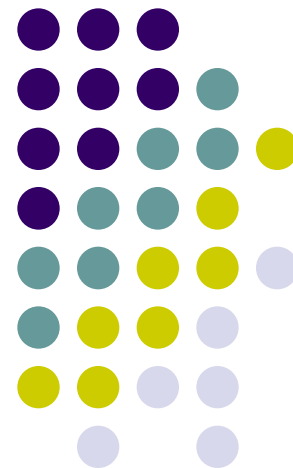


廢棄物熱處理技術



本簡報檔提供講座參考用
各講座得因需要自行調整



大綱

- 前言
- 廢棄物熱處理相關法規
- 熱處理之前處理技術
- 熱處理之分解與轉化技術
 - 焚化主流技術及其分類與應用方式
 - 其他熱化學轉化技術介紹



前言

- 事業廢棄物即事業單位所產生之廢棄物。事業廢棄物依其性質不同，可再分類為一般事業廢棄物及有害事業廢棄物。有害事業廢棄物之定義係指由事業所產生具有毒性、危險性，其濃度或數量足以影響人體健康或污染環境之廢棄物，當與身體接觸或被吸入時，會對身體產生傷害或致病，嚴重者將導致死亡。
- 我國廢棄物清理法第一條即闡明廢棄物處理之宗旨：「為有效清除處理廢棄物，改善環境衛生，維護國民健康，特制定本法。」為了達成上述廢棄物處理之宗旨，廢棄物處理之具體目標為「無害化」、「安定化」、「減量化」與「資源化」。

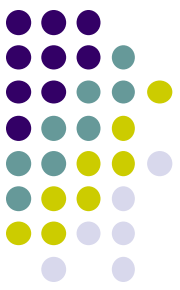


前言

- 熱處理技術是指事業廢棄物經高溫設備處理，以改變其物理、化學、生物或組成等性質，由於具有去毒性、資源回收、減少體積、技術可行性高、土地需求小、適用性廣泛等優點，已普遍應用於事業廢棄物。
- 事業廢棄物熱處理技術除了焚化處理技術外，熱解處理技術常見於廢塑膠、橡膠、輪胎及電路板等塑化廢棄物，以低溫熱裂解技術回收有價之燃料油，不僅能解決目前廢棄物處理之難題，所回收之燃油並可取代石化燃料，既環保又符合經濟效益。
- 後面章節將先從環保法規瞭解事業廢棄物熱處理之相關規定，並介紹熱處理技術及熱處理技術應用於資源回收。



廢棄物熱處理法規相關規定



一般事業廢棄物處理相關規定

- 事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準

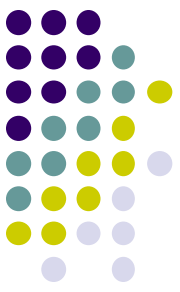
- 第2條 本標準專用名詞定義如下：

- 八、熱處理法：

- (一) 焚化法：指利用高溫燃燒，將事業廢棄物轉變為安定之氣體或物質之處理方法。
- (二) 熱解法：指將事業廢棄物置於無氧或少量氧氣之狀態下，利用熱能裂解使其分解成為氣體、液體或殘渣之處理方法。
- (三) 熔融法：指將事業廢棄物加熱至熔流點以上，使其中所含有害有機物質進一步氧化或重金屬揮發，其餘有害物質則存留於熔渣中產生穩定化、固化作用之處理方法。
- (四) 熔煉法：指將事業廢棄物併入金屬高溫冶煉製程中，合併進行高溫減量處理或金屬資源回收之處理方法。
- (五) 其他熱處理法。

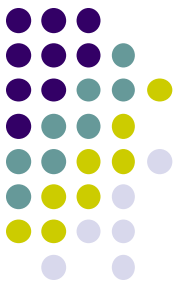


熱處理之前處理技術

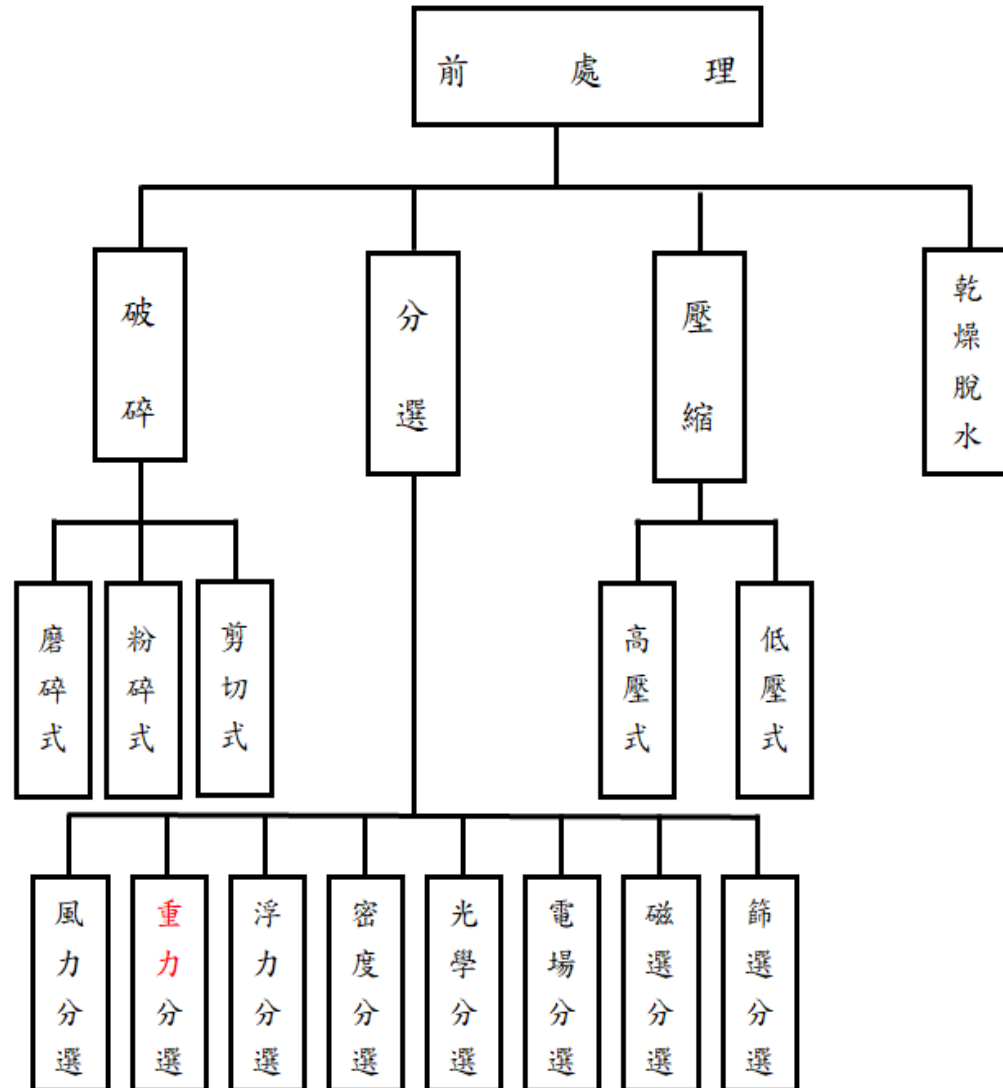


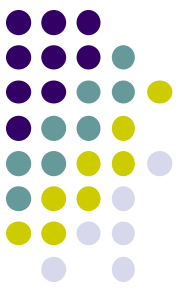
雜質分離

- 事業廢棄物在收集或處理等過程中，有時必須先將事業廢棄物加以分類、破碎、壓縮、篩選等前處理過程，以利後續之運輸、焚化、掩埋或再利用等階段。
- 事業廢棄物前處理的目的主要有3個：(1)增進營運效率；(2)回收可用物質；(3)回收轉化物或能源。
- 前處理技術則包括：(1)破碎（減小廢棄物尺寸）；(2)壓縮（減小廢棄物體積）；(3)分選（分類、篩選以利回收或處理）；(4)乾燥（減少水分以利燃燒）等。
- 事業廢棄物經由前處理後可分離出無機性雜質，以提高事業廢棄物之單位發熱量，俾利後續之熱處理階段，降低補助燃料之需求。



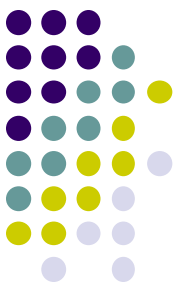
廢棄物前處理技術



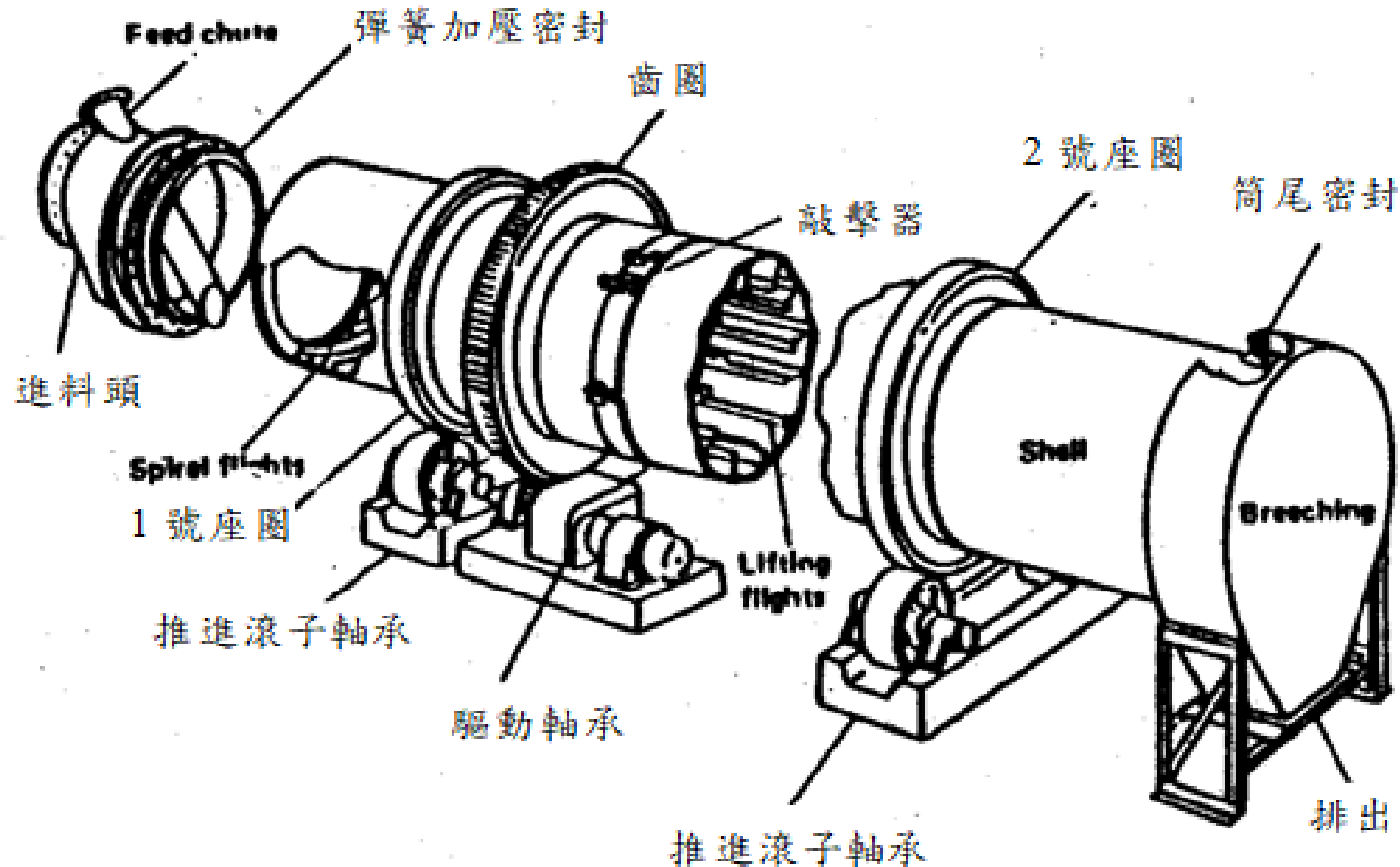


乾燥

- 事業廢棄物進行熱處理之前若先加以乾燥，可增加其發熱量以提升處理效率並降低處理成本。除了將廢棄物置於貯存區靜置風乾外，可利用乾燥機具以縮短所需時間。
- 常用之乾燥型式有：(1)乾燥轉盤 (Rotary Tray of Hearths)；(2)迴轉帶 (Endless Belt)；(3)滾筒 (Rotary Drum)；(4)流體化床 (Fluidized Bed)；(5)噴灑 (Spray)；(6)閃瀉 (Flash) 等。
- 事業廢棄物之加溫乾燥脫水方法有下列3種方式：
 - 對流 (Convection)：藉加熱介質（空氣或砂）直接與溼物接觸傳熱乾燥。
 - 傳導 (Conduction)：由加熱面與待乾燥廢棄物接觸，再傳導熱進入內部。
 - 輻射 (Radiation)：藉輻射方法將熱傳送至廢棄物上。



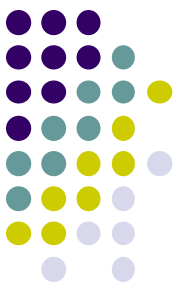
對流式直接加熱滾筒乾燥機





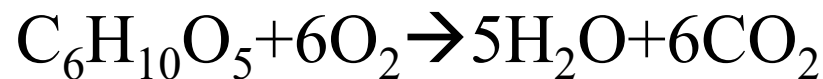
熱處理之分解與轉化技術

焚化主流技術及其分類與應用方式



概述

- 將廢棄物置於控制之高溫情況下，使可燃分氧化轉變為安定之氣體，不可燃分轉化為性質安定之無機物（灰燼），這種廢棄物處理方法稱為焚化處理。可燃分燃燒之化學反應式可以下式表示之：



- 焚化處理在各種廢棄物處理方法中，減容（量）效果最好，且能使腐敗性有機物，因燃燒而成為無機性，病原性生物也因在焚化爐內之高溫下死滅殆盡。從廢棄物之安定化與無害化來說，焚化是最好的方法，所以成為近年來世界各國主要研究發展的處理方式。



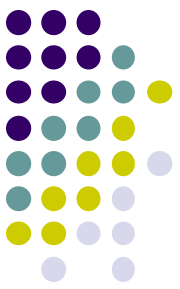
廢棄物焚化處理之設計步驟 (1/4)

計畫步驟	內 容
(一) 確定廢棄物性質	<ol style="list-style-type: none">1. 固體<ol style="list-style-type: none">(1)分解燃燒、蒸發燃燒或表面燃燒(2)著火性之良否(3)加熱升溫時之熔融性(4)分解速度2. 液體：(1)流動性；(2)黏度；(3)不純物混入率3. 氣體：爆炸界限
(二) 瞭解廢棄物組成	<ol style="list-style-type: none">1. 工業分析：水分、灰分、可燃分、溼基低位發熱量2. 元素分析：C、H、O、N、Cl、S、其他
(三) 計算燃燒空氣量	<ol style="list-style-type: none">1. 理論空氣量A_02. 實際空氣量A 根據廢棄物組成、焚化爐型式構造，選擇適當空氣比m值，計算實際空氣量$A=A_0 \times m \times$（單位時間處理量kg） [Nm³/h]



廢棄物焚化處理之設計步驟 (2/4)

計畫步驟	內容
(四) 計算燃燒氣體量	<ol style="list-style-type: none">1. 理論燃燒溼氣體量 G_02. 實際產生氣體量 G_n
(五) 計算發熱量	<ol style="list-style-type: none">1. 由物理組成分析值求出2. 由元素分析值求出<ol style="list-style-type: none">(1) Dulong式 (將O當做燃料之化合水考慮) $H_f = 81C + 342.5(H - O/8) + 22.5S - 6(9H + w)$(2) Steuer式 (O之一半為H₂O形式，另一半為CO形式) $H_f = 81(C - 3 \times O/8) + 57 \times 3 \times O/8 + 345(H - O/16) + 25S - 6(9H + w)$(3) Scheurer-Kestner式 (將O全部假定為CO形式) $H_f = 81(C - 3 \times O/4) + 57 \times 3 \times O/4 + 342.5H + 22.5S - 6(9H + w)$(4) Dulong修正式：$H_f = (\alpha_D + \beta)B - 6w$ 式中 α_D：Dulong式所得之可燃分低位發熱量；β：熱量計求得之可燃分低位發熱量 (α) 與 α_D 間之差 ($\alpha - \alpha_D$)；B：廢棄物中可燃成分百分率3. 由熱量計實際求出



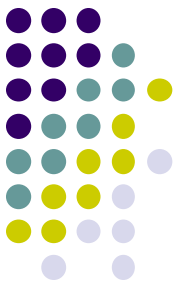
廢棄物焚化處理之設計步驟 (3/4)

計畫步驟	內容
(六) 計算比熱及燃燒溫度	
(七) 選定燃燒方式	<ol style="list-style-type: none">1. 燃燒氣體流動方式 (1)對流；(2)並流；(3)交流；(4)複流2. 燃燒過程 (1)一段；(2)多段
(八) 選定爐體型式	<ol style="list-style-type: none">1. 火格子燃燒方式焚化爐 (1)固定式；(2)階段式；(3)並列搖動式；(4)逆動式；(5)移動式；(6)迴轉圓桶式；(7)扇形迴轉式2. 爐床燃燒方式焚化爐 (1)固定床式；(2)迴轉窯式；(3)多層爐床式；(4)旋轉爐床式3. 流動層燃燒方式焚化爐 (1)Dorr-Oliver式；(2)Rheinstahl式；(3)Copeland式；(4)三井—拉修卡式；(5)克拉伯式；(6)耶哈拉式；(7)IHI式；(8)Lurgi式

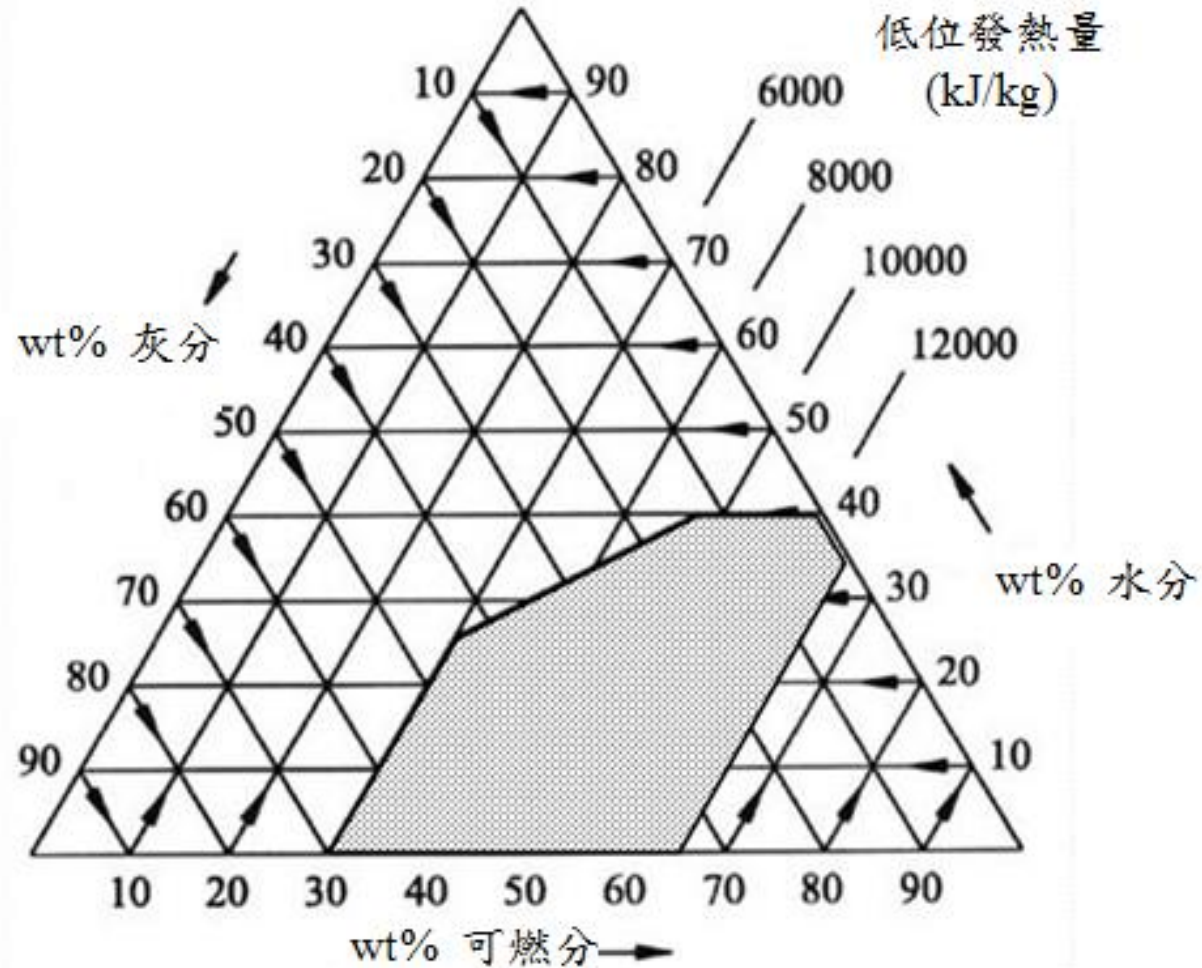


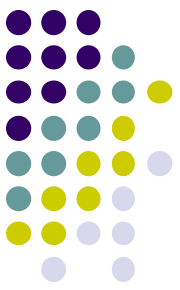
廢棄物焚化處理之設計步驟 (4/4)

計畫步驟	內 容
(八) 選定爐體型式	<ul style="list-style-type: none">4. 噴霧燃燒方式焚化爐 (1)加壓式；(2)二流體式；(3)迴轉式5. 浮遊燃燒方式焚化爐6. 高壓燃燒方式焚化爐 (1)管式；(2)攪拌槽式
(九) 設定爐體、氣體流動過程之尺寸	<ul style="list-style-type: none">1. 選定適當之燃燒室熱負荷、爐床燃燒率，以決定爐床面積及爐之燃燒室容積2. 由燃燒氣體量，決定氣體流程之尺寸



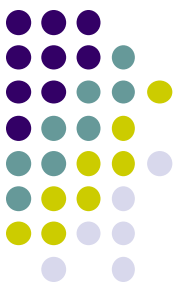
典型焚化爐操作最佳三成分範圍





焚化法之優點

- 所需的土地面積較少。
- 可以選擇處理地點於市區內，減少大量的搬運費。
- 殘渣灰分變成無害化、有機物少，適於填地（減量化）。
- 能夠處理各種不同之廢棄物，環境衛生及二次公害可有效之控制。
- 氣候的影響較少。
- 操作有彈性，可做有限度的增加或減少處理量。
- 焚化所產生之熱能可回收利用於火力發電廠或冷暖房等其他型態之能源。
- 可以很迅速的處理大量的廢棄物，所有的害蟲、細菌均可燒死。
- 減量效果，可將廢棄物原體積減至1/10-1/20。



焚化法之缺點

- 須要有較高的操作技術，設備費昂貴，須做較大的投資。
- 操作、維持費較高。
- 處理位置選擇困難，易遭民眾之反對（與衛生掩埋同）。
- 非最終之處置辦法，因還有灰分及無機殘渣，未能解決。
- 須有防塵、防毒設備。
- 建廠耽擱廢棄物之處理。
- 焚化法可能引起之公害問題：
 - 燃燒溫度控制不良時，易導致空氣污染問題。
 - 排煙中含有害的HCl氣體。
 - 會產生廢污水，而其中重金屬含量很高。
 - 運轉時會引起噪音問題。



典型的焚化爐操作狀況

種 類	燃燒區溫度 (°C)	燃燒廢氣滯留時間 (秒)	過量空氣 (%)
液體噴注式	980-1,600	0.3-2.0	120-250
旋轉窯	650-1,250	2	50-250
二次燃燒室	1,100-1,350	1.0-3.0	120-200
熔爐床	1,200-1,600	>2	180-200
流體化床	550-1,100	1.0-3.0	100-150
多爐床式	750-950	0.1-2.0	100-200



廢棄物對不同焚化爐之適用性

廢棄物種類	旋轉爐床	液體噴注	流體化床	多爐床
固體物				
粒狀、均勻	O		O	O
不規則、大型	O			
高熔點	O	O _a	O	O
含可熔灰分之有機化合物	O			O
未切割之巨大物質	O			
氣體				
有機揮發物	O _b	O _b	O _b	O _b
液體				
高強度有機廢棄物（常含有毒性）	O _c	O	O	
有機液體	O _c	O	O	
固體物/液體				
含有鹵素環狀化合物	O	O _d		
液體之有機污泥	O _e			

O:表示適用之焚化爐型

O_a:若廢棄物可被熔化及抽送

O_b:適當的投入焚化爐

O_c:設置有輔助之液體噴射器

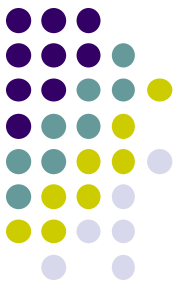
O_d:液體

O_e:假設乾燥時不會變成黏性之廢棄物



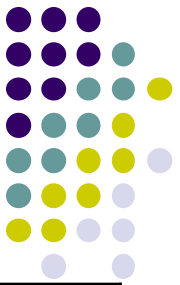
焚化爐之比較 (1/4)

	旋轉爐	液體噴注	流體化床	多爐床
優點	<ol style="list-style-type: none">1. 使用範圍較廣，對液體及固體具單獨或混合處理之能力，且物質係以熔解狀態燃燒之。2. 可應用於桶裝及散裝之廣泛填料機設計。3. 廢棄物可未經預熱、混合之準備而直接加入爐中，且對非揮發廢棄物處理之停留時間可以調整旋轉速度控制之，其轉速允許50%範圍之轉降率。4. 對固體廢棄物處理，有好的攪動，接觸空氣，且能連續去除渣而不干擾廢棄物之氧化。5. 可以在超過1,370°C之情況下操作，適於破壞不易分解之毒性物質。	<ol style="list-style-type: none">1. 能燃燒廣範圍之液體廢棄物。2. 所需維護費低，且不需有連續之除灰系統。3. 具快速之溫度反應特性，且能承受相當高溫轉降率。	<ol style="list-style-type: none">1. 可用以處置可燃燒之固、液、氣體廢棄物，並可有負荷劇增之彈性，對較潮溼之物質能快速乾燥，並燃燒之。2. 因流動效應增加反應接觸面積，故增加燃燒效率。另因爐床聚存大量熱能，故能承受量及組成上的變動。3. 由於以單位體積之高熱值率設計 (900,000-1,800,000 kcal/hr · m³) 所以主要設備費較低。而亦具有較長之耐久性及較低之維護費。4. 氣體溫度及多餘空氣量較低 NO_x較少，並爐床材質之適當選擇可抑制酸氣之產生，均能減少二次污染控制系統之費用。	<ol style="list-style-type: none">1. 處理低揮發性物質多爐床比其他焚化爐具較長之停留時間反應，並能處理不同物、化性質之物質。2. 可使用如天然瓦斯、再製瓦斯、油、廢油及溶劑等多種燃料。且其燃油效率較高，並可在任何爐床加裝燃油器以維持爐體溫度。



焚化爐之比較 (2/4)

	旋轉爐	液體噴注	流體化床	多爐床
缺點	<ol style="list-style-type: none">1. 需較高之主要設備費。2. 粒狀物負荷較高，且熱效率相當低。3. 圓形或桶形物質可能於完全燃燒前即被滾送出爐體外，且懸浮微粒可能於完全燃燒前，即傳送出體外。4. 需小心操作以防止耐火材料損壞，尤其溫度劇變衝擊，另爐架可能有熔態物質堵塞問題。5. 有爐體兩末端封口漏氣，故需另補空氣及維修困難之問題。	<ol style="list-style-type: none">1. 僅可被霧化的廢棄物才能燃燒，且燃燒器無法接受乾燥、餅狀的物質通過噴嘴。2. 燃燒噴嘴易於堵塞（設計時，僅能接受特定粒徑；故粒徑尺寸設計，為成功操作之點參數）。3. 須供給輔助燃料以維持適當點火及燃燒溫度。	<ol style="list-style-type: none">1. 需要準備及維護工作，並特殊之操作程序以避免損壞爐床，所以其操作費相當高，尤其能源費。2. 選擇避免導致爐床腐蝕及反應物質，所產生殘渣不易從爐床中去除。3. 不適用於不規則一巨大之廢棄物、焦油固體物或含熔解性灰分之廢棄物，對較潮溼之物質，有其操作上之困難；而共融混合物之形成，尤為一嚴重問題。4. 對有害廢棄物之處理尚未開發完成。	<ol style="list-style-type: none">1. 由於較長之反應停留時間及較慢之溫度反應，則燃油器之調整會很慢，而且不易控制。2. 需較高之維護費，且若用以在處理有害廢棄物時，需設計二燃燒室及對不同溫度之操作。3. 對突增廢棄物輸入熱值很敏感。且可能因而縮短使用年限。4. 不適用於含融解性灰分之廢棄物及不規則巨型固體物。



焚化爐之比較 (3/4)

