

廢棄物處理

流體化床焚化爐技術之發展與處理一般垃圾 及事業廢棄物之潛力評估

魏憶琳* 王東山** 張乃斌***

摘要

流體化床焚化爐已成為近幾年來焚化爐發展過程中的重點項目，主要係因其在爐體的構造及燃燒控制技術方面有了新的解決對策，不但能燃燒完全，且能有效控制NOx、SOx及戴奧辛等二次污染物的產生，在操作成本及控制上亦有多項優點，較傳統之機械式焚化爐更能克服目前垃圾處理所面臨的問題。因此現今許多國家皆已朝向流體化床焚化爐的研發邁進，期望使戴奧辛等二次污染物排放至環境中的機率降至最低，使焚化技術更為純熟，同時配合資源回收廠的建立，以低成本高效率的方式回收能源。

本文就流體化床焚化爐未來發展之趨勢，介紹日本應用其處理都市廢棄物的成功案例及歐美先進國家在流體化床焚化爐與資源回收廠結合應用的新觀念。在燃燒及二次污染物控制方面，整理了日本EBARA、IHI、三井造船及神戶製鋼等廠所採用的技術，以供未來國內流體化床焚化爐設計之參考。最後並以中鋼為例，說明流體化床焚化爐成功的應用於一般垃圾及事業廢棄物處理之實例。

【關鍵字】

- 1.流體化床(fluidized-bed)
- 2.二次污染預防(prevention of secondary pollutant)
- 3.燃燒控制(combustion control)
- 4.廢棄物處理(solid waste management)

*國立成功大學環境工程研究所研究生

**中國鋼鐵公司設備處工程師

***國立成功大學環境工程研究所副教授

一、前　　言

由於近年來經濟高度成長及國民生活水準的提高，使得一般都市垃圾有急速增加的趨勢，垃圾性質亦傾向複雜化，由於塑膠類等高分子化合物及含氯廢棄物的焚化所產生之有害物質，嚴重影響環境，故在廢棄物處理技術上必須跟隨著垃圾質量變化而有新的突破。流體化床的燃燒技術在發電廠上的應用已相當純熟，由於其有燃燒效率高、操作穩定、低污染排放等特色，使得許多國家投入大量的人力經費將技術轉移於廢棄物焚化方面的研究，目前已有相當的成效。

國內流體化床燃燒應用及運轉的經驗不多，最早引進的技術是用於苛性鹼廢液的處理，並從中回收碳酸鈉，中原大學化工所及工研院能資所對於流體化床的燃燒效能及污染物的控制從事一系列的研究，皆證明流體化床具有應用於廢棄物處理的潛力。中鋼流體化床焚化爐的建立，更確立流體化床焚化爐處理一般事業廢棄物的成效，不但可以處理每日自產之若干油泥及員工生活廢棄物，減輕地方政府的負擔，在污染排放方面亦獲得良好的控制。

由於流體化床應用於焚化廢棄物的成效已獲得肯定，故未來的垃圾焚化技術可朝向流體化床發展，本文就中外流體化床焚化爐應用成功的實例及其相關二次污染物控制的技術進行資料彙整，以提供未來一般垃圾及事業廢棄物處理之參考。

二、流體化床焚化爐燃燒廢棄物之應用實績

2.1 日本IHI公司應用流體化床焚化爐處理都市廢棄物之成效

由於日本在流體化床焚化爐的研發上較早起步，所以目前具有能力開發建造的廠家較多，使得流體化床焚化爐在日本市場的佔有率有逐年增加的趨勢，表1⁽⁸⁾整理了日本流體化床焚化爐製造廠商及建造的實績，並以下列兩個成功的案例說明流體化床焚化爐處理都市廢棄物之卓越貢獻。

表1 日本流體化床焚化爐製造廠商及建造的實績⁽⁸⁾

流體化床式爐製造廠商		單爐最大規模	最大設施規模	建造數目	鍋爐發電設施
1	荏原製作所	200噸/24小時	435噸/24小時(145t/日x3)	50	○
2	石川島播磨重工業(IHI)	200噸/24小時	450噸/24小時(150t/日x3)	27	○
3	三井造船	60噸/24小時	180噸/24小時(60t/日x3)	20	附鍋爐
4	神戶製鋼所	110噸/24小時	220噸/24小時(110t/日x2)	13	附鍋爐
5	久保田建設	75噸/24小時	150噸/24小時(75t/日x2)	8	—
6	川崎重工	60噸/24小時	120噸/24小時(60t/日x2)	5	—
7	栗本鐵工所	60噸/16小時	60噸/16小時(30t/日x2)	5	—
	(日本 ZEON)	50噸/16小時	60噸/16小時(30t/日x2)	11	—
8	BABCOCK 日立	110噸/24小時	330噸/24小時(110t/日x3)	5	○
9	UNICHIK	60噸/16小時	120噸/16小時(60t/日x2)	4	—
10	NKK	55噸/16小時	110噸/16小時(55t/日x2)	3	—

註：○表示有發電設施。—表示無發電設施

2.1.1 日本Chiba廠

本廠位於Chiba府縣的Kisarazu都市，於1988年建造完成，其採用IHI公司的流體化床焚化爐來處理區域內每日的廢棄物。此焚化廠有三座燃燒爐，處理容量210噸/日（70噸/日×3），備有鍋爐系統，每爐最大蒸汽量約4噸/小時，在冷卻系統上採用自然循環式之廢熱回收鍋爐和氣冷塔，在污染控制設備方面則採用NOx去除反應槽與靜電集塵器的搭配使用，並配合石灰泥的噴注，以減少HCl的生成量。本廠的相關資料整理如下⁽²⁾：

1.處理流程

垃圾進場後先秤重後再倒入垃圾貯坑中，其中之大型垃圾及不可燃部份（玻璃瓶、鐵罐等）會被先分離出而送至另一個處理線上，利用破碎機切割粗大垃圾，並將其分成鐵、鋁、可燃物及不可燃物四大部份，其中回收的鐵、鋁進行販售，不可燃部份送至掩埋場，剩餘部份則送回貯坑，以半自動化之抓斗機送入爐內燃燒，底部灰渣是利用螺旋輸送機排出，其中摻雜於灰

渣內的砂粒可經過分離程序而再送回爐內循環利用，剩餘的灰渣則經由磁選機處理，將含鐵物質進行二次回收。來自爐內高溫的氣體被引入廢熱回收鍋爐，約50%熱被回收後進入氣冷塔內藉著噴灑水氣冷卻。冷卻後的廢氣被引入半乾式NOx反應槽內，槽的頂端會自動噴注石灰泥，以去除HCl。反應槽後方的靜電集塵器，用以補抓細小的灰塵，所收集的灰塵混合水泥進行固化後送至貯倉存放。為防止煙囪排放白煙，所以在進入煙囪前加裝空氣加熱系統，降低空氣之相對濕度，防止白煙生成。

2. 特色：

(1) 污染防治：

在空氣污染方面，有多重的污染防治設備，不但NOx的生成機率低，HCl的排放濃度小外，在其他空氣污染物的排放上亦達法定標準。廠內廢水以密閉系統處理，處理過後的水注入氣冷塔內循環利用。機械運轉所產生的震動以獨立的建築構造固定，杜絕噪音的產生。臭味來源亦採密閉處理，防止臭味影響到周邊居民。

(2) 操作控制：

採用中央監控系統，減少人力的耗費，從垃圾進入廠內到灰渣運出廠外都有詳細的記錄資料，包括垃圾進料量、燃燒控制變數、排放監測值、及夜晚抓斗自動進料的操控值等。廠內之燃燒爐以輪流的方式負責處理每週的垃圾，一般情況，會有一座燃燒爐處於暫歇狀態，另外兩爐保持運轉，若有垃圾突增的情況發生，在暫歇中的燃燒爐亦能很快達到所需的溫度，擔負燃燒的工作，此是因為砂的蓄熱性，使爐床溫度不易下降，亦不需使用輔助加熱器，故流體化床焚化爐之起爐停爐都相當容易。

(3) 資源的再利用：

利用熱回收鍋爐以蒸汽型態回收高溫廢氣的熱能，並用於空氣預熱、熱水鍋爐、空調系統及溫水游泳池等方面，當有多餘蒸汽量時，亦會用於誘引抽風機的運轉，減少廠內能量的損耗。回收之鐵、鋁金屬販賣給鋼鐵商，不但減少資源的浪費，亦延長掩埋場的壽命。

3. 運轉成效：

(1) 未燃損失平均0.24%，小於設計值1%

- (2)來自焚化爐的廢氣濃度遠低於法規標準，飛灰平均 $0.005\text{g}/\text{m}^3$ ，SOx平均5ppm，HCl平均16ppm，NOx平均5ppm。
- (3)整個處理流程溫度控制良好，燃燒狀態穩定。爐中之燃燒溫度控制在 $600^\circ\text{C} \sim 630^\circ\text{C}$ ，上方乾舷區的氣體溫度約 800°C ，經過廢熱回收鍋爐溫度降至 520°C ，再經由氣冷塔冷卻後溫度為 300°C ，最後至在靜電集塵器的入口時溫度約 220°C 。

