

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書

(出國類別： 實習)

事業廢棄物(含有害)處理技術及
土壤污染整治實務出國報告書

出國人
姓

服務機關：行政院環境保護署
職稱：研究員
姓名：陳世偉

出國地點：美國

出國期間：民國九十年八月三日至八月三十一日

報告日期：民國九十年十一月

行政院研考會/省(市)研考會
編號欄

614/
109006815

公務出國報告審核表

出國報告名稱：事業廢棄物(含有害)處理技術及土壤污染整治實務	
出國計畫主辦機關名稱：經濟部/行政院環境保護署	
出國人姓名/職稱/服務單位：陳世偉 研究員 行政院環境保護署廢管處	
出國日期：民國 90 年 8 月 3 日至 90 年 8 月 31 日止	
出國計畫主辦機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1. 依限繳交出國報告 <input type="checkbox"/> 2. 格式完整 <input type="checkbox"/> 3. 內容充實完備 <input type="checkbox"/> 4. 建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 5. 送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 6. 送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 7. 退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略 <input type="checkbox"/> 未依行政院所屬各機關出國報告規格辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input type="checkbox"/> 8. 其他處理意見：
層轉機關審核意見	<input type="checkbox"/> 同意主辦機關審核意見 <input type="checkbox"/> 全部 <input type="checkbox"/> 部分_____（填寫審核意見編號） <input type="checkbox"/> 退回補正，原因：_____（填寫審核意見編號） <input type="checkbox"/> 其他處理意見：

說明：

- 一、出國計畫主辦機關即層轉機關時，不需填寫「層轉機關審核意見」。
- 二、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 三、審核作業應於出國報告提出後二個月內完成。

系統識別號:C09006815

公務出國報告提要

頁數: 98 含附件: 是

報告名稱:

事業廢棄物(含有害)處理技術及土壤污染整治實務

主辦機關:

行政院環境保護署

聯絡人/電話:

/

出國人員:

陳世偉 行政院環境保護署 廢管處 研究員

出國類別: 實習

出國地區: 美國

出國期間: 民國 90 年 08 月 03 日 -民國 90 年 08 月 31 日

報告日期: 民國 90 年 11 月 30 日

分類號/目: G14/環境工程 /

關鍵詞: 事業廢棄物、有害廢棄物、土壤污染、醫療廢棄物、熱處理、破壞去除率

內容摘要: 旗山溪、高屏溪遭不法業者傾倒有機廢溶劑，嚴重污染水源之事件，影響大高雄地區飲用水安全；非法棄置事件使鄰近社區、河川行水區及其他人煙稀少、荒郊野外之大型空地，其土壤受到工業有害廢棄物傾置不當的困擾，造成健康危害更引起國人高度關切；醫療廢棄物處理機構，長期以來因被民眾質疑處理技術之可行性及醫療廢棄物焚化爐產生致癌物質-戴奧辛空氣排放質超過健康標準，在民眾抗爭壓力下，導致醫療廢棄物面臨無處理設施可供處理之窘境，更是近來國內眾所皆知之環保問題。藉由本次拜會紐澤西理工學院NJIT Otto York有害物質研究中心（Otto York Hazardous Research Center）及參加有害事業廢棄物研討會之機會，就該中心及美國近幾年來在（一）有害廢棄物熱處理技術（二）土壤污染管制及整治技術及（三）醫療廢棄物處理技術等三方面技術略作彙整報告，部分處理方法為目前美國及國內正在使用之新技術，希望這份報告對國內事業廢棄物處理、土壤整治及醫療廢棄物處理技術上有所幫助。

本文電子檔已上傳至出國報告資訊網

事業廢棄物(含有害)處理技術及土壤污染整治實務 (PIO/P：484-C01-10305)

摘要：

旗山溪、高屏溪遭不法業者傾倒有機廢溶劑，嚴重污染水源之事件，影響大高雄地區飲用水安全；非法棄置事件使鄰近社區、河川行水區及其他人煙稀少、荒郊野外之大型空地，其土壤受到工業有害廢棄物傾置不當的困擾，造成健康危害更引起國人高度關切；醫療廢棄物處理機構，長期以來因被民眾質疑處理技術之可行性及醫療廢棄物焚化爐產生致癌物質-戴奧辛空氣排放質超過健康標準，在民眾抗爭壓力下，導致醫療廢棄物面臨無處理設施可供處理之窘境，更是近來國內眾所皆知之環保問題。藉由本次拜會紐澤西理工學院 NJIT Otto York 有害物質研究中心 (Otto York Hazardous Research Center) 及參加有害事業廢棄物研討會之機會，就該中心及美國近幾年來在 (一) 有害廢棄物熱處理技術 (二) 土壤污染管制及整治技術及 (三) 醫療廢棄物處理技術 等三方面技術略作彙整報告，部分處理方法為目前美國及國內正在使用之新技術，希望這份報告對國內事業廢棄物處理、土壤整治及醫療廢棄物處理技術上有所幫助。

關鍵詞：

事業廢棄物、有害廢棄物、土壤污染、醫療廢棄物、熱處理、破壞去除率

目 次

前言.....	1
有害廢棄物熱處理技術.....	4
一、電漿弧反應器.....	9
二、旋轉窯焚化爐.....	13
三、濕式空氣氧化法.....	21
四、觸媒焚化爐.....	24
五、循環床焚化爐.....	26
六、流體化床焚化爐.....	30
七、紅外線技術.....	34
八、微波反應.....	39
九、熔鹽反應器.....	41
土壤污染整治技術.....	45
一、受無機物（重金屬）污染土壤之整治技術.....	46
二、受有機物污染土壤之整治技術.....	49
三、美國土壤污染物管制方式.....	68
美國醫療廢棄物處理方式.....	81
一、美國醫療廢棄物的現況與回顧.....	81
二、美國醫療廢棄物的定義與特性.....	82
三、感染性廢棄物之處理技術.....	84
心得與建議.....	93

前言：

依據廢棄物清理法之定義：所謂有害事業廢棄物係指由事業所產生具有毒性、危險性，其濃度或數量足以影響人體健康或污染環境之廢棄物。有害廢棄物一般含有相當劑量的有害物質，包括腐蝕性、易燃性、重金屬、有機廢溶劑、致癌性或致突變性等毒性化學物質。處置不當或任意棄置，有可能造成嚴重的環境破壞，影響鄰近居民身體健康或造成恐慌。

自從去年（八十九年）七月間，國內警方查獲不法份子將具有毒性之廢有機溶劑傾倒至旗山溪，嚴重污染高屏溪水源之事件，不但影響大高雄地區的二百萬民眾飲用水安全，更引起國人高度關切，國內有害事業廢棄物的產生、貯存、清除、處置等行為，以及防制有害廢棄物之任意棄置、尋求最佳可行技術及加強取締非法行為更是當前政府重要課題之一。熱處理技術則是當今熱處理技術中廣為應用之一，它是利用高溫加熱方式來改變有害廢棄物之物理、化學、生物特性或組成，以達到廢棄物減積、減量、無害化之目的，焚化處理技術則是當今熱處理技術中廣為應用之一，雖然處理有害廢棄物焚化爐種類繁多，僅就部分焚化爐可行技術略作說明。

非法棄置事件在工業先進國家亦常發生，使鄰近社區、河川行水區及其他人煙稀少支荒郊野外之大型空地，其土壤受到工業有害廢棄物傾置不當的困擾，造成健康危害疑慮問題也十分普遍，台灣地區受有機化合物污染土壤最受矚目的案例為桃園 RCA 污染案件，土壤污染整治技術頓時成為熱門討論之話題，藉由本次拜會紐澤西理工學院 NJIT Otto York 有害物質研究中心 (Otto York Hazardous Research Center)，以尋求較為可行及較為新穎之土壤污染整治技術。

此外國內醫療廢棄物處理機構，長期以來因被民眾質疑處理技

術之可行性及醫療廢棄物焚化爐產生致癌物質-戴奧辛空氣排放質超過健康標準，在民眾抗爭壓力下，導致醫療廢棄物面臨無處理設施可供處理，國內為解決此一事件，除採取緊急應變措施如冷藏 4°C 以下囤積，並不能完全解決醫療廢棄物之處理問題。國內相關主管機關為解決這些緊急情況，開始研究其他可行之處理方式，並公佈緊急應變期間以煉鋼業電弧爐支援處理感染性醫療廢棄物。爰此，藉由此次實習及參加研討會期間，以收集美國處理醫療廢棄物之相關技術，作為參考依據。

本次計畫係經由受邀單位：紐澤西理工學院 NJIT Otto York 有害物質研究中心(Otto York Hazardous Research Center)主任 Dr. Watts, 邀約安排之下得以順利成行，邀請函如附，經由 Dr. Watts 建議安排二場有關有害廢棄物管理研討會，精心安排拜會參訪合作夥伴學校，及東岸地區州政府環境保護局及美國環保署各區分局，使得本計畫得以順利完成，整個安排參訪行程如下：

日期	行程
8/3	台北至洛杉磯(搭乘華航 CI-008) TPE-LAX 8/3 晚上 20:05 到達洛杉磯
8/4	洛杉磯轉機至圖森-亞利桑那大學(搭乘聯合 UA-2678) LAX-TUS
8/5~8/7	圖森-亞利桑那 參加亞利桑那大學舉辦第十九屆大專院校有害廢棄物管理研討會 (19th annual University Hazardous Waste Conference)
8/8	圖森-亞利桑那至紐約 TUS-LGA(NYC)
8/9-8/11	拜會受邀單位(有害物質研究中心, Otto York Hazardous Research Center Dr. Watts, Newark, NJ), 討論研究主題及參訪機關行程, 資料收集及意見交流
8/12	紐約-紐瓦克搭機至芝加哥 EWR(NYC)-ORD(Chicago)

8/13-8/18	拜會 EPA-Region5, 合作夥伴學校 Uni.Chicago, Illinois Institute of Technology (行程由 Otto York Center 接洽安排)
8/19	芝加哥搭機至聖安東尼-德州 ORD-SAT(San Antonio, TX)
8/20-8/23	聖安東尼-德州參加第六屆有害廢棄物管理研討會(6th Hazardous waste Management Conference)
8/24	聖安東尼-德州搭機回紐約 (紐瓦克機場) SAT-EWR(Newark, NYC)
8/25-8/26	有害物質研究中心, Otto York Hazardous Research Center 與 Dr. Watts, 討論研究主題及資料整理
8/27	費城拜會參訪 EPA-Region 3 及 馬里蘭州環保局
8/28	拜會 DC-Department of Health 及參訪 DC 博物館
8/29	紐約拜會參訪 EPA-Region 2 及紐約世貿中心 搭機返台(23:50 華航 CI-011) JFK-TPE
8/31	上午 06:30 到達台北

本次拜會紐澤西理工學院 NJIT Otto York 有害物質研究中心 (Otto York Hazardous Research Center) 及參加有害事業廢棄物研討會之機會，就該研究中心近幾年來在有害廢棄物處理技術、土壤污染處理及醫療廢棄物處理技術三方面略做簡要敘述，惟該中心在有害物質/廢棄物處理技術方面以熱處理為重點，以下就熱處理技術多做簡要介紹，本報告內容以 (一) 有害廢棄物熱處理技術 (二) 土壤污染管制及整治技術及 (三) 醫療廢棄物處理技術 等三方面分別做彙整報告。

有害廢棄物熱處理技術

1. 總論

熱處理程序是利用高溫來改變有害廢棄物的物理、化學、生物特性或組成以達到廢棄物處理。焚化則是當今熱處理技術中廣為全球應用的技術。舉例來說，焚化已被美國數則法令中認定使用：

- 資源保育及回收法(RCRA)中的有害廢棄物、醫療廢棄物、市鎮廢棄物和混合廢棄物（有害廢棄物混合輻射物）。
- 毒性物質管制法(TSCA)中的毒性物質。
- 安全飲用水法（Safety Drinking Water Act）中的污泥廢棄物。
- 全面性環境應變、補償及責任法案(CERCLA)中的超級基金廢棄物。
- 超級基金修正條款及再授權法(SARA)中的極度有害物質。
- 聯邦殺蟲劑、殺菌劑及殺鼠劑法(FIFRA)中的殺蟲劑。

焚化爐是一種燃燒廢棄物的處理設施，其中的燃燒因子如溫度、滯留時間、擾流、燃燒空氣等均可被控制。以下歸納了四種最常使用的焚化爐之溫度和滯留時間的傳統範圍：

- 旋轉窯.....1,500~2,900(°F)
- 流體噴注式.....1,500~2,900
- 流體化床.....840~1,800
- 共同焚化.....300~2,900

一般而言，氣體或液體廢棄物的滯留時間少於 2 秒鐘。固態廢物所需範圍以小時計，依固廢大小和特性而異。此常規適用於所有種類的焚化爐。

2. 選用焚化之原因

雖然尚有許多具有潛力的處理技術，但是沒有一種方法可以像焚化法處理許多為不同聯邦和州環保法規所管轄之廢棄物，也無法像焚化法一樣廣泛地為各界接受。與其他處理技術相比較下，焚化法主要具有下列優點：

- (1)減積(Volume Reduction)：減少比率視廢棄物焚化後之含灰量而定。
- (2)去毒(Detoxification)：焚化對病原菌、毒性或有害物質幾乎 100% 可被破壞。
- (3)具能源回收潛力(Potential Energy Recovery)：在許多工業上，已有廢棄物焚化回收能源再利用之實例。
- (4)無長期責任性(No Long Term Liability)：一旦將廢棄物焚化，一切就此解決，不像掩埋法須負長期之責任。
- (5)高效益(Effectiveness)：掩埋法須費數年分解的時間，焚化法只需一分鐘就可將廢棄物破壞。

雖然如此，廢棄物焚化爐若操作不良及維護不佳，亦非常可能產生燃燒副產物 Combustion By-Products(CBPs)或有環保之虞之污染物。燃燒副產物(CBPs)包括：

- (1)可能含有病原菌之部分焚化灰分
- (2)如有毒戴奧辛(Dioxins)和呔喃類(PCDDs 和 PCDFs)之有機污染物
- (3)如金屬粒子之無機污染物
- (4)油煙

CPBs 為使用焚化法處理廢棄物技術及社會層面上之主要考量因素。當今之 RCRA 法規的“破壞去除效率”不幸誤導大眾，以為焚化為“在天空中作掩埋”之錯誤觀念。結果大眾對焚化爐

產生所謂之「not in my back yard」(NIMBY)(不要在我家後院)的態度，使選擇焚化場之位址極為困難，民眾抗爭不斷。

3. 瞭解焚化程序

燃燒(Combustion)和焚化(Incineration)二者具有相同之定義，即物質迅速氧化，產生熱量及發光的程序。但一般而言，燃燒常用於石化燃料燃燒產生蒸汽或電力之範疇，而焚化較常用於廢棄物之破壞，儘管如此，焚化仍使用於許多傳統燃燒領域所定義之用語。

燃燒或焚化基本上都是指物質之極快速化學氧化程度。相反地，生鏽為非常慢之化學氧化作用。當氧化快速時，物質之溫度快速地上升，因其傳送至外圍環境之熱量不及氧化反應所產生之熱量，結果該物質發射可見之輻射光，我們稱之為火焰(Flame)。

瞭解燃燒程序在有效設計、操作、以及調整焚化爐上是必要的，燃燒程序所需瞭解之主要範圍包括：

- (1) 質量平衡 (提供反應物所形成之生成物量)
- (2) 能量平衡 (提供燃燒系統中之能量傳送，或者焚化爐達到某一特定溫度所需之輔助燃料量)
- (3) 熱力學分析 (提供燃燒系統中有化學成分改變之資料，但並不會顯示改變速度之快慢)
- (4) 動力學分析 (提供成分改變快慢之資料，但並不預測最終會可能之改變量)
- (5) 熱傳送 (提供燃燒系統中之溫度分佈)
- (6) 擾流 (決定廢棄物化合物是否有效地與氧氣接觸反應)
- (7) 滯留時間 (決定焚化爐體大小)

最後三項，即溫度 (Temperature)、擾流 (Turbulence) 及時間 (Time) 被稱為廢棄物焚化作用之 3T。

4. 焚化標準

為確保廢棄物之焚化是否完全，美國首先採用了下述之焚化標準，該標準隨後也為其他國家引用：

(1) 對廢棄物進料指定之每一種主要有機有害成份（Principal Organic Hazardous Constituents，簡稱 POHCs）的破壞去除率（Destruction and Removal Efficiency，簡稱 DRE）必須達到 99.99%。而對於 PCB(多氯聯苯)和戴奧辛類廢棄物，DRE 之要求為 99.9999%。POHCs 係基於廢棄物進料中化合物可焚化性及濃度作指定。

(2) 焚化爐／空氣污染物控制系統之 DRE 定義如下式：

$$DRE(\%)=100 \times (W_{in} - W_{out}) / W_{in}$$

其中 DRE = 破壞去除率(%)

W_{in} = POHCs 進入焚化爐之質量進料率

W_{out} = POHCs 排至大氣之質量排放率

(排放前在煙道中測定)

(3) 燃燒有害廢棄物之焚化爐必須由排氣中去除 99% 之氯化氫 (HCl)，且每小時不得排放多於 4 磅之氯化氫。

(4) 燃燒有害廢棄物之焚化爐，其煙道氣體所排放之粒狀污染物不得超過 180mg/dscm，該數值係經 7% 含氧量作修正。

(5) 一般需試燒（或相當於試燒之數據）以證實有害廢棄物焚化爐具有符合上述性能標準之能力。

5. 熱處理技術類型

雖然現有許多型式的焚化爐，但其運作原則大致相同。以下就有害廢棄物焚化爐部分，特殊應用的焚化爐列舉如下：

- 電漿弧反應器
- 旋轉窯焚化爐－固定式 (RKI)
- 濕氣氧化(WAO)
- 觸媒焚化爐
- 循環液態焚化爐(CBC)
- 流體化床焚化爐 (FBC)
- 紅外線 (IR) 技術
- 微波反應器
- 熔鹽反應器(MSR)

以上是最常被應用的技術而提出。例如流體化床焚化爐目前被用於有害廢棄物及污泥的焚化。但是在美國流體床焚化爐較常被使用在有害廢棄物的焚化。本次實習研究的目的是在於研討有害廢棄物焚化爐的可能技術，以下為每一技術提供了四個主要資訊：(1)原理(2)個案研究(3)優點(4)缺點，分別做個案研究與簡要描述。

一、電漿弧反應器

1. 原理

電漿弧技術原先用於美國發展太空計畫。在保護太空艙的熱盾評估時需要具漿體特性的強力熱源。

電漿被稱為物質的第四態，因為它通常不具固態、液態或氣態性質。電漿或可定義為傳導氣流，包含正和負極粒，其總電價大約為零，並都呈集體表現。

電漿應用於廢棄物處理的主要用途為能量轉化和能量傳導設備。輸入之電能以 $10,000^{\circ}\text{F}$ 高溫傳至位於反應器中心線的電漿。當電漿的活化物質衰敗，其能量傳至漿體中的廢棄物。廢棄物再分解成原子、後離子化、熱解，最後被破壞。故此技術的重點在於廢棄物快速地分解成原子，而在動力重組時無大分子的中間產物。

產生電漿最常用的方法為電子釋放經過一低壓氣體。(參考圖 1)。氣體的選用並不影響電子釋放，但卻顯著影響產物的形成。電子在經過氣體時，因為吸收氣體分子，電能遂轉化成熱能，造成原子游離，並失去電子。弧體沿中心循環旋風溫度可至 $10,000^{\circ}\text{C}$ 。當高能量原子或分子降至低能量時，紫外線被釋放而出。

電漿熱解的裝置水平高立於耐熱線狀熱解室，尺寸約為 $2\text{m} \times 1\text{m}^2$ 。液體廢棄物注入裝置中的線形電極後，被分解成原子。這些元素後來進入熱解室（混合區）原子再組合成氫、一氧化碳、氯化氫或碳粒子。在原子化區和重組區的滯留時間各為 0.5 秒和 1 秒。而在重組區中的溫度通常維持在 $900 \sim 1,200^{\circ}\text{C}$ 。

熱解室之後，產物氣體再以水和腐蝕性蘇打去除其中的氯化氫酸和粒子物體。剩餘的氣體多數為可燃的，再以風扇抽至燃燒塔以電子燃燒。若是無能源時，產物氣體以活性碳過濾未分解的

毒性物質。

本程序產生的殘留物計有燃燒塔釋放的氣體和去除水。因為經過去除程序後的氣體主要為氫，一氧化碳和氮，經燃燒產生無毒的火焰。分析後顯示，燃燒之後溢氣內的毒性物質已被全數破壞。

去除水水流主要組成物為 HCl 中和產生的水以及粒子(主要為碳)。分析其中關心物質(如進料中的 CCl_4 ，PCB s)的內含量，皆低至 ppb 濃度。去除水水質與進料水速率、進料產物和去除率都有關係。

2. 個案研究：移動式電漿弧單位

紐約州政府環境保護局以及美國環保署於 1982 年建立共同協定，以建立和試驗用於高效率有害廢棄物處理的移動式漿體弧狀單位。

此系統廢棄物進料率為 4 公斤/分鐘或約 55 加侖/小時。燃燒前的氣體產生率約為 5~6 米³/分鐘。為執行本計畫的試驗，並在試驗工廠建立一座燃燒室和 10 米高的煙囪。燃燒後的氣體溢出率約為 30~40 標準米³/分鐘。

移動拖車內裝置了座氣體層析器提供溢氣組合的訊息。燃燒前氣體樣品需經氫、一氧化碳、二氧化碳、水、氮、甲烷、乙烯、乙烷、acetylene、propane、propylene 和 1-butene 的分析。

在加拿大曾示範測試一小時四氯化碳(CCl_4)簡單氯化物的分解，以及去除器去除氯化氫的能力。 CCl_4 與 MEK(methyl ethyl ketone)，乙醇和水混合，以每分鐘 1 公斤 CCl_4 速率注入系統。

另外，決定 PCBs 的破壞去除率(DRE)和處理此污染物所需的操作資料所做的 3 小時 PCBs 測試：使用 MEK/甲醇為進料物，

在反應器出口產物溫度達 1,100°C 後，進料物遂被移至 PCBs, MEK 和甲醇的混合物。去除器內的水在排放於下水道前保留住，以確保多氯聯苯、戴奧辛和呋喃不超過加拿大管制當局制定的標準。

煙囪排氣需經過多項監測：粒子、PCBs、戴奧辛、呋喃、NO_x、HCl、流速和溫度。取樣和分析計畫包括了數量確定和控制。此程序和裝置都經過標準化。測試結果顯示此系統的破壞去除率皆優於 RCRA 訂立的 99.99% 或 TSCA 的 99.9999%。

加拿大測試後，西屋建造一 3 加侖／分鐘(1 噸／小時)容量的移動式電漿單元 (Pyroplasma)。在相同的高溫處理情況下，西屋公司又設計了“西屋電子熱解器”來做土壤污染的消毒工作。

西屋電子熱解器利用電能加熱廢棄物進料物至 3,000°F。在此高溫下，有機污染物被分解成一氧化碳和水，而無機物被熔解成玻璃狀液體後被移除。Pyroplasma 和熱解器皆被美國環保署選用於現場測試。

3. 優點

- 電漿系統，可產生比傳統焚化更快速的熱傳導速率。
- 有機氯經紫外線（由熱漿體產生）燃燒會產生脫水反應。
- 不需要消耗氧氣。比起傳統焚化通常需 150% 超量空氣以達適當地焚化，氧化的副產品少。
- 此步驟具非常短的開／關循環。
- 進料物中的粒子需經過 200 點網孔。受污染泥土和污泥不能被處理。TCDD 廢棄物具潛力適用於此技術的部分，包括了非水溶液態過濾物，如 Love Canal 和 Hyde Park 掩埋廠產生物，未使用的除草劑如除草橘劑。

4. 缺點

- 溫度高（在弧狀體中心線約 $10,000^{\circ}\text{C}$ ），弧狀體和耐熱物質的持續性不良。
- 弧狀體敏感性高（例如電壓突然降低），系統操作需高度訓練的專門人員。

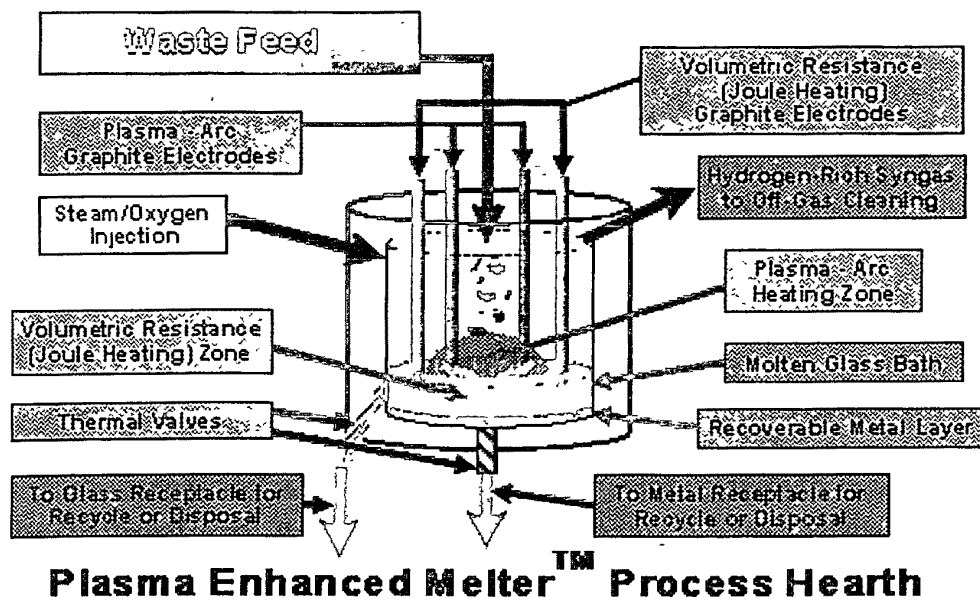


圖 1 電漿反應示意圖

二、旋轉窯焚化爐－固定式(RKI)

1.原理

旋轉窯可應用於固體廢棄物、漿料廢料、桶裝廢棄物以及液體之破壞，是為更進步之焚化爐。也因為如此，該單元最常與市面上的廠外焚化設施併用。旋轉窯焚化系統為連續操作設計，它必須包括廢棄物連續進料裝置及連續性除灰裝置。該系統一般包括作為一次燃燒室之旋轉窯以及作為二次燃燒室之後燃器。

旋轉窯 (rotary kiln) 為一次燃燒室，外形為一個圓筒狀耐火外襯殼，輕微地傾斜及旋轉，故稱之為旋轉窯。旋轉窯可處理許多種廢棄物。固體和黏稠狀污泥通常以輸送帶送至窯後上端或於纖維桶，而液體原子化後送入輔助燃燒器。液體被注入窯中或進入後燃器，固態廢棄物則為部分燃燒。燃燒產物為氣體和無機灰燼。灰燼自窯中移出，氣體則於第二燃燒室內完成燃燒(後燃器)。該窯之主要功能包括將固體廢棄物經由一序列之揮發、破壞蒸餾以及部分燃燒反應，轉化成氣體。該外殼之旋轉可令廢棄物輸出經過該窯，並促進廢棄物之混合。固態廢棄物在窯中的滯留時間從秒到小時不等，其可藉窯旋轉速度(1至5rpm)及廢棄物進料率(一般不超過該窯內部體積之15至20%)控制，有時也用窯內阻堤控制。傳統上，該窯以過剩空氣操作，但現有些製造廠商將旋轉窯設計成在次化學計量空氣(sub-stoichiometric air)下操作。

