

廢棄物掩埋及土地資源化

李 明 毅*

(一) 緒論：

一、前言：

廢棄物之處理有各種不同的方法，但大都限於中間處理之無害化，減量化等措施，在中間處理後所殘餘之物質，仍然為一種廢棄物，不可能完全無量化，因此，中間處理過程，並未完全解決廢棄物處理之問題，例如集塵之飛灰，污水處理之污泥及焚化後之餘燼等出路，亦為一項環保上之沉重負荷，在另一方面，中間處理之方式及層次，均須以環保及經濟效益為考量因素，因此，最終處置之方式往往可改變中間處理之方式及層次，目前較被採用之最終處理方法為海拋及掩埋。

海拋方式之前提，乃基於大海之容量，自淨能力遠大於海拋廢棄物之影響能力為立論觀點，然而，事實上證明此立論已呈現偏差，畢竟大海之容量，自淨能力有一定限度，正如河川變質，當自淨能力不堪負荷後造成污染公害一般，海拋方式對海域已引起污染和生態之改變，使各先進國家均加以管制。

陸上掩埋方式原則上較海拋方式為安定，不易擴散，但必須使用若干土地資源，且隨著廢棄物而日益增加使用面積，形成與陸上生物競相使用土地資源，此為其重大缺點，因此，如何使陸上掩埋之土地資源高值化，以免成為廢地，乃是一項重要課題。

二、掩埋之正面意義：

掩埋之意義，除了對廢棄物質加以衛生安全防範，不致造成二次污染公害以外，對掩埋地點之土質，亦提供穩定可靠之利用價值，換言之，在掩埋處理過程中，將填置物轉化為改良土地之資源，則掩埋才具有正面之意義及效益。

因此，若以土地改良，高值化為目標，則現有之各種掩埋廢棄物便形成一種填置之材料資源，投資於廢棄物處理之成本，卻能在土地改良上得到回收。

在最終處理方式，若干廢棄物甚或可被利用於更高值之資源用途，如道路、堤防……等等之公共設施，而得到更高之效益，因此掩埋之另一項意義，乃在於使廢棄物資源化。

當最終處理之標的，方式若經決定後，再講求中間處理之過程，則將可能節省甚多之無效成本，如無害化，減量化之程度而降低處理成本。

* 臺北市七星農田水利研究發展基金會技術顧問

因此，對於所謂廢棄物應先確立其使用目標作為導向，將處理過程轉化為資源化所需之處理方式，則能使廢棄物處理成為一積極性，建設性之事業。

三、掩埋：

除了部份廢棄物可經簡易處理而成為資源化材料以外，一般綜合性廢棄物，其前處理，中間處理均非常困難，且成本極高，或是由前處理，中間處理無法回收之殘餘物，亦待解決，其最終一途，則走向掩埋。

陸上掩埋大致可分內陸及海邊兩種，無論那一種形式，其處理均以不溶出或擴散為原則。因此，若能以整體為考量，而非以單一事業廢棄物之處理，則因具有互補作用產生，可以減少大量之處理成本，卻不影響其安全之可靠性。因此，掩埋應以整體性考量較妥。

大自然之自淨、分解、消化等能力，永遠存在，而環境條件，卻經常變遷，如果能使污染率小於大自然之自淨能力，則不致構成污染危害，因此掩埋之另一考量因素乃是分解、溶出等之反應速率。

在掩埋之考量，應就各種人文、地理、社會之環境背景及未來走向，加以妥善因應利用，以前有人購置水肥，現在有些地區卻需付費處理，有些地區視為養殖飼料，若能依環境特性，作妥善之規劃，則廢棄物之處理，將較落實且簡化。

四、掩埋場地之探討：

現在掩埋場均以處理廢棄物為單一目的，因此，降低成本成為節流之唯一途徑，以致在各種因素考量上次週或設施過於簡陋，而產生諸多弊害，以下就內陸各地及海灘之掩埋提出探討與分析。

(1) 現有內陸掩埋場檢討：

1. 基本架構：

在窪地之底部及四週敷設不透水布加上通氣排水等，以形成貯槽形，供填置垃圾，廢棄物之用，每至一層高，以不受污染之土壤覆蓋之，即成所謂之衛生掩埋。

2. 不透水布之損害：

不透水布為不織布，聚合物所製成，防腐化性能高，由於須為連續式，接縫處越少越好，因此儘可能整體施工，實際上在掩埋場中之不透水布須承受外側向內之土壤壓力，地下水壓力，以及由內部向外之垃圾、廢棄物、污水等壓力，這些壓力分佈並不均勻，形成不透水布所受壓力，張力不均，而發生脆弱部份容易破損的現象。

