

大型混燒式都市垃圾焚化爐爐體機能 與構造之研究

呂連慶* 張乃斌**

摘 要

都市垃圾之處理問題，為目前國內最主要之環保問題，為考慮台灣地區地狹人稠的特殊環境，政府正陸續興建大型都市垃圾焚化爐，而焚化爐之種類繁多，其中以混燒式焚化爐(Mass Burning Incinerator)亦稱為機械爐床式焚化爐(Mechanical-Grate Incinerator)，其燃燒效率穩定，且二次公害可有效控制，應用技術已發展成熟，做廣泛使用於歐、美、日等先進國家都市垃圾焚化處理，本文將就大型混燒式焚化爐其焚化處理設施中之關鍵設備—爐體及爐床之構造與機能深入之探討。在爐體方面將討論爐體型式之選用及影響燃燒室負荷之參數。在機械式爐床方面，將討論目前世界各國專利爐床型式之特性及機構設計原理，並對影響爐床燃燒率之參數加以分析。最後並對台灣地區現有各式大型都市垃圾焚化爐爐床其特性及功能等進行評估。

【關鍵字】

- 1.混燒式焚化爐(Mass Burning In Cinera)
- 2.體積釋熱率(Volume Tric Heat-Release Rate,VHR)
- 3.爐床釋熱率(Grate Heat-Release Rate,GHR)
- 4.爐床燃燒率(Grate Burning Rate,GBR)

*中鼎工程高雄作業區管線及設備設計部工程師

**國立成功大學環境工程研究所副教授

一、前言

台灣地區由於工商業發展，經濟快速成長，伴隨著人口增加及鄉鎮都市化，各類廢棄物產量急速上升，給地狹人稠的台灣地區帶來了嚴重的廢棄物處理問題。因此政府除推動資源回收再利用外，並積極規劃籌建垃圾焚化爐以紓解之道。垃圾採用焚化方式，能有效的減少垃圾體積與重量，是土地利用率最高的棄物處理方式。在未來幾年中，政府將繼續在各地興建大型垃圾焚化爐，台灣地區都市垃圾焚化爐興建計劃如表 1 所列。而大型焚化廠，其焚化均採混燒式焚化爐，已廣泛的應用於美、日、歐洲、香港、新加坡等地，設立爐數總數達 1,000 座以上，本研究將對大型混燒式都市垃圾焚化爐燃燒室及爐床等燃燒設備其構造與機能詳加探討，使其燃燒效率提高，以達到「安定化」、「衛生化」、「減量化」及「資源化」四大廢棄物處理目標。

二、焚化基本原理及優缺點

2.1 焚化基本原理與流程

都市垃圾常用之處理方式，有三種(1)堆肥法(2)衛生掩埋法(3)焚化法。在地狹人稠的台灣地區，焚化法為最佳之垃圾處理方式。焚化處理其原理是將垃圾在 800~950°C 之高溫下燃燒，使其大部份轉變為安定之二氧化碳(CO₂)氣體及水與灰燼。並可利用燃燒所產生之熱能供給汽電共生系統使用，其處理系統流程，如圖 1 所示。

2.2 焚化法之優缺點

2.2.1 優點

1. 建廠所需土地面積小。
2. 建廠地點可選擇都市或市郊，節省垃圾清運費。
3. 垃圾重量減少 80%，減量效果最佳，垃圾體積減少 90%，可延長掩埋場使用年限。

表1 台灣都市垃圾焚化爐發展概況⁽¹⁾

期別	廠址	容量 (tons/day)	開始運 轉時間	設計顧問公司	建造工程公司	操作工程 公 司	政府主辦單位
第 一 期	台北市內湖廠	900	1992	中興顧問 德國G+R	日本 Takuma	台北市政府	台北市環保局
	台北市木柵廠	1,500	1994	中興顧問	日本 Takuma	未定	台北市環保局
	台北縣士林廠	1,800	1996	中興顧問	日本 Hitachi Zosen	未定	台北市環保局
	台北縣樹林廠	1,350	1994	德國 Fichtner	日本 Mitsubishi	徵選中	環保署
	台北縣新店廠	900	1994	德國 Fichtner	日本 Mitsubishi	徵選中	環保署
	台中市台中廠	900	1995	中興顧問	日本 NKK	未定	台灣省環保處
	嘉義市嘉義廠	300	1996	中興顧問	中興電工 丹麥 Volumd	未定	台灣省環保處
	台南市城西里	900	1996	中華顧問 德國 Fichtner	中興電工 丹麥 Volumd	未定	台灣省環保處
	彰化縣和美鎮	30	1993	中華顧問	開立工程	未定	台灣省環保處
第 二 期	高雄市覆鼎金	900	1996	中華顧問	未定	未定	高雄市環保局
	高雄市北區	900	1997	未定	未定	未定	高雄市環保局
	高雄市南區	1,800	1997	中興顧問	未定	未定	高雄市環保局
	台北縣八里鄉	1,350	1997	慧能顧問	中興電工 丹麥 Volumd	未定	環保署
	新竹市新竹廠	900	1997	慧能顧問	中興電工 丹麥 Volumd	未定	環保署
	高雄縣仁武廠	1,350	1997	中興顧問 美國HDR	未定	未定	環保署
	基隆市基隆廠	900	1997	中鼎顧問	唐榮公司 美國西屋	未定	環保署
	彰化縣溪州鄉	900	1997	中興顧問 美國HDR	未定	未定	環保署
	屏東縣崁頂鄉	900	1997	中鼎顧問	唐榮公司 美國西屋	未定	環保署
台中縣后里鄉	900	1997	未定	未定	未定	環保署	
宜蘭縣	600	1997	未定	未定	未定	環保署	
合計容量		19,980 tons/day					

註1：資料截止日期，民國83年12月

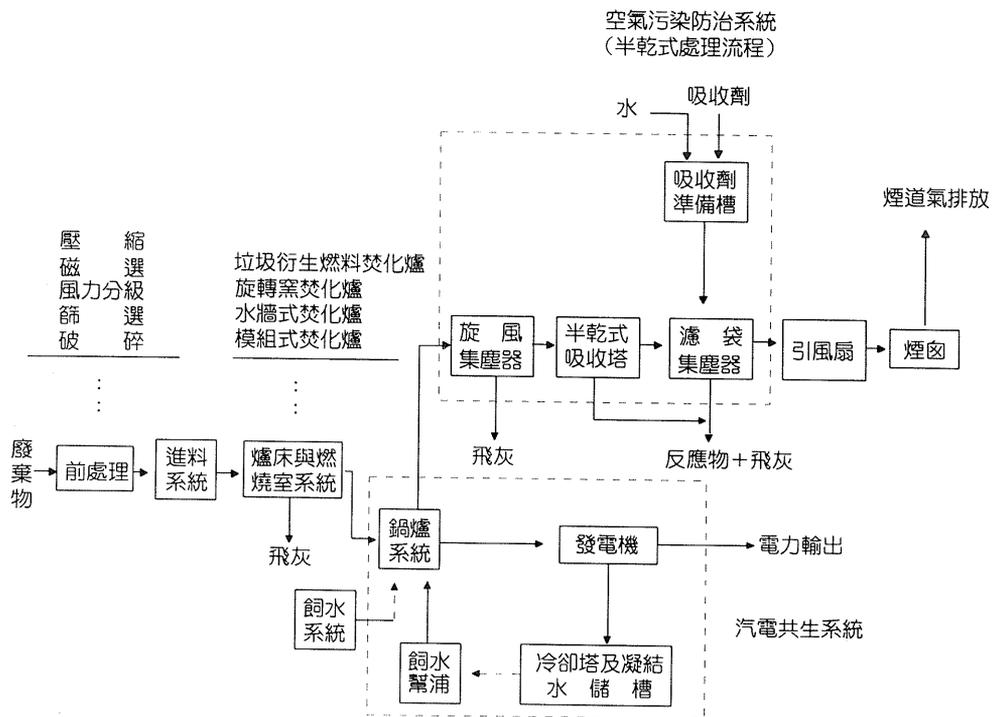


圖 1 焚化廠處理系統流程圖⁽²¹⁾

4. 二次公害，較易控制，且灰燼性質安定，可掩埋處理回收新生地。
5. 垃圾處理不受氣候影響。
6. 汽電共生設備可回收能源。

2.2.2 缺點

1. 建廠費用較其他垃圾處理方式高；平均每噸/日之建廠費用約為275萬元⁽²⁾。
2. 操作及維修費用較其他垃圾處理方式高；平均每噸之操作及維修費用約為800元⁽²⁾。
3. 對於易爆物及危險物須先除去。

三、都市垃圾焚化爐之種類之優缺點

3.1 焚化爐之操作方式

焚化爐之操作方式，可分為連續式(Continuous Type)及分批填料式(Batch Type)兩種。連續式又依其爐之規模，運轉時間及爐數分為全連續式及準連續式，分批填料又依其爐之規模、運轉時間、爐數及操作方式分為機械分批填料式及固定分批填料式。詳如圖 2 所示。

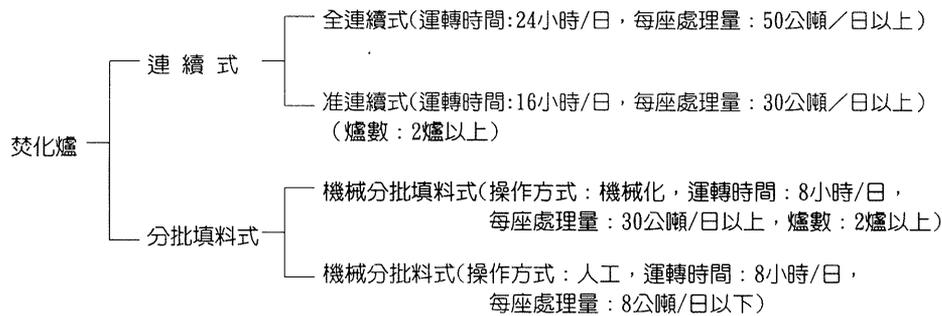


圖 2 焚化爐依操作方式分類流程圖⁽⁵⁾

3.2 都市垃圾焚化爐之種類

焚化爐為焚化處理系統之主要燃燒設備，其主要部份包含焚化爐本體、燃燒室、爐床、爐條等主要設備，主要功能為利用空氣助燃，將垃圾在高溫中攪拌燃燒。目前廣泛使用之都市垃圾焚化爐之種類有五種，茲簡介如下：

3.2.1 機械爐床水牆式焚化爐(Mechanical-grate wastewall Incinerator)

機械爐床水牆式焚化爐，因可燃燒未經前處理之垃圾，因此亦稱為混燒式焚化爐(Mass Burning Incinerator)，其利用在爐床(Grate)上爐條(Grate Bar)之移動或轉動，使得垃圾移動及攪拌，使其完全燃燒。

3.2.2 旋轉窯式焚化爐(Rotary kiln Incinerator)

垃圾在爐內之移動和攪拌係由水平或稍微傾斜之圓筒形爐體，利用其緩慢的旋轉來達成，垃圾由上方進料，逐步移動至下部進行乾燥，燃燒和後燃燒。

3.2.3 模具式焚化爐(Modular Incinerator)

爐預先於工廠內按規格製造，再運至工地裝配之焚化裝置。

3.2.4 垃圾衍生燃料焚化爐(Refuse Derived Fuel Incinerator)

垃圾衍生燃料法焚化爐亦稱為RDF焚化爐，其垃圾需經粉碎(Shredding)，篩選(Screening)，磁選(magnetic separation)，風選(air-classifier)等前處理；再將可燃物壓縮成塊料或粒狀燃料，再進入焚化爐燃燒之裝置。

3.2.5 流動床式焚化爐(Fluidized Bed Incinerator,FBI)

垃圾先破碎至粒徑5cm以下，再送入爐內，爐內有高溫之砂層，藉焚化爐本體下部送入加壓空氣，將砂砂等媒介分散流動，同時垃圾在此流動床中攪動燃燒之裝置。

3.3 各型都市垃圾焚化爐之優缺點

各型都市垃圾焚化爐，因其構造，特性及處理容量不同，而使用不同之焚化爐型式；各型都市垃圾焚化爐之優缺點，如表2所列。一般而言，每座之垃圾處理量為200公噸／日以上之大型焚化爐，大部份均採用機械爐床式焚化爐或機械爐床與旋轉窯式併用。

四、混燒焚化爐燃燒室之構造與機能

混燒式焚化爐爐體，為垃圾經由添料裝置進入燃燒室之乾燥爐床、燃燒爐床及後燃燒爐床；垃圾藉由爐條之移動式或轉動，使垃圾乾燥燃燒之裝置。本文將爐體分為燃燒室及爐床式兩大部份，詳加討論。

