

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 物理科

030117

居家隔離排風方式研究－以負壓隔離病房為範
本

學校名稱：桃園市立光明國民中學

作者： 國二 侯定佑 國二 黃胤臻 國二 簡宏諺	指導老師： 謝秉桓 黃崧培
---	-----------------------------

關鍵詞：負壓隔離病房、壓差

摘要

本研究以負壓隔離病房為範本，針對居家隔離排風方式進行研究，探討風速、送風口面積、模型長度與長寬比，對負壓差值和風量比的影響。相較於其他研究，本研究以一般房間作為實驗對象，並以每邊縮小十倍的房間模型來進行實驗，再將實際測試數值和理論數值進行比對。結果發現：排風扇風速與負壓差值呈正相關；送風口面積和空間體積與負壓差值呈負相關；排風扇與送風口面積比值為 1 ~ 2 之間時，風量比最接近理論數值。回推實際情況後可知：在 2.46 坪的套房留下 303 ~ 606 cm² 的送風口，安裝風速 4.73 ~ 14.33 m/s 的排風扇，可達負壓差值標準，增加居家隔離的安全性。

壹、前言

一、研究動機

2022 年 6 月 COVID-19 疫情在臺灣再次爆發，較嚴重的患者會被收治到負壓隔離病房，但因確診人數暴增，醫院一時無法負擔大量的患者，空床率一度低到只剩 28.8%（陳婕翎、許秩維，2022）。重症患者移至負壓隔離病房，但輕症確診者要居家隔離數日，而輕症患者居家隔離期間也需要保障病毒不會擴散到居家其他場所。此外，「有確診病患居家隔離，若能再加裝向外的抽風扇，可形成微負壓空間。」的新聞報導（黃韻玲，2022）給了我們提示，若在住家加裝排風扇，讓輕症確診者所隔離的房間產生微負壓，這可能是一個可行的辦法，既可以保持住家不受其汙染，又可以確保輕症患者不傳播病毒，將其隔絕。於是，本研究即參考相關文獻並準備實驗器材與設備，進行相關的變因設定與實驗設計。

二、文獻探討

上網搜尋「負壓隔離病房」的相關研究，將各研究文獻中探討的因素和影響本研究實驗設計之處，彙整如下表所示（表1-2-1）：

表 1-2-1 文獻對本研究實驗設計的影響表

文獻中探討的因素	影響本研究的實驗設計
<p>(一) 負壓隔離病房條件 (行政院, 2006)</p> <p>1. 負壓差值：文獻中將負壓隔離病房分為前室與病房，且將氣壓等級每一級定為 8 pa。對於簡單的負壓隔離病房，至少與外界保持氣壓等級 -1 至 -4，足以維持單向氣流</p> <p>2. 換氣次數：文獻中建議病室每小時換氣次數為 8-12 次，換氣次數是以病室各進氣口進氣風量之和除以病室空間體積。</p>	<p>本研究統整文獻中所提到的標準，並訂為本研究須達到的標準：</p> <p>1. 負壓差值 -8 pa</p> <p>2. 排風扇排風量 = 1.2 × 送風口進風量</p> <p>因換氣次數與負壓差值直接相關，故在本研究中不列入標準，以直接觀察負壓差值為主。</p>
<p>(二) 排風量與進風量關係</p> <p>林升傑 (2009) 提到美國 CDC 建議將進氣量當作計算基準推算出 1.2 倍的排氣量，作為負壓隔離病房設計。</p>	
<p>(三) 使用儀器</p> <p>王順志 (2010) 的研究中使用壓差計，量測在大門內外兩側之負壓值，使用前須歸零數值，並注意軟管是否受到擠壓而影響數值。</p>	<p>本研究決定以壓差計作為實驗中量測負壓差值的工具，並注意文獻中所提到的注意事項</p>
<p>(四) 壓差計擺放位置</p> <p>侯凱倫 (2004) 提到：若要測得正確的負壓差值，壓差計須設置在門縫交界處。</p>	<p>研究中經測試發現越靠牆角負壓差值越小，並參考此文獻結果，決定將壓差計設置在牆面正中間，送風口正下方處。</p>
<p>(五) 負壓差值測量方式</p> <p>莊啓佑 (2009) 提到：壓差計一端設置於艙室內，另一端設置於艙室門外，每 10 秒讀取一</p>	<p>為了更精準的數據，本研究將文獻中的測量方法改良為「捨棄前 10 秒的數據，每 5 秒讀取一次，共 10</p>

<p>次數據，共 6 筆數據的平均值。</p>	<p>筆數據的平均值。」，作為讀取負壓差值的方法。</p>
<p>(六) 動壓公式</p> <p>維基百科(2021)動壓是一個與流體力學有關的物理量，其定義為：$q = \rho v^2$</p> <p>其中：$q =$ 動壓(pa)、 $\rho =$ 空氣密度(kg/m³)、$v =$ 流速(m/s)</p>	<p>本研究根據動壓公式，推導出 $v = \sqrt{\frac{q}{\rho}}$，可用測得動壓，換算送風口風速，並以此推算出換氣次數公式。</p>

三、研究目的

由於時間和經費有限，我們嘗試製作等比例縮小的一般套房模型，發現有許多生活科技和地球科學的科展作品，使用模型作為研究工具，並稱其為「房屋模型」（黃世宇等人，2008），本研究將房屋模型加裝排風扇，並利用壓差計測量空間負壓差值，尋找使負壓空間達到最佳換氣效果的方法。以下為研究目的：

研究目的 1：發展能監控負壓差值的居家負壓隔離空間模型

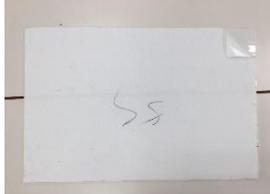
研究目的 2：探討不同因素（風速、送風口面積、模型長度與長寬比）對空間負壓差值與風量比的影響

研究目的 3：探討居家隔離的最佳換氣條件

貳、 研究設備及器材

本研究參考相關文獻，將比例縮小的房屋模型加裝排風扇與送風口，並利用壓差計確認模型內部負壓差值，尋找使負壓空間達到最佳換氣效果的方法。相關器材彙整如表 2-1 所示。

表 2-1 實驗中所需材料及工具

 <p>60 × 40cm 木板</p>	 <p>60 × 40cm 壓克力板</p>	 <p>4 × 4cm 排風扇</p>	 <p>杜邦線 (公公)</p>
 <p>壓差計</p>	 <p>黑電工膠布</p>	 <p>角鋼</p>	 <p>木工膠</p>
 <p>熱線式風速計</p>	 <p>電鑽</p>	 <p>直流電源供應器</p>	 <p>雷射切割機</p>
 <p>電線</p>	 <p>螺絲</p>		

