

室內空氣品質改善技術簡介

台灣清淨環境科技有限公司 孫國書經理
財團法人台灣產業服務基金會 白崢鈺工程師

一、前言

改善室內空氣品質之措施有控制源頭、改善通風、空氣淨化等3種。任何污染問題之處理(含室內空氣品質)最好在還沒發生之前先作好預防工作,倘若室內空氣品質已經產生問題就要儘速加以控制。因此,改善室內空氣品質的第一步即為污染源頭控制;源頭無法有效控制時則需改善室內通風,以降低室內空氣污染物並改善室內溫溼度;通風無法有效提供室內足夠新鮮空氣時則需使用空調系統強制通風換氣。另外有些空氣污染物可以藉物理、化學或生化等淨化技術移除,達到污染物淨化室內空氣之目的。本文將簡要介紹各項改善室內空氣品質之技術方法。

二、室內空氣污染物

我國於100年11月23日公布實施之「室內空氣品質管理法」^[1],第3條定義:室內空氣污染物指室內空氣中常態逸散,經長期性暴露足以直接或間接妨害國民健康或生活環境之物質,包括二氧化碳、一氧化碳、甲醛、總揮發性有機化合物、細菌、真菌、粒徑小於等於10微米之懸浮微粒(PM₁₀)、粒徑小於等於2.5微米之懸浮微粒(PM_{2.5})、臭氧及其他經主管機關指定公告之物質;另又公告9項室內空氣品質標準^[2]如表1。

污染物之物理型態、化學性質及生物特性,與處理技術之採用具有極大之相關性,故表1中9項指標可大略分為4大類型,簡要說明如下:

- 1.粒狀污染物:包含懸浮微粒及生物粒子,懸浮微粒又分為粒徑小於等於10微米(μm)之PM₁₀及粒徑小於等於2.5微米(μm)之PM_{2.5},也包含部分微生物;這些懸浮微粒可隨著呼吸作用進入呼吸系統,而對呼吸道有所危害。
- 2.生物污染物:主要為微生物,以細菌、真菌、病毒、寄生蟲等各種不同的型態普遍存在於自然界中,有些微生物會引起過敏、感染、毒性效應,對人體甚至有致命的殺傷力。
- 3.揮發性有機物:包含總揮發性有機化合物(TVOC)、甲醛(HCHO)。大多數揮發性有機物質具皮膚或呼吸道刺激性,有些則對中樞神經有影響,會引起眼睛、呼吸道不適,甚至頭痛、暈眩、疲勞、視力失常等症狀,而有多種物質已被證實為致癌物質。甲醛濃度高時有刺鼻的氣味,且會導致眼部及呼吸道出現刺激。

4.其他氣狀污染物：二氧化碳(CO₂)、一氧化碳(CO)及臭氧(O₃)。二氧化碳濃度過高時，除了會造成呼吸費力或困難感，亦會產生頭痛、嗜睡、反射減退、倦怠等症狀，因此若發生在辦公室，會降低員工工作效率。於一氧化碳在與血液中的血紅素結合，將阻礙血紅素與氧氣結合，使得體內組織細胞氧氣供應不足，而呈現中毒現象。長期暴露於一定程度的一氧化碳濃度中，會呈現頭暈、頭痛、呼吸困難、頻尿、口渴、體重減輕、失眠、易怒等慢性中毒症狀。臭氧為一刺激性氣體，可刺激眼睛及呼吸道，造成咳嗽、胸部不舒服等症狀，可能因而加重氣喘及呼吸道疾病等敏感族群之症狀。

表1 室內空氣品質標準

污染物種類	標準值		
	量測時間	標準值	單位
二氧化碳(CO ₂)	8 小時值	1000	ppm
一氧化碳(CO)	8 小時值	9	ppm
甲醛(HCHO)	1 小時值	0.08	ppm
總揮發性有機化合物(TVOC，包含：十二種苯類及烯類之總和)	1 小時值	0.56	ppm
細菌(Bacteria)	最高值	1500	CFU/m ³
真菌(Fungi)	最高值	1000	CFU/m ³
		但 I/O Ratio ≤ 1.3	
粒徑小於等於 10 微米(μm)之懸浮微粒(PM ₁₀)	24 小時值	75	μg/m ³
粒徑小於等於 2.5 微米(μm)之懸浮微粒(PM _{2.5})	24 小時值	35	μg/m ³
臭氧(O ₃)	8 小時值	0.06	ppm

三、室內空氣污染源頭控制

改善室內空氣品質的第一步即為污染源頭控制，源頭無法有效控制時始需改善或加強室內通風來或採其他空氣淨化技術，以達到污染物淨化室內空氣之目的。而改善室內空氣品質最直接和最有效的方法，是先考慮控制源頭的方案。在某些個案中，這甚至可能是唯一可供選擇的有效方案。下列為一些有效控制源頭的方法：

- 1.控制源頭：完全消除污染物源頭，例：在被投訴的範圍禁止吸煙、拆除鬆脆的物料、棄置真菌滋生污染的天花板。
- 2.用低污染排放或危害性較低的物料作為代替，例：用水溶性油漆取代有機溶劑型油漆，改用化學強度較低的清潔劑。
- 3.將污染源或污染物的傳播通道隔離，例：確保毗鄰停車場和卸貨區內的辦公室保持在正壓。

4.改變污染源位置，遠離有人使用的地方，例：把影印機重新放置，使其遠離一般工作範圍。

部分室內空氣品質問題可能只須採用行政管理手段便可輕易解決，例如：

- 1.妥善安排易造成室內空品問題之活動，例如在辦公時間以外的時段進行修繕工程或除蟲工作等。
- 2.限制使用時會產生污染物設備的時段。
- 3.重新安排易受影響人員，使其遠離曾令他們出現病症的範圍。

即使以上的行政管理手段不能徹底解決問題，亦可在找到長期解決方法前提供一定程度暫時改善的效果。採用行政管理手段的好處是能夠以最低成本，在問題出現時立即實施有關措施。

四、室內通風、空調改善^[3]

1.室內通風或空調系統適用性

一般判斷室內通風或空調系統是否適用，主要是以二氧化碳為指標，因為二氧化碳為人體呼吸的代謝產物，當二氧化碳濃度明顯升高時，即顯示出室內換氣量不足。目前世界各國對於室內通風或空調系統的規範主要是參考美國冷凍空調協會 (ASHRAE) 訂定的通風規範 (ASHRAE STANDARD 62-89)。ASHRAE 通風標準設定：室內每人需要的外氣量大約是 15~20CFM，並建議二氧化碳濃度值不應超過 1,000 ppm。(香港室內空氣質素中心認為：辦公室的一般二氧化碳水準應在 600~800 ppm 範圍內)室內二氧化碳濃度值的測量必須在尖峰工作時段。在典型工作環境中，尖峰工作時段通常在早上 11 點~下午 3 點期間。然而，如果二氧化碳的測超過 1,000ppm 的話，應該檢查：

