學校及密集機構
通風環境評估及說明

職業安全衛生系　賴全裕　副教授

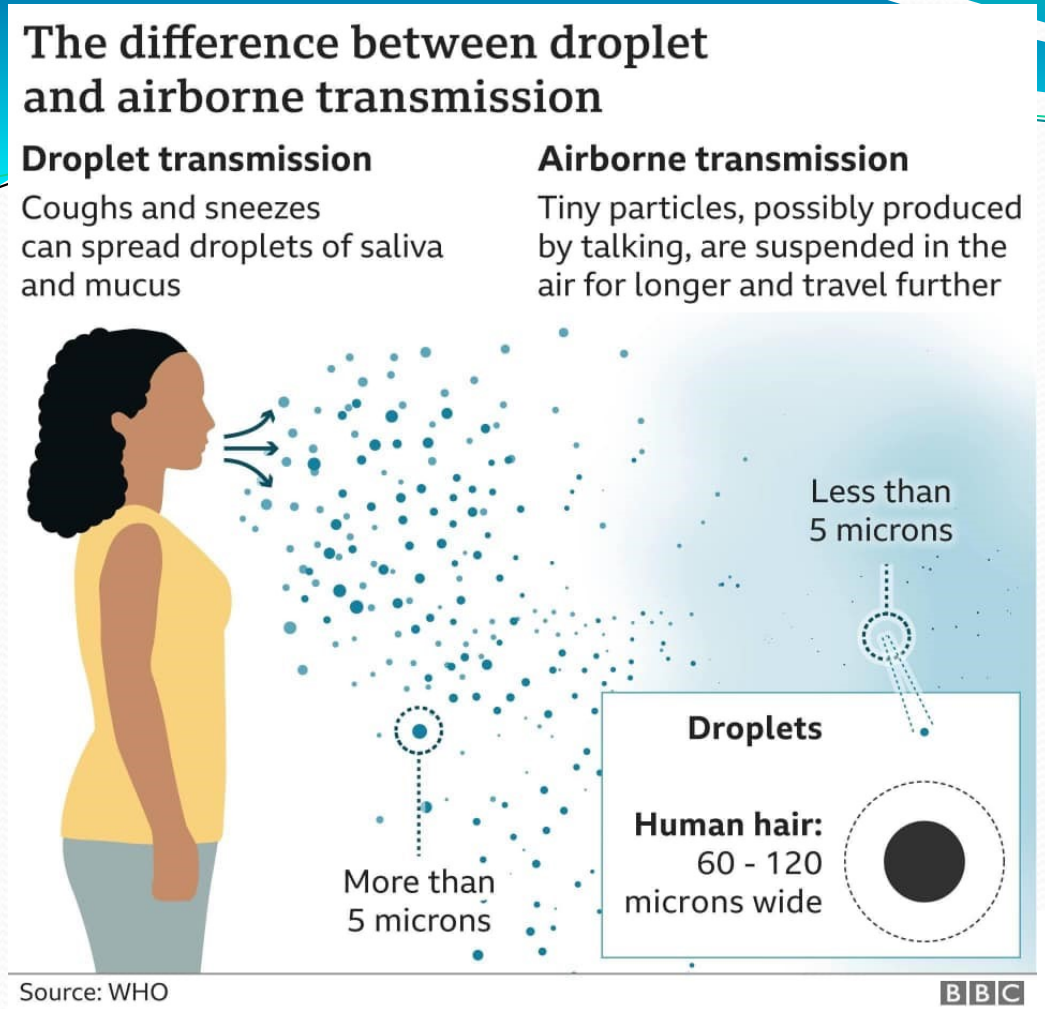
職安衛公司 呼吸防護具檢測中心 諮詢顧問
110年度衛生福利部 生物安全組 諮詢委員
110年度衛福部疾管署高防護實驗室暨高危害病原生物安全 查核委員
110年度中部P2、PCR實驗室、負壓隔離病房、COVID-19開刀房 查核委員
110年度標準局工業安全類國家標準技術委員會 委員
110年度中山醫學大學附設醫院、部立雙和醫院 顧問
台灣職業衛生學會(TOHA) 理事
台灣$PM_{2.5}$監測與控制產業發展協會 理事

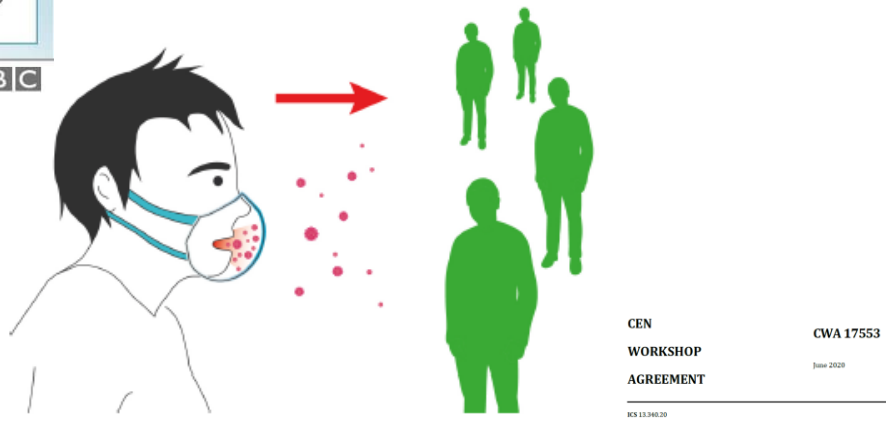
參考文獻：
中山醫學大學工業通風課程及碩士論文
中山醫呼吸防護具檢測中心 資料彙編
勞研所研究資料彙編
台大實驗室安全衛生課程
US-CDC, NIOSH homepage

（本內容並無替所引用廠商作任何廣告用途）

飛沫傳染 VS 氣膠傳染 VS 最低感染劑量

Lancet: Aerosol Transmission





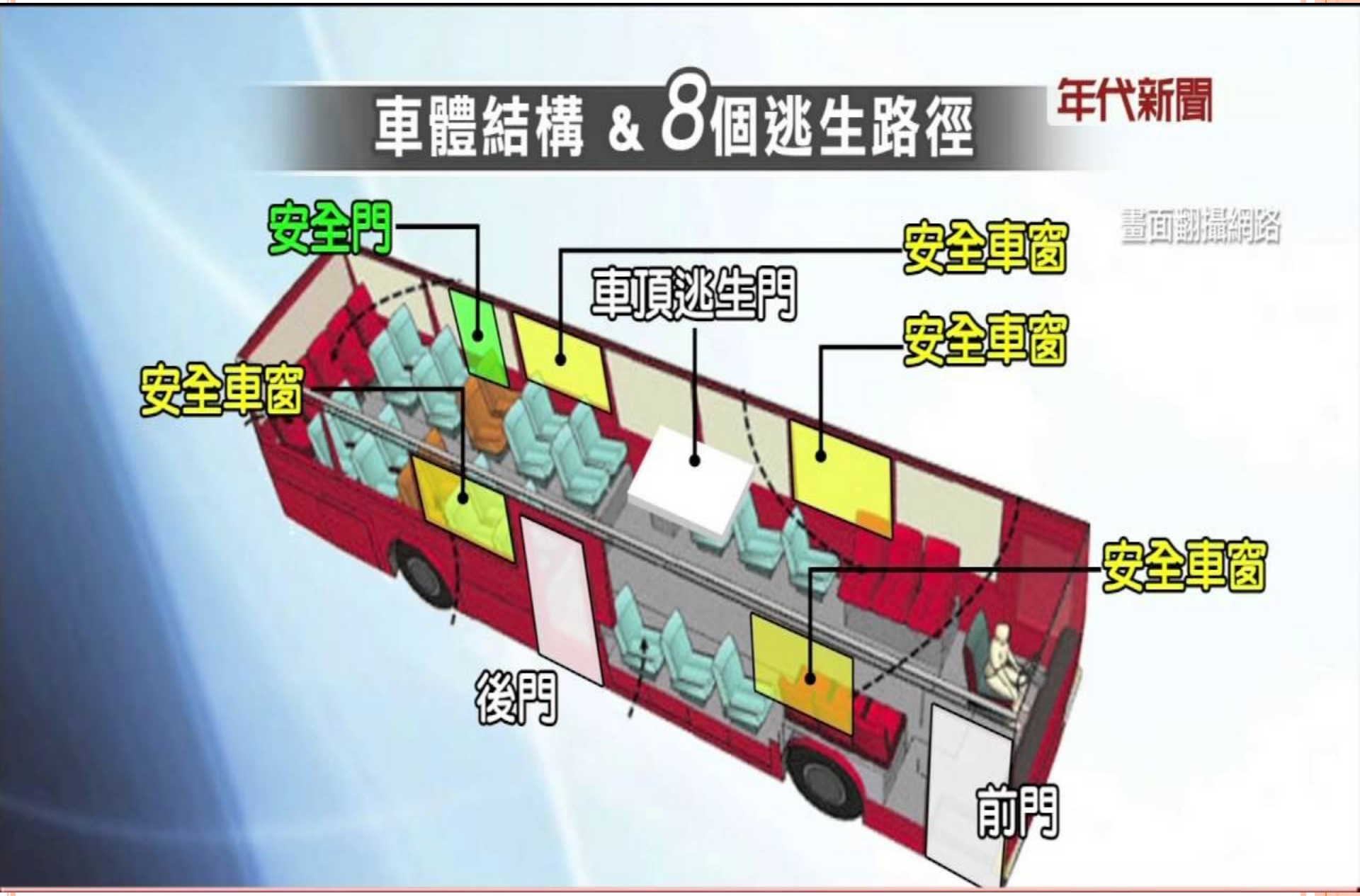
Limitation of the respiratory droplets projection to the environment

摘自網路分享

Bioaerosols & Terrorism

- Beginning on Sep. 18, 2001, terrorists began sending letters filled with ***anthrax spores*** to senators, media offices, and other people.
- Base on researches, pathogens were able to spread through two levels of a building in less than 20 minutes, even if the doors were closed.
- These results showed that if people were to have a fighting chance of escaping an infected building, building designers were going to have to implement HVAC safeguards.

Bioaerosols & ventilation



生物安全--感染管制策略與實例

- 通風與室內流場型態
- 管道清潔殺菌及汙染場所薰蒸
- 排氣煙囪設計
- 個人防護具

通風目的

提供新鮮空氣，利用空氣流動控制作業環

稀釋排除有害物，防止健康危害

稀釋排除危險物，防止火災爆炸

調節濕度與溫度，維持作業場所之舒適

疫情報導
TAIWAN EPIDEMIOLOGY BULLETIN
2021 年 3 月 9 日 第 37 卷 第 5 期
疫情調查

2014–2018 年某醫院精神科院區結核病聚集事件調查

表一、2007-2011 年台灣結核病疑似群聚事件統計

年	確定	總計	確定群聚比率
2007	11	70	15.7%
2008	13	89	14.6%
2009	13	47	27.7%
2010	9	58	15.5%
2011	21	159	13.2%
總計	67	423	15.8%

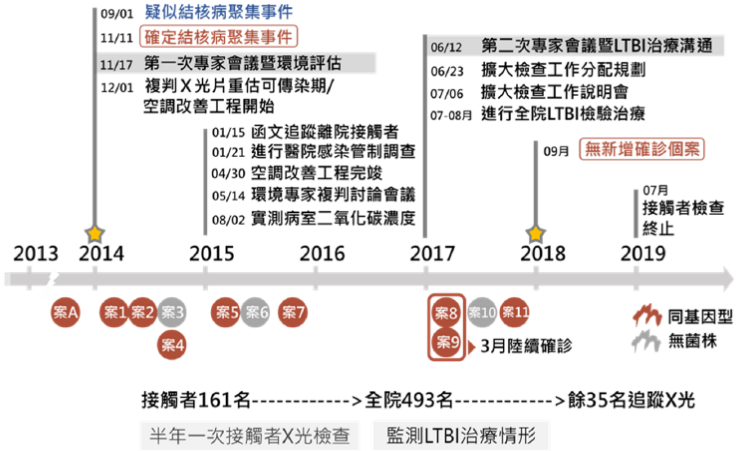
表二、2007-2011 年台灣結核病疑似群聚事件依機構類別確定比例統計

	2007N(%)	2008N(%)	2009N(%)	2010N(%)	2011N(%)	平均 N(%)
呼吸照護病房	2(15.4)	2(16.7)	1(12.5)	1(14.3)	0(0.0)	1.2(11.8)
人口密集機構	4(9.3)	4(5.9)	7(26.9)	1(3.6)	7(10.0)	4.6(11.1)
其他*	2(66.7)	0(0.0)	2(100.0)	1(20.0)	2(13.3)	1.4(40.0)
校園	2(25.0)	7(87.5)	2(33.3)	5(55.6)	9(27.3)	5(45.7)
醫療照護工作	1(33.0)	0(0.0)	1(20.0)	1(11.1)	3(10.0)	1.2(14.8)

N=確定群聚事件數
*職場（非醫療照護工作）

相關單位防治作為

本事件兩次專家會議針對醫院感染管制行政管理、環境通風排氣與接觸者檢查及治療建議如下（圖一）：



圖一、2014–2018 年北部某醫院甲院區結核病聚集事件個案發病時序及相關防治措施

室內空氣品質標準規定--善用CO_2監測以發現滯留區

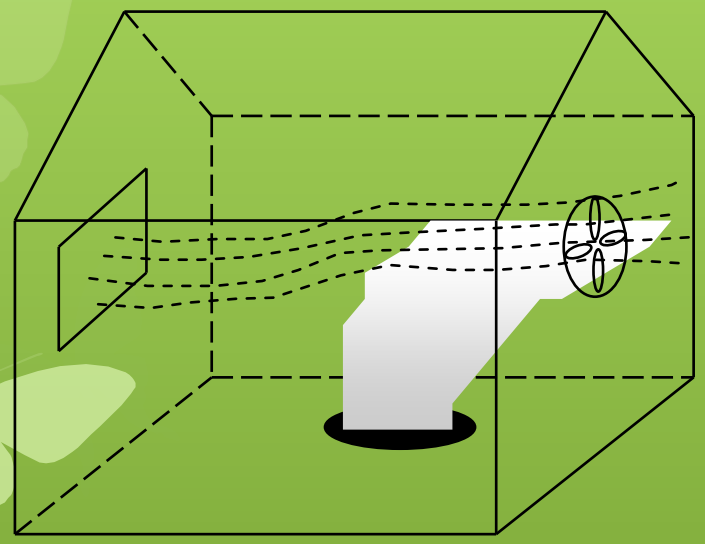
項目	標準值		單位
二氧化碳（CO_2）	八小時值	1000	ppm（體積濃度百萬分之一）
一氧化碳（CO）	八小時值	9	ppm（體積濃度百萬分之一）
甲醛（HCHO）	一小時值	0.08	ppm（體積濃度百萬分之一）
總揮發性有機化合物(TVOC，包含：十二種揮發性有機物之總和)	一小時值	0.56	ppm（體積濃度百萬分之一）
細菌(Bacteria)	最高值	1500	CFU/m^3（菌落數/立方公尺）
真菌(Fungi)	最高值	1000。 但真菌濃度室內外比值小於等於1.3者，不在此限。	CFU/m^3（菌落數/立方公尺）
粒徑小於等於十微米（μm）之懸浮微粒（PM_{10}）	二十四小時值	75	μg/m^3（微克/立方公尺）
粒徑小於等於二•五微米（μm）之懸浮微粒（$PM_{2.5}$）	二十四小時值	35	μg/m^3（微克/立方公尺）
臭氧（O_3）	八小時值	0.06	ppm（體積濃度百萬分之一）

