

1993-01-01

E . R . E . Q . V O L . 6 . N O . 1 . 1 9 9 3

焚化爐燃燒室設計參數 與控制系統設計

張榮興

能源·資源與環境季刊

Reprinted From

E n e r g y . R e s o u r c e s & E n v i r o n m e n t Q u a r t e r l y





焚化爐燃燒室設計參數 與控制系統設計

焚化爐之主要設計參數有溫度、過剩空氣比及混合程度等；彼此互為影響，設計不當常生性能不彰之困擾。本文利用作者所發展之「電腦輔助焚化爐設計與模擬軟體」進行解析，探討設計參數之規劃限制及變化特性，結果顯示於設定操作溫度下，焚化爐之過剩空氣量只能在一定範圍內操作，且受系統輔助燃料最大供應量之限制。利用此結果，並發展出各種不同燃燒及焚化程序之控制系統。此外，由於輔助燃料供應限值的設定對焚化爐的設計操作管理與控制，有決定性的影響。燃料供應限值設計過小，將使系統之穩定操作區間變小，使操作變得極為困難。限值設計過大，則將使投資成本及操作成本變大。因此，於規劃設計及操作焚化爐前，應針對所要處理的廢棄物進行必要之分析，以獲得最佳操作控制策略。

張榮興

工業技術研究院能源與資源研究所

■ 緒論

焚化科技雖是燃燒技術的延伸，但國內由於起步較晚，且早期技術幾乎完全掌握在日商手中，因此，至今全省各地仍可見形似金鼎的大小焚化爐，散布在各事業單位中。決定焚化系統性能的因素，除了爐體及空氣污染防治設施必須良好規劃與設計，以確保系統性能可符合法規之需求外；控制系統及安全連鎖系統之正確設計，更是攸關操作安全性及溢散性污染物之產生。常見一些設計不甚妥善的中小型焚化爐，每次進料，煙囪立即產生黑煙，爐體四周也直冒黑煙；這些問題通常是由於燃料與空氣之控制不當所致，因此，藉著適當的控制策略，通常可獲得或多或少的改善。

焚化爐的控制系統通常沿用鍋爐或加熱爐的控制策略，而事實上二者間有相當程度的不同。若沿用此控制策略，將使焚化系統操作在非最適狀態，且易生異常狀態，因此，焚化系統的操作常需仰賴有經驗的操作人員，隨時作適當的調節，稍有疏忽，則常會產生瞬間的污染物異常排放。本文利用設計參數及系統自由度之探討，配

合控制邏輯之發展，並詳細探討及說明不同燃燒程序之操作與控制策略。

■ 燃料燃燒系統

燃料燃燒系統是最簡單的燃燒系統，其主要參數包括下列 $2n+3$ 個變數：

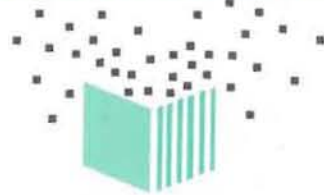
	變數	變數數目
燃料進料率	F	1
燃料組成	C _i	n-1
空氣供應率	A	1
空氣組成	X _i	1
燃燒產物流率	W	1
燃燒產物組成	Y _i	n-1
燃燒溫度	T	1