- (1)是否有排氣不良的燃燒裝置，這也可能產生一氧化碳。
- (2)檢查室外二氧化碳濃度。

2.室內通風或空調系統檢查

(1)外氣供應設備：

- A.確定通風系統已打開，外氣入口並未被阻塞。
- B.確定進氣口有氣體送出，而且所有的控制系統運作正常。
- C.檢查是否有氣流短路的跡象。
- D.確定外氣進氣口確實有氣體進入。
- E.確定定時系統設定正確。

F.確定節能裝置及冷凍控制系統功能正常—在適當的時間啟動與關閉。

G.確定供氣及回氣扇正常運作。

H.確定可變風量系統在部分負載的情況下，提供足夠比例的外氣。

(2)空氣調節單元：

A.確定機械室保持乾淨且無任何雜物。

B.確定過濾器乾淨且安裝正確。

C.確定水盤保持乾淨、適當傾斜，且正常排水。

D.確定盤管乾淨。

E.檢查機械設備或風管是否有任何漏洞。

F.確定燃燒管在正常運轉狀態。

G.確定在最差的情況下，也沒有氣體從燃燒風管回流。

H.確定可變風量系統在部分負載的情況下，提供足夠比例的外氣。

(3)排氣單元：

A.確定在需要時，排氣功能可啟動。

B.確定排氣風扇能運轉。

C.確定室內空氣是由正確的排氣風口排出。

D.確定污染源所在，且排氣是將污染物由使用者端攜出而非排向。

E.確定排氣室處於負壓，以使補注的空氣能輕易進入。

3.室內通風或空調系統改善

安裝新的通風系統或更改現有通風系統是控制室內空氣品質的最直接且重要的方法之一。此外，也可利用空氣清淨裝置，以清除定點污染源的方式，使得污染物不致擴散或累積。若通風系統已出現故障，可用以下方式改善現有通風系統的效能：

(1)因應室內使用人數、熱源和污染源配置，重新調校及調整通風系統。

(2)增加外氣供應量。

(3)移去阻塞回風口的障礙物。

(4)控制污染源與其他地區之間的壓力差。

(5)在進行排放高毒性或高濃度污染物的活動地點，例如使用氣體器具煮食、照相沖印、焊接等範圍安裝(暫時性或永久性)局部排氣系統。

(6)改變或調校空氣供應及回風器的配置，以改善空氣來源及空氣分配之間的關係。

(7)改良空氣分配系統，例如，提高空氣供應或回風系統內的風扇的功率。

五、室內空氣淨化技術^[4-8]

早期室內空氣改善技術著重在粉塵微粒，其技術由「物理性過濾、捕捉」，到近期使用的讓粒子帶電，來增加被捕捉效力。漸漸的，開發解決室內氣狀污染物的技術，技術的演進由單獨的吸附，轉為光觸媒分解，到最新結合二者。近期由於新興疾病的不斷的發生(SARS、新流感)，開始注重生物性污染物的防治，技術的演進由紫外燈，到應用光催化技術，最新結合殺微生物功能的複合式濾材。本節則對照室內空氣污染物之類別，搭配說明適當之處理技術。

5.1 粒狀污染物

1.源頭控制：管制吸煙之行為；加強烹煮油煙排出室內；不使用石棉、人造礦物纖維等建材；移除植物花粉及其他動物性過敏原；保持室內清潔、乾燥，杜絕微生物生長。

2.淨化技術

(1)纖維過濾技術：即我們一般常說的過濾網，此技術應用交錯細密的各式纖維形成阻絕空氣中粒狀污染物的屏障。此種技術為最常見的技術，因為其成本較低，但是每種濾網皆有其灰塵負載量，一旦超出負載量便會失去效果，或是堵塞後造成風壓增大風量減小，因此需不斷更換。

(A)初級濾網：通常由粗玻璃纖維、動物毛髮、植物纖維、或塗佈黏性物質(微粒物的附著劑)的合成纖維以低密度填充，或由作成裂縫的鋁箔組成。平板濾網可以有效捕集大尺寸微粒，但僅能除去少部份可進入呼吸系統的微粒子。褶疊式或延伸表面濾網之構造使過濾面積增大，允許使用較細纖維與增加填充密度而不會降低風量，對於可進入呼吸系統的微粒子，其捕集效率比平板濾網高。當濾網密度越高越厚，則清淨效果越好，但空氣通過之阻力會增加。

(B)高效率濾網：根據濾網效率的高低，可將機械式濾網分類為普通濾網、高效率濾網及超效率濾網。常用的組合是初級濾網加上高效率濾網，初級濾網用於過濾較大灰塵，而細小灰塵則由高效率濾網清除。高效率濾網(High Efficiency Particle Arrest, 簡寫 HEPA, 如圖 1)發展的緣由為早期針對原子研究時，用以清除空氣中受輻射污染的微粒子，以保護研究人員的安全。

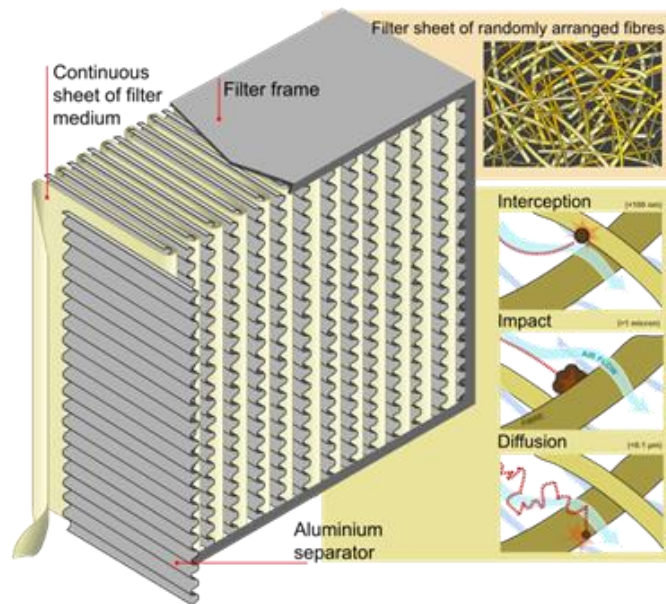


圖1 高效率濾網(HEPA)構造

HEPA 濾塵原理可細分為粒子撞擊(Impaction)、攔截(Interception)、與熱運動(Brownian Motion, 布朗運動)3 部分。就粒子攔截集塵而言,纖維與粒子間之結合力量有 2 種:一種是分子間的吸引力(凡得瓦爾力 Van der waals forces),另外一種是氣流經過纖維時使纖維帶靜電,而空氣中之粒子則帶相反電性之電荷,此情況下使得粒子更易被纖維吸引。但另一方面,氣流經過濾網時,產生之氣流拉力會使被捕捉的粒子再次脫離;而外界的振動也會使粒子脫離纖維。HEPA 濾塵效率最低點落於 $0.3 \mu\text{m}$ 。

