

呼吸防護原理與實務

黃盛修 博士

勞工委員會勞工安全研究所

前言

空氣、水、食物的重要性：

1. 人類生活的三大要素
2. 依急迫性的優先次序：
空氣 > 水 > 食物
3. 依每天的攝取量的多寡：
空氣 > 水 ≈ 食物



你知道你一天吸了多少空氣嗎？

- ☞ 休息潮氣容積約為500ml
- ☞ 休息時之呼吸速率約為12次/分鐘
- ☞ 常溫常壓下（20 °C, 1 atm）空氣密度為
 $1.205 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$
- ☞ 每人每天呼吸量為：

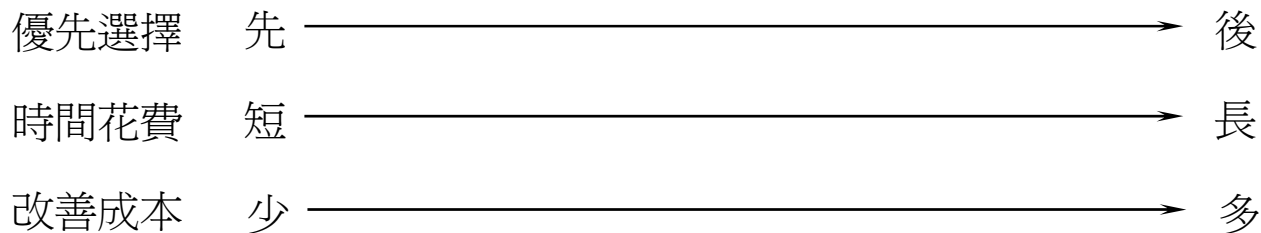
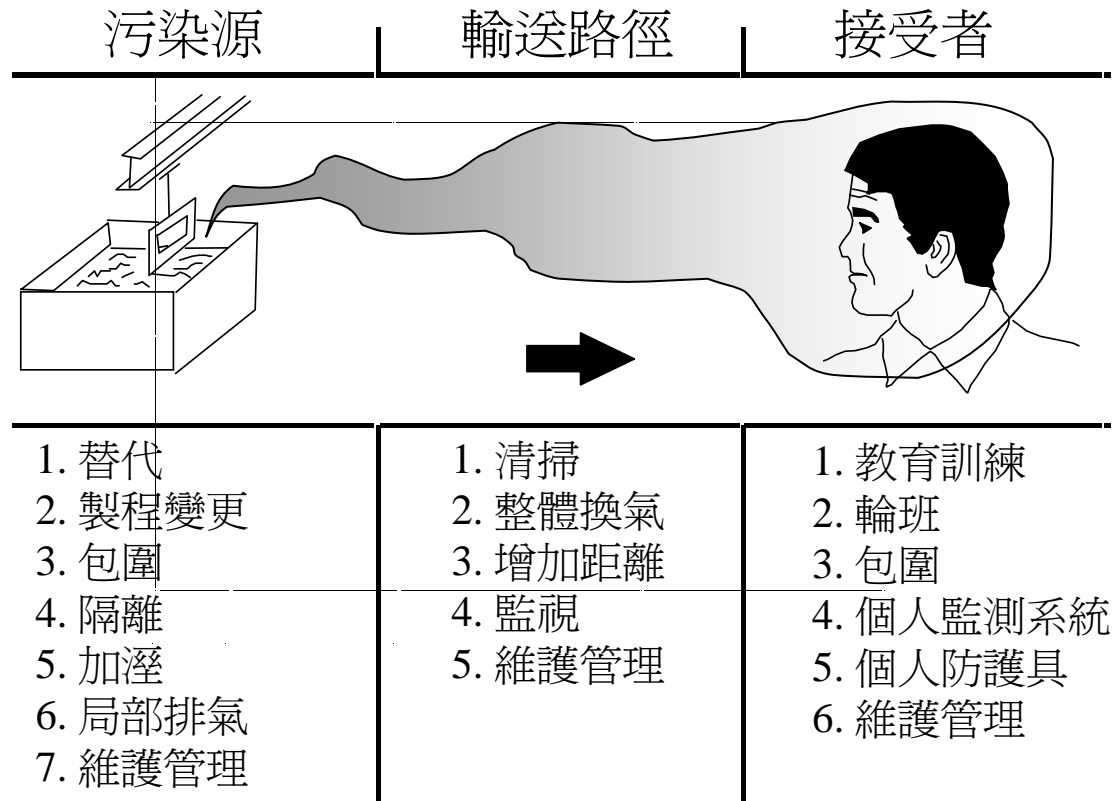
$$\frac{500\text{ml}}{\text{次}} \times \frac{12\text{次}}{\text{分鐘}} \times \frac{60\text{分鐘}}{\text{小時}} \times \frac{24\text{小時}}{\text{天}} \times \frac{1.205 \times 10^{-3} \text{ g}}{\text{cm}^3} = 10411.2 \text{ g/天}$$

前言

錯誤地使用呼吸防護具會造成生命或健康的損害

1. 該用不用
2. 用錯對象
3. 使用方式不正確
4. 保護等級不足

危害預防的方法



呼吸防護的方法

1. 工程控制

- a. 取代：低毒原料取代高毒原料；
低危險製程代替高危險製程
- b. 減量：以較少原料進行生產
- c. 隔離：將產生危害的設備、製程或人員隔離
- d. 通風：局部排氣或整體換氣

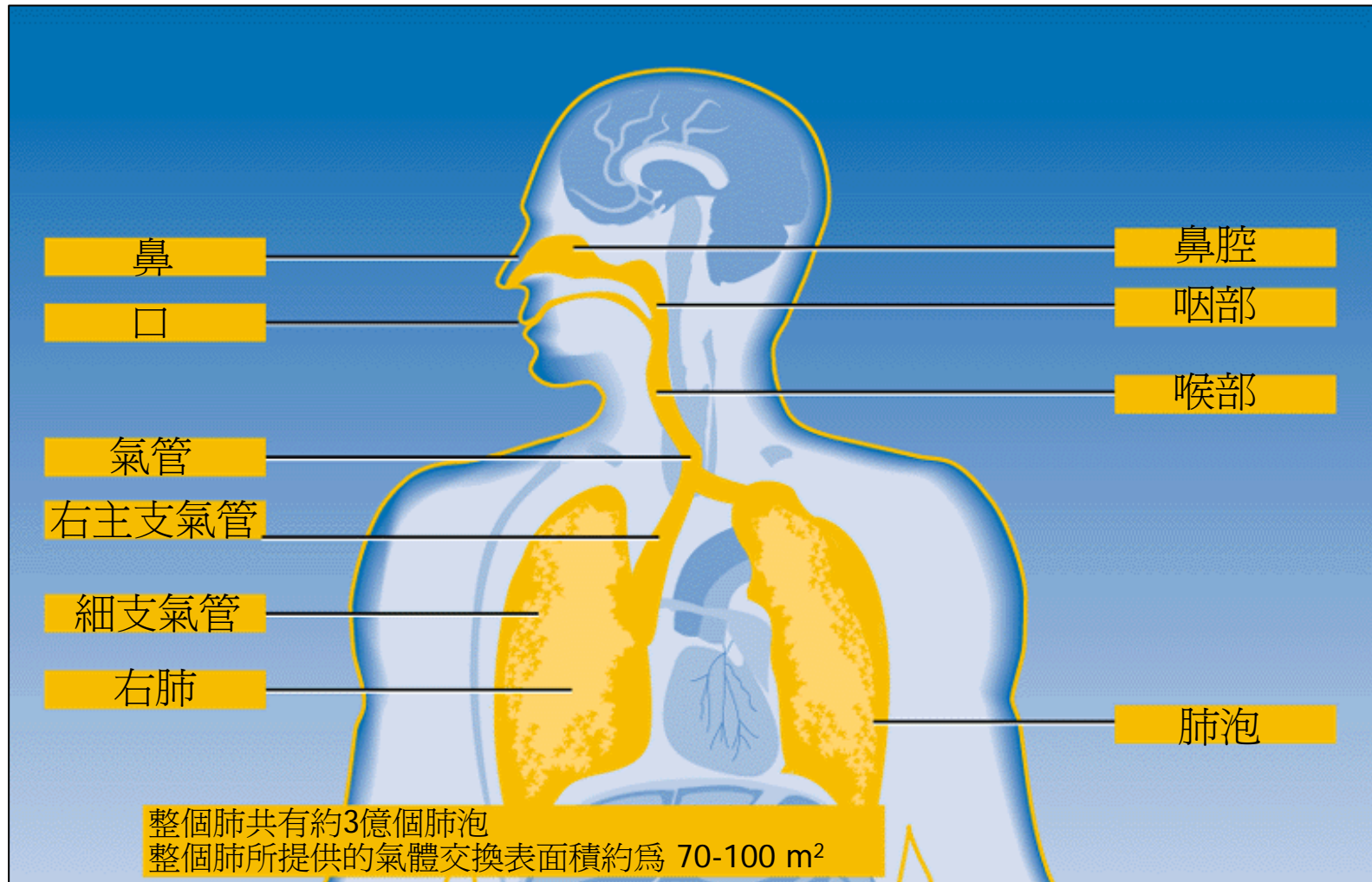
2. 行政管理

3. 工作實踐

呼吸防護的方法

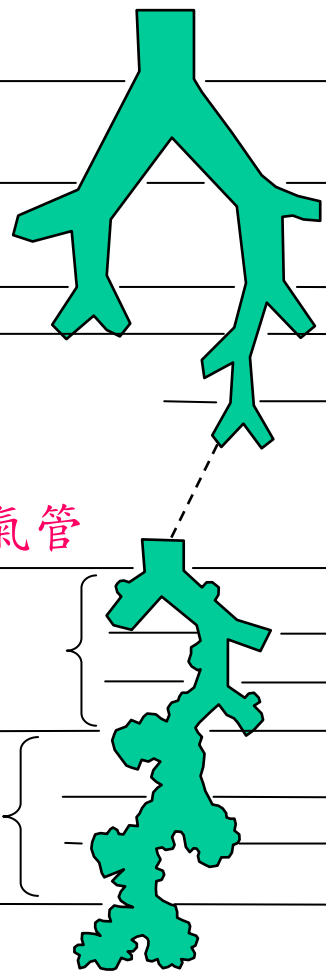
4. 呼吸防護具（最後一道防線）
 - a. 當無適當之工程控制方法
 - b. 在使用了工程控制下，污染物濃度仍無法控制在安全的範圍中
 - c. 在工程控制方法的設計、裝設階段
 - d. 在一些安全衛生法規中所特別規定的特定作業場所如：石綿作業、鉛作業等
 - e. 緊急逃生、救災與機件維修時

