

我國大型垃圾焚化爐操作營運績效評估指標研究

黃信智¹、陳逸平¹、賴盈如¹、江舟峰^{*2}、蘇銘千²

¹ 朝陽科技大學環境管理系畢業專題生

² 朝陽科技大學環境管理系副教授及助理教授

EPA-89-HA31-03-228

摘要

本研究針對國內 5 座大型混燒廠進行營運現況問卷調查，包括北部三座（木柵廠、新店廠、及樹林廠），中部之台中廠，及南部之高雄中區廠。除高雄中區廠於 88 年 9 月間開始啟用外，其餘均已操作 4~5 年。本研究之目的為協助環保署訂定營運績效指標群，據以作為評比焚化廠營運績效之參考。

研究結果建議使用 5 個營運績效指標群：容量比 (mass capacity ratio, R_m)、熱量比 (heat value ratio, R_h)、點火效率 (firing efficiency, E_f)、發電比 (power generation ratio, R_p)、及灰渣比 (ash ratio, R_a)。前二者評估操作與設計容量 (capacity) 之比值，愈接近 1 愈好；點火效率定義為鍋爐回收熱能與總進料熱能比例百分比，可評估焚化爐絕熱、與鍋爐熱交換效率；發電比為每噸進料可產生之淨發電量(kwh/t)之操作與設計值之比，可進一步評估發電效率及內部耗損 (internal loss) 程度；而灰渣比評估進料之資源回收分類程度與燃燒完全度，愈小愈好。

參考各廠 88 年之全年營運數據，計算各廠操作容量比為 0.59~0.85，顯示各廠均不能操作在原設計容量。各廠平均熱負荷為 $6.4\sim 7.3\times 10^4$ Kcal/ m^3 -hr，與規範值($8\sim 12\times 10^4$)相符。高雄市中區廠相當高，為 12.4×10^4 Kcal/ m^3 -hr。發電係數為 240~580 kwh/t，發電比 0.37~1.32，樹林廠最高為，木柵廠最低為，高雄中區廠之設計值相當高，但發電比相當差，值得進一步研究。另灰渣比為 0.14~0.22，以高雄中區廠最低，顯示該廠有較佳垃圾分類或較完全之燃燒。本研究顯示，一般而言民營廠營運績效較好，民營化為較佳的營運模式，但應進一步與違規紀錄比對，建議環保署採用上述指標群，配合成本及煙道排放數據，作為我國大型垃圾焚化廠營運績效評估依據。

關鍵詞：垃圾混燒、績效指標、營運模式

一、前言

我國自民國 79 年 5 月起開始有系統的推動垃圾焚化處理，行政院更進一步於 85 年 3 月公告「鼓勵公民營機構興建營運垃圾焚化廠推動方案 (簡稱 BOT 方案)」，規劃至民國 97 年止，我國垃圾焚化妥善處理率應達 90 %，未來將有公有公營、公有民營、民有民

營等多種操作模式之焚化廠[1]。雖然環保署「四合一資源回收計畫」目前只能認列物質回收(material recovery or recycling)，但鑒於歐盟資源回收新趨勢，及難回收廢容器之處理問題，環保署亦研究是否可將具適燃性之資源廢棄，進入大型焚化爐與垃圾混燒而回收能源者，可在一定比例內認列其回收率 [2-4]。

為了解我國大型垃圾焚化廠操作營運績效，本研究以問卷方式訪談五家大型垃圾焚化廠：北部地區三家，台北市木柵廠(#2)、台北縣新店廠(#9)、台北縣樹林廠(#10)；中南部各一家，台中市廠(#6)、高雄市中區廠(#4)。根據問卷結果，計算五種指標：容量比 (mass capacity ratio, R_m)、熱量比 (heat value ratio, R_h)、點火效率 (firing efficiency, E_f)、發電比 (power generation ratio, F_p)、及灰渣比 (ash ratio, R_a)。前二者評估操作與設計容量 (capacity) 之比值，愈接近 1 愈好；點火效率定義為鍋爐回收熱能與總進料熱能比例百分比，可評估焚化爐絕熱 (insulation) 與鍋爐熱交換效率；發電比為每噸進料可產生之淨發電量 (kwh/t) 之操作與設計值之比，可進一步評估發電效率及內部耗損 (internal loss) 程度；而灰渣比評估進料之資源回收分類程度與燃燒完全度，愈小愈好 [5-6]。