通風分類

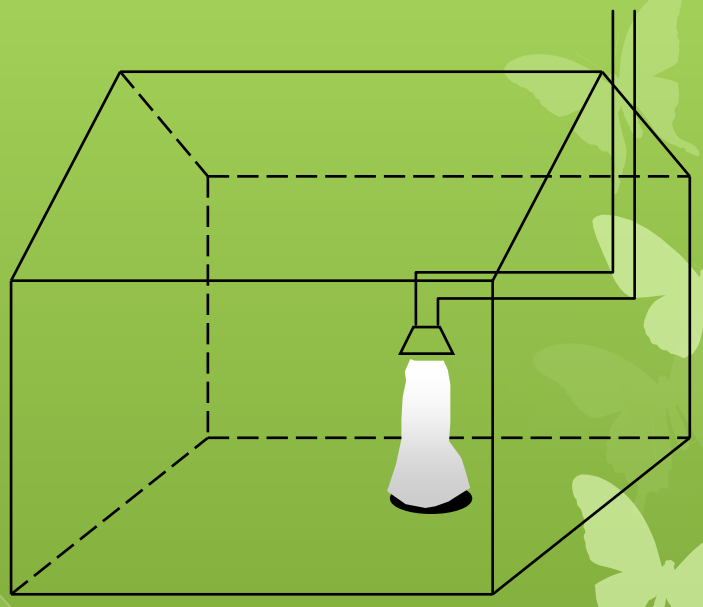
居家環境通風狀況

- 整體換氣
  - 自然換氣
  - 機械換氣
- 局部排氣

整體換氣與局部排氣



整體換氣



局部排氣

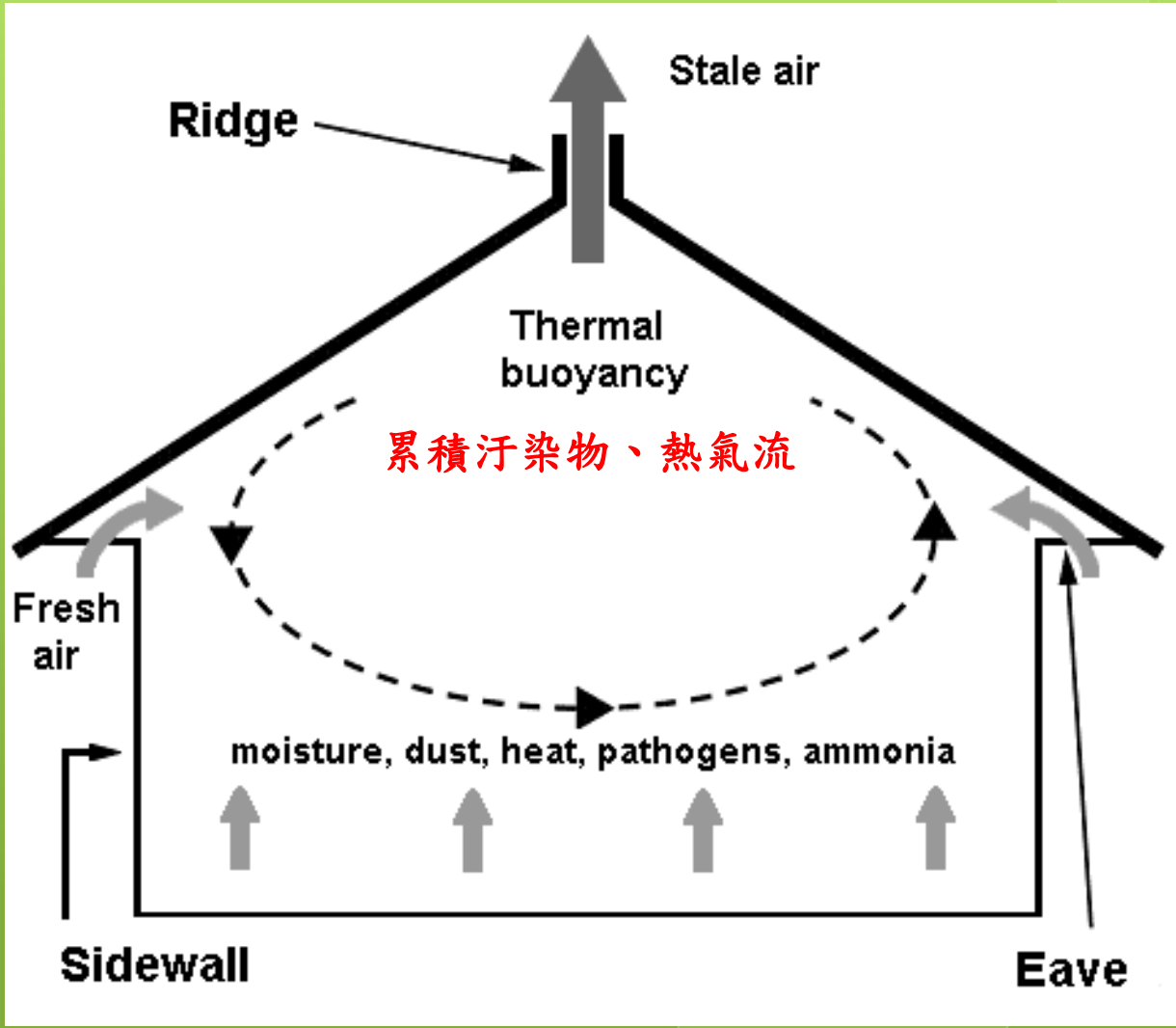
自然換氣

1. 風力換氣法
2. 溫度差換氣法
3. 風力與溫度差併用法
4. 分子擴散法
5. 慣性力排除法

風力換氣法

- 利用地理位置、日夜海陸風、季風等特性，於廠房構築時即加以考量，在設置門窗相對位置時，即能利用自然風力以有效換氣。
- 此種換氣方法常因風速、風向、門窗開口部及間隙等因素而影響其換氣效果。
- 因此，無法獲得正常穩定之換氣量為本法最大缺點。

具屋簷建物通風概況

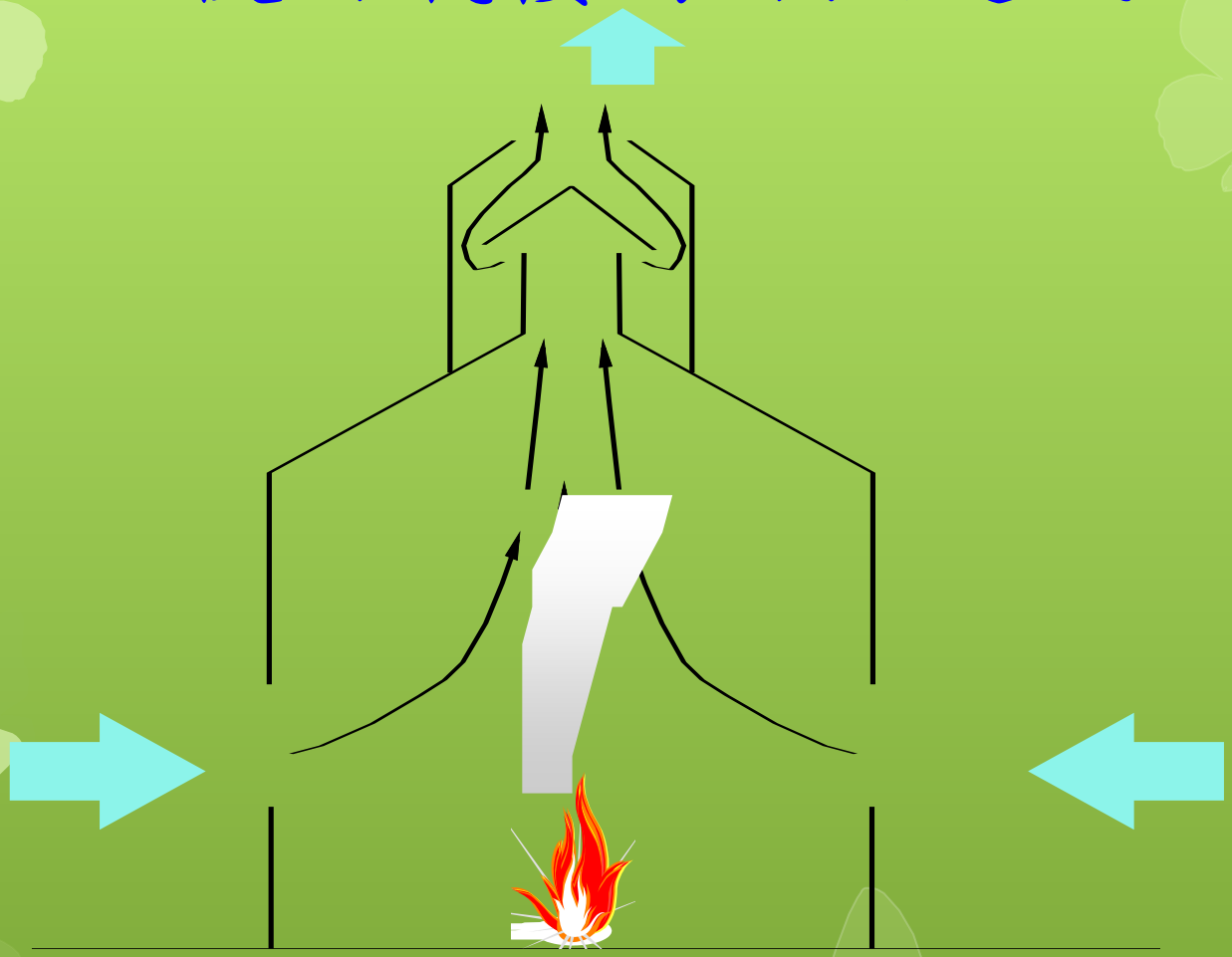

Stale air
Ridge
Thermal
buoyancy
累積汙染物、熱氣流
Fresh
air
moisture, dust, heat, pathogens, ammonia
Sidewall
Eave

溫度差換氣法

- 利用工廠內外之溫度差，使廠內熱空氣上升，並由屋頂排出，此時補充用之新鮮冷空氣會由門窗等開口進入廠房中，如此可達到排除熱有害空氣及補充新鮮空氣之換氣目的。
- 一般來說，建築物之室內外溫度差愈大，則可獲得之自然換氣量也愈大。

供氣排氣系統

使用氣樓的自然通風



風力

溫差

擴散

生活上通風案例--開窗(有換氣)與冷氣機(無換氣)

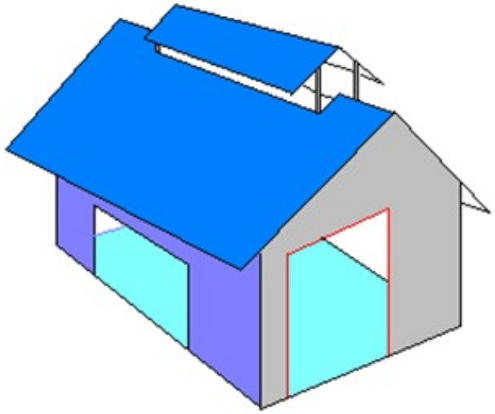
Translucent vent
enables some
natural light
to enter room.

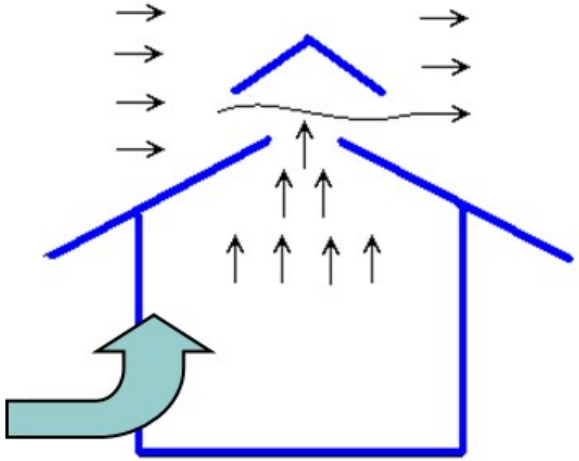
Gas Blower
SVB-G8
SV-90
Elbow
Duct Carrier
SVH-DC25
SV-UM
Universal Mount

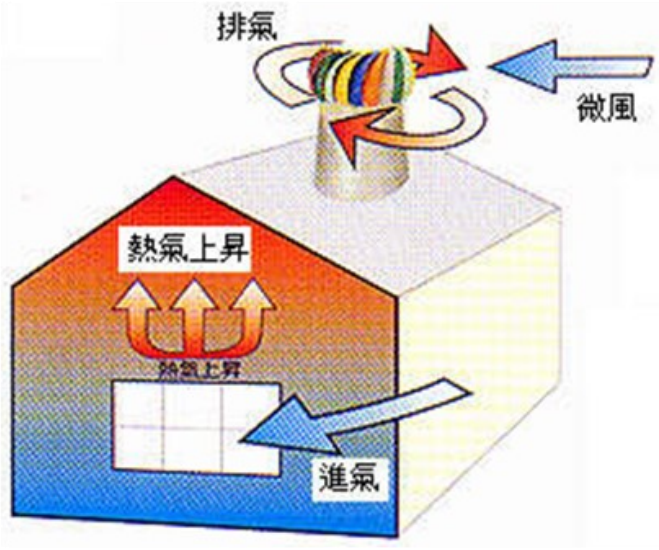
風力與溫度差併用法

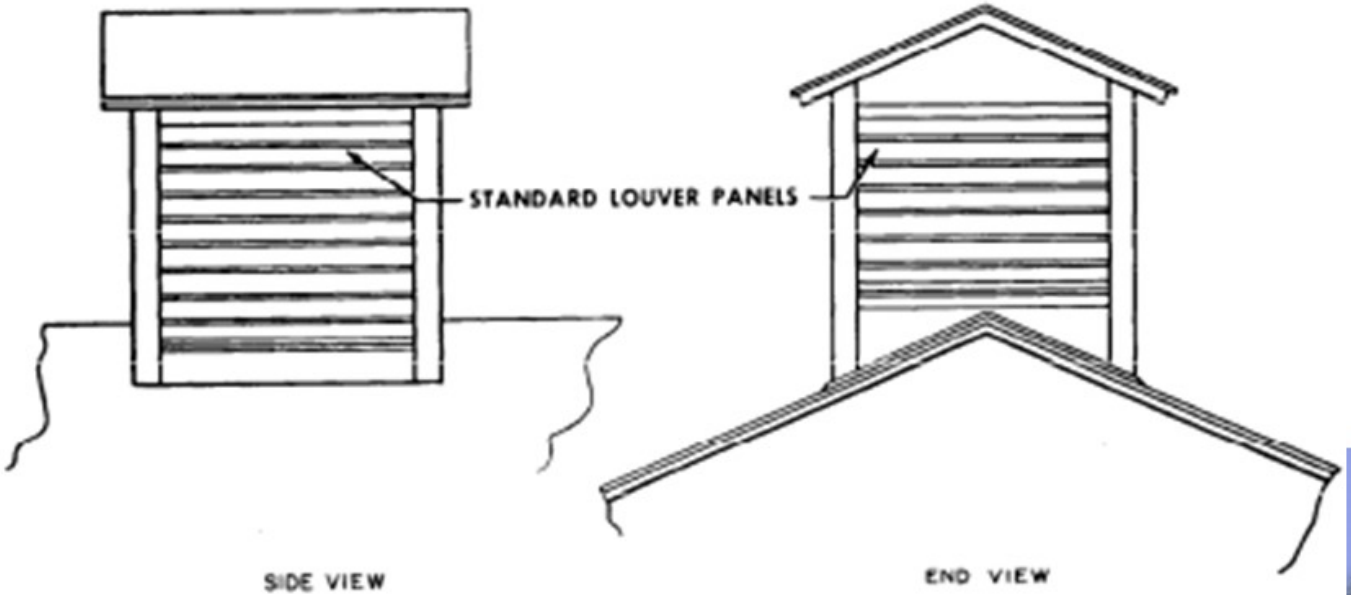
- 當戶外風速超過每秒1.5公尺時，風力即可促成自然換氣，同時因室內外溫度差而造成空氣密度差，進而產生壓力差，使得室內壓力較室外高。
- 目前已有設計成渦輪式自然風力換氣裝置，此種以自然氣流驅動、無需電力、低噪音之換氣裝置，可廣泛應用於工廠、學校等公共場所，甚至是住家。

