

國立台灣大學生農學院生物環境系統工程學研究所

碩士論文

Department of Bioenvironmental Systems Engineering

College of Bioresources and Agriculture

Nation Taiwan University

Master Thesis

氣候變遷下未來建築節能與外殼設計策略之研究

A study of building energy conservation and envelope  
design adaptation in response to future climate change

莊鎧韓

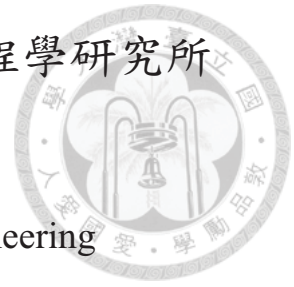
Kai-Han Chuang

指導教授：黃國倉 博士

Advisor : Kuo-Tsang Huang , Ph.D.

中華民國 104 年 6 月

June, 2015





## 誌謝

經過兩年說長不長，說短也不短的研究生生涯，我的學術研究自此刻起進入了一個段落。這本碩士學位論文是藉由於許多人的扶持與加護才得以完成的，在這些曾經幫助我許多的貴人中，第一個需要感謝的對象是指導老師黃國倉教授，若非您的攜手拉拔與耐心指導，我也不會獲得完成這本的學識與能力，從大學專題生至現在畢業前夕，您所給予我的一切是這個短短的誌謝文怎麼感謝也感謝不盡的。同時也要感謝在後方支持我的家人，爸爸、媽媽、姊姊若非您們毫無保留的讓我在學術的路上走下去，我也不會有今天的成就。當然共同的戰友也是我至高無上的寶物，傅群、孟杰自專題生年代的陪伴真是感謝了，如今我們都獲與我們爭取得來的榮耀。最後，感謝颱風中心大氣研究資料庫、CMIP5 實驗計劃為年輕學子無私貢獻的學術資料，若非這些由各個研究者與有志之人維護的知識庫，這篇文章也無法順利誕生。最後，這個過程要感謝的人實在太多了，感謝天，感謝這個環境，感謝運氣成就了今天的我。感謝每一個在我生命留下足跡的各位。

謝謝。

2015.06 莊鎧韓



## 摘要



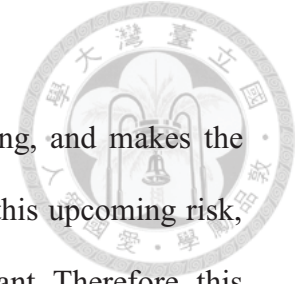
全球暖化會對建築物增加外界環境熱負荷，因此這些額外增加的熱勢必對人居空間造成相當大的影響，假若不採取策略因應，未來人類將無法滿足食、衣、住、行四大需求之一的居住基本需求。故本研究將藉著美國國家再生能源實驗室建立之典型氣象年方法，與 Belcher, Hacker et al. (2005)建立的型態轉變法，利用中央氣象局台北高雄兩地歷史實測氣象資料，對政府間氣候變遷專門委員會氣候變遷第五次評估報告（Intergovernmental Panel on Climate Change Fifth Assessment Report, IPCC AR5）使用之第五階段偶合模式比較計畫（Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, CMIP5）之全球尺度最新未來氣候變遷模擬資料，製作當代（2000 至 2014 年）、近未來（2011 至 2040 年）、世紀中（2041 至 2070 年）與世紀末（2071 年至 2100 年）共 4 個時間區段之典型氣象年與未來典型年，再藉由美國能源部官方建築性能模擬軟體 EnergyPlus 進行性能模擬，確認未來氣候變遷對建築耗能的影響量，與尋找出適當的建築物外殼改善策略，以因應必然到來的全球暖化現象。

本研究發現窗牆比 30%辦公建物空調耗能密度在未來將增加 1.86 至 9.53 kWh/m<sup>2</sup>，而窗牆比 60%的辦公建物將增加 1.81 至 9.06 kWh/m<sup>2</sup>，窗牆比 90%的辦公建物則增加 1.81 至 8.83 kWh/m<sup>2</sup>。另外，藉由調控建築物外牆參數並分析其在未來的耗能改變，本研究求得了對應不同窗牆比建物在各個氣候情境假設下未來的耗能增加量與建築物外殼參數間的關係式。並藉此關係式分析出使未來耗能量能回歸當代水平的各種外殼改造策略組合，並以圖表的方式進行呈現，希望能提供決策者進行簡單方便的使用。

關鍵字：典型氣象年、型態轉變法、未來氣象年、IPCC AR5、CMIP5、氣候變遷、建築性能模擬、建築節能。



## Abstract



Global warming rises the environment heat gain to a building, and makes the building cooling energy demand become greater. In order to face this upcoming risk, finding a way to evaluate the change of cooling demand is important. Therefore, this study establish a set of future weather years for building performance simulation tools based on the methods of constructing Typical Meteorological Year (TMY) and the morphing process which introduced by Belcher, Hacker et al. (2005). Using from historical observed data which is recorded by Taiwan Central Weather Bureau and the newest General circulation model (GCM) outputs which is provided from Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5), contemporary weather years (2000~2014) and three timeslice of future weather years (2011~2040, 2041~2070 and 2071~2100) is well developed.

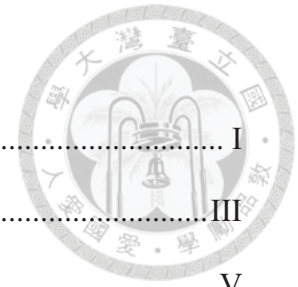
By inputting these weather years into EnergyPlus building performance simulation tool, the future change of cooling energy demand is confirmed. Office buildings with 30% of Window-to-Wall Ratio (WWR) will rise 1.86 to 9.53 kWh/m<sup>2</sup> of cooling energy intensity, office buildings with 60% of WWR will rise 1.81 to 9.06 kWh/m<sup>2</sup>, and office buildings with 90% of WWR will rise 1.8 to 8.83 kWh/m<sup>2</sup>. Depends on these results, the strategies of conserving energy can be formulated. This study formulates the strategies by adapting the building envelope design, and presents these as figures in order to help decision-makers easier to make decisions.

Keywords: Typical Meteorological Year, IPCC AR5, CMIP5, future wether year, climate change, building performance simulation, building energy conservation.



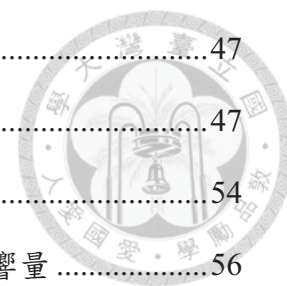


# 目錄



誌謝.....	I
摘要.....	III
Abstract.....	V
第 1 章 前言.....	1
第 2 章 相關文獻.....	3
第 3 章 研究方法.....	9
3.1 研究流程.....	9
3.2 典型氣象年.....	10
3.2.1 典型氣象年製作原理.....	10
3.2.2 典型氣象年歷史氣象資料來源與缺漏資料補建.....	15
3.2.3 全天空日射量補建.....	17
3.3 未來氣象年與未來典型年.....	19
3.3.1 型態轉變法.....	22
3.3.2 使用 GCM 的挑選.....	25
3.3.3 未來典型年.....	27
3.4 建築性能模擬.....	28
3.4.1 基線辦公建築物輸入參數.....	28
3.4.2 各因子對辦公廳建物未來建築空調耗能密度.....	32
第 4 章 研究結果.....	35
4.1 典型氣象年中選年.....	35
4.2 未來氣象年.....	37
4.2.1 中選 GCM 模式.....	37
4.2.2 未來氣象年與未來典型年.....	38
4.3 建築性能模擬.....	44

第 5 章 討論.....	47
5.1 辦公室外殼因子對空調耗能密度變異之貢獻度.....	47
5.2 辦公室外殼因子對空調耗能密度之影響量.....	54
5.2.1 窗牆比 30%辦公建物外殼因子與空調 EUI <sub>AC</sub> 影響量 .....	56
5.2.2 窗牆比 60%辦公建物外殼因子與空調 EUI <sub>AC</sub> 影響量 .....	62
5.2.3 窗牆比 90%辦公建物外殼因子與空調 EUI <sub>AC</sub> 影響量 .....	68
5.3 使未來空調耗能密度回歸當代水準之節能手段.....	74
5.3.1 窗牆比 30%辦公建物維持當代水準因子組合 .....	74
5.3.2 窗牆比 60%辦公建物維持當代水準因子組合 .....	77
5.3.3 窗牆比 90%辦公建物維持當代水準因子組合 .....	80
第 6 章 結論與建議.....	81
第 7 章 參考文獻.....	83



# 圖目錄



圖 2-1	未來氣象年與歷史資料比較(Belcher, Hacker et al. 2005)。	4
圖 2-2	實測資料、設計用資料、未來氣象資料比較圖(Jentsch, Bahaj et al. 2008)。	4
圖 2-3	建築物標準化耗能需求之未來變遷(Parkpoom and Harrison 2008)。	5
圖 2-4	標準建物未來模擬空調耗能變遷(Chan 2011)。	6
圖 2-5	哈爾濱與香港未來耗能變化(包含冷房與暖房耗能)(Wan, Li et al. 2011)。	7
圖 2-6	當代與未來溫室效應下室內溫度變化圖(Sailor 2014)。	8
圖 3-1	研究流程圖	9
圖 3-2	本研究典型氣象年製作流程圖	11
圖 3-3	缺漏資料補建流程	16
圖 3-4	各 RCP 情境溫室氣體排放量(van Vuuren, Edmonds et al. 2011).....	19
圖 3-5	型態轉變法實作流程圖	21
圖 3-6	辦公室模型平面圖	29
圖 3-7	照明時程圖	31
圖 3-8	人員與設備使用時程圖	31
圖 4-1	台北未來氣象年逐年乾球溫度變化圖	38
圖 4-2	台北未來氣象年逐年全天空日射通量變化圖	38
圖 4-3	高雄未來氣象年逐年乾球溫度變化圖	39
圖 4-4	高雄未來氣象年逐年全天空日射通量變化圖	39
圖 5-1	外殼因子對空調耗能密度影響量(窗牆比 30%在台北 RCP 2.6)	56
圖 5-2	外殼因子對空調耗能密度影響量(窗牆比 30%在台北 RCP 4.5)	57
圖 5-3	外殼因子對空調耗能密度影響量(窗牆比 30%在台北 RCP 8.5)	58
圖 5-4	外殼因子對空調耗能密度影響量(窗牆比 30%在高雄 RCP 2.6)	59

圖 5-5	外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 30%在高雄 RCP 4.5)	.....60
圖 5-6	外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 30%在高雄 RCP 8.5)	.....61
圖 5-7	外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 60%在台北 RCP 2.6)	.....62
圖 5-8	外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 60%在台北 RCP 4.5)	.....63
圖 5-9	外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 60%在台北 RCP 8.5)	.....64
圖 5-10	外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 60%在高雄 RCP 2.6)	.....65
圖 5-11	外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 60%在高雄 RCP 4.5)	.....66
圖 5-12	外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 60%在高雄 RCP 8.5)	.....67
圖 5-13	外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 90%在台北 RCP 2.6)	.....68
圖 5-14	外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 90%在台北 RCP 4.5)	.....69
圖 5-15	外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 90%在台北 RCP 8.5)	.....70
圖 5-16	外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 90%在高雄 RCP 2.6)	.....71
圖 5-17	外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 90%在高雄 RCP 4.5)	.....72
圖 5-18	外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 90%在高雄 RCP 8.5)	.....73
圖 5-19	維持當代水準因子組合曲線 (窗牆比 30%台北 RCP 2.6)	.....75
圖 5-20	維持當代水準因子組合曲線 (窗牆比 30%在台北 RCP 4.5)	.....75
圖 5-21	維持當代水準因子組合曲線 (窗牆比 30%在高雄 RCP 2.6)	.....76
圖 5-22	維持當代水準因子組合曲線 (窗牆比 30%在高雄 RCP 4.5)	.....76
圖 5-23	維持當代水準因子組合曲線 (窗牆比 60%在台北 RCP 2.6)	.....78
圖 5-24	維持當代水準因子組合曲線 (窗牆比 60%在台北 RCP 4.5)	.....78
圖 5-25	維持當代水準因子組合曲線 (窗牆比 60%在高雄 RCP 2.6)	.....79
圖 5-26	維持當代水準因子組合曲線 (窗牆比 60%在高雄 RCP 4.5)	.....79
圖 5-27	維持當代水準因子組合曲線 (窗牆比 90%在台北)	.....80
圖 5-28	維持當代水準因子組合曲線 (窗牆比 90%在高雄)	.....80


## 表目錄



表 3-1	NREL 建議使用之權重列表.....	13
表 3-2	使用測站詳細資料.....	15
表 3-3	日射量缺漏統計.....	17
表 3-4	台北與其鄰近測站詳細資料.....	18
表 3-5	全天空日射補間公式係數.....	18
表 3-6	型態轉變法使用氣象要素資料與型態轉變模式一覽表.....	23
表 3-7	本研究使用 GCM 列表.....	26
表 3-8	GCM 網格與氣象局測站對應表.....	26
表 3-9	基線辦公廳模型基本參數列表.....	30
表 3-10	外殼變因與水準對應表.....	32
表 3-11	L27 實驗順序與變因水準對應表.....	33
表 3-12	L27 實驗順序與變因水準對應表(實際值).....	34
表 4-1	台北典型氣象年中選列表.....	35
表 4-2	高雄典型氣象年中選列表.....	36
表 4-3	典型氣象年氣象要素統計.....	36
表 4-4	各 GCM 模式 RMSD 列表.....	37
表 4-5	台北未來典型年中選列表.....	40
表 4-6	台北未來典型年乾球溫度統計.....	40
表 4-7	台北未來典型年全天空日射通量統計.....	41
表 4-8	高雄未來典型年中選列表.....	42
表 4-9	高雄未來典型年乾球溫度統計.....	42
表 4-10	高雄未來典型年全天空日射通量統計.....	43
表 4-11	三種 WWR 基線辦公建築物模擬 $EUI_{AC}$ .....	44
表 4-12	台北地區三種 WWR 基線辦公建築物未來空調 $EUI_{AC}$ .....	45

表 4-13	高雄地區三種 WWR 基線辦公建築物未來空調 EUI <sub>AC</sub> .....	45
表 5-1	台北窗牆比 30%辦公建物外殼因子對空調耗能密度變異的貢獻度.....	48
表 5-2	高雄窗牆比 30%辦公建物外殼因子對空調耗能密度變異的貢獻度.....	49
表 5-3	台北窗牆比 60%辦公建物外殼因子對空調耗能密度變異的貢獻度.....	50
表 5-4	高雄窗牆比 60%辦公建物外殼因子對空調耗能密度變異的貢獻度.....	51
表 5-5	台北窗牆比 90%辦公建物外殼因子對空調耗能密度變異的貢獻度.....	52
表 5-6	高雄窗牆比 90%辦公建物外殼因子對空調耗能密度變異的貢獻度.....	53
表 5-7	窗牆比 30%辦公建築物式 5-2 係數表.....	55
表 5-8	窗牆比 60%辦公建築物式 5-2 係數表.....	55
表 5-9	窗牆比 90%辦公建築物式 5-2 係數表.....	55

# 第1章 前言



近年來，全球氣候暖化之議題越來越受到重視，且經過政府間氣候變遷專門委員會氣候變遷第五次評估報告（Intergovernmental Panel on Climate Change Fifth Assessment Report, IPCC AR5）發布後，確認全球氣候暖化是受到工業革命後快速發展的影響，故各領域與學門也隨之有越來越多相關之探討議題。單就探討人類居住環境的建築科學領域而言，建築節能其實早已是傳統的熱門的討論議題與研究項目，但隨著全球氣候暖化現象的確認，該類建築節能的議題如今備受重視，因伴隨全球暖化造成之額外的外界環境熱負荷勢必對人居空間造成相當大的影響，假若不採取策略因應，未來人類將無法滿足食、衣、住、行四大需求之一的居住基本需求。雖然實際上已經有不少科學家已經對這個未來變遷的問題進行研究，但大多都只針對未來全球暖化造成的惡化量進行探討，這些結果都僅停留在警示的作用上，鮮少人提出一個有效的策略告知當代人類該作出怎樣對全球暖化進行回應。因此，在已知全球暖化帶來危機的狀態下，在建築性能層面當代人類該進行怎樣的策略應付暖化帶來的額外熱負荷，以上就是本研究的動機。


因此本研究解決上述的問題設立了以下的實驗目的：(1) 以科學嚴謹的方法建立出評估台灣地區未來氣候變遷的方法。(2) 藉由合理的方法確定出台灣地區未來氣候變遷對建築物性能造成的改變量。(3) 尋求 21 世紀末之前，能使空調型辦公建築物性能受到全球暖化影響下，仍然可以維持當代水平的建築物外殼改善手段。



故本研究之成果將會包含 (1) 台北高雄兩城市當代與未來之建築性能模擬用氣象年資料。(2) 不同窗牆比建物在各個氣候情境假設下未來的耗能增加量。(3) 未來耗能增加量與建築物外殼參數間的關係式，並藉此關係式分析出使未來耗能量能回歸當代水平的各種外殼改造策略組合。此外殼改造策略組合將以圖表的方式進行呈現，希望能提供決策者進行簡單方便的查找與使用。



## 第2章 相關文獻



臺灣過去的建築熱負荷解析氣象年研究包含林氏平均氣象年 AYWD<sub>75-84</sub>(林憲德、張思源 1987)，黃氏能源解析氣象年 WYEC<sub>80-00</sub>(黃瑞隆 2002)以及依照美國國家再生實驗室 (National Renewable Energy Laboratory, 縮寫 NREL) 定義之第二版典型氣象年格式所製作之臺灣標準氣象年 TMY<sub>293-02</sub>(林憲德、黃國倉 2005)。這些台灣氣象年皆帶來了不少的學術貢獻，有諸多建築節能議題延伸出去，直到近期還有相關引用發表，如黃建勳(2007)將 TMY<sub>293-02</sub> 引入 ECOTECH 研究陽光室的空調熱負荷，發現陽光室在台灣冬季狀態下可以有效發揮其效能，可將室內增溫 5°C，但是於夏季密閉狀態下會產生過熱情形，在晴朗的天氣狀況下陽光室室內溫度可能達到 40 至 42°C。汪孟欣(2009)利用 TMY<sub>293-02</sub> 與 EnergyPlus 及 Daysim 的互相搭配研究建築熱緩衝帶對建築物耗能的影響，確定了台大綠房子全年若無外緩衝空間進行遮陽的狀態下，全年冷氣耗能會增加 24.16%，而陽光室的室內熱緩衝空間不存在的，且併入客廳的話，客廳空間將增加 57.2%的耗能，因此無論室內室外熱緩衝地帶都是必須的。

雖然從氣象年出發的國內文章及其應用皆不少，但都僅限於當代氣候下的建築性能討論，國內仍鮮見對應未來氣候的建築物性能分析。

國外的研究就相對熱絡許多，自 Belcher, Hacker et al. (2005)提出型態轉變法，並以英國歷史氣象資料實作之後 (見圖 2-1)，在建築領域未來評估用氣象年的建立成為可能，自此相關文獻雨後春筍地出現。

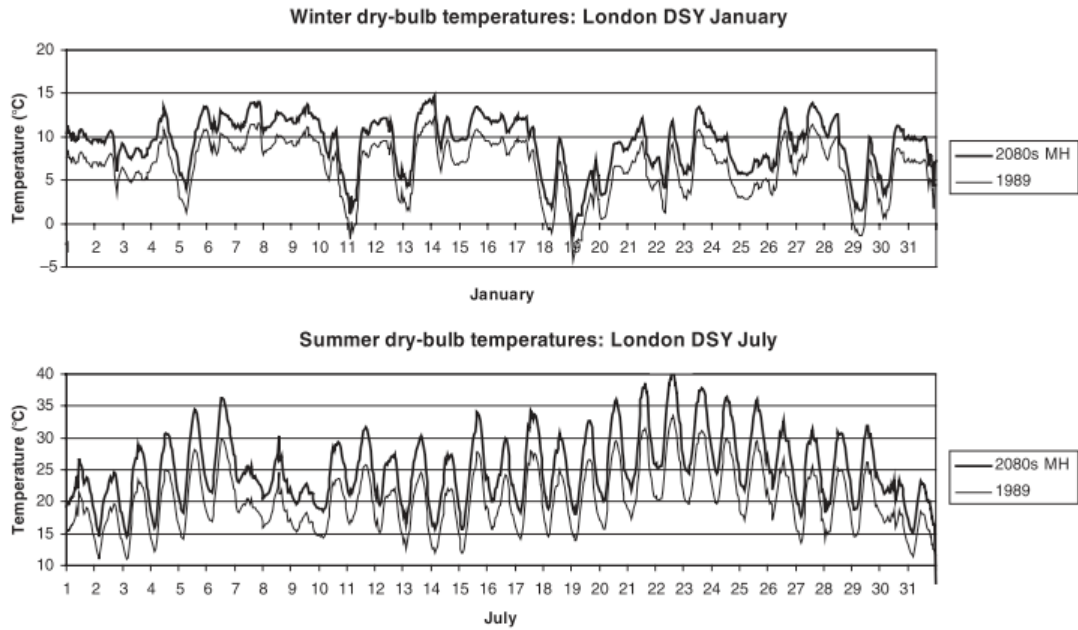


圖 2-1 未來氣象年與歷史資料比較(Belcher, Hacker et al. 2005)。

如 Jentsch, Bahaj et al. (2008)在英國對一棟通風辦公室建築物進行實測與法規規範設計用氣象資料及利用型態轉變法生成之中高排放情境下 2050 年代的溫度頻率變化，發現既有的設計用氣象資料已經不敷使用，見圖 2-2。

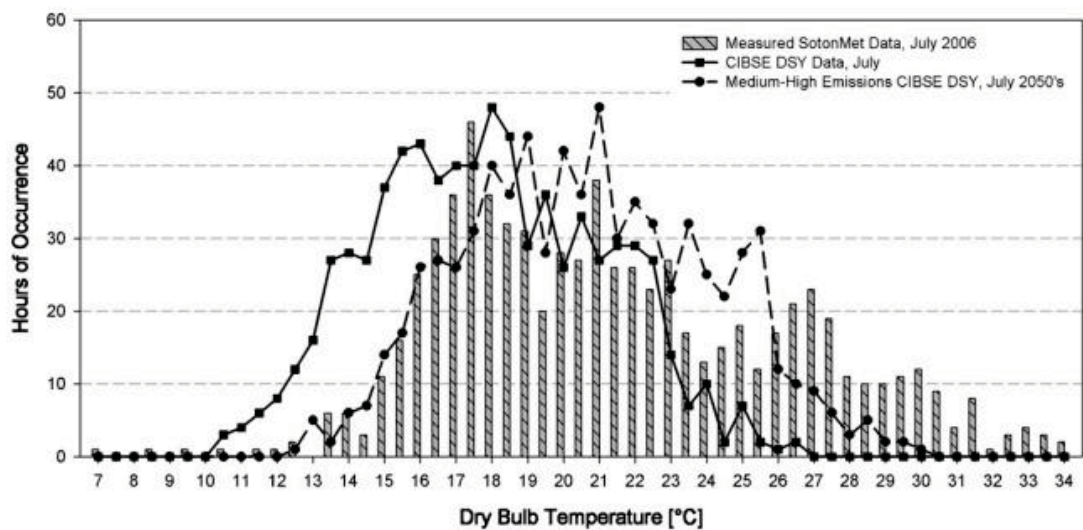


圖 2-2 實測資料、設計用資料、未來氣象資料比較圖(Jentsch, Bahaj et al. 2008)。



Parkpoom and Harrison (2008)將型態轉變法應用於熱帶地區的泰國檢討未來建築耗能的增加量，從圖 2-3 很明顯的看的出各情境下隨著時代推近建築物耗能有增加。

