自調中心震動篩

1.構造

圖 4.2 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而成，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。彈簧是支持篩架用的，同時也減輕了篩在操作時傳給基礎的負荷。

2.工作原理

自調中心震動篩與慣性震動篩的主要區別為，慣性震動篩的傳動軸與皮帶輪是同心安裝的，而自調中心震動篩的皮帶輪與傳動軸不同心。慣性震動篩在操作中，當皮帶輪和傳動軸的中心線作圓周運動時，篩隨之以振幅為半徑作圓周運動，但裝於馬達上的小皮帶輪中心的位置是不變的，因此大小兩皮帶輪中心距將隨時改變，引起皮帶時鬆時緊，皮帶易於疲勞斷裂，而且這種振動作用也影響馬達的壽命。為了克服這一缺點，發展出自調中心震動篩。

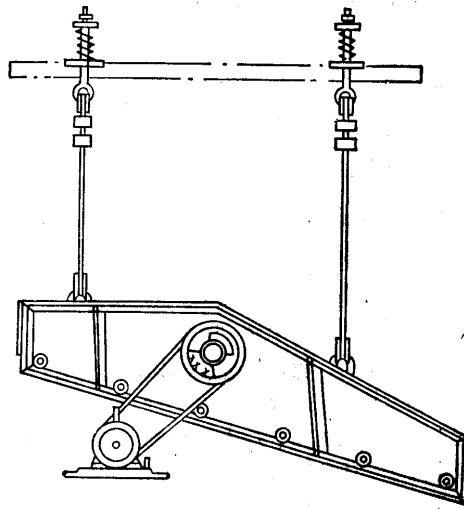


圖 4.2 自調中心震動篩⁽¹³⁾

自調中心震動篩在皮帶輪上所開的軸孔的中心與皮帶輪幾何中心不同心。所以不管篩架和轉軸在運動中處於任何位置，皮帶輪之中心總是保持與震動中心線相重合，因而空間位置不變，此即皮帶輪自定中心。大小兩皮帶輪的中心距保持不變，消除皮帶時緊時鬆現象。此外，還有一種軸承偏心式自調中心震動篩。由於軸承與軸的中心線偏離距離約等於振幅，在振動中軸的中心雖有上或下的位移，但皮帶輪相接處的位置卻是不變的。

3.性能與用途

自調中心震動篩實體上與慣性震動篩相同，其區別僅是震動中心線不發生位移，兩者的性能及用途基本上一樣。自調中心震動篩的優點是在馬達的穩定方面有很大的改善，所以篩子的振幅可以比慣性振動篩的稍大一些。篩分效率較高，一般可以達到 80% 以上。但是，在操作中，也和慣性震動篩一樣，表現極為明顯的是篩的振幅變化不定。當篩負荷過大時，它的振幅很小，不能把篩網上的物料全部抖動起來，因而篩分效率顯著下降。當篩子負荷很小時，它的振幅就特別增大，物料抖動得太厲害，很快就跳離篩面，篩分時間短，篩分效率也就降低。因此，使用此種篩時，給料量也不宜波動太大。由於這一缺點，

這種結構形式的自調中心震動篩，只適宜於均勻結構的中、細粒物料的篩分。

4.2.3 共振篩

共振篩（也叫彈性連桿式震動篩），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 4.3 是共振篩的原理示意圖，此篩主要由篩架 1、之架 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 等部件組成。當馬達通以皮帶與裝於支架上的偏心軸，偏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。

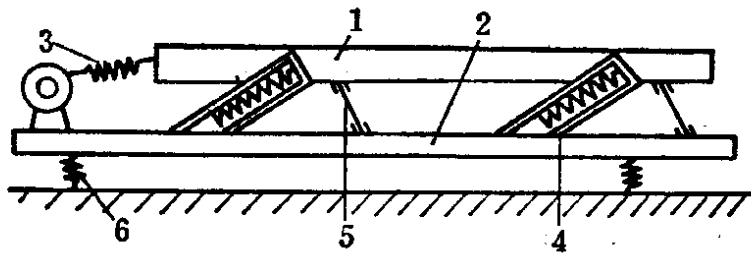


圖 4.3 共振篩的結構示意圖⁽¹⁰⁾

當共振篩的篩架壓縮彈簧時；其運動速度和動能都逐漸減少，被壓縮的彈簧所儲的位能則逐漸增加。當篩架的運動速度和動能等於零時，彈簧被壓縮到極限，它所儲的位能達到最大值，接著篩架向相反的方向運動，彈簧放出所儲的位能，轉化成篩架的動能，篩架的運動速度增加。當篩架的運動速度和動能達到最大值時，彈簧伸長到極限，所儲的位能也就最小。因此共振篩的操作是系統的位能和動能相互轉化的過程。所以在每一次震動中，只需供給克服阻尼所需的能量



就可以使篩連續運轉，因此篩雖大但功率消耗卻很小。

共振篩是一種在接近共振狀態下操作的工業用篩，具有處理能力大，篩分效率高，振幅大，耗電小以及結構堅固等優點。共振篩目前尚存在一些缺點，如製造比較困難、重量大，振幅不易穩定，調整比較複雜，橡膠彈簧容易老化，使用壽命短。

4.2.4 震動篩的安裝、操作與維修

1. 安裝與調整

- (1) 篩按規定傾角安裝在基礎上或懸架上後，要進行調整。先進行橫向水平調整，以消除篩架的偏斜。校正水平後，再調整篩架縱向傾角。
- (2) 篩網應均勻張緊，預防篩網產生的局部震動，因為此種震會導致部分篩網因彎曲疲勞而損壞。
- (3) 轉動滑軌螺栓以調整三角皮帶的鬆緊應使三角皮帶具有一定的初拉力，且初拉力不能過小或過大。

2. 操作

在啟動前，應檢查螺絲等連接零件是否鎖緊；電氣元件有無失效；振動器的主軸是否靈活，軸承潤滑情況是否良好。篩的啟動次序是，先啟動除塵裝置，然後啟動篩，待運轉正常後，才開始向篩面均勻地送料。停止的順序與此相反。

3. 維修

在正常運轉中，應密切注意軸承的溫度，一般不得超過 40°C，最高不得超過 60°C。運轉過程中應注意篩有無強烈噪音，篩的震動應平穩，不可有不正常的擺動現象。當篩有搖晃現象時，應檢查四個支撐彈簧的彈性是否一致，有無折斷發生。在運轉期間，應定期檢查篩網磨損情況，如已磨損過度應立即更換。隨時觀察篩網有無鬆動，有無因篩網局部磨損造成漏料；遇有上述情況，應立即停車進行修理。

篩的軸承部分必須有良好的潤滑，當軸承安裝良好、無發熱、漏油時，可每隔一星期左右用油槍注入黃油一次，每隔兩月左右，應拆開軸殼，清洗軸承，並重新注入乾淨的黃油。



4.3 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 4.4 所示，需篩分的物料置於儲料箱 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。

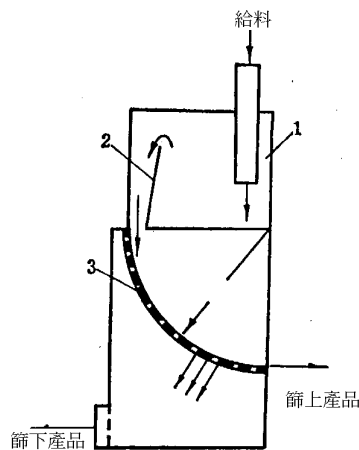


圖 4.4 重力曲面篩原理示意圖⁽¹³⁾

壓力給料則是將漿料泵送入給料箱，給料箱的出口處裝有噴嘴，物料經過噴嘴以切線方向給入。噴嘴應使物料成扁平狀噴入篩面上，形成一均勻的薄層流。

曲面篩的工作原理如圖 4.4 所示，物料以一定的速度呈切線方向噴入篩面



第四章 篩分設備

上，垂直地流過篩條，由於離心力的作用，使得物料層緊貼著篩面運動。當物料層流經一個篩條的間隙時，由於篩條的邊稜對物料層產生切割作用，被切的這一部分物料，在離心力作用下，經過篩縫排出，即為篩下產品；未被切割的那一部分，下流成為篩上產品。曲面篩的篩孔尺寸與分離粒徑的關係，大致是分離粒徑等於篩條間隙寬的一半。由於曲面篩的篩下產品，主要是藉篩條邊稜對漿料的切割所得，因此，篩條邊稜的鋒利程度對篩下量有直接關係，隨著邊稜的磨損，篩下量及分離粒徑均顯著變小，因此經過一定時間磨損以後，須將篩面反轉使用。

弧形篩的規格是以篩面的曲率半徑(R)、篩面寬度(B)和弧度(a)表示，即 $R \times B \times a$ ，例如 $R500 \times 700 \times 180^\circ$ 。自流弧形篩的弧度有 45° 、 60° 和 90° 等，其中最常用的是 60° 和 45° 弧形篩。壓力弧形篩的弧度有 180° 和 270° 等，其中 270° 篩主要用於水泥工業。

曲面篩與振動篩相比較具有如下特點：結構簡單，沒有任何運動部件，製造容易，生產能力高；但是，曲面篩的效率是較低，重力給料時，效率不超過 40%，壓力給料時效率稍高一些，但仍不如震動篩；壓力給料時，砂泵所需的功率大約比震動篩的功率大 7 倍；給料的變化範圍不能過大，而且給料的濃度不能低於 30%。

4.4 機率篩

此種篩雖然也是一種震動篩，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敲擊裝置；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。

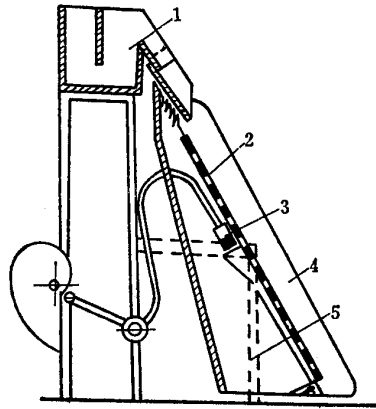


圖 4.5 機率篩結構示意圖⁽¹³⁾

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鉗，同時敲擊一排並列的篩。機率篩的結構如圖 4.5 所示，上部是一個給料機(1)，下部是由鋼板鉸接成的篩框，內裝有篩架和篩面(2)，篩架的背面有一敲擊裝置。給料機是由一個緩衝箱及勻料器構成。緩衝箱採用閥門控制，以保持箱內恆壓及調整給料量大小。漿料流到勻料器，即可均勻地流經篩面，並分成篩上和篩下兩種產品。篩面是一條篩，由固定篩條編成。篩條的排列與物料方向垂直。篩面安裝在篩架上，篩架用彈簧懸掛在篩框上，並由篩框與水平撐架將篩支成一可以調節的斜度。在篩架的背面有一敲擊板，敲擊裝置的打擊鉗周期性地打在敲擊板上，使篩面產生瞬間振動，以防篩孔堵塞，敲擊機構由馬達及凸輪機構控制，一台馬達串聯可帶動 15 台敲擊器，敲擊次數及幅度可以調節。

機率篩的篩面可以用不銹鋼材料或尼龍材料製成。尼龍機率篩篩條的斷面為等腰梯形，夾角 14° ，有效篩孔面積約佔全部篩面積的 10%。尼龍機率篩的優點是篩孔不易堵塞，篩分效率高，耐磨、價廉、尺寸穩定、來源廣泛，製造簡便等。

機率篩的工作原理與一般篩分機械不同，而與重力曲面篩的工作原理相似，可以說機率篩是曲面篩的衍生型。



參考資料

- 1.T.Allen, Particle Size Measurement, 2nd ed., Ch.5, Chapman and Hall, 1974.
- 2.C.W.Matthews, “What You Should Know About Screening,” Rock. Prod., Vol.72, pp44-51, 1969.
- 3.C.W.Matthews, “The New Look in Screening Media,” Rock. Prod., Vol.73, pp75-82, 1970.
- 4.Anon., “Screening Developments,” Min. Miner. Eng., Vol.4, pp38-40, 1968.
- 5.Anon., “new Wear-Resistant Surface from U.S. Company,” Min. J., Vol.29, 1977.
- 6.R.O.Burt, “Fine Sizing of Minerals,” Min. Mag., Vol.128, pp463-465, 1973.
- 7.S.E.Gluck, “Vibrating Screens,” Chem. Eng., Vol.75, pp151-168, 1968.
- 8.Anon., “High Efficiency Iron Ore Screening Plant,” Min. Mag., Vol.129, pp529-535, 1973.
- 9.H.E.Rose, “Mechanics of Sieving and Screening,” Trans. IMM., Vol.88, ppc101-c114, 1977.
- 10.李文鐘, 選礦學, 世界書局, 中華民國, 民國七十九年八月八版.
- 11.E.G.Kelly and D.J.Spottiswood 著, 胡力行等譯, 選礦導論, 冶金工業出版社, 中國大陸, 1989.
- 12.神保元二等著, 王少儒和孫成林譯, 粉碎, 中國建築工業出版社, 中國大陸, 1985.
- 13.李啟衡, 碎礦與磨礦, 冶金工業出版社, 中國大陸, 1980.
- 14.蔡敏行, 選廠設計上課講義, 1997.



第四章 篩分設備

15. 蔡敏行, 高等選礦上課講義, 1996.
16. 蔡敏行, 資源再生特論上課講義, 1997.



第四章 篩分設備



第四章 篩分設備

第五章 老舊廢木材資源化破碎案例

5.1 前言

早期木材加工界所指之廢料利用，乃指工廠於加工過程中之鋸屑鉋花新鮮殘餘材與林地殘餘材等，其目的在提高利用率，增加收益為主要目的。而今日所指之老舊廢木材，乃指木製品消耗後被拋棄之廢料，回收此等廢料再資源化利用之目的主要是以環保觀念為考量。對於老舊廢木材之回收，由於形狀、性質及污染程度之差異性極大，又夾雜不同外來物質，所以回收處理有其困難性。

由圖 5.1~5.3 木材利用循環圖可知，具生物可分解性之木材原料，形成永久垃圾量最少，對環境保護最為有利。本文列舉之案例，雖以老舊廢木材為主，但仍適用於一般廢木材資源化之參考應用。

5.2 老舊廢木材特性

老舊木材廢棄物由於是使用過之木製品廢料，所以無論形狀、材質、組成、化學成分及污染程度等極為複雜，特性亦隨之複雜，造成回收利用之困難。老舊廢木材其特性簡易歸納如下：

- 1.原使用目的與特性不同。老舊廢木材的來源包括：移動式家具成品、固定式家具成品、室內裝潢材、房屋建築結構材、土木工程輔助建材、包裝木箱及棧板等。
- 2.物理性質不同。包括：形狀、體積、重量、含水率及硬度等皆不相同。
- 3.多種材料組成。包括：塑膠品、塗料、金屬、石材、玻璃及皮革等。
- 4.可能含有不同化學藥品。木材原材料之預處理，如防腐、防火及塗裝等處理造成含有外來不同化學藥品。
- 5.受髒物、油脂或砂粒之污染。

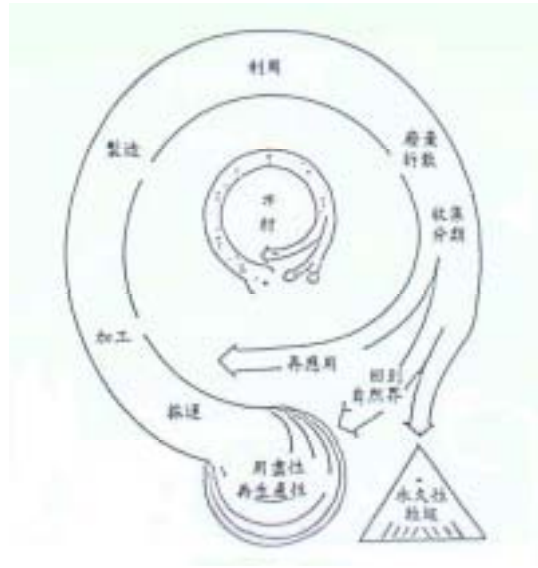


圖 5.1 木材循環利用 I (取自 Schulz , 1972)

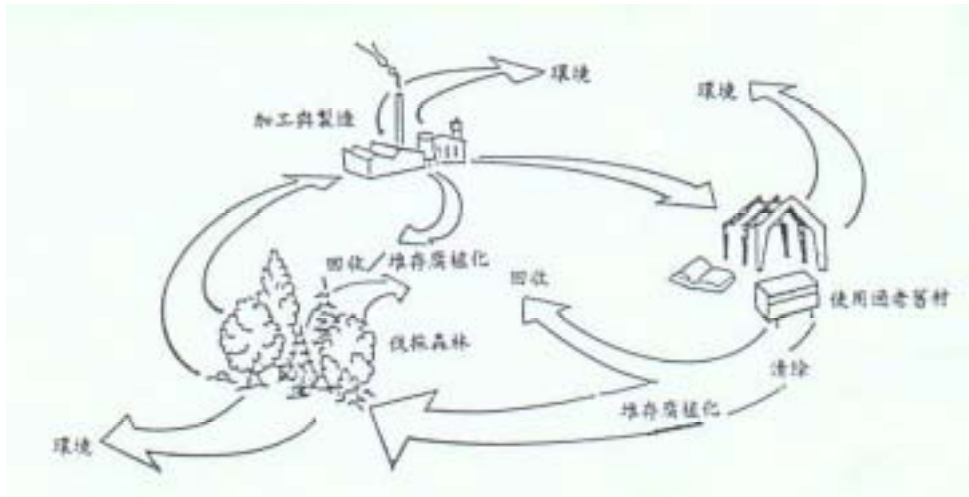


圖 5.2 木材循環利用 II (取自 Paulitsch , 1989)

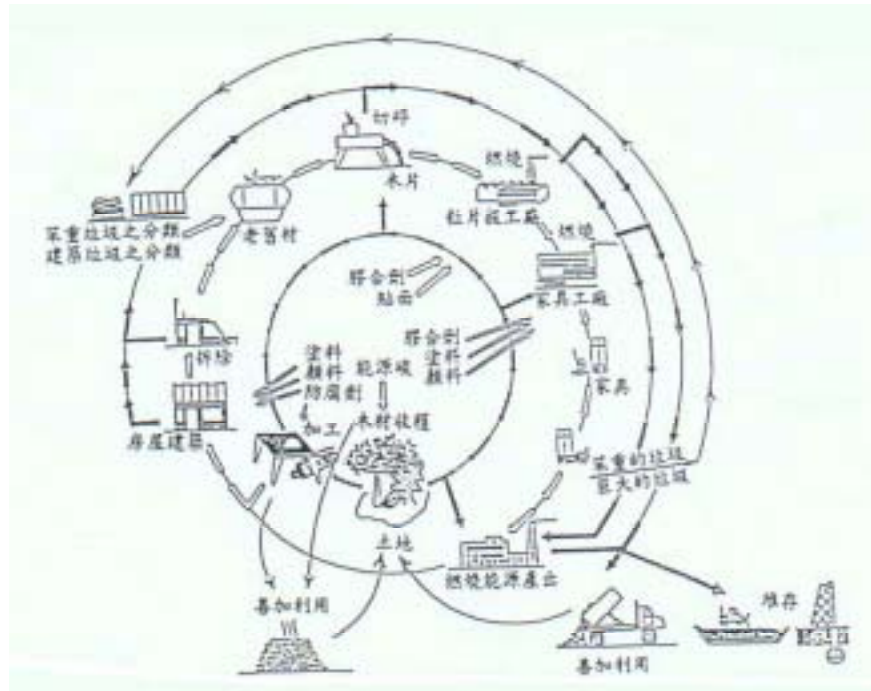


圖 5.3 木材循環利用 III (Marutzky / Schmidt , 1996)