使用氣樓的自然通風

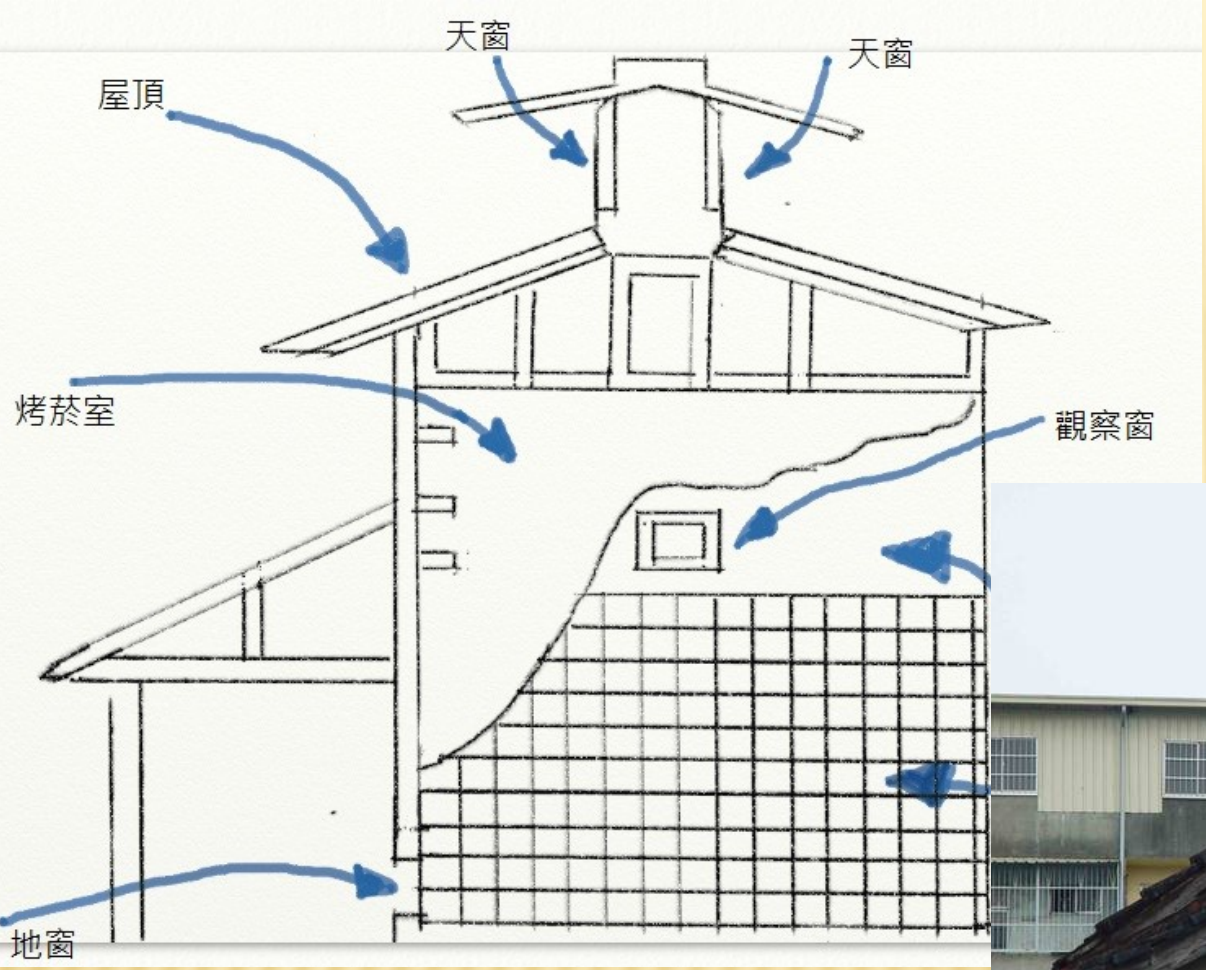






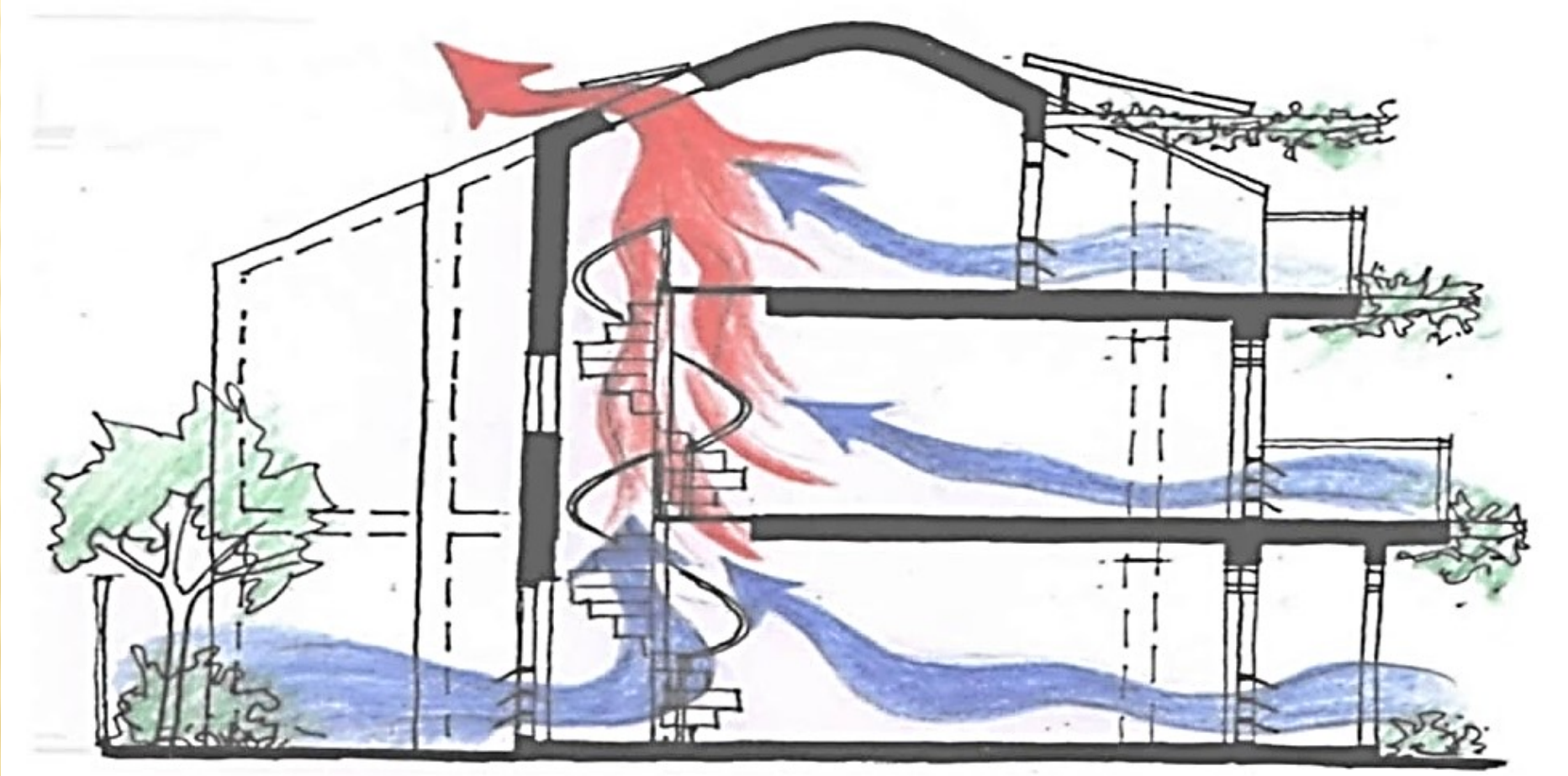


太子樓—氣樓



太子樓—氣樓

熱氣流、汙染物-垂直方向排除

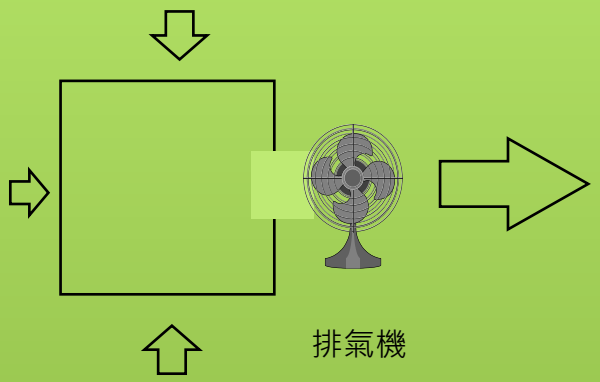


綠建築概論-建築浮力通風之應用
上傳者：張哲瑜

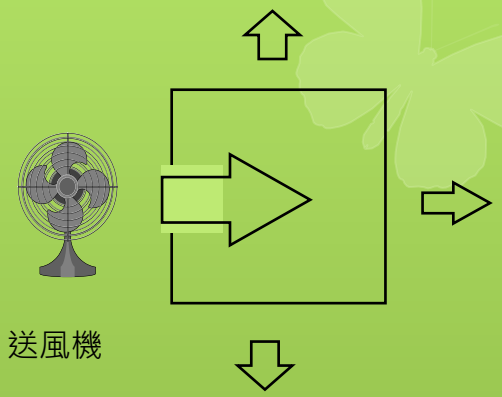
通風球

採光通風球

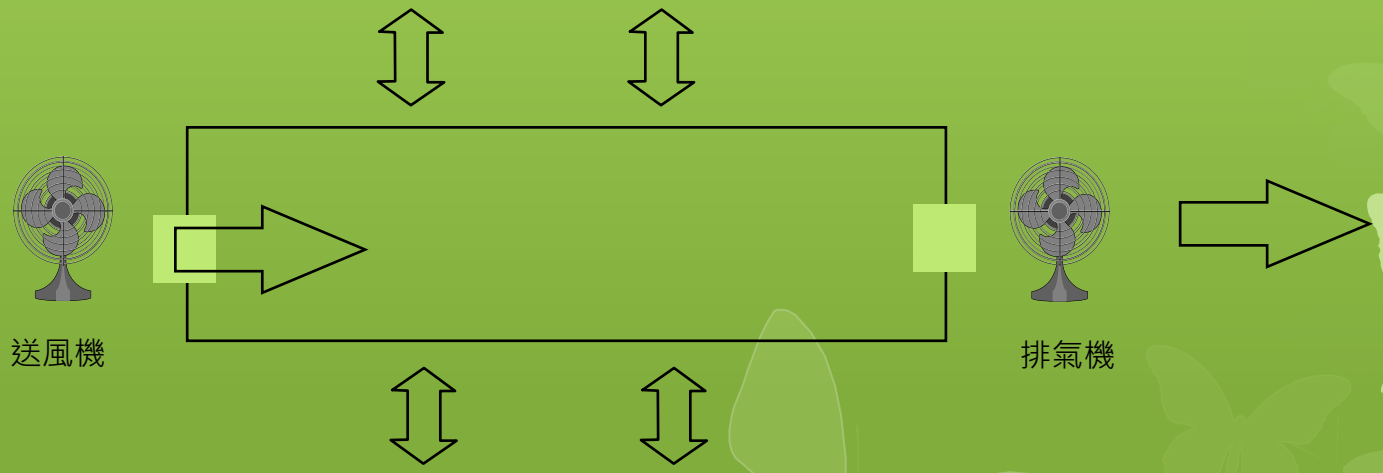
機械換氣形式



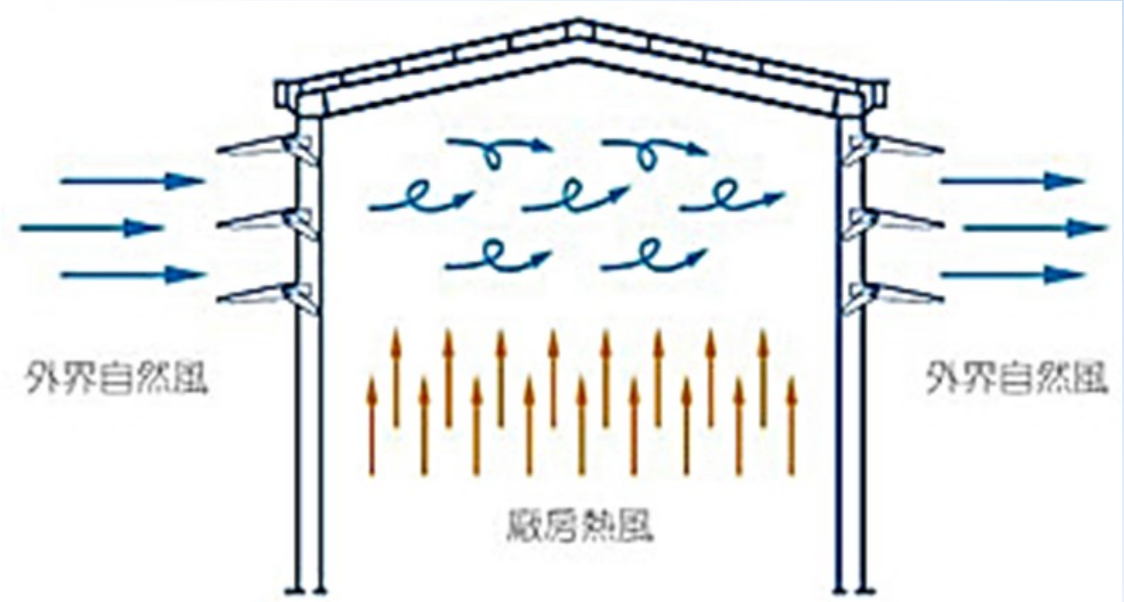
負壓式



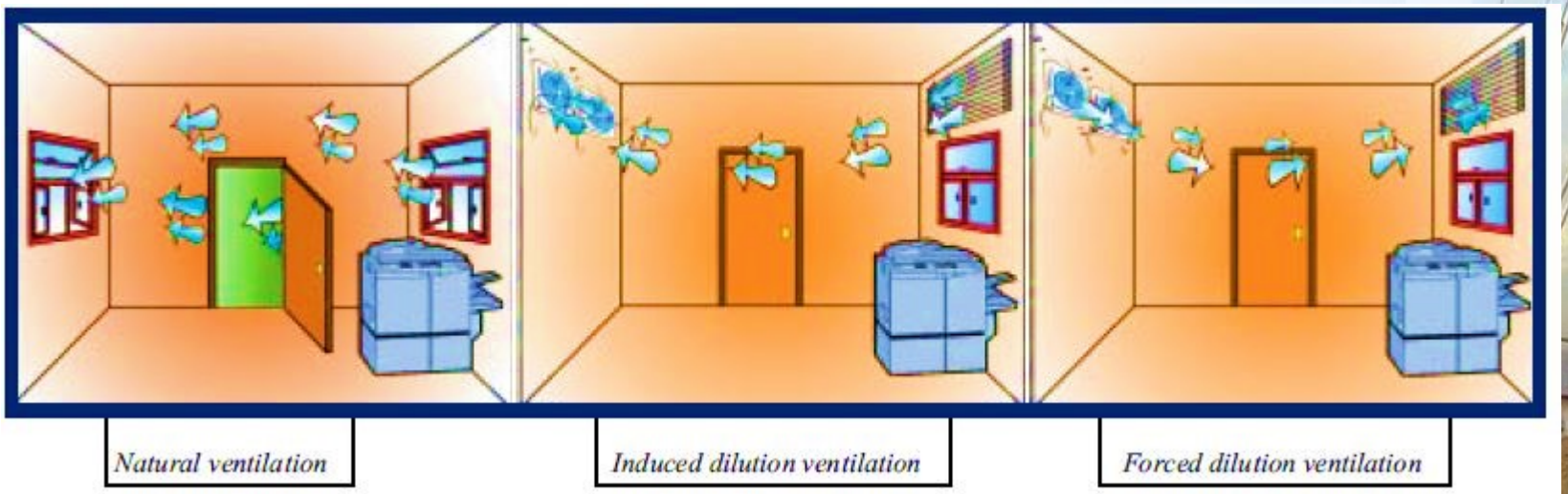
正壓式



熱氣流、汙染物-水平方向排除



（http://www.neo-mac.com.tw/）(本圖僅用於增強說明，並未進行廠商推薦。)



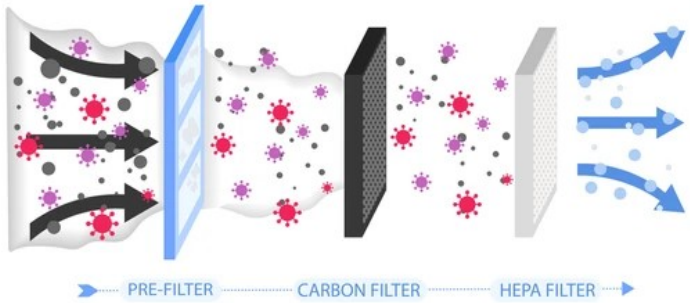
http://www.ehsdb.com/resources/Industrial Hygiene/Content images/ventilatio-1.JPG?timestamp=1465717081210