另一種影響強度之因素乃是地層之變動，無論外側之新土或填置之垃圾、廢棄物等，其初期十分不穩定，擠壓、撕裂之狀況很容易發生，而造成不透水布之損害。

再一方面，坡堤上之尖銳物，以及垃圾中之固體廢棄物均可能刺穿，劃破不透水布，而造成不透水層失效產生滲漏。

垃圾在掩埋場中由於空氣不足，形成為一天然厭氣消化槽，其中因物理作用，

化學反應及微生物分解等，對不透水布亦加速老化侵蝕，縮短其耐用年限，當不透水布一旦有任何破損，掩埋場便形成二次污染源。

掩埋場所填置之垃圾，含有大量水分及有機物，因此，溶解、消化、分解、中和等各種複雜作用均不斷地進行，由於與外界空氣隔絕，掩埋場事實上成爲厭氣性之反應槽，反應後以氣體、固體和水溶液三種形態出現，除固體外，其餘流體均爲污染媒，必須加以再處理，否則即造成公害。

然而，由垃圾本身所能提供於反應作用之水量非常有限，只有原來之含水率，若無新水補充，則各種反應難於進行。新水來源主要爲雨量及地水，臺灣山區雨量多達數千乃至於萬計以上厘米，亦即有數公尺至十餘公尺之水深雨水經地表滲透，由掩埋場上方向下，逐層提供反應作用所須之水分，最後聚集於底部，又由於四週密閉，蒸發量小，因此，這些雨水大部成爲高污染之污水，每平方公尺每年因雨水所產生之污水將高達數十噸以上，地下水之滲入，乃肇因不透水層破損而發生，其量無法估計，而最後亦變成污水滙集於掩埋場內成爲污染源。

由整個掩埋場觀之，在雨季或驟雨，或地水湧入，而無法及時渲洩時，聚集於槽內之水便形成一地下高污染之人工湖，經由此湖水之上昇，消滅及溶解等作用，可使掩埋場底部成爲流動之漂浮地層。

3. 覆土：

覆土之作用，在於阻止垃圾曝露，以待垃圾產生腐化、分解、消化等作用，一般均以客土作爲材料，但新移客土具多孔隙，無防止水滲透之功能，氣體之收集，亦難以進行，因此，必須具有相當之厚度，才能達到標準，因此覆土功能被圍範於一隅，且影響容積，減少使用年限。

4. 土地利用價值：

在掩埋場填滿垃圾後之土地，屬於非常不安定之地層，流動下陷等情況，將劇烈進行，因此，初期土地使用價值甚低，必須待數十年後穩定了才可利用，現行僅以綠化爲標地，深爲可惜。

5. 生態環境之影響：

掩埋場區之污染水量，沼氣量增加甚多，必須付出龐大之再處理費，而一旦不透水布有破損時，則造成最嚴重之後果，成爲一不定時污染源。

(2) 未來掩埋之改進重點：

針對以上功能缺失，本文研擬出可行性之方案：

1. 減少垃圾之反應作用：

如果垃圾中，無新水源之補充，則其分解、消化、酵化……各種物理或化學反應均將受阻減緩或停止。例如木乃伊以及沙漠或黃土中之千年遺體，均能保持完好，足以證明若無水分，則無論有機物或無機物之反應作用，均受限制。

2. 廢水量之減少：

由垃圾中分解、消化或中和所產生之污水量十分有限，且將隨時間而呈現遞減，因此，新水分之來源若能有效阻絕，則產生之污染量少，且穩定。

3. 穩定地層，提高土地資源價值：

地層之變動在所難免，若能延緩程度，以及變化幅度，則土地利用價值自然提高，掩埋場地層之變動，來自聚集之污水及內部反應劇烈，固體量之分解以及孔隙間之泥、沙、氣體流動等，因此，若能消滅底部之污染水，減低分解，以及重力均勻分散，則地層應較安定。

4. 經濟性：

現行之方式，除初期主工程建造費外，還須污水、氣體之處理投資，而長期間運轉，維護資更逐年增加，因此若能變更工作方法減低設施之投資，減少長期運轉費，則綜合效益將大可提高。

