

通風改善實務

講師：張簡振銘

1. 曾任行政院勞工委員會北區勞動檢所
職業衛生組長
2. 工礦衛生技師
3. 化學工程技師

1

上課大綱

- 壹、通風換氣用途及法令規定
- 貳、通風換氣裝置設置注意事項
- 參、通風換氣裝置維護及檢查

2

壹、通風換氣用途及法令規定

3

一、通風之用途

- 一、維持作業場所之舒適：控制舒適溫度(冬季：16至20℃；夏季：19至22℃)及舒適之濕度)，舒適之濕度一般在40～70%，不同溫度下有不同舒適之濕度，在溫度高之場合，濕度應較低。
- 二、排除作業場所空氣中之有害物質：有害物質在發散之前，利用抽氣設備予以處理排除，以避免有害物質或具危險性物質等擴散或散布於作業環境中。
- 三、稀釋作業產生之有害物質：有害物質尚未到達作業者呼吸域前，利用未被污染之空氣加以稀釋，以降低有害物質之濃度。

- 四、防止火災或爆炸事故之發生：控制易燃液體或可燃性粉塵之氣體雲、蒸氣雲或含粉塵空氣之濃度在其最低能夠引起火災或爆炸之濃度之30%以下。
- 五、維持作業場所空氣之良好品質：氧氣含量之保證、無塵室等特殊作業場所品質之要求。
- 六、供給補充之新鮮空氣：中央空調冷卻方式之作業場所應導入足量之新鮮空氣以維持空氣之清新。
- 七、其他：為排除作業勞工新陳代謝過程中所排除之臭味、吸煙等產生之煙塵或煙霧等，

二、通風法規規定

職業安全衛生設施規則第311條

雇主對於勞工經常作業之室內作業場所，其窗戶及其他開口部分等可直接與大氣相通之開口部分面積，應為地板面積之二十分之一以上。但設置具有充分換氣能力之機械通風設備者，不在此限。

雇主對於前項室內作業場所之氣溫在攝氏十度以下換氣時，不得使勞工暴露於每秒一公尺以上之氣流中。

職業安全衛生設施規則第312條

雇主對於勞工工作場所應使空氣充分流通，

必要時，應依下列規定以機械通風設備換氣：

一、應足以調節新鮮空氣、溫度及降低有害物濃度。

二、其換氣標準如下：

工作場所每一勞工所佔之體積(m ³ /人)	每分鐘每一勞工所需之新鮮空氣之立方公尺數(m ³ /人、分)
<5.7	0.6
5.7~14.2	0.4
14.2~28.3	0.3
>28.3	0.14

計算範例

Q: 有一廠房30M×20M×5M，內有200位勞工作業，使用機械換氣，其換氣能力至少應如何？

ANS：

$$\begin{aligned}\text{每位勞工所佔空間} &= (30\text{M} \times 20\text{M} \times 4\text{M}) \div 200 \\ &= 12\text{M}^2/\text{min}\end{aligned}$$

本廠房機械換氣量(最低值)

$$= 0.4\text{M}^2/\text{min} \times 200 = 80\text{M}^2/\text{min}$$

備註：廠房高度最高取4米計

職業安全衛生設施規則第292條

雇主對於有害氣體、蒸氣、粉塵等作業場所，應依下列規定辦理：

- 一、工作場所內發散有害氣體、蒸氣、粉塵時，應視其性質，採取密閉設備、局部排氣裝置、整體換氣裝置或以其他方法導入新鮮空氣等適當措施，使其不超過勞工作業場所容許暴露標準之規定。勞工有發生中毒之虞者，應停止作業並採取緊急措施。
- 二、勞工暴露於有害氣體、蒸氣、粉塵等之作業時，其空氣中濃度超過八小時日時量平均容許濃度、短時間時量平均容許濃度或最高容許濃度者，應改善其作業方法、縮短工作時間或採取其他保護措施。
- 三、有害物工作場所，應依有機溶劑、鉛、四烷基鉛、粉塵及特定化學物質等有害物危害預防法規之規定，設置通風設備，並使其有效運轉。

9

職業安全衛生設施規則第177條

雇主對於作業場所所有易燃液體之蒸氣、可燃性氣體或爆燃性粉塵以外之可燃性粉塵滯留，而有爆炸、火災之虞者，應依危險特性採取通風、換氣、除塵等措施外，並依下列規定辦理：

- 一、指定專人對於前述蒸氣、氣體之濃度，於作業前測定之。
- 二、蒸氣或氣體之濃度達爆炸下限值之百分之三十以上時，應即刻使勞工退避至安全場所，並停止使用煙火及其他為點火源之虞之機具，並應加強通風。
- 三、使用之電氣機械、器具或設備，應具有適合於其設置場所危險區域劃分使用之防爆性能構造。

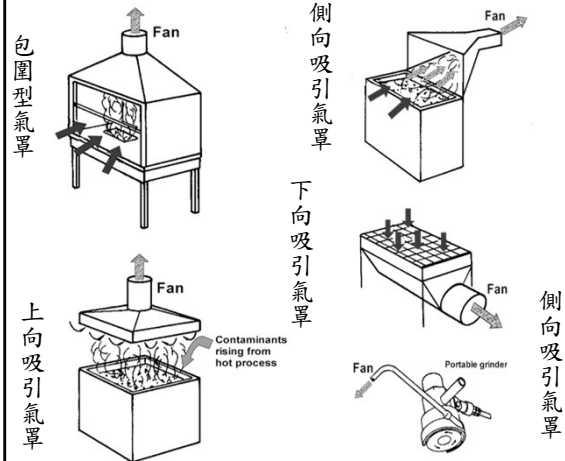
前項第三款所稱電氣機械、器具或設備，係指包括電動機、變壓器、連接裝置、開關、分電盤、配電盤等電流通過之機械、器具或設備及非屬配線或移動電線之其他類似設備。

局部排氣裝置範例

局部排氣氣罩種類：

- 一・包圍型氣罩
(性能最好)
- 二・外裝式氣罩
 - 1・側向吸引
 - 2・下向吸引
 - 3・上向吸引
(性能最差)

註：氣罩之進氣流向不可經人體呼吸道。



儲槽等(局限空間)--通風換氣

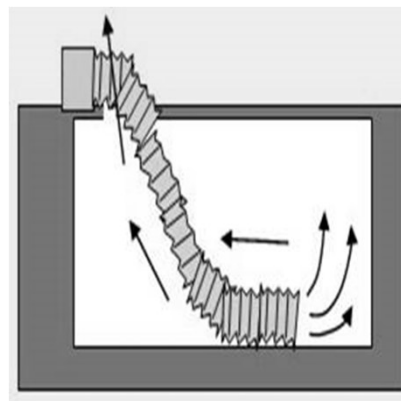
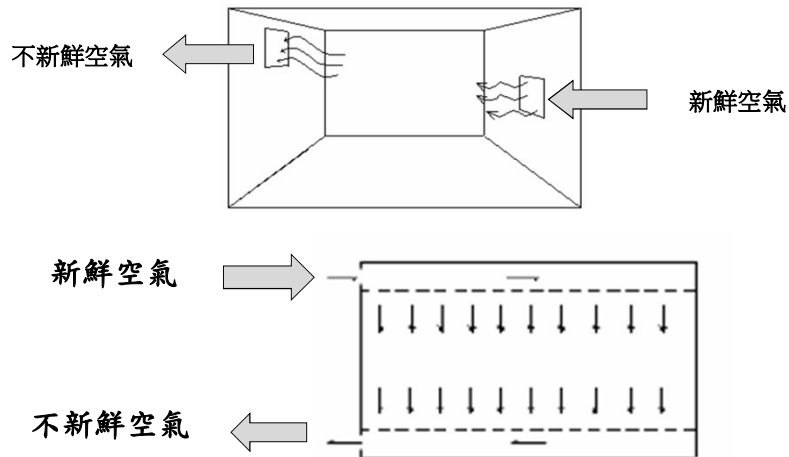


圖1：使用有效之通風設備，並保持對流，導入新鮮空氣。

註：詳細資料請見局限空間缺氧、中毒預防圖說(附件二)

整體換氣範例



職業安全衛生設施規則第303～305條

第 303 條

雇主對於顯著濕熱、寒冷之室內作業場所，對勞工健康有危害之虞者，應設置冷氣、暖氣或採取通風等適當之空氣調節設施。

第 304 條

雇主於室內作業場所設置有發散大量熱源之熔融爐、爐灶時，應設置局部排氣或整體換氣裝置，將熱空氣直接排出室外，或採取隔離、屏障或其他防止勞工熱危害之適當措施。

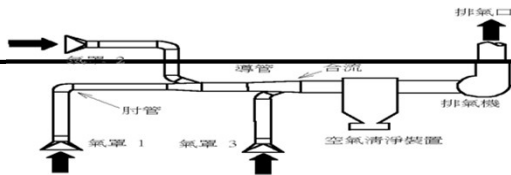
第 305 條

雇主對於已加熱之窯爐，非在適當冷卻後不得使勞工進入其內部從事作業。

有機溶劑中毒預防規則第六條

雇主使勞工於下列規定之作業場所作業，應依下列規定，設置必要之控制設備：

- 一、於室內作業場所或儲槽等之作業場所，從事有關第一種有機溶劑或其混存物之作業，應於各該作業場所設置密閉設備或局部排氣裝置。
- 二、於室內作業場所或儲槽等之作業場所，從事有關第二種有機溶劑或其混存物之作業，應於各該作業場所設置密閉設備、局部排氣裝置或整體換氣裝置。



- 三、於儲槽等之作業場所或通風不充分之室內作業場所，從事有關第三種有機溶劑或其混存物之作業，應於各該作業場所設置密閉設備、局部排氣裝置或整體換氣裝置。

前項控制設備，應依有機溶劑之健康危害分類、散布狀況及使用量等情形，評估風險等級，並依風險等級選擇有效之控制設備。

第一項各款對於從事第二條第十二款及同項第二款、第三款對於以噴布方式從事第二條第四款至第六款、第八款或第九款規定之作業者，不適用之。

有機溶劑中毒預防規則第七條

雇主使勞工以噴布方式於下列各款規定之作業場所，從事各該款有關之有機溶劑作業時，應於各該作業場所設置密閉設備或局部排氣裝置：

- 一、於室內作業場所或儲槽等之作業場所，使用第二種有機溶劑或其混存物從事第二條第四款至第六款、第八款或第九款規定之作業。
- 二、於儲槽等之作業場所或通風不充分之室內作業場所，使用第三種有機溶劑或其混存物從事第二條第四款至第六款、第八款或第九款規定之作業。



有機溶劑中毒預防規則第十四條

雇主設置之局部排氣裝置及吹吸型換氣裝置，應於作業時間內有效運轉，降低空氣中有機溶劑蒸氣濃度至勞工作業場所容許暴露標準以下。

粉塵危害預防標準第六條

雇主為防止特定粉塵發生源之粉塵之發散，應依附表一乙欄所列之每一特定粉塵發生源，分別設置對應同表該欄所列設備之任何之一種或具同等以上性能之設備。

甲欄	乙欄		丙欄
(十一) 以粉狀之礦物等或碳原料為原料或材料物品之製造或加工過程中，將粉狀之礦物等石、碳原料或含有此等之混合物之混入、混合或散布場所之作業。但(十二)、(十三)或(十四)所列之作業除外。	(十) 於室內混合粉狀之礦物等、碳原料及含有此等物質之混入或散布之處所。	(十) 之處所： 1. 設置密閉設備。 2. 設置局部排氣裝置。 3. 維持濕潤狀態。	