5.3 老舊廢木材資源化處理流程及設備選用

一般新鮮原木及廢木料處理為木材粒片 (Wood particles) 如圖 5.4 所示，工業上所用之鉋片機分為兩種 (如圖 5.5 及圖 5.6 所示)。

1. 盤狀鉋片機 (Disk type chipper, Flachscheibenzerspaner)
2. 圓筒狀鉋片機 (Cutter spindle chipper, Messerwellenzerspaner)

粒片準備之另外一系統，乃將原木 (圓材)、邊皮材或林地之樹冠殘餘材，先經搗切機 (Knife hog, Chopping machine) 搗切 (Chopping) 為木片 (Chips) 之形狀，搗切機僅能控制木片之長度，搗切後之木片可作為紙漿廠、纖維板廠及醱化工業之燃料或堆肥原料。搗切機之種類可分為三類。



1. 鼓狀搗切機 (Drum knife hog, Trommelhacker)
2. 渦輪狀搗切機 (Turbine knife hog, Turbonhacker)
3. 盤狀搗切機 (Disk knife hog, Scheibenhacker)

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

- ①Wing beater mills
- ②Hammer-mills
- ③Knife-mills
- ④Hammer-basket screen mills
- ⑤Toothed disk-mills
- ⑥Knife ring flaker (Cutting ring mills) (如圖 5.7 所示)。

而針對老舊廢木製品之回收處理方面，處理過程屬於環保廢料處理範圍，回收處理後之產品則為資源化工業原料之範圍，如圖 5.8 所示。資源化工廠處理老舊木材及木製品之流程，隨廢料種類形狀不同而異，處理流程示意圖如圖 5.9~5.11，舉例說明圖 5.10，由塗裝或貼面之木質材料，回收產品充當原料或熱源應用，產品中含有塗料、塑膠成分及礦物污染之微細篩選物需進一步清洗或排除。回收老舊廢木製品與新鮮廢木料之處理流程相似，但處理困難度較高。老舊木製品中常含有化學或異類干擾物，影響回收分類切削篩選乾燥之效果，也影響再生複合物產品之性質。困難的處理回收及生產技術雖可克服，但生產成本卻不易降低。

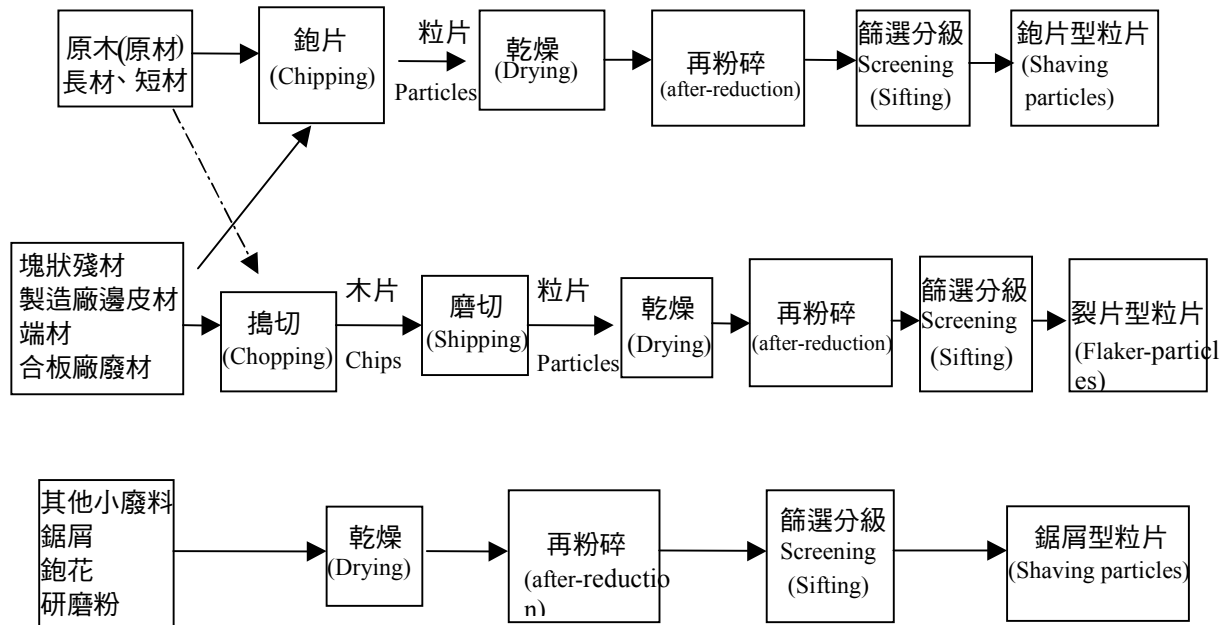


圖 5.4 粒片準備之流程



圖 5.5 盤狀鉋片機



第五章 老舊廢木材資源化破碎案例

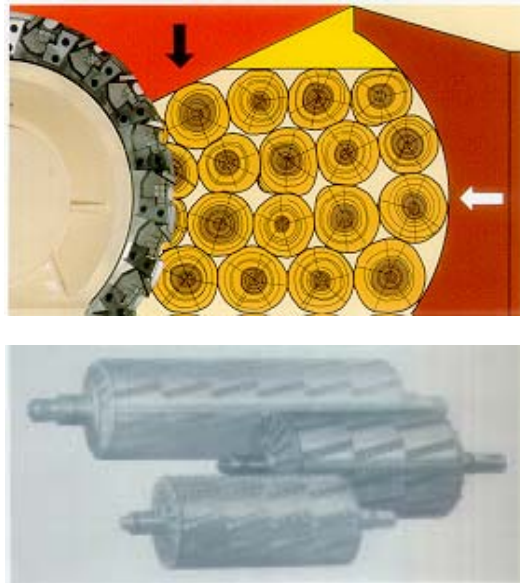


圖 5.6 圓筒狀鉋片機



圖 5.7 磨切機

木片 (Chips) 及粒片 (particles) 之選別方法如：

1. 降落選別 (fall sifting)；

- 2.懸浮選別 (suspension sifting)；
- 3.投擲選別 (throw sifting)；
- 4.風力選別 (wind sifting)。

而常用之篩選 (screening) 之機械型式有：

- 1.傾斜震盪式篩選機 (Inclined Vibrating screen)；
- 2.水平震盪式篩選機 (Horizontal Vibrating screen)；
- 3.圓型旋轉式篩選機 (Circular and Gyratory screen)。

影響篩選結果之因素有：

- 1.材料因素 (Material factor)：材料、含水率、形狀.....；
- 2.機械因素 (Machine factor)：機械結構、型式.....；
- 3.進料速度 (Feed rate)：單位時間送料量.....；
- 4.篩選停留時間 (Retention time)

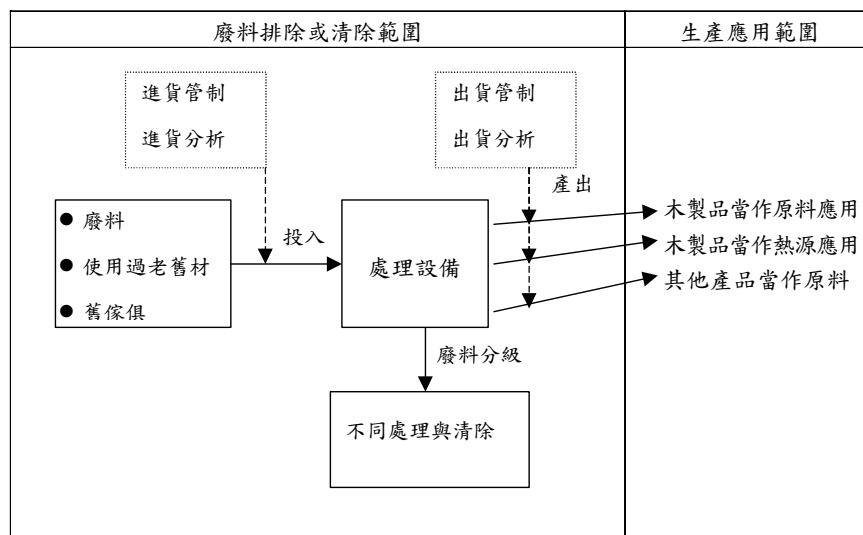


圖 5.8 使用過老舊材準備過程介於廢料與生產範圍之分嶺線

第五章 老舊廢木材資源化破碎案例

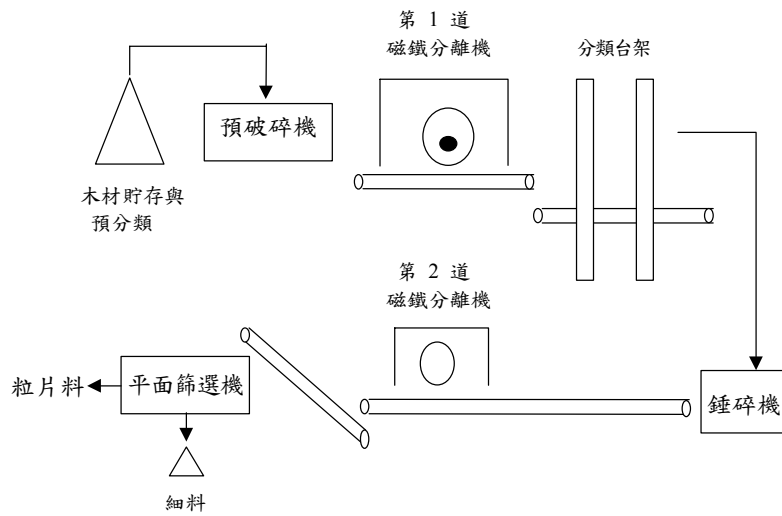


圖 5.9 老舊廢木材準備處理設備之示意圖 (Marutzky, 1996)

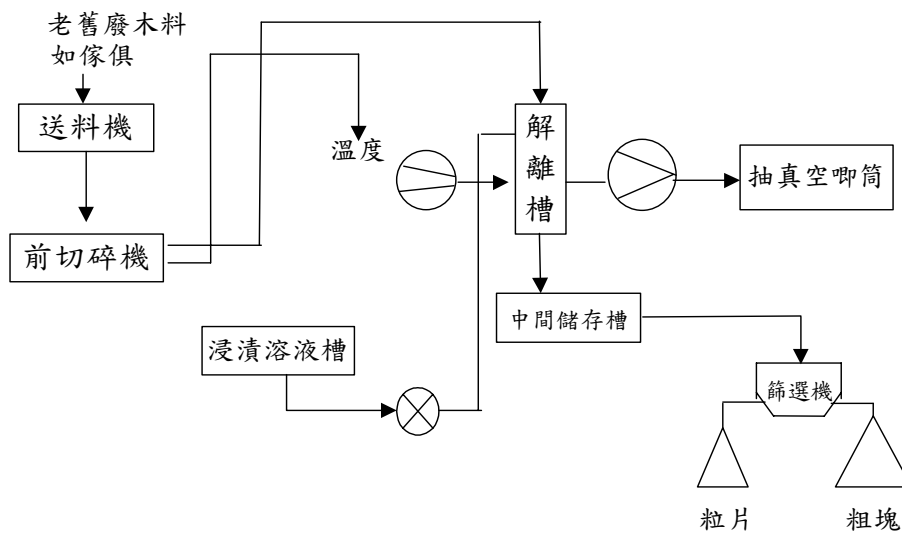


圖 5.10 木質傢俱與木質廢料解離方法示意圖 (Marutzky, 1996)



第五章 老舊廢木材資源化破碎案例



a. SATRIND Triturazione Senze Ltd., Italy



b. Pfeleiderer Industrie mbH, Rheda, Germany



c. REHOLZ Ingenieurgesellschaft mbH, Dresden, Germany



d. REHOLZ Ingenieurgesellschaft mbH, Dresden, Germany

圖 5.11 老舊木製品搗切機

5.4 老舊廢木材回收再利用之要求

回收老舊廢木製品重新提供粒片板工業之原料時，快速檢測老舊原料之適用性。如圖 5.13 所示。

- 在廠內產生之廢料，事先預處理為已知，正常情況下，污染少，可直接被利用為燃料。
- 由陌生領域提供之老舊廢木料，其經預分類，部份經去除異質材料及破碎處理者。一般常經老舊廢木料應用者，以目測檢驗而提供之原料及經其分類接受者。

—以利用老舊廢木料製造粒片板工廠為立場而言，是否將正進廠廢料，接受部份折斷材料或退拒。為過濾是否接受，宜要求維持一定之臨界值，可經廠內或廠外實驗室取樣檢測之。

—快速分析需要試樣準備 2 小時，第 2 天取得結果，必要時由廠外合約檢驗室依分析申請辦理，取得結果二週。其超限臨界值常在意外的或延遲發現。

訂合約之檢驗室依申請辦理分析，二週後取得結果。

—由於實驗室分析既費時又費錢，正常情況下，可以目測 (Visuell) 或嗅覺 (Olfaktorisch) 鑑定取代。

快速進料之判認方法

—數分鐘內完成取樣並獲得測值，一部貨車判認約 20-30 分。

—直接表示污染情形。

—容易操作。

—可攜帶及移動。

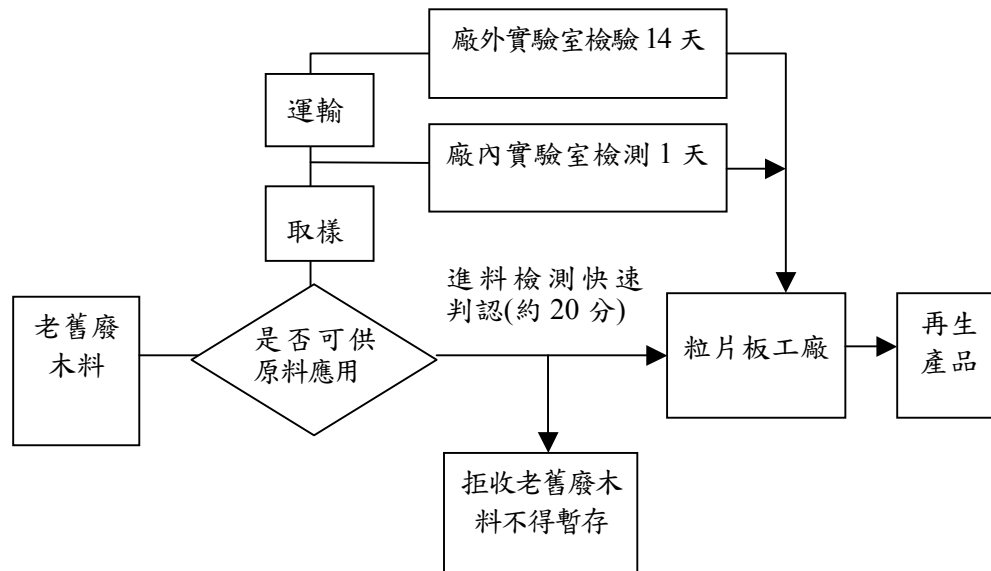


圖 5.12 檢測老舊廢木料是否可供回收再利用應用之流程(Marutzky, 1996)



5.5 老舊廢木材破碎篩分處理之評估

隨原料種類及性質與用途不同，搗切而成之木片長度約為 20-30mm，厚度受年輪寬度之自然現象影響約為 5-8mm，寬度約為 14-18mm。木片品質之評估規範包含：

1. 木片之長度、寬度及厚度之平均值與分佈
2. 木片之含水率
3. 木片儲存時之溫度與變色菌類危害情形
4. 木片之夾雜物 (Extraneous matter)
5. 容積重 (Bulk density)：木片自然傾倒於一定容器內之單位體積重量 (kgf/m^3)。松樹木片容積為 $150-170 \text{ kg/m}^3$ ，山毛櫸木片為 $200-220 \text{ kg/m}^3$ 。
6. 樹種

木片為提供不同工業之原料使用，如造紙工業、纖維板工業、粒片板工業、醱化工業、燃料及有機肥料等，需個別再施行粉碎或解離處理。

5.6 老舊廢木材資源回收經濟效益分析

將含鐵釘、金屬之廢棄老舊包裝木箱、木製品或棧板等老舊廢木材回收，預估經人工處理與機械處理之經濟效益分析，如表 5.1 所示。

目前以鋸屑鉋花為原料之粒片板工廠，其原料成本僅約 0.4 元/公斤，故回收老舊廢木料僅由粒片板工廠負擔，是無法進行的。假使由產生廢料之工廠，負擔處理費用，則現行處理方式是運搬至掩埋場或焚化爐處理場，每公斤費用約 0.65 元。表 5.2 為處理廢木料預估之處理費用，回收廢料製造粒片板之現行成本與產生事業廢料工廠之補貼。

表 5.1 老舊廢木料經不同回收處理方法之效益分析

處理方法 項目	傳統人工處理	機械破碎處理
處理能力	每塊 25 公斤，每一小時處理 3 塊	每塊 25 公斤，每一小時處理 30 塊
回收數量	75 公斤／小時	750 公斤／小時
處理費用	人工費 70 元／小時，回收每公斤木料 0.94 元	機械購買 600 萬元 10 年折舊 1 小時成本 208 元 回收每公斤木料之處理成本 0.277 元 機械維修費，每公斤木料 0.05 元 電費，50 匹馬力每小時電費 75 元 回收每公斤木料之電費 0.086 元 人工費用，每公斤 0.094 元
運費	0.5 元／公斤	0.5 元／公斤
合計費用	1.44 元／公斤	1.01 元／公斤

註：資料來源由振昌公司提供

表 5.2 預估廢木料之處理費用

費用項目	人工處理(元／公斤)	機械處理(元／公斤)
處理費用	1.44	1.01
粒片板再生工廠之原料成本	0.40	0.40
產生廢料工廠負擔處理費用	0.05	0.65

註：資料來源由振昌公司提供



參考資料

- 1.陳載永 1998：廢木材回收處理設備選用，廢棄物資源回收及處理設備應用講習會，工業污染防治技術服務團。
- 2.Deppe, H. J., Ernst, K. 1964：Technologie die Spanplatten, Holz –Zentralblate Verlags-GmbH Stuttgart /Germany.
- 3.Maloney, Th. M. 1977：Modern Particleboard &Dry – Process Fiberboard Manufacturing, Miller Freeman.
- 4.Marutzky, R., Schmidt,W. 1996：Alt-und Restholz. VDI Verlag, Duesseldorf/ Germany



第五章 老舊廢木材資源化破碎案例



第五章 老舊廢木材資源化破碎案例



第五章 老舊廢木材資源化破碎案例

第六章 爐石資源化破碎案例

6.1 前言

爐石(中國國家標準名稱：爐渣)是煉鋼廠在煉鐵、煉鋼時產生的副產物，煉鋼廠在煉鐵過程中，必須加入助熔劑，使與鐵礦石及焦炭中的雜質相結合而生成爐渣，再藉爐渣比重較小的原理與鐵水分開。爐渣自高爐排出冷卻所得之固體物，稱為高爐石。高爐石由於冷卻方式不同，又可分為氣冷高爐石與水淬高爐石兩種。再自鐵水吹煉成鋼時亦需造渣，鋼渣自轉爐排出冷卻所得之固體物稱為轉爐石，又稱煉鋼爐石或鋼渣。轉爐石由於冷卻方式不同，又可分為氣冷轉爐石、氣碎轉爐石兩種。另直接用廢鋼投入電弧爐煉鋼時亦需造渣，鋼渣自電弧爐排出冷卻所得之固體物稱為電弧爐爐石。由以上可知爐石因煉鐵、煉鋼方式不同而產生三種爐石，即高爐石、轉爐石、電弧爐爐石。

目前在台灣高爐爐石已完全資源化，而煉鋼爐石方面轉爐爐石大部分應用於高雄南星計畫填海造陸；電弧爐爐石資源化工作則尚有很多困難待突破，未能完全資源化。而除中鋼外之煉鋼廠全是屬於電弧爐煉鋼，依成份不同又分碳鋼及不銹鋼兩種，故本文以不銹鋼之電弧爐爐石(屬氣冷爐石)為主。