呼吸系統

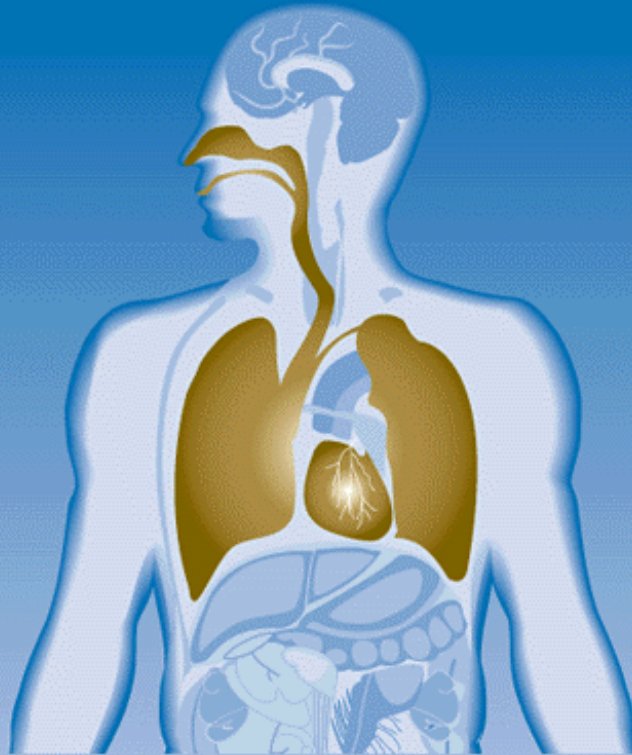


呼吸道的分枝與清除機制

	分枝名稱	分枝數量	清除機制
傳導區	氣管	1	上呼吸道 纖毛運動 打噴嚏 溶解 (針對可溶性物質)
	細支氣管	2	
		4	
		8	
	細支氣管	16	
	終端細支氣管	32	
呼吸區		6×10^4	細支氣管 纖毛運動 巨噬細胞的吞嚥作用 咳嗽 溶解 (針對可溶性物質)
	呼吸性細支氣管	6×10^4	
	肺泡管		
	肺泡囊	6×10^4	



肺部病變的一些例子



矽肺症

石綿肺症

職業性氣喘

過敏

燻煙熱

癌症

呼吸系統的危害因子

1. 空氣污染物

a. 粒狀污染物

粉塵、煙、燻煙、霧滴、煙霧

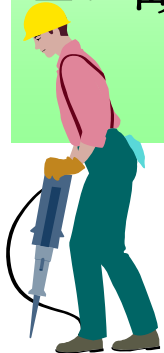
b. 氣狀污染物

氣體、蒸氣

2. 缺氧環境

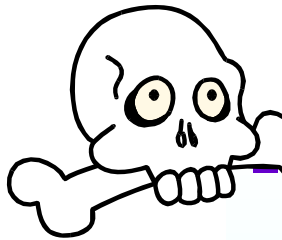
IDLH

Non-IDLH



立即致危濃度 IDLH Level

Immediately Dangerous to Life or Health



特別針對急性呼吸危害之暴露而定，達此濃度可能造成

1. 生命喪失
2. 不可逆的健康效應
3. 降低逃生能力



粒狀污染物-----

粉塵(Dust)



- 由物理性力量如機械方法所產生而懸浮於空氣中的固體微粒。

例如：礦砂、石綿、鉛塵

粒狀污染物-----

霧滴(Mist)

- 懸浮於空氣中的微小液滴，經常由噴霧等機械方法所形成，或由氣態凝結而成。

例如：噴霧作業之
農藥霧滴、電鍍時之酸霧

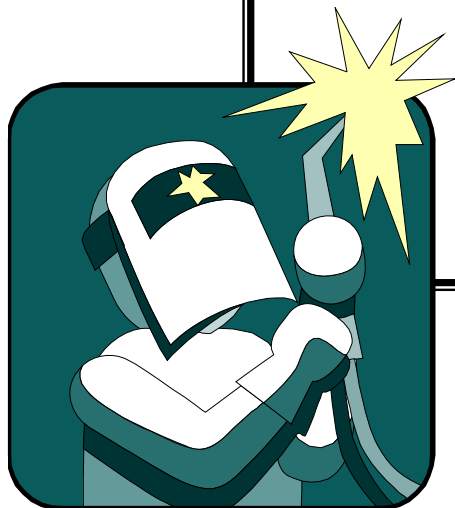


粒狀污染物-----

燻煙(Fume)

- 物質高溫加熱或金屬蒸氣凝結而成之固體微粒。

例如：焊接或熔煉時所產生之金屬燻煙



粒狀污染物-----

油性氣懸膠(Oil Aerosol)

- 為油性物質產生之微粒，懸浮於空氣中所形成。此油性物質一般於室溫下為液態或可液化，其表面光滑、可燃燒、呈黏稠狀，只溶於有機溶劑而不溶於水。

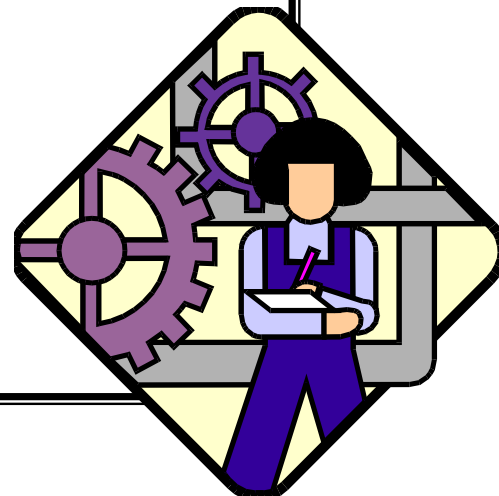
例如：油煙、煉焦爐之空氣溢散物、機械用油形成之氣懸膠



氣狀污染物-----

氣體(Gas)

- 能藉擴散作用而均勻地佔有其被包圍空間之物質。
例如：氨氣、氯氣、
二氧化硫



氣狀污染物-----

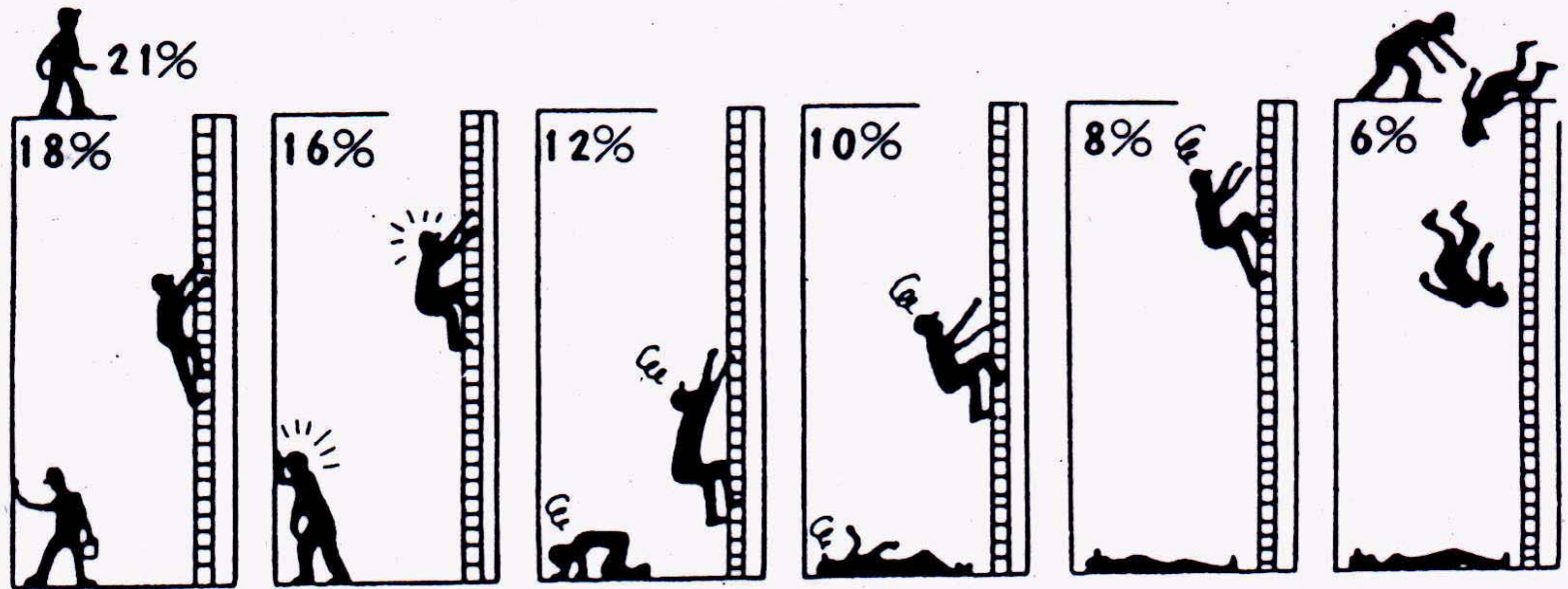
蒸氣(Vapor)

