

廢棄物處理

大都會區廢棄物處理系統規劃之基本方法與應用

簡慧貞* 張乃斌**

摘要

廢棄物管理的問題隨著其產量及對人體健康與環境潛在威脅與日俱增，廢棄物處理及最終處置場所的缺乏及民衆反對將處理設施設在「我家後院」的心態而變得更趨複雜，本文就廢棄物管理之技術及經濟因素加以考量，以運籌學之優選技巧來探討廢棄物處理系統規劃的問題。在整個處理體系的系統規劃工作上，廢棄物管理之經濟效益、環境風險、政策考量、公平性及垃圾處理設施的選址等多目標間折衝與平衡(trade-off) 已成為一個重要卻困難的工作。為了尋找最佳方案，文獻上已提出各種數學模式的分析方法，一般而言在廢棄物處理系統規劃之模式中，必要的參數包括有垃圾產生量、運輸距離及成本、處理設施的型態及建造／操作成本與效益等，但由於資料的缺乏，往往無法取得模式中所有參數的數據，因此發展一具有代表性之模式，以期能預測、規劃最適的可行方案，提供決策者作參考，已成為極具挑戰性的工作。本篇文章探討範圍包括：(1) 固體廢棄物處理系統的整體規劃架構；(2) 系統目標函數之設定；(3) 參數量化問題；(4) 模式中目標函數及限制式之建立；(5) 模式選取與求解，期能尋求全系統之最佳方案。

目前行政院環保署正在進行「大台北地區環境品質改善計畫」之規畫工作，都會區內廢棄物（包括垃圾、事業廢棄物、資源垃圾、醫療廢棄物等）的有效清運，對環境品質有決定性的影響，本文目的即在建立此一問題之分析方法希望對實際工作有所助益。

【關鍵字】

①環境系統規劃 (environmental system planning) ②固體廢棄物 (solid wastes)

一、背景說明

一個都會區固體廢棄物處理體系中的主要任務是將不同行政區域內之垃圾收集並運送至掩埋場或廢棄物處理廠（例如：回收廠、焚化廠、或堆肥廠），而垃圾的收集通常

*行政院環境保護署環境衛生及毒物管理處技正

**國立成功大學環工所副教授

需要相當數量之垃圾收集車，垃圾車可將廢棄物運送至離中心都會區較遠而合乎安全及環保的地方。在長距離運輸中可採用轉運站將收集到的廢棄物轉送到掩埋場或垃圾處理廠，轉運站的正確設立將有效減少垃圾運送之頻率及降低運輸成本；正確地設立轉運站，除了可節省操作成本外，更可有以下的效益：

1. 收集人力及機具將有效的被利用，因垃圾收集車可有較長時間收集垃圾。
2. 在轉運站分類及回收比在廢棄物處理場(廠)分類較容易。
3. 如果 1輛轉運車取代3至4輛收集車，則可減少至掩埋場或焚化廠之主要道路交通阻塞及噪音衝擊。

本文將先提出數學規劃之基本理論模式，並進一步以土耳其伊斯坦堡轉運站設立之系統規劃為例，提供讀者作一參考。伊斯坦堡為一高人口密度的都市，其人口數超過六百萬人，在1985年每人每日垃圾產量已多於 1公斤，而垃圾成份因季節變化頗大，特別是冬季，伊斯坦堡在規劃前並無轉運站，因此垃圾收集車必須將垃圾運送至離都會區30公里遠的掩埋場，為更有效的利用收集設備，廢棄物應可透過數個中繼轉運站運送至掩埋場。

在都會區建立轉運站，必先思考下列問題：

1. 有多少轉運站要建立 (How many) ?
2. 建在何處 (Where) ?
3. 何時建立 (When) ?
4. 轉運站容量需求 (in What capacities) ?
5. 藉用何種技術 (By Which technology) ?