6.2 不銹鋼電弧爐爐石特性

不銹鋼電弧爐爐石(以下簡稱電爐石)外觀為灰色、多角、多孔之塊體，Mohs 硬度 7，由於爐石熔融溫度在 1,600°C 以上，故能承受高溫。電爐石可分為磁性部分與非磁性部分，非磁性部分由含鈣、矽的氧化物所構成；磁性部分以鐵、鉻、鎳之合金為主，成圓球狀，約佔 5%。由於比重之差異，位於渣桶底部的電弧爐渣鋼球含量較高，粒度較大，主要分布在 0.5 至 5mm 之間；位於渣桶上層的電弧爐渣鋼球含量較低，粒度較小，主要分布在 0.3 至 2mm 之間。

6.2.1 金屬球的回收

爐渣中，金屬球是最重要的回收材料，電弧爐煉鋼過程中，會有一些金屬液懸浮在熔融的爐渣中。排渣過程中，因熔融金屬和爐渣間的界線不是相當明顯，

所以冶金過程中，部分的金屬損失是不可避免的。

金屬球有強磁的性質，磁選機可以吸出破碎後單離的金屬球，因此，金屬球的單離程度是此回收之關鍵。金屬球的單離程度決定於粉碎產品顆粒的大小分布、金屬球在顆粒表面的暴露度和暴露金屬球的鬆脫比例與晶界破裂所佔的比例。爐石在破碎時，每種破碎機器造成金屬球的單離程度都不一樣，因此，爐石資源化流程採用適當的破碎機器是非常重要的。

6.2.2 非著磁部分之利用

不銹鋼電爐石主要礦物成分如表 6.1 所列。其主要的礦物相為鈣的化合物和鐵的氧化物，而會影響骨材性質的游離石灰則有少量。

表 6.1 不銹鋼電爐石之礦物成分

成 分	化 學 成 分	數 量
Gehlenite (鈣鋁英長石)	$\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$	++++
Dicalcium Silicate (矽酸二鈣)	Ca_2SiO_4	+++
Tricalcium Silicate (矽酸三鈣)	Ca_3SiO_5	++
Aluminum Chromite (鉻鋁鐵礦)	$\text{Fe}(\text{Cr,Al})_2\text{O}_4$	+++
Calcium Oxide (氧化鈣)	CaO	+

此非著磁物，就以骨材之品質而言，乃屬佳品質等級之陸砂料源，可作為混凝土骨材、透水磚骨材、及道路面層使用。以日本為例，日本電爐石之應用約佔電弧爐渣之 70%，大部分用於道路用；其餘如港灣材料、地盤改良材、水泥熟料用、土壤改良劑、土木用(填地、整地).....等。顯示電爐石之資源化是可行的。目前國內亦針對電爐石進行研究，未來亦將逐步予以資源化再利用。

6.3 處理流程

不銹鋼電爐石資源化設計的範圍非常明確，資源化流程是在回收金屬球與尾料作骨材的要求下設計的。但是在破碎過程中，由於金屬球的高韌性與高強度，當其通過破碎機器時將受力而延伸，容易造成機器之磨耗、破壞。所以使用破碎機時必須使其開口大小較大一些避免卡住，但如此又會造成金屬球之單離度降低，而且細粉之尾料不適用於骨材。因此一個同時具有高金屬單離度與粗尾料的破碎程序將是一個較佳之選擇。各種粉碎機器中，如何決定一個最佳機器將是一個很重要的問題。這裡提供一些選擇流程和它們的特性比較。

6.3.1 設計的範圍

設計的範圍列出如下：原料為氣冷爐石，蛋糕形狀，直徑和厚度約 2 公尺，處理能力每天 200 噸。原料由 5% 的金屬球和 95% 非金屬的氧化物基質與一些氣孔所組成，金屬球的形狀接近球形，大小在 0.5mm 到 2mm 之間。回收操作的富集物是金屬球，以回收率來評估流程。尾料作混凝土骨材，材料品質是計算 100 目以上的比例，100 目以上的量多，為較佳的再生流程。圖 6.1 是爐石回收流程概念圖，流程包含岩石破碎機、一次壓碎、二次壓碎、細碎和磁選分離。感應熱處理是一個可以附加的設備。

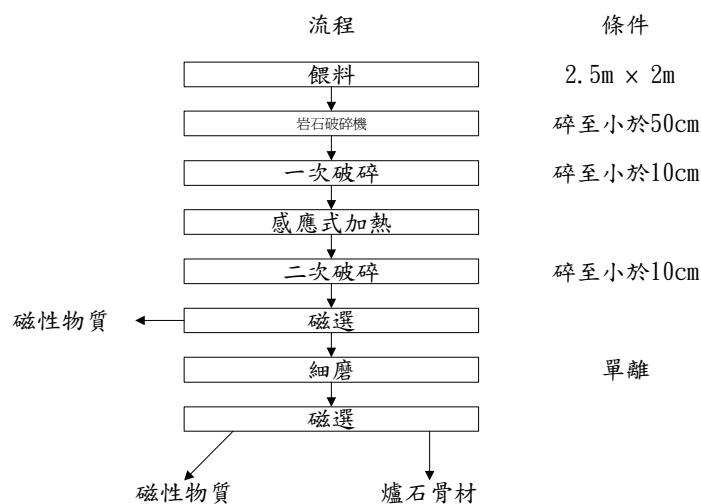


圖 6.1 電爐石回收流程概念圖

6.3.2 促進單離的設備

無論是要回收金屬球，還是尾料用作骨材，都需要在較粗的產品中又有很高的金屬單離度；而其不二法門為破碎過程中提高單離度。此工程問題在過去十年間已有許多良好的研究成果，同時亦變成選礦技術中破碎部分的重要研究主題。為了達到這個目的，有許多破碎前處理可以應用。結果顯示，感應式加熱法對破碎爐渣單離金屬的效果最佳。

感應式加熱爐包括二個主要部分，一是感應電流發生器，另一是感應加熱線圈。感應電流發生器是由變壓器和變頻器所構成；感應加熱線圈則是一個中空的銅管，以螺旋方式圍繞爐渣要穿過的管子，線圈的冷卻是以水流過銅管冷卻。

感應加熱的原理：由於爐渣中包含金屬球，當爐渣顆粒穿越過管子時，會在感應電流發生器上產生輸入的功率。感應器提供一合適的頻率交替電流，當電流通過線圈時，會因線圈內電流的交換，而引起管子內作磁場交換，磁場的交換會在爐渣中的金屬球產生渦電流。金屬球內的渦電流則會產生電阻熱，使金屬球的溫度增加，造成金屬球的體積膨脹。金屬球和基質材料間會因不同的膨脹度在界面間引起熱應力，當應力夠大時會在界面上產生裂縫，這是提高破碎爐渣中金屬球單離程度的主要原因。

6.4 設備選用規範

6.4.1 粗碎

1. 岩石破碎機

一般而言，電爐石以自然冷卻或噴水冷卻方式進行冷卻處理。冷卻過程中，電爐石由 1,600°C 逐漸冷卻，由於受熱應力之作用，爐石逐漸龜裂成大小不均之塊狀體，此塊狀體大則可達直徑約 1m 左右。在進入回收系統餵料單元之前，需先行以岩石破碎機進行粗破碎，使其符合餵料之規格。

2. 顎形破碎機：

顎形破碎機在爐石破碎的第一階段是相當適用的，採用的理由是因顎形破碎機的碎礦大小和強壓縮強度都適合，其次要的優點是較小的空間與高度和較低的價格。其工作原理為，當可動顎板對固定顎板作週期性的往復運動，就可



第六章 爐石資源化破碎案例

動顎板靠近固定顎板時，處在兩顎板間的材料，受到壓碎、劈裂和彎曲折斷的聯合作用而破碎；當可動顎板離開固定顎板時，已破碎的爐石在重力作用下，經破碎機的排料口排出。

近年來齒板之縱斷面成凸形為曲齒板(Curved Jaw Plate)。曲齒板之優點為喉部阻塞之機會可以減少；破碎之速度可以加快，故破碎能力增大，且排料大小可較均勻，基於以上優點，故新製的破碎機多採用曲齒板。

注意事項：由於爐石中含有金屬球，其中有些顆粒較粗，容易造成機器的損壞或卡住，所以通常會裝設自動斷電裝置，當遇到較堅硬且大塊的金屬以致無法破碎，或卡住，或動顎無法動作；顎形破碎機會自動停機，以防止機器損壞。目前國內已經開發出具油壓系統之顎形破碎機，可以改善上述之缺點，以保護顎形破碎機不致遭受損害。

6.4.2 中碎及細碎

1. 衝擊破碎機

衝擊破碎機主要是在衝擊結構之設計和破碎室之特徵，應用衝擊力破碎的破碎機，當排礦口設篩網時，產品僅能在小於篩孔時才能排出。其特點為破碎比很大、破碎效率高，電能消耗低、產品粒度均勻，過粉碎現象少、可以選擇性破碎、適用性大、設備體積小，重量輕，製造容易，維修方便。應用於爐石時，破碎後之顆粒接近正方形，為良好之混凝土骨材材料。

缺點為：襯板磨耗大，此外衝擊破碎機是高速旋轉且靠衝擊來破碎的機器，零件加工的精度要求要高，且平衡性佳，才能長時間使用。

旋錘破碎機(hammer mill)為其中一種，特點是排礦口設置篩條，破碎主要靠衝擊，其次靠摩擦。

2. 轉輪破碎機

轉輪破碎機是一種最古老的破碎設備，構造簡單，主要作用於中、細碎作業。轉輪破碎機其主要工作機構為水平軸上平行裝置兩個向內對滾之轉軸，其中一轉軸固定，另一轉軸是可動的。工作時兩個轉輪作相向旋轉，由於給料與輪子之間的摩擦作用，將給入的物料捲入兩輪所形成的破碎腔內而被壓碎。破碎的產品在重力作用下，從兩輪之間間隙排出。該間隙的大小即決定破碎產品的最大粒度。

轉輪破碎機的輪子表面分為光滑和粗糙的輪面兩種。光面的破碎作用主要是壓碎，並兼有研磨作用。這種破碎機主要用於中硬給料的中、細碎。粗糙的破碎作用以劈碎為主，同時兼有研磨作用，適用於脆性和較軟進料的粗碎和中碎。轉輪破碎機主要用於中、細碎，屬非積極性破碎機(positive crusher)產品大小不均，故常用在閉路系統破碎(closed circuit crushing)。破碎比例低，濕式或乾式破碎均可，但一般多用乾式。轉輪的磨損是影響產品的主要原因，所以應定期檢查磨損情況，及時進行修理與更換。

6.4.3 細磨

1. 球磨機

球磨機為最普遍使用之磨機。球之形狀，以圓球形者最普遍，但亦有短柱形、餅形、錐形者。

球之徑度的大小，須視礦石的性質，給礦顆粒之大小，及磨機之徑度與轉速而定。球徑大者，下擊之力強，碎礦力大，但球徑大者則磨機內球數少，亦即衝擊之次數較少，研磨面積亦小，故磨礦效率反而可能不佳。一般而言，礦石硬度大，給礦顆粒大者，因需較大之破碎力，故常用較大之球；此外磨機之直徑及轉速，亦與球之破碎力量有關，磨機徑度大者，打擊力亦大，磨機轉速以其臨界轉速 75%時，可得較佳之打擊力。

普通磨機內裝球數量，以佔磨機內部容積之 50 至 55%為佳。磨機開始運轉時，應以各種大小不同之球混合裝入，因打擊力靠大球，而小球可增加摩擦面，故混合裝比僅裝一種徑度的球，其效率較佳。

磨機正式運轉後，可根據試用情形，每日或每班僅補充適量之最大球徑者一種即可，因大球將漸次磨小，如操作正常，大小球之數量比率，仍能維持良好之情形；倘過小或過多破碎之球，即應加以清理，將小球剔除。

2. 棒磨機

棒磨機之作用原理與球磨機相似，將磨球改用磨棒；棒磨機之正常鋼棒填量為磨機容積的 35%~40%，更可高達 45%，所採用之鋼棒長度與磨機內側直徑比例為 1.4~1.6。

棒磨機與球磨機比較，優點為：不易過磨、產品粒度較均勻、較球磨機適用於爐石之研磨。缺點為縮減比較小。

3. 豎磨機

此機分級由風扇或抽風機將空氣引入，氣流將磨細之礦粒帶起，至磨機機殼之上部，因斷面面積加大，風流速度減少，粗粒礦乃墜入機內，繼續研磨，細粒礦乃經殼蓋之中央處流出，帶至另設之空氣分級機收集之，是為產品，其細度可至 325 目，視氣流速度而定。此機僅適於乾磨較軟之礦石，但產品細度頗易控制。

4. 滾壓機

滾壓機之工作原理與構造皆與轉輪破碎機類似。轉輪破碎機是利用對滾之輪將礦石破碎，所以不能充塞給礦。而滾壓機則在礦石之上方施加壓力，使礦石更易破碎，而且兩輪之間距可調的更小，產生較細之產品；必須採用過飽和給礦。給礦大小需小於 80mm，得到之產品粒度 0.09mm 之細粉 30%，2mm 以下之粒度可達 80~90%。

注意事項：滾壓機主要適用於脆硬礦物。軟性礦物如石灰、黏土等不宜進入滾壓機。水分超過 5% 的物料也不宜進入滾壓機。另外金屬物質也不能進入滾壓機；為確保金屬物質不進入滾壓機，於餵料皮帶上裝設電磁除鐵器與金屬探測器。

6.4.4 磁選

十字型叉帶式磁選機：電弧爐石中的金屬大部份以鐵為主，因此，雖然有些原料是不銹鋼等無磁性之金屬，但在爐渣中，成分與成品有些不同。此都有磁性，可以適用磁選機來回收金屬球。即可分選完善。若有較細粒無法分選完成者，可在感磁區域的輸送帶上加裝一個振動裝置，以鬆動餵料，使被壓在底層的金屬球可以被磁場吸引而分選出來。

6.5 處理效果

1. 金屬球對咬合型機器的損害

粉碎爐石中，金屬球對咬合型機器的損害是一非常嚴重的問題。根據我們的經驗，咬合型機器不適用在軟與硬成分組成的材料上，例如：洛可轉磨機粉碎水淬爐石時，只要有一點點金屬球就會產生異常的雜訊，甚至引起機器的震



動。這種金屬球的強破壞力是不容忽視的。很可能一顆金屬球就可使顎形破碎機破壞，進而停止整條生產線。雖然新式破碎機都有設計預防意外發生的零件如：強制張開彈簧或保險零件，但機器還是會遭受到一些不可預知的潛在損害。

2. 破碎比對處理效果的影響

對於破碎機而言，每種破碎機皆有其適當的破碎比(即進料顆粒大小與出料顆粒大小之比)，而善用破碎比則可獲得較佳的處理效果，故有時二段或三段破碎比一段破碎來的經濟。例如：一般的顎形破碎機其適當破碎比約為 3~6，如欲將 50cm 之物料破碎至 3cm，我們可用一段破碎或二段破碎；一段時，破碎比約為 16，二段時，破碎比各約 4，雖然兩者皆可達到目的，但使用二段者，其耗能與出料時的平均顆粒大小，皆會比只使用一段者好，所以若進料顆粒大小與產品之預期顆粒大小相差過大時，宜採用多段破碎。

6.6 經濟效益分析

6.6.1 爐渣處理成本分析

廢棄物之處理可分為單純的掩埋處理與再生處理；由於每噸廢棄物之掩埋費用約為 300~500 元，且爐渣中含有 5% 之鐵球，若將其以掩埋處理殊為浪費，故各國爐渣的處理皆是以回收鐵金屬後，無著磁的部分當作骨材來使用。

表 6.2 列出以顎形破碎機與衝擊破碎機結合其他機器產生的不同流程。一般型為一次、二次顎形破碎機與棒磨機；簡單型為一次顎形破碎機和衝擊破碎機；複合 I 型為簡單型加上感應熱處理設備；複合 II 型為一般型加上感應熱處理設備。複合 I 型和複合 II 型均包含了感應式熱處理設備，這是一個基於研究結果的新設備，然而，這新型的設備還沒有應用之實例，此設備亦可附加在其他的流程中。

這些不同流程的經濟評估可由安裝花費、操作成本、維修成本來檢討。成本的計算是以台灣地區貨品的價格來決定，例如：回收的金屬球、尾料當骨材。這些產品的價值由市場的價格來決定，淨利則為成本和產品價值間的差額。表 6.2 列出了這四個流程之細節。磁選機之成本皆相同，故未在此表上列出。

表 6.2 列出了這四類粉碎系統的淨利，都很相近。何者為較佳的選擇呢？應決定於經濟考量外的次要因素，機器技術的程度、投資環境和運輸條件。

機械技術是決定破碎設備的一個很重要因子。在台灣，我們對舊破碎設備有經驗但操作費用高，新技術總是有一些經驗不足的難題。假若必須聘請國外技術員，則花費是非常高的。考慮到這點，我們建議使用包含顎形破碎機和衝擊破碎機之簡單型的破碎流程。這兩種機器在台灣破碎操作上都極受歡迎，假若此流程為良好之操作，則流程可附加上感應式加熱設備。

表 6.2 電爐石處理與再生流程之經濟效益比較

流程編號		1.一般型	2.簡單型	3.複合 I 型	4.複合 II 型
主要設備		顎型破碎機 棒磨機	顎型破碎機 衝擊破碎機	顎型破碎機 感應加熱爐 衝擊破碎機	顎型破碎機 感應加熱爐 棒磨機
成本	安裝花費	+++	++	+++	++++
	操作成本	+++	++	+++	++++
	維修成本	+	+	++	++
產品價值	金屬球	++++	+++	+++++	+++++
	骨材	++++	++	++++	+++++
淨現值		+	0	+	0



參考資料

- 1.W.C.Lai, The recycling of the slag for stainless steel making, Master Dissertation of National Cheng-Kung University, 1995.
- 2.S.B.Wen, S.C.Cheng, S.S.Ni and Y.C.Lee, Proceedings of the Third International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology, Taipei, pp179-189, 1995.
- 3.S.L.Tsai, Personal Communication, 1997.
- 4.S.San0, Personal Communication, 1995.
- 5.C.S.Hsieh and S.B.Wen, International Journal of Mineral Processing, Vol.42, pp15-35, 1994.
- 6.C.S.Hsieh and S.B.Wen, International Journal of Mineral Processing, Vol.43, pp145-165, 1995.
- 7.S.B.Wen, C.S.Hsieh and C.C.Kuan, International Journal of Mineral Processing, Vol.46, pp215-230, 1996.
- 8.S.B.Wen and C.S.Hsieh, The abnormal size distribution of comminuted heterogeneous ores due to detachment of grain boundaries fracturing, Submitting for publish in International Journal of Mineral Processing.
- 9.B.A.Wills, XVI th. Int. Miner. Process. Congress, Stockholm, 1988.
- 10.G.C.Lowrison, Crushing and Grinding, The Size Reduction of Solid Materials, Butterworth, London, 1974.
- 11.李文鐘, 選礦學, 世界書局, 民國七十九年八月八版。
- 12.張湘熙, “製鐵煉鋼爐渣資源化探討”, 清潔生產資訊, 第十六期, pp41-46, 1998。



第六章 爐石資源化破碎案例



第六章 爐石資源化破碎案例



第七章 廢塑膠資源化破碎案例

7.1 前言

塑膠製品的廣泛使用，的確為人類日常生活上帶來許多方便，但是相對的塑膠垃圾不易腐化、佔據龐大的空間及焚化時若處理不當所可能引起的二次公害等等，都使得對塑膠垃圾之處理造成極大的困擾，目前歐美先進國家及鄰近的日本、韓國等國家對於塑膠廢棄物所產生的問題日益嚴重皆積極尋求解決方案。台灣地狹人稠，再加上塑膠產業的發達，更突顯了塑膠垃圾待解決之急迫性。