2.1.2 日本Shiga廠

位於日本Shiga府縣的Otsu都市內亦有一座於1988年建造完成的流體化床焚化廠，此焚化廠有二座燃燒爐，處理容量 180ton/d ($90\text{ton/d} \times 2$)，整廠的規模較小，垃圾進料前無資源回收的作業流程，氣體冷卻採用噴水注入系統，在污染控制流程上，則採用與前廠相似之設備與技術。本廠的相關資料整理如下⁽³⁾：

1. 處理流程

進場垃圾先稱重，過磅後之垃圾先置放於臨時堆積處以移除不適燃之物質後再送入垃圾儲坑，有些大型廢棄物需先破碎至 400mm 以下才可投入。儲坑上方的抓斗採自動控制設計，由漏斗上的感測信號來控制從儲坑中抓取垃圾投入漏斗的行為，漏斗的末端備有垃圾進料機，兼有破碎功能，以漸進定量的方式將垃圾送入爐內燃燒。底部灰砂同樣使用螺旋推進機排出，砂會藉由震動篩分離而重新回到爐內循環使用，而剩餘灰渣則經由磁選機回收鐵。燃燒氣體在冷卻室內利用水噴注冷卻後送入空氣預熱室，利用餘熱加熱一次空氣，並導入半乾式有害氣體處理單元，後方備有靜電集塵器以收集灰塵。

2. 特色：

本廠最大特色在於進料設備的改良，由於新的進料設備兼具垃圾破碎、輸送及進料三種功能，所以不需額外配置破碎機，加上儲坑中的垃圾已將大型廢棄物移除，雖系統只具粗破碎的功能，但已能滿足流體化床進料粒徑的要求。新的進料設備在螺旋輸送帶上設有旋轉的槳板，槳板能在垃圾往前輸送的同時進行破碎、撕裂的工作，並能穩定地控制進料量。本廠進料設備的優點：

- (1)不需預留破碎機和輸送帶的空間，可減少佔地面積。
- (2)不需額外支出破碎機上磨損切刀替換的人力或費用，也不需維護保養破碎機的相關設備，節省時間及人力。
- (3)不需分別設立破碎機、輸送機及進料機三組的監視器，可直接設立於垃圾進料處，更利於操控及管理。
- (4)電費的支出相對減少。

3. 運轉成效

- (1) 垃圾處理容量大於設計值、未燃損失小於0.1%
- (2) 飛灰平均 $0.029\text{g}/\text{m}^3$ ，SOx平均 10ppm ，HCl平均 79ppm ，NOx平均 57ppm 。

兩廠之IHI流體化床焚化爐的運作，不論在燃燒技術、廢熱利用、資源回收、污染物控制及廢水處理方面，均有優越的表現，成為日本其他廠學習的典範。有關兩廠的性能測試結果及設計規範整理如表2、3。

表2 性能測試結果

項目	Chiba廠	Shiga廠
未燃損失	0.20~0.27%	<0.1%
灰	$3\sim7\text{mg}/\text{m}^3$	$25\sim32\text{ mg}/\text{m}^3$
NOx	55~76ppm	51~63ppm
HCl	12~22ppm	78~79ppm
SOx	5~6ppm	8~11ppm
能量損耗	22894~24920KWH/day	
飼水量	$238\sim309\text{m}^3/\text{day}$	
處理容量	$80.4+84.5+85.4\text{ TPD}$ @ $1100\sim2200\text{kcal/kg}$	$102.1+102.6\text{TPD}$ @ $1100\sim2200\text{kcal/kg}$
爐床溫度	約 630°C	$600\sim640^\circ\text{C}$
乾舷區溫度	約 800°C	$850\sim900^\circ\text{C}$
燃燒爐出口廢氣溫度	約 780°C	$800\sim850^\circ\text{C}$
鍋爐出口廢氣溫度	約 520°C	
冷卻塔出口溫度	約 300°C	$380\sim410^\circ\text{C}$
靜電集塵器入口溫度	約 220°C	$250\sim350^\circ\text{C}$
煙囪入口溫度	約 200°C	$200\sim230^\circ\text{C}$

表3 設計規範

項目	Chiba廠	Shiga廠
佔地	2400m ² (廠房部份)	10500 m ²
垃圾處理量	210TPD (70TPD×3)	180TPD (90TPD×2)
垃圾熱值	2500kcal/kg	2400 kcal/kg
未燃損失	<1%	<1%
飛灰	<50mg/m ³	<50mg/m ³
SOx	<50ppm	<85ppm
HCl	<80ppm	<100ppm
NOx	<140ppm	<125ppm

2.2 歐美資源回收廠與流體化床焚化爐的結合

由於都市廢棄物的大量增加，物質循環利用及能源的回收成為新潮流的觀念。一般都市廢棄物大約80%的主要成分為紙、塑膠及可燃物，所含熱值約10MJ/kg，換句話說，2~4噸垃圾所含的能量相當於1噸的煤，如此可觀的能源可進行回收轉換為電力、熱能或蒸汽。目前有些進步的國家，例如日本，大概只有18%的廢棄物量進入垃圾掩埋場，40%循環再利用，42%進行能源回收。

以往利用流體化床燃燒發電，都使用煤、燃油等特定燃料，但實際上有些低等燃料例如：廢木材、生物污泥、廢輪胎等，也可利用流體化床焚化技術轉換為有效的能源，不但成本低，且經由燃燒測試的結果，證明對環境的衝擊力小。在瑞典、日本利用流體化床焚化爐來處理廢棄物已有很長一段時間，而且已建立良好的操作技術，故資源回收廠和流體化床焚化技術的結合成為當前可行且具有潛力的經濟方案。

雖然目前世界上大部分的焚化廠都屬於機械式混燒技術，但隨著資源回收工作的推動，空氣污染排放的要求，經濟效益的講究及操作技術的穩定，以流體化床焚化技術為基礎配合資源回收廠的運用將是未來都市廢棄物處理的模式。資源回收與流體化床焚化爐燃燒技術結合的優點可歸納如下：

1.低的建造及操作成本

根據資料調查，在資源回收廠內將廢棄物分成幾個不同的項目，包括鋁、鐵、塑膠，玻璃、紙等，這些可回收的資源大約佔30%，其餘則壓製成衍生燃料(Refuse Derived Fuel，RDF)，作為流體化床焚化爐的進料，由於使用事前分類處理後的垃圾做為燃料，故較機械式混燒爐節省建造及操作成本。

2.無害性灰渣

由於先前回收工作的進行可減少燃燒後飛灰的產生量，一般飛灰量約佔垃圾量的10%，較混燒式所產生的量少。流體化床焚化爐所產生的底灰及飛灰經由美國環保署的毒性鑑定，證明其不具毒性及危害性，故可安心用來製造水泥及道路建築材料。

3.使用回收材料可減少能源需求

根據研究資料，使用回收鋁只需要製造相同新鋁量所使用能源的二十分之一；利用回收鐵製造鋼材亦較新鐵製鋼節省百分之二十三的能源；舊玻璃的回收、再生紙的使用皆有節省能源的貢獻。

4.減少排放量

資源回收除能減低垃圾掩埋場的負荷外，亦能降低空氣污染的排放，實驗證明，燃燒使用再生紙製造的紙品較原木紙將製造者約可減少75%的排放量。利用罐頭回收的鋁代替新金屬材料的使用，可減少95%氮氧化物及二氧化硫的排放。

資源回收廠與流體化床焚化爐結合的應用在歐美有幾個具體的案例，簡介如下：

2.2.1 BCH能源廠

位於美國北卡羅來納州(North Carolina)的BCH廢棄物能源回收廠，是目前世界最現代化的資源回收廠，其包括一資源回收廠(Materials Recovery Facility)及一能源轉換廠(Energy Generation Facility)，主要是處理Bladen、Cumberland、Hoke三地的廢棄物，並盡可能的回收可用物質和產生潔淨價廉的能源。

本廠每年大概需處理245,000噸的垃圾，廠內以每小時55噸的處理速度運作，利用機械與人工搭配的方式回收鐵、鋁、紙、塑膠等可再利用的物質，論及回收效率，除紙、木片及塑膠類經常變動外，其餘物質例如鋁罐回收可達85%，磁性物質回收約佔92%，玻璃及砂粒則達75%，剩餘的部份則作為RDF，送入氣泡式流體化床中燃燒。本廠的設備流程可參考圖1⁽⁴⁾，由於資源回收廠的前期處理，使其對環境有以下的效益：

- 1.掩埋場的需求每年減少180,000噸。
- 2.每年回收再利用45,000噸的廢棄物。
- 3.一噸的衍生型燃料相當於兩大桶的油或半噸的煤，減少燃料使用成本，提供能量轉換的功效。
- 4.與每日燃燒50m³油料以產生蒸汽的結果相較，可減少空氣排放量約達一半。
- 5.各項空氣排放監測值遠低於當地法規標準，其中以NOx改善程度最大。

