

旋轉窯焚化爐的控制策略

張 國 堃 *

摘 要

旋轉窯焚化爐 (rotary kiln incinerator) 是目前用途最廣的事業廢棄物焚化設備，因為它能夠處理固體廢棄物、液體廢棄物和污泥；而且設計上的靈活性很大，能適合各種用途。

觀察旋轉窯焚化爐系統，可將它視為一中、小型化工廠；因為焚化爐系統的製程 (process) 牽涉到多種化學反應，例如燃燒、酸鹼中和等。而且旋轉窯焚化爐的控制對象，不外乎溫度、壓力、液位、流量和燃燒效率等，和一般化工廠幾乎相同。

所以在設計旋轉窯焚化爐的控制策略 (control strategy) 時，可以應用化工程序控制 (process control) 的原理，如PID控制 (proportional - integral - derivative control)、回饋控制 (feedback control) 等。事實上，旋轉窯焚化爐的控制策略就是根據程序控制的架構發展而成的。

一、前 言

廢棄物焚化系統可區分為四個主要部分：1. 廢棄物備料和進料系統。2. 燃燒室。3. 空氣污染防治設備。4. 除灰系統。根據被焚化廢棄物的特性和製程上的需要，焚化系統的主要部份各有數種設計或設備可供選擇。例如進料系統就有漏斗式 (hopper) 進料、推桿式 (ram) 進料、螺旋式進料 (screw feeder, for sludge)、液體噴注式 (liquid injection) 進料等；燃燒室也有旋轉窯式 (rotary kiln)、固定床式 (fixed hearth)，流體化床式 (fluidized bed) 等多種。至於空氣污染防治設備 (air pollution control devices) 更是種類繁多，常見的有文氏洗滌器 (Venturi Scrubber)、填充塔 (packed tower)、靜電集塵器 (electrostatic precipitator)、袋式集塵器 (bag house)，噴射式洗滌器 (ejector scrubber)，及旋風集塵器 (cyclone) 等。

由前述所列舉的各項單元，能組合成多種焚化系統，以因應不同的廢棄物、處理成本或環保要求，這類型的焚化系統於是統稱為模組式焚化爐系統 (modular incineration system)。

*工研院能資所能源環境組廢棄物能源室副研究員

在眾多焚化爐系統中，旋轉窯焚化爐是用途最廣的一種，因為它具有下列優點：

1. 可處理固態廢棄物、液態廢棄物、污泥，和桶裝廢棄物。
2. 可同時處理固態和液態廢棄物(熱值高的液態廢棄物可當輔助燃料)。
3. 可連續除灰。
4. 可控制廢棄物在爐內滯留時間。

這些優點使得旋轉窯焚化爐成為最適於商業化集中處理的焚化系統，在世界各地工業發達的國家中，已經建立很多商業運轉的旋轉窯焚化爐。圖 1 所示即為一典型旋轉窯焚化爐系統。

- (1)廢料物貯槽和進料系統 (2)旋轉窯 (3)二次爐
(4)緊急排放煙囪 (5)廢熱回收鍋爐 (6)靜電集塵器
(7)急冷器 (8)填充塔 (9)抽引風機 (10)煙囪

