

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

複層植栽圍籬的風擋效應--低層建築風力通風之研究 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 96-2415-H-216-003-
執行期間：96年08月01日至97年07月31日
執行單位：中華大學景觀建築學系

計畫主持人：張瑋如

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：楊明
大專生-兼任助理人員：陽明翰
大專生-兼任助理人員：林隆賢
大專生-兼任助理人員：莊芳瑜
大專生-兼任助理人員：李典桂
大專生-兼任助理人員：陳峽岳

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 97 年 10 月 30 日

(一) 研究計畫之背景及目的

居住環境的氣候經常有過冷過熱、潮濕或乾燥等問題，為了改善這些不佳的氣候狀況，通常會藉助空調等建築機械設備來增加生活環境的舒適度，然而在此同時卻也耗用了過多的能源。近年生態環境的惡化，引起大眾對生態建築、永續景觀等相關議題的重視，如何能用最少的資源達到最佳的生活品質是一個值得探究的問題，而自然通風的研究與運用便是目前國際間相當多研究者及基地設計者有興趣的子題之一，重要的相關研究包括 Hunt and Linden[1]、Lu et al. [2] 以及 Eftekhari et al.[3]等。

自然通風設計是在無須機械動力、減少能源消耗的狀況下，來有效降低氣溫，使原來溼熱的氣候較為宜人[4,5]。在進行自然通風的同時，室外新鮮空氣的導入可以更換室內原有空氣，使得室內空氣品質得以改善，避免因主動調節式通風系統(Active Ventilation System)的不良設計所導致的致病性建築症候群(Sick Building Syndrome) [6]。驅動氣流形成自然通風的主要機制是風力或浮力所造成的壓力差，而台灣地處亞熱帶，屬外氣溫維持在 20°C 至 34°C 之間的典型熱濕型氣候，是最具有發展風力通風潛力的區域。相較於機能複雜的醫院、旅館、辦公大樓、百貨公司等規模巨大之空調型建築，最適於考慮風力通風的建築類型是住宿型小建築、學校校舍與低層辦公建築等，此類型之綠建築設計除了須兼顧遮陽與隔熱需求，也需要藉由充分地通風來取得舒適感，在設計手法上都盡量將居室空間深度控制在 10 公尺以下，且採取少隔間、大面開窗的開放空間設計 [7]。

較之浮力在自然通風中的運用[8]，由於自然環境中氣流流動的複雜特性，考慮風力驅動的自然通風設計則具有相當的挑戰性。一種常見的情形是，在建築物的迎風與背風的兩個相對牆面上開窗，讓風力驅動的氣流經由相對開窗口直接進入室內和導出室外，形成橫流型通風。這種通風設計如果未能完善考慮，對不適宜的風速或其他不合宜的氣流流動狀況加以調節控制，而直接讓氣流長驅而入穿越室內外起居空間，反會造成居住者的不適與不便，導致負面的效果。因此，即使基地擁有充足的風力資源，建築使用者通常會因為不適氣流的侵擾，而盡量避免開窗，因而使設計者原始的自然通風設計構想未能達成。為改善上述橫流型通風的問題，設計者經常在建築物前設置樹林、樹籬等植栽風擋，期望藉由風擋遮擋強風對建築物的侵擾，並進一步地引導適宜的氣流來達到自然通風的效果。最常看到的實例便是在台灣鄉間田野間的竹圍，一片廣大的綠油油田地間錯落著一處處由密實竹叢圍繞而成的農家，形成別具一格的特殊風土景觀。這些竹圍農舍的座落方位和不同型態竹子的配置通常是因應當地氣候風土所得的經驗，竹圍的栽植除了作為遠處識別的地標與埕的界定，具有遮景美化、營造景觀與遮陰乘涼的效

¹ Hunt GR, Linden PF.(1999). The fluid mechanics of natural ventilation-displacement ventilation by buoyancy-driven flows assisted by wind. *Building and Environment*, 34:707-20.

² Lu WZ, Lo SM, Fang Z, Yuen KK(2001). A preliminary investigation of airflow field in designated refuge floor. *Building and Environment*, 36:219-30

³ Eftekhari MM, Marjanovic LD, Pinnock DJ(2003). Air flow distribution in and around a single-sided naturally ventilated room. *Building and Environment*, 38:389-97.

⁴ Zhao R, Xia Y(1998). Effective non-isothermal and intermittent air movement on human thermal responses. *Proceedings of Roomvent 98*, Stockholm, Vol. 2. p. 351-7

⁵ Busch JF.(1992). A tale of two populations: thermal comfort in air-conditioned and naturally ventilated offices in Thailand. *Energy and Buildings*, 18 (3-4):2 35-49.

⁶ Finnegan JJ, Pickering CAC, Burge PS.(1984). The sick building syndrome: prevalence studies. *British Medical Journal*, 289:1573-5.

⁷ 林憲德(2003)。〈熱溼氣候的建築通風文化〉。《熱溼氣候的綠色建築》。初版。台北市：詹氏。

⁸ Chen ZD, Li Y.(2002). Buoyancy-driven displacement natural ventilation in a single-zone building with three-level openings. *Building and Environment*, 37:295-303.