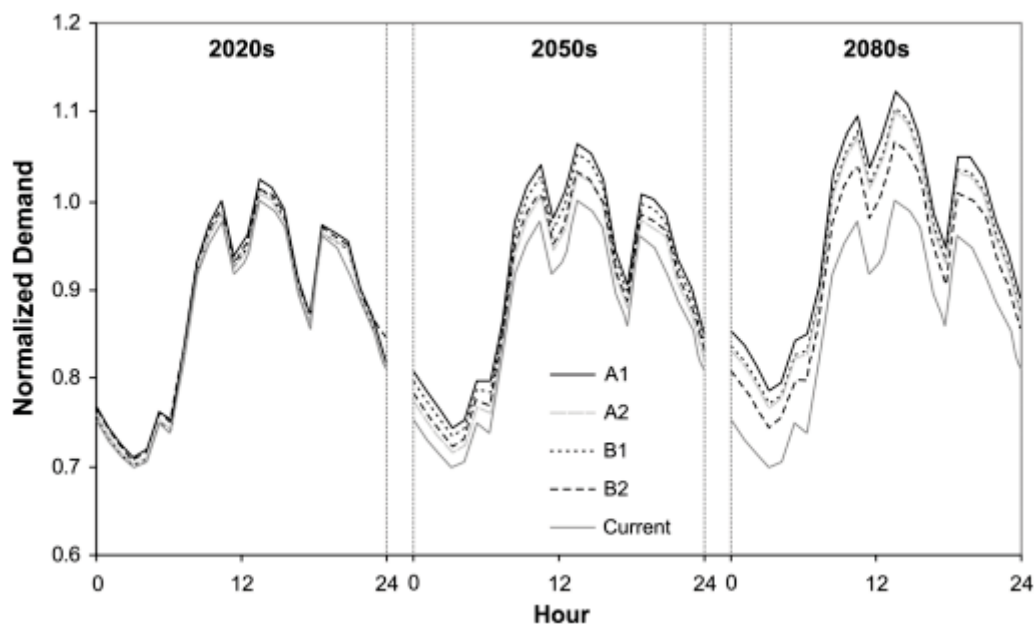
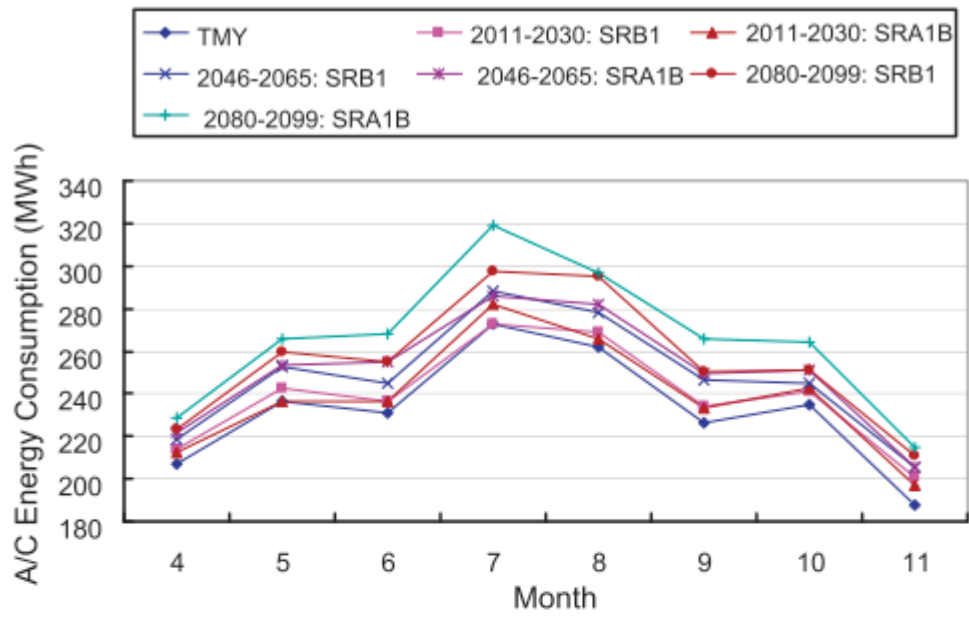
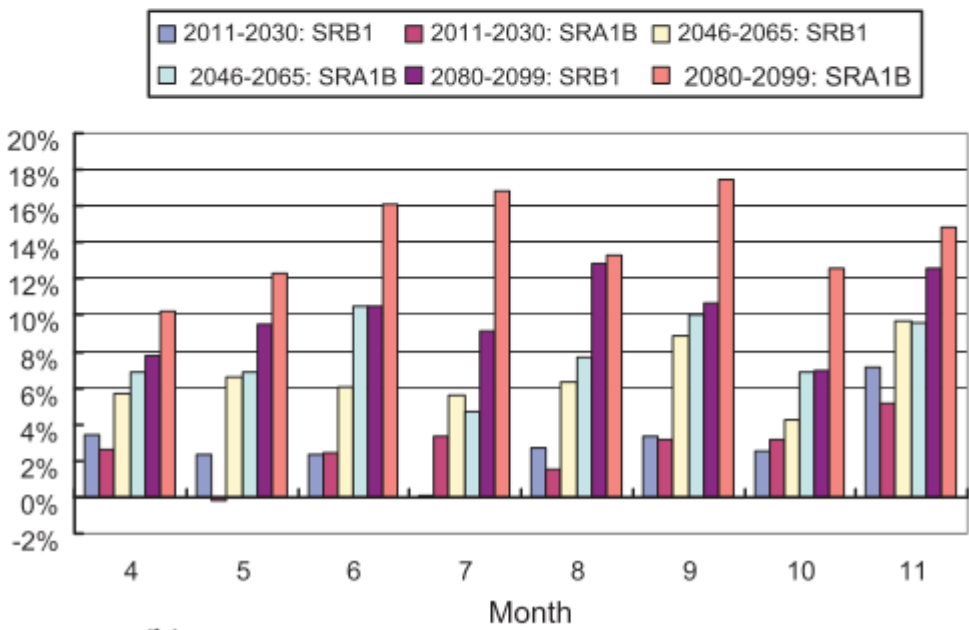


圖 2-3 建築物標準化耗能需求之未來變遷(Parkpoom and Harrison 2008)。

在鄰近的香港，Chan (2011)也利用型態轉變法製造出合乎亞熱帶使用之建築用未來逐時資料，用以進行建築耗能分析，確定未來氣候變遷造成的耗能改變量是顯著的，見圖 2-4。



(a) absolute monthly A/C energy consumption



(b) percentage change in monthly A/C energy consumption

圖 2-4 標準建物未來模擬空調耗能變遷(Chan 2011)。



此外 Wan, Li et al. (2011)應用了主成分分析，建立了不須建築耗能模擬即可快速評估未來冷暖房耗能的方法，並藉此評估了中國南北兩地，哈爾濱與香港的未來耗能變遷量。

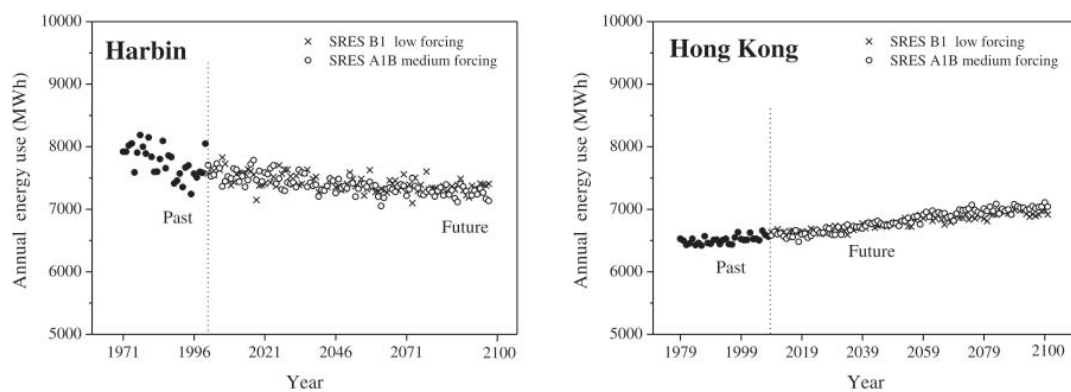


圖 2-5 哈爾濱與香港未來耗能變化（包含冷房與暖房耗能）(Wan, Li et al. 2011)。

而 Sailor (2014)從熱舒適觀點出發，利用類似型態轉變法的趨勢推估公式求得未來氣象資料，對芝加哥與休士頓兩城市的建築物進行分析，點出未來受氣候變遷與熱島效應雙重影響下夏季熱風險會如何增長，成果可見圖 2-6。

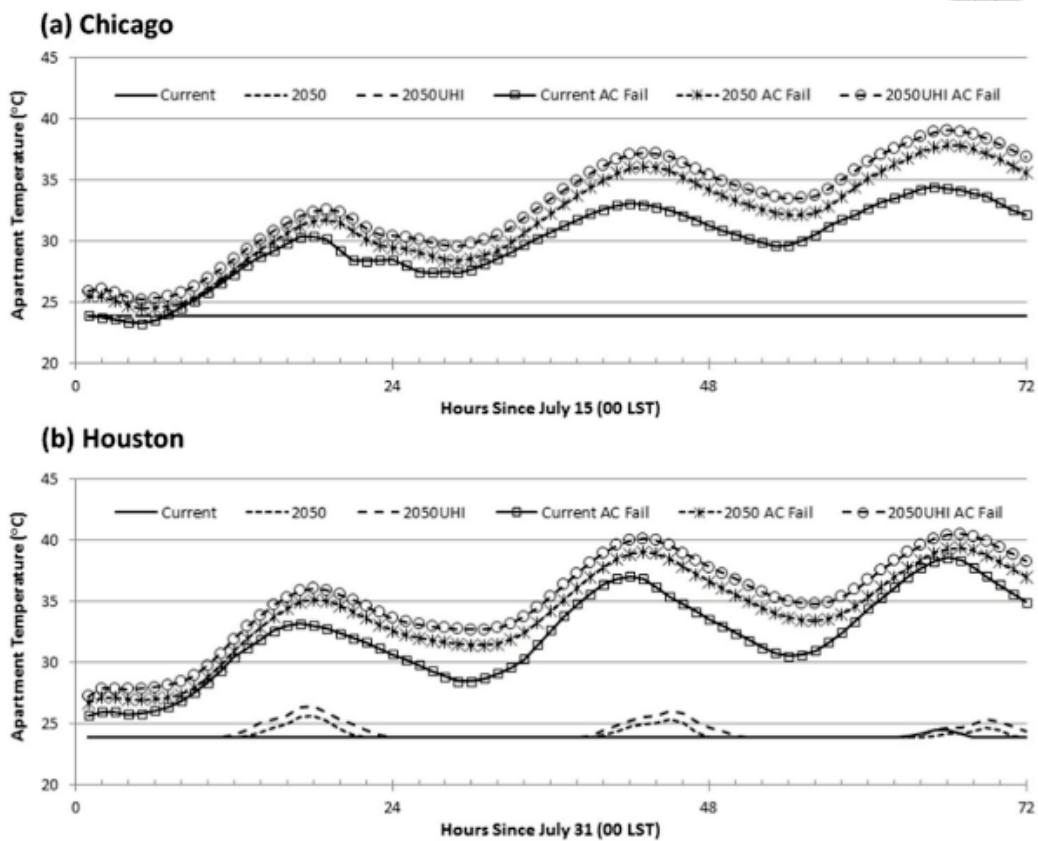


圖 2-6 當代與未來溫室效應下室內溫度變化圖(Sailor 2014)。

由上述文獻可知型態轉變法與其相關延伸方法在建築科學領域相當廣泛地被應用，但是除此之外仍有少部分研究使用其他方法的進行未來耗能評估。McLeod, Hopfe et al. (2013)利用以統計方法為基礎建立的未來氣象資料產生器，產生未來資料評估耗能變遷。而 Berger, Amann et al. (2014)利用區域氣候模式（Regional Circulation Model）將全球環流模式（General Circulation Model）的輸出結果以物理網格模擬的方法降尺度至都市級，探討維也納在未來的耗能變遷。然而這些國外文章僅關注於如何建立未來氣候變遷的評估方法，與耗能及舒適度的未來變遷量，卻較少提及當代人類該採取怎樣的手段因應，這也是本研究其中一個出發動機。



## 第3章 研究方法



### 3.1 研究流程

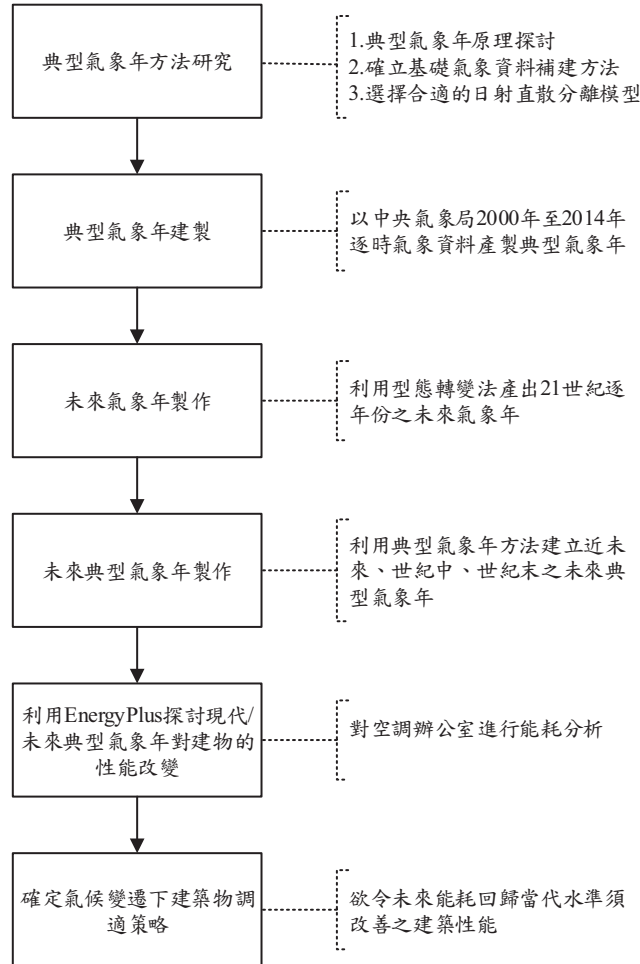


圖 3-1 研究流程圖

本研究的研究流程圖見圖 3-1，從典型氣象年方法與其相關子方法的研製產出當代典型氣象年後，藉此應用型態轉變法使典型氣象年改造成 21 世紀逐年未來氣象年，為因應建築能源模擬的方便性，這些未來氣象年會再利用典型氣象年方法，簡約成 3 個時間區段的未來典型年。典型氣象年與未來典型年因為最終的製作方法是一致的，故使之輸入 EnergyPlus 建築性能模擬軟體的輸出結果才有相同的比較基準，最後藉由分析輸出結果產製未來變遷函數，並由此逆推因應氣候變遷該進行的外殼改造手段。

## 3.2 典型氣象年

建築物的熱取得來源分成兩大類：一種是來自建築物內部的室內發散熱，另一個則是來自建築物外部的室外熱取得。室外熱取得的多寡與天氣狀態息息相關，在電腦建築能源模擬興起後，藉由引入氣象資料演算出室外熱取得已是相當容易的事情。然而真正的問題在不同年份間歷史氣象資料各自變異，當研究者欲求得建築物的長期經常性性能時，引入特定年份的氣象資料進行模擬會造成結果有所偏頗，但假若引入數十年長期歷史實測氣象資料，又顯得花費過多的時間，十分不經濟。是否能夠減少模擬運算量又可以得到與長期模擬相近的效果，典型氣象年便是為了解決這個問題而設計出的「擬製氣象資料」。

### 3.2.1 典型氣象年製作原理

本質上，典型氣象年是長期歷史氣象資料的萃取物，是將歷史資料依逐年逐月分拆，挑選出合適的歷史氣象資料片段，再將片段依月順首尾相接組合製作出之全年份逐時氣象資料。之所以採取這種「分拆-挑選-組合」的製作方法，主要是希望典型氣象年紀錄之各個氣象要素資料皆繼承歷史氣象資料的真實性與氣象要素間的同時性，以避免不合理的氣象資料出現，以及同一天氣事件發生時氣象要素間互有矛盾之情形。

另外，由於典型氣象年必須能有效代表長期的氣候狀態，各個被合成於典型氣象年的歷史氣象資料片段必須藉由嚴謹的科學方法進行檢驗，本研究採用廣泛被世界各國使用的美國再生能源實驗室（National Renewable Energy Laboratory，縮寫 NREL）之 Sandia Method 篩選程序(Wilcox and Marion 2008)，作為決定典型氣象年中各組成月份分別是「哪一年的哪一月」的實作方法，本研究製作典型氣象年的流程詳見圖 3-2。



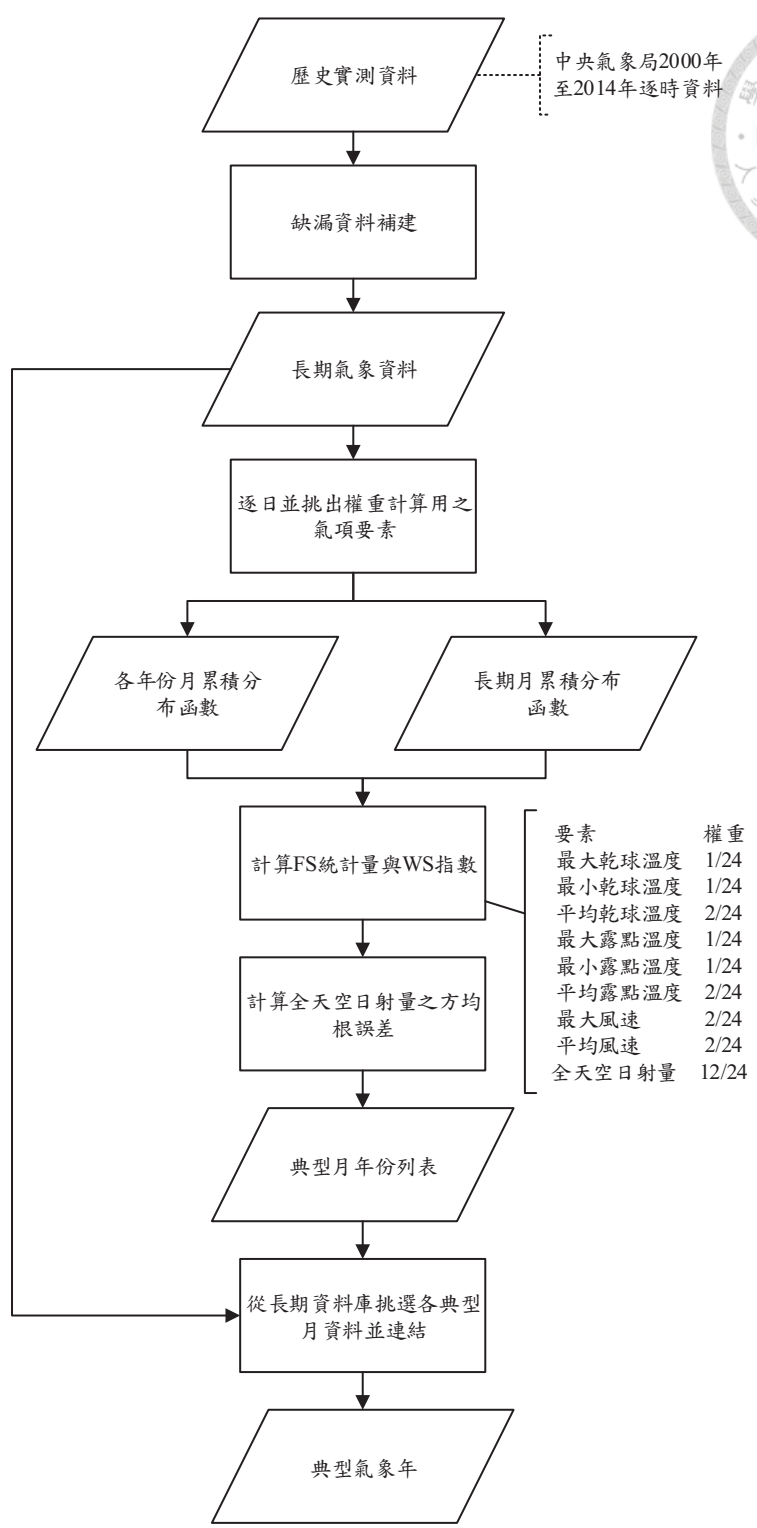


圖 3-2 本研究典型氣象年製作流程圖

Sandia Method 篩選程序是主要是應用 Finkelstein & Schafer 統計量（此後簡稱 FS 統計量）作為評斷各月份氣象資料的依據，該 FS 統計量的計算公式見下式 3-1：

$$FS_w = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |CDF_S - CDF_L|$$

式 3-1

其中：

- $CDF_S$ ：該氣象要素之各月累積分佈函數。
- $CDF_L$ ：該氣象要素之各月長期累積分佈函數。
- $n$ ：該月份的總資料數。
- $w$ ：各氣象要素。

由於累積分佈函數(cumulative distribution function, 縮寫 CDF)是一個由「事件規模-頻率計次」組成之累計函數，因此將各月份 CDF 與長期 CDF 相減所求得之 FS 統計量，即是各個單獨月份片段與長期歷史氣象資料在結構上的誤差量，故 FS 統計量數值越小，單獨月份片段與歷史氣象資料兩者間的差異越小，該月份在氣象事件的發生規模與頻率會越貼近長期歷史氣象資料記載之結構。

然而，由於 FS 統計量一次只能檢驗一個單獨的氣象要素，無法完美滿足建築性能模擬輸入的氣象資料必須記錄包含乾球溫度、濕球溫度、全天空日射量等數種同時發生的氣象要素，假若只利用單一氣象要素進行 FS 統計量檢定，會使挑選到的月份片段在資料詮釋上有所偏頗，因故 Sandia Method 篩選程序額外引入了具有加權意義的 WS 指數 (weighted sum)，該 WS 指數的運算方式見下式 3-2 與表 3-1。各個檢驗月份片段中 WS 指數較小者，即是有可能被挑選用以合成典型氣象年的月份片段。在這個階段挑選出來的月份片段資料稱之為「候選月」。

$$WS = \sum W_w \times FS_w$$

式 3-2

其中：

- $W_w$ ：該氣象要素之計算權重。
- $FS_w$ ：該氣象要素之 FS 統計量。

表 3-1 NREL 建議使用之權重列表

氣象要素	權重
日最大乾球溫度	1/24
日最小乾球溫度	1/24
日平均乾球溫度	2/24
日最大露點溫度	1/24
日最小露點溫度	1/24
日平均露點溫度	2/24
日最大風速	2/24
日平均風速	2/24
日全天空日射量	12/24



由於 FS 統計量與 WS 指數只能反應出結構上的差異，無法呈現月平均尺度下的母體估計值的中心偏差，因此在 NREL 的原始方法中還將各候選月的平均數與中位數與長期進行差值比較，差值越小者獲得越高的排名，排名越高者中選的可能性越大。另外為排除極端變動或極端無變動的氣候，希望挑選出的氣象資料能夠適度維持在平均水準，NREL 的原始方法中引入了一個標準來定義氣象持續性，並將有最多次持續、最長持續以及完全沒有持續性的候選月排除，該氣象持續性的三個定義條件見下：

- 對於乾球溫度不足 33%（過冷）或超過 67%（過熱），日數相鄰者。
- 對於全天空日射量不足 33%，日數相鄰者。
- 對於直達日射量不足 33%，日數相鄰者。

然而檢測中心誤差與持續性的方法實作上十分繁複，因此 Pissimanis, Karras et al. (1988) 為了取代這個步驟，引入了方均根誤差（Root mean square deviation，縮寫 RMSD）對會大幅度影響建築性能的全天空日射量進行檢驗，以 RMSD 值最小之候選月作為最適合使用於典型氣象年合成的月份片段。利用 Pissimanis, Karras et al. (1988) 的修正方法製作出來的典型氣象年，已在 Argiriou, Lykoudis et al. (1999) 的研究獲得良好的驗證結果，且被確認是優於 NREL 原始方法的。該 RMSD 檢驗公式之定義見下頁式 3-3：

$$RMSD_y = \sqrt{\sum_{h=1}^{24} \frac{(ghi_{y,h} - \overline{ghi_h})^2}{24}}$$

其中：

$ghi$ ：全天空日射量 ( $\text{Wh/m}^2$ )。

$y$ ：年份。

$h$ ：第幾個小時。



式 3-3

通過 FS 統計量、WS 指數與日射量 RMSD 三個檢驗階段後可從長期歷史氣象資料中優選出最有長期氣候代表性的月份片段，這些月份片段在本研究被稱呼成「中選月」。由於中選月各自的來源年份可能皆不相同，相鄰之二個月份會出間天氣事件不連續的現象。為解決此問題，須將相鄰的中選月各取首尾 6 小時之數據，以數值方法進行平滑化處理。針對一般性數值資料（如乾球溫度）以線性逐步內插的方式產生補間值。而對於向量資料（風向與風速）則以向量合成內插處理之。經過平滑化處理後的中選月資料才能首尾相接，成為一個完整 8760 個小時的典型氣象年。

