

逢甲大學學生報告 ePaper

住宅熱舒適度優化之研究

—以台灣沙鹿區連棟住宅為例

A Study on the Optimization of Residential  
Thermal Comfort: A Case Study of Terraced Houses  
in Shalu District, Taiwan

作者：洪暉智

系級：建築五

學號：D1086987

開課老師：林衍良

課程名稱：建築設計(九)

開課系所：建築專業學院

開課學年：114 學年度 第 1 學期



## 摘要

本研究以「建築碳排與熱舒適模型整合」為主軸，探討如何在住宅設計中同時兼顧能源效率與居住舒適。研究以臺中市沙鹿區自家住宅為案例，該地區屬亞熱帶沿海氣候，具有夏季高溫潮濕、冬季風勢強勁等特徵。由於此氣候條件常導致住宅在冷房能耗與室內熱環境之間出現衝突，因此本研究嘗試透過模擬分析，建立一套能兼顧「節能」與「舒適」的評估方法。

研究首先利用 SketchUp 建模建立住宅三維模型，並以 EnergyPlus 進行能源模擬，分析不同外殼材料、遮陽深度對全年能耗與碳排的影響，屋頂外殼代表水平外殼，外遮陽代表垂直外殼；同時，以 PMV/PPD 熱舒適指標模擬不同季節、時段與氣候條件下的室內熱環境變化，藉以比較各設計方案的舒適表現，驗證開放空間與氣流導引設計之成效。

模擬結果顯示，當外殼隔熱性能提升並搭配適當遮陽深度，住宅全年冷房能耗可有效降低，碳排放同步減少，且室內熱舒適度明顯提升。夏季高溫時段中，改善對流通風可穩定操作溫度並減少不舒適時數。研究最終提出一套以「碳排與熱舒適並行評估」為核心的住宅能效優化流程，提供未來住宅設計與節能改造之參考依據。

本研究的貢獻在於將建築能耗、碳排與人體舒適三者連結於同一分析框架中，並以實際住宅案例驗證其可行性。結果顯示，被動式設計策略如隔熱、遮陽與自然通風，在亞熱帶濕熱氣候中能有效平衡能源需求與居住體驗，亦可作為未來永續住宅發展的重要依據。

**關鍵字：**能源模擬、熱舒適、連棟住宅、亞熱帶濕熱氣候、建築外殼被動設計

## Abstract

This study focuses on the "integration of building carbon emissions and thermal comfort models" to explore how to balance energy efficiency and residential comfort in housing design. The study uses a residence in Shalu District, Taichung City, as a case study. The area has a subtropical coastal climate characterized by hot, humid summers and strong winter winds. As these conditions often create conflicts between cooling energy consumption and the indoor thermal environment, this study establishes an assessment method that balances "energy conservation" and "comfort" through simulation analysis.

The research utilizes SketchUp to construct a three-dimensional model of the residence and EnergyPlus to perform energy simulations, analyzing the impact of envelope materials and shading depths on annual energy consumption and carbon emissions; the roof represents the horizontal envelope, while external shading represents the vertical envelope. PMV/PPD thermal comfort indices simulate variations in the indoor thermal environment across seasons and time periods to compare the comfort performance of design schemes and verify airflow guidance designs.

Simulation results indicate that when envelope insulation performance is improved and paired with appropriate shading depth, the residence's annual cooling energy consumption is reduced, carbon emissions decrease, and indoor thermal comfort improves. During high-temperature summer periods, improved convective ventilation stabilizes operative temperatures and reduces uncomfortable hours. The study proposes a residential energy efficiency optimization process centered on the "parallel assessment of carbon emissions and thermal comfort."

The contribution of this study lies in linking building energy consumption, carbon emissions, and human comfort within a single analytical framework through an actual residential case. The results show that passive design strategies such as insulation, shading, and natural ventilation can balance energy demands and living experience in a subtropical hot-humid climate, supporting the development of sustainable housing.

**Keyword :** Energy simulation, Thermal comfort, Terraced house, Subtropical hot-humid climate, Passive building envelope design

## 目錄

摘要.....	1
Abstract.....	2
目錄.....	3
圖目錄.....	6
表目錄.....	8
<b>第一章 緒論</b> .....	<b>10</b>
1.1 研究背景.....	10
1.2 研究動機.....	12
1.3 研究目的.....	16
1.4 研究範圍與對象.....	17
1.5 研究方法.....	20
1.6 研究流程與架構.....	22
<b>第二章 文獻回顧</b> .....	<b>24</b>
2.1 建築能效與碳排放相關研究.....	24
2.1.1 建築能耗相關研究.....	24
2.1.2 碳排放相關研究.....	27
2.1.3 EUI 介紹.....	29
2.1.4 BERS 介紹.....	30
2.2 熱舒適模型 (PMV/PPD) 理論與應用.....	33
2.2.1 熱舒適定義.....	33
2.2.2 熱舒適性範圍.....	33
2.2.3 熱環境對人體的影響.....	35
2.2.4 熱環境與熱舒適之評估基礎.....	36
2.3 連棟住宅遮陽、外殼與氣候特性.....	37

2.3.1 氣候特性與日照條件.....	38
2.3.2 建築外殼與熱性能.....	43
2.3.3 遮陽設計原則與類型.....	44
2.3.4 遮陽與建築能耗關係.....	53
2.4 建築模擬軟體應用分析.....	56
2.4.1 各項軟體比較及說明.....	56
2.4.2 Energyplus 分析項目（據此研究部分作說明）.....	58
<b>第三章 研究對象背景與方法.....</b>	<b>61</b>
3.1 研究對象調查.....	61
3.1.1 研究對象說明.....	61
3.1.2 研究對象周遭環境條件.....	67
3.2 研究對象實驗模擬.....	72
3.2.1 沙鹿連棟新加坡式住宅現況資料.....	72
3.2.2 實驗模擬流程圖.....	73
3.2.3 模型建置.....	74
3.2.4 流程介紹.....	75
3.2.5 建築模型構件與邊界條件分類.....	76
3.2.6 輸入氣象資料.....	78
3.2.7 輸入建築資料.....	80
<b>第四章 數值模擬結果與分析.....</b>	<b>85</b>
4.1 模擬結果.....	85
4.2 結果初步說明.....	88
<b>第五章 評圖記錄和討論.....</b>	<b>92</b>
5.1 期初評 2025/10/17(第 1 次評圖).....	92
5.2 期中評 2025/11/28(第 2 次評圖).....	94
5.3 期末評 2025/12/26(第 3 次評圖).....	96

5.4 總結與後續研究.....	98
參考文獻.....	99



## 圖目錄

圖 1.1 全球建築物二氧化碳排放量.....	1
圖 1.2 建築業相對於其他產業的最終能源消耗.....	1
圖 1.3 2050 年國際能源總署淨零排放路徑里程碑.....	2
圖 1.4 傳統住宅空間型態（傳統透天厝、公寓結構為主、採光和通風性差）..	4
圖 1.5 架空層集合住宅概念（一樓架空停車層、採自然通風、低公設比）.....	4
圖 1.6 沙鹿區整體區位與基地位置圖.....	9
圖 1.7 沙鹿區基地周邊環境與都市紋理圖.....	9
圖 1.8 基地範圍與周邊建築配置圖.....	9
圖 1.9 研究案例住宅之外觀與空間環境實景圖.....	10
圖 1.10 研究流程圖.....	14
圖 2.1 建築能耗與碳排交互關係示意圖.....	20
圖 2.2 台灣實現淨零碳排放的演變歷史圖.....	22
圖 2.3 新建住宅類建築之能效標示示意.....	23
圖 2.4 熱舒適指標模型示意圖（PMV - PPD），舒適區間與不滿意率關係曲線..	26
圖 2.5 台灣建築氣候分區.....	30
圖 2.6 台灣地區年平均日照時數分布圖.....	31
圖 2.7 台灣地區建築物夏季平均日射量比例圖.....	33
圖 2.8 (a)(b)(c)水平遮陽實景.....	36
圖 2.9 (a)(b)(c)垂直遮陽實景.....	36
圖 2.10 (a)(b)(c)水平+垂直遮陽實景.....	37
圖 2.11 (a)(b)(c)槽板式遮陽實景.....	37
圖 2.12 (a)(b)(c)綠化遮陽實景.....	37
圖 2.13 遮陽形式與其適宜朝向.....	40
圖 2.14 遮陽類型之方位應用分區.....	40
圖 2.15 水平遮陽適用方位之範圍圖.....	41
圖 2.16 築耗能影響因子.....	44
圖 2.17 太陽軌跡與建築遮陽示意圖.....	50
圖 2.18 建築表面太陽輻射分布示意圖.....	50
圖 2.19 建築能耗與 HVAC 冷房負荷模擬結果示意圖.....	50
圖 2.20 室內熱舒適度（PMV / PPD）分析示意圖.....	51

圖 3.1 臺中市 29 區行政區域圖.....	58
圖 3.2 沙鹿地區各月份平均溫度.....	59
圖 3.3 沙鹿地區各月份平均日照時數.....	59
圖 3.4 模擬流程圖.....	64
圖 3.5 建築案例模型.....	65
圖 3.6 建築案例參數模板設定.....	66
圖 3.7 建築案例量體建立.....	66
圖 3.8 建築案例窗戶建立.....	66
圖 3.9 OpenStudio 建築模型中 Thermal Zone、Space 與 Room 之層級關係...	68
圖 4.1 Openstudio 數值輸出介面設定.....	77
圖 4.2 Openstudio 可視化圖表範例.....	78
圖 4.3 Openstudio 可視化圖表範例.....	78
圖 4.4 THERMAL ZONE 1F BEDROOM Period Hourly 區域平均輻射溫度, MRT....	79
圖 4.5 THERMAL ZONE 1F BEDROOM Period Hourly 區域平均空氣溫度.....	80
圖 4.6 THERMAL ZONE 1F BEDROOM Period Hourly 區域空氣相對濕度.....	81
圖 4.7 THERMAL ZONE 1F BEDROOM 區域平均輻射溫度, MRT, 熱圖.....	82
圖 4.8 THERMAL ZONE 1F BEDROOM 區域平均空氣溫度, 熱圖.....	82

## 表目錄

表 1.1 架空層集合住宅設計概念與可能問題分析.....	4
表 1.2 台灣既有住宅種類分析.....	5
表 1.3 研究對象說明.....	8
表 2.1 建築能耗與碳排放項目與核心議題.....	19
表 2.2 建築熱舒適指標之分類、定義與評估標準.....	20
表 2.3 ISO 7730 建議之熱舒適參數.....	24
表 2.4 ASHRAE Standard 55 舒適性建議範圍.....	25
表 2.5 ASHRAE 55 PMV 七等級分類.....	26
表 2.6 熱環境與熱舒適項目與核心議題.....	27
表 2.7 熱環境與熱舒適核心名詞及概念解釋.....	28
表 2.8 台灣地區建築氣候分區.....	29
表 2.9 台灣地區溫熱期間（5 - 10 月）各方位日射量及比例.....	31
表 2.10 日照分布與方位日射量分析.....	32
表 2.11 遮陽與省能開窗方位的優先次序.....	38
表 2.12 遮陽與省能開窗方位的優先次序 總結表.....	38
表 2.13 各式外遮陽之設計條件.....	38
表 2.14 各式外遮陽之設計條件 總結表.....	39
表 2.15 各式外遮陽適用之方位.....	39
表 2.16 各方位基本遮陽板之最佳深度比建議值.....	41
表 2.17 台灣地區建築物方位之優先順序.....	41
表 2.18 各式遮陽適用方位.....	42
表 2.19 遮陽設計對建築物之影響.....	43
表 2.20 建築物能耗之影響.....	45
表 2.21 能效軟體應用與議題.....	47
表 2.22 能效名詞與概念說明.....	48
表 2.23 EnergyPlus 及相關能源模擬軟體比較.....	48
表 3.1 研究對象資訊.....	52
表 3.2 沙鹿自家住宅 1F 現況.....	54
表 3.3 沙鹿自家住宅 2F 現況.....	54
表 3.4 沙鹿自家住宅 3F 現況.....	55

表 3.4 沙鹿自家住宅 4F 現況.....	55
表 3.4 沙鹿自家住宅 RF 現況.....	56
表 3.7 沙鹿自家社區住宅基地概.....	56
表 3.8 沙鹿自家社區住宅建物概要.....	56
表 3.9 沙鹿自家社區住宅樓層概要資料.....	57
表 3.10 沙鹿自家社區住宅停車空間.....	57
表 3.11 案例住宅各月份區間之電力能耗與碳排放量統計表.....	57
表 3.12 沙鹿及附近地區之氣溫月平均溫度.....	59
表 3.13 沙鹿及附近地區之月平均降雨量.....	60
表 3.14 沙鹿及附近地區之月平均降雨日.....	60
表 3.15 沙鹿及附近地區之月平均降水強度 (mm/日) .....	61
表 3.16 沙鹿及附近地區之月平均相對濕度(%).....	61
表 3.17 沙鹿及附近地區之月平均風速 (m/s)、風向.....	62
表 3.18 案例現況.....	63
表 3.19 建築模型構件分類與邊界條件之可視化檢查.....	67
表 3.20 EPW 包含之天氣元素.....	70
表 3.21 建築模擬輸入參數設定表.....	71
表 3.22 各空間活動設定表.....	72
表 3.23 空間使用參數設定表.....	73
表 3.24 建築圍護構造熱工參數設定.....	74
表 3.25 外遮陽實驗模組設定.....	75
表 4.1 熱環境與熱舒適模擬輸出指標說明表 (EnergyPlus 模擬) .....	76
表 4.2 本研究熱舒適指標分析架構.....	77
表 5.1 不同遮陽設計方案之冷房能耗與熱舒適指標比較分析.....	88
表 5.2 評圖回饋與研究內容修正策略對照表.....	89

# 第一章 緒論

## 1.1 研究背景

近年來，全球暖化及能源危機已促使世界各國紛紛推動**節能減碳政策**。其中建築部門作為能源消耗與碳排的重要來源，受到高度關注。根據 IEA 的追蹤報告圖 1.1 及圖 1.2，建築運轉階段即占全球最終能源消耗約 30%，並對應約 27% 的能源部門相關碳排放。（資料來源:IEA Tracking Report）。若再把建築材料、結構營造階段的碳排（embodied emissions）納入考量，整體建築部門佔比則更高。（資料來源:IEA Breakthrough Agenda Report）。根據圖 1.3 IEA 亦指出，如果沒有強有力的政策推動，**未來至 2050 年建築部門能源使用可能增加達 70%**。（資料來源:IEA The energy efficiency policy package）

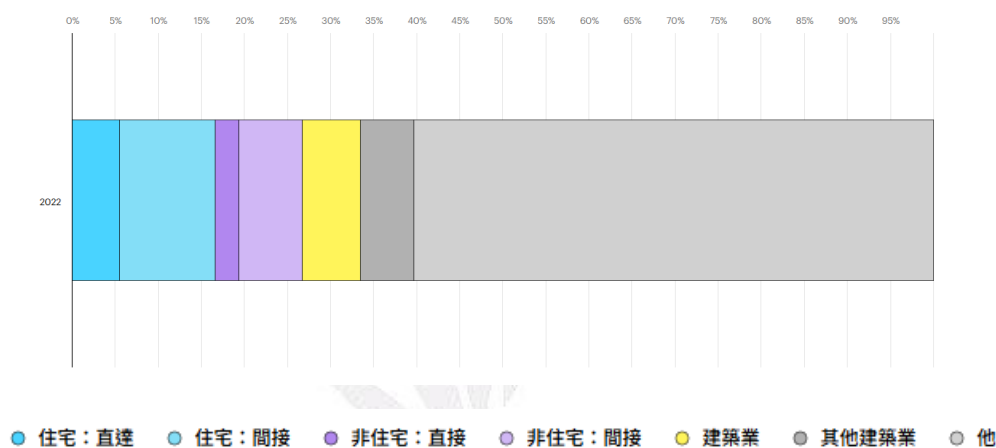


圖 1.1 全球建築物二氧化碳排放量（包括新建築隱含排放量）資料來源:IEA  
（資料來源:IEA The energy efficiency policy package，2023）

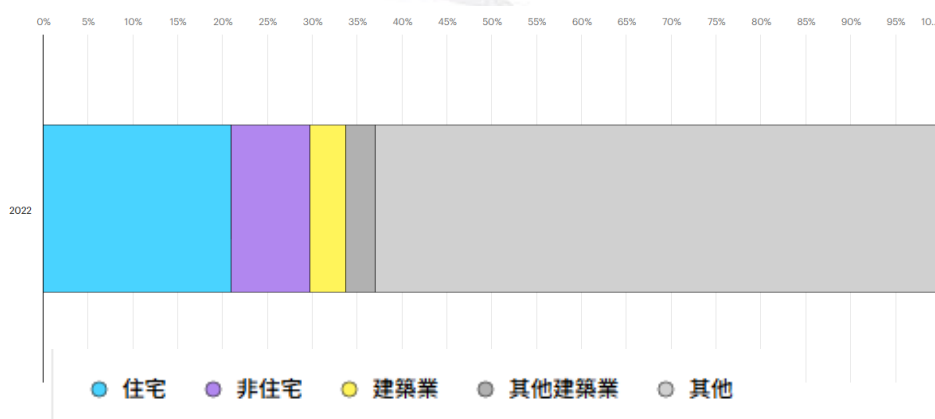


圖 1.2 建築業相對於其他產業的最終能源消耗 資料來源:IEA  
（資料來源:IEA The energy efficiency policy package，2023）

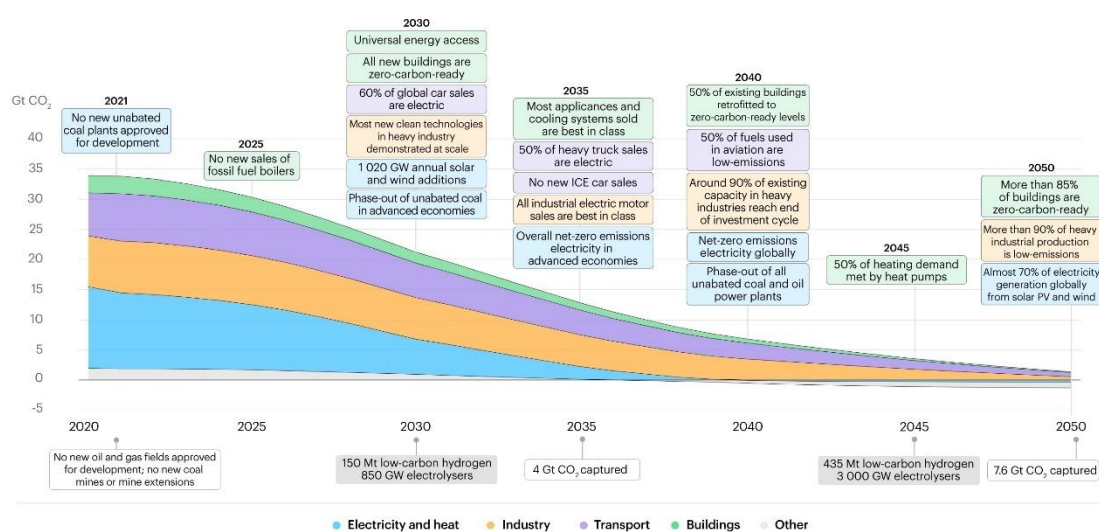


圖 1.3 2050 年國際能源總署淨零排放路徑里程碑

(資料來源:IEA The energy efficiency policy package, 2023)

同時，建築亦已成為電力需求成長的重要來源之一：2024 年全世界建築部門的電力消耗比前一年增加超過 600 TWh，佔總電力消耗成長的近 60%。(資料來源:IEA Global Energy Review )

在區域層面，臺灣位於亞熱帶氣候帶，高溫、濕度、日照強烈、降雨集中等特性，使得住宅建築在冷房負荷上占比偏高。許多研究也指出，外殼設計（包括隔熱、遮陽、窗牆配置等）對降低空調能耗具有顯著影響。以臺灣為例，一項對高層住宅的研究指出，窗戶散熱損失可達牆體的 5-6 倍，若採用適當遮陽或改善玻璃性能，對於空調能耗的抑制效果非常顯著。(白景富，2014)。另一篇研究也指出，建築外殼隔熱與蓄熱效果對室內溫度場的控制有正面貢獻，能降低冷房設計容量。(林子平，2014)。此外，臺灣都市微氣候的影響也不容忽視。根據《都市微氣候對住宅熱環境及空調能耗的影響》報告，都市熱島效應、地表反照率與植生覆蓋率差異，會對住宅能耗與舒適性造成可量化的影響。該研究透過實測資料結合 EnergyPlus 模擬，指出不同微氣候條件下住宅的熱負荷變動顯著。(鄭明仁，2016)

因此，對於於中部沿海地區（如沙鹿區）特定氣候環境下的住宅而言，若能將碳排計算與熱舒適指標整合，以精細化方式調控被動與主動策略，將能在節能與舒適間取得更佳平衡。

## 1.2 研究動機

近年全球在「碳中和」與「淨零排放」政策推動下，建築能耗與碳排放議題已成為永續發展的重要核心。根據國際能源署（IEA, 2024）報告指出，建築部門約佔全球能源消耗的 36% 與碳排放的 39%，其中住宅建築在冷房與照明能源上之比例逐年攀升。臺灣位處亞熱帶濕熱氣候區，夏季高溫且日照強烈，住宅空調能耗在建築總能耗中佔比高達 30%~60%（內政部營建署, 2023），顯示冷房負荷是影響住宅能效與碳排放的主要來源。

臺灣位處亞熱帶濕熱氣候區，夏季高溫且日照強烈，住宅空調能耗在建築總能耗中佔比高達 30%~60%（內政部營建署, 2023）其中，**遮陽設計（Solar Shading Design）**是最直接且成本效益最高的手法之一，可有效阻擋太陽輻射、降低冷房負荷、改善眩光與提升室內熱舒適性（Li et al., 2021）。根據 Wang et al.（2022）的研究，合理的遮陽設計可減少建築夏季冷房能耗約 15%~25%，並顯著改善室內 PMV（Predicted Mean Vote）分佈。

然而，在台灣現行住宅設計實務中，**遮陽設計多以經驗法或立面比例美感為主，缺乏量化模擬驗證**（台灣建築中心, 2022）。實際上，遮陽深度、角度與方位之不同組合會直接影響太陽得熱量、室內氣候分佈與空調能耗（Tzempelikos & Athienitis, 2007）。因此，若能在設計階段透過能源模擬軟體進行遮陽效益量化分析，不僅可提高節能精度，亦能作為建築師制定設計策略的依據。

隨著數位建築技術發展，利用 Building Information Modeling (BIM) 結合能源模擬（如 EnergyPlus）已成為永續建築研究的主流方法（Azhar, 2011；Kensek, 2014）。此類工具能整合建築幾何、材料與氣候資料，建立具真實性之模擬模型，並評估各設計變因對能耗與舒適度的影響。透過此方式，設計者可在早期階段即預測不同遮陽策略之節能效益，進而導向低碳化與高效率的設計決策（Hong et al., 2020）。

傳統連棟式住宅多以狹長深進配置、面寬有限、開窗比低為主要特徵，常形成採光面不足、通風效率差的空間條件。一樓多為停車或騎樓用途，使主要生活空間位於二樓以上，易產生悶熱與熱舒適性不佳的問題；新加坡式住宅強調一樓架空以形成通風廊道，並以大開口、外廊與開放式量體提升自然採光與通風表現。其外殼形式較重視遮陽配置，能有效改善熱環境與降低夏季冷房負荷。（建築知識庫 2023、內政部營建署 2023、ABRI 2023）



圖 1.4 傳統住宅空間型態（傳統透天厝、公寓結構為主，採光面不足、通風性差）  
（資料來源：本研究實地拍攝(2025)）



圖 1.5 架空層集合住宅空間型態  
（一樓架空停車層、採自然通風、低公設比，結構形式具開放性）  
（資料來源：本研究實地拍攝(2025)）

上述住宅形式雖在空間利用與節能思維上各具特色，但若缺乏碳排與熱舒適整合性分析，仍無法真正達成「能源效益最大化」與「居住舒適最優化」的目標。因此，研究者期望透過能效模擬、碳排計算與熱舒適指標（如 PMV/PPD 模型）的整合，提出適用於台灣氣候條件的住宅節能策略。

表 1.1 架空層集合住宅設計概念與可能問題分析

（資料來源：建築知識庫 2023、內政部營建署 2023、ABRI 2023，並由本研究整理）

項目	設計特性	優點	可能問題	改良建議
結構設計	一樓架空空間(停車或通風空間)	減少地表熱吸收、提升通風	結構下部剛性不足，可能形成「軟弱層」造成地震風險	加強基礎結構與剪力牆配置，確保耐震安全性
氣候適應	自然對流設計、開放式走廊	強化空氣流通，降低冷房能耗	在高濕熱地區（如臺灣中部沿海）可能導致潮濕與冷凝現象	結合隔熱系統或通風導流設計，優化氣流路徑

項目	設計特性	優點	可能問題	改良建議
環境控制	大面積開窗、採光良好	增加照明能耗，提升居住舒適	驅光效果強，易導致過熱、眩光	設置遮陽系統、雙層玻璃或 Low-E 塗層玻璃
能源效益	被動式設計減少空調使用	減碳節能效果明顯	若無風設計不當，可能消耗反而增加	結合 BIM 與 CFD 流場模擬，精準評估能效
生活機能	公設比低、空間使用率高	提高坪效與居住彈性	缺乏社區公共設施（如綠化、休憩區）	增加綠化空間與共享設施，平衡密度與環境品質
維護管理	結構開放、立面通風孔洞多	有利氣流通與外觀層次	增加灰塵與雨水進入機率，外牆維護困難	使用防水塗層與耐候材料，並建立定期維護機制

根據表 1.1 分析，架空層集合住宅空間型態雖具高通風、低碳節能、自然採光等優點，然而在台灣氣候與地震條件下仍存在適應性挑戰。主要包含三點問題：第一點，結構安全與耐震性不足；第二點，**濕熱環境導致冷凝與維護問題**；第三點，**開放設計造成熱負荷不穩定**。

「沙鹿連棟住宅本身為集合住宅空間型態」，本研究將於此案例中，透過碳排與熱舒適模型整合分析，驗證此類設計概念在台灣中部氣候條件下的實際效能，並提出對應優化策略。

表 1.2 台灣既有住宅種類分析

（資料來源：建築知識庫 2023、內政部營建署 2023、ABRI 2023，並由本研究整理）

住宅類型	結構形式與建材	通風與採光特性	能源使用狀況	優點	潛在問題	改良建議
傳統透天住宅	鋼筋混凝土 (RC)，外牆厚實、隔熱性中	採光面不足、窗戶小、通風效果差	需冷房能耗高，空調依賴度高	結構穩定、施工成本較低	夏季熱積蓄、空氣不流通、能耗消耗高	增設對流通風、採用隔熱塗料與遮陽屋簷改善氣流
公寓式集合住宅	鋼筋混凝土結構，多層樓設計	中層採光不足、通風受限	集中式電力與空調使用量大	居住密度、土地利用效率佳	黑箱路徑不足、室內氣流滯留	改良窗型與採光井設計，增加自然通風面積

住宅類型	結構形式與建材	通風與採光特性	能源使用狀況	優點	潛在問題	改良建議
架空層集合住宅空間型態	一樓架空、上層住宅結合陽台；強調自然對流	空氣對流佳，濕度適當	空調需求低，節能潛力高	高通風性、能源節省明顯	黑潮氣候下潮濕與灰塵累積	導入可調式通風結構與防水塗層，結合 CFD 模擬導流設計
改良型智慧住宅	RC + 鋼構混合結構，整合 IoT 與 BIM 系統	變頻控制窗戶開度與遮陽，採光調節可調	智慧控制能源分配，能源效率最佳	能耗最低、使用者體驗佳	初期成本高、系統維護複雜	模組化設計、建立維護監控平台以降低成本