濾網的標準由美國能源部設定,對粒徑在 $0.3 \mu\text{m}$ 的粒子,過濾效果約為 DOP 99.97% 以上才可稱為高效率濾網。通常使用的高效濾網可達到 99.99% 的攔截效率,也有更高或相對低一些品種,各國有相應的規格標準。高效濾網的過濾材質通常由無規則排布的化學纖維(例如:聚丙烯纖維即丙綸或聚酯纖維即滌綸的無紡布)或玻璃纖維製成,直徑約 0.5 到 2.0 微米,通過微觀的絮狀結構,主要是用來去除 $0.5 \mu\text{m}$ 以上之微粒。

- (2)靜電集塵技術:靜電集塵技術為進階的灰塵清淨技術,其特點為對細微粒特別有效,因此通常會置於初級濾網之後搭配使用,其效果隨集塵板積塵量增大而降低,但此系統在經過定期維護後即恢復其原來的效能。是利用電場捕集帶電粒子(原理如圖 2)。通常是靜電集塵器(electrostatic precipitator)或靜電濾網(Electret filter)。

靜電集塵技術之原理

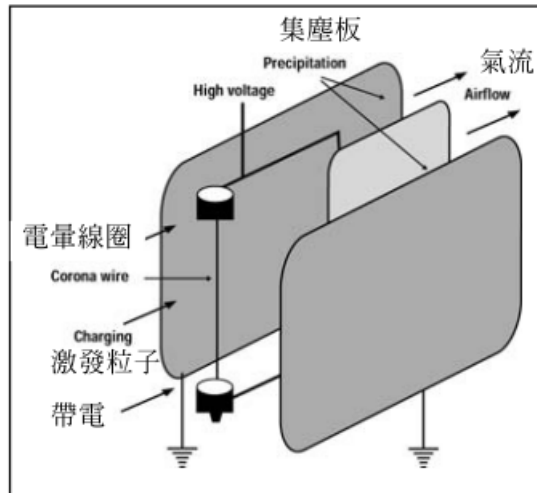


圖2 靜電集塵技術原理

(A)靜電集塵器：靜電集塵器是以排列之帶電平板捕集微粒子；靜電濾網是帶電介質濾網(charged-media filters)纖維捕集微粒子。使用靜電集塵器與靜電濾網時，大都特意先將空氣微粒子離子化(使帶電荷)，以得到更高捕集效率。

靜電集塵器一般設計為使用 12kv 離子化器使灰塵帶正電，再以 6kv 之收集板將灰塵收集，收集板之板距及大小，使電壓足以收集灰塵但不產生臭氧。臭氧為一相當不穩定之有害氣體，離子化器之適當設計及維修可降低臭氧產生。

氣流中較大之粒子其慣性較大，通過收集板電場之時間不夠長，而不能被收集於收集板上，而極小之粒子可能被氣體分子撞擊而形成阻力。氣流通過收集板之速度越慢，則收集完成之機率越高，靜電集塵器須使氣流均勻通過，以獲得最高效率。若提高離子化器與收集板之伏特數，則可能產生過多臭氧，減少伏特數則降低效率。收集板間距越小則灰塵至收集板之距離縮小，收集效率增加。但間距小，將使清潔維修困難，且易有短路發生。

(B)靜電濾網：靜電濾網是一種纖維狀的空氣過濾材料，通常採用聚丙烯或聚酯類塑膠合成纖維，它的每根纖維均含有靜電電荷。但是就整個材料而言，基本上還是保持中性的，這種纖維就像是一個小電容器，纖維的一邊帶正電，另一邊則是負電，由於纖維的導電性很差，因此正負電並不會中和，所以其電荷是可耐久的。

靜電濾網的應用非常廣泛，除了空氣清淨機之外，呼吸道的保護器具、精密設備的保護、吸塵器和空調機等均常使用。靜電濾網由於有電荷作用，對於細小微粒特別有效果，但其除塵效果受到空氣通過濾紙速度影響很大，通常在 0.25m/s 以下，捕集效率才能高於 90%。靜電濾網使用初期效率非常好，但是隨著捕集量(loading)

增加，其效率會快速降低，因此必須定期更換濾網。

- (3)負離子技術：負離子採用高壓尖端放電產生(如圖 3)，此技術並不能真正的除去空氣中的灰塵，而是藉由使經過電極附近的粒子帶電，而帶電粒子對空氣中的粒子具有凝聚作用，使其聚集成為較大的粒子進而沈降下來。使用過負離子發生器的環境通常會發現室內表面的粒狀物特別多，此即為負離子清淨空氣的作用。

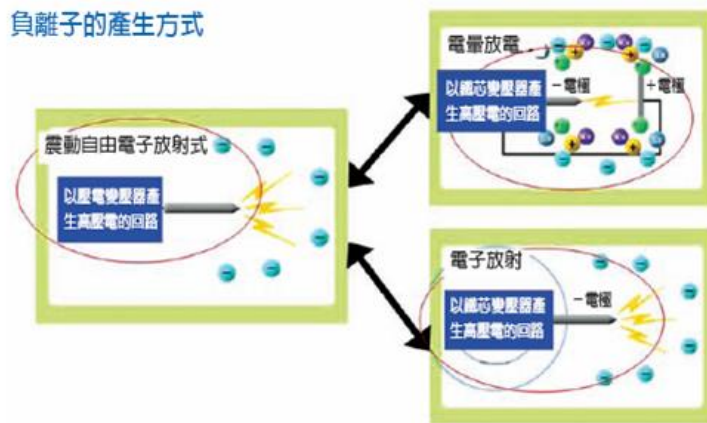


圖 3 負離子的產生方式

離子產生器之除塵原理是使空氣中的微粒子帶電而被附著在牆壁、地板、桌面、布料、人員等表面上。有些離子清淨機裝置有微粒收集器，將帶電微粒吸回機組內。此外，電離可加強附聚作用，使小粒子聚集成大粒子增加沉澱率。微生物以灰塵為營養物質並於其上生長繁殖，定期清理不但可去除屋內灰塵亦可清除附著於灰塵上的微生物。

