

東南水泥公司高雄廠空氣污染 防制實務報告

吳炎輝* 孫振興**

一、前 言

近四十年來，我國經濟發展一直穩定地成長，而近十年來更是突飛猛進，各項工業生產指數亦隨著迅速成長，國內水泥工業在產量上每年也因人口增加與國內各重大工程之進行而逐年擴建，增加產量；在水泥製程與設備上先後不斷自國外引進最新科技技術與設備而日益更新，不但在產量大量增加外，能源耗費上也有顯著的節約效益；在維護環境品質上亦不惜耗費鉅資，設置高效率的靜電集塵機，改善污染情況，使以往大眾心目中水泥廠粉塵四處逸散的不良印象逐漸改正，部份水泥廠對污染防治所投諸心力更是績效顯著，有目共睹。

本公司成立於民國45年，在這35年期間，先後歷經四次擴建，一次合併與一次改造，年產量由二萬伍仟噸擴增為一百四十萬噸（舊窯未計），回想在民國62年開始第四次擴建時，檢討產能之設備規格，西德工程師即要求我們提供當時國家的空氣污染排放標準，此點帶給我們很大的困擾與衝擊，一來當時我們國家尚未建立標準，二來大家吃了廿年的水泥飯，對煙囪冒些煙早已習以為常，經過本公司董事長與西德工程師溝通後，認為集塵設備投資雖高，但可回收半成品，實值得長期投資，而且對社會形象與責任有所助益，因此當年即決定以德國國家排放標準作為本公司靜電集塵機的採購規格，因此為本公司奠下污染防治之基礎；在民國70年後當國內環保意識逐漸萌芽後，成

*東南水泥公司副董事長特別助理

**東南水泥公司研究發展課課長

為國內水泥工廠空氣污染防治的績優廠礦之一，今日，本公司已將污染防治設備視為製程設備的一部份，而非附屬之配置。

二、製程簡介

水泥製造過程中的心臟部份就是熟料(Clinker)燒成，燒成的過程中，前半段為預熱及脫酸，脫酸就是化學反應 $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ ，後半段為燒結也就是將 SiO_2 與 CaO 熔合形成 $(\text{CaO})_3\text{SiO}_2$ 及 $(\text{CaO})_2\text{SiO}_2$ ，整個燒成過程從原料進入點約 350°C 至熟料形成約 1400°C 的加熱過程中完成；熱量在能源危機以前是以燃燒重油產生，能源危機後改燒煤粉（煤粉是由煤炭研磨及乾燥而得）。燒油或燒煤所產生的 CO_2 ，及脫酸反應所產生的 CO_2 是主要之排放廢氣；由於製程是使用乾式懸浮預熱系統，在廢氣排放的同時會伴隨著原料成份的粉塵微粒。

正常運轉時上述 350°C 之高溫廢氣被引入原料粉碎研磨系統中做乾燥原料（大部份為石灰石）之用，一來節約能源，二來降低廢氣溫度至 95°C 便於集塵，這種利用燒成廢氣乾燥研磨系統稱之為複合運轉(Compound Operation)，雖然廢氣溫度降低，但整個原料粉成品進入集塵機，含塵量(Dust Loading)極高，成為集塵機設計的重點。當研磨系統停修，只有燒成系統運轉(稱為 Direct Operation)，雖然溫度高，但含塵量極低，利用噴霧塔噴水將溫度降低至 150°C，也可達到極佳的集塵效果。

三、污染來源

不論燃油或燃煤，都有硫氧化物 SO_x 的產生，排放在外就是俗稱的酸雨，這在火力發電廠必須設置以石灰來脫硫的裝置，在水泥廠恰可不必，因燒成過程中硫氧化物會被 CaO 所吸收，所以水泥廠沒有 SO_x 排放的顧慮。

