DOI: 10.6653/MoCICHE.202302_50(1).0005

熱島效應緩解策略之風廊系統的指認與應用

林子平／國立成功大學建築學系 特聘教授
蔡沛淇／國立成功大學建築學系 碩士班研究生
歐星妤／國立成功大學建築學系 研究助理
張洲滄／臺中市政府都市發展局 副總工程司

快速都市化發展下，高密度開發導致水域及綠地減少，引發都市熱島問題，而另一個重要的成因，則是建築物密集、間距小，導致通風散熱不良。為了有效減緩都市熱島效應的惡化，目前全球已有多個城市正在實行都市風廊的建設，甚至針對風廊指認與規範有明確的國家級標準。本文利用歷史氣候資料與土地使用現況資料，以臺中市為例，探討風廊系統在臺灣的城市規劃體系中可適用的實踐方式及政策路徑。為了探討行人活動的熱舒適環境，本文以建築物導致的地表粗糙特性作為戶外空氣流動時的潛在阻力，並以最低成本路徑法繪製出可能的流動路徑，藉此定義針對行人舒適度提供優化建議的都市風廊路徑。本計畫成果將有助於推動微氣候的改善，以增加都市風速並降低都市溫度。

前言

在快速經濟發展與都市化下，水泥建築物與不透水鋪面、各類經濟與高密度開發活動產生的熱源大量進入都市，而原有的自然水綠覆蓋範圍縮減，造成環境失去平衡與氣溫調節的功能，使都市地區氣溫明顯高於周圍郊區，都市熱島效應日益嚴重。

在同一時間下，最高溫區及最低溫區的氣溫差異，即為「都市熱島強度」。目前臺灣許多城市的都市熱島強度在夏季時普遍高於 2.5°C，已高於聯合國政府間氣候變化專門委員會（IPCC）對於世紀末的溫度預測，顯示其迫切需要改善。

臺灣的都市熱島強度

為了瞭解城市的熱島結構，國家災害防救科技中心（NCDR）氣候變遷專案組與臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫（TCCIP）透過 WRF 模式（Weather Research and Forecasting Model）將歐洲中期天氣預報中心（European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF）2017 年所產出的第 5 版再分析資料 ERA5（ECMWF Reanalysis version 5）進行動力降尺度（Dynamic Downscaling），其中在模擬近地表的地貌分布時，使用當時的土地利用以及雲量分布等資料，能夠統整全臺不同區域與縣市因監測點位密度及分布所產生的數據採量差異，以及統計分析不夠具表徵等問題。根據該案所建立之全臺 2011 年至 2018 年歷史重建氣候資料 TReAD（Taiwan ReAnalysis Downscaling data）之網格化氣候資料來觀察臺中市，於 7 月下午 2 點時臺中市平均最高溫 33.8°C 位於大里區，相較同一時間，位於沙鹿郊區之臺中都會公園僅 30.3°C，代表都市熱島強度達 3.5°C。

另一方面，根據國立成功大學建築與氣候研究室（BCLab）架設之高密度地面氣溫量測網 HiSAN（High-Density Street-Level Air Temperature Observation Network）資料顯示，2021 年 8 月 29 日下午 2 點，臺中市的最高溫度 34.6°C 亦出現在大里區，而平地的最低溫度 30.8°C 則位於大甲區，熱島強度為 3.8°C，由此可見臺中市已有極為明顯的都市熱島現象。

通風散熱緩解熱島效應

都市熱島主要是由於人為因素所造成，其原因眾多，而建築物密集、間距小導致通風散熱不良即是熱島成因之一。風是將都市蓄積熱量排除的重要管道。風可以有效帶走並降低材料的表面溫度，減少材料釋放的輻射熱；流動的氣流也可使空氣混合，避免密集街區中人工發熱導致的高溫。因此，依據都市的現況進行通風廊道系統的指認與建構是提升通風散熱品質的良方，亦是全球多個城市正在實行中的都市策略。

通風廊道一詞起源於德語單詞 Ventilationbahn。根據 Matzarakis, A. and Mayer, H. 的研究 [1]，都市通風道是指在風速較低的天氣條件下，風由郊區吹向表面粗糙長度（Roughness Length）較高的城市之行經區域。其有效性作用於都市冠層之底層。德國國家指南《城市和地區環境氣象學之氣候和空氣污染地圖》[2] 將其命名為「風廊」，並給出了明確的定義：基於方位、地表性質和寬度等特性致使大量地表氣流行經的區域。其旨在通過低粗糙度、筆直或微幅彎曲、並且相對較寬（盡可能超過 50 公尺）的路徑，來促進水平空氣交換過程。