負離子除了具有除塵的效果之外，還可增加人體的健康舒適感覺。此外，負離子帶有能量，與細菌結合時，造成細菌結構的改變或能量的轉移，致細菌死亡而不再形成菌種，故空氣中的負離子有殺菌作用。

- (4)水洗除塵：洗滌法為使用塑膠或陶瓷製之填充材料，水噴灑或流在填充材料上充當除塵面，當空氣通過一層層濕潤之填充材料時，其運動方向改變使得微粒因慣性而撞擊在填充料上，係利用填充料形成之液膜吸收氣狀污染物，而當液體流過填充層時，常有向塔壁匯集或是向塔中央集中之傾向。一般室外空氣污染處理較常利用，室內空氣處理較為少見。

水洗設備一般為填充洗滌塔，常用之設計值為：氣體空塔速度為 0.3~1.5m/sec、液氣比為 1~3L/m³、壓力損失則為 50~200mm H₂O/m 填充(填充材料)高度、填料高度

一般為 2~5 公尺。

- (5)植物葉片吸附：植物葉片能有效吸附大量粒狀物，依其不同特性，可區分為停著、附著和黏著 3 種。「停著」是指粒狀物暫時落於葉面上，一經外力或風吹隨即飛走，通常為葉片狹小或葉片光滑者。「附著」是指粒狀物落於葉面，固著於氣孔或絨毛上，需較大的風或雨時方可帶走，然後又恢復其蒙塵能力，通常為葉片寬大平展、葉面粗糙有絨毛的植物。「黏著」是指粒狀物受到葉面的黏性物質所黏附，通常為枝葉能分泌樹脂黏液者等。

國內有學術單位針對市售常見 50 種室內植物進行研究，計算各種植物每單位葉面積(1 cm²)之最大滯塵量。研究結果顯示，葉片滯塵量排名前 10 名的室內植物分別為非洲堇、鐵十字秋海棠、皺葉椒草、大岩桐、薜荔、嫣紅蔓、麗格秋海棠、長壽花、盆菊、白網紋草。其共同特徵為具有絨毛或凹凸不平表面的葉片，可有效吸附粒狀物。但室內植物葉片可能因落塵堵塞氣孔而降低氣體交換率，為避免影響其淨化空氣的效果，建議每隔數週以濕潤的抹布擦拭葉面及葉背，去除灰塵與水垢以增加滯塵效率，同時維護美觀。

5.2 生物污染物

- 1.源頭控制：一般室內環境中存在的微生物多與潮濕、水源、與人為活動有關，而其他微生物亦會在室內各種較為潮濕的區域及材質中生長，如廁所、洗手台等容易積水的區域常因清潔打掃不善，提供給黴菌最佳的生長環境；辦公室中普遍存在有室塵蹣、黴菌、蟑螂等過敏原。故保持室內清潔、乾燥，杜絕微生物之生長。

2.淨化技術：

- (1)化學處理技術：化學處理技術係藉由氣-液接觸，藉化學藥劑抑制微生物產生，氧化(oxidation)、消毒或其它反應以破壞微生物之生化反應，達到降低空氣致病性之目的。

一般而言，吸收液氧化劑特性濃度對微生物之去除及破壞效率影響顯著，常見之氧化劑有次氯酸鈉(漂白水)、二氧化氯及過氧化氫水溶液(雙氧水)，以氧化破壞(消毒)微生物。

- (2)光觸媒技術：光觸媒技術是空氣淨化中一個較新的領域，其可在常溫下反應，將室內的有害氣體及異味氣體經過不可逆的反應，分解為無臭無害的產物。另外，其對於空氣中的微生物亦會藉由破壞微生物外膜而將其殺滅。對大腸桿菌、黃色葡萄球菌等具有殺菌功效。在殺菌的同時還能分解由細菌屍體上釋放出的有害物質。此處僅討論光觸媒針對處理室內空氣中微生物之作用機制。

光觸媒殺滅微生物的機制有：

- (A)光觸媒經 UV 光激發後產生之高氧化物質直接對微生物的細胞膜脂質破壞，造成細

胞膜流動性不佳，喪失細胞膜傳遞物質之能力。

(B)光觸媒可導致蛋白質變性喪失功能。

(C)光觸媒產生之自由基亦會造成 RNA 有 hydroxylation 現象，造成影響蛋白質的製造。

這些機制都會造成抑制微生物繁殖或直接造成其死亡，此部分並不需要完全分解微生物才能有抑制及殺滅的效果。再者 UV 光源對微生物照射後，可造成其 DNA 遺傳物質結構產生不可逆之破壞(特定鹼基型成 Dimer，破壞雙股螺旋結構)，可增加殺滅微生物的效果。

二氧化鈦 TiO_2 是目前半導體材料中使用最廣泛之光觸媒材料。就二氧化鈦粒子構造來看，當接受能量大於其能階差之光線激發(紫外光波長小於 380nm)，將帶負電荷電子從共價帶被激發至傳導帶，此時會形成電子在傳導帶，正電荷在共價帶形成電洞。傳導帶電子形成還原反應，共價帶電洞則形成氧化反應，因此在 TiO_2 光觸媒表面，進行反應性極強的氧化與還原反應。產生反應性極強的氫氧根(Hydroxyl Radicals)和超氧離子(Super-Oxide Ions)具有高活性，氫氧根比氯強 206%，比過氧化氫強 157%，故可殺死和分解致病之微生物成基本化合物如 CO_2 、 H_2O 。

(3)紫外光技術：紫外線波長介於 10nm~400nm，由此可知紫外光波長能量較高，且具有一定穿透力。因此在紫外光照射下，可破壞微生物的遺傳因子 DNA，進而阻止微生物之繁衍。

紫外線利用游離性的電磁輻射，主要作用於微生物的核酸、脫氧核糖核酸(DNA)、核糖核酸(RNA)等，導致其被破壞，對蛋白質等其他生化反應產生影響。若對 DNA 造成嚴重的損害，會使得細胞死亡，進而導致組織的損傷或死亡；對 DNA 較輕微的損害可以使細胞造成永久的改變，可能導致癌症，如果這一類的傷害發生在生殖細胞，會造成遺傳的改變即突變。波長介於 240~280nm 之間有殺菌的效果，屬於 UVC，具殺菌效果的紫外線釋放的能量比其他放射線(如~90 勺射線)來的低，因此對表面或固體物品穿透能力較差的，與~90 勺射線比較其殺菌效果亦較弱。