(1) 轉運站技術包括

- 設備的負荷量及承載量
- 操作技術
- 分類技術

(2) 轉運車的型式與數量

而廢棄物處理系統規劃模式一般架構為：

1. 目標函數：系統總成本極小化及系統總效益極大化
 - (1) 設備固定成本
 - (2) 設備操作成本
 - (3) 收集和轉運之運輸成本
 - (4) 回收物質或焚化發電之收入
2. 模式限制式
 - (1) 垃圾收集和清運
 - (2) 設施的質量平衡
 - (3) 設施容量之限制
 - (4) 其他與技術、設備及預算相關的限制因素

二、研究方法

2.1 研究之理論背景及架構

【步驟 1】資料的收集

此階段主要工作為資料的搜集，必須界定廢棄物搜集的區域及估計每個地區每日廢棄物產量，每個地區至掩埋場的距離，每噸垃圾每公里的運送價格等資料，而此步驟亦可測試區域大小的敏感度。

【步驟 2】各種處理設施可能位置之方案篩選

此步驟的主要目的是進行初步篩選，以幫助決策者選擇可能之設施位置。

【步驟 3】靜態規劃

此階段乃應用倉貯模式 (warehouse model) 之技巧，在相同時段內考慮各種設施容量限制下選取最適的設施位置。

【步驟 4】動態規劃

1. 市鎮擴展及人口預測。
2. 預測各時段內的廢棄物產量之增勢。
3. 未來新設施的容量及位置

必要的改變及更新都需被列入選址問題的考量之中，直到獲得可接受的投資計畫，最後一個步驟是在正確的時間、容量及處理技術的背景下決定正確的選址。

2.2 廢棄物系統規劃之目標與限制式之設定及函數量化

固體廢棄物處理系統主要由垃圾的收集、清運、處理及處置的問題所構成，所涉及的規劃問題包括：垃圾收集（包括收集點是否分類）、運輸（包括運具、人力、路線）及處理／處置設施的設置點容量及可能納入之場址等。而硬體設備的建構問題則涉及到建構的數量、地點、時間、容量及操作技術等，因此在成本／效益的考量上便可分為設備固定成本、操作成本、運輸及轉運成本以及回收物質和發電的收入等。就成本面來考量此一系統之目標設定，應為總成本極小或效益極大，而系統的建模可分為動態或靜態方式，此類數學模式曾被應用在西方的大都會區廢棄物管理及設施選址上。本文將以介紹靜態模式為主，一個典型之靜態模式，其目標函數可設定如式(1)，而限制式如式(2)～(7)所示。

目標函數：

$$\min \sum_{j \in IUL} \sum_{i \in S} f_{ij} t_{ij} + \sum_{k \in L} \sum_{j \in I} f_{jk} t_{jk} + \sum_{j \in IUL} p_j \sum_i f_{ij} + \sum_{j \in IUL} F_j Y_j \quad (1)$$

限制式：

$$\sum_{j \in IUL} f_{ij} = G_i \quad i \in S \quad (2)$$

$$\sum_{i \in S} f_{ij} - a_i \sum_{k \in L} f_{ik} = 0 \quad j \in J \quad I \quad (3)$$

$$\sum_{j \in S} f_{jk} \leq C_k Y_k \quad k \in L \quad (4)$$

$$\sum_{i \in S} f_{ij} \leq C_j Y_j \quad j \in J \quad (5)$$

$$f_{ij} \geq 0 \quad (6)$$

其中式1之總成本第1、2項表示運輸總成本，第3項表示變動成本，第4項表示固定成本。限制式之式2表示所有必須被清除的垃圾量。式3指中間設備輸入及產出的質量平衡式，式4及5為掩埋場及中間處理設施限制式，式6為非負限制式。

