

# 美國醫療機構 結核菌感染防治措施指引（三）

譯自 Guidelines for Preventing the Transmission of *Mycobacterium tuberculosis* in Health-Care Facilities, 1994

林滿<sup>1</sup> 王復德<sup>1、2、3</sup>

<sup>1</sup>台北榮民總醫院醫院感染管制委員會 <sup>2</sup>內科部感染科 <sup>3</sup>國立陽明大學醫學系

## 附註3: 硬體工程的控制(續)

### 一、前言

### 二、空調

#### A、局部性的排氣空調設備

#### B、一般性的空調設備

(以上請參考本雜誌六卷五期第275頁)

#### C、高效能過濾系統

目的：去除空氣中的污染物質。

高效能過濾系統能使空氣濾淨，是標準空調中所建議採用的。為了達到目的，高效能過濾系統被定義為空氣濾淨的裝備，而且證實可有效去除直徑大於等於0.3微米的粒子，最少可達99.97%的效果。高效能過濾系統顯示可有效的降低*Aspergillus*芽胞（大小約1.5微米至6微米）達到適當的標準。高效能過濾系統證明可去除空氣中的結核菌，然而結核菌的大小可能是在直徑1~5微米之間（亦即將近和*Aspergillus*芽胞的大小相同），因此高效能過濾系統被期望可將空氣中感染物質去除。在空氣排出，重覆循環到醫療機構其他的地方，或在室內重覆循環之前，高效能過濾系統能先將空氣做濾淨處理。如果其設備不是完

全的被動（即利用如靜電學的技術），及靜電的分子功能衰退，無法有效的過濾達99.97%時，這樣的設備就不能使用於結核病隔離病室及具有傳染性結核病患執行醫療措施的治療室，以免造成空氣重覆循環又回到醫療機構內一般的空調系統。

高效能過濾系統能減少或去除室內空氣中欲排出的感染物質，裝置高效能過濾系統的方法有：(a)放在排氣管道，以去除欲排出空氣中的感染物質，無論是直接排出或經由空調設備排出；(b)放在室內的空氣欲排到一般空調系統中的排氣管道；(c)可做為固定式或可移動式的室內空氣濾淨器。可移動式的高效能過濾系統對室內空氣濾淨的效果仍未適當的評估，其效果可能有相當的差異。高效能過濾系統也可以使用在排除防護帳的空氣，或抽吸空氣進入房間的排氣管道或排出口。高效能過濾系統無論使用於何種用途，都應該小心的安裝及謹慎的維護，以確實地維持其適當功能。

室內空氣清淨機製造廠商應該提供高效能過濾系統過濾功能的證明，及此裝備降低的室內空氣污染標準效果的證明。

## 高效能過濾系統：

### 1、使用高效能過濾系統過濾網排出空氣

將隔離室及局部的排氣設備（如防護帳※密閉帳或被使用於引起咳嗽過程的防護罩）之空氣直接排出前，使用高效能過濾系統過濾是更加安全的方法。若排出的空氣不再回到通氣系統使用，就不必使用高效能過濾系統。使用高效能過濾系統過濾後之空氣可再回到原通氣系統使用。有許多例子指出，空氣不是直接排到外面，而是經由熱的再生裝置（如熱輪 *heat wheels*），一般是利用熱輪來降低空調系統運轉之浪費。假如某單位使用有再生熱裝置的通氣系統，通常也要使用高效能過濾系統。熱輪是轉換或去除空調箱內之蒸氣，因而高效能過濾系統須放在熱輪的上方，以免潛在性的內腔與排氣腔之間的破洞，及飛沫撞擊排氣渦輪，使其跑到供應氣體的空調箱當中。

### 2、經由高效能過濾系統過濾的氣體再循環到其他地區使用

根據美國各州政府或地方的法令規定，對於確定有結核病或疑似結核病患者的治療方式是將結核病隔離病室或治療室的空氣排到外面去，且此氣體不能再回到一般的空調系統當中。

但有些情況下，空氣再循環到一般的通氣中是無可避免的，（例如目前的通氣設備其結構無法完全的將空氣排出）。故高效能過濾系統須安置在排氣管道口，在空氣離開房間進入空調系統之前，去除具感染的微生物及飛沫。新蓋或翻修的醫療機構，其結核病的隔離病室及治療室之空氣，不可再循環到空調系統中。

### 3、高效能過濾系統過濾室內循環的空氣

當目前空調系統無法提供適當氣流、增加通氣量、提供有效的新鮮空氣或負壓系統時，須使用個別的室內氣體再循環系統。高效能過濾系統過濾網有幾種使用方法：(a)將高效能過濾系統置於空氣排出的管道上，空氣過濾後可再回到屋內使用（圖S3-5）。(b)高效能過濾系統安置於牆上或天花板上（圖S3-6）。(c)可移動式高效能過濾系統過濾空調系統。

