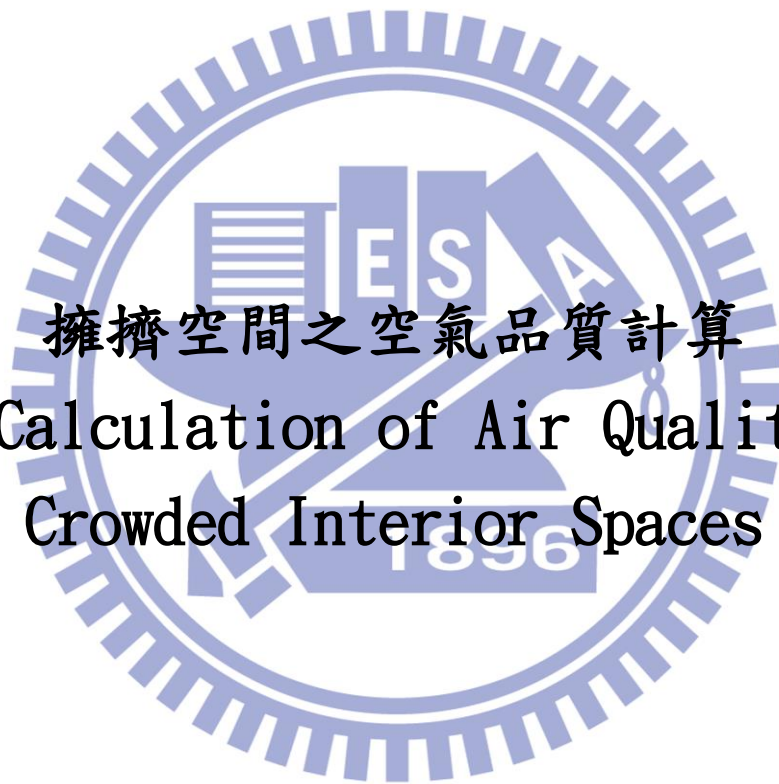


國立交通大學

機械工程學系

碩士論文



擁擠空間之空氣品質計算

The Calculation of Air Quality in
Crowded Interior Spaces

研 究 生：范家魁

指導教授：傅武雄 博士

中華民國一百零二年七月

擁擠空間之空氣品質計算

研究生：范家魁

指導教授：傅武雄 博士

國立交通大學機械工程學系

摘要

本文主要探討人口對室內空氣品質的影響。假使一地人數多且長時間地處於室內，則人體的發熱量與釋放出氣體的量應會對室內的氣體濃度造成一定的影響。在人排出的氣體中，對環境影響較為重要的有二氧化碳和水蒸氣，且人體可以視為一發熱源，因此將人當為最主要的源項配合其它邊界條件加以探討。不同的公共場合伴隨著不同的建議人數與不同的最低換氣量。而本研究探討在建議的人數與符合標準的換氣量下，室內空間的氣體有無符合法定含量值。

The Calculation of Air Quality in Crowded Interior Spaces

Student : Chia-Kuei Fan

Advisor : Wu-Shung Fu

Department of Mechanical Engineering
National Chiao Tung University

Abstract

The study focuses on the influence by the number of people to the indoor air quality. If there are a lot of people who stay too long in the interior spaces, the heat and gases released by people must affect the environment to a certain extent. The most influential gases released by people are carbon-dioxide and water vapor, and people can be regarded as heat sources. Thus, this research regards people as the main source term and calculates the fluid field with boundary conditions. In different places, there are different maximum capacity and minimum ventilation allowed. This research is mainly focusing on limiting the indoor gases below regulation amount, under the condition that the exaulting volume matches the standard for certain recommended capacity.

致謝

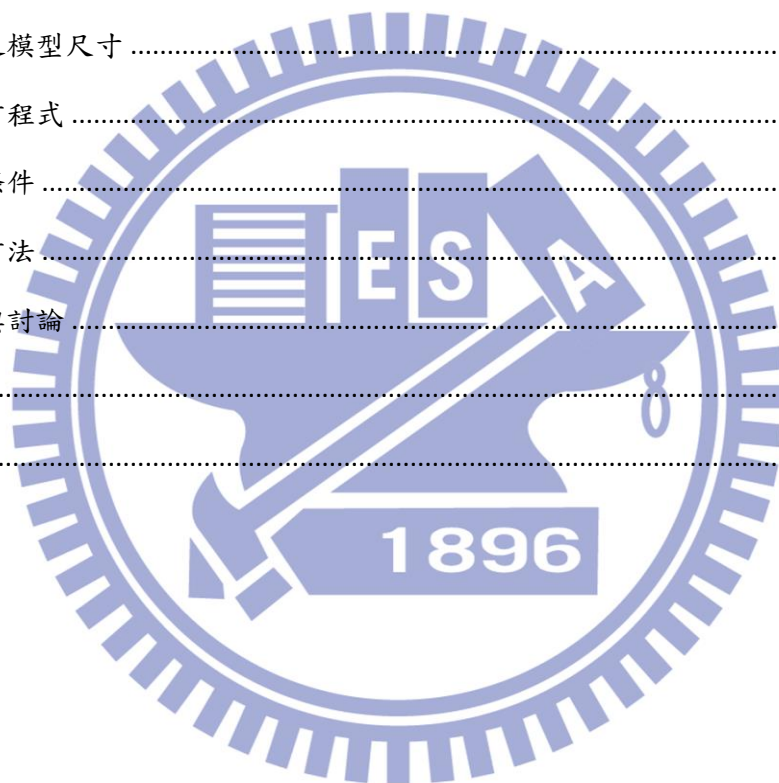
首先感謝我的父親范光永與母親萬春桂，願意對我毫無保留的付出，讓我在學習的歷程上又增加了一筆經歷。感謝傅武雄老師在研究所這兩年給我許多研究上的建議和方向，感謝實驗室的學長姊、同學和學弟們對我的幫忙，在此特別感謝王威祥學長、黃崑榕和黃上豪學長。感謝好友鄒沛雯和愛狗 Doggy 在我兩年的碩士班生活帶給我無限的快樂。感謝在交大認識的朋友——葉庭鈞、吳錫宸、薛正宏、李貞儀、林仕文、丁崑哲、葉保杰、黃俊龍、吳文玉、陳宛伶和蘇逸翔能與我互相分享生活中的酸甜苦辣。感謝在交大曾與我合作過的音樂夥伴——賴定弘、蔡銘、黃上豪、溫千翔、林爽彥、林詩珊，讓我在交大的音樂學習更上一層樓。



符號表

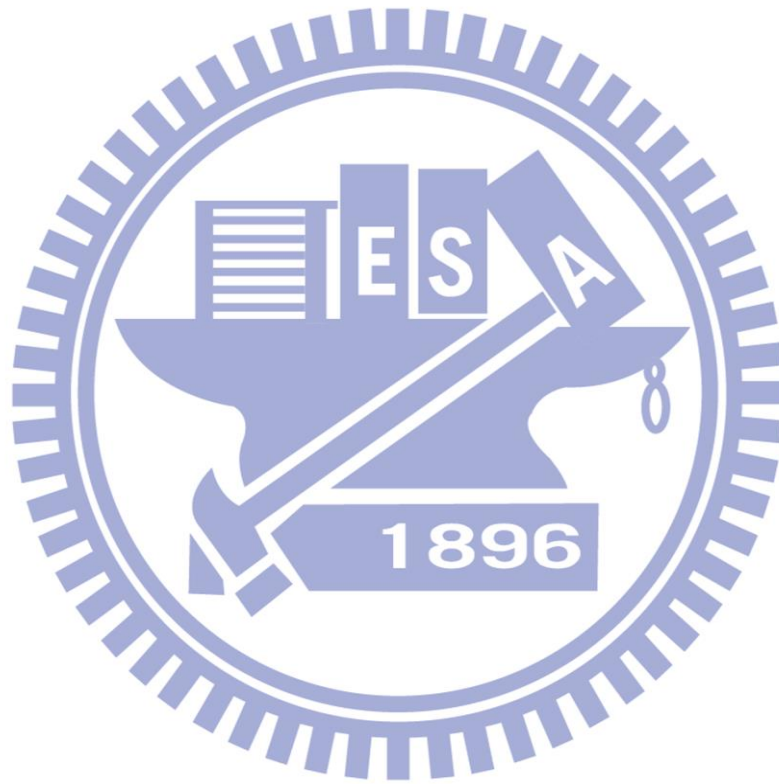
ε ：孔隙率	F ：質量通率
ρ ：密度	Q ：對流項
u ：速度	R ：擴散項
v ：速度	Φ ：相對溼度
E ：能量	ω ：絕對溼度
C ：濃度	P_{ws} ：飽和壓力
τ ：應力	k ：熱傳導係數
D ：擴散係數	C_p ：比容
T ：溫度	d_{fl} ：孔隙直徑
P ：壓力	V_{fl} ：孔隙體積
h ：焓	Si ：源項
θ ：物理性質	α ：滲透率
t ：時間	ppm：氣體體積濃度
f ：幾何因子	

摘要.....	I
Abstract	II
符號表.....	IV
表目錄.....	VI
圖目錄.....	VII
第一章 緒論	1
第二章 物理模式	9
2.1 物理模式與假設	9
2.2 模擬之模型尺寸	10
2.3 統御方程式	10
2.4 邊界條件	14
第三章 數值方法	28
第四章 結果與討論	33
第五章 結論	72
參考文獻.....	73



表目錄

表 1	行政院環保署規範之各類氣體含量值	8
表 2	小模型之各層數據平均表	35
表 3	大模型之各層數據平均表	47
表 4	大模型(改大開口)之各層數據平均表	60



圖目錄

圖 1	多孔性介質示意圖	7
圖 2	小模型之模型圖	23
圖 3	小模型之俯視圖	23
圖 4	小模型之側視圖	24
圖 5	大模型之模型圖	25
圖 6	大模型之俯視圖	25
圖 7	大模型之側視圖	26
圖 8	小模型之網格圖	27
圖 9	大模型之網格圖	27
圖 10	Fluent 計算流程圖	31
圖 11	對流通量示意圖	32
圖 12	人體溫度濕度舒適圖	36
圖 13	壁面等溫圖，單位 K	37
圖 14	$z=0.9(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K	38
圖 15	$z=1.7(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K	38
圖 16	$z=2.5(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K	39
圖 17	$z=3.5(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K	39
圖 18	$z=4.5(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K	40
圖 19	$x=3(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K	41
圖 20	$x=7(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K	41
圖 21	$y=3(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K	42
圖 22	$y=7(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K	42
圖 23	$z=0.9(\text{m})$ 之水蒸氣， $(\text{kg-H}_2\text{O}/\text{kg-air})$	43
圖 24	$z=1.7(\text{m})$ 之水蒸氣， $(\text{kg-H}_2\text{O}/\text{kg-air})$	43
圖 25	$z=0.9(\text{m})$ 之二氧化碳濃度圖， $(\text{kg-CO}_2/\text{kg-air})$	44
圖 26	$z=1.7(\text{m})$ 之二氧化碳濃度圖， $(\text{kg-CO}_2/\text{kg-air})$	44
圖 27	$z=0.9(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K	48
圖 28	$z=1.7(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K	48
圖 29	$z=2.5(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K	49
圖 30	$z=3.5(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K	49
圖 31	$z=4.5(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K	50
圖 32	$z=0.9(\text{m})$ 之水蒸氣重量分率截面圖， $(\text{kg-H}_2\text{O}/\text{kg-air})$	51
圖 33	$z=1.7(\text{m})$ 之水蒸氣重量分率截面圖， $(\text{kg-H}_2\text{O}/\text{kg-air})$	51
圖 34	$z=2.5(\text{m})$ 之水蒸氣重量分率截面圖， $(\text{kg-H}_2\text{O}/\text{kg-air})$	52
圖 35	$z=3.5(\text{m})$ 之水蒸氣重量分率截面圖， $(\text{kg-H}_2\text{O}/\text{kg-air})$	52
圖 36	$z=4.5(\text{m})$ 之水蒸氣重量分率截面圖， $(\text{kg-H}_2\text{O}/\text{kg-air})$	53
圖 37	$z=0.9(\text{m})$ 之二氧化碳體積濃度截面圖，單位 ppm	54

圖 38	$z=1.7(\text{m})$ 之二氧化碳體積濃度截面圖，單位 ppm	54
圖 39	$z=2.5(\text{m})$ 之二氧化碳體積濃度截面圖，單位 ppm	55
圖 40	$z=3.5(\text{m})$ 之二氧化碳體積濃度截面圖，單位 ppm	55
圖 41	$z=4.5(\text{m})$ 之二氧化碳體積濃度截面圖，單位 ppm	56
圖 42	$y=15(\text{m})$ 之二氧化碳體積濃度截面圖，單位 ppm	57
圖 43	大模型二氧化碳體積濃度為 1400ppm 之等位面圖	57
圖 44	$z=2.5(\text{m})$ 之流線圖	58
圖 45	大模型之出口加大圖	61
圖 46	加大開口， $z=0.9(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K	62
圖 47	加大開口， $z=1.7(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K	62
圖 48	加大開口， $z=2.5(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K	63
圖 49	加大開口， $z=3.5(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K	63
圖 50	加大開口， $z=4.5(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K	64
圖 51	加大開口， $z=0.9(\text{m})$ 之水蒸氣重量分率截面圖，(kg-H ₂ O/kg-air)	65
圖 52	加大開口， $z=1.7(\text{m})$ 之水蒸氣重量分率截面圖，(kg-H ₂ O/kg-air)	65
圖 53	加大開口， $z=2.5(\text{m})$ 之水蒸氣重量分率截面圖，(kg-H ₂ O/kg-air)	66
圖 54	加大開口， $z=3.5(\text{m})$ 之水蒸氣重量分率截面圖，(kg-H ₂ O/kg-air)	66
圖 55	加大開口， $z=4.5(\text{m})$ 之水蒸氣重量分率截面圖，(kg-H ₂ O/kg-air)	67
圖 56	加大開口， $z=0.9(\text{m})$ 之二氧化碳體積濃度截面圖，單位 ppm	68
圖 57	加大開口， $z=1.7(\text{m})$ 之二氧化碳體積濃度截面圖，單位 ppm	68
圖 58	加大開口， $z=2.5(\text{m})$ 之二氧化碳體積濃度截面圖，單位 ppm	69
圖 59	加大開口， $z=3.5(\text{m})$ 之二氧化碳體積濃度截面圖，單位 ppm	69
圖 60	加大開口， $z=4.5(\text{m})$ s 之二氧化碳體積濃度截面圖，單位 ppm	70
圖 61	二氧化碳濃度=1300ppm 之等位面	70
圖 62	加大開口，出口回流速度圖，單位 (m/s)	71
圖 63	自然排氣口之速度向量值，單位 (m/s)	71

第一章 緒論

從早期到現在，人們的工作場所逐漸從開放空間變成室內且較為密閉的空間。為了節省成本開銷，人們更是在有限的土地上，建造出更高的樓層、隔出更多的室內工作間。雖來大量的工作可分配得更加精細，但對於在室內工作的人們來說，空氣品質將面臨一再下降的情形，所以越來越多人意識到空氣品質的重要。改善室內空氣品質的方法除了壁窗的自然通風，還需配合空調設備來改善。但近年來，科學研究報導紛紛指出關於大量使用空調設備(冷媒)，使得二氧化碳的濃度上升，造成全球平均溫度上升，不僅讓人們覺得更熱，連北極的冰區都跟著融化，造成北極的生物面臨絕種的可能。這樣的反覆循環，勢必會讓人們將空調的溫度調的更低，耗費更巨大的能源。根據陳[1]資料統計顯示，室內冷氣空調設備之溫度每調高 1 度 C，大約可以節整 4-5% 的電力消耗，因此在空調設備與建築技術(綠建築即為一例)結合下，必定可以找到一個使用能源的平衡點來減少能源的使用。根據文獻顯示，一天下來，不論是在工作或休息，大部分的人幾乎都花大約百分之九十以上的時間待在室內空間[2](包括在住家、辦公室、或其他建築物與交通工具內)，所以室內空氣品質的好壞對人們工作的效率和休息的品質關係非常密切，若無法做好室內對外的空氣流通，長久下來必定會對人們的健康有相當大的影響[3]、[4]、[5]。依照世界衛生組織的認定，因為室內空氣品質不良而造成身體不適，包括頭暈、疲倦、呼吸困難、無法集中注意力、皮膚乾燥和鼻子過敏等，皆可稱為「病態大樓症候群」(Sick Building Syndrome, SBS)，也就是現代人所面臨的「文明病」。「病態大樓症候群」造成的主因是因為人們在室內曾經大量或少量但長期暴露於化學物質下，

身體產生敏感的症狀，日後即便是極少量的接觸過敏物質，仍會引起身體不適的症狀。

簡單來說，在人離開病源住宅的時候，症狀並不會消失，所以必須透過醫學診療來解決。

另外一種也是因為空氣品質不良而產生的症狀稱為「多重化學過敏症」(Multiple Chemical Sensitivity, MCS)，自「高氣密/高氣熱」住宅建築之基準以來之一大問題，產生的原因為當人們住進新建或是新裝潢好的住宅時，會產生噁心、全身無力、喉嚨痛、咳嗽等症狀，這種症狀在離開病源住宅時即隨之消失，且症狀可以透過建築的方式來解決。所以，為了改善及維護室內空氣品質，維護人民健康及生活環境，世界各國在近幾十年來已不斷訂定與修改有關室內空氣品質的法規條文，明確規範在各類建築中，不同氣體(二氧化碳、水蒸氣、甲醛及其他對人體有害之氣體)的含量應為多少。中華民國行政院環保署在九十四年亦有規範各種氣體的建議值。

除了規定氣體含量，中華民國內政部營建署[6]也訂定建築技術規則，規定各類室內場合之直接對外之通風條件應為多少。對於一般家用浴室和浴廁來說，直接對外之有效通風面積不得小於該樓室地板面積的百分之五。但是，對一個大型公共場合(大型百貨公司、大賣場、戲院、電影院和演藝場集會堂等)來說，要建立一個百分之五的對外有效面積可能會造成室內溫度上升而造成室內人體感到不適並且對冷凍空調系統造成能量的散失，因此通風條件應加上冷凍空調通風系統的考量：若有效通風面積未達該室樓地板面積十分之一之觀眾席及使用爐灶社等燃燒設備間、工作室或人口聚集處等，應依建築設備編織規定設置適當之機械通風設備，但所使用之燃燒器具與設備可直接自戶外導進空氣，並能將所發生之廢棄物，直接排至戶外而無污染室內空氣情形者，不再此

限。而空調系統的進風口及出風口亦有限制：對於室內的進風口及排風口的面積的限制為不得小於排風管之有效截面積，而室內進風口之位置應設於天花板高度二分之一以下部分，並開向與空氣直流通知空間；而排風口之位置應設於天花板下八十公分範圍內，並經常開放。

然而對於空調系統研究中，較多的文獻指出[2]~[7]影響室內空氣品質的主要因素為二氧化碳、水蒸氣和溫度；但經過長期間的探究後發現，甲醛以及真菌[8]對人類健康亦有相當大的危害。二氧化碳根據行政院環保署規定(表 1)，第一類場所(醫院、辦公室等)於每八小時之測量值需低於 600(ppm)；第二類場所(大賣場、百貨公司等)於每八小時之測量值所需低於(1000ppm)，若二氧化碳超過該場合之表定含量，輕則感到不舒服、疲倦或頭痛，重則會影響到呼吸、循環系統以及大腦機能甚至嘔吐的狀況。水蒸氣主要是影響相對濕度，若相對濕度小於 50%，人類皮膚的角質含水量約低於 10%，因而皮膚會造成乾燥脫落，若遇到空氣中的微小污染粒子，則可能會對皮膚造成更大的威脅。但有研究報導指出，除了室內空調的進、排氣系統[9]、[10]和自然通風之外，室內人數對空氣品質影響甚大，但往往空間內人員的因素經常被忽略，對人口擁擠的空間內舒適環境之空氣品質的研究更是少見。因此，結合了溫度、濕度、不同氣體與人口密度四大要素合併討論的論文將會對此領域有重大的影響。維持人口擁擠空間內的舒適環境空氣品質，不但在實務應用上極為重要，且在學術上極具深入研究價值。