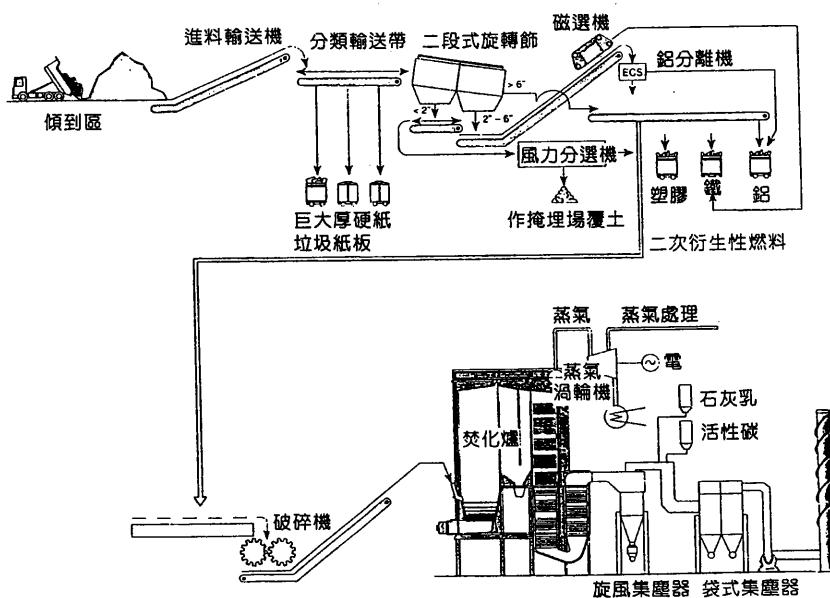


圖1 BCHP廠設備流程圖⁽⁴⁾

2.2.2 Korsta能源共生廠

位於瑞典 Sundsvall 城的 Korsta 能源共生廠，包括一座循環式流體化床鍋爐、三座燃油鍋爐及一座發電鍋爐，另有一資源回收廠，以 RDF 作為循環式流體化床的燃料。本城鎮有四分之一的居民可利用區域熱網，使用 Korsta 共生廠所產生的熱能，本廠平均一年提供 500,000MWh 的能量，其中四分之一的能源來自循環式流體化床鍋爐。

資源回收廠位於 Korsta 共生廠外 30 公里處，每年處理約 35000 噸的都市垃圾廢棄物，此處理系統將垃圾分成三個部份，一是燃料部份：經由磁選機，篩選機及二次破碎流程而製造成 RDF。二是經由篩選剩餘的混合物作為掩埋場覆土，第三部份則包括金屬、橡膠，密度大的塑膠及皮革等物質，經由雜捆後送至掩埋場掩埋。

由於循環式流體化床具有多項的優點，歸納如下，且利用 RDF 作為主要燃料，不但可提供相當大的能源利用，在操作控制上亦獲得令人滿意的結果。本廠的設備流程參考圖 2⁽⁴⁾。

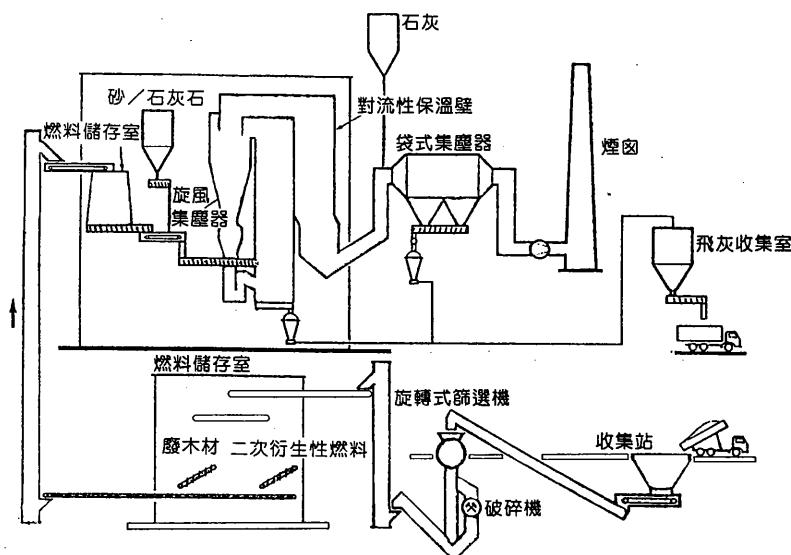


圖2 Korsta廠設備流程圖⁽⁴⁾

- 1.利用燃料、床料、燃燒空氣的混合，達到燃燒狀態的改善。
- 2.任何進料負荷皆可達到高燃燒效率。
- 3.低過量空氣及燃燒溫度，減少NOX的產生。
- 4.藉由床內石灰的加入及下游端袋式集塵器的收集，可減少SO₂及HCl的排放。
- 5.具處理複合燃料的潛力。

2.2.3 Lidk oping加熱廠

本廠原本具有兩座氣泡式流體化床鍋爐及兩座燃油鍋爐，由於掩埋場址的缺乏及燃油價格的昂貴，而有新的開發計畫。新廠的設計是藉由氣泡式流體化床燃燒區域內日漸增多的廢棄物，並從中回收熱能供當地居民使用。選用氣泡式流體化床焚化爐燃燒資源回收後的都市廢棄物，理由有三：

- 1.流體化床燃燒排放能符合環境法規的標準。
- 2.以低成本的方式回收能源。
- 3.減少地方政府財政及廢棄物處理的負擔。

本廠在燃燒之前的進料準備是簡單而富有彈性的，先將巨大的垃圾利用抓斗從貯坑中移除，剩餘的廢棄物輸送至破碎機，再利用磁選機分離出85%的鐵，破碎機的速度約每小時15噸。破碎過後的垃圾最後被存放於600立方公尺的儲存室，等待進入爐內燃燒，廠內設備流程參考圖3⁽⁴⁾。燃料的準備可適當的調整，當進料成分有所改變時，可在燃燒控制條件上作次要調整，修正燃燒的程序。

2.2.4 Duluth廠

本廠原本是座燃油性的污泥處理焚化廠，後因地方政府無法負荷油品價格的調漲及日漸增多的都市廢棄物，故在資金合理的運用下，將其改為流體化床焚化爐，兼顧處理都市廢棄物及廢污泥。本爐的進料是混合都市廢棄物、污泥及RDF而成，在RDF的處理上設計成三階段⁽⁵⁾，第一階段先將垃圾從儲坑輸送至破碎機處，利用800HP的馬力進行粗破碎，使廢棄物的粒徑小於4英吋，第二階段為鐵等磁性物質的移除，第三階段則利用氣流作用分離不同重量的廢棄物，較輕部份的物質直接導入旋風集塵器，剩餘之重質物則進行第二次的破碎，處理完後的兩類物質分別送置貯存槽存放，成為流體化床焚化爐的進料。

污泥部份則先經由真空過濾及化學處理的程序，使含水率降至50%，再進入爐內燃燒。在起爐初，先注入燃油，當溫度達到650°C時，則停止燃油的注入，而改送準備好的燃料，進料的速度適燃燒情況而定，可由輸送機控制RDF的進料量。此系統在初期運作上有幾個缺點，例如：資源回收的工作線上因氣流的偏差而造成輕重物質分離不完全的現象；RDF的進料口有部份物質未在爐床上燃燒，即被直接帶入旋風集塵器內，及燃燒不完全之熔渣等問題，所以在1985年重新改建，目前本廠每天平均處理300噸垃圾，主要垃圾來源為Duluth地區，若有多餘的處理容量，地方政府會協助處理周邊地區的廢棄物。此廠經過長時間RDF燃燒測試，證明其處理污泥及廢棄物的穩定性。

歐美各國對流體化床開發的經驗較早，從早期發電效率的提高，燃料的改良到空氣污染排放的降低，都有相當的研究，而目前最新的建造觀念已趨於資源回收廠與流體化床焚化鍋爐的結合應用，在上述實廠操作中皆獲得良好的成效。