根據表 1.2 所述，整理以下四種住宅型態優缺點：

1. 傳統住宅: 具備穩定結構與文化延續性，但能源效率普遍偏低，需透過隔熱與通風改善。
2. 公寓式集合住宅: 強調密度利用，但因中央走廊型配置，常出現氣流不均與採光不足問題。
3. 架空層集合住宅空間型態: 在自然通風與節能設計上表現優異，但於台灣濕熱與多雨環境中，需針對濕氣與結構耐震性進行在地化調整。
4. 改良型智慧住宅: 則為未來趨勢，透過數據監控與自動化系統提升能源利用效率，具發展潛力。

因此，本研究以臺中市沙鹿地區住宅為研究案例，針對亞熱帶濕熱氣候條件下的遮陽設計進行量化分析。研究採用 SketchUp 建模結合 EnergyPlus 模擬，模擬不同遮陽深度與方位條件下之冷房能耗與熱舒適指標 (PMV/PPD)，分析遮陽幾何對建築能效與舒適性的影響。研究成果期能建立「遮陽設計—能耗—熱舒適」之關聯模型，提供可量化之設計依據，並作為未來台灣沿海地區永續住宅與被動式節能設計的重要參考。

## 1.3 研究目的

本研究旨在針對亞熱帶濕熱氣候下之住宅類型，建立「遮陽幾何－能耗－熱舒適」之量化分析架構，以評估不同遮陽設計參數對室內環境與能源使用之影響。研究核心聚焦於遮陽深度、形式與方位差異，透過 SketchUp 及 EnergyPlus 所建構之能源模型，探討遮陽設計在節能與熱舒適改善上的相對效果，以作為住宅設計初期之節能策略參考。

本研究之具體目的如下：

### 一、文獻回顧與資料整理

蒐集並整理建築外殼熱負荷、遮陽設計及熱舒適等相關研究之理論基礎及調查自身住家基地相關條件與圖資，分析外遮陽於室內熱環境調節與節能效益之研究成果，並彙整亞熱帶地區之氣候特性與太陽輻射條件，以作為後續能耗模擬設計與遮陽參數設定之依據。

### 二、評估不同遮陽參數對能耗與熱舒適之影響

設定多組遮陽深度、形式及朝向條件，進行逐一模擬並比較其冷房能耗 (kWh)、能源使用強度 (EUI) 及熱舒適指標 (PMV、PPD) 之差異，以釐清遮陽幾何調整對住宅能效與室內環境品質之影響機制。

### 三、提出適用於濕熱氣候之遮陽設計準則

依據模擬結果，整合能耗表現與熱舒適改善之雙指標，提出適用於臺灣中部沿海亞熱帶地區之遮陽深度與形式建議，以提供建築設計初期之節能設計策略與低碳住宅規劃參考。

## 1.4 研究範圍與對象

### (一) 研究範圍

本研究以研究者自家位於台中市沙鹿區北勢里北勢五街一帶之住宅為研究對象，該地區屬於台中沿海微丘陵地形，鄰近沙鹿交流道與工業區，氣候特徵為夏季高溫多濕、冬季氣流強烈、海風頻繁，具代表性之中部沿海住宅環境特徵。

研究對象建築地址約為台中市沙鹿區北勢五街，為四層樓 RC 結構住宅，設計概念借鑑「新加坡式住宅」的一樓架空通風層形式，以自然通風與遮陽設計為主要特徵。

研究內容主要聚焦於：

#### 1. 建築能耗與碳排量分析

透過 EnergyPlus 模擬全年能耗，評估不同環境條件下之碳排行為。

#### 2. 室內熱舒適度模擬

利用 PMV/PPD 模型分析居住空間之溫度、濕度、氣流速度變化，建立舒適度分佈模型。

#### 3. 外部氣候因子與建築設計互動

蒐集沙鹿地區氣候資料（溫度、濕度、風向、日照），評估其對住宅能源消耗與通風效果之影響。

#### 4. 遮陽設計效益

針對不同窗型比例、遮陽深度、開放層高度，模擬其對冷房負荷之影響。

#### 5. 能效優化模擬與策略提出

綜合模擬結果，提出適用於台灣沿海地區的住宅節能與舒適度優化建議。

### (二) 研究對象說明

根據表 1.3 說明本研究。

表 1.3 研究對象說明

(資料來源:本研究整理)

項目	說明
地點	位於台中市沙鹿區北勢里沿海住宅區，屬中部濱海丘陵地形，氣候特徵為夏季高溫多濕、冬季受海風影響氣流強勁，具代表性之亞熱帶沿海住宅環境。
座標位置	24°13'51" N, 120°34'09" E
建築型態	四層住宅，採「新加坡式」設計概念，配置一樓架空停車層，二、三、四樓為主要生活空間，整體結構形式開放、通風良好。
結構形式	鋼筋混凝土 (RC) 結構，外牆以高反射隔熱塗層強化熱穩定性，屋頂採複層防水隔熱設計以降低熱傳導效應。
主要特色	一樓為架空停車及通風層，二樓設有環狀走廊與開放陽台，強調自然對流氣流；整體設計低公設比、高使用效率，以被動式節能為核心。

項目	說明
詳細介紹	一戶一建照，臨路獨棟雙拼，社區型 50-80 地坪，路寬 7.5 米-13.5 米，社區內有一戶動小中庭，中空隔音樓板，德國 V&B 衛浴設備 全棟 RC 結構，全棟氣密窗，崗石基座。
模擬條件	以 EnergyPlus 模擬全年能耗與碳排放表現，並透過 PMV/PPD 熱舒適模型評估不同季節與時間下之室內舒適度分布。
研究工具	使用 Sketchup 建模建立數位住宅模型，並結合 EnergyPlus、OpenStudio 進行能效分析；以實測結果驗證模擬準確性。



圖 1.6 沙鹿區整體區位與基地位置圖  
(資料來源:本研究整理)

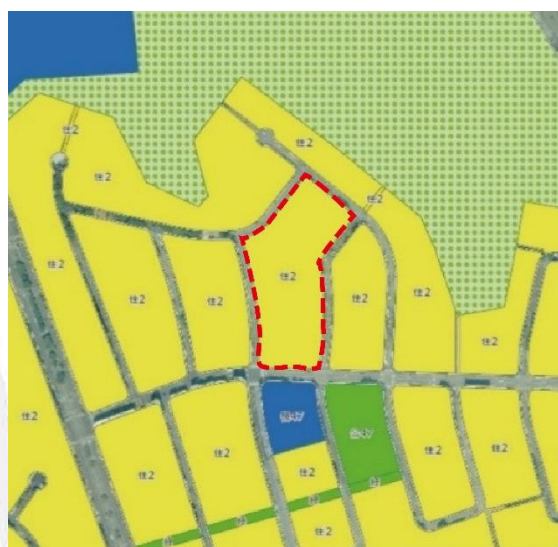


圖 1.7 沙鹿區基地周邊環境與都市紋理圖  
(資料來源:本研究整理)



圖 1.8 基地範圍與周邊建築配置圖

(資料來源:本研究整理)



圖 1.9 研究案例住宅之外觀與空間環境實景圖

(資料來源：本研究拍攝，2025)

### 小結：

本研究以台中市沙鹿區自家住宅為案例，圖 1.6-圖 1.10 展示住宅外觀與周邊環境，顯示沿海氣候條件下建築外觀與遮陽特徵，針對「新加坡式住宅」設計概念在亞熱帶沿海氣候下的實際效能進行量化分析。透過碳排計算模型、熱舒適模擬與能效比較，驗證其在通風、採光與節能表現上的可行性與限制。研究結果可作為未來低碳住宅設計、智慧能效管理與永續居住改造之參考依據，並為台灣沿海地區住宅節能策略提供在地化實證與優化方向。

## 1.5 研究方法

本研究主要採取文獻回顧法與數值模擬法兩種方式進行。研究目的在於探討住宅建築於不同設計條件下之能源行為與熱舒適特性，並透過數值模擬工具進行量化分析，以提出兼顧節能與舒適之優化策略。研究對象為位於臺中市沙鹿區之自家住宅，研究內容以能效模擬為核心，並整合碳排與熱舒適評估作為分析依據。

### (一)文獻回顧法

1. 蒐集與整理近年有關建築能效、碳排放評估及熱舒適理論之相關研究，作為本研究建立能耗模擬與模型架構之理論依據。
2. 分析臺灣亞熱帶濕熱氣候住宅設計之特徵與問題，了解不同住宅型態（傳統住宅、公寓式集合住宅與新加坡式住宅）的能耗行為與環境回應，作為模擬情境設定之參考基礎。
3. 研讀與比較現行建築節能設計準則、永續建築指標（如 EEW、LEED）及熱舒適標準（如 ISO 7730、ASHRAE 55），以建立研究分析範圍與評估依據。

### (二)、數值模擬法

#### 1. 能源模擬：

使用 SketchUp 軟體建立住宅三維模型，並匯入 EnergyPlus 進行全年能耗與碳排模擬。

- 模擬內容包含外殼構造、窗牆比、遮陽深度及材料導熱係數等參數設定。
- 模擬氣候資料採用中央氣象署臺中氣象站近五年平均氣象數據作為氣候條件輸入。
- 以年度能源使用量 (EUI, kWh/m<sup>2</sup>·yr) 及碳排量 (kgCO<sub>2</sub>e/yr) 為主要能效指標。

#### 2. 熱舒適模擬：

使用 SketchUp 軟體建立住宅三維模型，並匯入 EnergyPlus 進行全年能耗與碳排模擬。

- 以不同開窗比例與方向，評估其對室內熱環境穩定度之影響。
- 以 PMV (Predicted Mean Vote) 與 PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) 指標計算熱舒適程度，評估室內舒適分布與時間比例。

#### 3. 綜合比較分析：

結合 EnergyPlus 能源模擬結果，建立「能效－舒適」雙軸分析模型，進行設計條件間之比較與優化，歸納出在地氣候條件下具實用性的節能與舒適設

計建議。

**小結：**

本研究以數值模擬法為主要研究途徑，配合文獻回顧所得之理論基礎，建構一套整合能源消耗、碳排與熱舒適度的分析流程。研究結果可提供中部沿海地區住宅節能設計與永續改造之參考依據。



## 1.6 研究流程與架構

本研究主要探討以沙鹿自家住宅為對象，分析其在亞熱帶沿海氣候條件下之建築能效與熱舒適表現，並整合碳排模型與環境模擬方法，以建立一套可量化之低碳住宅設計評估模式。研究方法以「數位模擬驗證」為核心，結合 SketchUp、EnergyPlus，以模擬－分析－驗證三階段進行。

**研究步驟說明：**

### 1. 研究動機與目的建立

探討新加坡式住宅設計理念在台灣沿海氣候下的可行性，設定研究目標：降低碳排、提升通風效率與室內熱舒適度。

### 2. 資料蒐集與基地分析

收集沙鹿區地理、氣候與住宅結構資料。

### 3. 理論架構與文獻回顧

參考國內外低碳住宅與熱舒適相關研究，整理 PMV/PPD 模型、能源基準（ISO 7730, ASHRAE 55）與建築能效模擬流程。

### 4. 模型建立與模擬分析

SketchUp 建模：以 SketchUp 建立住宅量體與建材屬性。

EnergyPlus 模擬：模擬全年能耗、碳排放與室內熱舒適指標。

### 5. 數據整合與比較分析

比較模擬與實測數據差異，分析自然通風、外牆隔熱與開窗比例對室內熱舒適度的影響程度，並建立碳排與熱舒適的整合模型。

### 6. 結論與設計建議

彙整研究結果，提出適用於台灣沿海氣候的低碳住宅設計原則，並以沙鹿案例驗證其具體可行性與推廣潛力。



## 第二章 文獻回顧

### 2.1 建築能耗與碳排放相關研究

#### 2.1.1 建築能耗相關研究

建築能耗相關研究面向與核心議題：(包含以下四大點)

##### 一、全球建築產業能耗比例 (Global Building Energy Use)

建築部門 (包含住宅與商業建築) 向來是全球能源需求最大的部門之一，其能源使用主要集中於冷暖空調、照明、熱水及各類設備運轉等運轉階段

(Operational Energy)。根據國際能源總署 (International Energy Agency, IEA) 《Tracking Clean Energy Progress: Buildings》報告，2022 年建築運轉階段的能源消耗約占全球最終能源使用量的 30%，其所對應的二氧化碳排放量約占全球能源相關碳排放的 27% (IEA, 2023)。另外，若將**建築材料製造、運輸與施工過程所產生的「營造碳排」(Embodied Carbon)** 納入計算，建築部門的碳排放比例更高，使建築成為全球淨零轉型中的關鍵領域 (UNEP, 2022)。

近年研究也指出，在高密度與高能源需求的城市地區，建築運轉階段能源使用的成長速度遠高於其他部門，特別是在氣候暖化背景下冷房需求逐年攀升。IPCC 第六次評估報告 (AR6) 指出，若全球城市化與通風空調需求持續上升，而能源效率改善速度不足，**建築部門的能源需求將在 2050 年前增加 50 - 70%** (IPCC AR6, 2022)。這也意味著提升建築能效、降低運轉能耗，是全球節能減碳政策中的重要目標。

綜合上述內容總結以下 3 點：

- (1) 建築運轉階段約占全球終端能源使用 30% 左右。
- (2) 運轉階段能源使用 (冷暖空調、照明、家電) 也是室內環境品質的重要來源。
- (3) 若無政策介入，建築能源使用可能在 2050 年增加 高達 70%。

(資料來源: IEA. (2023). Tracking Clean Energy Progress: Buildings. IEA. (2022). World Energy Outlook.)

##### 二、生命週期碳排中的「運轉能耗」營運碳 (Operational Carbon in WLC)

建築生命週期碳排 (Whole Life Carbon, WLC) 包含材料製造 (A1 - A3)、運輸 (A4)、施工 (A5)、使用階段 (B1 - B7) 以及拆除與回收 (C1 - C4) 等完整階段，其中**運轉能耗 (Operational Energy Use)** 在多數建築型態中仍佔據最大比例，尤其在氣候炎熱、冷房需求高的亞熱帶地區更為顯著。根據英國皇家建築師學會 (RIBA) 發布之《Whole Life Carbon Assessment》指引，典型建築物在其整個生命週期中，運轉階段的碳排放約占 50 - 70%，顯示**建築外殼性能、遮陽與設備效率對整體碳排影響深遠** (RIBA, 2021)。

國際能源總署 (IEA) 指出，大部分現存建築仍以運轉能耗為主要碳排來源，而在全球氣候變遷導致之冷房負荷提升情況下，運轉碳排有持續增加的趨勢 (IEA, 2023)。IPCC 第六次評估報告亦指出，在亞熱帶與熱帶地區，冷房能耗可能占建築全年能源使用的 40 - 60%，使運轉階段在生命週期碳排中呈現更明顯的主導地位 (IPCC AR6 WG3, 2022)。這意味著即便建材與施工階段的「營造碳排」持續受到關注，提升建築運轉效率 (如外殼隔熱、遮陽優化、提升空調效率) 仍是降低整體生命週期碳排的最直接且具體的途徑。

此外，UNEP (2022) 在《Global Status Report for Buildings and Construction》中指出，全球新建住宅與商業建築的生命週期中，運轉碳排通常是最主要的碳排來源，特別是在能源系統仍依賴高碳係數電力的國家 (例如部分亞洲地區)。因此，各國淨零建築政策普遍強調運轉能耗的減量作為核心策略，並將建築外殼效率、遮陽設計與 HVAC 優化視為減少生命週期碳排的必要手段。

**綜合上述內容總結以下兩點：**

- (1) **運轉能耗** (Operational Energy Use, OE) 占整體建築生命週期碳排 50 - 70% (依照氣候帶差異)。
- (2) 在亞熱帶與熱帶氣候 (如台灣)，**冷房能耗** 可能占建築全年能耗 40 - 60%。  
(資料來源: RIBA (2021). Whole Life Carbon Assessment. IPCC AR6 Buildings - Energy Use & Emissions.)

### 三、被動設計介入對能耗的影響 (Passive Design Impact on Energy Use)

被動式建築設計 (Passive Design) 強調利用環境條件、建築外殼性能與自然能量來減少建築運轉階段的能量需求，被國際公認為在建築早期設計階段中最具成本效益的節能途徑。依據 ASHRAE《Fundamentals Handbook》所述，外殼負荷 (Envelope Load) 是建築冷房及暖房需求的主要來源，而透過遮陽、隔熱、窗牖配置與熱橋減少等策略，可在不增加額外設備負擔的前提下降低冷房負荷 20 - 50% (ASHRAE, 2021)。

在高日射量且濕熱的亞熱帶氣候中 (如台灣)，遮陽設計被視為影響能耗最敏感的因素之一。Givoni (1998) 指出，透過適當的水平遮陽、垂直遮陽或可調式遮陽系統，可減少室內日射熱得量 10 - 35%，有效降低空調需求。同時，Olgay (2015) 在其氣候式建築模型中強調，當日射得熱降低時，即使外殼隔熱或設備效率僅進行小幅提升，其能效改善幅度仍能加乘放大。

此外，**建築窗牖設計 (glazing design) 在能耗控制中扮演關鍵角色**。IEA《Energy Efficiency 2022》指出，窗戶為建築外殼熱量交換最敏感的部位，透過優化窗牖比例 (WWR)、選用低放射率玻璃 (Low-E glazing) 或雙層/三層玻璃結構，可降低建築冷房能耗 15 - 40% (IEA, 2022)。另一方面，熱橋 (thermal

bridging) 造成的熱量穿透亦被認定為外殼節能的隱性損失來源。ISO 10211 指出，若未處理熱橋，外殼實際熱傳可能比名義值高出 20 - 70%，造成建築冷房負荷顯著增加。

UNEP (2022) 在《Global Status Report for Buildings and Construction》中更強調，**被動式設計策略一般成本低、維護需求小，且在建築使用壽命內提供持續的節能效益**，因此是各國推動零碳建築與淨零法規時的優先項目。

綜合上述內容總結以下 3 點：

- (1) 良好的外殼設計可降低建築冷房能耗 20 - 50%。
  - (2) 遮陽設計對高日射量氣候（如台灣夏季）能耗影響最大，可減少冷房能耗 10 - 35%。
  - (3) 高性能窗（Low-E、雙層）、提升外牆隔熱可降低能耗 15 - 40%。
- (資料來源:Olgyay, V. (2015). Design with Climate. IEA Annex 62: Ventilative Cooling.)

#### 四、建築能耗減量策略 (Energy Efficiency Strategies for Buildings)

建築能耗減量策略主要著重於降低建築運轉階段 (Operational Stage) 的能源需求，屬於建築減碳中最直接、最具即時效果的介入途徑。相較於需要長期規劃與投資的整體碳減排策略（如材料替代、碳捕捉、電網轉型等），提升建築能效大多可於設計與翻修階段立即著手，且其對運轉能耗的改善範圍明確，成本效益高。國際能源總署 (IEA) 指出，建築能效改善是達成全球淨零排放情境中**最關鍵且貢獻度最高的減排措施之一**，其能透過外殼優化、設備效率提升與智慧控制策略，降低建築能源使用 30 - 50% (IEA, 2021)。

常見的能耗減量策略包含三大層面：(1) **建築外殼效率提升 (Envelope Efficiency)**、(2) **高效設備與機電系統 (Efficient HVAC & Lighting Systems)**、(3) **智慧控制與使用者行為管理 (Smart Controls & Behavior Management)**。首先，在外殼效率方面，ASHRAE Standard 90.1 指出，提升外牆、屋頂與窗牆的熱工性能，以及有效控制日射熱得量，可顯著降低冷暖房負荷，使建築能耗降低 15 - 40% (ASHRAE 90.1, 2019)。其次，在設備與系統方面，採用高效空調（如 VRF、變頻壓縮、提升 COP 值）、LED 照明與高性能熱泵技術，可進一步降低建築電力使用量，其中高效 HVAC 系統通常能提供 20 - 30% 的節能幅度 (IEA, 2022)。

智慧化控制也是近年建築能效提升的重要趨勢。IPCC AR6 指出，**透過智慧恆溫器、需求控制換氣 (DCV)、感測器整合 (Occupancy-based Control)、能源管理系統 (BEMS)**，能在不影響室內舒適性的前提下減少建築運轉能耗 10 - 25%。此外，**使用者行為 (Occupant Behavior)** 對建築能耗影響甚大，UNEP (2022)

指出，居住者習慣（如空調溫設定、照明使用、自然通風行為）會造成建築能耗差異達 2-3 倍，在住宅建築中特別顯著。

**綜合上述內容總結以下 7 大主要策略：**

- (1) 提升外殼效率 (Envelope Efficiency)
- (2) 遮陽優化與日射控制 (Shading Optimization)
- (3) 開窗比與窗型設計 (WWR, Glazing Type)
- (4) 自然通風 / 混合通風 (Mixed-Mode Ventilation)
- (5) 高效 HVAC (VRF/Variable Speed AC)
- (6) 照明節能 (LED + 控制)
- (7) 行為模式管理 (Occupancy Behavior)

(資料來源: IEA Energy Efficiency Policy Package - Buildings. ASHRAE Standard 90.1 - Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings.)

.)

## 2.1.2 碳排放相關研究

**碳排放相關研究面向與核心議題：（包含以下三大點）**

### 一、全球建築部門碳排與佔比 (Global Building Sector Carbon Emissions)

建築部門是全球溫室氣體排放的重大來源之一。根據 IEA 《Tracking Clean Energy Progress》報告，2022 年建築運轉階段 (Operational Carbon) 所造成的能源相關碳排放約占全球總碳排的 27%，若將建材生產、施工等「營造碳排」納入，建築部門總碳排占比可達 37% (IEA, 2023)。

同樣，UNEP (2022)《Global Status Report for Buildings and Construction》指出，建築與營建業合計為全球最大的碳排放部門之一，佔全球能源相關 CO<sub>2</sub> 約 37%。

### 二、生命週期碳排 (Life-Cycle Carbon, Whole Life Carbon, WLC)

生命週期碳排 (WLC) 包含建築物從生產到拆除的所有階段排放。

包含以下三大階段：

**01 營造階段 (Embodied Carbon)：**材料製造、運輸、施工。

**02 運轉階段 (Operational Carbon)：**冷暖空調、照明、熱水、設備。

**03 拆除階段 (End-of-Life Carbon)：**拆除、運輸、廢料處理。

RIBA (2021) 指出，在典型建築中，生命週期碳排中約 50-70% 來自運轉階段 (Operational Carbon)，其餘來自營造階段 (Embodied Carbon)。IPCC AR6

(2022) 亦指出，運轉階段仍是大部分建築碳排的主要來源，特別是在冷房需求高的亞熱帶氣候中(如台灣)，運轉碳排占生命週期碳排比例更高，可超過 60%。

### 三、碳減排策略排序 (Carbon Reduction Strategies & Cost-Effectiveness)

UNEP (2022) 與 IEA (2021) 均指出：建築減碳策略中，「能效提升」與「建築外殼改善」具最高的成本效益，優先度高於「再生能源導入」。

碳減排策略依成本效益排序：

#### (1) 降低運轉碳排 (Operational Carbon Reduction)

外殼隔熱、遮陽、窗戶優化。高效 HVAC、照明。改善可減少全生命週期碳排 30 - 50%

#### (2) 降低營造碳排 (Embodied Carbon Reduction)

材料替代 (低碳混凝土、木構造)。減少結構用量、提高回收材料比例。

#### (3) 導入再生能源 (On-site Renewable Energy)

PV 太陽能系統 (視建築可行性)

IEA 《Net Zero by 2050》明確指出：建築能效改善是達成全球淨零建築最具成本效益的策略，優先度高於材料替換與再生能源。

表 2.1 建築能耗與碳排放項目與核心議題(資料來源：本研究整理，參考 IEA (2023)、UNEP (2022)、IPCC AR6 (2022)、RIBA (2021) 等相關文獻)

項目	核心議題
全球建築部門能耗比例 (Global Building Energy Use)	建築在全球溫室氣體排放的佔比；運轉碳排 vs 建材「營造碳排」
生命週期碳排 (Life-Cycle Carbon / Whole Life Carbon)	將碳排不只限於運轉階段，而是涵蓋材料生產、運輸、施工、維護、拆除與回收階段
被動設計與能效提升策略	如何透過隔熱、遮陽、窗牖設計、熱橋減少、外殼優化來降低運轉能耗
碳減排策略排序	在既有住宅中提升效率、升級外殼、導入再生能源等策略的成本-碳效益排序
研究與政策挑戰、未來方向	各筆碳排研究的限制、數據缺口、法規制定、建築法規納碳、碳帳戶制度等

表 2.2 建築熱舒適指標之分類、定義與評估標準(資料來源:本研究整理,參考 IEA(2023)、IPCC AR6 (2022)、RIBA (2021)、ISO 14040 / EN 15978 等相關文獻)

名詞	定義/解釋
運轉碳排 (Operational Carbon Emissions)	建築在營運階段因冷氣、照明、機電設備、通風等使用能源所排放的 CO <sub>2</sub>
營造碳排 / 材料碳排 (Embodied Carbon)	材料生產、運輸、施工、安裝、拆除及回收等階段所產生的碳排放
生命週期碳排 / 全生命碳排 (Life-Cycle Carbon / Whole Life Carbon, WLC)	運轉碳排 + 營造碳排 + 維護/替換/拆除碳排等加總
性能差距 (Performance Gap)	模擬或設計階段預測性能與實際運作結果之間的落差
深度節能改造 (Deep Energy Retrofit, DER)	對既有建築進行全面性的節能改造,旨在整體能耗降幅超過 50% 或顯著提升建築性能

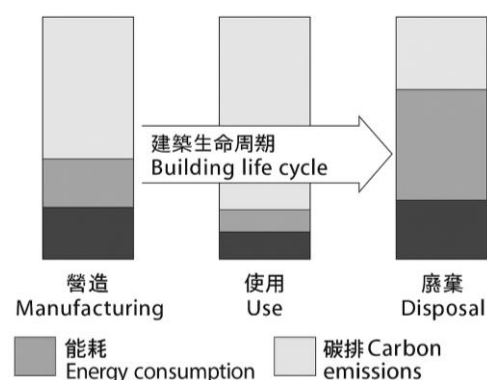


圖 2.1 建築能耗與碳排交互關係示意圖  
顯示建築生命週期各階段碳排比例(營造/使用/廢棄)。(資料來源: RIBA, 2021. Whole Life Carbon Assessment for Architects.)