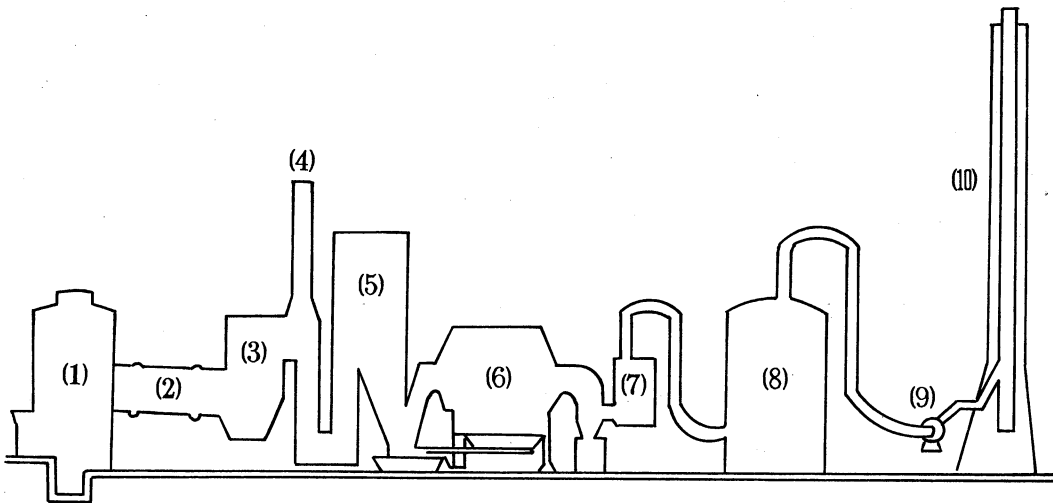


圖 1 典型旋轉窯焚化爐系統

比較旋轉窯焚化爐和一般化學工廠，發現焚化爐系統的各项設備即是單元操作，而焚化程序中也包括各種化學反應，如燃燒、酸鹼中和等；所以焚化爐系統也就如同一座化工廠。

在化工廠中常見的控制對象，如溫度、壓力、液位、流量和燃燒效率等，在旋轉窯焚化爐中也是主要控制對象。所以在探討旋轉窯焚化爐的控制策略(Control Strategy)時，可以應用化工程序控制(process control)的原理；事實上，該控制策略就是根據程序控制的架構發展而成的。

二、旋轉窯焚化爐各單元的控制策略

2.1 進料系統

進料系統因應不同的廢棄物具有多種設計，如桶裝廢棄物以推桿進料器進料，污泥以螺旋進料器進料。所以進料系統主要是控制進料設備的機械動作，其目的是令廢棄物定時進入旋轉窯，以順序性(sequential)控制便能達到此要求。

如果焚化系統發生意外狀況，如爐溫過高、爐體正壓等，必須停止進料，也就是進料控制必須和爐溫、爐壓控制迴路連鎖控制(interlock)。

2.2 燃燒控制

圖 2 顯示一種基本的燃燒器(burner)組合；其中油量大小是由油／氣比例閥(oil/air ratio control)所控制，而比例閥又是透過從燃燒空氣管導入之氣壓來動作。只要在燃燒空氣管上裝個風門(damper)，以它來控制燃燒空氣量，進而控制油量，便能輕易的調節燃燒器火焰大小。所以控制爐溫的方法為在燃燒室上安裝熱電偶(thermocouple)，以此溫度信號當做控制風門的依據。

