

固體廢棄物分析 及實驗手冊

蘇弘毅 · 范煥榮 · 張明琴 · 陳志成 編著



高立圖書有限公司

固體廢棄物分析 及實驗手冊

張 蓉 張 志 敏 編著





序言

為了加強環境工程系學生的實務操作能力，弘光科技大學環境工程系自民國 85 年設系以來就規劃了一系列環工實驗課程，包括：水質分析、環工儀器分析、空氣污染物分析、固體廢棄物與環工單元操作等實驗課程。固體廢棄物實驗自 86 年起分別由本系蘇弘毅、范煥榮、陳志成與張明琴等四位老師輪流開課，其間除自編講義教材外也多次拍攝錄影帶與 DVD 光碟作為學生課前預習與課後複習之用，除受到學生的愛用外，在歷次系所評鑑也得到委員的嘉許。此一講義使用至今已超過十年，期間經過多次增補與更新以求日臻完備，尤其 91 年四位老師由台灣大學環工所楊萬發教授領導共同執行環境署之「九十一年度臺灣地區垃圾採樣分析工作計畫」，在全省 55 鄉鎮市共採樣分析 220 場廢棄物樣本，使得教學上的經驗能透過實際廢棄物樣品之採樣與分析加以印證與強化。

為了提供本系學生更為精緻的廢棄物實驗教材，也希望能夠將本系多年的教學成效分享給國內各相關科系教師與學生，並回應高立圖書公司的熱情邀約，特別將本系所長期使用的廢棄物實驗講義經過全盤審視、增補、修正與強化後出版。雖然經過許多次的校對、討論與修改，但仍難免發生不足與缺漏之處，懇請各界先進不吝指正。

蘇 弘 毅

於 弘光科技大學 環境工程系



目 錄

Contents

第 1 章	臺灣地區廢棄物產生與性質概況	1
1-1	概 述.....	1
1-2	國內近年廢棄物產量概況.....	2
1-3	國內歷年廢棄物採樣分析結果.....	6
第 2 章	廢棄物採樣與分析	11
2-1	廢棄物之採樣.....	11
2-2	採樣計畫之規劃與執行.....	12
2-3	一般廢棄物採樣方法.....	14
2-4	採樣工具與行前準備.....	14
2-5	個人安全防護配備、措施及注意事項.....	26
2-6	樣品記錄表格與容器標籤等設計.....	27
2-7	廢棄物之分析.....	31
2-8	廢棄物處理設施與實驗法之關係.....	33
第 3 章	廢棄物分析實驗簡介	35
3-1	分析實驗之目的.....	35
3-2	分析實驗之重要性.....	36
3-3	廢棄物之定義與分類.....	37
3-4	廢棄物之來源.....	37
第 4 章	廢棄物之物理化學分析方法	41
第 5 章	實驗室品質管理	43

第 6 章 實驗室安全衛生守則	47
6-1 實驗室安全衛生	47
6-2 一般守則	47
實驗 1 四分法	53
實驗 2 單位容積密度	63
實驗 3 濕基物理組成	69
實驗 4 水分測定法	75
實驗 5 乾基物理組成	81
實驗 6 破碎與篩分	87
實驗 7 灰分與可燃分測定	95
實驗 8 元素分析	103
實驗 9 發熱量	125
實驗 10 一般廢棄物（垃圾）採樣及檢測方法總整理	139
實驗 11 焚化灰渣之灼燒減量	147
實驗 12 閃火點測定	155
實驗 13 固化 / 抗壓強度測試	161
實驗 14 事業廢棄物毒性特性溶出程序	171
實驗 15 滲透性試驗	181
實驗 16 再生紙	191
實驗 17 堆肥	197
參考文獻	205

臺灣地區廢棄物產生 與性質概況



1-1 概 述

一般廢棄物特性隨生活型態、工商發展、資源回收與城鄉差異而持續改變。而一般廢棄物即通稱的垃圾其產量與性質資料的掌握對於因應如此多變又棘手的廢棄物管理問題顯得非常重要。在國內，環保署一直以來均持續針對各縣市鄉鎮進行垃圾採樣分析並發表於各年度的「環境保護統計年報」與「全國垃圾採樣及樣品分析工作報告」，提供國內地區垃圾物化特性許多寶貴資料與訊息。