有機溶劑中毒預防規則第12條

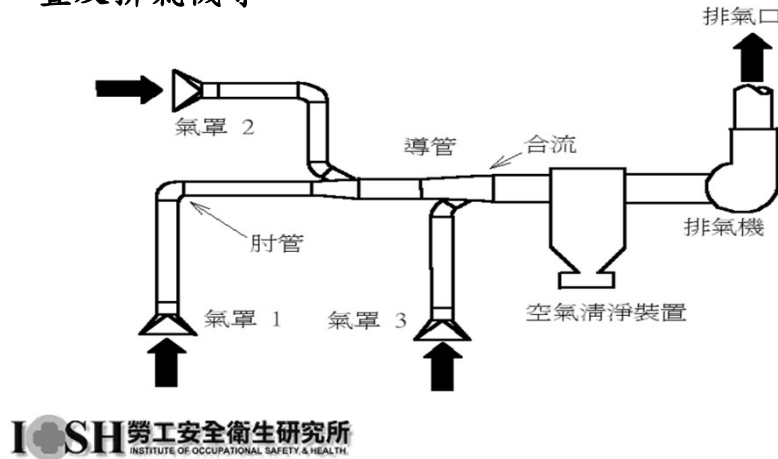
(局部排氣裝置管理)

雇主設置之局部排氣裝置之氣罩及導管，應依下列之規定：

- 一、氣罩應設置於每一有機溶劑蒸氣發生源。
- 二、外裝型氣罩應儘量接近有機溶劑蒸氣發生源。
- 三、氣罩應視作業方法、有機溶劑蒸氣之擴散狀況及有機溶劑之比重等，選擇適於吸引該有機溶劑蒸氣之型式及大小。
- 四、應儘量縮短導管長度、減少彎曲數目，且應於適當處所設置易於清掃之清潔口與測定孔。

局部排氣裝置構造說明

局部排氣裝置之構造包括氣罩、導管、空氣清淨裝置及排氣機等。



有機溶劑中毒預防規則第13條

(通風換氣裝置設置之規定)

雇主設置有空氣清淨裝置之局部排氣裝置，其排氣機應置於空氣清淨裝置後之位置。但不會因所吸引之有機溶劑蒸氣引起爆炸且排氣機無腐蝕之虞時，不在此限。

雇主設置之整體換氣裝置之送風機、排氣機或其導管之開口部，應儘量接近有機溶劑蒸氣發生源。

雇主設置之局部排氣裝置、吹吸型換氣裝置、整體換氣裝置或第十一條第三款第一目之排氣煙囪等之排氣口，應直接向大氣開放。對未設空氣清淨裝置之局部排氣裝置（限設於室內作業場所者）或第十一條第三款第一目之排氣煙囪等設備，應使排出物不致回流至作業場所。

空氣清淨裝置範例



IOSH 勞工安全衛生研究所
INSTITUTE OF OCCUPATIONAL SAFETY & HEALTH

貳、通風換氣裝置設置注意事項

空氣流動(風)

- 任何建築物、作業場所、房間或密閉空間均或多或少的有空氣循環交換，惟此等空氣流動之原因可能為溫度或壓力之不同、設備之操作或人員之移動，抑或排氣機、空氣清淨裝置之使用。
- 空氣在一密閉式之場所或空間之循環流動，均是靠著壓力差而產生驅動能力（Driving Force），使得空氣及其內含之有害物一起流動。
- 空氣流動恆由高壓往低壓的地方流動。

一、通風換氣方式說明

(一)自然通風：

---藉著室內外壓力差產生的風及室內外空氣密度或溫度之不同所產生之上浮力，使空氣經由門、窗、牆、地板、換氣口及其他的開口置換或滲入。

--自然換氣之最大缺失為沒有辦法達到預期之效果。

(二)機械換氣：

- 局部排氣裝置
- 整體換氣



(一)自然通風(屬整體換氣)

1. **風力（風壓）之應用：**將平均風速、風向及風隨季節之變化等納入考量，同時注意人為之設備不得阻礙或改變風之流動，且排氣口應在入氣口之另一方向或排向低壓位置，此等地理位置、潮汐影響、季節特性等之應用，於廠房設計構築時即應加以考量，始能有效換氣。
2. **溫熱上昇氣流或室內外溫度差造成空氣密度不同所產生上浮力之應用：**有效換氣量之大小與熱源熱之產量、入氣口與排氣口之垂直距離、入氣口及排氣口之大小、室內外溫度差等有關。

自然通風(熱對流)

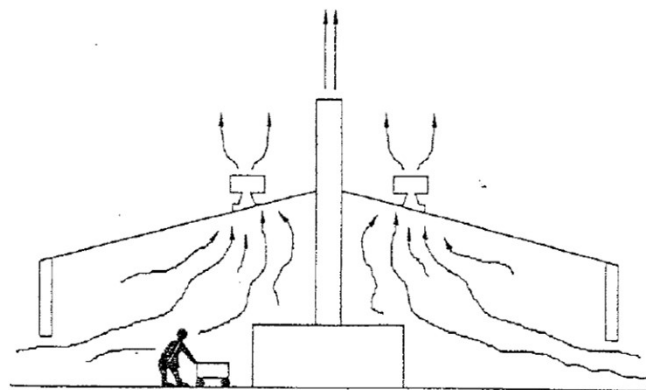
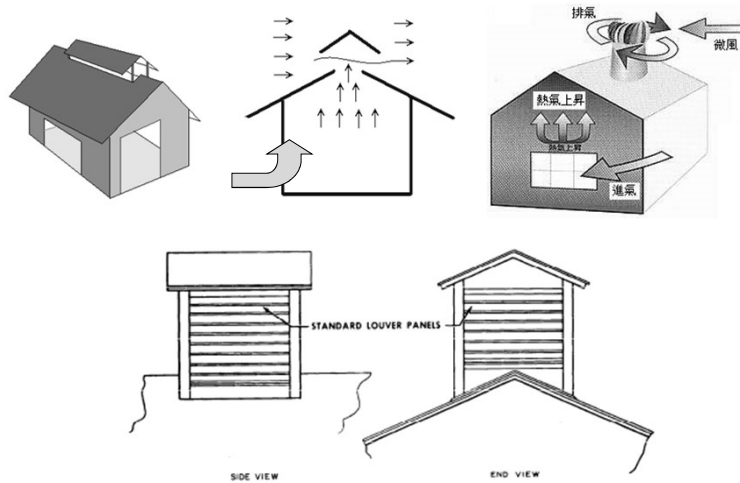


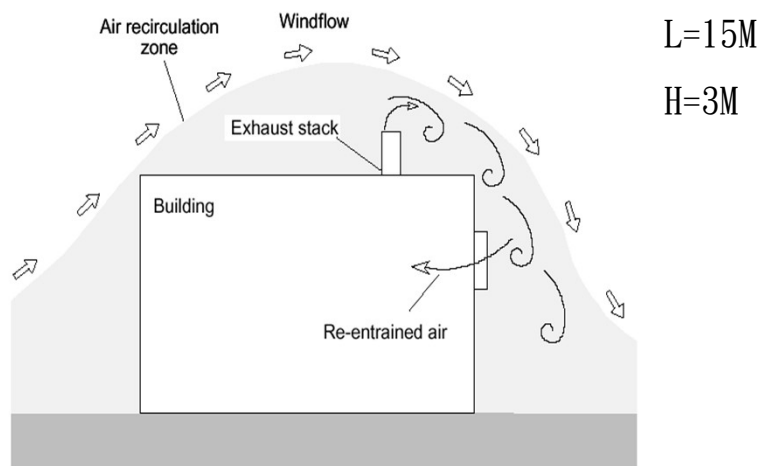
FIGURE 2—8. NATURAL VENTILATION.

自然換氣（熱對流與風力）概念

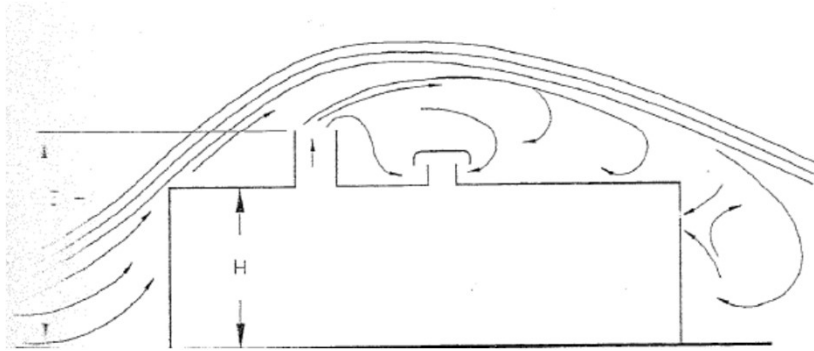


IOSH 勞工安全衛生研究所
INSTITUTE OF OCCUPATIONAL SAFETY & HEALTH

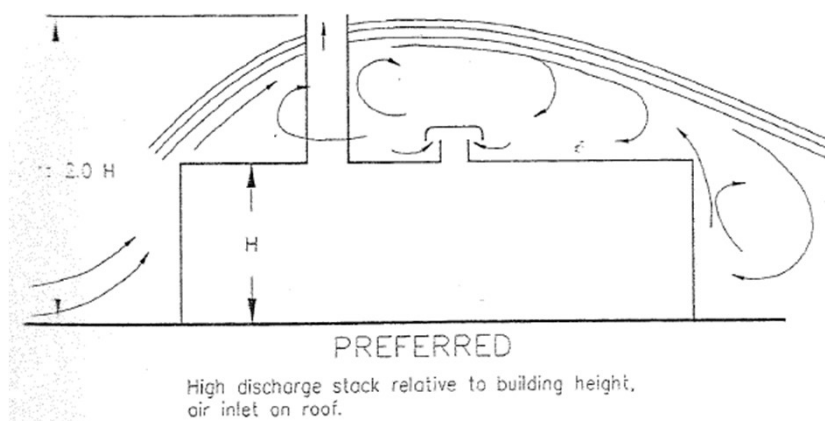
排氣道出口設計錯誤案例



低排氣道出口氣流



高排氣道出口氣流



(二)機械換氣裝置之種類

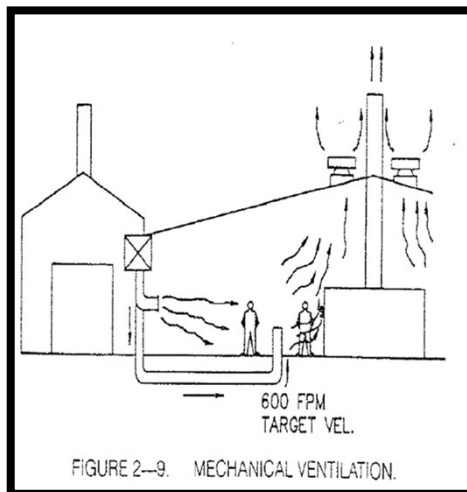
■ 整體換氣裝置：

在含有害物質之空氣未到達勞工呼吸帶之前，利用未被污染之空氣加以稀釋，以降低有害物質之濃度及藉動力稀釋有害物質或具危險性物質。理論上整體換氣裝置不能減低或消除作業場所空氣中有害物質之總量。

■ 局部排氣裝置：

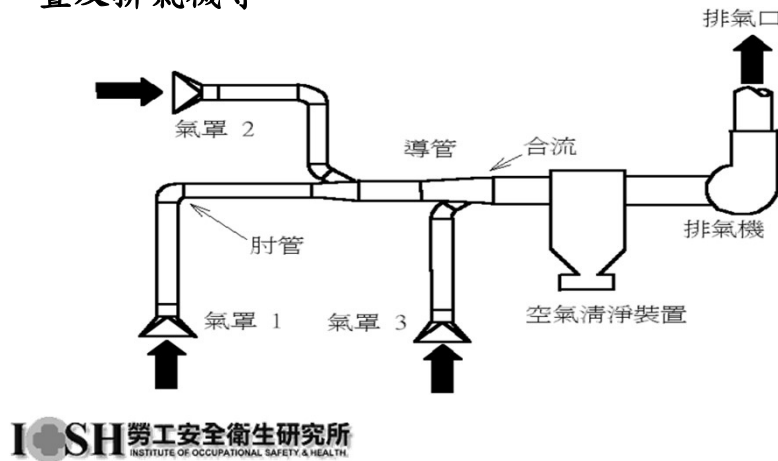
藉動力吸引排出已發散之有害物質或具危險性物質之排氣裝置。局部換氣裝置係在有害物質發生源或附近，將產生之有害物質捕捉並移走，以避免有害物質或具危險性物質散布於作業場所中。

