

# 污泥焚化處理

章 裕 民<sup>\*</sup> 張 荣 興<sup>\*\*</sup>

## 摘要

目前廢水處理工程已被高昂的費用左右了處理技術，加上近來國內環保意識日益高漲，更使得業者須在龐大的投資之餘加快脚步來完成有效的污染防治措施，而焚化處理是目前現行污泥處理方法中可同時合乎「減量」、「安定」、「安全」、「資源」四大目標之唯一途徑，尤其對生物污泥更適合之。

本文就污泥焚化處理作一般性討論，包括污泥特性對焚化處理影響。一般污泥焚化處理系統可分四個主要次系統，即 1. 備料及進料系統 2. 焚化爐 3. 空氣污染防治設施與 4. 殘渣 / 灰爐處理系統。其中焚化爐依使用頻率最常見者有旋轉窯焚化爐，多爐床式焚化爐與流體化床焚化爐等三種。

## 一、前言

目前廢水處理工程已被高昂的費用左右了處理技術，加上近來國內環保意識日益高漲，更使得業者須在龐大的投資之餘加快脚步來完成有效的污染防治措施。過去數年來典型的二級廢水處理廠中污泥的處理與處置費用超過整個廢水處理費之百分之五十，此事實已喚醒了污泥處理方法選擇的重要性。

一般工業廢水處理以達成之水高度穩定及避免環境影響為主要目的，處理流程包括一次處理：混凝沉澱（物理或化學方法），二級處理：喜氣、壓氣性生物消化；甚至三級處理：活性碳吸附、離子交換法等。在前二級處理之單元操作程序裡都產生了相當可觀的二次污染物——污泥；而依「廢棄物清理法」的規定，事業單位所產生的廢棄物（包括污泥）必須自行處理或委託公、民營廢棄物處理機構代處理；因此，國內各工業區之廢水處理廠必須儘速建立污泥清理系統，有效地處理及處置所產生的污泥，以完善整個廢水處理流程及污泥的最終處置。

---

事業機構所產生的污泥有其獨特性，通常不同型態的工廠，其廢水處理廠所產生的污泥  
工業技術研究院能源與資源研究所 \* 研究員

\*\* 能源與環境組主任

除了數量迥異外，其物理 / 化學性質之差異更大，例如電鍍廠污泥可能含鉛、鉻；化學工廠污泥含汞、汞化合物、砷；農藥廠含有機磷等，在決定污泥處理，處置方法時不可不審慎評估。另外，初級生污泥、一級污泥、二級污泥其性質：含水分、內含成分、固體量……等更不同，因此，每一事業單位在進行污泥焚化處理設施之建造前，必須先進行完整且正確規劃。基本上污泥處理之目的是：

(一) 減少污泥體積：

生污泥之固體含量約在 2.1 % 以下，大部份為水份，因體積龐大，其污泥處理設備如消化、脫水、焚化等，所需設備較大，處理亦有困難，故儘量將污泥體積減小。

(二) 減少腐敗惡臭：

生污泥中有機含量甚高，約 50%~80%，容易腐敗產生惡臭，因此將污泥中之有機物去除可避免污泥處置後產生惡臭。

(三) 衛生安定化：

家庭污水污泥中常含有細菌，腸內寄生蟲，各種污泥處理過程如消化、化學處理、焚化等皆可去除污泥中之細菌，使污泥更安定。

(四) 增加搬運之方便性：

污泥處理及處置之地點相距太遠，其搬運費用甚高，生污泥為液狀搬運不易，經濃縮脫水後，可減少其水份以利搬運。

(五) 資源之有效利用：

污泥厭氣處理產生沼氣可當燃料，亦可供發電有機污泥可當肥料，焚化後灰渣可當建築材料使用。

而焚化處理是現行所有處理方法中可同時合乎「減量」、「安定」、「安全」、「資源」四大目標之唯一途徑，尤其對生物污泥更適合，且因國內種種客觀環境因素，焚化處理有其相當存在價值。

## 二、污泥之產生與特性

焚化處理條件常決定於進料性質，而廢水廢所產生的污泥，因各廠污泥集中處理之故，其性質更趨複雜，大致上其來源有：

(一) 曝氣、浮除等處理法所產生之浮渣。

(二) 一次沉澱池中之初級生污泥。

(三) 生物處理過程中微生物分解廢水中有機物所生成的生物污泥。

(四) 廢水中加入化學混藥劑凝聚膠體或懸浮固體而成之混凝污泥。

(五) 廢水經加入化學藥劑而產生之沉澱性污泥。

因此污水處理廠所產生之污泥，依其來源可分為初沉污泥，終沉污泥及化學污泥三種。因污泥產生方式不同污泥之特性亦異。

(一)初沉污泥：污水中比重大顆粒之懸浮固體，可藉單純沉澱予以去除，此類污泥含水量為 98 %，所含有機物約為 50 ~ 70 %。

(二)終沉污泥：終沉池沉澱之污泥為生物污泥，係曝氣槽內微生物氧化分解廢水中溶解之有機物，增殖所產生之污泥，結構鬆散，水份較高的佔 99 % ~ 99.5 %，有機物約為 60 % ~ 90 %，單獨脫水較難，一般均與初沉污泥混合一併脫水。

(三)化學污泥：化學污泥係利用化學方法使之沉澱所產生之污泥，此類污泥性質複雜，可能含有重金屬，處置後產生二次公害，一般與生物污泥分別處理。

而污泥之特性因廢水之性質，廢水處理方式及廢水處理之程度等之影響有顯著之差別，茲分化學性質及物理性質分別說明如後：

(一)汚泥化學性質

1. 含水率

下水污泥一般屬親水性，以間隙水、附著水及內部水之形態保有大量水分，污泥含水重量百分比稱含水率( % )，而 [ 100 ( % ) - 含水率 ( % ) ] 則稱固體物濃度 ( % )。污泥含水率受(1)排泥方法，(2)剩餘污泥混合率，(3)污泥固體物粒徑分布以及(4)固體特有機分等所左右，一般粒徑越小，有機分高之污泥其含水率亦越高。