台灣地區由於人口及經濟形態的改變，以及相關環保措施的推動，影響人們消費習慣與生活習性，也因此造成廢棄物產出量與性質的變異，對環境與人體健康，以及垃圾處理問題與對策具有重大影響。近年來環保署為解決垃圾問題，積極致力於推動多元化處理政策，期望在一個較有系統的架構下，使垃圾問題能達到合理的解決，目前國內大部分市鎮積極推動垃圾分類、垃圾減量 (reduction)、再利用 (reuse)、回收 (recovery)、廢棄物再製造利用 (recycle)、禁 (減) 用免洗餐具與塑膠

袋、垃圾費隨袋徵收、廚餘回收、垃圾零掩埋全回收等策略，提倡綠色產品與綠色消費，以及垃圾掩埋場、焚化廠之興建與管理等政策，確保能有效清除處理垃圾，改善環境衛生，維護國民健康。

垃圾特性可用物理組成（如紙類、木竹稻草類、皮革類、塑膠類等）、化學元素組成（碳、氫、氧、氮、硫、氯等）、單位容積重、發熱量等物理化學性質來表示，亦可以水分、灰分及可燃分等三成份比例作為分類依據。垃圾的採樣分析工作除了可以建立廢棄物資料庫外，也能作為廢棄物清理之規劃、處理設施之功能評估、處理操作管理之改進、管理政策之擬訂、長期質量與特性變化之預估，以及分類、回收與減量策劃和污染防治設計之依據。



1-2 國內近年廢棄物產量概況

台灣地區歷年的垃圾清理情形整理於表 1-1 中，自民國 78 年起清運人口由 1893 萬人增至 2280 萬人。垃圾清運率也由 78 年的 95.26% 起提升至 95 年的 99.90%，而平均每人每日垃圾清運量於 78 年 0.896 公斤增至 86 年的 1.143 公斤後，由於資源回收成效良好逐步下降至 95 年的 0.605 公斤。台灣地區之垃圾處理方式大致上有掩埋、焚化、堆肥及其他等。由表 1-2 可看出歷年垃圾大部分以掩埋處理為主，但自 84 年度起大型垃圾焚化廠陸續完工、運轉，焚化率由 83 年度 4.86% 大幅增加至 90 年 51.51%，當時估計包括試燒及施工中共計 21 座焚化廠全部完工後，每日可處理 21,900 公噸垃圾，服務人口達 1600 萬人，焚化處理率為全國總垃圾量之 70%。另外，至 87 年底止推動民有民營焚化廠興建已核定之 15 座焚化廠，估計未來每日處理垃圾量可達 8500 公噸。事實上 90 年之掩埋佔 47.28%、焚化佔 51.51%，亦為首度焚化處理比例高於掩埋處理。95 年之垃圾處理掩埋佔 10.82%、焚化佔 53.68%，資源回收佔 27.93%，可以發現因政策誘導關係，掩埋之比例大幅下降；焚化比例沒有大幅提升則是因為資源回收大幅提升之故。

垃圾產出量之多寡，影響之因素包括人口、經濟狀況、生活習慣、垃圾回收再利用之比例、法規、地理位置與季節變化等。根據環保署資料統計，台灣地區歷年垃圾清運處理概況如表 1-3 所示：

表 1-1 歷年垃圾清理狀況

年(度)別 及地區別	期中總人 口數(千人)	指定清除地區期中 人口數(千人)	垃圾清運率(%)	平均每人每日 垃圾產量(公斤)	平均每人每日 垃圾清運量(公斤)
78 年度 FY1989	19,875	18,933	95.26	—	0.896
79 年度 FY1990	20,104	19,300	96.00	—	0.963
80 年度 FY1991	20,330	19,646	96.63	—	1.001
81 年度 FY1992	20,539	19,964	97.20	—	1.087
82 年度 FY1993	20,729	20,277	97.82	—	1.101
83 年度 FY1994	20,924	20,602	98.46	—	1.121
84 年度 FY1995	21,115	20,863	98.80	—	1.138
85 年度 FY1996	21,288	21,005	98.67	—	1.135
86 年度 FY1997	21,458	21,160	98.61	—	1.143
87 年度 FY1998	21,660	21,361	98.62	1.149	1.135
88 年度 FY1999	21,863	21,563	98.63	1.101	1.082
89 年 2000	22,125	21,911	99.03	1.042	0.982
90 年 2001	22,278	22,129	99.33	0.971	0.898
91 年 2002	22,396	22,230	99.26	0.937	0.829
92 年 2003	22,494	22,371	99.45	0.901	0.752
93 年 2004	22,647	22,622	99.89	0.912	0.708
94 年 2005	22,730	22,702	99.88	0.938	0.667
95 年 2006	22,823	22,801	99.90	0.930	0.605

