

以建築導風帆應用緩解都市綠化中敷地濕熱環境之效果

黃志弘¹ 陳芳渟²

¹ 國立臺北科技大學建築系 教授

² 國立臺北科技大學建築系建築與都市設計碩士班 碩士生

摘要

在都市行人環境中，雖綠化策略普遍被視為緩解都市熱環境的重要手段，但過密的植栽與建築佈局，反加劇地面層的溼熱堆積與冠層熱島惡化。

本研究嘗試應用建物導風帆，介入敷地綠化風場與敷地熱環境變化。透過實測氣候數據與數值模擬相結合的方式，分析微氣候條件並提出環境改善對策。以台北科技大學（以下簡稱本校）設計館與共同科館南側臨忠孝東路之敷地為案例，採用 Cradle CFD scSTREAM 軟體進行風場模擬，研究比較作為改善策略之驗證依據。

模擬結果顯示，原始情境下的複層綠化造成風場受阻，抑制蒸散與通風，導致地表熱氣與濕氣滯留之微氣候環境。架設導風帆後，高空風場可有效導引至地面層，促進空氣流動與濕熱氣團擴散，可局部達成提升通風、降溫、減濕與熱舒適度之被動式改善效果。研究結果可作為都市風環境優化與建築綠化計畫之參考依據。

關鍵字：都市熱島、都市風場、微氣候調節、導風裝置、熱舒適度

Keywords: Urban Heat Island, Urban Wind Field, Microclimate Regulation, Wind-Guiding Device, Thermal Comfort

1.前言

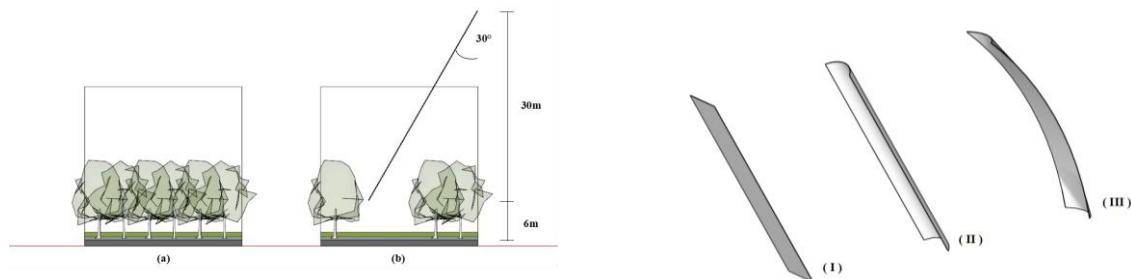
都市環境中行人層相較於高空，風速往往較為微弱，加上地表長時間吸收太陽熱能，以及建築與設備所累積的顯著熱量。受建築密度與地表粗糙度影響，近地風速顯著弱化，易造成通風不足與熱量累積 Oke(1988)、Blocken(2015)。綠化策略雖能有效遮陽並減緩熱島效應，但若植栽密度過高，喬木冠層將形成顯著風阻，反而加劇濕熱堆積 Ng(2012)、Hsieh & Huang(2016)。相關研究指出，單純增加綠覆並非線性改善熱舒適，植栽配置與通風條件才是關鍵 Bowler et al.(2010)。在台灣夏季高溫高濕氣候條件，若無充足氣流導入，地表難以有效蒸發散熱，易形成濕熱滯留，構成所謂「冠層熱島」現象，成為熱帶行人風場最主要的熱不舒適原因。

綠化如何兼顧遮蔭降溫與風場導入，是都市微氣候設計的重要課題。本研究嘗試運用都市原有風場被動式設計，藉由導風設備將高處氣流引導至濕熱累積區。探討如何有效排散濕熱空氣，並促進行人層氣流持續流動，進一步提升微氣候舒適性。本研究目標為：探討環境濕熱堆積影響因素；促進行人層空氣流場流動；檢驗建物導風帆改善流場後行人層熱舒適度效果。

