

電弧爐煉鋼業空氣污染防制現況

吳俊耀* 洪文雅** 余騰耀***

一、前　　言

台灣省及高雄市自民國74年公告「煉鋼業電爐空氣污染物排放標準」，環保主管機關、工業主管機關及工業污染防治技術服務團即全面進行電弧爐煉鋼業之空氣污染取締與輔導改善工作，同時國內亦有多數學者專家致力於電弧爐空氣污染防制研究工作。根據工業局工業污染防治技術服務團民國77年統計資料指出，至民國77年12月止，台灣地區總計有電弧爐工廠39家，電弧爐容量合計1,008公噸，而經改善後每年可減少33,000公噸之粒狀污染物排至大氣。

由於國內電弧爐煉鋼業界致力於空氣污染防制工作迄今已經六年，期間業界不僅累積許多空氣污染防制設備操作維護經驗，且所設置之污染防治設備亦頗具統計價值，可供國內其他行業於投資空氣污染防制設備之參考依據。因此本文藉工業污染防治技術服務團於81年度進行電弧爐煉鋼業成效追蹤與後續輔導專案所調查之資料，做進一步統計分析，以說明台灣地區電弧爐煉鋼業空氣污染防制現況與防污設備的設置及操作成本。

二、製程與產業現況概述

2.1 製程概述

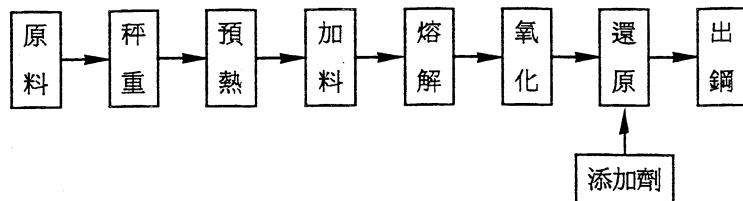
電弧爐煉鋼係利用在高電壓情況下，電流通過人造石墨電極與廢鐵原料時產生電弧，高溫放熱而熔解廢鐵，達成冶煉鋼鐵之目的。為符合產品規格之要求，於冶煉過程中可加入少量矽鐵、錳鐵、焦炭、生石灰與脫硫劑等，並通入純氧助燃。

電弧爐煉鋼均為批式作業，通常每一批次時間約1.5~2.5小時。冶煉過程可依其化學反應分成三個階段，分別為熔解期、氧化期及還原期。典型之電弧爐煉鋼流程如下：

*中國技術服務社工業污染防治技術服務團工程師

**中國技術服務社工業污染防治技術服務團技術組小組長

***中國技術服務社工業污染防治技術服務團技術組組長



*：目前僅部份工廠設置

原料經初步之分類、秤重後，由天車操作從爐頂加料，並將電極棒通入電流以產生電弧。廢鐵原料經電弧熔解後形成液態鋼水，雜質則氧化成氣態氧化物（廢氣）或固態氧化物（熔渣），此時可通入高壓氧氣加速氧化作用；還原期則應加入大量石灰石、碳粉等副料，主要功能乃是與氧化物反應，產生浮渣並去氧脫硫，以清潔鋼液。為控制鋼品品質，可加入各項添加劑（例如矽鐵、錳鐵、焦炭、生石灰等）以調整鋼水成份。融熔之鋼液經連鑄或澆鑄等程序製成鋼胚或鑄件。

2.2 產業現況概況

1. 電弧爐煉鋼廠數及爐體大小

台灣地區電弧爐煉鋼廠工廠總數35家，其中兩家目前處於停工或半停工階段，工廠於各縣市分佈現況如圖1所示，以高雄市(10家)與台中縣(6家)較為密集。

35家電弧爐工廠中目前擁有電弧爐總數為47座，總容量則為1,173公噸，爐體大小以20噸最為普遍，50噸與15噸者次之，由於電弧爐噸數愈大者，單位成本愈低，目前電弧爐已有增大的趨勢。由圖2可看出民國77年與81年兩次統計電弧爐數量與爐噸數消長情形。

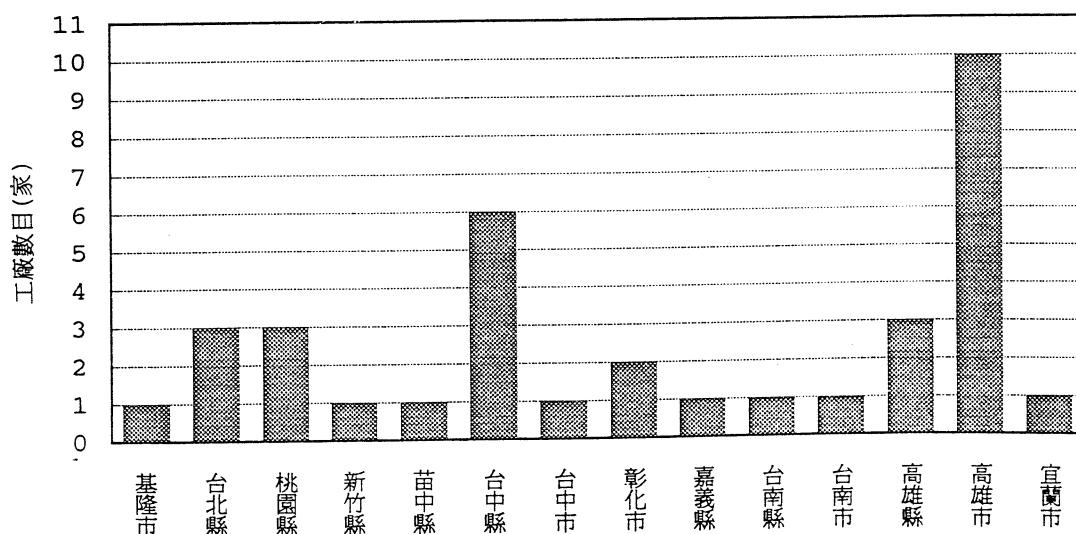


圖1 臺灣地區電弧爐煉鋼廠分佈狀況

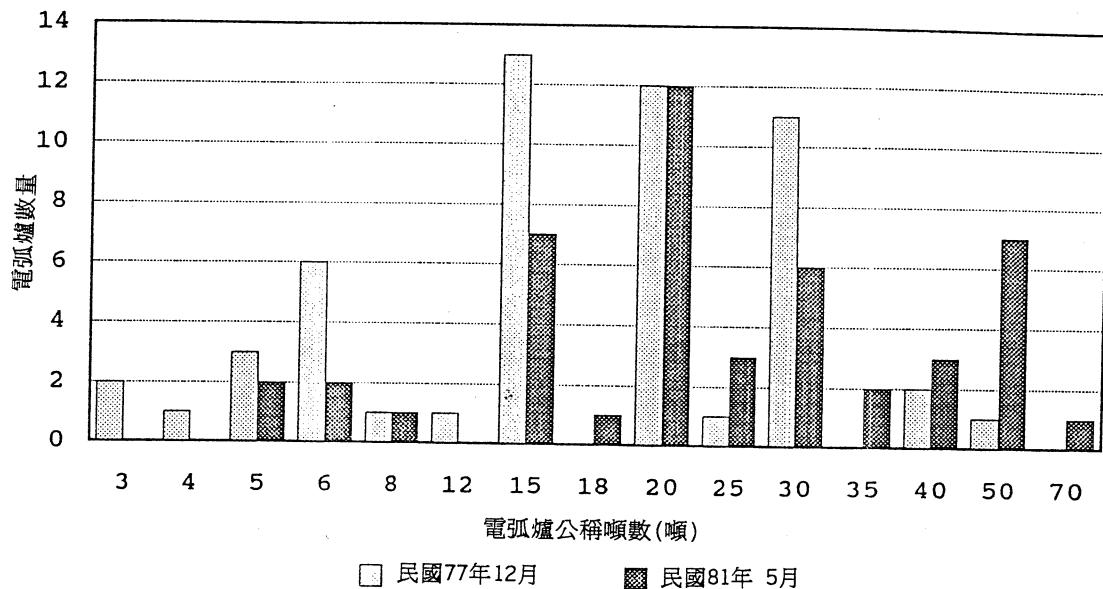


圖 2 臺灣地區電弧爐公稱噸數消長情形

2. 產量統計

圖 3 為民國71年至80年台灣地區鋼胚與鋼筋年產量變化情形，由圖可知鋼胚產量有逐年增加之趨勢，但成長幅度有限，不若鋼筋之急遽上升，民國80年電弧爐煉鋼所生產之粗鋼總量為 307萬公噸。由於鋼筋之原料以國內生產或國外進口鋼胚為主，一旦國內產量有限，則進口數量必定增加，以滿足需求。進口鋼胚量之增加與近日東歐國家經濟破產有關，廉價鋼胚大量向外輸出，用以換取熱錢流入來重建各國之經濟制度。

