

工業通風設計概要

主講：鍾基強 教授

1. 工業通風意義

一般所謂的工業通風其意義指，利用空氣的流動來控制作業環境，也就是利用氣流來排除作業環境中所產生的空氣污染物或控制工作現場的空氣品質，使置身其中的作業人員可能暴露於危害環境的機會降至最低。

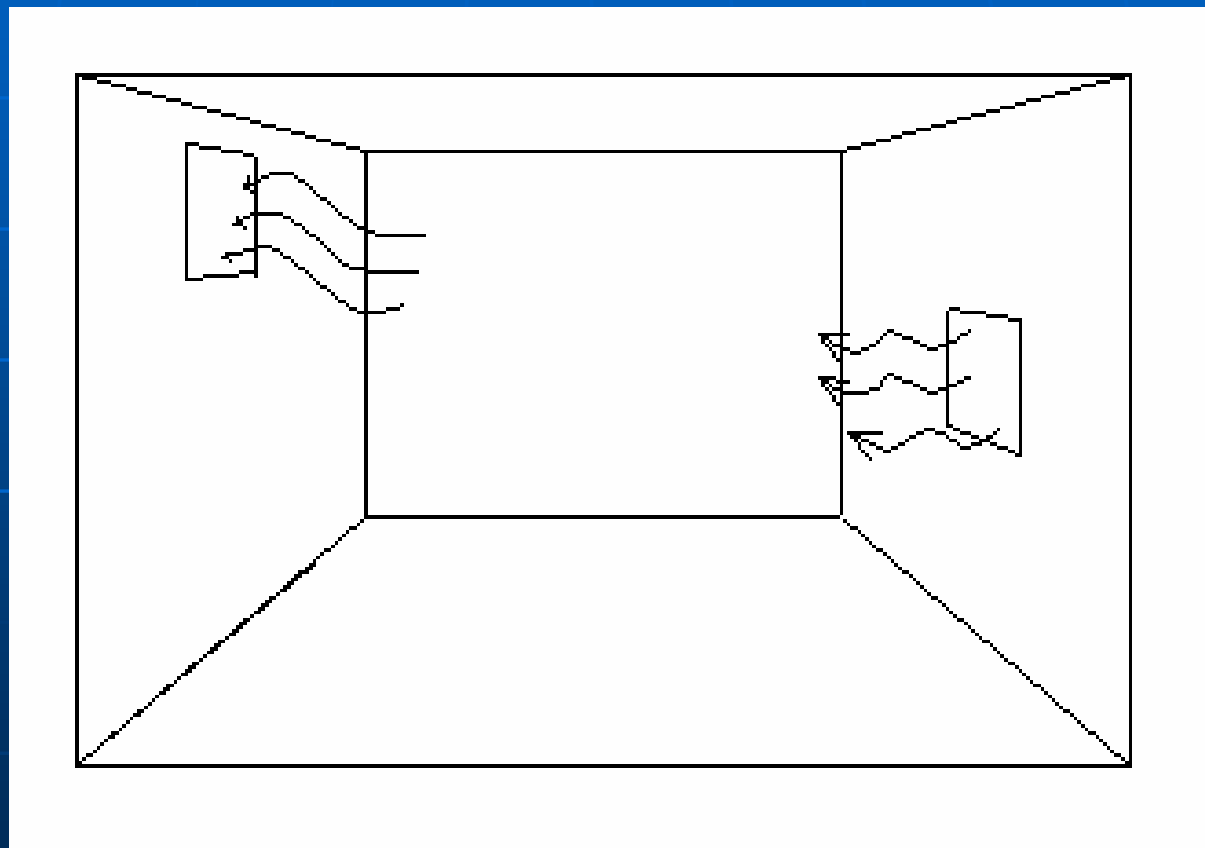
2. 工業通風目的

1. 排除作業環境之有害氣體
2. 作業環境中舒適性的控制
3. 防止火災和爆炸的發生
4. 提供較高品質的作業環境

3. 工業通風設備分類

一般所使用的工業通風設備可分為**整體換氣**（General Replacement Ventilation）與**局部排氣**（Local Exhaust Ventilation）兩種。整體換氣係將一特定空間內所有空氣排出，同時導入外氣以補充排出的空氣，藉此達到通風的目的。而局部排氣係於污染物發生源即將污染物吸收捕集加以排除的通風方式。

整體換氣裝置



一般來說，整體換氣依供給空氣流流動的方式尚可區分為**自然換氣**與**機械換氣**兩種。

自然換氣：主要是利用溫差或風力的方式交換室內外空氣，利用自然通風的方式成本低，幾乎不需要運轉費用，但換氣量受溫度及室外風速等因數影響而較難控制，故使用受限制效率低。

機械換氣：主要是利用排風機強制空氣流動達到換氣的目的，利用排風機可單獨對室內實施供氣或單獨排氣，也可同時供氣與排氣，不同的組合各有不同的效果，雖然附加風機設備耗費能源，但換氣效率較高。

4. 氣流型態

- 基本上空氣氣流之型態就特性而言有四種基本型態：即**短路型氣流**、**完全混合式氣流**、**置換型氣流**及**活塞式氣流**。

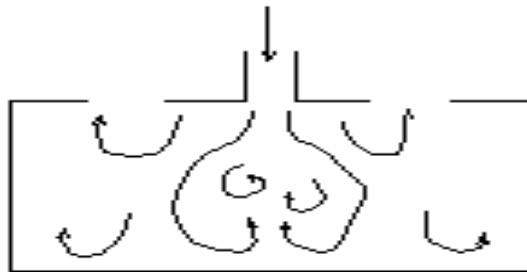


圖 1.5 完全混合式氣流



圖 1.4 短路型氣流

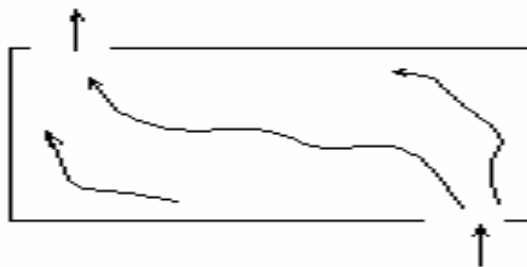


圖 1.6 置換型氣流

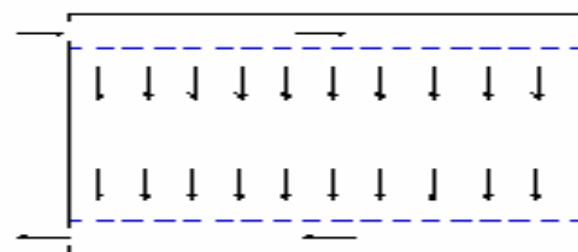


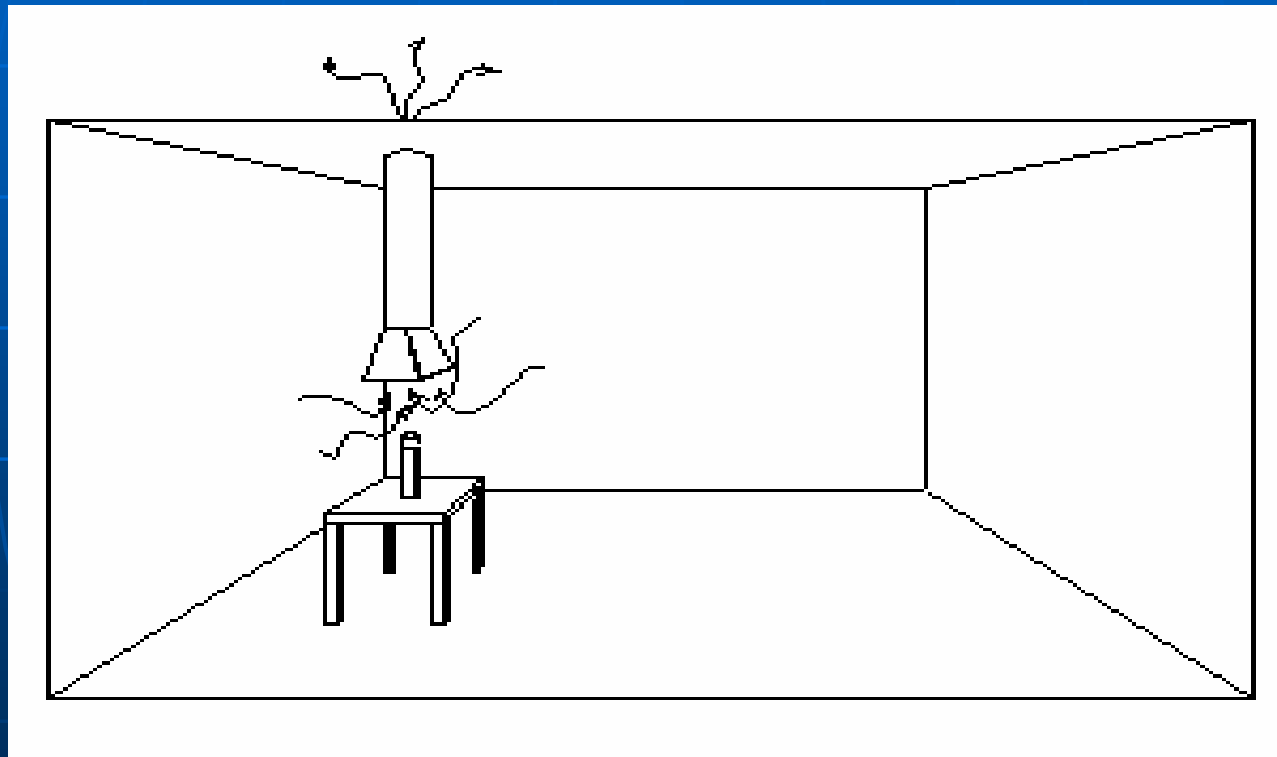
圖 1.7 活塞式氣流

另外**進/排氣口的配置**亦應避免將排出的空氣混入欲供給入室內的氣體中，防止二次污染。就室內污染物移除效率而言，**活塞式**的空氣流動型式對污染物的排除效果最理想，但需相當大的進/排氣口面積，對換氣量需求較大，也較耗費能源。

5. 污染物移除

基於上述可知，整體換氣中，換氣量的大小影響了室內污染物排除的時間，換氣量愈大污染物移除的時間越短，而整體換氣的進排氣口配置對污染物排除的效率有決定性的影響。

局部排氣裝置



典型的局部排氣系統包括有一至數個氣罩，這些氣罩藉由導管的連接將所抽取的空氣或捕集的污染物由共同的出口排出。

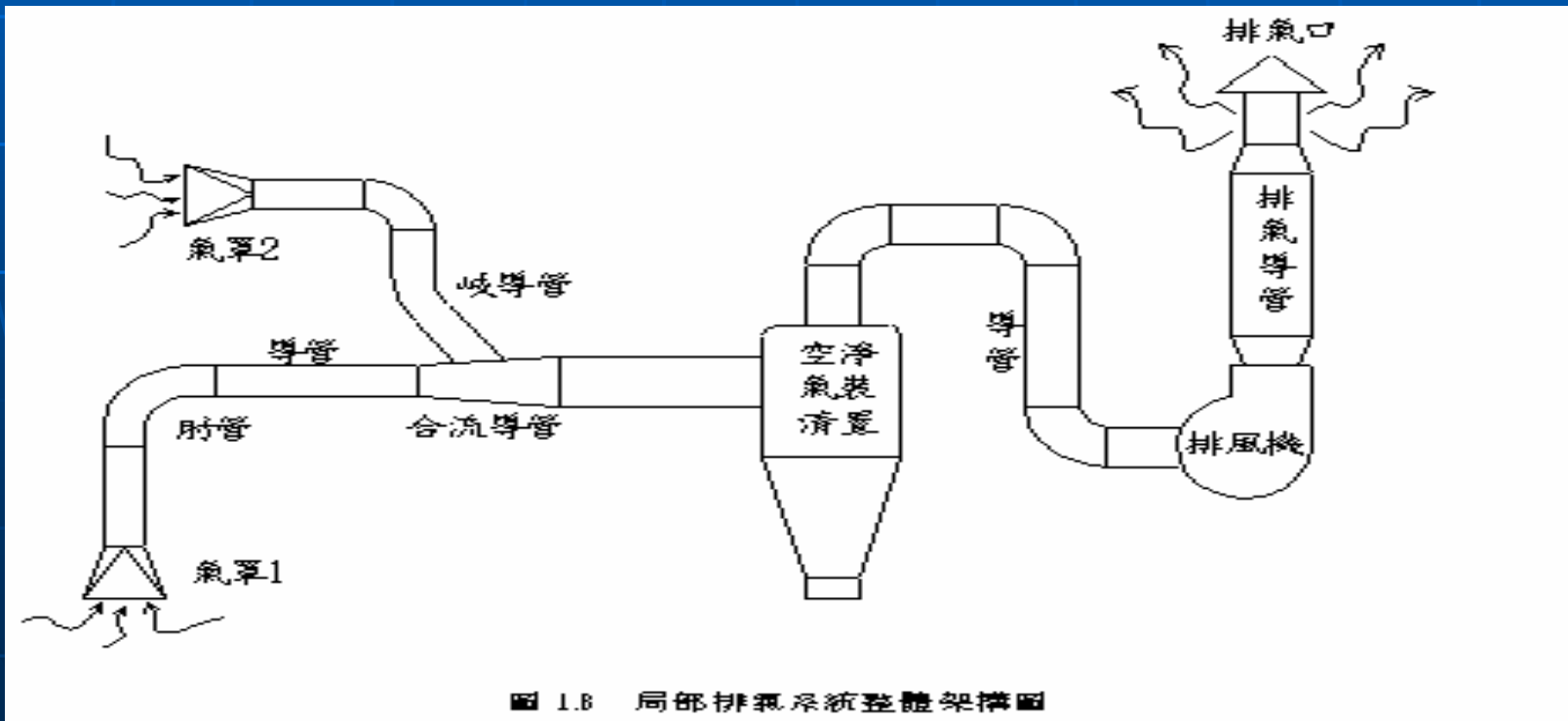
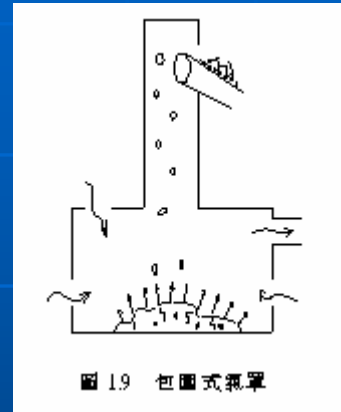