### 3.2.2 典型氣象年歷史氣象資料來源與缺漏資料補建

依據 NREL 的建議，萃取出典型氣象年之長期歷史氣象資料應至少 15 年份，故本研究的長期歷史氣象資料以 2000 年至 2014 年共 15 年份為基期，使用來自中央氣象局台北、高雄兩個歷史逐時觀測氣象資料建製典型氣象年，詳細的測站位置見表 3-2，使用到的氣象要素包含全天空日射量、雲覆量、乾球溫度、露點溫度、相對濕度、氣壓、風向、風速、能見度、雲幕高、降水量、降水延時、日照時數共 13 種。

表 3-2 使用測站詳細資料

測站名稱	WMO 代碼	經度	緯度	高程
台北	466920	121.507	25.040	5.0
新竹	467570	121.006	24.830	26.9
台中	591580	120.676	24.148	84.0
嘉義	467480	121.147	23.498	26.9
台南	593580	120.205	22.993	40.8
高雄	467440	120.308	22.568	2.0
台東	595620	121.147	22.754	9.0
花蓮	466990	121.605	23.977	16.0

由於中央氣象局歷史觀測資料受到測計方法與觀測儀器之限制，原始資料中偶有觀測資料缺漏的情形發生，無法滿足典型氣象年產製所需之完整逐時氣象資料，故進行篩選前必須對這些缺漏資料進行補建。本研究整體的補建流程見圖 3-3，即缺漏較少的雲覆量、乾球溫度、露點溫度、相對濕度採簡單線性內插的方式補建，缺漏較多的全天空日射量之補建詳見章節 3.2.2。

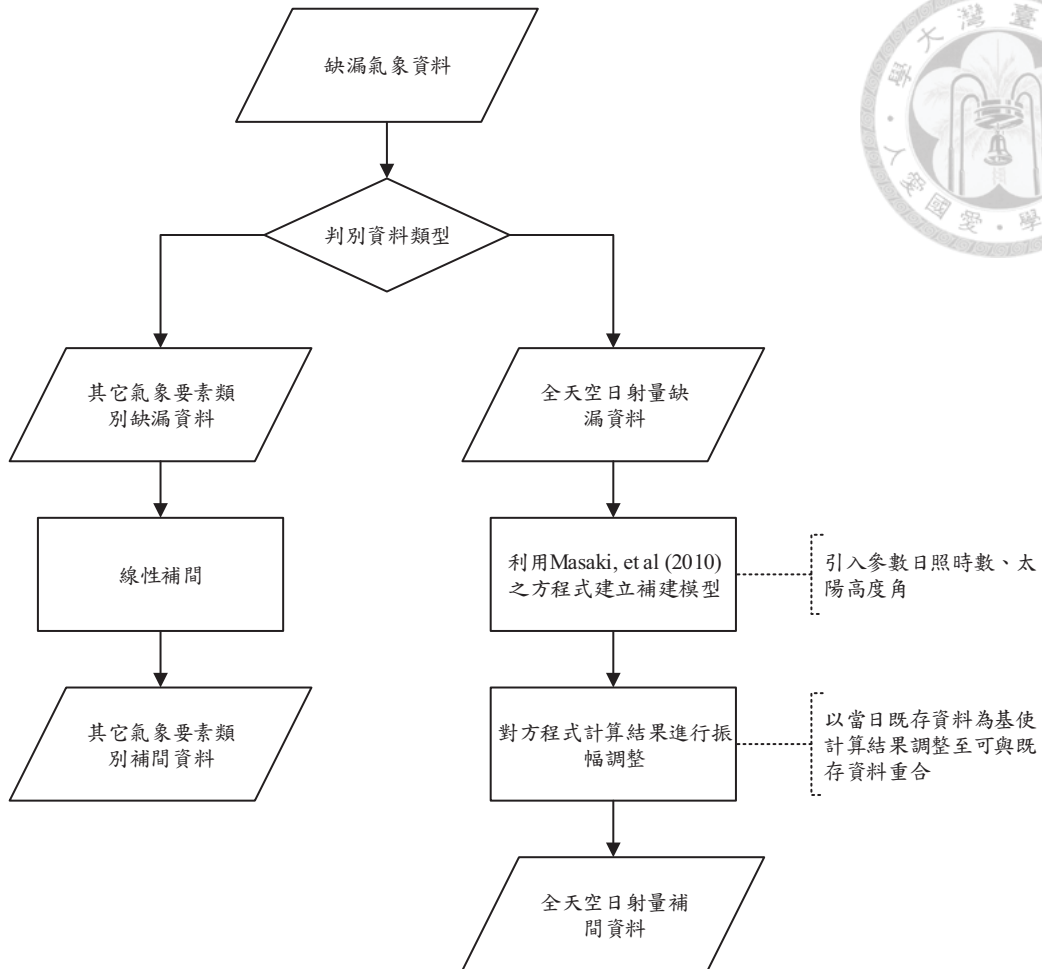


圖 3-3 缺漏資料補建流程

### 3.2.3 全天空日射量補建

下表 3-3 整理了 2000 年到 2014 年全天空日射量的缺漏數量與缺漏比例，缺漏比例最高已達到全年的 5%，是原始氣象資料中缺漏最嚴重者，且從 Sandia Method 給與的權重可得知全天空日射量的重要性，故全天空日射量的補建方法必須單獨建立與討論。

表 3-3 日射量缺漏統計

年份	台北		高雄	
	筆數	比例	筆數	比例
2000	458	5.2%	94	1.1%
2001	383	4.4%	128	1.5%
2002	295	3.4%	149	1.7%
2003	224	2.6%	39	0.4%
2004	302	3.4%	66	0.8%
2005	340	3.9%	105	1.2%
2006	257	2.9%	76	0.9%
2007	354	4.0%	75	0.9%
2008	314	3.6%	73	0.8%
2009	283	3.2%	50	0.6%
2010	350	4.0%	79	0.9%
2011	404	4.6%	44	0.5%
2012	398	4.5%	58	0.7%
2013	282	3.2%	43	0.5%
2014	253	2.9%	49	0.6%

本研究的補建的方式分成兩個步驟：首先，若缺漏測站鄰近有其它測站，使用與該缺漏資料的同一時點的鄰近測站資料進行取代，由於本研究中僅台北測站有鄰近的板橋與淡水測站，取代順位上以板橋測站為優先，若板橋測站也資料缺漏再使用淡水測站的資料，這兩個測站的詳細資料見下表 3-4。



表 3-4 台北與其鄰近測站詳細資料

測站名稱	WMO 代碼	經度	緯度	高程
台北	466920	121.507	25.040	5.0
板橋	466880	121.434	24.999	9.7
淡水	466900	121.440	25.166	19.0

第二，如果鄰近測站皆無法提供代用資料，改以模式運算結果補間。本研究採 Masaki, Kuwagata et al. (2010)的方法產製一複回歸模式用以資料補建，該模式是一個以日照時數與太陽高度角為基礎的考慮交互作用之二次方回歸模式。本研究建立出的複回歸模式見下式 3-4，是由 2000 年至 2014 年逐時日射量資料、逐時日照時數與逐時太陽高度角進行複回歸分析所得出。

$$\frac{ghi}{etr} = C_1 \times F_h^2 + C_2 \times F_h \sin\alpha + C_3 \times \sin^2\alpha + C_4 \times F_h + C_5 \times \sin\alpha \quad \text{式 3-4}$$

其中：

- $ghi$ ：全天空日射量 (Wh/m<sup>2</sup>)。
- $etr$ ：大氣圈外水平面日射量 (Wh/m<sup>2</sup>)。
- $F_h$ ：日照時數 (小時)。
- $\alpha$ ：太陽高度角。
- A、B、C、D、E：係數，見表 3-5。

表 3-5 全天空日射補間公式係數

測站	係數					樣本數量	Adj.R2
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	C <sub>5</sub>		
台北	-0.408	-0.085	-0.073	0.915	0.224	65167	0.89
高雄	-0.212	-0.228	-0.015	0.769	0.241	65167	0.90

另外，為避免單日實測資料與回歸模式推估資料差異過大，造成單日變化趨勢之不穩定，本研究對推估資料進行了振幅修正，使修正後的推估資料至少有一點與實測資料重合，並盡可能包絡越多的實測資料。

最後因為氣象局測站並無記錄直達日射量與擴散日射量，故本研究採取 de Miguel, Bilbao et al. (2001)的模式進行直散分離，用在氣象年之中。



### 3.3 未來氣象年與未來典型年

有關於未來全球氣候變遷，國際間係以政府間氣候變化專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 旗下的數個全球環流模式 (General Circulation Model, GCM) 作為評估未來氣候變遷的標準。

GCM 是一個以大氣與海洋物理理論及其交互作用等物理公式建立起的網格化數值演算模式，在 IPCC 第五次會議架構下的第五階段耦合模式比較計畫 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, CMIP5) 實驗將以往使用的 SRES 情境 (Special Report on Emissions Scenarios) 更改成 RCP 情境 (Representative Concentration Pathways, 代表濃度途徑)。不如過往 SRES A1B、A2、B1 等以人類經濟活動型態為前提的假設模式，RCP 情境改以 2100 年輻射強迫力的上升量做為情境架構的核心，因此本研究使用的 RCP2.6、RCP4.5 與 RCP8.5，分別代表 2100 年地表接受到的輻射強迫力與工業化前相比上升了  $2.6\text{W/m}^2$ 、 $4.5\text{W/m}^2$  與  $8.5\text{W/m}^2$ 。藉由以訂定的世紀末輻射強迫力上升量，CO<sub>2</sub> 的排放曲線也隨之決定，RCP 2.6 的 CO<sub>2</sub> 總量會在 21 世紀中葉前就下降並進行收斂，RCP 4.5 則到 21 世紀末才達到減排目標，RCP 8.5 則是不做任何管理，使 CO<sub>2</sub> 持續增長。

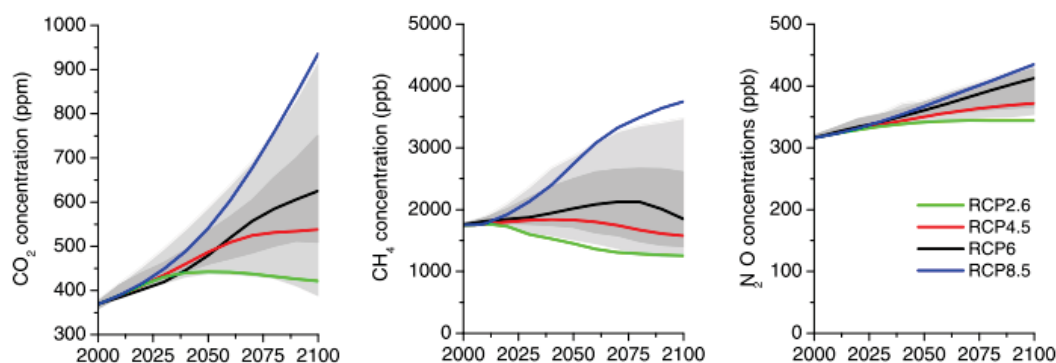


圖 3-4 各 RCP 情境溫室氣體排放量(van Vuuren, Edmonds et al. 2011)

另外，由於 CMIP5 實驗的全球化與長時間推估需求，GCM 其實在精細度上有所限制，網格大小多在數度經緯度間，時間步進以逐月為主，無法應付都市微氣候尺度上的研究，更無論建築尺度的模擬。因此，針對 GCM 的輸出結果，必須要經過降尺度的調整才可以進行更廣泛的應用。

一般而言通用的降尺度方法有以下三種：統計降尺度、動力降尺度與趨勢推估法。三種方法都有其優缺點。

統計降尺度是將 GCM 網格資料與局部地區的歷史資料進行回歸，產生出一個統計上可代表小尺度未來資料的推估式，這個方法準確度高，但是因為統計檢定只能對個氣象要素逐一進行，故產生出的資料會有同時性缺乏的問題，可能產生同一天氣事件發生時，氣象要素間互有矛盾之現象。

動力降尺度使用區域環流模式（Regional Circulation Model，縮寫 RCM）進行運算，RCM 是根據 GCM 的網格輸出作為邊界條件，引入更精細的區域小尺度網格進行交互作用模擬，是理論上模擬結果最完善也詮釋力最高的方法，但是隨之帶來的運算量也是相當可觀，可能在時間面上造成不經濟。

趨勢推估法是藉推求 GCM 兩個時間區段的變化趨勢，將該趨勢應用於歷史氣象資料中。此方法產生出的未來氣象資料折衷地保存了歷史氣象資料原有的同時性與結構，且以極少的運算量即可推求。但是相對而言較前兩者皆稍嫌不準確。然在統計降尺度無法顧全同時性且動力降尺度運算繁雜的狀態下，本研究仍使用名為型態轉變法(Morphing method)的趨勢推估法簡易推估 21 世紀的氣候變遷，其操作流程見下圖 3-5。

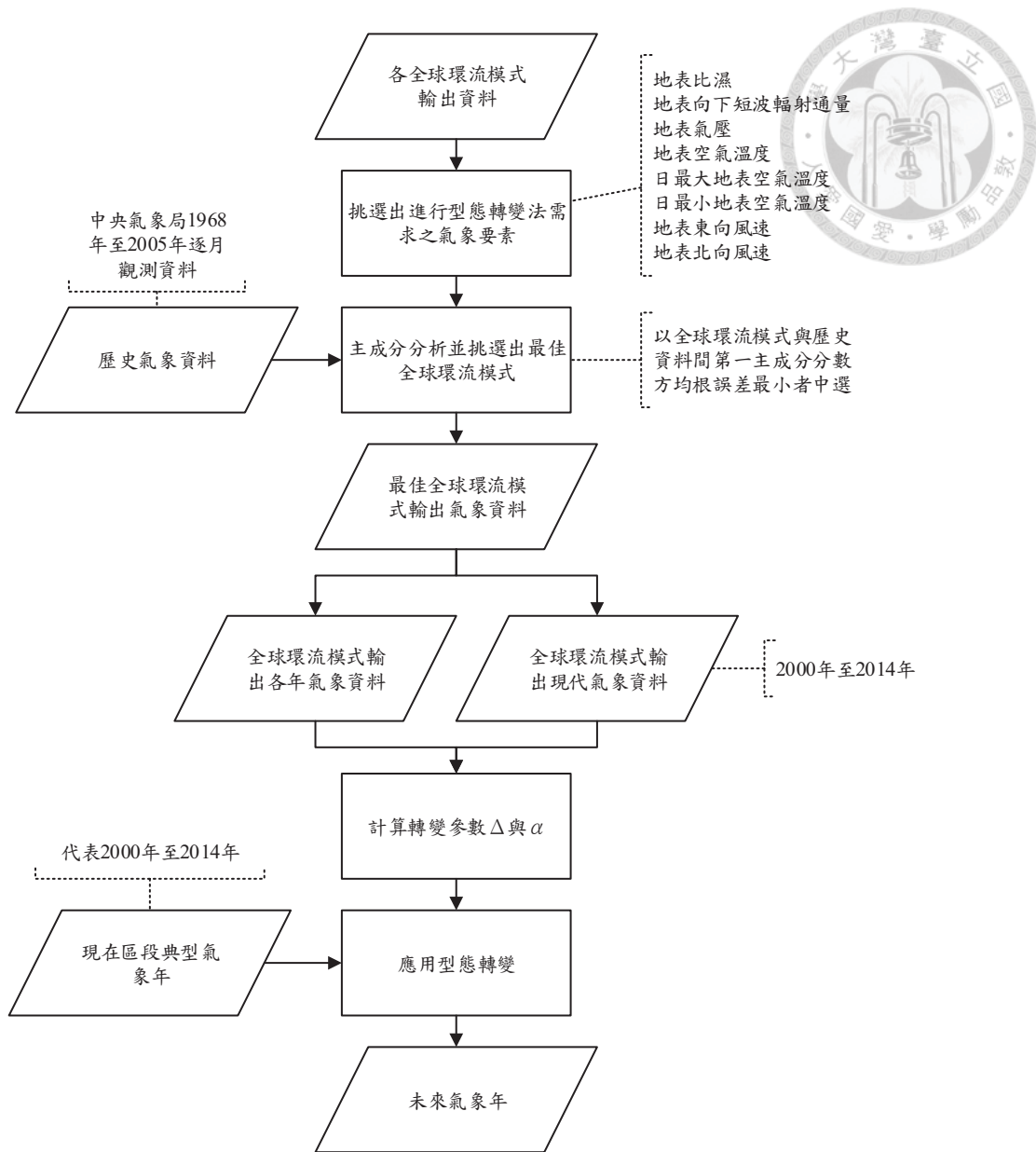


圖 3-5 型態轉變法實作流程圖

### 3.3.1 型態轉變法

型態轉變法 (Morphing method) 是由 Belcher, Hacker et al. (2005) 建立，此方法假設 GCM 的趨勢變化在整個網格內都是均勻一致的且具有可加性與可乘性，故可以直接相加或相乘於當代的歷史觀測資料上，Belcher, Hacker et al. (2005) 將型態轉變法分成三類型態轉變模式：(1) 趨勢只對歷史資料產生線性增減的「平移型」。(2) 趨勢使歷史資料的擺幅增大的「延伸型」。(3) 同時考量平移與擺幅改變的「混合型」。這三類型態轉變模式依照順序分別如下列式 3-5、式 3-6 與式 3-7 所示：

$$x = x_0 + \Delta x_m \quad \text{式 3-5}$$

$$x = \alpha_m x_0 \quad \text{式 3-6}$$

$$x = \langle x_0 \rangle_m + \Delta x_m + \alpha_m (x_0 - \langle x_0 \rangle_m) \quad \text{式 3-7}$$

其中：

$x$ ：型態轉變後的結果。

$x_0$ ：原始資料。

$\Delta x_m$ ：平移參數。

$\alpha_m$ ：延伸參數。

$\langle x_0 \rangle_m$ ：原始資料月均值。

因此本研究以 IPCC 第 5 次會議釋放出的 CMIP5 實驗架構下的各 GCM 模擬結果對應以章節 3.2 論述之方法產生的當代典型氣象年，再應用型態轉變法製作出 21 世紀逐年之未來氣象年。故型態轉變法於本研究的實作方式詳見表 3-6 與式 3-8、式 3-9、式 3-10、式 3-11 及式 3-12。

表 3-6 型態轉變法使用氣象要素資料與型態轉變模式一覽表

典型氣象年 氣象要素	GCM 氣象要素	型態轉變模式
乾球溫度	月均地表溫度	混合型
	月均日最大地表溫度	
	月均日最小地表溫度	
氣壓	地表氣壓	平移型
比濕(由乾球溫度、氣壓、相對濕度計算)	地表比濕	延伸型
全天空日射通量	地表向下短波輻射通量	延伸型
風速	地表東向風速	延伸型
	地表北方向風速	



乾球溫度：

$$dbt = \langle dbt_0 \rangle_m + \Delta TEMP_m + \alpha TEMP (dbt_0 - \langle dbt_0 \rangle_m)$$

$$\Delta TEMP_m = TAS_f - TAS_p$$

$$\alpha TEMP = \frac{TASMAX_f - TASMIN_f}{TASMAX_p - TASMIN_p}$$

式 3-8

其中：

- $dbt$ ：型態轉變後乾球溫度 (°C)。
- $dbt_0$ ：TMY 乾球溫度 (°C)。
- $\langle dbt_0 \rangle_m$ ：TMY 月均乾球溫度 (°C)。
- $\Delta TEMP$ ：溫度逐月平移係數。
- $TAS$ ：GCM 地表空氣溫度 (°C)。
- $\alpha TAS$ ：溫度逐月延伸係數。
- $TASMAX$ ：GCM 月均日最大地表溫度 (°C)
- $TASMIN$ ：GCM 月均日最小地表溫度 (°C)
- 附註：下標  $f$  表示未來， $p$  表示當代。

氣壓：

$$pr = pr_0 + \Delta PRES$$

$$\Delta PRES = PS_f - PS_p$$

式 3-9

其中：

- $pr$ ：型態轉變後氣壓 (hPa)。
- $pr_0$ ：TMY 氣壓 (hPa)。
- $\Delta PRES$ ：氣壓逐月平移係數。
- $PS$ ：GCM 地表氣壓 (hPa)。
- 附註：下標  $f$  表示未來， $p$  表示當代。



比濕：

$$sh = \alpha SHUM \times sh_0$$

$$\alpha SHUM = \frac{HUSS_f}{HUSS_p}$$

其中：

$sh$ ：型態轉變後比濕 (kg/kg)。  
 $sh_0$ ：TMY 比濕 (kg/kg)。  
 $\alpha SHUM$ ：比濕月延伸係數。  
 $HUSS$ ：GCM 地表比濕 (kg/kg)。  
 附註：下標  $f$  表示未來， $p$  表示當代。

全天空日射通量：

$$ghi = \alpha GRAD \times ghi_0$$

$$\alpha GRAD = \frac{RSDS_f}{RSDS_p}$$

式 3-11

其中：

$ghi$ ：型態轉變後全天空日射通量 (W/m<sup>2</sup>)。  
 $ghi_0$ ：TMY 全天空日射通量 (W/m<sup>2</sup>)。  
 $\alpha GRAD$ ：日射量月延伸係數。  
 $RSDS$ ：GCM 地表向下短波輻射通量 (W/m<sup>2</sup>)。  
 附註：下標  $f$  表示未來， $p$  表示當代。

風速：

$$ws = \alpha WSPD \times ws_0$$

$$\alpha WSPD = \sqrt{\frac{UAS_f^2 + VAS_f^2}{UAS_p^2 + VAS_p^2}}$$

式 3-12

其中：

$ws$ ：型態轉變後風速 (m/s)。  
 $ws_0$ ：TMY 風速 (m/s)。  
 $\alpha WSPD$ ：風速月延伸係數。  
 $UAS$ ：GCM 地表東向風速 (m/s)。  
 $VAS$ ：GCM 地表北向風速 (m/s)。  
 附註：下標  $f$  表示未來， $p$  表示當代。

### 3.3.2 使用 GCM 的挑選

由章節 3.3.1 可知，型態轉變法依賴 GCM 的輸入才可以得到結果，但是各個 GCM 彼此間有所變異，也就是伴隨著輸入不同的 GCM 所推估得的未來氣象年也會有所不同，故必須判別究竟哪個 GCM 合適於台灣本地的氣象研究。

由於型態轉變法使用了數個不同的氣象要素資料，包含比濕、日射量、溫度、風速，不可以針對單一氣象要素進行比較，為了氣象要素間的公平性，本研究參考翁瑄騰(2014)之研究引入主成分分析 (principal component analysis) 用以簡化數據集。

主成分分析是一個統計分析方法，常用於進行多變數數據的簡化。其原理以幾何描述即是藉由旋轉矩陣進行座標軸轉換，將線性相依的多變數資料，轉換至彼此正交的新變數軸上，這些新的變數軸稱為主成分 (principal component)，原資料點對應在新的變數軸上的投影座標點即為主成分分數 (principal component score)，通常第一順位的主成分 (後稱第一主成分) 會被保留最大的變異量，即原資料點在第一主成分軸上相互之間的離散程度會最大，詮釋力也較強，故本研究將以四個氣象要素資料變換成的第一主成分分數，作為判別 GCM 合適性的標準。

由於使用的 GCM 必須記錄用於型態轉變法的月均地表溫度、地表比濕、地表向下短波輻射通量、地表東向風速、地表北方向風速，若有任一缺漏即無法使用，故本研究使用主成分分析方法進行合適度辨別的 GCM 僅以上六組，見表 3-7。用以比較的實測氣象資料來自台北、新竹、台中、花蓮、嘉義、台南、台東、高雄一共 8 個測站 1968 至 2005 年的歷史月平均氣象資料，這些測站相對應的 GCM 網格見以下表 3-8。每個測站資料都與其對應的網格月平均進行主成分分析，針對第一主成分分數以時序方均根誤差 (RMSD) 進行檢核，本階段的 RMSD 定義如下式 3-13，RMSD 最小者即為該測站最佳 GCM，這些最佳 GCM 出現率最高者即為最後使用於型態轉變法的 GCM。



表 3-7 本研究使用 GCM 列表

開發國家	模式名稱	解析度	每網格精度
中國	BCC-CSM1.1	128×64	2.813°×2.813°
加拿大	CanESM2	128×64	2.813°×2.813°
美國	GISS-E2-H	144×90	2.500°×2.000°
法國	IPSL-CM5A-LR	96×96	3.750°×1.875°
日本	MRI-CGCM3	320×160	1.125°×1.125°
挪威	NorESM1-M	144×96	2.500°×1.875°