(二) 新設掩埋場例舉：

本文就以下列二種較具代表性之掩埋方式，作一概略介紹：

(1) 谷窪地掩埋場：

是利用原有地形地貌，在內陸中取價值較低之山谷、窪地等，以供垃圾或廢棄物之填置掩埋。

(2) 海灘掩埋填築場：

就沿海淺灘上，構築掩埋場，並以廢棄物作為填築材，產生新生用地。

一、谷窪地掩埋場：

(1) 區域條件分析：

掩埋場在世界很多地方均有，且型式層次亦異，其中有具成效者，也有缺失的，雖其資料可供參考，卻不適於全盤引用，應先分析區域環境條件之特色，始可研擬，現以臺灣之掩埋場應考慮因素加以說明。

1. 雨量多，降雨量分佈起伏大，驟雨及颱風之豪雨甚為可觀。
2. 雨水因地形而異，且山區、平地、沿海之雨量不同。
3. 濕度大，處於亞熱帶，相對濕度大都高於60%以上，80%居多，山區更高。
4. 土地資源有限：成本高，無法長期使用。
5. 人口多，且密集，緩衝空間很少，週邊影響必須慎加考慮。
6. 垃圾分類處理及前後處理作業尚未實施。

(2) 規劃概要：

1. 箱槽

在填置場中規劃為填置槽，以供垃圾之填置，底部設有透水帶及污水管，以收集該箱槽之污水，並設排氣孔以聚集反應發生之氣體。

2. 地水之疏導：

地水來源為側面及底部之水分，因此，視該地區之地水量，以填置石沙等作為水路而引出掩埋場外。

3. 地表水之排泄：

地表雨水，以及該區域滙集之雨水，以不透水層遮斷，兼作覆土，區域水則以截流方式，不使進入掩埋場。

4. 填築分類：

以垃圾別作概略分類，分為高含水有機物類及低含水無機廢棄物，作為岸邊與中心區之填置。

5. 表層：

掩埋終了後，在不透水層上，可作成集水層，再依需要規劃為各用途之土地。

(3) 設計概要：

本規劃設計乃基於，現行掩埋方式之缺乏，目標構想，區域條件，以及經濟效益所研擬之計劃。

1. 箱槽：

以結構體建造成矩型箱槽，以供填置垃圾之用，底部設置通水帶及集氣孔以管引出掩埋場外，每箱槽以供給 7-10 日填置量為度，高度約 5-6 公尺，寬度 10-20 公尺，長度以容量計算得之。

2. 底基：

以亂石填鋪谷底而成，其孔隙之通水量以最大流量減去兩側分水量得之。

3. 層基：

層基以覆土固化行之。

4. 邊牆通水路：

以亂石堆砌於邊坡，然後填置砂石。

(4) 功能效用：

茲將各構造功能，概略說明如下：

1. 基層水路：

以亂石鋪成之孔隙通水路，以引導地下水之流出，因使用孔隙水路流速低緩，水蝕及沖刷力小，可得穩定之水路並兼作箱槽基礎，施工法簡單，材料現成。

2. 箱槽底層：

箱槽之底層以泥砂加以固化成不透水層，此為承受壓力部份，故厚度略高，由於骨材取得容易，施工方便，成本降低。

3. 箱壁：

外壁及隔牆可以預鑄塊磚切成或混凝土製成，層間高度等高，且分層施工。

4. 箱槽內通水管及集氣管：

於底部以亂石堆成供水路及空氣通過（兩者兼用）。

5. 邊坡集水路：

以亂石為底投入層面，形成一排水通道，再由銜接邊坡之道路填石，造成

區段透水攔砂壩，以攔截泥砂流入下游，並兼作填土，不足部份，可在次層建造時填滿。

箱槽之構造以隔離為主要，並非承受內外來之土壓、水壓，且因有導水設施，滲透現象極少，所須承受之壓力，限於層間，材料可以當地土砂、廢土等固化成型。

6. 地水引水路：

地水引水路，係能讓地水在大氣壓力下，重力流為基準，因此多孔隙之砂、石等，堆成自然水路即可，在長期地水作用下，可經汙泥沉積、水蝕及土壓等形成一自然良好之通水路、砂、石來源以層間整地時取得。