目前全球已有許多城市投入風廊系統的研究。例如：中國氣象局發布實施了《氣候可行性論證規範—城市通風廊道》[3]。當中說明通風廊道指認原則為：利用地理資訊系統疊加背景風況、通風潛力、通風量、城市熱島強度、綠地空間分布，以建構城市主要及次要通風廊。北京市政府根據上述規範頒布了《北京城市總體規劃（2016～2035 年）》[4]，將規劃 5 條寬度 500 公尺以上的一級通風廊道和多條寬度 80 公尺以上的二級通風廊道。劃入通風廊道的區域將限制建設規模，例如：風廊行經的區域禁止高密度的建設開發，一些風廊的關鍵節點將會隨著都市密度減壓政策的推進進行拆除。

臺灣過去也有都市通風性的相關研究，例如 Hsieh and Huang [5] 就曾採用鋒區指數（Frontal Area Index, FAI）與粗糙長度網格最低成本路徑法指認風廊。該研究發現都市降溫層主要由綠地與水域組成；升溫層則主要是道路、商業與工業區，因此建議在城市規劃時應考慮水綠間風流的連接。然而，要將風廊系統導入政策，仍需要系統性地考量層級架構、管制規範與實施效益。

風廊系統的層級架構

要建立都市中的風廊系統，首先應瞭解城市的地理氣候環境與建成狀況。本研究利用 TReAD 網格化歷史重建氣候資料、高密度地面氣溫量測網 HiSAN 數據、以及中央氣象局開放之歷史監測資料三種氣候資料，並採用地籍圖資與 Landsat 衛星影像辨識作為土地使用現況資料，以探討風廊系統在臺灣的城市規劃體系中，可適用的層級結構。根據氣候資料顯示，都市存在長年的季節性風勢，因此本文將通風廊道系統分為「自然風廊」與「都市風廊」，如表 1 所示。

表 1　自然風廊與都市風廊之定義 [6]

<table>
<tr><th>位置</th><th colspan="2">名稱</th><th>風廊定義</th></tr>
<tr><td>10 m 以上高空</td><td colspan="2">自然風廊</td><td>因區域的季風、海陸風、或溫度而產生的氣流，且因地形圍塑而形成一條特定的路徑</td></tr>
<tr><td rowspan="4">2 m 人行層</td><td colspan="2">都市風廊</td><td rowspan="4">自然風廊進入市區後，會流經風阻較小的區域（綠地、水域、廣場、車道等），其連結而成的連續路徑，即可稱之為「都市風廊」</td></tr>
<tr><td rowspan="2">全市型風廊</td><td>主要風廊（一級）</td></tr>
<tr><td>次要風廊（二級）與風廊指定連續路徑</td></tr>
<tr><td>局部型風道</td><td>局部風道（三級）</td></tr>
</table>

自然風廊係指在自然環境中因溫度差及壓力差，產生由低溫流向高溫處的氣流，且因地形圍塑而形成一條特定的路徑，通常發生於都市冠層（約 10 公尺以上高空），例如：季風、海陸風。其意義在於將觀測與演算的風向與風速資料轉化為易於閱讀的視覺化形式並予以命名，以利於降尺度分析時能夠明確描述地區的自然性質。

當自然風廊進入市區後會流經風阻較小的區域，例如：公園綠地、水域河川、廣場空地、低矮稀疏的建築群或道路等，如果這些區域在行人層高度（2 公尺）的路徑能夠彼此連結成為一條連續路徑，即可稱之為「都市風廊」。換言之，有自然風廊才有都市風廊的存在。而上述風阻將由建築量體之粗糙長度來表示。

根據臺灣的都市形態以及管制路徑，都市風廊被分為全市型風廊與局部型風道兩種，並將依等級進行不同程度的管制。全市型風廊可依行經的都市風阻特性定義出潛在風速的大小，其可能的散熱能力不同，因此全市型風廊又可細分為主要風廊（一級）、次要風廊（二級）；而當目標區間的尺度縮小至局部地區（如計畫區、都市更新範圍等）時，其風廊為局部風道（三級）。

