

負壓隔離病房微粒擴散模式及設計參  
數改良研究

**The Study on Optimal Design  
Parameter of Negative Pressure in  
the Isolation Room**

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所研究報告

負壓隔離病房微粒擴散模式及設計參  
數改良研究

**The Study on Optimal Design  
Parameter of Negative Pressure in  
the Isolation Room**

研究主持人：莊啓佑

計畫主辦單位：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

研究期間：中華民國 97 年 5 月 1 日至 97 年 12 月 31 日

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

中華民國 98 年 3 月

# 摘要

負壓隔離病房內有關通風方面之建造指引與設計規範，包括供排氣口位置、供排氣風量差異、每小時換氣次數以及負壓值等，至今許多國家已有了明確的規定。其中，以控制角度而言，負壓之目的在於避免具有感染性生物氣膠自房內向病房外擴散，造成院內感染。而在既有之供氣量以及供排氣風量差異條件下，門縫開口大小為控制負壓值的重要因素。但是，在建造病房過程中對於門縫開口大小未有明確之規範，而造成實際施工時無從參考，需利用嘗試法加以決定。

為了提供未來建置與改善病房實務上之依據，本研究利用一座具有供排氣風量可調式獨立通風系統以及可改變體積大小的暴露艙，來模擬無前室之負壓病房，獲得不同體積大小與每小時換氣次數條件下，以負壓值達到 8Pa 需求為前提，進行所對應之門縫大小之實驗。在經過暴露艙氣密處理以及通風系統測試（包括供排氣風量校正以及與供排氣機頻率關係建立，供排氣量穩定性測試），確定轉速頻率與風量之關係其相關係數均達 0.99 以上，通風系統供排氣量誤差值與穩定性測試之變異係數皆小於 1%後，進行本研究。結果發現，負壓值隨著門縫高度增加而減少，門縫高度達到特定範圍後其負壓值下降趨勢較為平坦，甚至接近無壓差狀態。在固定門縫高度下，每小時換氣次數越小其負壓值也越低；而且在本次實驗的三個體積條件下(45.38m<sup>3</sup>、36.93m<sup>3</sup>、28.47m<sup>3</sup>)，每小時換氣次數為 4 次，於可量測門縫高度最小值 0.2cm 時，都無法達到 8Pa 的負壓值。因此可知，欲達到負壓值至少 8Pa 的要求下，每小時換氣次數至少需大於 4 次以上，或是將排氣量與供氣量差異調整大於目前所建議的 20%。利用本次研究之數據，亦推導出開口面積推估模式，作為未來建置負壓隔離病房實務上的應用。藉由本研究之結果，可提供施工者在設計與建造負壓隔離病房時之參考。

關鑑字：負壓隔離病房、負壓、門縫高度

# Abstract

The location of air supply and exhaust, differential of supply and exhaust air, air change per hour and negative pressure have been proposed in the specification of negative pressured isolation room. The purpose of negative pressure is to prevent virus from spreading out. The doorway size is an important factor on negative pressure. However, the doorway size is never suggested before. The aim of this study is to investigate the effect of doorway size on pressure difference under different room sizes and air change rates. A volume adjustable chamber with independent operation ventilation system was used to simulate negative pressured isolation room without anteroom. By changing doorway size, the corresponding negative pressure could be measured under different room size and air change per hour (ACH). It was found that the negative pressure decreases with the increasing doorway size, and reaches to zero when the doorway size is large enough. When the doorway size is fixed, the pressure difference decreases with ACH. The room size ranging between  $27.47\text{m}^3$ ~ $45.38\text{m}^3$  and doorway size at minimum (0.2cm), the pressure difference is always smaller than 8Pa as ACH is equal to 4. Therefore, to maintain negative pressure is equal to 8Pa at minimum doorway size of 0.2cm, the ACH is required to be greater than 4, or increasing the exhaust air at least 20% greater than supply air. The model of doorway size was also developed by using the experimental data. The results provide useful information for future design and improvement of negative pressured isolation ward.

**Key Words:** negative pressured isolation room, negative pressure, doorway size

# 目錄

摘要.....	i
Abstract.....	ii
目錄.....	iii
圖目錄.....	iv
表目錄.....	v
第一章 前言.....	1
第一節 背景.....	1
第二節 問題探討.....	4
第二章 研究方法及實驗步驟.....	5
第一節 暴露艙建置.....	5
第二節 獨立供排氣系統.....	7
第三節 轉速頻率與供排氣風量關係建立.....	8
第四節 供排氣風量準確性與穩定性測試.....	9
第五節 實驗條件設定.....	9
第六節 門縫高度對應負壓值實驗.....	10
第三章 結果與討論.....	13
第一節 通風系統準確性與穩定性測試結果.....	13
第二節 門縫高度對應負壓值.....	15
第三節 門縫開口面積推估模式.....	21
第四章 結論與建議.....	23
誌謝.....	24
參考文獻.....	25

# 圖目錄

圖 1 研究架構.....	6
圖 2 暴露艙設計結構.....	15
圖 3 暴露艙洩漏與氣密處理.....	15
圖 4 供排氣機變頻馬達.....	16
圖 5 供排氣口尺寸.....	16
圖 6 風量計(Model 8375, TSI, USA) .....	17
圖 7 門縫調整所使用之不同厚度墊片.....	19
圖 8 門縫高度設定.....	19
圖 9 壓力量測位置.....	19
圖 10 壓差計(Model 400, Testo, Germany) .....	20
圖 11 供氣風量與供氣機頻率關係.....	22
圖 12 排氣風量與排氣機頻率關係.....	22
圖 13 負壓值與門縫之關係(大體積, $V = 45.38\text{m}^3$ ).....	26
圖 14 負壓值與門縫之關係(中體積, $V = 36.93\text{m}^3$ ).....	26
圖 15 負壓值與門縫之關係(小體積, $V = 28.47\text{m}^3$ ).....	27
圖 16 門縫開口面積推估模式.....	28
圖 17 門縫開口面積推估模式實務應用流程.....	29

## 表目錄

表 1 各國對於負壓隔離病房壓差與每小時換氣次數要求之比較.....	3
表 2 可調整式暴露艙之六種不同體積尺寸.....	6
表 3 各實驗條件下之供排氣風量(單位： $\text{m}^3/\text{min}$ ).....	10
表 4 供氣風量準確性及穩定性測試結果(體積 $V = 45.38\text{m}^3$ ).....	13
表 5 排氣風量準確性及穩定性測試結果(體積 $V = 45.38\text{m}^3$ ).....	14
表 6 大體積不同 ACH 下，門縫高度對應負壓值與標準差(單位：Pa).....	17
表 7 中體積不同 ACH 下，門縫高度對應負壓值與標準差(單位：Pa).....	17
表 8 小體積不同 ACH 下，門縫高度對應負壓值與標準差(單位：Pa).....	18
表 9 負壓值 8Pa 對應之門縫高度範圍整理(單位：cm).....	18