後燃器(Afterburner)通常稱為在二次燃燒室中之燃燒器，為完全氣相燃燒反應的必需品。該後燃器直接連接於旋轉窯之出料端，窯爐排出之氣體在該處由水平流向路徑向上通過後燃室。後燃器及旋轉窯一般均裝有輔助燃料燃燒系統，使該等單元提高並維持所需之操作溫度。後燃器室本身可水平或垂直安置，且其主

要之功能與液體噴注式焚化爐原理大同小異。事實上，許多裝置亦經由後燃器室分開之廢棄物燃燒器之燃燒液態有害廢棄物。

輔助燃料系統主用來提高窯熱至需要的操作溫度。不同的輔助燃料系統可能被使用，包括了為雙液體燃燒器或具預混合系統的單液體燃燒器。

旋轉窯主要為共流或對流之設計，共流單元其輔助燃料燃燒器，和廢棄物注入處共同位於焚化爐的後端。而對流單元的設計為廢棄物通過焚化爐時施以對流燃燒氣體。後者設計對低熱值廢棄物有利，因為在窯中兩端的溫度都能被控制，減輕了耐熱線過熱地問題。

典型之旋轉窯焚化爐如圖 2 所示。整體焚化程序可分為四區：

I 區：旋轉窯火焰區

II 區：旋轉窯非火焰區

III 區：後燃器火焰區

IV 區：後燃器非火焰區

I 區之目的為焚化固體廢棄物，若後燃器僅用來燃燒液體廢棄物，則將液體廢棄物噴注至 III 區。若後燃器用來對旋轉窯排出之未燃去化合物作進一步焚化時，通常須將輔助燃料注入 III 區中，以支持焚化程序。II 區和 IV 區具有相同之功能，即非火焰之熱降解作用。一般言之，後燃器之平均溫度較固體燃料之燃料高 200°F 至 400°F。

固體於焚化爐的燃燒具有比液體更多的變數，如廢棄物之組成以及其聚集狀態。固體的聚集狀態可能從細微分別的粒子或大至 50 加侖桶的物體。

當廢棄物進入焚化爐後，其可能之流程如何呢？多種物理及化學程序（如圖 3 和圖 4 所示）將會發生。在焚化發生之前，固體廢棄物必須發生氣化，大部分氣化之廢棄物將與空氣混合而直接進行燃燒。固體廢棄物含多種化學成分，而並非所有之成分為可燃性。固體廢棄物之不燃成分通常稱為惰性物質（Inerts），其作用有如熱井（thermal sink），影響燃燒過程所達成之尖峰溫度。廢棄物進料中之惰性物質包括：

- (1) 濕氣
- (2) 礦物質(如矽酸鹽、硫化物、鹵鹽等)。
- (3) 具較高蒸氣壓之金屬（如汞、硒和鎘）氧化物。

當惰性物質於燃燒區中產生時，在後焰中以不均衡比率之蒸氣形式存在。該蒸氣隨後於後焰氣體冷卻凝結，並以排放中之灰分、微粒子或膠態懸浮物之形式存在。

若達到足夠高之燃燒溫度，灰分可熔化或熔合成爐渣（Slag）。例如當矽酸鹽在溫度升至高於 1,000°C 時，熔融之小球將聚結成較大之顆粒。一方面來說，此種聚結是所希望的，因為由排放中去除較大之粒子一般較為容易；但另一方面而言，又不希望形成爐渣，因為其對燃燒室材料具有類似溶劑之作用。而且當微粒聚結時，其亦包封其他可燃性物質之小粒子，若發生此種情況，被包覆之可燃性物質通常即失去了燃燒之機會，即使爐渣循環回反應區也無法將其消耗掉。

Ⅲ區一般供液態廢棄物（液滴）之焚化，液態廢棄物通常以液滴噴散之方式燃燒。為有效焚化，新穎之高效能噴嘴能產生液滴直徑小於 100 微米之氣霧分佈。

一般言之，液滴之區域並不以均勻之方式排列。一些液滴間

之距離常常比另一些液滴間之距離為大。此外，當液滴隨空間和時間改變位置時，這些距離也持續地發生變化，此持續性變化因不同液滴之差異而發生，特別是液滴大小之不同，以及其與流動空氣間之相互作用等因素。

對液滴間距較小之液滴而言，燃燒在局部富燃料條件下，將產生部分氧化作用。若該條件更富含燃料時，因為缺乏氧氣，在環繞液滴之火焰熄滅後，仍將留存有未燃燒或未蒸發之燃料。此部份氧化之產物將夾雜於燃燒部分所產生之熱燃燒氣體中，而此種產物之蒸發和裂解轉化將繼續進行。因此諸如此類缺乏效率之程序將產生大量微粒物質和裂解產物。

對液滴間距較大之液滴而言，燃燒在局部貧燃料條件下發生。由於充分氧氣（事實上為過多之氧氣）局部存在，易產生完全燃燒。

2. 個案研究

以下以 Rollins 固定式焚化爐為例，來說明旋轉窯操作的意念。固體和污泥輸送至纖維桶或 55 加侖桶內的旋轉窯。某些固體（如容器）在注入系統前需先壓碎處理。液體則可直接注入後燃區。液體經高壓氣體而原子化，而在燃燒區產生旋轉的動作。

燃燒室周長 1.6 米，高 4.9 米，而後燃區尺寸為 $4 \times 4.3 \times 10.6$ 米。自然氣體和 2 號燃料油用來燃燒，另外仍需補充燃料。焚化燃燒溫度可至 $1,500^{\circ}\text{C}$ ，後燃器平均溫度為 1300°C 。後燃器的滯留時間為 2 至 3 秒。窯內的滯留時間因廢棄物的不同而異，其變數包括了設計功能，固體內含物和黏稠度。燃燒氣體從後燃區經過去除器和吸收塔的組合系統，以去除其中粒子和酸氣。部份去

除水加入石灰後再進入去除器頸部，以增加去除效率。另外，風扇可將氣體抽出系統釋入大氣中。

傳統固定式旋轉窯的因子茲表列如下：

滯留時間	範圍從數秒(高燃燒氣體)至數小時(高燃性固廢)不等
焚化爐溫度	依廢棄物的需求，可由 800~1,600°C (1,470~2,900°F) 不等
高與周長比	2~109
周邊旋轉速度	1~5rpm
傾斜比	1/16~1/4 吋/呎

一般而言，多數商業固定式旋轉窯對有害廢棄物可達 99.99% 破壞去除率(DRE)，對 PCBs 而言，DRE 可達 99.9999%。

3. 優點

- 可個別或一起燃燒液態或固態廢棄物。
- 物質通通熔質時不會造成阻礙。
- 可注入柱狀或大的容器。
- 進料機制設計具高度變通性。
- 提供固廢高擾流和氣體接觸。
- 連續去除不影響廢棄物氧化。
- 窯內無可移動部份。
- 調節旋轉速率則可控制滯留時間。
- 廢棄物不需經預處理（如預熱、混合等）可直接注入系統。
- 溫度可高至 1,400°C (2,500°F)，以破壞難熱解之有毒物質。

4. 缺點

- 高裝置費。

- 需細心操作，以防耐熱裝置地損壞。
- 在完全燃燒前，空氣中的粒子可能會溢出旋轉窯。
- 在完全燃燒前，球體或圓柱體物可能會滾經窯中。
- 不易預防漏氣，特別在窯底封處和注入斜槽。
- 高粒子量。
- 相當低的熱效應。

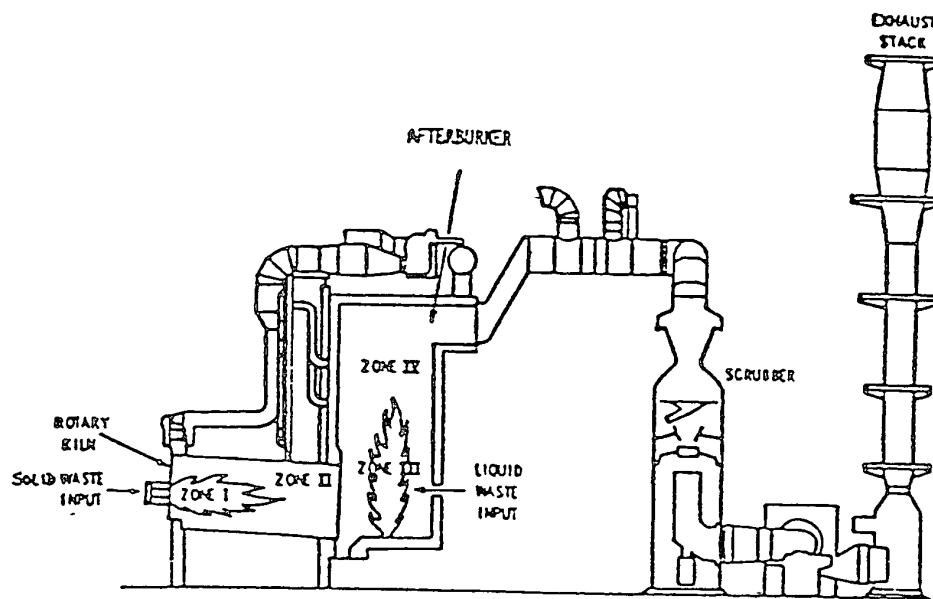


圖 2 旋轉窯和後燃器系統

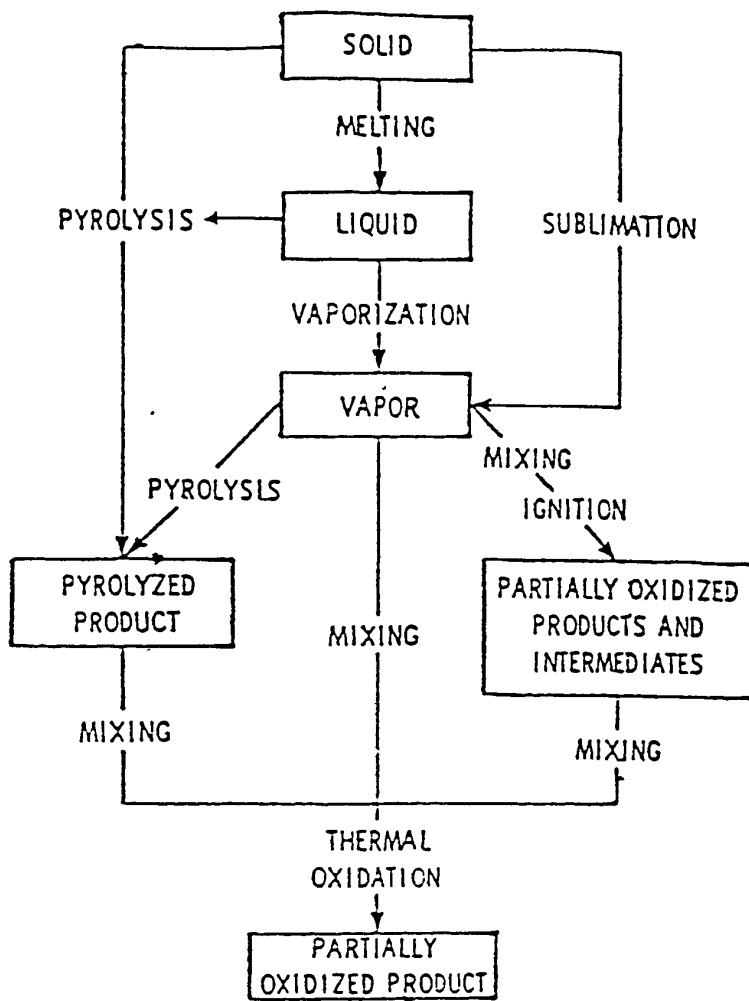


圖 3 焚化過程物理程序概意圖

THERMAL DECOMPOSITION PROCESSES

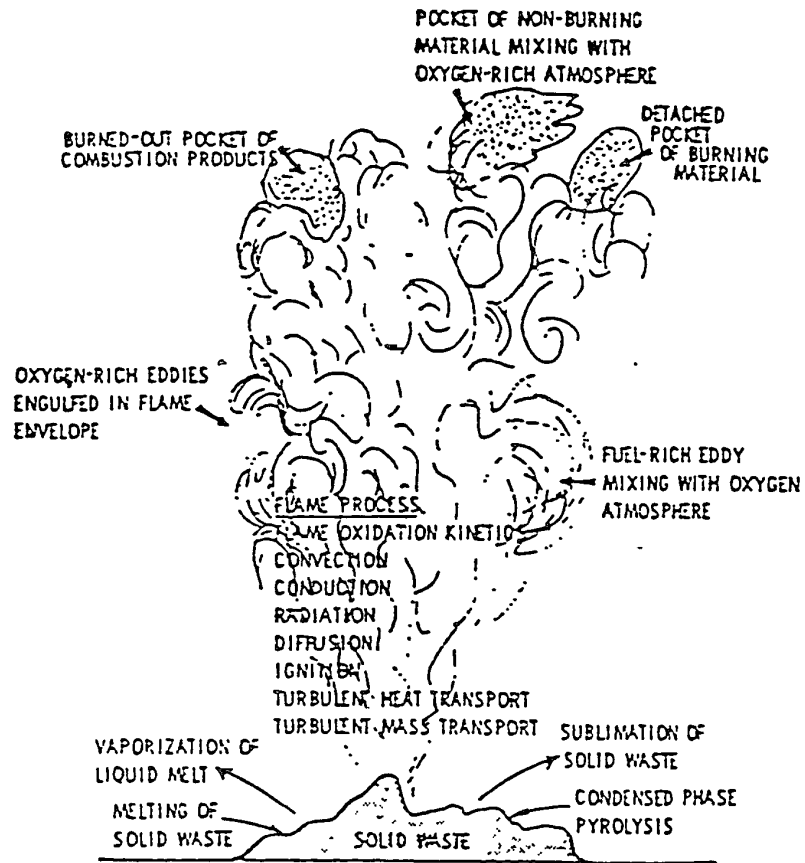


圖 4 焚化過程化學程序圖

三、濕式空氣氧化法(WAO)

1.原理

WAO 用於工業和市鎮廢棄物處理已有三、四十年歷史了。操作設計變化從污泥的“低氧化”至化學和能源的還原、碳再生的“高氧化”。這些年來，已有許多公司測試 WAO 處理有害有機廢棄物的適用性。目前 WAO 於數個製器破壞特殊的廢棄物。

WAO 即為溶解或懸浮有機粒子在高溫、高壓下所產生的溶液態氧化。水（代表溶液態）擔任觸媒，使氧化可在相當低溫（175°C 至 345°C）下進行，水亦調節氧化率，藉蒸發移去多餘的熱。水更是一種極佳的熱傳導體，使 WAO 程序可在低有機進料濃度時自動維持熱量。

WAO 反應所需的氧來自空氣，氣泡經過反應器中的液面，故稱濕式空氣氧化。此種程序需 2,000 和 3,000psi 高壓以防液面過度的氧化。

圖 5（溫度—容量圖）表示 WAO 的操作區域。水和廢棄物混合物置於圖 5 EBCF 飽和區中。而特別的例子指出，壓力須保持在 2,000psi，溫度則在 175°C 至 320°C 之間。

2.個案研究

在 1976 年，美國環保署公布了一份 65 種或屬，需優先處理的化合物。根據化學構造，Zimpro 公司選擇了多種以上所提的化合物以作研究。

這些化合物經 1 小時 WAO 於 320°C 和 275°C，再使用 *Daphnia magna* 試驗毒性，並與原化合物比較其毒性。結果顯示，所有被試驗的化合物毒性都有相當程度的減低。結果亦顯示，毒性的減

低在 275°C 和 320°C 的效果一樣好。

這些研究提供一些根據分子式，化合物對於傳統（具銅催化劑與否）的 WAO 的易感性之經驗性觀察。這些觀察包括了：

- (1) 化合物（甚至含多鹵素原子者）可在一般 WAO 狀況下被破壞。氧化物如低分子量的酒精、乙醛、酮和羧酸產生，但這些都是可被生物處理的。
- (2) 芳香族烴如 toluene, acenaphthene 或 pyrene 容易被氧化。
- (3) 可被氧化的鹵化芳香族烴環中至少有一個非鹵化功能組，例如 pentachloro-rophenol(-OH) 或 2,4,5-trichloroaniline(-NH₂)。
- (4) 鹵化芳香族烴如 1,2,-DCB 或 Aroclor 1254(一種 PCB)，可耐傳統的狀況，但銅觸媒存在時會被氧化。
- (5) 鹵化濃縮環化合物，如殺蟲劑 aldrin, diendrin 或 endrin 可耐傳統的狀況，但銅觸媒存在時會被氧化。
- (6) 在使用傳統的 WAO 時，DDT 雖然被破壞，但卻存留於不可測的油脂內。
- (7) 包括了 O,N, 或 S 原子的雜環化合物提供了氧化的攻擊點，並在 WAO 中被破壞。

3. 優點

- 無需將廢棄物溶液中的水份氧化。
- 適用於過量稀釋而無法經濟的焚化或毒性過強而無法以生物處理的廢棄物。
- 無需耗損蒸發水和有機物的熱能。
- 而加溫廢棄物耗損的熱可由熱交換器的熱流還原。

4. 缺點

- 在高溫、高壓下，WAO 可能需要使用高合金物（如鈦）以防侵蝕，故增加成本。
- 此程序通常不適用於溶液態廢棄物。

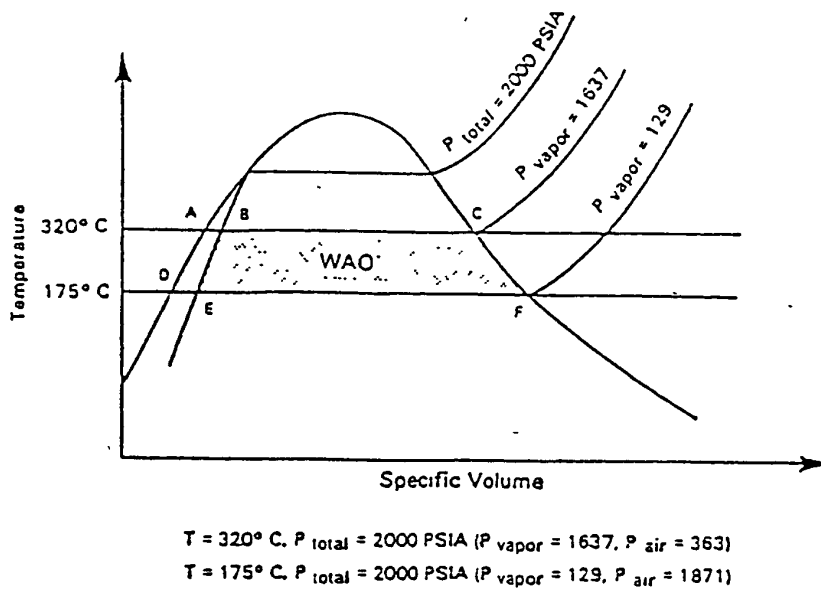


圖 5 WAO 操作區域

四、觸媒焚化爐

1. 原理

觸媒焚化爐利用觸媒來觸發焚化系統以氧化揮發性有機物質。觸媒焚化爐需要的溫度低於一般熱焚化爐，故可節省燃料和費用。本焚化爐的產物以及產生的熱與一般焚化爐相同，使用觸媒的目的是為了在較低的溫度下產生較高的氧化率。觸媒床在商業的應用多為一金屬網孔墊、水泥蜂巢物或是其他水泥結構，外包白金或同屬的金屬。金屬外殼為氧化反應的觸媒，其下的支撐物使觸媒能與廢棄物流有最大的面積的接觸。以下以圖示的方法說明氣體焚化的觸媒程序，見圖 6。

觸媒焚化爐的基本步驟包括了：

- (1) 氣態面加熱和反應物大量傳送至觸媒表面膜。
- (2) 吸附在表面膜之反應物的擴散。
- (3) 反應物之間的氧化反應。
- (4) 反應產物的擴散和釋出。
- (5) 氣態面的加熱和大量產物的傳離觸媒。

2. 個案研究

觸媒系統已成功的使用在 ethylene oxide 工廠和 phthalic anhydride 工廠的釋出氣體防治。此系統地應用於氮氣廠中以減少二氧化氮量。圖 7 顯示在常態操作狀態和觸媒活性下，觸媒劑量和轉化效果的關係，由圖可知達成 90%轉化所需的觸媒量為 66%轉化的兩倍，若要達成 95%的轉化，則需再增加 50%的劑量。

3. 優點

- 由於觸媒焚化爐所需的燃燒溫度較其他熱焚化程序為低，對於

燃料的需求也較低。

- 觸媒焚化爐對於物質結構的要求較不嚴苛。

4. 缺點

- 觸媒焚化爐通常限用於液態和氣態廢棄物的焚化，較不適用於固態廢棄物。
- 觸媒受制於骯髒、壓力，使用過久和毒性等因素。
- 觸媒物質（或粒子）會逐漸沈積在觸媒表面減低觸媒與廢棄物的接觸，影響其效率。

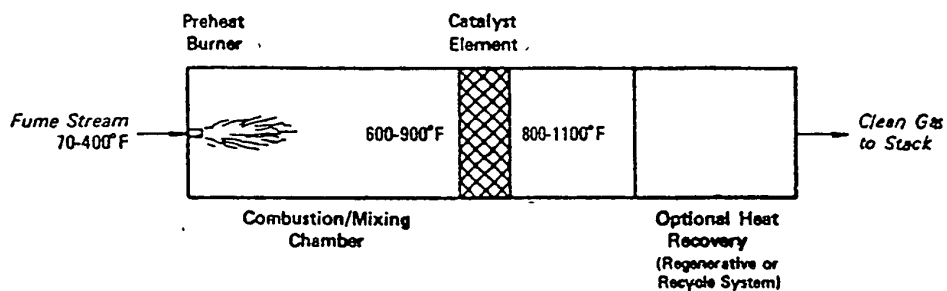


圖 6 觸媒焚化爐示意圖

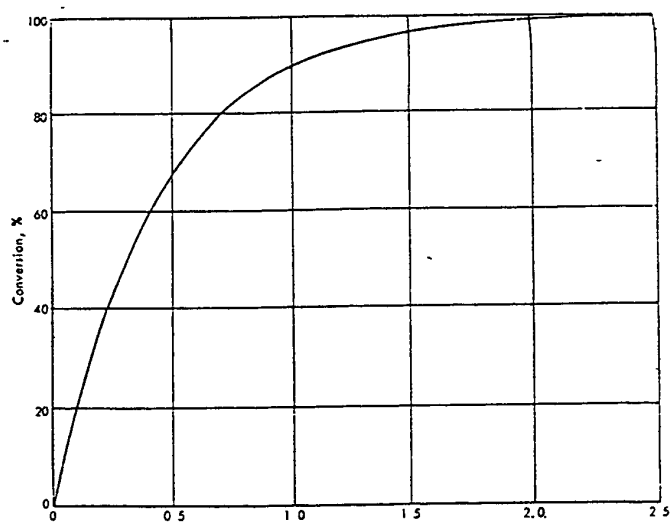


圖 7 (觸媒量)/(廢棄物流量率)

五、循環床焚化爐(CBC)

1. 原理

傳統的廢物熱分解技術時常面對高操作溫度卻得到低產量的問題，且需利用後燃器和去除器。循環床焚化爐可在較低的溫度下達到如高溫程序的分解效率，並且以較低的熱效率得到較多的產量，省卻了後燃器和去除器的步驟。

循環床焚化爐為一高級流體床焚化爐，它使用高速氣體游走在非常高溫燃燒環中的循環粒子。

CBC 系統的外貌以圖 8 表示。

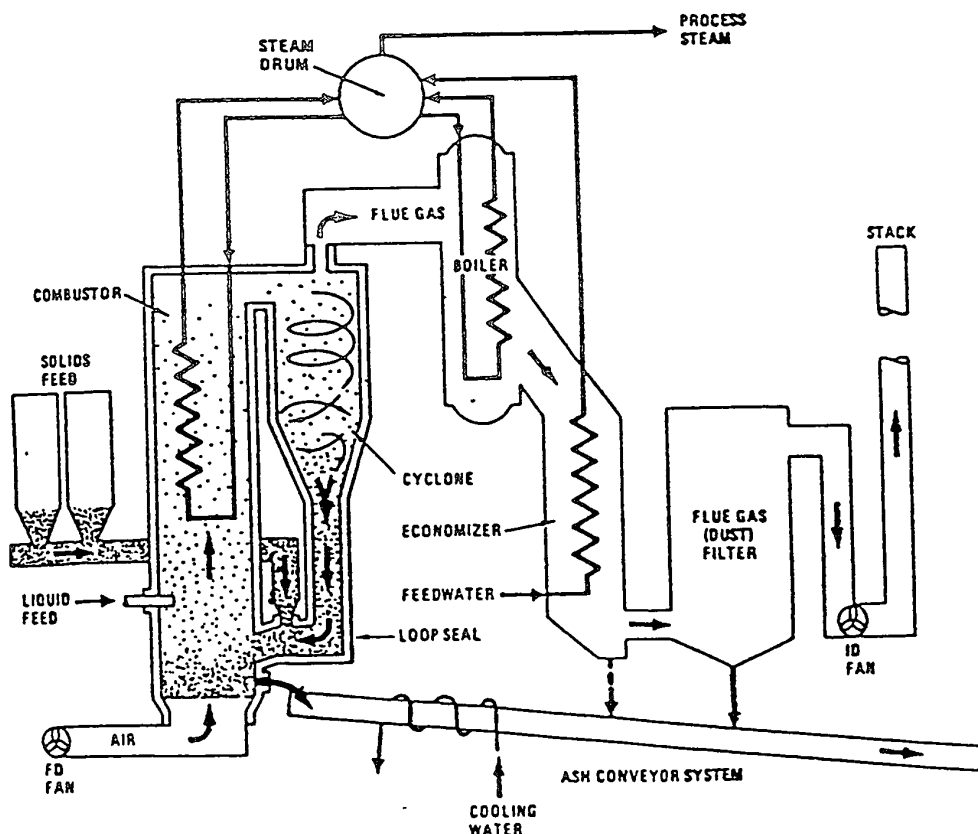


圖 8 循環床焚化爐

固體進料在環封口處進入燃燒環中，並立即與再循環熱固體流釋出的熱接觸。液體進料通常直接注入 CBC 的焚化區域。有害廢棄物一進入 CBC 就迅速被加熱，並在系統中持續維持 1,450 到 1,600°F 的高溫。在焚化爐中的滯流時間從氣態 2 秒至較大廢棄物 (小於 1.0 吋) 的 30 秒鐘不定。用於循環固體的高焚化氣體速率使得焚化環維持一定溫，結果產生一極具效率的焚化，並省卻了後燃器的使用。在操作期間，飛灰定時地被移出系統進入冷凝去灰系統。熱空氣離開旋流後在氣流冷凝器中冷卻，而從旋流溢中的飛塵則自纖維過濾袋中收集。