以污泥類別而言，剩餘污泥含水率約在 99.5 % ~ 99 %，另混合污泥則在 99 % ~ 97 %。

2. 固體物組成

污泥中所含固體物由在 600 °C 分解之有機物(揮發性固體物)及無機物(殘留物)所組成。污泥有機物由碳水化合物、脂肪及蛋白質所構成，組成比因污泥種類而異。無機物則由砂、矽土、鐵、鋁及其他金屬氧化物組成，污泥沉降時成為粒子之核心，因其粒徑及比重較大關係，故無機分較高之污泥與高有機質污泥相比，具有較高之沉降及壓密性。污泥有機分及無機分之含量比則決定於含量率、固體物比重、粒徑及黏性等物性之要因，並影響污泥處理之難易。一般高有機分污泥易腐敗，濃縮、脫水都較困難。

3. PH，鹼度及其他

都市污水處理場之污泥含多量具有緩衝作用之碳酸鹽及重碳酸鹽，故 PH 值通常呈弱酸性或中性( PH 約 6 ~ 7 )，澄清液的鹼度約在 200 ~ 300 mg/l 之間，有機酸濃度亦約在此範圍內。

(二)汚泥之物理性質

1. 比重

污泥之比重係受(1)含水率，(2)有機分與無機分含量比以及其他組成所影響，含水率與有機分減少時，污泥比重有上升的現象，因此土砂等無機物含量較高之生污泥，其比重較高含水率、高有機分之剩餘污泥為大，但各類污泥均因含大量水分，故其比重則近於水之比重(約 1.01 )。混合污泥經乾燥後之固體物比重約在 1.5 ~ 1.8 。固體物中無機分比重遠較有機分比重為大，因此固體物之比重顯著受到有機分含率之影響。

2. 粒徑

污泥中所含固體物不僅比重不同，其粒徑及形狀亦因污泥排除方式及處理條件不同而有變化。污泥粒子之沈降速度決定於其比重及粒徑，因此污泥之粒徑與比重密切影響其濃縮及脫水性質。

### 3.黏性

污泥和其他流體一樣具有黏性，黏性之大小代表其流動之特性，流動性除因污泥種類而異外，同時溫度及污泥濃度對其影響亦不小，溫度愈低及濃度愈高時，污泥黏性也愈大。

## 三、焚化處理

近年來由於工業快速成長，工廠數急驟上升，一併使得污水產量大增，工業生產所造成公害時有所聞。在國人環保意識高漲，法規管制漸嚴的情況下，污水管制與處理將是國內工業界須關心的重要工作。台灣各工業區污水處理廠，對相當數量之工廠污水予以集中處理以便於管制，對國內污染防治之貢獻有目共睹，惟因對污水廠所產生的污泥沒有適當的給予處理，以至形成二次公害，故為了消弭公害問題，積極尋找一適當的技術，設置可處理及處置這些污泥的設施是絕對必要的。

污泥的管理 / 處理措施基本上可分為三大類：1. 減少廢污泥產量，2. 處理或破壞，3. 固定化、包裝及掩埋。但近年來由於環境保護意識的覺醒，法規管制的漸趨嚴格，使得污泥的處理方法漸漸改變。較傳統費用低廉的乾燥床乾燥法、重力沉澱法及空氣浮除法，已慢慢被下列方法取代：

- (一) 喜氣或厭氣性消化法；
- (二) 離心脫水法；
- (三) 真空過濾脫水法；
- (四) 高溫高壓熱脫水法；
- (五) 焚化處理；

而在這些處理技術中，污泥減量化應列為最優先考慮，其中又以正確設計焚化系統最能有效處理、破壞各種成分之污泥。焚化系統的設計及操作，國外已累積相當可觀的經驗，並且已有多種商業化系統應市。國人對焚化系統中的部分零組件雖已具備自製能力，但卻較缺乏對整個系統的規劃及設計經驗。

以下將就污泥焚化技術，污泥特性與焚化之關係，焚化系統中各元件種類、特性、優缺點，適用範疇，選用及設計要領作一概述。

### 3.1 污泥特性與焚化：

污泥之焚化是利用燃燒所產生的高溫環境，於氧化氣份下，將其中的有害物質分解破壞成無害的灰渣及氣體，以合乎環保法規之要求。而燃燒反應受燃燒物（污泥）之影響極大，因此要控制焚化過程及結果能合乎法規，必須先就污泥的特性與焚化程序作通盤的瞭解。