模式中各變數及參數定義如下：

f_{ij} ：垃圾由*i*點運到*j*點之量。

Y_k, Y_j ：對於現有設施而言為1，對於未來可能設施而言，則為二元決策變數，當其值為0，則該址未被選入，為1時，則被選入。

S ：垃圾產地各行政區所成之集合。

G_i ：在行政區*i*之垃圾產量。

I ：現有或未來可能成為中間處理設施之所有地點所成之集合。

L ：現有或未來可能成為掩埋場之所有地點所成之集合。

t_{ij} ：由*i*點運到*j*點之平均垃圾運輸成本。

P_j ：在*j*點之處理設施之變動成本。

O_j ：處理設施之減量因子。

F_j ：處理設施之固定成本。

C_j, C_k ：處理設施或掩埋場之最大處理容量。

由於資料的限制，往往使得模式中成本的估計必須以一些特定函數來表示，此一成本函數經常需要評估相對的成本價格及個別價值以解決數據的限制問題Kuhner¹便假設運輸成本與垃圾由一地點轉運至另一地點的垃圾量成線性關係，而 KIRCA²也以不同廢棄物運送形式的相對成本來替代實際成本。

有關系統規劃的建模方式可分為靜態模式與動態模式。靜態模式以目前操作狀態來作規劃的基礎，動態模式則考量多段時間條件下的規劃形態管理。靜態模式如Gottinger³及Mark和Liebman⁴所提出在給定結構成本(包括運輸成本、操作成本、建造成本)、現存設備之容量、位置及掩埋設備中間過程後，目標函數設定為總成本極小以求最佳解。動態模式的探討如Kuhner¹則以整數規劃的動態投資策略來探求長期之最佳規劃方案。整個系統目標函數的設立可分為多目標設定及單目標設定，在Gottinger³之單目標函數設定為總成本極小，而KIRCA²單目標函數設定則為總運輸成本權重極小化。Koo⁵所提之多目標函數以符合總成本極小、環境風險極少、公平性極大及選址合適性極大化的多目標來

求解，同時開發環境風險、公平性、標的族群、建構及維護的難易等定義及測量方法。Perlack⁶以多目標函數極大化，來求解。由此可知目標函數的設定，端看決策者所要達成的資源分配及目的而定。

參數的量化及估算是另一個具挑戰的問題，因受限於數據的取得，往往必須在函數中建立一些較容易測量的指標參數或相對參數來替代實際的數據，並能反映實際意義。Perlack⁶等提出環境的衝擊的量化乃先界定出101件對環境可能有利或有害的衝擊項目，然後評估其為衝擊短期或長期衝擊、一級或二級，最後再評估其嚴重、中度、輕度、不嚴重等相對性。Koo⁵等也建立了風險函數來反映決策之風險度，參數的建立及量化，直接影響到測量的品質及目標函數和限制式的型態，在資訊不足之下，更需利用相對參數來簡化一些測量數據。

三、伊斯坦堡案例之數學模式

3.1 模式的假設

1. 垃圾是由各行政區域中心集中後送出。
2. 運送成本隨著運送量及運送距離成正比例。
3. 模式建立時已確定轉運站的站址之初步篩選結果。
4. 較近之掩埋場容量不足時，廢棄物將由收集點或轉運點運送至較遠的掩埋場。
5. 所有區域之轉運站、收集車與轉運車規格和容量都一致。

3.2 模式參數之定義

M : 收集區域數目

T : 可能轉運站數目

K : 掩埋場數目

N : T+K

A_j : 第j個區每日收集的垃圾量

d_{ji} : 第j個區域與第i個站址間的距離

e_i : 第i個轉運站與最近的掩埋場間的距離

S_i : 場址i之轉運站最大容量

E : 可容許轉運站的最大數目

此外，由於伊斯坦堡有下列的特性，故反映運輸成本之參數須加以修改後方可應用：

1. 缺乏任何有關成本數據，因此我們所使用的模式不能包括任何的成本資訊，只能直接考慮運送之距離。

2. 當考量運送的距離及垃圾量時，轉運站的設立可能較具經濟效益。

基於上述原因我們必須以廢棄物運送之相對成本來替代實際成本，因此須定義參數。

$$r = \frac{\text{垃圾收集車操作成本 (每噸、每公里)}}{\text{轉運車操作成本 (每噸、每公里)}}$$

上述的成本包括車輛直接成本、勞力成本及車輛設備投資成本，如此一來我們只需估計 r 的範圍而不必估計個別成本，因此在目標函數中數學公式可以用 r 來代替個別成本。

3.3 決策變數

$$Z_i = \begin{cases} 1 & \text{若轉運站在第 } i \text{ 個場址建立} \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