參、 研究過程與方法

一、 研究架構圖

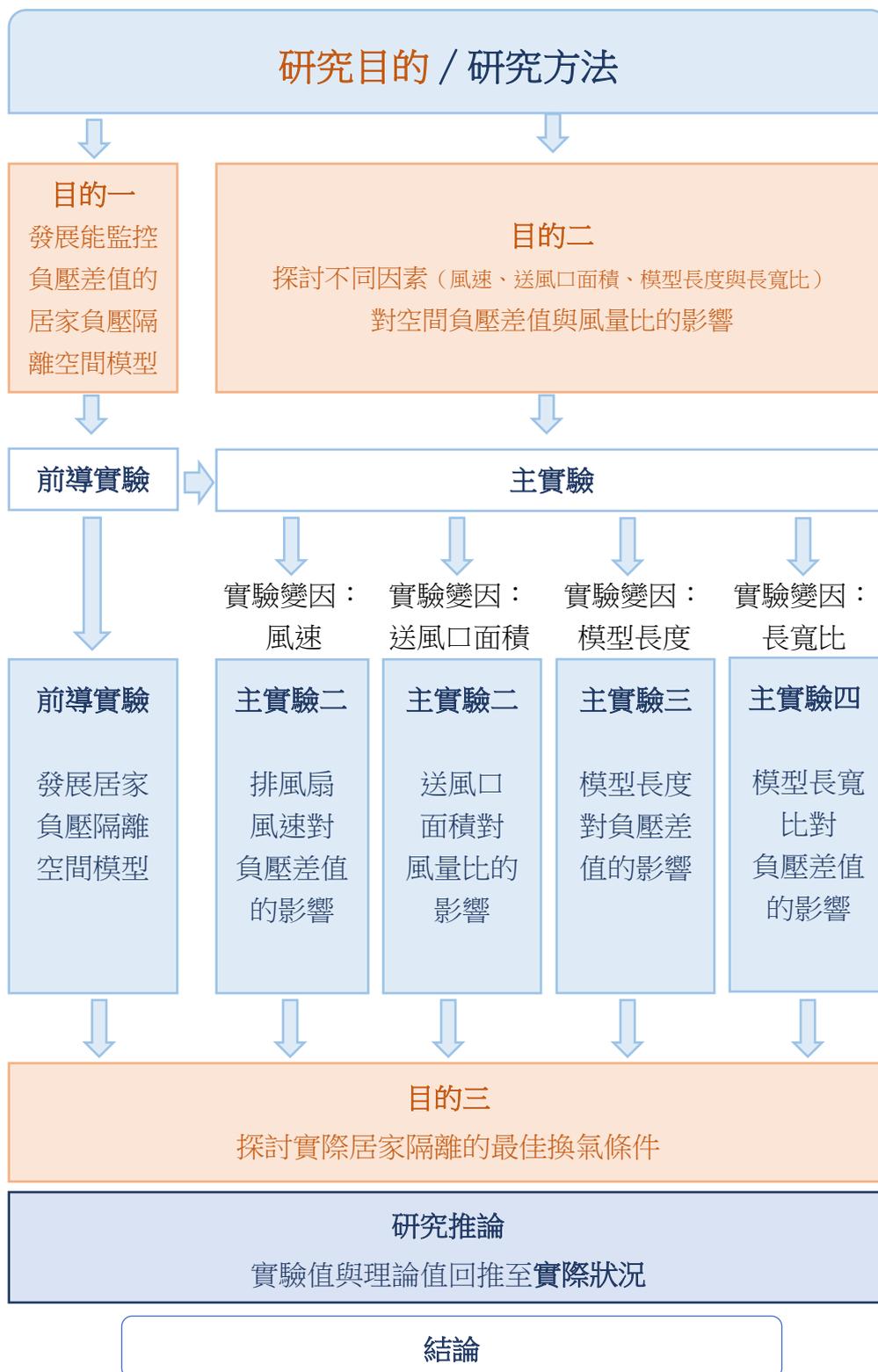


圖 3-1-1 研究架構圖

二、研究方法

《前導實驗：發展居家負壓隔離空間模型》

(一) 居家負壓隔離空間模型

在研究初期，研究者以校內教室與排風扇為基準進行了各種測量，發現校內排風扇直徑為 40 cm，可直接以直徑 4 cm 桌上型電腦排風扇作為模型零件使用，也同時代表長度縮小 10 倍。因此經測量後得知，教室高度約為 2.85 m，縮小 10 倍後為 28.5 cm。而多次試做後，為排除各種變因，決定先以正立方體模型為主實驗一和主實驗二的模型本體，故長寬高皆為 28.5 cm，底面積為 81225 cm²，放大 100 倍後經換算，約為 2.46 坪。模型製作步驟如下所述（如圖 3-2-1）：

1. 利用 makercase 網站畫出模型平面圖，再用向量繪圖軟體 inkscape 刪除不需要的字樣，最後上傳至雷射機切割。
2. 畫出排風扇位置和進風洞位置並切割。
3. 將排風扇放在割好的洞上並將螺絲鎖上。
4. 以實際角鋼畫出要鎖螺絲的位置。
5. 用電鑽在畫好的位置鑽洞。
6. 將六片板子用木工膠黏合，確認沒有縫隙，靜置數日等待木工膠乾掉。
7. 在進風洞位置底部用電鑽鑽出一個小孔以用於壓差計。

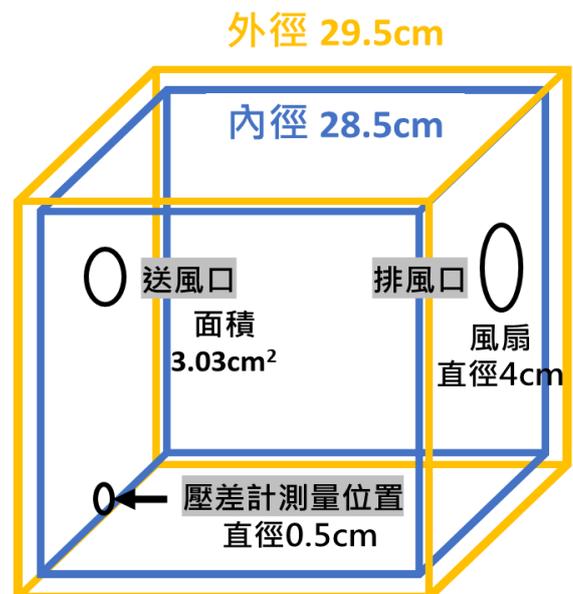


圖 3-2-1 居家負壓隔離空間模型孔洞位置與尺寸示意圖（未依實際比例繪製）

(二) 負壓差值測量方法

壓差計是藉由伯努利定律，當流體流速增加時，兩側管道內流體產生流速差異，造成流體的壓力或是重力位能減少，偵測並計算出兩管內的壓力差。因此要測出模型內和

外的壓差，需將兩管分別置於模型內和外，於是我們利用電鑽在進氣孔底部鑽出一孔，將壓差計其中一軟管移除並置於模型外，另一軟管剪短經由電鑽鑽出的孔而置於模型內，來測量模型屋的負壓差值。操作步驟如下所述：

1. 另一軟管剪短至 3 公分。
2. 將軟管塞進孔內（如圖 3-2-2）。
3. 開啟壓差計。
4. 切換至雙通道壓差模式。
5. 歸零。
6. 開啟排風扇進行接下實驗並記錄數值。



圖 3-2-2 壓差計

《主題實驗一：探討排風扇風速對負壓差值的影響》

（一）測量排風扇風速與負壓差值

1. 如圖（見圖 3-2-3），將熱線式風速計固定於風扇前方。
2. 如圖（見圖 3-2-4），將壓差計固定於送風口正下方。
3. 以直流電源供應器提供電壓，由最低 5 V，每次增加 1V，最後增加至 24 V。
4. 每次測量時，捨棄前 10 秒的數據，每 5 秒讀取一次，共 10 筆數據的平均值。記錄不同電壓下所對應的風速值與負壓差值。



圖 3-2-3 熱線式風速計固定於風扇前



圖 3-2-4 壓差計固定於送風口正下方

(二) 理論數值推導和計算排風扇實際有空氣流經的面積

1. 由文獻推導理論數值。
2. 如圖（見圖 3-2-5），拍攝正向拍攝實驗用風扇，並加上比例尺標。
3. 利用 ImageJ 軟體計算計算風扇孔洞面積所占整體風扇的百分比。



圖 3-2-5 正向拍攝實驗用風扇

(三) 繪製實際與理論數值趨勢線圖

1. 將測得數據匯入 excel。
2. 插入實際數值散布圖並繪製趨勢線。
3. 插入理論數值散布圖並繪製趨勢線。

《主題實驗二：探討送風口面積對風量比的影響》

(一) 製作可調整式送風口（見圖 3-2-6）

1. 將送風口面積設定為排風口之 4、3、2、1、0.5 倍。
2. 計算不同面積下的圓半徑。
3. 畫出五個面積不同同心圓上傳至雷射切割機切割。



圖 3-2-6 可調式送風口

(二) 排風扇風速與負壓差值

1. 固定熱線式風速計固定於風扇前方。
2. 固定壓差計於送風口正下方。
3. 以直流電源供應器提供 10 V、15V、20 V 與 24 V 的電壓。

4. 每次測量時，捨棄前 10 秒的數據，每 5 秒讀取一次，共 10 筆數據的平均值。
記錄不同電壓下所對應的風速值與負壓差值。

《主題實驗三：模型長度對負壓差值的影響》

本實驗試圖探討不同模型長度，在同截面積的情況下，負壓差值是否受到影響，以下為實驗方法：

1. 固定房間模型的寬和高皆為 29.5 cm（外徑），並固定成一個長方體的四個面（見圖 3-2-7）。
2. 以 60cm × 29.5cm 的木板和邊長 28.5cm 的正方形拼接出模型上蓋以及側蓋（見圖 3-2-8）。



圖 3-2-7 固定寬和高的房間模型



圖 3-2-8 木板拼接



圖 3-2-9 組裝結果

3. 將模型上蓋與側蓋組裝，變成長度可調整的模型。
4. 將模型長度調整為：28.5 cm、36 cm、45 cm、54 cm 與 59 cm，並測量負壓差值以及風速。

《主題實驗四：模型長寬比對負壓差值的影響》

本實驗試圖探討相同底面積與高度的情況下，不同模型長寬比，負壓差值是否受到影響，以下為實驗方法：

1. 製作內徑長寬高為 34.9 cm × 23.27 cm × 28.5 cm 的房間模型（長寬比為 3:2）（見圖 3-2-10）。

2. 在長邊兩側安裝排風扇和進風口，並測量數據（10V、15V、20V、24V）。
3. 在短邊兩側安裝排風扇和進風口，並測量數據（10V、15V、20V、24V）。
4. 由步驟 2 和步驟 3 得到長寬比 3 : 2 和 2 : 3 的結果並和主實驗一的結果（長寬比 1 : 1）比較。



圖 3-2-10 房間長寬

《研究推論：探討居家隔離的最佳換氣條件》

(一) 最小負壓等級與最大負壓等級換算送風口風速

1. 將最小負壓等級（-8pa）與最大負壓等級（-32pa）代入公式 $v = \sqrt{\frac{q}{\rho}}$ 中
2. 經計算後得出最小負壓等級與最大負壓等級時的送風口風速