### 2.1.3 EUI 介紹

#### 一、EUI 的定義

能源使用強度 (Energy Use Intensity, EUI) 為衡量建築能源效率之核心指標,定義為建築在特定期間(通常為一年)內之總能源消耗量除以其總樓地板面積,用以表示建築單位面積之能源使用情形,並作為不同建築類型與規模間能耗表現之比較依據 (ASHRAE, 2019; U.S. DOE, 2023)。

#### 二、EUI 計算公式

$$EUI = \frac{E_{\text{annual}}}{A_{\text{floor}}}$$

(式 1)

依據圖 2.2 解釋, Eannual 為建築全年總能耗 (kWh/yr), A<sub>floor</sub> 為建築總

樓地板面積 ( $m^2$ )，其單位為  $kWh/m^2 \cdot yr$  (U.S. DOE, 2023)。

### 三、EUI 的意義

EUI 能有效反映建築整體能源使用效率，在相同使用條件下，EUI 數值越低，代表建築於單位面積內之能源消耗越少，能源效率表現越佳。由於其計算方式簡單且具高度可比性，EUI 已廣泛應用於建築能耗研究、政策制定與能源效率評估中 (IEA, 2022)。

### 四、EUI 在建築能效評估中的應用

在建築能耗與永續設計相關研究中，EUI 常被用於建築現況能耗評估、不同設計方案之能耗比較，以及節能策略成效之量化分析，並作為後續建築能效評估制度之重要依據 (ASHRAE, 2019; IEA, 2022)。

### 五、EUI 與建築能效制度之關係

EUI 為多數建築能效評估制度之基礎量化指標。以「台灣建築能效評估系統 (BERS)」為例，建築能耗表現通常先透過模擬或實測方式取得 EUI，再依制度所訂定之門檻值進行能效等級判定；惟 EUI 屬於連續數值指標，而 BERS 則為分級制度，兩者在性質上有所區別 (內政部建築研究所, 2022)。

### 六、使用 EUI 時之注意事項

進行 EUI 分析時，須避免直接將不同分區之 EUI 數值加總，整體建築 EUI 應以總能耗除以總樓地板面積計算，並需清楚界定能耗項目與面積範圍，以確保分析結果之合理性與可比性 (U.S. DOE, 2023)。

### 七、台灣住宅 EUI 參考數據

根據早期國內研究統計，住宅類建築 (Residential Buildings) 平均 EUI 約  $33.73 kWh/m^2 \cdot yr$  (Ncree.Org, 2020)。

## 2.1.4 BERS 介紹

### 一、BERS 定義

建築能效評估系統 (Building Energy Rating System, BERS) 為我國針對建築能源效率所建立之官方評估制度，透過標準化之模擬或實測方法，量化建築能源使用表現，並依據能耗指標進行分級，以提升建築能源效率並支援永續與減碳政策 (內政部建築研究所, 2022)。

### 二、BERS 評估對象與範圍

BERS 適用於新建與既有建築，依不同建築使用類型訂定相應之評估方式與門檻。評估內容通常涵蓋建築外殼性能、空調系統效率、照明設備與整體能源使用情形，並可採用能耗模擬或實際用能資料進行分析 (內政部建築研究所, 2022; 內政部, 2023)。

### 三、BERS 評估方法與指標

BERS 以建築年度能耗表現為核心，常以能源使用強度 (EUI) 詳見 2.1.3 或其等效指標作為量化依據，並依制度規範轉換為能效等級。此方法可兼顧不同建築規模之比較公平性，並反映建築整體能源效率 (內政部建築研究所, 2022)。

#### 四、BERS 能效分級制度

依 BERS 規範，建築能效表現將被劃分為多個等級（如標章或星等表示），等級越高代表建築能源效率表現越佳，並可作為政策補助、節能改善與市場辨識之參考（內政部建築研究所，2022；內政部，2023）。

#### 五、BERS 在建築研究中的角色

在學術研究中，BERS 多作為**制度性參考架構**。研究者可透過 EUI 等指標分析建築能效表現，並對照 BERS 評估原則進行討論；惟未經正式程序者，不宜直接宣稱達成特定 BERS 等級（內政部建築研究所，2022）。

#### 六、使用 BERS 時之注意事項

學術研究與正式 BERS 認證在目的與程序上有所差異。研究多以模擬結果進行趨勢分析與比較，而正式 BERS 分級仍須依相關法規與審查程序辦理，以確保公信力（內政部建築研究所，2022；內政部，2023）。

#### 七、BERS 建築能效評分

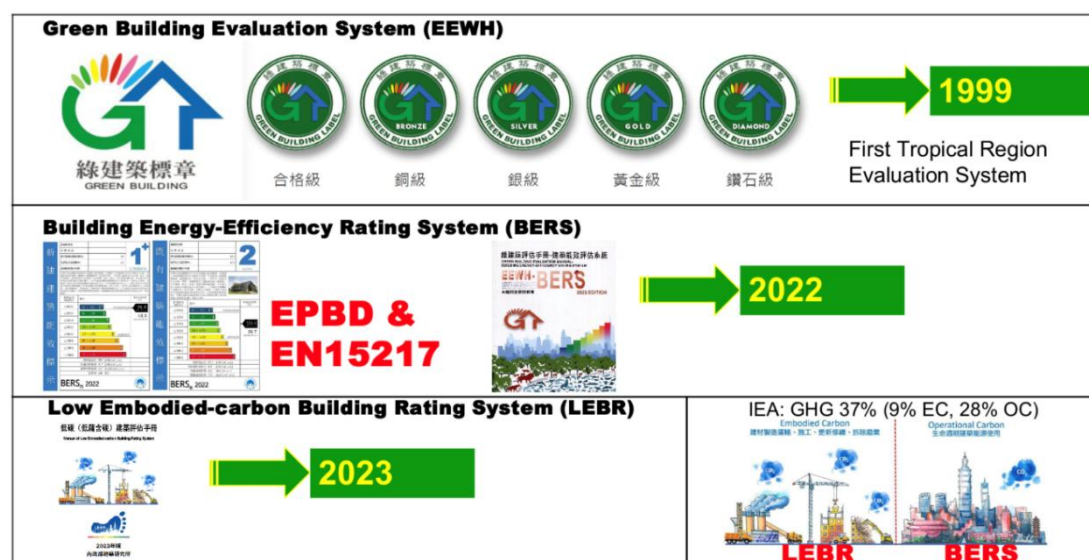


圖 2.2 台灣實現淨零碳排放的演變歷史圖。

（由 EEWB、BERS 和 LEBR 的作者林顯德教授繪製）：

如圖 2.3 所示，1999 年，內政部建築研究院（ABRI）發布台灣綠建築評估體系（EEWH），為全球第四套綠建築評估制度，亦為首個納入亞熱帶與熱帶氣候條件之評估系統，長期推動下已顯著提升建築節能、環境生態與健康品質。隨著淨零碳排議題升溫，ABRI 於 2022 年提出建築能源效率評級系統（BERS），並於 2023 年發布低碳建築評級系統（LEBR），分別對應建築營運碳與隱含碳排放，成為台灣邁向淨零碳建築之重要制度基礎。依據 IEA（2021）指出，全球建築部門碳排放占比達 37%，顯示以建築全生命週期為核心之能效與碳排評估已成國際趨勢。台灣亦透過 BERS、LEBR 及 PAS 2050 碳足跡方法，逐步建立從設計源頭即介入之建築碳排評估架構。

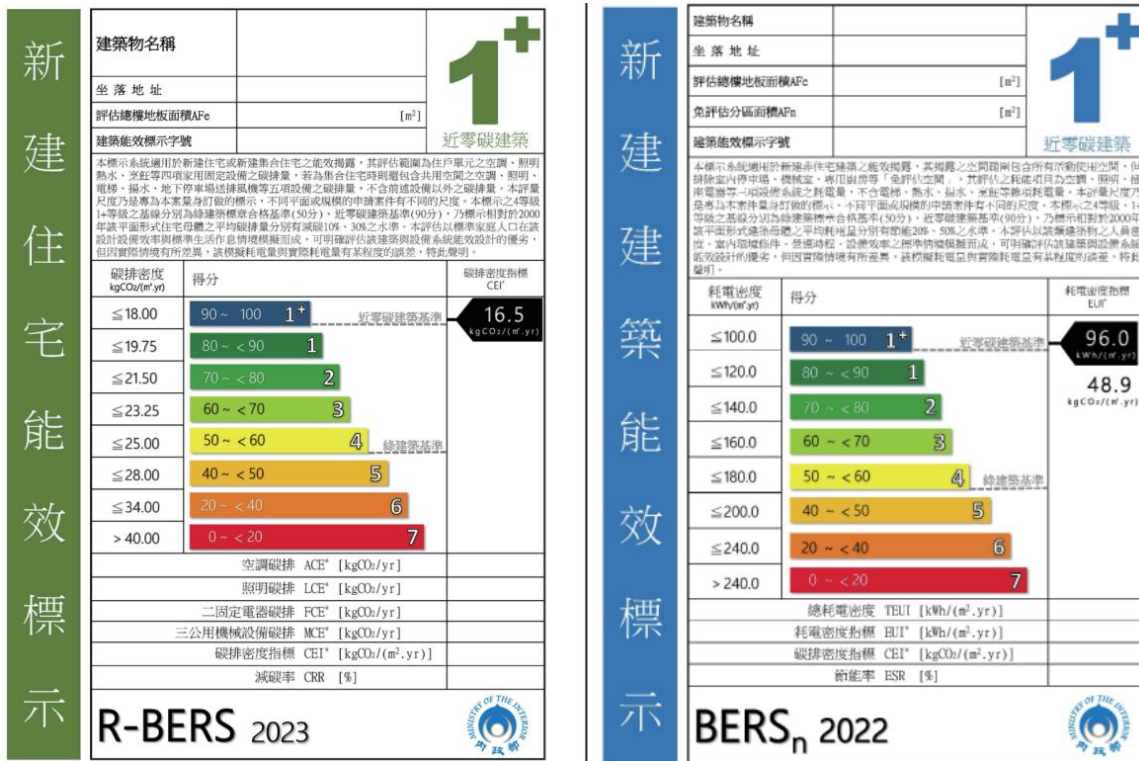


圖 2.3 新建住宅類建築之能效標示示意

(左：住宅類 R-BERS；右：非住宅類 BERSn) (資料來源:綠建築評估手冊 2023)

圖 2.4 顯示我國新建住宅類與非住宅類建築之能效標示制度，其中左圖為住宅類建築適用之 R-BERS 能效標示，右圖為非住宅類建築適用之 BERSn 能效標示。依據 EEWH-RS 建築能效評估規定，位於低於海拔 800 公尺地區之住宅類建築，須依住宅能效評估系統 R-BERS 進行能效計算與分級；非住宅類建築則須依 EEWH-BERS 手冊所訂之新建建築能效評估系統 BERSn 辦理。

建築能效評估法係先以建築之空調、照明、固定設備（如熱水器、爐台）及公用機械設備（如電梯、揚水與地下停車場送排風設備）等能源使用項目，計算其能源消耗指標，並轉換為單一能效密度指標。在 R-BERS 系統中，該指標稱為碳排密度指標 CEI；在 BERSn 系統中，則以耗能密度指標 EUI 作為評估基礎。上述指標經標準化轉換後，進一步換算為建築能效得分 SCORE<sub>ee</sub>。

圖中所示之能效等級，即依 SCORE<sub>ee</sub> 對應至不同區間進行分級，其中以 50 分為綠建築合格基準，90 分為近零碳建築基準。為使能效結果能直觀呈現，EEWH-RS 進一步將 SCORE<sub>ee</sub> 轉換為日常節能指標總得分 RS4，其計算方式如圖 2.5 所示，得分範圍為 0 至 33 分。最終建築須依其計算結果，於申請建築能效評估時，檢附相對應等級之建築能效標示，作為審查與公告之依據。

$$\text{日常節能指標總得分RS4} = 33.0 \times (\text{SCORE}_{ee} - 50.0) / 40.0, \text{ 且 } 0.0 < \text{RS4} \leq 33.0$$

圖 2.5 日常節能指標公式(資料來源:綠建築評估手冊 2023)

## 2.2 熱舒適模型 (PMV/PPD) 理論與應用

### 2.2.1 熱舒適定義

熱舒適 (Thermal Comfort) 是建築環境設計中評估居住品質與能源效率的重要指標。根據美國供暖、製冷與空調工程師學會 (ASHRAE) 之《ASHRAE Standard 55-2020》定義，熱舒適為：「人對其所處熱環境感到滿意的心理狀態」(“*That condition of mind which expresses satisfaction with the thermal environment*”)。該標準指出，人體對熱環境的感受主要受到六大要素影響：氣溫、輻射溫度、空氣流速、相對濕度、服裝熱阻值 (clo)、以及人體代謝率 (met)。

根據國際標準化組織 ISO 7730:2005 所建立的理論基礎，熱舒適為人體熱平衡與熱中性狀態下的結果，即人體內產生的熱量與散失熱量達到平衡時，人會感覺「既不冷也不熱」的舒適狀態。該標準同時提出以 PMV (Predicted Mean Vote) 與 PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) 兩項指標量化熱環境的舒適程度，並建議舒適範圍為：

- PMV 介於 -0.5 至 +0.5 之間；
- PPD (不滿意率) 低於 10%。

此外，Fanger (1970) 在其著作《*Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering*》中首次系統化熱舒適理論，指出熱舒適為人體與環境能量交換達平衡時的心理感受，並提出以代謝率 (met) 與服裝絕熱值 (clo) 為主要控制變數。此模型奠定了現今建築熱環境設計與模擬分析的基礎。

隨著氣候變遷與地區差異的影響，de Dear 與 Brager (1998) 進一步提出「適應性熱舒適模型 (Adaptive Comfort Model)」，主張人類可透過行為與心理調節 (如開窗、調整服裝、使用遮陽設備) 以適應外界氣候變化，該模型更符合自然通風型住宅與亞熱帶氣候的實際情境。

### 2.2.2 熱舒適性範圍

熱舒適性評估通常依據國際標準所提出的理想環境參數範圍進行判斷，其中最常應用的標準包括 ISO 7730 與 ASHRAE Standard 55。不同標準均以人體熱平衡為基礎，綜合考量代謝量、衣著量、室內環境溫度、輻射溫度、風速以及相對濕度等因素，以界定居住者在空間中可維持熱舒適感受的條件。本節依據相關標準整理熱舒適環境的主要參數範圍，如表 2.3~表 2.5 所示。

表 2.3 ISO 7730 建議之熱舒適參數 (資料來源: ISO 7730:2005; 本研究整理)

影響因子	熱舒適範圍
活動量、代謝量 (Metabolic Rate)	46-232( W/m <sup>2</sup> ) (對應約 0.8 - 4 met)

影響因子	熱舒適範圍
衣著量 (Clothing Level)	0-0.31(m2K/W) (約 0 - 2 clo)
室內空氣溫度 (ta)	10-30(°C)
平均輻射溫度 (MRT)	10-40(°C)
平均風速(v)	0-1(m/s)
大氣壓力(Pa)	0-2700(Pa)
相對溼度 (RH)	30-70(%)

ISO 7730 (2005) 針對以 **PMV 模型** 進行熱舒適分析時，建議各環境參數應維持於一定範圍內，以確保量測結果的可靠性。這些參數範圍主要作為熱舒適分析的基本限制條件，用以避免不合理的環境設定並維持 PMV 計算的準確性。

表 2.4 ASHRAE Standard 55 舒適性建議範圍  
(資料來源: ASHRAE Standard 55-2010; 本研究整理)

	溫度	濕度	著衣量
夏季	25°C~28°C	50%-60%RH	0.5clo
冬季	21°C~23°C	45%-55%RH	1.0clo
風速：人體舒適的風速在 0.3m/s 以下			

ASHRAE 55 (2010) 則針對夏季與冬季的室內熱環境提出更具體之舒適性建議。

#### 依據標準：

- 夏季建議的舒適溫度範圍為 25 - 28°C，相對濕度建議維持 50 - 60%RH，常見衣著量約為 0.5 clo。
- 冬季舒適溫度範圍為 21 - 23°C，建議濕度為 45 - 55%RH，衣著量則約 1.0 clo。
- 一般情況下，人體感到舒適的風速大多應低於 0.3 m/s，以避免產生不必要的吹拂感。

此建議範圍反映一般辦公室與住宅最常見之空調環境條件，亦作為建築能耗與舒適度模擬的重要依據。

為更精確描述居住者的熱感受反應，ASHRAE 55 將 **PMV(Predicted Mean Vote)** 定義為七個等級，由 -3(Cold) 至 +3(Hot)，其代表的主觀熱感受如表 2.5 所示：

表 2.5 ASHRAE 55 PMV 七等級分類

(資料來源：ASHRAE Standard 55-2010；本研究重製)

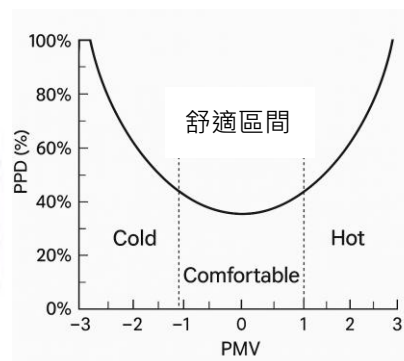
等級	熱舒適感覺
+3	炙熱 (Hot)
+2	熱 (Warm)
+1	暖 (Slightly Warm)
0	舒適 (Neutral)
-1	涼 (Slightly Cool)
-2	冷 (Cool)
-3	寒冷 (Cold)

表 2.7 為七級量表是熱舒適研究最常引用的評估尺度，PMV 值越接近 0，代表熱環境越接近人體熱平衡的舒適狀態；越偏離 0 則代表熱不適程度增加。

圖 2.4 熱舒適指標模型示意圖 (PMV - PPD)

顯示舒適區間與不滿意率關係曲線

資料來源：ASHRAE Standard 55 (2010)



### 2.2.3 熱環境對人體的影響

室內熱環境會直接影響居住者的生理狀態、心理反應與整體健康。當環境溫度、濕度、風速及輻射條件偏離人體所能接受的範圍時，熱平衡無法維持，容易造成不適感甚至健康風險。國際熱環境標準指出，人體的熱舒適狀態與多種因素相關，包括代謝率、衣著量、活動類型與環境參數，如空氣溫度、平均輻射溫度和水氣含量 (ASHRAE, 2020)。

根據世界衛生組織 (WHO, 2018)，長期暴露於不當的室內熱環境，例如過高的室溫與濕度，會提升熱疲勞 (heat fatigue)、脫水、頭痛、注意力下降等症狀的發生率；極端高溫環境更可能造成中暑與心血管壓力。相對地，過低的溫度則可能導致皮膚血流量下降、免疫力降低與呼吸道疾病發生機率增加 (Modesti, 2013)。

多項研究也指出，室溫若長期偏高或波動過大，會顯著影響居住者的主觀熱感受 (thermal sensation) 與生理量測值。Wu et al. (2022) 發現，當受試者暴露於持續升高的室內溫度時，皮膚溫度、心率以及熱不滿意程度均呈現明顯上升；即使溫度短時間內波動 2-4°C，也足以使心血管與自律神經反應出現顯著變化。類似結果也出現在 Schiavon and Hoyt (2016) 的調查中，指出快速變化的熱環境會造成明顯的注意力降低與工作表現下降。

熱環境亦與「病態建築症候群 (Sick Building Syndrome, SBS)」密切相關。

多項流行病學研究指出，當室內溫度高於 23–26°C 且濕度偏高時，眼睛乾澀、鼻黏膜刺激、疲倦和頭痛等 SBS 症狀更容易出現 (Mendell & Mirer, 2009)。另一項研究更指出，過冷空調環境同樣導致 SBS 症狀上升，尤其與喉嚨乾燥、皮膚緊繃感與呼吸不適相關 (Sikram et al., 2020)。

熱環境變化除了影響舒適度，也會對心理狀態造成作用。Xiong et al. (2015) 指出，溫度輕微變化即可使情緒、疲倦度及反應速度產生波動；較高溫度更會增加焦躁與壓力感。此外，Brook et al. (2011) 發現，氣溫下降會使血管收縮並提高收縮壓與舒張壓，溫差每下降 1°C，血壓可能增加 0.6–1.3 mmHg，使心血管疾病風險上升。

綜合上述文獻可知，室內熱環境對人體具有多層面的影響——從主觀熱感受、情緒、工作表現，一直到生理指標如心率、血壓、皮膚溫度等都會因環境而變化。因此，控制室內環境條件並維持適當溫度、濕度與通風，不僅能提升舒適度，更能降低健康風險，是建築設計與能源管理中不可忽視的重要課題。

## 2.2.4 熱環境與熱舒適之評估基礎

建築室內的熱環境與使用者熱舒適感受之關係，是評估建築性能與使用者健康的重要基礎。熱舒適的形成受到多項環境因子影響，包括空氣溫度、平均輻射溫度、相對濕度、氣流速度、服裝量與代謝量等 (ASHRAE, 2010)。因此，在建築設計與能源模擬中，常透過不同的熱舒適模型，例如 PMV/PPD 模型、自適應熱舒適模型 (Adaptive Comfort Model) 與操作溫度 (Operative Temperature) 等，作為量化熱環境品質的判斷依據。

本研究將熱環境與熱舒適相關內容分為兩部分：

- (1) 核心議題，說明熱環境影響人體感受的主要面向與分析架構；
- (2) 核心名詞解釋，整理本研究後續模擬與分析所需的重要術語，以利建立一致性的研究語言。

表 2.6 彙整了熱環境與舒適度相關之主要面向，包括熱舒適定義與評估模式、PMV/PPD 模型、自適應熱舒適模型、被動式熱環境調控策略與適應性熱舒適性研究等。透過此表可說明不同研究視角如何從感受、模型、行為與環境策略等層面理解熱舒適機制。

表 2.6 熱環境與熱舒適項目與核心議題

(資料來源：ASHRAE (2010, 2020)、ISO 7730 (2005)、Fanger (1970)、de Dear & Brager (1998)、Szokolay (2008)、IEA (2021)、Hwang et al. (2009)；本研究整理。)

項目	核心議題	說明/研究重點
熱舒適定義與評估標準	建立「人對熱環境滿意程度」的客觀衡量依據	影響因素包括氣溫、輻射、氣流、濕度、服裝、代謝率六大參數
PMV / PPD 模型	以統計方式預測群體熱感評價與不滿意率	PMV 值介於 -0.5~+0.5、PPD <10% 為舒適範圍

項目	核心議題	說明/研究重點
適應性熱舒適模型 (Adaptive Model)	居住者可依行為調整適應氣候變化	適用於自然通風建築與開放式住宅；室內舒適溫度隨戶外均溫變化
被動式熱舒適設計	利用自然通風、遮陽與隔熱設計改善室內環境	透過氣流導引、材料導熱控制減少空調負荷
亞熱帶氣候適應性研究	台灣地區濕熱環境下的舒適性與能源行為	需建立地區化舒適模型與氣候參數

表 2.7 則針對熱舒適領域中常用的名詞進行整理，如熱舒適、PMV、PPD、操作溫度等，說明其定義與應用情境。這些名詞將作為後續 EnergyPlus 模擬、遮陽參數分析與熱舒適判定的基礎。本節透過核心議題與名詞的系統性整理，使研究在熱環境分析的過程中具備清晰的理論依據與一致的用語，使後續模型建置與能耗評估能更加嚴謹與可比。

表 2.7 熱環境與熱舒適核心名詞及概念解釋

(資料來源:ASHRAE (2010, 2020)、ISO 7730 (2005)、Fanger (1970)、de Dear & Brager (1998)、Szokolay (2008)。本研究整理)

名詞	定義	說明
熱舒適 (Thermal Comfort)	人對熱環境感到滿意的心理狀態	受氣溫、濕度、氣流、輻射、服裝、代謝等多因素影響
PMV (Predicted Mean Vote)	群體平均熱感評價指標，介於 -3(冷)至 +3(熱)	評估室內環境冷熱感的量化指標
PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied)	在特定環境條件下感到不舒適的比例 (%)	PPD ≤10% 為舒適區；用以輔助 PMV 分析
適應性熱舒適模型 (Adaptive Comfort Model)	根據戶外平均氣溫修正室內舒適溫度範圍	適用於自然通風或非空調建築
被動式設計 (Passive Design)	透過自然條件控制環境而非機械設備	包含遮陽、通風、植栽與外殼隔熱策略
操作溫度 (Operative Temperature)	綜合空氣溫度與輻射溫度的平均感受值	為 PMV 計算中主要輸入參數之一
有效氣流速度 (Effective Air Speed)	反映人體皮膚感受到的氣流移動速率	高氣流速度可增進散熱與體感舒適

## 2.3 連棟住宅遮陽、外殼與氣候特性

### 2.3.1 氣候特性與日照條件 (Climate Characteristics & Solar Exposure)

#### 一、日照分布與方位日射量分析

臺灣位於北回歸線附近，屬典型的亞熱帶濕熱氣候，全年具備高溫、高濕與高冷房負荷的環境特徵 (CWB, 2023)。研究基地位於台灣中部沿海地區，其氣候條件更明顯呈現夏季高日照與高濕度的特性，使住宅外殼之熱負荷與遮陽需求較其他氣候區更高。

在此氣候條件下，遮陽設計的重要性包含：

- 高日照量 (High Solar Radiation)

夏季 5-10 月期間，太陽高度角高，日照直射強烈，建築外殼若未妥善遮蔽，將大幅提高冷房需求。

根據建築計畫用氣象資料 (2005)，臺灣夏季向東、西兩側的牆面日射量可達南面的 1.24 倍，水平屋頂更可達南面的 2.78 倍。

- 高濕度 (High Humidity)

臺灣多數平地區年平均相對濕度 > 80%，高溫高濕組合使得體感溫度提升，建築冷房負荷明顯增加 (IEA, 2021)。

- 高冷房負荷 (Cooling-Dominant Climate)

IPCC 亦指出亞熱帶與熱帶地區建築物 70% 以上的能源消耗來自空調，改善遮陽與外殼熱性能是最有效的能耗管理策略之一 (IPCC, 2022)。

臺灣建築氣候可依冷房度時與相對濕度區分為不同氣候帶，作為建築設計的重要依據 (建築外遮陽設計準則，2005)。台灣因海洋季風、地形與緯度變化，氣候差異顯著，主要建築氣候分類如下：

表 2.8 台灣地區建築氣候分區

(資料來源：建築物外遮陽設計準則之研究 (2005))

氣候分區	分區依據		代表地區
	冷房度時 (C°H)	年平均相對濕度 (%)	
次熱高濕區	28000 — 32000	>80	(1)台北、新竹、桃園、宜蘭盆地丘陵地 (2)本島山脈四周海拔 500m 以下之狹長地帶

區位名稱	冷房度時 (C°H)	年平均相對 濕度 (%)	代表地區
炎熱高濕區	32000 — 40000	>80	(1)台中、彰化、雲林、嘉義等 平原地區 (2)台南、高雄、屏東山麓狹長 丘陵帶、澎湖縣
炎熱次濕區	32000 — 40000	<80	(1)台中、彰化、雲林、嘉義等 平原地區 (2)花蓮、台東等縣之狹長平原 地帶
高熱高濕區	>40000	>80	(1)嘉義、台南、高雄、屏東等 東邊平原之狹長地帶 (2)屏東半島之東南部分
高熱次濕區	>40000	<80	(1)台南、高雄、屏東等縣之沿 海地區 (2)大武附近沿海地區
高山區	>40000	<80	海拔 500m 以上之山地區域

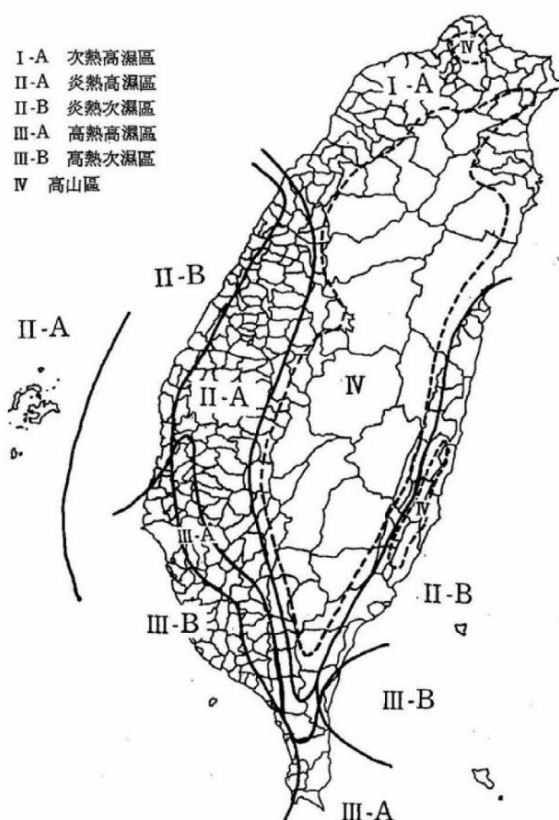


圖 2.5 台灣建築氣候分區(資料來源：周鼎金(1995))