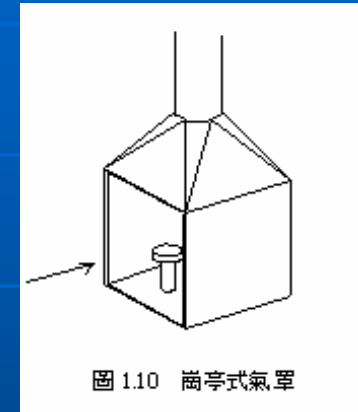
圖 1.8 局部排氣系統整體架構圖

6. 氣罩型式

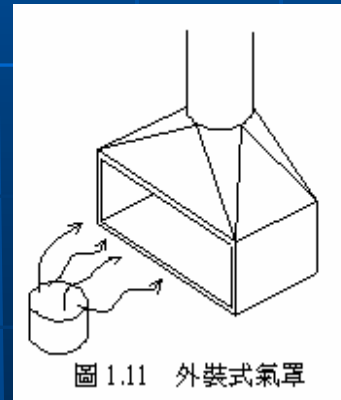
1. 包圍式



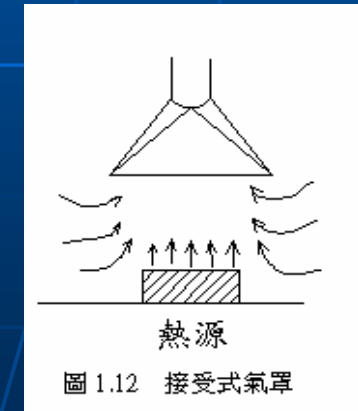
2. 崗亭式



3. 外裝式



4. 接收式



室內整體通風效率（Ventilation efficiency），可由進排氣口處與室內污染物平均濃度差異求出。

1. 整體通風效率

$$\varepsilon = \frac{C_e - C_s}{\langle C \rangle - C_s} \times 100\%$$

2. 局部通風效率

$$\varepsilon_P = \frac{C_e - C_s}{C_P - C_s} \times 100\%$$

3. 氣罩捕集效率

$$\eta = \frac{C_i - C_{bkgd}}{C_{100\%} - C_{bkgd}} \times 100\%$$

作業環境工業通風設計所需設計條件

(1) 污染源狀態

- * 逸散源的位置或潛在的逸散源？
- * 實際暴露在哪個污染源之下？
- * 每一個來源之間的相關性？
- * 記述每一個來源的特徵？〔例如：化學成分、溫度、擴散率、擴散方向、最初的擴散速率、連續或是斷斷續續、擴散の間隔。〕

作業環境工業通風設計所需設計條件

(2) 空氣狀態

* 空氣如何移動〔例如：方向、速度。〕？

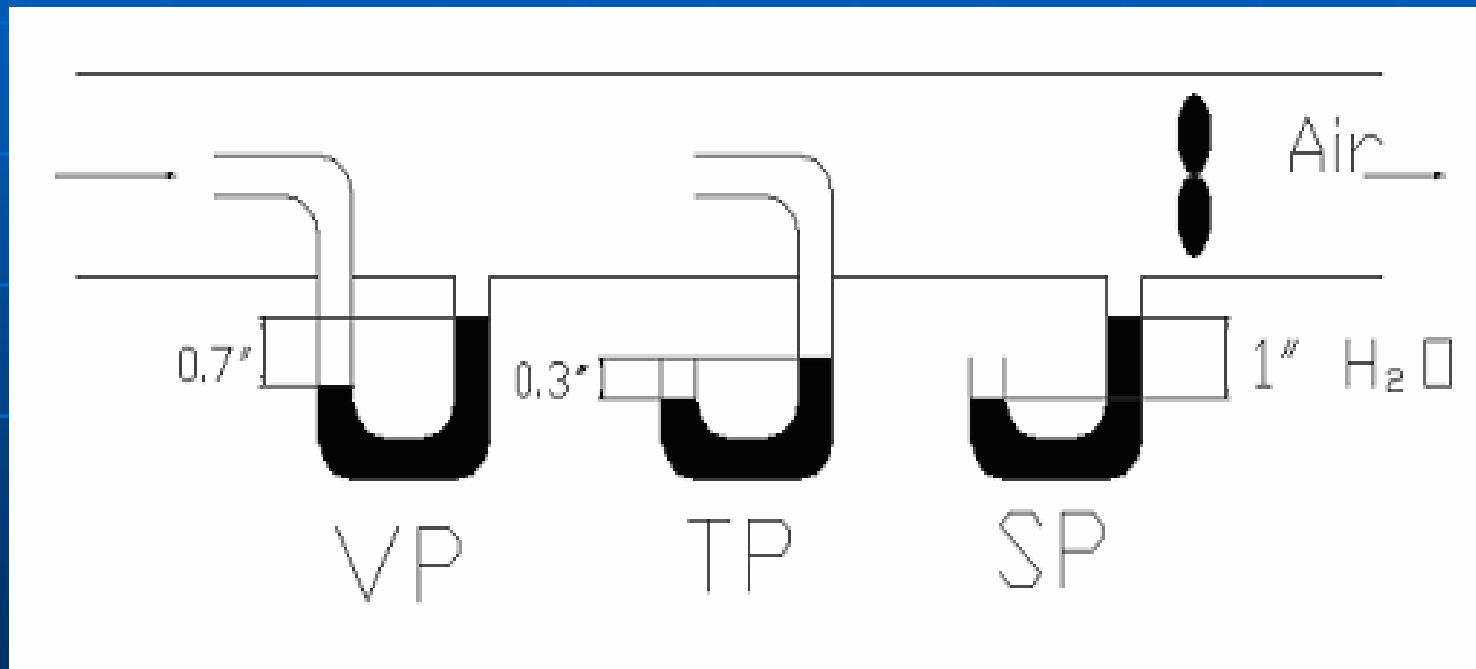
* 空氣的特性？〔例如：空氣溫度、混和程度、供氣與回氣情況、換氣率、風速與風向的影響、天氣與季節的影響。〕

作業環境工業通風設計所需設計條件

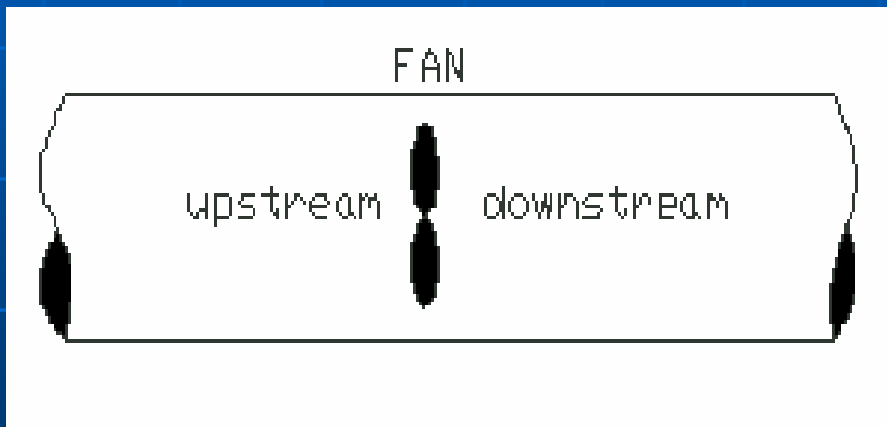
(3) 工作者狀態

- * 工作者與逸散源之間的相互關係？
- * 從業員工作性質的界定？〔例如：工作者位置、工作程序、工作者的教育與訓練程度、合作性。〕

7. 風管內之靜壓、動壓與全壓圖



壓力符號說明圖



	TP	SP	VP
Up-Stream	-	-	+
Down-Stream	+	+	+

8. 整體換氣適用性比較

利用整體換氣控制室內污染源之條件

適用條件：

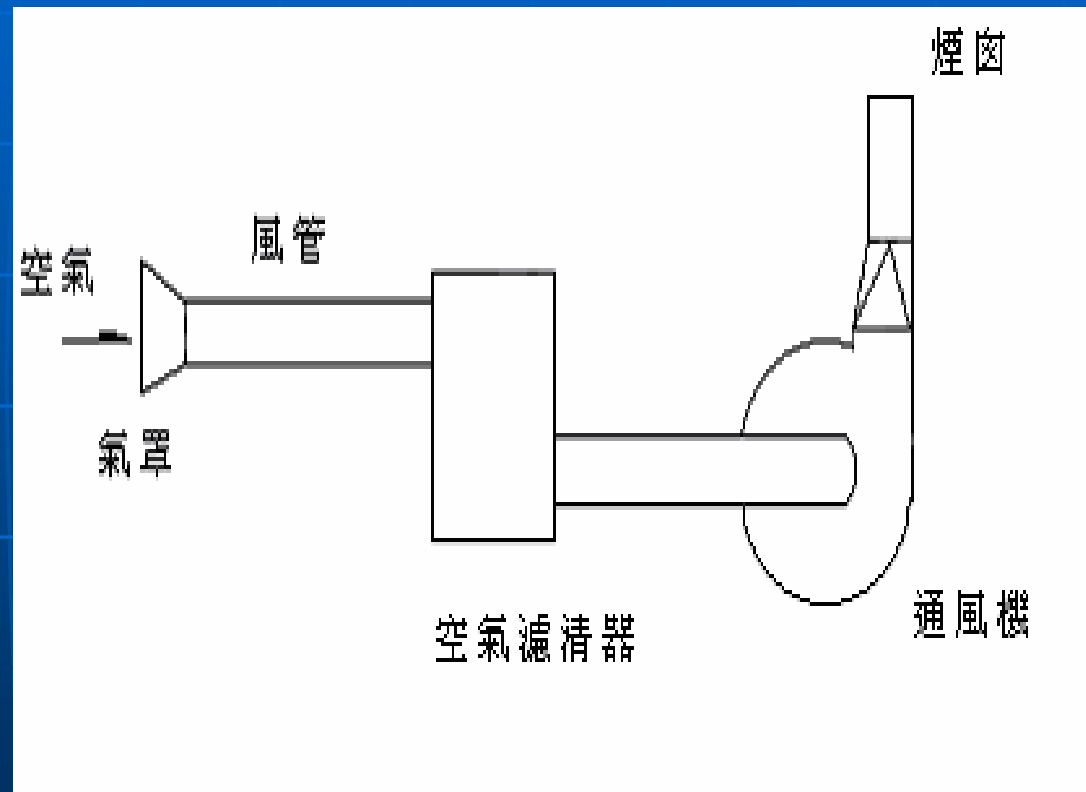
- 污染源並無致命毒性
- 污染源最初為蒸氣或氣體，或者為適於呼吸的大小
- 污染源始終發生於常態
- 污染源到處都是
- 污染源離人有一定距離
- 非高、低溫條件
- 外在環境比工作場合乾淨