近代的工業生產的水銀燈管，90%以上所發射的紫外線波長為 253.7nm，因其具有最大的殺菌效力。紫外線對微生物的作用機轉是，核甘酸會吸收紫外線，特別是 253.7nm 的波長，而破壞微生物 DNA 結構，包括打斷磷酯鍵，暴露於高劑量的紫外線時 DNA 間發生交互鍵結，而破壞其原有功能。

紫外線-C (UV-C 253.7nm)對於為害人體的細菌、病毒、微生物...等，有極大的摧毀作用。一般經紫外線-C (UV-C)照射 1~2 秒鐘內就可達到滅菌的效果。目前紫外線-C (UV-C)已被證明能消滅細菌、病毒、霉菌、單細胞藻微生物。

一般應用的對象主要為對於殺菌有需求的地方，如醫院、空調統、實驗室、消毒

等。紫外線照射亦會對人體造成傷害，因此使用時須於無人空間。且紫外線的殺菌能力隨燈管照射距離而快速遞減，因此在應用上必須考量到所有需殺菌位置均能有效獲得足夠劑量的紫外線照射。

(4)成膜式微生物抑制技術：空調系統常常成為微生物污染室內空氣的重要因素，主要由於部分設計不良的空調系統中，在冷凍盤管或風管中常有潮濕的情形，而使得進入空調系統中的微生物在盤管上與風管中大量繁殖，最後大量的吹入室內環境中。而成膜式微生物抑制技術，使盤管與風管表面形成一層抑制微生物生長的保護膜，配合空調洗淨技術的配合，將可使空調系統回歸提供清淨空氣的途徑，而不是增加微生物污染的元兇。

5.3 揮發性有機物

1.源頭控制：揮發性有機物由建造物料、油漆粉刷、傢俱、化妝品、清潔劑、殺蟲劑、乾洗後的衣服、工作需要所使用的文具、影印機、印表機等機具及二手煙等多種不同源頭釋放出來；甲醛主要排放源是壓製木產品及其他裝修物料或特殊消費品如紙品及化妝品等。故避免使用高揮發性有機物/甲醛之產品為主要源頭控制之方法。

(1)選擇低污染建材：內政部建築研究所於 2004 年 7 月正式公告受理申請綠建材標章，將符合健康與環保要求的建材分類為 1.健康綠建材；2.生態綠建材；3.再生綠建材；4.高性能綠建材。其中「健康綠建材」即為低逸散、低污染、低臭氣的建材。故建議有需要使用建材時應選擇有「綠建材標章」之低污染建材。

(2)選擇低污染塗料/油漆：建議有需要使用塗料/油漆時應選擇「水性塗料」或內政部建築研究所發給之塗料/油漆「綠建材標章」。

(3)選擇低污染傢俱：選擇傢俱時，建議考慮實心的木製家具或室內裝潢，或選擇具有「環保標章」的木製傢俱(內政部建築研究所綠建材標章網站)。

2.淨化技術

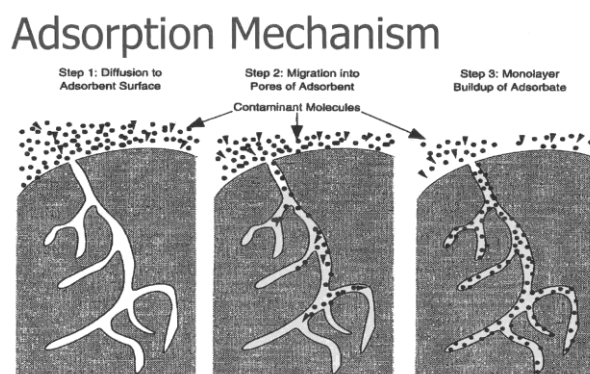
(1)吸收技術：吸收法為氣態污染物於廢氣與洗滌液接觸時，藉由分子擴散、紊流等質量傳送及化學反應等現象傳入洗滌液，使污染物質分離而去除，以達到淨氣的效果。

吸收可區分為物理吸收與化學吸收 2 種，亦可稱之為洗滌。化學吸收主要是利用吸收劑與氣體污染物產生反應而予以去除；而物理吸收主要是藉由氣體在液體中的溶解度，而達到去除空氣污染物的目的。通常化學吸收可藉升高操作溫度、壓力來增加反應速率，不過同時卻降低了物理吸收的速率；物理吸收在較低溫操作下可達到較佳的去除效果。一般而言，化學吸收可使污染物濃度趨近於零排放，而物理吸收只能把污染物濃度降低至某程度，因此化學吸收在某些氣體污染物的控制及應用上相當重要。常用化學吸收劑有：

- (A)次氯酸鈉溶液：次氯酸鈉吸收液之控制揮發性有機物具一定效果。處理高濃度時，次氯酸鈉溶液(有效氯)濃度約為 500~2,000 ppm；而處理較低濃度臭氣時，使用次氯酸鈉溶液濃度約 50~500 ppm。以各項氧化劑之性能言，次氯酸鈉最便宜，效果亦佳，最常使用。
- (B)二氧化氯溶液：二氧化氯溶液之反應機制與次氯酸鈉吸收液類似，作用濃度亦可參考，其控制揮發性有機物亦具一定效果。
- (C)過氧化氫溶液(雙氧水)：過氧化氫水溶液之反應機制具有相當強的氧化活性，與臭氧類似，因此極易與其他分子反應，然由於其自身分解為水之特性，可用為化學洗滌藥劑，以氧化揮發性有機物。當遇到細菌、黴菌或有毒化學物質及揮發性有機物時，都能立即產生氧化反應，分解有害物質，可用來淨化空氣或飲水之消毒。
- (D)亞硫酸氫鈉溶液：亞硫酸氫鈉可將醛類轉化為磺酸酯鹽(如 $\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{SO}_3\text{Na}$)而去除。

一般常採用之處理設備平台有化學洗滌塔及化學濾網 2 種，說明如下：

- (A)化學洗滌技術：與前述水洗除塵之水洗塔同，僅是將以化學吸收劑作為洗滌液，同樣常用之設計值參考前述。
- (B)噴灑式吸收反應技術：將化學吸收劑直接噴灑於空氣中，可中和污染氣體或是將污染物質包裹起來從空氣中消除。但使用此種技術需特別注意，由於在空間中的人員有可能會吸入化學吸收劑，因此其化學對人員毒性的研究便很重要。
- (2)吸附處理技術：吸附(adsorption)是一種發生在氣—固相或液—固相間的介面化學現象(圖 4)；固體利用本身具有之表面力，對流體中的物質產生親和力作用，使其附著於固體表面上。利用此現象，以使用內部比表面積較大的多孔性固體粒子(吸附劑)來分離氣體或液體混合物之操作，稱之為吸附操作。吸附為一放熱反應，且其效能隨溫度之升高而降低，故操作前應預先冷卻廢氣溫度以提高吸附效率。