承上所述，室內人口數也是影響室內空氣品質的一大主因。人體在呼吸後會將熱、二氧化碳以及水蒸氣等氣體排放至室內環境，若以行走的方式計算[11]，每人所散發之

總熱量約為 131 瓦特，二氧化碳排放總量為每小時 0.082 公斤，散發水蒸氣量每小時約為 0.157 公斤，若室內人口上升至某種程度，必然會對室內的空氣品質有很大的影響。根據文獻[12]，室內的各種氣體會隨著人口的多寡而有增減，若氣體含量過量，必定會讓室內的人口感到身體不適。所以台北市政府[13]也訂定「台北市特定場所留容人數管制規則」(留容人數，即每人所占面積)，訂定的目的為：基於維護本市公共場所人身安全考量，限制建築物空間使用容量確有其必要性，歐、美、日等先進國家均於規劃設計階段，即基於避難逃生之需求而有類似管理機制，並於使用上加強管理，為避免發生災害時，人員逃生上造成推撞擠壓，肇致傷亡情事，台灣遂參照美國 UBC、日本火災預防條例準則、國內各類場所消防安全設備設置標準及相關國內、外參考資料後，歷經本府相關局處與公會、業者多次會議研商，並召開二次公聽會廣納民意後，於九十年通過本府市政會議，並於同年十二月二十五日發布「臺北市特定場所容留人數管制規則」，考量屬全國性首創業務，將有六個月之宣導期，主要規範對象為舞廳、舞場、酒家、酒吧、飲酒店、視聽歌唱、使用樓地板面積達五千平方公尺之百貨商場、超級市場及經指定之臨時室內表演、展覽場所。

雖然有相關法規制定人口量及各種氣體的含量，但實際上，室內環境的空氣分佈不一定是平均的，舉例來說，二氧化碳的分子量比空氣還要大，所以二氧化碳的分佈會有越往地面濃度越高的趨勢，對一個身高較低的兒童來說，這樣的情況可能會導致空氣品質下降，但對正常的成人來說卻沒有太大的影響。因此，在成人與兒童如此人口擁擠的室內空間裡，如何維持舒適的環境空氣品質並且達到室內氣體含量標準，一直為冷凍空

調界重要致力的方向。然而，要調整整體室內空間的空氣品質，首要的工作就是要知道室內的空氣會如何分佈，但預測有關室內空氣品質等之環境工程是一項複雜的工作。目前已知相關的物理模式已足夠去計算一些較複雜的空氣流汗有毒氣體擴散。然而，這必須花上相當的計算時間。近年來，CFD(Computational Fluid Dynamics)的模擬軟體發展已相當成熟[14]，已經可以在相當多的領域使用，CFD 的數學模式即表示流體輸送過程中基於物理定律的數學方程式，計算這些方程式可以得到流場內相關的物理性質，如溫度、速度、壓力、相對濕度和氣體濃度等。但使用者必須熟悉如何操作建立模型的軟體、模擬軟體和相關設定，且在計算前的前置作業必須一一確認(給定的邊界條件、初始條件以及源項等)來確保 CFD 模擬軟體結果之正確性。而本研究選用的模擬軟體為 Fluent。Fluent 為目前國際上較為盛行的 CFD 計算軟體，在美國的市場佔有率大約為 60%，凡是有關流體流動之速度場、溫度場、壓力場和化學反應有關的研究皆可應用。可以以先進的數值方法和強大的前後處理功能計算複雜的模型。在航空業、汽車行業或任何有關流體的地方皆可應用 Fluent。

本研究中，除了考慮溫度、濕度以及氣體濃度之外，亦需要考慮到人員多寡因素影響，而人體唯一不規則之形體，若要精確地建立人體模型，實際上相當不容易，且在切割網格的部分會變得非常複雜，由於網格的不規則性，在計算上也會耗費許多時間且準確性也會受到限制。因此本研究使用多孔性介質(porous medium)，將處於運動狀態中的人之呼吸量以及發熱值作為計算依據。如圖 1 所示，左圖中，有色條紋代表物體所占面積，將左方白色面積(即剩餘面積)相等於右圖一個的圓面面積，而右圖所剩餘面積即

為物體所占面積，此為多孔性截質的使用來替代人體在流場中聚集的狀況。而流體通過多孔性介質時，會依實際流場情形產生熱傳、壓降、速度等變化，並依據分布密度情形，依照法規區分為低、中、高三個等級，依據不同密度計算相對的孔隙率(ε ，定義為：孔隙體積除以整體體積)。人體新陳代謝所排出之水蒸氣、二氧化碳及熱量則視為流場中之源項，依照上述之留容人數，可得知每人在該場所所占面積，再配合人體平均高度即可估算出每人處於多少立方的體積內，因人體外型非常複雜，因此將人體外型簡化為圓柱，估算圓柱即可算出孔隙率並對流場做計算。

根據模擬後，可以得到該流場大致上的溫度分佈和氣體濃度分佈情形：可得室內平均溫度是否符合人體舒適度以及各類氣體在流場中的含量是否超量，若超出法定值則需配合冷凍空調設備進行改善(增加出風口風速、或增加出風口數量或出風口與排氣口的相對位置)或對人口做更嚴格的限制，如此一來才能夠確保人們在室內的安全性以及提升室內的工作品質。

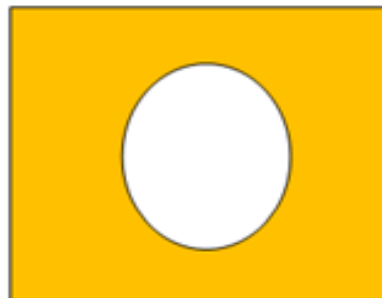
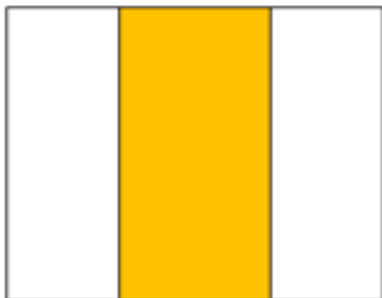


圖 1 多孔性介質示意圖

表 1 行政院環保署規範之各類氣體含量值

項目	建議值			單位
二氧化碳(CO ₂)	8 小時值	第 1 類	600	ppm(體積濃度百萬分之一)
		第 2 類	1000	
一氧化碳(CO)	8 小時值	第 1 類	2	ppm(體積濃度百萬分之一)
		第 2 類	9	
甲醛(HCHO)	1 小時值		0.1	ppm(體積濃度百萬分之一)
總揮發性有機化合物(TVOC)	1 小時值		3	ppm(體積濃度百萬分之一)
細菌(Bacteria)	最高值	第 1 類	500	CFU/m ³ (菌落數/立方公尺)
		第 2 類	1000	
真菌(Fungi)	最高值		1000	CFU/m ³ (菌落數/立方公尺)
粒徑小於等於10微米(μm)之懸浮微粒(PM ₁₀)	24 小時值	第 1 類	60	μg/m ³ (微克/立方公尺)
		第 2 類	150	

第二章 物理模式

2.1 物理模式與假設

本模擬之模型分為大模型與小模型，模型皆以人所在的地方作為考量，且須考慮到來自不同源項的影響，如冷氣出風口、大門(自然排風口)與及人體的排熱和呼出氣體。前面所述的各項之相互影響作用較為複雜，無法以二維模型探討真實情況，必須使用三維模型才能詳細地探討實際情形。在本模擬中，影響較小的物體，如日光燈、熱水瓶、小檯燈等不細探討，一來是因為其發熱量對於流場影響甚小，可忽略不計，二來是可減少建置模型與切網格的複雜程度。模擬軟體以 Fluent6.3.26 為計算平台，並使用 SIMPLE(Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations)方法作數值計算，為簡化計算模型與運算空間，本人對流場內部做以下假設：

1. 工作流體密度為定值
2. 空間為三維直角座標系統
3. 工作流體為空氣，包含二氧化碳、水蒸氣，性質為牛頓流體(Newtonian fluid)，黏滯係數(Viscosity)為等向性
4. 流體與壁面均滿足無滑移條件(no-slip condition)
5. 考慮重力場影響
6. 無化學反應

在本研究中將人群密度列為影響室內空氣品質的因素之一，由於人體的幾何形狀複雜，於細部建模不易。因此，在將會使用多孔性介質(porous medium)來代替人群在環境中的影響，並使用下列幾點假設。

1. 將人體假設成一均勻阻礙物，此阻礙物將以多孔性介質之方式來代替人體
2. 人體在空間中釋放之熱量值與排放氣體之值均為定值
3. 阻礙物體積高度為人體平均高度，長度與寬度及為人群所佔有之面積。

2.2 模擬之模型尺寸

小模型：

外部長方體： $10 \times 10 \times 5(\text{m}^3)$

內部長方體(多孔性介質)： $8 \times 8 \times 1.8(\text{m}^3)$

自然排氣口： $2.5 \times 8(\text{m}^2)$

冷氣進口： $0.8 \times 0.8(\text{m}^2)$ ，共四個進口

大模型：

外部長方體： $30 \times 30 \times 5(\text{m}^3)$

內部長方體(多孔性介質)： $28 \times 28 \times 1.8(\text{m}^3)$

自然排氣口： $2.5 \times 2(\text{m}^2)$

冷氣進口： $1 \times 1(\text{m}^2)$ ，共 25 個進口

2.3 統御方程式

經由2.1之假設，建立連續、動量、能量、對流與濃度方程式如下列所示：

A. 連續方程式(continuity equation)

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho_f \tilde{u}_j) = 0 \quad (2-1)$$

B. 動量方程式(Navier - Stokes equations)

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho_f \tilde{u}_j u_i - \tau_{ij}) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} \quad (2-2)$$

$$\tau_{ij} = \mu_f \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \mu_f \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{ij} - \overline{\rho u_i u_j} \quad (2-3)$$

C. 能量方程式(energy conservation equation)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \frac{\partial}{\partial x_i} [u_i (\rho E + p)] = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k \frac{\partial T}{\partial x_i} + u_j \tau_{ij} \right) \quad (2-4)$$

$$E = h - \frac{p}{\rho} + \frac{u_i^2}{2} \quad (2-5)$$

D. 對流擴散方程式(advective diffusion equation)

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial u_i c}{\partial x_i} = \sum_{j=1}^3 \frac{\partial}{\partial x_i} \left(D_{ij} \frac{\partial c}{\partial x_j} \right) \quad (2-6)$$

其中：

x_i : 卡氏 (Cartesian) 座標 ($i=1, 2, 3$)

u_i : 流體在 x_i 方向的絕對速度

$\tilde{u}_j = u_j - u_{cj}$: 流體相對於移動座標 (u_{cj}) 的流速

p : 全壓值 (piezometric pressure)

ρ_f : 流體密度

τ_{ij} : 應力張量

μ_f : 流體黏性係數

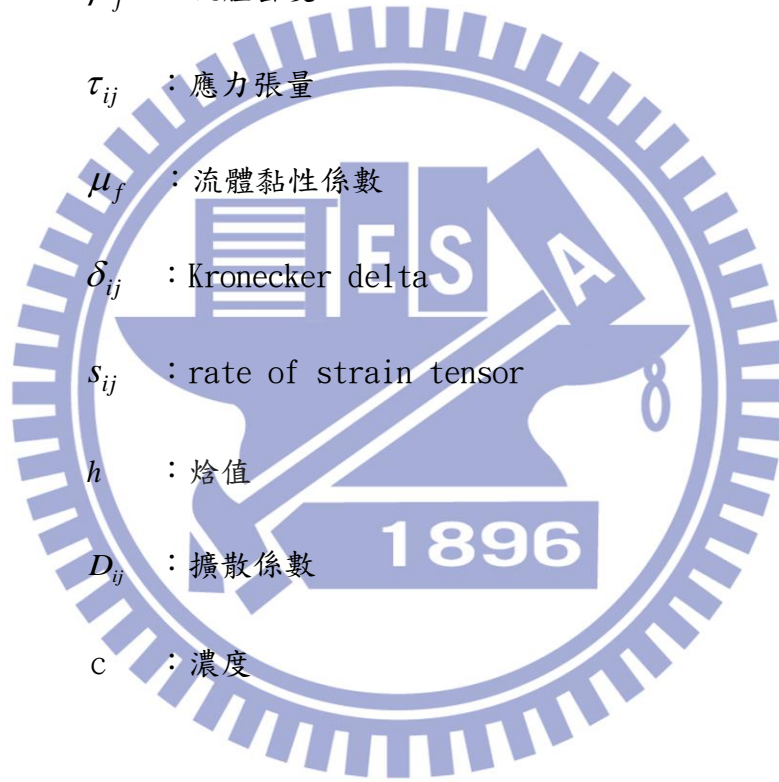
δ_{ij} : Kronecker delta

s_{ij} : rate of strain tensor

h : 焓值

D_{ij} : 擴散係數

c : 濃度



E 濃度方程式

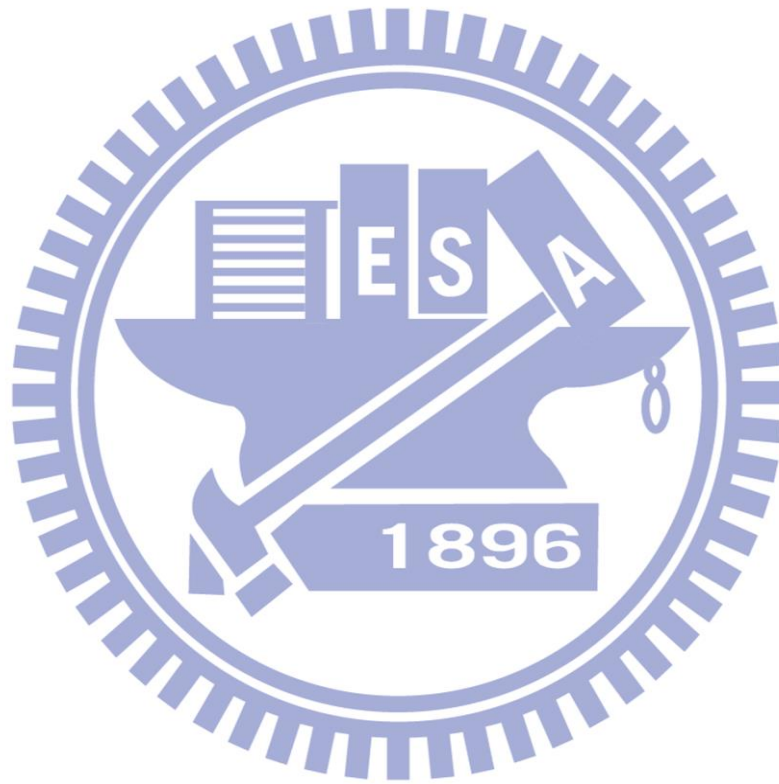
$$\frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial t} (\sqrt{g} \rho m_m) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \tilde{u}_j m_m - F_{m,j}) = s_m \quad (2-7)$$

$$F_{m,j} \equiv \rho D_m \frac{\partial m_m}{\partial x_j} - \overline{\rho u_j m_m} \quad (2-8)$$

s_m : 經化學反應後產生的濃度項 (本模擬無化學反應，因此 s_m 為零)

$F_{m,j}$: 擴散通量分量

D_m : 分子擴散分量



2.4 邊界條件

解上述聯立方程式時，所需之源項與邊界條件分別說明如下：

1. 小模型

進口：

溫度：15°C (288K)

速度：根據文獻[17]、[18]，本研究之場所適合的人口密度為 $1.5(\frac{m^2}{人})$ ，可推算室內大約有43個人($\frac{8 \times 8}{1.5} = 42.6$)，室內每人所需的最小新鮮空氣量為 $0.4(m^3/min)$ ，建議換氣量為 $0.7(1/hr)$ 。因此室內所需氣體總量為 $43 \times 0.4 \div 60 = 0.286(\frac{m^3}{s})$ ，若配合換氣量計算進口速度如下：

$$0.7:1 = Q:0.286 \times 3600$$

$$Q = 720.72 \left(\frac{m^3}{hr} \right) = 0.2 \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$0.2 = 1(m) \times 1(m) \times 4 \times v_{in}$$

$$v_{in} = 7.8 \times 10^{-2} \left(\frac{m}{s} \right) = v_{min}$$

因為最小速度(V_{min})為恰好滿足此換氣條件，因此取 $V_{in} = 0.1(m/s)$ 為進口

速度。

出口：

錶壓力(gauge pressure)為0，流體將在出口以完全展開流性質做計算，

回流溫度為 27 °C。

各種氣體濃度

進口：

二氧化碳(CO₂)

若以新鮮空氣濃度計算[20]，新鮮空氣內所含的二氧化碳濃度為 380ppm(ppm，百萬分之一)。若換算為重量濃度為：

$$380 \times 10^{-6} \times 1.7878 \div 1.225 = 5.54 \times 10^{-4} \left(\frac{kg - CO_2}{kg - air} \right)$$

其中，二氧化碳密度為 $1.79 \left(\frac{kg}{m^3} \right)$ ，空氣密度為 $1.26 \left(\frac{kg}{m^3} \right)$ (此二密度值為 Fluent 內建資料庫顯示值)

水蒸氣(H₂O)：

假設進口相對濕度(ϕ)為60%，並換算成絕對溼度(ω)：

依文獻[21]，可得計算飽和壓力(Pws)公式為

$$\ln(Pws) = \frac{c1}{T} + c2 + c3 \times T + c4 \times T^2 + c5 \times T^3 + c6 \times \ln(T) \quad (2-7)$$

$$c1 = -5.67 \times 10^{-3}$$

$$c2 = 6.39$$

$$c3 = -9.67 \times 10^{-3}$$

$$c4 = 2.07 \times 10^{-9}$$

$$c5 = -9.48 \times 10^{-13}$$

$$c6 = 4.16$$

而上式溫度須以攝氏溫度(°C)為單位做計算。

將氣體進口溫度15°C帶入可得， $Pws@15^\circ C = 1689.04(Pa)$ ，而絕對溼度可以下列式子

求出：

$$\omega = 0.62198 \times \frac{P_{ws}}{P - P_{ws}} \quad (2-8)$$

其中P為室1大氣壓(101325Pa)，將Pws帶入可求得絕對溼度為

$$\omega = 5.23 \times 10^{-3} \left(\frac{kg - H_2O}{kg - air} \right)$$

源項(source term)

人呼吸時，會產生二氧化碳與水蒸氣等氣體，若在人數較多的地方，則呼出之二氧化碳的對於環境空氣品質的影響頗為重要。在此以使用成年人的平均數據為二氧化碳呼出量 0.046(立方公尺/每小時)與水氣 158 克/每小時[22]，做為計算使用。而將此兩項數據分別換算成公制單位為：

$$\begin{aligned} \text{水蒸氣: } 158 \left(\frac{g}{hr} \right) &= 158 \times 10^{-3} \left(\frac{kg}{g} \right) \times \frac{1}{3600} \left(\frac{hr}{s} \right) = \\ &= 4.39 \times 10^{-5} (kg/s) \\ \text{二氧化碳: } 0.046 \left(\frac{m^3}{hr} \right) &= 0.046 \times 1.7878 \left(\frac{kg}{m^3} \right) \times \frac{1}{3600} \left(\frac{hr}{s} \right) \\ &= 2.28 \times 10^{-5} \left(\frac{kg}{s} \right) \end{aligned}$$

換算成每單位體積所釋放之源項為：

$$4.39 \times 10^{-5} : 1.5 \times 1.8 = \text{單位體積水蒸氣量:1}$$

$$2.28 \times 10^{-5} : 1.5 \times 1.8 = \text{單位體積二氧化碳量:1}$$

$$\text{單位體積水蒸氣量} = 1.63 \times 10^{-5} \left(\frac{kg}{m^3 \times s} \right)$$

$$\text{單位體積二氧化碳量} = 8.44 \times 10^{-6} \left(\frac{kg}{m^3 \times s} \right)$$

牆壁(wall)

本研究將牆壁當作混凝土計算，依據文獻[23]，混凝土的熱傳導係數(k)、比熱(Cp)及密度(ρ)如下：

$$k\left(\frac{W}{m \cdot K}\right) = T^2 \times 10^{-6} - 0.003 \times T + 2.31 \quad (2-9)$$

$$C_p\left(\frac{J}{kg \cdot K}\right) = -0.0003 \times T^2 + 0.7598 \times T + 889.76 \quad (2-10)$$

$$\rho = 2300\left(\frac{kg}{m^3}\right)$$

而 2-9 式與 2-10 式中之溫度單位為克式溫度(K)做計算，依據文獻[24]，本研所在地年[27]平均溫為21.9(294.9K)，帶入上兩式可求得：

$$k = 1.51\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$$

$$C_p = 1087.73\left(\frac{J}{kg \cdot K}\right)$$

牆壁外牆設定為定溫為22.0°C，厚度為 0.3(m)，並點選 fluent 內的” shell conduction”選項，藉由熱傳導將熱由牆壁傳入室內。

孔隙率與相關數值計算(porous medium)