- 在常溫常壓下為液體或固體的物質經揮發或昇華所形成之氣體。

例如：正己烷、四氯化碳等有機蒸氣，或噴漆所產生之揮發性氣體



氧濃度與相對之生理反應



安全界限
但應連續
實施換氣

呼吸及脈
數增加,
頭疼嘔心

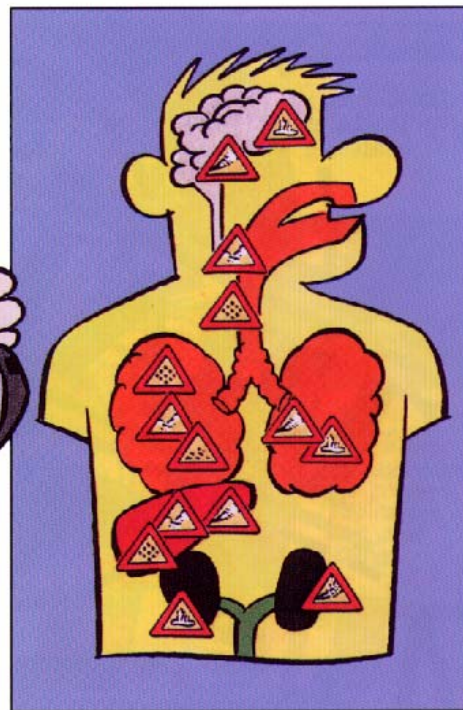
目眩嘔心
肌力下降
無法支稱
體重而墜
落

顏面蒼白
意識不明

失神昏倒
7-8分鐘
以內死亡

瞬間昏倒
停止呼吸
痙攣
於6分鐘
內死亡

呼吸防護具分類與選用



呼吸防護具分類

1. 面體分類

- a.緊密接合式：依所覆蓋的範圍又有全面體、半面體與四分面體等形式。
- b.寬鬆：依外形可分為頭盔、頭罩、面盾與空氣衣等型式。
- c.丟棄式：直接以濾材當作面體，由於價格低廉、重量輕、不需維修保養等優點，因此經常被使用，但較容易產生洩漏，相較之下的防護效果較差。
- d.口體：為緊急逃生時所專用，一般作業下並不得使用。

2. 根據面體內的壓力

正壓式、負壓式

3. 根據氣體來源

- a.淨氣式：依氣體動力來源又可分成無動力式（或肺力式）與動力式（或電動送風式）。
- b.供氣式：又可分成輸氣管面罩、自攜式呼吸器、組合式等。
- c.組合式

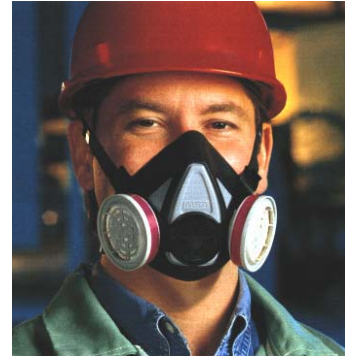
4. 根據污染物種類

防塵（粒狀污染物）、防毒（氣狀污染物）、兼用式。

緊密接合式面體



四分之一面體



半面體



全面體



口片式
(不需密合度測試)

寬鬆式面體



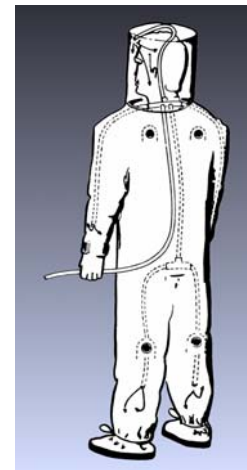
氣罩式



頭盔式



寬鬆面罩



空氣衣

丟棄式防塵口罩



負壓式呼吸防護具

當吸氣時，防護具面體內的壓力相對於大氣壓力為小時稱之。



簡易型拋棄式



緊密接合式

正壓式呼吸防護具

當吸氣時，防護具面體內的壓力相對於大氣壓力為大時稱之。

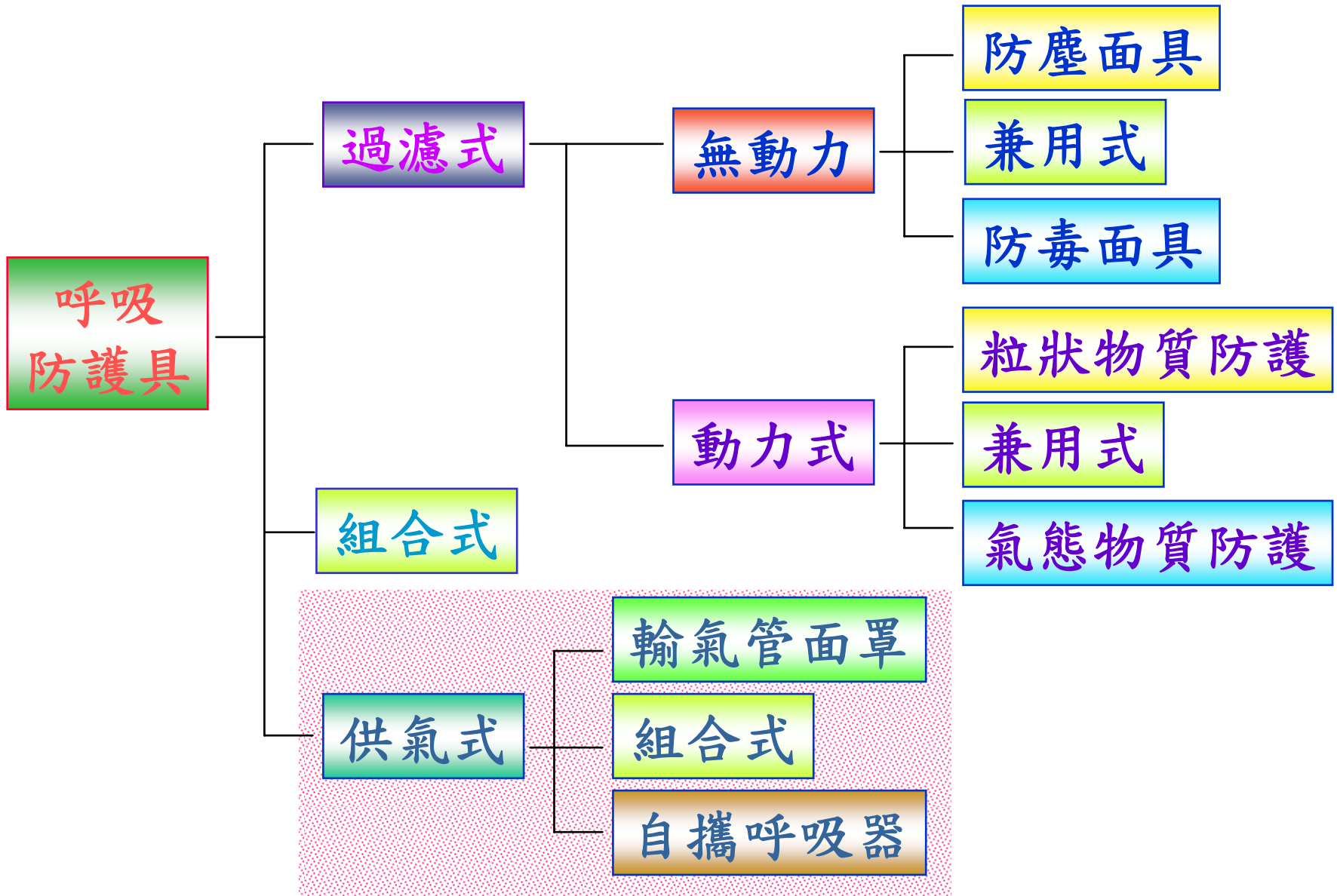


動力式空氣濾淨呼吸防護具



供氣式呼吸防護具

呼吸防護具之分類



依危害物種類選用防護類型

氣狀污染物



吸收、吸附劑

粒狀污染物



濾材類

防毒面具之濾毒罐種類

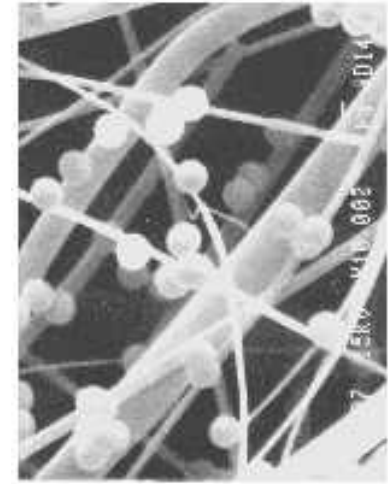
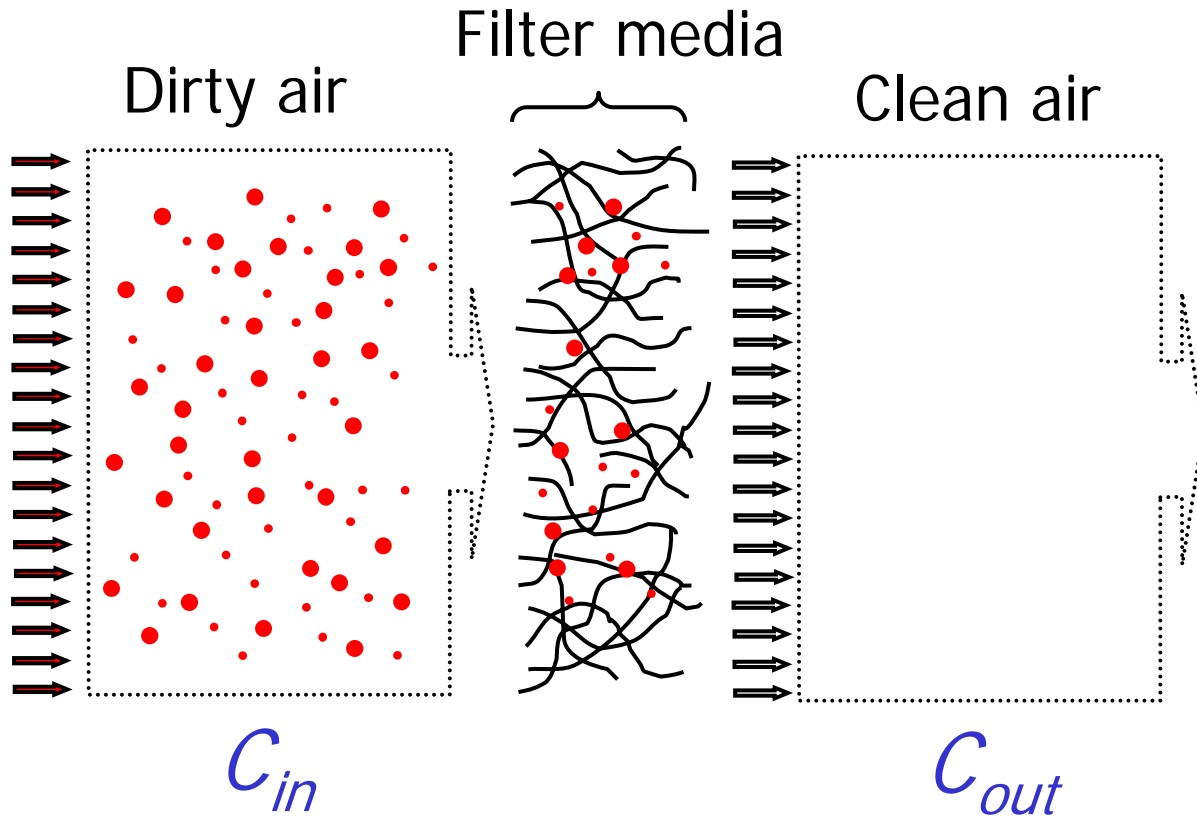
濾毒罐		防護對象
	6001	有機蒸氣
	6002	酸性氣體、氯氣、鹽酸、二氧化硫、二氧化氯
	6003	有機蒸氣\酸性氣體
	6004	氨氣、甲胺
	6005	甲醛、有機蒸氣

