

漫談牙科醫療設施

壓縮空氣篇 (中)

葉昭良

上回談到壓縮空氣品質，這回我們來談提昇空氣品質的主要方法——過濾 (Filtration)。

(二)過濾的原理與發展沿革

於物質界來說，過濾就字面的意思很簡單，即是將物質，通過類似篩網之孔目，以除去不需之雜質。而實際上由於被濾物之不同，如氣體、液體、固體、電磁波……等，以及體積大小或狀態之差異，如壓力、流量、濃度、溫、濕度……等，再加上使用上的安全、方便、時效壽命，與經濟性，則變的十分複雜。例如氣體和液體過濾，所運用的原理，是大不相同。因為微粒子 (Particle) 在空氣中，與在水中，其行

為模式有著相當大的差異。液體過濾主要靠“阻擋”，而最新的空氣過濾技術則運用三種原理。今由於主題篇幅所限，液體過濾，日後再說，本篇只就牙科所用之壓縮空氣之過濾述之。

A、纖維式的濾清器

古早以前，人們既知道利用“阻擋”的原理，以大自然中的纖維，或人造的網目，製成“篩”以濾除雜質。然而對空氣中，那些肉眼看不見，摸或嗅不著的物質則根本毫無概念，直到科技進步後，透過各種儀器、設備，看見了那些微粒物質，並驗證了它們的嚴重影響，人們才想到努力研究出一種理想的過濾器。

上期談到空氣中的微粒含量及分佈圖，其中大於



圖一

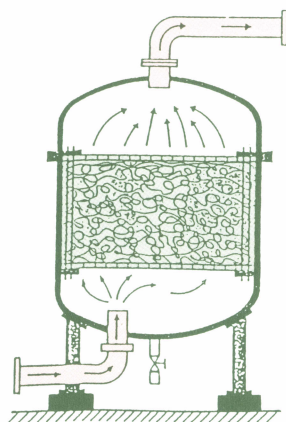
μm (micron) 的約佔 20%，這部份較容易以廉價濾材濾除（因為這種孔徑天然或人造之纖維較易取或製造），此即空氣過濾的第一原理；依“阻擋而捕捉”（Direct Interception）體積質量較大的，被纖維前進的顆粒。其主要發生在大於 $1\mu\text{m}$ 的顆粒。第二原理為“慣性碰撞”（Inertial Impaction）。小而輕的顆粒，會隨氣流而稍改變進行方向，這時設計適當的纖維直徑與排列方式及濾材的縱深，並前述較大顆粒之堆積，亦可捕捉到，當然其製造上難度較高。這主要發生於 $1\sim 0.3\mu\text{m}$ 的小顆粒。至剩下小於 $0.3\mu\text{m}$ 的微粒、微生物及油、水霧氣之排除，則相當困難（現有科技難以造出如此小的纖維），且又內阻力小，流量大），這就要運用第三原理“布朗尼運動”（Brownian Movement），極小而浮於空氣中的微粒、或微生物，由於週圍氣體分子運動，使得“淨力”不平衡而微粒呈現不規則運動。巧妙地運用此現象，加強微粒與濾材，或其它物質之碰撞機率，藉由凡得瓦爾力、靜電及真空吸力而牢牢抓住。（圖一）

長久以來“發酵”一直是個要求高度潔淨空氣品質的事業，我們不妨以它做一典範，以便說明壓縮空氣之精密過濾（Microfiltration）與超精密過濾（Ultrafiltration）的發展沿革。事實上“發酵”業就是“細胞培養”業。首先選取特定“菌株”；次而提供一個最佳繁殖環境，包括適當溫濕度、酸鹼度、養份與菌株呼吸不可少之潔淨空氣，並革除所有妨害正常繁殖的干擾和敵害，如雜菌、噬菌體、病毒等，以便菌株大量繁殖，來生產人們的所需——早期如酒類、乳類製品，爾後各種胺基酸、味精、酵素、抗生素、疫苗等莫不仰賴發酵科技，得以大量生產降低成本。

