

廢棄物污染與處理

編著者 張 漢 昌

曉 園 出 版 社

廢棄物污染與處理 / 張漢昌著, -- 初版.
臺北市 : 曉園, 1999[民 88]
面 : 公分

ISBN 957-12-0550-8(平裝)

1.廢料技術 2.工業廢料處理

400.16

88013275



書名 廢棄物污染與處理
著者 張漢昌
發行人 黃旭政
發行所 曉園出版社有限公司
臺北市青田街7巷5號
電話 3949931(六線) 傳真 3417931
郵撥帳號 1075734-4
門市部 北市新生南路三段96號之3
電話 3627375 傳真 3637012
印刷行 復大印刷廠
新聞局局版台業字第1244號
版次 1999年9月初版第一刷
版權所有·翻印必究
定價 新台幣330元 港幣100元
ISBN 957-12-0550-8



序

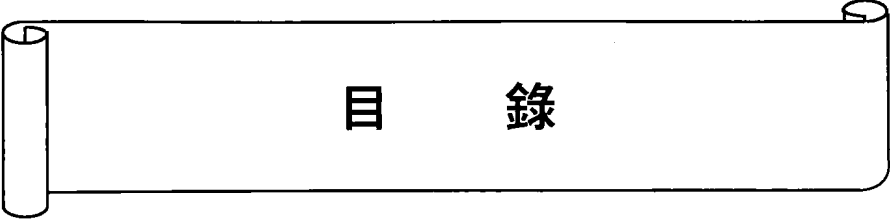
由於人口暴增，經濟發展迅速，廢棄物產生量逐年增加，以垃圾清運量來說，它從民國 80 年的每人每天 0.9 公斤增加到目前的每人每天的 1.12 公斤，其增加率 25% 左右，這是十分驚人的數字。台塑汞污泥事件可謂是滿城風雨，其主要的原由可能是未能妥善、正確的處理這些有害事業廢棄物，所以廢棄物處理的相關知識是十分重要的，亦是身為化工工程師或環工相關科系的學習者所必須具備的基本知識。本書正是在此背景下，收集整理相關資料付梓而成，希望能給予化工、環工或相關科系同學有關廢棄物處理基本的、廣泛的知識。

本書前二章係對廢棄物污染現況、廢棄物的特性及相關的化學問題有所探討說明。第四章則關於破碎、壓縮、乾燥、分選等廢棄物前處理的基本技術的原理。接著，第五章是固化、堆肥等中間處理的技術，固化技術對有害廢棄物處理是十分重要的知識。焚化(第六章)技術則是最能符合減量化、安定化、安全化及資源化之環保最高原則的一項重要廢棄物處理的技術。第七章掩埋處理是妥善處理廢棄物的最終處理技術。最後污泥、液態廢棄物及一些廢棄物處理實例，則是使本書更加完整的一些章節。

作者本著多年來對廢棄物處理相關知識的追求和教學熱忱，不揣淺漏，努力收集各相關資料、設計各種例題編集成冊，非常希望先進前輩多予指正、包涵，晚進自當虛心受教，更希望各位同學閱讀並對廢棄物處理相關技術有進一步的認識。最後，感謝曉園出版社的鼎力幫助。

勤益化工 張漢昌 謹識

1999, 9, 15



目 錄

第一章 廢棄物處理概論	1
1-1 前 言	1
1-2 廢棄物污染的現況	4
1-3 廢棄物的定義和分類	10
1-4 廢棄物處理流程和技術	25
1-5 減廢和資源回收	33
第二章 廢棄物的特性	43
2-1 廢棄物的物理特性	43
2-2 廢棄物的化學特性	46
2-3 垃圾品質和廢棄物的取樣	61
第三章 廢棄物化學	79
3-1 熱化學和焚化處理	79
3-2 微生物化學	89
3-3 有機化學	100
第四章 廢棄物的前處理	115
4-1 分類、包裝(貯存)、收集和清運	115
4-2 破碎處理	122
4-3 分 選	131
4-4 壓縮和乾燥	144
第五章 固化、堆肥、熱處理	163
5-1 固化(Solidification)	163

