

台灣地區建築物室內自然通風模式 之建立研究

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 99 年 12 月

(計畫編號)

9962B1001

台灣地區建築物室內自然通風模式 之建立研究

研究主持人：陳瑞鈴

共同主持人：朱佳仁

研究員：劉文欽 黎益肇

研究助理：王宇文 陳昭瑋 劉宗強

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 99 年 12 月

目次

目次	I
表次	III
圖次	V
符號表	IX
摘要	XI
ABSTRACT	XV
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 研究目的	2
第三節 研究方法與過程	4
第二章 文獻回顧	7
第一節 建築通風	7
第二節 通風模式	12
第三節 通風研究文獻	15
第三章 台灣氣象資料	23

第四章 風洞實驗	49
第一節 實驗配置與量測方法	49
第二節 實驗結果	53
第五章 TAIVENT 計算模式	61
第一節 多區塊模式	61
第二節 流量係數	66
第三節 TAIVENT 模式介紹	74
第六章 通風計算案例	79
第七章 結論與建議	93
第一節 結論	93
第二節 建議	94
附錄一 期中審查會議紀錄與意見回覆表	97
附錄二 期末專家座談會議紀錄與意見回覆表	99
附錄三 期末審查會議紀錄與意見回覆表	101
參考書目	105

表 次

表 2.1 各類建築物單位樓地板面積最小的通風量	8
表 2.2 台灣的室內空氣品質建議值	10
表 3.1 中央氣象局所屬地面氣象站資料表	24
表 3.2 風速計高度更動之年份與高度表	27
表 3.3 台灣地區人工觀測氣象站之 48 年平均氣象資料	28
表 3.4 台灣北部與中部部分城市風向之發生機率	41
表 3.5 台灣南部與東部部分城市各風向之發生機率	42
表 3.6 台北市各月份平均氣象資料	43
表 3.7 台北市春季逐時及日夜平均風速、溫度與相對濕度	44
表 3.8 台北市夏季逐時及日夜平均風速、溫度與相對濕度	45
表 3.9 台北市秋季逐時及日夜平均風速、溫度與相對濕度	46
表 3.10 台北市冬季逐時及日夜平均風速、溫度與相對濕度	47
表 6.1 台灣主要城市之氣象資料統計表	79
表 6.2 建築物之樓層高度與門窗尺寸	81
表 6.3 案例 1 各角度之通風量與換氣率	83
表 6.4 各案例在風向角 $\theta = 0^\circ$ 狀況下之通風量與換氣率	85
表 6.5 案例 4 各開口參數	89
表 6.6 案例 4 結果	92

圖 次

圖 1.1 貫流通風與單側通風之示意圖	3
圖 1.2 研究流程圖	5
圖 2.1 通風路徑之平面示意圖(a)短路通風；(b)換置通風；(c)活 塞通風	11
圖 2.2 建構紊流模式的流程圖	14
圖 3.1 中央氣象局氣象站位置圖	25
圖 3.2 中央氣象局風向圖	26
圖 3.3 台北市各月份之平均風速分佈圖	31
圖 3.4 台北市全年和各季平均的風花圖	32
圖 3.5 台北市春季逐時平均風速變化圖	35
圖 3.6 台北市春季逐時平均溫度變化圖	35
圖 3.7 台北市春季逐時平均相對濕度變化圖	36
圖 3.8 台北市夏季逐時平均風速變化圖	36
圖 3.9 台北市夏季逐時平均溫度變化圖	37
圖 3.10 台北市夏季逐時平均相對濕度變化圖	37
圖 3.11 台北市秋季逐時平均風速變化圖	38
圖 3.12 台北市秋季逐時平均溫度變化圖	38
圖 3.13 台北市秋季逐時平均相對濕度變化圖	39
圖 3.14 台北市冬季逐時平均風速變化圖	39
圖 3.15 台北市冬季逐時平均溫度變化圖	40

圖 3.16	台北市冬季逐時平均相對濕度變化圖	40
圖 4.1	風洞實驗配置圖	51
圖 4.2	壓克力模型圖	51
圖 4.3	風洞實驗配置之示意圖	52
圖 4.4	壓力掃瞄器	52
圖 4.5	壓力訊號處理系統	52
圖 4.6	皮托管	53
圖 4.7	薄膜式壓力計	53
圖 4.8	風向角之示意圖(上視圖)	53
圖 4.9(a)	風向角 $\theta = 0^\circ$ ，迎風面(第 1 面)平均風壓分佈圖	55
圖 4.9(b)	風向角 $\theta = 0^\circ$ ，背風面(第 3 面)平均風壓分佈圖	56
圖 4.9(c)	風向角 $\theta = 0^\circ$ ，側面(第 2 面)平均風壓分佈圖	56
圖 4.10(a)	風向角 $\theta = 22.5^\circ$ ，第 1 面的平均風壓分佈圖	57
圖 4.10(b)	風向角 $\theta = 22.5^\circ$ ，第 2 面的平均風壓分佈圖	57
圖 4.10(c)	風向角 $\theta = 22.5^\circ$ ，第 3 面的平均風壓分佈圖	58
圖 4.10(d)	風向角 $\theta = 22.5^\circ$ ，第 4 面的平均風壓分佈圖	58
圖 4.11(a)	風向角 $\theta = 45^\circ$ ，第 1 面的平均風壓分佈圖	59
圖 4.11(b)	風向角 $\theta = 45^\circ$ ，第 2 面的平均風壓分佈圖	59
圖 4.12	擋風牆對表面風壓影響之實驗配置圖(側視圖)	60
圖 5.1	建築物有室內隔間風壓通風之示意圖	62
圖 5.2	有室內隔間之建築物貫流通風之示意圖	64

圖 5.3 風向角 $\theta = 0^\circ$ ，不同開口面積之流量係數與雷諾數關係圖	67
圖 5.4 百葉窗、紗網和斜開窗模型之影像圖	68
圖 5.5 百葉窗葉片的傾斜角度示意圖	69
圖 5.6 室內隔間模型裝上門之示意圖與影像圖	71
圖 5.7 風向角 $\theta = 0^\circ$ ， $r_1 = 6.25\%$ ，百葉窗之流量係數與雷諾數 關係圖	72
圖 5.8 風向角 $\theta = 0^\circ$ ， $r_1 = 6.25\%$ ，紗窗和斜開窗之流量係數與 雷諾數關係圖	72
圖 5.9 不同門開闔角度之流量係數與雷諾數關係圖	73
圖 5.10 通風模式 TAIVENT 的首頁	75
圖 5.11 建築物座落位置與環境參數的輸入介面	75
圖 5.12 建築物尺寸參數的輸入介面	76
圖 5.13 建築物開口參數的輸入介面	76
圖 5.14 建築物與開口參數的檔案儲存介面	77
圖 6.1 矩形建築物示意圖	80
圖 6.2 建築物座向與盛行風向之示意圖	81
圖 6.3 案例 1 的樓層平面圖(上視圖).....	82
圖 6.4 有擋風牆影響之案例 1 之示意圖	83
圖 6.5 案例 2 的樓層平面圖(上視圖).....	84
圖 6.6 案例 3 的樓層平面圖(上視圖).....	85
圖 6.7 案例 4 的樓層平面圖(上視圖).....	86

圖 6.8 案例 4 計算時各區塊之示意圖	88
圖 6.9(a) 案例 4 在風向角 $\theta = 0^\circ$ 時，開口無加裝物之通風量示意圖	90
圖 6.9(b) 案例 4 在風向角 $\theta = 90^\circ$ 時，開口無加裝物之通風量示意圖	90
圖 6.9(c) 案例 4 在風向角 $\theta = 180^\circ$ 時，開口無加裝物之通風量示意圖	91

符號表

A (m^2)	:	開口面積
A_r	:	室外開口面積與室內開口面積比
ACH (hr^{-1})	:	換氣率
B_m (cm)	:	壓克力模型寬度
C_p	:	平均風壓係數
C_d	:	流量係數
C_{dr}	:	室外開口流量係數與室內開口流量係數比
D (m)	:	建築物整棟寬度
D_m (cm)	:	壓克力模型長度
H (m)	:	建築物整棟高度
H_b (m)	:	壓克力平板高度
H_m (cm)	:	壓克力模型高度
P (Pa)	:	表面壓力
P_o (Pa)	:	參考壓力
P_r (Pa)	:	室內壓力
Q (m^3/s)	:	通風量
Re	:	雷諾數
r	:	鬆弛係數
r_1	:	開口面積與牆面積比
t_b (m)	:	壓克力平板厚度
U (m/s)	:	室外風速
U_o (m/s)	:	風洞實驗的風速
U_{met} (m/s)	:	氣象局風速
$U(z)$ (m/s)	:	於空間高度 Z 處之風速
W (m)	:	建築物整棟長度
W_b (m)	:	壓克力平板寬度
Z (m)	:	建築物高度 Z 處
Z_{met} (m)	:	氣象局風速計高度
x/D	:	開口處無因次長度
y/W	:	開口處無因次寬度
z/H	:	開口處無因次高度
α	:	地況指數

α_1	:	修正因子($A_{r1} \cdot C_{zr1}$)
α_2	:	修正因子($A_{r2} \cdot C_{zr2}$)
α_L (deg.)	:	百葉窗葉片角度
β (deg.)	:	外推窗與開口夾角
δ (deg.)	:	建築物座向與正北方的夾角
Δ (Pa)	:	壓力修正值
\forall	:	室內空間的體積
η	:	換氣效率
θ (deg.)	:	風向角
ρ (kg/m ³)	:	空氣密度
τ (hr)	:	室內空氣更新所需的時間尺度
$\langle \tau \rangle$ (hr)	:	室內平均空氣齡

摘要

關鍵詞：室內通風、風洞實驗、多區間通風模式、TAIVENT

一、研究緣起

台灣的建築物普遍地使用空調冷氣來改善室內環境，但是使用機械通風的設備，亦會耗損大量的能源。若能有效地利用自然通風維持室內居住環境，將可達到建築物節能、減碳之目的。自然通風主要依賴室外自然的風力及室內外的溫差（浮力）驅使室內外空氣交換、流動。但室外風速和氣溫與時俱變，自然通風不易控制。因此若想充分利用自然通風創造舒適的室內環境，必須有一個通風模式可以針對建築物基地的氣象條件（風速、風向、溫濕度），計算各種建築設計（座向、開口位置、大小及室內隔間）自然通風的通風量與換氣率。

二、研究方法及過程

本研究發展了一個適用於台灣濕熱氣候的風壓通風計算模式 TAIVENT (Taiwan Natural Ventilation Model)，模式結合了台灣中央氣象局 25 個氣象觀測站 1961~2008 年的氣象資料（平均風速、盛行風向、氣溫、濕度）可計算各種建築物座向、室內隔間、開口位置、大小及是否有裝紗窗或百葉窗的風壓通風量和換氣率。通風模式所需之建築物表面風壓則利用內政部建築研究所的風洞實驗室及多頻道壓力掃瞄計量測得之，並將各風向之表面風壓資料成立一個資料庫，供模式使用。TAIVENT 模式為了方便使用者輸入建築物的相關參數，利用 Visual Basics 程式語言寫了一個 Windows 中文介面程式，通風流量的計算則採用 Fortran 程式撰寫。TAIVENT 模式的使用者僅需在 Windows 介面上輸入建築物的相關參數，便可執行建築物通風量的計算，最後再將計算得之通風量和換氣率存入指定的檔案內即可。

三、重要發現

1. 本計畫分析整理了中央氣象局在台灣地區的 25 個地面觀測站 48 年氣象資料，這些資料不僅是可以用於建築業者設計之用，也可以提供其他學術研究作為台灣氣象資料的參考。從台灣地區的月平均溫度、風速資料來看，台灣的春、秋、冬三季適合使用風壓通風，一般住家可以避免使用冷氣，僅使用自然通風與風扇即可。

2. 由 TAIVENT 模式計算得之結果可以看出：建築物的座向、開口位置、大小及室內隔間皆與風壓通風有著密不可分的關係。而裝上紗網與百葉窗的通風量略小於無加裝物的通風量。若想充分利用風壓通風，可在建築物迎風面、背風面設置可開關的大型開口（落地窗），且可藉由控制內部開口的面積來調節通風量。對於尚未興建之建築物，建築師可利用 TAIVENT 模式找出最能配合當地氣候條件的建築設計，對於已興建之建築物，亦可利用 TAIVENT 模式評估建築物可使用風壓通風的季節與時段。

四、主要建議事項

根據本計畫的研究成果，研究單位在此提出下列建議，以下分別從立即可行的建議及長期性建議加以列舉。

1. 立即可行之建議：

研究浮力通風對台灣建築物的適用性：

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、行政院公共工程委員會

本研究所發展的 TAIVENT 模式屬於初步發展階段，僅考慮風壓通風對建築通風的影響。其實自然通風包括風壓通風與浮力通風，因此未來的研究計畫可以針對台灣的氣候特性，探討在不同的建築設計(譬如天窗、煙囪在屋頂的開口)下，浮力通風在台灣地區常見建築物的適用性，並在 TAIVENT 模式中加入浮力通風的計算。後續的研究可讓 TAIVENT 模式更加的完善，成為國內業界設計建築通風的工具，讓自然通風真正地在台灣落實，減少建築物的耗能。

2. 長期性建議：

研究室內障礙物對建築物通風的影響

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、行政院公共工程委員會

本研究所發展的 TAIVENT 模式目前可以計算建築物各種室內隔間的通風量與換氣率，但無法計算室內有大型障礙物，如屏風、書架、傢俱、樑柱或辦公室隔間(Partition)等的通風量。不僅 TAIVENT 模式無法考慮室內障礙物，國外所發展的多區塊模式亦無法計算室內障礙物對於通風量的影響。因此未來可採用阻抗模式(Resistance model)，研究各種常見傢俱對氣流所造成的阻抗，再計算對建築物通風量影響的程度，讓設計者可以清楚的知道室內阻抗如何影響建築物通風量與換氣率。

Abstract

Keywords: Building ventilation, Wind tunnel experiment, Multizone model, TAIVENT

This study developed a multizone ventilation model TAIVENT to calculate the ventilation rate and air exchange rate for typical residential buildings in Taiwan. The ventilation model is based on the mass conservation and orifice equation for wind-driven ventilation. The 1961~2008 weather data (wind speed, wind direction, air temperature and humidity) from the Central Weather Bureau were analyzed and used for the model. The results revealed that wind-driven ventilation is suitable for Taiwan during the seasons of spring, autumn and winter. Furthermore, the pressure distributions around a rectangular building under various wind directions were measured by wind tunnel experiments. Besides, the TAIVENT model has a user-friendly Windows interface that can key the parameters of the building design, e.g. location and size of external and internal openings, with or without screen, louver, etc. This model can predict the ventilation rate and air exchange rate of each room in the building. By using the TAIVENT model, architects could find out the best building design for wind-driven ventilation, and could effectively decrease utilization of mechanical ventilation. Based on the simulation results of TAIVENT, large openings on the windward and leeward façades can promote wind-driven ventilation and the ventilation rates of multi-room buildings could be regulated by adjusting the internal opening area.

第一章 緒論

第一節 計畫緣起

眾所周知，台灣夏季的濕熱氣候使得建築物大量使用空調冷氣來改善室內環境，但是使用這些空調設備，亦會耗損大量的能源。若能有效地利用自然通風協助或維持室內居住環境，將可達到節能減碳之目的(Santamouris and Wouters, 2006)。依據 2000 年國際能源總署(IEA)的報告(Annex 35)中指出，歐洲國家的辦公樓有效利用自然通風可以降低建築能耗達 50%以上。英國建築研究機構(British Research Establishment, Conservation Support Unit, BRE CSU)的研究結果表明，採用自然通風和採用空調的辦公大樓相比，每年節省的冷卻耗能為 14~41 kWh/m²，減少的費用為 1.3~3.6 美元/m²。

除此之外，自然通風可去除有害的室內污染物，改善室內空氣品質(Indoor Air Quality, IAQ)。室內空氣品質和室內的溫度、濕度、通風、噪音、光線合稱為室內環境。室內環境的良窳對於建築物使用者有明顯的影響，室內環境不佳的建築物，輕者造成建築物使用者不舒服的感覺，影響到使用者的居住品質或工作效率；嚴重者可能發生「病態大樓症候群(Sick Building Syndrome)」，譬如 2003 年 SARS 病毒在香港淘大花園社區的迅速傳播。

但建築物使用自然通風亦有其限制，自然通風主要依賴室外自然的風場(風力)及室內外的溫差(浮力)驅使室內外空氣交換、流動。當室外無風，或室外氣溫太高及太低，或室外空氣污染太嚴重時，自然通風便不適用。且室外風速和氣溫與時俱變，自然通風不易控制。因此若要定量評估自然通風的適用性，必須對建築物基地的風場及氣候條件的變化有深入的瞭解。

除此之外，建築物的設計亦會影響自然通風的適用性，譬如建築物的外型、座向、開口位置、大小及室內隔間皆與自然通風有著密不可分的關係。若想充分利用自然通風創造舒適的室內環境，必須針對建築物基地的風場及氣候條件，找出有利於自然通風之建築設計。換言之，必須有一個自然通風模式可計算不同風速、風向、溫濕度狀況下，各種建築設計(外型、座向、開口位置、大小及室內隔間)自然通

風的換氣率。

通風計算模式可定量評估各種建築物自然通風的適用時段，甚至可利用智慧型控制系統，依據室外風場、氣溫的狀況，自動控制建築物開口的大小及開闔，在自然通風與機械通風系統之間切換，達到充分利用自然通風，減少建築耗能的目的。

國外已有許多個計算建築物通風的計算模式，譬如計算流體動力學(Computational Fluid Dynamics, CFD)模式和多區塊模式(Multizone model)。多區塊模式皆是依據質量守恆原理計算各個房間之間的通風量，譬如 COMIS、CONTAM、MMPN、POMA 模式。但這些模式有些是適用於機械通風，有些模式未考量室內隔間、開口是否有紗網、百葉窗對室內氣流的影響。且這些模式皆未考量台灣的建築特性及氣候狀況，使得國內建築師大多無法有效利用台灣氣候條件的優勢，避開其缺點，設計出自然通風的節能建築。

第二節 研究目的

自然通風可分為風壓通風與浮力通風(Etheridge and Sandberg; 1996)，風壓通風(Wind-driven ventilation)依靠自然風力作用在建築上所造成的風壓差異，造成空氣流動與室內外的空氣交換；浮力通風(Buoyancy-driven ventilation)則藉由溫度差異所造成的浮力，促使空氣上下對流。浮力通風適用於室內垂向的溫度差異大，且上下開口高度距離大的建築物，例如有中庭(Atria)挑高的建築物，便可利用浮力通風將熱空氣由上方的開口排出(Linden, 1999)。

風壓通風適用室外風場恆定、進風口與出風口皆在同一樓層的建築物，譬如住宅、教室、小型辦公樓等建築，氣流由建築物的迎風面開口灌入，於背風面開口流出，如圖 1.1 所示，此種流況又稱為貫流通風(Cross ventilation)或穿堂風(Through flow)，其通風效果最佳。江哲銘 (1997)指出當室外風速超過 1.5 m/s 時，風力即可促成自然之換氣。若僅迎風面有開口或僅背風面有開口的單側通風(Single-sided ventilation)，亦可造成風壓通風，但通風效果較差(Awbi, 2003)。

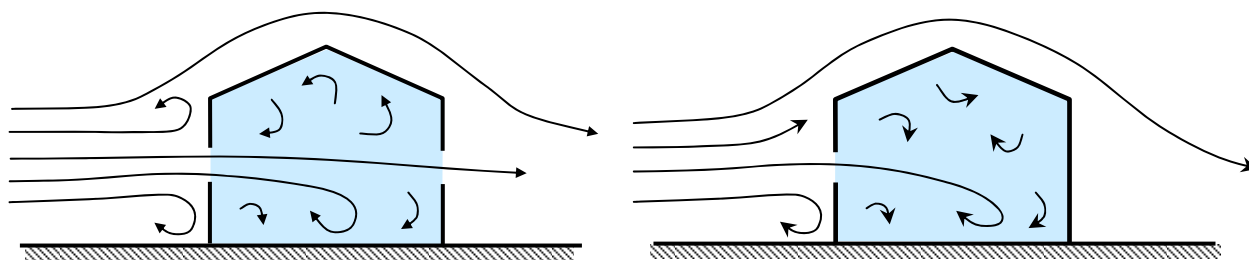


圖1.1 貫流通風和單側通風之示意圖

資料來源：本研究整理

風壓通風受許多因素的影響，譬如室外的風速、風向、建築物的外型、門窗開口的面積大小、位置、形式、室內隔間、傢俱擺設、周遭建物的配置等因素。因此針對一棟尚未興建的建築物，定量評估其室內自然通風量較為困難。自然通風的優點為節省能源，適用於住宅、小型的室內空間。但缺點為通風量受室外風場的影響，較難控制通風量，且不適用於大型的公共空間。

因為台灣夏季室外氣溫高，單一樓層建築物不易藉由浮力通風達到散熱通風之效果。反之，通風良好的住宅、教室、辦公樓等建築，風壓通風可以有散熱的效果。本計畫因為研究時程只有一年，故僅針對風壓通風進行研究，未來則可將通風模式擴充至包括浮力通風的計算。

本研究發展了一個適用於台灣地區的風壓通風之計算模式 TAIVENT (Taiwan Natural Ventilation Model)，模式可藉由中文的 Windows 介面輸入建築物座向、開口位置、大小及室內隔間等參數、基地的風場、氣象資料(風速、風向、氣溫、濕度)，或利用中央氣象局各地的氣象資料，計算建築物風壓通風的通風量與換氣率，進而評估一般建築物可使用風壓通風的時段。對於尚未興建之建築物，亦可利用此模式找出有利風壓通風之建築設計。具體而言，本研究的目的包括下列四項：

- 一、分析1961~2008年間中央氣象局全台25個地面氣象站的氣象資料(風速、風向、氣溫、濕度等)，進而計算各地各月份的溫濕度、平均風速與盛行風向。以統計各地最常發生的盛行風向、平均溫濕度與平均風速。並將分析的結果建立成一個資料庫，可查詢台灣各地風場資料之用。
- 二、利用風洞實驗量測矩形建築物在各風向角之下的表面風壓，將量測值建立成一

個風壓資料庫以供計算建築物風壓通風之用。這部份的研究使用內政部建築研究所的風洞實驗室來進行，利用多頻道壓力掃描計量測壓克力縮尺模型的表面風壓值，風向共分為16種風向，每種風向量測各個表面的風壓分佈。實驗結果整理後已建立第二個資料庫，供通風模式計算建築物之通風量。

- 三、發展一個風壓通風的計算模式TAIVENT，用於計算建築物在各種座向、開口位置、面積大小、室內隔間的狀況下，建築物的通風量與換氣率。國內的建築師可利用TAIVENT模式計算各種建築設計之通風量與換氣率，以設計出最能配合當地氣候條件的建築設計(座向、門窗開口之位置、面積大小、室內隔間)，提升國內建築節能的技術。
- 四、TAIVENT模式發展完成後，可結合台灣中央氣象局各地的風場、氣象資料庫，或輸入基地的風場(風速、風向)及氣象(氣溫、濕度)資料，並針對台灣常見住宅式建築物及室內隔間方式，定量評估風壓通風的適用性及特性，以期找出有利於風壓通風的建築設計。

對於已完工之建築物，亦可利用TAIVENT模式計算建築物在不同季節，適合使用自然通風的時段(白天、夜晚)或時數，以減少建築物對機械通風的依賴，有效達到建築物節能、減碳之目的，並創造舒適的室內環境。

第三節 研究方法與過程

本計畫依據通風理論與流體質量守恆原理，建構一個適用於台灣地區的自然通風模式 TAIVENT，可計算多區間建築物(Multi-zone)的通風量與換氣率。模式利用台灣中央氣象局各地氣象站的氣象資料，或自行輸入建築基地的盛行風向、平均風速、溫濕度等氣象資料，配合風洞實驗量測得之建築物表面風壓，便可計算多區間建築的風壓通風之通風量或換氣率，計畫執行步驟如圖 1.2 所示。

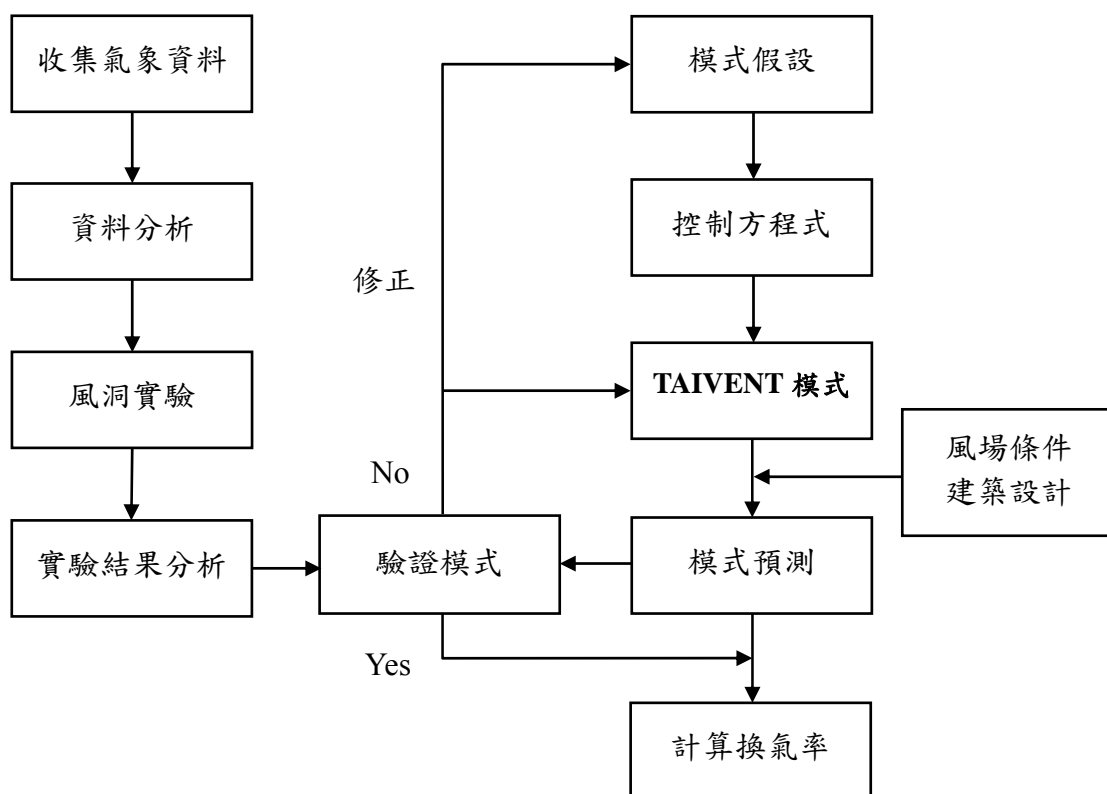


圖 1.2 研究流程圖

資料來源：本研究整理

本計畫已完成之氣象資料統計分析，建立台灣各地的盛行風向、平均風速、溫度與濕度等氣象資料之資料庫，可供建築業者及各界研究、查詢之用。第二部份的風洞實驗已在 2010 年 7 月到建築研究所的風洞實驗室量測矩形建築物在不同風向角下的表面風壓分佈，並將表面風壓係數建立成一個資料庫。第三部份 TAIVENT 模式建構部分也已完成多區間建築物的通風量計算。第四部分則利用 TAIVENT 模式計算台灣常見之住宅式建築物及室內隔間方式的風壓通風量與換氣率，評估風壓通風的適用性及特性。

本研究報告共包括七章，主要章節內容為：第一章為緒論，說明研究的背景、研究目的、研究方法與過程及各章的內容；第二章介紹建築通風的理論及相關的國內外通風研究文獻，包括室內換氣率與通風量的計算、各種通風計算模式的應用；第三章說明台灣地區氣象資料分析之結果，與氣象資料庫的建立；第四章描述風洞實驗使用的儀器、方法與實驗結果；第五章主要敘述 TAIVENT 通風模式、計算流程

及使用介面；第六章列舉幾個通風計算案例，並利用計算結果說明風壓通風之特性；第七章為結論與建議事項。附錄為期中簡報審查意見與回覆。

第二章 文獻回顧

第一節 建築通風

建築物通風之目的在於提供室內新鮮的空氣，移除或稀釋室內污染物，使得室內具有建築物使用者可接受的空氣品質。建築物可藉由機械通風(Mechanical ventilation)或自然通風(Natural ventilation)的方式來達到建築物換氣的需求，但機械通風耗費能源，自然通風不穩定，各有其利弊。必須經由相關的研究瞭解這兩種通風方式的適用條件與狀況，方能找出最佳的建築通風設計。

建築物換氣的頻率可由換氣率(Air exchange rate)來定義：

$$I = \frac{Q}{V} \quad (2-1)$$

式中 V 為室內空間的體積， Q 為流入室內的空氣流量，因次為 $[L^3/T]$ 。換氣率的因次為 $[1/T]$ ，若換氣率的單位採用 $[1/\text{hour}]$ ，換氣率可稱為小時換氣率(Air change per hour, ACH)。換氣率代表單位時間內換置相當室內體積空氣量之次數。換氣率愈大，表示室內空氣更新的頻率愈高，空氣愈容易流通。

許多國家皆針對建築物換氣率訂定標準，美國環保署室內空氣品質規範(US EPA, Building Air Quality, 1998)建議在不裝設機械通風設備的狀況下，住宅之最低換氣率須維持在 0.35 ACH。加拿大建築規範(Canadian Standards Association, CAN/CSA-F326, 1995)關於住宅通風系統的部分建議住宅的客廳、餐廳通風量必須達到 5 liter/sec，主臥室的通風量 10 liter/sec，平均換氣率必須維持 0.3 ACH 以上。日本工業標準(JIS, 2003)建議：住宅換氣率必須達到 0.5 ACH，非住宅換氣率必須達到 0.3 ACH。

表 2.1 為台灣建築技術規則建築設備編(2009)第 102 條訂定各類建築物單位樓地板面積最小的通風量。

表2.1 各類建築物單位樓地板面積最小的通風量

建築物		通風量 (m ³ /hr/m ²)
臥室、起居室、私人辦公室等容納人數不多者		8
辦公室、會客室		10
工友室、警衛室、收發室、詢問室		12
會議室、候車室、候診室等容納人數較多者		15
展覽陳列室、理髮美容院		12
百貨商場、舞蹈、棋室、球戲等康樂活動室、 灰塵較少之工作室、印刷工場、打包工場		15
吸煙室、學校及其他指定人數使用之餐廳		20
營業用餐廳、酒吧、咖啡館		25
戲院、電影院、演藝場、集會堂之觀眾席		75
廚房	營業用	60
	非營業用	35
住宅內浴室或廁所		20
公共浴室或廁所，可能散發有害氣體之工廠		30
汽車庫		25

資料來源：本研究整理

除此之外，人體對於風速的感受因人而異，一般人當風速大於 0.5 m/s 時可受到氣流的運動；風速在 1.0 m/s 以下時，可將人體的熱量帶走，在濕熱的環境中，多數人感到涼爽、愉快的感覺。但在寒冷的冬季，則風速可能會有不舒服的感受；當室內風速超過 2.0 m/s，桌面上紙張會被吹散、亂飛，會影響辦公室類型的工作。因此必須限制室內風速在一個合理範圍。

室內氣溫對建築物使用者的熱舒適(Thermal comfort)與否亦有極大的影響。但因為不同季節會有不同的衣著量，歐盟 2007 年訂定之室內環境標準(EN 15251)建議：

夏季室內氣溫應介於 23~26°C，冬季室內氣溫介於 20~24°C。台灣環保署(2005)建議室內氣溫應介於 15~28°C 之間，見表 2.2。台灣位於北回歸線上，地處亞熱帶及熱帶之間，夏天不僅氣溫高、濕度亦高。

MacFarlane (1958)就觀察到緯度 30 度以內的地區，當相對濕度高時，人體所能忍受的高溫就較低，他建議相對濕度低於 60 %時，人體可接受氣溫(乾球溫度計)介於 24~30°C 之間。當相對濕度超過 60 %時，相對濕度每增加 10 %，人體可接受氣溫就要降低 0.8°C。換言之，相對濕度 90 %時，人體可接受氣溫介於 21.6~27.6°C 之間。MacFarlane (1958)也發現室內的微風可增加人體所能忍受的溫度範圍，他建議風速低於 1.0 m/s 時，風速每增加 0.15 m/s，人體可接受氣溫可增加 0.55°C。換言之，室內的風速 0.9 m/s 時，人體可接受氣溫介於 27.3~33.3°C 之間。Evans (1979)建議當相對濕度介於 50~70 %時，白天的熱舒適氣溫範圍介於 23~29°C 之間，晚上的熱舒適氣溫範圍介於 17~23°C。

換氣率的倒數則可視為室內空氣更新所需的時間尺度(Time scale)：

$$\tau = \frac{V}{Q} \quad (2-2)$$

此時間尺度可作為評估室內空氣更新快慢的指標(Roulet, 2008)，時間尺度 τ 愈大，空氣滯留於室內的時間愈長，室內通風愈差，污染物愈容易累積於室內而使得空氣品質惡化。

Etheridge and Sandberg (1996)定義換氣效率(Air exchange efficiency)為空氣更新的時間尺度 τ 與兩倍室內平均空氣齡 $\langle\tau\rangle$ 之比值：

$$\eta = \frac{\tau}{2 \cdot \langle\tau\rangle} \quad (2-3)$$

式中 $\langle\tau\rangle$ 為室內平均空氣齡(Mean age-of-air)，定義為室內所有點的局部空氣齡(Local age-of-air)之平均值。局部空氣齡的定義為新鮮空氣由入口處流動至空間中任一點所需之平均時間。空氣齡之長短會隨所處之位置不同而有所變化，可用示蹤劑(Tracer gas)加以量測。