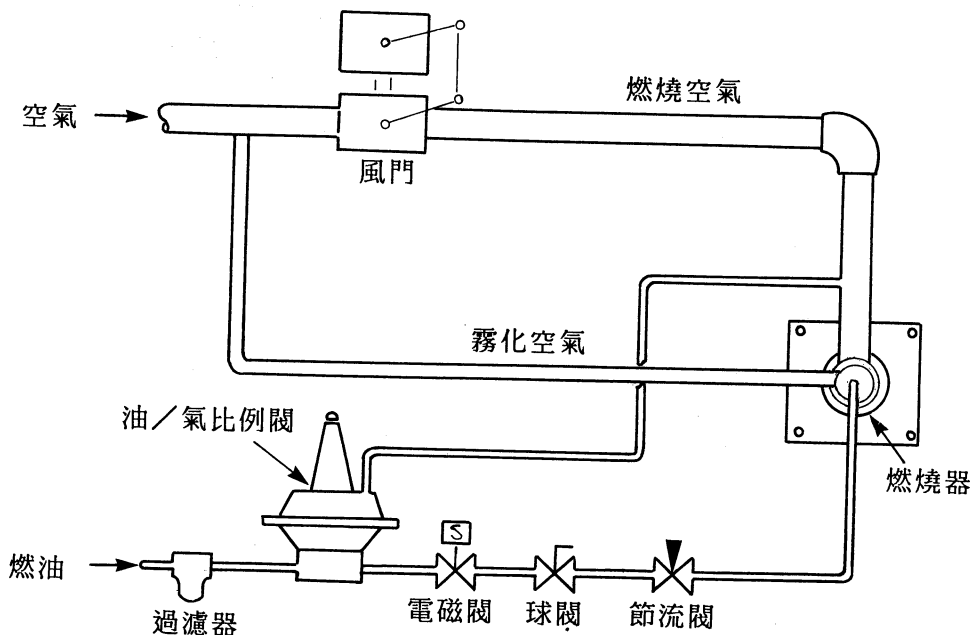


圖 2 燃燒器組合

不管是旋轉窯或二次爐(second combustion chamber)，通常都維持“過氧燃燒”，才能得到良好的燃燒效率。一般而言，由於旋轉窯爐體接縫很多，大量外界空氣會被吸入，所以不考慮過量空氣(excess air)的不足。但是二次爐多半無縫隙，需要一個鼓風機(blower)來打入過量空氣，而風量的大小可由風管上的風門控制。因此旋轉窯和二次爐皆需連接氣體分析儀，以分析煙道氣(flue gas)的殘氧量、一氧化碳含量和碳氫化合物含量。其中殘氧量為控制過量空氣風門的依據，而一氧化碳和碳氫化合物分析儀多半連接於二次爐煙道出口，以監測燃燒的完全與否。

旋轉窯和二次爐皆須安裝壓力計 (pressure sensor)，以測知爐內壓力。由於旋轉窯是距離抽引風機 (induced draft fan) 最遠的一項設備，只要它保持負壓，便可以認定整個焚化系統處於負壓的操作狀態。但是負壓會隨著爐內溫度上升而趨向正壓，所以抽引風機的轉速也要跟著加大，以維持旋轉窯的負壓。根據這種現象，抽引風機的轉速可利用旋轉窯的負壓值來控制，而負壓值在做為控制輸入前，還需經過數學處理，因為這個值往往是快速變化的。