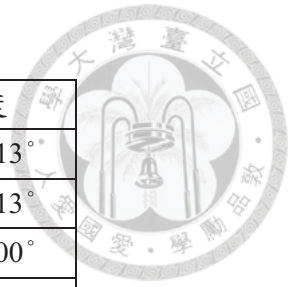


表 3-8 GCM 網格與氣象局測站對應表

模式名稱	使用網格	對應測站
BCC-CSM1.1	[44,41]	全部
CanESM2	[44,41]	全部
GISS-E2-H	[49,57]	花蓮、嘉義、台南、台東、高雄
	[49,58]	台北、新竹、台中
IPSL-CM5A-LR	[33,60]	台南、台東、高雄
	[33,61]	新竹、台中、花蓮、嘉義
	[33,62]	台北
MRI-CGCM3	[108,100]	高雄
	[108,101]	嘉義、台南
	[108,102]	新竹、台中
	[109,101]	台東
	[109,102]	花蓮
	[109,103]	台北
NorESM1-M	[49,60]	高雄
	[49,61]	台中、嘉義、台南、台東
	[49,62]	新竹
	[50,61]	花蓮
	[50,62]	台北

$$RMSD_{GCM} = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^N (PC1_{GCM,t} - PC1_{OBS,t})^2}{N}}$$

式 3-13

其中：

PC1：第一主成分分數。

$t$ ：時間序。

$N$ ：比較的總量。

附註：下標 GCM 表示源於 GCM 資料，下標 OBS 表示源於實測資料。



### 3.3.3 未來典型年

現今的電腦運算速度十分強大，若要得到一段時間的建築性能是比過往容易的。但是本研究評估未來能源變遷的方式並非將產製出的 21 世紀未來氣象年逐一模擬，再對想取用的時間段進行平均。而是先行規劃好要取用的時間段，再利用典型氣象年方法將這些未來氣象年重新組合成「未來典型年」。之所以採用這個程序的緣由主要是為了使典型氣象年與未來典型年在最終的生成方法保有一致性，使輸入 EnergyPlus 建築性能模擬軟體的輸出結果在相同的比較基準上，如此才不會對任何一個時間段的輸出結果再進行後處理，造成有可能發生的性質改變。

而本研究將產製出的 21 世紀未來氣象年區分成三個時間段：(1) 近未來：2011 至 2040 年；(1) 世紀中：2041 至 2070 年；(1) 世紀末：2071 至 2100 年。

### 3.4 建築性能模擬

EnergyPlus 是由由美國能源部 (Department of Energy) 資助，由勞倫斯·伯克利國家實驗室 (Lawrence Berkeley National Laboratory)、伊利諾斯大學 (University of Illinois)、美國陸軍建築工程實驗室 (U. S. Army Construction Engineering Research Laboratory)、奧克拉荷馬州立大學 (Oklahoma State University) 等單位共同開發的建築物性能模擬軟體，該軟體利用動態熱傳理論，對建築物及相關的供熱、通風和空調設備進行模擬計算，可應用於建築耗能、熱舒適、多區域通風等建築物性能議題上。此軟體是目前美國能源部官方認證的建築物性能模擬軟體，在業界與學術界皆有廣泛地使用。

故本研究使用 EnergyPlus 引入 2000 年至 2014 年典型氣象年 (當代)、2011 年至 2040 年未來典型年 (近未來)、2041 年至 2070 年未來典型年 (世紀中) 與 2071 年至 2100 年未來典型年 (世紀末) 代表 4 個時間區段的典型氣象年進行對假想建築物進行性能模擬。

#### 3.4.1 基線辦公建築物輸入參數

為確定未來氣候變遷對於辦公建築物的空調耗能改變，本研究輸入三個不同窗牆比 (WWR=30%、60%、90%) 的 10 層樓，長寬皆 30m 的正方形平面辦公建築物進行模擬，作為本研究比較未來空調耗能的基線建築物。該辦公建築物以中央空調系統全棟空調，且每層樓分割成五個空間，分別為四個外周區與一個核心區，平面圖見圖 3-6。

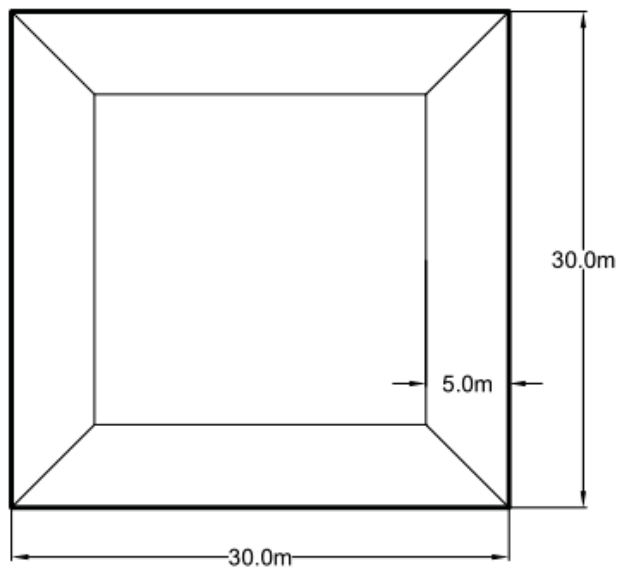
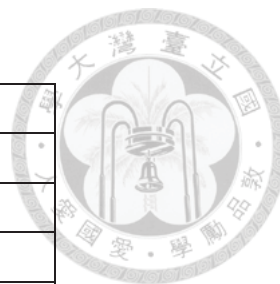


圖 3-6 辦公室模型平面圖

下表 3-9 列出了該辦公建築物模型各項輸入參數，為求在當代(2000 至 2014 年)的空調耗能能成為基準值，外殼輸入參數的部分以法規底線的外牆 U 值  $3.5 \text{ W/m}^2\text{-K}$  與屋頂 U 值  $1.0 \text{ W/m}^2\text{-K}$  設定之。

表 3-9 基線辦公廳模型基本參數列表



基本參數假設	
樓高	3.4 m
層數	10 層
總樓地板面積	9000 m <sup>2</sup>
外殼輸入參數	
窗牆比 WWR	30%、60%、90%
牆壁 U 值	3.5 W/m <sup>2</sup> -K
牆壁熱惰指標 D 值*	1.5
牆壁反照率	0.1
屋頂 U 值	1.0 W/m <sup>2</sup> -K
屋頂熱惰指標 D 值*	5.0
屋頂反照率	0.1
玻璃 U 值	6.5 W/m <sup>2</sup> -K
玻璃 SHGC	0.8
遮陽深度	0.6 m
空調假設	
空調二次側	變風量系統
COP 性能係數	6.1
空調設定溫度	25 °C
空調容量	自動調控
室內發散熱假定	
照明密度	15 W/m <sup>2</sup>
照明時程	見圖 3-7
人員密度	0.1 人/m <sup>2</sup>
設備密度	10 W/m <sup>2</sup>
人員與設備使用時程	見圖 3-8

\*熱惰指標 D 值=熱阻 R 值 (m<sup>2</sup>-K/W) ×熱惰係數 S 值 (W/m<sup>2</sup>-K)。

$$S = \sqrt{\frac{2\pi\rho ck}{w}} = 0.51\sqrt{\rho ck}$$

其中：

$\rho$ ：密度 (kg/m<sup>3</sup>)。c：比熱 (KJ/kg-K)。  
 $k$ ：導熱係數 (W/m-K)。w：時間，代入 24 小時。  
 以上定義引自(林子平、黃瑞隆 2014)。

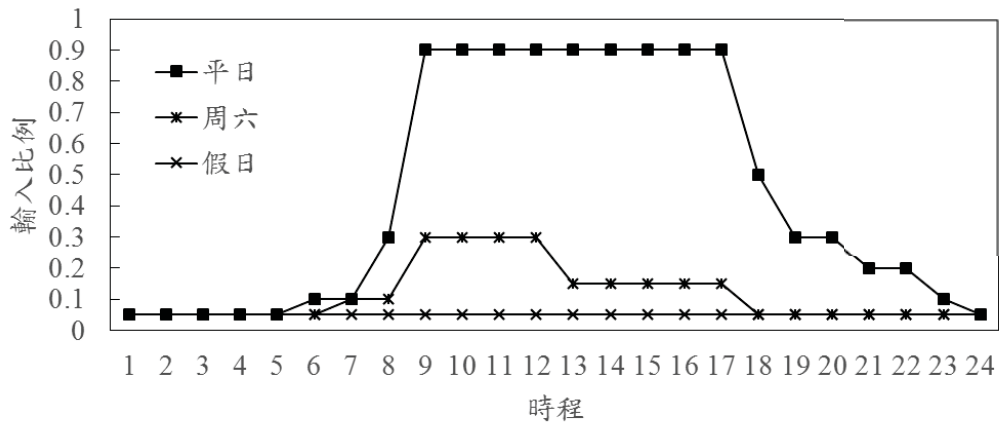


圖 3-7 照明時程圖

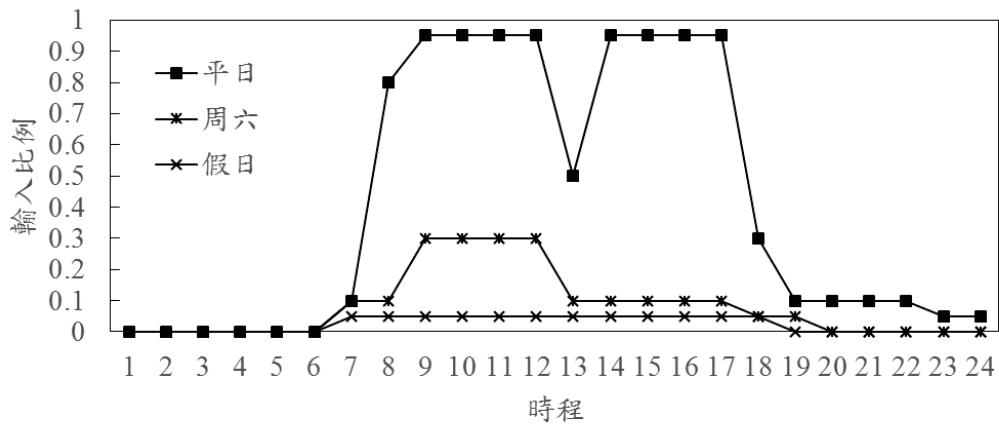


圖 3-8 人員與設備使用時程圖

### 3.4.2 各因子對辦公廳建物未來建築空調耗能密度

以及調整建築外殼因子在未來氣候狀況下改變多少能耗，本研究應用田口實驗計劃法 L27 直交表改變牆壁熱傳 U 值、牆壁熱惰指標 D 值、牆壁反照率、屋頂熱傳 U 值、屋頂熱惰指標 D 值、屋頂反照率、玻璃熱傳 U 值、玻璃熱取得係數 SHGC、遮陽深度共 9 組外殼變因，進行 3 水準的 27 次實驗，水準定義與實驗順序見表 3-10 與表 3-11，其中模型編號 1 的模型即是章節 3.4.1 所述之基線辦公建築物。

表 3-10 外殼變因與水準對應表

	對應列號	水準 1	水準 2	水準 3	單位
牆壁 U 值	列 1	3.5	2.5	1.5	W/m <sup>2</sup> -K
牆壁 D 值	列 2	1.5	2.5	3.5	--
牆壁反照率	列 3	0.1	0.5	0.9	--
屋頂 U 值	列 4	1	0.7	0.4	W/m <sup>2</sup> -K
屋頂 D 值	列 5	5	6	7	--
屋頂反照率	列 6	0.1	0.5	0.9	--
玻璃 U 值	列 7	6.5	5	3.5	W/m <sup>2</sup> -K
玻璃 SHGC	列 8	0.8	0.55	0.3	--
遮陽深度	列 9	0.6	1.2	1.8	m

表 3-11 L27 實驗順序與變因水準對應表



模型 編號	L27 直交表列號與對應變因								
	列 1	列 2	列 3	列 4	列 5	列 6	列 7	列 8	列 9
	牆壁 U 值	牆壁 D 值	牆壁 反照率	屋頂 U 值	屋頂 D 值	屋頂 反照率	玻璃 U 值	玻璃 SHGC	遮陽 深度
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1

表 3-12 L27 實驗順序與變因水準對應表(實際值)

模型 編號	L27 直交表列號與對應變因								
	列 1	列 2	列 3	列 4	列 5	列 6	列 7	列 8	列 9
	牆壁 U 值	牆壁 D 值	牆壁 反照率	屋頂 U 值	屋頂 D 值	屋頂 反照率	玻璃 U 值	玻璃 SHGC	遮陽 深度
W/m <sup>2</sup> K	--	--	W/m <sup>2</sup> K	--	--	W/m <sup>2</sup> K	--	m	
1	3.5	1.5	0.1	1	5	0.1	6.5	0.8	0.6
2	3.5	1.5	0.1	1	6	0.5	5	0.55	1.2
3	3.5	1.5	0.1	1	7	0.9	3.5	0.3	1.8
4	3.5	2.5	0.5	0.7	5	0.1	6.5	0.55	1.2
5	3.5	2.5	0.5	0.7	6	0.5	5	0.3	1.8
6	3.5	2.5	0.5	0.7	7	0.9	3.5	0.8	0.6
7	3.5	3.5	0.9	0.4	5	0.1	6.5	0.3	1.8
8	3.5	3.5	0.9	0.4	6	0.5	5	0.8	0.6
9	3.5	3.5	0.9	0.4	7	0.9	3.5	0.55	1.2
10	2.5	1.5	0.5	0.4	5	0.5	3.5	0.8	1.2
11	2.5	1.5	0.5	0.4	6	0.9	6.5	0.55	1.8
12	2.5	1.5	0.5	0.4	7	0.1	5	0.3	0.6
13	2.5	2.5	0.9	1	5	0.5	3.5	0.55	1.8
14	2.5	2.5	0.9	1	6	0.9	6.5	0.3	0.6
15	2.5	2.5	0.9	1	7	0.1	5	0.8	1.2
16	2.5	3.5	0.1	0.7	5	0.5	3.5	0.3	0.6
17	2.5	3.5	0.1	0.7	6	0.9	6.5	0.8	1.2
18	2.5	3.5	0.1	0.7	7	0.1	5	0.55	1.8
19	1.5	1.5	0.9	0.7	5	0.9	5	0.8	1.8
20	1.5	1.5	0.9	0.7	6	0.1	3.5	0.55	0.6
21	1.5	1.5	0.9	0.7	7	0.5	6.5	0.3	1.2
22	1.5	2.5	0.1	0.4	5	0.9	5	0.55	0.6
23	1.5	2.5	0.1	0.4	6	0.1	3.5	0.3	1.2
24	1.5	2.5	0.1	0.4	7	0.5	6.5	0.8	1.8
25	1.5	3.5	0.5	1	5	0.9	5	0.3	1.2
26	1.5	3.5	0.5	1	6	0.1	3.5	0.8	1.8
27	1.5	3.5	0.5	1	7	0.5	6.5	0.55	0.6



## 第4章 研究結果



### 4.1 典型氣象年中選年

利用典型氣象年方法對中央氣象局台北高雄測站 2000 年至 2014 年分別挑選典型氣象年，挑選結果如下表 4-1 與表 4-2。從結果可看出 WS 值幾乎都分布在 0.05 上下，最差不超過 0.09，換句話說與歷史資料間加權後的平均結構性誤差不超過 9%。作為最終挑選依據的日射量 RMSD 部分幾乎都分布在每小時 10Wh/m<sup>2</sup> 前後，偶爾有 RMSD 高達 20 出頭 Wh/m<sup>2</sup> 的情況產生，但考量到日射量測計的變異性本身就較大，對於每小時日射量分布約在 70 到 200 Wh/m<sup>2</sup> 間的台灣地區，這樣的最大 RMSD 量還在可接受範圍。

表 4-1 台北典型氣象年中選列表

月序	中選年份	WS 值	RMSD
1	2013	0.0440	6.9557
2	2011	0.0603	7.337
3	2009	0.0375	6.5582
4	2009	0.0706	14.546
5	2013	0.0581	13.9874
6	2006	0.0432	7.0062
7	2008	0.0622	9.844
8	2011	0.0553	11.0191
9	2011	0.0594	12.126
10	2007	0.0773	23.4794
11	2009	0.0396	7.1286
12	2009	0.0688	4.8773



表 4-2 高雄典型氣象年中選列表

月序	中選年份	WS 值	RMSD
1	2013	0.0552	7.5731
2	2004	0.0839	6.0305
3	2007	0.0681	8.2135
4	2009	0.0804	9.6679
5	2011	0.0755	16.0177
6	2008	0.0674	7.0855
7	2008	0.0703	12.1665
8	2009	0.0761	13.5887
9	2005	0.0745	8.1019
10	2009	0.0420	12.3115
11	2007	0.0805	4.7333
12	2012	0.0724	6.0658

於是，台北高雄兩地的典型氣象年的氣象統計結果如下表 4-3，因為紀載氣象要素眾多，故僅挑乾球溫度與全天空日射量進行呈現。氣溫與日射量隨緯度增減大致呈南高北低，台北夏季受溫室效應影響也有確實表現出來。

表 4-3 典型氣象年氣象要素統計

月份	台北		高雄	
	乾球溫度 °C	全天空日射量 Wh/m <sup>2</sup>	乾球溫度 °C	全天空日射量 Wh/m <sup>2</sup>
一月	16.7	73.4	19.6	128.1
二月	16.9	89.7	19.8	147.1
三月	18.6	101.2	23.5	159.3
四月	21.3	120.9	24.8	179.8
五月	26	138.8	27.1	191.2
六月	28	148.7	28	192.3
七月	29.6	183.7	28.7	201.2
八月	29.6	176.1	29.2	184.9
九月	27.6	154.7	28.8	171.8
十月	24.8	103.7	26.8	155.3
十一月	21.5	84.9	23.4	124.3
十二月	17.2	71.8	21.1	113.5



## 4.2 未來氣象年

### 4.2.1 中選 GCM 模式

經過主成分分析計算過程，擁有最大變異量的第一主成分其構成式見式 4-1。別於台灣八個城市，針對每個 GCM 利用式 3-13 計算出 1968 年至 2005 年歷史期距累計每月份 RMSD 的統計結果如下表 4-4，其中加拿大 CanESM2 模式在 8 個城市中有 5 個城市表現都為最佳，故該模式將成為本研究後續用於型態轉變法的基礎 GCM。

$$\begin{aligned}
 PC1_t = & 0.6912 \left( \frac{H_t}{H_{\max} - H_{\min}} - \bar{H} \right) + 0.1772 \left( \frac{R_t}{R_{\max} - R_{\min}} - \bar{R} \right) \\
 & - 0.2663 \left( \frac{T_t}{T_{\max} - T_{\min}} - \bar{T} \right) - 0.6481 \left( \frac{W_t}{W_{\max} - W_{\min}} - \bar{W} \right)
 \end{aligned}
 \tag{式 4-1}$$

其中：

$PC1$ ：第一主成分分數。

$H$ ：比濕 (kg/kg)。

$R$ ：日射通量 (W/m<sup>2</sup>)。

$T$ ：溫度 (°C)。

$W$ ：風速 (m/s)。

附註：下標  $t$  表時間點，下標 max、min 表最大最小值。

上標  $\bar{\quad}$  表平均值。

表 4-4 各 GCM 模式 RMSD 列表

城市	GCM 模式						該項最佳 GCM 模式
	BCC-CSM1.1	CanESM2	GISS-E2-H	IPSL-CM5A-LR	MRI-CGCM3	NorESM1-M	
台中	0.338	0.238*	0.365	0.409	0.379	0.466	CanESM2
台北	0.500	0.558	0.487*	0.612	0.566	0.556	GISS-E2-H
台東	0.410	0.197*	0.779	0.370	0.296	0.570	CanESM2
台南	0.399	0.224*	0.773	0.337	0.447	0.540	CanESM2
花蓮	0.176*	0.406	0.457	0.218	0.398	0.190	BCC-CSM1.1
高雄	0.482	0.203*	0.912	0.415	0.323	0.409	CanESM2
新竹	0.221	0.397	0.266	0.207*	0.219	0.347	IPSL-CM5A-LR
嘉義	0.306	0.292*	0.677	0.328	0.364	0.414	CanESM2

附註：\*號表該城市 RMSD 最小 GCM

#### 4.2.2 未來氣象年與未來典型年

利用章節 4.1 產生出之台北高雄典型氣象年，以及章節 4.2.1 選出的加拿大 CanESM2 全球環流模式，可以應用型態轉變法產生出 21 世紀共 100 年份的未來氣象年，台北高雄兩地的產出成果可見圖 4-1、圖 4-2、圖 4-3 與圖 4-4 對於乾球溫度與全天空日射通量之呈現。溫度上南高北低的狀態在未來仍然持續著，RCP 情境間的差異也大致符合情境假設，RCP2.6 在世紀中受到控制，降低暖化現象，而 RCP 8.5 因不受控制暖化越趨嚴重。

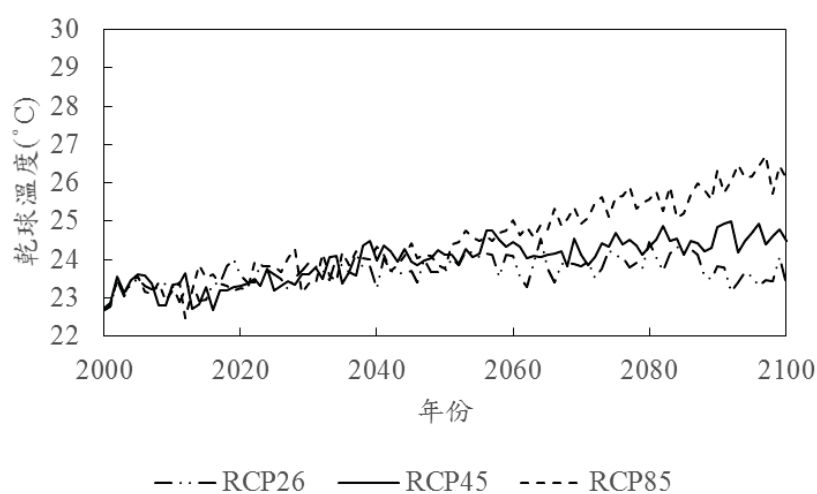


圖 4-1 台北未來氣象年逐年乾球溫度變化圖

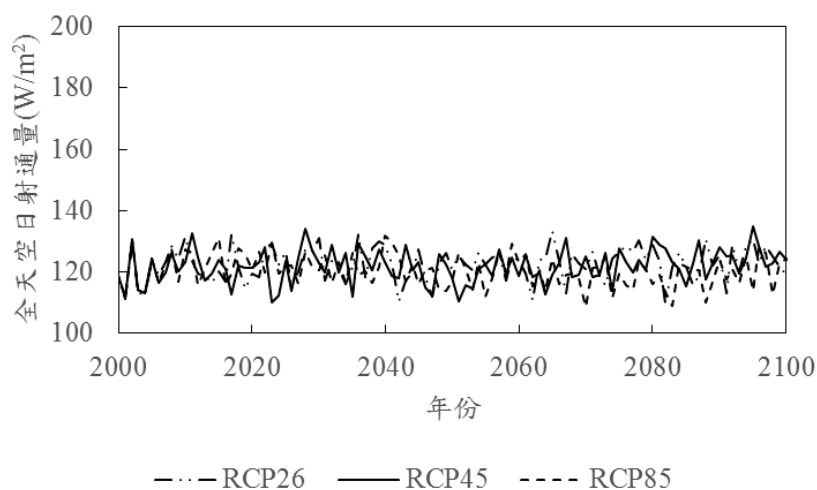


圖 4-2 台北未來氣象年逐年全天空日射通量變化圖

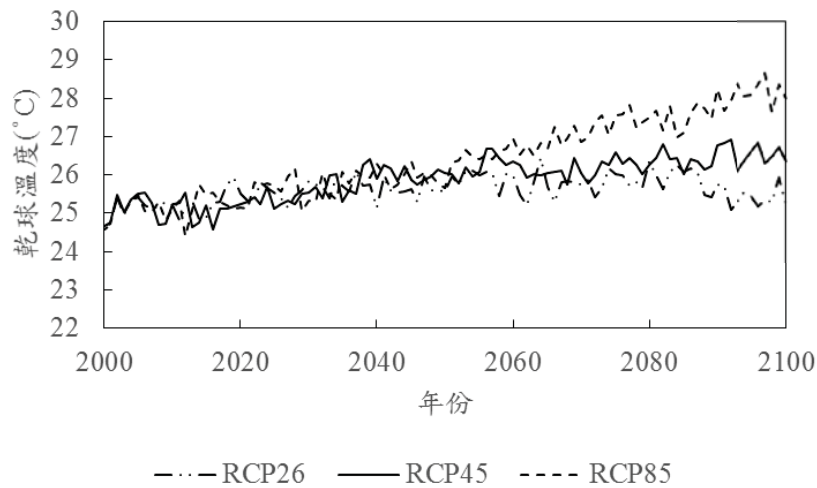


圖 4-3 高雄未來氣象年逐年乾球溫度變化圖

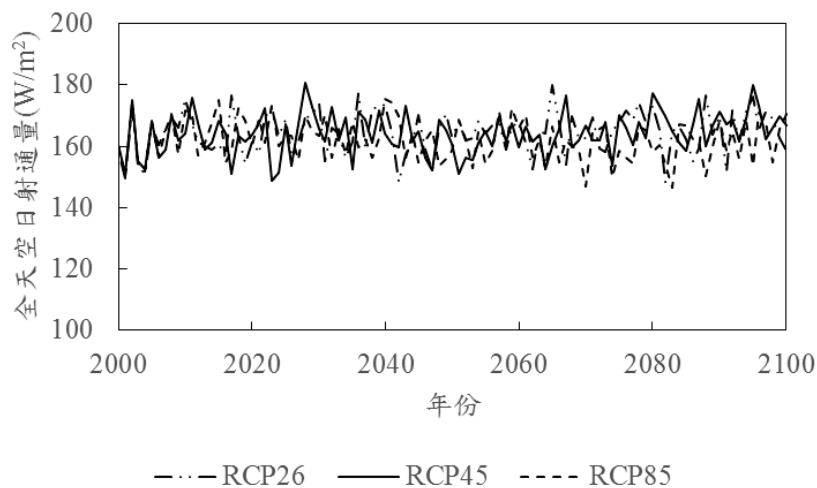


圖 4-4 高雄未來氣象年逐年全天空日射通量變化圖

為了使透過未來氣象年的建築性能模擬結果可以直接與典型氣象年的結果直接比較，以及減少模擬的作業量，前述製作出來的 100 年份未來氣象年再利用典型氣象年方法製作成近未來（2011 至 2040 年）、世紀中（2041 至 2070 年）、世紀末（2071 至 2100 年）三個時間區段的未來典型年，這些未來典型年的中選年份與乾球溫度、全天空日射量的參數統計值見下表 4-5 至表 4-10。這些未來典型年也保留了 RCP 情境給予的假設，符合該情境與該時間區段應有的氣候狀態。

