

廢棄物最終處置技術

目錄

壹、前言	1
貳、最終處置概述	2
一、最終處置之定義	2
二、最終處置之方法及對象	4
參、衛生掩埋基本原理與種類	6
一、衛生掩埋之定義	6
二、衛生掩埋廢棄物穩定化過程與產物	6
三、掩埋構造之分類	13
肆、最終處置相關規定	17
一、最終處置之設施標準	17
二、禁止直接掩埋之規定	20
伍、衛生掩埋場基本計畫	21
一、掩埋場基本計畫	21
二、一般工程設施	35
三、公害防治設施	43
四、管理設施	58
陸、衛生掩埋作業及管理	61
一、衛生掩埋方式	61
二、衛生掩埋作業程序	63
三、衛生掩埋覆土作業	65
四、衛生掩埋作業管理	66
五、環境品質監測	69
六、掩埋場封閉及復育再利用	70
七、舊掩埋場移除	75
參考資料	81

廢棄物最終處置技術

表目錄

表 2.1、最終處置方法及對象.....	5
表 3.1、掩埋場內廢棄物之穩定化過程.....	7
表 3.2、掩埋場內氣體成分	10
表 3.3、廢氣成分及性質分析.....	10
表 3.4、掩埋垃圾產氣組成與時間之變化.....	10
表 4.1、掩埋處置設施規定	17
表 5.1、掩埋場規劃之進行步驟.....	21
表 5.2、場址評選項目及主要考慮範圍	24
表 5.3、掩埋場計畫之環境保護對策.....	34
表 5.4、第六級公路設計基準.....	35
表 5.5、ASTM 及 USDA 土壤分類對顆粒大小定義.....	44
表 5.6、滲出水集排水管之種類.....	49
表 5.7、垃圾滲出水處理廠設計原水水質比較表.....	51
表 5.8、滲出水特性與有機物去除效率比較.....	51
表 6.1、覆土型式、覆土材料與作業要點.....	65
表 6.2、各種土壤作為衛生掩埋覆土之適用性.....	66

廢棄物最終處置技術

圖目錄

圖 1.1、廢棄物掩埋場之種類.....	2
圖 2.1、掩埋設施構造示意圖.....	4
圖 3.1、有機物質之厭氧分解流程.....	8
圖 3.2、垃圾掩埋過程之產氣組成.....	9
圖 3.3、掩埋場構造之種.....	14
圖 3.4、循環式準好氧性掩埋構造.....	15
圖 3.5、藉通氣豎井擴大好氧性環境範圍.....	16
圖 5.1、垃圾處理場場址研選作業流程.....	23
圖 5.2、計畫總掩埋容量之研訂流程.....	26
圖 5.3、廢棄物層厚度與覆土係數之關係.....	27
圖 5.4、衛生掩埋場之基本設施.....	29
圖 5.5、衛生掩埋設施系統概要.....	30
圖 5.6、工程規劃與環評作業相關流程.....	31
圖 5.8、雨水集排設施設計流程圖	40
圖 5.9、地下水重力排水設施.....	41
圖 5.10、地下水抽水井排水設施.....	42
圖 5.11、USDA 土壤分類	43
圖 5.12、ASTM 以塑性決定土壤分類.....	45
圖 5.13、密閉雙環滲入偵測器	47
圖 5.14、垃圾滲出水收集設施配置示意圖	48
圖 5.15、集排水管之構造（福岡型）	48
圖 5.16、廢氣收集設備 (1)－掩埋場內個別排氣	53
圖 5.17、廢氣收集設備 (2)－斜面、中央與頂部排氣	54
圖 5.18、廢氣集排系統構造圖	54
圖 5.19、廢氣燃燒設施示意圖	55

圖 5.20、廢氣收集設備 (3)－回收與未回收	56
圖 6.1、廢棄物掩埋作業方式.....	61
圖 6.2、區域法掩埋.....	62
圖 6.3、壕溝法掩埋.....	63
圖 6.4、窪地法掩埋.....	63
圖 6.5、廢棄物進場填埋之順序.....	64
圖 6.6、廢棄物鋪平、滾壓之方法.....	64
圖 6.7、山水綠生態公園-南港山豬窟	74
圖 6.8、遊客活動中心具環境教育與賞景功能.....	75
圖 6.9、木棧道由舊電線桿改造而成彩虹圓柱.....	75
圖 6.10、臺北市內湖垃圾山位置圖	76
圖 6.11、內湖垃圾山清除前之範圍及高程圖	77
圖 6.12、內湖垃圾山清除工程執行計畫內容.....	78
圖 6.13、內湖垃圾山清除工程開挖順序	78
圖 6.14、內湖垃圾山清除工程篩分流程	79

壹、前言

廢棄物是人類日常生活與各種產業活動無法避免之產物，現今社會體系中之任一物質，從原料採集、產製物品至消費使用，每個階段、過程皆會排出一些無用的廢棄物。臺灣地區經過多年民眾與政府的努力，大部分的垃圾都先由回收管道回收再利用，剩餘的垃圾則以焚化處理為主，掩埋為輔的方式處理，垃圾經焚化處理（中間處理）還是會產生灰渣，最後還是必須妥善處理或最終處置（Final Disposal）。

早期廢棄物性質單純，以天然物質為主、較不具毒性。最早用於處理廢棄物的方法為露天棄置（Open Dumping）與掩埋（Landfill）處理。隨著工業化、商業化發展及許多化學物質及工業化產品的發明，當產品使用年限告罄時，廢棄物處理問題隨之而來，這些廢棄物可能具有毒性或在中間處理過程產生危害性，若隨意釋放至環境中，將對生態、動植物及人類生活環境產生嚴重危害，甚至會經由進入食物鏈，因此隨著民眾對環境品質的要求愈來愈高，法令也愈訂愈嚴格，以保護萬物共存的環境生態，而早期以露天棄置廢棄物方式也改以衛生掩埋方法取代。掩埋處置為垃圾處理最基礎及垃圾處理最終不可或缺之一環，而掩埋處置依其處理對象及功能可分為安定、衛生及封閉掩埋3種。

本教材首先介紹掩埋處置之意義與分類，依序探討衛生掩埋場基本原理與方法，場址研選與評估，掩埋場工程設施，掩埋作業及管理，最後介紹國內外海洋棄置等相關規定。

廢棄物依「廢棄物清理法」第2條「廢棄物分為一般廢棄物及事業廢棄物」，「一般廢棄物」指事業廢棄物以外之廢棄物。「事業廢棄物」指事業活動產生非屬其員工生活產生之廢棄物，包括有害事業廢棄物及一般事業廢棄物。有害事業廢棄物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；一般事業廢棄物指由事業所產生有害事業廢棄物以外之廢棄物。

廢棄物之「清理」則依據「一般廢棄物回收清除處理辦法」之定義，係指「一般廢棄物貯存、回收、清除或處理之行為。」，另依據「事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準」定義，係指「貯存、清除或處理事業廢棄物之行為。」其中之「處理」於兩者均指中間處理、最終處置與再利用。

在處理過程中，原則上盡可能將其中之有價物質回收再利用，難以再利用有機物質可藉焚化、熱分解、堆肥、厭氧/好氧消化等化學或生化轉換技術，回收熱能、燃料或有機肥料等。至於不能經濟且有效利用者或處理後之殘渣，則以最終處置。因大自然有一定涵容能力，若毫無限制棄置廢棄物，一旦超過涵容能力，則會造成環境污染。因此，欲將廢棄物處置於大自然中，必須依正確準則及法令規範有計畫地進行，而此種合乎安全衛生之處置行為，稱之為「最終處置」。

廢棄物最終處置可分為陸域處置（掩埋）與水域處置（掩埋、海洋棄置）兩種；如圖 1.1 所示。陸域掩埋中利用採砂坑或廢礦坑掩埋之方式可行性較低，故最終處置以掩埋法為主。而水域掩埋中之內水域（河川湖泊）掩埋，於現行法規中所不許可者。填海造地或填海造島，如係以廢棄物填築，即是海域掩埋，因涉及沿海生態之衝擊，敏感性高，施作過程應審慎為之。至於海洋棄置法雖在國外工業高度發展之國家亦已行使多年，惟為避免海域因不當投棄而受污染，應有合理的規劃與監督管理。



圖 1.1、廢棄物掩埋場之種類

貳、最終處置概述

一、最終處置之定義

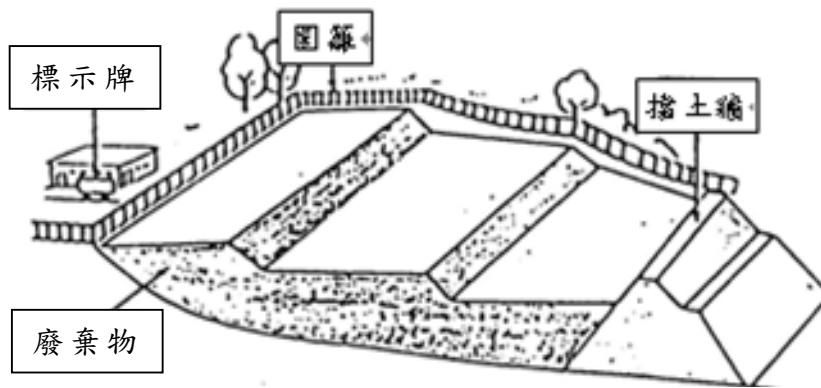
依「一般廢棄物回收清除處理辦法」及「事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準」之規定，最終處置係指「將廢棄物以安定掩埋、衛生掩埋、封閉掩埋或海洋棄置之行為。」定義如下：

- (一) 安定掩埋法：指將一般廢棄物及一般事業廢棄物置於掩埋場，設有防止地盤滑動、沉陷及水土保持設施或措施之處理方法。
- (二) 衛生掩埋法：指將一般廢棄物及一般事業廢棄物掩埋於以不透水材質或低滲水性土壤所構築，並設有滲出水、廢氣收集及處理設施及地下水監測裝置之掩埋處理方法。
- (三) 封閉掩埋法：指將有害事業廢棄物掩埋於以抗壓及雙層阻水材質所構築，並設有阻止污染物外洩及地下水監測裝置之掩埋處理方法。

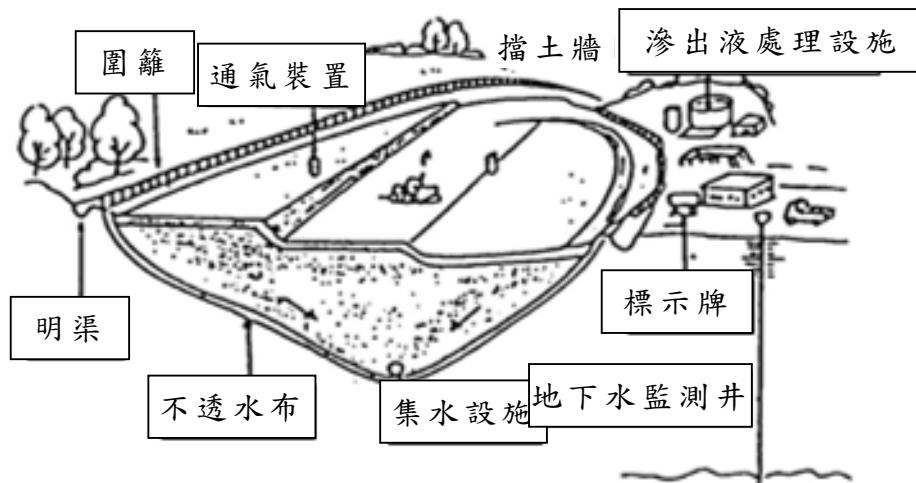
最終處置之安定掩埋、衛生掩埋及封閉掩埋法其基本構造如圖 2.1 所示。

一般廢棄物採海洋棄置法處理者，應符合海洋污染防治法之規定；依「海洋污染防治法」對於海洋棄置之定義則為：「指海洋實驗之投棄或利用船舶、航空器、海洋設施或其他設施，運送物質至海上傾倒、排洩或處置。」

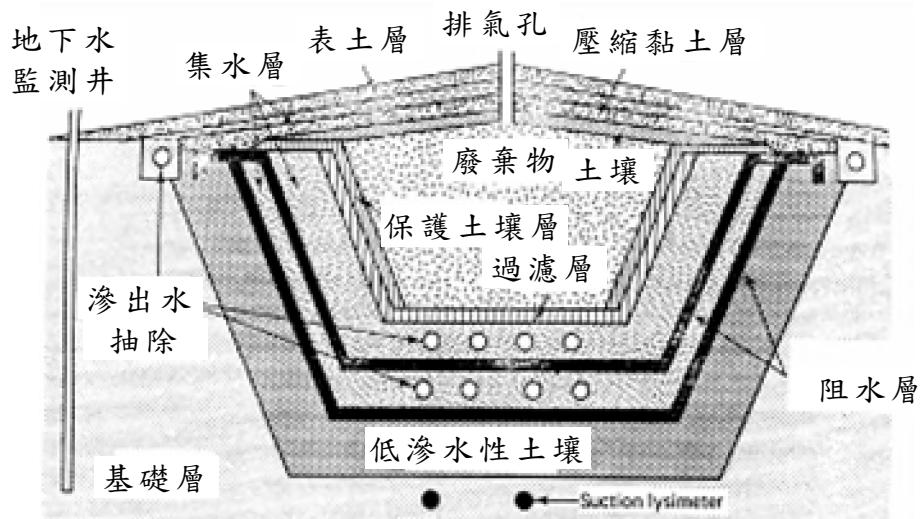
「海洋棄置」雖在國外工業高度發展之國家亦已行使多年，惟為避免海域因不當棄置而受污染，應有合理的規劃與監督管理。



安定掩埋場構造示意圖



衛生掩埋場構造示意圖



封閉掩埋場構造示意圖

圖 2.1、掩埋設施構造示意圖

二、最終處置之方法及對象

依據「一般廢棄物回收清除處理辦法」、「事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準」及「海洋污染防治法」，對於廢棄物之最終處置方法及適用

對象之規定如表 2.1 所示。

表 2.1、最終處置方法及對象

處置方法	安定掩埋法	衛生掩埋法	封閉掩埋法	海洋棄置
定義	設有防止地盤滑動、沉陷及水土保持設施或措施之掩埋處理方法。	以不透水材質或低滲水性土壤所構築，並設有滲出水、廢氣收集及處理設施及地下水監測裝置之掩埋處理方法。	以抗壓及雙層不透水材質所構築，並設有阻止污染物外洩及地下水監測裝置之掩埋處理方法。	指依海洋污染防治法之規定，運送廢棄物至海上傾倒、排洩或處置之處理方法（一般廢棄物）。或指海洋實驗之投棄或利用船舶、航空器、海洋設施或其他設施，運送物質至海上傾倒、排洩或處置。（海洋污染防治法）
處置對象	<ul style="list-style-type: none">• 一般廢棄物中之廢玻璃、廢陶瓷、廢磚瓦、石材碎片（塊）或經中央主管機關指定者。• 玻璃屑、陶瓷屑、天然石材下腳碎片（塊）、廢鑄砂、石材脫水污泥、混凝土塊、廢磚瓦，或經中央主管機關公告之一般事業廢棄物。	<ul style="list-style-type: none">• 一般廢棄物。• 一般事業廢棄物無須經中間處理者。• 一般事業廢棄物經中間處理後，或有害事業廢棄物經中間處理，並經直轄市或縣（市）主管機關認定為一般事業廢棄物者。	<ul style="list-style-type: none">• 一般廢棄物中之有害垃圾。• 有害事業廢棄物。	<ul style="list-style-type: none">• 依海洋污染防治法之規定。

資料來源：本教材編撰整理。

掩埋處置依其處理對象或功能可分為安定、衛生及封閉掩埋 3 種，安定掩埋僅能處理玻璃屑、陶瓷屑、建築廢棄物，天然石材下腳碎片（塊）、廢鑄砂、石材脫水污泥、混凝土塊、廢磚瓦等安定物質之一般廢棄物或一般事業廢棄物，衛生掩埋的處理對象則為一般廢棄物、一般事業廢棄物無須經中間處理者、一般事業廢棄物經中間處理後，或有害事業廢棄物經中間處理，並經直轄市或縣（市）主管機關認定為一般事業廢棄物者，而封閉掩埋的處理對象則為有害垃圾或有害事業廢棄物。

參、衛生掩埋基本原理與種類

一、衛生掩埋之定義

衛生掩埋法係廢棄物之最終處置法之一，根據美國土木工程學會之定義：「衛生掩埋係指一種避免產生公害或對公眾健康及安全造成危害的廢棄物處置法，此法使用工程原理將廢棄物侷限於最小的區域內，於每日廢棄物傾倒處理完畢之後，在其上覆一層土壤，必要時則增加覆土之次數」。由上述定義可知，衛生掩埋作業基本上包括：

- (一) 壓實—使廢棄物體積減至最小。
- (二) 侷限—將廢棄物侷限於一最小區域內，有計畫地堆埋廢棄物。
- (三) 覆土—防止廢棄物飛散流失、病媒孳生，控制地面水之入滲與氣體之移動，防火，提供車輛道路，促進廢棄物之分解，配合最終土地利用。

二、衛生掩埋廢棄物穩定化過程與產物

衛生掩埋場是固體廢棄物之最終處置場所，主要功能在於把廢棄物從社會環境中安全衛生的隔離，並藉掩埋廢棄物之本身特性及與土壤微生物之物理及生化反應進行生物處理，將廢棄物轉化為固體(類土質、腐植質)、液體(垃圾滲出水中的有機性或無機性成分)及氣體(CH_4 、 CO_2 、 H_2S 、惡臭物質...)等產物，使廢棄物體積逐漸減少而達成物理上的穩定及生化上的安全。茲簡要說明廢棄物之穩定化過程、分解產物及影響因素。

(一) 廢棄物穩定化過程及分解產物之消長

衛生掩埋場內之基本生化反應，依其發生的順序可分成3個階段(5個反應期)，各階段皆有其對應的環境及分解產物，歸納如表3.1所示。

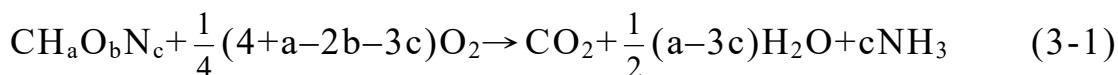
表 3.1、掩埋場內廢棄物之穩定化過程

階段	反應期	說明
好氧階段 (數日內)	I 、最初適應期	1. 廢棄物掩埋完成，場內含水率逐漸累積，環境變數開始變化。 2. 行好氧性分解將有機物轉化為穩定細胞質、 CO_2 、 H_2O 、 NH_4^+ ...等。
	II 、過渡期	1. 掩埋場達到保水容量。 2. 內部由好氧條件轉變成厭氧條件，生化反應主要電子接受者由 O_2 轉移為 NO_3^- 或 SO_4^{2-} 。 3. 滲出水可測出揮發酸，產氣中 CO_2 含率漸增。
厭氧階段 (數十-500 日內)	III 、酸化期	1. 滲出水有機物主要為揮發酸，pH 值下降。 2. 重金屬溶出。 3. 產氣中可偵測出 H_2 。
	IV 、甲烷發酵期	1. 將酸化期所產生的中間產物轉化為 CH_4 和 CO_2 。 2. pH 值上升至中性，緩衝系統由揮發酸轉為氫碳酸鹽系統，氧化還原電位 (ORP) 降至最低。 3. 氣體產量達最高。
穩定階段 (10-20 年)	V 、最終穩定期	1. 垃圾成分趨於穩定，有機物大多為腐植質，且易和重金屬行錯合作用。 2. O_2 和氧化態物質顯現，ORP 緩慢上升。

資料來源：本教材編撰整理。

1. 好氧階段（掩埋數日內）—最初適應期與過渡期

在掩埋場初期，土壤微生物中之好氧性細菌，利用掩埋層中存在之分子態氧，在適當的含水情況下，將廢棄物中之部分有機物質分解成水及二氧化碳等穩定物質，並產生熱，直至氧氣耗盡為止。基於氣相平衡原理，有一部分的二氧化碳溶解於滲出水中，因而使本階段維持在酸性範圍之內。



2. 厭氧階段（掩埋數十至 500 日內）—酸化期與甲烷發酵期

在此階段於缺乏或無氧之環境條件下，兼氣性及厭氧性細菌逐漸成為優勢微生物，首先水解菌分泌細胞外酵素，將廢棄物中之脂肪、蛋白質、

碳水化合物等複雜且微生物無法直接利用的有機物水解為溶解性的醣類、氨基酸、脂肪酸、甘油等。接著經酸生成菌轉化成有機酸及醇類、醛類、酮類、 H_2 、 CO_2 等較簡單的生成物，而甲烷生成菌則將中間生成物再分解成甲烷、二氧化碳等最終產物。有機物之水解、酸化、甲烷化之厭氧分解流程，如圖 3.1 所示。

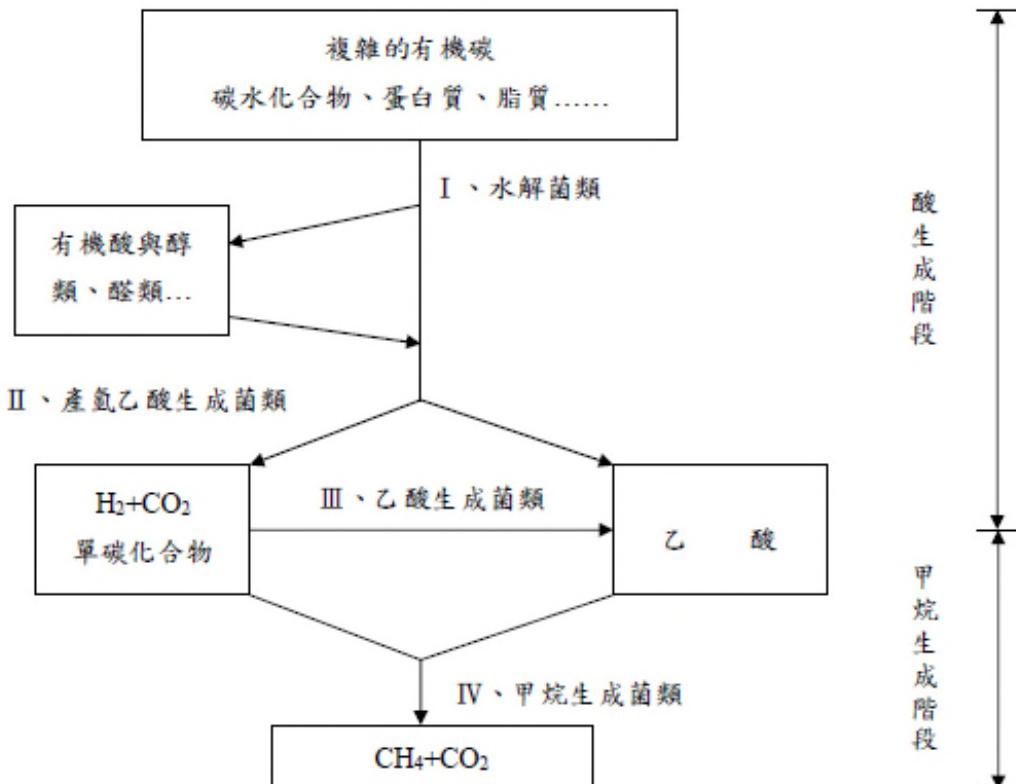
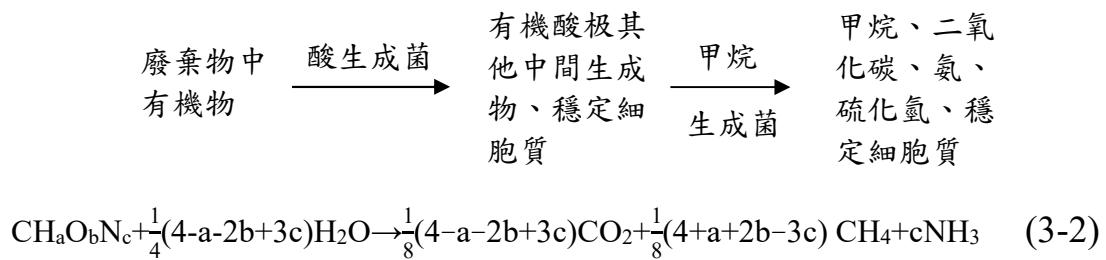


圖 3.1、有機物質之厭氧分解流程



3. 穩定階段（掩埋後 10-20 年）

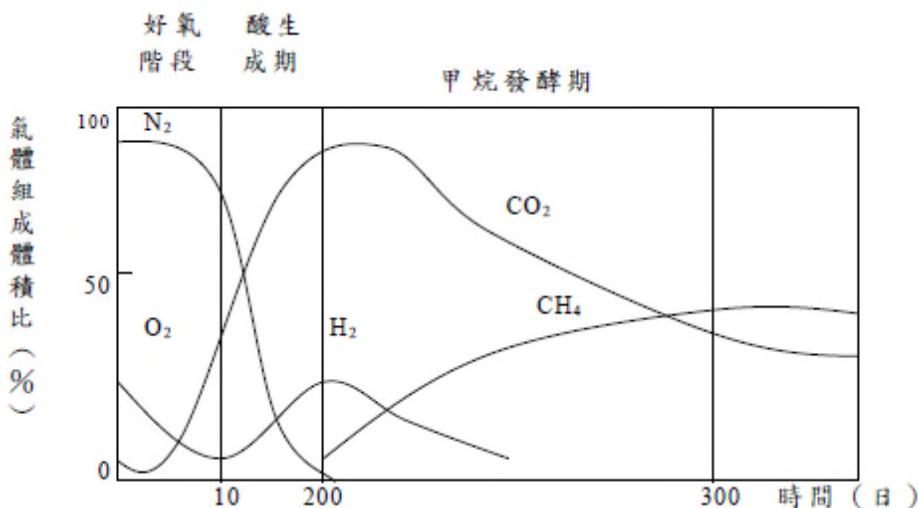
掩埋數百日內，廢棄物中較易分解之有機物質逐漸趨穩定狀態，正常狀況下，在最初 2 年內氣體產量達尖峰，以後即逐漸降低，其持續產氣期間達 10-20 年或更長。