# 第一章 前言

## 第一節 背景

在醫療院所中對於以飛沫及空氣等傳播途徑之具有高度風險的傳染性疾病(如肺結核、SARS等)，一般是利用負壓隔離病房來收治病患進行醫療相關工作，並期望藉由隔離區以及隔離病房之特殊設計，將污染源限制在某一特定區域範圍內，以達到保護相關醫療人員及避免造成大規模院內感染之目的。在民國九十二年以前，我國的負壓隔離病房大多數使用於收治患有肺結核病之病人，其性能要求僅止於負壓，但完整之負壓病房性能要求以及因應各必要性能要求所需之細部設計，卻較少被仔細並完整地研究與探討。自民國九十二年遭遇前所未見的新興傳染性疾病「嚴重急性呼吸道症候群」(以下簡稱 SARS)威脅時，因舊有之隔離病房未能提供完善之隔離功能，以及感控或醫療操作方面疏失，使醫療院所也成為主要的感染環境，造成多位醫護人員在照護病患時不幸遭受感染而殉職。根據資料顯示，總病例數中約有 90% 為院內感染，由此可知造成病例數暴增主要原因是以院內感染為主(行政院衛生署疾病管制局, 2003)。所以各項醫院硬體設計除應滿足所需具備之醫療功能外，也必須降低醫護從業人員遭受感染之機會。

負壓隔離病房主要目的為避免攜帶病原體之生物氣膠經由門縫、空調系統管路或其他縫隙逸散至外界，以保障病房以外其它未受感染的醫療人員及病患，免於造成更嚴重的大規模院內感染。其設計主要是引用安全衛生領域將污染源(病原體)隔離之概念，避免病原體擴散。因此有關通風系統方面的技術性要求包括供排氣口位置、每小時換氣次數(Air change per hour, ACH)、供排氣風量差異以及負壓值等[10][12]。根據相關研究指出，病毒在房內擴散後，房內氣流型態設計上以平行流對於污染物排除或控制的效果較好[7]。此外，也有研究指出排氣口設置於較低處，其效果比設於天花板較好[6]。綜合上述結果發



現，通風系統供排氣口最佳配置應為供氣口略高於排氣口，而且成直線配置以達到有利流場。因此在我國負壓隔離病房及美國疾病管制局對肺結核隔離病房設計指引中，建議負壓隔離病房內部通風配置基本設計應該是進氣口由病房門口上方供氣，排氣口設置於靠近病床附近進行排氣。關於進氣口高度則需稍高於排氣口，排氣口中心之高度亦稍高於病床的床面，而且進、排氣口應分別設於病室空間對邊或對角位置，使其成直線配置以達到有利流場[3]。而每小時換氣次數要求的目的，主要是引用工業通風中整體換氣之觀點，利用空氣的置換以達到排除病原體之目的，並具備傳統上從冷凍空調方面所考量，提供病房內新鮮空氣與符合病患舒適度需求。此外，進氣量的設定亦需搭配病室氣積的大小，才能符合每小時換氣次數之規定。目前依照我國負壓隔離病房設計指引之建議，在每小時換氣次數方面，病室內 ACH 至少需達 8~12 次以上[15]。此外，負壓值需求之著眼點在於避免具有感染性生物氣膠自房內向病房外擴散，造成院內感染。為達此負壓目的則必須利用供氣量少於排氣量之操作，而排氣風量與供氣風量之差異是藉由病房外經門縫進入病房內之空氣氣流所提供，使病房內的空氣壓力必須維持低於週遭環境一定程度，以達到負壓的需求。而病房門寬方面要求至少需寬達 1.2 公尺以上，方便讓病床出入[13]。但是相關機構對於門縫高度卻未有建議規範，過大的門縫開口面積，將造成負壓值之實現困難[11]。而我國對於負壓隔離病房負壓值的要求方面，目前設定為病室內與週遭環境至少需維持 8Pa 之負壓值；如有前室設置，則需要達到病室對前室加上前室對走廊之負壓值總和達 8Pa 以上。此外，我國、美國建築技師協會與世界各國[1-5][8-9][13-15]對於負壓隔離病房壓差與每小時換氣次數亦有所規定，詳細規定整理如表一所示。

表 1 各國對於負壓隔離病房壓差與每小時換氣次數要求之比較

	台灣	美國 CDC(2005)	美國 AIA(2006)	英國	澳洲	加拿大	日本
負壓條件	病室相對於走廊至少達-8Pa	病室相對於走廊至少達-2.5Pa	病室相對於走廊至少達-2.5Pa	需維持負壓，且氣流由走廊流進病室	病室相對於走廊至少達-30Pa	需維持負壓，且氣流由走廊流進病室	需維持負壓，且氣流由走廊流進病室
					病室相對於前室至少達-15Pa		
					前室相對於走廊至少達-15Pa		
病室每小時換氣次數(ACH)	8~12(浴室及前室至少 6)	既有病室：≥ 6 新建病室：≥12	≥12	6~12	≥12 或 145 L/s (522m <sup>3</sup> /hr)	6~9	6~12
排氣與供氣風量之差別	排氣量比供氣量多 20%	排氣量比供氣量多 125cfm	N/A	排氣量比供氣量多 10%或 50cfm	N/A	排氣量比供氣量多 10%或 50cfm	N/A

註：N/A 表示未規定。

## 第二節 問題探討

近幾年來，衛生署針對全國負壓隔離病房每年皆進行查核以及輔導工作，根據查核結果以及各醫療院所反應，歸納出下列幾點發現：

1. 施工設計以及相關使用人員對於負壓隔離病房設計與目的沒有充分了解，致使部分病房在建造過程相關實務上(例如需留有門縫而非完全緊密)誤解，並無法真正符合要求，進而造成後續使用上之困擾。
2. 負壓隔離病房雖有負壓值，換氣次數以及必要設備等指標有具體的規定或建議，但是對於病房內的氣流型態以及排除效果等量化性能指標仍然欠缺，以致於不確定其性能效果。
3. 雖然已知負壓值大小要求，以及需利用經門縫處提供部分供氣量始成負壓之原理，但對於多大之門縫才可達到要求之負壓值並無任何概念，導致需不斷嘗試錯誤或乾脆增加排氣量來解決。但由於負壓隔離病房通風換氣採獨立系統設計，增加排氣量則造成各醫療機構營運成本很大的負擔與抱怨。
4. 多數醫院負壓隔離病房大小並未完全一致，因此除了考慮提供每個病室不同供氣以及排氣量，以達到每小時至少 8~12 次的換氣次數外，更需同時兼顧調整不同病室門縫高度以符合負壓值之要求，但卻無相關可參考之依據，造成極大之困擾。

針對上述第 1、3、4 點之發現，在建造病房過程中對於門縫開口大小未有明確之規範，而造成實際施工時無從參考，甚至導致後續成本增加之負擔。因此本研究將針對不同體積大小之病室，在不同換氣次數條件下，欲達到 8Pa 負壓值所對應之門縫大小要求加以探討，以提供未來建置與改善病房實務上之需求。