主要風廊（一級）所參考的背景資料為自然風廊之風向，也就是觀測與演算之都市冠層的風的性質。其表示的意義為：在都市中，較高機率有高風速產生的一條連續路徑。此風廊的建立目標在於維持風廊路

徑的低粗糙特性，因此某地區一旦經指認具有主要風廊（一級）行經時，應透過管制手段維持該路段的低粗糙長度特性。

次要風廊（二級）之參考背景資料與一級相同，皆為自然風廊之風向。然而，由於判斷規則的差異會造成指認結果所屬區域與一級有所不同，其所代表的意義亦有所相異。它的意義為在建成區中，有機率產生微風且具備連貫通風潛能的路徑。此風廊的建立目標在於確保市區的通風連續性、維持該風廊路徑暢通並且減少在路徑上的風阻產生。因此，某地區一旦經指認具有次要風廊（二級）行經時，應首先判斷該區段粗糙長度是否高於預設之通風標準值（該值依都市開發規模而定，臺中市為粗糙長度 1 公尺），若超於標準，則應重點進行通風管制，以修補風廊上無法連貫的區域。

局部風道（三級）參考的背景資料為全市型都市風廊之風向。其存在目的是將研究規模縮小，以便更具體地實施減熱策略。此風道的建立目標在於確保地區通風的連續性，或是提升基地內、街廓內的熱舒適性。因此，它所代表的意義為引導風進入低風速的建成區巷道，其中亦包含了源自地表區域的涼風，例如：水域、公園。

在一地區內若某一道路被指認為局部風道（三級）時，其周邊建物應進行通風管制，以確保風流暢通並將風引入市區巷道中。其中，「平行於主要風向（參考鄰近之全市型風廊）」的主要道路將會影響下風處的風速，是確保上下風處的通風連續性的關鍵；而由該風道向外擴散、或由開放節點（如：水域、綠地、校園、廣場等）向外擴散的巷道將會影響建築基地的風速，是提升基地舒適性的關鍵。

值得一提的是，局部型風道的研究範圍較全市型風廊小，因此其指認過程可參考計算流體力學（Computational Fluid Dynamics, CFD）之局部氣流實驗模擬結果，或亦可採用與全市型風廊相同之「粗糙長度網格最低成本路徑法」技術，唯單元格點邊長視研究範圍不同得使用更細緻的邊長。

以臺中為例建構風廊系統

臺中市的自然風廊

從長期的氣候歷史資料來觀察，臺中市夏季之日間盛行風向主要為來自臺灣海峽之西向風，夜間則以南風為優勢。此市夏季之自然風廊詳見圖 1，具有以下

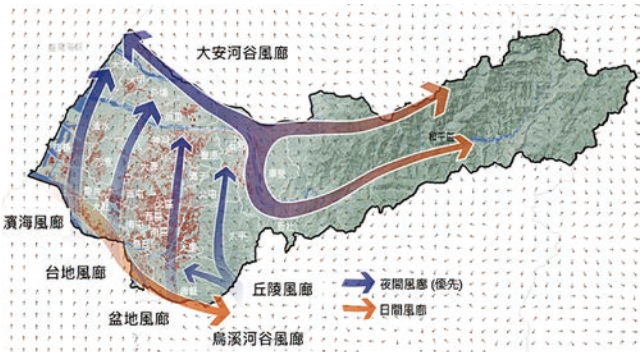

圖 1　臺中市自然風廊分布圖 [6]

特徵：(1) 河谷風廊：其風向為大安溪與大甲溪上游往西至下游處交會合併，由陸地吹向海域，呈現 Y 字型的風廊；(2) 濱海風廊、台地風廊、盆地風廊：均為夜間由南向北吹的南北向風廊。

日間與夜間的盛行風向存在差異，其在都市熱環境中所代表的意義也不盡相同。一般而言，日間時氣流通過僅能略提升人體熱舒適；而夜間時郊區氣溫明顯降低，涼爽氣流進入市區有助於都市熱交換。