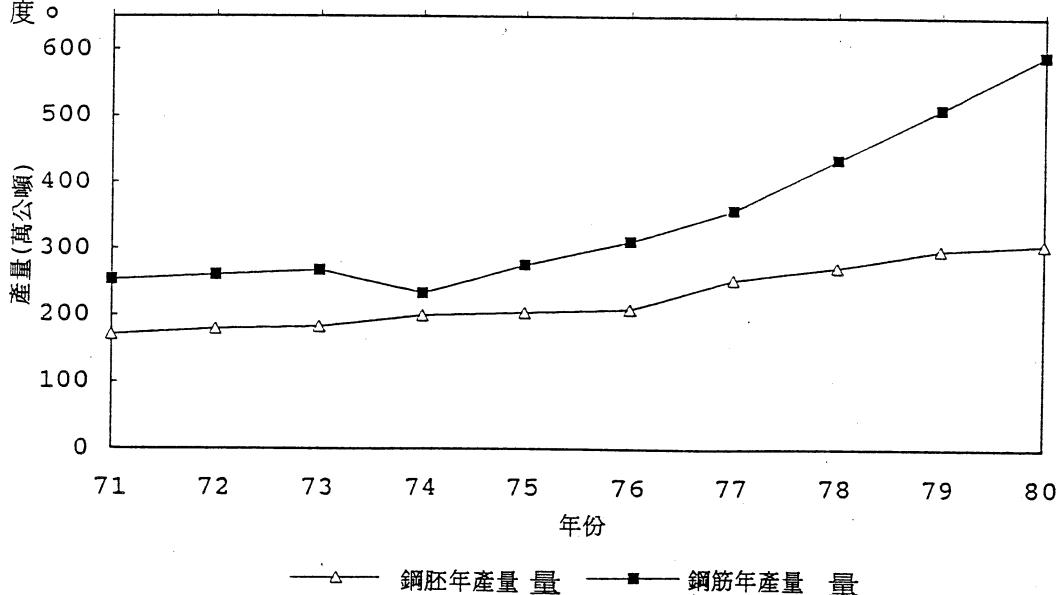


圖 3 臺灣地區鋼胚與鋼筋年產量變化情形

三、污染特性

3.1 空氣污染特性

電弧爐煉鋼空氣污染發生之原因主要為下列各項：

1. 熔解期因送電時電弧振動、廢鐵崩落、爐溫上升、爐壓增大，致廢料中之煙塵外溢。
2. 加料與再加料期因廢鐵互撞振動或雜質遇高溫汽化，而使煙塵隨上升熱氣流外逸。
3. 氧化期氧氣吹入，因化學反應而產生了一氧化碳及二氧化碳等氣體。
4. 還原期空氣進入爐內，爐壓增加而導致爐內氣體外溢。
5. 出鋼期傾倒鋼液時，塵粒隨著上升熱氣而逸出。

典型之電弧爐操作時間、廢氣排放量與溫度之關係如圖4所示。在氧化期時為使廢鐵中之雜質氧化，一般須通入氧氣，而伴隨著氧氣之進入，大量之高溫氣體於爐內產生。由於冶煉過程所生之廢氣均局限於電弧爐內，故較易被收集處理。反之，於加料及出鋼期須將爐蓋移開，因此有大量煙塵將隨著熱空氣上升溢散，形成了電弧爐煉鋼過程中污染較嚴重之時期。

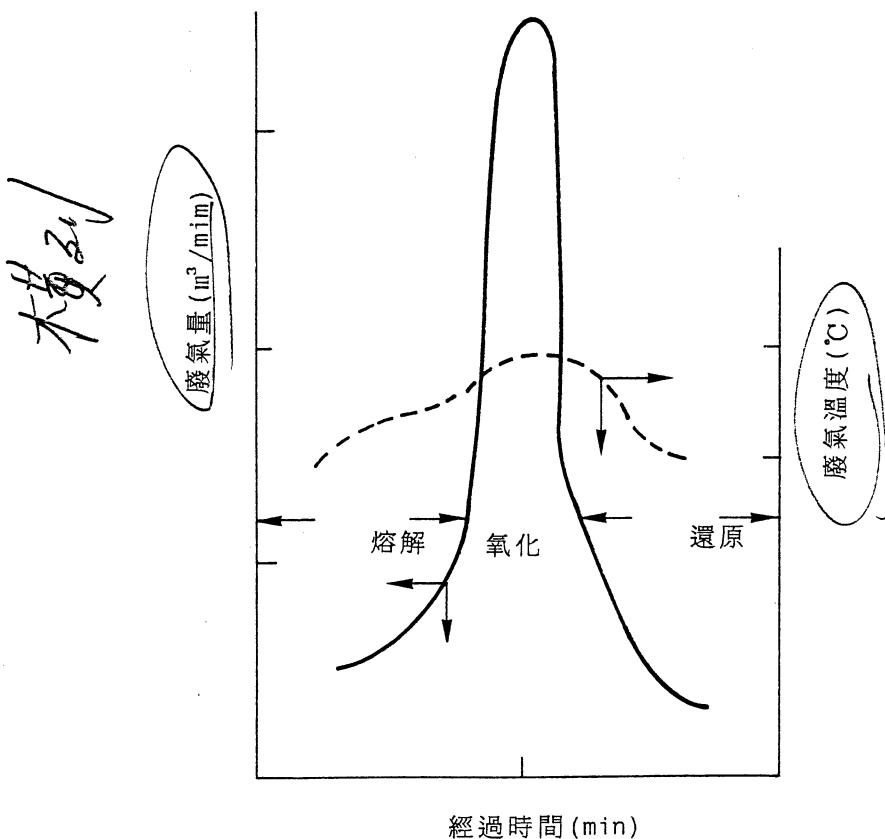


圖4 電弧爐操作時間與廢氣排放量及溫度之關係圖

伴隨著電弧爐內各種化學反應所產生之氣體量，以氧化期為最，氧化期之廢氣包含熔解與吹氧所產生氣體，其廢氣產生量計算如下：

1. 熔解時所產生氣體量

(1) 熔解時間 (t)

$$t = \frac{E \times 3/4 \times Q}{W \times \cos \phi}$$

式中，

t : 熔解時間 (hr)

E : 熔鋼時，每噸平均消耗電力 (KWH/T)

Q : 電弧爐之進料量 (Ton)

W : 電容器容量 (KVA)

$\cos \phi$: 變壓器效率 (%)

(2) 熔解速率 (MS)

$$MS = \frac{Q}{t}$$

式中，

MS : 熔解速率 (T/hr)

(3) 單位廢鐵所產生之氣體量 (GG)

$$GG = 170 \times Sc \times 3/4$$

式中，

GG : 單位廢鐵所產生氣體量 (Nm^3/T)

Sc : 廢鐵所生成之CO量 (一般取 2.4)

(4) 熔解時產生之氣體量 (G_f)

$$G_f = GG \times MS / 60$$

式中，

G_f : 每分鐘爐內產生之氣體量 (Nm^3/min)

2. 吹氧時所產生氣體量

(1) 吹氧量 (DO)

$$DO = Q_x \times \frac{O_x}{T_x}$$

式中，

DO : 總吹氧量 (Nm^3/min)

O_x : 吹氧量 (Nm^3/T)

T_x : 吹氧時間 (min)

(2) 假設吹入氧氣全部轉換為CO，則氣體量(G_o)

$$G_o = 2 \times D_0$$

式中，

G_o：吹氧時氣體發生量(Nm³/min)

3. 廢氣總生成量(G_t)

$$G_t = G_f + G_o$$

3.2 空氣污染物特性

1. 廢氣組成成份

電弧爐無論在熔解或氧化期，會因電極棒之氧化而產生大量之一氧化碳氣體，部份CO會進一步氧化成CO₂、兩者皆為廢氣中之主要成份。此外廢鐵原料中之雜質則於治煉過程中被釋出，並與未完全燃燒之碳粒，共同構成廢氣中之粒狀污染物。典型之電弧爐廢氣組成如表1所示，廢氣溫度可高達1,400~1,500°C。

表 1 各期廢氣組成及灰塵量

項目 操作期別	主要組成(%)			灰塵量(g/Nm ³)
	CO ₂	CO	H ₂ O	
熔解期	0.5~5	0.5~10	10~14	1~25
吹氧精煉期	0.4~10	15~40		25~40
還原期				2~8

2. 粒狀污染物特性

電弧爐所排放之粒狀污染物主要由以下因素所造成：(1)電極棒之損耗。(2)耐火磚之消耗。(3)廢鐵之熔解。(4)合金添加物之氧化。(5)廢鐵所含油脂及其他雜質。

粒狀污染物之排放量一般介於1~50g/Nm³之間，而以吹氧精煉期排放量最大，約為25~40g/Nm³之間。而粒狀污染物之主要化學組成如表2所示，由表可知，其成份中以Fe和Zn之含量最多。

此外，根據國內對於袋濾集塵機所收集粉塵研究結果指出，粒狀污染物之比重約在4左右，而其假比重(bulk density)則在0.8上下。至於粒狀物之粒徑，則有90%以上小於10μ，其中值粒徑則在0.3~0.4μ之間。

表 2 典型電弧爐粉塵成份組成

化 學 成 份	重 量 百 分 比 (%)
FeO	2.8
Fe ₂ O ₃	40.0
ZnO	24.2
PbO	4.1
CaO	5.1
SiO ₂	4.8
MgO	1.3
Al ₂ O ₃	2.4
MnO	2.8
P ₂ O ₅	0.5
Na+K	0.4
Cu+Ni	0.9
C	1.7
S	0.6
Cl ⁻	3.3
Cr, Cd及其他物質	5.1

