

水泥工業空氣污染防治設備之規劃與設計

呂福仁*

一、水泥工業對環境保護工作之範圍

水泥工業為基本民生工業之一，但其成品笨重價低，運輸成本偏高，製程中又需耗用大量之電力及燃料。在能源危機，尚未解除，國民生活素質日益提升及人口日漸膨脹之際，業者除了需克服能源供應之間題外，尚需就環境保護之工作克盡職責，目前較主要之課題包括：

1. 空氣污染防治；
2. 噪音控制及消滅；
3. 振動控制及消滅；
4. 景觀及自然資源之維護。

由於臺灣地狹人稠，部份水泥廠因與市鎮相鄰，由於收塵設備老舊失修，，或因產能增加收塵機並未隨其增大，已形成最醒目之污染源之一。現政府當局對水泥業者之管制雖僅限於空氣污染，但一般之居住標準勢必日益提高，噪音及振動之管制，工廠與礦場與四周景觀之配合，在不久之將來，極可能劃為生態環境保護工作範圍內。

二、水泥工業之污染源

(一) 固態排出物：

每生產一噸熟料需粉碎，儲運，研磨及乾燥約 2.6—2.8 噸之石灰質及黏土質原料及石膏，爐渣及飛灰等添加物。在處理這些物料之過程中，大約產生約 5—10 % 左右重量化之粉塵懸浮於處理氣體中。依照製程之不同；每生產一公斤水泥約伴生 $6\sim12 \text{ m}^3$ 左右之含塵氣體，在排放於大氣前，需經各式收塵機處理。

1. 固態污染源依照設備別可分為下列三類：
 - a. 一般排氣：為保持設備負壓，以防止製程中粉塵外洩，需排出一定量之氣體。例如輸送設備之轉換點，包裝機，儲庫等排氣；
 - b. 產品收集：產品因製程之關係即存在於排氣中，例如研磨機，乾燥機等排氣；
 - c. 製程氣體：由於製程中需有燃燒反應而產生燃氣及反應氣。例如旋窯，氣流爐等排氣。
2. 水泥廠之粉塵依著來源別其主要種類為：
 - 石灰質原料粉塵；
 - 土質原料粉塵；
 - 生料粉塵；
 - 水泥旋窯粉塵；

* 臺灣士敏工程企業股份有限公司襄理

- 熟料粉塵；
- 煤炭粉塵；
- 石膏粉塵；
- 水泥粉塵等。

3. 粉塵之化學成份

除水泥旋窯之粉塵外，其他各類之粉塵皆與原處理原料之成份相同。因旋窯系統各點溫度不同，原料之鍛燒程度亦互異，加上複雜之再循環現象，故其粉塵之成份隨著原料及製程之不同有很大之差異，其中包括生料粉，失水之黏土，鍛燒過之石灰及新組成之礦物組成。旋窯排塵典型之化學成份為：

化 學 成 份	百 分 比	化 學 成 份	百 分 比
CaO	39—47	K ₂ O	0.5—3
SiO ₂	10—18	Na ₂ O	—0.2
Al ₂ O ₃	3—9	SO ₃	0.5—2
Fe ₂ O ₃	1—4	Cl ⁻	—0.5
MgO	0.5—2		

4. 含塵氣體中粉塵之粒徑

設 備 種 類	小於 10 μm 重量 百 分 比	設 備 種 類	小於 10 μm 重量 百 分 比
a 石灰石軋碎機	5—20	f 爐格式預熱機旋窯	10—45
b 生原料旋轉式乾燥機	40—70	g 爐格式冷却機	0—15
c 生原料快速式乾燥機	50—70	h 管磨 (生料，水泥，煤炭)	40—80
d 風掃磨系統	40—90	i 輸送設備，包裝機械，圓庫等	10—50
e 懸浮式預熱機旋窯	85—99.5		

(二) 水泥工業之氣態排出物

1. 水泥旋窯排氣之成份：

N₂：燃燒所需空氣中有79%之氮氣因屬惰氣故仍殘留於排氣中；

CO₂：主要來自 CaCO₃ 及 MgCO₃ 分解之 CO₂ 及燃料中碳元素燃燒產生之 CO₂；

O₂：為求燃燒完全，故需供給過量之空氣，除此之外漏氣亦為另一來源；

H₂O：燃料中氫元素氧化，生料中殘餘水份及燃燒空氣中之溼氣為 H₂O 之來源；

SO₂：主要來自原料及燃料。若有足夠之 Alkali 時，將有百分之 88—100 % 將隨熟料或粉塵排出，否則在排氣中 SO₂ 之含量將較高；

CO：由於不完全燃燒將生成 CO；

NO_x：過量空氣處於高溫之火焰易產生之 NO_x 約有 150~800 ppm，NSP 者因有大部份燃燒，係在低溫水焰之預鍛爐中發生，故 NO_x 普通較傳統式 SP 窯為低；

有機物：使用助磨劑時，部份分解物會排於大氣中。

2. 其他設備之排氣成份：

若不使用使窯熱氣之設備，其排氣主要為空氣，惟經乾燥或噴水，其排氣中其含水量有高低之別。

3. 水泥設備之排氣性質

設備種類	懸浮式預熱機旋窯	爐格式預熱機旋窯	爐冷卻式機	旋乾燥式機	快速乾燥機	風系帶磨系統	管磨系統
原 料	生 料	粒 料	熟 料	生 原 料	生 原 料	生 原 料	生 原 料 或 熟 料
原料含水量(重量比%)	0.5~1.0	11~22	0~5	2~15	2~15	2~10	0~2
比排氣量(Nm ³ /kg-cl')	1.5~1.8	1.8~2.2	0.7~1.8	0.8~2.0	0.5~1.5	0.8~1.5	0.2~0.8
氣體組成 (%) {	CO ₂ O ₂ CO	33~20 3~9 <0.1	29~20 4~10 <0.1	— 21 —	4.0~30 4~20 —	4~30 4~20 —	— 21 —
排 氣 温 度 (°C)	280~400	90~150	200~400	70~150	70~150	70~150	60~120
露 點 温 度 (°C)	35~45	50~65	<25	40~70	40~70	40~60	20~67
含 塵 濃 度 (g/m ³)	15~70	1.0~4.0	0.7~10	20~60	20~150	30~800	30~400
常用收塵設備型式	靜電式	靜電式	靜電袋式 袋式 床式	靜電式 袋式	靜電式 袋式	靜電式 袋式	靜電式 袋式