以下表說明了 CBC 中一般的化學反應，能將有害酸氣轉化成無害的鹽類。燃燒室中快速的燃燒和酸氣中和有效地省卻高合金燃燒成份或後燃燒反應單位 (如擷取酸氣的乾或濕去除器) 的應用。

冷卻移去了焚化反應釋出的熱能。而在焚化區及氣流冷卻器中能源回收。在燃燒室中，因著固體粒子與冷凝管的接觸而加強了熱傳導，可感受的熱再從具傳統熱交換器 (位於旋流和過濾袋間) 的氣流除去。因為酸氣去除器位於燃燒室中，氣流冷凝器並不受限於傳統廢棄燃燒物的高酸氣濃度。

CBC 焚化室中之化學反應			
化合物	反應物	中間產物	最終產物
氫氧化物	$(C_xH_y)+O_2$		$CO_2 + H_2O$
硫化物	$(C_xH_y)S_2+O_2$	$SO_2, (1/2)O_2$	$SO_2 + (1/2)O_2 +$ $CO \rightarrow CaSO_4$ (石膏)
石灰石	$CaCO_3$	CaO	
氯化物	$C_xH_yCl_2$	HCl	$CaO + 2HCl \rightarrow$ $H_2O + CaCl_2$ (鹽)

操作期間，焚化爐燃燒啟動包含了一自然氣體燃料系統，它具有 4 到 6 小時的冷啟動期，以及約 30 分鐘的熱再啟動(等於或大於 1,400°F 的溫度)。燃燒啟動器在焚化過程中通常是停頓的，除非廢棄物注入被打斷而需要維持焚化爐在一低溫，焚化爐本身為一碳鋼管內含耐熱線(具抗蝕內緣和絕熱外壁)，在注入焚化爐前，進料物先與旋流中的熱再循環粒子混合，再一起注入焚化室，液體和泥水自混合槽中抽出，再由螺旋刻度推進器運送固體和沈積物。

焚化爐具一級和二級氧門，定速馬達產生的氣流由此進入。高速(15-20 呎/秒)氣流沖走流床可燃燒物，經由反應區域升至燃燒室上端，進入熱旋風分離器中。

旋風分離器由碳鋼和耐熱內絲組成。其主要功能為將燃燒床物質自燃燒氣體中分離，並且將這些固體再循環至燃燒室。燃燒熱氣則進入溢出熱氣交換處，冷卻至 375°F，後直接入過濾袋以去除未完全燃燒的殘留物。

2. 個案研究

於一座 2 百萬 BTU/hr 試驗工廠(San Diego, California)操作的實驗顯示，CBC 系統可有效地分解許多有害廢棄物。對許多泥狀的化學廢棄物，其破壞去除率可達 99.99%。

GA 技術利用有機氯脂廢物在試驗循環床做微量燃燒。其操作狀態為 1,540 至 1,600°F，11 至 12 呎/秒氣體流速和 45~60% 多氯氣體。石灰石混合液廢物注入系統以吸收氯化物預氯化氫的形成。以下為所得結果：

NO_x 釋放：40ppm (平均)

SO₂ 釋放：250~350ppm

CO 釋放：1,000ppm

所得氯化物：99%

釋出氣流：	(%破壞去除率)
— Ethylbenzene	>99.99
— 1,1,2-trichloroethane	>99.99
— 1,2-dichloroethane	>99.99
— 1,1-dichloroethylene	>99.99
— 1,2-transdichloroethylene	>99.99
— vinyl chloride	>99.99
— toluene	>99.99
— benzene	>99.99

3.優點

- 與 FBC 程序類似。

4.缺點

- 與 FBC 程序類似。

六、流體床焚化爐(FBC)

1. 原理

流體床焚化爐(FBC)在近十年來多用於碳燃燒和市鎮污泥焚化。此系統利用高溫氧化分解液、氣、固態廢棄物體。

傳統上，本系統多應用於污水、污泥焚化。因為流體床具有自動燃燒和去除的特性，FBC 近來被研究應用於可能的有害廢棄物。一般而言，用於焚燒有害物質的 FBC 與市鎮污泥焚化用 FBC 並無顯著不同。它主要包括了充氣室(或氣盒)，氣孔(或氣體分佈器)和一床體(或燃燒區)。床體通常包括一內層物(例如：砂)或是石灰石，依其特殊應用而定。

一個傳統的 FBC 包含了一個直圓柱耐熱器，一個床體，後者為一鑿孔金屬板上有惰性泡沫物質(多用砂)。操作期間，化學廢棄物加上燃料油(假如需要)通常直接注入或靜態床上面，其溫度約在 750°C。空氣以一速度被迫經過床體，使沸騰液體與石灰石的混合物持續加入床體，補充其與燃燒產物反應的量。同時，床體物質定期排水以維持其適當的厚度與流動力。氣化的結果確使廢棄物和燃燒氣體能充分混合。

床體上的燃燒器主要用於加熱床體和啟動溫度。床體大量的高溫物質使廢棄物迅速燃燒，並且再把熱傳回床體。床體物質的熔點限制其最高溫度(砂之溫度為 1,100°C)。液態物的滯留時間為 12~14 秒。無法燃燒的固體變成細小懸浮物體，經過一後燃器，分解成氣態殘留物之後再排放。

流體床直徑通常自數米至 15 米不等。燃燒溫度受限於床體熔融(砂為 1,100°C)，在 450°C 和 980°C 之間。液態有害廢棄物的滯流時間約 12 至 14 秒間。

廢棄物技術服務公司已研發一低溫流體床，其作用與傳統流

體床類似，除了較多氣體注入流體床中。床體本身由粒狀焚化觸媒劑和石灰組成。石灰石連續加入床體，且床體物質定期排水。一多旋風系統使用濾袋來清除煙道氣體以做空氣防治。比傳統流體床廢棄物技術，流體床可在一較低壓低溫下操作，且耗費較少燃料。

2. 個案研究

在 1970 年代，Black Clawson Fibreclaim 公司(Franklin Ohio)，利用流體床焚化爐燃燒數種化學廢棄物。這些試驗是與系統技術公司的合同用來決定 FBC 焚化二種工業液態廢棄物的有效性：a. 液態 phenolic 泥漿；b. 液態 methyl methacrylate monomer。每一個廢棄物都在兩個狀況下燃燒，來決定一般運作和裝置變數的時效性。試驗結果得到優於 99.999%的破壞去除率(DEW)。

Black Clawson 公司並沒有繼續 FBC 焚化有害廢棄物的實驗。在 1986 年，環保署選定發展 FBC 技術（由廢棄物技術服務公司執行），來做超級基金廢棄物分解試驗。廢棄物技術公司發展的 FBC 具有床體物質可循環且不需暫停焚化的特性。物質在濃縮後掉出容器底，床體物質可再補充。內部二級焚化室以相同於床體的溫度運作，並提供較長的滯留時間以能完全燃燒有害廢棄物。

廢棄物技術焚化爐可處理各類的廢棄物，包含了至 3 吋大小的固廢，殘留物包括了液體、廢水、溢出氣體、飛灰和使用過的床體物質。

流體床曾被利用於市鎮廢水處理廠，木漿和紙製造廠廢棄物、製藥廢棄物、phenolic 廢棄物，和 methyl methacrylate。CBC 亦試驗於其他有害廢棄物的焚化。

低溫流體床焚化爐（廢棄物技術服務公司所設計）曾用來執

行四氯化碳和 Dichloroethane 污染土壤的微量燃燒。結果只有 99.99% 的去除率。

3. 優點

- 因為廢棄物與加熱流體床有較佳的接觸，其焚化可在較傳統焚化爐低溫下進行。
- 容體內的溫度足夠於分解廢棄物，卻未達到氮氧化物大量形成的溫度。
- 床體物質可在程序中去除酸性氣體，產生無毒的殘留物。

4. 缺點

- 床體物質廢棄物的處理為一問題（假如其為有害物質，應將其做好安全掩埋）。
- 床體殘留物質的去除為另一問題。在焚化過程之中，無法燃燒的飛灰積在床體中。床體中累積超過 20% 的飛灰是不適的，因為可能減底其流體性。
- 溢出氣流中大量微粒可能需要精確的污染防治裝置。
- 進料廢棄物尺寸需被控制，以維持一定的進料速率。
- 需精密控制床體中的滯留時間，以求完全焚化。另外，急速增加廢棄物熱值，並不會明顯提高床體溫度，反而會影響其運作。
- 使用過的床體需經過多重而精密的毒物分析。此分析通常需要偵測殘留物中未燃燒的廢棄物量，以及多少殘留可能遺漏至環境中。使用過的床體中很可能殘留毫克量的有害殘留物而沒有被偵查出來。床體物質的丟棄可能導致污染物再次進入環境中的問題。這種狀況若發生在化學廠則更加危險。
- 其他的問題包括了焚化爐及其廢棄物進料裝置的侵蝕。

- 流體床焚化技術並不適用於不規律、大尺寸、焦油狀、固體，或是含大量易溶性飛灰的廢棄物。而易熔物的形成會弄污床體。易熔物的問題可以 a.降低操作溫度避免飛灰熔化；b.加入化學添加物提高飛灰熔點來避免。而不規則或大尺寸的廢棄物在注入焚化爐之前需先經過乾燥、壓碎或分離處理。
- 因為事前處理及流體床維護，人力的需求很大。假如移除床體殘留物程序困難度增加，人力費用將大幅增加。

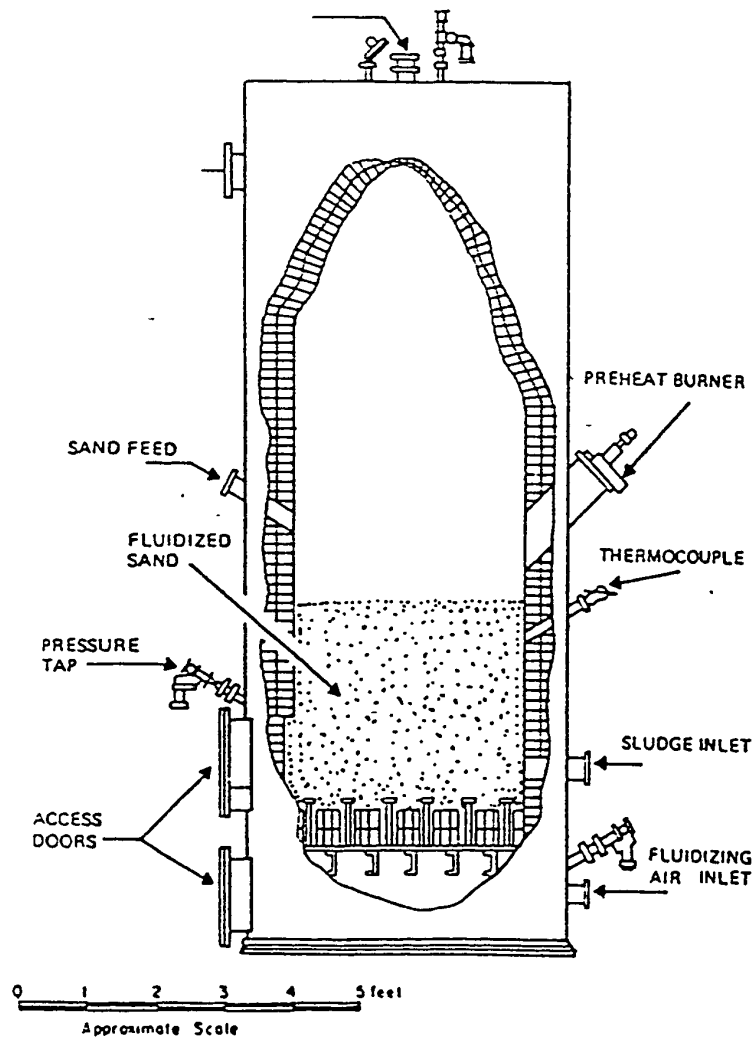


圖 9 流體化床焚化爐斷面圖

七、紅外線技術(IR)

1.原理

一般而言，一個紅外線系統包括了以下的主要組成：

- (1)一級燃燒室：以電能為能源的一級燃燒室以一高溫多孔合金帶運送進料廢棄物，並且在運送帶上具一垂直電力碳棒可利用紅外線輻射熱加溫至 1850°F。
- (2)二級燃燒室：瓦斯燃燒的二級燃燒室可達 2300°F 高溫，它提供了混合氣體滯留時間和足夠的能源。假如需要，可破壞廢棄物所揮發的氣體。
- (3)空氣污染防治設備：此裝置包括了一個溢氣控制系統，粒子由此移出 (venturi 區)，酸性氣體則在去除器中中和，而風扇則將去除器中的乾淨氣體帶入煙囪。
- (4)程序管理和監控中心：此中心包括了所以程序和結構的監控裝置，如控制小組、溢氣偵測、馬達控制單位和辦公室。

2.個案研究

在 1950 年代初 Peak Oil 公司在 Reeves 路(Brandon, Florida)上經營一廢油冶煉工廠。多種含毒性有機物和重金屬的廢水、污泥都棄入廠區內一個自然湖中。

美國環保署第四區為此籌劃一清除計畫，並與 Haztech 公司緊急簽訂合約來進行此計畫，辛辛那提環保局的有害廢棄物工業研究實驗室經由超級基金改革技術評估計畫，亦參與此項清除計畫。後者主要執行的有現場監測和紅外線系統效力的評估。

起初的步驟是將湖水瀝乾，餘留的污泥再與砂、泥和石灰混合而成廢棄物／泥塊以利搬運。(石灰亦可作為載水體的黏附物，以及中和酸性物體)，此步驟可便於 IR 系統 (具高溫後燃器) 的

操作。

廢棄物／泥塊自湖中挖出後再利用動力篩選。此裝置可有效地打破塊狀廢棄物，混合氣體於注入物，使其準備妥當以便進入下一步驟，過篩系統可將 1 英吋或更小的粒自石塊、樹根和湖中其他外來物質分開。廢棄物進料土可自動過篩並稱重，再輸送至燃燒系統。

此裝置在現場的燃燒系統包括了四個單位：(1)一級燃燒室，可加熱至 1,850°F；(2)二級燃燒室(後燃器)，可達 2,300°F；(3)高煙囪的溢氣系統；(4)一程序管理和監測中心。

廢棄物先經過測量、延展至適當寬度和厚度，再以每小時 3.6 到 4.0 噸的速度注入 PCC，內部輸送帶上的電力碳矽棒再以紅外輻射熱作用於廢棄物，一般廢棄物在一級燃燒室的傳送帶上停留 18~19 分鐘，廢棄物離開輸送帶後掉入釋放室，經水冷卻後再由螺旋輸送系統運至外面的接受器。

一級燃燒室所釋放的氣體進入二燃燒室後有 3 秒鐘的滯留時間，以及混合氣體和足夠的能量來破壞一級燃燒產生的氣態有機物。氣體離開二級燃燒室後被冷卻，粒子被移至 Venturi 區，酸性氣體則在一去除塔中以氫氧化鈉中和。而風扇再把乾淨的氣體送至具採樣的煙囪排放。

Radian 公司專責 Reakoil 現場採樣和分析計畫，在三次重覆的試驗中，固廢進料、液體流，燃燒飛灰和煙囪溢氣的取樣都經過確實的及環保認可方式和品質標準進行。其中最複雜的是煙囪溢氣的收集。取樣方法包括了 HCl 和粒子的第五方法訓練，PCB、Dioxins、furans 和半揮發優先污染物的資源評估取樣系統 (SASS)。另外，可溶性鉻的第五修正方法訓練、揮發性優先污染物的揮發性有機取樣試驗 (VOST)，以及不同的連續溢氣監測

器 (O₂、CO₂、CO、THC 和 NO_x) 都被使用，空氣測站亦在現場外圍的上游和下游來監測其空氣污染。

以下的表格顯示湖中挖出的物質中含有機和分解的污染物範圍。有機物中最受關切的是 PCBs，而金屬類則為鉛。其他特性例如熱值和濕度亦列之。

以下所列為試驗計畫中各個進料物的結論。

廢棄注入物特性

PCB(total)	3480~5850 mg/g
Heptachlorobiphenyl	940~2200 mg/g
Hexachlorobiphenyl	1100~1700 mg/g
Pentachlorobiphenyl	200~490 mg/g
Tetrachlorobiphenyl	400~830 mg/g
Trichlorobiphenyl	570~820 mg/g
Dichlorobiphenyl	120~190 mg/g
Ethyl benzene	40~140 mg/g
Menthylene chloride	80~120 mg/g
Toluene	130~300 mg/g
Xylene	280~480 mg/g
Lead	0.44~0.59%
Antimony	2.1~3.6 mg/g
Arsenic	2.0~2.9 mg/g
Cadmium	3.9~4.6 mg/g
Chromium	20~24 mg/g
Copper	44~55 mg/g
Strontium	50~62 mg/g
Vanadium	7~11 mg/g
Zinc	950~1100 mg/g

Moisture	14.2~16.6 %
Carbon	7.0~7.8 %
Sulfur	1.8~2.5 %
Chlorine	少於 0.1 %
Ash	70~75 %
BTU value (HHV)	1640~2065 BTU/lb

2.1 破壞去除率(DRE)

IR 系統對 PCBs 污染物的 DRE 超過 99.99%，符合資源保育和回收法(RCRA)標準，但因現場 PCBs 濃度小於 40ppm，無法達到毒性物質管理法(TSCA)所要求的 DRE。99.9999%。二級燃燒室 1,900°F 的操作溫度和超過 3 秒的滯留時間可符合 TSCA 要求的 2,200°F 的 2 秒鐘時間，PCB 的殘留物小於 Region IV 所要求的 1ppm，所以可說是達成試驗目標。

2.2 粒子釋放

在現場 IR 系統粒子的溢出測量，3 天中有 2 天無法符合在 7%O₂(體積計)下，0.08grains/dscf 的法令限制。在第二次試驗前，溢出控制系統的改良和維護，可得較低的粒子釋放量，而後二次試驗結果終於符合了 RCRA 的標準。

試驗結果裝置溢氣控制系統無法符合溢出粒子的要求可能是因為廢棄進料物含量導致大量氧化鉛粒子的產生。

2.3 酸性氣體釋放

因為注入物的氯濃度低於 0.1%重量監測限制，氯化氫溢氣的釋放相當低，而氯化氫的確實去除率則無法測得。去除 SO₂ 的困難因為平均 99.1%重量而減低，在廢棄物中 2%硫重量或硫注入速率約 150lb/hr，在最大測得率 1,070g/hr，SO₂ 溢出率為 2.5lb/hr。

3. 優點

- 紅外線系統大概為目前 RCRA 廢物和超級基金廢棄物改良熱技術中最常被使用者。
- 比較其他技術，紅外線技術可更精確地控制第一燃燒室中的溫度和滯留時間。

4. 缺點

- 廢棄進料物需經過事先準備以符合尺寸大小時要求，假如廢棄物為液態，需先與砂或其他固體混合，以能在第一燃燒室中有效地作用。

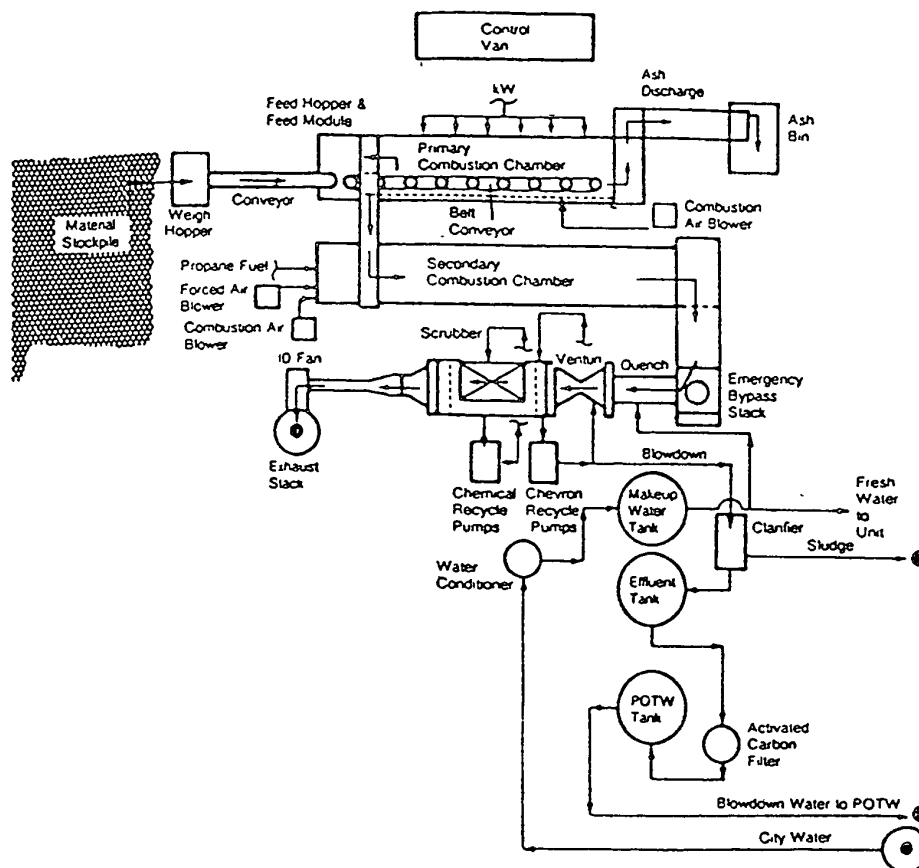


圖 10 紅外線技術示意圖

八、微波反應器

1.原理

微波釋放(亦稱微波電漿)為電漿化學中一項特別應用於有害廢棄物的處理。微波為一電場波，波長在 0.3 至 30 公分間，對應頻率為 1 至 100GHz。此技術利用微波能量激發承載氣體(如氬或空氣)的分子，以提高其電能階層，成為非常活潑的自由基。在如此高能量狀態的氣體便稱為電漿。而被激發的電子將此能量轉作於打破物質內的化學鍵。碳-碳鍵為其中最脆弱者。以此理論，任何有機廢棄物(液態、固態或氣態)置入電漿中可分解成中間或最後產物，可能瓦解其毒性。在電漿中的滯留時間從 0.1 至 1.0 秒間不等。而分解溫度可低如 150°C(300°F)。

2.個案研究

Lockheed 在美國環保署的主辦下研究此技術分解有害廢棄物的效力。Lockheed 微波釋放反應器的基本元素包括了(a)微波製造器或能量來源。(b)一微波導器可引導製造器的微波至一圍繞反應器的共振穴。(c)一反應室，必需由矽膠或石英製以減低電能流失。(d)一製造系統，或(e)控制壓力和流體系統；以及(f)產物收集系統。

在最初研究使用微波來處理有害廢棄物的一項試驗中，Lockheed 使用一個 245MHz 微波能量，提高至 2.5kw 來研究電漿分解 DIMP(Diisopropyl Methyl Phosphorate)和 DMMP(Dimethyl Methyl Phosphorate)的效力。這兩種化學物都和神經毒有關。DIMP 和 DMMP 利用氬或空氣的承載體進入微波釋放器中。實驗狀態和結果列於表 1。依 DIMP 和 DMMP 的殘留量，作者結論其轉變率自 62.4~99.5%。但是固態和液態產品，甚至在氣態電漿仍存在不同的棄置問題：phosphoric acid、methyl phosphoric acid、酒

精以及不知名黑色液體，並不比原廢棄物適合掩埋。

3.優點

- 其優點類似“漿體弧狀反應器”。

4.缺點

- 類似“漿體弧狀反應器”。

表 1 DMMP 和 DIMP 於氦和氣體微波電漿的反應

毒性物質	DMMP	DIMP	DMMP	DIMP
承載氣體	氦	氦	空氣	空氣
能量，瓦	50-200	130-210	140-510	125-160
壓力，托耳	3-55	9-17	29-62	11-82
物質流速，g/hr	0.8-4.2	1.27-1.75	0.92-1.28	0.84-1.47
物質濃度，g/l	0.06-0.31	0.017-0.137	0.0108-0.0218	0.0052-0.125
滯留時間，秒	1.5-2.4	0.26-1.3	0.12-0.15	0.13-0.49

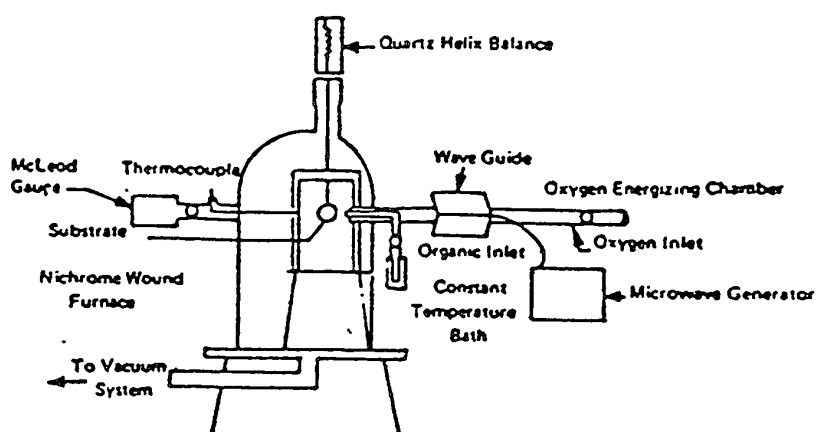


圖 11 漿體弧狀反應器示意圖

九、熔鹽反應器(MSR)

1.原理

熔體焚化使用於冶金工業來還原金屬（特別是鋁）已有一段很長的歷史。近年來的研究已試著將此技術應用於有機廢棄物的分解以及碳氣化和流體的去硫。程序中使用的鹽必須能在特殊有害廢棄物的焚化溫度中保存穩定，許多不同的鹽可供使用，但最新的研究使用 Na_2CO_3 和 Na_2CO_3 在 $1,450^\circ\text{F}$ 至 $2,200^\circ\text{F}$ 溫度範圍中。

在 MSR 焚化分解有機物質的同時，其中難聞的副產品亦被去除，以避免隨氣體溢出。以上步驟需加上焚化物質和氣體或含多氧氣體，在一群熔碳化物鹽的表面上進行。熔解需在 $1,650^\circ\text{F}$ (900°C) 的高溫下進行來促進快速的有機物氧化作用，在廢棄物中含鹵化鹽產生的鹵素，氧化鹽（如 Sodium phosphate, sulfate, arsenate 或 silicate）各產生磷、硫、砷或矽。這些產物在熔鹽中以無機鹽存在，而非以揮發氣體狀釋入大氣中。

熔鹽反應器程序如圖 12 所示，廢棄物被注入含有液態鹽和空氣（或含多氧空氣）的管底，熔鹽被置於 $1,650^\circ\text{F}$ (900°C) 的溫度中，熱快速地傳導至廢棄物導致快速地分解，氫氧化物被氧化成二氧化碳和水，進料組成物如磷、硫、砷和鹵素與鹽作用（ Na_2CO_3 ）形成的無機鹽保持熔解狀態，操作溫度皆低於氣體溢放溫度。