空氣中五分之四是氮氣 N_2 ，高溫燃燒時會產生 NO_x ，水泥燒結過程在高溫 1400°C 時也會將空氣中的 N_2 氧化成 NO_x ，但是由於其極微量

，約為一部柴油引擎 NO_x 排放量的廿分之一，所以水泥廠不需添加任何脫硝 (De-NO_x) 設備。

主要的污染來源就是伴隨廢氣排出的粉塵微粒，這些粉塵對民衆來說是一種污染，在水泥廠來說就是製造水泥的原料，所以水泥廠內各技術人員也都處心積慮要將這些原料以集塵機回收，遺憾的是以當今最先進的科技，最好的靜電集塵機亦無法百分之百將粉塵完全回收，所以儘管國家標準訂在 50mg/Nm³，水泥廠仍不惜鉅資訂購靜電集塵機，以低於 25mg/Nm³ 為目標，集塵效率達到 99.997%。

四、粉塵特性

原料粉塵的化學組成以重量百分比表示時如下：

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaCO ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
14.24	3.45	1.77	77.41	1.16	0.11	0.58	0.29

註：Cl，P 及其他微量元素本廠 X 光機無法分析得知，
所以總量只有 99.01%

其比重為 1.00，含水份 0.5%。它的電阻特性依其含水份及溫度的不同介於 10⁹ ohm.cm 至 10¹⁴ ohm.cm 之間，但是靜電集塵機在粉塵電阻特性超過 5×10^9 ohm.cm 時有明顯的火花 (Spark) 放電而無法發揮集塵效率，因此必須以噴水方式提高其含水份，同時降低其溫度，使得電阻特性降至 10⁹ ohm.cm 而靜電集塵機可在最高效率下運轉。