整體換氣適用性比較

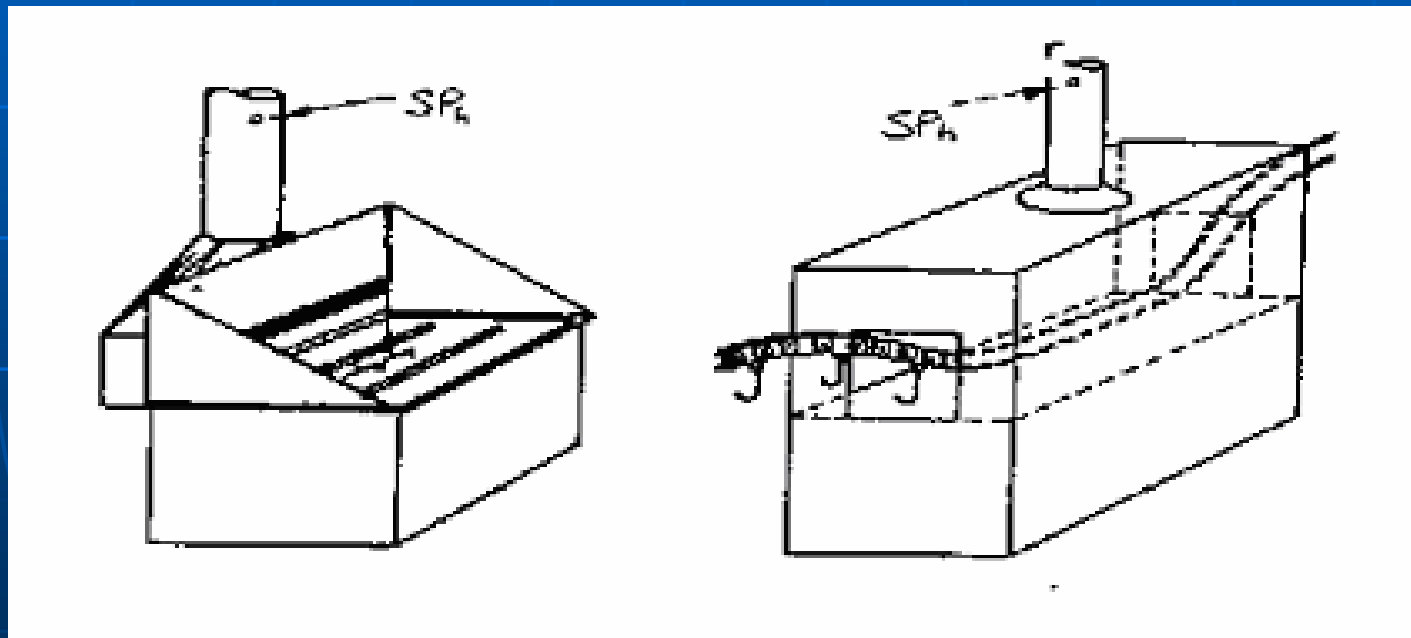
- **不適用條件：**
- 污染源具有高度毒性
- 污染源為大顆粒
- 只有部分環境具有污染源
- 為局部的大污染源
- 工作人員在污染源附近
- 建築物在特殊氣候中
- 污染源使得附近環境變的惡劣
- 即使暴露量低於TLV或PEL，但還是導致污染源濃度過高而使人員發生過敏或身體不適

9. 局部排氣系統之基本組成元件

1. 氣罩 (Hood)
2. 管路 (Piping)
3. 風機 (Fan)
4. 空氣濾清器 (Air cleaner)
5. 排氣管 (Stack)

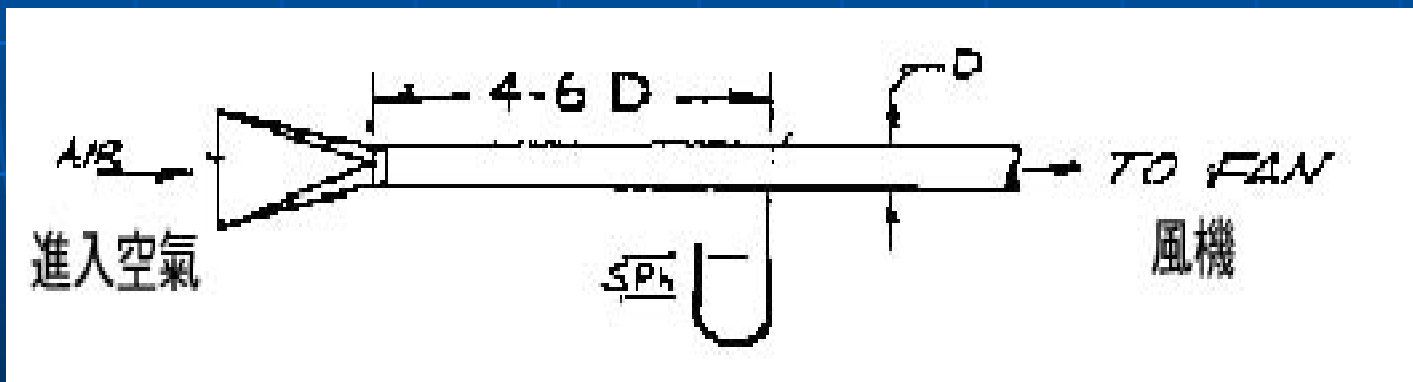


氣罩的另一種說法就是“**污染源控制設備**”。
在早期這個機械式引導通風系統裡，氣罩是
指覆蓋或遮蓋的意思。



開放式與全遮式氣罩示意圖

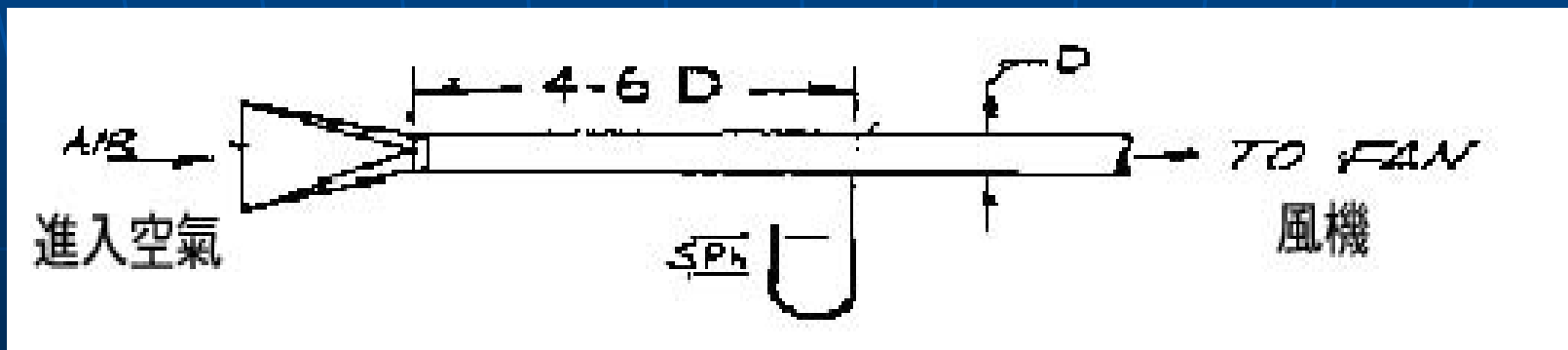
一個局部排氣系統，風機會使氣罩內變成負壓區。大氣壓力會使空氣進入氣罩內，並使輸送管內的壓力趨近於平衡。



在氣罩以內，所有可利用的靜壓都轉換成速度壓及氣罩的進入損失。此“氣罩內靜壓”， SPh ，轉換成速度壓 VP 及空氣進入氣罩的壓力損失， He (氣罩損失)。

可用下列的方程式描述之：

$$|SPh| = VP + He \quad \text{或} \quad SPh = -(VP + He)$$

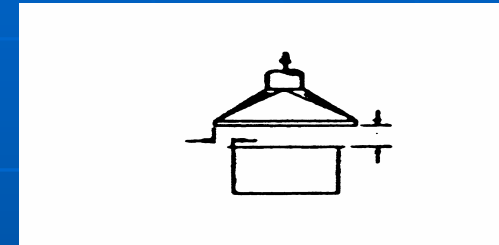


進入氣罩的壓力損失（ h_e ）就是從氣罩面到導管內量測點所有損失的總合

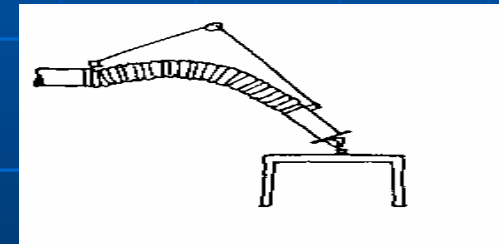
$$h_e = K \cdot VP \cdot d$$

10. 三種基本氣罩型式為：

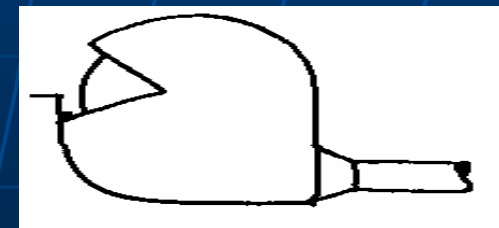
1. 接收式氣罩 (Receiving hood)



2. 外裝式氣罩 (Exterior hood)



3. 包圍式氣罩 (Enclosing hood)

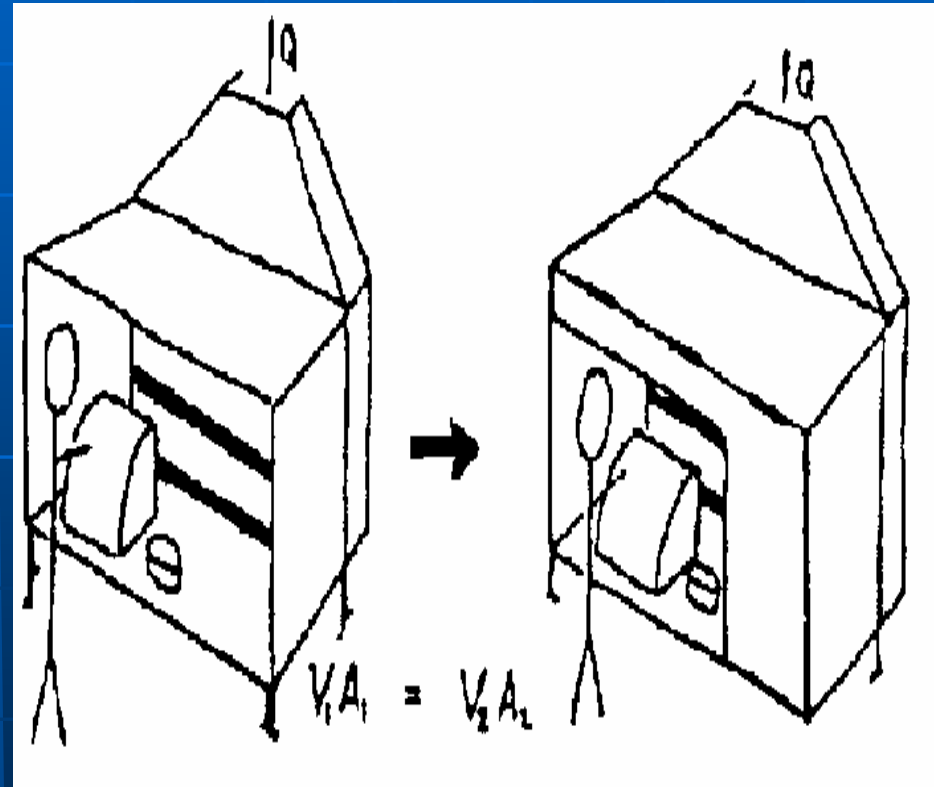


當我們在選擇，設計，或維修氣罩的時候，則必須要決定下列一些重要的參數。

1. 它的最佳形狀
2. 必須要能控制污染源的流量 Q
3. 摩擦係數
4. 氣罩吸入係數 C_e
5. 速度（面速度、補給速度、導管內傳送速度）
6. 尺寸

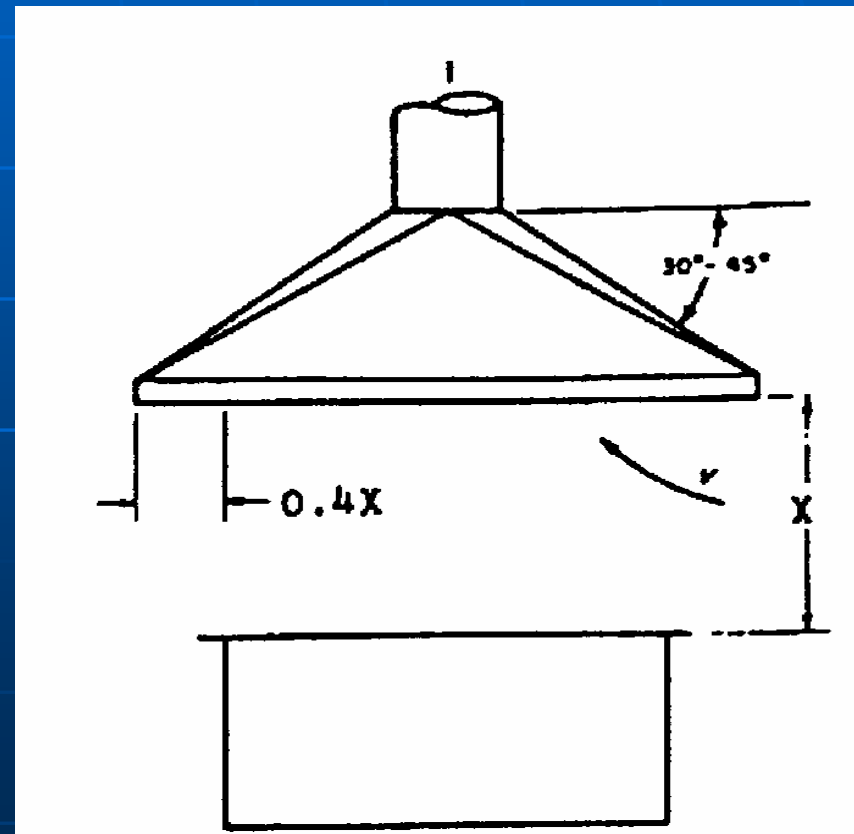
10a. 包圍式氣罩

1. 僅在必要的地點提供入口通道。
2. 確定氣罩是適合此工作環境；並檢驗此設計是否符合員工需要。
3. 通常地，氣罩能夠被包圍起來且面速度提升到 $V_f = 400$ 呎/分則不需流量 Q 或馬力（功率）上任何的改變。