傳統以來，發酵業一直使用玻璃棉過濾桶，作為菌之精密空氣過濾設備。（圖二）它將直徑微細的玻璃纖維壓緊於「不銹鋼桶中，當壓縮空氣由下而上通過重重疊疊的纖維時，雜質和細菌即因阻擋、凡得瓦爾力、靜電及真空吸力而為纖維捕捉。繼而凝集逐漸成大顆粒或滴，而掉入桶底由閥排出。然而玻璃棉過濾桶有如下缺乏，常令業者頭疼不已：

1. 效率不穩：每位工人塞壓玻璃棉的技術、力道不同，對精密過濾效果影響至鉅。
2. 流量小體積大價格昂貴：為獲取小網目之濾菌效能，玻璃棉需緊密積壓並加長過濾行程濾材之縱深，因而使得氣體得以通過之自由空間不足 10%，其餘皆為濾材纖維所佔，為使達到需要流

圖二



玻璃棉桶

量，則體積不得不大增。

- (3) 使用上安全性差：玻璃棉易斷裂成小纖維，而阻塞管路，換裝費時且人員易過敏，或罹患呼吸器官疾病。
- (4) 使用壽命差：由於體積大，蒸氣殺菌不易，且蒸氣殺菌後易致纖維斷裂、位移，而使過濾失效。
- (5) 無法濾除噬菌體（約 $0.03\mu\text{m}$ ），甚至細菌也偶有過濾失敗。

直到 1963 年英國 Domnick Hunter 公司製造出第一支無菌空氣濾蕊，空氣無菌過濾才產生關鍵性突破。好比電子界的電晶體取代了真空管。其過濾基本原理仍同上述三項，重點是將“布朗尼運動”所致之捕捉效應發揮的更透徹。它以直徑小於 $0.5\mu\text{m}$ 的微細矽酸硼纖維取代玻璃纖維（直徑約 $7\mu\text{m}$ ），並經特殊機器軋研至特定程度（此為技術重點之所在），再以不銹鋼網捲壓固定，使纖維不致位移、斷裂。新式濾蕊體積小了 30 倍，而濾材中的氣流自由空間卻大增為 94%，此意謂者壓差小、流量大、壽命長，並有利於抑止捕集之細菌繁衍（菌絲類似植物根具攀緣性，長又密集之纖維，使菌有如著床於壤土，易蔓延繁殖），更重要的是，使用上安全、便利與價廉。接著更依據 HTM22 (Hospital Technical Memorandum Number 22) 之要求而設計出，絕對過濾精度 $0.01\mu\text{m}$ 之醫藥生化級超精密無菌濾蕊 BIO-X air Sterilisation element。不僅要通過細菌挑戰試驗 (Bacterial Challenge Test) 中之細菌濾除，更須進而符合于噬菌體 (Bacteriophage) 與濾過性病毒 (Viruses) 之濾除

要求；且能重複高溫蒸氣殺菌再生使用。超精密過濾
器 BIO-X 推出，使得氣體過濾從此邁入嶄新的紀元
，不只解決了製藥、衛生等之病毒、噬菌體的難題，
亦促使需要絕對乾淨氣體，以製造大型 IC 晶片的精
密電子業蓬勃發展。

繼 BIO-X 之推出，較經濟之工業。用超精密級
濾蕊 Oil-X 也應運產生。其過濾精度最高者亦為 0.01
 μm ，但其固定支撐為塑膠製，不適高溫殺菌。且濾
材纖維層較薄，菌絲繁殖後於高壓氣流下，細菌等微
生物之穿透機率較大。Oil-X 濾蕊主要功能在於濾除
壓縮空氣中，困擾已久的油、水等微粒含量至 0.01
PPM 以下，並為較精密昂貴 Bio-X 之前置過濾保護
備。