(二) 最小負壓等級與最大負壓等級時的送風口風速推導理想排風扇風速

1. 將送風口風速代入主題實驗一的研究結果所得的送風口風速與排風扇風速關係式
2. 經計算後得出最小負壓等級與最大負壓等級時的排風扇風速

(三) 回推居家隔離的最佳換氣條件

1. 將排風扇風速、送風口面積依縮小倍數分別回推實際數值

(四) 將面積比改為 1 : 2 並重複前三步驟

(五) 依體積與負壓差值的關係探討最佳負壓條件

1. 由不同電壓的主題實驗三數據中選擇較符合負壓等級的輸入電壓。
2. 計算不同長度時底面積的坪數並回推實際數值。

肆、研究結果

《前導實驗：發展居家負壓隔離空間模型》

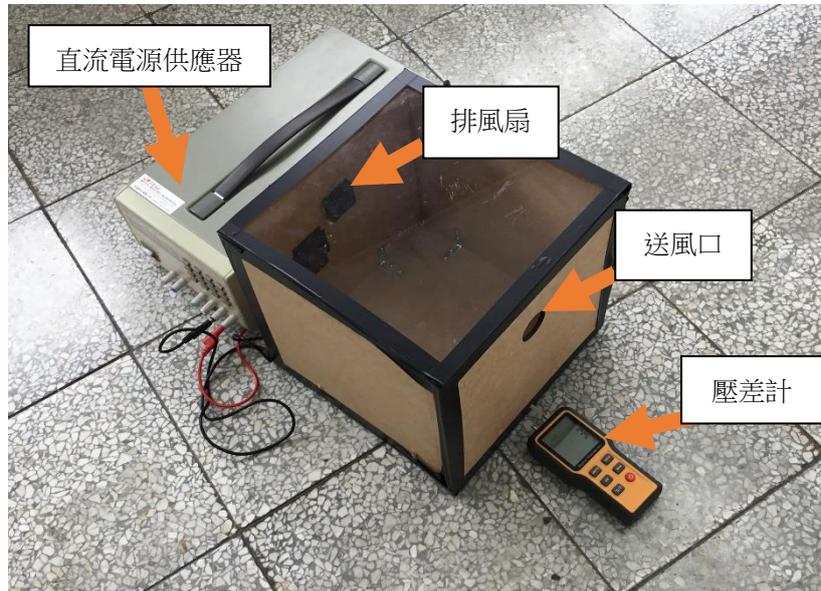


圖 4-1-1 居家負壓隔離空間模型

小結

研究者依計畫打造出長寬高皆為 28.5 cm 的房間模型（圖 4-1-1），且能成功測得壓差值。

《主題實驗一：探討排風扇風速和空間負壓差值的關係》

一、測量排風扇風速與負壓差值

要測試在何種排風扇風速下，能達到最佳的負壓差值。我們利用改變輸入電壓，使排風扇風速產生變化。以下是將風扇以 5 V 到 24 V 的不同輸入電壓進行測試，所測量到的排風扇風速與負壓差值（見表 4-2-1）：

表 4-2-1 不同電壓、風速與負壓差值關係表

電壓 (V)	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
平均風速 (m/s)	0.73	0.97	1.23	1.56	1.87	2.15	2.56	2.86	3.15	3.47
標準差 (m/s)	0.39	0.57	0.73	0.92	1.1	1.33	1.61	1.78	1.93	2.15
平均壓差 (pa)	1	1.5	2	3	4	5	6.4	8.4	9.1	11.1
標準差 (pa)	0	0.52	0	0	0	0	0.51	0.51	0.31	0.73
電壓 (V)	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
平均風速 (m/s)	3.77	4.01	4.36	4.59	4.89	5.17	5.43	5.76	5.98	6.32
標準差 (m/s)	2.31	2.47	2.69	2.81	3.04	3.18	3.19	3.18	3.22	3.23
平均壓差 (pa)	13.2	14.8	16.8	20.4	22.3	23.8	25	27	28.3	29.7
標準差 (pa)	0.78	0.63	0.42	0.84	0.82	1.22	1.24	0.66	1.05	1.05

二、理論方程式推導計算排風扇實際有空氣流經的面積

林升傑 (2019) 提到了「送風量×1.2=排風量」時負壓效果最好，即「 $v_{送} \times A_{送} \times t \times 1.2 = v_{扇} \times A_{扇} \times t$ 」，其中 $v_{送}$ ：送風口風速、 $A_{送}$ ：送風口面積、 $v_{扇}$ ：排風扇風速、 $A_{扇}$ ：排風扇面積、 t ：時間，因為兩個送風口面積皆為定值，移項後可得：

$$v_{扇} = v_{送} \times \frac{A_{送}}{A_{扇}} \times 1.2$$

$$v_{扇} \propto v_{送}$$

$$v_{扇} = k \times v_{送} \cdot k = \frac{A_{送}}{A_{扇}} \times 1.2 \cdot v_{送} \propto v_{扇}。$$

算式中 k 為 $\frac{A_{送}}{A_{扇}} \times 1.2$ 的定值，為了讓送風口面積與排風扇排風面積相等，

$k = 1.2$ ，我們需要知道排風扇實際有空氣流通的面積，並打造相同面積的送風口，以下是計算結果（見圖 4-2-1）：

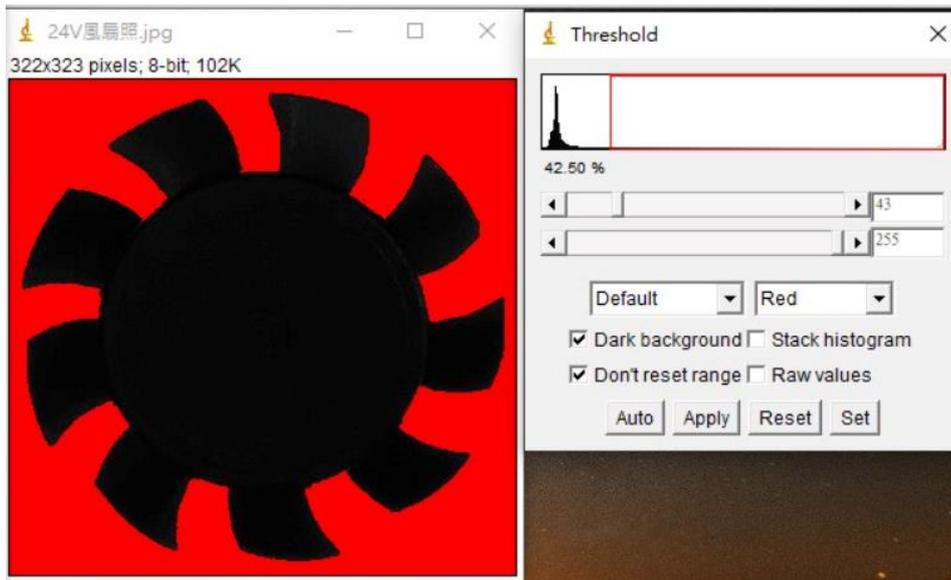


圖 4-2-1 排風扇面積計算圖

將圖片輸入 ImageJ 分析得知，紅色區域佔總面積 42.5%，即代表黑色區域面積（排風扇本體）佔 57.5%。因此將風扇直徑 3.8 cm 視為正方形照片邊長，得到正方形面積為 14.44 cm²，乘上 57.5% 可得到排風扇面積為 8.30 cm²，最後將排風扇直徑 3.8 cm 轉換為圓形面積 11.33 cm²，再減去 8.30 cm²，便可得到排風扇實際空氣流動面積為 3.03 cm²，於是我們將送風口面積設為 3.03 cm²，並將實際數值和理論數值繪製趨勢線圖如下：

排風扇風速對送風口風速關係圖

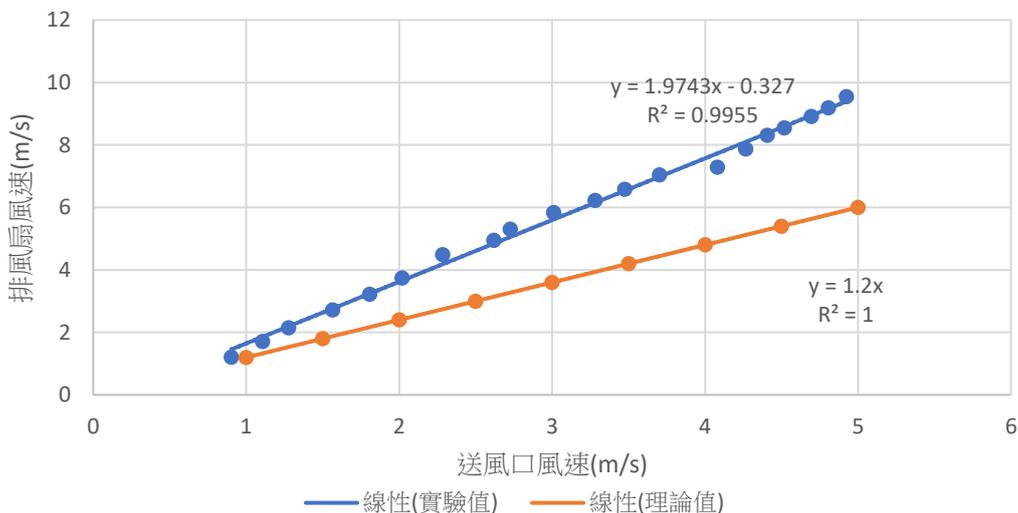


圖 4-2-2 排風扇風速對負壓差值實際和理論數值比較圖

小結

由圖 4-2-2 發現排風扇風速越快，負壓差值越高，且排風扇排風量為送風口進風量的 1.97 倍，比理論值 1.2 倍還大。

《主題實驗二：送風口面積對負壓差值的影響》

我們推測文獻中所述的「送風量 $\times 1.2 =$ 排風量」林升傑（2019）是建立在排風口和送風口面積相同的前提下，所以想知道在不同的送風口面積下，這樣的關係是否還存在。我們選擇將送風口面積設為排風口的 4、3、2、1、0.5 倍做為研究對象，並分析在不同電壓下數據的差異。

