

# 污染防治技術

處理技術

## 有害及有毒性廢棄物之焚化技術

C. C. Lee George L. Huffman, and Donald A. Oberacker

U. S. EPA. Cincinnati, Ohio\*

張添晉\*\*

### 摘要

有效的處置有毒有害性廢棄物及安全的清理毒害物質傾棄場所是1980年代美國EPA最主要的兩個任務。焚化法已被公認為是解決工業界或傾棄場所毒害性物質之最有效方式。本文列舉了焚化系統的一些要點，內容包括法規之討論、許可同意之要求，並詳細描述典型焚化系統及其監視技術。

### 1. 前言

根據估計，美國每年產生有毒、有害性廢棄物超過26億4千萬公噸，若處理不當，將會對人體健康及環境產生極大的威脅<sup>1</sup>。因此，1976年美國聯邦政府即針對有害性廢棄物之間題制定了“Resource Conservation and Recovery Act”（資源保護及回收法案，以下簡稱RCRA，見公共法令94-580）及“Toxic Substance Control Act”（毒性物質控制法案，以下簡稱TSCA，見公共法令94-469），1980年制定了“Comprehensive Environmental Response Compensation and Liability Act”（環境損害賠償責任法，以下簡稱CERCLA，見公共法令96-510），以使有毒有害廢棄物之處置及傾棄場所之清除得到適當之管理，由於這些法令將研究導向以熱分解有機性廢棄物，故本研究列舉這方面有用的資料。

焚化（或熱分解）是分解廢棄物最有效的技術，焚化是一個工程上的程序，其最終目標是將廢棄物分解，利用直接或間接的方式將有機性化合物之化學結構破壞，以減少殘留物之體積及毒性。

以工程觀點而言，焚化法最主要目的，是要有效的將廢棄物燃燒成灰燼，以利於土地處置，並確定焚化過程中產生之廢氣排放至大氣中不會對環境造成危害，次要目標則是將此程序之能量消耗及維持費用降低。

\* 李春正博士等：目前服務於美國環境保護局研究發展及環境工程技術部，有害廢棄物工程研究實驗室主任。

\*\* 張添晉：國立中央大學土木工程學研究所博士班研究生。

本文提供了有毒有害廢棄物焚化的概論，目的是希望使未曾從事實際焚化管理及操作的人，能夠容易的了解焚化系統之狀態，本文並描述目前之法令。有關焚化爐之操作運轉資料及其排放值並未在本文內列出，因這些資料已刊登在最近 EPA 出版的報告中<sup>2-5</sup>。

## 2. 焚化法之法令基礎

RCRA 及 TSCA 是 EPA 管制工業程序及由 CERCLA 傾棄場清除活動所產生廢棄物的二個重要法令。一般而言，RCRA 涵蓋了所有的有害物質，除了 PCB 之外（PCB 被認為是毒性物質，並且列管於TSCA之中）。

### 2.1 RCRA 之要求

1980年，EPA列出了有害廢棄物的詳細表<sup>6-8</sup>，次年（1981年），EPA 又公佈了操作有害廢棄物焚化爐之標準<sup>9</sup>，主要之要求標準如下：

- ①一個焚化爐對於主要有機性危害物質（POHC）之分解及去除率（DRE）必須達到99.99%以上，EPA 建議利用化合物之可焚化性及濃度作為選擇POHC之依據，並建議利用燃燒熱（△H<sub>c</sub>）當作化合物可焚化性的指標<sup>10</sup>。
- ②焚化爐之空氣污染控制系統之 DRE 定義如下：

$$DRE = \frac{W_{in} - W_{out}}{W_{in}} \times 100$$

其中：DRE：分解及去除效率，%，

$W_{in}$ ：投入焚化爐之 POHC 量

$W_{out}$ ：排出之 POHC 量（排出大氣之前，在烟囱內量測之值）

- ③若焚化爐燃燒之有害物質中含有0.5%以上之氯時，則其廢氣中氯化氫（HCl）之去除率須達99%。
- ④焚化爐燃燒有害物質時，其粒狀物（particulate）不能超過 180mg/dscm，通常需要做嘗試性燃燒（A trial burn），以示範此有害廢棄物焚化爐能達到上述標準之能力。

### 2.2 TSCA 要求

1979年，EPA公佈了操作PCB焚化爐之標準，其要求標準如下<sup>11</sup>：

- ①液體 PCBs——使其在 1200°C (±100°C) 下停留 2 秒，且烟囱氣體須有 3 % 之過剩氧量，或者
- ②在 1600°C (±100°C) 之溫度下停留 1.5 秒，且烟囱氣體須有 2 % 之過剩空氣。
- ③燃燒效率至少須達 99.9%，其計算式如下：

$$\text{燃燒效率} = \left[ \frac{C_{CO_2}}{(C_{CO_2} + C_{CO})} \right] \times 100$$

其中： $C_{CO_2}$ ：二氧化碳濃度。

$C_{CO}$ ：一氧化碳濃度。

- ④非液體 PCBs——由焚化爐排出之量須小於 0.001g PCB/kg 投入 PCB (即其 DRE 等於 99.9999)
- ⑤與 RCRA 之要求相同，須做嘗試性燃燒，以顯示焚化爐能達到上述標準。

### 2.3 適合焚化之廢棄物

欲焚化有害性廢棄物須用到一些基本的背景資料，這些資料可由 RCRA 3001節（有害物質之表列及認定），3002節（有害廢棄物應用於發電機之標準）或3003節（有害廢棄物之運輸標準）得到，另外亦可以，由產生廢棄物程序之研究而得到，這些背景資料用於評估有害廢棄物焚化時很有用。

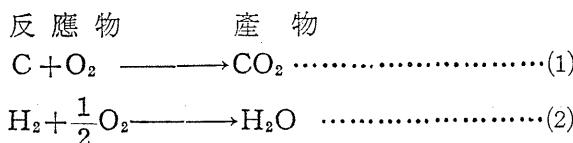
評估廢棄物焚化時常考慮下列因子：

- ①戴奧辛／呋喃或 PCB 之含量。
- ②濕度含量。
- ③預期焚化爐排出污染物之潛在量。
- ④惰性物（灰燼）含量。
- ⑤熱值及需要之輔助燃料。
- ⑥排放物對環境及人類健康之潛在之影響。
- ⑦物理特性。
- ⑧腐蝕性。
- ⑨已知之致癌性物含量。