(參考美規標準)

防護對象	顏色標示
鹵族氣體	褐
酸性氣體	灰
有機氣體	黑
氨氣	綠
二氧化硫	橙
硫化氫	黃
氰酸	藍
溴化甲基	紅
其他氣體	紫
附濾材	白色條紋

(參考CNS 6636 Z 2023, 1998)

淨氣式呼吸防護具-防塵面具



www.ima.umn.edu/industrial/98_99/ouyang/sld026.ht

$$E(\%) = \left(1 - \frac{C_{out}}{C_{in}}\right) \times 100\%$$

42CFR84 之濾材分類

類別 過濾效率	N-Series <u>N</u>ot for oil	R-Series* <u>R</u>esistant to oil	P-Series** Oil <u>P</u>roof
95%	N95	R95	P95
99%	N99	R99	P99
99.97%	N100	R100	P100

* Time restriction of 8 hours continuous or intermittent use if oil is present.

** Manufacturer's time use restrictions apply if oil is present.

供氣式呼吸防護具

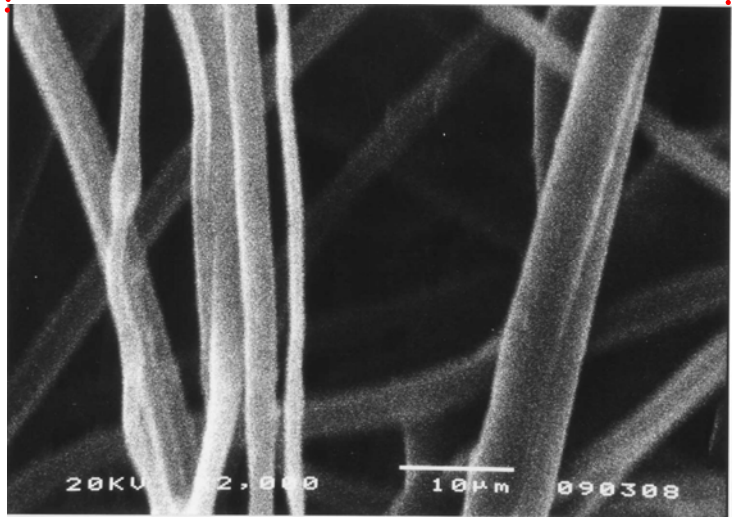
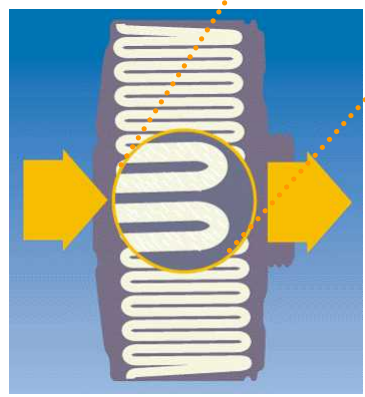
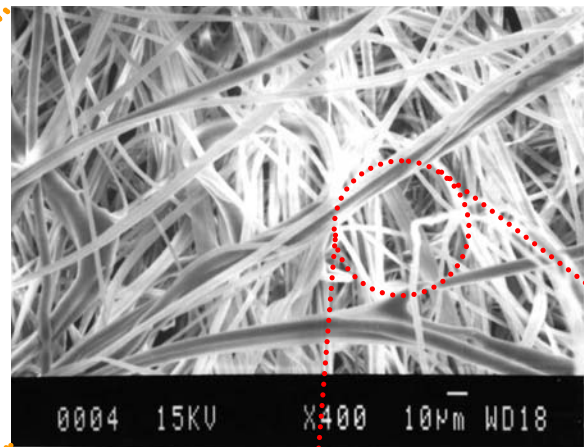
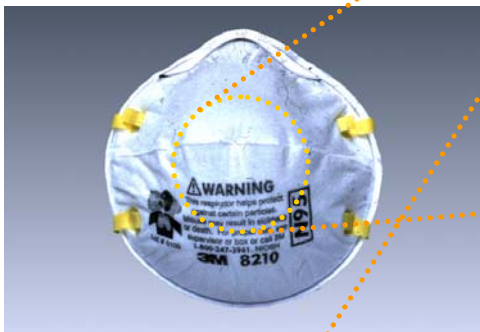


(Supplied Air Respirators, SAR)

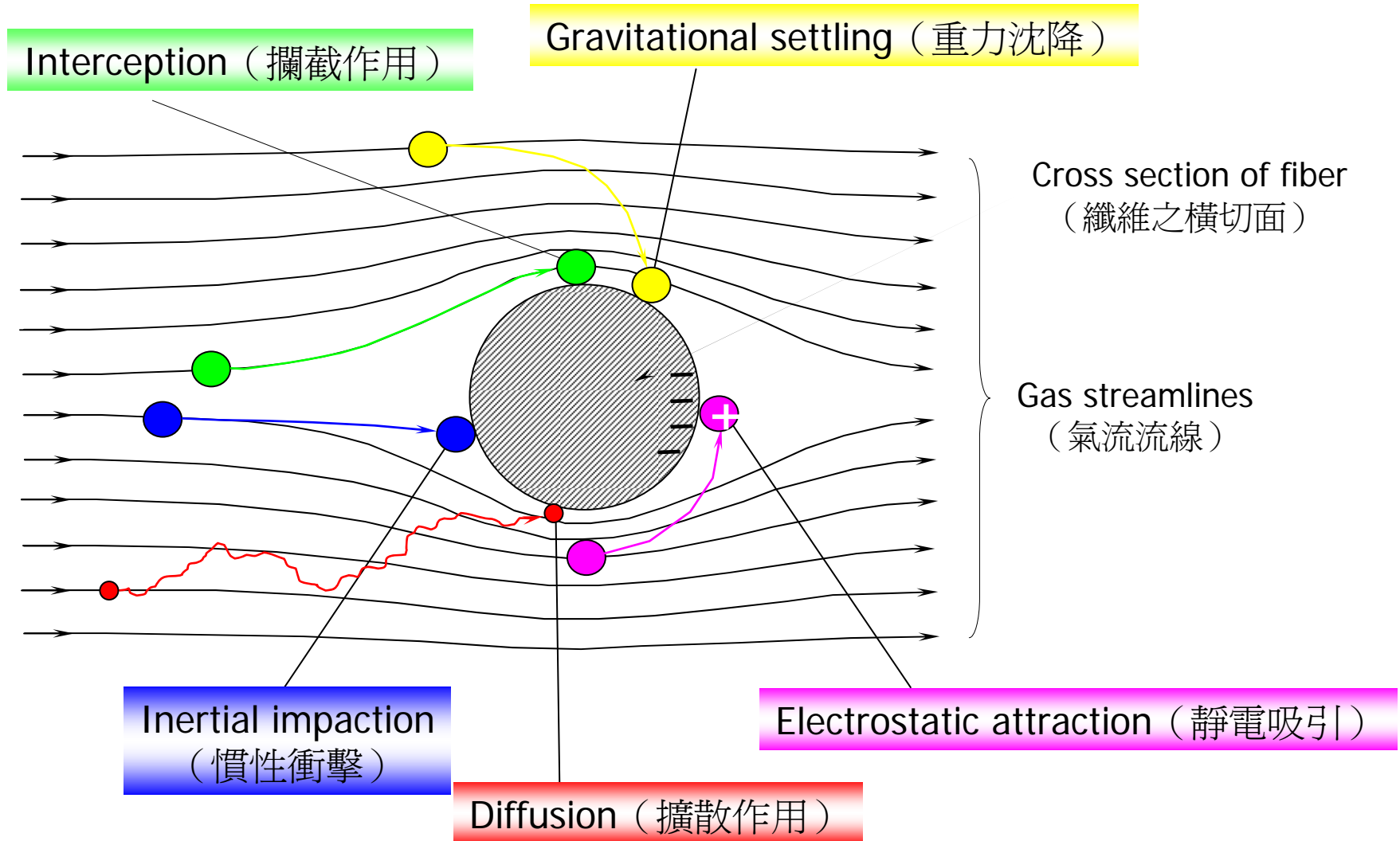


(Self-Contained Breathing Apparatus ,
SCBA)