污泥和一般燃料不同，污泥是許多種類物質所組成的混合物，其特性受組成的影響而時

有變化。污泥性質(尤其是熱值,請參考圖 1)的變化極大,於規劃焚化處理設施前必須對所要處理的污泥性質有充分的了解,才能確保所規劃設計之系統能符合所需。

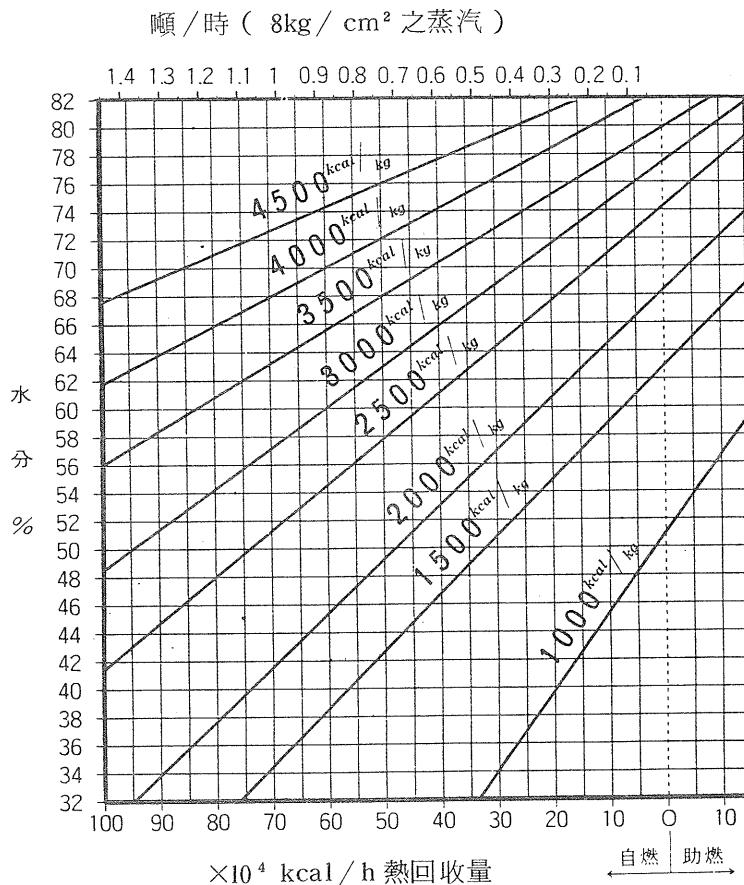


圖 1 污泥水份與焚化熱回收之關係

影響污泥性質的三大因素為：

- (一)水份的含量。
- (二)非可燃物的比例。
- (三)可燃物組成及其熱值。

其中水份的含量除因成份而異外,亦常因儲存方法、地點,甚至季節與氣候而異。這些都直接影響熱值的估算。因此想得到具代表性之熱值,除須對污泥之組成各成份熱值作分析外,對非可燃物含量,甚至水份因地、因時而異亦須列入計算,才能使估計值正確,以確保所設計系統之燃燒效果能達到最佳狀況。除污泥的組成性質外,燃燒時的環境條件中亦有五大因素會直接影響焚化效率：

大因素會直接影響焚化效率：

- (一) 污泥的分散度。
- (二) 氧氣的供給情況。
- (三) 污泥之滯留時間長短。
- (四) 氣體的擾流效果。
- (五) 燃燒溫度。

污泥於爐內分散度愈佳，和空氣接觸得愈充份，則焚化的效果愈佳。氧氣是燃燒反應的必要元素，其供應除須過量外（因反應效率無法達到 100 %），供給的位置亦相當重要。通常是 80 % 氧氣採下供氣式（under fireair），使氧氣能充份與污泥接觸，另外 20 % 氧氣採上供氣式（overfireair），除具攪拌氣流外，更可除去污泥上面之灰燼，而促進燃燒。

污泥要燃燒完全除供氧足夠外，亦須提供足夠的接觸時間，所以足夠的爐內滯留時間是設計必須考慮的。另外氣體在爐內的擾流混合效果充份與否，也是決定燃燒是否完全的因素之一。

由以上對燃燒過程的瞭解，可知要有效焚化污泥，並使排氣達到環保標準，則必須先對污泥作詳盡的分析、瞭解，並配合焚化爐之設計，才能使焚化爐達到所需的性能要求。

### 3.2 焚化系統

污泥焚化系統的選擇與設計極為複雜，依其使用頻率，最常見的焚化爐設計有三種：

- (一) 旋轉窯焚化爐 ( rotary kiln incinerator )
- (二) 多爐床式焚化爐 ( multi-hearth incinerator )
- (三) 流體化床焚化爐 ( fluidized bed incinerator )

雖然，文獻上已有許多資料可資依循，及國內工業界亦已累積許多寶貴的經驗，但國內目前對污泥處理的經驗由於相關法規並未完備，致多未能達到令人滿意之地步。在規劃設計焚化系統時，對其最重要的特徵及重要的設計因素應有全盤的了解（如圖 2 所示），方可作為溝通及推動規劃工作之參考。

污泥焚化系統可區分成四個主要次系統：1. 污泥備料及進料系統；2. 焚化爐；3. 空氣污染防治設施；4. 殘渣／灰燼處理系統。各單元的適當組合，則視所要焚化的污泥物理及化學性質而異。以下分別四個主要次系統作一扼要的說明。

#### 1. 污泥備料及進料系統

污泥所適宜採用的進料方法主要決定於污泥物理性質。由於輸送液體污泥通常非常地昂貴，故藉脫水以縮減體積是必要的。目前較受歡迎之脫水技術為砂床、真空過濾機、壓濾機、帶狀過濾機及離心機。脫水後之污泥可視為固體再利用推送式（rams）進料器、重力進料器、氣鎖式進料器、振動式或螺旋式進料器、或皮帶進料器送至燃燒室焚化。