以上前兩種是指固定式室內氣體循環系統，此高效能過濾系統是固定而無法移動的。

#### a、固定式室內再循環系統

固定式的高效能過濾系統過濾再循環系統是較佳的方式。室內排出的空氣經由一管道通過高效能過濾系統過濾再回到屋內。利用此法，可使一般無法達到最低氣體交換次數的空調設備，增加氣體的交換次數。且空氣不必受到限制，比一般的通氣系統有更高的氣流量。高效能過濾系統可置於牆上或天花板上，固定式比可移動式較易接受，因其可維持一較高的信賴度。

#### b、可移動式室內循環系統

當室內無一般的空調系統，或無法提供適當的氣流量或必須增加屋內有效的氣流時，可考慮使用可移動式的高效能過濾系統過濾空調系統。要使室內的空氣完全通過高效能過濾系統是困難的，因高效能過濾系統的效用受到房間的結構、傢俱、室內人數、高效能過濾系統放

置的位置、供氣及排氣口影響而有所差異。然而在不同結構的房子，或在一室內要變更放置位置，即可考慮使用可移動式高效能過濾系統。假如使用可移動式高效能過濾系統，須確保室內的空氣皆能經由高效能過濾系統過濾，有些市售的空調系統，因設計上的限制或氣流量的不足，而無法達到此要求。另外此系統在設計上或操作時，要確保室內的人們不會妨礙到此功能。目前可移動式高效能過濾系統其在肺結核感染控制上應扮演的角色，仍未被適當的評值。可移動式高效能過濾系統，其設計須能達到每小時氣體交換次數大於等於12、同時確保院內所有室內之空氣可充分混

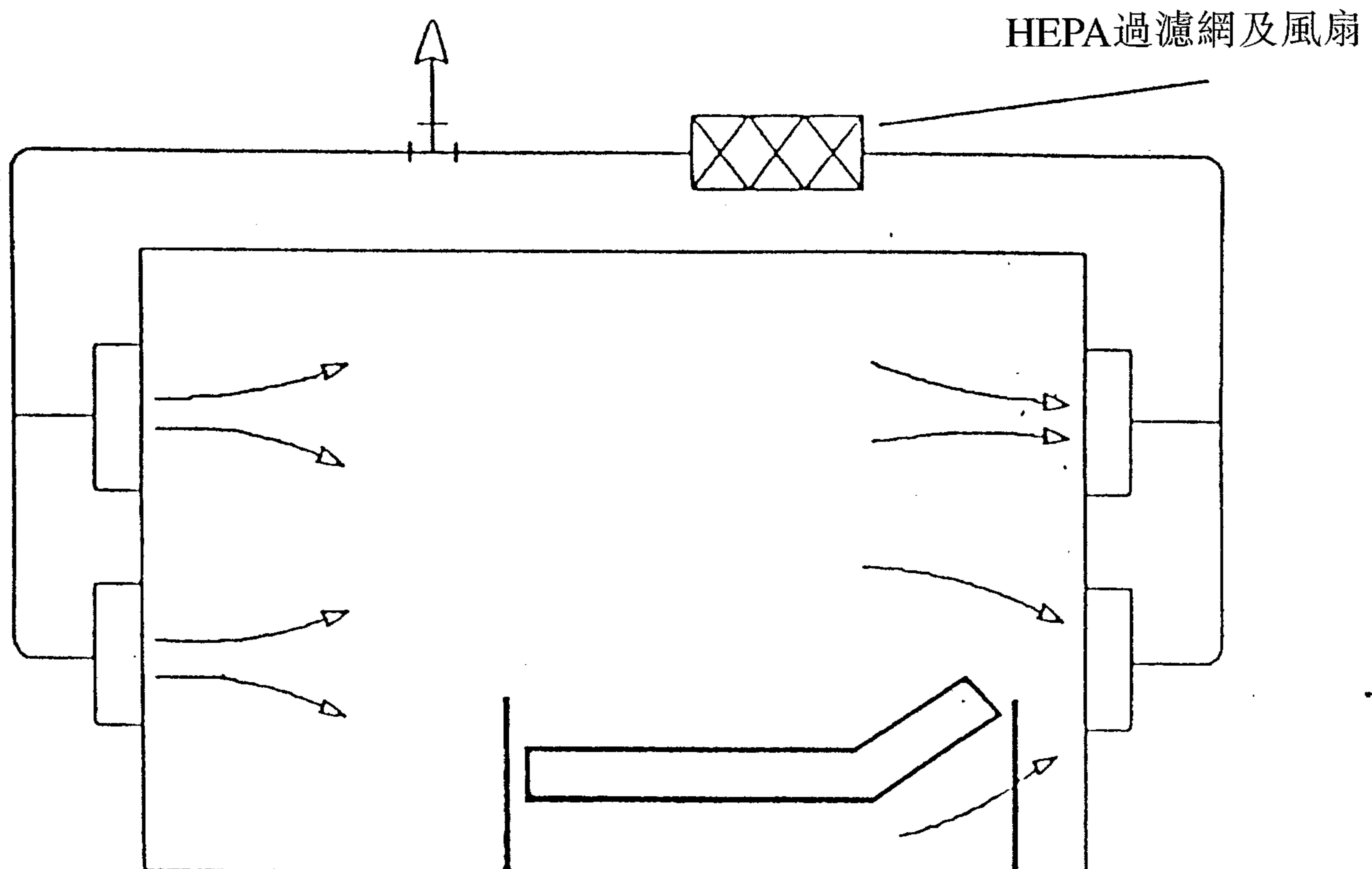
合，且不能干擾到目前的空調系統。有些在高效能過濾系統過濾後，再加裝紫外線燈來消毒過濾後的空氣，但仍不清楚其是否能減少污染的程度。