3. 粒狀污染物排放因子推估

電弧爐煉鋼廠生產單位產品所排放之粒狀物量，國內外均有完整之調查資料，然污染防治技術服務團於今年再度進行電弧爐工廠基本資料調查，藉以推估排放因子且與前人所得結果作一比較。排放因子推估分為未經處理與處理後兩種，且假設袋濾集塵機去除效率為99%。有關調查之原始資料及推估數據列於表3，推估所得結果與前人研究所得比較列於表4。一般而言，國外電弧爐煉鋼粒狀物排放因子約為7~8kg/T，而國內業界調查結果則高達13.7kg/T，主要原因可能為台灣地區電弧爐廢鐵原料雜質多且未經前處理，電弧爐型式較為老舊且爐體較小，以及電弧爐超載率高等原因所引起；因此欲改善電弧爐粒狀物排放量，則必須從原料品質控制、爐體大型化與避免電弧爐超量負荷三方面著手。

表 3 電弧爐煉鋼廢氣煙塵量排放因子推估

工廠 代號	廢鐵原料 用 量	產 量	電 弧 爐			收集粉塵量
			數 量	公稱噸數	操作噸數	
	(公噸／月)	(公噸／月)	(#)	(公噸)	(公噸)	(公噸／月)
1	11,000	10,000	1	20	25	110
2	4,600	4,000	1	20	28	50
3	7,000	6,400	1	15	20	60
4	32,000	30,000	2	40	50	190
5	15,400	14,000	1	50	53	315
6	4,800	4,300	1	15	17	150
7	11,000	10,000	1	30	40	50
8	12,000	10,600	2/1	20/50*	22	80
9	5,000	4,800	1	15	22	45
10	18,000	16,500	1/1	25/35	30/40	150
11	3,300	3,000	1	18	21	30
12	12,000	10,000	1/1	15/20	20/27	60
13	4,000	3,800	1	20	30	15
14	35,000	33,000	1/1	20/25	30/35	383
15	4,500	4,000	1	20	24	150
16	600	500	1	8	10	2
17	2,400	2,000	1	6	12	20
18	5,500	7,000	1/1	35/50*	40	36
19	27,000	24,500	1	50	66	120
20	600	550	1	5	6	3
21	6,000	5,000	1	15	20	50
22	1,600	1,500	1/1	6/20	8/30	20
23	670	350	1/1	15/20	18/23	1.5
24	30,000	26,000	1	50	65	240
25	8,000	7,200	1	30	35	156
26	16,354	14,519	1	30	34	300
27	40,000	35,000	1/1	30/50	36/60	545
28	9,800	8,400	2	30	30	200
29	10,600	10,000	1	40	45	210
30	30,000	26,000	1	50	73	500
31	4,000	3,600	1	20	27	45
32	7,000	6,500	1	25	26	150
33	9,239	8,500	1/1	20/70*	25	231
總量	388,963	351,519				4,667.5

(續)

未 經 處 理		處 理 後		超 載 率
總粉塵量 (公噸／月)	排放因子 (公斤／公噸)	排放煙塵量 (公噸／月)	排放因子 (公斤／公噸)	
				(操作噸數／公稱噸數)
111.10	11.11	1.111	0.1111	1.25
50.50	12.63	0.505	0.1263	1.40
60.60	9.47	0.606	0.0947	1.33
191.90	6.40	1.919	0.0640	1.25
318.15	22.73	3.182	0.2273	1.06
151.50	35.23	1.515	0.3523	1.13
50.50	5.05	0.505	0.0505	1.33
80.80	7.62	0.808	0.0762	1.10
45.45	9.47	0.455	0.0947	1.47
151.50	9.18	1.515	0.0918	1.20/1.14
30.30	10.10	0.303	0.1010	1.17
60.60	6.06	0.606	0.0606	1.33/1.35
15.15	3.99	0.152	0.0399	1.50
386.83	11.72	3.868	0.1172	1.50/1.40
151.50	37.88	1.515	0.3788	1.20
2.02	4.04	0.020	0.0404	1.25
20.20	10.10	0.202	0.1010	2.00
36.36	5.19	0.364	0.0519	1.14
121.20	4.95	1.212	0.0495	1.32
3.03	5.51	0.030	0.0551	1.20
50.50	10.10	0.505	0.1010	1.33
20.20	13.47	0.202	0.1347	1.33/1.50
1.52	4.33	0.015	0.0434	1.20/1.15
242.40	9.32	2.424	0.0932	1.30
157.56	21.88	1.576	0.2188	1.17
303.00	20.87	3.030	0.2087	1.13
550.45	15.73	5.505	0.1573	1.20/1.20
202.00	24.05	2.020	0.2405	1.00
212.10	21.21	2.121	0.2121	1.13
505.00	19.42	5.050	0.1942	1.46
45.45	12.63	0.455	0.1263	1.35
151.50	23.31	1.515	0.2331	1.04
233.31	27.45	2.333	0.2745	1.25
平均值	13.70	平均值	0.1370	

註：1.*表示尚未運轉

2. 假設集塵機去除效率為99%

表 4 電弧爐粒狀物排放因子比較表

資料來源	排放時期	排放因子(kg/T)
CITEPA	正常範圍	2—20
US EPA(1975)	平均值	7.0
Uellmer(1981)	平均值	7.5
Baum	平均值	8.0
Georgieff	吹氧與再加料期	16—24
Clarke(1978)	平均值	5.0或進料重量之0.5%
	正常範圍	1.8—15
	廢料污染程度高	33
VDI-3465(1978)	正常範圍	2—10
鄭福田教授	處理前平均值	13.65
	處理後平均值	0.137
服務團	處理前平均值	13.7
	處理後平均值	0.137

3.3 爐渣與粉塵量調查

經調查33家電弧爐工廠爐渣及集塵設備所收集之粉塵量列於表5，電弧爐工廠爐渣產生量佔所使用廢鐵原料量之1~22%之間，平均值為7%，其爐渣年總產生量則高達32萬公噸；至於集塵設備所收集之粉塵量則佔使用廢鐵原料量之0.22~6.67%之間，平均值為1.24%，所收集粉塵年總產量則高達5.8萬公噸。

四、空氣污染防治現況

4.1 廢氣處理流程概述

典型之電弧爐煉鋼廢氣處理流程如圖5所示。目前國內電弧爐煉鋼廠大多以屋頂覆罩收集加料及出鋼期廢氣；而熔煉期所產生之廢氣量較小，故採用直接吸引方式收集廢氣，經收集之廢氣再由濾袋集塵機處理。以下針對處理系統各單元之特性分別敘述。

1. 直接吸引系統

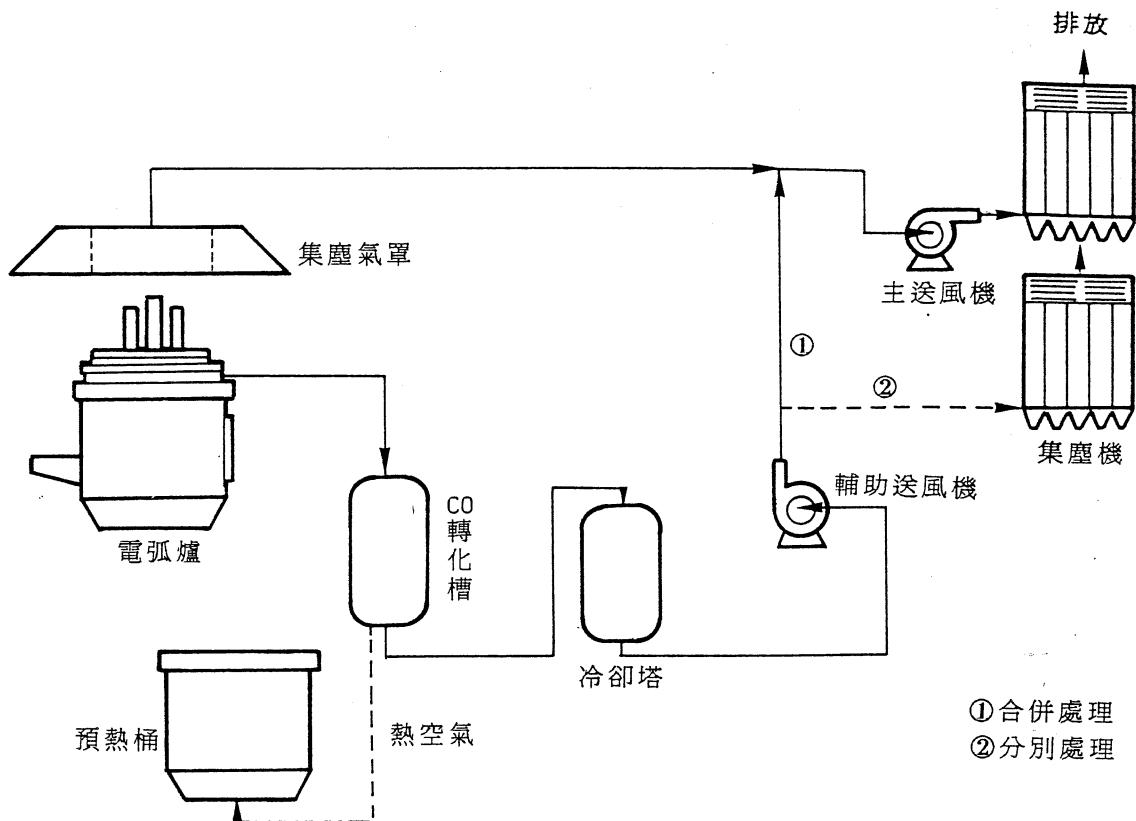
直接吸引系統主要是由爐頂之第四孔，直接抽除熔煉期爐內所產生之廢氣。由於此部份廢氣之溫度極高，且含爆炸性之CO氣體，為避免發生爆炸，廢氣須先通過CO轉化槽使CO氧化成CO₂，再經由冷卻設備，將廢氣溫度降至處理設備之容許溫度範圍內，以確保處理效率及延長機械壽命。

