

第二章 氣候感應與基地微氣候規劃



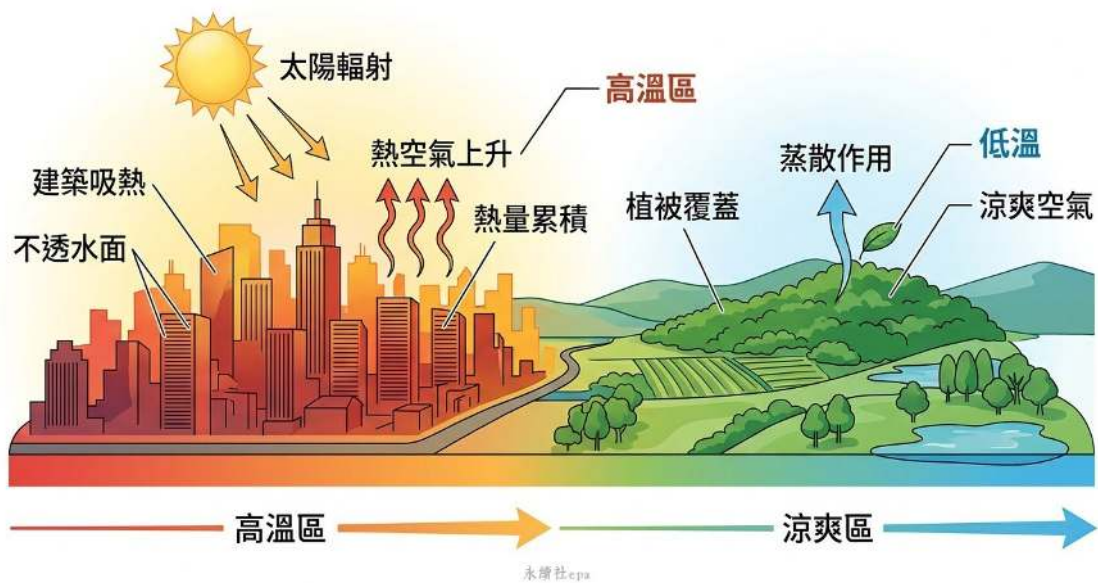
建築設計與環境之間的互動關係，是決定其永續性能的關鍵起點。在第一章探討了永續建築的宏觀倫理與整合性設計流程後，我們必須將視角聚焦於建築與其直接所處環境的對話。氣候感應設計並非現代的新興概念，而是根植於古老風土建築的智慧，其核心精神在於深刻理解基地的氣候條件，並透過設計手段順應自然力量，以最低的能源投入創造舒適的室內外環境。這意味著建築師必須從被動的環境適應者，轉變為主動的微氣候塑造者，在建築物落地之前，便已開始進行一場精密的環境調節計畫。

本章所探討的基地微氣候規劃，正是此一主動調節過程的科學與藝術。它超越了單純的建築選址，進入了對太陽輻射、風向風速、溫度濕度、降水模式等物理參數的定量分析與模擬階段。現代綠建築的成敗，極大程度取決於設計初期對這些環境因子的掌握精度與應用深度。透過先進的觀測工具與模擬軟體，設計團隊能夠預見建築物對基地的影響，以及基地條件對建築性能的反饋，從而制定出最優化的配置與形態策略，為後續的高性能外殼設計與高效能機電系統奠定堅實基礎，減少對主動式機械設備的依賴。

因此，氣候感應設計代表了一種設計哲學的典範轉移，它要求設計思維從建築物本身，擴展至建築與周遭環境共同形成的生態系統。這個系統包括物理環境的熱、光、風、水，也涵蓋了生態層面的植被、土壤與生物多樣性。成功的微氣候規劃能夠有效緩解都市熱島效應、改善局部空氣品質、管理暴雨逕流，並提升使用者

的熱舒適與心理健康。這是一個從宏觀氣候區特性，到中觀都市紋理，再到微觀建築基地的層層遞進分析過程，每一步都需要精準的數據支持與跨領域的整合判斷。

最終，本章旨在建立一套系統性的方法論，引導讀者從基地環境的數據蒐集與解讀開始，逐步應用被動式設計策略於基地配置、建築群布局、乃至都市尺度的風道與綠網規劃。這不僅是技術層面的操作指南，更是將第一章所述的環境倫理與整合設計流程，落實於具體設計實踐的關鍵橋樑。透過對微氣候的深入理解與巧妙干預，建築得以從能源的消耗者轉變為環境的調節者，真正實現與自然共生的永續願景。



2.1 基地環境物理量觀測與模擬

基地環境物理量觀測與模擬是氣候感應設計的科學基石，其核心在於將抽象的氣候條件轉化為可量化、可分析的物理參數，進而為後續的設計決策提供精確的依據。此過程超越了傳統建築設計中對基地氣候的定性描述，轉而採用系統性的數據收集、解析與預測模型，確保建築物從規劃之初便能與其所在的微氣候環境達成最佳化的互動。這項工作涉及對太陽輻射、空氣溫度、濕度、風向風速、降水等多重環境因子的長期監測與短期實測，並結合先進的計算機模擬技術，預測建築物介入後對基地微氣候的影響，以及微氣候對建築能耗與室內環境品質的反饋。在永續建築的框架下，此階段的投入直接決定了被動式設計策略的有效性，是降低建築生命週期能源消耗與環境衝擊的關鍵第一步。

氣象數據的獲取與解讀是此階段的首要任務。其中，典型氣象年數據已成為建築能耗模擬的標準輸入資料，它整合了長期歷史氣象觀測，篩選出最具代表性的連續十二個月數據，能夠反映該地區氣候的典型特徵與極端狀況。然而，TMY 數據代

表的是區域性氣象站的觀測結果，對於特定基地而言，可能因都市化程度、地形地貌、鄰近水體或植被覆蓋等因素而產生顯著差異。因此，專業的綠建築設計必須輔以實地的微氣候觀測，例如在基地內設置移動式氣象站，進行至少一個完整年度的數據收集，以捕捉太陽輻射受周邊建築遮擋的變化、街道峽谷內的風速衰減與風向偏轉、以及不同下墊面材料導致的局部溫度差異。這種宏觀氣象數據與微觀實測數據的交叉驗證與融合，方能構建出真正反映基地條件的氣候模型。

太陽輻射是影響建築熱增益與自然採光的最主要因素，因此太陽路徑分析與遮蔭圖譜的繪製至關重要。透過天文學計算與三維建模軟體，設計者可以精確掌握任何日期、任何時刻太陽在基地上的方位角與高度角，並據此評估建築物自身形體、周邊既有建築、以及自然地形地物所產生的陰影範圍與持續時間。這項分析不僅用於優化建築朝向與開窗位置，以最大化冬季太陽得熱並最小化夏季冷房負荷，更是進行遮陽系統設計、屋頂太陽能板佈置、以及景觀植栽配置的基礎。遮蔭圖譜能視覺化地呈現全年的陰影動態，幫助設計師避開關鍵的太陽能收集區域被遮蔽，或利用落葉喬木的特性，創造夏季遮蔭、冬季透光的動態調節效果。

風環境的模擬與分析同樣不可或缺，尤其在都市環境中，建築群體會顯著改變近地面的風場結構。計算流體力學技術的應用，使得設計團隊能在虛擬環境中模擬不同設計方案下的基地風場，包括風速分布、風壓係數、以及潛在的渦流區或靜風區。這項模擬有助於評估自然通風的潛力，優化建築開口設計以引導夏季涼風進入室內，同時在冬季避開主導風向以減少冷風滲透。此外，CFD 模擬也能用於分析人行高度的風舒適度與風安全問題，避免因建築造型不當而產生令人不適的強風或危險的風切現象。對於高層建築，風場模擬還需考慮風致振動與外牆風壓荷載，確保結構安全與外牆氣密性。

都市熱島效應的量化與成因分析，是現代建築基地規劃中無法迴避的課題。UHI 現象導致都市區域氣溫明顯高於周邊郊區，加劇夏季空調能耗並影響居民熱舒適與健康。量化 UHI 需要透過衛星遙感反演地表溫度，並結合地面氣溫觀測網絡的數據，繪製出精細的都市熱環境分布圖。成因分析則需探討人為熱排放、建築材料熱物理性質、城市幾何形態對長波輻射散失的阻礙、以及綠地與水體蒸散作用的不足等多重因素的貢獻比例。此分析能指引設計策略的方向，例如優先選用高反射率與高發射率的冷材料、增加植被與透水面積以提升蒸散冷卻、或透過建築布局優化來促進夜間散熱。理解基地在都市熱島中的角色與貢獻，是建築師承擔環境責任、參與緩解都市熱問題的起點。

整合上述各項物理量的觀測與模擬成果，最終需落實於可指導設計的綜合性環境分析報告中。這份報告應清晰地指出基地的氣候優勢與挑戰，例如主導風向與最佳採光朝向是否一致、夏季太陽輻射最強的立面、冬季冷風侵襲的主要路徑、以及基地內存在的微氣候分區。基於此報告，設計團隊能夠在後續的章節中，有據地展開建築配置、形體操作、外殼設計與景觀規劃。例如，在風場模擬顯示通風不良的區域，可能需要考慮設置通風塔或導風翼；在太陽輻射分析指出西曬嚴重的立面，

則必須優先規劃高性能的外遮陽系統。這種以數據驅動的設計流程，確保了綠建築的效能並非來自於主觀臆測或綠色技術的簡單堆砌，而是根植於對基地環境物理機制的深刻理解與智慧回應。

氣象數據（TMY）的解讀與應用

氣象數據是建築設計的基礎，其準確性與代表性直接影響被動式設計策略的成敗。在綠建築規劃中，最常使用的標準化氣象數據集為典型氣象年（Typical Meteorological Year, TMY）資料。TMY並非單一年份的實際觀測紀錄，而是透過長期歷史氣象數據（通常為15至30年）的統計分析，從每個月份中選取最具代表性的典型月份，組合而成一個虛擬的「典型年」。這種數據建構方式旨在剔除極端氣候事件的干擾，提供一個能夠反映當地長期氣候特徵的穩定基準，用於建築能耗模擬、太陽能系統發電量評估、以及自然通風潛力分析等關鍵設計決策。設計師必須理解，TMY數據代表的是「氣候常態」，而非「氣候極值」，因此在進行建築韌性設計時，必須另行參考包含極端高溫、暴雨、強風等事件的歷史數據，以確保建築在氣候變遷下的適應能力。

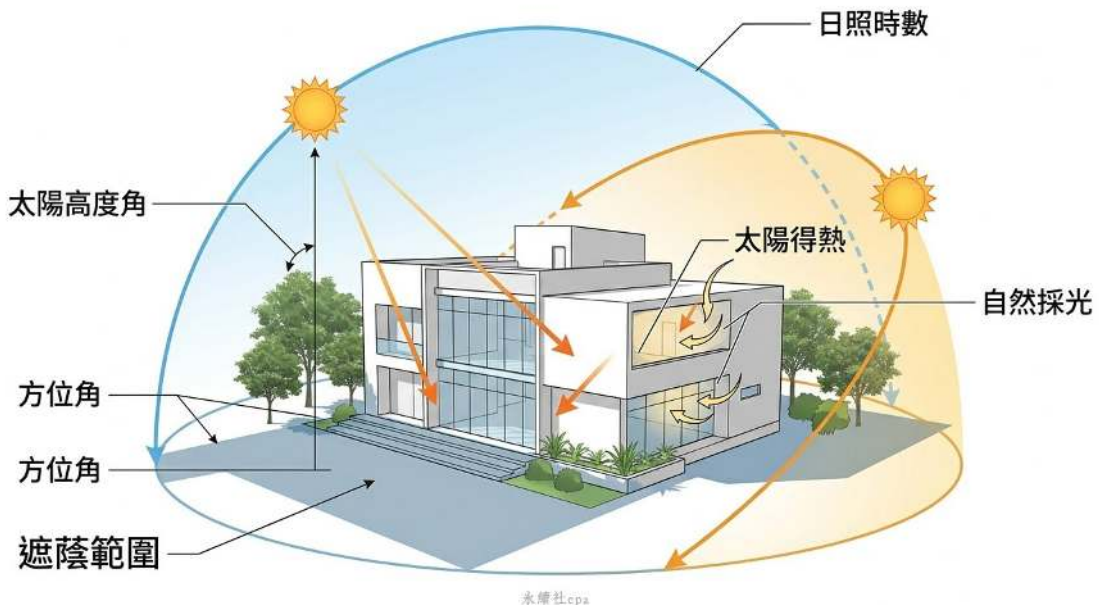
解讀TMY數據時，設計團隊需關注多個關鍵參數，包括乾球溫度、濕球溫度、相對濕度、太陽輻射（直達輻射與散射輻射）、風速與風向、雲量以及降水等。這些參數並非獨立存在，而是相互關聯，共同定義了基地的熱濕環境與潛在的可再生能源條件。例如，分析太陽輻射數據時，需結合溫度與濕度數據，以評估建築外殼在吸收太陽熱能後，其冷房負荷與除濕需求之間的動態關係。風速與風向數據則需與溫度數據交叉分析，以判斷夜間通風散熱的有效時段與主導風向。在濕熱氣候地區，濕度數據的解讀尤為重要，因為高相對濕度會顯著影響人體的熱舒適感受，並限制單純依靠蒸發冷卻或夜間通風等被動策略的效果。因此，綠建築設計不僅是對單一氣象因子的回應，更是對這些因子綜合作用的系統性調適。