#### c、室內空調循環系統及過濾網的評值

要詳細且精確的評估屋內氣體再循環系統及過濾網，需要使用複雜的設備及長時間的測試過程，是非常不實際的。然而可以先前所說的以煙管來測得空氣流動的型態來評估室內的氣體混合，假如室內每一處的空氣皆流動的很好，此過濾網即能達其效用。

#### 4、高效能過濾系統的安裝、維護及監測 當使用高效能過濾系統時適當的安

若室內無通氣系統有10%的氣體因負壓而排出



\*此系統能增加室內通氣率

圖S3-5 固定的室內通氣管道再循環系統使用HEPA在通氣管道

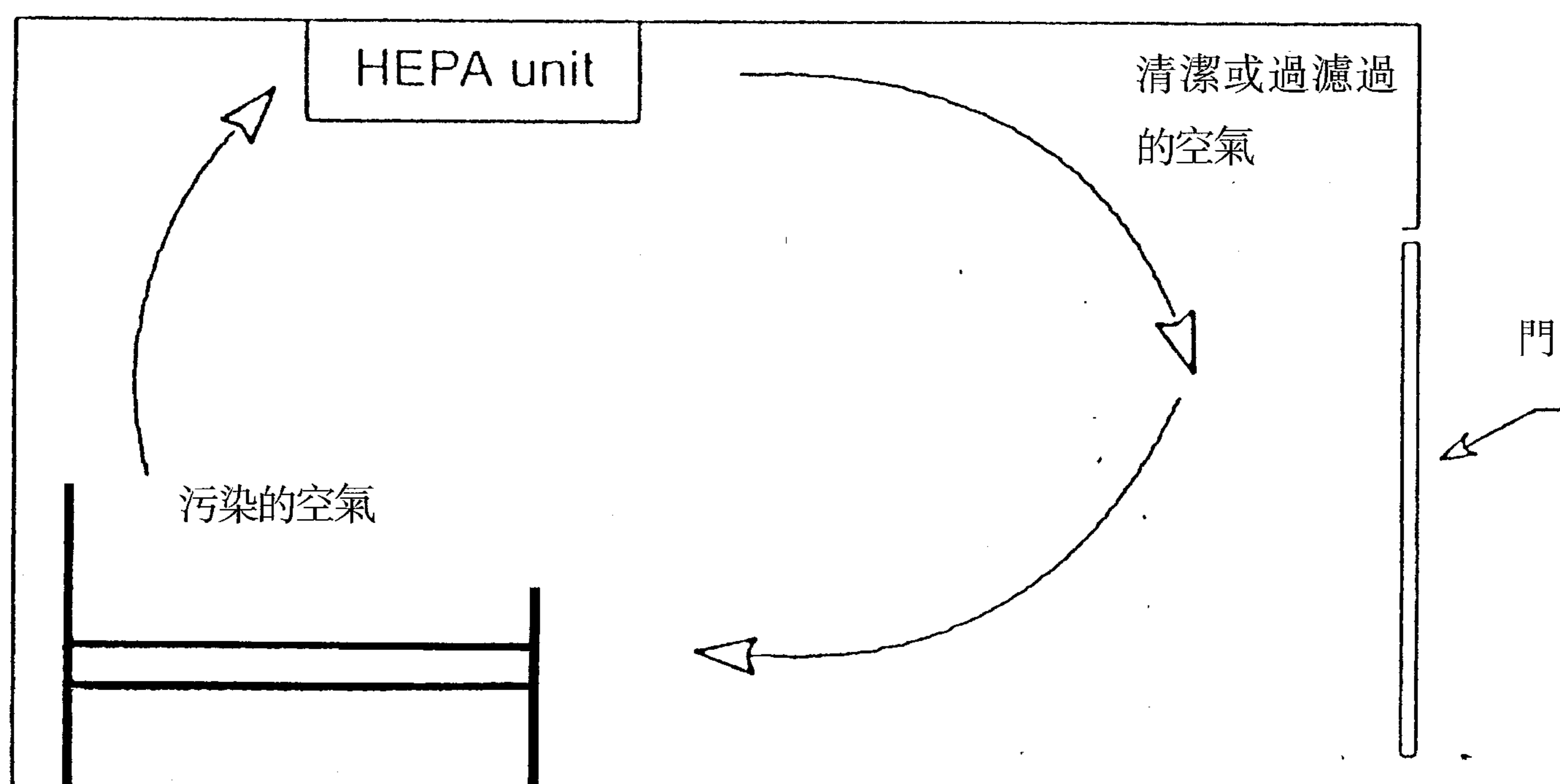
裝、測試及仔細的維護是非常重要的。特別是使用再循環的氣體到其他地方使用時，常因不當的設計、安裝或維護，使受感染的物質跑到循環的空氣及一般的空調系統中。高效能過濾系統需適當的放置，避免在其弧面、底面或框架間有漏洞。定期的維護是必要的，可測出高效能過濾系統有否漏洞或其負荷情形。漏洞情形的定量分析及過濾網完成的測試（the dioctal phthalate 《DOP》 穿透試驗），需在過濾網最初安置時即完成，且在每次更換或移動時亦要再做測試。無論在普通的場所或在含有結核菌的空氣中時（如結核病隔離病室），需每六個月作一次測試。