合 計 $2n+3$

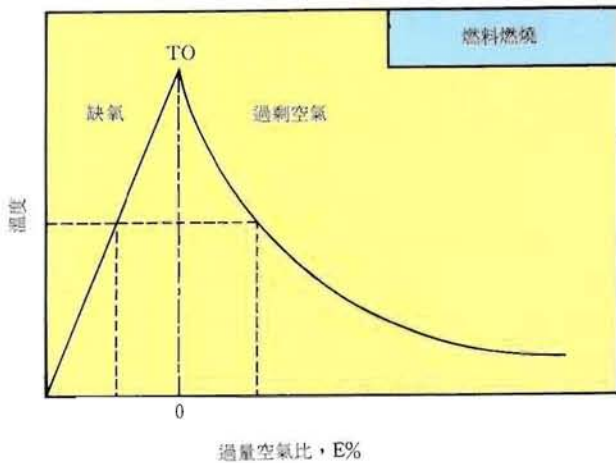
而反應系統之質能平衡，則計有 $n+1$ 個方

程式：

	方程式數
元素平衡	n
能量平衡	1
合 計	n+1



設計手冊



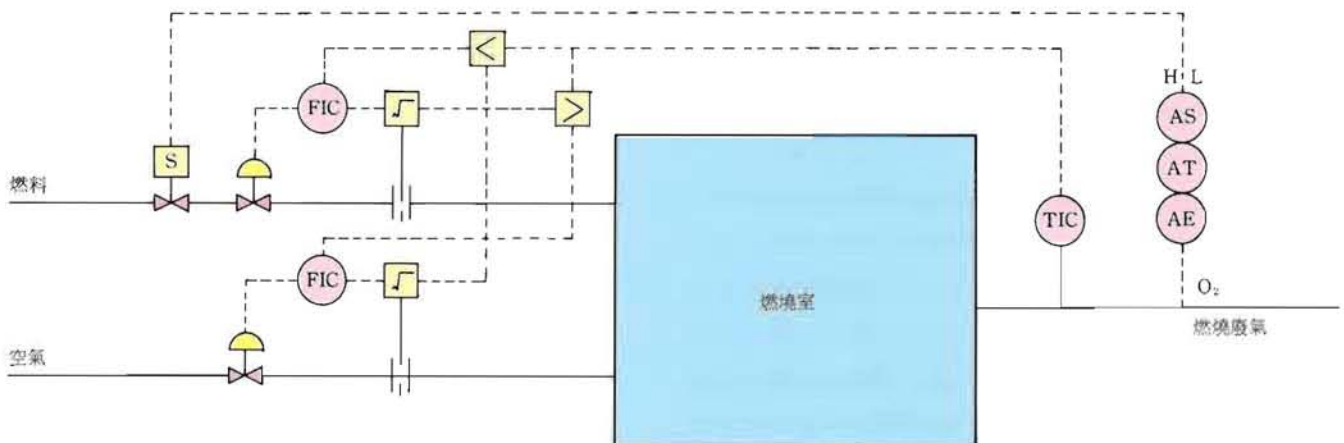
圖一 燃料之絕熱燃燒；缺氧及過剩空氣模式

因此，就燃料燃燒系統而言，其自由度等於 $n+2$ ；亦即需要指定 $n+2$ 個變數才能確立此平衡系統。由於，燃料組成通常均為已知，因此，可確立 $n-1$ 個關係式；且空氣組成亦為已知，可再建立 1 個關係式。因此，系統的自由度等於 2。通常，在燃料燃燒系統中可調節之參數為 F 、 A 及 T ，三者間必須指定其中二變數，才能使系統確立。若燃料供應量一定，如圖一所示，則系統只需指定一個變數 (A 或 T)，即可確定唯一的穩定操作狀態。

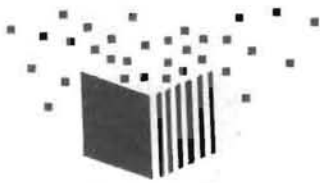
在燃燒系統中，可分成缺氧燃燒（即不完全

燃燒）及過剩空氣燃燒兩大類。前者在燃料燃燒系統中並不多見，主要用在熱裂解程序。缺氧燃燒與過剩空氣燃燒，由於 T vs. E 曲線的斜率，前者為正，後者為負；二系統的控制策略完全不同，前者增加空氣量會使溫度上升，後者則會下降。本文將只針對過剩空氣燃燒部分進行探討，缺氧燃燒部分，將於另文再作詳細解析。在燃料燃燒系統應用上，可採用二種控制策略，即(1)溫度控制，或(2)殘氧控制。對於燃燒系統而言，通常溫度為較重要控制參數，因此，殘氧值常用於提供安全連鎖之用。其典型控制迴路如圖二所示。

在此串級控制系統中，並採用先導迴路設計。當燃燒室出口溫度上升或下降時，均能確保燃料供應系統不會造成燃料過剩狀態。其主要作動機構是由圖二中的高位及低位訊號選擇器控制。TIC 產生的訊號與燃油流量訊號，在高位訊號選擇器中進行比較，利用高位訊號選擇器將輸出值設定在較高數值。因此，要調低溫度時，TIC 輸出值先降低，此時由於燃油流量計輸出之訊號較高，因此，空氣控制器不會作動。反之，TIC 產生的訊號與空氣流量計之輸出訊號於低位訊號選擇器中，進行比較及選擇，並將輸出值設定在較低的數值。因此，當 TIC 輸出值降低以降低溫度