果，還有風擋功能的考量。

單獨考慮風擋的行為效應，研究顯示^[9]受到風擋的阻擋，氣流速度在趨近風擋時開始逐漸降低，在風擋後方降至最低點，之後又逐漸增強，最後恢復至原來的風速。上述氣流受到風擋影響而減速再逐漸恢復的過程，其所需水平距離長短與風擋的高度有關，其起始點在風擋迎風面前大約五倍風擋高度的位置，而恢復風速的位置約在風擋背風面約 30-35 倍風擋高度處。風速約在背風面 4-6 倍風擋高度處降至最低，大約在 20 倍風擋高度處恢復至原風速的 80%，而發生最低風速的位置以及風速的恢復率則與風擋的孔隙率有關。較低的風擋孔隙率會使背風面的風速降得較低，但太密實的風擋則會造成循環迴流或亂流，且其風速最低點較靠近風擋而風速恢復率也較快，因而其通風防風效果反不如中等孔隙率的風擋^[10]。因此若以傳統實心圍籬（如磚牆）來直接阻擋強風吹襲，實牆之後會形成無風狀態的停滯區或微弱氣流的迴流區，而上方氣流迅速向下，反使擋風距離因而縮短。而以適當孔隙率之樹籬等植栽等多孔圍籬作為風擋，不僅可阻擋大部分的強風，而且可以讓部分空氣通過而達成通風的效果^[11]。

如何將植栽風擋安排配置於建築物四周以達到合宜的通風、防風效果？內政部建築研究所所編撰的「綠建築規劃設計技術彙編之研究」^[12]中，對於運用植栽控制氣流提出了重點綱要性的技術說明與對策，其中指出植栽的枝葉疏密度、高度以及其與建築物的距離會對建築物內外空間的氣流模式造成影響。然而，有關風擋的應用研究，主要著重在農作生產力及不同地形的探討，尺度多在鄉野^[13,14,15]及都市^[16,17,18,19]等大區域的研究上，進一步從微觀角度有系統的探討建築物與植栽間風擋效應的研究則相對缺乏。

因此，本人於先期研究中運用計算流體力學（Computational Fluid Dynamics, CFD）方法進行風擋影響低層建築物風力通風的研究，首先以二維數值模型探討植栽風擋孔隙率、植栽風擋與建築物的距離、植栽風擋與建築物的相對高度等三個變數因子。研究結果驗證 CFD 研究模型之適宜性^[20,21,22]，並顯示植栽風擋各變數因子的變化對經過的

⁹ Heisler, G.M., Dewalle, D.R.(1988). Effects of windbreak structure on wind flow. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 22-23, 41-69.

¹⁰ Wang, H., Takle, E.S.(1997). Momentum budget and shelter mechanism of boundary layer flow near a shelterbelt. *Boundary-Layer Meteorology* 82, 417-435.

¹¹ Castro I.(1971). Wake characteristics of two-dimensional perforated plates normal to an air-stream, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn*, 46: 599-609.

¹² 蕭江碧(2000)。《綠建築規劃設計技術彙編之研究》。內政部建築研究所。

¹³ Cleugh H A.(1998). Effects of windbreaks on airflow, microclimate and crop yields. *Agroforestry Systems*, 41: 55-84.

¹⁴ Takahashi S, Du M, Wu P, Maki T, Kawashima S.(1998). Three dimensional numerical simulation of the flow over complex terrain with windbreak hedge. *Environmental Modeling & Software*,13: 257-265.

¹⁵ Fang FM, Wang DY.(1997). On the flow around a vertical porous fence. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn* 67 & 68: 415-424.

¹⁶ Bruse M, Fleer H.(1998). Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. *Environmental Modeling & Software*, 13:373-384.

¹⁷ Sharples S, Bensalem R.(2001). Airflow in courtyard and atrium buildings in the urban environment: a wind tunnel study. *Solar Energy* Vol. 70, No. 3, pp. 237-244.

¹⁸ Berner C., Durst F., McEligot, DM.(1984). Flow around baffles. *Trans. ASME, J. Heat Transfer*, 106: 743-749.

¹⁹ Capeluto IG, Yezioro A.(2003). Climatic aspects in urban design — a case study. *Building and Environment* 38: 827-835.

²⁰ 張瑋如(2006)。〈兩層樓建築物橫流型自然通風模式的CFD研究：植栽風擋設置距離與孔隙率的效應比較〉。《建築學報》，期56，133-150。

²¹ W.R. Chang(2006). Effect of porous hedge on cross ventilation of a residential building. *Building and Environment*, Vol.41, No. 5, 549-556.

氣流結構會有不同的影響，進而改變風擋後建築物室內外的通風型態。從各種不同的通風型態中可歸納出三種典型氣流模式，分別為「穿越流」、「停滯流」，以及「循環流」。當風擋的孔隙率過低時，將會導致室內外空間空氣循環停滯，不利於室內外通風。當孔隙率達到一臨界值時則會有零通氣量現象產生，低於此孔隙率臨界值時，進而產生逆向通風的現象，這對下風處空氣品質不佳的基地是必須要審慎考慮的，以避免導入下風處的氣流進入基地室內外。再就遮擋強風的目的而言，靠近建築物設置植栽風擋對二樓室內不但沒有明顯的遮擋效果，反而在孔隙率大時會在二樓室內產生比原來更強勁的氣流，顯示如果設計者設置風擋的目的是要使上下樓層都有遮擋強風的效果，則應避免將圍籬靠近建築物栽植。