#### 2. 焚化爐

燃燒爐型態的選擇主要決定於污泥的物理性質及灰份。以下分別就常用的三種爐型之特徵、使用狀況及優缺點加以說明之。

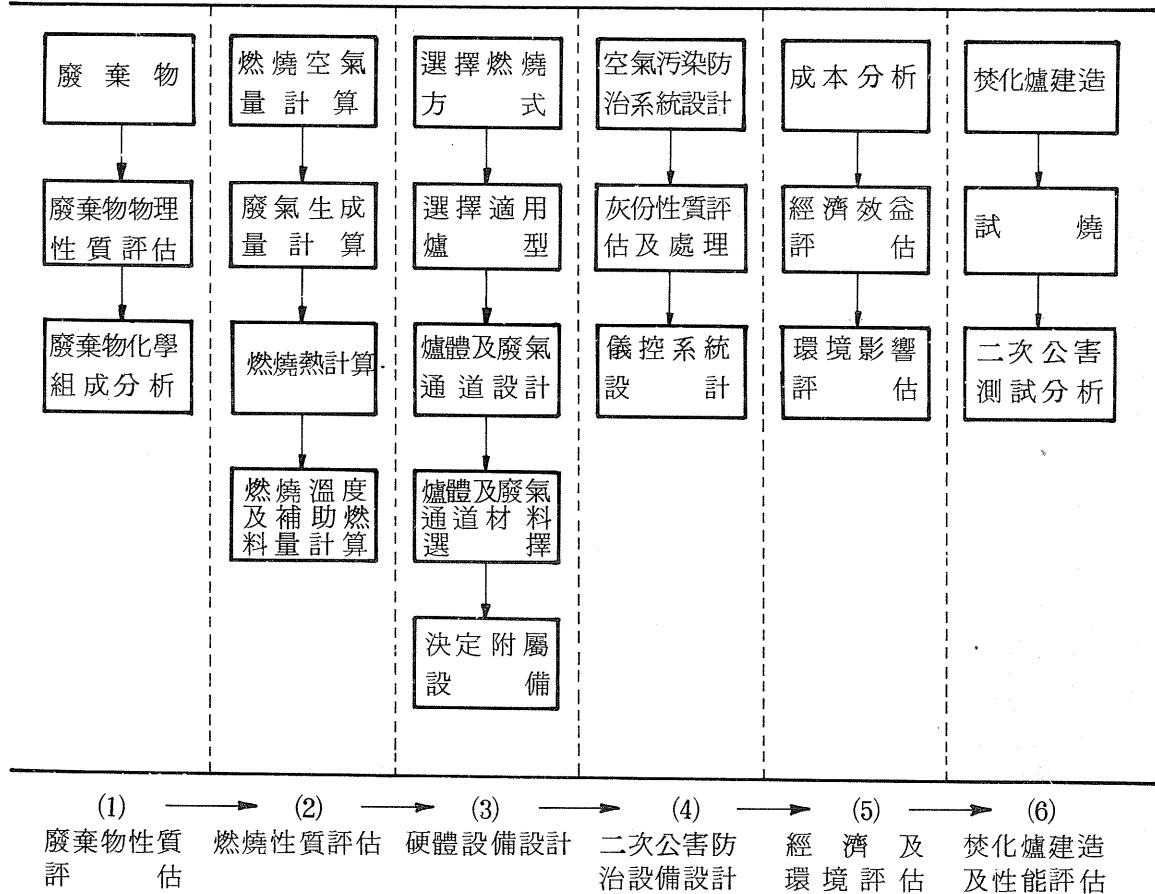


圖 2 焚化系統設計程序

### (1) 旋轉窯焚化爐

旋轉窯焚化爐可適用於固體之廢棄物、污泥、桶裝廢棄物及液體廢棄物之焚化。其基本構造如圖 3 所示。

應用在污泥焚化時，旋轉窯焚化爐爐腔的轉動除了可造成污泥的輸送外，更可使污泥得到良好的混合，提高其焚化效率，但在另一方面污泥卻易在爐腔壁上形成結垢的缺點。污泥在窯內的滯留時間通常約為一至數小時。旋轉窯焚化爐的進料速率通常控制在爐內污泥量約佔爐體積 20% 以下。污泥在旋轉窯內的滯留時間決定於窯體轉速（通常每分鐘約 0.25 轉以下至 5 轉）、爐腔長度與直徑之比質、及爐體的傾斜角，並可用以下的經驗方程式表示之：

$$\text{滯留時間} = 0.19 \times \frac{(\text{爐體長度})}{(\text{爐體直體})} \times \frac{1}{(\text{斜度}) \times (\text{回轉速})}$$