圖二 燃料燃燒系統之控制邏輯



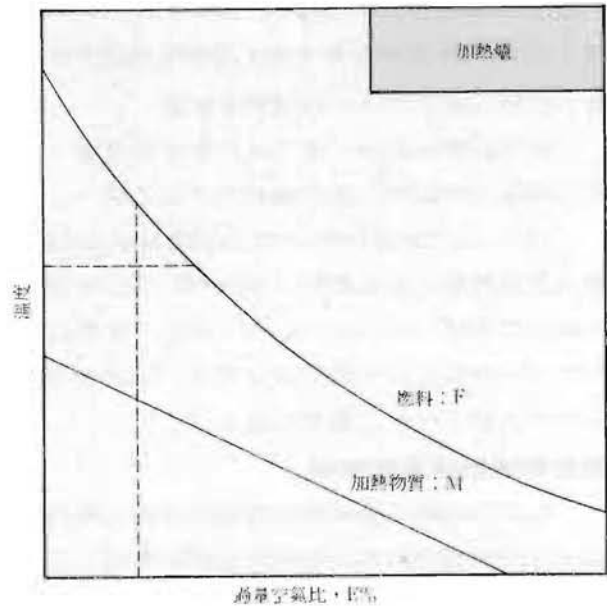
時，燃料油的 FIC 將先作動，其輸出值再使空氣之 FIC 跟著作動，故可確保燃燒室不會造成燃油過剩之狀態，而產生危險。此項先導迴路設計目的，主要是為了因應燃油控制閥與空氣控制閥作動時間不同（前者約 0.5-3 秒，後者約 10 至 20 秒）。

■程序加熱系統

程序加熱系統是程序流束中不含可燃物或只含少量可燃物，利用燃燒室提供燃料進行加熱的程序。此種系統的主要參數包括：

	變數	變數數目
燃燒溫度	T	1
程序流體流率	M	1
程序流體組成	Zi	n-1
燃料流率	F	1
燃料組成	Ci	n-1
空氣供應率	A	1
空氣組成	Xi	1
燃燒產物流率	W	1
燃燒產物組成	Yi	n-1
合計		3n+3

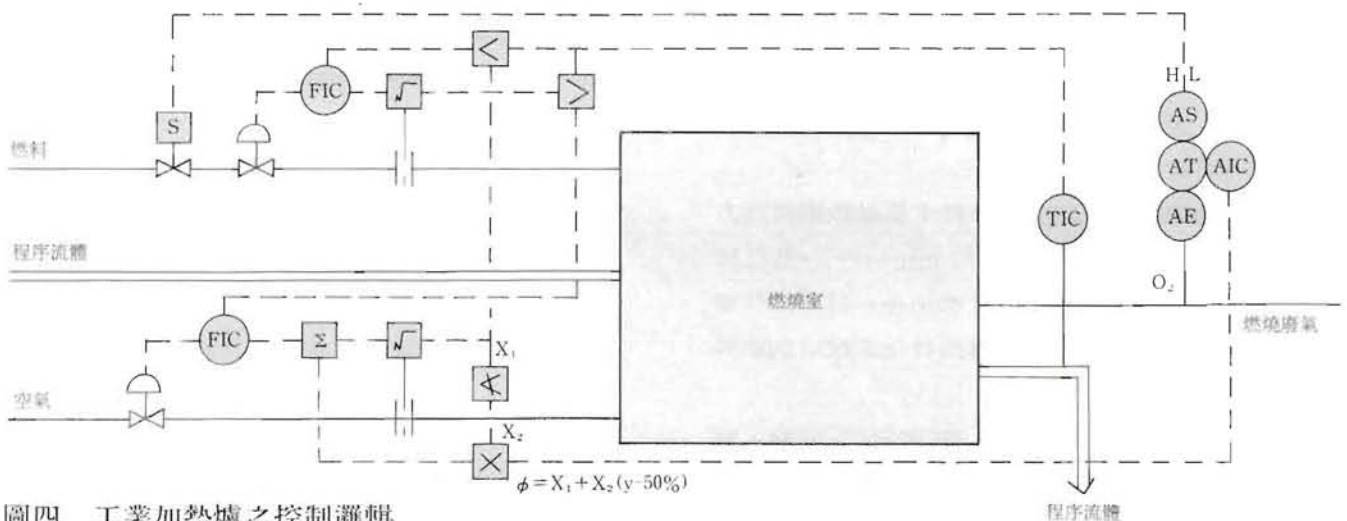
與前述燃料燃燒系統相同，其質能平衡計有 n+1 個關係式，因此，系統自由度等於 2n+2。