4. 水泥工業排氣之含塵濃度及排氣量

設備種類	含塵濃度(g/Nm ³)	排氣量
a. 筒碎機	0.5~2.0	每噸成品 60~80 m ³ /h
b. 鏈碎機	5~15	每噸成品 80~100 m ³ /h
c. 衝碎機	10~20	每噸成品 150~200 m ³ /h
d. 振篩機	5~20	每平方米 500~1200 m ³ /h
e. 提運機	<1 m/s >1 m/s	每平方米機殼之截面積 2000 m ³ /h 每平方米機殼之截面積 2800 m ³ /h
f. 帶運機之轉運點	5~20	
寬度 600~800 mm		進料端出料端各為 1500~2400 m ³ /h
寬度 1000~1200 mm		進料端出料端各為 2100~3000 m ³ /h
寬度 1400~1600 mm		進料端出料端各為 2400~3600 m ³ /h

g. 滑運機	30—50	每平方米吹氣面積 $120 \text{ m}^3/\text{h}$ $\times 120\%$ (冷料) $\times 130\%$ (熱料)
h. 空氣輸送機	150—200	輸送空氣 $\times 200\%$ $\times 150\%$ $\times 300—500\%$
i. 圓庫設備	5—15	同空氣輸送機 飼料量 $\text{m}^3/\text{h} \times 3.5$
j. 攪拌儲庫	5—15	吹氣量 $\text{m}^3/\text{h} \times 130\% \sim 140\%$
k. 水泥熟料卸料設備	10—60	$\sim 3500 \text{ m}^3/\text{h}$ 與卸料設備及方式有關 $\sim 3500 \text{ m}^3/\text{h}$ $10000 \text{ m}^3/\text{h}$
l. 水泥包裝機	5—30	每管 $2000 \text{ m}^3/\text{h}$
m. 水泥袋清理機	2—5	$2000 \sim 3000 \text{ m}^3/\text{h}$
n. 傾卸車(入進料斗)	5—20	每平方米開口面積 $1800 \sim 2000 \text{ m}^3/\text{h}$ 或 $720 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^3 \times \text{卸料體積} (\text{m}^3)$
o. 水泥儲槽	5—15	$3 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^3 \times \text{儲槽體積} (\text{m}^3)$

(三)空氣污染防治之效益

1. 排塵量佔產量比與年代之關係

因近代防治污染設備之大幅進步，配合水泥業對公害之深刻認識，加上新設備皆走向能源回收及工廠佈置集中化，設備大型化操作自動化，致使排塵量佔產量之比例有愈來愈低之趨勢，其百分比與年代之關係如下：

年份	排塵量佔產量之百分比
1939	6—8 %
1950	4—5 %
1955	1.5 %
1975	<0.1 %

2. 空氣污染防治之直接與間接之效益

在空氣污染立法日益嚴格之要求下，因提高收塵機效率所回收之產品價格與付出於改善收塵機之投資，已漸不成比例。雖然直接效益日趨變小，但其間接效益之重要性已不容忽視。其直接及間接之效益分別為：

2.1 直接效益：

回收在排塵氣體中之有價粉料，減少物料損失。

2.2 間接效益：

- 保護公共環境，防止公害；
- 維護從業人員健康，改善工作環境以提高工作效率；
- 減低機器維護成本及廠區清潔費用；
- 減少與外界磨擦並確保工廠能正常營運；
- 避免衛生單位告發，節省因排塵超量所付出之罰金；
- 建立水泥界重視環境保護工作之新形象。

四 有效收塵系統之三要素

1. 捕捉完全：

- 護罩需根據粉塵發生源之性質，作最適當之設計；
- 捕捉風速及收塵點之選擇需恰當；
- 排氣量需適中，太大時排風機之容量需提高，形成能源浪費，但風量不足時粉塵易外洩。

2. 輸送確實：

- 保持適當之風速，太高時系統壓損增大，排風機馬力勢必提高，太小則粉塵有沉澱之虞；
- 風管為避免沉澱，與水平之角度通常上昇管需在 60° 以上，下降管亦需 45° 以上，並避免使用水平管。若非得已，在含塵濃度約 50 g/m^3 時，風速方定為 22 m/sec 以上，但含塵濃度再高時，風速亦應相對提高，水泥廠最高有 35 m/sec 左右之實例；
- 若處理磨耗性大之粉塵在彎管或分歧管處應加耐磨材料或其他防磨措施；
- 設計風管管徑時需利用 equivalent fect 或 dynamic pressure 之方法確實計算，以求有效，顧及各收塵點；
- 在各收塵點應加裝調節閥，以利調節風量；
- 處理潮溼空氣時，風管需加以保溫，以防其溫度低過露點發生結皮現象。必要時還需加熱或其他敲振裝置；
- 管道應確實防止不合理之漏氣，以免影響全系統之性能。

3. 有效收集：

- 依使用狀況之不同，需選用適用型式及適當大小之收塵設備；
- 若收塵點太多宜分數個小收塵機分別處理適量之收塵點，避免使用高壓損之長風管，以免造成能源損失；

- 收塵機之容量應足以處理最差條件之排氣，如操作條件有大幅變動時，必要時收塵機應予調整其大小；
- 收塵機應予適當之維護及保養，以維持其應有之性能；
- 選擇收塵機型式及大小應考慮下列影響因子

影 響 因 子	旋 風 筒	袋 式 收 嘉 機	靜 電 收 嘉 機
a. 處理風量	○	○	○
b. 含塵氣體溫度	○	○	○
c. 期望收塵效率	○	○	○
d. 粉塵粒徑分布	○	○	○
e. 粉塵似比重	○	○	○
f. 氣體動力黏度	○	△	×
g. 氣體密度	○	△	×
h. 機殼之比例及形狀	○	△	△
i. 粉塵磨耗性	○	○	×
j. 排氣及粉塵含水量	○	○	○
k. 粉塵種類	○	○	○
l. 氣體及粉塵化學組成	×	△	○
m. 粉塵負載	○	○	○
n. 敲振及清灰性能	×	○	○
o. 氣流分布及風速	△	△	○
p. 灰塵比電阻	×	×	○
q. 灰塵黏滯性質	×	×	○
r. 極線及極板形狀	×	×	○
s. 電場強度	×	×	○
t. 極間電壓及電流	×	×	○

註：記號 ○—關係密切

△—有關係

×—無關係

(b) 水泥廠常用氣體粉塵分離機之種類

1. 依用途分類：

- 1.1 使用於生產製程中，用於處理含塵氣體之集料設備：例如研磨系統，懸浮式預熱機，空氣輸送設備等處之分離機，通常使用慣力式，但有時亦採用靜電式或袋式者。

1.2 使用於排放氣體之收塵設備：通常使用靜電式，袋式或 Gravel Bed，其中袋式者普遍分佈於全廠各處居多數。

2. 依構造分類：

2.1 慣力式分離機 (Inertia-Force Separators)

- a. 具垂直氣流之沉積室 (counter-current gravity separators)
- b. 具水平氣流之沉積室 (cross-current gravity separators)
- c. 慢性分離機 (inertial separator)
- d. 旋風筒分離機 (cyclone separators)
 - 單組旋風筒 (individual cyclone)
 - 複管旋風筒 (multiple cyclone)
 - 多管旋風筒 (multi-cyclones)

2.2 袋式收塵機 (Bag Type Separators)