表 2.2 台灣的室內空氣品質建議值 (環保署, 2005)

污染物濃度	第一類場所	第二類場所	平均時間
二氧化碳(CO ₂)	600 ppm	1000 ppm	8 hr
一氧化碳(CO)	2.0 ppm	9.0 ppm	8 hr
臭氧(O ₃)	0.03 ppm	0.05 ppm	8 hr
甲醛(HCHO)	0.1 ppm	0.1 ppm	1 hr
揮發性有機物(VOC)	3.0 ppm	3.0 ppm	1 hr
懸浮微粒(PM ₁₀)	60 µg/m ³	150 µg/m ³	24 hr
懸浮微粒(PM _{2.5})	100 µg/m ³	100 µg/m ³	24 hr
細菌	500 菌落數/m ³	1000 菌落數/m ³	最高值
真菌	1000 菌落數/m ³	1000 菌落數/m ³	最高值
溫度	15 ~ 28 °C	15 ~ 28 °C	1 hr

第一類場所：對室內空氣品質有特殊要求的場所，包括學校、兒童遊樂場所、醫療院所等。

第二類場所：一般公共場所，包括辦公大樓、營業、展覽場所、地下街、車站及大眾運輸工具等。

資料來源：環保署

換氣效率與室內氣流型態有關，若 $\eta < 50\%$ ，則為短路通風(Short-circuiting ventilation)，此種流況進入室內的空氣，未完全混合室內空氣，就直接由最近之開口流出，如圖 2.1(a)所示。此種流況未能完全換置原本滯留在室內的空氣，部分空氣停留在室內的時間短於平均空氣齡，但其他空氣滯留在於室內的時間長於平均空氣齡。換言之，換氣效率不佳；若 $\eta = 50\%$ ，室內氣流為完全混合狀態(well-mixed)，排氣口濃度等於室內濃度；若 $50\% < \eta < 100\%$ ，室內氣流為置換式(Displacement ventilation)氣流型態，如圖 2.1(b)所示；若 $\eta = 100\%$ ，室內氣流稱為活塞通風(Piston ventilation)，如圖 2.1(c)所示，進入室內的空氣完全換置原本在室內的空氣，通風效率最佳。

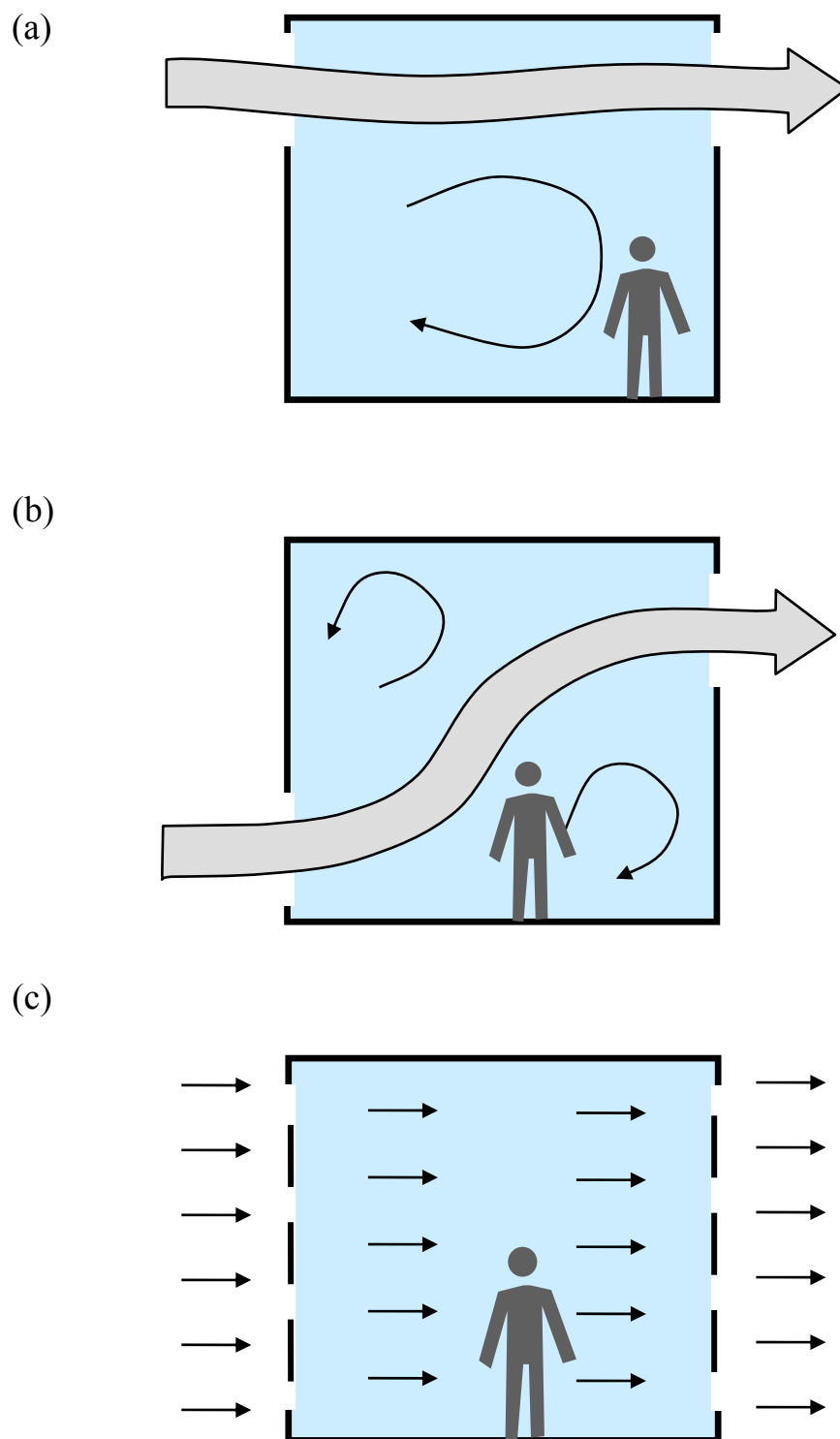


圖 2.1 通風路徑之平面示意圖(a)短路通風；(b)換置通風；(c)活塞通風
資料來源：本研究整理

第二節 通風模式

建築物的換氣率及通風效果可藉由數值模式來計算，而計算室內風場及其傳輸現象的通風模式可分為：全域模式及多區塊模式，以下分述之：

1. 全域模式(Field model)：

將室內空間格網化，依據連續方程式(Continuity eqn.)、那維爾-史托克(Navier-Stokes eqns.)方程式和擴散方程式，配合上適當的邊界和初始條件，採用數值方法計算各個格網點上的風速和濃度，此法又稱為計算流體動力學(Computational Fluid Dynamics, CFD)。其優點為可以計算出流場的細部變化，但缺點為模式複雜，且計算量大(Awbi, 2003)。全域模式的計算結果會受到模式的設定（譬如模式參數、格網大小、邊界和初始條件等因素）的影響，因此計算結果必須與相同流況之實驗數據比對以驗證其正確性(Chen, 2009)，如圖 2.2 所示。

室內通風最常使用的數值模式為 $k-\varepsilon$ 紊流模式，此模式乃 Launder & Spalding (1974) 首先提出，他們建議紊流流場中，紊流黏滯係數為紊流動能 k 及動能消散率 ε 的函數：

$$v_T = c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (2-4)$$

其中 c_μ 為模式常數，亦即紊流動能愈大或動能消散率愈小，則紊流黏滯係數愈大。除了時間平均之連續方程式和那維爾-史托克方程式， $k-\varepsilon$ 模式還包含紊流動能及動能消散率的控制方程式：

$$\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (2-5)$$

$$\frac{D\bar{U}_i}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + v_T \nabla^2 \bar{U}_i \quad (2-6)$$

$$\frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{v_T}{c_k} \cdot \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + v_T \left(\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{U}_j}{\partial x_i} \right) \cdot \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} - \varepsilon \quad (2-7)$$

$$\frac{D\varepsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{v_T}{c_\varepsilon} \cdot \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right) + c_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} v_T \left(\frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{U}_j}{\partial x_i} \right) \cdot \frac{\partial \bar{U}_i}{\partial x_j} - c_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (2-8)$$

下標 $i, j = 1, 2, 3$ 為空間指標，模式常數 $c_\mu = 0.09$ ， $c_\varepsilon = 1.3$ ， $c_{1\varepsilon} = 1.44$ ， $c_{2\varepsilon} = 1.92$ ， c_k

= 1.0 皆是經由模式計算結果與實驗數據比對而得。三維流場中此模式有 7 個控制方程式，利用數值方法可求得 7 個未知數(3 個流速 \overline{U}_i ，壓力 \overline{P} ， k ， ε ， v_T)。

$k-\varepsilon$ 模式雖可用於計算非均質性紊流，但不適用於非等向性紊流。譬如十分靠近邊壁處，垂直於邊壁之紊流速度受到抑制而變小，水平向的紊流速度則不受影響，屬於非等向性紊流。故在計算邊界層流時，邊壁處需使用邊牆函數(Wall function)。 $k-\varepsilon$ 模式的缺點為：此模式假設動能消散率 ε 與大尺度渦流有關，而與最小渦流無關，但這假設與紊流能量消散的理論並不相符。

除了 $k-\varepsilon$ 模式之外，計算紊流流場的數值模式還包括大渦模式(Large Eddy Simulation, LES)、雷諾剪應力模式(Reynolds Average Navier-Stokes, RANS)、紊流黏滯係數模式(Eddy viscosity model)等，這些紊流模式都較 $k-\varepsilon$ 模式更複雜，計算時間更長，需要更多的計算資源(電腦容量、記憶空間)。但因為數值模擬所需經費較實驗低，因此廣泛應用於各種風場問題。此種應用計算流體動力學於風工程的方式又稱為計算風工程(Computational Wind Engineering)或數值風洞(Numerical Wind Tunnel)，關於紊流模式的細節可參見朱佳仁(2006)。

此外，使用紊流模式計算室內風場必須注意：室內風場的雷諾數 Re 約為 1000~10,000，是介於層流(Laminar flow)和弱紊流流場(Weak turbulent flow)之間，計算此類的流場必須採用很細的計算格網(Computational mesh)，方能得到正確的計算結果。且建築物開口處往往有紗窗、百葉窗等，計算模式若不能模擬其阻滯氣流的效應，則計算結果將無法應用於實際的室內風場。

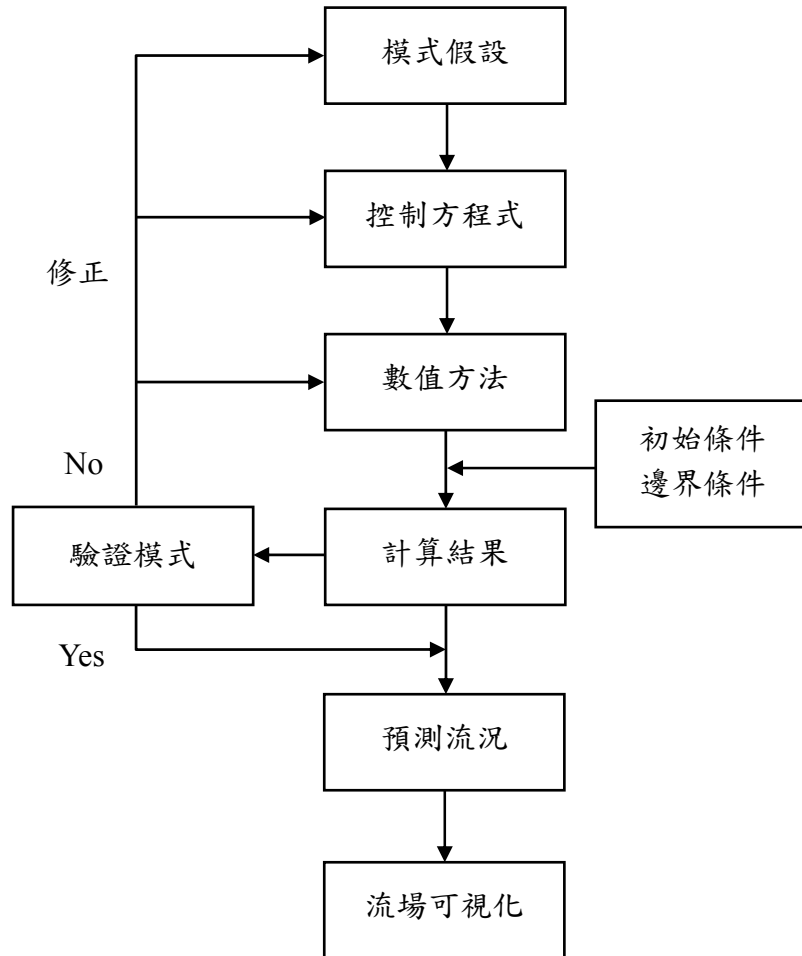


圖 2.2 紊流模式的流程圖

資料來源：本研究整理

2. 多區間模式(Multizone model)：

將室內空間依照其房間的隔間分為數個區塊(Zone)，將單一區塊當成一個完全混合(Fully mixed)的控制容積。流經門窗等開口的通風量可利用孔口方程式(Orifice equation)來計算：

$$Q = C_d \cdot A \cdot \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (2-9)$$

式中 A 為開口面積， $\Delta P = P_1 - P_i$ 為室外和室內壓力的差值， ρ 為空氣密度， C_d 為流量係數(Discharge coefficient)。此式是依據流體力學的伯努利方程式(Bernoulli equation)推導而得，但流量係數 C_d 與開口的幾何形狀、風速、風向有關(Chu et al., 2009)。

依據質量不減定律定理，區塊之內某物質濃度的變化必定是因為該物質流入（或流出）區塊或是因為該物質發生反應所造成的。同樣地，依據能量守恆定理，區塊之內溫度變化必定是因為有熱量流入或流出或是因為有熱源所造成的。因此計算在一段時間 Δt 之內，流入和流出區塊的物質總量和熱量總量便可得區塊內物質濃度和溫度的變化。此種模式又稱為網路模式(Network model)，譬如 CONTAM、COMIS、MMPN、POMA 模式(Feustel, 1999; Dascalaki et al., 1999; Ren and Stewart, 2003; Haghghat et al., 2001)。其優點為計算簡單，但缺點為無法得知各個區塊之內的風場和濃度、溫度的分佈。

第三節 通風研究文獻

以下針對近年來國內外利用計算流體力學(Computational Fluid Dynamics, CFD)、多區間模式(Multizone model)、風洞實驗與實場監測等方式研究建築物通風的重要文獻做一個回顧：

1. 計算流體力學(CFD)：

周伯丞 (2000)針對台灣地區的氣候環境，運用紊流模式配合全尺寸之環境實驗室的實測數據，針對室內風場及換氣量方面進行驗證比對。其研究結果顯示：標準 $k-\varepsilon$ 紊流模式與低雷諾數 $k-\varepsilon$ 模式均可用來模擬強制對流之室內流場，然而就計算時間的考量，則以標準 $k-\varepsilon$ 模式所需要的計算時間較短。而台灣地區的春、秋季適合自然通風，可利用門窗之間的風壓差異，形成貫流通風，維持室內舒適性。且風壓通風之效果隨著室外風速增大而漸增。在冬季過冷時期，在夜間睡眠時段宜緊閉門窗以保溫，不利自然通風。

陳念祖 (2000)採用 CFD 數值模式研究高架地板置換式自然通風方式對室內換氣效率之影響，並模擬穩態與暫態的室內氣流場和濃度場的模擬，配合小型風洞實驗檢驗所使用之高架孔隙式地板之特性，以及建築物外圍風場之模擬檢驗不同風速下受風面與背風面壓差關係，作為數值計算邊界條件之設定。研究結果顯示孔隙地板之面積比例會影響換氣次數的多寡，一般情況孔隙地板佔樓地板面積 4~6%最有效

率。傳統高氣窗方式之空氣交換效率僅達 36%，與置換式通風最佳之空氣交換效率 46%相差近 10%，足以證明高架地板置換式通風方式之換氣效率優於傳統混合式之通風模式。

Allocca et al. (2003)利用 $k-\varepsilon$ 紊流數值模式探討風壓和浮力合併作用下單側通風的流況，並提出一個半解析模式分析數值模式的結果。其研究成果顯示依據數值模式之結果計算換氣率(ACH)和半解析解相差約為 10%，但數值模式對於邊界條件如何設定非常敏感，且計算區域僅限於室內環境會造成極大的誤差，必須同時模擬室外與室內的風場。

Chang et al. (2003)利用大渦流模式(Large Eddy Simulation, LES)模擬室外空氣污染物流入建築物內的問題，模擬十二種開口配置的形式，研究其室內、外空氣交換率和室外污染物在室內擴散的速率。迎風面設置開口為改善室內空氣品質的一個重要關鍵。而在側風面與背風面增設開口能有效地維持適當的空氣交換率，可幫助降低室內污染物的濃度。

Evola and Popov (2006)利用 $k-\varepsilon$ 紊流模式和重整化群(Renormalization Group, RNG)模式研究風壓通風的問題，流況包括貫流通風和單側通風。兩模式計算結果與風洞實驗之數據比較後發現： $k-\varepsilon$ 紊流模式的計算結果誤差較大，重整化群模式的結果則較接近實測之通風量。

Chang (2006)和張瑋如 (2006)利用 $k-\varepsilon$ 紊流數值模式探討室外植栽風擋對於兩層樓建築物貫流通風的影響，研究結果發現靠近建築物設置植栽對二樓不但沒有遮蔽效應，反而在植栽的孔隙率較大時會產生比原本更強勁的風速，故圍籬應避免太靠近建築物。植栽的孔隙率過低時，則會產生逆向通風的現象，造成循環氣流或停滯氣流、通風不佳的效果。

蘇裕民 (2006)利用計算流體動力學(CFD)數值模式探討小型建築中庭的浮力通風問題，研究成果發現室外無風時，中庭開口面積、開口高差的增加會增大換氣率。在室外有風且室外風速小於 1.5~2.0 m/s 時，會形成風壓與浮力換氣路徑相反的現象，削弱室內浮力通風的效果；當室外風速達到 2.0 m/s 時，風壓通風會大於浮力通風，中庭內的通風路徑則由風壓通風主導。

秦子傑 (2006)利用風洞實驗和 $k-\varepsilon$ 紊流模式研究垂直通風管的實際效能，其方式先利用風洞實驗驗證、比對數值模式之結果。待比對完成後，再將風洞試驗段重建於數值模式中，探討其他變因對通風管流況的影響。本研究證實垂直通風管是一種有效的自然通風設備，此種通風方式適合應用於室內通風量不足的空間中，經實驗證實通風管外形、室內發熱量、與開口內外壓力差皆會影響通風管的換氣效果。並建議採用非穩態方式方能精確地模擬實際氣流狀況。

何明錦和鍾基強(2007)針對不同空調風口配置對室內空間氣流環境之影響進行探討，利用 CFD 進行室內空間氣流與濃度分佈的模擬分析，配合全尺寸實驗進行空間的氣體污染物分佈實測，比較兩者的差異性。此研究發現要維持或改善建築物室內之空氣品質，除本身之空氣調節與通風設備扮演重要角色之外，也受到外氣通風量大小的影響，而空調通風口之相對配置所形成之氣流路徑對室內空氣品質影響更為顯著，因此進行建築物之空調通風系統設計或配置，除了所需求之通風量外風口設置之位置，還須考慮適當之風口設計位置。

陳念祖 等(2007)以單側及側向開口模式為探討對象，針對開口裝設水平及垂直導風板對自然通風效益之影響。研究方法運用計算流體力學(CFD)數值模擬方式進行，配合全尺模型實驗檢證數值模式之可信度，研究結果顯示：(1)單側開口裝設水平導風板模式時，9 cm 以上水平導風板有助於提升單側通風時之換氣率，並隨導風板深度而遞增，尤其當外部風速小的時候較為明顯，若綜合考量各評估項目，導風板深度以 18~48 cm 為較佳的選擇。(2)側向開口裝設垂直導風板模式，在外部風速 (0.5~2.0 m/s) 條件下，當風向平行於建築物開口時，裝設垂直導風板之平均換氣次數約可較無導風板者增加 260%，其中以導風板角度 45°較佳。當風向與建築立面成 45°時，導風板角度 0°~22.5°有利於室內流場均勻。綜合評估後，依照不同風向提出最佳化的垂直導風板角度調變模式。

劉佩君 (2007)利用 $k-\varepsilon$ 模式、零方程式(Zero equation)、層流數值模式和縮尺模型實驗研究中庭建築之通風性能，結果顯示在室外無風狀態下，室外溫度對室內溫度場影響甚鉅。欲藉由室內產生之熱量(內部負荷)驅動的浮力通風，其降溫效果並不顯著，必須輔以其他自然通風(風壓通風)或機械設備來達成室內降溫之目的。而開口

位置所形成之換氣路徑愈直接則降溫效果愈佳，開口數量愈多亦能改善室內熱環境，但影響之程度有限；當室外溫度超過30°C時，天窗設置之影響不顯著。

2. 多區間模式(Multizone model)：

Dascalaki et al. (1999)比較利用COMIS模式與實場監測來預測建築物單側通風與貫流通風的通風量，此研究提出了在室內隔間的門窗所使用的流量係數 C_d 為0.65，當室外風場為均勻流時，室內風壓會隨風速上升而遞增，且通風量維持定值，對於單側通風而言，在低風速的情況下COMIS模式預測結果會比在高風速的情況下好，此外，當室內隔間開口很大的時候，COMIS模式預測與實場監測的結果非常相似。

Tan and Glicksman (2005)探討大型通風建築的自然通風，其中包括了浮力通風與風壓通風，然後利用CFD與MMPN(Multi-zone model program)進行自然通風的預測比較。研究所模擬的建築物為實體尺寸的大尺度比例，而研究中所使用的流量係數 C_d 在小型開口為0.95，在大型開口或窗戶則為0.7。研究中主要探討關於中庭的設計，若將中庭分割成數塊區塊則會對MMPN的計算結果造成影響，而其計算結果比無分割之中庭的散熱效果還好，且至少要將中庭分割成兩塊區域。

Haghighat et al. (2001)提出了一個可以簡易計算房間中風場與溫度分佈的數值模式POMA (Pressurized zOnal Model with Air-diffuser)。此研究以模擬天花板通風口的射流路徑與其室內的風場跟溫度分佈為案例，用以證實POMA模式的可信度。而POMA模式也可以提供一些關於熱能方面對於室內環境品質影響的資訊，也可以應用於室內格局與隔間高度的設計、空氣擴散等的研究。

3. 風洞實驗：

風洞實驗室內之儀器設備，因為控制性佳，可重複性高，且量測之數據可供數值驗證之用。因此可以在實驗室內，針對特定的風場現象，就其中重要的參數進行一系列的實驗，來研究這些參數如何影響風場及其內在的機制，做學術上的探討。譬如Ohba et al. (2001)利用裂膜(Split film)探針量測前後皆有開口之通風模型中的室內流場。研究顯示氣流在進入模型之中，因受到模型外迎風面前的渦流影響而向下流動，並在模型內形成逆時針方向的循環渦流，由背風面開口離開模型的氣流會因為外部流場的逆流而向上流動。而外部來流入射角範圍在40°~60°之間，流場在開口

處的動壓會因為其分離流加速的影響隨著入射角角度增加而增加，導致通風流量也隨之增加。在迎風面開口的長寬比為1:2的情況下，風向角在 0° ~ 80° 之間，則流量係數 $C_z = 0.7$ 幾乎不變。

陳若華 等(2001)研究建築群配置方式對自然通風之影響，並利用風洞實驗量測建築模型在不同排列下的表面風壓，並分析台灣地區北中南東六大都會區之平均氣象年資料，經由逐時的計算結果，評估各地區自然通風的潛勢，對於有利於配置方式作成建議。

Kurabuchi et al. (2004)提出一個局部動力相似(Local dynamic similarity)理論，認為開口的流量係數與風向角、開口位置、開口附近是否有建築物的情形皆無關，僅與無因次壓力 P_R^* 有關：

$$P_R^* = \frac{P_R - P_W}{P_t} \quad (2-10)$$

式中 P_R 為室內壓力， P_W 為風壓， P_t 為正切於開口處的動壓力。此相似理論並經由風洞實驗和大渦流模式(Large Eddy Simulation, LES)的驗證。亦即在任何風向角度和開口位置，皆可由無因次壓力 P_R^* 準確的預測出流量係數。

Chiu and Etheridge (2007)探討外部風場對銳緣開口(Sharp-edged opening)和長開口(Long opening)之流量係數的影響。作者利用計算流體動力學(CFD)及風洞實驗分析不同流場對開口流量係數的影響。其研究結果顯示：前人的研究之流量係數 C_z 都是在穩態風場的狀態下所訂定的，並不適用於各種流況下的通風量計算。利用在穩態的氣流狀態下求出的 C_z 於非穩態風場中的自然通風系統容易有錯誤。

Chu et al. (2009)利用理論分析和風洞實驗研究室外紊流風場對無隔間建築物貫流通風之影響，探討不同的風向、風速、外部開口形狀對於貫流通風的影響。風洞實驗結果發現：在高雷諾數的狀況下，開口的流量係數 C_z 不會隨室外風速、風向、開口形狀而變，可視為定值。但低雷諾數的狀況下，流量係數 C_z 不隨室外風速而變，但會隨雷諾數、風向而變。由實驗數據迴歸分析，可建立各種狀況、雷諾數之流量係數的計算公式。本研究並利用流體力學原理推導得一個風壓平衡模式，可由室外風壓係數和開口的流量係數求得室內風壓係數和通風量，此模式並經由風洞實驗予以驗證。換言之，此模式不需要使用複雜的計算流體動力學(CFD)模式便可預測各種

狀況下建築物的通風量。

朱佳仁 等 (2009)藉由風洞實驗研究窗戶開口的加裝物(百葉窗、紗窗或不透風式外推窗)對貫流通風之影響，實驗結果發現：在相同的室內外壓差之下，百葉窗、紗窗及外推窗等加裝物皆會增加空氣流通的阻力，導致通風流量及流量係數會小於無加裝物之開口。且百葉窗的傾斜角愈大，阻力愈大，流量係數愈小。

Chu et al. (2010)採用理論分析及風洞模型實驗的方式來探討室內隔間對貫流通風的影響，研究參數包括室內隔間的方式、室內開口的大小、位置與厚度對通風量的影響，通風量和開口的流量係數利用流量計來量測。實驗結果發現室內開口的流量係數為開口面積的函數，但與雷諾數、內外牆厚度、室外開口大小與位置無關。研究也發現了當迎風面與背風面開口面積相同時，通風量會最大，且此通風量會隨室內開口的變大而變大。本研究並依據連續方程式和孔口流量公式建立一個預測模式來計算隔間建築物的風壓通風之通風量，風洞實驗的結果驗證了此預測模式，此模式可供建築設計者未來在評估、規劃建築物自然通風之用。

Chu and Wang (2010)提出一個阻抗模式計算有室內隔間風壓通風之通風量，並利用理論分析推導出室內開口的流量係數和阻抗係數的關係，而阻抗係數需由風洞實驗決定。實驗結果發現室內隔間之阻抗係數與室內開口面積成反比，開口面積愈小，阻抗係數愈大，通風量愈小。研究結果亦發現開口未全開的門會增加氣流流經開口的阻抗，換言之，通風量會變小。此阻抗模式也可計算室內有大型傢俱對風壓通風之影響。

Chu and Chen (2010)利用風洞模型實驗和示蹤氣體(Tracer gas)濃度法量測在不同風速、風向下，無室內隔間建築物，單側開口及雙側開口的換氣率。實驗結果發現當風向平行於開口時，開口處的風剪力會驅使室內外空氣交換，室外風速愈大，風剪力愈強，換氣率愈大。在此風向下，雙側開口的換氣率為單側開口換氣率的五倍。依據實驗結果可歸納出一個無因次換氣率的預測方式，未來可用計算各種流況的換氣率。

4. 實場監測：

實場調查為瞭解實際風場最直接的方式，且實場量測來獲得實驗資料是最具說

服力。江哲銘 等(2001) 監測台灣地區六棟辦公建築換氣率的結果顯示，上班時間其平均之換氣率為 1.44 ACH，較一般住宅的換氣率高。Gao et al. (2009)利用示蹤氣體法量測一棟單側開口的實體建築物的換氣率，結果並與 CFD 模擬結果比較。Tung et al. (2009)利用示蹤劑法研究在機械通風的狀況下，去除廁所內臭味的最佳進風口、出風口之位置。但實場量測所需的人力、經費和時間較多。且實際風場與時俱變，而會影響風建築物通風的因素太多、太複雜，往往不易由監測結果深入瞭解通風現象背後的機制。

綜觀以上的研究，可以發現大多的研究皆針對某一個特殊的流況探討其通風量或換氣率，建築設計者若不熟悉這些研究成果，很難應用這些成果來計算建築物各種狀況下的通風量或換氣率。本研究整理前人研究的通風量公式，發展一個通風計算模式 TAIVENT (Taiwan Natural Ventilation Model)，可用以計算多區間建築物 (Multi-room)，模式可輸入基地的風場、氣象資料(風速、風向、氣溫、濕度)，或利用中央氣象局各地的氣象資料，配合建築物外型、座向、開口位置、大小及室內隔間計算建築物風壓通風的換氣量，進而評估一般建築物可使用風壓通風的時段。對於尚未興建之建築物，亦可利用此模式計算有利風壓通風之建築設計。

本研究採用 1961 ~ 2008 年間中央氣象局全台 26 個地面氣象站的氣象資料(風速、風向、氣溫、濕度等)，進而計算各地各月份的溫濕度、平均風速與盛行風向。並將分析的結果建立成一個資料庫，可查詢台灣各地風場資料之用。之後再利用風洞實驗量測矩形建築物在各風向角之下的表面風壓，將量測值建立成一個資料庫以供計算建築物風壓通風之用。這部份的計劃預備使用內政部建築研究所的風洞實驗室來進行，利用多頻道壓力掃描計量測壓克力縮尺模型的表面風壓值，風向共分為 16 個風向，每個風向量測各表面的風壓分佈。並將實驗結果整理後建立第二個資料庫，方便通風模式計算建築物之通風量。

TAIVENT 通風模式將可提供國內建築設計者在規劃建築物自然通風之參考，進而有效的協助建築師在設計建築物時達到節能、減碳的目的，並期望能改善台灣本土建築室內空氣品質與通風環境。

第三章 台灣氣象資料

中央氣象局在台灣地區共設有 25 個人工觀測地面氣象測站，有長時間完整的逐時風速、風向、溫度與相對濕度資料紀錄。雖然這些氣象測站不能涵蓋全台灣各地的氣象變化，但其量測儀器有定期維修、校正，資料可信度較佳。氣象測站名稱、站號海拔、風速計距當地地面高度、設立時間等資料如表 3.1 所示，圖 3.1 為中央氣象局所屬氣象測站位置分佈圖，表 3.2 為風速計高度更動之年份與高度表。

本計畫分析中央氣象局各測站 1961 年至 2008 年共 48 年的風速、風向、溫度與相對濕度資料。但因各氣象測站設立的年份不一，或者氣象站變遷位置、風速計高度改變等因素，而使得風速資料沒有一致性。因此使用風速資料時，必須加以換算。因不同高度的風速資料可利用指數律(Power law)換算：

$$\frac{U(z)}{U_{\text{met}}} = \left(\frac{Z}{Z_{\text{met}}}\right)^{\alpha} \quad (3-1)$$

式中 U_{met} 為氣象局的風速， Z_{met} 為氣象局的風速計之高度， α 為測站所在位置之地況指數，可參見表 3.1。此式可將氣象局的風速換算成該地區建築物高度 Z 處之風速 $U(z)$ 。

風向為風在水平方向的角度，中央氣象局將風向分為 16 個方位，以北方為 0° ，順時針方向將風向分為每 22.5° 間隔一個方位：北(N)、北北東(NNE)、東北(NE)、東北東(ENE)、東(E)、東南東(ESE)、東南(SE)、南南東(SSE)、南(S)、南南西(SSW)、西南(SW)、西南西(WSW)、西(W)、西北西(WNW)、西北(NW)、北北西(NNW)，如圖 3.2 所示。來自於北方，稱為北風。當風速小於 0.3 m/s 時，風標不動的狀況稱為靜風(Calm)。

經統計分析可求得各測站風向、風速的發生機率與平均風速、溫度與相對濕度，其結果於表 3.3 所示。計算各地氣象參數所使用之資料量的多寡會影響到計算結果，當氣象資料的樣本數太少時，所得的統計參數可能不具代表性，依據本研究之結果，建議風速資料至少須有 20 年之逐時的風速、風向記錄。

表3.1 中央氣象局所屬地面氣象站資料表(1999)