95 學年度國科會計畫中 (NSC 95-2415-H-216-002)，本人進一步以三維數值模型探討風擋與建築物相對長度的改變以及建築物窗戶大小位置的變化對通風的影響，此計算模擬所得之氣流現象較之二維模型之研究結果更為複雜，一方面相互驗證二維模型之計算結果，另一方面亦獲得更全面詳盡的資料包括風擋的側面效應。部分研究成果已整理發表期刊論文與研討會論文各一篇，其他研究成果亦在分析歸納中。在執行 CFD 研究的同時，本人亦進行田野調查以對植栽風擋的實際應用狀況與類型進行了解與分類。從現況調查中發現，植栽風擋的孔隙率會因為植物栽植的疏密度、植物枝葉的特性以及當地生長狀況而產生各種變化，在實際應用時通常需現場利用空氣動力孔隙率 (Aerodynamic Porosity) 或光學孔隙率 (Optical Porosity) 的量測方法方能確定^[23]，而植栽圍籬之栽植方式常為同類型植栽數層並排列植，或多種植栽混植的狀況，形成上密下疏 (枝葉茂密之喬木防風林) 或下密上疏 (樹木下混植灌木叢) 等多種情形，較之先期研究中單層且孔隙率均一的圍籬形式複雜，而此種複層植栽的方式也較符合生物多樣化的生態原則^[24]。在相關的複層圍籬研究中^[25,26]，多侷限在均一孔隙率的分析上且未觸及風擋對建築物通風效應的探討，為能更進一步充實本人上述先期研究的結果，有必要對此進行有系統的探討。

而本計畫之目的即在運用計算流體力學輔以風洞實驗的研究方法，對複層之植栽圍籬進行有系統的探討，以分析其對低層建築物風力通風的影響，並行伸分析比較的結果做為綠建築基地設計時之決策參考依據。

(二) 研究方法、進行步驟及執行進度

2.1 研究架構與執行進度

本計畫主要利用 CFD 研究方法來進行相關變數因子的效應分析，同時輔以部份研究案例的風洞實驗藉以比較與驗證。本計畫的研究架構與執行進度如圖 1 所示，總共分為模型驗證、計算模擬、整理分析與歸納結論四個階段。

²² 張瑋如(2005)。〈植栽的風擋作用——住宅建築的自然通風研究〉。《中華建築學刊》，第一卷第二期，51-59。

²³ Vigiak O., Sterk G., Warren A., Hagen L.J.(2003). Spatial modeling of wind speed around windbreaks. *Catena* 52, 273-288.

²⁴ 林憲德(1999)。〈生物多樣化棲地再造〉。《城鄉生態》。初版。台北市：詹氏。

²⁵ K.J. Mc Aneney, M.J. Judd(1991). Multiple windbreaks and Aeolian ensemble. *Boundary-Layer Meteorol*, 54 129-146.

²⁶ U. Boldes, J.Colman, J.Maranon Di Leo(2001). Field study of the flow behind single and double row herbaceous windbreaks. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 89,665-687.

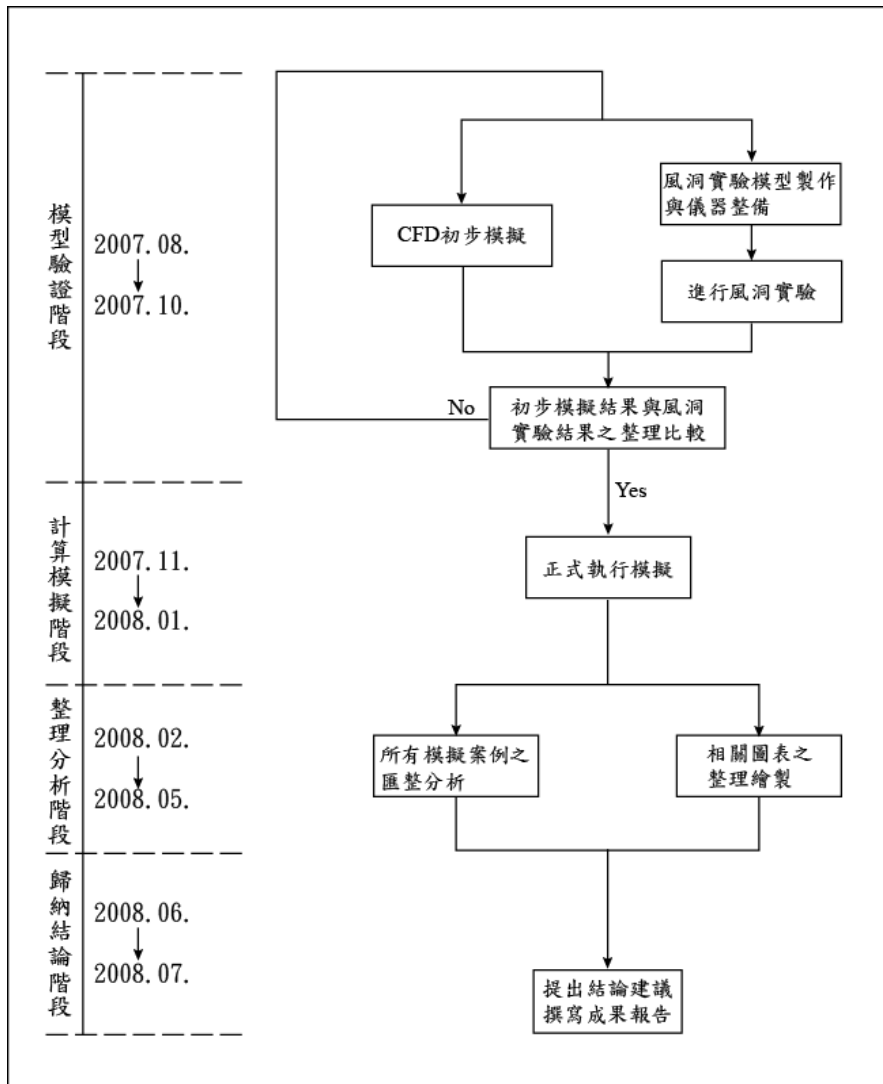


圖 1 研究架構與執行進度

2.2 計算流體力學(CFD)研究方法

CFD 研究方法的整個求解過程包含前處理、計算模擬與後處理三個階段。本計畫於前處理階段使用 CFD-GEOM 前處理器來執行幾何模型數值化以及計算範圍與網格結構設定的工作，接著以 CFD-ACE+數值求解器進行邊界與初始條件的設定、統御方程式的設定與數值方法的選用，最後在執行完計算後，運用 CFD-View 與 TecPlot 兩套後處理器對大量的運算結果進行驗證與分析，並執行視覺化的處理。此四套商用軟體已運用於本人前期之風擋研究[20,21,22]中，並獲得相當穩定與可靠的計算結果。