7. 地表水阻絕及土砂：

以目前覆土作業中，加上土壤硬化劑，即可形成，再以壓實代替層厚，區域表水，在施工期間以箱牆壁與坡壁間之區域作成攔砂壩式通水，形成層間自然填土及水土保持。

8. 壓縮：

由運輸車輛作業，可作平均壓縮，而分類填置，可以提高土地效用及因應地層變化。

(5)預期效果：

1. 氣體產量少。
2. 汚水量減少，且呈現遞減。
3. 滲透等二次公害減少。
4. 材料費減少，應用現場及填置廢棄物即可。
5. 凈水增加。
6. 地層變動小，利用價值高，土地資源回收利益大。
7. 自然力之應用，如水路、填土、運搬。
8. 箱槽作業、覆土效用、衛生性提高。
9. 層間作業，逐步進行。
10. 環境生態可保持，不需長期投資。
11. 基本設施少，無所謂經濟規模，大小場地均可。
12. 邊建邊用，不必等待整體完工。

以土地利用資源之回收，及整體成本，長期效益而觀之，則效益頗高。

二、海灘掩埋填築場：

(1)背景：

臺灣區土地資源有限，人口密度亦高，加上三分之二以上為山區，因此，可資利用之土地極為有限，每年大量山區砂石被沖蝕，河川水路泥沙，以及各種事業廢棄物，若要在有限可資利用之土地上，撥地處理，則十分困難。因此，本方案乃基於廢棄物資源化，將其視為建材、填築料等，以使這些廢物之出路得以解決，並創出高值化

之土地資源，此一目標與現有之理念相互吻合，但執行方式卻有所不同，主要在改善現有方式之缺失，以達到安全、衛生及效益化之目標。

臺灣之中央為高大之山脈分隔，平原帶狹長，距離海域均甚短，最多亦僅約80公里，人口、農業、工業，均集聚於平原地帶，所需運輸皆不長，河川短且急，泥砂量甚大，加上地下水超抽，導致地層下陷，海水倒灌，海岸漂砂及侵蝕情況嚴重，因此，築堤、造陸等建設，每年均挹注巨額投資，事業廢棄物、鹽地、低值沙土，均有待處理如能妥善應用填築造陸，並同時作公共建設，則其經濟價值甚高。

(2) 現行海岸填築方式之探討：

現行海岸填築方式，或基於經濟價值而因簡就陋，產生很多缺失，或由於方式、材料之考慮不當，而造成鉅額成本投資卻無法完全發揮功效，茲大略探討如下：

1. 基礎工程困難：

在沿海淺灘之基礎，因海浪潮汐之侵蝕，或為流動性之沙灘，或為不規則之岩石、沙石混合區，若有穩固之地點，都已被利用為高值用途，如港灣、船埠等，因此，低值地段之淺灘，其基礎並不穩定，建造施工異常困難，而若未加處理則因地層之下陷、流失或位移，將使填築物表露及流失。

2. 防滲措施不易：

對海岸填築場而言，除由雨水、地表水之外，潮汐、風浪等均可能對填築地造成內侵或外滲，正如基礎工程一般，防滲透之設施，非常困難，加上海水之鹽份，對一般材料，均可能造成侵蝕、溶化，使其產生破壞防滲透之功能，填築材料受到水溶而產生各種反應，溶解、消化等之後，不僅地質無法安定，且滲出之廢水，將造成二次污染。

3. 掩埋作業不良：

有機物經溫度、氧化、酵化，或腐敗分解時，對空氣品質、水質、土壤生態等均產生嚴重影響，現有之掩埋，必須加以層覆施工，但覆材難求，若以砂石為覆材，則因孔隙率大，無法密着，且容易流散，又因海邊風沙大，而覆層缺少土壤之黏着性，以致覆土效果不易達成。