任何產品的氣體在釋放之前必須經過熔鹽，若溢出氣體內含有粒子，可能需使用去除器或濾袋。

無機鹽經過一段時間的累積需自熔床上去除來維持其吸附酸性氣體的能力，熔質中的灰塵必須低於 20% 以維持流體性。

熔質去除可連續進行或為一組指令，若在高進料率下通常需連續去除，熔質可在水中冷卻，而鹽類仍在熔液中時，灰塵可經

過濾而分離。而鹽類可被再生與再利用。另外，鹽類的損失，必要再利用率 and 再利用程序與進料廢棄物的特性息息相關。

2. 個案研究

Rockwell 國際公司建造了兩座大尺寸度焚化爐(0.5~2 lb/hr)，一試驗工廠(55~200 lb/hr)和一移動式單位(500 lb/hr)。它們亦依據熔鹽程序建造一 2002 lb/hr 的碳氣化器。

已有許多廢棄物試驗於長尺度焚化爐。化學戰爭劑 GB Mustard HD 和 VX 皆可達 99.999988%至 99.9999995%的破壞去除率。其他應用於 MSR 的化學物還包括了: chlordane, malathion, sevin, DDT, 2,4-D 除草劑、焦油、氯仿、prechloroethylene、蒸餾底層物、trichloroethane, tributly pho-sphate 和 PCBs。

PCBs 的微量燃燒經試驗在最低操作溫度可超過 99.99995% 的破壞去除率。PCBs 於熔鹽中的滯留時間為 0.25~0.50 秒，氣體以 1~2ft/sec. 經過 5ft 的熔鹽。

在試驗工廠中，試驗 Hexachlorobenzene (HCB) 和 chlordane 的去除率。二者的進料率分別高至 269 lb/hr 和 72 lb/hr。床體溫度範圍在 1,685~1,850°F，滯留時間接近 2 秒鐘。二者達到的破壞去除率分別為 99.9999999~99.999999999% 以及 99.99999~99.999999%。

2,3,7,8-TCDD 的小型試驗在義大利的米蘭大學進行。一周長 0.8 吋，高 4 吋長的反應器在 1,470°F 至 2190°F 溫度間使用。擬除草劑物質的配置包括了 50% 的纖維素粉，30% Polyethylene 和選用的除草劑。2,3,7,8-TCDD 的濃度為 0.1~10% (以重量計)。固體被磨碎至小於 50mm。2,3,7,8-TCDD 的去除率自 99.96% (1,470°F) 至 99.98% (2,190°F)。

以下為熔鹽焚化爐的數個基本因子：

廢棄物形式	少量灰塵中的固態或液態廢棄物和含水量
操作溫度	800~1,000°C(1,500~1,850°F)
平均滯留時間	
氣態	5 秒鐘
固態(或液態)	數小時
能量需求	燃料油用來焚化廢棄物（假如不可燃燒者）， 電能用於風箱

3.優點

- 在這些初步測驗後，Rockwell 決定不再繼續有害廢棄物業。反之，Rockwell 現今試著利用 MSR 將紙漿廠產生的黑色液體轉化成可燃燒氣體，作為蒸汽渦輪機的動力。
- MSR 的主要優點為熔質可充做去除器，來擷取有機廢棄物分解釋放出的鹵素。

4.缺點

- 一般而言，MSR 的缺點如前例的 FBC。但是 MSR 並不適用於稀釋的酸性廢棄物，因為與水和熔鹽的快速接觸可能導致爆炸。
- 熔質中的灰塵需限制在 20%以下，以保持一合理時間內的流體性。在高灰含量時，此運作變成無效率或是不可行。又含水量低的廢棄物較能有效地被分解

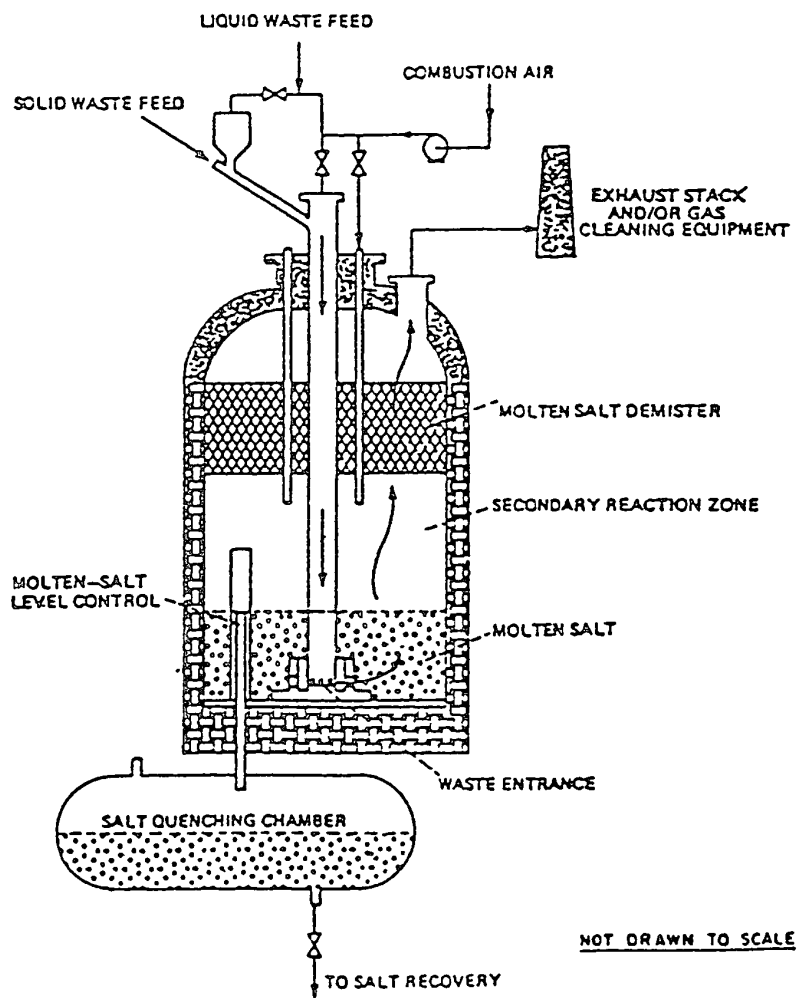


圖 12 熔鹽反應器示意圖

土壤污染整治技術

土壤污染整治技術，若就污染物處理方式與場址關係劃分，可分為：

(1)現地 (*in situ*) 處理：係指不經開挖程序,而直接於現地土體內處理污染物。(2)取土後現場 (*on site*) 處理：需配合挖掘程序，取土後於場址處理污染物。(3)離地 (*off site*) 處理：需配合挖掘程序，取土後運離場址處理污染物。

另就污染物處理機制，受無機物污染土壤整治技術可大略分為下述六類：

(1)萃取法 (2)安定法 (3)還原法降解法 (4) 排土容土法(5) 現地電熔法(6)植生攝取法。

而受有機物污染土壤之整治技術，可分為下列(1)現地物理／化學處理法 (2)現地生物處理法 (3)現地熱處理法 (4)離地物理／化學處理法 (5)離地熱處理法 (6)離地生物處理法。

一、受無機物(重金屬)污染土壤之整治技術

一般而言，受重金屬污染土壤之復育技術中，概略可分為三類，包括(1)化學處理法(包括萃取法、安定化法)，(2)工程技術法(包括排土客土法、土壤淋洗法及現地電熔法)，及(3)生物處理法(即植生攝取法)。

(一)萃取法

萃取法乃利用污染物與萃取劑之間交互結合，並將二者一併自土壤中分離出來，以達到清潔土壤之目的。萃取法處理所需考慮的重點有：萃取劑種類之選取、土壤與污染物特性之掌握、及萃取劑是否回收等。一般用於受重金屬污染之土壤萃取劑可能是稀酸溶液或螯合劑(如 EDTA、檸檬酸、或 NTA 等溶液)。土壤淋洗法是萃取處理之一種方式，處理方法係先將土壤挖離污染現場，放入附近之大型鐵桶中，再將酸性溶液倒入其中，藉著機械的攪拌作用使其與重金屬發生作用，再抽出受污染之淋洗液加以處理，如此循環淋洗，直到土壤污染物濃度達規定濃度為止。此項整治技術之機制可能利用淋洗溶液之交換能力去除土壤吸著污染物，亦可由淋洗液與污染物發生化學反應而去除污染物。

(二)安定化法或固化法

安定法係指能將污染物之毒性、溶解性與移動性降至最低，但不需改變其物理特性之處理技術，主要有三種方法，即吸附、離子交換及沈澱法。所謂固化法則是利用高強度的固體來匣限(*encapsulate*) 污染物，其中固化劑與污染物間通常不發生反應，而僅是拌合作用。

(三)還原法

還原法常應用於將六價鉻還原成三價鉻，以降低毒性。還原法屬於美國環保署分類之降解法 (*degradation*) 之一種，應用添加還原劑將污染物還原。此法雖有田間試驗經驗，但須多次處理始可達到較高之可靠度。

(四)排土客土與覆土法

採用移除上層污染之土壤後，再覆蓋上別處取來之乾淨土壤，可徹底除去污染問題，且在時程上最為迅速，工程技術上亦為可行。污染區若採取此復育方式，需移除表土 40 公分，因此挖方數量頗為龐大。較為可行之方式，宜視污染區受污染程度劃分不同濃度等級，對嚴重污染之小規模地區再採行此處理方式。覆蓋上別處取來之乾淨土壤再加以利用，可徹底除去污染問題且在時程上最為迅速，工程技術上亦可行。另也可以上下層土壤混合稀釋的方式，來降低表層土壤中重金屬之濃度，此也是客土處理方式之一種。

(五)現地電熔法

現地電熔法又可稱為現地玻璃化法，係屬於固定化技術之一種。它是以電能轉變成熱能的物理方法，將土壤中污染物質破壞分解或固定於成玻璃狀的矽酸鹽物質中，而降低污染物的移動性。現地電熔法的操作方式是將電極棒插入待處理區域的土壤中，在通入高壓電後，因土壤的高電阻特性而將電能轉變為熱能，以熔化待處理區域的土壤。當熔化物質逐漸冷卻後，即成為類似玻璃狀的穩定物質。

(六)植生攝取法

使用篩選適宜生長之花卉及苗木，並應用其攝取累積重金屬的能力自污染土壤中移除重金屬。

雖然有上述重金屬污染土壤整治復育技術可供選擇，但在選擇整治復育技術時應考慮之因素包括：

1. 土地利用及變更方式：整治後土壤之利用方式，此為受污染區是否被整治復育之最大誘因，及復育技術使用之決定性最大因素。
2. 重金屬之濃度：各種整治技術可處理之重金屬濃度有一範圍，需考慮所採用之技術是否能將其降低至所卻達成之復育目標。
3. 土壤之質地：砂質地之土壤，重金屬很容易移動污染地下水源而不易整治，極易用酸液加以淋洗。
4. 地下水位高低：高地下水位易成水質受污染及復育施工上之困難。
5. 改善之效果：整治後是否能達到復育之目標，例如：鎘污染農地是否可改善至復耕後所生產之糙米中鎘含量達 0.5mg/kg 之倉品衛生標準以下，值得檢討。
6. 改善之經費及收益：作為評估復育技術之經濟效益及可行性之依據。
7. 改善所需時間：要儘速解決污染情況，使其地盡其利。
8. 民眾接受：以免引起農民及住家之抗爭。

二、受有機物污染土壤之整治技術

目前受到有機化合物污染土壤之整治技術已有數種被發展出來，美國環保署於 1998 年「整治計畫成本與效率資訊記載與管理指導(Guide to Documentating and Managing Cost and Performance Information for Remediation Project)」中，總共推薦 14 種的受污染場址土壤整治技術，各種整治技術的種類與名稱，如表 2 所示。根據美國環保署 1999 年之資料，車博士針對受含氯溶劑污染土壤復育技術各項因子進行比較分析，分析結果如表 3 所示。以下茲針對現地及離地等物理／化學、生物、熱及其他處理土壤有機污染物整治技術作一介紹，以做為未來國內污染整治場址選用相關整治技術之參考。

(一)現地(In-Situ)物理／化學處理法

1. 電動力分離法(Electrokinetic Separation)

電動力分離法為在土壤中插入電極通電，使帶正電的污染物往陰極移動，帶負電的污染物往陽極移動而分離不同類別之污染物，再利用沉澱法、抽水／抽氣法或離子交換法收集移除集中於電極附近的污染物。本技術最適合應用於透水性差且含水量高之粘質土壤，但仍需更多的現場測試才能真正商業化。本技術費用不高，在一個先導性規模的試驗中，處理每一公噸污染土壤略高於 50 美元。

2. 土壤淋洗法(Soil Flushing)

土壤淋洗乃將水或添加界面活性劑之水溶液注入土壤，將污染物淋洗至地下水中，再抽出地下水處理。本技術適合應用於砂質土壤，但其淋洗出之污染物及加入之界面活性劑，在複雜的水文地質條件下，並不容易被控制而可能會淋洗出造成二次污染。此種技術處理所需要考慮的重點有：淋洗或萃取劑種

類之選取、土壤與污染物特性之掌握、及淋洗（萃取）液回收處理之問題。

表 2 受污染場址土壤整治技術

整治技術項目	方法名稱
1. 現地土壤整治技術	(1) 生物通氣 (2) 現地加熱 (3) 植物復育 (4) 土壤沖洗 (5) 土壤氣體萃取 (6) 固化處理 (7) 覆蓋處理
2. 離地土壤整治技術	(1) 堆肥化處理 (2) 焚化 (3) 土壤處理 (4) 稀泥處理 (5) 土壤洗滌 (6) 安定化處理 (7) 熱脫附處理

資料來源：U. S. Environmental Protection Agency. 1998 Guide to Documentating and Managing Cost and Performance Information for Remediation Project

表 3 受含氯溶劑污染土壤整治技術各項因子比較

復育技術	產生殘餘物	需與其他技術一起使用	普遍度	可靠度	整治時間	整治經費	固定／操作成本
1. 生物通氣	無	否	—	—	—	—	低
2. 植物復育	無	否	低	中	長	低	低
3. 土壤沖洗	液體	否	高	中	長	高	O&M
4. 土壤蒸汽萃取 (現地)	液體	否	高	高	中	低	O&M
5. 固化／穩定化 (現地)	固定	否	中	中	中	中	高
6. 堆肥化	無	否	高	高	中	低	低
7. 泥漿式生物處理	無	否	中	中	中	中	高
8. 土壤清洗	固、液體	是	高	中	短	中	高
9. 焚化	固、液、氣體	否	高	中	短	高	高
10. 熱脫附	固、液、氣體	是	高	中	短	中	高

註：Q&M：操作與維護高

資料來源：美國 EPA 之資料 (1999 年)

3. 土壤蒸汽萃取法(Soil Vapor Extraction; SVE)

土壤蒸汽萃取法乃以蒸氣萃取井配合真空泵或抽氣機將通透性良好區的污染物加速揮發，並將污染物蒸氣從地下移除。一個典型之 SVE 整治計畫通常可在 18 個月內完成，整治費用與場址大小、水文地質特性及污染物的種類有關，估計每處理一公噸土壤約需 10—50 美元，若需廢氣及廢水處理，則費用將大為升高。

土壤蒸汽萃取法的一般適用範圍如下：

- (1) 土壤污染物的飽和蒸氣壓大於 0.5 mm 汞柱
 - (2) 土壤的開挖不可能
 - (3) 須處理的土壤體積龐大
 - (4) 污染場址的地層通氣度介於 10^{-2} 至 10^{-5} cm/sec
 - (5) 粘粒大於 40% 或水分含量高於 50% 之土壤不適用
 - (6) 當污染物的生物降解預要增強時
- ### 4. 現地固化／穩定化法(In-Situ Solidification/Stabilization)

將固化劑直接注入現地土壤，使污染物被緊密包圍，或直接加入穩定劑與土壤中污染物發生化學作用而降低其移動性，本技術傳統上對重金屬有效，但針對有機污染物的處理亦在發展與測試中。處理深度目前已可達 20 公尺以上，但由於增量，長效性受質疑及充分混合的困難度等因素，因此儘管本技術已商業化，但在地小人稠及礫石層分布各處的台灣地區是否適用仍是未知數。處理時間及費用視處理深度而定，淺層固化／穩定化每小時可處理 36—72 公噸，費用約 50—80 美元／公噸，深層固化／穩定化每小時可處理 18—45 公噸，費用約 190—330 美元／公噸。

(二) 現地生物處理法

1. 土地處理法(Land Treatment)

土地處理法又稱土耕法(Land Farming)，其方式有二：

- (1)將廢棄物、污泥或受污染土壤均勻鋪佈於未受污染土壤之表面，然後將鋪佈的物質翻耕至 15~30 公分深。
- (2)直接將受污染土壤的表土翻耕。

土地處理法主要係利用土壤天然的新陳代謝能力來分解並保存受污染物質於土壤表層，除需控制翻動次數與時間外，土壤水分含量及 pH 亦需控制，有時需要加入適當的膨鬆劑，通常此法在一開始時皆須施加營養鹽來加強有機污染物的分解速率。利用此法處理後的土壤所含的總石油碳氫化合物(total petroleum hydrocarbons)濃度可降為處理前的 1~10%，而標的污染物亦可隨之被降解。此種方法已成功的應用油品污染場址，含氯溶劑的分解則比較慢，效果較差。此技術需較大的空間，而許多含氯溶劑在尚未被分解前可能先以揮發的方式揮發至空氣中造成空氣污染。此外，亦需控制土壤沖蝕及流失。本技術通常僅適用於 0—50 公分的土壤，處理費用每一公噸僅需 30—70 美元。

2. 生物通氣法(Bioventing)

生物通氣法是於不飽和土層中通入空氣，加強土壤中原有微生物對有機污染物（例如：碳氫化合物）的降解能力，並視需要決定是否添加營養鹽，使有機污染物轉化成二氧化碳、水或危害性較低的物質。針對有些含氯溶劑，由於在好氧狀態下效果並不顯著，因此常需同時加入共代謝物質(Co-metabolite)以促進生物分解。通常此法可和土壤蒸氣萃取法合併使用效果極佳，可將土壤蒸氣萃取去除後殘餘的污染物利用微生物分解之。此法可去除／降解許多微生物可降解的污染物，對於微生

物不可降解的揮發性污染物也可藉由排出尾氣的處理予以去除。影響處理效率的重要因子為土壤透氣度及土壤水分含量。每一公噸的土壤均需花費 10—70 美元。

3. 自然衰減法(Natural Attenuation)

土壤中受污染物經稀釋、分散、揮發、生物分解、吸附及化學反應等作用自然分解的過程。此法並非不行動，而仍需詳細的場址調查及長期的監測，一般適用於較深層不易挖出之污染土壤。

4. 植物復育法(Phytoremediation)

利用植物吸收、固定及轉化分解土壤中污染物，雖然是老技術，卻是近幾年又開始受到大家重視的技術。此法主要針對植物根生長範圍的淺層土壤，污染物濃度太高可能會對植物造成毒害，本技術目前尚未成熟，仍需繼續深入研究。

(三) 現地熱處理法

1. 現地玻璃化法(In-Situ Vitrification)

現地玻璃化法亦為一種現地固化／穩定化技術，主要為在土壤中插入電極並通入高壓電流產生高溫使土壤溶化(600—2,000)，使土壤中的金屬污染物被固定（土壤或玻璃狀物質），而有機污染物則被無氧熱分解(Pyrolysis)。本技術對大多數的有機及無機污染物都極為有效，但亦有些缺點

- (1) 土壤中礫石重量百分比不能超過 20%
- (2) 污染物有可能移往未受污染區域
- (3) 土壤中可燃性有機質重量百分比最好不要超過 5—10%
- (4) 玻璃化之土壤其土地再利用之方式將受到限制。

本技術由於能量需求高，故並不便宜，操作費用受電費、土壤水分含量及處理深度影響而差異甚大。

2. 加熱式土壤蒸氣萃取法(Thermally Enhanced SVE)

加熱式土壤蒸氣萃取法乃結合土壤蒸氣萃取技術及土壤加熱技術，因加熱使土壤中發揮性有機污染物如含氯溶劑加速揮發及移動，而較易被 SVE 系統所移除。加熱系統一般有四種方式：

- (1) 蒸氣注入
- (2) 熱空氣注入
- (3) 插入電極通電
- (4) 無線電波加熱法(radio frequency heating)。

土壤中含大量石塊、粘質土壤或有機土壤及高土壤水分含量均不利於本技術之運用操作與復育效果。整治時間依場址特性及污染物種類而定，一個含 20,000 公噸污染土壤的典型場址約需 9 個月的整治時間，整治費用每一公噸土壤約需 30—130 美元，由於大大縮短了整治時間，其費用比只用 SVE 低了許多。

相關現地處理整治技術比較表，彙整如表 4：

表 4 土壤污染現地整治技術比較表

主要機制	技術名稱	原理說明	適用範圍	備註
物理／化學	土壤淋洗法 Soil Flushing	將水（有時添加界面活性劑、螯合劑）注入土壤，將污染物淋至地下水中，再抽出地下水處理。	· 透水性較良好土壤（如砂質土壤）之重金屬、難分解有機物（如含氯、重油等）污染。	· 淋洗出之污染物及加入之界面活性劑，在複雜的水文地質條件下，並不容易被控制而可能造成二次污染。
物理	土壤蒸汽萃取法 Soil Vapor Extraction, SVE	主要原理為利用抽氣井將土壤抽氣使產生真空，而隨壓力／濃度梯度產生的氣體流動，使揮發性污染物從土壤中擴散並揮發成氣體並流至抽氣井，最後被抽出。抽出氣體視需要進行氣液分離與原理。	· 通氣性介於10-2至10-5 cm/sec	· 處理每一公噸土壤約需10—50美元（不含廢氣、廢水處理成本）
化學	現地固化／穩定化法 In-Situ Solidification/Stabilization	將固化劑直接注入現地土壤，使污染物被緊密包圍，或直接加入穩定劑與土壤中污染物發生化學作用而降低其移動性。處理深度目前已可達20公尺以上，儘管本技術已商業化，但在地狹人稠及礫石層分布之台灣地區，適用性有待進一步研究。	· 重金屬污染為主，有機污染方面亦在發展中 · 礫石層地質因藥劑不易充分混合而可能不適用	· 淺層費用每一公噸約50—80美元 · 深層費用每一公噸約190—330美元
化學	化學氧化／還原法 Chemical Oxidation/Reduction	典型之化學處理方法，利用氧化劑如H ₂ O ₂ 、O ₃ 等，將有機物分解成CO ₂ 及H ₂ O；或利用還原劑如SO ³⁻ 、Fe ²⁺ 等將重金屬之型態改變，如六價鉻還原為三價鉻以降低毒性。	· 難分解有機物，部分重金屬污染	· 現地、離地整治均有此項技術，惟現地應用需控制之環境條件及變數更多，可能導致反應劑耗損量大而不經濟

表 4 土壤污染現地整治技術比較表 (續一)

主要機制	技術名稱	原理說明	適用範圍	備註
電化學	電動力分離法 Electrokinetic Separation	在土壤中插入電極通電，使帶正電的污染物往陰極移動，帶負電的污染物往陽極移動而分離不同類別之污染物。最後再利用沉澱法、抽水/抽氣法或離子交換法收集移除集中於電極附近的污染物。	<ul style="list-style-type: none"> · 透水性差且含水量高之粘質土壤 · 污染物具離子性 (帶正、負電) 	<ul style="list-style-type: none"> · 目前仍為發展中，技術完全商業化，仍須更多現場測試 · 處理每一公噸污染土壤略高於50美元。
熱處理	現地玻璃化法 Vitrification	亦可視為一種現地固化/穩定化技術，主要為在土壤中插入電極並通入高壓電流產生高溫使土壤溶化(600-2,000°C)，使土壤中的金屬污染物被固定(土壤或玻璃狀物質)，而有機污染物則被無氧熱分解。	<ul style="list-style-type: none"> · 礫石含量、含水量較低之土壤較具經濟效益 · 對大多數的有機及無機污染物都極為有效 	<ul style="list-style-type: none"> · 處理費用昂貴
熱處理	加熱式土壤蒸氣萃取法 Thermally Enhanced SVE	基本上本技術乃結合土壤蒸氣萃取技術及土壤加熱技術，因加熱使土壤中揮發性有機污染物如含氯溶劑加速揮發及移動，而較易被SVE系統所移除。	<ul style="list-style-type: none"> · 礫石百分比、粘粘含量及含水量較低之土壤 · 污染物具揮發性 	<ul style="list-style-type: none"> · 提供熱能之額外增加費用，因有效縮短了SVE之操作時間 · 整治費用每一公噸土壤約需30-130美元
生物	生物通氣法 Bioventing	生物通氣法為提供空氣(氧氣)給現地中存在的土壤微生物，刺激或促進其生長以分解土壤中有機污染物。	<ul style="list-style-type: none"> · 透氣性佳之土壤，可好氧分解之有機污染 	<ul style="list-style-type: none"> · 可和土壤蒸氣萃取法合併使用效果極佳 · 每一公噸的土壤均需花費10-70美元

表 4 土壤污染現地整治技術比較表 (續二)

主要機制	技術名稱	原理說明	適用範圍	備註
生物	土地處理法 Land Treatment	以現場耕犁的方式翻動污染表土以促進污染物分解，除需控制翻動次數與時間外，土壤水分含量及pH亦需控制，有時需要加入適當的膨鬆劑或養分。	<ul style="list-style-type: none"> · 表層土壤 · 好氧易分解之有機物污染 · 深層則考慮採挖出堆置處理 	<ul style="list-style-type: none"> · 現地與離地復育均適用，但僅適用於0-50公分之土壤 · 已成功的應用於油品污染場址，含氣溶劑的分解則比較慢，效果較差 · 處理費手每一公噸僅需30-70美元
生物	植物復育法 Phytoremediation	利用植物吸收、固定及轉化分解土壤中污染物，這雖是很老的一個方法，卻是近幾年又開始受到大家重視的技術。此法主要針對植物根生長範圍的淺層土壤，污染物濃度太高可能會對植物造成毒害。	<ul style="list-style-type: none"> · 淺層土壤 	<ul style="list-style-type: none"> · 本技術之實際效果仍須深入研究

資料來源：1. 車明道，土壤受氯化碳氫化合物污染之整治技術與問題評析，1999年
 2. 楊金鐘，土壤受氯酚化合物及其他有機物污染之整治技術與問題評析，1999年
 3. 陳慎德等人，對台灣地區土壤地下水整治工作之看法，1999年

(四)離地物理／化學處理法

1. 水解法(Hydrolysis)

水解為一種將有機污染物改變結構而形成新的低毒性化合物的一種化學方法。水解程序是個典型的離地(ex-situ)操作。

水解反應一般應用於：

- (1)土壤受到腈類的污染
- (2)土壤受到環氧化物與酯類的污染

水解程序的設計至少要考慮到下列三個重要因子：

- (1)污染物的種類
- (2)土壤顆粒的級配
- (3)溶劑溶液

2. 去氯法(Dechlorination)