測站	站號	創立年份	風速計 高度(m)	海拔高 度 (m)	東經	北緯	α	δ (m)
彭佳嶼	466950	1909	12.50	101.7	122° 04' 17"	25° 37' 46"	0.110	233
鞍部	466910	1937	7.31	837.6	121° 31' 13"	25° 11' 11"	0.110	233
竹子湖	466930	1937	11.03	607.1	121° 32' 11"	25° 09' 54"	0.250	400
淡水	466900	1942	12.20	19.0	121° 26' 24"	25° 09' 56"	0.150	300
基隆	466940	1946	34.60	26.7	121° 43' 56"	25° 08' 05"	0.250	400
台北	466920	1896	34.90	5.3	121° 30' 21"	25° 02' 21"	0.250	400
新竹	467570	1938	15.60	26.9	120° 58' 11"	24° 48' 08"	0.194	350
宜蘭	467080	1935	26.00	7.2	121° 44' 53"	24° 45' 56"	0.150	300
台中	467490	1896	17.20	84.0	120° 40' 33"	24° 08' 51"	0.250	400
梧棲	467770	1976	33.20	7.2	120° 30' 54"	24° 15' 31"	0.130	267
花蓮	466990	1910	12.00	16.1	121° 36' 18"	23° 58' 37"	0.173	321
日月潭	467650	1941	8.00	1014.8	120° 53' 60"	23° 52' 59"	0.150	300
澎湖	467350	1896	14.60	10.7	119° 33' 19"	23° 34' 02"	0.150	300
阿里山	467530	1933	15.10	2413.4	120° 48' 18"	23° 30' 37"	0.110	233
嘉義	467480	1968	14.50	26.9	120° 25' 28"	23° 29' 52"	0.167	313
玉山	467550	1943	9.20	3844.8	120° 57' 06"	23° 29' 22"	0.150	300
東吉島	467300	1962	9.10	43.0	119° 39' 35"	23° 15' 32"	0.125	260
成功	467610	1940	12.80	33.5	121° 21' 55"	23° 05' 57"	0.144	245
台南	467410	1897	37.60	8.1	120° 11' 49"	22° 59' 43"	0.218	378
台東	467660	1901	11.40	9.0	121° 08' 48"	22° 45' 15"	0.150	300
高雄	467440	1931	14.00	2.3	120° 18' 29"	22° 34' 04"	0.150	300
大武	467540	1940	12.70	8.1	120° 53' 45"	22° 21' 28"	0.244	407
蘭嶼	467620	1941	12.50	324.0	121° 33' 02"	22° 02' 19"	0.110	233
恆春	467590	1896	14.30	21.9	120° 44' 17"	22° 00' 20"	0.194	350
蘇澳	467060	1981	34.00	24.9	121° 51' 52"	24° 36' 06"	0.150	300

資料來源：本研究整理

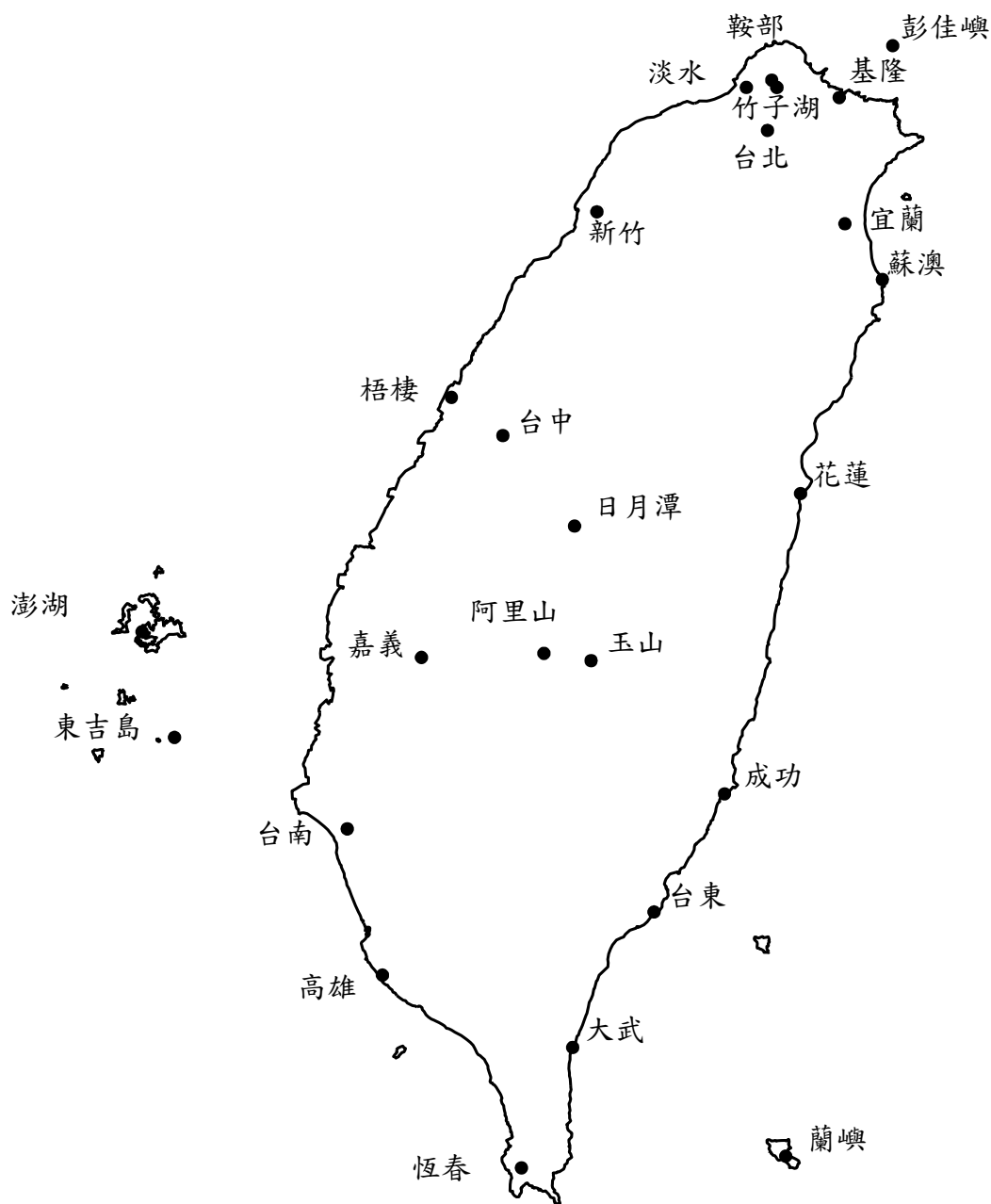


圖 3.1 中央氣象局氣象站位置圖

資料來源：本研究整理

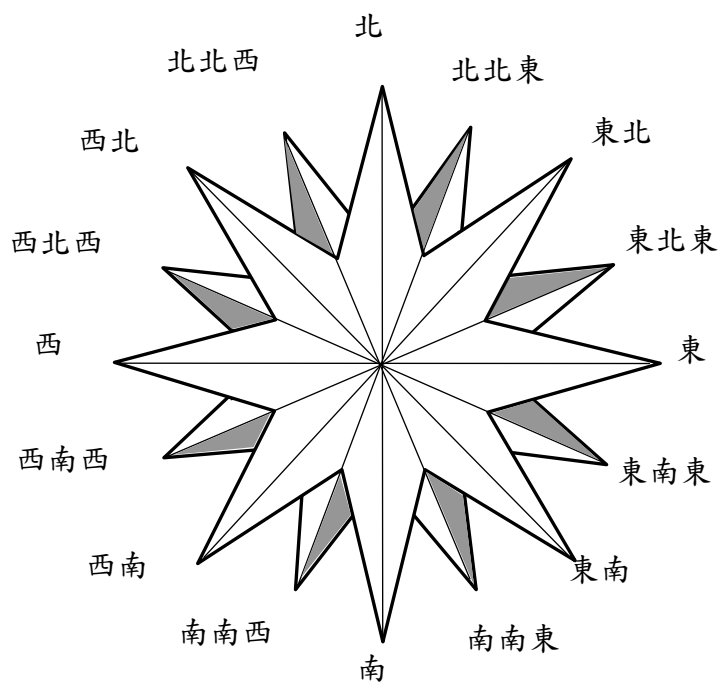


圖 3.2 中央氣象局風向圖

資料來源：本研究整理

表 3.2 風速計高度更動之年份與高度表

單位：公尺

基隆	1961~1975		1976~1999		
	11.0		34.6		
竹子湖	1970~1982	1983~1987		1988~1999	
	9.0	10.5		11.0	
台北	1961~1986		1987~1999		
	23.7		34.9		
宜蘭	1961~1987	1988~1998		1999	
	9.4	14.8		26.0	
新竹	1961~1990		1991~1999		
	13.2		15.6		
台中	1961~1962	1963~1987	1988	1989	1990~1999
	12.5	16.6	16.85	17.4	17.2
梧棲	1961~1984		1985~1999		
	10.5		33.2		
台南	1961~1988		1989~1999		
	16.3		36.5		
高雄	1961~1975		1976~1999		
	12.8		14.0		

資料來源：本研究整理

表 3.3 台灣地區人工觀測氣象站之 48 年平均氣象資料

測站	站號	平均風速 (m/s)	平均溫度 (°C)	平均相對 濕度(%)	盛行風向
彭佳嶼	466950	7.68	21.90	82	東風
鞍部	466910	3.49	16.84	90	南風
竹子湖	466930	2.21	18.63	87	東北風
淡水	466900	2.41	22.20	80	東北風
基隆	466940	3.44	22.55	79	東北風
台北	466920	3.15	22.71	78	東風
新竹	467570	2.68	22.37	79	東北風
宜蘭	467080	1.78	22.43	83	靜風
台中	467490	1.64	23.08	77	北風
梧棲	467770	5.03	22.99	77	北風
花蓮	466990	2.54	23.24	79	西南西風
日月潭	467650	1.15	19.19	83	靜風
澎湖	467350	4.63	23.42	82	北北東風
阿里山	467530	1.45	10.98	87	西風
嘉義	467480	2.30	23.03	81	北風
玉山	467550	5.65	4.08	75	西風
東吉島	467300	8.07	23.62	82	北北東風
成功	467610	3.47	23.71	79	北北東風
台南	467410	3.17	24.14	78	北風
台東	467660	2.64	24.31	75	北北西風
高雄	467440	2.42	24.77	77	北風
大武	467540	2.76	24.84	75	北北東風
蘭嶼	467620	8.38	22.66	89	北北東風
恆春	467590	3.59	25.15	76	東北風
蘇澳	467060	2.71	22.64	80	西風

資料來源：本研究整理

本研究先以台北、新竹、台中、嘉義、台南、高雄、宜蘭、花蓮、台東、澎湖、梧棲等 14 個都會地區的氣象站為例，將其 1961 年到 2008 年的各風向之發生機率進行統計，表 3.4 顯示了台北、新竹、台中與嘉義各風向發生之機率，表 3.5 顯示了台南、高雄、宜蘭、花蓮與台東各風向發生之機率。由結果可知，每個地區的盛行風向都有所不同，且發生機率在 10 % 以上的風向不只一種，也就是說每個地區常見的風向至少有兩種，並不是只有單一風向。

本研究以中央氣象局台北氣象站(站號 466920)過去 48 年(1961~2008)逐時風速、風向資料進行細部分析，台北氣象站位於北緯 25°02'，東經 121°30'，海拔高度 5.5 m，風速計距當地地面 33.0 m。中央氣象局所提供的逐時風速資料為各小時的最後 10 分鐘平均風速，風向的劃分則分為十六個方位。經統計分析可求得各風向、風速的發生頻率。表 3.6 為台北市各月份之平均風速、最大風速與最常發生之風向，全年平均風速為 3.15 m/s，最大風速為 16.5 m/s。而七月、八月、九月及十月的最大風速皆大於 12 m/s，應是由颱風所造成的。圖 3.3 為台北市各月份之平均風速分布圖，各月份之平均風速介於 2 ~ 4 m/s。

研究中將一年分成春(三月至五月)、夏(六月至八月)、秋(九月至十一月)、冬(十二月至次年二月)四季，圖 3.4 為台北市全年及各季之風花圖，台北市夏季最常發生之風向為東北東風佔 9.33%、東風佔 12.80%、南南東風 10.83%、南風佔 10.39%。這是因為夏季除颱風之外的風速並不強，盛行風向不明顯。其餘各季最常發生之風向為東風或東北東風。

表 3.7-3.10 記錄了台北市全年平均之逐時及日夜平均風速、溫度與相對濕度，本研究定義日間時間範圍為早上八點至晚上八點(8:00 AM ~ 8:00 PM)，而夜間時間為晚上八點至次日早上八點(8:00 PM ~ 8:00 AM)，圖 3.5 為台北市春季平均風速的逐時變化圖，春季的平均風速變化都在 2 m/s 之上，此外日間風速比夜間風速還大，這是因為白天氣溫上升造成大氣對流旺盛，因此日間風速大於夜間的風速。

圖 3.6 顯示台北市春季平均氣溫的逐時變化，由圖中可以看出氣溫日夜的變化，而下午一點的溫度為最大值，此外日間平均氣溫為 23.15 °C，夜間平均氣溫為 20.57 °C，日夜溫差平均值為 2.58 °C，如表 3.7 所示。台灣春季平均溫度不到 25 °C，算是

滿舒適的環境，僅使用自然通風或是風扇即可，無須使用到冷氣。

圖 3.7 為台北市春季平均相對濕度(R.H.)逐時的變化，圖中說明了日間的相對濕度小於夜間的相對濕度，相對濕度最大值發生在凌晨五點及六點的時候，平均值為 86%，而最小值發生在正午十二點，平均值為 69%，這是因為相對濕度為空氣中實際蒸汽壓與飽和蒸汽壓(Saturation vapor pressure)之比值，當白天中午氣溫高時，飽和蒸汽壓上升，導致相對濕度下降。而夜間溫度下降時，飽和蒸汽壓亦隨之下降，導致相對濕度上升。

圖 3.8 為台北市夏季平均風速的逐時變化，由圖中可以看出早上八點至晚上八點之間的風速在 2 ~ 4 m/s 之間，而晚上八點至次日早上八點的風速在 2 m/s 以下。換言之，日間風速比夜間風速還要大。圖 3.9 顯示了台北市夏季平均氣溫的變化，由圖中可以看出氣溫日夜的變化，而中午十二點的溫度為最大值，此外日間平均氣溫為 30.35 °C，夜間平均氣溫為 27.05 °C，日夜溫差平均值為 3.3 °C，如表 3.8 所示。圖 3.10 顯示台北市夏季逐時平均相對濕度(R.H.)的變化，類似春季的濕度變化，日間的相對濕度小於夜間的相對濕度，相對濕度最大值發生在凌晨五點的時候，平均值為 85%，而最小值發生在中午十二點，平均值為 64%，相差了 21%之多。

圖 3.11 為台北市秋季平均風速的逐時變化，由圖中可以看出台灣秋季平均風速在 2 ~ 5 m/s 之間，比春、夏、冬三季的平均風速都還要大。圖 3.12 顯示了台北市秋季平均氣溫的逐時變化，由圖中可以看出氣溫日夜的變化，而下午一點的溫度為最大值，日間平均氣溫為 25.46 °C，夜間平均氣溫為 23.2 °C，日夜溫差 2.26 °C，如表 3.9 所示。圖 3.13 顯示台北市秋季相對濕度(R.H.)的變化，圖中說明了日間的相對濕度小於夜間的相對濕度，相對濕度最大值發生在凌晨五點及六點的時候，平均值為 83%，而最小值發生在正午十二點到下午兩點，平均值為 68%，相差 15%。

圖 3.14 為台北市冬季平均風速的逐時變化，由圖中可以看出台灣冬季平均風速在 2 ~ 4 m/s 之間。圖 3.15 為台北市冬季平均氣溫的變化圖，由此圖可以看出氣溫日夜的變化，而下午一點的溫度為最大值，日間平均氣溫為 17.7 °C，夜間平均氣溫為 15.8 °C，日夜溫差 1.9 °C，如表 3.10 所示。圖 3.16 顯示台北市冬季相對濕度(R.H.)的變化，圖中說明了日間的相對濕度小於夜間的相對濕度，相對濕度最大值發生在

凌晨兩點到七點的時候，平均值為 84 %，而最小值發生在下午一點，平均值為 70 %。台北市春、夏、秋、冬四季季逐時及日夜相對濕度列於表 3.7-3.10，由表中數據可看出台北市平均相對濕度皆大於 60%。

由本研究分析整理之台北地區的平均氣溫、風速資料來看，若建築物設定室內氣溫在 26 °C 以下時，不使用冷氣，僅使用自然通風及風扇即可，則台灣春、秋、冬季皆不需使用冷氣，可節省能源。此外台灣屬於高濕度(RH > 60%)的國家，因此要如何降低室內空氣的濕度、改善人體舒適度也是另一個可以深入研究的方案。

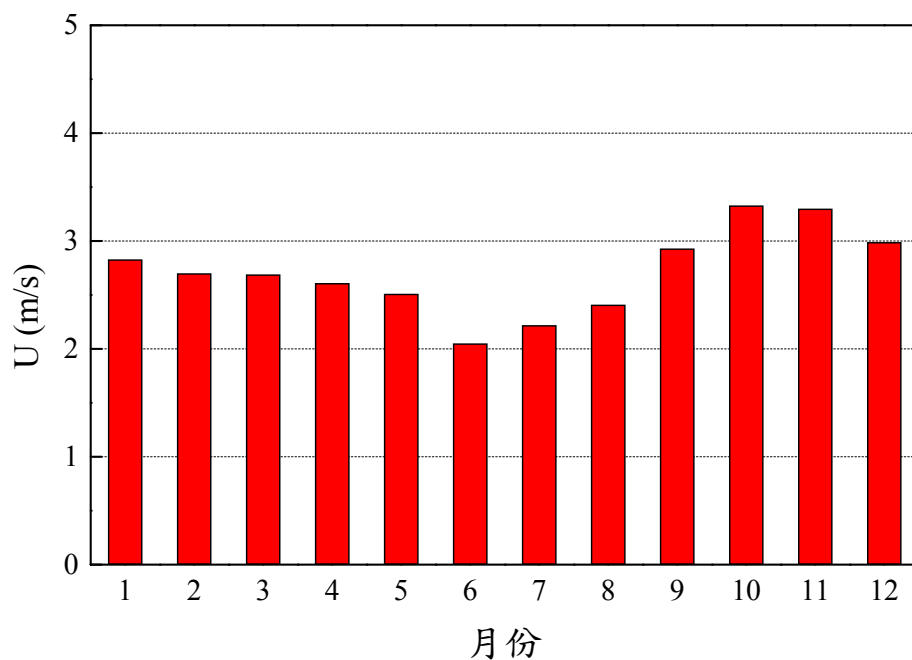
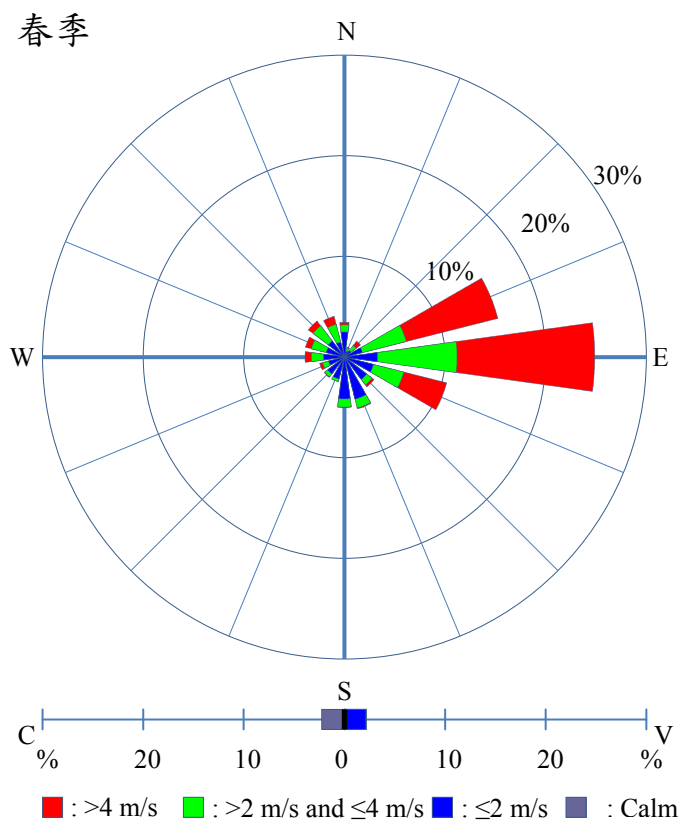
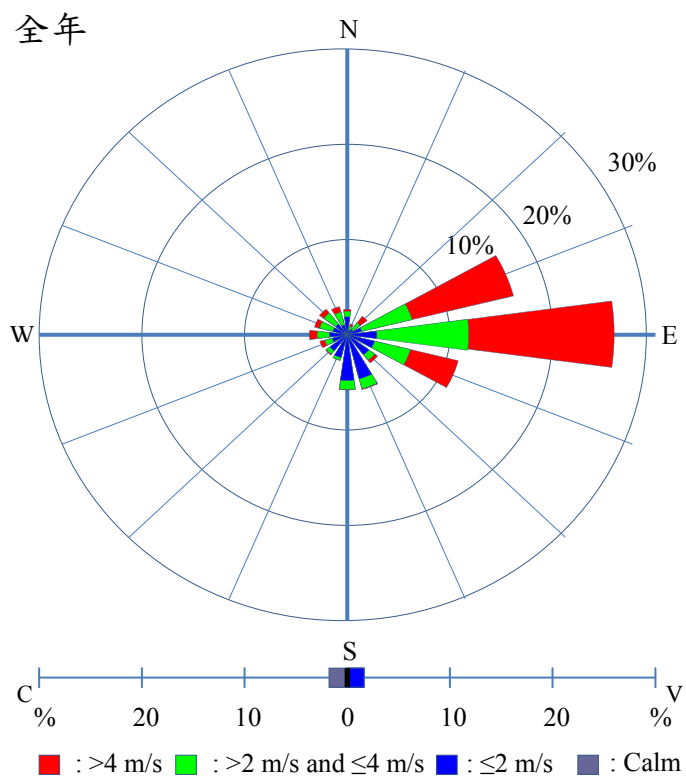
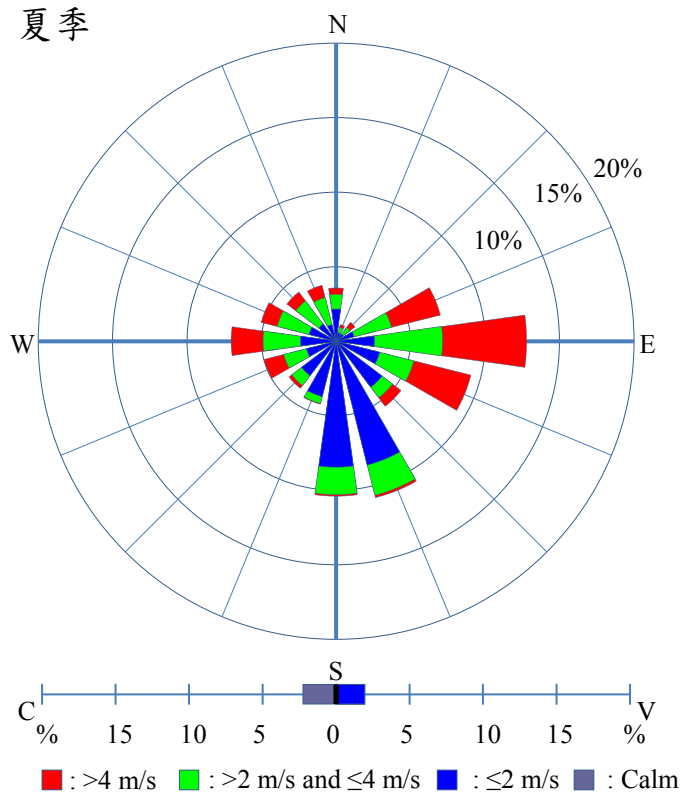


圖3.3 台北市各月份之平均風速分佈圖

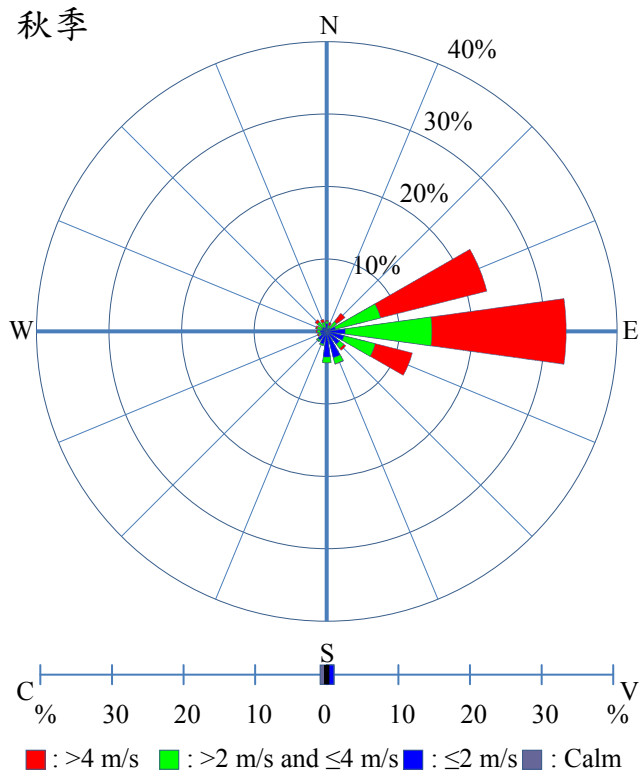
資料來源：本研究整理



夏季



秋季



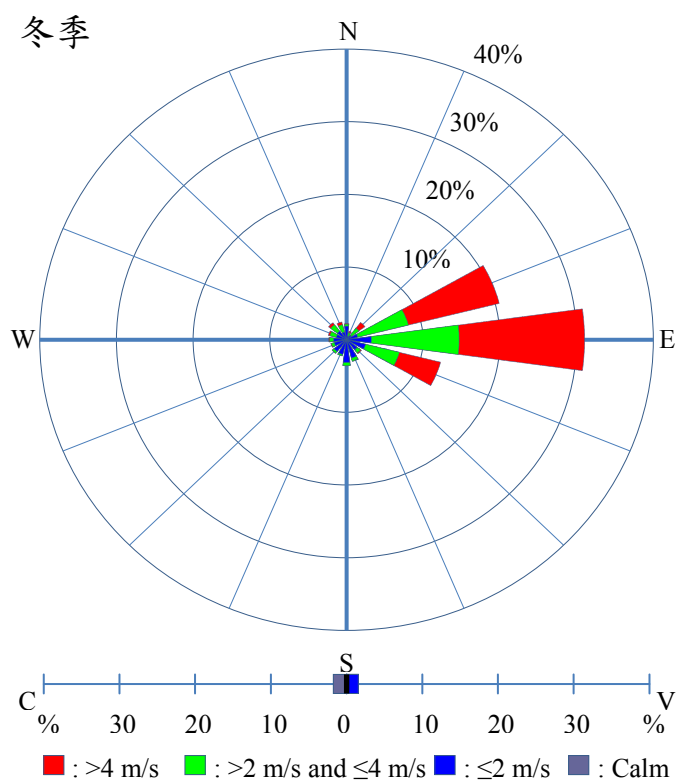


圖 3.4 台北市全年和各季平均的風花圖(1961-2008 年)

資料來源：本研究整理

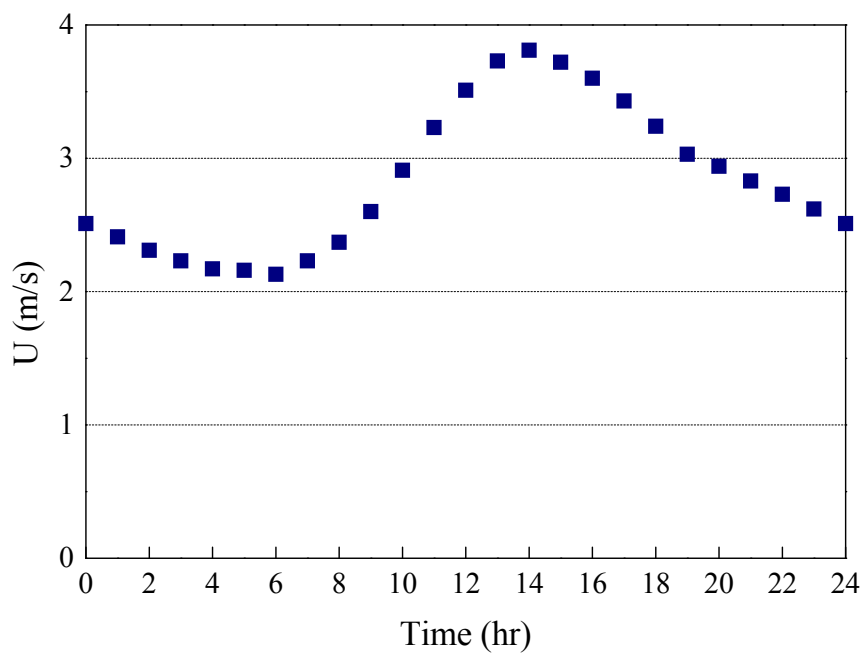


圖 3.5 台北市春季平均風速的逐時變化圖 (3~5 月)

資料來源：本研究整理

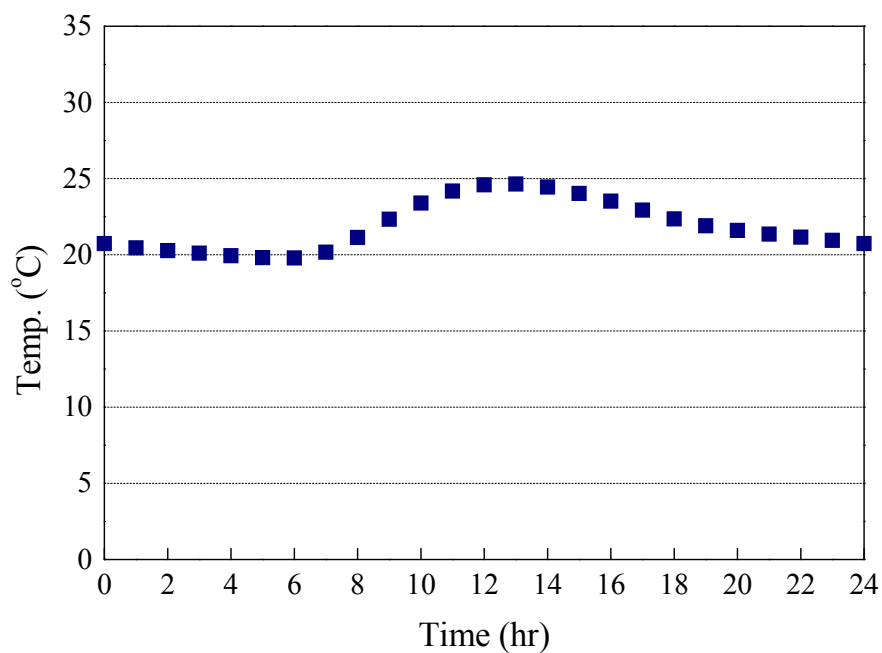


圖 3.6 台北市春季平均溫度的逐時變化圖 (3~5 月)

資料來源：本研究整理

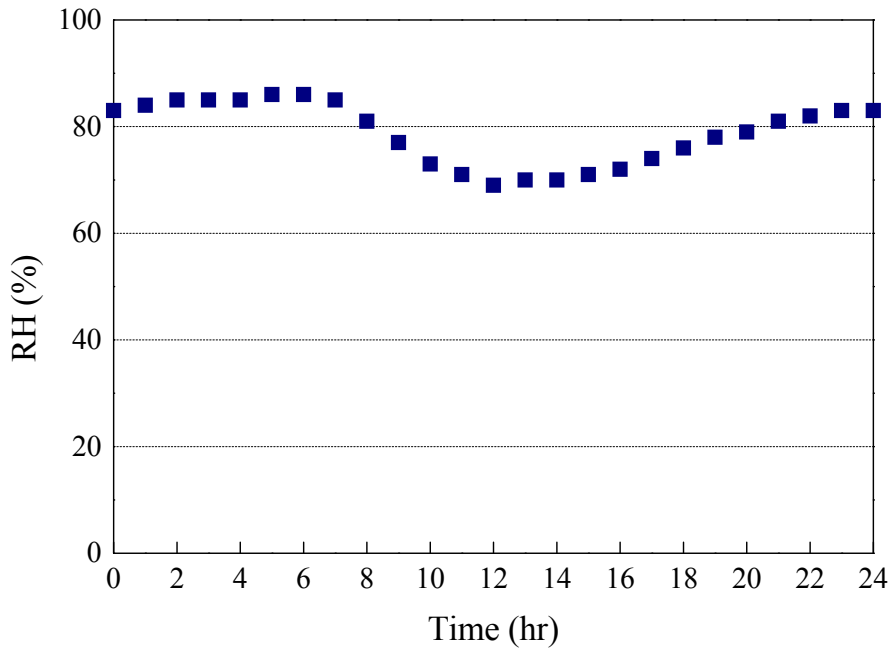


圖 3.7 台北市春季平均相對濕度的逐時變化圖 (3~5月)