在實際應用層面，TMY數據主要作為建築能源模擬軟體（如EnergyPlus、IES-VE、DesignBuilder等）的輸入條件。設計師透過軟體建立建築的幾何模型、材料熱工性能、內部負荷與作息時間表後，載入對應的TMY檔案，即可模擬建築在全年的逐時能耗表現、室內熱舒適狀況以及自然採光水平。這種模擬能夠在設計初期進行多方案比較，例如評估不同建築朝向對空調耗電量的影響、比較不同外牆隔熱性能的節能效益、或測試各種遮陽設計對減少太陽得熱的貢獻。然而，應用TMY數據時必須注意其空間代表性。許多TMY數據集來源於機場氣象站，其周邊環境多為空曠草地，與都市建成環境的微氣候存在顯著差異，特別是都市熱島效應會導致市區溫度高於郊區氣象站數據。因此，在進行都市建築設計時，有必要對TMY的溫度數據進行合理的修正，或進一步結合後續章節將探討的計算流體力學（CFD）微氣候模擬，以獲得更貼近實際基地條件的熱環境輸入參數。

隨著氣候變遷加劇，傳統基於過去氣候統計的TMY數據面臨挑戰。過去三十年的典型氣象年，可能無法代表未來三十年的氣候狀態。因此，前瞻性的綠建築設計

開始引入未來氣象年 (Future Weather Year) 數據，這些數據通常來自政府間氣候變化專門委員會 (IPCC) 的氣候模型預測情境 (如 RCP 4.5 或 RCP 8.5)，並透過降尺度技術轉化為建築模擬可用的逐時數據。應用未來氣象數據進行模擬，可以評估建築在未來更熱、更極端氣候下的性能表現與脆弱點，從而引導設計師採取更具韌性的調適策略，例如增強外殼隔熱、提高冷房設備容量、或預留更多的被動散熱與遮蔭空間。這種將氣候預測納入設計流程的做法，體現了綠建築從適應現今氣候到適應未來氣候的演進，是建築專業履行其環境承諾與代際正義的具體實踐。

最後，TMY 數據的應用不應止於設計階段的模擬，更應延伸至建築竣工後的使用階段。透過建築管理系統 (BMS) 持續收集實際的室內外環境數據，並與設計階段所使用的 TMY 模擬預測結果進行比對，可以進行建築性能驗證 (Performance Verification)。這種比對有助於發現設計假設與實際運營之間的差距，例如設備效率未達標、使用者行為模式與預期不同、或微氣候影響被低估等問題。這些回饋資訊不僅能指導當前建築的運維優化，更能成為寶貴的經驗數據庫，用於修正未來專案的設計參數與模擬方法，形成一個「設計-模擬-驗證-回饋」的持續學習循環。因此，TMY 數據的意義從一個靜態的設計工具，轉變為連接設計意圖與實際性能的動態橋樑，推動綠建築從理論上的「典型」性能，邁向實際運營中的「卓越」性能。



太陽路徑分析與遮蔭圖譜繪製

太陽路徑分析是氣候感應設計的核心工具，其目的在於精確掌握太陽輻射在特定地理座標與時間維度上的動態變化。這項分析不僅是評估建築物可能接收的太陽熱能與自然採光的基礎，更是後續被動式設計策略，如遮陽、採光、太陽能利用等決策的科學依據。傳統的太陽路徑圖以二維極座標或三維立體圖形式呈現，標示出一年中不同日期 (如冬至、夏至、春分秋分) 及一天中不同時刻的太陽高度角與方

位角。在數位化設計工具普及的今天，建築師與環境工程師可藉由專業軟體（如 Ecotect Analysis、Rhino 搭配 Grasshopper 的 Ladybug 外掛等）輸入基地的經緯度、時區及可能的遮擋物資訊，快速生成精確的太陽路徑模型。此模型能視覺化地展示在設計的建築量體上，何時、何處會受到太陽直射，從而量化潛在的得熱與採光量。這項分析銜接了前一節所討論的氣象數據（TMY），將抽象的氣候統計值轉化為具體的、與建築幾何直接相關的空間與時間資訊，為後續的遮陽設計與能源模擬提供關鍵的輸入參數。

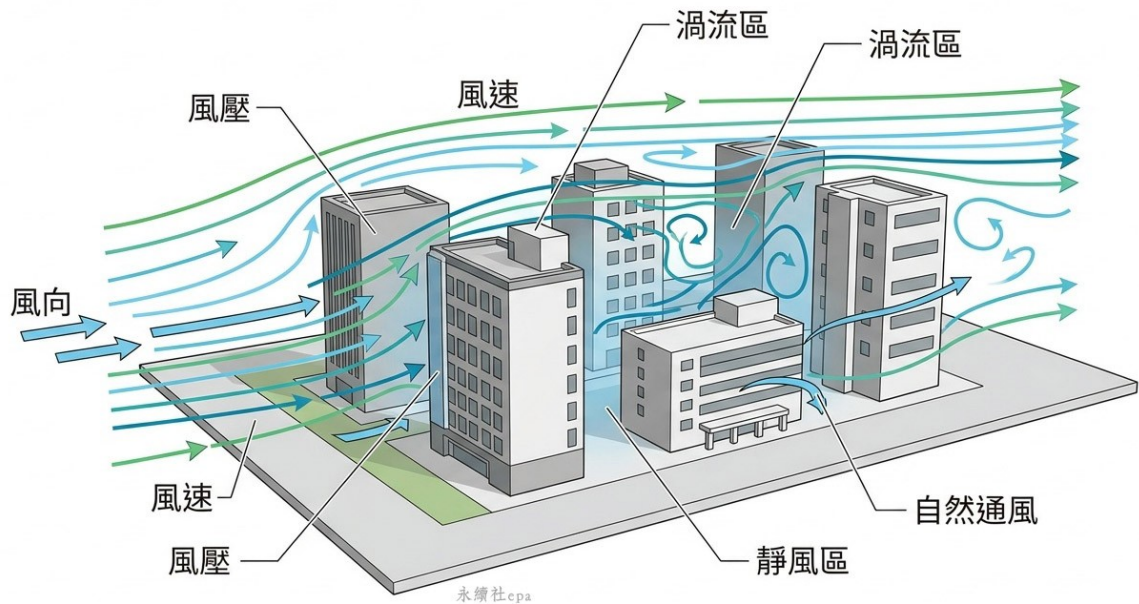
遮蔭圖譜繪製則是太陽路徑分析的延伸與應用，旨在系統性地評估基地周邊環境（包括既有建築、地形地貌、植被等）對太陽輻射的遮擋效果，並預測新建築物自身或其遮陽構件所產生的陰影範圍與移動軌跡。繪製遮蔭圖譜首先需建立基地周邊環境的數位模型，包含所有可能產生遮擋的物體之幾何形狀、高度與位置。接著，透過軟體模擬在關鍵時間點（例如夏季最熱日的正午，或冬季需要陽光時的下午）的陰影投射情況。更進階的分析會生成「遮蔭時數圖」或「日照等時線圖」，將全年或特定季節的累計日照時數或輻射量以等高線或色彩雲圖的方式疊加在基地平面上，直觀揭示基地中哪些區域屬於全日照區、部分遮蔭區或全陰影區。這項分析對於建築配置、開窗設計、戶外空間規劃（如景觀、人行道、廣場的熱舒適度）以及太陽能板的最佳安裝位置與傾角，都具有決定性的影響。它確保了設計決策能充分利用冬季太陽熱得，同時有效避免夏季過度得熱，實現被動式節能的目標。

在實務應用上，太陽路徑分析與遮蔭圖譜繪製共同指導了建築的朝向、形體與開口設計。理想的朝向應權衡冬季採暖與夏季遮陽的需求，例如在溫帶或亞熱帶地區，建築長軸沿東西向配置，主要開窗面朝南（北半球），可便於利用低角度的冬季陽光並以水平遮陽板有效阻擋高角度的夏季陽光。遮蔭圖譜則能精確計算出遮陽構件的出挑深度與間隔。例如，針對南向立面，可依據夏至日正午的太陽高度角，計算出完全遮擋直射陽光所需的水平遮陽板深度；同時，需檢視春分、秋分等過渡季節的遮陽情況，避免過度遮擋而影響所需的自然採光與得熱。對於東、西向立面，由於太陽高度角較低，水平遮陽效果有限，需採用垂直遮陽、格柵或可調式遮陽裝置，而遮蔭圖譜模擬能協助優化這些構件的角度與密度，在遮陽與視野、採光之間取得平衡。

此外，這項分析對於都市尺度的微氣候規劃至關重要。高密度都市環境中，建築物相互遮擋的影響極為顯著。透過大範圍的遮蔭圖譜分析，可以評估新建案對鄰地日照權的影響，也能規劃出能享受陽光的公共開放空間與風道。例如，在寒冷地區，應確保冬季主要公共廣場能獲得足夠日照以提升熱舒適；在炎熱地區，則可刻意創造連續的遮蔭廊道，供行人遮蔭。同時，分析也能預見都市更新或新建高層建築可能造成的「陰影峽谷」效應，即街道長時間處於陰影中，導致局部氣溫偏低、濕度增高、甚至影響商業活動與行人安全，從而提前透過設計手段進行調節。

隨著參數化設計與性能模擬工具的整合，太陽路徑與遮蔭分析已從靜態的評估工具，發展為動態優化設計流程的一環。設計師可以將建築形體、開窗率、遮陽系

統等參數與全年的太陽輻射得熱量、採光照度等性能目標進行連結，透過演算法生成或篩選出多個設計方案，並比較其能源表現。例如，針對複雜形體的建築，可以透過分析找出其外殼上太陽輻射熱負荷最高的區域，從而針對性地加強該處的遮陽或隔熱性能。這種「氣候驅動形體」的設計方法，確保了建築形式與環境性能的高度統一，是實現高性能建築外殼的關鍵前置作業，也為下一節將探討的計算流體力學風場模擬，奠定了關於輻射熱交換的邊界條件基礎。



計算流體力學 (CFD) 於基地風場模擬之應用

在完成太陽路徑與遮蔭分析後，建築設計者得以掌握基地的輻射熱增益特性，然而建築的熱舒適與能耗不僅受太陽輻射影響，更與空氣流動息息相關。計算流體力學 (Computational Fluid Dynamics, CFD) 作為一種強大的數值模擬工具，正能深入解析基地周遭複雜的風場行為，將無形的氣流轉化為可視化、可量化的數據，為被動式通風設計、污染物擴散評估乃至建築結構風荷載計算提供科學依據。CFD 技術透過求解納維-斯托克斯方程 (Navier-Stokes Equations)，模擬空氣在給定邊界條件下的流動、傳熱與傳質過程。在綠建築規劃前期，應用 CFD 進行基地風場模擬，能有效預測不同建築配置方案對區域微氣候的影響，例如評估建築群是否會形成不當的風洞效應或靜風區，從而優化建築佈局、開口設計及景觀元素配置，以創造促進自然通風、降低機械冷卻需求，並提升戶外空間舒適度的環境。

進行基地風場 CFD 模擬的首要步驟在於建立精確的計算模型。此模型需涵蓋目標基地及其周邊一定範圍內的現有建築、地形地貌、植被與水體等實體元素，因為遠距離的阻擋物或大型開放空間都可能顯著影響流場。模型建立的精細度需權衡計算資源與模擬需求，過於粗糙的模型可能忽略關鍵細節，而過度細化則會導致計算時間呈指數增長。通常，設計團隊會依據氣象數據 (如風玫瑰圖) 選取具代表性的盛行風向與風速作為模擬的入口邊界條件，並設定適當的湍流模型以捕捉空氣流動

中的渦旋與不穩定現象。透過模擬，我們可以獲得整個計算域內的速度場、壓力場、湍流動能分佈等詳細資訊，並以向量圖、流線圖或等值面圖等形式呈現，直觀展示風如何繞過建築、在建築間加速或於背風面形成迴流區。

CFD 模擬在綠建築設計中的應用層面極為廣泛。在建築群規劃階段，模擬可以協助評估不同建築量體、高度與間距對地面層行人風環境的影響，避免因建築配置不當導致局部風速過高，影響行人安全與舒適。例如，高層建築底部常因風的下降流與漏斗效應產生強風，透過 CFD 預先模擬，可透過調整建築形體、設置風障或利用裙樓設計來緩解。對於建築單體而言，CFD 能精確分析建築表面風壓分佈，這對於自然通風設計至關重要。設計者可依據模擬得到的正壓區與負壓區位置，策略性地設置進氣與排氣開口，利用風壓差驅動空氣穿越室內空間，形成有效的穿堂風。此外，模擬還能評估不同外遮陽構件或陽台深度對建築表面風壓的影響，避免因設計不當反而阻礙了通風路徑。