在過濾系統中安置一氣壓計或其他的壓力感受器，能提供一精確且客觀的決定是否需更換過濾網。安裝過濾器需維持不污染運送系統或安裝的區域。為了達到一

般感染控制目的，在拆卸或移動時，需特別注意勿震動或掉落零件。且需有適當訓練的人員，定期的維護，需包括安裝、移動及配置零件的過程。在完成維修及試驗的過程，需有適當的呼吸道保護。在過濾網至室內的管道，需清楚的標示“污染的空氣”（或一相似的警告）。當使用高效能過濾系統時，在其前面安裝一較低效能、可丟棄式的粗濾網，將會延長高效能過濾系統1/4的使用壽命。若可丟棄式的粗濾網是90%的延伸表面濾網，可延長高效能過濾系統9倍的壽命。其維護方法與高效能過濾系統相同。

#### D、結核病隔離病室及治療室

目的：將疑似有結核病的病患與其他人分開，經由各種設計方法，提供一減少飛核濃度、及避免飛核漏至走廊或其他區域。目前已發展出階層性（Hierarchy）的



\* 此系統能增加室內通氣率，HEPA置於室內由病人床尾至門口長度的前1/3之天花板上。

圖S3-6 固定於天花板的室內再循環系統使用HEPA

表S3-2 結核病隔離病室及治療室的階層性 (Hierarchy) 通氣法

減少空氣中結核病菌的濃度*	使用負壓引導氣流+
1.便利的加熱、通氣、及空調系統。(HVAC)	1.便利的加熱、通氣、及空調系統。(HVAC)
2.固定式高效能過濾系統。	2.由有固定式高效能過濾系統的屋內 流出空氣。※
3.置於牆上或天花板上之高效能過濾系統。	3.由有置於牆上或天花板上之高效率飛核過濾 系統的室內流出空氣。
4.可移動式高效能過濾系統。	4.由有可移動式高效能過濾系統之室內 排出空氣。☆
	5.經由窗戶頂端的風扇排出空氣。**

\*：通氣法常使用來減少空氣傳播結核菌的濃度，假如HVAC系統無法達到期望的通氣率，則需使用輔助的方法。紫外線殺菌法可作為任何通氣法的輔助空氣清潔。

+：使用負壓引導氣流可由便利的加熱、通氣、及空調系統或輔助性空氣再循環清潔系統來達成。

※：利用負壓移動回流的氣體。

☆：可移動式屋內高效能過濾系統的功能，因房子的結構、傢俱、屋內人數、及放置的位置、供氣及排氣口、可達到的通氣率及氣體混合狀況等之影響，而有不同。此需經設計或操作，來確定屋內人數不會干擾到，或影響空調系統的功能。在結核病房，固定式的高效能過濾系統比可移動式高效能過濾系統較被接受，因此在一般的結核病房皆使用固定式高效能過濾系統。