表 4-5 台北未來典型年中選列表

台北 月份	RCP 2.6			RCP 4.5			RCP 8.5		
	近未來	世紀中	世紀末	近未來	世紀中	世紀末	近未來	世紀中	世紀末
一月	2026	2067	2078	2017	2045	2071	2039	2068	2086
二月	2027	2044	2098	2025	2048	2086	2021	2052	2100
三月	2029	2043	2077	2029	2054	2100	2022	2045	2095
四月	2037	2061	2079	2011	2067	2073	2011	2046	2098
五月	2028	2062	2091	2022	2063	2087	2031	2058	2082
六月	2038	2063	2097	2031	2061	2073	2022	2043	2072
七月	2025	2070	2093	2029	2065	2087	2035	2045	2086
八月	2016	2055	2099	2030	2058	2092	2016	2048	2090
九月	2039	2061	2089	2022	2044	2088	2023	2044	2073
十月	2021	2066	2072	2031	2044	2079	2025	2052	2074
十一月	2034	2044	2077	2026	2049	2089	2028	2062	2088
十二月	2025	2045	2079	2024	2061	2087	2020	2065	2083

表 4-6 台北未來典型年乾球溫度統計

台北 月份	RCP 2.6			RCP 4.5			RCP 8.5		
	近未來	世紀中	世紀末	近未來	世紀中	世紀末	近未來	世紀中	世紀末
一月	17.5	17.2	17.1	16.4	17.7	17.5	16.9	17.8	18.4
二月	16.4	16.9	17.5	16.8	17.6	17.5	16.9	17.5	18.8
三月	18.9	18.7	19.1	18.9	19.4	19.5	19.9	20.3	20.5
四月	21.8	21.9	20.8	21.6	22.6	21.7	22.0	21.9	22.9
五月	25.9	26.2	26.3	26.5	27.0	27.2	26.2	27.4	28.4
六月	28.5	28.7	28.5	28.9	29.4	29.0	28.5	28.8	30.9
七月	29.7	30.5	29.7	30.5	30.6	30.5	30.3	30.6	32.2
八月	30.0	30.4	30.4	30.2	30.3	30.6	30.1	30.7	32.4
九月	28.4	28.2	28.3	28.3	28.4	28.7	28.4	29.3	29.8
十月	25.2	25.7	25.2	25.6	25.9	26.3	25.8	26.4	27.1
十一月	22.1	22.0	21.5	22.0	22.6	22.6	22.5	22.4	23.3
十二月	17.5	17.5	17.6	17.5	18.0	18.6	17.0	18.7	19.0
單位：°C									

表 4-7 台北未來典型年全天空日射通量統計

台北 月份	RCP 2.6			RCP 4.5			RCP 8.5		
	近未來	世紀中	世紀末	近未來	世紀中	世紀末	近未來	世紀中	世紀末
一月	72.0	69.5	72.0	75.4	75.9	76.2	72.8	70.3	70.3
二月	91.9	92.4	92.5	88.7	91.7	89.1	90.4	94.3	91.9
三月	102.8	105.9	102.7	101.9	100.8	98.8	100.0	99.7	98.8
四月	120.1	123.5	118.8	127.1	128.8	131.9	121.1	122.8	122.9
五月	143.6	140.8	140.9	136.5	139.1	138.6	136.0	138.8	139.0
六月	154.3	159.2	154.8	160.5	157.9	159.3	156.9	154.2	160.8
七月	189.4	185.8	185.3	177.9	178.4	176.8	177.5	181.3	175.9
八月	186.9	183.6	188.8	181.5	179.8	175.7	184.3	180.8	181.1
九月	158.1	155.7	152.9	154.9	152.2	150.4	150.6	151.1	151.3
十月	103.8	103.6	103.6	106.5	100.5	103.4	104.2	106.5	102.8
十一月	83.6	84.0	83.3	85.9	84.0	86.8	84.8	86.9	86.5
十二月	74.2	74.6	75.5	77.7	75.9	75.3	75.8	77.5	72.1
單位：W/m <sup>2</sup>									

表 4-8 高雄未來典型年中選列表

高雄 月份	RCP 2.6			RCP 4.5			RCP 8.5		
	近未來	世紀中	世紀末	近未來	世紀中	世紀末	近未來	世紀中	世紀末
一月	2026	2067	2086	2017	2045	2071	2024	2068	2086
二月	2027	2044	2098	2025	2048	2086	2021	2052	2100
三月	2029	2058	2077	2029	2054	2077	2022	2045	2074
四月	2037	2061	2079	2011	2067	2073	2011	2046	2098
五月	2028	2062	2091	2022	2063	2079	2031	2067	2082
六月	2038	2052	2097	2031	2061	2073	2022	2043	2072
七月	2025	2042	2093	2029	2065	2087	2035	2045	2086
八月	2016	2055	2090	2030	2058	2092	2016	2048	2090
九月	2039	2061	2098	2022	2044	2088	2023	2044	2073
十月	2032	2066	2072	2021	2047	2079	2025	2059	2076
十一月	2034	2056	2077	2026	2049	2089	2037	2062	2088
十二月	2025	2045	2079	2024	2061	2087	2020	2065	2083

表 4-9 高雄未來典型年乾球溫度統計

高雄 月份	RCP 2.6			RCP 4.5			RCP 8.5		
	近未來	世紀中	世紀末	近未來	世紀中	世紀末	近未來	世紀中	世紀末
一月	20.4	20.1	21.0	19.4	20.7	20.4	20.2	20.7	21.3
二月	19.3	19.8	20.4	19.7	20.5	20.4	19.9	20.4	21.7
三月	23.7	23.6	23.9	23.7	24.3	23.5	24.7	25.2	25.0
四月	25.3	25.4	24.3	25.1	26.1	25.2	25.5	25.4	26.3
五月	27.1	27.4	27.5	27.7	28.2	28.6	27.4	28.9	29.6
六月	28.5	28.3	28.5	28.9	29.4	29.0	28.5	28.8	30.9
七月	28.8	29.2	28.7	29.5	29.7	29.6	29.3	29.7	31.3
八月	29.6	30.0	29.7	29.8	29.9	30.2	29.6	30.2	32.0
九月	29.5	29.4	29.6	29.4	29.6	29.9	29.5	30.4	30.9
十月	27.4	27.7	27.2	26.7	27.9	28.3	27.8	28.1	29.6
十一月	24.0	24.2	23.4	23.9	24.5	24.5	24.1	24.3	25.2
十二月	21.4	21.4	21.5	21.5	22.0	22.5	21.0	22.7	22.9

單位：°C



表 4-10 高雄未來典型年全天空日射通量統計

高雄 月份	RCP 2.6			RCP 4.5			RCP 8.5		
	近未來	世紀中	世紀末	近未來	世紀中	世紀末	近未來	世紀中	世紀末
一月	121.3	124.8	131.8	132.6	133.0	125.2	122.7	122.7	121.3
二月	151.5	151.7	145.4	150.3	146.0	148.2	154.5	150.7	151.5
三月	159.4	161.6	160.4	158.6	157.7	157.4	156.9	157.3	159.4
四月	183.6	176.7	188.9	191.4	196.1	180.1	182.5	182.7	183.6
五月	194.0	194.1	188.0	191.5	188.5	187.3	191.0	191.5	194.0
六月	203.1	200.2	207.5	204.2	206.0	202.9	199.3	208.0	203.1
七月	204.7	202.9	194.8	195.3	193.7	194.3	198.5	192.7	204.7
八月	192.8	195.3	190.5	188.7	184.4	193.5	189.8	190.0	192.8
九月	173.0	176.5	172.0	169.0	167.1	167.3	167.9	168.0	173.0
十月	155.0	155.1	154.3	153.1	154.8	156.0	150.3	154.5	155.0
十一月	122.1	121.9	125.7	123.0	127.0	125.4	127.3	126.8	122.1
十二月	118.0	119.3	122.8	119.9	119.0	119.8	122.5	113.9	118.0
單位：W/m <sup>2</sup>									

### 4.3 建築性能模擬

為了後續比較的一致性，本研究所有空調耗能都以空調耗能密度 (Energy use intensity) 呈現，故單位都是每平方公尺用電度數 ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ )，為求表達方便使用代號時皆以  $\text{EUI}_{\text{AC}}$  代號呈現。表 4-11 為本研究設定之三種不同窗牆比辦公建築物在法規設定的基線外殼設定狀態下，輸入台北高雄兩地當代(2000 至 2014 年) 典型氣象年模擬出之推估  $\text{EUI}_{\text{AC}}$ 。由模擬結果可明顯看出窗牆比對於  $\text{EUI}_{\text{AC}}$  有顯著的影響，與普遍認知相符。

表 4-11 三種 WWR 基線辦公建築物模擬  $\text{EUI}_{\text{AC}}$

	台北	高雄
WWR=30%	70.06	72.92
WWR=60%	81.30	84.43
WWR=90%	92.76	96.38
單位： $\text{kWh}/\text{m}^2$		

另外，將三個不同窗牆比的基線辦公建築物與未來典型年進行模擬所得到的結果如下表 4-12 與表 4-13。無論是隨著 RCP 情境輻射強迫力的上升，抑或時間區段逐漸往遠未來推近，基線建築物的空調耗能密度都是有所增加的。窗牆比 30% 的基線建物增加的最大  $\text{EUI}_{\text{AC}}$  在台北是 1.86 至  $7.60\text{kWh}/\text{m}^2$ ，在高雄是 2.01 至  $9.53\text{kWh}/\text{m}^2$ 。窗牆比 60% 的基線建物增加空調耗能密度在台北是 1.81 至  $7.14\text{kWh}/\text{m}^2$ ，在高雄是 1.96 至  $9.06\text{kWh}/\text{m}^2$ 。窗牆比 90% 的基線建物增加空調耗能密度在台北是 1.81 至  $6.92\text{kWh}/\text{m}^2$ ，在高雄是 1.96 至  $8.83\text{kWh}/\text{m}^2$ 。以上趨勢符合氣候變遷的假設。

表 4-12 台北地區三種 WWR 基線辦公建築物未來空調 EUI<sub>Ac</sub>

台北	情境	近未來	世紀中	世紀末
WWR30	RCP 2.6	71.06	71.93	71.45
	RCP 4.5	72.02	72.73	72.74
	RCP 8.5	71.89	73.53	77.66
WWR60	RCP 2.6	82.29	83.11	82.67
	RCP 4.5	83.20	83.82	83.83
	RCP 8.5	83.05	84.63	88.44
WWR90	RCP 2.6	93.78	94.56	94.14
	RCP 4.5	94.66	95.22	95.23
	RCP 8.5	94.49	96.04	99.68
單位：kWh/m <sup>2</sup>				

表 4-13 高雄地區三種 WWR 基線辦公建築物未來空調 EUI<sub>Ac</sub>

高雄	情境	近未來	世紀中	世紀末
WWR30	RCP 2.6	74.37	74.93	74.64
	RCP 4.5	75.01	76.54	76.43
	RCP 8.5	75.38	77.74	82.45
WWR60	RCP 2.6	85.89	86.39	86.16
	RCP 4.5	86.50	87.96	87.86
	RCP 8.5	86.84	89.10	93.49
WWR90	RCP 2.6	97.86	98.33	98.14
	RCP 4.5	98.47	99.87	99.77
	RCP 8.5	98.78	100.99	105.21
單位：kWh/m <sup>2</sup>				



## 第5章 討論



### 5.1 辦公室外殼因子對空調耗能密度變異之貢獻度

本研究依照田口實驗計畫法 L27 直交表針對三水準的外殼因子進行規劃，故總共有 27 組辦公建築物，每一個建物都對台北高雄兩城市與 3 個 RCP 情境 3 個時間區段的未來典型年都進行了建築性能模擬確定其空調耗能密度，故藉由分析這些空調耗能密度值，可以探討究竟哪些外殼因子對於空調耗能密度影響較大。因此，本研究利用田口實驗計畫法中的貢獻度作為檢討外殼因子影響力的重要指標，貢獻度的公式詳見式 5-1。經過 F 檢定確定出顯著的外殼因子後，表 5-1 至表 5-6 列了各個因子的貢獻度，此貢獻度的意義為該因子的變動量占有總變動量的比例，也就是該因子的影響力。從表 5-1 至表 5-6 可以觀察到，不同窗牆比的辦公建築間，貢獻量較高的因子與貢獻程度皆各自有所差異。若只用前三強且貢獻率大於 5% 的外殼因子來論述，窗牆比 30% 辦公建物受到牆壁 U 值、玻璃 SHGC 值與遮陽深度影響，貢獻率分別約為 45%、30%、10%。窗牆比 60% 辦公建物受到、玻璃 SHGC 值、遮陽深度與牆壁 U 值影響，貢獻率分別約為 65%、15%、7%。而窗牆比 60% 辦公建物受到、玻璃 SHGC 值、遮陽深度，貢獻率分別約為 80%、10%。由於上述的外殼因子的貢獻率總合皆在 85% 以上，故後續的因子對空調耗能密度影響量分析也只針對這些重要因子進行探討。

$$\rho = \frac{SS - f \times SSE}{SST} \times 100\% \quad \text{式 5-1}$$

其中：

- $\rho$ ：貢獻度。
- SS：該因子平方和。
- f：該因子自由度。
- SSE：誤差項平方和。
- SST：總平方和。

表 5-1 台北窗牆比 30%辦公建物外殼因子對空調耗能密度變異的貢獻度

台北 WWR30%	當代	RCP 2.6			RCP 4.5			RCP 8.5		
		近未 來	世紀 中	世紀 末	近未 來	世紀 中	世紀 末	近未 來	世紀 中	世紀 末
牆壁 U 值	46.7%	48.4%	49.1%	49.3%	48.4%	49.1%	49.3%	48.1%	49.8%	54.5%
牆壁 D 值	3.5%	3.0%	2.8%	2.8%	3.0%	2.8%	2.8%	3.0%	2.6%	1.8%
牆壁 反照率	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
屋頂 U 值	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
屋頂 D 值	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
屋頂 反照率	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
玻璃 U 值	3.5%	3.7%	3.7%	3.8%	3.7%	3.7%	3.8%	3.7%	3.9%	4.4%
玻璃 SHGC	30.6%	30.2%	29.9%	29.7%	30.2%	29.9%	29.7%	30.3%	29.7%	27.3%
遮陽 深度	11.7%	10.9%	10.7%	10.7%	10.9%	10.7%	10.7%	11.1%	10.4%	8.8%
總和	96.0%	96.2%	96.2%	96.3%	96.2%	96.2%	96.3%	96.2%	96.4%	96.8%

注：該格無數字表該項外殼因子為 F 檢定(顯著水準 0.05)不顯著。

表 5-2 高雄窗牆比 30%辦公建物外殼因子對空調耗能密度變異的貢獻度

高雄 WWR30%	當代	RCP 2.6			RCP 4.5			RCP 8.5		
		近未 來	世紀 中	世紀 末	近未 來	世紀 中	世紀 末	近未 來	世紀 中	世紀 末
牆壁 U 值	43.4%	44.3%	45.3%	44.5%	45.1%	46.5%	46.9%	45.4%	47.7%	53.1%
牆壁 D 值	2.6%	2.2%	2.1%	2.2%	2.2%	1.8%	1.8%	2.1%	1.6%	0.8%
牆壁 反照率	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
屋頂 U 值	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
屋頂 D 值	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
屋頂 反照率	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
玻璃 U 值	3.0%	3.1%	3.2%	3.1%	3.2%	3.3%	3.4%	3.2%	3.5%	4.2%
玻璃 SHGC	36.0%	36.0%	35.5%	35.9%	35.6%	35.1%	34.7%	35.5%	34.6%	31.6%
遮陽 深度	11.4%	11.0%	10.6%	10.8%	10.6%	10.2%	10.1%	10.5%	9.6%	7.7%
總和	96.4%	96.6%	96.7%	96.5%	96.7%	96.9%	96.9%	96.7%	97.0%	97.4%

注：該格無數字表該項外殼因子為 F 檢定(顯著水準 0.05)不顯著。

表 5-3 台北窗牆比 60%辦公建物外殼因子對空調耗能密度變異的貢獻度

台北 WWR60%	當代	RCP 2.6			RCP 4.5			RCP 8.5		
		近未 來	世紀 中	世紀 末	近未 來	世紀 中	世紀 末	近未 來	世紀 中	世紀 末
牆壁 U 值	7.5%	7.6%	7.8%	7.7%	7.8%	8.0%	8.0%	7.8%	8.1%	9.2%
牆壁 D 值	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
牆壁 反照率	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
屋頂 U 值	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
屋頂 D 值	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
屋頂 反照率	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
玻璃 U 值	4.7%	4.7%	4.9%	4.8%	4.9%	5.0%	5.1%	4.9%	5.2%	6.3%
玻璃 SHGC	65.6%	65.8%	65.7%	65.8%	65.7%	65.6%	65.5%	65.6%	65.5%	64.9%
遮陽 深度	17.6%	17.3%	17.1%	17.2%	17.0%	16.9%	16.9%	17.2%	16.7%	15.4%
總和	95.4%	95.4%	95.5%	95.5%	95.4%	95.5%	95.5%	95.5%	95.5%	95.8%

注：該格無數字表該項外殼因子為 F 檢定(顯著水準 0.05)不顯著。



表 5-4 高雄窗牆比 60%辦公建物外殼因子對空調耗能密度變異的貢獻度

高雄 WWR60%	當代	RCP 2.6			RCP 4.5			RCP 8.5		
		近未 來	世紀 中	世紀 末	近未 來	世紀 中	世紀 末	近未 來	世紀 中	世紀 末
牆壁 U 值	6.7%	6.8%	7.0%	6.9%	7.0%	7.2%	7.3%	7.0%	7.4%	8.6%
牆壁 D 值	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
牆壁 反照率	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
屋頂 U 值	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
屋頂 D 值	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
屋頂 反照率	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
玻璃 U 值	3.8%	3.8%	4.0%	3.9%	4.0%	4.1%	4.3%	4.0%	4.4%	5.5%
玻璃 SHGC	68.3%	68.6%	68.4%	68.5%	68.5%	68.5%	68.3%	68.5%	68.5%	67.8%
遮陽 深度	16.8%	16.5%	16.3%	16.4%	16.3%	16.0%	15.9%	16.2%	15.6%	14.2%
總和	95.6%	95.7%	95.7%	95.7%	95.8%	95.8%	95.8%	95.7%	95.9%	96.1%

注：該格無數字表該項外殼因子為 F 檢定(顯著水準 0.05)不顯著。

表 5-5 台北窗牆比 90%辦公建物外殼因子對空調耗能密度變異的貢獻度

台北 WWR90%	當代	RCP 2.6			RCP 4.5			RCP 8.5		
		近未 來	世紀 中	世紀 末	近未 來	世紀 中	世紀 末	近未 來	世紀 中	世紀 末
牆壁 U 值	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
牆壁 D 值	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
牆壁 反照率	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
屋頂 U 值	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
屋頂 D 值	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
屋頂 反照率	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
玻璃 U 值	4.0%	4.0%	4.2%	4.1%	4.2%	4.3%	4.3%	4.2%	4.4%	5.2%
玻璃 SHGC	80.7%	80.8%	80.6%	80.7%	80.7%	80.5%	80.5%	80.6%	80.5%	79.9%
遮陽 深度	10.6%	10.5%	10.5%	10.5%	10.5%	10.4%	10.4%	10.5%	10.4%	10.0%
總和	95.3%	95.3%	95.3%	95.3%	95.4%	95.2%	95.2%	95.3%	95.3%	95.1%

注：該格無數字表該項外殼因子為 F 檢定(顯著水準 0.05)不顯著。

表 5-6 高雄窗牆比 90%辦公建物外殼因子對空調耗能密度變異的貢獻度

高雄 WWR90%	當代	RCP 2.6			RCP 4.5			RCP 8.5		
		近未 來	世紀 中	世紀 末	近未 來	世紀 中	世紀 末	近未 來	世紀 中	世紀 末
牆壁 U 值	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
牆壁 D 值	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
牆壁 反照率	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
屋頂 U 值	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
屋頂 D 值	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
屋頂 反照率	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
玻璃 U 值	3.3%	3.3%	3.4%	3.3%	3.4%	3.5%	3.6%	3.4%	3.7%	4.5%
玻璃 SHGC	81.5%	81.5%	81.4%	81.5%	81.5%	81.4%	81.4%	81.4%	81.3%	80.8%
遮陽 深度	10.6%	10.5%	10.4%	10.5%	10.4%	10.3%	10.3%	10.4%	10.2%	9.9%
總和	95.4%	95.3%	95.2%	95.3%	95.3%	95.2%	95.3%	95.2%	95.2%	95.2%

注：該格無數字表該項外殼因子為 F 檢定(顯著水準 0.05)不顯著。

## 5.2 辦公室外殼因子對空調耗能密度之影響量

由於本研究的最終目標是探討究竟改善多少的外殼參數才能使建築物在 21 世紀末以前可以繼續維持當代水平的空調耗能密度，因此必須先釐清未來氣候狀態下外殼因子對空調耗能密度的敏感度，即是改善多少外殼參數能減少多少空調耗能密度。

另外，為了滿足在未來維持當代水平的設定目標，意即該建物必須在外界環境熱取得最大的狀態也要滿足維持當代水平的目標，反過來說其實只要基線建築空調耗能密度最高的時間區段進行討論。一般而言最高的時間區段會發生在世紀末（2071 至 2100 年），但由於 RCP 2.6 的情境因其情境設定，空調耗能密度反而在世紀中（2040 至 2070 年）達到最鼎盛，故檢討空調耗能密度之影響量時 RCP 2.6 的情境以世紀中的時間區段進行評估，其餘 RCP 4.5 與 RCP 8.5 皆以世紀中的時間區段進行評估。

由於章節 5.1 已經利用貢獻度辨認出外牆 U 值、玻璃 SHGC 值與遮陽深度 3 種外殼因子是影響空調耗能密度最顯著的 3 種因子，故對於該因子 3 個水準對應之相對基線建築空調耗能密度影響量進行二次方曲線適配，可得一表達外殼因子對空調耗能密度的影響量之構造式，其構造見式 5-2，其係數見表 5-7、表 5-8 與表 5-9。詳細的二次方曲線配置圖見後續章節 5.2.1、5.2.2 與 5.2.3。藉由引入不同係數，該公式可解釋在不同城市與時間區段下，改變牆壁 U 值、玻璃 SHGC 值與遮陽深度，會對基線建築物改變多少空調耗能密度。

$$\Delta EUI_{AC} = a \times U^2 + b \times U + c \times S^2 + d \times S + e \times D^2 + f \times D + g \quad \text{式 5-2}$$