(二) 掩埋場內反應之影響因素

掩埋場內有機物分解，結合了化學、物理、生物 3 種作用，經過一連串相當複雜的程序而完成，其中化學作用包括：水解、溶解、沉澱、吸附、離子交換、氧化還原等各種作用，其可改變廢棄物組成成分之部分性質或者是增進這些廢棄物成分的可變性，使其他後續作用更容易進行。物理作用則包括：水流的沖刷、洗滌所造成的破壞作用，或是因滲出水濃度之不同所形成的擴散作用、以及因壓力不同所造成之液體和氣體的流動作用等。至於生物作用則在掩埋廢棄物的分解穩定過程中占著最重要的地位。如前節所述，場內之生化反應非常複雜，廢棄物組成、掩埋構造（好氧性、準好氧性、厭氧性）、掩埋施工（滾壓、覆土、混合等）、掩埋時間的長短，以及環境條件如含水率、溫度、pH、ORP、有毒物質、營養源等等都會影響其生物分解過程。

(三) 產氣量及組成

掩埋場垃圾經過一段時間的掩埋之後，有機物進行厭氧性分解產生沼氣，此混合性氣體中含有甲烷、二氧化碳、少量硫化氫及微量氣體，以甲烷發酵期而言，其中甲烷約占 50-60%、二氧化碳約占 30-40%、硫化氫約 0.4-1.8%。理論上每消耗 1 公斤 COD 可產生 0.35 m^3 甲烷。典型的氣體變化趨勢可以從圖 3.2 加以描述。有關掩埋場氣體相關數據列於表 3.2 至表 3.4。



資料來源：環境部，「封閉垃圾場復育綠美化執行成效評估計畫」，89 年。

圖 3.2、垃圾掩埋過程之產氣組成

表 3.2、掩埋場內氣體成分

氣 體	化 學 式	濃 度 (vol%)
甲烷	CH ₄	0-85
二氧化碳	CO ₂	0-85
一氧化碳	CO	2.8
氨	NH ₃	0-0.35
氫	H ₂	0-3.6
氧	O ₂	0-31.6
氮	N ₂	0-82.5
硫化氫	H ₂ S	0.4-1.8
乙醛	CH ₃ CHO	150 ppm
丙酮	C ₂ H ₆ CO	100 ppm
苯	C ₆ H ₆	0.08
氩	Ar	0.01
庚烷	C ₇ H ₁₆	0.45
甲苯	C ₆ H ₅ CH ₃	0.09

資料來源：環境部。

表 3.3、廢氣成分及性質分析

性質	甲烷	二氧化碳	氫	硫化氫	一氧化碳	氮
相對密度	0.555	1.520	0.069	1.190	0.967	0.967
可燃性	是	否	是	是	是	否
爆炸性* (Vol%)	5-15	否	4-75.6	4.3-48.5	12.5-74	否
燃點	650°C	-	560°C	270°C	605°C	-
氣味	否	否	否	是	微	否
毒性	否	是	否	是	是	否
最高容許濃度	-	5,000 ppm	-	10 ppm	50 ppm	-

* 20°C，1 大氣壓條件之下。

資料來源：環境部。

表 3.4、掩埋垃圾產氣組成與時間之變化

掩埋時間 (月)	組成百分比 (%)		
	氮氣	二氧化碳	甲烷
0-3	5.2	88	5
3-6	3.8	76	21
6-12	0.4	65	29
12-18	1.1	52	40
18-24	0.4	53	47
24-30	0.2	52	48
30-36	1.3	46	51
36-42	0.9	50	47
42-48	0.4	51	48

(四) 滲出水水量及水質

滲出水係指由廢棄物掩埋場滲透出之液體，影響其發生之因素如下：

1. 廢棄物本身之含水經掩埋壓實擠出。
2. 廢棄物中有機物進行生化分解產生水分。
3. 降於掩埋場之雨水量。
4. 掩埋場外圍流入之地面水與地下水量。
5. 掩埋場內流向外圍地層之滲出水量。
6. 掩埋場之蒸發散量。
7. 掩埋場之逕流量。
8. 掩埋場內之保水容量。

衛生掩埋場一般設於具有良好阻水性地盤上，或敷設阻水層等隔絕構造物，因此由外圍及底部滲入之滲出水量可不加考慮，至於由垃圾含水量與有機物厭氧分解產生之水分所擠壓出之水量，以及隨廢氣逸出於大氣中之水蒸氣量，因其產量不多，對掩埋場內部水量收支之影響不大，故影響掩埋場滲出水量之主要因素為降雨而滲入場內之入滲水量，減去地表逕流量以及蒸發散量。

$$\text{滲出水量} = \text{降雨量} - \text{逕流量} - \text{蒸發散量}$$

1. 滲出水水量推估

由前述之分析，可知影響滲出水量之主要因素為因降雨而入滲掩埋場內之滲出水。滲出水量之概估，一般常用下式之合理式法來推求：

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{1,000} \quad (3-3)$$

式中

Q：計畫（設計）滲出水量 ($m^3/\text{日}$)

C：滲出係數，0.2-0.8

I：最大月降雨量的日平均值 (mm/日)

A：集水面積（垃圾掩埋面積）(m²)

式 (3-3) 中之滲出係數係指掩埋場內降雨量成為滲出水之比例，因掩埋場覆土性質、覆土坡度、掩埋垃圾種類、掩埋施工中或完成後等之不同而異，一般 C 值 0.2-0.8，而實際掩埋場則以 0.3-0.4 居多。

目前常用公式為日本「全國都市清掃會議」提出之合理化修正式，以利推估掩埋過程之滲出水量，如公式 3-4。

$$Q = (C_1 \times A_1 + C_2 \times A_2) \times \frac{I}{1,000} \quad (3-4)$$

式中

A₁：已掩埋區，地表水能直接排除區（覆蓋最終覆土）(m²)

A₂：已掩埋區，地表水未能直接排除區（覆蓋每日覆土）(m²)

C₁：A₁ 區之滲出係數 C₁=0.2-0.4，一般採用 0.3

C₂：A₂ 區之滲出係數 C₂=0.4-0.7，一般採用 0.5

另外，日本花嶋正孝教授所推導的滲出水量公式 (3-5)，為日本掩埋場設施標準所建議採用者。花嶋公式說明如下：

$$Q = (In) \times \left(\frac{1}{N} \right) \times \frac{(\beta Cm A_0 + Cm A_1 + 0.4 C'm A_2 + \alpha C A_3 Cm)}{1,000} \quad (3-5)$$

$$Cm = \frac{(0.002In^2 + 0.16In + 21)}{100}$$

$$C'm = \frac{[0.002(0.4In)^2 + 0.16In(0.4In) + 21]}{100}$$

式中

Q：計畫滲出水量 (m³/日)

In：降雨強度 (mm/日)，採 1/2 年降雨頻率設計

$\frac{1}{N}$: 降雨頻率，可由過去 10 年間每年最大降雨量月分中，降雨量超過

10 公厘/日之降雨次 (X) 由 $\frac{1}{N} = \frac{X}{30}$ 求之

β : 掩埋區內已覆土區之入滲係數=0.6

α : 集水區地表逕流溢過掩埋場外圍截水構之比例，取 0.05

C : 地表逕流係數；地表曾受擾動時=0.8；地表未曾受擾動時=0.2

C_m 、 $C'm$: 滲出係數

A_0 : 掩埋區內已覆土區域面積 (m^2)

A_1 : 掩埋區內已作業區域面積 (m^2)

A_2 : 已封閉掩埋場面積 (m^2)

A_3 : 掩埋場外集水區面積 (m^2)

2. 滲出水之水質

滲出水之水質受掩埋構造、掩埋深度、掩埋垃圾特性、掩埋時間、垃圾含水量、降雨入滲量、覆土性質、掩埋場地理、地質、地形、氣候、水文狀況及掩埋場管理...等因素的影響，而有很大的變化。垃圾掩埋場滲出水通常含有高濃度之有機物質、無機鹽類及微量重金屬，外觀呈深褐色、色度高且具刺激腐臭味。滲出水水質時間變化極大，掩埋年代短（年輕）的掩埋場，由於酸發酵之關係，揮發酸 (VFA) 高，總 COD 濃度可達 70,000 mg/L，而 VFA/COD 之比約為 0.8；反之，掩埋年代長（老舊）的掩埋場則 COD 降至 3,000 mg/L 以下，揮發酸濃度低，但氨氮 (NH_3-N) 含量增高。COD 降低所需時間因掩埋操作，垃圾組成等而異，通常長達 2-7 年。

三、掩埋構造之分類

廢棄物掩埋場之內部環境對廢棄物的安定化速率影響甚巨，花嶋教授依掩埋構造之不同，將掩埋場分成如圖 3.3 所示之 5 種型式：

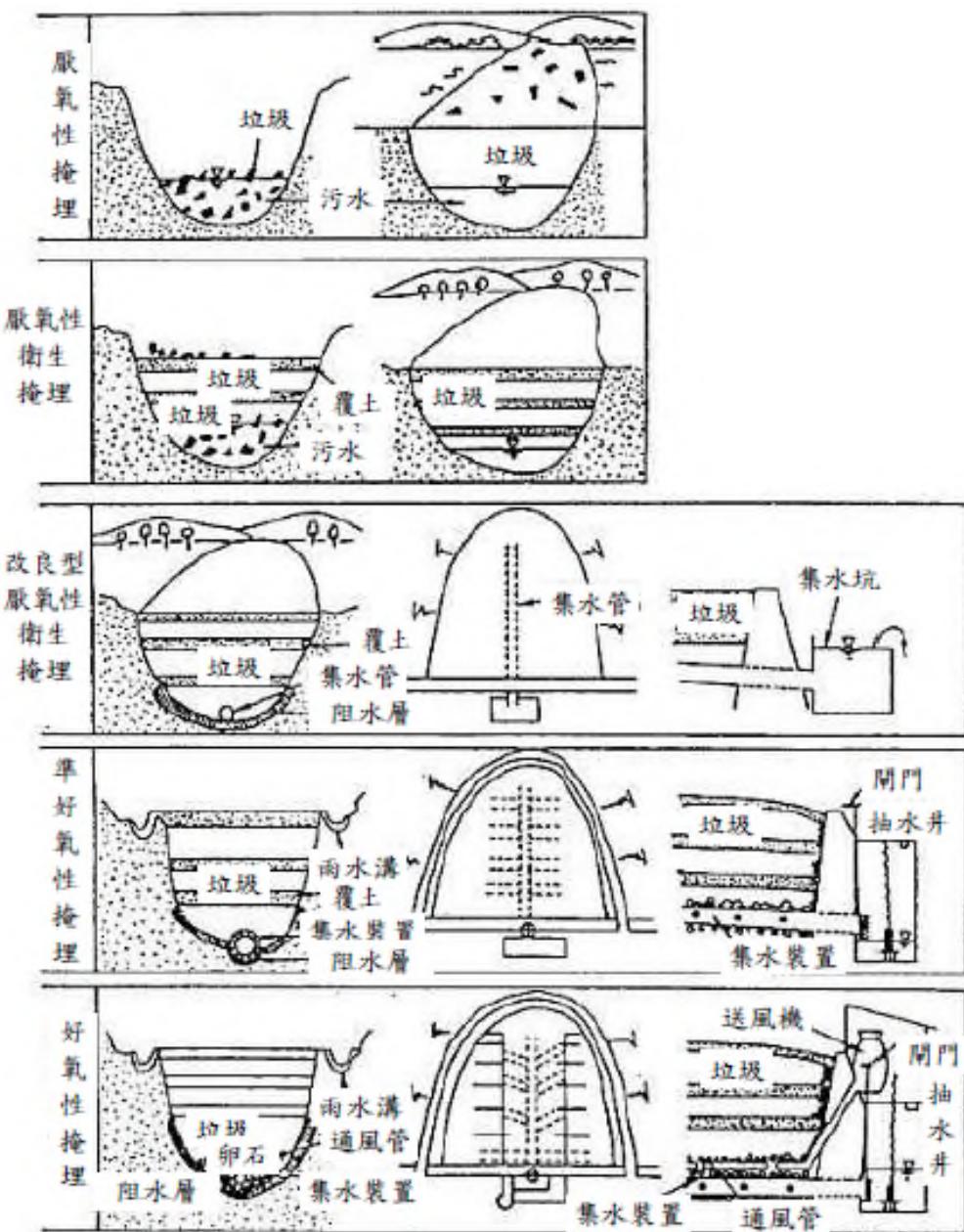


圖 3.3、掩埋場構造之種類

- (一) 厥氧化性掩埋—露天傾棄式。
- (二) 厥氧化性衛生掩埋—有覆土但無其他任何污染防治設施與措施。
- (三) 改良型厥氧化性衛生掩埋—為現行之衛生掩埋法，有完善的污染防治設施與措施。
- (四) 準好氧化性掩埋—設置較大管徑之滲出水集排系統，以及較多之通氣井，滲出水集水井水位低於滲出水管，藉由自然通風，使大氣中之氧氣可由集水管進入掩埋層內，行好氧化性生物反應。

(五) 好氧性掩埋—集水管上設通風管，其上再鋪設空氣擴散層，強制通風使掩埋層保持好氧狀態，以提高廢棄物安定化速率，宛如長期堆肥化處理，可做資源利用。

改良之「循環式準好氧性廢棄物掩埋構造」，係將掩埋場視為一生物處理生態體系，以工程控制手段，設置足量的通氣井以擴大場內好氧性環境的範圍，並藉滲出水循環回到掩埋層內，促進場內微生物之代謝活性以加速有機物的分解，可有效降低滲出水中有機污染物之濃度，並提升水分蒸發量，顯著減少滲出水量，因處於好氧環境故無污染氣體與惡臭排放，更有助於廢棄物掩埋層的早期安定化。此種循環式準好氧性掩埋構造如圖 3.4 所示，而為擴大好氧性範圍之通氣豎井之構想如圖 3.5 所示。此種掩埋構造預期具有下列功能：

- (一) 促進廢棄物之早期安定化。
- (二) 滲出水之淨化。
- (三) 改善滲出水水質並減少滲出水量。
- (四) 減少氣體引發之臭味和污染。

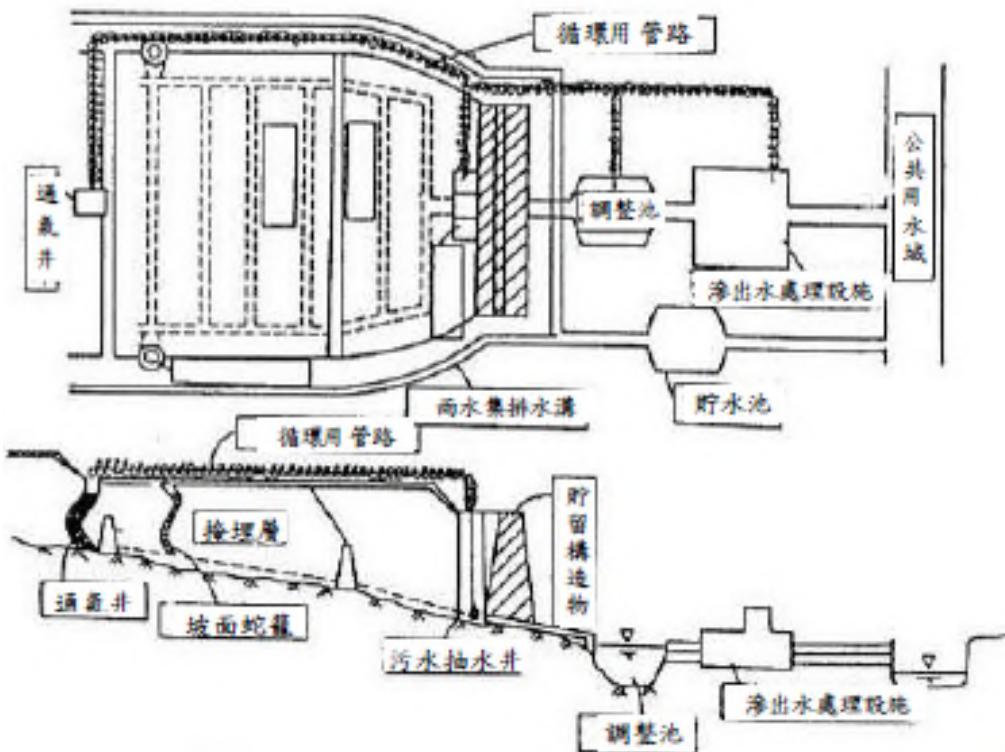


圖 3.4、循環式準好氧性掩埋構造

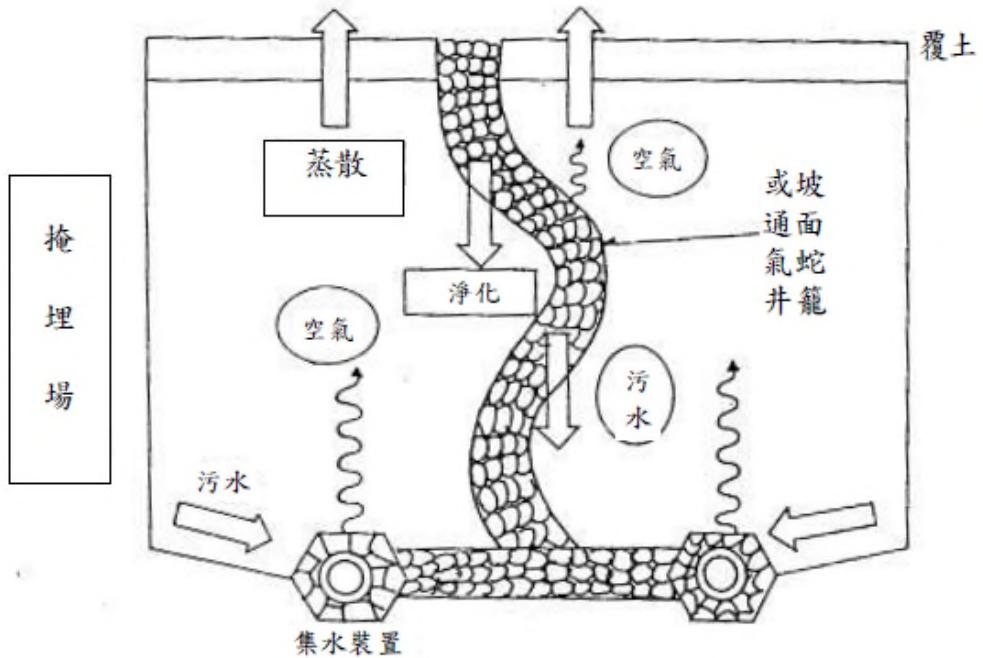


圖 3.5、藉通氣豎井擴大好氧性環境範圍

肆、最終處置相關規定

一、最終處置之設施標準

依據「一般廢棄物回收清除處理辦法」以及「事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準」，掩埋處置設施相關規定如表 4.1 所示。由於最終處置屬於廢棄物「處理」方法之一，故於「一般廢棄物回收清除處理辦法」中對於 3 種廢棄物掩埋設施之共同規定，均要求須遵循該辦法中第 19 條「處理」設施之規定。

表 4.1、掩埋處置設施規定

處置方法	安定掩埋法	衛生掩埋法	封閉掩埋法
共同規定	一般廢棄物處理之共同規定如下：（一般廢棄物回收清除處理辦法第19條） 1. 具堅固之基礎結構。 2. 設施與廢棄物接觸之表面採抗蝕材料構築。 3. 周圍具防止地表水流入之設備。 4. 具污染防治設備及防蝕措施。		
	廢棄物掩埋共同規定如下： 1. 周圍設圍牆、障礙物及防止飛散之設備或措施。 2. 有地盤滑動、沉陷之虞者，應設置防止之措施。 3. 依掩埋廢棄物之特性及掩埋場址地形、地質條件設置水土保持措施。 4. 其他經主管機關規定者。		
主要設施	於入口處豎立標示牌，標示廢棄物種類、使用期限及管理人。	1. 於入口處豎立標示牌，標示廢棄物種類、使用期限及管理人（一般廢棄物），或於入口處豎立標示牌，標示管理人、掩埋廢棄物種類、掩埋區地理位置、範圍、深度及最終掩埋高程（事業廢棄物）。 2. 掩埋之底層及周圍應以透水係數低於 10^{-7} 公分/秒，並與廢棄物或其滲出水具相容性，厚度 60 公分以上之砂質或泥質黏土或其他具相當阻水功能之材料作為基礎，或以透水係數低於 10^{-10} 公分/秒，並與廢棄物或其滲出液具相容性，單位厚度	1. 入口處豎立標示牌同事業廢棄物衛生掩埋。 2. 具備滲出液之收集及處理設施。 3. 須於掩埋場周圍，依地下水流向，於上下游各設置 1 口以上監測井。 4. 掩埋場應有抗壓及抗震之設施。 5. 掩埋場應鋪設進場道路，其寬度為 5 公尺以上。 6. 應有防止地面水、雨水及地下水流入、滲透之設施。 7. 掩埋場之周圍及底部設施應以具有單軸抗壓強度 245 公斤/平方公分以上，厚度 15 公分以上之混

處置方法	安定掩埋法	衛生掩埋法	封閉掩埋法
		<p>0.2 公分以上之人造不透水材料作為基礎。(110年2月22日修正施行後新設之衛生掩埋場，其底層及周圍應以透水係數低於 10^{-7} 公分/秒，並與廢棄物或其滲出液具相容性，厚度 60 公分以上之砂質或泥質黏土或其他具相當阻水功能之材料作為基礎，及以透水係數低於 10^{-10} 公分/秒，並與廢棄物或其滲出液具相容性，單位厚度 0.2 公分以上之人造不透水材料作為襯裡)</p> <p>3. 具備滲出水(液)之收集及處理設施(一般廢棄物衛生掩埋滲出水收集後，送至掩埋場外處理者，其報經上級主管機關核准，得不設置滲出水處理設施)。</p> <p>4. 依掩埋場周圍之地下水流向，於上下游各設置 1 口以上監測井。</p> <p>5. 設置滅火器或其他消防設備。(事業廢棄物僅限掩埋有機性廢棄物者)</p> <p>6. 具備沼氣(廢氣)收集、處理或再利用設施。(事業廢棄物僅限掩埋有機性廢棄物者)</p> <p>7. 其他經主管機關規定者。</p>	<p>凝土或其他具有同等封閉能力之材料構築。</p> <p>8. 掩埋面積每超過 50 平方公尺或掩埋容積超過 250 立方公尺者，應予間隔，其隔牆及掩埋完成面以具有單軸抗壓強度 245 公斤/平方公分、壁厚 10 公分以上之混凝土或其他具同等封閉能力之材料構築。</p> <p>9. 掩埋場底層，應以透水係數低於 10^{-7} 公分/秒，並與廢棄物或其滲出液具相容性，厚度 60 公分以上之砂質或泥質黏土或其他相當之材料作為基礎，及以透水係數低於 10^{-10} 公分/秒，並與廢棄物或其滲出液具相容性，單位厚度 0.2 公分以上之人造不透水材料作為襯裡。</p> <p>或設置下列連續 3 層設施：</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 掩埋場底層及周圍設施覆以透水係數低於 10^{-7} 公分/秒、厚度 90 公分之黏土，再覆以單位厚度 0.076 公分以上雙層人造不透水材料。 ● 中層須覆以透水係數大於 10^{-2} 公分/秒、厚度 30 公分以上之細砂、碎石或其他同等材料並設置滲出液偵測及收集設施，再覆以透水係數低於 10^{-7} 公分/秒、厚度 30 公分黏土層。 ● 上層須覆以透水係數大於 10^{-2} 公分/秒、厚度 30 公分以上之細砂、砂石或其他同等材料，並

處置方法	安定掩埋法	衛生掩埋法	封閉掩埋法
			設置滲出液收集設施，再覆以厚度30公分砂質或泥質黏土。 10. 依有害事業廢棄物之種類、特性及掩埋場土壤性質，採防蝕、防漏措施。 11. 其他經中央主管機關公告之事項。
每日覆土		應覆蓋厚度 15 公分以上之砂土或封層劑，並予以壓實。(事業廢棄物未規定覆土土質)	
最終覆土	應覆蓋厚度 50 公分以上之砂質或泥質黏土。	應覆蓋厚度 50 公分以上之砂質、泥質黏土、皂土或具相同阻水功能之地工材料組合等阻水材料。	應先覆以厚度 15 公分砂質或泥質黏土，再覆蓋透水係數低於 10^{-10} 公分/秒、單位厚度 0.2 公分以上之人造不透水材料及厚度 60 公分以上之砂質或泥質黏土，並予壓實。

資料來源：本教材編撰整理。

依據「一般廢棄物回收清除處理辦法」，一般廢棄物之灰渣（通常指垃圾焚化飛灰）採穩定化法處理後以衛生掩埋處理者，應獨立分區掩埋，並應符合下列規定：

- (一) 設置獨立之滲出水收集系統及獨立分區設施，以雙層不透水材質所構築，並設置間隔堤（牆）及防止滑動、崩塌之設施，並符合第 29 條之規定（衛生掩埋設施標準）。
- (二) 每季定期檢測滲出水處理後，及上下游之地下水監測井水質，檢測項目應包括重金屬砷、鎘、鉻、銅、鉛、汞、鎳及鋅。如滲出水處理後水質超過放流水標準或地下水監測井水質監測結果低於地下水污染管制標準而達地下水污染監測標準者，掩埋場之管理機關應於取得監測結果 1 個月內向當地直轄市、縣（市）主管機關提報因應措施，經其同意後執行。
- (三) 獨立分區掩埋處理之區域或專屬灰渣掩埋場，得不受第 29 條第 1 項第 8 款（具備沼氣收集、處理或再利用設施。）及第 30 條第 1 項第

1 款規定限制。(每日工作結束時，應覆蓋厚度 15 公分以上之砂土或同等效果之封層劑，覆蓋後並予以壓實。)

二、禁止直接掩埋之規定

下列之事業廢棄物依規定不得直接以掩埋處理：

- (一) 非屬水污染防治法所規範之液體事業廢棄物，除經中央主管機關核可者外，禁止直接以掩埋法處理。(事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準第 30 條)
- (二) 事業廢棄物依規定應先經中間處理，而未遵行者。(事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準第 34 條)
- (三) 不具相容性之事業廢棄物不得合併掩埋。(事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準第 30 條)