圖 3 顯示燃燒室的基本控制迴路，此圖已將燃燒控制簡化。如果要讓爐溫 and 燃燒狀況能夠儘量自動化，則需要複雜的控制策略才能達成。

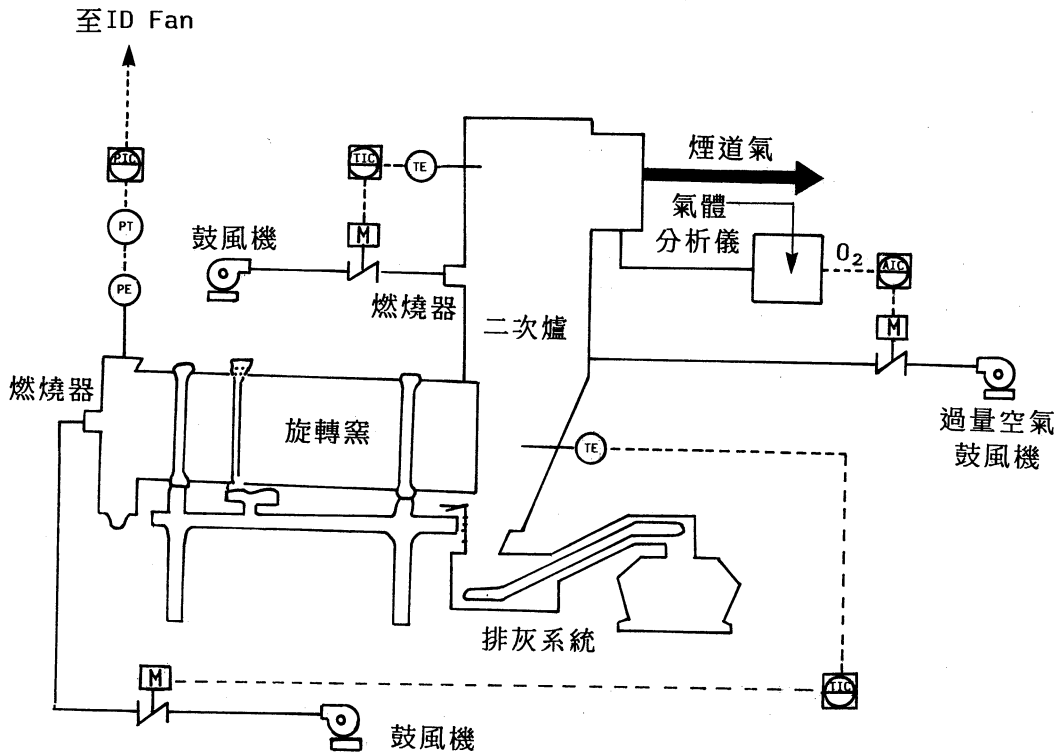


圖 3 燃燒室控制示意圖

2.3 廢熱回收鍋爐

廢熱回收鍋爐的控制重點在汽鼓(steam drum)液位的控制，如圖 4 所示。

汽鼓液位是由液位傳送器(level transmitter)偵測並傳送信號。值得注意的是，液位傳送器偵測到的液面往往較實際的液位為低，這就是所謂的“假液面”。

如果僅以“假液面”來做鍋爐給水的回饋控制(feedback control)，免不了會產生蒸汽流量(steam flow)和給水流量(feedwater flow)的不平衡。所以較佳的控制方法，應該加上蒸汽流量的因素，以蒸汽流量為“前饋信號”(feedforward signal)來預測進水流量。

這種前饋加上回饋的控制迴路，也可以稱為“二元控制”(two-element control)，以這種控制策略來控制汽鼓液位能得到很好的效果。

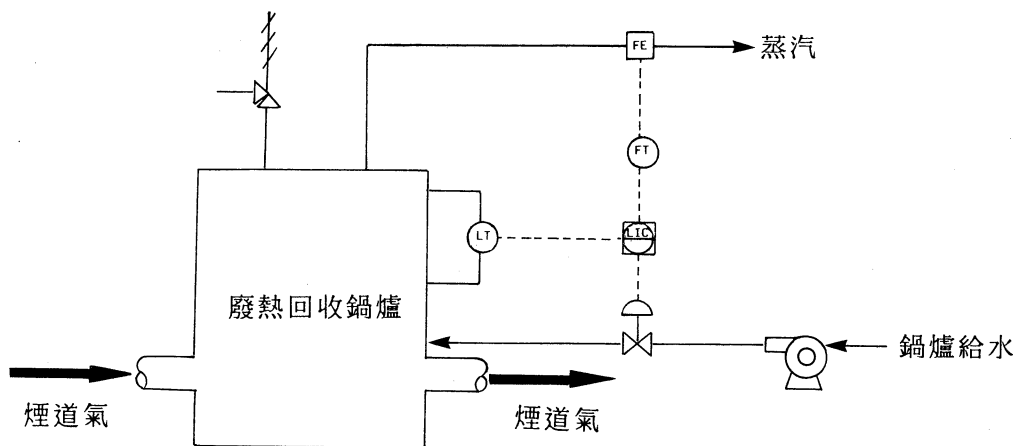


圖 4 廢熱回收鍋爐控制示意圖

2.4 靜電集塵器

靜電集塵器的外型如圖 5 所示。它的原理是在集塵板(collecting plate)和放電極線(discharge wire)間加上高電壓，造成一強力電場，並使極線釋放電暈電流(corona current)。當煙道氣通過極板和極線之間時，其塵粒將因電暈電流而帶電；帶電的塵粒在電場作用下移向集塵板，最後附著於集塵板上。圖 6 即解釋此種現象。