善用排氣扇—形成有利氣流
（慎選補氣區—避免短路）

吸排氣機

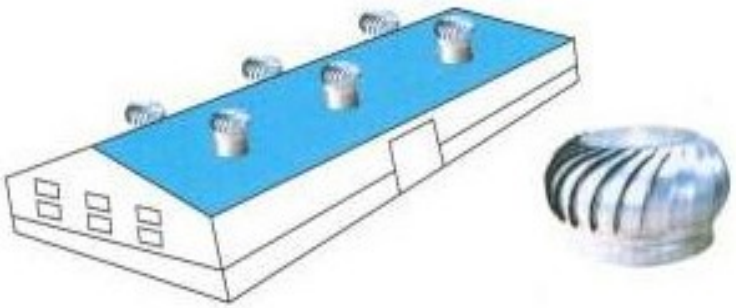
吸排氣機—附加
百葉扇（防雨）

安裝定時器

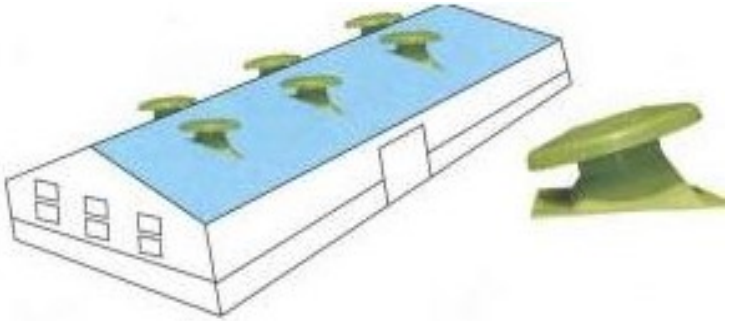


shutterstock.com · 1722416200

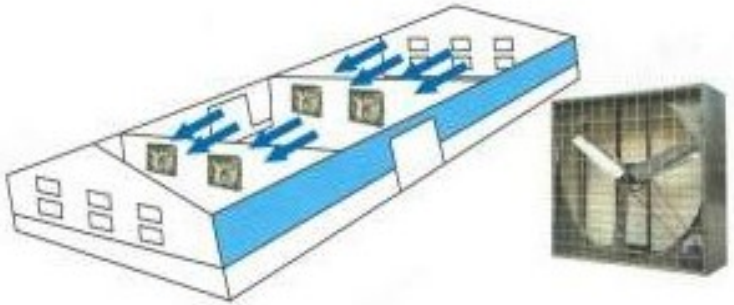
安裝濾材（避免汙染鄰居）



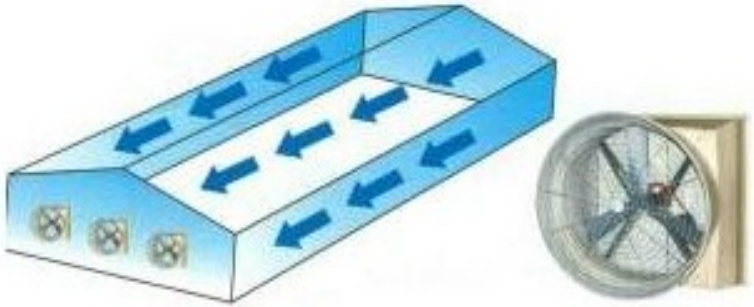
自然換氣(熱對流與風力)



機械換氣(熱對流與動力)



機械換氣(**排氣**與**補氣**)

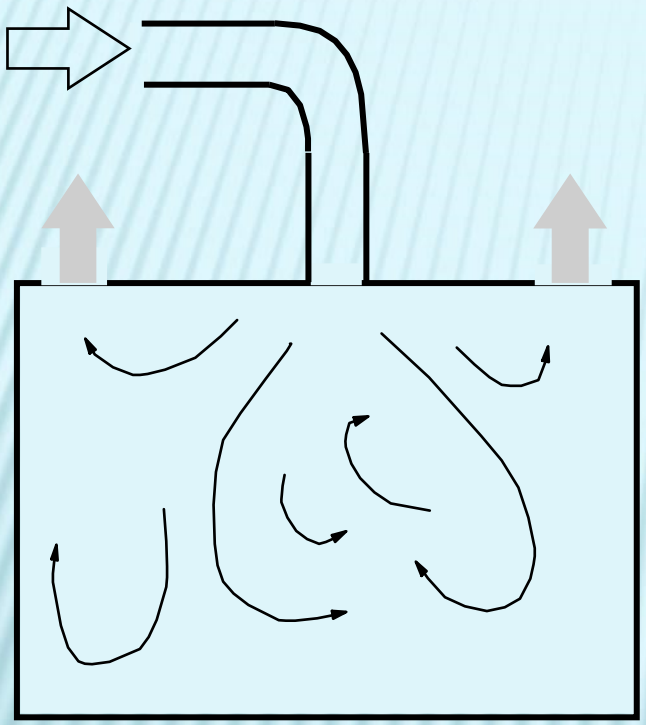


機械換氣(室內為**負壓**)

室內流場型態

1. 室內流場型態主要影響空間內空氣與污染物的混合程度，是決定室內空氣品質及作業場所通風效果優劣的主要關鍵。
2. 影響室內氣流型態的主要因子有：空調出風、回風口的大小、位置與形式；出風口之氣流速度；出風口氣流與室內空氣之溫差；空調設備之種類；熱源的強度與位置；空間大小與幾何形狀；家俱或設備之擺設。
3. 常見的室內空氣流場基本形態如以下四種（劉氏, 1995; 林等人, 2007）：
   - 完全混合式(complete mixing)
   - 短路型氣流(short circuiting)
   - 置換式氣流(displacement flow)
   - 活塞式氣流(plug flow)等。

完全混合式(COMPLETE MIXING)

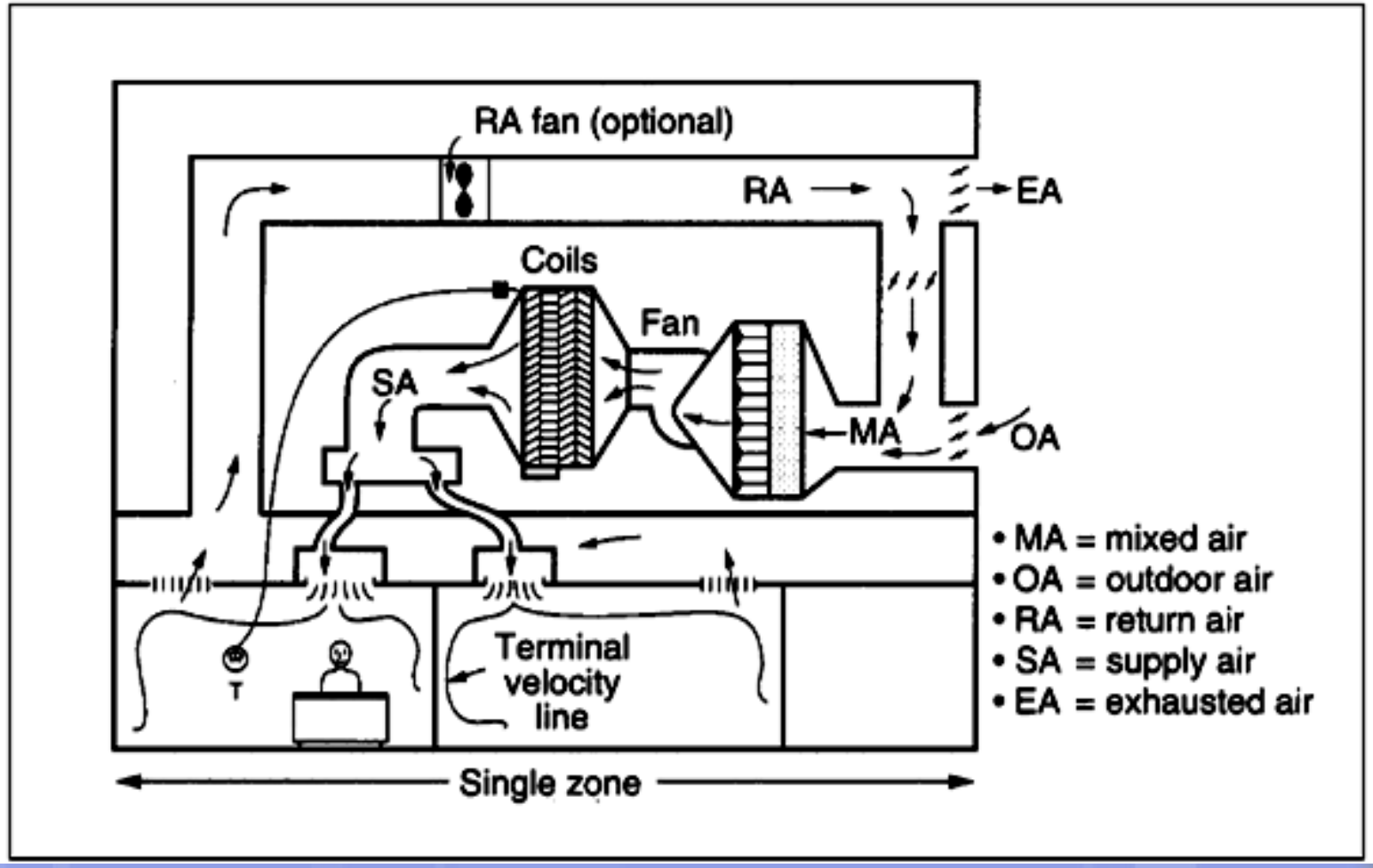


適用地點:

一般辦公室

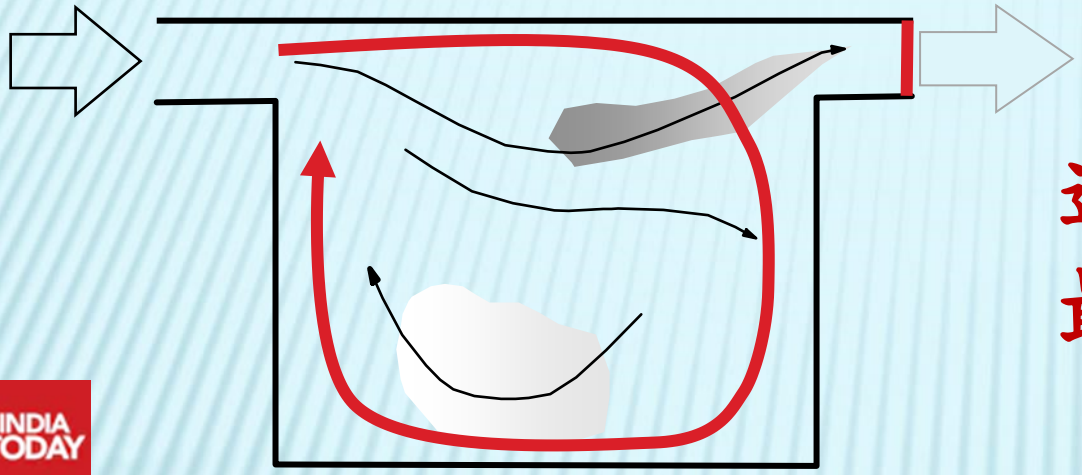
一般非空氣傳染病房

Every central HVAC system has an OA intake, usually a louvered opening on the top or side of the building. As air enters the intake, pushed by atmospheric pressure, a damper regulates the amount of OA taken into the system. Intake dampers should have a minimum set point such that an adequate supply of outside air is delivered to building occupants at all times.



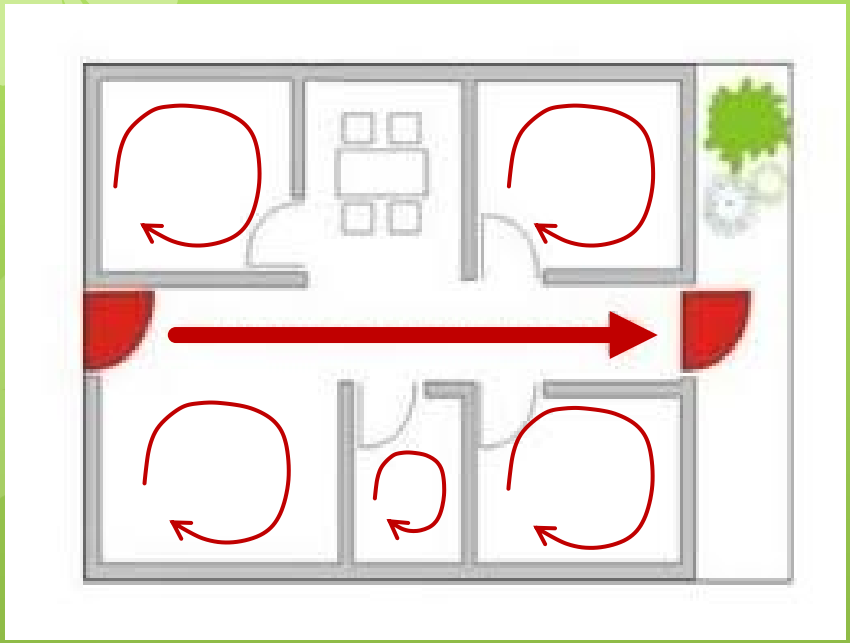
Typical single-zone constant-volume HVAC system.

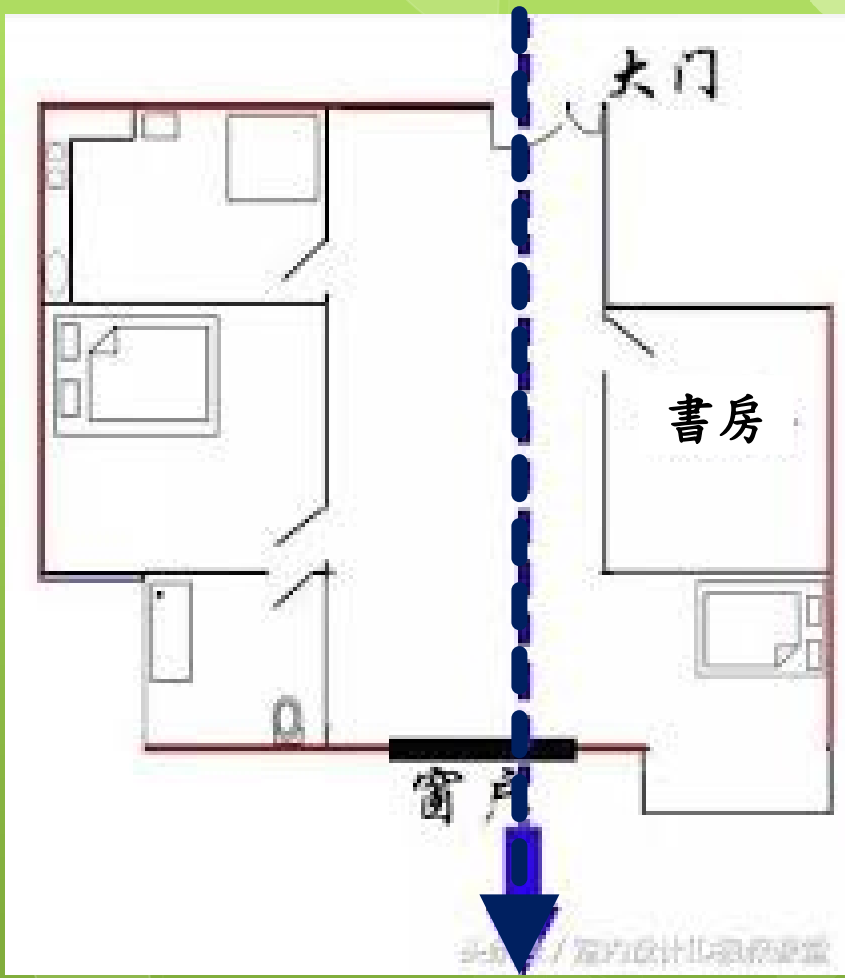
短路型氣流(SHORT CIRCUITING)



適用地點:
最好不要有……

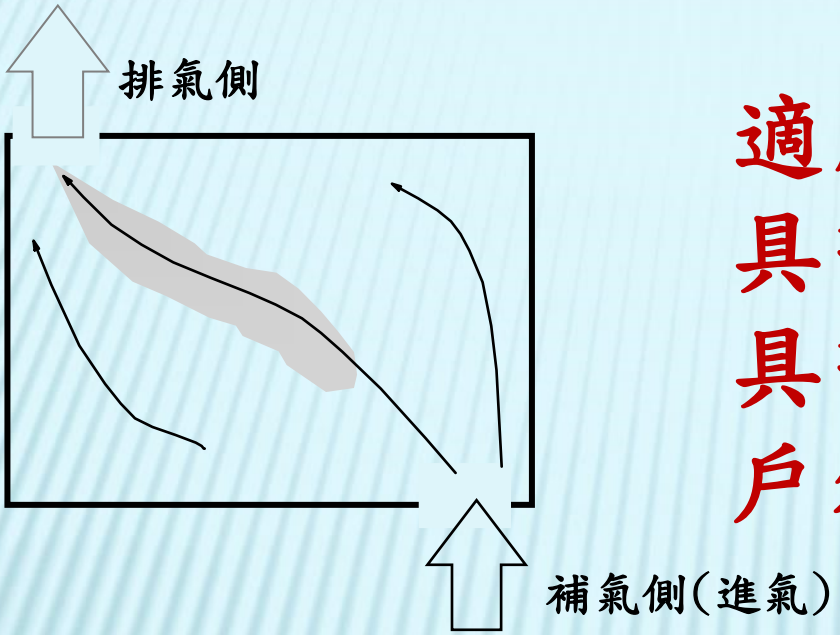
短路-穿堂風(draftiness)