由於夜間的風較利於形成都市熱交換，且參考德國等城市的風廊規劃原則皆以夜間風向為優先，本文在進行氣候環境評估時，以夏季夜間的風向作為建構風廊時的優先考量。

指認全市型風廊

欲指認臺中市的都市風廊，首先將臺中市的建築面積及高度參數輸入地理資訊系統（GIS）中，並取建築投影面積及高度資料，以 500 公尺為網格單元計算粗糙長度 R_0 [7]。粗糙長度愈大，即表示該網格的風阻愈大，風愈不容易通過。本案計算方法經簡化後如下式 1：

$$R_0 = \mu_b \times \Sigma (A_b \times H_b) \div A_p \tag{1}$$

式中 μ_b 為建物專用係數 0.25、A_b 為建築面積（m^2）、H_b 為建築高度（m）、A_p 為單位網格面積（m^2）。

當粗糙長度小於 1 公尺時，本文定義其易於風通行，因此將粗糙長度以 0.5 公尺為區間，在 GIS 中進行資料視覺化，以色彩區分單位網格之粗糙長度數值大小，並與地理資訊圖層套疊。顏色愈深代表粗糙長度愈大，潛在的風阻愈大。

由於臺中市都市密集區位於盆地地區，本文設定都市風廊的主要研究範圍為市區密集建成區之 20 × 20 平方公里（40 × 40 單位網格）範圍。在此範圍中使用最低成本路徑法（Least Cost Path, LCP），假設風會優先選擇進

行阻力較小的路徑，由南向北指認出潛在的風廊路徑。在操作 LCP 方法指認時，允許風廊在遇大面積高粗糙長度（大於 2 公尺）之區域時提前進行轉折，且其偏轉角度不應超過 30°（該數據參考香港城市設計指引 [8]）。

當都市風廊經過粗糙度大於 1 公尺以上之單位網格數量占其總通行垂直數量之 35% ~ 50% 時本文設定其為次要風廊（二級）；若其數值小於 35%，表示十分利於風的通行，定其為主要風廊（一級）。其計算方法如下式 2 所示：

$$P = N \div L \tag{2}$$

式中 P 為級數判定指標（%）、N 為風廊經過粗糙度大於 1 公尺的單位網格數、L 為評估範圍邊長格數。

臺中市全市型風廊經上步驟指認與建構後，其結果詳見圖 2。其中，清水及沙鹿地區、大肚台地東西兩側與旱溪西側各有主要風廊（一級）行經；中心建成區由於單位網格粗糙長度較長、都市風阻崎嶇，其繪製出的風廊被定為次要風廊（二級）。雖推估次要風廊（二級）之平均風速較一級行經區域低，然其通行區域位於臺中市熱島核心區域，因此具高降溫效益，其存在價值不可忽視。

由於次要風廊（二級）所行經的區域多為密集建成區，必須重點檢視路徑上的通風連續性，因此應根據次要風廊（二級）之路徑、風向與建成區之建物、路網、水綠等特性，指認出一條由始至終，連續且暢通的「指定連續路徑」。透過該路徑的指認，得以確保上風處的風能夠順暢地於地面層流動。

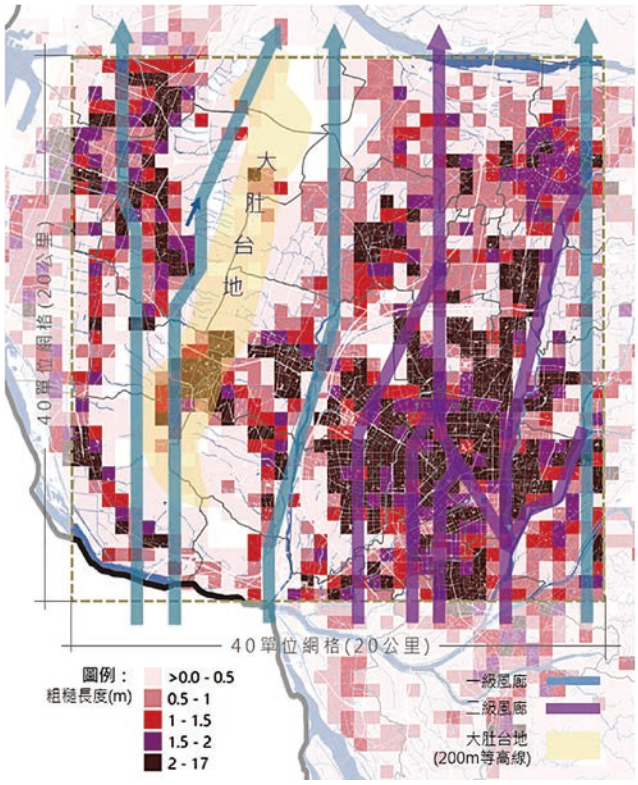

圖 2　臺中市中心都市風廊分布圖 [6]