B. 薄膜 (Membrane) 式濾清器

薄膜過濾很早就為人們發現。1748 年，法國人
Abb'e Nollet。傳說他是位嗜酒的教士。某日將一瓶
喝剩一半的酒，以一張動物的皮 (Animul Skin)，將
瓶口塞好，藏入水缸。一段時日後，取出發現，瓶中
酒液增多，而缸中水卻無酒味。於是研究後發表了第
一篇有關滲透 (Osmosis) 的報告。(酒精分子較水分
子大，該皮膜微細網目，恰好只容水分子由濃度高的
缸水，進入水份濃度較低的酒瓶中) 進而誘使後人萌
生模仿細胞膜，來進行超精密過濾之觀念。然而薄膜
過濾之網目精度之發展並非全然依著由大至小的順序
。1944 年，二次大戰期間，荷蘭人 Willan J. Kolff
以玻璃紙 (Cellophane) 所製之薄膜，造出第一台人工
腎臟 (洗腎機)，其後矽酯 (Silicone) 和聚亞胺酯
(Polyurethane) 薄膜也被發展出做灼傷病患植皮。

二次大戰後，西德 Sartorius 公司造出 0.45 μm 孔徑
的薄膜，以濾飲水中的 Coli-form 菌，如大腸桿菌
(E. coli) 等。1950 年代，美國的 Charles E. Reid 曾
以 Cellulose Acetate 所製之半透膜來做海水淡化。
他以膜分隔海水與淡水，並於海水側施壓，迫使海水
中水分子透過薄膜，進入水分子濃度較高之淡水側。
此即所謂逆滲透 (Reverse Osmosis)。

然而薄膜用於高壓，大流量之壓縮空氣過濾，則
一直不甚理想，直到美國 Pall 公司的 Nylon66 與
PVDF 上市才有突破，可惜非常昂貴。1980 年代中
期，英國 Domnick Hunter 司又發展出精度 0.01 μm
流量較 PVDF 薄膜大 3 倍之 PTFE (鐵氟龍) 薄膜
濾蕊，且耐高溫殺菌，並可以方便價廉的儀器做完整
性試驗 (Integrity Test)，以供使用者測知該濾蕊
是否完好，有利保證無菌品質。經數年使用後，發覺
仍有些許缺陷有待改進，薄膜較纖維式濾材為脆。尤
其在不當地操作氣閥開關瞬間，造成之脈動衝擊壓，
易使薄膜破裂。

過濾精度與相關測試：

甲、試將現今過濾器依其網目大小及功用概略分類如
下表：

乙、過濾精度：

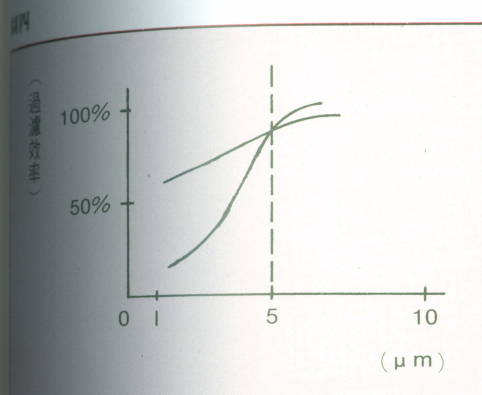
這確實是個令人困擾的問題；其原因在於有兩種
過濾率精度值。

①絕對精度 (Absolute Rating)：乃是指 100%
濾除所標示精度之顆粒，然對任一過濾器而言，幾乎
是個不可能且不實際的標準，因為 100% 是個無窮大
的理論值。因此世界公認以通過鈉焰試驗 (Sodium

圖三

等 級	過濾精度	適 用 範 圍
精密過濾 (微過濾) Microfiltration	10~0.1 μm 絕對過濾	酒、飲料、無菌水、藥品、空氣等
超精密過濾 (超微過濾) Ultrafiltration	0.1~0.001 μm 部份絕對過濾	洗腎、除熱原水、超純水，蛋白質 濃縮、廢液處理、無菌室或醱酵用 無菌空氣
逆滲透 Reverse Osmosis	0.001~0.0001 μm 非絕對過濾	海水淡化、超純水、酵素及抗生素 濃縮等

test)或D.O.P.試驗,即被認定為絕對過濾。
公稱精度(Nominal Rating);這是困擾的主
。公稱精度並無一個從業者的共同認定及遵行
。也就是說,甲公司把公稱精度訂在85~95%
。乙公司卻寧可訂在55~75%,悉聽尊便。換句
乙公司的 $5\mu\text{m}$ 可能等於甲公司的 $25\mu\text{m}$ 過濾
。甚至亦有下列情況發生,雖在 $5\mu\text{m}$ 顆粒之濾
。同為95%但其過濾功能有相當大之差異。