- 造成新鮮空氣快速流失
- 汙染空氣原地滯留

置換式氣流(DISPLACEMENT FLOW)



適用地點:

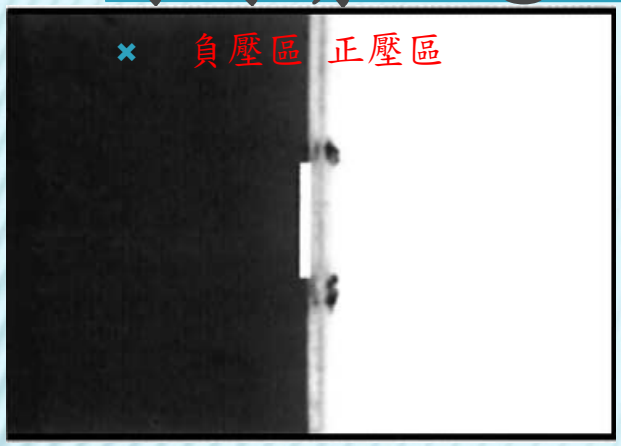
具導向氣流之隔離病房

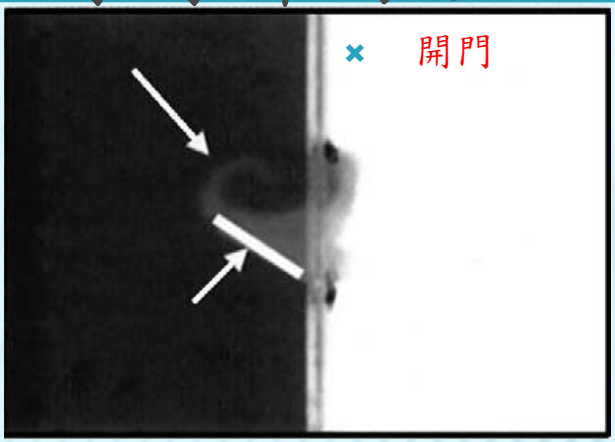
具導向氣流之診間

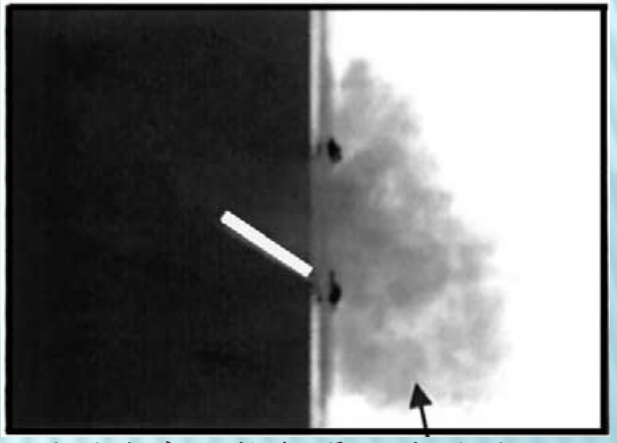
戶外篩檢站

Tang JW, Eames I, Li Y, Taha YA, Wilson P, Bellingan G, et al. Door-opening motion can potentially lead to a transient breakdown in negative-pressure isolation conditions: the importance of vorticity and buoyancy airflows. Journal of Hospital Infection. 2005; 61(4): 283-6.

開門請注意：開門瞬間！

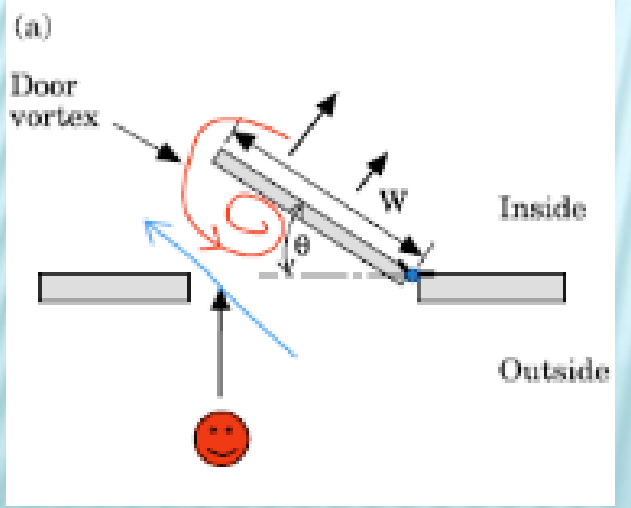


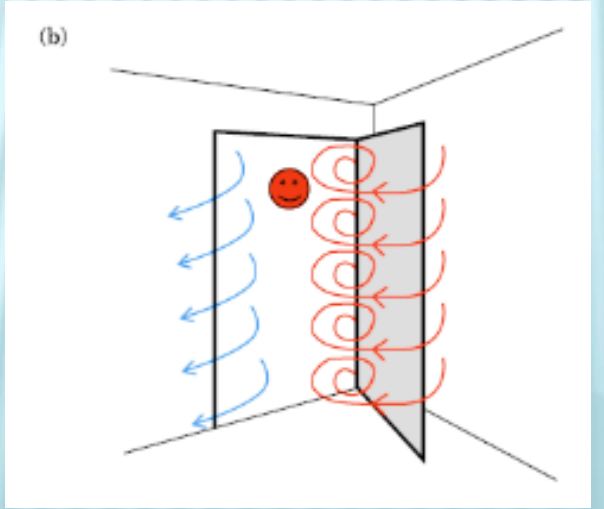


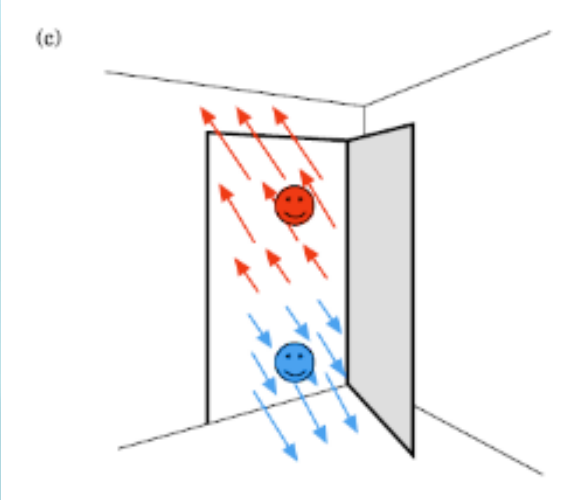


黑墨代表生物氣膠，若開門太久，仍會往外逸散！

負壓並不代表氣流一定往內流！**慢慢開門，或橫拉門!!**

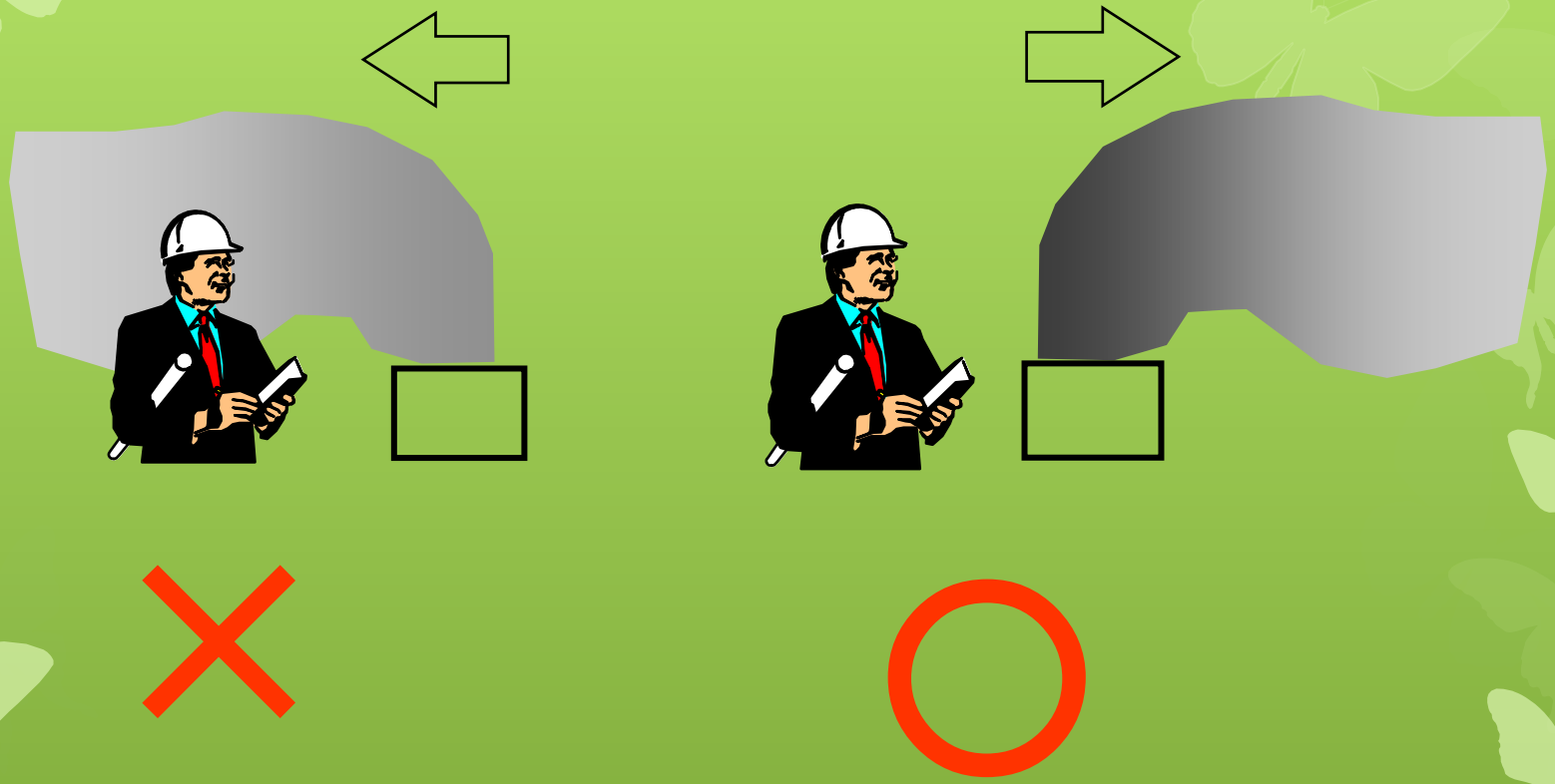




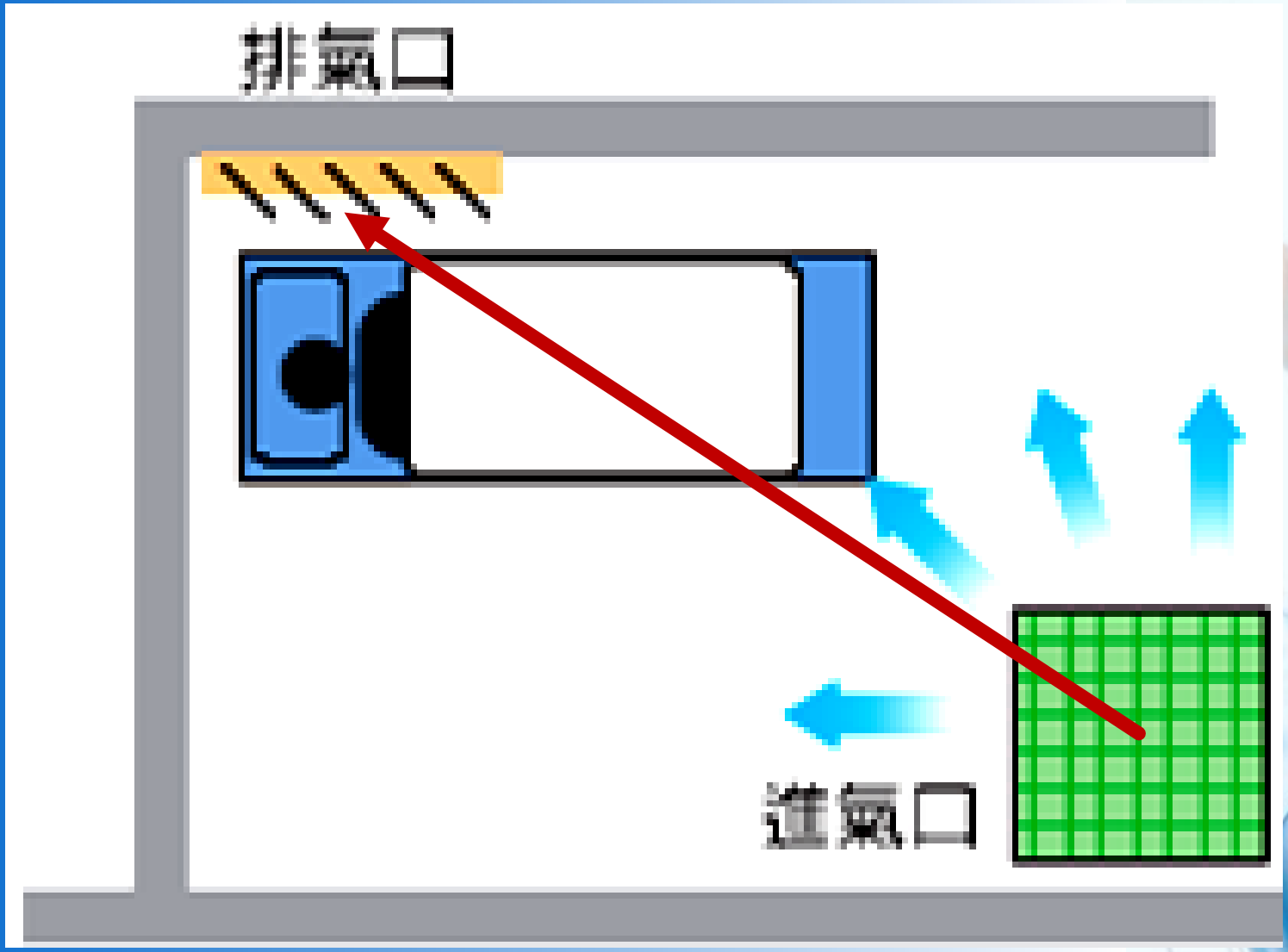


- 人開門進去
- 藍色氣流流進
  橘色氣流捲出
- 如果走廊室溫低於病房--
  上下氣流方向不同

污染源與人員



置換式(displacement)導向氣流



錯誤? 戶外篩檢站氣流-善用自然風向

室內氣流-善用機械風扇(導向氣流)

Research has now shown that being in a well-ventilated room can reduce the risk of infection from virus particles by over 70%.

