

工業通風概要

主講人：鍾基強教授

國立雲林科技大學

內容大綱

壹. 概論

貳. 整體換氣

參. 局部排氣

肆. 經濟效益分析

壹. 概論

I. 現行法規與通風關係較明顯者有：

- 勞工作業環境空氣中有害容許濃度標準
- 特定化學物質危害預防標準
- 四烷基鉛中毒預防規則
- 有機溶劑中毒預防規則
- 鉛中毒預防規則
- 粉塵危害預防標準
- 缺氧症狀預防規則



壹. 概論(續)

II. 實施通風控制的目的

在作業環境中運用通風的技術其主要目的如下表示：

1. 稀釋或限制空氣中有害物散佈範圍，或限制呼吸帶最高濃度
2. 提供呼吸所必要之新鮮空氣
3. 排除污染有害及危險物
4. 控制作業場所溫度濕度

壹. 概論(續)

III. 空氣中有害物容許濃度標準

- 勞工安全衛生法定義的「危險物」或「有害物」，不見得會以空氣中有害物的型態存在。
- 行政院勞工委員會由勞工安全衛生法第五條獲得授權，據以訂定「勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準」(以下簡稱濃度標準)，是我國規範勞工作業環境空氣中有害物濃度的最簡明行政命令。
- 濃度標準所管制的有害物質，可能同時受到「特定化學物質危害預防標準」

壹. 概論(續)

空氣中有害物容許濃度標準(續)

- 採用 1atm、25°C 為計算氣態有害物濃度標準條件
- 除特別註記之外，容許濃度均指八小時日時量平均濃度；若容許濃度數值為空白，代表不允許使用。濃度的單位可為 ppm(氣或液相)、mg/m³
- 註記符號有四種：空白(一般有害物)、皮(由皮膚、粘膜吸收)、瘤(證實或疑似使人引起腫瘤)、高(任何時刻不允許超過之濃度)
- 將有害粉塵依成分歸納為四種：游離二氧化矽含量10%以上之礦物性粉塵、礦物性粉塵、石綿纖維、厭惡性粉塵
- 將粉塵依氣膠特性分為三種：可呼吸性粉塵(能由標準分粒儀器測得者)、總粉塵、石綿粉塵

壹. 概論(續)

IV. 有害物依健康風險分類

危害低等

危害中低等

危害中等

危害最高

過濾循環

整體換氣

局部排氣

密閉作業

壹. 概論(續)

V. 依有害物運動特性分類

- **>5m/sec**:與高速氣體流動、體積瞬間膨脹、產生不可控制之大量氣相物質與熱的意外化學反應有關，是最難控制的樣態。如噴漆
- **0.5-5m/sec**:與中等速度空氣流動、劇烈相變化、產生大量氣相物質與熱的標準化學反應有關，作業中常見現象是可控制的燃燒與沸騰、快速加熱、中速噴灑或拋射。案例如電銲(高熱煙煙)。
- **0.05-0.5m/sec**:與緩和的相變化、不同相之間的過飽和溶解、產生較少氣體與熱的溫和化學反應有關，作業中常見現象是高速揮發、中低速加熱、低速拋射、低速相分離，如香精油燈。
- **0⁺-0.05m/sec**:中低速揮發、純粹的濃度擴散、緩慢的蒸發等，幾乎無速度的空氣有害物發生過程。

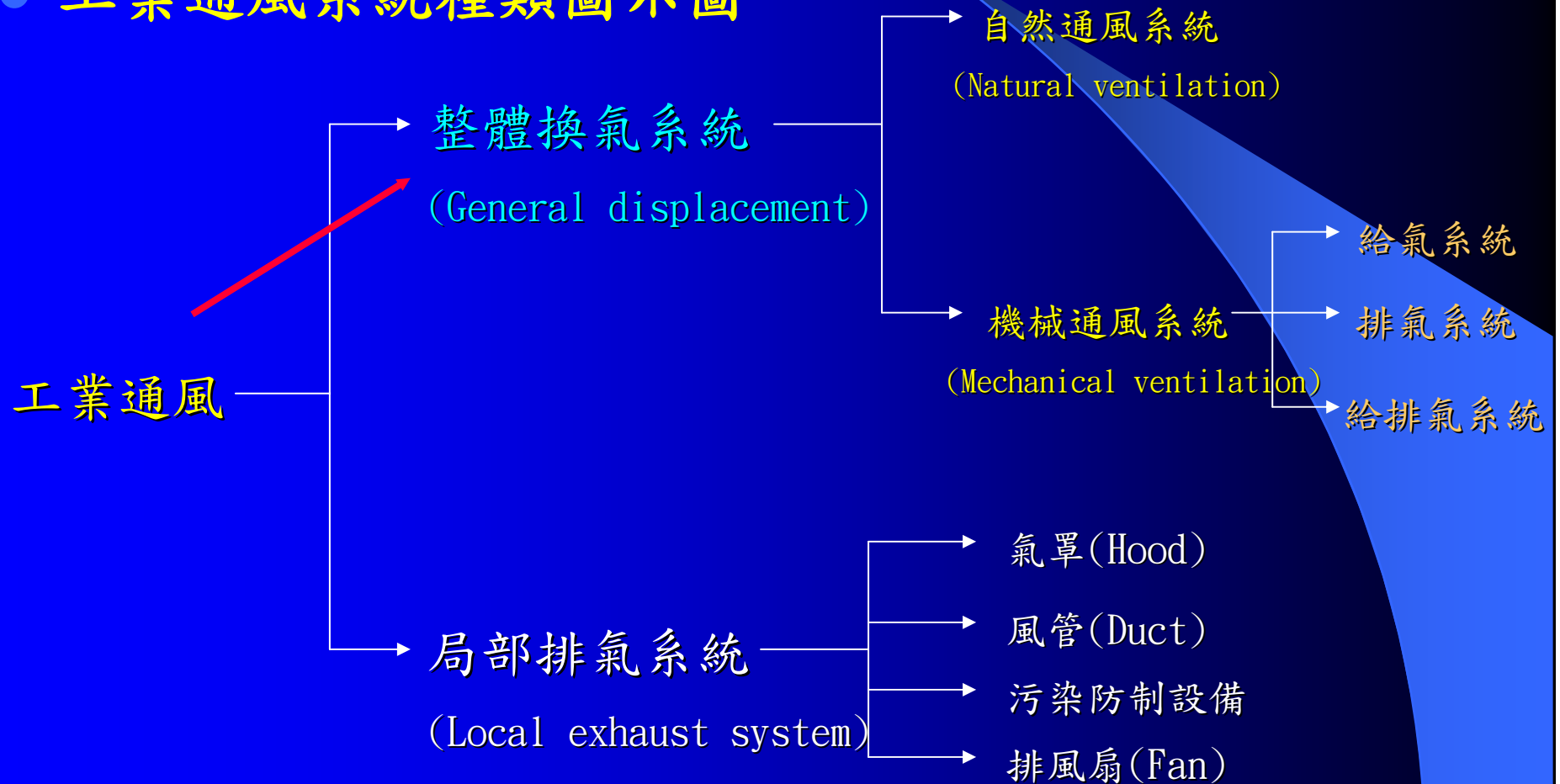
壹. 概論(續)

VI. 霧化器與生物性氣膠

- 霧化器原為高緯度國家冬天或氣候乾熱時用以調節空氣溫濕度之家用電器，此類家電的儲水桶若遭微生物(退伍軍人菌、致病變形蟲等)污染，則水霧產生時，多種致病微生物也能隨之氣懸化(由採樣培養法確認)，故除非經常徹底清潔，否則不要建議使用。
- 機械式霧化器：產生可吸入性(4-16 μm)霧滴，已知能使大多數細菌、細菌內毒素、部分真菌孢子氣懸化。
- 超音波霧化器：產生可呼吸性(0.2-4 μm 或更小)霧滴，已知能使大部分細菌、細菌內毒素氣懸化。

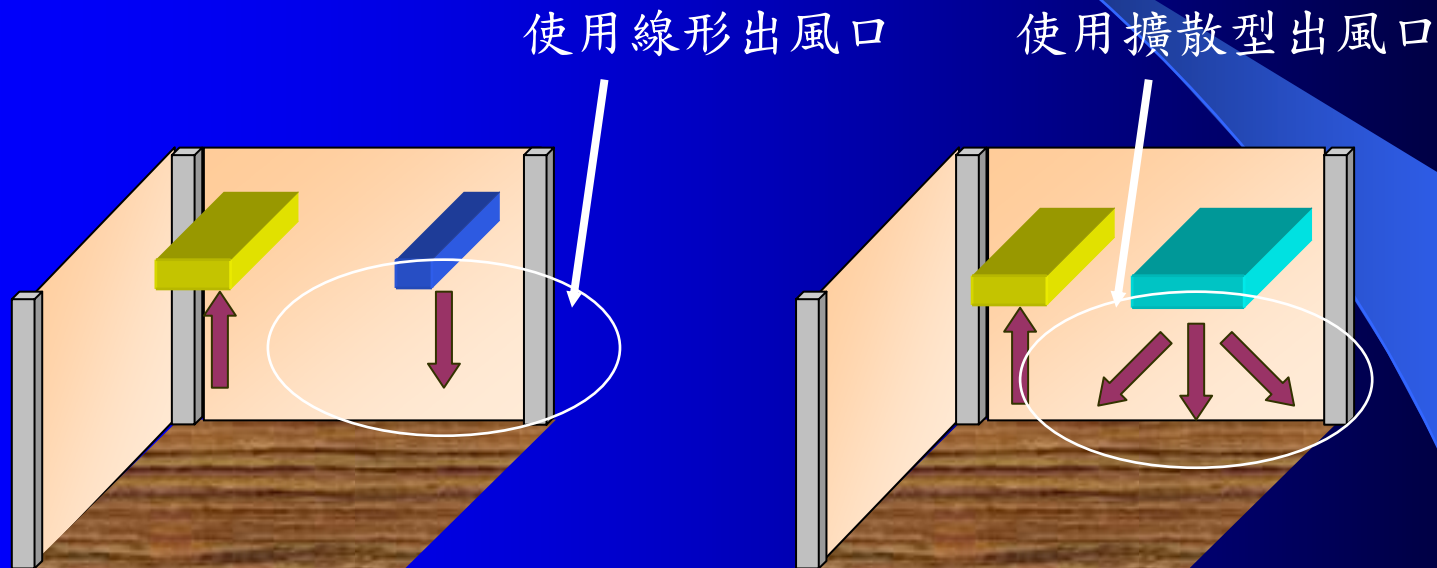
貳. 整體換氣效應討論

● 工業通風系統種類圖示圖



貳. 整體換氣效應討論(續)

● 天花板換氣



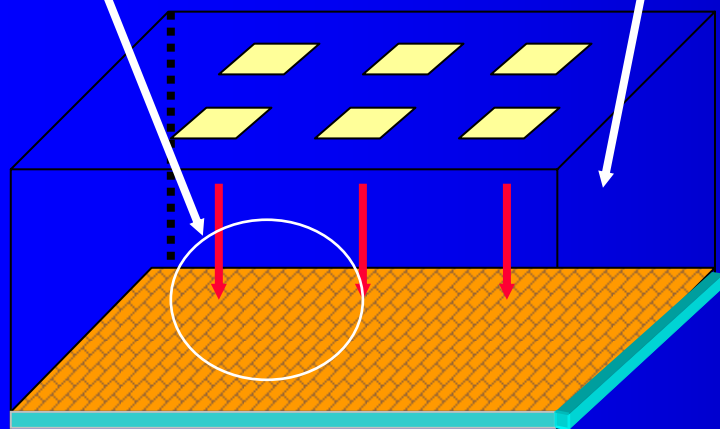
- 此類換氣設計為目前最常見者，廣用於一般中央空調大樓，設計目的在使近地面空間空氣均勻混和，以及降低近地面處的平均風速。
- 若設計目的在防止空氣中有害物均勻混和，且不允許有害物在室內空間內隨意擴散，則此設計方式不適用

貳. 整體換氣效應討論(續)

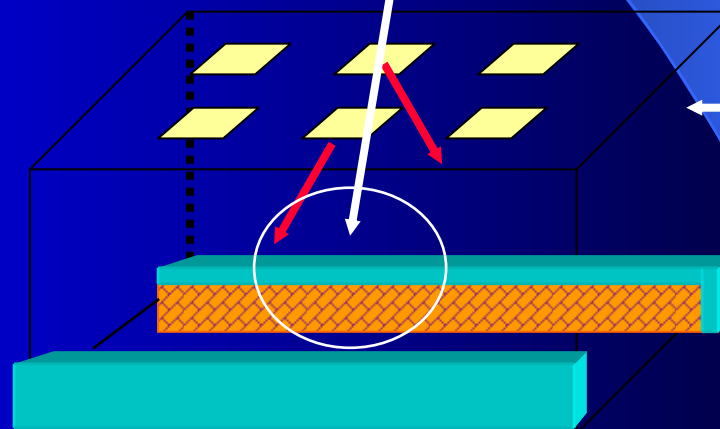
● 垂直換氣

應用如半導體業無塵室、精密儀器室、歌劇院觀眾席

渦流少，換氣均勻



氣流近似垂直層流



應用於某種蒸汽浴室、
生物安全櫃(BSC)文物
陳列室等

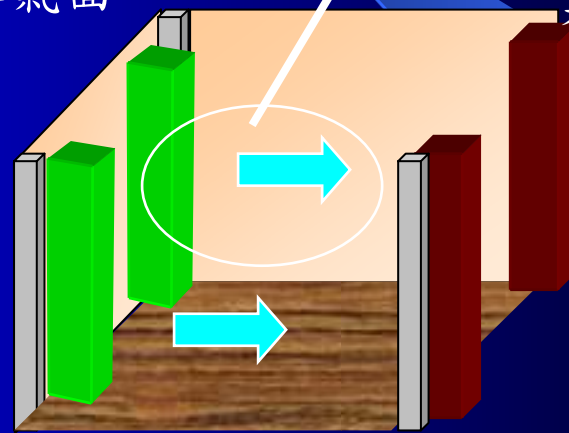
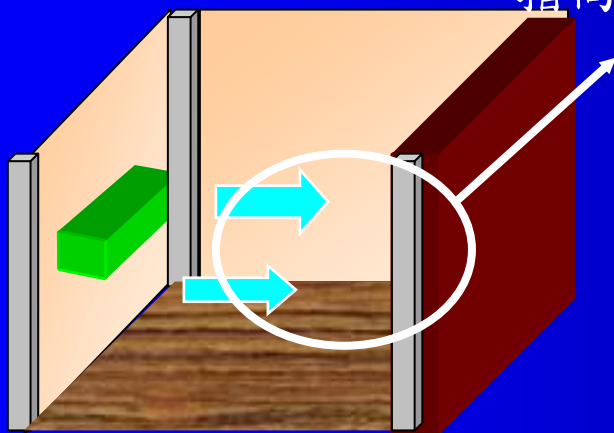
- (左)整個天花板都是進氣口，整個地板都是排氣口
- (右)整個天花板都是進氣口，地板上有兩個對稱的長條形或狹縫形排氣口。(抽氣開口可能設在側邊或上方)。

貳. 整體換氣效應討論(續)

● 水平換氣

有效控制區位於排氣面附近，目的在保證區域污染物的流動方向穩定指向右方的排氣面

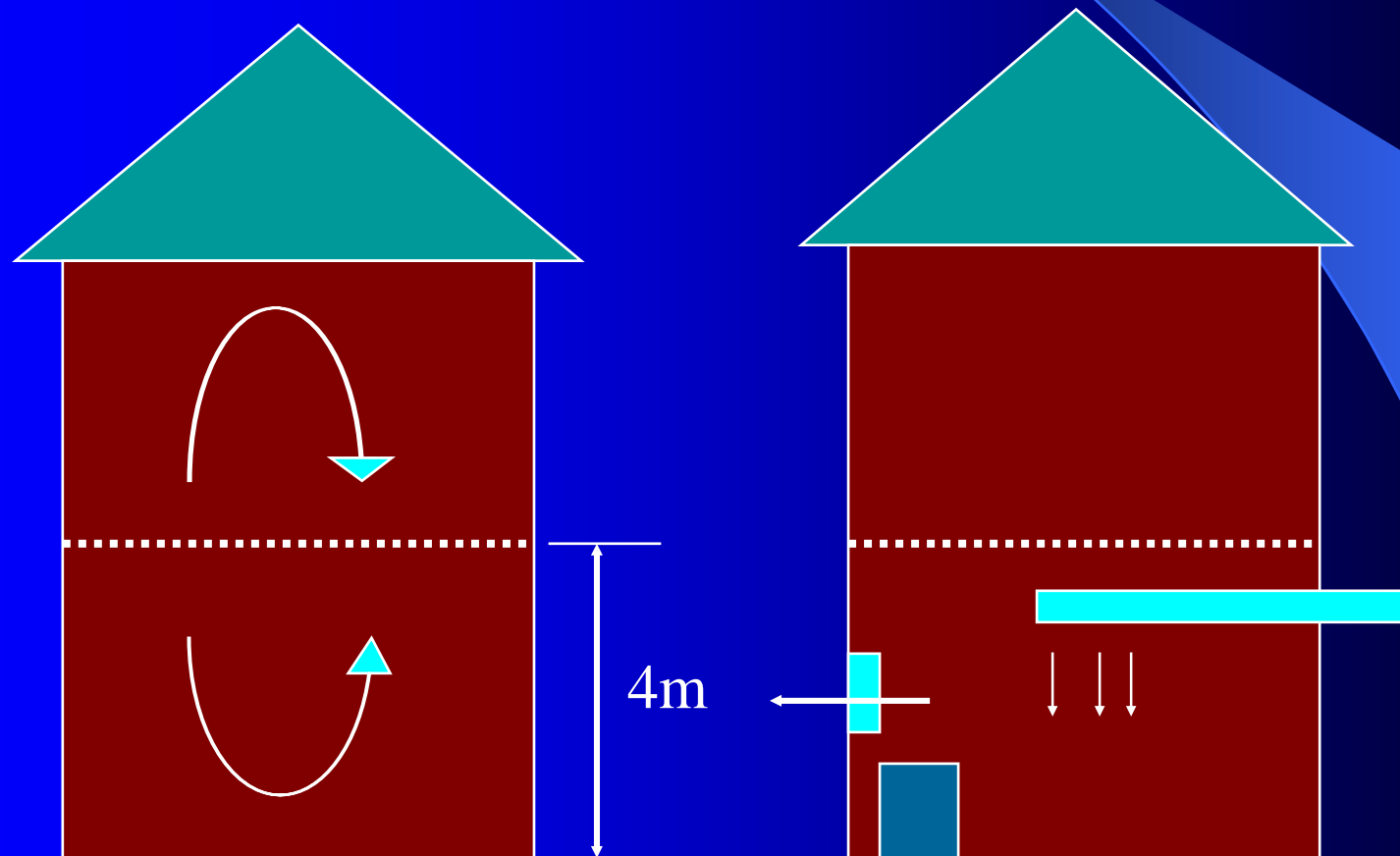
此種設計的有效控制區不在室內中央，在牆面附近，能減少牆壁粉塵附著但換氣效果較差



- (左)若通風方向改為由右往左，有效控制區仍在原處不變，此時目的在保障控制區內的空氣為較潔淨的外氣。
- (右)若使排氣柱的排氣方向與進氣風向垂直，則可提升室內中央的換氣效果。