日常所見到的塑膠製品有上百種，其中常見的有 PE、PET、PP、PS、PVC、ABS 等多種，要分類必須要專業的技術及設備而再生過程中亦關係著再生品質及經濟價值，為提高回收再生品質，目前國內已有先進設備及回收技術，如此才能產生經濟誘因，所以回收體系存在是非常重要的且必要。

7.2 廢塑膠特性概述

自民國 76 年始，政府環保及工業主管單位已意識到國內垃圾問題之嚴重性，掩埋場日趨缺乏、民眾對掩埋場設置的抗爭、現代化焚化設備的缺乏、垃圾量急速增加等問題使得垃圾減量成為垃圾處理策略中重要一環。根據學者專家評估，塑膠垃圾幾乎佔了國內都市固體垃圾量之 15%，比例要比歐美國家平均廢塑膠佔一般都市垃圾含量比例之 6~8% 要高出一倍左右。依據塑膠特性，可分類為熱塑性塑膠及熱固性塑膠(表 7.1)，而依其類別可分別製造各種不同種類之產品(表 7.2~7.8)。

表 7.1 塑膠之分類

熱 塑 性 塑 膠			熱固性塑膠
泛用塑膠	工程塑膠	塑膠配料	
<ul style="list-style-type: none"> • 聚乙烯(PE) • 聚丙烯(PP) • 聚氯乙烯(PVC) • 聚苯乙烯(PS) • ABS 樹脂 • AS 樹脂 • 壓克力樹脂 • PET 等 	<ul style="list-style-type: none"> • 通用工程塑膠 (見表 7.2) • 超級工程塑膠 (見表 7.2) 	<ul style="list-style-type: none"> • 熱塑性複合材 料 • 合膠 	<ul style="list-style-type: none"> • 酚醛樹脂(PF) • 尿素樹脂(UF) • 三聚氰胺樹脂(MF) • 環氧樹脂(EP) • 不飽和聚酯(UP) • 聚氨基甲酸乙酯(PU) • 矽樹脂 • 酸二丙烯酸酯(PDAP)

表 7.2 通用工程塑膠、超級工程塑膠

通用工程塑膠	超級工程塑膠
<ul style="list-style-type: none"> • 聚醯胺(PA) • 聚縮醛(POM) • 聚碳酸脂(PC) • 改質聚氧化二甲苯(MPPO) • 聚對苯二甲酸二丁烯酯(PBT) • 超高分子量聚乙烯(UHMWPI) 	<ul style="list-style-type: none"> • 聚醚(PES) • 聚硫化二甲苯(PPS) • 聚醯胺醯亞胺(PEI) • 聚亞醯胺(PI) • 液晶聚合物(LCP) • 氟樹脂(FR) • 氨基雙馬來醯亞(PABM) • 聚雙醯胺疊氮(BT-Resin)

表 7.3 塑膠皮板管材業

塑膠皮及布	塑膠管板
<ul style="list-style-type: none"> • 聚氯乙烯合成皮 • PE 發泡板 • PP 塑膠皮 • 聚氨脂合成皮 (PU 塑膠皮) • 其他塑膠皮 • 聚氯乙烯塑膠布 (PVC 塑膠布) • PE 塑膠布 • 其他塑膠布 	<ul style="list-style-type: none"> • 聚氯乙烯塑膠硬板(PVC) • 聚乙烯硬管 • 其他塑膠硬管 • 聚氯乙烯(PVC)塑膠軟管 • 塑膠地磚壓克力板 • 塑膠板

表 7.4 塑膠膜袋業

塑膠袋	塑膠膜
<ul style="list-style-type: none"> • 一般塑膠袋 • 可分解性塑膠袋 • 編織袋 	<ul style="list-style-type: none"> • 塑膠膜

表 7.5 塑膠日用品業

塑膠日用品	
<ul style="list-style-type: none"> • 牙刷 • 塑膠包裝袋 • 聚丙烯黏性膠帶 • 聚氯乙烯黏性膠帶 • 聚酯烯黏性膠帶 • 紙類黏性膠帶 • 黏著標籤 • 其他黏性膠帶 	<ul style="list-style-type: none"> • 塑膠容器 • 塑膠餐具 • 塑膠衣架 • 其他塑膠家庭用製品及盥洗用具 • 塑膠涼鞋 • 塑膠拖鞋 • 其他塑膠鞋

表 7.6 塑膠皮製品業

塑膠手提箱包	其他塑膠皮製品
<ul style="list-style-type: none"> • 塑膠硬質手提箱 • 塑膠軟質手提箱 • 塑膠皮夾 	<ul style="list-style-type: none"> • 塑膠衣櫥 • 塑膠衣著 • 塑膠帳篷 • 塑膠桌布 • 塑膠地毯

表 7.7 工業用塑膠製品業

塑膠外殼	其他工業用塑膠製品
<ul style="list-style-type: none"> • 電腦 • 電視機 • 家用電器等之塑膠殼及配件 • 汽車安全桿 • 搬運箱 • 農、工、漁業用塑膠製品等 	<ul style="list-style-type: none"> • 包裝材 • 日用品 • 電子家電零配件 • 汽車、資訊業零組件 • 容器等

表 7.8 其他塑膠製品業

塑膠手套	其他塑膠製品
<ul style="list-style-type: none"> • 塑膠手套 	<ul style="list-style-type: none"> • 塑膠線繩 • 其他未列名塑膠(機械設備零件、編織袋、家庭用品、建材傢俱運動器材、鞋材、容器等)製品

我國石化工業從五十年代的輕油裂解開始逐步發展，演進到輝煌的九十年代，這之間，從由國外的低層次技術引進，至今能自作部份新產品開發及製造改善將台灣地區石化中間原料及塑膠製品，帶動國內總體經濟之提昇。然而塑膠製品所衍生的棘手問題待各界關注。

塑膠垃圾不易腐化、佔體積以及若處理不當所可能引起的二次公害等等，都使對塑膠垃圾處理造成極大的困擾，目前世界各國對於日益嚴重的塑膠廢棄物皆苦思處理及解決方案。而以物理破碎方式處理廢塑膠，保持其塑膠原特性回收再生，比起其他處理方式更突顯了塑膠垃圾再生利用之價值，亦為國內、外各相關行業所趨。

7.3 廢塑膠資源化處理流程

塑膠垃圾的處理方式除了回收再生、熱裂解、焚化獲取熱源、掩埋以外，近年來更有國、內外熱門之處理方式即破碎分離，目的在於有效地解決塑膠垃圾對於環境所造成的污染。尤其是隨地拋棄不易回收的塑膠品。一般所謂破碎分離，即在於塑膠材料組成或結構經過特殊設計後，可經由特定環境的攻擊，而喪失其大部份的物理特性，再經由高科技相關設備破碎成小碎片或微小粒子，進而回收再生。

破碎分離方法目前使用以歐、美國家較為盛行。台灣新勝光公司研發出攸關破碎分離回收再生之高科技設備，推廣於市場上廣受各界肯定且其分解性、實用性及經濟效益，亦獲得國內、外專利、ISO9002 國際品質認證及經濟部所頒發的創新研究獎。

根據廢棄物處理法，行政院環保署正針對塑膠問題研擬因應策略。例如：透過環保署寶特瓶回收處理基金會，成立處理補助基金等。然而回收後之廢塑膠製品如何處理，是回收處理業者必須面臨的一個重要課題。國內最具規模之處理廠商為安順企業(股)公司，其處理方式係將寶特瓶破碎依其特性分離後，將此塑膠碎塊輸出至大陸回收工廠，依其特性加入化學分解劑便可進行抽絲，進而編織成布料，技術已相當成熟。

基本上再生處理工作可交由處理業者來執行，背負起環境保護的重大使命。從石化原料製成品到塑膠廢棄物產生之流程可以簡圖 7.1 表示如下：

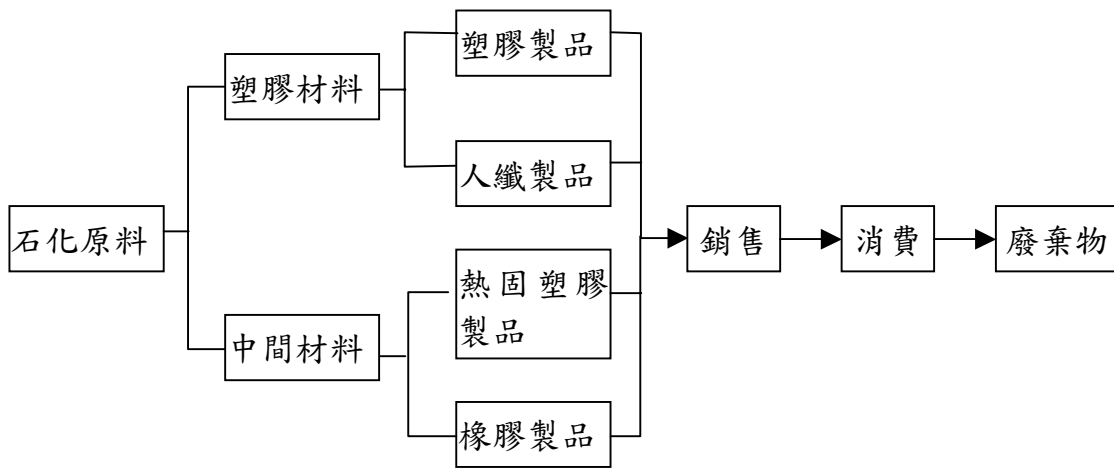


圖 7.1 塑膠廢棄物形成流程圖

採用破碎分離的方式不但可將廢塑膠完全破碎分解、機械設備成本較一般回收處理方式低且分解後之再生原料可完全利用再製成成品，例如：PVC、PE、PP、ABS 等材質之薄膜經機械設備破碎分解、磨粉後可經製粒機械設備製成塑膠粒，進而以塑膠粒經高溫溶解後可經相關機械設備再製成塑膠袋或其他塑膠製成品。

塑膠廢料使用破碎分離處理流程如圖 7.2 所示：

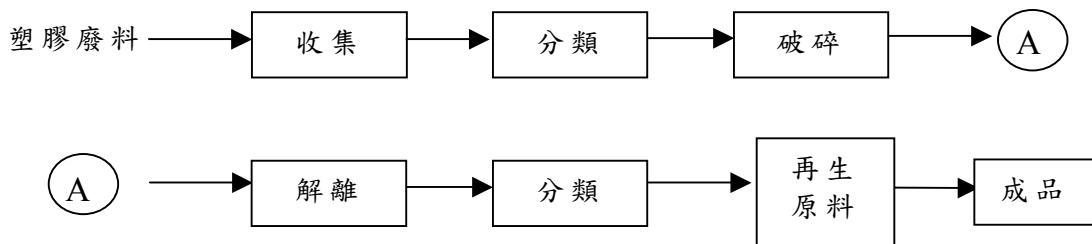


圖 7.2 廢塑膠破碎分離處理流程圖

7.4 廢塑膠資源化設備選用規範

塑膠廢料處理技術可分為許多層次，主要是根據廢料之種類及分類的層次而評估其利用價值。國外廢塑膠的回收處理，大致上，日本對於產業塑膠廢棄物的處理策略是採鼓勵回收再生，並輔導原料廠商及公會共同捐助成立財團法人「廢棄物處理促進協會」逐步回收一般性利於再生利用的農業用 PVC 披覆、塑膠瓶、漁業用發泡材，並給予再生業者獎勵及補助。

韓國政府是採收取千分之七的合成樹脂稅，成立財團法人「韓國資源再生公社」，負責回收農業用 PE 披覆，及農藥用瓶。

美國是採各州自行立法，一般以回收寶特瓶等消費用的塑膠容器及發泡 PS 餐具為主。

歐洲國家像德國傳統上較喜歡使用玻璃瓶，對 PVC 塑膠包裝品目前義大利，丹麥是逐步採取禁用的措施。

我國廢塑膠的回收，目前大都仰賴全省約五百家左右的舊貨商從各縣市清潔隊員或拾荒業者處買回，以 PE 材、PP 材佔大多數，回收地點大部份集中在中、南部的市郊，這些舊貨商存在有二十到三十年歷史以上的家族性企業，回收料只作簡單清洗及分類、打碎後再賣出的工作。平均的素質並不高。

目前台灣的塑膠再生業者已登記者約有五十家左右，在以往塑膠原料不足時，的確提供了國內塑膠製造業不少的料源，但因現在國內塑膠原料已能自給自足，所以再生市場萎縮，同時政府單位也未確實輔導再生業者，使其像日本一樣導入新的行業，如「塑膠成形材製造業」及「廢塑膠製品製造業」，加以制度化的管理，使再生業者獲得新的發展空間，譬如作成塑膠木材等。

國內目前已研發成熟之廢塑膠粉碎分離處理相關設備(如圖 7.3 所示)，有鑒於環保意識日漸高漲，面對國內每年產生近百萬噸以上廢塑膠的嚴重問題，業者已視減少廢棄物污染及使其再生利用為己任。此最簡便且具最高效率之機械粉碎分離法，過程係以完全自動化流程，可節省人力成本。此設備在於針對塑膠內所含成份之物理特性加以破碎、分離使之物盡其用，以充分利用資源再回收，再生為新原料，循環利用。

台灣實成實業(股)公司及豐泰企業(股)公司等，為美國 NIKE 鞋業代理生產之製鞋廠，而 NIKE 總公司要求代理生產工廠必須回收 100%之 PVC 鞋邊廢料，



第七章 廢塑膠資源化破碎案例

因此，實成實業(股)公司及豐泰企業(股)公司目前所採用之粉碎分離設備將廢料粉碎磨粉至 0.4~0.5mm，而利用此回收之粉末，加入新料中約 10%，不但可減廢亦可降低生產成本。



圖 7.3 廢塑膠破碎分離處理設備

國內目前此套破碎分離設備其宗旨在於『減廢、再生』，處理過程中先了解廢棄物之屬性，再以破碎方式破壞其物理特性加以分類後經製粒機械設備製造各類之塑膠粒，以塑膠粒為原原料製造各類產品。處理過程中完全採電腦控制系統，以節省人力、降低各項成本，且運作過程中採密閉處理方式絕無粉塵飛揚，且常溫、物理分解方式處理狀態下不產生廢氣，使得資源得以再充分利用，無二次公害產生，可謂在創新及資源再生有莫大的貢獻。

7.5 廢塑膠資源化處理效果

此外在經營方式上，部份廢塑膠再生業者使用設備方面，以目前國內外一致認為效果最佳的破碎分離設備，其設備係以高速迴轉離心力將塑膠廢料中之雜物、泥土、油污及水份等完全分離，再由高速吸風機抽取，將廢料中所夾雜之雜物及油污完全處理乾淨至 99%以上，且可將廢料中之水份完全乾燥至 1.5%以下，使得廢塑膠例如；PE、PP、PVC 等再經過製粒機處理後，製造回有利用價值之塑膠粒，以達到處理回收之效果。

其處理效果為：設備設置時，安全及衛生係不可忽略之項目。採電腦控制系統，以節省人力、降低各項成本。運作過程中採密閉處理方式絕無粉塵飛揚。常溫、物理分解方式處理狀態下不產生廢氣，使得資源得以再充分利用，無二次公害產生，可謂在創新及資源再生有莫大的貢獻。

7.6 廢塑膠資源回收經濟效益分析

一般企業及廠商生產一項產品時所計算的成本項目，包括了：研究發展、設計、製造、行銷，直到產品銷售到消費者手上為止。至於產品消費後，廢棄物的最終處理，生產者或銷售者並未支付任何費用，而是由政府單位將它們當作垃圾來處理。亦即企業廠商因生產銷售產品而獲利，而產品的最終處理經費，卻是由納稅民眾來負擔。合理的成本觀念應該是依照產品的生命週期，從生產到廢棄及最終處理所需的費用都計算在內的「生命週期成本」，應用此項觀念，則有利於各項環境保護工作的推展。

回收再生的經濟價值評估必須考量到廢棄物的回收成本、再生成本及再生產品的市場價值。以消費量最大的五種塑膠（PVC、LDPE、HDPE、PP、PS）來看，產品包羅萬象。一般而言，在工業用途上僅強調耐衝擊性，在家電、文具和包裝用途上均極注重其外觀性。依照此一原則，對於再製品而言，色料使之喪失透明性，雜質造成氣孔或針孔，因此品質成為影響市場開發的一大障礙。另一方面舊貨商和拾荒者回收品中，廢塑膠本就多以混合成份存在，破碎再製時適當摻混其他單體或改質劑，將能獲致特殊用途的工程塑膠。

然而其研究發展採個案進行必須依各種配方，分別進行機械強度破碎及分解，併合成本因素考量，作為打入市場與其他對抗品競爭的研判資料。所幸此破



第七章 廢塑膠資源化破碎案例

碎解離塑膠加工業以機械設備為主，佔地及投資均不大，其經濟價值已引發中小企業投資興趣。



第七章 廢塑膠資源化破碎案例



第七章 廢塑膠資源化破碎案例



第八章 廢橡膠資源化破碎案例

8.1 前言

根據環保署統計資料顯示，台灣地區垃圾中可以回收再利用部分，約占其總量百分之四十，包括紙類、玻璃類、塑膠類、橡膠類及金屬類等，這些資源物質如加以妥善分類回收，不但可以降低環境負荷，而且可以減少清理費用之支出。

橡膠廢棄物的處理是我國目前政府施政的重點工作之一，惟長久以來忽視橡膠垃圾處理的結果，造成環境污染，廢輪胎就地露天焚燒更造成黑煙瀰漫、塵灰飄揚；堆積不當，致使廢輪胎阻塞水道污染水體。

廢棄物清理法第十條之一於 86 年 3 月 28 日修正後，透過經濟市場機制，結合社區民眾、地方政府清潔隊及回收商，共同進行資源回收工作。

8.2 廢橡膠特性

橡膠製品由於其特性廣為許多產業所使用，雖然有些橡膠製品已為塑膠所取代，但橡膠製品如：輪胎業仍是不可或缺的產品。

依據橡膠公會登記之橡膠廠總數約有六百多家，顯示台灣地區的橡膠製造業廠商以小型企業為主。而其中較具規模之廠商計有正新、厚生、南港、建大、泰豐、台灣普利司通、華豐、台灣固特異、南帝化工及南良實業等 10 家，其產品概為橡膠原料、輪胎及各類橡膠製品等。

對於橡膠業之範圍界定，經由資料蒐集後，發現輪胎業之產值佔橡膠業全部總產值之 70%且單位產品用膠量較其他橡膠製造業為高，同時總用膠量幾佔橡膠業中總用膠量之 2/3，因此，輪胎製造業所產生之污染量為橡膠業的大宗。本文討論將以廢輪胎為重點。

8.3 廢橡膠資源化處理流程

由於經濟活動及交通事業的發達，長年來所累積的廢輪胎，據估計約有 50 萬公噸，現在又以每年 10 萬公噸的廢輪胎持續產生，所以，如何有效地處理廢輪胎實是重要問題。目前廢輪胎的問題，短期內須解決長期以來累積的廢輪胎，且應以迅速、大量、經濟及無二次公害產生為四大考慮原則，廢輪胎待處理管理流程如圖 8.1 所示。

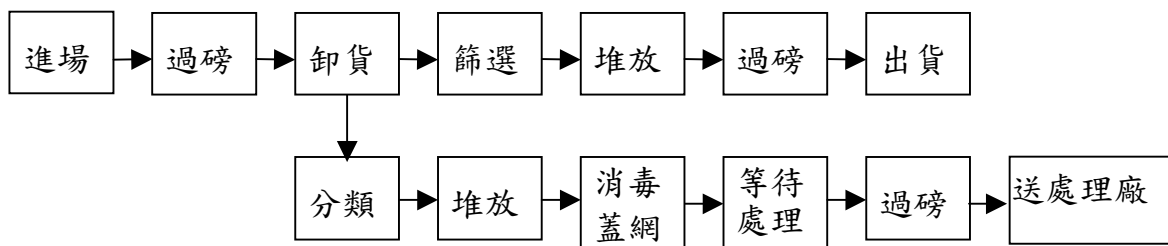


圖 8.1 廢輪胎待處理管理流程

由各工業先進國家的發展趨勢看來，焚化廢輪胎以回收能源，是未來廢輪胎處理發展的趨勢。焚化廢輪胎大都用於水泥業，部份用於造紙業或直接發電。由於我國水泥業發達，以廢輪胎作為水泥窯業輔助燃料，符合迅速、經濟、大量及再生製品無市場供需壓力的四大原則，所以廢輪胎不僅是燃料，同時亦可成為製造水泥時所需之原料。