5-2	廢棄物的微生物處理與堆肥	177
5-3	熱處理	189
第六章	焚化處理	199
6-1	焚化處理概述	200
6-2	焚化爐分類和結構	204
6-3	焚化爐耐火材料	217
第七章	掩埋處理	229
7-1	緒論	229
7-2	衛生掩埋場的不透水防漏層	233
7-3	土壤組成特性及污染成份在土中的滲透行為	237
7-4	掩埋場基本原理和設計	248
7-5	滲出水和廢氣問題	258
第八章	毒性物質及其管制	265
8-1	簡單毒理學	266
8-2	毒性效應	271
8-3	風險管理	276
8-4	多氯聯苯 (PCB)、戴奧辛 (Dioxins) 和農藥	288
第九章	污泥和液態廢量	305
9-1	污泥處理程序與原理	305
9-2	造紙 (紙漿) 污泥處理	324
9-3	廢酸處理與資源化	330
9-4	切削用油的處理	336
附錄	錄	343
附錄一	廢棄物清理法	343
附錄二	溶出試驗法 (TCLP)	350
附錄三	毒性化學物質管理辦法	355

附錄四	我國有害廢棄物之定義及認定標準·····	360
附錄五	事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準·····	362
附錄六	一般廢棄物衛生掩埋設施規範·····	381



第一章 廢棄物處理概論

1-1 前言

由於人口增加快速、工商業迅速地發展，台灣地區平均國民所得大幅增加的同時，廢棄物不但產生量不斷成長，而且其性質也日趨複雜化，使得廢棄物的處理更有其必要性並且增加其困難度。對於廢棄物，通常依其產生的污染源而可區分成一般廢棄物和事業廢棄物；而事業廢棄物顧名思義即是事業機構（如工廠、學校、實驗室、農業養殖畜牧場等）因生產、操作或活動而生成的廢棄物質，依其危害性可進一步區分事業廢棄物為一般事業廢棄物和有害事業廢棄物兩種。一般來說，一般廢棄物和一般事業廢棄物兩者間雖產生源不同，但性質較接近，可歸納成一般所謂的垃圾。狹義的廢棄物處理亦就是常說的垃圾處理了。

台灣地區的垃圾生成量成長速度驚人，每人每日的垃圾產生量由民國七十三年年的 0.67 公斤，劇增為民國八十三年年的 1.12 公斤，而其中可回收的資源性垃圾（如紙類、金屬、塑膠等）所占比例可觀，所以，不論是以資源回收再利用的觀點或減少垃圾（廢棄物）處理量的目的來說，在廢棄物（垃圾）處理前或處理過程中，儘量作資源的回收再利用，實為最佳的廢棄物處理之道；廢棄物處理應該先考慮資源性廢棄物的回收，然後才是依照廢棄物的特性來作它的適當處理。

依廢棄物清理法（附錄一），一般廢棄物（垃圾）依法其清除處理係由各直轄市環保局、各省轄縣市政府或鄉鎮公所負責，而且民國七十七年增訂廢棄物清理法第十條之一：規定含有害成份或不易腐化的各種廢棄物如廢棄一般容器（包括：PET、鐵罐、鋁罐、PE、PVC、PS 等塑膠容器……）、廢輪胎、廢電池等等，都必須由製造業、輸入業或商品輸入

2 廢棄物污染與處理

、販賣業負責加以回收再利用，由七十八年起陸續被公告為應回收的對象，至民國八十四年間公告回收率及業者達成的回收率如表 1-1 所示，由表中可看出部份須回收的資源性廢棄物（如鋁箔包、廢棄紙容器）業者的回收達成率不佳，這可能和回收再利用困難或民眾回收習慣不易養成等因素有關，而其中亦可看到廢棄輪胎的回收再利用頗具成效。

表 1-1 公告回收的資源性廢棄物之回收成數（八十四年資料）

項 目	公告回收率	業者達成回收率	公告回收日期	
一 般 廢 容 器	PET	65%	75.3%	78. 1
	鐵罐	70%	82.2%	78. 12
	鋁罐	70%	62.5%	78. 12
	PE	50%	33.5%	81. 3
	PVC	65%	16.8%	81. 3
	PS	55%	56.1%	80. 7
	鋁箔包	60%	32.8%	81. 9
	紙容器	50%	22.8%	82. 8
	玻璃容器	35%	70.1%	82. 7
	廢輪胎	85%	91.7%	78. 6
廢電池（水銀）	55%	56.1%	79. 5	
環 境 衛 生 用 容 器	特 殊	75%	81.3%	78. 8
	一 般	35%	31.8%	78. 8