表5 電弧爐煉鋼廠爐渣及粉塵產生量

工廠 代號	廢鐵原料用量 (公噸／月)	爐渣量 (公噸／月)	百分率 (%)	粉塵量 (公噸／月)	百分率 (%)
1	11,000	1,000	9	110	1.00
2	4,600	30	1	50	1.09
3	7,000	60	1	60	0.86
4	32,000	3,000	9	190	0.59
5	15,400	1,400	9	315	2.05
6	4,800	340	7	150	3.13
7	11,000	750	7	50	0.45
8	12,000	500	4	80	0.67
9	5,000	50	1	45	0.90
10	18,000	1,000	6	150	0.83
11	3,300	150	5	30	0.91
12	12,000	900	8	60	0.50
13	4,000	60	2	15	0.38
14	35,000	3,240	9	383	1.09
15	4,500	200	4	300	6.67
16	600	10	2	2	0.33
17	2,400	80	3	20	0.83

(續)

工廠 代號	廢鐵原料用量 (公噸／月)	爐渣量 (公噸／月)	百分率 (%)	粉塵量 (公噸／月)	百分率 (%)
18	5,500	60	1	36	0.65
19	27,000	600	2	120	0.44
20	600	15	3	8	0.50
21	6,000	300	5	50	0.83
22	1,600	350	22	20	1.25
23	670	60	9	1.5	0.22
24	30,000	900	3	240	0.80
25	8,000	312	4	156	1.95
26	16,354	2,077	13	300	1.83
27	40,000	2,000	5	545	1.36
28	9,800	600	6	200	2.04
29	10,600	3,795	36	210	1.98
30	30,000	2,000	7	500	1.67
31	4,000	90	2	45	1.13
32	7,000	550	8	150	2.14
33	9,239	468	5	231	2.50
合計	388,963	26,947	7	4,818	1.24



2. 屋頂覆罩系統

屋頂覆罩系統之主要功用為捕集加料與出鋼期所逸散之煙塵。為避免抽氣量過大，通常將覆罩以隔板分成三部份，並以相鄰二部份收集非熔煉期之煙塵。覆罩各部分之開閉以擋板控制，並可與風車馬達連線，於熔解期時降低抽氣量，以求節約能源。

3. 處理設備

如前所述，電弧爐煉鋼廢氣之主要成份為粒狀污染物，而粒狀物之去除以袋濾集塵機最為有效，故國內業者均採用此種污染防治設備。通常，由直接吸引與屋頂覆罩所收集之廢氣可合併或分別導引入袋濾集塵機處理。

4.2 廢氣處理現況統計

目前國內33家電弧爐工廠中，有15家工廠將直接吸引及屋頂覆罩系統之廢氣合併處理，其餘18家則以不同集塵機分別處理兩系統所收集廢氣。由於影響集塵設備處理效率之因數衆多，下僅就處理風量與集塵機特性之現況調查分別敘述。

1. 處理風量

處理風量的大小不僅影響集塵效率之好壞，亦為處理成本多寡之關鍵因素。一般

而言，直接吸引風量之計算，常依 3.1 節廢氣總生成量(Gt)之 3.38 倍為準。而屋頂覆罩所需抽氣量則以 Sutton 經驗公式計算。雖然部份廠商在設計處理系統之初，曾以該公式計算結果之半量為處理風量，但在環保主管機關相關之管理要點中，已規定電弧爐煉鋼業應於民國 79 年 1 月 1 日起，依效果評定是否需提高到 Sutton 公式計算風量之全量處理，因此，屋頂覆罩抽氣量之評估仍以 Sutton 公式計算值為依據。

調查國內電弧爐煉鋼廠之廢氣處理量列於表 6，表中亦一併列出理論處理風量，以作為比較之依據。針對直接吸引、屋頂覆罩系統處理風量及總廢氣處理量與爐體大小關係之現況統計，討論如下：

(1) 直接吸引系統

在所調查之 39 座電弧爐中，處理風量不足者計有 10 座，約佔 26%，其餘電弧爐之直接抽氣量均超出所需值甚多。當實際抽氣量小於理論計算值時，爐內將無法保持負壓，而廢氣將自電極棒或爐蓋周圍之空隙逸出。反之，假如抽氣量太大，則會抽除大量熱能，進而延長出鋼時間降低產能。

(2) 屋頂覆罩系統

國內現有廠商中，除一家採用鼻煙盒式氣罩(snuff box)集塵，另一家為懸臂式氣罩，其餘均採用屋頂覆罩。根據本次調查結果顯示，工廠達全量處理者有 7 家，而不足半量處理者則高達 8 家，推測其原因可能為工廠更換大型爐體，而抽氣量並未隨之增大之故。

(3) 處理風量與爐容量之關係

為瞭解國內電弧爐廢氣處理風量與爐容量大小關係，利用總廢氣處理量與電弧爐公稱噸數之迴歸分析，結果如圖 6。

4.3 集塵機特性現況統計

電弧爐煉鋼業者均以袋濾集塵機處理所收集之廢氣，且處理成效良好。一般而言，設置袋濾集塵機需考慮之設計條件較重要者為過濾速度、濾袋清洗方法及濾袋材質等，調查各工廠使用袋濾集塵機之過濾速度、濾袋清洗方式及濾袋材質列於表 7。

電弧爐煉鋼廠採用之袋濾集塵機型式多以空氣逆洗式為主，約佔 74.5%，部份則採用脈衝式袋濾集塵機，約佔 25.5%。使用空氣逆洗式袋濾集塵機之過濾速度介於 0.55~1.98m/min 之間，使用脈衝式者則介於 0.94~3.63m/min 之間。此外，所使用之濾袋材質大部份以聚酯纖維(polyester)為主，部份工廠之直接吸引系統則選用耐高溫之玻璃纖維(glass fiber)濾袋。

五、空氣污染防治成本調查分析

於調查國內 33 家電弧爐煉鋼廠所投資之空氣污染防治初設費用與操作費用，整理原

表 6 國內電弧爐煉鋼廠廢氣處理風量現況統計

(續)

工廠 代號	初設費用		總初設費用 (以81年物 價為基準)	操作費用	操作費用	年總成本 (萬元／年)	直接吸引 系統	處理設備 設置日期
	直接吸引 系統 (萬元)	屋頂覆罩 系統 (萬元)						
1	120	3,000	3,099	181	0.37	762	75,6	78,8
2	2,000	1,994	92	0.85	466	466	76,3	
3	6,000	6,184	232	0.96	1,391		75,12	
4	6,000	5,983	262	0.83	1,383		76,8	
5	6,000	5,959	169	0.58	1,286		78,11	
6	3,000	3,092	138	1.33	718		75,5	
7	1,500	1,546	144	1.19	434		75,8	
8	3,200	3,298	101	0.68	719		75,12	
9	1,500	1,546	189	2.16	479		75,11	
10	5,000/5,000	10,120	143	0.45	2,040		75,8 / 78,6	
11	2,500	2,577	154	1.58	637		75,8	
12	550	500/5,500	12,605	190	1.32	2,553	66,1	72,8 / 76,6
13	2,200	2,185	197	0.60	607		78,7	
14	4,300	4,362	328	0.41	1,146		73,3	
15	2,000	2,099	172	0.62	565		71,7	
16	800	812	52	1.29	204		74,3	
17	3,000	726	3,857	20	0.18	743	72,8	75,6

(續)

工廠 代號	初 設 費 用		總初設費用 (以81年物 價為基準)		操作費用 (元1,000m ³)	年總成本 (萬元／年)	處理設備設置日期	
	直接吸引 系統 (萬元)	屋頂覆罩 系統 (萬元)	(萬元)	(萬元／年)			直接吸引 系統	屋頂覆罩 系統
18	2,050	2,113	74	0.76	470			75,11
19	7,000	6,926	168	0.27	1,466			77,5
20	700	500	1,077	30	0.61	232	68,2	75,7
21	2,500	1,300	3,104	141	2.30	723	67,8	75,8
22		1,500	1,496	124	1.29	404		76,5
23	3,500/2,262	5,882	180		2.08	1,283		73,6 /75,4
24	10,000	10,262	955		1.58	2,879		79,3
25	5,000	5,116	198		1.11	1,157		80,9
26	2,500	4,000	5,887	151	1.30	1,254	67,11	75,10
27	8,000/11,000	19,534	276		0.28	3,938		75,7 /79,12
28	1,644	5,750	6,849	746	0.97	2,030	67,9	77,2
29		8,000	8,292	82	0.19	1,636		72,4
30	7,000	7,183	560		1.00	1,906		79,1
31	1,200	1,197	370		3.94	594		76,6
32	3,789	3,905	414		1.73	1,146		75,12
33	2,950	3,041	59		0.69	629		75,10
	合 計		163,182	7,292	平均值	1.08	37,879	