圖 1 乃決定廢棄物是否可以熱分解之流程圖<sup>12</sup>，一般而言，欲燃燒之廢棄物，其熱含量需維持足夠焚化溫度，否則需補充額外燃料。

## 3. 焚化之概念

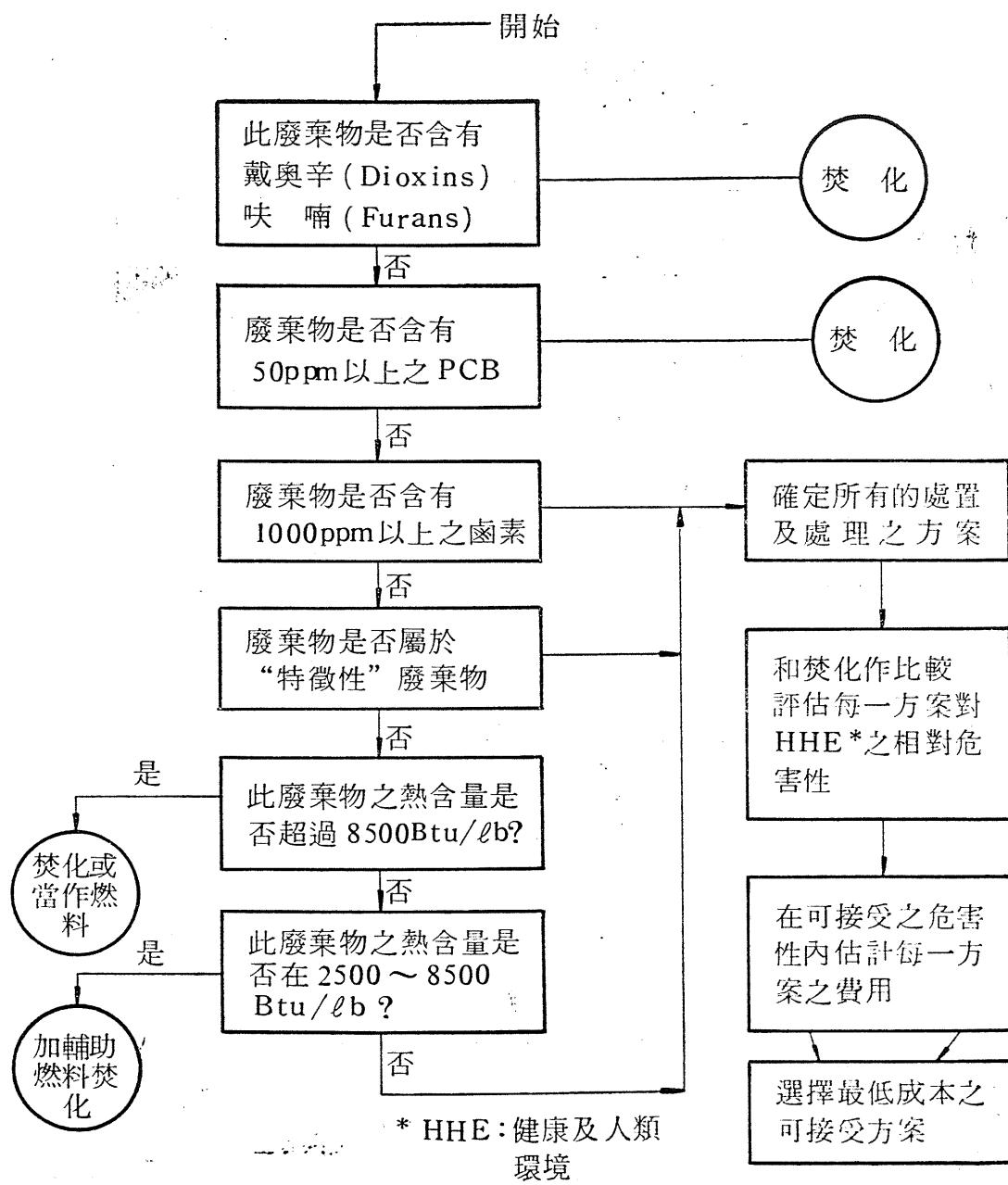
傳統焚化爐在火焰燃燒層對於廢棄物之分解率約可達99%，其餘 1 % 在後燃燒層被分解，由化學之觀點而言，焚化是激烈的氧化程序，焚化或燃燒是指有機物質快速氧化，當氧化反應進行很快時，由於物質無法將其熱釋放於環境當中，故其溫度上升極快，以致吾人會看見火焰，此即物質所放出來的可見輻射光。在焚化過程中之化學反應描述如下：



實際上，這些反應很少百分之百完全反應，因此會產生許多不完全燃燒的產物 (PICs)，可用 ppm 表示其量之多寡。

在燃燒系統中可分成三個主要部份：燃料、氧化劑及助燃物 (diluents)。燃料是含有高能量的鍵，如 C—C, C—H 及 H—H 鍵等是一般化學潛能 (chemical potential energy) 之來源，在燃燒時，燃料被氧化且化學潛能轉變成熱能。燃燒系統的第二個重要成份為氧化劑，燃燒時氧化劑和燃料反應，並將貯存在燃料中之化學潛能以熱能之型式釋放出來，最

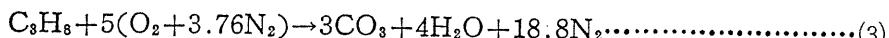
普遍的氧化劑即是分子氧，為燃燒空氣組成的一部份。燃燒系統之第三個重要成分是助燃物 (diluents)，此處所指的助燃物是燃燒反應過程中不參與化學反應之物質，即不當作燃料，亦不當作氧化劑所以並不影響燃燒程序，例如，氮氣即可作為助燃物，其雖擁有熱容量 (



圖一、決定廢棄物可燃性之流程

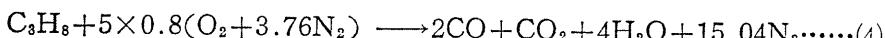
**heat capacity**），但對整個系統總能量之釋放絲毫沒有提高，它可以用來限制燃燒時溫度的提高，在燃燒空氣中，一單位氧含有 3.76 單位氮氣，因此，100% 理論空氣存在時，丙烷之燃燒可用下式表示：

100%理論空氣量

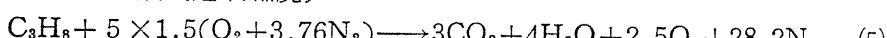


燃燒可分成三種型態：理論（化學計量）燃燒、過氧燃燒（lean combustion）及缺氧燃燒，其分野完全根據系統中可供利用氧化劑量而定。理論燃燒是指系統中存在之氧化劑量恰好足夠完全氧化燃料，過氧燃燒則指系統含有過量的氧化劑含量，相反的，當系統缺乏足夠氧化劑去氧化燃料時，則稱缺氧燃燒，方程式(3)是指理論燃燒，下列之方程式(4)及(5)則分別指過氧燃燒及缺氧燃燒，