各研究步驟主要工作內容如下所述：

2.2.1 幾何模型

本計畫研究模型的幾何配置如圖 2 與圖 3 所示，風流動的方向是由風擋處吹向建築物。考慮台灣一般狀況與本計畫研究需求，低層建築物設定為兩層樓高，並採用居室空間深度控制、少隔間、大面開窗的綠建築開放空間設計概念。假設建築物一層樓的高度為 h ，則建築物的總高為 $2h$ ，而長度與寬度分別為 $2h$ 與 $3h$ ，建築物的迎風與背風的相對牆面上都開有三面窗，三面窗置中等距排列，每一窗口的寬度為 $2/3h$ ，高度為 $1/2 h$ ，兩窗戶距離為 $1/3h$ ，其上下緣距離樓地板中心線皆為 $1/4 h$ 。由於台灣一般居室空間高

度為 3m 左右，如此開窗兩牆面距離(即居室空間深度)將可控制在 6m 左右，且擁有大面開窗。

複層植栽之可能配置方式相當多樣複雜，本計劃研究之複層植栽風擋有兩種類型：一為同一種類植栽以均一孔隙率、等高並排多層，例如大片防風林；另一為不同植栽種類於同一位置栽植產生垂直高度上有不同的孔隙率區段變化，例如喬木與灌木混植。

以第一種類型而言，圍籬間距 (D)、圍籬高度 (H) 與圍籬孔隙率 (η) 為探討之變數因子。如圖 3 所示，植栽圍籬設置於建築物前迎風面處，並列栽植三列，每層厚度設定為 $1/10h$ ，其寬度與建築物面寬相同，第一列圍籬距離建築物前緣為 $2h$ ，每列植栽圍籬孔隙率均一且高度、間距相等。如表 1 所示，孔隙率 (η) 變化由 0.0-1.0，孔隙率 $\eta=0.0$ 為實心圍籬，孔隙率 $\eta=1.0$ 時則表示未設置植栽風擋的狀態。圍籬高度 (H) 變化有三種，其與樓高的比值 (H/h) 分別為 0.5、1.0 與 1.5。圍籬間距 (D) 變化亦有三種，其與樓高的比值 (D/h) 分別為 0.5、1.0 與 2.0。總計共有 91 種研究案例。

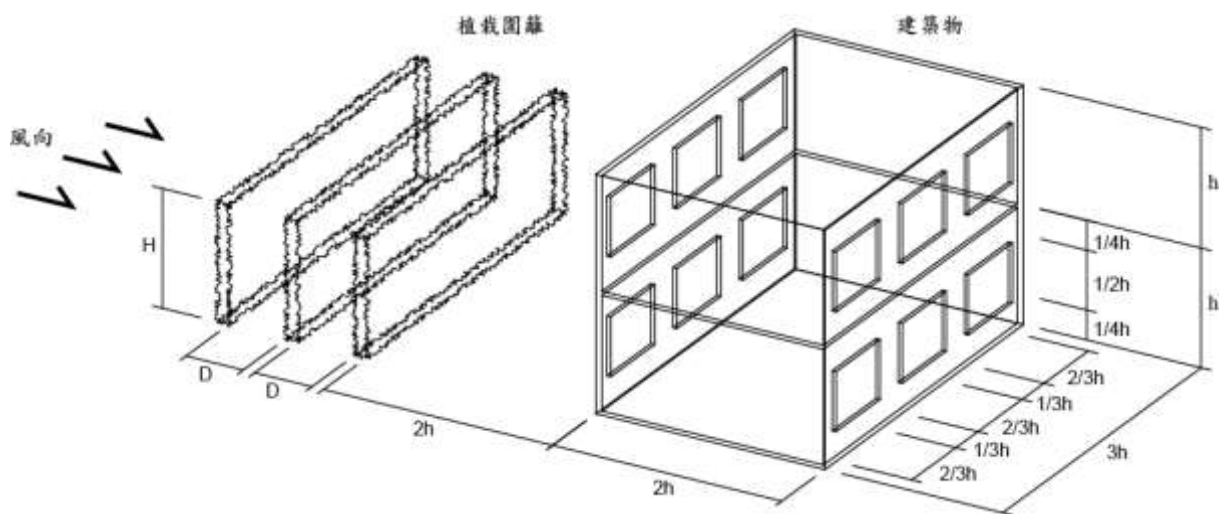


圖 2 研究模型幾何配置-研究類型 1

表 1 探討變數因子與案例-研究類型 1

圍籬間距(D/h)	圍籬高度(H/h)	孔隙率 (η)										
		0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
0.5	0.5	case1-1	case1-2	case1-3	case1-4	case1-5	case1-6	case1-7	case1-8	case1-9	case1-10	case1-91
	1.0	case1-11	case1-12	case1-13	case1-14	case1-15	case1-16	case1-17	case1-18	case1-19	case1-20	
	1.5	case1-21	case1-22	case1-23	case1-24	case1-25	case1-26	case1-27	case1-28	case1-29	case1-30	
1.0	0.5	case1-31	case1-32	case1-33	case1-34	case1-35	case1-36	case1-37	case1-38	case1-39	case1-40	
	1.0	case1-41	case1-42	case1-43	case1-44	case1-45	case1-46	case1-47	case1-48	case1-49	case1-50	
	1.5	case1-51	case1-52	case1-53	case1-54	case1-55	case1-56	case1-57	case1-58	case1-59	case1-60	
2.0	0.5	case1-61	case1-62	case1-63	case1-64	case1-65	case1-66	case1-67	case1-68	case1-69	case1-70	
	1.0	case1-71	case1-72	case1-73	case1-74	case1-75	case1-76	case1-77	case1-78	case1-79	case1-80	
	1.5	case1-81	case1-82	case1-83	case1-84	case1-85	case1-86	case1-87	case1-88	case1-89	case1-90	