去氯法是一種破壞程序，係利用化學反應將含氯分子內的氯原子去除，使毒性物質的毒性變低或較溶於水，以便加速污染整治。去氯程序的設計必須考慮的三個因子為：

- (1)污染物質的種類
- (2)土壤的顆粒的大小
- (3)使用的化學試劑

可用去氯法加以破壞的化合物包括：

- (1)多氯聯苯
- (2)戴奧辛
- (3)呋喃
- (4)氯苯
- (5)有機氯殺蟲劑
- (6)四氯化碳
- (7)氯仿

(8)二氯甲烷

(9)二溴乙烷

去氯反應通常為一種離地(off-site)處理程序，可應用於下列情況：

(1)土壤受到被活化的含鹵素芳香族化合物的污染

(2)土壤受到含鹵素脂肪族化合物的污染

(3)受到污染土壤的體積超過 1,000 立方公尺

當此類技術應於高粘粒含量、高水分含量及污染物濃度高於 5% 以上之土壤時，處理費用將大幅增高，本技術並不便宜，若不包括挖除、回填、殘餘物最終掩埋及分析費用，本技每處理一公噸污染土壤，其操作費用約需 220—550 美元。

3.化學（溶劑）萃取法(Chemical/Solvent Extraction)

化學（溶劑）萃取法乃將土壤與萃取液在萃取器中混合攪拌使污染物溶解，再以固液分離器將兩者分開，受污染的萃取劑經處理後再循環使用。處理完之土壤中會殘存些許溶劑，因此溶劑之毒性成為選擇使用何種溶劑時之重要考量，粘粒或有機質高之土壤亦會減低處理效果。處理費用每公噸土壤約為 110—440 美元。

4.土壤清洗法(Soil Washing)

土壤清洗法乃將污染物從土壤轉移至水溶液之物理轉移過程，主要假設有二：(1)污染物大部分吸附於土壤顆粒表面，可經由清洗液清洗出來；(2)污染物大部分被細小顆粒（粘粒及坩粒）所吸附，因此可藉由篩分法將細顆粒及粗顆粒（砂粒）分開，而達到去污與減廢的效果。此法較適合於砂質土壤，當土壤中粘粒、坩粒及有機物質之總量大於 40% 時，此法並不適用。此一技術在 1986—1989 年間，已成功的被使用 8 個美國超級

基金場址之土壤復育。整治費用包括挖除時，每處理一公噸土壤約需 170 美元。

5. 土壤蒸汽萃取法(Soil Vapor Extraction; SVE)

污染土壤挖掘出後堆置於已設有抽／通氣管之地面處理區，其餘原理與現地土壤蒸汽萃取法相同，但兩者相較之下，離地處理之抽氣效果較佳，也不受地下水位之影響，而也較易監測整治效果，唯一的缺點則因挖掘而使處理費用增加，處理費用若包括挖掘費（但不含廢棄處理）時，每一公噸土壤約低於 110 美元。

6. 陽光去毒法(Solar Detoxification)

本技術先將污染物以 SVE 法抽出濃縮後，與半導體催化劑例如 TiO_2 混合，並置於反應器中被陽光照射，其中之紫外線活化催化劑而產生自由基，此自由基能將污染物分解成無毒之二氧化碳及水。此法的優點為可完全分解污染物，不像活性炭吸附等其他技術仍需後續處理。本技術曾針對美國勞倫斯利佛摩國家實驗室場址中受三氯乙烯污染之場址完成成功之整治示範。

7. 固化／穩定化法(Solidification/Stabilization)

本技術原理與現地固化／穩定化法相同，唯一不同只是要先將污染土壤挖掘出送至處理區而已。針對含氣溶劑則以玻璃化最為有效，其處理溫度高達 $1,200^\circ\text{C}$ ，可分解幾乎極大多數之有機污染物。

(五) 離地熱處理法

1. 焚化法(Incineration)

焚化技術為一較成熟且商業化之處理技術，主要為在有氧氣的狀況下，以高溫($870-1,200^\circ\text{C}$)燃燒含有機污染物之土壤，

污染物去除效率可高達 99.9999% 以上。常見之焚化爐有下列四種：(1)循環式燃燒床(CBC)；(2)流體化床(FBC)；(3)紅外線技術燃燒(IR)及(4)旋轉窯(Rotary Kilns)。焚化法對處理含氯溶劑之污染土壤極為有效，但處理費用較高，每處理一公噸土壤約需 200—1,100 美元。

2. 熱解法(Pyrolysis)

熱解法乃在無氧的狀態下以高熱將污染物分解，其溫度可達 430°C 以上，其產生之可燃性氣體可導入第二燃燒室處理，而排氣中污染物與燃燒後之焦炭與灰渣亦需收集並做最終處理。本技術需先將土壤乾燥至水分含量小於 1%，否則高水分含量將導致效能降低而增加費用，處理費用在總量小於 2 萬公噸土壤之狀況下，每處理一公噸約需 330 美元。

3. 熱脫附法(Thermal Desorption)

熱脫附法乃利用直接或間接加熱之方式使受污染土壤內的有機物揮發成氣體，並收集作後續處理。依據加熱形式的不同可細分為：

- (1)直接火熱法(Direct Fired)－直接於污染土壤表面引火
- (2)間接火熱法(Indirect Fired)－先將空氣加熱再與污染土壤接觸
- (3)間接加熱法(Indirect Heated)－先將外部加熱使污染物揮發，再以鈍氣(Inert Gas)將污染氣體帶走作後續處理。

若以溫度區分，熱脫附技術可分為低溫熱脫附(90—320°C)及高溫熱脫附(320—560°C)兩種，一般來說，溫度愈高愈容易脫附分子量大較不易揮發之污染物。本技術與焚化技術一樣，土壤需先經過脫水處理，而高粘粒及有機物質含量之土壤，將使處理時間變長。處理容量通常每小時可達 10—50 公噸土壤，

處理費用每一公噸土壤約需 45—330 美元。

熱脫附法的一般適用範圍如下：

- (1) 土壤含水量為 10~25%
- (2) 污染物沸點在 538°C 以下
- (3) 土壤粒徑小於 5 公分
- (4) 非揮發性污染物不適用

(六) 離地生物處理法

1. 生物堆法(Biopiles)

生物堆法乃將污染土壤挖出後堆置於不透水並有滲出液收集系統的處理區，再供應其適當的水分、養分及氧氣（通常在底部以管線供應空氣）以供微生物生長去分解土壤中污染物。含氯溶劑雖然亦可使用此種技術處理，但效果通常沒有油品等不含氯揮發性碳氫化合物好。生物堆的高度最好不要超過 2—3 公尺，但若在反層埋入通氣管線，其高度甚至可達 7 公尺。

2. 堆肥化法(Composting)

堆肥化法乃將污染土壤挖出後與膨鬆劑或其他有機添加物（如各種動植物廢棄物）混合，使其充分發酵產生熱能而促進微生物之活動並分解污染物。通常發酵溫度應維持在 54—65 °C。本技術若應用得當，處理時間通常不到一個月而能達到整治目標，與熱處理比較，堆肥化不失為一個較經濟有效之土壤復育技術。

3. 土耕法(Land Farming)

土耕法乃將污染土壤挖出後堆置於不透水床(lined beds)，每隔一段時間予以翻耕(tilled/turned over)使土壤通氣。處理之土壤厚度一般不超過 50 公分，其他處理條件與限制同現地土地處理法。

(七)其他處理法

挖開／掩埋法(Excavation and Off-site Disposal)

挖開／掩埋法乃挖出污染土壤後送至合格之衛生掩埋場，有時視情況需經過適當之中間處理（如焚化），此種技術雖然簡單直接且早已商業化，處理每一公噸土壤約需 300—510 美元。

相關離地處理整治技術比較表，彙整如表 5：

表 5 土壤污染離地整治技術比較表

主要機制	技術名稱	原理說明	適用範圍	備註
物理／化學	化學（溶劑）萃取法 Chemical/Solvent Extraction	將污染土壤與萃取液在萃取器中混合攪拌使污染物溶解，再以固液分離器將兩者分開，受污染的萃取劑經處理後再循環使用。	<ul style="list-style-type: none"> · 重金屬、黏重之重質油等 	<ul style="list-style-type: none"> · 須留意殘存於處理後土壤之溶劑毒性及土壤理化性質之變化。 · 粘粒或有機質高之土壤亦會減低處理效果。處理費用每一公噸土壤約為110—440美元。
物理／化學	固化／穩定化法 Solidification/Stabilization	原理詳前現地整治技術之說明。	<ul style="list-style-type: none"> · 固化／穩定常用於重金屬污染 · 含氫溶劑污染以玻璃化較為有效。 	
物理	土壤清洗法 Soil Washing	土壤清洗法乃將污染物從土壤轉移至水溶液之物理轉移過程，若污染物大部分吸附於土壤顆粒表面，可經由清洗液清洗出來或者被細小顆粒（粘粒及粉粒）所吸附之污染物可藉由篩分法將細顆粒及粗顆粒（即砂粒）分開，而達到去污與減廢的效果。	<ul style="list-style-type: none"> · 水溶性較佳、易隨水分移動之污染物質或細粒吸附性佳之污染物質 · 砂質土壤 	<ul style="list-style-type: none"> · 廢水或分離污泥之處理成本應加以考慮 · 處理每一公噸土壤約需170美元（包括挖除）
物理	土壤蒸汽萃取法 Soil Vapor Extraction; SVE	污染土壤挖出後置於已設有抽／通氣管之地面處理區中抽氣處理。國內RCA污染事年之污染區土壤亦採取此方式。	<ul style="list-style-type: none"> · 揮發性有機物之處理 	<ul style="list-style-type: none"> · 處理每一公噸土壤約低於110美元（包括挖掘費，但不含廢棄處理）。
化學	化學氧化法 Chemical Oxidation	典型之化學處理方式，利用氧化劑將難分解有機物直接氧化為CO ₂ 及H ₂ O。	<ul style="list-style-type: none"> · 難分解有機物 	<ul style="list-style-type: none"> · 須留意有機污染物降解後子產物之毒性

表5 土壤污染離地整治技術比較表（續一）

主要機制	技術名稱	原理說明	適用範圍	備註
熱處理	焚化法 Incineration	焚化技術為一較成熟且商業化之處理技術，主要為在有氧氣的狀況下，以高溫(870—1,200°C)燃燒含有機污染物之土壤，污染物去除效率可高達99.9999%以上。	<ul style="list-style-type: none"> 需迅速處理之難分解有機物污染土壤 對處理含氯溶劑之污染土壤極為有效 	<ul style="list-style-type: none"> 費用昂貴 目前已有移動式之焚化爐可兼處理受污染土壤與有害事業廢棄物 處理每一公噸土壤約需220—1,100美元
熱處理	熱解法 Pyrolysis	在無氧的狀態下以高熱將污染物分解，其產生之可燃性氣體可導入第二燃燒室處理，而排氣中污染物與燃燒後之焦炭與灰渣亦需收集並做最終處理。	<ul style="list-style-type: none"> 含水量低之有機污染土壤 	<ul style="list-style-type: none"> 通常先經處理將含水量降低至小於1% 處理費用在總量小於2萬公噸土壤之狀況下，每處理一公噸約需330美元。
熱處理	熱脫附法 Thermal Desorption	可分為低溫熱脫附(90—320°C)及高溫熱脫附(320—560°C)兩種，一般來說，溫度愈高愈容易脫附分子量較大較不易揮發之污染物。本技術與焚化技術一樣，土壤需先經過脫水處理，而高粘粒及有機物質含量之土壤，將使處理時間變長。	<ul style="list-style-type: none"> 含水量低之有機污染土壤 	<ul style="list-style-type: none"> 處理每一公噸土壤約需45—330美元
生物	生物堆法 Biopiles	將污染土壤挖出後堆置於不透水並有滲出液收集系統的處理區，再供應其適當的水分、養分及氧氣（通常在底部以管線供應空氣）以供微生物生長去分解土壤中污染物。	<ul style="list-style-type: none"> 生物堆的度最好不要超過2—3公尺 	<ul style="list-style-type: none"> 含氯溶劑雖然亦可使用此種技術處理，但效果通常沒有油品等不含氯揮發性碳氫化合物好

表5 土壤污染離地整治技術比較表（續二）

主要機制	技術名稱	原理說明	適用範圍	備註
生物	堆肥化法 Composting	為廢棄物處理之成熟技術，因而衍生應用於高濃度有機污染處理之研究。基本仍利用控制營養份、水份、pH值、氧化還原條件等因子，以原生或特定微生物植種促進高濃度有機物之厭氧發酵分解。	· 可厭氧發酵之有機污染物	
生物	土耕法 Land Farming	與現地土地耕種之原理相同，差別為採挖出後堆置方式。於國內已有許多成功應用之案例，如中油南新管線50K漏油事件之處理、中油後龍溪漏油事件之處理。	· 淺層土壤開挖較為經濟 · 好氧下易分解之有機污染處理 · 土壤厚度一般不超過50公分	
搬移	開挖／掩埋法 Excavation and Off-site Disposal	挖出污染土壤後送至合格之衛生掩埋場，有時視情況需經過適當之中間處理（如焚化），此種技術雖然簡單直接且早已商業化，但在地狹人稠的台灣地區，由於掩埋地點不易取得，因此並不見得適用。	· 無特殊限制	· 掩埋土地取得成本與運費為主要費用

資料來源：1. 車明道，土壤受氯化碳氫化合物污染之整治技術與問題評析，1999年
 2 楊金鐘，土壤受氯酚化合物及其他有機物污染之整治技術與問題評析，1999年
 3 陳慎德等人，對台灣地區土壤地下水整治工作之看法，1999年

三、美國土壤污染物管制方式

(一)美國環保署 RCRA 污染管制標準(Action Levels)

美國環保署 RCRA 土壤有機化合物污染管制標準(Action Levels)彙整如表 6，在美國環保署所提之「資源保育及回收法—矯正行動法則」(Resource Conservation and Recovery Act (RCRA) Corrective Action Rule, 55 FR 30789, 27, July 1990)之下，訂定受污染的地下水與土壤中污染物的管制標準(action level)。此值的訂定為在「安全飲用水法」(Safe Drinking Water Act) 之下所計算之最大污染物標準(maximum contaminant levels, MCLS)。對致癌物質而言，此管制標準(action level)是指在長期連續暴露的情況下，超過由已確知的致癌物質(Class A, known)與很可能發生的致癌物質(Class B, probably)造成百萬分之一致癌率的上限值，或可能發生的致癌物質(Class C, possibly)造成十萬分之一致癌率的上限值。此擬定的法則亦指出暴露出多種污染物中的累積危險(cumulative risk)不會超過一萬分之一的致癌率。對系統毒性物質而言，在此行動標準下，即使人類群體（包括敏感的個體）暴露在每日基礎量之內，終其一生亦不會有任何毒害的危險發生。推論土壤中危險污染物之判決標準時，基於以下的假設：

1. 針對已知或疑似致癌之有害成分：每日食入 0.1 公克的土壤、70 公斤重之成人與 70 年的暴露時間。
2. 針對其他已知或疑似致癌之有害成分：每日食入 0.2 公克的土壤、16 公斤重之小孩與 5 年的暴露時間（1-6 歲之小孩）。

美國各州（德州、華盛頓州、紐澤西州、紐約、賓州及德拉瓦州等）基於保護地下水之土壤有機化合物污染管制標準彙整如 4-2 所示。說明如下：

表 6 美國環保署 RCRA 土壤有機化合物污染管制標準(Action Levels)彙整

單位：mg/kg

項 目	限值	項 目	限值
Acetone	8000	Lindane	0.5
Acetonitrile	500	m-Creosol	4000
Acetophenone	8000	m-Dinitrobenzene	8.0
Acrylamide	0.2	Maleic anhydride	8000
Acrylonitrile	1.0	Maleic hydrazide	40000
α -AHC	0.1	Mercury	20
Aldicarb	100	Methomyl	2000
Aldrin	0.04	Methyl ethyl ketone	4000
Allyl alcohol	400	Methyl isobutyl ketone	4000
Aluminum phosphide	30	Methyl parathion	20
Aniline	100	N-Nitrosom-n-methylethylamine	0.03
Antimony	30	N-Nitrosodi-n-butylamine	0.1
arsenic	80	N-Nitrosodi-n-propylamine	0.1
Barium	4000	N-Nitrosodiethanolamine	0.3
barium cyanide	6000	N-Nitrosodiethylamine	0.005
Benzidine	0.003	N-Nitrosodimethylamine	0.01
Beryllium	0.2	N-Nitrosodiphenylamine	100
Bis (2-chloroethyl) ether	0.6	N-Nitrosopyrrolidine	0.3
Bromoform	2000	Nickel	2000
Bromomethane	100	Nitric oxide	8000
Butyl benzly phthalate	20000	Nitrobenzene	40
Cadmium	40	Nitrogen dioxide	80000
Calcium cyanide	3000	o-Cresol	4000
Carbon disulfide	8000	Osmium tetroxide	0.8
Carbon tetrachloride	5.0	p-Cresol	4000
Chloral	200	Parathion	500
Chlordane	0.5	Pentachlorobenzene	60
Chlorine cyanide	4000	Pentachlorophenol	2000
Chlorobenzene	2000	Phenol	50000
Chloroform	100	Phenylmercuric acetate	6.0
2-Chlorophenol	400	Phosphine	20
chromium (VI)	400	Phthalic anhydride	200000
Copper cyanide	400	Polychlorinated biphenyls	0.09
Cyanide	2000	Potassium cyanide	4000
Cyanogen	3000	Potassium silver cyanide	20000
Cyanogen bromide	7000	p'p'-Dichlorodiphenyl dichloroethane	3.0
2,4-D	800	p'p'-Dichlorodiphenyl dichloroethylene	2.0
Di(2-ethylhexyl)phthalate	50	p'p'-Dichlorodiphenyl trichloroethane	2.0
1,2-Dibromoethane	0.008	Pronamide	6000
Dibutyl phthalate	8000	Pyridine	80
3,3-Dichlorobenzidine	2.0	Quintozene	200
Dichlorobromomethane	0.5	Selenious acid	200
Dichlorodifluoromethane	20000	Selenourea	400
1,2-Dichloroethane	8.0	Silver	200

表 6 美國環保署 RCRA 土壤有機化合物污染管制標準(Action Levels)彙整(續)

單位：mg/kg

項 目	限 值	項 目	限 值
Dichloromethane	90	Silver cyanide Ag (CN)	8000
2,4-Dichlorophenol	200	Sodium cyanide Na (CN)	3000
1,3-dichloropropylene	20	Strychnine & salts	20
Dieldrin	0.04	Styrene	20000
diethyl phthalate	60000	1,2,4,5-Tetrachlorobenzene	20
Dimethoate	2000	1,1,1,2-Tetrachloroethane	300
2,4-Dinitrophenol	200	1,1,2,2-Tetrachloroethane	40
Dinitrotoluene	1.0	Tetrachloroethylene	10
1,4-Dioxane	60	2,3,4,6-Tetrachlorophenol	2000
Diphenylamine	2000	Tetraethyl lead	0.008
1,2-Diphenylhydrazine	0.9	Tetraethyldithiopyrophosphate	40
Disulfoton	3.0	Thallic oxide	6.0
Endosulfan	4.0	Thallium acetate	7.0
Endothall	2000	Thallium carbonate	6.0
Endrin	20	Thallium(I) chloride	6.0
Epichlorohydrin	70	Thallium(I) nitrate	7.0
Ethylbenzene	8000	Thallium(I) sulfate (TI ₂ SO ₄)	6.0
Formic acid	200000	Thiram	400
glycidyaldehyde	30	Toluene	20000
Heptachlor	0.2	Toxaphene	0.6
Heptachlor epoxide	0.02	1,2,4-Trichlorobenzene	2000
Hexachloro-1,3-butadiene	90	1,1,1-Trichloroethane	7000
β-Hexachlorocyclohexane	4.0	1,1,2-Trichloroethane	100
Hexachlorocyclopentadiene	600	Trichloroethylene	60
Hexachlorodibenzo-p-dioxin, mixture	0.0001	Trichlorofluoromethane	20000
Hexachloroethane	80	2,4,6-Trichlorophenol	40
Hexachlorophene	20	2,4,5-Trichlorophenol	8000
Hydrazine	0.2	2,4,5-Trichlorophenoxyacetic acid	800
Hydrogen cyanide	2000	1,2,3-Trichloropropane	500
Hydrogen sulfide	200	Vanadium pentoxide	700
Hydrazine	0.2	Vinylidene chloride	10
Isobuthyl alcohol	20000	Xylenes (mixed isomers)	200000
Isophorone	2000	Zinc cyanide	4000
Lead	-	Zinc phosphide	20

資料來源：US EPA 1990. Action Levels under RCRA corrective Action

(二)紐澤西州

- 1.未列於表中之污染物由紐澤西州環境保護部門(Department of Environmental Protection)視場址之特性決定其土壤整治標準。
- 2.土壤整治標準必須符合下列規定：
 - (1)場址所有樣品濃度之算數平均值必須小於或等於該污染物之土壤污染整治標準。
 - (2)當土壤整治標準小於或等於 10 ppmw 時，任何單一土壤樣品之污染物濃度均不得超過土壤整治標準之 10 倍。
 - (3)當土壤整治標準為 10-100 ppmw 時，任何單一土壤樣品之污染物濃度均不得超過土壤整治標準之 5 倍。
 - (4)當土壤整治標準大於 100 ppmw 時，任何單一土壤樣品之污染物濃度均不得超過土壤整治標準之 2 倍。
 - (5)土壤樣品中不能有超過 10%之樣品超過土壤整治標準。

(三)德拉瓦州

美國德拉瓦州所訂定之土壤整治標準乃依據一致性健康風險標準(Uniform Risk-Based Standards, URS)，即百萬分之一致癌風險及 0.1 之非致癌性危害商數，各污染物質之整治值乃參考下列各類標準或建議值。

- 1.CALA：德拉瓦州地下水標準的 10 倍
- 2.CSLB：土壤至地下水傳輸方程式之推論值
- 3.EPA：美國環保署建議值，鉻及多氯聯苯採用美國環保署之建議值
- 4.MAG：麻薩諸塞州(State of Massachusetts)總石油碳氫化合物建議值
- 5.MAX：未限制使用區其最大限值為 1,000 mg/kg，限制使用區其最大限值為 500 mg/kg (實務之 RBC 及 RBM 值高於最大限

值)

6.POL：可偵測污染濃度(Practical Quantitation Limits)

7.RBC： 10^{-6} 致癌性風險之致癌物質濃度(Risk-Based Concentration)

8.RBM：修正風險(Risk-Based Modification)0.1 危害商數之非致癌性物質濃度

9.SSLI：美國環保署 SSL 指引(SSL Guidance)之吸入值

(四)德州

1.土壤污染物之整治至少必須符合下列降低風險標準之一項：

(1)背景值

(2)以健康為基礎考量之標準

(3)可消除污染物對人體健康及環境造成威脅之數值

2.量化之基準必須以健康為基礎考量

3.考量萬分之一至百萬分之一之致癌風險及曝露人口累積風險不能超過萬分之一

(五)紐約州

1.土壤整治目標決定要素

(1)Class A 及 B 考量百萬分之一之致癌風險，Class C 考量十萬分之一之致癌風險

(2)系統毒性之人體健康風險以參考劑量(Reference Doses; RFDs)為計算依據

(3)濃度以保護地下水／飲用水品質為考量

(4)背景值

(5)偵測極限

2.針對有機化合物而言，其整治標準決定於上述要素中之(1)、(2)及(3)；針對重金屬而言，其整治標準決定於上述要素中之(1)、(2)及(4)。

- 3.若上述要素中之(1)、(2)所得之數值小於背景值，則其整治標準即為背景值，但整治標準仍須大於其偵測極限
- 4.土壤整治標準由環境保護部門依 1%之土壤有機碳含量計算，若已知實際之有機碳含量，則應視實際之有機碳含量加以調整
- 5.土壤整治標準之最大限值
 - (1)VOCs (total)：小於或等於 10 ppmw
 - (2)SVOCs (total)：小於或等於 500 ppmw
 - (3)SVOCs (individual)：小於或等於 50 ppmw
 - (4)農藥(total)：小於或等於 10 ppmw

(六)賓州

- 1.污染場址整治標準得依據背景標準或全州之健康標準(Statewide Health Standards)，或依場址特性之整治標準
- 2.若場址主要之之污染物濃度超過背景標準(Default Background Standard)則須針對場址之特性進行評估
- 3.直接接觸之土壤整治標準必須符合保護人體健康之目標
- 4.背景值之訂定乃依據 PQL (Practical Quantitation Level)值

表 7 美國各州土壤有機物污染管制標準(基於保護地下水)

單位：mg/kg

有機化合物	紐澤西州	紐約州	賓州	德州	德拉瓦 ^(a)
	住宅區	住宅區	住宅區	住宅區	水源區
Acenaphthene	100	50	30	219	270
Acenaphthylene	—	41	33	—	—
Acetaldehyde	—	—	—	—	0.2
Acetone	100	1,000	400	365	6
Acetonitrile	—	—	—	21.9	1
Acetophenone	—	—	—	—	0.0004
Acrolein	—	—	—	73	0.0004
Acrylamide	—	—	—	0.00189	0.02
Acrylonitrile	1	—	—	0.0158	0.004
α -AHC	—	—	—	—	—
Aldicarb	—	—	—	0.3	0.7
Aldrin	50	0.041	500	0.000501	0.0004
allyl alcohol	—	—	—	—	—
aluminum phosphide	—	—	—	1.46	—
Anthracene	100	50	1,000	1,100	1,000(5,000)
aniline	—	0.1	0.1	1.49	1
Atrazine	—	—	6.0	0.3	0.3
Benzene	1	0.06	0.800	0.5	0.5
benzidine	—	—	—	0.000037	0.00003
Benzo(a) anthra	500	0.224	500	—	0.9(8)
Benzo(a) pyrene	100	0.061	500	—	0.09(0.8)
Benzo(b) fluoranthene	50	1.1	500	—	0.9(8)
Benzo(g,h,I) perylene	—	50	50	—	—
Benzo(k) fluoranthene	500	1.1	500	—	9(78)
Benzyl alcohol	50	—	—	—	110
Benzyl chloride	—	—	—	—	0.006
α -BHC	—	0.11	—	0.00135	—
Biphenyl	—	—	—	183	3
Bis(2-chloroethyl)ether	10	—	—	0.00774	0.001
Bis(2-chloroisopropyl)ether	10	—	—	1.22	9(30)

表 7 美國各州土壤有機物污染管制標準(基於保護地下水)(續一)

