

廢棄物理化生物處理技術

目錄

壹、前言	1
貳、廢棄物理化生物處理相關法規	2
一、一般事業廢棄物相關規定	2
二、有害事業廢棄物相關規定	4
參、一般事業廢棄物理化生物處理技術	6
一、基本原則	6
二、物理處理技術	10
三、生物處理技術	25
肆、結語	39
參考資料	40

廢棄物理化生物處理技術

表目錄

表 3.1、適用於各式破碎設備之廢棄物種類.....	10
表 3.2、乾式破碎機之性能	15
表 3.3、固體廢棄物壓縮機之設計因素.....	18
表 3.4、堆肥處理基本條件	29
表 3.5、堆肥方法	31
表 3.6、堆肥腐熟度一般檢驗項目	36

廢棄物理化生物處理技術

圖目錄

圖 3.1、一般事業廢棄物處理流程.....	8
圖 3.2、廢棄物前處理技術.....	9
圖 3.3、粉碎式破碎機.....	11
圖 3.4、搥碎式破碎機.....	11
圖 3.5、回轉衝擊式破碎機.....	12
圖 3.6、磨碎式破碎機.....	12
圖 3.7、剪斷式破碎機.....	13
圖 3.8、廢棄物低溫破碎機作業流程示意圖.....	14
圖 3.9、廢棄物溼式破碎機作業流程示意圖.....	16
圖 3.10、廢棄物半溼式破碎機示意圖.....	17
圖 3.11、高密度壓縮鐵線捆紮處理機示意圖.....	17
圖 3.12、三種型式之風力分選機示意圖.....	19
圖 3.13、廢棄物磁選機型式.....	21
圖 3.14、廢棄物重力（彈力）分選機.....	23
圖 3.15、廢棄物靜電分選機型式.....	24
圖 3.16、堆肥處理流程圖	27
圖 3.17、堆肥處理流程示意圖	28
圖 3.18、微生物攝氧率與堆肥含水率之關係.....	30
圖 3.19、旋轉式發酵設備及處理流程圖	33
圖 3.20、犁翻式堆肥處理流程圖	34
圖 3.21、豎立多層式堆肥處理流程圖	35
圖 3.22、微生物厭氧發酵.....	37

壹、前言

本文內容主要針對一般事業廢棄物之物理、化學與生物處理技術。一般事業廢棄物之物理處理包括破碎處理、壓縮處理、分選處理與乾燥脫水等技術。為使廢棄物較易於處理或減容，破碎處理技術可使個別廢棄物成分之尺寸變小且大小相近。壓縮處理依移動方式可分為移動式及固定式壓縮設備，以壓縮壓力方式分類則有高壓與低壓壓縮設備。廢棄物分選技術係以回收資源及分離出不適於進一步處理（例如焚化或堆肥）的分選方法。一般廢棄物須經過脫水處理者主要是指污泥類，污泥脫水方式包括污泥濃縮、機械壓縮及乾燥法等，其中污泥濃縮技術包括重力濃縮、離心式濃縮及浮除濃縮法。固體廢棄物之化學處理技術主要是焚化法與熱分解技術，由其他專冊介紹。而液體廢棄物化學處理之目的主要是穩定化或去除其毒性，一般無害性的廢棄物通常不必經過此化學處理程序。

本文內容可提供研習者學習一般事業廢棄物中間處理之技術知識及處理概念，若能再研習廢棄物其他相關教材，包括前處理、熱處理與最終處置技術等，可對一般事業廢棄物之處理有更完整的概念。

貳、廢棄物理化生物處理相關法規

一、一般事業廢棄物相關規定

(一) 一般廢棄物回收清除處理辦法

條號	條文內容
第 2 條	<p>本辦法專用名詞定義如下：</p> <p>十三、處理：指下列行為：</p> <p>(一) 中間處理：指一般廢棄物在最終處置或再利用前，以物理、化學、生物、熱處理、堆肥或其他處理方法，變更其物理、化學、生物特性或成分，達成分離、中和、減量、減積、去毒、無害化或安定之行為。</p> <p>(二) 最終處置：指將一般廢棄物以安定掩埋、衛生掩埋、封閉掩埋或海洋棄置之行為。</p> <p>(三) 再利用：指將一般廢棄物作為原料、材料、燃料、填土或其他經中央主管機關會商中央目的事業主管機關認定之用途行為。</p> <p>(四) 能源回收：指一般廢棄物具有生質能、直接利用或經理產生能源特性，供進行再生能源利用之行為。</p>
第 19 條	<p>一般廢棄物之處理設施，應符合下列規定：</p> <p>一、具堅固之基礎結構。</p> <p>二、設施與廢棄物接觸之表面採抗蝕材料構築。</p> <p>三、周圍具防止地表水流入之設備。</p> <p>四、具污染防治設備及防蝕措施。</p> <p>五、其他經主管機關規定者。</p>
第 20 條	<p>一般廢棄物採破碎、分選及壓縮處理者，其設施除應符合前條規定外，並應符合下列規定：</p> <p>一、具備防止及警示火災、爆炸之功能。</p> <p>二、具備防止噪音、臭味及污水處理之設備或措施。</p> <p>三、其他經主管機關規定者。</p>
第 26 條	<p>一般廢棄物採堆肥處理者，各項設施除應符合第 19 條規定，並應符合下列規定：</p> <p>一、具防止地表水流入發酵及腐熟之設備或措施。</p> <p>二、施用農地之堆肥，除高速堆肥外，發酵過程中，發酵堆中心溫度應維持在攝氏 45 度至 70 度間及最少 7 天維持攝氏 50 度以上，並符合肥料管理法之規定。</p> <p>三、堆肥供作土壤改良或園藝植物栽培使用時，應防止造成土壤或地下水之污染，並得不受前款規定之限制。</p>

(二) 事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準

條號	條文內容
第 2 條	<p>本標準專用名詞定義如下：</p> <p>三、處理：指下列行為：</p> <ul style="list-style-type: none"> (一) 中間處理：指事業廢棄物在最終處置或再利用前，以物理、化學、生物、熱處理或其他處理方法，改變其物理、化學、生物特性或成分，達成分離、減積、去毒、固化或穩定之行為。 (二) 最終處置：指將一般廢棄物以安定掩埋、衛生掩埋、封閉掩埋或海洋棄置之行為。 (三) 再利用：指事業產生之事業廢棄物自行、販賣、轉讓或委託作為原料、材料、燃料、填土或其他經中央目的事業主管機關認定之用途行為，並應符合其規定者。 <p>十、化學處理法：指利用化學方式處理事業廢棄物者，包括中和法、氧化還原法、萃取法、化學調理法、離子交換法、化學冶煉法、電解法及氣提法等各式處理方法。</p> <p>十二、物理處理法：指利用物理方式處理事業廢棄物者，包括蒸發、蒸餾、薄膜分離、油水分離、固液分離、破碎、粉碎、拆解、剝離、分選或壓縮等各式處理方法。</p>
第 19 條	<p>下列一般事業廢棄物除再利用或中央主管機關另有規定外，應先經中間處理，其處理方法如下：</p> <p>二、廢變壓器其變壓器油含多氯聯苯重量含量在百萬分之二以上未達百萬分之五十者：</p> <ul style="list-style-type: none"> (一) 廢變壓器應先固液分離，其金屬殼體以回收或物理處理法處理。 (二) 變壓器油或液體，應以熱處理法處理。 (三) 其他非金屬之固體廢棄物，不可燃物以衛生掩埋法最終處置，可燃物以熱處理法處理。
第 23 條	<p>事業廢棄物之中間處理設施，除中央主管機關另有規定外，應符合下列規定：</p> <p>一、應有堅固之基礎結構。</p> <p>二、設施與廢棄物接觸之表面，採抗蝕及不透水材料構築。</p> <p>三、設施周圍應有防止地水面、雨水及地下水流入、滲透之設施或措施。</p> <p>四、應具有防止廢棄物飛散、流出、惡臭擴散及影響四周環境品質之必要措施。</p> <p>五、應有污染防治設備及防蝕措施。</p>

二、有害事業廢棄物相關規定

(一) 事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準

條號	條文內容
第 2 條	<p>本標準專用名詞定義如下：</p> <p>三、處理：指下列行為：</p> <p>(一) 中間處理：指事業廢棄物在最終處置或再利用前，以物理、化學、生物、熱處理或其他處理方法，改變其物理、化學、生物特性或成分，達成分離、減積、去毒、固化或穩定之行為。</p> <p>(二) 最終處置：指將一般廢棄物以安定掩埋、衛生掩埋、封閉掩埋或海洋棄置之行為。</p> <p>(三) 再利用：指事業產生之事業廢棄物自行、販賣、轉讓或委託作為原料、材料、燃料、填土或其他經中央目的事業主管機關認定之用途行為，並應符合其規定者。</p> <p>六、固化法：指利用固化劑與事業廢棄物混合固化之處理方法。</p> <p>七、穩定法：指利用化學劑與事業廢棄物混合或反應使事業廢棄物穩定化之處理方法。</p> <p>九、氧化分解法：指利用化學氧化、電解氧化或溼式氧化方式，將事業廢棄物中特定污染物分解之處理方法。</p> <p>十、化學處理法：指利用化學方式處理事業廢棄物者，包括中和法、氧化還原法、萃取法、化學調理法、離子交換法、化學冶煉法、電解法及氣提法等各式處理方法。</p> <p>十一、洗淨處理法：指事業廢棄物貯存容器經水洗或溶劑清洗後，該貯存容器所含有害成分特性消失之處理方法。</p> <p>十二、物理處理法：指利用物理方式處理事業廢棄物者，包括蒸發、蒸餾、薄膜分離、油水分離、固液分離、破碎、粉碎、拆解、剝離、分選或壓縮等各式處理方法。</p> <p>十三、滅菌法：指在一定時間內，以物理（含微波處理）或化學原理將事業廢棄物中微生物消滅之處理方法，其指標微生物削減率 (Reduction Rate) 至少須達百分之 99.999 者；其採高溫高壓蒸氣滅菌者，以嗜熱桿菌芽孢測試；採其他滅菌法者，以枯草桿菌芽孢測試。</p>
第 20 條	<p>下列有害事業廢棄物除再利用或中央主管機關另有規定外，應先經中間處理，其處理方法如下：</p> <p>一、含氰化物：以氧化分解法或熱處理法處理。</p> <p>二、有害性廢油、有害性有機污泥或有害性有機殘渣：以油水分離、蒸餾法或熱處理法處理。</p> <p>三、廢溶劑：以萃取法、蒸餾法或熱處理法處理。</p> <p>四、含農藥或多氯聯苯廢棄物：以熱處理法處理。</p> <p>五、含鹵化有機物之廢毒性化學物質：以熱處理法或化學處理法處理。</p> <p>六、反應性有害事業廢棄物：以氧化分解法或熱處理法處理。</p> <p>七、廢酸或廢鹼：以蒸發法、蒸餾法、薄膜分離法或中和法處理。</p>

條號	條文內容
	<p>八、含汞及其化合物：乾基每公斤濃度達 260 毫克以上者，應回收元素汞，其殘渣之毒性特性溶出程序試驗結果汞溶出量應低於 0.2 毫克/公升；乾基每公斤濃度低於 260 毫克，以其他方式中間處理者，其殘渣之毒性特性溶出程序試驗結果應低於 0.025 毫克/公升。</p> <p>九、含有毒重金屬廢棄物：以固化法、穩定法、電解法、薄膜分離法、蒸發法、熔融法、化學處理法或熔煉法處理。廢棄物中可燃分或揮發性固體所含重量百分比達百分之三十以上者，得採熱處理法處理。</p> <p>十、鋼鐵業集塵灰：以資源回收、固化法或穩定法處理。</p> <p>十一、戴奧辛廢棄物：以熱處理法處理。</p> <p>十二、含有毒重金屬之廢毒性化學物質：以化學處理法、固化法或穩定法處理。</p> <p>十三、其他非屬含鹵化有機物或含有毒重金屬之廢毒性化學物質：以熱處理法、化學處理法、固化法或穩定法處理。</p> <p>十四、貯存毒性化學物質或其他有害事業廢棄物之容器：採化學處理法、熱處理法或洗淨處理法處理；採水洗淨處理者，須有妥善廢水處理設施。</p> <p>十五、屬有害事業廢棄物之石綿及其製品：經潤溼處理，再以厚度萬分之六十公分以上之塑膠袋雙層盛裝，開口綁緊後袋口反折再綑綁一次後，置於堅固之容器中，或採具有防止飛散措施之固化法處理。</p> <p>十六、其他經中央主管機關公告之處理方法。</p>
第 21 條	<p>生物醫療廢棄物除中央主管機關另有規定外，應先經中間處理，其處理方法如下：</p> <p>一、基因毒性廢棄物：以熱處理法或化學處理法處理。</p> <p>二、廢尖銳器具：以熱處理法處理或滅菌後粉碎處理。</p> <p>三、感染性廢棄物：以熱處理法處理。但廢棄之微生物培養物、菌株及相關生物製品、手術或驗屍廢棄物、實驗室廢棄物、透析廢棄物、受血液及體液污染廢棄物，得經滅菌後破壞原型處理；未破壞原形者，應於包裝容器明顯處標示產出事業名稱、滅菌方式、滅菌操作人員或事業名稱、滅菌日期及滅菌效能測試結果。</p> <p>滅菌法之處理標準、操作規定及滅菌效能測試之標準程序，依中央主管機關之規定辦理。</p>
第 23 條	<p>事業廢棄物之中間處理設施，除中央主管機關另有規定外，應符合下列規定：</p> <p>一、應有堅固之基礎結構。</p> <p>二、設施與廢棄物接觸之表面，採抗蝕及不透水材料構築。</p> <p>三、設施周圍應有防止地水面、雨水及地下水流入、滲透之設施或措施。</p> <p>四、應具有防止廢棄物飛散、流出、惡臭擴散及影響四周環境品質之必要措施。</p> <p>五、應有污染防治設備及防蝕措施。</p>