資料來源：環境保護統計年報 96 年報表 4-1 執行機關垃圾清理狀況。

表 1-2 歷年垃圾處理方式概況

年 (度) 別	平均每日 資源 回收量 (公噸)	平均每日垃圾清運量按垃圾處理方式(公噸)										垃圾妥 善處理 率(%)
		資源 回收 (%)	掩埋			焚化爐 焚化 (%)	堆肥 (%)	堆置 (%)	其他 (%)	養豬 (%)	其它廚 餘再利 用(%)	
			總計(%)	一般掩 埋(%)	衛生掩 埋(%)							
78 年度	—	88.98	30.38	58.61								60.17
79 年度	—	88.04	29.90	58.14	1.14	1.65	—	9.17	—	—	—	60.93
80 年度	—	93.01	33.28	59.72	0.40	0.08	—	6.52	—	—	—	60.20
81 年度	—	90.44	26.86	63.59	3.19	0.10	—	6.27	—	—	—	66.88
82 年度	—	91.76	29.81	61.95	3.03	—	—	5.21	—	—	—	64.98
83 年度	—	89.88	24.24	65.64	4.86	0.02	—	5.25	—	—	—	70.52
84 年度	—	79.24	29.14	50.10	14.94	0.07	—	5.74	—	—	—	65.11
85 年度	—	79.15	23.93	55.22	15.62	0.03	—	5.20	—	—	—	70.87
86 年度	—	75.06	17.30	57.76	19.05	0.16	—	5.73	—	—	—	86.97
87 年度	306.17	74.37	12.11	62.25	19.36	0.00	3.30	1.73	—	—	—	82.86
88 年度	410.62	71.41	9.84	61.58	23.18	0.22	2.81	0.64	—	—	—	86.71
89 年度	1305.62	54.07	8.34	45.73	38.70	0.04	1.42	0.06	—	—	—	90.18
90 年度	1482.75	47.28	6.97	41.31	51.51	0.01	1.01	1.21	—	—	—	93.35
91 年度	2406.35	30.79	2.95	27.84	56.78	0.05	0.72	0.10	—	—	—	96.22
92 年度	2873.92	24.66	1.54	23.12	58.52	0.30	0.27	0.01	1.89	0.07	—	98.18
93 年度	3801.02	18.44	0.79	19.40	57.23	0.87	0.20	0.02	2.94	0.11	—	98.99
94 年度	4794.39	23.31	0.47	14.73	55.32	1.28	0.03	0.001	4.77	0.09	—	99.50
95 年度	5753.58	27.93	0.18	10.64	53.68	1.47	0.02	0.02	5.99	0.07	—	99.78

資料來源：環保署 96 年環境保護統計年報。

表 1-3 歷年垃圾清運量、垃圾減量與資源回收量

年(度)別	垃圾清運量			資源回收率(%)
	萬噸/年	公噸/日	公斤/日/人	
75 年度	509.32	13,954	0.770	—
76 年度	528.34	14,475	0.786	—
77 年度	588.23	16,116	0.860	—
78 年度	625.87	17,147	0.896	—
79 年度	684.48	18,753	0.963	—
80 年度	723.90	19,833	1.001	—
81 年度	800.12	21,861	1.087	—
82 年度	821.73	22,513	1.101	—
83 年度	849.28	23,268	1.121	—
84 年度	870.77	23,857	1.138	—
85 年度	873.64	23,870	1.135	—
86 年度	888.08	24,331	1.143	—
87 年度	888.05	24,330	1.135	1.25
88 年度	856.57	23,468	1.082	1.94
89 年度	785.40	21,518	0.982	5.75
90 年度	725.47	19,876	0.898	7.46
91 年度	672.37	18,421	0.829	11.60
92 年度	616.03	16,877	0.748	14.26
93 年度	586.29	16,062	0.708	18.43
94 年度	552.53	15,137	0.666	22.59
95 年度	503.27	13,788	0.603	27.23