風廊指定連續路徑係以次要風廊（二級）所通行的 500 公尺網格路徑為基準，自上風處起始，指認出與風向相近且達 20 公尺以上寬度的道路或水綠空間，由始至終連接出一條連續的路徑。指認得視都市路網現況轉折、超出或微幅偏離次要風廊（二級）路徑。該目的在於重點管制指定連續路徑上的通風暢通性，以維持下風處的風量。

本案根據次要風廊（二級）之走勢，指認出四條由南而北的風廊指定連續路徑，如圖 3 所示。為了保障密集地區的通風量，這些指定連續路徑將被建議作為實施規範的首要區段。

指認局部型風道

由於局部型風道的指認與管制需參考作用地區之都市計畫規範、土地使用管制、建築與通風現況等條件，下文以臺中市七期重劃區內的新市政中心專用區為例，進行局部風道（三級）的指認。

局部型風道可在細部計畫區的尺度下被指認。在臺中市新市政中心專用區中，首先應了解此區域之長年風向，以指認後續風道方向。本研究使用 TReAD 歷史氣候資訊之兩公里網格風向資料，選取位於計畫區的網格風速資料分析其長年風向。經分析後發現，該計畫區的夏季以南風為主，而在上午有部分時間為

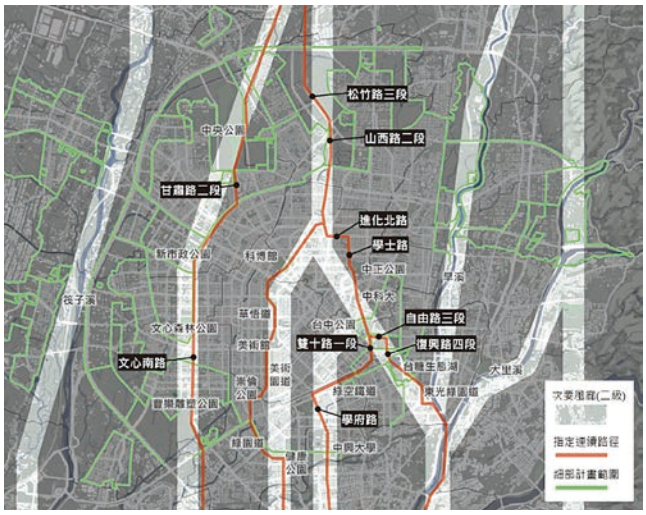

圖 3　風廊指定連續路徑圖 [6]

西風，此外冬季全為北風。為紓解夏季高溫現象，本研究取夏季之長年風向南風作為後續指認風道的背景風向。

確認此區風向後，即可進行地表粗糙度的計算。如同全市型風廊之計算過程，透過將計畫區的土地利用等資料進行網格計算，得出計畫區的地表粗糙度圖，其中網格大小使用了更細緻的 100 公尺網格。接著依據地表粗糙度圖及背景風向南風，以最小路徑法為原則，輔以道路、綠地及水域系統等之規劃指認局部風道，指認成果如圖 4，風道主要分佈於主要道路及大型綠地或河道上。

此外，風道亦可透過 CFD 氣流模擬分析進行驗證，該計畫區的 CFD 模擬成果如圖 5 所示。圖中風速較強之區域即為可形成風道之區位，而其位置與粗糙度方法指認成果相近，在主要道路以及大型空地上皆有較高的風速能形成風道。

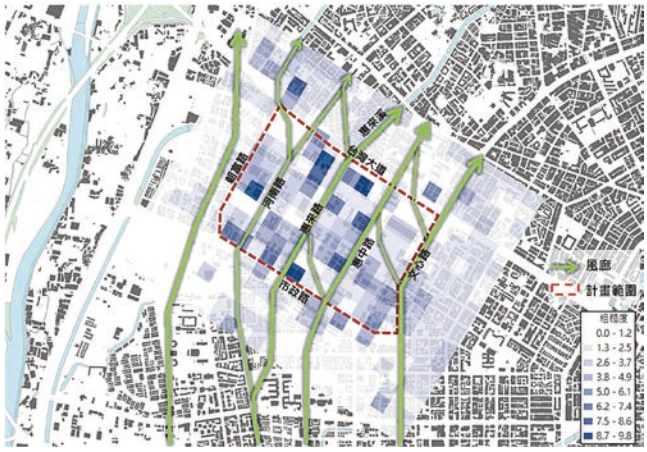

圖 4　新市政專用區局部風道圖 [9]