表 4-2-1 送風口面積對負壓差值實際和理論數值

排風扇面積：送風口面積		1 : 4	1 : 3	1 : 2	1 : 1	1 : 0.5
送風口面積(cm ²)		12.12	9.09	6.06	3.03	1.515
24V	平均負壓差值(pa)	8.5	13	14.6	26.1	37.5
	標準差(pa)	0.53	0	0.52	0.74	0.53
	平均排風扇風速(m/s)	9.98	9.42	9.03	7.88	6.84
	標準差(m/s)	0.13	0.04	0.07	0.10	0.05
	排風量 / 送風量	3.79	2.89	2.62	1.71	1.24
	誤差百分比	-21.1%	-19.7%	9.0%	42.3%	106.0%
20V	平均負壓差值(pa)	7.1	11	12.4	19.5	24.4
	標準差(pa)	0.57	0	0.52	0.53	0.52
	平均排風扇風速(m/s)	8.58	8.08	7.32	6.45	5.98
	標準差(m/s)	0.08	3.23	3.06	2.96	2.71
	排風量 / 送風量	3.56	2.70	2.30	1.62	1.34
	誤差百分比	-25.8%	-25.1%	-4.1%	34.7%	123.3%
15V	平均負壓差值(pa)	4.9	7.0	8.0	12.0	18.7
	標準差(pa)	0.57	0.67	0	0	0.48
	平均排風扇風速(m/s)	6.33	6.20	5.60	4.79	4.65
	標準差(m/s)	0.15	0.07	0.00	0.28	0.05
	排風量 / 送風量	3.17	2.59	2.19	1.53	1.19
	誤差百分比	-34.1%	-28.0%	-8.7%	27.5%	98.4%
10V	平均負壓差值(pa)	3.8	4.2	4.5	5.0	9.0
	標準差(pa)	0.12	0.42	0.53	0.00	0.00
	平均排風扇風速(m/s)	3.59	3.71	3.51	3.10	2.76
	標準差(m/s)	0.14	0.07	0.09	0.07	0.05
	排風量 / 送風量	2.03	2.00	1.83	1.53	1.02
	誤差百分比	-57.7%	-44.3%	-23.7%	27.9%	69.7%

已知「送風量 $\times 1.2 =$ 排風量」=「 $v_{送} \times A_{送} \times t \times 1.2 = v_{扇} \times A_{扇} \times t$ 」，其中 $v_{送}$ ：送風口風速、 $A_{送}$ ：送風口面積、 $v_{扇}$ ：排風扇風速、 $A_{扇}$ ：排風扇面積、 t ：時間，因為兩個送風口面積皆為定值，移項後得： $\frac{v_{扇}}{v_{送}} = k \times A_{送}$ ，由此，可得出 $\frac{v_{扇}}{v_{送}} \propto A_{送}$ 、定值 $k = \frac{1.2}{A_{扇}}$ ，表 4-2-1 為實驗數據。

由數據作理論數值和實際數值關係圖如下（圖 4-2-1）：

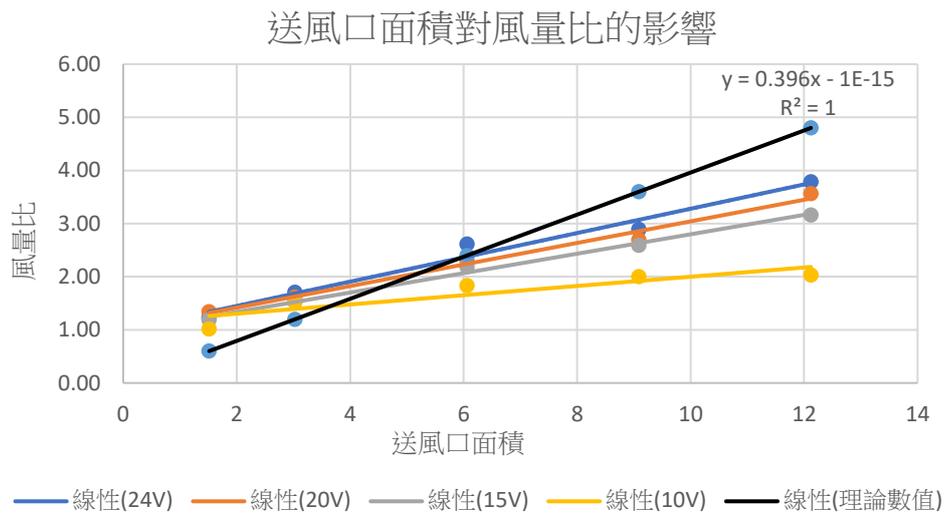


圖 4-2-1 送風口面積對負壓差值實際和理論數值比較圖

小結

由表 4-2-1 發現送風口面積與負壓差值呈負相關，送風口面積越大，負壓差值越小。

由圖 4-2-1 發現實際數值和理論數值的斜率有差距，但「送風口面積：排風口面積」在 1：1 到 1：2 時，較接近文獻所述的「送風量 $\times 1.2 =$ 排風量」。

《主題實驗三：模型長度對負壓差值的影響》

我們推測房間的長度會對負壓差值造成影響，所以製作了一個原來長邊兩倍的箱子，並在原來箱子長度和兩倍長之間取五個點，量測其在相同風速下，所造成的負壓差值，表 4-3-1 為實驗數據：

表 4-3-1 在不同模型長度下的負壓差值表

		28.5	36	45	54	59
24V	平均負壓差值(pa)	10.6	9.2	7.2	6.6	6
	標準差(pa)	0.55	0.45	0.45	0.55	0
20V	平均負壓差值(pa)	22.8	22.4	18.4	14.4	15
	標準差(pa)	0.84	0.55	0.55	0.55	0
15V	平均負壓差值(pa)	36.8	34.2	26.8	31.4	24.4
	標準差(pa)	1.14	0.84	0.84	0.55	0.55
10V	平均負壓差值(pa)	46.4	44.4	41	40.6	31.4
	標準差(pa)	1.14	0.55	0.71	0.89	0.55

以數據作理論數值和實際數值關係圖如下（圖 4-3-1）：

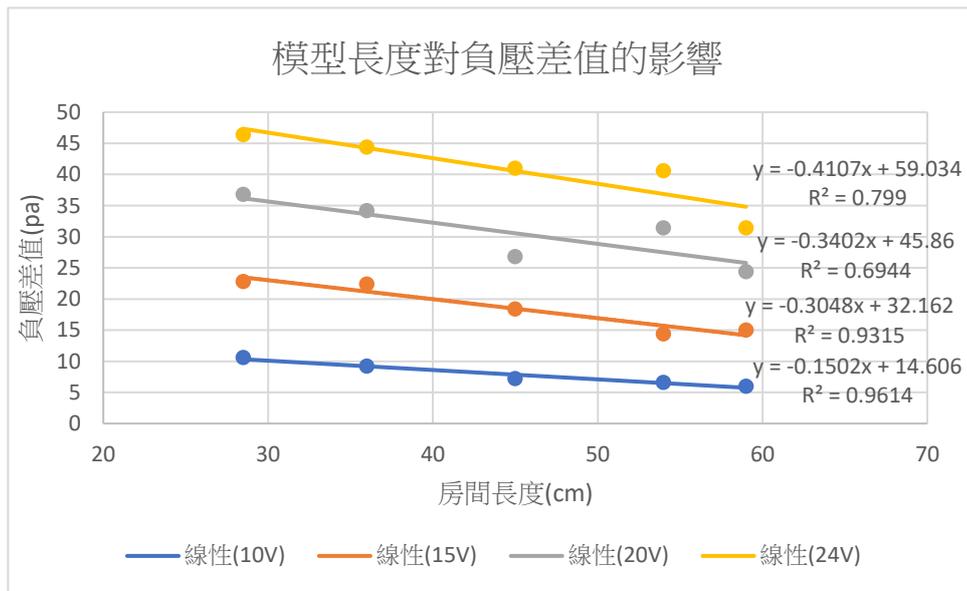


圖 4-3-1 排風扇風速對負壓差值實際和理論數值比較圖

小結

由圖 4-3-1 發現房間長度和負壓差值呈負相關，且四線接近平行，房間長度越長，負壓差值越低。

《主題實驗四：房間長寬比對負壓差值的影響》

因為一般民眾家中的房型不一，所以我們想知道在面積相同的情下，房間長寬比是否會對負壓差值產生影響，於是打造了一底面積相同長寬比 2：3 的模型，可同時測量 2：3 和 3：2 之數值，並與長寬比 1：1 進行比較，以下是我們的實驗數據：

表 4-4-1 在不同模型長寬比下的負壓差值表

		3：2	2：3	1：1
24V	平均負壓差值(pa)	24.8	25	29.7
	標準差(pa)	0.42	0.67	1.06
20V	平均負壓差值(pa)	18.9	18.5	23.8
	標準差(pa)	0.57	0.53	1.23
15V	平均負壓差值(pa)	12	12.3	13.2
	標準差(pa)	0	0.48	0.79
10V	平均負壓差值(pa)	5.1	5.4	5
	標準差(pa)	0.32	0.52	0