伍、衛生掩埋場基本計畫

一、掩埋場基本計畫

掩埋場係廢棄物之最終處置場，掩埋廢棄物之後，為避免產生二次公害，對滲出水可能發生之問題，原則上應能做長期性的監視管理，因此廢棄物掩埋處理應依各該區域之特性與條件、廢棄物之種類與數量等妥善規劃並有計畫地作業。掩埋場規劃之進行步驟如表 5.1 所示。

表 5.1、掩埋場規劃之進行步驟

階段		計畫內容
1	場址之選定	<ul style="list-style-type: none">· 對環境影響較小之處· 將來之利用計畫（公園、綠地等）· 居民之參與
2	掩埋場之設計	<ul style="list-style-type: none">· 環境污染防治之設計· 掩埋對象廢棄物之設定· 運送路線之設計· 掩埋方法之設計· 資金費用之籌措
3	掩埋場之施工及營運	<ul style="list-style-type: none">· 掩埋管理體制之確立（包括環境管理）· 經費負擔之體系
4	掩埋後之長期管理	<ul style="list-style-type: none">· 掩埋場利用計畫之實施· 長期管理體制之確立（定期的環境監測）· 異狀時對應體制之確立

(一) 場址之選擇

掩埋場之規模，通常須能掩埋該區域 10 年以上之廢棄物排出量為目標，大都會地區之廢棄物排出量多，掩埋場之規模大，掩埋場所可能引起之自然環境變化以及對生態之長期影響，須審慎檢討評估後，選擇影響較小之地點。

1. 場址選擇考慮因素

掩埋場之選擇，除應確保所需要之掩埋處置容量之外，亦應考慮下列各項因素，期能衛生、安全且經濟地處理廢棄物。

- (1) 應避開地面水、伏流水、地下水等水量豐富之處以及水源或取水口之上游地區，以防滲出水污染公共水域。

- (2) 應避開地層滑動之地帶，崖崩危險地帶以及雨水集水區較大之處，以防自然災害之發生。
- (3) 應遠離農地、森林或住宅區等，以防火災、廢氣或蟲類危害。
- (4) 應就收集清運之距離與交通量檢討經濟性與安全性。
- (5) 應調整其與都市計畫或開發計畫之關係，並考慮完成後之土地利用計畫。
- (6) 應有適當覆土來源。

都市垃圾掩埋場之場址勘選應根據垃圾處理基本計畫之內容，參考計畫目標年所需之掩埋場容積後，依圖 5.1 所示之研選作業流程，調查場址之自然環境、人文環境等基本資料，參酌表 5.2 所示之評估項目考慮範圍及評點準則進行一序列之評選，由可能的候選場址中考量場址自然條件、經濟條件、環境條件及社會人文條件，選擇適合可行的場址。

2. 場址選擇配合條件

在選擇廢棄物掩埋場位址時，有許多相關之條件必須配合考慮：

- (1) 接近轉運站或焚化廠之位置：處理位置接近轉運站或焚化廠，則土地之取得較易，且可有現有運送道路可予利用。
- (2) 工業區附近：由於工業區多接近主要道路，交通問題較易解決。
- (3) 濱海地區：濱海地區人口分散處所，由於地形及氣候條件狀況不同於內陸或各地，而可能較有利於空氣污染物之擴散稀釋。
- (4) 考慮設計容量與分期設置：設計容量與成本有關，分期設置之考慮亦同，在規劃時即應依設施容量及分期需要擬定用地。
- (5) 將現有處理用地轉為焚化廠或其他處理方法用地：基於處理原則考慮，或無其他較合適之處理場址位置時，可考慮將現有用地轉變為其他用途之用地。

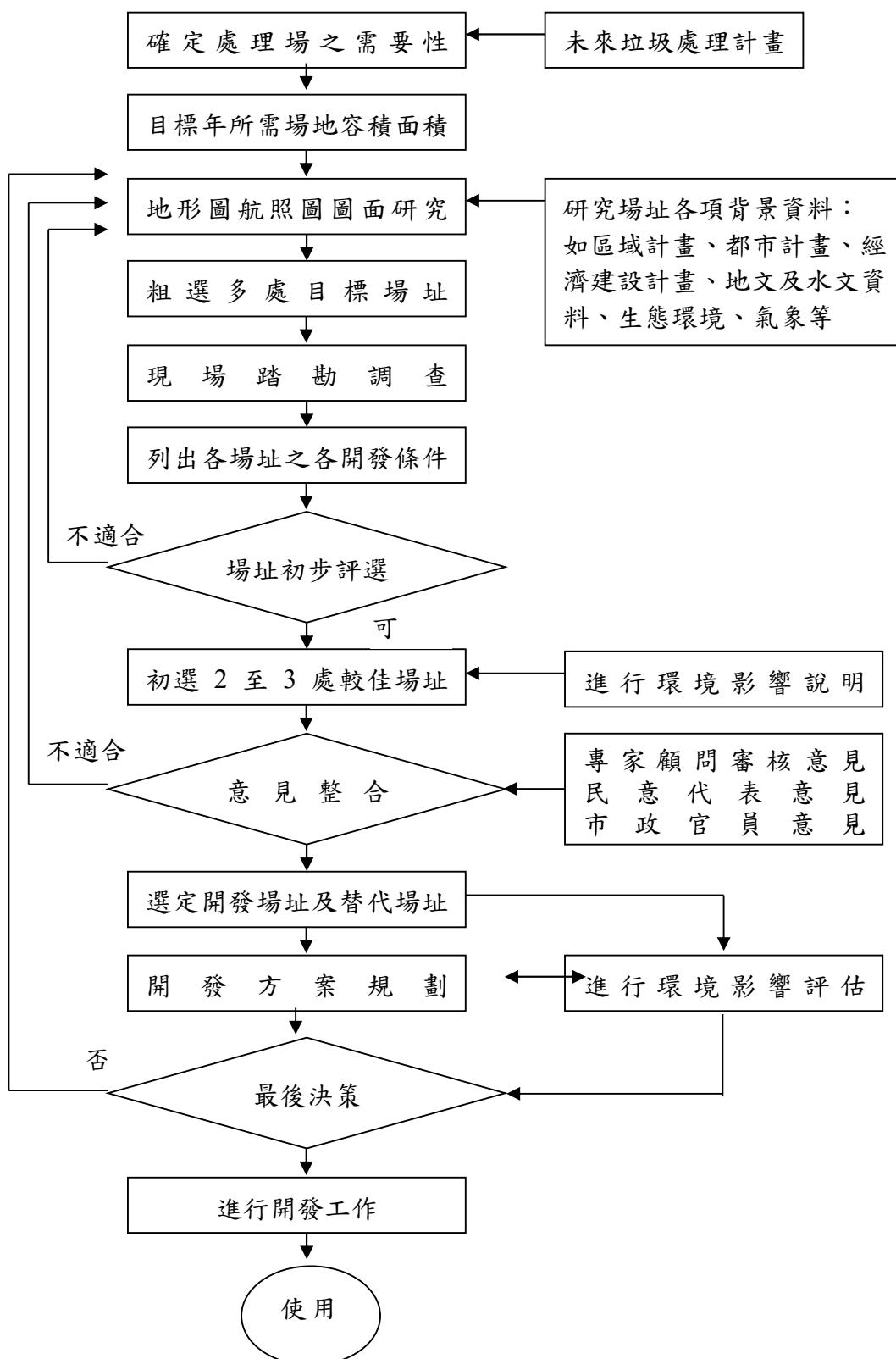


圖 5.1、垃圾處理場場址研選作業流程

表 5.2、場址評選項目及主要考慮範圍

單元	評估項目	評點準則說明
A 自然 條件	A1 地層/地質	<ul style="list-style-type: none"> 於斷層、滑動地帶或易崩塌者評點低、地層結構穩定者評點高，若上述情況不顯著，則評點中等。
	A2 地形/地勢	<ul style="list-style-type: none"> 坡度陡而四周開闊者評點低，坡度平緩而四周有適度天然屏障者評點高。
	A3 降雨量/集水面積	<ul style="list-style-type: none"> 雨量多、集水面積大者評點低，反之則高。
	A4 掩埋容積/年限	<ul style="list-style-type: none"> 容量小者（2 年以下）評點低，容量大者（15 年以上）評點高。
	A5 用地面積	<ul style="list-style-type: none"> 可作為基地面積小者評點低，反之則高。
	A6 土壤	<ul style="list-style-type: none"> 透水係數大於 10^{-4} cm/s 評點低，小於 10^{-7} cm/s 者評點高，介於上述二者之間則評為中等。
B 經濟 條件	B1 土地權屬	<ul style="list-style-type: none"> 場址為私有地且洽購或租用阻力大者評點低，若為公有土地且可撥用者評點高，可租用或洽購之公私有地則評點中等。
	B2 地價/補償費	<ul style="list-style-type: none"> 地價補償費愈高者評點低，反之則高。
	B3 清運距離	<ul style="list-style-type: none"> 考慮清運經濟效益，距離過遠則評點低，較近者評點高。
	B4 預計工程投資	<ul style="list-style-type: none"> 單位工程投資大者評點低，小者評點高。
	B5 最終土地利用	<ul style="list-style-type: none"> 使用後任其荒蕪者評點低，有計畫使用為公園綠地者評點高。
	B6 覆土來源	<ul style="list-style-type: none"> 須由外界取土至場內者評點低，反之則高。
C 環境 條件	C1 地面水	<ul style="list-style-type: none"> 距河川、湖泊近者易造成污染（1 公里以內）者評點低，較遠（5 公里以外）者評點高。
	C2 地下水	<ul style="list-style-type: none"> 地下水接近地表（3 公尺以內）者評點低，相距大者評點高。
	C3 風向/風速	<ul style="list-style-type: none"> 場址與下風處住家之距離 500 公尺以內者評點低，4 公里以上者評點高。
	C4 動植物分布	<ul style="list-style-type: none"> 場址位於稀有動植物棲息地者評點低，反之則高。
	C5 景觀	<ul style="list-style-type: none"> 場址附近 1 公里內有風景區者評點低，4 公里內無風景區者評點高。
D 社會 人文	D1 人口分布	<ul style="list-style-type: none"> 場址區域 200 公尺內有住戶者評點低，反之則高。
	D2 場址使用行政劃分	<ul style="list-style-type: none"> 場址若為多個行政區共同使用，管理協調不易者評點低，若為單一行政或多行政區共同使用且易協調者評點高。
	D3 土地使用現況	<ul style="list-style-type: none"> 若原為工、商、公共用地或住宅用地者評點低，若為空地或曠野者評點高。
	D4 大眾健康安全	<ul style="list-style-type: none"> 若因垃圾車進出或掩埋場營運，產生噪音、臭味、廢氣則評點低，若不致造成上述問題者評點高。

註：評點分級如下：



尺度適合性

(二) 掩埋容量與覆土量之決定

計畫掩埋容量係指掩埋開始至計畫目標年為止之每年掩埋處置容量的總和加上覆土容量所得之值。掩埋之規模則依計畫掩埋容量、既有掩埋場之大小，並斟酌用地取得之難易、廢棄物收集清運之便利與否以及掩埋場之管理等條件來決定。由於一個掩埋處置場之計畫、調查與設計往往需時數年，因此掩埋場之計畫通常以 10-20 年為計畫目標年，期能確保足夠掩埋容量，惟應參考廢棄物成長量、掩埋場規模、投資效益等地區性實際狀況後決定之，以利掩埋處置計畫之進行。

計畫掩埋總容量，可以參照圖 5.2 之流程，由計畫處置廢棄物總量、廢棄物單位容積量、覆土因素及體積減少率求得，以都市垃圾為例，其推算式如下：

$$V = \frac{P \times E \times 365 \times C}{D} \times (1 - Q) \quad (5-1)$$

式中

V：每年掩埋處置容量（立方公尺/年）

P：計畫平均清運人口（人）

E：計畫平均每人每日清運垃圾量（公斤/人·日）

D：掩埋垃圾之單位容積重（公斤/立方公尺），一般垃圾之 D 值為 200-250 公斤/立方公尺

C：覆土因素，視掩埋垃圾之種類、地形，最終土地利用計畫而定，若覆土容量為掩埋垃圾之 17-33% 時，C=1.17-1.33

Q：體積減少率，視掩埋施工而定，一般可取 65%

由以上之近似式求得每年掩埋處置容量 (V)，逐年相加即為總掩埋容量 (V_t)，亦即：

$$V_t = V_1 + V_2 + V_3 + \dots \quad (5-2)$$

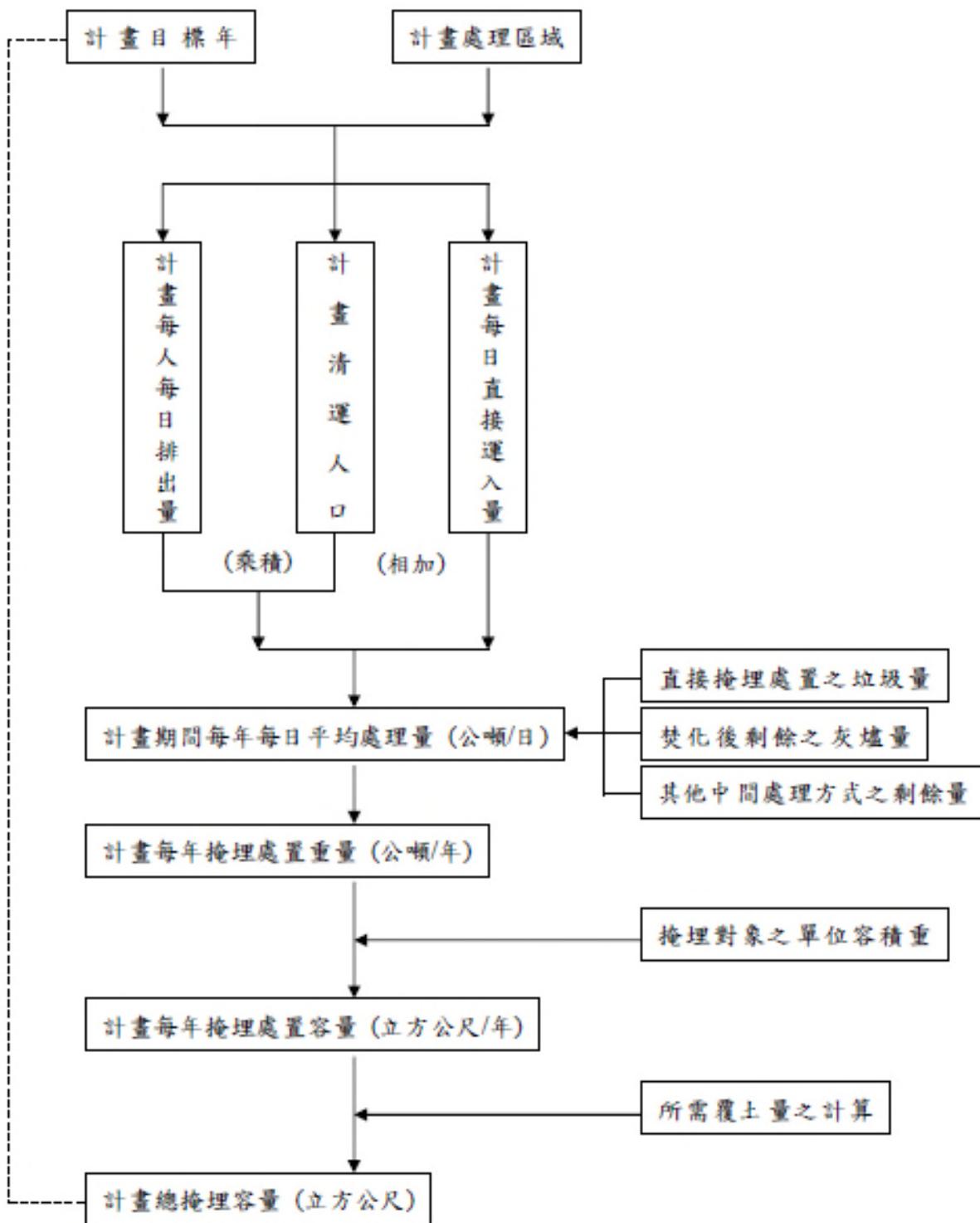
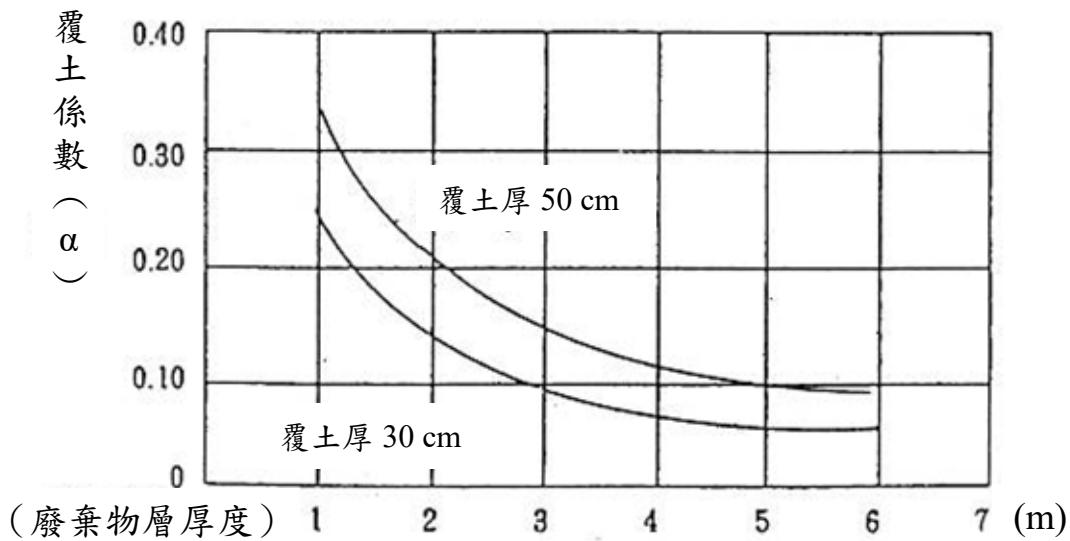


圖 5.2、計畫總掩埋容量之研訂流程

至於覆土容量的計算，應先依掩埋處置之廢棄物種類、地形、最終土地利用計畫等決定之，一般 $4\text{-}6\text{ m}^3$ 之垃圾需要 1 m^3 之覆土量，若 $C=1.20$ 時，覆土總容量 $(V_s)=(1-1/C)V_t=0.167 V_t$ 。覆土容量的計算亦可參考式(5-3)及圖 5.3 的經驗公式及曲線求得之。



資料來源：1.日本東京都實驗結果。

2.「廢棄物處理設施技術管理者資格認定講習」，財團法人日本環境衛生中心，1981年8月25日。

圖 5.3、廢棄物層厚度與覆土係數之關係

$$\text{覆土量 } (m^3) = \frac{\text{投入廢棄物重量(公噸)} \times \alpha}{\text{廢棄物壓實後之單位容積重量(公噸} / m^3)} \quad (5-3)$$

α 為覆土係數，其值由廢棄物層之厚度及覆土厚度決定，由圖 5.3 之關係曲線，可查得各種狀況下應採用的覆土係數值。

[計算例]

某公司之計畫資料如下： $P=20$ 萬人， $E=1.0$ 公斤/人·日， $D=200$ 公斤/立方公尺， $Q=65\%$ ， $C=1.20$ ， $T=10$ 年。若垃圾全量以衛生掩埋法處理，試計算計畫掩埋總量 V_t 與覆土總容量 V_s 。

[解]

$$V = \frac{20 \times 10^4 \times 1.0 \times 365 \times 1.20}{200} \times \left(1 - \frac{65}{100}\right) \doteq 153,300 m^3$$

$$V_t = 153,300 \times 10 = 1,533,000 m^3$$

$$V_s = \left(1 - \frac{1}{C}\right) V_t = \left(1 - \frac{1}{1.2}\right) \times 1,533,000 = 256,011 m^3$$

(三) 掩埋場基本設施

衛生掩埋場之主要目的在於將廢棄物（垃圾）適當地貯存，且利用自然界之代謝機能將其安定化、無害化。由於廢棄物在進場、移動、掩埋及安定化各階段，會有環境問題諸如廢棄物之存在與飛散，沼氣、臭氣、病媒害蟲，以及地面逕流水、地下水、浸泡水、剩餘水、滲出水等，因此掩埋場必須具下列功能，以防止二次公害的發生。

1. 貯存功能—具適當的容量及安定的結構，以貯存廢棄物及所產生的滲出水。
2. 阻斷功能—具適當的阻斷能力將廢棄物及可能產生之滲出水、沼氣等污染物與周圍之環境隔絕。
3. 處理功能—具適當的設施及操作條件之控制，以有效且安全衛生地使廢棄物及早趨於安定，並將產生的滲出水及沼氣予以收集、處理後排除。

為期能發揮上述功能，衛生掩埋場必須具備圖 5.4 所示之一般工程設施、污染防治設施以及管理設施等基本設施，其系統概要如圖 5.5 所示。

(四) 替代方案

掩埋場基本計畫應該有替代方案，替代方案首重場址之替代方案，其次則為工程設施、污染防治設施、施工方法、營運管理等替代方案之研擬。

1. 替代管理方案

本項方案之目的為在掩埋處理方式外，另採其他方法減少處理量或回收可用資源，以降低對於掩埋場之依賴，可行方法包括：

- (1) 源頭減少丟棄量。
- (2) 分類收集。
- (3) 設置資源回收站。
- (4) 掩埋場內資源回收等。

2. 無計畫措施方案

由於人口迅速增加，地區廢棄物之產出量亦會隨之增加，將加速減短現有公設處理設施之使用年限，若採取無計畫措施方案，須說明廢棄物增加估計及可採用處理方式，其對現有處理系統使用之影響，不設置焚化爐等設施後，地區性之空氣品質及其他環境因子之影響，其他處理設施增加處理負擔有關之環境影響等。