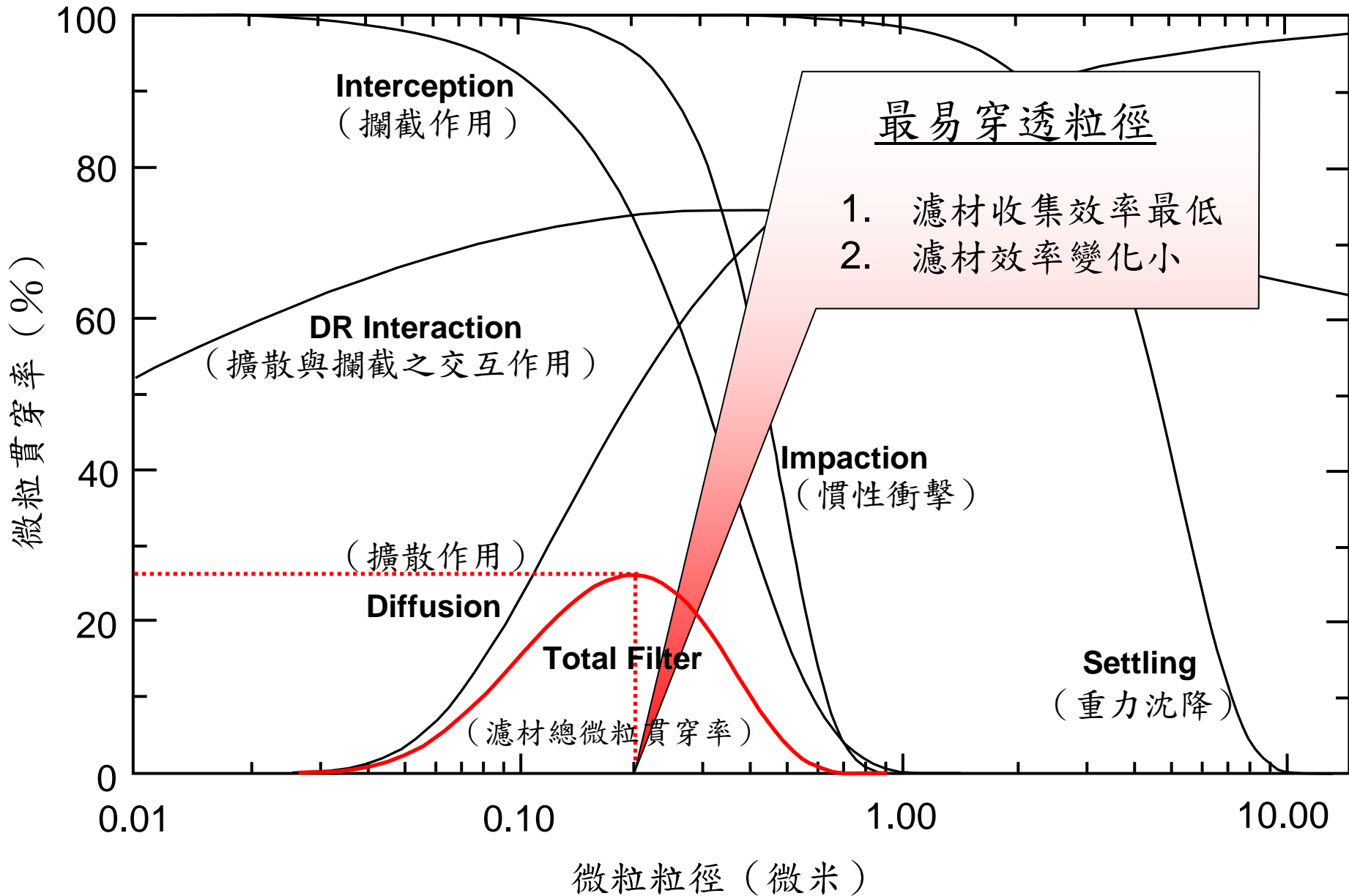
淨氣式呼吸防護具原理-粒狀污染物



微粒收集機制



$t = 1 \text{ mm}, \alpha = 0.05, d_f = 2 \text{ }\mu\text{m}, U_0 = 10 \text{ cm/s}$



濾材效率

$$E = 1 - \exp\left(\frac{-4\alpha E_{\Sigma} t}{\pi d_f}\right)$$

E : 濾材總效率
 α : 填充密度
 E_{Σ} : 單一纖維之總過濾效率
 t : 濾材厚度
 d_f : 纖維直徑

影響濾材總效率之參數

濾材特性	<ol style="list-style-type: none">1. 纖維帶電量2. 纖維直徑3. 填充密度4. 濾材厚度
測試條件	<ol style="list-style-type: none">1. 表面風速2. 微粒粒徑

單一纖維之總過濾效率, E_Σ

$$E_\Sigma = f(E_d, E_r, E_i, E_g, E_p, E_{c,n}, E_m)$$
$$= 1 - (1 - E_d)(1 - E_r)(1 - E_i)(1 - E_g)(1 - E_p)(1 - E_{c,n})(1 - E_m)$$

- E_d : diffusion
- E_r : interception
- E_i : inertial impaction
- E_g : gravitational settling
- E_p : dielectrophoretic force
- $E_{c,n}$: Coulombic force
- E_m : image force
- mechanical capture mechanisms
- electrostatic capture mechanisms

微粒負載的影響

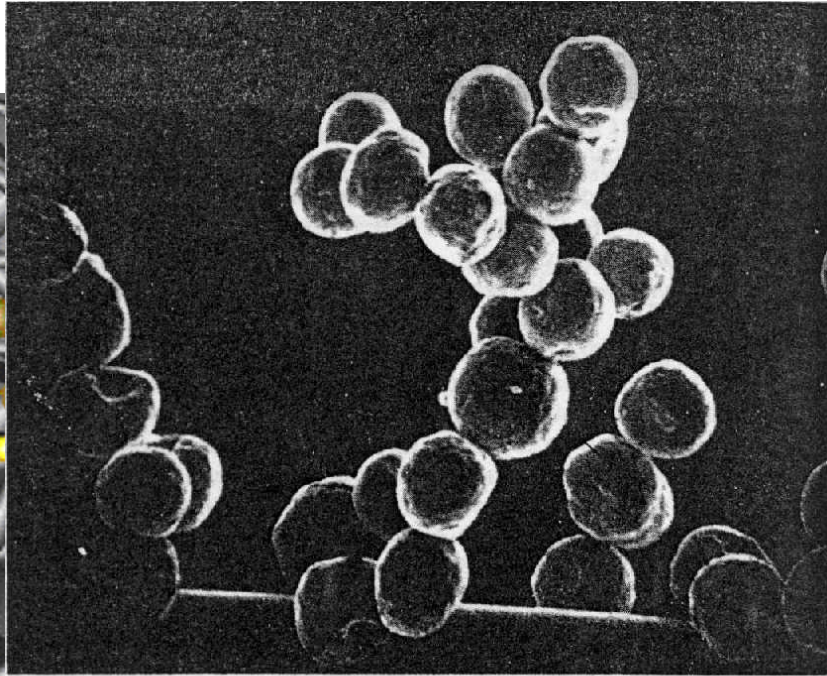
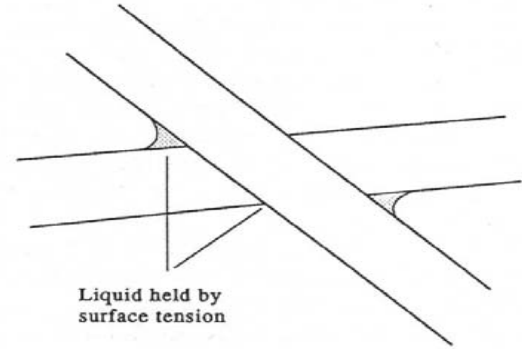
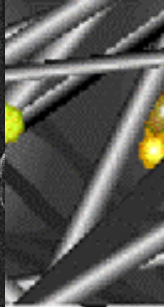


FIG. 8.1 Photograph of a typical dendrite (42). (With permission from Pergamon Press Ltd, Headington Hill Hall, Oxford OX3 0BW, U.K.)



Liquid held by surface tension

FIG. 8.16 Liquid held at a point of fibre-fibre contact.

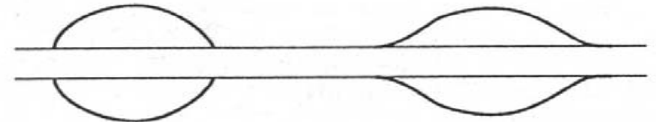
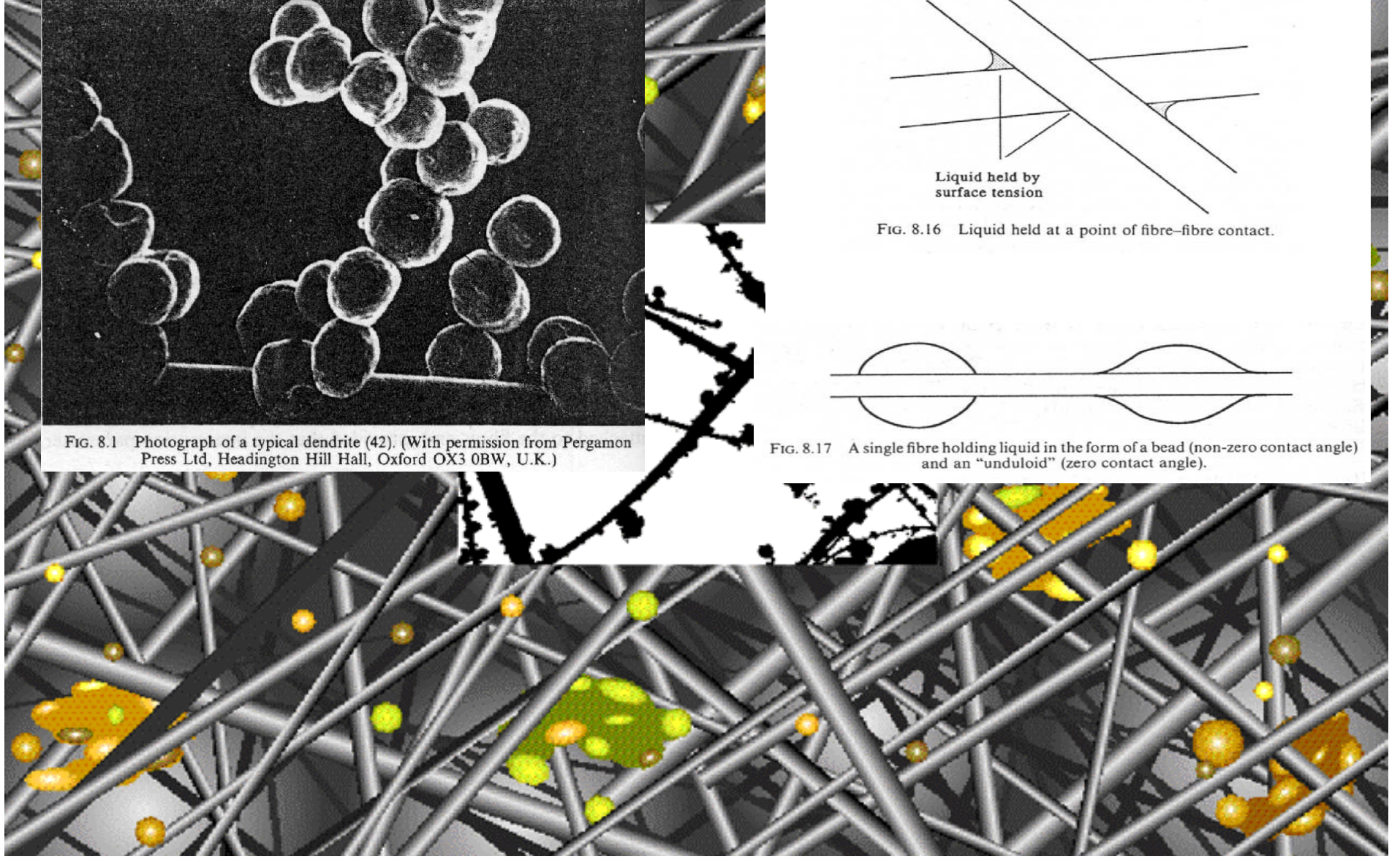


FIG. 8.17 A single fibre holding liquid in the form of a bead (non-zero contact angle) and an "unduloid" (zero contact angle).



