

# 臺灣地區水泥工業發展及對環境之影響

潘 丁 白\*

## 壹、前 言

臺灣地小人稠，資源短缺，為提高國民之生活條件，必須發展工業，以促進經濟之繁榮，然目前國民對生活上重要之問題，其先後次序為<sup>(1)</sup>：一、健康狀況，二、環境好壞，三、交通問題，四、安全顧慮，五、社會福利，六、家庭收支。因此對全國之工業發展應如何能配合國民之需要及總體經濟之符合，實為工業發展主管機構及工業界本身之責任，此時更應提高警覺妥為安排其方針。

本文研究主要目的為面對將來能源結構之改變及環境品質要求提高之壓力下，深入討論水泥工業發展及對環境影響，筆者僅以個人之努力希望能以拋磚引玉之方式，引起共鳴，多做此一方面之研究，關於各項建議與筆者服務機關無關，純屬私人意見。

## 貳、水泥工業發展情況

臺灣地區水泥工業發展迅速，追溯以往臺灣的水泥生產量直線上昇實因礦源豐富，廉價人工及能源供應充足，生產技術不斷改進，且無替代工業，建築工程從此因經濟繁榮而大量興建，水泥需求年年增加。在其中，從民國42年僅臺灣水泥公司一家年產量 519,676 公噸發展至 14家水泥公司，19家水泥廠，年產量達民國69年的 15,000,000 公噸。從民國69年開始國內房地產不景氣，建築業明顯的衰退，水泥業連帶影響，內銷困難。在全球性經濟不景氣尚未復蘇之際，近二年來，國際間同業生產過剩導致國際市場水泥充斥，價位慘跌，外銷更為困難，又70年度國內水泥年產量高達 16,000,000 公噸以上，因此使得水泥業工廠庫存爆滿，被迫減產，國內理論推算出將來的水泥生產量，將難達成，現分析如下：

### -、耗能源工業將導致成為夕陽工業

能源危機後，以石油為主之能源不再為廉價品，然而據有關單位調查，國內水泥業為耗用能源最密集之產業，在一百個調查產業中，能源密度居冠，其在製程上使用之能源包括燃料及電力兩大類，平均生產一公噸水泥約耗費127度電力及108公升油當量或 0.139公噸煤當量；而127度電力相當於 34 公升油當量或 0.044公噸煤當量，電力平均消耗佔百分之廿四，燃料平均消耗佔百分之七十六，若以水泥製造過程來分，則其中生料研磨及水泥研磨各佔百分之十，剩餘百分之八十九均耗費於燒成工程。由於受到早期低油價的影響，國內水泥業向以燃料油為主，約佔百分之九十八，但當能源危機後，受能源政策之改變，決定以大量煤炭代替部份石油，燃煤在燃料能源所佔之比例已達百分之五十一。按照目前之能源方針到民國七十二年燃油水泥廠將全部改為燃氣，以目前之水泥產量來計算則需 2,224千噸煤當量及 203,200萬度電力，面對如此巨大消耗能源

\* 行政院經建會技正。

之工業，若不能妥善安排以減輕能源依賴度，則水泥工業勢必成為夕陽工業。

## 二、環境保護政策下對公害工業特別重視

行政院已通過「臺灣地區環境保護方案」，對下述之空氣污染問題特別重視，即鋼鐵業煙塵，水泥業灰塵及石化工業之臭味問題，其中水泥工業因早期工業區位置不當，使市區內設有工廠（見表一）。雖各水泥廠目前均於主要的空氣污染物排放處，裝設有靜電集塵器或袋式集塵器、旋風集塵器等，但對於整廠污染物之排放尚不能控制到理想狀況。譬如，高雄地區空氣污染物超過 50 公噸／每年之工廠排名<sup>(2)</sup>；SO<sub>2</sub>：臺灣水泥第三，建臺水泥第七，東南水泥第八；NO<sub>2</sub>：臺灣水泥第四，東南水泥第六，建臺水泥第七；塵粒：臺灣水泥第一，建臺水泥第二，東南水泥第六；由此可見廠內各排放源並無完全裝設適當之控制空氣污染設備，尤以各老廠如臺灣水泥公司，因房屋老舊，灰塵易由廠房溢散，對附近民衆造成很大的困擾，引起歷年來之重大糾紛<sup>(3)</sup>。在民意的社會裏，水泥工廠將面對巨大之壓力以改善其環境因素，如此將提高其成本，而勢必減低其生產量之成長。

表一 民國 70 年臺灣地區主要水泥廠產能及使用燃料情形

	公 司	廠 名	地 址					產 能 (千公噸)	燃 料
北部區域	臺灣水泥公司	蘇澳廠	宜蘭縣蘇澳鎮					1,900	煤
	竹東廠	新竹縣竹東鎮						1,250	油
	亞洲水泥公司	新竹廠	新竹縣橫山鄉					1,600	油、煤
	力霸水泥公司	冬山廠	宜蘭縣冬山鄉					1,000	煤
	永康水泥公司	楊梅廠	桃園縣楊梅鎮					255	煤
	南華水泥公司	關西廠	新竹縣關西鎮					58	煤
	信大水泥公司	聖湖廠	宜蘭縣蘇澳鎮					500	煤
南部區域	啟信水泥公司	蘇澳廠	宜蘭縣蘇澳鎮					33	煤油
	臺灣水泥公司	高雄廠	高雄市鼓山區					1,900	油
	環球水泥公司	大湖廠	高雄市大湖鄉					590	油
	嘉新水泥公司	阿蓮廠	高雄市阿蓮鄉					800	油、煤
	東南水泥公司	岡山廠	高雄市岡山鎮					2,200	煤
	建臺水泥公司	高雄廠	高雄市半屏山					1,300	油
	正泰水泥公司	高雄廠	高雄市半屏山					900	油
東部區域	欣欣水泥公司	義嘉廠	嘉義縣番路鄉					360	煤、油
	臺灣水泥公司	花蓮廠	花蓮縣花蓮市					700	油
	亞洲水泥公司	花蓮廠	花蓮縣新城鄉					1,800	油
	幸福水泥公司	和仁廠	花蓮縣花蓮市					55	煤
	小 計							2,105	
	總 計							17,451	