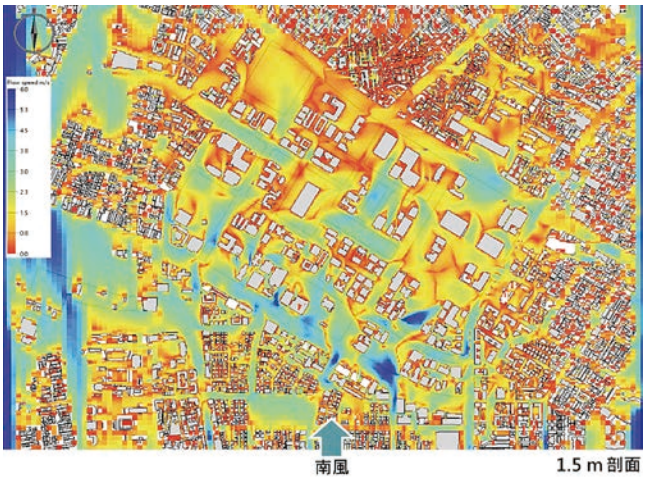

圖 5　新市政中心專用區 CFD 氣流模擬分析成果 [9]

指認結果導入管制策略

全市型風廊管制策略

全市型風廊的指認結果納入都市計畫將有利於制定更具體的都市開發規範，並提供有效的設計建議；而局部型風道得以針對特定細部計畫或都市更新區進行指認，以期改善區域的通風品質與舒適性。下文將針對臺中市全市型風廊簡述其建議的管制方針，並以臺中市新市政中心專用區為例，說明局部型風道的具體管制方法。

主要風廊（一級）管制：該風廊的建立目標在於維持風廊路徑的低粗糙特性，因此應管制其行經的區段之粗糙長度。其管制對象為風廊行經範圍內之建築基地，建議應規範其建蔽率與容積率上限，以避免該區段粗糙長度過高導致通風不順暢。

次要風廊（二級）管制：該風廊的建立目標在於確保市區的通風連續性，因此應維持該風廊路徑暢通並且減少在路徑上的風阻產生。當次要風廊（二級）行經區段之粗糙長度超於 1 公尺時，需進行通風管制，以修補風廊上不連貫的區域。其主要之管制對象為風廊範圍內，街道走向與主要風向平行或相近之周邊建物、以及開放節點（如：水域、綠地、校園、廣場等）之周邊建物。此外，為了確保通風效果，次要風廊（二級）上另劃定之「風廊指定連續路徑」區段，須提升其限制標準。可透過建物退縮、設置綠帶遮蔭、開闢閒置公有地、劃設公園綠地、限制建築物連續面寬與棟距或區段限制開發等方式，進行可行之管制。

局部型風道管制策略

上述說明係針對管制方法進行方針指引，詳細規範之項目與尺寸標準由於市區土地紋理複雜、密度性質不一，應依據各計畫區特徵另案啟動相關土地與氣候數據分析、檢討與制定專門規範，方可對症下藥。因此，以下以臺中市新市政中心專用區為例，說明局部風道（三級）具體的管制實施方案。

局部風道之管制策略可利用細部計畫區通盤檢討時納入規劃，如新市政中心專用區現正進行中的第五次通盤檢討案，為減緩熱島效應而研擬將局部風道納入土地管制規範中。依局部風道的指認成果可知，風道分佈於主要道路上。而為了擴大風道並將風道上的風引入基地內，本研究參考計畫區的街廓尺度，將道路兩側 60 m 範圍內的區域訂為引風策略區（圖 6）。在

圖 6　新市政中心專用區風道及引風策略區指認 [9]

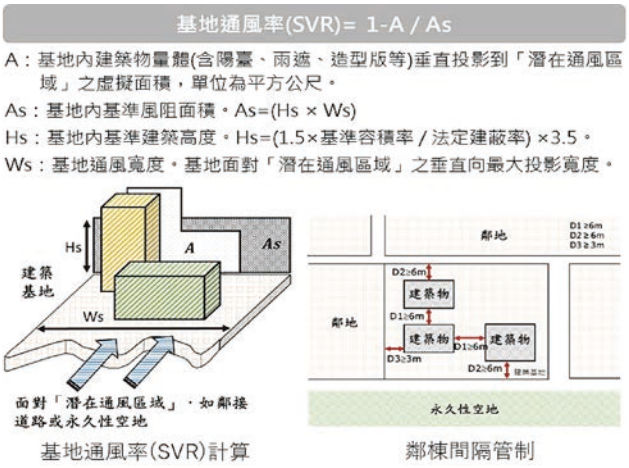

圖 7　「臺中市都市更新建築容積獎勵辦法」之基地通風檢討有關內容 [9]