除與資源回收廠結合應用的成功案例外，目前在歐美利用流體化床焚化爐來處理都市廢棄物的實積亦相當多，表4整理了幾個重要處理廠的相關資料。

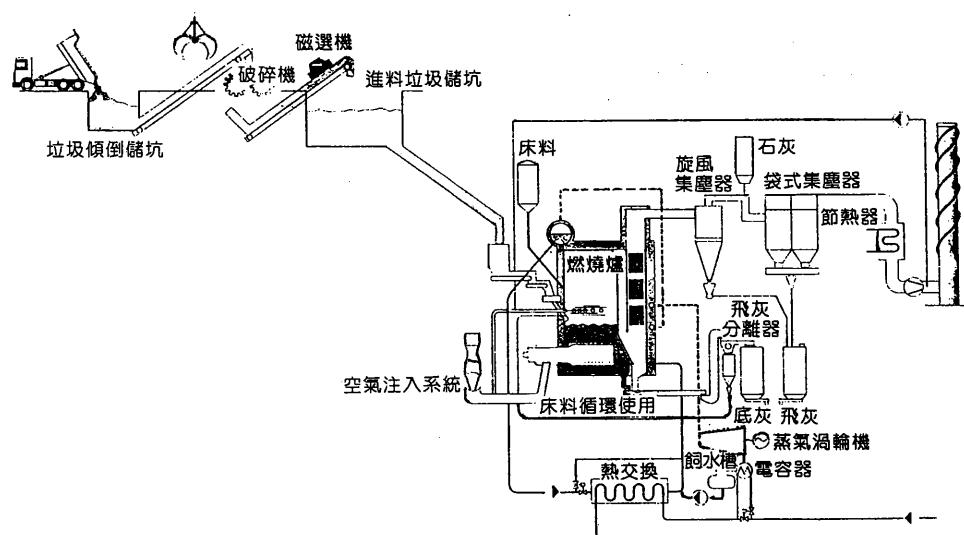


圖3 Lidk oping廠設備流程圖⁽⁴⁾

表4 歐美流體化床焚化爐處理都市廢棄物實積表

氣泡式流體化床						
出廠年份	購買單位	發電量	壓力	污染物控制設備	燃料	處理容量(t/h)
1979	Eksjö Värmeverk Eksjö , Sweden	5MW 18MMBTu/h	1.6Mpa 230Psig	袋式集塵器	都市廢棄物。衍生性燃料、廢木材	2
1983	Västervik Värmeverk, Västervik,Sweden	2×10MW 2×35MMBTu/h	1.6Mpa 230Psig	石灰泥 + 袋式集塵器	都市廢棄物、廢木材、泥煤	8
1983	Bollnäs Värmeverk Bollnäs,Sweden	2×10MW 18MMBTu/h	1.6Mpa 230Psig	石灰泥 + 袋式集塵器	都市廢棄物、廢木材、泥煤	8
1983	Landskrona Värmeverk, Landskrona, Sweden	2×10 MW 2×35 MMBtu/h	1.6Mpa 230Psig	石灰泥 + 袋式集塵器	RDF、廢木材、煤	8
1984	Lidköping Värmeverk, Lidköping,Sweden	2×15MW 2×51MMBTu/h	1.6Mpa 230Psig	石灰泥 + 袋式集塵器	都市廢棄物、廢木材、泥煤	12
1995	BCH Energy, Fayetteville, NC,USA	蒸汽2×40.5t/h 2×89000lbs/h	4.8Mpa 685Psig	石灰泥 + 活性碳 + 袋式集塵器	RDF	24

循環式流體化床						
1984	Sundsvall Energiverk, Sundsvall Sweden	蒸汽30t/h 66000lbs/h	3.2Mpa 465Psig	石灰泥 + 袋式集塵器	RDF、泥煤、廢木材	6
1985	Sand Paper Mill A/S, Sande,Norway	蒸汽40t/h 88000lbs/h	2.2Mpa 320Psig	靜電集塵器	RDF、廢木材、煤、工業廢棄物	10
1985	MLSSD,Duluth, MN	蒸汽17t/h 38000 lbs/h	1.7 Mpa 250 Psig	旋風集塵器	RDF、都市廢棄物、污泥、燃油	8

三、二次污染防治

根據工研院能資所流體化床煙道氣的檢驗分析⁽⁶⁾，發現排出之粒狀物粒徑皆小於10微米⁽⁷⁾，可利用乾式靜電集塵器、袋濾式集塵器、文氏洗滌塔及濕式靜電除塵滌氣器等收集去除，但文氏洗滌塔消耗能量大、操作成本高；袋濾式集塵器有濾袋阻塞增加壓損的困擾；乾式靜電集塵器有粉塵再逸散的問題，濕式靜電除塵滌氣器則耗能小、維修易，為較佳的粒狀污染物控制器，但卻有廢水處理之困擾。焚化物質中如果含有F、Cl及S等元素，經由燃燒將產生HF、

HCl及SO_x等酸性氣狀污染物，此污染物可藉由濕式除酸洗滌塔、半乾式除酸塔及乾式煙道注入法等設備達到去除目的。還有少量的有機物（Dioxin、Furans）及重金屬，雖然濃度不高，卻有極大的傷害性，去除此污染物可提昇焚化燃燒效率或從污染防治設備著手。

3.1 日本流體化床焚化爐專業製造廠家之二次空氣污染預防之方法：

3.1.1 EBARA公司

EBARA之TIF型焚化爐構造參考圖⁴⁽⁸⁾，其燃燒管理特色如下⁽⁹⁾：

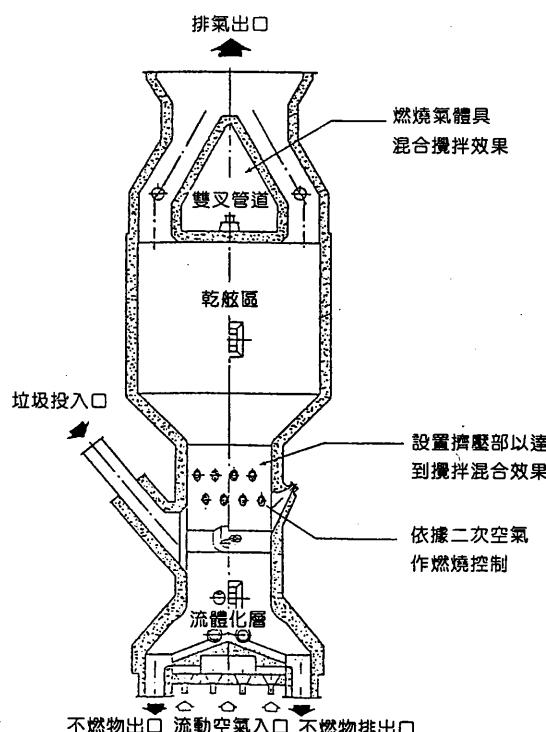


圖4 EBARA之TIF型焚化爐⁽⁸⁾

1. 焚化爐部份

其焚化爐砂層的溫度是600~700°C，二次燃燒室的溫度是800~950°C，溫度保持均勻。進料至焚化爐的垃圾，在砂層中瞬間被加熱後至二次燃燒室

燃燒，燃燒效率高，所需時間較機械式爐由乾燥區到燃燒區較短，且可燃燒完全，使戴奧辛及氯酚、及氯苯等高分子有機物可分解成CO₂或H₂O，達到去除戴奧辛之功能。在起爐、停爐時流體化床可在短時間內完成，而爐內不會有燃燒不完全之物存在，因流體化床焚化爐之垃圾燃燒時間短，故停留在爐內的垃圾量少，但易受到垃圾品質或垃圾進料量變動的影響，因此EBARA公司開發自動燃燒控制(Automatic Combustion Control, ACC)裝置，改善垃圾質或量變動的影響。改良原則如下：

- (1)燃燒溫度的保持。
- (2)停留時間的確保—確保未燃氣在二次燃燒室之停留時間內能令不完全燃燒之碳氫化合物達到完全燃燒。
- (3)燃燒氣與燃燒空氣的混合—採用獨特的浮遊燃燒室。

2.排放氣處理設備

由戴奧辛調查研究中，發現在300°C左右操作的靜電集塵器裏有產生戴奧辛的情形，為去除廢氣處理設備產生戴奧辛，EBARA公司採用下列方法：

- (1)採用乾式、半乾式廢氣處理設備：

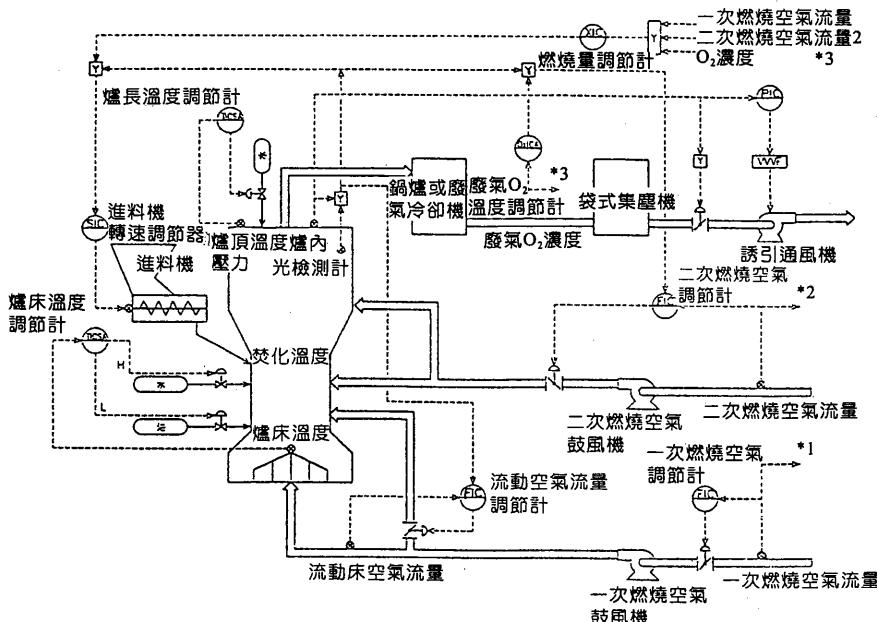
在鍋爐或水冷式冷卻器之後設置消石灰溶液反應塔，將消石灰以粉狀方式噴入反應塔內與廢氣中之酸氣反應，或將消石灰溶液以噴霧方式噴入反應塔內與酸氣反應，其後再設置袋式集塵機。