二、研究方法及流程

2.1 問卷設計與現勘訪查

本研究首先透過文獻資料蒐集，了解大型垃圾焚化廠之各項功能設計與操作營運參數，研擬營運績效指標，據以設計現場訪談問卷表。問卷內容主要有：廠方基本資料、設計容量、操作容量、設計及實際濕基低位發熱量、爐型、爐床負荷、燃燒室容積負荷、點火效率、設計及實際發電量、灰渣量、及煙道排放數據等，若歷年操作數據完備，儘量填報最近一年或半年 (88 年) 或具代表性穩定操作期間之平均值。本次問卷亦要求填報操作營運相關成本資料，如初設費、人事費、維修耗材費用等，據以估算噸數費率 (tipping fee)，但此項財務數據並不於本論文發表。

完成初步問卷設計後，工作團隊先進駐台中市垃圾焚化廠進行問卷試作，依試做結果再修訂問卷，特別是相關營運參

數之意涵，務必要求明確定義，再將定稿後之問卷事先寄送至本研究欲訪問之焚化廠，最後與廠方取得聯繫後，親自訪談，訪談的用意為確保問卷品質，提高問卷內容之可信性，除此之外，亦要求廠方提供原始數據或計算公式，以資佐證。

2.2 績效指標計算

獲得問卷各項數據資料後，輸入設計好之電腦試算表 (spreadsheet)，如表 1 所示，各焚化廠之六項營運績效指標計算公式如下：

1. 容量比 (R_m) = 操作容量 (t/d) / 設計容量 (t/d)
2. 熱值比 (R_h) = 操作熱值 (Kcal/Kg) / 設計熱值 (Kcal/Kg)
3. 點火效率 (E_f) = 鍋爐回收蒸氣熱能 (Kcal) / 入料垃圾熱能 (Kcal)
4. 發電比 (R_p) = 操作發電量 (kwh/t) / 設計發電量 (kwh/t)
5. 灰渣比 (R_a) = 灰渣量 (t/d) / 操作容量 (t/d)

三、結果與討論

本研究完成五家大型垃圾焚化廠之問卷分析：北部地區三家，台北市木柵廠(#2)、台北縣新店廠(#9)、台北縣樹林廠(#10)；中南部各一家，台中市廠(#6)、高雄市中區廠(#4)。各廠所提供之數據皆為民國 88 年之數值，本節針對 5 座大型垃圾焚化廠所獲得之問卷結果，進行綜合性之比較及分析如下。表 1 為本研究建立之五座焚化廠之 88 年平均營運參數指標比較表，該表主要評比 5 個重要操作參數：容量比、熱值比、點火效率、發電比、及灰渣比 (ash ratio, R_a)。依序討論如下：

3.1 容量比與熱值比

圖 1 及圖 2 比較知各廠之容量比及熱值比，表 1 顯示容量比介於 0.59~0.85 之間，顯示各廠均須減量燃燒。各廠垃圾熱值比介於

0.95~1.3 之間，除了高雄市中區焚化廠小於 1 外，各廠垃圾熱值均較設計值高，顯現焚化廠建廠之前，設計熱值均嚴重低估，樹林廠及台中廠甚至超過 30%，其原因尚待進一步釐清，亦可能與接受或夾雜事業廢棄物，或與該地區資源回收實施成效不彰有關。

進一步交叉比對 R_m 及 R_h 二項指標，可以看出一般而言，進料垃圾熱值偏高，可能是造成焚化爐減量燃燒之主要原因，唯高雄市中區廠垃圾熱值雖未高於設計熱值，卻高達 17% 之燃燒減量，可能與焚化爐施工或操作品質有關。此外，不同廠牌爐型，公有公營或公有民營營運模式，或民營廠之合約規定，亦可能是影響操作容量之主要原因，例如民營廠若於合約中規定，操作容量達到契約容量後，超過契約容量的部分，所發售電之收入，代操作公司可獲得部份收入，如此確可鼓勵提高操作容量比之績效指標，但應特注意是否會因操作容量過高，而導致爐體壽命縮短，或引起煙道排放廢氣濃度或總量超過法規限值。