參考文獻[25]，得知台灣成年人口平均腰圍為 89 公分左右。若將人體視為一個圓柱體，藉由腰圍可以算出平均直徑約為 0.283(m)。

在孔隙介質內，人可以佔有的面積為 $8 \times 8(m^2)$ ，孔隙介質內共含有 42 人

$(8 \times 8 \div 1.5 \cong 42)$ ，所佔面積為 $42 \times 0.283^2 \times \frac{\pi}{4} = 2.64(m^2)$ 扣除人體所佔面積

後，剩下的孔隙面積為 $(64 - 2.64) = 61.36(m^2)$ 。

孔隙率(ε)定義為：

$$\varepsilon = \frac{\text{孔隙體積}}{\text{總體積}}$$

本研究的孔隙率為：

$$\varepsilon = \frac{61.36 \times 1.8}{64 \times 1.8} = 0.96$$

在 Fluent 軟體中，需要計算出孔隙的直徑。在此多孔性介質當中，孔隙假設

為圓球形，因此本文以體積相等之概念來求得孔之直徑：

若 42 人，每人皆佔相同體積 $1.8 \times 1.5(\text{m}^2)$ ，扣掉人所佔的體積 $0.283^2 \times \frac{\pi}{4}$ ，剩

下的體積極為孔的體積，孔的體積可表示為

$$V_{\text{孔}} = \frac{1}{6} \pi d_{\text{孔}}^3 \quad (2-11)$$

即可求出孔徑為 1.70(m)。

當流體碰到多孔性介質損失計算：

在 Fluent 的使用說明中，作者將多孔性介質的源項(Si)表示為：

$$Si = -\left(\frac{\mu}{\alpha} v_i + c_2 \frac{1}{2} \rho |v| v_i\right) \quad (2-12)$$

上式右方第一項為黏性損失，右方第二項為慣性損失。

μ 為流體之黏滯係數

ρ 為流體密度

α 為流體對多孔性介質的滲透率

C_2 為常數

V_i 為單向速度

V 為整體速度

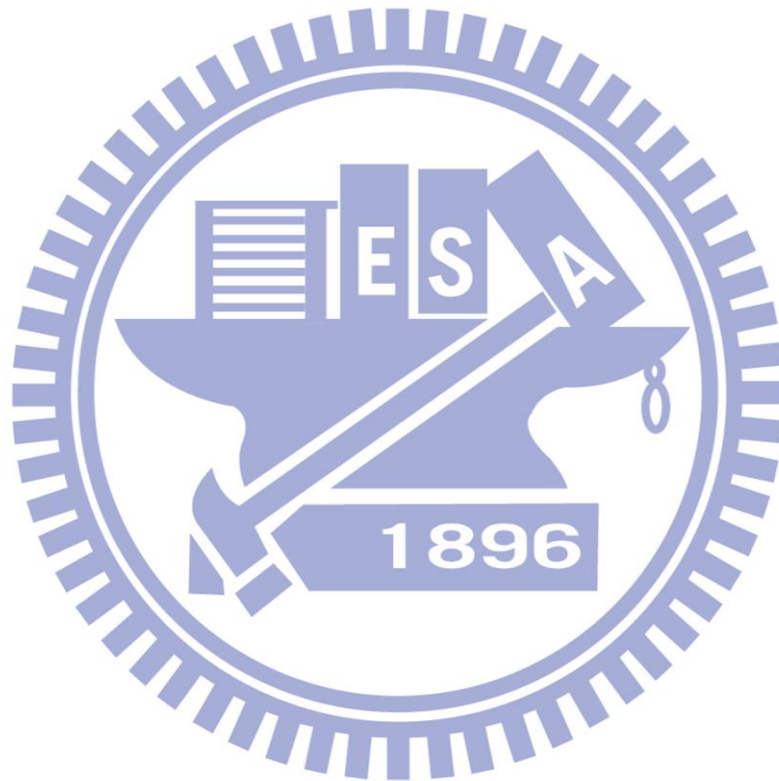
$$\alpha = \frac{D}{150} \frac{\epsilon^3}{(1-\epsilon)^3}$$

$$C_2 = \frac{3.5}{D} \frac{(1-\epsilon)}{\epsilon^3}$$

藉由以上兩個式子，可求得

$$1/\alpha = 0.1004$$

$$C_2 = 0.0964$$



2. 大模型

進口：

溫度：15°C (288K)

速度：根據文獻[17]、[18]，本研究之場所適合的人口密度為 $1.5(\frac{m^2}{人})$ ，可推算室內大約有523個人($\frac{28 \times 28}{1.5} = 522.6$)，室內每人所需的最小新鮮空氣量為 $0.4(m^3/min)$ ，建議換氣量為 $0.7(1/hr)$ 。因此室內所需氣體總量為 $522 \times 0.4 \div 60 = 3.48(\frac{m^3}{s})$ ，若配合換氣量計算進口速度如下：

$$0.7:1 = Q:3.48 \times 3600$$

$$Q = 8769.60 \left(\frac{m^3}{hr} \right) = 2.44 \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$2.44 = 1(m) \times 1(m) \times 25 \times v_{in}$$

$$v_{in} = 9.74 \times 10^{-2} \left(\frac{m}{s} \right) = v_{min}$$

因為最小速度(V_{min})為恰好滿足此換氣條件，因此取 $V_{in} = 0.2(m/s)$ 為進口速度。

出口：

表壓力(gauge pressure)為0，流體將在出口以完全展開流性質做計算，回流溫度為 27°C。

進口之空氣為新鮮空氣，因此進口之二氧化碳與水蒸氣之重量分率與小模型相同，分別

為 $5.54 \times 10^{-4} \left(\frac{kg-CO_2}{kg-air} \right)$ 與 $5.23 \times 10^{-3} \left(\frac{kg-H_2O}{kg-air} \right)$ 。

源項(source term)：

水蒸氣： $1.63 \times 10^{-5} \left(\frac{kg}{m^3 \times s} \right)$

二氧化碳： $8.44 \times 10^{-6} \left(\frac{kg}{m^3 \times s} \right)$

牆壁(wall)

$$\rho = 2300 \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$k = 1.51 \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)$$

$$C_p = 1087.73 \left(\frac{J}{kg \cdot K} \right)$$

牆壁外牆設定為定溫22.0℃，厚度為0.3(m)。

孔隙率與相關數值計算(porous medium)：

在孔隙介質內，人可以佔有的面積為 $28 \times 28 (m^2)$ ，孔隙介質內共含有 523 人

$(28 \times 28 \div 1.5 \cong 522.6)$ ，所佔面積為 $523 \times 0.283^2 \times \frac{\pi}{4} = 32.89 (m^2)$ 扣除人體所佔面積

後，剩下的孔隙面積為 $(784 - 32.89) = 751.11 (m^2)$ 。 本研究的孔隙率為：

$$\varepsilon = \frac{751.11 \times 1.8}{784 \times 1.8} = 0.96$$

孔徑為1.70(m)

$$1/\alpha = 0.100368$$

$$C_2 = 0.0228$$

2.5 網格數

小模型之網格大小為 0.1(m)，皆為結構網格，總網格數為 50 萬，如圖 8。

大模型之自然排氣口之網格大小為 0.05(m)，其餘皆為 0.1(m)，皆為非結構網格，總網格數為 2,050,730，如圖 9。



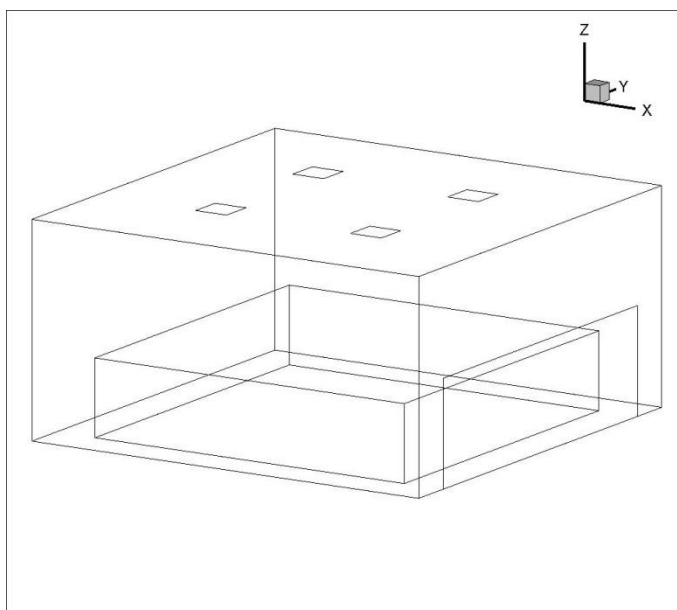


圖 2 小模型之模型圖

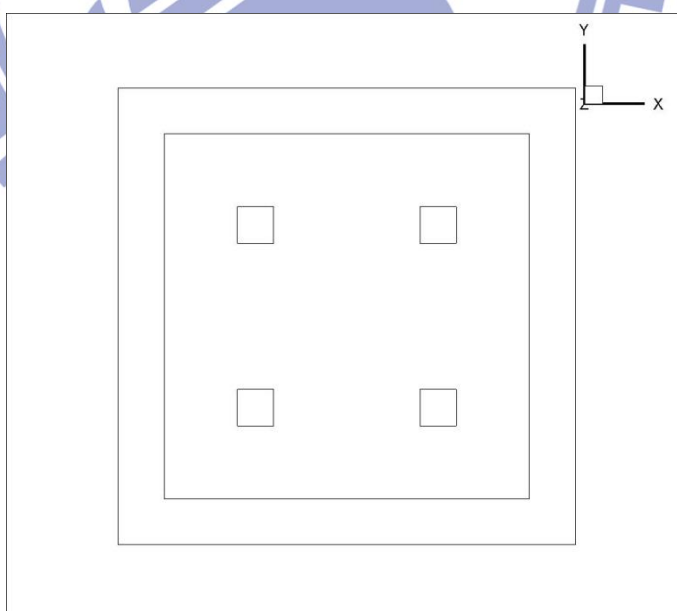


圖 3 小模型之俯視圖

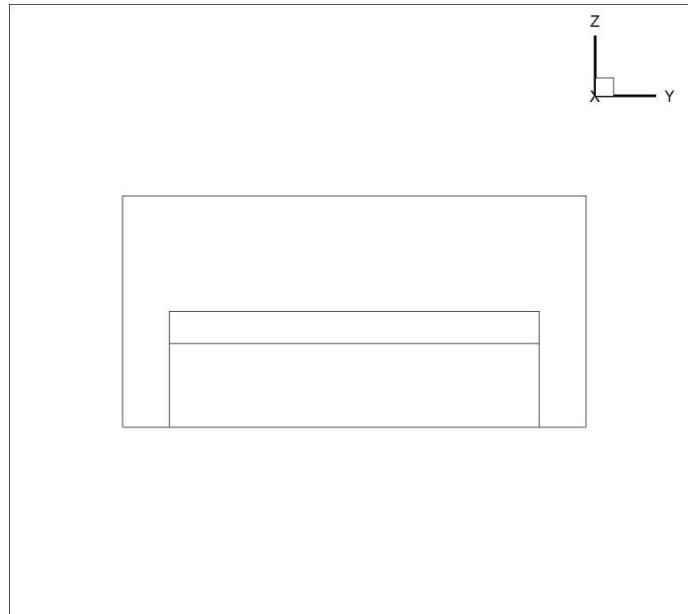


圖 4 小模型之側視圖



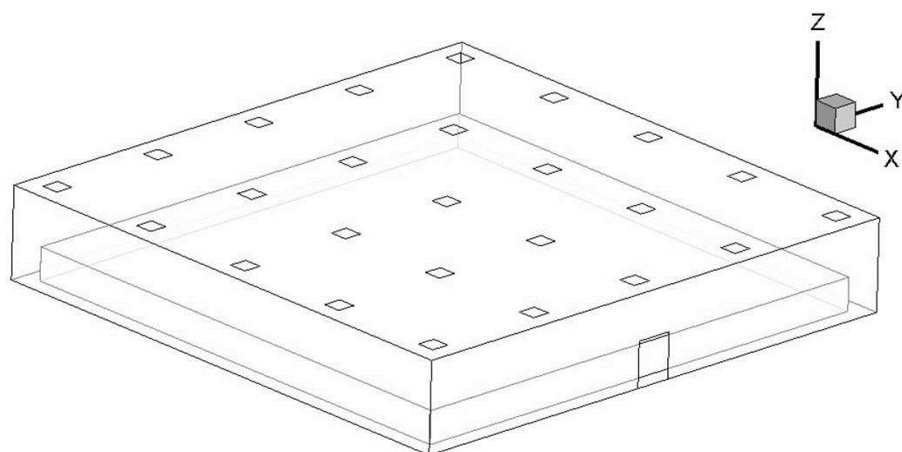


圖 5 大模型之模型圖

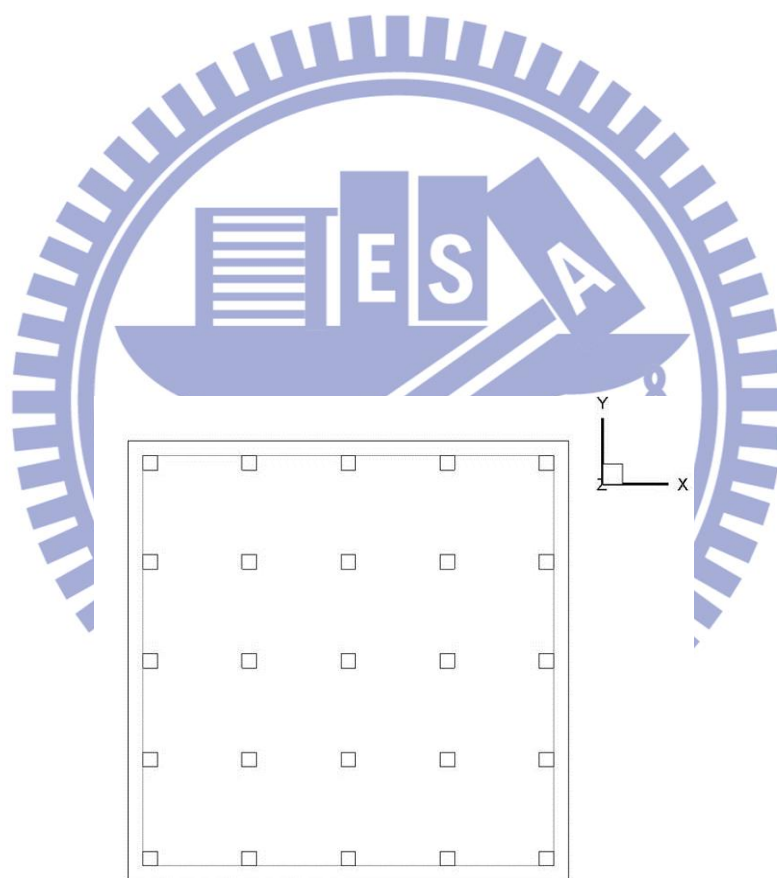


圖 6 大模型之俯視圖

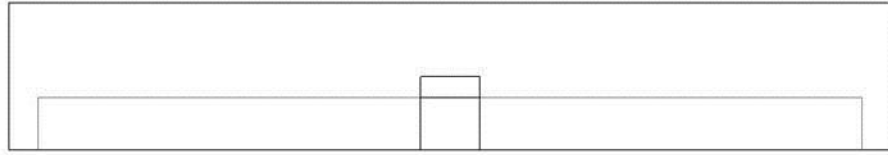
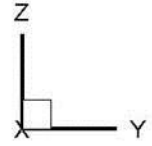


圖 7 大模型之側視圖



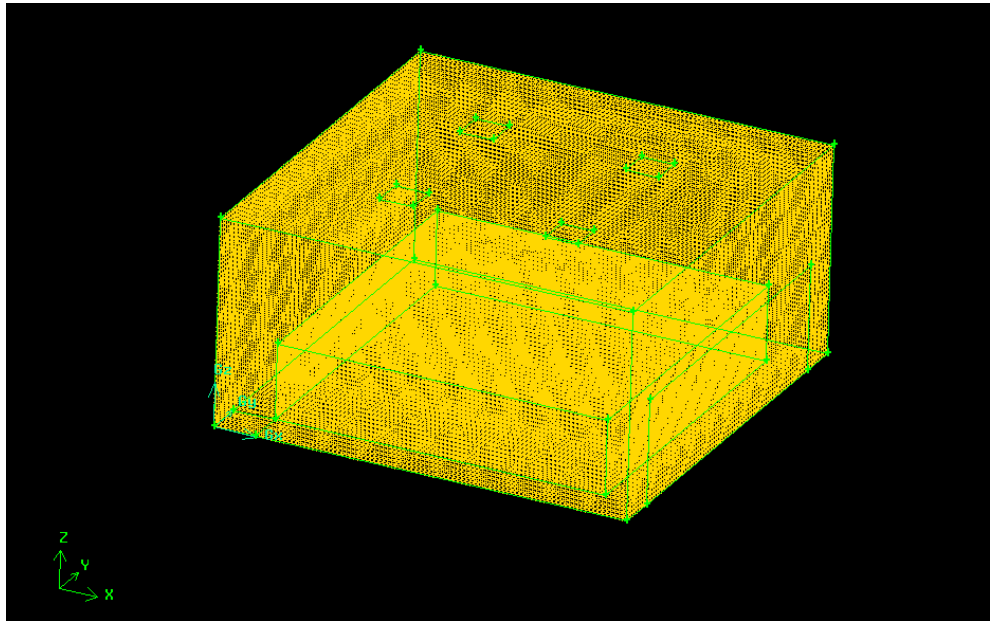


圖 8 小模型之網格圖

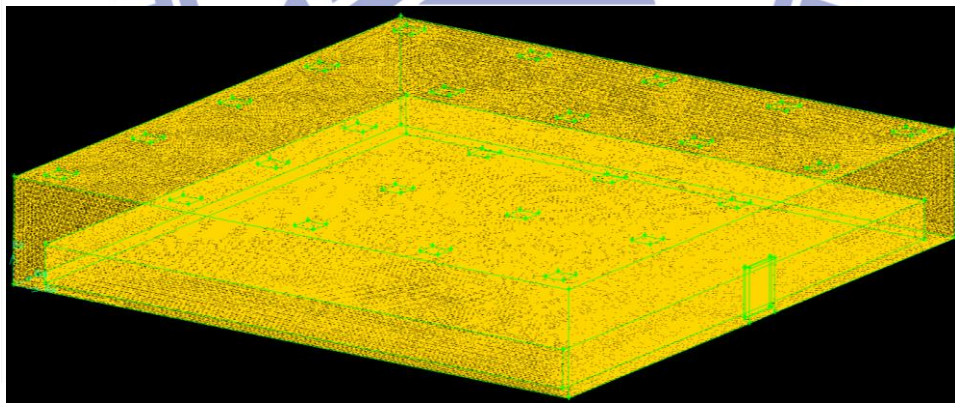


圖 9 大模型之網格圖

第三章 數值方法

本研究使用數值方法，求解在人員擁擠的大型空間內部之流場狀況，此數值方法利用流體力學輔助軟體 FLUENT 作為計算平台。利用有限容積法 (finite-volume) 疊代解三維 Navier-Stokes equations，以及分別用 SIMPLE 演算法來計算穩態流場。各物理量變數定義於每個控制容積中央，離散方程式則是將統御方程式對每一個控制容積做積分求得。計算過程流程示意如圖 10 所示。有限體積法的守恆方程式 (conservation equation) 可表示如下：

$$\int_V \frac{\partial \rho \Theta}{\partial t} dV + \sum_{A_j} (\rho \Theta \vec{v} - D_\Theta \nabla \Theta) \cdot d\vec{A} = \int_V S_\Theta dV \quad (3-1)$$

其中 Θ 為任意相關變數， D_Θ 為擴散係數及 S_Θ 為來源係數。(3-1) 式中的第一項可以離散如下式：

$$\int_V \frac{\partial \rho \Theta}{\partial t} dV \approx \frac{(\rho \Theta V)_P^n - (\rho \Theta V)_P^o}{\Delta t} \quad (3-2)$$

式(3-1)中的第二項可以將其分成對流項(convection term)以及擴散項(diffusion term)

$$\sum_j (\rho \vec{v} \Theta \cdot \vec{M})_j - \sum_j (\Gamma_\phi \vec{\nabla} \Theta \cdot \vec{M})_j \equiv \sum_j Q_j - \sum_j R_j \quad (3-3)$$

擴散項用中點近似法可下列來表示：

$$R_j \approx \Gamma_{\Theta,j} \left[f_j^l (\Theta_P - \Theta_N) + (\vec{\nabla} \Theta \cdot \vec{A} - f_j^l \vec{\nabla} \cdot \vec{d}_{PN})_j \right] \quad (3-4)$$