	旋轉爐	液體噴注	流體化床	多爐床
概述	<ol style="list-style-type: none">1. 爐體為一微傾斜圓型滾桶，典型尺寸為尺15 m，直徑3 m，溫度為810-1,590°C，停留時間可由數秒（氣體）到數小時（固體物）。處理固體物之典型容積為590-2,000 kg/hr。2. 通常以批式填料，固體物以纖維桶裝或以輸送機填入爐，廢棄及污泥則泵入爐中。3. 爐體全部以耐火材料裡襯，能於高溫下操作，且低腐蝕。4. 通常配裝燃燒天然瓦斯，以供預熱、火焰穩定及為必要時之輔助燃料。5. 廢氣通常以凡式滌塵器控制，並加石灰以中和之。	<ol style="list-style-type: none">1. 廢液經燃燒噴嘴加入及霧化而進入燃燒室。2. 經噴霧化顆粒具體大表面積能快速蒸發，形成可燃燒之廢氣混合物，而典型之液體填加率為6 m³/hr。3. 燃燒室由耐火材料裡襯，其停留時間及溫度範圍分別為1.5-2秒及1,300-3,000°C，並可以擬輸入之空氣冷卻室外壁，使空氣預熱至300-700°C。4. 燃燒器通常設備燃燒室內，以免火焰直接噴擊壁。5. 廢液放入進料槽後，應以加壓氮氣填充。	<ol style="list-style-type: none">1. 典型爐體內徑8 m，高10 m，爐床停置時高度為1 m加入浮動空氣時，膨脹為2 m。2. 廢棄物及輔助燃料以輻射狀注入450-1,600°C爐床中反應，而爐體上部之溫度可達980°C處理液體有上部之停留時間12-14秒。3. 釋熱率達15 million kcal/hr；液體熱值為5,550 kcal/hr之進料率可達1.3 m³/hr，熱值為1,660 kcal/hr時，進料率可達7.6 m³/hr。4. 爐體排出廢氣可用凡式滌塵器控制，並將其自1,600°C驟冷80°C。	<ol style="list-style-type: none">1. 具伸縮性，可用以處理市鎮污泥、渣、固、液、氣狀之廢棄物。最初源於1934年用以處理市鎮污泥，至1986年已有125座。2. 爐體直徑1.8-7.5 m，高3.6-22.5 m，一般焚化最少需要6室。3. 廢棄物自爐頂直接投入，灰渣由爐底排出。4. 在研究中指出，處理殺蟲劑時，後燃燒室之溫度760-950°C。



焚化爐之比較 (4/4)

	旋轉爐	液體噴注	流體化床	多爐床
主要設備	<ul style="list-style-type: none">1. 廢棄物填料系統。2. 旋轉焚化爐體。3. 輔助油料系統。4. 後燃燒器。5. 空氣污染控制系統。	<ul style="list-style-type: none">1. 燃燒室。2. 空氣補充系統。3. 廢棄物燃燒系統。4. 輔助燃料系統。5. 空氣污染控制系統。	<ul style="list-style-type: none">1. 流體化床反應爐體。2. 流動空氣鼓風機。3. 廢棄物填料系統。4. 輔助燃料系統。5. 空氣污染控制系統。	<ul style="list-style-type: none">1. 爐體。2. 輔助燃料系統。3. 空氣污染控制系統。4. 廢棄物加料系統。5. 空氣補充系統。
說明	是目前處理有害廢棄物之主要型式之焚化爐。	是目前處理有害廢棄物較普遍型式之焚化爐。	初步已用於市鎮及事業廢棄物處理，對有害廢棄物之處理極具潛力。	較少應用於有害廢棄物之處理。



基本燃燒計算

- 燃燒室熱負荷

$$Q = \frac{W \times H_1}{V \times h} \text{ (kcal/m}^3 \cdot \text{hr)}$$

H_1 ：溼基低位發熱量 (kcal/kg) W ：每日焚化處理廢棄物量 (kg/d)

h ：每日燃燒時間 (hr/d) V ：第一、二燃燒室總容積 (m^3)

Q ：每 m^3 單位淨容積1小時燃燒產熱量 ($\text{kcal/m}^3 \cdot \text{hr}$)

熱量通常以溼基低位發熱量 (H_1) 為準。

- 燃燒室熱負荷之標準值為

- 批次式： $4\text{-}7 \times 10^4 \text{ kcal/m}^3 \cdot \text{hr}$
- 連續式： $8\text{-}15 \times 10^4 \text{ kcal/m}^3 \cdot \text{hr}$

- 爐內正常壓力以負1.0至負3.0 mm水柱壓力為原則



爐床燃燒率（負荷率）

- 爐床每平方公尺每小時可以燃燒處理之廢棄物量 (kg) 稱為爐床燃燒率。
- 焚化底渣之灼燒減量應符合下列規定：
 - 全連續式焚化處理設施：
 - 每日燃燒量200公噸以上者在5%以下。
 - 每日燃燒量未達200公噸者在7%以下。
 - 準連續式焚化處理設施每日燃燒量40至180公噸者在7%以下。
 - 分批填料式焚化處理設施在10%以下。



爐床燃燒率 (G)

$$G = \frac{W}{h \times A} \text{ (kg/m}^2 \cdot \text{hr)} , A = \frac{W}{h \times G}$$

A：爐床面積 (m²)

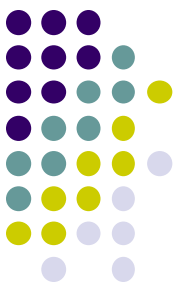
W：每日操作時間內之焚化量 (kg/d)

h：每日操作時間係數；批次式以10 hr/d計算
準連續式以16 hr/d計算
全連續式以24 hr/d計算



爐床燃燒率 (G)

- 發熱量1,000 kcal/kg之廢棄物以爐床焚化時，
爐床燃燒率之標準為：
 - 連續燃燒式： $G=200 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hr}$
 - 焚化能力150 t/24 hr爐
 - 空氣預熱溫度200°C
 - 未燃分7%
 - 準連續式： $G=160 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hr}$
 - 強制送風（或20 mmHg以上之自然通風）
 - 未燃分7%
 - 批次式： $G=120 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hr}$ （自然通風，未燃分10%）



空氣量計算

- 理論空氣量 (A_0)：可燃成分完全燃燒理論上所需空氣量

(氫) 之燃燒 $H + \frac{1}{4}O_2 \rightarrow \frac{1}{2}H_2O$, $\frac{H}{2} \times \frac{1}{4} \times 22.4 \text{ (Nm}^3\text{)}$

(硫) 之燃燒 $S + O_2 \rightarrow SO_2$, $\frac{S}{32} \times 22.4 \text{ (Nm}^3\text{)}$

燃料中之氧 $O \rightarrow \frac{1}{2}O_2$, $\frac{O}{16} \times \frac{1}{2} \times 22.4 \text{ (Nm}^3\text{)}$

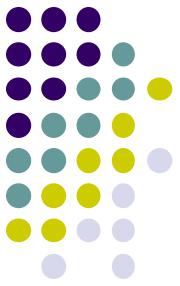
$$\text{理論氧氣量 } O_0 = \left\{ \frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S}{32} - \frac{O}{32} \right\} \times 22.4 \text{ (Nm}^3\text{/kg)}$$

$$\text{理論空氣量 } A_0 = \frac{O_0}{0.21} \text{ (Nm}^3\text{/kg)}$$

$$= 8.89C + 26.7\left(H - \frac{O}{8}\right) + 3.3S \text{ (Nm}^3\text{/kg)}$$

若以重量表示： $O_0 = \left\{ \frac{C}{12} + \frac{H}{4} + \frac{S}{32} - \frac{O}{32} \right\} \times 32 \text{ (kg/kg)}$

$$A_0 = \frac{O_0}{0.232} \text{ (kg/kg)} \text{ (空氣比重：} 0.00121 @ 20^\circ\text{C)}$$



Cellulose 置換法

- 將廢棄物之可燃分視為纖維素成分 (Cellulose, $C_6H_{10}O_5$) 以求理論空氣量：

$$A_0 = a \times 3.95 \times B / 100 \text{ (Nm}^3\text{/kg)}$$

B：可燃分百分率

a：廢棄物質之變化係數=1.15-1.5



燃燒空氣量 (A)

- 實際需要空氣量應足以供應一次及二次燃燒之需，並應足以供混合（廢棄物與空氣）之量

$$\text{需要空氣量 (A)} = mA_0, \quad m = \frac{0.21}{0.21 - (O_2)}$$

(O₂)：燃燒後廢氣中O₂所占體積百分率

空氣比 (m)： 1.7-2.5（連續式爐床）

1.3-1.8（流體化床）

(m-1)×100%：過剩空氣百分比



Rosin方法

- 若無元素分析值，可由Rosin式估算之：

假定 $A_0/G_0=f(H_1)$

固體燃料：

$$G_0 = \frac{0.89}{1,000} H_1 + 1.65 \text{ (Nm}^3\text{/kg)}$$

$$A_0 = \frac{1.01}{1,000} H_1 + 0.5 \text{ (Nm}^3\text{/kg)}$$

燃燒氣體量 $G_v = mG_0$

必要空氣量 $A = mA_0$



例題

設垃圾之低位發熱量 (H_l) 為：

最低值：800 kcal/kg

平均值：1,200 kcal/kg

最高值：2,000 kcal/kg

焚化處理廠處理量 $W=100$ t/day

方式：全連續式 (24 小時)

試求：(1) 焚化爐燃燒室所需容積？

(2) 爐床 (Stoker) 之必要面積？

(3) 必要空氣量？

(4) 燃燒氣體量？



解：(1) 假定燃燒室負荷率 $Q=10 \times 10^4 \text{ kcal/m}^3 \cdot \text{hr}$

(連續式 $Q=8 \sim 15 \times 10^4 \text{ kcal/m}^3 \cdot \text{hr}$)

$$\text{燃燒室容積 } V = \frac{W \times H\ell}{Q \times H} = \frac{100 \times 10^3 \times H\ell}{10 \times 10^4 \times 24} = \frac{H\ell}{24} = 83.33 \text{ m}^3$$

(2) 假定爐床燃燒率 $G=200 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{hr}$ (全連續式)

$$\text{爐床面積 } A = \frac{W}{G \times H} = \frac{100 \times 10^3 (\text{kg})}{200 \times 24} = 20.83 \text{ m}^2$$

(3) 定空氣比 $m=2.0$

必要空氣量 $A=mA_0$ (Rosin 式)

$$\begin{aligned} &= 2.0 \times \left(\frac{1.01}{1,000} \times 2,000 + 0.5 \right) \\ &= 5.04 (\text{Nm}^3/\text{kg}) \end{aligned}$$

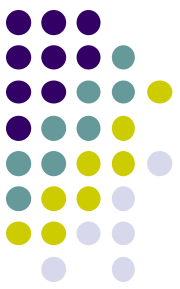
(4) 燃燒氣體量 $Gv=mG_0$

$$\begin{aligned} &= 2.0 \times \left(\frac{0.89}{1,000} \times 2,000 + 1.65 \right) \\ &= 6.86 (\text{Nm}^3/\text{kg}) \end{aligned}$$



焚化爐種類與應用

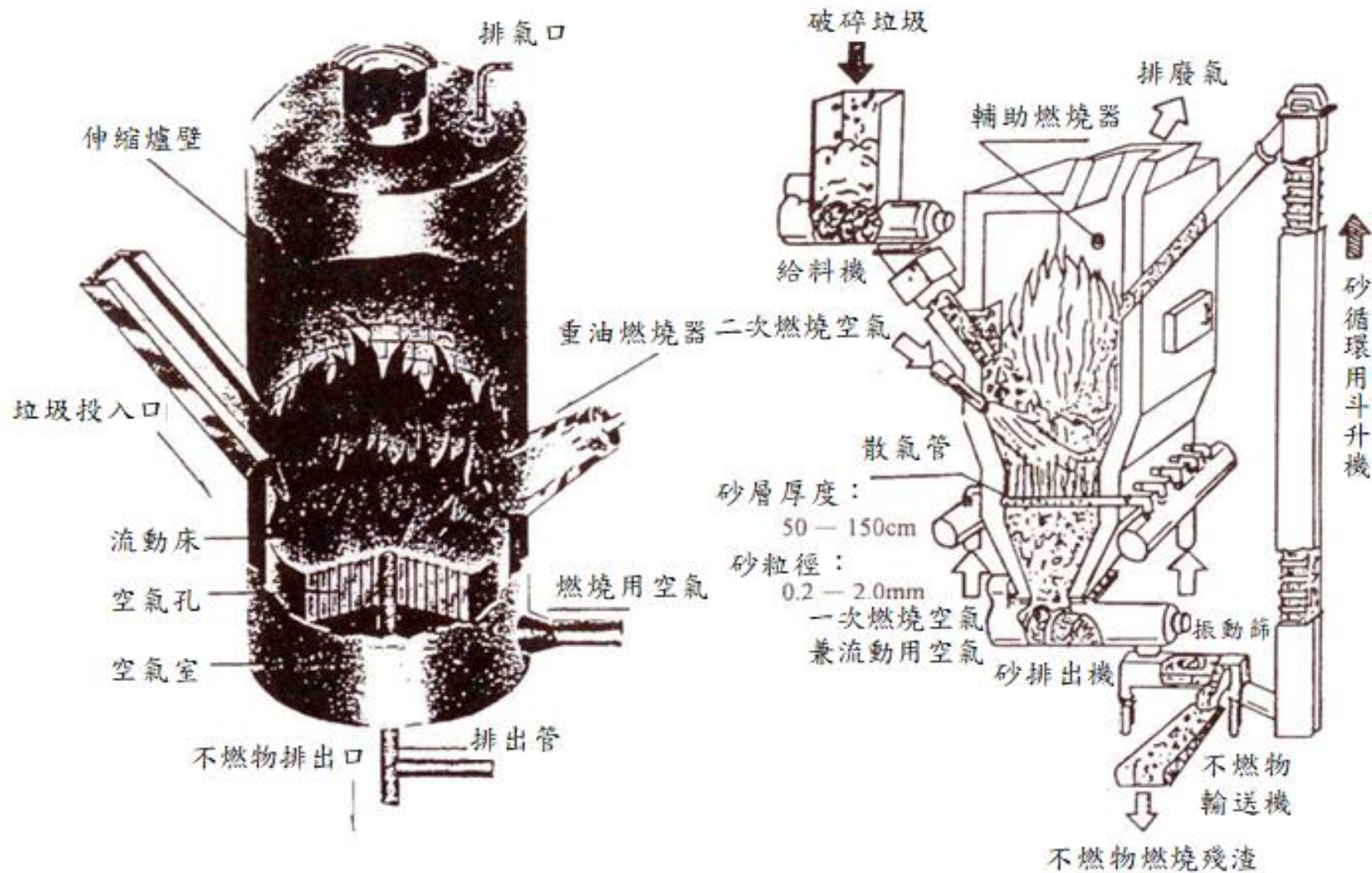
- 焚化技術主要包括有：
 - 機械爐床式焚化爐
 - 流體化床式焚化爐
 - 旋轉窯式焚化爐
 - 液體噴注式焚化爐
 - 多爐床式焚化爐
 - 低量空氣系統（燻式）焚化爐
 - 模具式焚化爐
 - 噴燒式焚化爐

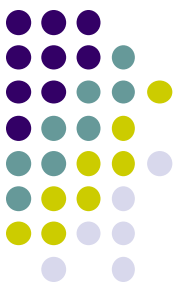


流體化床焚化爐

- 流體化床具有非常良好的氣、固體接觸作用，易於控制其溫度及滯留時間。
- 早期已成為煤炭氣化、重油裂解、礦石燒焙、鍛燒、乾燥、冷卻及燃燒等反應器。
- 在廢棄物處理方面，普遍為石油、紙漿造紙工業及都市環保機構用於處理有機廢液、黑液、木片及下水道淤泥等廢棄物。

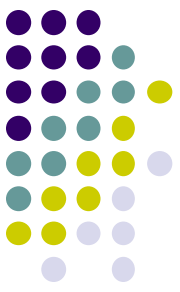
流體化床式焚化爐





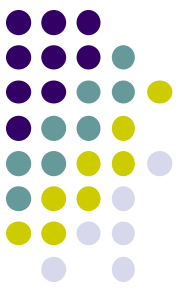
流體化床焚化爐之優點

- 高熱傳速率使燃燒迅速，燃燒室熱負荷為其他焚化爐的5-10倍。
- 爐床攪動可防止固體成層現象。
- 被加熱之顆粒儲存大量迅速可利用之熱，進料變化之影響小，溫度變化少。
- 廢棄物中的鹵素及硫分可直接將中和劑噴入爐內中和。
- 對有機物之燃燒破壞完全，排氣量少，氮氧化物含量低。
- 構造簡單較少零件需求（減低維修費用）。
- 有能力處理熱值變化較大的廢棄物。
- 不易發生過高壓力的排放（由阻絕系統設計所造成）。
- 減少熱點和冷點產生（由爐床的高度擾動及混合所造成）。



流體化床焚化爐之缺點

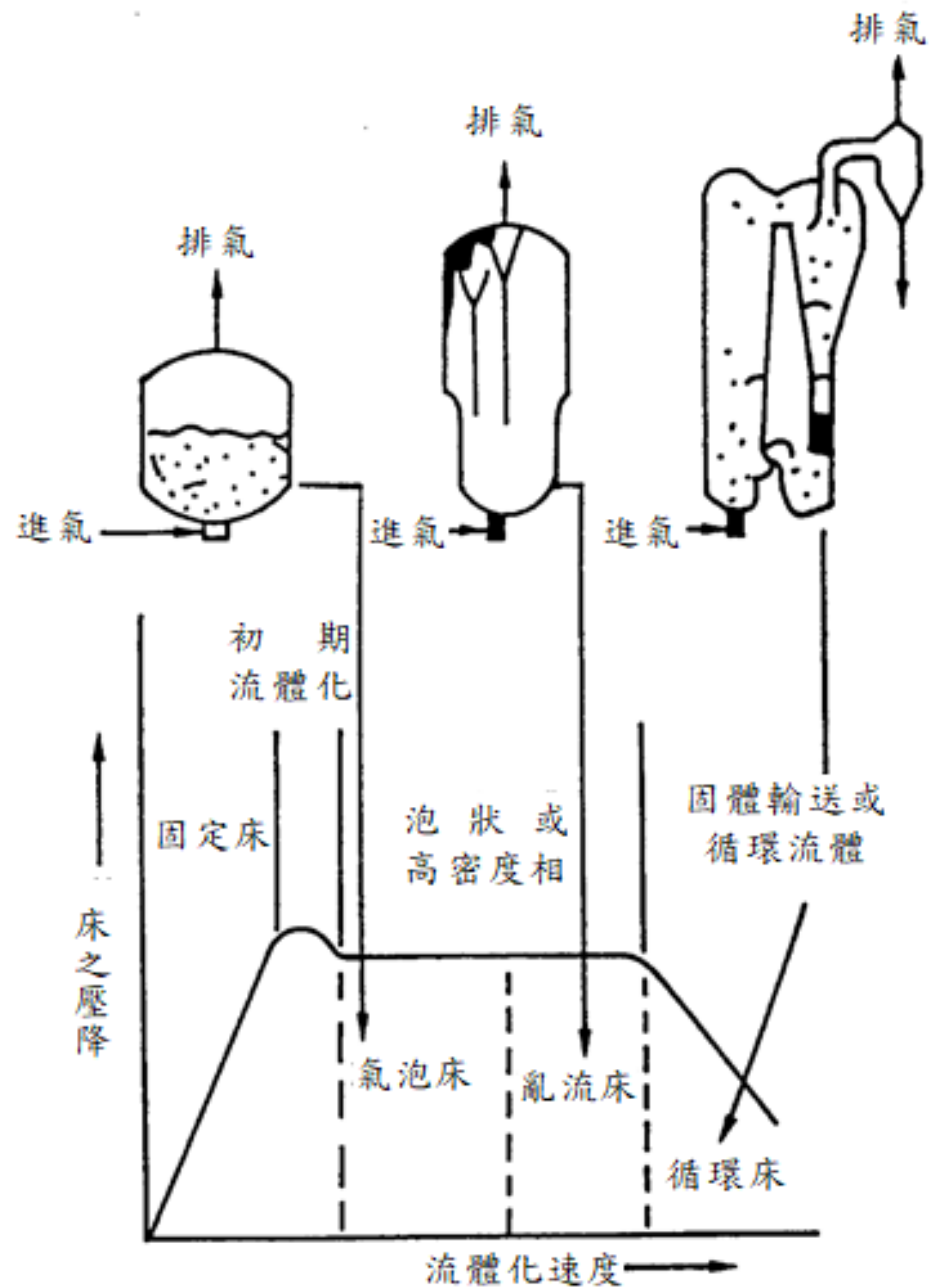
- 僅能直接處理液態、污泥或粒狀固體物，塊狀及大固體物必須經過前處理。
- 控制系統複雜，運轉時必須小心，以維持爐壓、溫度之分配，灰渣排除及固體進料管道易受堵塞，運轉費用高。
- 尚未普遍使用，安全、有效的操作運轉步驟尚未完全建立。
- 排氣中粉塵含量高。
- 共融混合物之形成，為操作上困難之問題。

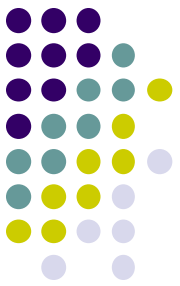


流體化床焚化爐之適用廢棄物

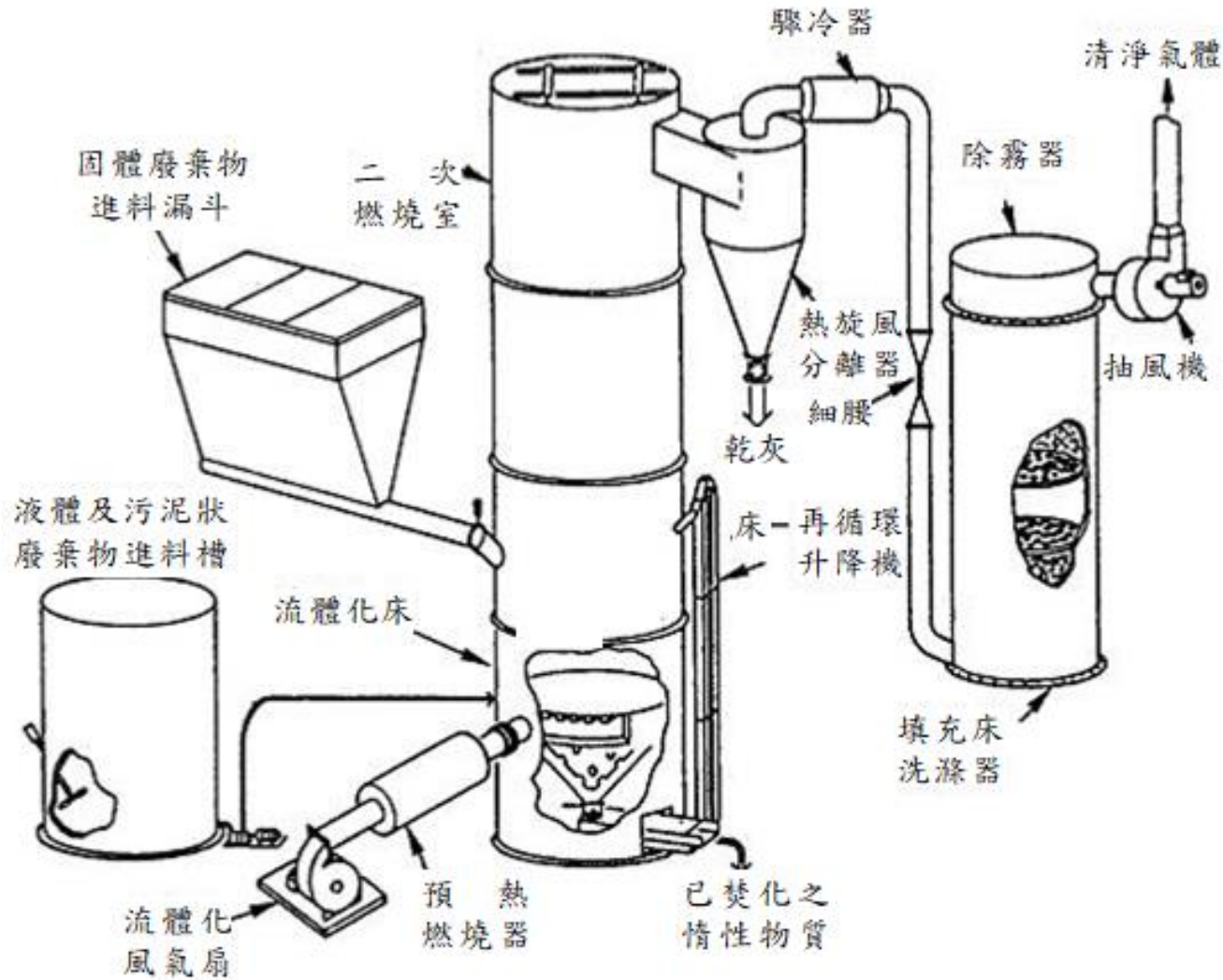
- 石油及化學工業：生物分解式廢水處理後產生的污泥，或儲槽沉積物、鹼性廢油。
- 金屬及礦業：廢切割潤滑油、油漆、潤滑油及鋼鐵工廠廢棄物。
- 紙漿及造紙工業：廢水處理中的沉澱池淤泥、剩餘活性污泥、黑液。
- 食品及製藥工業：蔗渣、茶及咖啡渣、生物式廢水處理產生之污泥、動物廢物及不合格原料及產品。
- 都市、鄉鎮等地方環保機構：都市固體廢棄物、廢水處理後的污泥。