X_{ji} = 第 j 個區域至第 i 個場址廢棄物每日運送總量

3.4 數學模式

$$\text{目標函數 : } \min TTW = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N V_{ji} X_{ji} \quad (1)$$

— 表示單位運送成本與第 j 個區域至第 i 個場址的運送總量乘積極小化。

限制式：

$$\sum_{i=1}^N X_{ji} = A_j, j = 1, \dots, M \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^M X_{ji} \leq S_i Z_i, i = 1, \dots, T \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^T Z_i \leq E, \quad (4)$$

$$X_{ji} \geq 0 \text{ 其中, } j = 1, \dots, M; i = 1, \dots, N \quad (5)$$

$$Z_i = 0 \text{ 或 } 1, i = 1, \dots, T \quad (6)$$

其中, $j = 1, \dots, M; i = 1, \dots, N$

$$V_{ji} = \begin{cases} \gamma d_{ji} + e_i & \text{if } i \leq T, (\text{經由轉運站送至掩埋場}) \\ \gamma d_{ji} & \text{if } i > T, (\text{由垃圾收集車送至掩埋場}) \end{cases} \quad (7)$$

$$V_{ji} = \begin{cases} \gamma d_{ji} + e_i & \text{if } i \leq T, (\text{經由轉運站送至掩埋場}) \\ \gamma d_{ji} & \text{if } i > T, (\text{由垃圾收集車送至掩埋場}) \end{cases} \quad (8)$$

假設運送成本與運送垃圾量及距離成正比例，此外也假設垃圾收集車的運送成本較轉運車貴 r 倍。若 W 為轉運車的單位運送成本，則單位垃圾的運送成本 C 為

$$C_{ji} = \begin{cases} Wd_{ji} + We_i & \text{if } i \leq T \\ Wd_{ji} & \text{if } i > T \end{cases} \quad (9)$$

$$(10)$$

式10示若廢棄物直接被垃圾收集車運送至掩埋場第*i* 場址 (*i*>*T*)的單位運送成本，式9則表示藉由轉運站將垃圾運送至掩理場 (*i*≤*T*)之單位運送成本。

依(7)及(8)的定義單位運送成本 (圖1)：

$$C_{ji} = wV_{ji} \quad \text{for } j=1, \dots, M; i=1, \dots, N \quad (1)$$

因此系統中的運送總成本TTC為：

$$TTC = w \cdot TTW$$

在此模式架構下，總運輸成本 (TTC)的極小化與TTW的極小化同義。在此定義下式(1)中的成本參數 V_{ji} ，表示假設運送同量及同等距離的垃圾所需的垃圾收集車是轉運車的 r 倍，此模式可在 r , E 及轉運站固定時來進行模擬：

【步驟1】 設 $r=1$ ，轉運站數目 $E=0$ (即不設立轉運站)