- (2)採廢氣低溫化：

為防止廢氣於冷卻過程中生成戴奧辛(廢氣溫度約300°C時會再生成Dioxine)，所以在鍋爐後再加一水冷式或氣冷式冷卻器，令廢氣急速通過300°C而降到150~200°C。

3.EBARA自動燃燒控制裝置，參考圖5⁽⁹⁾

流體化床焚化爐對品質改變的垃圾亦能達到處理完全的功效，流體化床焚化爐的燃燒時間只要幾分鐘就結束，非常短促，停留在爐內之垃圾量少，控制的應答性較良好，有時會因燃燒反應非常迅速而造成控制上無法追及的局面，不必如機械爐需依垃圾品質變化發生的燃燒變動來做複雜的控制，廢棄物需停留1~2小時才可完成燃燒。

圖5 EBARA自動燃燒控制系統流程圖樣⁽⁸⁾

傳統上燃燒的控制是以排氣裏氧氣的濃度回溯信號來控制流體化空氣，也就是由增減一次燃燒空氣及供應浮遊燃燒室的二次燃燒空氣的供應量，來完成二段燃燒控制，此種方式可減少垃圾裏含N成份燃燒分解產生NOx，透過降低一次空氣供應量，使其產生NH₃、CH₄、CO等物質之後，再從浮遊燃燒室供應充分的二次燃燒空氣氧化分解這些物質。但此種控制方式係採控制信號是由排氣中的氧氣濃度回饋控制，所以反應較遲緩，往往追不上燃燒的速度，會有一部份的CO未完全燃燒即被排出，EBARA公司在此點作了改進，由檢測爐內的亮度及壓力的變化來控制燃燒。即是從垃圾量、垃圾品質變動所產生的極快燃燒變化迅速檢測回溯信號，達成燃燒速度的控制。若爐內燃燒量的增加，檢測亮度及壓力變化增大，馬上使爐底供應的流體化空氣流入旁道管，並同時供應二次燃燒空氣至浮遊燃燒室使其完全燃燒。當燃燒量減少時則關閉旁道管使運轉回復正常操作。

3.1.2 三井造船公司

三井造船之多段噴入型焚化爐其燃燒管理特色如下：

- 1.以燃燒溫度和氧氣濃度作回饋控制：

溫度和氧氣為達到完全燃燒之兩大要素，由爐出口溫度和集塵機出口氧氣濃度為基準，作垃圾供給量增減之回饋控制，若氧氣濃度低於設定值，則判斷垃圾過量供給，則所定時間內的後續垃圾就被停止供應，防止因不完全燃燒而導致氧氣濃度異常偏低的情況。

2. 垃圾供給量之前饋控制(Feed Forward Control):

當焚化爐發生瞬間超負荷的時候，系統會自動捕捉到爐內靜壓上升的訊息，並反應至垃圾輸送機的垃圾量，而預先執行垃圾供給量的控制迴路，防止不完全燃燒氣體的發生。圖6⁽⁸⁾為控制輸送機速度反比於垃圾量的一種垃圾供給系統，其可利用超音波測定輸送機裙板上的垃圾量（垃圾層高度），當由輸送機上掉落至爐內的垃圾過高時，下一刻即減低輸送速度，維持爐內的燃燒量。在整個控制系統中並不單純由垃圾投入量來控制輸送機的速度，也同時考慮爐內溫度、壓力及排氣中氧氣濃度的感測值。

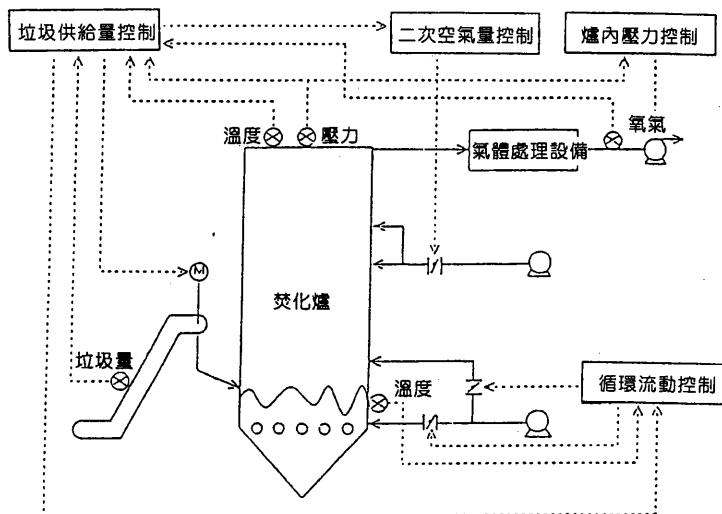


圖6 三井造船之多段噴入型焚化爐控制系統流程圖⁽⁸⁾

3.循環流動：

在爐床上方流體化部份的燃燒速度，可根據爐內垃圾攪拌程度及垃圾表面被擠壓而剝離的狀態來判定，所以當垃圾供給量及發熱量有明顯變動時，未避免引起爐內壓力的變化及CO劇烈產生的情形，可調整送入空氣的循環流動，改善攪拌程度及垃圾剝離的情形，以增快或降低燃燒速度。

4.多段空氣的吹入方式：

二次空氣以空氣簾幕狀，分多段方式高速導入二次燃燒室與氣體充分混合，以防止未燃氣體散逸。空氣量之控制採用段數控制，吹入爐內之空氣可控制為一定之流速。

5.調量機的採用：

採陡傾斜裙板的定量輸送機，垃圾可一定計量投入焚化爐。

有關本廠之準連續燃燒式焚化爐抑制戴奧辛類發生的燃燒管理技術方法整理如表5⁽⁸⁾。

表5 三井造船之多段噴入型焚化爐戴奧辛抑制技術⁽⁸⁾

準連續爐操作準則		控制對策
燃燒溫度	>800°C	• 依據回饋信號控制垃圾供給量
氧氣濃度	>6%	
氣體滯留時間	>1秒	• 爐容積的擴大 • 煙道的有效利用
CO濃度	<100ppm	• 供給量的前饋控制 • 依據循環流動，使燃燒平穩化 • 促進二次空氣的混合

3.1.3 IHI公司

IHI之鼻狀突出型焚化爐構造參考圖7⁽¹⁰⁾，其燃燒管理特色如下：

- 1.為促進未燃氣體與燃燒空氣的混合攪拌效果，在二次燃燒室設置擠壓部，將二次燃燒空氣分六段在最適當位置吹入燃燒室。

2. 為了迅速控制燃燒空氣量，採用放射溫度計和爐內壓變化控制的組合運用，並附帶採用應答性良好的氣壓缸驅動形風門。
3. 又為防止氣體在冷卻過程中生成戴奧辛，將鍋爐出口的排氣(約300°C)急速降溫到160~180°C左右。再由高集塵效率的袋式集塵機來集塵，不但有效去除戴奧辛並同時攔截重金屬。現有每日可處理120噸垃圾實廠共3座。

IHI公司在Chiba及Shiga府縣各有一座實廠，運轉相當成功，介紹如下：

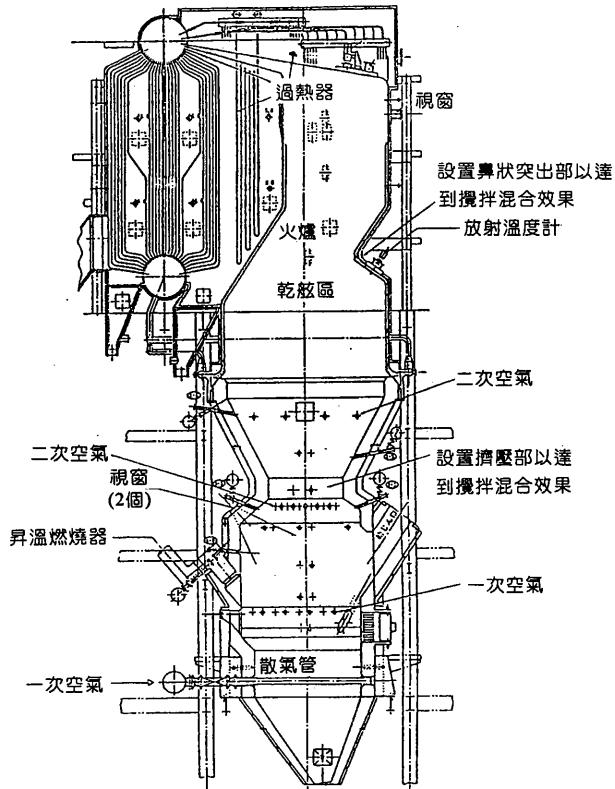


圖7 IHI之鼻狀突出型焚化爐⁽¹⁰⁾

3.1.4 神戶製鋼 (Kobe Steel) 公司

神戶製鋼之擠壓型焚化爐構造參考圖8⁽¹¹⁾。在傳統的流體化床燃燒空氣的供給方式為定量的供入爐床底部的流體化空氣，而乾舷區二次空氣量的供給則由排氣中氧的濃度回饋信號來控制，此種方式對於在瞬間投入多量的高熱量垃圾時，會引起砂層部垃圾急激的氣化，在來不及補充必要的二次空氣量時，未完全燃燒之廢氣就被排出爐外，為改善此種缺失。其燃燒管理策略如下：