當極板和極線的電壓差達到某種程度時，極板與極線間會產生火花(spark)；這個造成火花的電壓並非一定，它會隨著通過的介質(煙道氣)而改變。

靜電集塵器的操作要點在於維持極板和極線間的“臨界電位差”，即儘量維持高電

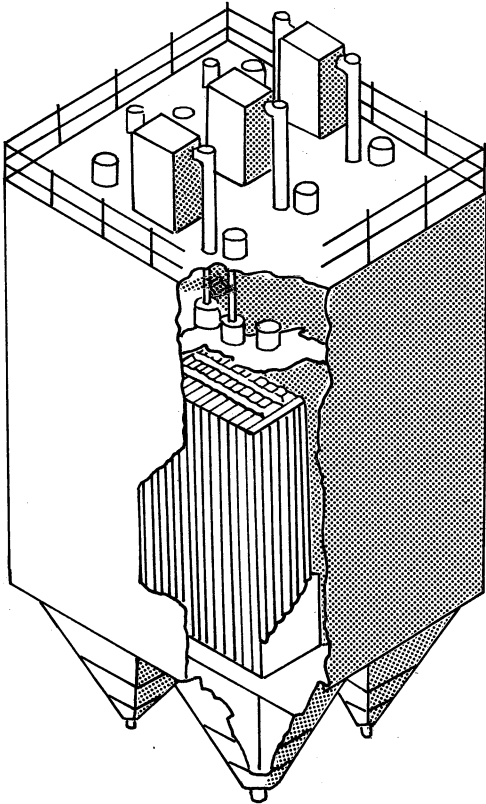


圖 5 靜電集塵器 (資料來源：參考文獻(3))

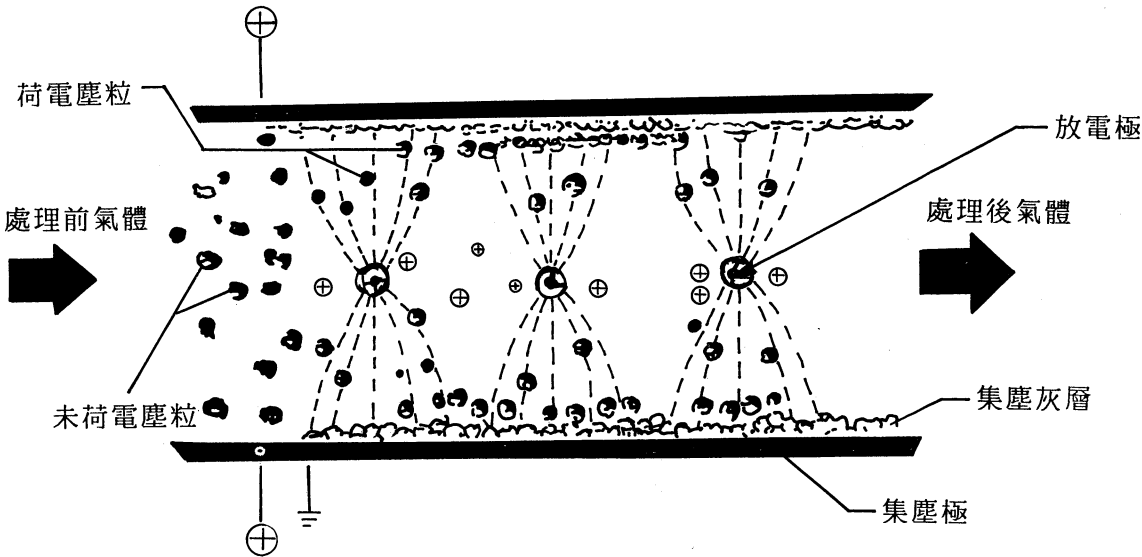


圖 6 靜電集塵示意圖 (資料來源：參考文獻(2))

位差而又能不產生火花。當然這是不易達到的，因為煙道氣的連續通過會造成電場變化，所以控制火花產生便成為靜電集塵器的控制重點。

市面上已有火花率控制器 (spark rate controller) 銷售，它具有調整火花發生頻率的功能。根據通過煙道氣的性質，調整出最適(optimum) 的頻率，將能使靜電集塵器發揮最好的集塵效率。