則模式可提供在假設沒有轉運站時掩埋場址的最適服務地區。

【步驟2】 假設預定建立數個轉運站

此模式可提供的最佳方案包括了轉運站的操作容量，並可分析轉運站物理位置對模式中其它參數敏感度。

【步驟3】 設定不同的 E 值及 S_i 值，則可得到轉運站站址不同的替代方案。藉著 r 的改變可得到不同運輸方式與相對成本的敏感度分析。

【步驟4】 藉著其他不同的狀況分析，可分析系統的彈性。

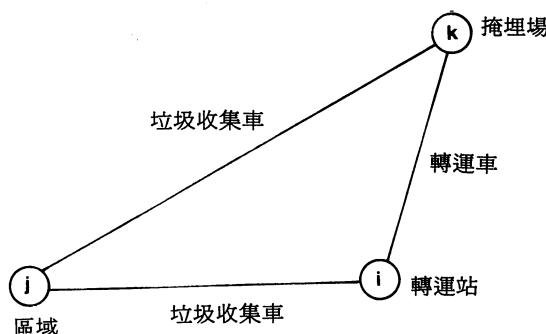


圖1 不同運輸方式之相對單位成本運算

四、伊斯坦堡案例求解

伊斯坦堡是一個有6百萬人口及490平方公里的大都會區，由15個行政區組成，各區有其獨立之行政系統，而以伊斯坦堡都會區自治區來統合各區的活動，其主要的任務為管理各區的公共交通、飲水、下水道系統等計畫。原有都會區的垃圾由各鄉鎮收集後運送至三個掩埋場，而伊斯坦堡每日有 6,000噸的垃圾量、650輛垃圾收集車及3,000位勞工，垃圾收集車的未妥善利用及高運輸成本促使伊斯坦堡當局需要進一步研究設置轉運站問題。其廢棄物處理體系如圖 2 所示。