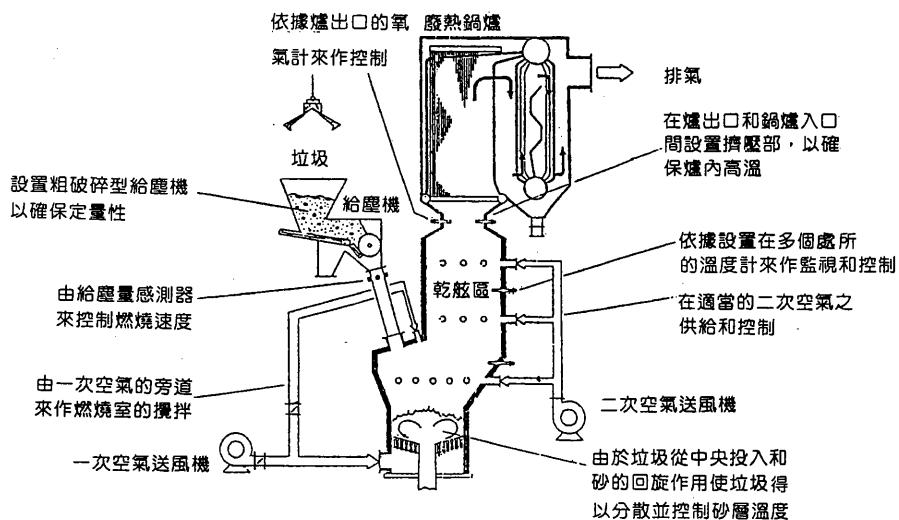


圖8 神戶製鋼之擠壓型焚化爐⁽¹¹⁾

1.依給塵量的傳感器進行前饋控制:

為了改善應答的遲緩，在垃圾投入的斜槽部裝置給塵量的傳感器，當在爐前檢測出垃圾量過負荷時，則於爐內開始燃燒前，控制流體化用空氣量，二次空氣量及給塵裝置的迴轉機迴轉數，如此可以減輕爐內負荷及確保完全燃燒。

2.燃燒速度控制:

本廠控制系統的特色是在一般情況下，將空塔速度控制在熱傳達率最高處運轉，當檢測出過負荷時，即會減少流體化空氣量，使空塔速度降低，以

影響砂層內的熱傳達率，防止急激的氣化現象，並進一步於乾舷區內增加二次空氣量來幫助燃燒。

四、中鋼流體化床焚化爐

流體化床焚化爐在事業廢棄物的焚化應用上，是近幾年來所發展的新技術，其處理對象主要是污泥及切碎的固體廢棄物，由於其可提供較高的熱傳效率、較穩定的燃燒狀態，且可加入石灰質或碳酸鹽直接中和酸性氣體，故已成為事業單位處理自產廢棄物的一種可行方案。目前國內相關的流體化床燃燒爐並不多，主要的應用案例整理如表6。其中較具規模且最新完工的中鋼公司是選用氣泡式流體化床焚化爐來處理自產之廢棄物，並於民國83年12月起開始試車，而於民國84年3月順利完成最後測試。有關此焚化爐之工程建設及實際績效參考下節。

表6 國內流體化床燃燒爐

設備使用廠商		最大設施規模	完成日期	建造數目	鍋爐發電設施	備註
1	中台化工		1978	2	—	處理苛性鹼廢液
2	永豐餘造紙公司		1985		附鍋爐	
3	工研院能資所		1986	2	附鍋爐	實驗廠
4	中原大學化工系				—	實驗廠
5	中國石油公司(林園廠)	10噸/日×2	1992.7.9	2	—	
6	中油高雄煉油總廠(後勁)	26.5噸/日	1993.12.13	2	—	專燒污泥
7	中國石油公司(大林埔廠)	30噸/日	1995.1.5	1	—	
8	中國鋼鐵公司	100噸/日	1995.3.31	1	—	

4.1 工程規劃

在整個工程規劃上，中鋼公司考量的重點包括：

1. 廠內廢棄物的種類、成分及處理量：

由於處理對象的性質影響焚化爐的規劃，例如巨大垃圾必須配有破碎之前處理，水分過高之物質必須審慎控制輸入空氣的條件（可選擇採用冷風箱控制系統），含氯、硫高之物質需考量二次污染物控制設備的組合。

2. 廢棄物搬運方式及車輛動線規劃：可節省佔地面積，減少空間浪費，提高輸送效率。

3. 廢棄物的處理流程：安排適當的進料處理、灰份輸送及空氣污染控制設備。

4. 預算編列：經費使用的控制及工程進度的掌握。

5. 環境影響評估：與周邊居民達成協議，確保焚化爐的建立不會對環境造成過大衝擊。

在土木工程方面，主要的工作有打樁開挖，廢棄物儲坑、場房的建立，控制室、機房的設置，基礎設備的結構安排，及馬路、排水、周邊景觀等設計。

在機械方面，所需購置的項目包括：

- 前處理設備：剪切機、絞碎機、天車、傾倒門、廢油區、進料設備
- 焚化爐及周邊設備：砂進料設備、一次、二次送風機、輔助燃料設備、空氣預熱器等
- 廢氣處理設備：半乾式除酸塔、袋式集塵器、石灰乳漿供應設備、誘引抽風機等
- 灰渣輸送設備：牌渣機、振動篩分機、爐渣輸送機、磁選機、飛灰輸送機、飛灰儲槽、飛灰加濕機等
- 氣冷塔
- 公共設施

4.2 設計準則

有關焚化爐底部的砂床材料，中鋼所採用的成分及比例參考表7，此砂床的粒徑分佈大約介於1.2mm~0.3mm間，其中以0.8mm及0.6mm的砂粒為主。整個砂床的真實比重為2.6，容積比重為1.5，所以在砂粒間保留相當大的空間，避免砂床堆積過密，砂硬度（mode hardness）為7到8之間。中鋼在焚化爐處理設計上的準則，是以自產廢棄物的特性作為考量，每小時約可處理4000公斤，熱值約1900kcal/kg，含水量達55%以上的垃圾，其他設計基準參考表8。

表7 砂床成分

成 分	比 例 (%)
SiO ₂	21.6
CaO	9.69
Fe ₂ O ₃	28.43
ZnO	25.42
K ₂ O	0.42
Na ₂ O	0.27

表8 中鋼流體化床垃圾焚化爐設計基準表

處理容量 (kg/hr)	4,167
含水量(%,wet)	57.55
飛灰(%,wet)	10.34
氧(%,wet)	8.06
碳(%,wet)	20.17
硫(%,wet)	0.21
氯(%,wet)	0.07
低位發熱量 (kcal/kg,wet)	1,931
氫(%,wet)	3.21
氮(%,wet)	0.39

在相關處理設施上，每日必須有廢水及冷卻水的消耗，爐床內砂粒的補充，及中和酸性氣體之石灰石的注入，有關中鋼流體化床垃圾焚化爐各項使用量的設計列於表9。根據目前操作結果之比較，爐內砂粒流失的情況不多，甚至有增多的跡象，同時有節省輔助蒸汽以及天然氣用量的效益。

4.3 處理流程

中鋼公司規劃的處理流程可參考圖9⁽¹²⁾，並簡述如下：首先所有進入本廠內運卸廢棄物之車輛均需刷卡過磅，電腦會直接記錄廢棄物的種類及重量等資料，並藉由柵欄自動啓閉及語音系統，引導車輛至正確的傾卸門。傾卸口有四

個，分生化及工業污泥、冷軋廢水污泥、一般垃圾及粗大垃圾四類，其中如輪胎、木箱等大型物需先剪切至一定尺寸後才可卸入一般垃圾貯坑。廠內類廢棄物的重量比例約污泥類占62%、廢油廢臘占24%、一般垃圾占10%、大型垃圾占4%。所有儲坑中的垃圾利用抓斗式天車執行攪拌與進料的工作，中鋼的天車是自行設計製造，有關垃圾之抓取、投入等動作皆能全自動操作，夜間亦可採無人操作模式。在垃圾儲坑中的廢棄物均先經過絞碎處理，用以控制投入爐內垃圾的尺寸，確保爐內流體化品質。