在第二種研究類型中，圍籬與建築物距離 (L)、圍籬分段高度相對變化 (H_1 與 H_2) 以及各分段圍籬之孔隙率相對變化 (η_1 與 η_2) 為探討之變數因子。如圖 4 所示，單排植栽圍籬設置於建築物前迎風面處，厚度設定為 $1/10h$ ，其寬度與建築物面寬相同，圍籬總高為 $1.5h$ ，分為上下兩區段，其上下兩段孔隙率不同。如表 2 所示，圍籬與建築物前緣之距離 (L/h) 分別為 0.5、1.0、2.0 與 4.0。圍籬上下兩段的高度分別為 H_1 與 H_2 ，其分

段高度比 (H_1/H_2) 有 2/1、1/1 與 1/2 三種可能狀況。圍籬上下兩段孔隙率分別為 η_1 與 η_2 ，其比值 (η_1/η_2) 有兩種可能狀況：0.2/0.7 與 0.7/0.2，分別表示上密下疏與上疏下密的混植圍籬情形。總計共有 24 種研究案例。

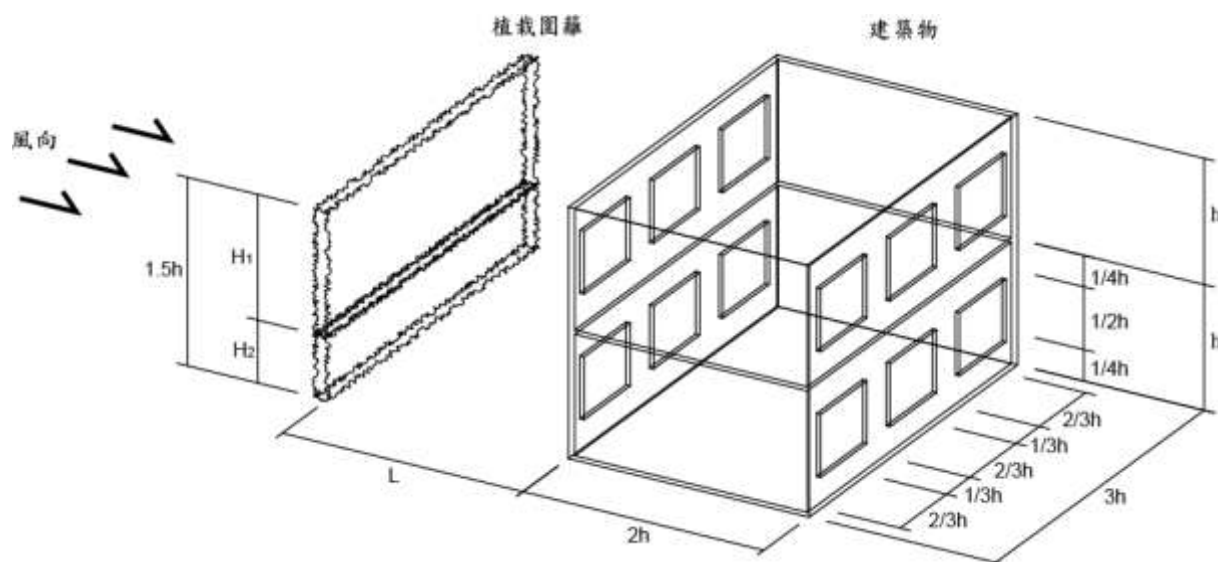


圖 3 研究模型幾何配置-研究類型 2

表 2 探討變數因子與案例-研究類型 2

圍籬與建築之距離(L/h)	圍籬分段高度比(H1/H2)	孔隙率 (η_1/η_2)	
		0.2/0.7	0.7/0.2
0.5	2/1	case2-1	case2-13
	1/1	case2-2	case2-14
	1/2	case2-3	case2-15
1.0	2/1	case2-4	case2-16
	1/1	case2-5	case2-17
	1/2	case2-6	case2-18
2.0	2/1	case2-7	case2-19
	1/1	case2-8	case2-20
	1/2	case2-9	case2-21
4.0	2/1	case2-10	case2-22
	1/1	case2-11	case2-23
	1/2	case2-12	case2-24

2.2.2 計算範圍與網格結構

本計劃初步設定的計算範圍與網格結構如圖 4 所示。計算範圍為一半圓球形，其半徑大小依據建築物尺寸決定，一般在下風處約為總高度的 6-10 倍^[27]，由於建築物總高度為 2h，因此以建築物的前緣中間點為圓心，本計劃將此計算範圍圓球半徑設定為 20h。

接著進行計算範圍內的網格分割，把連續的空間離散化，而分割後每一個網格內的物理量都假設為常數。此網格結構的質與量對計算模擬的精確度與穩定度有決定性的影響，計算範圍劃分的越細，越趨近於實際的連續流體狀況，然而網格數目增加亦相對地