資料來源：本研究整理

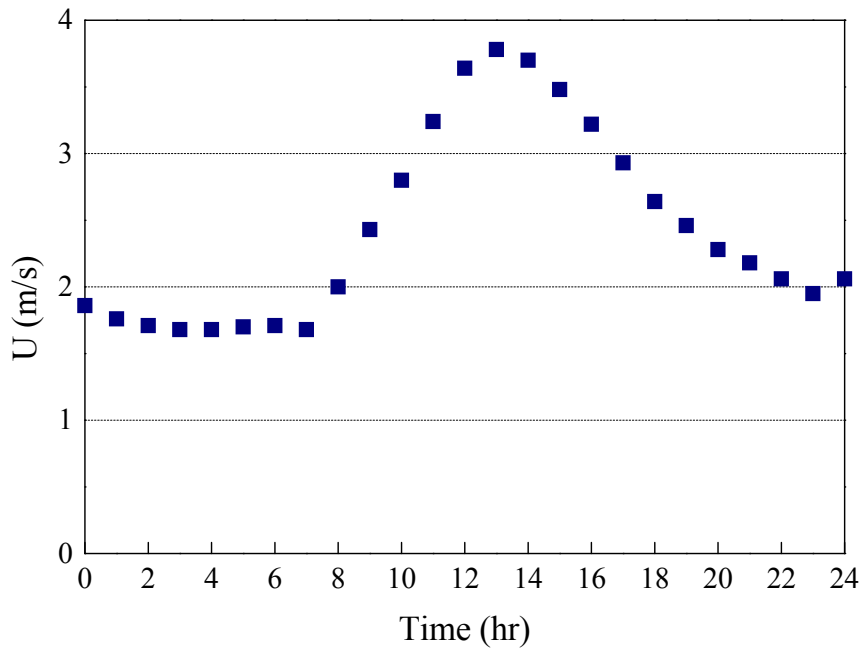


圖3.8 台北市夏季平均風速的逐時變化圖 (6~8月)

資料來源：本研究整理

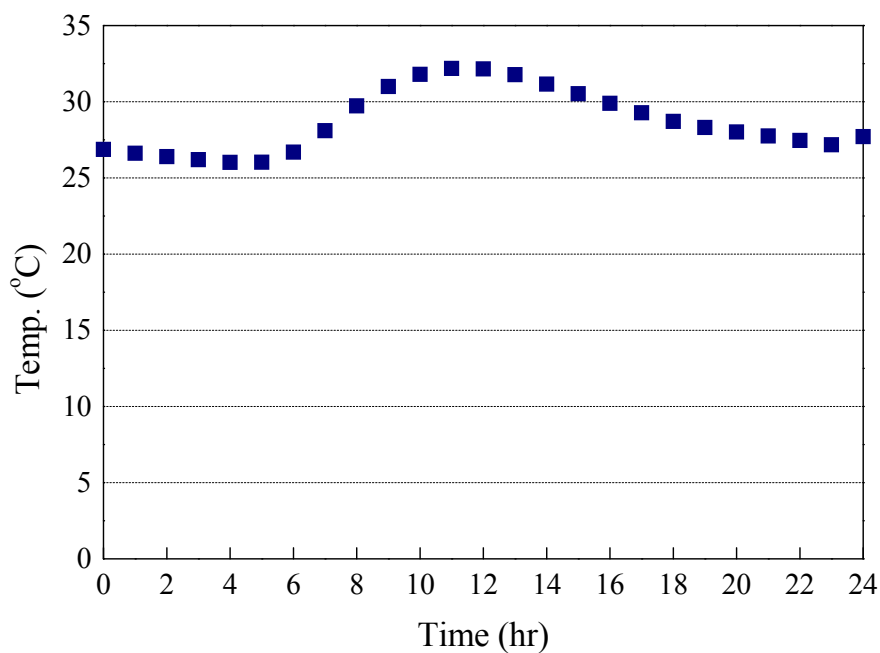


圖3.9 台北市夏季平均溫度的逐時變化圖 (6~8月)

資料來源：本研究整理

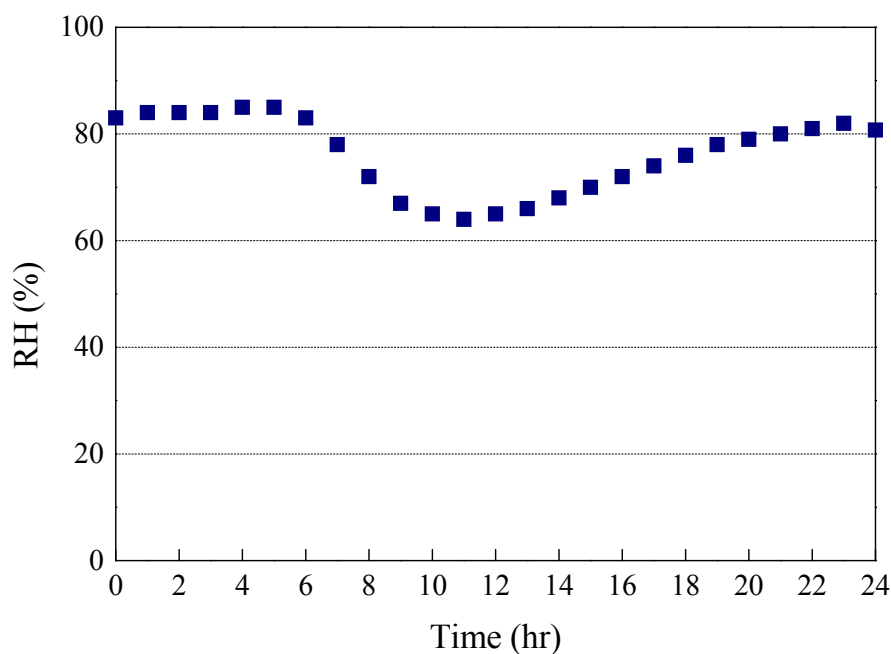


圖3.10 台北市夏季平均相對濕度的逐時變化圖(6~8月)

資料來源：本研究整理

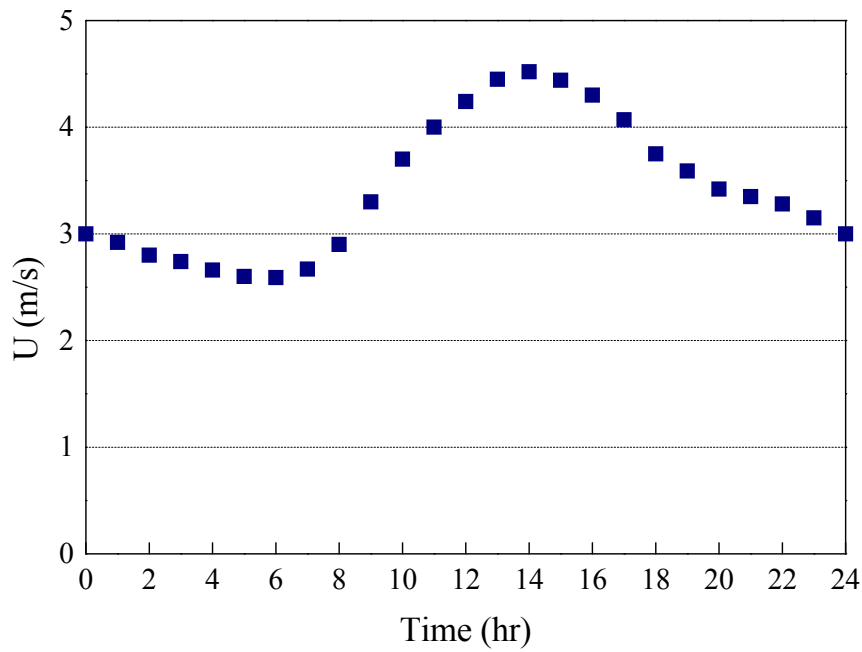


圖 3.11 台北市秋季平均風速的逐時變化圖 (9 ~ 11 月)

資料來源：本研究整理

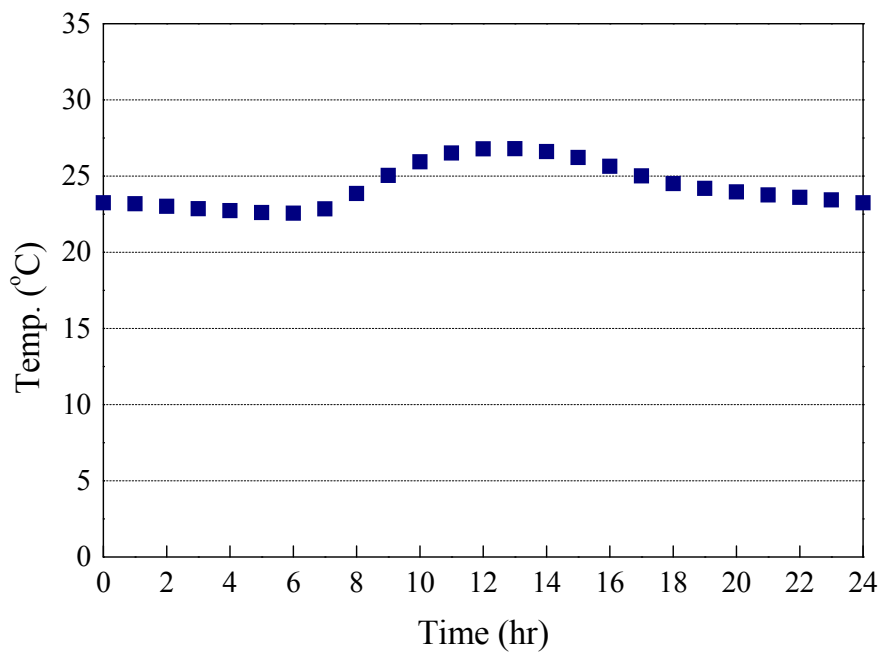


圖3.12 台北市秋季平均溫度的逐時變化圖 (9 ~ 11月)

資料來源：本研究整理

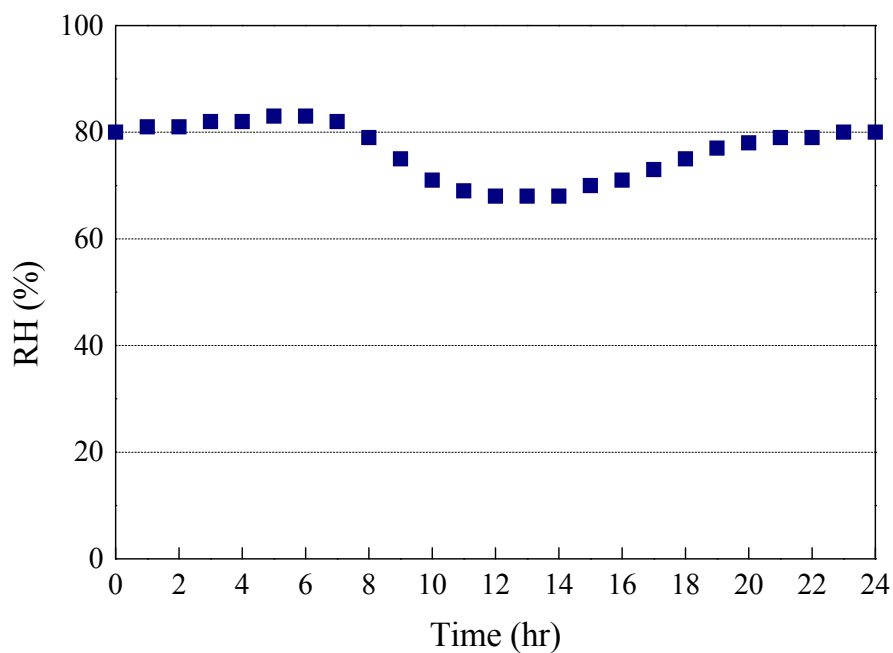


圖3.13 台北市秋季相對濕度的逐時變化圖(9~11月)

資料來源：本研究整理

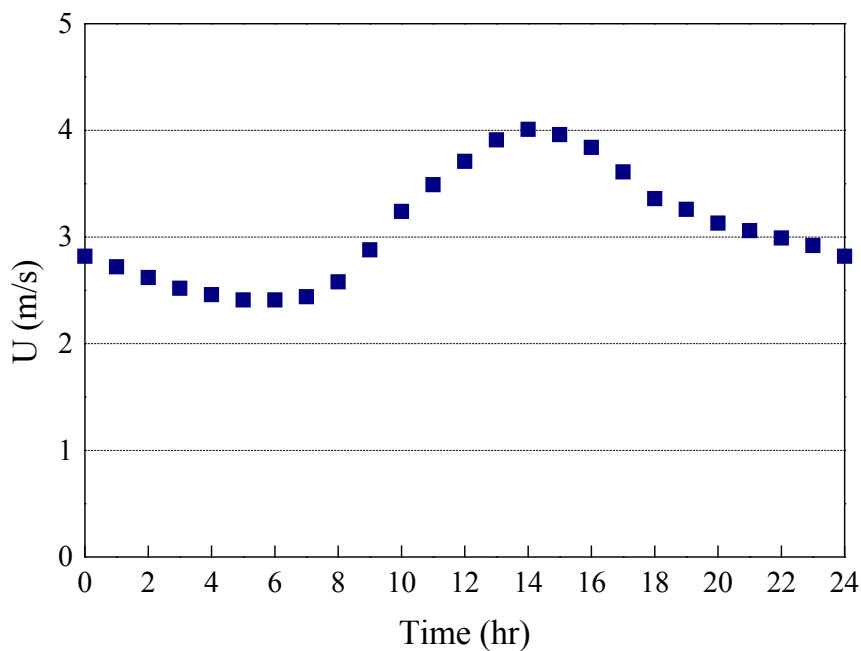


圖 3.14 台北市冬季平均風速的逐時變化圖 (12~ 次年 2 月)

資料來源：本研究整理

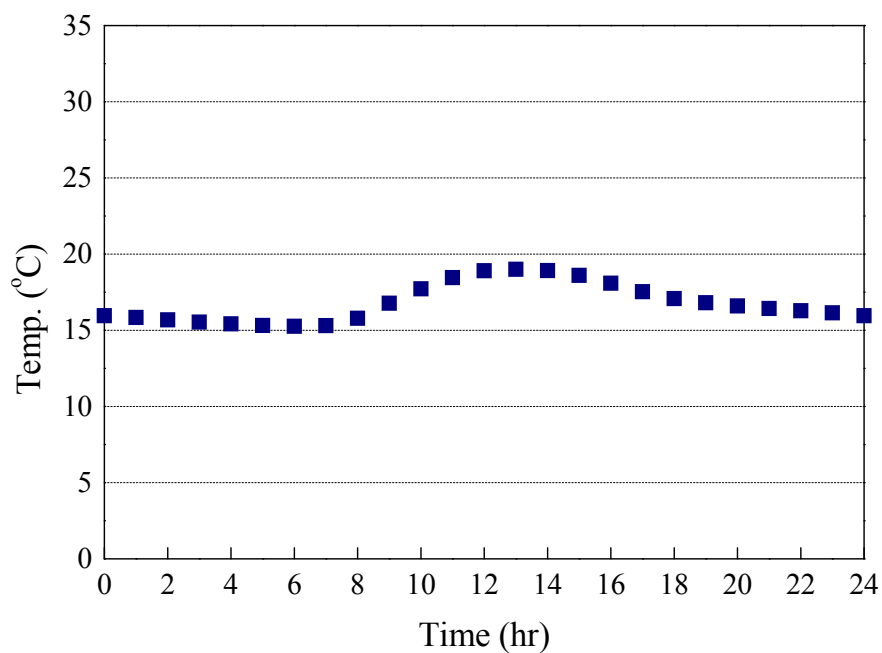


圖 3.15 台北市冬季平均溫度的逐時變化圖 (12 ~ 次年 2 月)
資料來源：本研究整理

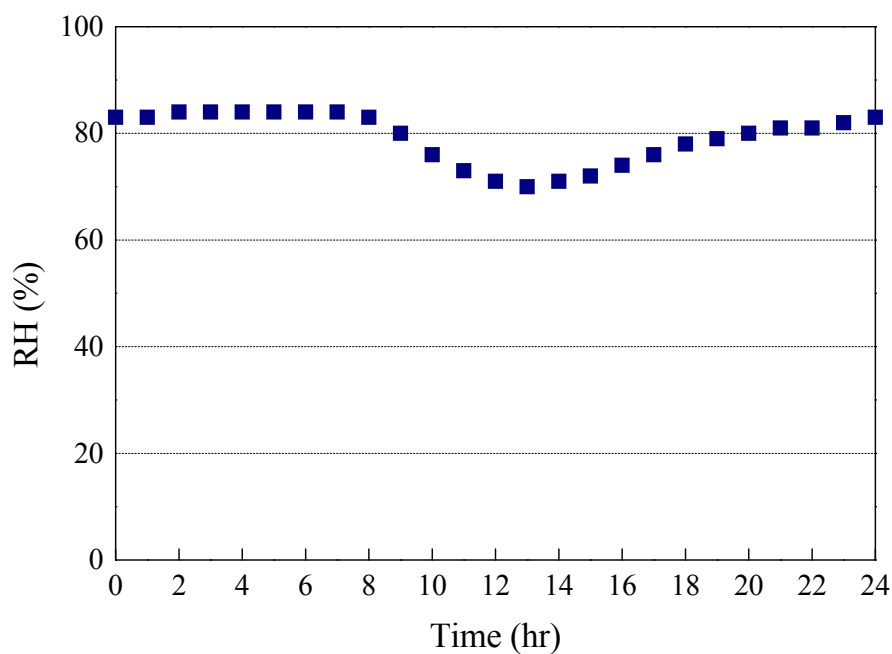


圖 3.16 台北市冬季平均相對濕度的逐時變化圖 (12 ~ 次年 2 月)
資料來源：本研究整理

表 3.4 台灣北部與中部部分城市風向之發生機率

風向	台北 發生機率 (%)	新竹 發生機率 (%)	台中 發生機率 (%)	嘉義 發生機率 (%)
北北東	1.17	14.01	5.86	7.89
東北	2.43	23.76	1.68	4.22
東北東	16.56	7.83	2.10	4.17
東	25.44	8.28	4.08	4.52
東南東	11.14	4.37	1.89	1.21
東南	3.71	2.57	2.75	1.90
南南東	5.95	1.44	2.83	2.70
南	5.82	1.94	5.76	4.72
南南西	2.79	1.80	4.56	3.50
西南	2.65	3.87	4.37	3.09
西南西	2.75	4.05	3.68	3.21
西	3.68	3.82	3.33	4.50
西北西	3.29	3.33	1.60	4.14
西北	3.39	2.33	3.93	8.51
北北西	3.07	1.83	9.88	10.10
北	2.68	5.32	26.22	27.09
靜風	3.47	9.46	15.49	4.53

資料來源：本研究整理

表 3.5 台灣南部與東部部分城市各風向之發生機率

風向	台南 發生機率 (%)	高雄 發生機率 (%)	宜蘭 發生機率 (%)	花蓮 發生機率 (%)	台東 發生機率 (%)
北北東	14.91	8.77	6.43	10.17	5.57
東北	6.79	5.99	8.27	12.25	14.89
東北東	3.52	6.33	7.56	3.51	6.70
東	4.65	3.29	7.47	3.62	3.38
東南東	3.45	1.77	3.59	2.40	2.15
東南	4.47	1.50	1.89	3.17	2.16
南南東	3.65	4.65	1.01	4.43	1.51
南	3.78	4.29	1.66	4.22	3.33
南南西	2.47	2.41	2.92	2.57	2.65
西南	2.65	1.87	6.69	10.16	1.71
西南西	3.43	3.06	7.78	14.26	0.86
西	4.24	5.55	10.93	7.57	1.41
西北西	3.72	9.37	6.46	3.49	3.65
西北	4.58	10.58	3.84	4.06	19.13
北北西	7.21	9.72	2.71	3.76	20.52
北	23.27	13.95	6.74	5.87	7.56
靜風	3.20	6.92	14.04	4.49	2.83

資料來源：本研究整理

表 3.6 台北市各月份平均氣象資料表

月份	平均風速 (m/s)	最大風速 (m/s)	平均氣溫 (°C)	平均相對 濕度(%)	主要風向
1	2.83	9.6	15.02	74	東北東風
2	2.70	9.4	15.05	74	東風
3	2.69	11	16.97	73	東風
4	2.61	10	20.44	72	東風
5	2.51	10.5	23.35	72	東風
6	2.05	10	25.43	73	東風
7	2.22	16.5	27.26	68	南南東風
8	2.41	15.5	26.95	69	南南東風
9	2.93	14.9	25.56	72	東北東風
10	3.33	13.7	22.94	71	東北東風
11	3.30	10.8	19.99	72	東北東風
12	2.99	8.8	16.83	72	東北東風
年平均	3.15	16.5	22.71	78	東北東或東風

資料來源：本研究整理

表 3.7 台北市春季逐時及日夜平均風速、溫度與相對濕度 (3~5 月)

時間(hr)	平均風速 (m/s)	平均溫度 (°C)	平均相對 溼度(%)
1	2.41	20.45	84
2	2.31	20.27	85
3	2.23	20.10	85
4	2.17	19.94	85
5	2.16	19.81	86
6	2.13	19.79	86
7	2.23	20.17	85
8	2.37	21.13	81
9	2.60	22.33	77
10	2.91	23.39	73
11	3.23	24.18	71
12	3.51	24.59	69
13	3.73	24.64	70
14	3.81	24.44	70
15	3.72	24.02	71
16	3.60	23.52	72
17	3.43	22.93	74
18	3.24	22.35	76
19	3.03	21.90	78
20	2.94	21.60	79
21	2.83	21.35	81
22	2.73	21.16	82
23	2.62	20.95	83
24	2.51	20.74	83
日平均 (8:00 ~ 20:00)	3.24	23.15	74
夜平均 (20:00 ~ 8:00)	2.43	20.57	83

資料來源：本研究整理

表 3.8 台北市夏季逐時及日夜平均風速、溫度與相對濕度 (6~8 月)

時間(hr)	平均風速 (m/s)	平均溫度 (°C)	平均相對 溼度(%)
1	1.96	27.43	81
2	1.87	27.18	82
3	1.80	26.94	83
4	1.79	26.74	83
5	1.77	26.53	84
6	1.80	26.51	83
7	1.81	27.15	81
8	1.77	28.60	77
9	2.08	30.30	71
10	2.52	31.60	66
11	2.87	32.43	63
12	3.32	32.86	62
13	3.73	32.84	63
14	3.86	32.48	65
15	3.77	31.88	67
16	3.57	31.23	68
17	3.30	30.53	70
18	3.01	29.89	73
19	2.73	29.30	75
20	2.55	28.90	76
21	2.39	28.58	77
22	2.28	28.31	79
23	2.16	28.01	80
24	2.06	27.71	81
日平均 (8:00 ~ 20:00)	3.00	30.99	69
夜平均 (20:00 ~ 8:00)	2.00	27.58	81

資料來源：本研究整理

表 3.9 台北市秋季逐時及日夜平均風速、溫度與相對濕度 (9 ~ 11 月)

時間(hr)	平均風速 (m/s)	平均溫度 (°C)	平均相對 溼度(%)
1	2.92	23.18	81
2	2.80	23.01	81
3	2.74	22.86	82
4	2.66	22.73	82
5	2.60	22.61	83
6	2.59	22.56	83
7	2.67	22.85	82
8	2.90	23.86	79
9	3.30	25.04	75
10	3.70	25.93	71
11	4.00	26.51	69
12	4.24	26.79	68
13	4.45	26.80	68
14	4.52	26.61	68
15	4.44	26.22	70
16	4.30	25.64	71
17	4.07	25.01	73
18	3.75	24.51	75
19	3.59	24.19	77
20	3.42	23.96	78
21	3.35	23.76	79
22	3.28	23.60	79
23	3.15	23.43	80
24	3.00	23.25	80
日平均 (8:00 ~ 20:00)	3.90	25.46	72
夜平均 (20:00 ~ 8:00)	2.93	23.20	81

資料來源：本研究整理

表 3.10 台北市冬季逐時及日夜平均風速、溫度與相對濕度 (12 ~ 2 月)

時間(hr)	平均風速 (m/s)	平均溫度 (°C)	平均相對 溼度(%)
1	2.72	15.84	83
2	2.62	15.68	84
3	2.52	15.54	84
4	2.46	15.42	84
5	2.41	15.32	84
6	2.41	15.26	84
7	2.44	15.30	84
8	2.58	15.79	83
9	2.88	16.77	80
10	3.24	17.72	76
11	3.49	18.46	73
12	3.71	18.91	71
13	3.91	19.00	70
14	4.01	18.92	71
15	3.96	18.60	72
16	3.84	18.09	74
17	3.61	17.53	76
18	3.36	17.08	78
19	3.26	16.81	79
20	3.13	16.60	80
21	3.06	16.43	81
22	2.99	16.28	81
23	2.92	16.14	82
24	2.82	15.96	83
日平均 (8:00 ~ 20:00)	3.46	17.71	75
夜平均 (20:00 ~ 8:00)	2.70	15.81	83

資料來源：本研究整理

第四章 風洞實驗

第一節 實驗配置與量測方法

本研究利用內政部建築研究所的風雨風洞實驗室進行建築物表面風壓的量測，該風洞是一個垂直向的封閉迴路式風洞(如圖 4.1)。風洞總長度為 77.9 m，最大寬度為 9.12 m，最大高度為 15.9 m。該風洞具有兩個測試區，第一測試區長 36.5 m，斷面為 4 m × 3 m；第二測試區長 21 m，斷面為 6 m × 2.6 m。本研究之模型實驗是在第一測試區中進行，最大風速可達 30 m/s，空風洞時風洞內紊流強度 0.17~2.0% (葉祥海、苗君易，2004)。

建築物模型以壓克力板製作，模型尺寸為長度 $D_m = 30$ cm，寬度 $B_m = 30$ cm，高度 $H_m = 60$ cm，如圖 4.2，模型的四個側面各有 55 個壓力量測孔，模型頂部有 25 個壓力量測點，總共 245 個壓力量測點。壓力量測孔上下、左右的間距皆為 5 cm，壓力量測孔直徑 0.1 cm。壓力量測孔連接內徑 0.1 cm PVC 管至壓力感應器，管線長度 10 ~ 55 cm。風洞實驗時，建築物模型放置於測試區的第一旋轉盤上(如圖 4.3)，該旋轉盤直徑為 1.0 m，距離測試區入口處 3.0 m，模型距離測試區入口處 2.6 m，邊界層厚度為 7.5 cm。

一、壓力量測

模型表面風壓係以多頻道電子式壓力掃瞄器(ZOC33/64 PX, Scanivalve)配合壓力訊號處理系統(RAD BASE 3200)同步量測建築物表面各點的瞬時壓力(如圖 4.4、圖 4.5)。該壓力掃瞄器每個模組有 64 個壓力輸入管(pneumatic inputs)，對應 64 個壓電式壓力感應器，64 個壓力感應器共用一個參考壓力(Reference)，但每個壓力感應器皆可單獨校正。氣流輸入管是由內徑 0.1 cm PVC 管連接至模型量測點以量測模型表面壓力。壓力量測系統可支援類比數位之轉換，本研究所使用量測系統最高可支援 8 個模組，其解析度達 16 bits，最大取樣頻率為 500 Hz，擷取之資料轉換完成後可藉由 USB 傳輸系統傳至個人電腦儲存分析。

本研究進行風洞實驗時，將壓力模組放入建築物模型內部，壓力管線連接至壓力模組上的壓力輸入埠，模型每一個表面分別規劃為同一壓力模組，一次使用 1 個

壓力模組，再接入電子式壓力掃瞄器。而風洞內參考風速則採用直式皮托管(如圖 4.6)配合薄膜式壓差計(DP103, Validyne, 圖 4.7)量測。

模型表面風壓進行量測時，先將模型固定於旋轉盤上，隨後啟動風機，待試驗區風速穩定後開始擷取壓力資料。試驗風速 10 m/s，取樣頻率為 100 Hz，取樣時間為 163.84 秒，每個量測點共有 16384 筆數據。每量測完一組便將旋轉盤逆時針旋轉，每隔 22.5° 量測一組表面壓力。實驗中參考壓力 P_0 和風速 U_0 分別為距離風洞地板底部 60 cm 處之皮托管靜壓和風速。

二、資料分析

風洞實驗中，參考壓力 P_0 為自由流之壓力。當氣流碰到建築物迎風面而停滯時，風的動能轉換為動壓力，故表面壓力會大於自由流之壓力，而形成正壓；在背風面及側風面處，因分離現象造成的加速效應及尾流的渦漩作用，會低於自由流之壓力，形成負壓區。表面壓力皆以無因次的壓力係數(Pressure coefficient) C_p 表示：

$$\text{時間平均壓力：} \quad \bar{P} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P(t_i) \quad (4-1)$$

$$\text{時間平均壓力係數：} \quad C_p = \frac{\bar{P} - P_0}{0.5\rho U_0^2} \quad (4-2)$$

式中 ρ 為空氣密度， P 為表面壓力， P_0 為參考壓力， U_0 為自由流的時間平均風速。

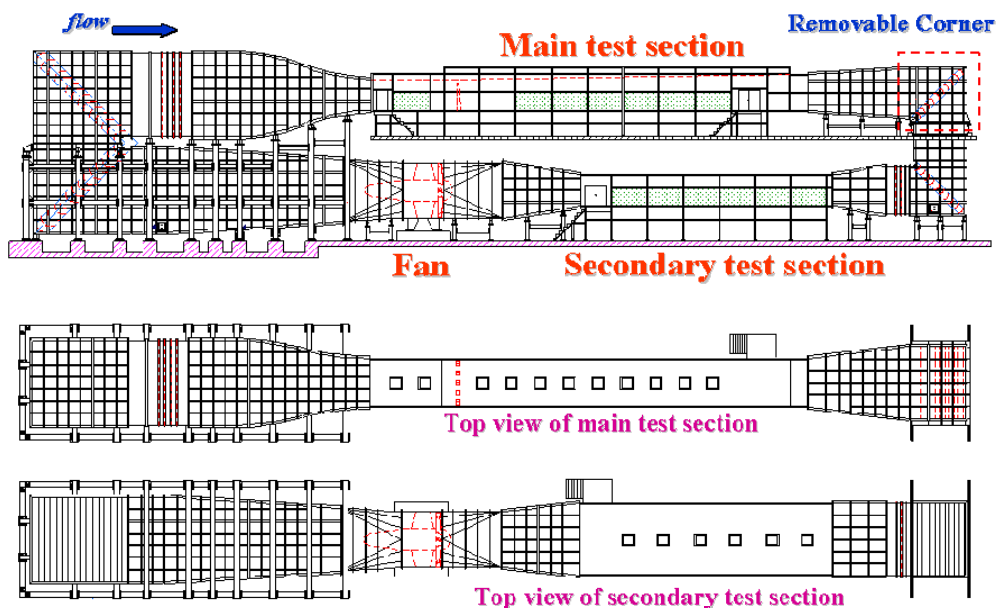


圖 4.1 風洞實驗室配置圖

資料來源：建研所提供

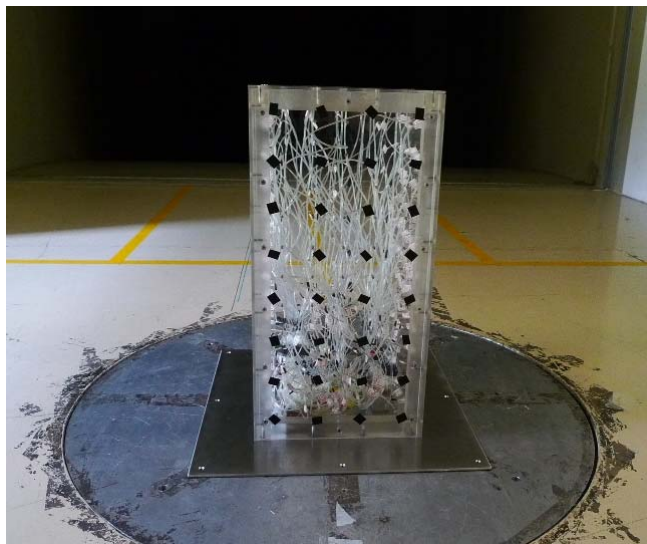


圖 4.2 壓克力模型圖

資料來源：本研究整理

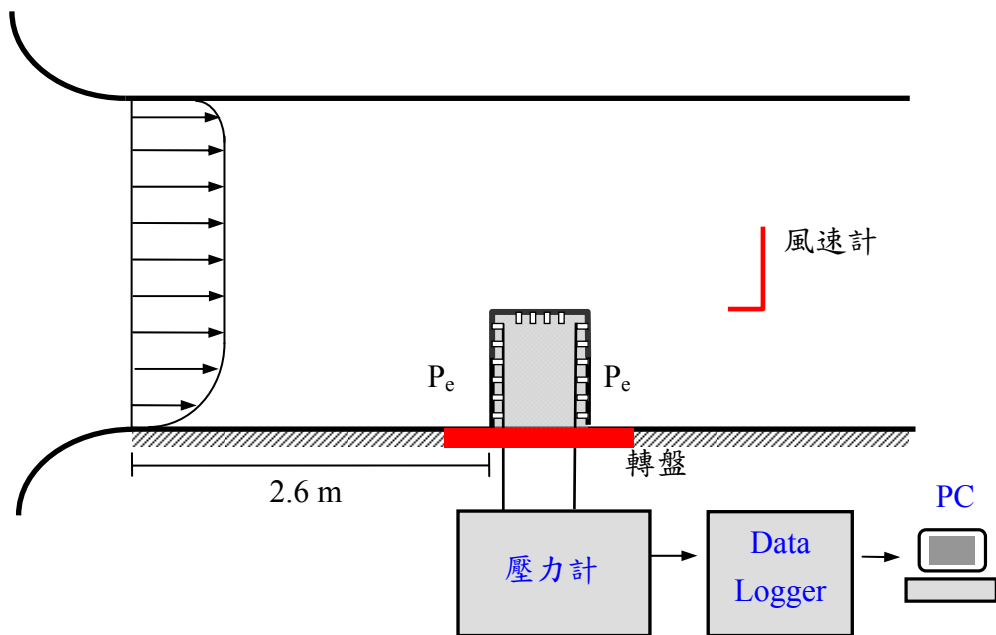


圖 4.3 實驗配置之示意圖

資料來源：本研究整理

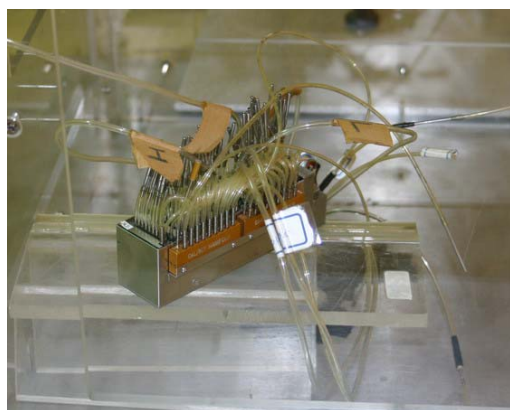


圖 4.4 壓力掃瞄器

資料來源：本研究整理

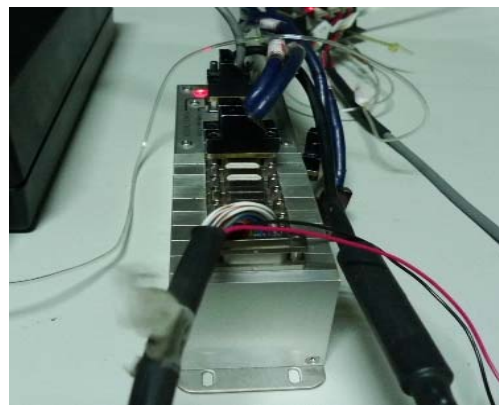


圖 4.5 壓力訊號處理系統



圖 4.6 皮托管

資料來源：本研究整理



圖 4.7 薄膜式壓力計

第二節 實驗結果

本風洞實驗的目的為量測矩形建築物表面的時間平均壓力係數，量測得之表面壓力係數可帶入通風模式中去計算建築物風壓之通風量與換氣率。由先前的模型實驗得知：當建築物開口面積小於迎風面積 6.5% 時，建築物表面壓力不受開口之影響。實驗時風洞的風速 $U_0 = 10 \text{ m/s}$ ，紊流強度小於 1%。因模型為左右對稱，實驗的風向角 $\theta = 0^\circ, 22.5^\circ, 45^\circ, 67.5^\circ, 90^\circ, 112.5^\circ, 135^\circ, 157.5^\circ, 180^\circ$ ，實驗中模型為逆時針旋轉。圖 4.8 為實驗時風向角與建築物表面夾角之示意圖，1、2、3、4 分別為建築物的四個表面（逆時針旋轉）。