資料來源：環保署統計資料庫、環境保護 96 年年報。

1. 每日垃圾清運量

由表 1-3 中資料指出 78 年度至 90 年間，台灣地區之垃圾清運總量，在 78 年度至 87 年度期間由 17,147 公噸 / 日逐年增加至 86 年的 24,331 公噸 / 日，民國 87 年以後，隨著環保意識提升，資源回收與垃圾減量工作積極推廣，發揮效果，垃圾產生量首度出現負成長，並逐年呈現負成長趨勢，88 年度至 95 年期間由 23,468 公噸 / 日逐年減少至 13,788 公噸 / 日。

2. 每人每日垃圾量

平均每人每日垃圾量由 78 年度之 0.896 公斤增加至 86 年度之最高值 1.143 公斤，再逐年減少至 95 年度最低值 0.603 公斤。

3. 資源回收率

由表 1-3 中資料顯示，垃圾減量與資源回收工作自民國 87 年積極推動並記錄統計，台灣地區 87 年度至 95 年度之資源回收率則由 1.25% 大幅提昇至 27.23%，呈現逐年增加趨勢，相對地使得每人每日垃圾量自民國 87 年起逐年減少，至 95 年的 0.603 公斤幾乎為 86 年 1.143 公斤的一半。

4. 主要都市垃圾清運統計概況

表 1-4 則為自 85 年度至 95 年度七大都市垃圾清運統計之概況，95 年度平均每日垃圾清運量以嘉義市 220 公噸為最低，台北市 1454 公噸最高。比較 85 年度至 95 年度之變化，台北市減量約 60% 最為明顯，台中市減量 47% 次之，嘉義、高雄與基隆市約減量 33~37% 均有不錯的成效。



1-3 國內歷年廢棄物採樣分析結果

一般廢棄物組成因受當地居民文化、收入、生活習慣、氣候、季節等因素而有差異，分析垃圾組成特性可做為清理系統規劃設計之參考依據。81~95 年台灣地區歷年垃圾採樣分析結果如表 1-5 所示，由比較得知垃圾組成已有部分變化。

表 1-4 七大都市歷年垃圾清運概況

年別	平均每日清運量 (公噸)						
	臺北市	高雄市	基隆市	新竹市	臺中市	嘉義市	臺南市
85	3694	1555	381	328	765	343	671
86	3538	1534	505	351	715	314	643
87	3138	2074	395	354	680	320	648
88	3051	1486	364	365	579	314	701
89	2661	1583	577	364	533	282	660
90	2724	1296	325	369	545	290	657
91	2033	1217	310	344	491	260	659
92	1812	1195	303	337	474	245	618
93	1623	1115	304	328	473	241	593
94	1534	1043	266	273	448	238	594
95	1454	1005	240	268	408	220	546