\*\*：此法簡單的達到暫時性的負壓。

空調法，用來減少飛核的濃度，且利用負壓來引導氣流。表：S3-2由最滿意排至最不满意，依隔離室的結構及空調系統的設備來做選擇。且需諮詢空調工程師。

### 1、避免飛核由室內漏出

結核病房因與走廊或其他地方相連接，故必須是單人房、負壓、且房門必須關閉（除非要進出此房間）。此房之通口儘可能密閉，然而在門底需有一1/8~1/2吋之空隙，作為控制氣流的路徑。適當的使用負壓，能有效的避免屋內空氣外流造成污染。

### 2、減少屋內飛核濃度

美國熱力、冷凍、及空調工程協會、美國建築師協會及健康資源服務行政部門，建議結核病隔離病室及治療室，可使用至少要有每小時6次空氣交換次數的小型過濾器。此通氣率是以舒適及氣味的控制來作基礎考量。

此層次的氣流效用在減少屋內飛核的濃度。但目前對於其減少空氣病原的傳播，尚未有直接或適當的評估。通氣率大於每小時6次空氣交換次數，能大大的減少屋內細菌的濃度，然而因無法算出一般通

氣層次的增加，故無法正確的評估細菌的減少量。

目前現存醫療機構之結核病隔離病室及治療室，皆有每小時大於6次氣體交換次數之通氣系統來減少飛核濃度。由調整或修改通氣系統或借由輔助方法（固定式高效能過濾系統或可移動式空氣清淨機），使氣流速率增加到大於每小時12次氣體交換次數。現新建或修改的醫療機構，需設計結核病之隔離病室達到大於等於每小時12次空氣交換次數的氣流量。