其中：

$\Delta EUI_{AC}$ ：影響量，即對於該基線建物之  $EUI_{AC}$  差異量 ( $\text{kWh}/\text{m}^2$ )。

$U$ ：牆壁 U 值 ( $\text{W}/\text{m}^2\text{-K}$ )，有效範圍：1.5 至 3.5。

$S$ ：玻璃 SHGC 值，有效範圍：0.5 至 0.8。

$D$ ：遮陽深度 (m)，有效範圍：0.6 至 1.2。

$a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 、 $e$ 、 $f$ 、 $g$ ：係數。

表 5-7 窗牆比 30%辦公建築物式 5-2 係數表

WWR30%	情境	a	b	c	d	e	f	g
台北	RCP 2.6	0.3269	0.9086	-1.3037	9.5131	1.2423	-4.9856	-5.7825
	RCP 4.5	0.3139	0.9935	-1.1778	9.2814	1.2204	-4.8953	-3.3370
	RCP 8.5	0.2390	1.5975	-1.0049	9.0456	1.1501	-4.6103	10.1878
高雄	RCP 2.6	0.3619	0.6731	-0.8469	9.7606	1.3640	-5.2485	-5.3864
	RCP 4.5	0.3418	0.8370	-0.7012	9.5578	1.3533	-5.1824	-1.1084
	RCP 8.5	0.2491	1.5657	-0.3630	9.0949	1.2564	-4.7729	15.6354

表 5-8 窗牆比 60%辦公建築物式 5-2 係數表

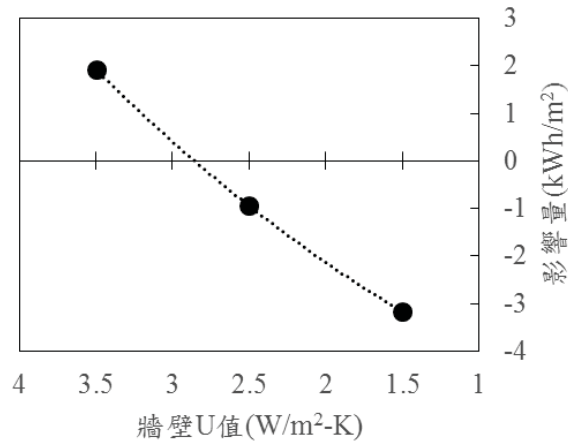
WWR60%	情境	a	b	c	d	e	f	g
台北	RCP 2.6	0.8619	-2.4537	-3.3580	25.5540	1.6392	-8.5833	-10.3247
	RCP 4.5	0.8512	-2.3901	-3.2025	25.1700	1.6277	-8.4864	-7.9633
	RCP 8.5	0.7940	-1.9923	-2.7333	24.2650	1.6397	-8.2472	5.5562
高雄	RCP 2.6	0.9093	-2.7204	-3.2000	26.8000	1.9084	-9.3112	-10.3413
	RCP 4.5	0.8971	-2.6250	-2.9580	26.4460	1.9041	-9.2248	-6.0270
	RCP 8.5	0.8370	-2.1846	-2.4296	25.3940	1.9367	-8.9666	10.5793

表 5-9 窗牆比 90%辦公建築物式 5-2 係數表

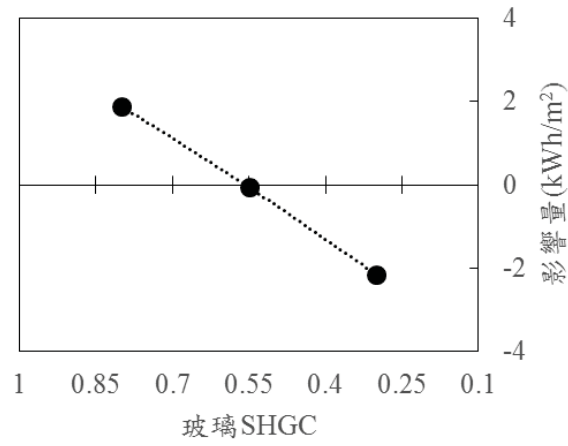
WWR90%	情境	a*	b*	c	d	e	f	g
台北	RCP 2.6	--	--	-6.4000	45.2800	1.1137	-8.4928	-23.9669
	RCP 4.5	--	--	-6.0864	44.6590	1.1154	-8.4424	-22.3238
	RCP 8.5	--	--	-5.0348	42.9500	1.1823	-8.4336	-12.9810
高雄	RCP 2.6	--	--	-5.6815	46.6420	1.3426	-9.3251	-24.8373
	RCP 4.5	--	--	-5.2543	46.0920	1.3525	-9.2950	-21.8652
	RCP 8.5	--	--	-4.1062	44.2640	1.4335	-9.3004	-10.5280

附註：\*表該因子貢獻率不足，故不採計

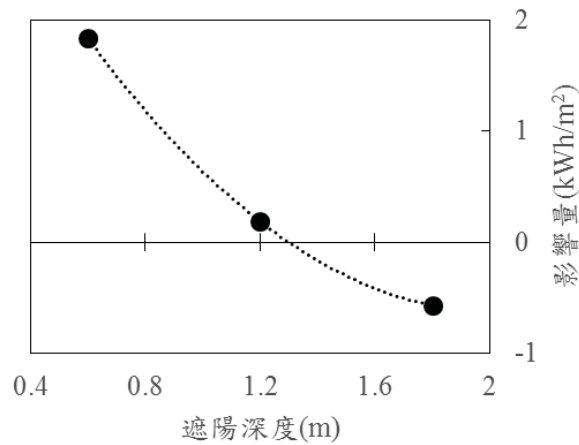
5.2.1 窗牆比 30%辦公建物外殼因子與空調 EUI<sub>AC</sub> 影響量



$$y = 0.3269x^2 + 0.9086x - 5.2604$$

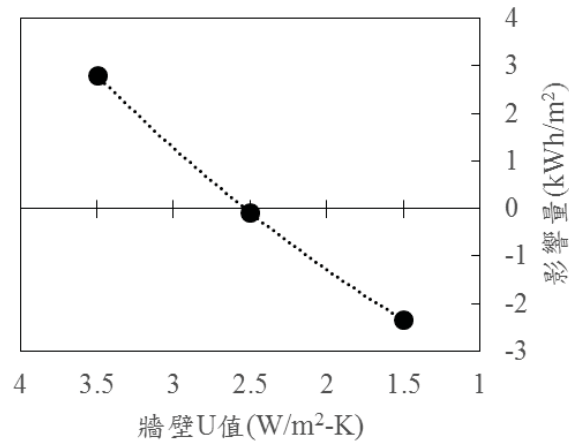


$$y = -1.3037x^2 + 9.5131x - 4.9023$$

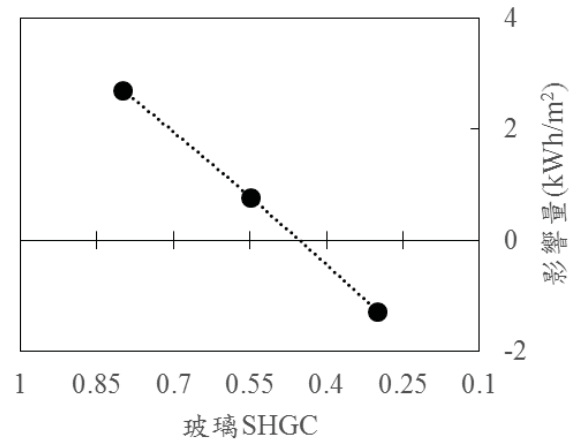


$$y = 1.2423x^2 - 4.9856x + 4.3802$$

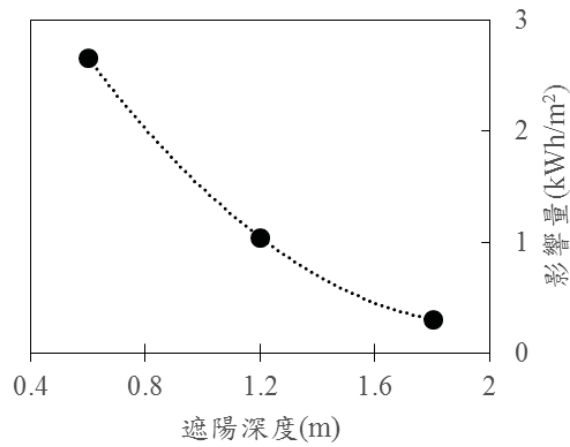
圖 5-1 外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 30%在台北 RCP 2.6)



$$y = 0.3139x^2 + 0.9935x - 4.5311$$

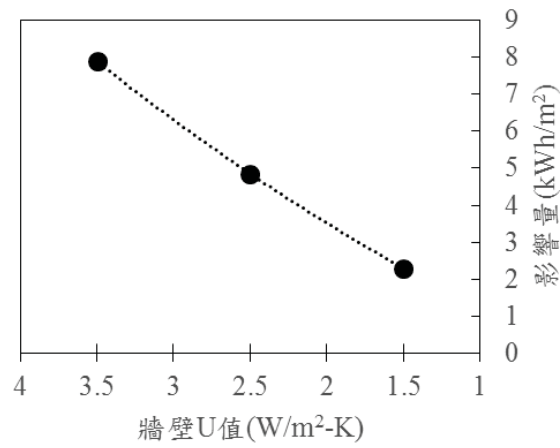


$$y = -1.1778x^2 + 9.2814x - 3.9664$$

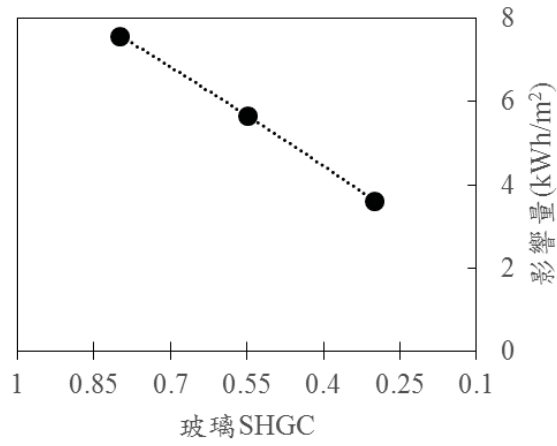


$$y = 1.2204x^2 - 4.8953x + 5.1605$$

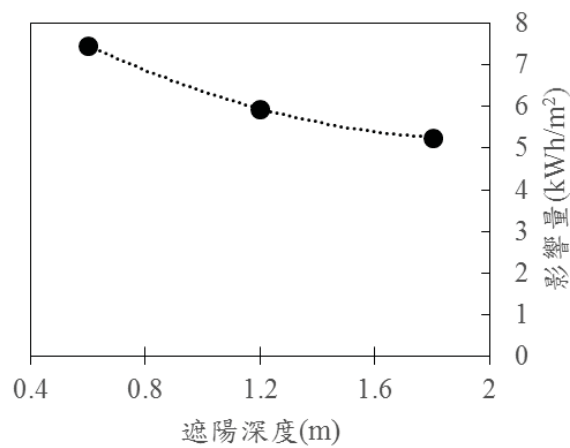
圖 5-2 外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 30%在台北 RCP 4.5)



$$y = 0.239x^2 + 1.5975x - 0.6332$$



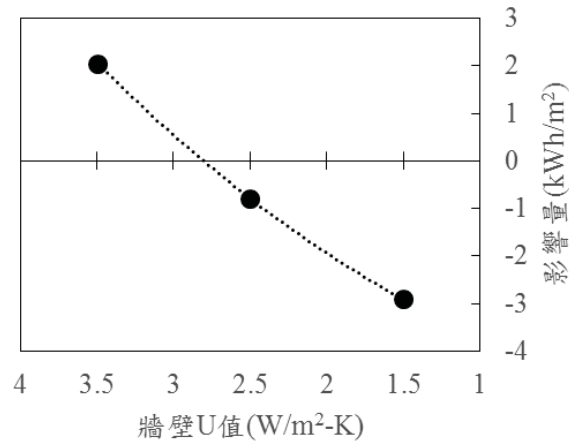
$$y = -1.0049x^2 + 9.0456x + 0.9941$$



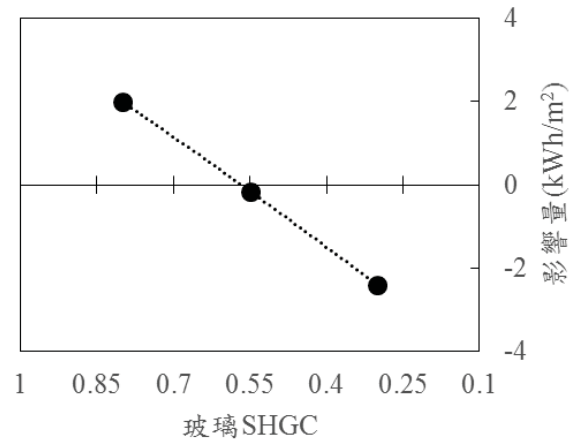
$$y = 1.1501x^2 - 4.6103x + 9.8269$$

圖 5-3 外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 30%在台北 RCP 8.5)

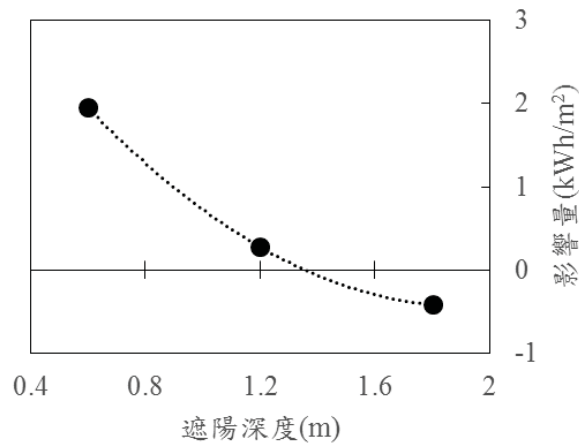




$$y = 0.3619x^2 + 0.6731x - 4.7304$$



$$y = -0.8469x^2 + 9.7606x - 5.2674$$



$$y = 1.364x^2 - 5.2485x + 4.6114$$

圖 5-4 外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 30%在高雄 RCP 2.6)

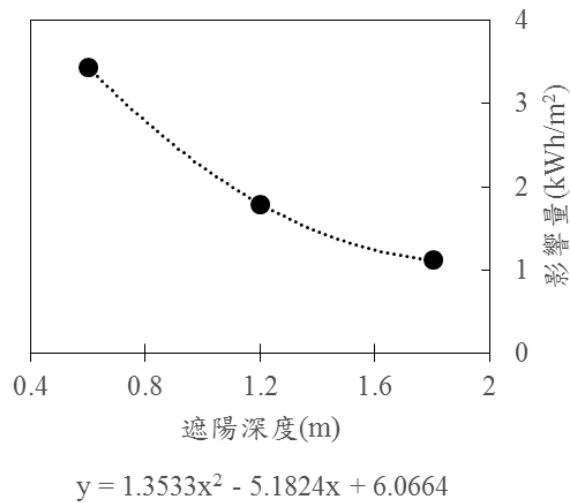
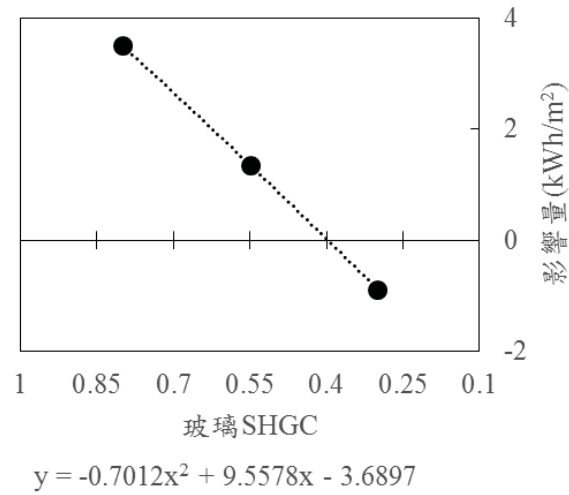
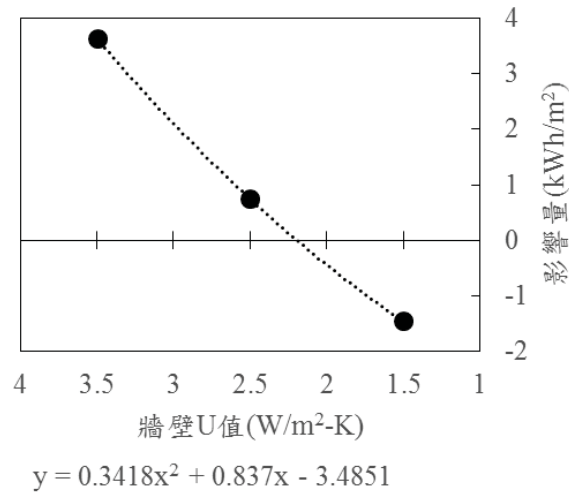


圖 5-5 外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 30%在高雄 RCP 4.5)

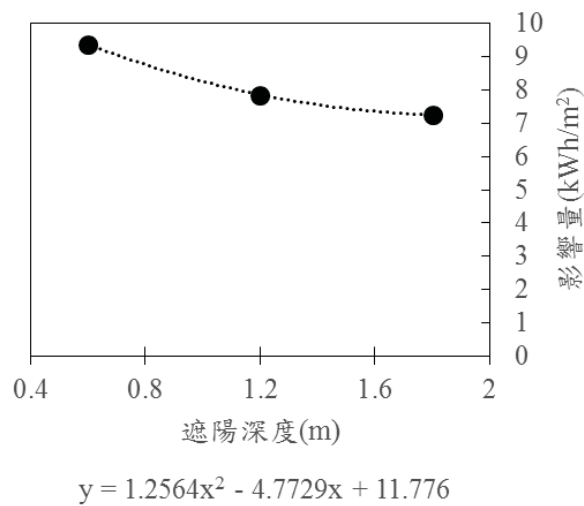
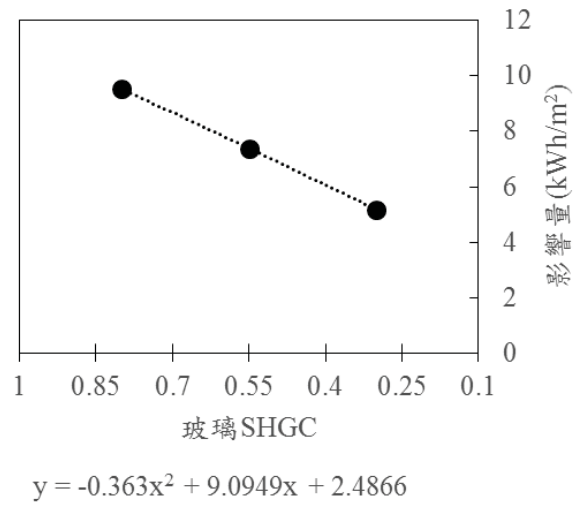
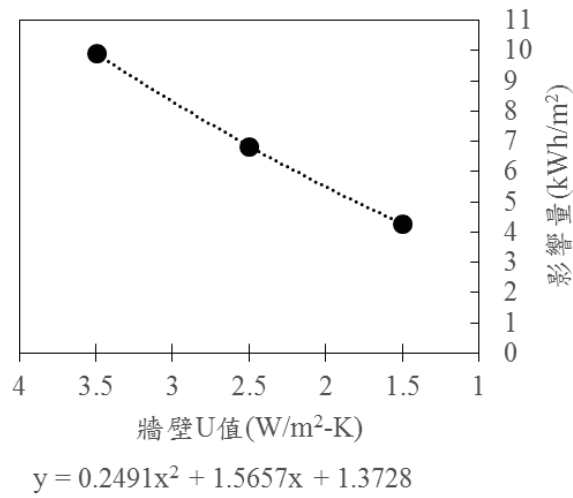
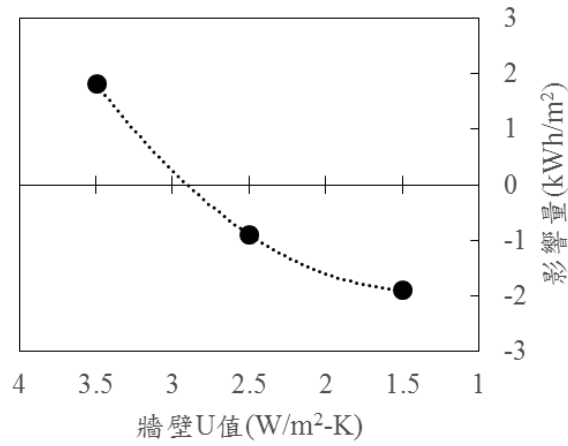
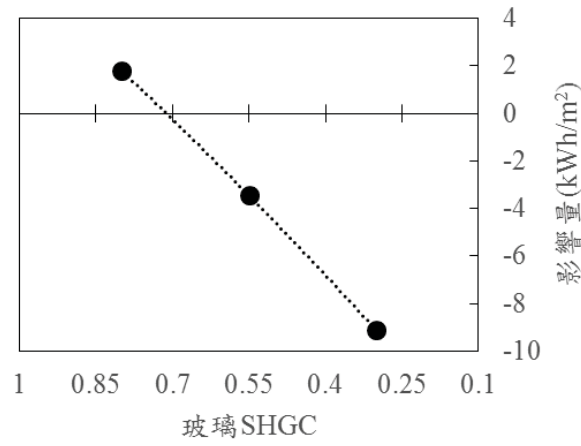


圖 5-6 外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 30%在高雄 RCP 8.5)