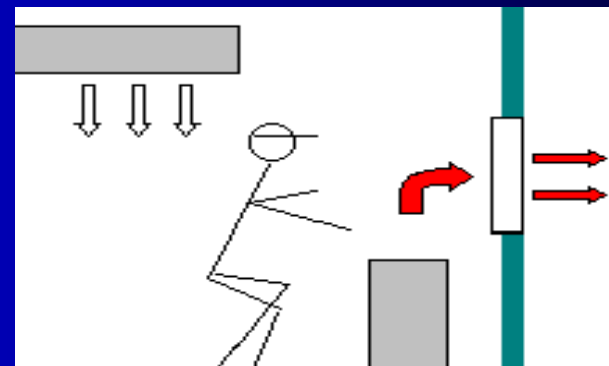
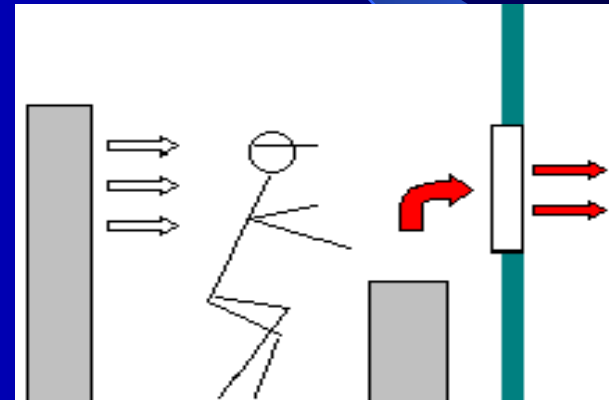
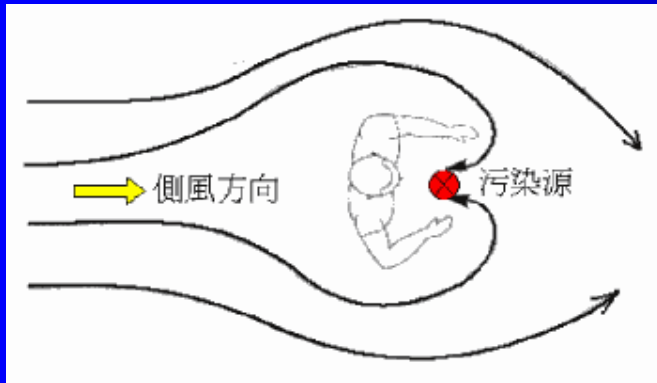
貳. 整體換氣效應討論(續)

- 注意假換氣問題



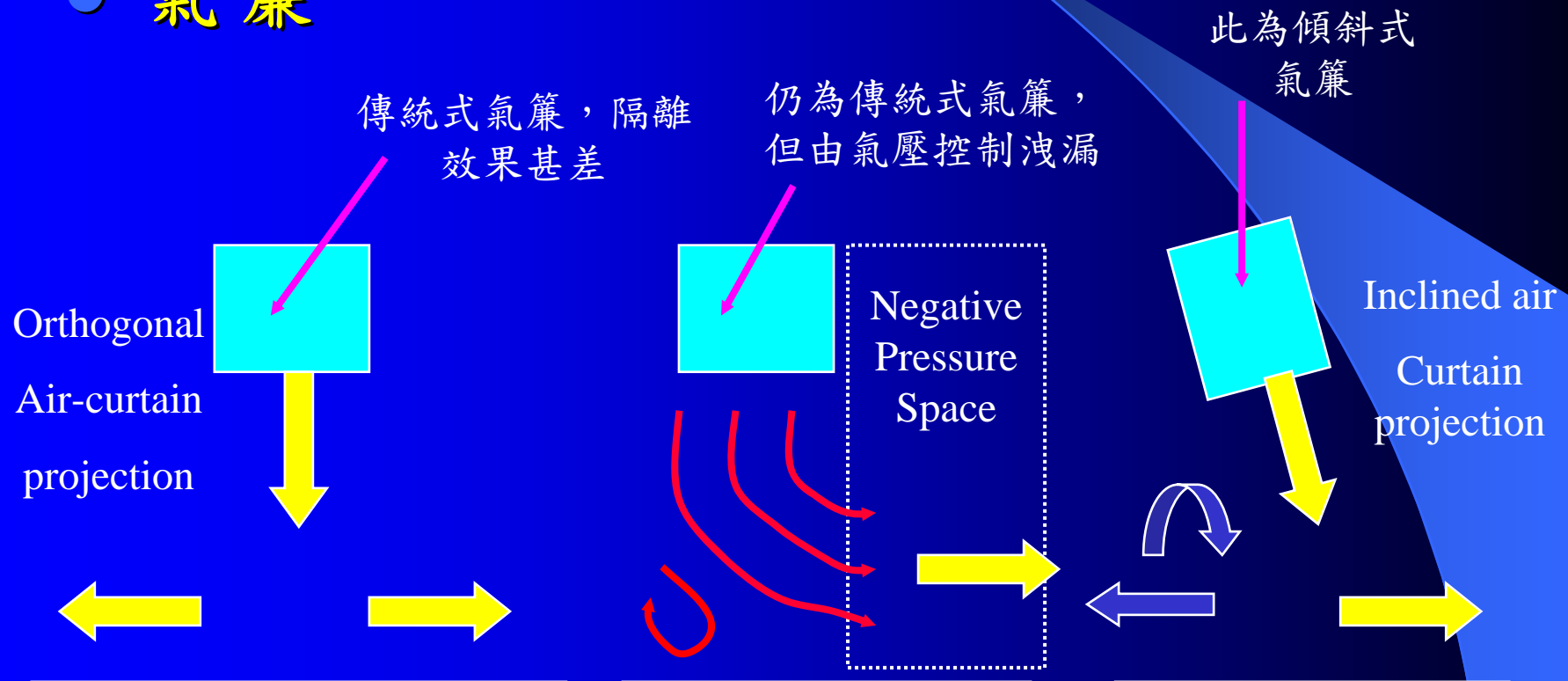
貳. 整體換氣效應討論(續)

● 補氣風向與有害物



貳. 整體換氣效應討論(續)

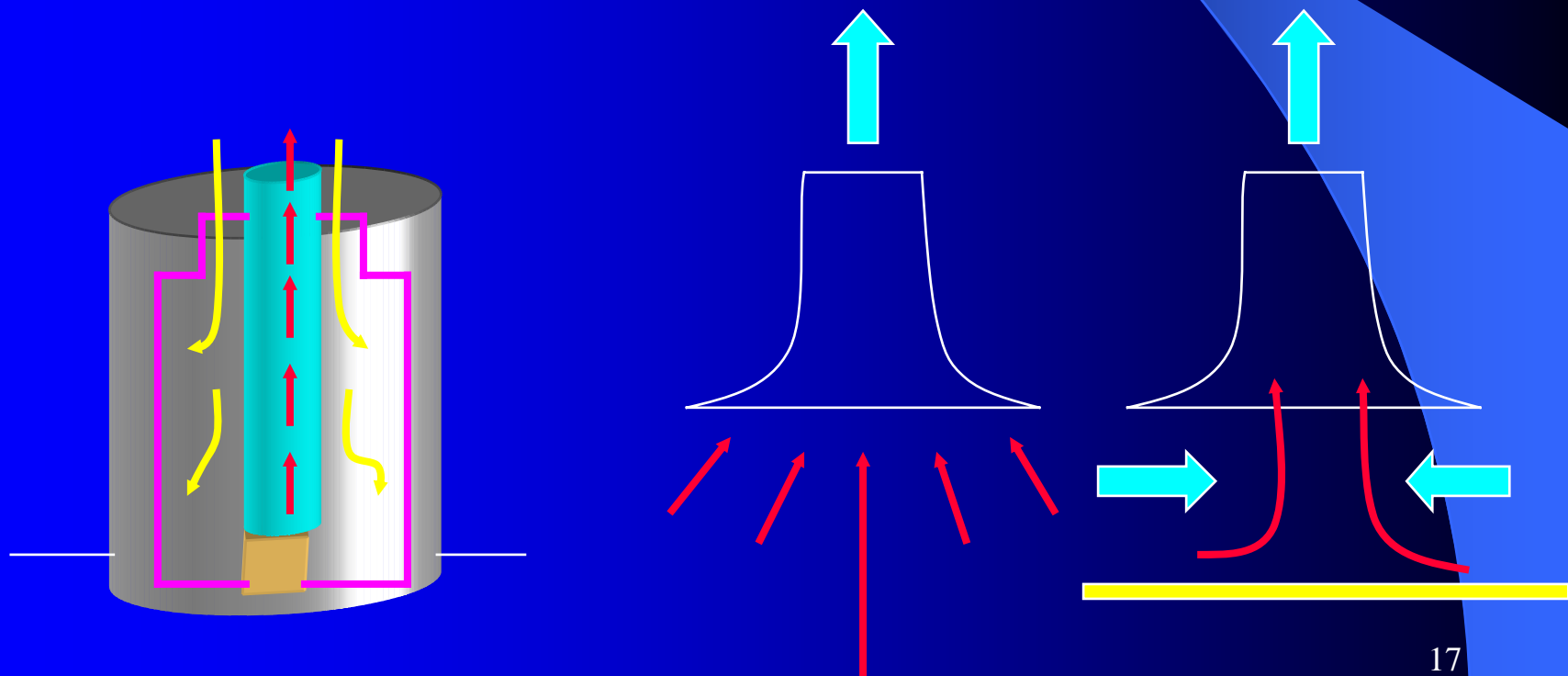
● 氣簾



貳. 整體換氣案例討論一

● 塔槽換氣

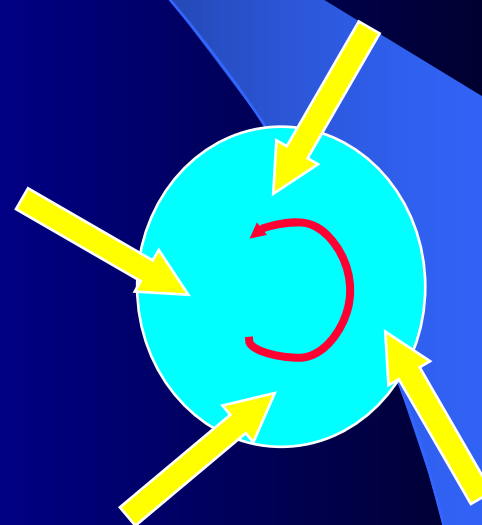
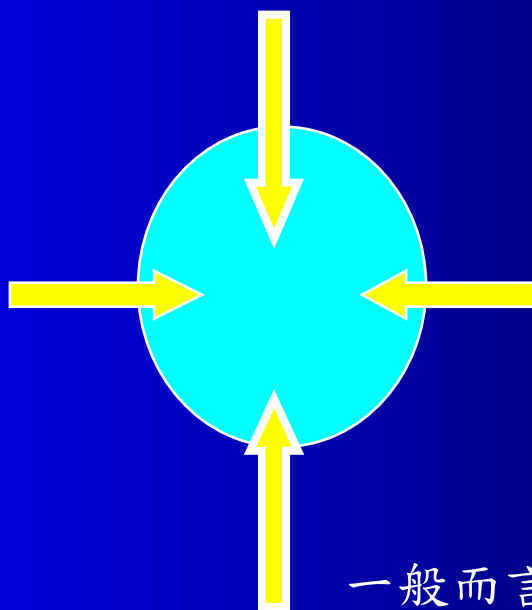
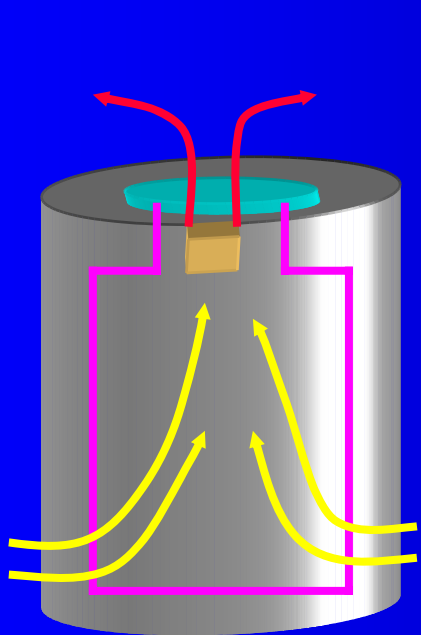
適用於排除密度較高的氣態有害物，善用損失最低的鐘形氣罩與底部效應以提高底部有害氣體的局部排除效果。



貳. 整體換氣案例討論一

● 塔槽換氣(續)

適用於排氣密度較低、法規未禁止排放的氣態有害物，善用底部歪斜向下進氣口製造漩渦，使塔槽內部換氣均勻。

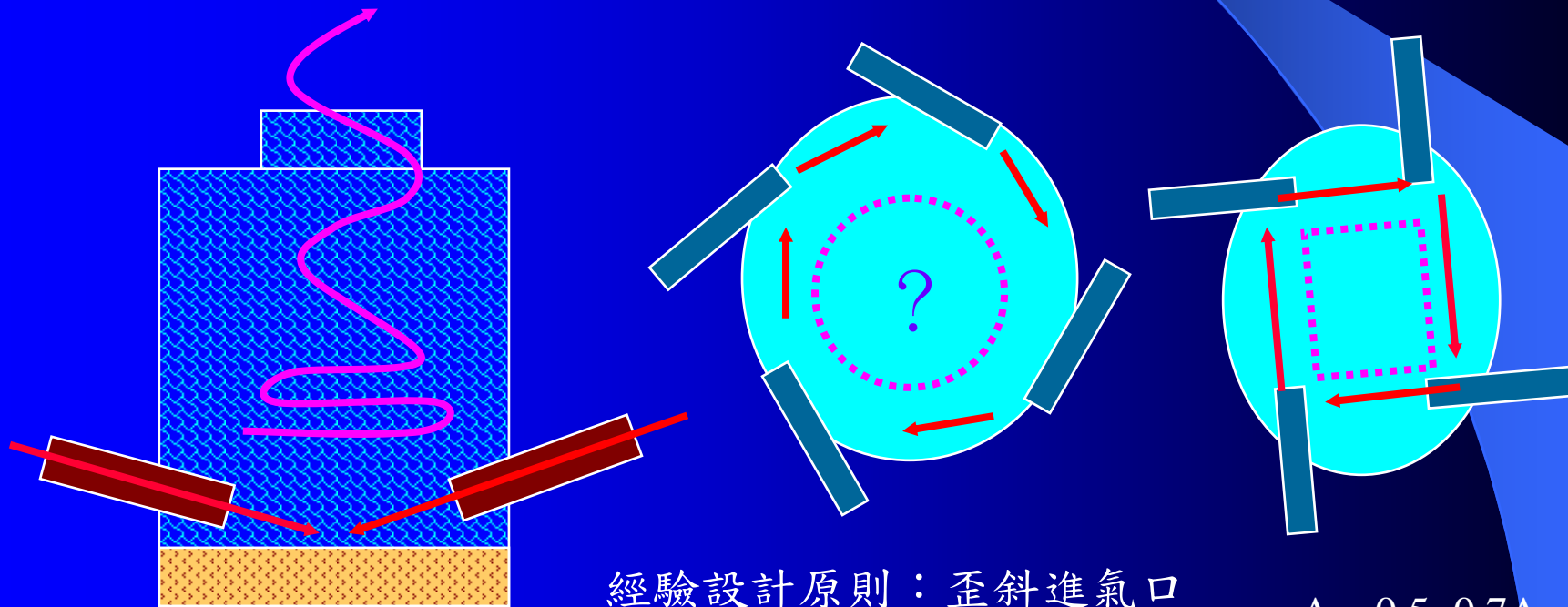


一般而言無漩渦效應換氣30次，有漩渦效應換氣20次，即可有效降低底部濃度

貳. 整體換氣案例討論一(續)

● 塔槽換氣(續)