²⁷ 鄒經宇(2003)。〈科學性設計運算—電腦流體動態模擬輔助建築設計之應用〉。邱茂林編。《CAAD TALKS 2：設計運算向度》，初版, 166-183。臺北：田園城市。

增加必要的計算量，因而折衝的方法是運用非結構網格的方式設定不均勻的網格結構，也就是在靠近風擋與建物周圍的流體變化會較大的區域設定較細密的網格。此外相鄰兩網格之體積比須盡量控制在 10 以下，以控制適宜的網格光滑度。在網格形狀方面，本計劃運用四面體與六面體兩種形狀網格，除控制各頂角接近等邊網格的角度，並使其邊長比不超過 5:1。

為確認設定網格結構的適合性，在正式執行計算模擬之前，本計劃進行三至四組不同網格數的測試比較，以確定網格數目與相關屬性的合宜性。

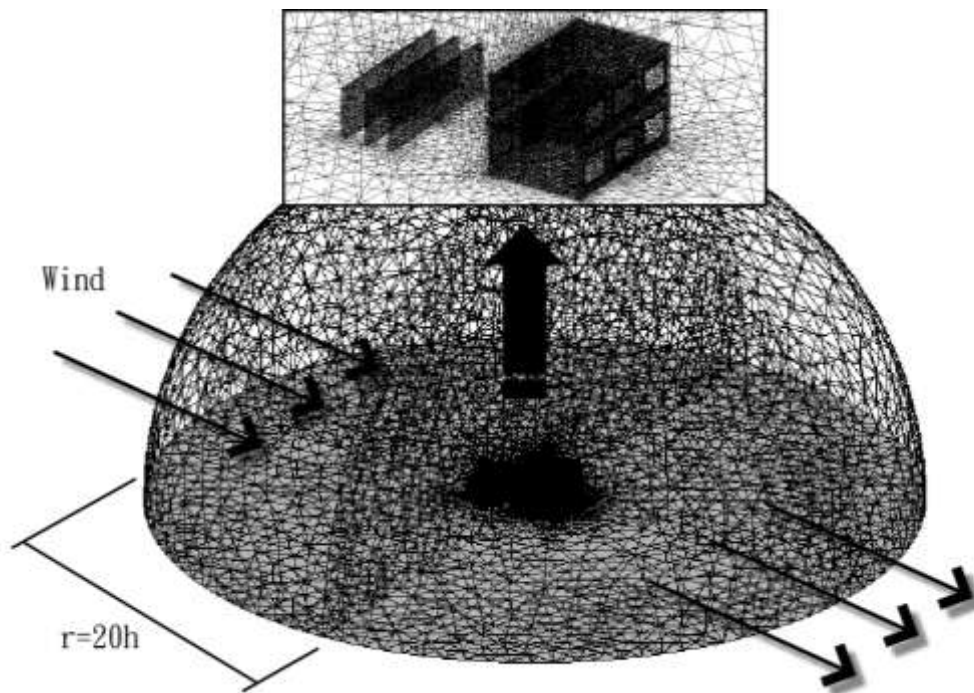


圖 4 計算範圍與網格結構設定

2.2.3 邊界與初始條件

環境因素對計算範圍內氣流模式的影響以邊界條件的形式來考慮與設定，主要的邊界條件包括速度進口、壓力出口、固體邊界與紊流狀況。本計劃設定計算範圍的入口平均風速為 10 m/s，與地面成水平方向吹向風擋與建築物，而在下游出口邊界上各物理量沿風向無變化，其平均壓力則設定為參考壓力。至於地面、建築牆面等所有的實體採用無滑動邊界條件（No Slip Conditions）與牆面方程式（Wall Function），在此邊界上沿邊界的法線上速度為零。在自由流中沒有設定紊流動能與紊流耗散的標準方法，本計劃採用標準 $k-\varepsilon$ 紊流模型，並假設紊流強度為 0.5%，並由此得到入口部份的 k 與 ε 值。

2.2.4 統御方程式

本計劃將氣流視為三維、穩定、等溫且不可壓縮的紊流，在開放流場中適用於描述此類型氣流的統御方程式分別為平均 Navier-Stokes 方程式（Averaged Navier-Stokes Equations）以及連續方程式（Continuity Equation）：

$$\frac{\partial U_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (U_i U_j) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} (2\nu S_{ij} - \overline{u_i u_j}) \quad (2)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) \quad (3)$$

紊流通量($\overline{u_i u_j}$)是統御紊流擴散的要項，本研究採用標準 k - ε 模型來加以指定以封閉方程式組進而求得湍流的脈動影響。紊流動能 k 與紊流耗散 ε 的相關性可用下列方程式來表示：

$$\nu_t = \frac{C_\mu k^2}{\varepsilon} \quad (4)$$

$$\overline{u_i u_j} = -2\nu_t S_{ij} + \frac{2}{3} k \delta_{ij} \quad (5)$$

其中 ν_t 與 δ_{ij} 分別為紊流擴散率與 Kronecker 符號。 k 與 ε 的輸送方程式為：

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (U_j k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + 2\nu_t S_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \varepsilon \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (U_j \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + 2C_{\varepsilon 1} \nu_t S_{ij} \frac{\varepsilon}{k} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (7)$$

紊流模式的常數項如下：

$$C_\mu = 0.09, C_{\varepsilon 1} = 1.44, C_{\varepsilon 2} = 1.92, \sigma_k = 1.0, \text{ and } \sigma_\varepsilon = 1.3$$

植栽風擋屬於多孔介質，假設其多孔結構具有等向性 (isotropic) 與均質性 (homogeneous)，氣體在多孔介質內的流動可以利用達西定律 (Darcy Law) 來描述^[21]：