始調查資料列於表 8，表中所列初設費用，因部份工廠直接吸引與屋頂覆罩集塵系統分別建造，所以分別列出兩套設備之初設費用，其設置日期亦同時列於表中，以作為調整至民國81年物價指數之依據。物價指數調整計算式如下：

$$P_b = P_a \frac{N_b}{N_a}$$

式中，

P_a ：集塵設備於 a 年時之購買金額

P_b ：轉換為民國 81 年 2 月之購買金額

N_a ： a 年之機械設備物價指數

N_b ：民國 81 年 2 月之機械設備物價指數

經物價指數調整後之物價費用，列於表中初設費用一欄中。以下分別說明各項統計結果。

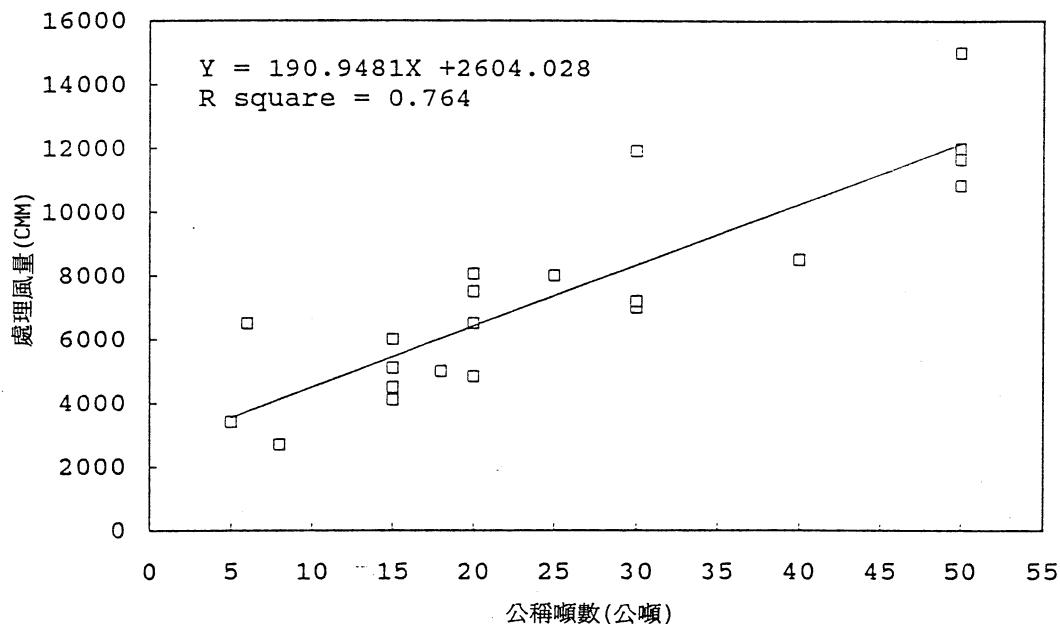


圖 6 電弧爐公稱噸數與廢氣處理風量關係圖

5.1 初設費用

電弧爐煉鋼廠所需投資之空氣污染防治設備初設費用主要受下列因素影響：(1)電弧爐容量。(2)廠房高度。(3)抽氣風量。(4)防制設備配置。(5)直接吸引集塵廢氣冷卻系統。(6)集塵機種類等。由於目前台灣地區電弧爐煉鋼廠空氣污染防治設備設置時間都已相當長久，多數工廠缺乏詳細之原始設計資料，因此很難以工廠現有資料所得，統計各項因素對於初設費用之影響，僅能就總投資金額予以分析。

表 7 直接吸引與屋頂覆罩系統集塵機特性現況統計

工廠 代號	屋頂覆罩系統集塵機		直接吸引集塵系統		濾布材質	
	過濾速度 (m/min)	濾袋清洗方式	過濾速度 (m/min)	濾袋清洗方式	過濾速度 (m/min)	濾布材質
1	1.10	逆洗	1.3	脈衝清洗	聚酯纖維	聚酯纖維
2	0.93	逆洗	1.1	空氣逆洗	聚酯纖維	聚酯纖維
3	1.26	逆洗	0.55	空氣逆洗	玻璃纖維	玻璃纖維
4	1.06	逆洗	1.58	脈衝清除	特多龍	特多龍
5	1.18	逆洗	—	—	—	—
6	1.27	逆洗	—	—	聚酯纖維	聚酯纖維
7	0.68	逆洗	—	—	—	—
8	0.79	逆洗	—	—	—	—
9	1.67	逆洗	1.03	空氣逆洗	—	—
10	1.08	逆洗	—	—	—	—
11	2.00	逆洗	—	—	—	—
12	2.47	逆洗	—	—	聚酯纖維	聚酯纖維
13	1.13	逆洗	—	—	聚酯纖維	聚酯纖維
14	1.48	逆洗	—	—	聚酯纖維	聚酯纖維
15	1.40	逆洗	—	—	聚酯纖維	聚酯纖維
16	0.99	逆洗	—	—	聚酯纖維	聚酯纖維
17	1.80	逆洗	—	—	聚酯纖維	聚酯纖維
18	1.98	逆洗	—	—	聚酯纖維	聚酯纖維
19	1.37	逆洗	—	—	聚酯纖維	聚酯纖維
20	2.03	逆洗	—	—	聚酯纖維	聚酯纖維
21	1.14	逆洗	—	—	聚酯纖維	聚酯纖維
22	1.04	逆洗	—	—	聚酯纖維	聚酯纖維
23	1.47 / 0.95	逆洗	—	—	聚酯纖維	聚酯纖維
24	2.00	逆洗	—	—	聚酯纖維	聚酯纖維
25	2.04	逆洗	—	—	聚酯纖維	聚酯纖維
26	1.14	逆洗	—	—	聚酯纖維	聚酯纖維
27	1.17 / 1.23	逆洗	—	—	聚酯纖維	聚酯纖維
28	1.25 / 1.19	逆洗	—	—	聚酯纖維	聚酯纖維
29	0.94	逆洗	—	—	聚酯纖維	聚酯纖維
30	3.63	逆洗	—	—	聚酯纖維	聚酯纖維
31	1.29	逆洗	—	—	聚酯纖維	聚酯纖維
32	2.26	逆洗	—	—	聚酯纖維	聚酯纖維
33	1.09 / 1.29	逆洗	0.58 / —	空氣逆洗	玻璃纖維	玻璃纖維 / —

註：聚酯纖維 (Polyester) , 特多龍 (Tetoron) , 諾米克斯 (Nomex) , 玻璃纖維 (Glass Fiber)

表 8 空氣污染防制成本統計表

工廠 代號	抽 氣 量		廢 氣 溫 度	
	直接吸引系統	屋頂覆罩系統	直接吸引系統	屋頂覆罩系統
	(m³/min)	(m³/min)	(°C)	(°C)
1	2,500	8,800	65	110
2	3,000	4,500	150	60
3	900	4,200	110	110
4	1,650/1,650	8,500/ 8,500	100	80
5	3,000	12,000	100	100
6	1,500	4,500	100	100
7	2,250	4,750	70	70
8	940/ 940	2,869/ 2,869	100	100
9	900	3,600	100	100
10	1,500/2,000	7,500/ 7,500	80	80
11	1,500	3,500	80	100
12	800/ 800	4,200/ 4 200	100	125
13	1,500	5,000	125	70
14	1,700/1,700	6,500/ 6,500	110	110
15	1,350	6,700	180	110
16	1,350	1,350	200	90
17	800	5 700	90	80
18	1,200	5,600	100	100
19	2,500	9,500	120	110
20	900	2,500	100	50
21	950	3,150	50	55
22	1,000/ 160	2,750/ 2,750	100	100
23	-	2,500/ 3,500	(鼻煙盒式)	
24	2,500	9,166	200	200
25	1,900	10,000	100	80
26	1,690	5,500	120	70
27	2,300/2,900	6,825/10,100	110	110
28	1,850/1,850	7,975/ 7,975	60	60
29	1,500	7,000	110	110
30	-	10,833	60	60
31	680	4,150	100	100
32	-	8,000	60	60
33	1,500/6,000	4,200/12,000	95/ 110	50/110

(續)

全量處理之理論廢氣量		相 差 值		屋頂覆罩集 塵系統處理
直接吸引系統	屋頂覆罩系統	直接吸引系統	屋頂覆罩系統	
(m³/min)	(m³/min)	(m³/min)	(m³/min)	
722	4,373	1,778	4,427	全量
1,480	7,311	1,520	- 2,811	半量
645	2,612	255	1,588	全量
1,458/1,458	13,639/13,639	384/384	- 5,139/- 5,139	半量／半量
3,513	13,405	- 513	- 1,405	半量
708	7,709	792	- 3,209	半量
1,728	11,032	522	- 6,282	未足半量
622/ 622	9,189/ 9,189	318/318	- 6,320/- 6,320	半量／半量
664	6,192	236	- 2,592	半量
905/2,027	8,382/ 9,567	595/- 27	- 882/- 2,067	半量／半量
589	7,761	911	- 4,261	未足半量
1,034/1,034	2,847/ 2,847	- 234/- 234	1,353/1,353	全量／全量
721	4,472	779	528	全量
1,427/1,707	9,519/ 9,751	273/- 7	- 3,019/- 3,251	半量／半量
1,031	8,982	319	- 2,282	半量
215	3,593	1,135	- 2,243	未足半量
249	5,053	551	647	全量
2,112	11,540	- 912	- 5,940	未足半量
2,059	6,995	441	2,505	全量
84	4,013	816	- 1,513	半量
619	12,579	331	- 9,429	未足半量
553/ 694	5,848/ 7,148	447/- 534	- 3,098/- 4,398	半量／半量
-	-	-	-	-
3,337	26,789	- 837	- 17,623	未足半量
1,201	21,585	699	- 11,585	未足半量
1,805	8,759	- 115	- 3,259	半量
1,236/2,760	10,710/14,466	1,064/140	- 3,885/- 4,366	半量／半量
864/ 864	9,455/ 9,455	986/986	- 1,480/- 1,480	半量／半量
4,405	11,098	- 2905	- 4,098	半量
2,673	6,653	-	4,180	全量
567	7,679	113	- 3,529	半量
844	10,577	-	- 2,577	半量
957/4,524	8,719/13,697	543/1,476	- 4,519/- 1,697	未足半量／半量