平面對稱中心：歪斜進氣口水平角度使交線形成之多邊形面積 A_i 為塔底部面積 A_o 的1/2到2/3



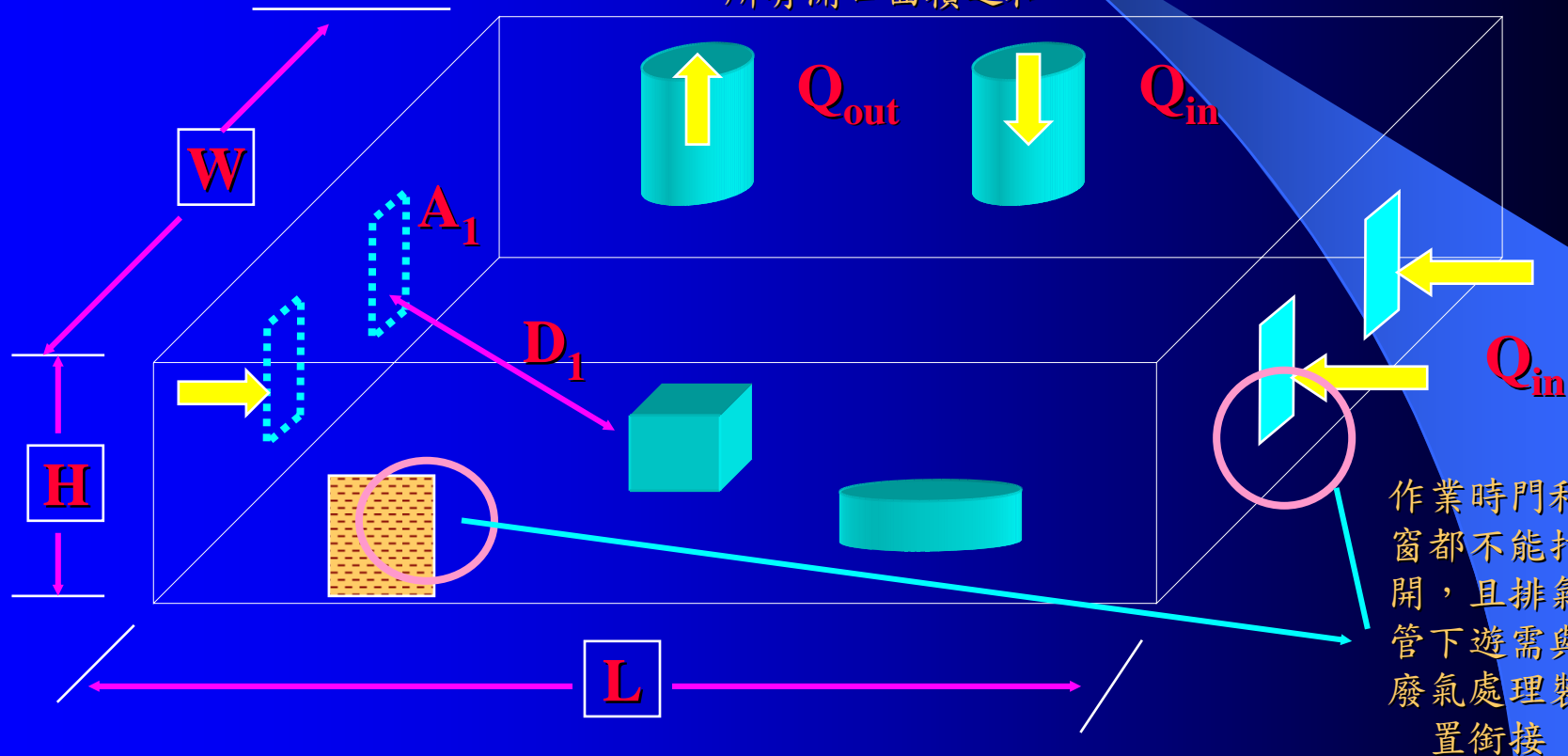
經驗設計原則：歪斜進氣口
向下斜角需使交點落於底部

$$A_i = 0.5 \sim 0.7 A_o$$

貳. 整體換氣案例討論二

● 膠帶業使用的PTE

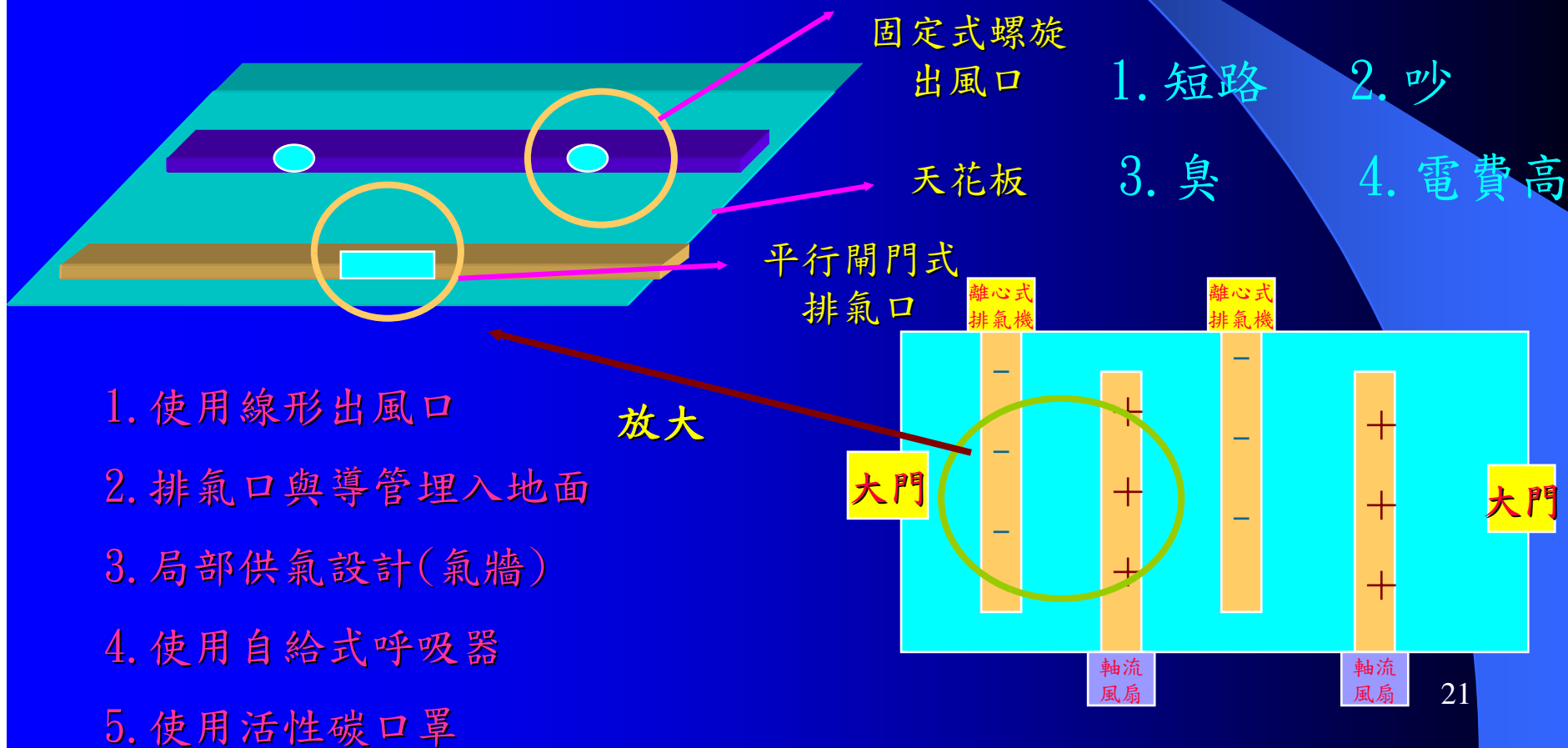
n =PTE結構的無動力開口總數， D_i =第 i 個開口距離最近NOD或VOC產生源的距離， A_i =第 i 個開口面積， A =所有開口面積之和



$$D_i > 4ED_i \quad A \leq 0.05[(2LW) + (2WH) + (2WL)] \quad FV = (Q_{out} - Q_{in}) / A \geq 200 \text{ fpm}$$

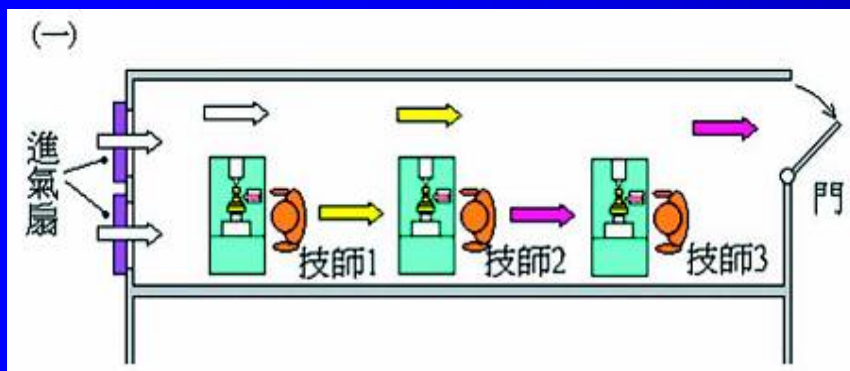
貳. 整體換氣案例討論三

● 大面積VOC擴散問題

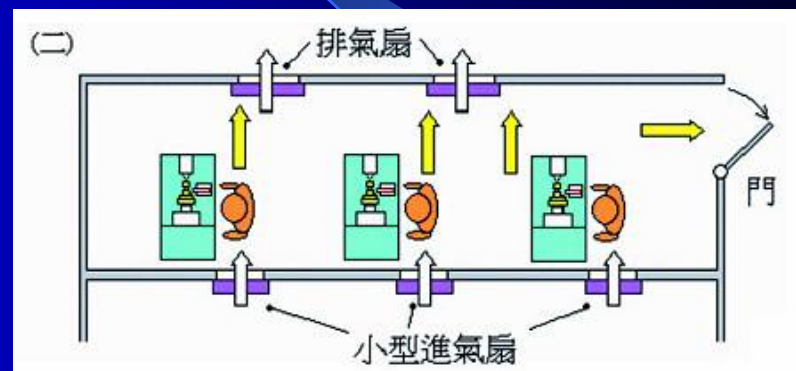


貳. 整體換氣案例討論四

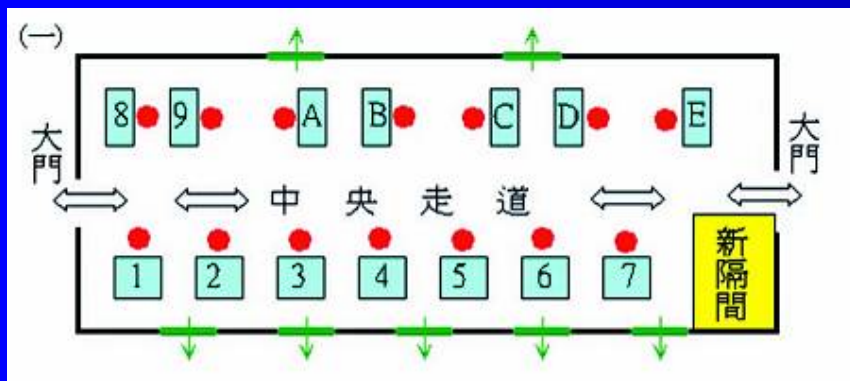
● 縮短進排氣距離



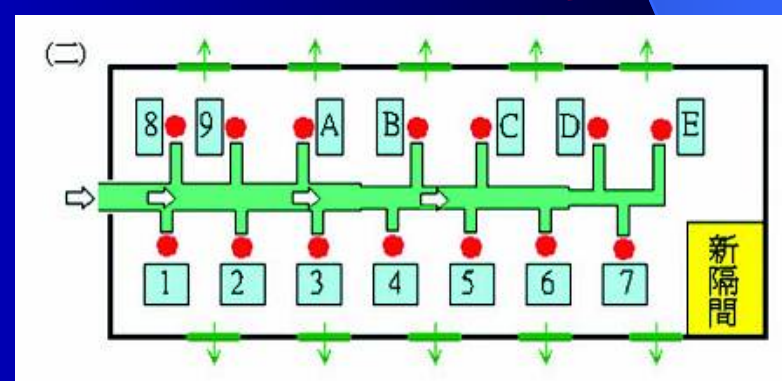
改善前



改善後



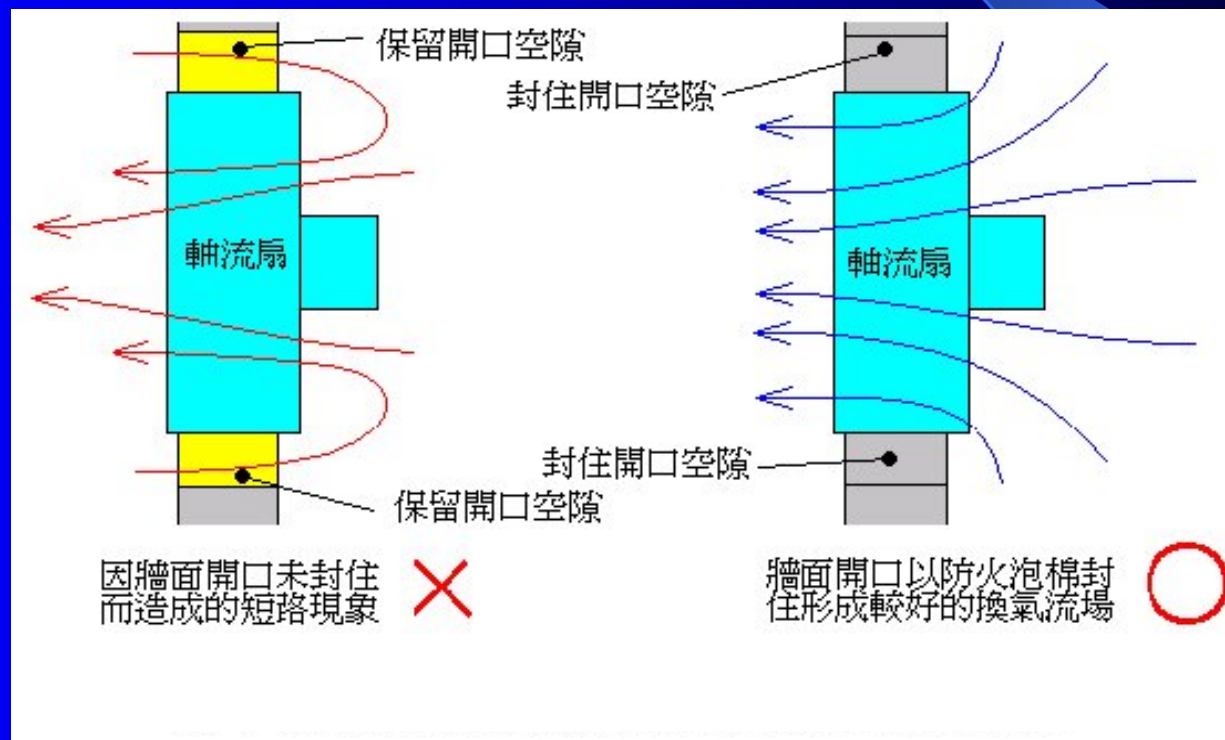
改善前



改善後

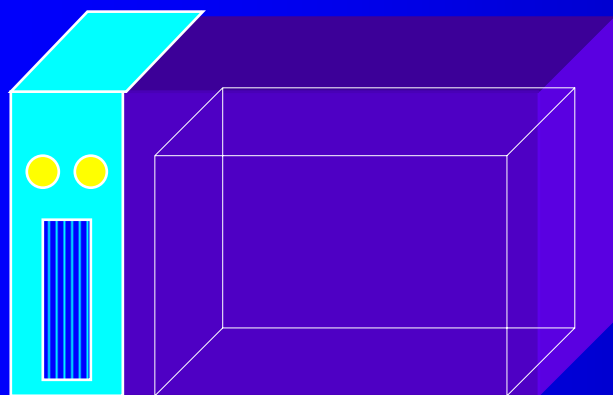
貳. 整體換氣案例討論五

● 換氣風扇的短路問題

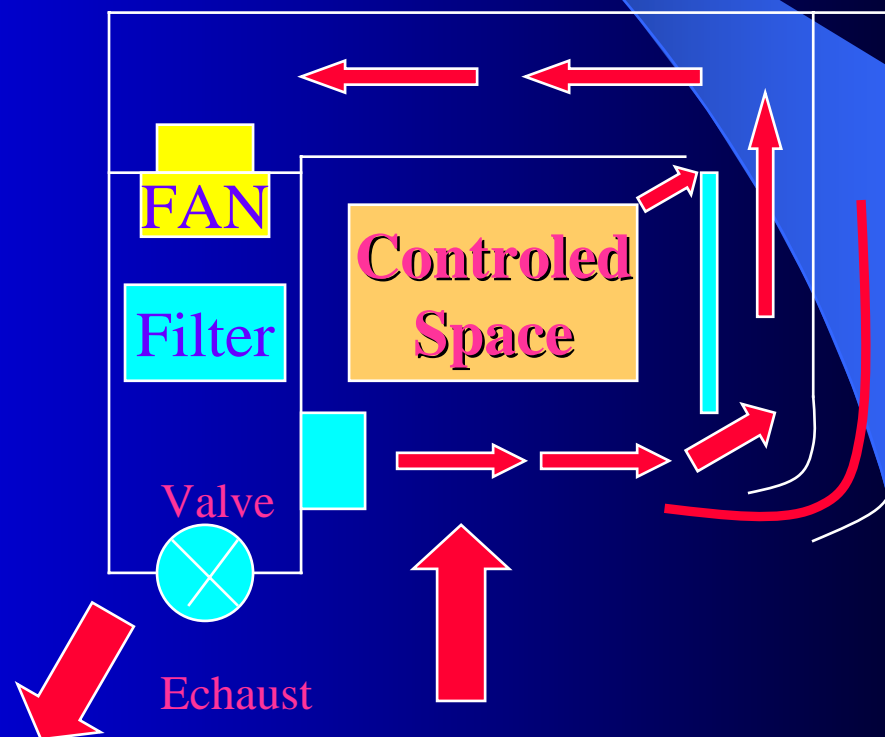


貳. 整體換氣案例討論六

- 歐美無廚房住宅使用的油煙控制箱

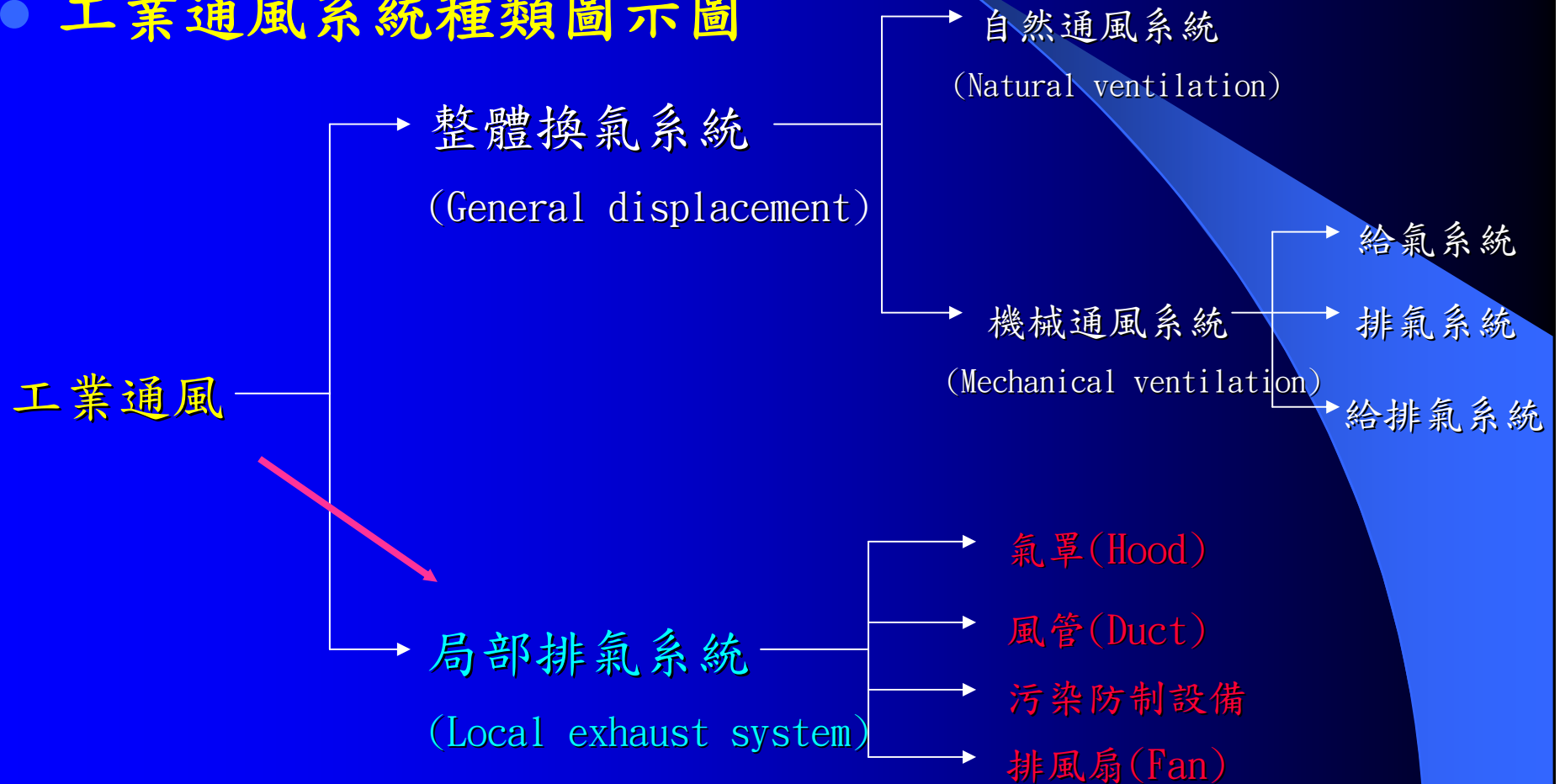


油煙控制箱



參. 局部排氣概說

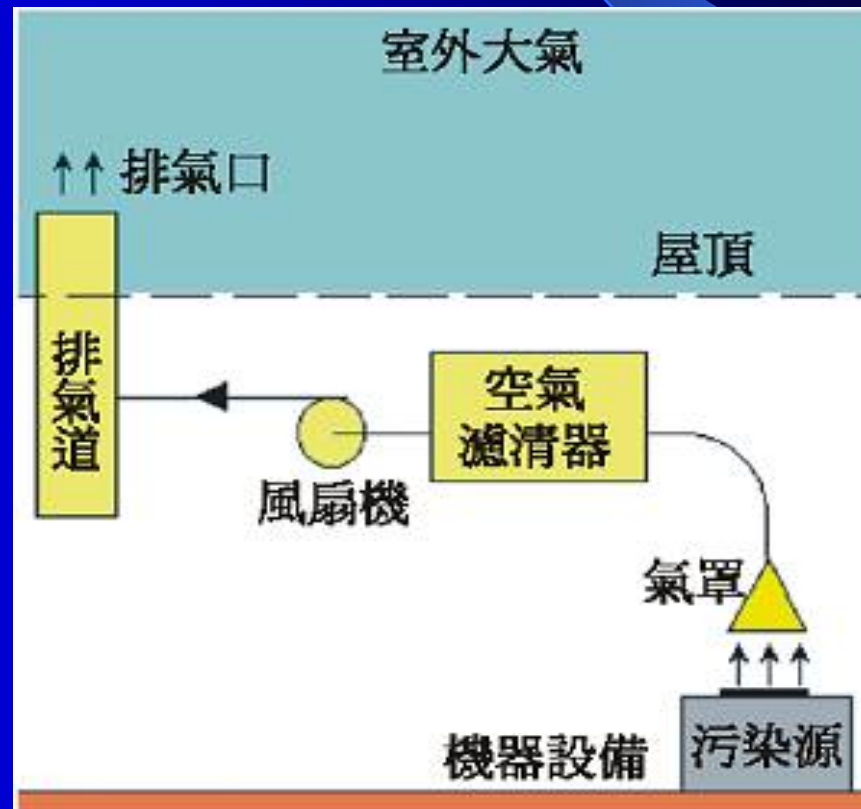
● 工業通風系統種類圖示圖



參. 局部排氣概說(續)