單位：mg/kg

有機化合物	紐澤西州	紐約州	賓州	德州	德拉瓦 ^(a)
	住宅區	住宅區	住宅區	住宅區	水源區
Bis-Chloromethyl ether	—	—	—	—	0.000005
Bromoform	1	—	—	10	10
Bromomethane	1	—	—	5.11	1
Butyl benzyl phthalate	100	50	100	—	930(5,000)
Carbofuran	—	—	—	4	—
Carbon tetrachloride	1	0.6	2.1	0.5	0.3(0.5)
Chloral	—	—	—	—	0.7
Chloro-m-cresol	100	—	—	—	—
Chlordane	—	0.54	500	0.2	2(16)
Chloroacetic acid	—	—	—	—	0.7
p-Chloroaniline	—	0.22	—	14.6	—
Chlorobenzene (total)	1	1.7	10	1.0	10
Chlorobezilat	—	—	—	73	2(7)
Chloroethane	—	—	—	73	0.4
chloroform	1	1.9	10	1.0	0.3(10)
Chloromethane	10	—	—	—	0.3
2-Chlorophenol	10	0.8	—	18.3	4
Chrysene	500	0.4	300	—	87(780)
m-Cresol	—	—	—	183	—
o-Cresol	—	0.1	—	183	—
p-Cresol	—	0.9	—	183	2
Cumene	—	—	10	—	110
Cyanazine	—	—	—	—	0.01
2,4-D	—	0.5	7.0	7.0	7
DDD	—	—	—	—	3
Di(2-ethylhexyl) phthalate	100	50	400	0.608	—
Diazinon	—	—	—	—	0.06
Dibenzo (a,h) anthracene	100	0.014	500	—	—

表 7 美國各州土壤有機物污染管制標準(基於保護地下水)(續二)

單位：mg/kg

有機化合物	紐澤西州	紐約州	賓州	德州	德拉瓦 ^(a)
	住宅區	住宅區	住宅區	住宅區	水源區
Dibenzofuran	—	—	30	—	—
Dibromochloromethane	1	—	—	10	0.01
1,2-Dibromoethane	—	—	—	0.005	—
Dibutyl phthalate	100	8.1	—	365	780(1,500)
1,2-Dichlorobenzene	100	7.9	7.0	60	60
1,3-Dichlorobenzene	100	1.6	7.0	60	61
1,4-Dichlorobenzene	100	8.5	—	7.5	10
3,3'-Dichlorobenzidine	100	—	—	—	1(6)
Dichlorobromomethane	1	—	10	10	—
Dichlorodifluoromethane	—	—	—	730	100
p,p'-Dichlorodiphenyl dichloroethane	50	2.9	—	0.0355	—
p,p'-Dichlorodiphenyl dichloroethene	50	2.1	—	0.025	—
p,p'-Dichlorodiphenyl trichloroethane	500	2.1	500	0.025	2(12)
1,1-Dichloroethane	10	0.2	0.500	365	8
1,2-Dichloroethane	1	0.1	0.500	0.5	0.4(0.5)
1,1-Dichloroethylene	—	—	—	—	0.07(0.7)
1,2-Dichloroethylene	—	—	—	—	0.6
cis-1,2-Dichloroethylene	1	—	7.0	7.0	7
trans-1,2-Dichloroethylene	50	0.3	10	10	10
Dichloromethane	1	0.1	0.500	0.5	—
2,4-Dichlorophenol	10	0.4	2.0	11	2
1,2-dichloropropane	—	—	—	0.5	0.5
1,2-Dichloropropylene	—	—	0.900	0.5	—
1,3-Dichloropropylene	1	0.3	—	—	0.008
Dicyclopentadiene	—	—	—	—	0.04
Dieldrin	50	0.044	90	0.000532	0.04(0.1)

表 7 美國各州土壤有機物污染管制標準(基於保護地下水)(續三)

單位：mg/kg

有機化合物	紐澤西州	紐約州	賓州	德州	德拉瓦 ^(a)
	住宅區	住宅區	住宅區	住宅區	水源區
Diethyl phthalate	50	7.1	500	2,920	46(130)
3,3'-Dimethoxybenzidine	—	—	—	—	0.5
Dimethyl phthalate	50	2	37,000	—	1,000(3,700)
2,4-Dimethylphenol	10	—	—	73	7
m-Dinitrobenzene	—	—	—	0.365	—
4,6-Dinitro-o-cresol	—	—	—	—	—
2,4-Dinitrophenol	10	0.2	—	7.3	0.7
Dinitrotoluene	10	1	—	—	0.01
Dinoseb	—	—	—	3.65	0.7
Dioxin	—	—	—	—	0.000004 (0.00004)
n-Dioctyl phthalate	100	50	—	73	—
1,4-Dioxane	—	—	—	0.774	0.6
Diphenylamine	—	—	—	—	20
1,2-Diphenylhydrazine	—	—	—	0.016	0.2
Disulfoton	—	—	—	0.146	0.08
Endosulfan	50	0.9	60	0.183	47(110)
Endrin	50	0.1	500	0.2	2(6)
Epichlorohydrin	—	—	—	—	0.01
2-Ethoxyethanol Ethylene glycol monoethyl ether	—	—	—	1,460	—
Ethylbenzene	100	5.5	70	70	70
Ethylene oxide	—	—	—	0.00835	—
Floranthene	100	50	400	146	310(1,800)
Fluorene	100	50	100	146	—
Formaldehyde	—	—	100	730	100
Glycidyaldehyde	—	—	—	—	0.2

表 7 美國各州土壤有機物污染管制標準(基於保護地下水)(續四)

單位：mg/kg

有機化合物	紐澤西州	紐約州	賓州	德州	德拉瓦 ^(a)
	住宅區	住宅區	住宅區	住宅區	水源區
Heptachlor	50	0.1	400	0.04	0.1(0.7)
Heptachlor epoxide	—	0.02	500	0.02	0.07(0.6)
Hexachloro-1,3-butadiene	100	—	—	1.09	1
Hexachlorobenzene	100	0.41	500	0.1	0.4(1)
β -Hexachlorocyclohexane	—	0.2	40	0.0473	—
Hexachlorocyclopentadiene	100	—	—	—	10(90)
Hexachloroethane	100	—	30	6.08	0.6
Hexachlorophene	—	—	—	—	0.1
Hydrazine	—	—	—	—	0.002
Hydrogen sulfide	—	—	—	—	1
Indeno (2,3-cd) pyrene	500	3.2	500	—	0.9(8)
Isophorone	50	4.4	—	—	10
Lindane	50	0.06	10	0.02	—
Methacrylonitrile	—	—	—	—	0.01
Methomyl	—	—	—	91.3	—
Methoxychlor	50	10	200	4.0	39(630)
2-Methoxyethanol	—	—	—	14.6	—
Methyl ethylketone	50	0.3	0.050	183	—
Methyl hydrazine	—	—	—	—	0.006
Methylisobutyl ketone	50	1	200	183	1
Methyl mercury	—	—	—	—	—
Methyl parathion	—	—	—	—	0.4
2-Methyl naphthalene	—	36.4	20	—	—
Methyl terl-butyl ether	—	—	0.200	—	2
Naphthalene	100	13	8.0	146	5
Nitrobenzene	10	0.2	—	1.83	0.04
N-Nitroso-n-methylethylamine	—	—	—	0.000387	0.0001
N-Nitroso-N-methylurea	—	—	—	—	0.00005
N-Nitrosodi-n-butylamine	—	—	—	—	0.0002
N-Nitrosodi-n-propylamine	10	—	—	0.00122	0.001

表 7 美國各州土壤有機物污染管制標準(基於保護地下水)(續五)

單位：mg/kg

有機化合物	紐澤西州	紐約州	賓州	德州	德拉瓦 ^(a)
	住宅區	住宅區	住宅區	住宅區	水源區
N-Nitrosodiethanolamine	—	—	—	—	0.002
N-Nitrosodiethylamine	—	—	—	0.0000568	0.00005
N-Nitrosodimethylamine	—	—	—	0.000167	0.0001
N-Nitrosodiphenylamine	100	—	—	—	2
N-Nitrosopyrrolidine	—	—	—	0.00406	0.003
Paraquat	—	—	—	—	2
Parathion	—	1.2	18	—	13
Pentachlorobenzene	—	—	—	—	4
Pentachloronitrobenzene	—	—	—	—	3(22)
Pentachlorophenol	100	1	200	0.1	5
Phenanthrene	—	50	80	—	1,000(5,000)
Phenol	50	0.03	400	2,190	400
m-Phenylenediamine	—	—	—	—	2
Phenylmercuric acetate	—	—	—	—	—
Phosphine	—	—	—	—	0.1
Phthalic anhydride	—	—	0.45	7,300	730
Polychlorinated biphenyls	50	1	—	0.05	1
Pyrene	100	50	300	110	230(1,700)
Pyridine	—	—	0.085	3.65	0.4
Quintozene	—	—	—	0.328	—
Selenious acid	—	—	—	—	2
Selenourea	—	—	—	—	—
Strchnine & salts	—	—	—	1.1	—
Styrene	100	—	10	10	24
1,2,4,5-Tetrachlorobenzene	—	—	—	1.1	0.1
1,1,1,2-Tetrachloroethane	1	—	7.0	3.28	0.4
1,1,2,2-Tetrachloroethane	1	0.6	1.0	0.426	0.2
Tetrachloroethylene	1	1.4	2.0	0.5	0.5
2,3,4,6-Tetrachlorophenol	—	—	—	110	170
Tetraethyl lead	—	—	—	—	0.00004

表 7 美國各州土壤有機物污染管制標準(基於保護地下水)(續六)

單位：mg/kg

有機化合物	紐澤西州	紐約州	賓州	德州	德拉瓦 ^(a)
	住宅區	住宅區	住宅區	住宅區	水源區
Tetraethyldithiopyrophosphate	—	—	—	1.83	—
Thiram	—	—	—	—	—
Toluene	500	1.5	100	100	100
Toluene-2,4-diamine	—	—	—	—	0.002
Total Petroleum	10,000	—	—	—	—
Hydrocarbons (TPH)					
Toxaphene	50	—	20	0.3	0.6(1)
1,2,4-Trichlorobenzene	100	3.4	20	7.0	28
1,1,1-Trichloroethane	50	0.8	20	20	20
1,1,2-Trichloroethane	1	—	0.800	0.5	0.5
Trichloroethylene	1	0.7	2.0	0.5	0.5
Trichlorofluoromethane	—	—	—	1,100	200
2,4,5-Trichlorophenol	50	0.1	v	365	220
2,4,6-Trichlorophenol	10	—	—	0.774	2
2 (2,4,5-Trichlorophenoxy)propionic acid	—	0.7	3.0	5.0	—
2,4,5-Trichlorophenoxyacetic acid	—	1.9	—	36.5	—
1,2,3-Trichloropropane	—	0.4	5.0	21.9	0.0002
Vinyl acetate	—	—	—	—	4
Vinyl bromide	—	—	—	3,650	—
Vinyl chloride	10	0.1	10	0.2	0.03(0.2)
Vinylidene chloride	10	0.4	1.0	0.7	—
(Xylenes) mixed isomers	10	1.2	5.0	1,000	420

註：(a)：“()”中之數值表示“限值使用水源區”之管制值。

資料來源：1. Delaware department of natural resources and environmental control, 「Remediation standards guidance under the Delaware hazardous substance cleanup act」, December 1999

2. Anthony J. Buonicore, 「Cleanup Criteria for Contaminated Soil and Groundwater」, 1996

美國醫療廢棄物處理方式

一、美國醫療廢棄物的現況與回顧

醫療廢棄物的管理一直是環境工程界與健康保健機構所關心的話題。近年來，民眾、地方政府，以及中央政府對這個課題的重視程度逐漸提高。醫療廢棄物的問題是隨著醫療的發展而逐漸發生的。今日醫療廢棄物的質與量上與過去五年或十年前相較並無多大的差異性。但對廢棄物體積而言在五年間則呈現相當大的變化(9-45lbs/人/天)。另外，由於大量使用塑膠製品使得廢棄物的組成改變，並直接增加了廢棄物焚化的困難度。

醫療廢棄物的處理主要是透過人工的收集系統收集，一般使用的方法有：大小不同種類的垃圾桶，人為操作及藉由電梯水平、垂直運送的子車等。事實上，這些垃圾桶及收集系統與以往並沒有很大的不同。至於處理系統受限於有限的技術也沒有重大的改變。舉例來說，高溫高壓滅菌法（steam autoclaving）仍然是消毒感染性廢棄物相當有效率的方法之一，這種方法廣泛的用於許多實驗室培養和其他感染性物質。另一種消毒的方法是氣體消毒法（gaseous decontamination），所使用的氣體大多是乙烯氧化物（ethylene oxide），但是乙烯氧化物本身是致癌氣體，再加上經過壓縮之後可能會造成液體的滲漏與氣膠懸化（aerosolization），所以此法較少使用。

至於傾倒處理方法的發展則相當有限，僅受限於將焚化後的餘燼用來做微生物分解的垃圾掩埋技術。接下來則介紹焚化、蒸汽消毒、化學消毒以及微波消毒的使用。同時還探討醫療廢棄物的定義與特性。

二、美國醫療廢棄物的定義與特性

(一)醫療廢棄物的定義

雖然醫療廢棄物廣泛地受到社會大眾以及各級政府的重視，但是「醫療廢棄物」這個名詞的定義仍然不很明確。醫療廢棄物這個名詞並沒有統一的定義，許多政府機關和社會團體使用著不同的標準；從醫院到商業團體、廢棄物管理公司、環境保護學者、地方政府及聯邦政府等，都有對醫療廢棄物標準不同的定義。因為這些不同標準的醫療廢棄物必須接受特殊的處理，也因此造成實際上處理的未難。結果不僅對產生及負責處理醫療廢棄物的人形成困擾，同時也增加了健康保健與廢棄物處理的成本。

「醫療廢棄物」的來源有許多，包含對於人體產生不同傷害、不同種類的來源。世界各國管制最嚴格而且公認最危險的廢棄物包括化學和輻射廢棄物。而最不被人重視的則是一般廢棄物，包括飲食及辦公室廢棄物等。介於上述這兩者之間的則包括使用過的醫療器材、人類或動物的廢棄物等。

醫療廢棄物的定義至今仍然模糊不清的一個主要原因，是缺乏一個明確的區分標準將醫療廢棄物與一般廢棄物區分開來。雖然醫院是醫療廢棄物的一個主要來源，但並不是唯一的來源，因為病人是可能於其他場所出現。因此除了醫院之外，其他地方也有可能產生醫療廢棄物，例如私人診所、小型治療辦公室、甚至家中也有可能產生醫療廢棄物。另外有一些非醫療地點也有可能產生醫療廢棄物，例如研究實驗室、生化醫學產業等，這些地方所產生的醫療廢棄物特性與醫院所產生的頗為類似。有些統計資料甚至指出非醫療機構所產生的醫療廢棄物在體積上約等於從醫院所產生的量。

(二)醫療廢棄物的特性

醫療廢棄物包括下列幾種：

- 1.尖銳物品(sharps)：皮下注射器、醫學用縫針、解剖刀(片)、注射器、吸量管、藥水瓶、以及所有破碎或是未破碎的玻璃器皿等；
- 2.衣物(fabrics)：紗布、繃帶、醫學用外衣、藥籤等；
- 3.塑膠(plastics)：垃圾袋、尖銳物品的容器、靜脈注射袋(IV bags)、導管、裝樣本的杯子等；
- 4.紙類(paper)：可拋棄式的長外衣及紙類；濕紙巾等；
- 5.廢棄的化學物質／藥物(waste chemicals/drugs)：包括實驗室的化學物品、剩餘的或是過期的藥物、消毒劑等；以及
- 6.病理廢棄物(pathological waste)：人或動物的遺體、身體部份器官和組織等；

表 8 為醫院中醫療廢棄物乾基熱值、濕度及燃燒熱值之特性，此外，為了發展醫療廢棄物焚化爐的空氣污染物排放標準，醫療廢棄物的管理範圍尚包括：提供家戶醫療服務的醫療機構、在由家戶運送醫療廢棄物至處理中心途中所造成的廢棄物、獸醫外診將醫療廢棄物帶回診所運送途中所產生的廢棄物、以及人類和動物的器官組織。

表 8 醫院中醫療廢棄物的特性

種 類	乾基熱值(Btu/lb)	含濕度百分比 (%)	燃燒時熱度值 (Btu/lb)
人體組織	8,000-12,000	70-90	800-3,600
塑膠	14,000-20,000	0.1	13,900-20,000
拖把等器具	8,000-12,000	0.30	5,600-12,000
酒精等消毒物	11,000-14,000	0-0.2	11,000-14,000
被動物感染的組織	9,000-16,000	60-90	900-6,400
玻璃	0	0	0
床單被褥、紙、排泄物	8,000-9,000	10-50	4,000-8,100
紗布、護墊、外衣、紙、纖維等物品	8,000-12,000	0-30	5,600-12,000
塑膠、PVC、注射器	9,700-20,000	0-1	9,600-20,000
針、尖銳物品	60	0-1	60
流體、殘餘物	0-10,000	80-100	0-2,000

三、感染性廢棄物之處理技術

這個部份我們將針對四個最常使用的處理技術來討論：焚化、化學殺菌、蒸汽消毒、和微波殺菌。表 9 中顯示了在這四種廢棄物處理技術下操作特性及成效，特別值得一提的是這四種處理技術只是處理的方法而已。

表 9 廢棄物處理技術

	焚化	化學殺菌	蒸汽消毒	微波殺菌
處理方法	熱	化學	熱	熱
效率	消毒 (sterilization)	殺菌 (disinfection)	消毒(不確定)	殺菌
對象	所有醫院廢棄物	尖銳物品、培養物(cultures)、堆置廢棄物(stacks)、血液成品、隔離廢棄物	尖銳物品、培養物(cultures)、堆置廢棄物(stacks)、血液成品、隔離廢棄物	尖銳物品、培養物(cultures)、堆置廢棄物(stacks)、血液成品、隔離廢棄物
對象的限制	沒有	病理廢棄物、解剖廢棄物、有害廢棄物	病理廢棄物、解剖廢棄物、有害廢棄物	病理廢棄物、解剖廢棄物、有害廢棄物
處理方式	批次底	個別		批次式
對重量的影響	減少 90%	微量增加	微量增加	微量增加
對體積的影響	減少 95%	減少 80%	減少 80%	減少 80%
排放	氣體、水	水	蒸汽排出	蒸汽排出

表 10 廢棄物處理方式的優缺點

技 術	優 點	缺 點
焚化	<ul style="list-style-type: none"> * 減容及減量最多 * 操作正常時可使殘餘物消毒 * 需要的空間適中 * 可控制空氣污染物排放 	<ul style="list-style-type: none"> * 不可燃的物體無法減低其體積，例如灰、金屬等 * 若環境因素會使操作相當複雜 * 需要訓練有素的操作員 * 不可燃的物體和燃燒後的灰燼可能造成處理上的問題 * 需要輔助燃料
化學／機械消毒	<ul style="list-style-type: none"> * 減容 * 廢棄物的外觀及形式將有所改變 	<ul style="list-style-type: none"> * 廢液中含有高濃度的氯化物 * 廢液中含有高濃度的金屬和有機物質 * 排放出的物體易受到環保法規的管制 * 磨碎機的噪音 * 高濃度的氯化物會造成職業安全的顧慮 * 無法保證完全消毒 * 使用的經驗極少 * 投入資本高，回收成本需要十五年以上 * 化學療法廢棄物、放射性廢棄物、病理廢棄物無法使用本方法
蒸氣殺菌	<ul style="list-style-type: none"> * 一般而言需求的空間較小 * 操作簡單 	<ul style="list-style-type: none"> * 容量小 * 有臭味和排水的問題

	<ul style="list-style-type: none"> * 運作、維護所需成本較低 * 資本較低 	<ul style="list-style-type: none"> * 廢棄物外觀不變 * 有可能需要特殊包裝和處理 * 尖銳物品在處理後沒有改變，仍然有安全的顧慮 * 將廢棄物利用滅菌釜或高壓壓縮可能會造成灰銳物品割破盛裝廢棄物的袋子或容器 * 病理廢棄物、液態廢棄物、揮發性化學物質不適用
微波消毒	<ul style="list-style-type: none"> * 消毒時可移動或固定 * 減容 * 無法辨識的廢棄物 	<ul style="list-style-type: none"> * 系統資料相當有限 * 不能完全消毒，只能視為殺菌的過程 * 增加的蒸汽會造成重量的增加 * 病理廢棄物、低放射性廢棄物或化學療法廢棄物不適用

(一)化學／機械殺菌

化學殺菌的處理方法是利用化學殺菌和切碎(shredding)的方法。傳統上通常利用含氯的物質來殺菌，而切碎主要是為了增加廢棄物與化學物質接觸面積。

目前在美國風行的醫療安全科技系統 (Medical Safe TEC System)已廣為大眾所採用，這種系統主要是先將廢棄物以輸送帶引導至低速的切碎機中切碎，接著將次氯酸鈉 (sodium hypochlorite) 噴灑於廢棄物上，同時使用高速的槌磨將其搗

成粒狀。接下來將這些廢棄物去除水份並置於一處等待殺菌。在過程中所有滲出的水份都被導引至一廢水系統中；過程中釋出的氣體則是經由過濾器排出至大氣中，這個過濾器具有抗氯化物腐蝕的效用。此套醫療系統安全科技系統每小時可處理 1,000-1,500 磅的廢棄物。

化學殺菌有可能引起職業安全上的顧慮，而且地方環保法規的管制有可能影響廢物液的排出。

(二)蒸氣消毒

蒸氣消毒法或滅菌消毒法是將醫療廢棄物置於一個加壓室中，然後以高溫蒸氣將廢棄物中所含的致病微生物消滅。這個方法的成效完全在於溫度、蒸氣暴露時間和蒸氣的穿透程度，而這些因素與廢棄物的種類、包裝、密度以及廢棄物裝載負荷有關。由於生化醫療廢棄物的種類繁雜且異質性相當高，因此蒸氣消毒有可能無法達到最好的消毒效果。然蒸氣消毒法曾經發生過塑膠製品因高溫融化後形成一層保護膜，使得微生物在這層塑膠塑膠的保護下沒有完全滅菌的例子。

(三)微波殺菌

微波殺菌法是利用台車將廢棄物運至一密閉空間中，利用蒸汽將廢棄物散佈並將其切碎。接著利用微波將廢棄物加熱至約 100°C 再將這些廢棄物運至一處靜置 30 分鐘（這個時間是為了用來達到適當的殺菌效果）。為了避免氣懸膠空間中空氣污染物的外洩，系統需保持些微的負壓狀態。

(四)焚化

焚化法是利用焚燒的過程將廢棄物轉化成無法燃燒的殘渣或灰燼或殘餘並將焚燒後的氣體排出。感染源在焚化的過

程中因高溫而被消滅，焚燒所產生的氣體排入大氣中，只剩下灰燼需要掩埋。

焚化法適用於所有種類的感染性廢棄物。焚化時的燃燒效果影響處理效果，焚化過程中操作技巧影響了整體系統的運作效能。然而不同於蒸汽消毒法，焚化系統可藉由觀察灰燼量與空氣的排放量來進行監測。溫度的降低、空氣流通的阻塞、廢棄物的不當混合都有可能造成較差的焚化效果和／或過多的空氣排放量。要維持適當的系統運作包括下列幾點：

- (1)焚化系統的設計必須包括一個二次燃燒室
- (2)使用輔助燃料燃燒系統以維持第一要燃燒室溫度至少在 1600°F 二次燃燒室溫度在 1800-2000°F 之間。
- (3)在二次燃燒室中釋出氣體停留時間至少在 1-2 秒間。
- (4)法規規定廢棄物在燃燒室中應有適當的停留時間以達到完全燃燒。
- (5)規定燃燒時的空氣量。

這些方法能夠預先排除以往所遭遇到焚化的問題，以及難以燃燒的廢棄物，諸如致病廢棄物、殘留食物和裝尖銳物品的容器等。在使用操作適當的焚化爐後，廢棄物體積約可減少 95%。焚化法對處理感染性廢棄物相當有效，其優點如下：

- * 適用於所有種類的廢棄物，包括致病性、實驗室、以及有害廢棄物
- * 可使體積與重量大量減少
- * 焚化後生成的灰燼和是不可燃的剩餘物質可以丟棄

在參加研討會過程中，Joseph L.提到美國醫療廢棄物管理實例方面，就報告內容作簡要摘述如後：

何謂感染性廢棄物：

在美國有許多政府機關試著定義「感染性廢棄物」，經整理大部分定義如下：

- 尖銳物品
- 人類血液和含血物品
- 感染源的培養和保存
- 病理廢棄物
- 過期或無用藥品
- 動物廢棄物
- 受感染的人或動物的肢體

感染廢棄物的產生地點：

- 醫院或安養機構
- 醫療教學機構或研究機構
- 動物或人火葬場
- 藥劑製造或研發地點
- 實驗室

感染性廢棄物處理技術：

焚化處理是美國感染性廢棄物處理最常使用的方法。

焚化法：

優點：

- 減少廢棄物體積及減少廢棄物重量
- 透過灰渣的目測查察可以監測處理效率
- 空氣排放可被控制
- 所有廢棄物均可焚化

缺點：

- 技術操作員需要專業訓練
- 操作規定嚴格
- 需要空氣污染防治設備，且費用高

其他的技術包括：

微波處理法：

優點：

- 設備可固定也可移動
- 可達到廢棄物減量目的
- 處理過之廢棄物無法辨識

缺點：

- 不適用於病理物、低輻射性或化學治療之廢棄物
- 使用蒸氣會造成質量增加
- 處理效率難以確認

蒸氣消毒滅菌法：

優點：

- 設備費用低
- 較其他方式不占空間
- 操作容易

缺點：

- 病理、含高比例液體、及含揮發性的化學物質廢棄物不適用
- 除非先經由破碎機處理，處理後廢棄物仍可辨別
- 有臭味問題

化學滅菌處理法：

優點：

- 減少廢棄物體積
- 處理過廢棄物無法辨識

缺點：

- 處理過後之排放液體具有高濃度的氯
- 排放物需做特殊處理
- 處理效率難以確認
- 病理、含高比例液體、及含揮發性的化學物質廢棄物不適用

美國感染性廢棄物管制：

- 許多州規定運輸及商用的清除處理機構需要登記
- 每州對於感染性廢棄物焚化規定要求相當嚴格
- 美國環保署是依據既有設備及可行控制方法研究而成的最大

可行控制技術 (MACT)，研訂最新的醫療廢棄物焚化法規
美國 MACT 焚化標準：

MACT 標準包括了設計的要求與排放的限制：

- 懸浮微粒、氯化氫、一氧化碳、有機物及金屬排放限制
- 要求二次燃燒室的大小設計及最低操作溫度
- 操作員的訓練
- 操作及排放情形的連續監測及紀錄
- 報告及紀錄
- 每年更新修訂操作紀錄
- 每年檢測及歲修
- 對新設備的設置地點之要求

心得與建議：

為防止類似旗山溪污染事件再度發生，行政院已核定環保署提報「全國事業廢棄物管制方案」，將事業廢棄物處理列為優先施政工作，為達到廢棄物無害化、資源化、減量化、安定化的目標，雖然報告中所提到美國目前在操作之各種焚化熱處理技術是解決事業廢棄物最好途徑，但是為妥善解決當前台灣地區事業廢棄物問題，除了尋求各目的事業主管機關之協助外，當務之急是先將攸關人民健康之廢溶劑處理、非法棄置場址之調查評估與整治、感染性醫療廢棄物妥善處理等問題一一克服，筆者在出國前夕，負責協助辦理以「水泥窯或旋轉窯使用廢溶劑作為輔助燃料」及「感染性醫療廢棄物處理緊急應變期間以煉鋼業電弧爐支援處理之認定原則」及「感染性醫療廢棄物經滅菌處理後，得以一般垃圾焚化爐處理」等緊急應變措施，雖然工作業務繁忙，不過個人覺得能夠適時解決國內事業廢棄物處理問題，亦算是功德一件。