4.1 燃燒室之氣流模式

考慮上述條件，焚化爐燃燒室之型式，依垃圾與燃燒氣體之流向，分為下四類，如圖3所示。

表2 各型都市垃圾焚化爐之優缺點

焚化爐種類	優點	缺點
1.機械爐床水牆式焚化爐 (混燒式焚化爐)	<ul style="list-style-type: none"> • 適用大容量 (單座容量100~500公噸/日) • 未燃分少 • 公害易處理 • 燃燒安定 • 控管容易 • 餘熱利用高 	<ul style="list-style-type: none"> • 造價高 • 操作及維修費高 • 須連運轉 • 操作運轉技術高
2.旋轉窯式焚化爐	<ul style="list-style-type: none"> • 垃圾攪拌及乾燥效果佳 • 可適用中、大容量 (單座容量100~400公噸/日) • 可高溫安全燃燒 • 殘灰顆粒小 	<ul style="list-style-type: none"> • 連接傳動裝置複雜 • 爐內之耐火材料易損壞
3.模具式焚化爐	<ul style="list-style-type: none"> • 適用小容量 (單座容量小於50公噸/日) • 構造簡單 • 裝置可移動，機動性大 	<ul style="list-style-type: none"> • 燃燒不完全 • 燃燒效率低 • 使用年限短
4.垃圾衍生燃料焚化爐	<ul style="list-style-type: none"> • 適用大容量 (單座容量200~750公噸/日) • 餘熱利用高 • 可資源回收 	<ul style="list-style-type: none"> • 造價昂貴 • 設備構造多且複雜 • 操作及維修費用高 • 不適合含水率高之垃圾
5.流動床式焚化爐	<ul style="list-style-type: none"> • 適用中容量 (單座容量50~200公噸/日) • 燃燒溫度較低(750°C~850°C) • 熱傳導佳 • 公害低 • 燃燒效率佳 	<ul style="list-style-type: none"> • 操作運轉技術高 • 燃料的種類受到限制 • 需添加流動媒介(矽砂或石灰石) • 進料顆粒較小(約5cm以下) • 單位處理量所需動力高 • 爐床材料沖蝕損壞

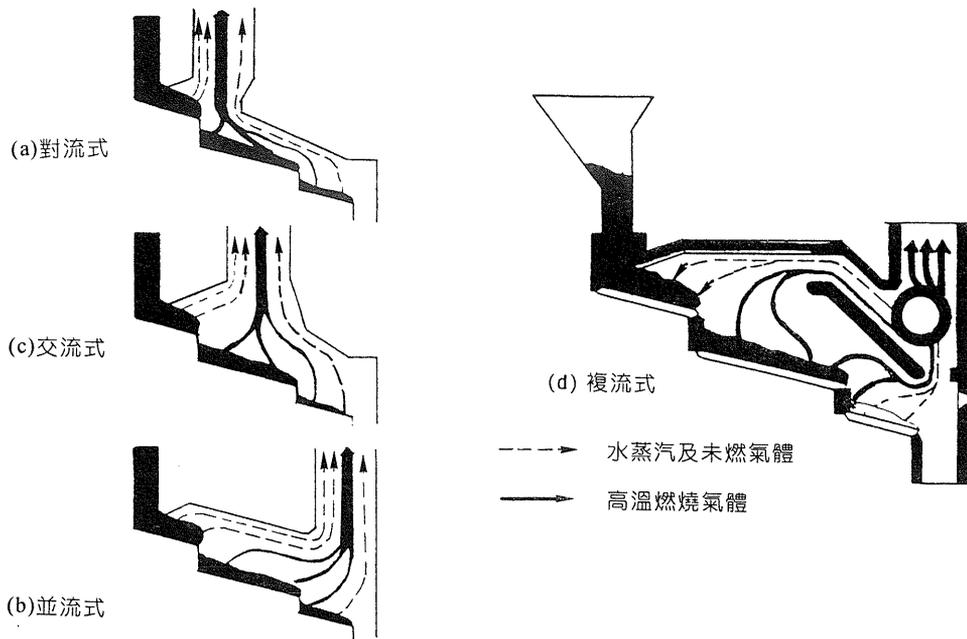


圖3 燃燒室之型式

4.1.1 對流式(Convention Type)

垃圾移送方向與燃燒氣體流向相反，燃燒氣體與爐體之輻射熱利於垃圾乾燥，適於垃圾熱值較差者，低位發熱量值為500~1,000Kcal/kg之垃圾。德國Martin公司之爐體大部份即屬於此型式。

4.1.2 並流式(Concurrent Type)

垃圾移送方向與助燃空氣流向相同，因此燃燒氣體對垃圾乾燥效果較低，適於高熱值垃圾，低位發熱量為1,200Kcal/kg以上之垃圾適用。

4.1.3 交流式(Cross Flow Type)

垃圾移送方向與燃燒氣體流向相交，係上述二型之中間型，適於中等熱值垃圾，如低位發熱量為800~1,500Kcal/kg之垃圾。若為質佳之垃圾，則垃圾與氣體流向之交點偏後向燃燒側，反之則偏向乾燥爐床。

4.1.4 複流式(Double Flow Type)

亦稱為二回流式，燃燒室中間有輻射天井隔開成為兩個煙道，燃燒氣體由兩個煙道主入氣體混合室，未燃氣體及混合不均之氣體由副煙道進入混合室，燃燒氣體與未燃氣體在混合室再燃燒，使燃燒更完全。此型式之燃燒室適用於垃圾熱值隨季節變化較大之情況。丹麥Volund及其代理廠家日本鋼管株式會社(NKK)之爐體即屬於此型式。

4.2 燃燒室爐體壁之構造⁽⁸⁾

燃燒室(Combustion Chamber)為垃圾在爐體內進行乾燥、燃燒及後燃燒之空間，提供垃圾適當的燃燒溫度，垃圾混合攪拌均勻，適當的氣體停留時間及助燃空氣，使垃圾能完全燃燒。爐壁內部構造如圖4所示，爐體兩側為鋼構支柱，側面設置橫樑，以支持爐床及耐火材料，爐壁為可耐高溫之耐火磚牆，燃燒火燄最高溫度約為1,000°C以上，耐火磚牆之外部，須有足夠厚度之保溫絕熱材料及外殼(Casing)，使爐壁氣密性佳，避免高溫氣體外洩，爐體頂部大部均為水牆(Water Wall)構造，其目的為吸收燃燒室高溫之輻射熱，保護爐壁，同時也可增加鍋爐之傳熱面積，提高鍋爐之蒸汽產量耐火材料之選用須考慮耐熱性、耐腐蝕性、耐磨耗性、耐膨脹性及耐剝裂性(Spalling)等因素。茲將爐壁之構造分為(1)磚牆(Brick Wall)(2)不定型耐火磚(Monolithic Refractory Wall)(3)空冷磚牆(Aircooled Brick Wall)(4)水牆(Water Wall)詳述如下：

4.2.1 磚牆(Brick Wall)

磚牆之結構如圖4所示，依其功能可分為(1)耐火磚(Refractory brick)(2)斷熱耐火磚(Insulating firebrick)兩種，常用於爐體之主結構，其有關材料之特性及化學成份，可參考美國材料試驗學會(American Society for Testing and Materials,ASTM)，標準規範(Standard Specification)C64，焚化爐及鍋爐之耐火材料(Refractories for Incinerators and Boilers)及C155斷熱耐火磚之標準分類(Standard Classification of Insulating Firebrick)。其優點為造價低廉，施工容易，缺點為磚牆容易崩裂，熔渣(Clinker)容易附著滲入。

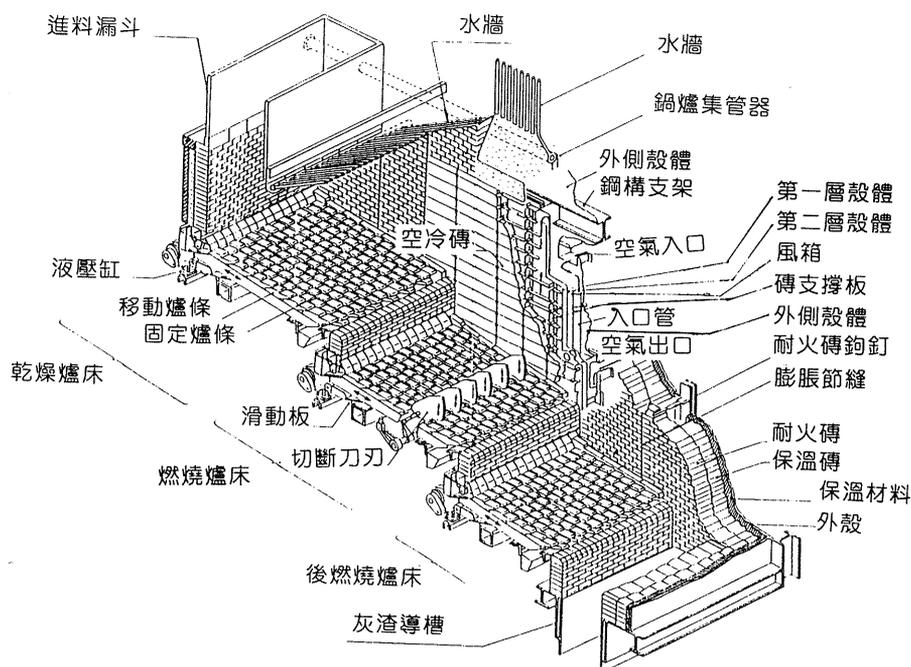


圖4 燃燒室及燃床構造圖⁽⁷⁾

4.2.2 不定性耐火牆(Monolithic Refractory wall)

由於爐內高溫熱變化所發生的膨脹與收縮反覆進行，導致耐火磚之脫落，不定型耐火牆其主要材料為鑄性水泥(Castable Refractories)，其構造為爐體之殼板(Casing)，在適當之位置銲接交錯排列鉤釘(Anchor)，依所需施工厚度選擇塗抹(Trowelling)(最大厚度50~75mm)、噴漿(Gunning)(最大厚度150mm)或灌鑄(厚度大於80mm以上)。為防止爐體產生龜裂現象，在適當之位置(約1m²)，須留有伸縮節縫(Expansion Joint)，如圖5所示。有關之標準規範請考ASTM C401鑄性耐火材之標準分類。不定型耐火牆之優點為複雜型狀可成形，但其缺點為築爐之技術及費用高。

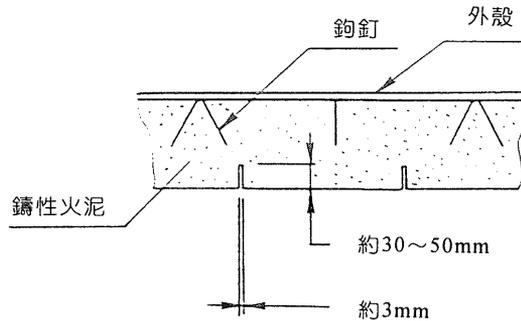


圖5 鑄性水泥之伸縮節縫斷面圖

4.2.3 空冷磚牆(Air-Cooled Brick Wall)

空冷磚牆之構造如圖4所示，在磚牆之外側加設一道板式熱交換裝置，利用爐內之熱源與欲進入爐內之空氣熱交換，而有利於燃燒。其優點為降低爐體溫度，避免爐壁附著熔渣(Clinker)及抑制氮氧化物之產生，其缺點為構造複雜，較不易維修。瑞士之Von Roll爐床及其代理廠商日本日立造船(Hitachi Zosen)株式會社，其爐壁在燃燒爐床部份之構造即屬於此型。

4.2.4 水牆(Water Wall)

水牆又為水管壁(Water Tube Wall)，係在燃燒室之頂部或側壁之位置配置水管以吸收爐內輻射熱及增加鍋爐傳熱面積，降低爐壁溫度保護爐壁。水牆其種類依構造可分為(1)裸管水牆(Bare Tube Water Wall)(2)鱗片管水牆(Fin Tube Water Wall)(3)螺栓管水牆(Stud Tube Water Wall)如圖6所示，茲詳述如下：

1. 裸管水牆(Bare Tube Water Wall)

裸管水牆又稱為封閉空間管水牆(Closely spaced tube water wall或Tangent tube water wall)，其構造如圖6(a)，爐內側以裸管緊密方式排列，爐外側使用耐火材料包覆。此型水牆不僅可降低爐壁溫度保護爐壁，同時有吸收輻射熱，有效降低燃燒室出口之氣體溫度。