機械通風(整體換氣裝置)



局部排氣裝置構造說明

局部排氣裝置之構造包括氣罩、導管、空氣清淨裝置及排氣機等。



(三)整體換氣裝置使用說明

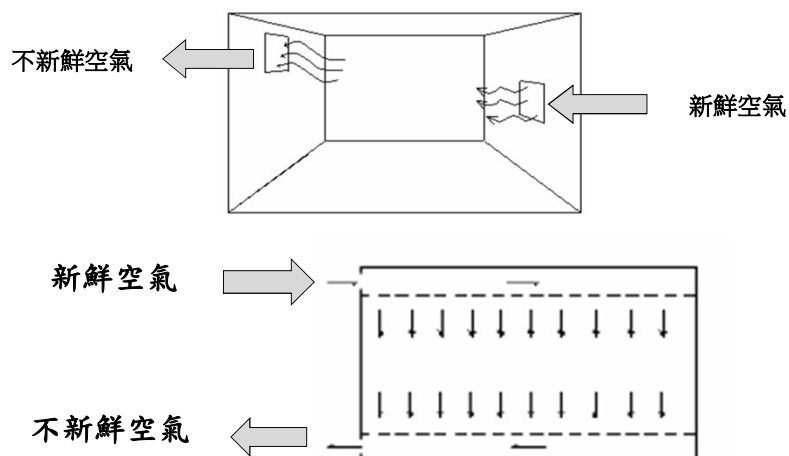
1. 整體換氣裝置使用之場合

- 產生之有害物質毒性較低之作業場所。
- 有害物質產生速率較小之作業場所。
- 有害物質之發生源均勻廣泛。
- 有害物質之發生源遠離作業者呼吸域時。

2. 整體換氣裝置之型式

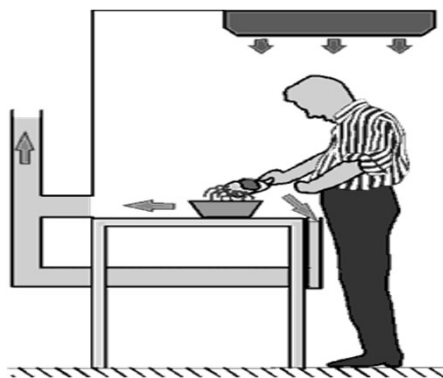
- (一)完全排氣方式：利用動力或排氣機將有害物質或具危險性物質吸引排除，進氣則藉室內之負壓，經由門窗等開口部分或作業場所之間隙導入。
- (二)完全供氣方式：利用送風機將新鮮空氣導入稀釋有害物質或具危險性物質後，藉著作業場所之正壓將含有害物質或具危險性物質空氣經由門窗等開口或間隙部分排除，此型式之缺點為污染空氣無法有效排除。
- (三)供氣、排氣併用方式：供氣及排氣均使用動力為較合理有效之換氣方式。為得有害物質及熱之最重大稀釋效果，清淨之空氣由作業場所之乾淨位置導入，越過操作者之後，並將污染空氣排除於室外。

整體換氣圖示說明

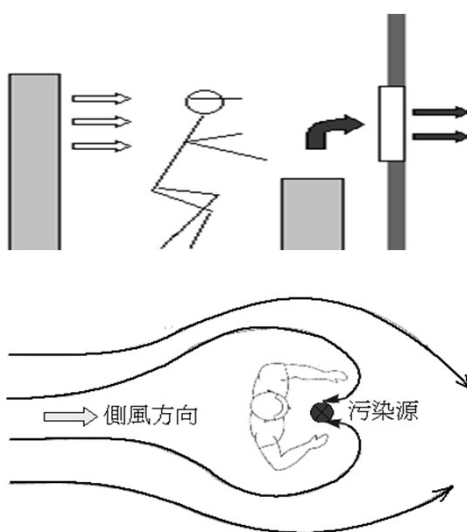


整體換氣圖示說明

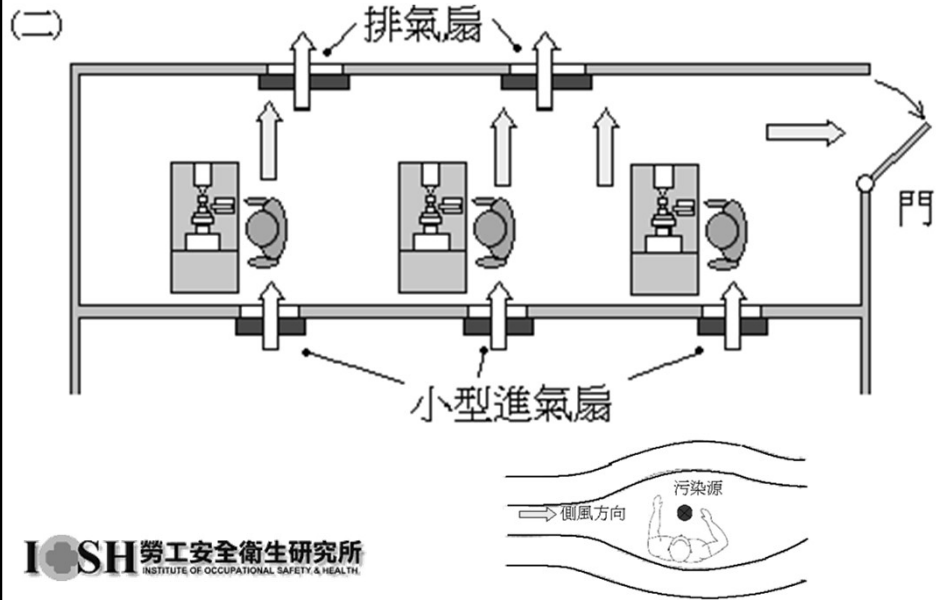
- 吸氣
- 排氣
- 一吸一排



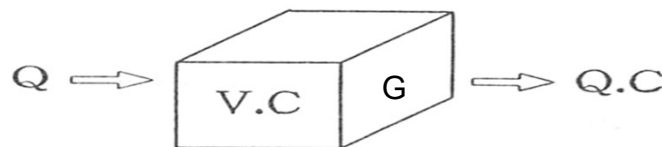
整體換氣設計不正確概念



整體換氣設計正確概念



3. 理論上排除有害物質必要之換氣量



對一作業場所某一特定有害物質而言，因設有整體換氣裝置，其質量平衡方程式為：

$G\Delta t$ (產生之量) - $QC\Delta t$ (排除之量) = $V\Delta C$ (滯留或蓄積之量)

其中 G 為有害物質產生之速率； C 為該有害物質之瞬間濃度； ΔC 為濃度變化量； Δt 為經歷之時間； V 為作業場所空間之大小。

理論上排除有害物質必要之換氣量

$G\Delta t$ (產生之量) $- QC\Delta t$ (排除之量) $= V\Delta C$ (滯留或蓄積之量)

當 $\Delta t \rightarrow 0$ 時，亦即 $\Delta t = dt$ 時

$$Gdt - QCdt = Vdc \text{-----(1)}$$

$$(G - QC) dt = Vdc \text{-----(2)}$$

$$\frac{dc}{G - QC} = \frac{dt}{V} \text{或} \frac{-Qdc}{G - QC} = \frac{-Qdt}{V} \quad (3)$$

積分之，且應用 $t = t_0$ ， $C = C_0$ 之起始條件。

$$\int_{C_0}^C \frac{-Qdc}{G - QC} = \int_{t_0}^t - \frac{Q}{V} dt$$

$$\ell_n(G - QC) - \ell_n(G - QC_0) = -\frac{Q}{V}(t - t_0)$$

$$\ell_n \frac{G - QC}{G - QC_0} = -\frac{Q}{V}(t - t_0)$$

當 G 知道， C_0 已知，經歷之時間 $(t - t_0)$ 決定，則要維持一有害物質之濃度 C 在容許濃度所須之換氣量即可獲得。

式中，當不使作業場所特定有害物質濃度上昇，而保持最經濟之換氣時， $dc=0$ ，即

$$Gdt = QCdt, \text{ 或 } G = QC \text{-----} \quad (7)$$

即(有害物產生量=排出量)

$$Q = \frac{G}{C} \text{ 或 } Q (m^3 / \min) = \frac{1000 \times W (g/h)}{60 \times C (mg/m^3)} \text{---} \quad (8)$$

$$Q(m^3 / \min) = \frac{W(g/h) \times 24.45 \times 1000}{60 \times M(g) \times C(ppm)} \text{---} \quad (9)$$

控制作業場所之溫度基本之換氣量

$$Q (m^3/\min) = \frac{\Phi_1}{C_s (t_i - t_o)} \text{-----}$$

其中

Φ_1 : 為作業場所每分鐘之熱釋出量，Kcal/min，包括作業人員新陳代謝熱、電熱等(1kW = 860kcal/h)

C_s : 為空氣之比熱0.288 kcal/m³°C

為空氣之比熱0.240 kcal/kg °C

t_i : 為作業場所內之溫度 (°C)。

t_o : 為作業場所外空氣之溫度 (°C)

γ : 空氣比重1.2 [kg/m³]

Q : 通風量m³/min

利用整體換氣降低廠房內溫度案例

情境：

已知廠內使用1000kw/hr電熱器加熱，室外溫度25℃，欲控制室內溫度不要大於30℃，請評估需要通入之風量(m³/min)?

$$Q = \frac{1000KW/hr \times 860KC/hr}{60 \times 0.288(30-25)} = 9953.7(m^3/min) \text{---基本值}$$

47

利用整體換氣降低廠房內可燃性氣體濃度

情境：

已知廠內甲苯消費量(揮發到空氣量)1000g/hr，欲控制室內甲苯濃度於爆炸下限30%以下，請評估需要通入之風量(m³/min)?

$$30\%LEL = \frac{W(\frac{g}{hr}) \times \frac{24.45 l}{M(\text{分子量})} \times 10^{-3}(\frac{m^3}{l}) \times 100}{Q(\frac{m^3}{min}) \times 60}$$

48

利用整體換氣降低廠房內可燃性氣體濃度案例

情境：

已知廠內甲苯消費量(揮發到空氣量)1000g/hr，欲控制室內甲苯濃度於爆炸下限30%以下，請評估需要通入之風量(m³/min)?

$$Q = \frac{1000g/hr \times \frac{24.45}{92} \times 10}{60 \times 1.2\% \times 0.3} = 1230.37(\text{m}^3/\text{min}) \text{---基本值}$$

49

控制作業場所之溫度基本之換氣量

$$Q (\text{m}^3/\text{min}) = \frac{\Phi_1}{C_s (t_i - t_o)}$$

其中

Φ₁: 為作業場所每分鐘之熱釋出量，Kcal/min，包括作業人員新陳代謝熱、電熱等(1kW = 860kcal/h)

C_s: 為空氣之比熱0.288 kcal/m³°C
為空氣之比熱0.240 kcal/kg °C

t_i: 為作業場所內之溫度 (°C)。

t_o: 為作業場所外空氣之溫度 (°C)

γ: 空氣比重1.2 [kg/m³]

Q: 通風量m³/min

利用整體換氣降低廠房內溫度案例

情境：

已知廠內使用1000kw/hr電熱器加熱，室外溫度25℃，欲控制室內溫度不要大於30℃，請評估需要通入之風量(m³/min)?

$$Q = \frac{1000KW/hr \times 860KC/hr}{60 \times 0.288(30-25)} = 9953.7(m^3/min) \text{---基本值}$$

51

4. 補充新鮮空氣應注意事項

- 1.新鮮空氣吸入口應遠離排氣口。
- 2.應使用動力以保護必要之供氣效果。
- 3.補充空氣應能送至作業場所之每一角落使不致對某些特定區域過度的吹拂，影響作業勞工或既有通風換氣裝置之效果。
- 4.補充空氣應送至勞工之活動範圍（Living Zone），即2.4至3公尺之高度範圍內，也才能達到最大的稀釋效果。
- 5.補充新鮮空氣之溫度亦最好調節至作業場所舒適之溫度，一般供氣之溫度保持在18.3至26.4℃為宜。