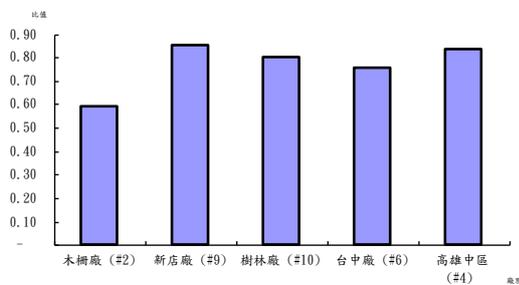


圖 1 本研究各廠之操作/設計容量比比較圖

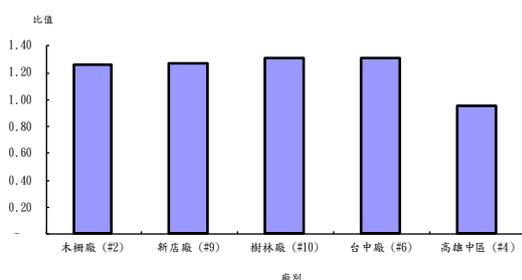


圖 2 本研究各廠之操作/設計 LHV 比較圖

表 1 亦計算比較各廠之爐床負荷 (grate load, t/m^2-hr) 及容積熱負荷 (volumetric heat load, $Kcal/m^3-hr$)，這是焚化爐二項相當重要的設計或操作參數，本研究並未計算其比值，作為營運績效指標，原因是這兩項參數是否適當，應可反應在容量比之指標。計算結果顯示各焚化廠爐床負荷介於 $205\sim351 kg/m^2-hr$ ，以新店廠及樹林廠最高，高雄中區廠最低；若不考量高雄市中區廠，各廠容積熱負荷介於 $6.7\sim7.4 \times 10^4 kcal/m^3-hr$ ，接近文獻值 ($8\sim12 \times 10^4$) [7-8]，高雄市中區廠則高達 $12.4 \times 10^4 kcal/m^3-hr$ ，約為其他各廠之二倍。在本研究評比的五個廠中，高廠為最新建造，88 年 9 月才正式啟用，垃圾設計熱值已由過去之 $1500\sim1600 Kcal/kg$ 提高至 $1900 Kcal/kg$ ，可能因焚化爐技術提升，因而大幅提高容積熱負荷，但爐床負荷並未達傳統設計值，而導致有 17% 的減量燃燒，值得進一步探討其原因。

3.2 點火效率與發電比

根據表 1 數據，各廠之平均點火效率介於 $78.0\sim94.5\%$ ，平均值為 87.9% ，公有民營之新店廠及樹林廠最高，公有公營之木柵廠及公有民營之台中廠較低，可能需加強爐體絕熱設計或鍋爐熱交換效率，台中廠有高達 25% 之減量燃燒，可能與此有關。[2]

各廠之平均每噸發電量操作值介於 $237\sim581 kwh/t$ ，平均值為 $371 kwh/t$ ，以樹林廠最高，木柵廠最低，高雄市中區廠之數值相當低。進一步評比發電比 (R_p)，顯示樹林廠亦最高，為 1.32，而高雄廠相當低，僅 0.37，其餘各廠均接近 1.0，顯示高雄廠發電效率相當差，值得進一步研究。

各廠之售發電比介於 $0.60\sim0.78$ ，平均值為 0.68，其中以台中廠及新店廠較佳，顯示民營廠確能提高售電效率，該比值亦顯示各廠皆有 32~40% 之內部用電耗損 (internal loss)。