除了促進通風，CFD 模擬亦在評估與改善空氣品質方面扮演關鍵角色。在都市環境中，建築基地可能面臨街道交通污染、鄰近工廠排放或廚房排煙等問題。CFD 可以模擬污染物在風場作用下的擴散路徑與濃度分佈，幫助設計者判斷建築開口是否會吸入受污染的空氣，從而調整開口方位或設計防護措施，例如利用景觀土坡或綠牆作為過濾屏障。對於建築自身的排放，如冷卻塔的水蒸氣或廢氣，CFD 也能模擬其飄散軌跡，確保不會對建築自身或其他鄰近建築的使用者造成困擾或健康危害。這種預先的評估有助於實踐環境正義，避免建築成為污染傳播的媒介或受害者。

進一步地，CFD 模擬可與其他環境分析工具結合，進行更全面的性能評估。例如，將 CFD 得出的建築表面風速與風壓數據，輸入建築能耗模擬軟體（如 EnergyPlus），可以更準確地計算建築的滲風熱損失或自然通風潛力，使能耗預測更貼近現實。同樣地，結合太陽輻射模擬，可以分析風與太陽輻射對建築外牆表面的綜合熱效應，為外牆材料選擇與隔熱設計提供更細緻的參考。在都市尺度，CFD 模擬是研究都市熱島效應成因與對策的重要工具，它能模擬城市幾何形態如何影響風的流動，而風的流動又直接關乎城市蓄熱的散逸效率。透過模擬不同都市風道規劃方案、綠化配置或高反射材料鋪設對風場與溫度場的影響，可以為城市層級的降溫策略提供量化依據。

儘管 CFD 模擬功能強大，但其結果的可靠性高度依賴於正確的模型設定、網格品質與物理模型選擇。不當的邊界條件設定或過於簡化的模型可能導致模擬結果與實際情況出現顯著偏差。因此，在可能的情況下，以現場實測數據（如風速、風向）對模擬結果進行驗證與校正，是提升模擬可信度的必要步驟。隨著計算能力的提升與軟體使用者界面的友善化，CFD 已從學術研究與大型工程專屬的工具，逐漸成為綠建築設計團隊在方案比選與優化過程中可及的輔助手段。它將設計者從依賴經驗法則與定性判斷，推向一個基於數據驅動、可預測性能的理性設計過程，使建築與風環境的和諧共生不再是偶然，而是經過精密計算與設計的必然結果。此一科

學化工具的應用，緊密銜接著後續對都市熱島效應的量化分析，因為都市風場的優劣正是影響熱島強度與分布的關鍵動力因素之一。

都市熱島效應（UHI）的量化與成因分析

都市熱島效應是現代城市環境中一個顯著的微氣候現象，其核心特徵為城市區域的氣溫明顯高於周邊郊區或鄉村地區。這種溫差並非均勻分佈，而是隨著城市結構、地表覆蓋與人類活動的強度呈現動態變化。量化都市熱島強度通常以「熱島強度」來表示，即城市與郊區參考點之間的平均氣溫差值，此差值在夜間無風或微風的晴朗天氣下最為顯著，可達攝氏三至十度不等。精確的量化需要依賴長期的氣象觀測網絡，結合移動式量測與遙感探測技術，以繪製出高解析度的城市溫度分佈圖。這些圖譜不僅揭示熱島的空間範圍，更能進一步分析其與下墊面材質、綠覆率、建築密度等因子的相關性，為後續的緩解策略提供科學基礎。

都市熱島效應的形成是多重物理機制疊加作用的結果。首要成因在於城市下墊面材料性質的改變。大面積的瀝青、混凝土鋪面及建築屋頂取代了自然的土壤與植被，這些人造材料通常具有較低的反射率與較高的熱容量，能夠在日間吸收並儲存大量的太陽輻射熱，並於夜間緩慢釋放，導致城市區域全天維持較高的基礎溫度。同時，城市複雜的三維幾何形態，即密集且高聳的建築群體，形成了所謂的「城市峽谷」。這種結構大幅增加了地表與建築立面的吸熱面積，並阻礙了長波輻射在夜間向天空散逸的效率，進一步加劇了熱量的滯留。

其次，城市中人類活動所產生的人工排熱是驅動熱島效應的另一關鍵能量來源。建築物的空調系統、工業製程、交通工具引擎以及各種能源消耗設施，在運轉過程中均會將廢熱直接排放至周遭環境。在夏季用電高峰期間，大量空調室外機同時運轉，其排放的熱氣匯集於街道與建築間隙，形成局部的高溫點，顯著提升了環境的熱負荷。這種人為熱源的貢獻，使得都市熱島效應不僅是自然能量平衡被擾動的結果，更是城市新陳代謝過程中不可避免的副產品。

此外，城市水文循環的改變也削弱了自然的冷卻能力。自然地表具有透水性，雨水得以下滲並透過土壤蒸發與植物蒸散作用，消耗環境中的潛熱，從而產生冷卻效果。然而，城市中不透水鋪面比例極高，導致降雨迅速形成地表逕流並經由排水系統排走，大幅減少了可供蒸發的水分。這種「乾燥化」現象使得城市喪失了透過水分相變來調節溫度的天然機制，所有吸收的太陽輻射能幾乎全數轉化為可感熱，直接加熱近地表的空氣。

從城市規劃與建築設計的角度審視，都市熱島效應的加劇與建築配置、街道走向、開放空間分佈息息相關。狹窄的街道峽谷若走向與夏季盛行風向垂直，將嚴重阻礙通風路徑，使得熱空氣與污染物易於滯留。而缺乏連貫的綠地系統與水體，則無法形成有效的冷島效應來中和熱區。因此，理解並量化都市熱島效應，不僅是氣候學上的課題，更是建築與都市設計者必須掌握的前置分析。它銜接了前一節所討

論的計算流體力學模擬，因為風場與熱場緊密耦合，熱島的強弱直接影響建築周邊的風壓分佈與自然通風潛力；同時，它也為接下來的被動式設計策略奠定了問題意識，如何透過明智的基地配置、遮蔭規劃與透水設計來減輕建築自身對熱島的貢獻，並提升基地的微氣候韌性，成為設計的核心挑戰之一。

2.2 被動式設計策略：基地配置

基地配置作為被動式設計策略的核心環節，其重要性在於能夠在建築設計的初始階段，便透過對自然環境條件的順應與利用，奠定建築物後續能源消耗與環境舒適度的基礎。此策略強調建築物與其所在基地之間的互動關係，透過對太陽輻射、盛行風向、地形地貌以及既有植被水體等自然元素的精準分析與回應，構建出一個能夠最小化主動式能源系統依賴的建築佈局。這種以自然為本的設計思維，不僅是對前章節所探討之都市熱島效應的積極緩解手段，更是將宏觀氣候數據轉化為具體設計行動的關鍵步驟。有效的基地配置能夠顯著降低建築物的供暖與製冷需求，提升室內環境品質，並同時強化建築與周邊生態系統的連結，為後續更細部的建築外殼設計與機電系統規劃提供一個高效且永續的起點。

建築朝向的決策是基地配置中最具影響力的因素之一，其對建築熱負荷的定量影響深遠。在溫帶與亞熱帶氣候區，將建築物的長軸朝向東西向，並將主要開窗面設置於南向（北半球）或北向（南半球），能夠最大化地利用冬季低角度太陽的輻射熱增益，同時透過適當的遮陽設計，有效遮蔽夏季高角度太陽的直射熱。這種朝向策略能大幅降低建築空調系統的全年能耗。相反地，若主要開窗面無規劃地朝向東西方，將導致夏季早晨與傍晚的強烈日照直接射入室內，造成嚴重的冷房負荷高峰與眩光問題。因此，在設計初期，必須結合太陽路徑分析圖，精確計算不同立面在不同季節與時段所接收的太陽輻射量，並將其作為決定建築體量、開窗比例與遮陽形式的核心依據，從而實現被動式太陽能得熱與遮陽之間的動態平衡。

建築群的配置模式與盛行風向的交互作用，直接決定了基地內的自然通風潛力與微氣候舒適度。理想的配置應能引導夏季涼爽的盛行風穿越建築群之間的空隙，形成有效的通風路徑，以帶走建築表面的積熱與室內的滯留空氣，促進人體的蒸發散熱。這通常需要透過錯落式的建築佈局、預留適當的間距、以及利用建築形體創造風壓差來實現。例如，將建築物呈鋸齒狀或點狀排列，避免形成連續的風屏障，並將開口設置於迎風面與背風面，以利用風壓通風。同時，也需考量冬季寒風的防禦，透過配置常綠植栽或利用次要建築體量作為風障，減少冷風對主要建築的侵襲。這種因應季節風向變化的配置思維，體現了被動式設計中因地制宜與動態調適的精髓。

地形坡度與排水條件是另一個在基地配置中必須審慎評估的微氣候調節因子。坡向影響日照接收量，南向坡（北半球）在冬季能獲得更多陽光，而北向坡則較為陰涼。建築配置應順應地形，利用台地或懸挑設計，減少大規模挖填方，以保護原

有土壤結構與植被，並降低施工階段的碳排放。在排水方面，配置需尊重自然逕流路徑，避免建築物阻斷地表水的流動。透過設置滯洪窪地、滲透溝或引導逕流至雨水花園等綠色基礎設施，不僅能管理暴雨逕流、減輕都市排水系統負擔，更能利用水體的蒸發冷卻效應調節基地微氣候。將建築配置於洪水風險較低的高處，並將停車場、廣場等不透水區域設置於對生態敏感度較低的位置，是兼顧安全、生態與微氣候的明智策略。

既有林木與水體是基地中最寶貴的微氣候緩衝資產，在配置規劃中應予以最大程度的保留與整合。成熟的樹木，特別是冠幅寬大的落葉喬木，在夏季能提供寶貴的遮蔭，降低建築外牆與周邊鋪面的表面溫度，並透過蒸散作用冷卻空氣；冬季落葉後則允許陽光穿透，提供被動式熱能。因此，建築配置應繞避或圍繞重要樹木群進行設計，將其納為景觀核心。同樣地，既有的池塘、溪流或濕地，因其巨大的熱容與蒸發潛熱，能有效平緩日夜溫差，創造涼爽的微氣候。建築物若能面向或環繞這些水體配置，不僅能獲得視覺上的美感，更能直接受益於其自然調溫效果。這種將自然元素視為主動調節系統的設計觀，超越了單純的景觀美化，成為一種高性能、低耗能的生態工程手段。

建築朝向對熱負荷的定量影響

建築朝向是決定建築物熱負荷的關鍵性被動式設計參數，其影響主要透過太陽輻射得熱與風環境兩個物理途徑展現。在熱帶與亞熱帶氣候區，不當的建築朝向可能導致夏季冷房負荷急遽增加，而在溫帶地區則可能同時影響冬季供暖與夏季製冷的需求。定量分析建築朝向對熱負荷的影響，需建立在對當地太陽軌跡、日照時數、太陽輻射強度以及盛行風向與風速的全年性數據掌握之上。透過建築能耗模擬軟體，設計者可以系統性地旋轉建築物模型，計算不同朝向下全年總耗能量以及峰值負荷的變化，從而找出最優化的方位角。一般而言，在赤道以北的地區，建築長軸沿東西向配置，主要立面朝南或北，能有效減少夏季東曬與西曬的直射輻射，同時在冬季爭取有益的太陽熱能；反之，在赤道以南則相反。然而，此一通用原則需根據基地的具體緯度、地形遮蔽、鄰棟建築遮擋以及局部風環境進行微調。

太陽輻射對建築外殼的加熱效應，因朝向不同而有顯著差異。以垂直立面為例，其接收的太陽輻射量取決於太陽高度角、方位角以及立面法線與太陽入射方向的夾角。在夏季，低緯度地區的正午太陽高度角高，南向立面接收的輻射量相對較少，而東向與西向立面則在上午與下午分別承受近乎垂直入射的強烈輻射，導致表面溫度急升，熱量透過傳導與輻射進入室內。定量研究顯示，在台灣的氣候條件下，東西向立面的全年太陽輻射得熱量可能比南北向立面高出百分之三十至五十，直接轉化為更高的空調能耗。此外，不同朝向的輻射時間分布特性亦影響著建築的熱慣性與峰值負荷出現時段。西曬問題尤為嚴峻，因其高峰發生在下午室外氣溫已累積至最高、且建築結構體經過全日加熱後溫度已高的時段，導致冷房系統需對抗內外夾擊的熱負荷，系統效率下降。

除了太陽輻射，建築朝向也深刻影響自然通風的潛力與效能，而通風是降低人體感溫、排除室內餘熱與濕氣的重要手段。建築開口與當地盛行風向的相對關係，決定了風壓通風的驅動力大小。理想情況下，建築應朝向夏季盛行風向，並在平面布局上形成通透的風路，以最大化通風換氣率。定量評估需結合計算流體力學模擬，分析不同朝向下建築周圍的風壓分佈，以及開口處的風速與風量。若建築因朝向不當而處於背風區或風影區，自然通風效果將大打折扣，迫使機械通風或空調的使用時數增加，間接推升能耗。同時，需注意季節性風向轉變，例如冬季寒風方向，應透過設計手段如設置防風林、調整開口大小或利用建築形體創造風影區，以減少冬季熱損失與風寒效應。