相關測試：

①英國 BS3928 鈉焰試驗 (Penetration on BS3928 Sodium flame Test)。此法為英國 Porton Down 之 Chemical Defence Establishment 所發展。其將食鹽水噴成霧狀,經乾燥後形成 $0.01\sim 2\mu\text{m}$ 大小之微粒懸浮於空氣中,將此氣體引向濾蕊,由濾蕊濾出端抽氣,供氫焰燃燒,如有食鹽微粒通過濾蕊接觸氫焰,則焰色改變,再經光學擴大器可判讀微粒穿透量。(非破壞性試驗)

②美國 Federal Standard 209B.D.O.P. Test 類油試驗的簡易新法,將 D.O.P.(DI-OCTYL-SEBACATE。一種合成油,類似沙拉油)噴成 $0.1\sim 0.3\mu\text{m}$ 佔多數之微粒,引向濾蕊。並抽氣至光學擴大器,即可判讀有多少油霧穿透濾蕊。(非破壞性試驗)

③細菌捕捉試驗 (Bacteria Retention Test)依據 ASTM Challenge Protocols。以 Pseudomonas diminuta (ATCC 1946)為 $0.2\mu\text{m}$ 之挑戰菌株;以 Serratia marcescens (ATCC 14756)為 $0.45\mu\text{m}$ 之

挑戰菌株。此種試驗主要用於液體無菌過濾之破壞性試驗。而氣體無菌過濾之破壞性試驗,則多採細菌挑戰試驗 (Bacterial Challenge Test)。此法為英國 Domnick Hunter 公司發展出來,其除了上述菌株外,再加上更微小的噬菌體,病毒等株體以氣體充入濾蕊以試驗過濾效率。現今已為世界公認標準之一,而液體亦有多採用此法之趨勢。

④HTM22 (Hospital Technical Memorandum number 22)其中對醫用真空吸引所用之過濾器效率有如下之規定：

醫用真空過濾器之效率應以 BS3928 Sodium Flame Test 為準。對於 $0.02\sim 2\mu\text{m}$ 之微粒濾除效率,須高於99.95%,且可行滅菌措施。若該系統有用於特殊傳染性病毒污染之虞時,其過濾效能更須提高至99.995%以上,且該過濾器須符合高壓蒸氣滅菌之標準。(另依據 Porton Down 的 Microbiological Research Establishment 的顯示,鈉焰試驗之穿透率小於0.001%,即表示細菌穿透的可能性小於0.00001%。

行筆至此,不幸正逢中部某工廠慘遭火焚,死傷眾多,傷者送醫後部份因缺乏有效設備,而多人相繼不治,實不勝唏噓。倘國內醫療機構能早日普設燙傷中心之無菌室設備,也許此回能多挽救數人的寶貴生命。再則醫療事業,以往一直以濟世救人的為善姿態面對社會,孰料不夠嚴謹的心態與作為,卻造成行為上或廢棄物(氣態、液態、固態、電磁或輻射波)去嚴重污染社會環境,於今亦漸為人們科技所發覺,而無所遁形。且大部份無色、無嗅之污染原,更易使人毫無警覺而遭受無法痊癒之傷害,尤有甚者為終日與之為伍的從業人員。吾人於不斷向外要求之餘,是否該自我省思了?

作者/南亞工專畢業,北醫校友眷屬

齒列矯正專科診所 誠徵住院醫師

- (1)專業齒列矯正 (2)有意任職三年以上
(3)手巧無經驗可 (4)積極、進取、具耐心

● 照片、履歷、在學成績資料

請寄:台北市仁愛路四段411號2樓 TEL:772-8939

務請先寄資料通訊聯絡