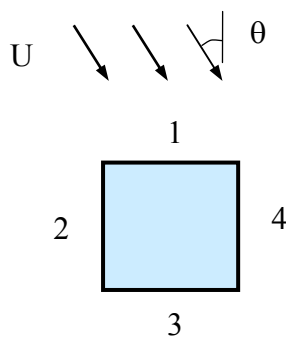


圖 4.8 風向角之示意圖(上視圖)

資料來源：本研究整理

圖 4.9(a) 為風向角 $\theta = 0^\circ$ 時，迎風面的時間平均風壓係數 C_p 分佈圖，迎風面風壓皆為正壓，風壓係數介於 0.64 ~ 1.10 之間，分佈趨勢為左右對稱，壓力係數由中

央往左右兩邊減小，由下往上減小。最大值位於 $y/W = 0.3 \sim 0.7$ 之間， C_p 最小值範圍皆位於建築物迎風面之角落。圖 4.9(b) 為背風面的平均風壓係數分佈，圖中顯示背風面之風壓值皆為負值，介於 $-0.4 \sim -0.7$ 之間，最大負壓位於兩側角隅，且高度越高負壓值越大。而 C_p 最大值範圍位於 $z/H = 0.6 \sim 1.0$ 之間， C_p 最小值範圍皆位於建築物最接近地面處。

圖 4.9(c) 為風向角 $\theta = 0^\circ$ 時，模型側面平均風壓係數分佈圖，其風壓係數為負值，側風面由上游往下游方向，負壓值呈現逐漸減小的趨勢。由流體力學的原理來看，風流經建築物時，在迎風面左右側銳緣處產生分離現象，造成一個負壓區，因此越靠近上風處，負壓值越大；並因而產生角隅渦漩。 C_p 最大值範圍位於 $y/D = 0.0 \sim 0.1$ 與 $z/H = 0.15 \sim 0.3$ 交會之處， C_p 最小值範圍皆位於建築物下游處，其 C_p 值介於 $-1.0 \sim -0.8$ 之間。

圖 4.10(a)、4.10(b)、4.10(c)、4.10(d) 分為風向角 $\theta = 22.5^\circ$ 時的表面 1、2、3、4 面的平均風壓係數分佈圖。圖 4.10(a) 顯示在此風向角下，表面 1 的表面壓力也皆為正值，由上游往下游遞增。 C_p 最大值範圍位於 $y/W = 0.5 \sim 1.0$ 之間， C_p 最小值範圍則位於建築物上游處， C_p 值介於 $0.4 \sim 1.0$ 之間。圖 4.10(b) 顯示了第 2 面為負壓，而負壓值皆由上游往下游遞減， C_p 最大值範圍位於 $y/D = 0.0 \sim 0.05$ 與 $z/H = 0.5 \sim 0.65$ 交會之處， C_p 最小值範圍皆位於建築物上游處， C_p 值介於 $-0.7 \sim -0.5$ 之間。圖 4.10(c) 顯示了第 3 面為負壓，而負壓值皆由上游往下游遞減， C_p 最大值範圍位於 $y/W = 0.0 \sim 0.35$ 與 $z/H = 0.5 \sim 1.0$ 交會之處， C_p 最小值範圍位於 $z/H = 0.0 \sim 0.2$ 之間， C_p 值介於 $-0.6 \sim -0.4$ 之間。圖 4.10(d) 顯示了第 4 面為負壓，而負壓值皆由上游往下游遞增， C_p 最大值範圍位於 $y/D = 0.9 \sim 1.0$ 與 $z/H = 0.7 \sim 0.8$ 交會之處， C_p 最小值範圍皆位於建築物上游處，也就是 $y/D = 0.0 \sim 0.4$ 之間，其 C_p 值介於 $-1.0 \sim -0.2$ 之間。

而風向角 $\theta = 45^\circ$ 的第 1 個面、第 2 個面的風壓係數分佈顯示於 4.11(a)、4.11(b)，而第 1 面的風壓係數為正壓，其正壓值由上游往下游遞增， C_p 最大值範圍位於 $y/W = 0.8 \sim 1.0$ 之間， C_p 最小值範圍也位於建築物上游處， C_p 值介於 $0.0 \sim 0.8$ 之間。而第 2 面的風壓係數為負壓，其負壓值由上游往下游遞減， C_p 最大值範圍位於 $y/D = 0.0 \sim 0.3$ 與 $z/H = 0.55 \sim 0.9$ 交會之處， C_p 最小值範圍也位於建築物上游處， C_p 值介於 $-0.65 \sim -0.4$ 之間。因為第 1 個面與第 4 個面對稱的關係，風壓係數相同。同樣地，第 2 個

面與第 3 個面的風壓係數亦相同。

當風向角 $\theta = 67.5^\circ$ ，建築物的第 1 個的表面風壓係數會與風向角 $\theta = 22.5^\circ$ ，建築物的第 4 個的表面風壓係數相同，風向角 $\theta = 67.5^\circ$ ，建築物的第 2 個的表面風壓係數會與風向角 $\theta = 22.5^\circ$ ，建築物的第 3 個的表面風壓係數為對稱，風向角 $\theta = 67.5^\circ$ ，建築物的第 3 個的表面風壓係數會與風向角 $\theta = 22.5^\circ$ ，建築物的第 2 個的表面風壓係數為對稱，風向角 $\theta = 67.5^\circ$ ，建築物的第 4 個的表面風壓係數會與風向角 $\theta = 22.5^\circ$ ，建築物的第 1 個的表面風壓係數為對稱。同樣地，風向角 $\theta = 90^\circ$ 的第 1 個面，會與風向角 $\theta = 0^\circ$ 的第 2 個面與第 4 個面的風壓係數亦相同。而風向角 $\theta = 135^\circ$ 的第 1 個面，會與風向角 $\theta = 45^\circ$ 的第 2 個面風壓係數相同。其餘的風向角可類推。

為了探討建築物通風是否會受到其他建築的影響，本研究之風洞實驗在距離建築物模型前方 0.6 m 處放置了一塊平板(高度 $H_b = 0.4$ m，寬度 $W_b = 0.4$ m，厚度 $t_b = 0.01$ m)，量測建築物表面的壓力分佈。實驗結果發現：迎風面正中央($y/W = 0.5$)，高度 $z/H = 0.906$ 處外牆的風壓係數 $C_{pe1} = 0.25$ ，背風面正中央，高度 $z/H = 0.906$ 處風壓係數 $C_{pe2} = -0.17$ ，風壓係數與無擋風牆的風壓係數($C_{pe1} = 0.88$ ， $C_{pe2} = -0.76$)差距頗大。換言之，建築物風壓通風會受到建築物周遭其他建築的影響。

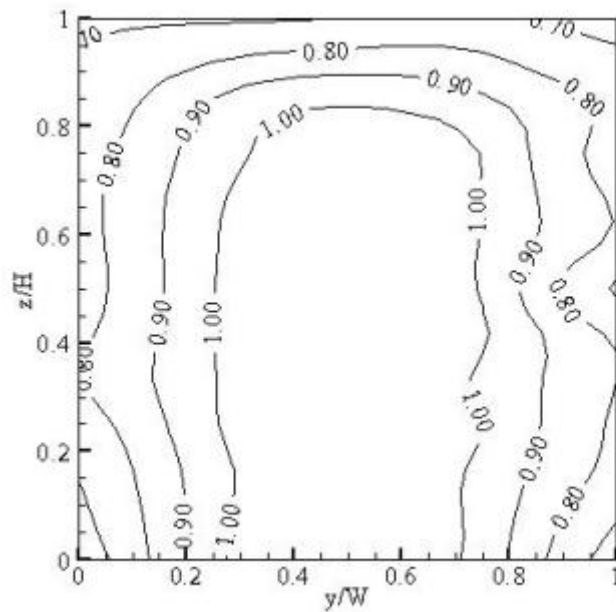


圖 4.9(a) 風向角 $\theta = 0^\circ$ ，迎風面(第 1 面)平均風壓分佈圖

資料來源：本研究整理

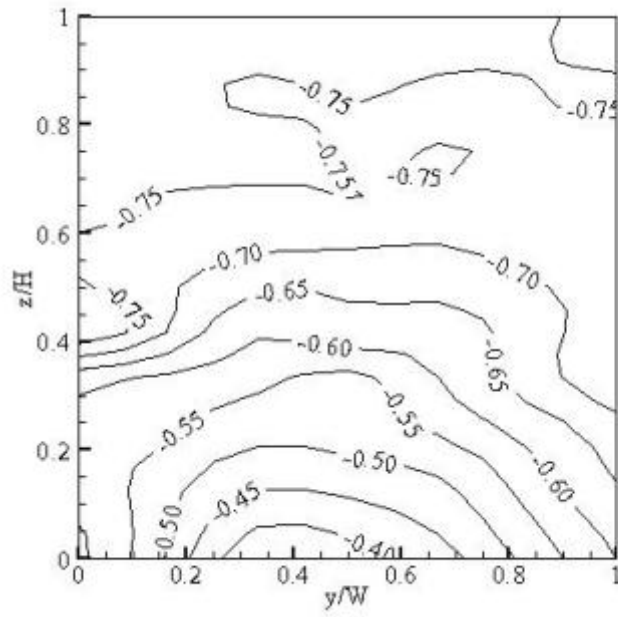


圖 4.9(b) 風向角 $\theta = 0^\circ$ ，背風面(第 3 面)平均風壓分佈圖

資料來源：本研究整理

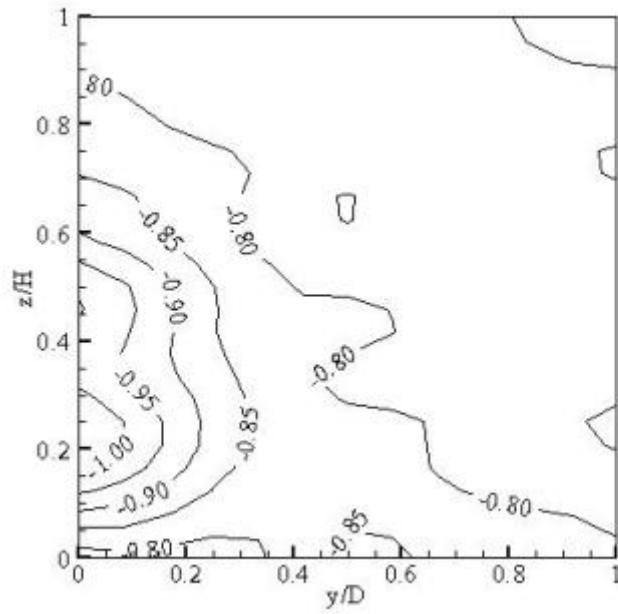


圖 4.9(c) 風向角 $\theta = 0^\circ$ ，側面(第 2 面)平均風壓分佈圖

資料來源：本研究整理

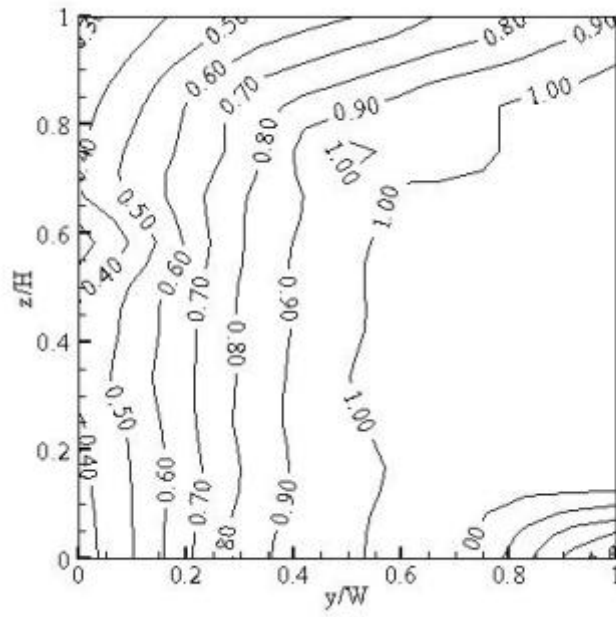


圖 4.10(a) 風向角 $\theta = 22.5^\circ$ ，第 1 面的平均風壓分佈圖

資料來源：本研究整理

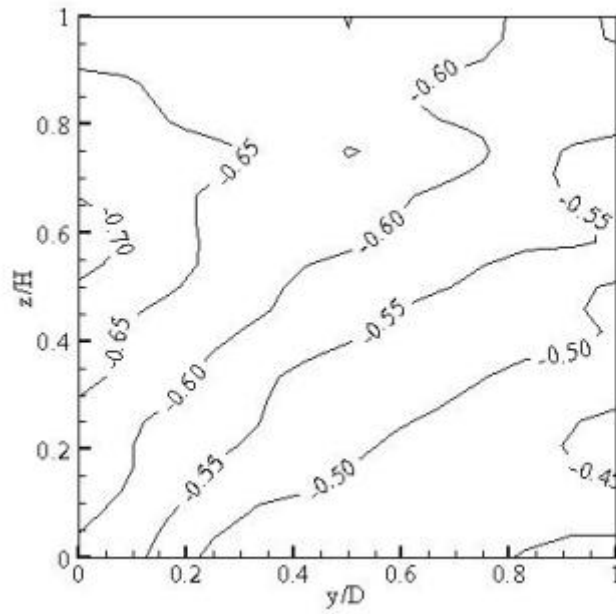


圖 4.10(b) 風向角 $\theta = 22.5^\circ$ ，第 2 面的平均風壓分佈圖

資料來源：本研究整理

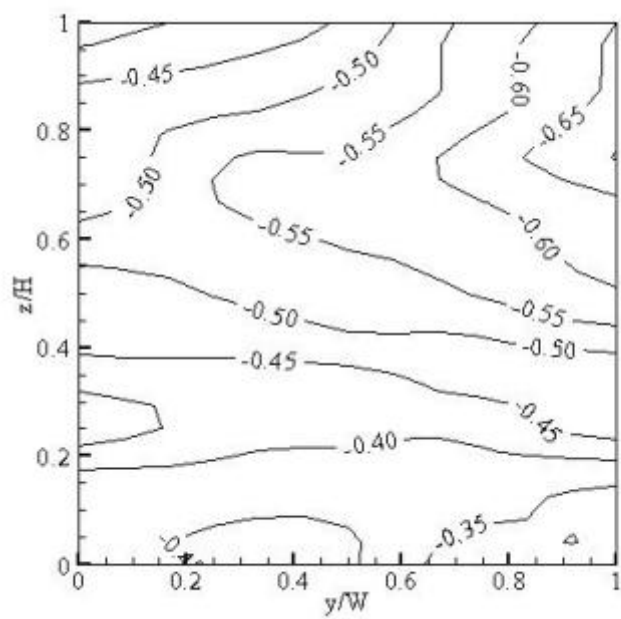


圖 4. 10(c) 風向角 $\theta = 22.5^\circ$ ，第 3 面的平均風壓分佈圖
資料來源：本研究整理

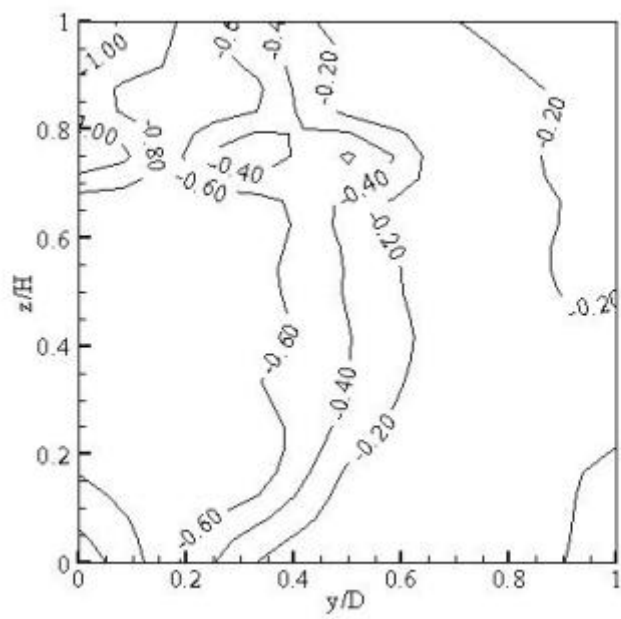


圖 4. 10(d) 風向角 $\theta = 22.5^\circ$ ，第 4 面的平均風壓分佈圖
資料來源：本研究整理

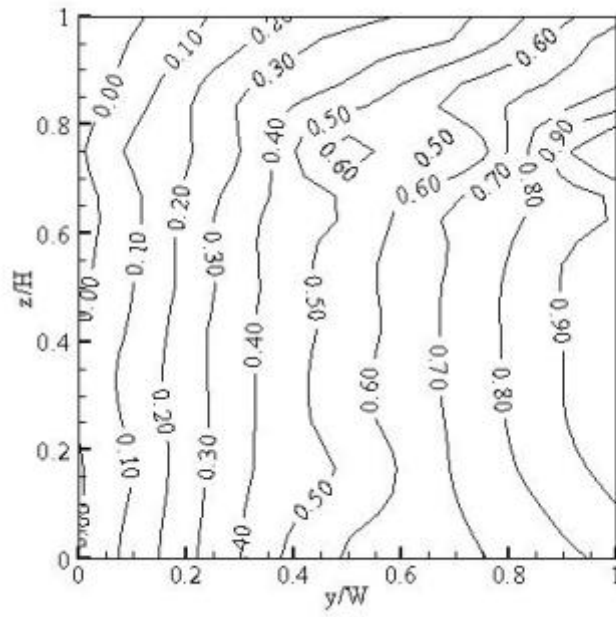


圖 4.11(a) 風向角 $\theta = 45^\circ$ ，第 1 面的平均風壓分佈圖

資料來源：本研究整理

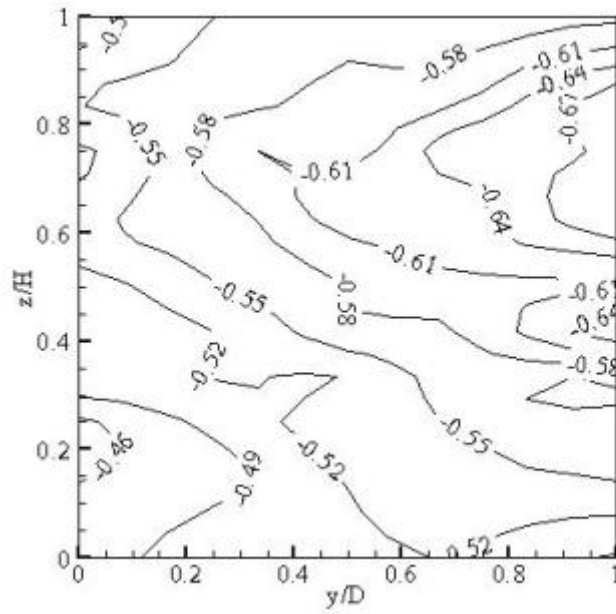


圖 4.11(b) 風向角 $\theta = 45^\circ$ ，第 2 面的平均風壓分佈圖

資料來源：本研究整理

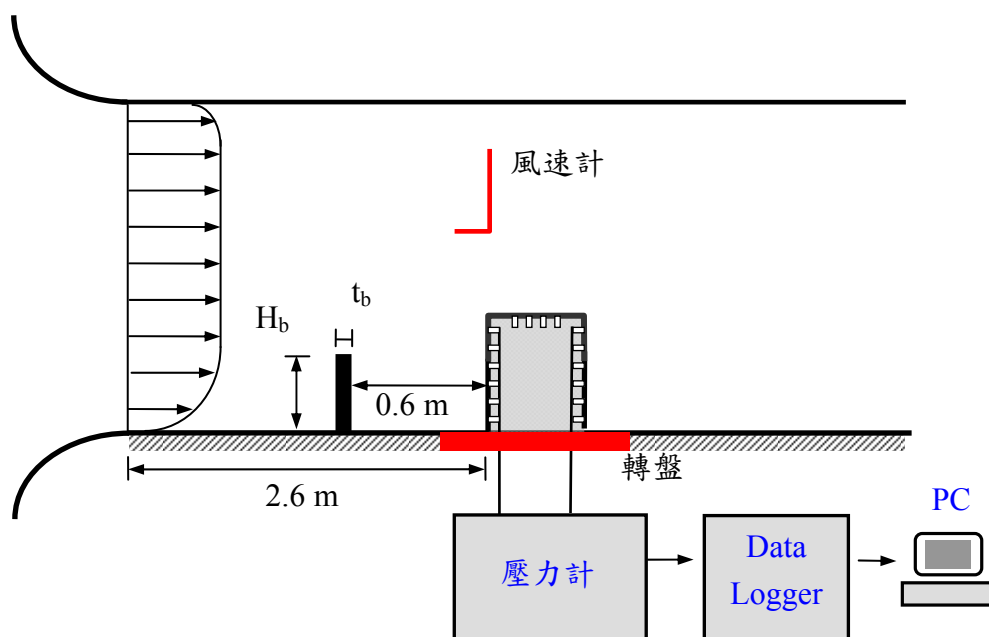


圖 4.12 擋風牆對表面風壓影響之實驗配置圖(側視圖)

資料來源：本研究整理

第五章 TAIVENT 計算模式

第一節 多區塊模式

本研究所發展的通風模式 TAIVENT (Taiwan Natural Ventilation Model)，可計算多區間建築物(Multi-room)風壓通風的通風量和換氣率。建築物外部及內部開口的通風量可依據流體力學的伯努利方程式(Bernoulli equation)，流經門窗等開口的通風量可用孔口方程式(Orifice equation)計算：

$$Q = C_d \cdot A_o \cdot \sqrt{\frac{2|\Delta P|}{\rho}} \quad (5-1)$$

式中 A_o 為開口面積， $|\Delta P| = |P - P_i|$ 為室外和室內壓差的絕對值， ρ 為空氣密度， C_d 為流量係數(Discharge coefficient)。流量係數 C_d 與開口的幾何形狀、風速、風向有關 (Chu et al., 2009)。室內外的壓差可以無因次之壓力係數表示：

$$C_p = \frac{\Delta P}{\frac{1}{2}\rho U^2} \quad (5-2)$$

式中 U 為室外不受建築物影響之風速。

若開口面積十分小，室外的空氣仍可能因為壓差而由門窗的縫隙滲入，此現象稱為風滲(Air infiltration)或隙縫風，流況大多屬於層流。若開口為長條狀的矩形開口(Crack)，通風量可以普修力流(Plane Poiseuille flow)計算：

$$Q = \frac{Ad^2}{12\mu} \cdot \frac{\Delta P}{L} \quad (5-3)$$

式中 d 為開口的間隙， L 為開口在流向上的長度， μ 為空氣的動力黏滯係數。綜合以上二式，通風量可以下式計算：

$$Q = kA(\Delta P)^n \quad (5-4)$$

式中 k 為流量係數，指數 n 會隨流況、開口大小等因素而定，約為 0.6 ~ 0.7 (Awbi, 2003)。

以一棟矩形、單一樓層建築物為例，室內隔成 n 個房間，每個房間有 m 個開口，如圖 5.1 所示。當室外風速 U 、外牆風壓係數 C_{pe} 、各個房間的開口面積 A 皆為已知數，欲求各個房間的室內壓力 P_r ，再求取各個開口的通風量 Q 。

依據質量守恆定律，同一房間所有開口的通風量 Q_j 必須滿足連續方程式 (Continuity eqn.)：

$$\sum_{j=1}^m \rho Q_j = 0 \quad (5-5)$$

其中 m 為該房間開口的數目，下標 j 表示第 j 個開口。在氣壓、氣溫變化很小的狀況下，空氣密度 ρ 可視為定值，故：

$$\sum_{j=1}^m Q_j = 0 \quad (5-6)$$

而流入房間的流量為正，流出為負。各開口的流量皆以孔口公式(Orifice eqn.)計算：

$$Q_j = C_{dj} A_j \left[\frac{2(P_j - P_{ri})}{\rho} \right]^{0.5} \quad (5-7)$$

其中 P_{ri} 表示第 i 個房間的室內壓力 (Internal pressure)。帶入上式可得：

$$\sum_j C_{dj} A_j (P_j - P_{ri})^{0.5} = 0 \quad (5-8)$$

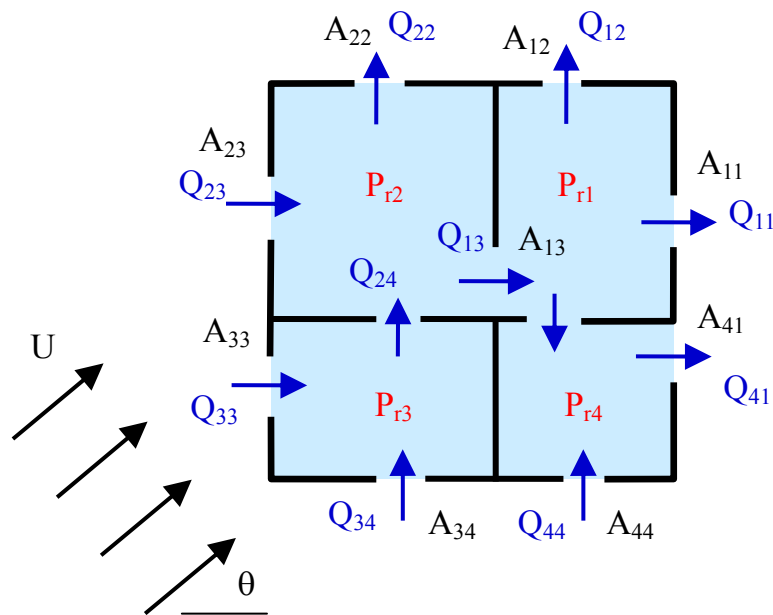


圖 5.1 建築物有室內隔間風壓通風之示意圖

資料來源：本研究整理

當一建築物有 n 個房間數目時，便會有 n 個聯立的非線性方程式。當建築物有房間數目 n 和各房間開口數目 m 皆很大時，十分難解。本研究利用牛頓-拉福森法

(Newton-Raphson method)藉由電腦程式以迭代的方式來計算。此法先針對第一個房間($i = 1$)猜一個室內壓力 P_1 ，此值與正確室內壓力 P_r 的關係為：

$$P_r = P_1 + \Delta_1 \quad (5-9)$$

其中 Δ_1 表示第 1 個室內壓力的修正值。帶入上式可得：

$$\sum_{j=1}^m C_{dj} A_j [P_j - P_1 - \Delta_1]^{0.5} = 0 \quad (5-10)$$

下標 j 代表第 j 個開口， m 為該房間的總開口數。將上式展開：

$$C_{dj} A_j (P_j - P_1 - \Delta)^{0.5} = C_{dj} A_j \left[(P_j - P_1)^{0.5} - \frac{\Delta}{2} (P_j - P_1)^{-0.5} + \frac{\Delta^2}{4} (P_j - P_1)^{-1.5} + \dots \right]$$

若 $(P_j - P_1) \gg \Delta_1$ ，則 Δ_1 二階以上各項可忽略。上式變為：

$$\sum_{j=1}^m \left[C_{dj} A_j (P_j - P_1)^{0.5} - \frac{\Delta}{2} C_{dj} A_j (P_j - P_1)^{-0.5} \right] = 0 \quad (5-12)$$

因此壓力修正值：

$$\Delta = \frac{2 \sum_{j=1}^m C_{dj} A_j (P_j - P_1)^{0.5}}{\sum_{j=1}^m C_{dj} A_j (P_j - P_1)^{-0.5}} \quad (5-13)$$

修正後的壓力 P_r 可能仍無法滿足連續方程式，因此必須重複以上的步驟計算第二次、第三次修正值 Δ ，再計算下一次迭代的室內壓力 P_{r1} ：

$$P_{r1}(k+1) = P_{r1}(k) + \Delta_1(k) \quad (5-14)$$

其中 $\Delta_1(k)$ 表示第 1 個室內壓力的第 k 次修正值，直到所得之壓力值 P_{r1} 收斂 ($\Delta_1/P_{r1} < 0.001$) 為止。為了加速室內壓力收斂的速度，本研究將壓力修正值乘上一個鬆弛係數 (Relaxation coefficient) r ，其值範圍為 $r < 1$ 。第 1 個室內壓力計算完之後，可再利用相同的方法計算另一個房間的壓力：

$$P_{ri}(k+1) = P_{ri}(k) + r \cdot \Delta_i(k) \quad (5-15)$$

如此下去直到整棟建築物所有房間的室內壓力都計算出為止。

當一棟建築物迎風面、背風面各有一個開口 (Opening)，迎風面牆上的開口面積為 A_1 ，背風面牆上的開口面積為 A_2 。室內隔成兩個房間，兩個房間中有一個開口，

開口面積為 A_i ，如圖 5.2 所示。開口面積比：

$$A_{r1} = \frac{A_1}{A_i} \qquad A_{r2} = \frac{A_2}{A_i} \qquad (5-16)$$

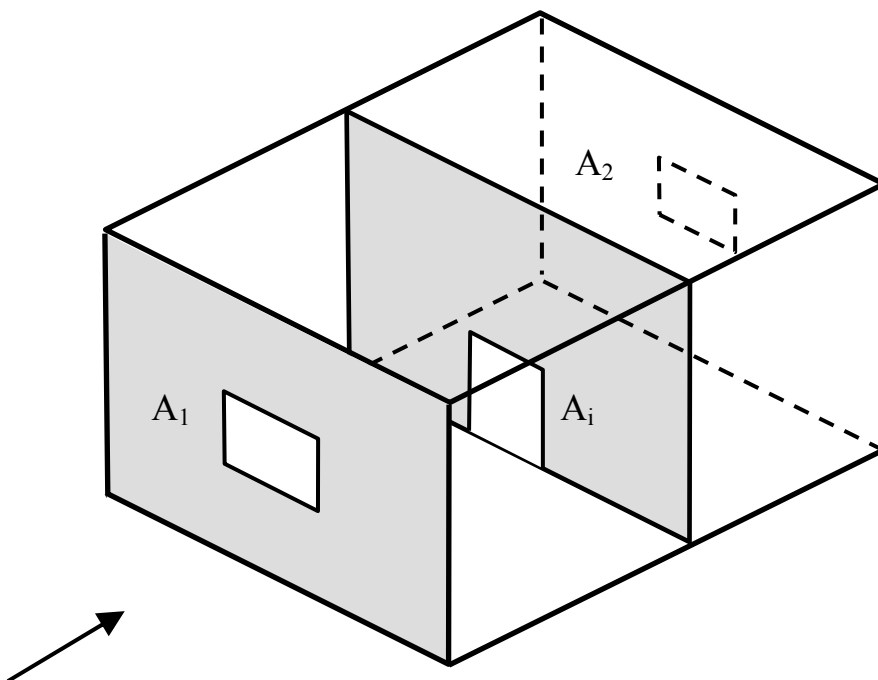


圖5.2 有室內隔間之建築物貫流通風之示意圖

資料來源：本研究整理

風壓通風的通風量計算公式為：

$$Q = C_d \cdot A_o \cdot \sqrt{\frac{2|\Delta P|}{\rho}} \qquad (5-17)$$

式中 A_o 為開口面積， ΔP 為壓差， ρ 為空氣密度， C_d 為開口的流量係數。依據流體力學的連續方程式：

$$\rho Q_1 = \rho Q_i = \rho Q_2 \qquad (5-18)$$

式中 Q 為通風流量，下標 1 代表迎風面開口，下標 2 代表背風面開口，下標 i 代表室內。在等溫(Isothermal)的狀態下，空氣密度 ρ 為定值，故：

$$Q_1 = Q_i = Q_2 \qquad (5-19)$$

代入通風量公式：

$$C_{d1}A_1\sqrt{|P_{e1}-P_{i1}|} = C_{di}A_i\sqrt{|P_{i1}-P_{e2}|} \quad (5-20)$$

$$C_{di}A_i\sqrt{|P_{i1}-P_{i2}|} = C_{d2}A_2\sqrt{|P_{i2}-P_{e2}|} \quad (5-21)$$