在實務設計中，建築朝向的決策往往需在多目標之間取得平衡，而非單純追求熱負荷最小化。例如，爭取良好視野、配合街道紋理、遵守建築法規的退縮與採光要求，以及回應業主的功能需求，都可能與最佳熱工朝向產生衝突。此時，定量分析的角色在於提供清晰的數據基礎，讓設計團隊能夠評估不同妥協方案所帶來的能耗代價。例如，若主要立面必須朝向不利的西方以獲取景觀，則必須強化該立面的遮陽設計、採用更低遮陽係數的高性能玻璃，或增加外牆隔熱性能，以抵銷朝向帶來的不利影響。透過能耗模擬的參數化分析，可以迅速比較「改變朝向」、「增強外殼性能」與「增加設備效率」等不同策略的成本效益，找出最經濟有效的整合方案。

建築朝向的影響也與建築物本身的形體比例、開窗率及空間機能配置緊密交織。一個深平面、開窗率低的建築，其能耗對朝向的敏感度可能低於一個淺平面、大面積玻璃的建築。同樣地，將對熱環境敏感度較低的空間（如樓梯間、儲藏室、停車場）布置在東曬或西曬面，作為熱緩衝區，而將主要活動空間（如辦公室、居室）布置在熱負荷較低的朝向，是一種常見的空間熱分區策略。這種布局需要在一開始的配置階段就納入考量，體現了整合性設計流程中前期決策的關鍵性。定量工具可以協助驗證此類空間布局策略的節能效果，確保被動式設計的潛力能被充分發掘。

最終，建築朝向的優化是綠建築設計中成本最低、效益最高的措施之一，因為它主要在規劃階段透過明智的決策即可實現，無需追加昂貴的材料或設備。然而，其成效高度依賴於對基地微氣候條件的精確理解與分析。設計者必須超越經驗法則，運用科學化的模擬工具，將氣象數據轉化為設計資訊，使建築物的方位能夠與當地的太陽和風和諧共處，從根本上降低建築對主動式機械系統的依賴，邁向更具韌性與永續性的建築環境。此一朝向決策，也為後續的遮陽設計、開窗設計與自然通風策略奠定了基礎，是後續章節中各項技術得以發揮最大效能的根本前提。

建築群配置與盛行風向的交互作用

建築群配置與盛行風向的交互作用，是決定都市微氣候品質與建築能耗表現的關鍵因素。當建築物以群體形式存在時，其量體、高度、間距與排列方式將共同塑

造出複雜的風場環境，進而影響自然通風潛力、熱島效應強度以及室外空間的舒適度。盛行風向作為地區性的主要氣流來源，其與建築群體的互動並非單向的阻擋或引導，而是形成一種動態的流體力學現象，包括風速加速、風影區形成、渦流產生以及氣流下洗等。理想的配置應能善用盛行風，在夏季引導涼風穿越建築間隙與開口，帶走建築表面與人體多餘的熱量；在冬季則需適度阻擋冷風，減少建築熱損失與室外人行區域的風寒效應。這要求設計者不僅需理解氣象統計數據中的風玫瑰圖，更需深入分析不同季節、不同時段風向風速的變化模式，並將其轉化為三維空間的配置策略。

在實務規劃上，建築群體的配置模式可大致分為行列式、圍合式、點群式與自由式等，每種模式與盛行風向的交互作用效果迥異。行列式配置若建築長軸與夏季盛行風向呈適當角度（通常建議在 30 至 60 度之間），能有效引導風流穿越建築之間的開放空間，創造良好的通風廊道。然而，若排列過於密集或與風向完全平行，則可能導致風速在建築間狹窄通道中因文氏效應而異常增大，產生令人不適的強風區；反之，若與風向完全垂直，則可能在建築背面形成大範圍的靜風區，不利於污染物擴散與熱量散逸。圍合式配置常見於街廓開發，其形成的中庭或院落空間的風環境品質，高度取決於開口方向與風向的關係。若開口迎向夏季風，並輔以適當的剖面設計（如採用退台或引風翼），可將氣流引入內部，為中庭帶來涼爽通風；若開口背風，則內部可能成為空氣停滯的熱蓄積區。

高層建築的介入，更大幅加劇了建築群與風場交互作用的複雜性。單一高層建築本身會對氣流產生繞流、分流與下沖流，當多棟高層建築以群組方式出現時，其相互影響會產生更為顯著的微氣候效應。例如，兩棟並列的高層建築之間可能因狹管效應產生高速的「街谷風」，對地面行人活動與安全構成威脅。而高層建築群若布局不當，可能在其背風面形成大範圍、風速極低的風影區，導致該區域空氣污染物滯留、濕熱感加劇。因此，在規劃高密度都市區時，常需借助計算流體力學模擬工具，預測不同開發方案下的地面層與行人高度風場分布，並透過調整建築量體、設置裙樓、設計開放層或導風板等手法，來優化風環境。目標是創造一個風速分布均勻、無極端強風區、且能有效促進空氣流通的都市肌理。

除了促進通風，建築群配置與風向的交互作用也直接關聯到建築的能源效率。良好的自然通風設計可以顯著延長建築依賴機械空調的時間，降低冷房負荷。這需要建築群體的配置能創造有效的壓力差，驅動空氣流經建築內部。例如，將建築錯落配置，使迎風面建築不會完全遮蔽下風處建築的開口，並確保建築群內部存在貫通的通風路徑，避免死胡同式的空間布局。同時，冬季的防風策略亦不容忽視。在寒冷季節或地區，建築群體的配置應能形成有效的風障，例如利用較低矮的建築或常綠植栽布置在迎風側，為後方的建築與開放空間提供遮蔽，減少冷風滲透與熱損失。這種依季節調整的風環境管理思維，體現了氣候感應設計的精髓——動態適應而非靜態對抗。

進一步而言，建築群配置與盛行風向的規劃，必須整合其他微氣候要素進行全盤考量。例如，風的流動與熱環境密切相關，配置策略需與遮陽、地表材料反射率、綠化等降溫手段協同作用。引導而來的風若經過被太陽曬燙的硬鋪面廣場，其降溫效果將大打折扣；反之，若風先穿越蔭涼的綠地或水體，則可將涼爽濕潤的空氣帶入建築群中。此外，風的流動也肩負著擴散空氣污染物的功能。在交通繁忙或存在局部污染源的區域，建築配置應避免形成閉塞的空間，而應創造導引風流將污染物帶離活動區域的通道。這便需要將都市尺度的大氣流場與街廓尺度的人居環境進行連結性思考，使建築群體成為調節都市空氣品質的積極媒介，而非被動的障礙物。

最終，建築群配置與盛行風向的交互作用，其終極目標在於提升整體環境的韌性與人居健康。在氣候變遷導致極端熱浪頻傳的背景下，促進城市通風已成為緩解熱島效應、降低公共健康風險的核心策略之一。透過科學化的配置規劃，建築群體可以化身為都市的「呼吸系統」，引導新鮮涼爽的郊區風或水岸風深入建成環境的核心，帶走鬱積的熱量與廢氣。這項工作無法由單一建築獨立完成，必須在都市設計的層次上，預先規劃出宏觀的風道系統，並透過建築群體的配置、街道走向、開放空間網絡的設計予以落實。因此，建築師與規劃者在此議題上的角色，已從個別建築的造型者，轉變為都市微氣候的工程師，其設計決策將長遠地影響一個區域的環境承载力與生活品質。

地形坡度與排水微氣候之調節

地形坡度與排水微氣候之調節，是基地規劃中整合水文循環與熱環境控制的關鍵環節。地形作為基地的固有物理特徵，其坡度、坡向與地表逕流路徑，不僅決定了雨水匯集與排放的模式，更深刻影響著近地面的空氣流動、溫度分布及濕度變化。在永續建築的設計思維中，地形不應被視為需要被剷平或對抗的障礙，而應被理解為一種可被巧妙利用、以塑造更佳微氣候的積極元素。坡度影響太陽輻射的接收角度與時長，進而導致不同坡向的熱負荷產生顯著差異；同時，地表水的流動路徑與滲透效率，也直接關聯到土壤濕度、蒸散作用強度，以及後續對周邊空氣的冷卻潛力。因此，精確分析地形特徵，並將其納入被動式設計策略的核心考量，是實現建築與環境和諧共生的基礎。

從太陽輻射的角度分析，地形坡度與坡向共同決定了建築基地所接收的太陽能量。在北半球，南向坡地因接收更長時間且更接近垂直的日照，通常具有較高的太陽得熱潛力，這在寒冷地區可被視為優勢，但在濕熱氣候下則可能加劇冷房負荷。反之，北向坡地日照較少，相對陰涼，但可能面臨採光不足與濕氣累積的挑戰。設計者需透過精密的太陽路徑模擬，結合當地氣候數據，評估不同坡度與坡向組合下的全年輻射熱收益，從而決定建築的最佳座落位置、配置形式與開口設計。例如，在炎熱地區，將主要生活空間設置於較為陰涼的坡地或利用地形創造遮蔭，能有效降低建築外殼的熱負荷。此外，坡度也影響風的流動，迎風坡可能加速氣流，有助

於建築通風；背風坡則可能形成風影區，導致空氣滯留。因此，地形分析必須與盛行風向研究同步進行，以優化自然通風路徑。

排水系統的設計與微氣候調節之間存在著密切的動態關聯。地表逕流的快速排除固然能避免積水與地基問題，但傳統以管線迅速將雨水導離基地的作法，往往切斷了自然的水文循環，喪失了水資源蒸散冷卻的效益，並可能加劇下游地區的洪峰負擔。永續的基地排水策略，強調的是「滲透、滯留、貯集、淨化」的低衝擊開發理念。透過地形坡度的巧妙利用，可以引導雨水流向預先設計的滲透性窪地、雨水花園或生態草溝。這些設施不僅能減緩逕流速度、促進地下水補注，其內部的土壤與植被在水分蒸散過程中，更能吸收大量的環境熱能，產生顯著的冷卻效應。這種由蒸散作用驅動的冷卻，能夠有效降低周邊空氣溫度，改善戶外空間的熱舒適度，並間接減輕相鄰建築的冷房需求。

土壤濕度作為地形與排水交互作用下的產物，是微氣候調節中一個常被忽略卻至關重要的變數。適當的土壤濕度能維持植被的健康生長，而健康的植被群落正是最有效的自然空調系統。喬木與灌木透過蒸散作用，將土壤水分轉化為水蒸氣釋放到大氣中，此過程消耗的潛熱能顯著降低葉面及周圍環境的溫度。因此，在基地規劃時，應盡可能保留或創造能夠涵養水分的綠地空間，並利用地形坡度自然匯集雨水來滋養這些區域。相反地，若因不當的整地或鋪面設計，導致土壤快速乾燥或逕流過快，將使植被處於缺水壓力，削弱其降溫能力，甚至可能因地表反射率改變而加劇熱島效應。設計者需評估不同坡度下的土壤保水能力，並透過等高線設計、階梯式平台或擋土牆等手法，創造出多層次的微地形，以延長雨水滯留時間，最大化其生態與氣候調節效益。

在實際的規劃操作上，地形坡度與排水微氣候的調節必須整合到建築配置與景觀設計的早期階段。首先，需要進行詳細的基地調查，包括等高線測繪、土壤滲透率測試與現有水文路徑記錄。接著，運用數值地形模型與水文模擬軟體，分析在不同降雨情境下的地表逕流模式與潛在積水區域。基於模擬結果，設計團隊可以規劃出最適宜建築佈局的區域，這些區域應避開洪泛風險區，並能充分利用有利的坡向與通風條件。同時，景觀設計應與地形緊密結合，將開放空間、綠地、水景與人行動線，沿著自然的地形走勢與水文脈絡進行佈置。例如，將線性公園或生態廊道設置於自然排水路徑上，使其兼具休憩、生態與防洪緩衝的功能。建築物本身也可透過抬升地基、設置景觀土坡或引導雨水至中庭景觀水池等方式，與地形水文積極互動。

此一整合性設計思維，最終指向一種更具韌性與適應性的地景建築觀。面對極端降雨事件日益頻繁的氣候變遷挑戰，單純依靠工程管線的排水系統已顯不足。透過地形坡度與排水微氣候的調節，我們實質上是將基地視為一個小型流域，透過仿自然的水文管理，增強其對旱澇的緩衝能力。濕潤時期，地形引導的滲透與貯留能減洪補注；乾旱時期，先前涵養的水分則能透過植被蒸散持續提供冷卻效益。這種動態平衡的建立，不僅降低了建築對機械空調與人工灌溉的依賴，更創造出一個生

物多樣性更豐富、熱環境更舒適的微氣候庇護所。這正是永續建築從單體節能邁向與基地生態系統共榮的具體實踐，為後續探討既有林木與水體等自然元素如何進一步強化微氣候緩衝效益，奠定了堅實的理論與方法基礎。