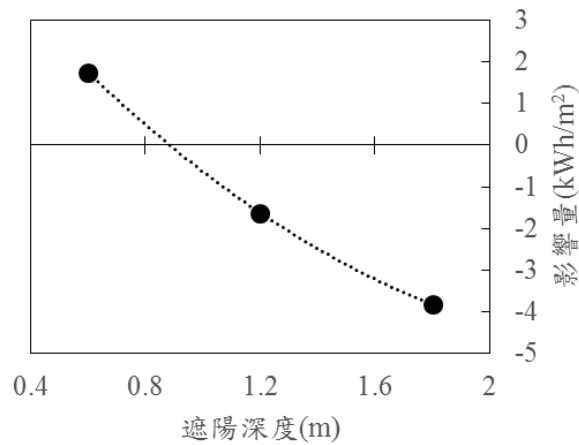
5.2.2 窗牆比 60%辦公建物外殼因子與空調 EUI<sub>AC</sub> 影響量



$$y = 0.8619x^2 - 2.4537x - 0.1463$$

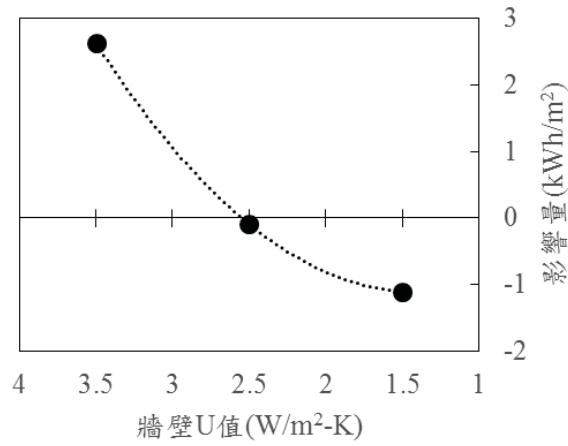


$$y = -3.358x^2 + 25.554x - 16.492$$

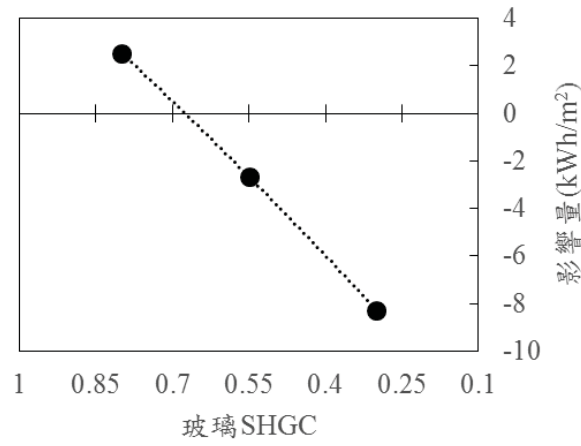


$$y = 1.6392x^2 - 8.5833x + 6.3136$$

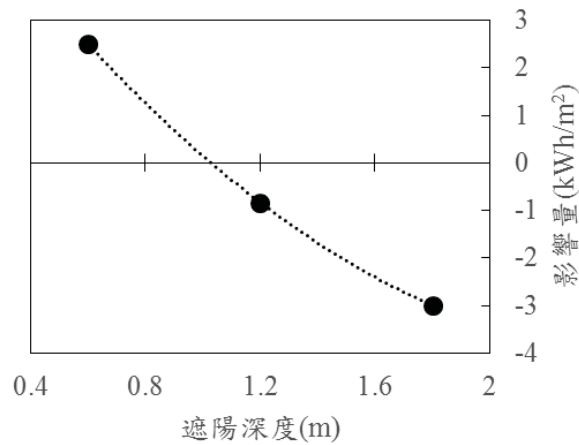
圖 5-7 外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 60%在台北 RCP 2.6)



$$y = 0.8512x^2 - 2.3901x + 0.5637$$

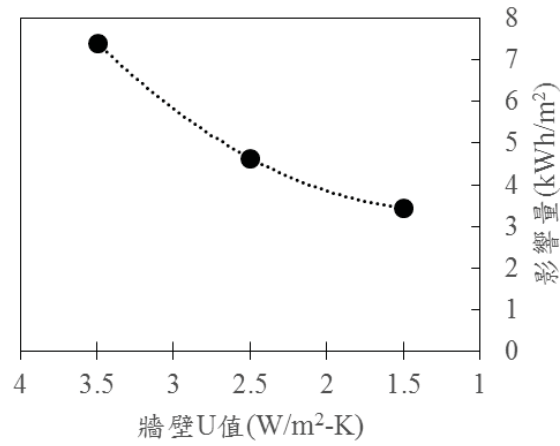


$$y = -3.2025x^2 + 25.17x - 15.539$$

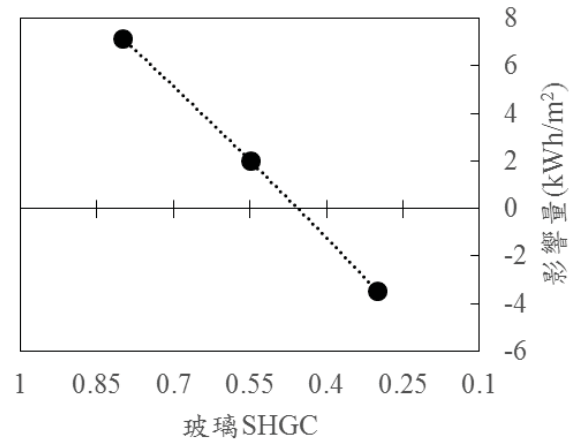


$$y = 1.6277x^2 - 8.4864x + 7.012$$

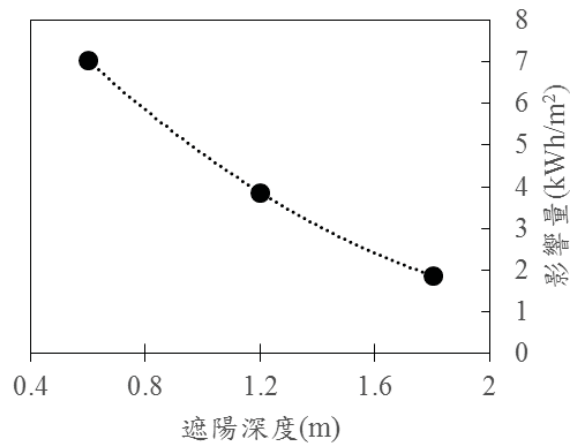
圖 5-8 外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 60%在台北 RCP 4.5)



$$y = 0.794x^2 - 1.9923x + 4.6612$$

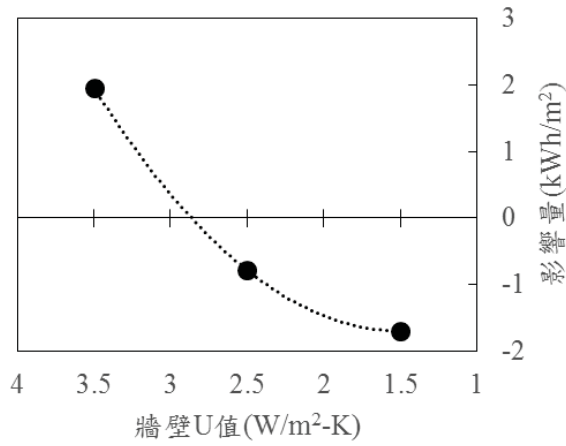


$$y = -2.7333x^2 + 24.265x - 10.506$$

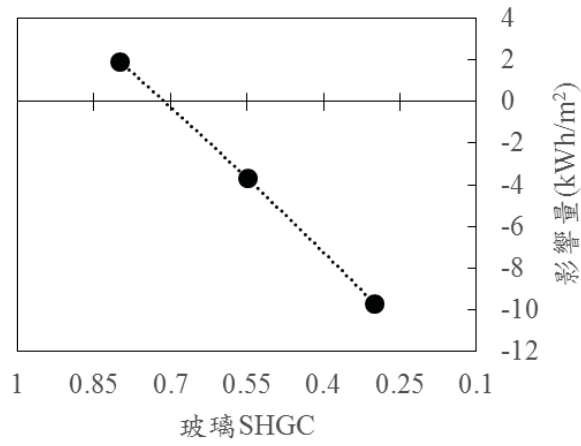


$$y = 1.6397x^2 - 8.2472x + 11.401$$

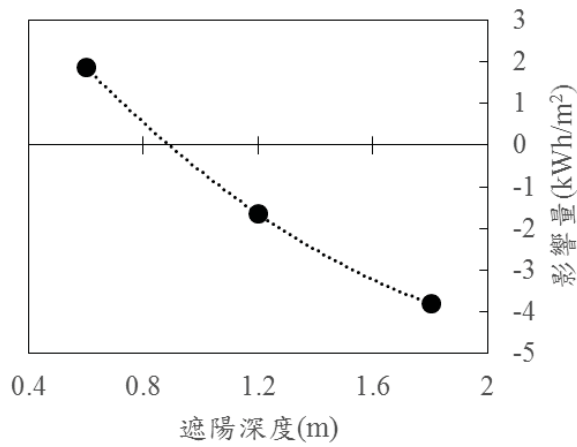
圖 5-9 外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 60%在台北 RCP 8.5)



$$y = 0.9093x^2 - 2.7204x + 0.3372$$

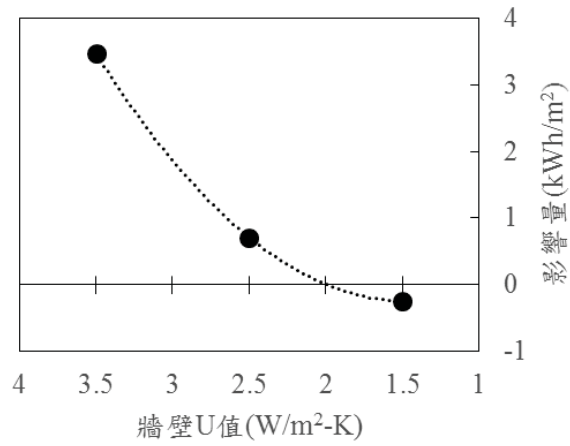


$$y = -3.2x^2 + 26.8x - 17.456$$

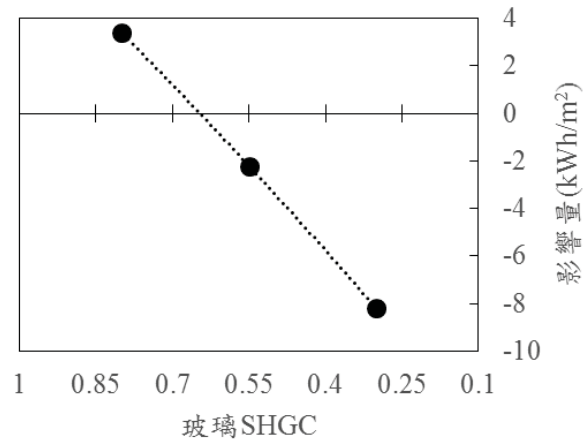


$$y = 1.9084x^2 - 9.3112x + 6.7775$$

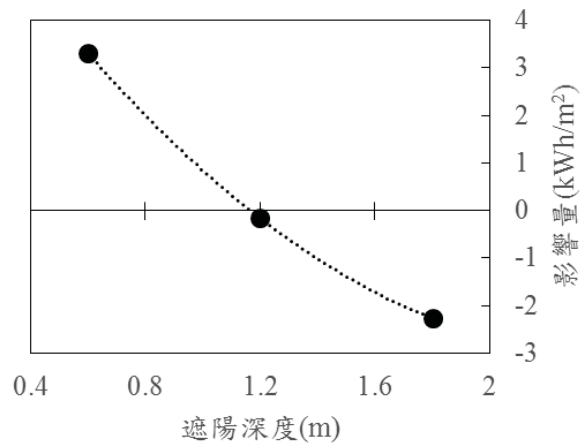
圖 5-10 外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 60%在高雄 RCP 2.6)



$$y = 0.8971x^2 - 2.625x + 1.6676$$



$$y = -2.958x^2 + 26.446x - 15.86$$



$$y = 1.9041x^2 - 9.2248x + 8.1654$$

圖 5-11 外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 60%在高雄 RCP 4.5)



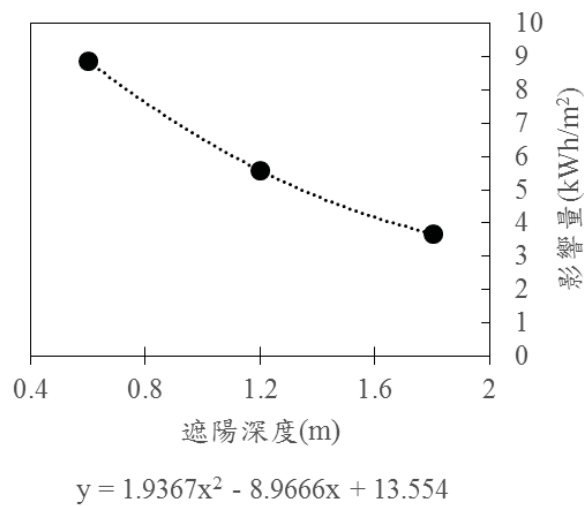
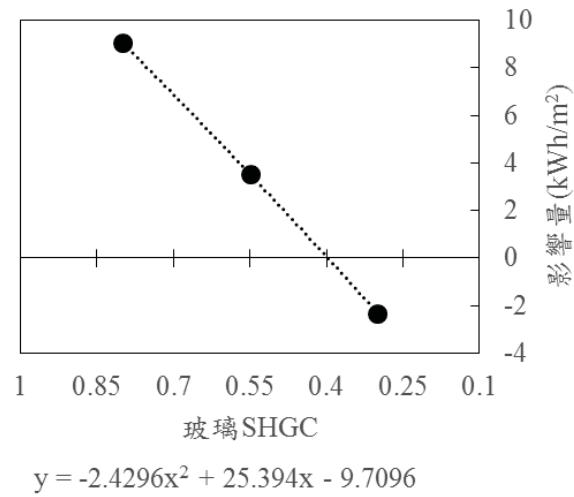
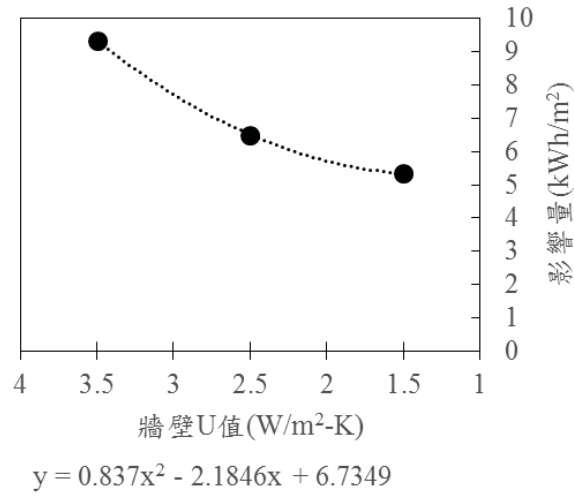
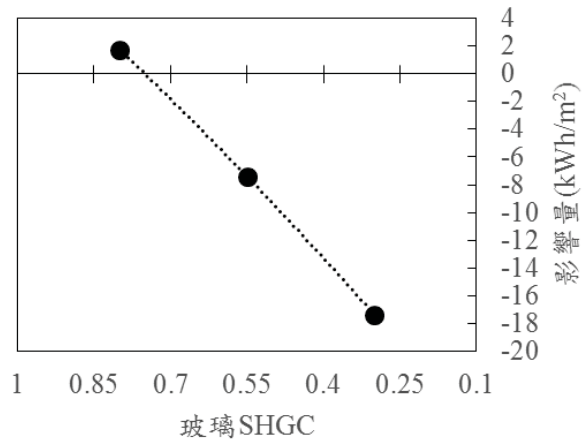
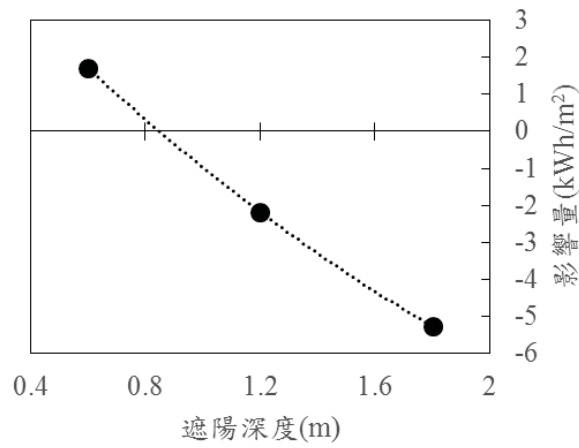


圖 5-12 外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 60%在高雄 RCP 8.5)

5.2.3 窗牆比 90%辦公建物外殼因子與空調 EUI<sub>AC</sub> 影響量

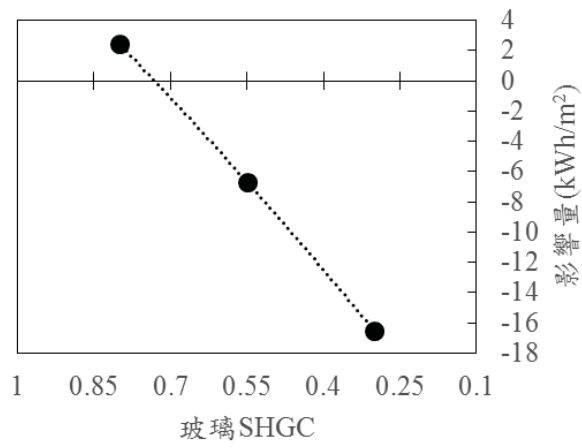


$$y = -6.4x^2 + 45.28x - 30.374$$

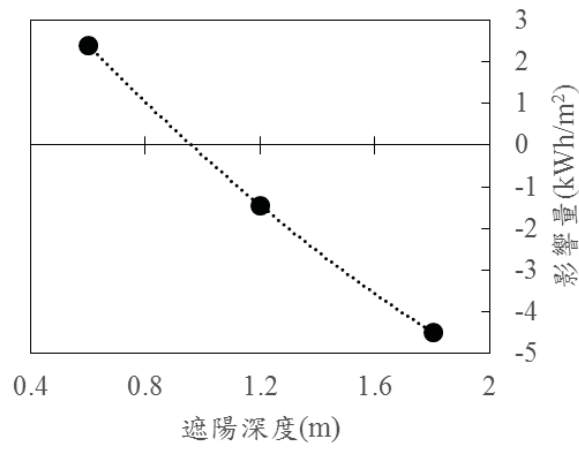


$$y = 1.1137x^2 - 8.4928x + 6.4071$$

圖 5-13 外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 90%在台北 RCP 2.6)

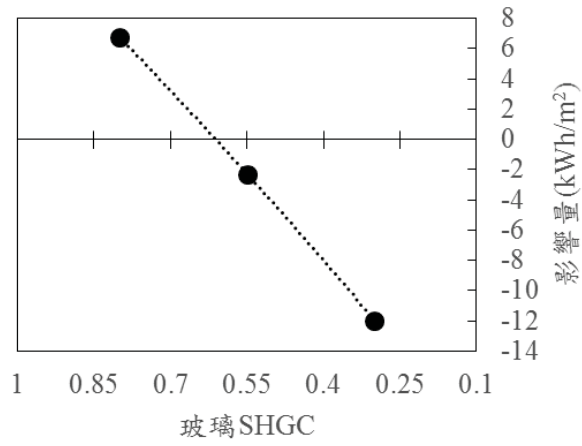


$$y = -6.0864x^2 + 44.659x - 29.404$$

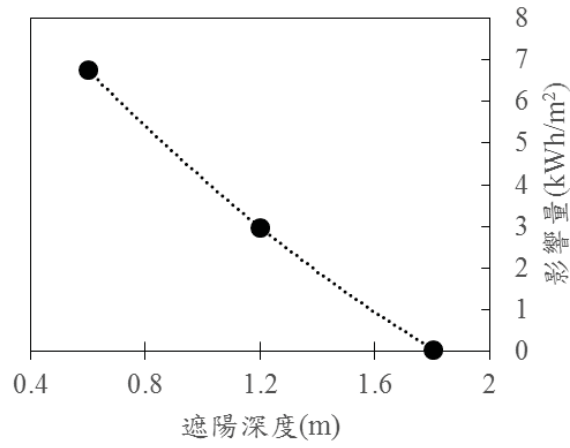


$$y = 1.1154x^2 - 8.4424x + 7.0802$$

圖 5-14 外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 90%在台北 RCP 4.5)

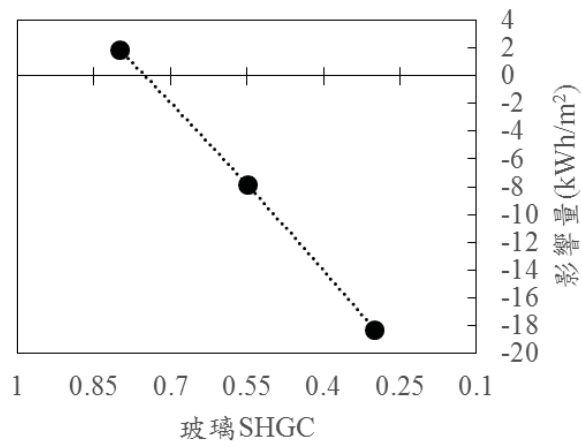


$$y = -5.0346x^2 + 42.95x - 24.382$$

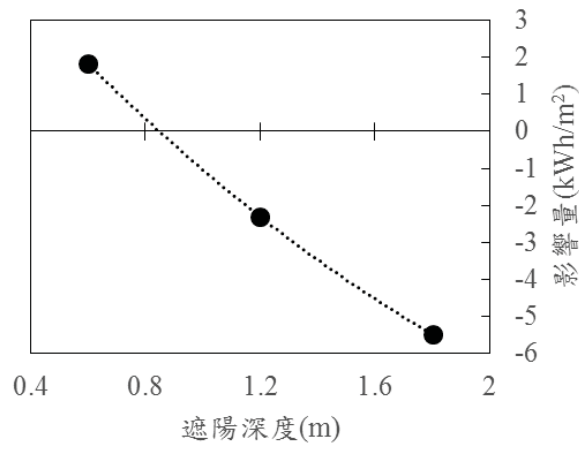


$$y = 1.1823x^2 - 8.4336x + 11.401$$

圖 5-15 外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 90%在台北 RCP 8.5)

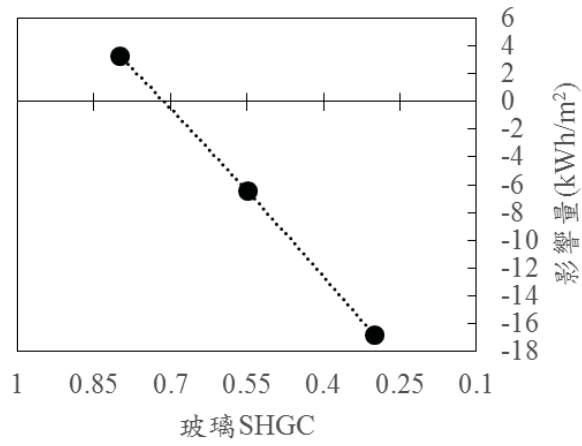


$$y = -5.6815x^2 + 46.642x - 31.787$$

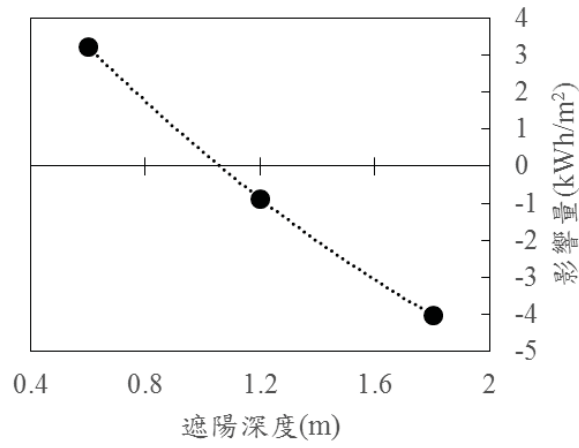


$$y = 1.3426x^2 - 9.3251x + 6.9497$$

圖 5-16 外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 90%在高雄 RCP 2.6)

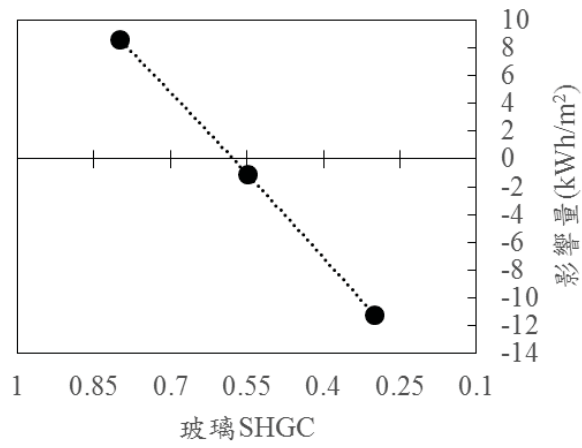


$$y = -5.2543x^2 + 46.092x - 30.197$$

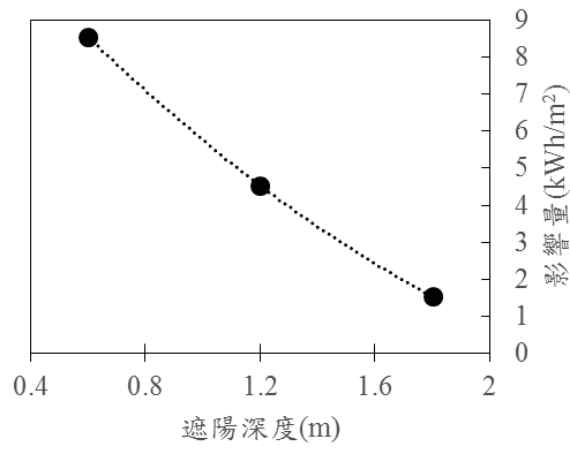


$$y = 1.3525x^2 - 9.295x + 8.3318$$

圖 5-17 外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 90%在高雄 RCP 4.5)



$$y = -4.1062x^2 + 44.264x - 24.159$$



$$y = 1.4335x^2 - 9.3004x + 13.631$$

圖 5-18 外殼因子對空調耗能密度影響量 (窗牆比 90%在高雄 RCP 8.5)

### 5.3 使未來空調耗能密度回歸當代水準之節能手段

因式 5-2 之空調耗能密度影響量被定義成與當代基線建物基準空調耗能密度的差異量，故若將影響量設定成零所逆求得之外殼參數即是可使未來空調耗能密度回歸當代水準的最低設計量，此即為本章節定義之目標函數。但是又因該影響量會受到多因子共同影響，其解會是一個不定解而非唯一值，意即其實有很多種不同的外殼組合皆有可能達到回歸當代水平的結果，故本研究將直接以曲線呈現該目標函數的不定解。

#### 5.3.1 窗牆比 30%辦公建物維持當代水準因子組合

本研究設定牆壁 U 值 3.5、3.0、2.5、2.0、1.5W/m<sup>2</sup>-K 對目標函數作圖，台北、高雄在 RCP 2.6、RCP 4.5 的結果如下圖 5-19 至圖 5-22。台北高雄兩地在 RCP 8.5 情境下在本實驗設定的外殼因子水準範圍內（牆壁值 1.5 至 3.5W/m<sup>2</sup>-K 間、玻璃 SHGC 值 0.3 至 0.8 間、遮陽深度 0.6 至 1.8m 間）無法求得可以回歸當代空調耗能密度的解，故以性能最佳的外殼參數牆壁 U 值 1.5W/m<sup>2</sup>-K、玻璃 SHGC 值 0.3 與遮陽深度 1.8m 代入空調耗能密度影響量公式求得影響量。因此，就算外殼以在本研究設定的最佳水準狀態下，在 RCP 8.5 的未來情境中位於台北窗牆比 30%的建築物空調耗能密度仍會上升 11.17kWh/m<sup>2</sup>，位於高雄窗牆比 30%的建築物空調耗能密度則會上升 16.72 kWh/m<sup>2</sup>。