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\eta U_i U_j) = -\frac{\eta}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} (2\eta \nu S_{ij}) - \frac{\eta^2 \nu}{\kappa} U_i \quad (8)$$

其中， η 是風擋的孔隙率 (Porosity)， κ 是透氣率 (Permeability)。方程式最後一項是孔隙壁作用在孔隙中流體的 Darcy 阻力，會導致流體經過時相當大的壓力降。此外本計畫暫不考慮植栽風擋中的紊流特性。

2.2.5 數值方法

本計畫採用 CFD-ACE+ 商用軟體進行上述偏微分方程之求解，這套軟體是以有限體積法執行偏微分方程的離散，時間差分則以一階完全隱式法來處理，並以小時間步階來達到非穩態流場時間上之解析度及精確度。

由於速度場除滿足動量方程式外，還要滿足連續方程式的質量守恆要求，因此需要有正確的壓力場解，本計畫以 SIMPLER 求解壓力修正方程式^[28]來修正速度及壓力。一般而言，不可壓縮流解法，由於壓力速度耦合問題，大都採用交錯式網格，以避免得到震盪之壓力場，但是由於數值離散時不同速度分量必須針對不同之控制體積做積分，因此計算效率較差，程式撰寫及除錯較不易。對於非正交座標系統、三維計算、多重網

²⁸ S.V. Patankar, D.B. Spalding(1972). A calculation procedure for heat, mass and momentum transfer in parabolic flows. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 21, 1565-1579.

格計算，以上所提問題會更加嚴重。因此，經過離散化所得之代數方程式，必須以適當的矩陣解法來得到方程式的解，本計畫將以逐線三主對角線矩陣法的迭代方式來求解，在垂直流向之方向，是以三主對角線矩陣法直接來解出該方向的解，在流向之方向，則是以逐線迭代法來重複數次由上游到下游的 TDMA 運算。由於統御方程組是採用分離解法，亦即每個方程式分開循序個別解，來得到整個統御方程組的收斂解，因此搭配逐線三主對角線矩陣法，可在矩陣解法上得到相當之效率。一般而言，求解為非穩態解，每一個瞬時之計算結果之收斂與否，是以動量方程式和連續方程式在計算範圍內所有格點殘餘值總和，經以進口截面總動量及流量無因次化後小於 1.0×10^{-5} 為判斷標準。如果所求解為穩態解，中間之迭代過程仍以時變之瞬時解法並加上大時間步階來替代，但不要求瞬時之計算結果完全收斂，最後穩態解之收斂除了非穩態解的收斂標準外，並要求不同虛擬瞬時間之相對誤差小於 10^{-6} 。

2.2.6 計算結果驗證

本計畫為確認計算模擬結果能適宜地描述真實的風擋效應，避免投入計算模擬時人力時間的浪費，先挑選類型一與類型二 5~6 個研究案例進行計算模擬與風洞實驗，在比較分析計算模擬結果與風洞實驗結果驗證數值模型的適宜性後，再進行兩個類型所有案例的計算模擬。此 5~6 個案例的選擇主要考慮風洞實驗模型製作組合的方便性、整體研究時間的控制，以及案例關鍵性與相關性而決定。

2.2.7 計算結果視覺化處理與分析

如上述，基於 CFD 方法考量設定的計算範圍為一半圓球形，其範圍相當廣大，而本計畫後處理工作主要將只針對風擋效應較大且一般建築使用者較常活動停留的區域來進行視覺化的處理與分析，設定分析的區間在風擋後至建築物背風面 6 倍建築高度處之間的範圍，此區間範圍內之氣流的平均風速風向、壓力分布、紊流強度，以及建築物一、二樓室內空間通氣量為主要討論的重點。並與前期研究中田野調查之結果進行比較彙整，以歸納相關結論並衍伸做為綠建築基地設計時之決策參考依據。

3.3 風洞實驗方法

本計畫執行風洞實驗以對上述 5~6 個案例進行實驗量測，運用流場可視化技術與相關儀器設備來觀察了解植栽風擋變化所導致之建築物周圍與室內氣流的改變，藉以與電腦計算模擬結果進行比較與驗證。

風洞實驗於內政部建築研究所之風洞實驗室進行。建築物模型以透明壓克力板黏合製作，風擋的製作則以金屬網內置不同比例填充物之方式組合，以模擬不同孔隙率。進行實驗時，氣流一端以固定速度排放煙霧，另一端以抽風機吸煙，風洞上方投射下雷射光產生雷射切片，同時以攝影機拍攝各角度煙霧行進過程以全程紀錄供後續分析比對。

(三) 完成之工作項目與成果

3.1 完成工作項目

3.1.1 CFD 研究

本計畫在 CFD 研究部份預計完成以下工作項目：

- 複層植栽圍籬風擋類型與相關變數因子之研擬。
- 複層植栽圍籬風擋 CFD 軟體程式之撰寫。
- 複層植栽圍籬風擋流體動力學三維數值模式之建立與驗證。
- 複層植栽圍籬研究類型一 91 個研究案例中，圍籬間距 (D)、圍籬高度 (H) 與圍籬孔隙率 (η) 變化對低層建築風力通風影響之分析與探討。

- 複層植栽圍籬研究類型二 24 個研究案例中，圍籬與建築物距離 (L)、圍籬分段高度相對變化 (H1 與 H2) 以及各分段圍籬之孔隙率相對變化 (η_1 與 η_2) 對低層建築風力通風影響之分析與探討。
- 複層植栽圍籬最佳化分析。