● 依空氣中有害物移動過程

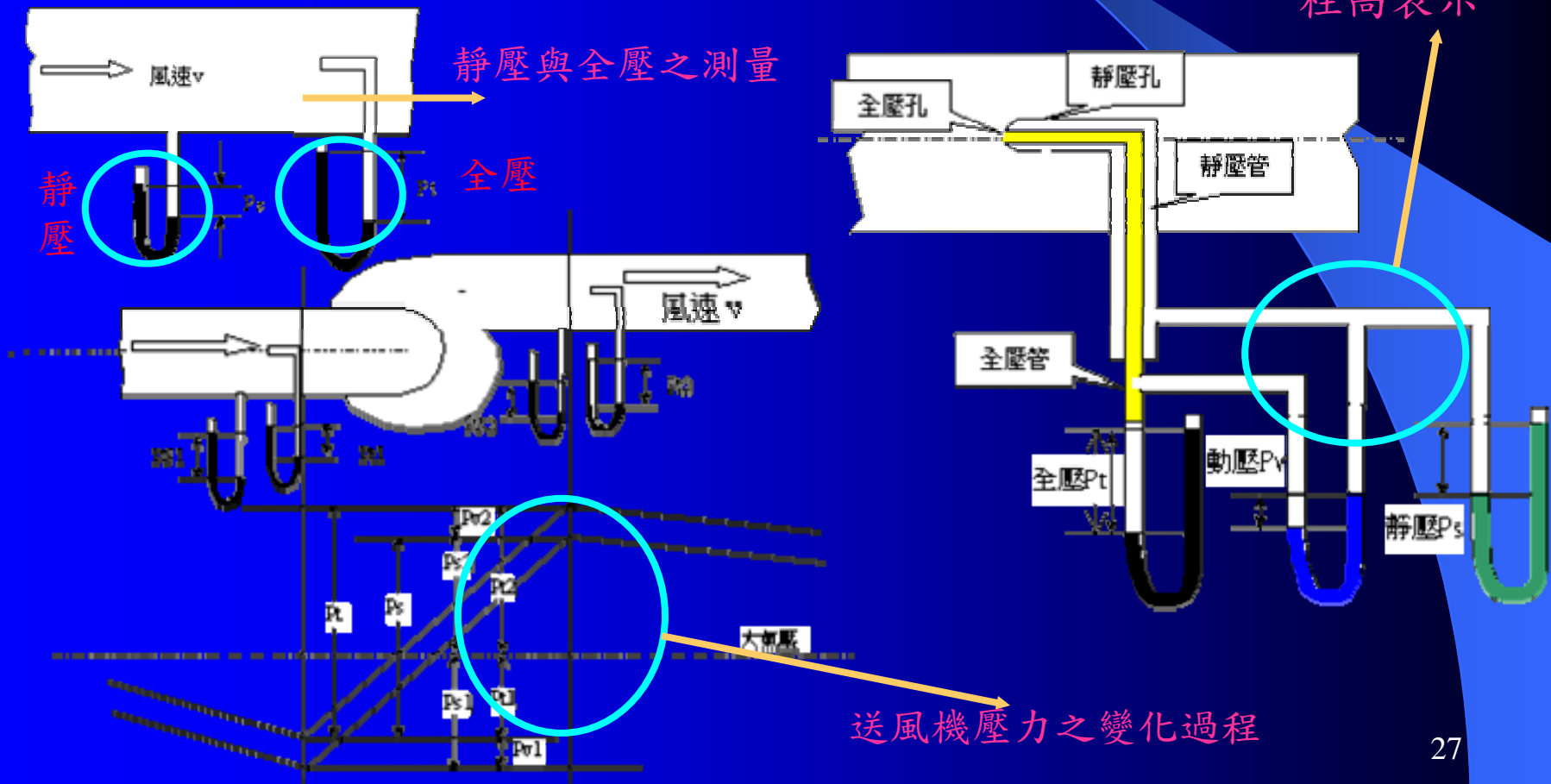
室內污染源→有害物溢散到空氣中→有害物流入氣罩→含有有害物的空氣沿著氣罩導管前進→匯合其他氣罩導管的氣流→流經空氣清潔裝置→過濾後氣體流經排氣機→沿排氣導管上升到室外→由垂直排氣口或煙囪排出室外。



參. 局部排氣概說(續)

● 靜壓(P_S)、全壓(P_T)與動壓(P_V)

利用皮氏管將三種管壓力均以U型管水柱高表示



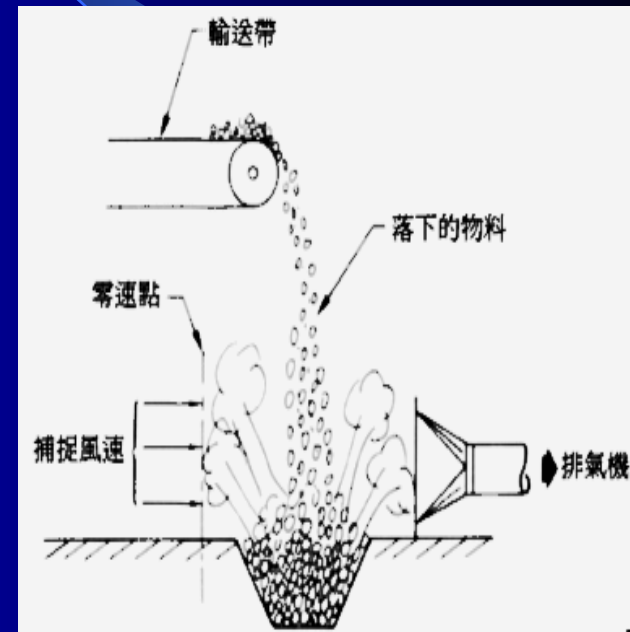
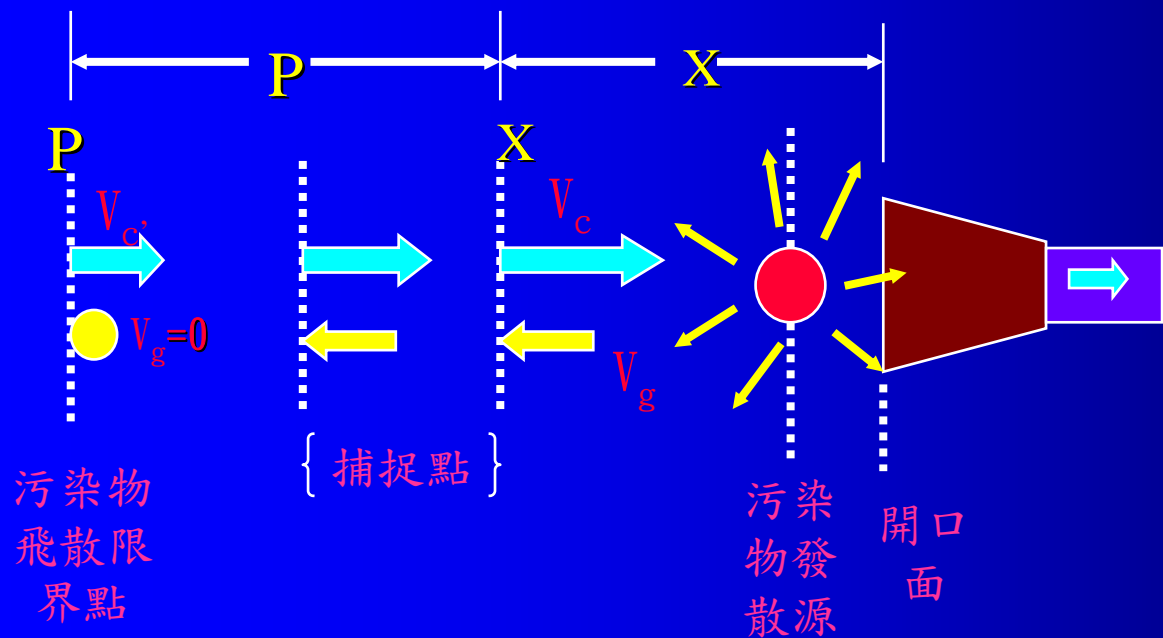
參. 局部排氣概說(續)

- 導管壓力變化



參. 局部排氣概說(續)

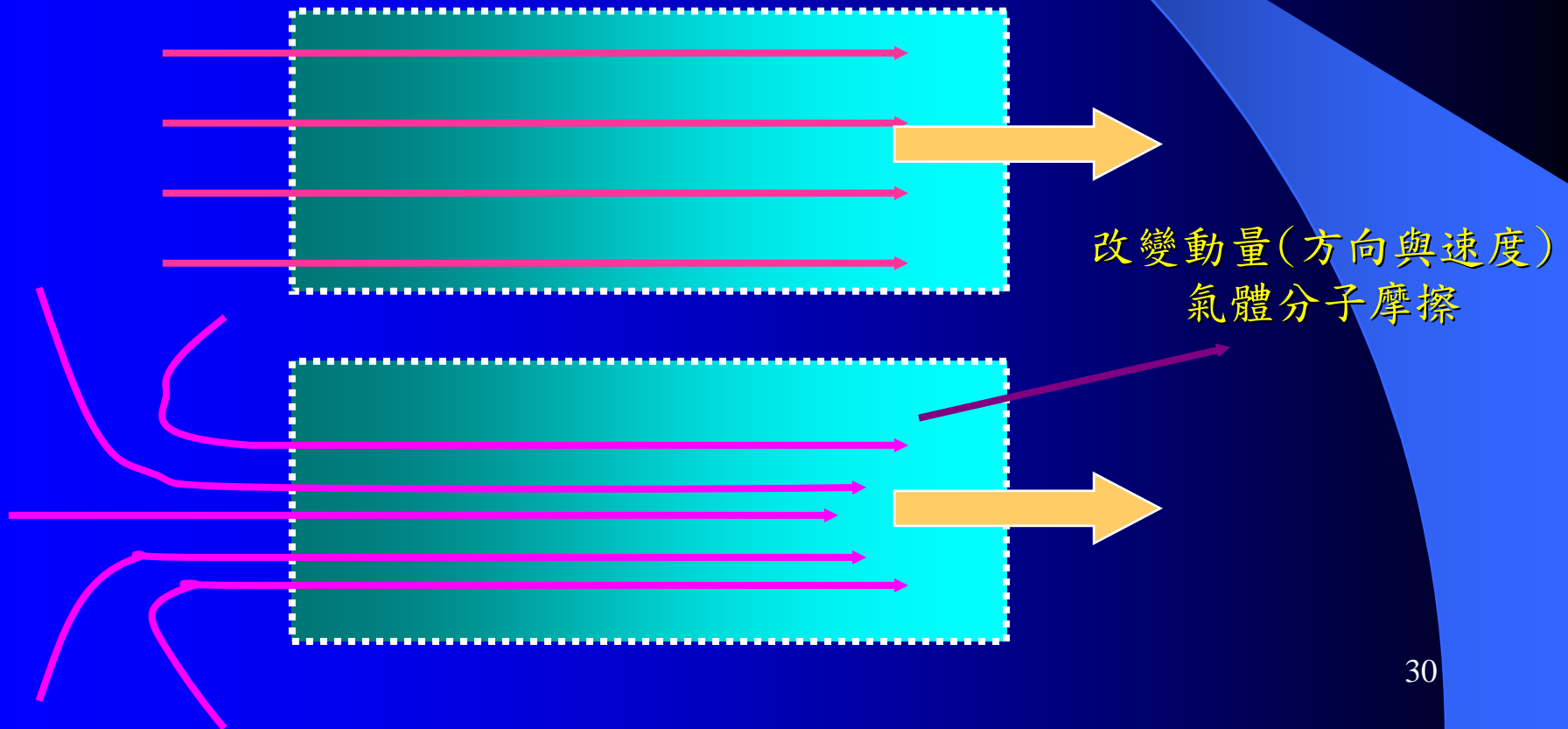
- 控制風速 V_c 與補集風速 V_g 的概念



外裝式氣罩的抽氣風速越高，補集效率越佳

參. 局部排氣概說(續)

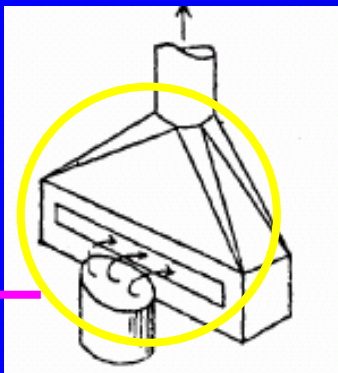
- 為什麼氣罩會有壓損？



參. 局部排氣概說(續)

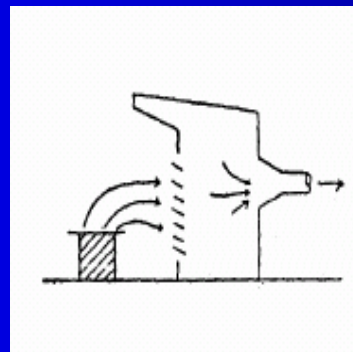
● 實際使用的外裝式氣罩

向上吸引型外裝式氣罩

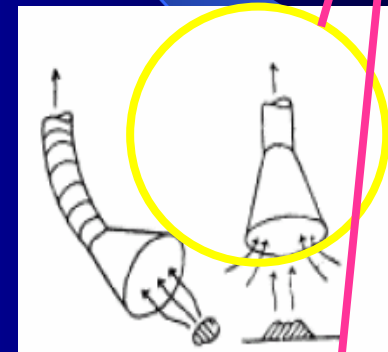


側向吸引型外裝式氣罩

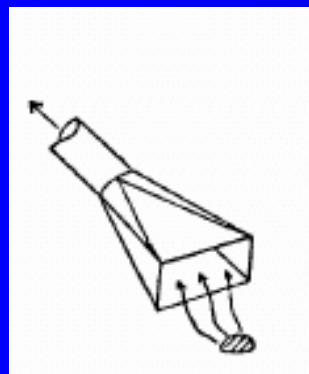
溝槽型



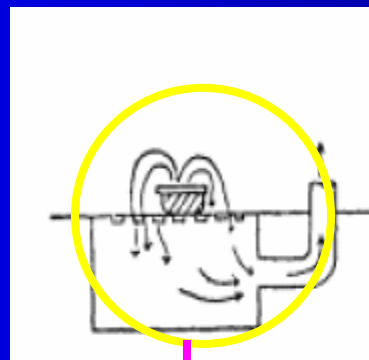
百葉型



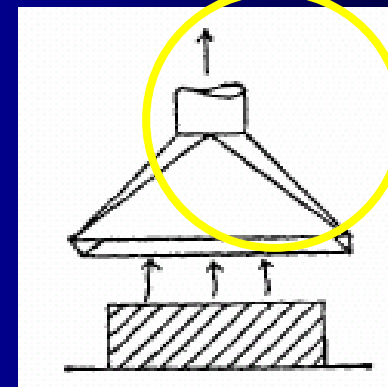
圓形



長方形型



格條型



長方形

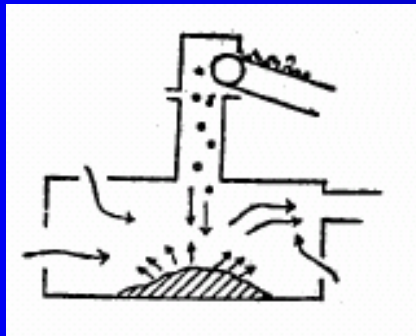
向下吸引型外裝式氣罩

參. 局部排氣概說(續)

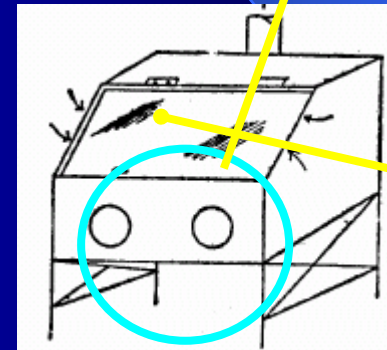
● 實際使用的包圍式氣罩

包圍型氣罩：發生源在氣罩裡面者。

覆蓋式



套箱式



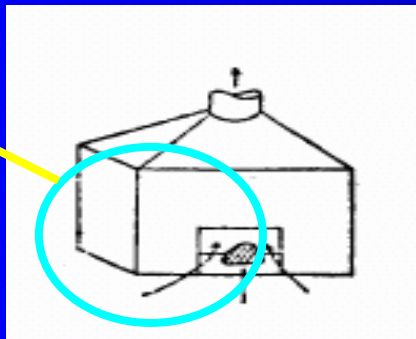
密閉手套箱

(密閉取決於什麼??)