圖三 工業加熱爐之熱平衡曲線

若已知程序流體組成 z_i 、燃料組成 c_i 及空氣組成 x_i ，則可先建立 $2n$ 個關係式，系統之自由度減至 2 個。而仍有 F 、 A 及 T 三變數為可變。因此，除指定溫度 T 外，仍需指定空氣供應量 A 或燃料供應量 F ，才可使此系統確立，如圖三所示。

其中曲線 M 為程序流體與空氣混合之熱平衡曲線；曲線 F 為燃料燃燒系統之熱平衡曲線。



圖四 工業加熱爐之控制邏輯



設計手冊

沿著圖三中等溫操作曲線，逐漸增加空氣供應量，所需燃料量亦隨著增加，過剩空氣百分比改變，在設定溫度線上，有無窮多組解。

應用此種系統時，圖二之控制系統可進一步加入氧氣控制迴路，而成圖四所示之系統。

其中 O_2 控制迴路的目的是在於將系統調節在最適燃燒狀態以節省燃料之消耗。而 O_2 控制迴路中的補償迴路， $\phi = X_1 + X_2(Y-50\%)$ ，主要目的在於因應縮載比較大的系統應用時，操作者可調節不同負載下所需之過剩氧氣量。

■廢棄物燃燒系統控制

廢棄物燃燒系統與燃料燃燒系統最主要的差異，在於燃燒燃料包括廢棄物及輔助燃料。在廢棄物燃燒系統中，主要參數包括：

	變數	變數數目
燃燒溫度	T	1
燃料進料率	F	1
燃料組成	C _i	n-1
廢棄物進料率	G _i	m
廢棄物組成	C _i	m(n-1)
空氣供應率	A	1
空氣組成	X _i	1
燃燒產物流率	W	1
燃燒產物組成	Y _i	n-1
合計		mn+2n+3

合計有 $mn+2n+3$ 個變數，其中 m 為廢棄物種類。此系統之質能平衡關係式與前二情況相同，均可建立 $n+1$ 個關係式。

此燃燒系統之自由度等於主要參數個數與方程式數之差，亦即自由度等於 $mn+n+2$ 。若已知廢棄物及燃料組成，則可知 $m(n-1)+n$ 個變數，自由度等於 $m+2$ 。典型的焚化系統可調節參數如表一所示。