## 第二章 研究方法及實驗步驟

爲了針對門縫大小對負壓值影響進行探討，規劃之架構如圖一所示。首先將建置一座具有獨立且可調整供排氣風量之通風系統，以及可改變體積大小的暴露艙，來模擬無前室之負壓病房。經過氣密處理確定無洩漏之後，進行通風系統中供排氣機轉速頻率與風量關係之建立，風量準確性以及穩定性測試後，根據設定之各種不同暴露艙體積與每小時換氣次數等條件，執行不同門縫大小下所對應之負壓值之實驗。以下針對各部分逐一加以介紹。

### 第一節 暴露艙建置

本研究之環境暴露艙係由 2mm 厚的不銹鋼板內襯 5cm 厚的 PU 泡棉構築而成，具有防火、絕熱、保溫之性能。暴露艙如圖二所示，內徑之寬度與高度分別爲 3.48m 與 2.7m，而長度由 5 片寬度 0.9m 與 1 片寬度 0.45m 可拆式板所構成。由於兩端需做垂直式接合，決定前後皆採用寬度 0.9m 可拆式板，因此該 2 片可拆式板構成艙體之實際內部寬度均爲 0.84m；也就是此暴露艙之最大長度爲 3 片寬度 0.9m，2 片寬度 0.84m 與 1 片寬度 0.45m 所建構，內部總長度則爲 4.83m。除了需做垂直式接合兩板爲必要架構外，可隨意調整是否裝設另外 3 片寬度 0.9m 與 1 片寬度 0.45m 之可拆式板，以組合成不同體積大小之暴露艙。根據上述設計與考量實際病房空間之合理性，本暴露艙可提供 6 種病房長度，搭配前述之固定寬度(3.48m)與高度(2.7m)，如表二所示總共可以建構 6 種不同體積大小。

門的部分，高度與寬度尺寸分別爲 2.14m 與 1.07m，使用推拉式的開啓方式，並安裝緊急開啓裝置以防止內部發生意外。在門底部預留離地 0.2cm 到 2.6cm 之可調範圍高度，以提供不同門縫開口大小從事實驗用途。天花板部分，設立三個不同位置之開口，每個開口面積大小均爲 0.1m\*0.1m，作爲裝設照明設備、引入電線插頭供內部使用以及裝設壓力測定所需管線，亦預留未來其他

研究之需要。在上述三個開口以及每一片可拆式板接合處可能產生圖三(a)所示之洩漏情形，因此均使用不透氣膠帶，將接合處如圖三(b)所示作氣密處理，以防止暴露艙室內有洩漏產生。

表 2 可調整式暴露艙之六種不同體積尺寸

	體積一	體積二	體積三	體積四	體積五	體積六
高度(m)	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
寬度(m)	3.48	3.48	3.48	3.48	3.48	3.48
長度(m)	4.83	4.38	3.93	3.48	3.03	2.58
體積(m <sup>3</sup> )	45.38	41.15	36.93	32.70	28.47	24.24

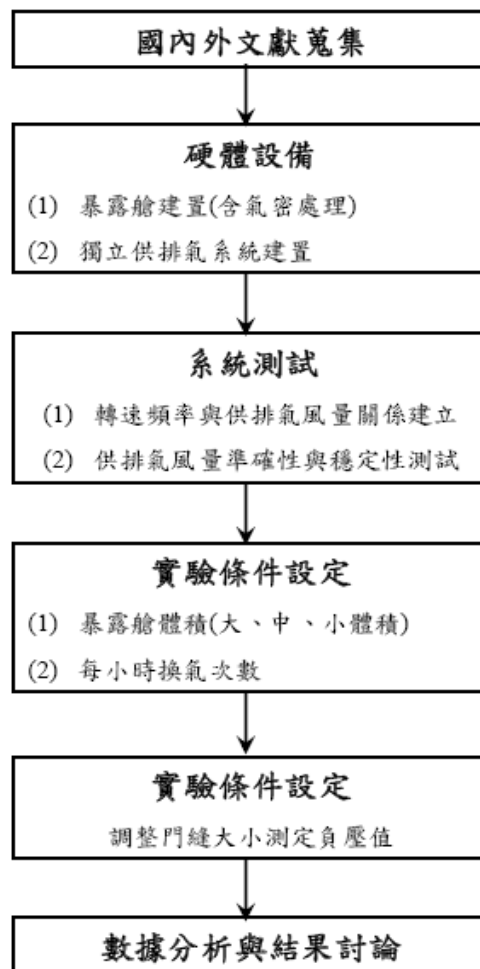


圖 1 研究架構

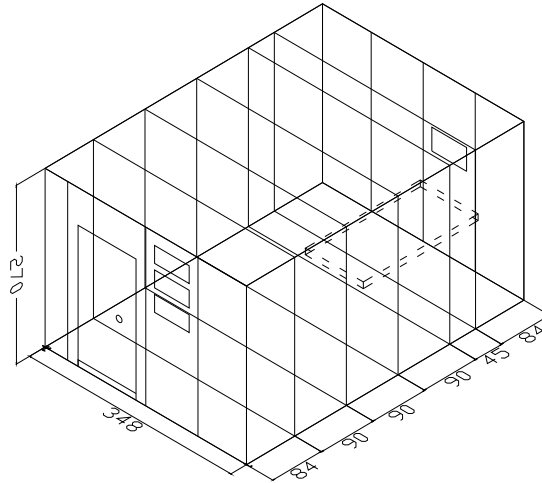


圖 2 暴露艙設計結構



(a)有洩漏



(b)氣密處理

圖 3 暴露艙洩漏與氣密處理

## 第二節 獨立供排氣系統

暴露艙之通風系統由獨立供排氣系統各一套所組成，如圖四所示透過變頻馬達(全風機電 CX-150)來調整頻率(0~60Hz)以控制輸出風量(0~17.1 m<sup>3</sup>/min)。供氣口在艙室之開口大小如圖五(a)長 0.96m\*寬 0.6m，而長度為可調整式；排氣口大小圖五(b)長 0.33m\*寬 0.6m，長度與寬度皆為固定式。供氣口部分所引入之新鮮空氣經由三道處理手續，分別為初處理、中處理及 HEPA 處理後再送入暴露艙內，以控制艙室內空氣微粒濃度；由排氣口部分排出艙室內之空氣，會先經由 HEPA 處理後再排放至環境中。



(a)供氣



(b)排氣

圖 4 供排氣機變頻馬達



(a)供氣口



(b)排氣口

圖 5、供排氣口尺寸

### 第三節 轉速頻率與供排氣風量關係建立

爲了進行在不同換氣次數所對應之風量條件下之實驗，針對所有供排氣風量範圍內，將建立供排氣機轉速頻率與風量關係，以供後續實驗調整風量之用途。首先將供氣機開啓，在 0~50Hz 頻率範圍內以每次增加 1Hz 爲單位進行測試，並使用校正過之風量計(Model 8375, TSI, USA)進行風量量測。每次量測均進行三次，確認無變動後再加以記錄風量。由於本實驗中負壓之形成設定爲排氣風量爲 1.2 倍供氣風量，因此轉速頻率與排氣風量關係除了頻率範圍更改爲 0~60Hz 之間，其餘實驗步驟皆與供氣方面一樣。