資料來源：華懋科技

圖4 吸附機制示意圖

一般吸附劑都為多孔性之結構，有極大之表面積，可以吸附多量之各種不同氣體。以吸附原理處理 VOCs 或惡臭物質，一般常用吸附劑有粒狀活性碳、活性碳纖維或各種不同型式的活性碳為主。常用之活性碳依製造原料及其形狀的不同而區分為粉末狀活性碳、粒狀活性碳及纖維狀活性碳等 3 類；在氣體吸附之應用上則以後 2 者較為常用，其特性比較如表 2 所示；而粒狀活性碳與活性碳纖維優缺點比較如表 3 所示。因欲處理之廢氣成分可能極為複雜，故於吸附過程中，可藉活性碳之預行特殊含浸或表面處理，使吸附現象併含複雜的物理及化學反應，以達到去除 VOCs 或除臭效果。

表2 活性碳的分類及性質

性質	粒 狀 活 性 碳			活性碳纖維
	破碎碳	造粒碳	珠形碳	
原料種類	果實類	木質類 石碳類	石油類 (煤分)	木質素、煤渣
形狀	不規則	成型碳	珠 狀	纖維
大小	4~14mesh	4~6mesh	0.4~0.8mmφ	10~20μmφ之纖維
平均孔徑(Å)	20~40	10~40	—	15
填充密度 (g/cm ³)	0.4~0.6	0.35~0.6	0.5~0.6	0.04~0.05
外表面積 (m ² /g)	~0.001			0.2~0.7
比表面積 (m ² /g)	900~1,200			1,000~1,600
pH值	偏鹼性			偏中性
脫附時間	30~60min			5~10min

表3 粒狀活性碳與活性碳纖維優缺點比較

	粒 狀 活 性 碳	活 性 碳 纖 維
優點	<ol style="list-style-type: none"> 1.價格便宜(70~180元/kg)。 2.可充填於各式各樣的吸附槽。 3.有較好的吸附床利用率。 4.對於極性較強的吸附質有較佳的吸附效果。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.纖維極細，比表面積大、吸附容量高。 2.表面平滑不易脆裂、損耗小。 3.不純物及重金屬含量極少。 4.脫附速度快，回收溶劑品質高，特別是應用於氣系溶劑。 5.操作簡單、設備體積小且易於安裝。 6.受溫度影響較小。
缺點	<ol style="list-style-type: none"> 1.運送時易粉末化，吸附、脫附氣體時會耗損。 2.偏鹼性，脫附時易造成水解現象。 3.比表面積小，飽和吸附量較低。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.價格昂貴(1,000元/kg)。 2.結構較膨鬆，易生渠流效應，吸附床利用率較低。

不同之吸附劑可能適用於不同之吸附質，表 4 則為適合活性碳吸附處理之各類 VOCs 物理性質，可以作為吸附劑選擇之參考。吸附劑之選擇應考量如下：

表4 適合活性碳吸附處理之各類VOCs物理性質

有機物種類	沸點 (°C)	分子量	溶解性 (H ₂ O) ^a	可燃性	LEL (%vol) ^b
脂肪L類(Aliphatic)					
庚烷(Heptane)	98.4	100.2	No	Yes	1.20
己烷(Hexane)	68.7	86.2	No	Yes	1.20
戊烷(Pentane)	36.1	72.2	No	Yes	1.50
石油精(Naphtha)	142.0	—	No	Yes	0.92
礦精(Mineral Spirits)	194.0	—	No	Yes	<1.00
乾洗溶劑(Stoddard solvent)	193.0	—	No	Yes	1.10
芳香烴類(Aromatic)					
苯(Benzene)	80.1	78.1	No	Yes	1.30
甲苯(Toluene)	110.6	92.1	No	Yes	1.20
二甲苯(Xylene)	144.4	106.2	No	Yes	1.00
酯類(Ester)					
醋酸丁酯(Butyl acetate)	126.1	116.2	No	Yes	1.70
醋酸乙酯(Ethyl acetate)	77.2	88.1	Yes	Yes	2.50
鹵化烴類(Halogenated)					
四氯化碳(Carbon tetrachloride)	76.8	153.8	No	No	NF
二氯乙烯(Ethylene dichloride)	99.0	85.0	No	Yes	6.20
二氯甲烷(Methylene chloride)	40.2	84.9	Yes	NO	NF
四氯乙烯(Perchloroethylene)	121.0	165.8	No	NO	NF
三氯乙烯(Trichloroethylene)	87.2	131.4	No	NO	NF
四氯乙烷(Tetrachlorethane)	74.0	133.4	No	NO	NF
氟化烴(Fluorinated)	24~93	137~204	No	NO	NF
酮類(Ketones)					
丙酮(Acetone)	56.2	58.1	Yes	Yes	2.60
甲乙酮(Methyl ethyl ketone)	79.0	72.1	Yes	Yes	1.80
甲基異丁基酮 (Methyl isobutyl ketone)	114.0	100.2	Yes	Yes	1.20
醇類(Alcohols)					
丁醇(Butyl alcohol)	116.0	74.1	Yes	Yes	1.40
乙醇(Ethanol)	74.0	46.1	Yes	Yes	3.3
丙醇(Propyl alcohol)	96.0	60.1	Yes	Yes	2.10

a.不可溶≤ 1% wt

b.LEL=低爆炸界限；NF=不可燃

資料來源：Coutesy of Vic Manufacturing Co.