圖 2.6 台灣地區年平均日照時數分布圖(資料來源：周鼎金 (1995))

## 二、日照分布與方位日射量分析

日照 (Solar Radiation) 係指太陽輻射能量照射地表與建築外殼後產生的熱量反應。臺灣夏季 5 - 10 月期間，日照量呈現明顯的方位差異 (建築計畫用氣象資料, 2005):

### (1) 方位日射量特徵

以 12 個平地都市日射量平均值為例 (5 - 10 月):

表 2.9 台灣地區溫熱期間 (5 - 10 月) 各方位日射量及比例

(資料來源：建築節能應用技術手冊 2024)

方位地名	北緯	東經	S	SSW SSE	SW SE	WSW ESE	W E	WNW ENE	NW NNE	NNW NNE	X	H
基隆	25.13	121.75	1172	1249	1349	1402	1389	1314	1186	1036	942	3091
台北	25.03	121.52	1241	1321	1427	1481	1462	1377	1234	1070	969	3263
新竹	24.80	120.97	1368	1469	1604	1675	1654	1549	1370	1164	1038	3711
台中	24.15	120.67	1338	1434	1565	1635	1618	1518	1348	1151	1032	3629
花蓮	23.97	121.62	1230	1328	1462	1539	1537	1456	1308	1127	1012	3451
嘉義	23.50	120.42	1273	1365	1493	1564	1555	1468	1313	1131	1020	3491
台南	23.00	120.22	1351	1460	1616	1707	1701	1602	1422	1207	1077	3837
台東	22.75	121.15	1246	1346	1491	1578	1580	1500	1348	1159	1043	3560
高雄	22.58	120.30	1242	1342	1487	1574	1578	1500	1349	1161	1046	3557
宜蘭	24.77	121.75	1202	1290	1406	1470	1462	1384	1245	1080	974	3267
合計	<12 測站>		15290	16458	16094	19028	18952	17901	16010	13736	12344	42581
比值	以 S 為 1		1	1.08	1.18	1.24	1.24	1.17	1.05	0.90	0.81	2.78

註：

1. 合計與比值是日月潭、阿里山以外 12 個平地都市的統計值
2. 日射量單位： $W/(m^2 \cdot day)$

表 2.10 日照分布與方位日射量分析

(資料來源：本研究整理)

方位	相對日射量倍數	特性
東 / 西向	約 1.24 倍	早上與下午日照強烈、熱負荷最高
北向	約 0.8 倍	日照最少，但仍可能受反射光與散射光影響
南向	基準值 (1)	夏季太陽高度角高，直射量相對較低
水平面 (屋頂)	約 2.78 倍	全年日射量最大，是熱負荷最主要來源

## (2) 日照季節差異

- 夏季：太陽高度角高，屋頂與東/西牆面吸收最多熱量
- 冬季：太陽高度角降低，南向牆面日射增加
- 春秋分：日照較均勻，但仍受西曬影響

此特徵使遮陽設計需特別關注以下 3 點：

- 東曬 (上午 9 - 11 時)
- 西曬 (下午 2 - 5 時)
- 水平面 (屋頂)

## (3) 太陽高度角與方位角對遮陽的影響：

地球自轉軸傾斜約  $23.5^\circ$ ，使太陽在一年中於天空中的高度與位置隨季節持續變化，形成不同的日照條件 (卜數, 2009)。太陽與地表之間的相對位置通常以兩項主要幾何角度表示：

- 太陽高度角 (h)：太陽相對地平面的仰角
- 太陽方位角 (A)：太陽相對南北軸線的水平角度

研究者可透過太陽位置模型計算 (譚海鵬, 2005)，模擬建築在不同日期及時間所受到的日照影響，這也是遮陽設計的重要基礎。

## (4) 全年日照軌跡與季節差異：

根據宜蘭縣政府 (2018) 之氣候資料：

- 春分 / 秋分：日照軌跡介於夏季與冬季之間
- 夏至：太陽高度最高、日照最強，建築屋頂與西曬面最容易獲得大量太陽

### 輻射

- 冬至：太陽高度最低，傾向由南側日照為主

此軌跡差異直接影響建築各方位的日射量分布，進而決定不同立面在遮陽設計上的需求。

#### (5)台灣夏季建築各方位日射量差異：

如圖 2.4 所示，台灣位於亞熱帶濕熱氣候，夏季日照強烈且長時間。根據台灣電力公司（2012）之建築節能資料統計，建築在溫熱期間（約 5-10 月）各面受日射量的相對倍數為：

- 屋頂（水平面）：4.14 倍 —— 日射量最大
- 東向 / 西向：約 2.1~2.14 倍 —— 上午與午後熱負荷高
- 南向：約 1 倍 —— 相對穩定且具遮陽優勢
- 北向：0.86 倍 —— 日照最少但仍需考量反射熱

此結果顯示：屋頂與東、西向立面為建築獲熱最明顯的方向，是遮陽策略的優先重點。

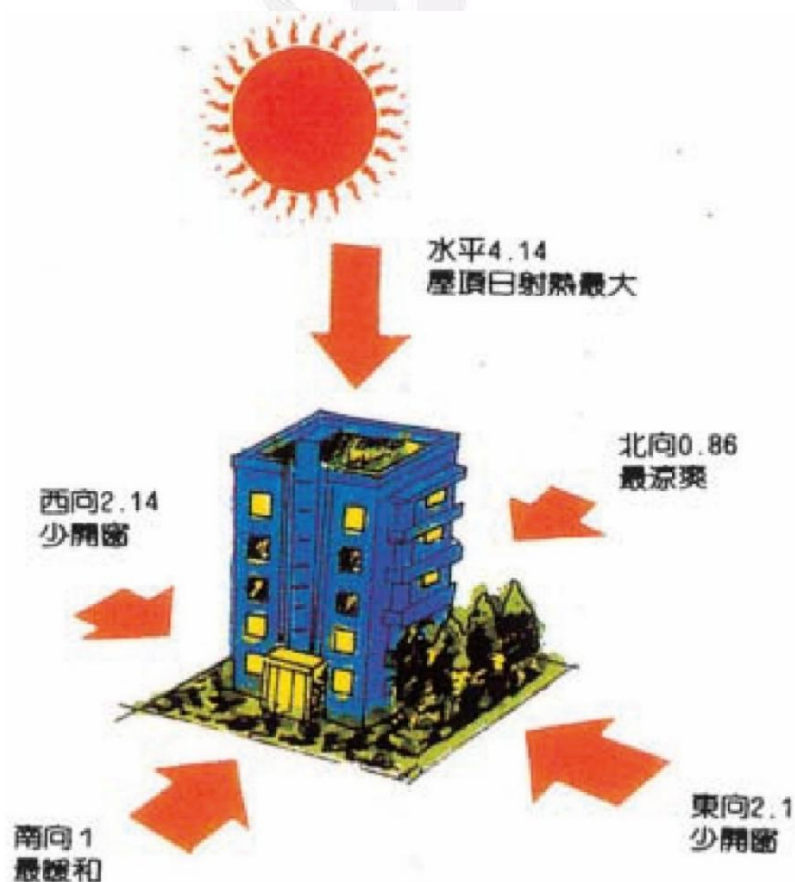


圖 2.7 台灣地區建築物夏季平均日射量比例圖

資料來源：台灣電力公司（2012），《建築物節約能源簡介》

## 2.3.2 建築外殼與熱性能 (Building Envelope & Thermal Properties)

建築外殼 (Building Envelope) 是建築物與外界環境之間的主要隔層，其熱性能表現 (Thermal Performance) 直接影響室內冷房負荷、能耗水準與熱舒適品質 (ASHRAE, 2010)。外殼的熱行為主要涉及傳熱、隔熱、熱容量與太陽輻射穿透等物理過程，因此在高溫高濕的台灣氣候中尤為關鍵。

### (1) 牆體熱傳導與熱容量 (Wall Heat Transfer & Thermal Mass)

牆體之傳熱行為由材料的熱傳導係數 (k-value)、熱阻 (R-value) 與整體熱穿透係數 (U-value) 決定。在夏季強日照環境下，外牆若缺乏足夠熱阻或質量偏低，外界熱量將迅速傳入室內，導致冷房負荷增加 (ASHRAE, 2020)。

熱容量 (Thermal Mass) 則可延遲熱通量 (Heat Flux) 進入室內，使高峰熱量延後至夜間入，有助於降低尖峰冷房需求 (Szokolay, 2008)。

### (2) 屋頂隔熱性能 (Roof Insulation Performance)

屋頂為建築最容易吸收太陽輻射之部位，其日射熱得量遠高於立面外牆，尤其在台灣夏季，屋頂可占建築總熱得量的 20 - 30% 以上 (台灣電力公司, 2012)。因此屋頂隔熱層厚度、材質及反射率是降低冷房能耗的關鍵。

常用指標包括：

- 熱阻 R-value：隔熱材料對熱流阻抗的能力
- 太陽反射率 (Solar Reflectance)
- 放射率 (Emissivity)

高反射屋頂 (Cool Roof) 能有效降低表面溫度 10 - 25°C，減少建築吸熱，為 IECC (International Energy Conservation Code) 推薦的節能措施之一。

### (3) 窗戶熱穿透 (Window Heat Gain) (U-value、SHGC)

開口部為建築外殼中最薄弱的熱區，特別是在亞熱帶濕熱氣候中，窗戶的太陽輻射穿透會成為空調能耗的重要來源 (Fanger, 1970)。

窗戶熱性能常用以下指標表示：

- U-value (整體熱穿透係數)：反映熱傳導能力，越低越佳
- SHGC (Solar Heat Gain Coefficient) 太陽熱得量係數：表示穿透室內的太陽輻射比例
- VT (Visible Transmittance) 可見光穿透率：決定採光品質

根據台灣建築技術規則 (建築節能設計篇)，中部地區之窗戶 SHGC 與 U-value 均需符合節能限值，以降低冷房能耗與提升舒適度。

### (4) 外殼整體熱性能對冷房負荷的影響

建築外殼之熱傳與日射熱穿透將直接影響：

- 室內冷房負荷 (Cooling Load)
- 冷房設備容量
- 能源使用量 (Cooling Energy Use)
- 室內熱舒適 (Thermal Comfort)

研究指出，外殼改善措施如增厚隔熱層、使用高反射屋頂、改良窗戶熱性能，可使建築整體冷房能耗降低 15% - 30% (IEA, 2021)。

#### (5) 與本研究的關聯

本研究針對連棟住宅進行能耗模擬，外殼熱性能（牆體熱阻、屋頂隔熱、窗戶 SHGC / U-value）為主要變因之一，搭配遮陽深度調整分析其對冷房能耗與熱舒適 (PMV) 的影響。

### 2.3.3 遮陽設計原則與類型 (Shading Design Principles & Types)

遮陽系統是建築節能中最直接且最具成本效益的策略之一，能有效減少日射熱得量、降低冷房負荷，並改善室內光環境品質。根據 Szokolay(2008)及 Olgyay (2015)之氣候設計原則，遮陽應根據建築所處氣候、方位與季節變化進行配置，以達到最佳的節能與熱舒適表現。

#### 一、遮陽設計目的

遮陽的主要功能包含以下三項：

1. **降低冷房能耗:** 阻隔高角度或低角度太陽輻射熱，使夏季外殼熱得量下降，減輕空調負荷。
2. **控制眩光:** 避免直射光進入室內造成視覺不適，提升居住及工作品質。
3. **提升熱舒適:** 透過遮蔽強烈日射，使室內溫度維持穩定，改善熱環境。

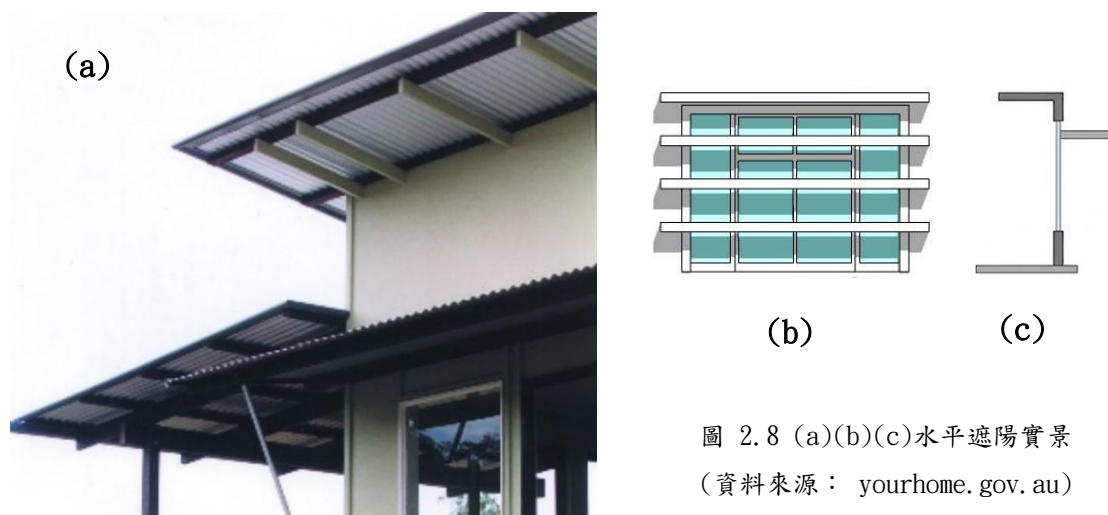
#### 二、遮陽類型 (Shading Types)

遮陽依構造特徵可大致分為：

##### 1. 水平遮陽 (Horizontal Shading)

如：陽台、挑檐、水平遮陽板

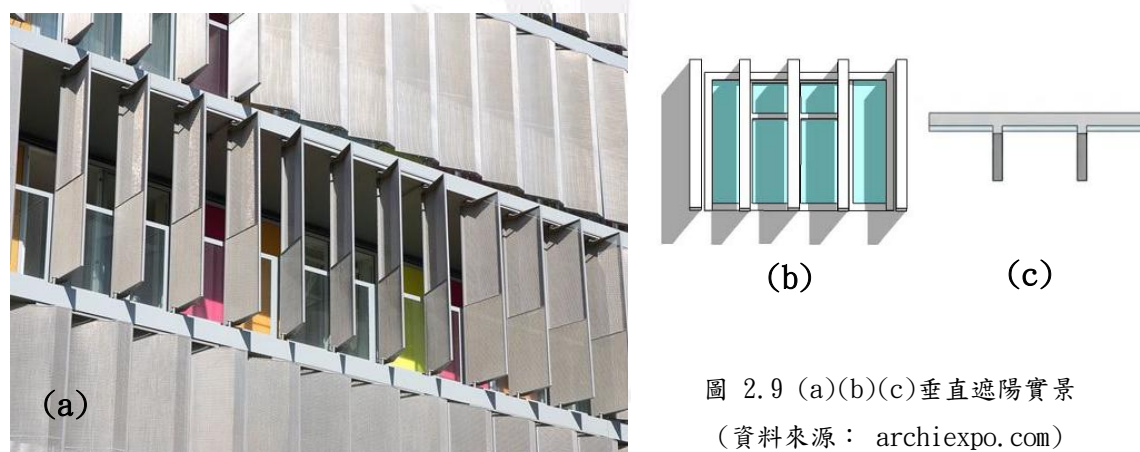
- 適合阻擋「高太陽高度角」
- 最適於：南向、西南向



## 2. 垂直遮陽 (Vertical Shading)

如：側板、垂直遮陽板

- 適合阻擋「低太陽高度角」與早晚太陽
- 最適於：東向、西向 。備註:最適合本案例沙鹿



## 3. 水平+垂直混合式 (Combined Shading)

如：格子狀遮陽 (egg-crate)

- 同時對付高角與低角日射
- 適合接受多方向日射的立面
- 最適於：東南、南、西南

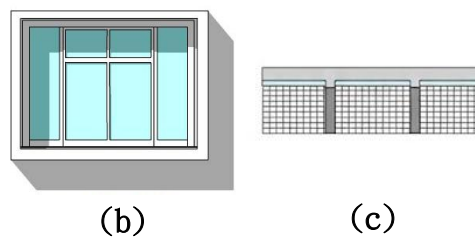


圖 2.10 (a)(b)(c)水平+垂直遮陽實景  
(資料來源： researchgate.net)

#### 4. 槽板式 (Louver / Fins)

- 提供可調式遮蔽
- 可強化建築通風、兼具造型效果

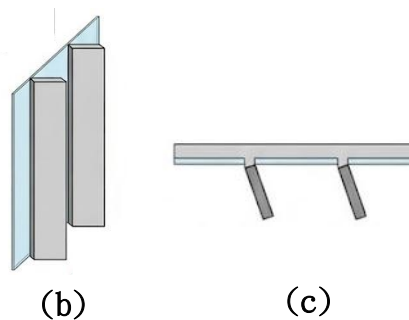
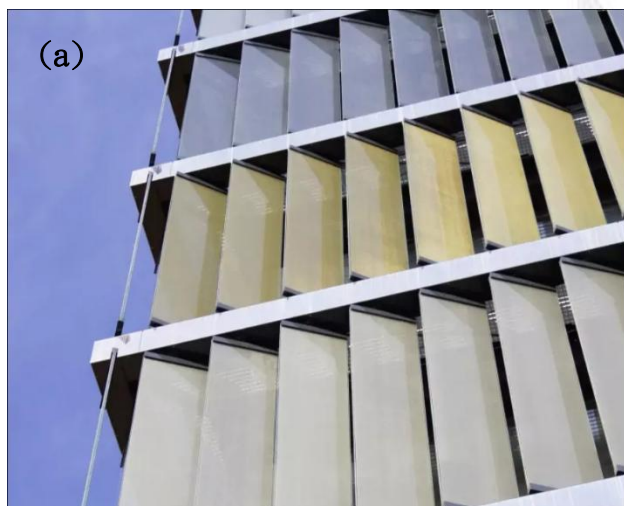


圖 2.11 (a)(b)(c)槽板式遮陽實景  
(資料來源： xtrametal.com)

#### 5. 綠化遮陽 (Green Shading)

- 攀爬植物或綠棚
- 適合於東、西向以改善低角度強烈日射



圖 2.12 (a)(b)(c)綠化遮陽實景  
(資料來源： xtrametal.com)

### 三、遮陽優先序與能耗影響（依方位）

根據《建築物外遮陽設計準則之研究》（2005），台灣夏季日射量大，遮陽應依方位調整其優先序：

表 2.11 遮陽與省能開窗方位的優先次序  
（資料來源：〈建築物外遮陽設計準則之研究〉（2005））

方位	水平面	東南東 西南西	東 西	東南 西南	西北西 東北東	南南西 南南東	東北 西北	南	北北西 北北東	北
遮陽	優先考慮	—————→							最後考慮	
開窗	最後考慮	—————→							優先考慮	

表 2.12 遮陽與省能開窗方位的優先次序 總結表  
（資料來源：參照表 2.11，本研究整理）

遮陽優先序	最需要遮陽的方位
第一優先	西、西南、西北（午後強烈日射）
第二優先	東、東南、東北（上午日射）
第三優先	南向（高角度日射、較易遮擋）
最後考慮	北向（僅受散射光影響）

表 2.13 各式外遮陽之設計條件  
（資料來源：〈建築物外遮陽設計準則之研究〉（2005））

型式	適用方位	開窗率（%）	深度比	備註
水平式	南	25~35	0.4~0.8	單片導光板之深度比以 1.0 為佳
垂直式	東、西	15~20	0.6~1.0	朝北傾斜或採活動式之效果較佳
水平+垂直式	東南、西南	15~20	0.4~0.6	-
	東南東、西南西	15~20	0.6~0.8	-
	南南東、南南西	15~20	0.4~0.6	-
	北、北北東、北北西	30~45	0.2~1.0	適用於北回歸線以南
	東北、西北、東北東、西北西	30~45	0.4~1.0	地區

### 四、各式遮陽之設計

#### 條件（深度比參考）

依據《建築物外遮陽設計準則之研究》（2005）：

表 2.14 各式外遮陽之設計條件 總結表

(資料來源：參照表 2.13，本研究整理)

遮陽形式	適用方位	開窗率	深度比 (D/H)	備註
水平式	南向	25 - 35%	0.4 - 0.8	適合高角度日射阻隔
垂直式	東向、西向	15 - 20%	0.6 - 1.0	阻擋早晚低角度日射效果最佳
水平+垂直式	東南、南、西南	20 - 35%	0.4 - 0.6	適合多方向日射
槽板式	各向	—	視需求調整	提供可調整遮蔽
低成本、兼具美觀與降溫	低成本、兼具美觀與降溫	低成本、兼具美觀與降溫	低成本、兼具美觀與降溫	低成本、兼具美觀與降溫

表 2.15 各式外遮陽適用之方位

(資料來源：〈建築物外遮陽設計準則之研究〉(2005))

外遮陽式型式 方位	水平式	垂直式	水平+垂直式	面式
北				
北北東				
東北				
東北東				
東				
東南東				
東南				
南南東				
南				
南南西				
西南				
西南西				
西				
西北西				
西北				
北北西				

註：  適用範圍  
 適用於北回歸線以北

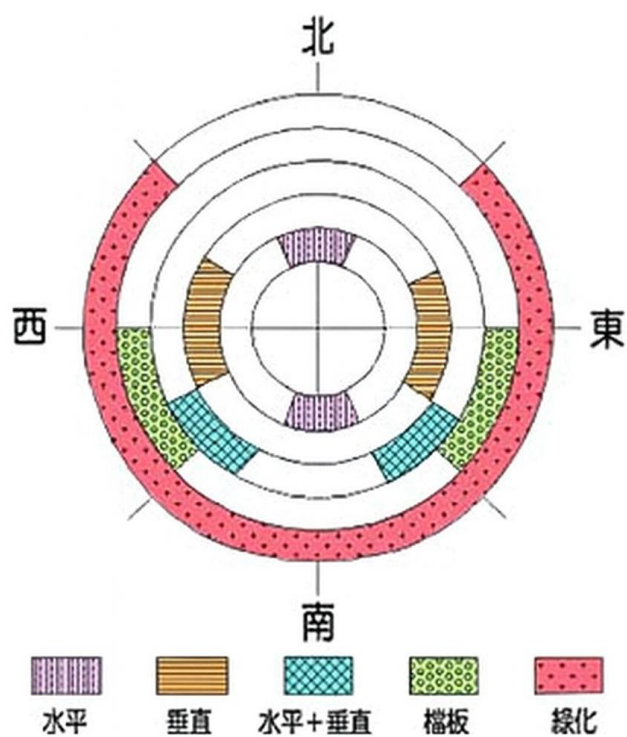


圖 2.13 遮陽形式與其適宜朝向

(資料來源：內政部建築研究所，《建築物外遮陽暨屋頂隔熱設計參考手冊》)

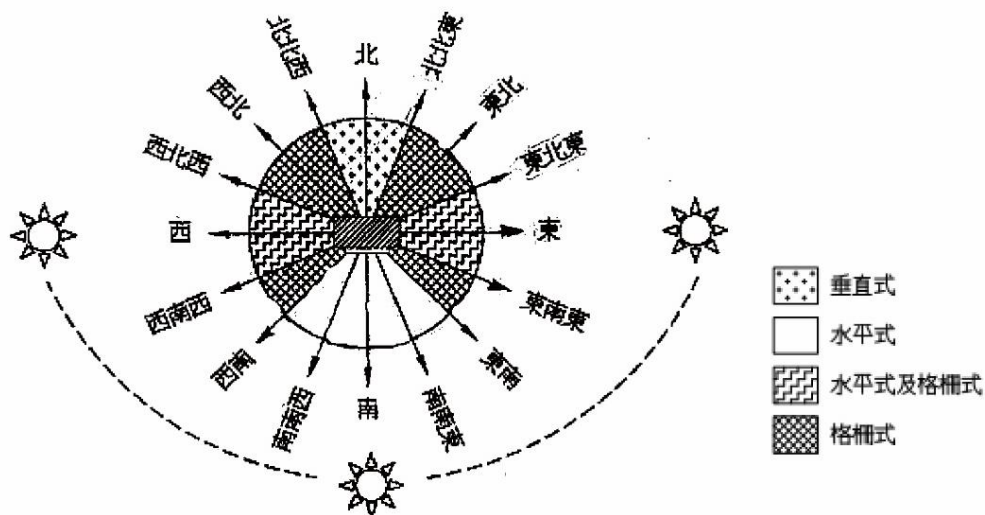


圖 2.14 遮陽類型之方位應用分區

(資料來源：〈建築物外遮陽設計準則之研究〉(2005))

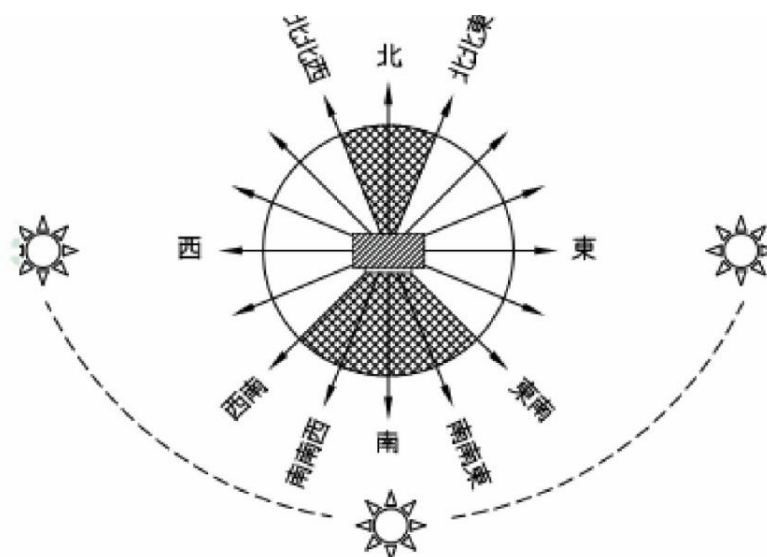


圖 2.15 水平遮陽適用方位之範圍圖

(資料來源：〈建築物外遮陽設計準則之研究〉(2005))

表 2.16 各方位基本遮陽板之最佳深度比建議值

(資料來源：〈建築物外遮陽設計準則之研究〉(2005))

適用方位	水平遮陽板	格柵遮陽板	垂直遮陽板
南	0.2	0.2	x
南南西	0.3	-	0.4
西南西	0.4	0.4	0.4
西	0.6	-	x
西北西	0.6	0.6	x
東北	0.6	0.4	x
北北西	0.6	-	0.6
北	x	x	0.6
備註	1. x 表示不適用，- 表示無資料 2. 水平遮陽板為單片板型態。 3. 格柵遮陽板為六分格型態。 4. 垂直遮陽板之遮陽間距為 60 cm。 5. 開窗率 30%、遮蔽率基準 30%。		

表 2.17 台灣地區建築物方位之優先順序

(資料來源：〈建築物外遮陽設計準則之研究〉(2005))

順位	最佳	第二	第三	第四	第五	最差
建築物軸向	南-北	北北東- 南南西 北北西- 南南東	西北-東 南 東北-西 南	東北東- 西南西 西北西- 東南東	東-西	水平面