## 第四節 供排氣風量準確性與穩定性測試

在實驗過程中，爲了避免供排氣系統風量不穩定而造成實驗誤差，需先進行供排氣系統風量穩定度測試，以確保在實驗進行時間內風量之穩定。首先開啓供氣機，根據前述建立之轉速頻率與供排氣風量關係，調整供氣機至設定風量所對應頻率。待穩定後利用圖六所示之風量計(Model 8375, TSI, USA)每 2 分鐘量測一次，共持續 30 分鐘，而且每次測值爲重複量測三次之平均值。排氣風量穩定度測試步驟與供氣風量測試相同。



圖 6 風量計(Model 8375, TSI, USA)

## 第五節 實驗條件設定

雖然本研究選用之暴露艙可提供 6 種不同體積大小的選擇，但本次實驗只選用大( $V = 45.38\text{m}^3$ )、中( $V = 36.93\text{m}^3$ )、小( $V = 28.47\text{m}^3$ )三種體積進行實驗。在每小時換氣次數方面，則選用 4，8，12 與 16ACH 共四種條件，其範圍包含表一所示各國關於負壓隔離病房換氣次數之建議；再配合我國疾病管制局所建議排氣量約爲 1.2 倍供氣量之規範下，各實驗條件所需之供排氣量即可確定如表三。而實驗進行過程中，暴露艙內的溫、濕度控制分別維持在  $22^{\circ}\text{C}\sim 24^{\circ}\text{C}$  與  $54\%\sim 61\%$ 之間。



表 3 各實驗條件下之供排氣風量(單位：m<sup>3</sup>/min)

	大體積 (V = 45.38m <sup>3</sup> )		中體積 (V = 36.93m <sup>3</sup> )		小體積 (V = 28.47m <sup>3</sup> )	
	供氣量	排氣量	供氣量	排氣量	供氣量	排氣量
4 ACH	3.03	3.63	2.46	2.95	1.90	2.28
8 ACH	6.05	7.26	4.92	5.91	3.80	4.56
12 ACH	9.08	10.89	7.39	8.86	5.69	6.83
16 ACH	12.10	14.52	9.85	11.82	7.59	9.11

## 第六節 門縫高度對應負壓值實驗

### (1) 門縫高度設定步驟

暴露艙之門縫大小可調整範圍在 0.2cm 到 2.6cm 之間，因此選定每 0.2cm 為一單位，每個實驗條件下共進行 13 個不同門縫高度之負壓值量測。為了避免門縫高度量測誤差，本研究製作各種不同厚度之墊片(如圖七)，以供調整門縫高度之用。門縫高度設定步驟方面，首先將暴露艙門下方之螺絲鬆開，把墊片放置在門下方調整至所需高度(如圖八(a))，先稍微鎖緊一邊之螺絲後，再鎖另外一邊之螺絲。最後將兩邊之螺絲完全鎖緊，固定門縫高度，並用不透氣膠帶貼住螺絲以防止洩漏(如圖八(b))。

### (2) 壓力量測

本研究之負壓量測位置如圖九所示，一端設於暴露艙室內不易受進氣氣流干擾之位置，另外一端設置在艙室門外位置，兩端軟管開口離艙室天花板均距離 10cm，而且周圍均使用遮蔽物，以防止環境周圍氣流之干擾影響其壓力讀值。每次實驗先確定暴露艙體積大小與每小時換氣次數後，調整通風系統之變頻器至所對應之供排氣風量，再利用風量計進行風量確認。待門縫高度設定完成後並將門關閉 1 分鐘後，利用圖十之壓差計(Model 400, Testo, Germany)讀取 10 秒內之平均值共 6 筆數據。



圖 7 門縫調整所使用之不同厚度墊片



(a)兩邊門縫高度設定



(b)不透氣膠帶防止洩漏

圖 8 門縫高度設定



(a)艙室內



(b)艙室外

圖 9 壓力量測位置



圖 10 壓差計(Model 400, Testo, Germany)

### 第三章 結果與討論

#### 第一節 通風系統準確性與穩定性測試結果

由於本研究實驗條件所需要之風量範圍極大，而供排氣機利用變頻設計，因此如果能夠掌握供排氣機轉速頻率與風量關係，可快速調整需要之供排氣風量，有利於實驗之進行。圖十一與圖十二為供排氣風量與轉速頻率之結果，發現無論是供氣或排氣系統，兩者皆有良好之線性關係( $r^2 = 0.9994$  與  $r^2 = 0.9991$ )。所以後續進行各項條件負壓值量測時，可以迅速而且準確地調整所需之供排氣風量。為了掌握通風系統之供排氣風量準確性及穩定性，選用暴露艙為較大體積( $V = 45.38\text{m}^3$ )，針對每小時換氣次數分別為 4、8、12 與 16 次進行供排氣風量測試，結果列於表四與表五。由數據發現，無論是供氣風量或排氣風量，其相對誤差皆小於 1%，顯示通風系統可以準確提供不同換氣次數所對應之供排氣風量。此外，由測值分析的 CV 值顯示，經過連續 30 分鐘開啓供排氣系統，其風量仍然保持穩定( $CV < 1\%$ )，確保每次實驗只要在 30 分鐘內完成，其量測數據應可排除因風量變動所造成之影響。

表 4 供氣風量準確性及穩定性測試結果(體積  $V = 45.38\text{m}^3$ )

	4 ACH	8 ACH	12 ACH	16 ACH
對應供氣風量( $\text{m}^3/\text{min}$ )	3.03	6.05	9.07	12.10
實際供氣風量( $\text{m}^3/\text{min}$ )	3.05	6.05	9.07	12.12
CV(%)	1	0	0	1
誤差(%)	0.69	0.05	0.02	0.16

表 5 排氣風量準確性及穩定性測試結果(體積 V = 45.38m<sup>3</sup>)

	4 ACH	8 ACH	12 ACH	16 ACH
對應排氣風量(m <sup>3</sup> /min)	3.63	7.26	10.89	14.52
實際排氣風量(m <sup>3</sup> /min)	3.64	7.24	10.89	14.49
CV(%)	1	0	1	1
誤差(%)	0.22	0.24	0.03	0.18