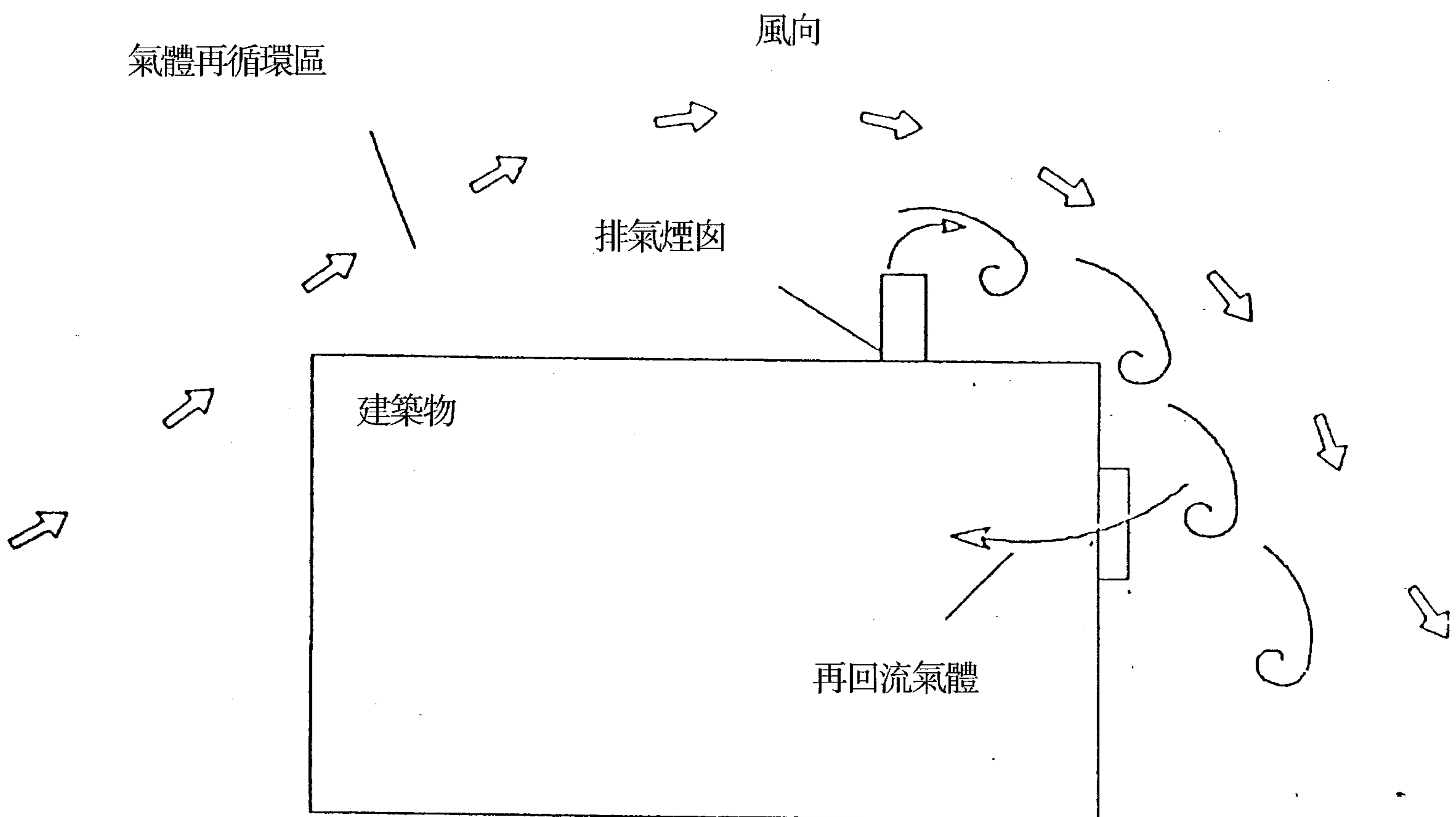
### 3、結核病隔離病室及治療室空氣的排出

依照美國聯邦及各州地方政府規定的環境責任，在結核病隔離病室及治療室被結核病菌污染的空氣，需直接排到院外。

且遠離人、動物、及空氣吸入機。排出的氣體不能滯留在附近的區域，會造成污染（例如靠近行人道或開著的窗戶）。通氣系統之出口需設計避免空氣的再進入。氣流吹過建築物，會產生高度不穩定的再循環區，易致排出的廢氣再回流到建築物內（圖S3-7）。故需在此不穩定區之上，適當的放置排氣管道。其設計要領在1989美國熱力、冷凍、及空調工程協會手冊已發展出，假如再循環的氣體由屋內跑到一般的通氣系統是無法避免時，即需使用高效能過濾系統過濾網。

### 4、結核病隔離病室的替代物

使用一負壓的環境亦可達到隔離的目的（如防護帳、防護罩或密閉罩套）。此可



\*氣體再循環區的高度是多變的，氣體的排出需高於此區才能避免排出的氣體再進入。

圖S3-7 因風吹過而產生的氣體再循環區

輔助性的使用在急診室、實驗室、治療區、及隔離室。

### 三、紫外線燈照射 (UVGI)

目的：殺死空氣中的結核病菌或降低其活性。

許多的研究證實，在實驗狀態中紫外線燈照射能有效的殺死結核菌、及減少醫院、軍營、學校的感染傳播。根據過去幾十年來的研究報告結果，及治療結核病的臨床醫師、微生物學家已發表了無數的研究報告，證實使用紫外線燈照射來殺死或抑制結核菌，在結核病的防治工作上是很重要的。紫外線係指光譜波長100~400nm之電磁波。為便於分類，紫外線的光譜分成三種不同波長的波段：UV-A（長波長320~400nm），UV-B（中波長290~300nm），UV-C（短波長100~290nm）。商業上，作為殺菌目的紫外線是低壓的水銀燈，其放射的能量在UV-C的範圍，最佳的波長為253.7nm。

#### A、應用：

紫外線燈照射可作為空氣消毒的輔助方法，有兩種系統可達到此目的：管道照射及室內上方空氣照射。

#### 1、管道照射 (Duct irradiation)

目的：在沒有人的情況下使用紫外線燈照射，抑制結核菌的活性。在管道照射系統，紫外線燈放在內側管道，以消毒屋內再循環使用前之空氣。當紫外線的管道照射系統有適當的設計、裝置、及維護，才會產生高層次的紫外線照射。只有在維護的過程中，人們才會暴露在此紫外線下。管道照射可使用在：