## 五、遮陽適用方位（綜合應用表）

根據相關研究，各式遮陽的適用方位如下：

表 2.18 各式遮陽適用方位

（資料來源：參照表 2.15-17 與圖 2.5-2.7，本研究整理）

方位	南	西南	西	西北	北	東北	東
水平式	✓	✓	—	—	—	—	—
垂直式	—	✓	✓	✓	—	✓	✓
水平+垂直	✓	✓	✓	✓	—	✓	✓
綠化	—	✓	✓	✓	—	✓	✓

## 六、遮陽設計對建築物的影響

遮陽不僅減少熱負荷，還具有多重效益：

### （1）對建築物正面功能之效益

- 隔絕太陽輻射、降低冷房負荷
- 控制眩光、提升視覺舒適
- 提高室內光環境品質
- 減緩建築外殼熱老化

### （2）對建築物側面效益

- 降低外牆熱脹冷縮應力
- 減緩外牆龜裂
- 有助於窗面防水與維護
- 增加外觀陰影層次，提高立面品質

表 2.19 遮陽設計對建築物之影響

資料來源：〈建築物外遮陽設計準則之研究〉(2005)

對建築物正面助益效果	說明	對建築物負面影響	說明
遮蔽效果	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 阻絕太陽直接與間接輻射</li> <li>▪ 防止東西曬等問題</li> </ul>	採光功能	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 降低室內採光強度</li> </ul>
採光效能	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 防止眩光產生</li> <li>▪ 增加室內光環境均勻</li> </ul>	逃生安全	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 過密遮陽板阻礙逃生</li> </ul>
視覺造型	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 增加建物立面造型豐富變化</li> <li>▪ 加深建築陰影效果</li> <li>▪ 增加雕刻感</li> <li>▪ 創造建築立面的協調韻律感</li> </ul>	室內視野	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 阻礙視野廣度</li> </ul>
		清潔維護	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 增加清潔維護之程序</li> </ul>
		施工步驟	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 增加施工之難度</li> </ul>
微氣候調節	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 改善室內舒適熱環境</li> <li>▪ 輔助通風效果</li> </ul>	結構安全	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 可能影響建築結構剛性</li> </ul>

綜上所述，遮陽設計不僅是一項節能策略，更兼具建築保護、美學提升與使用機能改善等多重價值，是亞熱帶地區（如台灣）建築外殼設計中不可或缺的重要元素

## 2.3.4 遮陽與建築能耗關係 (Shading Impact on Energy Use)

### 一、建築能耗因素

建築能耗受到多種因素共同影響，這些因素從建築外部環境延伸至室內條件與設備運作。張世典 (2003) 指出，建築能耗的主要影響來源可歸納為四大類：**外殼節能設計、室內使用機能與配置、設備效能改善，以及設備使用與管理技術**，如表 2.20 所示。

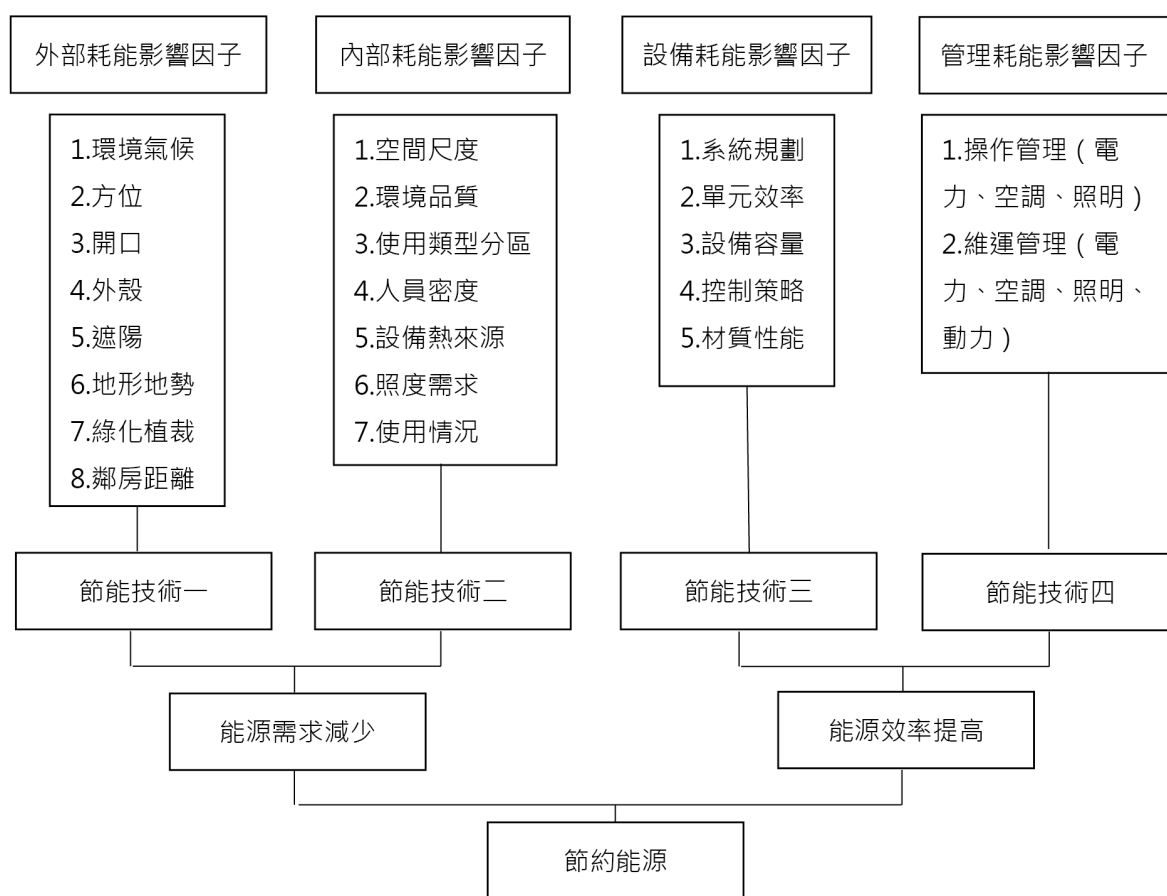


圖 2.16 建築耗能影響因子(資料來源:陳威廷, 2020)

### 二、建築能耗影響

建築能耗受到規劃、設計到施工與營運各階段的綜合影響。從基地位置、氣候條件、建築方位與配置方式，到設計完成後的施工方法、材料生產與施工現場狀況，皆會影響建築的整體能耗表現。此外，建築使用期間的能源消耗方式、使用者行為、空調與照明等設備運轉情形，也會持續累積成建築能耗的重要來源。其中以空調設備的耗電量占比最高，如表 2.20 所示。

表 2.20 建築物能耗之影響（資料來源：陳威廷，2020）

項目	分類	影響
外部條件	地理環境	平原、海拔、地質
	氣候條件	經緯度、太陽輻射量、日照陰影
規劃設計	建築類型	辦公室、商場、學校、住宅
	造型量體	形狀、高度、規模
	構面形式	開口、外殼、玻璃、外遮陽
	構造材質	鋼構、混凝土、木構、磚造
	室內環境	空間、材質、傢俱、內牆隔間
施工規劃	營建材料	材料製造、營運成本、回收再生
	營建廢棄	裝修廢材、剩餘土方、人員使用
營運管理	機電設備	空調、照明、其它設備
	人員使用	密度、用途、活動

建築能耗受到外部環境、建築外殼形式、室內空間條件與設備運轉等多項因素共同影響，而遮陽裝置則在眾多節能策略中佔有關鍵地位。前述文獻指出，**建築外殼是左右建築能耗的主要來源之一，包含開口位置、方位、外殼型式、玻璃特性與外遮陽設計等皆會影響太陽輻射熱進入室內的程度，並左右室內冷房負荷**（張世典，2003；陳懷安，2005）。

根據前節能耗因子之整理，外殼節能設計（尤其為遮陽）可以直接影響兩類能耗結果：

- (1)能源需求減少 (Cooling Load Reduction)
- (2)能源效率提升 (Thermal Performance Improvement)

其中遮陽設計與太陽熱得量 (Solar Heat Gain) 有最直接的關聯，其作用機制如下：

#### (1)降低太陽熱得量 (Solar Heat Gain Reduction)

遮陽裝置能有效阻擋太陽直射輻射進入建築物內部，是最直接減少空調負荷的方式。文獻指出外遮陽具最高節能效果，於**適當配置下可降低約 45% 冷房能源**（林志聲，2010）。

遮陽減少 Solar Heat Gain 的機制包含：

- 阻絕部分太陽直射入室內
- 降低玻璃吸收輻射後造成的二次熱傳
- 減少牆面與室內物件受熱蓄積

因此可直接降低建築冷房峰值負荷與全天冷房需求量。

#### (2)降低室內溫度 (Indoor Temperature Reduction)

遮陽裝置可阻隔大部分直射輻射，使得室內溫度上升速度減緩。文獻指出，在濕熱氣候如台灣，外殼受日照加熱是空調負荷的重要來源，透過有

效遮陽可顯著緩解：

- 西側日照造成的午後溫度飆升
- 玻璃幕牆吸熱再輻射所造成的室內升溫
- 夏季高日照時的悶熱不適感

這些皆能減少空調系統的啟動時間與運轉頻率。

### (3) 低冷房能耗 (Cooling Energy Use)

當 Solar Heat Gain 與室內溫度下降後，冷房系統負荷自然減輕。

遮陽設計可降低：

- 冷房負荷峰值 (Peak Cooling Load)
- 每日冷房耗能 (Daily Cooling Energy)
- 冷凍水系統負擔與風機功率

多項研究顯示：

- 遮陽設計比單靠玻璃改善更具節能效果
- 水平遮陽適於南向，高效率阻擋夏至前後的斜射
- 垂直遮陽適合東西向，可阻擋低角度日照
- 混合式可因應複雜方向性

### (4) 改善熱舒適 (Impact on PMV/PPD)

遮陽除節能外，亦直接改善室內熱舒適：

- 減少直射眩光
- 降低窗邊溫度梯度
- 減少窗邊熱輻射對人體的熱負荷
- 改善 PMV/PPD 評分

在 EnergyPlus 模擬中，遮陽會影響：

- Zone Air Temperature
- Mean Radiant Temperature (MRT)
- Operative Temperature
- PPD/PMV 指標

因此遮陽不僅節能，也提升居住者舒適度。

綜合上述文獻，遮陽對建築能耗的影響可彙整為：

- ① 阻擋太陽輻射 → 減少 Solar Heat Gain
- ② 減少室內熱累積 → 降低室內溫度
- ③ 降低冷房負荷 → 降低冷房能耗
- ④ 改善 PMV/PPD → 提升熱舒適

### 本研究後續模擬之必要性

由於遮陽對建築能源效率具高度敏感性與方向性差異，因此本研究需透過 EnergyPlus 模擬 分析不同遮陽形式、深度與方位在亞熱帶氣候的實際節能成效，以提供更精確的能耗與熱舒適評估結果。

## 2.4 建築模擬軟體應用分析

### 2.4.1 各項軟體比較及說明

表 2.21 能效軟體應用與議題(資料來源:本研究整理)

面向	核心議題	說明/研究重點
EnergyPlus 能源模擬原理	建築熱負荷與能源行為模擬	由美國能源部 (DOE) 開發，以「熱平衡法」模擬建築逐時能耗、溫度、通風與 HVAC 系統運作
EnergyPlus 與 BIM 整合應用	以 Revit 建立模型後匯入 EnergyPlus 進行模擬	BIM - EnergyPlus 整合可縮短設計期並提升模擬精度 20 - 30%，常用於住宅與辦公建築能耗預測
CFD 氣流模擬技術	分析室內外氣流場、溫度分布與對流效率	可視化氣流路徑，評估自然通風、風速及溫度梯度對舒適度之影響
EnergyPlus 與 CFD 耦合應用	結合能源模擬與氣流分析以提升模型精度	透過資料交換 (Data Coupling) 同步室內熱場與氣流分布，可用於節能設計驗證
亞熱帶氣候下之應用研究	模擬濕熱環境下建築能耗與通風性能	台灣與東南亞研究常結合 EnergyPlus - CFD 評估自然對流及遮陽設計效益

表 2.22 能效名詞與概念說明(資料來源:本研究整理)

名詞	定義	說明
EnergyPlus	美國能源部開發之建築能源模擬軟體	可進行逐時能耗分析、熱負荷、通風、日照及碳排估算
BIM (Building Information Modeling)	建築資訊模型,整合設計、材料與性能資訊	可與 EnergyPlus 整合進行能耗模擬
CFD (Computational Fluid Dynamics)	計算流體力學,用於模擬氣流、壓力與溫度分布	應用於自然通風與熱舒適分析
熱平衡法 (Heat Balance Method)	模擬牆體與空氣間的熱傳遞行為	為 EnergyPlus 計算熱負荷的主要理論基礎
EUI (Energy Use Intensity)	單位面積年度能源使用量 (kWh/m <sup>2</sup> ·yr)	用於衡量建築能源效能與碳排表現
耦合模擬 (Coupled Simulation)	同步結合 EnergyPlus 與 CFD 的數據互換分析	可同時模擬熱負荷與氣流分布,提升整體預測精準度
自然對流 (Natural Convection)	由溫度差驅動之氣流現象,影響通風效率	CFD 模型常用以模擬該現象以改善熱舒適

表 2.23 EnergyPlus 及相關能源模擬軟體比較(資料來源:本研究整理)

軟體名稱	功能類型	功能概述
EnergyPlus	專業型 (開源)	由美國能源部 (DOE) 開發,基於「熱平衡法」計算建築逐時能耗、溫度、通風及 HVAC 系統性能。可模擬能源消耗、碳排放、照明、熱負荷、自然通風等。
DesignBuilder	商業型 (圖形介面)	以 EnergyPlus 為核心,提供友善 GUI 介面,能進行建築能耗、日照、熱負荷與舒適性模擬。
OpenStudio	開源型 (DOE 支援)	以 Ruby 為基礎開發的 EnergyPlus 介面工具,支援 SketchUp 模型匯入與多情境能耗分析。
IES-VE	專業型 (商業授權)	提供能源、碳排、照明、CFD、熱舒適與再生能源整合模擬。
Ecotect Analysis	教學型 (已停產)	Autodesk 早期建築模擬軟體,整合日照、聲學、熱環境及能耗初步分析。
TRACE 700 / TRACE 3D Plus	專業型 (商業授權)	由 Trane 公司開發,用於 HVAC 系統選型與建築負荷分析。
eQUEST	教學型 (免費)	基於 DOE-2 引擎,支援建築能耗、成本及系統效率模擬。

### 本研究選用 EnergyPlus 之原因：

本研究選擇 EnergyPlus 作為主要能源模擬軟體，主要考量其科學精度、整合性與開放性三大特點，具體原因如下：

#### 1. 模擬精度高、理論基礎完善

EnergyPlus 由美國能源部 (U.S. Department of Energy, DOE) 所開發，採用「熱平衡法 (Heat Balance Method)」計算建築逐時能耗、室內溫度、通風及 HVAC 系統運作行為。相較於傳統的 DOE-2 模型，其計算過程能同時考慮牆體傳熱、日照輻射、設備負荷與氣候變化等多重因素，模擬結果精度更高，適合進行住宅能效與碳排的量化分析。

#### 2. 可整合多種建築與環境模擬工具

EnergyPlus 具有良好的資料介面與擴充性，可與 BIM 平台 (如 Revit)、OpenStudio、DesignBuilder、CFD 軟體 (如 ANSYS Fluent、FloVent) 等進行資料交換。本研究以 Sketchup 模型建立建築幾何與材料屬性，再匯入 EnergyPlus 進行能耗模擬。

#### 3. 支援碳排計算與節能策略分析

EnergyPlus 具備碳排與能源消耗分析模組，可根據建築能源使用量 (EUI, kWh/m<sup>2</sup>·yr) 自動轉換為二氧化碳排放量 (kgCO<sub>2</sub>e)，使研究能直接連結「能效-碳排」雙指標。此外，軟體內建多種節能策略 (如遮陽、通風、設備效率與控制邏輯) 之模擬功能，有助於比較不同設計條件下的能源行為差異。

#### 4. 開源性高、學術應用廣泛

EnergyPlus 為開放原始碼軟體，全球學術界廣泛採用於建築能源分析、被動式設計與永續建築研究中。其技術文件完整、版本更新穩定，並支援全球氣象資料格式 (EPW)，適用於台灣亞熱帶地區的氣候模擬需求。

#### 5. 適用於本研究之分析需求

由於本研究聚焦於「住宅建築之熱舒適優化與能效整合」，EnergyPlus 可同時模擬全年能源使用量、碳排放與室內溫度分布，並能輸出 PMV/PPD 熱舒適指標，符合研究之模型整合需求。綜上所述，EnergyPlus 為目前最能兼顧準確性、開放性與整合性的能源模擬工具，因此被選為本研究主要分析平台。

## 2.4.2 Energyplus 分析項目 (據此研究部分作說明)

### 一、模擬工具與分析架構說明

本研究以 EnergyPlus 作為主要建築能耗與熱舒適度之數值模擬引擎，並透過 OpenStudio 作為模型建立與結果視覺化之操作介面。EnergyPlus 能精確處理建築外殼熱傳、太陽輻射得熱、室內負荷以及空調系統運轉行為，適合作為住宅能耗與熱舒適度分析之核心工具。

此外，部分圖像採用 Autodesk Ecotect Analysis 之教學示意圖，用以說明太陽軌跡、日照遮蔽與輻射分布之幾何與環境概念，其目的在於輔助說明外遮陽設計之物理機制，實際能耗與熱舒適度數值結果皆以 EnergyPlus 模擬為準。



本研究以 EnergyPlus 建立沙鹿新加坡式連棟住宅之熱區模型，設定相同氣候條件與使用情境，比較「有外遮陽」與「無外遮陽」兩種情境之逐時空調冷房負荷。外遮陽主要影響時段集中於日照最強之中午至下午，能有效降低尖峰冷房負荷。

## 五、熱舒適度 (PMV / PPD) 分析

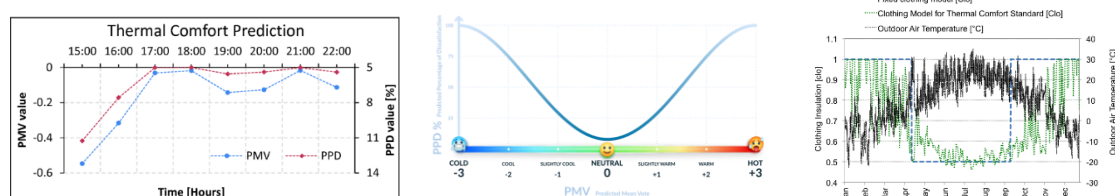


圖 2.20 室內熱舒適度 (PMV / PPD) 分析示意圖

(資料來源：EnergyPlus Thermal Comfort Model (ASHRAE Standard 55)

/springer/simscale/bigladdersoftware)

本研究依據 ASHRAE Standard 55 之熱舒適模型，利用 EnergyPlus 計算室內操作溫度、PMV 與 PPD 指標。外遮陽設計可降低室內高溫時段之熱不舒適程度，減少 PMV 偏高與 PPD 超標之情形，對住宅居住舒適性具有正面影響。

## 六、氣候資料來源說明

本研究氣候資料採用台灣地區之典型氣象年 (TMY) 資料，並轉換為 EnergyPlus 可讀取之天氣檔案格式。

氣候資料來源：Central Weather Administration (CWA), Taiwan。NOAA 氣候資料。Processed for EnergyPlus simulation (This study)

## 七、小結

綜合上述分析可知，外遮陽設計主要透過降低太陽輻射得熱來影響住宅之空調冷房負荷，其對建築能耗與熱舒適度的改善效果在高日照時段尤為明顯。本研究透過 EnergyPlus 模擬，驗證外遮陽在沙鹿新加坡式連棟住宅中，對降低能耗與提升居住舒適度具有實質效益。

## 第三章 研究對象背景與方法



### 3.1 研究對象調查

#### 3.1.1 研究對象說明

本研究選定台灣台中市沙鹿地區之新加坡式連棟住宅作為模擬分析案例。該住宅型態為中部沿海地區常見之住宅形式，具備高密度、連續立面及主要開口集中於前後側之特性，具有良好之代表性，適合作為能耗與熱舒適度分析之研究對象。

基地位置位於台中市沙鹿區，地理座標約為北緯 24.2 度、東經 120.6 度，氣候條件屬於亞熱帶濕熱氣候，全年日照強烈、夏季冷房需求顯著，外遮陽設計對建築能耗與室內熱環境影響甚鉅。本研究採用電腦輔助建築環境模擬方法，透過 OpenStudio 結合 EnergyPlus 進行住宅外遮陽對建築能耗與熱舒適度之分析。為提升模擬結果之真實性與可比性，案例模型以實際住宅空間條件為基礎進行設定，基地位置、案例模型的基本條件說明及地理與環境分析如表 3.1 所示。

表 3.1 研究對象資訊 (資料來源:本研究整理)

基地位置圖-1		基地位置圖-2	
 <p>(資料來源: 158 空間資訊網-臺中市政府地政局)</p>		 <p>(資料來源: Goole Earth 衛星地圖，本研究製作)</p>	
建築物概述			
座標位置	24°13′51″N, 120°34′09″E		
座向	座東南，朝西北		
地面海拔高度	約 55.57 公尺		
建築物規模	地上四層，地下零層		
建築物高度	1F: 3.2m, 2F: 3.4m, 3F: 3m, 4F: 3m		

建築物概述	
研究模擬案例	選定自家連棟透天住宅(因為研究數值配合日常行為調查更準確)。
模擬空間選定	連棟住宅之中間戶單一熱區 (Thermal Zone)，以排除邊間住宅三面採光所造成之干擾。
地理與環境分析補充 (詳見 3.2 章節)	
1. 該地區位於台中市西部丘陵與濱海交界地帶，為沙鹿市區東南緣，鄰近工業與住宅混合區。	
2. 地勢略呈東北高、西南低，平均坡度緩，利於雨水排放與自然通風。	
3. 年平均溫度約 23.5°C，夏季高溫可達 34°C，冬季受東北季風影響風速較強。	
4. 主風向：夏季偏南風、冬季偏東北風；風速年均約 2.5-3.0 m/s。	
5. 氣候特徵：亞熱帶濕潤型氣候，夏季日照強、濕度高，冬季乾冷風強，具典型台灣中部沿海氣候條件。	
實驗模擬案例說明	
1. 選定自家連棟透天住宅，研究數值配合日常行為調查更準確。	
2. 模擬空間選定為連棟住宅之中間戶單一熱區 (Thermal Zone)，以排除邊間住宅三面採光所造成之干擾。	
3. 其餘建築外殼構造、使用人數、內部熱得量及操作時程等設定，詳述於後續章節與相關表格中	

透過上述表 3.1 案例設定，本研究得以在控制變因一致的前提下，探討不同外遮陽設計條件對沙鹿地區連棟住宅冷房能耗與室內熱舒適指標 (PMV / PPD) 之影響。透過建築能源模擬方法，分析不同外遮陽條件下住宅在亞熱帶濕熱氣候中的能耗變化與熱環境表現。實驗方法採用 OpenStudio 平台結合 EnergyPlus 能源模擬核心，建立住宅建築模型，並以實際氣候資料作為環境條件，進行全年能耗與熱舒適模擬分析。模擬結果以冷房能耗 (Cooling Energy Use) 及熱舒適指標 PMV / PPD 作為主要評估依據。在實驗設計上，本研究以單一連棟住宅中間戶作為分析對象，將建築形式、樓層高度、外殼構造、室內使用行為及內部熱得量等條件設定為固定變因，並以外遮陽設計條件作為主要操縱變因，藉此比較不同遮陽配置下建築能耗與室內熱舒適度之差異。其餘更詳細之資料與設定請參照下列圖與表。

表 3.2 沙鹿自家住宅 1F 現況 (資料來源:本研究整理)

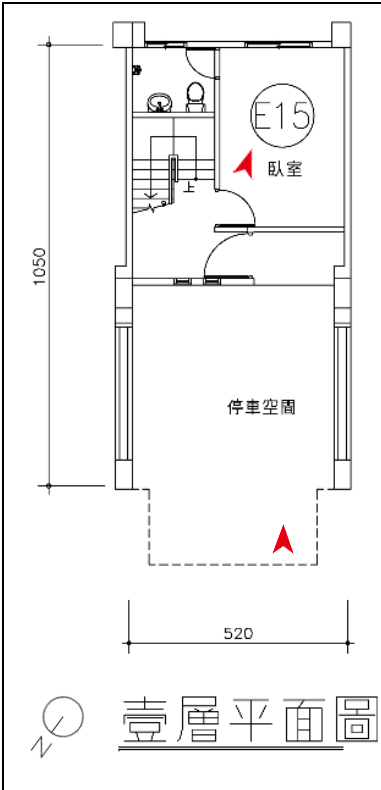

 <p>壹層平面圖</p>	空間視圖		
			
	空間	數量	面積(m <sup>2</sup> )
	停車空間	1	23.3040
	臥室	1	12.7398
	浴室	1	3.12593

表 3.3 沙鹿自家住宅 2F 現況 (資料來源:本研究整理)

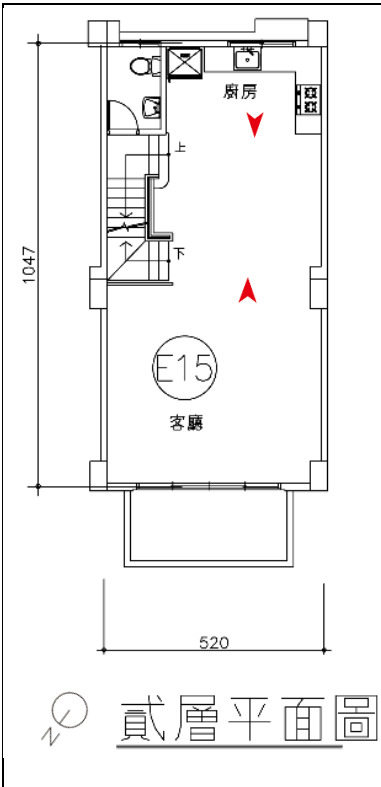

 <p>貳層平面圖</p>	空間視圖		
			
	空間	數量	面積(m <sup>2</sup> )
	客廳	1	25.0083
	廚房	1	19.6395
	廁所	1	2.57573
	陽台	1	7.288

表 3.4 沙鹿自家住宅 3F 現況 (資料來源:本研究整理)


 <p>參層平面圖</p>	空間視圖		
			
	空間	數量	面積(m <sup>2</sup> )
	主臥室	1	22.6333
	主臥浴室	1	6.54061
	臥室	1	10.4417
	臥室浴室	1	2.67075

表 3.5 沙鹿自家住宅 4F 現況 (資料來源:本研究整理)

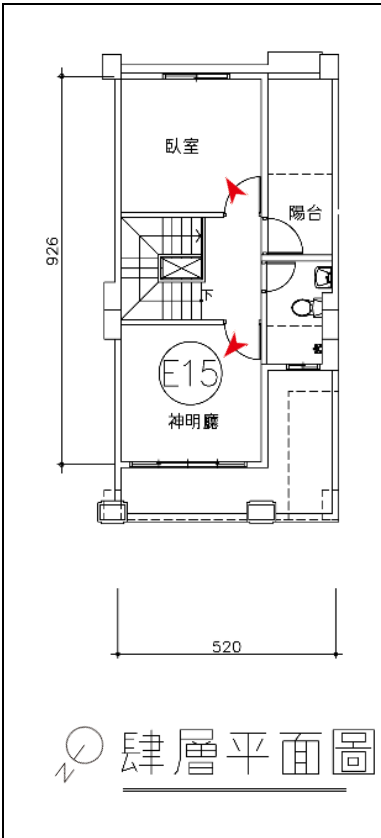

 <p>肆層平面圖</p>	空間視圖		
			
	空間	數量	面積(m <sup>2</sup> )
	臥室	1	10.7108
	陽台	1	6.62175
	浴室	1	3.5385
	神明廳	1	11.0458
	露台	1	10.2475