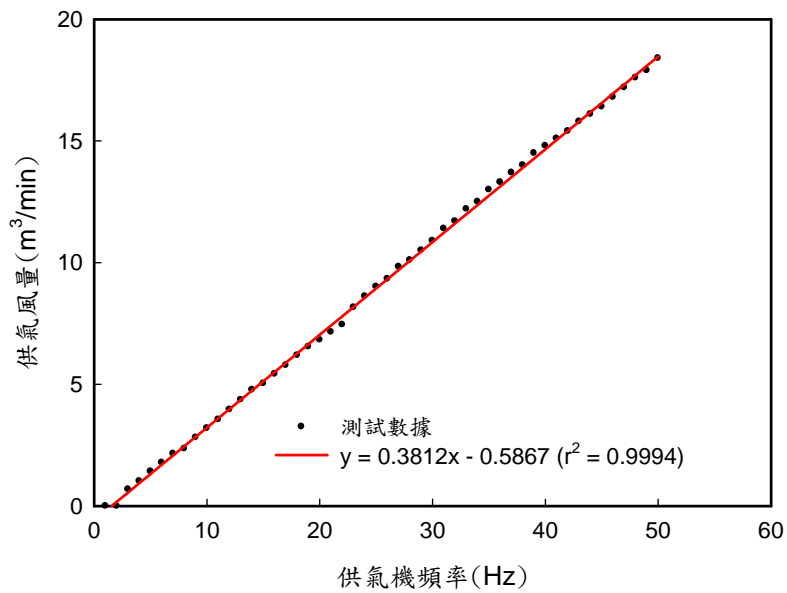


圖 11 供氣風量與供氣機頻率關係

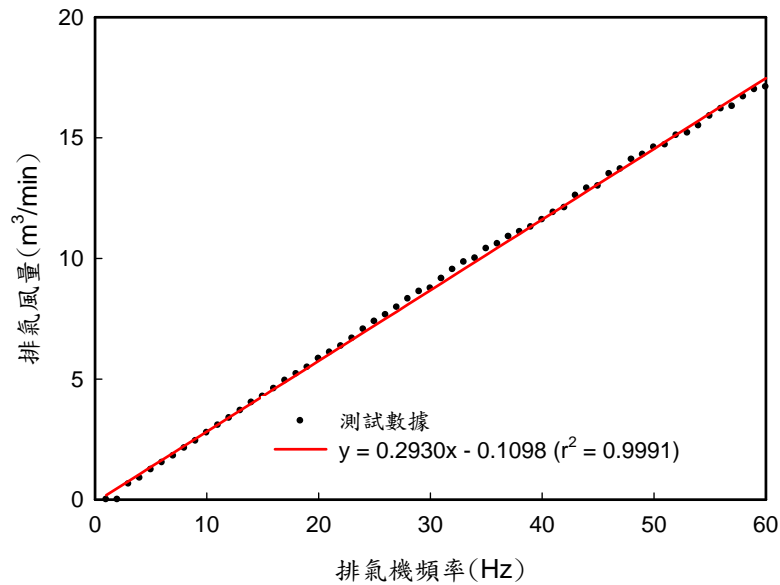


圖 12 排氣風量與排氣機頻率關係

## 第二節 門縫高度對應負壓值

表六為大體積病室( $V = 45.38\text{m}^3$ )在不同每小時換氣次數下，門縫高度從 0.2cm 到 2.6cm 間所對應之負壓值量測數據結果，並將此數據繪成圖十三以利於變化趨勢之觀察與掌握。結果發現，負壓值如預期地隨著門縫高度增加而減少，門縫高度達到特定範圍後其負壓值下降趨勢較為平坦，甚至接近無壓差狀態。而負壓值在小門縫時變化非常靈敏，往往門縫相差 0.2cm 即造成負壓值急遽變化，此現象尤其在每小時換氣次數較大時更加顯著。此外，每小時換氣次數越大時，在各門縫大小所測得之負壓值越大；表示在固定門縫高度下，如果負壓值不足時，可藉由增加換氣次數來達到較大之負壓狀態。如果以國內負壓隔離病房指引所建議 8Pa 負壓值要求而言，在每小時換氣次數為 4 次時，本次實驗中門縫最小高度為 0.2cm 情形下並無法達到要求。顯示在該情況下，門縫高度必須小於 0.2cm 時，才可能達到 8Pa 負壓值。中體積病室( $V = 36.93\text{m}^3$ )以及小體積病室( $V = 28.47\text{m}^3$ )之結果分別列於表七到表八以及圖十四到圖十五

中，兩者之變化趨勢與大體積病室類似。因此在每小時換氣次數為 4 次情況下，將排氣量設定大於目前所建議的 1.2 倍供氣量，才有可能維持負壓值至少 8Pa。

此外，由上述三種病室體積之數據發現，即使在本研究中門縫高度變化已經小至 0.2cm 下，最多只能決定 8Pa 負壓值時其門縫高度範圍(如表六至表八反白處所示)，仍然無法獲得負壓值剛好為 8Pa 時所對應之門縫高度。因此亦可藉由將數據繪製成如圖十三至圖十五所示，利用圖形加以估算。表九中則是將各體積大小與每小時換氣次數條件下，整理出欲達到 8Pa 負壓值時所對應之門縫高度範圍。由此表觀察出，每小時換氣次數為 4 次時，無論任何體積下都無法達到負壓值 8Pa 的要求。而在每小時換氣次數為 8 次時，所有體積所對應之門縫高度範圍都介於 0.4cm 到 0.6cm 之間；而在每小時換氣次數為 12 次時，所有體積所對應之門縫高度範圍都介於 0.6cm 到 0.8cm 之間。但是在每小時換氣次數為 16 次時，大體積與中體積病室對應之門縫高度範圍都介於 1.0cm 到 1.2cm 之間。可是在小體積病室時卻非介於 1.0cm 到 1.2cm 之間，而是降至 0.6cm 到 0.8cm 之間，其原因可能是如前述在較大的換氣次數下而又是在小體積時，門縫小的實驗條件其負壓值變化非常靈敏，而且極小之門縫差異即可造成負壓值之急遽變化所導致。

表 6 大體積不同 ACH 下，門縫高度對應負壓值與標準差(單位：Pa)

門縫高度(cm)	4 ACH	8 ACH	12 ACH	16 ACH
2.6	0.20 (0.03)	0.22 (0.04)	0.36 (0.05)	1.42 (0.06)
2.4	0.29 (0.02)	0.49 (0.03)	0.52 (0.03)	1.91 (0.05)
2.2	0.35 (0.02)	0.52 (0.07)	0.67 (0.05)	2.30 (0.04)
2.0	0.40 (0.04)	0.62 (0.04)	0.97 (0.04)	2.90 (0.06)
1.8	0.41 (0.03)	0.71 (0.05)	1.11 (0.05)	3.19 (0.05)
1.6	0.45 (0.05)	0.99 (0.07)	1.41 (0.06)	4.38 (0.05)
1.4	0.50 (0.04)	1.04 (0.06)	1.52 (0.04)	4.97 (0.09)
1.2	0.60 (0.05)	2.09 (0.06)	2.70 (0.11)	7.10 (0.07)
1.0	0.72 (0.07)	2.38 (0.06)	2.89 (0.06)	9.10 (0.03)
0.8	1.19 (0.05)	4.60 (0.06)	5.82 (0.06)	14.76 (0.07)
0.6	2.46 (0.05)	5.69 (0.06)	8.35 (0.06)	19.59 (0.08)
0.4	2.88 (0.11)	13.00 (0.08)	17.21 (0.05)	43.64 (0.06)
0.2	4.82 (0.15)	18.63 (0.04)	27.51 (0.07)	71.81 (0.27)

