

兼顧節能與健康之 智慧化建築環境控制

陳念祖

東方設計學院室內設計系助理教授

江哲銘

國立成功大學建築系特聘教授、本會前任理事長



一、前言

隨著科技的進步與發達，製造業進入自動化時代，而商品則走向智慧化時代，在建築行業的發展上，智慧科技運用而產生的智慧建築概念也愈漸普遍，台灣智慧建築標章於2004年正式上路，正式開啟智慧建築的推動與發展，同時在全球面臨氣候異變、節能減碳盛行的當下，智慧綠建築的推動更是台灣政府當前的政策，而在綠建築的概念中，除了節能的議題之外，室內的健康正是確保居住品質的重要議題，因此亦特別重要。

室內環境健康的問題，國人所關注尤甚者仍以室內之空氣環境為首要，而自然通風是確保室內空氣品質、兼顧室內節能與健康的重要手段，其主要功能在於移除或稀釋室內污染物以提供可接受的空氣品質，以及提供熱交換機制，以熱浮力驅動換氣為概念的通風塔（ventilation tower）是誘導式通風設計常見的手法，國內外有許多討論此種通風方式之研究，如：利用太陽能煙囪（solar chimney）進行實驗探討對室內通風的影響與溫差之效應[1-3]、同時針對垂直導管（vertical duct）及雙層壁體探討降溫與換氣之效[4]，以熱浮力與風力對自然通風之雙重影響下探討室內污染物之移除效益[5]，或針對管頂型式的部分進行研究[6]。從這些研究中確知以通風塔構造輔助自然通風需結合當地之風環境條件，方能發揮其效益。再者，自然通風與機械通風相互輔

助的混合通風（hybrid ventilation）設計亦被認為是能兼顧節能與健康舒適的策略[7]，然而在不同的季節與時間，兩者間如何的搭配運用，一般使用者較無此方面的概念。

本文中介紹一個實際住宅（孫宅）之操作例，乃本人於成功大學建築系江哲銘教授研究室攻讀博士學位期間，與江教授、劉光盛教授、江逸章先生等人共同參與之操作案例，該案於建築設計期間，即由建築師—陳政雄教授邀集各領域專家共同研商規劃，江教授團隊即負責建築環境控制的部分。而於規劃設計期間，業主更是全程參與，以期能打造一棟完全符合業主需求之綠建築，該案之建築規劃過程及與綠建築有關之設計早於2005年東京所舉辦之世界永續建築大會上發表[8]。爾後，該實驗住宅再以智慧化之方式，結合建築基地之小型氣象站監控設備，建構「智慧化環境控制系統」，即可根據建築周遭微氣候及其室內的環境感測，並以智慧化的控制方式，對應環境做出建築構造或系統之因應策略。文中將描述其如何進行智慧化的控制，滿足使用者之需求，達成兼顧建築節能及室內舒適健康的目的。

二、智慧化環境控制系統之策略與執行概念

早期的智慧建築侷限於建築物自動化技術的領域，爾後使用者的需求與回應逐漸受到重視，由sensor所傳來資訊的重要性被凸顯出來，

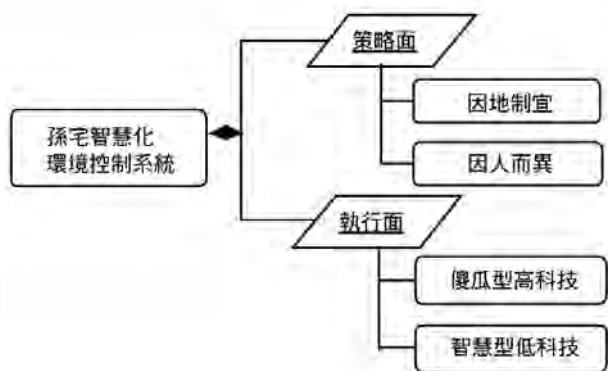


圖1 智慧化環境控制系統策略與執行概念圖（成大建築系江哲銘教授團隊）

取代了預先設定的模式，即能視狀況適時地調適以滿足使用者需求[11]。由江哲銘教授團隊所提出之「智慧化環境控制系統」之概念（參看圖1），在策略上應可達到「因地制宜」，即因應不同環境條件之變化採行不同方式來對應；同時也能「因人而異」，即視使用者需求之機動化彈性調整的目標。執行方式上主要是結合了兩個概念，分別為：「傻瓜型高科技」與「智慧型低科技」。前者是利用高科技之技術，如：感測、通訊、控制等，將建築內所使用之構造或設備系統予以自動化，讓一切操作變得簡單，並能使建築物之環境品質能夠維持在良好之狀態；而後者則是仰賴建築環境控制之基礎知識，考量基地環境之對應條件，利用「誘導式設計（passive