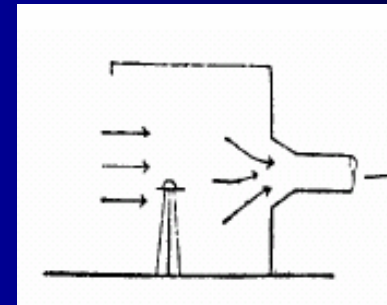
觀察窗

一般包圍式氣罩

氣櫃型

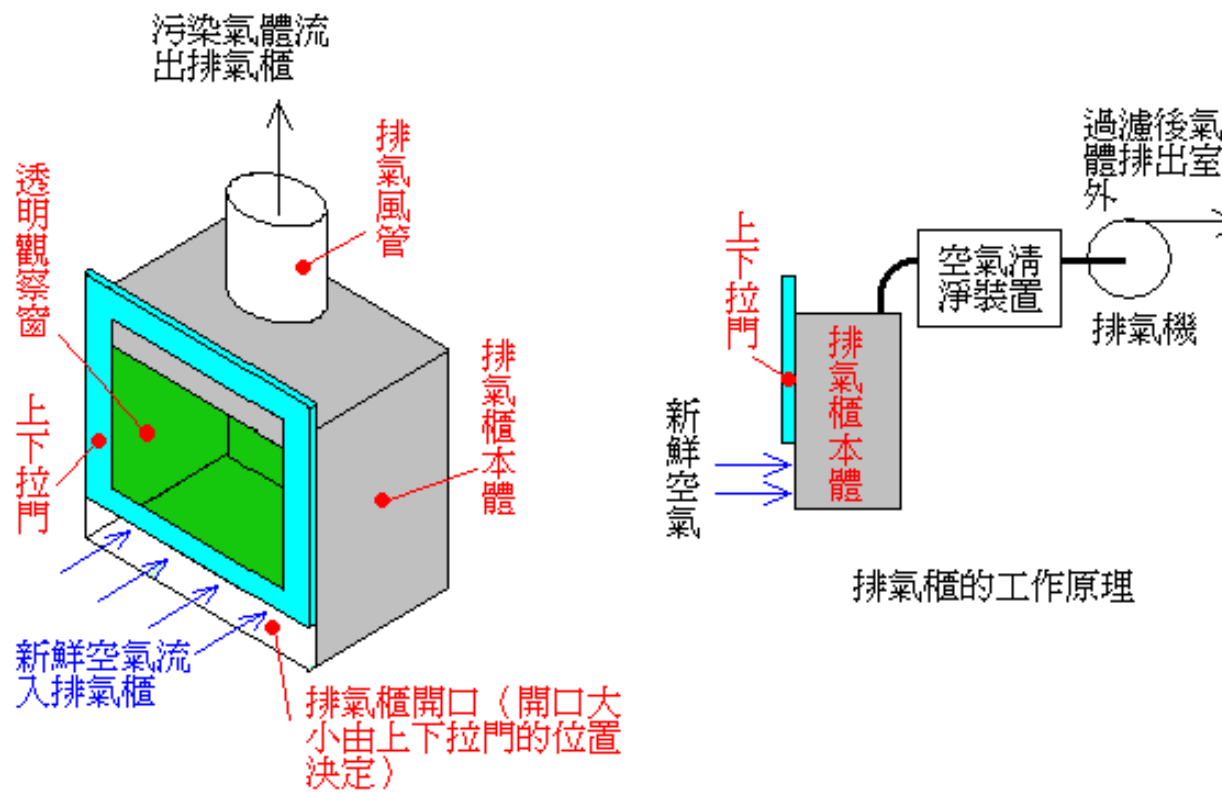


建築岡亭型



參. 局部排氣概說(續)

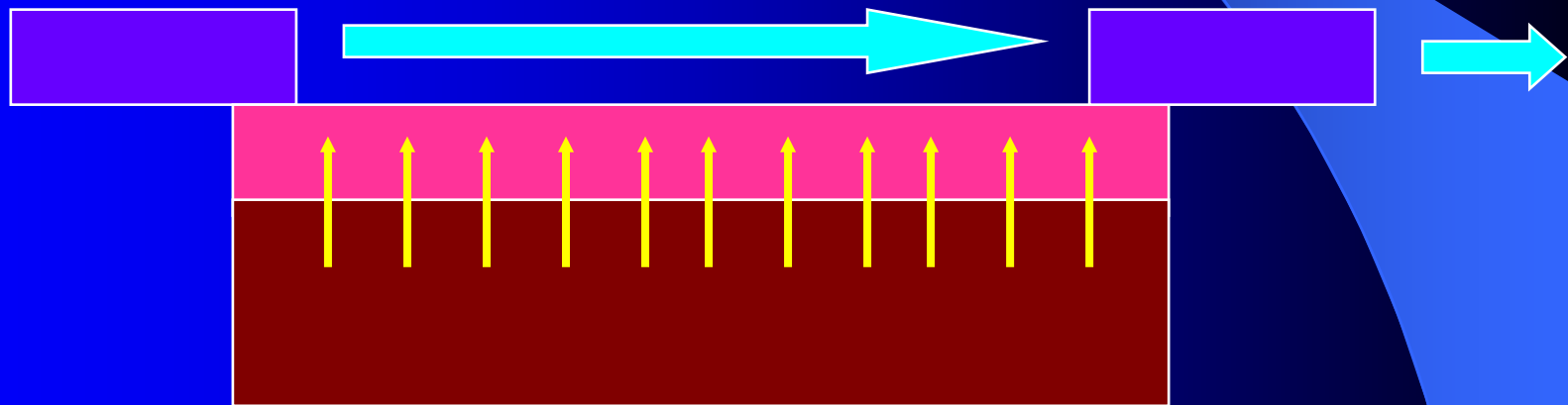
- 實際使用的包圍式氣罩(排氣櫃)



排氣櫃外觀及零件略圖

參. 局部排氣概說(續)

- 吹吸式氣罩



氣罩設置分為：吹出氣罩吹出氣流將污染有害物吸入氣罩；而吸入氣罩將吹出氣流及污染有害物吸入氣罩內。

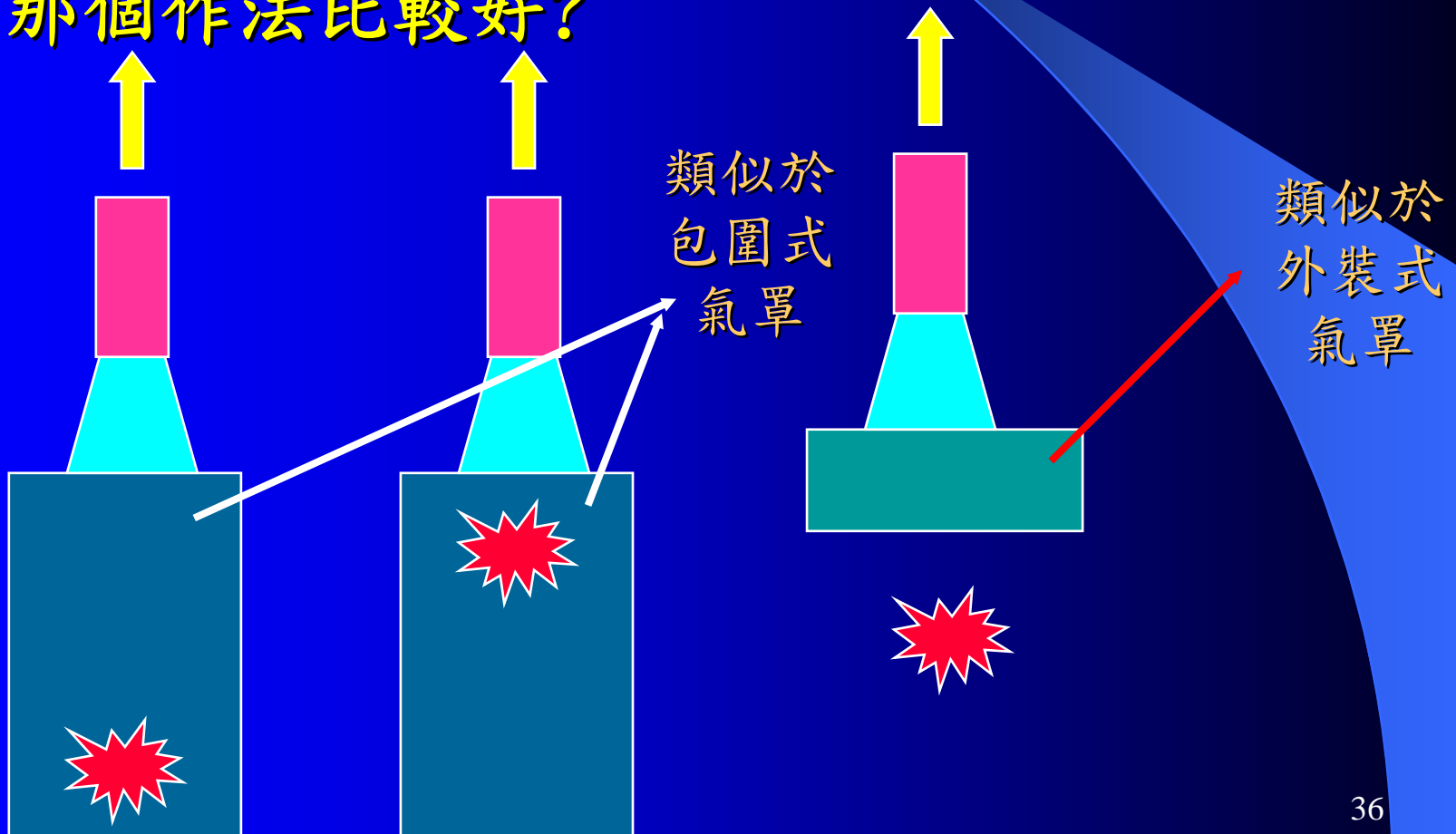
參. 局部排氣概說(續)

● 氣罩選用建議原則

1. 盡量避免使呼吸帶和有害物存在範圍重疊
2. 密閉作業優先考慮
3. 其次考慮包圍式氣罩
4. 高風速低流量氣罩
5. 氣流亭(工研院)
6. 外裝式氣罩，最好另加其他輔助控制方式

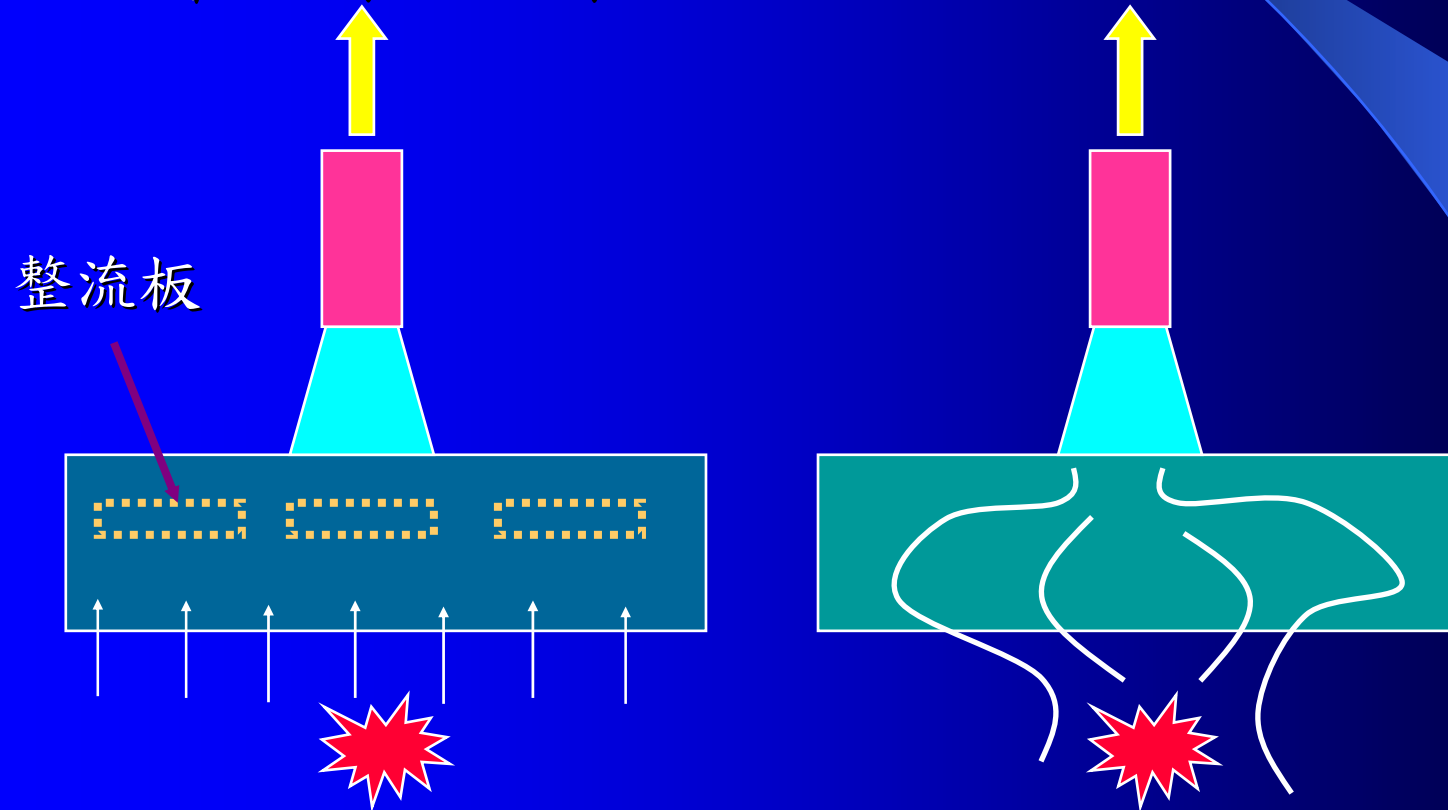
參. 局部排氣概說(續)

- 那個作法比較好?



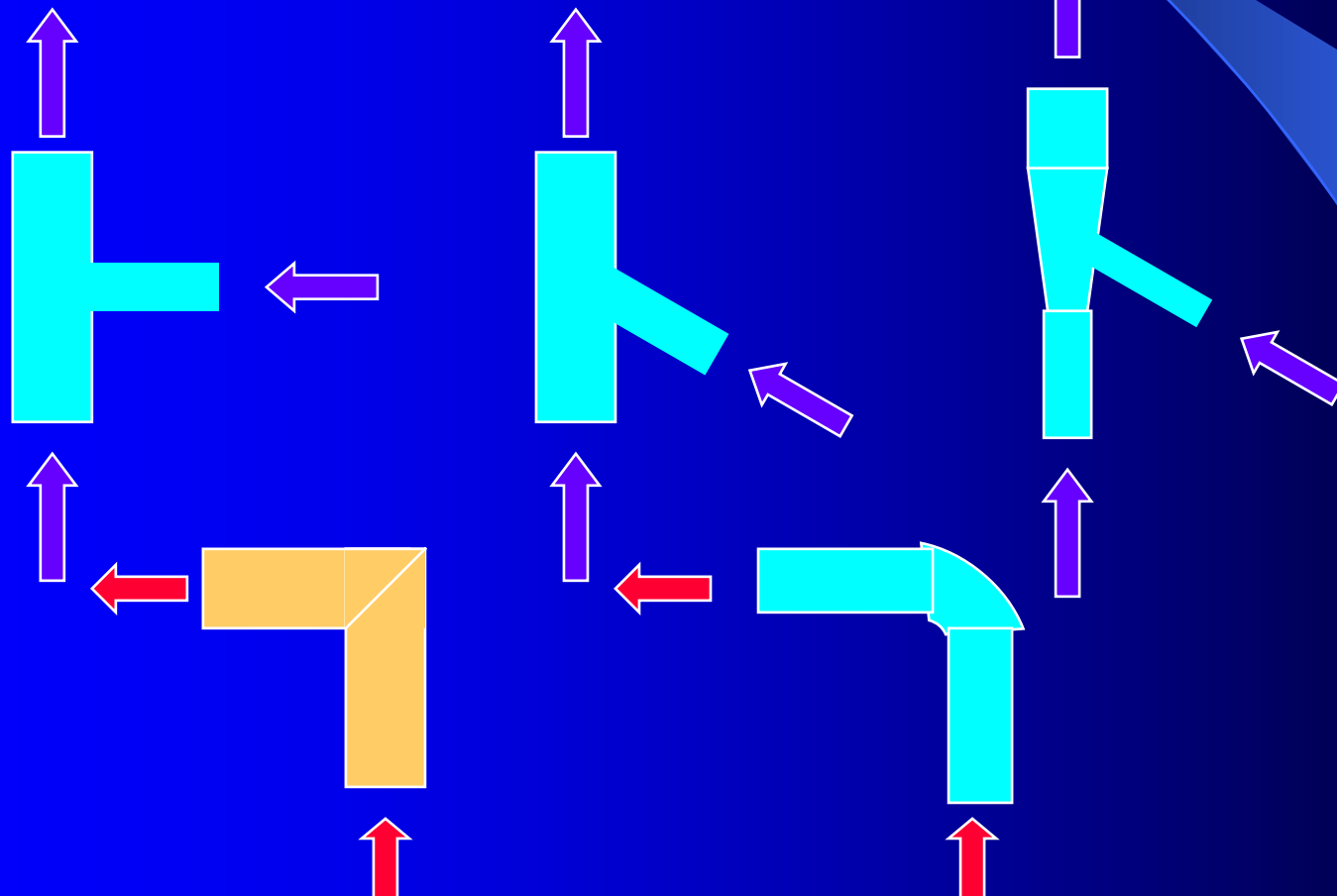
參. 局部排氣概說(續)

- 那個作法比較好?