2. 鱗片管水牆(Fin Tube Water Wall)

其結構如圖 6 (b)在水管之兩側縱向安裝鱗片(Fin)，兩鱗片間再以焊接方式連接，爐內側鱗片管單面接處燃燒氣體，爐外側使用之耐火材料包覆，此型之水牆可有效增加水牆之傳熱面積。

3. 螺栓管水牆(Stud Tube Water Wall)

螺栓管水牆，其結構如圖 6 (c)，在裸管焊裝交錯排列之螺栓，表面施以耐火材料包覆，其目的為當燃燒室之溫度較高，或需抵抗熔灰腐蝕，可藉此耐火材料保護水牆管，此型之水牆之傳熱面積，但減低燃燒氣體對於水牆之熱傳遞率(Heat Transfer Rate)。

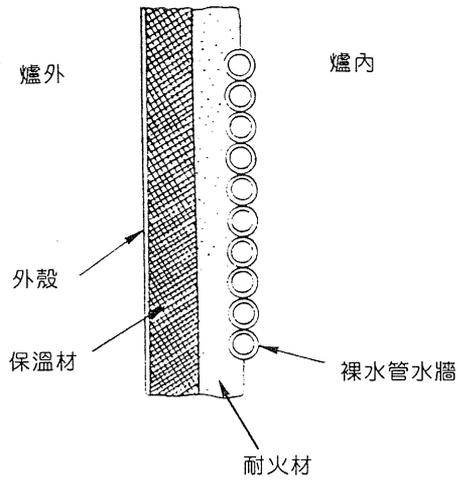
4.3 燃燒室應具備之機能⁽⁵⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽²⁰⁾

燃燒室之良窳，影響燃燒效率；完全燃燒所需之燃燒室應具備之條件列舉如下：

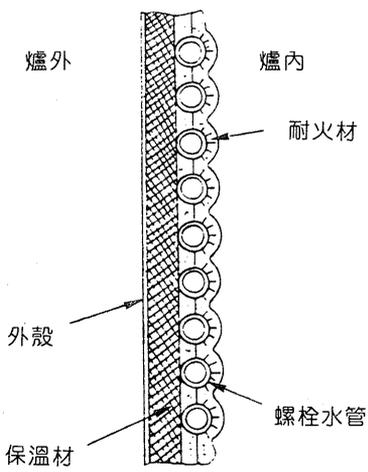
- 1.適當之爐床面積，爐床之面積過小時，火層厚度增加，因而阻礙通風，引起不完全燃燒。
- 2.燃燒室之形狀，必須適合垃圾之種類及燃燒方式。
- 3.應有充份之容積，使其可燃氣體能完全燃燒。
- 4.能使燃燒氣體與空氣充份接觸。
- 5.其結構應為耐高溫，耐蝕之構造（如採用水牆或空冷牆）並能防止空氣或燃氣之洩漏。

4.4 燃燒室熱負荷之定義

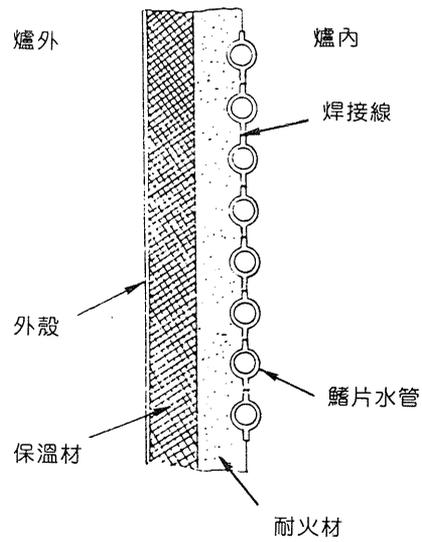
在正常運轉下，每立方公尺燃燒室容積，每小時垃圾及輔助燃料所產生之低位發熱量(Kcal/M³·HR)，稱之為燃燒室熱負荷，(Heat load in combustion chamber)，亦稱為體積釋熱率(Volumetric Heat-Release Rate,VHR)，連續燃燒式焚化爐其VHR值為8~15×10⁴Kcal/M³·HR。若VHR設計不當，對於垃圾燃燒有不良的影響，其值過大時，將導致燃燒氣體在爐內停留時太短，造成不完全燃燒，且爐體之熱負荷太高，爐壁易形成熔渣，造成爐壁剝落龜裂，影響燃燒室使用壽命。而VHR值過小時，將使得低值垃圾無法維持適當之燃燒溫度，使燃燒狀況不穩定。其計算式如下：



(a) 裸管水牆



(c) 螺栓管水牆



(b) 鰭片管水牆

圖 6 各種水牆型式剖面圖

$$\text{VHR} = \frac{F \cdot \{ (\text{HL} + \text{Cp}(t_a - t_o)) \cdot A \}}{V} \text{ (Kcal/M}^3 \cdot \text{h)}$$

式中F：單位時間的垃圾處理量(kg/h)

HL：垃圾平均低位發熱量(Kcal/kg)

Cp：空氣的平均定壓比熱(Kcal/NM³ · °C)

t_a：空氣的預熱溫度(°C)

t_o：大氣溫度(°C)

A：實際供給之空氣量(NM³/kg)

V：燃燒室容積(M³)

4.5 影響燃燒室熱負荷之主要參數

影響燃燒室熱負荷之參數眾多，今擇重要之參數，分述如下：

4.5.1 垃圾之處理量與低位發熱量

此項目為影響燃燒室熱負荷最直接之參數，對於垃圾之處理量與垃圾之低位發熱量之堆估，要能作詳細之評估與調查，以避免設計值與實際操作值誤差過大。一般而言，大型都市垃圾焚化爐要達到其經濟效益之規模，其垃圾處理量為每座200公噸／日以上⁽²⁰⁾，其最大垃圾處理變動量，宜維持在20%以下。燃燒式氣流模式之選擇可依垃圾之平均低位發熱量為準，實際燃燒狀況可調控在垃圾之高低熱值比為2~2.5倍之間，一般都市焚化爐垃圾之自燃界限為800Kcal/kg~ 1,000Kcal/kg，台灣地區垃圾之平均低位發熱量已達1,200Kcal/kg以上，不需輔助燃料助燃即可焚化處理，且垃圾中因紙類及塑膠類有漸增加趨勢，故化學組成中可燃份及低位發熱量有逐年增加之趨勢。

4.5.2 燃燒空氣

1. 一次空氣(Primary Air)及二次空氣(Secondary Air)

助燃空氣給系統，可分為由爐床下方直接供給火層之空氣，以促進垃圾燃燒，稱之為一次空氣(Primary Air)或火下空氣(Underfire Air)。燃燒用空氣僅靠一次空氣，尚無法充份燃燒時，在爐體之適當位置供應燃燒用空氣稱

為二次空氣(Secondary Air)或火上空氣(Overfire Air)，二次空氣進入爐內時，以較高之風壓從爐床上方吹入燃燒火焰中，擾亂燃燒室內之氣體流，可使燃燒氣體與空氣充份接觸，增加其混合效果。一般而言都市垃圾焚化爐一次空氣約佔總空氣量之60%，二次空氣約佔40%，為增加燃燒效果，防止爐內溫度下降，可以利用鍋爐產生之蒸汽來預熱助燃空氣至適當之溫度。

2.過剩空氣(Excess Air)，過剩空氣比(Excess Air Factor, m)，過剩空氣率(Excess Air Ratio)，等值比(Equivalence Ratio, ϕ)

為使燃燒完全，僅供給理論空氣量(A_0)，很難使其完全燃燒，因此需要加上比理論空氣量更多之空氣量，以期垃圾與空氣能完全混合燃燒，稱為實際供應空氣量(A)，其相關式如下：

$$\text{過剩空氣} = A - A_0 = mA_0 - A_0 = (m - 1)A_0$$

$$\text{過剩空氣比}(m) = \frac{A}{A_0}$$

$$\text{過剩空氣率} = (m - 1) \times 100\%$$

過剩空氣率過低之影響為燃燒不完全，減低燃燒效率，而過高時會使得燃燒溫度降低，排氣量增加而其熱損失亦增加，而等值比(Equivalence Ratio, ϕ)亦稱為當量比，為燃燒程序中之重要參數，其定義在文獻中有兩種，一為空氣燃料比(Air-Fuel Ratio)為基礎之定義，另一為燃料空氣比(Fuel-Air Ratio)為基礎之定義：

其相關式如下：

$$\phi = \frac{\text{實際之A/F值}}{\text{理論之A/F值}}$$

或

$$\phi = \frac{\text{實際之F/A值}}{\text{理論之F/A值}}$$

若根據第二種定義 ϕ 值愈高，表過剩空氣率愈小，反之，若 ϕ 值愈小，表過剩空氣率愈大，表 3 為部份廠牌之大型都市焚化爐，過剩空氣率與 ϕ 值比之推薦值⁽²⁰⁾。

表 3 混燒式焚化爐各種廠牌過剩空氣率與燃空比之推薦值⁽²⁰⁾

廠牌名稱	過剩空氣率%	等值比 ϕ
德國 Martin	90	0.53
瑞士 Von Roll	80	0.56
丹麥 Volund	90	0.53
美國 Westinghouse	50	0.67

4.5.3 燃燒溫度(Temperature)，攪拌混合程度(Turbulence)及氣體停留時間(Time)，一版稱為3T。

垃圾焚化爐之燃燒溫度維持在800~950°C，並藉著攪拌與混合，使垃圾之水氣易於蒸發，燃燒氣在燃燒室之停留時間約為1~2秒。此三項與過剩空氣率為燃燒四大控制參數，其互動關係如表4所列。

表 4 燃燒四大控制參數之互動關係

改變之參數	對於其他參數之影響				
	垃圾攪拌混合程度	氣體停留時間	過剩空氣率	燃燒溫度	燃燒室負荷
燃燒溫度上升	可減少	可減少	—	—	會增加
過剩空氣率增加	會減少	會減少	—	會降低	會增加*
氣體停留時間增加	可減少	—	—	會降低	會降低

*有預熱空氣時

4.5.4 燃燒室爐壁之種類

燃燒室之爐壁構造有磚牆，不定型耐水牆，空冷磚牆及水牆等種類。由於空冷磚牆及水牆構造，在長期使用較不易燒損及引起灰渣熔著等損害，故其容許之燃燒室熱負荷較一般磚牆構造者為高。

4.5.5 燃燒室所需體積(Required Furnace Space,RFS)⁽²⁰⁾

燃燒室體積的大小，必須考慮垃圾之低位發熱量與燃燒室熱負荷之比，即 Q/VHR ；以及燃燒氣停留率與氣體停留時間之乘積；即 $G \times RT$ ，兩者取其較大值，其計算如下式：

$$RFS = \text{Max.} \left(\frac{Q}{VHR}, G \times RT \right) (M^3)$$

$$G = \frac{mg \times F}{r \times 3600}$$

式中 Q ：每小時垃圾及輔助燃料所產生之低位發熱量(Kcal/h)

VHR ：燃燒室熱負荷(Kcal/M³ · h)

G ：體積氣體流率(M³/sec)

RT ：氣體停留時間(sec)

mg ：燃燒室氣體產生率(kg氣體/kg垃圾)

r ：燃燒氣體之密度(kg/M³)

F ：垃圾處理量(kg/h)

五、機械式爐床之構造與機能

爐床為垃圾燃燒之位置，也是焚化爐之最重要的部份，大型混燒式焚化爐之爐床為機械式，一般以爐條構造，經由爐條反覆前後之運動或旋轉，使垃圾在移送過程中，有良好的攪拌與混合而達到預期的燃燒效率。

5.1 爐床之型式

一般而言，爐床由乾燥爐床、燃燒爐床及後燃燒爐床所構成，參考圖 7。生垃圾之含水率在 60% 之下均可加以焚化，垃圾由進料裝置送入爐內後，先在乾燥爐床充分乾燥，在此部份，可隨時調整預熱空氣溫度以配合烘乾效果，接著再移送燃燒爐床進行高溫燃燒，未完全燃燒之垃圾，則在後燃燒床停留時，進行餘燼燃燒，機械式爐床種類繁多，目前世界各國專利爐床之主要廠牌計有八種型式如表 5 所列，其構造及特性如下：