10b. 接收式氣罩

1. 僅使用在高溫作業場所（上升氣流的高溫處理）。
2. 估計上升空氣氣流時的初始和終端的速度。
3. 從氣罩抽光的空氣體積必須超過抵達氣罩表面的空氣體積。
4. 當熱空氣上升時，上升的空氣有擴散的趨勢。
5. 氣罩盡量接近污染源。

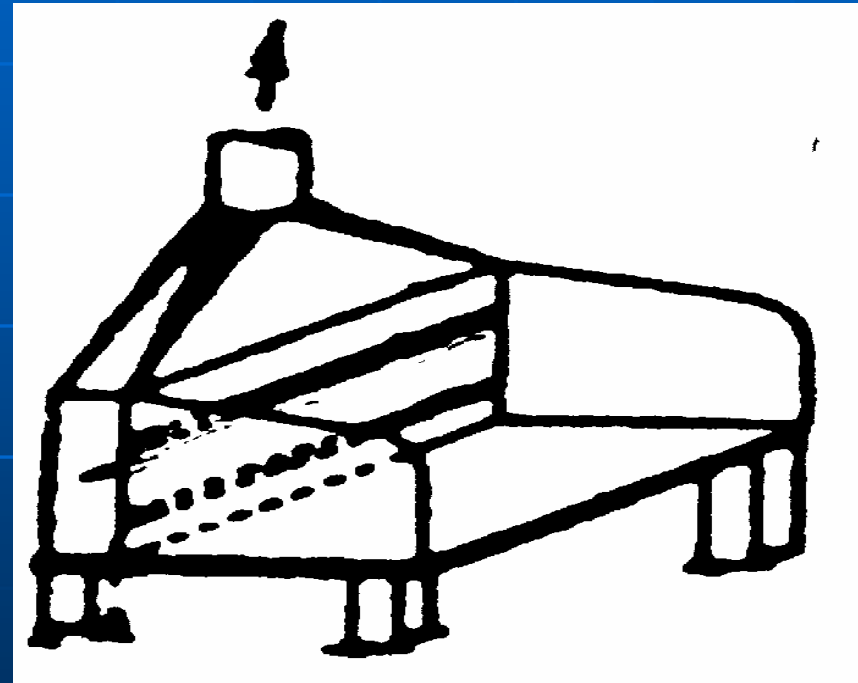


10c. 傾斜氣罩的邊緣45度

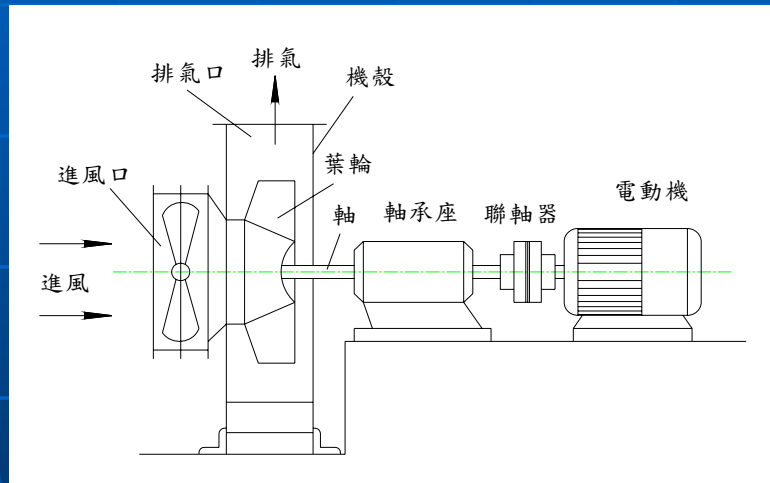
相對於熱空氣上升氣流的截面積，氣罩面的表面積應該為**125%**。大的氣罩表面促使需要更多的空氣，並需要排出更多的空氣以控制污染源。

10d. 側吸式氣罩

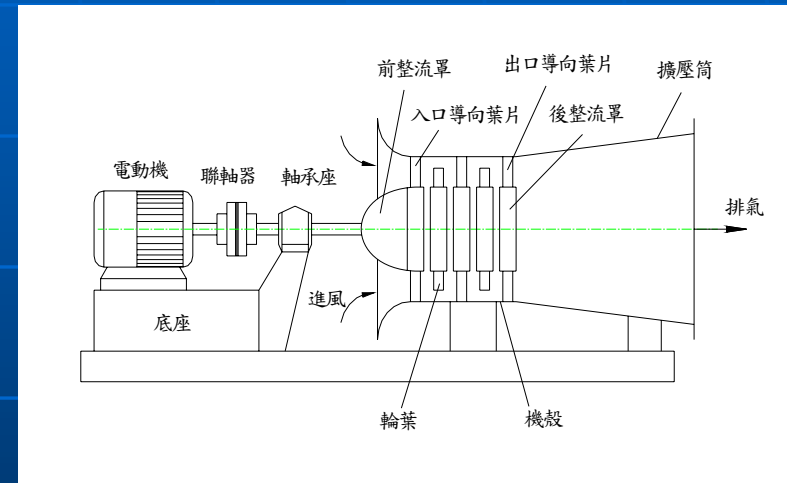
- 氣罩，側吹式氣罩是個複合式它需要空氣進入兩次，第一次通過長縫口進入充氣室，在此地方速度降低許多，然後再由充氣室進入導管內。



風機一般依氣流進入及吹出的方向大致可分為**離心式**、**斜流式**、**橫流式**及**軸流式**等四種型式。

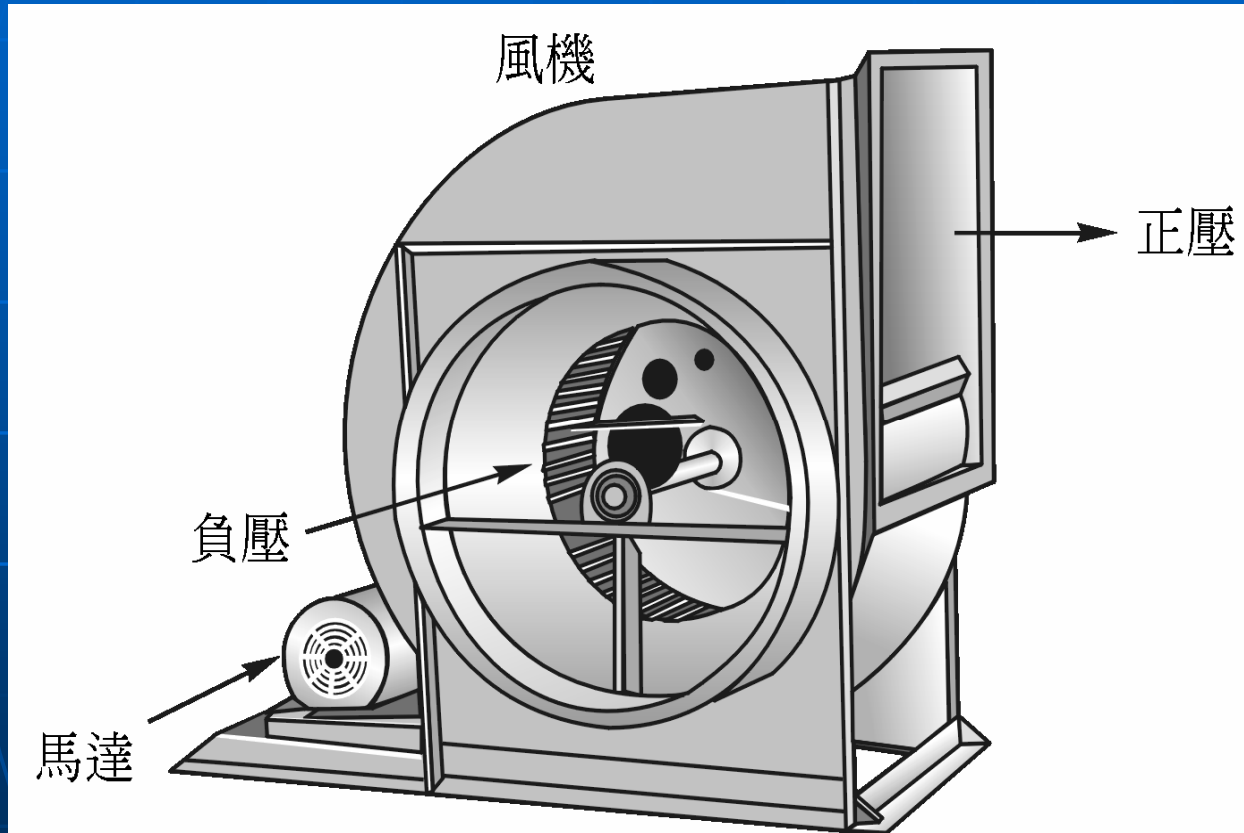


離心式風機構造示意圖



軸流式風機構造示意圖

11. 風機壓力分布圖



風機全壓 (FTP)