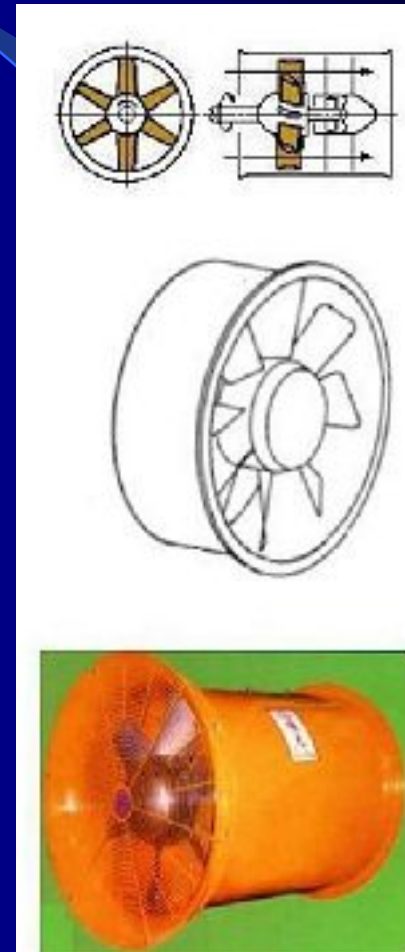
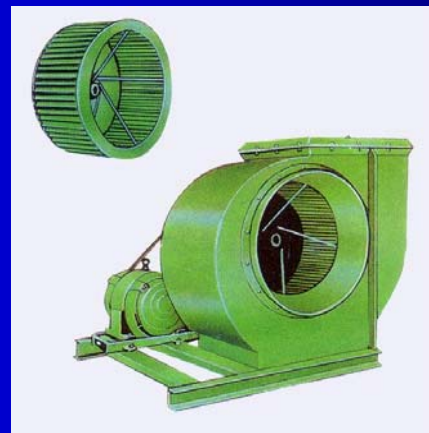
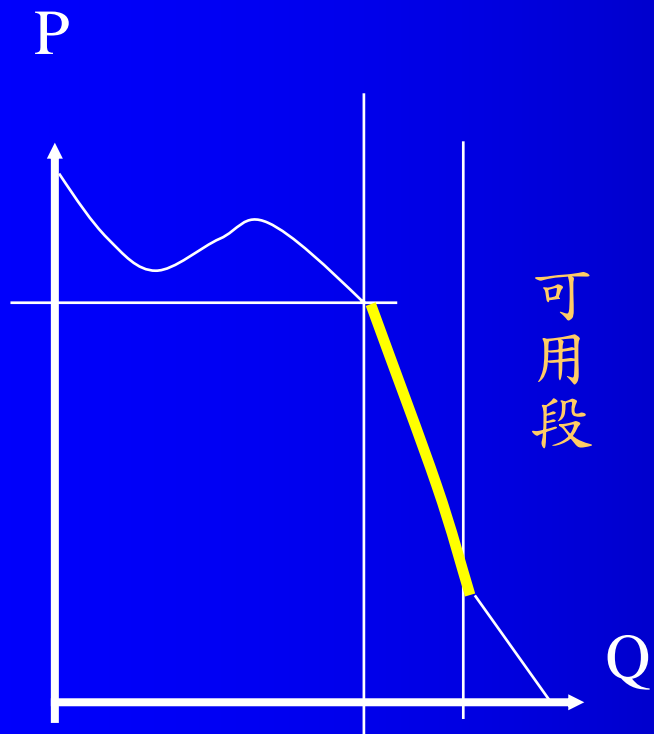
參. 局部排氣概說(續)

- 那個作法比較好?



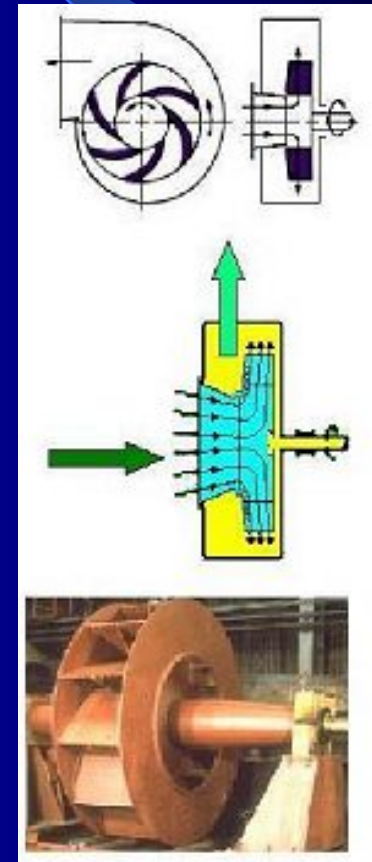
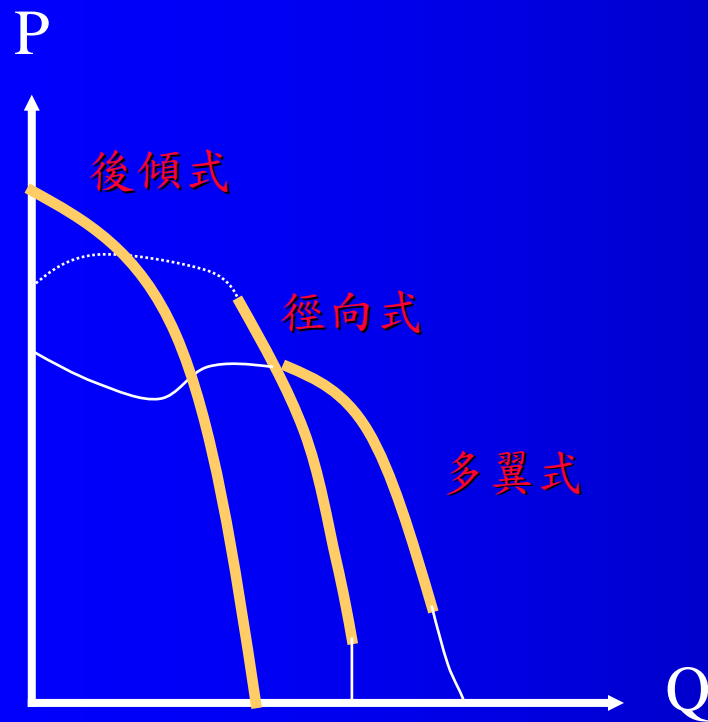
參. 局部排氣概說(續)

● 軸流式排氣機



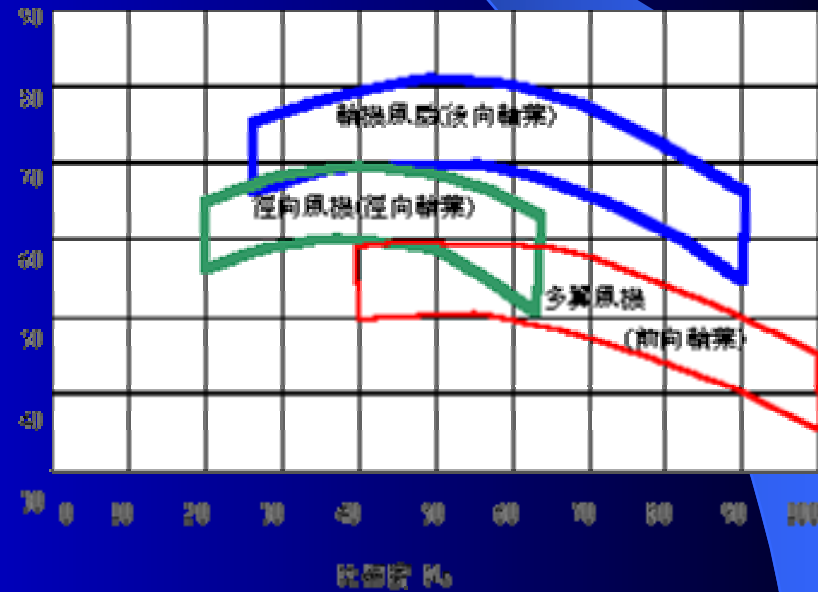
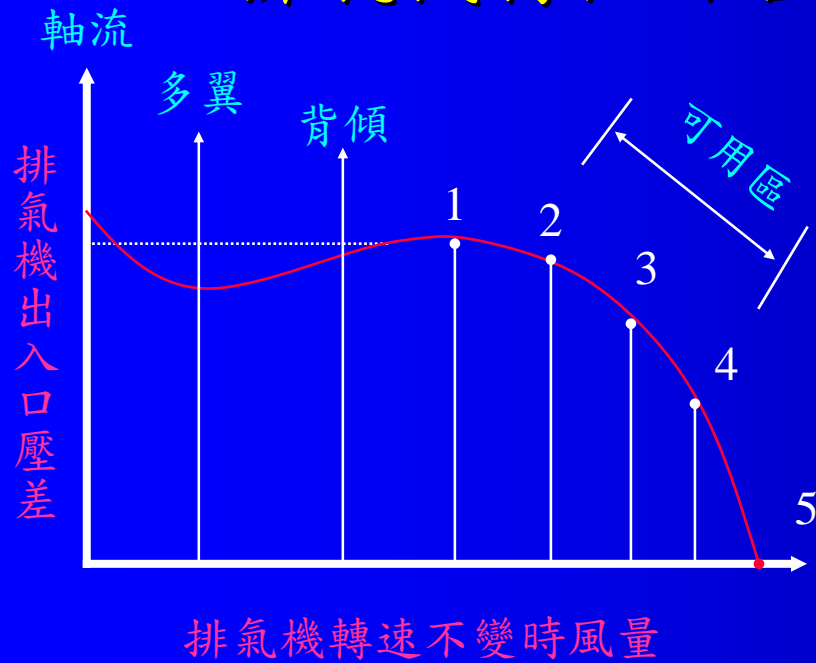
參. 局部排氣概說(續)

● 離心式排氣機



參. 局部排氣概說(續)

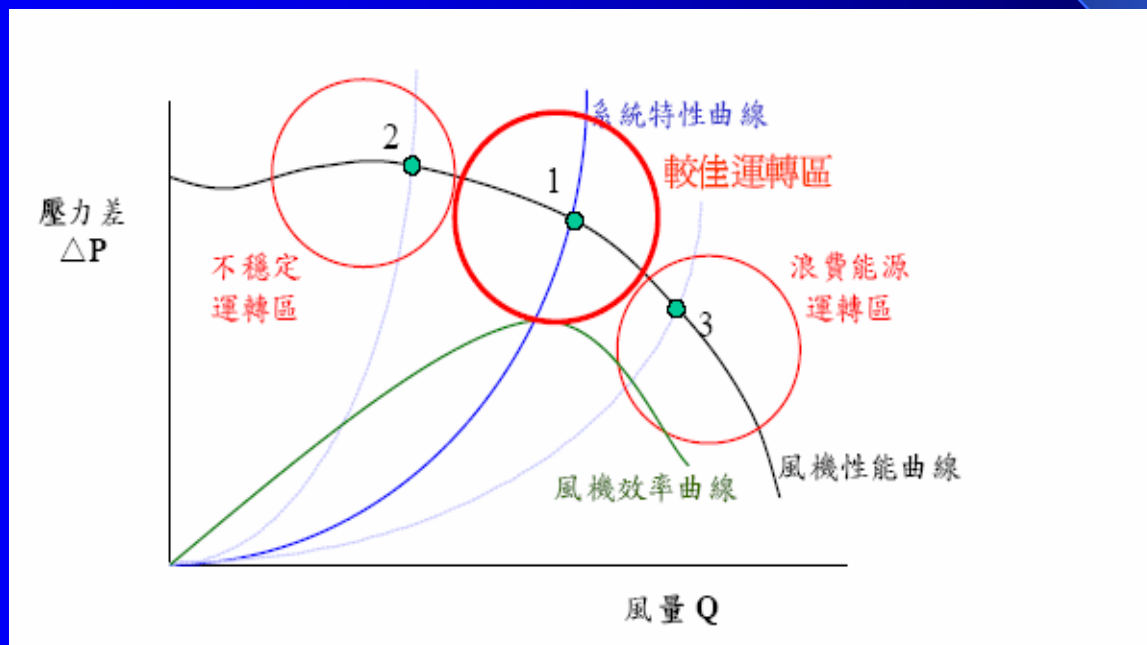
● 排氣機特性綜合討論



不同比速度Ns下各種
排氣機之全壓效率

參. 局部排氣概說(續)

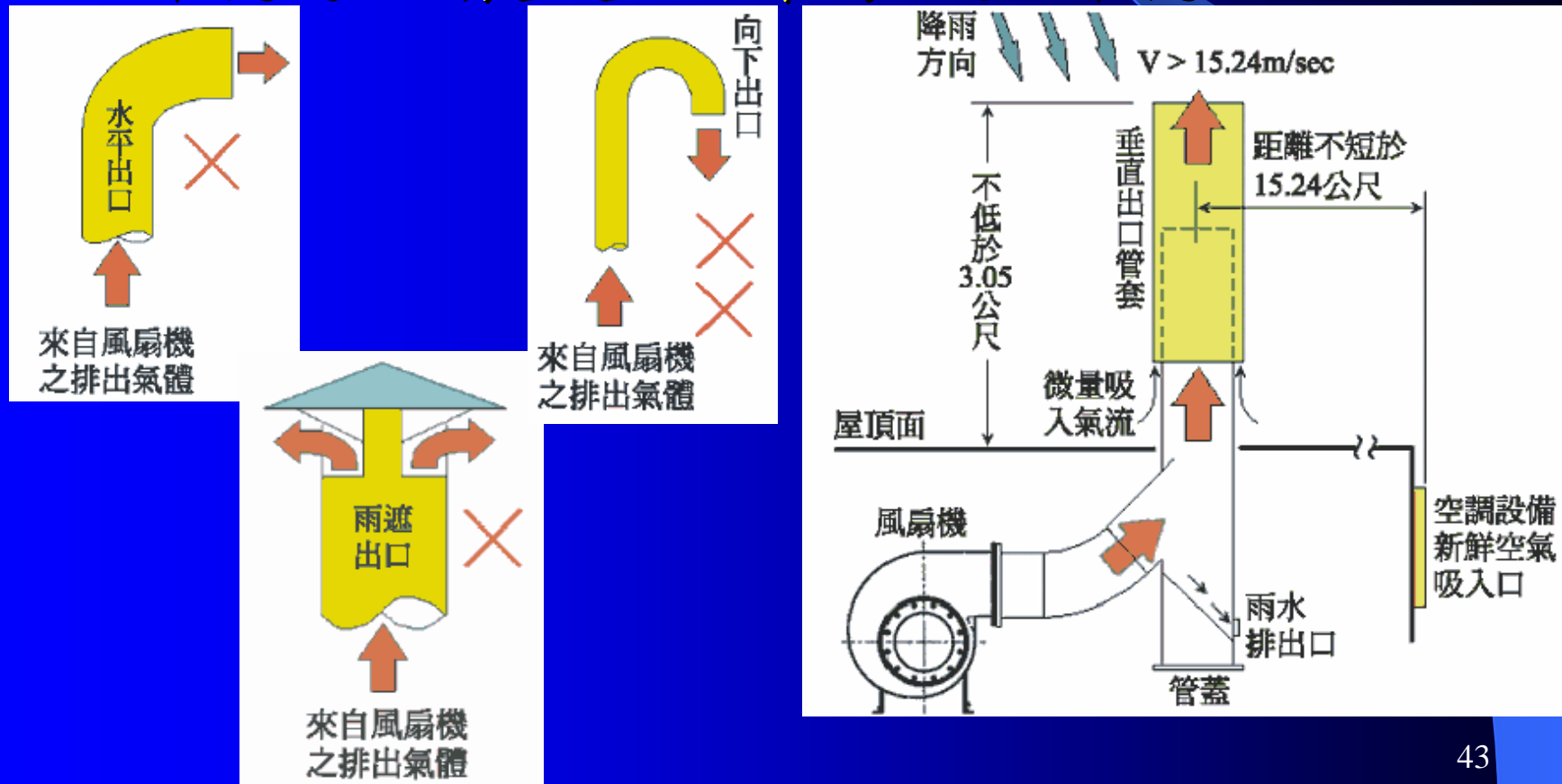
● 排氣機控制方法示意



1. 轉速和風量成正比，排氣機馬達轉的越快，風量就越大
2. 壓損與風量平方成正比，很小的風量變化就能導致很大的壓損變化
3. 馬力與風量的三次方成正比，風量加倍時，馬力變成原來的八倍

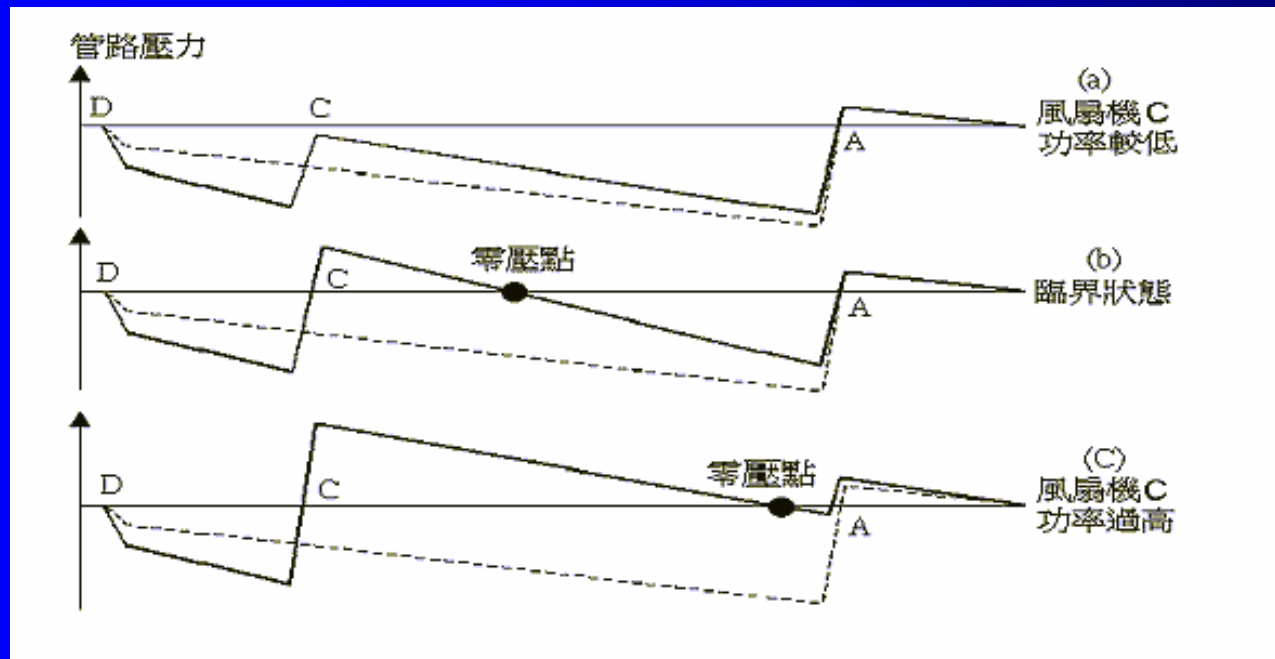
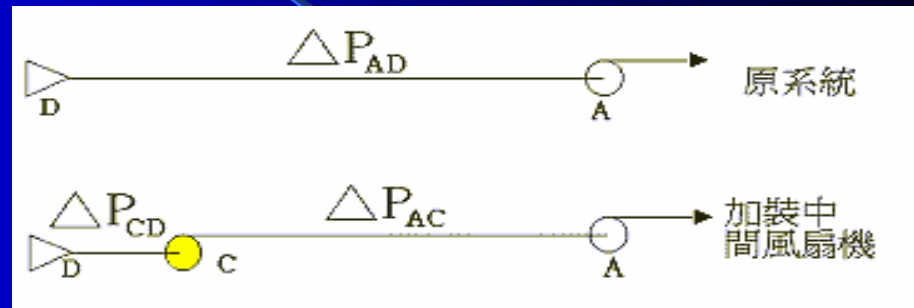
參. 局部排氣概說(續)

