

## 破碎技術與資源化評析

「破碎」係使用機械性外力（如擠壓、撕裂、剪切、拉伸等）將固體之塊狀組織碎成細粒，增加表面積之操作。而資源性物質再生處理，所強調者為分離工程，基本上為一種物理化學方法，方法之選擇端視回收之目的物質與其他雜質的混合程度，大抵上可用目的物質與雜質造成單離所需之粒度來判斷。單離粒度大者，如鋁、鐵罐，用手選即可造成分離，單離粒度在  $1\ \mu\text{m}$  以上者可藉由比重、磁性、導電性及表面性質差異等來將其作物理分離。然而目的物質若是和雜質形成複雜鹽類或合金，其所需單離粒度往往要降至分子大小，則需採用化學方法。一般若以物理方法所能分離回收者，則儘量為之。

因此，破碎是進行資源性物質資源再生分選工作之第一步，藉由破碎技術使欲回收物質達到某一程度的單離，並配合後續之分選技術及設備，提供分選之最佳粒度範圍。一般破碎機之破碎比在 3 - 10 之間(餵料粒度與產品粒度之比)，故對破碎比大之物質，需利用數段大小程度不同之破碎機分階段完成。各階段之破碎粒度範圍如表一所示。

表一、不同破碎階段之粒度範圍

破碎分類	粗碎 (一次破碎)	中碎 (二次破碎)	細碎 (三次破碎)	磨碎 (四次破碎)
餵料粒度 (mm)	500 - 1,500	150 - 400	50 - 100	10 - 30
產品粒度 (mm)	150 - 400	50 - 100	10 - 30	10 以下

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

### 一、顎型破碎機

顎形破碎機為最常見之粗破碎機，偏心輪所驅動之動顎(Movable Jaw)與固定顎(Fixed Jaw)構成 V 字型，由於動顎每分鐘 200 - 400 次之往復運動，將夾在其中之物

料咬碎，當顎口張開，被破碎之物料掉落至底下狹窄的空間，而當顎口再次關閉時，再一次的受到壓碎，最後由底部排出。正如動物用口咬碎東西一樣，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，故目前仍被廣泛使用。

## 二、偏心破碎機

偏心破碎機構造為圓形，以懸軸型最為普遍。主體是由兩個圓錐體(可動圓錐和固定圓錐)內外套組成，藉由可動圓錐之運動使進料物質被壓碎。粗碎、中碎、細碎的機型皆有，中碎與細碎機型又稱錐形破碎機。

## 三、轉輪破碎機

轉輪破碎機是將轉輪之重量施壓於物體上，當轉輪移動時，即產生輾壓作用，構造簡單，主要作用於中、細碎作業。

## 四、衝擊破碎機與旋錘破碎機

衝擊破碎機是應用衝擊力來破碎物料的設備。物料進入破碎機後，受到高速迴轉的擊錘衝擊，物料即沿著節理面或接界面破裂。被衝擊的物料獲得巨大的動量，並以高速拋向碎料板，經料板的反擊，再次被擊碎，從碎料板返回的物料又遭擊錘的重新接擊，進一步破碎。當物料在擊錘和碎料板之間往返時，除了擊錘和碎料板的衝擊外，物料間亦發生相互衝擊。上述過程不斷的進行，直到破碎後的物料小於擊錘及碎料板間的間隙時，才從破碎機下部排出。

## 五、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。此機為二軸剪斷式，其破碎室內有特殊設計的破碎刀刃，與墊圈交互安裝於兩平行轉軸上，二轉軸通過齒輪箱而由一台減速馬達來驅動。此二轉軸是以不同的迴轉由外向內轉動，將物料投入二軸之間，刀刃即能將之切斷、破碎。如鉤爪般的特殊刀刃，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。

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

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

## 七、球磨機與棒磨機

球磨機為最普遍使用之磨機，磨球之形狀，以圓球形最多，但亦有短柱形、餅形及錐形。球磨機之構造如為一滾筒，內裝磨球，磨球大小之選擇，須視物料之性質，物料顆粒之大小，及球磨機之直徑與轉速而定。大磨球之衝擊力強，破碎能力大，但磨球數少，亦即衝擊之次數少，總研磨面積亦小，故磨礦效率反而可能不佳。一般而言，物料硬度大，物料粒徑大者，因需較大之破碎力，故常用較大之磨球；此外球磨機之直徑及轉速，亦與球之破碎力量有關，球磨機直徑大者，打擊力亦大。球磨機以其臨界轉速之 75% 運轉時，可得最大之打擊力。