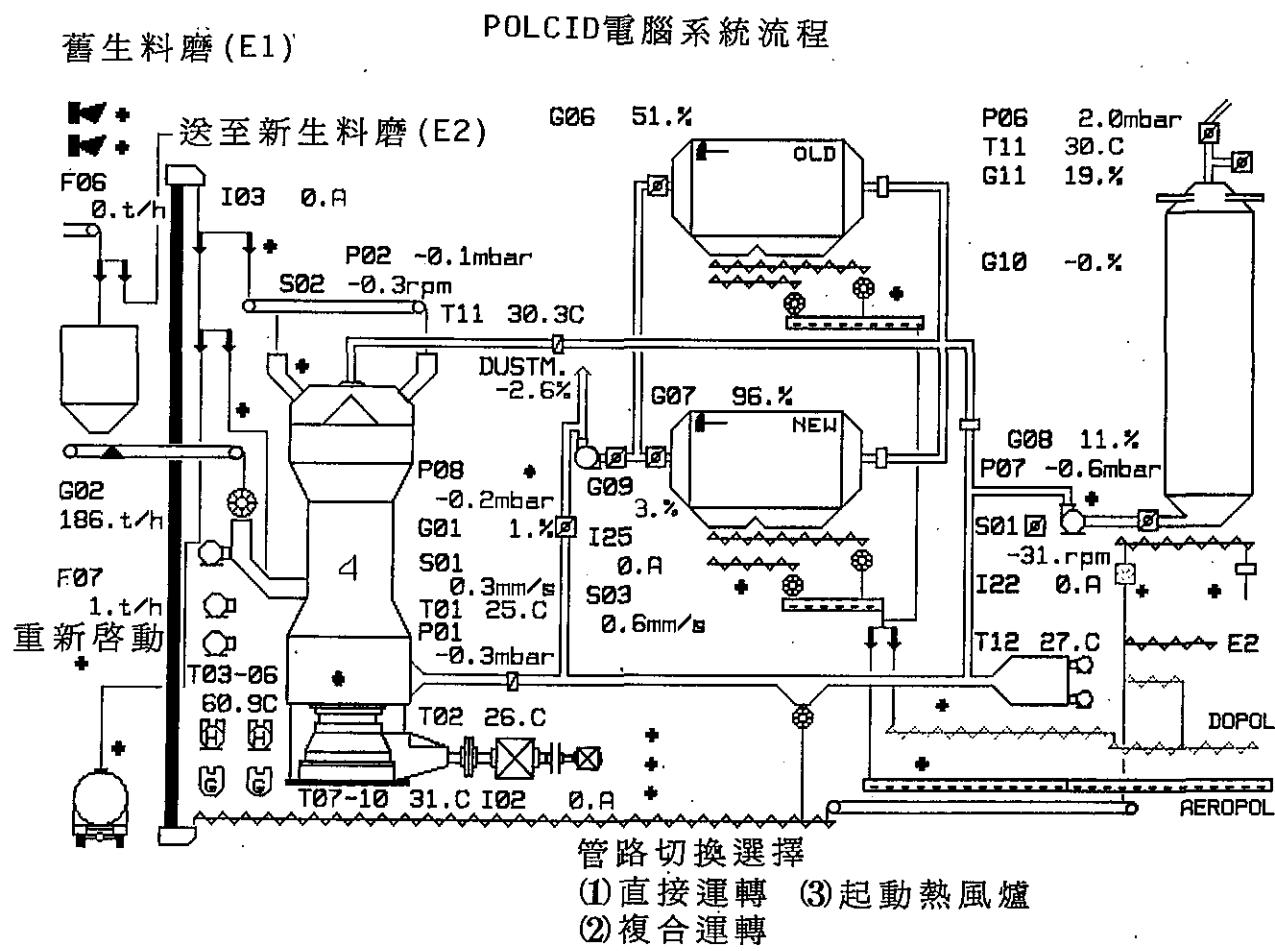
五、處理流程

一般靜電集塵機是配置在研磨系統的上方，如此可以方便輸送集塵機所收集的粉塵，況且可以降低煙囪的建造費用。

複合運轉時 (Compound Operation) 研磨系統的所有原料粉產品全部吸入集塵機，90% 的粉塵一進入集塵機就沉降於內部灰斗 (Hopper) 內，約 10% 的粉塵隨同氣流進入靜電區，靜電區由極板、極線構成，

極線接上約 6萬伏特的負電壓，極板則接地，利用尖端放電的原理，極線由於負電壓所釋放出來的電子附著於粉塵上而被極板所吸附，當所吸附的粉塵累積至一段時間後以擊鎚將這些粉塵擊落掉入灰斗內，經由輸送系統送入儲倉。

直接運轉時(Direct Operation)研磨系統由兩個隔離閘門與廢氣管路隔開，燒成廢氣約350°C經由噴水系統降至150°C後進入集塵機，以同樣的電暈放電原理將粉塵收集於灰斗，送入燒成系統；其流程如圖1所示。



六、設備概要

由於高雄廠原料研磨系統共裝置有三座靜電集塵設備，現僅就其中一座設備概要說明：

外部尺寸長×寬×高 = 18m × 7m × 18m，結構外殼全由鋼鐵材料製作，重達 165T，內部機件、極板、極線大部份自西德進口，約 40 T。整座設備站立於 24m 高的鋼筋混凝土結構上；全部外殼加上 100mm 厚的保溫材料，以避免集塵機內部水蒸汽凝結而將粉塵變為泥漿。由於必須考慮鋼材的熱漲冷縮、外殼的密封性，施工特別嚴謹，加上高空作業的艱難性，整個工程需時 6 個月，耗費新台幣 4 仟餘萬元。

整座靜電集塵機的心臟部份是由二套高壓變壓整流器及其調壓裝置所構成，最高電壓 110KV，最大電流 1120mA，由二部微電腦監測每一瞬間的粉塵狀況，自動調整電壓在最佳操作點；所謂最佳操作點就是電壓盡可能的提高，而不能有弧光放電現象；正常運轉時電壓約 70 KV，電流約 880mA。

七、操作管理問題與對策

由於鋼鐵材料在高溫下容易變形，而靜電集塵機的極板、極線之間的距離有嚴格的要求，只要一小部份因變形而間距略短，則弧光放電發生，集塵效率就大減。所以在直接操作時 (Direct Operation)，若遇上噴水泵浦故障或缺水，此時溫度會急遽上升達 350 °C，燃料會自動切停，操作員應當機立斷迅速打開冷風門，防止溫度上升。