其中 f_j^l 為幾何因子， \vec{d}_{PN} 為 P 到 N 之向量， $D_{\Theta,j}$ 為面擴散係數。

對流項以Upwind Scheme處理，根據(3-4)式的推導，對流項可由下列表示：

$$C_j \equiv F_j \begin{cases} \Theta_p, F_j \geq 0 \\ \Theta_N, F_j < 0 \end{cases} \quad (3-5)$$

$$F_j \equiv (\rho \vec{v} \cdot A \vec{M})_j \quad (3-6)$$

F_j 為通過面j和 Θ_j 的質通量如圖 11所示

式3-1中的第三項為來源項(source term)

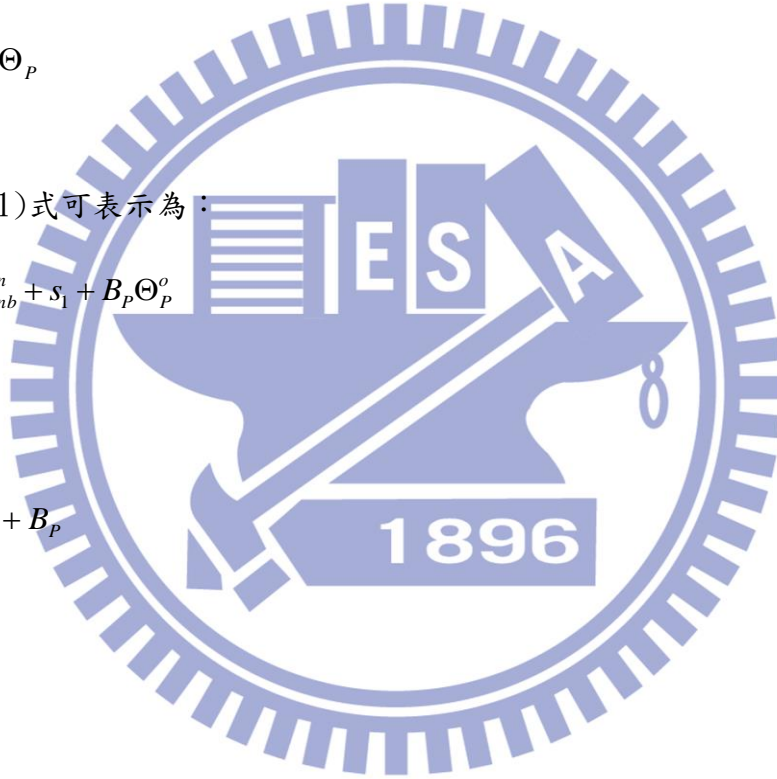
$$\int_V S_\Theta dV \approx s_1 - s_2 \Theta_p \quad (3-7)$$

綜合上述，(3-1)式可表示為：

$$a_p \Theta_p^n = \sum_{nb} a_{nb} \Theta_{nb}^n + s_1 + B_p \Theta_p^o \quad (3-8)$$

其中

$$a_p \equiv \sum_{nb} a_{nb} + s_2 + B_p \quad (3-9)$$



計算模式為紊流模式

紊流動能方程式：

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho k U_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon \quad (3-10)$$

紊流動能消散方程式：

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \varepsilon U_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon}(G_k + C_{3\varepsilon}G_b) - C_{2\varepsilon}\rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (3-11)$$

經驗係數為， $C_\mu = 0.09, C_{1,\varepsilon} = 1.44, C_{2,\varepsilon} = 1.92$



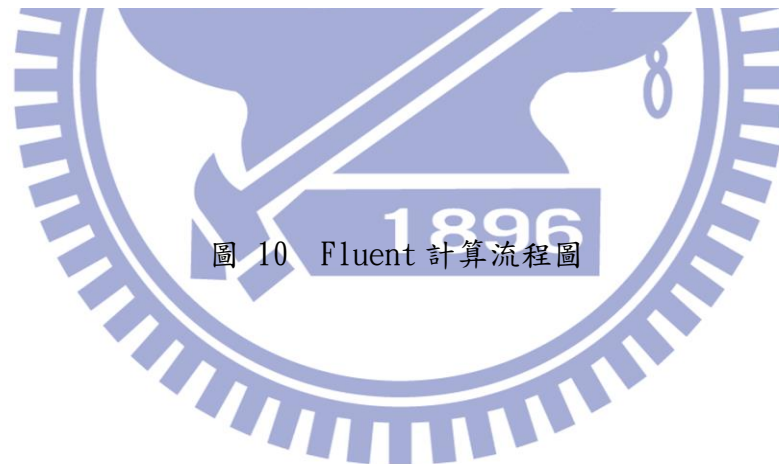
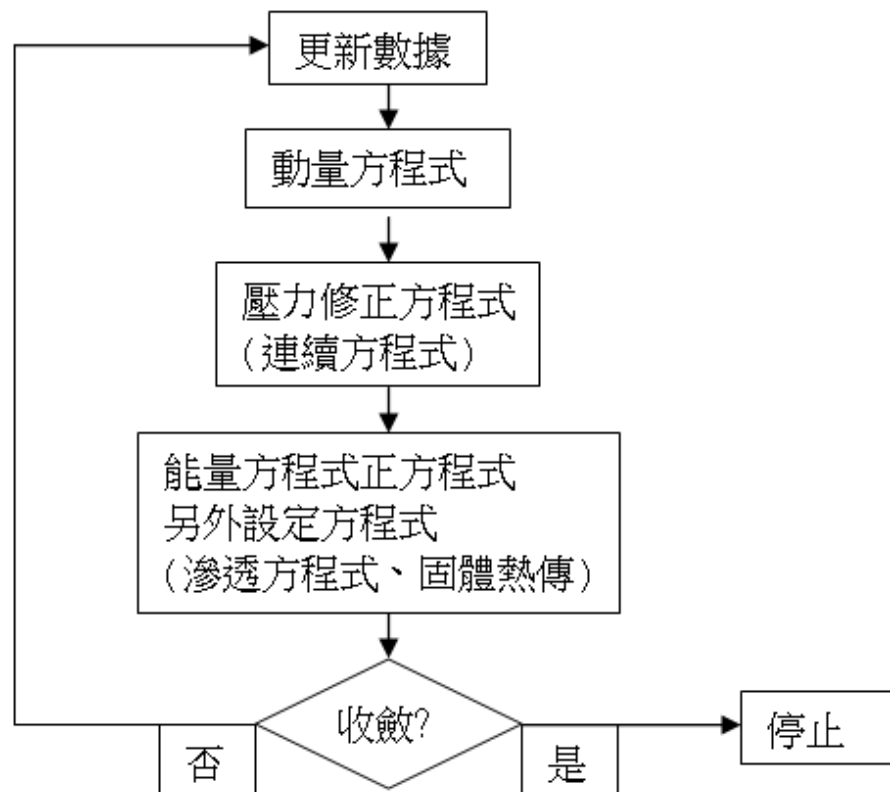


圖 10. Fluent 計算流程圖

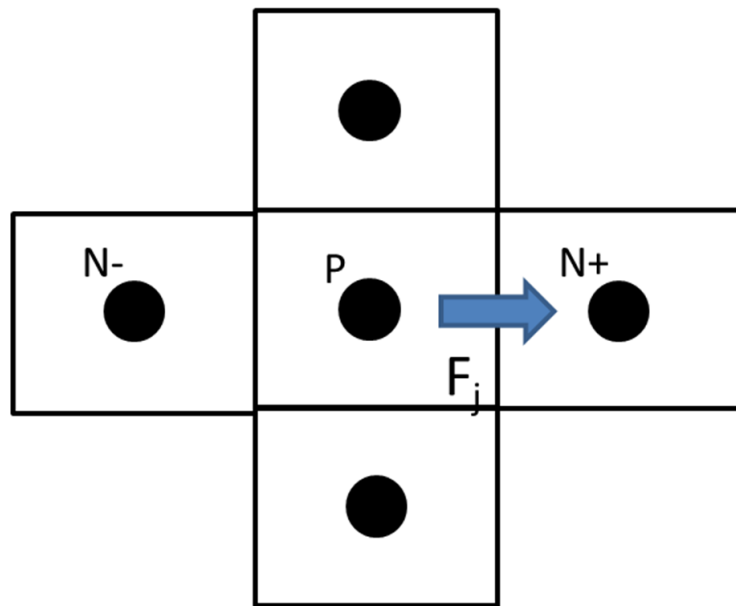


圖 11-對流通量示意圖

第四章 結果與討論

圖 13 為邊界設定等溫圖，可以得知壁面溫度約在 22°C 左右。表 2 為各截面之溫度、水蒸氣濃度及二氧化碳濃度平均值。圖 14 至 圖 18 為各層高度之溫度截面圖，隨著高度的增加，受到冷氣孔的影響平均溫度逐漸下降。圖 14 之截面高度為 $z=0.9(\text{m})$ ，約等於幼兒的呼吸高度，圖 15 之截面高度為 $z=1.7(\text{m})$ ，約為成年人呼吸高度。由表 2 可得知，在成年人與幼兒之呼吸高度的二氧化碳平均值分別為 707.2ppm 與 718.1ppm ，兩者均低於環保署法定值 1000ppm 。且溫度濕度成人與幼兒之呼吸高度分別為 23.06°C 、 33.0% 和 23.11°C 、 32.9% ，由圖 12 人體溫度濕度舒適圖可得知計算結果皆位於夏季與冬季之舒適區。但本模擬之人口聚集之處是以多孔性介質來替代，不論發熱量、水蒸氣或二氧化碳皆是由多孔性介質表面開始釋放，因此造成在 $z=1.7(\text{m})$ 的二氧化碳之平均濃度大於 $z=0.9(\text{m})$ 的二氧化碳平均濃度，而真實情況應為隨著高度的降低，而二氧化碳濃度應逐漸增高，理由是二氧化碳的密度大於空氣的密度，而會沉在較低之處。圖 19 和圖 20 為 $x=3(\text{m})$ 和 $x=7(\text{m})$ 之溫度分布圖， $x=3(\text{m})$ 的位置距離自然排風口較遠，冷氣因風速小較不易通過，；而圖 9 離氣體出口較近，因此冷氣會集中在出口部份而造成平均溫度較 $x=3(\text{m})$ 低。雖然配合換氣量可算出進口速度為 $0.1(\text{m/s})$ ，可滿足室內換氣量，但由圖 21 可見到由於冷氣進口速度太小而造成冷氣難以達到人體聚集之處，因此距離冷氣進口較近的地方會以對流的方式傳遞，但在遠離冷氣進口的地方會以傳導的方式做傳遞，若在冷氣位置不變的情況下，尚須將風速調高才可以有效地降低人群所在的區域溫度。

而圖 21 及圖 22 分別為 $y=3(m)$ 及 $y=7(m)$ 的溫度截面圖，因本模型具有在 Y 方向的對稱性，因此 $y=3$ 及 $y=7$ 之圖應無差異。以上為小模型之結果分析。



表 2 小模型之各層數據平均表

小模型之 截面高度	平均溫度(°C)	平均水蒸氣 重量分率 (相對溼度，%)	平均二氧化碳 重量分率 (體積濃度，ppm)
Z=0.9(m)	23.06	0.00663 (33.0)	0.00100 (707.2)
Z=1.7(m)	23.11	0.00655 (32.9)	0.000102 (718.1)
Z=2.5(m)	23.17	0.00662 (33.7)	0.000991 (698)
Z=3.5(m)	23.11	0.00691 (36.1)	0.00990 (697.7)
Z=4.5(m)	22.52	0.00698 (39.2)	0.000986 (694)