以敲振方法分類，有下列型式：

- a. 機械式敲振：
 - rapping 或 knocking：敲振效果良好，但收塵袋壽命較短，機件維護不易。
 - vibration：以電磁或氣動之震動馬達，造成濾袋之垂直振動，因造價偏高對某些粉塵效果差，水泥工業較少採用。
 - oscillation：以齒輪馬達帶動偏心輪使收塵袋搖擺，此型廣為水泥界採用。
- b. 空氣逆洗／搖振式敲振：
 - blowing nozzle：以移動之噴嘴吹除濾袋上粉塵。
 - reverse air scavenging：以反向氣流造成濾布振動，適用於不能採機械式振動者，或含塵濃度較低者。
- c. 脈衝式 (Pulse Jet)
 - 傳統脈衝式：使用壓縮空氣在 5~7 bar 間，全靠噴入氣體清洗，故消耗馬力甚大；
 - 具文式管高壓脈衝式：使用縮壓空氣亦在 5~7 bar，但伴吸 6~7 倍之二次空氣，唯因文式管壓損甚大，但超過 3 m 以上之濾袋，效果即不良好；
 - Plenum Pulse：將收塵機分為若干室，一室用單一大文式管，及壓縮空氣噴嘴，故可省却內部大量配件，降低維護成本；
 - 具文式管低壓脈衝式：使用縮空壓力在 1~2 bar，二次空氣為噴入氣體之 1~2 倍，優良之設計其脈衝力量可達 6~7 m。

2.3 碾床式收塵機 (Gravel Bed Filter)

2.4 靜電式收塵機 (Electrostatic Precipitators)

a. 依氣流方向分類：

- 水平氣流式
- 垂直氣流式

b. 依極線懸掛裝置分類

- 穩架式 (rigid type)

——自重式 (weighted type)

c. 依放電方式分類：

——單段式 (single stage type)

——雙段式 (two stage type)

(六) 袋式收塵機

1. 用途：

袋式收塵機廣泛地運用於管磨、豎磨乾燥機、軋碎機、篩選設備，物料輸送設備、圓庫儲槽、包裝散裝室等排氣之收塵。若加裝冷卻設備，袋式收塵機亦可應用於旋窯排氣及冷卻機排氣之收塵。

2. 收塵原理：

——攔截 (interception)：以濾布之纖維作為過濾煤體；

——慣性 (inertia)：當氣體流經纖維時，粉塵撞擊並沉澱於濾布上；

——擴散 (diffusion)：粒徑小之粉塵經擴散作用落於濾布上；

——電場 (electrical force)：因靜電而電粉塵留帶於濾布上；

3. 收塵效率 (η_{ov}) = $\frac{1 - P_o}{P_o} \cdot \frac{4}{\pi} \cdot \frac{L}{d_f}$

$$\eta_{ov} = 1 - e$$

η_{ov} ：總收集效率。

P_o ：空隙率即空隙體積／濾布體積比 (cm^3/cm^3)

L：濾布厚度 (m)

d_f ：纖維直徑 (m)

因此選用較低之透氣率，較高單位面積重量，較厚之濾布較細之纖維可以獲致較佳之收塵率效率。

4. 壓力損失：

4.1 濾布壓損 (ΔP_F)

$$\Delta P_F = K \cdot W_o \cdot \rho \cdot \nu \cdot L$$

K：濾布常數

W_o ：氣流進入濾布之速度 (m/sec)

ρ ：氣流密度 (kg/m^3)

ν ：氣體動黏度 (m^2/sec)

L：濾布厚度 (m)

4.2 機體壓損 (ΔP_G)

$$\Delta P_G = \zeta_F \cdot \frac{\rho}{2} \cdot W_1^2$$

ζ_F ：阻抗係數

ρ ：氣體密度 (kg/m^3)

W_1 ：氣流進入機體速度 (m/sec)

通常袋式收塵機之壓損約在 8~70 mbar 間，若加上管道損失，排風機之靜壓約為 20 mbar~50 mbar 左右。

5. 濾布之種類：

——織布：由經緯交織成長方網，又分平織，斜紋織及緞織三種；

——非織布：由編織針氈或以黏劑補強製成，此種布料空隙較均勻並可得較佳效率及較低壓損；

——濾布之參考特：

布 料	單 位 重 量 (g/m ²)	厚 度 (mm)	透 氣 沂 m ³ /m ² .h
Wollen and Mixed Fabrics	300—400	1.5—2.2	2700—2100
	400—480	2.2—2.7	2100—1800
	480—550	2.7—3.3	1800—1500
	550—650	3.3—4.0	1500—900
Cotton Fabrics	100—200	0.5—1.2	1500
	200—300	1.2—1.7	1500—900
	300—400	1.7—2.5	900—600
	400—500	2.5—3.5	600—300
Man-Made Fibre Fabrics (polyester, poly acrylonitrile)	180—250	0.3—1.0	2100—1800
	250—330	0.8—1.5	1800—1500
	330—400	1.3—2.2	1500—900
	400—500	1.9—3.0	900—600
Needle Felts (man-made fibres)	250—400		3600—1800
	300—500		3000—1800
	400—550	2—3.5	2400—900
	500—650		1200—360

6. 濾布特殊處理方法：

——加熱固定 (heat setting)，使其形狀及尺寸穩定；

——防水份、防火、防塵及防蟲處理；

——導電金屬纖維與織物纖維混紡，以防止靜電積存，防靜電織物之比電阻通常在 $5.0 \times 10^8 \Omega\text{-cm}$ 至 $1.0 \times 10^{18} \Omega\text{-cm}$ 間；

——矽化物，石墨或 PTFE (Polytetrafluoroethylene) 處理，以改善機械強度及清塵性質。

7. 織布之物理性質：

濾布型式	自然纖維	人工纖維						玻璃纖維
a. 化學成份	Keratin	Cel-lulose	Polyamide	Polyamide aromat	Polyacryl- onitrile	Polyester	Polytetra- fluoro ethylene	Silicate
b. 商品名稱	Wool	cotton	Nylon Perlon	Nomex	Dralont	Diolen Trevira	Teflon	glass fabirt
c. 密度 (g/cm ³)	1.32	1.54	1.15	1.38	1.15	1.38	2.1	2.5—2.7
d. 撕裂強度 (g/den)	2.5—5	1—2	4—6	5.5	3.1—3.5	4—7	1.6	7—12
e. 伸長率 (%)	25—35	7—10	25—45	20—25	15—30	10—20	18—75	2—5
f. 水份吸收率 (%)	10—15	8—9	4—45	2.5—5	1—1.5	0.3—0.4	0	0
g. 含水容量 (%)	50—70	50—80	10—15	0	8—12	2—5	0	0
h. 熔點 (°C)	>130	>200	250—215	375	>300	250—260	>275	>850
i. 耐溫限 (°C)	上 下 限	80—90	75—85	75—85	190—200	125—135	130—140	200—220
	連 繢 限	100	95	95	220	140	160	250
j. 比電阻 (Ω·cm)	5×10^8	7×10^6	4×10^{10} -4.9×10^9	10^{11} -8×10^{13}	5×10^8	10^8	10^{18}	10^{15}