資料來源：環保署公務統計報表。

說明：85 年以前基隆市、新竹市、臺中市、嘉義市及臺南市為年度資料。

表 1-5 歷年垃圾採樣分析結果

年別	物理組成													
	可燃分							不可燃分						
	小計	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	小計	鐵金屬類	非鐵金屬類	玻璃類		
%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%			
81	100.00	24.86	3.97	5.06	25.73	19.14	1.73	2.45	17.07	7.07	7.69			
82	100.00	27.84	5.13	5.79	23.47	18.01	1.55	1.15	17.05	7.65	7.44			
83	100.00	29.98	4.81	4.69	23.50	18.90	0.80	4.31	13.02	5.78	4.94			
84	100.00	32.17	6.21	5.82	17.94	18.27	0.88	3.34	15.39	6.05	5.59			
85	100.00	30.95	5.05	5.89	18.97	17.83	1.08	4.72	15.52	6.28	5.67			
86	100.00	29.13	5.80	4.86	24.90	19.57	1.13	2.11	12.50	5.33	4.95			
87	100.00	32.77	5.27	4.81	18.29	20.14	0.83	4.54	13.42	5.66	5.84			
88	100.00	35.83	5.20	4.89	21.83	19.85	0.60	1.97	9.83	3.80	4.99			
89	100.00	26.37	6.06	3.36	27.76	22.00	1.35	0.44	12.66	3.73	7.31			
90	100.00	26.55	4.81	4.06	27.32	21.10	0.48	5.06	10.62	3.53	5.03			
91	100.00	30.01	3.65	4.43	23.34	20.23	0.60	8.17	9.57	3.07	4.11			
92	100.00	32.97	3.78	3.88	27.19	21.36	0.22	3.58	7.02	2.58	3.54			
93	100.00	31.56	4.90	4.91	29.76	20.60	0.87	0.98	6.43	1.89	3.61			
94	100.00	38.64	2.38	1.93	38.15	13.78	0.43	0.67	4.03	0.85	0.29	2.08		
95	100.00	44.30	1.84	1.74	34.57	14.63	0.19	0.36	2.36	0.50	0.33	0.95		

資料來源：環保署統計資料庫、環境保護 96 年年報。

表 1-5 (續)

年別	物理組成												
	不可燃分			水分	灰分	小計	碳	氫	氧	氮	硫	有機氮	其他
	陶瓷類	石頭類及 5 mm 以上之土砂	其他										
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
81	0.83	1.48	—	51.97	16.15	31.88	16.50	2.81	11.40	0.79	0.18	0.16	—
82	0.92	1.04	—	51.06	16.02	32.93	17.04	2.82	11.99	0.52	0.19	0.30	0.07
83	0.98	1.32	—	53.21	12.43	34.36	19.08	2.38	12.00	0.50	0.12	0.18	0.10
84	1.64	2.11	—	48.14	14.40	37.46	18.60	2.90	14.45	0.51	0.14	0.18	0.68
85	1.56	2.01	—	50.60	13.79	35.61	18.99	2.82	13.06	0.45	0.12	0.16	—
86	1.26	0.96	—	46.03	13.12	40.85	20.44	3.50	15.62	0.70	0.19	0.39	—
87	0.71	1.21	—	51.06	12.60	36.34	18.47	2.65	14.23	0.74	0.06	0.18	—
88	0.51	0.53	—	50.76	10.08	39.17	18.87	2.85	15.95	1.19	0.09	0.21	—
89	0.29	1.33	—	45.02	14.07	40.91	21.12	4.01	14.81	0.59	0.14	0.23	—
90	0.56	0.82	0.68	55.80	11.34	32.86	18.24	2.62	9.11	2.56	0.10	0.12	0.11
91	0.58	0.98	0.83	51.24	11.01	37.75	20.45	3.04	13.04	0.57	0.10	0.25	0.30
92	—	—	—	55.69	7.51	36.80	18.71	2.84	13.92	0.49	0.20	0.16	0.48
93	—	—	—	51.19	7.93	40.88	20.60	3.03	14.67	0.57	0.16	0.17	1.69
94	—	—	0.80	54.03	7.78	38.19	17.98	2.80	16.25	0.53	0.55	0.08	—
95	—	—	0.58	52.41	5.10	42.49	20.58	3.36	17.27	0.97	0.23	0.08	—

資料來源：環保署統計資料庫、環境保護 96 年年報。

說明：物理組成於 81~93 年為乾基物理組成，自 94 年起物理組成改為濕基分析，不可燃分金屬類分為鐵金屬類及非鐵金屬類分析。

1. 物理組成

由表 1-5 得知，95 年一般垃圾物理組成中，可燃物占 97.64%，以紙類 44.30%，廚餘類 34.57%，塑膠類 14.63% 為主，共約佔 93.5%。不可燃物占 2.36%，包括主要之玻璃類 0.95%，金屬類 0.83% 等，共約 1.78%。以不同年份垃圾性質之比較而言，由 81 年到 95 年可燃物部分自 82.94% 增至 90.17% (88 年) 後再降至 89.38% (90 年)，之後快速增加至 97.64%，雖然中間數年間有增減變化，並維持比例佔 80~98%，顯示目前之垃圾適合焚化處理。其中可燃物以紙類由 24.86% 增加到 35.83% (88 年) 再降至 26.37% (89 年)，然後快速增加至 44.30%。廚餘量由 25.73% 也大幅增加至 34.57%，可能與生活習慣改變及資源回收成效良好有關。此外，不可燃物中之玻璃類比例亦由 7.69% 降至 0.95%，與金屬類由 7.07% 逐漸降至 0.33%，顯示因資源回收成效，使其比例逐漸降低。