3.1.2 風洞實驗

本計劃在風洞實驗部份完成之工作項目：

- 複層植栽圍籬研究類型一中部分研究案例，不同圍籬間距 (D)、圍籬高度 (H) 與圍籬孔隙率 (η) 變化之流場可視化量測與分析。
- 複層植栽圍籬研究類型二中部分研究案例，圍籬與建築物距離 (L)、圍籬分段高度相對變化 (H1 與 H2) 以及各分段圍籬之孔隙率相對變化 (η_1 與 η_2) 之流場可視化量測與分析。
- CFD 計算模擬與風洞實驗結果之比較分析。

3.2 研究成果

3.2.1 學術研究之貢獻

- 已發表之論文:
 - 1.張瑋如，楊明，黃景隆，陳峽岳。“多孔隙風擋對低層建築風力通風之效應分析”。2008 立德管理學院資源與環境管理研討會，台南, 2008/05。
 - 2.張瑋如，楊明，陳峽岳。“複層植栽風擋效應的實驗研究— 樹林與樹籬形式的比較”。景觀論壇—永續景觀研討會，中壢，2007/12。
- 審查中之論文:

W.R. Chang, C.L. Cheng (2008). Passive Control of Cross Ventilation in a Residential Building Using a Porous Hedge. *Building and Environment*.
- 其他相關論文
 - 1.**W.R. Chang, J. J. Hwang, R.G. Peng, P.Y. Chen(2008).** Experimental and Numerical Studies of Local Current Mapping on a PEM Fuel Cell. *International Journal of Hydrogen Energy*. [SCI] (Accepted)
 - 2.J.J. Hwang, **W.R. Chang, A. Su (2008/7).** Dynamic modeling of a solar hydrogen system under leakage conditions. *International Journal of Hydrogen Energy*. 33(14), 3615-3624. [SCI]
 - 3.J.J. Hwang, **W.R. Chang, F.B. Weng, A. Su, C.K. Chen (2008/7).** Development of a small vehicular PEM fuel cell system. *International Journal of Hydrogen Energy*. 33(14), 3801-3807. [SCI]
 - 4.**W.R. Chang, C.L. Cheng (2008/5).** Carbon monoxide transport in an enclosed room with sources from a water heater in the adjacent balcony. *Building and Environment*. 43(5), 861-870. [SCI]

3.2.2 參與工作人員之教育訓練

- 經由本計畫之執行預計已培育國內碩士生 1 人，以及大專學生 5 名，有助於永續景觀與綠建築專業領域之人才訓練。
- 訓練參與工作之碩士級人員建立風力通風數值模式與撰寫相關程式之能力(楊明，中華大學景觀建築系碩士生，97 年 7 月畢業)。
- 訓練參與工作之大專部學生動手設計模型、操作儀器，以及分析實驗數據之能力(林隆賢、莊芳瑜、李典桂、楊明翰、陳峽岳)。

出席國際學術會議心得報告

計畫編號	NSC 96-2415-H-216-003
計畫名稱	複層植栽圍籬的風擋效應--低層建築風力通風之研究
出國人員姓名 服務機關及職稱	中華大學景觀建築系 助理教授
會議時間地點	2008/06/14-2008/06/21 澳洲布里斯班
會議名稱	17 th World Hydrogen Energy Conference (WHEC2008)
發表論文題目	Local Current Mapping on a PEM Fuel Cell

一、參加會議經過

2005 第十七屆世界氫能會議（17th World Hydrogen Energy Conference）已於 97 年 6 月 15 日至 19 日在澳洲的布里斯班市的 Brisbane Convention and Exhibition Center 舉行，主辦單位為國際氫能學會(International Association of Hydrogen Energy, IAHE)與澳大利亞能源學會 (Australian Institute of Energy, AIE)，該會議為一國際氫能之年度盛會，每兩年舉辦一次。筆者於 6 月 14 早上出發，搭乘華航班機直飛往布里斯班。

根據大會資料顯示，此次大會來自全世界三十餘國及地區，與會人員近千人，其中有一半來自工業界與政府機構的 R&D 人員，而其餘則是來自一般學術或研究機構的研發人員，從國家來區分，55%是來自澳洲本土，其餘 45%則是來自世界各地。會議主題包含了氫能與燃料電池的重要議題。本次會議論文按論文特性分成五個場地同時進行發表，由於子題之多以及大會同時有各種熱傳工程之量測與應用器材展示，令人有疲於奔命的感覺。大會於 19 日下午論文完全發表後結束。本次會議並沒有製作全文論文集，而是口頭發表直接提供 power point 檔，而張貼發表則是提供張貼的廣告檔，本人論文” Local Current Mapping in a PEM Fuel Cell” 被列為 Fuel Cell 1 (PEM and DMFC) session 的口頭發表論文，被安排在第三天（17 日）上午發表，約有三十幾人與會聆聽，由於本篇論文是首度完成燃料電池局部電流的量測，引起在場與會人員相當大的回響，演講後的討論氣氛極為熱絡，問答不斷，由於時間不足，會後還到場外交換心得、互贈論文，受益匪淺。

二、與會心得

世界氫能會議最大的特色即是每年配合研討會之召開，會場同時來自全世界各先進國家的氫能與燃料電池技術、設備與量測儀器之展示，這種大規模展覽會與研討會結合的方式，是一項趨勢，國內會議也逐漸往這個趨勢發展，參與此次會議受益良多，感觸亦深，最重要的還是在一次強調學術與產業結合的重要性。台灣的產業要升級一定要有強大的學術研究能力當基礎，否則只是空談。而學術研究也不能閉門造車，應了解產業的實際需要及問題在哪裡，集中火力提出對策，兩者齊力並進、互相配合。

最後感謝國科會提供經費補助，使筆者能順利參加本次會議。