表5 混燒式焚化爐機械式爐床主要型式及廠牌

種類	爐床型式	擁有專利公司	購買專利權廠商	台灣地區建造實蹟
1	逆摺動式爐床 (Reverse-Acting Stoker Grate)	德國 Martin	1.日本MHI(三菱重工) 2.美國Ogden Martin	新店廠450噸/日 ×2座=900噸/日 樹林廠450噸/日 ×3座=1,350噸/日
2	旋轉圓桶式爐床 (Roller Grate)	德國 DBA	1.日本KHI(川崎重工) 2.美國American Ref- fuel	無
3	階段反覆式搖動式爐 床(Stsp-Down Recip- rocating Grate)	瑞士 Von Roll	1.日本Hitachi Zosen(日 本造船) 2.美國Wheelabrator	士林廠450噸/日 ×4座=1,800噸/日
4	逆動翻轉式爐床 (Opposed Motion Re- volving Grate)	瑞士 Widmer + Ernst	1.美國BLOUNT	無
5	機械反覆搖動式及旋 轉窯爐床 (Mechanical-Reciproca ting/Rotary kiln Grate)	丹麥 Volund	1.日本NKK(日本鋼管) 2.美國Waste- Management	台中廠300噸/日 ×3座=900噸/日 嘉義，台南，八 里，新竹廠建造中
6	階段往覆搖動式爐床 (Step-Reciprocating Grate)	日本 Takuma	美國Railey Stoker	內湖廠300噸/日 ×3座=900噸/日 木柵廠375噸/日 ×4座=1,500噸/日
7	逆摺移動式爐床 (Reverse-Action Grate)	法國 Stein	---	無
8	水冷卻旋轉窯式爐床 (Water-Colled Rotary Grate)	美國 Westighouse 日本 IHI (石川島播磨重工)	---	基隆及屏東廠建造 中

註：資料截止日期，民國83年12月

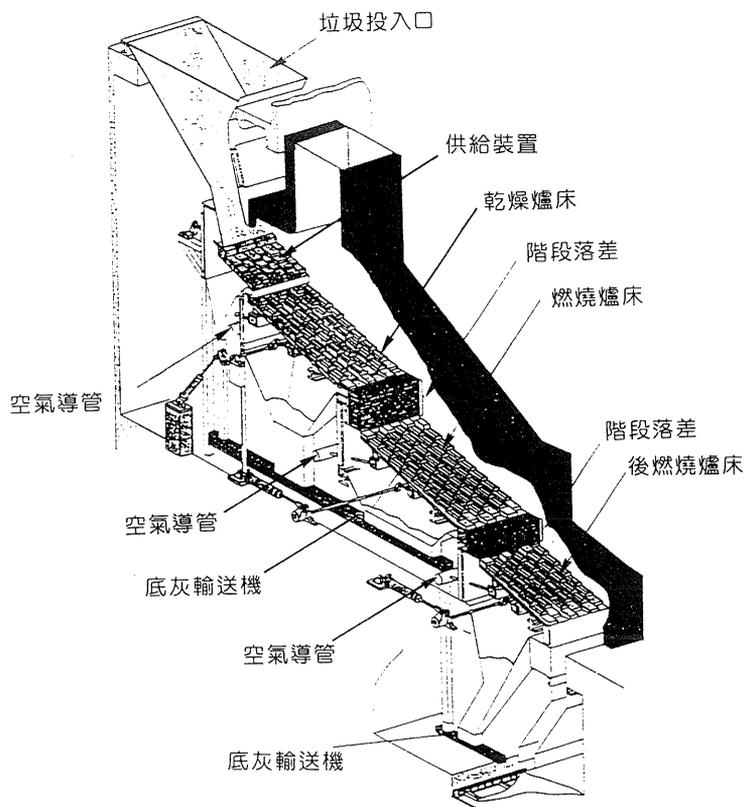


圖7 混燒式焚化爐結構圖

5.1.1 逆摺動式爐床(Reverse-Acting Stoker Grate)

1. 構造

其爐體形式為對流式，利用爐頂輻射熱來增加燃燒效率，爐頂及側壁均由包覆鑄性水泥之水牆管保護，二次空氣噴嘴由爐側壁吹出。爐床構造示意圖如圖8所示，爐床之長度固定，寬度則依爐床所需之面積調整，可數個爐

床橫向組合而成，每個爐床包含13個固定及可動梯階爐條，固定爐條及可動爐條以橫向交錯配置，爐床為傾斜床面，傾斜度為26度，垃圾之乾燥、燃燒及後燃燒均在此爐床進行，一次空氣由爐床底部經由爐條之空氣槽(Air slots)後，再由爐條兩側吹出。可動爐條由連桿及橫樑組成，由液壓傳動裝置驅動，其移動速度可調整，可適合任何燃燒之條件。其作動方式如圖9所示，可動爐條逆向移動，使得垃圾因重力而滑落，而垃圾層達到良好攪拌之作用，最後灰渣經由灰渣滾輪(Clinker Roller)移送至排灰槽。

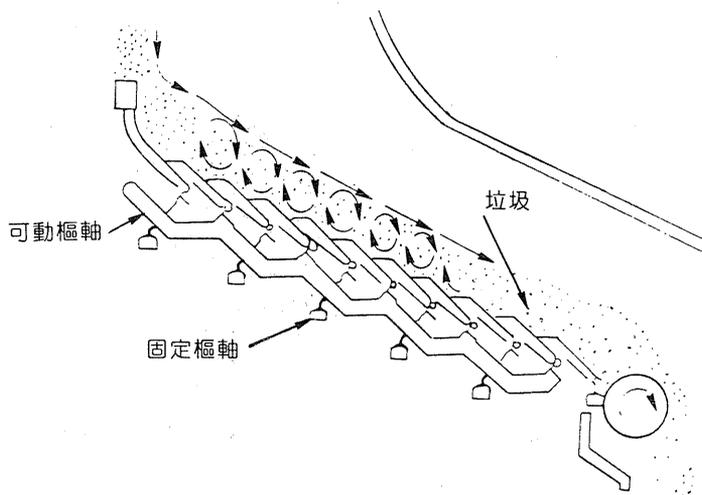


圖8 德國Martin逆摺動式爐床側視圖

2. 特性⁽¹¹⁾

- A. 爐床長度較其他形式同容量之爐床短，減少安裝所需之面積。
- B. 燃燒空氣在火層上連續及分佈均勻，對於垃圾之乾燥及燃燒迅速，攪拌混合佳，燃燒效率最佳。
- C. 爐條下方有空氣槽(Air slots)，爐條之冷卻效果佳。
- D. 爐條前端頭為角錐設計，可避免溶灰附著。

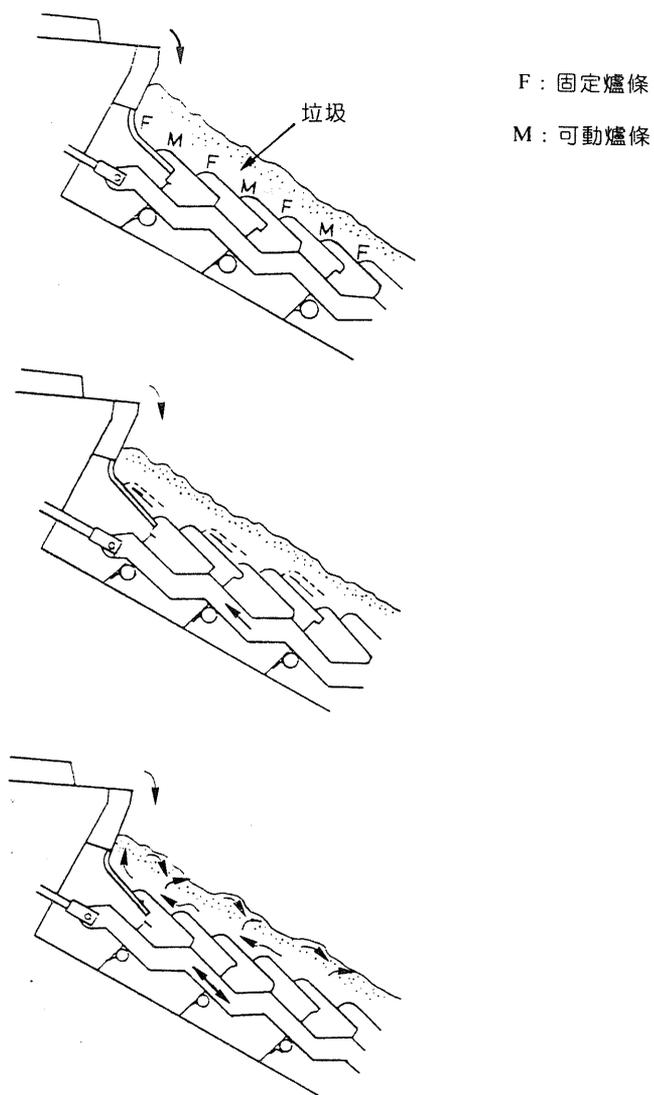
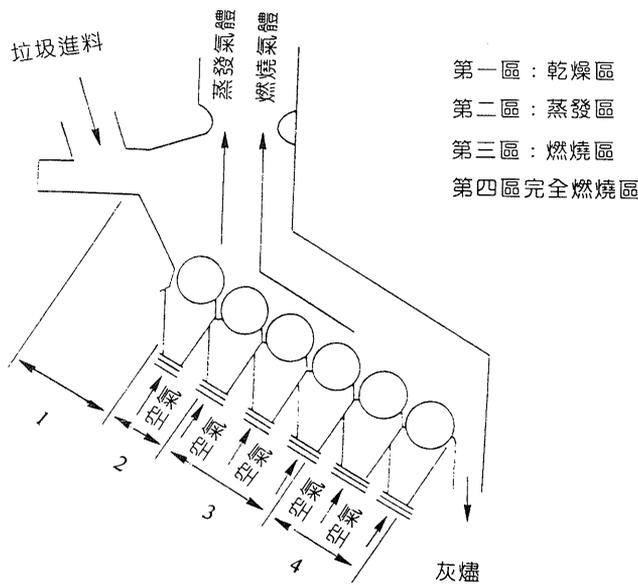


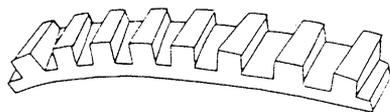
圖9 德國Martin逆摺動式爐床可動爐條之運動狀況

5.1.2 旋轉圓桶式爐床(Roller Grate)

其構造圖如圖10所示，爐床由5~7個圓桶形滾輪，成傾斜式排放所構成，每個圓桶間旋轉方向相反，爐床分為乾燥區、蒸發區、燃燒區及完全燃燒區等四個區域，每個圓桶有獨立的一次空氣導管，由圓桶底部，經由滾筒之送氣孔到達垃圾層。垃圾因圓桶之滾動而往下移動，並可充份攪拌混合，圓桶以電力驅動，其轉速可依垃圾性質調整。此型式之爐床其特點為爐條冷卻效果良好，但滾桶空氣送氣口易阻塞，造成氣鎖為其缺點。



(a) 爐床構造示意圖



(b) 滾筒構造圖

圖10 德國DBA旋轉圓桶式爐床構造圖

5.1.3 階段反覆搖動式爐床(Step-Down Reciprocating Grate)

爐床構造圖如圖 5 所示，爐床由乾燥爐床、燃燒爐床及後燃燒爐床所組成，每個爐床上有固定爐條及可動爐條以縱向交錯配置，如圖 11 所示，爐床為傾斜面，其傾斜度在乾燥區為 20 度，燃燒區為 30 度，後燃燒區為 33 度。一次空氣由爐床底部經由爐條兩側之縫隙吹出。可動爐條由連桿及棘齒(Pallets)組成，在可動爐條支架上水平方向作反覆運動，此種移動方式有剪力作用垃圾層之前後及左右，使得垃圾鬆動及混合均勻，如圖 12 所示。並使得二次空氣之通道有自清作用，垃圾借此反覆動作及移動，而同時每爐床間有階段落差，如圖 13，其功能為翻攪及鬆動垃圾，此爐床之特色為在燃燒區的固定爐條上有爐條切斷刀裝置(Grate Cutter Device)如圖 14，圖 15 所示，其功能為鬆動垃圾塊，垃圾層及調整垃圾停留時間，及使供給空氣分佈均勻。