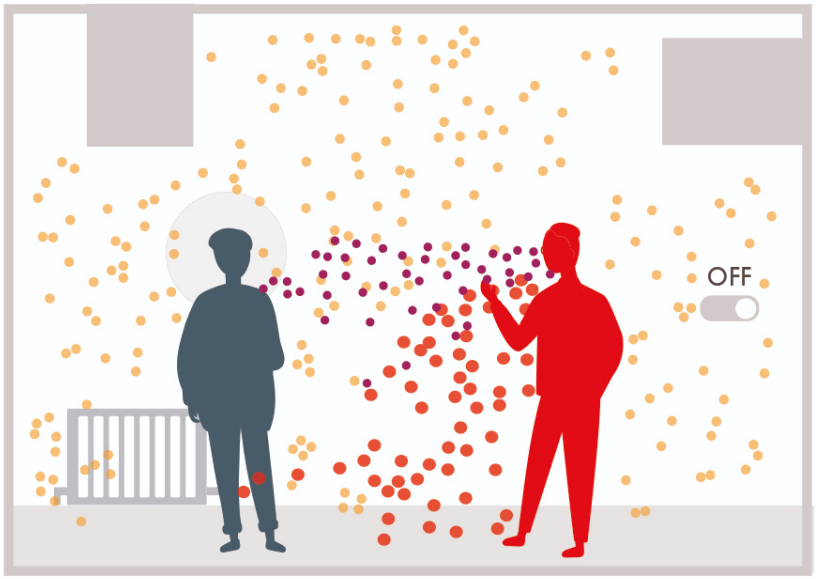
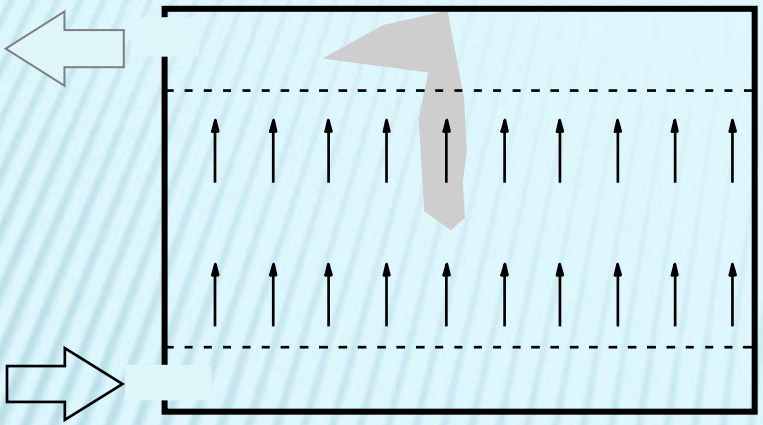


Fig 1. Infected person talking with non-infected person with ventilation system switched off

Fig 2. Infected person talking with non-infected person with ventilation system switched on

https://pressreleases.responsesource.com/news/100448/government-confirms-importance-of-ventilation-to-reduce-spread-of-covid-19/

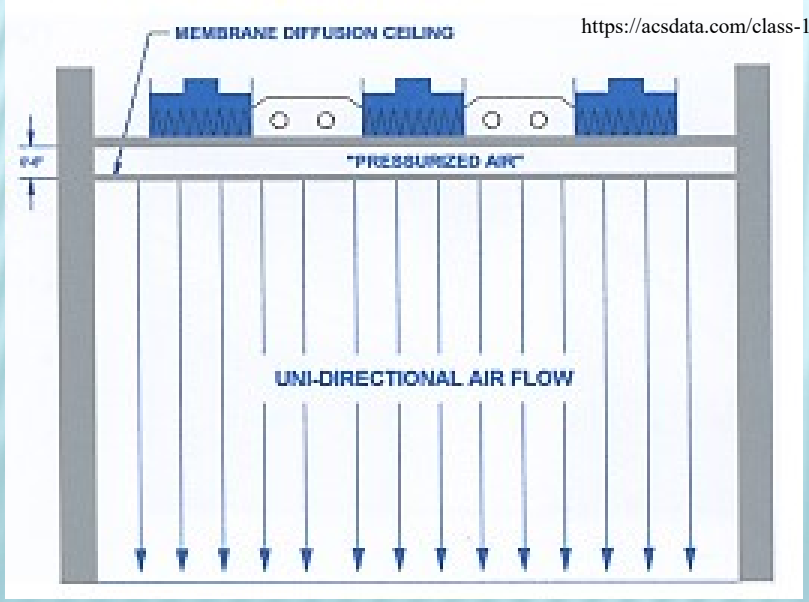
活塞式氣流(PLUG FLOW)



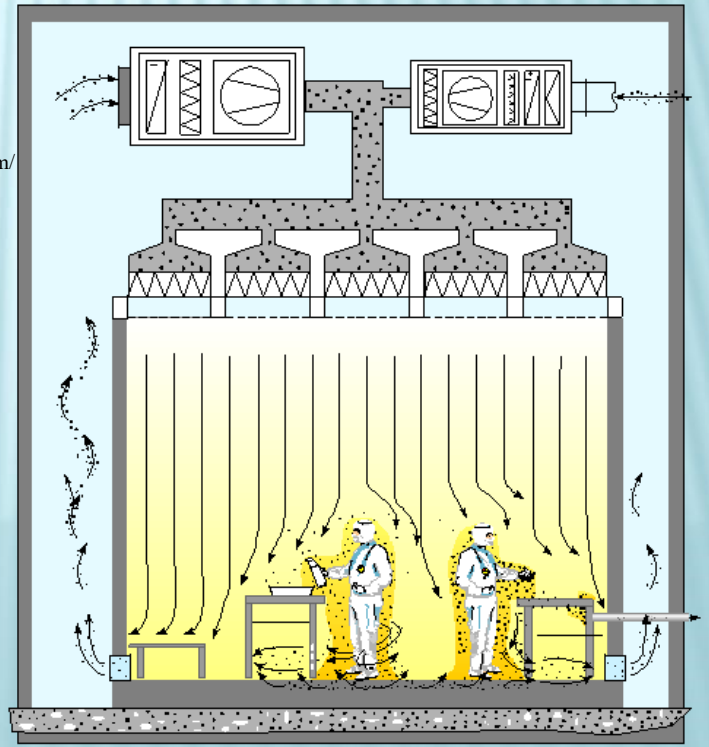
適用地點:

電腦工作站

高科技行業廠房



https://acsdata.com/class-100-clean-room/



整體換氣裝置設計理想

- 將污染物濃度降至最低
- 在最短的時間內稀釋污染物濃度
- 不使已沈積的污染物再飛揚
- 無死角
- 污染物以最短的時間或最短的路徑排出
- 污染物排出路徑不經過人員活動區域
- 已排出的污染物不至重回進氣口

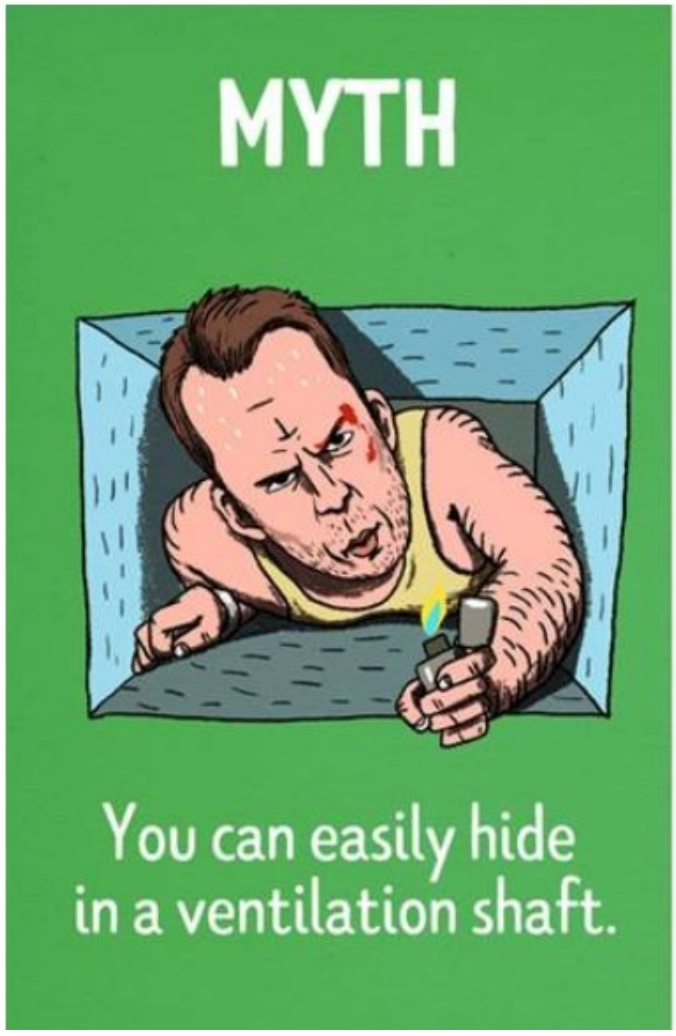
Duct: Before Cleaning

Same Duct: After Cleaning

▼通風口根本不可能藏人

電影中的通風口都大到可以藏人，甚至躲在上面都沒有人會發現！可是現實生活的通風口是窄到連人都進不去，就算進去也會因為你太重而垮掉！

http://51acfans.com/doc_Y3VDYWlsRE4xaXdOM2N5cjVINnpwZz09



Before
Before
After

生物安全第三等級實驗室安全規範
11.2.10 室內及管線燻蒸消毒測試

（1） 目的

確認室內及管線燻蒸消毒測試的結果滿足設計規範。

（2） 測試試劑

*Bacillus Stearothermophilus spore*或*Bacillus subitilis spore*。

（3） 測試步驟

a. 量測前之空調系統必須已經調整完畢，空調系統已經運轉24 小時以上。

b. 讓專業消毒公司進行室內與風管之徹底消毒，一般使用燻蒸消毒法。

c. 燻蒸消毒時，芽孢測試劑要同時放置於室內及管道之適當處所，使測試芽孢曝露於甲醛蒸氣中；而對照用芽孢應密封，以防甲醛蒸氣與其接觸。

d. 燻蒸12 至24 小時，運轉空調排除甲醛後，以無菌操作取出芽孢測試劑，連續培養觀察三天。必要時得延長培養觀察時間。

（4） 允收基準

每日觀察測試芽孢菌及對照組芽孢菌是否生長，對照組芽孢應生長而測試芽孢菌完全死滅（不生長），若測試芽孢菌生長，表示燻蒸消毒不完全，應重新消毒。必要時，檢查風管是否洩漏。

燻蒸(Fumigation)消毒所用的藥劑

1. **Formaldehyde (甲醛, 37-41%) 加過錳酸鉀進行燻蒸**(高錳酸鉀, Potassium Permanganate, 是一種強氧化劑，低濃度有消毒及收斂作用，高濃度有刺激和腐蝕作用)

2. **Paraformaldehyde (三聚/多聚甲醛) 加溫232-246°C使其氣化產生 Formaldehyde Vapor (甲醛蒸氣) 燻蒸**後再用Ammonium Bicarbonate (碳酸氫銨)中和

3. **過氧化氫蒸氣(vaporized hydrogen peroxide, VHP,** 35% v/v**)**低溫之過氧化氫蒸氣作用類似氣體，但在蒸氣降溫冷卻時，轉變為無毒之水與氧氣，需使用特殊VHP Generator。

   $2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$

4. **過氧/二氧化氯蒸氣(Gaseous Chlorine Dioxide, GCD, ClO_2)** (造成臭氧層破洞?)需要二氧化氯氣產生機，及加壓之氣體管柱，台灣尚無實驗室完成除汙確效研究?

   $2NaClO_2 + Cl_2 \rightarrow 2ClO_2 + 2NaCl$

5. **過氧化氫加過醋酸(Peroxyacetic Acid, CH_3COOOH)**

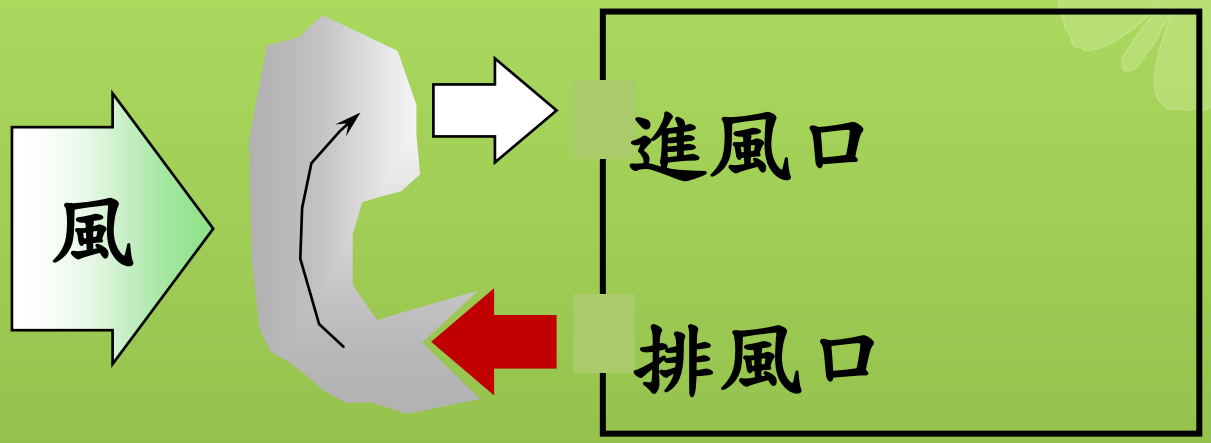
燻蒸用消毒劑比較

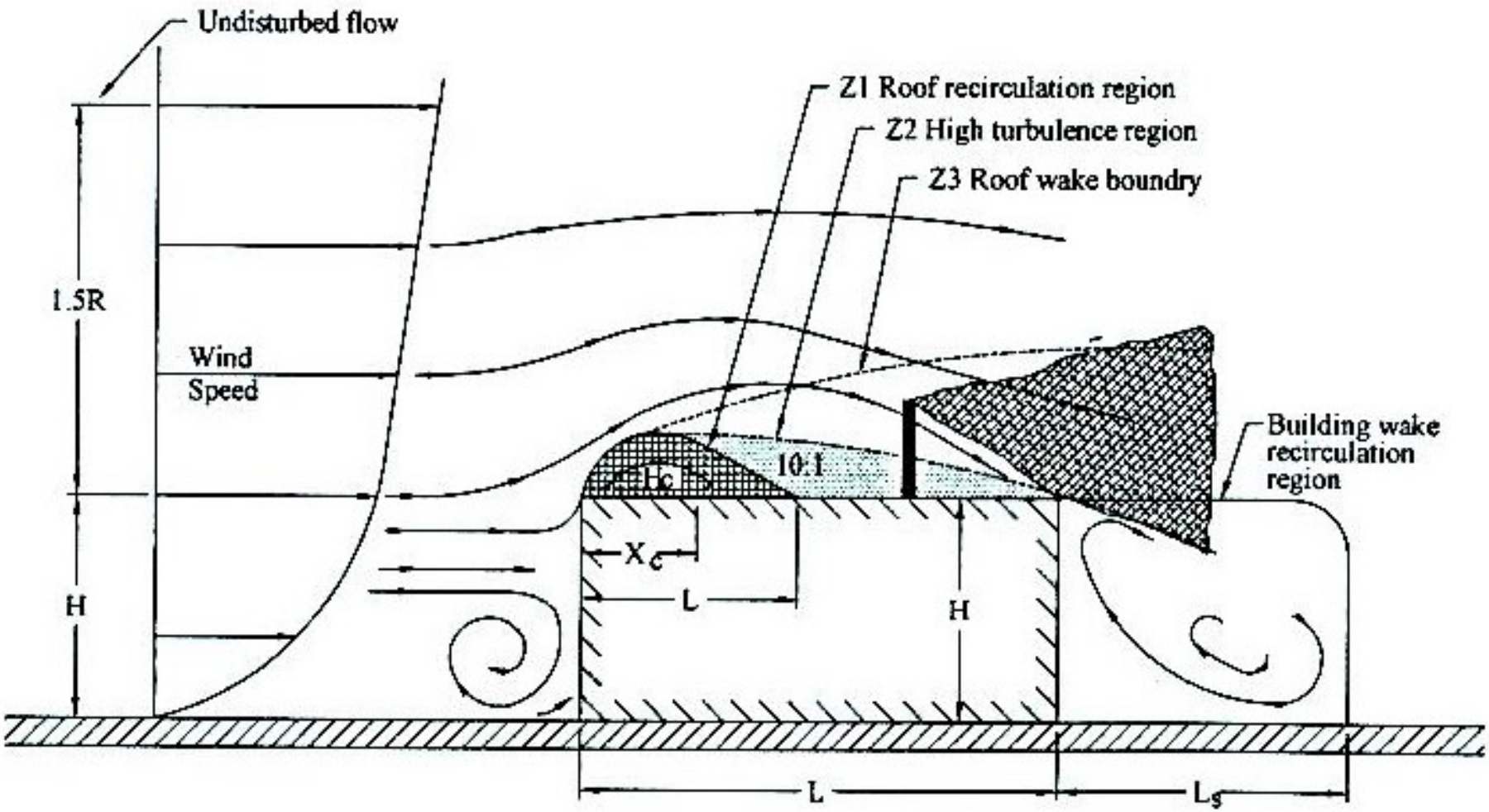
三聚甲醛	過氧化氫	二氧化氯	過氧化氫加過醋酸
有毒性及致癌性與漂白水或鹽酸混合可能形成Bis-chloromethyl(致癌物)	分解後無毒性	無致癌性	無毒性
嚴重刺激眼、皮膚及呼吸道，嚴重時肺水腫，長期曝露引起氣喘樣症狀，結膜炎、咽炎、氣管炎及氣管肺炎	刺激眼、皮膚及呼吸道	嚴重刺激眼、皮膚、呼吸道，嚴重時肺水腫	吸入引起眼、皮膚刺激，嚴重可能引起肺水腫
對金屬有腐蝕性	對電話、照像機、電腦無害 對鋁、銅、黃銅、鋅有腐蝕性	未經表面處理之鐵器有腐蝕性	鋁、銅、黃銅及鋅有腐蝕性
燻蒸後需用中和劑	不需中和劑	不需中和劑	不需中和劑
燻蒸濃度超過7%有爆炸風險	高濃度(30%以上)遇易燃物可能起火	無燃燒性	無燃燒性
燻蒸後表面殘留物需人工擦拭	無殘留物，不用擦拭	不用擦拭	不用擦拭
燻蒸條件： 溫度21-35℃ 濕度60-85% 濃度10.5g/m^3 時間至少12小時	燻蒸條件： 溫度21-35℃ 濕度60-75% 濃度>50ppm 時間4-8小時	燻蒸條件： 溫度15-40℃ 濕度60-75% 濃度5mg/L 時間2-3小時	燻蒸條件： 室溫 濕度80-90% 濃度0.3-3.0% 時間5-6小時
設備簡單，費用低	設備昂貴	設備昂貴	設備昂貴