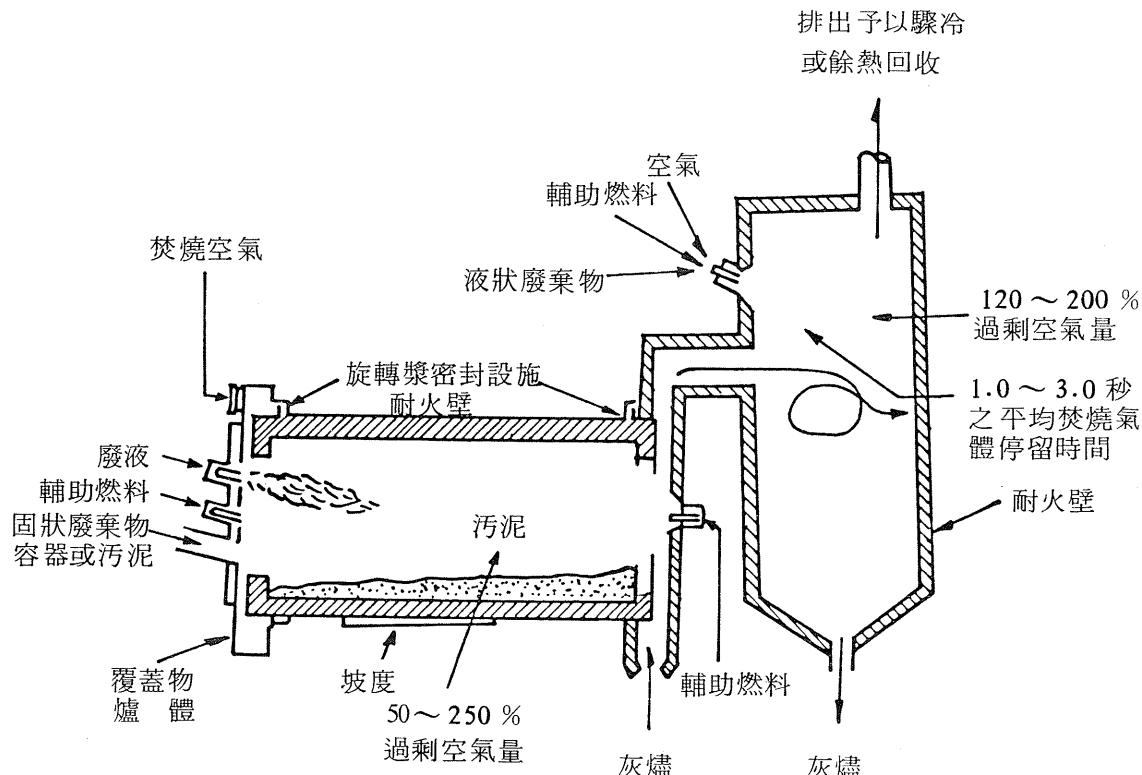


圖3 旋轉窯化爐燃燒室

旋轉窯化爐的釋熱容量通常設計值為  $5 \times 10^8 \text{ kcal/m}^3 \cdot \text{hr}$ ，操作溫度通常為  $700^\circ\text{C}$  至  $1000^\circ\text{C}$ ，其主要功能是將污泥轉化成氣相產物。其過程在旋轉窯內基本上可分割成乾燥、熱解及焚化三部份。所產生的氣體可能含有部分未完全燃燒的有害氣體產物，因此，必須再採用後燃燒室使其在高溫（約  $1000^\circ\text{C}$  至  $1300^\circ\text{C}$ ）氧化狀態下完全燃燒。氣體產物在後燃燒室中的平均滯留時間通常設計為約 1 至 3 秒。

施轉窯焚化爐的優點為：

- 可處理絕大部分固體及液體有害廢棄物（包括 PCB<sub>S</sub>）。
- 可分別處理廢液及固體廢棄物。
- 可處理體積較大的廢棄物。
- 可連續除灰。
- 控制廢棄物的滯留時間。

其缺點則包括：

- 建造費用高昂。
- 維護費用較高。
- 易於爐膛壁上形成結垢。
- 爐膛中上、下層溫度分佈不均，相差極大。

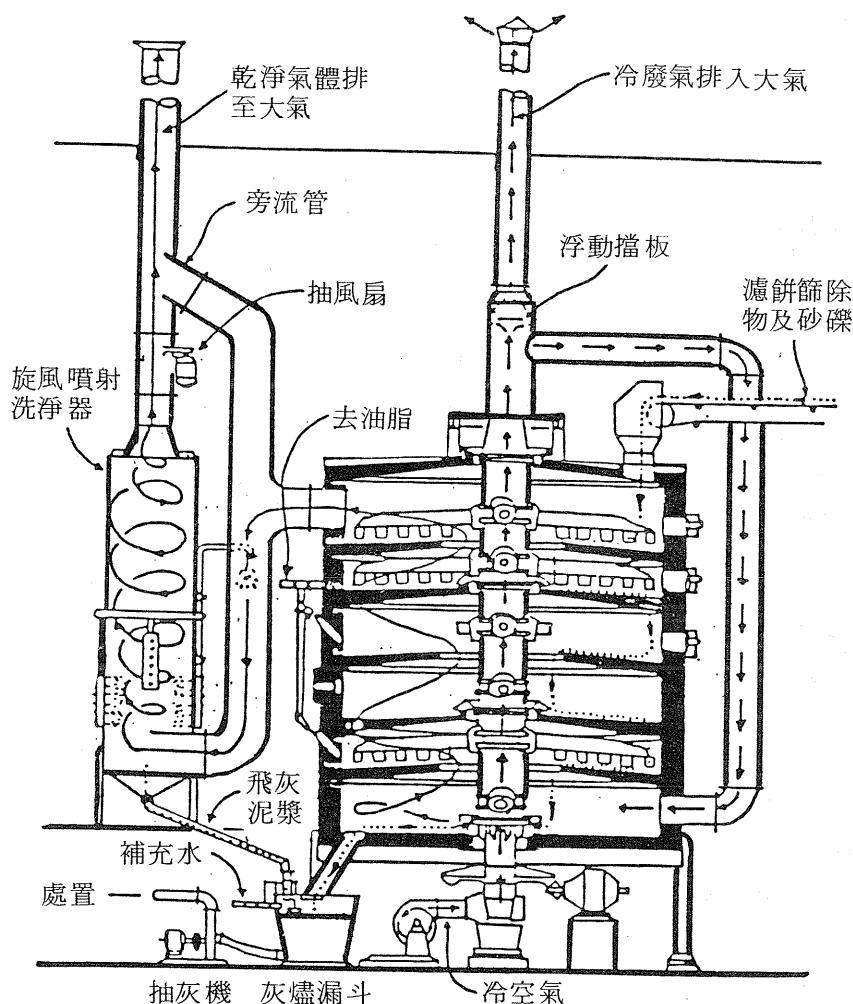


圖4 多爐床式焚化爐

一燒渣可能熔融結塊。

## (2)多爐床式焚化爐

此種爐用於污泥的焚化可說是最早的型式，早在 1934 年在 Dearborn (Michigan) 即開始使用。其操作方式為簡單，如圖 4 所示，爐床內於垂直方向上有很多爐室，並具有攬拌桿 (rabbble arms) 能將污泥沿著最熱的爐床推入下層，而最後至灰坑。整個污泥在爐床內的移動是先從最上方之乾燥區（如圖 5 所示之爐床內溫度分佈圖），在至燃燒區發生燃燒反應，未完全燃完的固定碳成份再至第三區的固定碳燃燒區於較高溫下達到完全燃燒，最後至冷卻區排出。