表 7 中體積不同 ACH 下，門縫高度對應負壓值與標準差(單位：Pa)

門縫高度(cm)	4 ACH	8 ACH	12 ACH	16 ACH
2.6	0.36 (0.04)	1.05 (0.20)	1.08 (0.03)	1.42 (0.12)
2.4	0.35 (0.07)	1.21 (0.14)	1.35 (0.08)	1.47 (0.08)
2.2	0.53 (0.13)	1.29 (0.13)	1.36 (0.07)	1.84 (0.06)
2.0	0.55 (0.11)	1.39 (0.14)	1.46 (0.13)	2.31 (0.08)
1.8	0.62 (0.22)	1.43 (0.13)	1.65 (0.05)	2.94 (0.10)
1.6	0.63 (0.17)	1.49 (0.18)	1.76 (0.13)	3.88 (0.13)
1.4	0.62 (0.12)	1.55 (0.07)	2.45 (0.13)	4.62 (0.13)
1.2	0.65 (0.06)	2.47 (0.13)	3.61 (0.13)	6.95 (0.13)
1.0	0.98 (0.15)	2.72 (0.19)	4.52 (0.13)	8.87 (0.08)
0.8	1.27 (0.04)	4.57 (0.27)	7.37 (0.27)	13.22 (0.08)
0.6	1.78 (0.08)	7.00 (0.07)	11.55 (0.20)	23.65 (0.14)
0.4	3.16 (0.10)	9.72 (0.19)	18.62 (0.09)	39.61 (0.16)
0.2	4.28 (0.25)	20.71 (0.17)	37.95 (0.27)	79.84 (0.40)



表 8 小體積不同 ACH 下，門縫高度對應負壓值與標準差(單位：Pa)

門縫高度(cm)	4 ACH	8 ACH	12 ACH	16 ACH
2.6	2.08 (0.06)	0.20 (0.05)	0.37 (0.11)	0.77 (0.07)
2.4	0.11 (0.06)	0.33 (0.10)	0.54 (0.08)	0.81 (0.06)
2.2	0.17 (0.02)	0.56 (0.15)	0.64 (0.11)	1.11 (0.12)
2.0	0.25 (0.07)	0.75 (0.15)	0.93 (0.07)	1.24 (0.06)
1.8	0.27 (0.11)	0.78 (0.11)	1.12 (0.09)	1.72 (0.10)
1.6	0.39 (0.07)	0.87 (0.15)	1.88 (0.14)	2.19 (0.13)
1.4	0.40 (0.07)	1.01 (0.05)	1.91 (0.10)	2.25 (0.12)
1.2	0.57 (0.04)	1.19 (0.17)	2.28 (0.11)	3.10 (0.12)
1.0	0.59 (0.06)	1.66 (0.18)	3.12 (0.10)	4.09 (0.10)
0.8	0.73 (0.04)	2.54 (0.14)	4.83 (0.05)	6.70 (0.07)
0.6	1.25 (0.06)	4.82 (0.14)	8.40 (0.10)	11.51 (0.11)
0.4	2.09 (0.08)	8.85 (0.08)	14.98 (0.11)	21.22 (0.26)
0.2	4.06 (0.11)	17.74 (0.09)	32.09 (0.11)	47.72 (0.12)

表 9 負壓值 8Pa 對應之門縫高度範圍整理(單位：cm)

	4 ACH	8 ACH	12 ACH	16 ACH
大體積 (V = 45.38m <sup>3</sup> )	NA	0.4~0.6	0.6~0.8	1.0~1.2
中體積 (V = 36.93m <sup>3</sup> )	NA	0.4~0.6	0.6~0.8	1.0~1.2
小體積 (V = 28.47m <sup>3</sup> )	NA	0.4~0.6	0.6~0.8	0.6~0.8

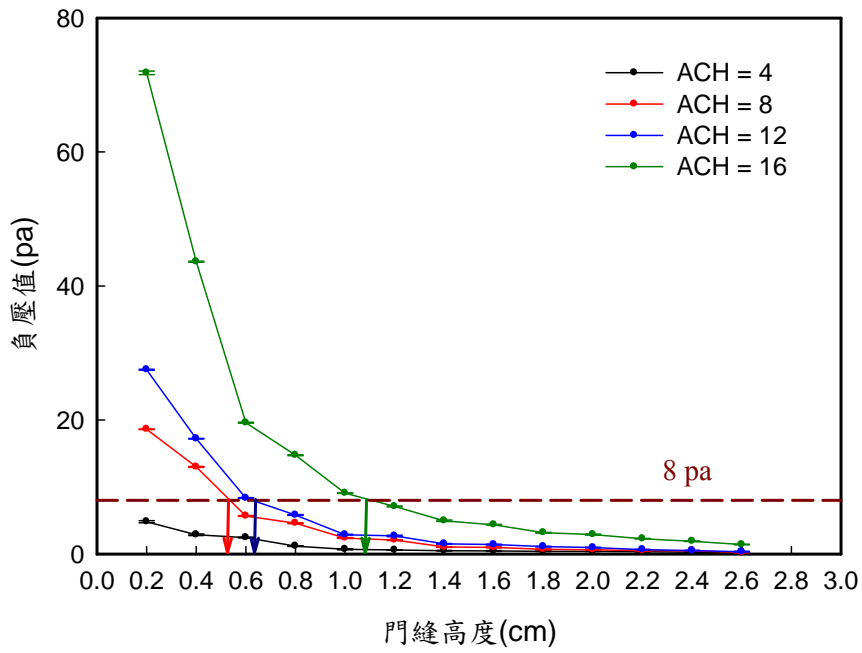


圖 13 負壓值與門縫之關係(大體積,  $V = 45.38\text{m}^3$ )

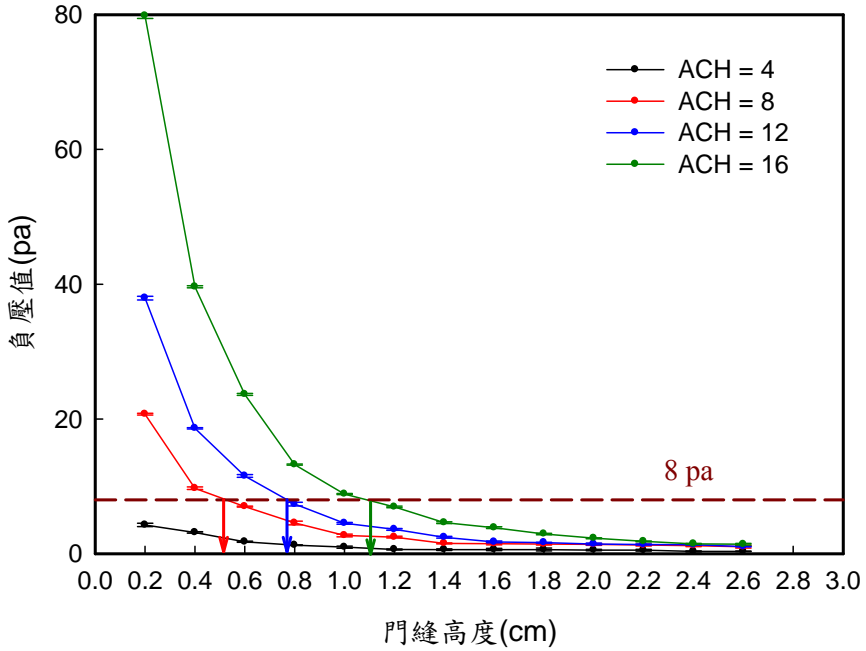


圖 14 負壓值與門縫之關係(中體積,  $V = 36.93\text{m}^3$ )