並以以上數據作理論數值和實際數值關係圖如下（圖 4-4-1）：

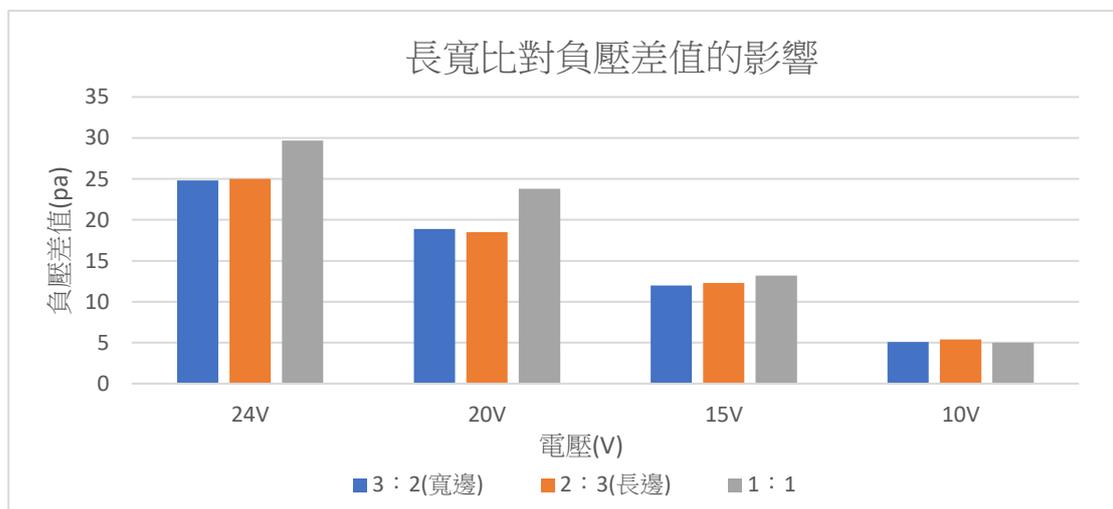


圖 4-4-1 排風扇風速對負壓差值實際和理論數值比較圖

小結

由圖 4-4-1 發現三者的數值相近，只有 24V 和 20V 中長寬比 1：1 的房間略高一些，所以我們認為長寬比對負壓差值的影響不大。

《研究推論：探討居家隔離的最佳換氣條件》

一、依面積比、負壓差值與排風扇風速關係探討居家隔離的最佳換氣條件

由文獻（行政院，2006）得知，一個氣壓等級為 8pa，氣壓等級最大為-4，也就是 32pa 和林升傑（2019）「送風量 $\times 1.2 =$ 排風量」。

而在主題實驗二中，我們得出風扇在面積比 1：1 和 1：2 時，較符合「送風量 $\times 1.2 =$ 排風量」。

所以我們將探討面積比在 1：1 和 1：2 時，若要達到-8pa 和-32pa，所需的排風扇風速。

1. 面積比 1：1 時

首先將 -8pa 和-32pa 代入 $v = \sqrt{\frac{q}{\rho}}$ 可求得 **送風口風速分別為 2.56 m/s 和 5.11 m/s**

因為主題實驗一的送風口面積比為 1：1，所以將送風口風速代入圖 4-2-2 中實際數值的關係式 $y = 1.9743x - 0.327$ ，得出 **排風扇風速分別為 4.73 和 9.77 m/s**

2. 面積比 1：2 時

依照主題實驗二的數據繪出，送風口風速與排風口風速關係趨勢圖：

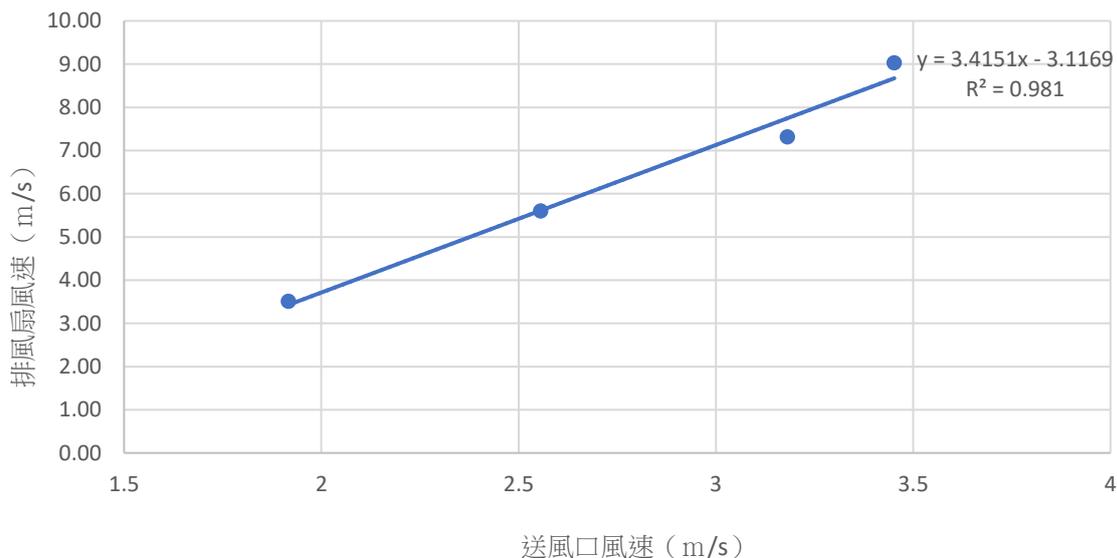


圖 4-5-1 面積比 1：2 (送風口面積 6.06cm²) 時
排風扇風速對送風口風速關係圖

首先將 -8pa 和-32pa 代入 $v = \sqrt{\frac{q}{\rho}}$ 可求得 **送風口風速分別為 2.56 m/s 和 5.11 m/s**

將送風口風速代入圖 4-5-1 中實際數值的關係式 $y = 3.4151x - 3.1169$ ，

得出 **排風扇風速分別為 5.63 和 14.33m/s**

一個 2.46 坪的房間，

在送風口面積 303cm²（面積比 1：1）的條件下，

排風扇風速在 4.73~9.77m/s 時，負壓差值可達 -8 ~ -32 pa

在送風口面積 606cm²（面積比 1：2）的條件下，

排風扇風速在 5.63~14.33m/s 時，負壓差值可達 -8 ~ -32 pa

二、依體積與負壓差值的關係探討最佳負壓條件

由主題實驗三的研究結果，發現長度對負壓差值有影響，也就是體積對負壓差值有影響，而在圖 4-3-1 中，電壓 15V 時，不同模型長度所造成的負壓差值正好介於 8~32pa 之間，本節將以電壓 15V 下的數據回推實際情況。

表 4-5-1 電壓 15V 時體積對負壓差值的影響

模型長 (m)	0.285	0.36	0.45	0.54	0.59
模型寬 (m)	0.285	0.285	0.285	0.285	0.285
實際房間長 (m)	2.85	3.6	4.5	5.4	5.9
實際房間寬 (m)	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
實際房間底面積 (m ²)	8.12	10.26	12.83	15.39	16.82
實際房間坪數 (坪)	2.46	3.1	3.88	4.66	5.09
負壓差值 (pa)	22.8	22.4	18.4	14.4	15

在實際情況中，送風口面積 303cm²（面積比 1：1）且輸入某固定電壓時，

房間坪數從 2.46 坪 ~ 5.09 坪，

負壓差值的範圍在-22.8 pa ~ -15 pa 之間。

伍、討論

一、 以負壓隔離空間模型進行研究的優點與限制為何？

研究早期，我們將模型打造為長方體，但為了減少誤差，所以改作成正方體。使用壓克力作為頂板，可以更方便的觀察。而因為使用模型研究，不是以實際的房間研究，雖然節省了很多的時間、人力及空間，但因為是拼接木板，所以也產生了很多的縫隙，我們嘗試以木工膠、氣密泡棉和電工膠布填補，但終究會有漏網之魚，進而影響了測得的數據。除此之外，這種密封方式還導致我們在密封之後，若要調整內部，只能將膠帶撕下，調整完再貼回去，相當不方便。

二、 本研究偵測儀器的優點與限制為何？

(一) 風速計

我們原先使用風扇型風速計（見圖 5-2-1），但測量後發現數據不精確，在上網搜尋過後，決定改採更精準的熱線式風速計，這種風速計的長度可以伸縮，因此可以測量較高的位置，前端還可以彎曲，方便各種角度的測量，為了量測風扇同一個點的風速，須將風速計固定，但因為風速計只能手持，無法固定於桌面，造成須以膠帶黏貼才能固定的情況。



圖 5-2-1 風扇型風速計

(二) 壓差計

我們所使用的壓差計，雖然可以直接獲得差值，但在負壓差值較低時，靈敏度較低，所以可能導致些微的誤差。

三、 排風扇風速和空間負壓差值的關係為何？

在主題實驗一的研究方法中，我們依 $v_{送} \times A_{送} \times t \times 1.2 = v_{扇} \times A_{扇} \times t$ 推導出了 $v_{扇} = k \times v_{送}$ 、 $v_{送} \propto v_{扇}$ ，而在主題實驗二的研究結果（圖 4-3-2）中，實際數值的趨勢線呈現正相關，因此我們證實了文獻中的條件（排風量 $\times 1.2 =$ 進風量）能達到較好的負壓

差值和推論出的 $v_{送} \propto v_{扇}$ 是成立的，而因為 $v_{送}$ 是由負壓差值所得，所以排風扇風速越快，負壓差值也會越大。

四、 為何本研究不討論換氣頻率？

依據負壓隔離病房手冊（行政院，2006）所述：

建議病室每小時換算次數為 8~12 次。

前開換氣頻率之運算，是以進氣風量除以空間的淨體積為原則

根據以上，我們需要利用已知數據計算出換氣頻率，換算方法如下：

由動壓公式 $q = \rho v^2$ （維基百科，2021）

其中 q = 動壓（帕； $\text{kg/m} \cdot \text{s}^2$ ）、 ρ = 空氣密度（ kg/m^3 ）、 v = 風速（ m/s ）

移項後為 風速 $v = \sqrt{\frac{q}{\rho}}$ ；又因 v （風速） $\times A$ （截面積） $\times t$ （時間）= 風量