表 3.6 沙鹿自家住宅 RF 現況 (資料來源:本研究整理)

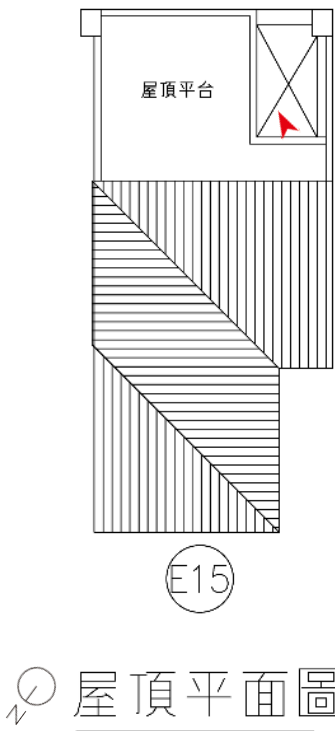

 <p>屋頂平台</p> <p>E15</p> <p>屋頂平面圖</p>	空間視圖		
			
	空間	數量	面積(m <sup>2</sup> )
	屋頂平台	1	15.5588

表 3.7 沙鹿自家社區住宅基地概要 (資料來源:建築管理系統便民服務網 - 臺中市政府)

基地概要				
地號	臺中市沙鹿區北勢坑段北勢坑小段 373-65 地號 等 18 筆			
地址	臺中市沙鹿區北勢里 22 鄰北勢五街 42 之 10 號 等			
使用分區	第二種住宅區			
基地面積	騎樓地	***	其他	1918.00m <sup>2</sup>
	退縮地	***	合計	1918.00m <sup>2</sup>

表 3.8 沙鹿自家社區住宅建物概要 (資料來源:建築管理系統便民服務網 - 臺中市政府)

建物概要			
層棟戶數	2 幢 17 棟地上 4 層 17 戶	法定空地面積	959.00m <sup>2</sup>
設計建蔽率	48.69%	總樓地板面積	3470.15m <sup>2</sup>
設計容積率	149.47%	建物高度	15.15m
建造類別	新建	構造種類	鋼筋混凝土造
建築面積	騎樓面積	其他	933.96m <sup>2</sup>
防空避難面積	地上	地下	***
非供公眾使用建築物		無保留地	

表 3.9 沙鹿自家社區住宅樓層概要資料 (資料來源:建築管理系統便民服務網 - 臺中市政府)

樓層概要資料							
序號	棟別	層別	樓層高度	申請面積	陽台面積	露台面積	使用類組
1	** *	地上 001 層	3.2 m	911.38 m <sup>2</sup>	***	***	H2 住宅、 停車空間
2	** *	地上 002 層	3.4 m	929.86 m <sup>2</sup>	1.84 m <sup>2</sup>	***	H2 住宅
3	** *	地上 003 層	3 m	933.11 m <sup>2</sup>	***	***	H2 住宅
4	** *	地上 004 層	3 m	695.8 m <sup>2</sup>	81.94 m <sup>2</sup>	***	H2 住宅

表 3.10 沙鹿自家社區住宅停車空間 (資料來源:建築管理系統便民服務網 - 臺中市政府)

停車空間							
序號	法定/自設	設置類別	車位類別	室內外	地上/下	輛數	面積
1	法定	平面	小型車	室內	地上	17 輛	878.62m <sup>2</sup>

本研究彙整案例住宅於 2024 年 11 月至 2025 年 10 月期間之實際用電資料如表 3.11 所列，資料來源為台灣電力公司之每期電費帳單，並據此換算各月份區間之電力能耗與對應碳排放量，以作為後續能耗特性與碳排趨勢分析之依據。

表 3.11 案例住宅各月份區間之電力能耗與碳排放量統計表

(資料來源:台灣電力公司每期電費單，節錄日期:2024/11-2025/10)

案例住宅各月份區間之電力能耗與碳排放量統計表						
年度/月份	2024/11、12 月	2025/1、2 月	2025/3、4 月	2025/5、6 月	2025/7、8 月	2025/9、10 月
計費度數 (度)/Energy Consumption(kwh)	124 度	334 度	534 度	567 度	334 度	417 度
電力碳排放量 (kgCO <sub>2e</sub> )	61 公斤	158 公斤	253 公斤	269 公斤	158 公斤	198 公斤

### 3.1.2 研究對象周遭環境條件

研究對象其周遭環境條件包含(位置、地形、氣候)，根據沙鹿區公所詳細紀錄與分析如下：

■**位置**：本區位於臺中市西部海岸平原的中心位置，臺中市區與臺中港之間，位居大肚山麓下，靠近臺灣海峽，為一交通要衝型的行政區。東依大肚山麓，隔山與西屯區、大雅區為界，西與梧棲區接壤，南鄰龍井區，北與清水區交界。全區東西寬 4.8 公里、南北長 7.9 公里，總面積 40.46 平方公里，中心位置約於東經 120.5 度、北緯 24.3 度，平均海拔 65 公尺。

■**地形**：本區地形主體由大肚台地和清水隆起海岸平原所組成地區，東部為台地地形，為本區地形的主體，係大肚山台地之中部。台地斷層以西，為清水隆起海岸平原之一部，呈南北狹長形。地勢平坦，為本區精華地帶，也為市街區所在。另由大肚山上望下可一覽市區，景色非常宜人。

■**氣候**：本區氣候乾燥季風強烈，屬亞熱帶季風氣候，地形平坦少屏障，季風強雨量少，土地肥沃，年平均溫 22.8 度，極適宜農作，重要特產為甘藷、豬肉副食產品。

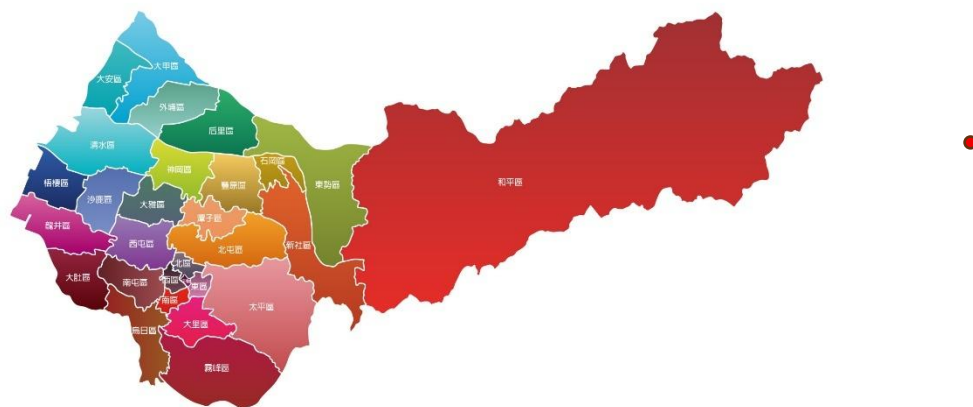


圖 3.1 臺中市 29 區行政區域圖(資料來源:台中市沙鹿區公所)

本研究以臺中市沙鹿區作為案例研究區域，圖 3.x 中呈現臺中市 29 個行政區之分布情形，以說明研究區位之行政定位與空間背景，藉由行政區域劃分，界定研究範圍並建立後續氣候資料、建築能耗模擬與熱舒適分析之空間基礎，有助於確保研究對象與區域特性之對應關係。

其餘有關於研究對象周遭環境條件更詳細之資料請參照下列圖與表。

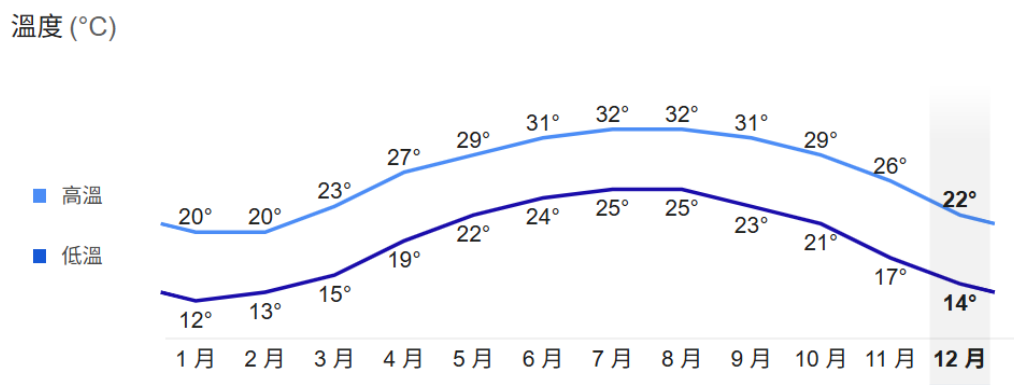


圖 3.2 沙鹿地區各月份平均溫度(資料來源:NOAA, 本研究整理)

由圖 3.2 可知，沙鹿地區全年氣溫呈現明顯的夏熱冬暖型亞熱帶氣候特徵。最高月平均氣溫出現在 7-8 月(約 32°C)，最低月平均氣溫則落於 1-2 月(約 12-13°C)，全年溫差約 19-20°C。此結果顯示：夏季長時間處於高溫狀態。冬季氣溫溫和，冷負荷需求相對有限。建築能耗主要來自夏季冷房負荷。因此，本研究於能耗與熱舒適度分析中，冷卻負荷與夏季熱舒適問題為主要關注重點。

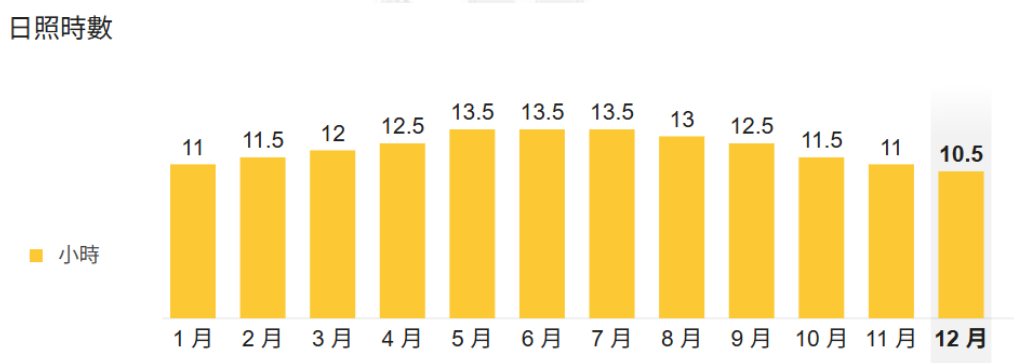


圖 3.3 沙鹿地區各月份平均日照時數(資料來源:NOAA, 本研究整理)

由圖 3.3 顯示，沙鹿地區全年日照時數介於 10.5-13.5 小時之間，其中：5-7 月日照時數最高(約 13.5 小時)；冬季仍維持約 10.5-11 小時。顯示沙鹿地區具備：全年穩定且偏高的太陽輻射暴露。夏季期間同時面臨「高溫+長日照」的疊加效應，此特性使得建築外殼，特別是外牆與開口部位，在夏季承受大量太陽得熱，進而提高室內溫度與冷房能耗。

表 3.12 沙鹿及附近地區之氣溫月平均溫度(資料來源:中央氣象局與沙鹿區公所)

氣溫(°C)												
沙鹿												
1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
14.4	14.8	17.4	21	24.3	25.9	27.3	26.9	25.2	23.2	19.7	16.9	21.4

梧棲												
1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
15.7	15.7	18.3	22.2	25.2	27.6	28.9	28.7	27.3	24.2	20.8	17.3	22.7
台中												
1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
15.8	16.1	18.6	22.3	25.5	27	28	27.7	26.8	24.1	20.8	17.4	22.5

表 3.13 沙鹿及附近地區之月平均降雨量(資料來源:中央氣象局與沙鹿區公所)

降雨量(mm)												
沙鹿												
1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
29.8	54.4	74.7	108.9	170.5	288.2	176.3	235.5	116	19.1	16.6	17.1	1307.1
梧棲												
1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
28.5	76.2	108.2	142.6	203.5	218.2	160	223.8	81.3	4.2	19	19.2	1284
台中												
1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
33.7	67.1	97.6	123.4	227.5	378.9	267.2	325.7	140.6	18.6	17.6	25.5	1723.4

表 3.14 沙鹿及附近地區之月平均降雨日(資料來源:中央氣象局與沙鹿區公所)

降雨日(日)												
沙鹿												
1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
7.6	8.8	11.3	10.2	14	14.9	13	14.9	8.7	3.9	5.1	4.8	117.2
梧棲												
1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
6.8	10.5	11.9	11.1	11.4	10.8	7.8	10.4	5.9	2.2	3.6	3.6	96

台中												
1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
7.4	9.6	11.7	10.7	12.8	16.1	14.8	16.4	8.9	3.4	4.4	5.7	121.9

表 3.15 沙鹿及附近地區之月平均降水強度 (mm/日)

(資料來源:中央氣象局與沙鹿區公所)

降水強度 (mm/日)												
沙鹿												
1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
3.9	6.2	6.6	10.7	12.2	19.3	13.6	15.8	13.3	4.9	3.3	3.6	11.2
梧棲												
1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
4.2	7.3	9.1	12.8	17.9	20.2	20.5	21.5	13.8	1.9	5.3	5.3	11.7
台中												
1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
4.6	7	3.4	11.5	17.8	23.5	18.1	19.9	15.8	5.5	4	4.5	11.3

表 3.16 沙鹿及附近地區之月平均相對濕度(%) (資料來源:中央氣象局與沙鹿區公所)

相對濕度(%)												
沙鹿												
1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
81.7	82.9	84.1	83.3	83.4	84.4	82.1	83.8	83.1	80.4	81.1	80.7	82.6
梧棲												
1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
78.4	80.5	81.1	79.6	80.9	80.7	78.1	79.3	78.7	75.7	74.8	75.3	78.6
台中												
1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
79.9	81.1	81.4	81.2	81.6	82	79.9	81.3	80.3	77.8	77.9	79.1	80.3


表 3.17 沙鹿及附近地區之月平均風速 (m/s)、風向 (資料來源:中央氣象局與沙鹿區公所)

月平均風向、風速 (m/s)												
沙鹿												
1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
10.2	9.8	8.9	6.9	6.7	6.9	7	6.6	7.1	9.3	10	10.6	7.5
NNE	NNE	NNE	NNE	S	S	S	S	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE
梧棲												
1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
7.3	7	5.8	4.5	6.3	3.6	3.5	3.6	4.5	6.6	7.2	7.1	5.6
NNE	NNE	NNE	NNE	NE	SSE	SSE	SE	NE	NE	NE	NNE	NNE
台中												
1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年平均
2	2	1.8	1.6	1.4	1.5	1.5	1.4	1.5	1.8	1.9	1.9	1.7
N	N	N	N	N	S	S	S	N	N	N	N	N

## 3.2 研究對象實驗模擬

### 3.2.1 沙鹿連棟式住宅現況資料

表 3.18 案例現況(資料來源:本研究 2025 拍攝)

連棟住宅現況圖	
	
114 年用電量(度)	2310 (度)
總樓地板面積(m <sup>2</sup> )	200.6 m <sup>2</sup>
EUI(kWh/m <sup>2</sup> ·yr)	11.52 kWh/m <sup>2</sup> ·yr

本研究案例位於台中市沙鹿區北勢里之連棟住宅社區，屬第二種住宅區，建築構造為鋼筋混凝土造，地上四層，共十七戶。基地面積為 1,918 m<sup>2</sup>，總樓地板面積為 3,470.15 m<sup>2</sup>，建築高度 15.15 m。

各樓層高度分別為一樓 3.2 公尺、二樓 3.4 公尺、三樓與四樓各 3.0 公尺，並於部分樓層設置外挑陽台。相關建築尺度與樓層資料係依據台中市建築執照存根查詢系統之核准內容建立，作為後續能耗與熱舒適模擬之幾何與物理基礎。

本研究選定台中市沙鹿地區之連棟住宅作為研究案例，其建築型式為地上多層之集合式住宅，具備典型台灣住宅配置特徵。一樓為停車空間、臥室及浴室、庭院；二樓為廚房、客廳、廁所、露台；三樓為主臥室及浴室、臥室及浴室；四樓為臥室、浴室、神明廳、陽台。案例住宅於民國 114 年進行現況調查與資料整理，作為後續建築能耗與熱舒適模擬分析之基礎。

依據現況資料彙整結果，案例住宅之總樓地板面積為 200.6 m<sup>2</sup>，基地及建築配置經整合後，建築朝向與使用型態具一定代表性。另依表 3.11 台灣電力每期電費單統計 114 年總用電量為 2310 度，得知該實際案例住宅之 EUI (Energy Use Intensity) 為 11.52，顯示在既有建築條件與使用情境下之能耗表現。

### 3.2.2 實驗模擬流程圖

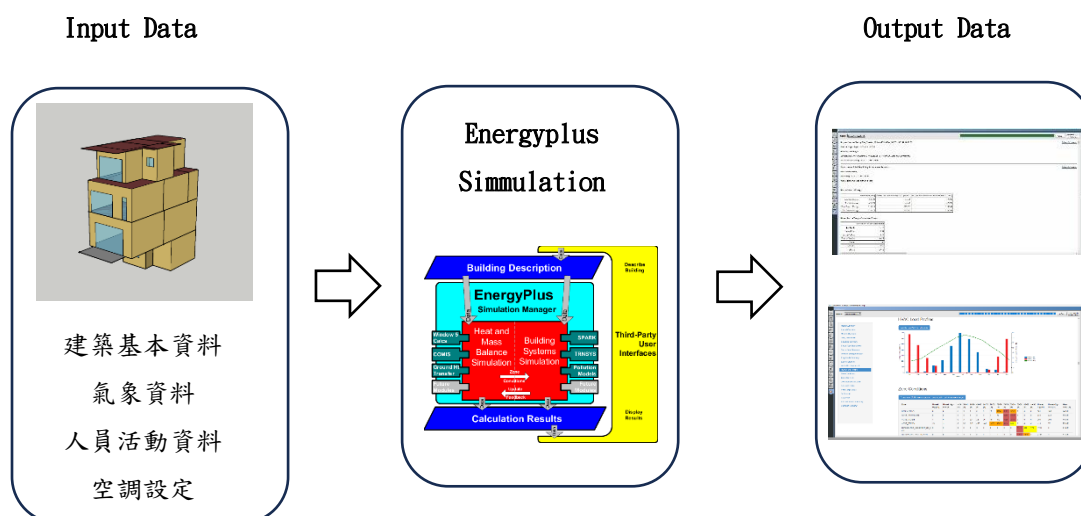


圖 3.4 模擬流程圖

本研究之建築能耗模擬流程如圖 3.4 所示，整體流程可區分為 輸入資料 (Input Data)、模擬運算 (Simulation) 與 輸出結果 (Output Data) 三個主要階段。

首先，在輸入資料階段，建立案例住宅之建築基本資訊，包含建築幾何形式、樓層配置、熱區分布、與外殼構造參數，並設定氣象資料、室內人員活動與設備使用情境，以及空調系統相關運轉條件。上述資料作為 EnergyPlus 模擬之基礎輸入條件，以確保模型能反映實際住宅使用狀況。

其次，於模擬運算階段，透過 EnergyPlus 能耗模擬引擎進行年度動態計算，模擬建築在不同氣候條件下之冷負荷、熱負荷及整體能源使用情形。模擬過程中，系統會依據設定之時間步長進行逐時運算，以分析建築熱行為與能耗變化趨勢。

最後，在輸出結果階段，彙整模擬所得之能耗數據，並以圖表與數值方式呈現，包括各時段能源使用量、負荷分布與相關分析結果，作為後續能耗評估、熱舒適分析與設計優化討論之依據。

### 3.2.3 模型建置

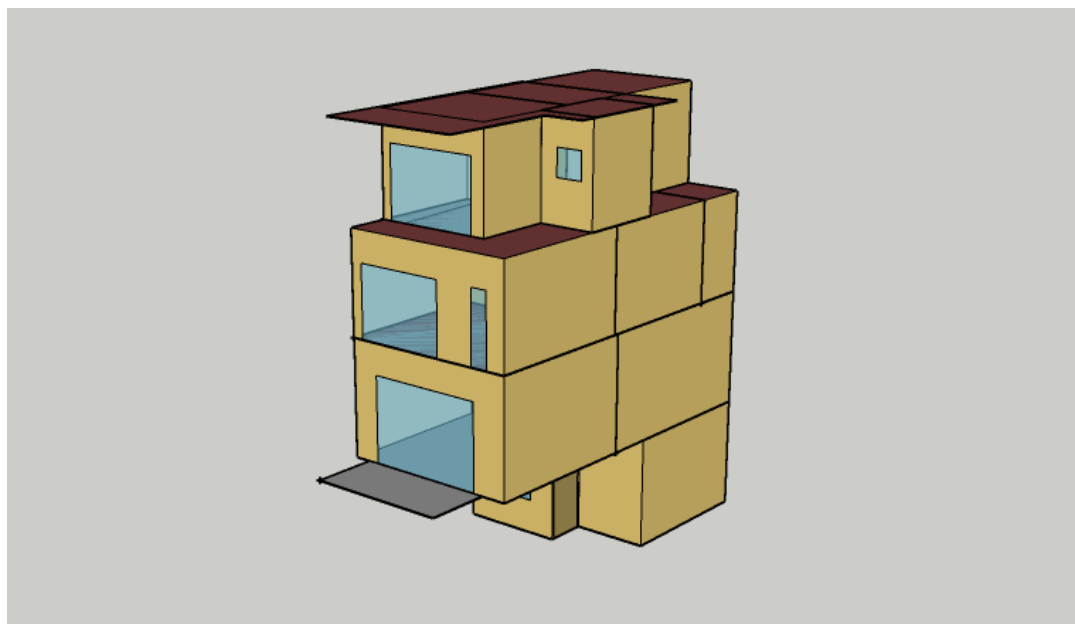


圖 3.5 建築案例模型(資料來源:本研究繪製)

本研究使用之主要工具為 SketchUp 與 OpenStudio，以建立研究案例之建築幾何模型，如圖 3.x 所示。現行 EnergyPlus 建模流程可支援由 Google 所發行之 SketchUp 軟體所繪製之建築幾何圖檔，於匯入前須先安裝 OpenStudio 外掛程式，以確保模型資料可正確轉換並進行後續能耗與熱舒適模擬分析。

SketchUp 為一套三維建模軟體，操作介面直覺，廣泛應用於建築設計、室內設計、景觀規劃及產品設計等領域。本研究利用 SketchUp 建立研究案例之三維建築模型，包含建築量體、樓層配置及空間劃分等基本幾何資訊，作為後續能源模擬之基礎模型。

OpenStudio 則為建構於 SketchUp 平台之能耗模擬外掛工具，主要功能為協助使用者以視覺化方式建立符合 EnergyPlus 模擬需求之建築幾何模型與熱區 (Thermal Zones) 設定。透過 OpenStudio，研究者可於 SketchUp 環境中完成空間分區、熱區設定與模型檢查，並將建築幾何資訊轉換為 EnergyPlus 可讀取之輸入檔案 (IDF)，以利後續進行建築能耗與熱舒適度之模擬分析。

綜合而言，本研究透過 SketchUp 建立建築三維幾何模型，並搭配 OpenStudio 外掛進行熱區設定與模型轉換，最終銜接 EnergyPlus 作為模擬引擎，以完成建築能耗與熱舒適度之分析流程。

### 3.2.4 流程介紹

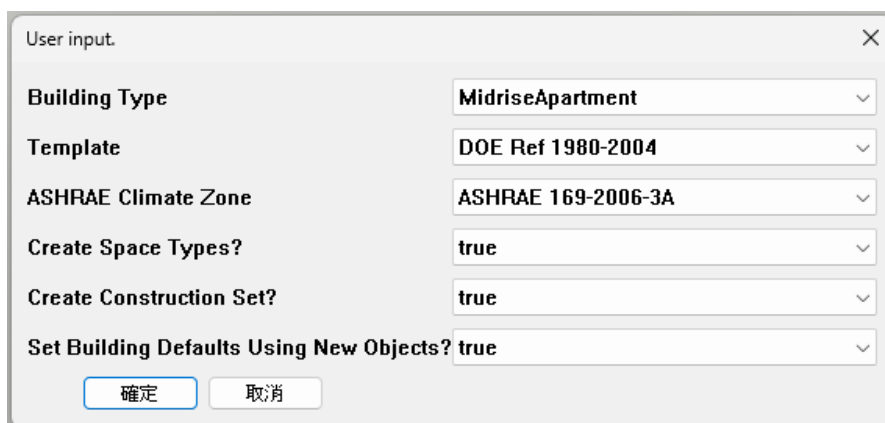


圖 3.6 建築案例參數模板設定(資料來源:本研究繪製)

本研究於 OpenStudio 環境中建立建築模型時，建築類型設定為中層集合住宅 (Midrise Apartment)，如圖 3.6 所示。並採用美國能源部 (DOE) 1980 - 2004 年既有建築參考模板作為基準設定。氣候區依 ASHRAE Standard 169 分類，設定為 Zone 3A (Warm-Humid)，以代表臺中沙鹿地區之高溫高濕氣候特性。

模型建置過程中，透過 OpenStudio 自動建立空間用途 (Space Types) 與建築構造組合 (Construction Set)，以確保各空間之使用負載與建築外殼熱性能具備一致且可比較之基準條件，作為後續能耗與熱舒適模擬分析之基礎。

考量研究案例為沙鹿地區之既有連棟住宅，本研究於基準模板下，依實際建築特性調整建築幾何配置、樓層數、空間分區、建築朝向及外殼開口配置等關鍵參數，其餘未涉及研究重點之設定則維持模板預設值，以確保模擬結果之可比較性，並聚焦分析設計條件對建築能耗與熱舒適表現之影響。

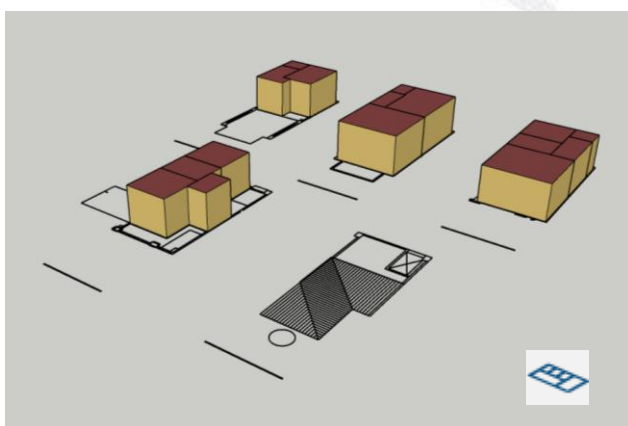


圖 3.7 建築案例量體建立

(資料來源:本研究繪製)

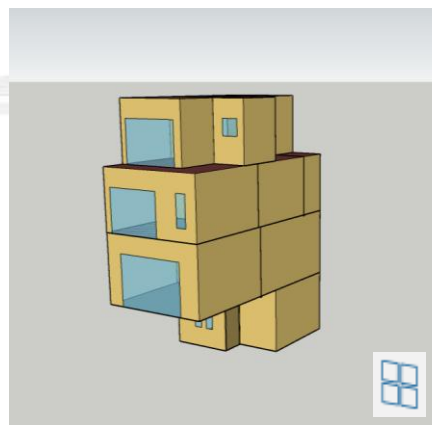


圖 3.8 建築案例窗戶建立

(資料來源:本研究繪製)