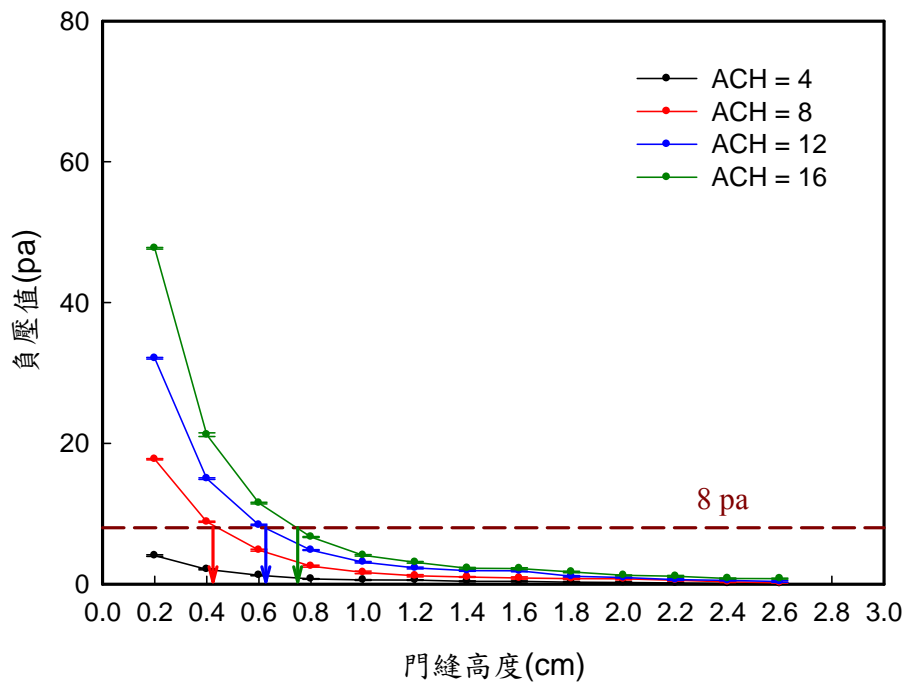


圖 15 負壓值與門縫之關係(小體積， $V = 28.47\text{m}^3$ )

### 第三節 門縫開口面積推估模式

事實上，門縫高度之目的最主要是於迫使不足的空氣流量自該處補充，並進而造成內外壓力差。不同門寬的設計，理論上應該也會造成欲達到 8Pa 負壓時所需要門縫高度的些微差異。因此將本次研究之數據以各門縫高度所對應之開口面積，除以該條件狀況下供排氣量差異後，對應獲得之負壓值以圖十六呈現，並推導出下列推估模式：

$$Y = 0.0179X^{-0.6371} \quad (R^2 = 0.93) \quad \text{式(16)}$$

其中  $Y$  為開口面積( $A: m^2$ )除以供排氣量差異( $Q: m^3/min$ )，而  $X$  為負壓值(Pa)。由該圖及推估模式結果發現，此模式評估結果已達一定之準確率，可提供未來實務上之參考。根據本研究所獲得推估模式，在實務上的應用方式與流程，可參照圖十七所示。

針對省能的角度而言，利用本研究成果可使醫療院所等事業單位在維持目前檢測要求的 8 次 ACH 前提下，已可達到負壓值 8Pa 的需求。理論上，ACH 加倍表示供氣風量亦加倍，而馬力則為原來的 8 倍。如果依據過去未能達到負壓值而利用增加 ACH 的因應作法進行估算，忽略基本電費、流動電費、季節(夏季與非夏季)及時段(尖峰與離峰)差異，將 ACH 從 8 次增為 12 次或 16 次，在電費成本分析而言，較為保守且粗略估計將分別增加 3.375 到 8 倍。而未來如果 ACH 可降至 6 次，約可減為原來的 42%。