流體化床壓降 與流體化速度 之關係

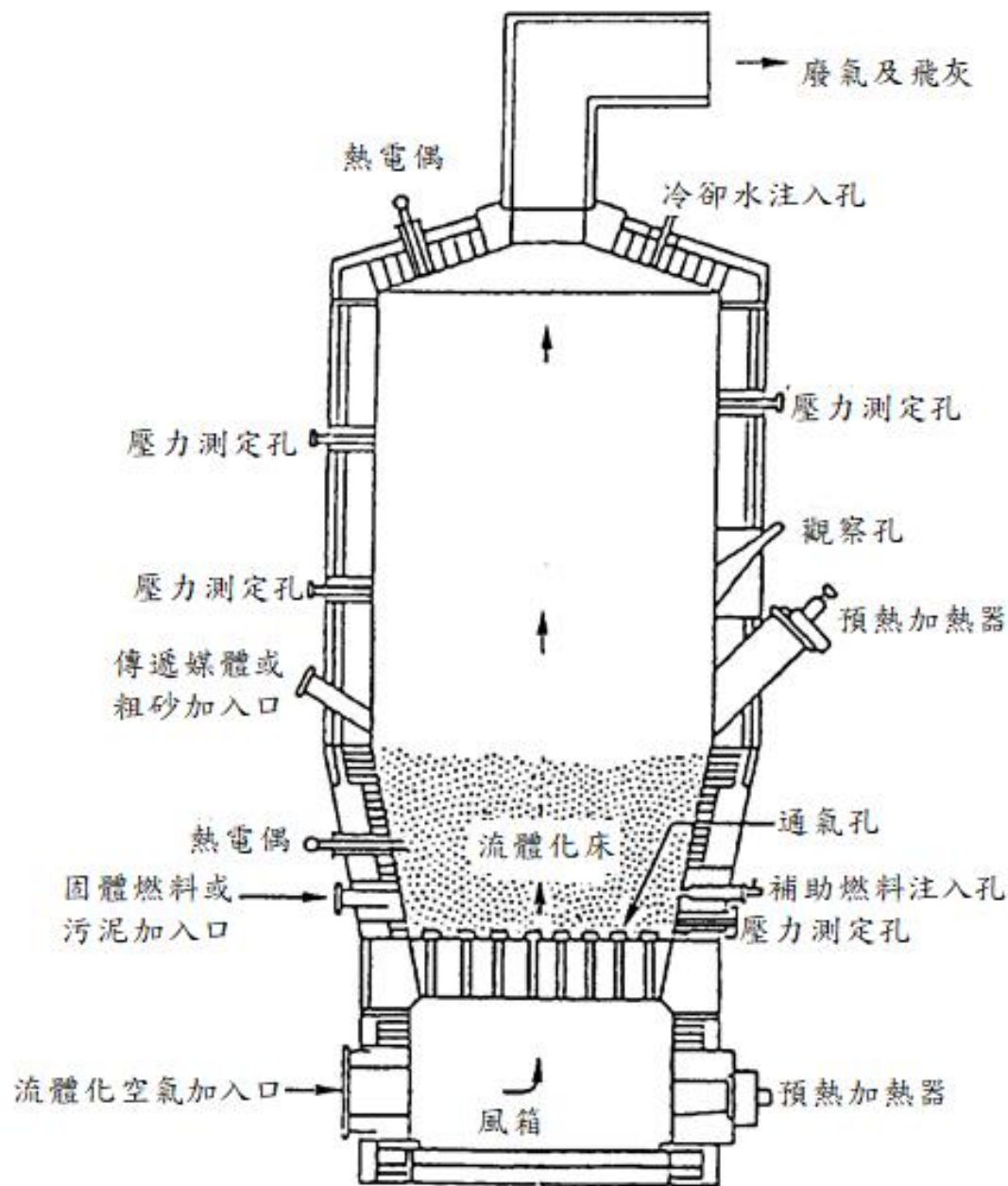




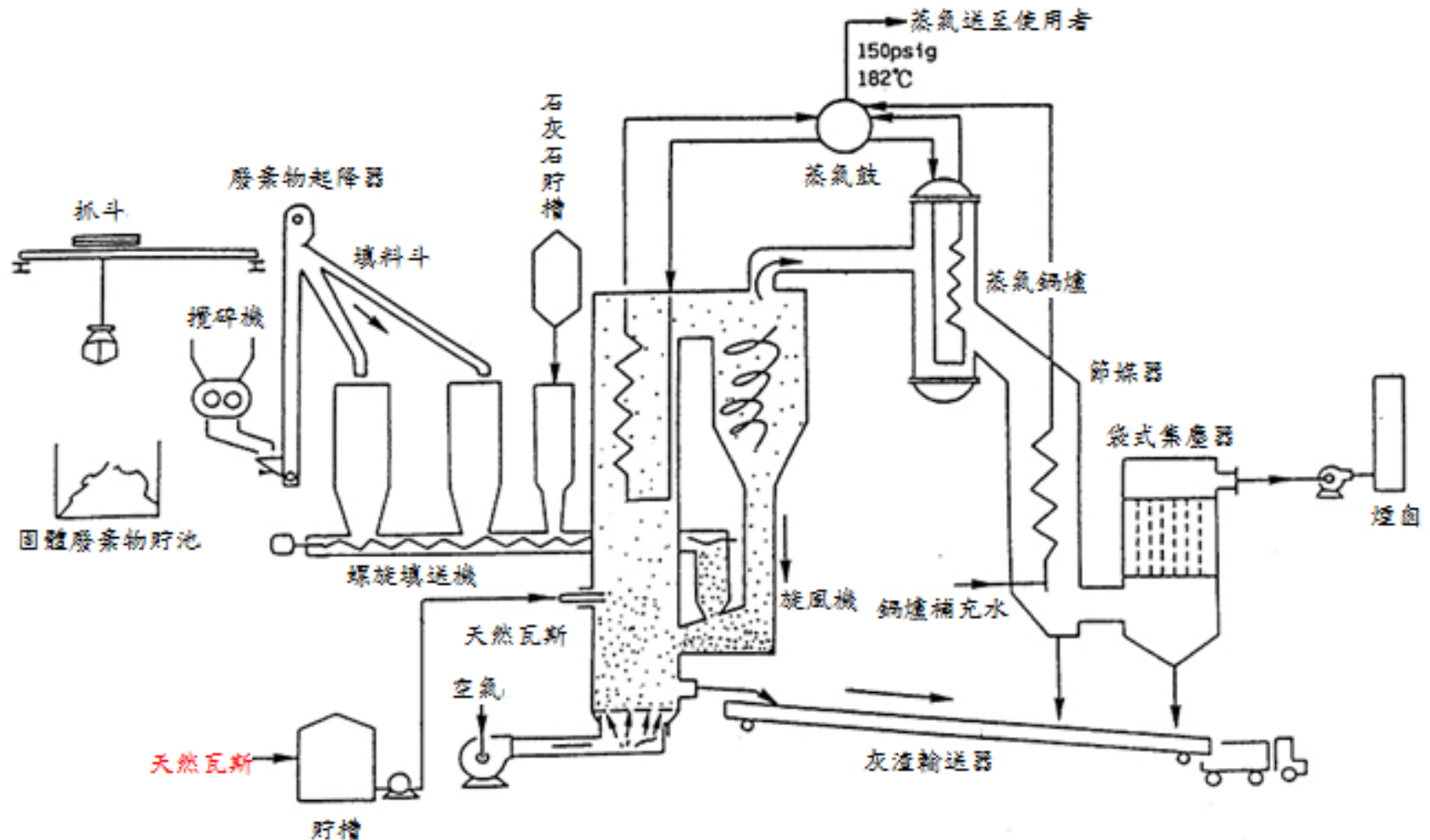
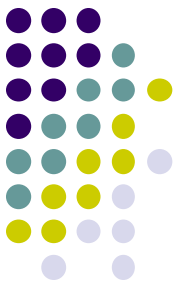
氣泡式流體化床焚化系統

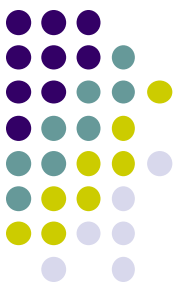


氣泡式流體化床爐體細部結構



循環式流體化床焚化系統

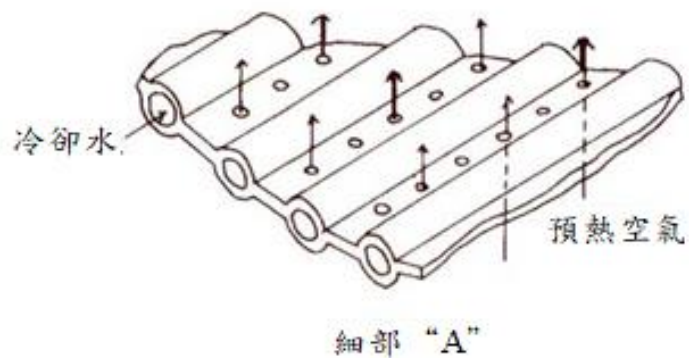
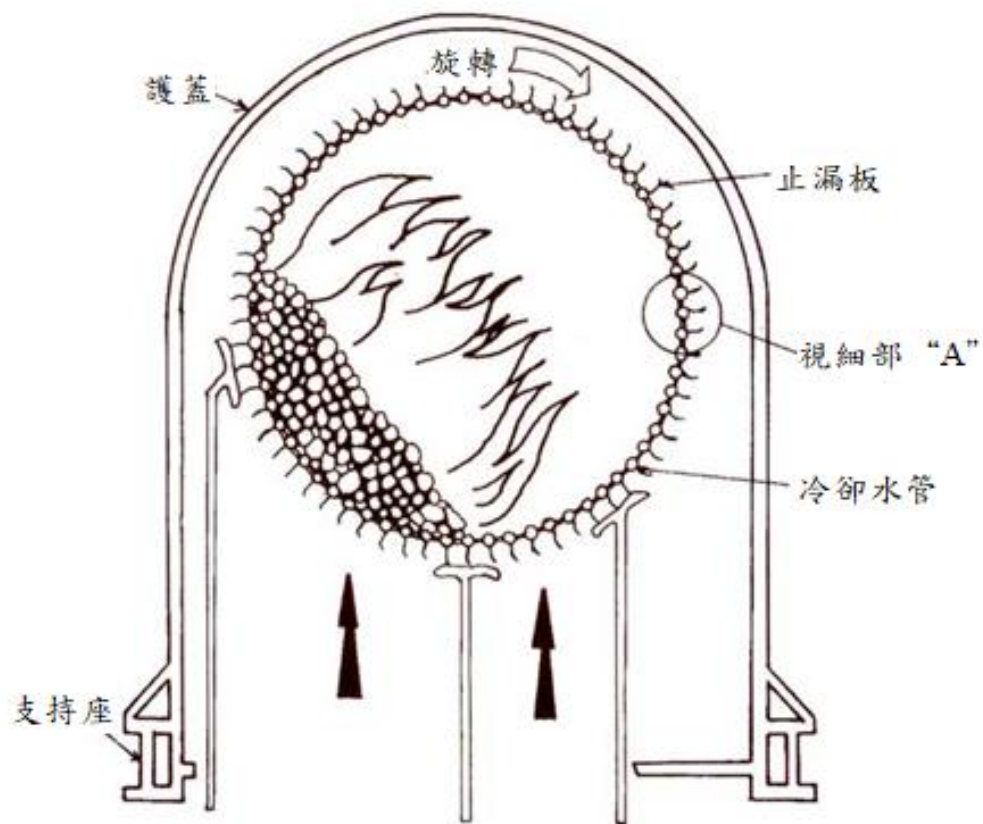




旋轉窯焚化爐

- 旋轉窯焚化爐是由一些微傾斜 (2-3%) 並內襯耐火材料之鋼製空心圓筒構成。
- 由於可能高達接近 $1,200^{\circ}\text{C}$ 的操作溫度，向來應用於水泥、石灰、黏土、磷酸鹽、鐵礦、砂石、煤、焦炭等固體與半固體原料的處理。
- 旋轉窯焚化爐能有效處理固體、液體、污泥等各種不同形態的廢棄物，目前已普遍為工業界所採用。

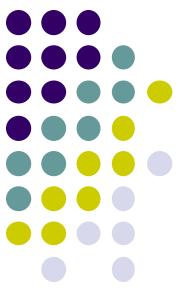
旋轉窯式 焚化爐





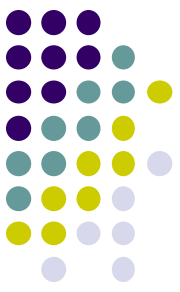
旋轉窯焚化爐之優點

- 可以處理各種不同形狀的固液體廢棄物。
- 可以處理熔點低的物質。
- 可以分別接受固體及液體進料。
- 可以將桶裝或大形塊狀固體廢棄物直接送入窯內處理。
- 窯內氣體亂流程度高，氣、固體接觸良好。
- 窯內無移動的機械組件，保養容易。
- 窯內固體滯留時間可以由轉速之調整而控制。
- 溫度達 $1,200^{\circ}\text{C}$ 以上，可以有效摧毀任何有害物質。



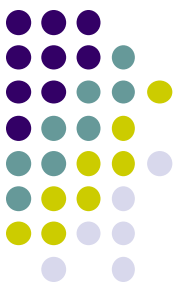
旋轉窯焚化爐之缺點

- 投資成本和操作費高。
- 運轉時必須小心，耐火磚維護費用高。
- 球狀及筒狀物體可能會快速滾出窯外，無法完全焚化。
- 過剩空氣需求高，排氣中粉塵含量高。
- 熱效率低。
- 須有足夠廢棄物，維持繼續操作一段較長時間，才合乎經濟原則。



旋轉窯焚化爐之適用廢棄物

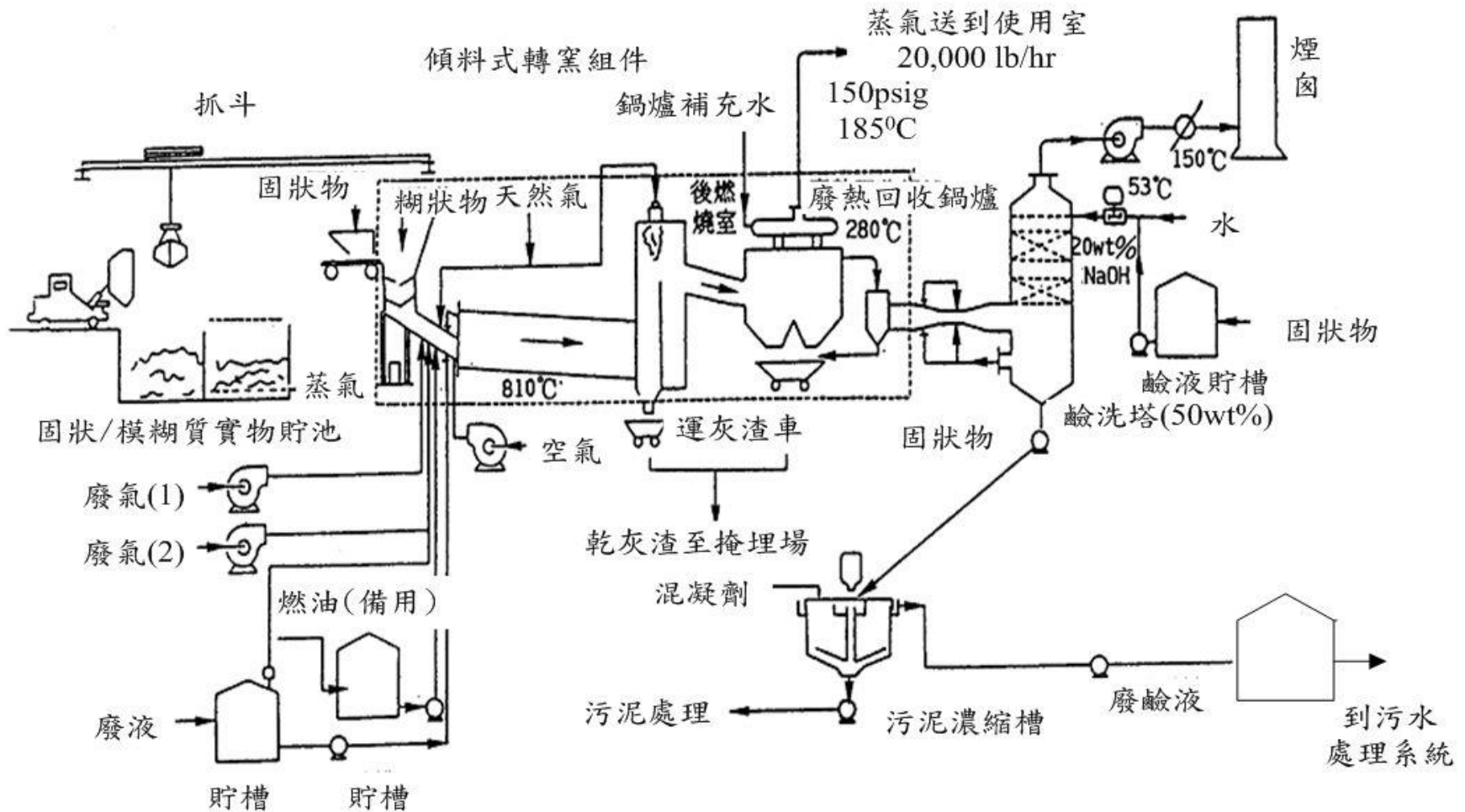
- 除了水、無機物或重金屬含量較高的不可燃廢棄物外，各種不同狀態（固體、液體及污泥等）及形狀（桶狀、塊狀、粉狀、顆粒及稠狀）的可燃性廢棄物皆可以旋轉窯焚化爐處理之。
- 另外，許多毒性化學物質如化學戰劑、多氯聯苯及過期的軍火亦可以旋轉窯焚化爐予以有效的處理。

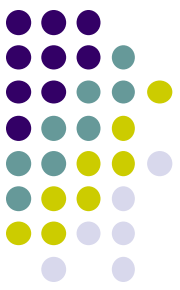


適於旋轉窯焚化爐處理的廢棄物

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• 氯化有機溶劑（氯甲烷、氯仿、過氯乙烯）• 氧化溶劑（丙酮、丁醇、乙基醋酸等）• 碳氫化合物溶劑（苯、己烷、甲苯等）• 混合溶劑、廢油• 油/水分離槽之污泥• 殺蟲劑洗滌廢水• 廢殺蟲劑及含殺蟲劑之廢料• 化學物儲槽之底部沉積物• 氯化有機物蒸餾後之底部沉積物• 一般蒸餾殘渣• 含多氯聯苯的廢棄物• 高分子聚合廢物及高分子聚合反應後之殘渣• 黏著劑、乳膠及油渣 | <ul style="list-style-type: none">• 藥廠廢物• 下水道污泥• 生物廢物• 過期之有機化合物• 一般固液體有機化合物• 殺蟲劑、除草劑• 含10%以上有機廢物的廢水• 含硫污泥• 去除潤滑劑的溶劑污泥• 油漆、紙漿及一般污泥• 光化合物及照相處理的液固體廢物• 受有害物質污染的土壤 |
|--|---|

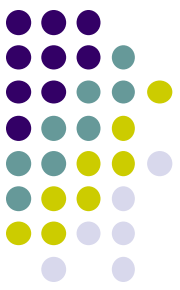
旋轉窯焚化爐處理系統





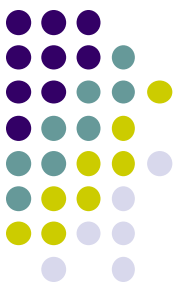
旋轉窯焚化爐之溫度

- 乾灰式旋轉窯內的溫度通常維持在 850°C 至 $1,000^{\circ}\text{C}$ 以間，如果溫度過高，窯內固體易於熔融，溫度太低，反應速率慢，燃燒不易完全。
- 熔渣式旋轉窯則控制於 $1,200^{\circ}\text{C}$ 以上，二次燃燒室氣體的溫度則維持於 $1,100^{\circ}\text{C}$ 以上，但是不宜超過 $1,400^{\circ}\text{C}$ ，以免過量的氮氧化物 (NO_x) 產生。



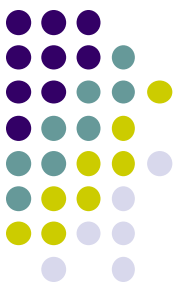
旋轉窯焚化爐之氧含量

- 旋轉窯的廢液燃燒器的過剩空氣量是控制於10-20%之間。
- 如果過剩空氣量太低，火焰易生煙霧，太高則火焰易被吹至噴嘴之外，可能導致火焰中斷。
- 旋轉窯中之總過剩空氣量通常維持在100-150%之間，以促進固體可燃物與氧氣接觸，部分旋轉窯甚至注入高溫度的氧氣。
- 二次燃燒室過剩空氣量約為80%。



旋轉窯焚化爐之氣體滯留時間

- 一般有機蒸氣在 870°C 以上的溫度下，僅需1秒以內就可以反應完全。有些氯化有機物則需在 $1,100^{\circ}\text{C}$ 溫度下反應1秒鐘以上才可完全破壞，因此一般旋轉窯的二次燃燒室體積是以2秒氣體滯留時間為基準而設計。
- 由於爐體內廢氣有旋刮作用，所以為避免細小的微粒被廢氣帶走，焚化廢氣有流速必須在 $165\text{-}1,000\text{ m/min}$ ，固體微粒愈小則流速就必須較低。
- 爐的長度與直徑亦必須加以調整，以適合所設計的焚化廢氣流速。
- 廢氣的流量決定於燃料的燃燒、蒸發水氣及其他化學反應所產生的氣體。



旋轉窯焚化爐之固體停留時間

- 足夠的固體停留時間也是完全焚化的必要條件之一。紙盒僅需要5分鐘即可燒完，一般廢棄物約15分鐘，輪胎約半小時，而鐵軌使用的枕木則需1小時。固體在旋轉窯內的滯留時間可用下列公式估算：

$$\theta = 0.19(L/D) \frac{F}{N \cdot S}$$

θ ：固體滯留時間 (min)

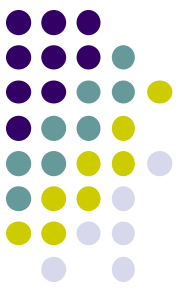
L ：旋轉窯長度 (m)

D ：窯內直徑 (m)

N ：每分鐘轉速 (rpm)

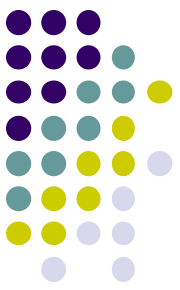
S ：窯傾斜度 (m/m)

F ：常數；爐未具攔阻壩等於1，爐有攔阻壩則大於1



液體噴注式焚化爐

- 液體噴注式焚化爐為最常見之事業廢棄物焚化爐。
- 凡是具流動性的廢液、泥漿及污泥皆可以予以破壞。
- 含高熱值廢液可直接由燃燒器噴注爐內直接焚化，低熱值廢液及廢水則須以輔助燃料補充熱值，以維持適當溫度之最低熱量。
- 為獲最佳焚化效果，可調整燃燒器噴出火焰及廢液噴出的位置及方向。



液體噴注式焚化爐之優點

- 可以銷燬各種不同成分的液體有害廢棄物。
- 處理量調整幅度大。
- 溫度調節速率快。
- 爐內中空，無移動的機械組件，維護費用低。
- 投資費用低。
- 操作所需之人工較少。
- 對某些難焚化之廢液，可提供足夠的溫度和滯留時間。



液體噴注式焚化爐之缺點

- 無法處理難以霧化的液體廢物，即動黏度宜小於10,000 SSU（Saybolt Universal Second，賽氏通用黏度）者。
- 必須配置不同噴霧方式的燃燒器及噴霧器，以處理各種黏度及固體懸浮物含量不同的廢液。



液體噴注式焚化爐適用廢棄物 (1/2)

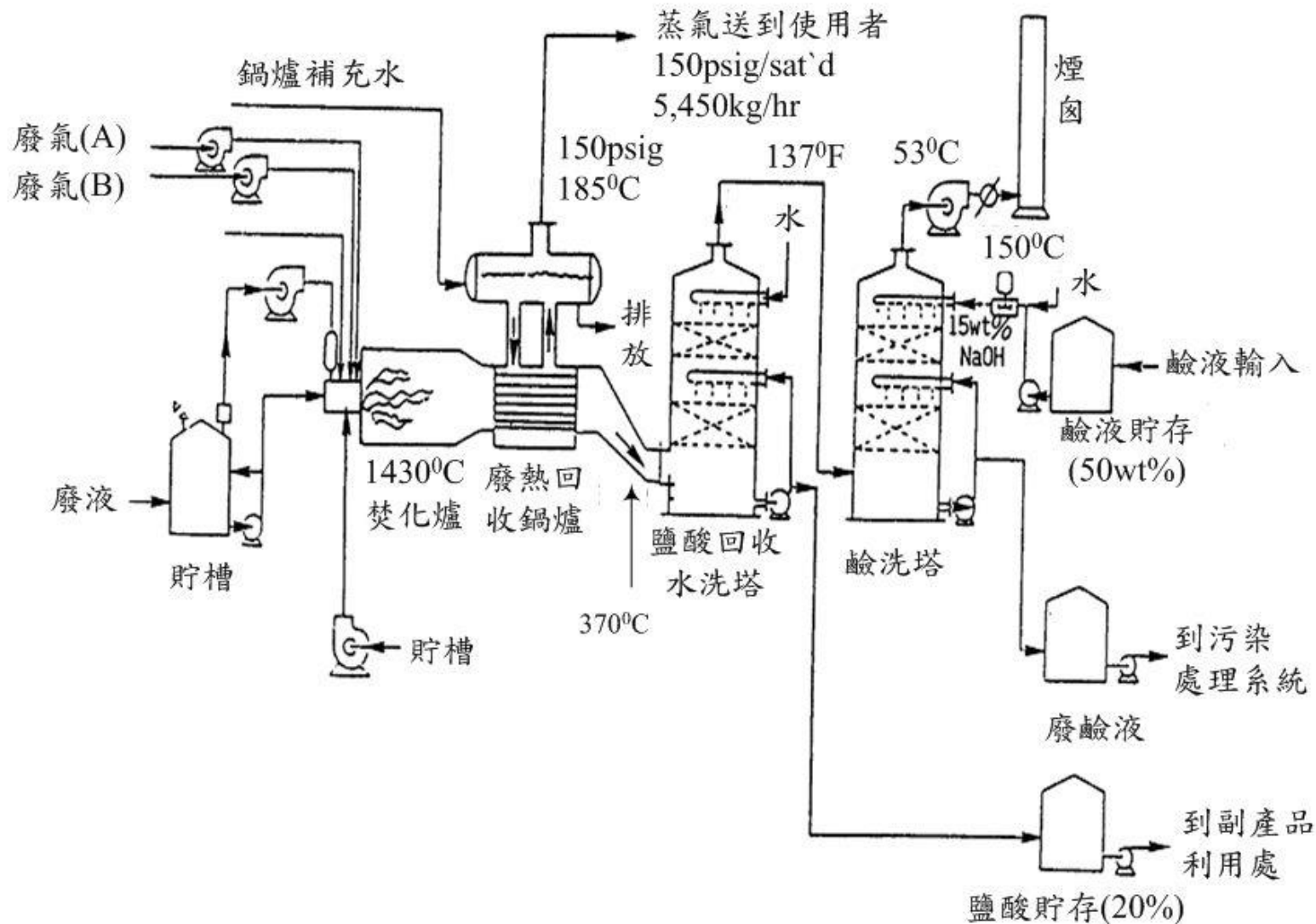
- 一般為了保持燃燒特性之穩定及節約燃料，將廢液熱值混合至4,500-6,100 kcal/kg，但為安全考慮，會產生化學反應的廢液不可隨意混合。
- 水分含量超過60%之廢液，除非其中含其他有害物質且無法經由一般廢水處理方法處理，否則應盡量避免以焚化方式處理。
- 氯、氟化合物燃燒會產生腐蝕性之氯化氫及氟化氫等氣體，必須使用適當之排氣處理系統，以免造成空氣污染。氟化氫甚至會造成耐火磚之腐蝕。溴、碘化合物燃燒後產生有色之溴、碘氣體。一般排氣處理系統甚至無法去除，因此必須先以混合方式將其成分降低。



液體噴注式焚化爐適用廢棄物 (2/2)

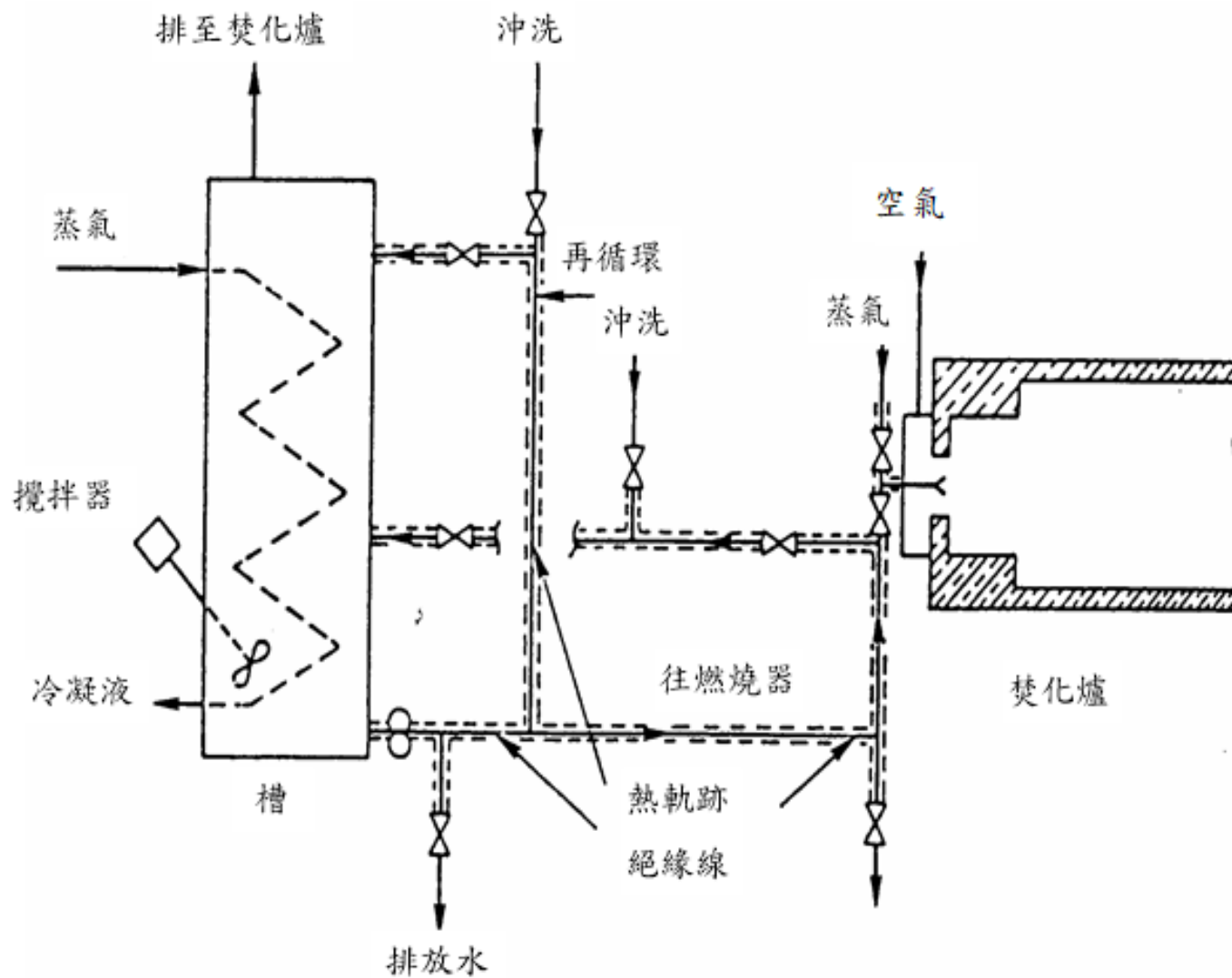
- 鹼性金屬（鈉、鉀）鹽類和其他金屬鹽類形成低熔點物質，而附著於爐壁造成結垢及附著於排氣管壁而腐蝕管壁。
- 硫化物經燃燒後產生硫酸鹽會造成管線腐蝕，且廢氣處理系統的設計亦應考慮硫化物的含量。
- 一般環狀及多環有機物較為穩定不易分解，因此，含量較高時，必須提高焚化溫度及加長停留時間。
- 固體懸浮物應先經過濾處理，以免造成燃燒器內管路的堵塞、磨損及爐內灰渣的堆積。