- 在結核病隔離病室或治療室，再循環

的空氣經由一管道，通過紫外線後再回到屋內。此種再循環的方法，可增加屋內的氣流，但不增加新鮮的空氣入屋內。

- 可作為其他的病房、候診室、急診室、及其他區域之設備。

管道照射系統須依照屋內的氣流型態，以確保室內的空氣均通過此管道。

#### 2、室內上方氣體照射 (Upper-room air irradiation)

目的：抑制室內上方的結核菌活性，同時可降低室內人員的暴露。使用有燈罩的紫外線燈懸掛在天花板或牆上，使紫外線往上照。此系統依賴空氣的混合，使經由紫外線燈照射過的空氣由上而下；未經照射的空氣由下到上。此紫外線燈照射的空間比管道系統大的多。紫外線要能有效的殺死細菌，主要靠著對流來達到空氣完全的混合。例如BCG在沒有提供通氣系統下，於室內是呈霧狀。在其他的研究以代理的細菌-*Serratia marcescens*，在通氣速率每小時6次氣體交換次數的通氣系統屋內即可被氣化。此生物的試驗報告證實，紫外線的效用相當於每小時10次及39次氣體交換次數。加上風扇或一些熱空氣循環的安排，能加倍紫外線的效能。加大通氣率會減少紫外線的照射時間，而降低其殺菌功能。紫外線與通氣率之間的關係尚不清楚。紫外線燈使用在走廊，能有效的殺死空氣中的*S. marcescens*。在門診使用紫外線能有效的減少14~19%的空氣菌落；然而紫外線燈照射無法減少gram-positive、rod-shaped bacteria的濃度。雖然能培養出快速成長的mycobacteria，但因培養基中fungus的過度繁殖，致*M. tuberculosis*無

法培養出來。室內上方紫外線燈照射可使用於：

- 隔離病室或治療室，可當作空氣清潔的輔助方法。

- 避免其他病房、門診、急診室、走廊等其他區域之結核病病患污染空氣。

影響紫外線的功能包括房子的結構、紫外線燈的位置、及適當的氣流型態；使空氣流向室內上方的照射區。由室內上方提供冷空氣，有利於與下方的熱空氣混合。天花板的高度須足夠使室內上方的空氣能被照射，且不會使工作人員及病患過度暴露在紫外線下。

## B、限制

因紫外線燈的臨床效用差異大，且若系統的功能失常或不適當的維護，易造成結核病菌傳播的危險性。故不建議在下列情況使用：

1. 假如由隔離病室出來的空氣須回流到其他地區使用時，不建議使用管道系統紫外線燈取代高效能過濾系統。
2. 不建議單獨使用紫外線燈取代高效能過濾系統，或防護帳、密閉帳套或防護罩。
3. 負壓系統不能由紫外線燈取代。

在單獨房間使用紫外線燈及高效能過濾系統，沒有比單獨使用高效能過濾系統有更好的感染控制效用。影響紫外線燈對結核病菌的效用，包括其強度、照射時間、及相對的濕度。紫外線燈在相對的濕度大於70%時，對*S. marcescens*的效用降低。這些彼此間的關係仍未完全被證實，故難以正確的建議個別的使用紫外線燈。最重要的是，舊的或灰塵覆蓋的紫外線

燈，其功能會受影響，故要注意其維護與清潔。

## C、安全的問題

短期的過量照射紫外線，會引起皮膚發紅及結膜性角膜炎。長期過量的紫外線照射，會增加皮膚的上皮及基底細胞致癌的危險。某些研究證實，UV-C可引起動物的皮膚癌；在體外的實驗證實，其能使DNA受損、染色體異常、及基因突變；在哺乳類動物的體內研究，其會使表皮細胞的DNA受損。故UV-C最近已被國際研究機構歸類於『對人類可能致癌的物質』。在動物的研究中，UV-B對腫瘤影響的反應是無法被排除的，且其影響比預期中更大。雖然目前的一些研究證實，在人類細胞的體外實驗，紫外線可活化HIV的生長基因，且此基因能促使病毒複製。但在人體內的實驗尚未被證實。

1972年職業安全健康協會，公布職業性暴露在紫外線下的建議暴露限制(recommended exposure limit; REL)。建議暴露限制是為避免工作者暴露於紫外線的急性反應(如皮膚發炎、結膜炎)。然而對光敏感者，及暴露在光活化物質的人員，則不適用。

工作人員在進行紫外線燈維護時，假如沒有按照適當的步驟，是很危險的。因紫外線固定於室內上方，而非置於管道中，很難達到及維持其安全性。設計及裝置紫外線燈必須確保暴露的工作人員、病患是在安全的暴露劑量之下。由CDC所作的健康危險評估，指出：工作人員過度暴露於紫外線燈下的後果及沒有適當的維護、訓練、標示、及使用個人的保護設備



所產生的問題。

目前有經過適當紫外線燈照射系統設計及裝置訓練的人，仍是有限的。CDC強調完整的紫外線系統設計，在採購及裝置前須諮詢安全標示的問題。須諮詢的專家包括工業衛生專家、機械工程專家、及健康生理學家。紫外線的安全固定裝置原則，已發展出且已被引用。假如紫外線燈已被普遍的使用，醫療人員的一般結核病教育須包括：

1. 紫外線系統的基本原則（如它們是如何運作及它們有什麼樣的限制）。
2. 過度暴露於紫外線下的潛在性危險及影響。
3. 光敏感反應的相關症狀與醫療措施。
4. 紫外線裝置的一般維護過程之重要性。