- 排氣道：請盡量設計為垂直排氣



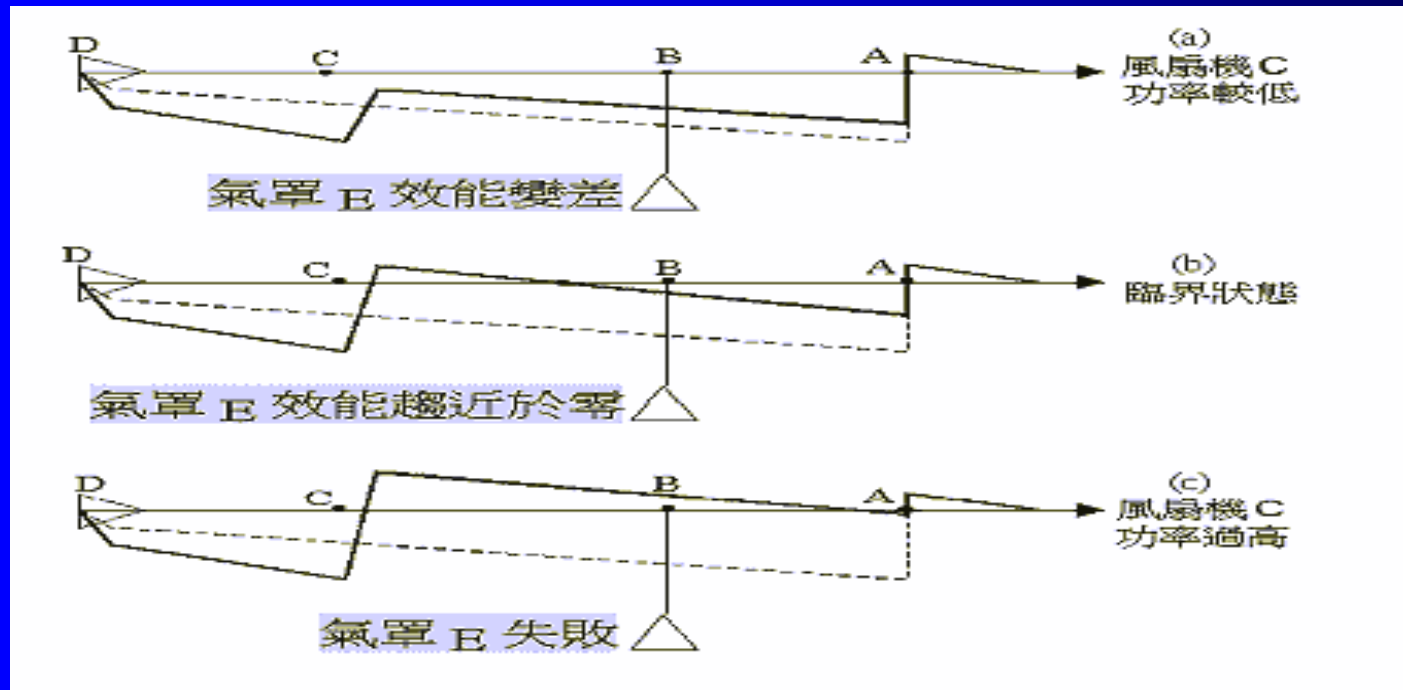
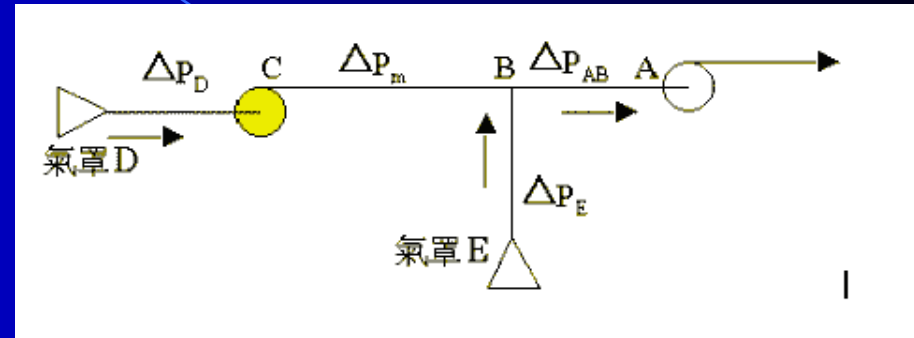
參. 局部排氣概說(續)

● 中間風扇機效應



參. 局部排氣概說(續)

● 中間風扇機效應



肆. 經濟效益分析

● 系統設計

為了能夠有效的推估通風設備初置與運轉成本，必須了解其系統設計與其他設備選擇與操作原理。其設計步驟如下：

1. 了解實際狀況
2. 計算所需風量
3. 選擇出迴風口、風機安裝及進/排風口位置
4. 設計風管系統
5. 評估系統效應及安全係數
6. 評估系統噪音
7. 監督施工後測試及調整

肆. 經濟效益分析(續)

- 整體換氣設備系統(空調設備)



肆. 經濟效益分析(續)

● 整體換氣設備系統

- 1. 無冷氣設備的整體換氣室內工作場所
(例如力霸式鋼結構建築物)
 - (1) 重於節省設備成本並提高排熱效益
 - (2) 換氣風量通常較大，能源耗費較少
 - (3) 容易受溫度差所影響
- 2. 安裝冷氣設備的整體換氣室內工作場所
(例如空調大樓)
 - (1) 室內廢熱係以冷熱空氣混合的方式移除
 - (2) 此類冷氣供應系統常採部分回風設計，回風比例與運轉成本之關係。

肆. 經濟效益分析(續)

● 利用空調設備之整體換氣系統圖



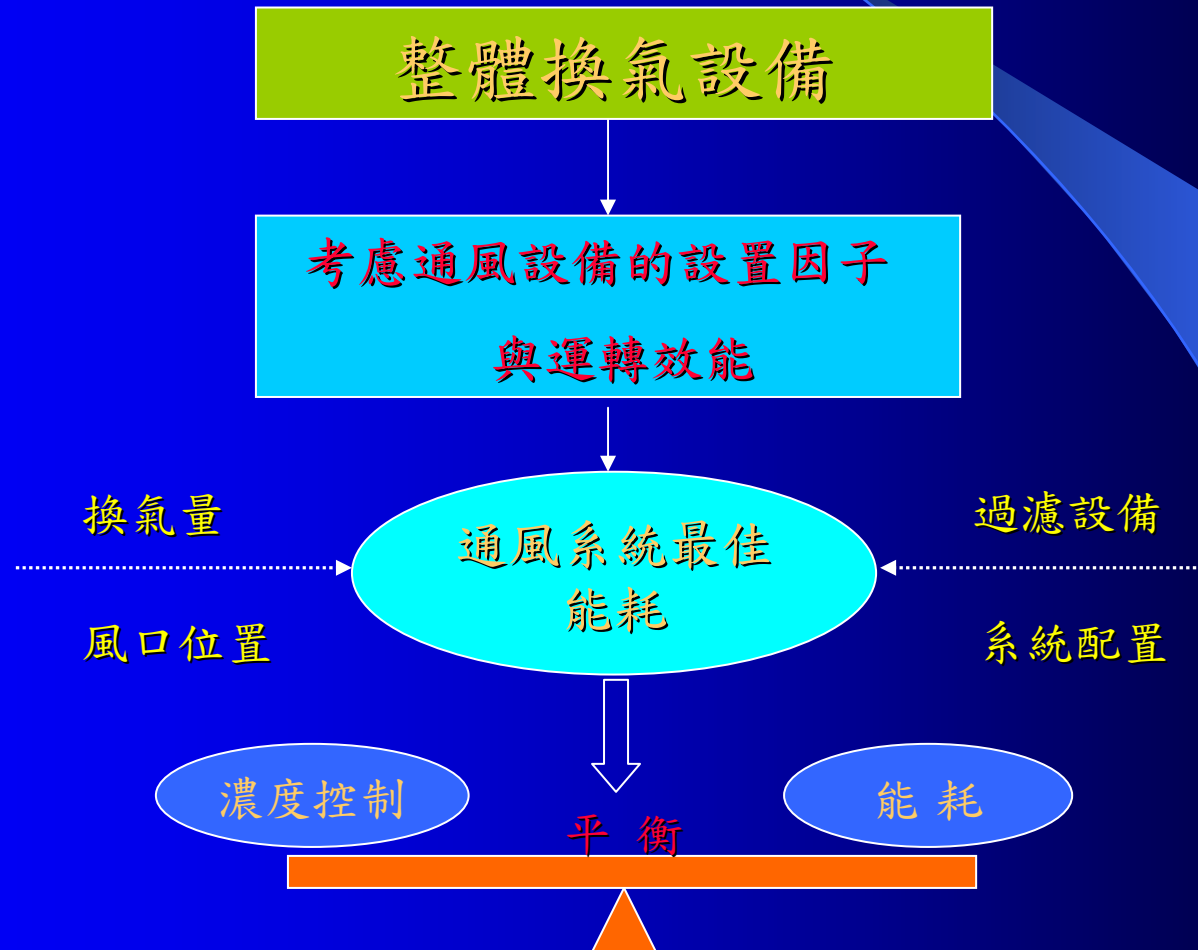
肆. 經濟效益分析(續)

- 經濟效益分析表

	有Filter	無Filter
HVAC	<p>優點：回風可增加 初置成本減少 吸附污染物</p> <p>缺點：維護成本增加 (定期更換濾材)</p>	<p>優點：增加外氣量 保障人員衛生安全</p> <p>缺點：增加初置成本</p>

肆. 經濟效益分析(續)

● 通風成本評估原則



肆. 經濟效益分析(續)

- 經濟效益成本評估模式
 - 完整的經濟效益成本評估模式應包含初期的設置成本以及維持系統正常運作的運轉成本

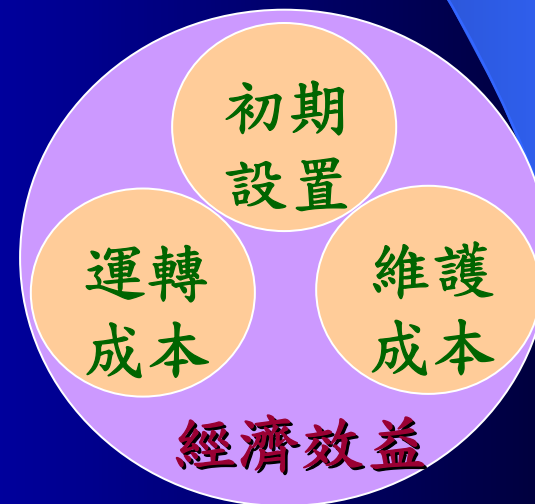
$$C = IC + \sum [OC_i + MC_i]_N$$

IC : 初期設置成本

OC : 運轉成本

MC : 維護成本

N : 使用年限



肆. 經濟效益分析(續)

- 經濟效益成本評估模式(續)

- 初期設置成本 IC

- (1) 購入成本

即購買設備之費用，因設備等級與廠商不同而有差異。

- (2) 安裝成本

因使用不同的系統會有不同的安裝方式，而造成價格上的差異。

肆. 經濟效益分析(續)

- 經濟效益成本評估模式(續)

- 運轉成本 OC

系統於運轉時所消耗電力之費用，與設備效率與電價結構有關。

二段式時間電價		夏日	非夏日
基本電價 (每瓦每月)	經常契約	223.60	166.90
	離峰契約	44.70	33.30
流動電價 (每度)	尖峰	2.058	1.984
	離峰	0.808	0.745

肆. 經濟效益分析(續)

- 經濟效益成本評估模式(續)

- 維護成本 MC

設備平時維護保養或損壞時維修更新的費用，一般來說維護成本較高的系統可延長其壽命，但如何在設備效能與整體經濟效益之間取得平衡，即是研究之重點。

肆. 經濟效益分析(續)

- 案例分析與操作說明
 - 主要說明現場量測策略與調查方法，並介紹測定儀器與方法，選擇具代表性之量測對象，並將現場量測與調查資料進行分析與評估，探討污染物濃度與換氣設備設置經濟性的關連性。探討以下幾點：

肆. 經濟效益分析(續)

- 案例分析與操作說明(續)

- 一. 室內空調之作業場所整體換氣現況：

- 利用所建立的模型之方程式，用來分析一個場所的室內污染物濃度來瞭解所需通風量之因子影響。

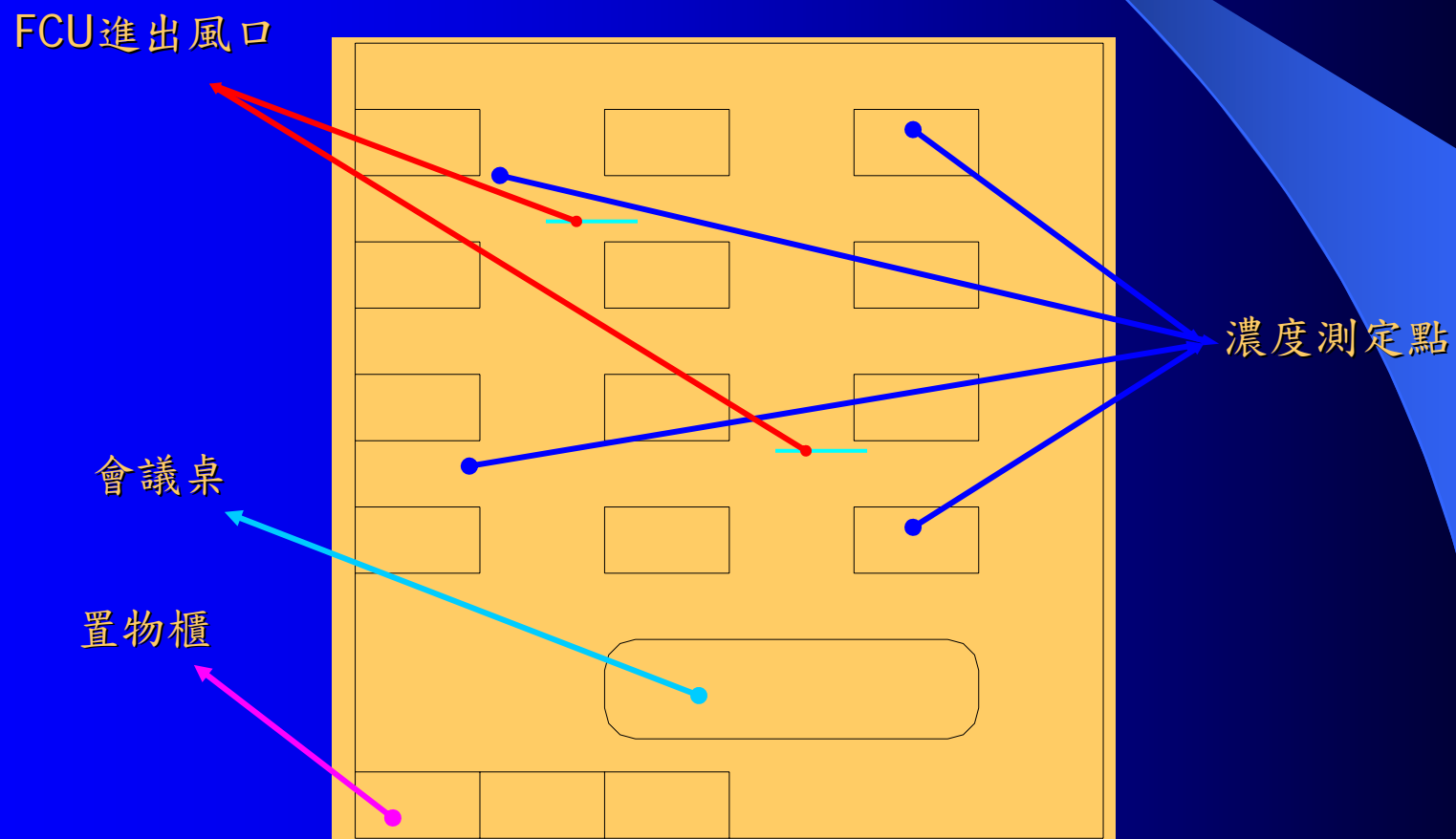
- 二. 室內CO₂濃度增加量與通風設備建置影響因子之相關性：

- 由現場實測與換氣效果影響因子，提供經濟效益評估模式來進行通風設備成本估算。

肆. 經濟效益分析(續)

● 案例分析相關位置圖

案例位置圖



肆. 經濟效益分析(續)