口罩的使用壽命

1. 效率降低時
2. 阻抗變大時
3. 結構破損時
4. 衛生之考量
5. 有接觸感染之虞時



NIOSH 42 CFR Part 84 測試條件

微粒負載測試

	N-series	R-series	P-series
測試微粒	NaCl	DOP	DOP
	200mg負載 後口罩效率	200mg負載 後口罩效率	負載的過程中 口罩之最低效率不低於該等級所規定之初始效率。

勞工作業環境空氣中有害物容許濃度標準之厭惡性總粉塵：10 mg/m³

呼吸狀況：潮氣容積=750 ml/次

呼吸頻率=15次/min

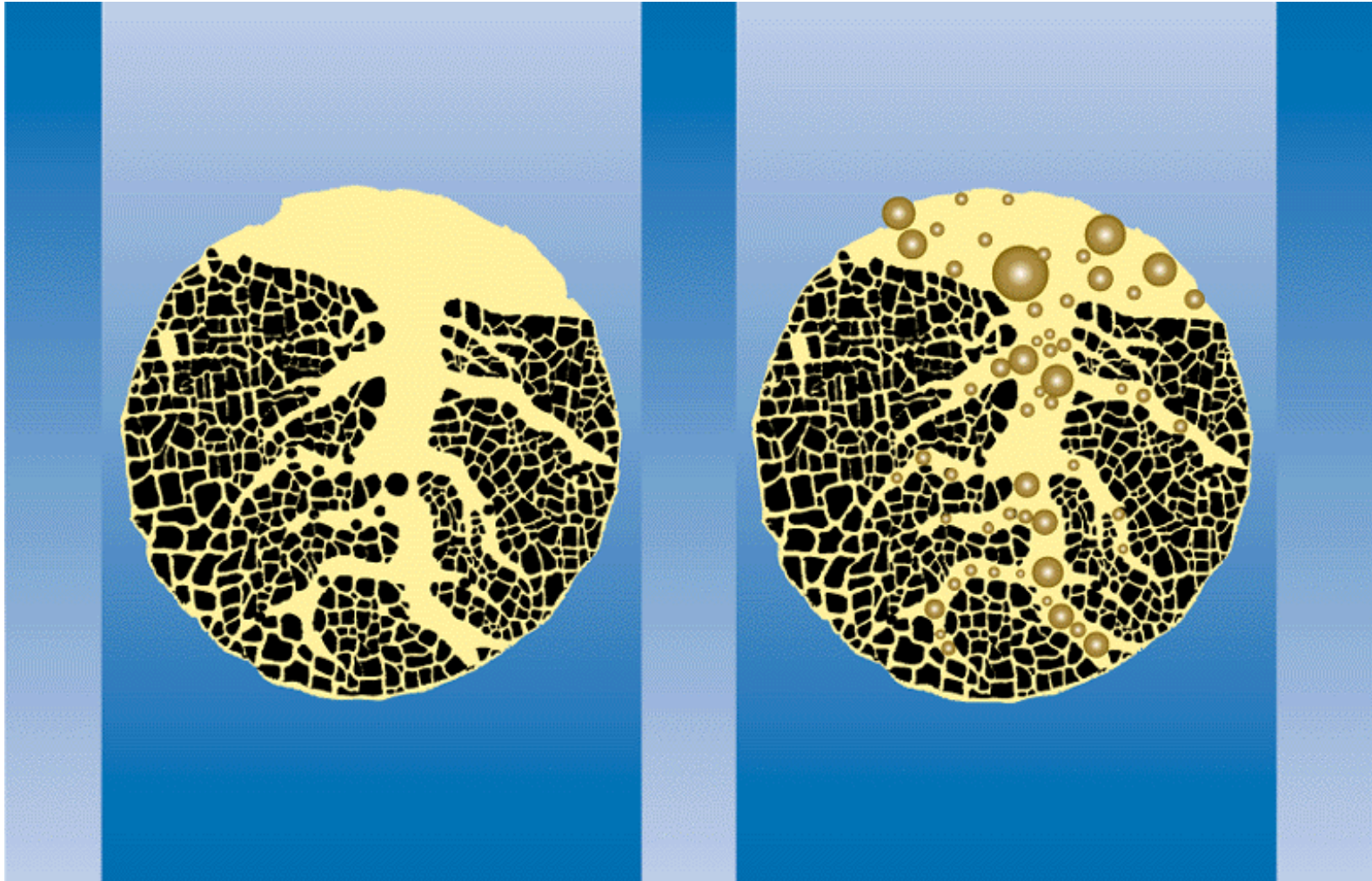
配戴時間：8小時/天

$$\frac{200\text{mg}}{\frac{10\text{mg}}{\text{m}^3} \times \frac{7.5 \times 10^{-4} \text{m}^3}{\text{次}} \times \frac{15\text{次}}{\text{min}} \times \frac{60\text{min}}{\text{hr}} \times \frac{8\text{hr}}{\text{day}}} = 3.7\text{day}$$

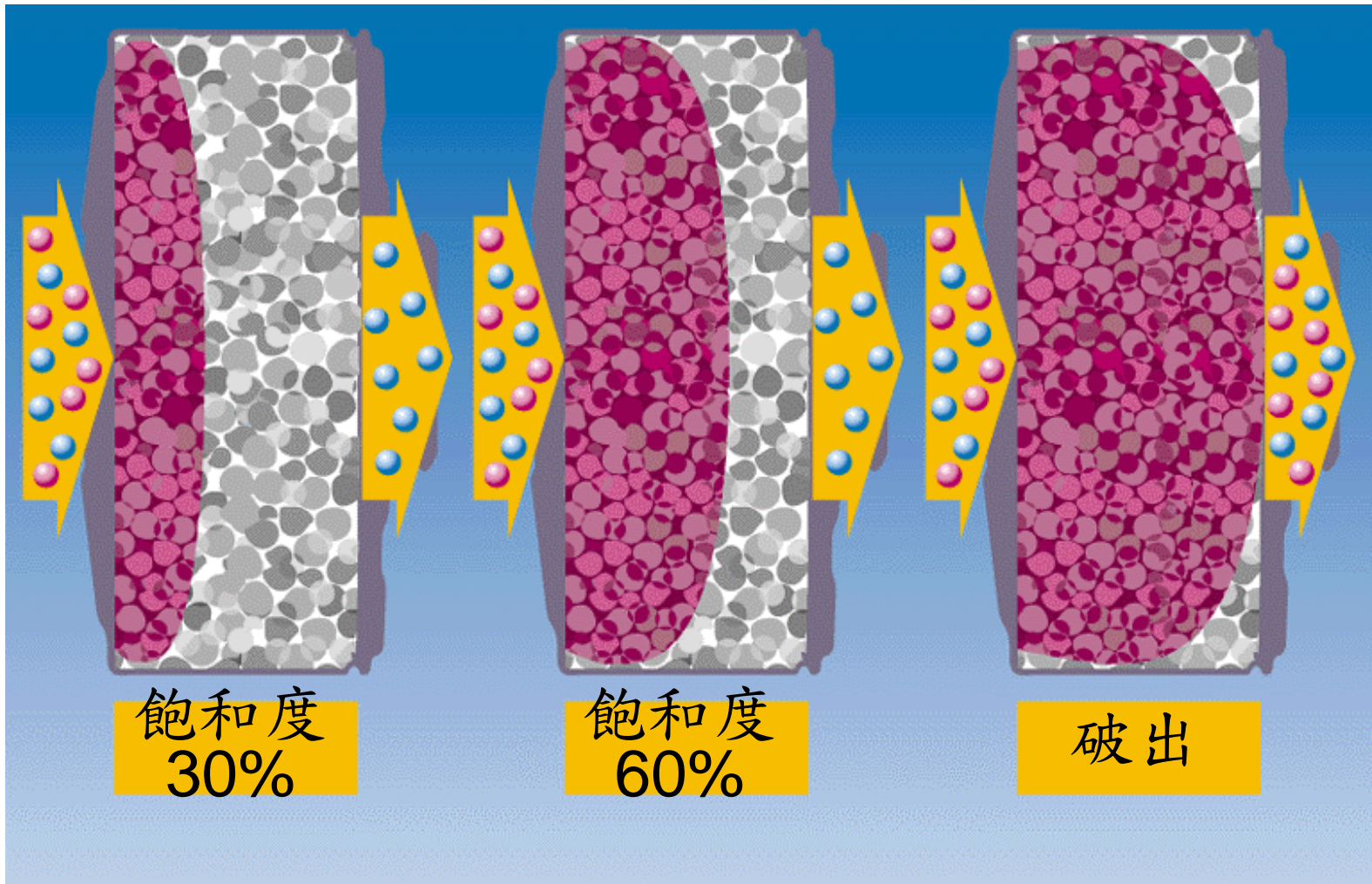
淨氣式呼吸防護具原理-氣狀污染物

1. 吸附作用（如有機溶劑吸附在多孔性的活性炭上）
2. 吸收作用（如酸性氣體被含有氫氧化鈉或氫氧化鉀的吸收物質吸收）
3. 觸媒反應（如混合錳氧或銅氧化合物的物質，將一氧化碳與氧反應成二氧化碳）