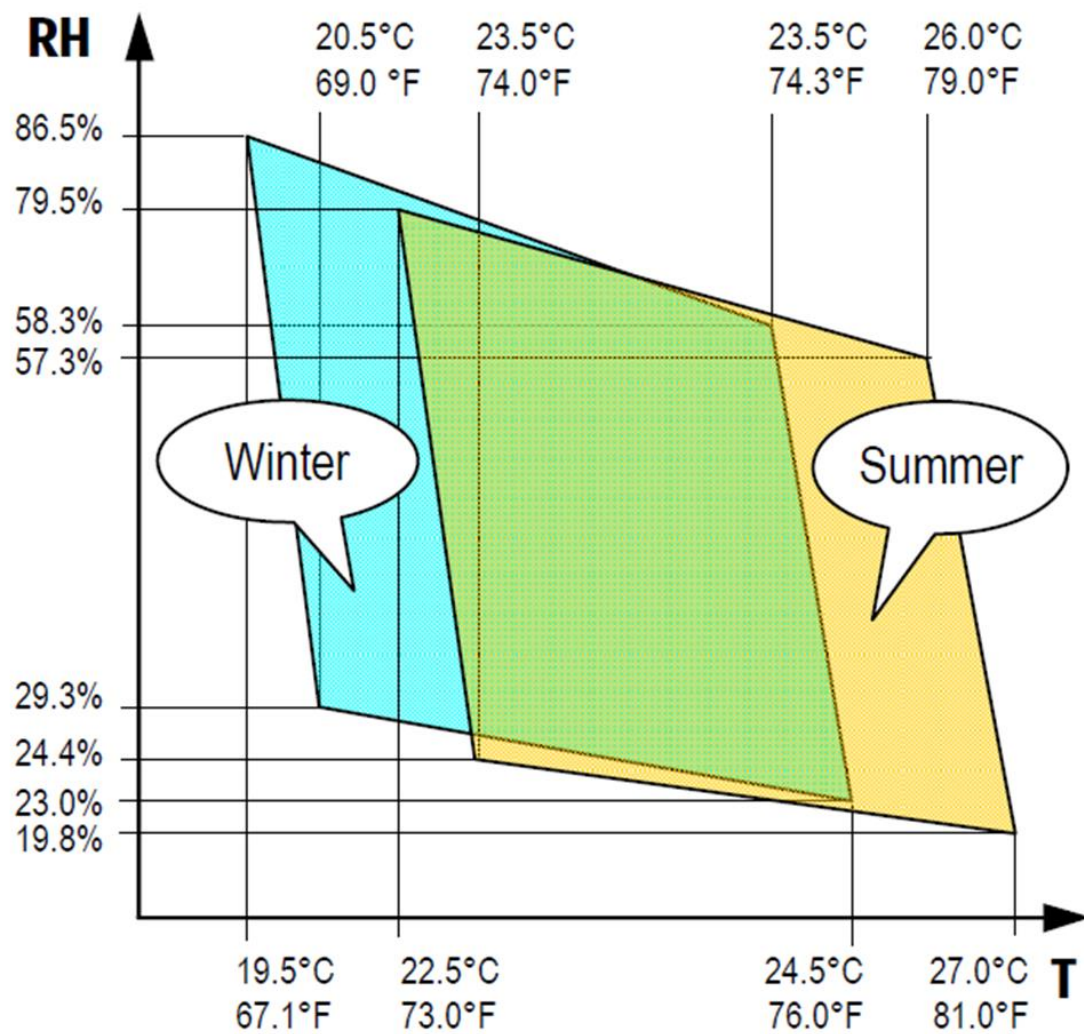


圖 12 人體溫度濕度舒適圖

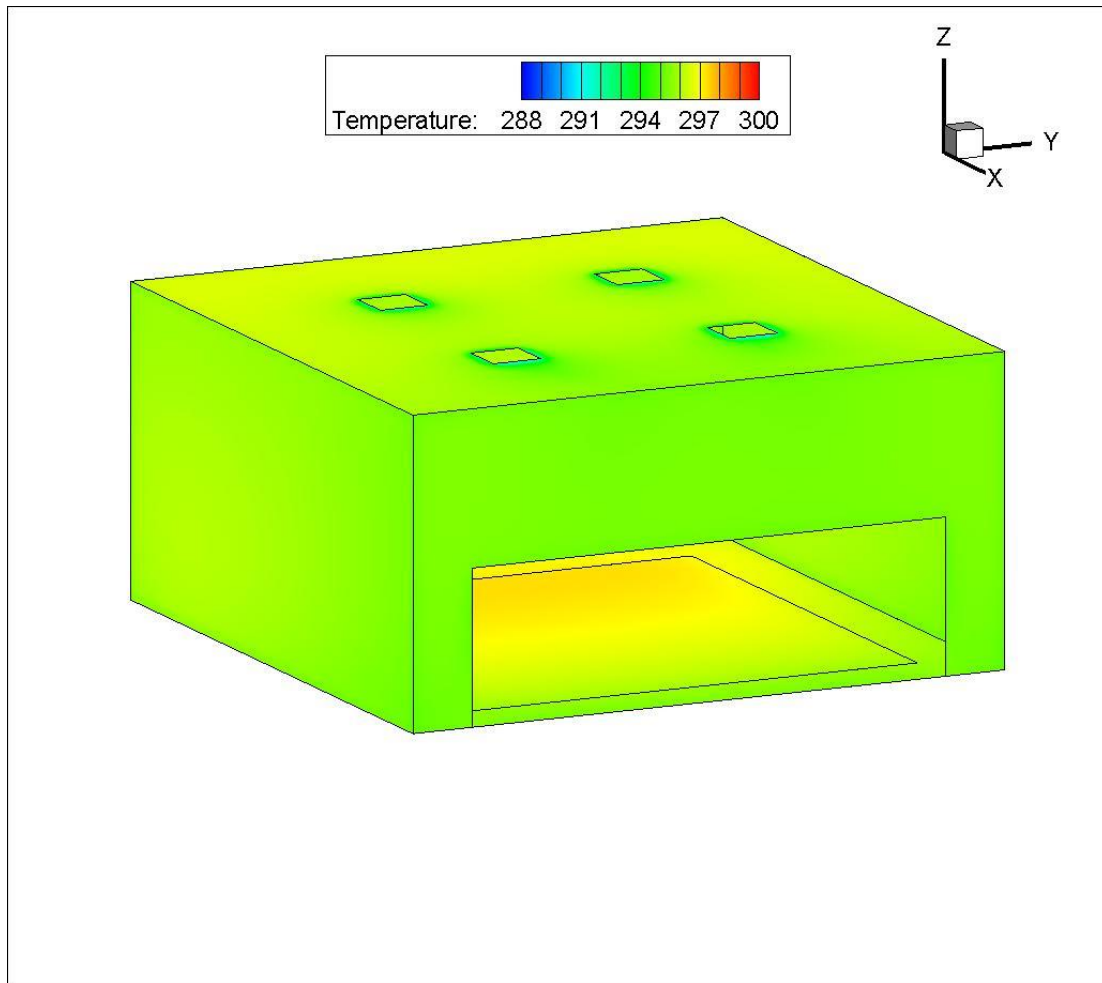


圖 13 壁面等溫圖，單位 K

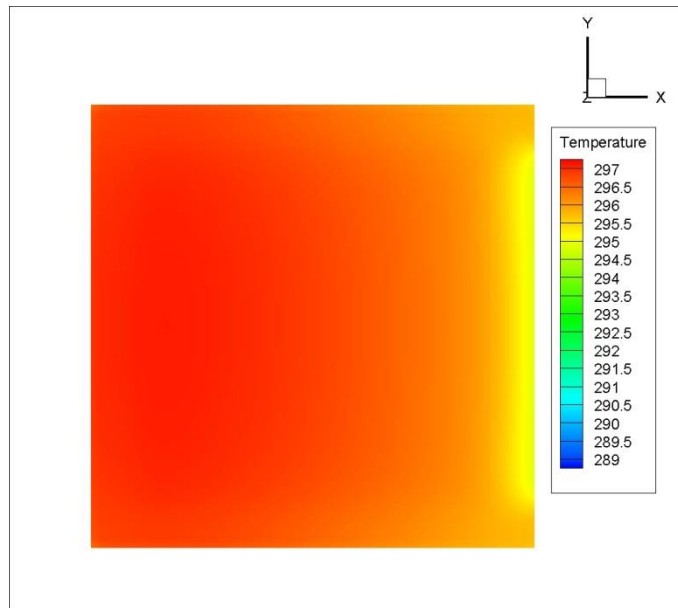


圖 14 $z=0.9(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K

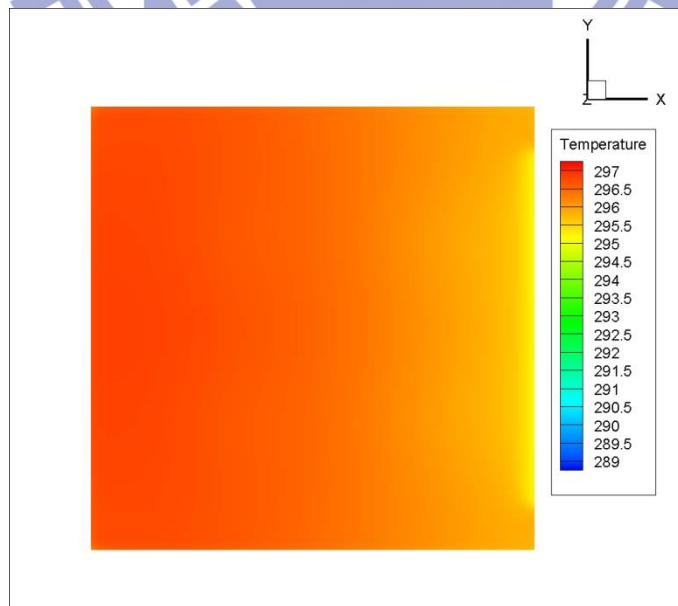


圖 15 $z=1.7(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K

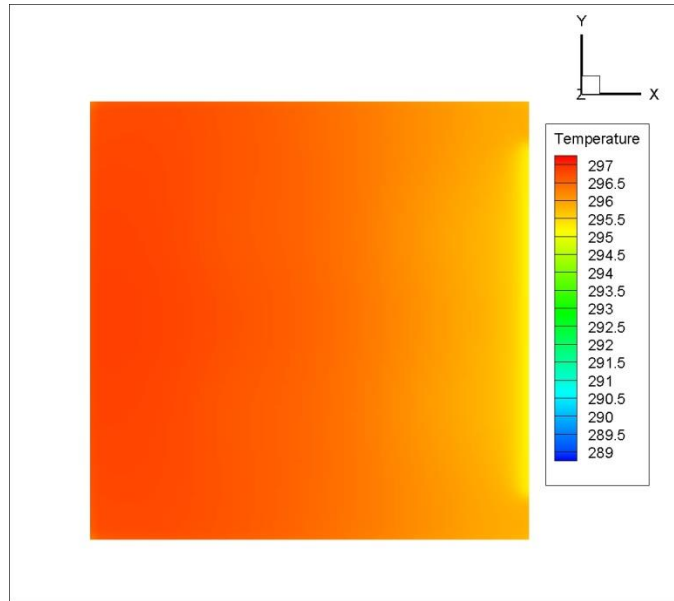


圖 16 $z=2.5(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K

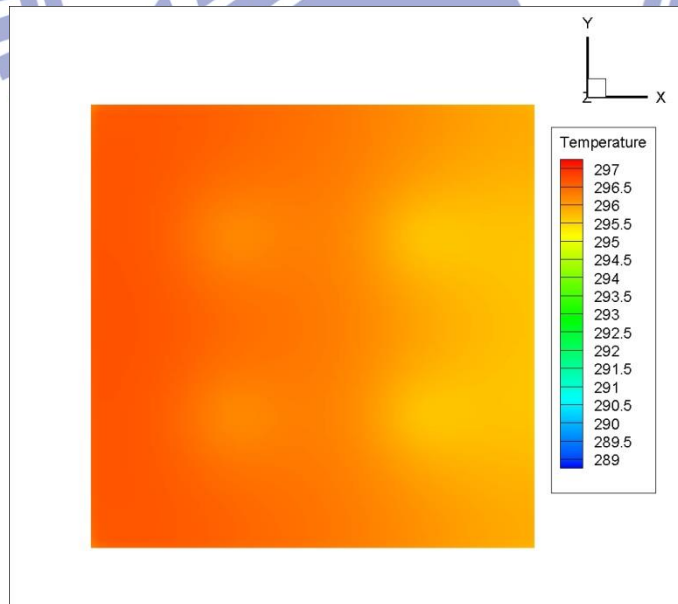


圖 17 $z=3.5(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K

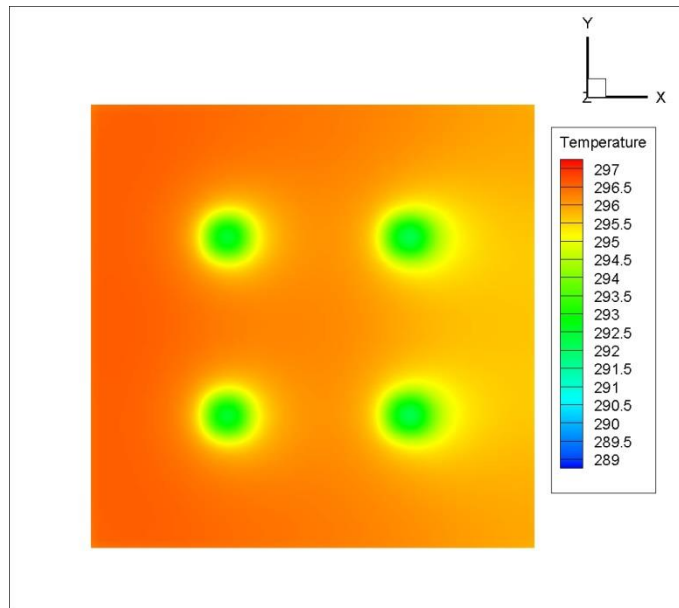


圖 18 $z=4.5\text{(m)}$ 之溫度截面圖，單位 K



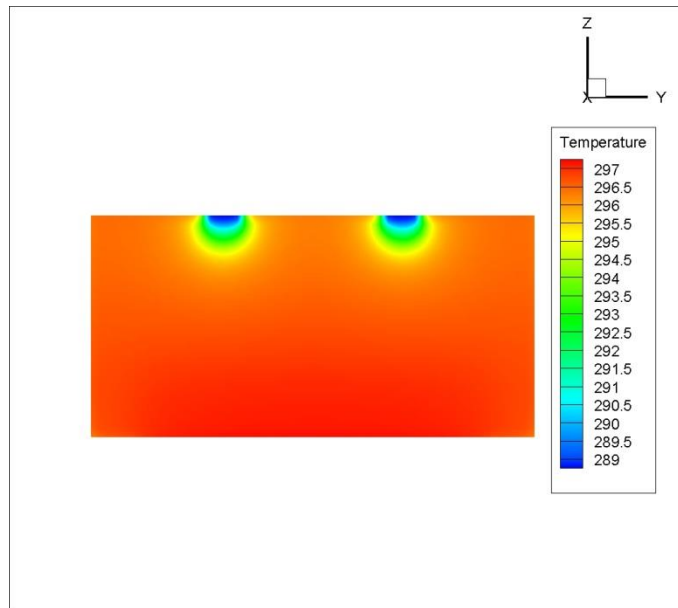


圖 19 $x=3(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K

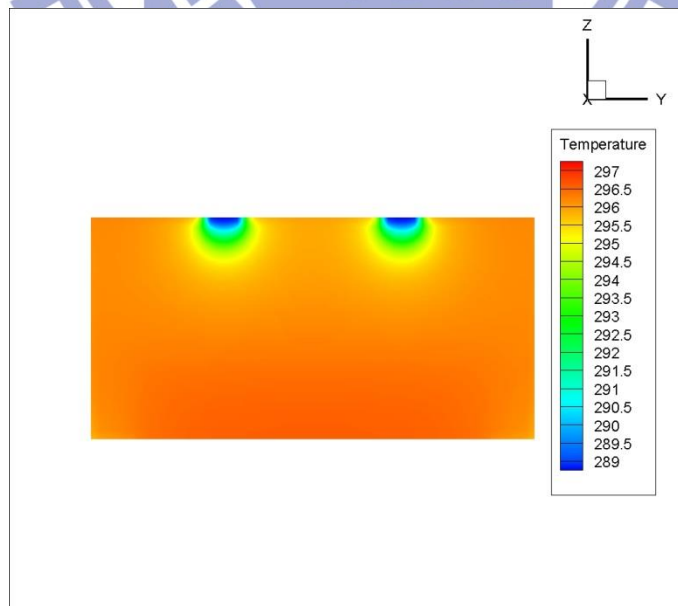


圖 20 $x=7(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K

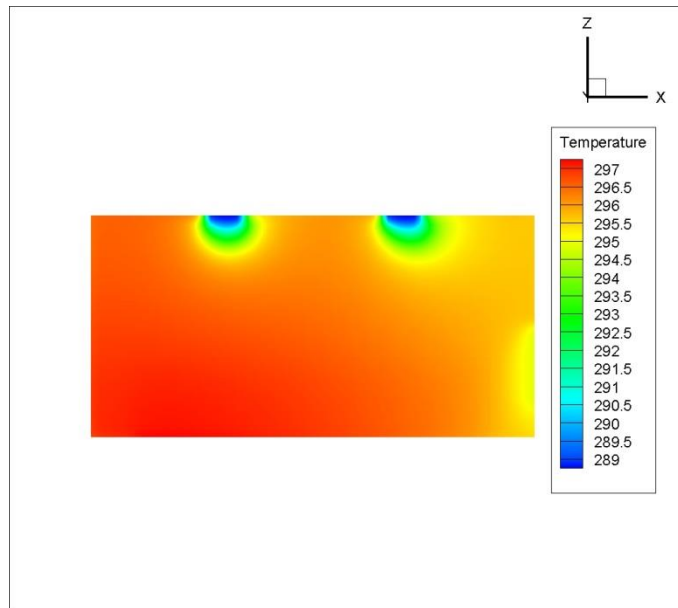


圖 21 $y=3(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K

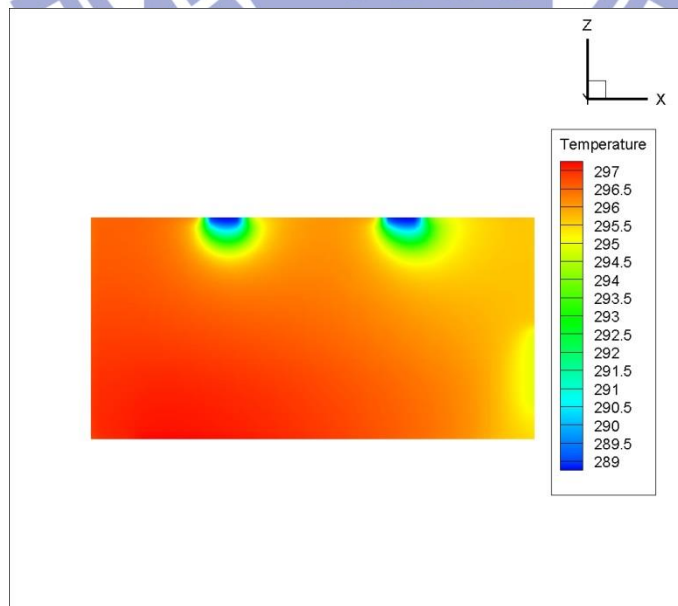


圖 22 $y=7(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K

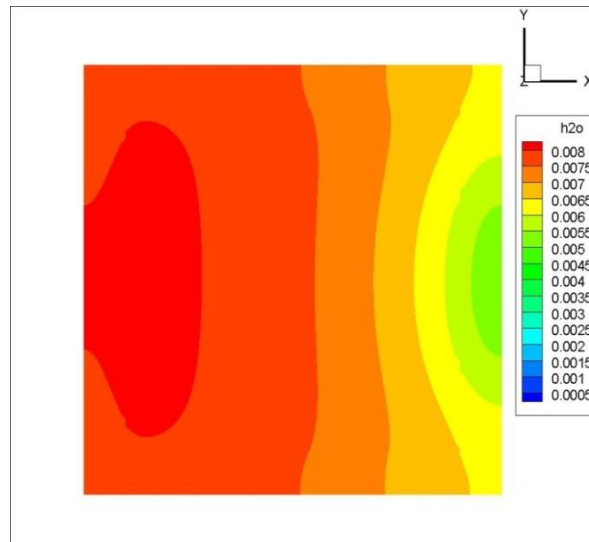


圖 23 $z=0.9$ (m)之水蒸氣，(kg-H₂O/kg-air)

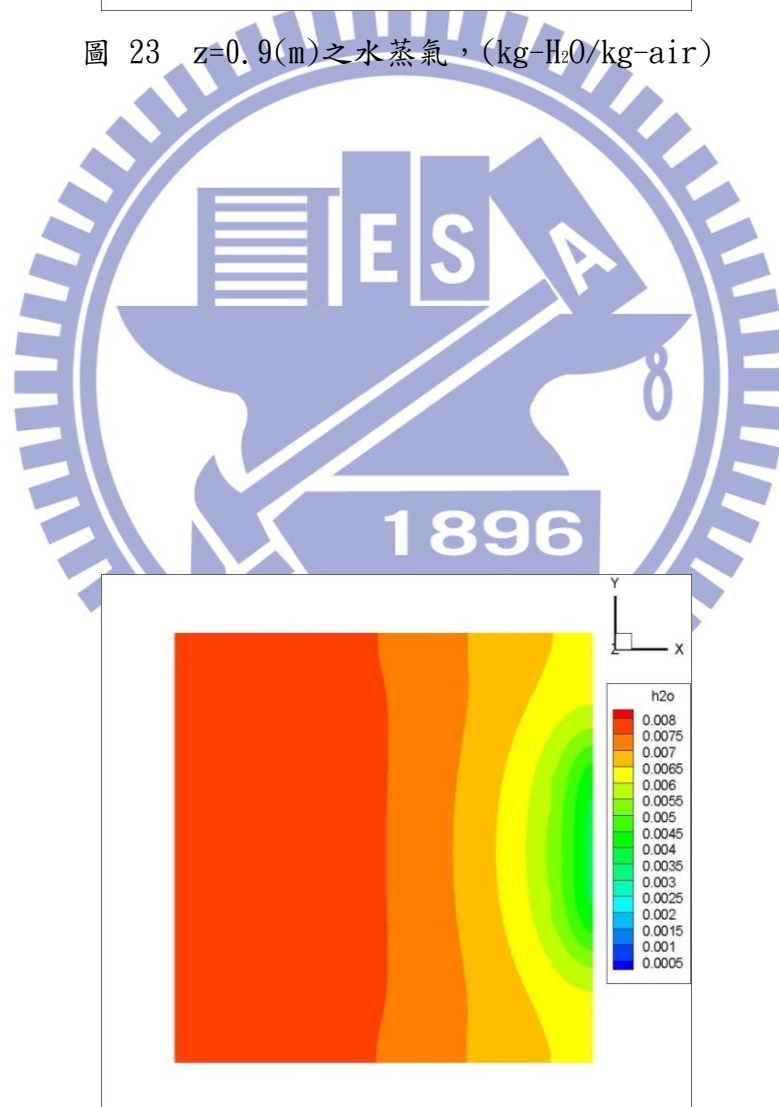


圖 24 $z=1.7$ (m)之水蒸氣，(kg-H₂O/kg-air)

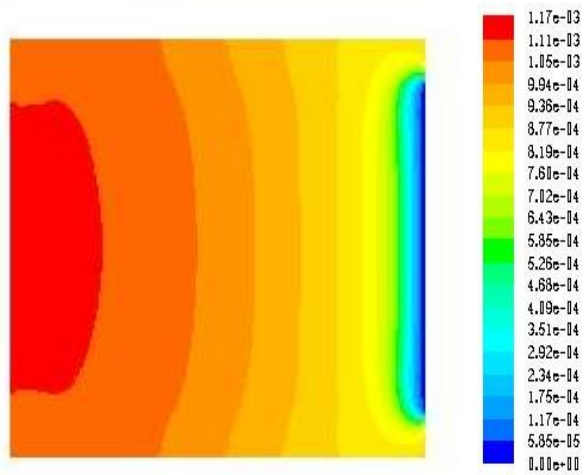


圖 25 $z=0.9(\text{m})$ 之二氧化碳濃度圖，($\text{kg-CO}_2/\text{kg-air}$)

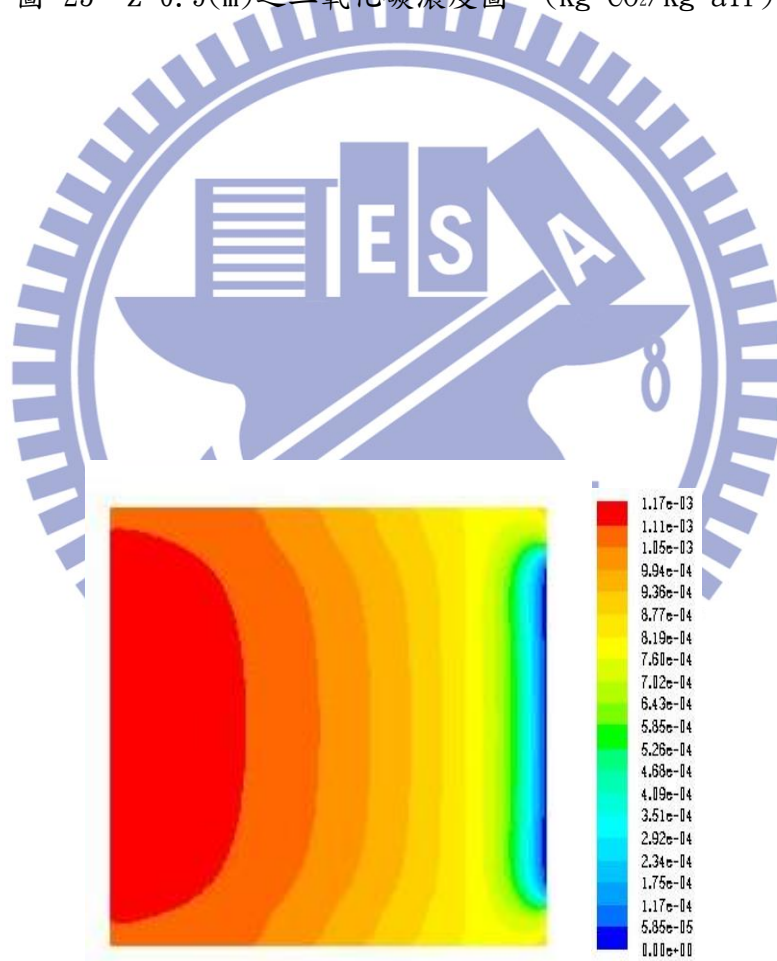


圖 26 $z=1.7(\text{m})$ 之二氧化碳濃度圖，($\text{kg-CO}_2/\text{kg-air}$)

大模型之模擬結果由表 3 所示。大模型之外形為較大的場地，如大賣場之場地所建造。大模型與小模型最大的差異為自然排氣口僅有 $2 \times 2.5(m^2)$ ，且因場地較大的關係，將風速由滿足換氣量的 $0.05(m/s)$ 調整至 $0.2(m/s)$ 。經由穩態計算的結果顯示，流場之平均溫度為 $22.77^\circ C$ ，平均相對溼度為 51.7% ，對照圖 12 之溫度濕度舒適圖可得知，流場中的平均溫度與濕度皆符合人體在夏季與冬季的舒適度，使人體感到舒適，但由圖 37 至圖 41 可發現，各層之二氧化碳平均濃度皆高於 $1000ppm$ ，平均濃度已多孔隙介質之頂部 $z=1.8(m)$ 之截面最高，而越接近冷氣出口平均濃度越低。造成這樣的原因是因為室內空間太大，從自然排風口到距離自然排風口最遠之出風口約有 29 公尺遠，出風速度方向往下且僅有 $0.2(m/s)$ ，難以推動人群所大量排放之二氧化碳(如圖 42)，導致所有二氧化碳堆積在人群聚集之處而沒有辦法有效地往外排出，而且風速由 $0.1(m/s)$ 變為 $0.2(m/s)$ 後，冷氣從氣體出口形成一道空氣柱後，也會成為二氧化碳往門口流動的一大阻力。圖 43 為大模型內二氧化碳平均濃度為 $1400ppm$ 之等位面，此等位面在流場內形成一環狀而越往中間則平均濃度越高，往外則平均濃度越低，再配合圖 44 所顯示流場中的流線，大部分流線的趨勢都是往自然排氣孔出去，再一次說明自然排氣孔的面積太小，無法有效地讓流場內大量的二氧化碳有效地排出，而在流場中的四個角落則因距離自然排氣孔較遠，較少二氧化碳堆積在四個角落處，由此可知當處於一含有多人之室內環境且出口較小，某氣體濃度過高造成空氣品質不佳的情況之下，則在距離出口較遠之角落處的空氣品質會較平均空氣品質來的好一些。

經由以上分析之後，可得知小模型的出口大小可以讓室內的空氣品質保持在安全值之內，因此參照小模型的開口寬度為 8 公尺，而小模型之邊長為 10 公尺，大模型之邊長為 30 公尺，則開口邊長若等比例放大則為 24 公尺，因此將大模型之開口，其餘邊界條件與源項不變之下，探討室內空氣品質濃度是否會符合安全值。