圖2 孫宅通風塔外觀

design) 將相關基礎研究所產出之「智慧」設計於建築之中，使建築可達到配合自然環境變化適時調適的目的，確保環境品質能夠維持在良好之狀態。

三、智慧化環境控制系統之建構

1.系統內涵

孫宅位處於嘉義，是一棟四層樓的別墅，從綠建築的思考角度來看，該棟建築設計初始之構想即希藉由通風塔來達到自然換氣的目的（圖2），利用梯間作為熱浮力通風的路徑（圖3），可輔助原先居室單側開窗，不利自然換氣之條件。然而，為維持室內環境的舒適條件，該地區自然通風可利用的時間有限，主要集中在3~5及10、11月，其他期間仍需輔以機械通風方式調控室內環境溫濕度及空氣品質。於孫宅內所建構之「智慧化環境控制系統」共分成以下三個部分，包括：小型氣象站監測系統、智慧化情境控制通風塔窗戶開閉系統及室內環境監控系統，各自之功能詳如表1所示。

(1) 小型氣象站監測系統

於建築物四樓屋頂處架設小型氣象站（圖4），可針對室外環境之風速、風向、溫度、相對濕度、雨量、輻射量等因子進行即時監測，訊

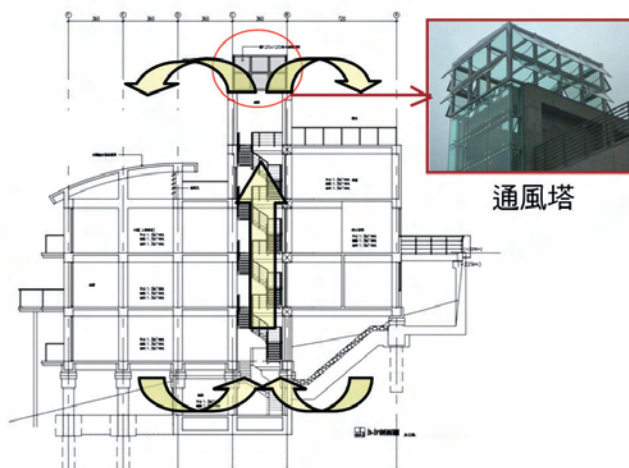


圖3 熱浮力通風示意圖

項目		功能
1	小型氣象站監測系統	監測室外環境條件，以提供使用者即時氣象資訊，同時作為通風塔窗戶開閉之判定依據。
2	智慧化情境控制通風塔窗戶開閉系統	依照氣象站之即時資訊進行塔頂窗戶之開閉，輔助室內之自然排熱與換氣。
3	室內環境監控系統	監測室內環境條件，提供使用者室內即時環境資訊，其中室內二氧化碳濃度並作為全熱交換器啟動之判定依據。

表1 本研究智慧化環境控制系統之內涵與功能



圖4 建築屋頂上的小型氣象站



圖5 孫宅相關環境資訊監控畫面

號連往供資料存取的控制主機系統，氣象站及其室內環境監控資訊畫面參看圖5。

(2) 智慧化情境控制通風塔窗戶開閉系統

孫宅通風塔之頂端設置自動開閉之窗戶，以利氣流對流，為能因應當地氣候環境，即利用小型氣象站所測得之各類氣候資訊進行個別控制，經與同為計畫參與者，逢甲大學陳上元教授、資策會黃瑞廷先生等人多次討論，訂定出四種對應氣候之窗戶控制模式，依四種情境控制方式，分別為：一般模式（風向模式）、雨天模式、颱風模式及低溫模式，自動進行窗戶之開閉，省去使用者調控的麻煩，但必要時也可以轉換為手動控制。

通風塔的設計主要是利用熱浮力原理幫助室內自然排熱與換氣，為避免因屋頂之風力產

生正壓而將熱氣倒灌回室內，在一般模式下，通風塔頂端窗戶之控制邏輯是依據小型氣象站所測得之風向（分為十六方位，即N、NNE、NE、ENE、E、ESE、SE、SSE、S、SSW、SW、WSW、W、WNW、NW、NNW），經電腦控制自動將背風處之窗戶開啟。假定所測得之風向為北風（N），則開窗之方向應為南向（S），其餘三向之窗戶不開啟；若所測得之風向為東北風（NE），考量風向所產生之側向分力，則開窗之方向應為南向（S）及西向（W），其餘二向之窗戶則為關閉狀態，總計十六種風向條件下的開窗方式如表2所示。