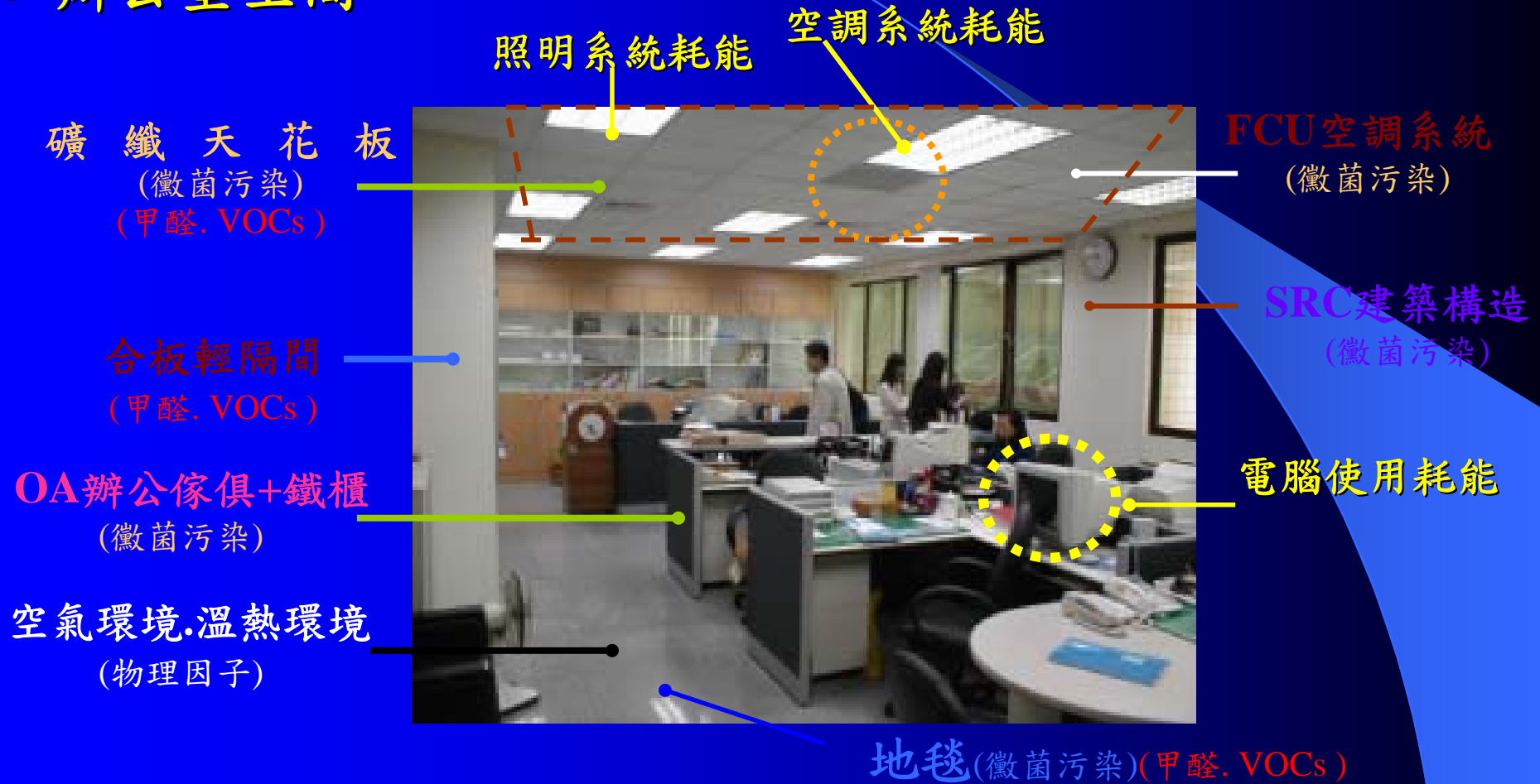
● 辦公室基本條件

平面尺寸與高度： $7.1\text{m} \times 10\text{m} \times 4\text{m}$ ；辦公室總面積： 71m^2
室內設定溫度： $T_i=25^\circ\text{C}$ ；室外溫度：各季節之室外溫度氣象局資料。
空調季節：每年5-9月 ；空調使用時間： $12\text{hr}/\text{day}$ ；每月使用天數：22天/月
辦公人員： $N_p=10$ 人 ；每人發熱量： $W_p=130\text{W}/\text{人}$
工作時間（每日）： $t_p=12\text{ hr}$ ；每人換氣量： $10\text{L}/\text{s}$
日光燈類型：一般燈管 $40\text{W} \times 36$ 支、安定器損失功率： $W_s=11\text{W}$
日照外牆面積： $A_w=19.2\text{m}^2$ 、外牆熱傳導係數 $U_w=3.78\text{W}/\text{m}^2\text{-K}$
日照玻璃面積： $A_g=9.12\text{m}^2$ 、玻璃開口率： $\eta=50$
玻璃穿透率（取單層平板 6mm 玻璃、有百葉簾、中間色）： $\tau_g=0.55$
玻璃熱傳導係數（取單層平板 6mm 玻璃、有百葉簾）： $U_g=4.93\text{ W}/\text{m}^2\text{-K}$
日照量（取嘉義北面日照量）： $q_{\text{rad}}=1020\text{ W}/\text{m}^2\text{-day}$
空調設計參數：FCU、冷氣能力= $2250\text{Kcal}/\text{h}$
電腦耗電量： $W_c'=68.5\text{ W}/\text{台}$ 、電腦數目： $N_c'=10$ 台、使用時間： $t_c'=24\text{hr}/\text{天}$ 、
電腦發熱量： $W_c=68.5\text{ W}/\text{台}$ 、電腦數目： $N_c=10$ 台、使用時間： $t_c=24\text{hr}/\text{天}$
螢幕耗電量： $W_m'=70.9\text{ W}/\text{台}$ 、螢幕數目： $N_m'=10$ 台、使用時間： $t_m'=12\text{hr}/\text{天}$ 、
螢幕發熱量： $W_m=35\text{ W}/\text{台}$ 、電腦數目： $N_m=10$ 台、使用時間： $t_c=12\text{hr}/\text{天}$

肆. 經濟效益分析(續)

● 辦公室空間

空間面積70m²
空間淨高4m

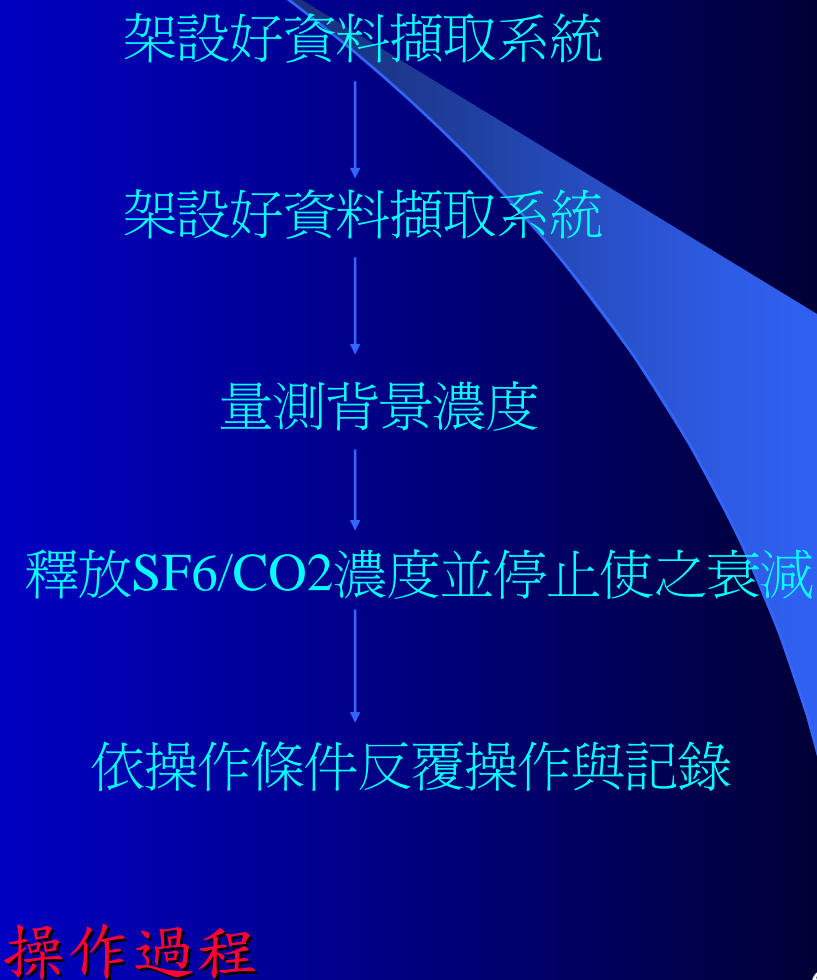
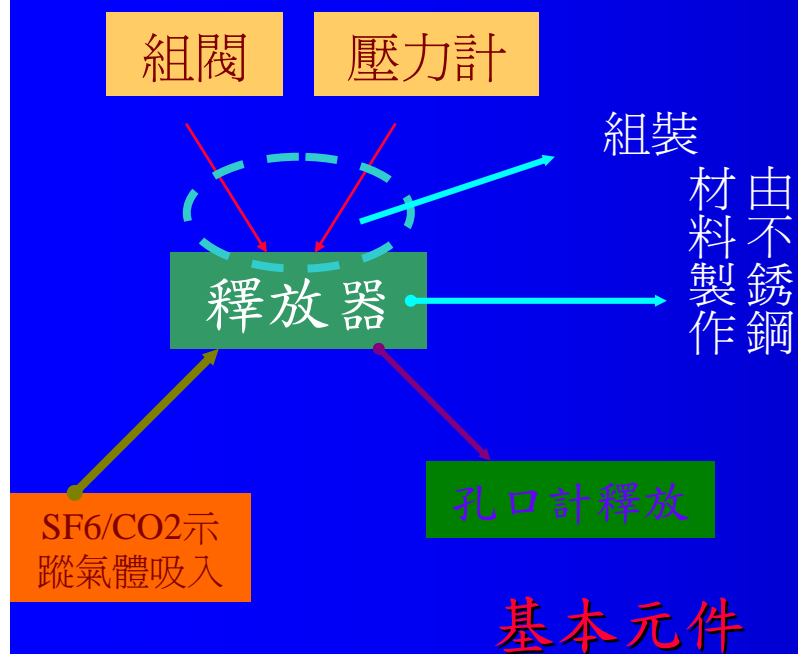


空間面積	空間淨高	建築構造	空調系統	天花板	地板	牆面	傢俱	裝潢時間
71m ²	4m	SRC	FCU	礦纖天花板 86.3m ²	地毯 89.7m ²	合板輕隔間 74m ²	OA辦公傢俱+鐵櫃	60 7年

肆. 經濟效益分析(續)

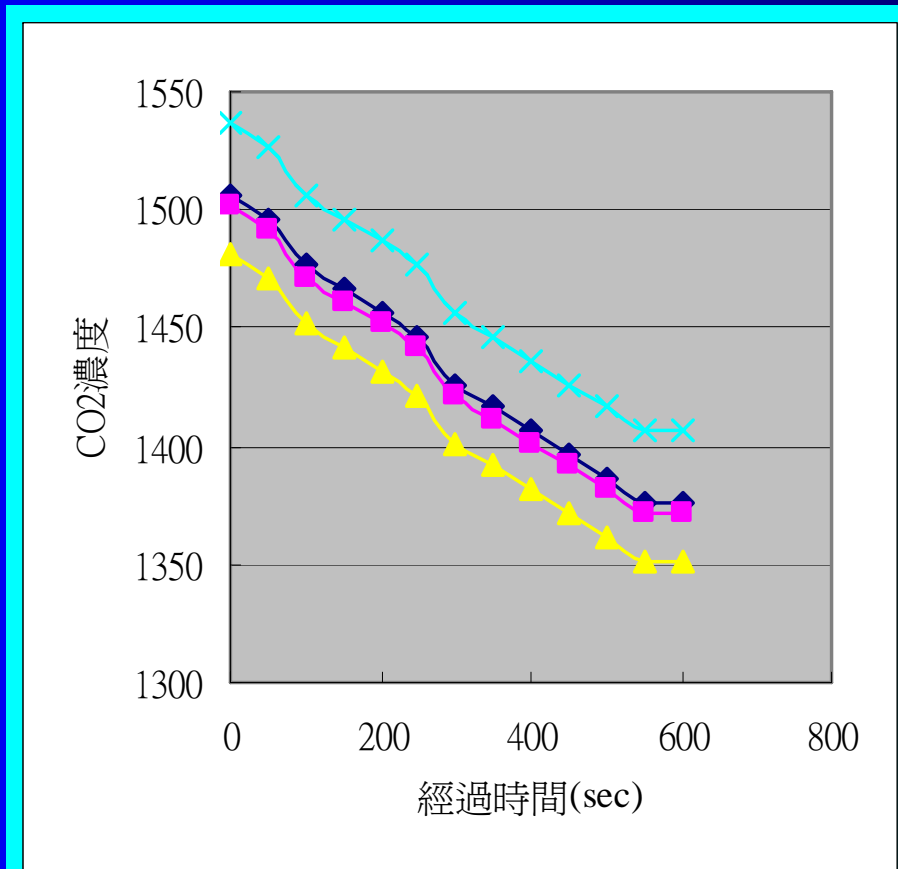
● 示蹤氣體操作與量測說明

依照ASHRAE 110-1995標準自行製作的氣體釋放器系統其基本組件如下：



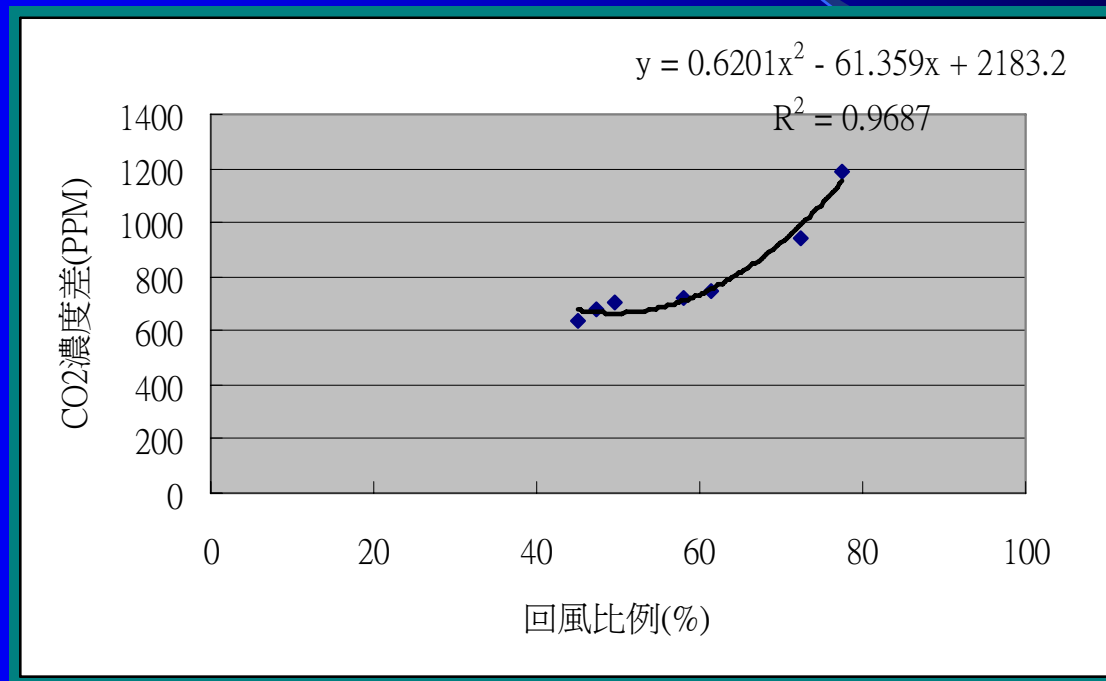
肆. 經濟效益分析(續)

- 示蹤氣體實驗結果
- 利用示蹤氣體求得之濃度衰減過程



肆. 經濟效益分析(續)

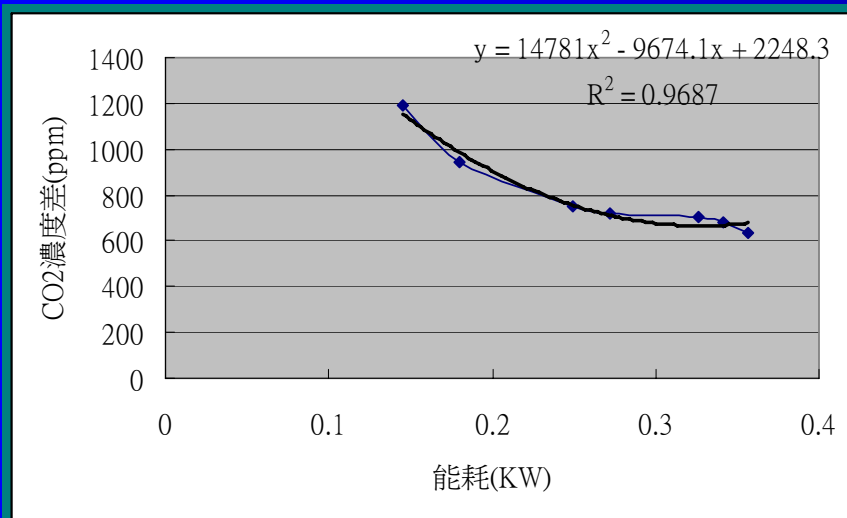
- 回風比例與濃度差之趨勢圖



- 註：定濃度釋放(1650±30ppm)
室內有效體積為：210m³
回風比例操作範圍：77.6~45%
趨勢線公式平均誤差為：-5.23

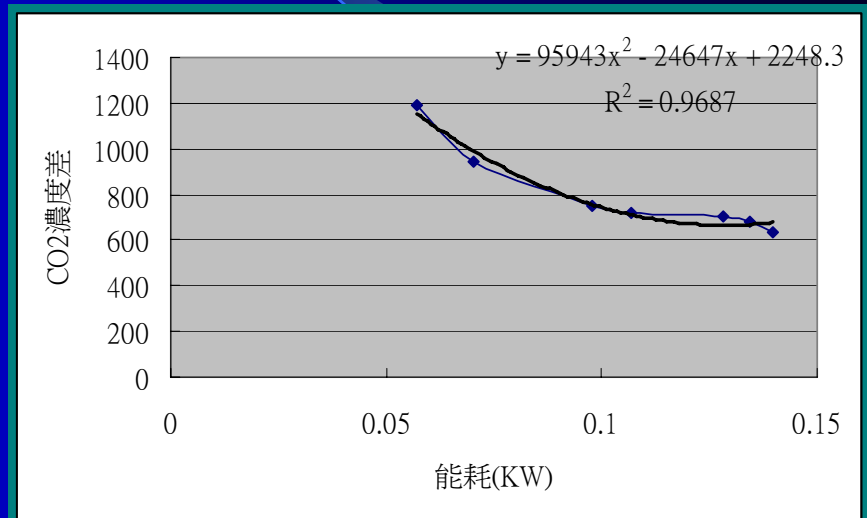
肆. 經濟效益分析(續)

● 回風比例濃度差與能耗之關係



實例模擬夏天耗能與回風

比例濃度差之關係圖



實例模擬冬天耗能與回風

比例濃度差之關係圖

- 註：夏天外氣溫度30°C、室內溫度25°C
冬天外氣溫度20°C、室內溫度22°C
以熱轉換方程式 $Q = mC_p\Delta T$

肆. 經濟效益分析(續)

- 此案例進行改善對策分析

- 在此案例操作過程操作過程下為必須改善的外氣量

空間內人員數 (室內污染強度)	污染物建議值 (ppm)	換氣率 (h ⁻¹)	空調新鮮外氣 供給量 m ³ /h(cfm)	耗 能 (Kcal/h)	耗能百分比 (%)
10	1000	0.79	165.9(100)	110	---
	800	1.13	237.3(140)	154	28.6
	600	1.95	409.5(241)	265	58.5

肆. 經濟效益分析(續)

● 案例成本分析

回風比例	整年運轉 花費成本(元)	維持員工安全衛生
77.6	188,984	
74.5	205,190	1000ppm
72.3	233,506	
68.1	287,222	800ppm
61.5	324,732	
58	354,736	
49.6	425,391	
47.2	444,990	
45	464,351	
43.4	495,073	600ppm

- 該風機每天使用時間為：8:00~12:00，13:00~18:00、19:00~22:00，供12小時需維持運轉以達通風降溫之效果
- 使用電費：夏天每度3.465元、非夏天2.730元

肆. 經濟效益分析(續)

- 案例分析結論

- 由此可知實例模擬冬天時的耗能約在0.05~0.13KW比夏天的耗能0.145~0.356KW低，其主要受到溫差的影響比較大，得知若以人的舒適為對象的空調設計，其室溫條件的標準，夏天為25~28°C、冬天為18~23°C，夏季時在不影響室內空氣品質的條件下，可減少補充外氣，增加回風以節約能源，但在冬天時由於一般外界空氣之焓值均甚低，因此補充大量的外氣有助於能源之節約。

肆. 經濟效益分析(續)

- 分析結論
- 根據上面所提到各種空氣污染物之類型瞭解回風比例與耗能問題會影響室內空氣污染物之濃度分佈，實際上在進行經濟評估時需要考慮本身空調的效能成本等，而空氣污染物濃度控制與空調耗能之間達成此一平衡以維護員工之安全衛生問題。最後由業主或設計者本身的需求來考量通風成本評估之方式。

● 報告完畢 敬請指導

- 雲林縣斗六市大學路3段123號
- Email:chungkc@yuntech.edu.tw