若遇上重新起動研磨系統，此時因系統風門切換，風量、溫度均起變化，如果操作員不按正常步驟調整，再優良的靜電集塵機多少會冒出不少的粉塵；因此之故本廠在各煙囪出口均裝設有不透光分析儀，藉由該分析儀所記錄的不透光率與各操作數據曲線的比對，可以協助操作員選擇最佳的操作點。有關不透光率、溫度、電流之操作情形如圖 2 及圖 3 所示。

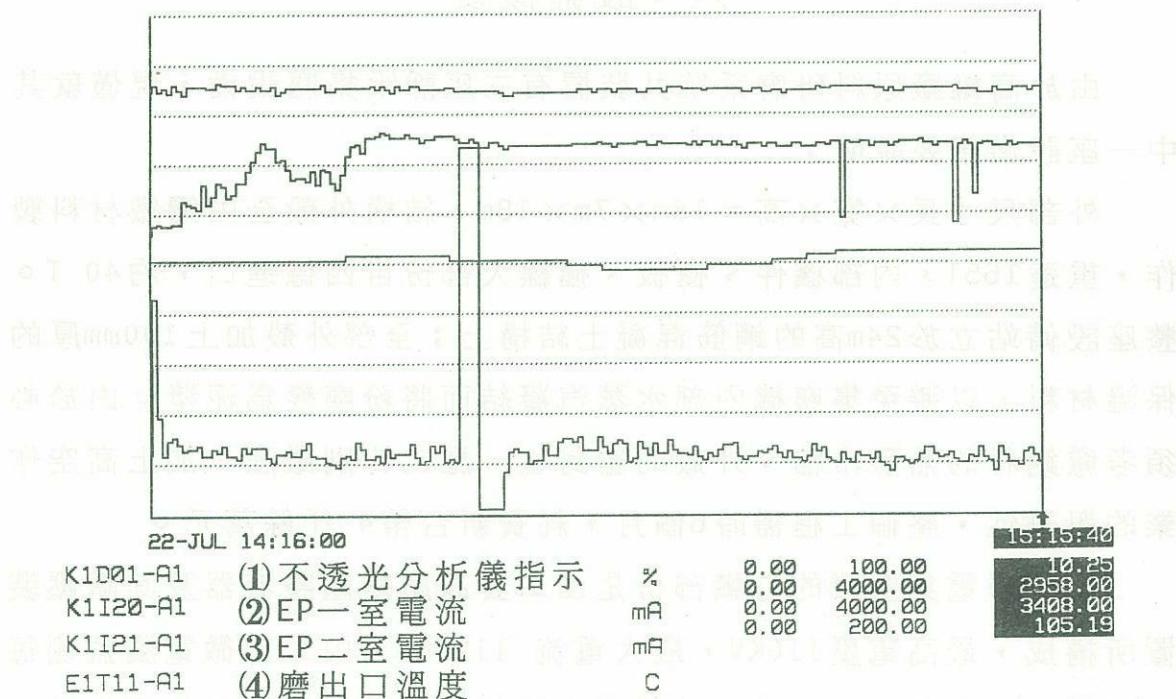


圖 2 #4 生料靜電集塵機不透光率操作圖(14小時記錄圖)