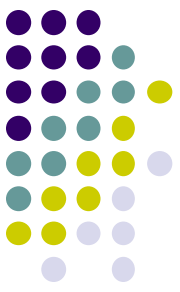
液體噴注式焚化爐處理系統



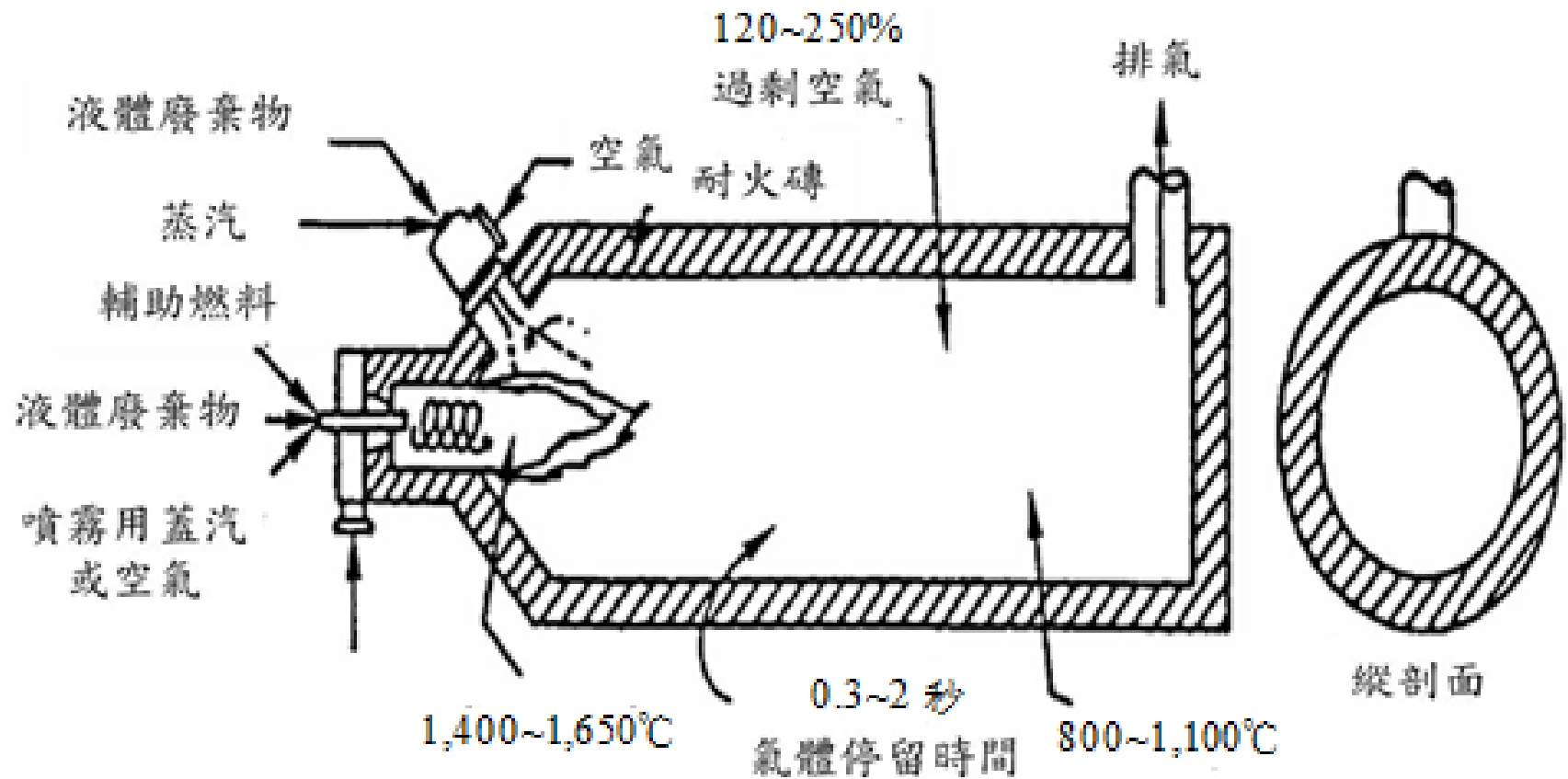


廢液管線系統

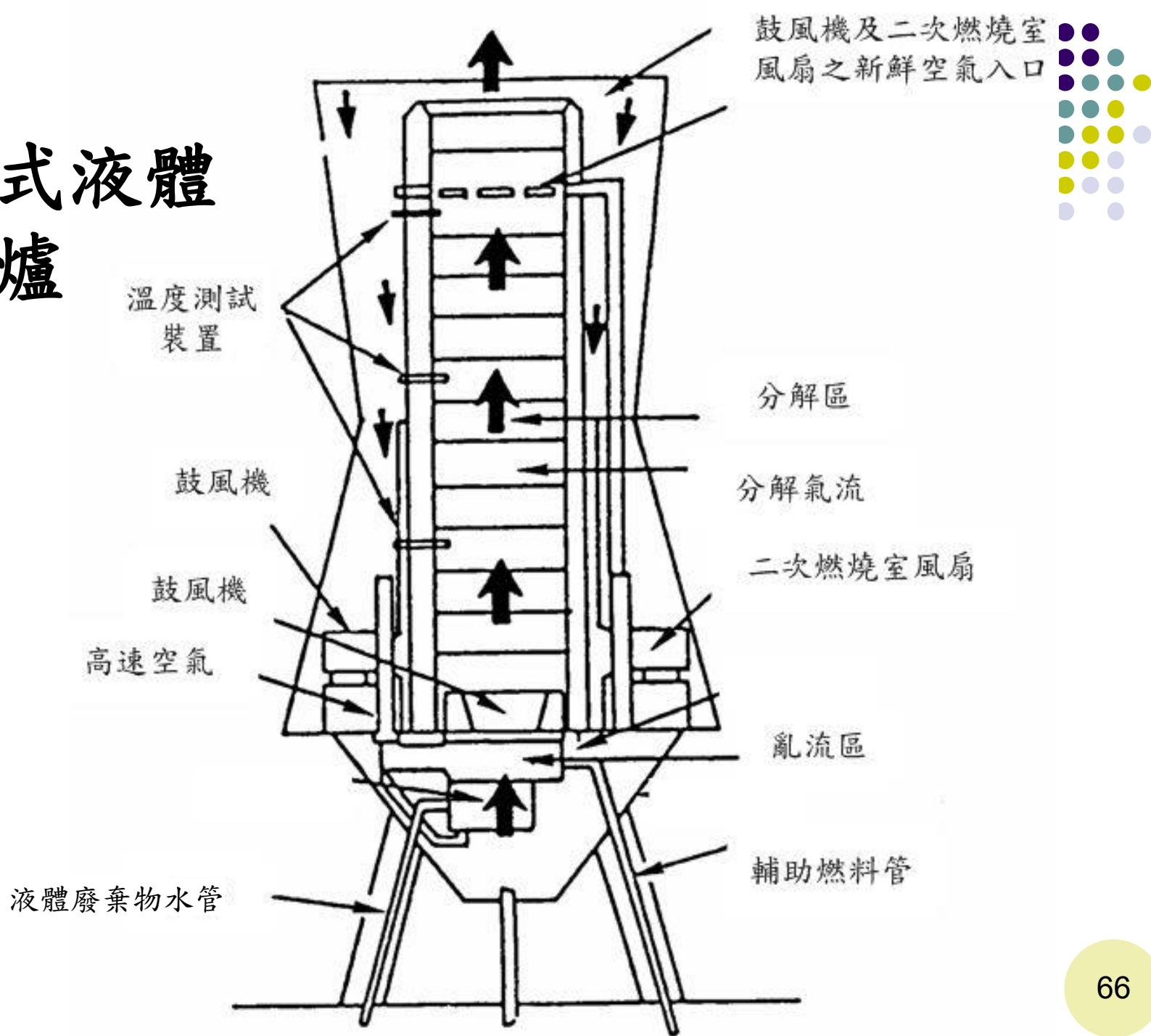


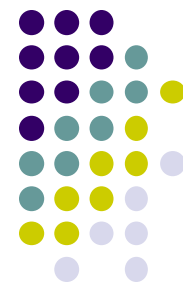


水平式液體焚化爐的內部構造



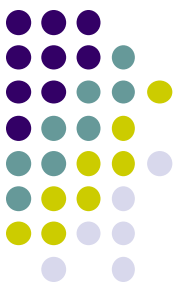
直立式液體 焚化爐





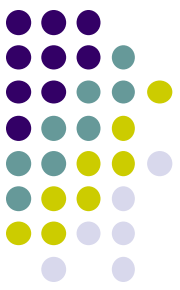
多爐床式焚化爐

- 多爐床式焚化爐是由一豎立鋼桶構成，其內有多層排列之爐床。桶內壁裡襯耐火材料，爐桶中間有一中空之旋轉軸，並附有轉臂，臂下附有推送耙。當轉動時，推送耙可以攪動廢棄物，以增加接觸面積的機會，同時可將廢棄物推落至下一層爐床，依此類推。
- 在早期多爐床式焚化爐已普遍為化學、金屬礦物工業用以乾燥化學品，鍛燒金屬礦石及耐火泥等。目前已逐漸應用於焦油、廢液、下水道污泥及各種可燃性事業廢棄物，包括固體、液體和氣體等廢棄物。



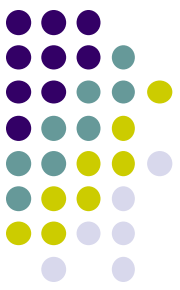
多爐床式焚化爐之優點

- 多層床焚化爐的固體滯留時間長，比其他焚化爐更適於處理揮發性低、燃燒速率慢或水分含量高物質。
- 可以使用各種不同形態的燃料（天然氣、燃料油、液化天然氣、煤、焦炭）或高熱值廢氣、廢液或固體廢物，以輔助燃燒。
- 由於爐床層數多，熱效率高，而且可在不同高度及處所安裝輔助燃燒器，以維持適當的溫度分配。
- 可以有效處理不同熱值及化學特性之氣、液及固體廢棄物。
- 運轉參數之控制及情況受廢物特性影響小，最低與最高處理量比例可低至35%。



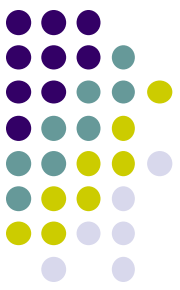
多爐床式焚化爐之缺點

- 由於固體滯留時間長，爐內溫度反應很慢，溫度調整需時較長。
- 移動的主軸及攪拌桿易因磨擦、熱疲乏及腐蝕而損壞，出料口易被爐內形成的大塊物體堵塞，因此維護費用高。
- 爐壁受間歇性進料及廢物中的水分所產生的熱震 (Thermal Shock) 影響，易於損壞，耐火磚更換頻繁。
- 必須加裝二次燃燒室，以分解揮發性有機物質。
- 不適於處理需高溫焚化的有機物（多氯聯苯等）或低熔點無機鹽類含量高的廢棄物。



多爐床式焚化爐之適用廢棄物

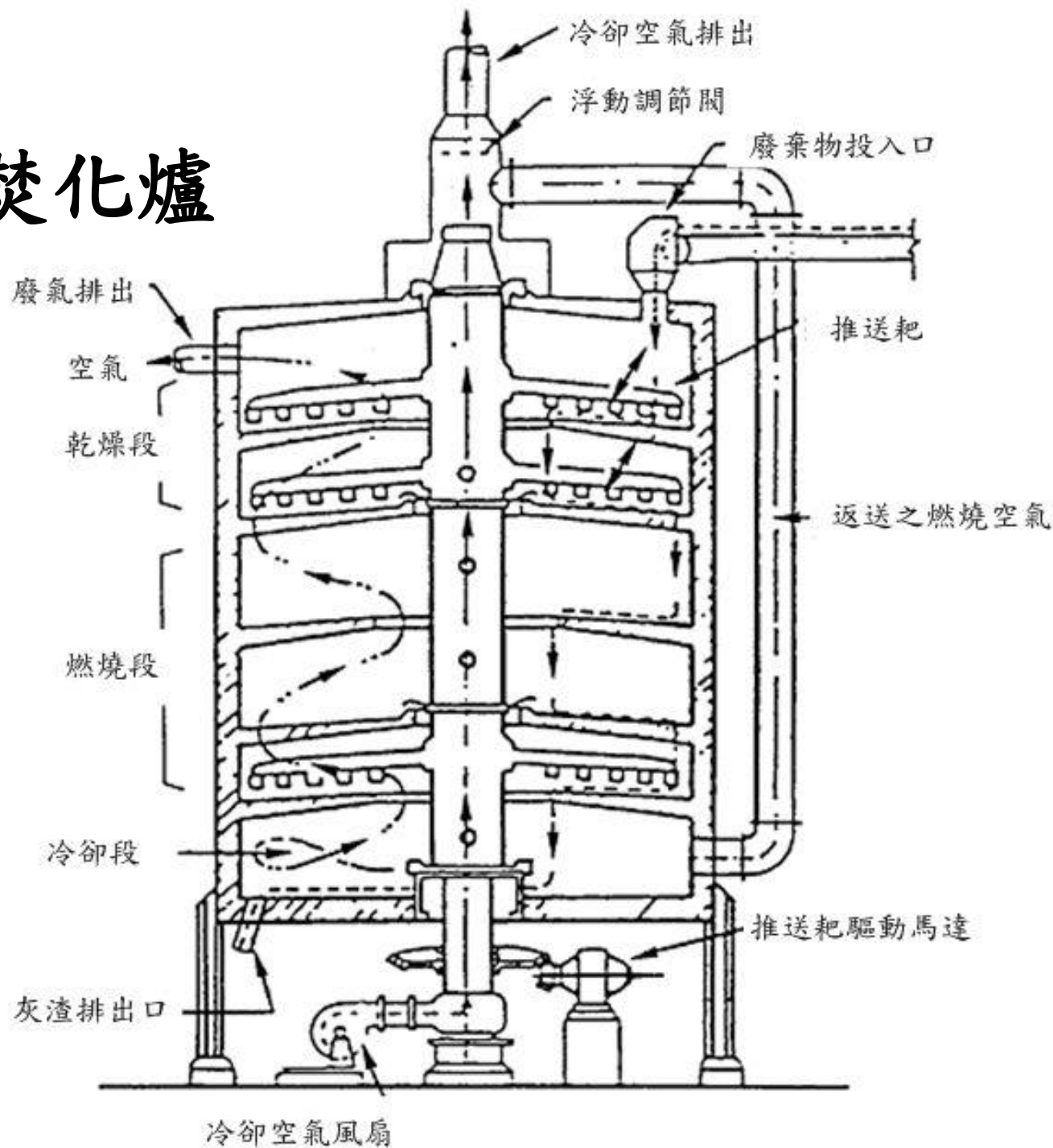
- 含有害物質低熱值及高水分的污泥最適合以多爐床焚化爐處理，一般由煉油、化學及製藥工廠所產生的液態及半流動污泥均可由多爐床焚化爐處理。
- 塊狀或大形固體必須先經磨碎處理後才可送入爐中，否則會造成堵塞及損害爐壁及推送耙。
- 盡量避免處理低熔點之無機鹽類及金屬。
- 由於多爐床焚化爐的溫度較低，故較不適於多氯聯苯或可能產生戴奧辛 (Dioxin) 的廢棄物之處理。

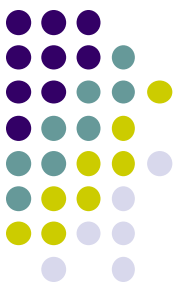


多爐床式焚化系統

- 多爐床焚化爐的直徑自1-7公尺，高度約自3-23公尺，爐床數需自6-18層。整座焚化爐，因主要作用不同，可分為下列3段：
 - 乾燥段：提供適當的時間，以蒸發廢棄物中所含的水分和蒸餾或氧化揮發性成分，此段平均溫度在430-540°C。
 - 燃燒段：大部分已被蒸發，當溫度提高到760-980°C時，焚化快速進行。
 - 冷卻段：冷卻不可燃性之剩餘物（約為原廢棄物體積的10%），此段溫度為150-300°C，同時段亦可預冷空氣。

多爐床焚化爐

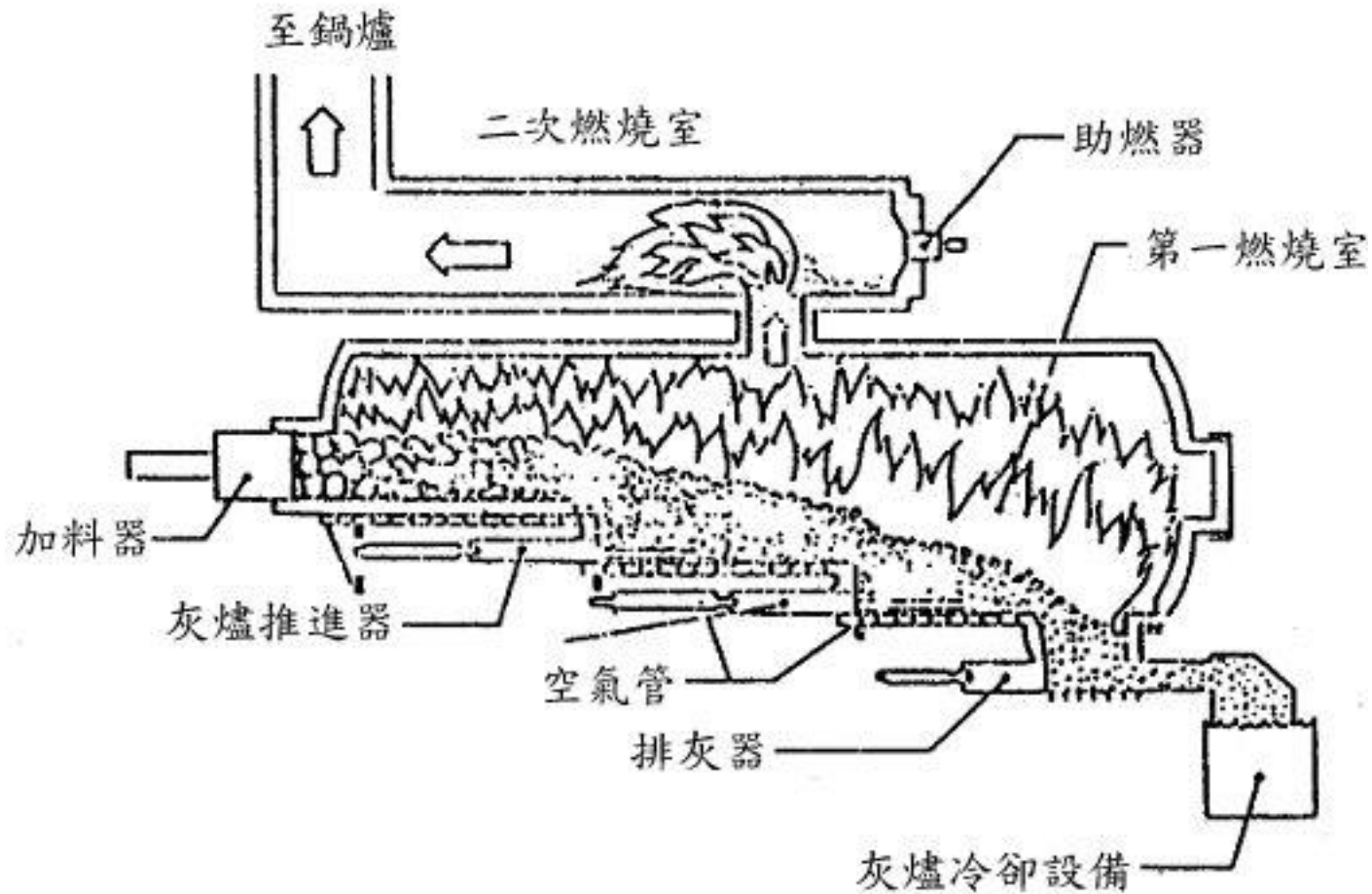
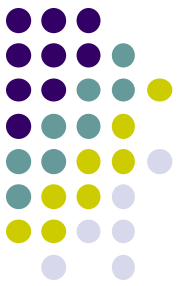




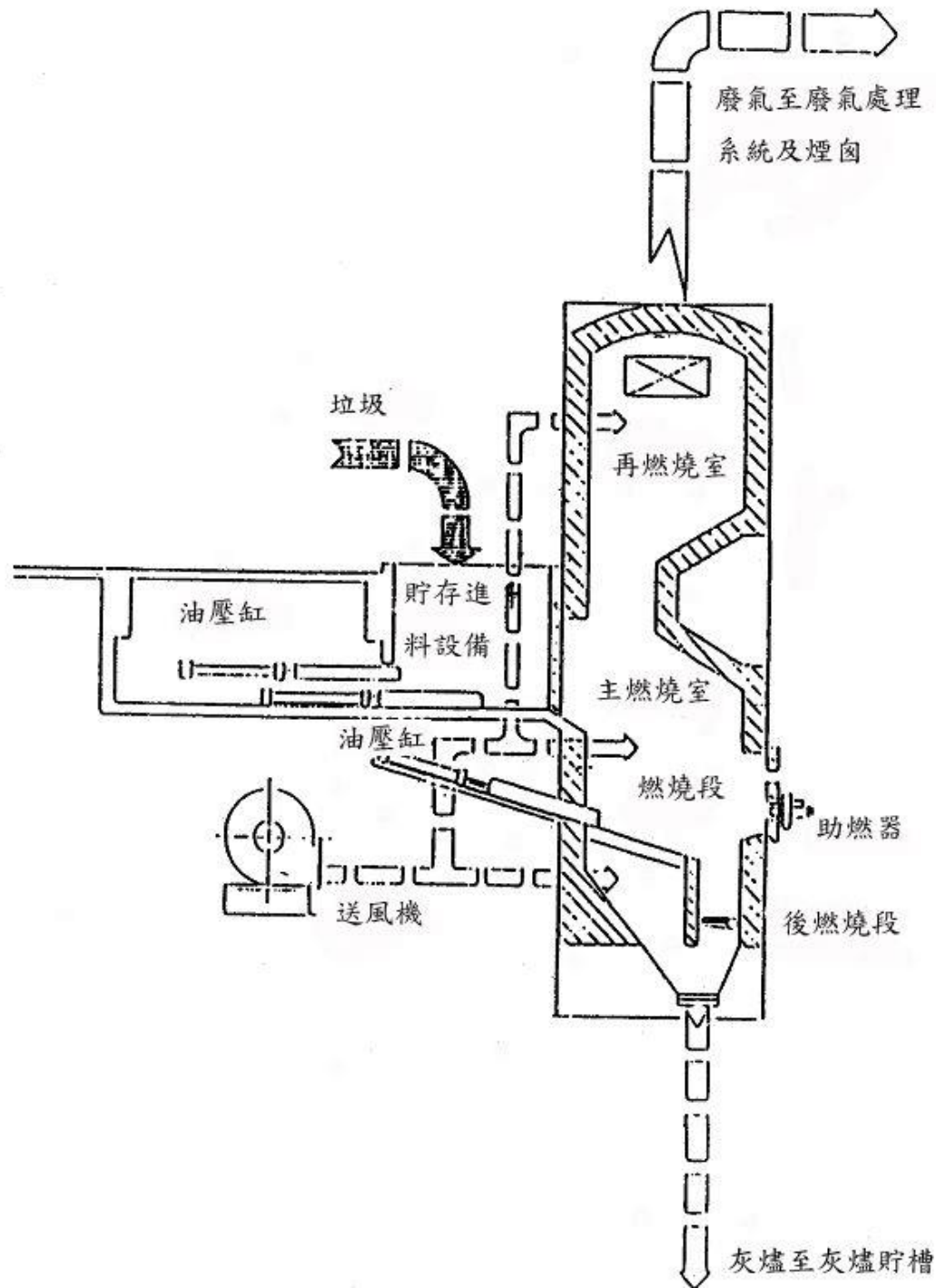
低量空氣系統（燻式）焚化爐

- 廢棄物以低於理論空氣量之空氣，於爐體內第一燃燒室 (Primary Combustion Chamber) 之機械式爐床上燃燒，使可燃分分解為可燃性氣體，殘渣由爐床下端排出，可燃性氣體再送至第二燃燒室 (Secondary Combustion Chamber) 並供應充分空氣使可燃性廢氣及有機性臭氣完全燃燒之裝置。
- 多為廠鑄標準型，亦為混燒式焚化爐之一種，進料方式與模具式焚化爐相同，每一爐之處理容量在每日50公噸以下，主要使用於小城鎮及社區之廢棄物處理。
- 優點為：(A)施工期短；(B)可彈性組合數組爐體；(C)操作較容易；(D)廢氣之含塵量低。

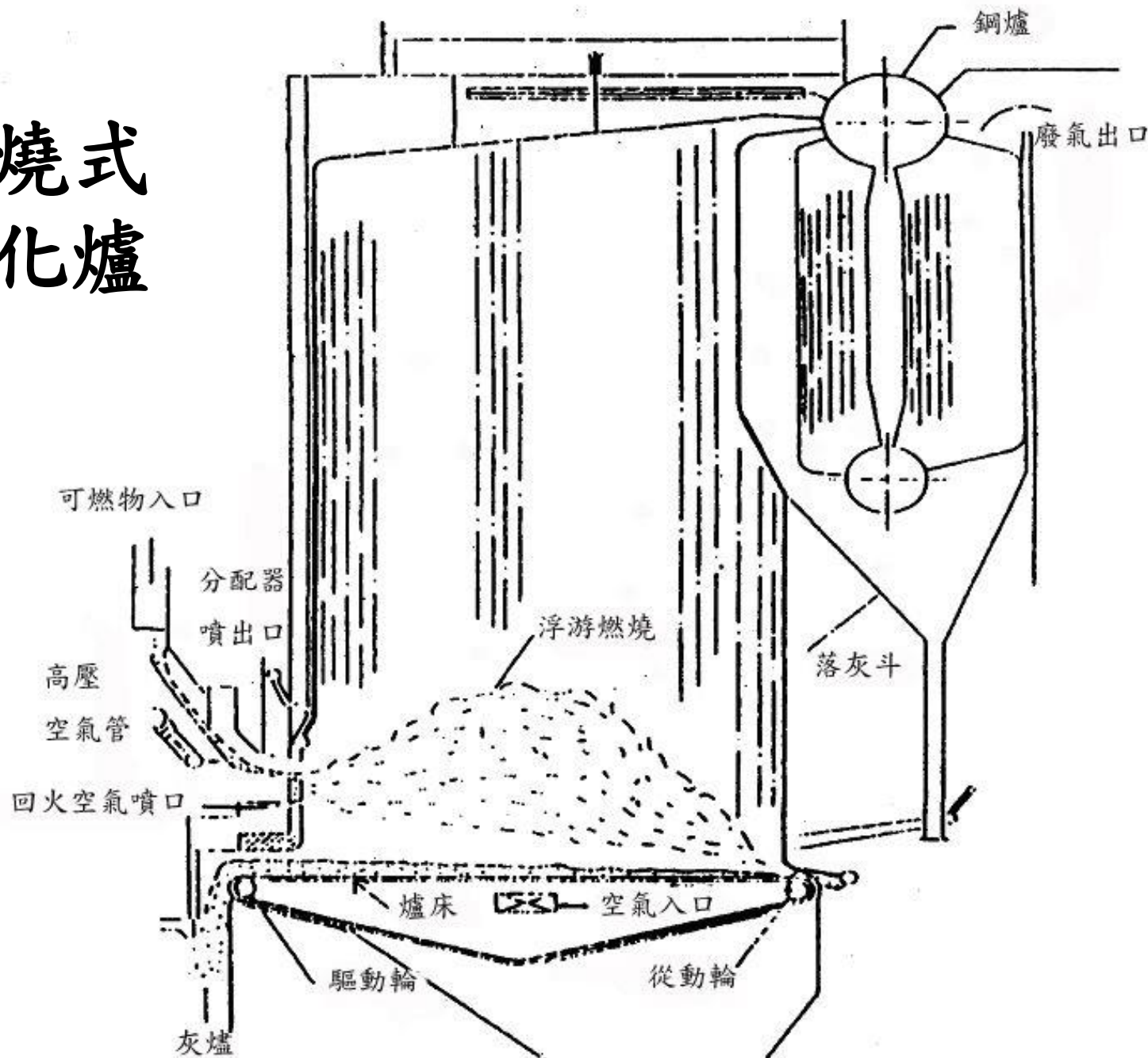
低量空氣焚化爐

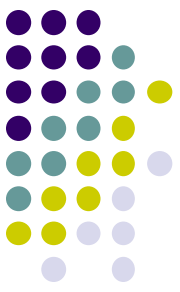


模具式 焚化爐



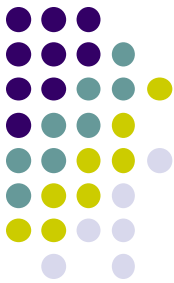
噴燒式 焚化爐



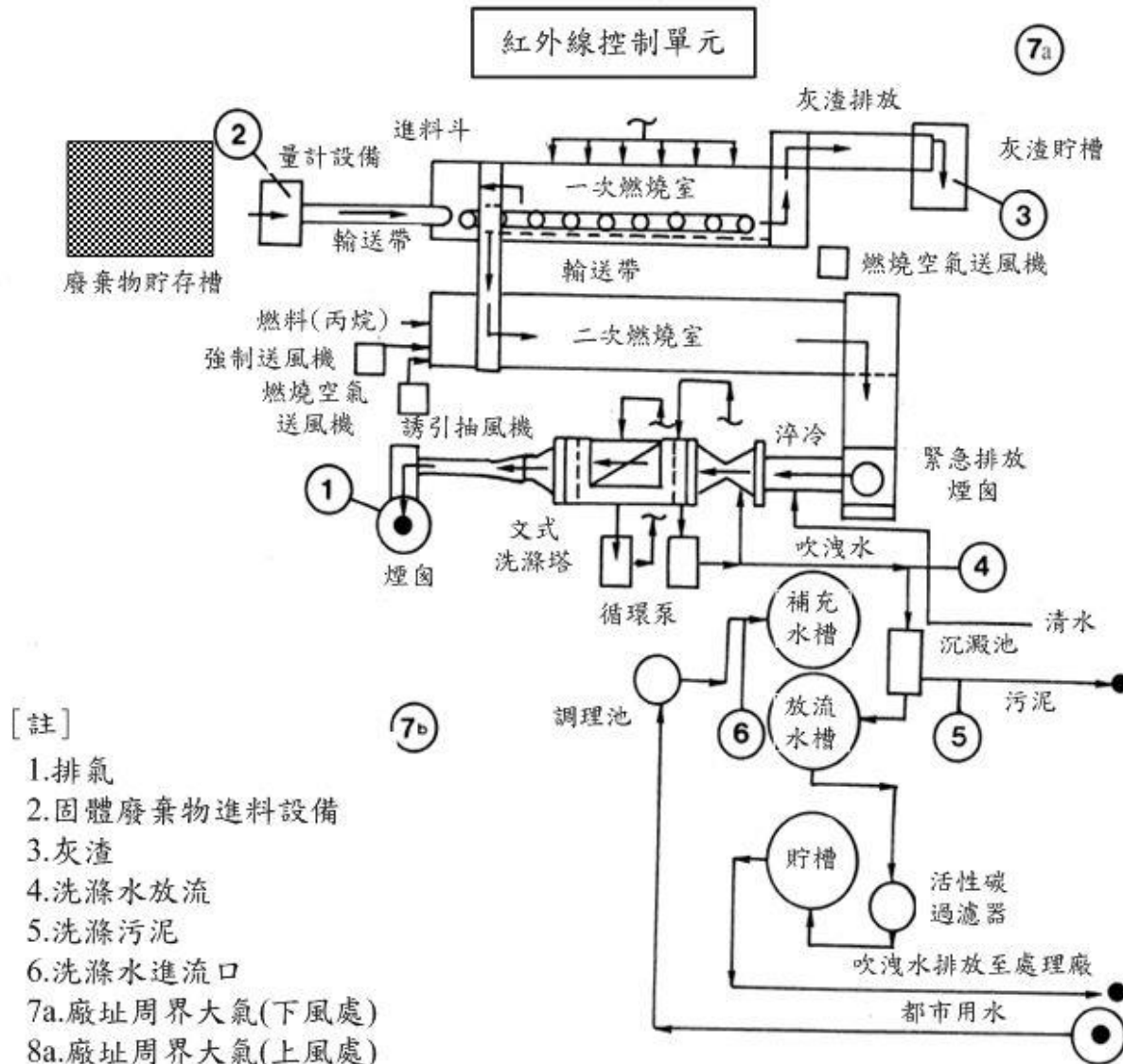


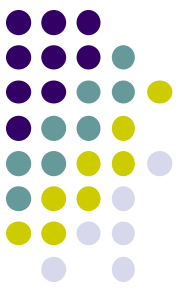
紅外線焚化法

- 美國Shirco紅外線系統公司 (Shirco Infrared Systems) 利用紅外線加熱技術，發展一套移動式焚化系統，於1970年首先應用於市鎮污泥的處理，1984年移動式示範處理系統應用於有害廢棄物的處理。更於1986年後陸續應用於受污染場址土壤之處理。
- Shirco紅外線焚化系統流程，其設備構造，主要包括：廢棄物脫水及進料系統、主燃燒室、二次燃燒室、熱回收鍋爐、空氣預熱器、驟冷室、廢氣處理系統等。