風向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
窗戶開閉方式	N	關	關	關	關	開	開	開	開	開	開	開	關	關	關	關
	E	關	關	關	關	關	關	關	關	關	開	開	開	開	開	開
	S	開	開	開	開	關	關	關	關	關	關	關	關	開	開	開
	W	關	開	開	開	開	開	開	開	關	關	關	關	關	關	關

表2 通風塔塔頂窗戶自動開閉模式

氣候模式	控制方式
一般模式 (風向模式)	觸發：風向每「0.5」小時取平均記錄一次，並依表2之窗戶開閉方式進行控制。
雨天模式	觸發：小型氣象站量測之雨量計偵測到降雨，即雨量（每10秒1筆）>「0」mm，各向窗戶即自動關閉。
	回復：觸發後「0.5」小時內（即連續180筆數據皆顯示雨量=0mm），即回復風向模式。
颱風模式	觸發：瞬間風速（每10秒1筆）>「17」m/s，各向窗戶即自動關閉。
	回復：觸發後「10」小時內（即連續3600筆數據皆顯示風速≤17m/s），即回復風向模式。
低溫模式	觸發：小型氣象站量測之外氣溫度<「15」°C（每10秒1筆），各向窗戶即自動關閉。
	回復：觸發後「1」小時內（即連續360筆數據皆顯示外氣溫度≥15°C），即回復風向模式。

表3 本研究所採用四種情境模式下的窗戶自動控制邏輯

另依氣候變化可能產生之特殊狀況，預先設計其對應方式，例如：雨天、颱風、低溫...等特殊天候狀況，通風塔上之自動窗應予以關閉，以避免影響室內環境之舒適與安全。各種模式皆有其觸發及回復條件，如表3所示，其中：雨天模式下，當雨量計偵測到降雨時，為避免雨水入侵室內，隨即關閉窗戶，待半小時內皆無降雨再予以開啟；颱風模式下則以瞬間風速超過17m/s（約為輕度颱風中心最大風速之低標）為窗戶關閉的依據；溫度模式下，以低於15°C為觸發窗戶關閉的條件。各種模式之間並存在著先後順序之關係，原則上，特殊天候模式（雨天、颱風、低溫）之觸發，應優先於一般模式，而觸發後之回復需滿足各特殊天候的回復條件，即前0.5小時內雨量皆為0mm、前10小時內風速皆≤17m/s及前1小時內外氣溫度皆≥15°C，才得以回到一般模式，故一般模式之順序為最末位。另表3中控制方式欄位裡「」的數字可由管理者視情況而調整之。

（3）室內環境監控系統

為確保室內舒適與空氣品質，除了自然通風外，機械通風之輔助仍是必要的。考量業主之使

用方式，將經常於公共空間舉辦大型會議、宴會等行為，易造成室內人員密度過高，進而影響空氣品質，孫宅室內各樓層之公共區域分別裝設溫濕度（T/RH）、CO（僅廚房）、CO₂sensor進行室內環境的即時監測，詳表4。孫宅的空調系統規劃，搭配了全熱交換器來達到節能與健康之需求，而系統控制邏輯為當室內sensor偵測CO₂濃度超過600ppm時，即自動啟動全熱交換器來引進新鮮外氣。

換氣量之設計乃假設室外CO₂濃度為380ppm，室內60人，每人CO₂產生量設定於靜態活動時約為0.31L/min[12]，在室內氣流完全混和的條件下（混合係數為1），面積104m²的室內空間，CO₂濃度欲確保維持在1000ppm以下，利用空氣質量平衡模型（mass balance model）可以估算所需之新鮮空氣量約相當於1800m³/hr；相同的新鮮空氣量於30人時可保持在700ppm以下；若室內不到20人則可維持600ppm以下。因此，本案例之建議值為至少裝設一台1000m³/hr全熱交換器（埋入型），一般可供給近30人使用。如經常需60人使用，建議裝設兩台，如有其他方式引入新鮮空氣亦可減少設備之使用量。