參、一般事業廢棄物理化生物處理技術

一、基本原則

本章所敘述的廢棄物包含一般廢棄物與一般事業廢棄物兩大類，其中一般廢棄物主要是都市固體廢棄物，包括生活垃圾及維持環境清潔所產生的廢棄物，如落葉、樹枝、溝渠淤泥類等；一般事業廢棄物由事業所產生有害事業廢棄物以外之廢棄物，大致可分成：環保機關公告回收之廢棄物，如鐵鋁空罐、廢紙類、玻璃類、廢電池、日光燈管、廢棄小家電等，及製程廢棄物（無害類），如廢電子零組件、廢料等。處理一般事業廢棄物的處理技術可分為物理、化學與生物處理等方法，廢棄物處理的最終目的是達到廢棄物之「無害化」、「安定化」、「減量化」與「資源化」。分述如下：

（一）無害化

無害化是指將廢棄物中之有害與有毒成分予以去除，或將其濃度和數量降低至不致影響人類健康之程度，例如高溫滅菌。

（二）安定化

安定化則指應用適當處理技術，促使廢棄物於最終處置或再利用時，不會再與周遭環境發生有害人體或環境，或影響再利用之化學變化，例如利用堆肥法處理後之殘餘物，已腐熟安定而不再發酵分解。

（三）減量化

廢棄物減量包括減少體積或質量，例如將固體廢棄物予以壓縮。

（四）資源化

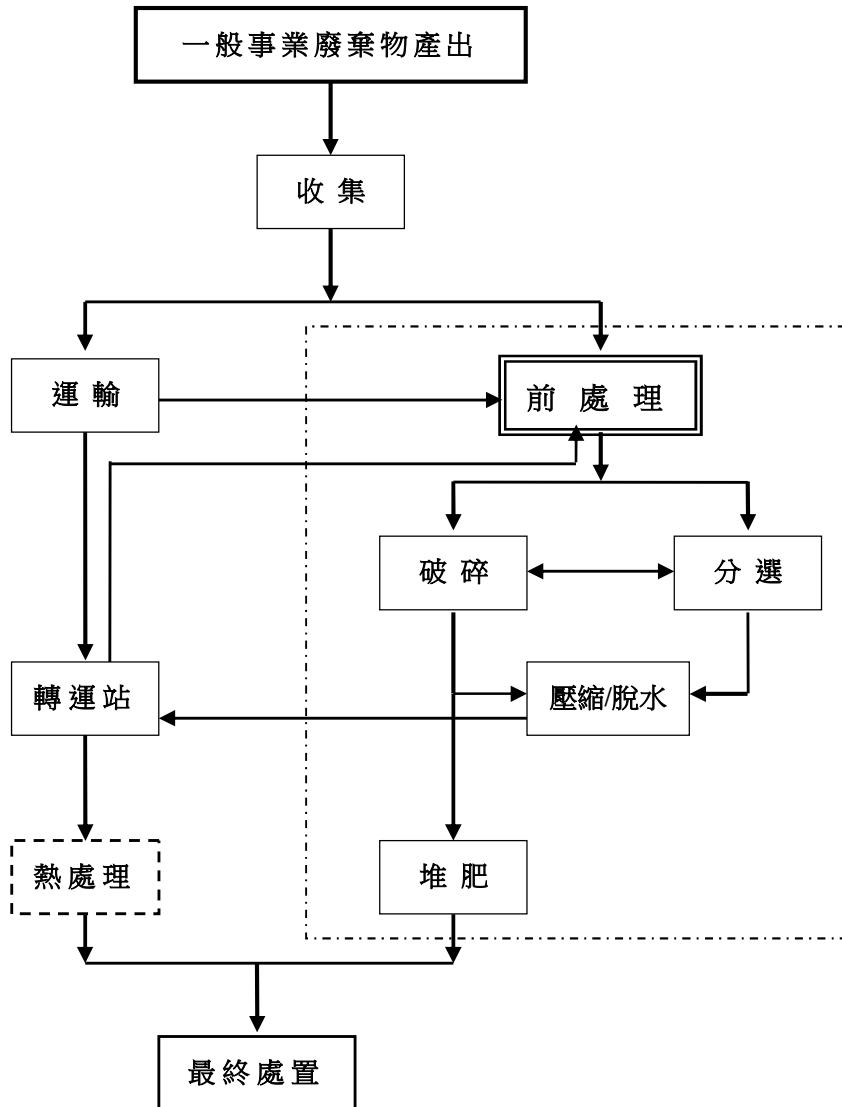
資源化為將可再利用之物質加以回收再用，例如物理篩選法可將廢棄物中之廢金屬和玻璃回收。

本章所述之一般事業廢棄物屬於已剔除有害成分的無害性廢棄物(Non-Hazardous Wastes)，因此，所涉及之處理技術係指廢棄物最終處置程序之前，將廢棄物予以無害化、安定化、減量化等以利於或最終處置之前處理及中間處理技術，包括廢棄物之破碎、分選、壓縮或加熱脫水等前處

理之「物理處理技術」，及屬於「生物化學處理技術」之堆肥法。至於固態廢棄物之「化學處理技術」，主要是焚化法與熱分解，仍屬於中間處理，但另闢其他專冊介紹。

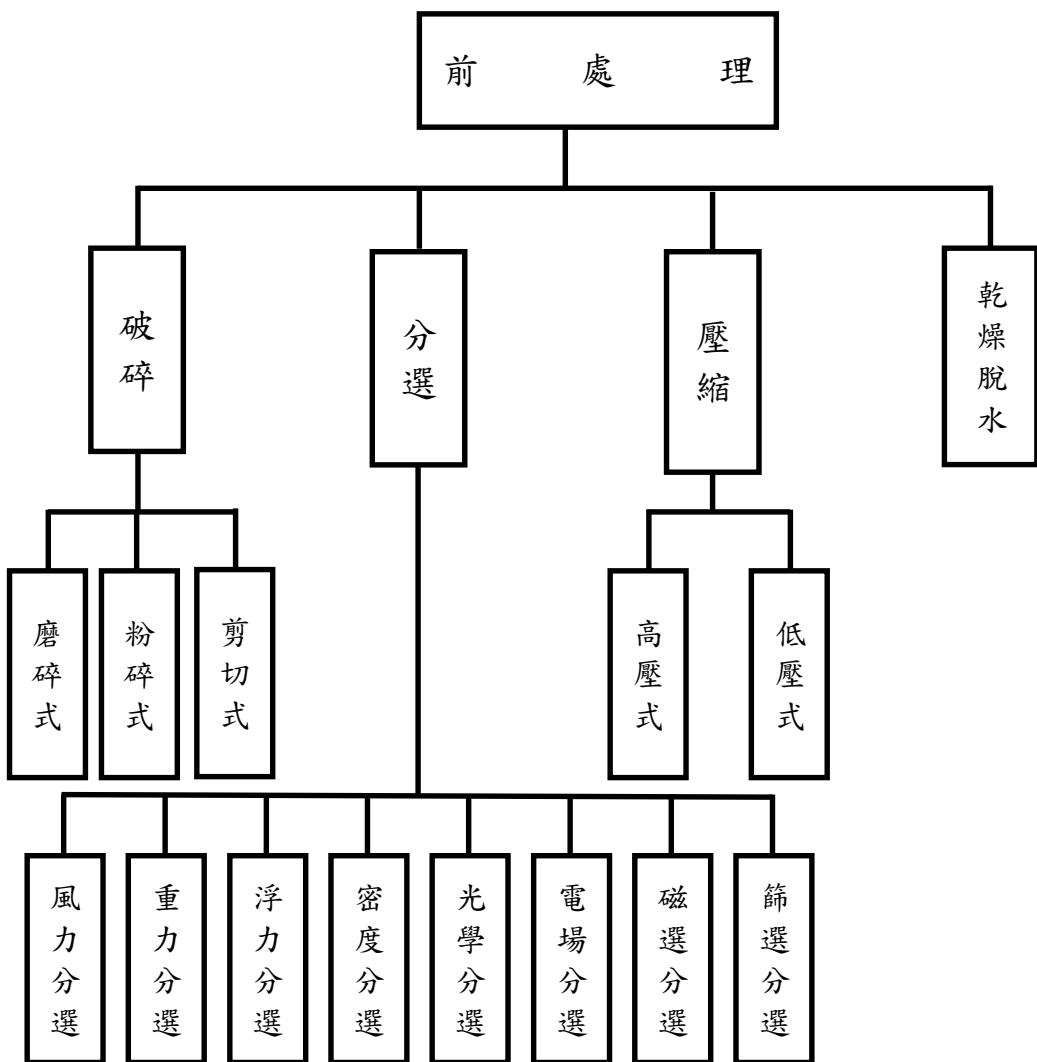
一般事業廢棄物產出後之處理流程如圖 3.1 所示。首先自產源收集廢棄物，然後視當地情況，有直接運往廢棄物處理廠（場）進行處理，或運往最終處置場掩埋；或先運往轉運站（Transfer Station）儲存以集中清運（Transport）至處理廠（場）。另一方面，廢棄物亦可先運往前處理的場所，將資源物質，金屬類、紙類及其他有價值之成分分選出來，並進行廢棄物之破碎（Shredding）、壓縮（Compaction）及捆縛（Baling）程序，再運往轉運站，此項分選/壓縮處理設備亦可直接設置於轉運站內。一般廢棄物經過上述處理程序後，即可送至資源回收場（如回收金屬物、紙類等）、廢棄物熱處理廠（如焚化廠）或堆肥場進行進一步之處理，有些經過分選或破碎後的無機性且已無再利用價值之一般事業廢棄物亦可直接送進掩埋場掩埋處置。

將一般事業廢棄物加以分選、破碎、壓縮、乾燥脫水等過程稱之為前處理程序，如圖 3.2 所示，即將該類廢棄物運往焚化、堆肥、再利用及掩埋前之前置處理程序，以達到增進廢棄物營運處理效率及回收可用資源物質的目的。一般事業廢棄物之分選程序為將廢棄物中可回收，或不適於焚化或堆肥處理之成分分離挑選出來（Component Separation）；分選方法有人工分選（Hand Sorting）及機械分選（Mechanical Sorting），對於較大型廢棄物，大多仍須配合人工分選方式；常用之機械分選有風選（Air Separation）、磁選（Magnetic Separation）及篩選（Screening Separation）等，將於下節分別說明之。



資料來源：廢棄物清理專業技術人員訓練教材，中華民國 101 年

圖 3.1、一般事業廢棄物處理流程



資料來源：廢棄物清理專業技術人員訓練教材，中華民國 101 年

圖 3.2、廢棄物前處理技術

為使廢棄物較易於壓縮減容或較易於處理，採用機械破碎是一種甚為有效的方法，機械破碎主要是使廢棄物之尺寸變小且大小尺寸相近。廢棄物破碎方法很多，包括粉碎 (Pulverization)、磨碎 (Grinding)、剪切 (Tearing and Cutting)、壓碎 (Crushing) 等方法，選用時須依擬破碎廢棄物性質而定，如廢棄物之尺寸、形狀、含水量、比重及破碎後之用途等。表 3.1 為列舉適用於各式破碎設備之廢棄物種類。

表 3.1、適用於各式破碎設備之廢棄物種類

破碎機種類	破碎方式	適用廢棄物
研磨機 (Grinder)	研磨	廚餘固體物、易脆易碎廢棄物
切片機 (Chipper)	切開、割斷	紙類、樹枝、落葉、木材、塑膠
壓碎機 (Jaw Crusher)	碾碎、破碎	大型固體廢棄物
破碎機 (Shredder)、切斷機 (Cutter, Clipper)	撕裂、剪碎	各式都市廢棄物
銼輾機 (Rasp Mill)	撕裂、剪碎	潮溼廢棄物

資料來源：廢棄物清理專業技術人員訓練教材，中華民國 101 年

廢棄物之壓縮原理為減少廢棄物間的空隙，將空氣及水分壓出。一般事業固體廢棄物進行壓縮處理的主要目的是減少容積以利儲存及運送，其次是為去除水分可減輕重量，經過壓縮的廢棄物比重將增加，體積將減少。以壓力分類，壓縮機可分為高壓與低壓壓縮機兩種。壓力每平方英吋超過 100 英磅 (100 lb/in^2)，即每平方公分超過約 7 公斤 (7 kg/cm^2) 為高壓力壓縮機；低於前述壓力之壓縮機為低壓力壓縮機。