本研究已完成不同病室體積以及換氣次數條件下，門縫對負壓值之影響探討，其成果可提供未來新建負壓隔離病房設計依據，以及維修或改善病房等實務之參考。

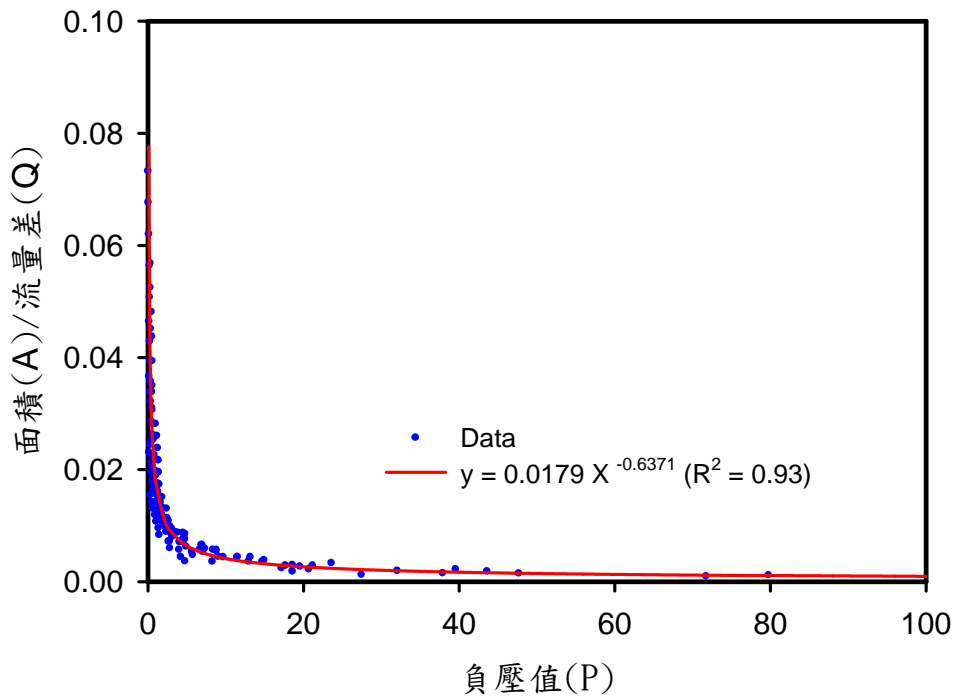


圖 16 門縫開口面積推估模式

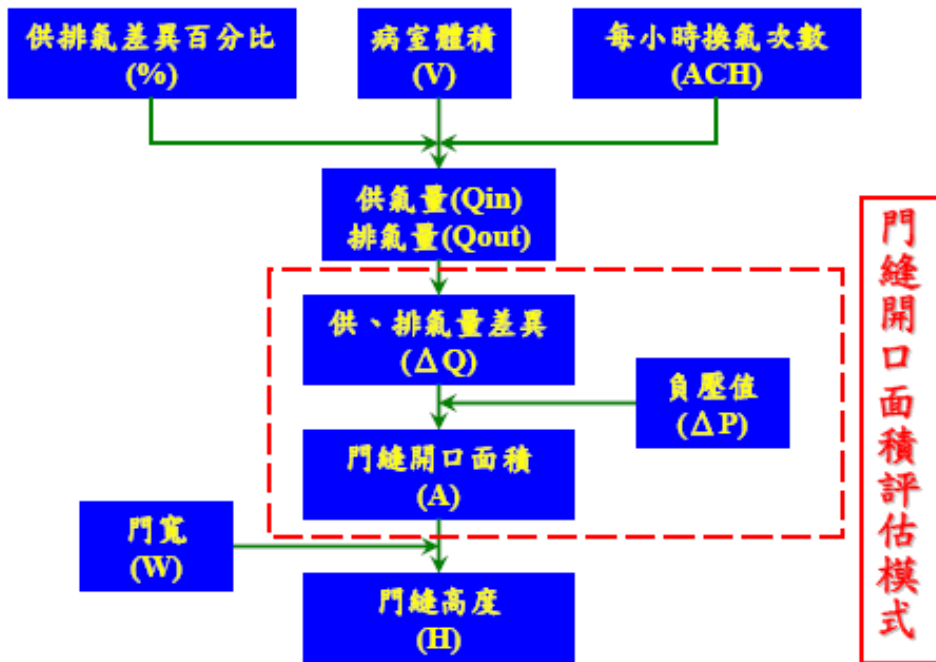


圖 17 門縫開口面積推估模式實務應用流程

## 第四章 結論與建議

根據本研究之結果，可歸納出以下結論：

1. 門縫的確對負壓值影響極大，無論任何體積大小下，每小時換氣次數為 4 次以下時，在門縫高度為最小值時(0.2cm)，都無法達到 8Pa 的負壓值。在此情況下，如欲達到負壓值為 8Pa 時，將排氣量調整大於目前所建議之 1.2 倍供氣量，則是實際較可行的方法。
2. 門縫越小時負壓值變化非常靈敏，稍微一點門縫高度變化即造成負壓值急遽變化，此現象尤其在每小時換氣次數較大時更加顯著。
3. 現場門縫高度若有一定限制時(即需為某一固定值)，負壓值不足時，可藉由增加換氣次數來達到欲設定之負壓。
4. 除了小體積外，欲達到 8Pa 負壓值時，門縫高度範圍依序為 0.4cm~0.6cm (ACH=8)，0.6cm~0.8cm (ACH=12)，1.0cm~1.2cm (ACH=16)。
5. 本研究開發之門縫開口面積推估模式，已準確評估開口面積、風量差異與負壓值之間的關係，未來可提供實務應用之參考。

本研究已完成不同病室體積以及換氣次數條件下，門縫對負壓值之影響探討，其成果可提供未來新建負壓隔離病房設計工程依據，以及維修或改善病房等實務之參考。

## 誌 謝

本研究計畫參與人員除本所張振平組長、莊啓佑助理研究員、洪柏宸副研究員、王順志副研究員以外，尚包括長榮大學職業安全衛生學系戴聿彤副教授，謹此敬表謝忱。

## 參考文獻

- [1] American Institute of Architects (AIA). (2006). Guidelines for the Construction of Hospitals and Health Care Facilities.
- [2] American Institute of Architects (AIA). (1996). Guidelines for Design and Construction of Hospitals and Health Care Facilities.
- [3] Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2005). Guidelines for preventing transmission of mycobacterium tuberculosis in health-care settings. MMWR 54(RR-17).
- [4] Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (2003). Guidelines for environmental infection control in health-care facilities. MMWR 52(RR-10).
- [5] Centers for Disease Control and Prevention (CDC). (1994). Guidelines for preventing transmission of mycobacterium tuberculosis in health-care facilities. MMWR 43(RR-13).
- [6] Cheong, K. W. D. and Phua, S.Y. (2006). Development of ventilation design strategy for effective removal of pollutant in the isolation room of a hospital, Building and Environment. 41:1161-1170.
- [7] Kao, P.H. and Yang, R.J. (2006). Virus diffusion in isolation rooms, Journal of Hospital Infection. 62:338–345.
- [8] Public Health Agency of Canada. (1990). Routine Practice and Additional Precautions for Preventing the Transmission of Infection in Health Care.
- [9] Queensland Health, Australia. Capital works, Building and refurbishment: Infection control guidelines, September, 2002.
- [10] Saravia, S. A., Raynor, P. C. and Streifel, A. J. (2007). A performance assessment of airborne infection isolation rooms, American Journal of Infection Control. 35:324–331.
- [11] Tang, J.W., Eames, I. (2005). 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 61: 283–286.



- [12] Walker, J. T., Hoffman, P., Bennett, A. M., Vos, M. C., Thomas, M. and Tomlinson, N. (2007). Hospital and community acquired infection and the built environment design and testing of infection control rooms, *Journal of Hospital Infection*. 65:43-49.
- [13] Working Committee for Buildings/Engineering of Patient's Bedroom for Infectious Diseases. New guideline for planning/design of patient's bedroom for infectious diseases (2003). Health Publications (Translation provided by Mr. Masamitu Ohtsu, Deputy Managing Director of Isotech Corporation, Japan).
- [14] 行政院衛生署疾病管制局，嚴重急性呼吸道症候群(SARS)資訊網，<http://www.cdc.gov.tw/sars/>，2003。
- [15] 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，負壓隔離病房指引，2003。

負壓隔離病房微粒擴散模式及設計參數改良研究

著（編、譯）者：莊啓佑

出版機關：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

221 台北縣汐止市橫科路 407 巷 99 號

電話：02-26607600 <http://www.iosh.gov.tw/>

出版年月：中華民國 98 年 3 月

版（刷）次：初版一刷

定價：100 元

五南文化廣場

台中市中區中山路 6 號

電話：04-22260330

國家書店松江門市

台北市松江路 209 號 1 樓

電話：02-25180207

- 本書同時登載於本所網站之「出版中心」，網址為 <http://www.iosh.gov.tw/>。
- 本所保留所有權利。欲利用本書全部或部分內容者，須徵求行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所同意或書面授權。

【版權所有，翻印必究】

GPN: 1009800820