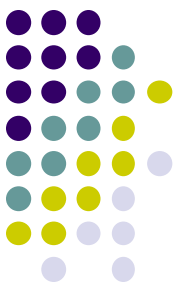
紅外線焚化系統流程





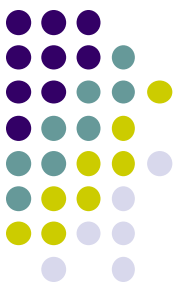
紅外線焚化法之操作特性

- 模組化設計，可安裝於拖車上，易於運輸及快速組合設立。以20-50公斤/小時處理負荷之焚化系統可於6小時內裝設完成。較大的模組系統亦能以9位作業人員，於7天內設置操作。
- 滯留時間及溫度的控制準確。
- 爐體絕熱情況良好，主燃燒室外殼溫度僅60°C（一般約達200°C以上），不致影響操作安全。
- 以電能之紅外線燈管為熱源，易於調節、控制、操作效率高、成本低。
- 空氣需求量低，廢氣處理容量及投資亦相對降低。
- 有可能將重金屬固定於灰渣結構中。



紅外線焚化法之限制

- 履帶上的固體厚度不可超過2-3公分，以免底部受熱情況不佳。
- 不適用於熱值超過3,500 kcal/kg或自燃性廢棄物，有可能會造成履帶局部過熱，而影響履帶壽命。
- 履帶上的廢棄物較難以均勻分配，而影響焚化效果。
- 限制廢棄物中氯、硫、鹽類之含量，以免腐蝕履帶。

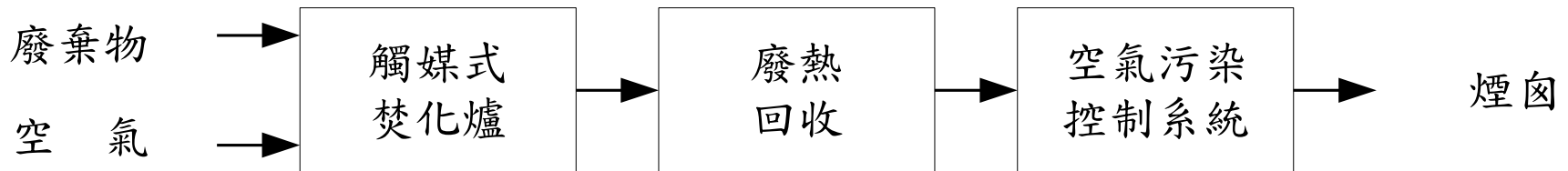


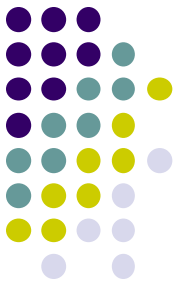
觸媒焚化法

- 觸媒式焚化法之溫度低於 537°C 與傳統式熱焚化法溫度高於 760°C 有所不同。
- 觸媒式焚化反應的燃燒生成物與一般焚化生成物均相同；其所產生的熱亦與傳統型相同。
- 觸媒焚化系統的特點在於操作溫度較低，比傳統式焚化系統消耗較少的輔助燃料，其建造材料亦較不苛求。
- 其缺點是只能焚化處理液體廢棄物，無法處理固體廢棄物；且觸媒劑會有老化、積垢污染、壓實等現象。

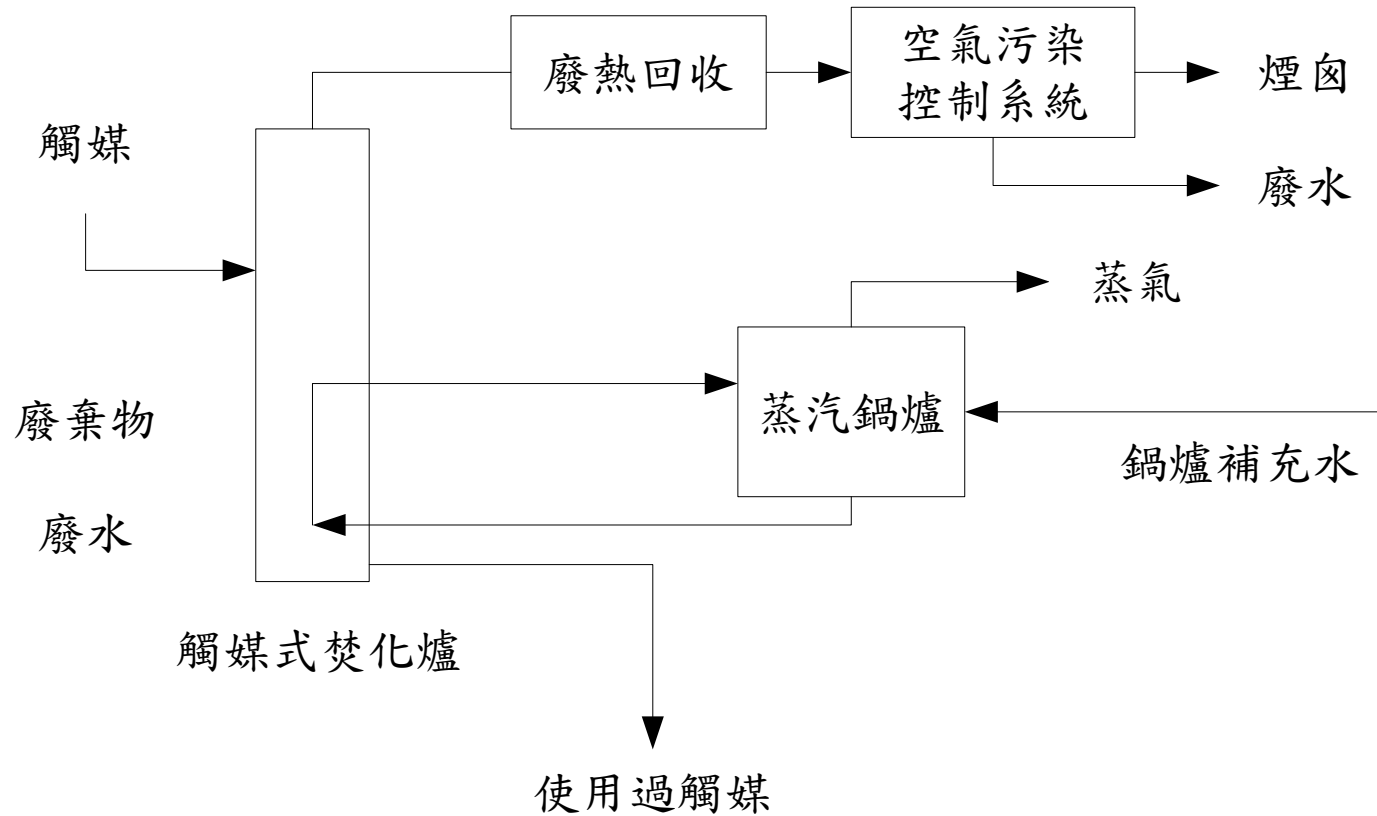


固定爐床式焚化爐





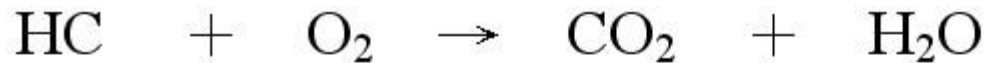
流體化床式觸媒焚化系統





觸媒反應機構

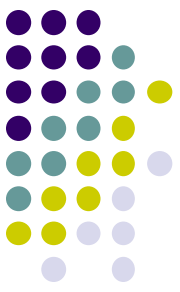
- 觸媒反應機構包括下列步驟：
 - 氣相反應物的熱與質量傳到觸媒劑的表面膜。
 - 吸收的反應物在表面膜內擴散。
 - 反應物間發生氧化反應。
 - 反應生成物的擴散與放散。
 - 氣相生成物的熱與質量傳離觸媒的表面。



----- 表面膜

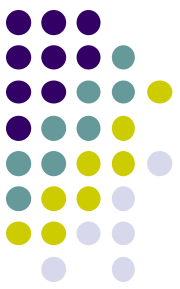


觸媒表面



觸媒活性衰減之原因

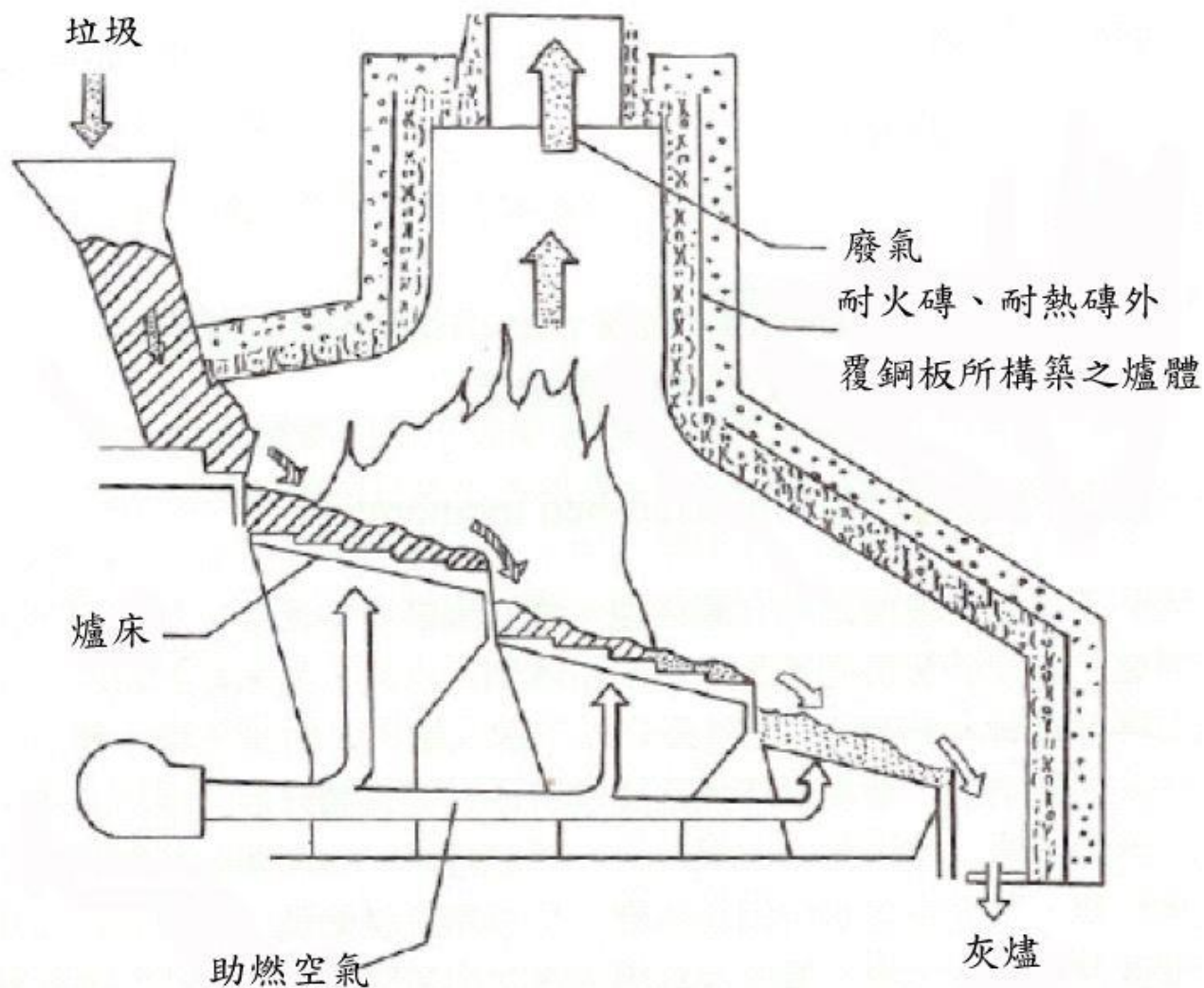
- 過熱：過度的加熱，會使觸媒表面改變，並迅速地喪失其活性。
- 熱老化：為一正常的熱效應，它造成觸媒或承托物的再結晶，或者同時發生。再經結晶會造成觸媒表面積的改變，而使支撐物質擴散進去。此作用發生會影響觸媒的活性，並且此為不可逆的反應。
- 中毒：觸媒中毒乃是觸媒與污染物發生化學反應而造成。其反應亦為不可逆的。鉛、銻、鎘、鋅、磷、砷及銅等物質，通常會造成觸媒的中毒現象。
- 遮蔽：觸媒遮蔽乃污染物聚集在一起，將觸媒包覆起來。此包覆膜會阻止或減緩反應物的擴散作用，使其不易找到尚未被占有的反應空間。遮蔽機構為可逆反應。



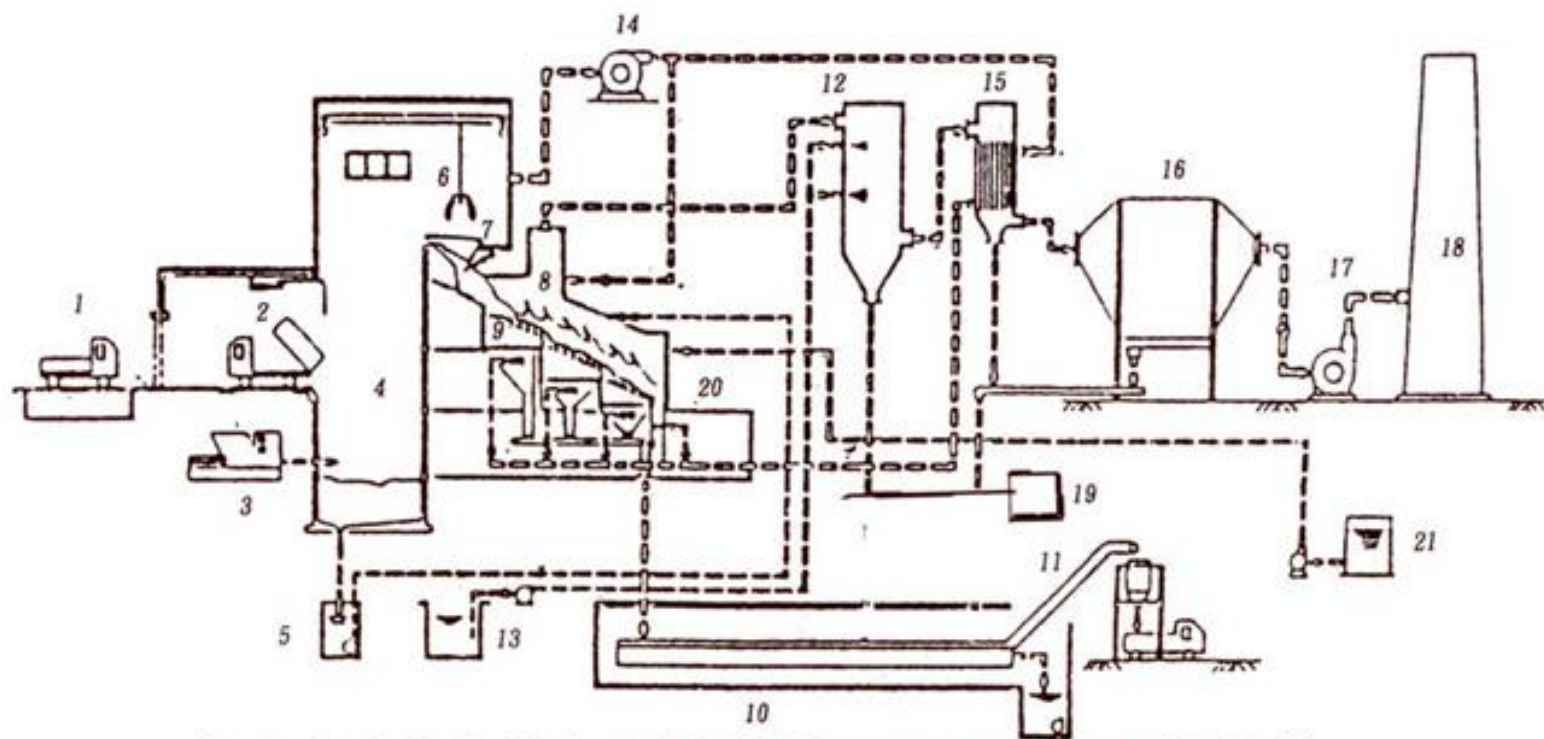
機械爐床式焚化爐

- 機械爐床式焚化爐是利用爐條的前後或回轉的移動來輸送廢棄物，因可燃燒未經前處理之廢棄物，因此也叫混燒焚化爐 (Mass Burning Incinerator)。
- 優點：
 - 技術成熟。
 - 處理流程單純。
 - 二次公害可有效控制。
- 缺點：
 - 單位面積爐床焚化率較低。
 - 混燒後，自灰爐中回收之金屬價值較低。

機械爐床式焚化爐體剖面圖

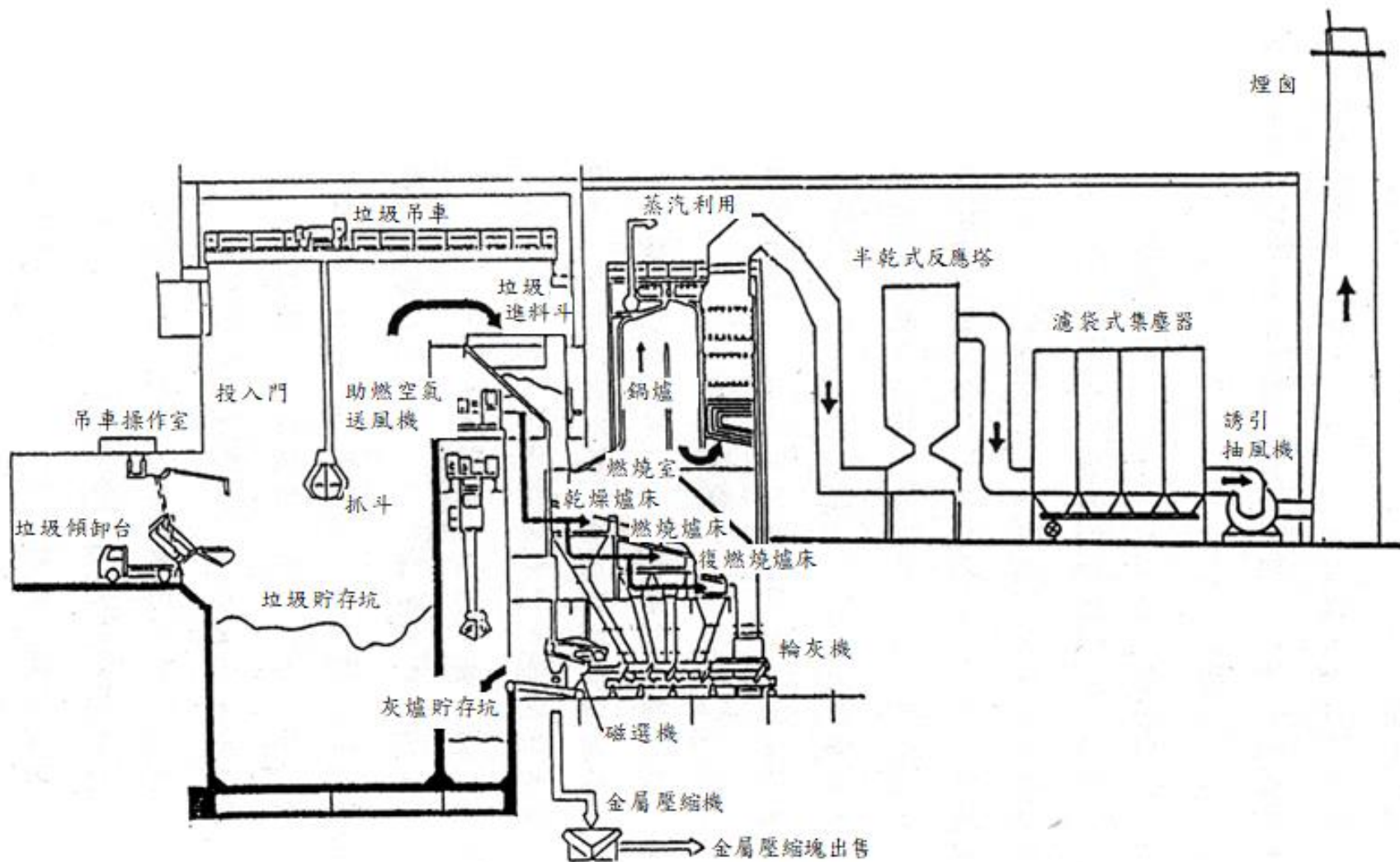


連續燃燒式焚化爐之燃燒過程

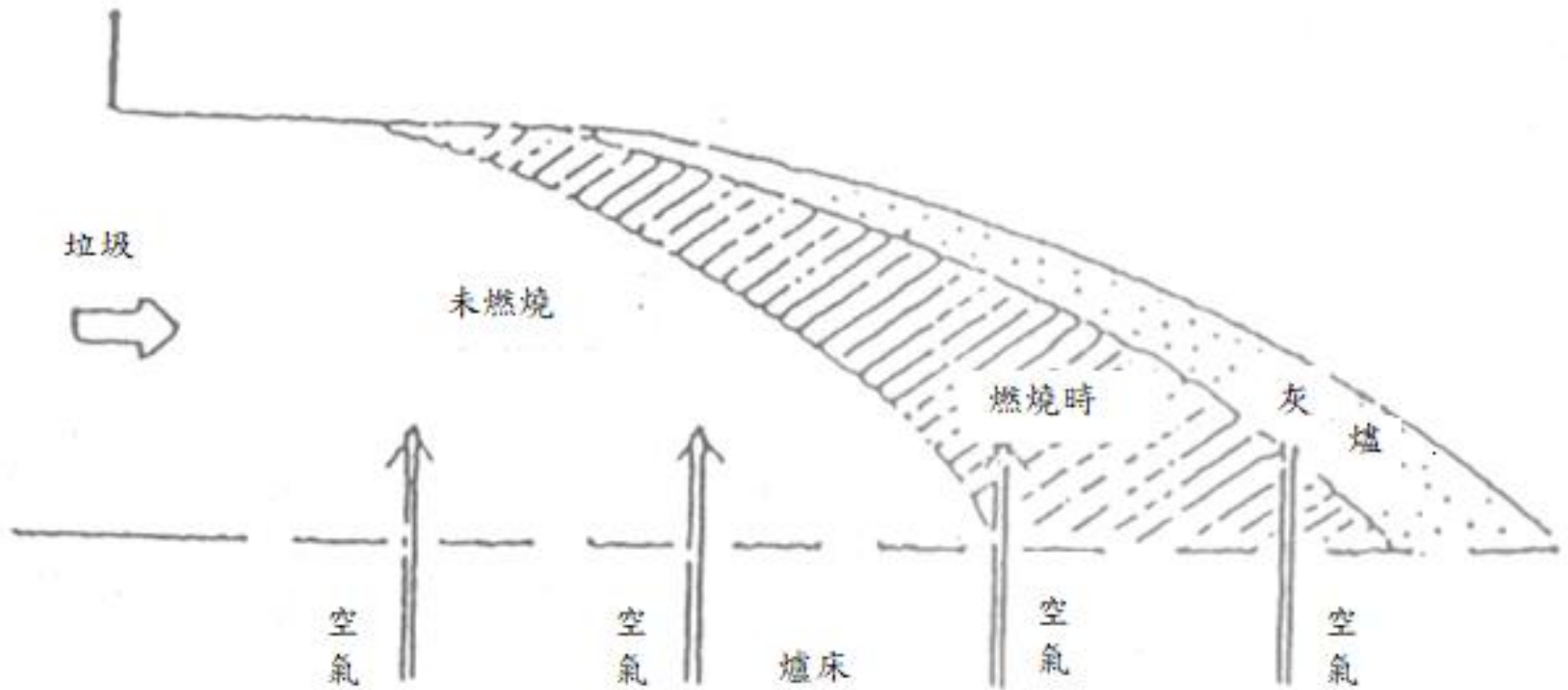


- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|------|-----|-----|------|----|-----|-----|----|--------|-------|--------|-------|-----|-------|--------|-----|----|--------|------|----|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 |
| 地磅 | 傾卸平台 | 破碎機 | 貯存槽 | 滲出水槽 | 抓斗 | 投入口 | 燃燒室 | 爐床 | 灰渣冷卻水槽 | 出灰輸送帶 | 半乾式洗煙塔 | 消石灰乳槽 | 送風機 | 空氣預熱器 | 濾袋式集塵器 | 抽風機 | 煙囪 | 飛灰固化設備 | 助燃裝置 | 油槽 |