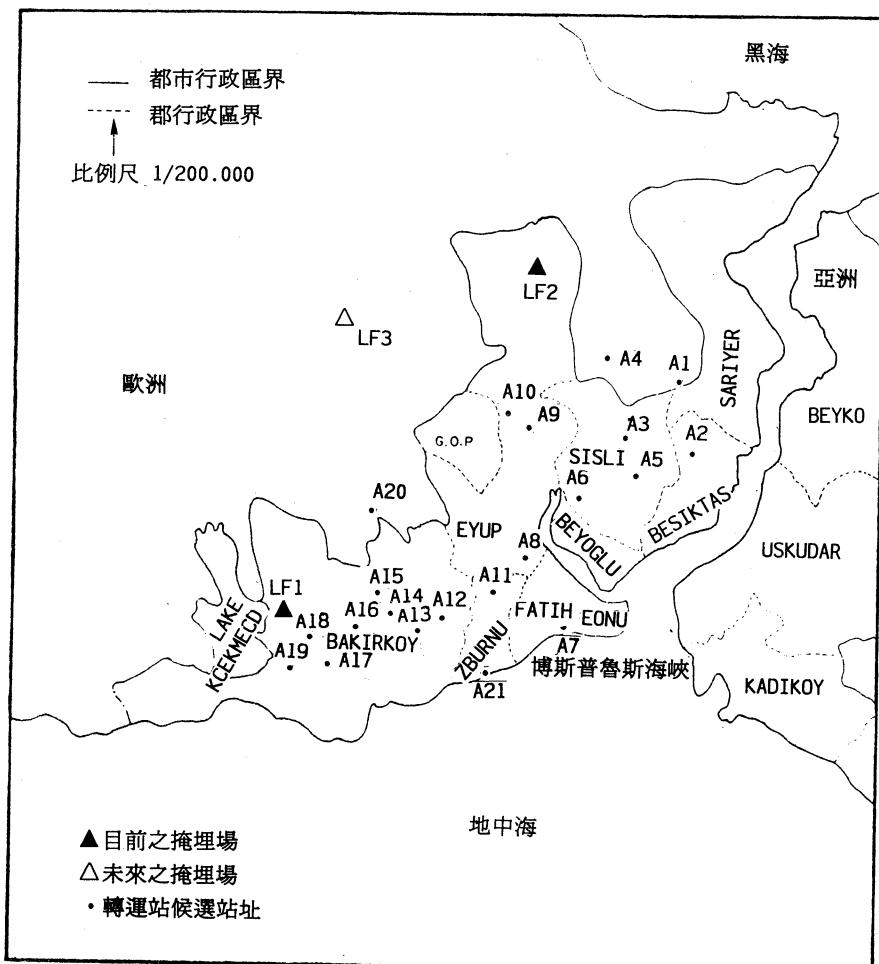


圖 2 土耳其伊斯坦堡廢棄物處理系統示意圖

4.1 資料收集

為了執行模式需有以下的資料

1. 轉運站初步選址的決定：有21個可能的站址可被涵蓋，選取的標準有

- (1) 遠離住宅
- (2) 鄰近主要道路及高速公路
- (3) 站址最好彼此遠離
- (4) 近廢棄物收集地區
- (5) 最好為綠帶或工業區

2. 垃圾收集地區的決定

伊斯坦堡歐陸部份可分為49個行政分區，每個分區的人口及都市成長的評估均以1995年為準，來預測每日廢棄物產量，過去每日平均垃圾收集量在1985年為4,035噸／天，1995年預期為5,337噸／天。

3. 距離的決定

以人口權重點來作為地區的重心，人口的分佈資料係基於1985年人口普查。

4.2 結果

【狀況1】固定相對成本參數 r 為1，即假設垃圾收集車及轉運車具相同運輸能力，此時最適解為每個區域均運送該區垃圾至最近的掩埋場，因掩埋場容量不限。並可測試區域大小及數目的敏感度。

【狀況2】可選擇數個轉運站，成本參數 r 可由2至4變動，並假設轉運站沒有足夠的容量，因隨著 r 的增加直接運送至掩埋場的成本更昂貴，所以當 r 的增加時藉由轉運站運輸的廢棄物也增加，為了決定轉運站位置及距離的敏感度，進行了許多的測試，距離由其起始值作15%的隨機變動，結果顯示決策選項並不因此衝擊而有明顯的改變。因此可以發現決策選項對轉運站的座落位置並無很高敏感性，所以轉運站的位置可以大致決定。

為了減少轉運站數目，有兩個不同假設。

假設1 轉運站容量不足時，使用1985年之預測資料及現有的掩埋場(LF1或LF2)，解答如表1及2所示。

假設2 轉運站容量不足時，使用1995年之預測資料，並假設LF1及LF2關閉而新的掩埋場LF3開始操作，模式的依不同的 r 值及E值來解答，解答如表3及4所示。

經過當局的討論建議A6場址並不適合作轉運站，並發現：

- 1. 轉運站成本節省度隨 r 值增加而增加。
- 2. 每增加一個轉運站的邊際成本隨E值（可容許轉運站個數）增加而降低。

表 1 狀況 2：目標函數值及總成本節省百分比（假設 1 成立時）

E (轉運站個數)	r		
	2	3	4
0	221174 ^a (0) ^b	331761(0)	442348(0)
1	181551(17.9)	236811(28.6)	287093(35.1)
2	162060(26.7)	200392(39.6)	235905(46.7)
3	154878(30.0)	188647(43.1)	220239(50.2)
4	150965(31.7)	174981(45.9)	206946(53.2)
5	147495(33.3)	174278(47.5)	197730(55.3)

[註] a目標函數值b目前操作系統相比下的總成本節省百分比

表 2 狀況 2：轉運站最適站址及容量需求（假設 1 成立時）

E (轉運站個數)	r					
	2	3	4			
1	A5 ^a	2258 ^b	A6	2718	A6	3061
2	A3	1468	A5	1828	A5	1905
	A15	2007	A15	2054	A15	2098
3	A3	1360	A3	1070	A3	1070
	A11	1589	A11	1589	A6	1089
	A16	622	A16	654	A15	1835
4	A3	1360	A3	1070	A3	1070
	A11	1089	A11	964	A6	1098
	A15	848	A15	1441	A15	1307
	A18	560	A16	560	A16	560
5	A3	979	A3	971	A3	971
	A6	818	A6	964	A6	964
	A9	356	A9	384	A9	284
	A15	1256	A15	1256	A15	1256
	A18	560	A18	560	A16	560

[註] a選入的站址

b每日運送之垃圾量(噸/日)