當集塵板上累積過多塵埃時，須以擊錘(rapper)敲打集塵板將之震落，此敲擊之頻率亦可以控制。

2.5 袋式集塵器

袋式集塵器的原理是令煙道氣通過許多濾袋(filter bag)，其中無法通過濾袋的塵粒便會附著在濾袋之上，形成灰餅(dust cake)，然後再將灰餅排出袋式集塵器之外，如圖7所示。

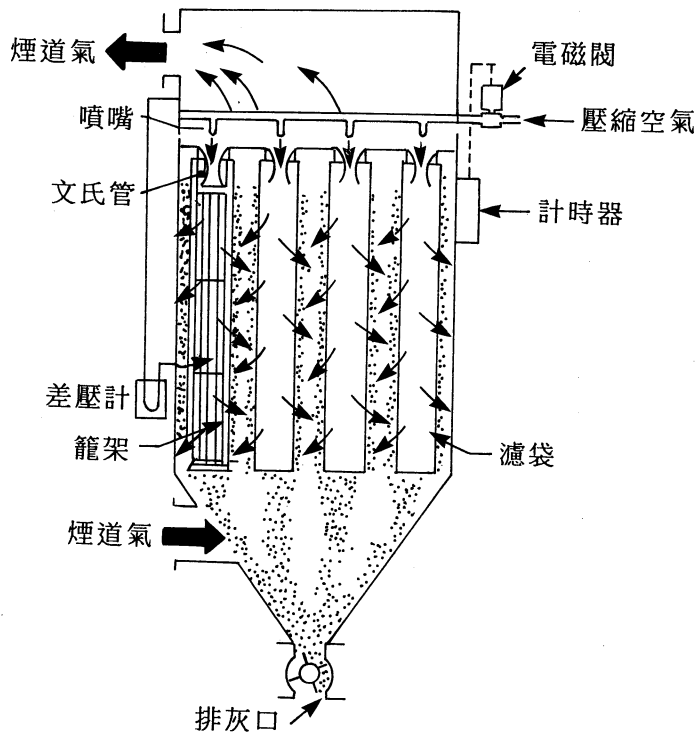


圖7 袋式集塵器

從濾袋上去除灰餅的方法有多種，常見的有1. 逆向空氣法(reverse air), 2. 搖動濾袋法(shaker), 3. 空氣脈動法(pulse jet)。其中較新穎的方法為第三種。

一般袋式集塵器皆由多“室”構成，每室各有濾袋若干。當袋式集塵器連續操作時，必須輪流以高壓空氣在濾袋上製造“震波”震落灰餅；每次清除一室，其他室繼續過濾煙道氣，這樣袋式集塵器便能連續操作。圖8所示即為空氣脈動法在濾袋上產生震波。

袋式集塵器的控制重點在於定時輪流清潔各室之濾袋。最簡單的控制方法為利用一計時器(timer)定時自動輪流開啓各室上方之高壓空氣電磁閥，以高壓空氣產生之震波清除灰餅。

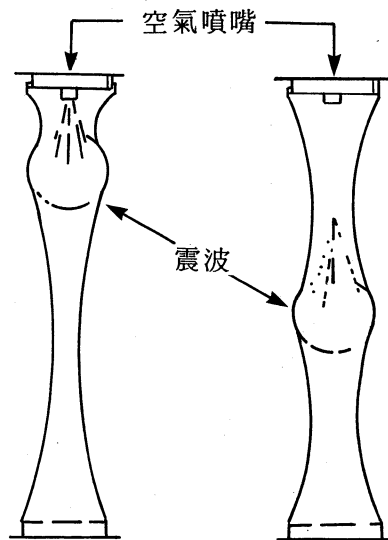


圖8 空氣脈動法 (資料來源：參文文獻(4))

2.6 文氏洗滌器

文氏洗滌器是一種濕式的除塵裝置，它藉著霧化的洗滌水（帶鹼性）漩渦和煙道氣接觸，能夠除去大部份的塵粒和中和部分的酸性氣體。文氏洗滌器具有建造成本低廉、使用和維護容易的優點；但是它造成很大的壓降，會增加ID Fan的負擔為其缺點。