5. 裝設整體換氣裝置應注意事項

- (一)應達到必要之換氣量或應具有之性能
- (二)應能控制有害物之濃度在容許濃度或管理濃度以下
- (三)排氣機、送風機或其導管之開口部應儘量接近發生源，且勞工呼吸帶不得暴露在排氣氣流中。
- (四)排氣及供氣要不受阻礙且能保持有效運轉
- (五)應依危害物質產生之特性，使換氣均勻。
- (六)補充空氣應視需要調溫、調濕。
- (七)應避免排出之污染空氣迴流。
- (八)高毒性、高污染性作業應與其他作業場所隔離。

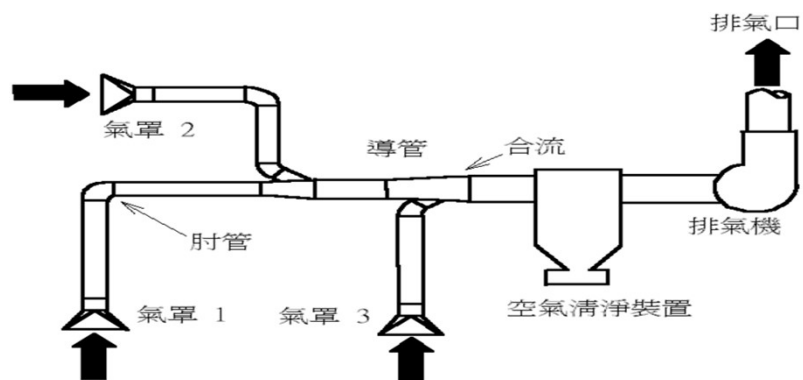
(四)局部排氣裝置使用說明

1. 局部排氣裝置使用之場合

- (1)本裝置適用於高、低毒性有害物質之發生源場所。
- (1)包圍型氣罩效率最佳
- (2)外裝型氣罩效率次佳
- (3)吹吸型氣罩使用大面積有害物質作業

2. 局部排氣裝置構造說明

- 局部排氣裝置之構造包括氣罩、導管、空氣清淨裝置及排氣機等。



55

空氣清淨裝置圖示



(1)局部排氣裝置構造說明

- (一)氣罩：限制或減少有害物質從發生源擴散，並導引空氣以最有效之方法捕捉有害物質，經由導管排出之結構。局部排氣裝置是否有效，與氣罩之型式及設置位置具有極大之關係。
- (二)導管：為空氣從氣罩至排氣口的路徑，其結構須為不受外壓影響、內壓漲破、腐蝕之結構，管內空氣之流速亦須能使有害物質不致沈降，或輸送之含有害物質之空氣不致滯流。

(三)空氣清淨裝置：為使排出之空氣，不致污染排出口附近之大氣，確保排出空氣之品質，通常局部排氣裝置系統中裝有此裝置，一般依所輸送污染空氣中有害物質之特性及處理目的，分為除塵裝置及廢氣處理裝置。

(四)排氣機：產生壓力差使空氣連同有害物質從氣罩吸入、排氣口排出之設備，一般均使用離心式排氣機。

(2)局部排氣裝置氣罩之功能

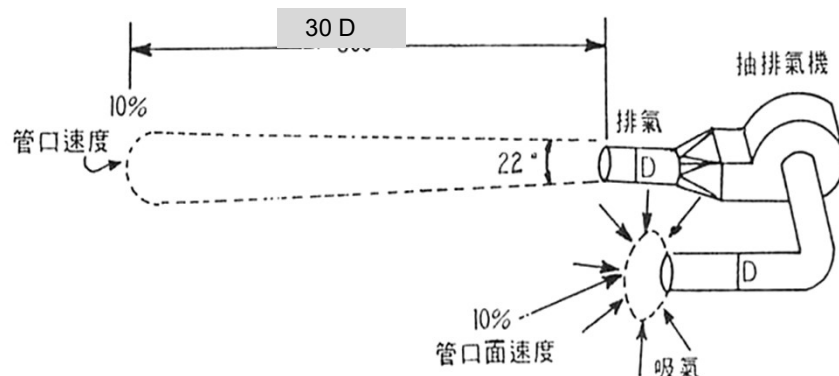
■氣罩吸氣及排氣之特性:

- 從一導管之開口吸氣及排氣之流動型態完全不同，空氣從一開口吹出和水從一水管噴出一樣，保持其方向性，然而在吸氣方面，因受管路之影響，方向性幾乎沒有，即從各方向吸引。
- 在離排出口30倍直徑處，22度角範圍內之風速約為導管開口面吹出平均風速之10%；然而在吸氣方面，10%導管開口面吸入之平均風速為離導管開口一倍直徑處。
- 而一般有害物質之處理為避免排氣氣流經過呼吸帶，均採取吸引排除方式，因此吸入口應儘量接近發生源，才能有效吸引。

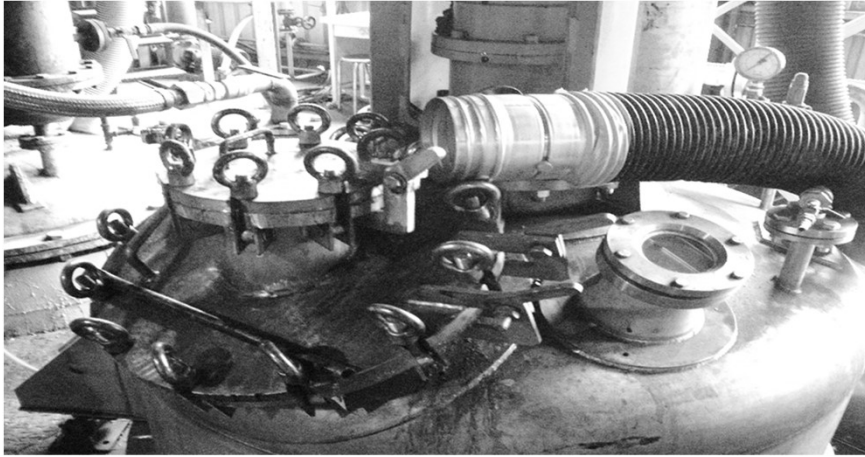
氣罩吸氣及排氣之特性

氣罩設置之目的:

- 使得吸引排除之空氣僅為含有有害物質之空氣。
- 增加對有害物之吸引及排除能力。



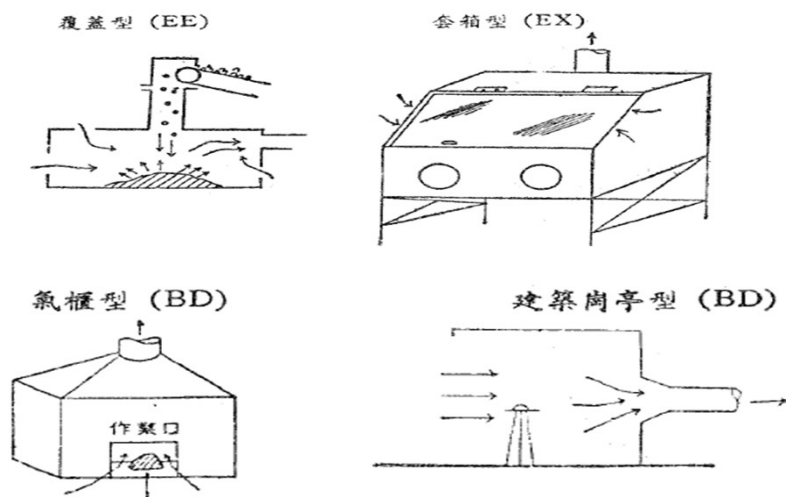
僅以導管吸氣之錯誤設置



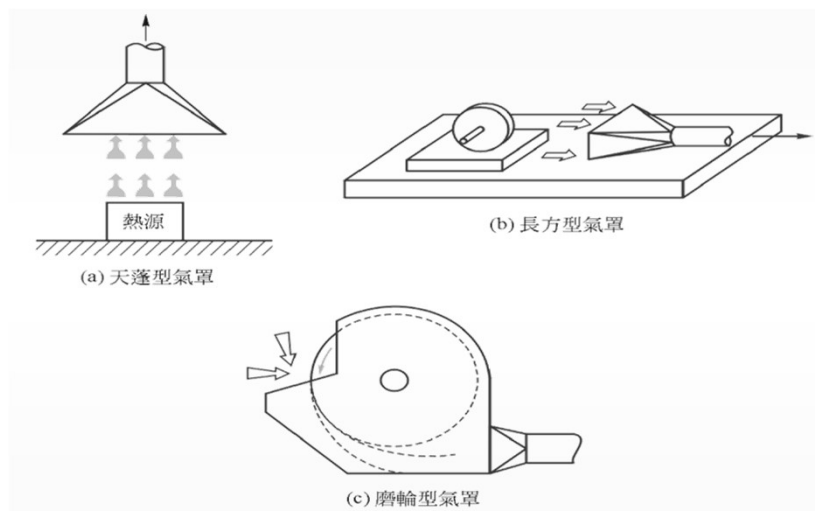
(3)以氣罩之型式分類：

- A. 包圍型氣罩：有害物質或具危險性物質發生源在氣罩內者。
- B. 外裝型氣罩：有害物質或具危險性物質發生源與氣罩分離者，分為側邊吸引式、下方吸引式，及上方吸引式三種。
- C. 吹吸型氣罩：對於噴布作業之作業面大且有噴出物亂流等情形時，則一面送風，另一面排氣。

包圍型氣罩(污染源於氣罩內側)

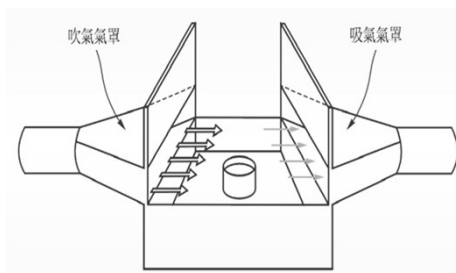
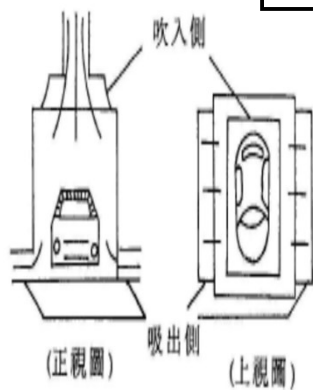


外裝式氣罩(接收型氣罩)



吹吸式氣罩

適用於大型構件



參、局部排氣裝置設計程序

- 排氣系統的設計，一般設計程序包含以下事項：
- 一、設備機台相關資料收集與整理。
 - 二、氣罩型式與風量大小。
 - 三、排氣管路種類與管材選擇。
 - 四、管路配置與走向繪製。
 - 五、各管段搬運速度選定。
 - 六、各管段管徑選建。
 - 七、各段管件壓損計算。
 - 八、空氣清淨裝置選用。
 - 九、排氣風機選用。

一、設備機台相關資料收集與整理

設備機台相關資料收集如下：

- 有害物於空氣中型態(氣態或粒狀物)及比重大
如:氣體、蒸氣、粉塵、煙
- 設備機台設置作業時產生有害物飛散方向及飛散面大小
- 針對有害物飛散方向作為選用氣罩類型參考
註:以接收型氣罩原理為原則
- 評估選用之氣罩與有害物發生源飛散之最遠距離
- 吸氣導管及排氣導管之配置流動方向評估
註:應儘量縮短導管長度、減少彎曲數目

67

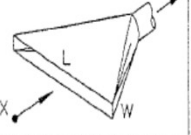
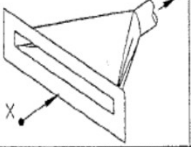
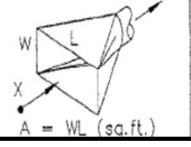
二、氣罩型式與風量大小