### 80%理論空氣（缺氧燃烧）



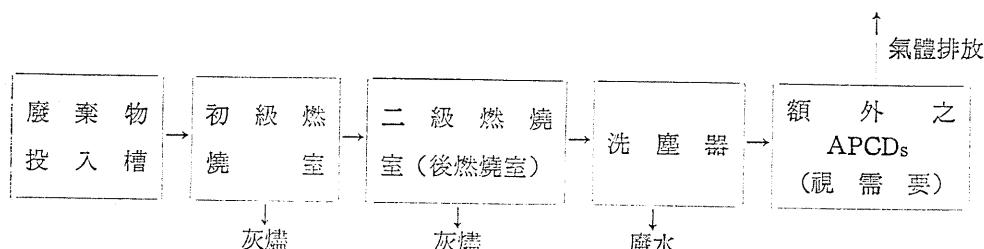
### 150%理論空氣(過量燃燒)



燃燒是很複雜的程序，包括很複雜之熱及質量傳輸之反應其化學動力學可用兩相系統（two-phase）表示，由於此程序實在太複雜了，因此有人寧願把它當成一種藝術，而不將它當成科學。將前述複雜之燃燒理論應用於有害物質之燃燒時將使問題更為複雜，有害廢棄物焚化之最終目標是將它變成無害化之產物，（如 $\text{CO}_2$  及  $\text{H}_2\text{O}$ ），當燃燒產物之總量不具危害性時，可以直接排放至大氣中，或由空氣污染控制設備加以去除。

#### 4. 主要焚化系統介紹

典型的焚化爐系統主要部份及其組合如圖二。



## 圖二、典型焚化系統之主要部份

#### 4.1 廉棄物投入設備

選擇廢棄物投入設備之型式乃根據欲焚化廢棄物之特性，其考慮因素包括：

- ①廢棄物之物理特性：固體、液體、氣體或混合物。
  - ②固體物大小型式，及其含量。
  - ③液體之黏度及比重。

- ④汚泥之密度、黏度及固體物含量。
- ⑤氣體之密度。
- ⑥特殊性質：毒性、腐蝕性及其他一般特徵。
- ⑦處置速率：目前及未來之尖峯量、平均量及最低量。

例如：液體投入設備須包括廢棄物過濾設備、廢棄物及燃料混合設備及投入預熱設備（視需要而定），而固體物投入設備則可藉空氣、機械或重力方式將廢棄物送入焚化爐。

#### 4.2 初級和二級燃燒室

初級燃燒室是焚化爐系統的重要部份，焚化爐系統常用初級燃燒室之後的單元加以命名，如旋轉型焚化爐 (rotary kiln incinerator) 及噴霧型焚化爐 (liquid injection incinerator)，二級燃燒室 (後燃燒室) 是單純的燃燒室 (焚化爐)，以便增進分解效率，後燃燒室可當成繼續燃燒的程序，並可大量降低排氣中污染物，故可以說是控制空氣污染程序的第一步驟，即經後燃燒室後可以減少後續設備污染物負荷，因此亦相對減少其維修的問題，一般而言，初級燃燒室可區分成二類：傳統焚化爐及創新熱分解爐，以下只討論傳統之焚化爐。

1985年，EPA 對此型之焚化爐展開調查，並統計在美國此種傳統焚化爐所佔的數目，調查結果顯示，目前所使用的傳統式焚化爐以下列三種佔優勢：

1. 噴霧型焚化爐 (liquid injection)
2. 旋轉式焚化爐 (rotary kiln)
3. 溶爐床式焚化爐 (hearth processes)

表一列出一些焚化爐之特徵<sup>13</sup>，表二則列出在各種不同廢棄物型式下各種焚化爐之適用性<sup>14</sup>。

表 I 、焚化爐設計時焚化容量之估計

焚種 化 爐 類	數目	平均設計容量 (MMBtu/h)	利用率 (%)	可用之容量 (MMBtu/h)	有空氣污染控 制設備之比例
旋轉爐床	42	58.7	77	570	90
噴霧型	95	36.1	55	1540	42
蒸氣型	25	29.5	94	40	40
熔爐床型	32	22.5	62	270	38
其他	14	23.8	—	110	—
總計或平均值	108	37.6 <sup>a</sup>	67 <sup>b</sup>	2530	50

a.根據 181個焚化爐之報告。

b.根據 90個焚化爐之報告。

表II、各種廢棄物對不同焚化爐之使用情形

廢棄物種類	旋爐	轉床	噴霧型	流動床	固定熔爐型 (控制空氣)
<b>固體物：</b>					
粒狀、均勻	X			X	X
不規則、大型	X				X <sup>b</sup>
高熔點	X		X <sup>c</sup>	X	X
含可熔灰分之有機化合物	X				X
未切割之巨大物質	X				
<b>氣體：</b>					
有機揮發物		X <sup>d</sup>	X <sup>d</sup>	X <sup>d</sup>	X <sup>d</sup>
<b>液體：</b>					
高強度之有機廢棄物 (常含有毒性)		X <sup>e</sup>	X	X	
有機液體		X <sup>e</sup>	X	X	
<b>固體物／液體</b>					
含有鹵素環狀化合物	X		X <sup>f</sup>		
液體之有機污泥	X <sup>g</sup>			X	