2.研究方法

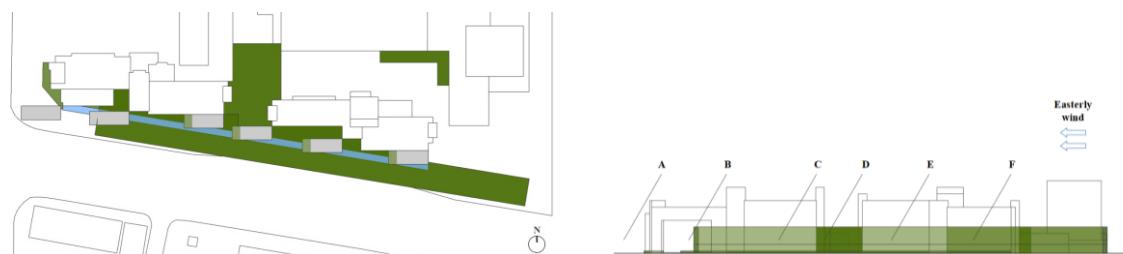
2.1 研究設計

本研究以本校設計館與共同科館南側之敷地綠化區域為主要模擬範圍，採用 Cradle CFD scSTREAM 計算流體力學模擬軟體，探討夏季濕熱氣候下，密集植栽覆蓋之行人層空間在導入導風設備前後之微氣候改善效果(如圖一所示)。模擬氣象條件取自台北氣象測站 2024 年 7、8 月資料，並以台北市長年風向東風作為主要風向來源。本研究設定三種風帆形式，分別為 I 平板式、II 曲面式、III 風帆式(如圖二所示)。於建築物外牆角落設置導風帆，設置高度自地面起始 6 公尺至 36 公尺，傾斜角 30 度，寬度 6 公尺，每棟建築安裝三面，由左至右依序編號為 A 至 F，共計六面導風帆 (如圖三、圖四所示)。期望透過建築物導風帆構件，將高空層氣流導引至地面層，改善原先濕熱且氣流滯留之行人層微氣候，提升通風效率與熱舒適度。



圖一：(a)原始態模型(b)設置導風帆模型

圖二：導風帆形式:(I)平板(II)曲面(III)風帆式



圖三：平面配置圖

圖四：導風帆設置立面圖

2.2 邊界條件與環境參數設定

本研究以基地綠化區域為模擬核心，模型中建置包括喬木、灌木、生態水池等綠化元件，並納入周邊街廓建物以反映實際場地空間特徵。整體模擬區域範圍為 2,500 m × 2,000 m × 400 m，足以涵蓋研究重點區域並避免因模擬邊界過近造成流體反射干擾。

考量本研究場域為都市戶外空間，流體模型採用 RNG k-eps 湍流模式，並納入熱傳導、太陽輻射、濕度蒸發散與植物冠層阻力等模擬條件。周圍場域由中等尺度建築物組成(4 至 9 層)，環境參數設定為：氣溫 37 °C、風向 90 °(正東風)、平均風速 1.7 m/s、相對濕度 70%。

2.3 檢測項目與分析方法

都市微氣候之所以複雜，在於其場域中各項氣象因子皆處於持續流動狀態。本研究認為風場為驅動整體環境流場變化的關鍵因素，而溫度則受建築與植栽間之熱傳導、吸熱與蒸發散熱等影響，導致熱量滯留於地表；再加上大氣濕度共同作用，進一步影響行人層之熱舒適感受。上述條件為導風帆導引高空氣流進入地面層的作用邏輯與研究基礎。

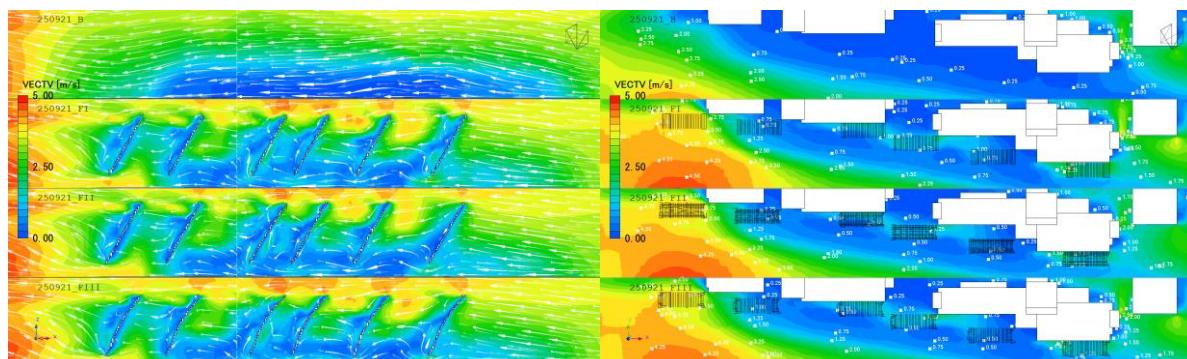
本研究選擇導風帆傾角下切至地面 1.5 m 高度(即行人層)以及 6m、12m、18m、24m、30m、36m、42m 共八個高程為求取數值截面，進行流場與熱環境 CFD 數值模擬之分析。