8. 水泥工業常用濾布之材質：

選用濾布時除應針對處理之氣體及粉塵之物理及化學性質外，尚需兼顧初置及維護之成本作成最佳之選擇，下列為常用材質之適用條件：

- Polyester：適用於乾燥且溫度不高之含塵熱氣體；
- Polyacrylonitrile：適用於潮濕且溫度不高之含塵熱氣體，如研磨／乾燥系統；
- Polyamide (Nylon, Perlon)：使用於含塵冷空氣且帶有磨耗性大之粉塵；
- Cotton：價廉，適用於含熱冷空氣，但粉塵磨耗性較低者；
- Wool：具良好捕塵作用，惟怕潮且不耐溫；
- Nomex：價昂，但可使用於高溫含塵氣體；
- Teflon & Glass Fibres：僅限使用於高溫氣體中，價格十分最貴。

9. 選用適當濾布材質及氣布比 (Air-to-cloth Ratio) 之考選因素

因氣布比之選擇會影響收塵機之排塵濃度，壓力損失，收塵袋之壽命及維護工作之難易，通常應考慮：

- 含塵氣體之水份含量；
- 含塵氣體之溫度；
- 粉塵之物理及化學性質；
- 收塵機濾袋之形狀；
- 清洗或敲震濾袋之方法；
- 含塵氣體之含塵量；

- 除塵面在濾袋內面或外面；
- 製設收塵機之空間；
- 除塵效率；
- 粉塵之粒度分布。

10. 一般氣布比參考值

應用場所	粉塵型式	溫度(°C)	氣布比 (m³/m².h)	
			機械式	脈衝式
a. 原料粉碎篩選儲運	石灰石黏土等	<30	100—120	180—200
b. 生料研磨／乾燥	生料	70—130	60—80	120—140
c. 煤磨系統				
一原煤儲運	煤粉	20—30	60—80	120—180
一原煤軋碎	煤粉	30—50	50—90	100—150
一原煤乾燥	煤粉	85—100	40—50	90—120
一研磨／乾燥（具預集塵機）	煤粉	85—100	50 max	110 max
一研磨乾燥（無預集塵機）	煤粉	85—100	40 max	95 max
一煤粉櫃	煤粉	20—50	55—65	110—140
一飼煤設備	煤粉	20—50	50—60	100—130
d. 生料儲運飼料	生料	<50	90—110	150—180
e. 爐搭式冷卻機	熟料	<140	60—80	120—140
f. 熟料儲運飼料	熟料	<70	80—100	120—140
g. 水泥磨	水泥	70—110		
一無助磨劑			80—100	120—140
一有助磨劑			60—80	100—120
h. 水泥儲運	水泥	<70	80—100	120—140
i. 包裝及散裝	水泥	<50	90—110	150—180

上表之氣布比值僅為參考值，實際上因每一水泥廠其設備，排氣、粉塵，溫度含塵量，除塵效率，收塵機等條件不盡相同，故必需做必要之修正及計算。一般設計目標，大約要求濾布在正常運轉下，至少有 10,000 小時之壽命。

(七) 電靜收塵機 (EP)

1. 用途：

1. 因 EP 處理溫度較高，濕度較大之含塵氣體，水泥廠中 EP 大都處理：
- 旋窯及預熱機之排氣；

- 生料研磨／乾燥系統之排氣；
- 原料乾燥機之排氣；
- 具噴水裝置之管磨系統之排氣。

2. 集塵原理：

含塵氣體通過帶正負電之極板及極線組時，使粉塵帶正負電荷，而分別被收集於極板及極線上，經敲振裝置敲擊後落入料斗。

3. 收集效率 (η)

根據 Deutsch formula 收集效率 η 為：

$$\eta = 1 - e^{-(w \cdot f)} = 1 - e^{-(\frac{t}{a} \cdot w)} = 1 - e^{-(\frac{L \cdot w}{a \cdot Q})}$$

W：粉塵之源移速度 (migration sped)

f : A/Q = 比率極板面積 (sec/m)

A : 極板面積 (m^3)

Q : 流量 (m^3/sec)

a : 極線及極板距離 (m)

t : L/Q = 在電場中停滯時間 (sec)

L : 在氣流方向極板之總長 (m)

V : 在兩電極間之平均速度 (m/sec)

粉塵漂移速度 (W) 為一用以衡量影響 EP 效比之參考值，其影響之因素計有：

- 粉塵之特性：包括含塵濃度，化學組成，粉塵粒徑分佈，電介系數 (Dielectrical factor)，粉塵表面積，黏著力及凝聚力，比電阻等；
- 電氣之因素：包括電場強度，電極距離，沉積電流，電極設計形狀，電源裝置等；
- 氣體之特質：化學組成， SO_3 及 H_2O 之露點，氣流速度點氣流分佈等；
- 敲震之功能：敲震力之大小，敲震週期等。

4. 氣流速度及漂移速度

水泥工業之 EP 在排塵量低於 0.1 g/Nm³ (乾基) 時之常用氣流速度及漂移速度：

設備型式	平均氣流速度 (m/s)	漂移速度 (m/s)
濕式旋窯	0.9—1.3	0.1—0.13
爐格預熱機式旋窯	0.8—1.2	0.08—0.12
懸浮預熱機式旋窯 (具噴霧塔)	0.8—1.2	0.08—0.12
懸浮預熱機式旋窯 (具廢氣利用設備)	0.6—1.0	0.06—0.10
爐格式冷卻機	0.5—0.8	0.04—0.08
研磨／乾燥設備	0.6—1.2	0.06—0.12
乾燥機	0.6—1.2	0.06—0.12
附噴水設備之水泥磨	0.6—1.2	0.06—0.10

5. 電極之形狀

- 極線：具直線、螺旋線、星形、鋸齒、魚骨、釘狀等；

——極板：具平板，及特殊形狀。主要為增進敲振效果並避免 Re-entrainment。

6. 電極之材料

通常屬鋼材，但為避免腐蝕亦有採用鋁製及耐蝕鋼板等特殊材料。

7. 電極之極距

普通為 125~250 mm，目前 EP 之製造廠商有日漸提高之趨勢。

8. 電源供應裝置

通常包括——Step-up 變壓器，整流器及電壓調節裝置可保持 EP 運轉電壓稍低於發生跳火 (Flash Over) 電壓以保持最高效率。由電源供應裝置之電流電壓可以大概診斷 EP 之運轉情形：