本研究依據研究案例之建築配置，於 SketchUp 與 OpenStudio 環境中建立建築量體模型 圖 3.7 示，完成室內外門窗建立 圖 3.8 示，並依各樓層實際使用情形進行室內空間分區設定。建築模型以樓層為單元進行幾何配置，並將各主要空間劃分為獨立之熱區 (Thermal Zones)，以作為後續建築能耗與熱舒適模擬

分析之基礎。

### 3.2.5 建築模型構件與邊界條件分類

表 3.19 建築模型構件分類與邊界條件之可視化檢查(資料來源:本研究整理)



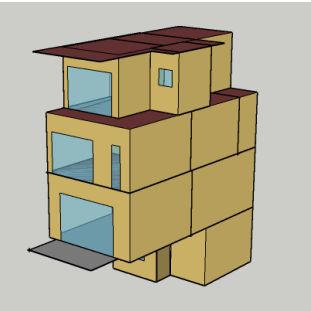
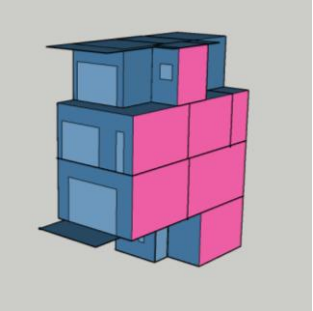


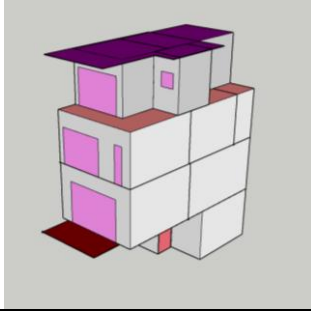
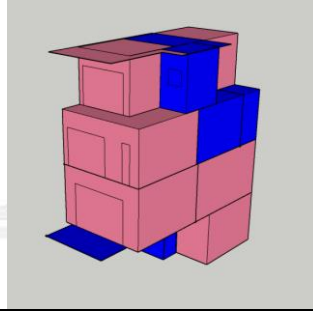


功能	 <b>Render By SurfaceType</b> Render objects by surface type	 <b>Render By Boundary Condition</b> Render objects by boundary condition
圖片		
說明	顯示外部構造，包含屋頂、外牆、外窗、遮陽板。	顯示邊界狀況，定義傳遞熱，紅色表示本案例成功隔絕了鄰棟住宅。
功能	 <b>Render By Construction</b> Render objects by construction	 <b>Render By Space Type</b> Render objects by space type
圖片		
說明	整棟住宅的構造材料分類表現。	定義空間類型，本案例區分主要活動空間與輔助空間(浴室、陽台)。
功能	 <b>Render By Thermal Zone</b> Render objects by thermal zone	 <b>Render By Building Story</b> Render objects by building story

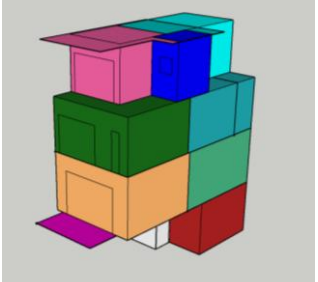
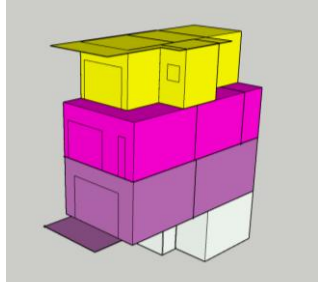
圖 片		
說 明	<p>本案例依據單一機能對應單一熱區進行分類。</p>	<p>本案例 1F +3.2m，2F + 6.6m，3F +9.6m，4F +12.6m。以疊加呈現。</p>

表 3.19 彙整本研究於 OpenStudio 環境中，透過不同 Render 功能對建築模型進行之可視化檢查結果。藉由構件表面類型 (Surface Type)、邊界條件 (Boundary Condition)、構造類型 (Construction)、空間用途 (Space Type)、熱區劃分 (Thermal Zone) 及樓層配置 (Building Story) 等分類顯示方式，確認建築模型之幾何構件、邊界設定、空間分區與熱區配置皆符合研究案例之實際建築特性與能耗模擬需求。此可視化檢查作為模型建置完成後之驗證步驟，確保後續建築能耗與熱舒適模擬分析之合理性與可靠性。

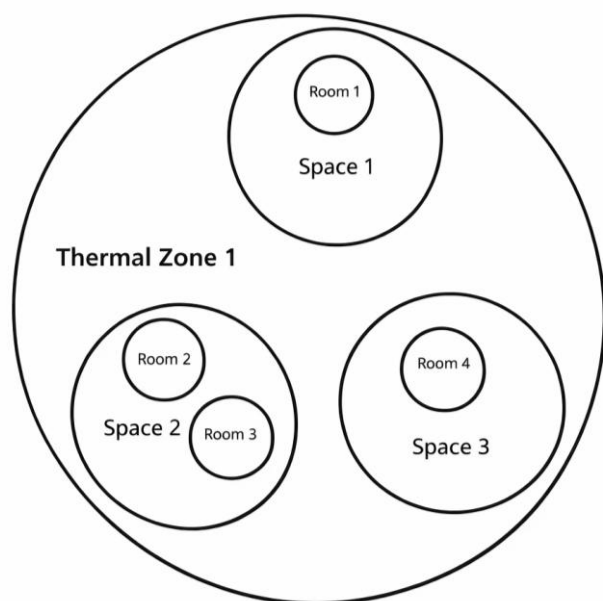


圖 3.9 OpenStudio 建築模型中 Facility、Thermal Zone、Space 與 Room 之層級關係示意

(資料來源:本研究繪製)

OpenStudio 之建築模型架構可分為 Facility、Thermal Zone、Space 與 Room 四個層級，圖 3.9 所示。其中，Facility 代表整體建築模型；Thermal Zone 為熱工分析之基本單元，用以計算空調負荷與熱傳行為；Space 為建築空間層級，通常依空間使用性質進行劃分；Room 則為幾何建模層級中較細部之房間單元，主要用於幾何描述。

在 OpenStudio 中，Space 並非單一實體房間的概念，而是可將多個幾何上相鄰、使用性質相同之 Room 合併為一個 Space，並賦予其對應之空間用途設定。各 Space 透過指派至同一 Thermal Zone，使其在能耗與熱舒適模擬中視為同一熱行為單元。

此外，**Space Type** 用以定義不同空間之使用型態，其內容包含人員密度、活動模式、照明負載、設備用電與其啟閉時程等參數。透過設定 **Space Type**，可使模型中各空間之使用行為與內部負載符合實際建築使用情形，並作為後續 **EnergyPlus** 能耗與熱舒適模擬之重要依據。

### 3.2.6 輸入氣象資料

建築物之空調能耗主要用以移除室內熱負荷，而建築室內熱環境與外界氣候條件之變化具有高度關聯性，其中以氣溫、太陽輻射量與濕度等氣象因子對建築熱負荷影響最為顯著。因此，在進行建築能耗模擬分析前，選用具代表性之氣象資料，為確保模擬結果合理性之重要前提。

本研究之建築能耗模擬係以 **EnergyPlus Weather File (EPW)** 作為氣象資料輸入檔案。EPW 為 **EnergyPlus** 所採用之標準氣象資料格式，內容包含逐時之乾球溫度、相對濕度、風速、風向、水平面太陽輻射量、直射太陽輻射量與散射太陽輻射量等氣象參數，如表 3.20 所示，其中太陽輻射數據為各時間步內之累積值，對於建築外殼得熱與冷房負荷計算具有關鍵影響。

為分析建築於一年週期中之能源消耗情形，本研究模擬期間設定為一年（共 8760 小時）。考量單一年份之實測氣象資料可能受極端氣候條件影響，無法充分代表長期氣候特性，本研究採用 **標準氣象年 (Typical Meteorological Year, TMY)** 作為模擬基準。標準氣象年係由多年實測氣象資料經統計方法篩選與重組而成，以一組具代表性之一年逐時氣象資料，反映研究地區之長期平均氣候條件，常用於建築能耗模擬研究中。

本研究所使用之氣象資料來源為 **Climate.OneBuilding.Org** 所提供之 **TMY3 標準氣象年資料**。該網站整合多個國際氣象資料來源，並依據 **EnergyPlus** 標準格式提供全球各地區之氣象檔案，廣泛應用於建築能耗與環境模擬研究。所採用之 **TMY3** 氣象資料係透過多年歷史氣象觀測資料，經統計篩選方法 (**Sandia Method**) 建構而成，以代表研究地點之長期氣候特性。

研究案例位於臺中市沙鹿地區，故本研究選用 **Taichung (591580) TMY3 氣象資料** 作為模擬輸入。該資料集包含 **EPW** 主氣象檔，以及 **CLM**、**STAT**、**RAIN**、**WEA** 等輔助檔案，其中 **EPW** 檔案作為 **EnergyPlus** 模擬之主要氣象邊界條件輸入，其餘檔案則提供氣候統計資訊與延伸應用之參考。本研究即以該 **EPW** 氣象檔案進行建築能耗與熱舒適度之模擬分析，以確保模擬結果能合理反映研究基地之區域氣候特性。

表 3.20 EPW 包含之天氣元素(資料來源:本研究整理)

中文	英文	單位
日期	Date	無
時間	Time	無
乾球溫度	Dry Bulb Temperature	°C
露點溫度	Dew Point Temperature	°C
相對濕度	Relative Humidity	%
大氣壓	Atmospheric Pressure	Pa
逐時地外水平面輻射量	Hourly Extraterrestrial Radiation on a Horizontal Surface	Wh/m <sup>2</sup>
逐時地外法線面輻射量	Hourly Extraterrestrial Radiation Normal to the Sun	Wh/m <sup>2</sup>
全天空水平面日射量	Global Horizontal Irradiance	Wh/m <sup>2</sup>
直達日射量	Direct Normal Irradiance	Wh/m <sup>2</sup>
漫射日射量	Diffuse Horizontal Irradiance	Wh/m <sup>2</sup>
總水平照度	Global Horizontal Illuminance	lux
直達照度	Direct Normal Illuminance	lux
散射水平照度	Diffuse Horizontal Illuminance	lux
天頂亮度	Zenith Luminance	cd/m <sup>2</sup>
風向	Wind Direction	degrees
風速	Wind Speed	m/s
總雲量	Total Sky Cover	無
散光雲量	Opaque Sky Cover	無
水平能見度	Horizontal Visibility	m
雲高	Ceiling Height	m
當前天氣觀測	Present Weather Observation	無
當前天氣代碼	Present Weather Codes	無
可降水量	Precipitable Water	mm
氣膠光學厚度	Aerosol Optical Depth	無
反照率	Albedo	無
液態降雨深度	Liquid Precipitation Depth	mm
液體降雨量	Liquid Precipitation Quantity	hr

### 3.2.7 輸入建築資料

本研究在建立建築能耗與熱舒適模擬模型時，參考既有文獻中關於建築外遮陽設計與室內熱環境影響之模擬方法，並依研究目的進行參數調整與重構。過往研究多將模擬條件區分為固定參數與變動參數，並針對外部氣候條件、空間使用型態及開口配置進行系統性設定。基於此，本研究依循相關方法架構，並結合研究基地之實際條件，建立具代表性之模擬設定基準。研究過程主要透過建築性能模擬軟體進行分析，探討不同外遮陽形式對室內能耗與熱舒適之影響。在模擬執行前，先針對各項參數進行明確定義與分類，包括外部環境條件、室內空間特性及建築構造設定等，以確保模擬結果之穩定性、一致性與可比較性。

#### 一、建築模擬輸入條件

本研究將建築模擬之輸入參數依其性質區分為固定參數與操作參數，並進一步細分為外部環境、室內條件、開口與構造及機電條件等類別。各項參數設定係依研究基地實際條件及相關文獻進行調整，以確保模擬結果之合理性與可比較性，其具體設定內容彙整於表 3.21。

表 3.21 建築模擬輸入參數設定表(資料來源:本研究整理)

參數類型	分類	項目	設定內容	設定依據說明
固定參數	外部環境	地理位置	台灣台中沙鹿地區	依研究基地實際位置設定
		氣象資料	TMYx (2009 - 2023) 台中測站	採用典型氣象年以反映長期氣候
		經緯度	24° 13' 51" N, 120° 34' 09" E	對應氣象資料座標
		周邊遮蔽	兩側鄰房遮蔽	模擬實際都市環境條件
固定參數	室內條件	空間用途	一般住宅使用	提升結果通用性
		空間形式	矩形空間	簡化模型並控制變因
		樓層設定	1F - 4F, 各樓層高度依現況	反映實際建築配置
操作參數	開口與構造	開窗設定	依各樓層實際開口尺寸	作為遮陽分析基礎
		牆體設定	依既有建築材料與厚度	確保模擬合理性
固定參數	機電條件	空調溫度範圍	18°C - 26°C	依一般住宅使用行為設定
		運轉時間	依居住者作息設定	模擬實際能源使用情境

…詳細資料參照下列圖與表

## 二、人員活動設定

本研究依據常見家庭組成與日常生活作息建立人員活動模型，並選取使用頻率較高之主要活動空間作為模擬對象，以反映實際居住行為對建築熱環境之影響。各時段之活動設定係參考一般家庭作息模式，並區分平日與假日之使用差異，且考量人員外出與在宅行為，以提升模擬條件之合理性與準確性，其詳細內容如表 3.22 所示，作為後續熱舒適與能耗分析之基礎。

表 3.22 各空間活動設定表(資料來源:本研究整理)

人數	4 人 (父、母、兩個小孩)								
	平日				假日				
時間	父親	母親	小孩 1	小孩 2	父親	母親	小孩 1	小孩 2	
小時	父親	母親	小孩 1	小孩 2	父親	母親	小孩 1	小孩 2	
1	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	
2	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	
3	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	
4	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	
5	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	
6	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	
7	盥洗	睡眠	盥洗	盥洗	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	
8	出門	盥洗	早餐	早餐	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	
9	—	出門	—	—	盥洗	盥洗	盥洗	盥洗	
10	—	—	—	—	接待	接待	早餐	早餐	
11	—	—	—	—	接待	做菜	休息	念書	
12	—	—	—	—	午餐	午餐	午餐	午餐	
13	—	—	—	—	接待	接待	念書	休息	
14	—	—	—	—	接待	—	念書	休息	
15	—	—	—	—	—	—	—	—	
16	—	—	—	—	—	—	—	—	
17	—	返家	—	—	—	—	—	—	
18	返家	做菜	晚餐	晚餐	—	—	—	—	
19	晚餐	晚餐	念書	洗澡	休息	休息	休息	休息	3F 主臥室
20	休息	洗澡	念書	休息	休息	休息	休息	休息	3F 臥室
21	洗澡	休息	洗澡	念書	洗澡	休息	洗澡	洗澡	4F 臥室
22	睡眠	休息	休息	念書	睡眠	洗澡	休息	休息	2F 客廳
23	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	2F 餐廳
24	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	睡眠	— 無使用

### 三、空間設定資訊

本研究彙整建築模型中各主要空間之使用參數設定，包含使用人數、人體發熱量、著衣量、空調類型及使用時間等項目。各空間之使用人數依一般住宅情境配置，人體發熱量採 120 W/人之標準值；著衣量參考 ASHRAE 55 建議值，設定為 0.5 clo，以反映臺中沙鹿地區冷房環境下之典型穿著狀態。在空調設定方面，臥室與客廳以冷氣空調為主，並依平日與假日作息設定使用時段；餐廳則因使用時間集中，設定為自然通風情境。透過上述設定，使模型能反映實際住宅使用行為，並作為後續能耗與熱舒適模擬分析之基礎。此外，各空間機能對應為獨立熱區 (Thermal Zone)，以利分析。其內容彙整如表 3.23 所示。

表 3.23 空間使用參數設定表(資料來源:本研究整理)

空間類型	參數項目	設定值	單位	設定依據說明
3F 主臥室	使用人數	2	人	依住宅實際使用情境配置
	人體發熱量	120	W/人	採住宅常用標準值
	著衣量	0.5	clo	參考 ASHRAE 55 建議值
	空調型式	冷氣	—	主要居住空間配置
	使用時間(平日)	22:00 - 07:00	hr	依一般作息設定
	使用時間(假日)	22:00 - 08:00	hr	反映生活型態差異
3F 臥室	使用人數	1	人	單人使用空間
	人體發熱量	120	W/人	同上設定
	著衣量	0.5	clo	同上設定
	空調型式	冷氣	—	夜間使用為主
	使用時間(平日)	23:00 - 06:00	hr	依居住行為設定
	使用時間(假日)	22:00 - 08:00	hr	延長休息時間
4F 臥室	使用人數	1	人	單人使用空間
	人體發熱量	120	W/人	同上設定
	著衣量	0.5	clo	同上設定
	空調型式	冷氣	—	夜間使用為主
	使用時間(平日)	20:00-06:00	hr	依居住行為設定
	使用時間(假日)	22:00-11:00	hr	延長休息時間
2F 客廳	使用人數	4	人	家庭共用空間
	人體發熱量	120	W/人	統一設定
	著衣量	0.5	clo	依冷氣環境
	空調型式	冷氣	—	主要活動空間
	使用時間(平日)	20:00 - 22:00	hr	晚間活動為主
	使用時間(假日)	19:00 - 22:00	hr	使用時間延長

空間類型	參數項目	設定值	單位	設定依據說明
2F 餐廳	使用人數	4	人	短時段使用
	人體發熱量	120	W/人	統一設定
	著衣量	0.5	clo	同上
	空調型式	自然通風	—	非長時間停留空間
	使用時間(平日)	18:00 - 19:00	hr	用餐時段
	使用時間(假日)	10:00 - 12:00	hr	白天活動

#### 四、材質設定資訊

本研究依據台中沙鹿地區既有住宅之常見構造形式與常用建材，建立建築圍護構造之熱工參數設定，以反映當地氣候條件與實際建築性能，其相關模擬設定內容彙整如表 3.24 所示。

表 3.24 建築圍護構造熱工參數設定（沙鹿住宅案例）（資料來源：本研究整理）

構件類型	構造組成（由外至內）	熱傳透率 U-value ( $W/m^2 \cdot K$ )	太陽反 射率	設定依據說明
屋頂 (RC)	RC 樓板 (150mm) + 防水層 + 隔熱層 (未全面設置)	0.85	0.55	沙鹿常見透天屋頂，隔熱性能中等
外牆 (西向)	鋼筋混凝土 (120mm) + 水泥粉刷	1.80	0.45	西曬面未加隔熱，熱負荷較高
外牆 (其他向)	鋼筋混凝土 (120mm) + 水泥粉刷	1.60	0.50	非主要曝曬面
地板 (1F)	混凝土樓板 (100mm) + 地磚	0.90	0.60	接地樓板熱交換較穩定
窗戶	單層清玻璃 (6mm) + 鋁框 (無斷熱)	5.80	0.75	台灣常見舊式窗型，隔熱差
外門	木門 (40mm)	2.20	0.65	一般住宅出入口設定

#### 五、實驗模組設定

本研究針對沙鹿地區高溫高濕且西曬顯著之氣候條件，探討外遮陽設計對住宅室內熱舒適與冷房能耗之影響。考量當地夏季日照強烈、午後西向輻射顯著，遮陽設計以阻擋直射日照與降低太陽得熱為主要目標。研究中以外遮陽構件為主要操作變因，並將其設計參數區分為遮陽形式、設置方向、幾何尺度及配置密度等面向，透過不同參數組合建立多組模擬情境，以系統化方式分析其對室內溫度、PMV 及能耗之影響，並評估不同遮陽策略之節能效益與熱舒適改善潛力。各項模擬設定內容彙整如表 3.25 所示。

表 3.25 外遮陽實驗模組設定(資料來源:本研究整理)

參數類型	模組編號	設計變因	設定內容	設計目的
基準組	M0	無遮陽	無外遮陽構件	作為比較基準
遮陽形式	M1	水平遮陽	適用南向開口	阻擋高角度日照
	M2	垂直遮陽	適用東西向開口	阻擋低角度日照
	M3	水平+垂直(複合式)	格柵或框架式遮陽	提升全天遮蔽效果
設置方向	M4	西向強化遮陽	僅西向設置	對應沙鹿西曬問題
	M5	全向遮陽	各向均設置	比較整體效果
幾何尺度	M6	淺遮陽	深度 0.5 m	基本遮蔽效果
	M7	中遮陽	深度 1.0 m	常見設計尺度
	M8	深遮陽	深度 1.5 m	最大遮蔽能力
密度(遮蔽率)	M9	低密度	遮蔽率約 30%	保留採光
	M10	中密度	遮蔽率約 50%	平衡遮陽與採光
	M11	高密度	遮蔽率約 70%	強遮陽效果

## 第四章 數值模擬結果與分析

### 4.1 模擬結果

本章透過建築能耗模擬與熱舒適評估方法，系統性分析不同設計策略對建築性能之影響。研究採用 EnergyPlus 作為核心模擬引擎，並結合 OpenStudio 建立建築模型與參數設定，針對案例住宅於不同遮陽與空間條件下進行動態模擬分析。

分析指標涵蓋熱環境與能耗兩大面向，包括室內空氣溫度 (Zone Air Temperature)、平均輻射溫度 (MRT)、操作溫度 (Operative Temperature)，以及依據 ASHRAE 55 所計算之熱舒適指標 (PMV/PPD 與適應性模型)。透過跨情境比較分析，評估各設計策略對降低冷房能耗與提升室內舒適度之效益，並建立後續設計優化之依據與決策基礎。

表 4.1 熱環境與熱舒適模擬輸出指標說明表 (EnergyPlus / OpenStudio 模擬)

(資料來源:本研究整理)

指標名稱(英文)	中文名稱	單位	指標意義說明	本研究用途
Zone Air Temperature	區域空氣溫度	°C	代表該熱區內空氣的即時溫度，主要受外殼熱傳、內部熱負荷及通風條件影響	作為基本室內熱環境指標，分析遮陽對室內降溫之影響
Zone Mean Radiant Temperature	平均輻射溫度 (MRT)	°C	反映人體所接收來自牆面、地坪、天花與窗戶的平均輻射溫度	評估外遮陽對建築外殼表面輻射熱的改善效果
Zone Operative Temperature	操作溫度	°C	空氣溫度與平均輻射溫度之加權平均，最能反映人體實際熱感受	作為本研究主要熱舒適比較指標
Zone Thermal Comfort Fanger Model PMV	預測平均投票值 (PMV)	-	依據 Fanger 模型，綜合溫度、輻射、濕度、活動量與衣著，預測人體熱感受 (-3~+3)	用以定量評估遮陽前後熱舒適改善程度
Zone Thermal Comfort Fanger Model PPD	不滿意人數比例 (PPD)	%	由 PMV 推導，表示預測對熱環境感到不滿意之人數比例	作為熱不舒適風險指標，判斷遮陽是否有效降低不適比例

指標名稱(英文)	中文名稱	單位	指標意義說明	本研究用途
Zone Thermal Comfort ASHRAE 55 Adaptive Model Temperature	適應性舒適溫度	°C	依據 ASHRAE 55 適應性模型，由室外移動平均溫度推估可接受之室內舒適溫度	作為自然通風與被動設計情境下的舒適基準
Zone Thermal Comfort ASHRAE 55 Adaptive Model Running Average Outdoor Air Temperature	移動平均室外溫度	°C	代表使用者對近期氣候的熱適應背景	作為適應性舒適判斷之依據
Zone Thermal Comfort ASHRAE 55 Adaptive Model 80% Acceptability Status	80% 可接受性狀態	0 / 1	判斷當下室內操作溫度是否落於 ASHRAE 55 規定之 80% 使用者可接受範圍內	用於統計舒適時數與可接受比例

表 4.2 本研究熱舒適指標分析架構(資料來源:本研究整理)

指標類型	對應變數	分析目的
基礎熱環境	Air Temp、MRT	說明遮陽對室內熱環境物理條件的影響
人體感受指標	Operative Temp	作為主要舒適判斷依據
國際熱舒適模型	PMV / PPD	量化遮陽前後熱舒適改善幅度
適應性舒適模型	ASHRAE 55 Adaptive	評估在台灣氣候條件下自然通風住宅的實際舒適表現
時數型指標	Acceptability Status	轉化為「可接受時數／不舒適時數」以利比較

本研究透過 EnergyPlus 模擬輸出區域空氣溫度、平均輻射溫度、操作溫度以及 PMV/PPD 與 ASHRAE 55 適應性熱舒適指標，綜合分析外遮陽設計對住宅室內熱環境與人體熱舒適之影響。



## 4.2 結果初步說明

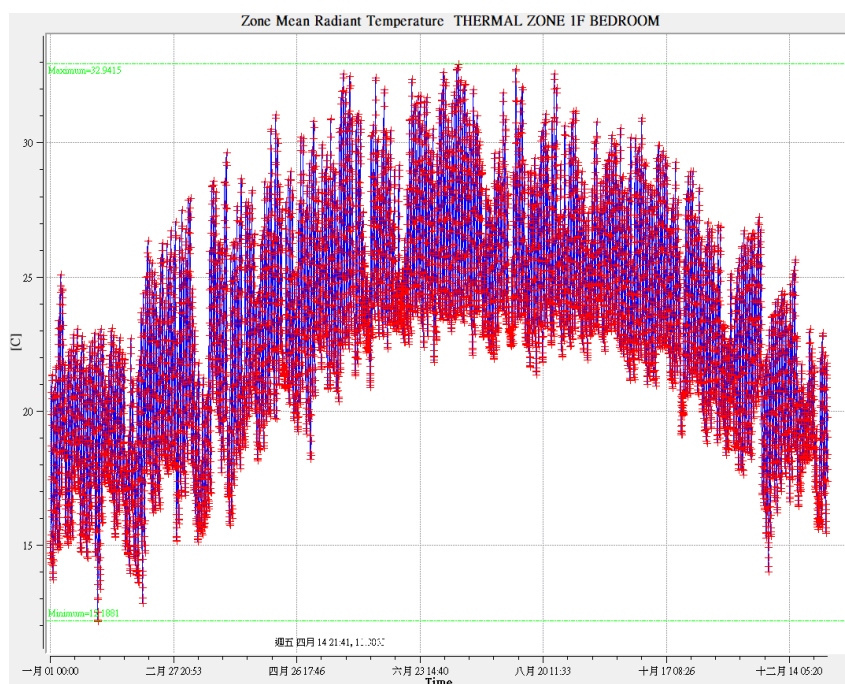


圖 4.4 THERMAL ZONE 1F BEDROOM Run Period Hourly  
Zone Mean Radiant Temperature (區域平均輻射溫度, MRT)  
(資料來源:本研究整理)

(1)指標說明:Zone Mean Radiant Temperature (MRT) 平均輻射溫度  
代表:室內所有表面(牆、窗、地板、天花板)對人體的平均輻射熱影響。  
指標介紹:人體感受到的熱不只有空氣溫度,還包括牆面與窗戶的輻射熱。

(2)模擬顯示:從圖 4.4 分析以下三點。

1. 夏季 MRT 明顯升高。
2. 最高約 30°C 以上。
3. 冬季 MRT 降低。

(3)小結: 太陽輻射對室內表面影響很大。

根據圖 4.4 模擬結果顯示,臥室空間之平均輻射溫度(Mean Radiant Temperature, MRT)於夏季期間明顯上升,最高可達 30°C 以上。此現象主要受到太陽輻射透過窗戶進入室內,並加熱室內表面所致。當建築外殼缺乏遮陽設計時,室內牆面與窗面溫度升高,使人體所感受之熱輻射增加,進而降低室內熱舒適度。