- (A)比表面積：比表面積愈大，飽和吸附容量愈高。
- (B)孔隙大小：孔隙愈小，單位比表面積愈大，吸附容量愈高。
- (C)表面所帶官能基及極性：在原活性碳表面是呈非極性，故對非極性的有機分子具有極高的親和力。但當活性碳表面被氧化物如臭氧、高錳酸鉀及氯等氧化時，則有一部份的表面變成非常的有極性，因為產生了含氧的官能基，產生了氫鍵鍵結致使吸附能力增強，但對非極性的有機分子之吸附容量則降低。

一般活性碳設備處理空氣之設計參數參考如下：(A)吸附斷面流速：0.2~0.5 m/sec；(B)停留時間：1~2 sec；(C)操作壓損：70~150 mmH₂O；(D)吸附效率：大於90%；(E)濕度：小於50%。

吸附性質依鍵結作用方式可區分為物理性吸附(physisorption)、化學性吸附(chemisorptions)與離子性吸附。

(A)物理吸附技術：物理吸附的材質通常是使用具有高表面積的多孔性材質，如分子篩與活性碳等，其中由於活性碳價格便宜取得容易，因此絕大多數的應用，皆使用活性碳作為物理吸附的材質。其原理是藉由分子間的靜電力或凡得瓦爾力(因本身質量所產生的引力)作用來捕捉氣體分子。

(B)化學吸附技術：化學吸附技術是專門用來對特定氣狀污染物進行反應，使污染物被中和、氧化或是被催化成無污染物質。具有反應快速、高選擇性與吸附不可逆等優點。其製備方法通常以活性碳、氧化鋁或是分子篩等高表面積材質作為載體，藉由將特定活性化學物質浸泡、化學鍵結或經過工藝處理成形製成複合材料。

3.光觸媒技術：光觸媒技術亦稱光催化作用，基本原理係利用半導體物質，如 TiO₂、ZnO 及 NiO 等，在受到適當波長的照射下，若光源產生之光子能量大於半導體能隙時，電子由價電帶(valance band, VB)激發至導電帶(conduction band, CB)，而形成電子-電洞對，圖 5 為光激發電子-電洞的基本示意圖。在 VB 失去電子後形成電洞，這個空缺需要一個電子來彌補，而在 CB，則須獲得一電子，以維持電荷平衡。電洞具有極高的氧化能力，在光觸媒顆粒表面的氫氧離子會被電洞氧化成 OH·，而 OH· 會從其他的有機物搶電子，被搶走電子的有機物會因為失去鍵結能力而降解成為更小的分子，如二氧化碳及水。

觸媒表面氧化後的自由基，在與氧氣或水等其他分子結合後，產生更具有氧化能力的自由基。許多反應性極高的自由基(radicals)亦可經由水分子或有機物與電子/電洞對間之相互反應而生成，這些高反應性自由基均會促使更多的氧化還原連鎖反應進行，同時也提供更多有機反應物被分解的途徑。光觸媒之主要功能及特點如下：

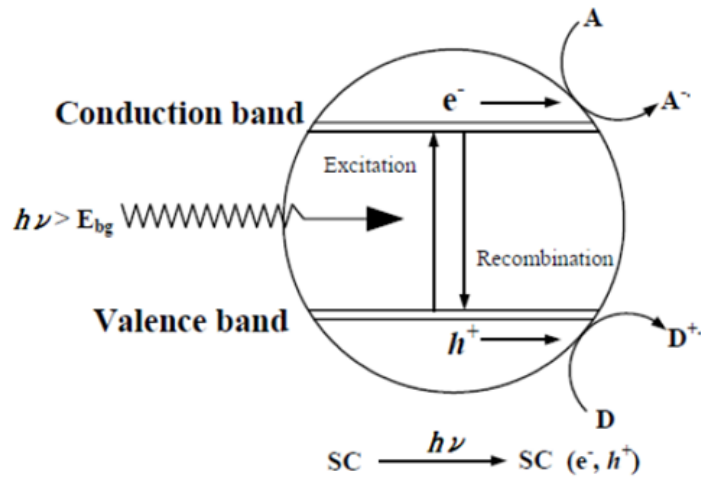


圖5 光觸媒激發原理

- (1)全面性：光觸媒可以有效地降解多樣污染物質，如：甲醛、苯、甲苯、二甲苯、氨、VOCs 等，並具有高效的消毒性能，能將細菌或真菌釋放出的毒素分解及無害化處理。
- (2)持續性：在反應過程中，光觸媒本身不會發生變化和損耗。在光的照射下，可以持續不斷的淨化污染物，具有時間持久、持續作用的優點。
- (3)安全性：無毒、無害，對人體安全可靠。最終的反應產物為二氧化碳、水和其他無害物質，不會產生二次污染。
- (4)高效性：光觸媒利用太陽能或光能就能將擴散的環境污染物在低濃度狀態下清除淨化，無須再使用其他能源。

故光觸媒作為一種新興的空氣淨化產品，主要有以下功能：

- (1)空氣淨化功能：對甲醛、苯、氨氣、二氧化硫、一氧化碳、氮氧化物等影響人類身體健康的有害物質有淨化作用。
- (2)殺菌功能：對大腸桿菌、黃色葡萄球菌等具有殺菌功效。在殺菌的同時還能分解由細菌屍體上釋放出的有害物質。
- (3)除臭功能：對香煙臭、廁所臭、垃圾臭、動物臭等具有除臭功效。
- (4)防污功能：防止油污、灰塵等產生。具有防止浴室中的黴菌、水銹、便器的黃鹼及鐵鏽和塗染面褪色等現象產生的功效。
- (5)淨化功能：具有水污染的淨化及水中有機有害物質的淨化功能，且表面具有超親水性，有防霧、易洗、易乾的效能。

影響光觸媒處理空氣之效率因子有：

- (1)光源波長：光催化劑的活性並非完全與光強度成正比，在較低光強度的 UV 光照射下，光催化反應速率與光強度的一次方成正比。但在較高光強度的 UV 光照射下，光催化

反應速率與光強度的 1/2 次方成正比。

(2)初始濃度：TiO₂ 光催化之機制為利用 OH· 將有機污染物氧化分解，而 OH· 會快速與目標物氧化，所以存在的時間非常短。因此吸附在 TiO₂ 表面之分子越多，能夠氧化數也相對增加，而污染物吸附在 TiO₂ 表面之濃度，跟反應物之初始濃度有關。因此不同初始濃度對反應速率會有不同的影響。

(3)觸媒特性：觸媒的種類、顆粒大小、比表面積、鍛燒溫度皆是影響光催化反應的重要因素。隨著鍛燒溫度升高，TiO₂ 之比表面積和孔隙度會逐漸減小。一般而言，顆粒越小，比表面積越大，會使得觸媒有更多的接觸面積，光催化效率也會更好。

4.植物盆栽處理：目前已有許多研究證實擺放盆栽可有效減少室內累積的多種 VOCs，而移除 VOCs 的能力與植物種類、時間、光度、污染物種類皆有相關，研究顯示一般辦公室進行試驗，當室內 VOCs 總濃度高於 100 ppb，放置盆栽可減少高達 75% 的 VOCs 總濃度。國外學者試驗 27 種室內植物，葉片吸收甲醛後，經由體內酵素代謝作用，將甲醛轉為胺基酸、醣類及有機酸(如圖 6)，並運移至莖或根部貯存，且光照下植物吸收甲醛的能力為黑暗中的 5 倍。