a.適合用焦析法操作

b.可以處理大型物質

c.若廢棄物可被溶化及抽送

d.適當的投入焚化爐

e.設置有輔助之液體噴射器

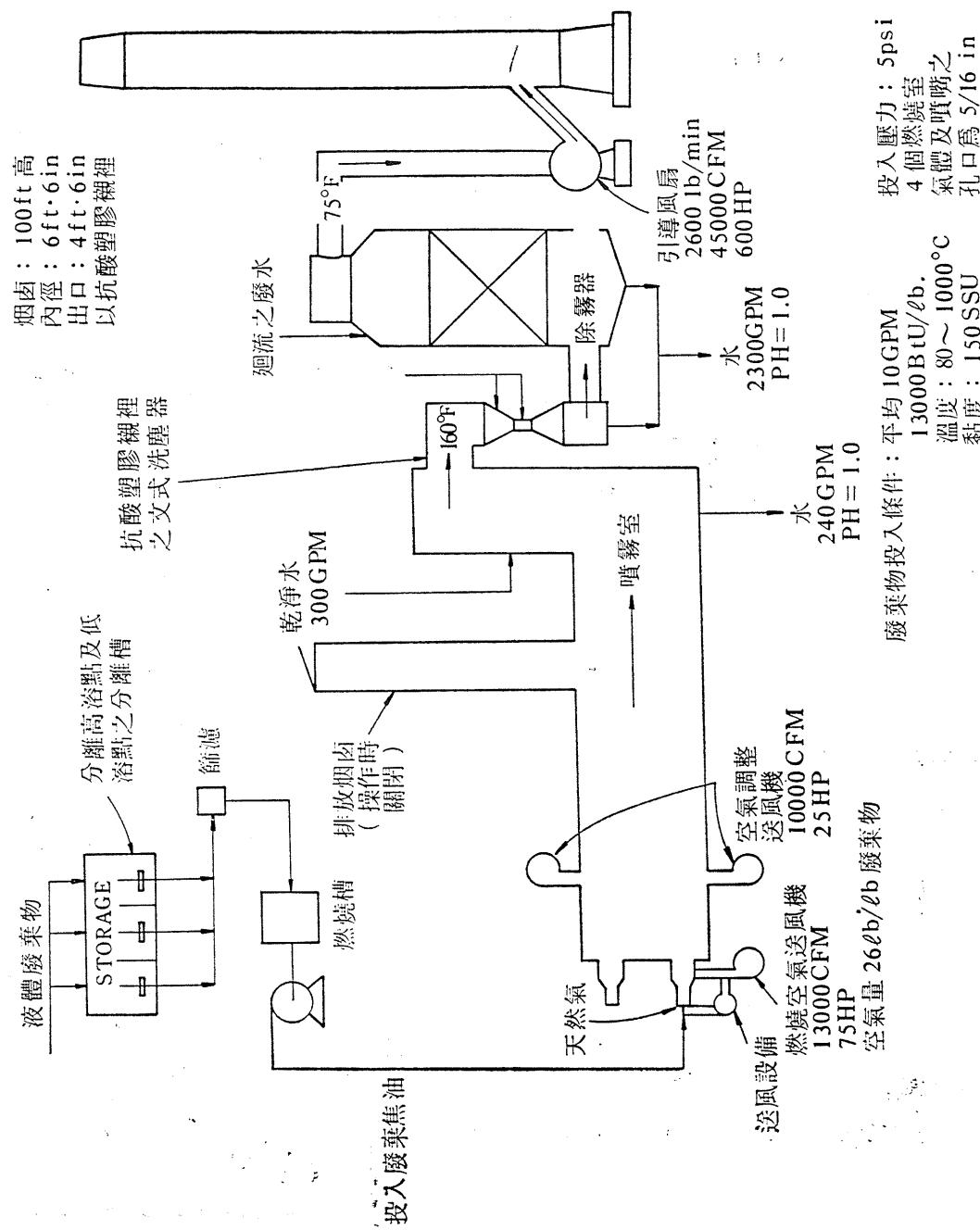
f.液體

g.假設乾燥時不會變成黏性之廢棄物

#### 4.3 噴霧型焚化爐 (liquid Injection Incinerators) LII<sub>s</sub>

噴霧型焚化爐，顧名思義，只能用於可以抽送的液體性廢棄物，這種焚化爐構造很簡單，包括堅固連結的圓筒（可以水平或垂直設置）內部裝置有一個或多個燃燒設備，液體廢棄物由燃燒室噴入，使其成微細的液滴，當其在懸浮狀態時即被燃燒，燃燒室及噴嘴之方向可成軸向、輻射向或切線方向，為了增加燃燒室空間利用及提高熱釋放速率，可以使用渦狀型或旋渦式燃燒器 (swirl or vortex burners)，或者將廢棄物改成切線方向輸入，典型之水平式焚化爐如圖三所示<sup>15</sup>。

垂直排列式噴霧型焚化爐 (Vertically-aligned liquid injection incinerators) 較適於用在含高量無機鹽類及灰分，而水平式則較適於用在含低灰分之廢棄物，典型噴液型焚化爐之容量約為  $10 \times 10^6$  Btu/h ( $2.5 \times 10^6$  Kcal/h)，然而其最高範圍卻可高至  $70 \sim 100 \times 10^6$  Btu/h ( $17.6 \sim 25.2 \times 10^6$  Kcal/h)<sup>14</sup>。



圖三 水平噴霧型焚化爐

**LII<sub>s</sub> 之優點：**

- ①若初級燃燒室有足夠的停留時間，一般約 2 秒，則不必二級燃燒室。
- ②可以焚化許多種類的液體性有害廢棄物。
- ③除了空氣污染控制設備需連續排除灰分外，其餘單元不必。
- ④可以有很高的 turndown 比。
- ⑤沒有移動之單元設備
- ⑥低維護費用。

**LII<sub>s</sub> 之缺點：**

- ①廢棄物須由燃燒噴嘴變成細顆粒後才能加以焚化。
- ②燃燒器易於阻塞（燃燒器之設計只適用於某些特定大小之顆粒，因此若要能成功的操作，顆粒大小是一個關鍵因子。）
- ③燃燒器無法燃燒乾燥或餅狀之廢棄物，因其無法通過噴嘴。

**4.4 旋轉爐床型焚化爐 (Rotary Kiln Incinerators) RKI<sub>s</sub>**

旋轉爐床型焚化爐是一種多用途之焚化爐，它可以用來分解固體廢棄物、泥漿及液體廢棄物，旋轉爐床是一堅固連接之圓筒，裝置稍為傾斜，爐床旋轉之目的在於使廢棄物能夠移動，並增加廢棄物之攪拌。