以旋轉窯焚化爐為例，若同時焚化固體、液體及污泥，則系統可調節變數可達 5 個。其控制

表一 焚化系統可調節參數

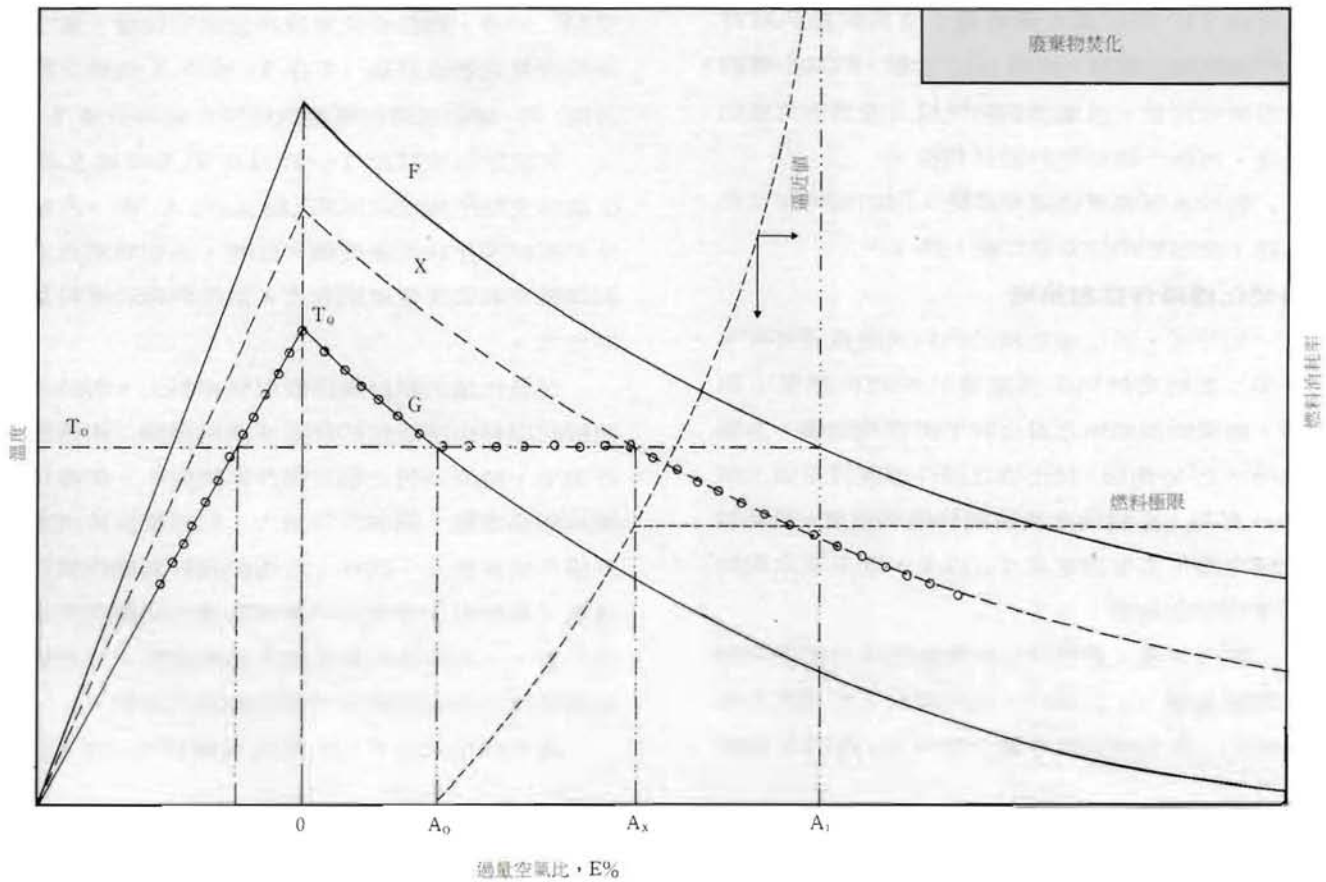
焚化爐種類	處理對象				自由度
	固體	液體	污泥	m	
都市垃圾焚化爐	V	-	-	1	3
液體噴注式焚化爐	-	V	-	1	3
旋轉窯焚化爐	V	V	V	3	5
液體化床焚化爐	V	-	V	2	4
控氣式焚化爐	V	-	-	1	3

策略將變得極為複雜。

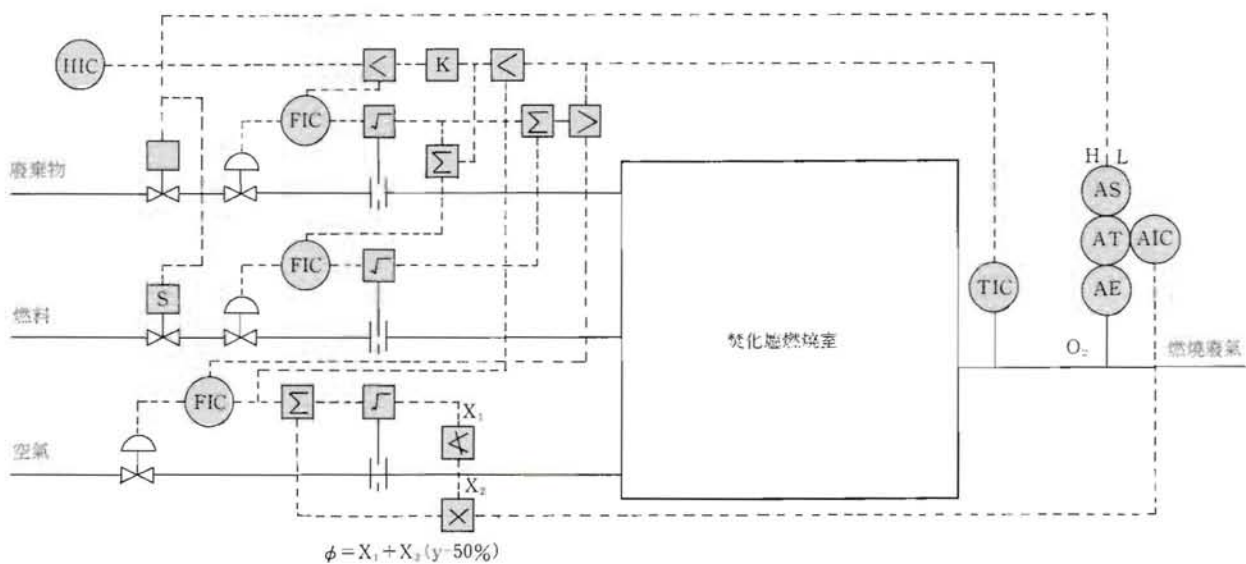
若先考慮最簡單的液體廢棄物焚化系統，原有自由度為 3，若決定廢棄物處理量，則自由度為 2。其燃燒平衡曲線如圖五所示。