### 三、能源結構改變全部使用燃煤產生之問題

目前臺灣地區十九家水泥廠中，共有七個廠全部燃燒煤，三家廠煤油共同使用，其餘九家皆燃燒油，詳見表一。政府為因應石油價格及供油之不穩定，必須減輕對石油之依賴性，而此工業因耗用能源大，乃決定將其餘49%燃油全部改為燃煤，然而燃煤之供應、運輸、儲存、使用過程，及所造成之土地使用與環境問題，本身尚無全盤計畫以資配合。臺灣地區地小而人口密度極高，對於土地使用及要求環境保護之程度皆應高於世界其他各國，針對水泥工業與燃煤使用之關係，應先籌劃項目如下：

#### (一) 年度使用煤量估計：

以目前生產1公噸水泥約需0.139公噸煤當量（除電力外），而通常1公噸以上之煤才有1公噸煤當量之熱量<sup>(4)</sup>，詳如表二，譬如1.4公噸美國西部之次煙煤熱值才相當於1公噸煤當量之熱值，我國煤生產量有限，目前計畫中將由美國、加拿大、南非及澳洲進口煤，因此一般計畫中水泥工業使用之煤，平均為1.224公噸煤相當於1公噸煤當量（由能委會提供之資料計算出），由此可知1公噸水泥需要0.17公噸煤量，此值為平均量，而各水泥廠皆有不同之值，但對於全國所需求之煤量為各廠生產量之總和乘0.17便可求得。年度需煤量和水泥的生產量是相關性的，其中值得討論的問題將有：

1. 就現今水泥工業不景氣之情況及其享受獎勵投資利益之事實，是否其將來成長還是由國內理論上如I-O法或迴歸法以穩定情況之推估？尚需有關單位進一步研究。
2. 水泥工業之未來龐大需煤量，以總體經濟立場，宜聯合採購，俾利降低成本與穩定供應，據知目前僅少數業者與國外簽訂長期合約，是否當由水泥公會協調業者與省礦務局研擬聯合採購外煤之可行方案？

表二 煤炭不同熱值之換算 (WOCOL)

煤之種類	典型熱值	相當於一煤當量*之量
煙煤	12,000 BTU/Lb	1.05 噸
次煙煤	9,000 BTU/Lb	1.4 噸
褐煤	7,000 BTU/Lb	1.8 噸

\* 1煤當量熱值 = 12,600 BTU/Lb

#### (二) 運輸船隻：

水泥工業之運輸船隻問題，宜配合政府國貨國運政策，水泥公會應協調業者向航運公司洽商簽約散裝煤輪，為有效掌握外購煤之進口並維持合理運輸成本，水泥公會也當協調業者計畫自建進煤船隊。原則上，以臺電公司分析之6萬噸以下船舶以租用較為經濟。

#### (三) 卸煤碼頭：

目前水泥工業無專用碼頭，此因所需資金龐大，水泥公會表示無法設立專用碼頭，為免港口擁擠等待時間增長，並造成港區水污染，港區負責單位應訂立辦法，強制執行辦法中細部卸載作業以配合需求。原則上，首先應規定水泥工業需參與臺電公司之各港埠專用碼頭，若不能配合投資計畫則需規定卸煤機構作業及程序。

#### (四) 內陸運輸：

內陸運輸以高速公路、電化鐵路所組成之高速運輸系統，形成臺灣地區之主軸，再配合西

部幹線、公路等，構成完整之交通網，運輸工具可由公路之卡車及傾卸車，鐵路及煤斗車相互配合，交通部則須加強規劃與各港埠配合之鐵、公路運煤系統，以確保進口煤輸運之暢通，內陸運輸所造成之灰塵控制，可用噴水及其他方法控制，據世界煤炭研究會議1980年報告指出，若用噴水法控制，價錢每噸約美金0.05元，若用油控制，則需費用約每噸美金0.5元，唯附着於煤之油，燃燒時尚有熱值產生之價值，水泥工業本身須決定由何法來控制運輸所產生之灰塵。關於是否可如同國外煤炭之運輸方式，即由煤炭壓碎放入管道中加壓運輸（如石油運輸一樣）？尚需研究。

#### (五) 煤堆場所：

煤堆場所原則上宜建立於廠內，每月耗煤500噸以上之水泥工廠，依「能源管理法施行細則」規定，應有兩個月之存量，煤在自然狀態下，其羣體密度為0.8公噸／立方公尺，經壓實處理後可達1.1公噸／立方公尺<sup>(5)</sup>。水泥工廠其本身之儲煤場最少需要體積，則為水泥年產量乘1/6再乘0.17再除以其羣體密度，得出之單位為立方公尺。煤堆場所若處理不當，不但造成污染且易引起煤量損失，計有墊底料損失，雨損及風損等，其防護之辦法為

1. 墊底鋪瀝青混凝土，如日本之煤堆場均鋪以25公分以上之瀝青混凝土，若有龜裂即予修補。

2. 煤堆壓實：其不但可使煤堆場增加容量1.375倍，也可防止飛揚。

3. 雨水損失及其造成之水污染：以鋪蓋帆布及場地四週建立排水溝，蓋帆布之人力費用，據中鋼公司估計每噸約為2元，帆布費用每噸約為3元至4元，若改用機械加蓋帆布尚未研究調查，但可知其節省人力，獲取加蓋之時效，且可有普通使用之好處，對防止煤量損失及品質保持，更為徹底。