台灣水泥及永豐餘造紙公司有鑒於煤礦成本較廢輪胎橡膠塊（已破碎分離鋼絲）貴，此二家公司部分生產廠已針對廢輪胎橡膠塊而修改燃燒爐具，以橡膠塊取代煤礦，如此不但能量增加且可將廢棄物資源再利用。

水泥窯內溫度高達 1,500°C，足以破壞大部份的有毒物質，並減低硫、氮、

其他有機化合物及粉塵的排放量，而且廢輪胎燃燒後所產生的殘餘灰渣比煤少，廢輪胎中的鋼絲在燃燒過程中變成氧化鐵、硫、與石灰石反應成石膏，這些都是製造水泥的原料。廢輪胎應用於水泥窯再利用之流程如圖 8.2 所示。

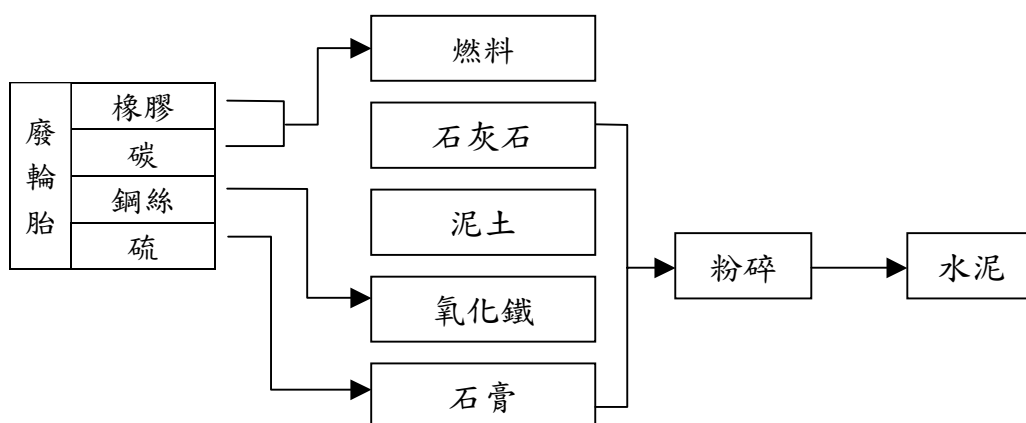


圖 8.2 廢輪胎應用於水泥窯資源再利用流程

廢輪胎經破碎分離所產生之鋼絲、尼龍（棉紗）及橡膠粉皆可回收再生利用。其中破碎分離產品之用途如下：

- 鋼絲：可售予煉鋼廠，回收再煉回原鋼材。
- 尼龍（棉紗）：韌性與耐力超強，並具有耐衝擊的優點，可做為製造隔音板之建材與玩具填充物等用途。
- 橡膠塊及橡膠粉：將廢輪胎破碎，以磁選之原理將輪胎內含的鋼絲分離取出後，產生 20~30m/m 含有尼龍之橡膠塊，而永豐餘新屋廠以此橡膠塊（已分離鋼絲）作為燃料。

台泥竹東廠每天需求量約 80 公噸以上，用以取代煤。而 20~30m/m 含有尼龍



第八章 廢橡膠資源化破碎案例

之橡膠塊，亦可再粉碎至 3~5mm，經分離設備將尼龍纖維及橡膠粒加以分選，其中橡膠粒可再添加不同的化學添加劑而成為各種成品，例如：橡膠地磚、橡膠拖鞋、鋪設學校跑道及兒童安全地磚（如圖 8.3~圖 8.8；破碎分離流程如圖 8.5 所示）等，或加入瀝青改善道路路面的品質及壽命，亦是一種具有前瞻性之方法。



圖 8.3 廢輪胎粉碎分離後橡膠粒鋪設學校跑道



圖 8.4 廢輪胎粉碎分離後橡膠粒作為兒童安全遊樂設施

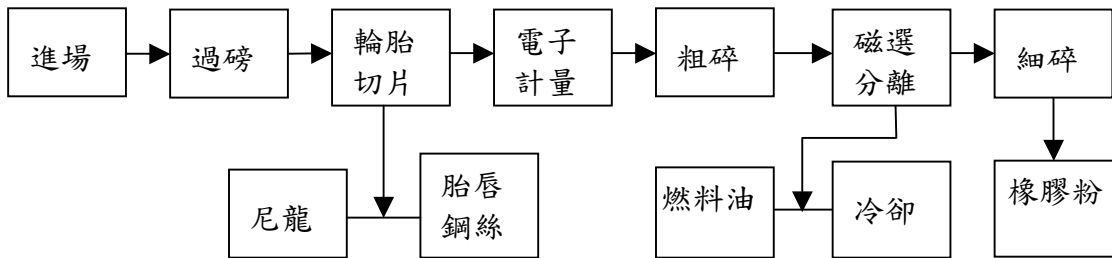


圖 8.5 破碎分離處理流程



圖 8.6 利用再生膠粉製造拖鞋及輪胎

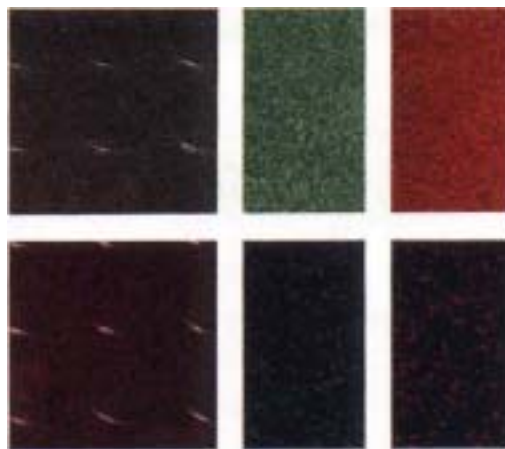


圖 8.7 利用再生膠粉製造各種橡膠板及地磚



圖 8.8 利用再生膠粉製造汽車零件及浴缸栓

8.4 廢橡膠資源化設備選用規範

破碎分離方式，處理過程以節省人力、降低各項成本，處理過程中不產生廢氣及廢水，使得資源得以再充分利用，無二次公害產生。

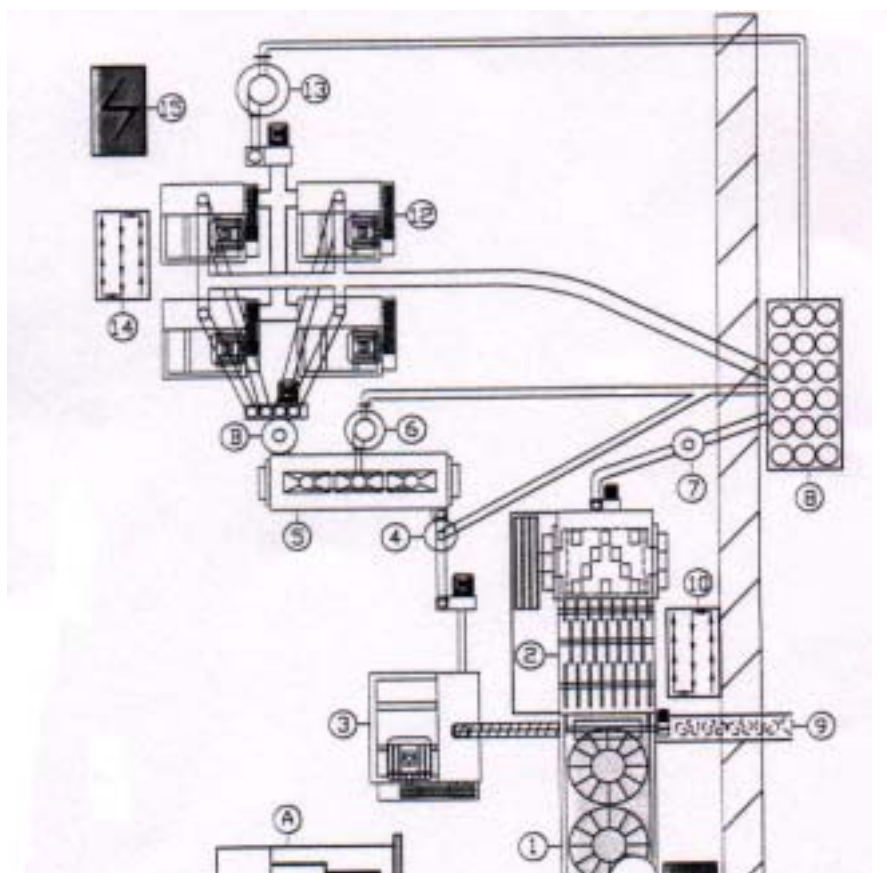
在國內，已研發出破碎解離回收設備並可達『減廢、回收、再生』之目的。處理過程中將廢輪胎輸送至機械設備中，破碎後以磁選之原理將輪胎內所含的鋼絲破碎取出後，再將其破碎至 20~30m/m 含有尼龍之橡膠塊，此橡膠塊（熱值約 15,500Btu/lb）可賣予水泥廠及造紙廠作為燃料而取代無煙煤（熱值約 12,700Btu/lb）使用；目前永豐餘造紙公司新屋廠及台灣水泥公司竹東廠等均以廢輪胎破碎分離後之橡膠塊取代無煙煤使用量，不但能量較高更無二次污染問題。國內廢輪胎處理廠商如表 8.1，大都採破碎分離方式。破碎分離處理之流程圖如圖 8.9 所示，分離處理設備。成品包裝如圖 8.10~圖 8.13 所示。

處理過程中完全採電腦控制系統，以節省人力、降低各項成本，且運作過程

中採密閉處理方式絕無粉塵飛揚，且常溫、物理分解方式處理狀態下不產生廢氣及廢水，使得資源得以再充分利用，無二次公害產生，可謂在創新及資源再生有莫大的貢獻。

表 8.1 廢輪胎處理廠商分佈地點及日處理量

處理廠商	分佈地點	日處理量	橡膠塊銷售對象
鉸大環保科(股)公司	台南縣	40 公噸	大陸及東南亞地區
富裕冠實業(股)公司	嘉義縣	30 公噸	永豐餘造紙
協輪有限公司	苗栗縣	20 公噸	永豐餘、台灣水泥
安順企業(股)公司	南投縣	30 公噸	自製橡膠地磚及橡膠產品
清保實業(有)公司	新竹縣	20 公噸	大陸地區



- A.輪胎唇鋼絲取出機
- 1.廢輪胎輸送機
- 2.廢輪胎絞碎鋼絲分離機
- 3.橡膠塊打碎機
- 4.粗棉紗分離機
- 5.細棉紗分離機
- 6.細棉紗集存桶
- 7.泥土、雜物集存桶
- 8.集塵設備
- 9.鋼絲輸送機
- 10.冷凍機
- 11.電氣控制系統
- B.橡膠粉集存桶 6-10 目
- 12.橡膠磨粉機
- 13.橡膠粉集存桶 30-40 目
- 14.冷凍機



第八章 廢橡膠資源化破碎案例

圖 8.9 廢輪胎粉碎分離處理設備流程圖



圖 8.10 廢輪胎粉碎分離處理設備實景



第八章 廢橡膠資源化破碎案例



圖 8.11 廢輪胎粉碎鋼絲拆解分離設備



圖 8.12 廢輪胎粉碎尼龍纖維及橡膠粒分離設備



圖 8.13 廢輪胎粉碎分離之橡膠粒成品包裝

8.5 廢橡膠資源化處理效果

輪胎本身所含的熱值如表 8.2 所示，幾乎比各等級煤熱值能量還要高。根據國外文獻的報導，以下為各類資源所含之熱值。

- 1.廢輪胎碎片約 14,200Btu/1b。
- 2.不含鋼絲廢輪胎碎片約 15,500Btu/1b。
- 3.純橡膠廢胎切片約 160,000Btu/1b，而焦煤所含熱值約 13,700Btu/1b。
- 4.無煙煤為 12,750Btu/1b。

表 8.2 不同廢輪胎及煤之熱值比較

項目	熱值 (Btu/1b)
廢輪胎碎片	14,200



第八章 廢橡膠資源化破碎案例

廢輪胎碎片（不含鋼絲）	15,500
純橡膠廢胎切片	16,000
焦煤	13,700
無煙煤	12,750

資料來源：工研院能資所，“廢輪胎可行處理技術評估”

破碎解離處理回收再利用使用常溫機械設備，其目的在於將輪胎內所含之三大原料：鋼絲、棉紗（尼龍）及橡膠徹底分離，使其物盡其用。使用破碎解離之處理效果可節省人力、其設備係採密閉處理方式，無廢水產生不會造成二次污染，且以常溫、物理分解方式不破壞原料屬性，可紛將廢輪胎內所含之三大原料徹底分解回收利用。三大原料分別為：

- 1.鋼絲：可售予煉鋼廠，回收再煉為原鋼材。
- 2.尼龍（棉紗）：韌性及耐力超強，具有耐衝擊之優點，可回收做為隔音板建材或玩具填充物等用途。
- 3.橡膠粉：可添加化學添加劑製成各種成品，如橡膠板、高速公路護欄、防波堤、鐵路平交道、人造草皮、運動場跑道、兒童遊樂場地地面、屋頂防護墊及汽車踏墊等，由於產品不但安全、富彈性、耐候性強、隔音效果良好，且不易龜裂或老化，具高附加經濟價值，因此歐美國家於此方面使用之比例正逐年地增加，市場前景相當看好。另外，橡膠粉可直接加入瀝青中，以為鋪設道路之用，使用橡膠瀝青的路面可減輕噪音、防止路面老化、破裂、減少因路面潮濕的打滑現象及減少反光所造成的盲點，其壽命約為傳統瀝青的兩倍，且鋪設橡膠瀝青可使用大量的廢輪胎。據估計，美國只需 1/8 新鋪設的瀝青水泥道路以橡膠瀝青替代，即可消耗美國全年所產生的廢輪胎量。

經由以上的討論，我們瞭解不同的廢輪胎處理方式各有其優缺點或客觀條件上的限制。但以資源保育及效果的觀點著眼，廢輪胎以破碎解離方式處理後橡膠再利用，最能符合資源永續利用的原則。

8.6 廢橡膠資源化經濟效益

資源回收再生的經濟評估必須考量廢棄物的回收成本、再生成本及再生產品市場等。『環保署基管會』依廢棄物清理法之相關規定，以獎勵方式鼓勵廢輪胎處理業者進行回收，每公斤可接受補助費用含稅 NT\$3.2（並於 88 年 3 月 1 日起實施）。以破碎解離設備將廢橡膠加以分解、回收，已受到世界各單位之重視，將是未來的趨勢。

廢橡膠使用破碎分離處理可節省人力，其中廢橡膠資源分離後，市場價值效益如下：

1. 鋼絲：可出售予煉鋼廠，依目前市場行情，每公噸出廠價約 NT\$2,100~2,500。
2. 橡膠塊及橡膠粉：處理過程中將廢輪胎破碎，以磁選之原理將輪胎內所含的鋼絲取出後，產生 20~30m/m 含有尼龍之橡膠塊，其每公噸價格約 NT\$400~600。此 20~30m/m 含有尼龍纖維之橡膠塊，亦可繼續粉碎至 3~5m/m，經分離設備後將尼龍及橡膠粉分選，依目前市場或外銷價格，橡膠粉每公噸之最低出售價格約 NT\$800。



第八章 廢橡膠資源化破碎案例



第八章 廢橡膠資源化破碎案例



第八章 廢橡膠資源化破碎案例



第九章 廢電冰箱資源化破碎案例

9.1 前言

台灣地區高度電器化的結果，每年報廢的家用電冰箱，依中華民國一般廢棄物回收清除處理基金會之資料顯示，大約 55 萬台左右。以目前的家戶使用率與民眾汰舊換新的消費習性，預估每年報廢的數量將大幅增加，非但消耗大量資源，廢棄電冰箱的處置問題亦面臨重大考驗。

現今世界上以歐盟國家在實際回收處理上最為豐富，尤其是德國聯邦更為此間的技術翹楚。為配合政府法令的推行，規劃設立廢冰箱回收處理廠，本案例將介紹國內知名機械廠商引進德國機器設備及科技處理技術，期望國內廢電冰箱真正能達到資源回收再利用及合乎環保標準之最終處理目標。

9.2 廢電冰箱的特性

廢電冰箱在所有的廢棄家電產品中，算是體積最龐大的一類，既不易搬運也不易壓縮減容清理，數量迅速增加後，有與人類爭生活空間的趨勢。

傳統的電冰箱、冷卻循環系統的冷媒以及發泡隔熱材料中的氟氯碳化物，屬於國際蒙特婁公約管制物質。廢冰箱隨意棄置與不當的拆解處理，將使氟氯碳化物溢散至大氣中，造成嚴重的污染問題，並破壞生態環境。

9.3 破碎機的要求

廢冰箱由於體積龐大，又含有多種的複合材料且不易分解回收，尤其夾層的隔熱材，直接貼附於金屬外殼和塑膠內襯之中，且大多為含氟氯碳化物的 PU 所製成。唯有將 PU 發泡細碎成 0.2mm 以下的粉末狀才能溢散出氟氯碳化物(CFCs)再加以回收。但由於冰箱龐大的體積唯有先經絞碎成 80mm 以下，再利用高速迴轉撞擊，使金屬、塑膠、PU 在連續的撞擊之下，使 PU 成 0.2mm 以下之細狀，金屬表面之烤漆脫落捲成球狀，塑膠為片狀，如此才能滿足作業須求。



9.3.1 前段破碎機的要求

- 1.能力：40~50 台冰箱/hr。
- 2.破碎大小：80mm 以下。
- 3.可處理大型冰箱。
- 4.須強制進料。
- 5.須在封閉的情況下破碎，粉塵不可逸出。

9.3.2 細破碎機的要求

- 1.能力：35~40 台粗破碎後的冰箱/hr。
- 2.破碎大小：0.2mm 以下。
- 3.冰箱保溫層內的 CFC，逸出後須可全部回收為液態。
- 4.須有防爆的措施，以防止破碎過程產生火花時，不會發生塵爆；或在處理含戊烷的冰箱時，不會產生爆炸。
- 5.須有冷卻夾層，以免細碎過程過熱，產生危險。

9.4 破碎機機械結構、破碎原理和應用

9.4.1 粗絞破碎機

圖 9.1 為二軸旋轉切斷刀結構，其破碎室內有造型特殊的破碎刀與固定刀交互裝置於平行軸，此二軸以不同的迴轉數，由外向內轉動，疆域破碎織物投入二軸之間，則刀刀將其撕裂破碎，因二軸式以低速迴轉進行破碎，因之有震動小、噪音小、粉塵、發熱發生少之優點。

此破碎機屬粗破碎機之一種，除用於本案破碎外，尚可應用於：

- 1.適合可燃性橡膠，建築廢材等之剪斷破碎，可用於焚化爐之機械前處理。
- 2.適用於軟質與韌性材質，如塑膠、橡膠、海綿和輪胎等皆可破碎。



3. 材質複雜之廢棄物，如電視機、電腦也可破碎。



圖 9.1 粗絞破碎機結構

9.4.2 橫流壓混機

圖 9.2 為一離心鏈條式碎刀，靜止時鏈條下垂，轉動時鏈條飛揚，利用鏈條離心力、金屬小圓球和壓混機內壁三者交互作用，將粗絞破碎機破碎過知小塊件破碎成細件，尤其是複合材質，冰箱中含金屬、隔熱材經過處理，金屬破碎後壓成圓球狀，隔熱材細碎使之氣化與金屬片分離。