——高電壓低電流表示氣流之操作溫度太高；

——增加氣體濕度會增加電壓電流；

——增加含塵濃度會增加電壓減低電流；

——降低粉塵粒徑會增加電壓減低電流；

——增高流體速度會增加電壓減低電流；

——漏氣會導致局部跳火，減低電流；

——由於積灰而短路會增加電流降低電壓；

——變壓器短路會顯示電壓，高電流；

——變壓器二次端損壞，會顯示無電流，高電壓；

——某極線斷裂會顯示間斷性短跳，電流電壓會呈週期性變化。

(八) 水泥廠各系統所使用收塵設備之特性

1. 原料軋碎系統：

——軋碎設備之收塵風量與原料之含水量有密切之關係；含水量較高時，收塵風量可望降低，通常其含水量高達 8 % 時可以不予收塵；

——收塵風量與使用軋碎機之種類有關，以顎碎機、錐碎機及 Gyratory Crusher 最低，筒碎機次之，鏈碎機及衝碎機最高；

——若使用非脈衝式之袋式收塵機時，因考慮其粉塵粒徑較粗並具磨耗性，故以加裝旋風筒為預集器為宜；

——因原料粗碎之粒徑較粗，在人烟稀少之礦區若不嚴格要求排塵量，可採用旋風筒式，適當設計之旋風筒效率可望達到 70—90% 之間；

——若原料潮濕，排氣系統之操作溫度在低於露點時，水份易凝結於排風管壁，旋風筒內，或收塵袋上而造成風管積料，旋風筒結皮及收塵袋堵塞等弊端。故使用於軋碎系統之收塵設備，應有適當之保溫，必要時尚需加熱；

——若原料水份高至軋碎機不能處理之程度時，通常需通以熱風，使軋碎機兼具軋碎及乾燥之功能。一般袋式收塵機用以處理此種含塵熱氣時，濾布材料應慎重選擇可耐高溫且能抵抗因使用高硫燃料所引起酸化之問題；

——高速鏈碎機在軋碎之同時，本身轉子因高速旋轉亦產生很大之氣流，若按一般法則，則需很大之收塵機方敷使用。惟若有適當之風管設計，可將因軋碎機轉子高速旋轉所產生

之風壓，消耗於特殊設計之循環風管上，則此軋碎機本身之收塵系統，僅需排出因保持系統負壓所吸入之少許 False Air，故含塵氣體之風量可大為減低，除可減小收塵機、風管、排風機之設置費用，尚可節省排風機之電力消耗；

——原料軋碎系統通用收塵設備之機種：

- a. 旋風筒。
- b. 以旋風筒為預集器之傳統機械敲振式袋式收塵機。
- c. 脈衝式袋式收塵機。

2. 原料儲存設備：

- 因儲庫體積龐大，落塵位置不定，通常不設收塵設備；
- 儲庫之建築都採封密式，故粉塵外洩之機會較少；
- 取料設備之控制艙可作局部之排氣，以維護操作人員之健康；因原料儲拌技術進步，近代之堆料機及再取機皆裝備有自動控制之設備，操作人員可由電視中遙控，故無需收塵。
- 設置適宜之噴水設備於進料帶運機上潤濕，可幫助低粉塵飛揚。

3. 原料乾燥系統：

- 若原料如石灰石，黏土等之含水量太高，生料磨無法處理時，原料需在乾燥機中先行通以熱風乾燥，其熱源可以分為旋窯排氣及熱風爐兩種；
- 採用旋轉式乾燥機時，需防止不正常之漏氣，以免增加收塵機之負荷；
- 因熱氣中含有大量水氣成因燃燒而發生之二氧化硫，故需考慮溫度之變化及凝結之顧慮，以防止濾布受損，料斗腐蝕及積料堵料等缺陷；
- 原料乾燥系統收塵設備之選擇：
 - a. 以旋風筒為預集器之傳統敲振式袋式收塵機；
 - b. 脈衝式袋式收塵機；
 - c. 若熱氣來自旋窯排氣，可與旋窯共用同一 EP，若因配置關係而有獨立熱源，在水份很高時以另設 EP 收塵較為恰當。

4. 生料研磨系統：

- 不同之製程及設備所需之排氣量與含塵濃度有很大之差異，其中之風掃磨或豎磨之排氣量及含塵濃度最高，因其出料方式係採用空氣輸送需有一定之輸送速度及料／氣比，若採機械式之提運設備者較低；
- 近代為提高能源之利用生料研磨時皆利用旋窯排氣導入生料磨，一方面用以乾燥生料，一方面用為輸送氣體；
- 若旋窯排氣之熱量不敷生料磨使用時，最好能有再循環風路，以提高能源利用率，並能減少排氣量。（若另加熱源時，收塵機需處理此額外之風量）；
- 生料磨系統常發生排氣不良之問題，主要原因為排氣系統漏氣嚴重，致使系統風阻降低，排風機之工作點與設計點偏移而使產能降低，故排氣管道之設計，裝作安裝需非常謹慎，否則一旦發生漏氣因管道架空且具絕對材料甚難維修，尤其使用高壓系統者，如豎磨者，尤需注意漏氣之間題；
- 在生料磨運轉時，旋窯之廢氣若能充份被使用，其排氣通常適合 EP 處理：但生料磨有

時需停機維護，若將預熱機排氣直接導入 EP，因排氣之溫度偏高而濕度偏低，將造成 EP 效率大幅降低。故一般需另加氣體調節機與生料磨併聯或串聯，即進生料磨停轉時，EP 仍能正常運作。通常氣體調節機可分為：

- 乾燥機（附加噴水裝置）
- 噴霧塔（spray tower）
- 噴霧乾燥機（spray dryer）

以往水泥旋窯產能較小，排氣量有限，通常使用乾燥機與生料磨併聯使用，在生料磨運轉時，可以當作乾燥機，若生料磨停轉時可以在乾燥機內噴水。近代水泥工業漸趨大型化，若選用乾燥機為氣體調節機，將因其尺寸太小，設置成本過高而遭淘汰，宜由噴霧塔取而代之。因空氣污染立法愈趨嚴格，在 EP 要求效比 99 % 以上時，噴霧塔實已為 EP 之一不可分離之附屬設備。良好之噴霧塔裝有高效能之噴霧設備，可使旋窯排氣降至 $130^{\circ}\text{C} \sim 150^{\circ}\text{C}$ 左右，露點提升至 60°C 以上，並可保持塔底無泥漿出現。通常每 Nm^3C 之排氣可蒸發 0.5g 之水，噴霧塔為目前較常被使用之氣體調節機。噴霧乾燥機亦為成功之氣體調節機種之一其出口可裝泥漿泵浦，泥漿可由其 spray nozzle 噴入機內達成降溫調濕之作用，唯其設置及維護成本較噴霧塔為高。

- EP 通常用以處理生料磨系統之排氣。惟某些水泥廠使用袋式者，但通常需設有降溫或調溫設備，並需有足夠之保護裝置，才能使濾袋免予燒毀。因排氣中含大量水氣，為防止結皮，腐蝕及堵袋之弊病，需有足夠之保溫及加熱設備。