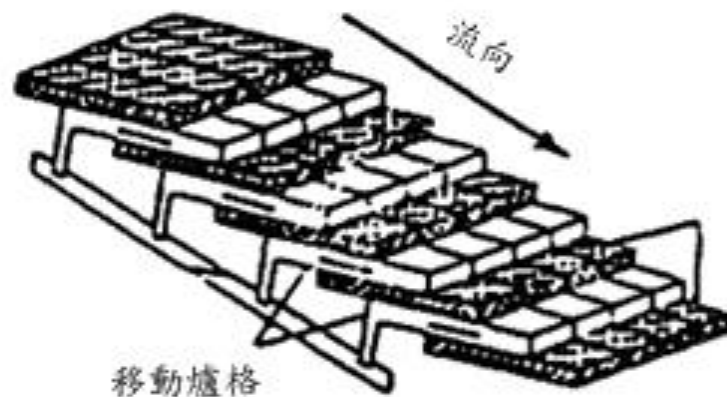
典型混燒式焚化爐處理廠剖面圖



廢棄物之移動及燃燒模式

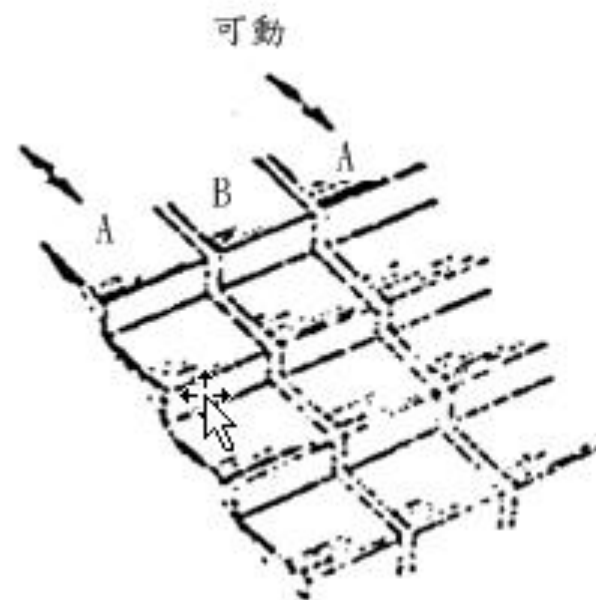
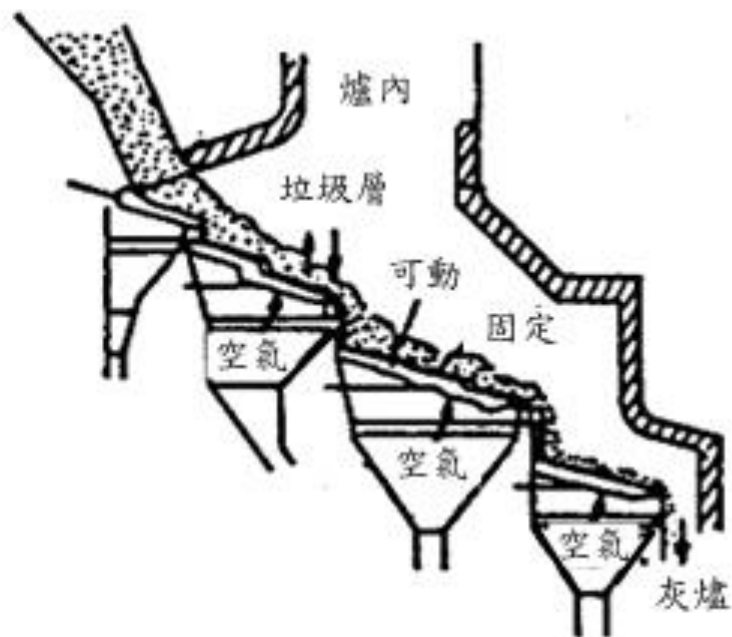


爐床型式



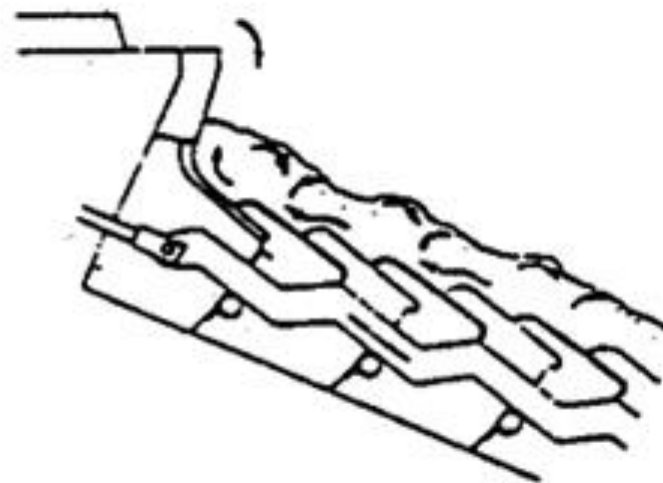
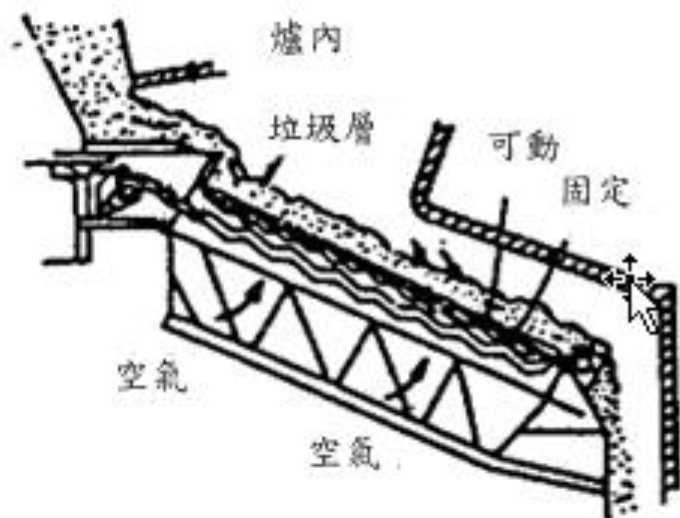
階梯往復式

爐床型式

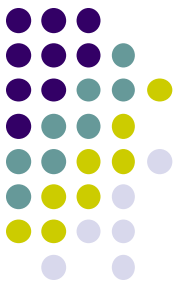


並列搖動式

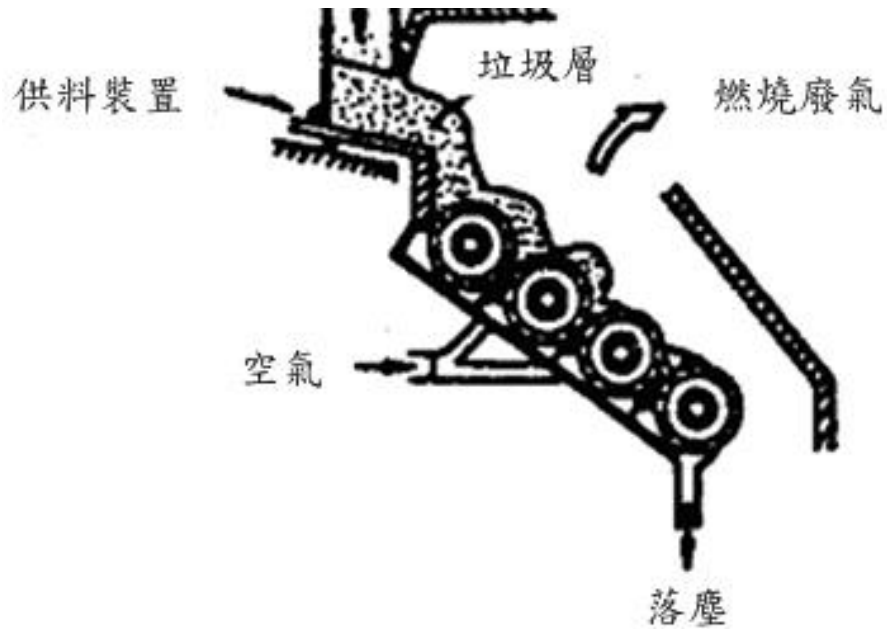
爐床型式



逆移動式



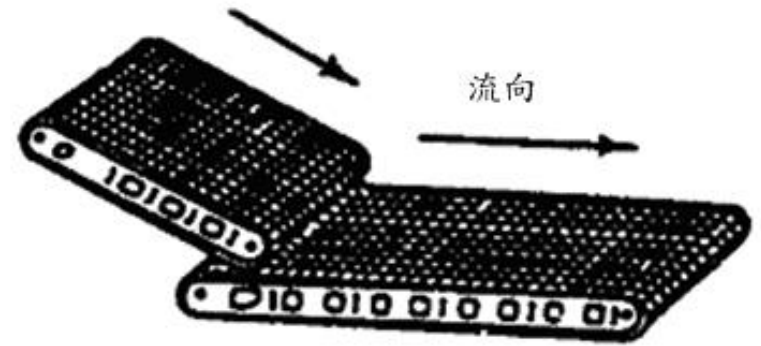
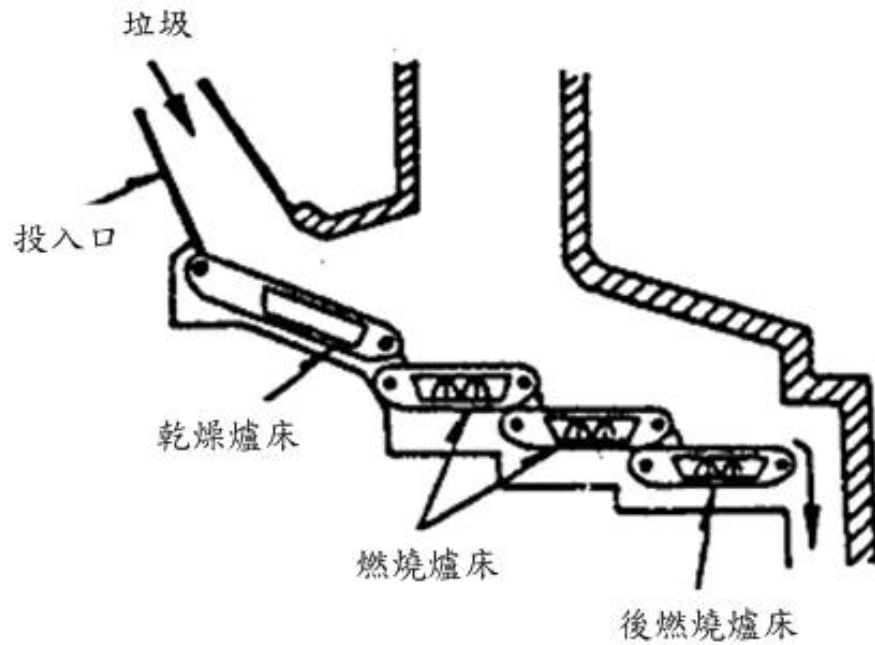
爐床型式



旋轉圓筒式

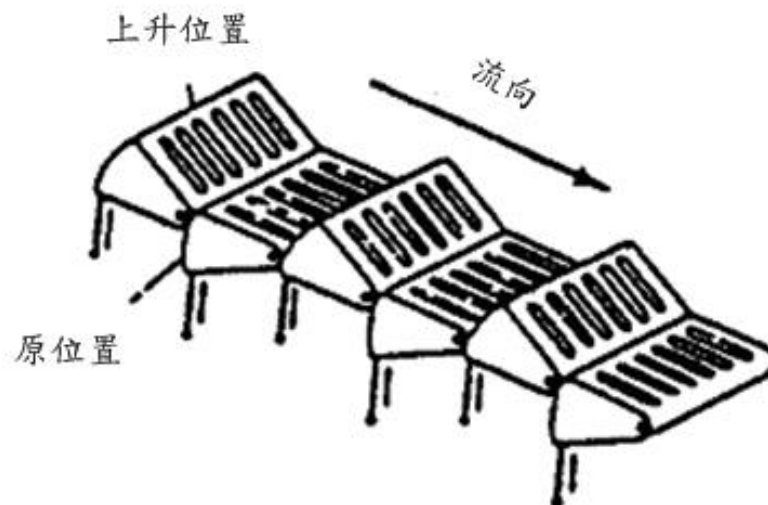
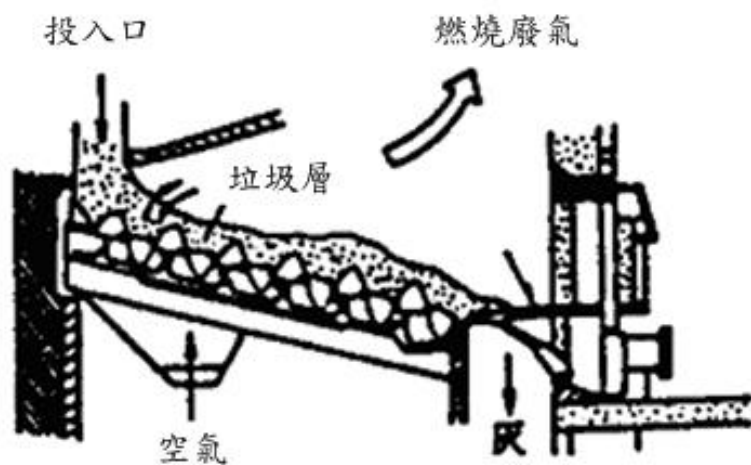


爐床型式



移動床式

爐床型式



搖滾式



爐的型式

- 爐的型式依爐中廢棄物及空氣流向之相對情形大致分為下列4種：

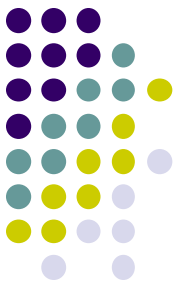


→ 廢氣 ⇌ 垃圾

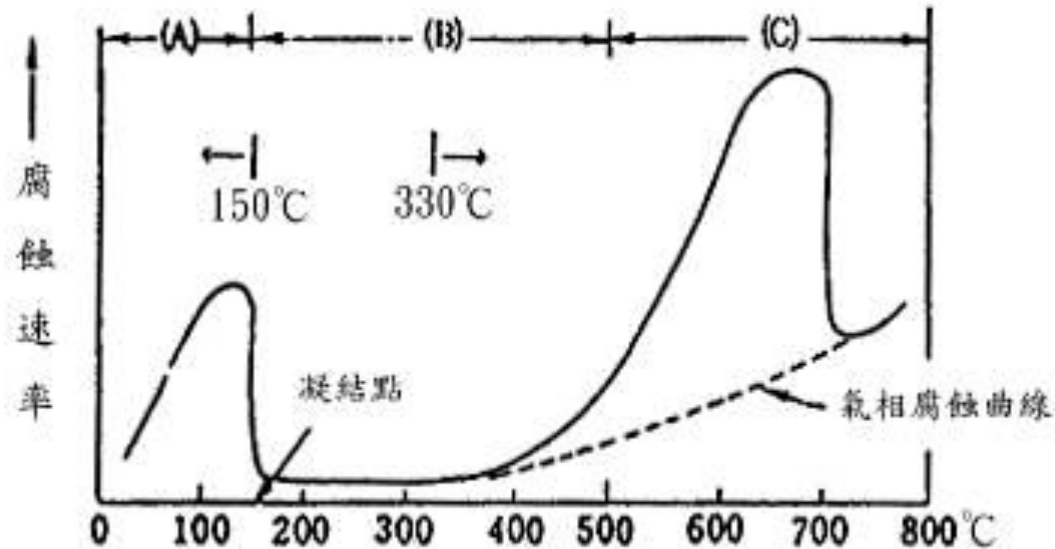


焚化過程溫度之控制

- 焚化過程溫度之控制主要有下列3部分：
 - 燃燒室溫度。
 - 爐之出口溫度。
 - 煙囪排煙溫度。
- 焚化爐設備腐蝕問題亦為燃燒室溫度控制重要因素，腐蝕情況因溫度高低而異。
- 各種爐燃燒室之溫度依其操作方式而有不同規定：
 - 具發電設備之焚化爐： $850\pm 25^{\circ}\text{C}$ 。
 - 連續式焚化爐： $750-950^{\circ}\text{C}$ 。
 - 準連續式焚化爐： $700-950^{\circ}\text{C}$ 。
 - 批次式焚化爐： $400-950^{\circ}\text{C}$ 。



管材溫度對腐蝕之影響



(A)：電解腐蝕區

(B)：氯化鐵或硫化鹼鐵類形成腐蝕區

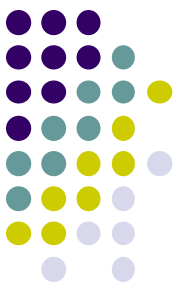
(C)：氯化鐵或硫化鹼鐵類分解腐蝕區



燃燒效率

- 焚化爐處理有機廢棄物效果的表示方法有兩種，燃燒效率 (Combustion Efficiency, CE) 和破壞與去除效率 (Destruction and Removal Efficiency, DRE)，前者是根據離開燃燒室之熱廢氣流中之 CO_2 和CO濃度而定，可以下式表示之：

$$\text{燃燒效率 (CE, \%)} = \frac{\text{CO}_2}{\text{CO} + \text{CO}_2} \times 100$$



破壞去除效率

- 破壞去除效率是衡量廢棄物中，某特定成分經焚化爐（包括二級廢氣處理，例如洗滌器）焚化前後重量的變化，以表示燃燒過程有毒分子被破壞去除的比例，可以下式表示之：

$$\text{DRE (\%)} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \times 100$$

M_1 ：焚化前某特定成分之重量

M_2 ：焚化後該特定成分經過煙道排放的重量

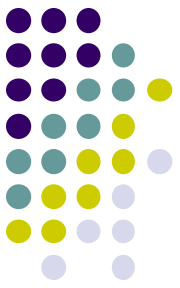


焚化處理功能之規定

- 「事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準」對於焚化處理功能之規定如下：
 - 焚化效率

有機氯化物總破壞去除效率99.99%以上，多氯聯苯(PCBs)及2,3,7,8四氯戴奧辛、2,3,7,8四氯聯苯呋喃(2,3,7,8 TCDD, TCDF)總破壞去除效率99.999%以上，其他毒性化學物質破壞去除效率99.9%以上。感染性事業廢棄物之燃燒效率在99.9%以上。
 - 溫度及滯留時間

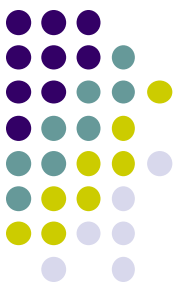
燃燒室出口中心溫度至少在1,000°C以上；燃燒氣體滯留時間感染性事業廢棄物在1秒以上，其他有害事業廢棄物在2秒以上。



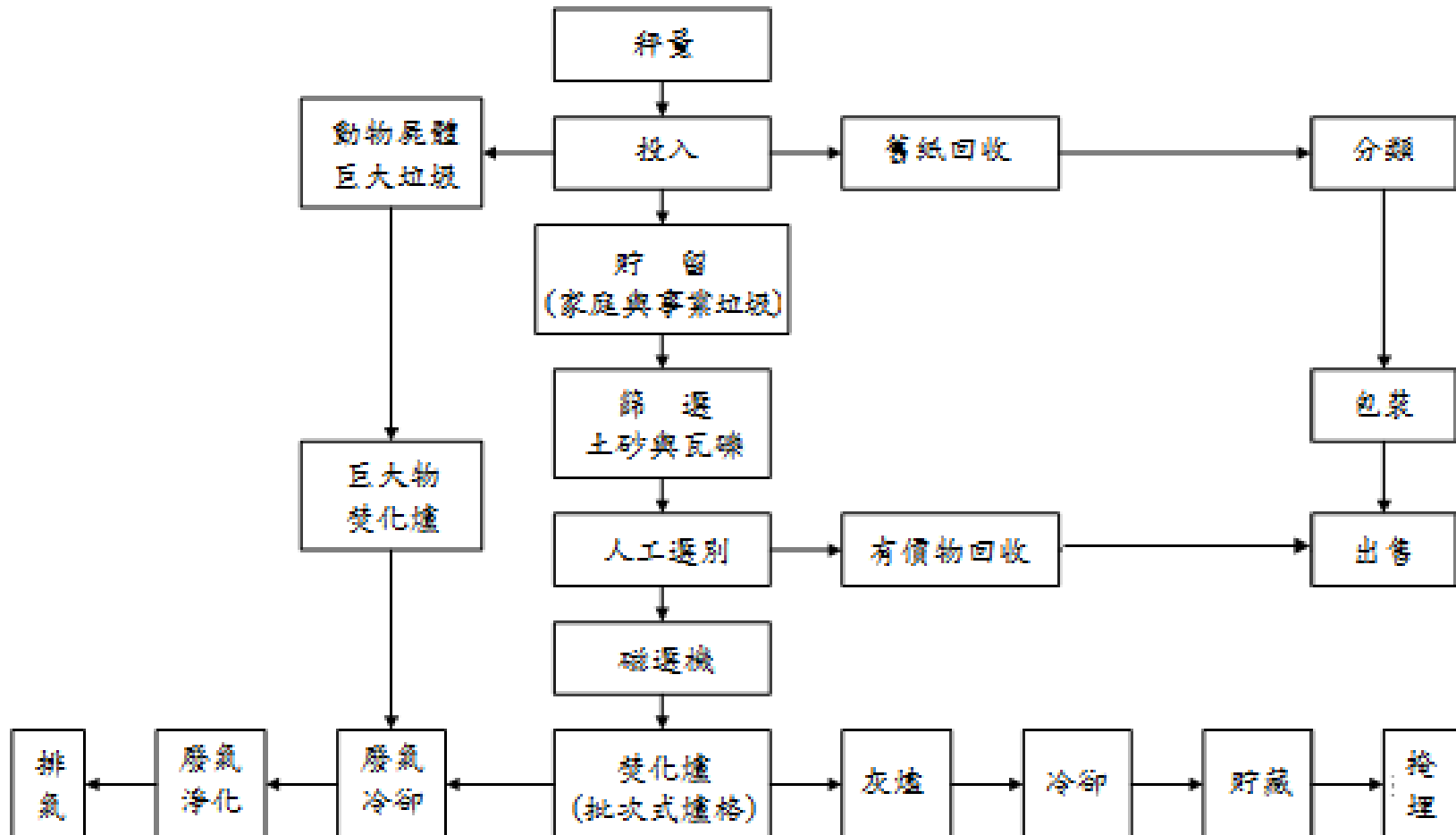
連續式與批次式燃燒規模

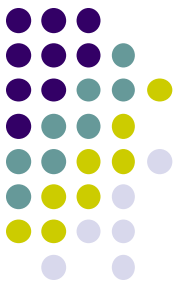
爐型式 \ 設施規模		20 t/d	50 t/d 60 t/d	100 t/d	150 t/d	200 t/d
連續 燃燒式	全 連 續					
	準 連 續					
批次 燃燒式	機械化 批次式					
	固 定 批 次 式					

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

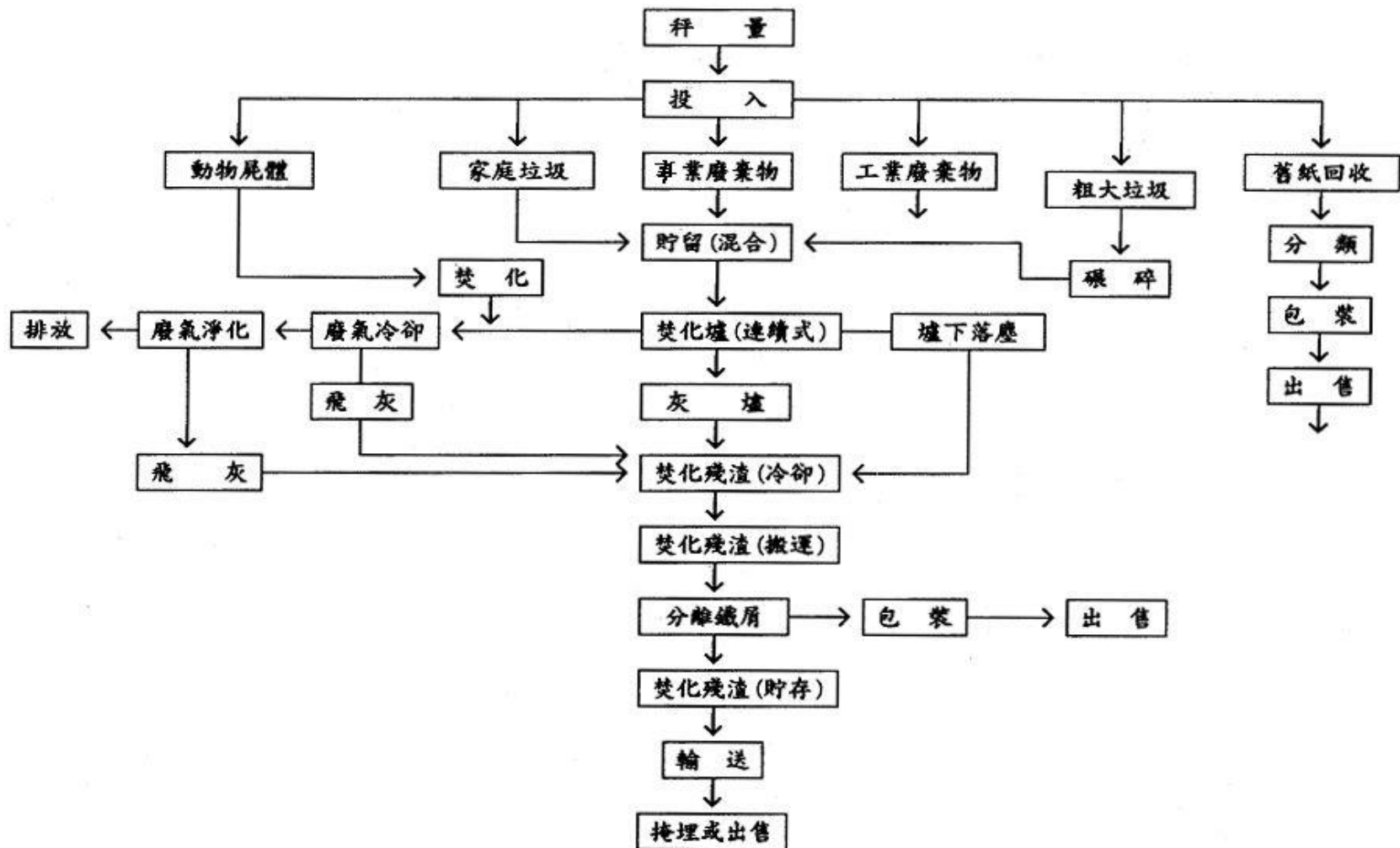


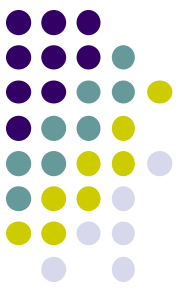
批次式焚化設備與選別流程





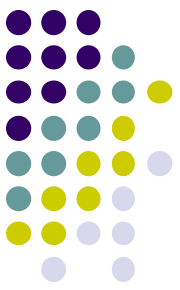
連續式直接焚化設施之流程





分批填料式焚化處理設施

- 將廢棄物分批投入焚化爐本體內進行移動、攪拌、燃燒及殘渣排出等操作之整體設施。
- 每日運轉時間以8小時為原則。
- 此操作方式之焚化處理設施如爐床之攪拌及殘渣之排出等為機械化者，稱為「機械分批填料式焚化處理設施」，反之則稱為「固定分批填料式焚化處理設施」。



連續式焚化處理設施

- 將廢棄物連續投入焚化爐本體內進行移動、攪拌、燃燒及殘渣排出等操作之整體設施。
- 此操作方式之焚化處理設施，如為每日24小時運轉者稱為「全連續式焚化處理設施」。
- 每日16小時以上之間歇式運轉者稱為「準連續式焚化處理設施」。



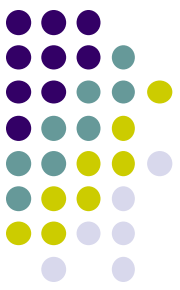
連續燃燒式焚化爐的優缺點

● 優點

- 可處理大量之廢棄物。
- 灰燼中未燃分少，幾乎已完全燃燒。
- 廢棄物燃燒可能產生之各種二次公害可較周全地加以防治。
- 熱利用之效率較高。
- 單位廢棄物處理量所需之人力少。
- 爐之損耗少。

● 缺點

- 建設工程費及維持費高。
- 需要較高度的操作技術。
- 長時間之操作，工作人員之勞動條件限制較大。
- 不適合小容量之廢棄物處理。



焚化處理可能產生之污染問題 (1/3)

● 廢氣

- 廢棄物焚化廢氣中可能含有粒狀污染物、氯化氫氣體、硫氧化物、氮氧化物、一氧化碳、重金屬物質及微量有機化合物等。廢氣產量約為 $3-8 \text{ Nm}^3/\text{kg}$ ，因空氣供給量與廢棄物成分而異。
- 防止焚化爐廢氣引起空氣污染之對策：
 - 去除廢棄物中不適合燃燒的物質，如塑膠、橡膠、皮革等。
 - 點火時使用都市瓦斯，可減少硫氧化物之發生。
 - 選定適當的燃燒條件，如進料量、溫度等。
 - 裝置空氣污染防制設備。



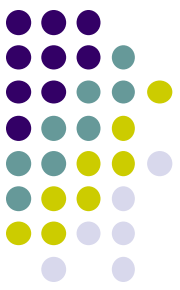
焚化處理可能產生之污染問題 (2/3)

● 廢水

- 焚化廠廢水之主要來源有2：一為廢棄物貯存坑之滲出水，其有機質含量高，可抽送至焚化爐內予以焚燒；另一則為廢氣洗煙及灰渣冷卻過程所產生之廢水，可藉由化學處理方法進行處理。另有洗車廢水與員工生活廢水等。

● 灰渣

- 廢棄物經焚化後所遺留之焚化殘渣，包括有爐床排出之焚化灰渣（底灰）以及集塵器所收集之飛灰。因底灰可能仍含有一些未燃有機物，後續經掩埋後可能會有滲出水污染的問題。而飛灰常含有較多的重金屬，故應經常檢測其重金屬溶出量。必要時，以水泥等固化劑進行固化處理，或與底灰混合後進行熔融處理。