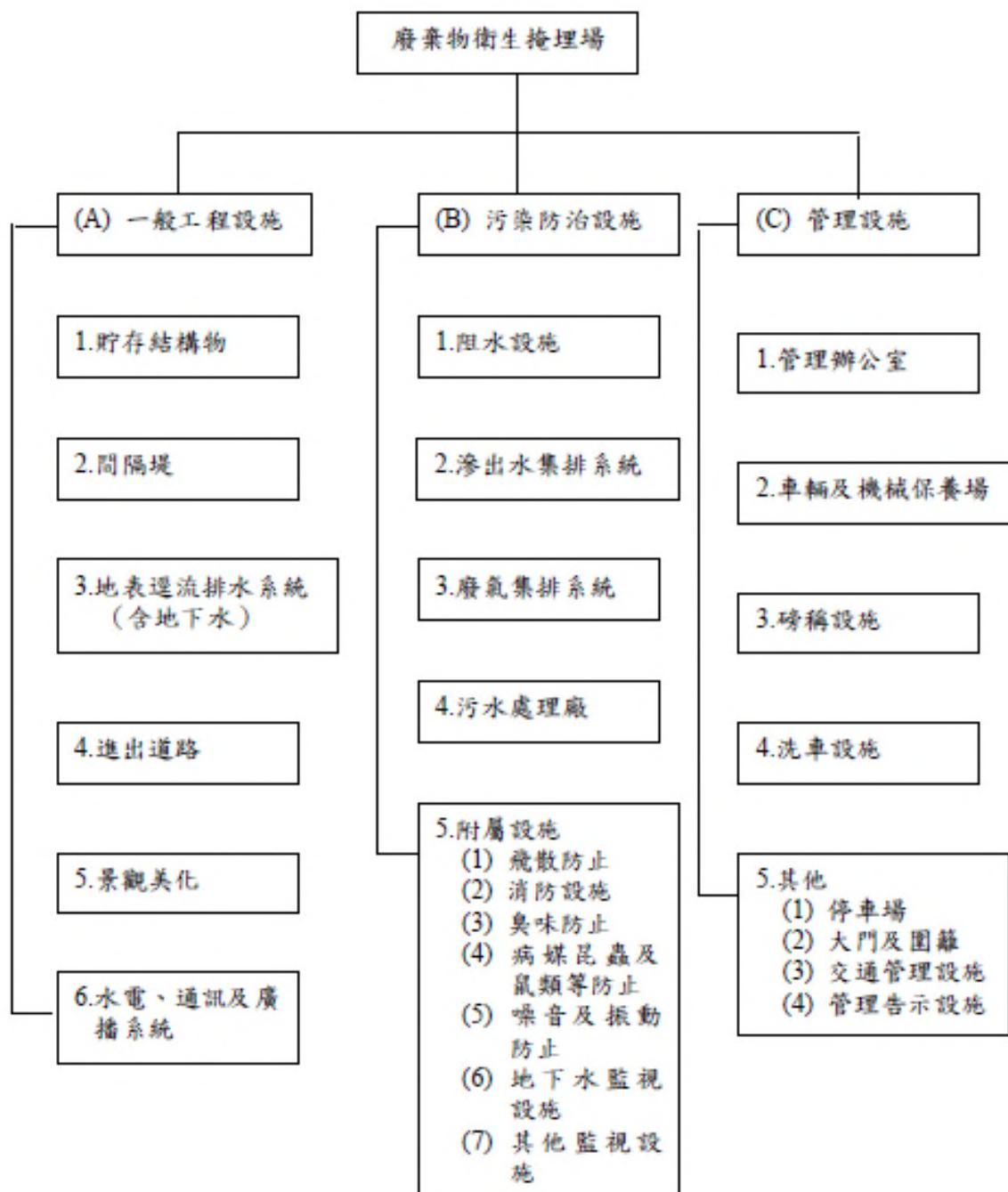


圖 5.4、衛生掩埋場之基本設施

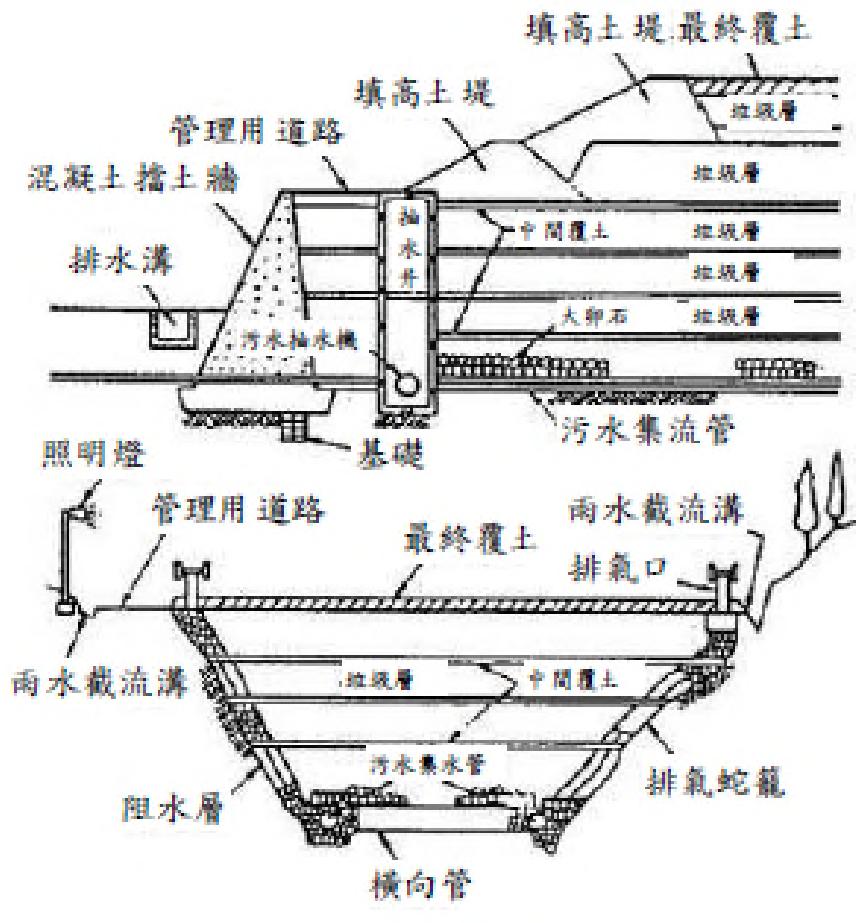
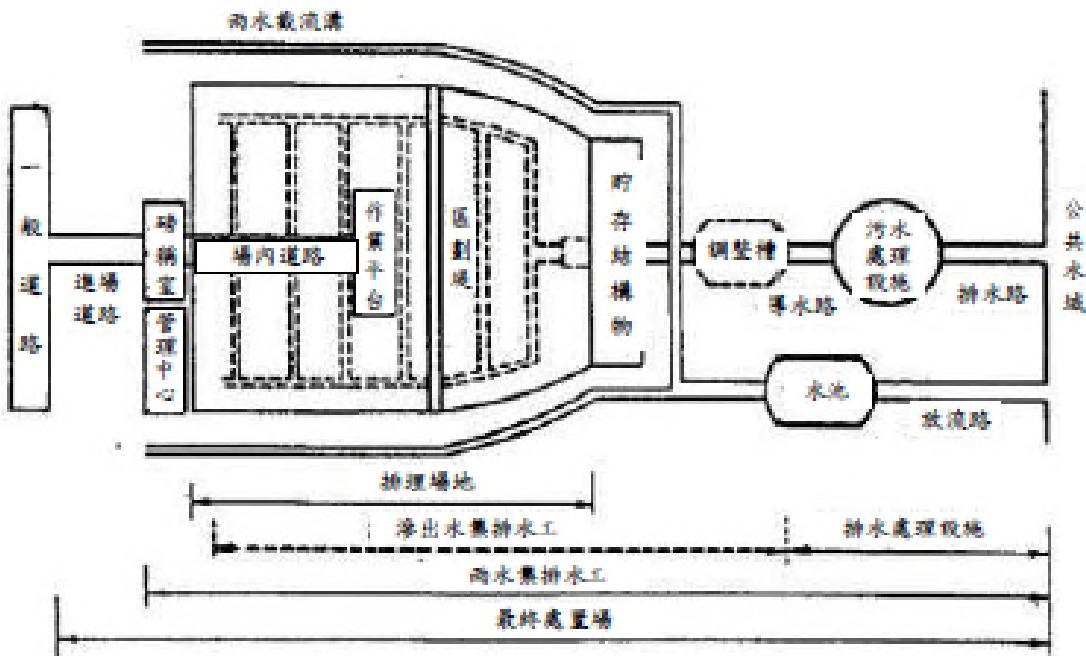


圖 5.5、衛生掩埋設施系統概要

(五) 環境影響評估

環境影響評估民國 74 年行政院核定「加強推動環境影響評估方案」邁入制度化階段，環境影響評估法於 83 年底通過立法後，數以百計的開發計畫依此制度提交「環境影響說明書」或「環境影響評估報告書」送審，本節將依序就環評作業步驟中涉及之廢棄物掩埋場環評關鍵事項，除重要相關法規節錄陳述以外，列舉方案評選、評估書製作等補充說明。

1. 初步規劃

廢棄物掩埋場之設置必須經由初步規劃及環境影響評估之作業，相關流程如圖 5.6 所示。設置之初步規劃，應考量下列基本事項，並輔以環境影響評估亦涉及之現勘、民眾參與、政治情勢，擬定計畫：(1)計畫目標年；(2)計畫處理區域；(3)計畫處理量；(4)計畫最大日處理量；(5)計畫廢棄物性質；(6)設施設置位置之選擇；(7)設施規模之設定；(8)設施規格型式之研選；(9)基本配置計畫；(10)環境監測計畫；(11)安全衛生措施；(12)其他環保措施。

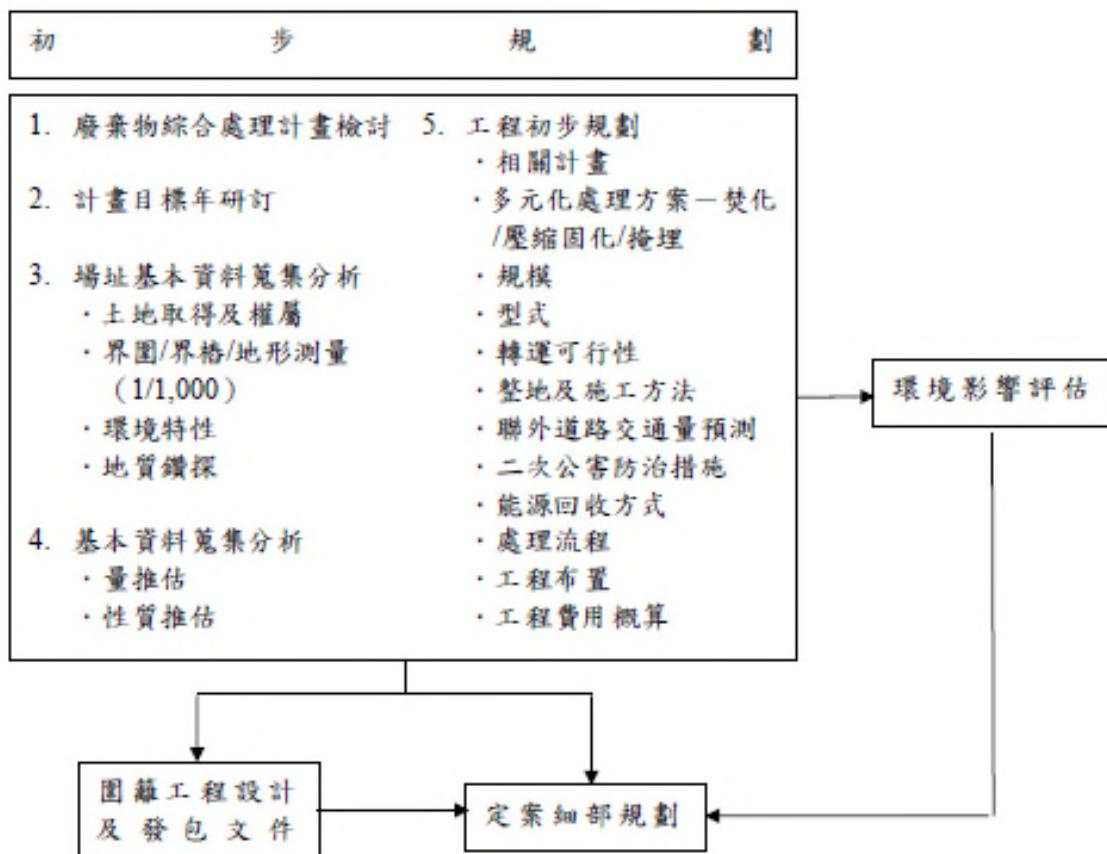


圖 5.6、工程規劃與環評作業相關流程

2. 對環境之影響

依開發行為環境影響評估作業準則，規劃廢棄物掩埋場及廢棄物焚化（資源回收）廠工程（含轉運站）時，應評估處理流程中以掩埋或儲存或其他方式處理廢棄物產生臭味及滲出水之影響，其處理設施應妥善規劃。訂定廢棄物掩埋未能即日覆土或天候不良條件下之防制應變計畫。對於掩埋場封閉或使用期限屆滿後之復育計畫、土地利用計畫以及二次污染問題，應預為規劃研擬因應對策。

3. 環境影響對策

開發單位應妥善規劃廢棄物清運工具、運輸時段及運輸路線，預防廢棄物運送所引起之臭味、噪音、振動污染及交通影響。

開發單位規劃廢（污）水處理系統、廢棄物處理系統、轉運站或廢棄物掩埋場時，均應考慮未來其營運管理維護之實務問題，訂定營運管理計畫。環境管理計畫主要應涵蓋：(1)環保人力與組織計畫；(2)環境監測計畫；(3)緊急應變計畫；(4)環境衛生管理計畫；(5)施工環保執行計畫等。

環境影響之對策，需充分考量廢棄物處理設施之設置及其操作營運過程可能產生二次公害及環境影響問題，例如針對廢棄物掩埋場之設置及其操作營運考慮：

- (1) 地震之影響。
- (2) 運送及轉運貯放飛散污染。
- (3) 運送車輛噪音干擾。
- (4) 掩埋設施運轉噪音干擾。
- (5) 病媒傳染危害。
- (6) 對地區動植物之損害。
- (7) 火災及爆炸危害。
- (8) 施工中土壤沖蝕流失。

- (9) 地面、地下水質污染。
- (10) 車輛廢氣排放。
- (11) 臭味逸出。
- (12) 交通車輛及施工中灰塵影響。
- (13) 景觀視覺影響。
- (14) 地區交通干擾。
- (15) 土地使用影響。
- (16) 地區人文社區影響。
- (17) 歷史古蹟文物之影響。

於掩埋場之規劃設計階段，盡可能選用低污染性機具、建材，將進出道路避開住宅與生態保護區，以減少噪音、振動、空氣、水質及景觀方面等之負面影響。施工、掩埋及掩埋完成後等不同階段之污染防治措施摘要如表 5.3。

4. 環境監測計畫

衛生掩埋場計畫，必要時應對周圍環境狀況進行監測，以保護自然環境。施工階段監測水域水質、噪音、空氣品質等項目，掩埋時監測水域水質（包括地下水）、廢氣成分、惡臭、病媒等，而掩埋完成後則除水質、廢氣成分之監視外，宜包括掩埋層之沉陷。

表 5.3、掩埋場計畫之環境保護對策

計畫階段 環境參數	施工階段	掩埋階段	掩埋完成後 (至穩定化為止)
水污染	<ul style="list-style-type: none"> 做好水土保持，設置沉砂池等 控制水泥凝固劑、化學藥劑使用量，選用低污染性材料 	<ul style="list-style-type: none"> 截集地面水/地下水，收集滲出水並妥善處理（排水、截水） 監測地面水、地下水水質 	<ul style="list-style-type: none"> 截集地面水，收集滲出水並適當處理 監測地面水、地下水水質
空氣污染 (惡臭)	<ul style="list-style-type: none"> 選用低污染性機具、建材 適時灑水 設防塵網、罩 調整運輸路線 	<ul style="list-style-type: none"> 適時灑水、覆土、植生 廢氣導排及處理或利用 控制掩埋面，配合除臭劑 監測空氣品質，惡臭成分 	<ul style="list-style-type: none"> 廢氣導排、處理，並注意維修 監測空氣品質
噪音/振動	<ul style="list-style-type: none"> 選用低污染機具並妥善維修 調整施工時間/運輸路線 改善路面，設防音屏 	<ul style="list-style-type: none"> 選用低污染機具並妥善維修 調整運輸路線/掩埋作業時間 	_____
病媒害蟲	_____	<ul style="list-style-type: none"> 密閉式廢棄物清運設備 噴灑藥劑/適時覆土 	<ul style="list-style-type: none"> 隨時填補裸露部分，避免孳生病媒
廢棄物	<ul style="list-style-type: none"> 施工之廢棄物妥善處理 	<ul style="list-style-type: none"> 密閉式廢棄物清運設備 適當貯存構造與掩埋技術 適時覆土，設置圍籬、飛散防止網 	<ul style="list-style-type: none"> 隨時填補裸露部分，防止飛散、流失 監視掩埋場址下陷情況
自然環境保護 (景觀、動植物、遊憩、地形、地質)	<ul style="list-style-type: none"> 指定運輸路線，設緩衝區 依自然環境條件、檢討設施高度、形狀、顏色等 指定施工期（避免海水浴場利用期、候鳥出現期、生物繁殖期） 	<ul style="list-style-type: none"> 指定運輸路線 適時覆土、植生、綠化 生態環境監測 	<ul style="list-style-type: none"> 最終覆土、植生綠化 生態環境監測

二、一般工程設施

(一) 掩埋場進出道路

掩埋場進出道路以大門為界，分為進場道路（或稱聯外道路）與場內道路兩種。

1. 進場道路

掩埋場進場道路之設置，應考慮交通量、現有道路狀況、車輛進出頻率等，以決定所需道路寬度、路線，妥擬新闢道路或拓寬道路計畫。其中掩埋場之進出場道路與場址所在地之交通有關，應要求符合公路路線設計規範，以避免因路面顛簸、狹窄造成溢漏、飛散或車禍意外，同時可以增進掩埋場附近居民之福利，減低民眾對掩埋場之抗拒心理。通往掩埋場之進出道路設計準則，必須配合交通部「交通技術標準規範公路類公路工程部，公路路線設計規範」之要求。求該規範所述之公路等級，係依最低設計速率、地區分類與功能系統等因素分為 6 級。就掩埋場而言，多設於鄉區，且由集匯公路或地區公路連絡主次要幹道，故應以第六級公路之道路標準為掩埋場進出道路之最低設計基準，六級公路設計基準如表 5.4 所示。

表 5.4、第六級公路設計基準

系統分類	行政系統	縣道、鄉道、專用公路		
	功能系統	集匯公路、地區公路		
地區分類	鄉區			
	平原 丘陵 山嶺			
最低設計速率（公里/小時）	40 30 30			
橫斷面	車道寬	3.00-3.75 公尺，單車道 $W \geq 4.5$ 公尺		
	路肩寬	外側 1 公尺，內側 0.5 公尺		
	路面種類與正常路拱 NC (%)	<ul style="list-style-type: none">瀝青混凝土 NC=1.0-2.5瀝青貫入式，瀝青表面處理 NC=1.5-3.0碎石、礫石 NC=2.0-4.0		

2. 場內道路

掩埋場之場內道路是在掩埋場內之廢棄物搬入專用道路，雖無需完全依照公路路線設計規範之標準設置，但為方便廢棄物清運車輛及施工機械進出掩埋場，其永久道路仍應以該規範為設計基準；至於廢棄物掩埋過程中，基

於車輛進出臨時性需要而設置的場內臨時道路，一般採碎石路面即可。

(二) 貯存結構物（防止地盤滑動與設施沉陷之措施）

1. 貯存結構物須具備條件

掩埋場需依掩埋事業廢棄物之種類、特性，並根據掩埋場址之地形、地質、土質、掩埋作業方式及構築材料等，選擇設置最適合之貯存結構物型式及大小。貯存結構物旨在防止掩埋廢棄物及滲出液之外流，通常須具備下述條件：

- (1) 對本身之自重、廢棄物之壓力及水壓等具有充分抗衡之強度。
- (2) 對於地盤沉陷、滑動及翻轉等具有高度安全性。
- (3) 能阻斷場內外水之流動，滲出液不致污染公共水體。
- (4) 貯存之廢棄物不致因大風、大雨而流失。
- (5) 對於掩埋之廢棄物及產生之滲出液、廢氣等引起之腐蝕、火災具有足夠之耐久性。

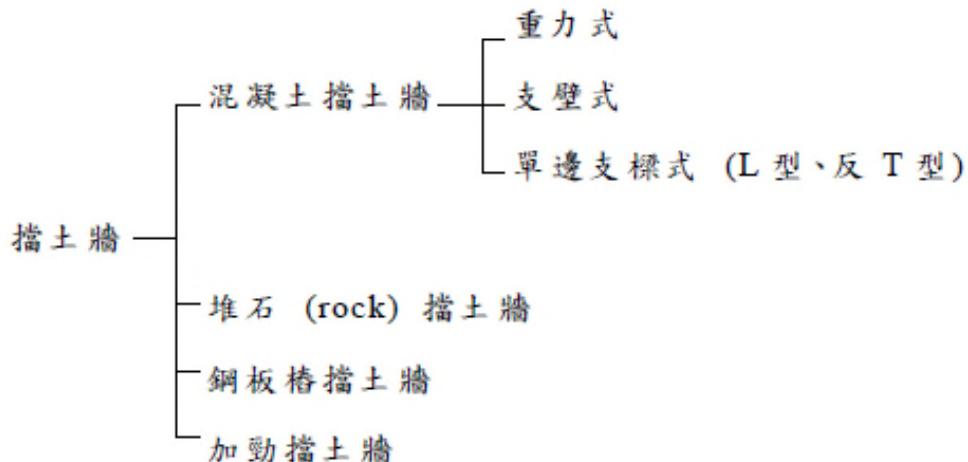
2. 貯存結構之型式

為選擇最適合之結構與型式，應先對各種貯存結構物之構造與型式有所瞭解。依陸域掩埋(1)至(3)及海域掩埋(4)，其種類與型式說明如下：

(1) 壩



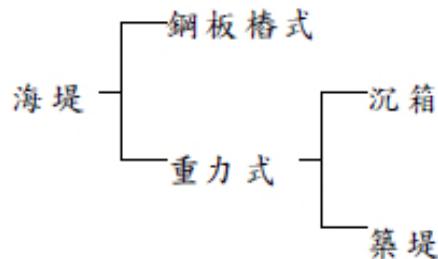
(2) 檔土牆



(3) 間隔堤



(4) 海堤



貯存結構物依掩埋地形之不同，可建造成單段式貯存結構物與多段式貯存結構物等，詳如圖 5.7。

3. 防止地盤滑動與設施沉陷之措施

掩埋場構築時，應有防止地盤滑動與沉陷之設施。基礎層之清除整平、整地開挖及基礎整理等工程品質均應達設計要求。基礎層須具有足夠承載力，並考量其沉陷量，使其不產生不均勻沉陷或過量的沉陷，進而危害到掩埋場之各項設施。為防止地盤滑動，則應改良軟弱地質或打樁設護堤。

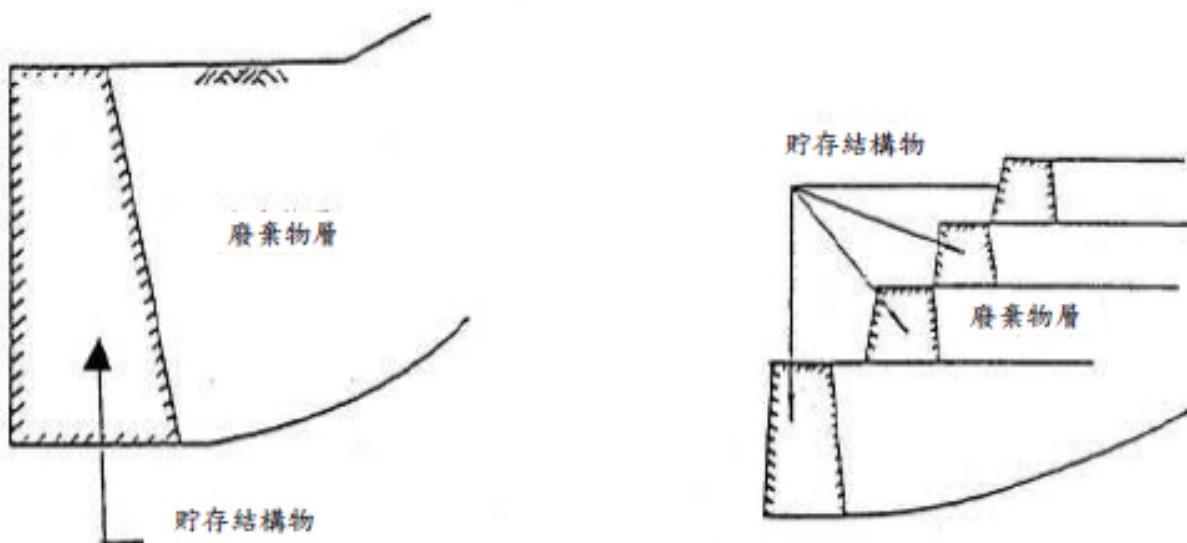


圖5.7、單段式及多段式貯存結構物示意圖

掩埋場基礎層之穩定與安全性，將影響到其上面的黏土質襯墊或人造不透水布之功能與耐久性，若基礎層不穩定，則滲出液收集管線和其上之設施裝置，均可能受到程度不等的破壞，因此良好的基礎不但可提供均勻承載力，亦可減低人造不透水布破裂的可能性，並確保其上設施裝置之穩定和安全。基礎層施工構築時工程項目，主要包括有：

- (1) 清除與整平。
- (2) 整地開挖。
- (3) 基礎整理。

(三) 雨水與地下水集排設施

1. 雨水集排設施

掩埋場周圍應設置防止場外地表外流入及場內地表水流出之集排水系統或其他措施，其場內地表水流出之集排水設施設置基準須考慮 25 年一次連續 24 小時之降雨量，以防止場外未受污染之地表水流入境內，增加場內集排系統之容量與處理負荷，或造成溢漏之危險性，場內須有足夠集排設施，以貯留場內有害或受污染之地表水。

場外雨水截流設施之設計上，首先須瞭解截流量之多寡，惟其決定因素則包括有：區外集水面積與降雨強度等。集水面積可自地形圖上直接量得，至於設計降雨強度之決定，則須審慎考慮，當選擇較長再現期之降雨強度時，雖可充分阻止雨水流入掩埋範圍內，但同時將產生不合乎經濟效益之問題；然降雨強度若取太小，則會因實際降雨超過設計雨量而使逕流進入掩埋範圍內，將影響滲出液處理設施之處理容量與處理負荷。雨水排水系統之組成如下：



針對臺灣地區各地之降雨強度之延時曲線計算上，可參考臺灣省水利局編印之「臺灣地區降雨強度延時分析」，並選擇場址附近雨量站之降雨紀錄與分析公式，作為設計基準，詳細的設計流程可參考圖 5.8。

場內地表水集排設施應將污染區與非污染區做有效的隔離，非污染區可抽至場外集排系統進行排放；而污染區之降雨量須加以收集貯留，貯留容量須足以容納 25 年一次連續 24 小時之暴雨量。

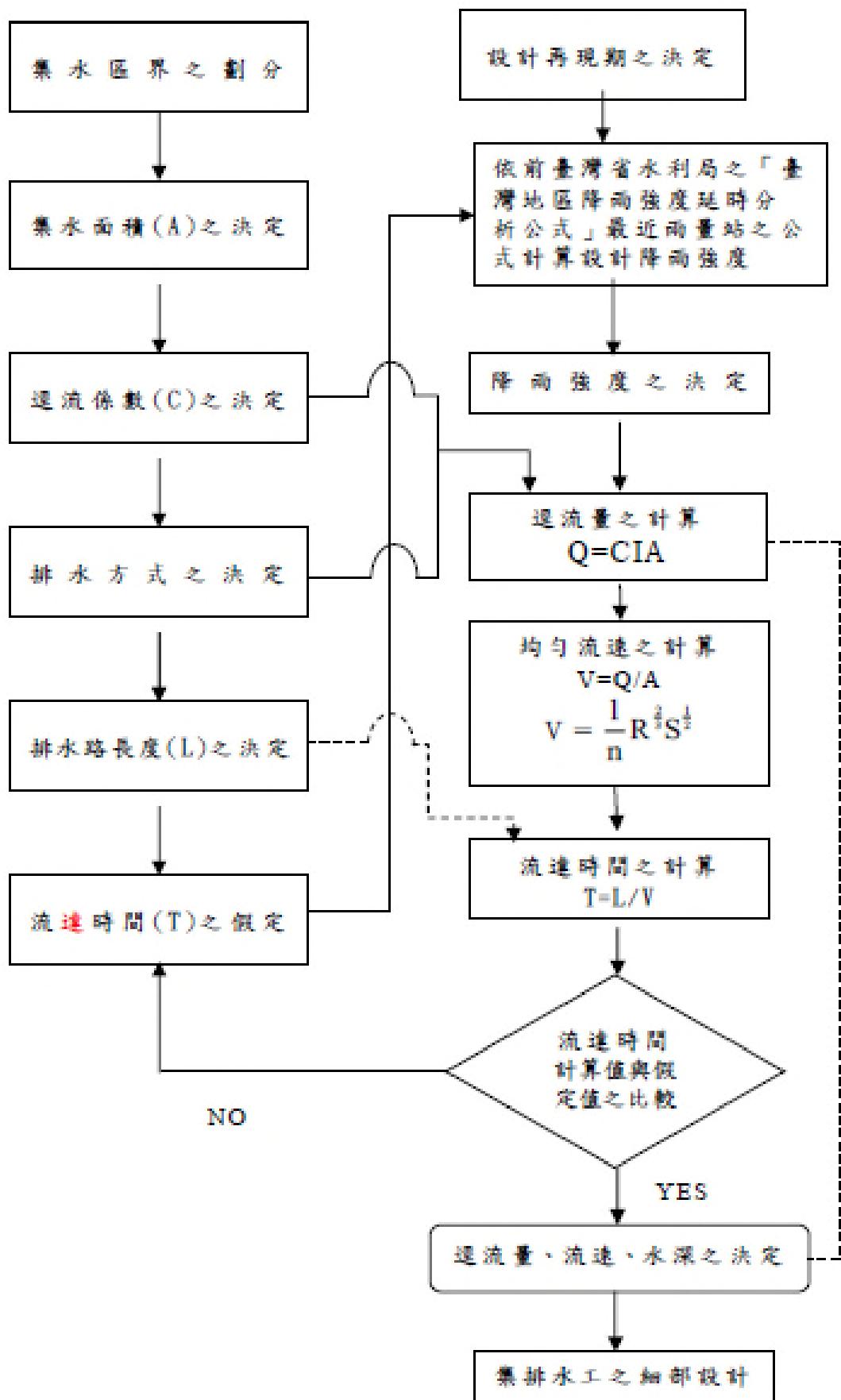


圖5.8、雨水集排設施設計流程圖

2. 地下水與湧水集排設施

當掩埋場內有湧泉或地下水位較高時，須在掩埋場垂直阻水層下側或外側設置排水設施，將地下水截流或改道。可行的方法有：(1)重力排水-可在阻水層下側設置收集排除地下水之暗渠；若使用直徑 20-30 公分之多孔管，通常每公尺長每分鐘約可收集 10-20 公升之地下水（如圖 5.9）。(2)抽水井-可在掩埋場之外圍打井或挖掘溝渠排除地下水，使地下水坡降向掩埋場降低（如圖 5.10）。