5. 生料儲拌系統：

- 收塵機主要處理因攪拌及進出料設備之所吸入之氣體，風量大小需視系統構造而定；
- 若進庫輸送設備為空氣輸送方式，為確保收集機之效率，其收塵風量應予以適當加成；
- 若以空氣輸送生料，為免增加含塵濃度，其收塵點應遠離進料口；
- 假使收塵機僅處理儲庫之排氣，為節省費用可採無料斗式，直接座於庫上；
- 可以兩庫共用一臺收塵機，但兩庫間需有够大之連通管；
- 為避免吸入大氣中之水份及維護圓庫之安全，圓庫需設有壓力調節器，通常設定在 $+150 \text{ mmAg} \sim -300 \text{ mmAg}$ 間，視排氣機之靜壓及空氣輸送設備之壓力而定。
- 通常使用袋式收塵機處理生料儲拌系統之收塵機，為避免濾袋堵塞，以保溫加熱為宜；
- 若風量有限，可以就近抽入 EP 前管道，由 EP 處理，若風量較大，為免影響 EP 性能，仍以分開處理為佳。

6. 熟料燒成系統：

- 熟料燒成系統之排氣分為預熱機排氣及冷卻機排氣兩種。
- 預熱機之排氣大致含旋窯之燃燒氣體，從生料中驅出之二氧化碳及吸入系統中之漏氣，
- 因溫度較高，通常以 EP 處理。因其粉塵之比率電阻甚高，故進入 EP 前需預作處理，在複合作業（compound operation）時熱氣導入生料磨，一方面乾燥生料，一方面熱氣得以降溫調濕。若運轉在直結作業（direct operation）時，需通過與生料磨併聯之氣體調節機，才能使排氣符合 EP 處理之條件。
- 冷卻機之排氣量視其型式而定，衛星式者所有氣體皆進入窯內為燃燒用之二次空氣，而

- 激冷式者因每公斤燃料需吹入 $3\sim3.15 \text{ Nm}^3$ 之冷卻空氣，除部份為窯用二次空氣外，大部份需另設收塵機處理。
- 冷卻機之排氣狀況與旋窯之運轉狀況有密切之關係，旋窯在正常時之排氣溫度通常高達 $300\sim350^\circ\text{C}$ 左右，含塵濃度通常在 $10\sim15 \text{ g/Nm}^3$ 左右其粉塵多屬熟料；但旋窯異常時之排氣溫度可能在 $150^\circ\text{C}\sim250^\circ\text{C}$ 間，含塵濃度較高，其粉塵可能是黃料；
- 以往排放標準較低，冷卻機排氣多以多管旋風筒收塵，其俱耐溫價廉等優點但效率稍低且容易磨損，設計良好者運轉於設計點時效率可達92%左右。在空氣污染立法較嚴之國家已不採用此型收塵機；
- 因濾布材質及溫度控制方面日益進步，袋式收塵機亦有應用於冷卻機之收塵，惟需加昂貴且維護困難之熱交換器，或選用耐高之濾布；
- 設於排放標準較嚴之地區通常使用 EP，因其是耐溫，低壓損及低磨耗等優點，但造價昂貴。因粉塵之比電阻隨成粉塵之性質及氣體之溫度變化甚大，故需慎重 Sizing。若其比電阻偏高，需加裝有效之噴水裝置以提高排氣之露點。
- 礫床式收塵機已漸受重視，經數次改良已成功地用於冷卻機之收塵。其效率不受溫度及粉塵種類之影響，並適合旋窯各種運轉情形，惟因價格偏高，使用者僅限於先進國家。

7. 熟料儲存設備：

- 熟料庫若屬綜合儲庫，因由抓斗起重機輸送搬運熟料或用下料機出料，落塵點甚多，通常無收塵設備，但建築屬封閉型式；
- 較新式之儲庫採用圓庫，收塵主要對象為熟料各式輸送機之轉換點及圓庫內因溫度變化所生之氣流；
- 普通使用袋式收塵機，若有因吸入紅熱熟料粉而燒毀濾袋之虞，濾袋應選用較耐溫之材料。
- 隨圓庫直徑增大，其出料口必隨之增加，最宜使用 Insertable type 之收塵機於每一出料點；若共用一臺收塵機時，往往會受到空間限制，風管安排較為困難，操作亦較繁複。

8. 燃煤系統：

- 因煤粉極易爆燃，為避免發生意外事件，在規劃時應對原煤之來源及其特性充份了解，選擇適當之系統及設備，及設置周全之保護設施。其預防措施分為：

積極方法：

- a. 避免含塵量達到爆燃之臨界值，無可避免時應減少其停留時間；
- b. 使用惰性氣體，切斷氧氣之供應，使其無法燃燒；
- c. 防止火種發生，其方法計有：
 - 在煤層前加裝金屬分離器，以免因磨擦而產生火種；
 - 去除原煤中之破布及木塊，以免因積料而產火悶火囊 (shoulder pocket)；
 - 避免使用會因磨擦而局部發熱之機件；
 - 必要時熱風源需加火花捕捉器 (spark arrestor)；
 - 有效使用電壓控制器，避免 EP 引起跳火現象 (spark over)；
 - 避免煤粉長時間積存或堵料；

——需設足够之接地裝置，避免因靜電而發生火花；
——控制溫度及 CO 之含量在限值以下。

消極方法：

- a. 防爆設計 (explosion-proof) 使設備可耐爆炸且不變形；
- b. 耐爆設計 (explosion-resistant) 使設備在爆炸時會發生容許不變形，但具洩爆孔及洩爆板，或爆炸抑制系統。

——以往煤粉之收塵非常困難，在能源危機前大都採用直接噴火式 (direct firing) 若採用間接噴火式 (indirect firing) 者亦以採用 EP 居多，礮床式者雖有採用但使用狀況並不理想；傳統式之袋式收塵機因屬機械敲震或逆氣清洗，因敲震易引起發熱及火花，逆洗時灌入大量之新鮮空氣，皆有發生爆燃之實例；

——EP 雖可成功地應用於煤粉收塵，但必需沒有良好之電壓控制設備及安全措施，加上價格較為昂貴，故多數新式燃煤系統皆以脈衝式袋式收塵機為主要之收塵設備；

——為防止收塵機發生爆燃，規劃時應注意下列幾點：

- a. 袋式收塵機之大小及型式，除需考慮氣流量、氣溫、含塵量，要求效率等因素外，尚需兼顧其用途及煤粉性質；
- b. 為防止收塵機內部積存煤灰，料斗角度需大於 70° ，內部應無凸緣，補強板及走道；
- c. 若排氣中水份太高，需有足夠之保溫設備及加熱設備，以防止收塵機內發生凝結及積存煤灰；
- d. 若袋式收塵機清潔室及集塵室間隔板經常積灰，應設有壓縮空氣定期清理；
- e. 為防止連續爆炸並適應不同之操作情況，煤磨、乾燥機及飼料系統應有獨立之收塵機；
- f. 為防止靜電而發生火花，內部機件及連接導管均需接地以策安全；
- g. 導爆孔位置應盡量朝向較不危險之方向，並對稱裝設以免使收塵機傾覆；
- h. 使用 EP 在操作穩定前不宜送電，以免發生跳火現象；
- i. 收塵袋之間距應足夠以免濾袋間煤灰架橋，且不宜使用橫式濾袋以防以積存煤灰；
- j. 通常濾布應混紡 5 % 之防靜電之金屬纖維，以消除靜電；
- k. 使用惰氣系統時，收塵機前後應有氣動閥，在必要時開閉以保持惰態。