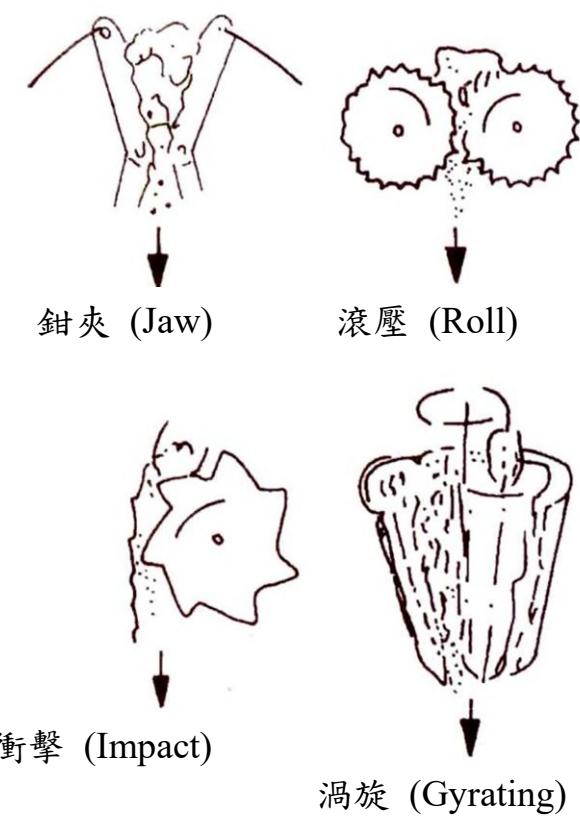
一般事業廢棄物須經過脫水處理者主要是污泥類，污泥的脫水方法包括污泥濃縮、機械壓縮脫水及加熱乾燥法等。污泥濃縮技術是去除污泥顆粒間之水分，污泥濃縮技術包括重力濃縮、離心濃縮及浮除濃縮法。有些污泥濃縮前須先經調理程序以改善污泥之脫水性，較常採用之污泥調理方法為添加調理劑，增加污泥顆粒之凝聚力。

二、物理處理技術

(一) 破碎處理

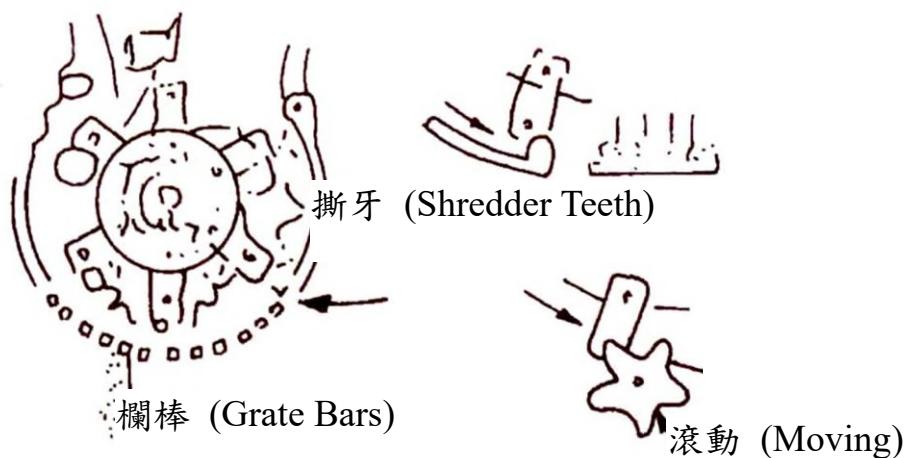
破碎處理法即是使用機械破碎機，將固體廢棄物粉碎 (Pulverization)、磨碎 (Grinding)、剪切 (Tearing and Cutting) 或壓碎 (Crushing) 等，使其成為小塊且尺寸大小大致均勻的固體物，以利運輸、貯存、回收資源、焚化、熱分解、堆肥或掩埋等後續處理。依廢棄物的破碎方式，常用設備如下：

1. 粉碎 (Pulverizing, Crushing)，如圖 3.3、3.4、3.5 所示。



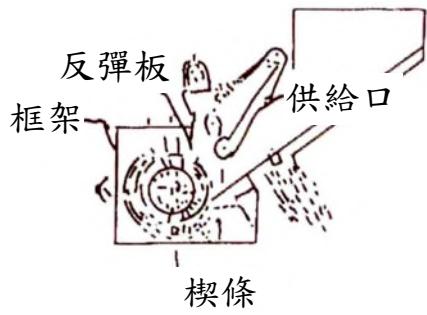
資料來源：廢棄物清理專業技術人員訓練教材，中華民國 101 年

圖 3.3、粉碎式破碎機

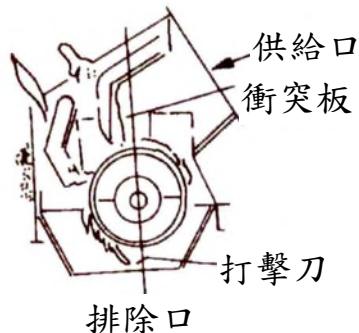


資料來源：廢棄物清理專業技術人員訓練教材，中華民國 101 年

圖 3.4、搗碎式破碎機



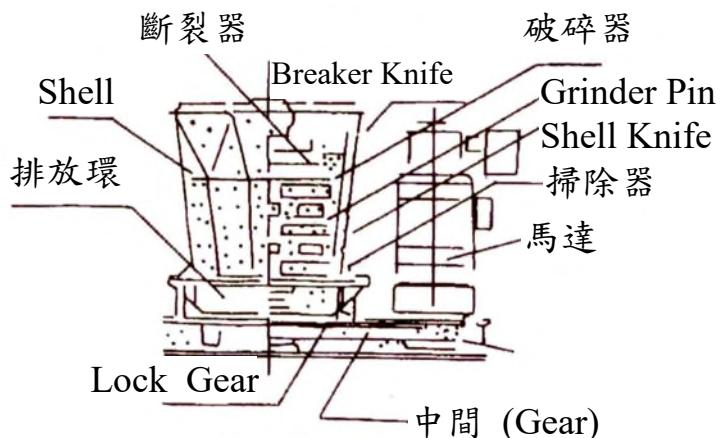
(a) Hammernill 形破碎機



(b) 橫型破碎機



(c) 豎型破碎機

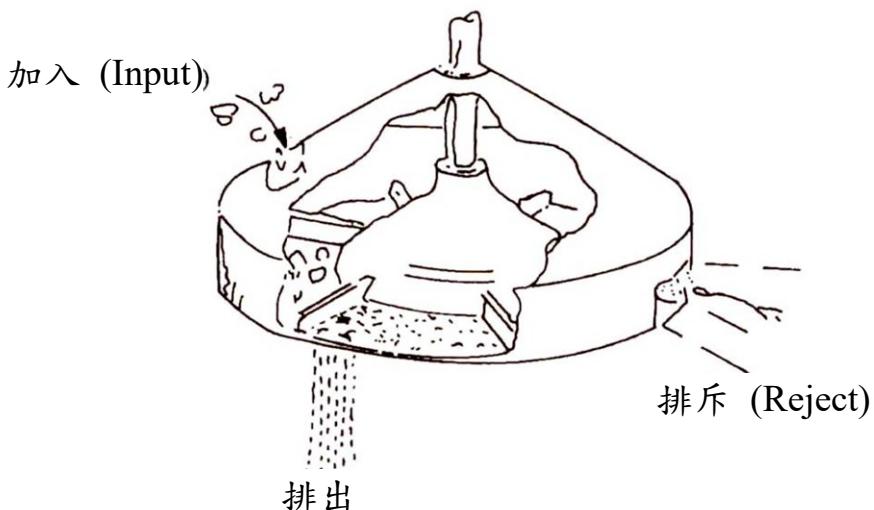


(d) 豎型破碎機

資料來源：廢棄物清理專業技術人員訓練教材，中華民國 101 年

圖 3.5、回轉衝擊式破碎機

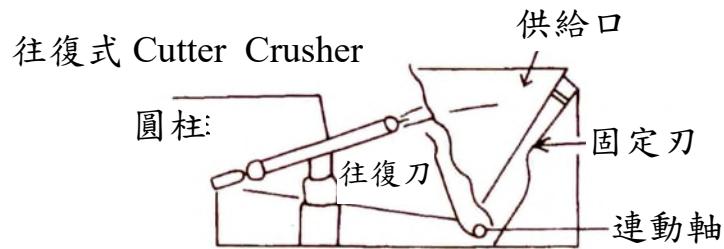
2. 磨碎 (Grinding)，如圖 3.6 所示。



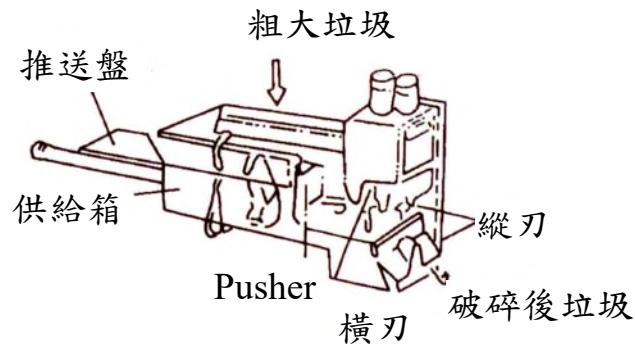
資料來源：廢棄物清理專業技術人員訓練教材，中華民國 101 年

圖 3.6、磨碎式破碎機

3. 剪切斷 (Tearing and Cutting)，如圖 3.7 所示。



(a) 往復剪斷式



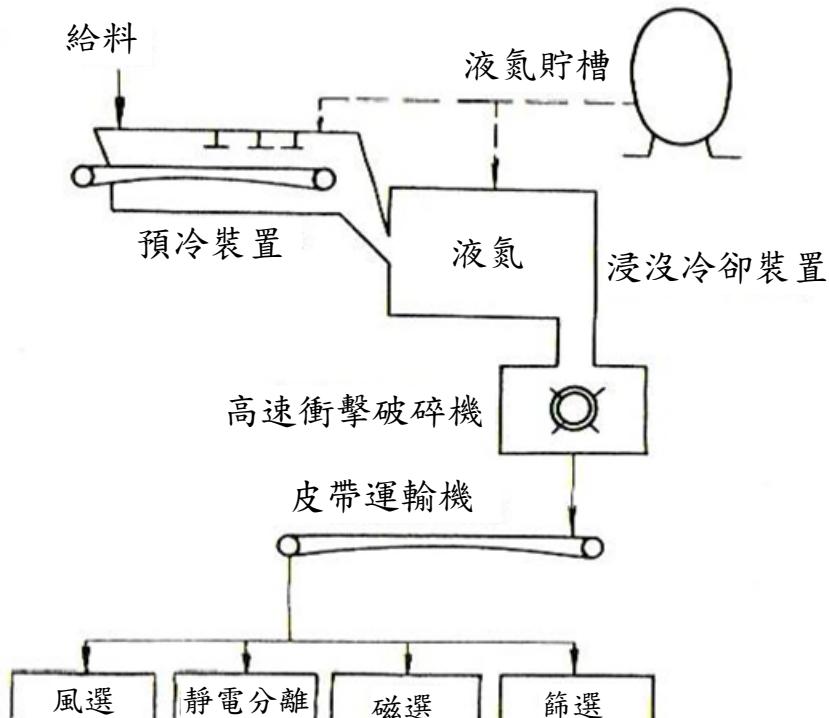
(b) 壓縮剪斷式

資料來源：廢棄物清理專業技術人員訓練教材，中華民國 101 年

圖 3.7、剪斷式破碎機

固體廢棄物破碎的方法依有無水分之存在可分為乾式、溼式、半溼式：

1. 乾式破碎—可分為超低溫及常溫破碎兩種方式。超低溫破碎（冷凍破碎）是利用液態氮將溫度降至廢棄物的脆化點（液態氮低溫可達大約零下 200°C），利用物質在該低溫時變脆的性質來破碎。圖 3.8 為低溫破碎作業流程示意圖，例如破碎塑膠廢棄物時，廢棄物先進入預冷裝置槽內，經輸送帶送進液態氮冷卻槽，此時槽內注入液態氮將溫度降至塑膠脆化點（聚氯乙烯為 -5 至 -20°C）以下，此時即利用衝擊破碎機將塑膠廢棄物破碎。低溫時，破碎廢棄物較常溫所需動力為小。



資料來源：芊振明等，廢棄物處理技術

圖 3.8、廢棄物低溫破碎機作業流程示意圖

常用之乾式破碎機具為：

- (1) 迴轉衝擊式：橫型之旋轉軸設計為水平型，豎型之旋轉軸則為垂直型；迴轉衝擊式破碎機主要用於破碎廢棄之汽車、電冰箱等類之大型廢棄物及塑膠製品。
- (2) 剪斷式破碎：有往復剪斷及複合剪斷方式；最常用的大型實用破碎機為回轉衝擊式破碎機（最大處理量可達 60 ton/hr），剪斷式多應用在小規模處理容量者（13 ton/hr 以下）。用於剪切廢棄之布料、塑膠、建築廢材、可燃性傢俱等。