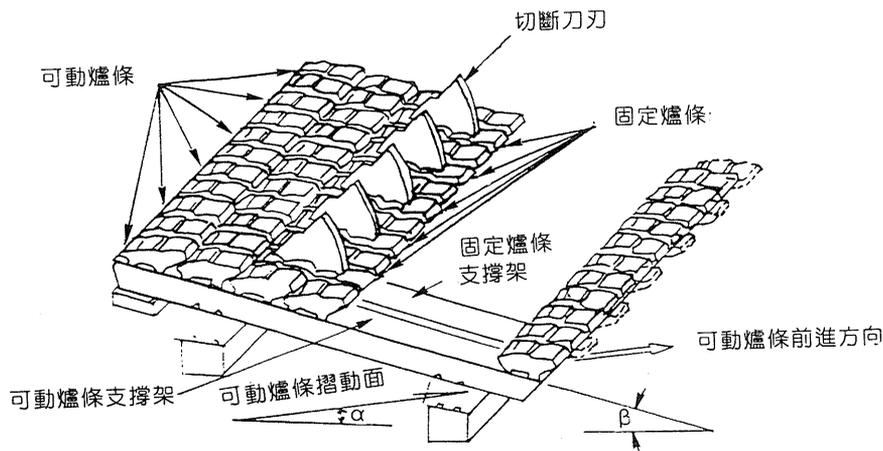


圖 11 瑞士 Von Roll 階段反覆搖動式爐床示意圖⁽¹³⁾

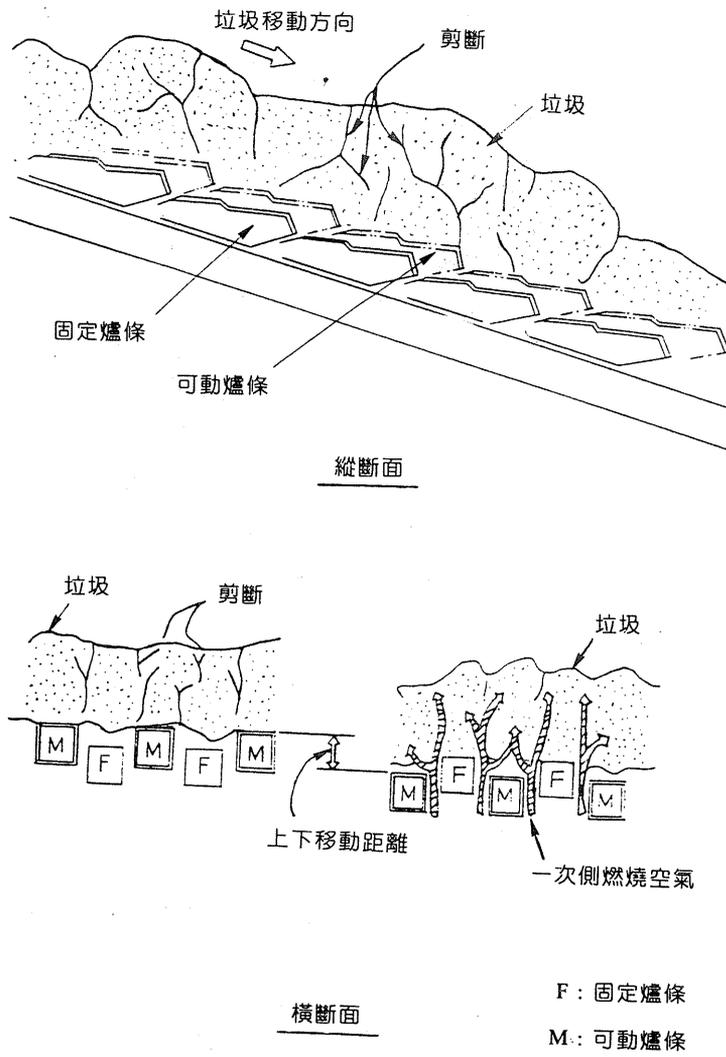


圖12 爐床之剪斷動作及自行清除動作

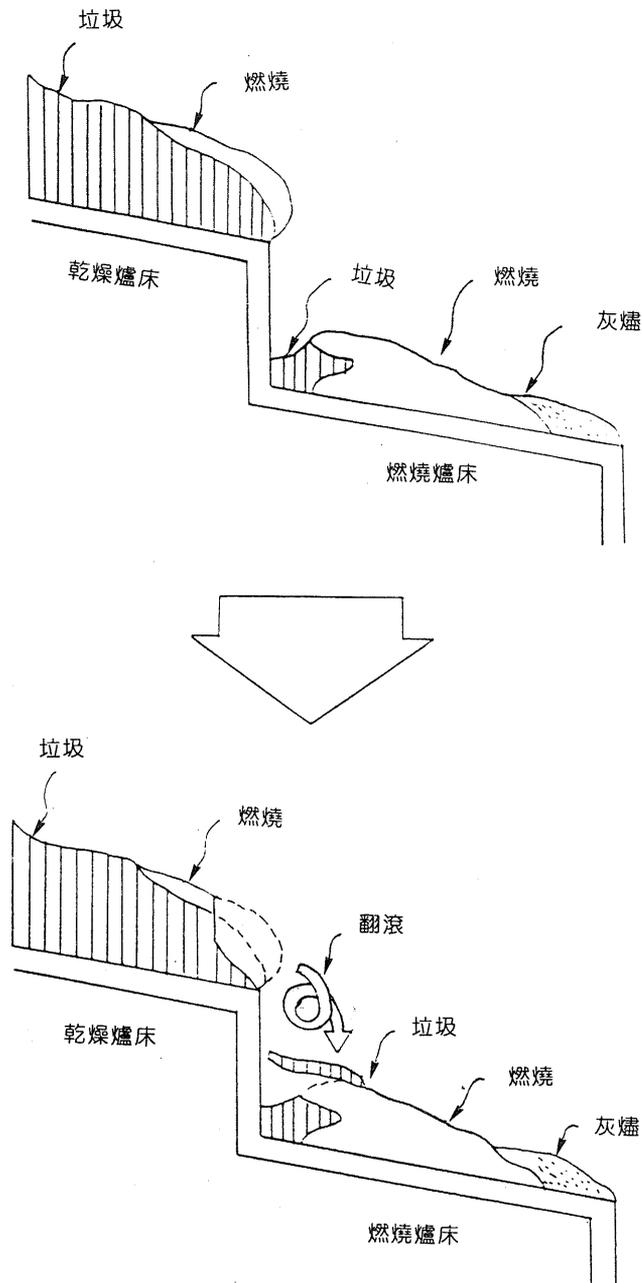


圖13 階段落差增強燃燒效果

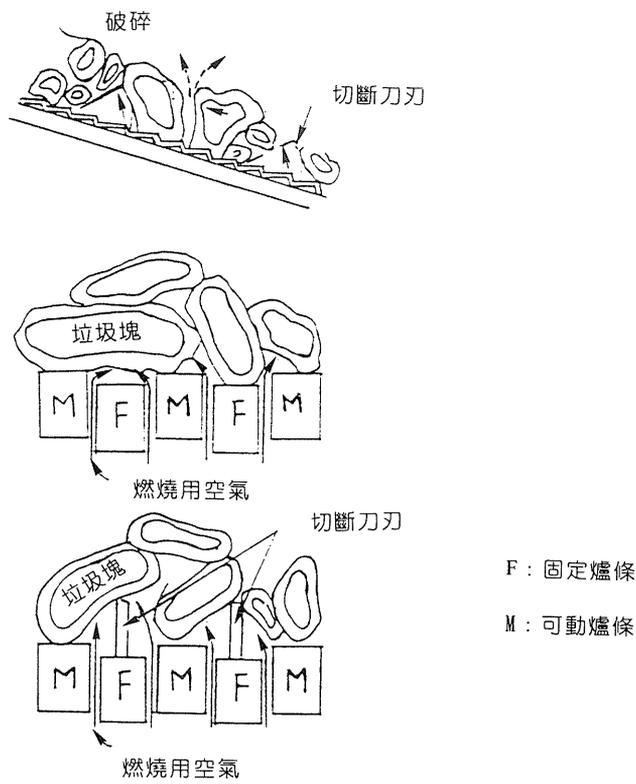


圖14 瑞士Von Roll階段反覆搖動式可動爐條之運動狀況

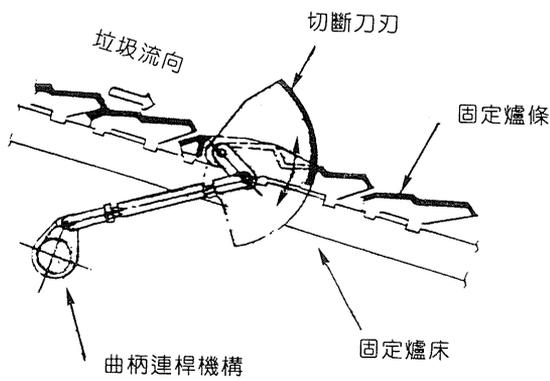


圖15 瑞士Von Roll階段反覆搖動式爐床切斷刀刃機構圖

5.1.4 逆動翻轉式爐床(Opposed Motion Revolving Grate/Double Motion Over-trust Grate)

逆動翻轉式爐床其構造示意圖，如圖16(a)所示，爐床包含固定爐條及可動爐條，每個固定爐條及可動爐條以橫向交錯配置，爐床呈水平設置，無階段落差，垃圾之乾燥燃燒及後燃燒均在此爐床進行。一次空氣由爐床底部分為數個管道進入爐床底部，再由爐條兩側吹出。可動爐條由連桿曲柄機構組成由液壓傳動裝置驅動，其作動方式如圖16(b)所示，在固定爐條兩側之可動爐條以相反方向作反覆運動，使得垃圾前進，並且旋轉而達到攪拌之作用。此型式之爐床為水平裝置，故焚化爐所需之高度相對降低為其特點。

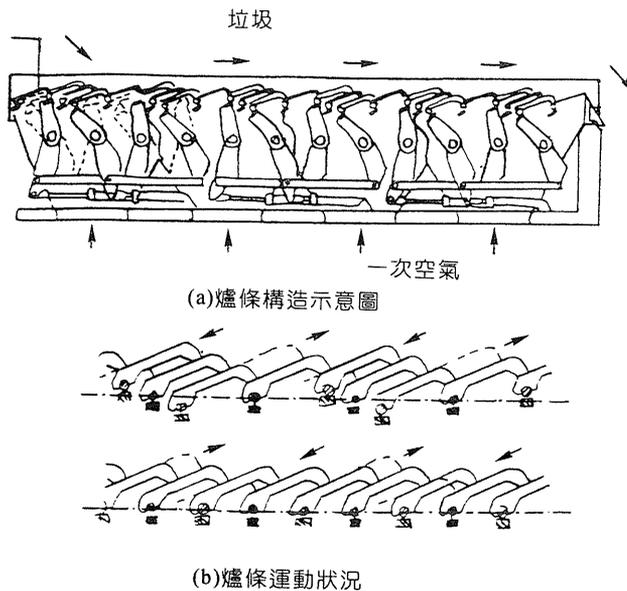


圖16 瑞士W+E逆動翻轉式爐條構造及運動狀況

5.1.5 機械反覆搖動式及旋轉窯爐床(Mechanical-Reciprocating/Rotary Kiln Grate)

此型式之爐床，如圖17，圖18所示，包含兩個為乾燥爐床，一個燃燒爐床，及一個旋轉窯爐床，機械式爐床為傾斜床面，固定爐條及可動爐條以縱向

交錯配置，有階段落差，可動爐條由爐條組件及可動支架組合而成，由液壓裝置驅動，如圖19所示。一次空氣由爐床底部經由片狀爐條(Piece Grate)之兩側吹出，或由板式爐條(Plate Grate)之前端吹出，片狀爐條之優點為使燃燒用空氣分佈均勻，爐條冷卻效果併，可避免爐條燒損。爐條作動方式如圖20所示，可動爐條斜向前後反覆運動，使得垃圾移動，剪斷，經由階段落差，達到攪動混合之作用。在燃燒爐床之固定爐條上，裝有一列爐條上昇桿，增加攪拌功能，使燃燒更完全，其作動方式如圖21所示。經由燃燒爐床之垃圾再經由旋轉窯再燃燒，垃圾由重力及滾動方式排出，旋轉窯其構造為鋼製圓形外殼內部以耐火材料施工，窯體稍為傾斜之裝設，一次空氣由窯體前方吹入，窯體出口有氣密裝置(Air Seal)，以隔絕外部氣體侵入，其驅動方式為圓桶下裝設滾輪，並以電力驅動滾輪，使其帶動圓桶窯體轉動。