——在收塵機前若設有預集器時，其收塵效率需高，一般良好設計之旋風筒若排氣之含塵濃度在 $40\sim60\text{g/m}^3$ 以下，對袋式或靜電式收塵機之安全性有相當之助益；若使用惰氣系統時，在正常運作下無充份之氧氣供應，故大多免設預集器，以求系統單純化；

9. 石膏軋碎系統：

——石膏軋碎大都使用衝碎機，使出料小至 25 m 左右，以利磨機進一步研磨；
——收塵設備之考慮與石灰石軋碎系統相同。

10. 水泥研磨系統：

——現代化之水泥磨，其收塵設備大都分為三部份：

- a. 原料進飼系統收塵機，原料包括熟料、石膏、爐渣等添加物；
- b. 研磨系統中之輸送設備及選粉機之排氣；

c. 水泥磨本身之排氣；

前二者採用袋式收塵機，水泥磨本身排氣採用 EP 或袋式收塵機。

——處理水泥磨排氣的收塵機之選擇與水泥系統之冷却方式有重大之關係，通常水泥磨之冷却方式可分為：

a. 小型磨機：

因磨機本體之散熱面積及截面積就與產能相比而言較大，故正常之通風即可帶走研磨熱，有時在磨殼上噴水即可幫助降低水泥溫度。

b. 中型磨機：

需加強制通風，吸入大量空氣至磨內，以排出大量熱量，如溫度仍不能降低，尚需在選粉機通入冷風，或加裝冷卻水輔助冷卻。

c. 大型磨機：

除非通以超量之空氣，否則上述方法，不足以處理大量之研磨熱，故除了通以冷風外，尚需在磨內噴水。在進料溫度低於 85°C 時，可以僅在出料端噴水；若高於 85°C 需在兩端噴水。

——以空氣冷卻之排氣，以袋式收塵機處理較為適合；但若在磨內噴水時，若其噴水量使露點高於 $45\sim50^{\circ}\text{C}$ 以上，應以採用 EP 較為適合，若勉強採用袋式收塵機時，需加設有效之保溫裝置及加熱設備以防止水氣凝結而造成結皮或阻塞等問題；

——有效噴水冷卻，除可降低通風量， $\frac{1}{6}$ 至 $\frac{1}{6}$ 左右，尚可提高研磨效率，如此不但能減小收塵機之尺寸，且可節省排風機及磨機電力之消耗。就長期運轉而言，大型磨機選用 EP 較袋式收塵機有利。小型者因不需噴水，水泥溫度即可符合要求，採用袋式收塵機較為經濟。

11. 水泥儲存系統：

——本設備之特性及收塵設備與生料儲庫大致相同，大都使用袋式收塵機；

——若在庫邊有散裝設備，如收塵風量較大，應單獨設立收塵機處理；如風量小到不宜另設收塵機時，可用一小型風扇，將排氣注入庫內，由庫頂收塵機一併處理；

——水泥庫本身結構需防水良好，否則因圓庫本身為負壓，極易吸入外界濕氣或雨水，造成水泥庫結塊及下料不順等問題。

12. 水泥包裝系統：

——全自動包裝系統已問世，但因價格關係尚未普及，故包裝室為水泥製程中用人工操作的場所之一，為提高工作效率並維護人員健康，收塵設備之能量必需格外充份；

——包裝室之排氣主要來自水泥輸送機械，振篩機及包裝機本身，較考究之設備尚設袋裝水泥用清潔器，破袋檢出裝置，以解決水泥袋破損所引起污染環境之問題；

——包裝系統之收塵機都屬袋式者，如設於室外時仍以保溫為宜。

13. 一般收塵設備：

——為便於測試收塵設備之性能，風管佈置應儘量合理，並預先設置測量孔，以便測量風量、風壓、水份、含氧量、含塵量等；

——測量孔設置之地點必需具代表性，通常需距離上流紊流源 8 倍直徑處，下流紊流源 3 倍

直徑處，並設有平臺以利測成人員安全工作；

——輸送機械之轉運點收塵可用 insertable type 小型脈衝式收塵機，直接座落於塵源上，經吹落了粉塵可直接落入輸送機上，可不必另設輸送設備。

(ii) 水與收塵系統之關係

固然在用濕式法之水泥廠需大量用水，但用乾式窯者水亦是不可缺之媒體。

1. 水在水泥廠之主要功用：

——保護機件安全：如軸承，減速機或其他高溫機件為保護其材料而需要冷水冷卻。
——加熱燃料：使用重油為燃料之工廠，通常設有發生水蒸氣之鍋爐以加熱重油。
——收集灰塵：利用噴出與粉塵同大小的水滴，兩者相撞以消除粉塵飛揚；
——調節氣溫：為調節氣體溫度，通常在乾燥機，生料磨及水泥磨內加裝噴水設備；
——調節濕度：不論生料磨，旋窯及水泥磨若使用 EP 為收塵設備時，若其粉磨比電阻太高，需加以噴水，除降溫外尚有調濕作用，以減少收塵機時；
——增加惰氣：使用風掃磨之惰氣煤磨系統，若為安全起見而不採用再循環氣體時為獲得足夠之輸送空氣，除引進可控制之新鮮空氣外，在原煤含水量較低時，往往加以噴水於磨內以增加惰性氣體量；
——冷卻料溫：為避免因水泥溫度太高而使石膏失水，水泥庫結塊及水泥袋破損，水泥在進庫前需加裝水泥冷卻器，皆是以水為熱交換之媒體；
——清除結皮：以高壓水槍清理預熱機之結皮。

2. 在水泥製程中，如排氣之濕度控制不當將有下列不良之影響：

——袋式收塵機之濾袋易於堵塞；
——使用未作防水處理之 Polyesler 濾袋易發生 hydrolysis 而減短使用壽命；
——管道、料斗及旋風筒等易於結皮或積料；
——噴霧塔或氣體溫度調節機產生泥料；
——收塵機，管道噴霧塔等機殼易腐蝕；
——噴霧不良使降溫調濕之功能不穩，造成收磨機效率減低。

3. 控制排氣中濕度之方法：

——視其使用場所，選用適當之噴水設備；
——保持氣體之運作溫度高於其露點 30°C 以上；
——於適當機件上加裝保溫裝置，避免受外界氣溫變化之干擾；
——必要時通入乾燥熱氣，或另加熱源，使在排氣中之水氣不至於另凝結於設備上。

4. 收塵設備之保溫：

——通常收塵設備若處理之含塵氣體中，因製程之關係而含有大量之水份時，應確實加以保溫，以防凝結現象發生；如處理高水份之軋碎系統、乾燥系統、乾燥系統燒成系統等；
——雖然某些設備之排氣本身不發生水份，但由於吸入高濕度之含塵空氣，若受氣溫之變化，加上外界風雨所引起之熱傳，其運作溫度若低於露點時，亦會引起凝結之問題，故一般需保持運作溫度需高於露點，並需保有足夠之裕留溫度；
——判斷是否需要保溫之近似方法：