Formaldehyde蒸氣	H_2O_2蒸氣
高危險性	低危險性
Formaldehyde在2004年6月被WHO歸類為第一類致癌物	H_2O_2非屬致癌物、適當條件下，極易降解為水與氧氣
作用時間長(12-14 hrs)，在環境中產生明顯、強烈、持久之刺鼻異味.	作用時間短(1½ -4 hours)，對操作人員影響有限
薰蒸後在物體表面產生有害之白色粉末殘留物(paraformaldehyde)	薰蒸後無殘留物，H_2O_2蒸氣降解為水與氧氣

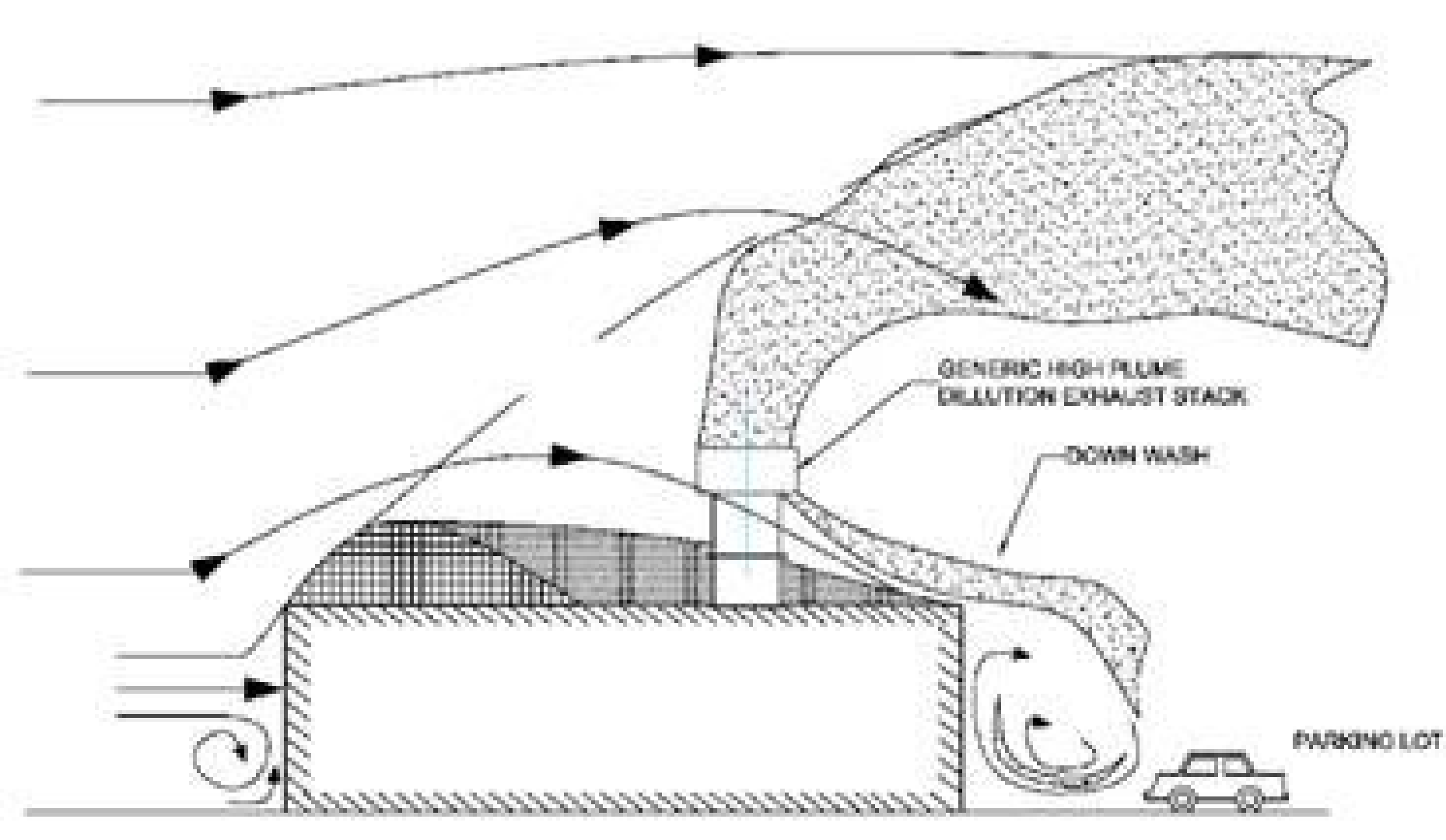
通風系統尾端排放

排放回流



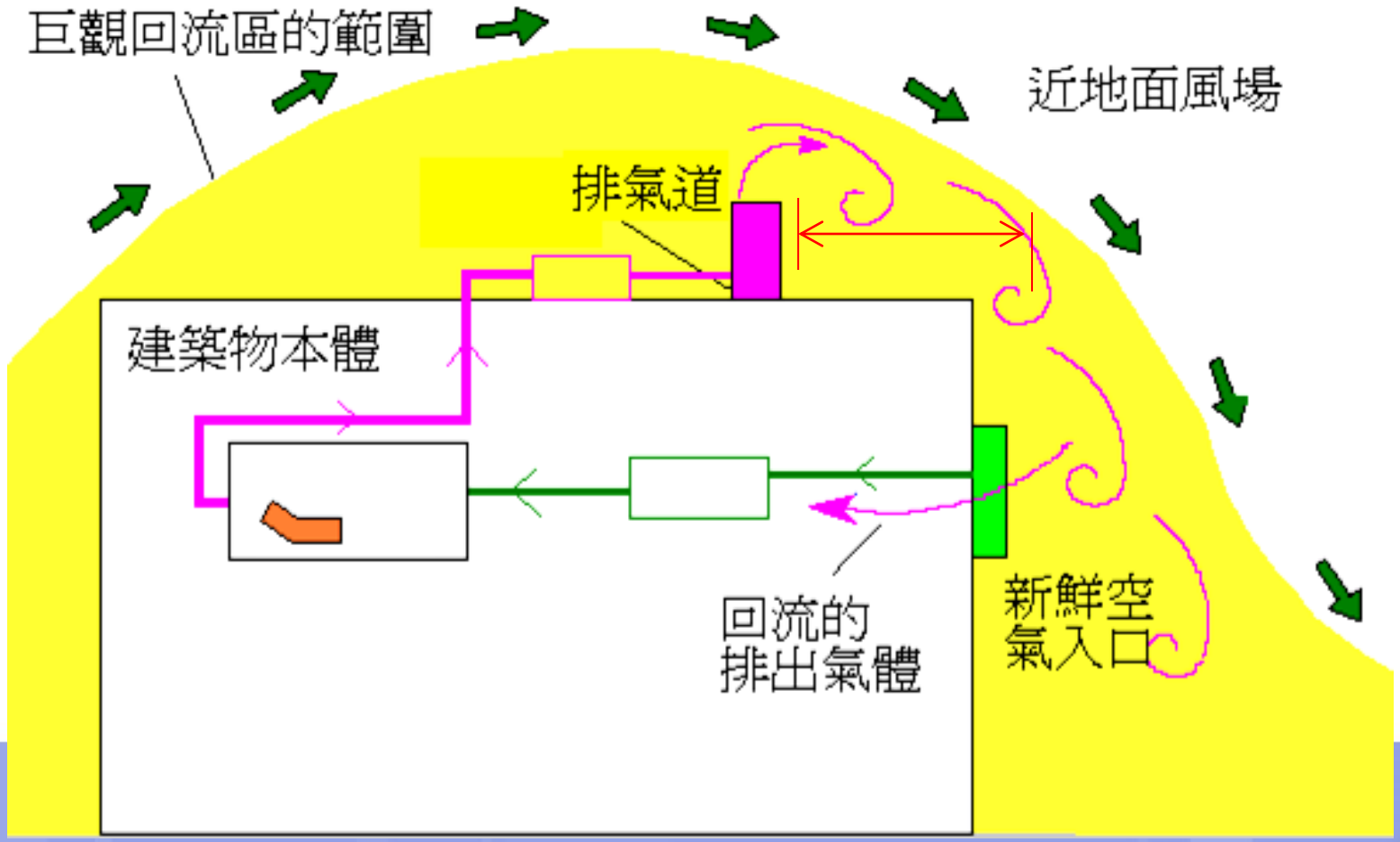


Effects of building on stack discharge

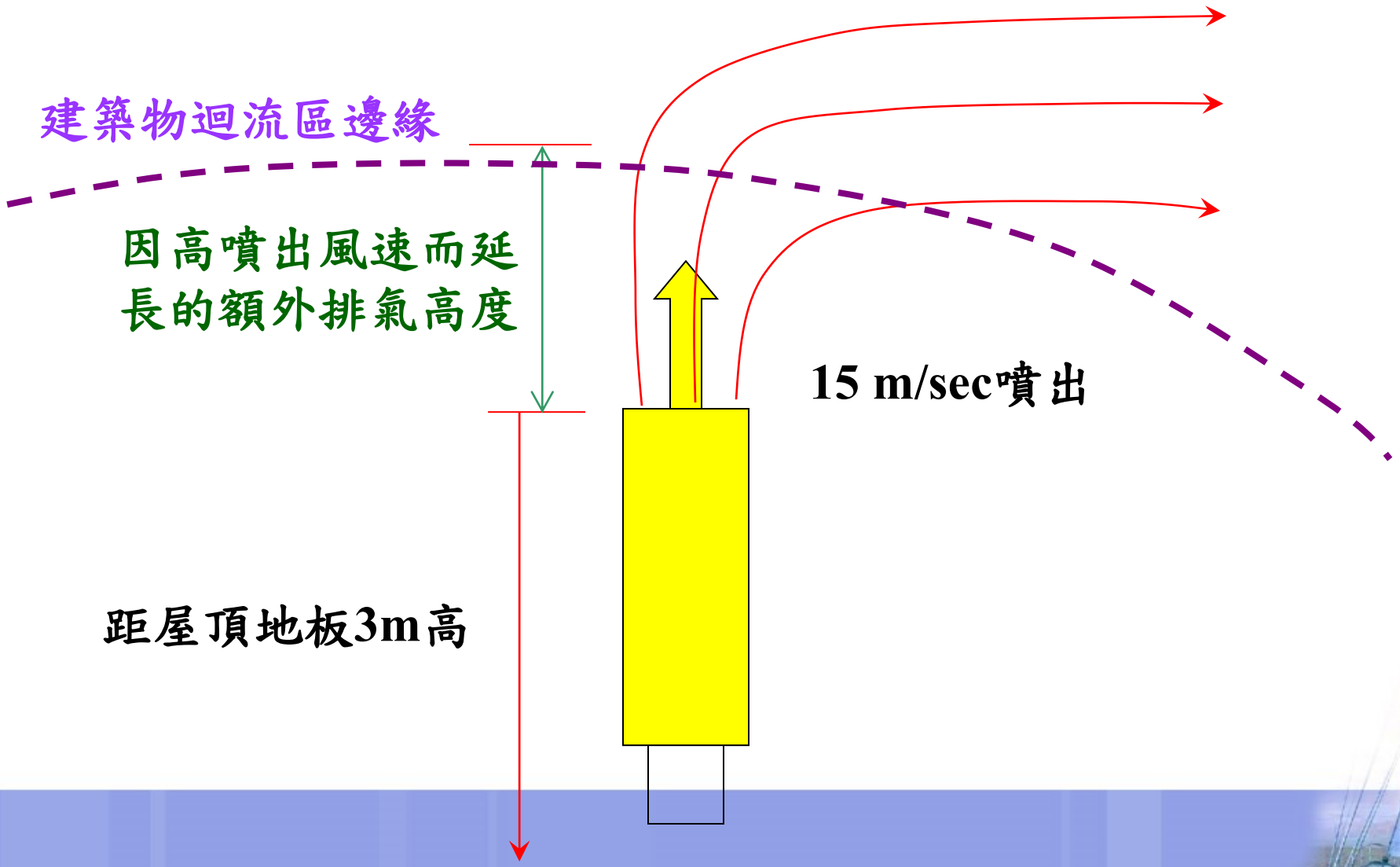

GENERIC HIGH PLUME
DILUTION EXHAUST STACK
DOWN WASH
PARKING LOT

建築物造成的排氣／進氣交互影響

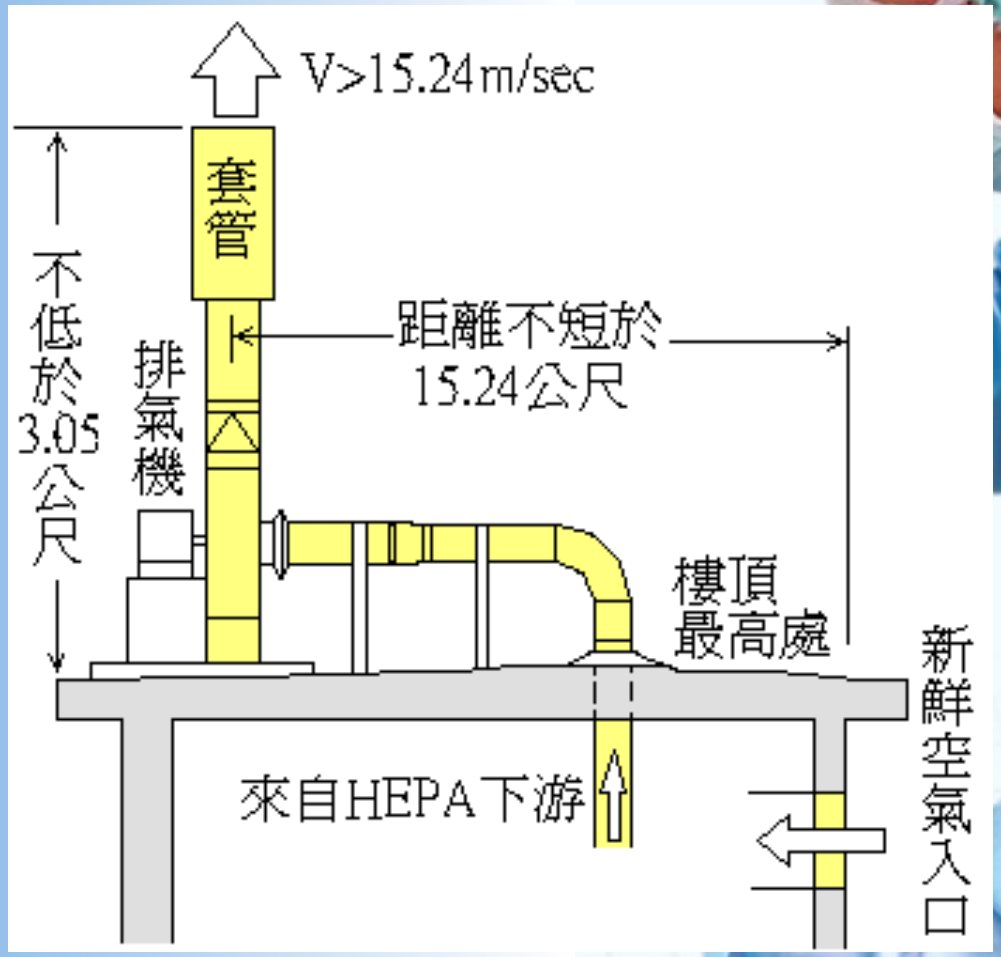
Backwash 回洗
Downwash 下洗

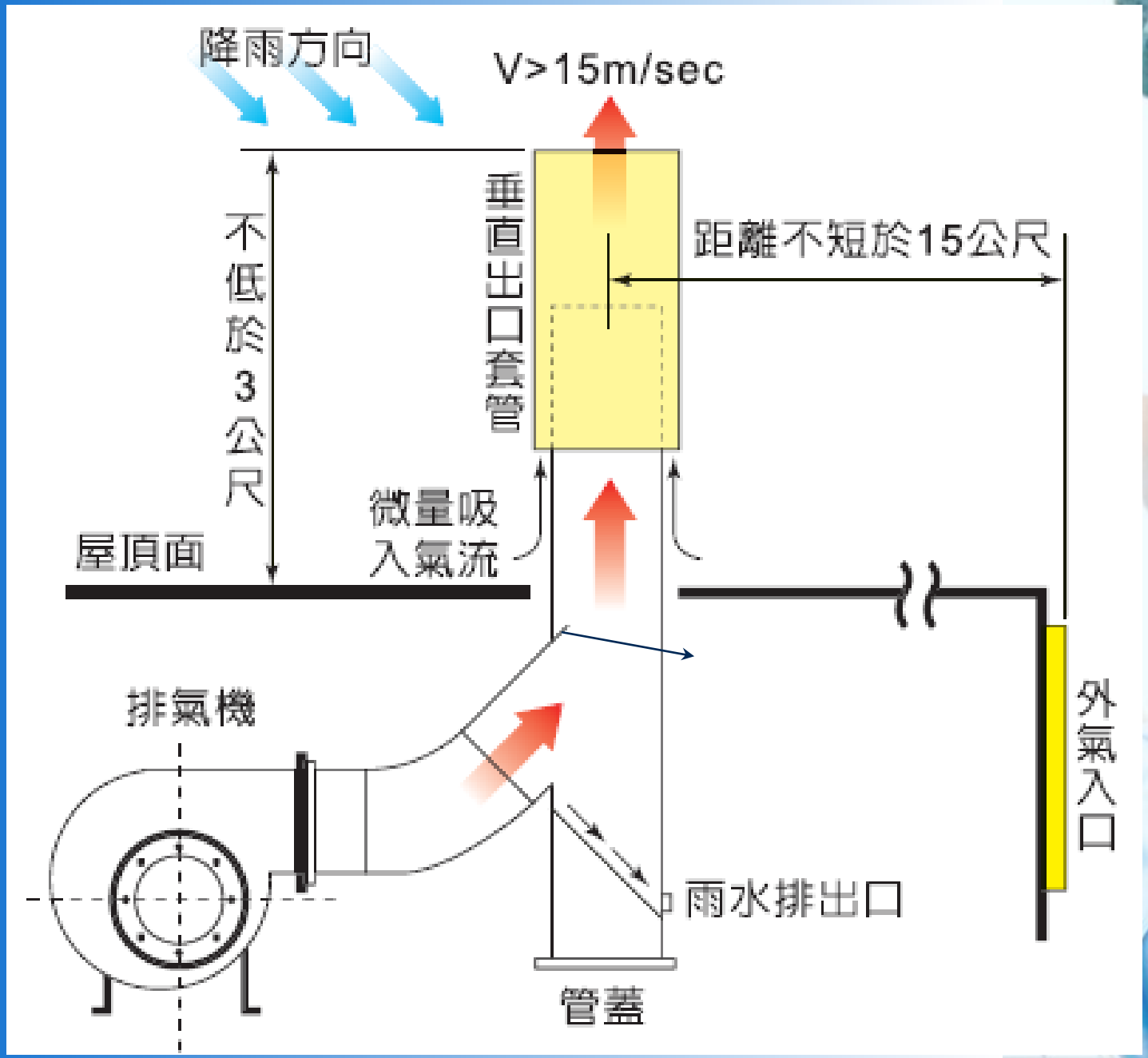


高速噴出的功用

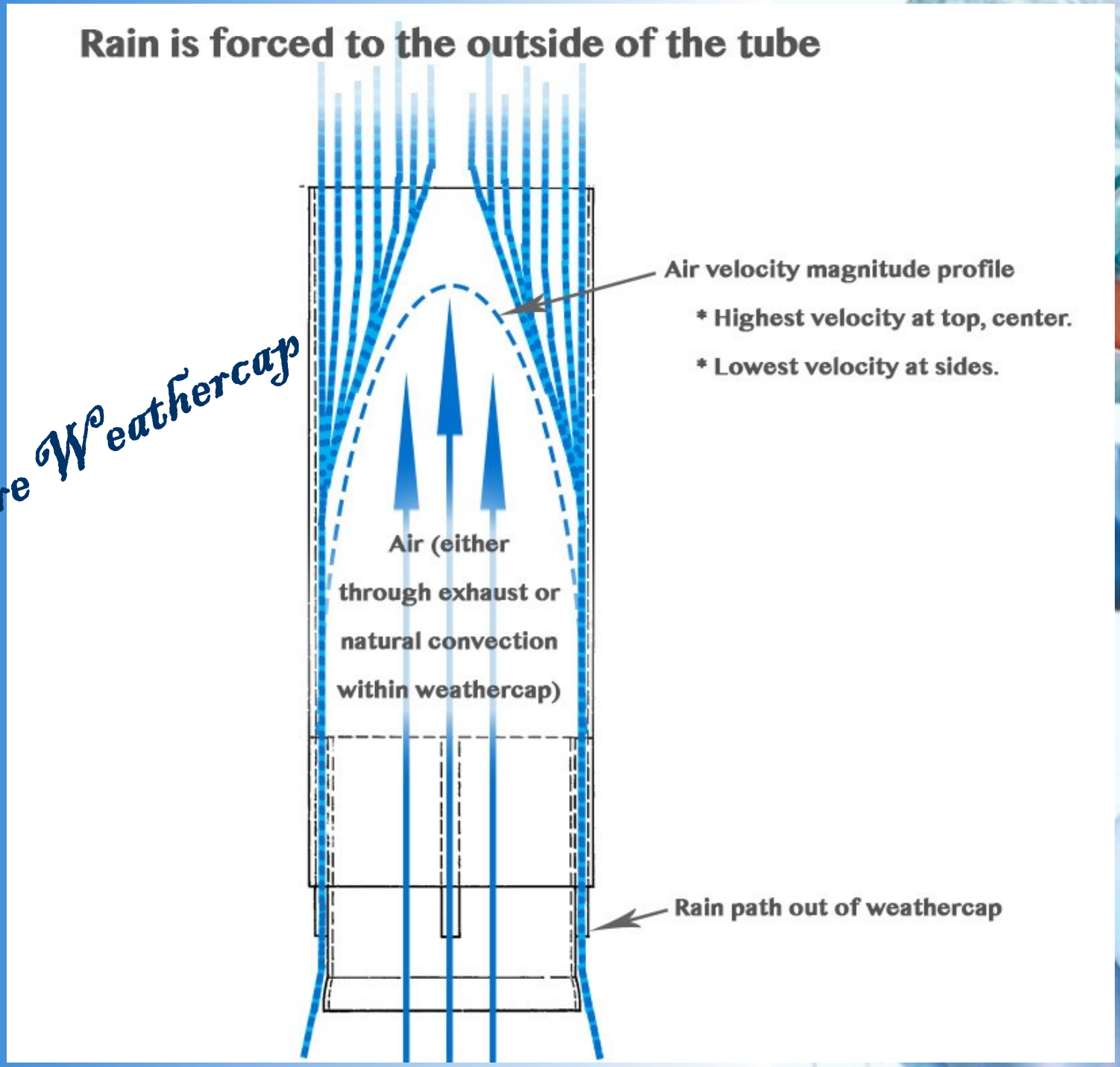


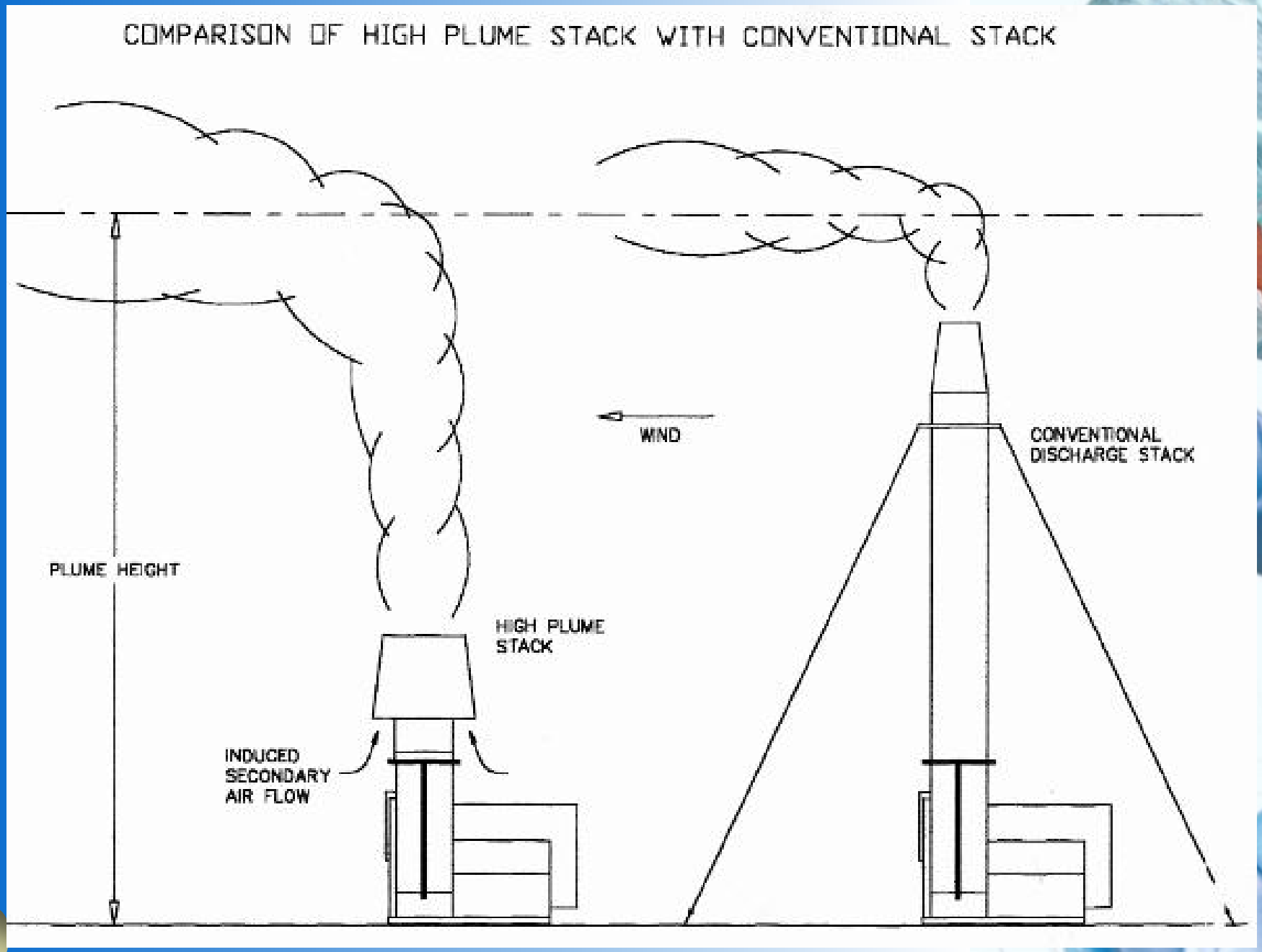
排氣口設計的建議方式


V>15.24m/sec
套管