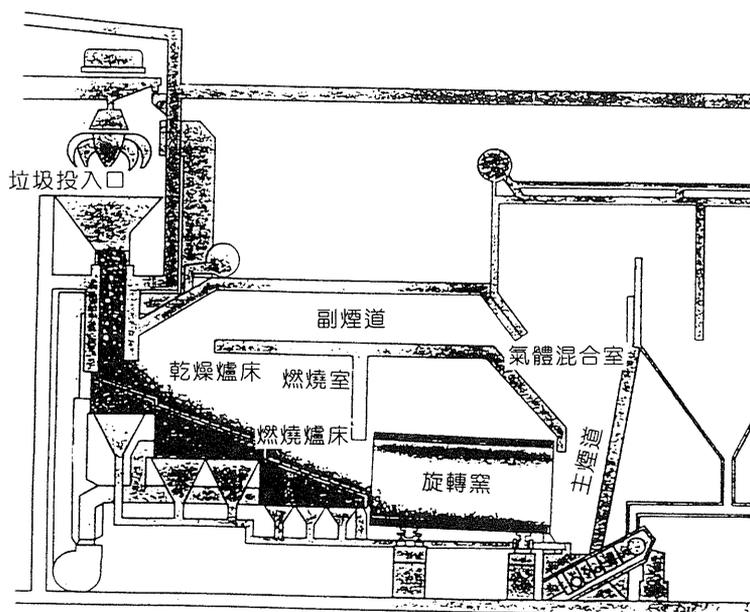


圖17 丹麥Volund機械反覆及旋轉窯式焚化爐剖面圖

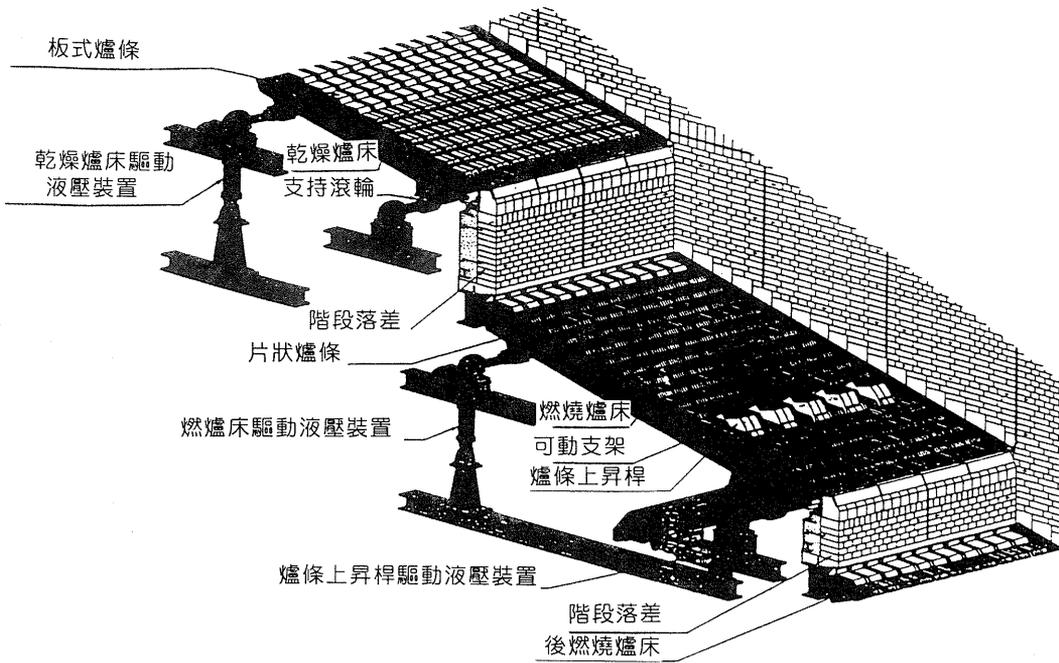


圖18 機械反覆搖動式及旋轉窯爐床爐內構造圖⁽⁶⁾

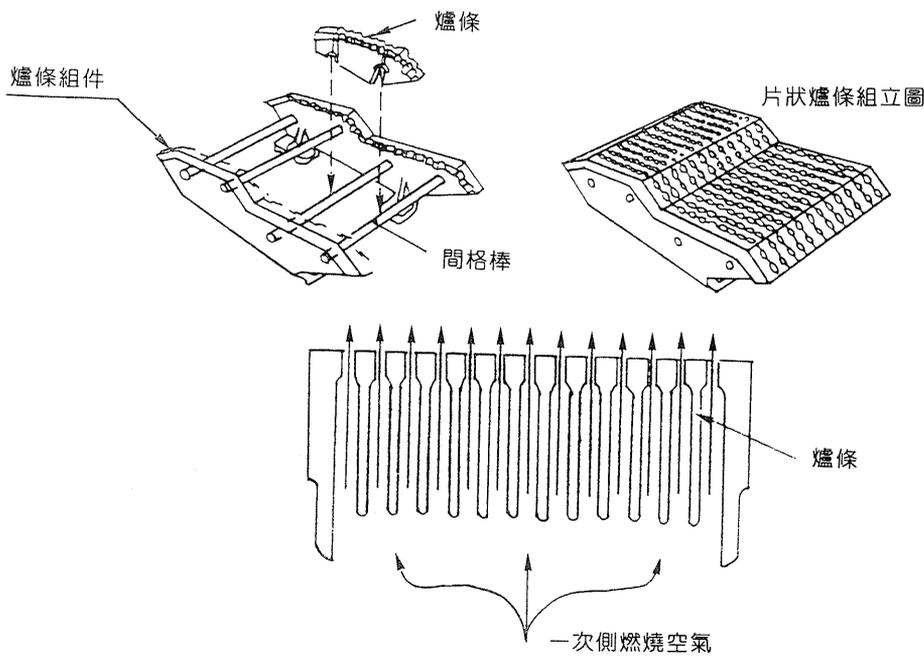


圖19 丹麥Volund機械反覆搖動式及旋轉窯爐床結構及空氣分佈圖

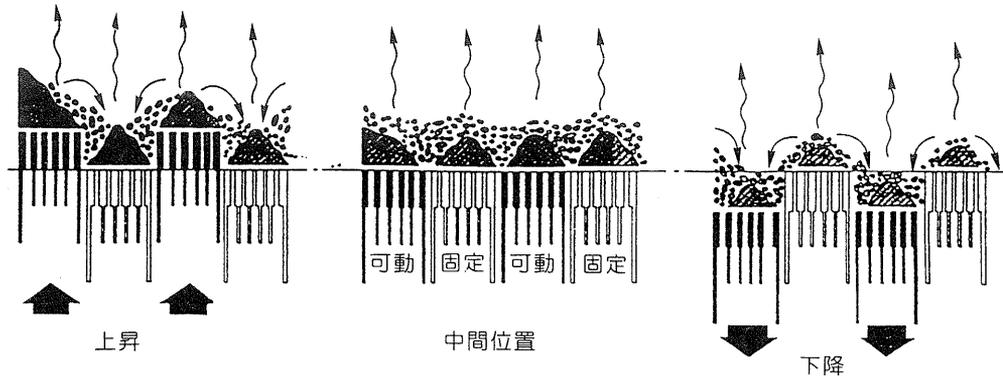


圖20 機械反覆搖動式及旋轉窯爐床運動狀況

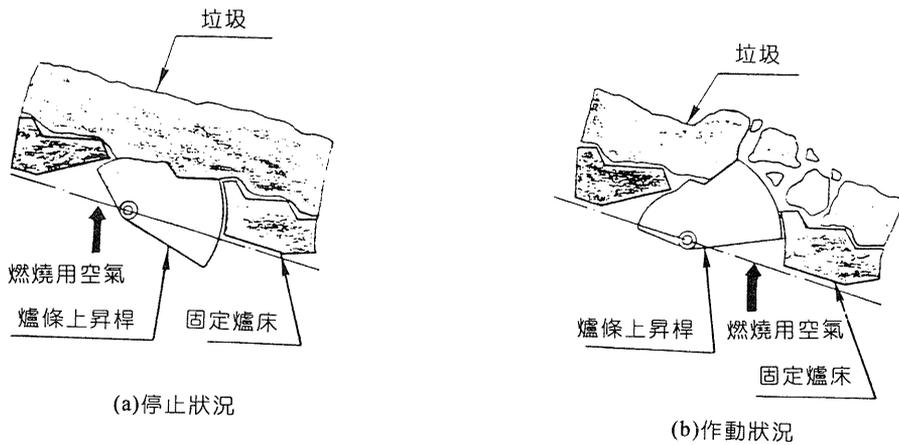


圖21 機械反覆搖動式及旋轉窯爐床上昇桿作動狀況

5.1.6 階段往覆搖動式爐床(Step-Reciprocating Grate)

爐床之構造如圖 7 所示，分為乾燥爐床、燃燒爐床及後燃燒爐床，爐床為傾斜床面，固定爐條及可動爐條以縱向交錯排列。高壓高速之一次空氣由爐底

之空氣導管送入爐條底部，再由盒狀爐條(Box Grate)兩側之空氣噴嘴(Air nozzle)吹出，如圖22所示。可動爐條由爐條支架及連桿曲柄機構組成，由液壓傳動裝置驅動，其作動方式如圖23所示。各爐床之可動爐條水平前後移動，使得垃圾因重力滑落，及切斷垃圾，經過階段落差使得垃圾混合攪拌均勻。垃圾移動所需之力與垃圾自重及其爐條之摩擦係數成正比，爐條之傾斜角愈大時，垃圾所需之移動力愈小，同時垃圾作用於爐條之反作用力也愈小。