談到資源性廢棄物的回收再利用，除了直接在處理前回收外，其實在處理過程中，可用磁選機、光學裝置來回收金屬性或玻璃成份的垃圾，更可用焚化處理來回收其所含的熱能，更進一步可轉化成電能。我國即計畫至民國八十九年可完成全省二十二座大型垃圾焚化廠以有效妥善處理垃圾產生量的 75%，若可順利完成此二十二座大型焚化廠，則可額外回收熱能以產生 45 萬千瓦的電量，圖 1-1 為二十二座大型焚化廠其計劃中在台灣各地的分佈位置。

符號說明：

垃圾量 公噸 / 日、平方公里

0.2 以下

0.2~0.5

0.5~2

2~5

5 以上

焚化廠位置

縣市界

焚化廠服務區域



區 域	座數
北部區域	9
中部區域	3
南部區域	9
東部區域	1
合 計	22

圖 1-1 臺灣地區焚化廠服務區域圖

4 廢棄物污染與處理

廢棄物應妥善加以處理，若處理不當則可能因滲出、溶出而污染到土壤、地面或地下水源，進一步則可能造成嚴重的二次污染，對人類的健康形成極大的威脅。1942~1953年美國紐約附近的愛河村(Love Canal)即因不當掩埋了300多種達兩萬公噸的各種二次大戰的有害化學廢棄物，而造成歷史上有名的廢棄物污染的愛河村事件。由此可見，廢棄物的處理流程十分重要，圖1-2即為廢棄物產生、回收和最終處理的流程圖。

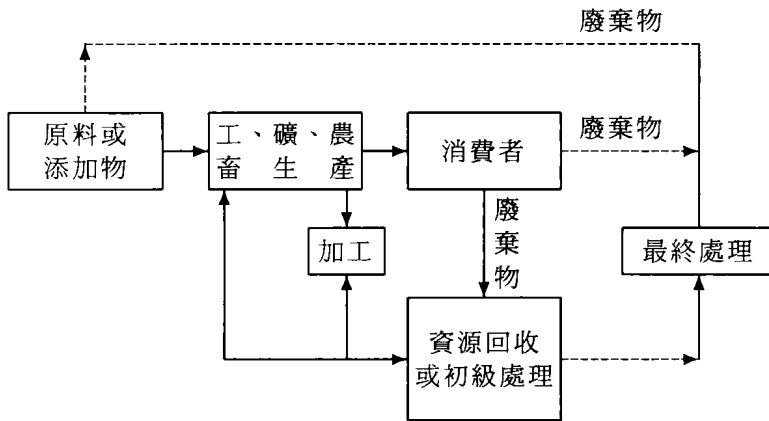


圖 1-2 廢棄物產生、回收和最終處理流程

總之，廢棄物自產生、回收到處置，需有妥善的管理政策，如此才可不但作資源回收，亦可將廢棄物作妥善的處置，其管理策略可簡要說明如下：

- (1) 加速研發廢棄物的回收、清理和再利用的技術。
- (2) 中、小型垃圾焚化爐應加強設置。
- (3) 輔導各事業單位對其廢棄物作妥善分類及有害廢棄物的處理。
- (4) 推展事業廢棄物共同或聯合處理的觀念。
- (5) 廢棄物處理之專業技術人才的培育。

1-2 廢棄物污染的現況

前面說明了廢棄物管理的策略及應該努力的方向的建議，現在說明目前（民國八十四年資料）台灣地區廢棄物污染的現況，茲分成一般廢

棄物（即俗稱的垃圾）和事業廢棄物兩方面來加以說明敘述。首先，台灣地區在垃圾清運量約每天 22.3 萬公噸，換算成每人每天的垃圾清運量大概是 1.13 公斤，若以 0% 的人口成長率及 5% 的垃圾成長率推估台灣地區的垃圾清運量，到了民國八十八年及九十一年分別可成長到每人每天 1.37 公斤和 1.59 公斤，也就是說至民國九十一年（2002 年）至少每年將有 1200 萬噸左右的垃圾必須加以處理（參考表 1-2）。

表 1-2 台灣地區垃圾清運量的成長（現況、推估）

項目 年度	垃圾清運量 (萬公噸 / 年)	垃圾清運量 (公噸 / 日)	每人每日 垃圾量 (公 斤)
八十四	865	237067	1.13
八十八	1051	28815	1.37
九十一	1217	33357	1.59