4. 煤堆之氧化及防止水災之損失：可靠①層層壓實②煤堆表面噴水並加拍擊壓實③噴洒化學藥劑，水泥工廠需考慮使用以上各法，並定期測溫，取樣分析其自由膨脹係數，流動性與透光率，以進一步瞭解煤堆之氧化情形。

#### (六) 燃燒場所

工廠燃煤排氣中含有灰塵、水蒸氣、碳氧化物，硫氧化物及氮氧化物為主要污染物，業者當依照我國公佈之環境標準<sup>(6)</sup>如表三，其中並無指定工廠排放量之規定，譬如美國環境保護局於1971年訂立之工廠管制排放量之標準<sup>(7)</sup>如表四，規定水泥工廠每一噸原料由窯爐排放塵埃須低於0.3磅，由熔淬冷卻器排放塵埃須低於0.1磅。煙囪的高度影響擴散作用亦即影響附近之空氣品質，工廠設立煙囪之高度應由水泥業本身決定而由衛生署審核之。

由上可知水泥業者面對之問題很多，實需論者與執其事者對這些重要問題詳細研究，以尋求合理之決定並採取行動。

表三 國內公佈之空氣污染標準

#### 1. 排放源部份

二氧化硫(SO <sub>2</sub> )	氮氧化物(NO <sub>x</sub> )	排 壓	排 煙 濃 度	備 註
a. 2000 ppm	1000 ppm	a. 915 mg/Nm <sup>3</sup>	林格曼表 No. 2	SO <sub>2</sub> 及排塵量 a 數值為現有數值。b 數值為將來可能趨嚴降低。
b. 1000 ppm		b. 700 mg/Nm <sup>3</sup>		

## 2. 大氣中

二 氧 化 硫 ( $\text{SO}_2$ )	氮 氧 化 物 ( $\text{NO}_x$ )	浮 游 微 粒	一 氧 化 碳 (CO)
a. 0.3 ppm (一般地區) 0.5 ppm (工業地區)	0.05 ppm 一般地區 0.1 ppm 工業地區	210 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (一般地區) 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (工業地區)	a. <10 ppm (24小時之均值) b. <20 ppm (8小時之均值) c. <40 ppm (1小時值)
b. 0.1 ppm (一般地區) 小時日平 0.15 ppm (工業地區) 均值	小時日平均值	月平均值	
c. 0.05 (一般地區) 小時年平 0.075 (工業地區) 均值			

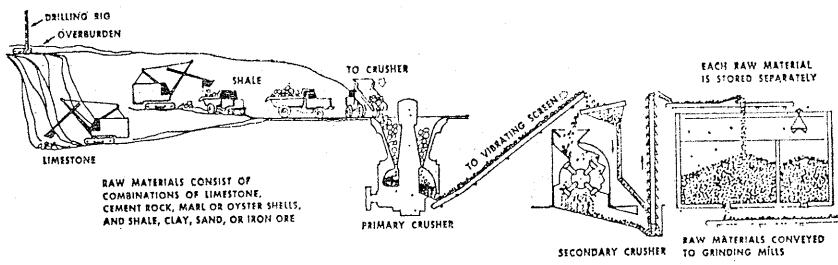
表四 美國訂立工廠管制排放量之標準 (1971年聯邦註冊)

來 源	排 放 標 準
壹、大型燃燒火力發電廠	
一、塵 埃 (particulates)	0.1 lb/ $10^6 \text{ Btu}$ (2小時最高平均值)
二、二 氧 化 硫	
(一)石 油 燃 燒	0.8 lb/ $10^6 \text{ Btu}$ (2小時最高平均值)
(二)燃 煤	1.2 lb/ $10^6 \text{ Btu}$ (2小時最高平均值)
三、氮 氧 化 物	2小時以 $\text{NO}_2$ 測之最高平均值
(一)天 然 氣 燃 燒	0.2 lb/ $10^6 \text{ Btu}$
(二)燃 油	0.3 lb/ $10^6 \text{ Btu}$
(三)燃 煤	0.7 lb/ $10^6 \text{ Btu}$
貳、焚 化 爐 之 塵 埃	0.08 grains/scf
參、氮 酸 工 廠	
(一)氮 氧 化 物	3 lb/ton acid
(二)可 見 排 放 物	<10% opacity
肆、硫 酸 工 廠	
(一)硫 化 物 (二氧化硫)	4 lb/ton acid
(二)酸 性 塵 埃 (Mist)	0.15 lb/ton acid
伍、水 泥 工 廠	
一、塵 埃 (particulates)	
(一)窯 爐 型	0.3 lb/ton feed
(二)熔 淬 冷 却 器 (clinker coolers)	0.1 lb/ton feed
二、可 見 排 放 物	
(一)窯 爐 型	10% opacity
(二)其 他	<10% opacity