可得出 \rightarrow 風量 = $\sqrt{\frac{q}{\rho}} \times At$ ，又因 風量 = V （體積） $\times n$ （換氣頻率）

最後可知，換氣頻率 $n = \frac{\sqrt{\frac{q \times At}{\rho}}}{V}$

由此發現，換氣頻率和負壓差值有關係，只需將負壓差值帶入公式中，即可得到換氣頻率，因此本研究便沒有將換氣頻率納入研究中。

五、 送風口面積大小和空間負壓差值的關係為何？

在主題實驗二的研究方法中，我們依 $v_{送} \times A_{送} \times t \times 1.2 = v_{扇} \times A_{扇} \times t$ 推導出了 $\frac{v_{扇}}{v_{送}} = 1.2 \times \frac{A_{送}}{A_{扇}}$ ，而在主題實驗二的研究結果（圖 4-3-2）中，實際數值的趨勢線呈現正相關，但「送風口面積：排風口面積」在 1：1 到 1：2 時最接近理論數值，面積相差越大，誤差就越大。

六、 模型長度與模型長寬比對負壓差值的影響

在主題實驗三的研究結果中，發現房間長度越長，負壓差值越低，而在主題實驗四的研究結果中，我們發現當模型面積相同時，長寬比不會影響負壓差值，因此，我們推測負壓差值是和房間體積有關係，體積越大，負壓差值越小。

七、理想負壓隔離病房條件實際執行的可能性？

(一) 排風扇風速

經量測得知校內教室排風扇風速為 6.52 m/s，足以達到-8pa 所需的 4.73m/s（面積比 1：1 時）和 5.63m/s（面積比 1：2 時），但若要加強負壓效果，或提升氣壓等級，則需要選擇風速更大、可調整風速的風扇。

(二) 送風口面積

在主題實驗二中，我們得出風扇在面積比 1：1（送風口面積 3.03cm²）和 1：2（送風口面積 6.06cm²）時，較符合「送風量×1.2=排風量」，若將送風口面積回推回實際房屋，也就是需要開窗 303 cm² 和 606cm²。換言之，若家中窗戶長邊為 120 cm，留下約 2.5cm 或 5cm 的縫作為送風口即可達到類似的效果，在實際執行上應該是相當容易的。

陸、結論

- 一、進行負壓隔離病房相關研究可使用建立模型的方式，可節省許多實驗時間與成本，但須注意縫隙的問題。
- 二、排風扇風速與負壓差值呈正相關，且排風扇風速越快，負壓差值越大。
- 三、送風口面積與負壓差值呈負相關，送風口面積越大，負壓差值越小。
- 四、當排風扇面積：送風口面積為 1：1 到 1：2 之間時，風量比最接近理論數值。
- 五、負壓差值與空間體積負相關，體積越大，負壓差值越小。
- 六、在約 2.46 坪的套房將留下 303cm² 的送風口，並安裝一個風速 4.73~9.77 m/s 的排風扇（或多個可達相同進風量的風扇），即可達到 -8 ~ -32pa 的負壓差值。

柒、參考文獻

- 王順志（2009）。負壓隔離病房總體設計與洩漏率研究。取自 <https://labor-elearning.mol.gov.tw/base/10001/door/%B3%F8%A7i%B0%CF/1284402ca8600004342.pdf>
- 行政院（2006）。負壓隔離病房標準作業手冊。取自 <https://www.cdc.gov.tw/File/Get/J-NAXPmW9U14v-5YR1wxHg>
- 林升傑（2009）。門縫面積與洩漏對負壓值影響之量化研究。取自 <https://www.cdc.gov.tw/File/Get/J-NAXPmW9U14v-5YR1wxHg>
- 侯凱倫（2004）。負壓空間之汙染擴散研究。取自 <https://hdl.handle.net/11296/37mvj4>
- 莊啟佑（2009）。負壓隔離病房微粒擴散模式及設計參數改良研究。取自 <https://labor-elearning.mol.gov.tw/base/10001/door/%B3%F8%A7i%B0%CF/123554973f5000006df9.pdf>
- 莊書豪、江俊顯、蔡振田、戴芳美（2014）。小型冷卻風扇性能數值模擬分析。**機械技師學刊**。7 卷 1 期，P1 – 9。
- 陳婕翎、許秩維（2022）。中南部空床率比北部低 擬放寬住院解隔標準。**中央通訊社**。取自 <https://www.cna.com.tw/news/ahel/202205300225.aspx>
- 黃韻玲（2022）。室內通風、向外抽風 打造健康防疫宅。**公視新聞網**。取自 <https://news.pts.org.tw/article/583261>
- 黃世宇、詹雅淇、石家華、林思妤（2008）。節能建築之水冷散熱系統設計與改進。**中華民國第 48 屆中小學科學展覽會**。
- 維基百科（2021）。動壓。取自 <https://zh.wikipedia.org/zh-tw/%E5%8B%95%E5%A3%93>

【評語】 030117

本作品設計送風與排風裝置的壓差，使得空間可以達到負壓病房的標準。相關送排風口設計比例與過程，以及如何達到規範的要求，在計算與實驗上測試的相當完整，是一個完成度高的作品。內容偏生活應用，建議可到生活與應用科學組。

作品海報

摘要

- 為因應疫情嚴峻時期病房不足，本研究探討如何在「家中」打造具負壓隔離功能的空間，以提供輕症患者居家隔離需求。並以每邊縮小十倍的空間模型進行實驗。
- 探討因素：主要為風速、送風口面積、模型長度與長寬比等，對房內之負壓差和風量比的影響。
- 實驗結果：
 - ① 排風扇風速與負壓差值呈正相關。
 - ② 送風口面積和空間體積與負壓差值呈負相關。
 - ③ 送風口與排風扇面積比值1~2時，風量比最接近理論數值。
- 總結果：回推實際情況，在2.46坪的套房內設置 303 ~ 606 cm² 的送風口，安裝風速 4.73 ~ 14.33 m/s 的排風扇，即能達壓差標準（低於環境氣壓 8 pa至 32 pa），可有效地增加居家隔離的安全性。

研究動機

COVID-19 疫情爆發，醫院的負壓病房不足，而輕症患者居家隔離期間也希望病毒不會擴散。醫界表示「加裝排風扇，可讓病房產生微負壓」給了我們提示：「若在住家內加裝排風扇，讓輕症確診者隔離的房間產生微負壓，這可能是一個既可保持住家不受其汙染，又可確保輕症患者不傳播病毒的辦法。」於是本研究試圖探討居家隔離排風方式並進行相關實驗。

符號表

符號	物理量	單位	符號	物理量	單位
v	風速	m/s	t	時間	s
$v_{in}(v_{送})$	送風口風速		V	空間體積	m ³
$v_{out}(v_{扇})$	排風扇風速		Q	風量	m ³
q	動壓	Pa	Q_{in}	送風量	
ρ	空氣密度	kg/m ³	Q_{out}	排風量	
A	截面積	m ²	f	換氣頻率	1/hr
$A_{in}(A_{送})$	送風口面積		L	房間長度	m
$A_{out}(A_{扇})$	排風扇面積		V	電壓	V

研究條件

負壓隔離病房壓差標準 (行政院 · 2006)

低於環境氣壓 8 Pa

排風量與送風量關係 (林升傑 · 2009)

送風量 × 1.2 = 排風量

研究目的

1. 發展能監控負壓差值的「居家」負壓隔離空間模型。
2. 探討不同因素對空間負壓差值與風量比的影響，如風速、送風口面積、模型長度與長寬比。
3. 探討實際居家隔離最佳換氣條件