適當避免過度暴露於紫外線的濃度超過建議暴露限制。輕便的緊密編織紡織品，防晒係數大於15之保護設備，皆能保護對光過敏者。建議醫療人員，經過紫外線照射刺激到眼睛或皮膚，須經職業健康人員檢查。

#### D、於紫外線燈照射的暴露標準

職業安全健康協會的建議暴露限制，是依據紫外線的波長。因不同的波長對皮膚及眼睛產生不同的影響。關於光譜的效應（ $S_{\lambda}$ ）是以產生270nm波長，來作為比較標準，因此波長最易產生視覺敏感。例如在254nm之 $S_{\lambda}$ 是0.5，即表示2倍的254nm產生的能量對生物的影響，等於一倍的270nm所產生的能量。因此254nm在國際安全衛生機構之建議暴露限制是0.006焦耳/平方公分（ $J/c m^2$ ），而270nm之建議暴露限制是0.003 $J/c m^2$ 。

表S3-3 產生有效的放射線能所需最大的允許暴露時間

每天允許的暴露時間	有效的放射能 (E <sub>eff</sub> )( $\mu W/cm^2$ )
8小時	0.1
4小時	0.2
2小時	0.4
1小時	0.8
30分鐘	1.7
15分鐘	3.3
10分鐘	5.0
5分鐘	10.0
1分鐘	50.0
30秒	100.0

具有殺菌力的紫外線燈，其放射的能量中最佳的波長為254nm。適當的使用建議暴露限制設備，能測得百萬分之一瓦特/每平方公分（ $\mu W/c m^2$ ），有相當高的精確度。選擇各種有效的放射能（effective irradiance, E<sub>eff</sub>）其最大的允許暴露時間如表S3-3，或以其有效的放射能（E<sub>eff</sub>）除以0.003  $J/c m^2$ 作再校正。保護每天暴露於具有殺菌力的紫外線下8小時的醫療人員，其測得的放射線必須小於或等於0.2  $\mu W/c m^2$ 。此計算公式是以有效的放射能（表S3-3），再除以 $S_{\lambda}$ （0.5）。

#### E、維護及監測

##### 1、標示及運送

紫外線燈須貼上警告標誌，尤其是具高度殺菌力的放射線時（例如超過建議暴露限制），要警告其他修護人員或其他的醫療人員其危險性。如下例：

**警告**

紫外線能：  
要進到室內上方請先關掉紫外線燈

**警告**

紫外線能：  
請注意保護您的眼睛及皮膚

**2、維護**

紫外線的強度因其使用年限而逐年降低，故要定期的更換燈管。此更換日期的排定須依其使用時間長短的記載。燈管須定期清除其灰塵，因其會降低紫外線的照射。假如燈管髒了，必須等它冷了再以濕布擦洗；若其已停止發光、或已閃爍到一不滿意的程度，即應更換。維修人員無論要更換燈管或清除灰塵時，在進入房子的上方之前，即應關掉所有的燈管。因只要暴露在高度紫外線空間或管道中幾秒，即會引起灼傷。假如暴露超過建議的標準時，希望能穿上保護設備（如手套、護目鏡、及面罩）。紫外線燈管箱能安置於通氣管道。安全門（access door）的安全設計，能減少維護人員的傷害。對於管道的照射系統，增加安全門來維護紫外線，須有一檢視的窗戶（inspection window）；經由此窗戶紫外線燈可定期的清除其灰塵、及檢查功能的缺失。此安全門必須有

以各種語言標示的警告標誌；以警告他們直視燈管會造成的傷害。當門開著時，此門鎖須有自動的電子轉換或其他的设计來關起此燈。

有二種固定的室內上方照射系統：固定於牆上方的，使用百葉窗來阻擋往下照的放射線；固定於天花板上的，有一阻擋板阻擋燈管水平以下的放射線照射。任何一種固定式的紫外線管，皆不能從屋內的任何正常位置上看到。燈的開關儘可能鎖著，以預防在維修過程中，不小心轉動造成傷害。適當的遮蔽紫外線燈，能提供大部份的保護。但此放射線會經由玻璃、擦亮的金屬、高光澤的油漆反射而傷害屋內的人。故在紫外線屋內最好放置不會反射的物質。

**3、監測**

無論醫療人員、病患、或其他暴露於紫外線燈照射的人，皆應考慮定期評估其紫外線照射狀況。紫外線偵測器須設計能置於屋內每一個角落使用，且在254nm時最敏感。此設備亦須定期的檢查與維護。裝置新的紫外線燈，須由工業衛生專家、或其他製造紫外線監測器的人員，仔細測量出熱點（室內紫外線超過建議曝露限制的地方）。紫外線的照射層次，不能超過建議指引。