表9 中鋼流體化床垃圾焚化爐各項消耗表

成 分	設計值	實際值
發電量 (kw-hr/d)	16732.6	12464
處理水 (m ³ /d)	233.58	260
冷卻循環水 (m ³ /d)	16.2	1.6
石灰石 (kg/d)	2172	
砂 (kg/d)	900	
輔助蒸汽 (kg/d)	4800	2970
注入空氣量 (Nm ³ /d)	5167	6961.8
天然氣 (Nm ³ /6d)		10689

進爐前的垃圾供料機主要功能是在維持爐體氣密條件下順暢連續的進料，中鋼採用之供料機為雙軸螺旋式輸送機，螺旋以2~10RPM低速運轉，轉速由自動燃燒系統控制。生化及工業污泥因含水量較高，可直接壓入爐內，廢油脂、廢油泥、廢機油等則需經蒸汽加熱互溶後，再送進入爐內燃燒。

燃燒產生之高溫廢氣經氣冷塔冷卻及空氣預熱系統回收熱能後，溫度降至約300°C，利用誘引抽風機抽入半乾式除酸塔，與噴入塔內之氫氧化鈣溶液之霧狀液滴充分混合，並控制塔內氣體的溫度及濕度在最佳狀態下，使氣體在通過反應塔的過程中，其酸氣成分與氫氧化鈣鹼性物產生中和(脫酸)作用，形成大顆粒之乾燥氯化鈣、亞硫酸鈣及硫酸鈣等固體狀鹽類，落入塔底，經排灰設備排出，其餘較細微之粉塵、硫酸鈣、氯化鈣則隨氣流進入袋式集塵器，經濾袋捕集後，亦由排灰設備排出，而淨化後之氣體則經誘引抽風機，成份自動監測分析後由煙囪排入大氣。

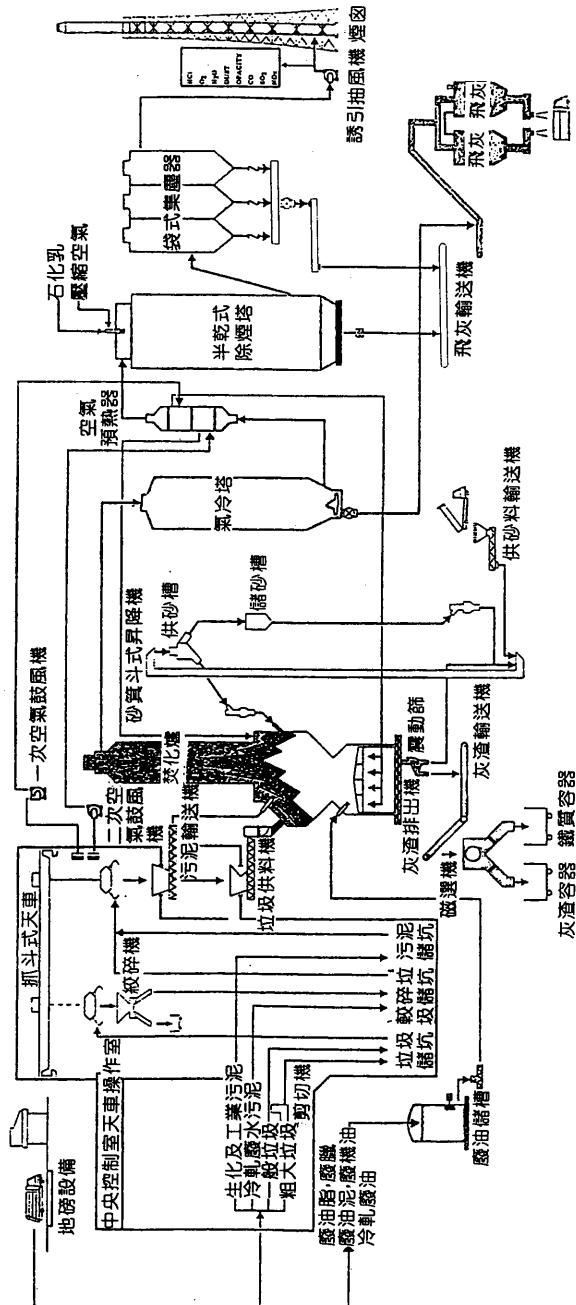


圖9 中鋼IWIS系統設備流程圖⁽¹²⁾

4.4 控制系統

中鋼公司採用分散式控制系統，操作人員透過四台彩色終端機，輔以馬賽課流程盤及十部彩色攝影機來掌控全場。由於大部分之操作均透過觸摸式之圖形人機界面，且將自動化之天車控制室及地磅操作室與主流控制室合併為一處，使得運轉人力得以降低。針對熱值起伏大之各類污泥、廢油、廢輪胎及一般廢棄物，除設計傳統之氧氣含量回饋控制外，特別採用高靈敏之爐內亮度、壓力偵測器，再配合污泥(低熱值、高含水量)與廢油(高熱值)混燒比率的自動調整，使得以添加輔助燃料來升溫與使用噴水來降溫的頻率減少，並且大幅降低運轉的費用。本系統主要控制項目涵蓋：

1. 安全連鎖控制
2. 馬達驅動控制
3. 廢棄物燃燒量控制
4. 廢棄物燃燒效率控制
5. 脫酸除塵控制
6. 煙囪排放監控
7. 閉路電視系統
8. 自動化天車
9. 自動化地磅

在針對垃圾燃燒的控制上，則採用下列三種方式：

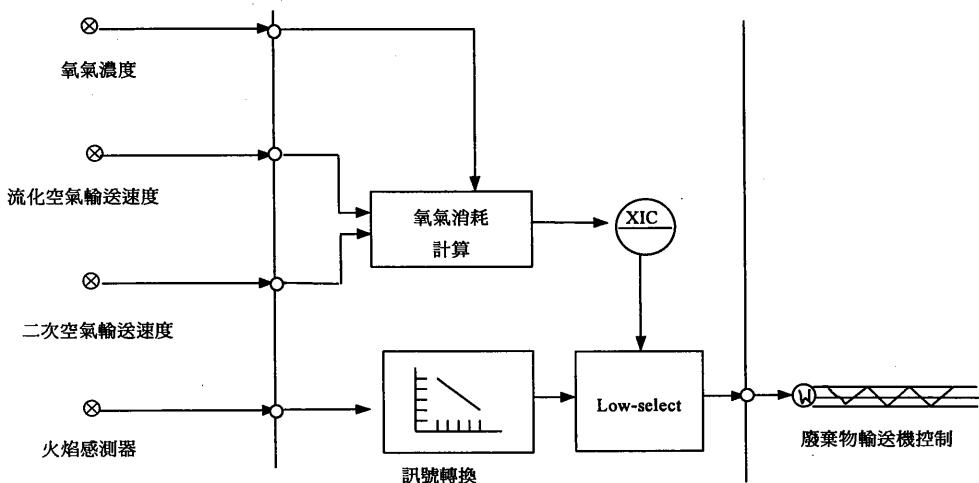
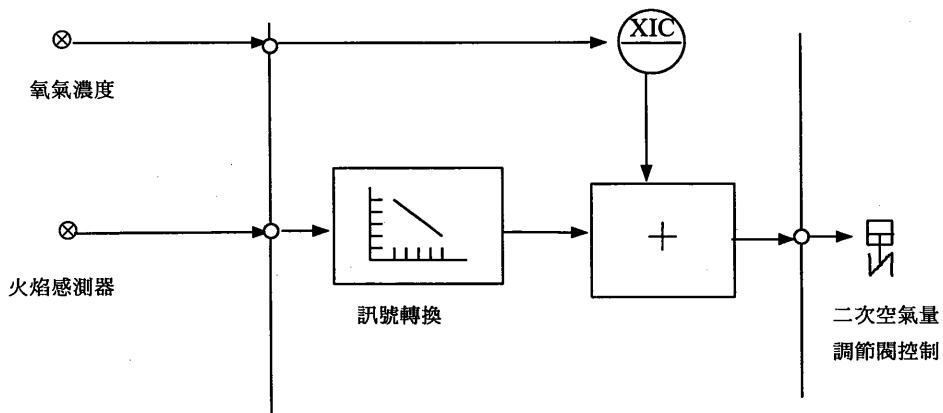
1. 廢棄物輸送速度控制（參考圖10⁽¹²⁾）：

進入爐內燃燒之垃圾量與所需之空氣量相互配合，當垃圾投入量太多，會造成氧氣不足；反之投入量太少，會導致爐溫下降。利用氧氣濃度及火焰感應訊號來反應燃燒狀態，當燃燒太烈時，可調整廢棄物輸送機或廢油馬達及污泥進料馬達的運轉速度。垃圾中若生化污泥及工業污泥含量過高時，亦造成爐溫下滑，因其熱值太低，且含水量高達80%-85%，所以在進料時考慮各垃圾成分的比例。