圖中曲線 G 為廢棄物絕熱燃燒平衡曲線，曲線 F 為輔助燃料絕熱燃燒平衡曲線，曲線 X 為燃料供應在最大限量時的平衡曲線。焚化系統操作時，若將操作溫度設定為 T_0 ，此時若調節空氣供應量，則系統溫度只能在供應空氣量介於 A_0 與 A_x 之間時，才能維持在設定溫度 T_0 ；輔助燃料使用量，則隨著過剩空氣量之增加而增加。若供氣量低於 A_0 ，則輔助燃料供應量將變成零；空氣供應量愈低，平衡溫度愈高。供氣量高於 A_x ，則操作溫度將沿著 X 曲線，隨著供氣量增加而漸減，輔助燃料則維持在系統可供應的最大供應量。

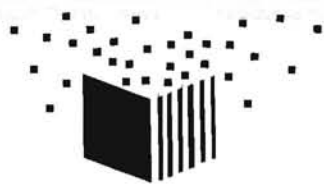
由於在此種焚化系統中，自由度等於 3，因此，於規劃控制系統時，需設定三個變數，才能有效控制此系統。典型的控制系統如圖六所示。當 TIC 輸出訊號大於廢棄物及輔助燃料流量訊號之和時，系統將先啟動空氣調節閥；俟空氣供應量增大，空氣流量訊號與 TIC 訊號比較，取其較小者進行廢棄物及燃料流量之調節。流量調節採優先序列調節策略，以本例而言，廢棄物處理



圖五 廢棄物焚化程序之溫度平衡曲線及燃料消耗率



圖六 單一廢棄物之焚化系統控制邏輯



量可由 TIC 設定最大處理量；流量調節訊號首先作消除雜訊處理，再與 HIC 比較，取其小者調節廢棄物流量。流量調節訊號減去廢棄物流量訊號後，再執行輔助燃料流量調節。

對於多種廢棄物處理系統，例如旋轉窯焚化系統，典型的燃控系統如圖七所示。

■ 焚化爐操作控制策略

如前述，焚化爐之輔助燃料供應量通常有其上限；當輔助燃料供應量等於系統供應量上限時，廢棄物與燃料之混合物平衡燃燒曲線，及圖八所示之 X 曲線。焚化爐之操作溫度設定值上限 T_u ，即為，X 組成之最高絕熱燃燒溫度。若將焚化爐之操作溫度設定在 T_u 以上，則系統永遠無法達到設定溫度。