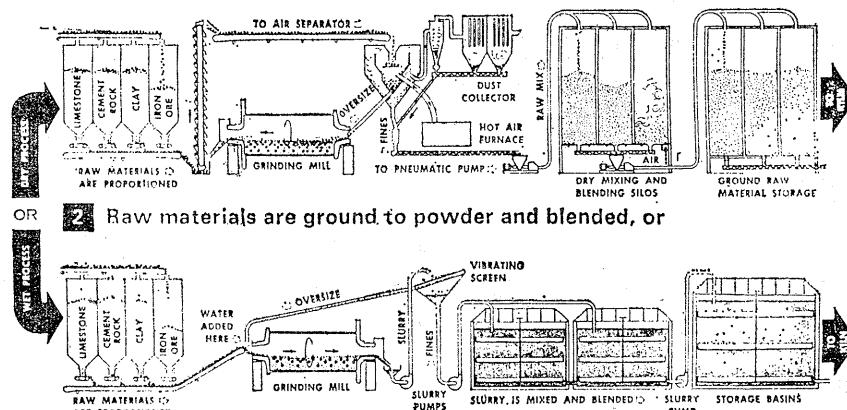
## 參、水泥製造排放污染物及其控制污染設備

水泥主要包含矽酸鈣、鋁及鋁化鐵，其生產原料包含石灰石、泥灰石 (Marl)、水泥石 (

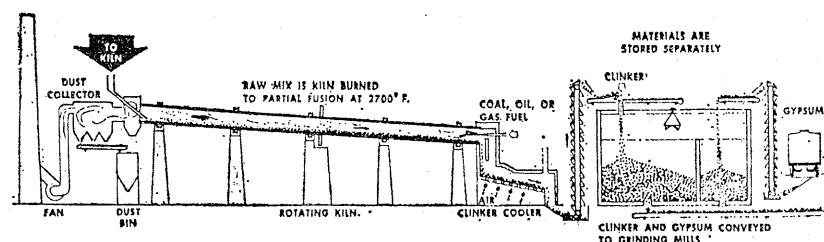
Cement Rock)、貝殼 (Shell)、白堊 (Chalk)、鼓風爐熔渣、砂、鐵礦、頁岩 (Shale) 和粘土，其主要之四個製造過程<sup>(6)</sup>如圖一，第一個步驟為採石、碎石及儲存步驟，第二個步驟為準備



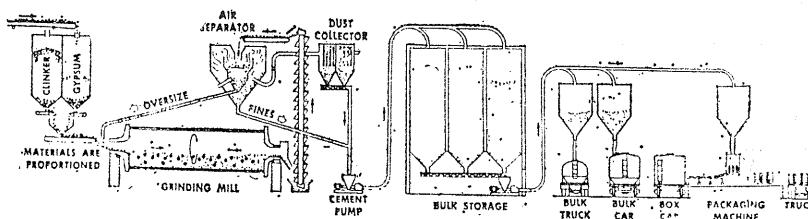
**1 Stone is first reduced to 5-in. size, then  $\frac{1}{4}$  in., and stored**



**2 Raw materials are ground to powder and blended, or**



**3 Burning changes raw mix chemically into cement clinker**



**4 Clinker with gypsum added is ground into portland cement and shipped**

**圖一 水泥製造程序圖**

饋進旋窯燒前之乾或濕步驟，在乾過程中，原料通常在旋轉乾燥器中 (Rotary dryers) 預乾或者在碾磨環行 (Grinding Circuit) 乾燥，在濕過程中，原料先加入約 30% 到 40% 的水份然後再予碾磨，第三步驟表示饋進旋窯烘燒，有些旋窯包含熱回收系統，旋窯是由煤、油或天然氣直接燃燒，設備之不同僅在進燃料及進空氣部份不難改裝，溫度將達 2700°F 到 2800°F 之間，乾過程之排熱溫度達 1400°F，濕過程之排熱溫度達 700°F，熔渣排入至空氣冷卻器中，空氣冷卻器將冷卻熔渣及預熱二次燃燒空氣，第四步驟熔渣加入石膏混磨而成水泥成品，裝袋待銷。

臺灣水泥生產從礦源炸山開始起至生產成品出廠過程中，各階段所產生之污染情況分析如下：

### 一、礦源炸山，運送及儲存步驟

大量塵土飄散，因無空中吸塵設備，工廠四周也無防塵牆設備，造成塵粒之飄散廠內外，廠內尚可以工人戴口罩及場地鋪水泥及散水控制以維護工人之健康情況，廠外路人及房舍則遭受塵粒之侵害，尤其在人口密集之市區更為嚴重，如高雄市區之臺灣水泥高雄廠、東南、建臺及正泰水泥公司。

### 二、乾式生料碾磨過程

因臺灣皆用乾式生料碾磨過程，因此在配料庫、磨房、懸浮預熱機，乾燥混合庫及生料儲存庫每一階段皆產生生料塵粒逸出，雖有各式集塵設備安裝，但若非是密封房頂整體式之安裝或若因維護問題，操作不當，易由廠房溢散，尤以各老廠，房屋老舊者更為嚴重。