表 3 大模型之各層數據平均表

大模型之 截面高度	平均溫度(°C)	平均水蒸氣 重量分率 (相對溼度，%)	平均二氧化碳 重量分率 (體積濃度，ppm)
Z=0.9(m)	22.26	0.00868 (52.4)	0.0018032 (1270.8)
Z=1.7(m)	22.33	0.00870 (52.3)	0.0018144 (1278.7)
Z=2.5(m)	22.30	0.00869 (52.3)	0.0018105 (1275.9)
Z=3.5(m)	22.16	0.00864 (52.5)	0.0017845 (1257.8)
Z=4.5(m)	21.22	0.00832 (53.6)	0.0016190 (1141.0)

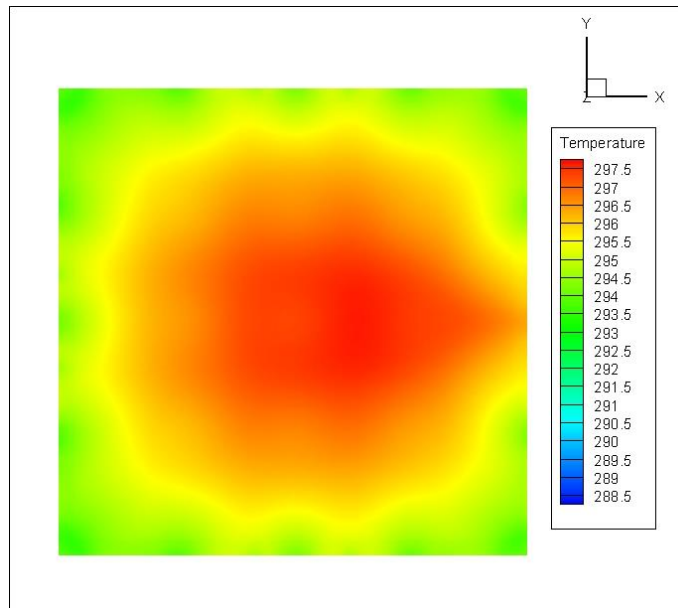


圖 27 $z=0.9(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K

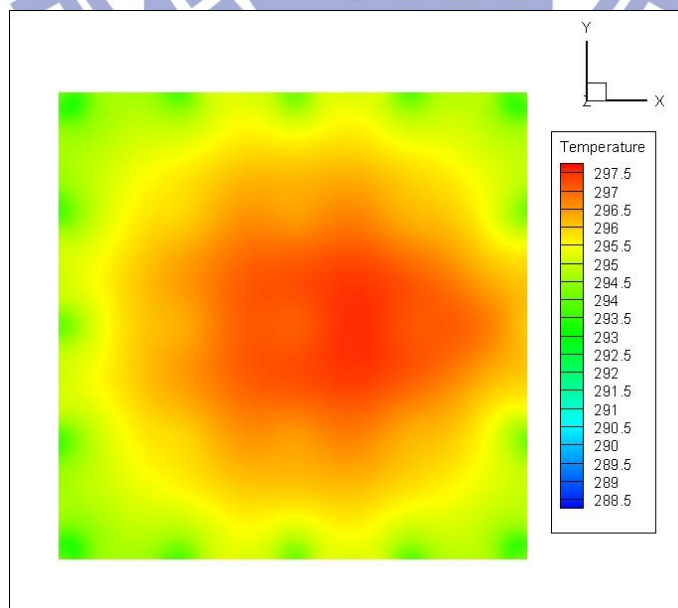


圖 28 $z=1.7(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K

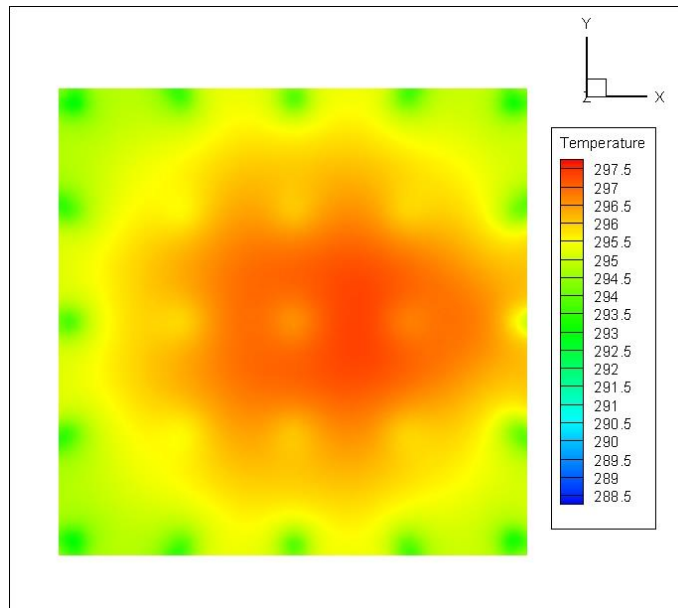


圖 29 $z=2.5(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K

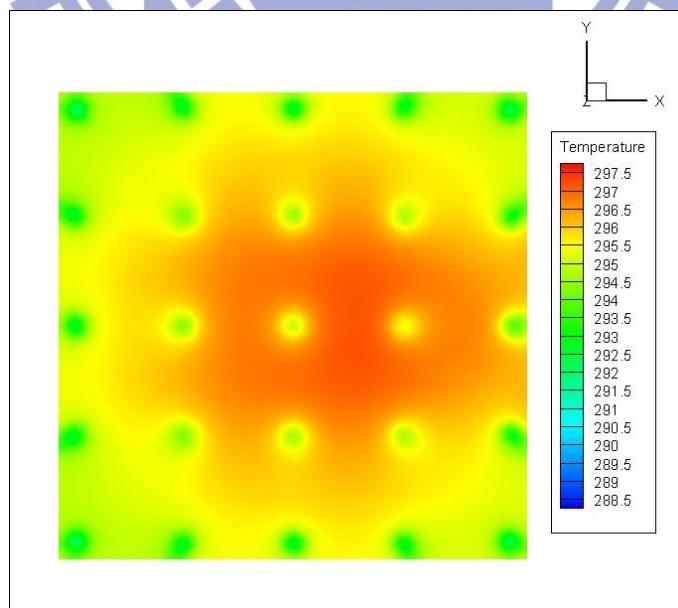


圖 30 $z=3.5(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K

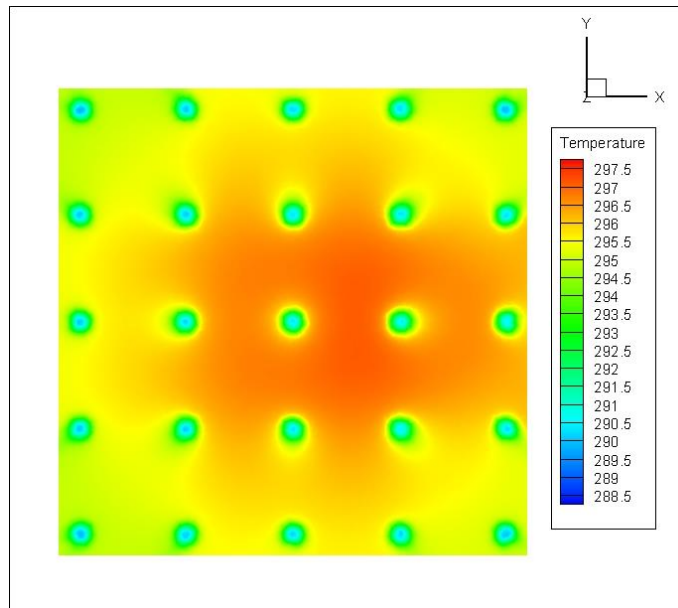


圖 31 $z=4.5(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位K



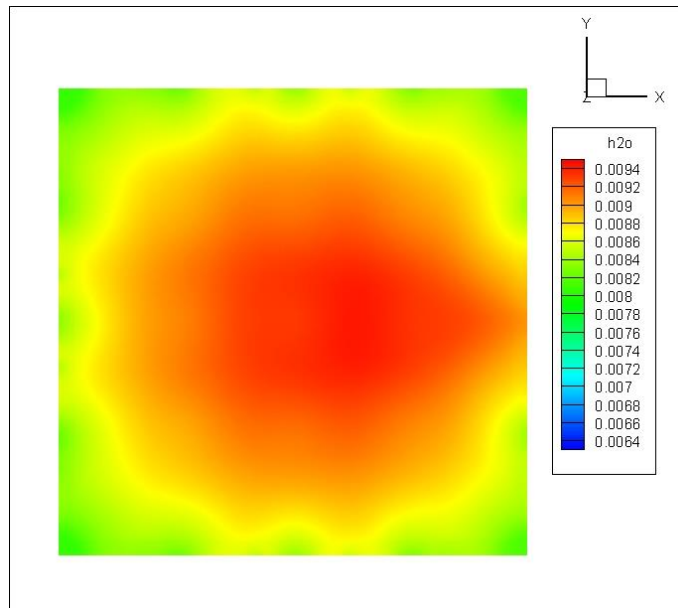


圖 32 $z=0.9(\text{m})$ 之水蒸氣重量分率截面圖，(kg-H₂O/kg-air)

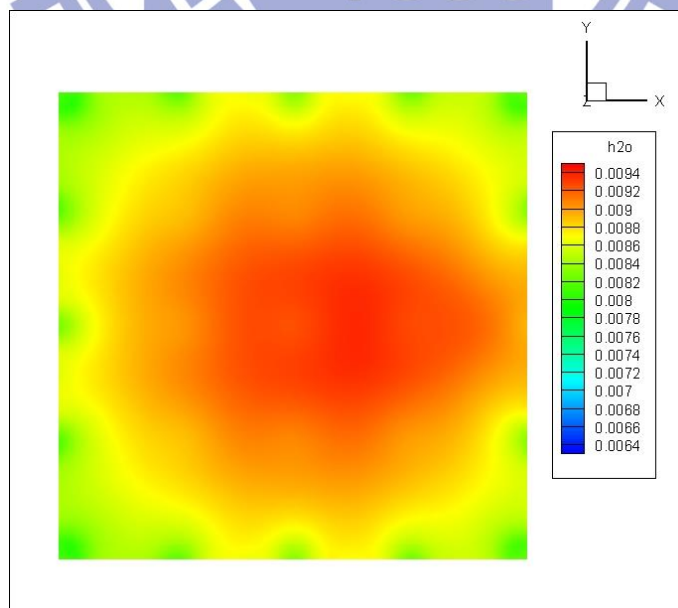


圖 33 $z=1.7(\text{m})$ 之水蒸氣重量分率截面圖，(kg-H₂O/kg-air)

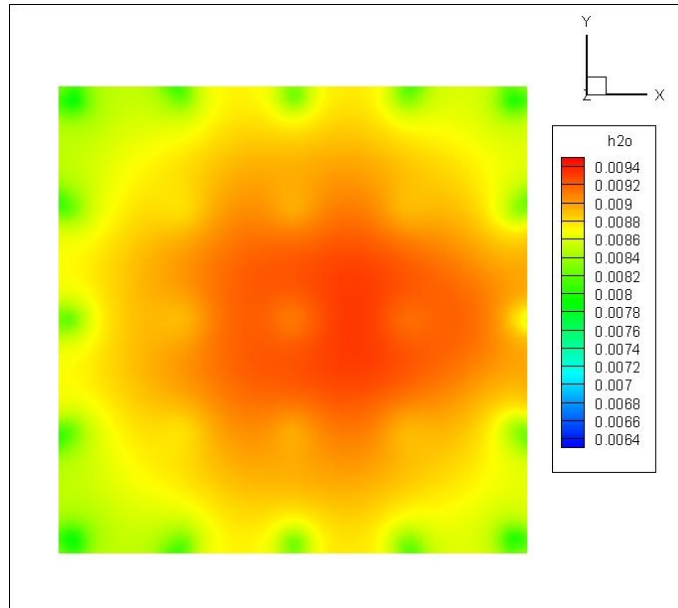


圖 34 $z=2.5$ (m)之水蒸氣重量分率截面圖，(kg-H₂O/kg-air)

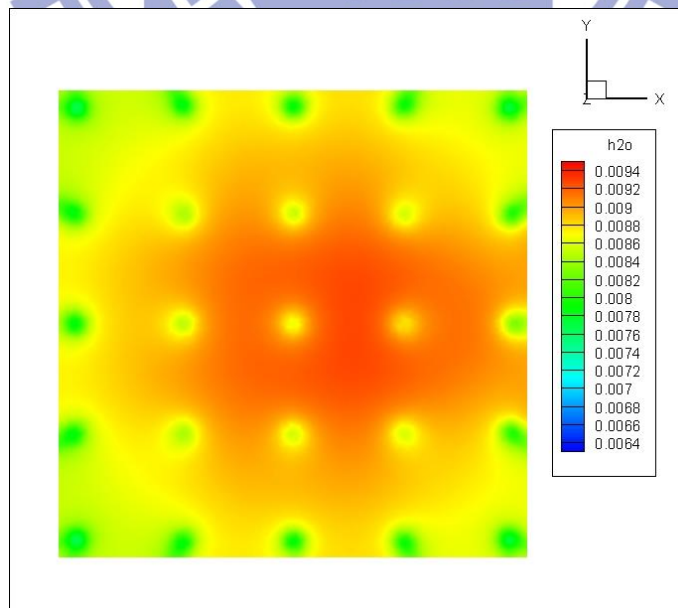


圖 35 $z=3.5$ (m)之水蒸氣重量分率截面圖，(kg-H₂O/kg-air)