乾式破碎機之性能如表 3.2 所示。

表 3.2、乾式破碎機之性能

迴轉衝擊式	剪斷式
以動力旋轉之鎚頭來打碎廢棄物之方法 橫型—水平旋轉軸 豎型—垂直旋轉軸	與剪刀剪東西的原理相同 1. 往復剪斷式，有下列兩種： (1) 在固定刀和活動往復刀之間放入廢棄物，由往復刀之活動將廢棄物壓縮剪斷。 (2) 在破碎機床上，定量輸送垃圾，從上面用切刀 (Cutter) 將廢棄物切斷。 2. 複合剪斷式，係併用上列兩種往復剪斷式，先用第(1)種進行一次破碎，再用第(2)種二次破碎。
優點： (1) 可連續進行破碎。 (2) 適合大量處理。 (3) 破碎粒較細、均勻。 (4) 回收鐵、鋁、選別時，不純物之混入量較少。 缺點： (1) 易發生振動、噪音、粉塵。 (2) 爆炸性危險物混入時，有發生爆炸之可能。	優點：振動、噪音、粉塵發生少。 缺點： (1) 屬往複式機構，斷續操作。 (2) 不適合大量處理。 (3) 處理後之粒徑大又不均勻。 (4) 較適合可燃性傢俱、建築廢材等之剪斷破碎，因此可應用於粗破碎程度之機械焚化爐之前處理。

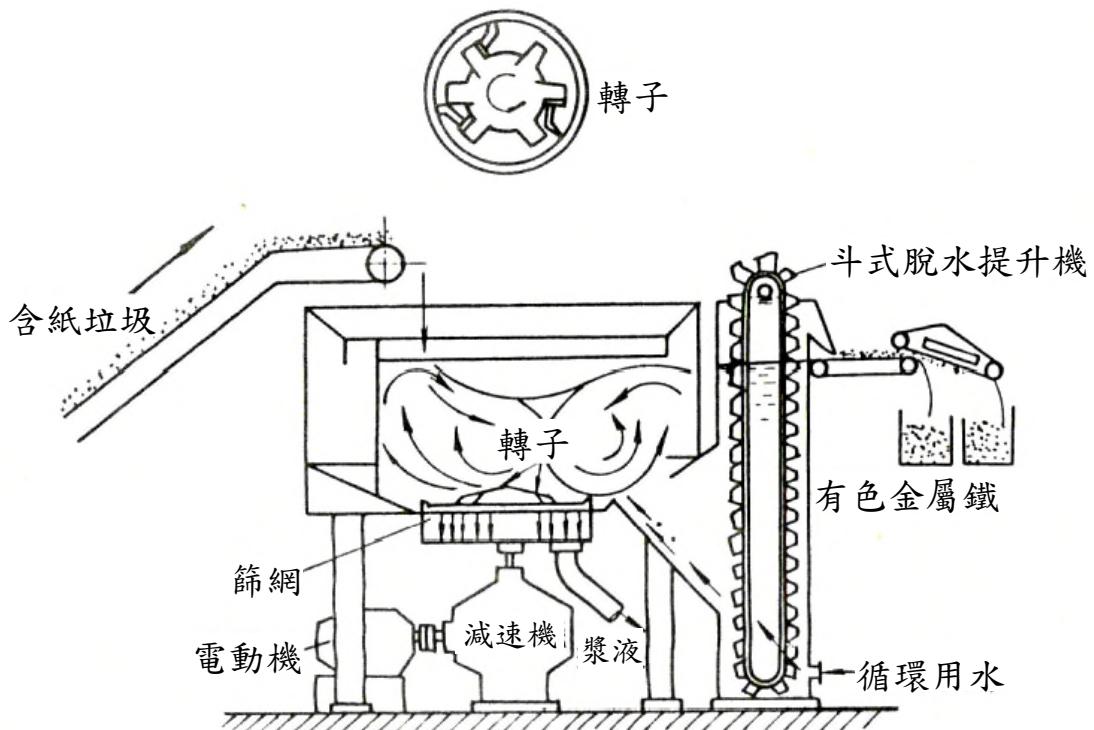
資料來源：廢棄物清理專業技術人員訓練教材，中華民國 101 年

2. 溼式破碎一是將廢棄物投入破碎機內之水槽中與水一起激烈攪拌，在水中磨碎廢棄物之方式。例如圖 3.9 之溼式破碎機，其水槽底部裝設有多孔篩，篩上裝置迴轉式切割器，將投入的廢棄物與水攪拌時迴轉破碎成漿液，漿液流過底部篩網進行固液分離。

選擇廢棄物破碎機具時，須考慮下列因素：

- (1) 廢棄物之性質與破碎後之特性要求。
- (2) 破碎後尺寸大小之要求。
- (3) 操作方式（連續或間歇）。
- (4) 操作特性包括動力數、日常及特殊保養的需要、操作難易、操作業績與可信度，及噪音、空氣污染、水污染等防治的需要性等。
- (5) 撕碎器供應、罩蓋容積及吊車空間需要等。

- (6) 空間位置考慮如面積、高度、走道、噪音及環境因素限制等。
- (7) 破碎後廢棄物之貯存及其接續處理功能之要求貯存量。



資料來源：芊振明等，廢棄物處理技術

圖 3.9、廢棄物溼式破碎機作業流程示意圖

3. 半溼式破碎：在半溼（即僅加入一定之水量）狀態下破碎成碎塊。

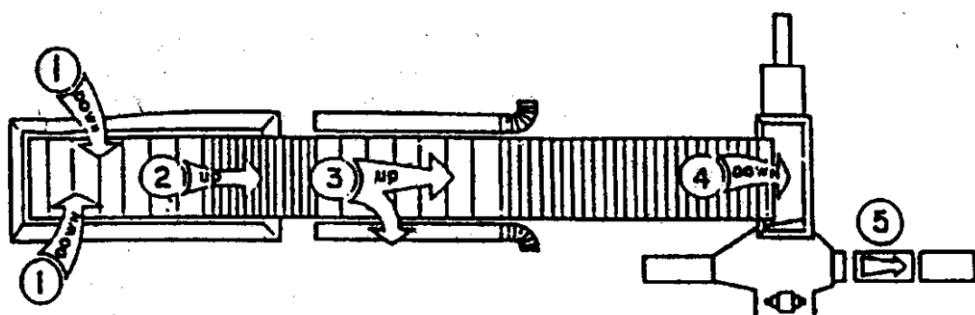
（二）壓縮處理

廢棄物的壓縮 (Compaction) 亦可稱為壓實，固體廢棄物經壓縮後，體積將減小而單位體積之重量（即：密度）將增加，壓縮後之廢棄物較便於裝卸、運輸、儲存及掩埋處置。易言之，廢棄物壓縮處理可達成下述目的：

1. 節省運輸費用：一般事業廢棄物如使用具壓縮功能之收集車將廢棄物加以壓縮，則每車次之運載容量將增大，例如都市廢棄物壓縮車可將廢棄物體積減少 60 至 70%；
2. 節省貯存空間：當回收紙類、纖維時，回收物須經壓縮後，再運往製造工廠，可以節省堆放之空間。此外，壓縮後的廢棄物可加以捆綁定型，較易於裝卸；
3. 固體廢棄物經壓實後掩埋時，可延長掩埋場之有效使用年限。

1. 廢棄物壓縮方式

一般都市廢棄物收集車之壓力較低，車體壓縮力每平方公分遠低於 7 公斤（即 100 lb/in^2 ），屬於低壓力式，轉運站或壓縮處理場之壓縮機有使用壓力大於 100 lb/in^2 者，屬於高壓力壓縮機。圖 3.10 為高密度壓縮鐵線捆紮處理機示意圖，圖 3.11 為高壓力壓縮機及壓縮成型之廢棄物圖（美國 Waste Handling Solution Ltd. 公司產品）。



資料來源：廢棄物清理專業技術人員訓練教材，中華民國 101 年

圖 3.10、高密度壓縮鐵線捆紮處理機示意圖



美國 Waste Handling Solution Ltd. 產品

圖 3.11、高壓力廢棄物壓縮機及壓縮後之成型廢棄物堆

2. 廢棄物壓縮機之選擇

依壓縮目的而選擇適當的廢棄物壓縮機，方足以使收集之廢棄物減至所需之體積，廢棄物壓縮機之設計因素如表 3.3 所示，選擇壓縮機應考慮之

因素如下：

- (1) 廢棄物之性質：包括大小、成分、含水量、密度等。
- (2) 廢棄物壓縮後的運送方式及處理方法或用途。
- (3) 壓縮機設置地點的條件：如用地面積、高度及其他環境限制等。
- (4) 操作因素：包括現場可提供之動力設施與容量、維修保養能力及須特別防治之公害（如噪音振動、空氣污染或水污染）。

表 3.3、固體廢棄物壓縮機之設計因素

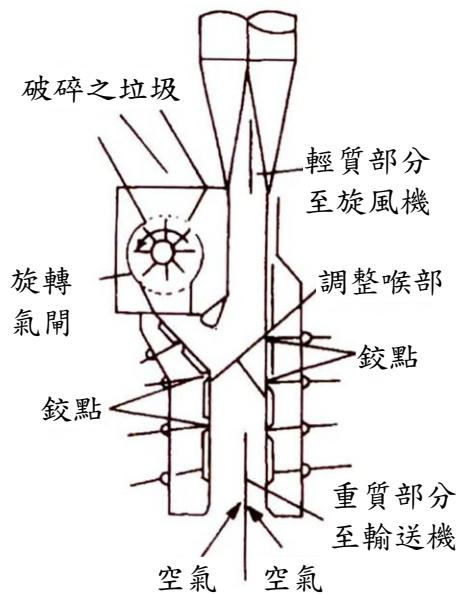
項目	數值		備註
	單位	範圍	
1.裝載廢棄物槽身大小	m ³	0.76-8.4	決定每次可倒入壓縮機廢棄物之最大容積
2.壓縮時間	秒	20-60	從開始到壓縮完成，又回到開始所需時間
3.嵌入深度	cm	10-66	撞擊槌刺入廢棄物之深度
4.壓縮比		2:1-8:1	原體積與壓縮後體積比

資料來源：廢棄物清理專業技術人員訓練教材，中華民國 101 年

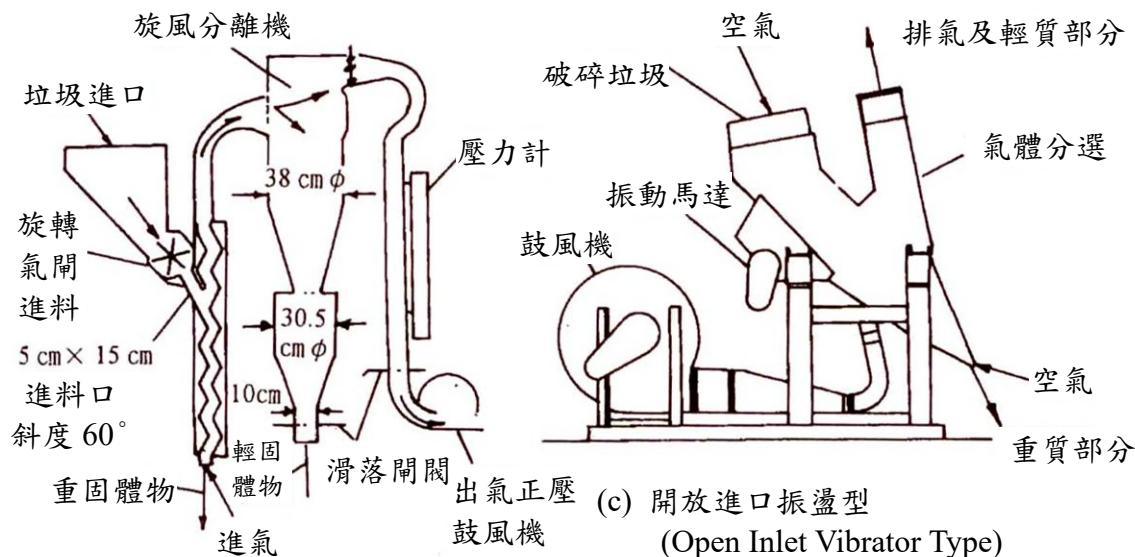
（三）分選處理

一般事業廢棄物之分選，主要為回收廢棄物中的可用資源物質，如廢紙、金屬類廢棄物等，以及剔除不適於後續處理的廢棄物。若後續處理為熱處理或堆肥，則無機類廢棄物將經由分選處理而剔除，包括石塊、玻璃、塑膠、橡膠類等。一般事業廢棄物之分選多以採用機械分選機為主，人工分選為輔。已開發的機械分選技術依風力、重力、浮力、離心力、磁力、振動力、篩孔及光學等各種原理而設計。

1. 風力分選法—以空氣為分選介質。廢棄物中有機物多屬輕質部分，無機物中有許多屬於重質部分，可藉風力將之分離。風力分選機型式如圖 3.12 示。3 種型式之風力分選機分述如下：



(a) 傳統豎槽型 (Conventional Chute Type)



(b) 鋸齒型

(Experimental Zigzag Type)

資料來源：廢棄物清理專業技術人員訓練教材，中華民國 101 年

圖 3.12、三種型式之風力分選機示意圖

(1) 傳統豎槽型 (Conventional Chute Type)