### 三、燃燒及冷卻過程

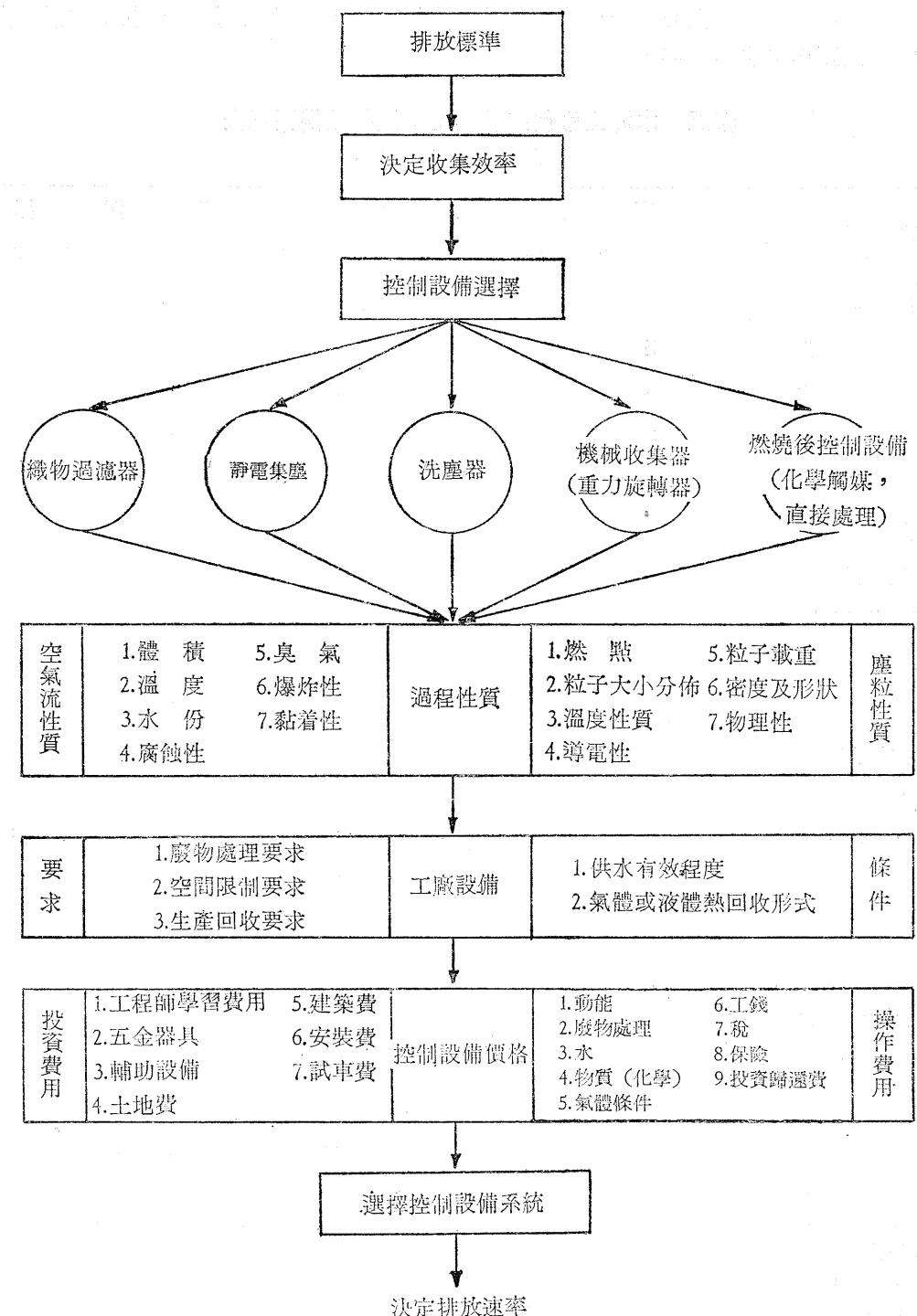
在旋窯煙函之排放，冷卻器之排放及熔渣運輸儲存過程皆會造成空氣污染物之排放，尤以旋窯出口處較為複雜，此乃因尚有水蒸氣，碳氫化物、硫氧化物及氮氧化物為主之氣體隨塵粒一起排出。理論上，塵粒收集器，收集後污染之空氣可隨塵粒一起排出，而達到相當之標準，但現有之工廠仍因設備欠佳，無附加設備及操作欠當，以致排放過數灰塵及其他污染物，引起重大糾紛。總之，污染源之發生，主要原因便為此一過程之處理不當。

### 四、熟料研磨及成品運裝過程

在熟料進料過程，熔渣及石膏儲槽分配過程，運送過程，研磨、儲存及裝袋過程，所產生之塵粒逸出，如同生料碾磨過程一樣，雖有各式集塵設備安裝，但在臺灣各工廠仍有塵粒之溢散。

以上各場所，凡經煙函或房屋頂外洩者，都需裝設各型適當防塵設備，故如何選擇塵埃控制設備極為重要，其流程<sup>(9)</sup>之理論根據如圖二所示，而實際水泥製造過程使用控制設備<sup>(8)</sup>如表五；塵埃收集器效率及安裝費比較如表六<sup>(10)</sup> 及圖三<sup>(9)</sup>；塵埃收集器操作及維護費用比較公式如表七<sup>(10)</sup>，以供參考。

關於將來使用煤所造成之硫氧化物污染最為人所關注，據美國一九七六年 CTAB<sup>(11)</sup> 報告指控制較貴，主要是因經物理過程後之煤，須經化學法處理即以石灰石吸附為主，而目前石灰使用量及污泥處理費用極高，除非找出新而便宜的物理化學方法，目前以燃燒後處理為佳，因此國內採購低硫或處理後之煤是否正確，需要詳細分析，至於燃燒後之處理法很多，附表八<sup>(12)</sup> 以供參考。本表有考慮處理 NO<sub>x</sub> 之情況。



圖二 如何選擇塵埃控制設備流程圖 (來源 HEW)

排放後之流散效果，除了排放量及氣象因素外，主要為決定煙囪高度。因煙囪太高費用增加；太低不能達到擴散作用，僅介紹一種簡便設計方法如表九<sup>(13)</sup>，以供參考。其中尚需考慮目前國家法定標準及預定之法定標準。

表五 水泥工廠製造過程使用控制設備選擇表

(資料來源同圖一)

製造過程	應用控制設備選擇				
	噴水	分離器	洗器	濾袋	靜電分離器
採石場					
鑽孔	S			S	
壓碎	S		S	S	
車運	S			S	
儲存	S			S	
生料培養準備					
原料供給				S	
攪拌乾燥器		U	S	S	S
乾燥研磨周圍				S	S
運輸與儲存				S	
燃燒與冷卻					
旋窯排放煙囪		U	O	S	S
冷卻器排放		S <sup>a</sup>	U	S	S
熔渣運輸儲存			U	S	
熟料研磨					
熟料供給			U	S	
研磨環行房			U	S	
運輸儲存			U		S
發貨					
袋裝			U	S	
散裝			U	S	

S : 滿意

O : 偶而使用

U : 不滿意

a : 通常滿意除非當旋窯出於意料的結果

表六 塵埃收集器效率及安裝費比較

控 制 設 備	重 量 收 集 效 率 %	每分鐘進 1 ft <sup>3</sup> 空氣之安裝費 (美金)
乾 性 裝 置		
濾 中 袋 溫 (250°F)	超過99	0.75~1.50
高 溫 (500°F)	超過99	1.50~3.00
重 力 收 塵 器	35~93	0.10~0.4
旋 轉 器		
一 般 用	65~95	0.4 ~0.52
飛 灰	55~95	0.10~0.20
高 溫 旋 瓷 過 程	70~95	0.85~1.75
靜 電 集 塵 器		
一 階 段 式	75~99.9	1.25~3.50
二 階 段 式	50~99.8	0.75~2.50
特 殊 應 用	95~99+	3.50~15
濕 性 裝 置		
噴 射 器		0.25~0.50
旋 轉 或 孔 式 洗 器		0.50~1.50
文 氏 洗 器		
一 般 鋼 材		0.50~2.00
不 錫 鋼 材		1.00~3.00

資料來源：S. K. Smith, "Economics of Selecting Particulate Control Equipment," Poll Eng., Vol. 3, No. 1, 1971.