若以垃圾處理的兩種主要方式掩埋和焚化處理來說，我國依台灣地區垃圾處理第二期計劃，至民國八十四年止完工 129 處垃圾處理場，其中有 5 處焚化廠（內湖、木柵、新店、樹林、台中），124 處垃圾衛生掩埋場，即以民國八十四年而言，台灣地區其清運的垃圾依掩埋、焚化處理方式如表 1-3 所示，可見我國目前垃圾處理方式仍以掩埋為主（占 87.6%），此可能形成地表水、地下水污染或土壤污染等，二次污染的問題，又無法回收資源性垃圾（如焚化處理可回收金屬、熱能等資源），因此；我國垃圾處理方式應多加努力和改進。

廢棄物處理的最終（大）目標為減量化、安定化、安全化和資源化，根據此一目標必須對垃圾（廢棄物）的性質加以分析瞭解，方可以最佳的處理方式來達到處理的目標，既不會對環境生態造成污染傷害（安定化、安全化），又可以妥善完美地將垃圾問題加以解決（減量化、資源化）。

表 1-3 台灣地區垃圾處理方式分析

項目 地區	垃圾清運量 (公噸 / 天)	處理量 (噸 / 天)			掩埋方式 (%)
		掩埋	焚化	其他 (堆肥)	
台灣省	18355.7	16298.8	1504.4	18.9	83.3%
台北市	3520	1745.8	1774.3	0	49.6%
高雄市	1831	1831	0	0	100%
台灣地區	23706.7	20760.4	3914.3	18.9	87.6%

所以，垃圾成性分析包括物理特性（密度、成份組成等）和化學特性（元素組成、水含量、可燃分、灰份等）均必須加以瞭解清楚，以提供作垃圾（廢棄物）處理的參考資料和背景分析基礎。表 1-4 為台灣地區垃圾其有關焚化發熱值和組成分析，由表中可看出來其可燃成份約占 85%，而垃圾中水含量偏高（幾達 50%，歐美國家約 40% 左右），而低發熱值 (Low Heating Value) 平均約在 1700 kcal/kg 左右，依此資料統合起來說，雖然我國垃圾中水含量偏高，但仍可適合焚化處理；焚化處理可以說是目前為止，最可符合廢棄物處理之四大目標的最佳的垃圾處理方式，所以對大型焚化廠興建的各種抗爭者，實在應多為地狹人稠而垃圾量日益劇增的台灣地區的民眾健康福祉和環境生態的保存多加以考慮了。表 1-5 則是台灣地區垃圾中各種可燃成份和不可燃成份的分析報告，由表中可看出各類資源性垃圾（如紙類、塑膠、金屬、玻璃）各占一定可觀的百分比，應在垃圾處理前（如分類包裝時）、前處理（分選、類分）或焚化處理之前應加以回收，一方面可作回收再利用，另一方面可增加垃圾處理的效率，譬如說焚化前可將塑膠類垃圾先行回收可降低其發熱量，則可提高焚化爐的處理容量 (Capacity)。

表 1-4 台灣地區垃圾焚化性質和組成分析統計表(八十四年)

項目 區域別	物理組成		化學分析			高位 發熱值 (仟卡 /公斤)	低位 發熱值 (仟卡 /公斤)
	可燃份 (%)	不燃份 (%)	水份 (%)	灰份 (%)	可燃份 (%)		
臺灣省	83.38	16.62	49.08	14.68	36.24	2166	1728
臺北市	91.27	8.73	44.75	14.00	41.24	2539	1842
高雄市	79.73	20.27	48.58	13.34	38.09	2088	1639

表 1-5 台灣地區垃圾中可燃份和不可燃份的分析結果(八十四年度)

項目 區域別	可 燃 份								不 可 燃 份				
	紙類	纖維 布類	木竹 稻草 落葉 類	廚 餘 類	塑 膠 類	皮 革 橡 膠 類	其 他	合 計	金 屬 類	玻 璃 類	陶 瓷 類	石 頭 類	合 計
臺灣省	33.19	5.69	6.91	14.01	18.19	1.01	4.37	83.38	6.19	5.81	2.15	2.47	16.62
台北市	26.37	9.58	0.24	34.96	17.38	0.74	0.00	91.27	4.41	3.62	0.14	0.55	8.73
高雄市	36.78	3.02	5.67	10.37	20.51	0.28	3.09	79.73	8.35	7.98	1.17	2.78	20.27