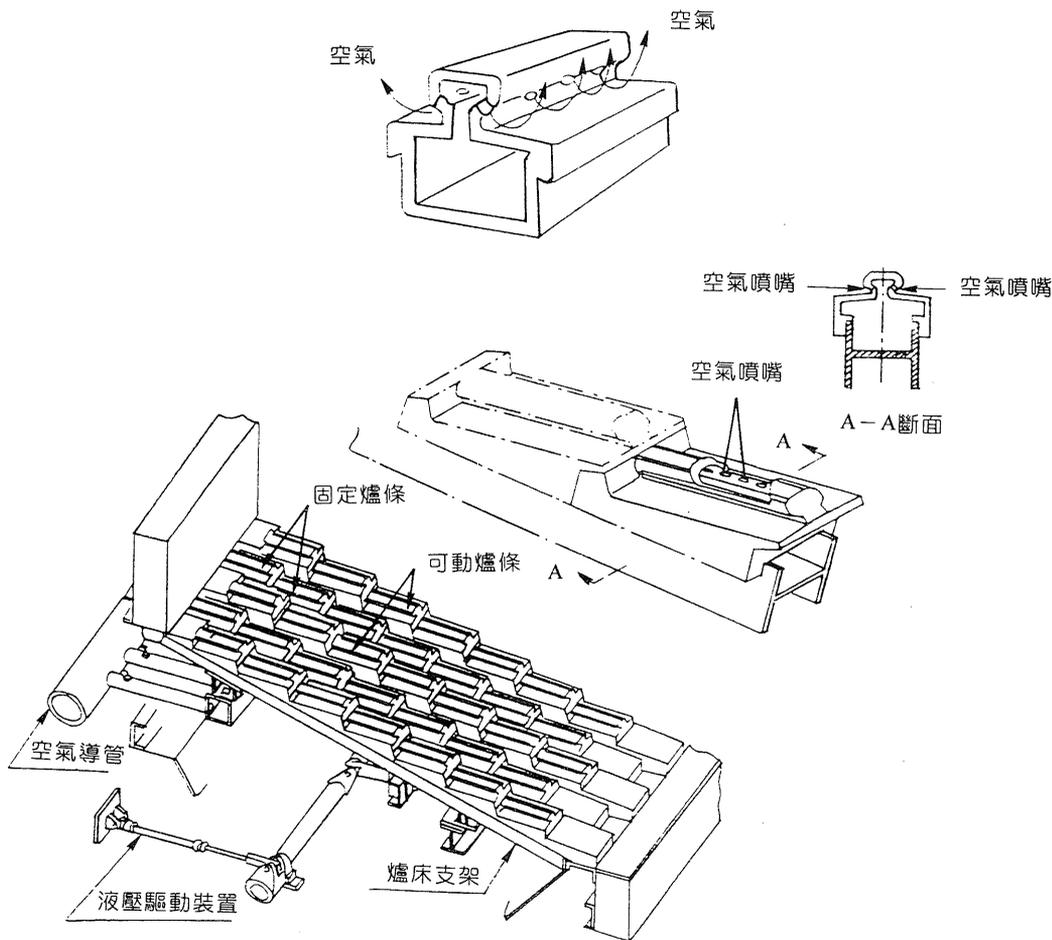


圖22 日本Takuma階段往復搖動式爐床構造圖

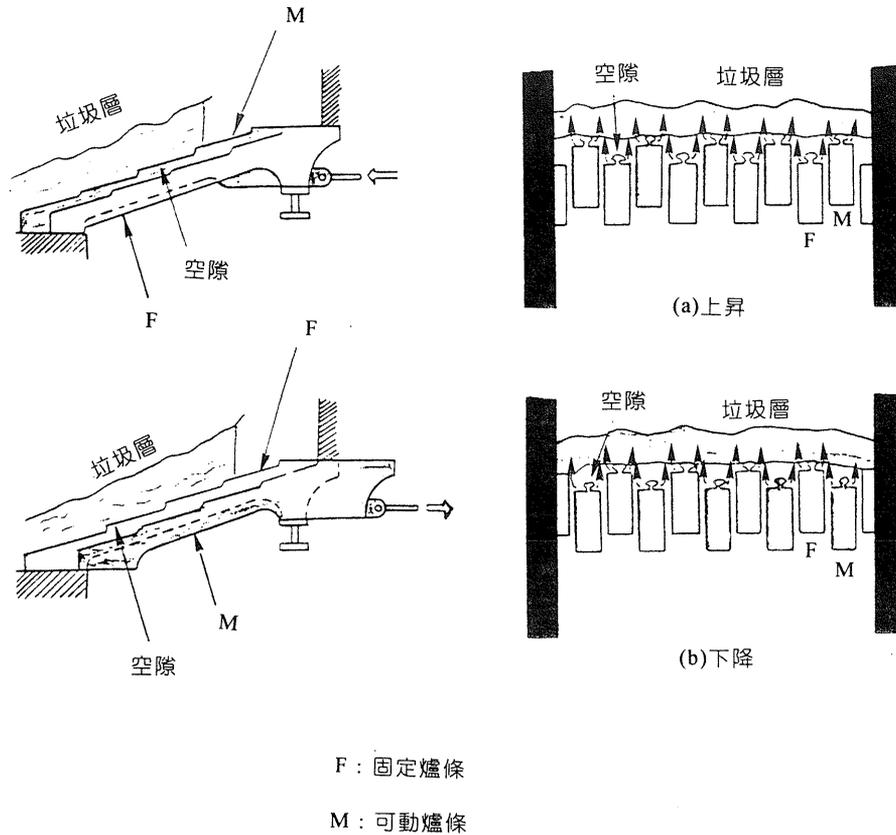


圖23 日本Takuma階段往復搖動式爐床運動狀況

5.1.7 逆摺移動式爐床(Reverse-Action Grate)

此型爐床如圖24所示，為傾斜床面，無階段落差，垃圾之乾燥、燃燒及後燃燒均在此爐床進行，固定爐條及可動爐條以橫向交錯配置，一次空氣由爐條底部經由爐條兩側吹出。可動爐條分為前後兩部份，分別由連桿及移動架組成，再由液壓傳動裝置驅動，由於可動爐條逆向反覆移動，使得垃圾因重力而落下，而使垃圾層達到良好的攪拌混合作用，灰燼經由調整葉片控制，再移至排灰槽。

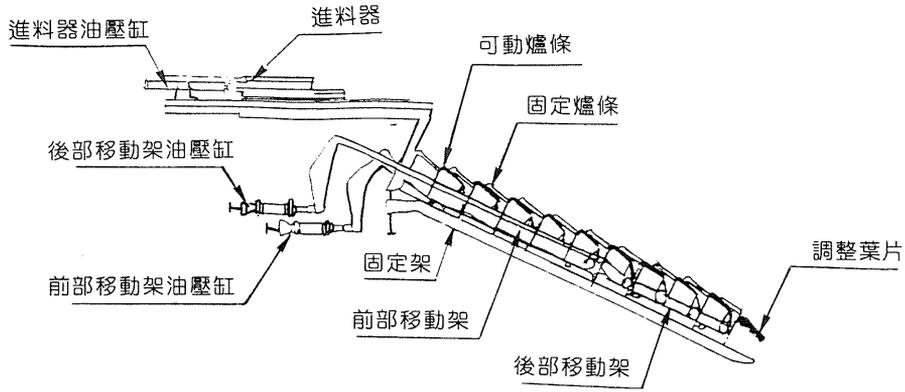


圖24 法國Stein逆摺移動式焚化爐示意圖

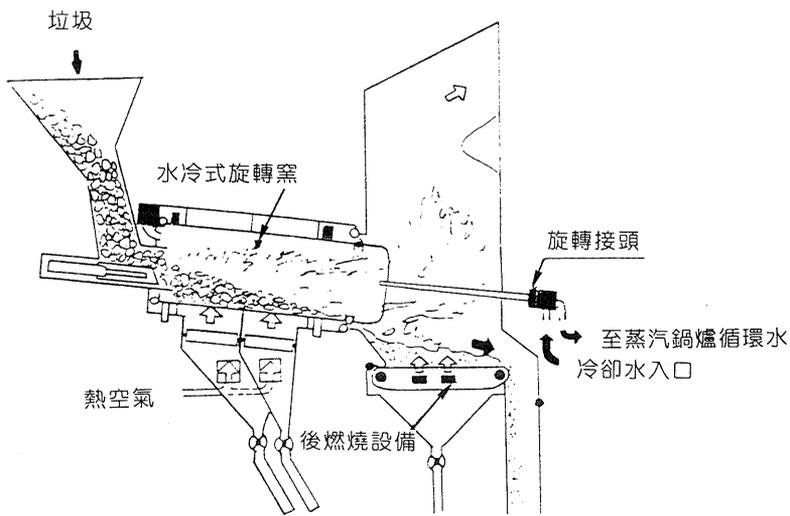


圖25 水冷式旋轉窯爐床構造示意圖

5.1.8 水冷式旋轉窯爐床(Water-Cooled Rotary Grate)

水冷式旋轉窯爐床其構造如圖25所示，為一圓型旋轉體，全部由鋼管焊接而成，呈傾斜設置，垃圾在此經過乾燥及燃燒過程，再經由後燃燒設備之移動式爐床(Traveling Grate)完全燃燒後排出灰燼。一次空氣由窯體底部風箱(Wind Box)送入，經過冷卻水兩側之通氣孔進入燃燒室，如圖26所示，其作動方式旋轉窯經由電力驅動、旋轉，使垃圾混合攪拌均勻，水管外部有止漏板防止熱空氣逸出窯外。其主要特色為利用水牆直接與燃燒氣體熱交換，熱能利用率提高，過剩空氣率較低，約為50%，相對的廢氣產生量較少，唯其爐壁內側並未鋪設耐火材料保護水牆，須留意水牆管磨耗(Wear)之程度，及通風氣孔是否通暢等問題。旋轉窯各相關之設計參數可參考如下：

窯體長度直徑比：2~10

垃圾停留時間：30~90分

窯體轉速：0.5~3rpm

傾斜角度：1~3°

垃圾與窯爐體積比：0.15~0.2

過剩空氣率：50%

體積釋熱率(VHR)：177,960Kcal/M³·hr
(20,000BTU/ft³·hr)

爐體表面積釋熱率：813,600Kcal/m²·hr
(300,000BTU/ft³·hr)

5.2 爐床具備之機能⁽¹⁸⁾

爐床一般分為乾燥爐床，燃燒爐床及後燃燒爐床三段，各段爐床應具備之機能如表6所示，使其發揮應有的功能，以利垃圾之移動及攪拌作用，垃圾在爐床上應具有良好的移動及攪拌功能，才能使垃圾完全燃燒，其方法為(1)使垃圾增加與氧氣接觸，使其加速燃燒(2)使垃圾中之水氣易於蒸發(3)控制空氣及燃燒氣體之流連及流向，使氣體均勻混合。

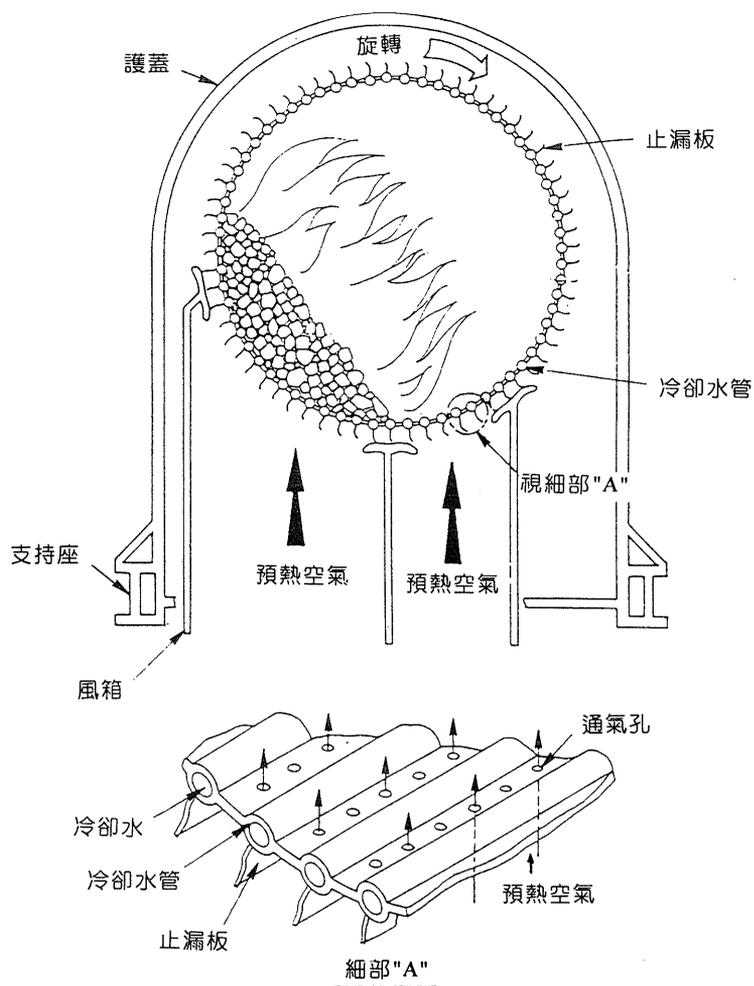


圖26 水冷卻旋轉窯橫剖面

5.3 所需爐床面積之計算⁽²⁰⁾

爐床面積之大小應足夠應付垃圾之燃燒，其設計面積不足時，火層厚度會增加，因阻礙一次空氣之通風，而引起燃燒不完全，爐床面積大小宜同時考慮垃圾質與量，在質的方面，考慮垃圾單位時間產生之低位發熱量與爐床釋熱

率，即 Q/GHR ；在量的方面，考慮單位時間內垃圾之處理量與爐床燃燒率之比，即 F/GBR ；兩者取其較大值，其計算如下式：

$$A = \text{Max}\left(\frac{Q}{GHR}, \frac{F}{GBR}\right)(\text{m}^2)$$

式中：Q：每小時垃圾及輔助燃料所產生之低位發熱量(Kcal/h)

GHR：爐床釋熱率(Kcal/m²·h)

F：垃圾處理量(kg/h)

GBR：爐床燃燒率(Grate Burning Rate)(kg/m²·h)

表 6 各段爐床須具備之機能⁽¹⁸⁾

種 類	機 能
乾燥爐床	1.不致因垃圾汁與土砂等而造成爐條阻塞 2.具自清作用 3.氣體貫穿現象少 4.垃圾不致形成大團或大塊 5.不易夾進異物 6.可均勻移垃圾
燃燒爐床	1.可均勻分配燃燒用空氣 2.垃圾之攪拌、混合狀況良好 3.可均勻移送垃圾 4.爐條冷卻效果佳 5.耐熱、耐磨損性優 6.不易造成貫穿燃燒
後燃燒爐	1.餘燼與未燃物可充分攪拌、混合、拆散 2.爐床上之滯留時間長 3.保溫效果佳 4.少量空氣即可使餘燼燃燒良好 5.排灰情況良好 6.可均勻供給燃燒用空氣 7.不易形成燒結塊

5.4 爐床設計參數

5.4.1 爐床釋熱率(Grate Heat-Release Rate, GHR)

為在正常運轉下每平方公尺爐床面積，每小時所能承受之垃圾發熱量(Kcal/m²·h)，其值高值，對於爐床之冷卻效果較佳，較不易因受材質過熱而損壞，GHR之值視爐床材料及爐床設計方式等因素而異，一般而言以300×10³~895×10³Kcal/m²·h為宜。

5.4.2 爐床燃燒率(Grate Burning Rate,GBR)