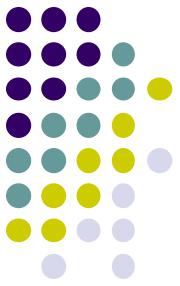
焚化處理可能產生之污染問題 (3/3)

● 臭氣

- 廢棄物中之有機成分可能容易腐敗而導致臭味，為防止焚化廠的臭氣外溢，廠內可能產生臭氣之處（如貯存坑等）應維持在負壓。

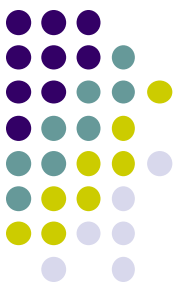
● 噪音

- 噪音主要來源計有鼓風機、廢氣抽送機、蒸汽凝結器、發電機、泵類、破碎及篩選等機械設備。
- 噪音控制方法有：
 - 採用低噪音設備。
 - 降低設備之噪音，如裝置減震底座為獨立基礎等。
 - 裝置消音設備或使用隔音材料加以覆蓋。
 - 設置密閉隔離室，藉由建築物之隔絕以降低噪音。



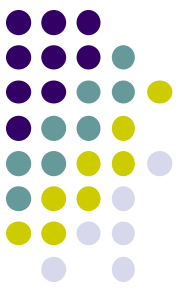
熱處理之分解與轉化技術

其他熱化學轉化技術介紹



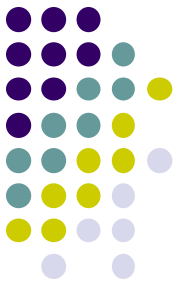
熱解法

- 廢棄物熱分解是利用還原狀態，將廢棄物中之有機物加熱行化學分解之程序；有機物因加熱分解及凝縮反應 (Condensation Reaction) 形成氣態、液態與固態產物，含有高溫度之HC、CO、H₂等可燃性氣體及油、焦炭 (Char) 等。
- 此法是種吸熱程序，與焚化之放熱反應相反，因此有時又稱為乾餾或分解蒸餾 (Destructive Distillation)。
- 此一處理方法與傳統焚化處理比較，因不需要大量過剩空氣，使得處理廢氣之公害防制設備較為簡化且經濟。



熱解法特性

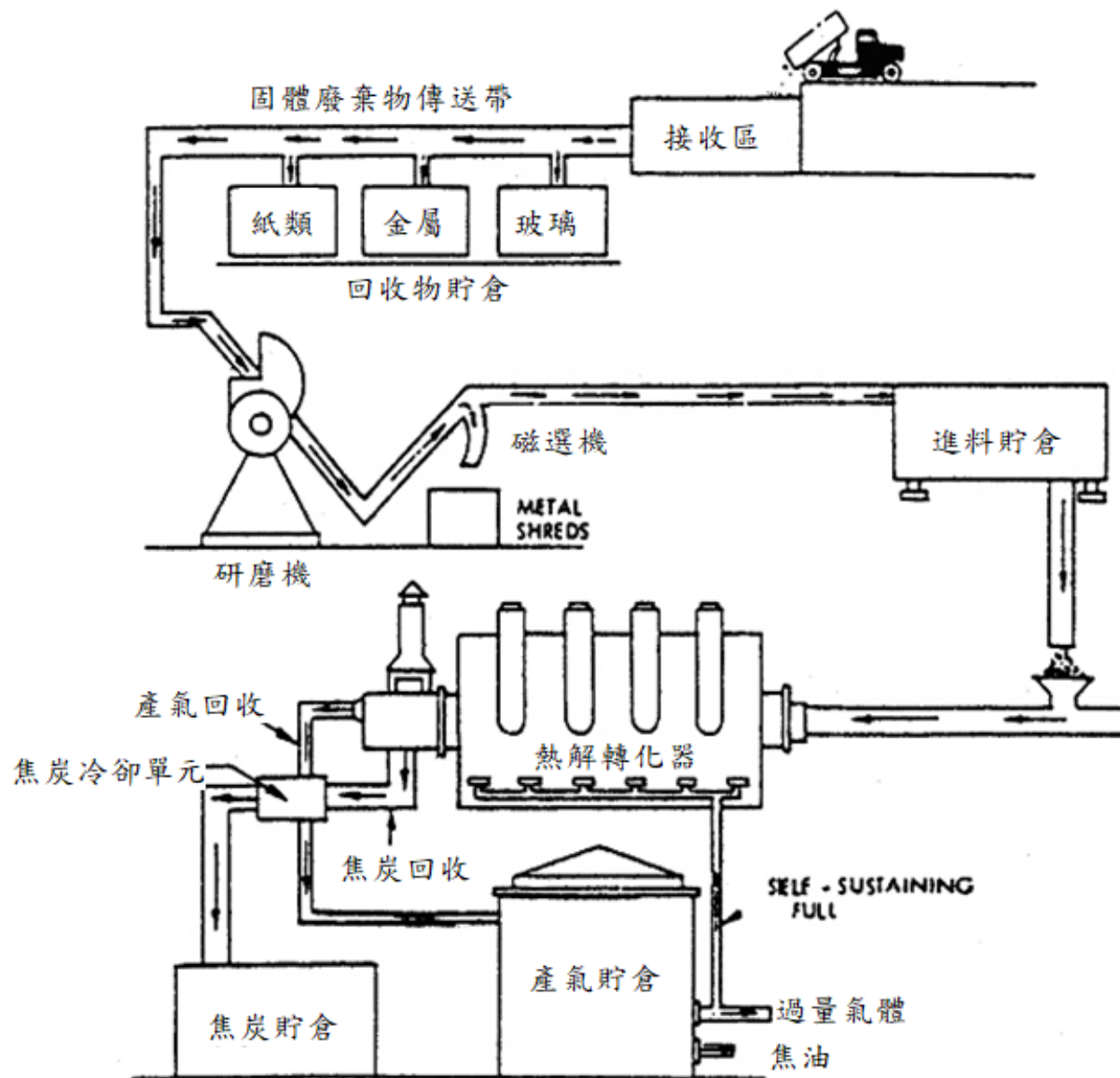
- 殘渣量少，無重金屬溶出：熱分解殘渣在水中固化成粒狀，體積為廢棄物的3%以下，且無重金屬溶出。
- NO_x發生量少，廢氣量少：熱分解於還原狀態下進行，所需要的空氣量與理論空氣量相當，所以NO_x極少產生，排廢氣量也很少。
- 廢棄物可與塑膠、污泥等混合處理。
- 爐體構造簡單，操作容易。
- 可適應廢棄物質的變化，穩定操作。
- 廢棄物中之能源，可做有效回收、利用。

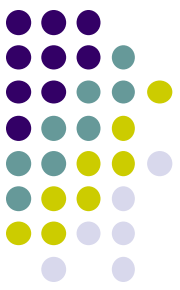


熱解法之適用範圍（處理對象）

- 可燃性廢棄物。
- 不適燃性廢棄物（廢橡皮、塑膠、橡膠等）。
- 可燃性事業廢棄物及污泥（如下水、水肥、事業污染物等之污泥）。

熱解廢棄物 物流流程圖

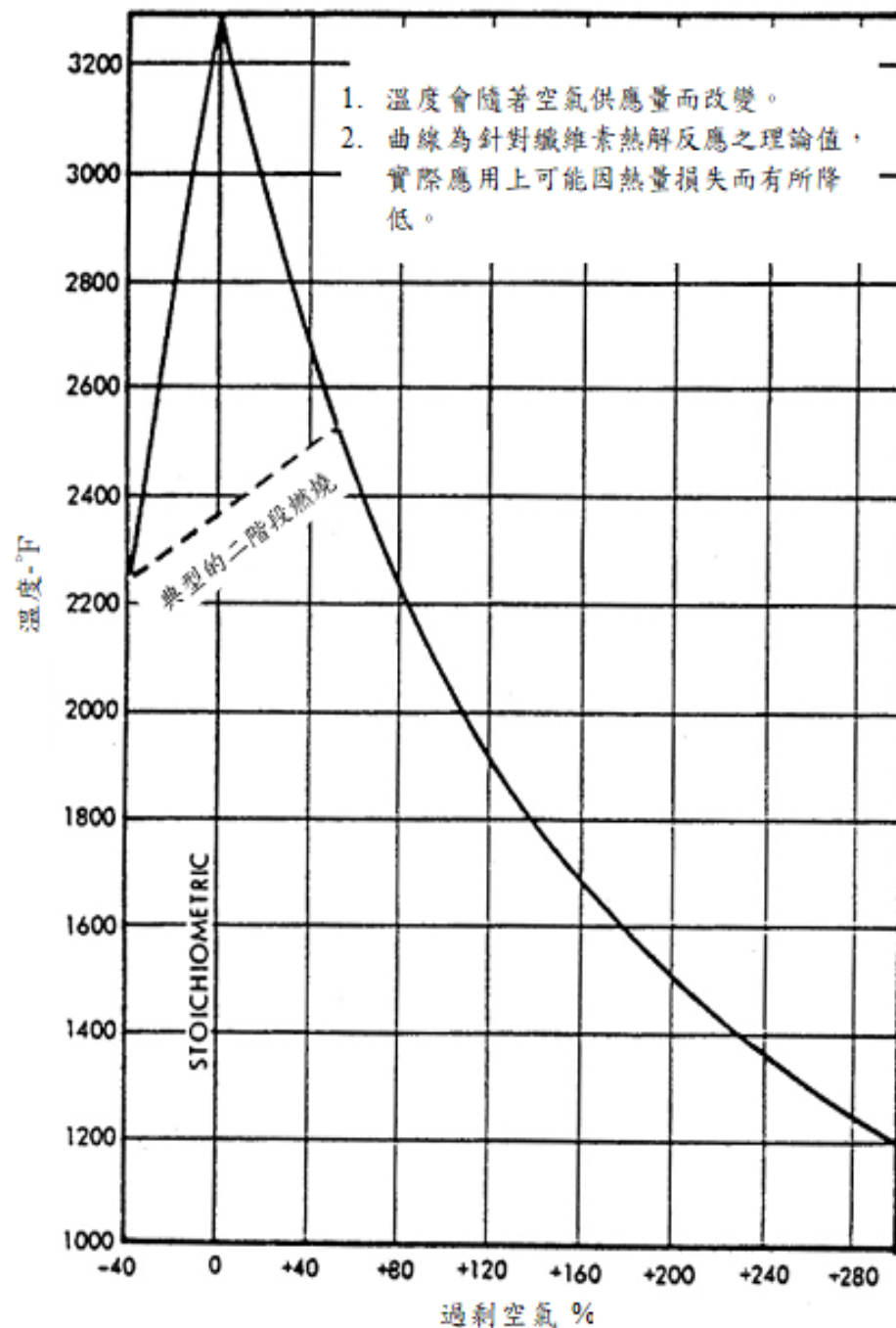




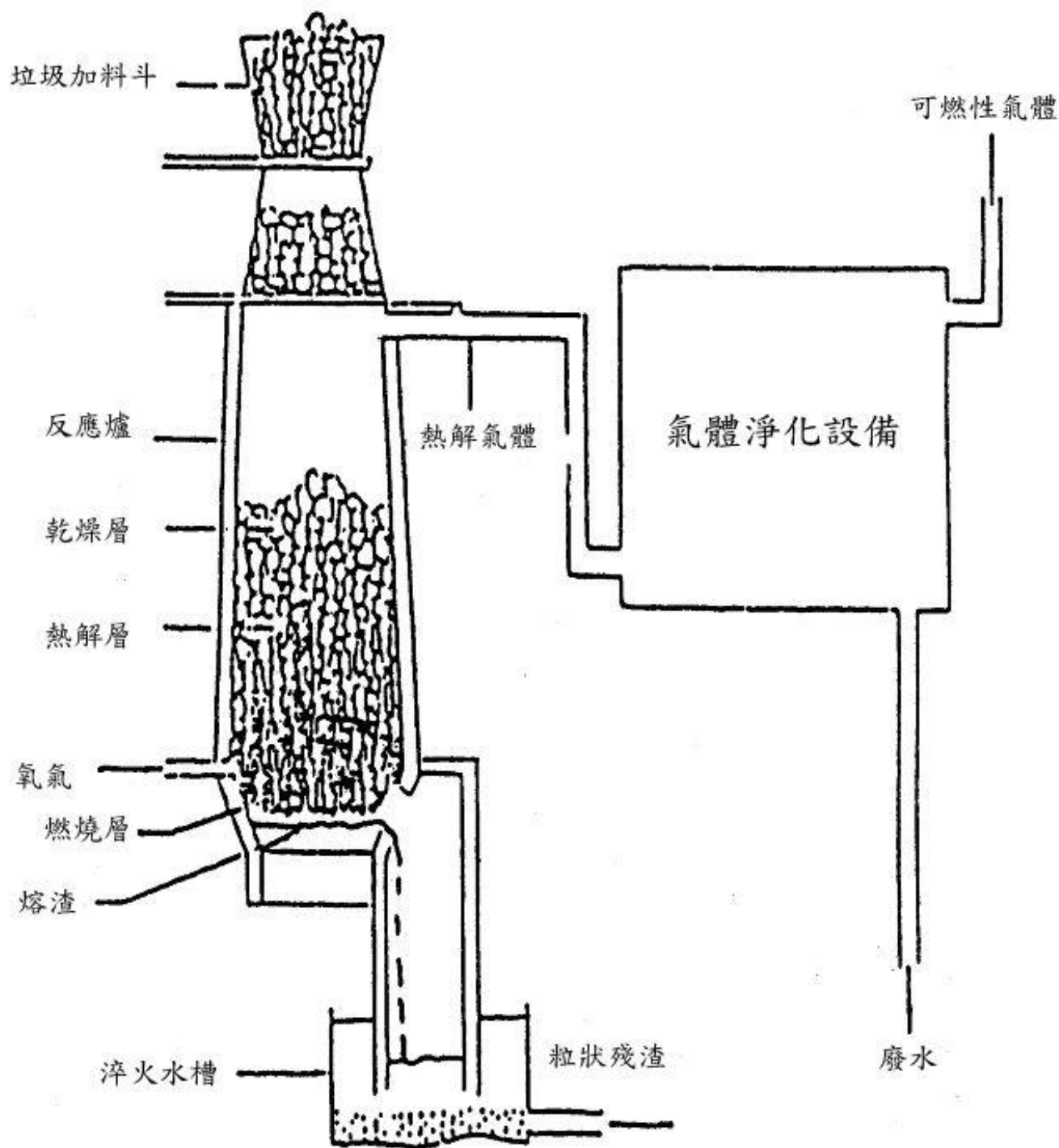
熱解法之四種技術

- 不完全燃燒型：缺空氣下之燃燒。
- 純熱解：無氧狀態過程產生中值之可燃氣。
- 直接液化並甲烷化：使用氣化方式 (Gasification Mode) 產生人造氣後以液化並甲烷化過程產生液態燃料、甲烷及相關產品，目前此型式正在研究中。
- 直接液化：純由熱解過程直接產生液體，可分兩級技術，低級技術使用低溫熱解或不完全燃燒產生黏質油，高級技術使用引導介質如氫、一氧化碳等在高壓中產生類似油之產品，目前皆在示範階段。

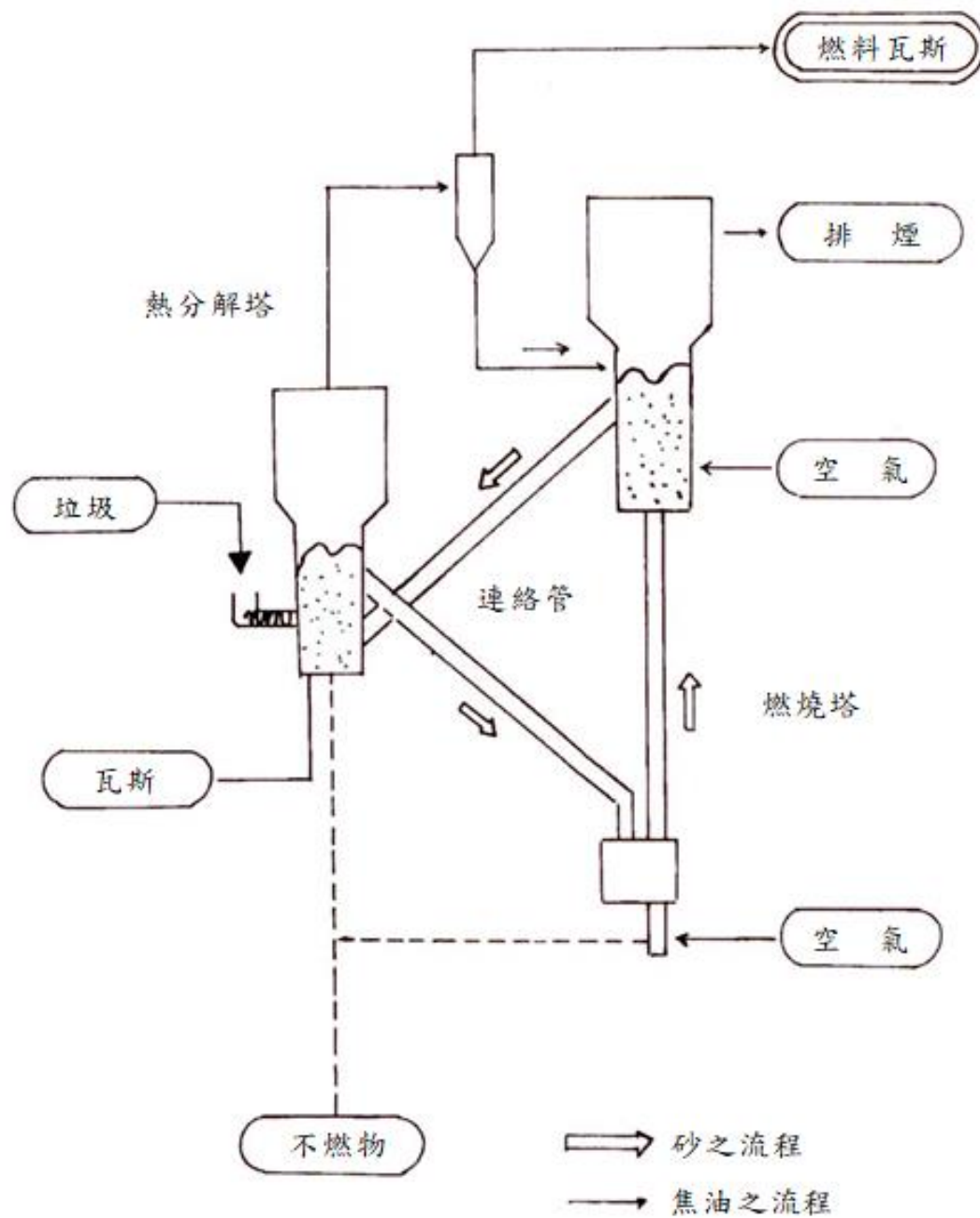
溫度與過剩空氣之關係

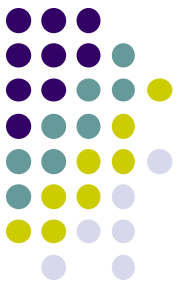


單塔式 熱解法



雙塔式 熱解法





熱解生成物

溫度 (°C)	廢棄物 ¹ (kg)	氣體 (kg)	木醋酸 及焦油 ² (kg)	焦炭 (kg)	測得 總重 (kg)
480	100	12.33	61.08	24.71	98.12
650	100	18.64	59.18	21.80	99.62
820	100	23.69	59.67	17.24	100.59
930	100	24.36	58.70	17.67	100.73

¹ 已去除金屬及玻璃之廢棄物

² 含70-80% 水

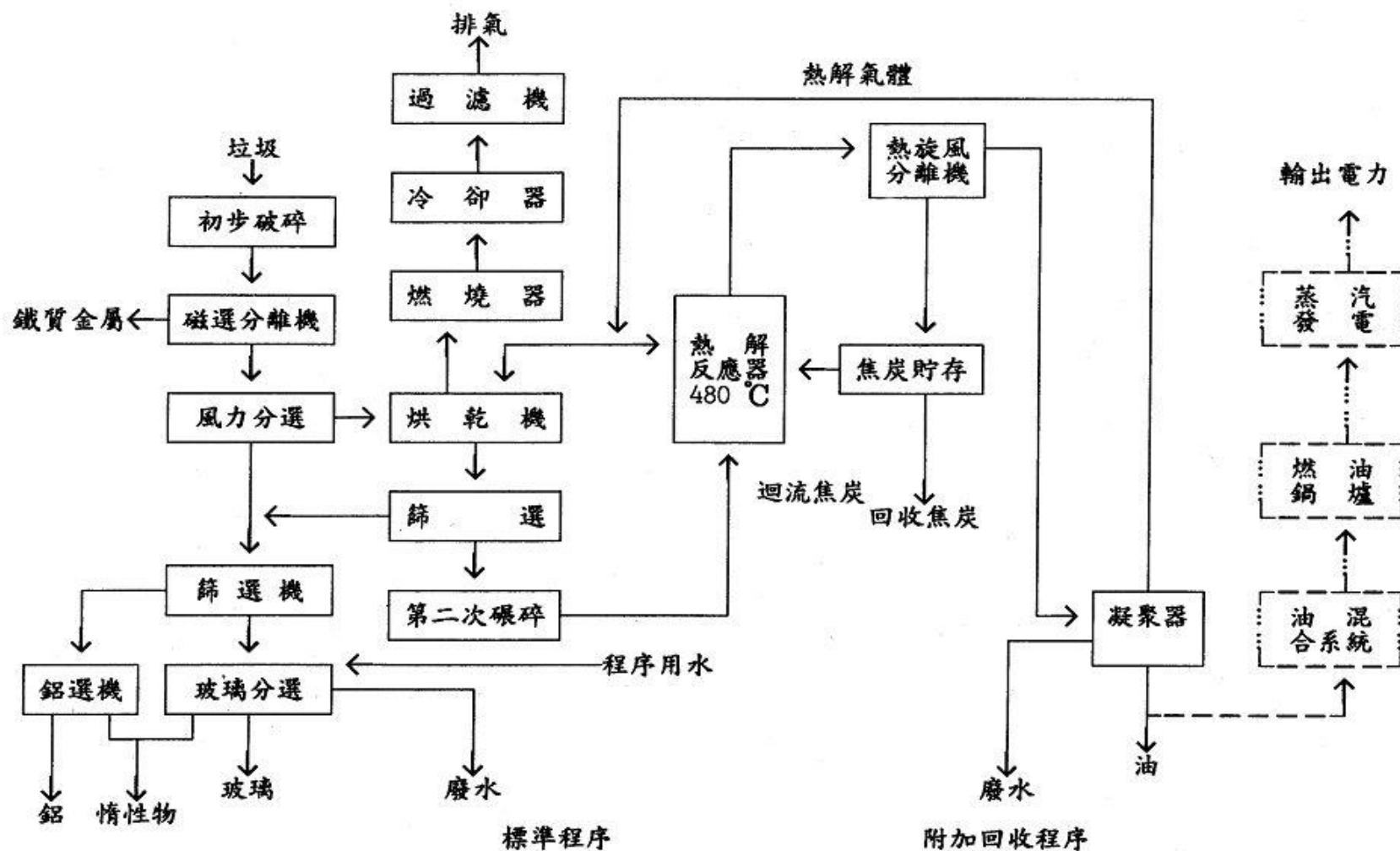


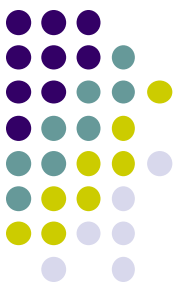
廢棄物熱解資源化後組成分比例

	石油氣 (wt%)	輕質油 (wt%)	重質油 (wt%)	焦炭 (wt%)	其他 (wt%)
廢塑膠	15-25	25-35	40-50	5-10	0-5
廢橡膠	20-30	15-25	15-25	35-45	0-5
廢輪胎	15-20	10-20	10-20	30-40	15-25
電路板	10-20	15-25	15-25	20-30	20-30



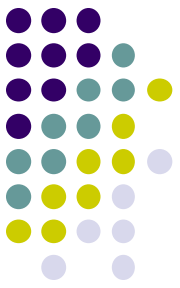
廢棄物資源回收熱解反應系統





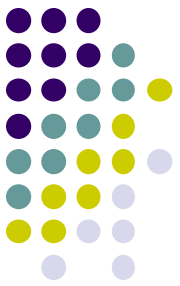
溼式氧化法

- 溼式氧化法是一種持續在高壓下操作，並藉溫度之提高來促使水相中的溶解性或懸浮性有機物與溶氧反應分解的方法。
- 完全氧化後的最終產物是水蒸氣、氮氣、二氧化碳及灰分等安定物質。
- 溼式氧化法亦可稱為「溼式燃燒」，故硫化物、氮化物、鹵化物皆截留於水相中而不會造成空氣污染，並且可回收熱能、占用空間不大、應用性廣大。

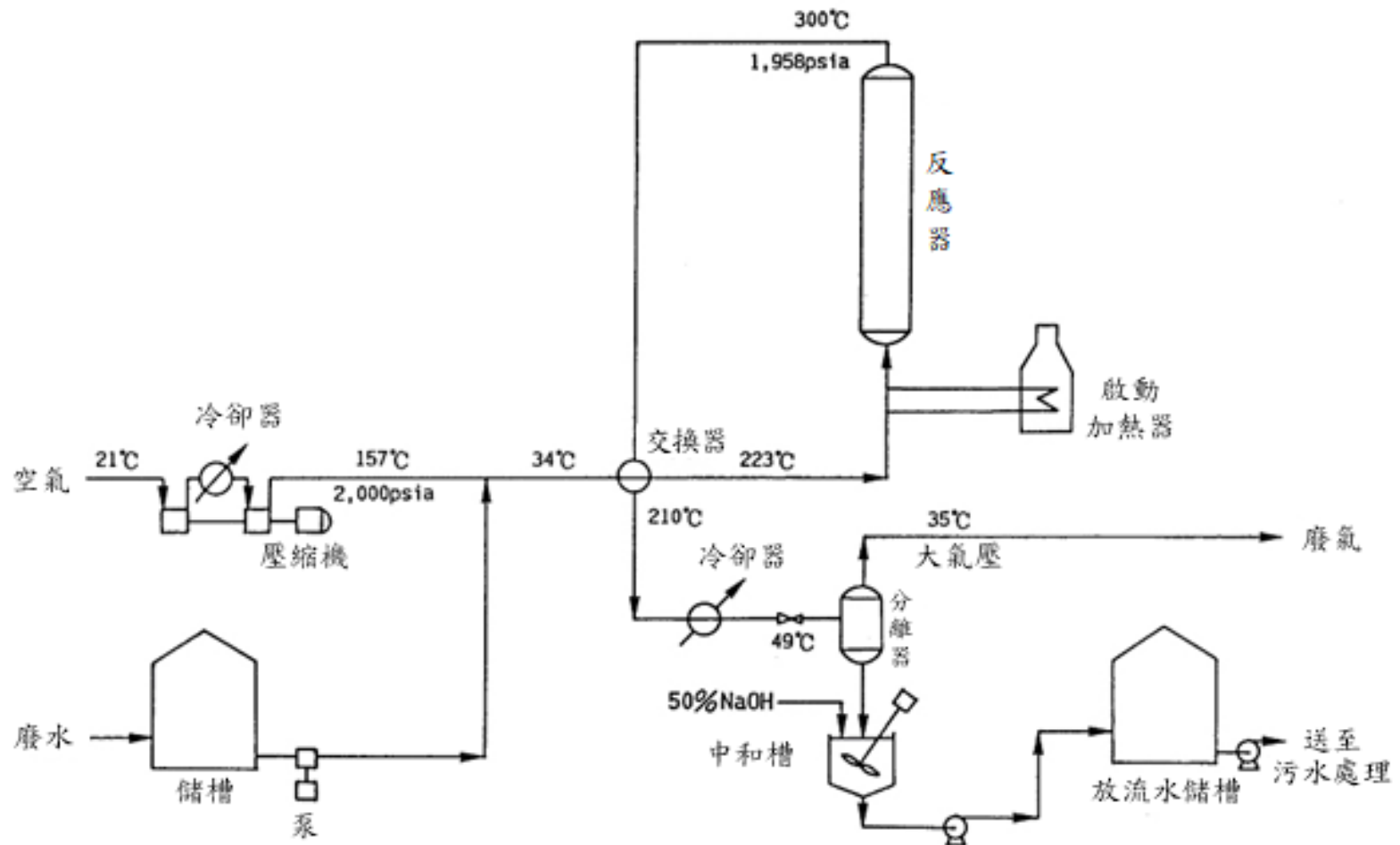


Zimpro公司溼式氧化處理對象

廢棄物型態	廠數	廢棄物型態	廠數
都市廢水處理廠污泥	109	有害廢棄物	2
水肥	29	紙廠污泥	1
活性炭再生	12	易爆炸345-T馬拉松	1
丙烯腈廢棄物	7	谷醯胺鈉	1
冶金焦炭	6	聚石橡膠廢棄物	1
石化廢棄物	6	紡織廠污泥	1
造紙填料	3	含鉻鞣皮革廢棄物	1
工業活性污泥	2	石油精煉廢棄物	1
紙漿廢液	2	其他工業污泥	1