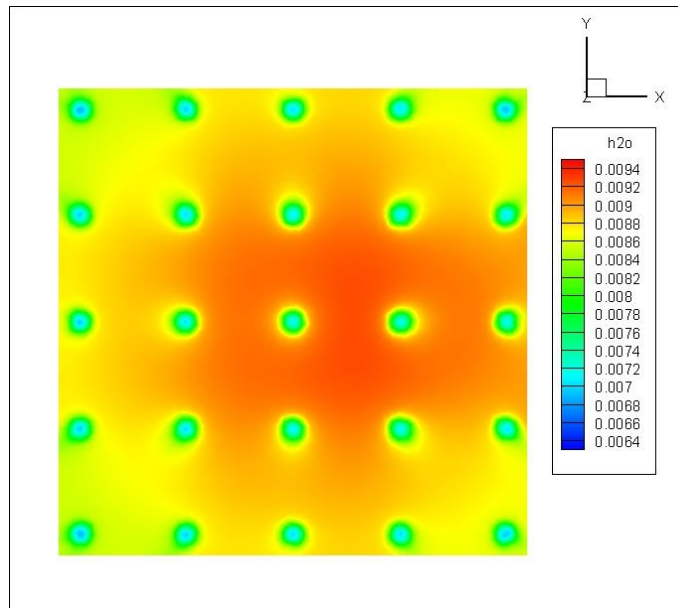


圖 36 $z=4.5(\text{m})$ 之水蒸氣重量分率截面圖， $(\text{kg-H}_2\text{O/kg-air})$



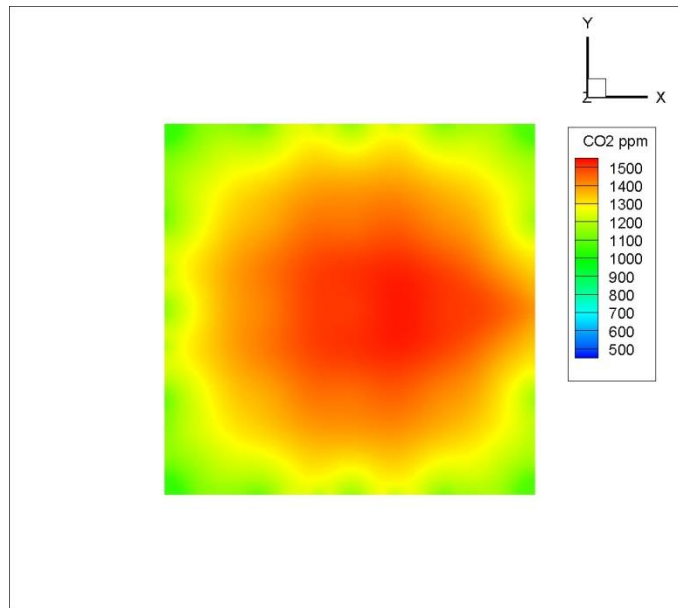


圖 37 $z=0.9(\text{m})$ 之二氧化碳體積濃度截面圖，單位 ppm

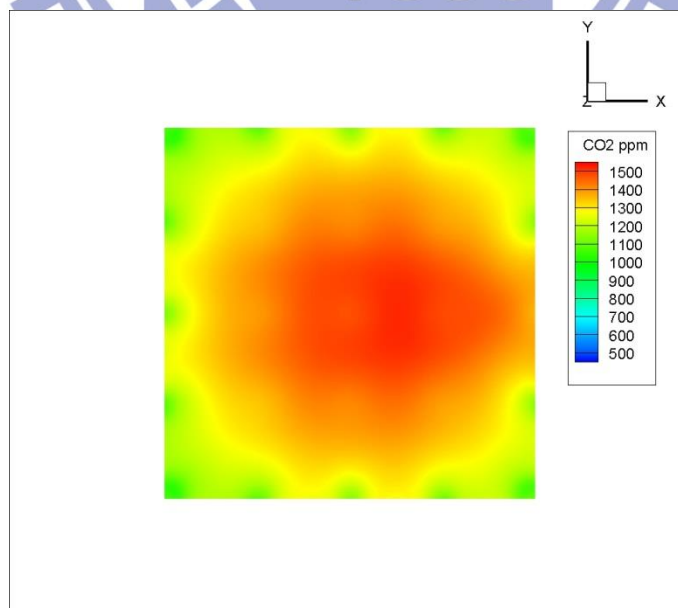


圖 38 $z=1.7(\text{m})$ 之二氧化碳體積濃度截面圖，單位 ppm

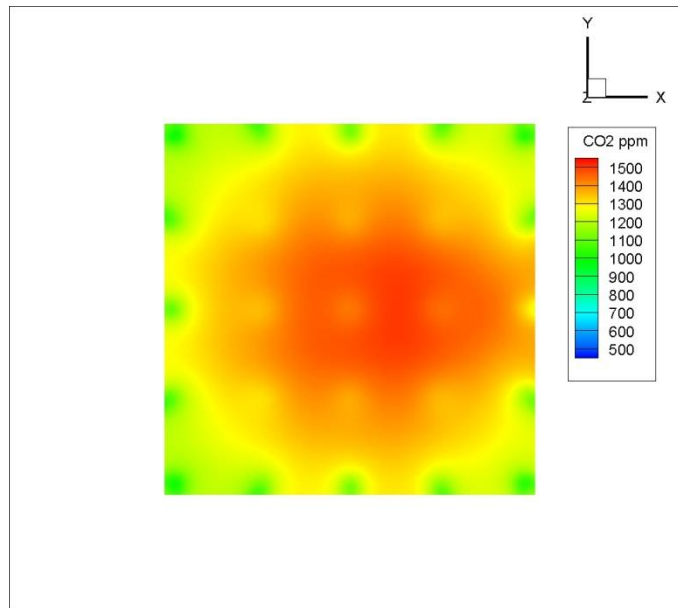


圖 39 $z=2.5(\text{m})$ 之二氧化碳體積濃度截面圖，單位 ppm

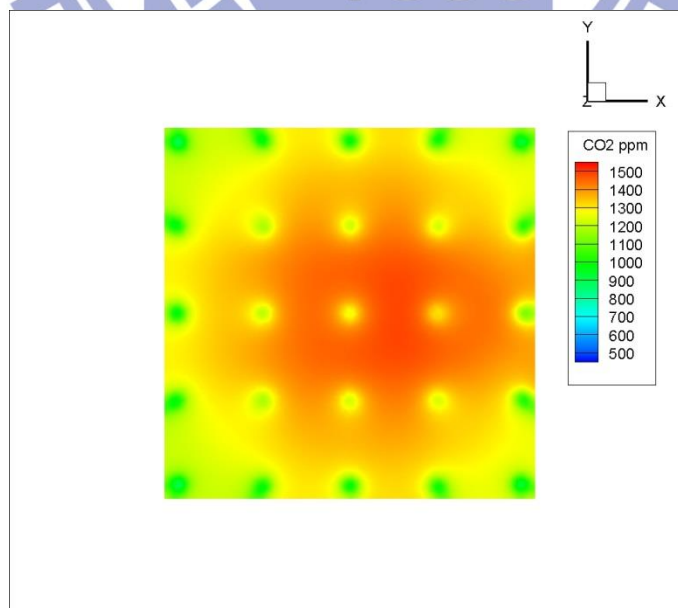


圖 40 $z=3.5(\text{m})$ 之二氧化碳體積濃度截面圖，單位 ppm

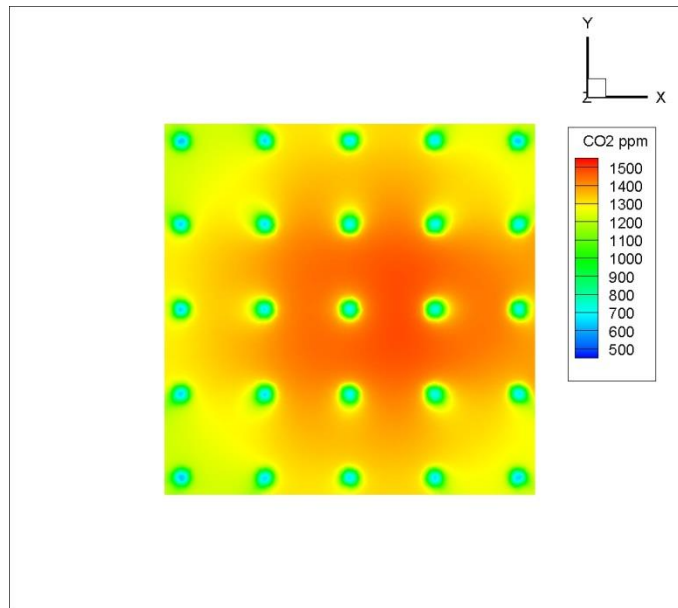


圖 41 $z=4.5\text{ m}$ 之二氧化碳體積濃度截面圖，單位 ppm



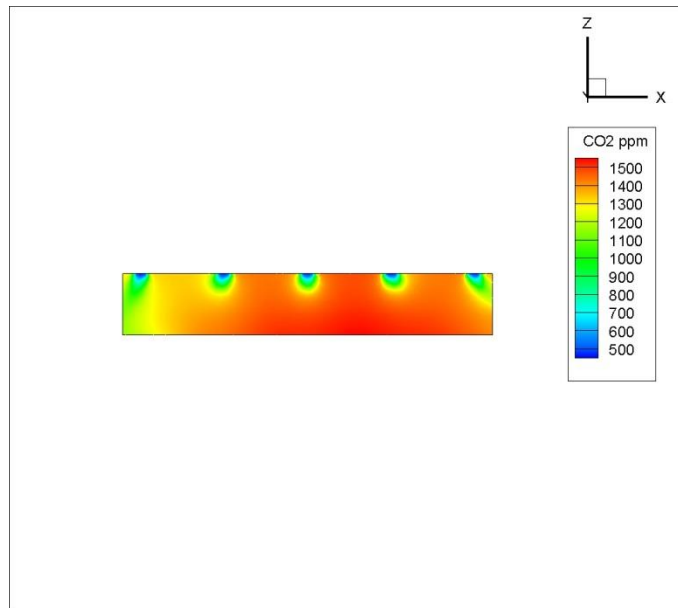


圖 42 $y=15(\text{m})$ 之二氧化碳體積濃度截面圖，單位 ppm

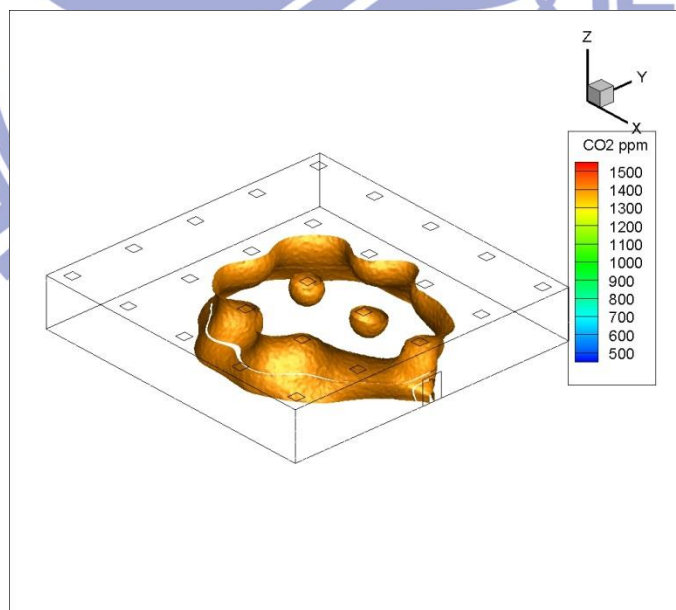


圖 43 大模型二氧化碳體積濃度為 1400ppm 之等位面圖

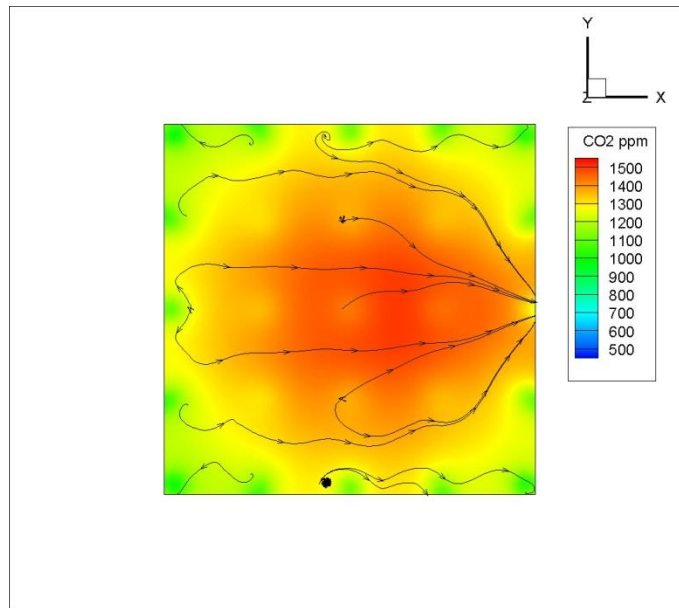


圖 44 $z=2.5(m)$ 之流線圖

將原大模型之開口加大至 24 公尺之模型，更改後之模型如圖 45 所示。表 4 為更改後之各層之平均數據，與表 3 比較之後，可得知大模型改為大開口後，各層平均溫度上升，但水蒸氣與二氧化碳之平均重量分率皆為下降的趨勢。平均溫度上升的原因是因為大模型內之出口風速不變，而面對更大的開口，相較於前一小開口的模型來講，雖然能讓氣體有較大的出口排出，但也因為出口太大的關係，顯得出風口風速太小，導致大量的回流的狀況產生，在接近自然排氣口的地方，平均溫度值幾乎趨近於 27°C ，原因是因為回流氣體溫度的設定值為 27°C ，而圖 62 僅顯示 x 方向的負速度值(出口方向為 x 方向)，也就是回流的速度值，由圖所示，負速度值的範圍佔了出口不少區域，圖 63 為模型自然排氣口面之速度向量值，如圖所示，在該截面上，有不少氣體回流，帶回一些低濃度、高溫的氣體。因此可推測在大開口的情況下，雖然室內氣體的平均濃度雖然整體下降，但也因為開口較大的關係讓外界流體產生回流使室內溫度整體上升。圖 61 為二氧化碳濃度=1300ppm 之等位面圖，由圖中可得二氧化碳濃度較高的部分已經能夠大面積的排出，相較於圖 43(大模型+小開口)，圖中的小開口仍是造成氣體濃度升高的主要原因之一。

表 4 大模型(改大開口)之各層數據平均表

大模型之 截面高度	平均溫度(°C)	平均水蒸氣 重量分率 (相對溼度，%)	平均二氧化碳 重量分率 (體積濃度，ppm)
Z=0.9(m)	22.54	0.00819 (48.6)	0.001702 (1199.5)
Z=1.7(m)	22.68	0.00822 (48.4)	0.001721 (1212.9)
Z=2.5(m)	22.66	0.00824 (48.6)	0.001725 (1215.7)
Z=3.5(m)	22.56	0.00816 (48.4)	0.001696 (1195.3)
Z=4.5(m)	21.94	0.00784 (48.0)	0.001559 (1098.7)

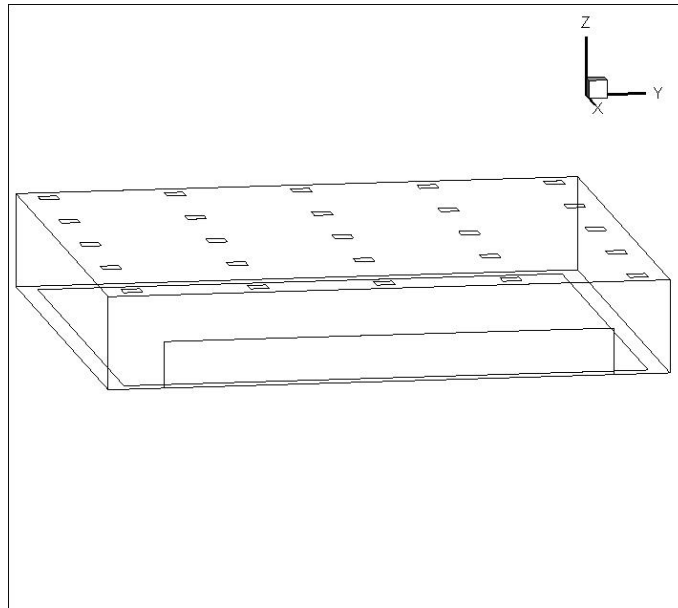


圖 45 大模型之出口加大圖



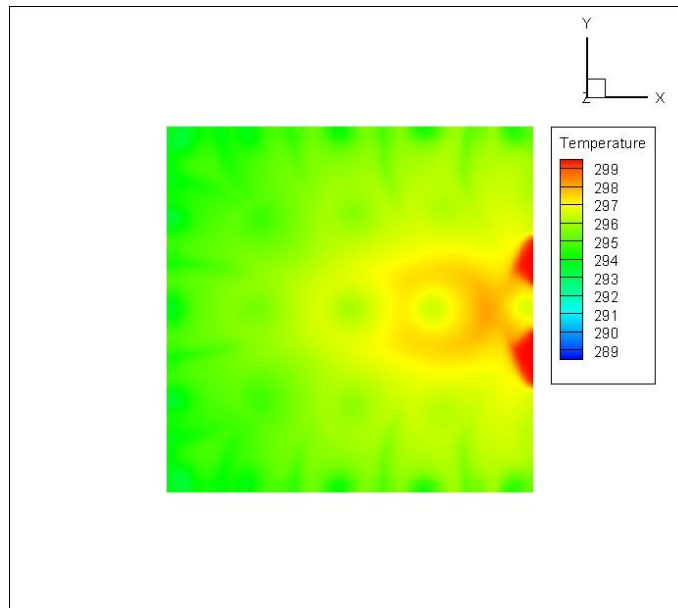


圖 46 加大開口， $z=0.9\text{(m)}$ 之溫度截面圖，單位 K

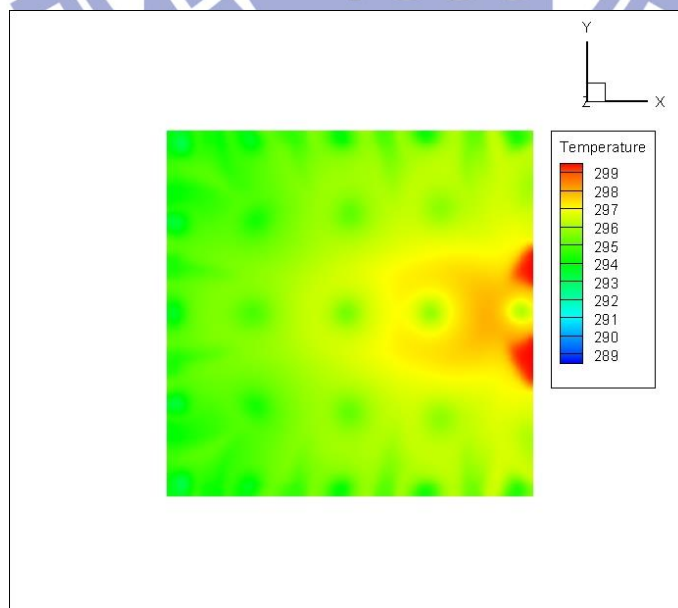


圖 47 加大開口， $z=1.7\text{(m)}$ 之溫度截面圖，單位 K

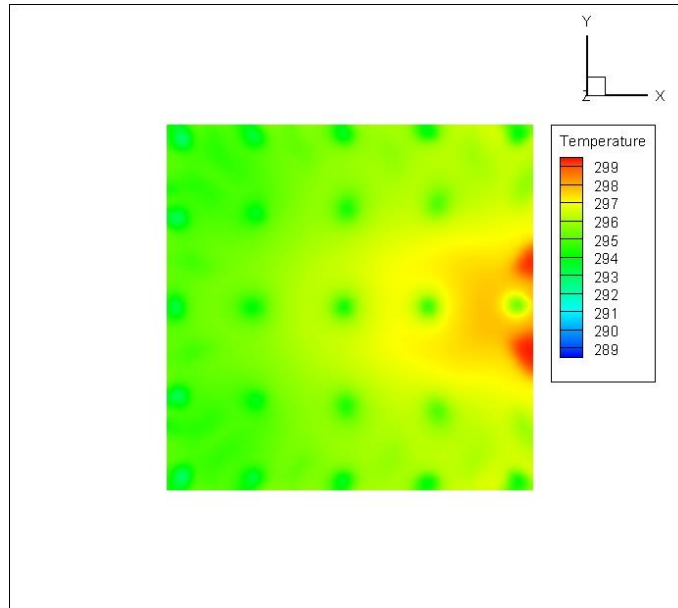


圖 48 加大開口， $z=2.5\text{m}$ 之溫度截面圖，單位 K

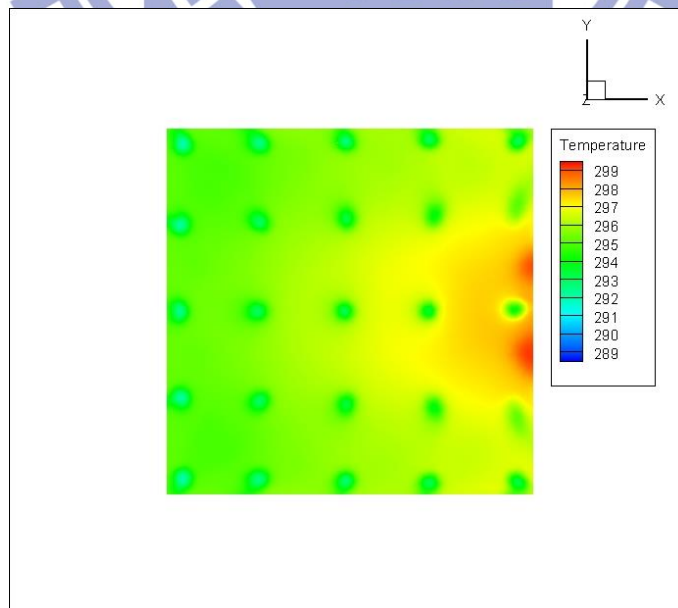


圖 49 加大開口， $z=3.5\text{m}$ 之溫度截面圖，單位 K

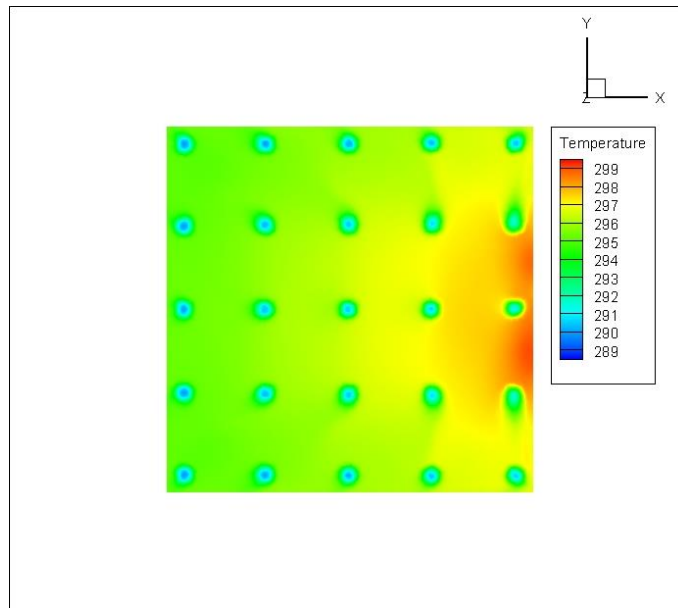


圖 50 加大開口， $z=4.5(\text{m})$ 之溫度截面圖，單位 K



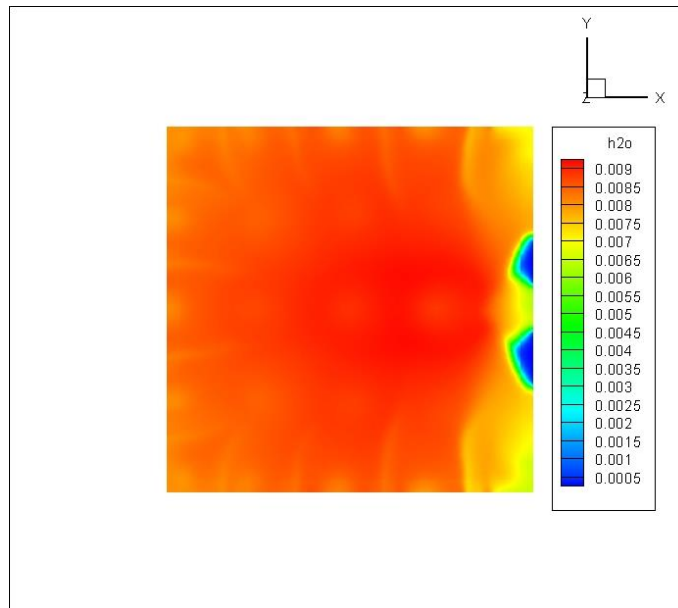


圖 51 加大開口， $z=0.9$ (m)之水蒸氣重量分率截面圖，(kg-H₂O/kg-air)

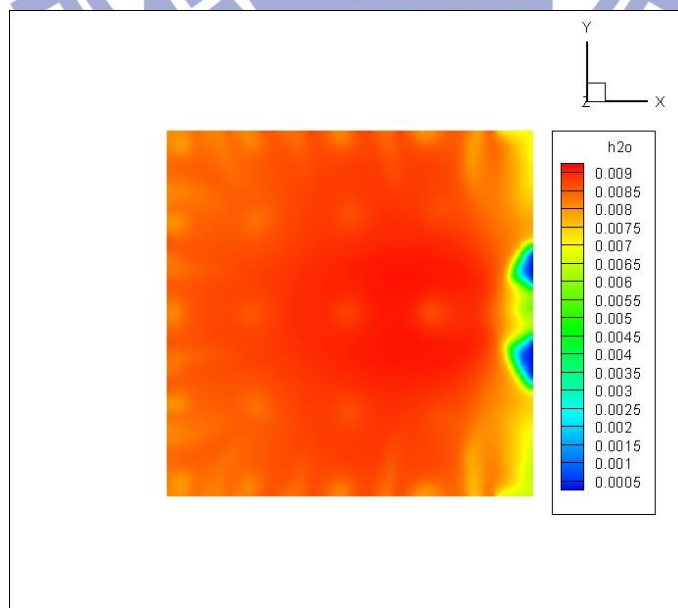


圖 52 加大開口， $z=1.7$ (m)之水蒸氣重量分率截面圖，(kg-H₂O/kg-air)

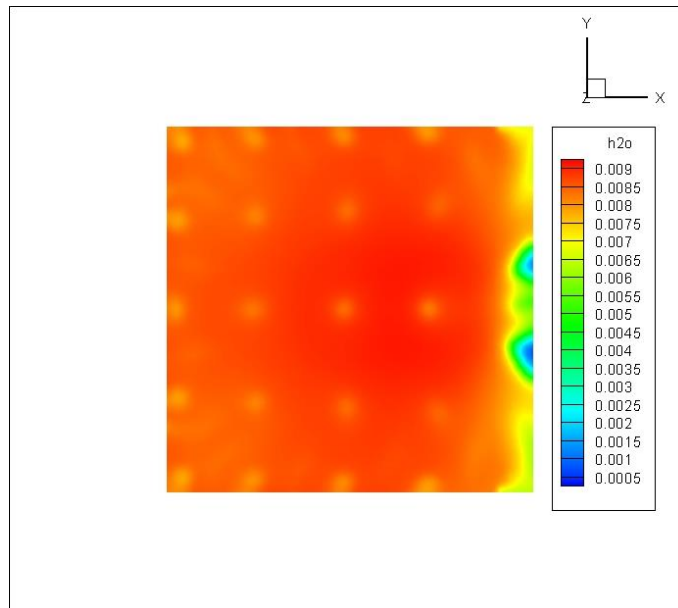


圖 53 加大開口， $z=2.5$ (m)之水蒸氣重量分率截面圖，(kg-H₂O/kg-air)