既有林木與水體對微氣候的緩衝效益

既有林木與水體在基地微氣候規劃中扮演著關鍵的緩衝與調節角色，其效益遠超越單純的景觀美化功能，而是直接影響建築熱負荷、通風效率及整體環境舒適度的生態工程。在氣候變遷加劇、都市熱島效應日益顯著的背景下，妥善保留與整合基地內原有的樹木與水域，已成為被動式設計策略中不可或缺的一環。這些自然元素透過蒸散作用、遮蔭效果、熱容調節以及風場引導等物理機制，形成一道動態的微氣候屏障，有效緩和極端氣溫、調節空氣濕度並改善局部風環境，從而降低建築對主動式機械系統的依賴，達成節能減碳的核心目標。

林木的緩衝效益首先體現在其卓越的遮蔭與降溫能力。樹冠層能有效攔截太陽輻射，避免直射光線加熱地面及建築外殼。這種遮蔭效果不僅降低地表溫度，更能顯著減少建築物外牆與屋頂所吸收的熱量，進而降低室內冷房負荷。不同樹種的樹冠密度、葉面積指數及生長形態，會產生差異化的遮蔭圖譜與降溫效果。例如，闊葉大喬木在夏季枝葉茂密，提供廣大遮蔭面積；冬季落葉後則允許陽光穿透，有助於被動式太陽能得熱。此外，植物的蒸散作用是一個重要的冷卻過程，水分從葉片氣孔蒸發時會吸收周圍空氣中的大量潛熱，產生類似「自然空調」的效果。研究顯示，一片茂密的林地其上方空氣溫度可比鄰近無植被的裸地或鋪面區域低攝氏三至五度，這種降溫效應能透過空氣流動擴散至周邊建築環境。

水體，包括池塘、溪流、湖泊或人工生態水池，則透過其高熱容與蒸發冷卻機制調節微氣候。水的比熱容遠高於混凝土、瀝青等常見鋪面材料，意味著吸收相同熱量時，水溫上升幅度較小，能夠在日間儲存熱量，夜間再緩緩釋放，平緩日夜溫差。在炎熱乾燥的天氣下，水面蒸發會帶走大量熱能，對緊鄰水體的空間產生明顯的冷卻與加濕作用。這種效應的影響範圍與水體面積、深度、形狀及周邊風速密切相關。設計時若能將建築配置於水體的下風處，夏季盛行風在經過涼爽的水面後，可將降溫增濕的空氣引入建築，提升自然通風的舒適度。然而，在濕熱氣候區，需審慎評估水體加濕可能帶來的不利影響，避免過度提高空氣濕度而影響人體舒適感，此時應透過植被配置與風道設計來優化濕度分布。

林木與水體在調節局部風場方面亦具有協同效應。樹木群，特別是成排或成林的配置，可以作為風的導引或過濾裝置。當風遇到林帶時，部分氣流會被迫抬升從樹冠上方越過，部分則穿過枝葉間隙，風速因摩擦阻力而減緩。這種特性可用於防風，保護建築免受強風侵襲；亦可用於導風，透過適當的林帶開口與間距設計，將涼爽的微風引導至目標區域。水體表面因摩擦力較低，往往能形成與周邊陸地不同的局部氣壓差，誘發微弱的「水陸風」。日間陸地升溫快，氣壓相對較低，風從較涼的水面吹向陸地；夜間則相反。雖然這種風系在都市環境中可能因建築阻擋而減

弱，但在基地尺度規劃中，若能結合開闊水體與無遮擋的風路，仍能強化建築的自然通風潛力。

從生態與永續角度而言，保留既有林木與水體有助於維護基地的生物多樣性與水文循環。老樹及其下的土壤層是複雜的微型生態系，能涵養水源、提供棲地，其深廣的根系有助於土壤穩定與雨水下滲，減緩地表逕流。既有水體則是重要的生態節點，能支持水生與兩棲生物，並作為雨水滯留與淨化的自然設施。在規劃初期進行詳盡的樹木調查與水文分析，識別出具有高生態價值或關鍵微氣候調節功能的元素，並將其納入設計核心，而非視為待清除的障礙，是實踐生態敏感設計的關鍵。這需要建築師、景觀設計師與生態專家跨領域合作，評估每一棵重要樹木的健康狀況、樹冠投影範圍、根系保護區，以及每一個水體的現有水質、補注來源與生態鏈，從而制定出最小干擾的開發方案與施工保護計畫。

在實務應用上，量化評估林木與水體的微氣候效益對於設計決策至關重要。可借助計算流體力學模擬軟體，建立包含詳細植被參數（如葉面積密度、樹高、冠幅）與水體屬性的基地模型，模擬不同季節與時段下的溫度、濕度、風速分布，比較有無保留這些自然元素的情境差異。此外，亦可透過簡易的經驗法則進行初步評估，例如計算樹木成熟後的遮蔭面積對建築立面及屋頂的覆蓋率，或估算水體蒸發量對周邊空氣的潛在冷卻能力。這些分析結果能為建築配置、開口位置、景觀設計乃至後續的機械系統容量選擇提供科學依據，確保自然緩衝效益能最大化地轉化為實質的節能績效與環境舒適度提升。

綜上所述，既有林木與水體是基地內珍貴的「綠色與藍色基礎設施」，其提供的微氣候緩衝效益是多維度且相互關聯的。成功的綠建築設計應始於對基地自然資本的尊重與善用，將這些生態系統服務整合到從總體配置到細部設計的各個層面。這不僅是技術性選擇，更體現了建築倫理中對環境正義與生態修復的承諾，使建築成為與既有環境共榮共生，而非對立衝突的有機體。接續的章節將進一步探討，在都市肌理中，如何透過規劃「縫隙」與「風道」，將這些點狀的自然緩衝效益串聯成網，系統性地改善更大範圍的都市微氣候。



2.3 都市縫隙與風道規劃

都市縫隙與風道規劃是現代城市設計中，調節微氣候、緩解熱島效應並提升都市環境品質的關鍵策略。在高度密集的建成環境中，建築物之間的開放空間、街道、廣場、退縮地以及小型綠地等，統稱為「都市縫隙」。這些空間並非剩餘的消極區域，而是構成城市通風網絡、引導氣流、促進空氣交換與熱量散逸的積極元素。有效的風道規劃能將郊區或水域的涼爽空氣引入城市核心，帶走停滯的熱空氣與污染物，從而改善都市熱環境與空氣品質。此規劃需建立在對基地盛行風向、季節風變化、以及都市幾何形態的深入理解之上，並透過計算流體力學模擬進行驗證與優化，確保風道在實際城市環境中的有效性與穩定性。

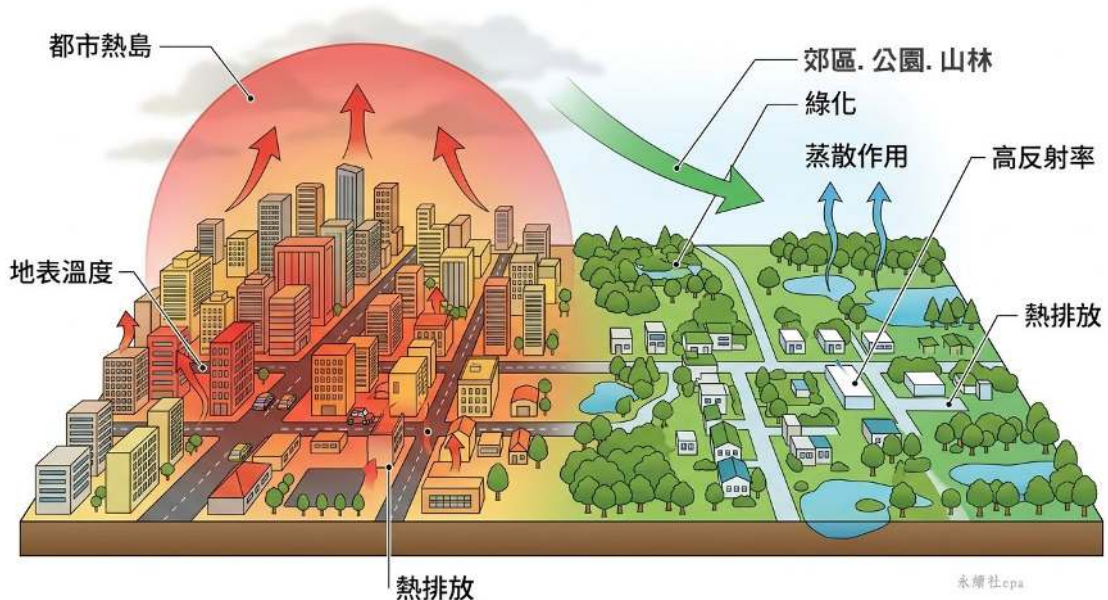
建築退縮空間的熱舒適度評估是風道規劃的首要考量。退縮空間，包括建築法規要求的前院、側院以及人為創造的廣場與開放空間，其熱環境直接影響行人層級的舒適感與空間使用率。評估需綜合考量太陽輻射、風速、空氣溫度與濕度等多重物理參數。透過遮蔭設施的設置，如遮蔭棚架或植栽樹冠，能有效降低地表與近人體高度的輻射熱。同時，退縮空間的幾何形態與朝向，決定了其捕捉或引導風流的效率。一個經過精心設計的退縮空間，應能在炎熱時段提供遮蔭與涼風，在寒冷季節則能引入陽光並阻擋冷風，實現被動式環境調節。量化評估工具如通用熱氣候指數，可協助設計者預測不同設計方案下的戶外熱舒適水平，從而優化空間配置與景觀元素。

街道峽谷效應的緩解設計是都市風道規劃的核心挑戰。由兩側連續建築立面形成的街道峽谷，容易阻礙空氣的水平流動，導致熱量與污染物積聚。緩解策略包括打破連續的街牆、創造建築量體間的缺口以引入側風，以及調整建築物的高度與立面造型。例如，採用階梯式退縮的建築輪廓線，能減少對地面風流的阻擋，並促進垂直方向的空氣混合。此外，街道的寬高比是關鍵參數，較寬的街道有利於通風，

但可能增加太陽輻射暴露面積；因此，需結合遮蔭樹木或廊道來平衡。鋪面材料的選擇也至關重要，高反射率的冷鋪面或透水鋪面，能減少地表蓄熱與輻射，從源頭降低峽谷內的氣溫，配合風流以達成協同降溫效果。

垂直通風路徑與城市風道的連結策略，強調了三維空間的通風網絡建構。除了地面層的水平風道，利用建築物之間間隙、設置通風廊道的中庭、以及屋頂層的開放空間，可以建立垂直方向的空氣流通路徑。這些垂直路徑能將高處風速較大的氣流引導至地面層，或將地面受熱空氣向上抽排，形成煙囪效應。設計上，可透過建築群體的錯落配置、設置風井或通風塔，以及規劃帶有開口或孔隙的建築立面來實現。更重要的是，這些垂直通風節點必須與城市尺度的主要風道，如河岸廊道、公園綠帶或主要幹道，進行有效的空間連結，形成一個從宏觀到微觀、從水平到垂直的完整通風系統，確保新鮮空氣能夠深入城市的每一個角落。

地面鋪面材料對輻射熱的反射與吸收管理，直接影響都市縫隙與風道底層的熱環境。傳統的瀝青或混凝土鋪面具有低反射率與高熱容的特性，在日間吸收大量太陽輻射並儲存熱量，於夜間釋放，加劇都市熱島效應。因此，選用高反射率的冷鋪面材料，如淺色塗層或高反射率磚石，能顯著減少太陽輻射的吸收，降低地表溫度。進一步而言，透水鋪面系統允許雨水下滲，透過土壤水分的蒸發作用帶走潛熱，提供額外的冷卻效益。在風道規劃中，鋪面材料的策略性配置至關重要，應在主要通風路徑上優先採用高反射與透水材料，以降低進入市區氣流的初始溫度，提升通風系統的整體冷卻效率，同時減少地表徑流，達成水文與熱環境的綜合治理。



建築退縮空間的熱舒適度評估

建築退縮空間作為都市縫隙的一種重要形式，其熱舒適度評估是微氣候規劃中的關鍵環節。退縮空間通常指建築物自道路境界線或基地邊界向內退讓所形成的開

放區域，這些空間不僅是建築法規下的產物，更成為調節都市微氣候、提供公共休憩與改善行人環境的重要介面。在熱舒適度評估中，需綜合考量太陽輻射、風場流動、地表材料熱特性以及周邊建築形態所產生的複合效應。評估過程往往借助實地量測與數值模擬工具，例如透過設置微型氣象站記錄溫濕度、風速、黑球溫度等參數，並結合計算流體力學模擬分析風場分布與熱對流情形。這些數據能幫助設計者理解退縮空間在不同季節與時段下的熱環境表現，從而制定有效的改善策略。尤其在高密度都市中，退縮空間常成為建築群間難得的通風路徑與遮蔭節點，其熱舒適狀態直接影響鄰近建築的室內外環境品質，以及街道層級的行人體驗。