分選的廢棄物應用旋轉氣閘 (Rotary Air Lock) 由上部送入豎槽內，空氣由槽底輸入吹至頂上，其風力恰僅足以吹送輕質部分之廢棄物，重質部分則掉落槽底，吹送量之多寡可藉加入之廢棄物數量與送風

量的比例，及單位面積之風量調整之。

(2) 鋸齒型 (Experimental Zigzag Type)

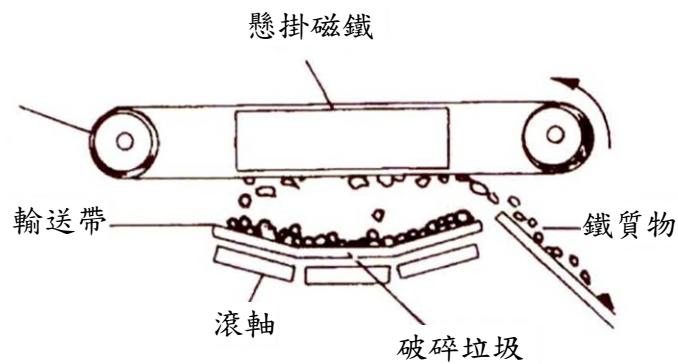
豎管中沒有彎道緩衝板，空氣由管底急速吹上，廢棄物由上方輸入，經由彎曲管道中，受到轉向氣流所引起之紊流加以分散，達到分選的目的，輕質部分隨風吹而上升，重質廢棄物則沉降而下。

(3) 開放進口振盪型 (Open Inlet Vibrator Type)

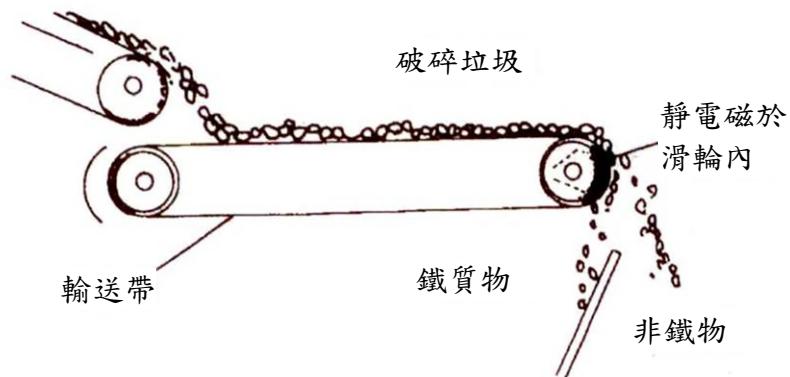
此種型式之振盪分選機之分離作用係藉振動 (Vibration) 作用分層注入廢棄物，分離為輕質與重質兩部分，比重較重者沉降底部，較輕者浮至頂部；廢棄物因慣性效應 (Inertia Effect) 作用，當往下掉落時，空氣吹力將使較重的廢棄物加速沉降，輕質廢棄物則藉浮力，隨流動空氣排出。分選機因各種固體廢棄物成分不同，而設計不同之固氣比（廢棄物與空氣重量比例，kg 廢棄物/kg 空氣），其值一般介於 0.2 至 0.8 之間。

選擇風力分選機須考慮之因素包括：

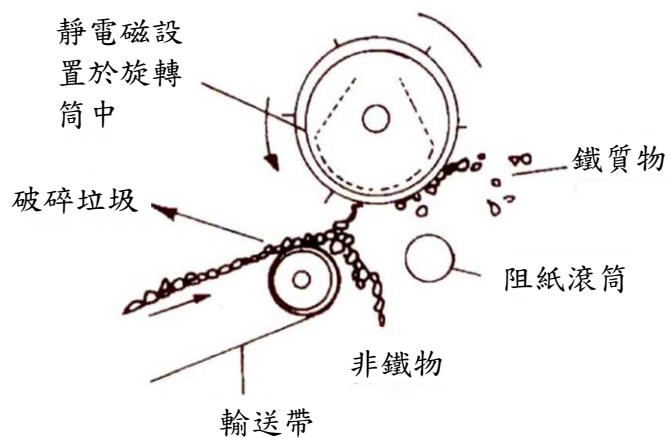
- (1) 廢棄物的性質，如尺寸大小、形狀、溼度、凝聚性、比重、纖維含量。
 - (2) 廢棄物輸送及注入分選機的方法。
 - (3) 分選機的設計特性，如固氣比、浮動流速 (m/min)、廢棄物進料率 (m^3/h)、總氣體流量 (m^3/min) 及壓力損失等。
 - (4) 操作特性，如占地面積與高度、動力大小、維護的需要、操作的難易度、環保要求（噪音振動、水、空氣的污染等）。
2. 磁選法—利用各種固體廢棄物顆粒的不同磁性，當其通過不均勻磁場時即可達到分選之效果。各種磁選機之型式如圖 3.13 所示。本法常用於鐵類廢棄物的分選回收。



(a) 磁懸鐵式



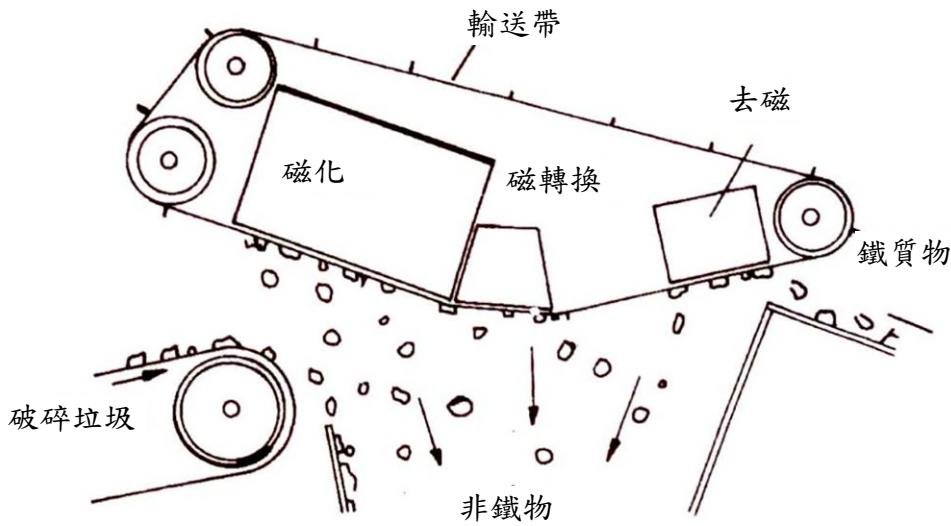
(b) 磁滑輪式



(c) 磁懸筒式

資料來源：廢棄物清理專業技術人員訓練教材，中華民國 101 年

圖 3.13、廢棄物磁選機型式



(d) 磁帶式

資料來源：廢棄物清理專業技術人員訓練教材，中華民國 101 年

圖 3.13、廢棄物磁選機型式（續）

3. 篩選法—將不同顆粒尺寸的廢棄物，或經破碎後之廢棄物，使其通過不同孔徑之篩孔，將廢棄物粗細粒料予以分離之技術。

一般的篩選機型式有振盪篩 (Vibrating Screen) 與旋轉篩 (Rotary Drum Screen)。廢棄物之篩選係應用一個或數個篩盤，將大小不同之廢棄物置於篩盤上，為使粗細顆粒於篩盤上分離，須應用機械力促使廢棄物顆粒與篩盤產生相對運動，形成細粒料將處於篩盤下層，粗粒料處於較上層，分別通過不同孔徑之篩孔而分選出不同粒徑之廢棄物。篩選機之效率（回收率×排斥率）可由與回收率與排斥率表示之。

$$E (\%) = \frac{U \times W_m}{F \times W_f} \times 100$$

E：回收率 (%)

U：經過篩孔落下的重量，kg/h

F：加入篩選機的總重量，kg/h

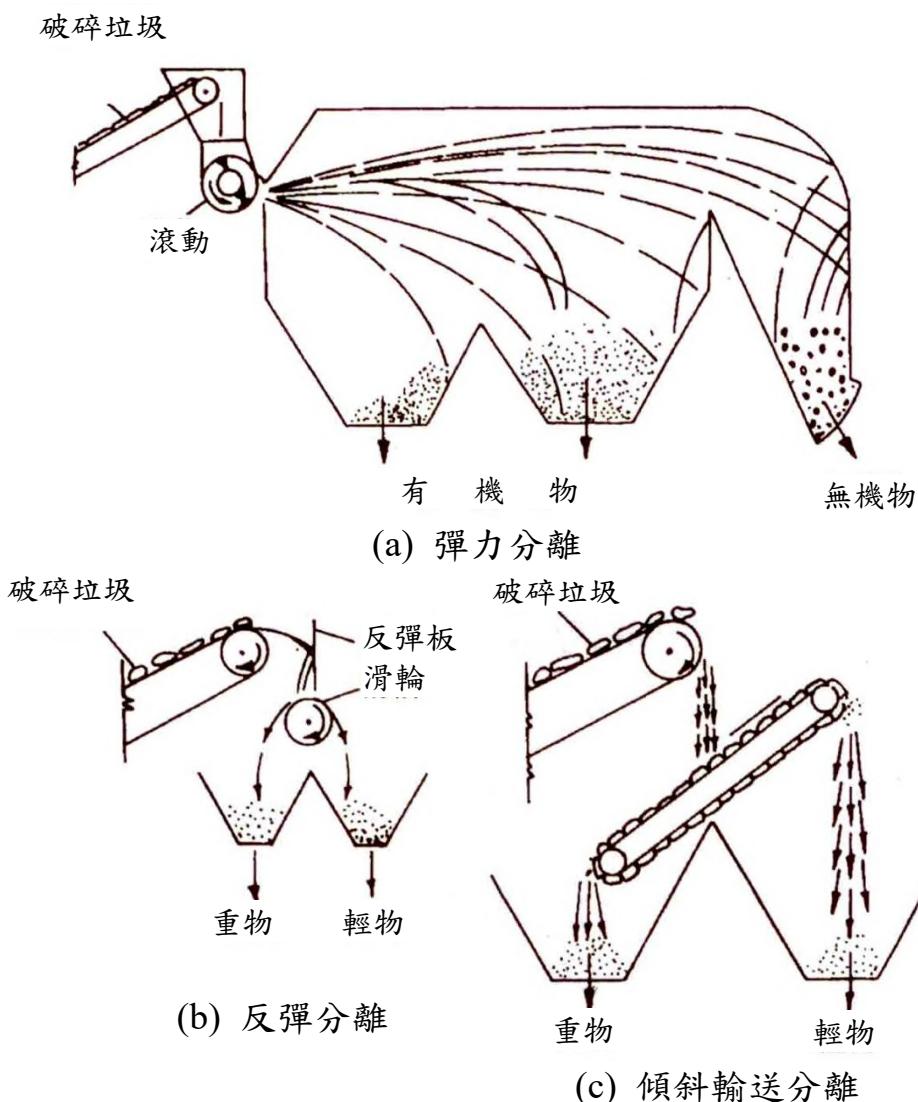
W_m ：經過篩選孔落下物中欲回收物所占之重量比率

W_f ：加入篩選機中欲回收物所占之重量比率

$$R (\%) = \left[1 - \frac{U \times (1 - W_m)}{F \times (1 - W_f)} \right] \times 100$$

R : 排斥率 (%) = 1 - 回收物中不要之比例

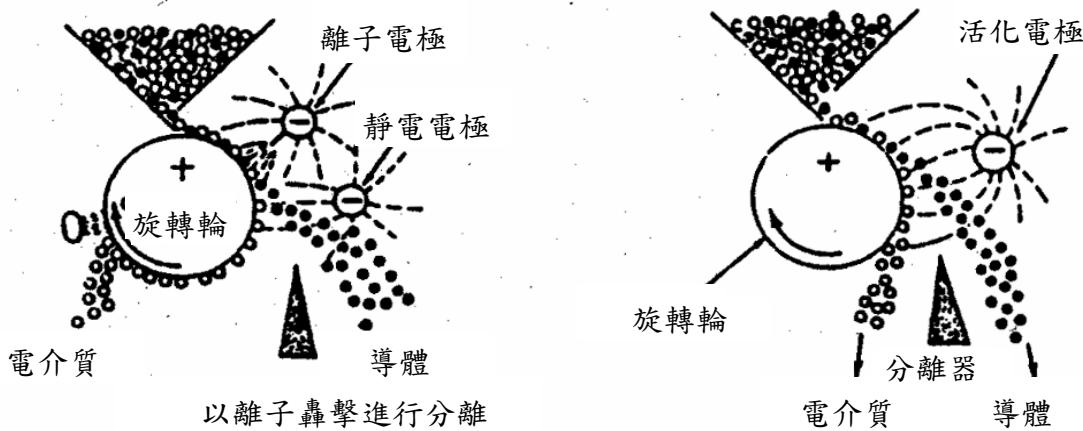
4. 重力(彈力)分選法—利用各種廢棄物不同之密度，依據彈力(Ballistic)或重力(Gravity)原理分離，應用機械力之作用使廢棄物顆粒鬆散分離，而將不同密度之廢棄物分選出來之技術。圖 3.14 顯示彈力分離(Ballistic)式、反彈分離式(Secater)及傾斜輸送分離(Inclined Conveyor)(重力式)分選機。