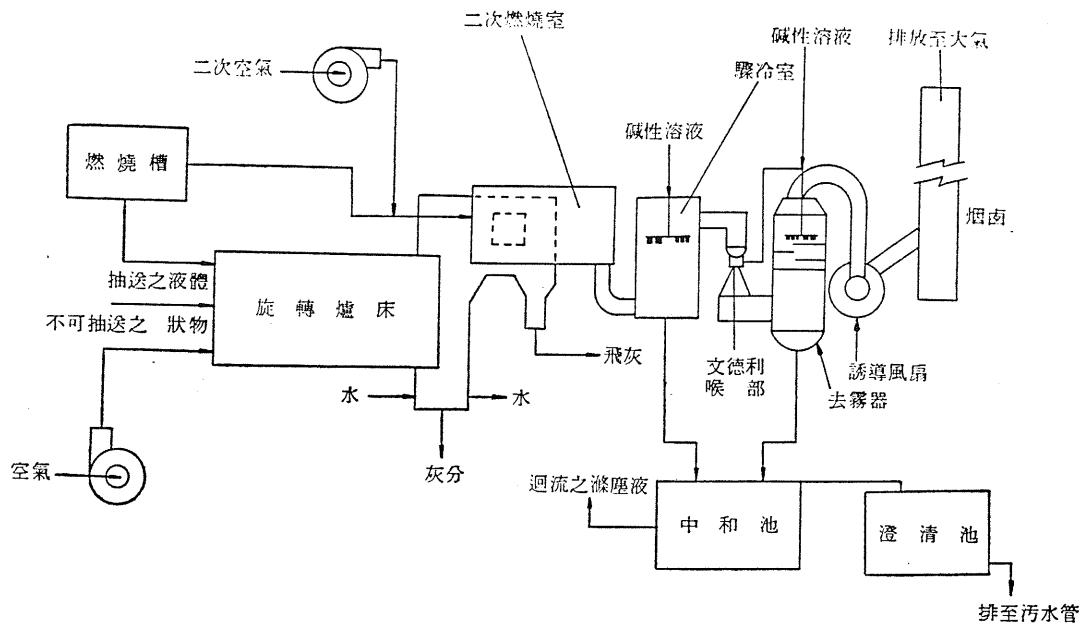
為了使廢棄物完全燃燒，旋轉爐床型焚化爐之設計皆包括二級燃燒室（後燃燒室），爐床最主要之功用是將固體廢棄物轉化成氣體，其過程為一連串之揮發作用、分解蒸餾及部份燃燒反應，然而二級燃燒室必須保持在氣相 (gas-phase) 下進行燃燒反應，二級燃燒室直接和爐床之末端相結合，爐床及二次燃燒室通常都需裝置輔助燃料系統以便使焚化能達到操作之溫度。旋轉爐床型焚化爐用於燃燒有害廢棄物，其典型之設計容量為  $25 \times 10^6 \text{ Btu/h}$  ( $6.3 \times 10^6 \text{ Kcal/h}$ )，圖 4 為典型之旋轉爐床式焚化爐。

**RKI<sub>s</sub> 之優點：**

- ①可以維持很長的停留時間，並能燃燒很多種類的固體或液體狀之有害廢棄物。
- ②可以投入大體積之廢棄物質。
- ③可以連續排除灰分而不影響廢棄物氧化。
- ④含有非揮發性成分物時，可以調整旋轉速度控制其停留時間。
- ⑤旋轉爐床可在  $2550^\circ\text{F}$  ( $1440^\circ\text{C}$ ) 溫度下操作，故適合於焚化高溫下難以熱分解之物質。

**RKI<sub>s</sub> 之缺點<sup>(15)</sup>**

- ①由於需二級燃燒室故建設費用較高。
- ②在完全燃燒之前，球狀及柱狀之廢棄物可能會滾過爐床。
- ③承受粒狀物之負荷大。
- ④欲使爐床末端密封，在操作上相當困難。
- ⑤由於液狀污泥廢棄物乾燥化或固體廢棄物融化時，在爐壁上會產生熔塊。

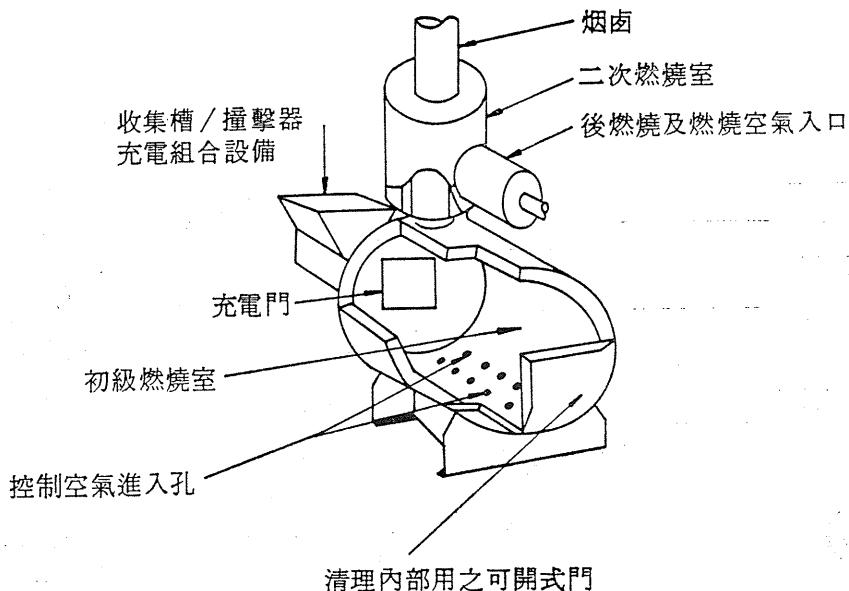


圖四、旋轉爐床焚化系統之流程圖

#### 4.5 熔爐床式焚化爐 (HIs)

熔爐床式焚化爐又稱控制空氣焚化爐、缺乏空氣焚化爐或焦析式焚化爐，是目前有害廢棄物焚化技術的一種，熔爐床式焚化爐基本上是兩階段 (two stage) 燃燒程序，其斷面圖示如圖 5 所示<sup>(14)</sup>。廢棄物由第一階段或第一燃燒室投入，此時約需 50~80% 化學計量之空氣，在缺乏空氣條件下，大部分的有機部份可被焦析分解所需之吸收熱量由氧化固定碳部份提供，焦析之產物及煙霧主要是由揮發性碳氫化合物及一氧化碳所組成，這些產物一起通過第二階段（二級燃燒室），此時需加入額外之空氣以便使燃燒完全，一般可利用自發反應或添加補充燃料完成上述燃燒，二級燃燒室通常可以降低烟囪之污染物排放，由於初級燃燒室在缺乏空氣之狀態，故其燃燒反應及亂流速度皆維持在很低的程度，所以被帶出去之粒狀顆粒將減至最低，當加入二次空氣之後，此控制空氣式之焚化爐之全部過剩空氣約在 100~200% 範圍。

控制空氣式焚化爐，其二次燃燒室之設計，旨在提供氣體停留時間 0.5~1.0 秒（一般為 0.7 秒），燃燒之溫度範圍由 760°C (1400°F) 至 982°C (1800°F)，典型者為 871°C (1600°F)，若欲燃燒不同種類之有害廢棄物則需較長的停留時間（延長至 2.0 秒）且溫度提高至 1204 °C (2200°F)



圖五、控制空氣焚化爐之剖面圖

**HI<sub>s</sub> 之優點<sup>15..</sup>**

- ①適合於污泥之處置。
- ②可蒸發大量的含水廢棄物。
- ③可利用不同型式之燃料，包括煤塵、廢油或溶劑。
- ④對於多層構造之熔爐而言，燃料效率很高，且可以由使用的熔爐床數目來促進其效果，燃料可適當的加入各爐床，以維持所需要的溫度剖面 (temperature profile)

**HI<sub>s</sub> 之缺點<sup>15</sup>**

- ①需二級燃燒室，因此增加設備費、維持費及操作費用。
- ②若要成功的達到焚化效果，固體廢棄物需預先處理。
- ③廢棄物含有熔解狀之灰分時，不適用本法，若廢棄物含不規則大體積之固體物時，需極高的溫度才能達到分解效果。