本破碎機除應用於電冰箱外，尚適用下列：

1. 複合材質細破碎分離
2. 廢家電破碎，如冷氣機、電腦。

3.發泡等保溫材料細破碎

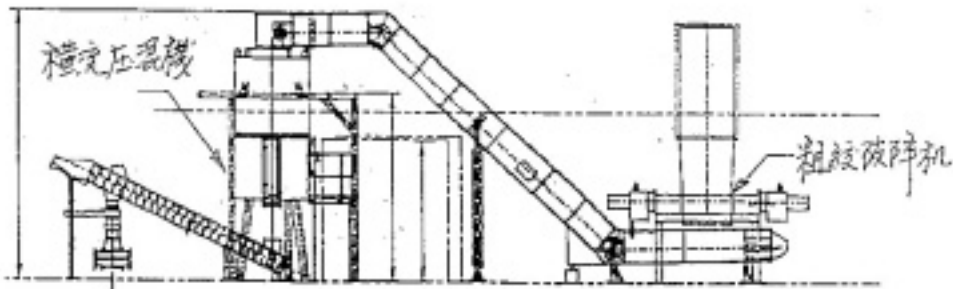


圖 9.2 橫流壓混機示意圖

9.5 設備選用規格

9.5.1 粗絞破碎機

粗絞破碎機(二軸式破碎機，如圖 9.3)所示，採用二軸式之旋轉切斷刀結構，切斷刀為厚度為 50 或 80mm 圓盤式多切口刀片所組成。刀片之數量視被切碎物件體積大小而定。依台灣所使用的冰箱體積較大，選用破碎室寬度約在 1,200~1,500mm。

選用此破碎機功能只要為特殊體積龐大之冰箱，經破碎機絞碎成 80mm 以下之小塊狀，便利快速於第二段的橫流壓混機之細破碎處理。

使用此破碎機來破碎體積龐大的冰箱時，由於體型方正破碎機切刀不易絞入破碎，故於入口室內得加裝一只強制擠壓進料器(如圖 9.4 所示)來幫助順暢的入料破碎，提高破碎機的處理效率。



第九章 廢電冰箱資源化破碎案例



圖 9.3 二軸式破碎機



圖 9.4 強制擠壓進料器



9.5.2 橫流壓混機(交叉式磨碎機)

橫流壓混機為一利用離心連續打擊原理，利用特殊材質之鏈條和結構，以快速旋轉來產生離心力，使鏈條打擊在物料上，物料再撞擊物料產生連續的碰撞，將不同比重、硬度特性的多種原料結合而成的複合材料，在多次的打擊、連續過程中，將原來由人工、機械或其他方法結合成一體的原料，再度分開還原成單體。

此橫流壓混機(如圖 9.5 所示)，特別設計用來為處理廢電冰箱或其他複合材質產品的破碎分離。冰箱外殼之隔熱層為 PUR 發泡材；本身含有大量的氟氯碳化物(CFCs)，此為蒙特婁公約管制的物質，必須有效回收處理，而為使 CFCs 能有效從 PU 中溢出，必須將 PU 發泡材粉碎成直徑 0.2mm 以下的粒徑。

橫流壓混機在破碎過程中，將金屬滾壓成小圓球、塑膠成片粉末狀，達到破碎與分離之效果。

機械本體為一雙層式結構，中間裝冷卻水，用來冷卻破碎過程產生的過熱和控制適當的操作溫度。整部壓混機採用批次式進料破碎，設備如圖 9.6 所示，並保持負壓氣密式空間以達到 CFCs 外洩和回收效果。破壞室並設有氮氣自動加入系統以控制作業空間之含氧濃度，和安裝防爆偵測系統，確保作業安全。



圖 9.5 橫流壓混機



圖 9.6 批次式進料系統

9.6 破碎機處理效果

9.6.1 粗絞破碎與橫流壓混粉碎

粗絞破碎與橫流壓混粉碎兩段式處理為系統中主要之處理技術，其設計目標分為

1. 分離出複合成份組織結構之物料

粗絞破碎與橫流壓混乃為此需求設置，經粗絞碎後成 80mm 左右之碎片，



再經橫流壓混將碎片和緊密結合的複成份結構之物料，分離成單一物料，並往復橫磨成不同的顆粒大小，以利後段分類分選，經破碎所得各類成品如圖 9.7 a~c。

2. 將聚醯胺發泡隔熱材磨碎成小於 0.2mm 顆粒大小

為協助聚醯胺發泡材內氣體(如氟氯碳化物等發泡氣體)自組織結構中的排出，需將聚醯胺發泡隔熱材磨成小於約 0.2mm 的顆粒(聚醯胺發泡材平均最小的孔隙)，經破碎所得各類成品如圖 9.7 d。

3. 加熱至約 70°C 左右，排出可能附著在聚醯胺及塑膠上之氣體

利用馬達運轉產熱將橫流壓混作業室內溫度提昇至 70°C 左右，以協助氟氯碳化物等氣體從孔狀發泡組織中完全釋放出來。

然而就能源經濟效益與分選技術而言，處理不同物料的條件情況將不同，以 PUR 與保麗龍不同隔熱發泡材為例，儘管有可能將保麗龍粉碎處理成 0.2mm 以下顆粒符合效益要求。對上述物料而言，橫流壓混機的主要設計目的是使各物料從混合物中完全分離出來，就能源的觀點，進一步磨碎金屬物料是無意義的，所以金屬物料不經其它處理，以敲擊方式直至附著於金屬上的易碎混合物料被分離即可。由上分析可知，若多做任何進一步的處理程序，會對其它物料造成嚴重磨損與增加分選操作費用。

依不同之隔熱發泡材廢電冰箱，處理可分別採不同之控制程序：包括

1. 聚醯胺(PUR)隔熱發泡材廢電冰箱(含 CFC-11, CFC-12 等)之操作程序

在氟氯碳化物 CFC-11/CFC-12 操作程序中，其發泡氣體約有 520mg/ Nm³ 的濃度，氣體須導入冷凝回收系統；此外，為防止氣體外洩到大氣中，在破碎設備系統中時，設置有氮氣氣門或機械式閘門關閉以防止氣體外洩，為避免粉塵爆炸的危險性，需監控氧氣濃度並以氮氣調整含氧濃度。CFC-11, CFC-12 等冷媒經冷凝後處理排放的濃度在 20mg/Nm³ 以下，德國目前法規排放標準為 100mg/Nm³ 以下。

2. 保麗龍隔熱發泡材廢電器之操作程序

舊式電冰箱隔熱發泡材或部份電冰箱與冷氣機防震組件採保麗龍材質製造，保麗龍隔熱發泡材廢電器操作程序中，因發泡氣體不含可燃或需回收淨化處理的溶劑等，所以製程產出之氣體經再除塵與降低露點(Dew point)後，即可排放到大氣中。因有粉塵爆炸的危害性，保麗龍操作程序控制重點乃在於穩定橫流壓混機中之含氧濃度，含氧濃度依供應的氮氣來調整，並應維持在小於 10 %。

3. 戊烷(Pentane)隔熱發泡材廢冰箱操作程序

1992 年後歐洲部份電冰箱採用 Pentane 做為發泡氣體，而其屬揮發性易爆物質，所以整個設備操作在丙烷操作程序中為符合安全，製程空氣需全部經過溶劑回收系統，亦有氮氣氣門或機械式閘門關閉來防範氣體外洩到大氣中。氮氣最大的濃度應低於容積的 4%，此因，氮氣供應於橫流壓混機和前段破碎系統中，氮氣總消耗量較其他 PUR 與保麗龍物料操作程序為高。

9.6.2 冷凝回收冷媒與過濾吸附

經粗絞碎機與橫流壓混處理後之收集之氣體，將進入冷凝回收系統與多階段活性炭吸附過濾。密閉之破碎單元在溫度 70°C 左右，經二段破碎，釋出含氟氣碳化物等發泡氣體與水份，回收處理系統包含一組低溫冷凝器，藉熱交換器使氣體冷卻至約 20°C 左右，利用氮氣前冷卻單元和一台主冷凝器使氣體降至 -100°C 左右，將氟氣碳化物冷凝回收，氟氣碳化物的濃縮密度可達約 2,000 mg/m³。其餘廢氣在進入活性炭處理器前採蒸發方式達脫水效果後再行過濾吸附處理，吸附處理單元由二個交替運作的活性炭吸附器所組成，當其一吸附器飽和時，即開始脫附還原程序，並由另一吸附器進行吸附循環。氣體藉排氣裝置排出，排出氣體在混入外圍空氣後，再流到破碎機和橫流壓混機單元中。



圖 9.7 經破碎所得各類成品

9.7 處理流程說明

完整的回收再生利用處理系統，必須配合經濟而有效的回收清運體系，和先進可靠的再生處理技術，才能確實掌握管制廢棄家電的流向，以抑制廢棄物污染擴散，處理回收再生使用資源，達到廢棄物減廢與資源永續利用的目的。

9.7.1 廢電冰箱處理系統

廢電冰箱的種類繁多，單元組成與元件成份亦大相逕庭，如何有效率地規劃與運用拆卸回收技術，是廢電冰箱回收處理工作最大的挑戰。現今世界上以歐盟國家在實際回收處理技術經驗上最為豐富，尤其是德國邦聯更為此間技術的翹楚。隨著德國包裝材法(Verpackungsverordnung)的施行與條文修正，廢電子產品回收處理施行細則條文的頒佈，目前在全德國邦聯內已有 80 座以上相關的拆解

處理廠，並且不斷更新技術與設備，以符合日趨嚴苛的法規標準；未來台灣環保主管機關對「資源回收利用法」與「廢電器用品回收清除處理辦法」的制定，亦會趨向要求最佳化的最終處理，因此處理系統必須參考引進現有的最佳技術，及評估本土執行的可行性與技術配合度，做為處理流程的設計規劃。一般廢電冰箱處理流程如下圖圖 9.8 所示：

另外，氟氯碳化物廢家電類(處理流程如圖 9.9)主要裝置為冷卻壓縮單元及聚醯胺(PUR)和岩綿等隔熱發泡材之電冰箱、冷氣機等。在處理流程中必須在前段分別拆解外殼、壓縮機及吸取回收其中的氟氯碳化物及礦油。後段在閉封的環境下，將廢棄物粉碎分類，並回收含鐵、銅、鋁金屬、PS 塑膠及聚醯胺隔熱材等。以年處理量電冰箱柒萬伍仟陸佰台的處理實廠，其處理現況概述如下：

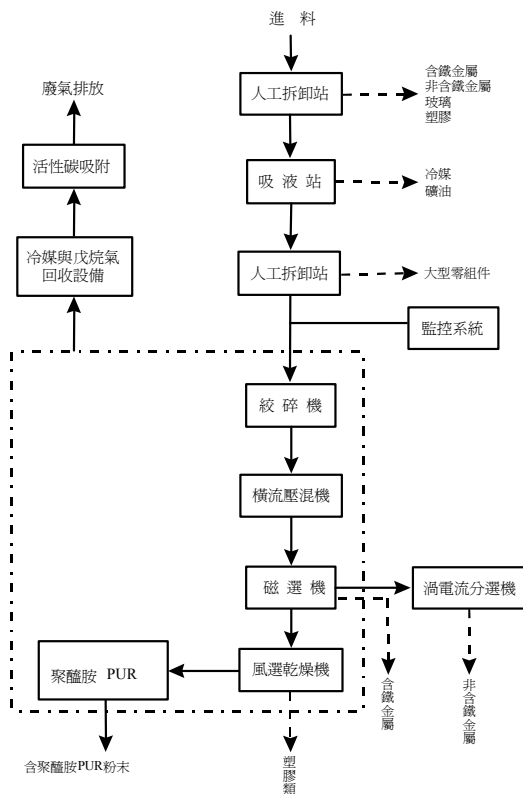


圖 9.8 廢電冰箱處理流程

第九章 廢電冰箱資源化破碎案例

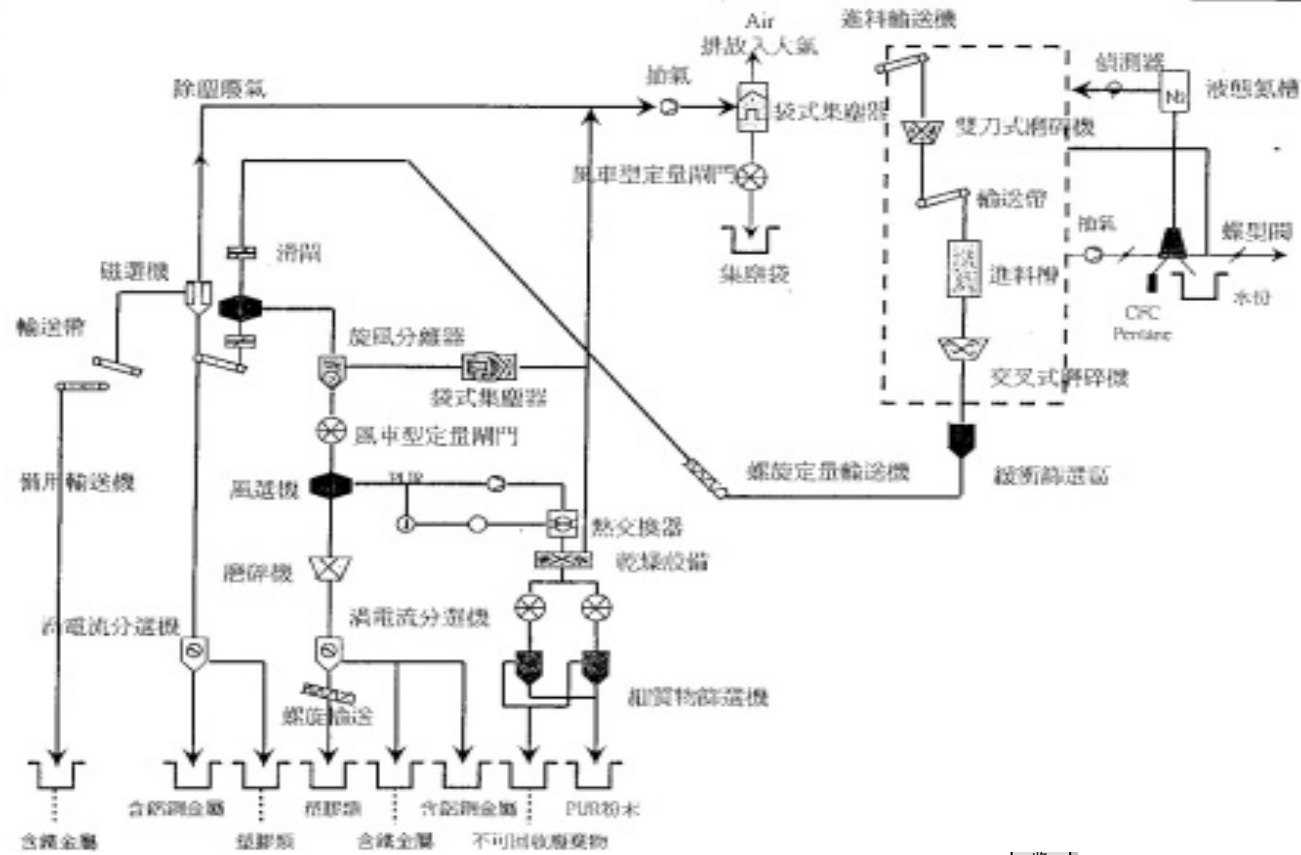


圖 9.9 含氟氯碳化物類系統流程圖

收及處理設備
— 破碎

1.前段拆卸處理

前段拆卸處理以滾筒輸送帶與機械架輔助人工作業方式，將可先行拆解冷卻壓縮機、及較大之含鐵金屬、非含鐵金屬與塑膠等元件直接分類回收，並以多用途之吸收器自冷卻壓縮機中吸取回收冷媒與礦油，或直接整件回收再使用之。

2.後段處理

前段拆解後之元件進入後段粉碎分類處理，可以將含鐵金屬、非含鐵金屬、塑膠、含聚醯胺材等分類收集，因破碎隔熱材所溢散出之氟氯碳化物污染，可以在閉封式的作業環境中得到有效的控制，經超低溫冷凝回收，廢氣經活性碳吸附符合排放標準後始得排放，另外聚醯胺(PUR)、寶麗龍(STROPOR)和岩綿等不同隔熱材須分批處理，以增加回收物的純度。在一般處理下，平均在處理戊烷隔熱材冰箱，所需氮氣每月不超過 $9,000 m^3$ ，因為此處氮氣可再回收利用。另氟氯碳化物為蒙特利爾公約管制物質，現有技術得利用液態氮低溫濃縮純化氟氯碳化物，以提高回收經濟價值。

9.7.2 最終產物處理

本案處理係採用德國技術包含環保設備，要求標準亦以德國標準為基礎，表 9.1 為德國某一實廠之排放值與德國環保法規之比較例。

表 9.1 污染排放標準與實廠監測值

項目	排放標準	監測值(1996.3)
噪音	$\leq 85dB(A)$	$77.6dB(A)$
粉塵	$\leq 10mg / NM^3$	$2mg / NM^3$
冷媒	$R11 \leq 150mg / NM^3$	$50mg / NM^3$



回收處理廢電冰箱之最終產物，除了可再生利用之資源外，剩餘不可回收再利用之廢棄物必須有效地管制追蹤其最終處理與處置的去向，以徹底完全地處理廢棄物，避免因回收再生的過程產生二次污染的擴散，其處理技術與回收業者如表 9.2 所示。因此，回收處理後之最終產物的管理再利用、再處理與處置，為廢棄物處理作業完全處理中重要的一環。

表 9.2 廢冰箱回收處理廠最終產物處理技術與回收業者

最終產物	處理技術	回收業者
1.含鐵金屬	熔化回收再利用	煉鋼業
2.含鋁金屬	熔化回收再利用	煉鋁業
3.含銅金屬	熔化回收再利用	煉銅業
4.PS、PP 塑膠	再生原料利用	塑膠業
5.PUR 粉末	擠壓成塊掩埋或固化，礦油 固化技術再利用	合板工業
6.CFC 冷媒	R11、R12 安全密封貯存， 有害事業廢棄物焚化、或鹽 化反應生成氟化鈣。	有害廢棄物焚化爐
7.冷卻壓縮機	回收再使用，壓碎分類回 收。	煉鋼業
8.混合廢料	焚化或掩埋處理	各地合法焚化爐
9.礦油	受污染者以有害事業廢棄 物焚化處理；未受污染之礦 油可由油商回收使用。	各地合法焚化爐
10.壓縮機馬達	回收使用或壓碎分類回收	煉鋼業
11.廢電線、電纜	廢五金回收處理廠回收處 理	甲級廢棄物處理業

9.8 經濟效益分析說明

1. 本系統空間用地小，設廠成本低。前段人工拆解壓縮機、大零件外，機器均自動運作，運轉成本低效率高。

2. 廢金屬需求等級及需求量

由於在回收處理過程中，因分類處理之不安全，使廢金屬中雜著許多非金屬物質，造成對煉鋼廠之電爐爐體有不利之影響，進而影響生產成品之品質，因此大部份之煉鋼廠在收購由廢電器所回收之廢金屬之意願不高；一般廢五金商為因應前述之困擾，乃多於廢電冰箱回收之廢金屬中摻雜其它金屬成份較佳之廢五金，以符合煉鋼廠之收購標準，並提高其收購之意願。

依據財政部進口貿易統計月報內資料顯示，我國 83 年 1~11 月進口廢鋼之總量約 952,869 公噸，約佔國內廢鋼消耗量之 5% 左右，因此推估國內廢鋼之全年需求量約 400 萬公噸，國內廢電冰箱廢棄量約 55 萬台左右，約可回收 12,540 噸廢鐵(廢電冰箱每台平均以 57 公斤，含廢鐵 40% 計算)，佔國內全年需求約 0.3% 左右；本案在廢電冰箱方面每日處理 28.9 公噸，其中廢鐵含 18.6 公噸/日，則每年約可回收 5,200 噸廢鐵。