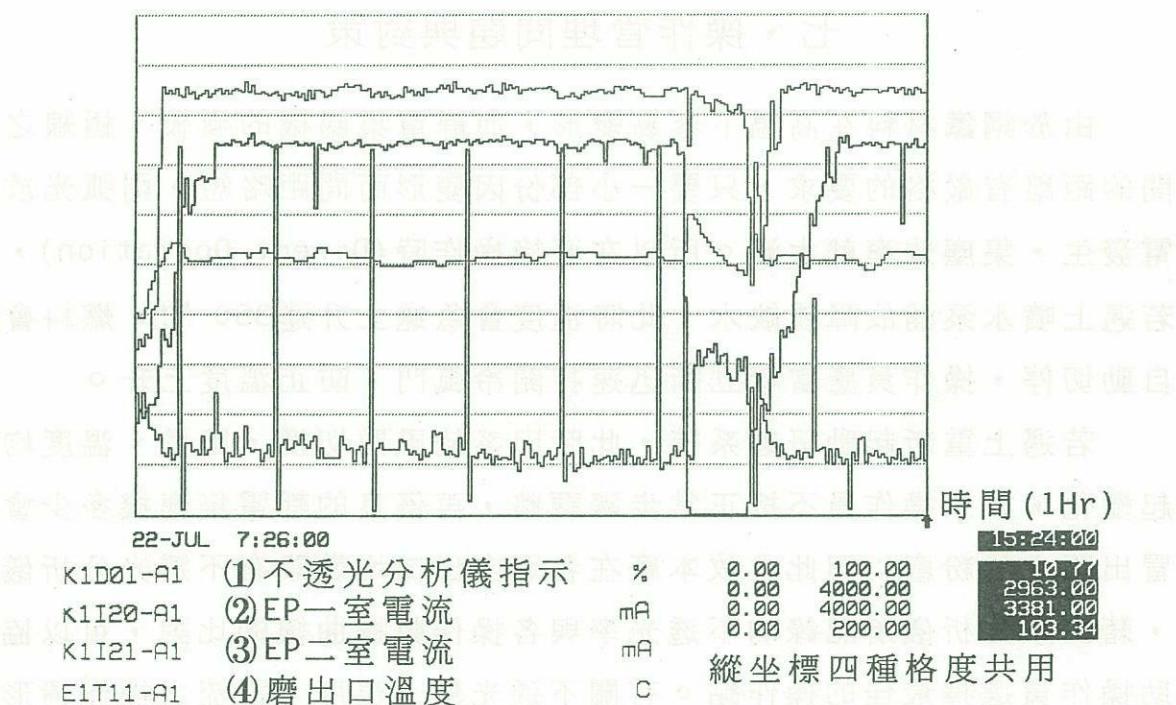


圖 3 #4 生料靜電集塵機不透光率操作圖(8小時記錄圖)

由於極線敲擊系統採用凸輪提升擊鎚，釋放後以自然重力下降而達敲擊效果，因長久運轉振盪，螺絲容易鬆脫，即使馬達仍然運轉，而螺絲已鬆，毫無打擊效果，集塵效率亦降低，因此敲擊系統必須由保養人員定期檢查各部機械結構是否運轉正常。

靜電集塵機運轉時，其內部時常有火花產生，容易引燃或引爆易燃氣體，所以水泥製程上在靜電集塵機前通常裝設有一氧化碳(CO)分析儀，遇CO產生時，將靜電集塵機高壓供電切停，以防止爆炸，但是切停後集塵機失去功能，大量粉塵自煙囪冒出造成污染，因此通常在CO濃度達 0.3% 時警告操作員採取措施，並分段減少燒煤量，控制CO不再繼續上升，確保集塵機不致因操作不良而發生跳機，產生大量的污染，如因特殊情況，CO達到 0.8%，才自動切停集塵機，以防爆炸損壞集塵機。

八、靜電集塵機改善實例

本廠鑑於當時環保意識抬頭，原設計之靜電集塵機排放量為 250 mg/Nm³ 已不符群眾要求而且又年久失修，排放量曾超過 900mg/Nm³，於 1985 年 4 月 8 日要求要西德原設計公司 (Lurgi) 派員 (Mr. Menzel) 到廠檢視集塵機，結果如下：

1. 沉降室屋頂鐵板腐蝕。
2. 最上方進口導管與漸伸管摺縫有二處破損。
3. 進口端高壓礙子室，東側下方接縫裂開二處。
4. 中間高壓礙子室，東側下方接縫裂開。
5. 沉降室與第一段灰斗接縫西側部位裂縫。
6. 多孔板西側支架最下方破損。
7. 第一段西側機殼與內走道高部位破損。
8. 第一、二段之間機殼西側與東側走道部位破損。
9. 出口端方型漸縮管之前西側上方與東側下方各有裂口。
10. 出口端漸縮管之鐵管支架上側脫開。
11. 進口端東側爬梯邊屋頂橫樑接縫密封性差。