式中 P_{i1} 為第一個房間的室內風壓， P_{i2} 為第二個房間的室內風壓， P_{e1} 為迎風面牆上的室外風壓， P_{e2} 為背風面牆上的室外風壓。共有 5 個未知數（2 個壓力 P ，3 個流量 Q ），5 個方程式（2 個連續方程式，3 個通風量方程式）。若迎風面、背風面開口皆為小型開口，室外風壓不受開口影響。

以上兩式整理可得室內外壓力平衡方程式：

$$P_{e1} = \frac{(1+A_{r1}^2C_{dr1}^2)}{A_{r1}^2C_{dr1}^2}P_{i1} - \frac{P_{i2}}{A_{r1}^2C_{dr1}^2} \quad (5-22)$$

定義流量係數比：

$$C_{dr1} = \frac{C_{d1}}{C_{di}} \quad C_{dr2} = \frac{C_{d2}}{C_{di}} \quad (5-23)$$

由上式可得：

$$P_{i2} = \frac{P_{i1}}{1+A_{r2}^2C_{dr2}^2} + \frac{A_{r2}^2C_{dr2}^2}{1+A_{r2}^2C_{dr2}^2}P_{e2} \quad (5-24)$$

可定義無因次之參數：

$$\alpha_1 = A_{r1}C_{dr1} \quad \alpha_2 = A_{r2}C_{dr2} \quad (5-25)$$

整理可得無因次之開口平均風速等於：

$$\frac{u_1}{U_0} = C_{d1} \left[\frac{\alpha_2^2}{\alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_1^2\alpha_2^2} (C_{p1} - C_{p2}) \right]^{0.5} \quad (5-26)$$

換言之，若室外風速 U_0 、室外風壓係數 C_{p1} 、 C_{p2} 、開口的面積 A_1 、 A_2 、 A_i ，流量係數 C_{d1} 、 C_{d2} 、 C_{di} 為已知數，可求得通風量 Q 和開口平均風速。

若開口面積 $A_1 = A_2 = A_3$ ，且開口的流量係數 $C_{d1} = C_{di} = C_{d2}$ ，則 $\alpha_1 = 1$ ， $\alpha_2 = 1$ ，室內外壓力平衡方程式可簡化為：

$$\frac{u_1}{U_0} = C_{d1} \left[\frac{(C_{p1} - C_{p2})}{3} \right]^{0.5} \quad (5-27)$$

TAIVENT 通風模式可輸入基地的風場、氣象資料(風速、風向、氣溫、濕度)，

或利用中央氣象局各地的氣象資料，配合建築物外型、座向、開口位置、大小及室內隔間計算建築物風壓通風的換氣量，進而評估一般建築物可使用風壓通風的時段。

第二節 流量係數

本研究中的 TAIVENT 模式需設定建築物的房間與開口的數目、大小、室外風壓值、室外風速與風向，而這些資料都可由實際的建築物資料、風洞實驗與中央氣象局氣象資料整理而取得，至於各類型的門窗開口之流量係數可由實驗來求得。一般門窗開口的流量係數為 0.6~0.7，而此種情況為門窗無加裝物時的流量係數，假若門的開闔角度不同或窗戶的類型為外推式斜開窗或是窗上加裝紗網、百葉窗等加裝物，其流量係數會有不同，因此本研究也探討不同類型的流量係數。

圖5.3為Chu et al. (2009)利用風洞實驗量測得之方形開口($d = 4 \text{ cm}$ 、 6 cm 、 10 cm)，不同開口面積比之流量係數 C_d 與雷諾數 Re 之關係圖，此結果是在室外風速 $U_o = 8 \text{ m/s}$ ，風向角 $\theta = 0^\circ$ 量測而得。由此圖可知：開口率(wall porosity)小於6.25%的狀況下，開口的流量係數、風壓係數與開口面積(開口率 r_1)無關。且流量係數會隨著雷諾數增加而增加，但當雷諾數 $Re > 18000$ 時，流量係數 $C_d = 0.66$ 便不再隨著雷諾數而變。且開口面積改變，流量係數的變化並不大。利用迴歸分析可得經驗式如下：

$$\begin{cases} \frac{C_d}{C_{do}} = \left(\frac{Re}{Re_c}\right)^{0.333} & Re < 18000 \\ C_{do} = 0.66 & Re \geq 18000 \end{cases} \quad (5-28)$$

式中 $Re_c = 18000$ 為臨界雷諾數， $C_{do} = 0.66$ 為雷諾數 Re 大於臨界雷諾數時的流量係數，此值十分接近 Chiu and Etheridge (2007)所建議之 0.65 和 Linden (1999)所建議之 0.60。

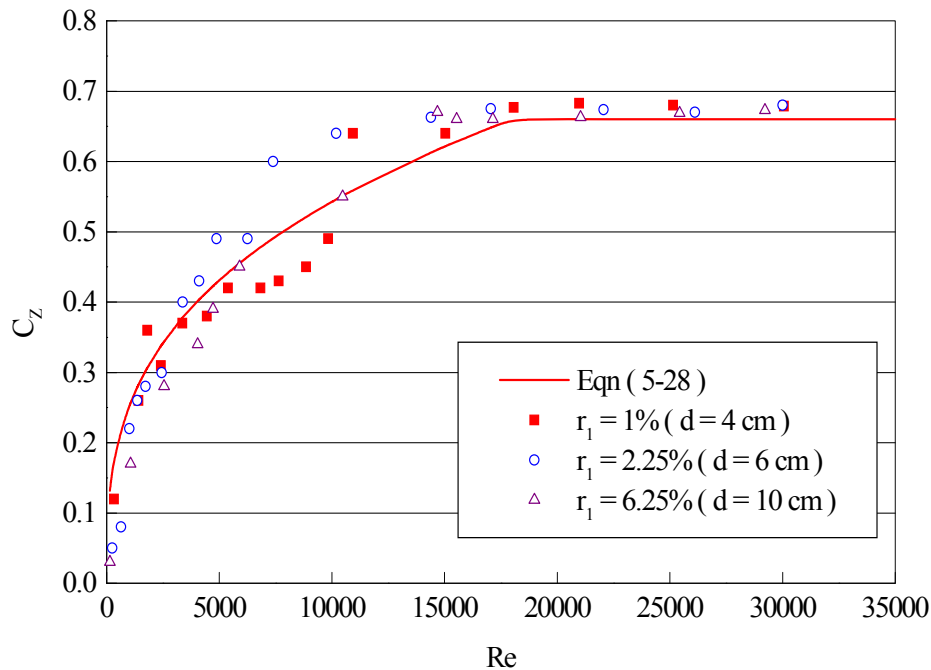


圖5.3 風向角 $\theta = 0^\circ$ ，不同開口面積之流量係數與雷諾數關係圖

資料來源：本研究整理

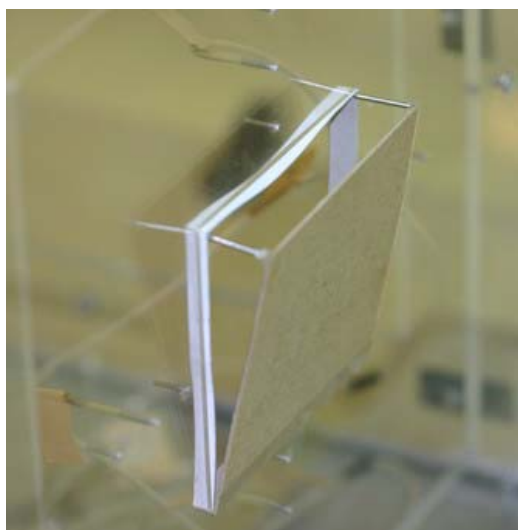
將模型開口裝上正方形($d = 10 \text{ cm}$)不透風式水平外推窗(夾角 $\beta = 11.5^\circ$)、直立外推窗(夾角 $\beta = 11.5^\circ$)、透風式紗網和兩種百葉窗形式的開口，紗網網格孔隙的大小為 $0.8 \text{ mm} \times 0.8 \text{ mm}$ ，孔隙率為64%，如圖 5.4 所示。而百葉窗葉片的傾斜角度分別為 45° 和 60° ，而葉片數皆為四片，如圖 5.5 所示。而研究中也發現流量係數也會受到雷諾數影響，再低雷諾數($\text{Re} < 18000$)的情況下，流量係數會隨雷諾數而變，在高雷諾數($\text{Re} > 18000$)的情況下則不會影響，流量係數會維持定值。因此可以由實驗的數據回歸出各種流況下的方程式。另外在建築物的室內有許多的門，而門的開闔角度也會影響流量係數的大小，圖 5.6 為室內隔間開口裝上門之示意圖與影像圖。



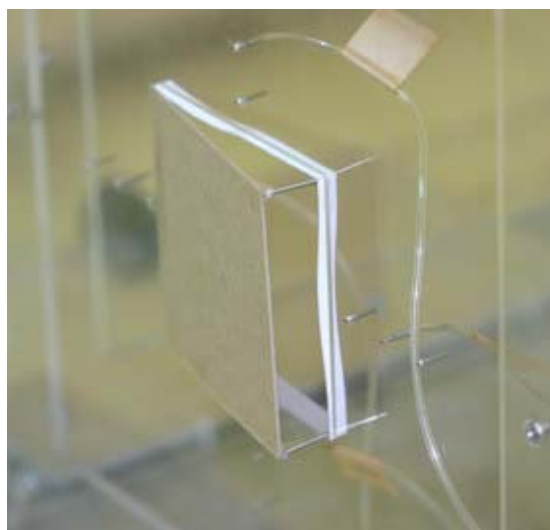
(a) 百葉窗模型



(b) 紗網窗模型



(c) 直立斜開窗模型



(d) 水平斜開窗模型

圖 5.4 百葉窗、紗網和斜開窗模型之影像圖

資料來源：本研究整理

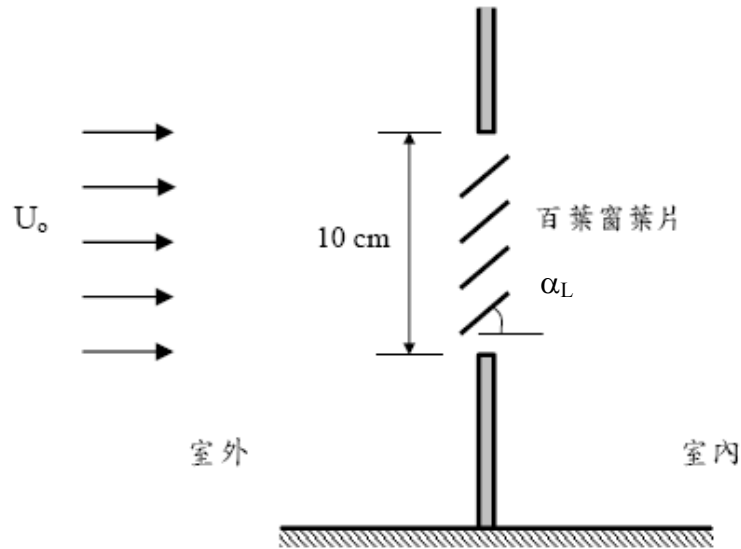


圖 5.5 百葉窗葉片的傾斜角度示意圖

資料來源：本研究整理

圖 5.7 比較方形開口($d = 10 \text{ cm}$)加裝百葉窗(louver)對流量係數的影響，其風向角 $\theta = 0^\circ$ ，面積比 $r_1 = 6.25\%$ 。百葉窗葉片角度有兩種 $\alpha_L = 45^\circ$ 和 $\alpha_L = 60^\circ$ ，圖中方形實心符號為開口不裝任何裝置的數據。由此圖可知：開口加裝百葉窗，對於開口的流量係數影響很大，百葉窗葉片的角度 α_L 愈大，阻滯氣流的效應愈大，通風的效果愈不好。由實驗數據迴歸得的流量係數預測公式：

百葉窗（葉片角度 $\alpha_L = 45^\circ$ ）：

$$\begin{cases} \frac{C_d}{C_{do}} = \left(\frac{Re}{Re_c}\right)^{0.32} & Re < 18000 \\ C_{do} = 0.50 & Re \geq 18000 \end{cases} \quad (5-29)$$

百葉窗（葉片角度 $\alpha_L = 60^\circ$ ）：

$$\begin{cases} \frac{C_d}{C_{do}} = \left(\frac{Re}{Re_c}\right)^{0.23} & Re < 18000 \\ C_{do} = 0.25 & Re \geq 18000 \end{cases} \quad (5-30)$$

圖 5.8 為方形開口($d = 10 \text{ cm}$)加裝外推式斜開窗(outrigger window)和紗窗(screen)之流量係數與雷諾數關係圖，其風向角 $\theta = 0^\circ$ 。此圖顯示直立式和水平式外推式斜開窗的流量係數十分接近，其流量係數的預測公式：

$$\begin{cases} \frac{C_d}{C_{do}} = \left(\frac{Re}{Re_c}\right)^{0.35} & Re < 18000 \\ C_{do} = 0.20 & Re \geq 18000 \end{cases} \quad (5-31)$$

紗窗的流量係數略低於不裝任何裝置的方形開口，預測公式：

$$\begin{cases} \frac{C_d}{C_{do}} = \left(\frac{Re}{Re_c}\right)^{0.533} & Re < 18000 \\ C_{do} = 0.60 & Re \geq 18000 \end{cases} \quad (5-32)$$

以上的實驗結果顯示：在高雷諾數($Re > 18000$)的情況下，流量係數會維持定值。但開口加裝百葉窗、紗窗或不透風式外推窗，對於室內、外空氣的流動造成了阻隔，流量係數皆變小許多。在低雷諾數($Re < 18000$)的情況下，不同的風向、開口形式的流量係數預測公式皆不相同。

圖 5.9 比較不同門的開闔角度下之流量係數與雷諾數的關係圖，由圖中可以看出當門的夾角越小時，因為空氣所受到的阻力變大，因此流量係數也越小，若沒有門的影響則流量係數也會接近 0.6，因此在一般的情況下，建築物內部開口都會受到有門或窗戶的影響使得流量係數變小，通風量自然也會較小。而本研究也利用實驗數據回歸出不同角度下流量係數與雷諾數的關係式：

門(夾角 $\theta_d = 30^\circ$)：

$$C_{di} = 0.27 \left[1 - \exp\left(-\frac{Re}{Re_o}\right) \right] \quad Re_o = 2900 \quad (5-33)$$

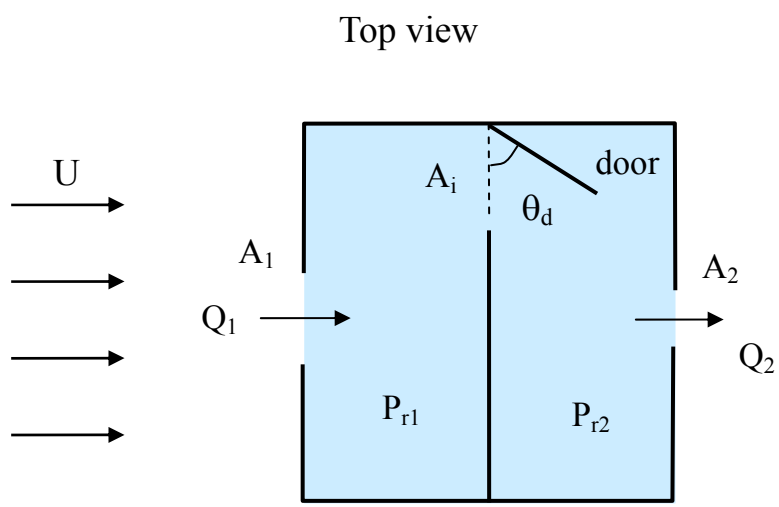


圖 5.6 室內隔間模型裝上門之示意圖與影像圖
資料來源：本研究整理

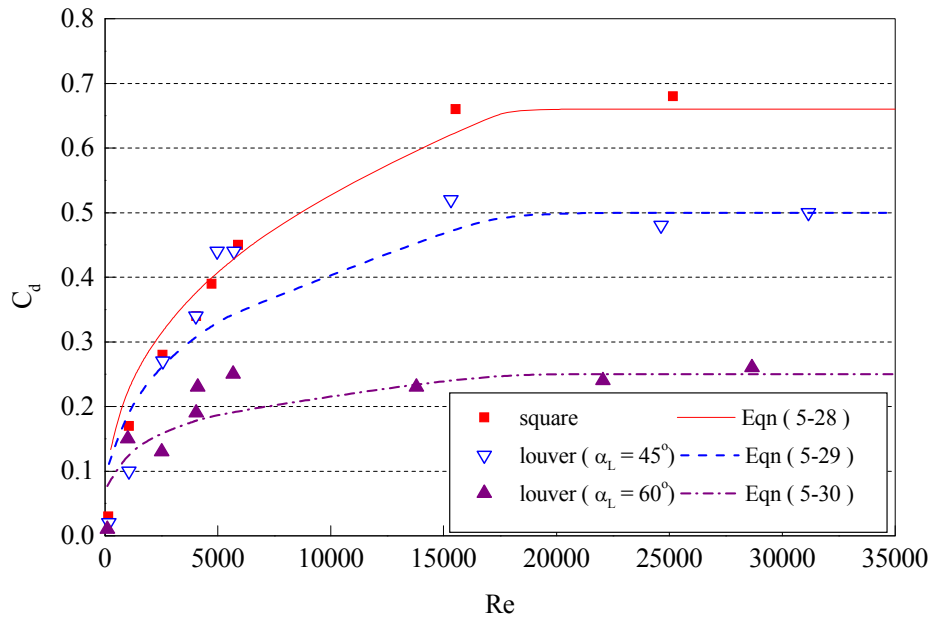


圖5.7 風向角 $\theta = 0^\circ$ ， $r_1 = 6.25\%$ ，百葉窗之流量係數與雷諾數關係圖
資料來源：本研究整理

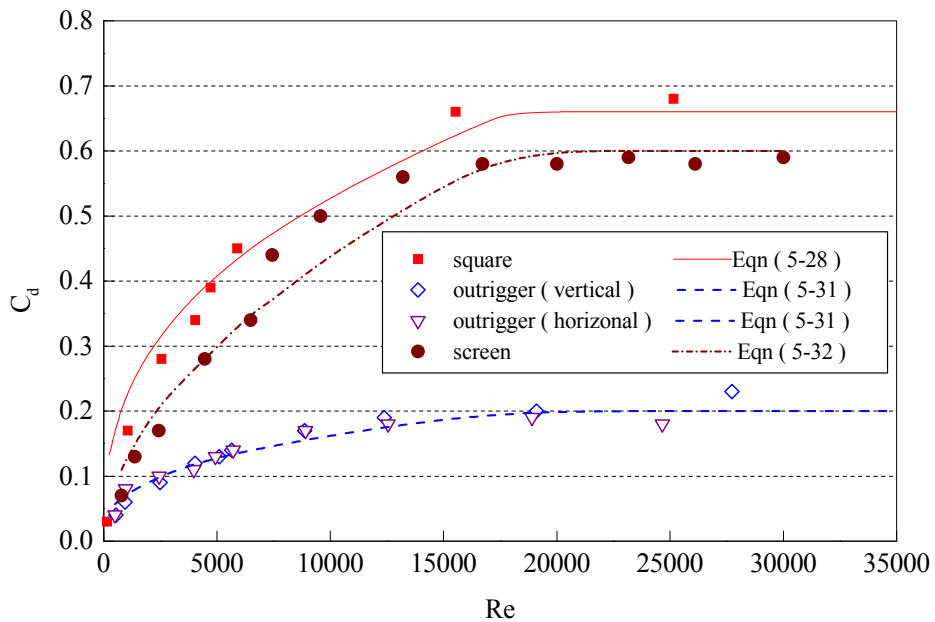


圖5.8 風向角 $\theta = 0^\circ$ ， $r_1 = 6.25\%$ ，紗窗和斜開窗之流量係數與雷諾數關係圖
資料來源：本研究整理

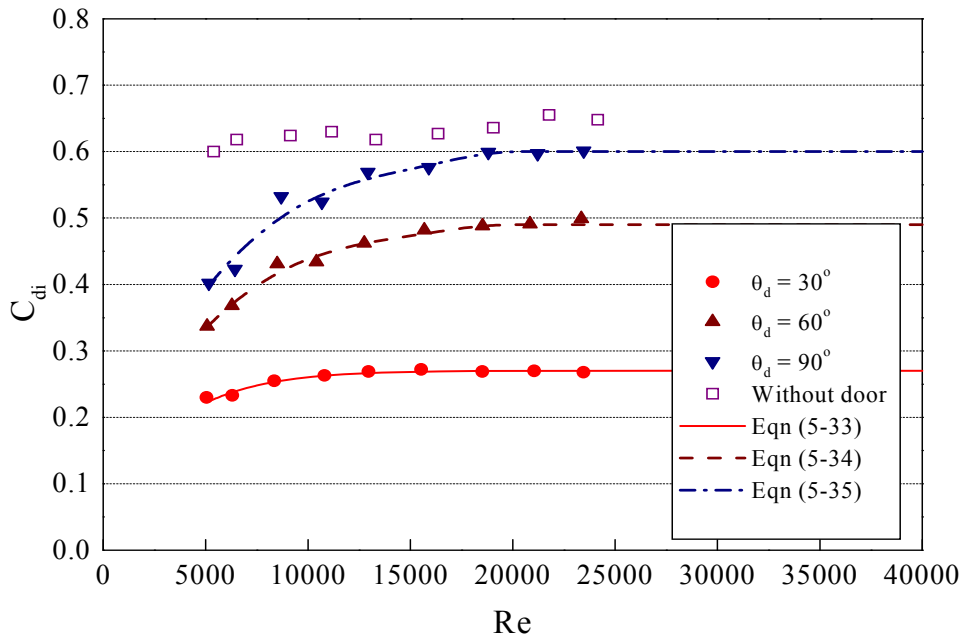


圖5.9 不同門開闔角度之流量係數與雷諾數關係圖

資料來源：本研究整理

門(夾角 $\theta_d = 60^\circ$)：

$$C_{di} = 0.49 \left[1 - \exp\left(-\frac{Re}{Re_o}\right) \right] \quad Re_o = 4390 \quad (5-34)$$

門(夾角 $\theta_d = 90^\circ$)：

$$C_{di} = 0.60 \left[1 - \exp\left(-\frac{Re}{Re_o}\right) \right] \quad Re_o = 4736 \quad (5-35)$$

因此在模式中必須依照建築物的開口特性依序輸入各種參數，而室外風壓與各開口處流量係數就需依賴風洞實驗所得的結果進行整理規劃，因此本模式也可以納入各種前人對於室外風壓與流量係數的研究資料代入模式中進行通風量的計算，而再下一章節的案例說明也會比較開口處有無加裝物其通風量與換氣率的差異性。

第三節 TAIVENT 模式介紹

本計畫所發展的通風模式 TAIVENT (Taiwan Natural Ventilation Model)，為了方便使用者輸入建築物的相關參數，利用 Visual Basics 程式語言寫了一個 Windows 中文介面程式，通風流量的計算則採用 Fortran 程式撰寫。TAIVENT 模式的使用者僅需在 Windows 介面上輸入建築物的相關參數，便可執行建築物通風量的計算，最後再將計算得之通風量和換氣率存入指定的檔案內即可。

以下針對 Windows 介面的使用做一簡單介紹：圖 5.10 為通風模式 TAIVENT 的首頁，按下一頁即可進入建築物座落位置與環境參數的輸入介面，圖 5.11 為建築物座落位置與環境參數的輸入介面，建築物座向的定義為建築物大門與正北方的夾角，即為圖中的 α ，而建築物為逆時針旋轉。此 Windows 介面的使用者可以點選下拉式選單選擇建築物座落的縣市，選擇完後各地的環境參數(溫度、濕度、平均風向、盛行風向)會自動顯示於螢幕上，使用者只需在輸入建築物座向即可再按下一頁。圖 5.12 為建築物尺寸參數的輸入介面，使用者在此介面可以輸入建築物的樓層尺寸與每個房間的尺寸大小，按下確定鍵模式可以自動算出樓層與各房間體積，再按下一頁進入建築物外部開口參數的設定。圖 5.13 為建築物外部開口參數的輸入介面，開口的順序以大門(或落地窗)的面為第一個面，逆時鐘旋轉依序增加，在介面中分別輸入開口正中心的水平與垂直座標，然後設定每個開口的尺寸，而介面中可以選擇此外部開口是否有裝設紗網或百葉窗，若無點選擇便是開口無加裝物，再按確定鍵即可跳入下一頁。圖 5.14 為 TAIVENT 輸入檔與計算結果儲存介面，在介面顯示輸入相關參數，並以文字檔(Text file)的形式儲存中於指定的檔案中，按下執行 Fortran 計算程式鍵後模式便會開始計算通風量的結果，然後將計算結果以文字檔的形式儲存中於指定的檔案中。且可以在介面中看出每個房間的室內壓力、各開口的通風量。



圖 5.10 通風模式 TAIVENT 的首頁

資料來源：本研究整理

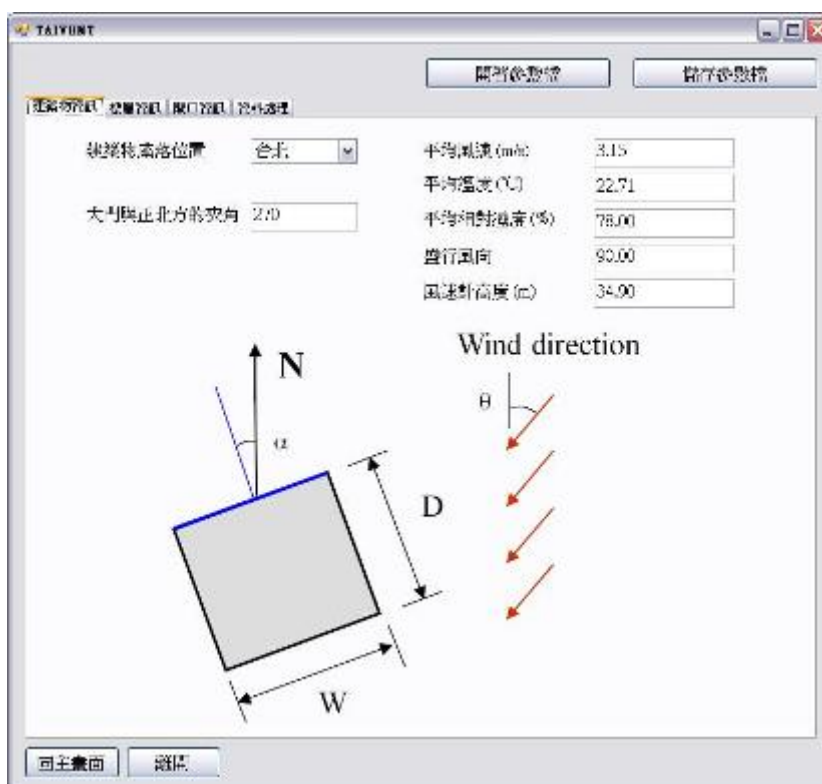


圖 5.11 建築物座落位置與環境參數的輸入介面

資料來源：本研究整理

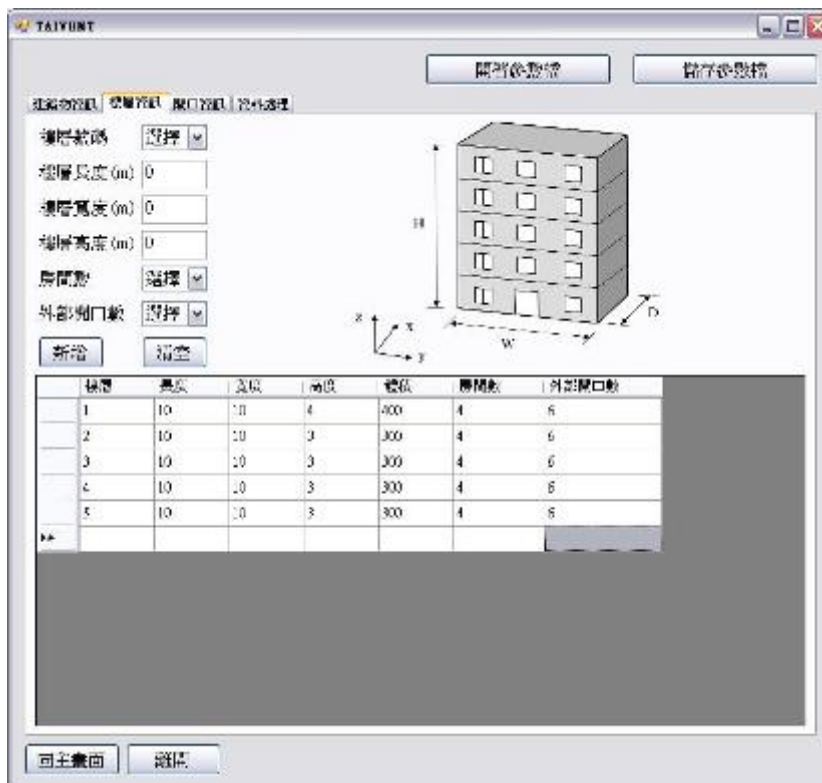


圖 5.12 建築物尺寸參數的輸入介面

資料來源：本研究整理



圖 5.13 建築物開口參數的輸入介面

資料來源：本研究整理

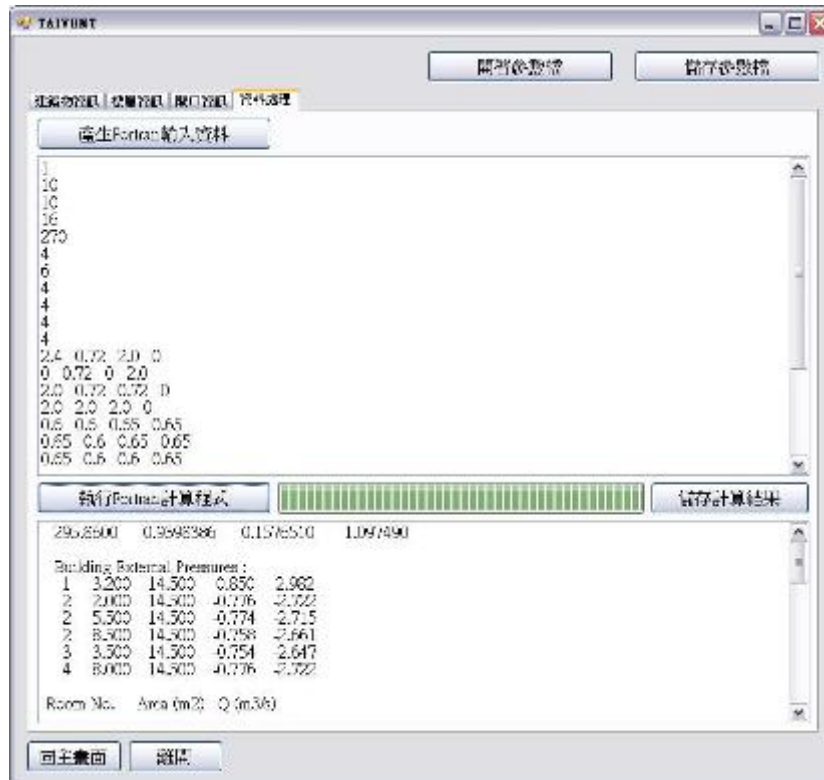


圖 5.14 TAIVENT 輸入檔與計算結果儲存介面

資料來源：本研究整理

第六章 通風計算案例

本研究將台灣 14 個都會型氣象站的資料代入 TAIVENT 模式中進行計算，其氣象站相關資料整理於表 6.1。本章以四個建築物通風案例顯示風壓通風的特性，案例以台北市中正區一棟建築物的通風量計算，假設建築物為五層樓，總高度為 16 m，一樓的高度 4 m、其餘樓層高度皆為 3 m，每層樓的地板面積 100 m² (長度與寬度皆為 10 m)，周遭無其他影響風場之建築物，如圖 6.1。表 6.2 標示了國內常見公寓的樓層高度與門窗尺寸大小。中央氣象局台北測站全年平均風速 $U_{met} = 3.15$ m/s，地況為建築技術規則耐風設計規範所訂定之地況 B，換算可得此棟建築物最高樓層開口處 ($Z = 14.5$ m) 的室外風速 $U = 2.53$ m/s。在氣溫 22.7 °C，相對濕度 78%，空氣密度 $\rho = 1.097$ kg/m³。利用 5.1 節所述之牛頓-拉福森法(Newton-Raphson method)迭代求取各房間的室內壓力 P_{ri} ，再求取各個開口的通風量 Q_j 。