3 廢金屬等級

廢電器經拆解、破碎、自動分選等程序、分選出純度 95% 以上之鐵金屬供國內再生業者使用做為冶煉原料，由於純度提高、尺寸均勻及密度達 0.8 噸/m^3 以上，其品級依 ISRI (Institute of Scrap Recycling Industries, Inc.) 或 ISRRI Code #204(No. 2 Heavy Melting Steel) ISRI Code #210(Shredded Scrap)，相當於進口一級廢鋼鐵或國內總鐵 A 級以上之等級。



第九章 廢電冰箱資源化破碎案例

4. 銅、鋁金屬

本案廢電冰箱每年可回收約 405 噸銅、鋁、或銅鋁混合金屬，可供熔融再生原料使用。

5. P.S、P.P 塑膠料

本案廢電冰箱每年可回收約 2 噸 P.S、P.P 廢塑膠料，可抽粒製成二次塑膠料原料，供塑膠射出成型使用，或直接壓鑄射出成品。



參考資料

1. "Technical Information"-“Heckert” Umwelttechnik GmbH Germany.
2. "Technical Information"-“Weima” Maschinenbau GmbH Germany.
3. 廢電子電器物品(四機)生命週期、流向調查及未來三年相關處理量之分析，行政院環保署，88年6月。
4. 廢電子電器資源回收體系之費率訂定計畫，行政院環保署，87年12月。



第九章 廢電冰箱資源化破碎案例



第九章 廢電冰箱資源化破碎案例



第九章 廢電冰箱資源化破碎案例



第十章 大型廢棄物資源化破碎案例

10.1 前言

看看我們週遭，到處充滿著人們所遺棄之物品，這些廢棄物含一般可燃垃圾及不可燃垃圾。再看看工廠林立的郊區及工業區，除了一般垃圾外另加上了許多產業廢棄物，廢棄物之種類愈來愈多，特別是在產業革命發生後，大量及多種新式機械及材料不斷被開發出來，以機械來替代人工工作，提高產品生產量，而材料之研發及製造，亦使得產品更耐用及更舒適。而由於產品之改良，加上廢棄物量愈來愈多，故廢棄物變成愈來愈難處理，不再是隨手一扔、隨手掩埋就可以處理，而是必須要有計劃的去處理，例如要先針對廢棄物的性質、種類、尺寸及廢棄物的生產量去實際了解，同時亦必須調查國際上各種處理方式之優劣點，然後研擬處理之對策、計劃、預算之編制、處理廠之設置及實施。

本文案例簡介是以一般大型廢棄物之處理（亦是大型廢棄物綜合前處理），在此不針對各種專門之再生處理廠加以詳述。一般大型廢棄物之處理基本流程，如圖 10.1。

10.1.1 大型廢棄物之種類

一般來說大型廢棄物依材質及使用之場合來區分。

1. 材質

- (1) 可燃物：木材、塑膠、橡膠及發泡物等四類。
- (2) 不可燃物：金屬、玻璃、石棉、陶瓷及混凝土塊等五類。

2. 使用之場合

- (1) 生活廢棄物：儲櫃、流理台、傢俱、廢家電及兒童三輪車。
- (2) 建築：廢建材。



第十章 大型廢棄物資源化破碎案例

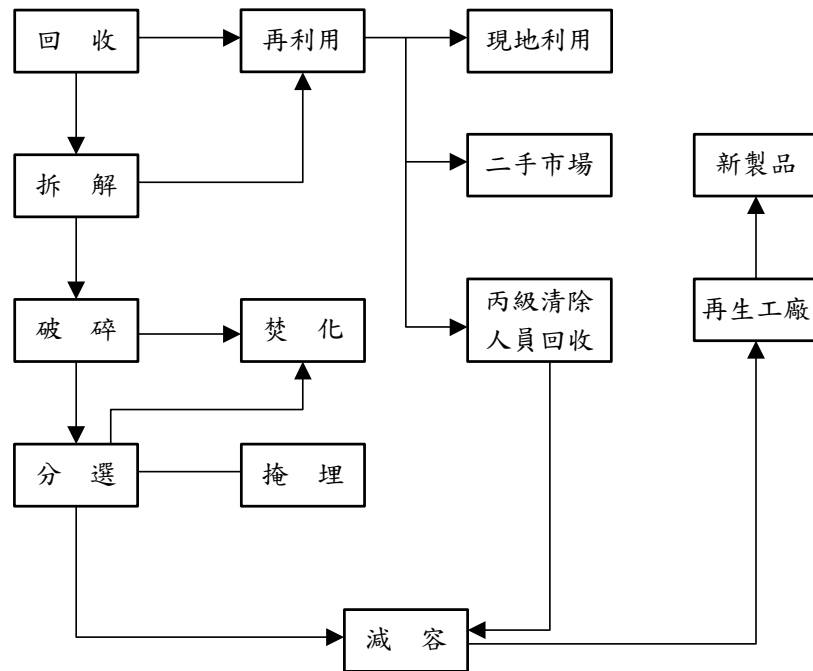


圖 10.1 大型廢棄物處理流程圖

(3)交通工具：汽車、機車、自行車、船舶、飛機等。

(4)工廠：包裝材料、棧板、廢機械、容器等。

10.1.2 案例簡介

1.案名：吉野三町村清掃中心

2.位置：日本國奈良縣吉野郡

3.佔地：約 1.6ha

4.設施規模：13 噸／日（5 小時）

5.設置由來：平成四年時可燃物焚化爐設置完成，加上原有的垃圾掩埋場一併處



第十章 大型廢棄物資源化破碎案例

理吉野町、川上村及東吉野村三地之垃圾。而隨著大型垃圾及瓶罐之年年增加，對於處理上造成許多困擾，為了延長焚化爐及掩埋場之使用壽命及垃圾資源化再利用之考慮，對於新的處理設施之設置感到十分迫切需要，所以等到焚化爐建設完成後，即著手設置粗大垃圾處理設施。

6.設計施工：鎌長製衡株式會社

7.施工監理：國際航業株式會社

8.動工時：平成4年7月

9.完工間：平成5年5月

10.設備概要：

- (1)受入供給設備：受料斗、受料輸送機、藥劑噴霧裝置。
- (2)破碎設備：切斷式破碎機、回轉式破碎機、切斷破碎物輸送機、回轉式破碎機保養用吊車。
- (3)搬出設備：振動輸送機、搬出輸送機 NO.1 及 NO.2、不燃物搬送輸送機 NO.1 及 NO.2、可燃物輸送機。
- (4)選別設備：磁力選別機、風力選別機、不燃物可燃物選別機、鋁類選別機。
- (5)再生設備：金屬壓縮機、壓縮物輸送機。
- (6)集塵設備：旋風集塵機、袋式集塵機、排風機、空氣壓縮機。
- (7)貯留物搬出設備：不燃物貯留料斗、鐵及鋁類貯留料倉、可燃物貯留料坑、壓縮物貯留區、壓縮物製品搬送吊重。
- (8)其它：配電設備、儀控設備及排水設備。

10.2 大型廢棄物特性概述

本類廢棄物依特性可區分為：1.可燃物，包括：家具、木材、日本床等；2.不可燃物，包括：洗衣機、冰箱、腳踏車等。依材質概分為：1.可燃物；2.不可燃物；3.鐵類；4.鋁類等。而各類經常被處理之大型廢棄物之比重，彙整如表 10.1 所示。



表 10.1 各類大型廢棄物之比重

比 重	廢 棄 物 類 別
0.01~0.02	流理台、機車、餐廳台、洗衣機
0.02~0.03	腳踏車、服務台
0.03~0.05	兒童三輪車、床墊、衣櫃及鞋箱
0.05~0.1	木床、桌子
0.1~0.15	立體音響、脫水機、冰箱、暖爐、風琴、電鍋、輪胎、烤箱及微波爐 電視機、吸塵器、洗碗機、瓦斯爐、日本床、棧板等
0.15~0.2	收音機、錄音機、箱型冷氣機、椅子、直立式時鐘、木門、樹幹等
0.2~0.5	地氈、電風扇、樹根
0.5	

10.3 大型廢棄物資源化處理流程

本設施是配合焚化爐及垃圾掩埋場所設置之前處理設施。主要是處理日漸增多之大型廢棄物及空瓶罐。本粗大垃圾處理系統是採用自動化之設計，將大型廢棄物先行處理，然後再與家庭中之資源垃圾合併處理。其流程說明如下。

先將大型廢棄物及資源垃圾經由資源回收車回收後分別計量。然後將大型廢棄物依可燃物及不可燃物分別處理，大型可燃物直接送至切斷機切斷減容。而不可燃物若為廢家電類，如冰箱、洗衣機等必須經人工拆解，將馬達、壓縮機等取出、冷媒給予抽取回收。而再將不可燃廢棄物送至切斷機給予切斷減容。而可燃物經過切斷後，經輸送機送至可燃物貯存坑暫存，而不可燃物經輸送機送至受料斗與資源垃圾一起合併處理。一段時間卡車就會將可燃物貯存坑內之廢棄物送至焚化爐工廠焚化處理。

而回收來之家庭中的資源垃圾先經人工破袋，同時將不適合破碎之物品如鋼棒、布捲、瓦斯罐等物取出。然後再與經切斷後之不可燃廢棄物一起經受料輸送機送至單軸回轉式破碎機破碎成較小尺寸。而被破碎之所有廢棄經由回轉式破碎機下之震動輸送機輸送至搬送輸送機 NO.1 及 NO.2，而搬送輸送機 NO.2 上方設置有磁力選別機，此機械能將具磁性之鐵物質與非磁性物質分離。被分離之磁性



物質再經風力選別機將磁性物質予以純化，經純化之磁性物直接掉落至鐵暫存料倉。

而另外被分離出之非磁性物則被送至可燃物不可燃物選別機，經可燃物不可燃物選別機選別後之可燃物被送至鋁類選別機，而不可燃物則直接落下經由不燃物輸送機 NO.1 及 NO.2 送至不可燃物貯留料斗，等待至一定量時，卡車就會載至垃圾掩埋場掩埋。經鋁選別機選別之鋁類，被送至鋁金屬暫存料倉，其它可燃物經由可燃物輸送機輸送至可燃物貯存坑，與大型可燃物一起被送至焚化爐焚化。

經分選出來之鐵金屬及鋁類各自置於暫存倉中，待一定量時，暫存倉會自動開啟，鐵金屬及鋁金屬分別掉落至金屬壓縮成型機壓縮成型，而被壓縮後之金屬塊，經金屬壓縮機排出後，由吊車吊移至金屬暫存區暫存，至一定量時，再由卡車送至金屬煉製廠，重新再製新品。

本套系統為安全及自動化之運轉，故在中央控制室設有中央監視控制盤，其是由各機械之操作盤及控制裝置所構成，上有整個系統流程，同時亦設有監視器監視有機械之運轉情況。使得運轉情形一目了然。為了減少粉塵之飛散，使作業及週邊環境更清潔，所以分別在受料斗、回轉式破碎機、振動輸送機及可燃物貯留坑設置噴霧灑水裝置，並於切斷破碎機及切斷破碎不燃物輸送機、回轉式破碎機、振動輸送機出口、磁力選別機、風力選別機及不燃物可燃物選別機等處設置吸引罩，將因破碎、輸送及選別所產生粉塵加以過濾去除，然後再排放至大氣中。而另在回轉式破碎機上方設置爆發放散筒，減少因破碎時，可能產生之爆炸帶來的危險，並於回轉式破碎機、震動輸送機及搬出輸送機 NO.1 處設置消防灑水設備，以防止火災之發生。為了降低工廠運作時，所產生之噪音，在各儲存料斗鋪設厚橡膠、輸送設備採用加蓋之設計，同時抽風機亦加上消音筒。此系統可謂最先進、有效率、安全、清潔及舒適之處理中心。機械流程請參考，圖 10.2。

10.4 大型廢棄物資源化設備選用規範

10.4.1 破碎機型式

本系統因屬於綜合性處理廠，所以在選用破碎設備上，不能依特種物品來做考量，一般來說破碎機種類有以下幾種，請參考圖 10.3。



10.4.2 選用考慮條件

一般來說處理大型廢棄物所使用之破碎機以複合切斷式破碎機、回轉式破碎機為主，壓縮式破碎機多用於處理硬脆性物質，如工程塑膠為主。所以不適合處理綜合性廢棄物。大型廢棄物破碎機之選用性能，如表 10.2。

本案例主要是處理綜合性廢棄物，所以在選用破碎設備時，應考慮之項目如下說明：

1. 主要處理物之材質及物性：

(1) 材質

本案例主要處理木材、廢建材、廢家俱類、日本床等可燃性廢棄物及洗衣機、冰箱、自行車等不燃性廢棄物，還有就是玻璃、鐵、鋁、寶特瓶及塑膠罐類。

(2) 物性

脆硬性：玻璃類

硬性：金屬板類

硬軟性：金屬罐類、木材類

軟粘性：FRP、塑膠類、橡膠類

2. 破碎物之尺寸：

(1) 大型：建材、沙發、衣櫃、床及床墊等。

(2) 大中型：洗衣機、冰箱、自行車、桌子、書櫃、空油桶等。

(3) 中小型：少許廢家電、鞋櫃、椅子。

(4) 小型：空瓶罐。

3. 破碎的目的：

(1) 減容。

(2) 方便選別及輸送。

(3) 方便焚化及增加焚化效率。

(4) 增加掩埋場容量。



10.4.3 設備之選用

吉野三町村清掃中心採用破碎機型式有兩種：(1)複合切斷式破碎機、(2)為單軸大型回轉式破碎機。採用此兩種破碎機之選用理由為：(1)處理之廢棄物種類為大型廢棄物及資源垃圾；(2)廢棄物性質屬於乾性；(3)考慮處理之廢棄物尺寸；(4)後處理設備之因應要求。

此處理中心所採用之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。其先行之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機採用油壓慢速切斷，其切斷力有 100T。切斷力非常強，對於大型廢棄物可輕而易舉處理，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，因此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，同時亦增加破碎之效率。而採用高速單軸回轉式破碎機是為便於分類。其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。

有關設備之規格介紹如下：

1.複合切斷式破碎機

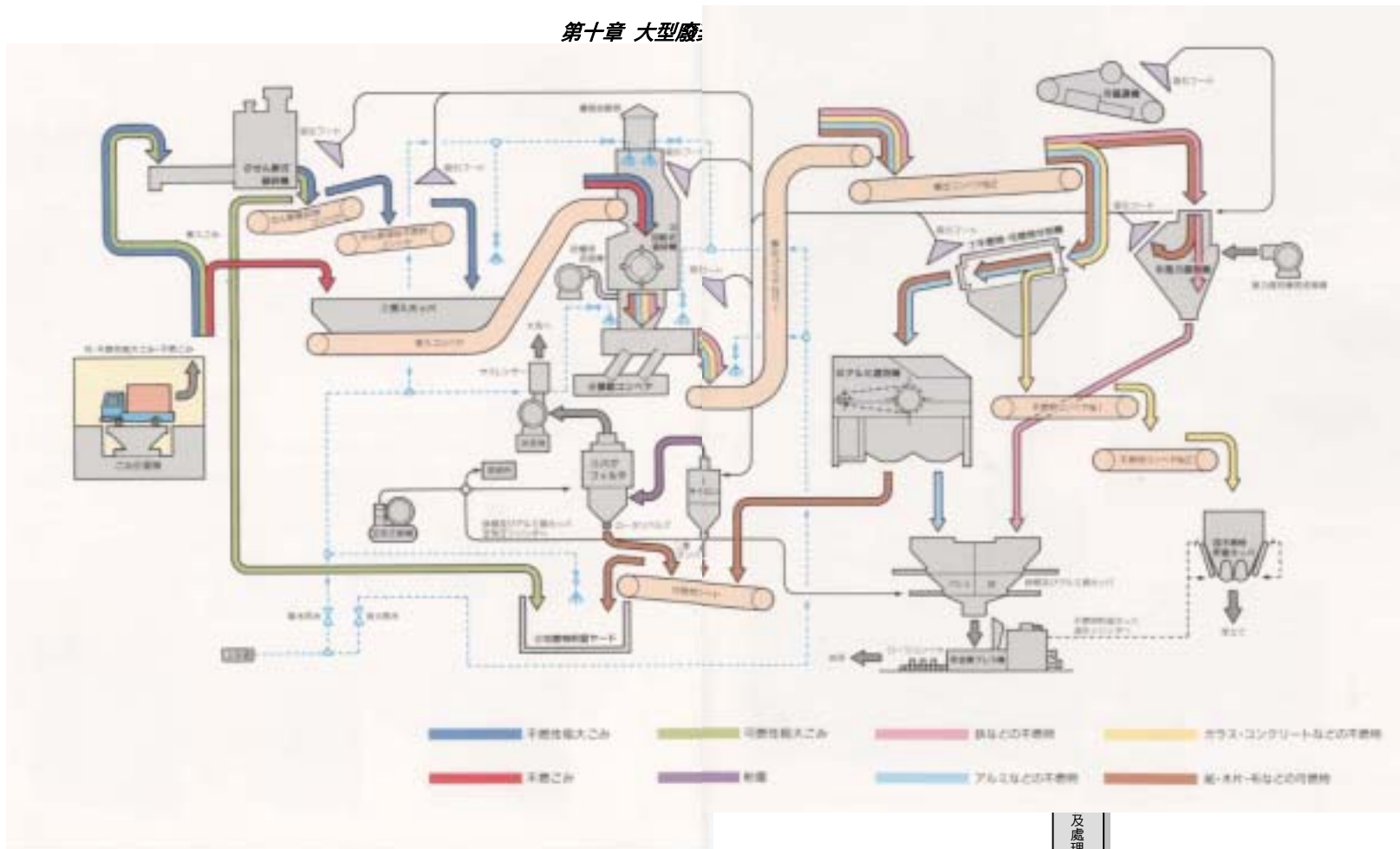
推進方式：採用鏈條推進器。

處理物最大尺寸：1000 mmW×1000 mmH×3000 mmL

壓縮力：30t

切斷力：100t

第十章 大型廢



及處理設備
— 破碎



第十章 大型廢棄物資源化破碎案例

圖 10.2 吉野三町村清掃中心機械處理流程圖



第十章 大型廢棄物資源化破碎案例

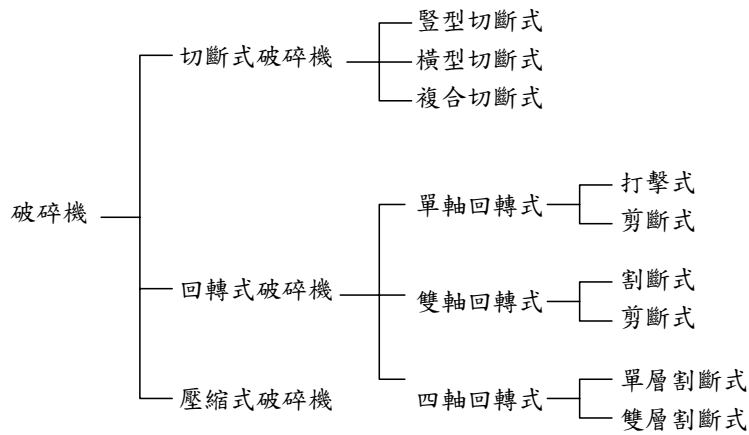


圖 10.3 破碎機種類

表 10.2 大型廢棄物破碎機性能比較表

型 式	複合切斷式	單軸回轉式	雙軸回轉式
大型木材較多時：床、廢建材、家俱等...	◎	×	○
大型金屬較多時：洗衣機、冰箱、腳踏車	○	×	◎
中型物不燃物：容器、電視、雜貨等...	×	◎	◎
垃圾掩埋場、焚化爐、產業廢棄物處理	◎	○併用場合	◎
資源回收系統	◎併用場合	◎併用場合	◎
長尺寸破碎物較多時	◎	×	△
機台尺寸（相同處理量時）	大	中大	小
價 格（相同處理量時）	○	△	◎
破碎粒徑	10~40cm W ×1.2-2mL △	φ 15cm 以下 ◎可調整	φ 15cm 以下 ◎
處理能力（類似尺寸之機械）	○	○	◎
破碎力量	◎	○	○
消耗電力	◎	△	○
重 量	重	普通	輕
消耗性零件設備價格(與處理物有關)	高	普通	低
維修方便性	△	○	◎