在評估建築退縮空間的熱舒適度時，太陽輻射的遮蔽與控制是首要考量因素。退縮空間的日照條件深受周邊建築物高度、退縮深度以及方位所影響。設計上需進行精確的太陽路徑分析，以掌握不同季節的日照時數與輻射強度。例如，南北向的街道中，東西方位的退縮空間在夏季可能面臨嚴峻的西曬問題，導致地面與牆面溫度急遽上升，形成局部熱點。此時，透過植栽遮蔭、設置遮陽棚架或利用建築自身出挑設計，能有效降低直接太陽輻射。同時，地表鋪面的選擇至關重要，高反射率的淺色鋪面或透水鋪面能減少太陽輻射的吸收與蓄熱，降低地表溫度。評估時常使用平均輻射溫度作為關鍵指標，它綜合了來自各方向的輻射熱交換，更能反映人體在該空間的真實熱感受。良好的退縮空間設計應追求在夏季提供充足的遮蔭，而在冬季則能引入適度的陽光，創造四季皆宜的熱環境。

風場環境是影響退縮空間熱舒適度的另一核心物理因子。退縮空間的風速與風向分布，決定了其通風潛力與對流散熱效率。在都市風道規劃的框架下，退縮空間可扮演引導或加速氣流的角色。評估時需分析空間的開口方向與高寬比，狹長且兩端開放的退縮空間可能形成風廊效應，提升通風效率；反之，若三面被建築圍繞，則易形成靜風區，不利於熱量與污染物的擴散。計算流體力學模擬能可視化風場流線，識別出渦流區或死角，從而優化空間形態。此外，風的流動能促進人體皮膚的蒸發散熱，在濕熱氣候下，即使溫度略高，適度的風速也能顯著提升舒適感。因此，熱舒適度評估模型如預測平均投票指數，需將風速變量納入計算。設計實務上，可透過調整退縮空間的平面配置、設置導風板或利用植栽軟性元素來引導氣流，避免強風直吹造成不適，同時確保在炎熱時段有足夠的微風流通。

退縮空間的綠化與水體設計是提升熱舒適度的主動策略，並與生態基盤的建構緊密相連。植栽的蒸散作用能有效冷卻周邊空氣，樹冠提供的遮蔭更能大幅降低地表與人體接收的輻射熱。評估時需量化不同樹種的遮蔭面積、葉面積指數及其蒸散冷卻效能。例如，樹冠濃密的大型喬木與爬藤植物覆蓋的綠牆，其降溫效果有顯著差異。此外，設置噴霧裝置、小型水景或生態水池，能透過水分蒸發吸收氣化熱，直接降低局部氣溫。這類蒸發冷卻效果在低濕度環境中尤為顯著，但在高濕度地區則需審慎評估，避免進一步增加濕度而影響舒適度。水體的反射特性也需納入考量，避免將陽光反射至人行區域或建築室內造成眩光與增熱。整合性的評估會將綠化與水體視為動態系統，模擬其在不同氣象條件下的即時調節能力，並考量維護管理對其長期性能的影響。

最後，建築退縮空間的熱舒適度評估必須與使用者行為及時間維度相結合。空間的熱環境並非靜態，而隨日夜與季節更迭變化，使用者的活動模式與停留時間亦不同。例如，日間作為通勤路徑的退縮空間，其評估重點在於行走過程的瞬時熱暴露；而作為午休駐留或社區交誼的空間，則需確保較長時間內的熱舒適穩定性。適應性熱舒適理論在此具有指導意義，即使用者對環境有一定程度的適應與調節能力，例如可選擇停留於陰影處或調整衣著。因此，評估時除依賴物理量測數據，亦需結合問卷調查等社會科學方法，了解使用者的主觀感受與行為模式。此外，退縮空間的熱舒適狀態會與相鄰的街道空間產生交互作用，其改善效果可能外溢至公共領域，或反之受到都市熱島效應的負面影響。這要求評估工作需具備系統性視野，將退縮空間置於更大的街廓與都市尺度中審視，使其在微氣候調節中發揮最大效益，並為後續探討街道峽谷效應的緩解設計奠定基礎。

街道峽谷效應的緩解設計

街道峽谷效應是都市熱島現象的核心成因之一，其形成源於高密度都市中，兩側建築物所形成的狹長街廓空間，猶如自然地形中的峽谷。這種幾何形態會顯著改變區域內的風場、日照輻射與熱量交換過程。在典型的街道峽谷中，建築立面與地面鋪面大量吸收太陽輻射熱，並因風速降低而難以將積熱有效散逸，導致熱空氣滯留於近地面層，不僅加劇室外熱不適感，更直接增加建築物的冷房負荷。緩解此效應的設計，必須從都市形態、建築界面與地表材料等多尺度進行綜合性介入，其目標在於打破峽谷的封閉性，促進空氣流動與熱量散失，同時減少人為熱量的產生與蓄積。

從都市規劃的宏觀尺度而言，緩解街道峽谷效應的首要策略在於調整街廓的形態與走向。設計者應優先考量將主要街道的軸線與夏季盛行風向對齊，以引導自然風深入街廓內部，驅散停滯的熱空氣。對於既存且走向不利的街道，則可透過策略性地打開街廓的「缺口」，例如規劃貫穿街區的線性公園、人行通道或退縮廣場，創造橫向的風道，將風引入峽谷內部。此外，控制街道的高寬比（H/W Ratio）至關重要，過高的高寬比會嚴重阻礙天空視域因子（Sky View Factor），使長波輻射難以散逸至夜空。透過建築高度分區管制，或是在連續街牆中刻意降低局部建築高度，形成「高度落差」，能有效改善峽谷底部的通風與輻射冷卻條件。

在建築個體的微觀尺度上，立面設計與地面層處理扮演關鍵角色。建築立面不應是光滑密閉的屏障，而應透過凹凸變化、設置陽台、露臺與深凹窗等手法，增加表面的粗糙度。這種粗糙度能在微觀尺度上擾動貼附於立面的邊界層氣流，促進空氣混合，帶走壁面熱量。建築裙樓部分採用挑空或柱列設計，形成「地面層風廊」，能讓風穿透建築物底部，直接改善人行層的風環境。此外，建築頂部造型亦能引導氣流，例如採用漸退式或斜面屋頂設計，可將上層的較高速氣流向下導引至街道層，加速峽谷內的空氣更新。

地表鋪面材料的選擇與設計，是直接影響峽谷底部熱平衡的決定性因素。傳統的瀝青或混凝土鋪面具有低反照率與高熱容量的特性，在日照下迅速升溫並成為巨大的蓄熱體，夜間持續釋放熱量。緩解設計須大力推廣高反照率（即高反射率）的「冷鋪面」材料，以及透水鋪面系統。冷鋪面能將更多的太陽短波輻射反射回大氣，直接減少熱量吸收；而透水鋪面（如透水混凝土、植草磚）則能允許水分下滲並儲存於基層，透過日間的水分蒸發過程，有效吸收汽化潛熱，產生顯著的冷卻效果。結合街道植栽設計，例如利用樹冠提供遮蔭，更可從源頭上減少到達地面的太陽輻射量。

植栽與水體等生態基盤要素的導入，是從根本上改變街道峽谷熱濕環境的生物物理策略。行道樹的選擇應以樹冠濃密、蒸散率高的原生喬木為優先，其樹蔭能直接降低地表與建築立面的表面溫度，而蒸散作用則如同天然的冷卻系統，向空氣中釋放水分並吸收周圍熱量。除了線性植栽，更應在街道沿線創造點狀或帶狀的綠化節點，如街角口袋公園、建築退縮綠地等，這些綠島能形成局部的冷源。若空間允許，設置小型噴泉、薄層水流或景觀水池，利用水體蒸發冷卻，能進一步降低局部空氣溫度，並提升人體的熱舒適感受。

最後，街道家具與附屬設施的設計亦需納入熱環境考量。諸如公車亭、候車椅、招牌與照明燈具等元素，其材質、顏色與佈局均會影響局部風場與輻射交換。應避免使用深色、金屬等易蓄熱材質，並盡量採用格柵或鏤空設計以減少風阻。將這些設施與綠化結合，例如設置綠化公車亭頂蓋，能發揮多重效益。總體而言，街道峽谷效應的緩解是一項整合性的設計挑戰，必須超越單一建築的範疇，透過都市設計、建築設計、景觀設計與材料科學的跨領域協作，將街道空間重新構思為一個可呼吸、可調節的活躍系統，從而扭轉其作為都市熱島溫床的負面角色，轉化為提升都市韌性與居民生活品質的關鍵廊道。

垂直通風路徑與城市風道的連結策略

垂直通風路徑與城市風道的連結策略，旨在將建築物本身視為都市風環境的積極調節者，而非被動的阻礙物。此策略的核心在於打破傳統建築設計中僅關注內部通風的思維，轉而將建築物垂直方向的空氣流動與城市尺度的水平風道系統進行有機整合。在高度密集的都市環境中，地面層的風速常因建築群阻擋而顯著降低，導致熱氣與污染物滯留，加劇都市熱島效應。因此，透過建築設計創造垂直方向的空氣流動路徑，能有效地將高空較為涼爽、潔淨的氣流引導至地面層，或將地面受熱空氣向上排放，形成促進都市空氣對流的關鍵節點。這種連結不僅是物理空間的貫通，更涉及對都市風場動力學的深刻理解，需在建築規劃初期即納入基地風環境模擬，分析盛行風向、季節風變化以及周邊建築量體造成的風影區，從而設計出能有效捕獲風力並引導其向下或穿透建築的開口、通道與中庭空間。

實現有效的垂直通風路徑，首先需在建築形體與平面配置上進行策略性設計。例如，採用階梯式退縮的建築量體，能減少對地面風流的阻擋，並在不同高度創造

出多層次的風入口與出口。建築中庭、採光井、樓梯間等垂直貫通空間，若配合適當的開口設計與風壓差利用，可轉化為強大的熱壓通風（煙囪效應）或風壓通風通道。特別是在夏季，利用中庭頂部熱空氣上升排出的原理，可誘導底部較涼爽空氣的吸入，形成持續的氣流。然而，單純依靠熱壓效應在風速較低時效果有限，因此更先進的設計會結合風力誘導，例如在建築高處設置捕風器（Wind Catcher）或導風翼，主動捕捉高空風並將其導向建築內部或底層的公共空間。這些垂直通道的設計必須精確計算其截面積、高度差與內部阻力，以確保氣流順暢，並避免在特定樓層產生令人不適的強風或通風死角。

將建築內的垂直通風路徑與城市風道進行連結，則需要都市規劃層面的協作。城市風道通常指為改善都市通風而預留或規劃的連續性開放空間，如公園、河岸廊道、寬闊道路或低密度開發區。連結策略意味著建築的垂直通風開口（特別是低樓層的進風口與高樓層的排風口）應對齊或指向這些城市風道的主要方向。例如，沿著盛行風方向設置的建築，可在其側立面低處設置大型開口，迎接從上游風道而來的氣流，並透過內部中庭將氣流向上引導，最終從建築背風面或頂部排出，形成一個將城市風道氣流「吸入、提升、再釋放」的循環。這要求建築師與都市規劃師共享風環境模擬數據，確保新建築的通風設計能強化既有的都市風道系統，而非截斷或擾亂它。在某些案例中，甚至可透過法規獎勵，鼓勵建築物在特定高度提供公共的「空中風廊」，將多棟建築的垂直通風路徑在天空層連結起來，形成立體的風網絡。

此策略的實施面臨諸多技術與管理挑戰。首先，垂直通風路徑可能與建築的防火分區、煙控設計產生衝突。必須在設計中整合機械排煙與自然通風的雙重系統，並採用可啟閉的智能通風口，在平時促進自然通風，火災時則自動關閉以利排煙。其次，引入未經處理的外氣可能帶來噪音、灰塵或污染物問題，因此需在進風口設置簡單的過濾或降噪裝置。此外，在寒冷季節或空氣品質不良日，過度的自然通風反而會增加暖氣能耗或危害健康，故需搭配建築管理系統（BMS），根據室外溫濕度、風速、空氣品質指數（AQI）等數據，智能調節通風口的開閉，以在節能與室內環境品質間取得平衡。從都市治理角度，則需要跨產權的協調機制，因為單一建築的垂直通風效益，高度依賴周邊建築是否也採取類似的友好設計，否則其引入的氣流可能迅速被鄰棟建築的實牆所阻擋。

最終，垂直通風路徑與城市風道的成功連結，代表一種從個體建築到都市生態系統的尺度躍升。它將綠建築的關懷從建築物邊界內部，擴展到建築物對其所處都市微氣候的貢獻。這種設計不僅能降低建築自身的冷房負荷，減少機械通風的能源消耗，更能提升街道層級的行人熱舒適度，稀釋交通污染，並在夜間加速都市表面的冷卻。隨著計算流體力學（CFD）模擬工具的普及與精進，設計者已能更準確地預測設計方案對都市風場的影響，從而優化建築形態與開口設計。未來，結合物聯網感測器的城市風速監測網絡，更能提供即時數據回饋，動態調節建築通風口的開度，實現智慧化、適應性的都市風環境管理。此策略體現了綠建築作為都市基礎設施一部分的深刻內涵，是邁向低碳、韌性、宜居城市不可或缺的關鍵技術路徑。