有關掩埋場周圍地下水、湧水排水設施之設計，則應以地下水出水公式計算排出水量。因此設計前需先進行當地地下水文、地形、地質等詳細調查，或參考掩埋場址附近建築物開發之經驗，以作為估算水量之依據。

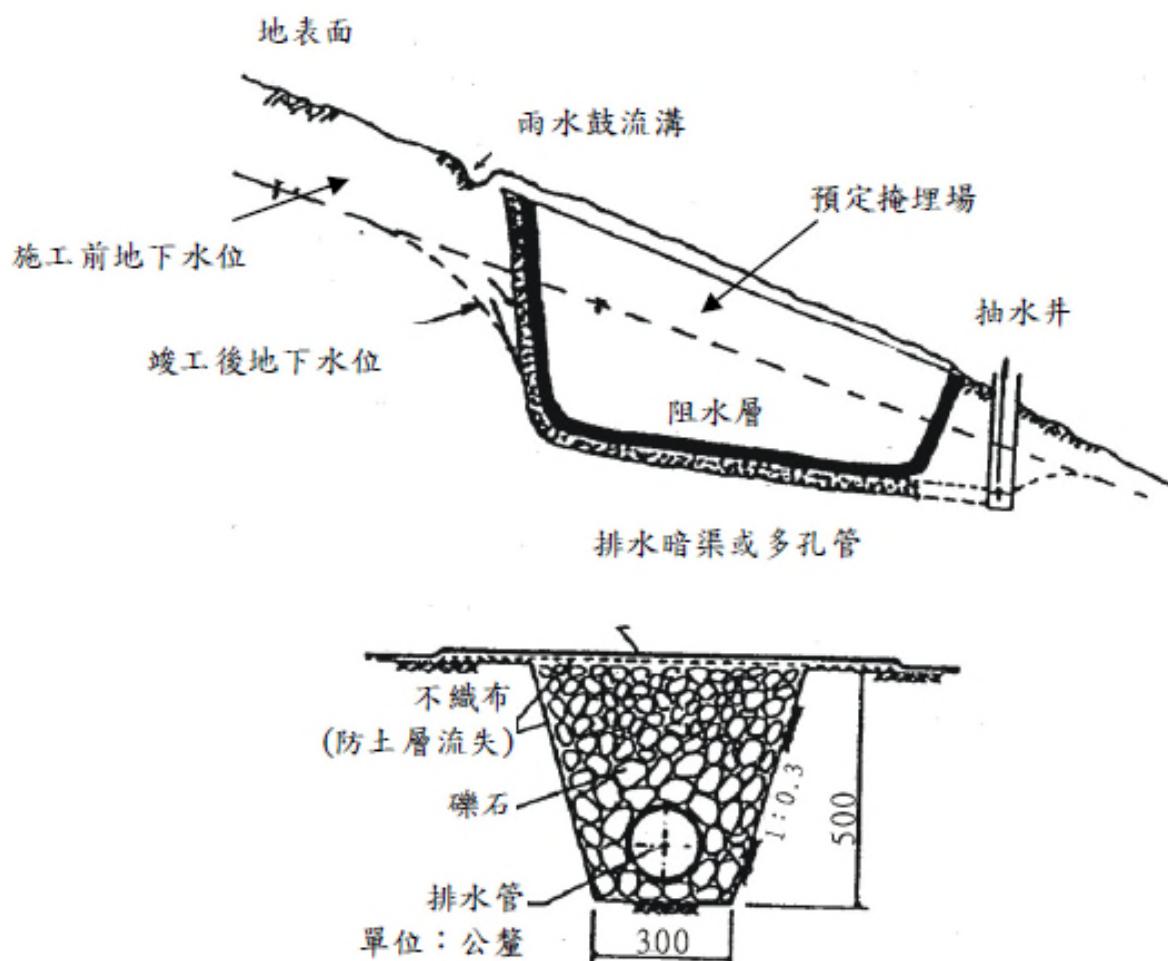


圖5.9、地下水重力排水設施

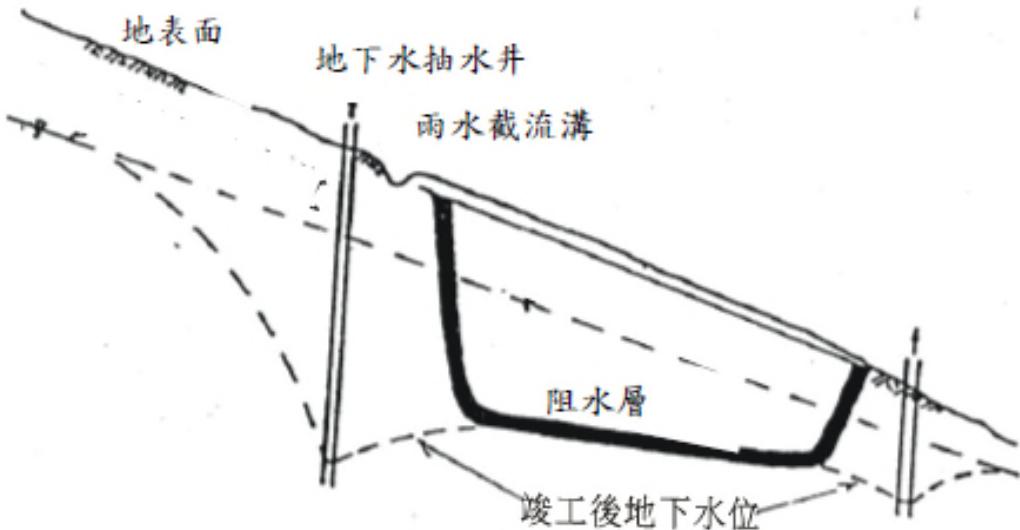


圖5.10、地下水抽水井排水設施

(四) 景觀美化措施

為維護掩埋場附近之視覺品質，並配合掩埋場之最終土地利用，掩埋場應對施工中與掩埋過程中之場區景觀或掩埋完成面之景觀加以美化。

開發掩埋場時，應盡可能於場區周圍保留緩衝綠帶，並廣植樹木以收視覺隔離之效。掩埋場設施運轉期間，應定期維護場區環境，如道路保養、建築物外觀維護等，配合最終土地利用計畫，在掩埋場之季節風上風處植樹，除收防風之效外，並美化掩埋場景觀。

(五) 暫時貯存設施

掩埋場應設置進場廢棄物暫時貯存區，當掩埋場短期內無法正常運作並接受廢棄物時，該暫時貯存場可以防止廢棄物因不當堆置而造成污染。暫時貯存區之地面應堅固，周圍應設置雨水集排系統，並定期清除其內之砂土雜物。暫時貯存區雨水集排系統之設計應維持足夠之設計容量，有效排除並妥為處理，同時所貯存之廢棄物應有適當之墊高物以避免被雨水浸泡產生污染。因暫時貯存區僅作為無法預期之進場廢棄物臨時貯存，故其貯存時間不宜超過 48 小時。

三、公害防治設施

(一) 阻水設施

1. 土壤阻水層 (Liner)

(1) 黏土質

由於黏土的透水性低，因此成為阻水層中最重要的成分。在美國有兩套土壤分類標準被廣泛使用，對黏土的定義有些不同，其中一種標準為由美國材料試驗學會 (ASTM) 所定義，主要為土木工程師所使用；另一種標準則是美國農業部 (USDA) 土壤分類標準，主要為土壤科學家、農藝學家及土壤物理學家所使用。（圖 5.11）

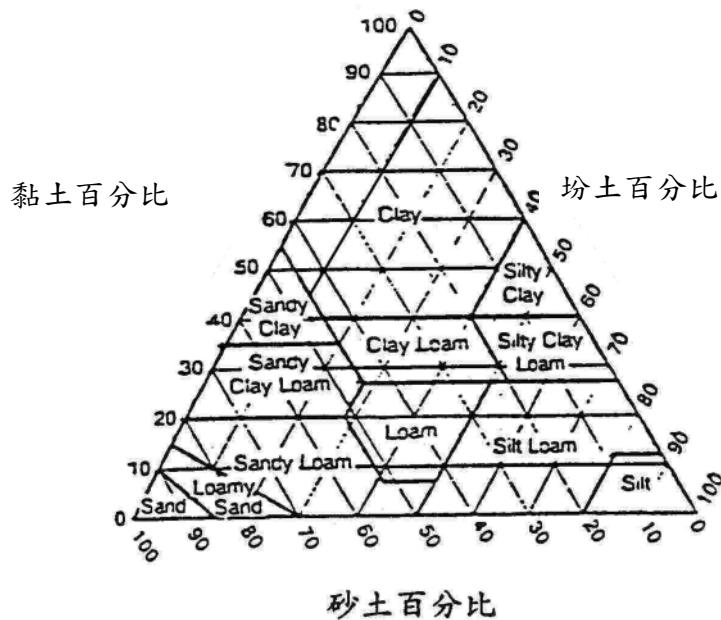


圖 5.11、USDA 土壤分類

ASTM 及 USDA 的差異性，主要在於對顆粒大小等級的定義不同，例如 ASTM 中對砂土 (Sand) 顆粒大小的定義為能通過 4 號篩但無法通過 200 號篩者，亦即粒徑由 0.075 mm 至 4.74 mm 者；而 USDA 對砂土的定義，其粒徑則為 0.050 mm 至 2 mm 者。（表 5.5）

表 5.5、ASTM 及 USDA 土壤分類對顆粒大小定義

	ASTM (mm)	USDA (mm)
礫石 (No.4 Sieve)	4.74	>2
砂土 (No.200 Sieve)	0.075	0.05
坋土 (Plasticity Criterion)	None	0.002
黏土		<0.002

ASTM 分類系統對黏土粒徑大小沒有一定的標準，黏土 (Clay) 與坋土 (Silt) 的分別完全取決於塑性性質不同。ASTM 主要是以塑性圖及圖上的斜線（稱為“A”線）來區別坋土及黏土（見圖 5.12）。土壤性質若落於 A 線上方則為黏土，則此土壤在“統一土壤分類系統”為黏土，若落於 A 線下方，則此土壤定義為坋土。

現行法規上對土壤阻水層透水係數（水力傳導係數）(Hydraulic Conductivities) 的最低要求為 1×10^{-7} cm/sec，為達到此項要求，土壤必須符合以下幾項特性：

- A. 至少須含有 20%的微粒（細粉土及黏土大小的顆粒）。有些含微粒不到 20%的土壤可能具有小於 10^{-7} cm/sec 的透水係數，但要在如此低的微粒含量，而要達到法定的透水係數的要求，一般是很難的。
- B. 塑性指數 (PI) 必須大於 10%。然而塑性指數若太高，例如高到 30-40%，則土壤很黏稠，其現場工作性大為降低。乾燥的高塑性土壤將形成塊狀，在夯實過程中很難被粉碎。
- C. 粗料必須經過篩選，使得其礫石顆粒含量小於 10%。土壤若含過多粗料，會導致礫石區形成，此區將有高透水性。
- D. 土壤中不能含有粒徑大於 1-2 吋之土壤顆粒及岩石等。如果岩塊粒徑比土壤阻水層厚度大於一定程度，則會在阻水層中形成一滲漏的「窗口」(Window)，反之，則岩塊會被周圍土壤所包圍。

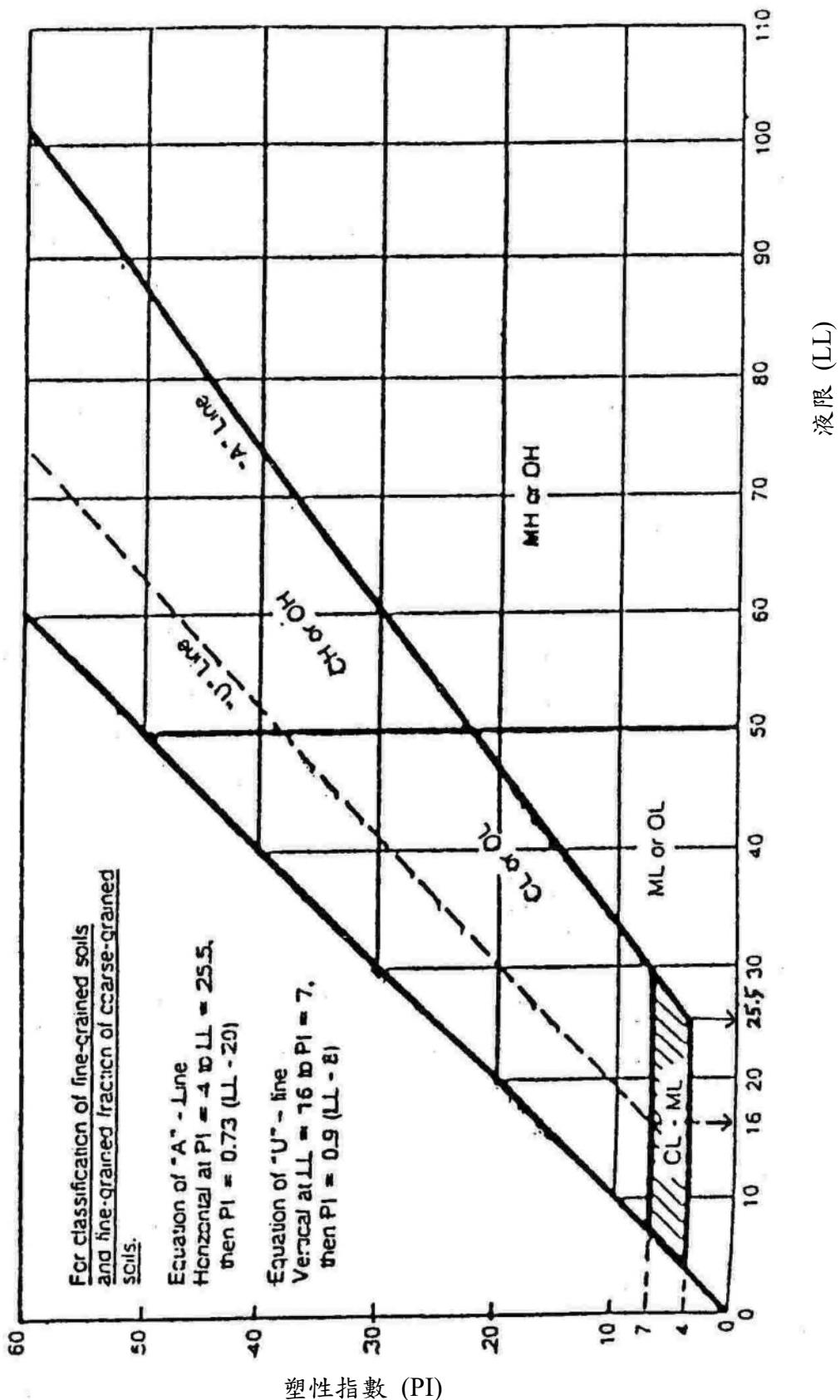


圖 5.12、ASTM 以塑性決定土壤分類

(2) 混合土壤

由於掩埋場現場天然土壤的不足，有時必須由外地運來黏土與現場土壤混合以符合要求。最常見的混合方式，是將現場砂質土壤與外來含鈉蒙脫土 (Sodium Bentonite) 進行混合。含鈣蒙脫土 (Calcium Bentonite) 雖然透水性較鈉蒙脫土大，但也常被用來當做土壤混合劑，然而大約需要 2 倍用量的鈣蒙脫土才能達到與鈉蒙脫土相同的效果。使用鈉蒙脫土會產生另一問題，即它會被化學物質或廢棄物的滲出液所破壞。

掩埋現場的砂質土壤亦可與同一區域內的黏土相混合，但天然黏土易形成塊狀，在夯實過程中不易被粉碎。乾燥的粉狀蒙脫土要比潮溼塊狀黏土更容易與現場砂土混合。除了蒙脫土外，其他材料亦能被使用，例如一種黏土礦物坡縷石 (Attapulgite)，就具備不容易被廢棄物滲出液所破壞的特性，土壤的土質亦可經由加入石灰，水泥或其他改良劑加以改良。

2. 現場透水係數試驗

常見的現場透水係數試驗，主要共有 4 種，分別為：鑽孔測試 (Borehole Tests)、中空偵測器測試 (Porous Probes Tests)、滲入偵測器測試 (Infiltrometer Tests) 及地下排水測試 (Under Drain Tests) 等。

- (1) 鑽孔測試：只要在土壤中鑽個洞，並將洞填滿水，然後量測水穿透洞的速率。
- (2) 中空偵測器測試：將一中空的偵測器 (Probe) 鑽入土壤，並經由偵測器將水灌進土壤。然而此法有一缺點，因偵測器只能對有限的土壤體積進行現場測試，無法代表實際的狀況。
- (3) 滲入偵測器測試：使用一種叫滲入偵測器的儀器，將滲入偵測器埋入阻水層中，即可量測液體滲入阻水層的速率。滲入偵測器可量測較廣大的土壤體積，這是上述兩種方法無法達到的。(見圖 5.13)

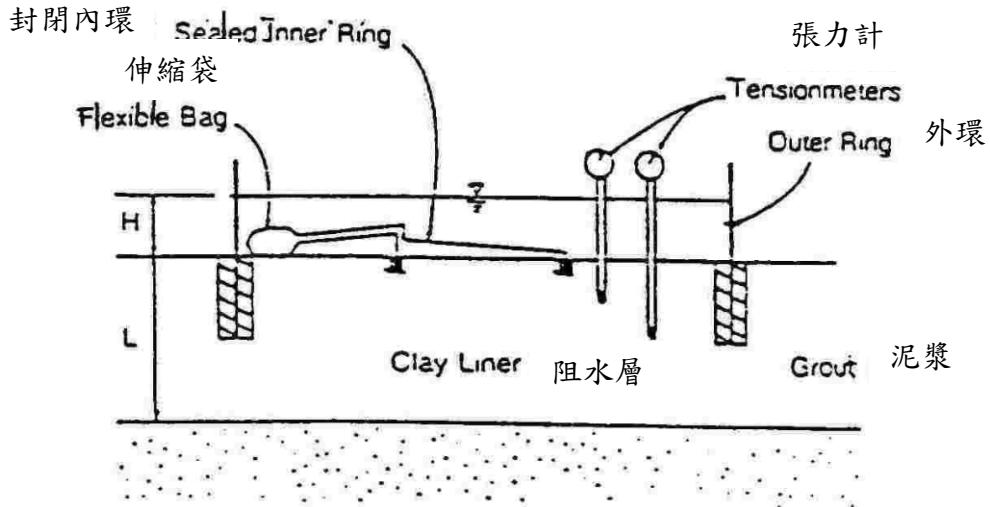


圖 5.13、密閉雙環滲入偵測器

(4) 地下排水測試：地下排水測試是量測現場滲透性最正確的方法，因為它可精確量測阻水層底部流出之液體量。然而要收集到可量測的液體量需要很長時間，這是因為土壤的滲透性低。另外，地下排水測試 (Underdrain) 必須在阻水層鋪設時即加以設置，所以它們大部分用在試驗上，實際鋪設則很少設置。

3. 不透水布材質之考慮

用於不透水布的合成材質係由自然或高分子複合之聚合物所組成，不同形式之聚合材質皆可用於彈性薄膜阻水層之結構中：

- (1) 熱塑性物質：聚氯乙烯 (PVC)。
- (2) 結晶狀之熱塑性物質：高密度聚乙烯 (HDPE)，線形低密度聚乙烯 (LLDPE)。
- (3) 具熱塑性之彈力物質：氯化聚乙烯 (CPE)，氯化硫酸聚乙烯 (CSPE)。
- (4) 彈力物質：合成橡膠，乙烯丙烯丁烯單體 (EPDM)。

(二) 滲出水集排設施

掩埋場內必須設置滲出水集水、排水系統，將滲出水導送到污水處理設施處理。滲出水之集水系統之組成如下：

1. 滲出水集排系統之組成

掩埋場內必須設置滲出水集水、排水系統，將滲出水導送到污水處理設施處理。滲出水之集水系統之組成如下：

(1) 橫型集水系統：設置於底部，其斷面組成，隨其集水區大小，由上游往下游，依需要之排水能力及斷面逐漸加大，其配置及構造示意如圖 5.14、圖 5.15 所示。一般橫型集水管之配置間隔約 15-20 公尺，設計流速在 1.0-2.5 m/sec，管徑以 200-300 mm 以上為準。

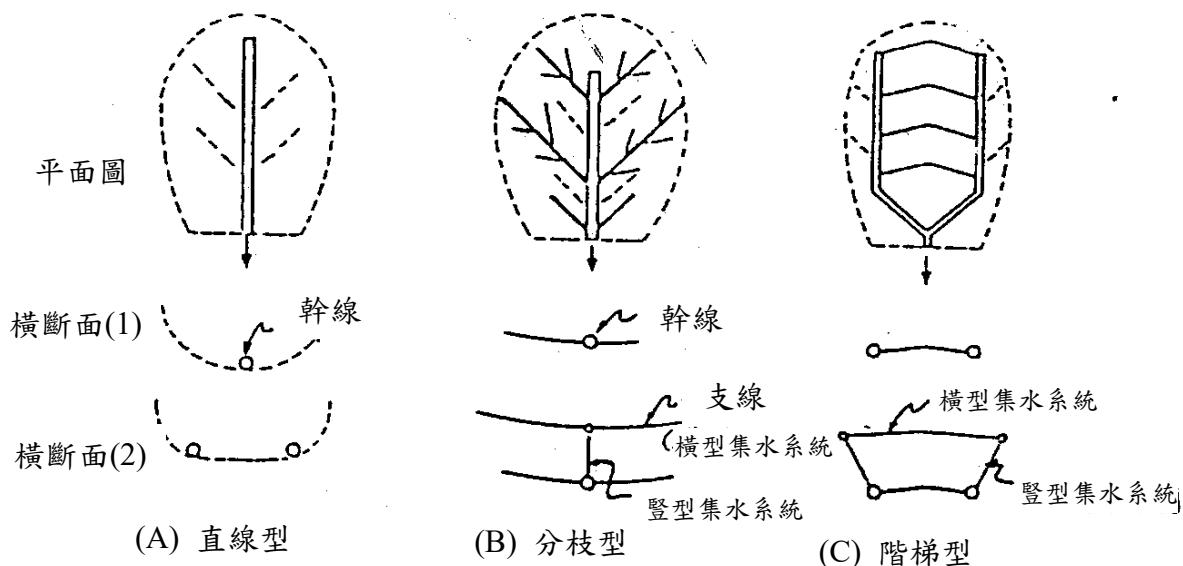


圖 5.14、垃圾滲出水收集設施配置示意圖

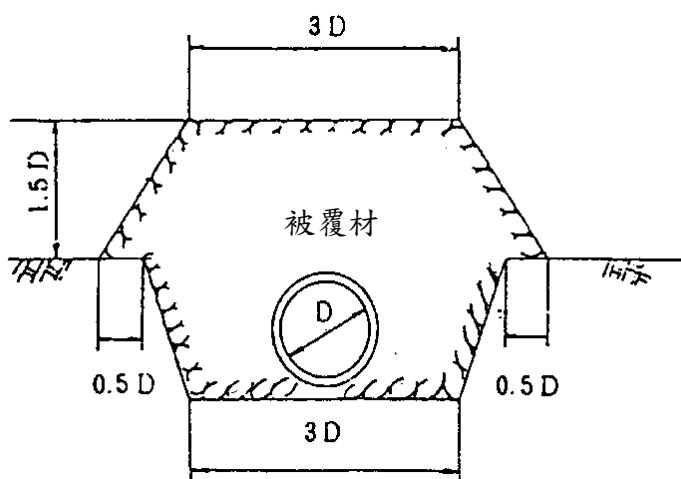


圖 5.15、集排水管之構造（福岡型）

- (2) 豎型集水系統：利用排氣井收集排除滲出水，排氣井下端與橫行集水系統連接。
- (3) 排水管：利用排水管，將上述橫型、豎型集水系統收集之滲出水，經過護堤排往下游之貯留池。排水管之設置，為避免淤積及長期沉陷造成排水斷面受影響，其設計流速仍以 1.0-2.5 m/sec。
- (4) 貯留池：供掩埋場滲出水之貯蓄、調節用，俾以調節污水處理設施之處理量。此外，為了因應掩埋場啟用初期之高濃度污水，宜於滲出水貯留池設置污水返送系統，將滲出水返送至掩埋場，以調節進入污水處理設施之水質與水量。

2. 滲出水集排系統之設計

滲出水集排系統所需排除滲出水量，可依 (3-3) 或 (3-4) 式估算，至於集排水管之選擇，一般則依掩埋場規模而異，常用管種及其適用狀況，如表 5.6 所示。集水管與排水管之管徑與流速，可依 (5-4) 至 (5-6) 式計算：

表 5.6、滲出水集排水管之種類

管種	一般使用管徑 (mm)	適用範圍及特性
有孔離心 RC 管	§ 200- § 1,200	集、排水均可使用，管較重、強度較佳
混凝土透水管	§ 100- § 1,200	多使用於集水管
有孔 PVC 管	§ 100- § 400	集水管使用較多，管較輕，施工容易，但強度較差
高分子透水管 (PE、FRP 等)	§ 50- § 200	管徑小，較適用於集水管，物理性及抗化學性較佳
蛇籠	§ 300- § 600	小規模處理場使用較多，易阻塞