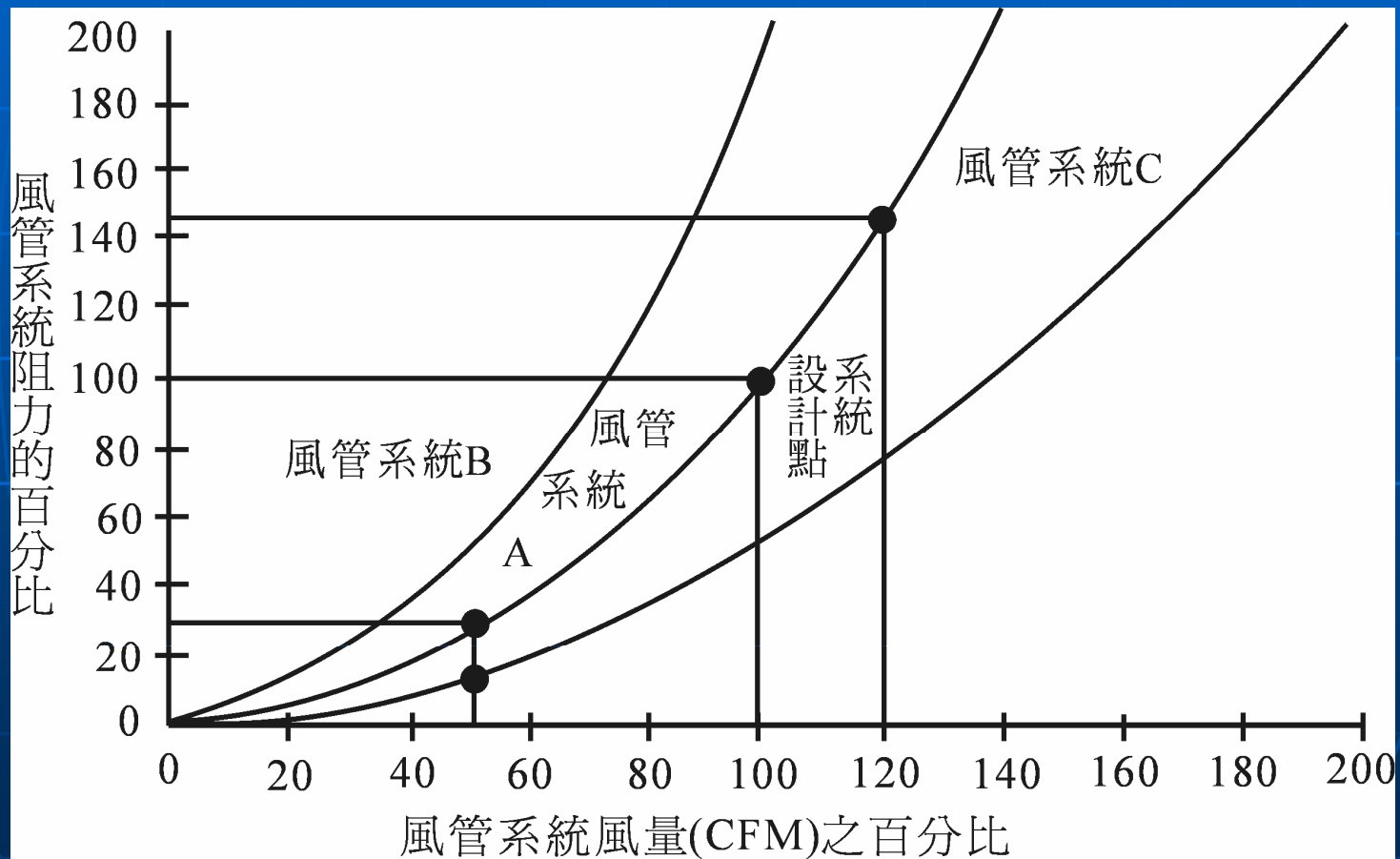
- $FTP = P_{Tout} - P_{Tin}$

- $FTP = P_{Sout} + P_{Vout} - (P_{Sin} + P_{Vin})$

風機定律公式

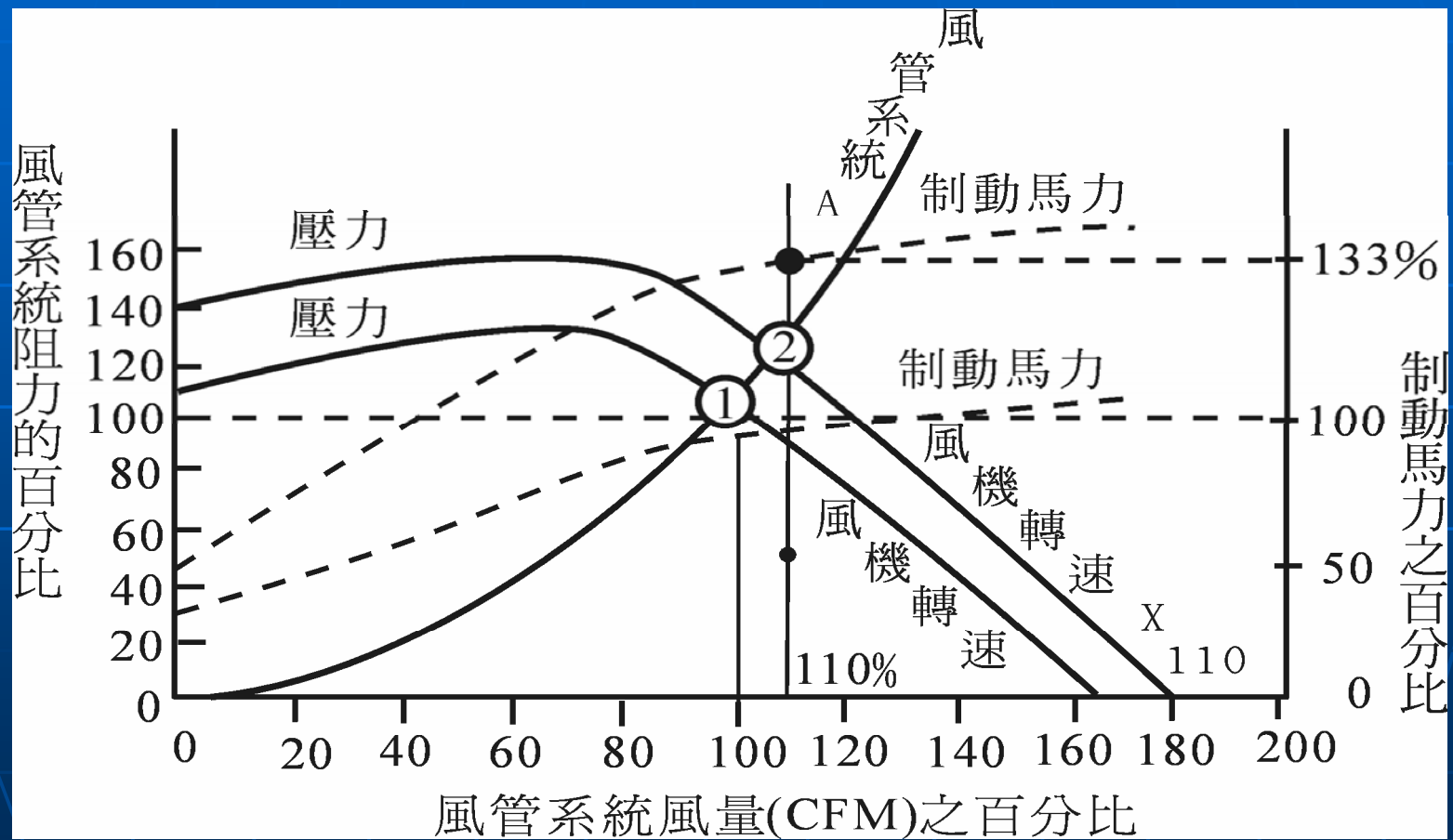
- 第一定律: $N1/N2 = Q1/Q2$
- 第二定律: $(Q1/Q2)^2 = (N1/N2)^2 = P1/P2$
- 第三定律: $(Q1/Q2)^3 = (N1/N2)^3 = W1/W2$

12. 風管系統曲線圖



- 假設該系統之設計點是在**100%**之風量及**100%**之風壓時，當設計風量增至**120%**時，根據系統方程式可算出該系統設計阻力會增至**144%**。風量再增加，則系統壓力亦會相對之增加。如風量減到原設計風量的**50%**時，則風壓亦會減至原設計壓力的**25%**。

13. 風機性能曲線圖

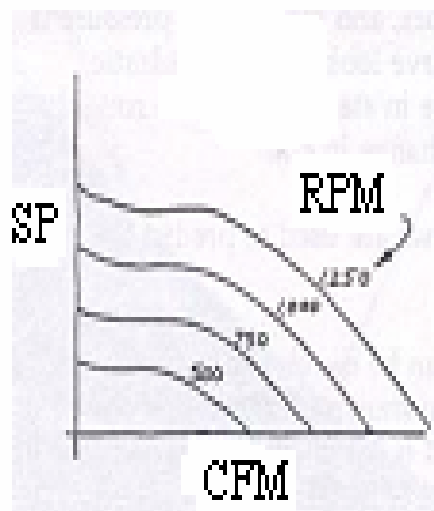


- 如上圖所示即為當風機速度增加**10%**至點**2**時，其風量增加之情形。可是風量增加**10%**卻會引至很大的馬力增加。根據風機法則馬力會增加**33%**。

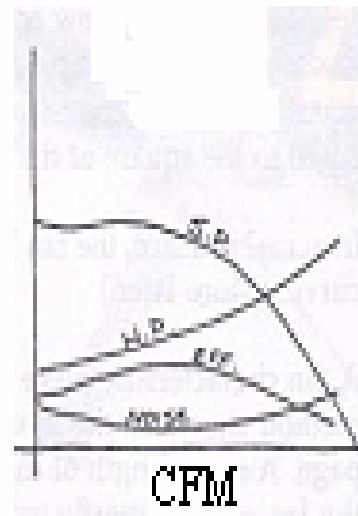
14. 風機壓力變化圖



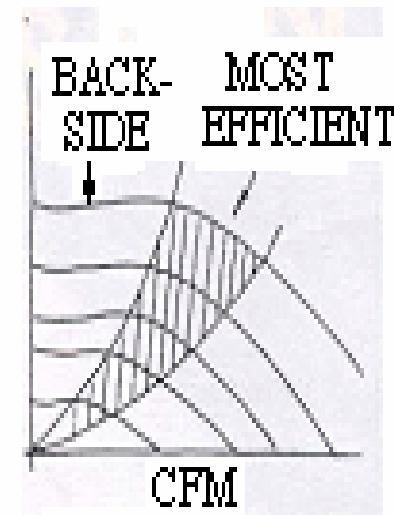
15. 風機特性曲線群組圖



圖A



圖B



圖C

造成風機/系統組合效能不足其最常見的原因有三：

1. 風機出口端銜接不當
 2. 風機進口端氣流不均勻
 3. 在風機進口端有旋轉渦流
- 這些狀況改變了風機空氣動力之特性，因而其全流潛力未能實現。

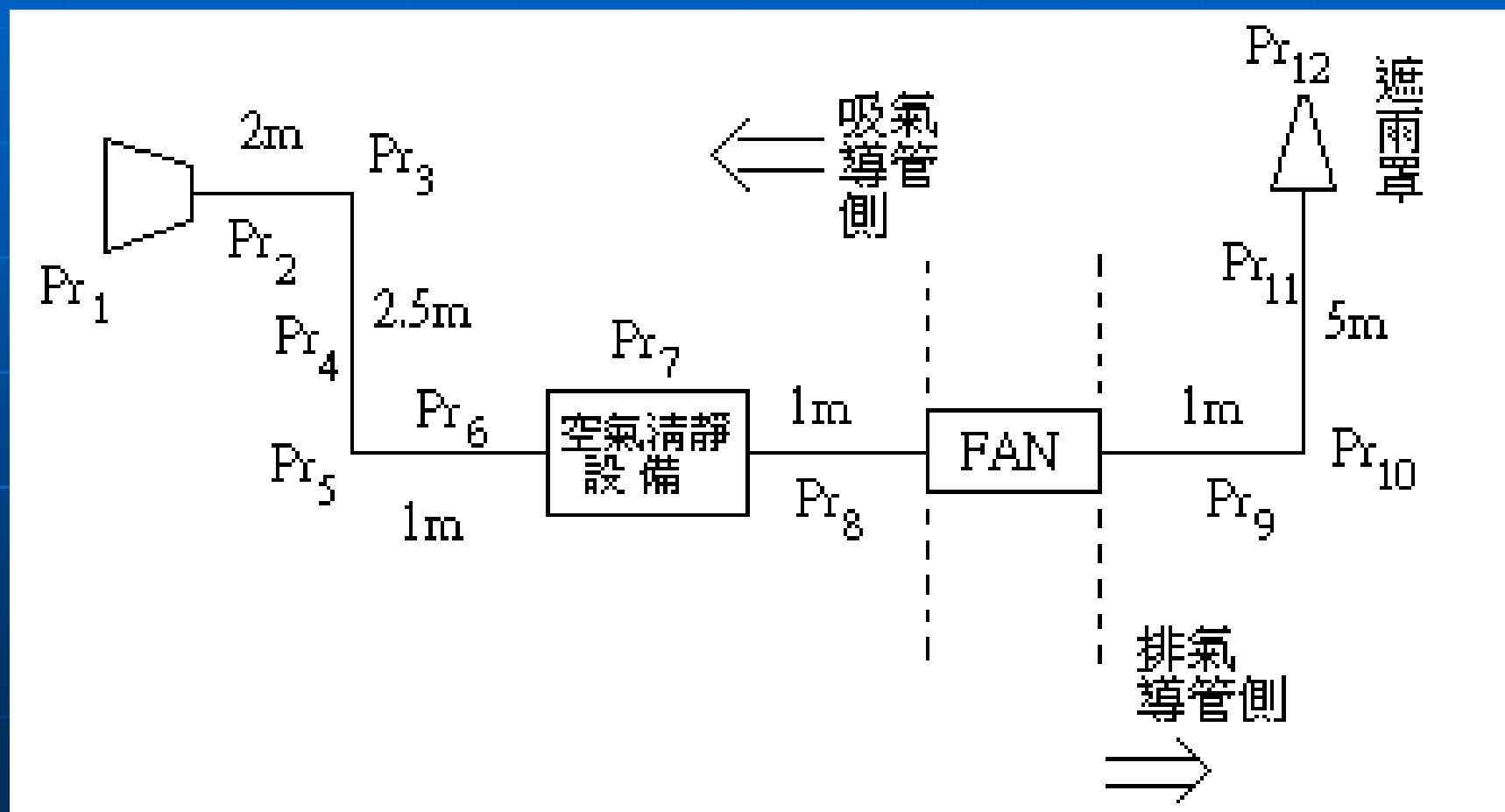
16. 局部排氣裝置之壓力損失

局部排氣裝置之壓力損失應包括氣罩、吸氣導管、空氣清淨裝置、排氣導管、排氣口等各部份壓力相加所得之和。因此，設計局部排氣裝置時應使排氣機全壓(由排氣機產生之全壓增加量)能適合此一合計之壓力損失。