如前所述，台灣地區電弧爐煉鋼廠屋頂覆蓋集塵之抽氣風量均以Sutton公式決定，而集塵設備亦以袋濾集塵機為主，雖有少部份工廠選用脈衝式袋濾集塵機，然大部份工廠仍以逆洗式袋濾集塵機為主。依此分析，電弧爐空氣污染防治初設成本實際上包含：集塵氣罩、CO燃燒筒、廢氣冷卻設備、風管、風車及集塵設備等各項費用。統計初設費用與電弧爐容量、處理風量及袋濾集塵機總過濾面積關係如圖7、圖8、圖9所示，由於電弧爐容量大小影響處理風量的多寡，而集塵設備總過濾面積則是處理風量與過濾速度之比值，因此，爐容量、處理風量及總過濾面積三者均與初設費用成正比例關係，然一般推估袋濾集塵機設置費用均以過濾面積為推估依據，即國內電弧爐煉鋼廠空氣污染防治初設費用可依下式推估之：

$$S = 0.659A + 335.3$$

式中，

S：初設費用（萬元）

A：總過濾面積（m²）

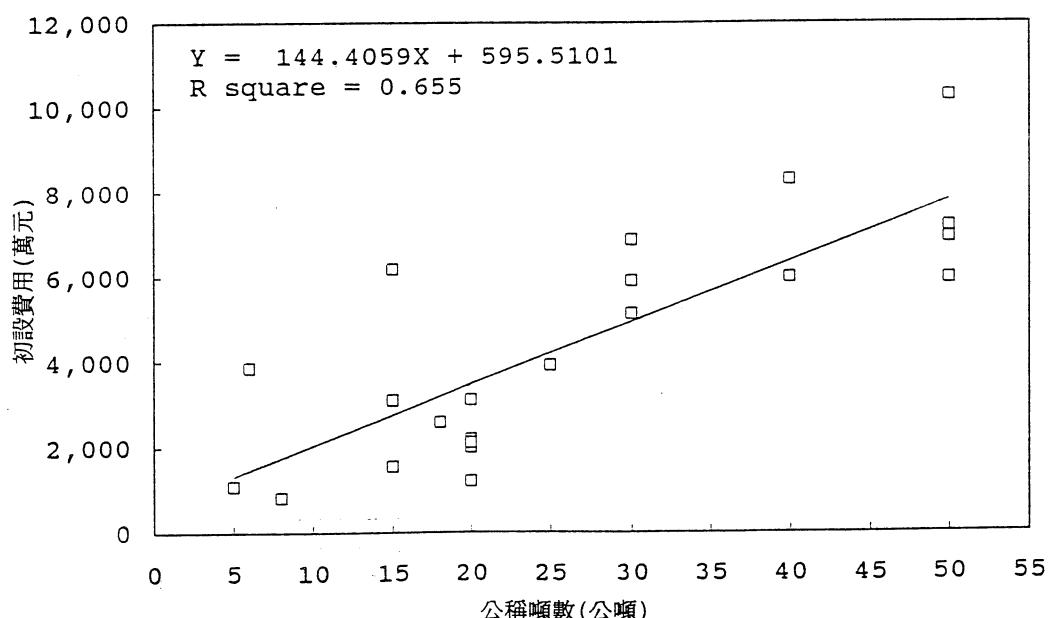


圖7 電弧爐噸數與初設費用關係圖

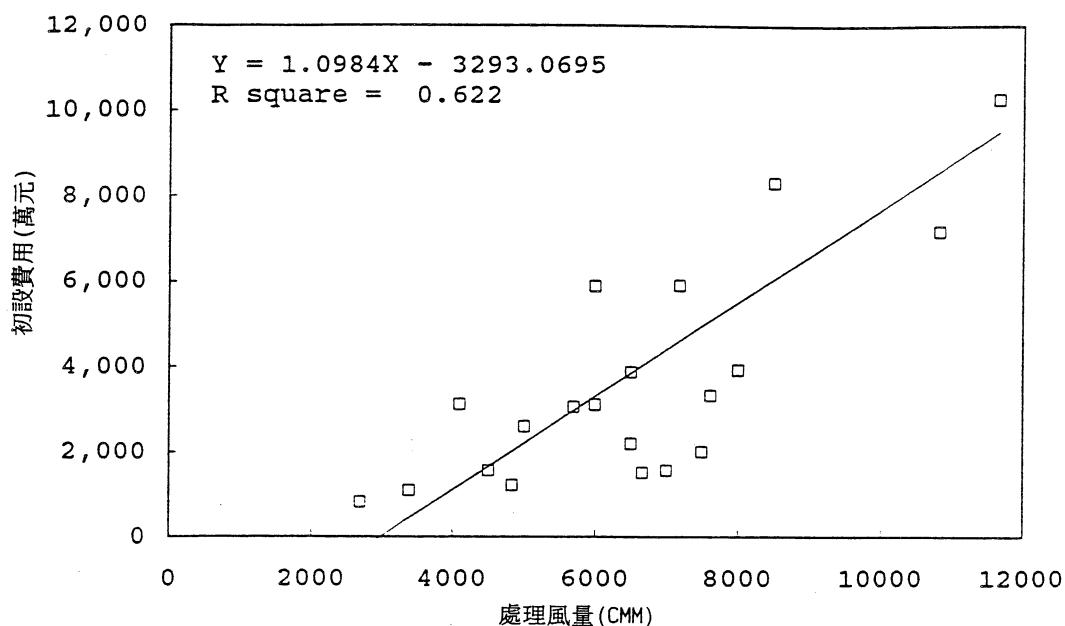


圖 8 處理風量與初設費用關係圖

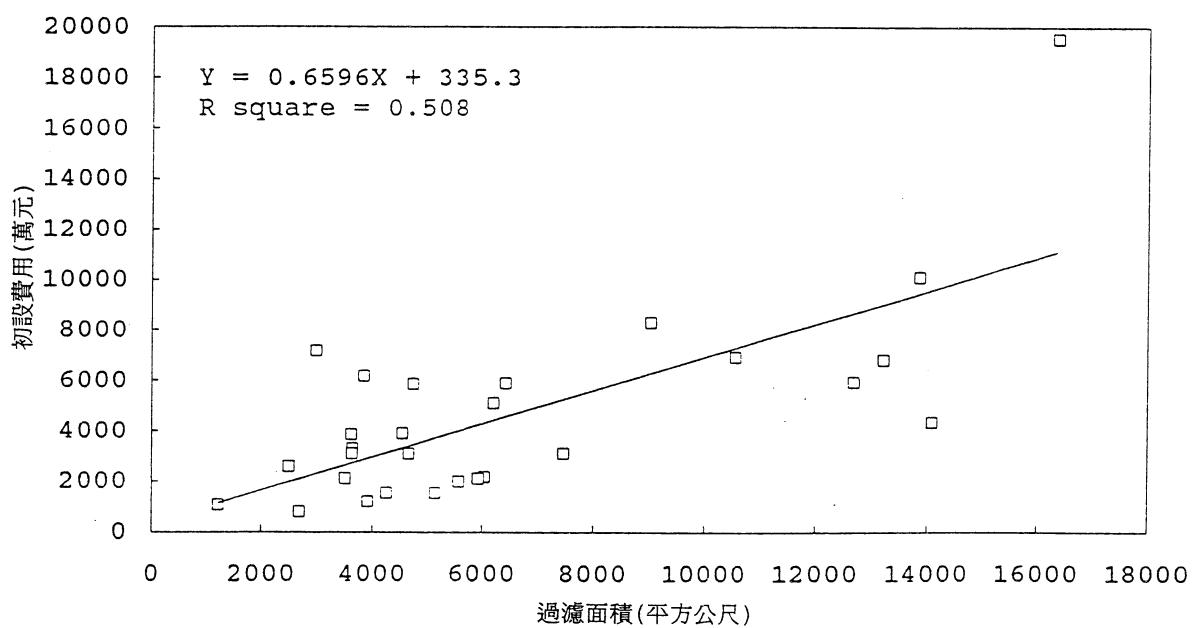


圖 9 集塵機過濾面積與初設費用關係圖

5.2 操作費用

空氣污染防治設備之操作費用主要包括電費、設備維修費用、耗材更換費（即濾袋更換所需費用）及操作人員工資等，由33家工廠調查資料統計，可得處理風量與操作費用之關係如圖10，然若以處理 $1,000\text{m}^3$ 廢氣量所需操作費用計算，各家工廠之單元操作費用如表6，其範圍介於 $0.18\sim 3.94\text{元}/1,000\text{m}^3$ ，其平均值則為 $1.08\text{元}/1,000\text{m}^3$ 。