研究流程

前導實驗

發展居家負壓隔離空間模型

主題實驗

實驗一
排風扇風速對負壓差值的影響

實驗三
模型長度對負壓差值的影響

實驗二
送風口面積對風量比的影響

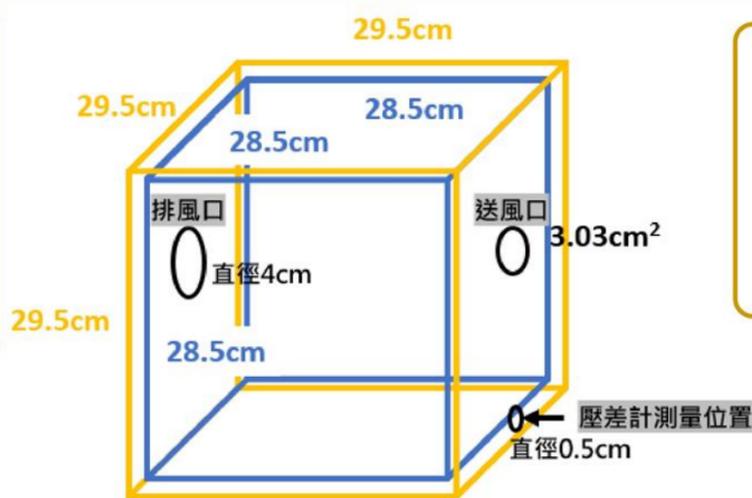
實驗四
模型長寬比對負壓差值的影響

研究推論

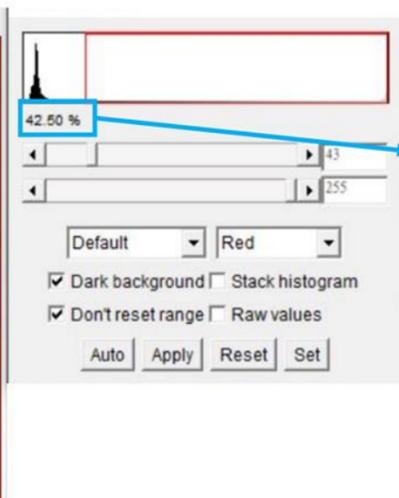
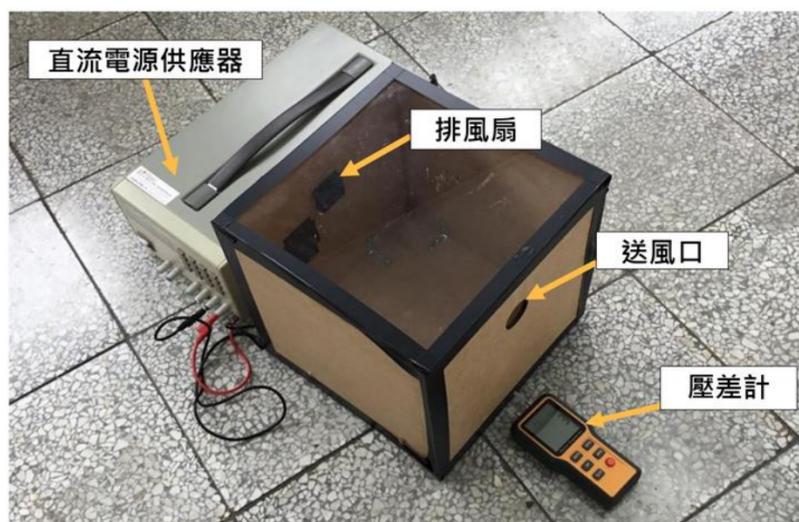
將實驗值回推至實際狀況

前導實驗 發展居家負壓隔離空間模型

示意圖



實際照片



以 ImageJ 分析計算排風扇實際空氣流通面積

紅色區域佔總面積42.5% → 剩餘面積佔57.5%
 正方形照片邊長為 3.8 cm → 剩餘面積為 8.30 cm²
 又排風扇半徑為 1.9 cm → 排風扇面積=11.33 cm²
 11.33 - 8.30 = 3.03 cm² 為排風扇實際空氣流通面積
 因此，本實驗使用之送風口面積 $A_{in} = 3.03 \text{ cm}^2$

實驗一 排風扇風速對負壓差值的影響

方法 以送風口面積 = 排風口面積進行實驗

1. 以風速計測量排風扇風速 v_{out} 。
2. 以壓差計測量負壓差值並帶入公式，求出送風口風速 v_{in} 。
3. 分析 v_{in} 與 v_{out} 的關係。

結果 理論方程式推導

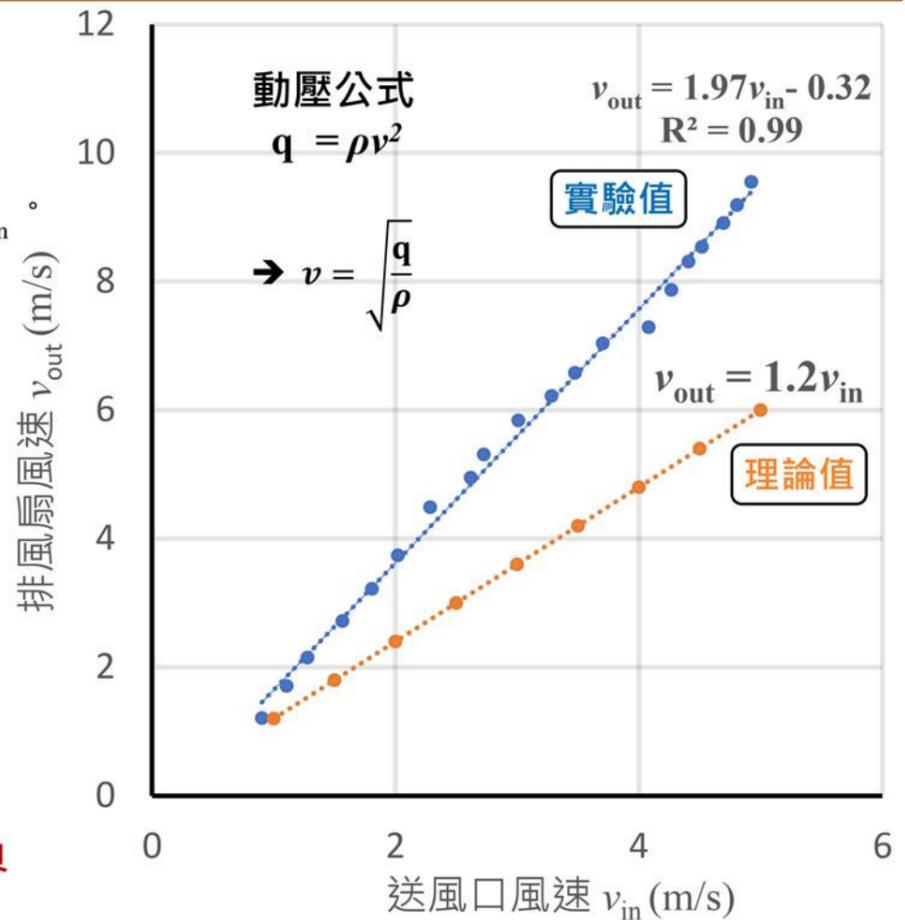
根據文獻：送風量 $Q_{in} \times 1.2 =$ 排風量 Q_{out} 時負壓效果最好，

又 $Q = v \times A \times t \rightarrow v_{in} \times A_{in} \times t \times 1.2 = v_{out} \times A_{out} \times t$

移項後，得： $v_{out} = k \times v_{in}$

可知：風速比 $\frac{v_{out}}{v_{in}} = k = \frac{A_{in}}{A_{out}} \times 1.2$ ，可得最佳負壓效果

小結 由圖可知 v_{in} 與 v_{out} 呈正相關，又因送風口風速由負壓差值求得，可代表負壓差值，所以**排風扇風速越快，負壓差值也會越大**。



排風扇風速和送風口風速關係圖

• 為何本研究不討論每小時換氣次數？

行政院 (2006) 建議病室每小時換氣次數為 8~12 次，且 **換氣次數 = 進氣風量 ÷ 空間的淨體積** $n = Q_{in} \div V$

所以由公式：動壓 $q = \rho v^2 \rightarrow v = \sqrt{\frac{q}{\rho}}$ 又 $Q = v \times A \times t \rightarrow Q = \sqrt{\frac{q}{\rho}} \times A \times t$ 帶回換氣次數公式 $\rightarrow n = \frac{\sqrt{\frac{q}{\rho}} \times A \times t}{V}$

發現：負壓差值與換氣次數平方成正比，測得負壓差值即可得到換氣次數，因此未被納入本研究中。

實驗二 送風口面積對風量比的影響

方法



1. 將 A_{in} 設定為 A_{out} 之 4、3、2、1、0.5 倍，並上傳至雷射切割機切割。
2. 測量不同 A_{in} 的負壓差值與排風扇風速 v_{out} 並分析。

結果 ◆理論方程式推導

由文獻：送風量 $Q_{in} \times 1.2 =$ 排風量 Q_{out}

時負壓效果最好，又 $Q = v \times A \times t$

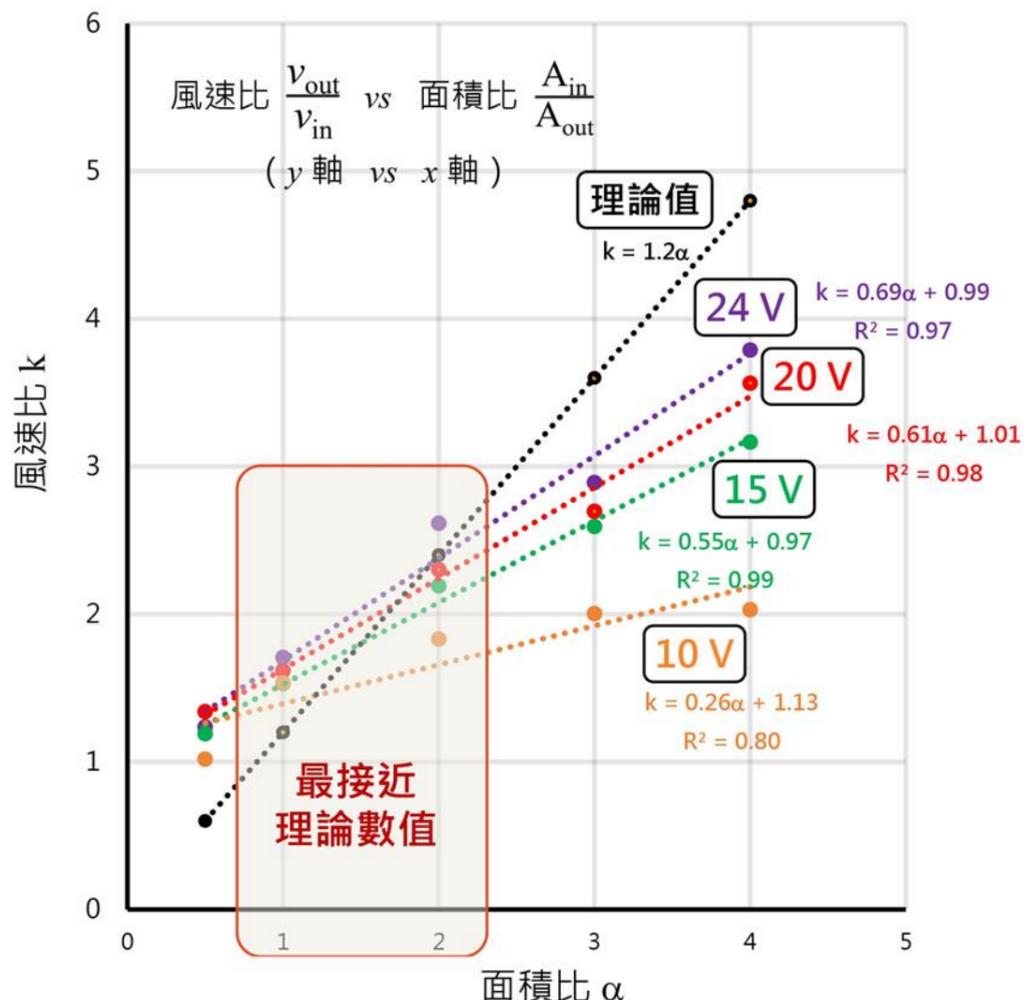
$\rightarrow v_{in} \times A_{in} \times t \times 1.2 = v_{out} \times A_{out} \times t$