3.3 灰渣比

灰渣比指標可以評估進料垃圾是否未能完全燃燒，或不燃物如磚瓦、金屬及玻璃物品是否分類完全，計算時以乾基重量 (dry weight) 為基礎，一般而言，文獻值約為 20% [7]，垃圾經焚化後減量越多，可增加灰渣掩埋場之使用壽命。表 1 顯示各廠之灰渣比介於 0.14~0.22，平均值為 0.18，與文獻值相近，其中公有公營的高雄中區廠之灰渣比為 0.14 為各廠中最低，推測高雄廠可能有較佳之燃燒減量，此亦可由其具有較低之灼熱減量值獲得印證(表 1)。

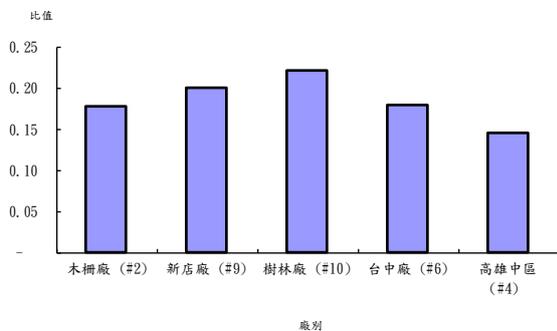


圖 3 本研究各廠之灰渣比比較圖

四、結論與建議

1. 本研究建立 5 個指標，以評估大型垃圾焚化廠營運績效，分別為：容量比 (mass capacity ratio, R_m)、熱值比 (heat value ratio, R_h)、點火效率 (firing efficiency, E_f)、發電比 (power generation ratio, R_p)、及灰渣比 (ash ratio, R_a)。前二者評估操作與設計容量 (capacity) 之比值，愈接近 1 愈佳；點火效率定義為鍋爐回收熱能與總進料熱能比例百分比，可評估焚化爐絕熱、與鍋爐熱交換效率；發電比為每噸進料可產生之淨發電量 (kWh/t) 之操作及設計值之比。
2. 根據針對國內五座混燒爐(北部之木柵廠、新店廠、及樹林廠，中部之台中廠，及南部之高雄中區廠)現勘問卷調查結

果，以 88 年為計算基準，顯示各廠之容量比介於 0.59~0.85，皆須減量燃燒。各廠垃圾熱值比介於 0.95~1.3，除了高雄市中區廠外，各廠垃圾熱值均偏高。比對各廠之 R_m 及 R_h ，顯示焚化爐設計熱值偏低，是造成減量燃燒的主要原因，但公民營管理模式、不同爐型、或爐體施工品質不良，亦可能是導致一定程度的減量燃燒。

3. 各廠之平均點火效率介於 78.0~94.5%，平均值為 87.9%，公有民營之新店廠及樹林廠最高為 94.5%，公有公營之木柵廠及公有民營之台中廠較低。各廠之發電係數介於 237~581 kWh/t，發電比 0.37~1.10，高雄廠相當低，值得進一步研究。比對各廠之 R_f 之 R_p ，發現點火效率越高，單位垃圾發電量亦越高。但若發電效率不佳，或內部耗損較高，亦可能導致高點火效率低發電比之情形。
4. 若考量灰渣比，本研究各廠介於 0.14~0.22，平均值為 0.18，與文獻值大致相近。唯公有民營的樹林廠最高，建議進一步檢討其進廠垃圾之化學及物理成分，以了解是否導因於焚化燃燒不完全所致。
5. 本研究推論垃圾焚化廠之營運模式及售電合約，可能對其營運績效產生不同程度之影響，除高雄中區廠外，一般而言，公有民營廠之績效均較公營廠為高，唯民營廠為獲較高售電效益，可能超限使用設備，縮短使用年限，或產生較高之二次污染。
6. 本研究所建立之營運績效指標群偏重於技術面，建議對大型垃圾焚化廠進行評比時，增加操作成本及二次污染指標，較能正確評估其整體營運績效。
7. 針對本研究建立之營運績效指標群，建議進一步研擬量化之權重評點，以作為政府或營運單位進行營運績效查核之有效工具。