除了一般廢棄物的問題外，來自於各種事業單位因生產、操作或製程而產生的廢棄物質稱之為事業廢棄物，一般來說，若以廢棄物的污染源而論，事業廢棄物主要包括來自工業、農牧養殖業、醫療、營建廢土和廢棄物，和各實驗單位所產生的一般事業廢棄物（可歸納成所謂的垃圾）和有一定危害性的有害事業廢棄物。通常，廢棄物的危害性可再加以細分成易燃性、腐蝕性、反應性、毒性、致病性、生物累積性、致突變性等七種不同對人體或生態環境的威脅，而某種有害廢棄物的危害性，可能同時具有上述二種或以上的可能性。

醫療事業廢棄物中所含有害事業廢棄物，除感染性廢棄物外，其中

8 廢棄物污染與處理

含有大量塑膠、橡膠製品，在處理時（焚化）將產生有害氣體（HCl，Cl₂等）或含毒性成份（如Dioxins，furan等）的飛灰、粉塵。焚化處理通常是醫療廢棄物較佳的處理方式，而為了避免二次污染（有害氣體和飛灰、粉塵），醫療廢棄物焚化爐附加集塵和滌氣等設備則是必需的，考慮成本因素及醫院單位多在人口密集區域，醫院本身附設小型焚化爐乃是不切實際的，所以採用集中式，地區性中型規模的焚化爐設於人口較少的地區才是較好的考慮，在臺灣地區即有北、中、南和東部地區各有中型焚化爐來處理各地所產生的醫療事業廢棄物（參考表 1-5(A)），但其數量仍嫌不足。

表 1-5(A) 全台地區醫療廢棄物集中處理廠

地 區	處理量 (噸 / 天)
台北	100
台中 (豐原)	2
高雄	50
宜蘭	3
花蓮	3
台東	2

小型焚化爐應用在醫療事業廢棄物的焚化處理，不但成本高不符合經濟效益，而且會產生有害氣體（如含Dioxins），如瑞典測試 50 座小型焚化爐發現其產生Dioxins 高於大型焚化爐的二倍，所以設置中、大型焚化爐以集中處理區域或大城市所產生的醫療事業廢棄物已是世界各國（如瑞士、瑞典、德國等）的共識，例如德國慕尼黑市自 1984~1986 年間即陸續關閉該市 200 餘座小型醫院焚化爐，而採取集中於一焚化中心處理，既可處理廢棄物，避免有害廢氣二次污染，降低成本，更可回收可觀的熱能（醫療事業廢棄物內含大量塑膠，故發熱值普遍較高）。

台灣地區各種事業廢棄物的每日產生量（噸 / 天），及可能採取的因應處理措施歸納整理成表 1-6。一般來說，我國目前對事業廢棄物的管理

和處理並未達妥善的境界，究其原因，可以歸納整理如下：

- (1) 我國各事業單位多屬中小型企業，能力有限，而廢棄物處理所需投入的成本較高，故普遍處理設備不足，因此，難以對事業廢棄物提高其妥善處理率。
- (2) 各種實驗室所產生的廢液和有害廢棄物，大多無法妥善處理。
- (3) 事業單位多缺乏清理事業廢棄物責任的認知，並且缺乏處理的相關技術和知識。
- (4) 有害事業廢棄物認定標準訂定太晚（民國 83 年 3 月才修正公布），無法可對有害事業廢棄物加強管理。
- (5) 事業廢棄物的管理、稽查人員人力不足且訓練也不夠。
- (6) 事業廢棄物多採用掩埋方式處理，不但侵占垃圾掩埋處理的容量，降低其掩埋場的使用壽命，而且恐將對環境造成二次污染。

表 1-6 各種事業廢棄物產生量及處理情形（方式）（八十四年度）

項目 種類	產生量 (公噸 / 天)	處理方式 (建議)	備 註	
工業	1200	焚化、掩埋或物化 處理	焚化占 36%	
醫療	211	焚化（主要）或掩埋	焚化占 37.5%	
農業 養殖 畜牧	死禽 亡畜	910	焚化、掩埋	焚化佔 36%
	殘廢 留棄物	540	掩埋或回收	資源回收占 60%
營建土方	7200 萬方	棄土場	部份縣市無棄土場可用	
實驗室	150	規畫各種處理設備	多委託業單清理	