## 5. 空氣污染控制

雖然焚化可以破壞有害及有毒性廢棄物，但它同時產生了一些不需要的空氣污染物，故燃燒後之氣體在排出之前需加以處理，這些空氣污染物包括：

- ①氯化氫 ( HCl )，或其他鹵素。
- ②粒狀顆粒。
- ③氮氧化物。
- ④硫氧化物。

⑤不完全燃燒之產物 (PIC<sub>s</sub>) 。

⑥微量金屬及其他複合物。

HCl 及粒狀顆粒是 RCRA 列管之污染物，目前尚無法令對於操作中之焚化爐所排放之 PIC<sub>s</sub> 及微量金屬採取管制。

為了控制這些不需要之污染物質，焚化爐系統通常都需要一組或多組的空氣污染控制設備 (Air Pollution Control devices，以下簡稱APCDs)<sup>15</sup> 目前美國最常用的APCDs包括

APCD	功 能
文式洗塵器	去除粒狀物質
填充床式洗塵器	去除 HCl
平面塔式洗塵器	去除 HCl
袋式集塵器	去除粒狀物質
靜電集塵器 (ESP)	顆粒性物質

APCD 裝置之次序如下：

燃燒氣體→冷卻→洗塵器→袋式集塵器或 ESP→排放

### 5.1 冷却系統

冷卻系統之目的是要降低燃燒室之溫度，使其溫度由 1000°C 降至 100°C，以便適合於洗塵器之操作，降低溫度同時可以減少後續設備之氣體積流率，在冷卻系統中，可以回收熱量加以利用。

### 5.2 洗塵器

文式洗塵器包括液體噴射設備（一般為水或鹼性水溶液，以便中和 HCl 酸氣），當廢氣流以 30~130m/sec 之速度通過文式管之喉部時，將液體注入，當氣流加速時，在喉部會產生壓力差，並使注入之液體微滴氣霧化，由於表面積很大故利於質量傳輸作用，氣狀污染物與液體相接觸後即可被去除。

在填充式洗塵器中，污染物也因氣體及液體之緊密接觸而被去除，這些洗塵器是在一個管柱中任意填充各種物質，如鞍狀或環狀物等，洗滌液由管柱之上部流下，氣體流則以相反方向 (Countercurrent) 或交叉方向流入，當液體流經填充塔時，潤濕了填充物質，因此提供了氣相質量傳輸之界面。

平板式洗塵器和填充床洗塵器一樣，污染物由氣相中被吸收至液體中而去除，其設計基本上是在一垂直圓柱桶內裝置有很多平板，洗滌液由平板上部流下，而流經每一平板，最後由底端流出，氣體變成小氣泡後，向上流經每一平板，污染物於是被吸收而去除<sup>14</sup>。

### 5.3 靜電集塵器 (ESP)

靜電集塵器是使懸浮在氣體中之顆粒狀物質帶電，使其能於氣體中被分離出來，當加一個很高的電壓在放射電極時會產生電子雲放電 (Corona discharge)，此時發射電極及收集電極間會有帶負電的氣體離子產生，懸浮顆粒物質受氣體離子撞擊的結果，使其本身也隨之帶電，由於靜電引力之影響，使其朝向附近之收集板，帶電顆粒被收集電極中和，最後再以

週期性之洗濯或敲擊方式去除<sup>15</sup>。

#### 5.4 袋式集塵器

袋式集塵器由可透性材質組成，帶有顆粒的氣體可以通過此材質，顆粒被去除的機構有下列 6 種：

- (1) 濾布之過濾作用。
- (2) 截留作用：顆粒和濾布材質發生碰撞作用。
- (3) 撞擊作用：顆粒之運動方向突然改變而引起。
- (4) 重力沉降作用。
- (5) 靜電引力作用：能去除小顆粒。
- (6) 擴散作用：能去除更小的顆粒

基本上所有袋式集塵器其原理都相同，即含有污染物之氣體被濾布或濾袋所過濾，過濾作用通常可去除 99% 以上之顆粒性物質<sup>16</sup>。

### 6. 監視系統

監視最主要的目的是確保焚化爐於正常的操作狀態，利用自動儀器可以連續量測 O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, 總碳氫化合物及溫度等，一些微量之污染物（如 PCB，戴奧辛（PCDD）及呋喃（PCDF））等只能用人工方式去量測。

#### 6.1 連續排放監視<sup>17</sup>

表三為目前可以連續及自動量測之污染物項目及所使用之儀器，監視系統一般含有氣體調理系統，並將去除之顆粒加以冷凝，量測不同污染物的計測器列如前述，圖 6 為資料取得之系統圖。