資料來源：廢棄物清理專業技術人員訓練教材，中華民國 101 年

圖 3.14、廢棄物重力(彈力)分選機

5. 電場分選法—廢棄物通過高壓電場時，利用各種廢棄物之電性差異分選之技術。電力分選有靜電分選法（圖 3.15）及渦電流分選法。



資料來源：廢棄物清理專業技術人員訓練教材，中華民國 101 年

圖 3.15、廢棄物靜電分選機型式

6. 光學分選法—廢棄物通過具有光源與透鏡及各式電子元件之光學檢測區時，廢棄物顆粒反射光源後，光學檢測區之電子放大元件會將此反射光訊號放大，經與標準樣品訊號比對後，驅動高頻氣閥並噴出壓縮空氣，將欲分選之顆粒分離出來。光學分選法可分選各種有色玻璃類、橡膠、塑膠、金屬類等廢棄物。
7. 浮力分選法—廢棄物與水混合後加入浮選藥劑（例如表面活性劑類之起泡劑等），通入空氣後即形成眾多細小氣泡，廢棄物顆粒依比重之不同而浮選分離出來。
8. 高密度介質分選法—利用密度大於水之介質 (Heavy Media Separator)，使廢棄物顆粒按不同之比重分離出來的技術。

（四）乾燥脫水處理

較常採用乾燥或脫水技術的廢棄物大多為污泥類廢棄物，污泥中的水分大致上可分為內部固有水及結合水。內部固有水為顆粒內部或所附著微生物細胞內的固有水分，此部分的污泥水分約占 5% 以下，其餘為結合水，包括顆粒間隙中之水分、表面吸附水等，因此，污泥的乾燥主要是去除結合水分子。污泥脫水的方法包括污泥濃縮、機械脫水及加熱乾燥技術，而

污泥濃縮（包括重力、離心、浮除等）與機械壓縮脫水（包括帶式壓濾、板框式壓濾、真空過濾等）一般屬於廢液處理程序之一環。本節係針對廢棄物中間處理程序較常用的加熱乾燥技術加以說明，加熱乾燥後的廢棄物其含水率可達 40% 以下。廢棄物之加熱乾燥脫水原理有下列 3 種方式：

1. 對流 (Convection) — 藉加熱介質（空氣或砂）直接與溼物接觸傳熱乾燥。
2. 傳導 (Conduction) — 由加熱面與待乾燥廢棄物接觸，再傳導熱進入內部。
3. 輻射 (Radiation) — 藉輻射方法將熱傳送至廢棄物上。

三、生物處理技術

本節主要針對一般事業固體廢棄物，該類廢棄物之化學處理技術主要為氧化反應的焚化法，及利用還原原理將廢棄物中之有機物在低空氣條件下加熱，進行化學處理之熱分解 (Pyrolysis) 技術，此兩項技術將由其他專冊論述；而廢棄物水解技術 (Hydrolysis) 亦屬於化學處理之一環，主要係用於將廢棄物之有機質轉化成葡萄糖、糖醛等資源，屬於資源回收之議題，且較少應用於一般事業固體廢棄物，較常應用的生物化學處理技術即堆肥法及厭氧發酵法，將於本節論述。

(一) 堆肥處理

1. 概述

堆肥法 (Composting) 乃利用廣泛分布於自然界的細菌、放射菌、真菌類等微生物，使廢棄物中之有機物經生物化學轉換，而分解成安定性腐植質（簡稱：腐植土）之方法。此種技術適於處理農、林、漁、牧業及污水處理廠、食品工廠、果菜市場、廚餘等所產生之廢棄物。堆肥化之生成物稱為堆肥，在農業生產及保持地力上，兼具肥料及土壤改良材的效能。

(1) 堆肥的優點

- A. 堆肥材料可充分使用於改良農田土質，促進土壤肥分、吸水性、透氣性、疏鬆土壤及保持地力，增加土壤中微生物之活性。
- B. 堆肥主要成分為腐植質，無化學肥料的環境污染問題。

C. 相較於其他中間處理技術，堆肥法之設置及操作費用較低廉。

(2) 堆肥法的缺點

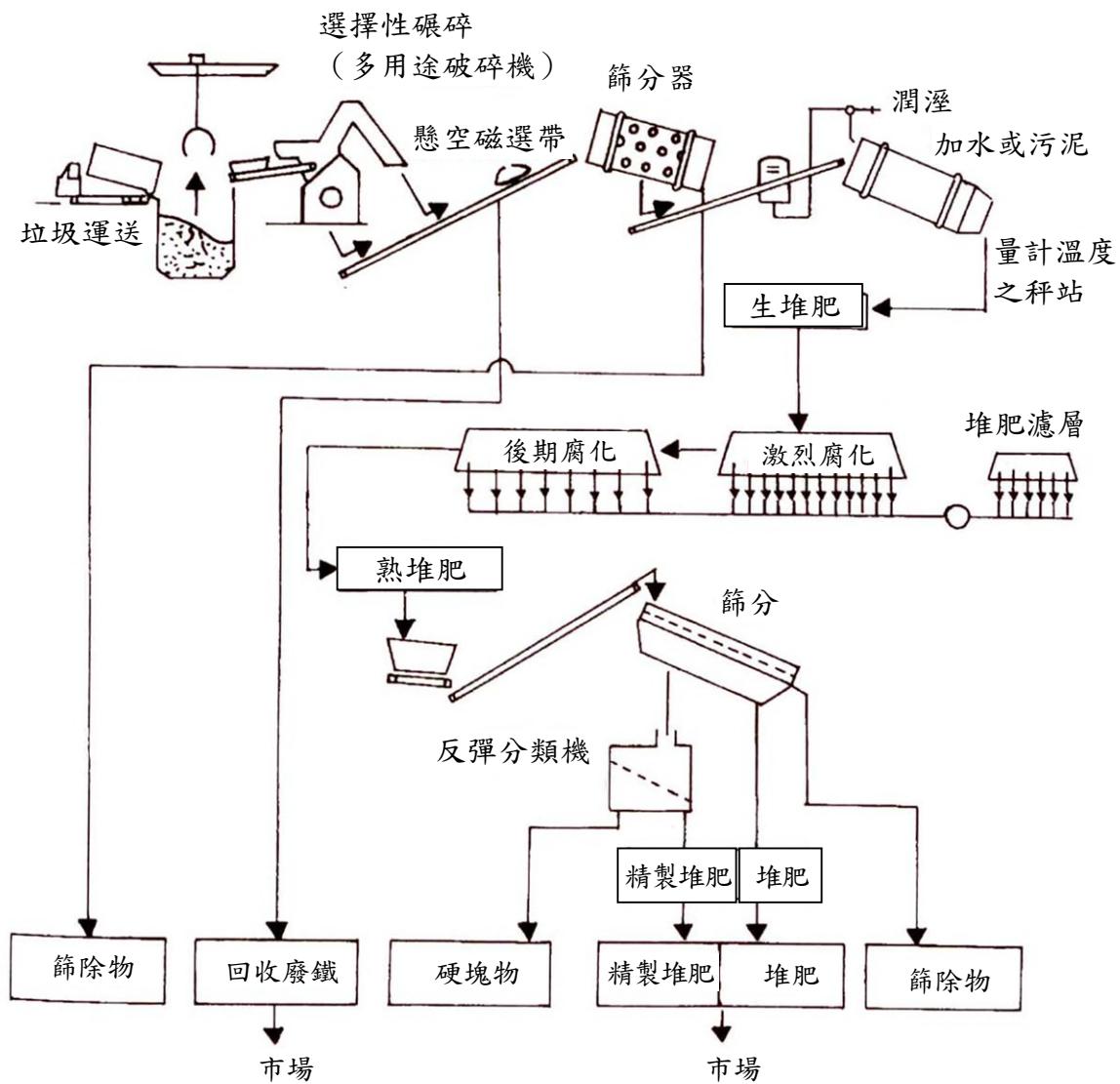
A. 堆肥市場不穩定，影響採行誘因。

B. 堆肥所需土地面積大，且堆肥工廠環境衛生較難維持。

2. 堆肥原理

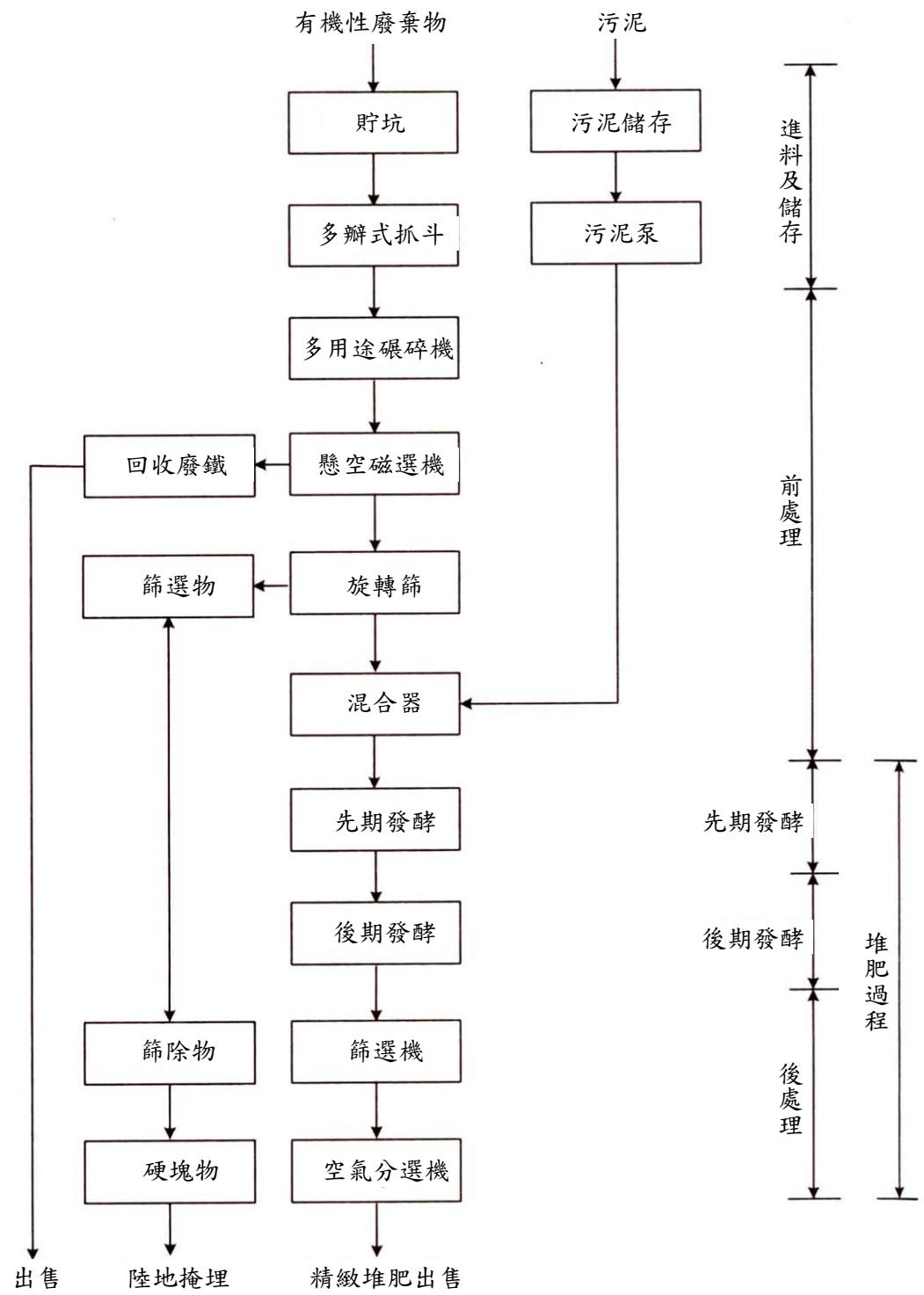
堆肥處理技術依據微生物的需氧程度可分為好氧和厭氧方式，好氧堆肥係以好氧菌為主，將廢棄物中的有機質進行氧化分解；厭氧法則將堆肥原料與空氣隔絕，利用厭氧微生物產製堆肥材料。因好氧堆肥時間較短且環境控制較易，現代化的堆肥法全部採用好氧堆肥，好氧性堆肥處理技術可分為連續式高速堆肥法及堆積式堆肥法兩類。本節說明的堆肥技術則為好氧式堆肥，厭氧方式則歸類為厭氧發酵技術。

廢棄物堆肥化處理步驟及流程示意圖如圖 3.16 及圖 3.17，包括：(1)進料準備及貯存；(2)前處理；(3)先期主發酵（一次發酵）；(4)後期發酵（二次發酵、熟成與養成）；(5)後處理（加工、精製）；(6)成品之貯存、包裝與運出。這些步驟中發酵為主要功能作用之單元，發酵後廢棄物中之有機物如蛋白質、糖類、澱粉等在 5 至 10 天中皆已被消化分解，但難分解物質如纖維、木質素等仍有待於施肥後藉農田中微生物繼續分解。