文氏洗滌器的心臟在於“喉部”(venturi throat)，藉由控制喉部面積可得到理想的壓降。圖9顯示在文氏洗滌器頭部和底部裝上差壓傳送器，藉由測得的差壓來調整連桿的上下，由連桿上端的圓板改變喉部面積，如此將能控制壓降和洗塵效率。

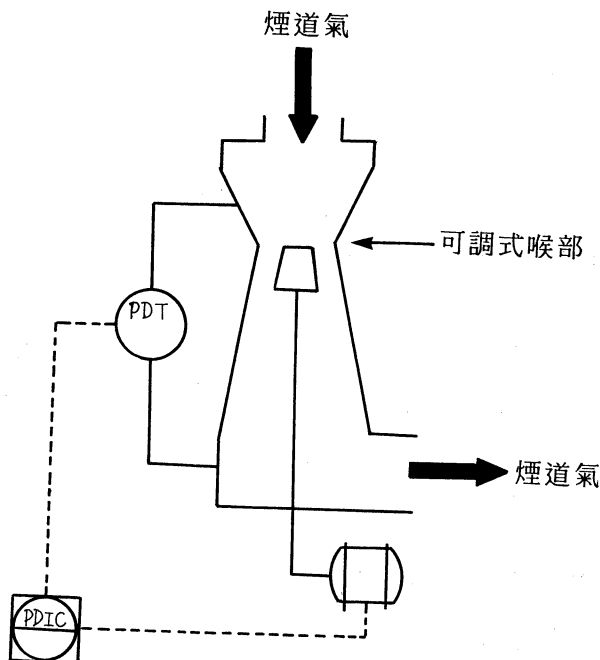


圖9 文氏洗滌器控制示意圖

2.7 填充塔

填充塔的作用為中和酸性煙道氣，它的基本設計和一般填充塔並無不同，但是因為它在負壓下操作，所以填充塔下部水槽(sump)的液位控制須特別注意。圖10顯示填充塔的控制迴路，加大的水槽便是為了易於控制液面。

填充塔的目的在除酸，理所當然，需要安裝pH meter。這個pH數據經過處理後，成為控制鹼液(caustic soda)打入填充塔的依據。

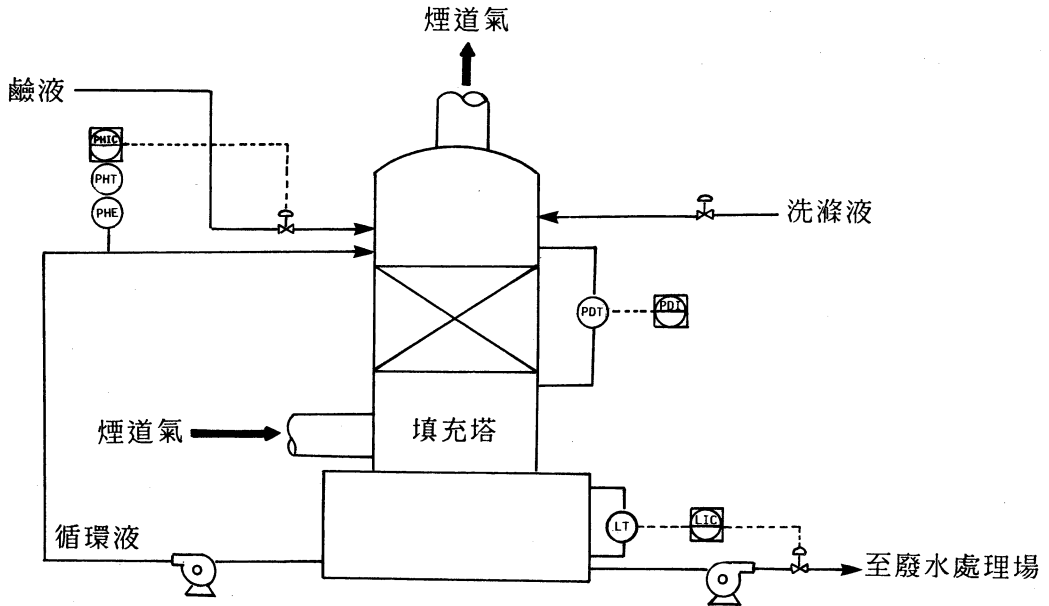


圖10 填充塔控制示意圖

2.8 抽引風機(induced draft fan)