■ 氣罩型式與風量大小如下：

- 考量設備運轉時可配合之氣罩類型
- 氣罩寬度要含蓋污染源擴散面
- 計算出氣罩與有害物發生源飛散之最遠距離
- 依據有害物於空氣中形態(氣態或粒狀物)得出所需控制風速如下:
 - 氣態有害物:0.5 m/s
 - 量撞有害物:1.0 m/s
- 當上述資料定後即可由所選氣罩計算出所需風量

68

氣罩型式與控制風速與風量之關係

HOOD TYPE	DESCRIPTION	ASPECT RATIO, W/L	AIR FLOW
	SLOT	0.2 OR LESS	$Q = 3.7 LVX$
	FLANGED SLOT	0.2 OR LESS	$Q = 2.6 LVX$
	PLAIN OPENING	0.2 OR GREATER AND ROUND	$Q = V(10X^2 + A)$

(一)氣罩設計注意事項

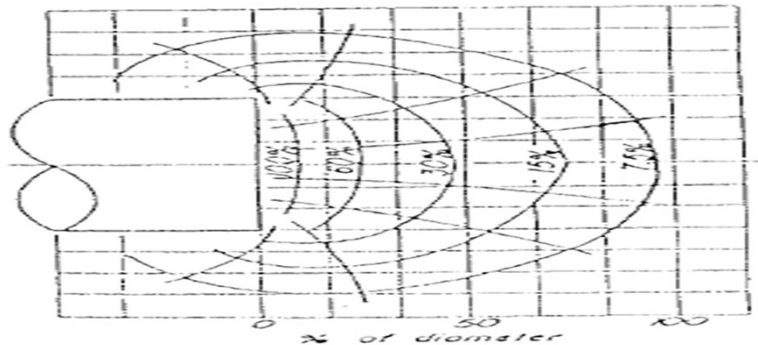
1. 氣罩之種類

■ 氣罩名稱一般均以其形狀設置位置排氣方向等特性命名如下：

- (a)包圍式氣罩 (b)磨床用包圍式氣罩
- (c)崗亭式氣罩(上側排氣)
- (d)崗亭式氣罩(上向排氣)
- (e)上向接收或氣罩
- (f)側向外裝式氣罩(方形型)
- (g)側向外裝式氣罩(圓形型)
- (h)潛構型氣罩
- (i)下向格條型氣罩

2. 氣罩之設計上

- 氣罩對氣流之吸引：一般吸引氣流之特性係以氣罩開口面上之平均風速為100時之風速百分率以等速線表示。設能知悉氣罩前方任意點之百分率，同時決定該點之風速，則可計算氣罩開口面速，之後以此值算出必要排氣量。



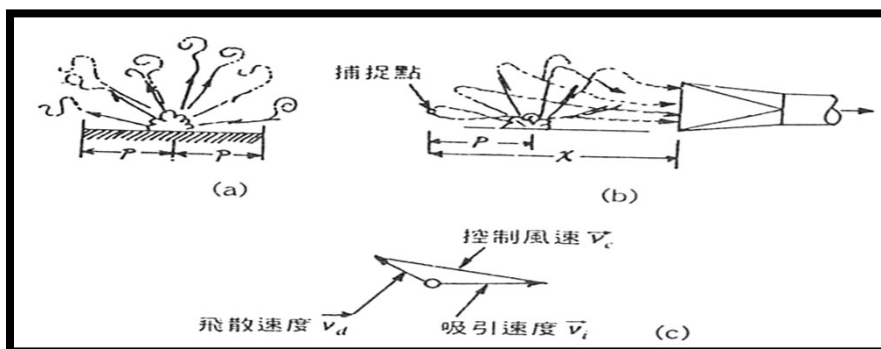
- 各種氣罩之必要排氣量：氣罩之必要排氣量以氣罩之型式、位置、控制風速及其控制點決定，並以此計算吸引氣流可達控制風速之必要排氣量。
- 一般控制風速最低原則：
 - 氣態有害物:0.5 m/s
 - 量體有害物:1.0 m/s
- 規劃設置氣罩前，應再度檢討作業方法或工程、機械設備或使用材料等，是否尚有改善之處，同時亦一併考慮減少污染源原因，當可減少氣罩設計上之繁瑣性。

(二)決定氣罩因素說明

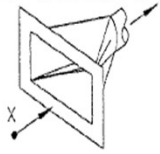
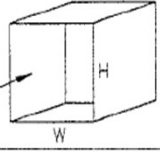
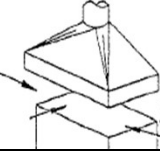
- 氣罩型式類型會影響到所需風量。
- 有害物質之物理特性如分子量、比重、粒徑大小等
- 有害物質健康危害之程度，如毒性大小。
- 發生源及捕集點周圍氣動之大小及方向。
- 氣罩應儘可能接近污染發生源，若有可能應加以覆圍(以不妨礙作業為原則)。
- 防止作業者進入污染源與氣罩之間。
- 氣罩之型式應能與作業形態及污染物之發生狀態配合具有接收型態
- 應儘可能減低作業周圍之有碍氣流，必要時使用遮、擋板。

(三)氣罩控制風速(V_c)說明

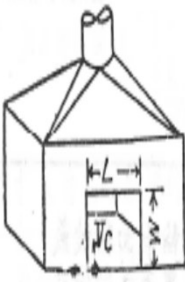
- 將飛散或擴散之有害物質等，從某點有效導入氣罩開口面所需之最小流速，或抑制其不致從氣罩開口逸失之最低速度。



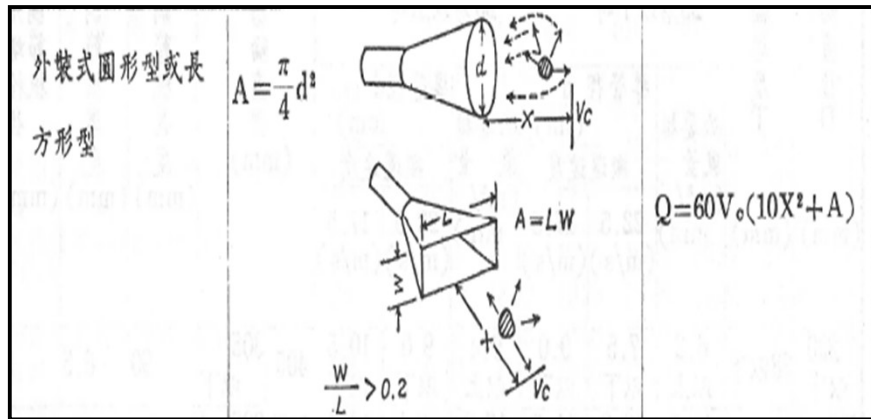
氣罩型式與控制風速與風量之關係

	FLANGED OPENING	0.2 OR GREATER AND ROUND	$Q = 0.75V(10X^2 + A)$
	BOOTH	TO SUIT WORK	$Q = VA = VWH$
	CANOPY	TO SUIT WORK	$Q = 1.4 PVD$ SEE VS-99-03 P = PERIMETER D = HEIGHT ABOVE WORK

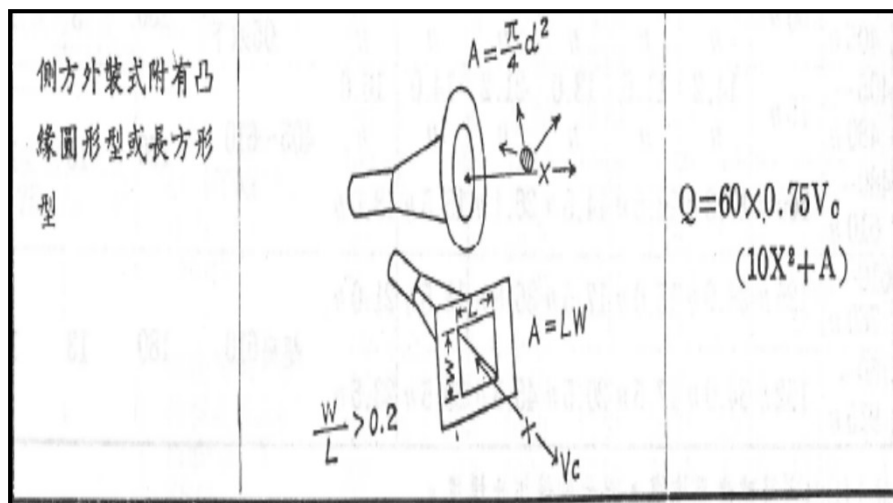
氣罩型式與控制風速與風量之關係

氣罩型式	圖	例	排氣量 $Q(m^3/min)$
包圍式或崗亭式		開口面積 $A = LW$	$Q = 60A \cdot V_o$ $= 60L \cdot W \cdot V_o$

氣罩型式與控制風速與風量之關係

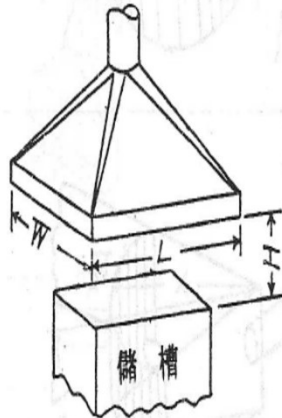


氣罩型式與控制風速與風量之關係



氣罩型式與控制風速與風量之關係

上方接收式長方
形型四側面開放



$$Q = 60 \times 1.4 P \cdot H \cdot V_0$$

P 儲槽周長(m)