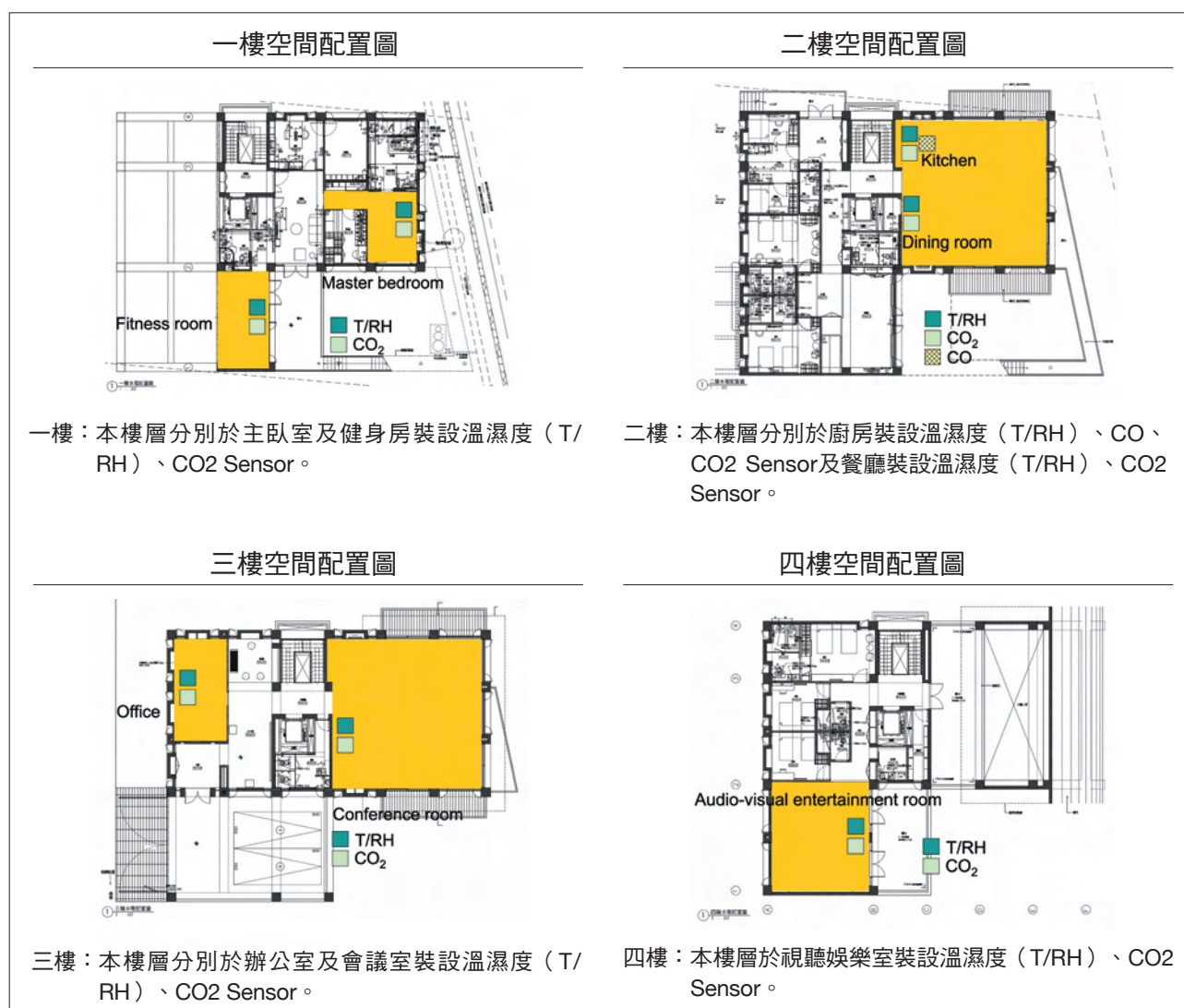


表4 各樓層室內Sensor佈設位置圖

2. 數據傳輸方式

孫宅內之各類環境監控所採行的數據傳輸架構，為室內之各類sensor (溫濕度、CO、CO₂) 於各空間中先以有線方式串連，將資訊彙整至 ZigBee 之發送端，再經由 ZigBee 通訊模組將各空間中之訊息傳至各樓層管道間之接收端，管道間之接收端以網路線連接至三樓控制盤；戶外之小型氣象站亦先以有線之方式連接至控制盤，然後將所有即時之環境訊息傳送至控制主機。控制主機端以預先撰寫之程式，於擷取彙整室內 (溫濕度、CO、CO₂ Sensor)、室外 (小型氣象站) 所有環境資訊後，經由程式之邏輯運算判斷，驅

動相關設備 (通風塔塔頂窗戶或全熱式交換器) 來控制環境，圖6為孫宅智慧化環境控制系統及其數據傳輸方式示意圖。

四、結語

「智慧化建築環境控制」在台灣仍是相當新的嘗試，孫宅的操作示範等於是開啟了相關研究的大門，江教授的研究團隊以「因人而異」、「因地制宜」的策略構想，初步建構了「智慧化環境控制系統」，藉由自然與機械之混合通風方式，以智慧化即時調控概念進行控制，以求兼顧節能及健康。於系統中我們嘗試了因應各種特