不低於3.05公尺
排氣機
距離不短於15.24公尺
樓頂最高處
來自HEPA下游
新鮮空氣入口


降雨方向
V>15m/sec
不低於3公尺
垂直出口套管
距離不短於15公尺
微量吸入氣流
屋頂面
排氣機
外氣入口
雨水排出口
管蓋

Zero Pressure Weathercap




COMPARISON OF HIGH PLUME STACK WITH CONVENTIONAL STACK
WIND
CONVENTIONAL DISCHARGE STACK
PLUME HEIGHT
HIGH PLUME STACK
INDUCED SECONDARY AIR FLOW

排氣口設計的建議方式

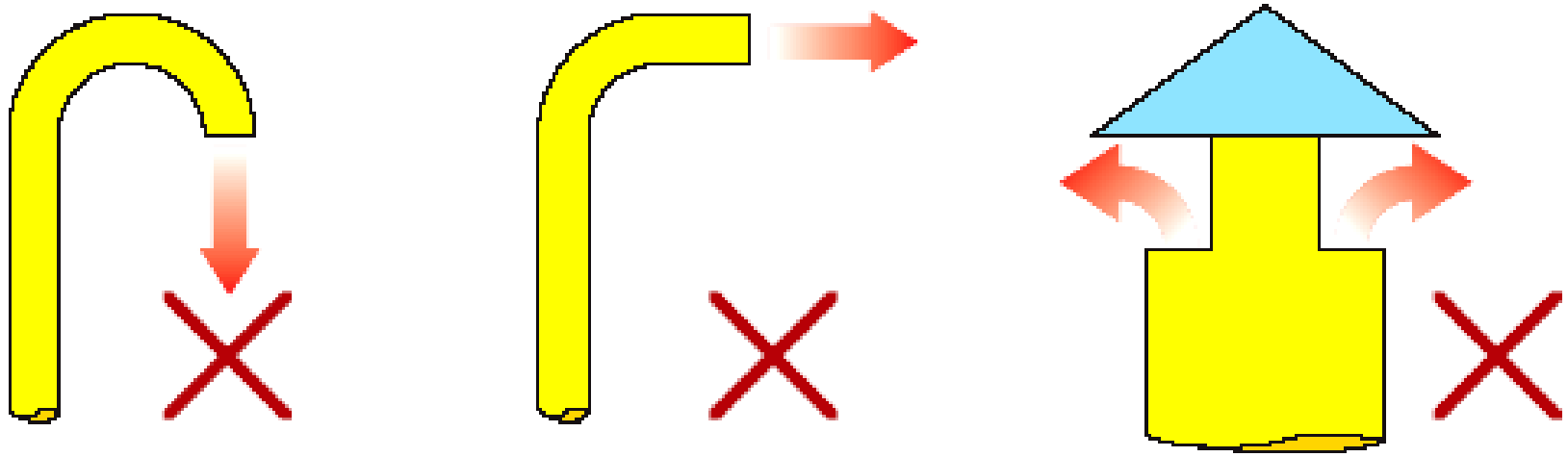
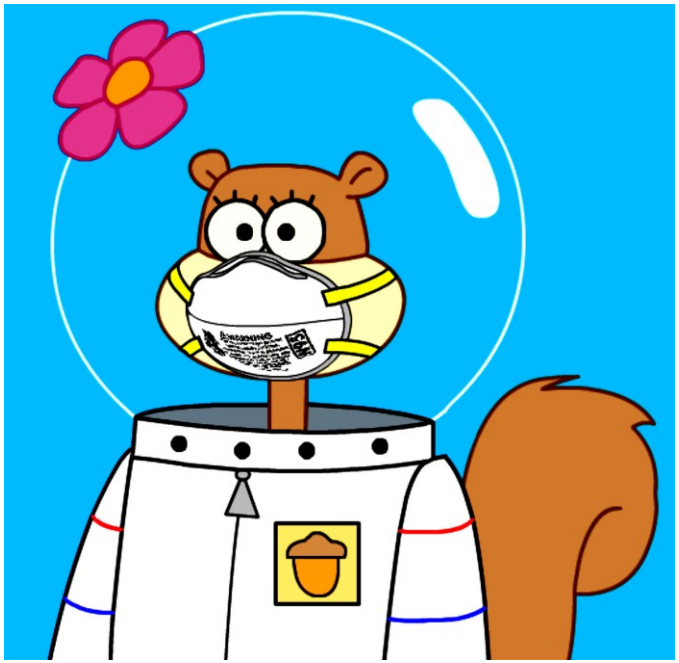


圖21 排氣道出口方向不宜為向下或水平，亦不宜安裝雨遮

錯誤的排氣口設計

Thanks for your attention!



學校聯絡方式：

TEL: 886-4-22601768

FAX: 886-4-22602817

Cellular: 0934010859

e-mail: cylai@csmu.edu.tw

台中市建國北路一段110號正心樓1215A

RIN：I709

Testing Laboratory 3259

Protect yourself professionally!

中心聯絡方式：

中山醫學大學衍生企業

職安衛股份有限公司

呼吸防護具檢測中心

TEL & FAX: 0422601786

台中市復興北路102號1F