然而，放置盆栽不僅可經由葉片氣孔吸收與體內酵素作用減少 VOCs，亦有許多研究認為根群與土壤或介質中的微生物也扮演重要的角色。由此可知，包括植株、根系與土壤微生物的盆栽整體，為一個調節性的生物系統，可有效且持續吸收淨化有害氣體。

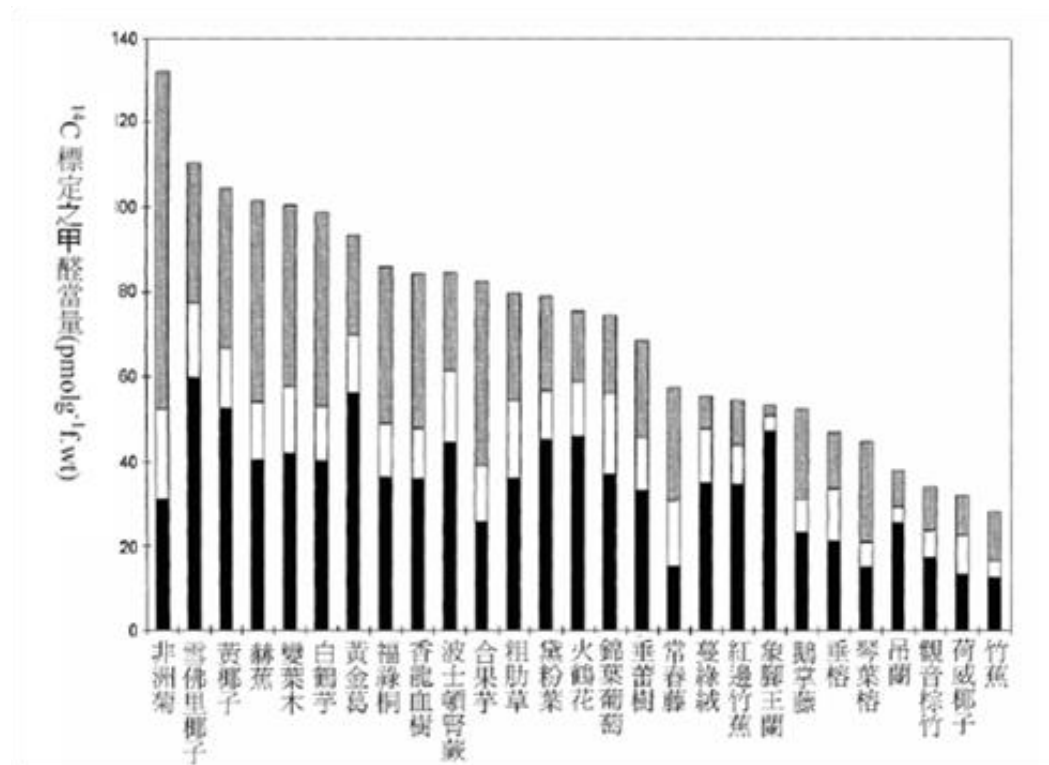


圖6 27 種室內植物代謝甲醛之能力(黑色:醣類；白色:有機酸；灰色:胺基酸)

植物移除 VOCs 初期速度較慢，但隨著體內移除 VOCs 機制被誘導，移除的速度可以隨著時間而增加。美國太空總署針對植物吸收密閉空間內 VOCs 之能力進行研究，結果建議室內每 2.7 坪(約 9 m²)的地板面積，即應放置一棵至少 6 寸盆大小的植物，可降低 VOCs，淨化室內空氣品質。

5.4 其他氣狀污染物

本類污染物較無發展特定處理技術，室內空氣品質不良多因通風環境不良而導致。通風換氣設備之改善，為控制本類物質之主要手段，既有建築物可透過二氧化碳或其他污染物之監控，若有發現污染濃度蓄積等不正常狀態，透過改善現有通風系統較為有效。

1.二氧化碳(CO₂)：除了改善通風加強換氣外，尚有種植綠色植物以減少二氧化碳濃度：

大部分綠色植物於光合作用過程中，吸收二氧化碳並固定為有機酸或醣類貯存，因此減少室內二氧化碳累積量。許多植物二氧化碳之吸收效率與光照度有關，如黛粉葉在室內採光良好的早晨其光合作用較強；虎尾蘭二氧化碳之吸收效率於夜間較佳，而強光下同樣可提升其對二氧化碳的吸收；部份仙人掌、蘭科植物進行景天酸代謝(CAM)，會於夜間吸收二氧化碳。國內研究單位針對 50 種常見室內植物，量測各植物對不同二氧化碳濃度的淨光合作用速率，顯示非洲堇、嫣紅蔓、波士頓腎蕨、印度橡膠樹、非洲菊、聖誕紅、心葉蔓綠絨、袖珍椰子、吊蘭、龜背芋、白鶴芋等室內植物，於環境二氧化碳濃度達 1,000 ppm 以上仍可進行光合作用，減少二氧化碳濃度。

2.一氧化碳(CO)：改善通風並加強換氣。

3.臭氧(O₃)：在一般辦公室工作環境下，臭氧濃度並不會超過該容許暴露值。然而，為了維護您的健康，建議您應注意定期更換事務機的濾網，注意影印室的通風，並建議將事務機應放置於距人們至少 1 公尺遠處。

六、結語

室內空氣污染之改善與控制，應考量評估適用環境、改善效率、成本(含維護)及能源消耗等等因素，首先需考量室內污染物特性及來源，包含污染物類型、物理狀態等。

惟有瞭解室內污染物之特性與其來源，方可針對室內空氣品質進行控制及改善，進而提高改善成效。而室內空氣品質改善可針對個案研擬單一或多項改善措施，改善措施可歸納為主動移除與被動移除，包含源頭減量、通風換氣與空氣清淨設施。而選擇最佳控制污染源的方法，無論是完全排除或改變污染性活動的位置等，可視特定情況的實際可行性和實施措施的成本來決定。

七、參考文獻

- 1.行政院環保署，「室內空氣品質管理法」，2011年11月。
- 2.行政院環保署，「室內空氣品質標準」，2012年11月。
- 3.行政院環保署，「室內空氣品質改善技術指引」，2006年12月。
- 4.行政院環保署，「室內空氣品質資訊網」，2014年。
- 5.舒活健康空氣(股)公司，「舒活健康空氣」網站，2014年。
- 6.經濟部工業局，「揮發性有機物廢氣減量及處理技術手冊」，2008年。
- 7.行政院環保署，「淨化室內空氣之植物應用及管理手冊」。
- 8.衛生福利部疾病管制署，「感染控制雜誌」第15卷第5期。