此次走訪美國東岸 Otto York Hazardous Research Center，並在中心主任 Dr. Watts 安排參加二場次有害物質研討會，陪同拜會美國官方環保署 Region-2，Region-3，及 Region-5、馬里蘭州環保局、華盛頓特區健康部、及研究中心合作夥伴學校芝加哥大學、伊利諾理工學院、提供美國目前使用之熱處理技術及土壤污染處理技術供本人參考，在此一併感謝相關陪同接待人員。

惟報告中有關有害廢棄物熱處理技術較值得一提的是「電漿弧處理技術」，由於電漿弧處理技術具有減量化、安定化（固定化）、重金屬回收等特性，在民間工業以形成競相發展之技術之一，在美國電漿弧處理技術已經有部分公司運用在醫療廢棄物處理技方面，在 1985 年間該技術在美國超級基金(USEPA-Superfund)計畫贊助之下，以感染性廢棄物實物進行多氯聯苯破壞去除率之試驗，多氯聯苯之破壞去除率可達 99.9999% 以上，在聖安東尼-德州參加第六屆有害廢棄物管理研討會 (6th Hazardous waste Management Conference)會議中亦有專家報告在美國軍方利用電漿處理技術能將軍方獨特性之有害廢棄物或廢棄彈藥完全破壞處理。為針對特殊性有害廢棄物發展最佳的操作技術，美國西屋公司也研發移動式電漿

弧處理技術，將直流電漿處理系統裝置在可移動之拖車上如圖 13 所示，加上直流電力、水、進料管線及空氣污染防治設備及排氣煙囪，藉由電腦控制，可以處理廢液、泥漿或多氯聯苯等有害事業廢棄物，對於業界而言相當方便，藉此以解決運送有害廢棄物所面臨的一些問題。

至於熱電漿處理的優點有：

- (1) 可回收使用經電漿熱處理所產生之能源，減少能源損失
- (2) 無須前處理，能處理廢棄物多，包括：混合廢料、金屬廢料、有毒(害)廢棄物(如多氯聯苯)、廢有機溶劑、焚化殘渣等等。
- (3) 玻璃化產品銷售廣容易
- (4) 低排放低污染，飛灰不易產生。
- (5) 安全/安定之副產品。
- (6) 處理費用低，具競爭力等等。

由於熱電漿處理技術具有減量、固化及回收重金屬等特性，並在有害物質之破壞去除率之表現及各種經濟條件之優越下，逐漸在美國或其他先進國家民間工業形成競相發展的技術，目前國內工研院對於電漿處理技術在有害廢液處理方面亦有研發成功之實例，相信電漿熱處理技術未來在有害廢棄物處理方面必能佔有一席之地。

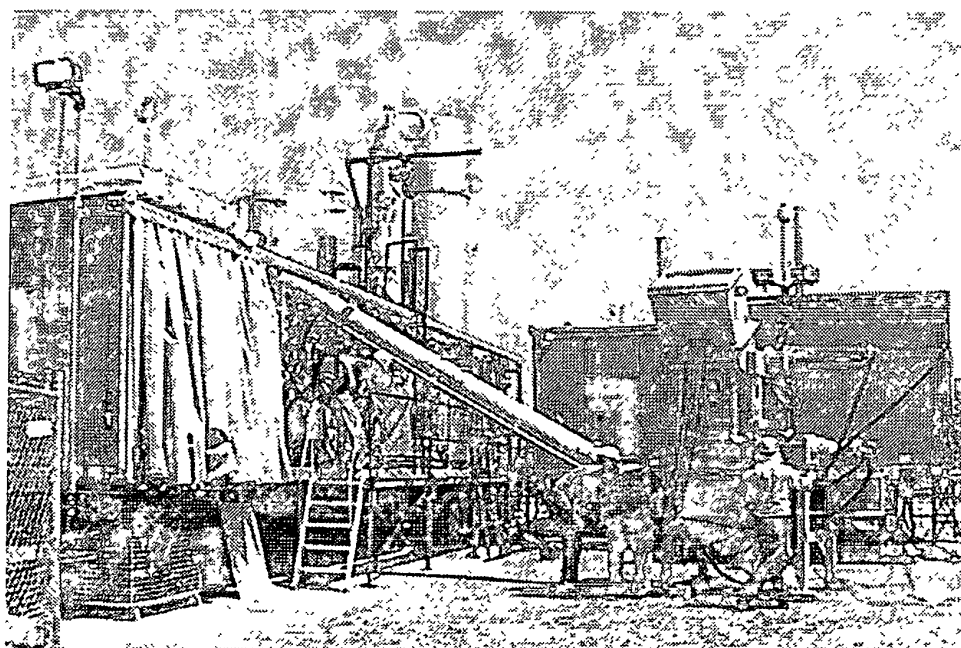


圖 13 移動式電漿處理系統

雖然報告中提到許多事業廢棄物處理及土壤污染整治的新技術，但是針對當今國內事業廢棄物非法棄置等等環境問題之探討，並非有賴新技術便能全然獲得解決，僅提出下列幾點個人淺見供參考：

1.事業廢棄物非法棄置問題嚴重：

造成事業廢棄物非法棄置之因素有下列幾項：

- 民眾環保意識不佳-隨教育程度、社會等級及文化差異而有所不同。
- 暴利所趨-非法事業機構低價收受事業廢棄物，未經處理境形棄置或排放。
- 處理能力不足-部份業者處理能力不足，處理管道受阻。
- 經濟考量-合法及非法事業機構為節省污染防治費用。
- 法規過多繁雜，管制過於嚴格。
- 稽查效果不彰，執法不力，造成僥倖心態。
- 規模小之工廠或事業，專業能力不足，缺乏法律常識。

2.民眾檢舉查核成效不佳，民眾對於政府公權力信心不足，不願積極參予共同打擊環保犯罪。

3.事業廢棄物處理能力不足，容量不足，導致廢棄物無處可去之窘境。

為尋求解決國內事業廢棄物非法棄置、污染土壤及地下水等問題，長遠之計應依據 90.10.24 發布新修正之「廢棄物清理法」及行政院核定之「全國事業廢棄物管制清理方案」執行措施，妥善規劃工業區及科學園區設置廢棄物處理設施，鼓勵民間投資興建營運廢棄物最終處置廠，積極推動事業廢棄物再利用或回收使用，並適時

修改不合時令之環保法規，落實事業廢棄物流向申報制度，遵循巴塞爾公約規定，限制列管事業廢棄物境外處理，加強稽查取締及環保犯罪辦案技巧，讓國內在經濟成長之同時，亦能兼籌並顧生活環境之維護，如此一來，「企業根留台灣心，民眾心繫環保情」便可常常久久持續下去。

附 件

OTTO YORK CENTER
FOR ENVIRONMENTAL
ENGINEERING AND SCIENCE



A Public
Research University

COMPRISING THE
FOLLOWING

Center for Airborne Organics

Hazardous Substance
Management Research
Center

Materials Characterization Laboratory

New Jersey Technical
Assistance Program for
Industrial Pollution
Prevention

Orthocast Hazardous
Substance Research Center

Sustainable Green Manufacturing
Program

June 19, 2001

Mr. Shyh-Wei Chen
7th Fl. No 81 Sec. 2
Shuang-She Road
Panchau City
Taipei, Taiwan 220
R.O.C

Dear Mr. Chen,

On behalf of the Otto H York Center for Environmental Engineering and Science at New Jersey Institute of Technology, I will be pleased to welcome you during the period of July 16 to August 16, 2001 to investigate practices and technologies related to Industrial Waste and Soil Contamination Treatment. Your proposed plan of meetings here at the Center and with our associated universities and companies sounds interesting and beneficial. I will be pleased to assist you in any way possible.

If you have any questions or need additional information right now, please let me know.

Sincerely,

Daniel J. Watts
Executive Director
Panasonic Professor of Sustainability

UNIVERSITY HEIGHTS
NEWARK, NJ 07102-1962
3 996. 3233
3 642. 7170 FAX
www.cees.njit.edu



EXTENDED UNIVERSITY

888 North Euclid Avenue, Third Floor
P O Box 210158
Tucson, AZ 85721-0158
Ph 520-621-7724
Fax. 520-621-3269
Email extuniv@u.arizona.edu

CFM_NCJH
MISC

Printed 07/31/2001

Tax ID # 866-004791

Shyh-Weil Chen
Taiwan-EPA, Bureau of Solid Waste Management
BF-41 Chung Hwa Rd Sec F
Tapei, Taiwan 100

This receipt confirms your registration for the courses listed below:

Table with 2 columns: Course Title/Place/Date & Time, Fee. Rows include 19th Annual College & University Hazardous Waste Conference (349.00), T-Shirt X-Large (0.00), and Hazardous Waste 101 (0.00). Summary rows at bottom: Total Cost 349.00, Total Paid 349.00, Balance Due 0.00.

Hazardous Waste Management 101 and Other Environmental Considerations for Colleges and Universities Workshop

Presented by:
Arizona State University Risk Management Staff
19th Annual College and University Hazardous Waste Conference
University of Arizona
Tucson, Arizona
August 5, 2001

Introduction and Background

- Bob Gomez, Director
robert.gomez@asu.edu, (480) 965-6927
 - ▶ Introduction
 - ▶ Fundamentals of Hazardous Waste Management
 - ▶ Basic Regulatory Components
 - ▶ Recent National Issues
 - ▶ Myths Regarding Hazardous Waste Management

Virtual Tour of ASU Hazardous Waste Management Operations

- Wendy Moring, Hazardous Waste Specialist
wendymoring@asu.edu, (480) 965-1338
- Stephen Scheufler, Hazardous Waste Specialist
stephen.scheufler@asu.edu, (480) 965-0647
- Henry Walsh, Hazardous Waste Specialist
henry.walsh@asu.edu, (480) 965-8554

Other Environmental Considerations

- Jennifer Herbert, Health/Safety Officer
jennifer.herbert@asu.edu, (480) 965-9742
 - ▶ Underground Storage Tanks
 - ▶ Spill Prevention, Control, and Countermeasures
 - ▶ Air Pollution Permitting
 - ▶ Industrial Wastewater Monitoring and Permitting
 - ▶ Confined Space Entry and other OSHA Program
 - ▶ Laboratory Safety Compliance Program

ASU Risk Management Home Page: www.asu.edu/provost/riskmgmt

EPA Large Quantity Generator Brochure: www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/gener/lqgpdf.pdf

EPA Small Quantity Generator Brochure: www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/sqg/sqghand.htm

*40 Code Federal Regulation
200 ~ 264
265*



**Thank you for registering to exhibit at the 6th Annual Joint Services
Pollution Prevention and Hazardous Waste Management
Conference and Exhibition, San Antonio, TX**

This is your registration confirmation and receipt.

For reference: Your Cybercash order ID is 2001072004444321069100113. Your Event
Registration ID is 804.

Your Name: Mr. Shyh-Wei Chen

Registration Type: Full Conference Admission

Attendee Type: Government

Amount paid: \$175US (The Kevric Company, Inc. will be the name on your credit
card statement.)

Required on-site: Government ID (If you do not provide a proper government ID on-
site, you will be charged the full rate of \$550.)

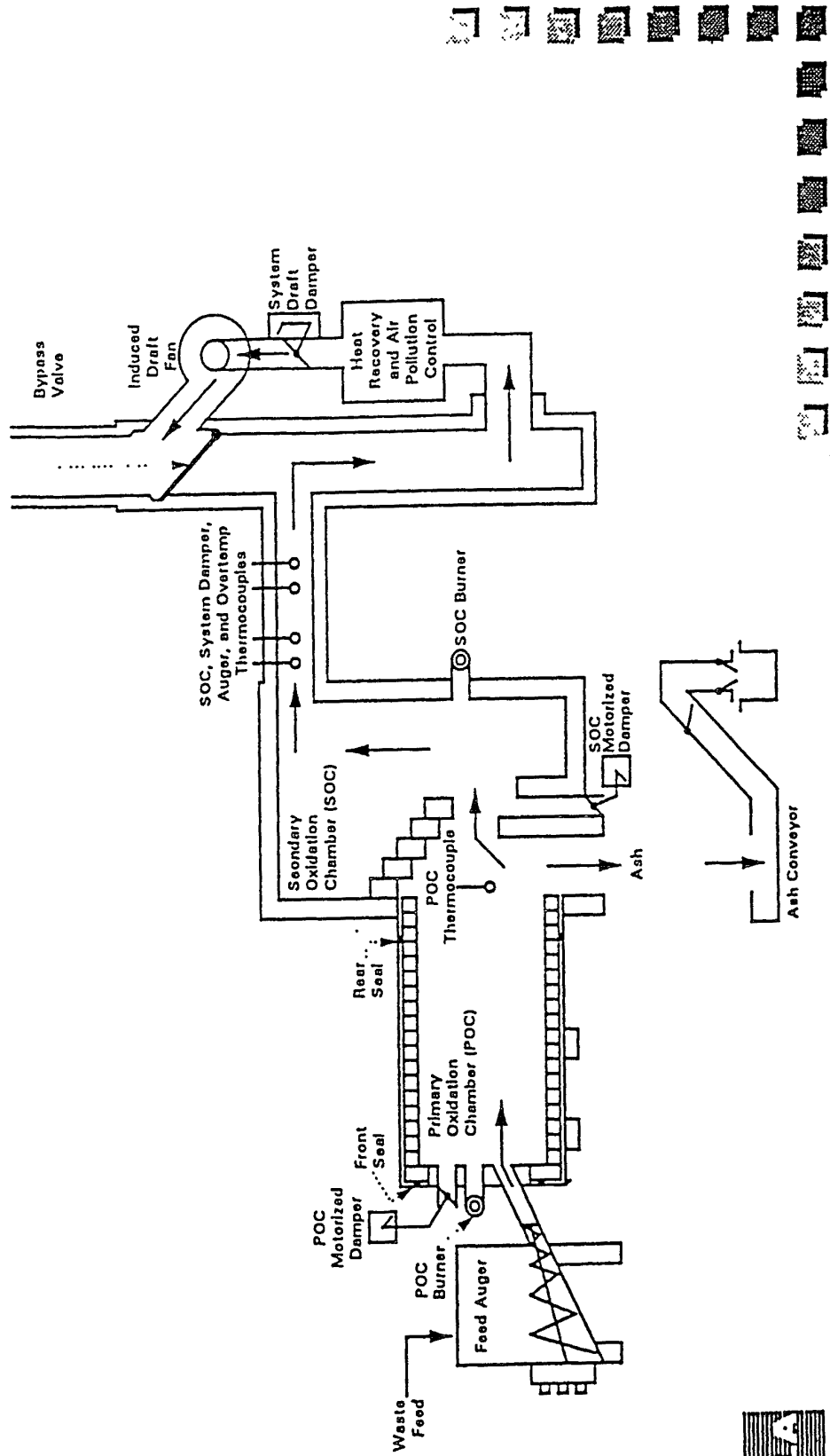
A confirmation e-mail will also be sent to you.

Case History Incinerator Performance

Pollutant	Units	Case History 2	Case History 3	USEPA MACT Limit
Particulate Matter	(mg/dscm)	5.26 - 18.31	0.687 - 2.06	30
Opacity	(%)	0	0	5
Hydrogen Chloride	(ppmdv)	0.326 - 3.903	2.64 - 122	42
Lead	(mg/dscm)	0.023 - 0.405	NA	0.1
Mercury	(mg/dscm)	0.002 - 0.144	NA	0.47
Dioxins (TEQ)	(mg/dscm)	NA	0.0476 - 0.1159	1.9



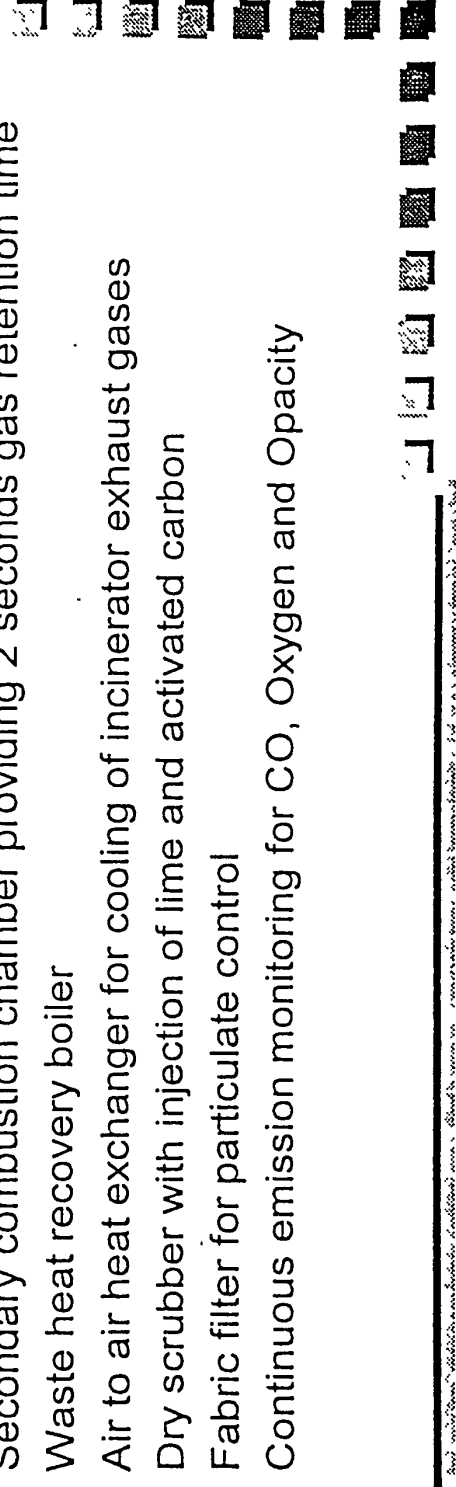
Case History 3: University of Rochester



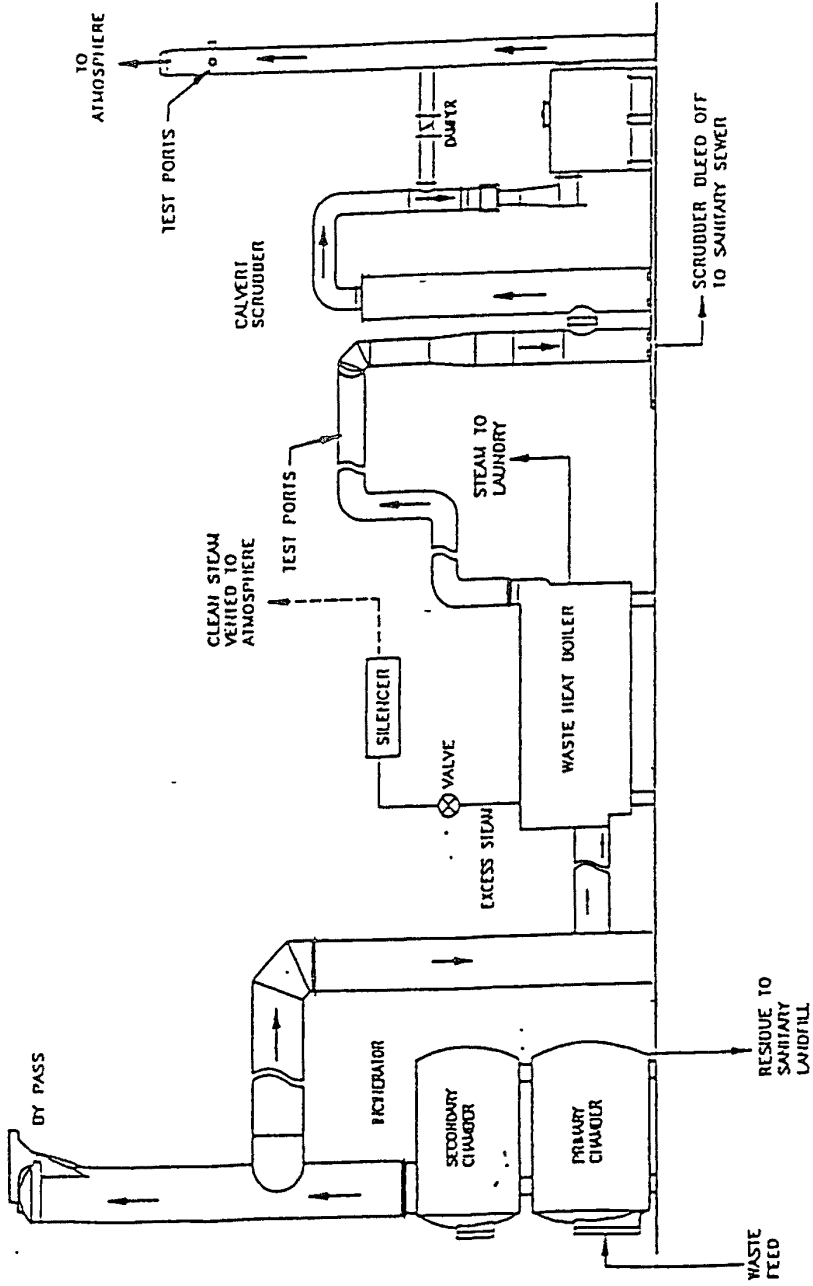
Case Study 3: Strong Memorial Hospital

Strong Memorial Hospital is a 700 bed teaching hospital located on the University of Rochester campus in New York. It is adjacent to the university medical school and research facility. An onsite incineration system is used for treatment of medical and solid wastes generated at the facilities. The system includes:

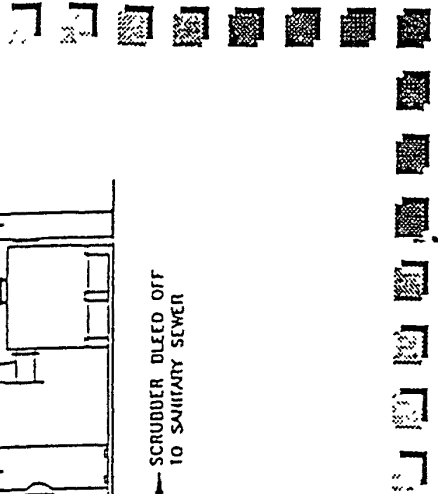
- Rotary kiln continuous duty incinerator with automatic feed and automatic ash removal
- Secondary combustion chamber providing 2 seconds gas retention time
- Waste heat recovery boiler
- Air to air heat exchanger for cooling of incinerator exhaust gases
- Dry scrubber with injection of lime and activated carbon
- Fabric filter for particulate control
- Continuous emission monitoring for CO, Oxygen and Opacity



Case History 2: Bayfront Medical Center



This document is the property of the Environmental Technology Evaluation Agency (ETE) and is loaned to you for your use only. It is not to be distributed, copied, or otherwise used without the written consent of ETE.

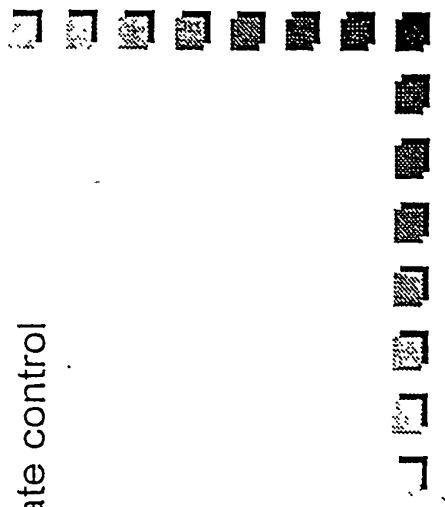


Case History 2: Bayfront Medical Center

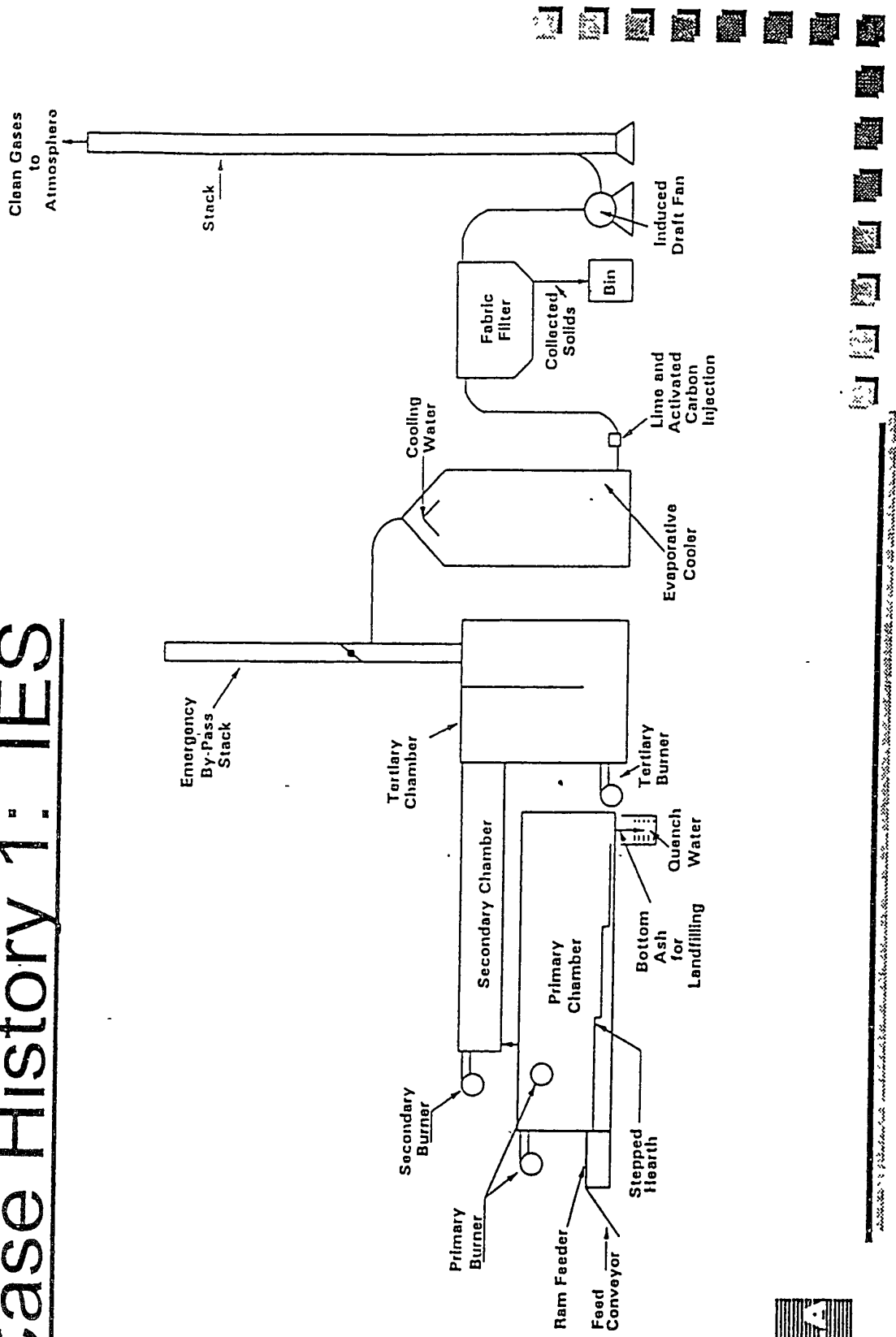
Bayfront Medical Center is a 518 bed hospital that uses an incineration system for onsite treatment of medical and solid wastes generated at the facility.