溼式氧化法流程





溼式氧化理論

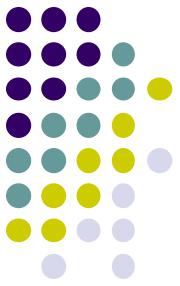
- 溼式氧化之典型理論，一般可由一階反應式表示：

$$\frac{dC}{dt} = -kC$$

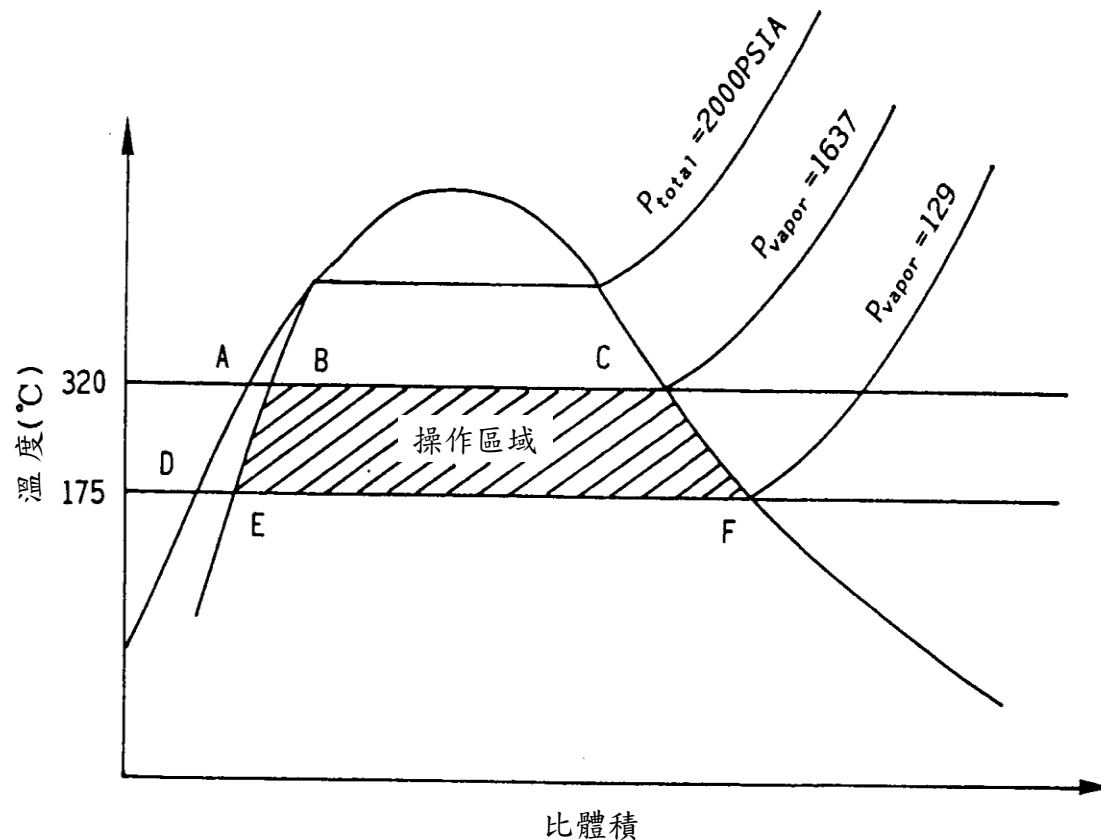
C：可氧化之有機物濃度

t：反應時間

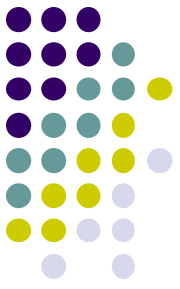
k：反應速率常數



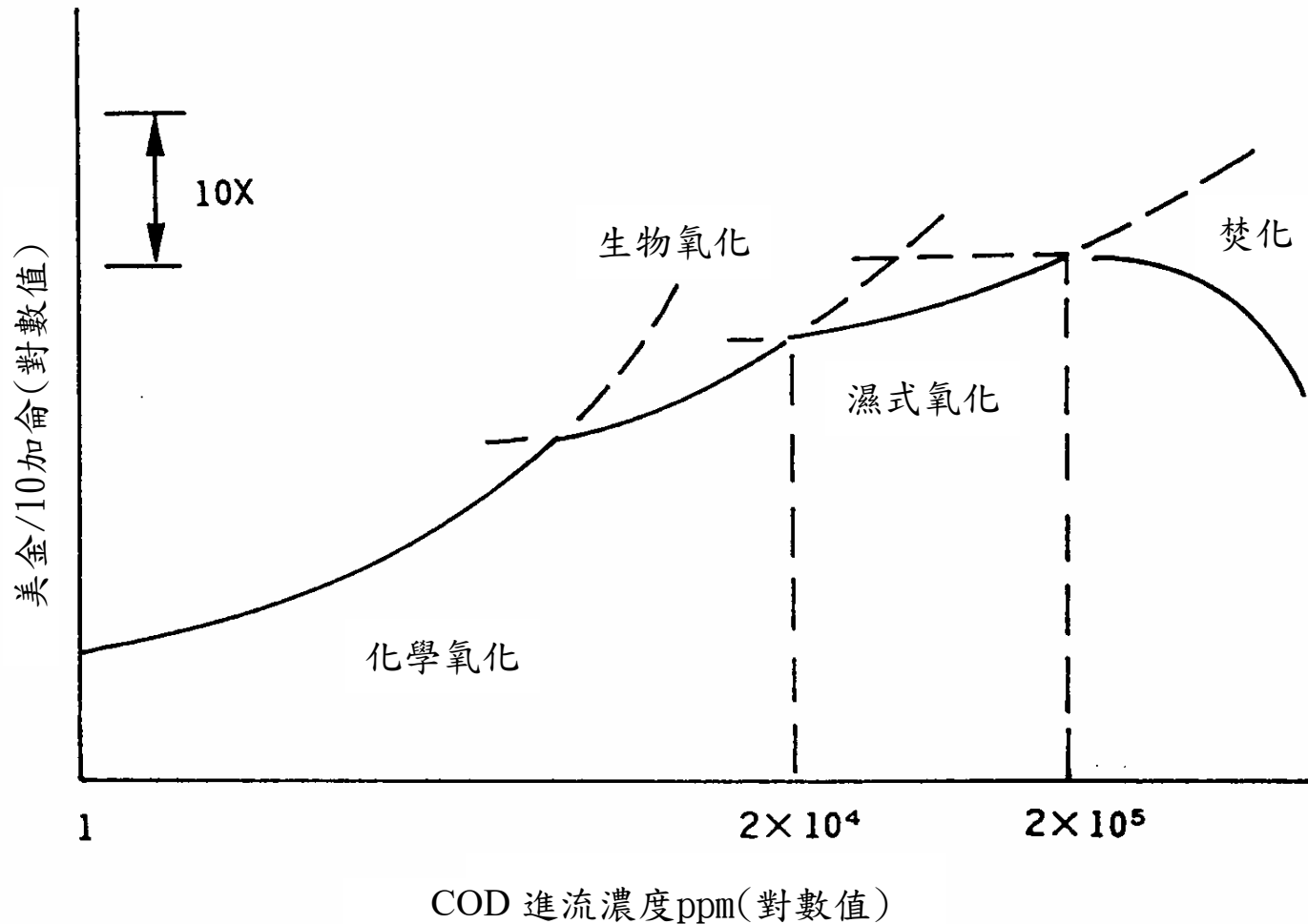
溼式氧化技術操作區域

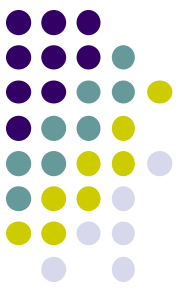


溼式氧化之溫度－體積之相關圖在EBCF範圍內係維持飽和狀態區域，其在總壓力2,000 psi時，其溫度則在175-320°C之範圍間。



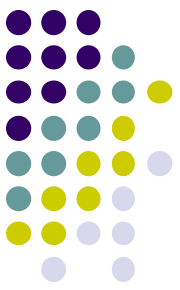
不同濃度廢棄物之處理費用比較





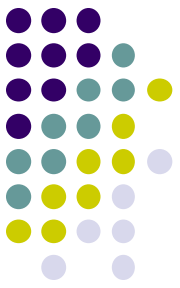
觸媒溼式氧化法

- 觸媒溼式氧化法是在連續攪拌的反應器中，以銅陽離子及硝酸和溴化物等陰離子在酸性溶液裡，用觸媒氧化有害有機物。
- 與無觸媒溼式氧化系統比較，觸媒系統用較低的反應溫度得到較高的氧化率和破壞效率。
- 一般溼式氧化法不能破壞頑強有毒的化合物（如PCBs、TCDD）；但在適當的反應溫度、高觸媒濃度及長停留時間等情況下，這些化合物可被觸媒溼式氧化法破壞。

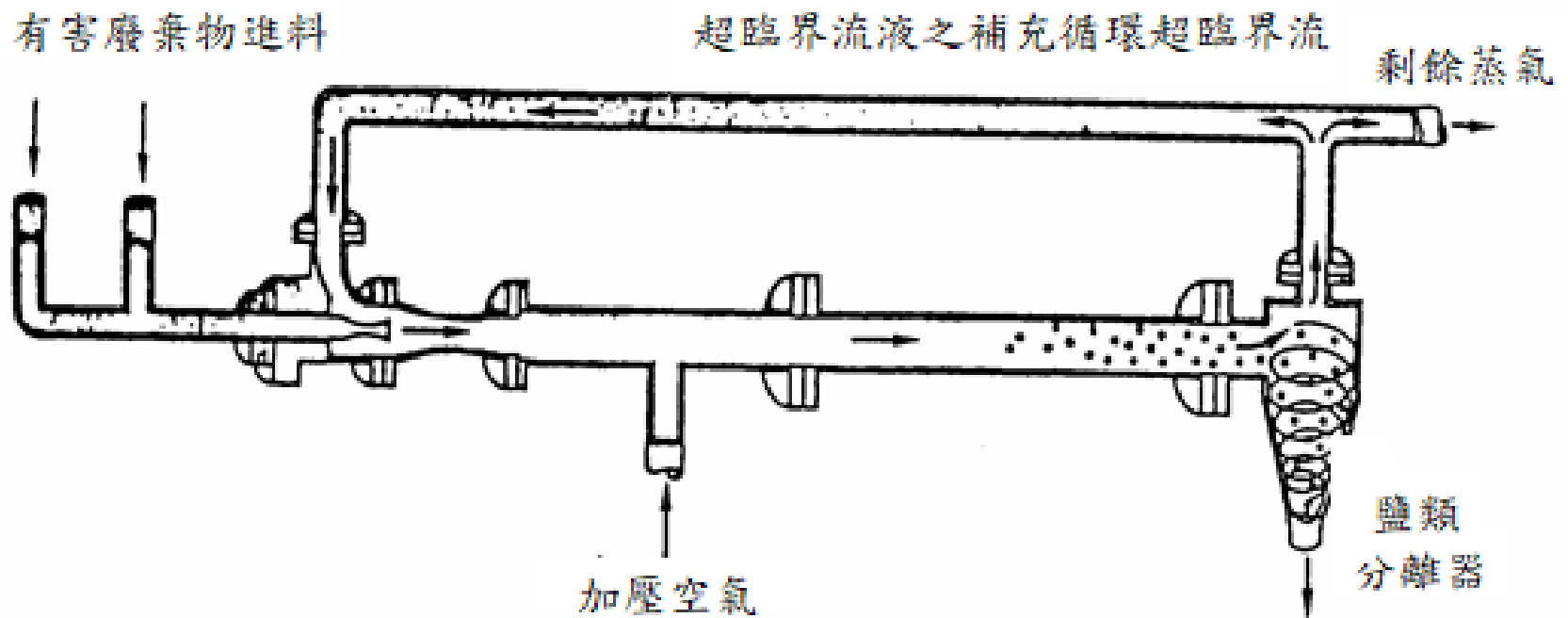


超臨界液體氧化法

- 本處理系統是在水的臨界溫度與壓力上（ 374°C 及 218 atm ）操作。
- 在此狀態下，液體廢棄物中的有機物和溶解氣體與水完全混合，其氧化率當然較低臨界氧化系統高。
- 進流液體通常預熱至 400°C 左右，並加壓至 250 atm ，反應的熱能可將反應器溫度提高至 $600\text{--}650^{\circ}\text{C}$ ，流體於反應器滯留時間約10秒。碳氫化合物迅速被氧化成 CO_2 及 H_2O ，破壞率高達99.999%，雜環分子被氧化成酸，可加鹼形成鹽類後去除。



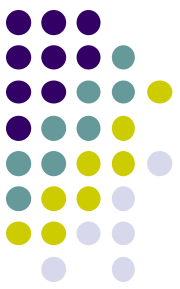
超臨界流體氧化系統



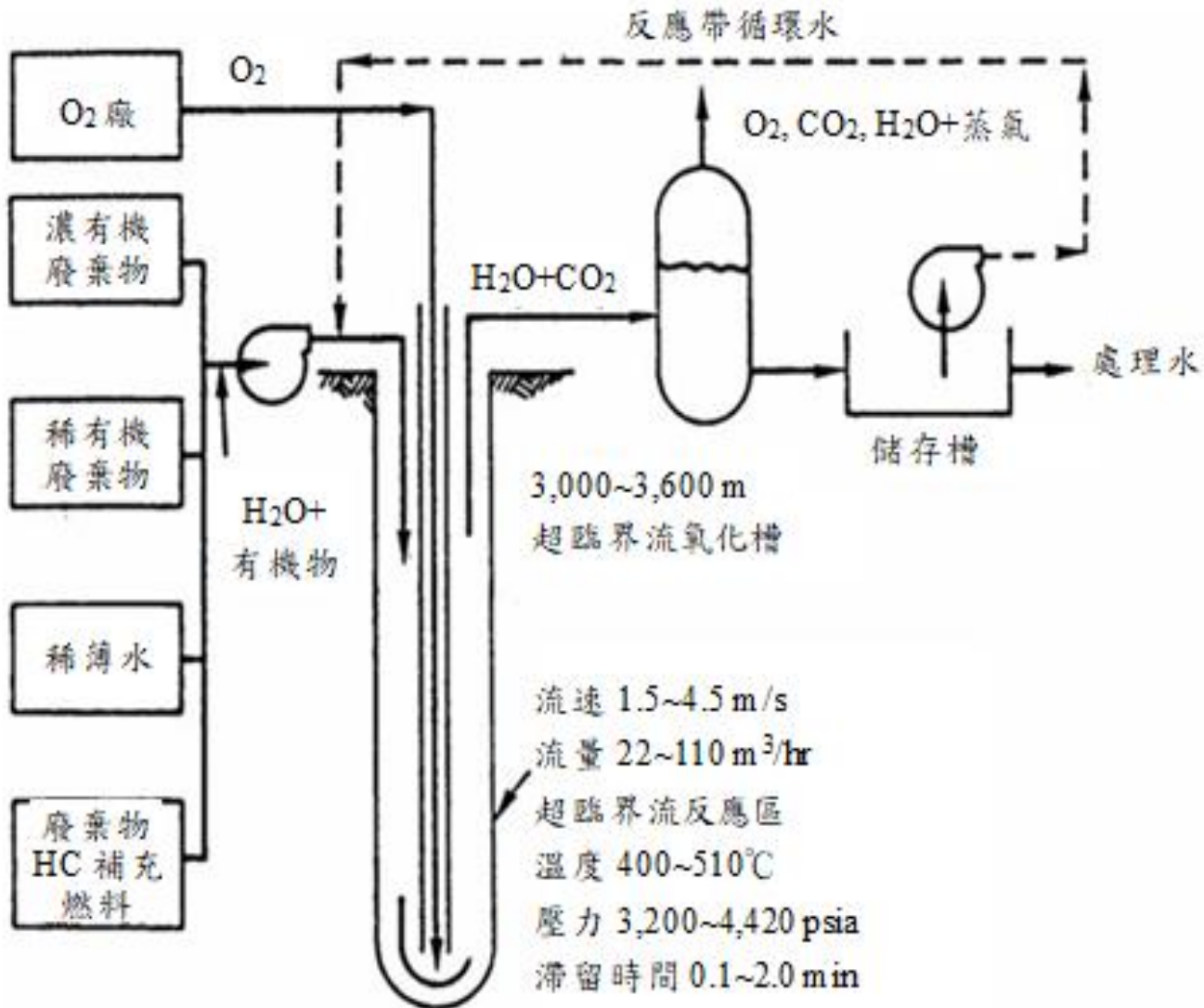


超臨界及次臨界流體深井氧化法 設計準則之比較

參數	次臨界流	超臨界流
井深 (m)	1,200-1,700	2,400-3,058
溫度 (°C)	260-320	400-510
壓力 (psia)	1,500-2,300	3,200-4,500
滯留時間 (分)	30-40	0.1-2.0
COD去除 (%)	80-85	100
氧化劑	氧氣	氧氣
注入點	低於1/2位置	低於1/2位置
流速 (m/s)	1.2-2.7	1.5-4.6
適用性	污泥、有機廢棄物及一些 有害廢棄物	一切有機及有害廢棄物
DRE (%)	80-99.9	99.99+



高溫深井溼式氧化法

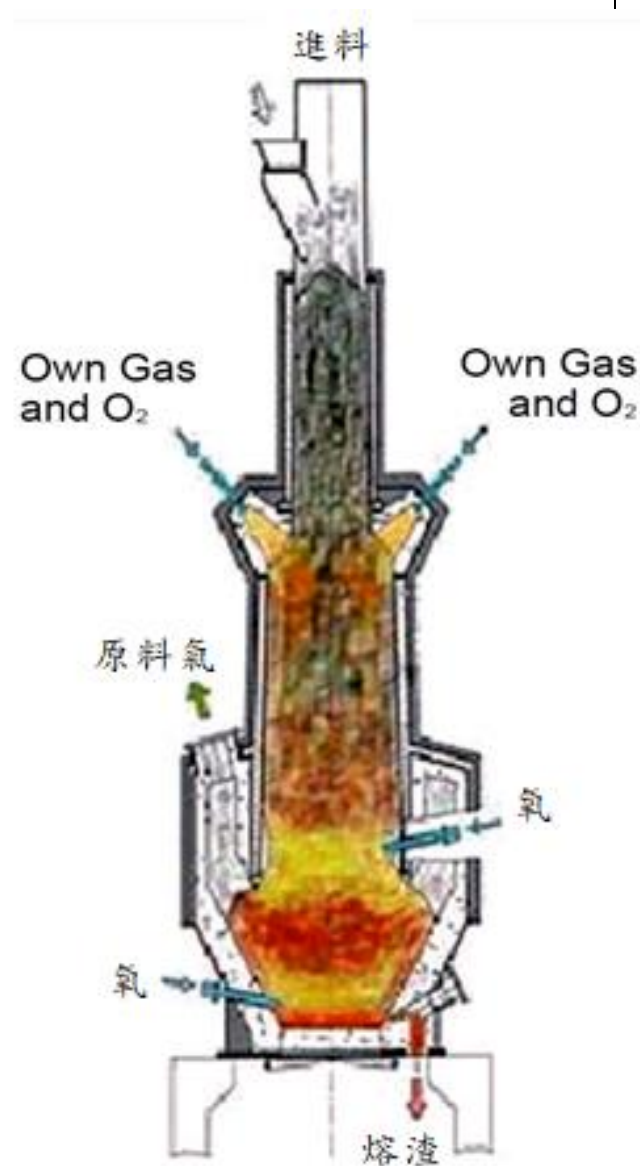




氣化法

- 氣化法 (Gasification) 是一種把煤炭、石油、生質物等含碳的原料，在控制氧氣量及高溫（ 700°C 以上）的條件下與水蒸氣進行反應，以轉換成一氧化碳和氫氣的程序。
- 氣化後的一氧化碳和氫氣混合產氣可稱為合成氣（Synthesis Gas或Syngas），本身是一種燃料。
- 氣化技術是一種具有多重效果的方法，可應用在許多不同類型的有機材料以取得能量。
- 氣化法是潔淨的技術，可應用在廢棄物的處理上。
- 氣化法的優點在於製造出比原進料能源效率高的合成氣上，燃料中的化學能可以藉由氣化技術抽取而濃縮。

典型商業化氣化爐



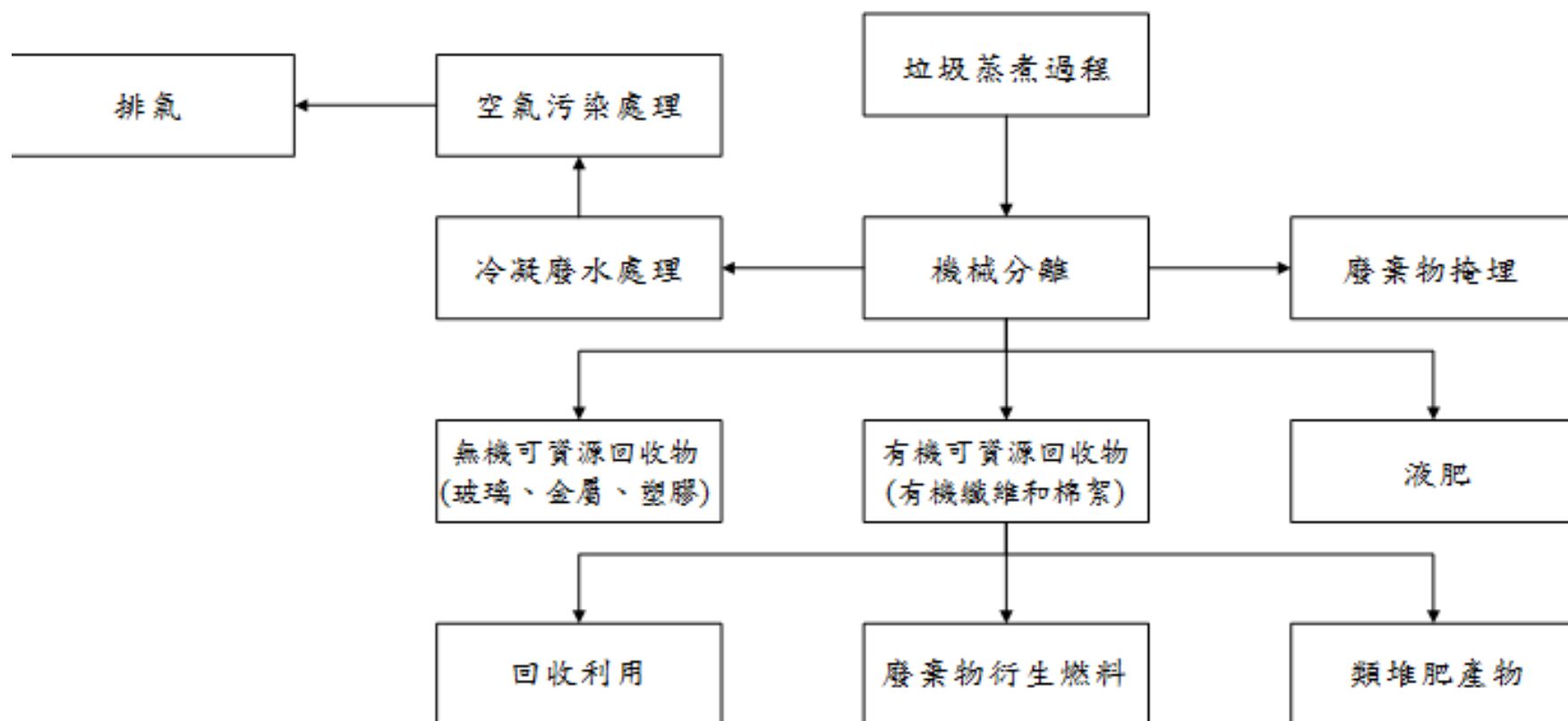


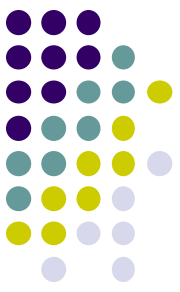
蒸煮法

- 廢棄物蒸煮分選技術屬於機械熱處理方法中的一種。其處理可運用常壓或高壓系統進行操作處理。
- 廢棄物蒸煮處理程序具有除臭、消毒、滅菌、減少體積及易於再進行焙燒處理等效果，並對於後續之再分類具有便利性。
- 金屬類與砂石類可在蒸煮之後採用磁選與密度分選等方式分離。
- 含纖維素之生質物（含有機纖維和棉絮）在受熱之後會發生部分分解反應，形成膨鬆粉狀物質，有利於製作再生燃料時之造粒。所得含纖維素之生質物，也可與農林業資材進行焙燒來產製生質炭。



廢棄物蒸煮處理流程圖





焙燒法

- 焙燒法 (Torrefaction) 為於常壓、缺氧環境下操作進行之熱處理程序，其反應溫度較熱裂解及氣化程序為低，僅須200-300°C。
- 生質炭是此製程之主要產物，其反應類似於熱解系統。
- 生質炭的能源密集化 (Energy Densification) 程度可達1.3 ($=0.9/0.7$)。與原料生質物燃燒相比較，生質炭的燃燒效率可有效提升。



焙燒溫度與生質物反應之關係

Drying: 乾燥

Glass Transition: 玻璃轉化

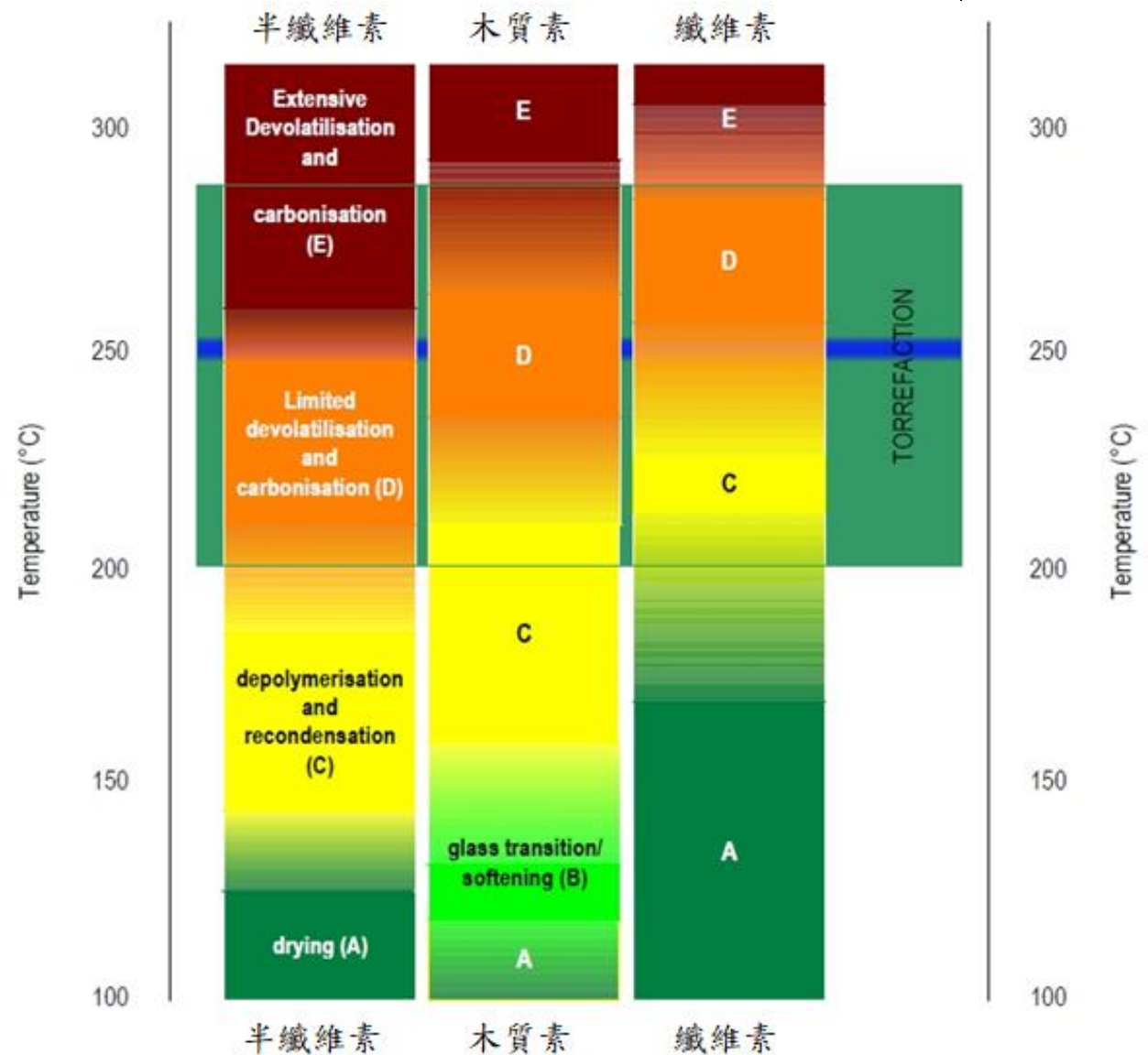
Softening: 軟化

Depolymerisation: 去聚合化

Recondensation: 再凝結

Devolatilisation: 去揮發性

Carbonisation: 碳化





焙燒反應質量與能量平衡圖