地面鋪面材料對輻射熱的反射與吸收管理

地面鋪面材料作為都市下墊面的主要構成元素，其對太陽輻射熱的反射與吸收特性，直接決定了地表溫度與近地層微氣候的熱平衡狀態。在都市熱島效應的加劇過程中，大面積的瀝青與混凝土鋪面扮演了關鍵的熱蓄積角色。這些材料通常具有較低的太陽反射率（Albedo），意味著它們會吸收大量的太陽短波輻射，並將其轉化為長波熱輻射釋放，不僅加熱了地表，更透過對流與輻射作用加劇了周圍空氣的升溫。因此，鋪面材料的選擇與管理，不僅是景觀工程的一環，更是都市尺度熱環境調控的核心技術。其管理策略需從材料的光熱物理性質、構造設計、以及維護生命週期等多個面向進行整合考量，以達成降低地表溫度、減緩熱島效應、並提升戶外空間熱舒適度的多重目標。

從材料的光學特性分析，太陽反射率是評估鋪面材料熱性能的首要指標。傳統的瀝青鋪面反射率僅約 0.05 至 0.10，而普通混凝土則約為 0.20 至 0.35。高反射率鋪面材料，例如使用淺色骨材或添加反射塗料的混凝土，可將反射率提升至 0.35 以上，甚至達到 0.50 或更高。這種提升能顯著減少太陽輻射的吸收量，從而降低鋪面表面溫度。實測數據顯示，反射率從 0.10 提升至 0.40，可在晴朗夏日正午將鋪面表面溫度降低多達 10°C 至 15°C。然而，反射率的提升並非沒有代價，過高的反射率可能導致眩光問題，影響行人與駕駛的視覺舒適度與安全。因此，在選擇高反射材料時，必須同時考量其光譜反射特性，優先選擇在可見光波段反射率適中、但在近紅外波段（佔太陽能量近一半）具有高反射率的「冷色」材料。這類材料能在有效反射熱能的同時，避免產生刺眼的視覺感受。

除了反射率，鋪面材料的熱容量與熱傳導率同樣影響其熱行為。高熱容量的材料，如厚重的混凝土板，白天吸收熱量後，會在夜間緩慢釋放，導致夜間都市溫度無法有效下降，形成所謂的「夜間熱島」。相對地，多孔隙或輕質的鋪面材料，其熱容量較低，升溫與降溫速度較快，有助於日間蓄熱的減少與夜間散熱的加速。此外，鋪面的構造設計，特別是透水性質，對熱調節至關重要。透水鋪面，如透水瀝青、透水混凝土、或植草磚，允許雨水迅速滲入下層土壤。這不僅有助於逕流管理，更重要的是，水分在鋪面孔隙或下層基質中的蒸發過程會吸收大量的汽化潛熱，產生顯著的蒸發冷卻效應。這種「被動冷卻」機制，能使透水鋪面在日間的表面溫度比不透水鋪面低 5°C 至 10°C，同時增加近地空氣濕度，在乾熱氣候下尤為有益。

在實務應用上，鋪面材料的熱管理必須與整體都市風道規劃及垂直通風策略相結合。例如，在規劃作為城市風道或通風路徑的街道與開放空間時，應優先採用高反射率與高透水性的鋪面材料，以降低風道本身的溫度，確保引入的空氣是相對涼爽的。若風道底層為高溫鋪面，則流經的氣流將被加熱，反而加劇了下風處的熱負荷。此外，鋪面顏色與材質的選擇也應納入都市色彩規劃的整體框架，在美學、文

化意象與熱物理性能之間取得平衡。例如，使用深色系但具有高近紅外反射率的特殊塗料或面層材料，可以在維持特定視覺效果的同時，改善其熱性能。

鋪面材料的維護與老化管理亦是長期性能的關鍵。許多高反射塗料或面層會因積塵、磨損、藻類滋生而逐漸降低其反射率，通常在三至五年內可能衰減 20% 至 40%。因此，制定定期的清潔與維護計畫，例如低水耗的高壓清洗，對於維持其冷卻效能至關重要。另一方面，透水鋪面的孔隙堵塞是常見問題，需要透過真空吸塵或高壓水沖洗等方式進行養護，以維持其透水與蒸發冷卻功能。未來的材料研發方向，正朝向自潔性塗料、光觸媒鋪面（可分解有機污垢）、以及相變材料（PCM）整合鋪面等領域發展。相變材料能在特定溫度區間發生相態轉變，吸收或釋放潛熱，從而平抑鋪面溫度的劇烈波動，特別適用於晝夜溫差大的地區。

總而言之，地面鋪面材料的輻射熱管理是一項涉及材料科學、都市物理、景觀設計與維護管理的綜合性課題。它承接了前述都市風道規劃中對於氣流路徑冷源的需求，並為後續章節將探討的生態基盤與生物多樣性恢復提供了重要的實體介面。透過科學化的材料選用、創新的構造設計、以及周全的生命週期維護，鋪面可以從都市熱島的「幫兇」轉變為微氣候調節的「利器」，為創造更具韌性與舒適度的都市戶外環境奠定堅實的物理基礎。

2.4 生態基盤與生物多樣性恢復

生態基盤的建構，是將都市視為一個動態的生態系統，而非僅是建築物的集合體。它超越了傳統景觀美化的範疇，旨在系統性地恢復與強化基地內部的生態過程，包括水文循環、土壤健康、棲地網絡以及生物多樣性的維繫。這種規劃思維直接承接前一節對於地面鋪面材料的討論，因為鋪面的透水性與熱物性，正是生態基盤能否有效運作的關鍵基礎。當我們將不透水的硬鋪面轉化為透水或半透水材質時，不僅能降低地表徑流與熱蓄積，更為土壤中的微生物、植物根系以及小型生物創造了生存的條件，這是從物理環境調節邁向生態系統修復的重要轉折。生態基盤的目標在於創造一個具有韌性、能夠自我調節並提供多重生態系統服務的綠色網絡，這些服務包括但不限於：緩解都市熱島效應、淨化空氣與水質、提供野生生物棲地、提升居民心理健康，以及增強都市面對氣候變遷的適應能力。

原生植栽的選用是生態基盤規劃的核心策略，其意義遠超過單純的綠化。原生植物經過長時間的演化，已完全適應當地的氣候、土壤與水文條件，因此具有較高的存活率與抗逆性，能夠在最低限度的人工灌溉與養護下茁壯成長。這不僅大幅降低了後期的維護成本與水資源消耗，更重要的是，原生植物與當地的動物、昆蟲及微生物之間，存在著緊密共生的生態關係。例如，特定的蝴蝶幼蟲僅以某些原生植物為食，而許多原生鳥類則依賴本土樹木的果實或在其枝葉間築巢。因此，大規模種植原生植物，是重建都市中破碎化棲地、恢復本地生物多樣性的根本途徑。在規劃上，應避免單一樹種的大面積種植，而應模擬自然森林的層次結構，包含喬木、

灌木、地被植物及蔓藤植物，形成多層次的植生群落，以最大化棲地的複雜度與承載力。

棲地跳島的建構，是針對都市環境中綠地空間破碎化問題所提出的解決方案。在高度開發的都市裡，公園、綠帶等綠色空間往往被道路與建築物切割成彼此孤立的「島嶼」，這嚴重阻礙了生物個體在不同棲地之間的移動、覓食與基因交流，長久下來將導致族群孤立與遺傳多樣性下降。棲地跳島策略旨在透過有意識的設計，在這些孤立的綠色斑塊之間建立連結廊道或踏腳石，形成一個連續的綠色網絡。這些跳島可以是線性的，例如沿著河岸、道路兩側或鐵道旁設置的帶狀綠帶；也可以是點狀的，例如建築物的屋頂花園、垂直綠牆、社區中的小型生態水池或是一片保留原生植被的角落。這些跳島的設計需考量目標物種（如鳥類、蝴蝶、蜜蜂）的移動能力與需求，提供必要的食物來源、水源、遮蔽物與繁殖場所，使其能夠安全地穿越人造的都市環境。

多孔隙構造的應用，是將生態思維延伸至建築與景觀工程的細部設計。傳統的擋土牆、護岸或鋪面往往採用密實、不透水的材料，形成了對土壤生態系的物理屏障。多孔隙構造則利用多孔混凝土、石籠、多孔磚或堆疊的天然石材等材料，創造出具有大量縫隙與孔洞的結構體。這些孔隙不僅能促進地表水與地下水的交換，減輕排水系統的負擔，更名為土壤中的微生物、無脊椎動物（如蚯蚓、甲蟲）以及小型爬行動物提供棲息與活動的空間。土壤微生物是生態系統的分解者，負責將有機質轉化為植物可吸收的養分，其多樣性與活性直接影響土壤的肥沃度與健康。因此，採用多孔隙構造，實質上是為土壤生態系的復育創造了物理基礎，讓自然過程能夠在人工構造物中重新啟動，達到工程穩定性與生態功能性的雙重目標。

鳥類與昆蟲廊道的跨街廊連結規劃，是生態基盤網絡化的具體實踐。這項工作需要超越單一基地的尺度，從街區乃至都市區域的層次進行通盤考量。規劃者首先需要透過生態調查，識別出區域內重要的生態源頭（如大型公園、自然保留區）以及關鍵的物種，並分析現有都市結構中對生物移動造成阻礙的節點（如寬闊的高速道路、密集的高層建築群）。接著，透過都市設計手法，有策略地利用現有的線性空間，例如將防汛渠道生態化改造為濕地廊道，在道路上方或下方設置專用的動物通道，或是在建築群之間保留或創造通風與採光用的開放空間時，同步將其設計為具有豐富植被的綠色廊道。這些廊道的植被配置需具備連續性，並提供花蜜、果實、種子等食物資源，以引導和支持鳥類與昆蟲的移動。此規劃不僅有助於生物多樣性的保育，這些綠意盎然的廊道同時也為都市居民提供了優美的休閒路徑與親近自然的機會，實現生態與人本價值的融合。

最終，生態基盤與生物多樣性恢復的終極目標，是讓建築與都市環境從生態系統的「消費者」與「破壞者」，轉變為「生產者」與「修復者」。這意味著建築基地不應再是從自然中切割出來、與周遭環境對立的孤島，而應成為鑲嵌於都市生態網絡中的一個積極節點，貢獻於整體生態系統的健康與穩定。成功的生態基盤規劃，將使基地內的水能夠自然滲透與循環，土壤充滿生命活力，本地動植物得以棲

息繁衍，並與更大範圍的綠色網絡相連通。這種深度的整合，為後續章節探討高性能建築外殼與室內環境品質奠定了堅實的基礎——一個外部擁有健康、穩定微氣候與生態系統的建築，其內部環境的調節將更為節能、高效，且更能滿足使用者對健康與福祉的深層需求。建築與自然之間，將從對抗走向共生。

原生植栽與棲地跳島的建構方法

原生植栽的選用是建構生態基盤的首要步驟，其意義不僅在於適應當地氣候條件以降低維護需求，更在於重建因都市化而破碎化的生態網絡。選擇原生植栽時，必須進行深入的基地生態調查，了解該區域原有的植物社會組成、演替階段以及關鍵物種。這項工作通常需要結合歷史文獻、老照片、鄰近殘存自然地的樣區調查，甚至土壤種子庫的分析，以釐清在都市化干擾前可能存在的植被類型。選種原則上應優先採用當地原生樹種、灌木及地被植物，避免使用外來入侵種，因其可能排擠原生植物，並提供不適合當地野生動物的食物或棲所。例如，在台灣低海拔地區，可考慮選用樟樹、茄苳、苦楝等原生樹種作為上層林木，搭配朱槿、月桃等灌木層，以及蔓花生、地毯草等地被層，形成多層次的植生結構。這種模仿自然森林的層次，能提供多樣化的微棲地，吸引不同需求的生物。

建構棲地跳島的核心概念，是將都市中零散分布的綠地，如公園、校園、屋頂花園、陽台綠化甚至路樹，透過生態廊道或踏腳石的方式連結起來，形成一個允許生物移動、覓食與繁殖的網絡。在高度開發的都市中，大面積的連續綠地極為罕見，因此跳島的規劃顯得至關重要。規劃時需先進行都市生態網絡分析，識別出現有的生態熱點（如大型公園、河岸帶）以及其間的阻隔（如寬闊道路、密集建築群）。跳島的設置目標，便是縮小這些阻隔的距離，或提供穿越的途徑。例如，在兩塊綠地之間規劃一條以原生灌木為主的綠籬，或利用建築物的垂直綠化與屋頂花園作為空中廊道，都能讓鳥類、昆蟲等移動能力較強的物種得以擴散。對於爬蟲類或小型哺乳類，則可能需要設計地下生態管涵或路面減速的動物通道。