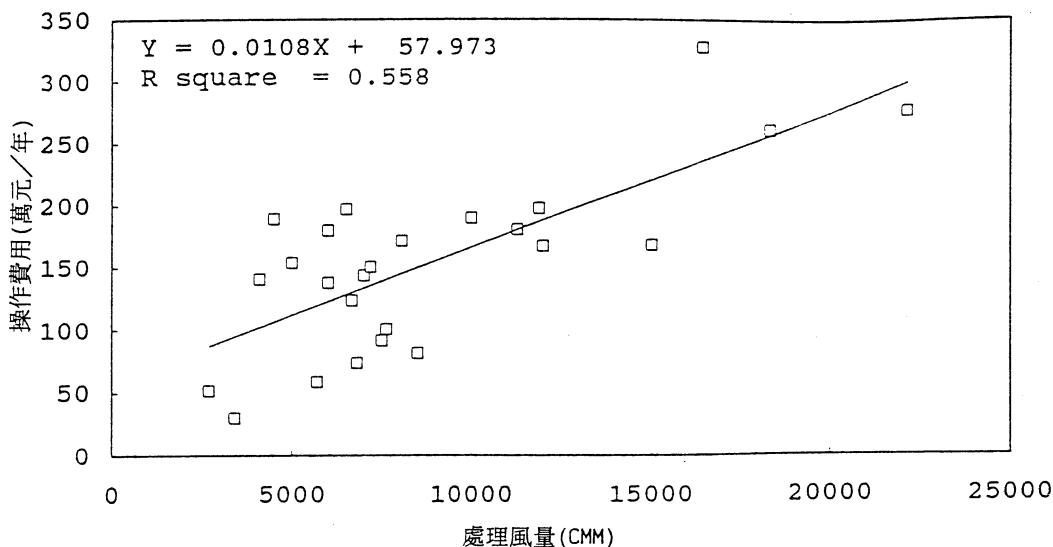


圖10 處理風量與操作費用關係圖

5.3 年總成本

空氣污染防治設備之成本，若僅以初設費及操作費用研判，無法確實反應處理設備之折舊，因此須考慮設備之使用年限，予以計算年總成本。其計算方式如下：

$$\text{年總成本} = (\text{初設費用}) \times \frac{(r)(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} + \text{年操作費用}$$

式中，

r =年利率（取0.1）

n =設備使用年限（取8年）

經計算各廠空氣污染防治設備之年總成本列於表6，且統計各廠月產量與年總成本之關係如圖11。

5.4 空氣污染防治對營運成本之影響

生產每公噸鋼胚所需投資之空氣污染防治費用謂之單位成本，單位成本可用於研判空氣污染防治所增加之生產成本，以各工廠之年總成本除以年生產量可得單位成本，統計結果如圖12，單位成本大致上隨電弧爐噸數之增加而降低，例如 5公噸電弧爐之空氣

污染防治單位成本為 351元/公噸，而50公噸電弧爐之單位成本平均值僅70元/公噸。此外，若以每公噸鋼胚生產成本 7,500元計算，5公噸電弧爐空氣污染防治成本約佔生產成本之4.68%，而50公噸爐則約佔0.93%。因此，國內電弧爐之設置有愈來愈大之趨勢，目前已有數家工廠著手設置70公噸電弧爐，然僅於設置階段，尚未開始營運。

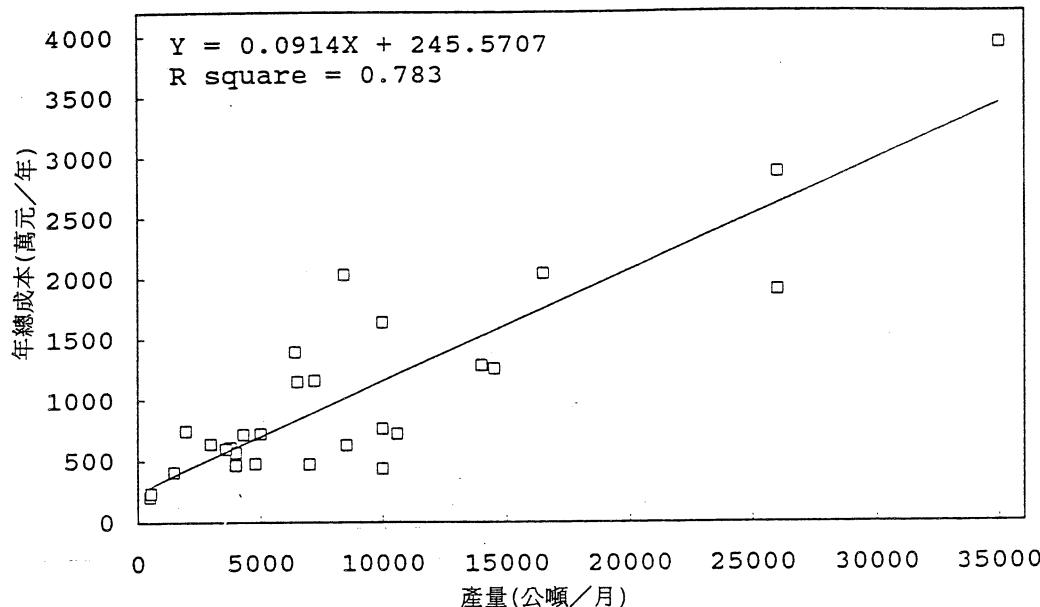
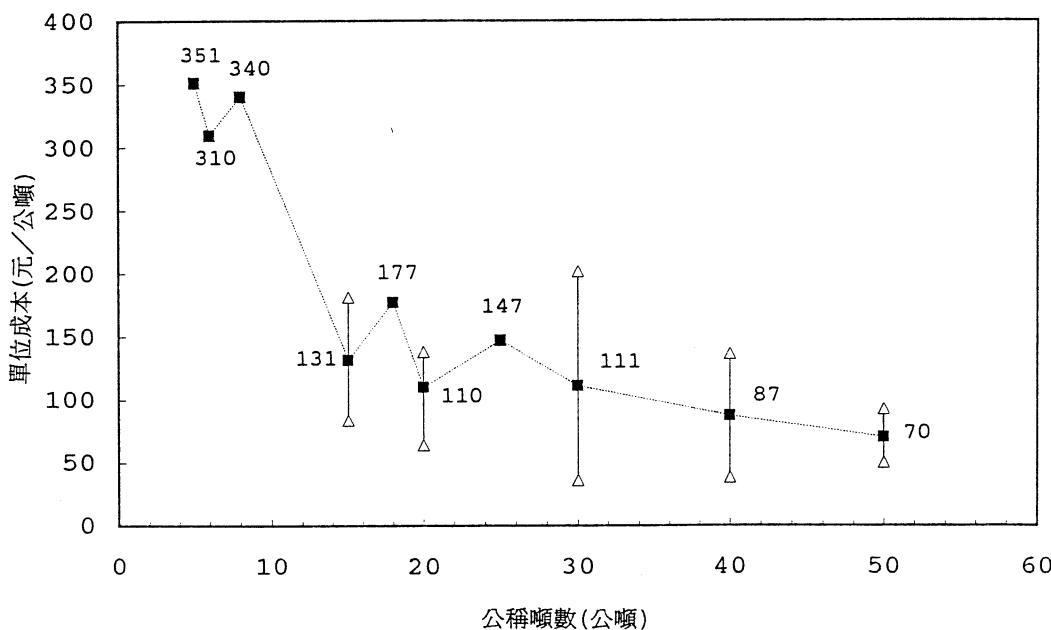


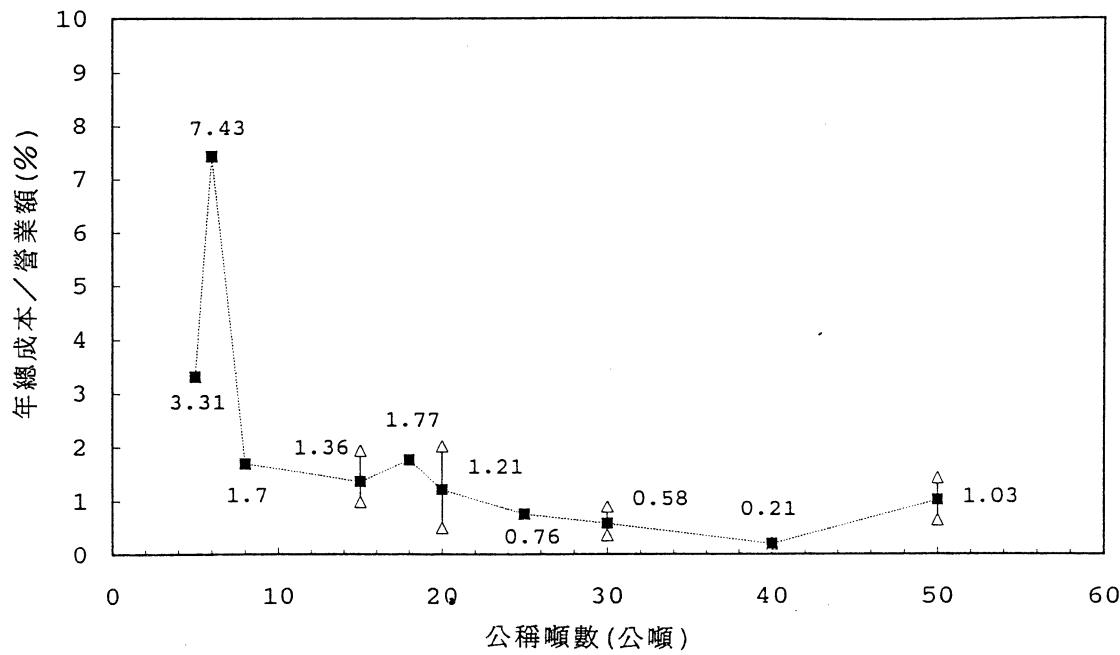
圖11 月產量與年總成本之關係圖



註：所列數據為平均值

圖12 單位成本與電弧爐噸數關係圖

此外，若以空氣污染防治年總成本佔營業額之比例加以分析，空氣污染防治成本佔營業額之百分比介於0.21~7.43%之間，如圖13，且所佔比例亦隨電弧爐公稱噸數之增加，而有減少之趨勢。