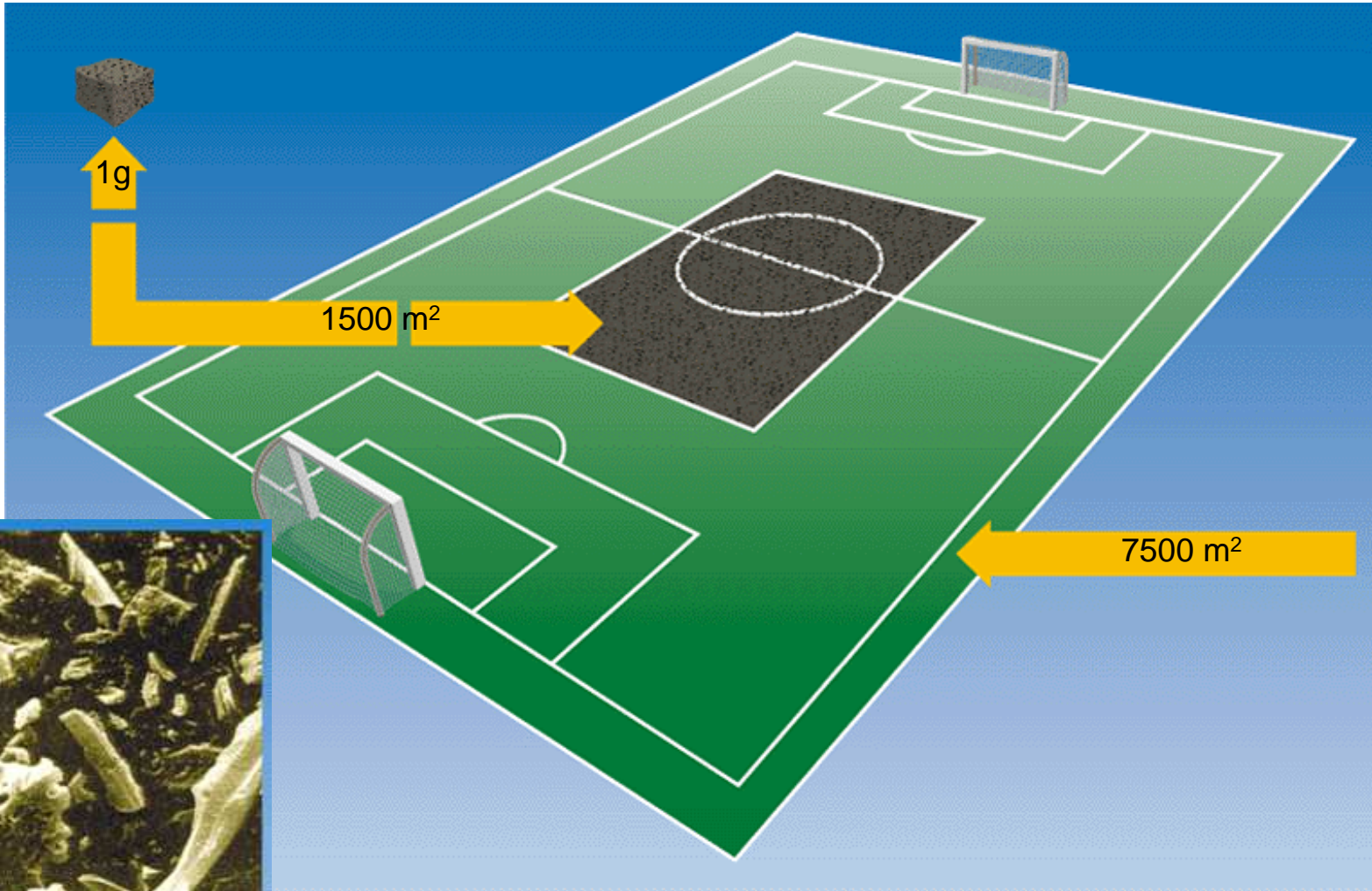
吸附材之吸附原理



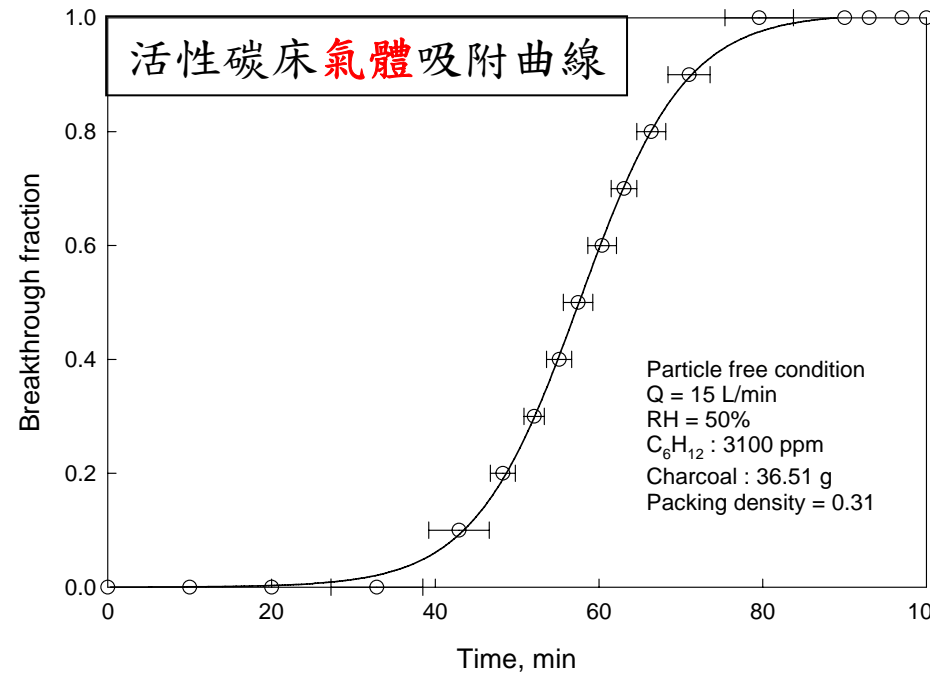
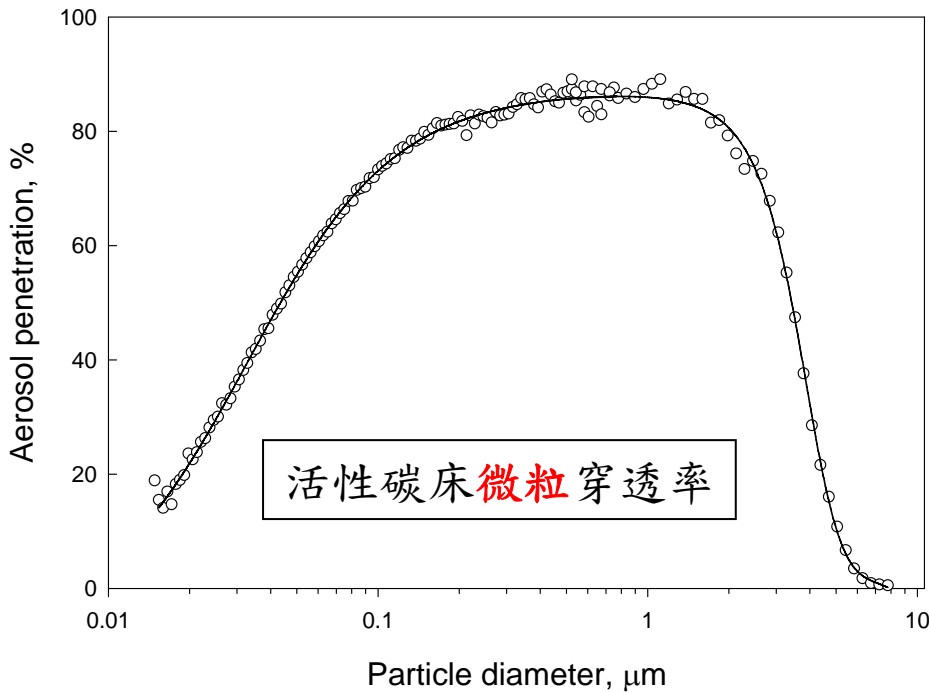
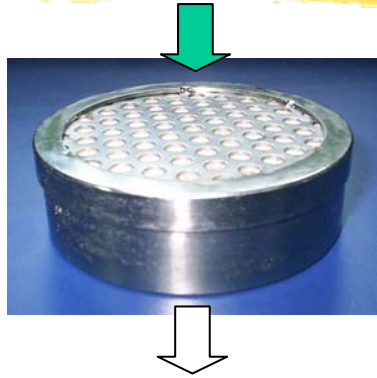
氣狀污染物濾材破出