資料來源：廢棄物清理專業技術人員訓練教材，中華民國 101 年

圖 3.16、堆肥處理流程圖



資料來源：廢棄物清理專業技術人員訓練教材，中華民國 101 年

圖 3.17、堆肥處理流程示意圖

3. 堆肥處理基本條件

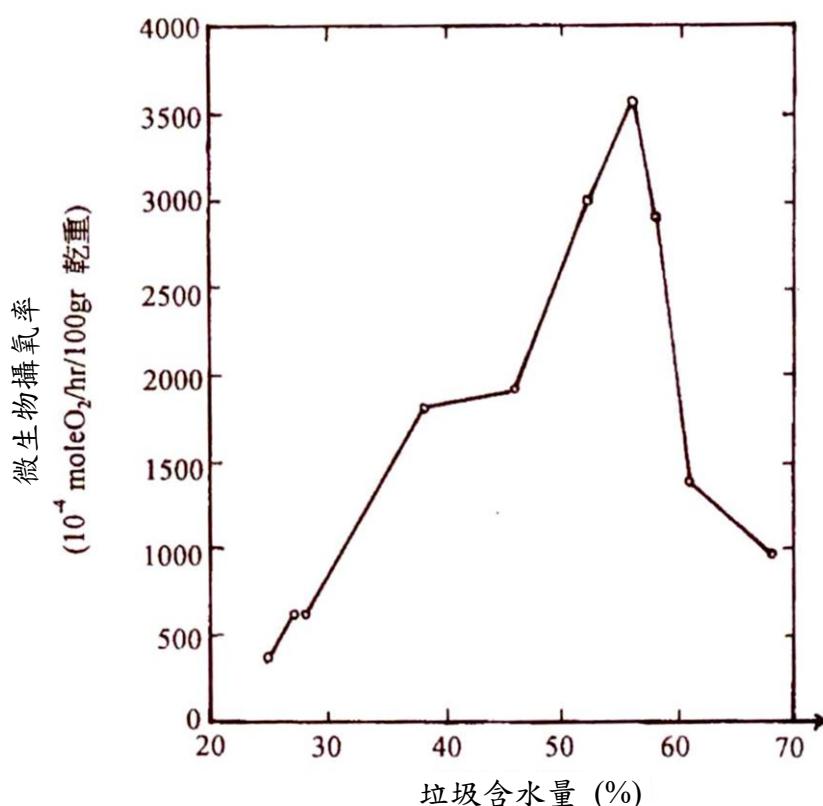
堆肥處理茲就堆肥化材料與發酵條件兩項目以表 3.4 說明之。

表 3.4、堆肥處理基本條件

堆肥處理基本項目	所需基本條件
1. 堆肥化材料	
(1) 易腐熟材料	須含有充分之有機質，剔除無機類廢棄物及生物有害物質。
(2) 堆肥材料顆粒尺寸	堆肥材料顆粒過大將影響堆肥效率，顆粒過小將造成空氣於顆粒間之流通量不足，而發生厭氧情況，堆肥適當之尺寸約在 2.5-7.5 cm。
2. 發酵條件	
(1) 微生物菌種及數量	可將腐熟之堆肥或其他具有充分好氧分解菌之有機材料，添加混入堆肥材料中（約占重量比之 1-5%）增加菌量（稱為植種）；有些做法是添加生物分解酵素，但成本較高。
(2) 水分調理	好氧堆肥材料之含水量以 50-60% 較佳，含水量過高時，將延長堆肥時間甚至引起厭氧發酵，水分過少將使有機物不易分解，當水分低於 15% 時，堆肥反應幾乎停止。（參考圖 3.18）
(3) 供氧量與翻攪	<ol style="list-style-type: none"> 為加速發酵，必須於堆肥材料內維持通氣良好，並適當翻攪以增加氧氣與堆肥材料接觸。 堆肥中空氣量至少應有 10.5% 之氧濃度；最大耗氧率可以 $0.07 \times 10^{0.31T}$ 估算，T 為堆肥溫度。 為使堆肥中之氧氣、水分與溫度均勻，堆肥過程應經常翻攪，翻攪頻率視操作條件而定。
(4) 廢棄物之碳/氮比值 (C/N)	A. C/N = 20 B. C/N = 20-50 C. C/N = 78
(5) 堆肥溫度	好氧堆肥第 1 天溫度可達 50°C，2-3 天後升至 60°C，最高溫度達 73-75°C 可滅病原菌及蟲卵。整個堆肥發酵過程之溫度應維持在 45-70 °C。

資料來源：廢棄物清理專業技術人員訓練教材，中華民國 101 年

堆肥環境中之微生物需要充足之水分及氧氣，方能有效增殖及促進其活性。微生物攝氧率的高低可表示微生物的活性及生物分解反應之強弱，如圖 3.18 所示。微生物之攝氧量於堆肥廢棄物之含水率達 55-60% 時達到高峰，因此，於堆肥操作時，通常須盡量將堆肥含水率維持在 55% 左右。理論上，微生物之活性與溫度成正比關係，但通常堆肥中之溫度達 60°C 時，微生物攝氧率即開始下降，超過 70°C 時許多微生物已無法生長，攝氧率呈甚低狀態。



資料來源：廢棄物清理專業技術人員訓練教材，中華民國 101 年

圖 3.18、微生物攝氧率與堆肥含水率之關係

4. 堆肥方法

好氧堆肥法按有無強制送風及機械翻堆可分為下列 4 種（表 3.5）：

表 3.5、堆肥方法

堆肥方法	翻攪	通風	堆肥時間
野積堆肥法 (Windrow Composting)	定期翻堆	自然通風	1-3 個月
通氣堆積法 (Aerated-Pile Composting)	無	強制通風	20-30 天
機械攪拌式堆肥法 (Mechanical Agitation Composting)	機械攪拌	自然通風 強制通風	20-30 天
高速堆肥法 (High-Rate Composting)	機械攪拌	強制通風	5-10 天

資料來源：廢棄物清理專業技術人員訓練教材，中華民國 101 年

(1) 野積堆肥法

野積堆肥法乃直接將廢棄物以長條並列狀堆置於平地上，其斷面形狀為 4-5 公尺寬、1-2 公尺高之三角形。因是利用表面與空氣中之氧接觸進行生物反應，因此隔一定時間須將廢棄物內外翻動，使內部之廢棄物重新暴露於空氣中。由於屬開放式堆置，受氣候影響甚大，故一般多雨地區，都架有屋棚以免天候影響。

(2) 通氣堆積法

通氣堆積法在基本上似野積堆肥法，但在底部設有多孔性通氣管。通氣之方式有直接從底部吹入供應或從底部抽出空氣，使控制於負壓情況下，而使空氣自廢棄物表面吸入等 2 種方式，後者往往有脫臭之功能。強制通氣的結果，堆肥時間也較野外堆積法約減少一半以上之時間。

(3) 高速堆肥法

高速堆肥法係在控制的反應槽中進行堆肥化反應，與上述兩種方法採開放式有所不同。廢棄物在進入反應槽前先經分選、破碎等前處理，反應中除強制通氣外，並連續或間歇進行攪拌，增加廢棄物與空氣中氧氣接觸的機會，以加速堆肥反應之進行。故一般僅須 5-10 日即可完成主發酵反應。因為此法效率高，不受地形、氣候影響，且占地小，為許多國家包括日本所積極開發之堆肥處理方式。

5. 堆肥處理設備

(1) 堆肥處理流程

廢棄物→前處理→水分調整（加入水、水肥或下水汙泥）→主發酵→後發酵（二次發酵）→後處理→成品。

(2) 堆肥處理設備

堆肥處理系統構成的重心在於發酵設備，但亦須具有去除不適合堆肥化物質或為提高發酵反應的分選、破碎等前處理設備。其次堆肥的後發酵可提供高品質之腐熟成品，此外尚需具備提高成品品質所需去除異物及殘渣設備等後處理設備。目前各國對於二次公害防止之要求愈趨嚴格，堆肥化處理過程中的臭氣處理更是必要的設備之一。堆肥之各項設備包括：投入設備、分選設備、破碎設備、主發酵設備、後發酵設備、後處理設備，堆肥成品之貯存場所及其他相關污染防治設備（如臭氣處理設備）。

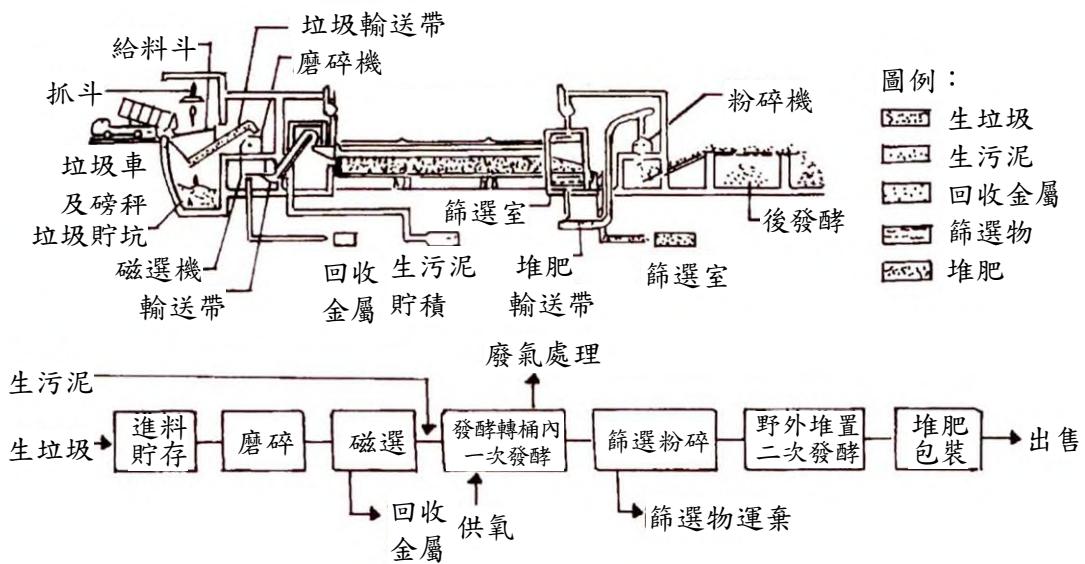
(3) 主發酵設備

A. 旋轉式發酵設備

如 Dano 式發酵桶 (Drum) 的兩段式發酵堆肥法，其比傳統式發酵法改善許多，在前處理增加磁選設備步驟，於發酵桶內約停留 5-10 天，通入足夠的空氣情況下，有機物之分解仍不到 5%，故主要的有機物分解及腐熟階段還是靠後發酵來完成。各項設備概況如下所述，圖 3.19 即為此型堆肥發酵設備及流程。

- (A) 旋轉桶為圓筒型，應以耐磨性鋼鐵構成。
- (B) 停留時間視生廢棄物的性狀及堆肥成品要求而定，普通為 5-10 日。。
- (C) 單位發酵槽處理廢棄物量以 50 公噸/日-座，且發酵槽內充填率以 60-70%為原則。
- (D) 發酵槽回轉數應在 1 rpm 以下（普通 0.1-0.3 rpm 之間）。

- (E) 發酵槽圓筒直徑宜採 2-4 公尺，長度 30 公尺以下，其直徑及長度比應在 1:10 左右。
- (F) 發酵槽之安裝傾斜度以 1/100-1.5/100 為標準。
- (G) 採用機械力換氣者，應採耐蝕性材料之排風機，其風量應可彈性調整者。
- (H) 旋轉驅動設備應採用電力，並需有 30%以上之安全負荷。
- (I) 必須有能承受發酵槽連續運轉之強固堅牢鋼筋混凝土基礎台。



資料來源：廢棄物清理專業技術人員訓練教材，中華民國 101 年

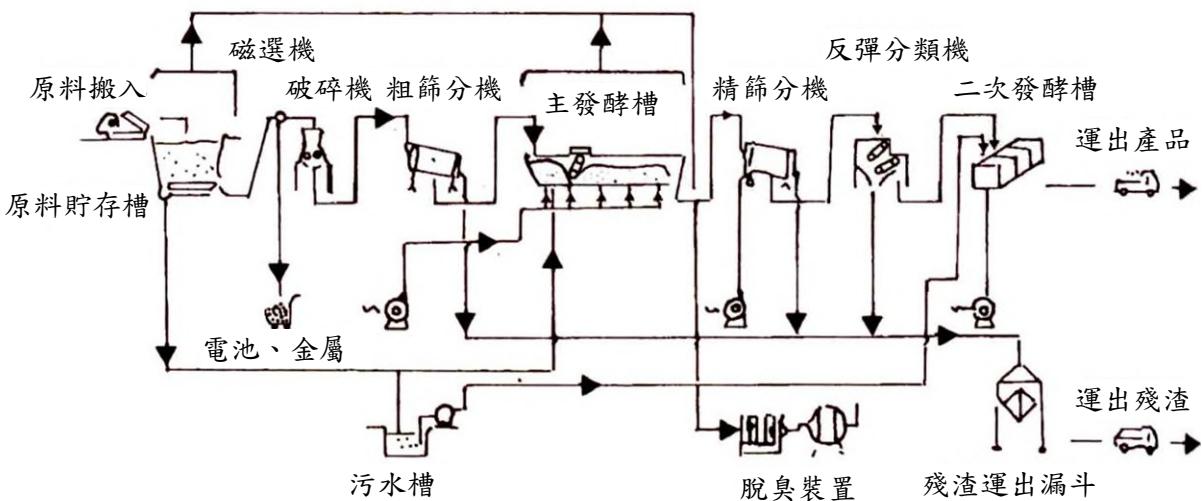
圖 3.19、旋轉式發酵設備及處理流程圖

B. 犁翻式發酵設備

經過前處理後的材料，即輸入進行主發酵槽處理，其操作係從設置在發酵槽底部之多孔板送入所需的空氣，同時藉犁翻式攪拌裝置之翻轉攪拌，將廢棄物材料向後推移輸送。犁翻式各項設備概況說明如下（圖 3.20）：