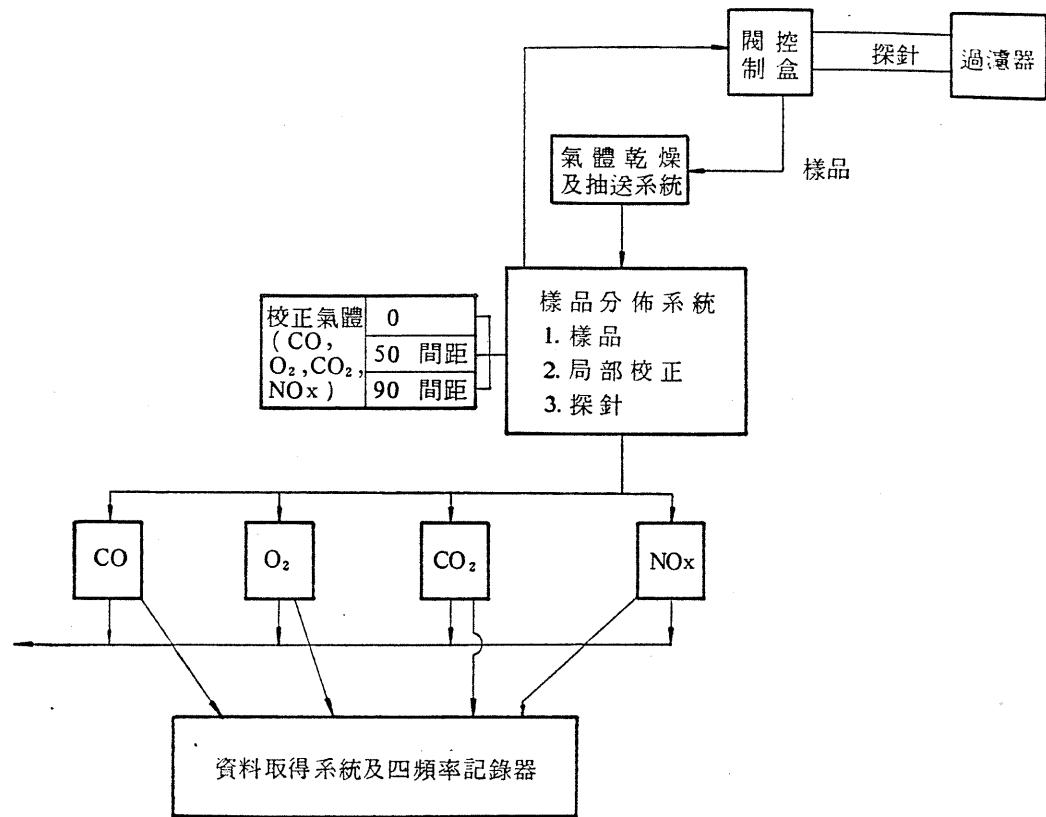
#### 6.2 HCl 之採樣<sup>18</sup>

圖 7 為目前所發展出來，用於固定排放源之 HCl 採樣器，圖 7 用到一個加熱之玻璃探針，其溫度維持在 300°F，或維持在烟囱之溫度，探針入口之末端有栓塞，採樣時 impinger train 必須浸在冰浴中，impinger train 由 4 個小型的 impinger 連結 U型玻璃管排列而成，1 號及 2 號 impinger 含有 15ml 吸收液 (0.1N NaOH)，3 號 impinger 含有 15ml 3% 的 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 溶液，以便去除污染物中之 SO<sub>2</sub>，4 號 impinger 是乾燥的 impinger，其功用為去除氣流中之濕度，典型的採樣速率是每分鐘 2ℓ，每樣品之體積約為 60~300mℓ，視欲量測之 HCl 濃度而定，樣品以標準之硝酸汞溶液滴定，分析其中之氯離子。

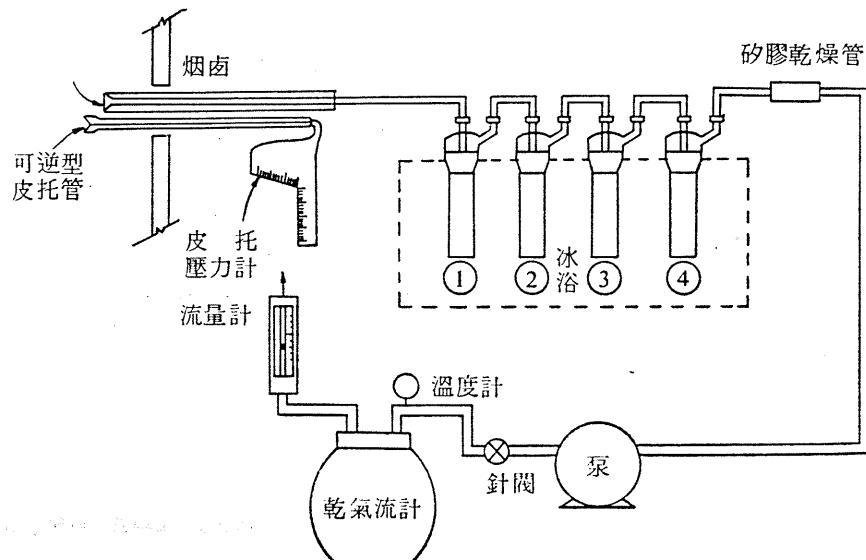
#### 6.3 揮發物：揮發性有機物之採樣序列 (VOST)<sup>18</sup>

VOST 常用於定量 VOC<sub>s</sub> 之濃度，VOC 代表沸點小於 150°C 之有機化合物，利用 Tenax 或 Tenax/木炭筒吸收 VOC<sub>s</sub> 之前需先加以冷凝。

train 是由玻璃探針及玻璃栓塞所組合，以便去除顆粒物質，其後再接上冷凝器及有機樹脂，其裝置如圖 8，第一個冷凝器將氣流冷卻並冷凝存在的水蒸氣及廢氣經冷凝之水分再通過含有 1.5 克 Tenax 樹脂 (60~80 號篩) 之捲筒，冷凝物由第一個 impinger 所收集，第