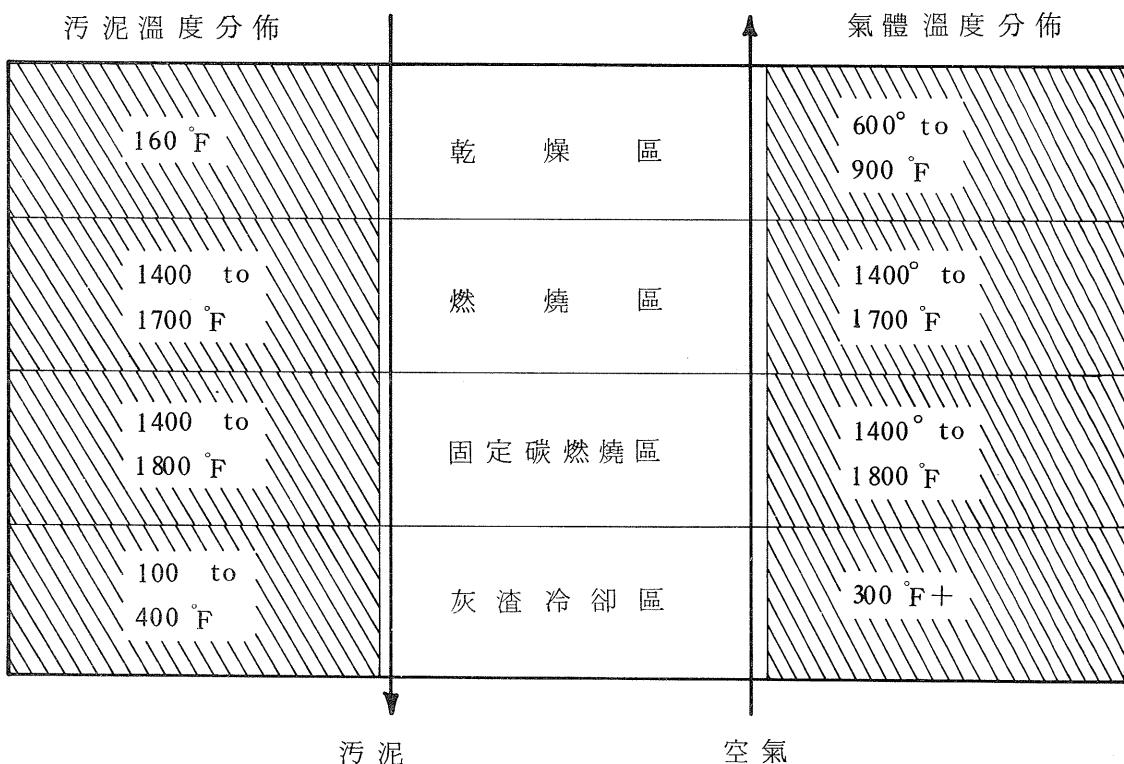


圖 5 多爐床式焚化爐爐內溫度分佈

由於此種爐之機械部份較多，對於成份複雜的污泥處理、極易造成維修上困難。另該爐的燃燒氣與污泥的接觸效率會比旋轉窯焚化爐佳，但卻比流體化床焚化爐差。

### (3) 流體化床焚化爐

流體化床在化學工業程序中是一種極為常見的單元操作，為一相當成熟的技術。但是流體化床燃燒系統，尤其是在事業廢棄物的焚化應用上，則是近年來正在開發中的技術。流體化床焚化爐又可分為循環式流體化床及氣泡式流體化床兩類（如圖6所示之氣泡式）。兩種流體化床都含有一個內襯耐火材料的燃燒室，其中部分填裝了砂、氧化鋁、碳酸鈉或其他材料製成的小粒子。燃燒空氣由粒子床底部的空氣分散板高速流入，使粒子床流體化（氣泡床）或將粒子帶走（循環式流體化床）。循環式流體化設計，空氣流速通常較高，可將固體粒子吹出燃燒室，然後利用一旋風分離器使粒子與氣體分離，再讓固體回流至燃燒室。流體化床焚化爐的操作溫度通常為 $450^{\circ}\text{C}$ 至 $850^{\circ}\text{C}$ ，操作溫度上限通常決定於流體化床介質（固體粒子）的軟化點（砂約 $900^{\circ}\text{C}$ ），過剩空氣通常為20至40%。