導管及排氣口部份之壓力如下列

1. 直線圓形面導管
2. 直線方形斷面導管
3. 圓形斷面肘管
4. 長方形斷面肘管
5. 圓形斷面合流導管
6. 長方形斷面合流導管
7. 圓形斷面擴張導管
8. 圓形斷面漸縮導管
9. 附裝遮雨罩(Weather cap)之圓形斷面排氣口
10. 格條形(Louver)排氣口

17. 局部排氣系統設計範例



所有的通風系統幾乎都難免發生錯誤，但又常因為無法正確找出問題所在，而無法提供適當的解決之道。以下將常見之問題彙整且指出可能發生之原因。

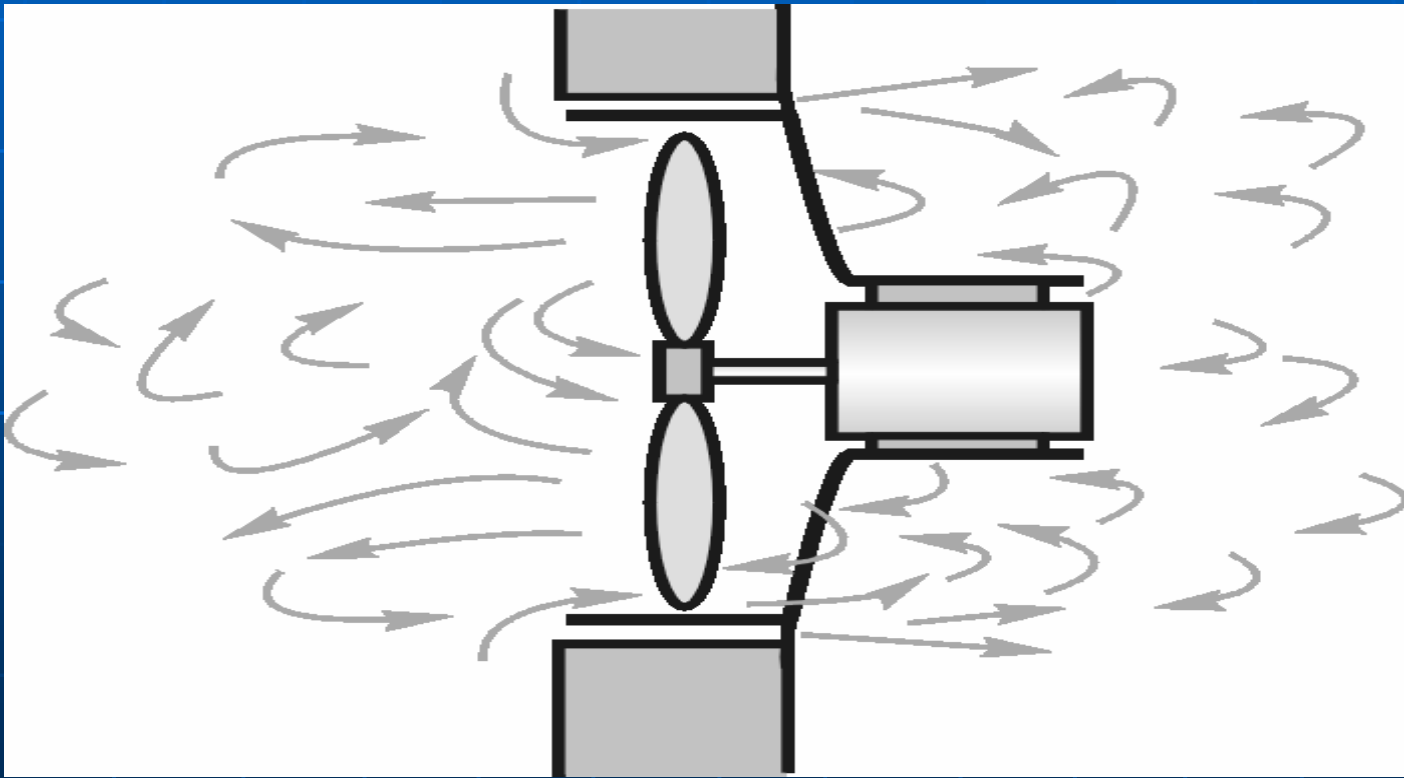
A.不良情況：減低抽氣速度，及過多不固定的溢散。

可能發生原因：起因可能是流率減小（除非經過製程自動改變）。

下列情況會導致流率減小：

1. 塞住導管或使導管凹陷
2. 減慢風扇運轉
3. 開啓空氣流通的通道
4. 導管或肘管破洞
5. 關閉分支流的閘，或開啓其他分支流的閘
6. 反向運轉風扇（於鉛線反轉可造成馬達或風扇反向轉動。）
7. 風扇葉片磨損
8. 在主要系統上另加支流或覆蓋
9. 空氣淨化器阻塞