圖六、連續監視採樣流程

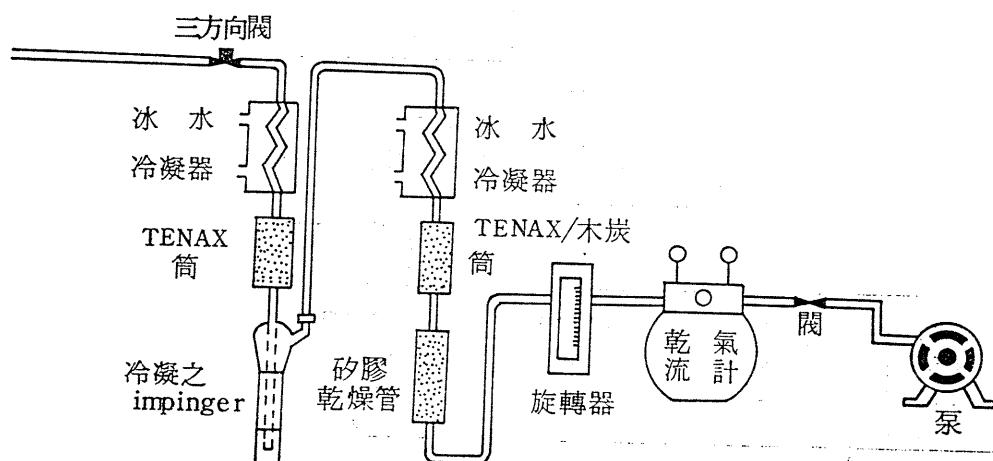


圖七、氯化氫採樣序列流程圖

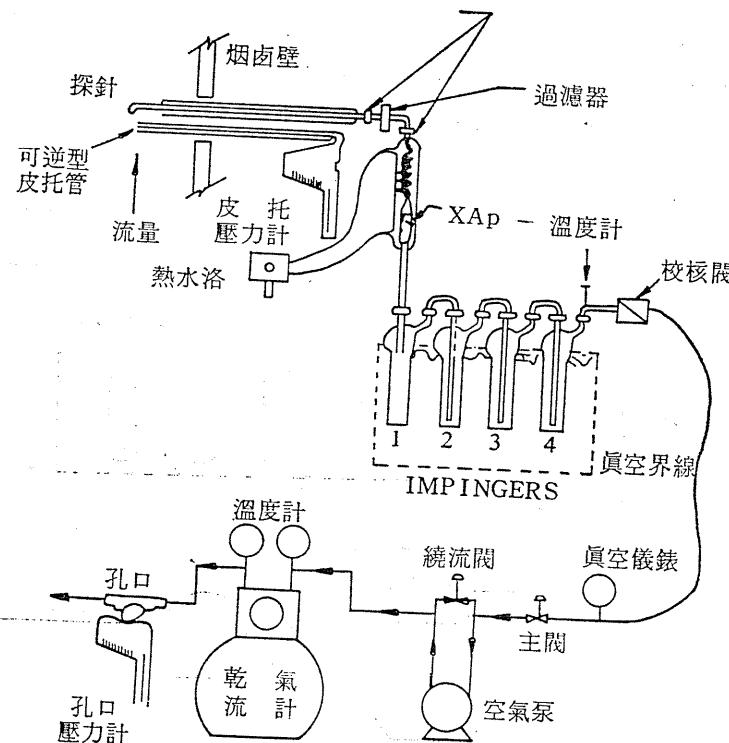
二個冷凝器含有 Tenax / 木炭，可以收集去除少量體積之貫穿化合物，接著第二個 Tenax trap 是一個矽膠管，用來去除剩餘之濕度。

#### 6.4 半揮發物質：修正法 5 (MM5)<sup>19</sup>

修正法 5 採樣序列是用於收集顆粒物質，半揮發性物質，多元氯化物（如PCDD/PCDF），圖 9 為 MM5 採樣序列之流程圖。



圖八、揮發酸採樣序列流程圖



圖九、修正法 5 流程

採樣系列乃由玻璃連接之探針，不銹鋼噴嘴、熱電偶及皮托管所組成，在探針之後面，氣體向下流經一個加熱過的玻璃纖維過濾器，採樣的氣體通過一水冷式之單元，再被含有25gx AD-2之樹脂所吸收，此XAD單元，其溫度保持在20°C以下，其後接連著四個 impingers，第一個 impinger 可當作冷凝庫，直接和XAD單元之出口連接由於第一個 impinger 經由很短的填塞 (short stem) 所修正，故氣體樣品經由收集冷凝器時不會形成氣泡，第1及第3個 impinger 是空的，第2個 impinger 含有 100ml 之去離子水，第4個則含有一已知重量的矽膠，所有連接處都以玻璃或鐵弗龍密封，而不用油脂，impingers 之後接有泵，乾燥氣流計及校正過之孔口計。

經由 VOST 或 MM5 採得之氣體樣品立即以 GC 或GC/MS 分析其有機化合物，根據分析結果，可以計算出分解效率及去除效率。

## 7. 許可同意 (permitting)

在管理焚化設施時，取得許可同意是一個很重要之步驟，欲獲得 RCRA 之許可同意最少須花費18個的時間，除了RCRA 之許可外，尚需取得其他之許可，表 IV 列出最近「紐澤西 (New Jersey) 計劃」對許可同意之要求。

## 8. 結論

焚化是目前分解廢棄物最好最有用的技術，可惜，並非最完美的技術，因其仍會排放不完全燃燒產物及微量金屬，PICs 可能和原來廢棄物之毒性相等，甚至超過，一般排氣中 PICs 之量比投入有機物少 100倍以上，PICs 及微量金屬之排放是很複雜的問題，目前需做更多之研究，以確信可以適當的控制其排放量。

## 備註

本文已被有害廢棄物 工程研究實驗室及美國 EPA, Cincinnati, Ohio 審查過，並核准刊登，但此不意味本文之內容足以代表 EPA 之觀點及政策，且文中所提之商業化產品及名詞亦無推薦使用之意。

1. "National Survey of Hazardous Waste Generators and Treatment, Storage and Disposal Facilities Regulated Under RCRA in 1981," U. S. EPA, 1984 (available from U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 20402, 055000-00239-8).
2. E. T. Oppelt, "Hazardous waste destruction," Environ. Sci. Technol. 20: 312 (1986).

3. C.C. Lee, G.L. Huffman, et al., "EPA Research into the Use of Boilers as a Hazardous Waste Disposal Technique," to be published, Proceedings from the World Congress III of Chemical Engineering to be held in Tokyo, Japan, September 1986.
4. Performance Evaluation of Full-Scale Hazardous Waste Incinerators (5 Volumes), U.S. EPA, November 1984.(available from NTIS, PB-85-129500).
5. A. Trenholm, et al., "Products of Incomplete Combustion from Hazardous Waste Incinerators," in Proceedings of the Tenth Annual Research Symposium-Incineration and Treatment of Hazardous Waste, U.S. EPA, September 1984.
6. "Hazardous waste management system: identification and listing of hazardous waste; interim final rule and proposed rule," Federal Register 45: (138) Part II, 47832 (July 16, 1980).
7. "Hazardous waste management system: identification and listing of hazardous waste, and interim status standards for owners and operators of treatment, storage, and disposal facilities; final, interim, and proposed regulations," Federal Register 45:(212) Part XI, 72024 (October 30, 1980).
8. "Hazardous waste management system: identification and listing of hazardous waste-finlizing the lists of hazardous wastes (261.31 and 261.32) and proposal to amend (261.32)," Federal Register 45: (220), Part VII, 74884 (November 12, 1980).
9. Federal Register, p. 7678, January 23, 1981.
10. "Presentation of a Method for the Selection of POHCs in Accordance with the RCRA Interim Final Rule, Incinerator Standards," U.S. EPA, Office of Solid Waste, January 1981.
11. Federal Register, p. 31551-52, May 31, 1979.
12. E. J. Martin, et al., "Practical Limitations of Waste Characteristics for Effective Incineration," draft report to EPA, Contract No. 68-03-3199, March 1986.
13. G.A. Vogel, et al., "Incinerator and Cement Kiln Capacity for Hazardous Waste Treatment," to be published, Proceedings of the Twelfth Annual Research Symposium-Incinerator and Treatment of Hazardous Waste, 1986.
14. E.T. Oppelt, "Thermal Destruction of Hazardous Waste," for presentation in Madrid, Spain, May 1986.
15. Engineering Handbook for Hazardous Waste Incineration, EPA Report No.

SW-889, September 1981.

16. Y.H. Kiang, A.A. Metry, Hazardous Waste Processing Technology, Ann Arbor Science, Ann Arbor, MI, 1982.
17. EPA Handbook of Continuous Air Pollution Source Monitoring Systems, EPA-625/6-79-005.
18. "Performance Testing of the Plasma Pyrolysis Unit," EPA Quality Assurance Project Plan for Contract No. 68-02-3698, January 1985.
19. C.C. Lee, G.L. Huffman, "An Overview of Pilot-Scale Research in Hazardous Waste Thermal Destruction," in Proceedings International Conference on New Frontiers in Hazardous Waste Management, EPA No. EPA-600/9-85-025, September 1985.