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

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

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棒磨機容積的 35% 40%，更可高達 45%；所使用之鋼棒長度與棒磨機內側直徑比例為 1.4 1.6。

## 八、振動磨機

振動磨機，由兩管狀磨筒組成，直徑從 200mm 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，它們的運動方向與磨筒的轉動方向相反，若磨筒做順時針方向轉動，則磨球做逆時針方向運動。除了這種運動之外，尚有自轉運動。送入振動磨機之物料在高頻衝擊和研磨作用下，被磨細而排出。

依據上述之破碎機械作用原理，如欲考量未來資源化課題，建議應從以下三個層面來評估：

### 一、破碎物料之物理構造

依物料內部三度空間之排列，視內部質點間之結合情形，而顯現其強度特性。欲使其破裂，就需要施加超過該物料應變(strain)強度之應力(stress)，由其含有之結合力缺陷處產生裂紋，而形成碎裂。因此若物料為韌性物質則須利用壓縮與剪切力量，若物料為脆性物質則須利用壓縮與衝擊力量，常見之破碎裝置與適用之待處理資源物質如表二所示。

### 二、產物粒度

依產物粒度之大小需求，選用適當的破碎機具組合，考慮破碎機械之效率及動力的節省，常須經幾段之破碎操作稱為分段破碎，也就是粗粒選用以壓力或衝擊力為主之粗碎或中碎機，打碎成細粒後再選用以摩擦力為主之磨機，因此破碎之操作應包括破碎與研磨兩大部份。

### 三、後續分選方式

破碎可採用乾式或濕式進行，乾式破碎適用於被破碎物本身是乾燥，而後續分選方式為乾式時，則破碎產物也要乾燥的，抑或產物為不可潮濕的，例如作為水泥、燃料等利用時，亦須以乾式破碎進行。假如原物料含水份少，粗碎也都採用乾式，缺點為產生灰塵，細碎效率下降。而濕式破碎適於原來就含有水份之原物料，所得含水之破碎產物又適於濕式分選操作，分級簡單、破碎能力高，可用管路輸送，適合細碎或研磨步驟使用。

表二、破碎機的種類與適用之資源物質

破碎機的種類	主要破碎機構	用途	適用之資源物質	產物粒度(mm)
複合切斷式破碎機	壓縮與剪切	粗碎	廢汽車、巨大生活廢棄物、輪胎	500 100
顎型破碎機	壓縮		混凝土塊、爐渣	500 15
偏心破碎機			混凝土塊、爐渣	200 50
錐型破碎機		中碎	混凝土塊、爐渣	100 10
轉輪破碎機			混凝土塊、爐渣、玻璃、陶瓷	20 10
剪斷破碎機		衝擊與剪切	塑膠、橡膠、海綿、輪胎、廢家電、乾電池	50 10
衝擊破碎機	衝擊	爐渣、玻璃、陶瓷	< 30	
旋錘破碎機		印刷電路板、廢汽車、廢金屬	< 50	
單軸回轉式破碎機	衝擊與剪切		印刷電路板、廢汽車、廢電線、塑膠	< 50
球磨機	衝擊與摩擦	細碎	爐渣、玻璃、陶瓷、廢 IC、電容器	< 1
棒磨機			爐渣、玻璃、陶瓷	< 1
振動球磨機			爐渣、玻璃、陶瓷、廢 IC、電容器	< 1
振動棒磨機			爐渣、玻璃、陶瓷	< 1
轉輪磨機			摩擦	印刷電路板、廢 IC、電容器
衝擊磨機	衝擊與摩擦	超微粉碎	廢 IC、電容器	< 0.01

< 參考文獻 >

1. Errol G. Kelly and David J. Spottiswood, "Introduction to Mineral Processing", p.235, John Wiley & Sons Inc., New York, N.Y.(1982)
2. "廢棄物資源回收與處理設備技術手冊及案例彙編-分選技術與設備篇", 經濟部工業局, 中華民國九十二年。
3. 蔡敏行、施勵行、雷大同、黃紀嚴, "砂石替代物利用研究", 經濟部礦業司專案委託計畫, 中華民國八十八年七月。
4. 蔡敏行, "選場設計", 國立成功大學資源工程系授課講義, 中華民國八十八年。◆

【親民技術學院助理教授兼台灣資源再生協會秘書長 蔡尚林】