假設：

t_2 ：收塵設備之排氣溫度 ($^{\circ}\text{C}$)

t_1 ：收塵設備之進氣溫度 ($^{\circ}\text{C}$)

t_a ：大氣外界溫度 ($^{\circ}\text{C}$)

t_d ：處理氣體之露點 ($^{\circ}\text{C}$)

K ：Overall 熱傳係數 ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}^{\circ}\text{C}$) ($k = hc + hr$)

A ：收塵設備之表面積 (m^2)

C_v ：處理氣體之等容比熱 ($\text{kcal}/\text{m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$)

Q ：處理氣體之流量 (m^3/h)

γ ：處理氣體之密度 (kg/m^3)

$$\text{又 } t_2 = t_a + (t_1 - t_a) e^{- \frac{KA}{C_v Q r}}$$

如 $t_2 < t_d + 30^{\circ}\text{C}$ 時，為安全計此收塵機應予保溫。

——如情況許可，水泥工廠之收塵設備應全予保溫，除防止凝結之優點外，尚有下列益處：

- 經常保持正常之溫度梯度，故操作條件較為穩定；
- 收塵設備中之管道，或機殼較不易受天候影響，引起不正常之應力而發生變形或破裂；
- 經良好保溫之管道中，其設計風速可較低，即系統壓損亦較小，但仍不致發生堵塞及結皮等現象。

(II) 袋式收塵機 (BF) 與靜電收塵機 (EP) 之比較

1. BF 與 EP 之優劣點

BF 與 EP 為水泥工業最常用的收塵設備，選擇時需配合收塵設備之性能，排氣物理及化學性質，並需考慮初置成本，維護費用，電力消耗及人員素質等問題，綜合評估，才能選擇出最理想之收塵設備。茲比較兩者優劣如下：

- 收塵效率：如同屬設計，製作及安裝良好之收塵機，兩者效率不分軒輊。
- 機體尺寸與收塵效率之關係：EP 尺寸增率隨其效率提高而變大，如效率由 99% 提高至 99.9% 時，EP 之尺寸就可能增加一倍，而 BF 之增率較小。
- 排氣量與效率之關係：排氣量增加時，兩者之效率以 BF 之影響較小；但 BF 濾布壽命會減短。
- 含塵量與效率之關係：含塵量增加時，EP 之效率較 BF 者為大；但 BF 之濾布較易磨損。
- 氣流分布要求之均勻之程度：EP 對氣流分布之要求較為嚴格，往往需作雛形機模擬，或在試車時校測調整；BF 要求程度較低。
- 排氣濕度：粉塵之比電阻與 EP 之效率有密切關係，只要不造成腐蝕及泥漿之條件下，EP 較適合處理濕度較高之氣體；處理較濕之排氣，BF 需用特殊濾布保溫或其他加熱設備，然而其濕度仍不及 EP 高。
- 排氣溫度：EP 因屬金屬製品，可選用適當材質及結構設計製成高溫 (400°C) 或低溫

- (100°C) EP，較不受排氣溫度限制；BF 之耐溫程度需視濾布材質而定，因耐高溫之濾布價格昂貴，通常需另加溫度調節設備以資保護，以減低成本負擔。
- 運轉初期排塵量：在開窯初期因為燃燒仍不穩定，為安全計 EP 通常不予送電，開磨初期因溫度低無法噴水，EP 之效果皆較差，故在初期運轉時 EP 之排塵量較難控制；BF 濾塵原理屬機械式，開機時期之效率較不受影響。
- 設置成本：通常小型或超高效率之收塵機，使用 EP 較 BF 為昂貴。
- 維護成本：EP 較不需維護，但工作人員之素質要求較 BF 者為高。
- 電力消耗：EP 之壓損約為 BF 之 $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{8}$ ，除非要求超高效率，增加 EP 電源供應設備之電量，否則電力消耗比 BF 系統者為低。
- 安裝技術：EP 之性能與安裝之良劣有很密切之關係；而 BF 安裝所需之技術層次較不嚴格。
- 爆燃可能性：因兩者為煤粉／氣體比大都在臨界值，皆有爆燃之可能，但 EP 本身因有跳火之可能性，故較危險。
- 機件再使用性：若有良好洩爆裝置，雖發生爆燃，EP 之機件不易損毀；BF 超溫或爆燃時，濾布易於毀損。

2.一般選擇原則

- EP：適用於較高之操作溫度及露點溫度，較低之粉塵比電阻，進氣狀況較為穩定之大型收塵機。
- BF：適用於溫度較低，排氣較乾燥之中小型收塵機。若粉塵比電阻太高又無法用經濟之方法 conditioning 時，大型機之排氣亦以用 BF 為宜。

(二)結語

為使污染防治設備發揮其應有之效果，首先應充份了解製程特性，包括塵氣之物理化學性質，選擇適當之設備，從規劃、設計、製作、安裝及試車每一環節皆需面面俱到。我國以往之收塵設備大都屬進口，經近年來國內製造廠家之努力，在袋式收塵機及靜電收塵機之製造技術發展上，已經稍有初步之基礎，為使國內污染防治之技術生根，尚需有下列之條件配合：

- 污染防治主管機關：
配合環境保護之需求，考慮業者財力之負擔及製造廠家之設計製造能力，訂立一合理漸進之管制尺度；
- 水泥製造工業：
除日常應注意收塵設備之維護與保養外，尚需將現場使用收塵設備之經驗及缺點，回饋於製造廠商以利改進，並樂於採用國產機器；
- 污染防治學者專家：
國內收塵設備之設計能力，大都停留在抄襲之階段，一般廠商因囿於財力及物力之限制，難有研究發展之能力。故若學術界若能與製造廠商合作，將理論與實際結合共同發展防治污染技術；
- 製造廠家：
應注重研究發展，並提高設計及製作之水準，降低成本，使業者樂於採用。

參 考 資 料

1. Milton N. Kraus: Baghouse, selection, Specifying and Testing Industrial dust collectors-Chemical Engineering Apr. 23,1979.
2. H. Dietrich Offingen: Filtermedien für Filternde Abscheider-ZKG Nr 10/1981.
3. Fu-Zen Lu: Spray Tower's Important Dust Filtering role-World Cement March 1983.
4. Fu-Zen Lu: Cooling-Dedusting, Prime Considerations in Clinker Grining System.
6. 呂福仁燃煤設備之規劃設計及操作問題——中技社第三次化工技術經驗交流研討會資料
◦
7. Duda. W. H.: Cement Data-Book, 2nd edition.
8. Labahn/Koblhaas: Cement Engineers Handbook 4th edion.
9. H. Dietrich: Eigenschaften und eignung von faserstoffen für Filter.-ZKG Nr7/1978.
10. G. Funke: Standzeit von Filterstoffen in Zementwerleen-ZKG Nr 4/1980