流體化床焚化爐主要用於污泥及切碎的固體廢棄物之焚化。為了能回收燃燒廢氣的熱量，用於污泥焚化之處理流程有多種選擇如圖7所示。流體化床焚化爐能提供較高的空氣/固

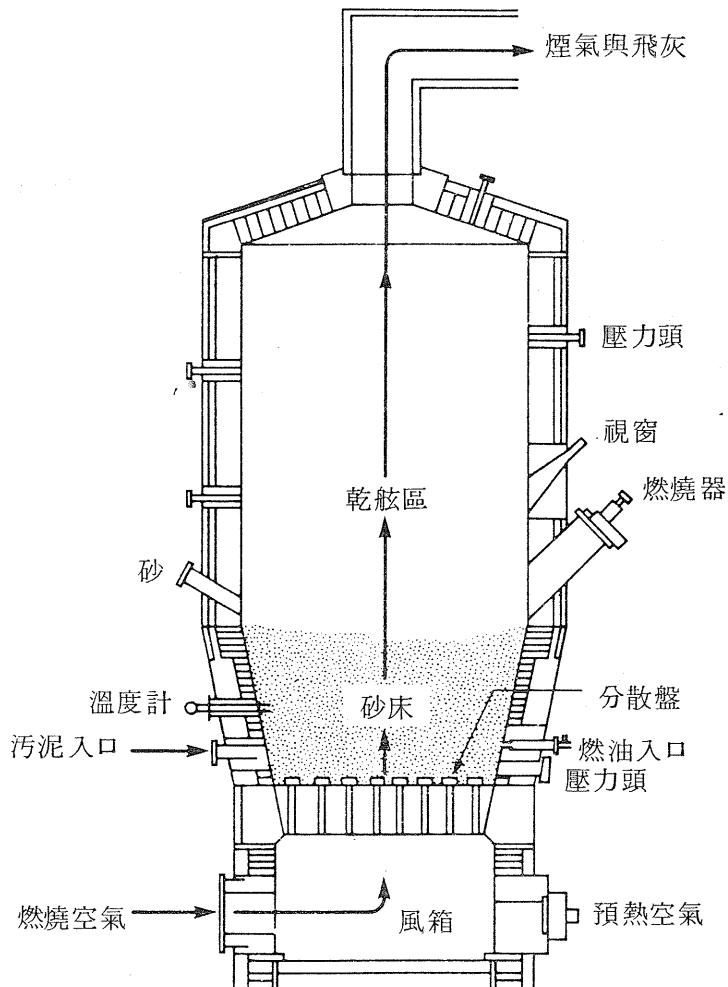


圖6 流體化床焚化爐

體比值，較高的熱傳效率，氣相及固相均有較高的紊流混合機會，且流體化床內溫度較均勻，又可加入石灰或碳酸鹽直接中和酸性氣體。因此，其焚化效率極高，且廢氣處理較容易。但是，若污泥進料中含有鹽類，流體化床內的固體粒子可能會聚結成大粒子。此外，微小粒子在流體化床內的滯留時間可能過短而影響其焚化效率。

流體化床焚化爐的優點有：

- 可處理可燃固體、液體及氣體廢棄物。
- 可動零件不多，操作維護容易。
- 氣、固相混合均勻，床中溫度分佈均勻。
- 操作溫度低、滯留時間及接觸時間長。
- 流體化床表面積大，提高燃燒效率。
- 進料速率變化，對系統影響較小。

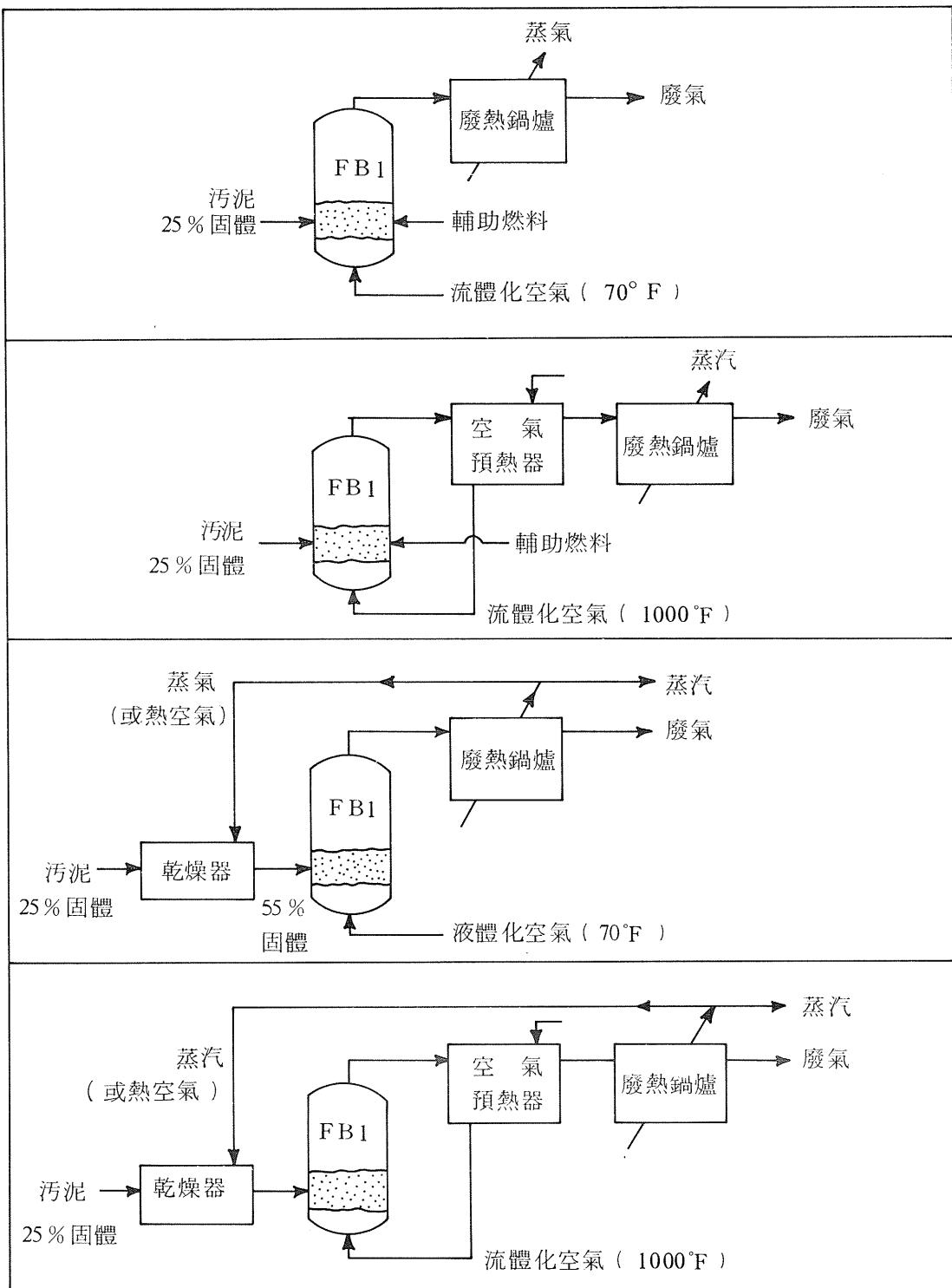


圖 7 流體化床污泥焚化處理可能流程

一可處理含水量高的污泥、廢棄物。

其缺點則為：

一廢棄物需作前處理。

一固體粒徑需在 2 吋以下。

一操作技術層次高。

一爐床材料磨蝕嚴重。

不論所採用的焚化爐型態為何，污泥的化學及物理性質均可決定燃燒室的體積、焚化爐的操作條件（溫度、過剩空氣比、流量）、空氣污染防治設施及灰燼處理系統，因此，在進行處理設施規劃前，必須對污泥性質有所掌握。元素分析及水份含量等基本數據可用於決定化學計量燃燒空氣需求量，並用於預測燃燒產物流量及組成。這些數據對於燃燒溫度、滯留時間、污泥 / 燃料 / 空氣混合效率、及空氣污染防治設備種類的選擇及設計均極為重要。