3. 結果與分析

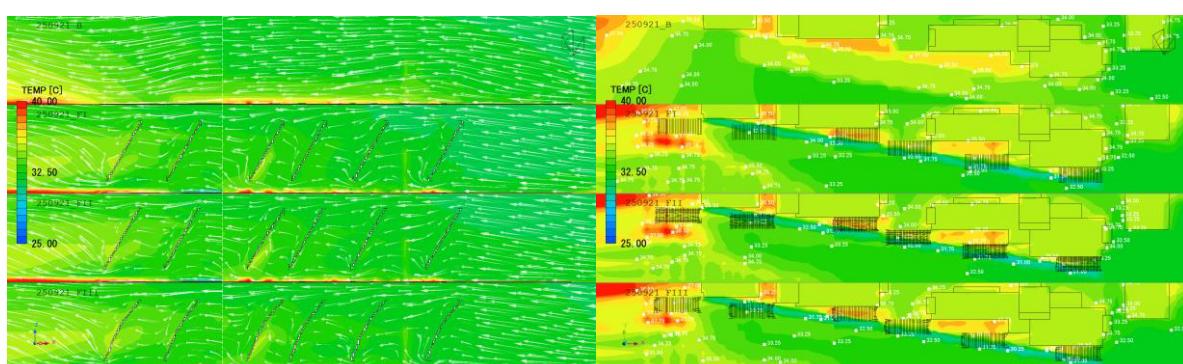
3.1 導風帆改變氣流場及熱舒適度分析

一、平面、剖面流場分析

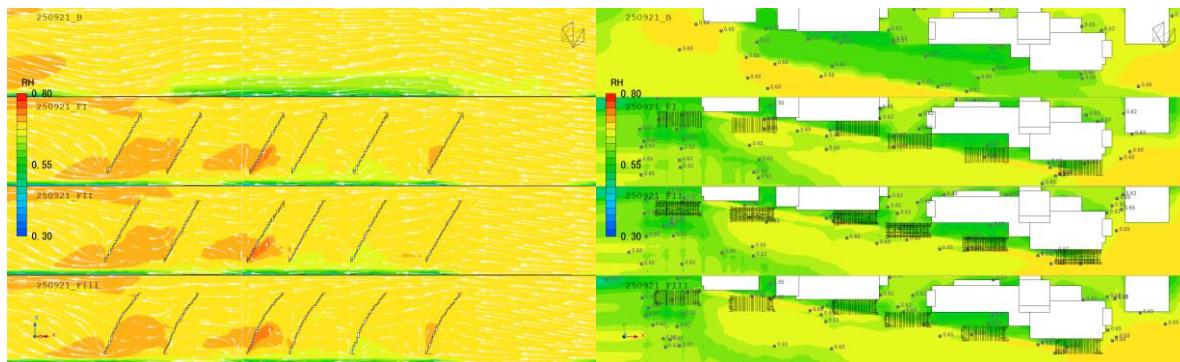
圖五顯示，在風速流場方面，原始態(B)於 12m 以下形成相對封閉的低風速區域，主要受植栽冠層阻隔，缺乏外部氣流干擾。當導風帆介入後，帆頂攔截高空高速氣流，打破原本封閉的近地層結構。以 A、B、D、E、F 面導風帆為例，盛行風直擊帆頂後沿帆面加速下導，受植栽阻力影響逐漸衰減，同時產生縮束效應，使氣流持續推進至行人層，顯著改善通風效率。C 帆因位於兩棟建物之間，除橫向風外，亦受到縱向擾動影響。



圖五 剖面、平面風速流場(m/s)



圖六 剖面、平面溫度場(°C)