表七 塵埃收集器操作及維護費用比較公式

(資料來源同表六)

控 制 設 備	公 式
機 械 式 離 心 器	$G=S [0.7457PHK+M] 6356E$
濕 性 裝 置	$G=S [0.7457HK (Z+Qh) + WHL+M] 1980$
靜 電 集 塵 器	$G=S [JHK+M]$
濾 袋	$G=S [0.7457 PHK+M] 6356E$

符號意義： $G$ =每年所需的操作維護費用

\* $M$  值如下：

$E$ =抽風系統效率 (小數點位)

$H$ =每年操作小時

$h$ =抽水機到收塵器高度 (ft)

$J$ =每分鐘空氣進 ft<sup>3</sup> 之千瓦 (千瓦/acfm)

$K$ =電價 (美金元/千瓦)

\* $M$ =維護費 (美金元/acfm)

$P$ =水頭壓力 (英吋)

$Q$ =水旋轉量 (卡侖/acfm)

$S$ =設計空氣流量 (acfm)

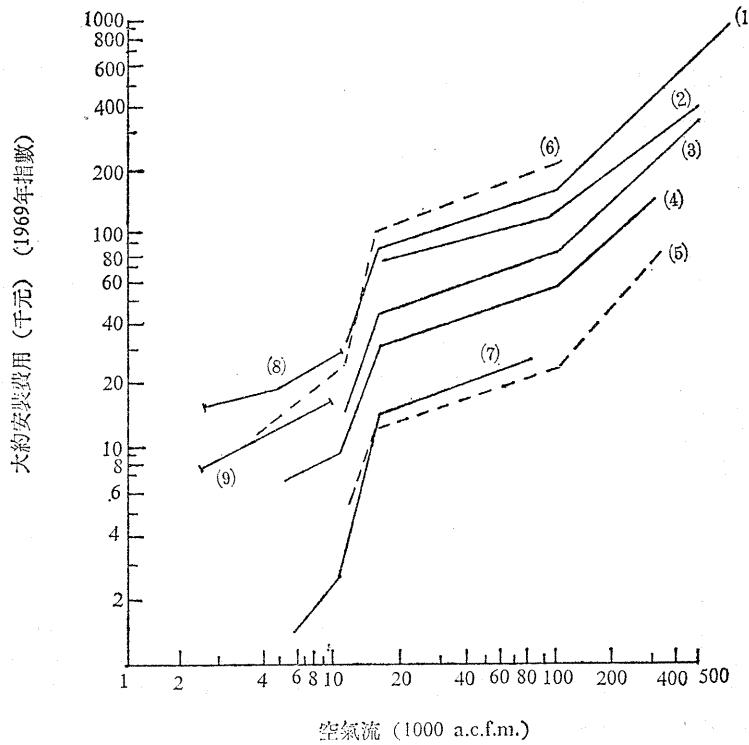
$W$ =製造水量速率 (卡侖/小時/acfm)

$Z$ =全部所需供入能量 (馬力/acfm)

控 制 設 備	美 金 每 afcm		
	低	中	高
濾 袋	0.02	0.05	0.08
靜 電 集 塵 器	0.01	0.02	0.03
高 壓	0.005	0.014	0.02
低 壓	0.005	0.015	0.025
重 力 或 乾 離 心 器	0.005	0.015	0.025
濕 性 裝 置	0.02	0.04	0.06

圖三 安裝費估計圖 (1969年標準)

(資料來源：同圖二)



來源 : HEW (1) 高溫織物過濾器 ( $550^{\circ}\text{F}$ )

(2) 高電壓電子分離器

(3) 中溫織物過濾器 ( $250^{\circ}\text{F}$ )

(4) 洗器

(5) 其他機械過濾器 (離心機旋轉器)

(6) 低電壓電子分離器

(7) 重力過濾器

(8) 燃燒後化學觸媒法

(9) 燃燒後直接火焰處理法

表八 燃煤工廠燃燒後處理費用 (1970年標準)

基本條件 : 1. 1,000 MW 燃煤廠

2. 3% 硫含量

3. 脫硫操作費用 US\$0.50/ton 煤

費用標準 : 1. 硫 US\$25/ton

2.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (1) US\$14/ton (98%) (2) US\$8/ton (8%)

3.  $\text{HNO}_3$  US\$50/ton

4.  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  US\$45/ton

5.  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  US\$20/ton

控 制 過 程	投資費用 US\$	操 作 費 用		
		百萬 US\$/ton	煤 US\$/ton NO <sub>x</sub>	Mils/Kwh
Mg(OH) <sub>2</sub> 洗 刷	12.0	- 0.06	- 5	- 0.02
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 98% 洗 刷 率	17.3	0.17	14	0.06
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 92% 洗 刷 率	17.3	0.65	118	0.23
石 灰 水 洗 刷*	8.5	0.50	45	0.18
NH <sub>3</sub> 減 少 及 洗 刷**	15.0	0.92	66	0.33
H <sub>2</sub> S 減 少 器 過 程	11.7	0.98	77	0.34
選 擇 性 H <sub>2</sub> 減 少 器**	4.1	1.02	81	0.36
觸 媒 分 解**	4.1	0.91	72	0.32