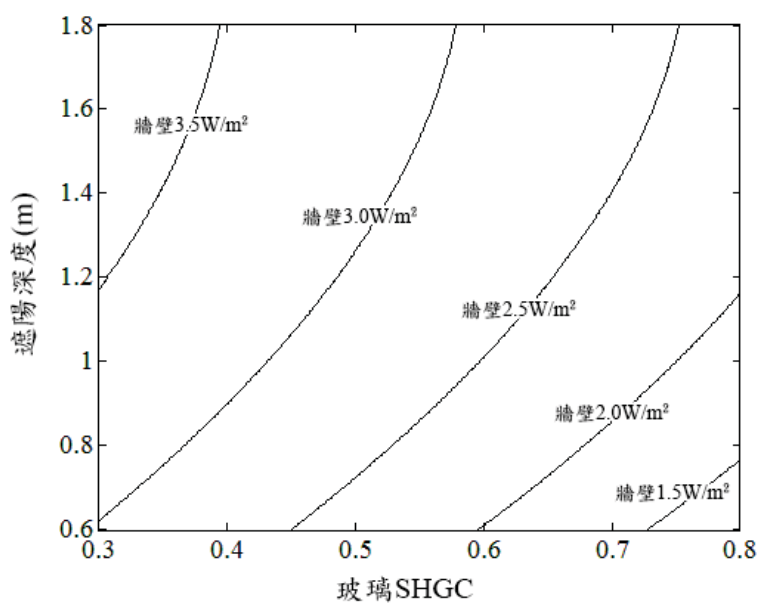


圖 5-19 維持當代水準因子組合曲線 (窗牆比 30%台北 RCP 2.6)

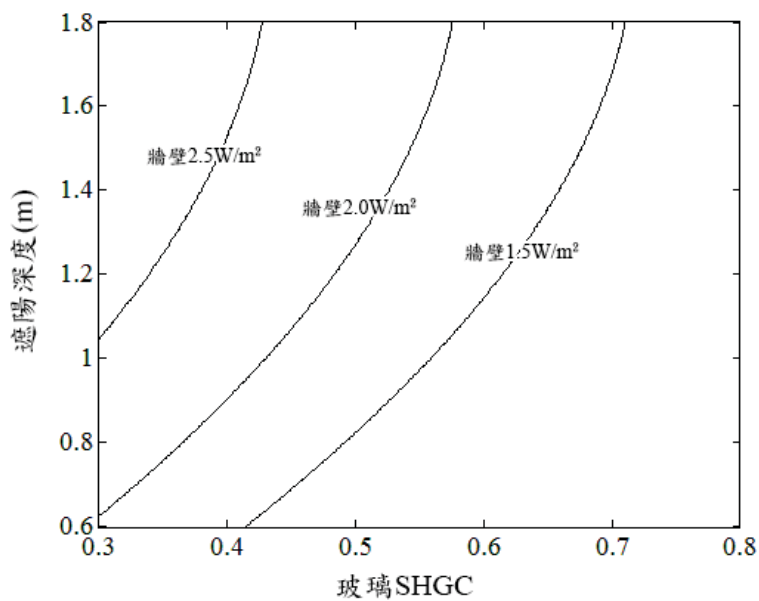


圖 5-20 維持當代水準因子組合曲線 (窗牆比 30%在台北 RCP 4.5)

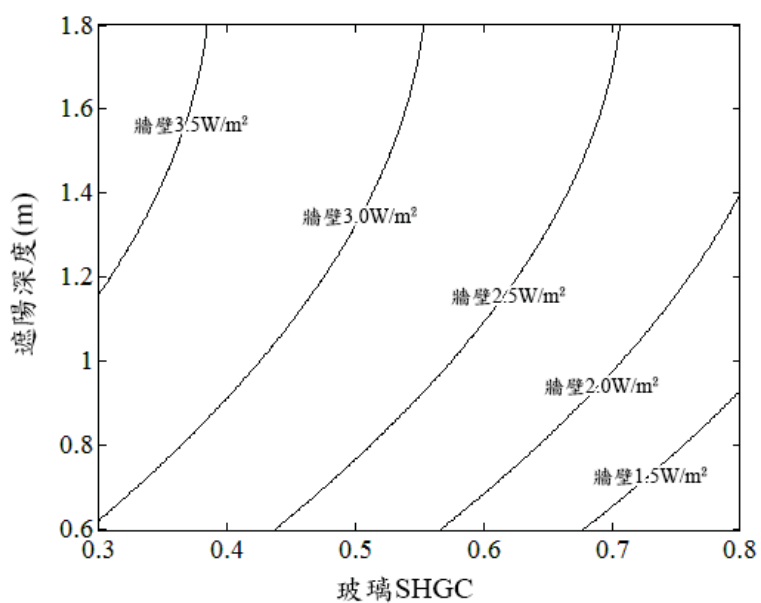


圖 5-21 維持當代水準因子組合曲線 (窗牆比 30%在高雄 RCP 2.6)

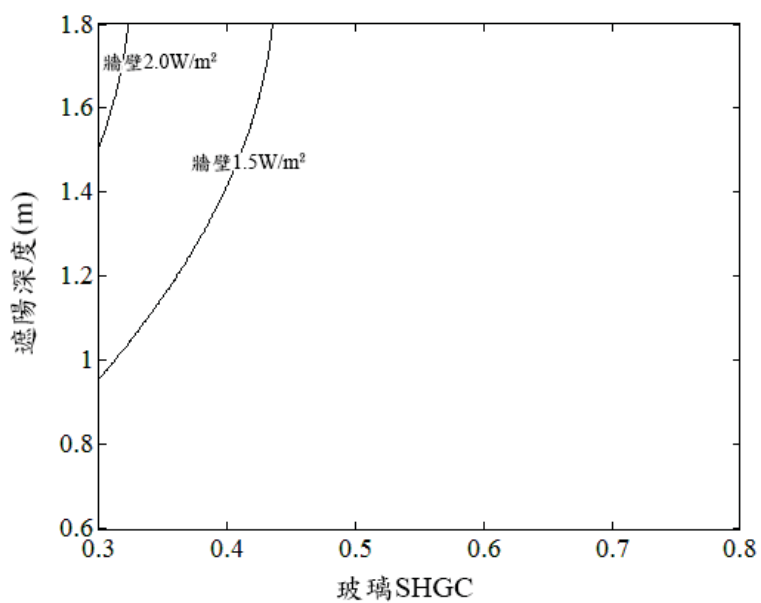


圖 5-22 維持當代水準因子組合曲線 (窗牆比 30%在高雄 RCP 4.5)

### 5.3.2 窗牆比 60%辦公建物維持當代水準因子組合

設定牆壁 U 值 3.5、3.0、2.5、2.0、1.5W/m<sup>2</sup>-K 對目標函數作圖，台北、高雄在各情境的結果如下圖 5-23 至圖 5-26。台北高雄兩地在 RCP 8.5 情境下在本實驗設定的外殼因子水準範圍內無法求得可以回歸當代空調耗能密度的解，故以性能最佳的外殼參數牆壁 U 值 1.5W/m<sup>2</sup>-K、玻璃 SHGC 值 0.3 與遮陽深度 1.8m 代入空調耗能密度影響量公式可求得影響量。由此推算在 RCP 8.5 的未來情境中位於台北窗牆比 30%的建築物空調耗能密度仍會上升 1.86kWh/m<sup>2</sup>，位於高雄窗牆比 30%的建築物空調耗能密度則會上升 6.72 kWh/m<sup>2</sup>。

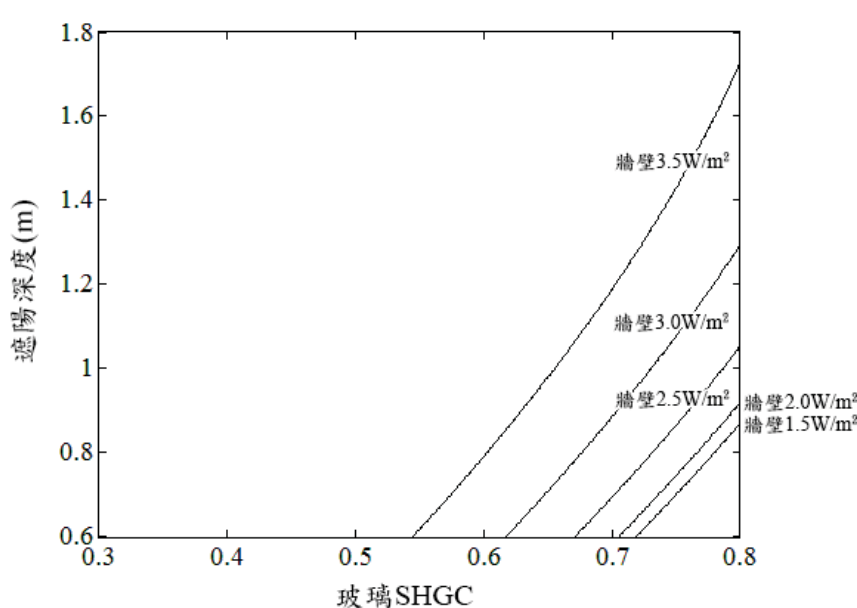


圖 5-23 維持當代水準因子組合曲線 (窗牆比 60%在台北 RCP 2.6)

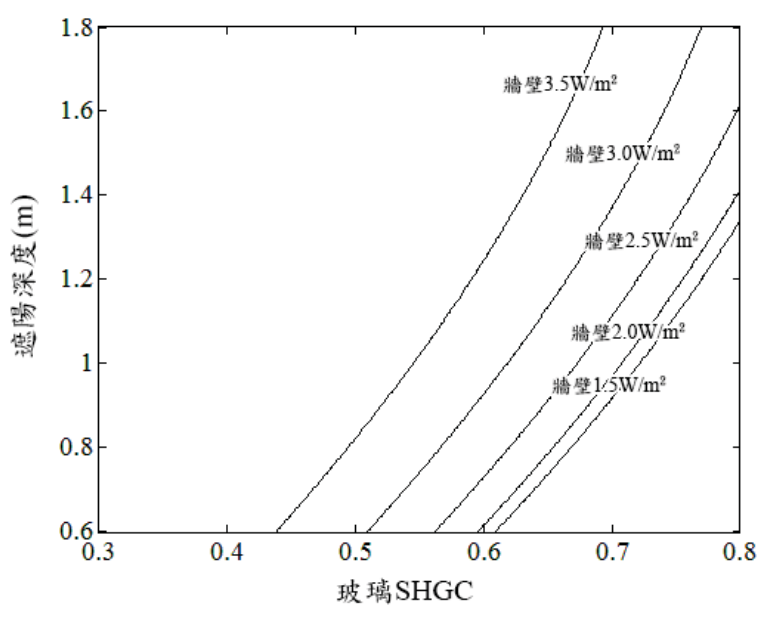


圖 5-24 維持當代水準因子組合曲線 (窗牆比 60%在台北 RCP 4.5)

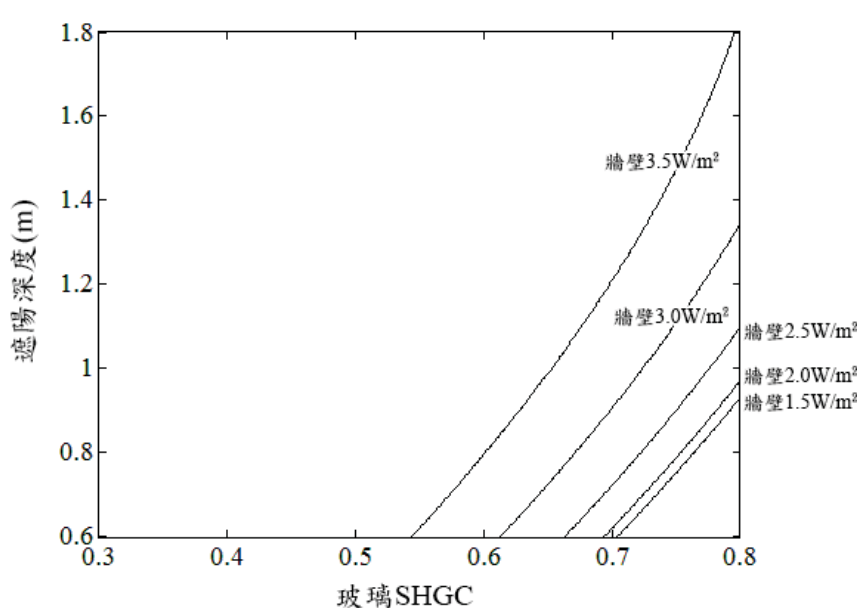


圖 5-25 維持當代水準因子組合曲線 (窗牆比 60%在高雄 RCP 2.6)

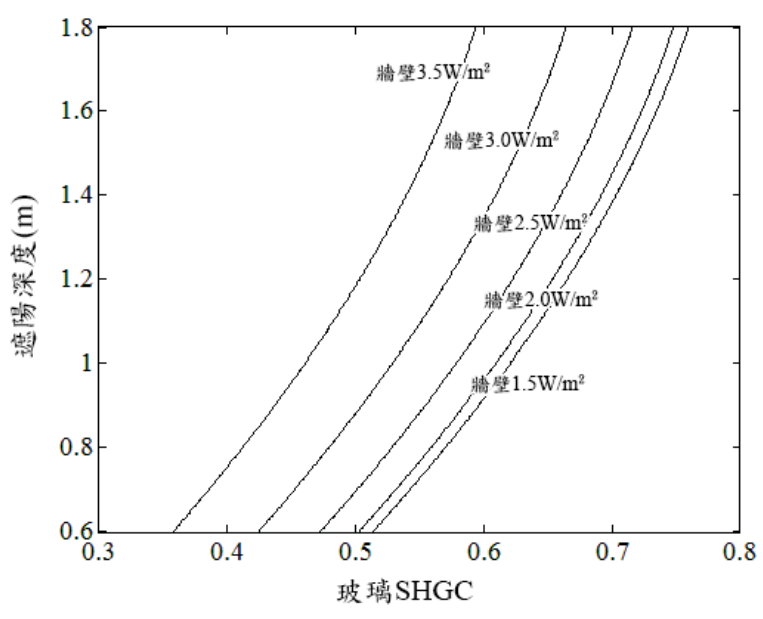


圖 5-26 維持當代水準因子組合曲線 (窗牆比 60%在高雄 RCP 4.5)

### 5.3.3 窗牆比 90%辦公建物維持當代水準因子組合

窗牆比 90%的辦公建物因牆壁 U 值對空調耗能密度變動 F 檢定不顯著，故改將各 RCP 情境的結果合併對目標函數作圖，結果見下圖 5-27 與圖 5-28。

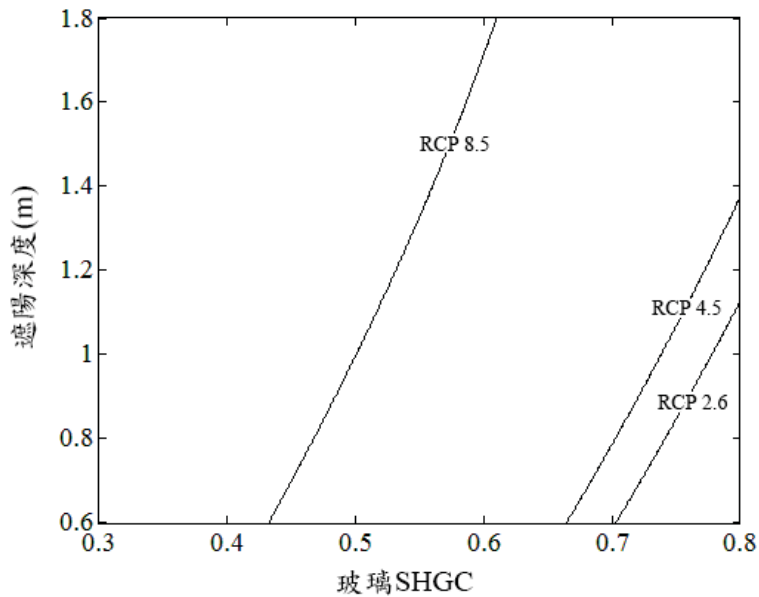
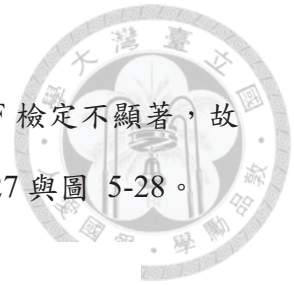


圖 5-27 維持當代水準因子組合曲線（窗牆比 90%在台北）

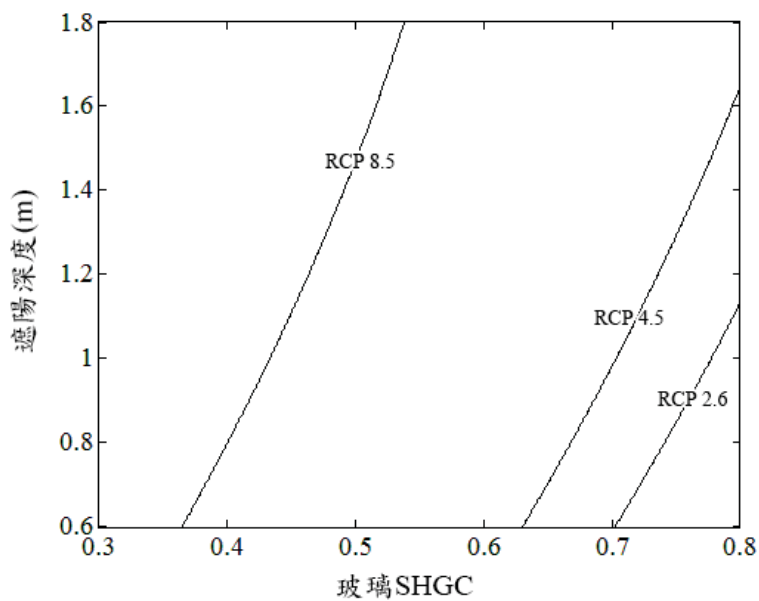


圖 5-28 維持當代水準因子組合曲線（窗牆比 90%在高雄）

## 第6章 結論與建議



歸納上述，本研究有以下結論

1. 建立了比國內既有氣象年更接近於當代的 2000 年至 2014 年台北高雄兩地典型氣象年可供當代建築性能模擬。
2. 確定 de Miguel, Bilbao et al. (2001)的日射量直散分離模型合於台灣地區之使用。
3. 確定 IPCC AR5 旗下的 CMIP5 實驗使用之全球環流模式中，最合乎台灣地區氣候特徵的全球環流模式為加拿大 CanESM2，該結論可供往後作未來建築氣候模擬的研究者參考。
4. 利用型態轉變法與 IPCC AR5 的全球環流模式資料建立了 21 世紀的未來氣象年以及近未來、世紀中、世紀末三個時間區段的未來典型年，且其依時間改變之趨勢與各 RCP 情境的設定相符。
5. 窗牆比 30%辦公建物未來空調耗能密度在台北增加 1.86 至 7.60kWh/m<sup>2</sup>，在高雄增加 2.01 至 9.53kWh/m<sup>2</sup>。窗牆比 60%的建物在台北增加 1.81 至 7.14kWh/m<sup>2</sup>，在高雄增加 1.96 至 9.06kWh/m<sup>2</sup>。窗牆比 90%的建物在台北增加 1.81 至 6.92kWh/m<sup>2</sup>，在高雄增加 1.96 至 8.83kWh/m<sup>2</sup>。
6. 從直交表 F 檢定結果與貢獻率可以得知影響未來空調耗能密度最大的三個建築外殼因子為：牆壁 U 值、玻璃 SHGC 與遮陽深度。
7. 本研究確立出對應三種不同窗牆比的辦公建物，在未來各情境下，作落在台北與高雄時究竟要對外殼因子改善多少才能使未來空調耗能密度維持當代水準的策略，並以圖面呈現方變速查。

從本研究的觀點，以下針對後續相關研究有以下建議：

1. 由於本研究外殼因子水準設定在常見的建材，故受到材料水準限制，在有些未來氣候情境下無法求得回歸當代耗能之外殼改善策略，建議可以將廣泛參考新興建材，將模擬的因子水準範圍擴大，提高耗能影響量公式的解釋範圍。
2. 本研究僅從建築性能角度出發外殼因子改善，並未考量改善這些因子的實作難度與花費，故能利用工程經濟的角度重新詮釋外殼改善策略也是可以進行後續探討的。



## 第7章 參考文獻

Argiriou, A., S. Lykoudis, S. Kontoyiannidis, C. A. Balaras, D. Asimakopoulos, M. Petrakis and P. Kassomenos (1999). "Comparison of methodologies for tmy generation using 20 years data for Athens, Greece." Solar Energy **66**(1): 33-45.

Belcher, S. E., J. N. Hacker and D. S. Powell (2005). "Constructing design weather data for future climates." Building Services Engineering Research and Technology **26**(1): 49-61.

Berger, T., C. Amann, H. Formayer, A. Korjenic, B. Pospischal, C. Neururer and R. Smutny (2014). "Impacts of climate change upon cooling and heating energy demand of office buildings in Vienna, Austria." Energy and Buildings **80**(0): 517-530.

Chan, A. L. S. (2011). "Developing future hourly weather files for studying the impact of climate change on building energy performance in Hong Kong." Energy and Buildings **43**(10): 2860-2868.

de Miguel, A., J. Bilbao, R. Aguiar, H. Kambezidis and E. Negro (2001). "Diffuse solar irradiation model evaluation in the North Mediterranean Belt area." Solar Energy **70**(2): 143-153.

Jentsch, M. F., A. S. Bahaj and P. A. B. James (2008). "Climate change future proofing of buildings—Generation and assessment of building simulation weather files." Energy and Buildings **40**(12): 2148-2168.

Masaki, Y., T. Kuwagata and Y. Ishigooka (2010). "Precise estimation of hourly global solar radiation for micrometeorological analysis by using data classification and hourly sunshine." Theoretical and Applied Climatology **100**(3-4): 283-297.

McLeod, R. S., C. J. Hopfe and A. Kwan (2013). "An investigation into future performance and overheating risks in Passivhaus dwellings." Building and Environment **70**(0): 189-209.

Parkpoom, S. and G. P. Harrison (2008). "Analyzing the impact of climate change on future electricity demand in Thailand." Ieee Transactions on Power Systems **23**(3): 1441-1448.

Pissimanis, D., G. Karras, V. Notaridou and K. Gavra (1988). "The generation of a "typical meteorological year" for the city of Athens." Solar Energy **40**(5): 405-411.

Sailor, D. J. (2014). "Risks of summertime extreme thermal conditions in buildings as a result of climate change and exacerbation of urban heat islands." Building and Environment **78**(0): 81-88.

van Vuuren, D., J. Edmonds, M. Kainuma, K. Riahi, A. Thomson, K. Hibbard, G. Hurtt, T. Kram, V. Krey, J.-F. Lamarque, T. Masui, M. Meinshausen, N. Nakicenovic, S. Smith and S. Rose (2011). "The representative concentration pathways: an overview." Climatic Change **109**(1-2): 5-31.

Wan, K. K. W., D. H. W. Li, D. Liu and J. C. Lam (2011). "Future trends of building heating and cooling loads and energy consumption in different climates." Building and Environment **46**(1): 223-234.

Wilcox, S. and W. Marion (2008). Users Manual for TMY3 Data Sets (Revised). Related Information: Supercedes April 2008 version.: Medium: ED; Size: 58 pp.

汪孟欣(2009)。住宅建築利用熱緩衝空間達成之空調省電及其照明耗電之比較研究-以台大綠房子為例，臺灣大學。

林子平、黃瑞隆(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。

林憲德、張思源(1987)。建築空調耗能分析用平均氣象年資料之研究，行政院國家科學委員會。

林憲德、黃國倉 (2005)。〈臺灣 TMY2 標準氣象年之研究與應用。〉建築學報 **53**：79—94。

翁堉騰(2014)。未來氣候對辦公建築空調耗能影響之研究，行政院科技部補助大專學生研究計畫。

黃建勳(2007)。被動式太陽能利用之陽光室空調負荷研究—以台大綠房子二樓陽光室為例，臺灣大學。

黃瑞隆(2002)。〈各式氣象年在建築與空調系統能源分析上的應用比較。〉冷凍與空調：108—114。