活性炭吸附材



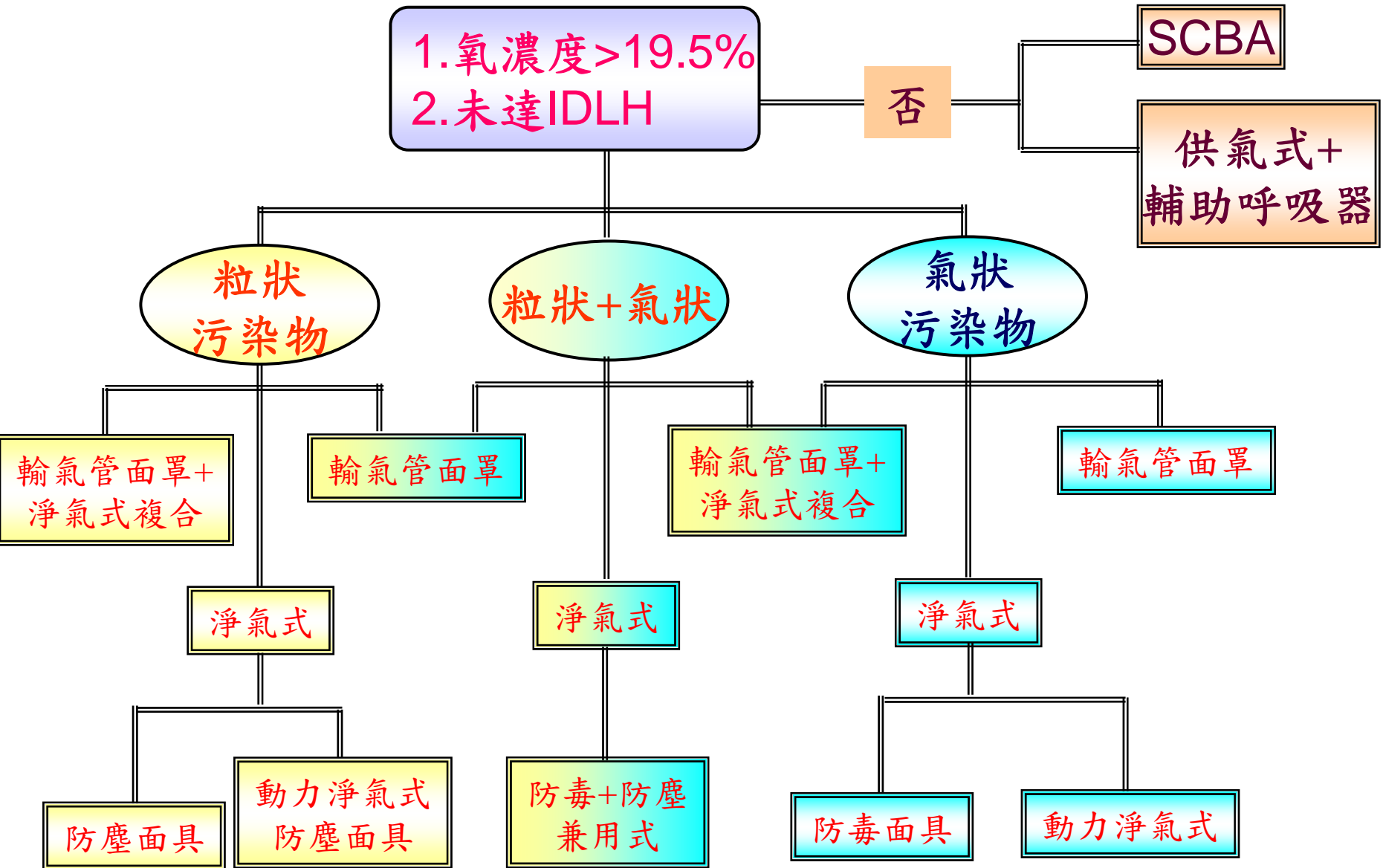
活性炭床對氣狀、粒狀污染物之過濾特性



含活性炭之防塵口罩



呼吸防護具選擇流程



呼吸防護具使用原則

- ↳ 根據空氣中有害物形態挑選適當呼吸防護具（防護灰塵還是氣體？）
- ↳ 依據危害風險之高低選擇適當防護係數之防護具。
- ↳ 挑選適當大小的面體，注意密合情形。
- ↳ 教導並要求勞工正確的戴用。

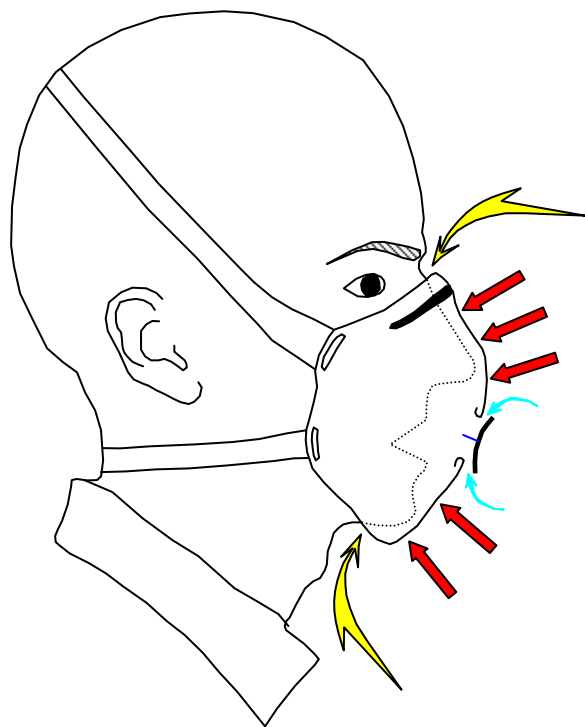
防護係數 (Protection Factors, PF)

$$\text{PF} = \frac{\text{環境中污染物之平均濃度}}{\text{防護具內污染物之平均濃度}}$$

呼吸防護具的防護係數

呼吸防護具	面體型式	寬鬆面體 (Loose fitting, airhat)	半面體 (Halfmask)	全面體 (Fullface, hood, helmet)
負 壓 式	■ 無動力過濾式 (Air Purifying Respirators)	—	10	50
	■ 動力過濾式 (Powered Air Purifying Respirators, PAPR)	25	50	1,000
正 壓 式	■ 供氣式 (Supplied Air Respirators, SAR)			
	-- 連續送氣式 (Continuous Flow)	25	50	1,000
	-- 壓力需求式 (Pressured Demand)	25	50	1,000
	■ 自攜呼吸器 (Self-Contained Breathing Apparatus, SCBA)	—	—	10,000

呼吸防護具洩漏來源



1.

面體與臉部接合處

2.

濾材

3.

排氣閥



呼吸防護具密合確定方法

- ↳ 密合度檢點（fit check），每次都應該進行。密合度測試（fit test），第一次挑選或定期測試。
- ↳ 密合檢點包括正壓與負壓兩種方式。
- ↳ 密合度測試又有定性（qualitative）與定量（quantitative）兩種方式。

密合度檢點

呼吸防護具配戴者自行檢查防護具與臉部密合的情形。



正壓檢點



負壓檢點



拋棄式防塵口罩簡
易密合檢點之方式

密合度測試 (QLFT)



定性測試

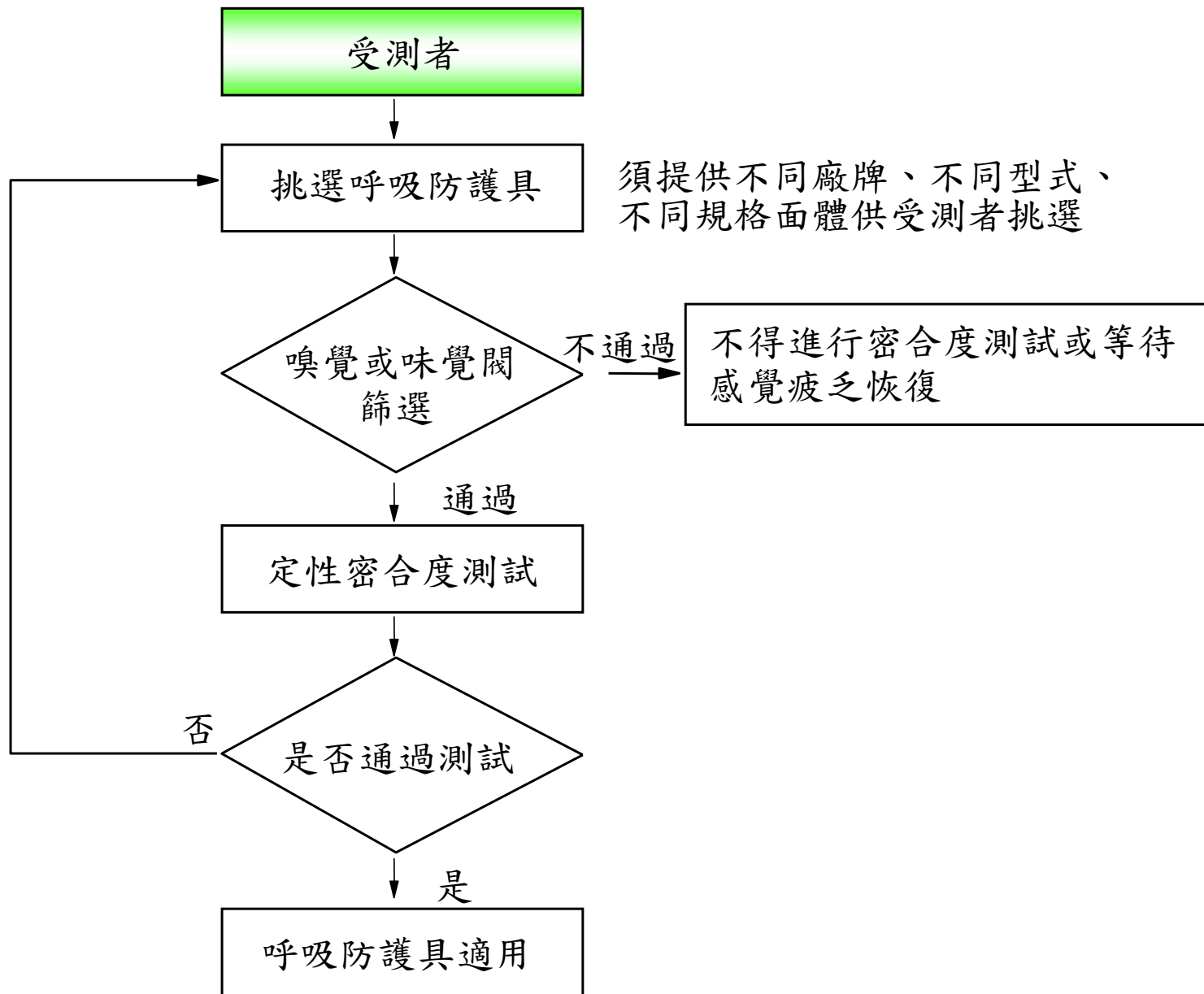


定量測試

密合度測試時機

- 首次使用呼吸防護具或重新選用呼吸防護具後。
- 每年至少進行一次。
- 佩戴者的體重變化達百分之十以上時。
- 面體下的顏面產生疤痕或其他顯著變形。
- 佩戴者裝置假牙或失去牙齒。

定性密合度測試流程



體格檢查與判定

1. 確定呼吸防護具使用者可安全從事工作
2. 呼吸防護具使用不致造成特殊問題
3. 作業人員的體能與心裡狀況適合使用呼吸防護具

呼吸防護具教育訓練

- ↪ 對作業人員進行適度訓練，才能正確使用呼吸防護具。
- ↪ 作業中所可能遭遇的有害物暴露危害，使用呼吸防護具的理由與重要性。
- ↪ 使用呼吸防護具的操作、性能與限制，穿戴、脫除等實作，各種可能影響防護具防護功能的因素，可由佩戴者執行的維護實作，如淨氣材料更換等。
- ↪ 使用前檢點，密合檢點、密合度測試與實作
- ↪ 清潔、保養、保管與保存。