\* 單洗器包含吸附物熱再生。

\*\* 觸媒價錢 US\$100/cuft ; 空間速率 6000-7000 std. ft. cuhr/cuft。

表九 煙囪高度決定（僅供參考）簡便方法

Bosanquet-Pearson 公式推演出

$$H = \sqrt{1.55 \left( \frac{W_c}{u C_{max} M_c} \right) \frac{P}{q}} \times 10^4$$

H : 為煙囪高度, ft

W<sub>c</sub> : 污染物放出速率, lb/hr

C<sub>max</sub> : 當 x=H/2P, Y=0 時之最高濃度, PPm

M<sub>c</sub> : 污染物分子重量

P : 垂直擴散係數

q : 水平擴散係數

	P	q
低 混 流 時	0.02	0.04
平 均 混 流 時	0.05	0.08
溫和(Moderate)混流時	0.10	0.16

M : 平均風速, mile/hr.

X : 水平距離, ft

Y : 垂直距離, ft

H<sub>v</sub> : 477 √ Q V / 1.5

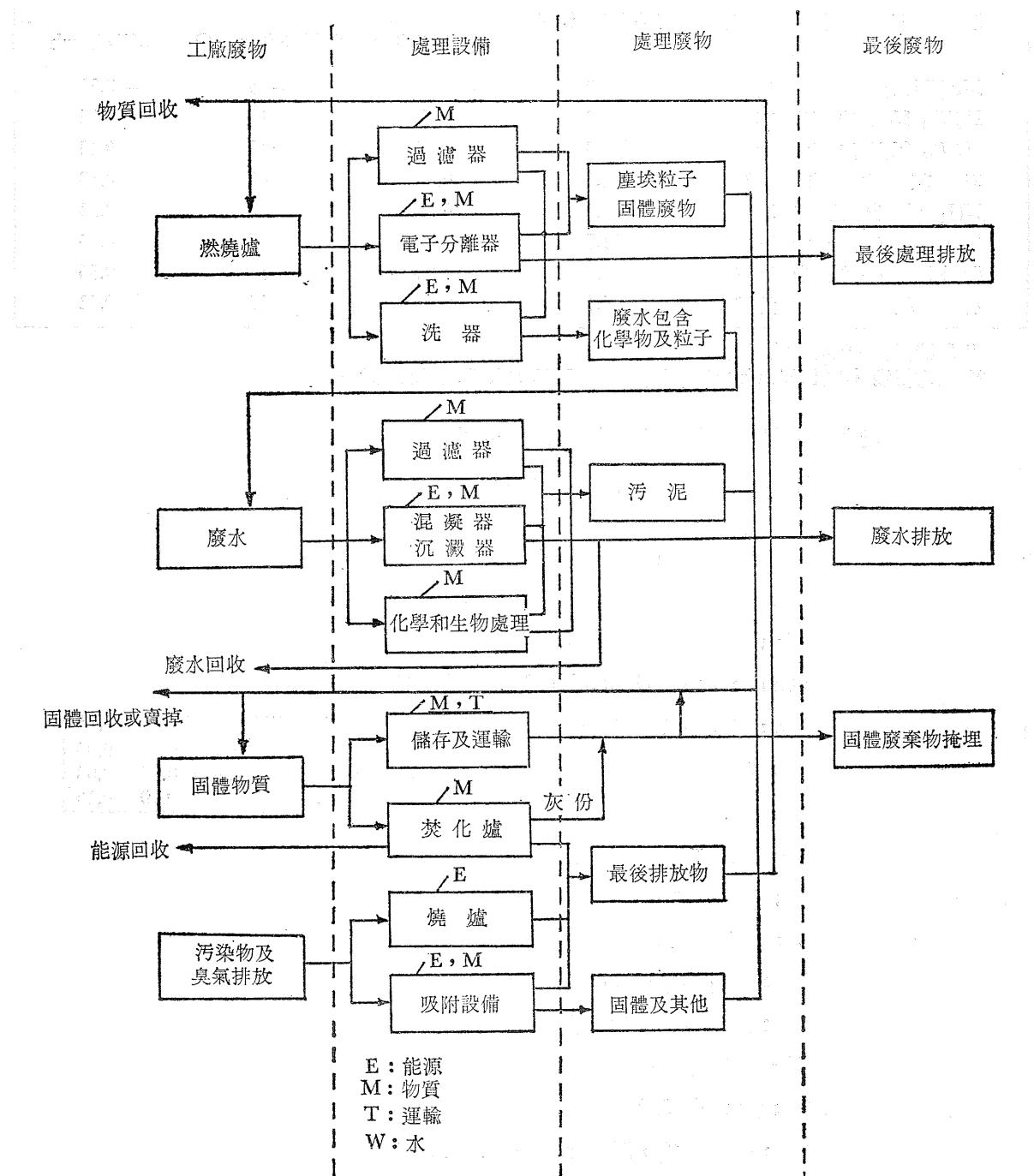
H<sub>v</sub> : 煙柱高度 (放出後), ft

V : 放出速度, ft/sec

Q : Q<sub>s</sub> × T<sub>1</sub> / 530

Q<sub>1</sub> : 放出體積, ft<sup>3</sup>/sec, T<sub>1</sub> = M<sub>c</sub> × 18.3

水泥工廠目前雖有水污染問題及廢料問題，但在面對著環境保護之壓力及選用控制污染設備之情況下，將會發生綜合之問題，圖四顯示全部污染物並聯處理之過程<sup>(14)</sup>，以減少重複之馬力及管線，僅提供事業單位將來使用研究參考。我國對選擇污染控制設備研究較少，任何一次選擇的錯誤，將造成金錢的損失及處理不良之後遺症，有關單位應多做此方面研究。