- (A) 形狀原則上為立方體形，應以鋼筋混凝土或水泥磚構成，並須有屋頂設備。

- (B) 停留時間宜在 7-20 日左右。
- (C) 廢棄物的投入，除採用皮帶運輸機外，可採用卡車或堆土機做回分投入方式。
- (D) 堆積高度（為了保持溫度及水分）應在 1.5 公尺以上。
- (E) 為了促進發酵作用，槽底部應該有強制通風之送氣設備，而該設備應能承受卡車支重物壓縮。
- (F) 翻堆機宜採電動引擎驅動方式。



資料來源：廢棄物清理專業技術人員訓練教材，中華民國 101 年

圖 3.20、犁翻式堆肥處理流程圖

C. 豎立多層式發酵設備

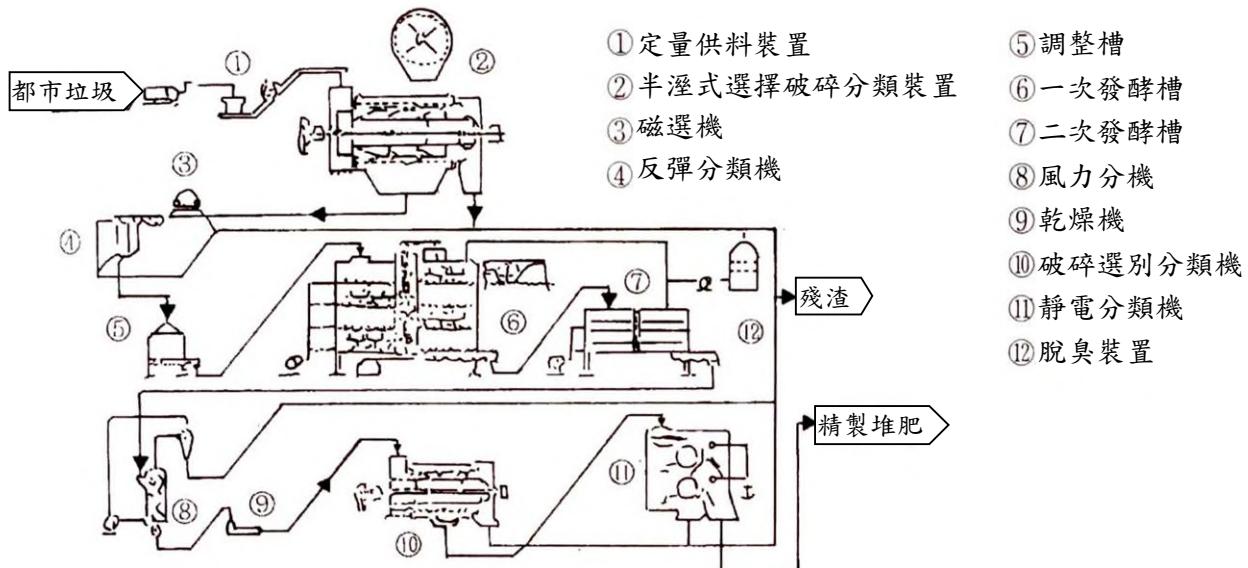
豎立多層式發酵設備如圖 3.21，茲概述如下：

- (A) 形狀可採立方體式，層數最少應 2 層（含）以上，停留時間可參考旋轉式發酵槽者。
- (B) 應採用鋼筋混凝土或鋼板材質。
- (C) 槽內長及寬之比以 1：5-20 為原則。
- (D) 發酵槽充填率 50-60%為原則（為了減少攪拌機負荷，其充填率不可過高）。

(E) 為防止攪拌機軸被廢棄物中之草繩或污泥所捲纏，必須有適宜之防捲設備。

(F) 攪拌機之回轉數及驅動裝置參照旋轉式者設計。

(G) 換氣設備，基礎台參照旋轉式者規定設計。



資料來源：廢棄物清理專業技術人員訓練教材，中華民國 101 年

圖 3.21、豎立多層式堆肥處理流程圖

6. 採用堆肥處理考慮事項

(1) 堆肥原料來源

較適合採用堆肥法之一般廢棄物，以有機物含量高且無毒性的市場廢棄物與廚餘、農業廢棄物等為佳，並宜評估此類廢棄物之來源是否充足且穩定。

(2) 環境二次污染問題

堆肥廠主要的二次污染問題為來自有機物之腐敗和熟成之味道，由堆肥過程產生的主要氣體為 NH_3 、 N_2 、 CO_2 等。以往堆肥廠多為開放型式，堆肥廠的臭味一度是環保上的問題。目前的高速堆肥法的主發酵係在反應槽內進行，熟成階段亦可在密閉室內進行，唯仍須加置抽氣排氣與處理設備，以克服臭味問題。

(3) 堆肥品質管制

由於廢棄物來源複雜，其成分較一般單純的纖維質固體廢棄物如稻草、木屑等為多，因此有關利用廢棄物製造堆肥所需考慮的品質問題更是不容忽視。有關品質問題至少須就以下幾項進行管制：

A. 不適堆肥物質之去除

此類廢棄物主要是有塑膠、橡膠、皮革、玻璃碎片及金屬物等，若此類廢棄物過多殘留在堆肥成品中，會造成堆肥品質不良。

B. 腐熟度或穩定化

判別堆肥穩定化的參數，常用的有碳/氮比 (C/N)、水分含量、色澤及溫度的變化、抽出液的 C/N 比、總有機碳含量、纖維素與木质素含量的比值、代謝氣體的氣相分析等。

C. 熟成堆肥之物理性與水分含量

規定成品密度上限，可防止不純物及含水量過高。pH 於發酵後期大約為中性或微鹼性；導電度則為水溶性鹽類如鹼金屬或鹼土金屬含量指標。表 3.6 為堆肥腐熟度一般檢驗項目。

表 3.6、堆肥腐熟度一般檢驗項目

試驗項目	未腐熟原料	腐熟堆肥
pH	5-6	8-9
耗氧率		腐熟後之堆肥耗氧率降低 85%
總有機物	較高	低
C/N 比	20-50	10-20
外觀	棕色、多纖維	黑色
臭味	腐臭味	泥土味、霉臭味

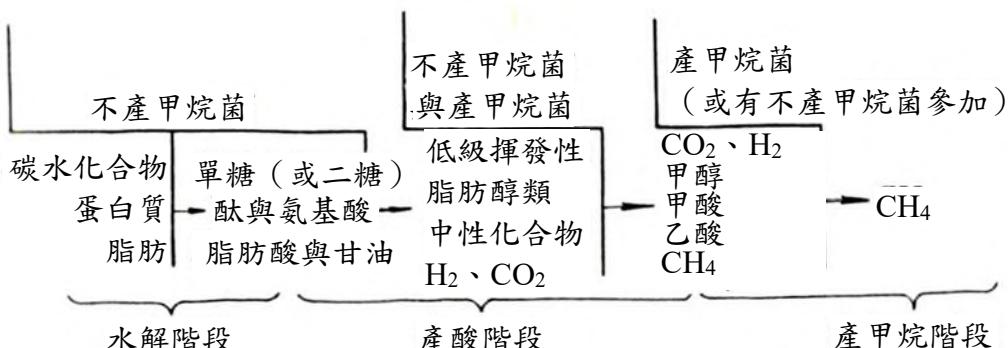
資料來源：廢棄物清理專業技術人員訓練教材，中華民國 101 年

(二) 厥氧發酵產生甲烷處理

1. 概述

有機廢棄物的厥氧發酵產生甲烷 (Anaerobic Fermentation) 為利用厥氧微生物將有機質轉化成甲烷，進而使廢棄物穩定化的技術。應用厥氧發酵技術

須先將廢棄物分類、破碎，藉以獲得細小之有機物，以有利於厭氧微生物之分解作用。厭氧發酵可分成三階段（如圖 3.22 所示），首先將廢棄物水解，接著為產酸階段，最後為產生甲烷等。



資料來源：芊振明等，廢棄物處理技術

圖 3.22、微生物厭氧發酵

水解階段的微生物分解有機固體廢棄物成為可溶於水之物質。厭氧菌再利用該溶解性有機物為其碳源及能量來源，此時之所以稱為產酸階段主要是因會產生丙酸、丁酸、乳酸、長鏈脂肪酸、醇類等物質，厭氧菌進一步將其分解成醋酸與氫分子。在產甲烷階段，甲烷菌將利用醋酸、氫分子、酸、醇類為基質轉化為甲烷氣體；此階段的醋酸與氫為甲烷菌作用之主要基質。

2. 厭氧發酵甲烷產量

每公克有機廢棄物成分中之碳水化合物 (A)、蛋白質 (B) 及脂類化合物 (C) 之含量若能測定 (公克)，則可依據下列經驗公式計算每公克廢棄物之甲烷產生量 (E，公升/公克)：

$$E=0.37A+0.49B+1.04C$$

二氧化碳產生量可用下式計算其理論產生量 (D，公升/公克)：

$$D=0.37A+0.49B+0.36C$$

3. 影響厭氧發酵效率因素

厭氧發酵所須時間約為 4-20 天，厭氧發酵作用能否有效進行，除應該對於厭氧發酵設備之負荷量審慎控制外，下列因素之影響亦須考慮：

(1) 溫度

一般厭氧發酵採用 3 種溫度，即低溫發酵（ 20°C 以下）、中溫發酵（ $35\text{-}46^{\circ}\text{C}$ ）及高溫發酵（ $54\text{-}60^{\circ}\text{C}$ ）。低溫發酵較省能源，但產氣量較不足且滅菌效果不佳；通常中溫發酵之溫度控制在 37°C 左右，因該溫度可維持甲烷菌最大活性；高溫厭氧發酵之產甲烷氣量最高，但最耗能源。

(2) pH 值

甲烷菌要求的 pH 範圍很窄，pH 值約為 7.0，故發酵過程應維持在 6.8-7.5 之間。此外，厭氧發酵之進料過程應避免衝擊 pH 值。為使發酵過程控制在最佳 pH 值範圍，可加入石灰調節。

(3) 攪拌

厭氧發酵過程的攪拌動作，主要是避免厭氧槽局部的酸累積，以及提高產氣率，高溫發酵尤其需要適當之攪拌速率。

(4) 其他

包括厭氧發酵槽提供營養成分的調配，及防止注入有害厭氧菌之毒性物質，以免影響發酵之效果。

肆、結語

本文主要係針對一般事業廢棄物之物理、化學與生物處理技術，可提供研習者學習一般事業廢棄物之相關處理技術知識及處理概念。在一般事業廢棄物處理方面，本文介紹了破碎法、壓縮法、分選法與乾燥脫水等物理處理技術，以及堆肥與厭氧發酵等生物處理技術。倘若研習者能再研讀廢棄物處理之其他相關教材，包括有前處理、熱處理、生物處理與最終處置技術等，相信對於一般事業廢棄物之處理可有更完整而深入的瞭解。

參考資料

1. 國家環境研究院，廢棄物清理專業技術人員訓練教材，中華民國 101 年。
2. 謝錦松、黃正義，固體廢棄物處理，淑馨出版社，第 6 版，中華民國 92 年。
3. 芊振明、高忠愛、吳天寶、祁夢蘭，廢棄物處理技術，科技圖書股份有限公司，90 年 9 月。
4. George Tchobanoglous, Hilary Theisen and Samuel Vigil, INTEGRATED SOLID WASTE MANAGEMENT-Engineering Principles and Management Issues, McGraw-Hill, Inc., 1993.
5. George Tchobanoglous, Hilary Theisen and Rolf Eliassen, SOLID WASTES-Engineering Principles and Management Issues, McGraw-Hill, Inc., 1977.
6. Charles N. Haas and Richard J. Vamos, Hazardous and Industrial Waste Treatment, Prentice-Hall Inc., 1994.
7. Michael D. LaGrega, Phillip L. Buckingham, and Jeffrey C. Evans, Hazardous Waste Management and Environmental Resources Management, 2nd edition, McGraw-Hill Higher Education, 2001.
8. Derek Pletcher and Frank C. Walsh, Industrial Electrochemistry, 2nd edition, Blackie Academic & Professional, 1982.
9. Richard J. Watts, Hazardous Waste: Sources, Pathways, Receptors, John Wiley & Sons, Inc., 1997.
10. Robert E. Hinchee and Robert F. Olfenbuttle, Test Plan and Technical Protocol for a Field Treatability Test for Bioventing, 1992.
11. 蘇弘毅，有害廢棄物處理，中華民國 92 年。