2. 化學組成

就化學分析 (濕基) 來看，歷年來三成份比例各有消長，變化趨勢緩慢，水分約為 50% 左右，灰分則明顯由 16.15 降至 5.10%，可燃分則有相反趨勢由 31.88 增加至 42.49%。95 年垃圾化學組成中水分占 52.41%，灰分 5.104%，可燃分 42.49%，碳氮比 21.21。此外，由統計年報查得高發熱量為 2133 Kcal/Kg，低發熱量為 1689 Kcal/Kg。

廢棄物採樣與分析



2-1 廢棄物之採樣

廢棄物成份混雜，如何採樣 (sampling) 以取得具代表性的樣品，是每一位採樣員所需具備的基本條件。就環境工程的角度而言，採集具有代表性的樣品，對後續是否能準確地分析出樣品的物理及化學性質，在整體廢棄物處理過程中是相當重要的工作。

採樣工作須配合採樣目的、廢棄物型態、貯存方式、採樣數量及體積、採樣器具及安全防護設備而進行，在進行現勘或事先瞭解廢棄物型態後，再規劃採樣點、採樣數量、貯存容器、採樣器具及採樣人員安全防護裝備等。正確的採樣點選定關係到樣品代表性與否，理論上可以根據統計原理，推估採樣數量及方法，目前較常用的採樣方法有以下六種：

1. 簡易隨機採樣 (simple random sampling)；
2. 分層隨機採樣 (stratified random sampling)；
3. 系統隨機採樣 (systematic random sampling)；

4. 階段式採樣 (subsampling)；
5. 權威判斷方法 (authoritative judgement sampling)；
6. 混合採樣法 (composite sampling)。

就以上所列六項採樣方法，其優缺點如下表 2-1 所示。

表 2-1 各種採樣理論優缺點之比較

採樣方法	優點	缺點
簡易隨機採樣	(1) 方法簡單。 (2) 易估算族群總值及採樣誤差，準確度、精確度高。	因採樣樣品較為分散，所需採樣人力及經費較大。
分層隨機採樣	(1) 若每層（類）內之差異度愈小，可得更高精確度（比簡易隨機要高）。 (2) 可求得各層（類）之估算值。	(1) 樣品數據資料之整理、推算工作，會比簡易隨機繁瑣。 (2) 族群分佈為未知傾向時，會降低精確及準確度。
系統隨機採樣	(1) 依隨機方式只須採取一個，其餘依序，故較為方便。 (2) 污染物質分布均勻時，可得高精確度。	(1) 族群分佈為未知傾向時，會降低精確及準確度。 (2) 樣本個體呈週期循環，而又與採樣樣本間隔相近時誤差較大。
階段式採樣	採樣手續簡便。	(1) 誤差較大。 (2) 整理分析較繁雜。
權威判斷採樣	簡易、方便。	易因錯誤的判斷，誤差可能甚大，無法估算族群平均數及採樣標準偏差。
混合採樣	樣品間的分散性較小，可減少樣品採集數量。	為求更具代表性，須採集較多個個別樣品，人力經費並無顯著節省。

資料來源：廢棄物處理技術員訓練班教材，一般及事業廢棄物抽樣檢驗技術。



2-2 採樣計畫之規劃與執行

在採樣方案執行時，事前的規劃是相當重要，不僅要瞭解樣品的來源及其背景特性資料，還需規劃整個採樣前準備工作及執行過程中的步驟，以符合公正、客觀的科學精神。茲就以下幾方面說明：

1. 了解採樣的目的

首先需了解採樣的目的，採樣樣品精確的要求，實驗室及計畫進行的時間分配。