$H/L \leq 0.283$ 時始成立

湯姆斯之式

$(H/W \leq 3/4 \text{ 時})$

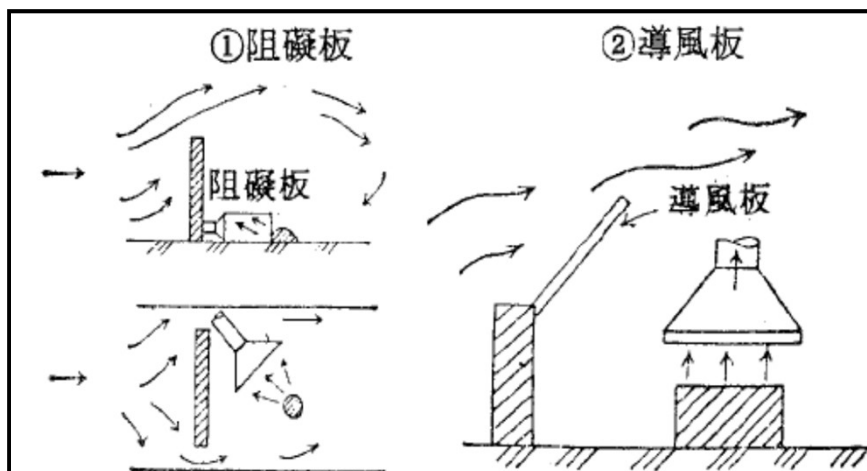
$$Q = 60 \times 14.5 H^{1.8}$$

$$W^{0.8} \cdot V_0$$

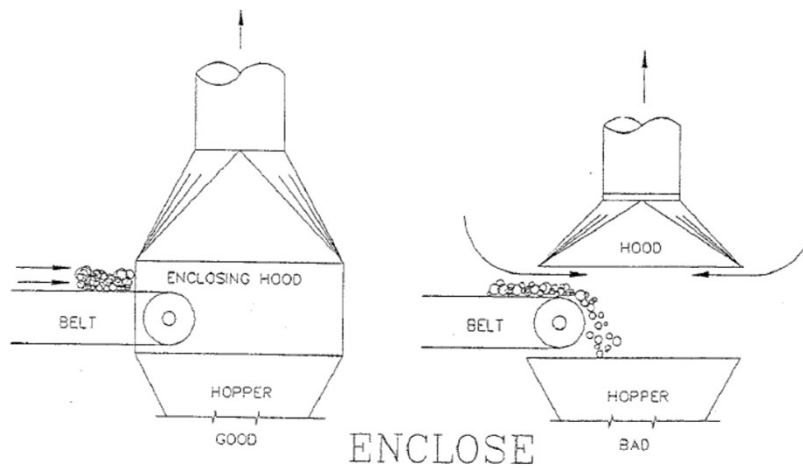
$$Q/WL = 60 \times 14.5$$

$$(H/W)^{1.8} \cdot (W/L) V_0$$

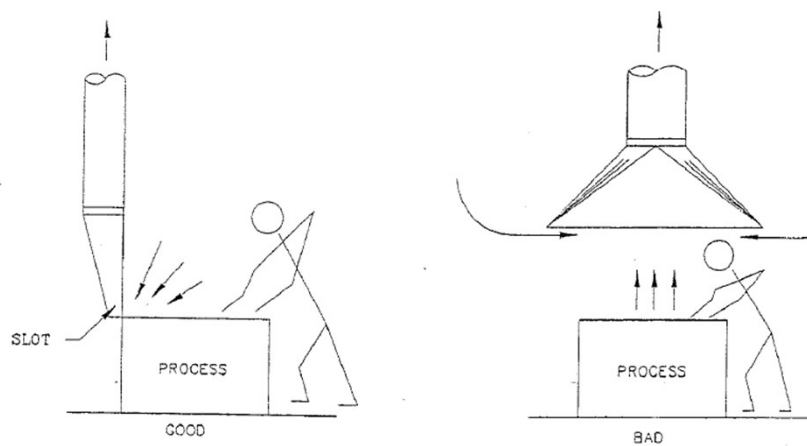
氣罩外測周圍空氣流動防範



外裝式氣罩正確設置範例



外裝式氣罩正確設置範例



三、排氣管路種類與管材選擇

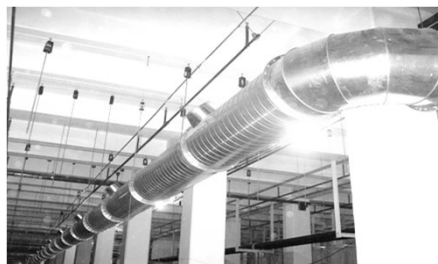
1. 導管大小之決定：

- 同排氣量下，管徑愈大則氣體流速愈小(壓損低)，管徑愈小則氣體流速愈大(壓損變大)。
- 管中氣體流速小則粒狀物易沉降，反之不易沉降
- 空氣在管中流動，其摩擦阻力與流速成平方正比，減少摩擦阻力可節省動力及經費。
- 對於輸送含粉塵氣流時，為不使粉塵沉積在彎曲導管內，則必須使用較細管導管以增加流速。
- 導管管徑大佔據較大空間不易施工。
- 對於輸送含有硬質粉塵，若流速高易造成導管內壁摩耗而減低導管之使用壽命。

83

2. 導管材料注意事項：

- 管路之位置及材料須考慮不受外力損壞、腐蝕者。
- 鍍鋅板導管：有機溶劑蒸氣等無腐蝕之虞。
- 不銹鋼導管：硫酸蒸氣或硝酸蒸氣
- 硬質PVC管導管：鹽酸蒸氣或氯系溶劑
- 鋼板導管：苛性鈉溶液蒸氣
- 黑皮鋼板導管：鑄砂

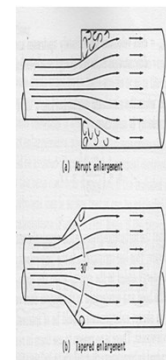


3. 導管構造注意事項：

- 儘量使用圓形管且避免使用矩形管，如不得已使用時，應儘可能接近正方形管。
- 內壁應平滑，接頭應焊接或褶接，不使其漏風，最好使用新材料構築。
- 風管如為點熔接者，其間隔應在60公分以下。
- 為加強導管強度，應在導管之適當間隔使用角鋼補強，或加入筋接、摺邊等。
- 補強間隔，在圓形者若直徑在25cm以下時，則每隔2m，若直徑在 $>25\text{cm}$ 時，則每隔1m。
- 對於方形斷面導管，可在板角垂直折曲，並予襯套補強。

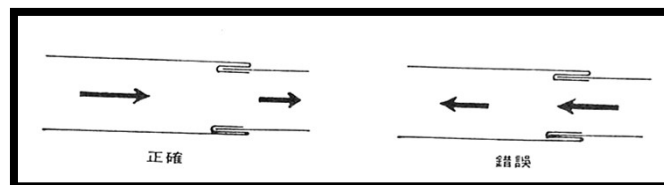
7. 導管之布設

- 儘可能縮短導管長度以減少壓力損失。
- 儘可能減少使用灣管或豎管數目。
- 對於水平導管，為減少粉塵堆積，應取比例在1/100左右之下傾斜。
- 導管斷面應儘可能避免有激烈之變化。
- 管路應避免急劇的收縮或擴張，每收縮或擴大一公分直徑應有五公分之緩衝長度。
- 歧導管與主導管間之角度應保持在45度以下，最好保持30度，兩風管交叉設置時宜保持30度至60度角。

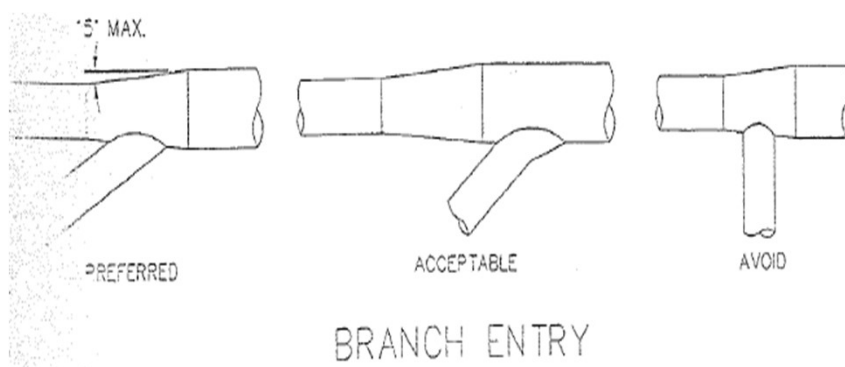


- 管應每3至4公尺設置清潔孔。
- 風管應有適當支撐，直徑20公分以下者，其間距應在四公尺以下，直徑超過20公分者為五公尺。
- 風管與天花板、牆壁或地板等之間隔，至少應保持15公分之間距。
- 風管橫向接頭應折向氣流方向。
- 管路之位置及材料須考慮不受外力損壞、腐蝕者。
- 排氣機之入口最好為直管，必要時可加一入口箱或管路轉向板。

風管接頭

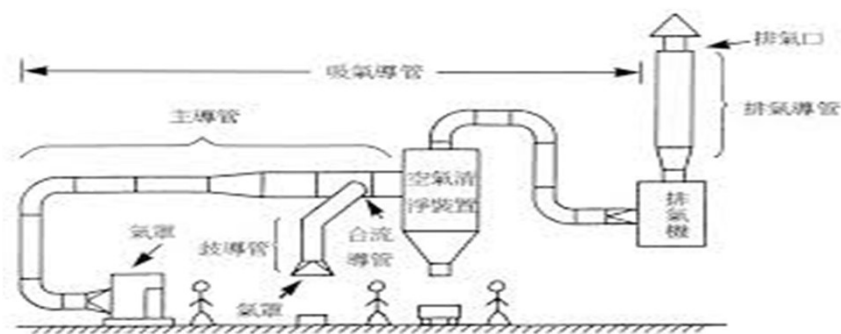


導管之支管配制



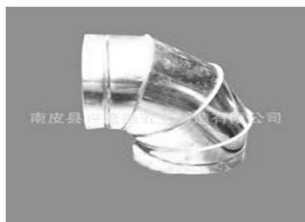
四、管路配置與走向繪製

- 依現場配置繪製排氣管線圖
- 以導管長度愈短及彎管數目愈少愈好
- 後續施工必須依圖施工，因為後續壓損計算係依圖計算出



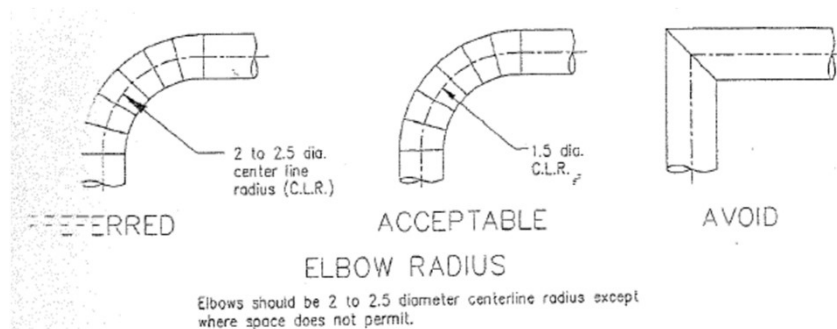
10. 灣管、歧管與管接頭

- 須考慮氣流方向或流速不致有激烈發生變化，應採取平緩設計，以避免激烈之變化造成壓損或堆積粉塵發生。
- 使用蝦節管連接而成之灣管，直徑在15公分以下者，應具3節以上之蝦節；直徑在15公分以上者，應具5節以上之蝦節。
- 合流管應儘可能設置不產生激烈改變氣流方向或速度者。

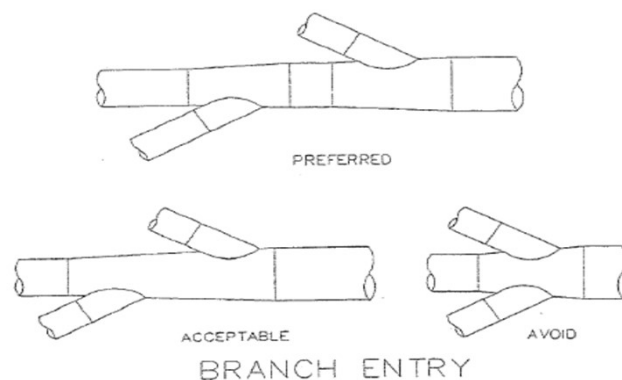


- 彎頭之曲率半徑應為管直徑之2至2.5倍。
- 歧導管勿相對，亦不要成90度角相接。
- 排氣機之入口最好為直管，必要時可加一入口箱或管路轉向板。

肘管之曲率半徑



導管之支管配制



五、各管段搬運速度選定

導管輸送風速 (VT)：

- 導管或風管所輸送之含有害物質或具危險性物質之空氣，應避免其在導管內滯流，且其輸送風速之大小應能避免其在導管內沉降，因此應達最低速度，不同之輸送對象應達之輸送風速如下表所示。
- 至於空氣清淨裝置後之管段，因已無粒狀之有害物，因此其輸送風速維持在10m/s即可。



93

搬運速度設計參考值表

有害物質	例	搬運速度 (m/s)
氣體、蒸氣、燻煙及極輕之粉塵	各種氣體、蒸氣、氧化鋁之燻煙、木粉及棉	10
較輕、乾燥粉塵	原棉、麻屑、穀粉、橡膠粉	15
一般工業粉塵	木屑、磨輪產生之粉塵、砂輪產生之粉塵、鉋屑	20
重粉塵	鉛粉、鑄造用砂之落塵	25
重且濕潤之較大粉塵	濕潤之鐵粉塵	25以下

六、各管段管徑選建

1. 導管斷面積與直徑之計算

- 決定搬運速度後隨著應計算導管之斷面積，設導管之斷面不大時，式所得之導管直表示徑乘以100, 改以公分 (cm) 較為方便。
- 又直徑如有尾數時，為使施工之方便，應整理其尾數，予以增大或減小，使之成為整數。此際應考慮壓力損失與粉塵之堆積可能性，屬於氣體或蒸氣者，應增大其值，粉塵時則減小其值。

$$Q = 60 \times Vd \times Ad$$

$$= 60 \times Vd \times \frac{\pi}{4} d^2$$

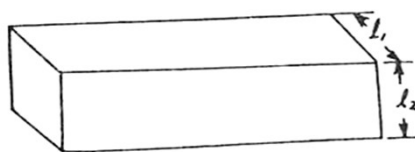
Q：排氣量(m³/min)
Vd：導管內平均風速(m/s)
Ad：導管內之斷面積(m²)
d：圓形導管之直徑