表3 狀況2：轉運站場址及容量需求（假設2成立時）

E (轉運站個數)	r			
	3		4	
1	A8 ^a	5337 ^b	A8	5337
2	A5	2251	A5	2251
	A15	3086	A15	2086
3	A5	1612	A5	1612
	A8	2103	A8	2103
	A18	1622	A18	1622
4	A5	1612	A5	1612
	A8	1533	A8	1533
	A15	1271	A15	1271
	A19	921	A19	921
5	A5	1426	A2	596
	A8	1326	A5	1016
	A9	591	A8	1533
	A15	1073	A15	1271
	A19	921	A19	921
6	A2	596	A2	596
	A5	910	A5	910
	A8	1326	A8	1326
	A9	511	A9	511
	A15	1073	A15	1073
	A19	921	A19	921

[註] a選入的站址

b每日運送之垃圾量(噸/日)

表4 狀況2：目標函數量適解及總節省百分比（假設2成立時）

E (轉運站個數)	r	
	2	3
0	702855 ^a (0) ^b	937180(0)
1	417971(40.5)	487914(52.1)
2	361153(48.6)	409369(56.3)
3	339648(51.7)	377334(59.7)
4	325554(53.7)	359246(61.7)
5	318166(54.7)	350516(62.6)
6	312023(55.6)	343007(63.4)

[註] a目標函數最適解b目前操作系統相比下的總成本節省百分比

3. 在1995年設立6個轉運站則可節省55%以上的運輸成本（當r=3時）。
4. 在轉運站容量不足的情境下，21個替代站址中，只有10個站址具有優勢，而這些站址多座落在各行政區域之中間或垃圾集中地帶，而不具優勢之站址不是遠離垃圾集中點，就是太過靠近其他優勢站址。
5. 在選擇最適轉運站時，掩埋場的位置並不這麼具決定性，掩埋場的替代方案選取可以是伊斯坦堡的西方或西北方或是任何不影響最適化轉運站的方位。
6. 轉運站的最適位置不因r的改變而有明顯的改變，總之垃圾轉運的量隨著垃圾收集車及轉運車的成本差異而增加。

結果顯示可行解的站址有A2、A3、A5、A8、A9、A11、A15、A16、A18及 A19十個站址，我們假設r=3，使E值在不同數值變化情形下可以繼續分析如下：

【狀況3】轉運站容量足夠使用1995年資料及新的掩埋場LF3。

表5及表6顯示每日最大容量為600噸及1,000噸的模式解。由答案中可以看出，在相同的總需求量下，不同的轉運站最大容量與成本的降低間沒有顯著的差異。例如轉運站總需求量設定在每天6,000噸下，可以建立10個每日處理600噸及6個每日處理1,000噸的轉運站，但相形之下兩者只相差1%的成本。

有關當局最後決定在1995年建立A2、A5、A8、A9、A15、A19六個處理1,000噸的轉運站。

最後一個步驟是發展六個轉運站的投資計畫，假設現在要設立6個轉運站，轉運站的邊際經費節省非常有限，而不足以抵消轉運站的變動及固定成本，因此假設以下的情境來解答此問題。

【狀況4】有6個可行的轉運站，每個容量為每日1,000噸，使用1985年及目前的掩埋場(LF1及LF2)。

表 5 狀況 3：目標函數值及轉運站場址

E (轉運站個數)	目標函數值	成本節省百分比		初選入之轉運站
		總節省量	邊際節省量	
0	702885	0	0	—
1	650496	7.45	7.45	A2
2	601269	14.46	7.01	A2,A5
3	552409	21.41	6.95	A2,A5,A19
4	505584	28.07	6.66	A2,A5,A19,A11
5	460008	34.55	6.48	A2,A5,A19,A11,A8
6	414849	41.00	6.45	A2,A5,A19,A11,A15,A8
7	373628	46.84	5.84	A2,A5,A19,A16,A11,A15,A8
8	336325	52.15	5.31	A2,A5,A19,A3,A16,A11,A15,A8
9	311184	55.72	3.57	A2,A5,A19,A9,A3,A16,A11,A15,A8
10	308539	56.10	0.38	A2,A5,A19,A18,A9,A3,A16,A11,A15,A8