表 6.1 台灣主要城市之氣象資料統計表

站號	測站	平均風速 (m/s)	平均溫度 (°C)	平均相對 濕度(%)	盛行風向	風速計高 度(m)	α
1	台北	3.15	22.71	78	90.0	34.90	0.250
2	基隆	3.44	22.55	79	45.0	34.60	0.250
3	新竹	2.68	22.37	79	45.0	15.60	0.194
4	台中	1.64	23.08	77	0.0	17.20	0.250
5	嘉義	2.30	23.03	81	0.0	14.50	0.167
6	台南	3.17	24.14	78	0.0	37.60	0.218
7	高雄	2.42	24.77	77	0.0	14.00	0.150
8	恆春	3.59	25.15	76	45.0	14.30	0.194
9	宜蘭	1.78	22.43	83	270.0	26.00	0.150
10	花蓮	2.54	23.24	79	247.5	12.00	0.173
11	台東	2.64	24.31	75	337.5	11.40	0.150
12	澎湖	4.63	23.42	82	22.5	14.60	0.150
13	梧棲	5.03	22.99	77	0.0	33.20	0.130
14	淡水	2.41	22.20	80	45.0	12.20	0.150

資料來源：本研究整理

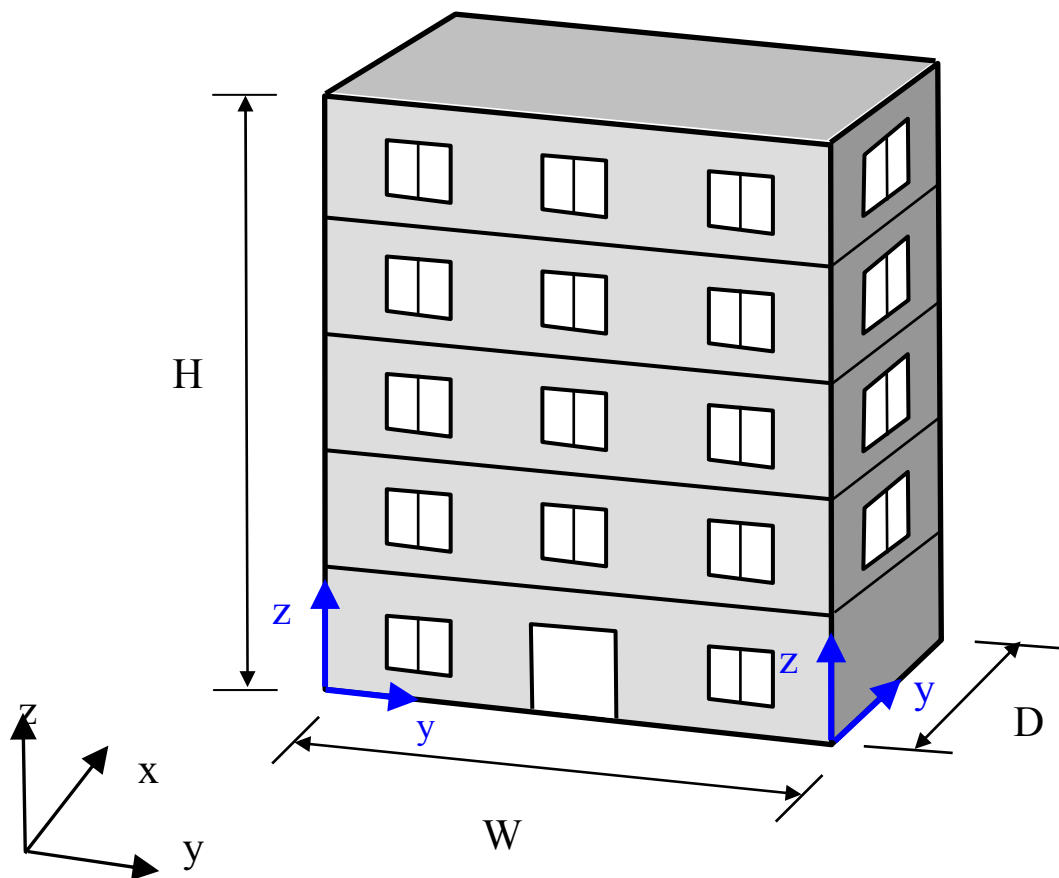


圖 6.1 矩形建築物示意圖

資料來源：本研究整理

建築物所在地的盛行風向（與北方夾角）可由中央氣象局 1961~2008 年的氣象資料統計而得。除此之外，還有另一個重要的角度是建築物（大門）座向與北方的夾角。本研究將盛行風向夾角定義為 θ ，而建築物座向夾角定義為 ϕ ，此外盛行風向依據中央氣象局的慣例定義為順時鐘旋轉，但建築物座向的角度則定義為逆時鐘旋轉。因此盛行風向與建築物座向的真實夾角為 $\theta + \phi$ ，當此夾角超過 360° 的話，要在扣除 360° 即為真實的角度。圖 6.2 標示了盛行風向與建築物座向定義之示意圖，藍色面（第一個面）代表有大門（或落地窗）的面，以此面計算與北方的夾角 ϕ ，然後逆時針旋轉編號每一個面。

表 6.2 建築物之樓層高度與門窗尺寸

建築物	尺寸 (m)
居室高度	3.0
窗台度	1.0
窗寬度	1.2
窗高度	1.2
門寬度	1.0
門高度	2.0
落地窗寬度	2.4
落地窗高度	2.0

資料來源：本研究整理

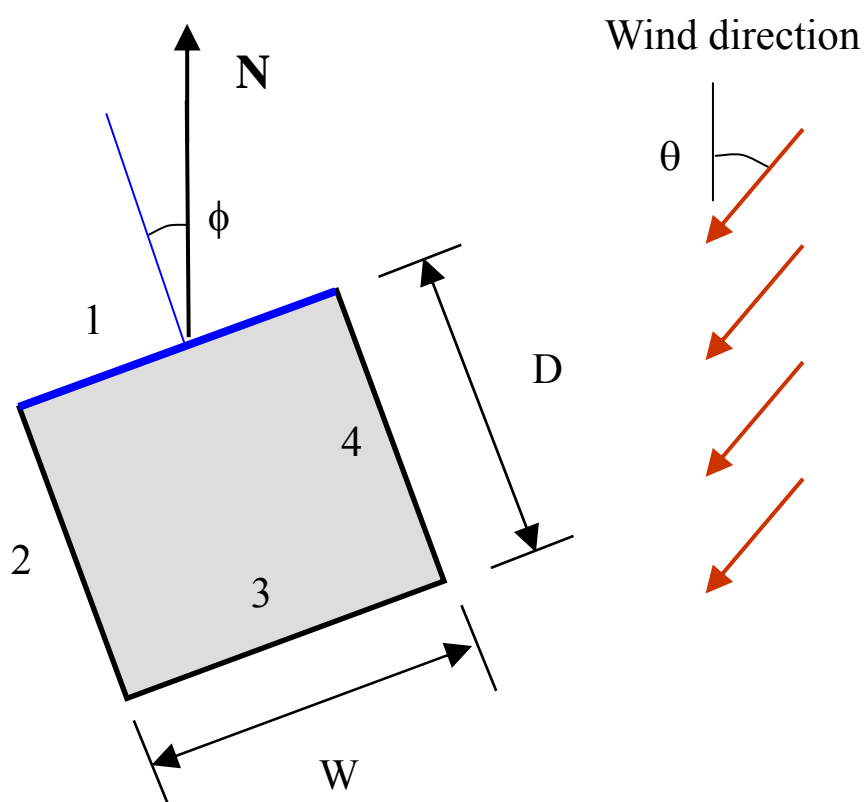


圖 6.2 建築物座向與盛行風向之示意圖

資料來源：本研究整理

本計畫針對以下四個案例的通風量計算逐一說明：

案例 1：

建築物最高樓層的室內無隔間，迎風面和背風面的正中央各有一個開口 (Opening)，開口位置($y/W = 0.5$ ， $z/H = 0.906$)，開口面積 $A_1 = A_2 = 0.72 \text{ m}^2$ ，建築兩側外牆無開口，如圖 6.3 所示。開口處外牆的風壓係數 $C_{pe1} = 0.88$ ， $C_{pe2} = -0.76$ ，開口處流量係數 C_d 皆為 0.65。在風向為 $\theta = 0^\circ$ 狀況下，流況屬於貫流通風。模式計算結果：通風量 $Q = 1.07 \text{ m}^3/\text{s}$ 、換氣率 $\text{ACH} = 12.87 \text{ hr}^{-1}$ 。當風向 $\theta = 90^\circ$ 的狀況下，氣流平行於建築物兩側外牆的開口，開口處的風剪力引起室內外氣流的交換，稱為剪力通風(Shear-induced ventilation)，其通風量可用陳仁浩(2010)所建議之公式計算 $Q = 0.21 \text{ m}^3/\text{s}$ 、換氣率 $\text{ACH} = 2.57 \text{ hr}^{-1}$ 。

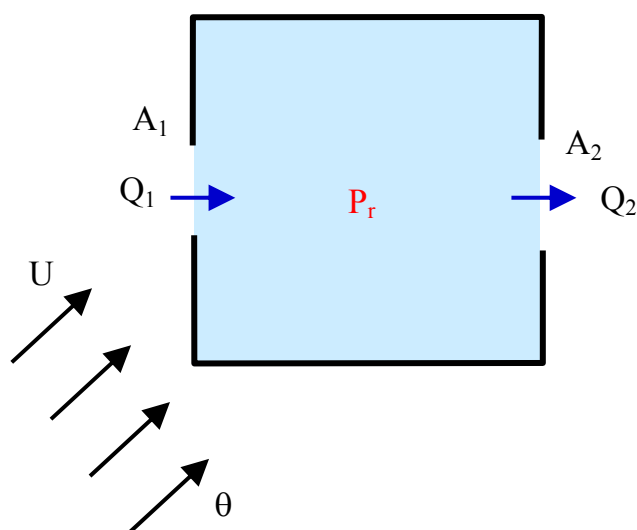


圖 6.3 案例 1 的樓層平面圖(上視圖)

資料來源：本研究整理

其他風向的通風量 Q 及換氣率 ACH 如表 6.3 所示。換言之，風向角愈小，通風量及換氣率愈大。建築物若想充分利用風壓通風，建築物的座向配合盛行風向，且在迎風面、背風面應該皆有大型開口。依據建築技術規則建築設計施備編(2009)第 102 條訂定之起居室、臥室、私人辦公室單位樓地板面積最小的換氣量為 $8.0 \text{ m}^3/\text{hr}/\text{m}^2$ ，計算得此流況下之 $\text{ACH} = 2.33$ 。由表 6.3 的結果可知：各個風向的換氣量皆滿足建築技術規則的標準。

表 6.3 案例 1 各角度之通風量與換氣率

θ	Q (m^3/s)	ACH (hr^{-1})
0°	1.07	12.87
22.5°	0.99	11.86
45°	0.76	9.08
67.5°	0.41	4.91
90°	0.21	2.57

資料來源：本研究整理

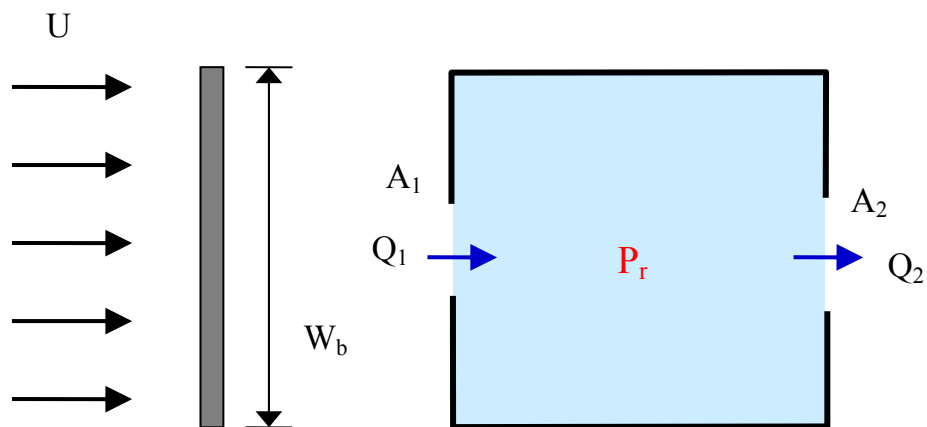


圖 6.4 案例 1(b)有擋風牆影響之貫流通風示意圖

資料來源：本研究整理

為了探討建築物通風是否會受到建築物外的其他建築的影響，本研究利用風洞實驗有擋風牆（第四章第二節）之風壓量測結果來計算有阻礙物影響之通風量。擋風牆尺寸與風洞模型實驗的比例相同，擋風牆高度 $H_b = 10.7 \text{ m}$ ，寬度 $W_b = 10.7 \text{ m}$ ，位於建築物前方 16 m ，如圖 6.4 所示。由風洞實驗之風壓係數 ($C_{pe1} = 0.25$, $C_{pe2} = -0.17$) 計算案例 1 在風向為 $\theta = 0^\circ$ 狀況下的通風量。因為最高樓層處的迎風風壓大於背風面風壓，因此流況屬於貫流通風，通風量 $Q = 0.54 \text{ m}^3/\text{s}$ 、換氣率 $\text{ACH} = 6.5 \text{ hr}^{-1}$ 。因此受到擋風牆阻礙的影響，通風量僅為無阻礙物的 60%。

案例 2：

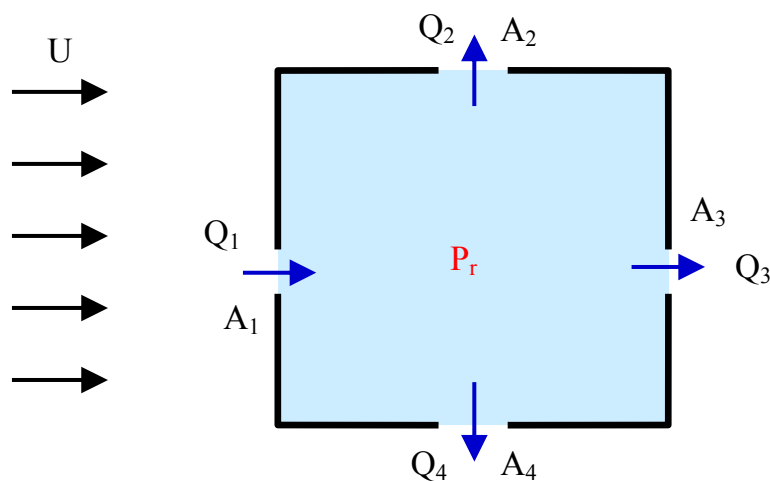


圖 6.5 案例 2 的樓層平面圖(上視圖)

資料來源：本研究整理

五層樓建築物之最高樓層四面牆的正中央上各有一個開口，室內無隔間，如圖 6.5 所示。開口面積 $A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = 0.72 \text{ m}^2$ ，開口處外牆的風壓係數 $C_{pe1} = 0.88$ ， $C_{pe2} = C_{pe4} = -0.77$ ， $C_{pe3} = -0.76$ ，開口處流量係數 C_d 皆為 0.65。通風量之計算模式，計算結果顯示：在風向為 $\theta = 0^\circ$ 狀況下，室內風壓係數 $C_{pi} = -0.65$ ，通風量 $Q_1 = 1.44 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $Q_2 = -0.49 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $Q_3 = -0.47 \text{ m}^3/\text{s}$ 、 $Q_4 = -0.49 \text{ m}^3/\text{s}$ ，其中 Q_1 為流進室內空間的通風量，其餘皆為流出室內空間的通風量，因此換氣率 $\text{ACH} = 17.29 \text{ hr}^{-1}$ 。換氣率大於僅迎風面、背風面有開口的貫流通風。換言之，若建築物想充分利用風壓通風，建築物四面牆上應該皆有大型開口。

案例 3：

建築物最高樓層隔成前後兩間，迎風面、背風面及內部隔間牆各有一個開口，外部開口面積 $A_1 = A_2 = 0.72 \text{ m}^2$ ，內部開口 $A_i = 2.0 \text{ m}^2$ ，建築物兩側外牆無開口，如圖 6.6 所示。開口處外牆的風壓係數 $C_{pe1} = 0.88$ ， $C_{pe2} = -0.76$ ，室內外開口處流量係數 C_d 皆為 0.65。在風向為 $\theta = 0^\circ$ 狀況下，室內風壓係數 $C_{pi1} = 0.11$ 、 $C_{pi2} = 0.01$ ，

通風量 $Q = 1.04 \text{ m}^3/\text{s}$ 、換氣率 $\text{ACH} = 12.47 \text{ hr}^{-1}$ 。在相同的狀況下，若內部開口面積縮小 $A_i = 0.2 \text{ m}^2$ ，通風量 $Q = 0.13 \text{ m}^3/\text{s}$ 、換氣率 $\text{ACH} = 1.56 \text{ hr}^{-1}$ （案例 3(b)）。換言之，貫流通風的狀況下，室內的開口愈大，換氣率愈大，愈接近無隔間之貫流通風的換氣率，亦即可藉由控制內部開口的面積來調節通風量。表 6.4 為以上案例在風向角 $\theta = 0^\circ$ 狀況下的比較結果。

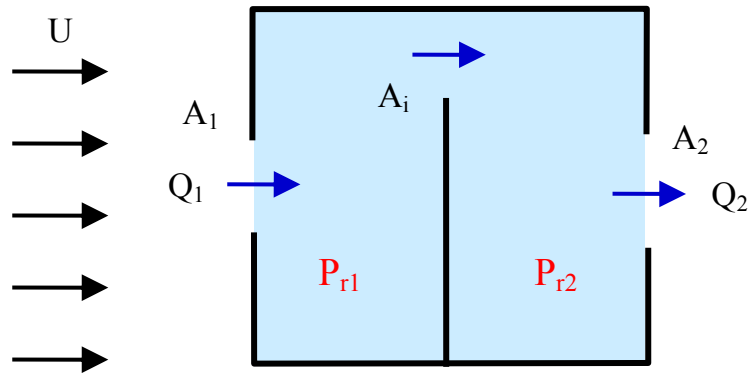


圖 6.6 案例 3 的樓層平面圖(上視圖)

資料來源：本研究整理

表 6.4 各案例在風向角 $\theta = 0^\circ$ 狀況下之通風量與換氣率

案例	$Q \text{ (m}^3/\text{s)}$	$\text{ACH (hr}^{-1}\text{)}$
1	1.07	12.9
1(b)	0.54	6.5
2	1.44	17.3
3	1.04	12.5
3(b)	0.13	1.56

資料來源：本研究整理

案例 4：

建築物最高樓層隔成數個大小不同的房間，每個房間經由門通到另一個房間，客廳則有一個大型的落地窗，其他連接到室外的開口皆為窗戶，如圖 6.7 所示。計算時將此樓層隔成七個區塊，其中左下角三個房間並無向外的開口，因此自然通風量很小，不予以計算，故僅需計算四個區塊的通風量。圖 6.8 所示的紅色框線即為區塊的邊界，開口 A_{ij} 和通風量 Q_{ij} 中的下標 i 代表房間的序號， j 代表開口的序號，皆按逆時鐘方式排序。

此案例共有六個室外開口，其中 A_{11} 為落地窗， A_{14} 為居室連接外部樓梯間的門，在計算中假設為關閉的，因此本扇門開口面積 $A_{14} = 0$ ，其餘的室外開口皆為窗戶，而室內的開口皆有門互相連通，在案例中假設門都是全開的。由風洞實驗得知： A_{11} 的風壓係數為 0.85， A_{12} 的風壓係數為 -0.78， A_{22} 的風壓係數為 -0.77， A_{32} 的風壓係數為 -0.76， A_{33} 的風壓係數為 -0.75， A_{14} 的風壓係數為 -0.78。

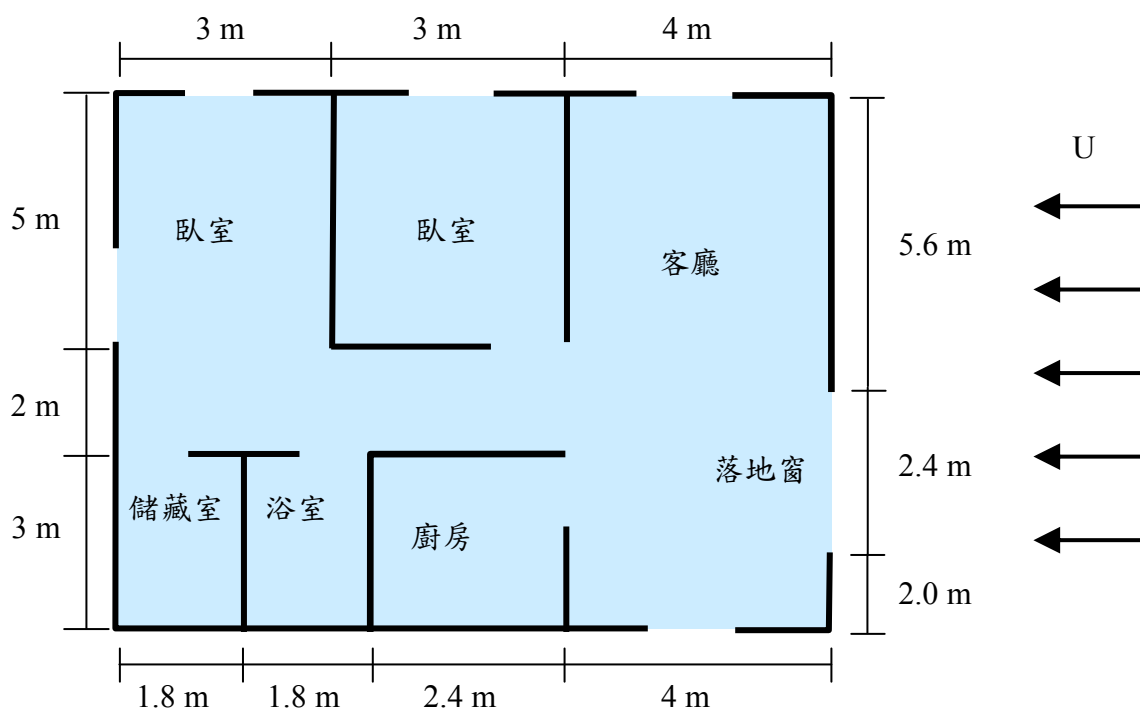


圖 6.7 案例 4 的樓層平面圖(上視圖)

資料來源：本研究整理

經由 TAIVENT 模式可計算出每個房間的室內壓力 P_r 與各開口的通風量 Q ，圖 6.9(a)、6.9(b)、6.9(c)分別為在風向角 $\theta = 0^\circ$ 、 90° 、 180° 時，開口處無加裝物下，每個房間的室內壓力與通風量結果。由圖中可以清楚地看出：當風向改變時，各個房間的空氣流向與通風量也會隨之而變，且各房間皆維持質量守恆的原則。換言之，TAIVENT 模式可用於評估在各種風向下、建築物開口位置、大小等設計對風壓通風的影響，因而可找出最利於自然通風的建築設計。

一般建築物的窗戶都會裝上紗網(screen)或是百葉窗(louver)等加裝物，而窗戶加裝物對通風的影響主要差異是開口流量係數的改變。第五章第二節列舉了不同窗戶加裝物的流量係數，在高雷諾數的狀況下，流量係數不隨雷諾數而變，可以視為定值。若開口無加裝任何物體，流量係數 $C_d = 0.65$ ，而在加裝紗網的流量係數 $C_d = 0.6$ ，而百葉窗夾角 $\alpha_L = 45^\circ$ 的情況下流量係數 $C_d = 0.5$ 。而室內開口門的開闔角度也會影響流量係數的計算，因此本研究將門的開闔角度設為全開，角度為 90° ，所以使用的流量係數 $C_d = 0.6$ 。流量係數愈小，通風量愈小。若門為緊閉，只要將開口面積設定為 $A = 0$ 。

TAIVENT 模式在輸入建築物開口面積、特性時，可選擇開口是否有加裝紗網或是百葉窗。本節假設案例 4 的外部開口皆有裝設紗網或是百葉窗，利用 TAIVENT 模式計算開口處加裝物對案例 4 通風量的影響，設定之開口面積、風壓係數列於表 6.5。由於真實風場的雷諾數往往 $Re > 10^4$ ，屬於高雷諾數的範圍，因此流量係數可以使用定值。表 6.6 為模式計算得之通風量與各房間的換氣率，表中的結果除了比較風向角 $\theta = 0^\circ$ 、 180° ，也有分別比較裝上紗網與百葉窗的結果。在相同的風向角下，無加裝物的通風量 Q 與換氣率最大，裝上紗網的通風量為無加裝物的通風量的 92%，而裝上百葉窗的通風量為無加裝物的通風量的 86%。其主要原因是因為加裝物阻礙氣流(流量係數變小)，致使通風量變小。而不同風向角的主要差異即是迎風面房間的通風量較背風面房間大，而換氣率會每個房間體積而有所差異，因此換氣率在不同的建築物其大小並無一個趨勢可言。

案例 4 亦利用有擋風牆之風洞實驗風壓係數探討周遭其他建築物對風壓通風的影響。擋風牆尺寸與風洞模型實驗的比例相同，擋風牆高度 $H_b = 10.7 \text{ m}$ ，寬度 $W_b =$

10.7 m，位於建築物前方 16 m（一倍建築物高度），如圖 7 所示。由風洞實驗之風壓係數計算在風向為 $\theta = 0^\circ$ 狀況下最高樓層處的通風量，因為該處的迎風面風壓 ($C_{pe1} = 0.25$) 大於背風面風壓 ($C_{pe2} = -0.17$)，因此流況屬於貫流通風，落地窗的通風量 $Q_{11} = 1.87 \text{ m}^3/\text{s}$ ，小於無擋風牆的通風量 $3.14 \text{ m}^3/\text{s}$ 。換言之，受到擋風牆阻礙的影響，通風量僅為無擋風牆的 60%。實際建築物周遭其他建物的配置各不相同，若藉由風洞實驗或數值模式求得受其他建物影響之建築物表面的風壓係數，亦可以利用 TAIVENT 模式計算受周遭其他建物影響之風壓通風量。

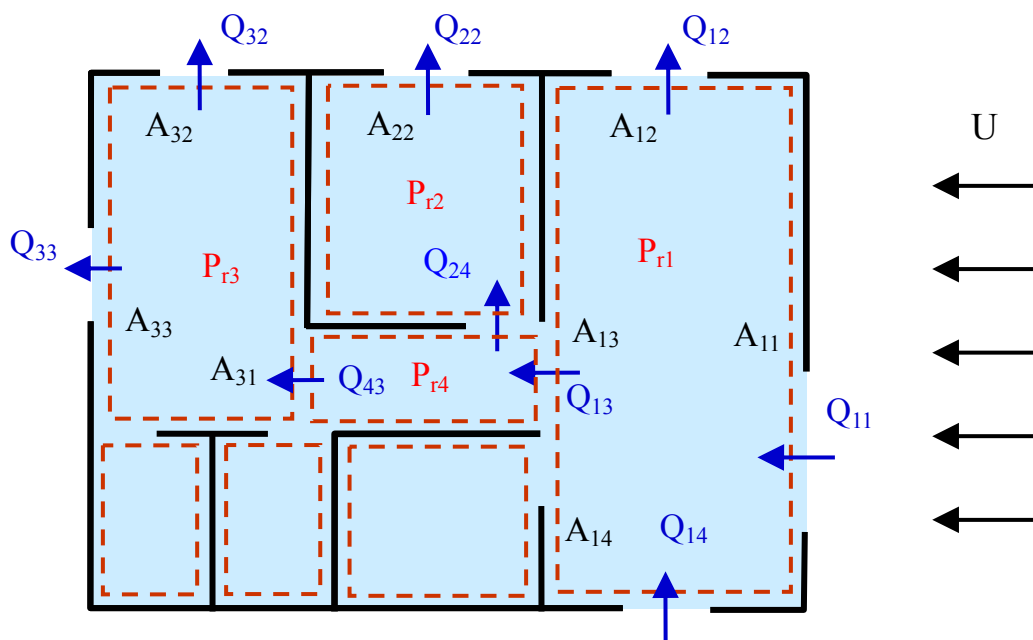


圖 6.8 案例 4 各區塊之示意圖

資料來源：本研究整理

TAIVENT 模式將拓展到可計算浮力通風及門縫的滲隙風，國內的建築師可藉此設計出最能配合當地氣候條件的建築設計(座向、門窗開口之位置、面積大小、室內隔間)，提升國內建築節能的技術。建築物在完工之後，亦可利用 TAIVENT 模式計算建築物在不同季節，適合使用自然通風的時段(白天、夜晚)或時數，以減少建築物對機械通風的依賴，有效達到建築物節能、減碳之目的，並創造舒適的室內環境。

表 6.5 案例 4 各開口參數

各房間開口	面積 (m ²)	C _p (0°)	C _p (180°)
A ₁₁	2.4	0.98	-0.15
A ₁₂	0.72	-0.6	-0.6
A ₁₃	2.0	-0.02	-0.0
A ₁₄	0.0	0.0	0.0
A ₂₁	0.0	0.0	0.0
A ₂₂	0.72	-0.6	-0.6
A ₂₃	0.0	0.0	0.0
A ₂₄	2.0	-0.02	-0.06
A ₃₁	2.0	-0.02	-0.06
A ₃₂	0.72	-0.6	-0.6
A ₃₃	0.72	-0.15	0.98
A ₃₄	0.0	0.0	0.0
A ₄₁	2.0	0.35	0.15
A ₄₂	2.0	-0.09	-0.12
A ₄₃	2.0	-0.14	0.23
A ₄₄	0.0	0.0	0.0