氣密不良之換氣風機



B.不良情況：員工過度暴露，但流量、抽氣速度均在一般水準。

可能發生的原因：因工作習慣不正確、通風系統妨礙工作或生產率，以致工人避免使用此系統、員工不合作、訓練不適當、最初設計拙劣等。

C.不良情況：導管經常阻塞

可能發生原因：當運輸速度不足，或管內有潮濕微粒，造成物質形成時，就會引起導管阻塞。拙劣的設計，開啓通風口並關閉風扇也會造成導管阻塞。

D.不良情況：員工抱怨、系統誤用、系統擱置不用，或員工變更系統。

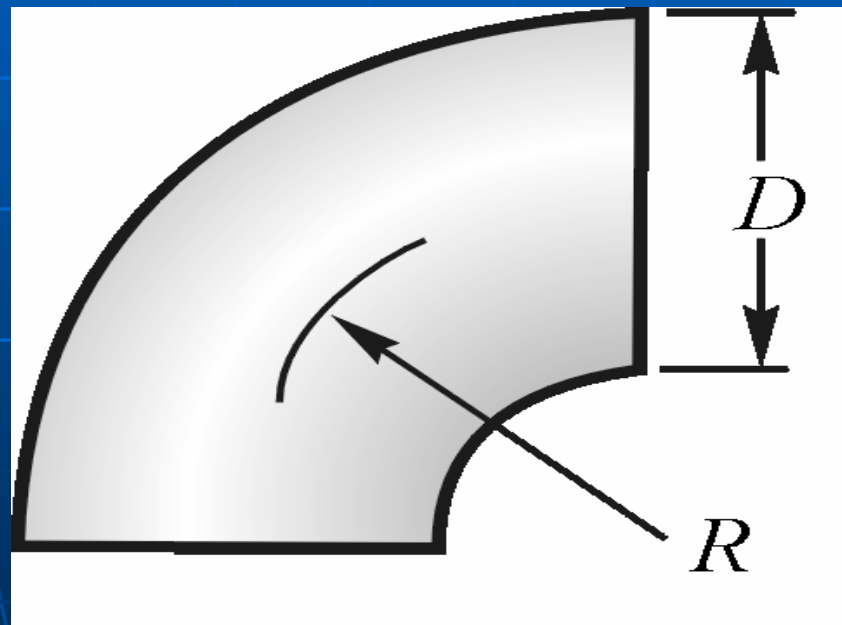
可能發生的原因：覆蓋物可能干擾工作、甚至使控制污染物的效率降低。

18. 一般測量法

- 外型尺寸量測
- 面速度量測
- 煙的使用
- 氣罩靜壓量測
- 風管速度量測

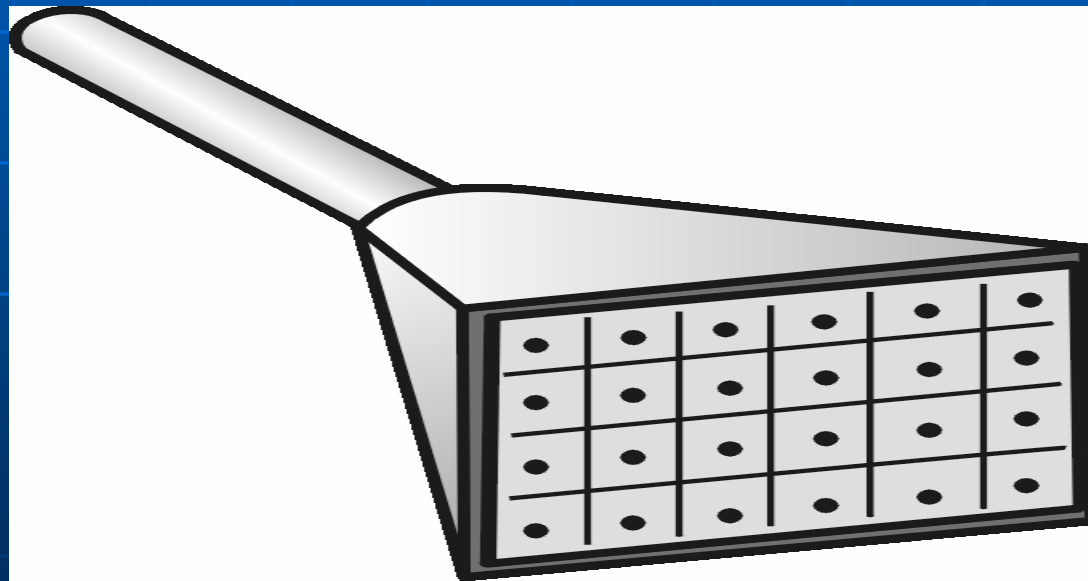
18a. 外型尺寸量測

- 風管曲率半徑



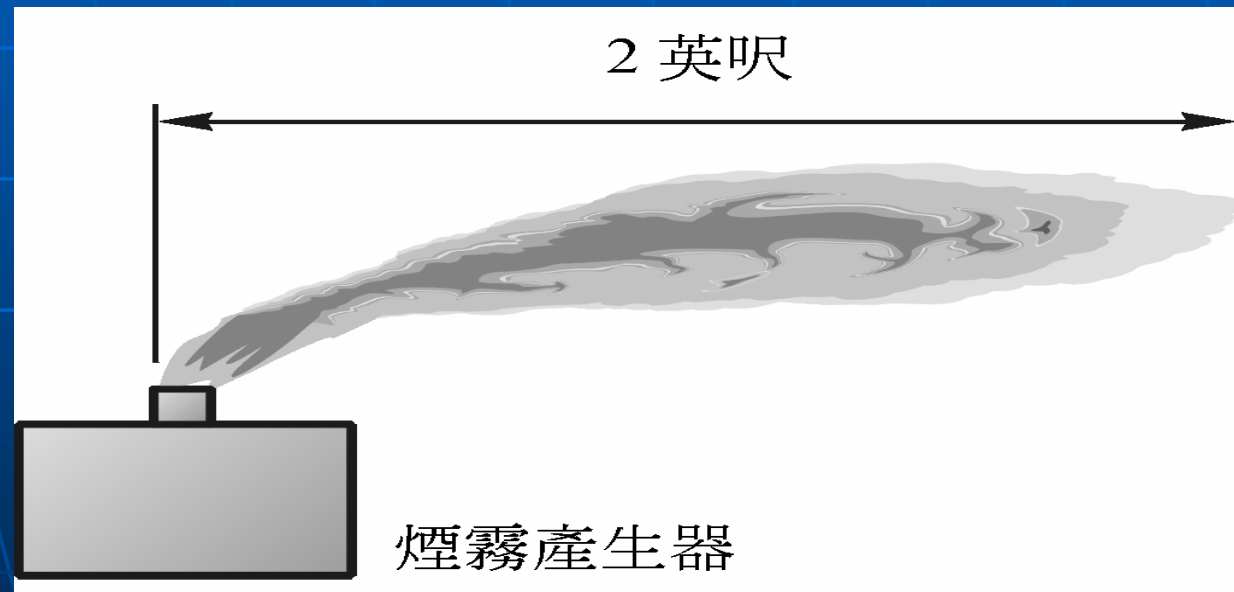
18b. 面速度量測

- 每個中心速度加以平均



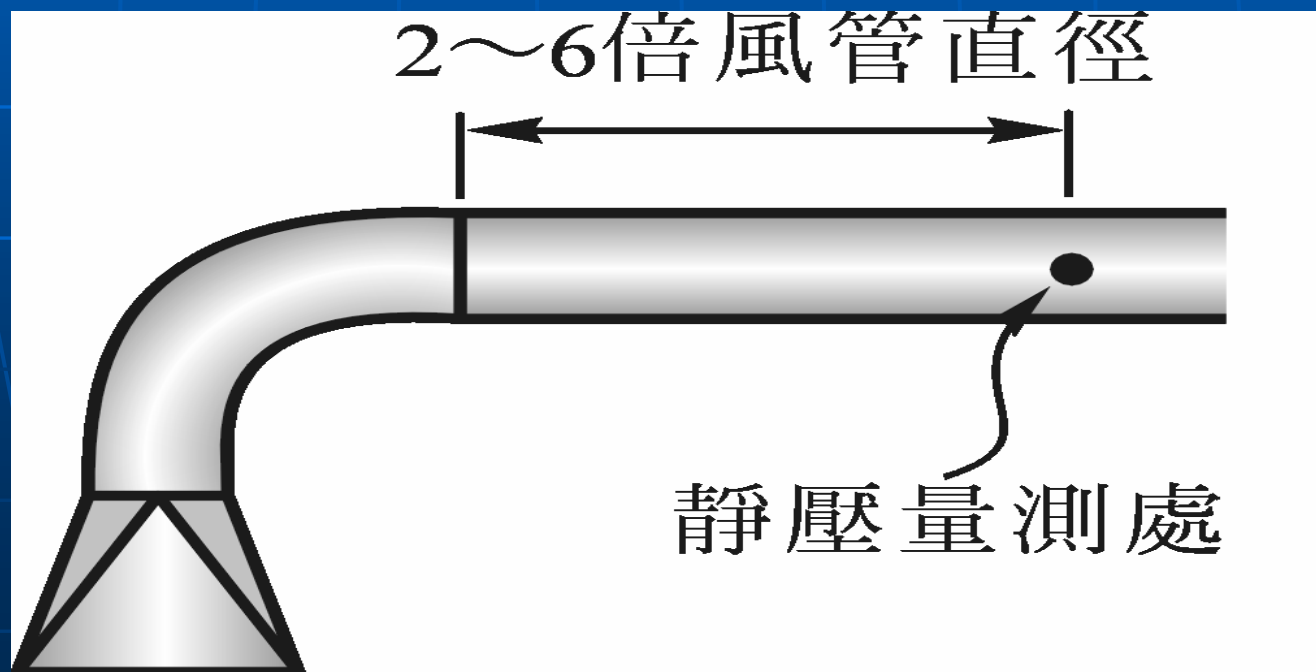
18c. 煙的使用

- 由煙霧移動可概略推算出氣流表面速度



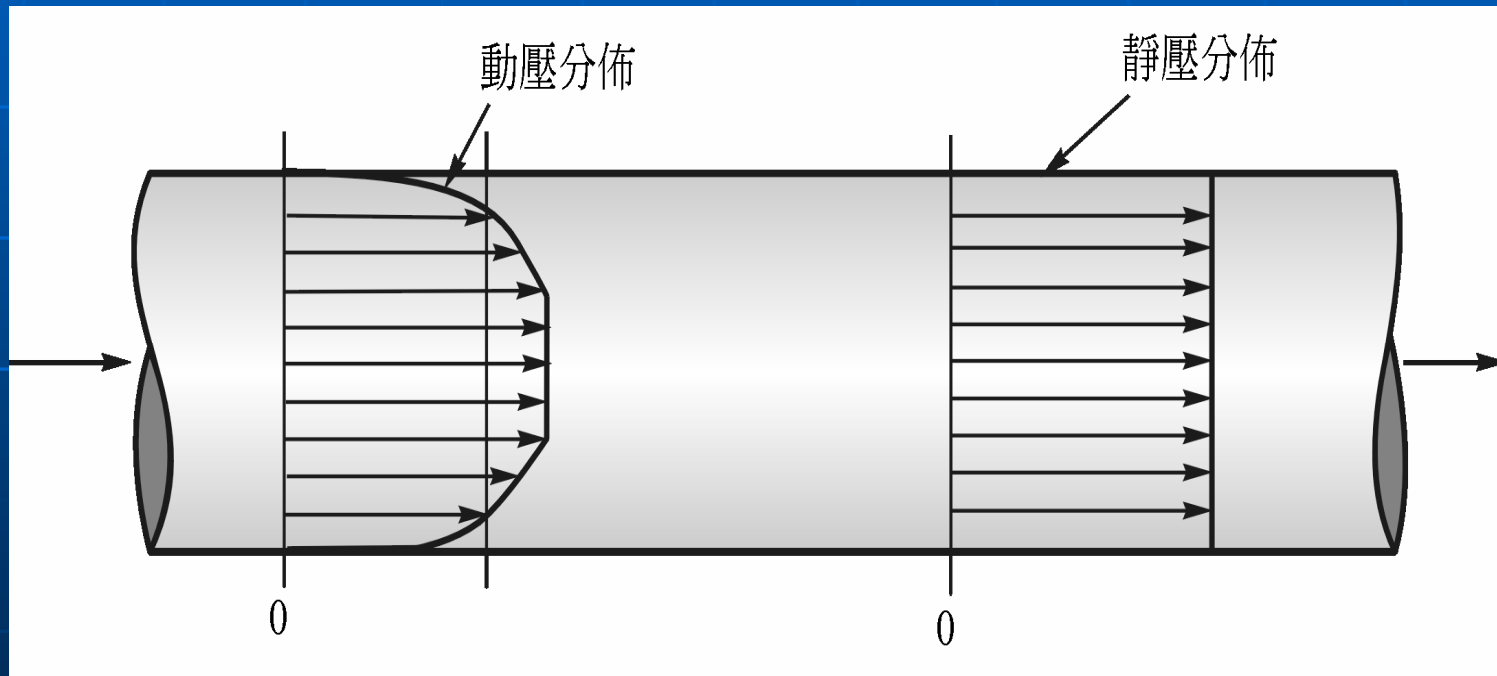
18d. 氣罩靜壓量測

- 氣罩的靜壓測量位置，大約是自氣罩起始點的平直風管的下游2~6倍風管直徑的地方



18e. 風管速度量測

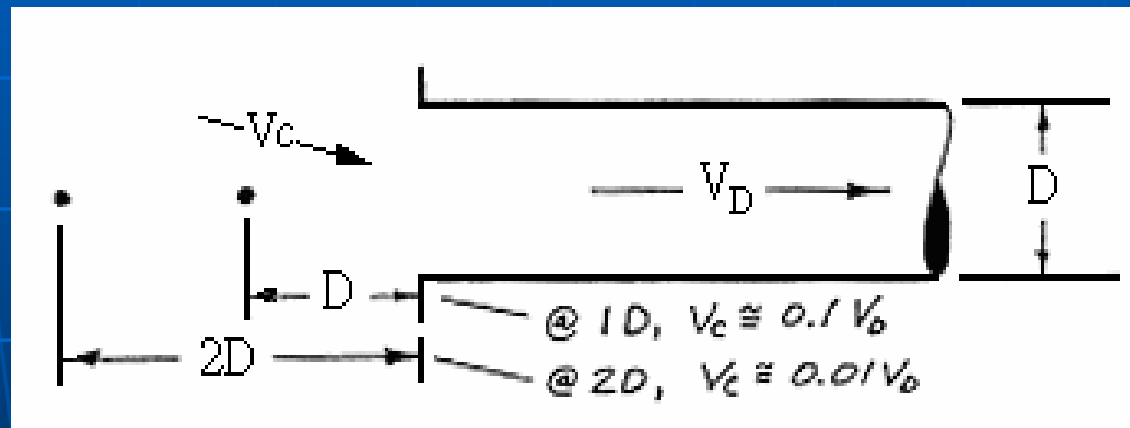
- 假如測量的是一長直風管，量測位置位於方向改變或障礙物下游約6倍直徑距離或上游3倍直徑距離，所量測速度可假設為中心速度的 $9/10$ 倍。(平均速度壓為中心速度壓的81%)。使用皮托管可測得比較精確的風管速度，皮托管可於風管垂直或水平方向風管截面分測6或10個速度壓後再將速度壓換算成風速後再求取風管內風速之平均值。



19. 各種簡單且重要的設計原則

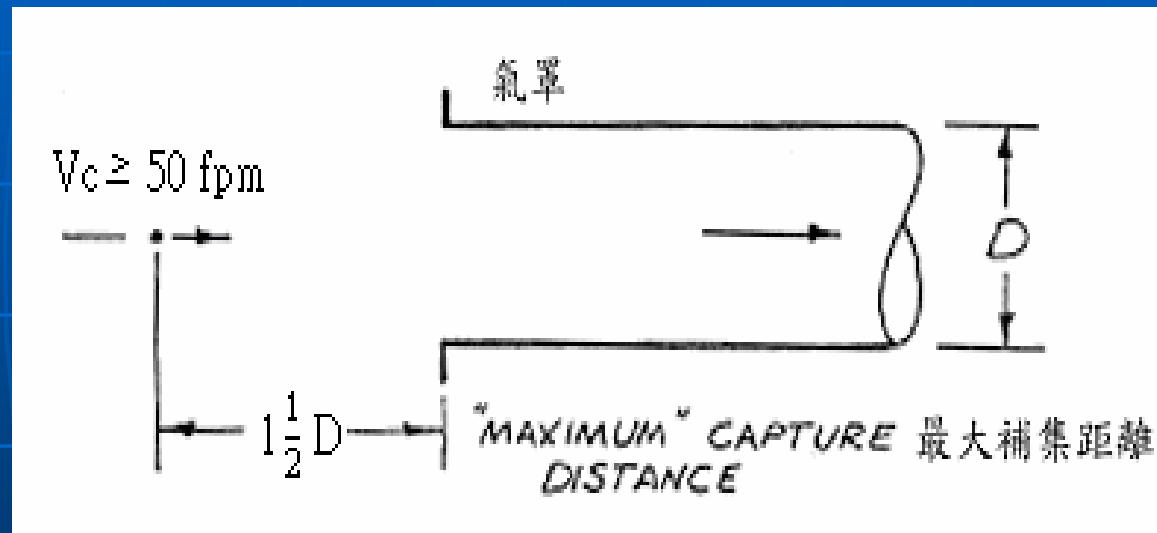
- 當設計及評估工業通風系統時，設計者及使用者通常需要在短時間內瞭解問題全貌而提出方案。關於**放射源之捕集、氣罩、通風管速度、室內空氣品質、風扇及煙囪**提供各種簡單且重要的設計原則給大家參考。

(一)單一凸緣氣罩之捕集速度(V_c)及風管速度(V_d)的相對關係。



單一凸緣氣罩之捕集速度與風管直徑關係圖

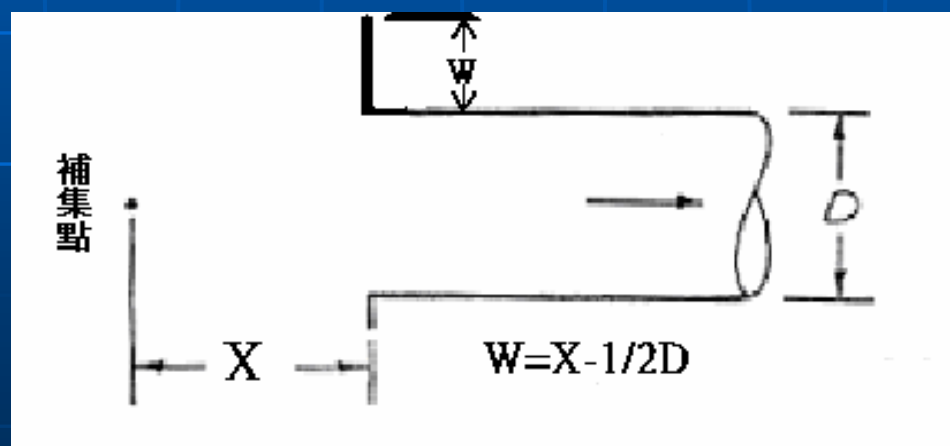
(二)氣罩捕集距離



單一氣罩之有效補集距離

(三)凸緣寬

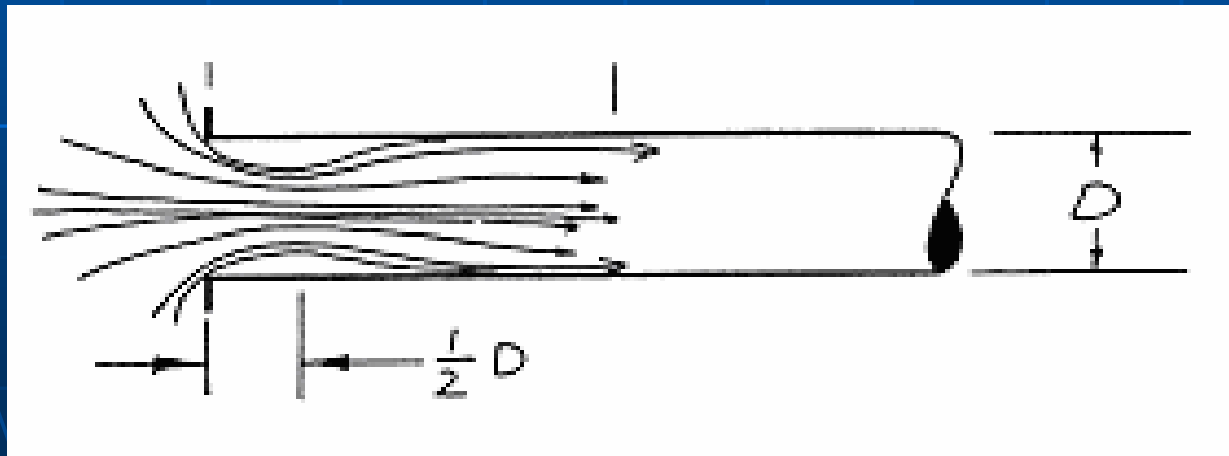
下圖顯示單一方法決定適當捕集氣罩之凸緣寬 (w)，此寬度正好夠大可以阻止氣罩之後的空氣流，這是常用的設計因為在氣罩之後的空氣流動對污染空氣補集不是幫助很大。