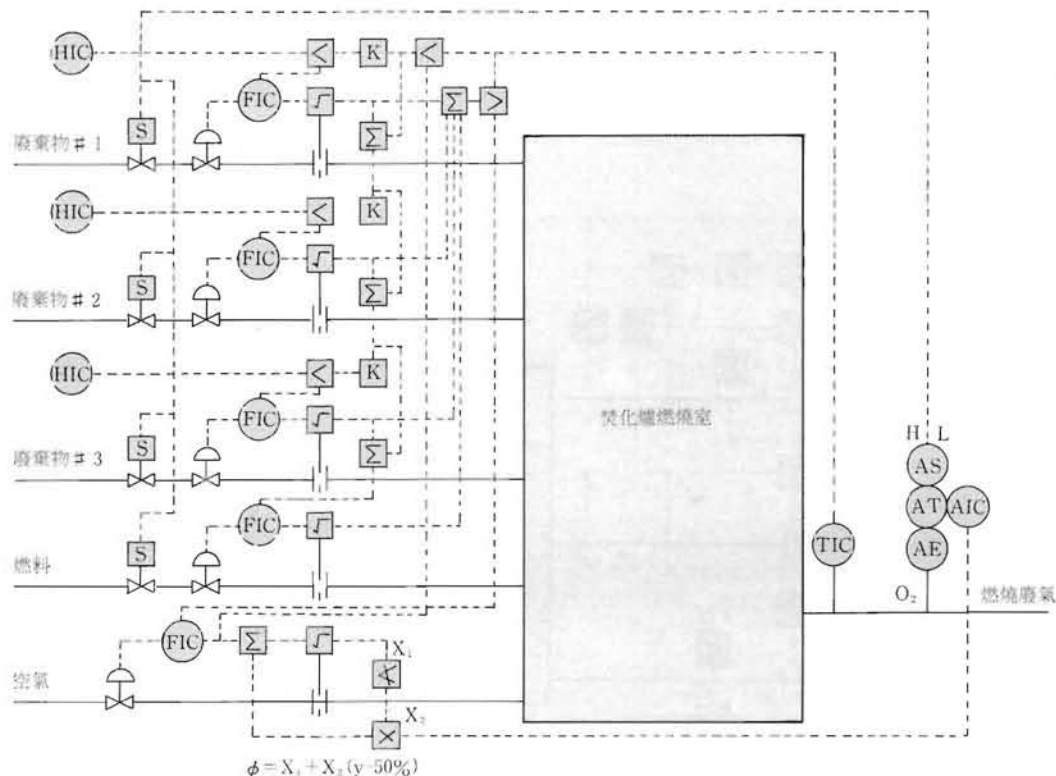
當設定溫度介於 T_u 與廢棄物本身的最高絕熱燃燒溫度 T_a 之間時，任何情況下均需使用輔助燃料。且當空氣供應量介於等 T_s 線與 X 曲線

交點之間時，燃料油使用量將先減而後增。當空氣供應量過低或過高（不在 T_s 線與 X 曲線交點之間）時，輔助燃料供應量則維持在最高供應量。

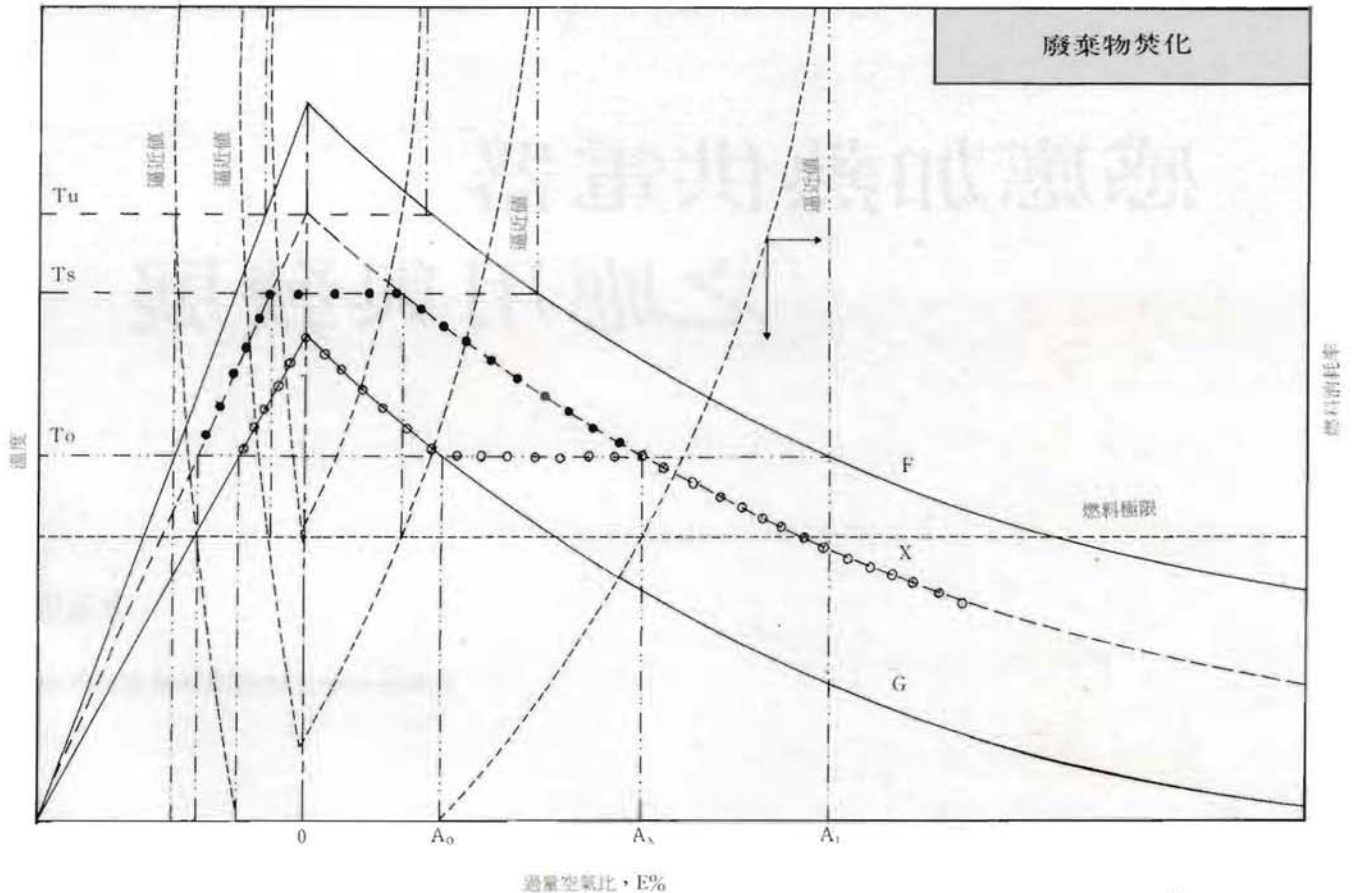
若設定溫度低於 T_a ，則只在 T_0 曲線與 X 和 G 曲線交點所構成之區間（如 A_0 與 A_x 間），系統才可能維持在設定溫度值。此時，若空氣供應量與理論空氣供應量差別愈大，則所需輔助燃料量亦愈大。