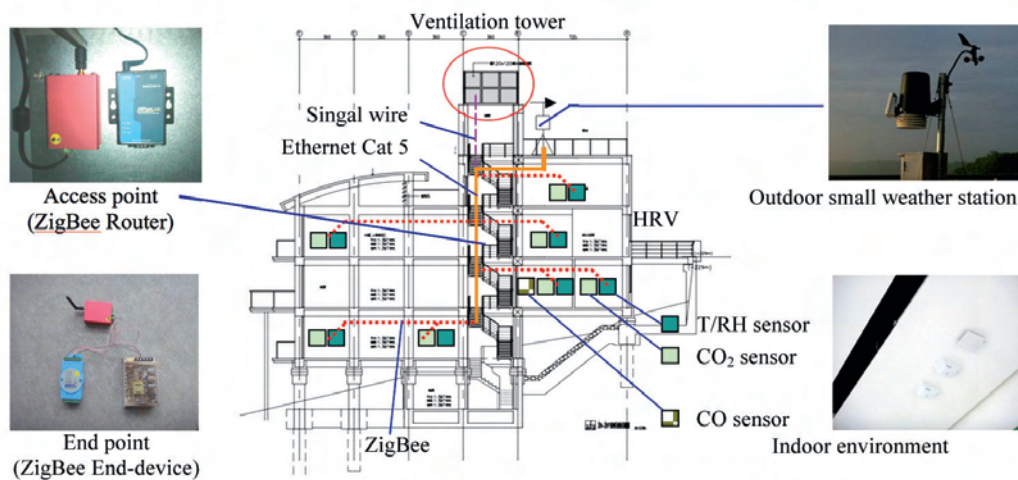


圖6 孫宅智慧化環境控制系統及其數據傳輸方式

殊天候狀況或室內環境之對應方式，包括：通風塔塔頂窗戶的因應調控模式，及以室內CO₂濃度控制全熱交換器運作的機制，其實際成效與系統的穩定性仍有待後續的長期追蹤及驗證。此次的環境控制議題，乃針對空氣環境為主，未來，可再針對其他環境因子，例如：音、水、電磁波…等環境擴增規劃（註：孫宅另有其他團隊協助光環境之情境控制）。過程中，實際執行上之溝通與整合，包含研究單位、規劃設計單位（建築設計、室內設計）、施工單位（建築結構工程、水電工程、室內工程）、軟體規劃整合…等各單位間之協調尤為重要。冀望未來台灣能有更多類似的研究議題出現，同時加速促成建築產業與資訊、通訊產業、設備商等異業結合，相信定能創造更多有助於提升國人居住健康與達成環保節能的有效解決策略。

參考文獻

[1] Joseph Khedari, Ninnart Rachapradit and Jongjit Hirunlabh. Field study of performance of solar chimney with airconditioned building. *Energy*, 28 (2003), pp.1099-1114

[2] K.S. Ong. A mathematical model of a solar

chimney. *Renewable Energy*, 28 (2003), pp.1047-1060

[3]

M. A. dos S. Bernardes, A. Voß and G. Weinreb. Thermal and technical analyses of solar chimneys. *Solar Energy*, 75 (2003), pp.511-524

[4] R. Letan, V. Dubovsky and G. Ziskind. Passive ventilation and heating by natural convection in a multi-storey building. *Building and Environment*, 38 (2003), pp.197-208

[5] J.F.A. Dias Delgado, A.R. Janeiro Borges and J.M. Paixao Conde. Wind action and temperature difference effects on the ventilation rate of a two-story building communicating with the outside environment by a chimney. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 65 (1996), pp.371-381

[6] Marie-Therese Bourdeix, Pascal Hemon and Francoise Santi. Wind induced vibrations of chimneys using an improved quasi-steady theory for galloping. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 74-76 (1998), pp.785-794

[7] H. Yoshino, J. Liu, J. Lee and J. Wada. Performance Analysis on Hybrid Ventilation System for Residential Buildings Using a Test House. *Indoor Air*, 13, Suppl. 6, (2003), pp.28-34

[8] C. M. Chiang, C. H. Chen, Y. Hsieh, C. Y. Kao, N. T. Chen, S. Y. Chen, W. J. Wang. The case study of sustainable healthy housing fitting in with subtropical Taiwan's climate and geography. The proceeding of the 2005 World Sustainable Building Conference in Tokyo (2005), pp. 2280-2287.