4. 海岸環境之防護困難：

海岸環境與內陸不同，如海水與沙灘間之溫度差大，沙灘之日夜溫差大，鹽分、潮汐、漂砂及暴風雨等，加重各種設施之負荷，若不妥善規劃施工，則可能產生之災害不小於內陸。

5. 建材、骨材之取得不易：

當地現場之材料及水質，大都含高鹽份，無法轉化為建材或骨材，而一般建材，對抗鹽份，耐磨蝕方面甚弱，必須使用特殊建材、骨材，導致材料成本遠高於一般建材。

採行目前較通行之方式，其結果造成有下列主要缺失：

1. 填築物容易散失：

由於填築材料未加安定化，長期受到劇烈變化環境，如風浪潮汐及溫度、雨

水，上游區域洪水等衝擊，填築材料容易散失於海域中，一方面造成水域之生態影響，另一方面亦使填築場產生不安定現象。

2. 廢棄物之污染水域：

以廢棄物直接填築式僅用壓縮，包裹或填海，其廢棄物因溶解，消化，反應，而滲出之廢水無論其所流出為毒害物質或無毒廢棄物，將造成海域污染及生態環境之改變。

3. 新生地無法即時利用：

填築之新生地，地基，內部之變動，反應，不僅幅度大，且因各種組成物已不同而呈現反應期，可能須數十年方能穩定，以致土地資源無法即時使用，閒置期長，回收慢。

4. 工程費高，品質低落：

設計規劃均以傳統之技術，材料為主，其成本高，而經濟方面之考量，對海域之特殊環境防護欠週，因此，施工失敗或短期即發生問題者，比比皆是。

(3) 規劃構想及目標：

為改善目前海灘填築場之缺失，以及提高經濟回收，本構想乃基於安全性，經濟性，及環保上，所擬定之方案：

1. 建材來源：

建材之來源，以就地取用低值材料，如海沙亂石，污泥或事業廢料，以固化加工處理，一方面節省建材，另一方面避免工程施工中所產生二次廢料出路之間題，對於運輸費用，交通所衍生之污染公害，亦可減低。

2. 填築材：

填築材以一般事業廢棄物，加以壓縮，固化，並施於斷水層覆蓋，但內部呈現安定，且不溶滲而造成二次公害。

3. 自然力配合穩固基礎：

以潮汐，堆沙等海域特性，應用自然水力作基礎，內部之紮實，因水力在間隙中之衝擊，沖刷力小，但因潮汐水面差約 1-2M，在上層重力等雙重影響，基礎在短期即可穩固。

4. 配合防範設施：

對侵蝕性海域，漂砂，堤防等之防範，工程費高，本方案即在填築過程中，同時考量公共建設之功能，則其總工程費將較各單一工程之總和為低。

5. 雨水之利用：

填築場採表面斷水層逕流方式，使雨水不滲入內部，以防造成污染，在另一方面，海邊用水鹽分高，若將雨水聚集貯存，則對淡水資源可以裨助。

6. 土地資源之層次運用：

填築以層面施工，即在某一高度時即可使用，又在填築過程中，尚未填入區可先作貯水池，養殖池，填築後即可使用為休閒區，堆積場，處理場，待整體完工後，可於短期內轉為具承載力之基礎。

7. 廢棄物之處置可得其所：

結構施工，填築工程獨立，廢棄物之組成，數量不足，因此，所需處理程度或可資應用程度不同，由於係層面及槽型施工，故可依其狀況作調配，分區，分層處置，而得到最低處理及最高資源回收。

8. 填築區高地化：

為節省建材，施工費，併收到防海水倒灌，兼作堤防之用途填築區考量為高地化，如此，則填築區未來可成為高價之產業用地。

9. 廢棄物減量化：

事業廢棄物因處理上之成本，一般以減量化行之，但減量化仍須支付相當成本，且易造成二次污染及公害。

本構想乃將事業廢棄物視為一填築材，故不僅不要求減量，且可用於整地，改良後廢料之處置，大幅節省減量及處理費。

10. 長期之影響：

廢棄物經固化安定，且以斷水槽間隔，日後即使有破損亦不致產生崩潰外溢漂走，且固化之塊體，溶出率甚少，在海洋潮流之稀釋下，微不足道。

11. 使用端進工法，施工簡易：

築堤，基礎工程，以端進工法，施工，可避免在海上作業之困難：

(4) 考量因素：

1. 澈底處理：

除鹽泥外，其他遭受污染之土壤，設施等應一併處理。

2. 處理過程：

處理過程應無公害及二次污染。

3. 剩餘物質之出路：

一般廢棄物處理之最終處置。

4. 長期信賴性：

處理後，長期可靠。

5. 作業方式：

設備，管理，安全，施工等之考量。

6. 環保問題：

法規，住民之可接受性。

7. 經濟性：

處理之成本效益。

8. 資源化：

考量回收及用途。

(5) 預期效果：

1. 汚水量減，且呈現遞減。

掩埋場垃圾本身初期含水量有限，因而產生之汙水量甚少，加上土壤中吸收

部份水份，實際上污水產量幾乎為零，若無外來水源進入，則將接近於乾涸，而在短暫後，即接近於零，廢水處理及水質滲透污染問題，自然解決。

2. 氣體產量減少，空氣污染少。

在掩埋場中，若缺乏水分，則反應作用甚為緩慢，且因固體化流動接觸機遇少，因此，所產生之瓦斯，沼氣，臭味自然大幅減少。

3. 毒害物質溶滲率小，可避免土壤之污染。

一般毒害物質，若無流動媒體如空氣，水體等帶赴，則不會擴散，而在乾燥密閉之箱槽中，其溶滲率幾乎為零，且不易移動，土壤之污染擴散情形不致發生。

4. 地層變動小且緩，土地資源價值高。

固體廢棄物若不因分解，化合等反應分解為氣體或液體，則其本身體積將保持原狀，層鋪之不透水連續層，可使壓力均勻負擔，而填置之分類，亦可取得部份即可使用之高利用價值地，資源之回收效益，相對大幅提高。