補集點位置示意圖

(四)縮口

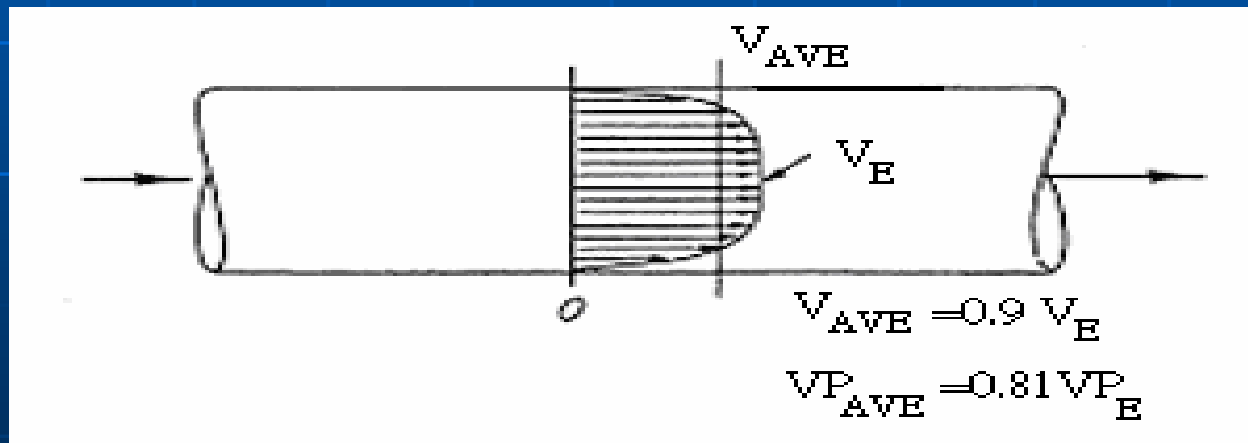
空氣從氣罩進入通風管之後的位置，這是非常重要的，我們盡量避免於接近縮口時進行測量，最大縮口發生於通風管內部於 $1/2$ 通風管直徑處，縮口之恢復大約在2倍通風管直徑處，當測量通風管之靜壓時，於縮口下游數倍通風管直徑處進行較佳。



縮口處之靜壓變化圖

(五)平均速度

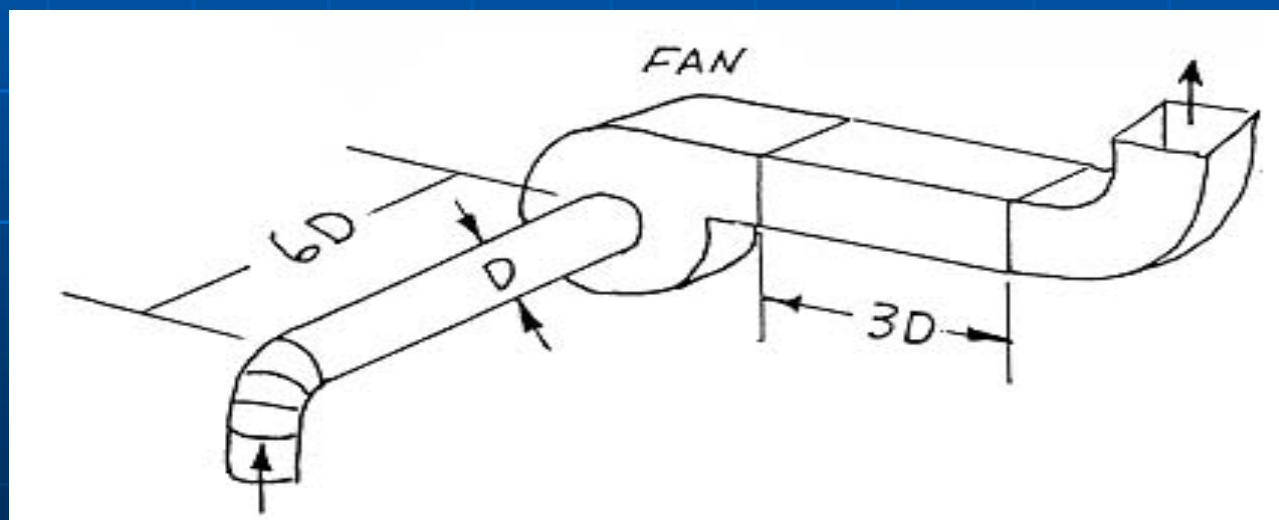
一長且筆直通風管之流體狀況，平均通風管速度(V_d)相當於中心線速度之**90%**，平均風管速度之壓力相當於中心線速度壓力之**81%**。以上之數值可以於只有單一測量時換算得平均速度。



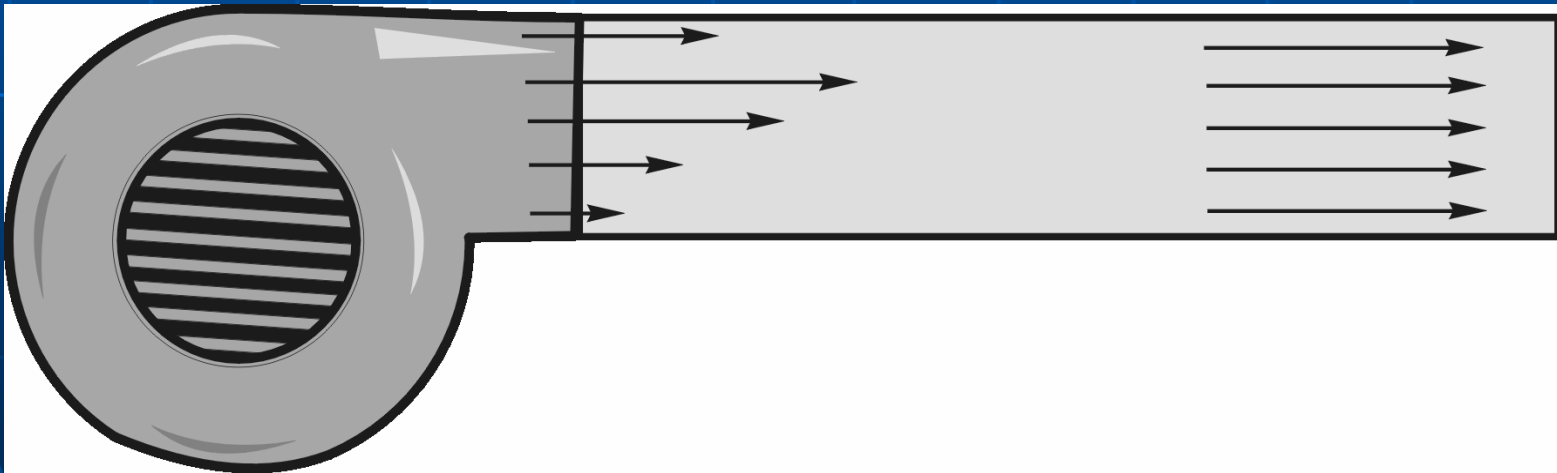
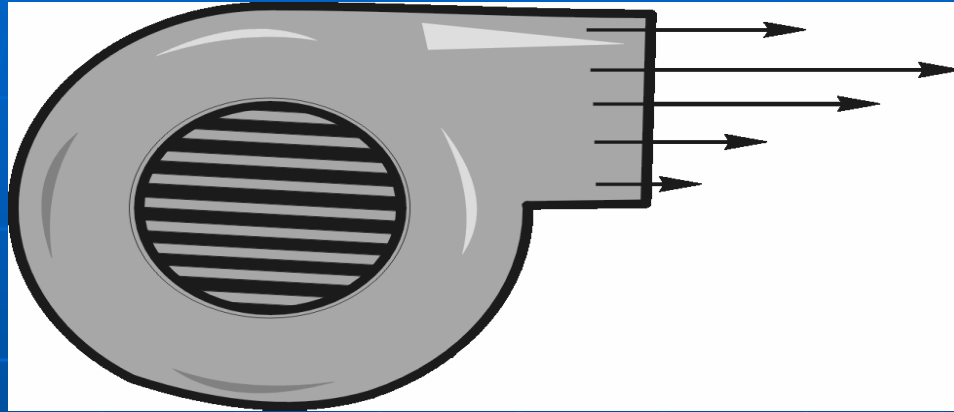
風管內平均風速值

(六)系統效應

通風管之設計可避免風機所產生的系統損失。稱之為「**六進三出方法**」於筆直通風管中風扇入口提供約六個通風管直徑長，於風扇出口約三個通風管直徑長。

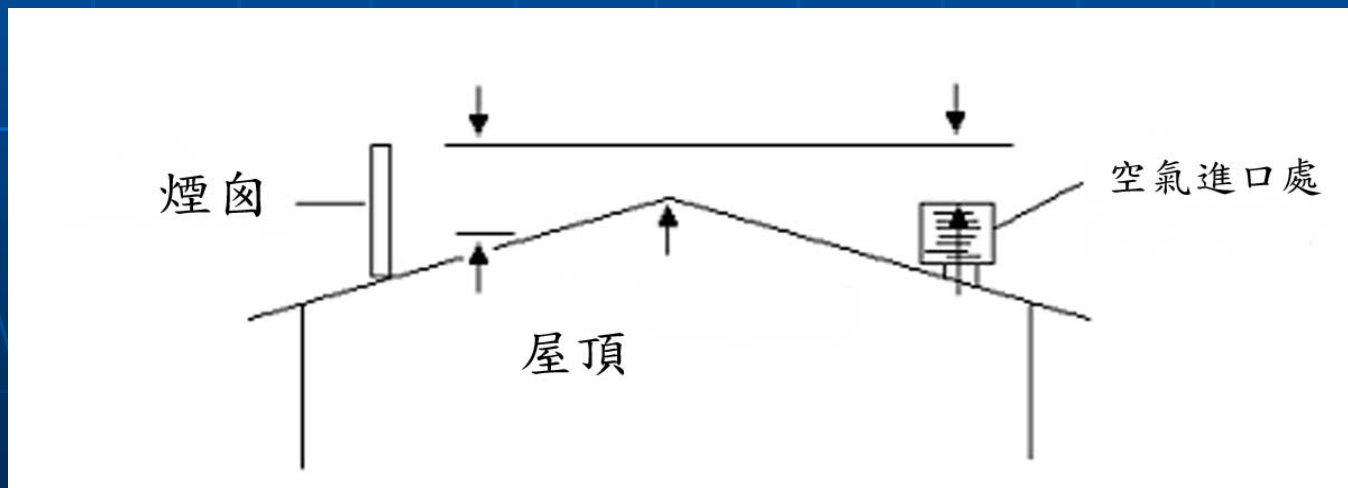


減少風機損失之風管長度設計圖



(七)10-50-300法則

下圖顯示煙囪高度較典型的值，法則上說：煙囪的高度應該比相連的屋頂分界線至少高10英尺且煙囪離空氣入口處50英尺，舉例來說，設置在距離空氣進口處50英尺的煙囪應該至少高於空氣入口處10英尺，排氣流速應該大約是3000(fpm)。



排氣煙囪之高度要求圖

THANK YOU



鍾 基 強

雲林科技大學機械系所 教授

E-mail : chungkc@yuntech.edu.tw

TEL (05) 534 2601 # 4128