95

2. 方形管或矩形管之等效管徑估算

如使用之導管非屬圓管而為方形管或矩形管時，以d為等效圓管直徑，d_e，由下式可得矩形管或方形管之尺寸大小（d_e、l₁、l₂單位均為cm）。

$$d_e = 1.30 \sqrt[8]{\frac{(\ell_1 \times \ell_2)^5}{(\ell_1 + \ell_2)^2}}$$



3. 導管之粗細與「省能」對策

- 如有機溶劑等無虞滯留於導管內之氣體或蒸氣，在空間之許可範圍設能使用較粗之導管。以減低流速則較為有利。
- 導管之摩擦阻力之壓力損失與流速之平方成正比，動力亦與此成正比，流速與導管斷面積成反比之故，將導管直徑加倍時，其流速為原有之1/4，壓力損失及其必要動力僅需1/16則，從省「能」之觀點，可降低營運成本。
- 從設置費點而言，設置導管之工程費用大致與導管直徑成正比，因此必須耗費多之工程費用。

97

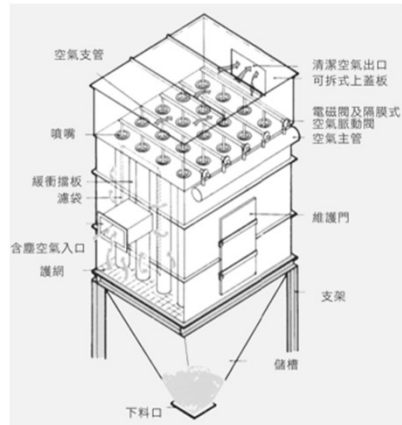
4. 搬運速度之修正

- 決定斷面積後必須由該尺寸再求取其面積與實際之搬運速度，並以修正後之數值計算壓力損失。
- 計算出實際之搬運速度必須大於搬運速度設計參考值表

98

七、空氣清淨裝置選用

過濾式集塵裝置

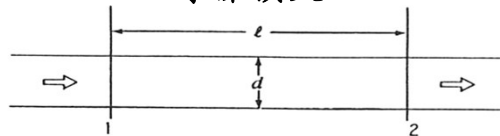


99

八、各段管件壓損計算

- 空氣具有黏度 (Viscosity)，流動時產生了剪力 (Shearing Force) 造成了能量之消耗，因此空氣在風管內流動，為克服流動阻力，產生了摩擦損失及擾動損失。

摩擦損失



$P_{R_{1 \rightarrow 2}} = P_{t_1} - P_{t_2}$ ，為上游1點流到下游另一點2所造成之壓力損失； P_{t_1} ， P_{t_2} 則分別為點1及點2之全壓。

❖ 壓力損失包括(一)摩擦損失及(二)擾動損失

摩擦損失

- 空氣克服局限其風管內部表面之阻力而流動，因此有部分能量用以克服此等摩擦而變為熱逸失，風管愈粗糙、空氣流動速度愈大者，此種壓力損失愈大。風管內之摩擦損失量與風管長度， l ，成正比，與風管直徑大小， d ，成反比，與流速平方， v^2 ，成正比，即：

$$P_{Ru} = f \cdot \frac{l}{0.01d} \cdot \frac{\rho v^2}{2g}$$

其中 f 為摩擦損失係數，風管愈粗糙，摩擦損失係數值愈大。當 l 等於一米時，為單位長度之壓力損失，即：

$$P_{Ru} = f \cdot \frac{1}{0.01d} \cdot Pv$$

P_{Ru} 值可由直線圓形導管之壓力損失圖獲得。

擾動損失

擾動損失為流速改變及流向改變所造成之壓力損失，包括：

1. 彎管之壓力損失：

彎管彎曲之角度愈大，其壓力損失也愈大。曲率半徑為直徑之2.5倍時壓力損失或壓力損失係數最小，曲率半徑變小或增大時，壓力損失均變大。

2. 縮管、擴管之壓力損失：

直徑變化或縮擴之角度愈大，壓力損失愈大。

3. 合流管之壓力損失：

合流之角度愈大，支導管之壓力損失愈大。

4. 排氣口之壓力損失：

由風管之輸送風速減速至近於零風速造成之壓力損失。

5. 進入氣罩壓力損失 (he)：

空氣由靜止狀態被加速進入氣罩或導管等開口部，因流速、流向改變及擾流引起之壓力損失，隨著氣罩型式及開口型式不同而不同。

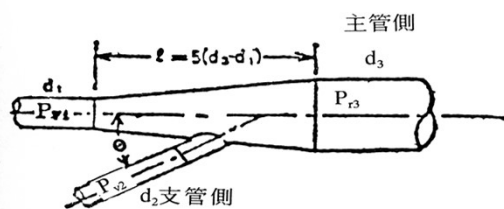
6. 通過空氣清淨裝置之壓力損失。

排氣機全壓 (FTP)

= 排氣機出口全壓 - 排氣機入口全壓

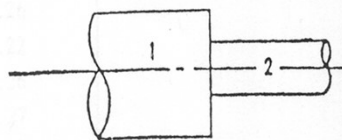
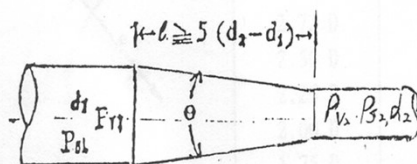
合流管之壓力損失(圓管)

$P_{R1 \rightarrow 3} = K P_{V1}$; $P_{R21 \rightarrow 3} = K' P_{V2}$ 合流管之壓力損失係數



$\theta (^{\circ})$	支管側 K'	主管側 K
10	0.06	0.2
15	0.09	0.2
20	0.12	0.2
25	0.15	0.2
30	0.18	0.2
35	0.21	0.2
40	0.25	0.2
45	0.28	0.2
50	0.32	0.2
60	0.44	0.2
90	1.0	0.7

縮管之壓力損失



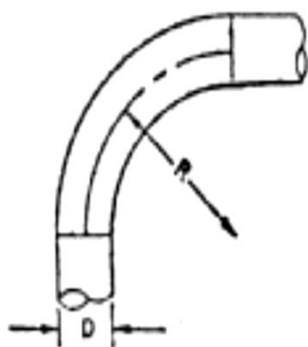
$\theta (^{\circ})$	k
10	0.05
20	0.06
30	0.08
40	0.10
50	0.11
60	0.13
90	0.20
120	0.30

A_2 / A_1	K
0.1	0.48
0.2	0.46
0.3	0.40
0.4	0.37
0.5	0.32
0.6	0.26
0.7	0.20

$$P_R = K \Delta P_V$$

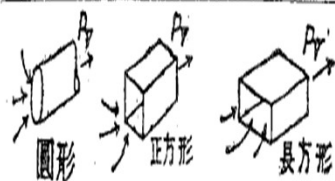
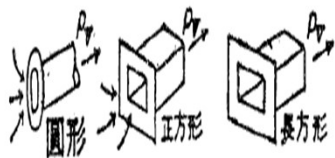
$$* P_R = K P_{V2}$$

彎管之壓力損失(圓管)



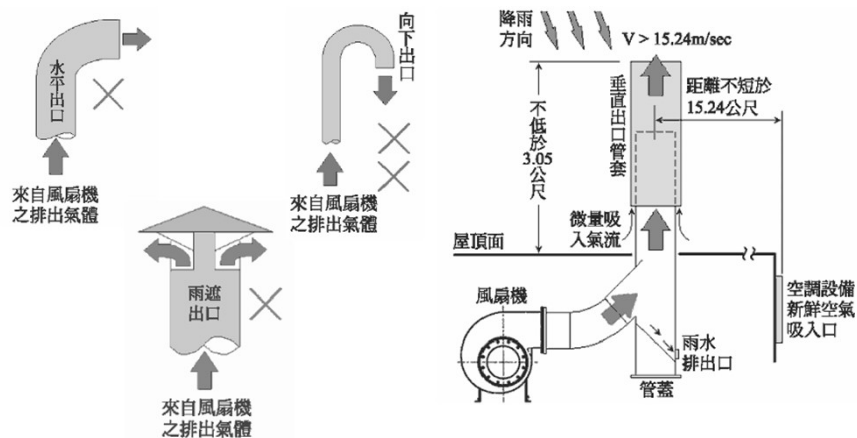
R, 相當導管直徑數	壓力損失相當之 P_V 數
2.72 D	0.26
2.50 D	0.22
2.25 D	0.26
2.00 D	0.27
1.75 D	0.32
1.50 D	0.39
1.25 D	0.55

氣流經氣罩之壓力損失範例

氣罩開口形式	圖 示 例	壓力損失係數(F) ($P_R = F \times P_V$)	流入係數(C_o)
導管開口		0.93	0.72
附有凸緣之 導管開口		0.49	0.82

排氣煙囪類型說明

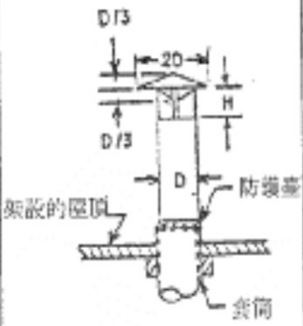
- 排氣道：請盡量設計為垂直排氣

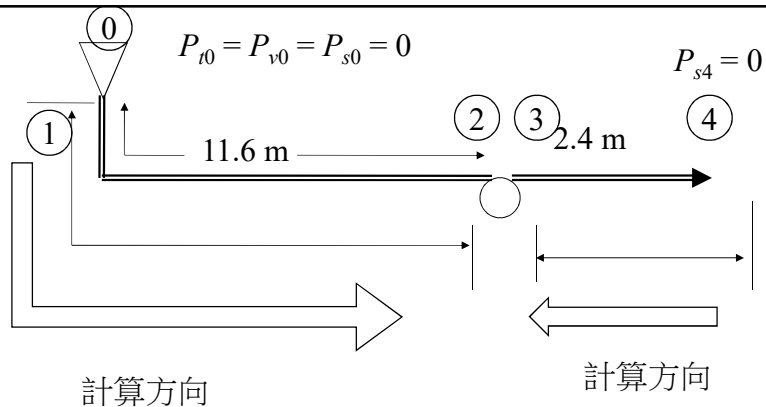


排氣口之壓之損失

• 排氣口之壓力損失為 $P_R = KP_V$

排氣口之壓力損失係數，K

	H/D	K	排出口之靜壓值 = $K' \times P_v$ 之 K'
	1.0	1.10	0.1
	0.75	1.18	0.18
	0.70	1.22	0.22
	0.65	1.30	0.30
	0.60	1.41	0.41
	0.55	1.56	0.56
	0.50	1.73	0.73
	0.45	2.00	1.00