抽引風機的功能為導引煙道氣經過各項設備，最後由煙囪(stack)排出，並維持整個焚化系統在負壓狀態下操作。

抽引風機抽引的風量如果太大，將造成熱能的損失和塵粒滯留時間太短；如果抽引的風量太小，又無法維持旋轉窯負壓。所以抽引風機抽引的風量必須被控制，這個控制可由風門或變頻器來達成。

三、旋轉窯焚化爐的連鎖控制和緊急停車

連鎖控制(interlock)和緊急停車(shutdown) 主要是為了焚化爐系統操作上的安全而設計。當焚化爐啟動、正常操作或部份保養時，下述的狀況都有可能遇到。

旋轉窯焚化爐在啟動時，火焰偵測器(flame detector)如果偵測到燃燒器熄火，應自動停止油料供給並以警報 (Alarm)通知操作員重新點火。若在正常操作下燃燒室熄火，應自動停止進料並啟動控制室的警報，通知操作員重新點火或採取其他步驟。

旋轉窯或二次爐的溫度過高時應延遲進料或加強抽引風機的抽引。若溫度高至失去控制，應自動開啓爐內噴水，打開緊急排放煙囪 (emergency stack)，同時關閉相關的燃燒器。

旋轉窯正壓時，應停止進料並加強抽引風機抽引，若還不能解決，應開啓緊急排放煙囪和將相關的燃燒器熄火。

廢熱回收鍋爐或空氣污染防治系統發生故障，使得焚化不能順利進行時，應根據狀況設計一套應變方法，如停止進料、降溫或啓動備用設施等。

良好的連鎖控制和緊急停車設計，將能減輕操作員的負擔和心理壓力，並提高焚化爐系統的安全性。

四、結 論

臺灣是個地狹人稠的海島，隨著經濟高度成長，工廠迅速增加，相對地也產生了大量的事業廢棄物，因此處理這些廢棄物便成為頭痛的問題。而旋轉窯焚化爐正適合處理事業廢棄物，所以在可預測的未來，臺灣必定須建立多座旋轉窯焚化爐來處理這些事業廢棄物。

旋轉窯焚化爐運轉的優劣，決定於系統設計和操作條件的選擇。而控制策略直接影響到系統的性能 (performance) 和操作條件的維持，所以完善的控制策略是焚化系統設計重要的一環。

符 號 說 明

AIC	Analysis Indicating Controller
FE	Flow Element
FT	Flow Transmitter
LT	Level Transmitter
LIC	Level Indicating Controller
PE	Pressure Element
PT	Pressure Transmitter
PIC	Pressure Indicating Controller
PDT	Pressure Differential Transmitter
PDI	Pressure Differential Indicator
PDIC	Pressure Differential Indicating Controller
PHE	pH Element
PHT	pH Transmitter
PHIC	pH Indicating Controller
TE	Temperature Element
TIC	Temperature Indicating Controller

五、參考文獻

- (1)洪美雲、張榮興,事業廢棄物之焚化處理,能源、資源與環境季刊,Vol.3, No.3, 1990。
- (2)葛家賢、張瑞進,能資所固定空氣污染源排放控制技術的開發,能源、資源與環境季刊, Vol.3, No.3, 1990。
- (3)Calvin R. Brunner, Handbook of Hazardous Waste Incineration, TAB BOOKS Inc., 1989。
- (4)Louis Theodore, Joseph Reynolds, Introduction to Hazardous Waste Incineration, John Wiley & Sons, 1987。