在正常運轉下，燃燒率每平方公尺爐床面積，每小時之垃圾處理量(kg/m²·h)，稱為爐床燃燒率(Grate Burning Rate,GBR)亦稱為爐床能力(Grate Capacity,GC)，其值高者，表爐床處理垃圾量之能力高，依日本方面之研究⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾爐床燃燒率視(1)垃圾值與空氣預熱溫度如圖27，(2)灰之灼燒減量如圖28，(3)焚化爐之規模如圖29等因素而異，一般而言，大型連續式焚化爐之值以200~350kg/m²·h為宜。

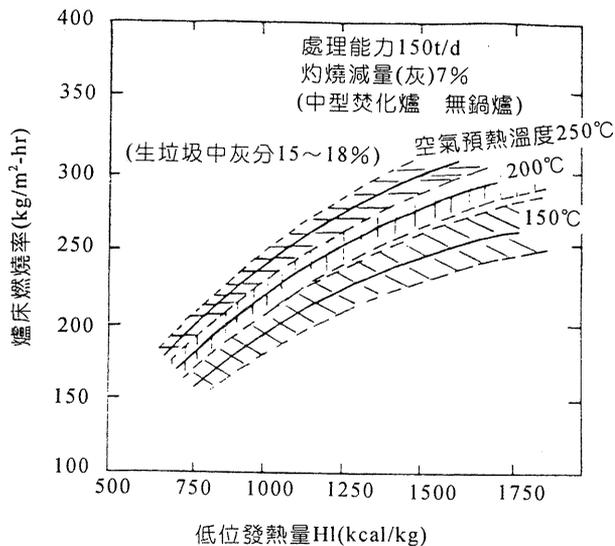


圖27 垃圾質與空氣預熱溫度對爐床燃燒率之影響⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾

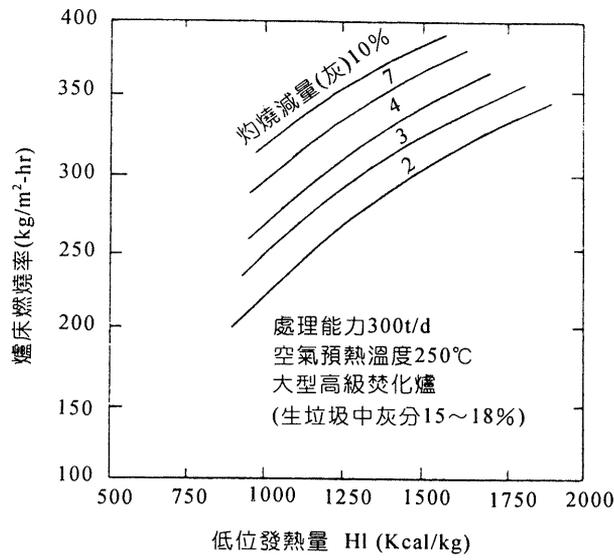


圖28 灰之灼燒減量與爐床燃燒率⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾

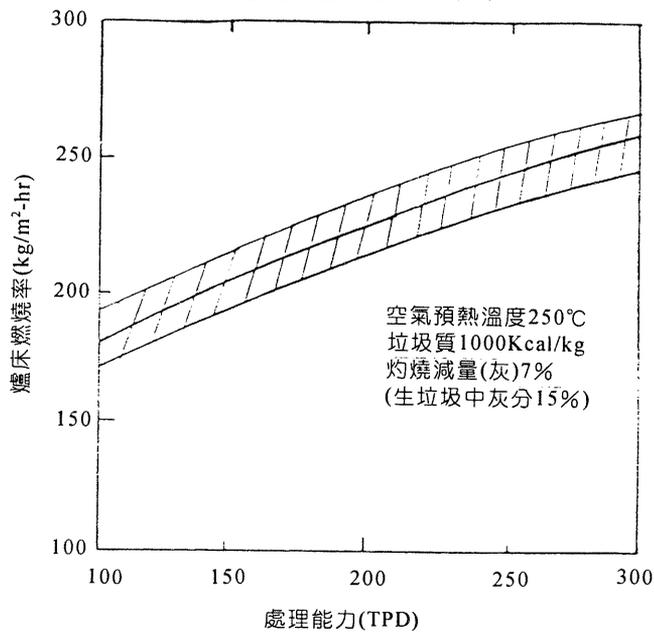


圖29 爐之規模與爐床燃燒率⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾

5.5 各型混燒式焚化爐爐床之特性及功能分析

上述八種爐床，其構造、設計、特性及功能各有異同，茲就各型爐床之特性及功能分析如表7所示。

5.6 台灣地區現有大型都市垃圾焚化爐爐床技術評估

台灣地區目前已建造完成的大型都市垃圾焚化廠計有五處，分別為內湖廠、木柵廠、新店廠、樹林廠、台中廠，其中部份廠正進行試燒階段，尚未正式營運，對於爐床的使用年限欠缺正確的數據故不予評估。僅就技術層面（不涉及成本因素），提出分析如表8所列。

六、結 論

對於焚化爐設備之各種爐體及爐床之特性、構造與機能的分析，必能有助於各型焚化爐燃燒效率的操控，如能配合垃圾分類的實施，及廢棄物回收再生利用之立法，以達成減廢、無廢、資源永續利用之目標，及良好的焚化廠營運管理制度，必須有助於焚化廠操控性能的發揮，減少不必要的故障與維修，延長垃圾焚化廠使用年限。

七、誌 謝

感謝中鼎工程公司沈木成協理，潘寶耀經理及楊鼓峰組長之鞭策與鼓勵，在此特致謝忱。

參考文獻

- 1.張乃斌，台灣廢棄物清理民營化之發展，國立成功大學環境工程研究所，P5，民國82年9月。
- 2.台灣地區垃圾清運處理系統工程建造及操作維護成本模式研究報告，中興工程顧問社，民國76年7月。

表 7 各型混燒式焚化爐床之特性及功能分析表

公司 爐床型式 項目	德國Martin	德國DBA	瑞士Von Roll	瑞士 Widmer+Ernst	丹麥Volund	日本Takuma	法國Stein	美國Westinghouse +日本IHI
1. 垃圾殘渣 自滑作用	有	效果不佳	有	有	有	有	有	效果不佳
2. 燃燒空氣 孔自滑作 用	有	通氣孔易阻塞	有	有	通氣孔易阻塞	倉型爐條設有高 壓噴射空氣噴嘴 ，自清效果佳	有	通氣孔易阻塞
3. 垃圾剪斷 功能	有	有	燃燒區配置斷 刀刀，垃圾剪 斷功能佳	有	有	有	有	有
4. 垃圾攪拌 混合功能	傾斜可動爐條， 逆向作動，攪拌 混合效果佳	垃圾層太厚時， 攪拌混合程度 較差	有階段落差， 垃圾拆散翻滾 效果佳	水平爐條，兩列可 動爐條逆向作動， 攪拌混合效果佳	有階段落差及旋轉 攪拌效果佳	有階段落差， 垃圾拆散翻滾，效 果佳	傾斜可動爐條， 逆向作動，攪拌 混合效果佳	旋轉窯構造垃圾 攪拌混合佳
5. 爐條裝設 位置	傾斜床面	圓桶旋轉傾斜 床面	傾斜床面	水平床面	傾斜床面+圓桶 方向旋轉	傾斜床面	傾斜床面	圓桶旋轉傾斜床 面
6. 可動爐條 施力方向	逆向，上斜方向	重力+旋轉	順向，上斜方 向	順向，水平方向	順向，水平方向+旋轉	順向，水平方向	逆向，上斜方向	重力+旋轉
7. 可動爐床 所需施力 大小	較大	依轉速、爐條 載重及直徑等 因素決定	較小	中等	中等	較小	較大	依轉速、爐體載 重及直徑等因素 決定
8. 燃燒空氣 配置	由爐條兩側吹出	由滾桶底部通 氣孔進入	由爐條兩側吹 出	由爐條兩側吹出	由爐條兩側或前 端吹出	由盒型爐條兩側 吹出	由爐條兩側吹出	由旋轉窯底部通 氣孔進入
9. 爐條冷卻 效果	爐條有空氣槽 (Air slots)冷卻效 果佳	齒形散熱片冷 卻效果佳	普通	普通	普通	普通	普通	爐床為水澆構造 ，冷卻效果佳
10. 其他特 性及功 能	a. 爐床所需長度 較同容量者為 短，減少安裝 所需面積 b. 熔渣不易附著	-	-	a. 爐床水平裝設， 可降低安裝所需 高度	a. 燃燒區有上昇桿裝置， 可增加攪拌混合功能 b. 高低質之垃圾均可燃燒 c. 旋轉窯內有耐火材料易 損壞 d. 旋轉窯氣密裝置易洩漏	-	-	a. 過剩空氣係數較 低，廢氣生產 量較少 b. 高低質之垃圾 均可燃燒 c. 須留意水澆之 磨耗程度

表8 台灣地區現有大型都市垃圾焚化爐爐床技術評估比較表

項次	項 目	爐床種類 1	爐床種類 5	爐床種類 6
1	裝設地點	樹林/新店	台中	內湖/木柵
2	爐床型式	逆摺動式	機械反覆搖動式及旋轉窯式	階階往復搖動式
3	擁有專利公司/購買專利廠商	德國Martin/日本MHI(三菱重工)	丹麥Volund/日本NKK(日本鋼管)	日本Takuma(田熊公司)
4	爐床裝置型式	傾斜式	傾斜式	傾斜式
5	爐床運動方式	直線往復式	機械反覆搖動式：直線往復式 旋轉窯式：旋轉式	直線往復式
6	爐床段數	1段	機械反覆搖動式：3段 旋轉窯式：1段	3段
7	固定及可動爐床排列方式	橫向交錯	機械反覆搖動式：直向交錯	直向交錯
8	垃圾移送方式	逆向推送	機械反覆搖動式：重力及推送 旋轉窯式：重力及滾動	重力及推送
9	垃圾剪斷功能	佳	較佳	較佳
10	垃圾攪拌功能	較佳	較佳	佳
11	階段落差效果	無	有	有
12	爐條垃圾殘渣自清作用	有	有	有
13	燃燒空氣孔自清作用	有	無	盒型爐條設有高壓噴射空氣噴嘴，自清效果佳
14	一次空氣配置	由爐條兩側吹出	機械反覆搖動式：由爐條兩側或前端吹出 旋轉窯式：由爐前方進入	由盒型爐條兩側吹出
15	爐條冷卻效果	爐條有空氣槽冷卻效果佳	普通	普通小
16	傳動機件馬力數	較大	中	小
17	連桿傳動機件數	多	少	少
18	機件構造複雜性	連桿傳動件較複雜	旋轉窯機件複雜	構造簡單
19	爐床耐火材料使用	無	旋轉窯爐體有耐火材料易損壞	無
20	空氣洩漏量	少	旋轉窯之氣密裝置易洩漏	少
21	保養維修	容易	較困難	容易
22	裝設空間要求	爐床所需長度較短	旋轉窯所需長度較長	爐體所需高度及長度較大

- 3.謝錦松，黃正義，固體廢棄物處理，淑馨出版社，P212-241，民國77年4月。
- 4.徐振盛，固體廢棄物概要及題解，淑馨出版社，P137-146，民國84年1月。
- 5.行政院環保署，垃圾焚化處理設施設置規範。
- 6.日本NKK公司型錄。
- 7.日本HITACHI ZOSEN公司型錄。
- 8.謝明輝，最新鍋爐學，台灣省鍋爐協會，P315-320，民國70年8月。
- 9.黃豐譯，鍋爐技術實務，中興管理顧問公司，P173-174，民國68年10月。
- 10.日本TAKUMA公司型錄。
- 11.日本MITSUBISHI公司型錄。
- 12.高雄市覆鼎金垃圾資源回收廠工程規劃報告書，中華顧問工程公司。
- 13.福本勤，產業、都市、放射性廢棄物處理技術，共立出版株式會社（日本）。
- 14.木柵垃圾焚化廠性能及經濟效益評估報告，中興工程顧問社。
- 15.鄭憶誠，各型焚化爐之介紹，廢棄物焚化技術訓練講義，經濟部工業局，民國80年12月。
- 16.丹麥VOLUND公司型錄。
- 17.日本IHI公司型錄。
- 18.清掃工場之營運及管理，工業出版社（日本），1986年8月。
- 19.張祖恩，大型焚化爐操作效能與管理及二次污染控制之研究，國立成功大學環工所研究報告第73號，民國77年7月。
- 20.張乃斌，成大環工所焚化廠設計課程講義，民國83年9月。
- 21.張乃斌，楊錫賢，大型垃圾焚化廠系統工程電腦輔助模擬及分析，第五屆燃燒科技應用研討會論文集，國立中山大學，民國84年3月。