在焚化爐的設計操作管理與控制上，對於系統輔助燃料供應限值的設定應極為謹慎；限值設計過小，將使系統之穩定操作區間變小，使操作變得極為困難。限值設計過大，則將使投資成本及操作成本變大。因此，於規劃設計及操作焚化爐前，應針對所要處理的廢棄物進行如圖八所示之分析。一則可得到最佳操作控制策略，二則對於廢棄物之摻混策略亦可提供有用的資訊。

圖八中所示之 F、X 及 G 曲線均可利用 IN-



圖七 多種廢棄物之焚化系統的控制邏輯



圖八 廢棄物焚化程序之溫度及空氣供應量控制策略

CINER. CAD 軟體中的模擬功能求得。在設計及操控上，應考慮所欲處理廢棄物之最小過剩空氣需求量定出 A_x 值。可由系統可負荷之最大粒狀物排出濃度，視焚化爐之種類決定最高氣流量及 A_1 值。最大粒狀物排出濃度與氣流量之關係式為 $PC \propto Q^m$ ，其中液體噴注式焚化爐 $m=1$ ，旋轉窯焚化爐 $m=4$ ， Q 為燃燒氣體產生量。

此外，由於輔助燃料費通常在焚化爐的操作費用中，佔有重要的比例，因此，亦可利用本分析方法作摻混最適化之考慮。

■結論

本文利用設計參數及系統自由度之探討，配合控制邏輯之發展，詳細探討及說明不同燃燒程序之操作與控制策略，並發展出各種不同燃燒及焚化程序之控制系統。此外，由於輔助燃料供應

限值的設定對焚化爐的設計操作管理與控制，有決定性的影響。燃料供應限值設計過小，將使系統之穩定操作區間變小，使操作變得極為困難。限值設計過大，則將使投資成本及操作成本變大。因此，於規劃設計及操作焚化爐前，應針對所要處理的廢棄物進行必要之分析，以獲得最佳操作控制策略。

■參考文獻

1. Illian, M. E., "Incineration Combustion Philosophies", 1991 Incineration Conference, Knoxville。
2. 張榮興(1988) "事業廢棄物焚化技術" 能源資源與環境, No.1, Vol.I, 1988.
3. 趙榮澄、黃孝平(1977), "程序控制學", 鹽巴出版社(台北)。