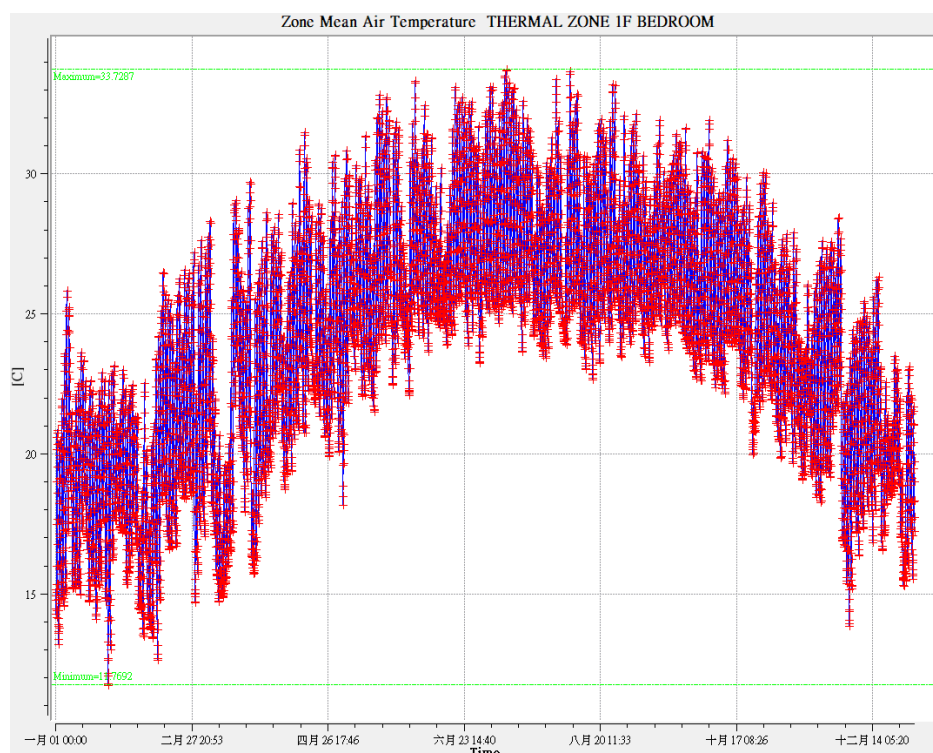


圖 4.5 THERMAL\_ZONE\_1F\_BEDROOM Run Period Hourly  
Zone Mean Air Temperature (區域平均空氣溫度)  
(資料來源:本研究整理)

(1)指標說明: Zone Mean Air Temperature 室內平均空氣溫度

代表: 室內空氣實際溫度。

單位: %RH

(2)模擬顯示:從圖 4.5 分析以下三點。

1. 冬季約 18 - 22°C
2. 夏季約 28 - 32°C
3. 最高溫約:31°C。

(3)小結: 夏季室內過熱問題明顯。

模擬結果顯示,臥室空間之平均室內空氣溫度(Mean Air Temperature)於夏季期間明顯升高,最高可達 31°C。此結果顯示在未設置遮陽設計的情況下,住宅室內容易產生過熱現象。高溫環境將導致室內熱舒適度下降,並增加冷房需求。

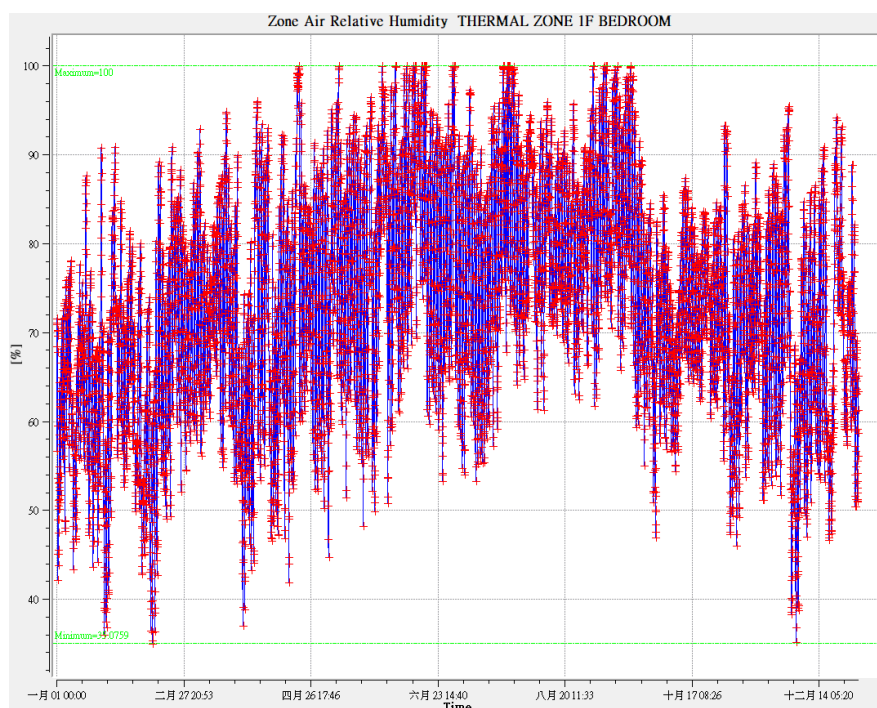


圖 4.6 THERMAL ZONE 1F BEDROOM Run Period Hourly  
Zone Air Relative Humidity (區域空氣相對濕度)

(資料來源:本研究整理)

(1)指標說明:

Zone Air Relative Humidity 室內相對濕度

代表：室內空氣的水氣含量。

單位：%RH

(2)模擬顯示:

從圖 4.6 分析以下三點:

1. 濕度大約 50% - 75%
2. 夏季濕度較高
3. 波動非常大

(3)小結: 台灣屬於亞熱帶濕熱氣候。

模擬結果顯示，臥室空間之相對濕度 (Relative Humidity) 全年約維持在 50%至 75%之間，並於夏季期間呈現較高濕度。由於台灣屬亞熱帶濕熱氣候，高溫與高濕度環境容易降低人體熱舒適度。當室內濕度超過 70%時，人體蒸發散熱能力降低，使悶熱感增加。

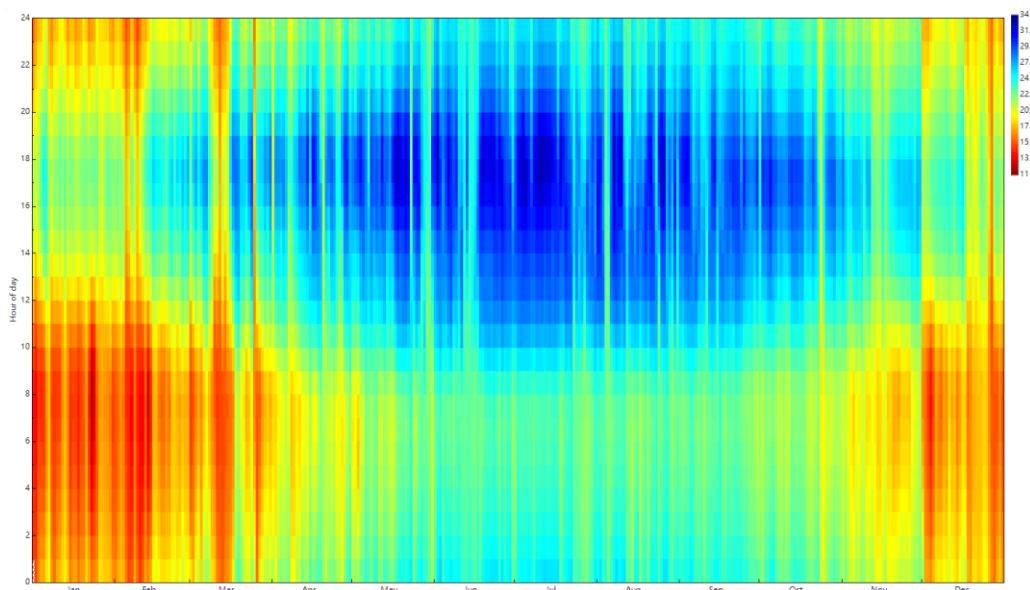


圖 4.7 THERMAL ZONE 1F BEDROOM Run Period Hourly  
Zone Mean Radiant Temperature (區域平均輻射溫度, MRT)  
(資料來源:本研究整理)

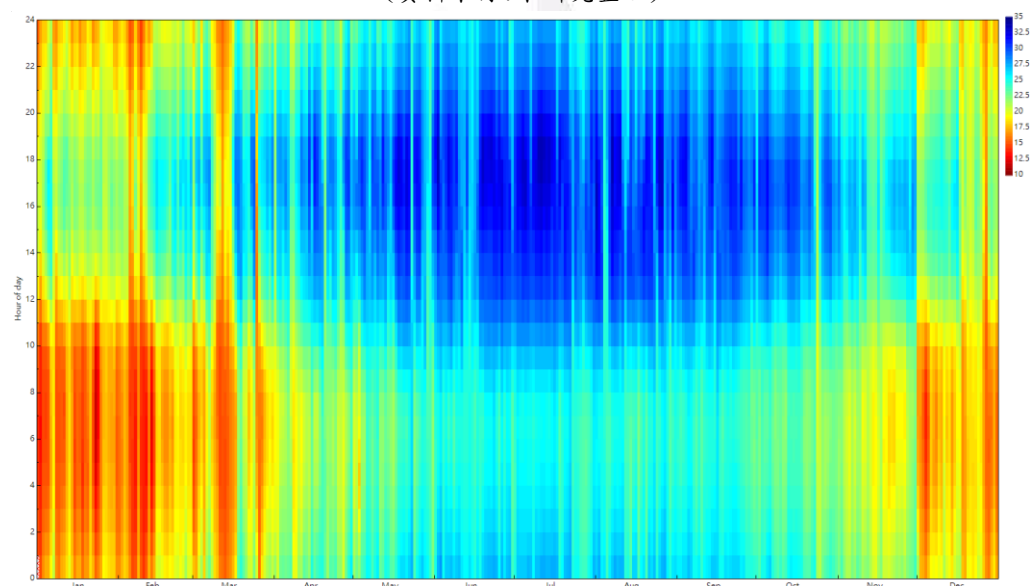
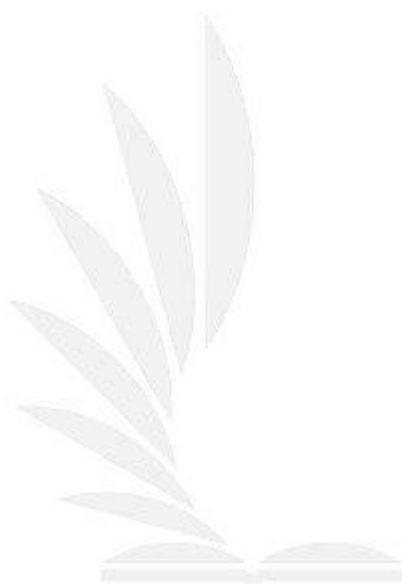


圖 4.8 THERMAL ZONE 1F BEDROOM Run Period Hourly  
Zone Mean Air Temperature (區域平均空氣溫度)  
(資料來源:本研究整理)

本研究透過逐時模擬結果，以熱圖呈現臥室區域全年平均輻射溫度 (MRT) 與平均空氣溫度分布情形如圖 4.7、圖 4.8 所示。由圖可觀察到兩者皆呈現相似變化趨勢，夏季期間 (約 6-9 月) 溫度明顯升高，顏色分布偏向暖色區域，顯示室內熱環境較為悶熱；而冬季 (12-2 月) 則以較低溫之冷色區域為主。整體而言，平均輻射溫度與空氣溫度變化趨勢一致，顯示太陽輻射與外部氣候條件對室內熱環境具有顯著影響，亦說明遮陽設計在改善住宅熱舒適度方面具有重要作用。

## 4.2 小結

綜合分析室內平均氣溫 (Air Temperature)、平均輻射溫度 (MRT) 與相對濕度 (Relative Humidity) 之模擬結果可發現，夏季期間室內溫度與輻射溫度皆顯著升高，且濕度維持於 60% 以上，使室內環境呈現高溫高濕狀態。此種環境條件容易造成室內過熱問題，並降低居住者之熱舒適度。因此，透過建築遮陽設計降低太陽輻射進入室內，將有助於改善住宅熱舒適環境。



## 第五章 評圖記錄和討論

本章整理本研究於專題研究過程中三次評圖之意見與修正內容，透過指導教授與評圖委員之建議，檢視研究題目、研究動機、研究範圍及研究方法等架構，並逐步進行修正與強化。初期評圖主要針對研究限制條件、研究目的與模擬情境設定進行調整；中期評圖則補充基地氣候背景、研究案例選擇與研究範圍界定；期末評圖進一步強化數值模擬方法、因子分析與結果比較分析。透過各階段評圖建議之整理與回應，使本研究架構更加明確，並提升研究方法與分析結果之完整性與合理性。

### 5.1 期初評 2025/10/17(第一次評圖)

#### 1 研究要說清楚「限制條件」

老師建議：研究限制、探討面向、研究方法、控制變數。

希望：研究要先說明。研究地點：沙鹿連棟住宅；氣候條件海線、風大、濕熱；

研究對象：住宅遮陽設計。並且要說明：哪些變數固定。

舉例：固定建築材料、建築尺寸、使用行為；改變遮陽深度、遮陽形式。

這叫控制變因研究。

---

#### 2 研究目的要更清楚 (for what)

老師建議：目的 for what，因為要做到什麼。

希望：研究不是只是「模擬遮陽」而是要解決什麼問題。

舉例：沙鹿住宅夏季過熱；冷房能耗高；熱舒適差。

所以研究目的是找出最有效遮陽設計。

---

#### 3 要有「情境設定」

老師建議：情境設置、測試效益。

舉例：要設定不同情境例如 Case1 無遮陽、Case2 30cm、Case3 60cm、Case4 90cm。然後比較溫度、PMV、PPD、能耗。

---

#### 4 要有「比較」

老師建議：新模式、傳統模式，改變討論。

希望：要做對照研究。

舉例：傳統住宅 VS 遮陽設計住宅，然後比較差異。

---

#### 5 要說明研究價值

老師建議：EUI、能源使用效率、CO2 排放。

希望：研究其實可以說節能，不只是舒適，而是降低冷房能耗、降低碳排。

---

## 6 研究方法

老師建議：電腦模擬 EnergyPlus / CFD。

希望：研究方法是 EnergyPlus 模擬，(CFD 可以不做)。

整理後的研究邏輯：

問題：沙鹿住宅夏季過熱。研究目的：找出最佳遮陽設計。研究方法：EnergyPlus 模擬。研究變數：遮陽深度。研究指標：PMV / 溫度 / 能耗。

整理後的回應紀錄：

本研究以台中沙鹿連棟住宅為研究案例，由於海線地區日照強烈且氣候濕熱，住宅容易產生過熱問題，因此希望透過遮陽設計改善室內熱舒適環境。

研究方法採用 EnergyPlus 建築能源模擬，建立住宅模型並設定不同遮陽情境，包括無遮陽、30cm、60cm 與 90cm 遮陽深度。透過比較各情境之室內溫度、PMV 與 PPD 指標，分析遮陽設計對住宅熱舒適度之影響。

本研究希望找出適合沙鹿地區住宅之遮陽設計策略，以降低太陽輻射對室內環境的影響，並提升住宅熱舒適度與能源使用效率。

## 5.2 期中評 2025/11/28(第二次評圖)

### 1 研究題目要更完整

原研究題目偏向單一遮陽設計分析，研究範圍較為模糊。經評圖建議後，重新聚焦於住宅建築遮陽設計對能耗與熱舒適之影響，並透過建築能源模擬分析不同遮陽策略之效益。

調整後研究方向為：

- 以沙鹿地區連棟住宅為研究案例。
- 分析不同遮陽設計對建築能耗與室內熱舒適之影響。
- 探討在地氣候條件下，最低成本且有效的遮陽策略。

### 2 沙鹿基地環境要補充

評圖建議補充基地氣候與環境背景，以強化研究合理性。

本研究補充內容包括：

- 沙鹿地區氣候特性
- 濱海氣候影響
- 海陸風環境
- 高溫高濕氣候

並整理以下資料：

- 月平均氣溫
- 月平均濕度
- 月平均風速

- 太陽輻射  
以說明沙鹿地區住宅在夏季常面臨 高溫、強日照與熱舒適問題。
- 

### 3 說明為何選擇連棟住宅

評圖建議需說明研究案例選擇原因。

本研究選擇連棟住宅之原因包括：

1. 台灣都市住宅常見類型
2. 高建蔽率與密集開發
3. 側向通風較受限制
4. 遮陽設計對熱環境影響明顯

因此，以連棟住宅作為案例具有代表性與研究價值。

---

### 4 研究變因要清楚

評圖建議需明確界定研究範圍。

本研究範圍包括：


研究內容

- 遮陽設計
- 建築能耗
- 室內熱舒適

研究工具

- SketchUp
- OpenStudio
- EnergyPlus

研究指標

- Cooling Energy
  - PMV
  - PPD
- 

### 5 研究範圍要縮小

評圖建議研究範圍過大，因此進行聚焦。

本研究將主要探討：

不同遮陽設計對住宅熱舒適與冷房能耗之影響，

研究項目包括：

- 無遮陽
- 陽台遮陽
- 槽板遮陽
- 綠化遮陽

並比較各遮陽方式之節能效果與舒適度改善程度。

---

## 6 要分析熱來源

評圖建議補充文獻來源。

本研究新增文獻來源包括：

國際期刊

- Energy and Buildings
- Building and Environment
- Sustainable Cities and Society

中文期刊

- 建築學報
- 建築與環境
- 綠建築相關研究

以建立遮陽設計、建築能耗與熱舒適之理論基礎。

---

## 7 研究核心目標

經評圖建議後，本研究核心目標為：

1. 建立沙鹿住宅建築能源模擬模型
2. 分析不同遮陽設計對能耗影響
3. 評估室內熱舒適表現
4. 找出最有效的遮陽策略

最終目的為：

提出適合沙鹿地區住宅之節能遮陽設計建議。本研究依據評圖建議進行研究架構與方法調整，以提升研究完整性與分析深度。

## 5.3 期末評 2025/12/26(第三次評圖)

### 一、研究題目要重新定義「新加坡」

「新加坡的定義（目前案例偏向傳統）」，現在的研究比較像傳統遮陽研究。

### 二、研究要強調「數值模擬的意義」

老師建議：「數值模擬的意義」。

希望：不能只說用 EnergyPlus 模擬，而是要解釋：為什麼用模擬。

例如：建築能源模擬可在設計階段評估不同設計策略對建築能耗與室內熱舒適的影響，因此本研究利用 EnergyPlus 進行數值模擬分析。這叫研究方法合理性

### 三、研究核心是「因子分析」

老師在第三張寫很重要的一句：因子分析，這是老師最想看到的。

希望：研究不是模擬一個案例，而是找出影響熱舒適的因子。

例如：**研究因子**。遮陽：陽台、槽板、窗牆比：WWR、朝向：東西南北、外殼材料：RC。現在主要是：**遮陽**。可以變成遮陽類型 → 能耗 → PMV。

---

#### 四、PMV 要設定條件

老師建議：PMV（設定）。

希望：PMV 不是自動算。要說明：PMV 參數。Clothing: 0.5 clo、Metabolic rate: 1.0 met、Air velocity: 0.1 m/s。這些是 ASHRAE 55。

---

#### 五、設備與使用行為

老師建議：設備（控制）的相關設定

希望：要設定冷氣：分離式、COP: 3.0、使用時間：晚上。否則模擬不準。

---

#### 六、研究結果要有「分析」

老師建議：分析要強化

希望：第四章不能只是，CASE1、CASE2、CASE3，而要比較，如表 5.1 所示。

表 5.1 不同遮陽設計方案之冷房能耗與熱舒適指標比較分析（資料來源：本研究整理）

Case	Cooling Energy	PMV
無遮陽	100%	1.8
陽台	92%	1.5
槽板	85%	1.2

最後得到，**最佳遮陽**。

---

#### 七、研究結構建議

基地→氣候→住宅案例→遮陽設計→EnergyPlus→PMV→能耗→結果分析。

---

#### 八、理論表明清楚

老師建議：把理論寫清楚。

---

#### 九、老師提醒「研究動機」

老師建議：研究動機要寫清楚

希望：要說為什麼研究沙鹿。

例如：

- 濱海氣候
- 高溫高濕
- 夏季冷房需求高

---

#### 十、老師建議總表

評圖建議整理，如表 5.2 所示。

表 5.2 評圖回饋與研究內容修正策略對照表 (資料來源:本研究整理)

項目	建議
研究題目	強化研究意義
研究動機	補充氣候背景
模擬方法	說明數值模擬意義
研究變因	進行因子分析
PMV	設定條件
模擬結果	加強比較分析

老師建議:模擬需要有目的,並舉例可以找出設計策略。

例如:遮陽 → 能耗降低 → PMV 改善,後提出宅設計建議。

## 5.4 總結與後續研究

本研究透過三次評圖過程逐步修正與完善研究架構。初期評圖主要針對研究限制條件、研究目的與情境設定進行調整,明確界定研究對象為沙鹿地區連棟住宅,並建立遮陽深度等模擬情境。中期評圖則補充基地氣候環境背景與研究案例選擇理由,並重新界定研究範圍,聚焦於不同遮陽設計對住宅冷房能耗與室內熱舒適之影響。期末評圖進一步強化研究方法與分析架構,包含說明數值模擬之研究意義、建立 PMV 參數設定、設備使用行為假設,以及透過不同遮陽情境比較冷房能耗與熱舒適指標之差異。整體而言,本研究以 EnergyPlus 建立建築能源模擬模型,透過比較不同遮陽策略對能耗與 PMV 指標之影響,提出適合沙鹿氣候條件之住宅遮陽設計建議。未來研究可進一步納入窗牆比、建築材料、自然通風及使用行為等因素,並結合不同氣候地區進行比較分析,以建立更完整之住宅節能與熱舒適設計評估架構。

## 參考文獻

### 1. 中文論文期刊

- [1] 白景富(2014)。住宅外部空間對空調耗能影響之研究。逢甲大學建築研究碩士論文。台中。
- [2] 林子平(2014)。建築外牆隔熱及蓄熱效果對室內環境溫度影響之探討。內政部建築研究所委託研究報告。
- [3] 鄭明仁(2016)。都市微氣候對住宅熱環境及空調能耗的影響。逢甲大學土木及水利研究博士論文。
- [4] 林佳柔(2022)。利用 EnergyPlus 熱舒適控制空調系統進行教學館舍舒適性及節能性探討－以工程二館為例。國立陽明交通大學土木工程學系碩士論文。
- [5] 林宗毅(2018)。以 BIM 能源模擬工具優化住宅型建築之能源。國立成功大學土木工程學系碩士在職專班。台南。
- [6] 黃昱珈(2022)。環境因子對風土建築居所室內舒適度之探討－以蘭嶼地下屋為例。逢甲大學建築研究碩士論文。台中。
- [7] 陳威廷(2020)。不同內遮陽形式對室內節能影響之研究。國立臺北科技大學建築系建築與都市設計碩士論文。台北。
- [8] 郭倩文(2020)。外遮陽形式對 16 個方位之節能模擬分析。國立臺北科技大學建築系建築與都市設計碩士論文。台北。
- [9] 吳淑精(2022)。綠建築 Ki 值外殼耗能變因之研究－以北部地區為例。國立臺北科技大學建築系建築與都市設計碩士論文。台北。
- [10] 吳佳樺(2004)。建築物的外牆遮陽型式對於室內能耗之影響－以台中市大里區社區型連動透天住宅為例。逢甲大學建築研究學士專題。台中。

## 2. 中文圖書

- [1] 林憲德(2020)。熱濕氣候的人居熱環境。
- [2] Andreas Athienitis(2018)。零能耗建築設計與優化。



### 3. 網路網址

- [1] IEA Tracking Report 網址:(2022.09.30)  
<https://globalabc.org/index.php/resources/publications/iea-tracking-report-buildings?>
- [2] IEA Breakthrough Agenda Report 網址:(2023)  
[https://www.iea.org/reports/breakthrough-agenda-report-2023/buildings?utm\\_source=.com](https://www.iea.org/reports/breakthrough-agenda-report-2023/buildings?utm_source=.com)
- [3] IEA The energy efficiency policy package 網址:(2023.09.06)  
<https://www.iea.org/commentaries/the-energy-efficiency-policy-package-key-catalyst-for-building-decarbonisation-and-climate-action?>
- [4] IEA Global Energy Review 網址:(2025)  
<https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2025/electricity?>
- [5] IEA Tracking Clean Energy Progress. International Energy Agency. 網址:(2024) <https://www.iea.org/reports/buildings>
- [6] 內政部營建署 2050 淨零排放建築行動方案. 網址:(2023)  
<https://www.cpami.gov.tw>
- [7] 建築知識庫 新加坡式住宅設計概念與案例分析. 網址:(2023)  
<https://www.dyfarch.com/>
- [8] 台灣建築中心 建築節能與綠建築指標手冊. 網址:(2022)  
<https://www.tabc.org.tw/>
- [9] 建築研究所 ABRI 建築外殼節能技術應用案例. 網址:(2023)  
[https://www.abri.gov.tw/News\\_Content\\_Table.aspx?n=807&s=39216](https://www.abri.gov.tw/News_Content_Table.aspx?n=807&s=39216)
- [10] ASHRAE Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy (ASHRAE Standard 55-2020). Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 網址:(2020)  
<https://www.ashrae.org>
- [11] ISO. ISO 7730: Ergonomics of the thermal environment - Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices. International Organization for

Standardization. 網址:(2005)

<https://www.iso.org/standard/39155.html>

[12] de Dear, R. & Brager, G. (1998). Developing an adaptive model of thermal comfort and preference. *Building and Environment*. 網址: (1998)

[https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(98\)00053-2](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(98)00053-2)



#### 4. 英文參考文獻

- [1] IEA. (2023). Tracking Clean Energy Progress: Buildings.
- [2] IEA. (2022). World Energy Outlook.
- [3] RIBA (2021). Whole Life Carbon Assessment.
- [4] IEA (2023). Buildings Review - Energy & Emissions.
- [5] Olgyay, V. (2015). Design with Climate.
- [6] IEA Annex 62: Ventilative Cooling.
- [7] IEA Energy Efficiency Policy Package - Buildings.
- [8] ASHRAE Standard 90.1 - Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings.
- [9] ASHRAE. (2020). *ASHRAE Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- [10] Brook, R. D., et al. (2011). Climate change and cardiovascular disease. *Journal of the American Heart Association*.
- [11] Mendell, M., & Mirer, A. (2009). Indoor temperature and sick building symptoms. *Indoor Air*.
- [12] Modesti, P. (2013). Environmental temperature and blood pressure. *Hypertension Research*.
- [13] Schiavon, S., & Hoyt, T. (2016). Thermal comfort and occupants' responses. *Building and Environment*.
- [14] Sikram, S., et al. (2020). Indoor environmental quality and SBS symptoms. *Sustainable Cities and Society*.
- [15] WHO. (2018). *Housing and health guidelines*. World Health Organization.

[16] Wu, Y., Li, X., & Schiavon, S. (2022). Physiological and thermal responses to indoor temperature variations. *Energy and Buildings*.

[17] Xiong, J., Lian, Z., & Zhang, Q. (2015). Effects of temperature on human comfort and performance. *Building and Environment*.