管制策略上，研訂此區建築基地如欲取得開放空間獎勵，需同時檢討其基地通風率（SVR），其 SVR 未達一定比例者，則開放空間獎勵容積將酌予折減。

基地通風率代表風能從目標基地流進其後側基地的比例，基地通風率愈大表示基地的建築型態更有助於將風引入街廓，並減少阻擋風而使下風處通風不良的情形。基地通風率目前已在臺中市都市更新建築容積獎勵辦法中做為評估基地量體通風性能的指標，其計算方式與相關規範詳圖 7。

結論與未來發展

都市風廊的建構可以為都市帶來良好的通風環境，減緩熱島效應，進而提升永續城市的宜居性與舒適性。本文展示了以臺中市為例，使用粗糙長度網格最低成本路徑法進行全市型與局部型的都市風廊指認，這種判斷風廊的方法具有快速、成本較低且具一定的準確率等優點，並且具備較高的修正彈性。指認的結果未來可透過建物退縮、設置綠帶遮蔭、開闢閒置公有地、劃設公園綠地、限制建築物連續面寬與棟距或區段限制開發等方式進行通風性的管制。然而，該方法仍然存在一些限制：由於建成區的風阻較崎嶇，風速一般較弱且風向凌亂，單一的起始風向設定會限制判讀結果。我國目前風廊規範是由地方政府各自建設，缺乏國家整體性且目標尺度不均，尚無定義全國適用的標準流程。未來若要將本研究作為全臺適用的標準化系統與指認方法之基礎，可利用搜尋演算法執行最低成本路徑法的判斷過程，以排除上文所述之限制。此外，後續亦可將上風與下風處的性質差異納入考量條件，例如：一級主要風廊之上風處不可行經大面積高粗糙長度之區域，否則定其為二級風廊、或設定水域綠地為風廊上風處，以為城市帶來涼爽的來風。

誌謝

感謝臺中市政府都市發展局計畫補助。本文部分內容為臺中市政府委託計畫「永續城鄉宜居環境－臺中都市熱島效應空間策略計畫 [8]」與「臺中市都市計畫新市政中心專用區通盤檢討規劃案 [9]」之通風策略部分內容，亦為蔡沛淇於國立成功大學建築系碩士論文部分內容。

參考文獻

1. Matzarakis, A. and Mayer, H., “Mapping of urban air paths for planning in Munich,” Wiss. Ber. Inst. Meteor. Klimforsch. Univ. Karlsruhe, No. 16, pp. 13-22 (1992).
2. VDI 2015, VDI-Guideline 3787, Part 1, Environmental meteorology-climate and air pollution maps for cities and regions, Verein Deutscher Ingenieure, Berlin, Germany (2015).
3. 中國氣象局，「氣候可行性論證規範—城市通風廊道」，中華人民共和國氣象行業標準，QX/T 437-2018，中國（2018）。
4. 北京市規劃和自然資源委員會，「北京城市總體規劃（2016 年～2035 年）」，第二章，中國（2017）。
5. Hsieh, C.M. and Huang, H.C., “Mitigating urban heat islands: A method to identify potential wind corridor for cooling and ventilation.” Computers, Environment and Urban Systems. Vol. 57, pp. 130-143 (2016).
6. 臺中市政府，「永續宜居環境—臺中都市熱島效應空間策略計畫」，期末報告書（2022，執行中）。
7. Kondo, J. and Yamazawa, H., “Aerodynamic roughness over an inhomogeneous ground surface.” Boundary-Layer Meteorology, Vol. 35, pp. 331-348 (1986).
8. 香港特別行政區政府規劃署，「香港城市設計指引」香港規劃標準與準則，第十一章，第 34 頁，香港（2015）。
9. 臺中市政府，「臺中市都市計畫新市政中心專用區通盤檢討規劃案」，期中報告書（2021，執行中）。