- 12 進口沉降板二組脫落。
- 13 極線架承擊鐵鉆螺絲鬆脫。
- 14 多孔板敲振鐵鎚上方東側螺絲鬆動。
- 15 多孔板敲振鐵鎚軸支座螺線脫落。
- 16 中間東側第一段極板之鐵鉆焊道裂開。
- 17 第一段西側灰斗阻風板脫落。
- 18 部份極板變型或腐蝕。
- 19 部份極線斷裂，齒尖鈍化。

由於整修費時而且生產線必須停止，因此當時決定訂購一套新集塵機與舊集塵機並聯運轉，待新集塵機完成運轉後再停舊集塵機整修，而且將舊集塵機全部極板、極線及高壓變壓整流器全部換新，前後費時 6 個月，耗費金額高達新台幣 4230 萬元，經過整修後的舊集塵機煥然一新，入口含塵量為 $647\text{g}/\text{Nm}^3$ ，經集塵機集塵後之出口含塵量為 $45\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，集塵效率為 99.993%。有關本公司現在使用 Lurgi 廠牌靜電集塵機比較表如表 1。

表 1 東南水泥 Lurgi 靜電集塵機比較表 (80 年 7 月)

	二廠生料 E.P	一廠#5生料 E.P	一廠#4生料 E.P
總集塵面積	3482m^2	3496m^2	$3364\text{m}^2 + 5882\text{m}^2$
極板間距	0.40m	0.40m	0.30m
極板高度	7.5 m	10.5 m	10.5 m
極板長度(塊)	2×11	2×11	2×8
氣流通道數	21	15	20+32
設計時生料產量	80T/h	100T/h	170T/h
E.P 入口含塵量	$70\text{g}/\text{Nm}^3$	$550\text{g}/\text{Nm}^3$ (Act)	$447\text{g}/\text{Nm}^3$ (Act)
保證出口含塵量	$30\text{mg}/\text{Nm}^3$ (dry)	$25\text{mg}/\text{Nm}^3$ (dry)	$70\text{mg}/\text{Nm}^3$ (Wet)
環保署 80 年 5 月 委託科技公司測試	$31\text{mg}/\text{Nm}^3$	$30.2\text{mg}/\text{Nm}^3$	$45\text{mg}/\text{Nm}^3$

九、結論與建議

水泥工業是一種高度機械自動化而耗費能源的工業，在水泥製程中會因排氣而有逸散性的粉塵發生，其主要成份有碳與其碳化物、矽酸鹽、鋁酸鹽、亞鐵酸鹽等，而旋窯部份為水泥廠最主要排放污染源，然而這些粒狀污染物之排放雖遠不及化學工廠排放有害氣體來得嚴重，在環境品質上也無造成酸雨或破壞臭氧層之顧慮，惟可能或多或少會對附近居民、環境景觀、建築物之懸浮落塵而遭人詬病，然而這些因素均可藉各種新污染防治設備之裝置與有效的管理措施予以消除。

在此謹就本公司空氣污染防治措施上幾點具體作法供作參考：

1. 在硬體設置的基本考慮上，容量一定要夠大，不但要考慮異常狀況下尚有餘裕容量外，同時配合妥善而具體的工作檢查規範，操作管制標準與維護保養措施，並定期派員進行追蹤查核。
2. 引進全自動電腦配料系統與操作控制系統，除可強化品質，穩定燒成系統，進而將各項污染防治設備監控在最佳條件。
3. 透過教育訓練建立全體從業人員以「防治空氣污染」為首要任務與社會責任，使員工建立共識，並充份授權各級人員明瞭「污染防治、人人有責」，可以依規範逕行停機作防污處理。
4. 廠礦區的綠化、美化工作要確實，本公司不但以全廠綠化實績來自我驗證空氣污染防治的成效，更透過外賓的實地參觀來自我鞭策，以保持長期成效。