### 3. 空氣污染防治設施

目前可獲得的空氣污染控制策略與技術種類繁多，其評選必須考慮污泥特性、法規要求、處理性能等，經詳細評估分析後才能作適當的選擇。

#### (1) 空氣污染排放標準

焚化系統煙囪採樣口廢氣排放濃度之設計條件：

粒狀污染物： $< 100 \text{ mg/Nm}^3$  [ 處理量  $400 \text{ kg/hr}$  ( 含 ) 以上 ]

氯化氫 ( HC1 )： $< 80 \text{ ppm}$  [ 或  $1.8 \text{ kg/hr}$  ( 含 ) 以上 ]

二氧化硫 ( SO<sub>2</sub> )： $< 500 \text{ ppm}$

氮氧化物 ( NO<sub>x</sub> )： $< 350 \text{ ppm}$  ( 固體燃料 )

#### (2) 常見之空氣污染防治系統有以下幾種組合：

①急冷室 ( 氣體冷卻及調節 ) → 高能量文氏洗滌器 ( 去除粒狀物 ) → 填充滌氣塔 ( 去除酸性氣體 ) → 除霧器 ( 去除可見之蒸汽煙柱 ) 。

②急冷室 ( 氣體冷卻及調節 ) → 乾式 / 半乾式洗滌器 ( 去除酸性氣體 ) → 袋式集塵器或靜電集塵器 ( 去除粒狀物 ) → 填充滌氣塔 ( 去除酸性氣體 ) → 除霧器 ( 去除可見之蒸汽煙霧 ) 。

③急冷室 ( 氣體冷卻及調節 ) → 文氏洗滌器 ( 去除粒狀物 ) → 填充滌氣塔 ( 去除酸性氣體 ) → 除霧器 ( 去除可見之蒸汽煙霧 ) 。

### 4. 殘渣 / 灰燼處理系統

污泥不論經焚化後殘留的灰燼，或不可燃物經特殊處理後的殘渣，通常都需再以掩埋作為最終的處置。雖然掩埋是污泥處理系統最後步驟，但也卻是很重要的一環；處置不當所造成的後遺症，後果將相當嚴重，絕對不能輕易忽視之。

以掩埋設施的安全性來區分，基本上可大略區分為衛生掩埋法 ( sanitary landfill )，封閉掩埋 ( closed landfill ) 及安定掩埋法 ( security landfill ) 三大類。其間之差別在於掩埋場內裝置設備週密之程度。安定掩埋法因具較多層的保護及監測設施，安全性較高

，當然投資及操作費也較高。選用則視實際需要而定。

就安定掩埋而言，必須具備下列條件：

- (1) 選用恰當材質的不透水布。
- (2) 使用兩層不透水布。
- (3) 具有滲透水收集系統及處理系統。
- (4) 掩埋場底部必須在二百年洪水週期的可能最高地下水位之上。
- (5) 兩層不透水布間須設有漏水偵測系統及處理設備。

場地選擇也是掩埋法重要之一環，在選擇掩埋場地時，必須考慮之因素有：

- (1) 運輸距離。
- (2) 土壤情況、地形、氣候、地質。
- (3) 地面水水文及地下水水文。
- (4) 可用的土地面積。
- (5) 當地環境情況。
- (6) 處理時之資源回收及竣工後場地之用途。

## 四、結論

基於行政院環保署所推動的環保政策與國內民衆環保意識日益高漲，加以最近土地取得困難，對於國內各廢水處理廠所排放的污泥採行固化掩埋或填海是愈來愈困難的事，尋找一個能兼併處理污泥且又無二次公害之慮的方法，則採用焚化處理是個較佳的途徑，因為焚化處理可同時達到「減量化」、「安定化」、「安全化」、「資源化」四大目標。

焚化處理的良劣決定於系統設計與操作條件的選擇，而污泥的特性卻是決定焚化系統的先決條件，因為廢水處理廠產生之污泥，其性質極為複雜且差異相當大，一般污泥焚化處理系統可分四個主要次系統，即(1)污泥備料及進料系統，(2)焚化爐，(3)空氣污染防治設施，與(4)殘渣／灰燼處理系統。其中焚化爐依使用頻率最常見者有旋轉窯焚化爐，多爐床式焚化爐與流體化床焚化爐。

總之，處理由廢水處理廠所產生之污泥，雖然方法很多，但以國內現有客觀條件，對於適合燃燒之污泥，採用焚化處理仍是目前較適合的途徑。

## 五、參考文獻

1. 章裕民等 “流體化床燃燒處理工業廢棄物”，1989 輸送現象與其應用研討會專輯，台北 78. 6. 23. P237。
2. 陳哲晴 “污泥處理系統規畫與設計”，廢水處理系統規劃與設計研習會，經濟部中小企業處主辦，台北，78. 3. 7. ~ 78. 3. 10.。

3. Barner, H. E. and J . S. Chartier, " Application of Circulating Fluid Bed Technology to the Combustion of waste materials ", Environmental Progress, 4(2) , 125 ( 1985 ) .
4. Seminar Publication, " Municipal Wastewater Sludge Combustion Technology " , US , EPA - 625-4-85-015, Center for Environmental Research Information, Cincinnati, Ohio 45268, September, 1985.
5. Stammbach, M.R. , B.Kraaz, R. Hagenbucher and W. Richarz, " Pyrolysis of Sewage Sludge in a Fluidized Bed " , Energy & Fuels, 3,255 ( 1989 ) .