空氣密度 $\rho = 1.2 \text{ kg/m}^3$

氣罩風量需求： $Q = 8.5 \text{ m}^3/\text{min}$

氣罩壓損係數： $F_h = 0.85$

肘管壓損係數： $F_e = 0.22$

排氣機前導管最低搬運風速： $v_{min} = 23 \text{ m/s}$

排氣機後導管管徑：10 cm

導管摩擦損失因數 $f = 0.024$

九、排氣風機選用

排氣機之選用決定於下列因素：

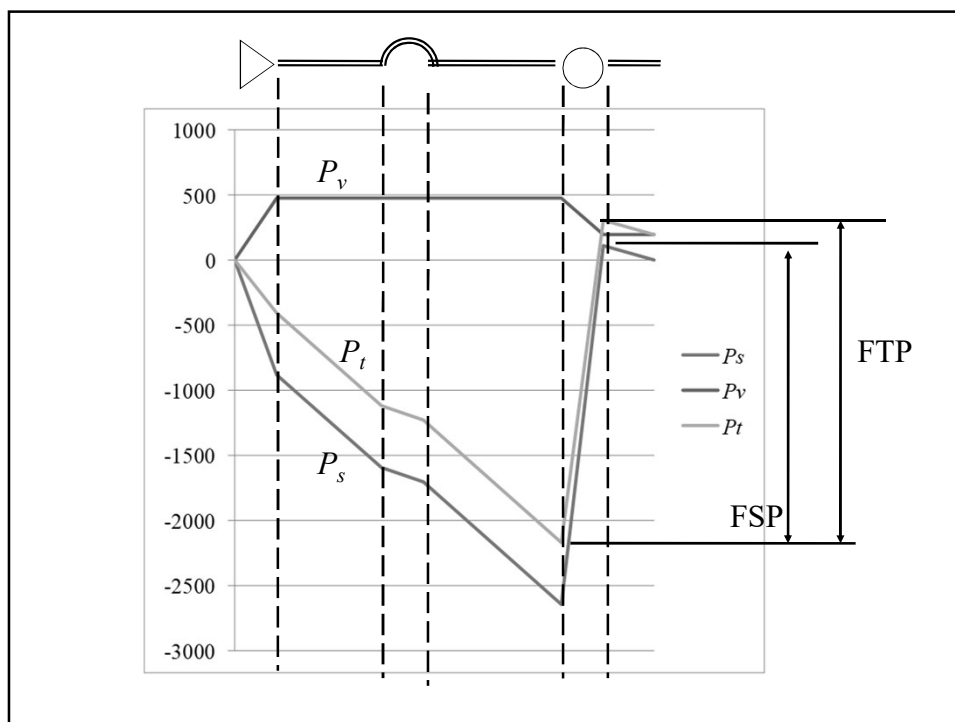
1. 要符合須移走之空氣量。
2. 要符合排氣機之靜壓。
3. 要計算出全部壓損。
4. 氣流之性質及污染有害物之污染程度。
5. 直結式或皮帶傳動式；直結式較無彈性，但不佔空間，保養容易，皮帶傳動式之輸送風量可變動調整。
6. 噪音音量之容許度。
7. 特殊考慮事項：如操作溫度、腐蝕、可燃及易爆物質存在否、空間限制。
8. 其他：轉速、效率、需要之能量（Power）。

排氣機耗電量或馬力(HP)

$$P(W) = \frac{Q(m^3/s) \times FTP(Pa)}{\square \eta_{\text{總效率}}}$$

$$P(kW) = \frac{Q(m^3/min) \times FTP(mmAq)}{6120 \times \eta} = BHP$$

$$P(HP) = \frac{Q(cfm) \times FTP(inAq)}{6356 \times \eta}$$



排氣機之種類及特性

(1)軸流式






區分	斷面	全壓效率	靜壓範圍	一般特性	備註
不附導葉		45 ~ 60 %	~50mmH ₂ O	優點：高速回轉、高效率、體積小、配置簡單、風量大、風壓低、運轉費低。	適低靜壓
附導葉		70 ~ 85 %	~100mmH ₂ O	缺點：噪音高、不適用於粉塵（因為效率易降低）。	適稍高靜壓

排氣機之維護

- 1.能力不足：核算需要之 Q （輸送風量）及全導管系壓力損失（ P_{Rt} ），據以確定應更換之排氣機能力。
- 2.材質不符：高溫變形或腐蝕；則應依溫度，輸送對象物質特性等選擇適宜型式、材質之排氣機，如含多量粉塵、高溫氣體、腐蝕性氣體等之輸送處理，排氣機及接頭等均應予以特殊考量。

排氣機之種類及特性

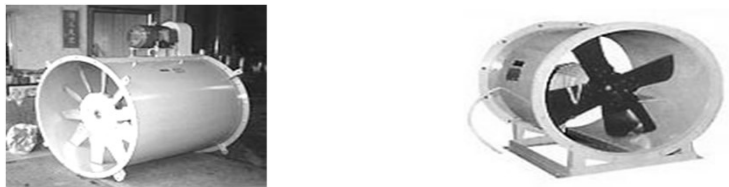
2.離心式（centrifugal）

型式	斷 面	全壓效率	靜壓範圍	特 性
輻射風葉型 （徑向） （Radial）		50~65%	50~100 mmH ₂ O	構造簡單、效率底、易修理、清潔，適於粉塵場所、不安全。
前曲風葉型 （多翼） （Sirocco）		45~60%	10~100 70~80 mmH ₂ O	不耐高速回轉、在高 速效率低、高風壓、 大風量、機殼小、適 於高壓、性安全。
後曲風葉型 （輪機） （Turbo）		70~80%	50~500 mmH ₂ O	效率高、應用廣、 葉片多翼形時效率 更高。
前曲後曲併用 型 （定 載） （Limit load）		55~65%	50~200 mmH ₂ O	效率比多翼形高、安 定、低風壓、高風量。
後曲翼葉型 （Aerofoil）		70~85%	100~300 mmH ₂ O	效率高、噪音低、大 風量、適高速回轉、 有定載性，應用廣。

離心式排氣機範例



軸流皮帶式送風機



參、通風換氣裝置維護及檢查

利用儀器設備和技術經驗等來評估通風系統的性能。

(一)為確認通風系統設計及操作是否正確。

(二)為確認通風系統之保養是否維持原裝置之設計效果。

(三)為決定通風設施是否須保養或換修，以達預期之通風換氣效果。

(四)為決定再增添設備於此通風系統之可行性。

(五)為將來裝設相同設備時之參考數據。

(六)為確定控制風速、排氣量等是否符合法令規定。

氣流之觀察法(發煙管)

■ 使用發煙管：

- 利用四氯化鈦、四氯化錫遇空氣中之水蒸汽產生氫氧化鈦、氫氧化錫、鹽酸之白煙或將氮與鹽酸接觸產生氯化銨白煙原理。
- 將四氯化鈦、四氯化錫可利用粉狀介質將其吸附，密封於玻璃管內製成，當使用時將玻璃管兩末端截斷，擠壓橡皮吸球，使空氣通過玻璃管產生白煙。
- 惟此等氣體均具有刺激性，使用時應避免吸入。
- 可評估氣流大小。



風量之測定

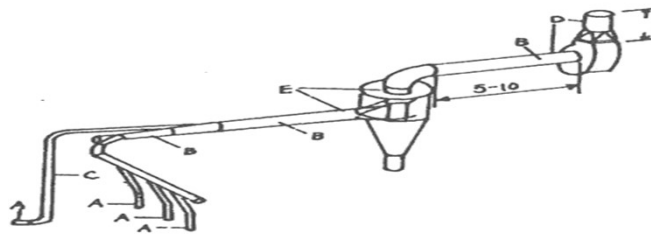
- 可使用壓力計、皮氏管壓力計 (Pitot Tube)、文氏管壓力計、熱線風速計、熱偶風速計及輪葉風速計等測定。
- 惟應選擇非擾流位置 (Turbulent Flow) 測定，不管是圓形風管或矩形風管測點之位置及數目，於施測前應妥為規畫，始能得到代表性之風速，以得代表性之風量。



職業安全衛生管理辦法第47條

雇主對局部排氣裝置或除塵裝置，於開始使用、拆卸、改裝或修理時，應依下列規定實施重點檢查：

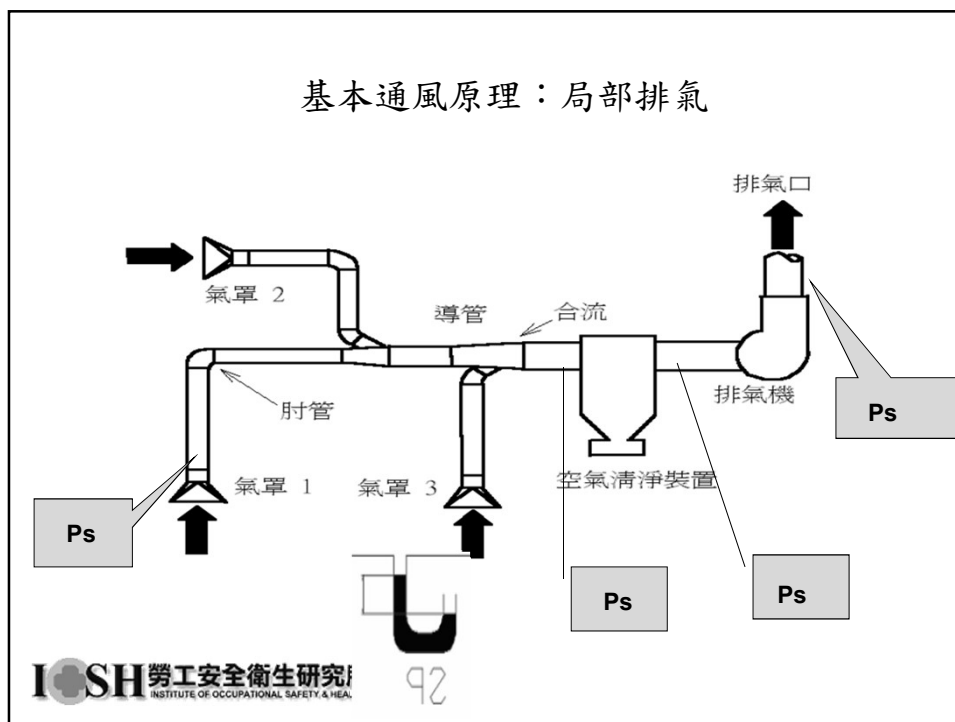
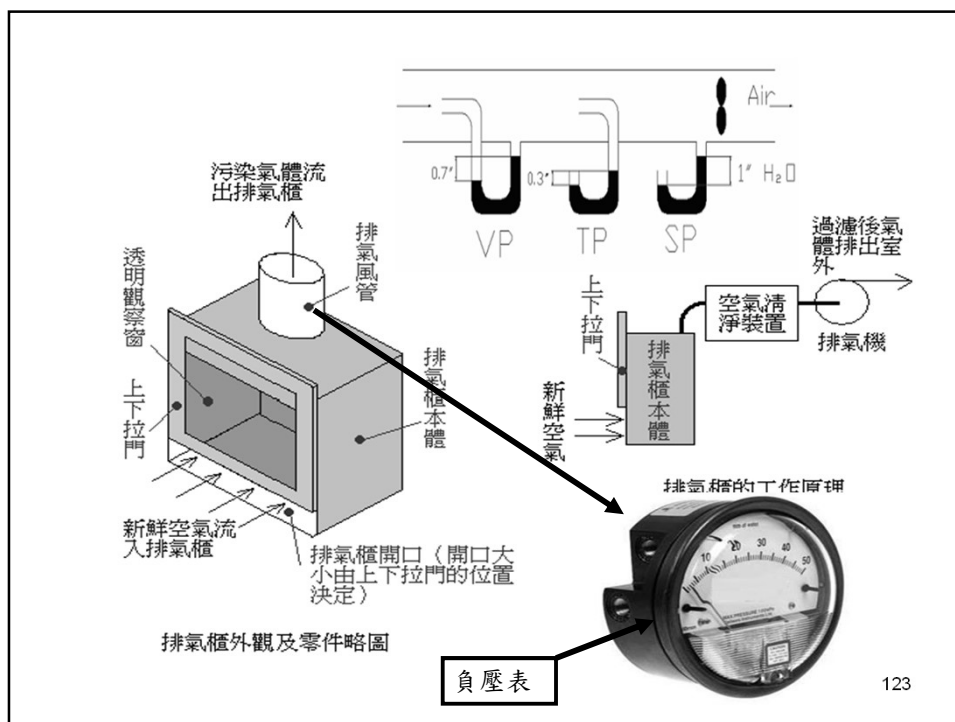
- 一、導管或排氣機粉塵之聚積狀況。
- 二、導管接合部分之狀況。
- 三、吸氣及排氣之能力。
- 四、其他保持性能之必要事項。



職業安全衛生管理辦法第40條

雇主對局部排氣裝置、空氣清淨裝置及吹吸型換氣裝置應每年依下列規定定期實施檢查一次：

- 一、氣罩、導管及排氣機之磨損、腐蝕、凹凸及其他損害之狀況及程度。
- 二、導管或排氣機之塵埃聚積狀況。
- 三、排氣機之注油潤滑狀況。
- 四、導管接觸部分之狀況。
- 五、連接電動機與排氣機之皮帶之鬆弛狀況。
- 六、吸氣及排氣之能力。
- 七、設置於排放導管上之採樣設施是否牢固、鏽蝕、損壞、崩塌或其他妨礙作業安全事項。
- 八、其他保持性能之必要事項。





125