五、謝誌

感謝行政院環保署提供部分研究經費，台中市環保局及各焚化廠提供實習機會及本計劃研究所需資料。特別感朝陽科技大學環境管理系兼任教授羅煌木於暑期實習期間多方協助。

六、參考文獻

1. 行政院環保署“台灣地區垃圾資源回收(焚化)廠興建工程計畫書”，行政院 80 年 9 月核定。
2. 江舟峰“台灣地區垃圾處理政策之省思—垃圾衍生燃料(RDF)造粒技術”，環境工程會刊，第八卷第二期，民國 86 年 5 月。
3. 江舟峰、紀子文“我國四合一資源回收計畫中建立能源回收制度之探討”，環境工程會刊，第十一卷第四期，民國 89 年 11 月。
4. 章裕民，廢一般容器與都市垃圾混燒之能源回收研究章裕民，廢一般容器與都市垃圾混燒之能源回收研究，期末報告，行政院環保署委託，民國 87 年 7 月。
5. 黃信智、陳逸平、賴盈如“我國大型垃圾焚化廠操作營運現況暨成本結構之研究”，學士畢業專題，第 26-54 頁(2001)。
6. 江舟峰“我國大型垃圾資源回收廠成本問卷調查”，報告書，朝陽科技大學環境管理系，民國 89 年 9 月。
7. 謝錦松、黃正義“固體廢棄物處理”，淑馨出版社，修訂第 4 版，第 232 頁(1997)。
8. 行政院環保署，垃圾焚化處理設施設置規範，民國 74 年 1 月 28 日公告。

表1. 本研究大型垃圾混燒爐88年平均營運績效指標比較表

項目	木柵廠(#2)	新店廠(#9)	樹林廠(#10)	台中廠(#6)	高雄中區(#4)
建造單位	日本田雄公司	日商三菱重工	日商三菱重工	日商NKK	東雲公司
廠牌及爐型	田雄HN型	Martin逆折爐床	Martin逆折爐床	NKK-Volund	德國DBA公司
啟用日期	84.03.28	83.11.04	84.07.04	84.12.11	88.09.01
營運模式	公有公營	公有民營	公有民營	公有民營	公有公營
總開發土地面積(公頃)	8.00	3.50	4.50	4.40	4.50
A1.設計容量(t/d)	1,500	900	1,350	900	900
2.平均操作容量(t/d)	882	765	1,075	675	750
3.操作/設計容量比(R_m)	0.59	0.85	0.80	0.75	0.83
B1.設計LHV(Kcal/Kg)	1,600	1,550	1,550	1,500	1,900
2.平均操作LHV(Kcal/Kg)	2,003	1,950	2,014	1,950	1,800
3.操作/設計LHV比(R_h)	1.25	1.26	1.30	1.30	0.95
C1.爐床負荷(kg/m ² -hr)	230	352	352	229	205
2.容積熱負荷(kcal/m ³ -hr)	66,848	71,409	73,753	64,350	124,200
3.平均鍋爐蒸氣壓力(kg/cm ²)	25.0	40.9	40.9	50.0	40.0
4.燃燒效率(CE)(%)	100	100	100	99.99	99.99
5.點火效率(E_f, %)	84.5	94.5	94.5	78.0	NA
6.灰渣灼燒減量(%)	<5%	<5%	<5%	<3%	<3%
D1.設計發電量(kw)	13,500	16,300	24,800	13,000	29,360
2.設計每噸發電度(kwh/t)	216	435	441	347	783
3.設計F/E發電效率(%)	11.6	24.2	24.5	19.9	35.5
4.操作發電量(Mwh/月) (86.1~89.6月平均)	6,281	9,331	18,726	6,902	6,524
5.操作每噸發電量(kwh/t)	237	407	581	341	290
6.售電量(KWH)(86.1~89.6之月平均)	3,986	7,299	11,832	5,241	3,931
7.操作/設計發電比(R_p)	1.10	0.94	1.32	0.98	0.37
7.售電/發電比(%) (86.1~89.6之月平均值)	0.63	0.78	0.63	0.76	0.60
E1.灰渣量(t/d)	156.6	152.9	236.2	120.9	108.2
2.灰渣/進料比(R_a)	0.18	0.20	0.22	0.18	0.14