2. 燃燒速度控制（參考圖11⁽¹²⁾）：

燃燒速度控制的控制可由兩方面著手，一是砂的溫度；另一是砂和廢棄物的混合程度(即流體化的程度)，改變前者較為困難，因砂溫變化反應慢，

但後者較易利用輸入空氣量來改變流體化程度。當爐內壓及火焰感應信號增加時，打開流體化空氣調節閥(Bypass Damper)，使輸入空氣量減少，燃燒速度降低，同時會有較多空氣進入上方乾舷區，彌補因前期燃燒太旺，造成氧氣欠缺而燃燒不完全的缺失。在流體化空氣調節閥的使用上亦有兩點限制：流化床溫度不能太低及流化空氣流量不能太小。

圖10 廢棄物進料控制⁽¹²⁾圖11 二次空氣量控制⁽¹²⁾

3. 二次空氣流量控制 (參考圖 12⁽¹²⁾) :

空氣量的多寡對燃燒狀況的影響遠甚於投入垃圾量的控制，系統中是利用二次空氣量調節閥來控制空氣加熱器出口處煙道氣中含氧量為一定值，因為氧氣含量太低，表示燃燒不完全，煙道氣中未燃燒的物質會太多，但是單純以氧氣濃度訊號作為控制，會有時間遲滯的問題，需加上火焰感測信號，因為火焰強度弱時，空氣量太多，反而會使爐內溫度急遽冷卻，亦會使燃燒效率降低。二次空氣風扇備有回流閥，防止湧波(Surge)發生。

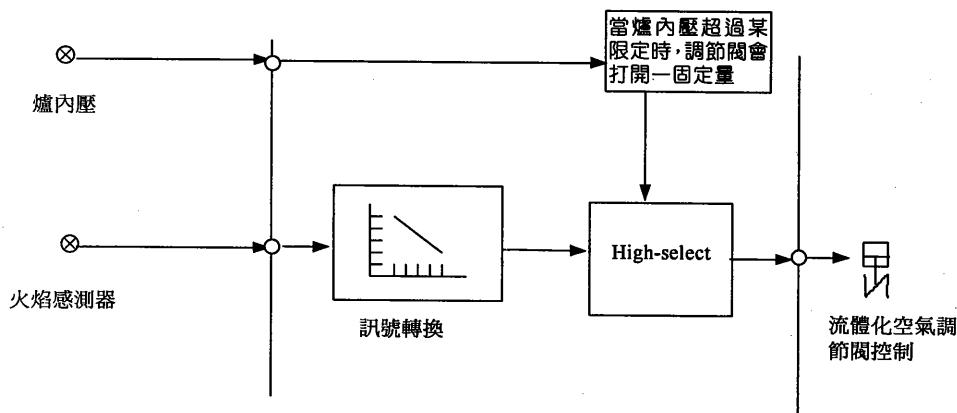


圖12 燃燒速度控制⁽¹²⁾

4.5 應用成效

中鋼垃圾的詳細容量、發熱量、含水率及產生的飛灰量，參考表10，相關之化學成分分析如表11。經由中鋼IWI焚化爐燃燒後，各項污染物之排放值皆達到環保標準，參考表12。由此證明採用流體化床焚化爐混燒一般垃圾與污泥的成效極佳，可應用於事業廢棄物的處理。

五、結論

由於流體化床焚化爐不斷的創新改良，在燃燒效率、控制技術上均有超越傳統的焚化爐之趨勢，綜合而言，其具有優點可列出如下：

表10 廢棄物的組成與容量

項 目	容量 (T/Month)	低位發熱量 (Kcal/kg)	含水量 (%)	飛灰 (%)
1 生化污泥	625	155	84.49	10.03
2 工業污泥	375	243	80.14	13.83
3 廢油污泥	30	5939	5.78	26.49
4 廢油脂	5	9695	0.78	0
5 廢蠟	1	690	90.8	0
6 冷卻研磨機之廢油	700	4794	28.6	0
7 廢機械油	43	10311	0.28	0
8 區內廢棄物	300	3019	7.63	22
9 廢板箱	100	3951	3.77	0.65
10 Waste Tyre	5	3114	19.24	17.97
11 廢塑膠	25	2714	30.37	24.33
12 冷卻研磨機之廢水污泥	900	450	80	13.9
平均	103.6	1931.1	57.55	10.34

表11 中鋼公司垃圾化學成分分析

項 目	C	H	O	N	S	Cl
1 生化污泥	2.46	0.29	1.58	0.57	0.15	0.03
2 工業污泥	4.49	0.16	0.7	0.23	0.33	0.07
3 廢油污泥	50.54	7.94	8.31	0.43	0.48	0.03
4 廢油脂	77.55	12.58	7.94	0.63	0.52	0
5 廢蠟	6.11	0.98	1.85	0.1	0.16	0
6 冷卻研磨機之廢油	48.78	8.23	13.47	0.54	0.29	0.09
7 廢機械油	84.6	13.27	0.68	0.8	0.35	0.02
8 區內廢棄物	34.86	4.96	30.07	0.38	0.06	0.04
9 廢板箱	44.49	6.51	44.03	0.36	0.04	0.15
10 Waste Tyre	49.1	5.79	6.15	0.82	0.39	0.97
11 廢塑膠	33.46	6.36	4.34	0.46	0.09	0.57
12 冷卻研磨機之廢水污泥	4.25	0.88	0.5	0.2	0.2	0.07

表12 中鋼IWI廠設計排放值與測量值比較

項目	設計排放值 (as 10% O ₂)	EPA 標準 (as 10% O ₂)	測量值 (as 10% O ₂)	測定方式
Dust	< 73 mg/Nm ³	80 mg/Nm ³	4 mg/Nm ³	
SOx	< 147 ppm	150 ppm	7 ppm	自動測定儀法
NOx	< 176 ppm	180 ppm	129 ppm	自動測定儀法
CO	< 110 ppm	120 ppm	2.6 ppm	紅外線自動儀法
HCl	< 37 ppm	40 ppm	7 ppm	
Pb	< 0.88 mg/Nm ³	< 2 mg/Nm ³	檢測不到	原子光譜吸收法
Hg	< 0.18 mg/Nm ³	< 0.3 mg/Nm ³	檢測不到	原子光譜吸收法
Cd	< 0.18 mg/Nm ³	< 0.3 mg/Nm ³	檢測不到	原子光譜吸收法
不透光率	< 10%	10%	5%	目測判煙

- 1.高燃燒效率，可於較低溫下(約850°C)燃燒，避免熱氮氧化物的生成。
- 2.可直接將脫硫劑加入爐內，使焚化與脫硫於爐內一併解決，降低 SOx 之釋放。
- 3.操作溫度低，滯留時間長及接觸面積大，故可完全燃燒，抑制一氧化碳產生。
- 4.焚燒塑膠不易產生局部異常高溫而使垃圾發生結塊情形
- 5.焚化後不燃物量小，可減少掩埋場負荷。
- 6.熱傳導性高，故爐內不需太大的爐床，可減少爐體佔地面積。
- 7.具操控彈性，可造就爐內極佳反應環境，適於焚化性質複雜多變之垃圾。

由中外應用成功的例子，可以看到流體化床焚化廢棄物不但可達到減量的目地，減少掩埋場的負荷，對於焚化後二次污染的控制亦有極佳的成效，對於高熱值或難解垃圾之焚化亦可輕鬆應付，並可回收廢熱加以利用，解決部份能源問題，故流體化床未來可能成為未來應用於處理都市垃圾之一種可行方案。

參考文獻

- 1.EBARA, "Shinden Refuse Incineration Center, Nigata City"型錄。
- 2.Masafumi Mimura, "180t/d Fluidized-Bed Type Municipal Refuse Incinerator Plant for Otsu City in Shiga Prefecture", IHI Engineering Review, Vol. 22 No. 2 April, 1989。
- 3.Masayuki Izumi, "210t/d Fluidized-Bed Type Municipal Refuse Incinerator Plant for Kisarazu City in Chiba Prefecture", IHI Engineering Review, Vol. 22 No. 1 January, 1989。
- 4.KVAERNER, "Kvaerner EnviroPower,Inc"型錄。
- 5.Robert H. Brickner, "Solid Waste Experience with Municipal Fluidized Bed Combustion Systems", 5th National Fluidized Bed Combustion Conference, Washington, D.C. ,1987。
- 6.「流體化床污泥焚化爐設計手冊」，工研院能資所。
- 7.ABB, "Cleaning Flue Gases in Energy-From-Waste Plants"型錄。
- 8.石川禎昭，「流體化床垃圾焚化爐設計的實務」，工業出版社，東京，1994。
- 9.荏原製作所，「荏原旋回流型流動床焚化設施說明資料」。
- 10.IHI, "Fluidized-Bed Refuse Incineration PLANT"型錄。
- 11.神戶製鋼，「流體化床式都市垃圾焚化爐燃燒控制技術」。
- 12.中鋼公司，「事業廢棄物資源回收場」型錄。