註:所列數據為平均值

圖13 空氣污染防治成本佔營業額百分比關係圖

5.5 收集單位污染量所需成本

研判電弧爐煉鋼業收集單位重量粒狀污染物所需成本，以各廠之空氣污染年總成本除以每年所收集之粉塵量，即可得到電弧爐煉鋼業收集每公噸之粒狀污染物所需費用，調查所得結果列於表9，而各種不同爐容量之平均費用如圖14所示，其平均值為14,560元/公噸。

六、結語

台灣地區電弧爐煉鋼業界自民國75年間即陸續進行空氣污染防治工作，迄今已經六年，期間所累積之空氣污染防治經驗，頗值得其他行業參考。目前國內該行業全部以袋濾集塵機處理粒狀污染物，型式以空氣逆洗式袋濾集塵機為主，約佔74.5%，其過濾速度介於0.55~1.98m/min，部份工廠使用脈衝式者其過濾速度則介於0.94~3.63m/min之間。濾袋材質以聚酯纖維(polyester)為主，而部份工廠之直接吸引集塵系統則採用耐高溫之玻璃纖維(glass fiber)濾袋。

表9 收集單位污染量所需成本

工廠 代號	電弧爐		年總成本	粉塵量	年總成本／粉塵量
	噸數	數量			
	(公噸)	(#)	(萬元／年)	(公噸／年)	(元／公噸)
1	20	1	762	1,320	5,772
2	20	1	466	600	7,763
3	15	1	1,391	720	19,322
4	40	2	1,383	2,280	6,068
5	50	1	1,286	3,780	3,402
6	15	1	718	1,800	3,987
7	30	1	434	600	7,230
8	20/50*	2/1	719	960	7,492
9	15	1	479	540	8,866
10	25/35	1/1	2,040	1,800	11,333
11	18	1	637	360	17,696
12	15/20	1/1	2,553	720	35,455
13	20	1	607	180	33,698
14	20/25	1/1	1,146	4,596	2,493
15	20	1	565	3,600	1,571
16	8	1	204	24	85,085
17	6	1	743	240	30,957
18	35/50*	1/1	470	432	10,881
19	50	1	1,466	1,440	10,182
20	5	1	232	36	64,410
21	15	1	723	600	12,047
22	6/20	1/1	404	240	16,851
23	15/20	1/1	1,283	18	712,525
24	50	1	2,879	2,880	9,995
25	30	1	1,157	1,872	6,180
26	30	1	1,254	3,600	3,485
27	30/50	1/1	3,938	6,540	6,021
28	30	2	2,030	2,400	8,458
29	40	1	1,636	2,520	6,493
30	50	1	1,906	6,000	3,177
31	20	1	594	540	11,007
32	25	1	1,146	1,800	6,366
33	20/70*	1/1	629	2,772	2,269
		45	37,879	57,810	平均值1,4560

註：1. : *表示尚未運轉。

2. : 工廠23未納入平均值計算。

3. : 假如忽略15噸以下電弧爐，則收集粉塵之平均費用為9,300元／公噸

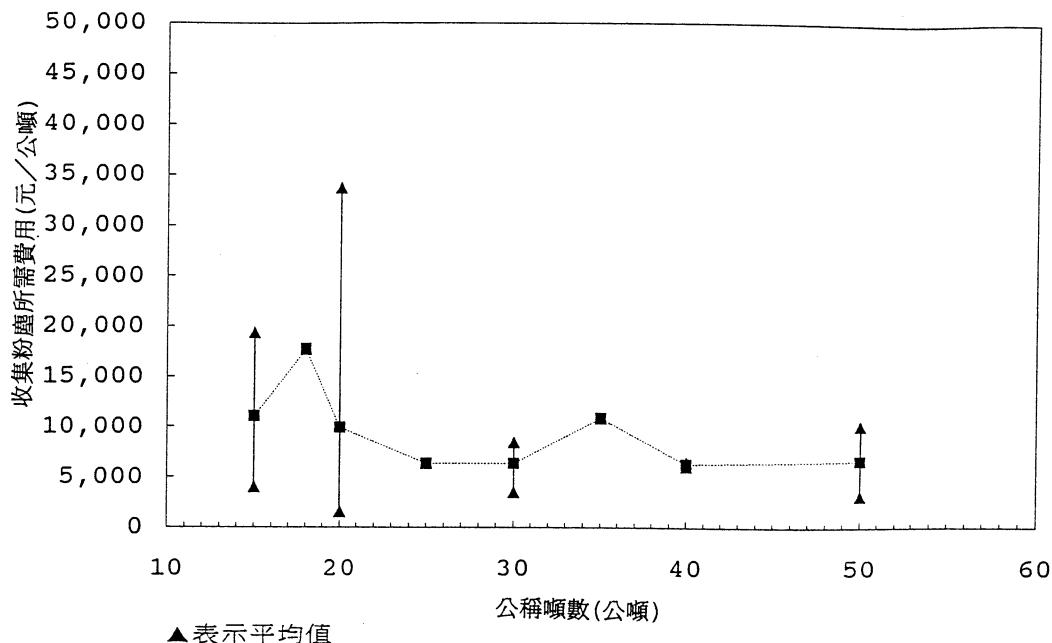


圖14 收集單位重量粉塵所需費用

於本文中亦同時對電弧爐煉鋼業界空氣污染防治成本詳加分析，所分析費用均調整至民國81年2月之物價指數。以空氣污染防治設備之初設費用而言，與爐容量、處理風量及總過濾面積等均成線性關係；至於操作費用則介於 $0.18\sim3.94$ 元/ $1,000\text{m}^3$ ；其平均值為 1.08 元/ $1,000\text{m}^3$ 。此外，分析單位產量污染防治成本佔營業額之比例及收集單位重量粉塵所需費用等，均發現爐體愈大，其污染防治成本則愈低，因此，日後電弧爐煉鋼業之大型化乃為必然之趨勢。

七、參考文獻

- (1) 中華民國台灣地區工業生產統計月報，經濟部統計處，pp128~129，81年4月。
- (2) 徐永錢等，電弧爐廢熱回收計劃，國立台灣工業技術學院，pp37~43，72年12月。
- (3) 中日工業節約能源研討會電弧煉鋼組，75年。
- (4) 陳文雄等，台灣地區電弧爐煉鋼污染處理技術現況調查研究，金屬工發展中心，pp 105~106，77年2月。
- (5) 王曉宜編撰，高雄市煉鋼業空氣污染防治對策研究，高雄市政府環境保護局，pp24~25，76年6月。
- (6) 陳文雄等，國外電弧爐煉鋼污染特性與防治技術之評估報告，金屬工業發展中心，pp 7~9，77年3月。

- (7) 林崇田，電弧爐粉塵最新處理技術，工業污染防治第41期，pp41~47，81年1月。
- (8) 蔡敏行，煉鋼煙塵回收有價物之研究，國科會研究報告，pp10~32，75年7月。
- (9) 蔡敏行，電弧爐煉鋼煙塵重金屬回收之研究，國科會研究報告，pp9~45,78年 6月。
- (10) W.B.Hvelsen, Arc Furnace Emission Control, the British Foundryman, July, 1985.
- (11) 鄭福田、洪文龍，電爐煉鋼粒狀污染物排放係數調查，工業污染防治第31期，pp50~59, 1989。
- (12) 鄭福田、劉希平，空氣污染防治設備之成本調查及研究，工業污染防治第24期，pp 180~196，76年10月。
- (13) ASHRAE Handbook-System, Chap 22.Industrial Exhaust Systems pp22.3, 1978.
- (14) 馬寧元，圍封型風罩應用於浮動熱污染源煙塵捕集之技術，工業污染防治第41期，pp65 ~73，81年1月。
- (15) P.G.A. Brand Current Trends in Electric Furnace Emission Control, Iron and Steel Engineer, pp59~64, Feb. 1981.
- (16) Dennis L.Hixenbaugh, "Primary Emission Control-A Function of UHP Electric. Arc Furnace Hot Metal Production ", Iron and Steel Engineer, pp39~41, Sep. 1983.
- (17) Peter Baum, Thomas E. Dixon, Secondary Emission Control Using Flatbag Roof Filters, Iron & Steel Engineer, pp31~35, Nov. 1979.
- (18) Manfred Bender, Libor F. Rostik, Emission Control Aspects of Modern Electric Arc Furnace Steelmaking, pp22~26, Iron and Steel Engineer, Sep. 1987.
- (19) 陳文雄，電弧爐煉鋼粉塵處理技術之評估，金屬工業發展中心，77年7月。
- (20) IIT Research Inst, Recycling of Electric Arc Furnace Dust, May, 1990.