- (1) Hazen-Willams 式（壓力流時使用）

$$V=0.84935CR^{0.63}S^{0.54} \quad (5-4)$$

- (2) Manning 式（重力流時使用）

$$V=\frac{1}{n}R^{2/3}S^{1/2} \quad (5-5)$$

$$Q = A \cdot V \quad (5-6)$$

其中

V：流速 (m/sec)

A：流水斷面 (m^2)

Q：流量 (m^3/sec)

P：溼周 (m)

R：水力半徑 $\frac{A}{P}$ (m)

n：粗糙係數

C：流速係數

S：水力坡降

至於橫型集水管，其有孔管之集水孔面積（周面積）一般在 150-200 cm^2/m^2 之間，孔數之要求在 50 個/ m^2 以上。

(三) 滲出水處理設施

掩埋場必須設置污水處理設施，處理垃圾滲出水或返送滲出水回掩埋區或循環處理，以促進廢棄物早期安定化、滲出水淨化、水質調整與水量之減少及減少氣體引發之臭味和污染。污水處理設施主要處理對象計有：垃圾滲出水、洗車廢水、人員污水及其他污水等 4 種。滲出水主要來源為雨水；廢棄物清運車輛清洗每車次需用水量約 100-300 公升；辦公人員每人每日汙水量約 40-70 公升；至於其他則可能有溝泥污水、施工產生之污泥污水等，皆須依掩埋場內實際狀況推估。前述 4 種污水中，以滲出水之水量最大，水質污染濃度最高，因此計畫原水水質一般以垃圾滲出水為主要探討對象。

滲出水有污染水體之虞，應經適當處理後再放流。為妥善控制滲出水問題，應先掌握滲出水量及水質，以決定集排水設施、處理方式與處理設備規模及操作年限。污水處理設施之操作年限，除依掩埋場計畫處理年限

外，尚須考慮掩埋場關閉後 10 年左右時間之操作期，由於滲出之水質、水量變化皆大，欲決定污水處理設施之設計原水水質甚難；參考國外類似掩埋場訂定原水水質應為目前較為可行之方法，表 5.7 為國內外之設計原水水質比較表。

表 5.7、垃圾滲出水處理廠設計原水水質比較表

項目 地區	美國垃圾滲出水處理設計水質	日本垃圾滲出水處理設計水質	福德坑掩埋場規劃估計值
BOD ₅	1,500	250-2,500	2,000
COD	—	200-800	3,500
SS	1,500	100-500	400
Total-N	—	200-400	300
Organic-N	100	—	—
Nitrate-N	20	—	—
Alkalinity-CaCO ₃	1,100	—	—
Hardness-CaCO ₃	800	—	—
pH	5.5	5.0-8.6	6-8
資料來源	Keenan, etc., “Landfill Leachate Treatment” JWPCF, January 1984	日本全國都市清掃會議 “埋立處分場浸出液處理開發關研究” 1979 年	中興工程顧問社 “福德坑垃圾衛生掩埋處理場工程垃圾滲出水處理規劃” 1984 年

基於滲出水質量特性之變化甚大，設計處理設施時應盡可能設置調整槽，並視放流水標準及承受水體之條件，選擇適當之處理方法亦不同，依 Chian & DeWalle 之研究，由滲出水之 COD/TOC 與 BOD/COD 之比值，各種處理法之適用性如表 5.8。

表 5.8、滲出水特性與有機物去除效率比較

滲出水特性						
COD/TOC	BOD/COD	按掩埋場年限（年）	COD			
>2.8	>0.5	<5	>10,000			
2.0-2.8	0.1-0.5	5-10	500-10,000			
<2.0	<0.1	>10	<500			
處理效果						
生物處理	化學沉澱 (增加石灰)	化學氧化 Ca(ClO) ₂	臭氧	逆滲透	活性碳	離子交換 樹脂
良好	不佳	不佳	不佳	普通	不佳	不佳
普通	普通	普通	普通	良好	普通	普通
不佳	不佳	普通	普通	良好	良好	普通

1. 掩埋初期 5 年內，滲出水含高濃度有機物； $COD > 10,000 \text{ mg/L}$ ， $COD/TOC > 2.8$ ； $BOD/COD > 0.5$ ，以生物處理成本效果最佳，而其出流水需再以化學法配合高級處理，才可能達到符合放流水標準之處理效果。
2. 掩埋中期 5-10 年間，含較高無機鹽類與不易分解之有機物； COD 為 $500-10,000 \text{ mg/L}$ ， COD/TOC 為 $2.0-2.8$ ， BOD/COD 為 $0.1-0.5$ 。隨著 BOD 逐漸降低，生物處理法的成效受限，物化處理相形重要，通常採用化學混凝配合化學氧化，再以活性碳吸附或逆滲透等高級方法處理。
3. 掩埋 10 年以上之老舊掩埋場，含無機鹽類與低濃度有機碳； $COD < 500 \text{ mg/L}$ ， $COD/TOC < 2.0$ ， $BOD/COD < 0.1$ ，適合物化處理，由於污染物濃度不高，通常僅用化學混凝法即能可達到排放標準。

一般而言，採用生物處理法較物化處理法經濟，但滲出水污染濃度甚高成分複雜，若單採用生物處理法，恐難達所要求之水質標準，須輔以化學處理法與高級處理。通常第一階段採生物處理法去除易分解之有機污染物，第二階段以化學法處理配合高級處理，去除殘留之有機物、無機物、色度及臭味等。

（四）沼氣集排處理設施

由於目前廢棄物掩埋處理皆屬厭氧性掩埋法，廢棄物中之有機物因厭氧分解而產生甲烷、二氧化碳、硫化氫、氨等各種氣體。此類廢氣中之甲烷，為場內火災與爆炸之原因，須妥善處理。此外，廢氣亦會抑制掩埋層之生化反應，並導致周圍草木之枯死。

1. 沼氣處理對策

- (1) 阻斷氣體流動—掩埋場底層、頂層及側面鋪設阻斷設施，譬如黏土層、人造合成阻水層等。
- (2) 埋設集排氣設備—埋設通氣管或以碎石構築通氣蛇籠、通風井等集排氣設備。
- (3) 廢氣處理—掩埋場廢氣之處理方法有：A.大氣擴散：即未經任何處理，逕行排放於空氣中；B.燃燒：將集中之廢氣，予以燃燒；C.廢

氣回收利用：將廢氣集中收集、回收利用，其利用方式大致有發電、工業燃料、送往公共瓦斯系統。

2. 沼氣集排方式

掩埋場應設置氣體收集與處理設施，以防止惡臭物質或場內產生有害氣體之擴散。廢氣集排系統設計上需注意分期構築的方便，使日後操作人員能勝任該項作業。本系統上達掩埋完成面，下接滲出水收集系統，具有防範火災與控制臭味等功能。氣體收集可採個別收集或集中收集方式。

(1) 個別收集方式：其廢氣集排方式，係以有孔管、卵礫石、碎石或廢磚塊等，隨廢棄物掩埋面之升高而往上續接，其各個集排系統彼此獨立，下抵掩埋層底部並連接滲出水集排系統，上通掩埋完成面，詳如圖 5.16。亦可於斜面設置蛇籠，如圖 5.17。

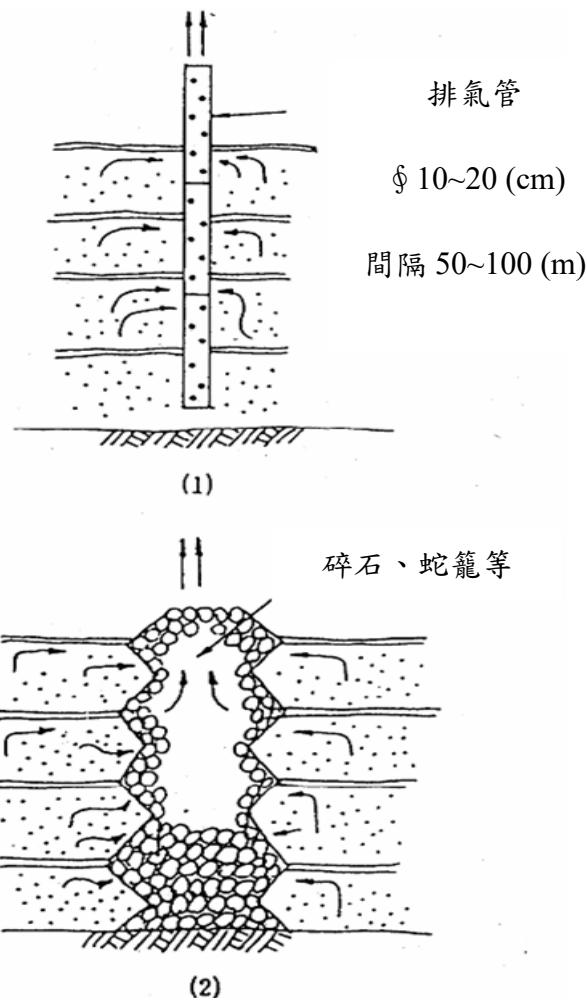


圖 5.16、廢氣收集設備 (1)—掩埋場內個別排氣

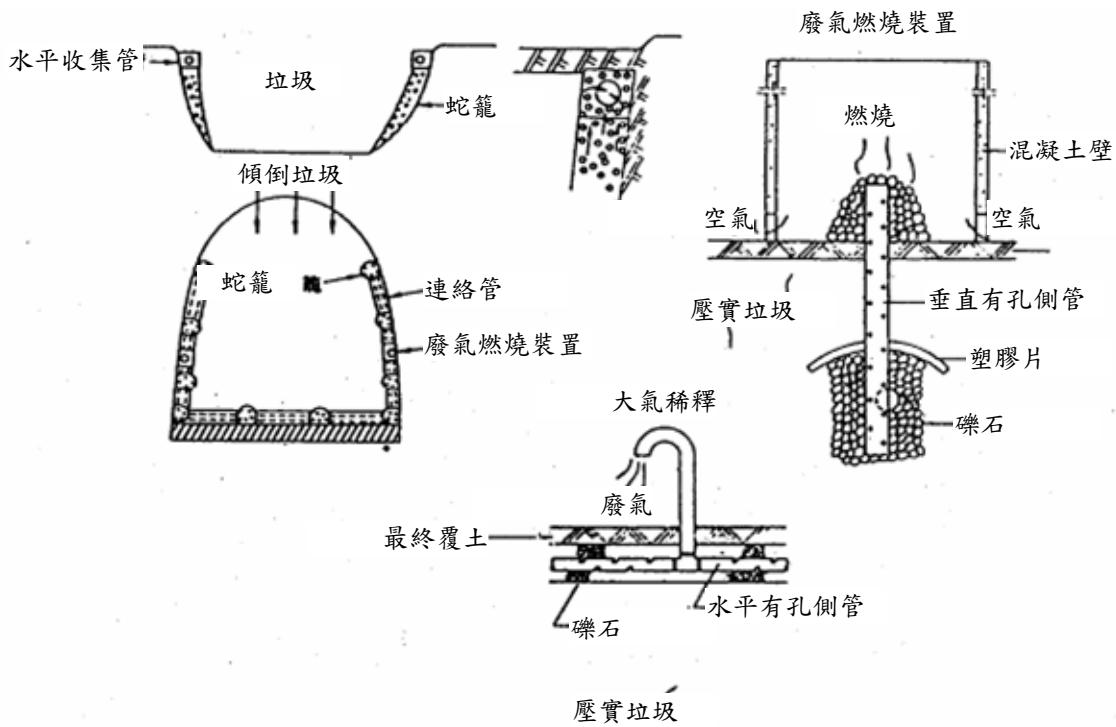


圖 5.17、廢氣收集設備 (2)—斜面、中央與頂部排氣

(2) 集中收集方式：與上述個別收集方式相似，係於適當位置設置垂直收集系統，再於最終覆土或中間覆土之前，以水平集氣盲溝聯接，其水平集氣盲溝之使用材料與上述個別收集方式相同。詳如圖 5.18。

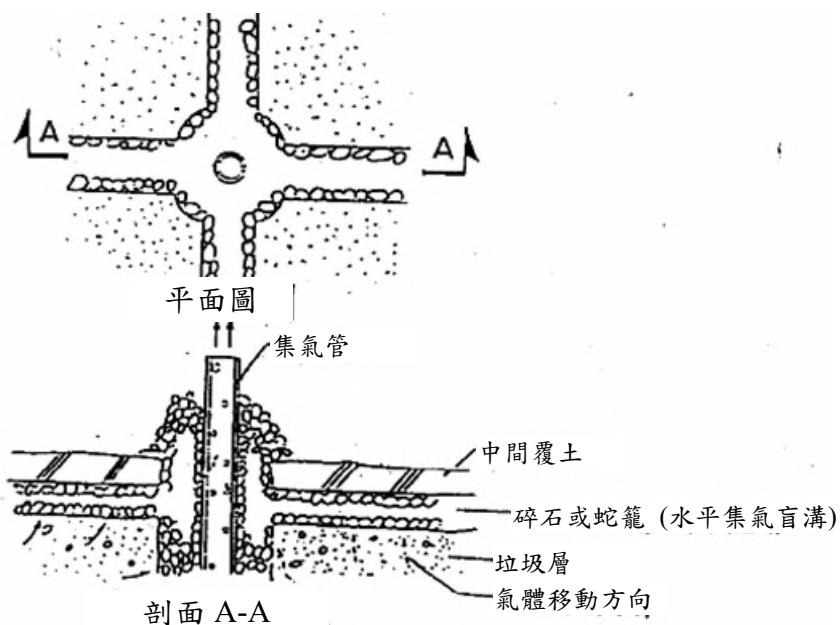


圖 5.18、廢氣集排系統構造圖

集中收集方式之廢氣集排效果，較個別收集方式為佳，但是施工略嫌麻煩；為達到廢氣充分集排效果，應視現地狀況、掩埋深度、覆土種類、厚度等酌予調整。該二種收集方式設置間隔，一般約 30-50 公尺。垂直排氣管之材料可採用耐腐蝕性之有孔 HDPE 管或有孔陶瓷管，其深度須穿入垃圾層，四周鋪以碎石以避免阻塞。

經集排氣管收集之廢氣於掩埋作業中，沼氣尚未產生時多採個別大氣稀釋方式，沼氣開始產生後則採集中燃燒方式（如圖 5.19）。

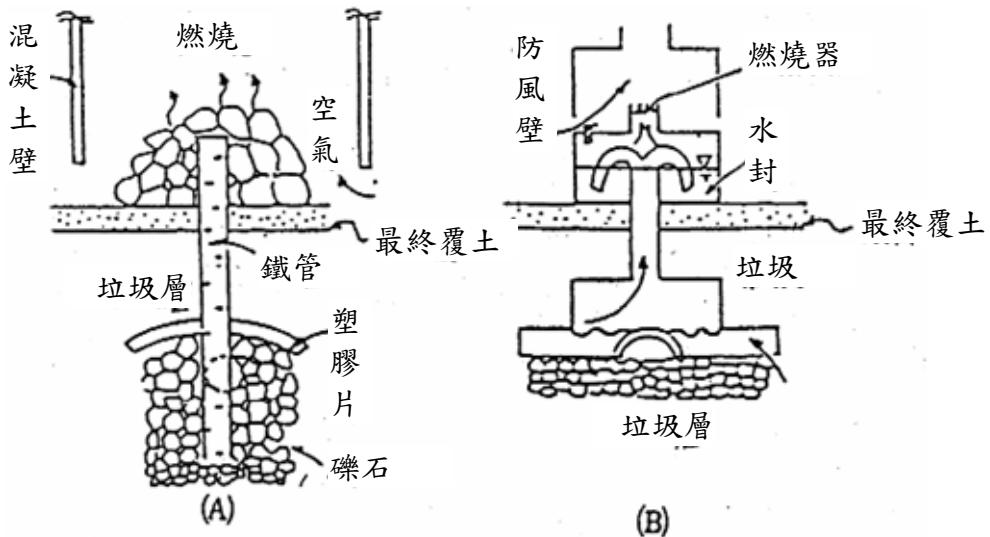


圖 5.19、廢氣燃燒設施示意圖

美國等氣候較乾燥的地區，沼氣產生較遲，於掩埋中不設排氣井，待一區塊掩埋完成蓋上最終覆土後，以集氣鋼管打入掩埋層主動抽氣，回收能源燃燒發電。如圖 5.20 所示。

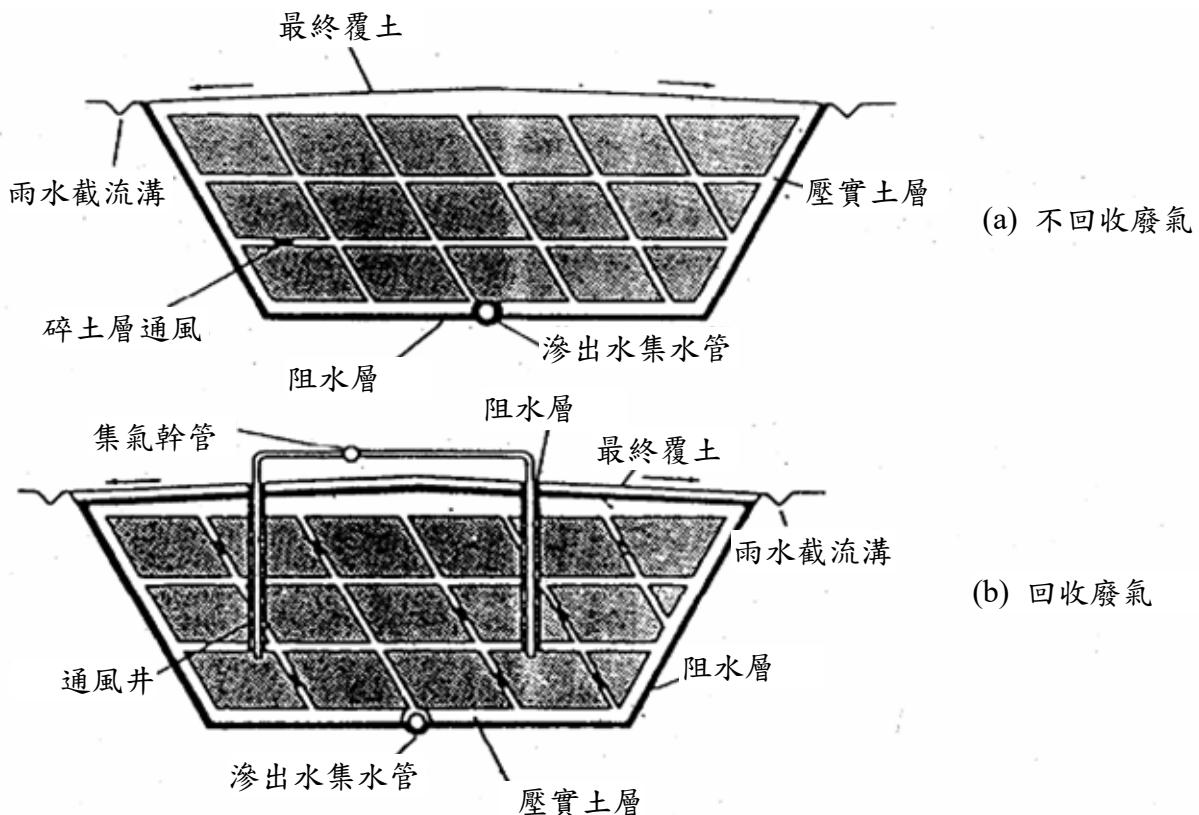


圖 5.20、廢氣收集設備 (3)—回收與未回收

(五) 地下水監測設施

掩埋場必須設置地下水監測系統，以監測滲出液對地下含水層之影響情形。於掩埋場區外依地下水流向，於上下游各設置 1 口以上之監測井（至少 1 個），而監測井之設置數目、位置及深度必須足以採取水樣，以偵測自由水層地下水是否被污染。地下水監測設施之要求包括有：

1. 設置適當之監測井，以採集足夠之地下水水樣，供分析之用。（詳見環境部「監測井設置規範」）
 - (1) 上游監測井（至少 1 個）：係安裝於接近掩埋場範圍地下水水力坡降之上游端。上游監測井之數目、位置及深度必須足以採集有效水樣，以代表最終掩埋場附近地下含水層之背景資料，其採樣必須是不受處理設施與廢棄物之影響。
 - (2) 下游監測井（至少 1 個）：係安裝於掩埋場管理範圍界限處之地下水水力坡降下游端。下游監測井之數目、位置及深度必須確保可立即偵

測出由掩埋場滲透到相同於上游井地下含水層之有害成分。

2. 監測井之設置，應以井管維持井孔之完整性，而井孔與井管間之環狀空間應以適當之材質填封，以免污染水樣及地下水。監測井之井管於地下水層處須有篩孔穿孔以收集地下水，必要時應填礫石或砂作為過濾材質以利收集地下水。採樣深度以上之環狀空間，即井孔與井管之間的空間，須以適當材質如水泥漿或膠質狀泥漿封住，以免污染水樣及地下水。
3. 監測井之設置，為避免將污染物導入未受污染之地下含水層，應遵循下列規定：
 - (1) 鑽井前應先清洗有關設備。
 - (2) 避免在有場址之掩埋廢棄物上進行鑽探。
 - (3) 防止鑽孔污染物之傳遞。

(六) 廢棄物飛散防止設施

掩埋場應設置防止廢棄物隨風飛散之固定圍籬與活動圍籬。廢棄物飛散防止設施，其設置高度建議約為 5-7 公尺，網眼約 2-4 公分之鍍鋅或鍍鋁刺絲圍籬，以防止廢棄物之飛散。依圍籬之設置地點與功能不同，可分為：

1. 固定圍籬：通常於掩埋場周圍，沿場區管理範圍或山稜線進行設置，除防止廢棄物飛散外，亦可界定掩埋場之管理範圍，及達到阻隔閒雜人員進入的目的。
2. 活動圍籬：為可搬性之圍籬，通常置於掩埋工作面之下風處，防止掩埋作業中之廢棄物飛散，有時可兼具景觀屏障，減少掩埋工作面之不雅情形外露。

(七) 消防設施

為防止場內易燃物品或產生之可燃性氣體燃燒造成二次公害，應設置適當容量之滅火器材或其他有效消防設備，並採取適當之消防意外預防措施，包括：

1. 定期維修與更換滅火器材。

2. 場內沿進出道路與適當地點應設置蓄水池、加壓抽水機或消防栓及必要之消防水帶、噴嘴等。
3. 易燃物應予隔離管制，易燃物之掩埋區應有隔離設施，並設置嚴禁煙火之警示標誌。
4. 產生可燃性廢氣者，可以廢氣收集系統收集後燃燒之。

(八) 惡臭控制

惡臭為鄰近居民對掩埋場反感的主因之一，廢棄物掩埋場內臭味之主要來源計有：掩埋區、滲出水貯留池及污水處理設施內等3項：

1. 掩埋區臭味

由於其臭味來源為垃圾發酵所產之硫化氫、氨及揮發性有機酸等廢氣，因此其臭味防止法，就治本而言，宜盡可能縮小掩埋工作面，掩埋層妥善設置廢氣集排設施及其燃燒設備，將之導引並焚燒之。其次，就治標而言，應妥善施行每日覆土及最終覆土，防止其臭味四散。

2. 滲出水貯留池及污水處理廠

由於滲出水中含有高濃度的揮發性有機酸及溶於其中的硫化氫及氨等臭味成分，可設法減少其逸散曝露面積，甚或予以覆蓋並將臭氣抽除，經氧化（化學或燃燒）或吸附（活性碳、土壤層等）處理後再排放。污水處理廠之臭味宜以操作方法控制之，亦可添加適當藥劑（加氯氧化）或處理設施加蓋抽除處理之。

四、管理設施

(一) 廢棄物進場管理設施

掩埋場進場管理設施可分為下述3項：

1. 廢棄物性質檢查設備

廢棄物進場時必須依事先研訂之廢棄物接受基準加以監視及檢查。通常所採用的方法係以外觀檢查為主，但必要時，宜採取一部分廢棄物作為

試料，並在進場檢查處設置可以現場分析之簡單檢查設備。現場分析項目及方法可參照環檢所「事業廢棄物採樣方法」中「主觀判斷採樣」所述內容執行。

2. 廢棄物計量設備

在掩埋場入口須設置地磅等設備，且須力行維修工作，以確保其精確度。地磅之種類以電子式者為佳。

3. 廢棄物紀錄管理設備

廢棄物之檢查、計量結果須依廢棄物之種類與性狀別、運輸進場負責人與車輛別等予以整理統計，並作成紀錄加以保存，以為掩埋作業之安排及掩埋場管理之參考依據。

(二) 標示牌

掩埋場須在入口明顯處豎立標示牌，標示廢棄物種類、使用期限及管理人。衛生掩埋場另加標示地理位置、範圍、深度及最終掩埋高度。掩埋場出入口處之標示牌有統一規範，標示牌之尺寸及格式，使用紅框作為警示標誌，其設置除應具說明及警 示功能外，亦應符合美觀之原則。標示牌顏色為白底、黑字、紅框，若有模糊、掉漆或損壞應採取必要措施，使其清楚可見。

(三) 圍牆及警告標示

於掩埋場四周設置圍牆或障礙物及警告標示。出入口處須有照明設備，及管制人、車進入之設施設置。交通標誌之設置應符合「道路交通標誌、標線、號誌設置規則」之規定。掩埋場場區四周之交通警告標示，需依作業地點製作不同之標誌，一般於各交通路口、傾斜坡、彎道、建築物等處設置時速限制、警告、限制指示等標誌，其規格及圖樣應依循現行道路交通標誌、標線、號誌設置規則辦理。

(四) 車輛及機械保養場

依掩埋場之規模及所採用之機具，妥善規劃掩埋場之車輛及機械保養場（廠）以作為維修中心。車輛及機械保養場（廠）之設置主要作為掩埋機具之維修中心，以及垃圾車臨時狀況之初步處置，以確保車輛及機具之正常操作。車輛及機械保養場（廠）之設計基準應符合有關建築技術規則之規定。