移項後得： $\frac{v_{out}}{v_{in}} = \gamma \times \frac{A_{in}}{A_{out}}$

代入條件後可知： $\gamma = 1.2$

小結

1. 實際數值的趨勢線呈現正相關
2. 面積比 $A_{in} : A_{out}$ 在 1 : 1 到 1 : 2 時最接近理論數值，面積比越大，誤差越大。



不同電壓下風速比和面積比關係圖

實驗三&四 房間長度、房間長寬比對負壓差值的影響

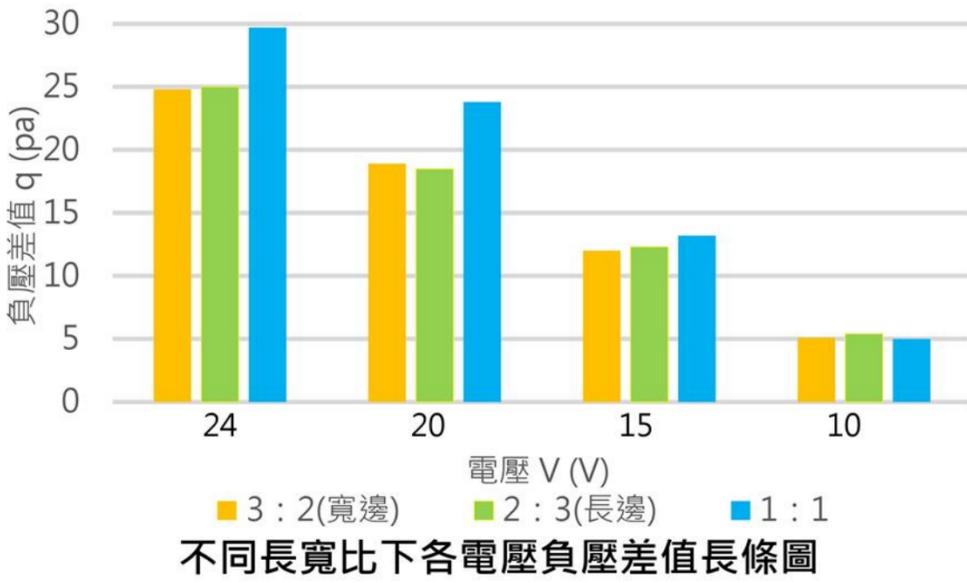
方法

一. 房間長度

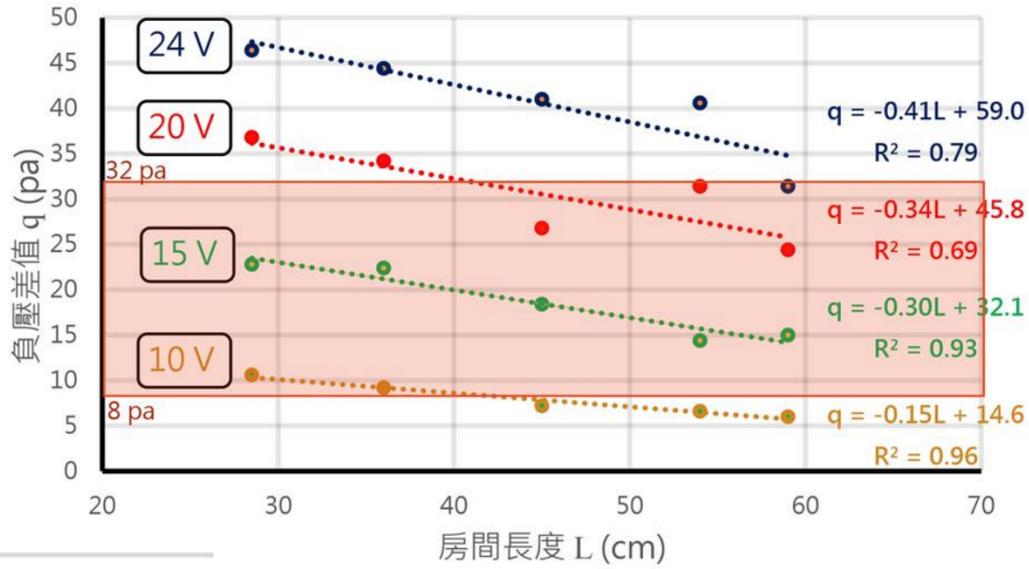
1. 製作可調整長度的空間模型
2. 改變模型長度並測量負壓差值

二. 房間長寬比

1. 製作底面積相同，長寬比3:2之模型
2. 將風扇分別安裝於寬邊和長邊
3. 與1:1模型之數據比較



結果



不同電壓下負壓差值和房間長度關係圖

小結

1. 房間長度越長，負壓差值越低
2. 模型面積相同時，長寬比不會影響

負壓差值

因此，我們推測負壓差值是和房間體積有關係，體積越大，負壓差值越小。

研究推論

1. 不同送排風口面積比 欲達負壓標準所需排風扇風速

1. 將-8pa 與-32pa代入 $v_{in} = \sqrt{\frac{q}{\rho}}$
→ 送風口風速 v_{in}
2. 代入面積比 1:1 與 1:2 關係式
→ 排風扇風速 v_{out}

在 2.46 坪的房間裡，達所需負壓差值之排風扇風速

A _{in}	負壓差值	
	-8 pa	-32 pa
303 cm ² (α=1)	4.73 m/s	9.77 m/s
606 cm ² (α=2)	5.63 m/s	14.33 m/s

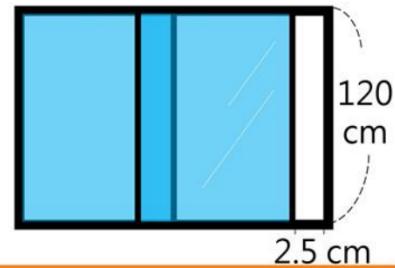
2. 實際房間坪數和 負壓差值的關係

1. 由實驗三，尋找負壓範圍 -8pa 至-32pa 之輸入電壓 → 15 V
2. 由趨勢線的極端值之房間長度，回推房間坪數。

實驗電壓值為15 V，對應實際狀況之某固定輸入電壓		
坪數	2.46 坪	5.09 坪
負壓差值	22.8 pa	15 pa

討論 若要達到理想負壓條件需選擇可調整風速的風扇。

討論 送風口面積需303 cm²，若窗戶長邊為120 cm，需留下約2.5 cm的縫 實際執行上可行！



結論

- 一. 排風扇風速與送風口風速達正相關，排風扇風速越快，負壓差值越大。
- 二. 當送風口與排風扇面積比落在 1:1 到 1:2 時最接近理論數值，風量比最接近理論數值。
- 三. 負壓差值與空間體積負相關，體積越大，負壓差值越小。
- 四. 在2.46坪的套房內設置 303 ~ 606 cm² 的送風口，安裝風速 4.73 ~ 14.33 m/s 的排風扇，即能達壓差標準 (低於環境氣壓 8 pa至 32 pa)。

參考文獻

王順志 (2009)。負壓隔離病房總體設計與洩漏率研究。
 取自<https://reurl.cc/qLKbDy>

行政院 (2006)。負壓隔離病房標準作業手冊。
 取自<https://reurl.cc/OvRaQX>

林升傑 (2009)。門縫面積與洩漏對負壓值影響之量化研究。
 取自<https://reurl.cc/GAGqdZ>

侯凱倫 (2004)。負壓空間之汙染擴散研究。
 取自<https://reurl.cc/kX8bVb>

莊啟佑 (2009)。負壓隔離病房微粒擴散模式及設計參數改良研究。
 取自<https://reurl.cc/65b4aV>

陳婕翎、許秩維 (2022)。中南部空床率比北部低 擬放寬住院解隔標準。
 中央通訊社。取自<https://reurl.cc/8jbA3R>

黃韻玲 (2022)。室內通風、向外抽風 打造健康防疫宅。公視新聞網。
 取自<https://reurl.cc/3xbAJR>