1-3 廢棄物的定義和分類

前面說到廢棄物依產生源可區分成一般廢棄物和事業廢棄物兩大類，現在加以正式的定義。依照我國廢棄物清理法（附錄一）的說法，垃圾、糞尿、禽畜屍體或其他非事業單位所產生足以污染環境衛生之固態或液態物質謂之一般廢棄物；而由事業單位所產生可造成同類影響的各種廢棄物質謂之事業廢棄物，其中具有毒性、致病性、反應性等危害性者則更歸類成有害事業廢棄物。由以上說明裡，可以知道若依廢棄物所存在的形態來說，它們可能是固態、液態或漿狀的，各種形態的廢棄物可以整理列舉如表 1-7。1970 年美資源回收法案中首先提出所謂有害廢棄物此一名詞，並在 1977 年首先為一著名的雜誌——化學摘要 (Chemical Abstract) 採用做為一分類廢棄物的專有名詞，專指具有易燃性、反應性、腐蝕性、毒性、致病性 (感染性)、生物累積性和致突變性等危害的各類廢棄物。接著，簡單說明有害廢棄物的各種危害性如下：

(一) 易燃性廢棄物：

美國RCRA 中規定指出，閃火點 (Flash-Point) 在 60°C 以下的廢棄物可歸類為易燃性廢棄物，廢機油、廢溶劑和部份化學廢液均屬此種易燃性廢棄物；它們在貯存、清運或處理的時候應注意火種或火花的隔離，以免造成火災等意外事件。易燃性廢棄物包括閃點低 (60°C 以下) 的廢液或可因摩擦、吸水或火苗而發火燃燒的固態廢棄物均屬之。

(二) 反應性廢棄物：

指可以和空氣、水份及其他化學物質形成劇烈反應的廢棄物，例如化學活性強的各種化學性廢棄液體如強酸、強鹼或強氧化還原劑 (如硫酸、雙氧化、氫氧化鈉、氰化物)。此類廢棄物在貯存、清運或處理時應避免互相接觸或曝露，以免形成劇烈反應而造成危險，例如硫酸和氰化物混合即可能產生具毒性的氰化氫或硫化氫。此類反應性廢棄物並沒有明確的標準試驗法，必須依經驗或基本常識加以研判。

(三) 腐蝕性廢棄物：

依照美國RCRA的規定，凡廢棄物其PH值在2.0以下或12.5以上，或者在55°C(130°F)下，使鋼鐵腐蝕速度達0.635公分/年以上者，均屬於腐蝕性廢棄物。電鍍業、表面處理業或其他可產生強酸或強鹼廢液，多具有此腐蝕性；對於腐蝕性廢棄物(廢液)的處理，應考慮它們對處理設備的腐蝕傷害及操作人員的安全維護。

(四) 毒性廢棄物：

凡是含有成份可對生物的結構、代謝作用等造成妨礙、破壞或影響其正常功能的廢棄物，便可歸類成所謂毒性廢棄物。它的毒性經溶出或揮發，可經由空氣、飲水或其他方式而傷害到人體或其他生物。重金屬(如廢水銀電池、廢棄農藥、染料等化學劑)、石棉、農藥、氰化物、有機溶劑(如苯、甲苯等)均可列為毒性廢棄物。表1-8為環保署公告的毒性化學物質，毒性大小的測定方法有許多種，比如說以動物試驗的半數(50%)致死劑量(稱為 LD_{50})的測定，可知測定物質的毒性大小(LD_{50} 愈小表示相對地毒性較大)；另外美國RCRA中提出所謂「萃取法毒性試驗」，它係用來判定毒性廢棄物在溶出試驗(如附錄(二))，此法係以廢棄物在醋酸緩衝液(類似自然地下水中的條件)浸漬萃取24小時後分析其濾液是否含有重金屬或農藥等有毒成份的存在，藉著美國RCRA的萃取法毒性試驗，可明瞭廢棄物在自然環境下其溶出(滲出)毒性物質的可能性大小。表1-9即為美國RCRA萃取法毒性試驗所測定的重金屬或其他

表 1-7 各種形態的廢棄物

存在形態	列 舉
固態廢棄物	垃圾、禽畜屍體、廢土方
液態廢棄物	廢機油、溶劑、化學藥劑
漿狀廢棄物	糞尿、廢棄污泥