(五) 洗車場

為確保離開掩埋場之車輛不致污染場外之環境，掩埋場須設置清洗設備，提供車輛、操作機具及人員裝備之清洗需要。

一般洗車設備有自動式及簡易式兩種，操作機具清洗設備有加壓噴嘴清洗或以灑水車清洗。垃圾車出場前應確實清洗其輪胎、車斗、底盤，以免垃圾滲出水滴落或垃圾沿路掉落污染路面。清洗設施所產生之廢水宜以油水分離前處理後，併同滲出水處理。

(六) 停車場

停車場設置之主要功能係為進場車輛或機械保養時之臨時停放，及作為車輛迴轉之用。為便於進場車輛或機械保養時之臨時停放，應於保養場（廠）附近開闢停車場，可供車輛迴轉及暫時性停留使用。進入停車場之車輛或機械應保持其外表之清潔，以避免造成污染。而停車場之地面以鋪設瀝青混凝土為原則，並視實際需要設置遮雨設施。

陸、衛生掩埋作業及管理

一、衛生掩埋方式

衛生掩埋作業法依廢棄物覆土方式可以分成下述 3 類：(一) 傾棄式；(二) 三明治式；(三) 單體式，如圖 6.1 所示。其中傾棄式因無法妥善施行覆土，不可採用；單體式才是正確的掩埋方法。

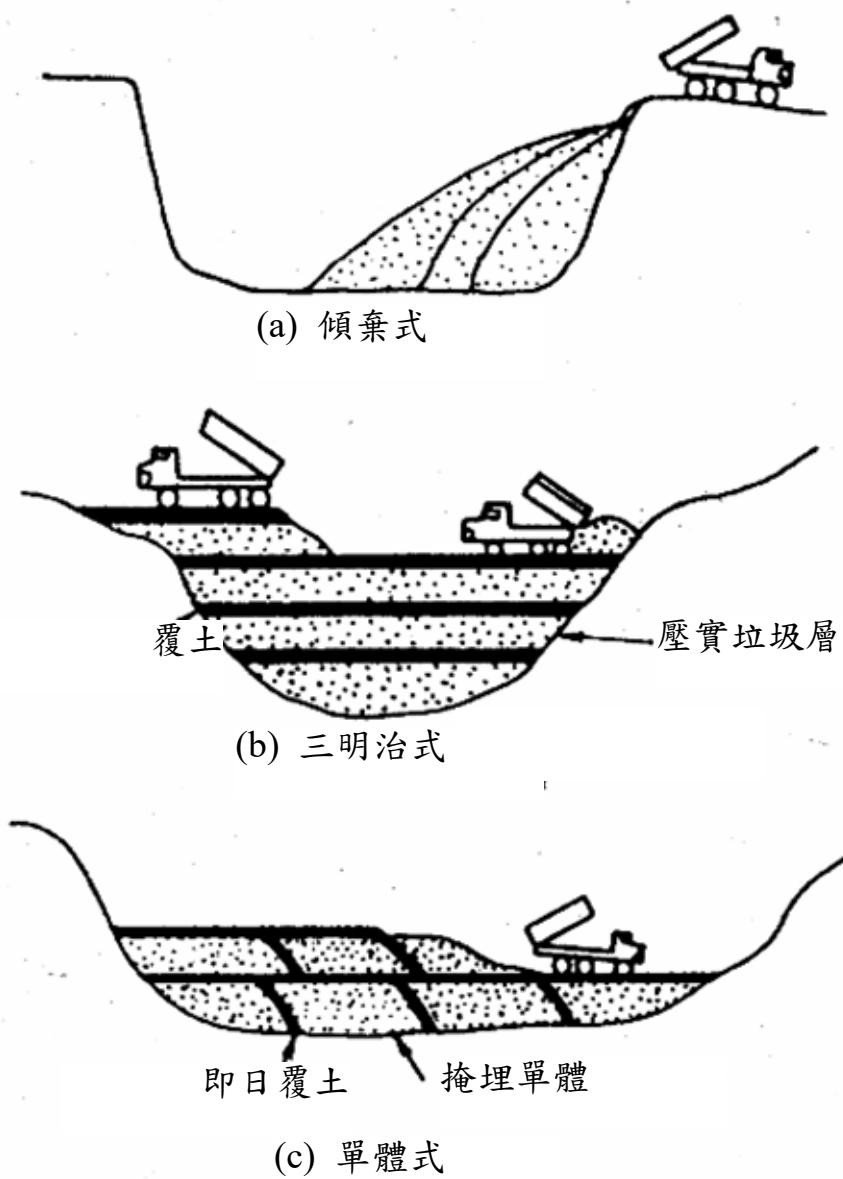


圖6.1、廢棄物掩埋作業方式

若依地形區分，掩埋作業方法可分成下列 3 種：

(一) 區域法

對於不適於挖掘壕溝之地形或可以填高之場地，可以選用此法（圖 6.2）。設置貯存（擋土牆或圍堤）與阻斷（阻水層與滲出水集水管等）結構物後，以三明治式或單體式由貯存結構物之下游往上游依次掩埋。此法覆土必須由他處運來。

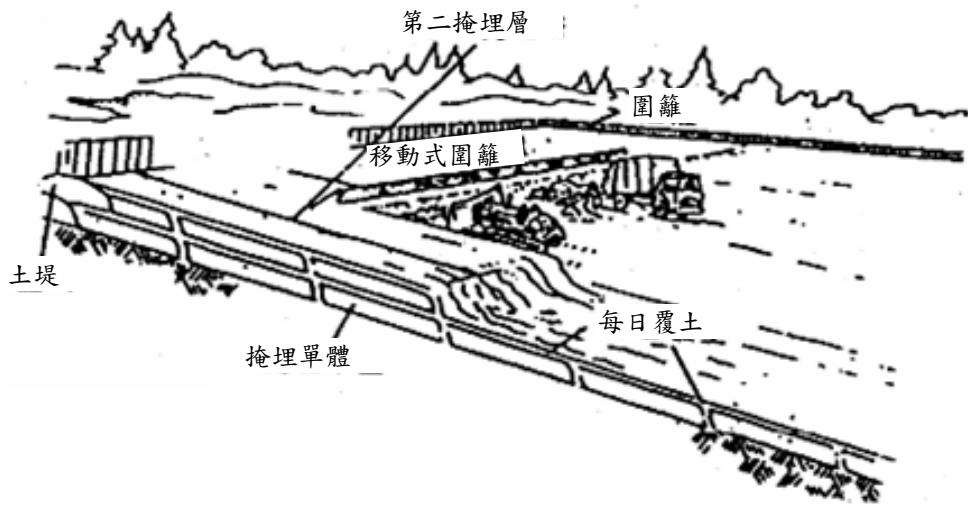


圖6.2、區域法掩埋

(二) 壓溝法

適用於平坦且地下水高水位與挖掘深度間之間距可保持 1.5 公尺以上之地區（圖 6.3）。先以挖土機挖掘壕溝，其大小通常為：深 2-5 公尺，長 30-120 公尺，寬 5-10 公尺，設置必要之結構物後，再將廢棄物填埋其上。壕溝應平行建造，並與風向成垂直方向，以避免廢棄物被風吹散。覆土可使用壕溝內挖出之土壤。

(三) 窪地法

利用天然或人工窪地、峽谷、土坑、採石場等填埋廢棄物（圖 6.4）。構築必要之貯存、阻斷等設施後，由谷底之下游往上游掩埋，而不可由上往下傾棄，以免妨礙集、排水。底層面積窄小時可先採用三明治式，掩埋面積擴大後即可用單體法。

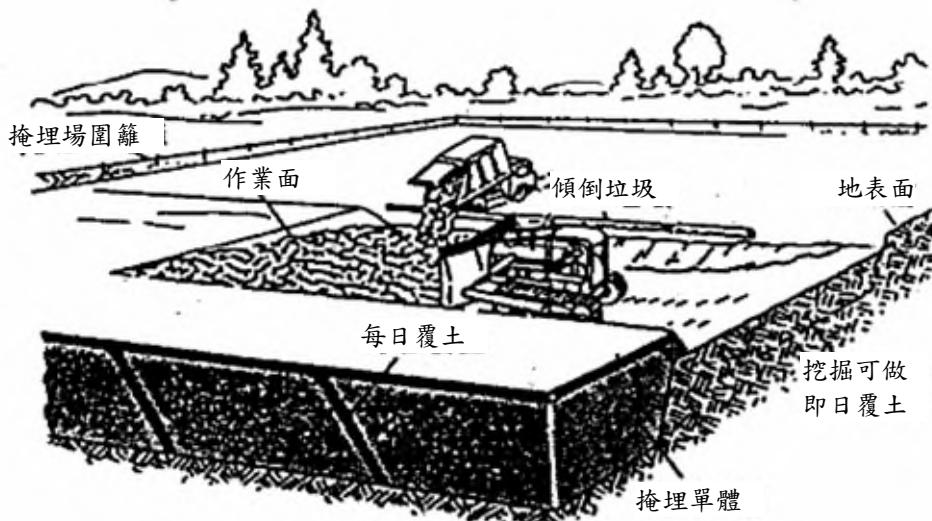


圖6.3、壕溝法掩埋

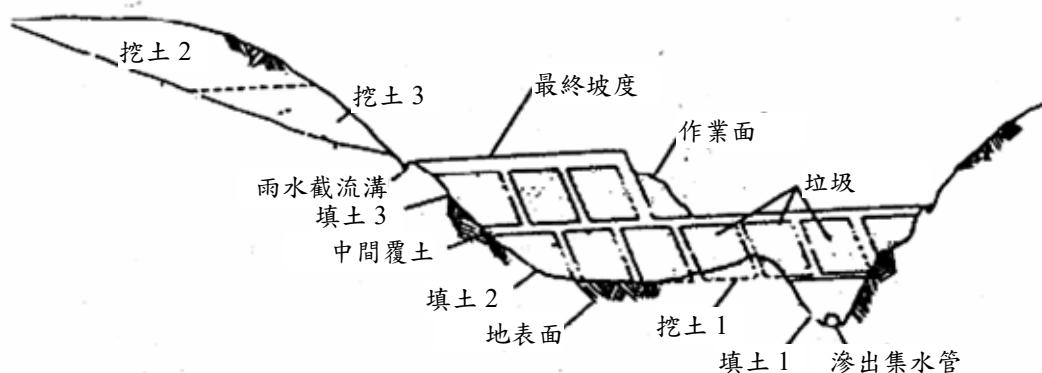


圖6.4、窪地法掩埋

二、衛生掩埋作業程序

進場廢棄物傾倒於工作區後，利用推土機、壓實機（夯實機）等先行均勻鋪平，大型廢棄物先經破碎，並予以壓實。

（一）進場填埋

廢棄物進場填埋之順序，如圖 6.5 所示，可分為下列兩種：

- 由上游開始：由上游漸次向下游推進，未掩埋區之雨水與掩埋區之滲出水難以分別排除，將使滲出水量遠遠超過設計量，且底部人造合成阻水層易受因雨而崩塌之廢棄物所破壞。

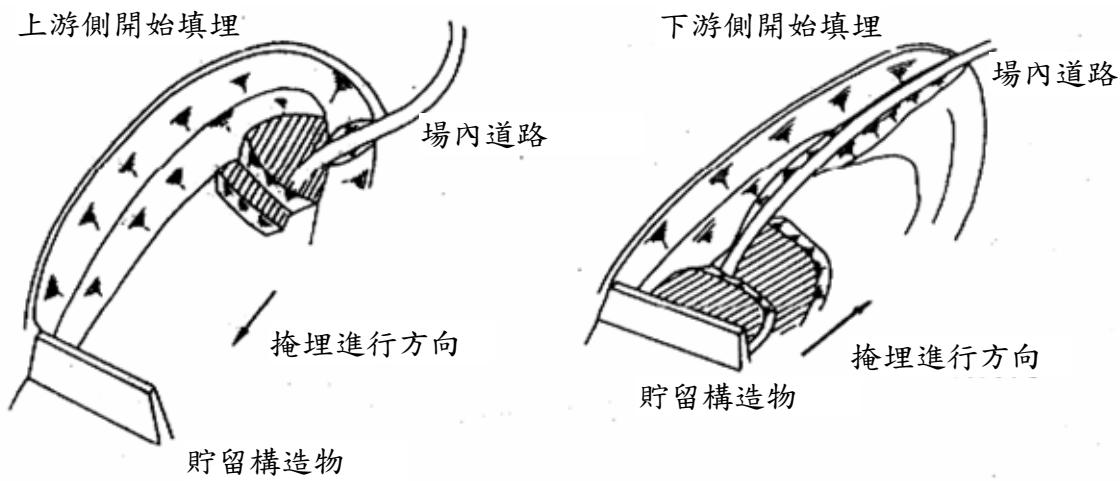


圖6.5、廢棄物進場填埋之順序

2. 由下游開始：與上游開始所具有之特點相反，未掩埋面之雨水與掩埋面所產生之滲出水易於分別排除，這才是正確的方式。

(二) 垃圾鋪平滾壓

進場後廢棄物，其鋪平、滾壓之方式，如圖 6.6 所示，可分成下列兩種：

1. 下推式：將傾倒於工作面之廢棄物，以推土機等由斜面上方往下推壓，此方式即為前述之傾棄式，難以將廢棄物鋪成較一致的厚度，下方處廢棄物層較厚，不易充分滾壓，斜坡面覆土無法確實施作，環境衛生難易控制，為錯誤的操作方式。
2. 上推式：將傾倒於工作面之廢棄物，以推土機沿著斜面由下往斗上推壓，此方式易於控制廢棄物層及覆土的厚度，廢棄物滾壓較確實，覆土亦確實，是正確的操作方式。

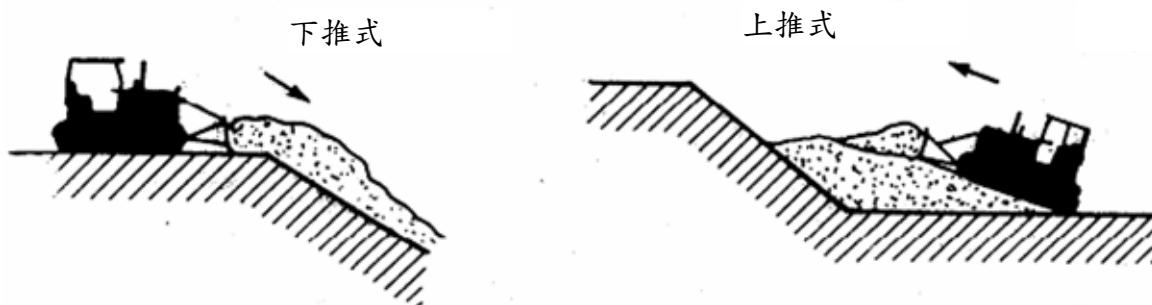


圖6.6、廢棄物鋪平、滾壓之方法

每日廢棄物鋪平、壓實後，須實施覆土作業，並於掩埋完成後，配合最終土地利用，實施最終覆土。覆土經壓實後，應保持 1%以上之坡度，以利排水及減少沖蝕。

最終覆土完成後，於其上植被進行綠化工作，以配合將來之土地利用。

三、衛生掩埋覆土作業

覆土為衛生掩埋作業之基本要項，應依作業進度選擇適當的覆土材料，遵照一定之施工方法實施各種型式之覆土。覆土型式及其作業要點歸納如表 6.1，而覆土材料之選擇除符合覆土目的外，尚須考慮所需覆土之來源以及取土方式之經濟性。理想覆土之性質包括：(一) 透水性低（最終覆土）或透氣性佳（每日覆土）；(二) 易壓實且不易龜裂；(三) 可提供微生物、水分，促進有機物分解；(四) 材質均勻、承載力佳，可做通路（中間覆土與最終覆土）；(五) 含天然養分以利種植（綠化植生）。單一組成之土壤往往無法達到上列之理想，宜依其目的，參考表 6.2 做適當選擇。

表 6.1、覆土型式、覆土材料與作業要點

項目 型式	當日覆土	中間覆土	最終覆土
覆土目的	<ul style="list-style-type: none"> · 防止垃圾飛散 · 抑制臭氣發散 · 防止病媒孳生 · 減少雨水入滲 	<ul style="list-style-type: none"> · 防止廢氣外洩 · 預防火災發生 · 提供車輛通路 	<ul style="list-style-type: none"> · 配合場址利用 · 減少雨水入滲 · 防止廢氣外洩
覆土時機	<ul style="list-style-type: none"> · 壓實後垃圾層厚度已達 3 公尺 · 每日掩埋作業完畢之後 	<ul style="list-style-type: none"> · 掩埋作業已達相當進度而開始產氣時 · 暫時轉移工作面時 	<ul style="list-style-type: none"> · 掩埋已達預定高程
覆土厚度	<ul style="list-style-type: none"> · 壓實後 15 公分 	<ul style="list-style-type: none"> · 壓實後 50 公分以上 	<ul style="list-style-type: none"> · 壓實後 50 公分以上
注意事項	<ul style="list-style-type: none"> · 須即日為之 	<ul style="list-style-type: none"> · 曝露時間可能長達半年至 1 年，須定期檢查，表面龜裂或低陷之處須隨時修補 	<ul style="list-style-type: none"> · 須依最終土地利用計畫、氣象條件等決定所需厚度
覆土材料	<ul style="list-style-type: none"> · 以放出廢氣為目的，採用透氣性良好之砂土（一般廢棄物） · 材料不受限制（事業廢棄物） 	<ul style="list-style-type: none"> · 以控制廢氣洩漏或雨水滲入為目的，須採用壓縮性佳透水係數小之黏土或砂質黏土 	
坡度	<ul style="list-style-type: none"> · 平坦面坡度 >1%，斜面坡度 15-25% 	<ul style="list-style-type: none"> · 平坦面坡度 >1%，斜面坡度 15-25% 	<ul style="list-style-type: none"> · 平坦面坡度 >1% 斜面坡度 <30%

表 6.2、各種土壤作為衛生掩埋覆土之適用性

項目	礫石	帶黏土及泥土之礫石	砂	帶黏土及泥土之砂	坋土	黏土
防止鼠類掘洞	G ⁽¹⁾	P-G	G	P	P	P
防止蠅鑽進鑽出	P	F	P	G	G	E ⁽²⁾
進入掩埋層之水分最少	P	F-G	P	G-E	G-E	E ⁽²⁾
廢氣自覆土逸出最少	P	F-G	P	G-E	G-E	E ⁽²⁾
外觀及飛散控制	E	E	E	E	E	E
掩埋後種植草木	P	G	P-F	E	G-E	F-G
排氣作用好	E	P	G	P	P	P

註(1)：E：優 G：良 F：可 P：不良

註(2)：除非覆土面產生龜裂現象

覆土作業除須達所需之厚度外，亦須壓實。至於斜面覆土之坡度，一般在 15-25%之間，如係最終覆土應在 30%以下，而平坦面須構成 1%以上之坡度，以利排水。

四、衛生掩埋作業管理

(一) 掩埋作業要點

衛生掩埋作業包括垃圾之傾倒、鋪平、壓實、消毒等作業，其操作管理必須配合廢棄物種類、地形條件、最終土地利用計畫等，依下述要點施工與管理，以期有效利用掩埋空間，妥善處理廢棄物。掩埋作業內容及其對廢棄物掩埋層之安定化、環境污染控制、防災、最終土地利用等之相關性。

1. 依掩埋規模、建立健全的經營體系；編制適任人力，並選用適當之施工機械，以改善施工品質，並提高工作效率。
2. 確實管制掩埋對象（廢棄物），建立廢棄物量、種類、來源等基本資料，作為控制掩埋處理量或作為收費之依據。對於有毒或有害於人體或機械的廢棄物，須先做分離前處理，且依設計規定進行適當處理。
3. 管制進出車輛及人員，嚴禁資源回收業者於工作面上檢拾廢棄物。但基於資源回收及廢棄物減量之立場，可於不妨礙作業效率、安全之條件下，在工作面以外進行。

4. 掩埋作業工作面以 30-50 公尺之寬度為宜，掩埋場內車輛之進出，應事先擬妥交通路線。進掩埋場可傾卸於工作面底部或頂部，再以推土機等作業機械將其推向工作面。傾卸廢棄物之車輛不可經由工作面駛出，亦不可將廢棄物運入掩埋作業地點。
5. 須將掩埋廢棄物盡量壓縮，以延長掩埋地壽命，並使掩埋後之沉陷減至最低限制。
6. 為使廢棄物盡量壓縮成高密度，必須使用推壓機械來回輾壓 3-5 次。每批次廢棄物層鋪平之厚度應在 40-80 公分之間，以免降低壓縮之效果。壓縮後之廢棄物層厚度累積達 3 公尺時須施行覆土。
7. 盡量將一般廢棄物、大型廢棄物、焚化殘渣等加以分別掩埋。若有必要先破碎再掩埋。
8. 必須實施當日覆土，不得露天燃燒廢棄物，並防範失火。
9. 對於焚化殘渣、易飛散之廢棄物，可先灑水或和砂混合掩埋。
10. 晴天時可將收集之滲出水分注於掩埋層內（不可噴灑於表面上以免發生臭味），讓其蒸發以減少滲出水量，並促進廢棄物之早日穩定。
11. 應確實管制塵埃、臭氣、病媒、滲出水，維護與美化場地，保育環境。

（二）病媒防制措施

廢棄物中之有機物質除了造成惡臭，亦為老鼠、蚊蠅等病媒之孳生源，其防制方法如下：

1. 施行覆土：於掩埋過程中確實施行每日覆土及最終覆土，隔絕病媒、昆蟲及鼠類等之食食物源，並且藉掩埋層內高溫狀態，滅絕病媒、昆蟲等之蟲卵，除去其生存空間。
2. 使用殺蟲劑：必要時以噴灑殺蟲劑輔之。

(三) 防火措施

廢棄物掩埋場內因有機物之厭氧分解所產生之甲烷氣體，其在大氣中之燃爆界限為 5-15% (體積)，係為火災發生之主因。此外，煙火管制不當及可燃性廢棄物堆中玻璃之聚光起火等，亦為可能之原因。一般而言，掩埋場之防火措施內容主要包括：

1. 場內各建築物內設置乾粉滅火器或泡沫滅火器。
2. 場內沿進出道路及適當地點設置蓄水池、消防栓、加壓抽水機及必要之消防水帶、噴嘴等。
3. 場區配備灑水車，平時可充當灑水車，防止塵土飛揚，並於必要時，運水滅火。

此外，利用場區內施工機具，對火災現場進行覆土作業，亦為可行方法。

(四) 噪音振動防制措施

一般掩埋場場內噪音及振動主要來源為：廢棄物清運車輛、場內作業機具及污水處理設施操作產生等，而其影響範圍常涵蓋區域為掩埋場區、進出道路沿線。掩埋場若設施山區偏遠處則問題較小，若鄰近生活圈，則須採取下列措施防制之。

1. 改善車輛、掩埋機具狀況：引擎、消音器及輪胎等之改善以降低噪音及振動產生量。
2. 改善道路設施：拓寬路面、改良路面、設置綠帶等。
3. 交通管理：駕駛交通訓練、交通量及路線之規劃等。
4. 設置遮音體：
 - (1) 利用自然地形：利用計畫區域高低起伏之地形，如坡谷、丘陵、山澗等地形，作為防音體。

- (2) 設置土堤遮音：設置高度約 4-5 公尺之土堤，利用其兩側傾斜牆面以減少噪音之干擾。
- (3) 植栽隔音：種植闊葉樹或其他植物以達到衰減傳音效果。

五、環境品質監測

衛生掩埋場計畫應對周圍環境狀況進行監測，以評鑑掩埋設施運轉及二次公害防治措施之成效。一般監測分析系統為地下水、垃圾滲出水、空氣品質等項目，且需於適當地點設置氣象、水文站，自掩埋設施開始興建至掩埋場封閉後 5 年內需經常取樣分析、記錄以作成報告備查。於每 1 季末，業主或操作者應將此 1 季中所得監測資料彙送相關機關。所有監測資料最少保存 3 年。

(一) 水質監測

1. 地下水監測：評估是否有垃圾滲出水滲漏。
2. 滲出水處理廠放流水：應符合放掩埋場之流水標準。
3. 滲出水各處理單元：為評估滲出水處理系統各處理設施功能，應於各處理單元以及進流口採樣分析。
4. 雨水（地面水）排放水：評估滲出水是否洩漏污染地面水。
5. 承受水體水質：大型掩埋場污染量較大，即使符合放流水標準，仍可能造成承受水體水質惡化。

(二) 空氣品質監測

1. 掩埋場附近環境調查

地形地物之調查主要在獲得場址附近地區之道路、建築、幾何特性與相對座標位置及人文活動狀況，以決定監測站位置、數量與現場採樣之位置，此項工作應以該地之地形圖為參考基準，並與現場逐一比對，以修正地形、地物之差異。

2. 掩埋場附近交通及工廠污染源之調查

本調查主要目的是獲得監測站附近主要街道交通量、掩埋場操作與清運車輛及其他可能污染源，以作為監測系統之評估及背景資料。

3. 監測站設置與採樣

- (1) 空氣品質監測站設置於掩埋場之上風處、下風處及附近敏感地點，而且監測站設置之數目、位置必須足以掌握掩埋場產生之空氣污染物。
- (2) 多點同時採樣及多點不同時採樣：本工作主要在獲得現場不同測站同時、不同時採集之空氣樣本，依氣象、地物、排放源特性分析空氣品質。
- (3) 定期（至少每個月做1次）及不定期採樣：本工作主要在獲得現場各個時段之空氣品質變化以建立完整資料。
- (4) 地面相同高度採樣及不同高度採樣：本工作乃在離地面1.0-1.5公尺處採樣，利用採樣點相對座標位置，獲得地面濃度分布；以及在固定建築物之不同高度採樣，以獲得濃度隨高度變化之情形。

4. 空氣品質異常之應變

- (1) 於7天內通知主管機關。
- (2) 針對空氣異常原因（例如溫層逆轉、場址悶燒...等）決定應採取之補救行動。

六、掩埋場封閉及復育再利用

當掩埋場使用期限屆滿封閉後進行土地再利用，若能有效配合當地社區人文景觀特色因地制宜，進行復育規劃為社區公園、綜合運動公園、遊憩公園、登山休閒公園等，將可提供當地居民休閒遊憩、運動，並兼具環保教育、生態、防災及宣導功能，回饋當地居民，以提升生活環境品質，定能建立土地資源永續有效利用。掩埋場之封閉作業包括覆土、排水、排氣、滲出水處理與地下水污染監測等，經封閉及善後處理之掩埋場，其土