[註] (r=3, 每日容量600噸)

表 6 狀況 3：目標函數值及轉運站場址

E (轉運站個數)	目標函數值	成本節省百分比		被選入之轉運站
		總節省量	邊際節省量	
0	702885	0	0	—
1	620530	11.72	11.72	A5
2	543583	22.67	10.95	A5,A18
3	467709	33.46	10.79	A5,A8,A18
4	396663	43.47	10.11	A5,A8,A15,A19
5	335767	52.23	8.66	A3,A5,A8,A15,A18
6	313128	55.45	3.22	A2,A5,A8,A9,A15,A19

[註] (r=3, 每日容量1000噸)

【狀況 5】有10個可行的轉運站，個轉運站容量為每日 600噸，使用1985年及LF1及LF2掩埋場。

表 7 為這些情境的解答，結果顯示轉運站的建立次序為A8-A5-A15-A9-A19，表 8 顯示轉運站投資的序位及容量需求。

本案例結果乃假設相對成本參數為 $r=3$ 時的結果。依據進一步之調查顯示， r 值是可以計算出來的。選擇 $r=3$ 是一保守假設；此外，在有容量限制及相同的最適位置下， $r=3$ 之解比 $r>3$ 之解擁有更多的好處。此結果可用來評估轉運站的可行技術，而在垃圾收集系統中轉運站的興建所節省的成本可由目標值求得。因此若興建轉運站所節省的成本可以抵消轉運站的固定及操作成本，則替代技術的考量更具經濟效益，投資轉運的時機因而可以決定。

表 7 狀況3、4、5解之比較

E	已開放之轉運站		
	狀況 3	狀況 4	狀況 5
1	A5	A8	A8
2	A5,A18	A5,A18	A5,A18
3	A5,A8,A18	A5,A8,A15	A5,A8,A15
4	A5,A8,A15,A19	A5,A8,A9,A15	A5,A8,A9,A15
5	A3,A5,A8,A15,A18	A2,A5,A8,A9,A15	A2,A5,A8,A9,A15
6	A2,A5,A8,A9,A15,A19	A2,A5,A8,A9,A15,A19	A2,A5,A8,A9,A15,A16

表 8 建議投資轉運站時序及使用容量

時序	轉運站	使用客量(噸/日)	
		1985	1995
1	A8	1000	1000
2	A5	1000	1000
3	A15	694	1000
4	A9	611	820
5	A2	—	596
6	A19	—	921

五、總 結

本文先行整理大都會區廢棄物系統規劃之方法，並以土耳其伊斯坦堡都會區固體廢棄物轉運站設立系統規劃著手，將量化後經濟、技術及操作等因素納入固體廢棄物系統規劃之架構。以目標設定及限制條件假設狀況下，求全系統最適之解決方案，相信對未來固體廢棄物管理的預測及規劃問題必能提供決定性參考價值。

參考資料

1. Kuhner J and Harrington J.J., Mathematical models for developing regional solid waste management policies, *Engineering Optimization* 1:237-256, 1975.
2. KIRCA, O and ERKIP, N, Selecting transfer station locations for large solid waste systems, *European Journal of Operational Research*, 38:339-349, 1988.
3. Gottinger H.W.A, Computational model for solid waste management with applications, *Appl Math Modelling*, 10:330-338, 1986.
4. Marks D.H. and Liebman J.C., Location models: A solid waste collection example, *Journal of Urban Planning and Development*, 97:15-30, 1974.
5. Koo J.K. Shin H. S. and Yoo H.C., Multi-objective siting planning for a regional hazardous waste treatment center, *Waste Management & Research* 9:205-218, 1991.
6. Perlack R.O. and Willis C.E., Multi-objective decision making in waste disposal planning, *Journal of Environmental Engineering*, 111(3):373-385, 1985.