(三) 沿海公路屏障構想：

臺灣四面環海，海岸線漫長，尤其西部海岸為平坦之沙灘，以軍事上而言，利攻不易守，臺灣土地有限，且相當程度的開發，要想爭取有效土地利用，已經不能再往山區進行，否則只有更多的水土破壞，勢必帶來更多的災害，然而反觀沿岸地區，除了一小部份用於鹽田或養殖區，在潮汐線旁五百到一千公尺，甚至三、四千公尺的沙灘及岸邊，都還是棄置的荒地，今若在潮汐線附近，做有系統的規劃，應用固化的技術，以廢棄物做成高五到十公尺，寬三十公尺的沿海公路，然後公路內側，闢為休憩，遊樂區或養殖區，則在國防上可以做成一道堅固屏障，兼顧防洪防潮功能，對沿海居民生命財產，也增加一大保障，同時增加許多有效土地面積及經濟效益，及交通運輸問題，更可貴的是解決所有廢棄物之出路，而其花費遠較高速公路為低，而此工程也可留名千古，媲美於萬里長城了。

參 考 資 料

林志森，『利用像礦產混合物般的飛灰和原質或焚燒石灰粉末的自然火山灰做為普通水泥的混凝土』，工業污染防治，第1期，p 213-215。

李公哲，『工業廢水處理技術(六)污泥最終處理』，工業污染防治，第6期，p 65-70。

李公哲，『工業廢水處理技術(七)污泥掩埋法』，工業污染防治，第7期，p 36-44。

李公哲，『工業廢水處理技術(八)污泥固化法』，工業污染防治，第8期，p 75-80。

林秋國，『利用海埔地做為垃圾掩埋場應考慮事項』，工業污染防治，第9期，p 53-55

莊進源，『固體廢棄物與處理』，工業污染防治，第15期，p 1-20。

楊義榮，『廢棄物掩埋法』，工業污染防治，第16期，p 101-116。

張建祥，『從垃圾分類的重要，分類的困難，談垃圾分類回收，焚化，掩埋策略』，工

- 業污染防治，第17期，P 20-30。
- 沈 鐸，李開元，『環境污染防治新觀念——廢棄物減量』，工業污染防治，第24期，p 47-52。
- 林秋國，『垃圾焚化處理廠造成空氣污染問題之探討』，工業污染防治，第24期，p 153-158。
- 陳達偉，陳鎮東，『以地質的觀點看美國廢棄物海洋處置及其污染』，工業污染防治，第25期，p 57-64。
- 陳文懿，李郁宜，阮國棟，『垃圾掩埋場滲出水之處理技術』，工業污染防治，第25期，p 110-129。
- 林秋國，『有害事業廢棄物掩埋場址之研選』，工業污染防治，第25期，p 179-184。
- 劉世芳，『事業廢棄物回收，再利用——技術及可行性概論』，工業污染防治，第26期，p 111-128。
- 李公哲，『重金屬污泥之減量化，改良式自然脫水法，無害化及其再利用研究(1)重金屬污泥之水泥固化及其再利用』，73年度環境工程研究計畫成果發表綜合研討會，1984。
- 李公哲，『重金屬污泥之減量化，改良式自然脫水法，無害化及其再利用研究(3)飛灰與廢電石土應用含汞泥之固化及其再利用』，75年度環境工程研究計畫成果發表綜合研討會，1986。
- 林素貞，『固體廢棄物滲出水之探討：特性分析與土壤之模擬作用』，75年度環境工程研究計畫成果發表綜合研討會，1986。
- 樊國恕，『循環法處理垃圾滲出水』，75年度環境工程研究計畫成果發表綜合研討會，1986。
- 高肇藩，張祖恩，『厭氣濾床法處理垃圾滲出水之研究』，75年度環境工程研究計畫成果發表綜合研討會，1986。
- 張祖恩，李郁宜，『提高掩埋垃圾穩定速率之基礎研究』，第十二屆廢棄物處理技術研討會論文專輯，1987。