地復育再利用計畫因掩埋廢棄物之種類與數量、覆土之土質與覆土量（厚度）、破碎機與壓縮機等中間處理之有無、掩埋基材於破碎壓實等作業之狀況以及地形等因素互異，掩埋完成後地層穩定化之期間亦不相同，而因場址利用方法亦有所差異。

（一）掩埋場復育再利用前應注意事項

1. 掩埋場邊坡穩定性分析

必須由現地調查來觀察是否有邊坡坍方的危險，以對邊坡之穩定加以分析及研判，現地調查包括了地層調查、地層分布、垃圾形狀、現場土壤鑽探及取樣，在土層變化處進行現場試驗（如標準貫入試驗，SPT），並須採取土樣供土壤一般物理性質試驗之用。

2. 密度

對於不同的掩埋場，垃圾層之密度也不同，輾壓良好的掩埋場垃圾密度可達 700 kg/m^3 ，通常於正常壓實情況下，其密度為 $400\text{-}500\text{ kg/m}^3$ 。

3. 沉陷

掩埋場因垃圾的分解，自重及附加重量共同結果，將自然發生沉陷；沉陷量及沉陷速度因垃圾含水分、種類、覆土數量、壓實程度等而異，只有建築廢棄物及壓實良好之場地其沉陷量較小，一般掩埋場之沉陷量約 30%，不均勻沉陷的結果將產生大片裂痕，使垃圾層暴露，蚊、蠅、鼠類孳生，以及雨水滲入與沼氣洩出等，致掩埋場積水並產生臭味。

4. 承載能力

掩埋場完成後之承載能力，係指支持建築物基礎並且保持基礎完整之能力，一般承載能力以 $30\text{-}50\text{ kg/m}^2$ 較適當，需視建築物不同而異。

5. 氣體

掩埋所產生的氣體，在掩埋完成後仍會繼續產生，且易集中蓄積於建築物中或土壤孔隙中有造成爆炸之虞，阻礙或影響植物生長。最後覆蓋層之設置兼具擋氣效果，因此配置厚的、潮溼的、有草的最後覆蓋層，使氣

體於掩埋地中橫向移行，使氣體於掩埋地橫向移動再加以收集處理。

6. 腐蝕

掩埋場內物質分解反應後產生揮發酸或硫化氫等極具腐蝕性氣體，容易造成無油漆或電鍍保護之管線及建築物基礎、材料等之腐蝕。

對於封閉後掩埋場地復育再利用，一般之要求條件如下：

- (1) 地盤沉陷量小且能在短時間內達到穩定性。
- (2) 地盤盡可能有較大之承載力。
- (3) 在坡面不可發生崩坍滑落現象。
- (4) 不可發生可燃性氣體及惡臭散發。
- (5) 不可對基礎構造物之耐用性有不良影響。
- (6) 須為適合植生之土壤。

上述之條件全都滿足，可如一般土地做最高之利用，但此條件未能全部滿足者，亦可因地區之特性，分為數期加以運用，諸如作為停車場、高爾夫球場、公園、運動場…等，待地層穩定後可興建較長久性或需較大承載能力之建築物。

(二) 研訂掩埋場復育再利用計畫

已完成之衛生掩埋場有多種用途，規劃設計者必須由技術與經濟觀點及該掩埋場穩定狀況，環境景觀之配合等選擇最佳用途。

掩埋場復育再利用計畫之景觀規劃設計時，應先考慮復育後之土地利用型態，並配合場地條件、附近之景觀、當地居民之需求及政府財力等因素來考量。掩埋場於封閉後之土地再利用型態有：林木用地、農業用地、休閒遊憩用地、自然生態區、建築用地等，若作為休閒遊憩用地時則需特別考量景觀規劃與設計，欲成功開發成為休閒遊憩用地須考慮以下因素：合適的地點、地形的需求、交通的便利、植栽及景觀設計等。

(三) 復育案例—臺北市山豬窟掩埋場復育工程

1. 基本資料

臺北市山豬窟垃圾衛生掩埋場地形為南北走向，南高北低之長條天然山谷，場區位於臺北市南港區與新北市深坑區的山區交界處，下游出口位於場址北側臺北市境內南港區舊莊里。掩埋區內側地質單純且無斷層通過，場區內有煤礦 2 座，坑道深 60-300 公尺，已停採 30 年以上，無安全之虞。因地形為一天然狹谷且為迎風坡，常有地形雨，降雨頻率較市區大。

民國 82 年 5 月臺北市闢建山豬窟垃圾衛生掩埋場以銜接福德坑垃圾掩埋場之處理工作，場區面積 65 公頃，掩埋面積 30 公頃，容量 617 萬立方公尺。為配合「臺北市 2010 零掩埋全回收政策」，其中完成掩埋之 21 公頃先進行復育綠美化工程，剩餘 9 公頃掩埋面積則轉型為廢棄物暫置場，先前購置各類機具如磁選機、破碎機、粉碎機、篩分機等，平時進行樹枝、巨大垃圾破碎、粉碎及彈簧床墊拆解、溝泥溝土篩分等回收再利用作業，遇有天災則進行災害廢棄物分類物回收再利用作業。

2. 復育計畫

自 100 年起臺北市山豬窟已不再掩埋處理廢棄物，102 年 10 月 26 日完成掩埋的 21 公頃復育工程，變身為「山水綠生態公園」，澈底扭轉已往對於垃圾掩埋場髒亂惡臭的負面印象，亦提升土地使用的價值，改善環境視覺景觀，是垃圾掩埋場轉型活化的典範。生態公園位於臺北市南港區南深路旁，工程是以生態友善的觀點，運用工程技術及植生綠化等方式進行復育轉變為綠地，綠化植栽的面積達 16.14 公頃，所種植喬木種類有 10 餘種達 1,723 棵，春天可賞櫻花、流蘇，初夏可賞油桐花，秋天賞欒樹、青楓、楓香，營造四季不同的豐富林相景觀，提供市民賞景、觀林、漫步的遊憩空間，夜間則可欣賞南港、內湖、汐止夜景。

山水綠生態公園於地底設有沼氣收集管和地下抽水井收集垃圾滲出水，自民國 88 年起迄今共處理約 1 億 3 千萬立方公尺的沼氣，發電量達 2 億度，生態公園裡許多資源再利用的設施，都在提醒資源有限，惟有惜物

永續再利用，才能使土地、資源生生不息。因園區位於山坡地為防止土壤流失，種植植被約有 1 千 7 百多棵喬木，樹木下方則同時種植灌木及花草，高低層次植栽可以達到吸收二氧化碳重複累加的最佳效果，還可吸引蝴蝶和鳥類停留，營造生態多樣性的空間；並配合地勢在園區內搭起小約 18 座小橋，小溪蜿蜒流過，溪裡魚蝦現蹤，吸引許多白鷺鷩爭食。

因復育公園成功營造友善的生態環境，目前已發現多種鳥類包括五色鳥、翠鳥、白鶲鴒、白鷺、黃頭鷺及保育類大冠鷺、臺灣藍鵲、領角鶲等，原有舊溝泥池變身為沼澤區，發現有紅冠水雞在此定居，山水綠公園（圖 6.7）將是本市近郊欣賞動植物生態的最佳景點。園內有森林木屋咖啡座、展望臺及遊客服務中心（圖 6.8）、野溪復育、沼澤區、兒童遊戲區、森林涼亭、瞭望臺等；園區多項設施係利用掩埋場內廢棄既有設施修建而成，例如森林咖啡屋與遊客服務中心即利用原有垃圾車洗車臺及資源回收站進行結構改造，而連接展望臺的木棧道以許多彩虹圓柱裝飾（圖 6.9），這些圓柱曾經是福德坑垃圾衛生掩埋場的電線桿，可讓遊客駐足賞景，體驗廢棄物回收及掩埋場復育土地再利用成效，提供最佳的環境教育園地。



圖 6.7、山水綠生態公園-南港山豬窟（攝影/周孫有）



圖 6.8、遊客活動中心具環境教育與賞景功能（攝影/周孫有）



圖 6.9、木棧道由舊電線桿改造而成彩虹圓柱（攝影/周孫有）

七、舊掩埋場移除

環境部配合「資源循環利用法（草案）」最新修訂內容，考量廢棄物處理以能源、資源回收或生質能再利用為優先，及掩埋場活化等前瞻性做法，環境部並修正「一般廢棄物回收清除處理辦法」，以促使掩埋場活化後對其挖除之一般廢棄物進行妥善回收再利用，規範其作業過程應注意事項，修正條文第 34 條：「一般廢棄物採掩埋處理者，其掩埋場所掩埋之一般廢棄物，如進行挖除活化，應妥適進行分類及篩選作業，並應規劃後續能資源回收及再利用方式，及避免造成環境污染」。

(一) 移除案例

舊掩埋場挖除活化再生案例，目前應以臺北市內湖垃圾山規模最大，臺北市環保局自 91 年開始辦理內湖垃圾山清除活化工程規劃，採用篩選分類方式，將垃圾層分類為「可燃垃圾」、「土石方」、「資源回收物」及「其他廢棄物」分別處理，清除工程總預算 13.8 億元。

臺北市過去垃圾多採堆置處理，商借內湖區蘆洲里基隆河北側窪地（圖 6.10），堆置處理臺北市一般家戶垃圾，至民國 74 年 12 月底封閉。該處形成高程約 55 公尺之小山，環保局評估後，計畫清除量體約 222.8 萬立方公尺，其中行水區部分全部清除，非行水區保留 90 萬立方公尺作為景觀假山、景觀緩坡、堤防用途，清除範圍詳如圖 6.11。

為加速推動清除工程，採「統包」方式推動，工程總預算計 13.8 億元（含補償費 50,250,000 元、施工費 1,273,000,000 元、統包工程細部設計費 8,000,000 元、委託辦理工程專案管理費 38,750,000 元及工程管理費 10,000,000 元），環保局於民國 94 年 12 月完成該工程「專案管理及監造技術服務工作 (PCM)」發包，並在民國 95 年 9 月底完成統包工程發包，目前依契約工期預計於民國 102 年完工。



資料來源：臺北市政府環境保護局。

圖 6.10、臺北市內湖垃圾山位置圖



資料來源：臺北市政府環境保護局。

圖 6.11、內湖垃圾山清除前之範圍及高程圖

(二) 移除工程內容

本清除工程採「篩分」方式清除，統包廠商主要工項包括工程細部設計、垃圾層挖除、篩分、篩出之可燃垃圾清運至環保局 3 座垃圾焚化廠焚化處理，篩出之資源回收物委由資源回收商進行回收再利用，篩出之土石方進行採樣檢驗，如土質純度及各項重金屬總量符合「土壤污染管制標準」，則可供現地回填及運交合法土資場處理，如超過「土壤污染管制標準」，則歸類為「廢棄物」，統包廠商須再進行「毒性特性溶出程序檢驗」(TCLP)，如檢驗結果低於「有害事業廢棄物認定標準」中之溶出標準，則送交一般事業廢棄物掩埋場或其他合格處理機構處理，如超過溶出標準，則必須送交合格「有害事業廢棄物處理機構」妥善處理，執行計畫內容如圖 6.12。

該工程為防止清除過程中垃圾山崩坍之危險，統包廠商須依基本計畫順序開挖：A→B→C→D→E→F→G→H→新增範圍，詳如圖 6.13。本工程完成開挖至設計高程下 50 公分後，再回填 50 公分覆土後進行植生綠化，其中行水區堤防部分考量其安全性，設計高程下之開挖及回填厚度增加為 100 公分。統包廠商所設置之垃圾山篩選分類設備運作流程如圖 6.14。

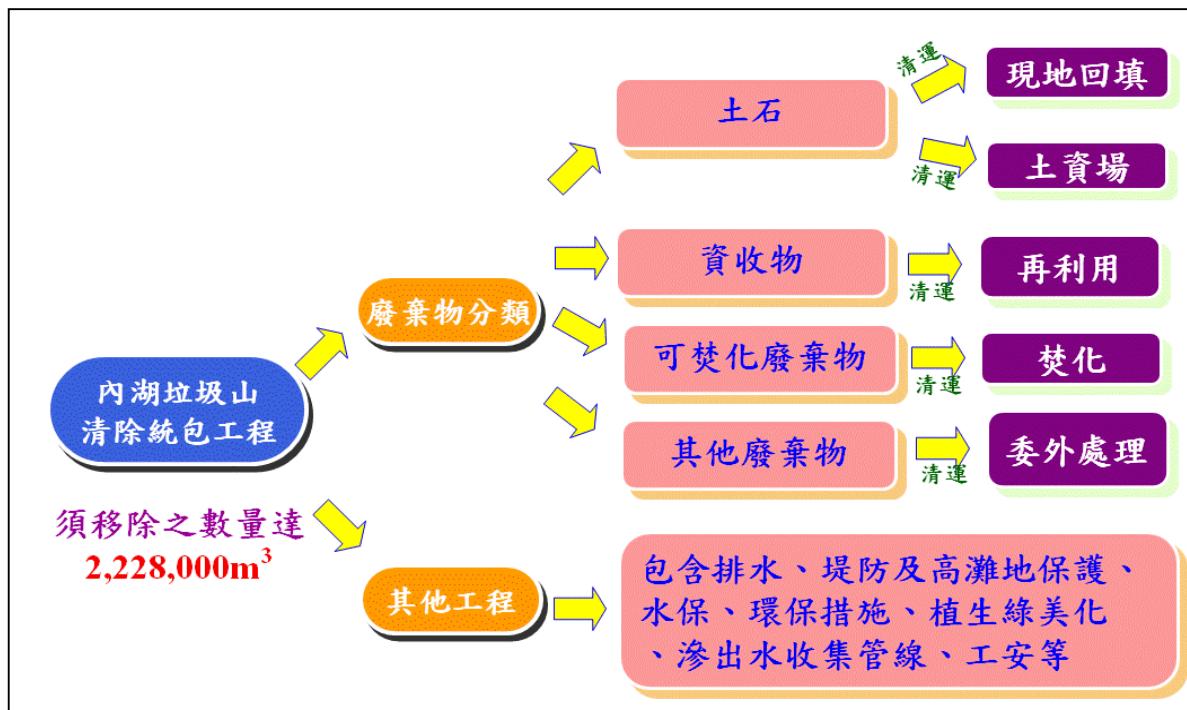
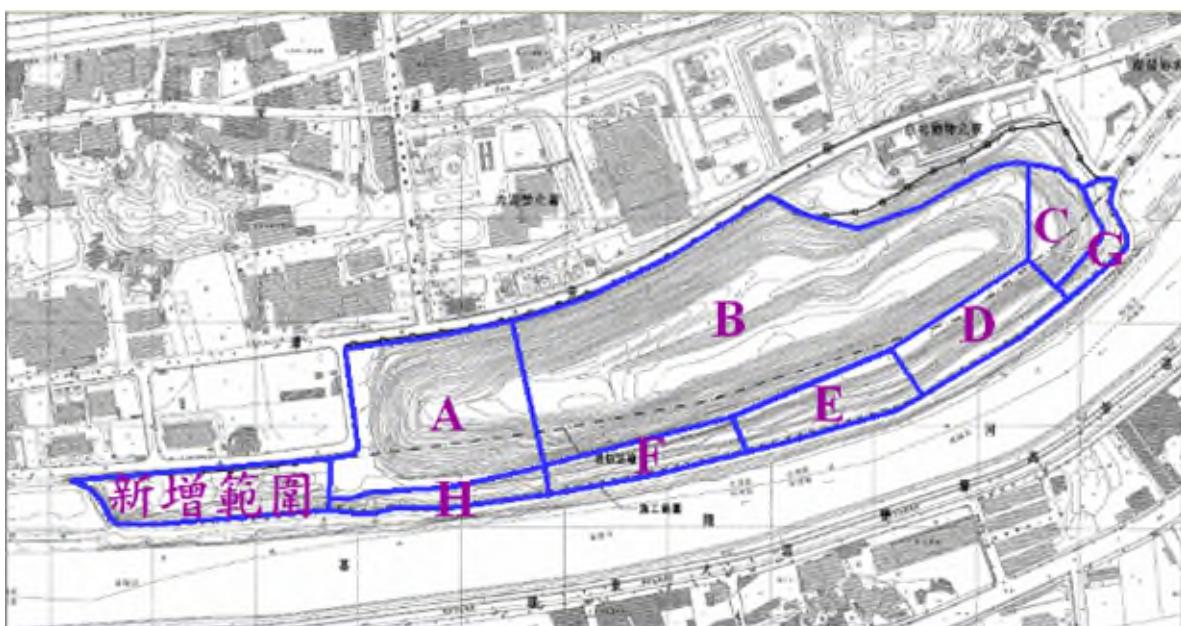
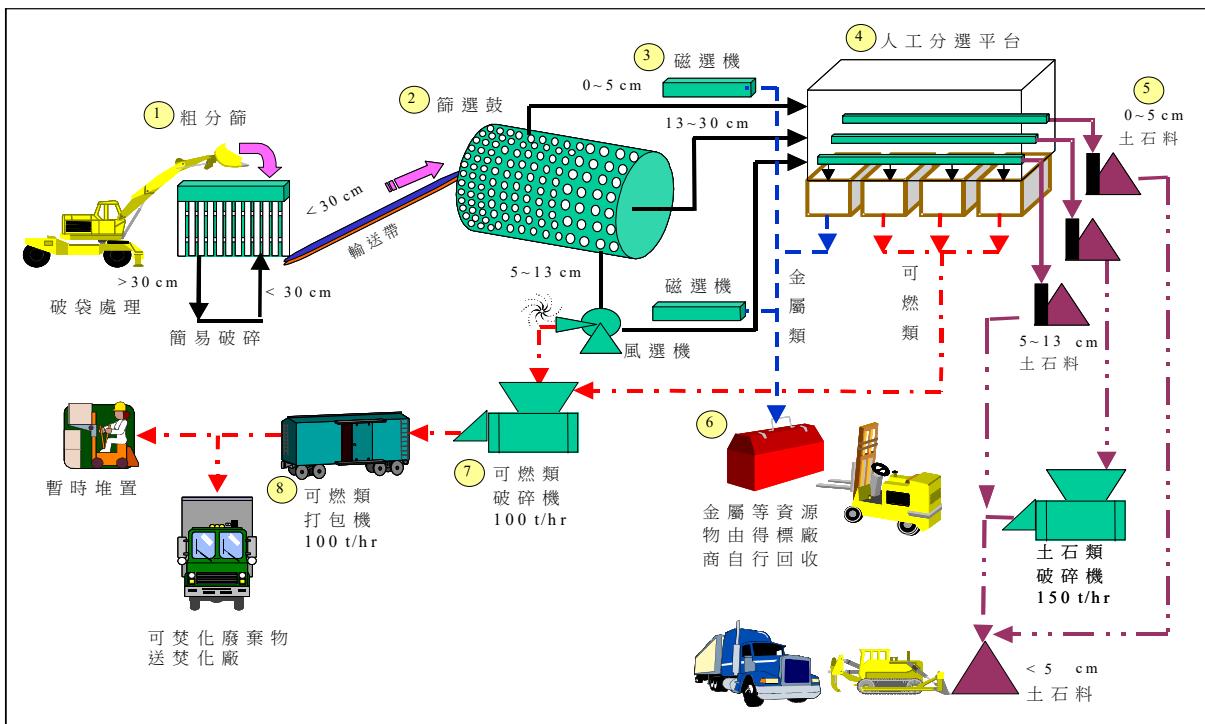


圖 6.12、內湖垃圾山清除工程執行計畫內容



資料來源：臺北市政府環境保護局。

圖 6.13、內湖垃圾山清除工程開挖順序



資料來源：臺北市政府環境保護局。

圖 6.14、內湖垃圾山清除工程篩分流程

(三) 土石方再利用

垃圾山約 60%為土石方，除工區整地回填及生態堤防需用約 7 萬方外，尚有約 100 萬方土石必須外運處理，環保局在工程契約中規定，篩出土石方中殘留垃圾比例不得高於 5%，依據鑽探及垃圾採樣分析結果顯示內湖垃圾山成分之物理組成（溼基），約有 37%之可燃物，其中塑膠類約為 13%，可燃垃圾中約有 1/3 屬舊塑膠袋、廢塑膠製品等物質，篩選分類後產出之不可燃物比例不得超過 25%，即篩選後可燃垃圾純度必須達到 75%以上，且每 5,000 方（鬆方）必須委由合格環境檢測業採樣檢測重金屬總量，確認符合「土壤污染管制標準」後，始得現地回填或外運再利用，現統包商依約取得 5 個土資場共 133 萬方之同意收容文件，另山豬窟掩埋場復育配合工程進度約可使用 22 萬方作為填土及植栽使用。

在監控機制方面，工區出入口均已設置 CCTV（監視錄影設施），24 小時監控，垃圾與土石方清運車輛均已裝設 GPS（衛星定位系統），各項廢棄物及土石方運出均須過磅紀錄、查核出場遞送聯單、檢驗 GPS 訊號及加裝封條後，始得離場，並由監工及督工人員監看車輛行進軌跡。進到焚化廠

後亦配合過磅、核對聯單及 CCTV 錄影等監控；進到土資場部分，因土資場多未設置 CCTV，故環保局要求統包商應於運土車輛到達後，現場拍照及做成進場紀錄，每日傳真環保局彙整，以有效防堵事後變造進場紀錄情事。

參考資料

1. Tchobanoglou G., Theisen H, Vigils., "Integrated Solid Wastes Management-Engineering Principles and Management Issues", pp.103-159, 1993.
2. 「廢棄物處理施設構造指針解說-廢棄最終處分場指針篇」，社團法人全國都市清掃會議，1991 年版。
3. 行政院衛生署環境保護局，「一般廢棄物掩埋場設置準則」，BEP-74-04-010，民國 73 年。
4. 日本環境技術研究會，「都市ごみ處理ガイドック」，理工新社出版，1982 年 6 月。
5. 張祖恩，「垃圾衛生掩埋處理」，成大環工第 6 期，pp.67-85，民國 73 年。
6. 「最終處分廢棄物處理施設技術管理者資格認定講習テキストIV」，日本環境衛生センター，1985 年 7 月。
7. 日本產業調查會，「廢棄物處理資源リサイル」，1985 年 11 月。
8. Robinson W. D., "The Solid Waste Handbook-A Practical Guide", John Wiley & Sons, Inc. 1986.
9. 張祖恩，「固體廢棄物穩定化過程參數之測定與應用」，成功大學環境工程研究所研究報告第 62 號。民國 77 年。
10. 梁德民，「垃圾滲出水與水肥合併生物處理」，成功大學環境工程研究所碩士論文，民國 79 年 5 月。
11. 張祖恩，「一般及事業廢棄物最終處置技術」，公民營廢棄物清除處理機構專業技術人員講習訓練講義，民國 79 年 8 月。
12. 「南星計畫特刊」，高雄市環保之聲第 63 期，民國 80 年 9 月。
13. 「環境法令 (84)」，環保通訊社，民國 84 年。
14. Preffer J. T., "Solid Waste Management Engineering", Prentice- Hall Inc., 1992.
15. 陳龍吉、徐振盛編譯，「廢棄物處置場污染補救措施」，淑馨出版社，民國 81 年。
16. 環境部，「一般廢棄物處理設施設置規範（掩埋部分）研訂報告」，民國 78 年 6 月。

17. 環境部，「臺灣東部海域海洋投棄可行地點環境影響評估報告」，民國 83 年 3 月。
18. 張祖恩、蔣立中，「垃圾掩埋場滲出水之物化處理技術」，廢棄物掩埋處理技術研討會，民國 84 年 9 月。
19. 日本厚生省生活衛生局水道環境部產業廢棄物對策室，產業廢棄物處理 ハンドブック，ぎょうせい，1993 年版。
20. Keenan, et al., "Landfill Leachate Treatment," JWPCF, January 1984。
21. 日本全國都市清掃會議，「埋立處分場浸出液處理」。
22. 中興工程顧問社，「福德坑垃圾衛生掩埋處理場工程垃圾滲出水處理規劃」，73 年。
23. Chian and DeWalle, 1977。
24. 游中揚，「衛生掩埋場復育技術與實例探討」，第一屆廢棄物清理實務研討會論文集，民國 87 年。
25. 環境部，「封閉垃圾場復育綠美化執行成效評估計畫」，89 年。
26. Vesilind, P. A., W. Worrell, and D. Reinhart, "Solid Waste Engineering," 2002.
27. King, D., and A. Mureebe. "Leachate Management Sucessfully Implemented at Landfill", Water Environment and Technology, 4, 1992.
28. Richardson, G., and A. Zhao. "Design of Lateral Drainage Systems for Landfills", Baltimore: Tenaz Corporation.
29. 環境部，「整合規劃推動事業廢棄物零廢棄相關工作計畫」，EPA-94-H102-02-131，95 年。
30. 環境部，「事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準與有害事業廢棄物認定標準研修」，EPA-94-H102-02-134，94 年。
31. L. W. Canter 著，黃光輝譯，環境影響評估（二版），滄海書局出版，87 年 5 月。
32. 黃光輝著，環境評估與管理導論（二版），高立圖書出版，96 年 1 月。
33. 環境部，環境影響評估法規彙編，95 年 2 月。
34. 環境部，一般廢棄物回收清除處理辦法（稿），102 年 8 月 15 日。
35. 環境部，事業廢棄物貯存清除處理方法及設施標準（稿），102 年 9 月 2 日。

36. 環境部，有害事業廢棄物認定標準（稿），102 年 9 月 2 日。
37. 鄭顯榮編著，環境設施規劃設計與操作管理，高立圖書出版，93 年 2 月。
38. 臺北畫刊，見證綠色奇蹟—垃圾場變綠地，文-林瑋庭，攝影-王能佑，544 期，102 年。
39. 新北市環境保護局，三峽碳中和樂園，
http://www.epd.ntpc.gov.tw/_file/1150/SG/31852/D.html。
40. 臺北市政府環境保護局，內湖垃圾山清除計畫專案報告，臺北市議會第 11 屆第 4 次定期大會，101 年 11 月。