The Bayfront system includes:

- Controlled air continuous duty incinerator with automatic feed and automatic ash removal
- Secondary combustion chamber providing 2 seconds gas retention time
- Waste Heat Recovery Boiler
- High performance collision wet scrubber for particulate control
- Packed bed scrubber for acid gas control



Case History 1: IES



Case History 1: IES

Integrated Environmental Systems (IES) operates a commercial infectious waste incineration facility in Oakland, California. The IES system includes:

- Continuous duty controlled air incinerator, with automatic feed and automatic ash removal
- Secondary and Tertiary combustion chambers, providing 2 seconds gas retention time
- Total burner capacity of mmBtu/hr, to maintain minimum temperatures of 1500 F in the Primary Chamber, and 1800 F in the Secondary and Tertiary Chambers.
- Evaporative cooling of incinerator exhaust gases.
- Dry Scrubber with injection of lime and activated carbon
- Fabric Filter for particulate control
- Continuous emission monitoring for CO, Oxygen and Opacity



Copyright © 2000 by Integrated Environmental Systems, Inc. All rights reserved. This document is the property of Integrated Environmental Systems, Inc. and is not to be distributed, copied, or reproduced in any form without the written permission of Integrated Environmental Systems, Inc.

US MACT Standards for Incinerators

Emission Limits:

- Particulate matter - 30 mg/dscm (0.013 gr/dscf)
- Hydrogen Chloride - 42 ppmv, or 97% control efficiency
- Carbon monoxide - 50 ppmv
- Nitrogen oxides - 210 ppmv
- Sulfur dioxide - 45 ppmv
- Total dioxins/furans - 80 ng/dscm
- Lead - 0.10 mg/dscm
- Cadmium - 0.05 mg/dscm
- Mercury - 0.47 mg/dscm, or 85% control efficiency



Information on this page is for informational purposes only. It is not intended to be used as a substitute for professional advice or services. For more information, please contact your local EPA office.

US MACT Standards for Incinerators

The MACT standards include both design requirements and emission limits.

- Emission limits for particulate, hydrogen chloride, carbon monoxide, organics and metals;
- Implied design requirements for large secondary combustion chamber, minimum operating temperatures;
- Operator training and qualification requirements;
- Continuous monitoring requirements for operating parameters and emissions;
- Reporting and Recordkeeping requirements;
- Requirement to develop an Operating Manual with updates annually;
- Annual testing requirements; and
- Siting requirements for new facilities.



US Infectious Waste Regulations

- Many states have regulations that require registration of transporters and commercial treatment/disposal facilities.
- Infectious waste incineration is heavily regulated at the state level.
- USEPA is currently developing comprehensive regulations for medical waste incineration. These regulations represent the Maximum Available Control Technology (MACT) as designated by USEPA through research of available control methods and existing facilities.



1995-2000, EPA/600/R-95/001, Environmental Protection Agency, Washington, DC 20460



Incineration

Advantages:

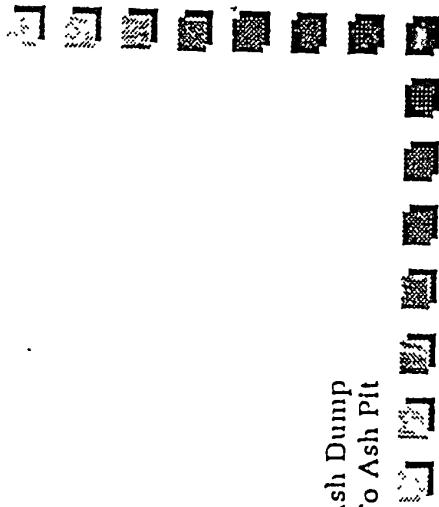
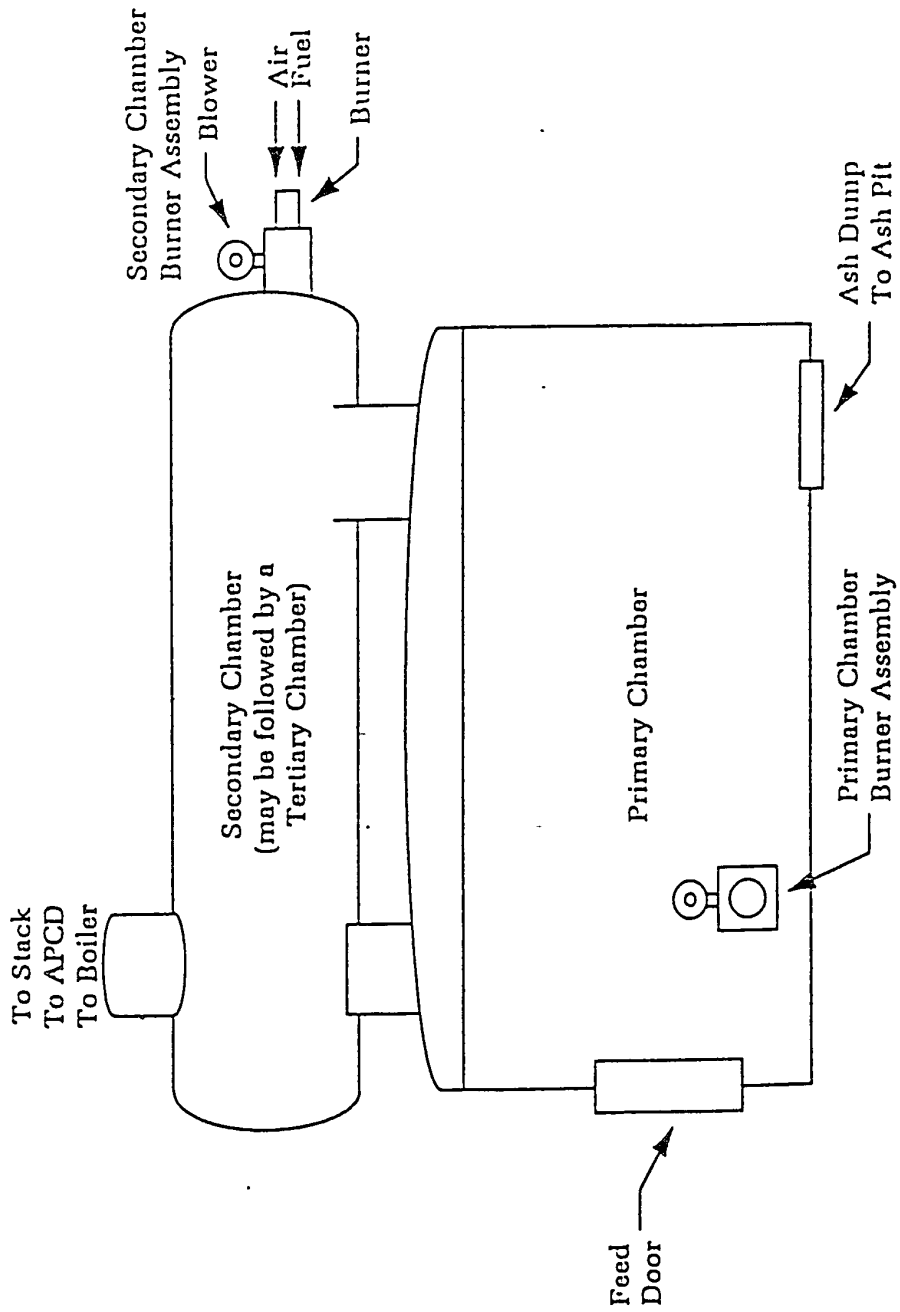
- Maximum volume and mass reduction
- Effectiveness can be monitored through visual inspection of ash
- Air emissions can be controlled
- All types of wastes can be incinerated

Disadvantages:

- Requires trained operators
- Operation and performance heavily regulated
- Air pollution control system required; this increases cost



Incineration



Chemical Sterilization Treatment System

Advantages:

- Volume reduction achieved
- Treated waste is unrecognizable

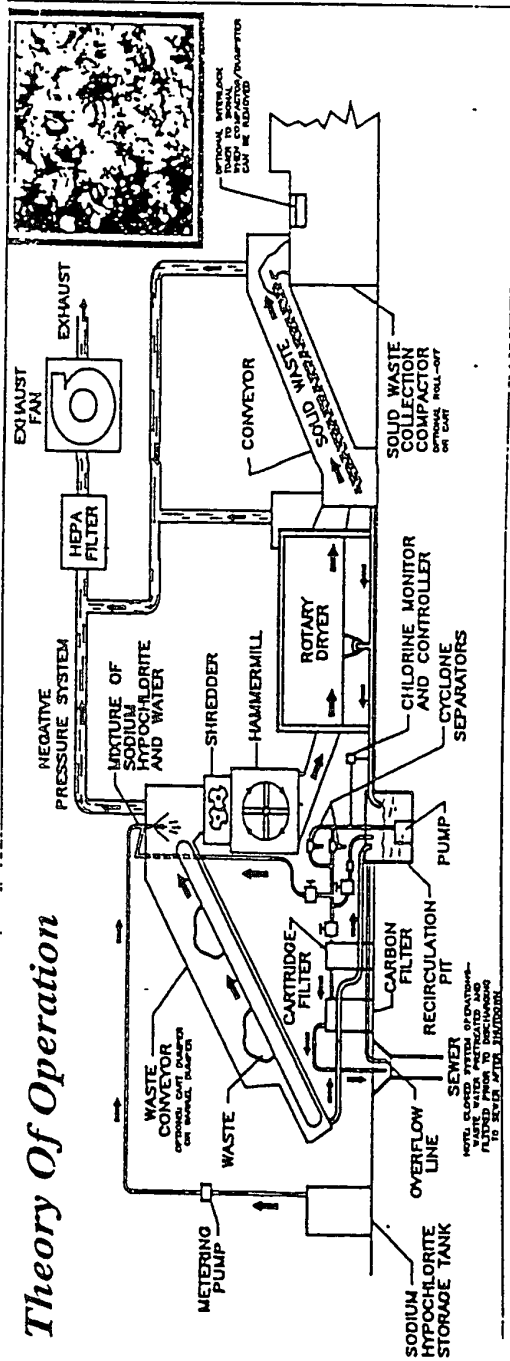
Disadvantages:

- Results in liquid effluent containing high chlorine levels
- Special treatment of effluent may be required
- Difficult to verify effectiveness
- Unsuitable for pathological waste, waste with high liquid content, and chemotherapy waste



Chemical Sterilization Treatment System

Theory Of Operation



1-1982 (24) 2557-2-26 15, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100

Steam Sterilization Treatment System

Advantages:

- Relatively low capital cost
- Smaller space requirements than other technologies
- Simple to operate

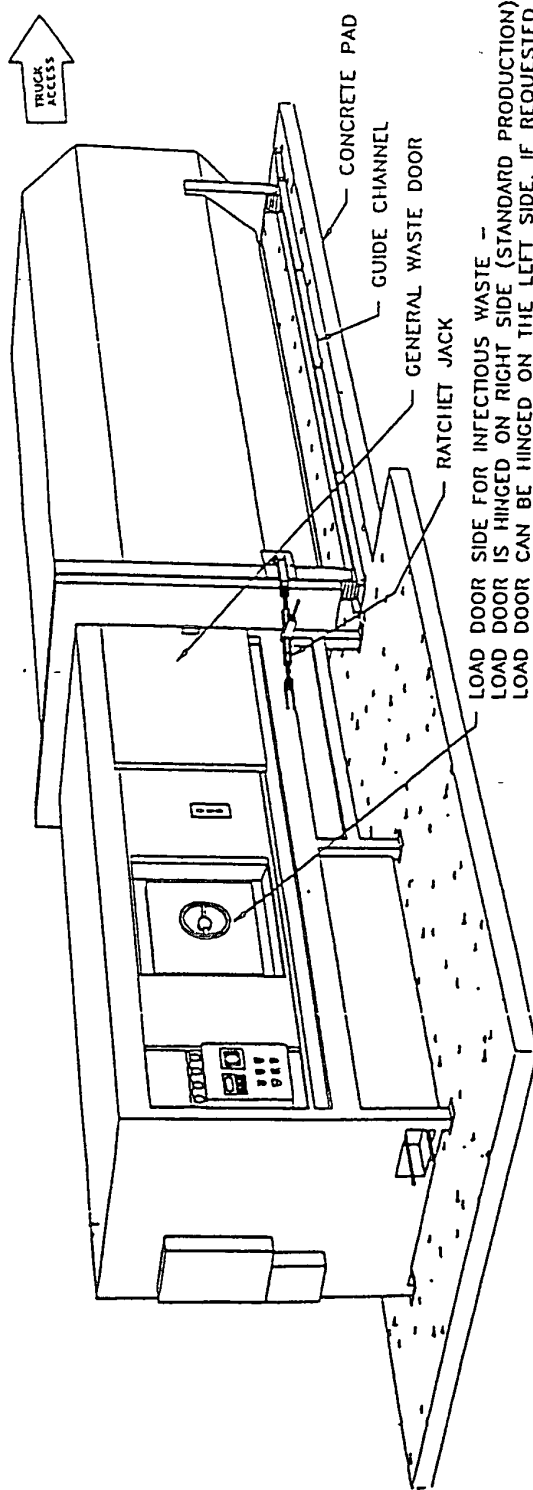
Disadvantages:

- Unsuitable for pathological, high liquid content waste, or waste containing volatile chemicals
- Unless system includes a shredder, treated waste is recognizable
- Potential odor problems



© 2000 BIFA. All rights reserved. BIFA is a registered trademark of BIFA. BIFA is a registered trademark of BIFA. BIFA is a registered trademark of BIFA.

Steam Sterilization Treatment System



Microwave Treatment System

Advantages:

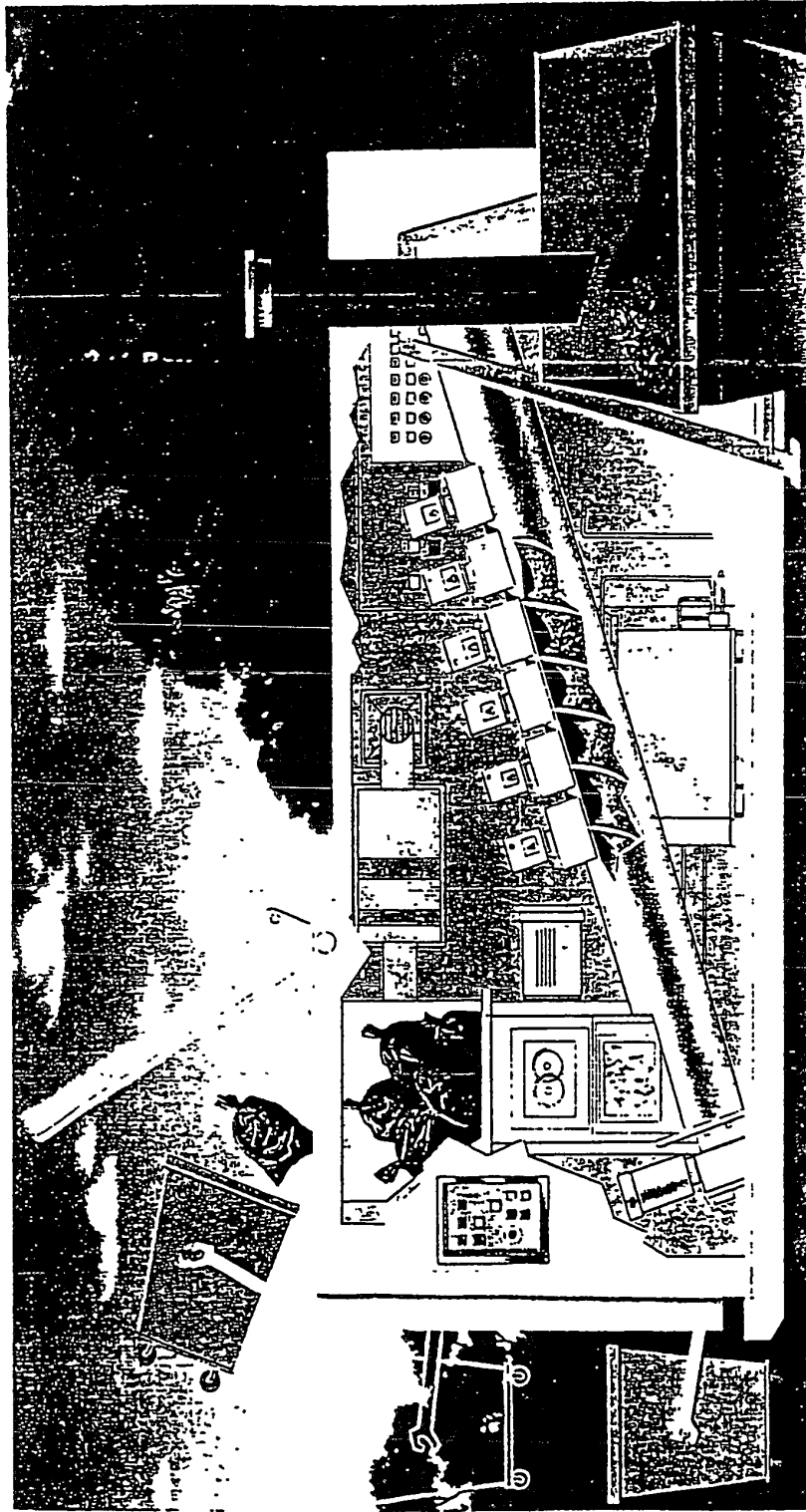
- Equipment can be mobile or fixed (stationary)
- Volume reduction of waste achieved
- Treated waste is unrecognizable

Disadvantages:

- Unsuitable for pathological, low-level radioactive, or chemotherapy waste
- Use of steam results in mass increase
- Difficult to verify effectiveness



Microwave Treatment System



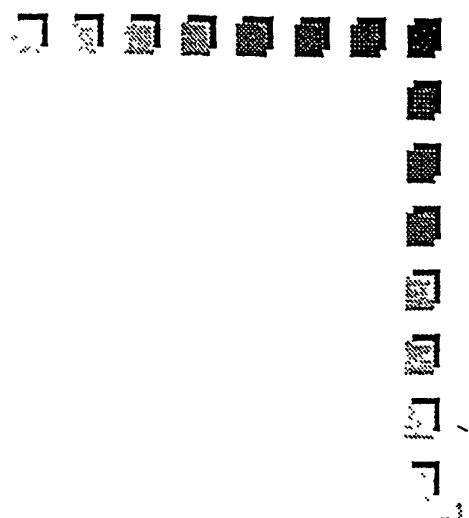
Harding Lawson Associates
Orlando, Florida
(407) 851-1484

Infectious Waste Treatment Technologies

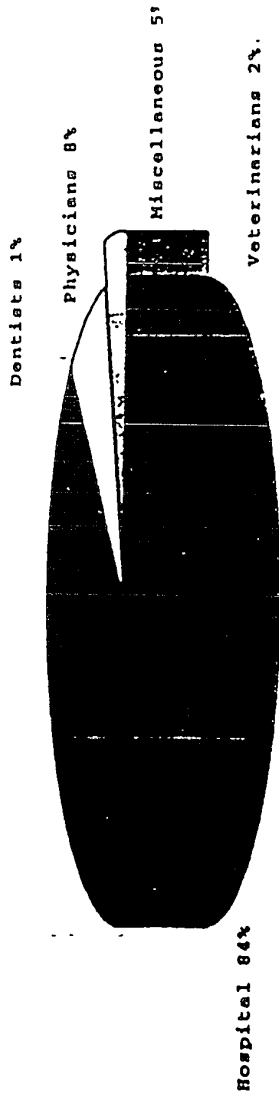
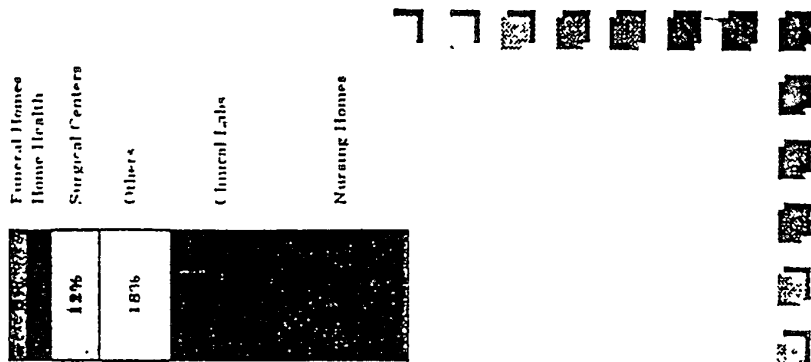
Incineration is the most common method of treatment for infectious waste in the US.

Other alternate treatment technologies include:

- Microwaving
- Steam Sterilization (Autoclaving)
- Chemical Sterilization



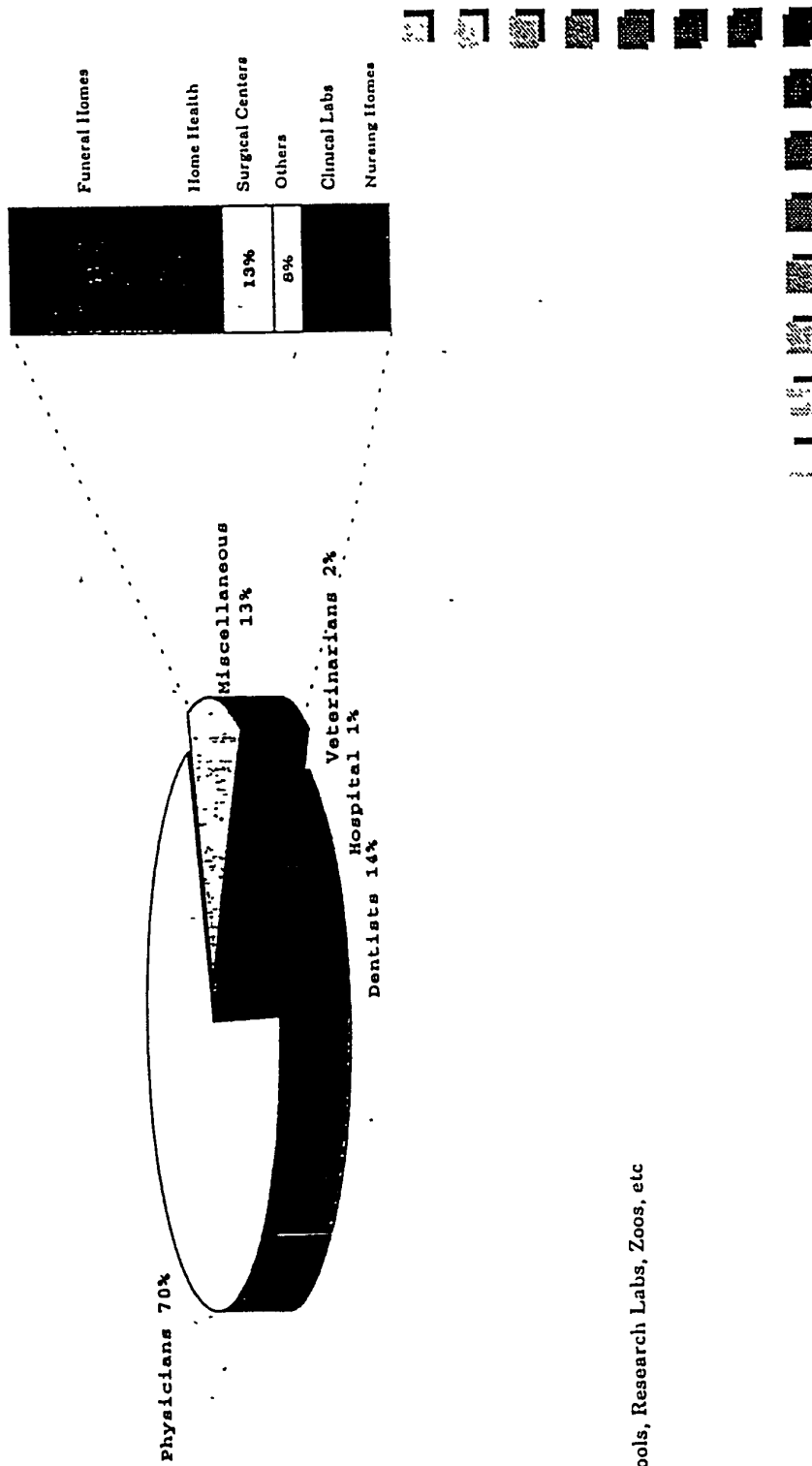
% by Weight of Medical Waste Generated in US



Others - Schools, Research Labs, Zoos, etc



% of Total Medical Waste Generators by Type



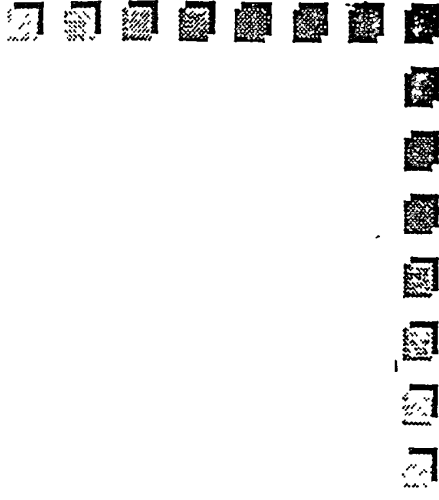
Others : Schools, Research Labs, Zoos, etc



Infectious Waste Generators

Infectious waste is generated by various facility types:

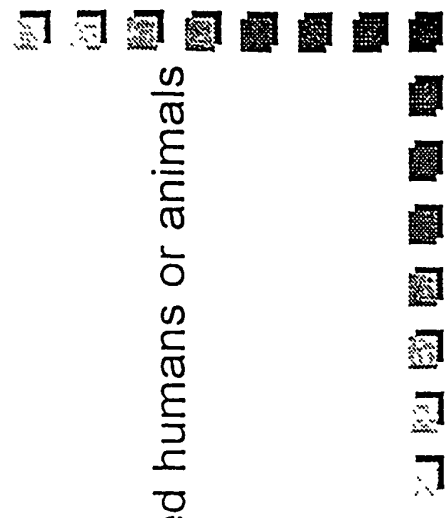
- Hospital/Healthcare Facilities
- Medical Schools and Research Facilities
- Animal Crematories
- Pharmaceutical Manufacturing, Research & Development
- Laboratories



What is Infectious Waste?

In the US, many government agencies and institutions have tried to define “infectious waste”. Most definitions include:

- Sharps
- Human blood and blood products
- Cultures and stocks of infectious agents
- Pathological wastes
- Discarded or unused drugs
- Animal wastes
- Discarded materials contaminated with diseased humans or animals



Small, illegible text at the bottom right of the page, possibly a footer or page number.

American Medical Waste Management Practices

by Joseph L. Tessitore, P.E.