圖七 剖面、平面相對濕度場(%)

二、溫度、濕度場分析

圖六顯示，在溫度流場方面，高空較低溫氣團隨導流下導，將地面 6 m 以下原先積聚的熱量推散，僅 C 帆因位置較為複雜而形成局部渦流。

圖七顯示，在濕度流場方面，原始態因高溫使空氣含濕量較高，綠化區域則呈現相對低濕度。設置導風帆後，隨著近地層降溫，空氣含濕量下降，導致相對濕度上升；且於 A、C 帆 6–18 m 區域，仍可見高溫高濕空氣局部滯留。

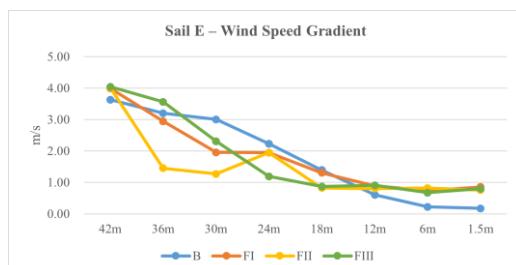
3.2 局部流場流場分析（導風帆 E）

一、微觀流場（導風帆 E）分析

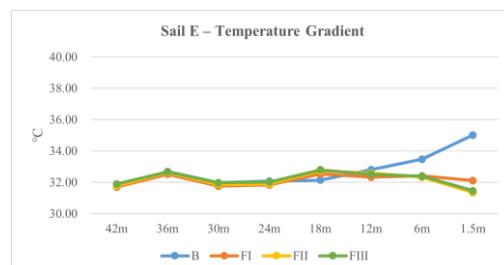
為進一步探討局部流場，本研究選定較少受外部干擾的 E 帆進行分析。由圖八與表一可見，風速梯度在 42 m 高程達 3.5 m/s 以上，隨高度降低逐漸受障礙物干擾而減弱。原始態於 12 m 進入植物冠層後，行人層 1.5 m 僅剩 0.18 m/s；設置導風帆後，可穩定輸送氣流至地面層，平均提升 0.63 m/s。不同形式比較結果顯示：I 平板形 > III 風帆形 > II 曲面形。

圖九與表二顯示，原始態自高空 42 m (31.8 °C) 向地面逐步升溫，至行人層 1.5m 達 35.01 °C。除 18 m 高程外，設置導風帆均有降溫效果，行人層平均降溫 3.37 °C，其中 II 曲面形 > III 風帆形 > I 平板形。

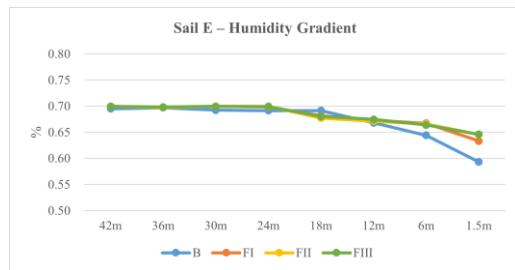
圖十與表三顯示，原始態自高空 42 m (70%) 至行人層濕度逐步下降至 59%。除 18 m 外，設置導風帆均使濕度呈上升趨勢，行人層平均提升 5%，其中 II 曲面形 = III 風帆形 > I 平板形。



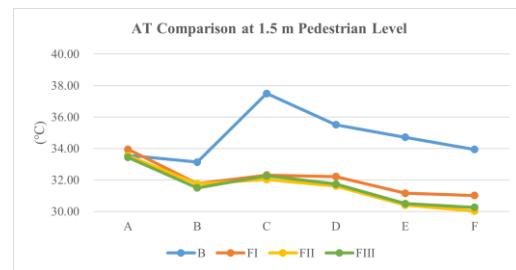
圖八：導風帆 E 風速梯度



圖九：導風帆 E 溫度梯度



圖十：導風帆 E 濕度梯度



圖十一：行人層 1.5 m 體感溫度比對

表一：導風帆 E 風速值(m/s)