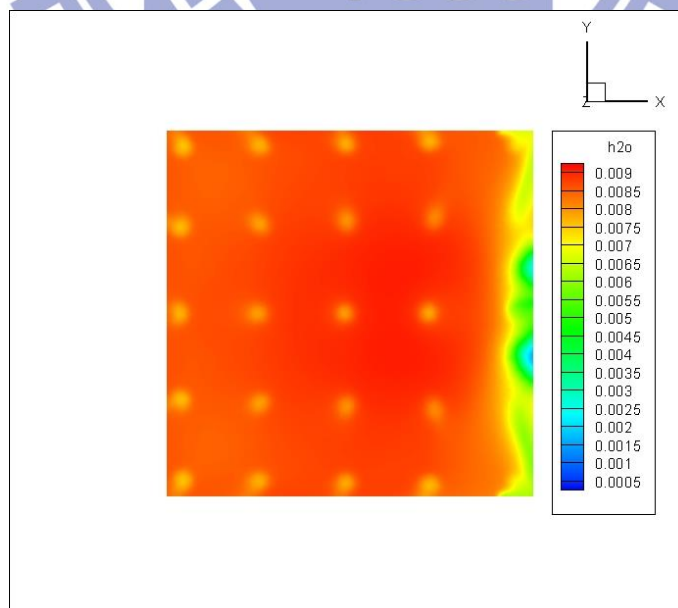


圖 54 加大開口， $z=3.5$ (m)之水蒸氣重量分率截面圖，(kg-H₂O/kg-air)

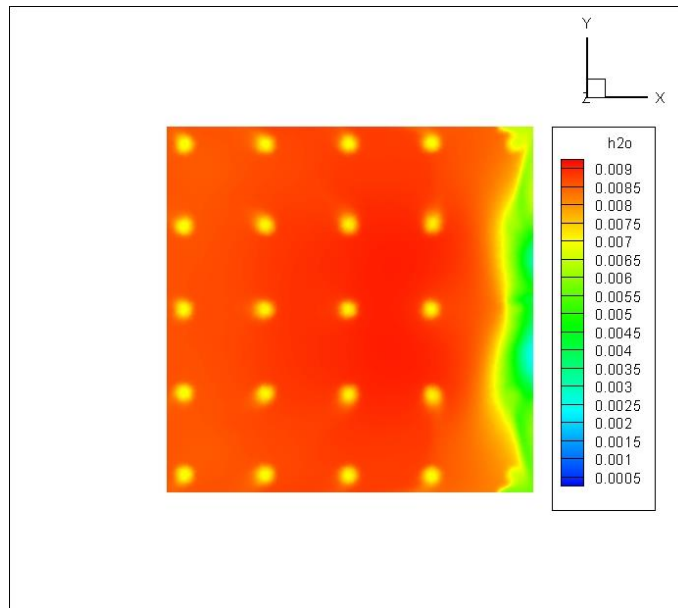


圖 55 加大開口， $z=4.5(\text{m})$ 之水蒸氣重量分率截面圖， $(\text{kg-H}_2\text{O}/\text{kg-air})$



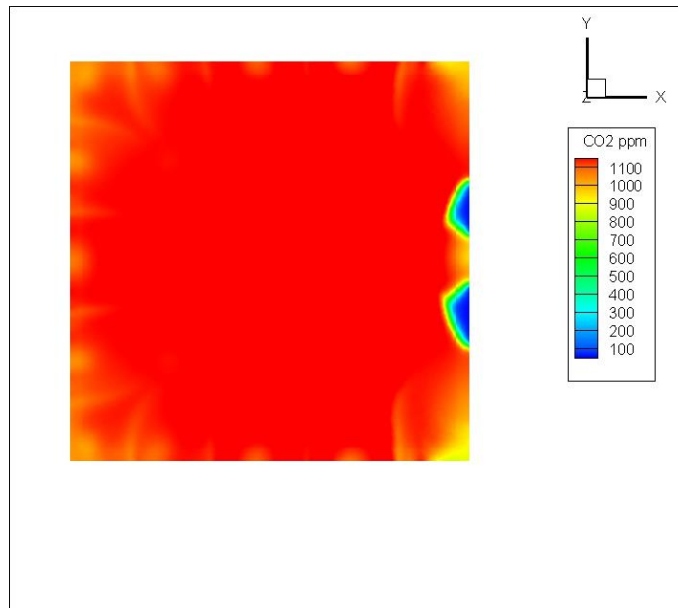


圖 56 加大開口， $z=0.9\text{m}$ 之二氧化碳體積濃度截面圖，單位 ppm

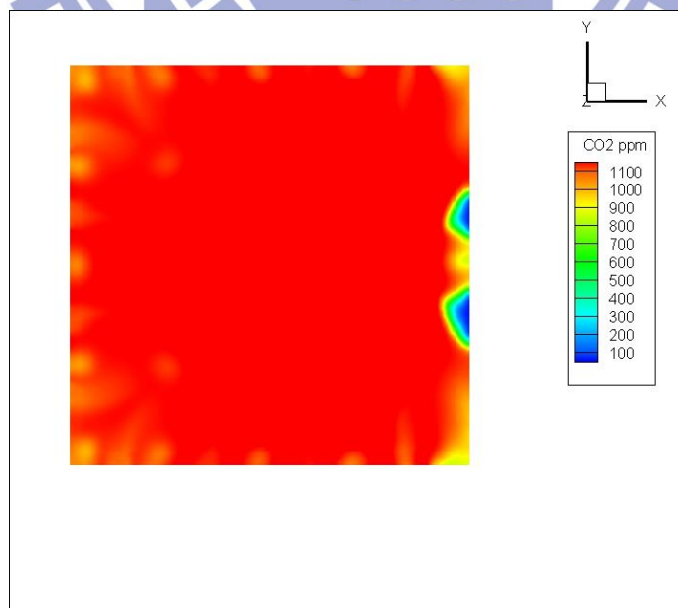


圖 57 加大開口， $z=1.7\text{m}$ 之二氧化碳體積濃度截面圖，單位 ppm

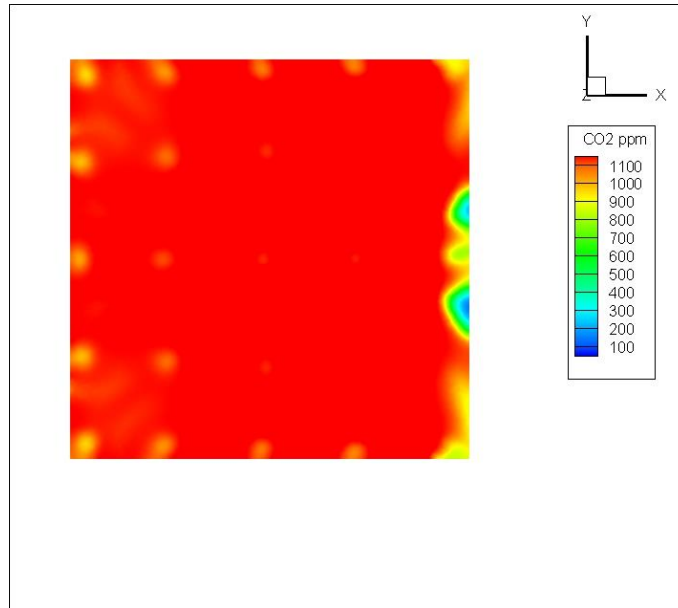


圖 58 加大開口， $z=2.5\text{m}$ 之二氧化碳體積濃度截面圖，單位 ppm

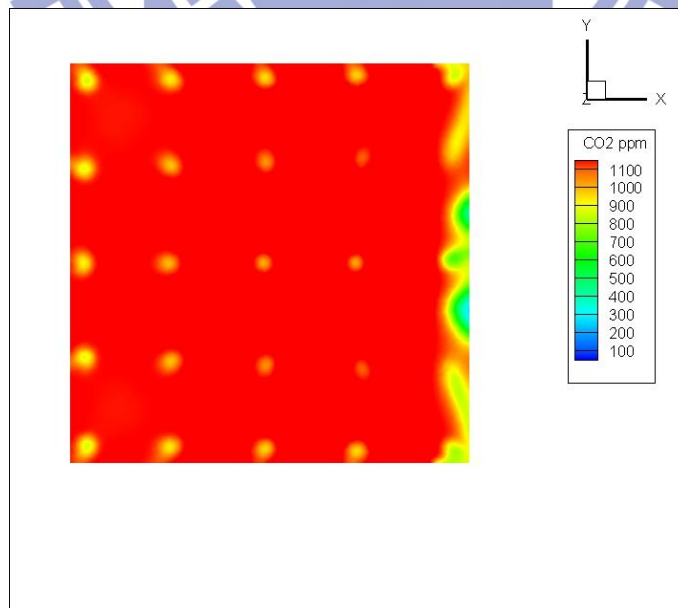


圖 59 加大開口， $z=3.5\text{m}$ 之二氧化碳體積濃度截面圖，單位 ppm

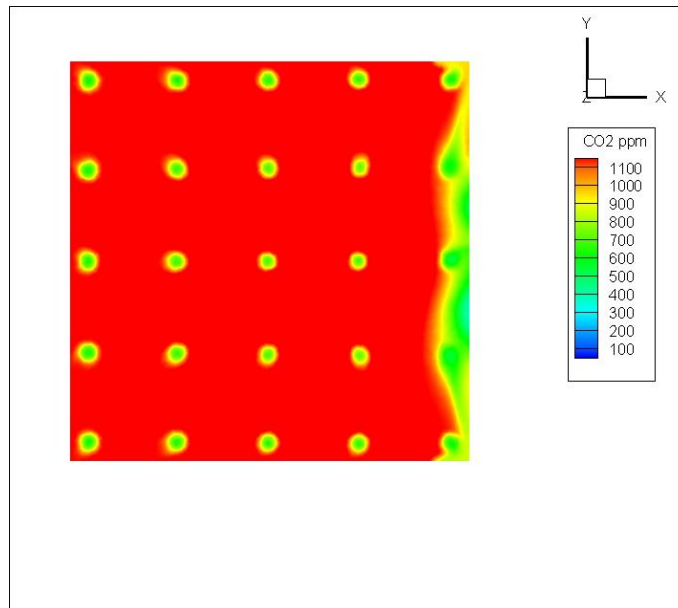


圖 60 加大開口， $z=4.5\text{m}$ 之二氧化碳體積濃度截面圖，單位 ppm

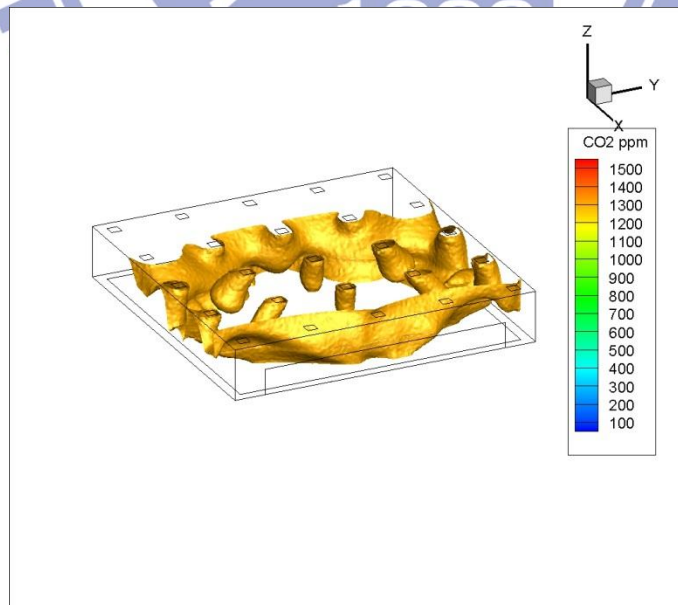


圖 61 二氧化碳濃度=1300ppm 之等位面

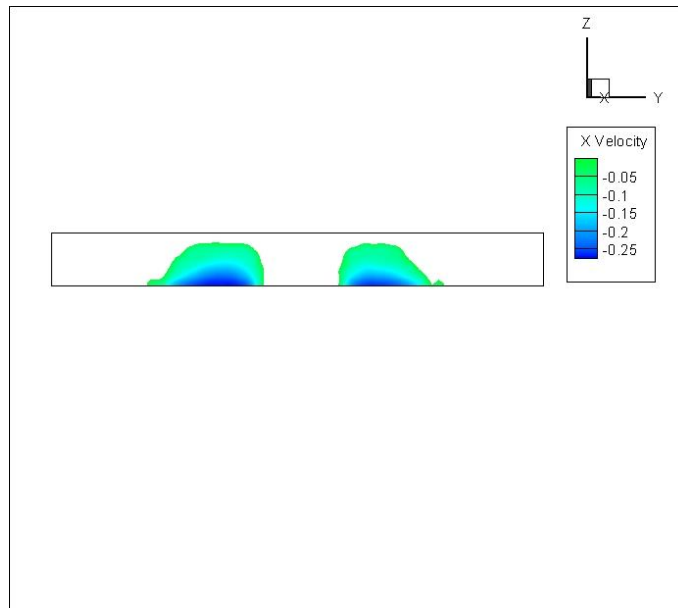


圖 62 加大開口，出口回流速度圖，單位(m/s)

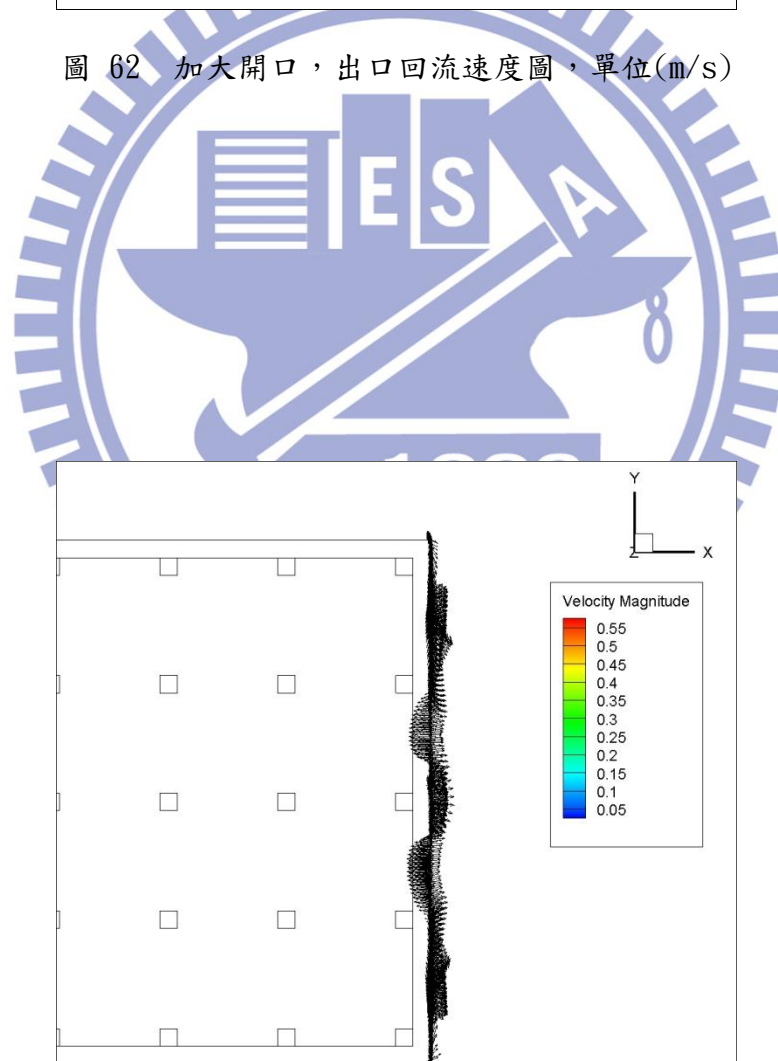


圖 63 自然排氣口之速度向量值，單位(m/s)

第五章 結論

1. 經由模擬過後可得知，除了換氣量符合之外，出風口的位置與開口大小也會影響室內各種氣體的排出
2. 所以有的時候，室內人數再建議值之內，冷氣的溫度與風速的符合換氣量的情況下，室內的空氣品質還是很差，原因很可能就是因為自然排氣口太小或距離冷氣出風口太遠而導致室內氣體永久性地循環，造成不良氣體的濃度上升。
3. 但出風口距離自然排風口亦不可太近，否則會導致冷氣直接排出室外無法冷卻室內造成能源的浪費。
4. 所以當設計者在設計空調位置時，應首先要考量自然排風口的位置與大小，才能確保氣體能有效地對外流通進行換氣，而室內距離自然排風口太遠之處則須仰賴回風口的設計進行換氣。



參考文獻

- [1] 陳冠宏，“轉輪式除濕空調系統應用於船體塗裝廠最佳節能運轉策略之研究”，國立台北科技大學，碩士學位論文，民國 99 年
- [2] 李慧梅，楊心豪，“行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告帶電荷濾材對室內空氣過濾效率之影響”，整合型計畫，1~26 頁，民國 100 年
- [3] 涂玉峰，“室內空氣環境綜合評估指標之探討-以台灣南部工業區辦公大樓為例”，國立成功大學，碩士學位論文，民國 87 年
- [4] 宋鴻章，呂宗，“室內空氣污染物所引發的健康效應流行病學研究(2/2)”，行政院國家科學委員會專題研究計畫，1~6 頁，台北，民國 93 年
- [5] 李彥碩，“辦公室間室內空氣品質管制策略之研究”，國立成功大學，博士學位論文，民國 93 年
- [6] 宋鴻樟，“室內空氣污染物所引發的健康效應流行病學研究”行政院國家科學委員會專題研究計畫，中國醫藥大學環境醫學研究所，民國 92 年
- [7] 楊慈定等，“學校實驗室與辦公室室內空氣污染物特性及其污染源之探討”中華民國環境工程學會空氣污染控制技術研討會，民國 96 年
- [8] 鄭正坦，“水中甲醛之二氧化鈦光催化分解研究”，國立高雄第一科技大學，碩士學位論文，民國 95 年
- [9] 林敬博，“應用 CFD 模擬技術決定 RFID 感測器在會議空調系統之最佳放置位置”，國立台北科技大學，碩士學位論文，民國 100 年
- [10] 謝文德等，“室內空調機配置對便利商店對整體省能之影響研究”，商業冷凍專欄(8)，45~54 頁，民國 93 年
- [11] 陳呈芳，王明庸，冷凍空調學，淡江出版社，台北，民國 81 年
- [12] 林姍妤，“運動中心使用情形與室內空氣品質之相關性”，台北醫藥大學，碩士論文，民國 97 年

- [13]台北市政府消防局，” 台北市特定場所留容人數管制規則”，台北，民國 90 年
- [14]趙中興，” 計算流體力學模擬軟體應用在室內空氣流動、空氣品質、溫度調節與有毒氣體擴散等分析上的發展與前景(上)”，中國冷凍空調雜誌，115~118 頁，民國 82 年
- [15]吳順治、李厚毅、蔡慶鏘，” 二氧化碳氣體在病房中的流動特性分析”，聖約翰學報，第二十三期，民國 95 年 7 月
- [16]林瑞國等，” 室內空調對叢集電腦散熱之模擬研究”，第十四屆全國計算流體力學學術研討會，南投縣，民國九十六年八月
- [17]陳春萬，謝書榮，職場整體換氣性能規範之探討，行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，民國 98 年 1 月
- [18] 陳萬春，” 整體換氣指標與換氣率 ACH 關係之研究”，行政院勞委會勞工安全衛生研究所，1~98 頁，台北，民國 99 年 2 月
- [19] 周伯丞，江哲銘，” 不同空調風路徑對工作空間室內汙染物移除效果之比較”，中華民國建築協會，建築學報，第 54 期，41~55 頁，民國 94 年 12 月
- [20] 遲正憲，” 推動節能減碳的社會教育之層級分析”，朝陽科技大學，碩士論文，民國 99 年
- [21]蔡明哲，” 混合式空調箱節能評估與操作”，碩士論文，國立交通大學，民國 101 年
- [22] 伍玉平，” 潔淨成形汙染控制之氣流組織分析與研究”，國立中山大學，碩士論文，民國 91 年
- [23] 林誠興等，” 火害後鋼筋混凝土樑極限強度分析”，南亞學報，第三十期，59~82 頁，民國 99 年 12 月
- [24]經濟部工業局頭份(兼竹南銅鑼)工業區服務中心，” 地理環境與交通狀況”，民國 99 年 11 月
- [25]顏名聰、陳師瑩，” 健康餐食之製備與評估”，嘉南藥理科技大學專題研究計畫

成果報告，1~26 頁，民國 100 年