備註：1.本表僅供各業界在處理粗大垃圾時機械選用之參考，希望藉此能夠達成適時適用之目標。

2.上述記號代表適用度為：×不適用、△普通、○好、◎最好。



第十章 大型廢棄物資源化破碎案例

推進速度：5m/min (50Hz)

處理量：2T/Hr (依處理物之比重略有不同)

重量：16.9T

動力：22KW

機械尺寸：4,700 mmH×2,000 mmW×6,000 mmL

機械外觀圖請參考圖 10.4。

2. 單軸回轉式破碎機

處理能力：3~5T/H

投入口尺寸：1,110×1,560mm

動力：150KW

驅動方式：皮帶驅動

重量：31T 機械外觀，請參考圖 10.5。

有關設備所衍生之噪音及粉塵介紹如下：

1. 切斷破碎之噪音，主要來自油壓單元所發出的，噪音值約為 82~85dB(A) 距離一公尺所測值。切斷破碎因為慢速，所產生粉塵極少，粉塵量因被破碎物不同而異，而脆性物之粉塵量較多。
2. 回轉式破碎機所產生之噪音，主要是在高速打擊被破碎物時所發出之聲音。噪音值及粉塵產生量依被破碎物之性質差異很大，為降低噪音及粉塵量，所以機械採密閉之設計，同時機械架台上設有橡膠減震裝置。在切斷式破碎機及回轉式破碎機設有集塵罩，防止粉塵飛散。



第十章 大型廢棄物資源化破碎案例



圖 10.4 複合切斷式破碎機機械外觀圖



圖 10.5 單軸回轉式破碎機外觀圖

10.5 大型廢棄物資源化處理效果

因被處理物成份之不同，其處理效果必定會有差異。經過複合切斷式破碎機及單軸回轉式破碎機雙重破碎合併處理之場合，其經後面分選設備，一般破碎尺寸的要求約在 15 公分以下，故所得之分選物其單位容積重量，請參考表 10.3 所示。有關選別物的純度及回收率，請參考表 10.4。

有關各類型破碎機之破碎效果，如圖 10.6 及 10.7 所示。

表 10.3 破碎後單位容積重量的增加表

廢棄物的種類	破碎前之比重	破碎後之比重	倍 率
金屬系(家電製品等)	0.1~0.2	1~1.2	5~10
木質系(傢俱等)	0.05	0.2~0.3	5~6
塑膠系	0.1	0.2~0.3	2~3
瓦礫系	0.5	1~1.5	2~3

表 10.4 選別物的純度及回收率表

選 別 物	純 度	回收率<參考值>
鐵	90~95	85~90
鋁	85~90	55~60
不燃物	75~80	75~80
可燃物	55~60	55~60
塑膠類	50~55	50~55



第十章 大型廢棄物資源化破碎案例



廢木材（可燃物）

廢床（可燃物）

廢家電（不燃物）

圖 10.6 大型廢棄物之一次破碎例（切斷粗破碎）



廢家電（不燃物）

機車（不燃物）

儲櫃（可燃物）

圖 10.7 大型廢棄物之二次破碎例（細破碎）



10.6 大型廢棄物資源回收經濟效益分析

設立大型廢棄物處理工廠，其之經濟效益考量應不光祇是費用之支出及收入，更應將設置之目的及對將來之環境影響考慮在內。

本案例來說，其由三村鎮聯合設置，同時將大型廢棄物及家庭中之資源垃圾一併回收處理。這是屬於區域型之聯合處理模式。日本地方多採用此種設置方式。這是值得未來台灣地方政府設置之參考（日本環境及國情與台灣較相似）。

10.6.1 設置經費

日本地方之處理廠，其經費來源主要有三：

1. 國家或地方縣政府之專案補助。
2. 發行地方債。
3. 一般財源（募款及地方預算等）。

10.6.2 設置目的之影響

1. 解決日益增加之大型廢棄物及各種資源垃圾之放置問題。
2. 資源垃圾再利用及減少對外資源之依賴。
3. 減少廢棄物對於環境之美觀及衛生等影響。
4. 延長焚化爐及垃圾掩埋場之使用壽命。
5. 減少居民之抗爭。
6. 為後代子孫留下乾淨、清爽之生活空間。

10.6.3 設置成本及收益說明

本系統設置成本不含土地之費用約為台幣 1 億 6 仟萬元，破碎機含保養吊車及爆發放散筒，約台幣 3 仟 3 佰萬元。

而分類後之販賣產品有鐵類及鋁類，鐵及鋁之收益必須視當地及當時之廢材料之價格，一般均將收入作為員工薪資、保養、操作之費用。若在此處設置破碎



第十章 大型廢棄物資源化破碎案例

機，則在焚化爐工廠，就可以不再設置破碎裝置，所以可謂一機兩用。

對於整體經濟效益之評估，若要做出非常具體之結論是有其困難性，因為有許多是無形之益處，所以目前只能提供以上資料作為設置參考。



參考資料

1. 吉野三町村清掃中心介紹
2. 資源回收的現狀及今後的課題—日本開發銀行調查第 166 號
3. 固體廢棄物處理—謝錦松、黃正義編著



第十章 大型廢棄物資源化破碎案例



第十章 大型廢棄物資源化破碎案例



第十一章 一般廢棄物資源化破碎案例

11.1 前言

本系統引進歐美最新環保處理技術和台灣實務應用經驗及北京中科院開發之焚化技術、長春市新產品研究設計院之生物科技等最新技術，加以系統整合成一完整的循環系統，將民眾或工業產生之各種廢棄物轉變成可再生利用的產品，使垃圾變黃金的新興產業。

將民眾和工、商、農業所產生的各種廢棄物，利用分類篩選系統分類成有機物、塑膠袋和保麗龍、無機物、可燃物及資源物等5類。資源物可資源回收再生使用(如：鐵、鋁、玻璃、紙、塑膠容器)；塑膠袋和保麗龍部份可利用油化處理技術生產汽油及柴油供廠內燃燒發電用油，反應所需的熱能可由本程序產生的副產品爐渣及可燃性氣體提供；有機物部份利用生物科技製成高效有機肥及有機飼料還原使用；可燃物可焚化處理，並藉由燃燒所產生熱能供處理高速有機肥所需之熱能，篩分出之無機物混合焚化後之飛灰利用固化技術製成建材或路基再利用。

11.2 廢棄物的特性

1. 廢棄物的材質種類

本流程中大部份的建材、鐵罐、塑膠、鐵絲、磚、玻璃、鋁罐、紙製品、陶瓷、鋁箔包、紡織品、橡膠類，大多已在人工分選中初步排除，但難免有殘餘物，破碎機應有處理上列物料的應變餘裕，不造成當機。部份有機質垃圾含水率很高，破碎後很容易在破碎機內阻塞，其機內自清排料效果必須良好。

2. 廢棄物的物理特性

其入料尺寸包羅萬象，除去人工初步分選的大塊狀物外，包括形形色色的垃圾，其物理特性繁複多變。

3.廢棄物的化學特性

廢棄物除諸如噴霧殺蟲罐等容易爆裂物，及有機溶劑的腐蝕性外，大多與破碎機性能無關。一般廢棄物性質如表 11.1 所示。

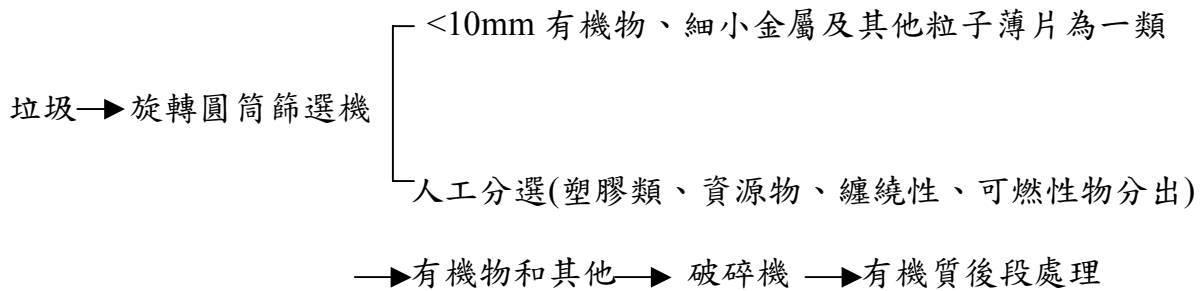
表 11.1 一般廢棄物性質

分 類		百分比(%)或量
可 燃 分	紙類	24~35
	纖維布類	3~7
	木竹、稻草、落葉類	2~8
	廚餘類	18~33
	塑膠類	17~19
	皮革、橡膠類	0~3
	其他	0~2
	合 計	81~88
不 燃 分	金屬類	6~9
	玻璃類	4~9
	陶瓷類	0~2
	石頭類及 5mm 以上之砂土	0~2
	合 計	11~19
高位發熱量(仟卡/公斤)		1,714~2,225
低位發熱量(仟卡/公斤)		1,261~1,767

11.3 廢棄物處理和破碎機選用

廢棄物前處理可分二類：

1.



2.

垃圾 → 人工分選(塑膠類、資源物、纏繞性、可燃性物分出) → 破碎機 →

圓筒篩選機 → 有機質後段處理

本破碎機使用於篩選後，將有機廢棄物破碎成微粉碎狀或纖維狀供水解槽入料。

一般破碎機類型大約有偏心壓縮機、滾壓機、鉗磨機、碗狀磨機、輾磨機、棒磨機、球磨機、刃狀剪切機等機型。但為使後段有機質水解提高產能和水解更徹底，故本流程選用的漩渦多葉撞擊破碎機，是無可取代的唯一選擇，其出料最適水解槽將纖維素等有質物水解，造成農業有機肥，甚至經過菌培達成菌肥，以代替無機肥。

11.4 破碎機機械結構、破碎原理和應用

1. 廢棄物超高速破碎機：

(1) 外型尺寸：2,410W×4,500L×3,600H

(2) 馬力：500HP

(3) 產能：15 噸/時

(4) 結構構造：外部呈六角形，由六片獨立特殊鋼板構成，可單獨換裝。軸為垂



直旋轉，內部附有旋轉臂、層板、耐磨棒、離心風葉片等，可連續進行破碎，適合大量處理。

2. 破碎作用：

- (1) 本破碎機由於是利用高速離心碰撞原理，故硬質的物品經連續碰撞過程和本體產生強大吸引風力，在旋轉臂末端產生渦流，固體廢棄物陷入其中連續碰撞。經歷各層板間隙，直到成為顆粒極小之碎片(參見圖 3.8、圖 3.9)。例如：
 - ① 大件廢棄物因其構造強度足夠，破碎時無畏機體毀損，可達極小碎片。
 - ② 樹枝、野菜及一般家庭廢棄物也可破碎至小碎片。
 - ③ 農作物高粱桿、玉蜀黍桿、稻麥桿等也有同樣功能。
- (2) 對於軟質廢棄物，如橡膠、塑膠類，一般破碎為低溫破碎，將原料凍結至 173°K 以下，利用物質在低溫下易碎的物理特性，將廢輪胎、橡膠和鐵絲分離，將廢塑膠以撞擊方式將之研磨至更細小的粉末進而再利用。但其缺點為使用大量液態氮，其價格十分昂貴，缺乏經濟效益吸引力。使用本超高速離心式破碎機，不但經濟有效且大量破碎亦可達到相同的目的。

11.5 選用渦漩多葉層板式破碎機原因

1. 應付入料的多樣性，如磚石、小鐵條等，可使異物無障礙通過機械的可能性較大。
2. 顆粒可經由撞擊板葉與隔板間隙的調整，控制出料在需求範圍內，供下游流程處理。
3. 磚石、玻璃、陶瓷、水泥塊等硬物，反而因其易脆性可粉碎成較細顆粒，以利下游篩選排除。
4. 剩菜、農於作物等有機質可將汁質部份撞擊排出，使纖維質外露鬆散，加速下游水解槽的有效水解率。
5. 紡織化纖品等富彈性織物，可通過破碎機由下游篩選排除，使不能水解物大幅下降。



- 6.具處理量龐大、結構簡單、易於維修、有過載保護裝置及可換修耐磨耗襯墊等多項優點。
- 7.其他機型破碎機如前言所提及，其性能基本上不適用。
- 8.綜合以上原因選用此型破碎機。

11.6 破碎機內部構造及作用

11.6.1 渦漩多葉層板式破碎機結構及作用(如圖 3.8)

1.旋轉臂

旋轉臂撞擊固體廢棄物使固體廢棄物在旋轉臂的磨襯板耐磨棒之間反覆撞擊產生顆粒與顆粒間對撞現象，如同颶風般的破碎效果。

2.層板

在每一層間形成破壞層，除非顆粒經反覆撞擊碎解到足以通過層板與旋轉臂中間的設定間隙，否則顆粒不會直通下一破碎層。

3.推動塊

維持廢棄物的流動與擾動，與下拉氣流配合動作以控制機體內氣流。

4.離心風葉片

產生巨大氣流吸入大量空氣流經機殼內。

5.耐磨棒

位在八角形機殼內側，八個對角供作額外撞擊面，並且以楔形鎖定八塊可拆換耐磨襯板。

6.耐磨襯板

襯在機體內壁特殊設計耐磨耐撞，可拆換保護機殼外層。

7.轉軸總體

一體轉動驅動固體廢棄物在轉軸總體與內側襯板間反覆破碎，降低廢棄物

顆粒所佔空間。

8. 剪斷螺栓

旋轉臂受撞擊超出最大預設力量時，剪斷螺栓被剪斷，繞旋軸螺栓為中心擺動，避免撞壞主要機件。

9. 第一、二、三層

在旋轉臂末端產生渦流，使固體廢棄物陷在其中保持碰撞狀態，直到顆粒度小至可穿越旋轉臂與層板之間可調整間隙。此一過程在各層反覆進行，顆粒愈來愈細穿越板層與各撞擊板間隙。該間隙可調整並且逐層遞減。

10. 第四層

離心風葉位在最下層，產生下降氣流流經機殼內部，並且與旋轉臂產生複雜颶風渦流，使廢棄物在其中粉碎成碎片細條後，推入出料口轉至輸送帶。

11.6.2 渦旋多葉片撞擊式破碎機規格需求(如表 11.2)

表 11.2 渦旋多葉片撞擊式破碎機規格表

項 目	規 格	備 註
最大處理入料尺寸	大約 5 cm ϕ 平均粒度	應可處理 10 cm~20 cm 條狀塑膠、木塊、磚石、玻璃等人工分選不良異物
出料顆粒平均尺寸	大約 5 mm ϕ	
每小時處理量	最大可達 30t/hr	
使用馬力	500HP	分成 250HP 二台
重量	大約 35,000lb	
中心軸	6" AISI 1045 鋼	
驅動方式	Woods Ultra-V Bonded V Belts	
入口尺寸	72" 寬 \times 27" 深	
耐磨板	1/4" 耐磨耗鋼材	
空氣流量	最大 16,000cfm	



11.6.3 破碎處理效果

1.對各種不同物件材質處理效果（相片對比,如圖 11.1）

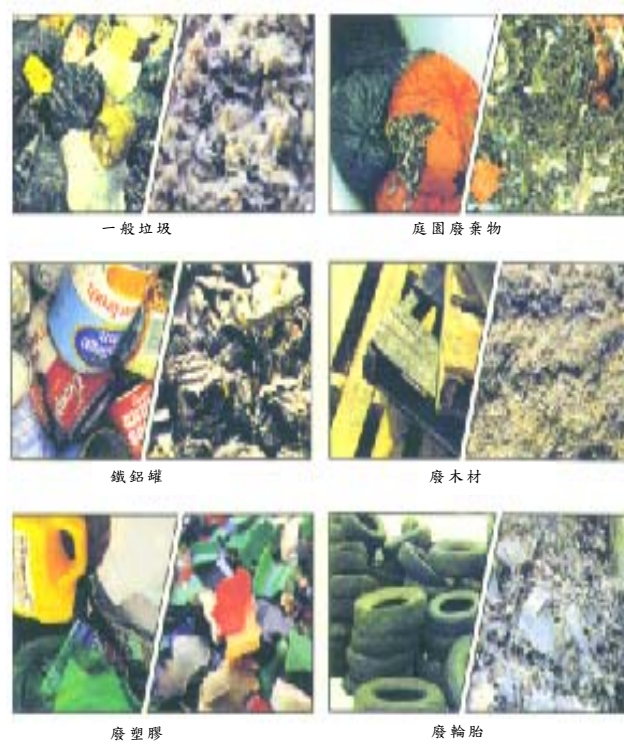


圖 11.1 對各種不同物件材質處理效果



2.對後續流程產生的處理效果及異常物的處理對策

- (1)有機質纖維外露加速後續水解作業，提昇生產線產能，降低廠房固定空間投資。
- (2)玻璃、瓦礫等高硬度易碎物，可由後續篩選清除。
- (3)紡織品具彈性不易粉碎、尺寸較大，可由後續篩選清除。
- (4)橡、塑膠類較不易破碎、顆粒較大，可與有機質分離，
- (5)鐵罐、鋁罐因富有延展性，比有機質顆粒大，易分離篩選。
- (6)木材類經破碎後顆粒度與蔬菜節桿相近，經水解反應後因顆粒較粗可篩除。
- (7)庭院垃圾大多為樹葉，屬有機質可水解，反應後未水解物可篩除。
- (8)紙類製品中有機質纖維可水解，石灰質可除去。
- (9)有效利用後續水解反應可將大部份未水解物篩除。

11.7 渦旋多葉片撞擊式破碎機經濟效益檢討

1.產生效益：

- (1)有效因應垃圾的多樣性。
- (2)以相當大的產能將垃圾碎化成可接受顆粒度範圍。
- (3)橡、塑膠，紡織物，金屬類，，玻璃類容易於下游篩選過程中清除。
- (4)有機質纖維外露，水解反應加速。
- (5)有機蔬果受撞擊水份溢出，降低高含水率，下游菌培、乾燥流程加速，全線生產效率提昇。

2.先進性與持久性

本機型為國內外因應垃圾多樣性，新近開發的先進型機種，其剪斷螺栓與皮帶輪的設計使該機型耐受大型異物意外介入產生的巨大衝擊，不至於機毀停線，剪斷的螺栓可由側門進入快速修復，確保生產線連續順暢運轉，降低全線停機損失。



參考資料

1. Technical information and patent rights relating to the “LW-421T Vortex Disintegrator” Light Work, Inc(LWI) cleveland, OHIO, USA.

廢棄物資源回收及處理設備－破碎

出版日期：中華民國八十八年六月初版

發行人：汪雅康

總編輯：鄭清宗

編撰企劃：翁志聖、潘建成、呂正期、洪玠育、
吳美惠，蔡永興，鄭宏德

執行編輯：林冠嘉、蘇雪華

發行所：經濟部工業局

台北市信義路三段 41-3 號

TEL: (02)2754-1255

TAX: (02)2704-3753

出版所：工業污染防治技術服務團

台北市忠孝東路四段 310 號 11 樓

TEL: (02)8773-7335

FAX: (02)8773-7276

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

郵政劃撥帳號：17668731 號

戶名：財團法人中技社

(請備註：綠色技術發展中心)

打字排版：工業污染防治技術服務團

印刷承製：大加廣告印刷有限公司

版權所有 翻印必究

售價：新台幣三百元整