	B	FI	FI-B	FII	FII-B	FIII	FIII-B	導風帆平均值	差異平均值
42m	3.63	3.99	0.36	4.02	0.38	4.04	0.41	4.02	0.39
36m	3.20	2.95	-0.25	1.45	-1.75	3.56	0.36	2.65	-0.54
30m	3.00	1.95	-1.05	1.27	-1.73	2.31	-0.69	1.85	-1.16
24m	2.23	1.95	-0.28	1.95	-0.28	1.19	-1.04	1.69	-0.53
18m	1.39	1.30	-0.09	0.83	-0.57	0.87	-0.52	1.00	-0.39
12m	0.60	0.89	0.29	0.81	0.20	0.91	0.31	0.87	0.27
6m	0.22	0.74	0.52	0.82	0.60	0.68	0.45	0.75	0.53
1.5m	0.18	0.86	0.68	0.76	0.58	0.80	0.62	0.81	0.63

表二：導風帆 E 溫度值(°C)

	B	FI	FI-B	FII	FII-B	FIII	FIII-B	導風帆平均值	差異平均值
42m	31.80	31.69	-0.11	31.78	-0.03	31.89	0.09	31.79	-0.02
36m	32.69	32.52	-0.17	32.63	-0.06	32.66	-0.03	32.60	-0.09
30m	31.97	31.76	-0.21	31.86	-0.10	31.97	0.00	31.86	-0.10
24m	32.07	31.83	-0.24	31.90	-0.17	32.02	-0.04	31.92	-0.15
18m	32.14	32.52	0.39	32.72	0.58	32.79	0.66	32.68	0.54
12m	32.81	32.33	-0.47	32.58	-0.22	32.51	-0.29	32.48	-0.33
6m	33.47	32.41	-1.06	32.33	-1.15	32.39	-1.09	32.38	-1.10
1.5m	35.01	32.11	-2.90	31.34	-3.67	31.46	-3.55	31.64	-3.37

二、行人層流場與熱舒適度分析

本研究聚焦於行人層 1.5 m 高度，評估風速 (m/s)、溫度(°C)、相對濕度(%)與熱舒適度(以 Apparent Temperature, AT 為指標)。由圖十一及表三可見，A 帆因設置位置及熱堆積效應，雖使風速提升，但溫度依然偏高，對 AT 改善有限。

但就整體而言，導風帆平均可提升風速 1.13 m/s，且平均降低溫度 2.08 °C，相對濕度則僅

平均提升約 1%對 AT 計算影響有限(三種帆 A-F 平均加總的平均)。然而，三者均能顯著改善 AT，降幅介於 2.66–3.16 °C，其中以 II 曲面形最佳，其次為 III 風帆形，I 平板形相對較弱。

表三：II 曲面式導風帆與 B 原始態數值比對

	A	B	C	D	E	F	A-F 平均
VECTV(m/s)	2.00	0.91	0.35	1.05	0.58	1.45	1.06
TEMP(°C)	1.20	-0.74	-4.88	-2.99	-3.67	-2.77	-2.31
AH(%)	0	0	0	0	0	0	0
RH(%)	-9	-3	8	5	5	4	2
AT(°C)	-0.02	-1.38	-5.46	-3.89	-4.31	-3.92	-3.16

4. 結論與建議

- 一、導風帆能有效導引高空氣流至地面，疏導近地層低風速封閉結果；
- 二、不同設置位置與形式影響導流效益，風帆裝置可作細部設計調節；
- 三、行人層風速顯著提升，溫度與相對濕度同步改善；
- 四、設置導風帆能有效降低（約 2.66–3.16 °C）體感溫度(AT)；明顯提升行人層熱舒適度；
- 五、導風帆在風速、溫度、濕度之間的交互作用，主導微氣候熱舒適度改善。

5. 致謝

本研究感謝國家科學及技術委員會專題研究計畫(計畫編號：NSTC 114-2221-E-027-006-)支持。

6. 參考文獻

- [1] Oke, T. R. Street design and urban canopy layer climate. Energy and Buildings.1988.
- [2] Blocken, B. 50 years of urban wind studies: Past, present and future. Building and Environment. 2015.
- [3] Ng, E. Designing high-density cities for social and environmental sustainability. Earthscan.2012.
- [4] Hsieh, C. M., & Huang, H. C. Mitigating urban heat islands: A landscape ecology perspective. Landscape and Urban Planning.2016.
- [5] Bowler, D. E., et al. Urban greening to cool towns and cities: A systematic review. Landscape and Urban Planning.2010.