圖四 並聯空氣污染、水污染及固體廢棄物處理

## 肆、綜合建議

水泥工業為耗能源與公害工業，在未來臺灣地區發展應屬抑制性工業，然而因其為基本工業且又無取代相同建材性質之工業，故決策當局在決定產業發展方向時需進一步研究，工業界也當慎重考慮其發展並注意控制減少能源需求及維護環境品質之綜合檢討。目前水泥工廠在中部地區並無任何廠房，而東部地區則因礦藏豐富皆為將來擴建之地區，而能解決水泥需求，生產及運輸問題。又水泥工業對環境污染的影響極大，故針對改善環境建議如下：

### 一、對新建水泥廠的建議

當新建水泥廠或擴建舊有水泥廠時，需由工廠報上環境影響評估程序之要求，而由衛生署環境保護局配合工業局審核，工廠建造程序要求應包括：

- (一) 污染控制理由：包括公害損失價值，公共關係，煙塵，有毒氣體回收價值，處理程序及符合法規。
- (二) 確定問題：經過類似之水泥工廠製造過程分析，以瞭解可能污染情形。
- (三) 建立地區擴散之定量定性分析係數以為設計規劃參考。
- (四) 配合地區之管制法規：首須符合現有法規為第一步，並以地區之未來嚴重程度，考慮逐步提高處理標準以資配合未來新規劃。
- (五) 決定控制需要程度：包括研製新污染控制設備及其說明。
- (六) 工程技術及經濟可行性之決定。
- (七) 採購經許可之建設和操作控制污染設備之說明。
- (八) 訂立購買設備規格及實際允許購買設備。
- (九) 安裝設備。
- (十) 開始營運及檢討考核。

### 二、關於舊有之水泥工廠建議政府有關方面為

- (一) 請各縣（市）衛生局及高市環境管理處加強督促各廠改善及維護除塵設備。
- (二) 請臺灣省政府加強督導所轄縣（市）政府衛生局執行對水泥業之管制。
- (三) 請衛生署環境保護局及經濟部工業局機動性之督導與考察。
- (四) 請衛生署針對水泥工業以地區性排放量標準，訂立水泥工業可排放污染標準量，並由工廠直報衛生署隨時抽樣檢查地區性之污染量及排放口之污染量，及配合執法單位嚴格執行以確保國民身心健康。
- (五) 請經濟部工業局鼓勵或協助國內業已有實績能力之各種污染防治工程公司，擴大其範圍，增強其設備，提高其技術水準，使其確有能力為各類水泥工廠設計安裝各種控制空氣污染設備，水污染設備及工業廢渣處理設備，不再仰賴外人。如有必要，亦可由政府自行設置此類工程公司與民營公司相競爭，促使技術之加強與進步。
- (六) 適切歸併小廠，並遷移至遠離都市之工業區：小型的水泥廠經營困難，利潤微薄，實無單獨設立的必要，於公於私均宜合併成較具規模之大廠，為防止未來所謂寡頭壟斷，必須事先研定辦法，以管制水泥價格或發展出其他合乎經濟，環境因素之取代建材，至於現有之

水泥工業作長久正常之發展，亦請經濟部工業局積極輔導辦理遷離都市，遠離機場之適當工業區，最好遷至近高雄港口之適當工業區，以減少燃煤運輸等問題之經濟負擔，若不能找到適當地點，原廠之防污染設備應要求改進。

### 三、建議工廠有關方面

- (一)建立正確觀念：水泥廠排放大量灰塵，妨害居民生活，傷害農作物，是所謂寄本身利益於廣大人羣的痛苦之上，不但違法也應受良心制裁，是故水泥界必須確立觀念，於全力發展之同時，必須維護人羣之福祉，全力從事公害防制。
- (二)廠內各大小煙囪及屋頂必須裝有各型防塵設備，有露天灰塵之處，則需將圍牆適當加高及其他防護措施如洒水及鋪以水泥路面。
- (三)注意收塵設備之操作與維護；收塵器之操作人員需由專業訓練技術人員負責，隨時檢查任何不正常現象，如濾袋破損，靜電收塵器之電壓、電流、溫度、變壓器油、壓力損失、氣流速度等問題。
- (四)注意檢查其他空氣污染物排放、水污染物排放、及殘渣之處理，使用煤之工廠必會遭遇到此方面問題，宜詳細研究。

### 參 考 資 料

1. 臺灣地區環境指標之研究及確立 行政院衛生署環境保護局, p. 100, 70年12月。
2. 臺灣地區公害防治先驅計劃工作報告 行政院衛生署 pp. 116~120, 67年6月30日。
3. 魏維新，「臺灣地區水泥及鋼鐵工業空氣污染防治設備檢討」六十九年近代工程技術討論會專集。能源與環境組，環境分組 pp. 295~322。
4. 煤炭—銜接未來能源之橋 經濟部能委會譯印, p. 57, 世界煤炭會議報告 1980 年 5 月出版。
5. 中華民國七十年能源研討會 經濟部能委會, pp. 2-279~2-302 民國70年7月。
6. 公害防治法令彙編 衛生署, 65年11月。
7. "Standards of Performance for New Stationary Sources" EPA. Dec. 1971.
8. B. G. Liptak "Environmental Engineers' Hand book" Volume II, Air Pollution, pp. 1132-1136.
9. "Particulate Control: A Must Meet Air Quality Standards" Editors, Envir. Sci & Tech. Nov. 1969.
10. S. K. Smith "Economics of Selecting Particulate Control Equipment" Poll. Eng. Vol. 3. No. 1, 1971.
11. R. M. Jimeson "Solvent-retined Coal Keeps Flue Gas Clean" Chemical Eng. March 1976.
12. "Reducing NO<sub>x</sub> Emission" Editors, Chemical Eng. Oct. 1970.
13. J. D. Constance "Calculate Effective Stack Height Quickly" Chemical Eng. Sept. 1972.
14. F. I. Honea "Energy Requirements for Environmental Control Equipment" Chemical Eng. Oct. 1974.