資料來源：本研究整理

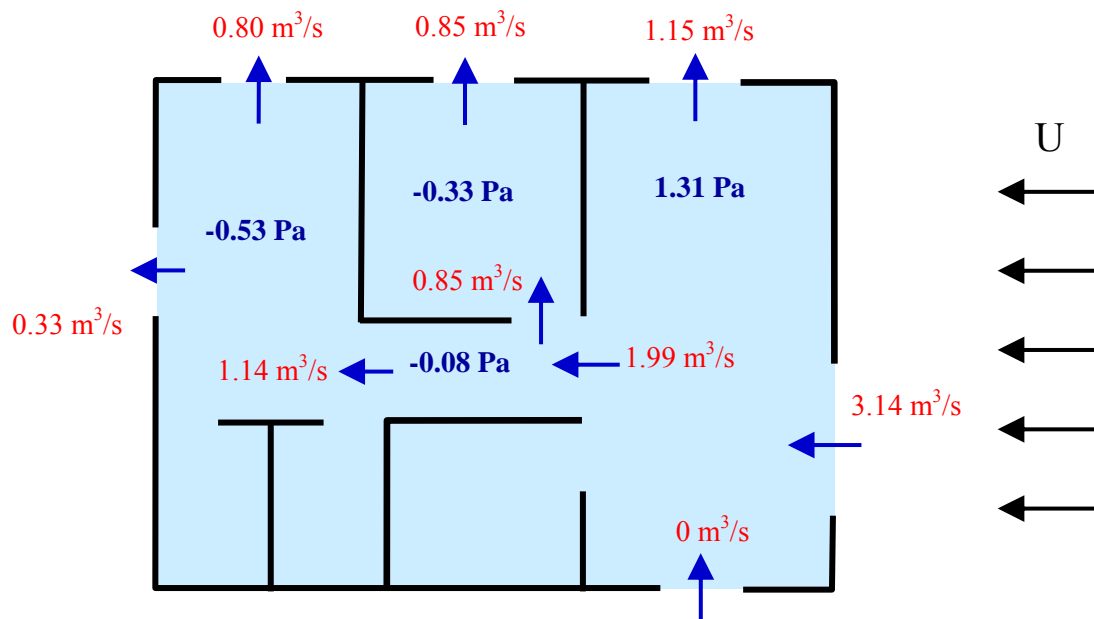


圖 6.9(a) 案例 4 在風向角 $\theta = 0^\circ$ 時，開口無加裝物之通風量示意圖
資料來源：本研究整理

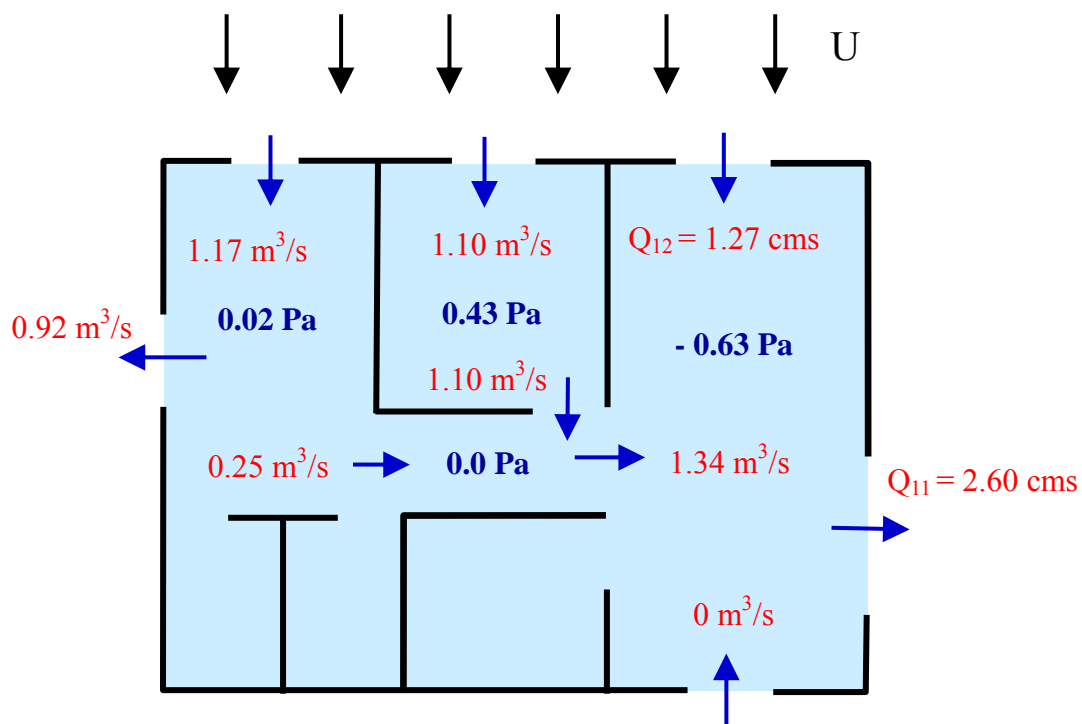


圖 6.9(b) 案例 4 在風向角 $\theta = 90^\circ$ 時，開口無加裝物之通風量示意圖
資料來源：本研究整理

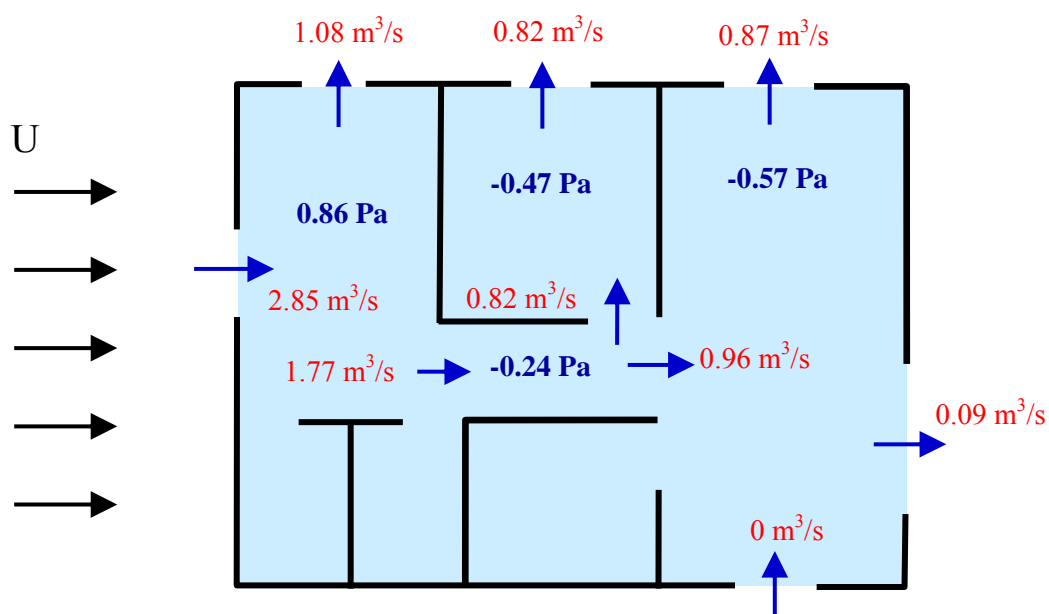


圖 6.9(c) 案例 4 在風向角 $\theta = 180^\circ$ 時，開口無加裝物之通風量示意圖
 資料來源：本研究整理

表 6.6 案例 4 的計算結果

$\theta = 0^\circ$ (窗戶無加裝物)				$\theta = 180^\circ$ (窗戶無加裝物)		
	P_r (Pa)	Q (m ³ /s)	ACH (hr ⁻¹)	P_r (Pa)	Q (m ³ /s)	ACH (hr ⁻¹)
Room 1	1.31	3.14	94.2	-0.57	0.97	29.1
Room 2	-0.33	0.85	68	-0.47	0.82	65.6
Room 3	-0.53	1.14	65.1	0.86	2.85	162.9
Room 4	-0.08	1.99	398	-0.24	1.77	354
$\theta = 0^\circ$ (窗戶有百葉窗)				$\theta = 180^\circ$ (窗戶有百葉窗)		
	P_r (Pa)	Q (m ³ /s)	ACH (hr ⁻¹)	P_r (Pa)	Q (m ³ /s)	ACH (hr ⁻¹)
Room 1	1.64	2.70	81	-0.56	0.85	25.5
Room 2	0.13	0.73	58.4	-0.44	0.65	52
Room 3	-0.08	1.02	58.3	0.64	2.28	130.3
Room 4	0.35	1.77	354	-0.26	1.48	296
$\theta = 0^\circ$ (窗戶有紗網)				$\theta = 180^\circ$ (窗戶有紗網)		
	P_r (Pa)	Q (m ³ /s)	ACH (hr ⁻¹)	P_r (Pa)	Q (m ³ /s)	ACH (hr ⁻¹)
Room 1	1.31	2.90	87	-0.57	0.89	26.7
Room 2	-0.33	0.78	62.4	-0.47	0.75	60
Room 3	-0.53	1.05	60	0.86	2.63	150.3
Room 4	-0.08	1.84	368	-0.24	1.64	328

資料來源：本研究整理

第七章 結論與建議

第一節 結論

本研究共完成了三個研究成果：1.分析整理全台灣 25 個氣象站 1961~2008 年的氣象資料；2.量測矩形建築物表面風壓分佈之風洞實驗；3.建立一個具有 Windows 介面的風壓通風計算模式(TAIVENT 模式)。本研究將分析後的台灣各地氣象資料(風速、風向、氣溫、濕度)建立一個資料庫，風洞實驗得到的建築物表面風壓資料成立另一個資料庫，TAIVENT 模式與這兩個資料庫結合，可計算各種建築物座向、室內隔間、開口位置、大小及是否有裝紗窗或百葉窗的風壓通風量和換氣率。

使用 TAIVENT 模式時可藉由中文的 Windows 介面來輸入建築物參數，模式使用者無需瞭解通風理論與程式語言。國內建築師或建築系學生都可以方便地輸入各種建築參數，經由模式的計算後可將建築物每個房間的通風量與換氣率結果顯示於螢幕上或儲存在檔案中。建築師可利用 TAIVENT 模式找出最能配合當地氣候條件的建築設計，或評估一般建築物可使用風壓通風的季節與時段。

由 TAIVENT 模式計算得之結果可以看出：建築物的座向、開口位置、大小及室內隔間皆與風壓通風有著密不可分的關係。而裝上紗網與百葉窗的通風量略小於無加裝物的通風量。若想充分利用風壓通風，可在建築物迎風面、背風面設置可開關的大型開口(落地窗)，且可藉由控制內部開口的面積來調節通風量。

本研究所整理的 48 年平均氣象資料可以代表全台灣的氣候情況，因此不僅是可以用於本研究中，也可以提供其他學術研究作為台灣氣象資料的參考。依據本計畫整理的台灣地區的月平均氣溫、風速資料來看，台灣的春、秋、冬三季適合使用風壓通風，一般住家可以避免使用冷氣，僅使用自然通風與風扇即可，因此可以有效的降低能源的消耗。此外台灣屬於高濕度的國家，因此要如何降低室內空氣濕度、改善人體舒適度也是另一個可以深入研究的方案。

本研究所發展的 TAIVENT 模式目前僅考慮風壓通風對建築物室內通風的影響，無法計算機械通風及熱浮力驅動之通風量。TAIVENT 模式不適用的狀況包括有：

(1) 有設置通風機械(抽風機、送風機、冷氣機、中央空調)的建築物。

- (2) 建築物室內溫度差異在 5°C 以上。
- (3) 門窗縫隙的滲漏風量過大之建築物。
- (4) 建築物外型為矩形之建築物。
- (5) 建築物周遭並無足以影響風場的障礙物或建築物。

未來可利用 TAIVENT 模式之架構，加入熱浮力通風的部份，甚至是天窗、煙囪等在屋頂的開口設計，或是滲隙風與機械通風，擴充 TAIVENT 模式適用的狀況。此外，風洞實驗僅量測矩形建築物的表面風壓分佈，其他外型的建築物及周遭有影響風場的建築物之表面風壓可藉由風洞模型實驗或計算流體動力學模式求得，再輸入到 TAIVENT 模式中，來計算建築物的通風量與換氣率。後續的研究可讓 TAIVENT 模式更成熟的發展，更廣泛地應用在台灣地區의各種建築物通風設計。

第二節 建議

根據本計畫的研究成果，研究單位在此提出下列具體建議，以下分別從立即可行的建議及長期性建議加以列舉。

1. 立即可行之建議：

研究浮力通風對台灣建築物的適用性：

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、行政院公共工程委員會

本研究所建立的 TAIVENT 模式屬於初步發展階段，因此僅考慮風壓通風對建築通風的影響。其實自然通風包括風壓通風與浮力通風，因此未來的研究計畫可以針對台灣的氣候特性，探討在不同的建築設計(譬如天窗、煙囪在屋頂的開口)下，浮力通風在台灣地區常見建築物的適用性，並在 TAIVENT 模式中加入浮力通風的計算，讓 TAIVENT 模式更加的完善，成為國內業界設計建築通風的工具，讓自然通風真正地在台灣落實，減少建築物的耗能。

2. 長期性建議：

研究室內障礙物對建築物通風的影響

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署、行政院公共工程委員會

本研究所發展的 TAIVENT 模式目前可以計算建築物各種室內隔間的通風量與換氣率，但無法計算室內有大型障礙物，如屏風、書架、傢俱、樑柱或辦公室隔間(Partition)等的通風量。不僅 TAIVENT 模式無法考慮室內障礙物，國外所發展的多區塊模式亦無法計算室內障礙物對於通風量的影響。因此未來可採用阻抗模式(Resistance model)，研究各種常見傢俱對氣流所造成的阻抗，再計算對建築物通風量影響的程度，讓設計者可以清楚的知道室內阻抗如何影響建築物通風量與換氣率。

期中審查會議記錄與回應

內政部建築研究所 99 年度研究計畫「大型懸挑屋蓋結構之風載重研究」、
「台灣地區建築物室內自然通風模式之建立研究」及「建築模型在不同紊流強度及攻角下氣動力特性之研究」等三案期中審查會議紀錄

一、日期：99 年 7 月 30 日（星期五）上午 9 時 30 分

二、地點：大坪林聯合辦公大樓 13 樓第一會議室

三、主持人：陳所長瑞鈴

四、記錄：劉文欽、黎益肇

審查意見回應對照表

審查委員	審查意見	回應
張景鐘教授	<ol style="list-style-type: none"> 1.本研究案對國內建築通風設計有很大的幫助。 2.台灣地區為高溫高濕度之環境，建議針對其影響通風流量計算式須修正之部分補充說明。 3.建議計算案例採國內典型建物開口面積比例，以利未來實務應用。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.感謝委員肯定。 2.空氣的相對濕度並不會影響到室內通風量與換氣率，但會影響人體的舒適度。 3.感謝委員的建議，未來將會參考台灣實際常見建築物開口與開窗的尺寸。
蕭葆義教授	<ol style="list-style-type: none"> 1.本案擬將 TAIVENT 模式採用如 Windows 介面操作方式進行分析，具有高度之實用性。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.感謝委員肯定。
蔡益超教授	<ol style="list-style-type: none"> 1.由通風模式之公式中，通風量 Q 與迎風面與背風面的壓力差有關，但為何與風速 U 無關。 2.TAIVENT 模式計算通風量時，應先取得開口處之壓力。如採用風洞試驗之資料，而室內隔為多區塊時，壓力分佈是否會受影響。 3.氣象局之十分鐘風速資料，為何僅取每小時最後十分鐘。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.風速大小與風壓有關，當風速越大時，建築物的室內外壓差越大，使得空氣的流通更旺盛，因此通風量也越大。 2.室內有隔間或是阻擋物並不會影響建築物外部的表面風壓，因此風洞實驗只需量測表面壓力，之後再來計算室內風壓即可得知通風量。 3.中央氣象局為節省資料儲存空間因此只紀錄每一個小時

審查委員	審查意見	回應
		最後 10 分鐘的平均風速。
林組長建宏	<ol style="list-style-type: none"> 1.本研究在風洞試驗中不同地況條件可否一併考慮。 2.TAIVENT 模式是否有使用上之限制。 3.浮力通風在建築通風設計上具有一定效果，可否一併探討。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.未來可以加入不同地況的考量。 2.本模式的使用還是有一定的限制，關於鄰棟建築物的影響會隨建築物的大小、間距、排列方式而異，較難有定量的方式計算。 3.至於浮力通風部分本計劃不加以考慮。
陳所長瑞鈴	<ol style="list-style-type: none"> 1.本案所開發之 TAIVENT 模式為提供國內設計者在規劃建築自然通風之參考，建議召開工作會議，聽取業界之意見，提昇本模式之實用性。 2.本案案名為「台灣地區建築物室內自然通風模式之建立研究」，故僅考慮自然通風即可。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.將來可以請建築師公會與業者參與工作議程，以提供各種意見，提升本模式實用性。 2.感謝委員的寶貴意見。
黎博士益肇	<ol style="list-style-type: none"> 1.目前風洞試驗採用封閉模型，與開窗形式模型流場應有不同，兩者壓力值誤差為多少。 2.中央氣象局風速資料之各地區邊界層厚度與 α 值如何求得。 3.建議例題之條件參數可以表列方式呈現。 4.建議報告中加入通風模式驗證結果，如與風洞試驗或現場量測之驗證。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.之前在中央大學風洞實驗室所做過的研究中發現：開口形狀大小並不會影響表面風壓。 2.氣象資料的邊界層高度是依照氣象站的當地地況所推估而得。 3.案例中各種參數將會以表列式方法呈現。 4.本計劃成果會加以驗證模式的實用性。

專家座談會之會議記錄與回應

內政部建築研究所 99 年度研究計畫「台灣地區建築物室內自然通風模式之建立研究」專家座談會之會議紀錄

- 一、日期：99 年 10 月 29 日（星期五）上午 9 時 00 分
 二、地點：中央大學土木工程學系 E-117 會議室
 三、主持人：朱教授佳仁
 四、記錄：王宇文

審查意見回應對照表

審查委員	審查意見	回應
廖仁巍 建築師	<ol style="list-style-type: none"> 1. 微氣候對於台灣地區氣象參數的影響與週遭鄰棟建築物對於通風量計算的影響是否在模式中有考慮進去。 2. 未來是否考慮加入浮力通風的影響。 3. 在 Windows 介面中輸入不同的窗口類型加裝物是否會改變流量係數。 4. 本研究對於通風量計算方面有定量分析，非常具有實際應用價值。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 目前對於微氣候與鄰棟建築物的影響尚未考慮，未來可以加入模式之中。 2. 本模式處於初步研發階段，未來可以考慮加入浮力通風的計算。 3. 本模式已經依照不同的窗口類型去設定流量係數。 4. 感謝委員肯定。
徐瑞燦 建築師	<ol style="list-style-type: none"> 1. 對於窗口大小的設計是否考慮真實狀況下橫拉窗全開面積只有設計尺寸的二分之一。 2. 在案例計算中室內門的設定為開啟，若門為關閉的狀態下模式是否還可以計算。 3. 本研究對於單棟建築物的設計有很大的幫助，未來若能發展成大型集合住宅會更有實質效應。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究已經將開口面積只有實際尺寸的一半考慮進去。 2. 若門為關閉的狀態只需在模式中將面積輸入為 0 便可以重新計算結果。 3. 感謝委員的建議，未來可以納入考量。
楊冠倫 建築師	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究是否有考慮陽台外牆的設計對於室內通風的影響。 2. 台灣地區對於浮力通風只有定性的描述，並無定量分析，本研究是否可以將浮力通風納入考量。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 因建築物種類太多，所以本研究目前尚未考慮陽台與外牆的設計。 2. 本模式未來可以考慮加入浮力通風的計算。

審查委員	審查意見	回應
曹榮生建築師	<p>1.現代人對於室內空氣品質非常重視，本研究發展之模式是否可以評估室內空氣品質。</p> <p>2.一般室內房間的門都為關上的狀態，因此本模式是否可以模擬門為關閉狀態下的通風量。</p>	<p>1.當通風量為已知時，便可以計算換氣率以及室內污染物的濃度及室內環境的溼度，即可用以評估室內空氣品質。</p> <p>2.未來將加入風滲流的計算於模式之中，使得空氣經由門縫流通後的通風量計算結果更為精準。</p>
王俊耀建築師	<p>1.本研究是否可以通盤考量在各種狀況下建築物最適當的設計、座向等的選擇？</p> <p>2.本研究是否有考慮開口的高度對於通風量的影響。</p>	<p>1.本研究僅考量建築物的室內通風，並未包括街道、日照、周遭建物等因素對建築物座向的影響，因此只能針對如何有效的利用自然通風進行建議。</p> <p>2.本研究已經針對不同開口的高度進行通風量的計算。</p>

期末審查會議記錄與回應

內政部建築研究所 99 年度研究計畫「台灣地區建築物室內自然通風模式之建立研究」、「建築模型在不同紊流強度及攻角下氣動力特性之研究」及「各類門窗動態風雨試驗相關性能之比較分析研究」等三案期末審查會議紀錄

一、日期：99 年 11 月 26 日（星期五）上午 9 時 30 分

二、地點：大坪林聯合辦公大樓 15 樓第一會議室

三、主持人：陳所長瑞鈴

四、記錄：劉文欽、黎益肇

審查意見回應對照表

審查委員	審查意見	回應
方富民教授	<ol style="list-style-type: none"> 1. 不同類型的來流是否會造成表面風壓係數的不同，導致通風量不同。 2. 第 61 頁的參數 k 有重覆使用，應予以修正。 3. 建築物上下樓層的空氣交換是否會影響本研究的通風。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 因為邊界層流場的流速剖面不同，建築物表面的風壓係數即不同。所以本研究的表面風壓採用均勻流的風壓係數，配合邊界層流的風速剖面 Power law 來計算建築物表面的風壓。 2. 感謝委員指正，61 頁的符號 k 會修改。 3. 上下樓層的空氣交換主要是藉由溫度差異之驅動，屬於浮力通風的部份，未來本模式也可以加入浮力通風的部份來計算上下樓層的通風量。
曾俊達教授	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究除了可以適用於獨棟建築外，是否可以延伸至計算集合住宅區。 2. 垂直向的風力是否也應考慮到本研究之中。 3. 在一般建築裡廚房、浴室中可能都有設置抽風機的設備，因此本模式是否也可以計算機械通風。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 只要有各種集合式住宅的室外風壓係數，便可利用本模式計算通風量。 2. 垂直向主要由浮力通風所影響，未來可以加入模式之中。 3. 關於計算機械通風的部份，於未來的研究之中可以加入。

審查委員	審查意見	回應
張景鐘教授	1. 紗窗經過長期的使用之後，其孔隙的通過率會下降，TAIVENT 模式能否計算這方面的問題。 2. 實際上的鋁門窗都有邊框或是門把，因此實際上的開窗面積不到 50%，本模式是否可以改變開口的大小來計算通風量。	1. 紗窗的通過率會影響流量係數的改變，在這方面本研究可在未來的計畫中加入。 2. 在模式之中可以自行輸入開口面積的大小。
蕭葆義教授	1. 表 3-1 氣象資料中的 δ 、 α 值如何決定。 2. 表 6-1 中 α 值相同的地方其通風量是否一樣。	1. 台灣各地的 δ 、 α 值來源為中央氣象局所建議使用。 2. 在不同的地區，平均風速及盛行風向皆不一樣，因此通風的狀況也會不同。
陳技師	1. 透氣樓是採用自然通風設計，本模式是否可以納入考量。 2. 一般住宅內部的門通常為關閉的，此模式是否可以模擬關閉的狀態。	1. 透氣樓屬於浮力通風的部份，未來可以繼續研究。 2. 在模式之中當內部開口為關閉的時候只需將開口面積設定為零即可。
江建築師	1. 此模式可以推廣到全台灣。 2. 應明確定義室內所需通風量與換氣率的標準。 3. 第 10 頁的空氣品質建議值單位與環保署的不一致，應予以更新。 4. 第 11 頁的圖為平面圖或剖面圖。	1. 將來可與建築師技師公會等合作推廣。 2. 成果報告中已有通風量與換氣率的標準。 3. 感謝委員指正，成果報告會再修正。 4. 此圖為剖面圖，會再加以註明。
蔡益超教授	1. 風壓係數值是否與開口大小，隔間方式有相關性。 2. 如有風扇輔助時，通風量應如何修正。 3. 不同的開口裝置物是否會影響流量係數與風壓係數。	1. 當開口率小於 6% 時外部風壓係數不受開口、內部隔間影響，會在報告中加入參考文獻。 2. 風扇屬於機械通風的部份，未來可以加入模式之中。 3. 不同的裝置物會影響流量係數，但不會影響風壓係數。

審查委員	審查意見	回應
林組長建宏	<ol style="list-style-type: none"> 1.公式要編號。 2.是否可以說明 TAIVENT 模式目前的使用限制。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.感謝委員指正，成果報告會予以修正。 2.目前 TAIVENT 模式無法計算浮力與機械通風，會在成果報告中註明適用條件。
黎博士益肇	<ol style="list-style-type: none"> 1.是否可以提供給建築研究所同仁測試使用？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1.模式完成後將提供建築研究所測試使用。
陳所長瑞鈴	<ol style="list-style-type: none"> 1.門窗部分的資訊是否可以在模式中填寫？ 2.此研究可以驗證台灣為最適合使用自然通風的國家。 3.如果進行後續研究，氣象資料是否充足？ 4.可以驗證台灣五都建築物設計在哪些座向效果最好。 	<ol style="list-style-type: none"> 1.在模式中可自行輸入開口的面積與類型等資料。 2.感謝陳所長肯定。 3.未來可以繼續增加中央氣象局的氣象資料。 4.未來可以先由五都的氣象資料來驗證本模式的使用性。

參考書目

1. 美國環保署室內空氣品質網頁 <http://www.epa.gov/air/criteria.html>
2. 世界衛生組織空氣品質網頁 http://www.euro.who.int/air/activities/20050223_4
3. 內政部 (2009) 建築技術規則 建築設備編，第101～102條。
4. 林憲德 (1986) 台灣地區建築物理環境計畫用氣象資料系統之研究，國科會專題研究報告，NSC74-0410-E006-21。
5. 林憲德 (1994) 現代人類的居住環境，胡氏書局。
6. 林憲德 (1996) 熱濕氣候的綠色建築計畫，詹氏書局。
7. 江哲銘 (1997) 《建築物理》，三民書局印行，台北，89-94。
8. 周伯丞 (2000) 建築軀殼開口部自然通風效果之研究，國立成功大學建築研究所博士論文。
9. 陳念祖 (2000) 高架地板置換式自然通風對室內通風效率之影響，國立成功大學建築研究所碩士論文。
10. 江哲銘、陳念祖、蘇慧貞、鄭懋雄、李彥頤、邵文政、周伯丞 (2001) 辦公空間通風效果與污染物濃度之研究-以台灣商業辦公大樓為例，中華民國建築學會第十三屆建築研究成果發表會論文集，高雄，台灣。
11. 廖崇文 (2003) 不同空調通風路徑對室內空氣與溫熱環境影響之研究，樹德科技大學應用設計研究所碩士論文
12. 邱瓊萱 (2004) 通風管管頂型式對室內通風效益影響之研究，國立成功大學建築研究所碩士論文。
13. 行政院環保署 (2005) 室內空氣品質建議值，第0940106804號。
14. 朱佳仁 (2006) 風工程概論，科技圖書出版公司印行。
15. 蘇裕民 (2006) 小型建築中庭空間浮力通風之解析，國立台灣科技大學建築研究所碩士論文。
16. 秦子傑 (2006) 垂直通風管對室內通風效益研究，國立台北科技大學建築與都市設計研究所碩士論文。
17. 張瑋如 (2006) 兩層樓建築物橫流型自然通風模式的CFD研究，建築學報，Vol. 56, 133-149頁。

18. 何明錦, 鍾基強 (2007) 提升室內空氣品質之空調風口配置設計基準計畫, 內政部建築研究所委託研究報告。
19. 陳念祖 (2007) 建築開口部裝設導風板對自然通風之效益, 國立成功大學建築研究所博士論文。
20. 陳念祖、江哲銘、周伯丞、林沂品、陳正玲 (2007) 居室開口部裝設垂直導風板對室內自然通風之影響, 建築學報 Vol. 61: 63-78頁。
21. 劉嫻君 (2007) 中庭建築浮力通風評估之研究—以計算流體力學(CFD)及縮尺空氣模型為例, 國立成功大學建築研究所碩士論文。
22. 陳彥志 (2008) 室外風場對風壓通風影響之實驗研究, 國立中央大學土木工程研究所碩士論文。
23. 朱佳仁, 邱英浩, 陳彥志, 王宇文 (2009) 建築物開口對風壓通風影響之研究, 建築學報, Vol. 69: 17-33頁。
24. 陳仁浩 (2010) 建築物內部走廊通風之實驗研究, 國立中央大學土木研究所碩士論文。
25. Allard F, and Santamouris M., Natural Ventilation in Buildings: A Design Handbook, James and James Ltd.; 1998.
26. Allocca C., Chen, Q., Glicksman LR. Design analysis of single-sided natural ventilation, Energy and Buildings 2003; 35, 8, 785-795.
27. Alvin C.K., Lai K., Wang F.Z., Chen Q. Experimental and numerical study on particle distribution in a two-zone chamber, Atmospheric Environment 2008; 42: 1717-1726.
28. ASHRAE, Handbook of Fundamentals, American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers (ASHRAE); 2001.
29. Awbi H.B. Ventilation of Buildings, 2nd ed., Taylor and Francis; 2003, p.522.
30. Aynsley R.M, Melbourn W., Vickery, B.J. Architectural Aerodynamics, Applied Science Publishers; 1997.
31. Aynsley R.M, Unresolved issues in natural ventilation for thermal comfort. Architectural Aerodynamics, Proceedings of HybVent Forum'99 First International Forum on Natural and Hybrid Ventilation, Sydney, Australia, pp.36-44.
32. Barlow J.B., Rae W.H., Pope A. Low Speed Wind Tunnel Testing, John Wiley and Sons; 1999.
33. Bu Z., Kato S., Takahashi T., Nakao K. Wind tunnel investigation of wind-driven

- natural ventilation performances in residential basement with attached areaway space, APCWE-7 Conference Symposium, Taipei, 2009.
34. Cermak, J.E. Wind tunnel design for physical modeling of atmospheric boundary layers. *J. of Engineering Mechanics Division, ASCE*, 1981, 107, No. EM3, June, pp.623-642.
 35. Chang W.R. Effect of porous hedge on cross ventilation of a residential building, *Building and Environment* 2006; 41, 549-556.
 36. Chang, T.J., Huang, M.Y., Wu, Y.T. and Liao C.M. Quantitative prediction of traffic pollutant transmission into buildings, *Journal of Environment Science and Health*, 2003, A38, pp.1025-1040.
 37. Chen Q. Ventilation performance prediction for buildings: A method overview and recent applications. *Building and Environment* 2009; 44: 848-858.
 38. Chiu Y.H., Etheridge, D.W. External flow effects on the discharge coefficients of two types of ventilation opening, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 2007; 95: 225-252.
 39. Chu C.R., Chiu Y.-H., Chen Y.-J., Wang Y.-W., Chou C.P., Turbulence effects on the discharge coefficient and mean flow rate of wind-driven cross ventilation, *Building and Environment* 2009; 44, 2064-2072.
 40. Chu C.R., Chiu Y.-H., Wang Y.-W. An experimental study of wind-driven cross ventilation in partitioned buildings, *Energy and Buildings* 2010, 42, pp.667-673. doi:10.1016/j.enbuild.2009.11.004.
 41. Chu C.R., Wang Y.-W. The loss factors of building openings for wind-driven ventilation, *Building and Environment* 2010, 45.
 42. Dascalaki E., Santamouris M. Bruant M, Balaras CA, Bossaer A, Ducarme D, Wouters P. Modeling large openings with COMIS, *Energy and Buildings* 1999; 30: 105-115.
 43. Etheridge D.W. and Sandberg M. *Building Ventilation: Theory and Measurement*, John Wiley and Sons, 1996, p.724.
 44. Evola G. and Popov V. Computational analysis of wind driven natural ventilation in buildings, *Energy and Building* 2006; 38, 5, 491-501.
 45. Feustel H.E. COMIS—an international multizone air-flow and contaminant transport model, *Energy and Buildings* 1999; 30: 3–18.
 46. Gao N.P., Niu J.L., Perino M., Heiselberg P. The airborne transmission of infection between flats in high-rise residential buildings: Tracer gas simulation, *Building and*

- Environment 2008; 43: 1805–1817.
47. Haghghat F, Li Y, Megri AC. Development and validation of a zonal model – POMA, Building and Environment 2001; 36: 1039-1047.
 48. Heiselberg P., Sandberg M. Evaluation of discharge coefficients for window openings in wind driven natural ventilation, International Journal of Ventilation 2006; 5 (1): 43-52.
 49. Heiselberg P., Bjorn E., Nielsen P.V. Characteristics of air flow from open windows, Building and Environment 2001; 36: 859-869.
 50. Holmes J.D. Wind Loading of Structures, Spon Press; 2001.
 51. Hu C-H, Ohba M., Yoshie R. CFD modeling of unsteady cross ventilation flows using LES. Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics 2008; 96: 1692-1706.
 52. Jiang Y., Alexander D., Jenkins R., Arthur H., Chen Q. Natural ventilation in buildings: measurement in a wind tunnel and numerical simulation with large eddy simulation. Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics 2003; 91: 331-353.
 53. Launder B.E. and Spalding D.B. The numerical computation of turbulent flow, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 1974; 269-289.
 54. Lawson, T. (2001) Building Aerodynamics, Imperial College Press, P.286
 55. Linden P.F. The Fluid Mechanics of Natural Ventilation, Annual Review of Fluid Mechanics 1999; 31: 201-238.
 56. Liu H. Wind Engineering: A Handbook for Structural Engineers, Prentice-Hall, U.S.A., 1990.
 57. Liu, H. Wind Engineering, Prentice Hall, Inc 1991.
 58. Melaragno, M. Wind in Architectural and Environmental Design, Vn Nostrand Reinhold Co. 1982.
 59. Karava P., Stathopoulos T., Athienitis A.K. Wind driven flow through openings – A review of discharge coefficients, International Journal of Ventilation 2004; 3 (3): 255-266.
 60. Karava P., Stathopoulos T., Athienitis A.K. Impact of internal pressure coefficients on wind-driven ventilation analysis, International Journal of Ventilation 2006; 5 (1): 53-66.
 61. Karava P., Stathopoulos T., Athienitis AK. Wind induced natural ventilation analysis,

- Solar Energy 2007; 81: 20-30.
62. Kurabuchi T., Ohba M., Endo T., Akamine Y., Nakayama F. Local dynamic similarity model of cross-ventilation, Part 1: Theoretical framework, *International J. of Ventilation* 2004, 2 (4), 371-382.
 63. Kurabuchi T., Akamine Y., Ohba M., Endo T., Goto T., Kamata M. A study on the effects of porosity on discharge coefficient in cross-ventilated buildings based on wind tunnel experiment, *International Journal of Ventilation* 2006; 5 (1), 67-78.
 64. Mochida A., Yoshino H, Takeda T, Kakegawa T, Miyauchi S. Methods for controlling airflow in and around a building under cross ventilation to improve indoor thermal comfort, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 2005; 93, 437-449.
 65. Ohba M., Irie K, Kurabuchi T. Study on airflow characteristics inside and outside a cross-ventilation model, and ventilation flow rates using wind tunnel experiments, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 2001; 89. 1513-1524.
 66. Ohba M., Kurabuchi T., Endo T., Akamine Y., Kamata M., Kurahashi A. Local dynamic similarity model of cross- ventilation, Part 2: Application of local dynamic model, *International J. of Ventilation* 2004; 2 (4), 383-393.
 67. Ren Z. and Stewart J. Simulating air flow and temperature distribution inside buildings using a modified version of COMIS with sub-zonal divisions, *Energy and Buildings* 2003; 35: 257-271.
 68. Roulet C.-A. *Ventilation and Airflow in Buildings*, Earthscan; 2008, p.39-42.
 69. Santamouris M. and Wouters P. *Building Ventilation: The state of the art*, Earthscan; 2006.
 70. Sawachi T., Narita K., Kiyota N., Seto H., Nishizawa S., Ishikawa Y. Wind pressure and air flow in a full-scale building model under cross ventilation, *International Journal of Ventilation* 2004; 2 (4): 343-357.
 71. Sherman M.H. Tracer-gas techniques for measuring ventilation in a single zone, *Building and Environment* 1990; 25: 365-347.
 72. Simiu, E., and Scanlan, R.H. *Wind Effects on Structure: Fundamentals and Applications to Design*, 3rd Edition, 1996 John Wiley Inc.
 73. Straw M.P., Baker C.J., Robertson A.P. Experimental measurements and computations of the wind-induced ventilation of a cubic structure, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 2000; 88: 213-230.
 74. Tan G., Glicksman L.R. Application of integrating multi-zone model with CFD

- simulation to natural ventilation prediction, *Energy and Buildings* 2005; 37: 1049-1057.
75. Tung C., Shih Y.C., Hu S.C, Chang Y.L. Experimental performance investigation of ventilation schemes in a private bathroom, *Building and Environment* 2010; 45, (1): 243-251.
76. Van Buggenhout S., Van Brecht, A., Eren Ozcan, S., Vranken E., Van Malcot, W., Berckmans, D. Influence of sampling positions on accuracy of tracer gas measurements in ventilated spaces, *Biosystems Engineering* 2009; 104: 216-223.
77. Wang, Z.Y. Plate, E.J., Rau, M. and Keiser, R. Scale effects in wind tunnel modeling, *J. of Wind Engineering and Industrial Aerodyn*, 1996; 61, pp.113-130.

台灣地區建築物室內自然通風模式之建立研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：台北縣新店市北新路三段 200 號 13 樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：陳瑞鈴、朱佳仁

出版年月：99 年 12 月

版次：第一版

ISBN：978-986-02-6017-5 (平裝)