跳島的設計必須考量目標物種的生態需求，亦即所謂的「棲地適配性」。不同的生物對於食物、水源、遮蔽物及繁殖場所有著截然不同的要求。以鳥類為例，食蟲鳥需要豐富的昆蟲資源，這有賴於多樣化的植栽吸引各類昆蟲；食果鳥則需要不同季節結果的樹種，以提供全年性的食物來源。同時，鳥類需要足夠密度的灌木或樹冠層以躲避天敵與惡劣天氣，並需要適當的場所（如樹洞、枝桠）築巢。因此，一個理想的鳥類跳島，應包含多層次的植栽、提供花蜜與果實的植物、以及可能設置的人工巢箱。對於傳粉昆蟲如蜜蜂與蝴蝶，則需要規劃蜜源植物與食草植物的連續花期，確保從春到秋都有食物供應，並需避免使用殺蟲劑。跳島的規模與間距需根據目標物種的移動能力而定，移動能力較差的物種需要更密集的跳島佈設。

在實務操作上，建構跳島需從微棲地的多樣化著手。單一化的草坪或整齊劃一的樹陣，其生態價值遠低於結構複雜的植生群落。設計時應刻意創造多樣化的環境條件，例如：利用堆石、倒木創造陰濕環境供兩棲類與無脊椎動物棲息；營造小範

圍的窪地或靜水區，提供生物飲水與繁殖的場所；保留落葉層與枯枝落葉，作為土壤生物與部分昆蟲的棲所。光照條件也應有所變化，包含全日照、半遮蔭及全遮蔭區域，以滿足不同植物的生長需求，進而支持不同的動物相。這些微棲地的設置，應盡量使用自然材料，並以看似不規則、自然演替的方式安排，模仿自然界的狀態。此外，跳島的管理維護策略也至關重要，應採取低度干擾的原則，避免過度清理與頻繁修剪，允許植栽自然生長與落葉歸根，形成自我維持的生態循環。

將跳島概念整合進建築與景觀設計中，需要跨領域的協作。建築師、景觀設計師與生態學家必須從規劃初期便共同工作，將生態跳島視為基礎設施的一部分進行設計。例如，建築物的屋頂與立面可設計為具備土壤層與多樣化植栽的綠化單元，並與地面的綠地系統在視覺與生態上產生連結。建築群之間的開放空間，則可規劃為一系列具備不同生態功能的小型花園或生態池，彼此以綠廊相連。在街道尺度，可擴大人行道植栽帶的寬度，並採用原生樹種與地被，形成線性的生態廊道。這些設計必須同時考量人類的使用需求與美學，創造出人與野生生物共存的空間。成功的跳島建構不僅能提升基地的生物多樣性，更能強化整體生態系統的韌性，促進養分循環、授粉服務與害蟲控制等生態系功能，最終回饋到建築環境的永續性上。此一過程緊密銜接了後續將討論的多孔隙構造，因為土壤結構的復育正是維持這些跳島植栽健康與棲地功能的根本基礎。

多孔隙構造對於土壤微生物的復育

多孔隙構造在綠建築基地規劃中，扮演著復育土壤微生物與重建地下生態系的重要角色。傳統的都市開發往往將地表大面積硬化，無論是混凝土鋪面或壓實的土壤，都嚴重破壞了土壤的孔隙結構，導致空氣與水分無法自由流通，進而扼殺了土壤微生物的生存環境。這些微生物，包括細菌、真菌、放線菌及原生動物等，是土壤生態系的引擎，負責分解有機質、循環養分、改善土壤團粒結構，並與植物根系形成共生關係，協助植物吸收水分與養分。因此，在生態基盤的建構中，恢復土壤的物理性孔隙，是啟動微生物復育、重建土壤生命力的首要工程。這不僅是景觀美化的議題，更是從根本上恢復基地生態功能、促進碳封存與水循環健康的關鍵策略。

多孔隙構造的設計，旨在模仿自然土壤中由生物活動與物理過程所形成的複雜孔洞網絡。這些孔隙可分為大孔隙、中孔隙與微孔隙，各自承擔著不同的生態功能。大孔隙主要由植物根系、土壤動物（如蚯蚓）的活動所形成，是空氣與水分快速流通的主要通道；中孔隙則有助於水分的儲存與毛細移動；微孔隙則是微生物棲息與進行生化反應的主要場所。在人工營造的環境中，我們可以透過多種技術手段來重建這些孔隙結構。例如，使用具備開放性孔隙的輕質骨材，如發泡玻璃骨材或多孔隙陶瓷，作為土壤改良介質；或是在夯實層之間置入由回收木材、樹枝製成的粗有機質層，創造出類似森林地被層的結構。這些構造不僅提供了物理性的棲息空

間，其材料本身若具有適當的化學性質（如 pH 值中性、富含礦物質），更名為微生物群落提供適宜的定殖基質。

在實務操作上，多孔隙構造的施作必須與水文設計緊密結合。土壤微生物的活動高度依賴水分與氧氣的平衡，過於潮濕或過於乾燥的環境都會導致微生物群落失衡。因此，在設計排水層或儲水層時，採用礫石、碎磚等級配良好的多孔隙材料，能夠在排除多餘地表逕流的同時，維持一定的空氣流通與水分涵養。特別是在雨水花園或生態滯留池的底部結構中，多孔隙的填充層不僅是過濾污染物的介質，更是培育好氧與厭氧微生物的溫床，這些微生物能有效分解逕流中的油脂、有機物及部分營養鹽，達到生態淨化的效果。此外，將多孔隙構造與地下通氣系統相結合，例如設置通氣管引入空氣至土壤深層，可以進一步促進好氧微生物的活動，加速有機物的分解與養分循環，避免因缺氧而產生甲烷等溫室氣體或有害物質。

土壤微生物的復育並非一蹴可幾，多孔隙構造提供了初始的物理棲地，但微生物群落的建立與穩定則需要時間以及有機養分的持續輸入。這就必須與前述的「原生植栽與棲地跳島的建構方法」相銜接。當我們在孔隙構造之上種植原生植栽，其落葉、枯枝與根系分泌物將成為土壤微生物的碳源與能量來源。不同植物的根系會分泌不同的化學物質，吸引特定的微生物族群，從而形成多樣化的地下共生網絡。例如，豆科植物的根瘤菌能固氮，而外生菌根真菌能協助木本植物吸收磷等養分。因此，一個設計良好的多孔隙土壤基質，搭配多樣化的原生植栽，能夠引導微生物群落朝著高多樣性、高功能性的方向演替，最終形成一個具有自我維持能力的微生物生態系統。

從更宏觀的生態連結角度來看，復育健康的土壤微生物相，是建構完整「鳥類與昆蟲廊道」的隱形基礎。許多在地面活動的昆蟲，其幼蟲階段可能依賴土壤中的有機質或特定微生物為食；而健康的土壤所孕育出的旺盛植物，又能為更高營養級的昆蟲與鳥類提供食物與棲所。若土壤貧瘠且缺乏生命，其上方的植栽即便存活，也難以形成充滿昆蟲鳴叫與鳥類覓食的生機景象。因此，多孔隙構造可視為生態基盤的「基礎設施」，它從地下開始，穩固地支持著整個可見的地表生態網絡。在跨街廓的廊道規劃中，確保每個跳島或節點的土壤都具有良好的孔隙結構與微生物活性，是維持廊道生態功能連續性的關鍵，避免生態棲地僅是植物個體的孤立集合，而是真正具有能量流動與物質循環的生命系統。

在材料選擇上，追求多孔隙構造的同時，也需考量其生命週期評估與環境衝擊。優先使用當地可取得的再生材料，如營建廢棄物經過處理後製成的再生級配骨材，或農業副產物如稻殼、椰纖等，既能創造孔隙，又能實現資源循環。然而，必須注意這些材料是否含有重金屬或其他污染物，避免在復育過程中反而污染了土壤。此外，多孔隙構造的長期穩定性也是一大挑戰，在沒有土壤動物持續翻攪的情況下，孔隙可能隨著時間因細小顆粒淤塞而減少。因此，在設計上可考慮分層結構，並在表層覆蓋有機覆蓋物，鼓勵蚯蚓等土壤動物入住，藉由生物自身的活動來動態維持孔隙度，達成低維護、自營運的生態設計目標。

鳥類與昆蟲廊道的跨街廓連結規劃

在都市生態基盤的建構中，多孔隙構造為土壤微生物的復育提供了基礎，而此一地下生態系統的健全，將進一步支持更為複雜的地表生態網絡。鳥類與昆蟲廊道的跨街廓連結規劃，即是將生態修復的視角從單一基地或街廓，提升至都市區域尺度的重要策略。此規劃旨在克服都市化所造成的人為棲地破碎化問題，透過有意識的空間設計與植被配置，創造一條條可供野生生物移動、覓食、繁殖與避難的綠色通道，從而恢復都市環境中的生物多樣性，並強化生態系統的穩定性與服務功能。這不僅是生態工程，更是一種將自然重新編織入都市紋理的空間設計哲學。

進行鳥類與昆蟲廊道的規劃，首先必須進行詳盡的生態調查與潛力分析。這包括識別區域內既有的生態熱點，如公園、校園綠地、河岸帶或保護區，作為廊道的「核心棲地」。同時，需調查目標物種，特別是當地原生、對棲地變化敏感或具有關鍵生態功能的鳥類與昆蟲（如傳粉昆蟲、捕食性天敵）。了解這些物種的移動能力、所需的最小棲地面積、食源植物偏好以及對人為干擾的耐受度，是設計有效廊道的基礎。例如，許多鳥類需要連續的樹冠層以供飛行移動與躲避天敵，而多種蝴蝶則依賴特定寄主植物完成其生命週期。規劃時需整合這些生物需求，評估都市中建築物、道路、廣場等硬質空間所形成的阻隔，並尋找可能的連結路徑，如綠帶、線型公園、退縮的建築綠化空間、甚至建築立面與屋頂的垂直綠化。

在實質設計上，跨街廓連結的核心在於創造結構與功能上的連續性。結構連續性指的是提供實體的植被或棲地單元串聯。這可透過規劃帶狀的複層植栽，結合喬木、灌木與地被植物，形成「綠色橋樑」。喬木層提供鳥類飛行移動的導引與庇護，開花與結果的樹種能提供季節性食源；灌木層與地被層則為地面活動的昆蟲、爬蟲類及小型哺乳類提供棲所，其花朵更是傳粉昆蟲的重要蜜源。此外，設計需考量「踏腳石」策略，在廊道路徑上，於關鍵節點（如道路交叉口、建築群間的開放空間）設置小型棲地島嶼，例如以原生蜜源植物為主的誘蝶誘鳥綠地、設置鳥屋或蟲旅館的微棲地，讓移動能力較弱的生物得以分段完成跨街廓的遷徙。

功能連續性則強調棲地品質的維持與生態服務的提供。廊道設計應盡可能使用多樣化的原生植物，模擬自然群落的結構，以支持更豐富的食物網。避免使用外來入侵種，並減少農藥與除草劑的使用，以確保昆蟲等無脊椎動物的生存。水資源的提供亦至關重要，可結合生態淨化池、淺碟形窪地或提供乾淨水源的鳥浴盆，滿足生物飲水與沐浴的需求。夜間照明管理是常被忽略的一環，過度或錯誤的景觀照明會干擾夜行性昆蟲的導航與鳥類的作息，因此廊道區域的照明應採用防眩光、低色溫的設計，並盡可能減少光線溢散至植被區域。

跨街廓連結的實現，面臨最大的挑戰在於穿越人為障礙，特別是交通繁忙的道路。為此，需要引入特殊的生態友善工程措施。對於大型道路，可評估設置「生態廊橋」或「地下生態管涵」的可行性。生態廊橋是在道路上空架設的覆土植生橋樑，兩側以緩坡與地面廊道連接，內部營造自然棲地環境，引導松鼠、狐狸乃至中

型哺乳類安全穿越。對於兩棲類、爬蟲類及部分地面昆蟲，則可於道路下方設置管狀通道，並確保通道內保持黑暗、潮濕且與自然地表相接。對於較小的街區道路，則可透過交通寧靜化設計，如縮減車道寬度、設置抬升式人行穿越道，並搭配茂密的行道樹與路側綠帶，降低車速與交通量對生物移動的心理阻嚇效應，增加生物嘗試穿越的意願。

此規劃的成功，極度依賴跨領域協作與社區參與。它需要生態學家、景觀建築師、都市規劃師、土木工程師以及地方政府部門的緊密合作。從都市計畫層面，應將生態廊道網絡納入都市計畫通盤檢討，透過土地使用分區管制與都市設計審議，要求新開發案保留或創造連結性的開放空間。對於既有建成區，則需透過公有地（如學校圍牆退縮帶、排水溝渠綠美化）的優先改造，以及鼓勵私有建築物透過立面綠化、屋頂花園參與廊道建構。社區居民的參與是永續維護的關鍵，透過環境教育，讓居民認識廊道中的生物鄰居，並可能自發性地在自家陽台或庭院種植蜜源植物，形成由下而上擴展的「生態跳島」，使鳥類與昆蟲廊道最終成為一個有機生長的都市生態網絡，為下一個章節探討建築外殼如何與此生態界面互動，預先鋪陳了重要的都市生態背景。