

應用 EnergyPlus 模擬分析最佳冰水主機組合之開機策略

Optimization Chiller Group Operation by Simulating and Analyzing with EnergyPlus

翁大峻、李政霖、柯潔霖、李文興

Ta-Chun Weng, Cheng-Lin Li, Chieh-Lin Ko, Wen-Shing Lee

本研究運用 EnergyPlus 建築模擬軟體，分析空調系統之冰水主機的各種容量組合，並比較各種不同冰水主機組合最低年總耗電量，判斷出何種組合是最為節能的配置。並將最節能的冰水主機配置進行開機策略的分析，求出最為節能的開機策略。冰水主機的容量組合與開機策略對於能源的使用影響相當大，相同的空調負載下，不同的冰機組合及開機策略，會有不同的能源使用狀況。本研究使用一模擬案場，利用 EnergyPlus 軟體進行建築模擬分析，研究結果顯示，使用最節能組合與最耗能組合比較，一年可省下 3.7% 的用電量，且進行開機策略最佳化後每日可再省下約 1.1% 的用電量。

The study targets finding out the most energy-efficient combination between all different types and capacities of chiller groups through the outcome of analysis which based on the EnergyPlus simulations, also to set up the operating schedule and group sequence of chillers to produce the energy optimization outcome. Both grouping chillers under different capacities combination and setting operation schedule to chillers combination is the key to energy-saving. Comparing different types of chiller combinations with in the same total RT condition, the consumption results presenting a difference between each group. Our study result presents possibilities to decrease up to 3.7% annual energy cost comparing the best and the worst performance group by choosing the right combination of chillers. In addition, an extra 1.1% energy was saved by applying an operational schedule for chillers in the annual total electricity consumption.

一、前言

台灣的夏季潮濕且悶熱，前期受西南季風帶來潮濕溫暖的氣流影響，之後又受到副熱帶高壓的影響，每日的氣溫可達攝氏 27 至 35 度，且濕度高。夏季的平均溫度約莫可達攝氏 28 度，所涵蓋的時間為五月至九月。然而在秋季時都還能感受到些許的酷熱，這也反映出台灣的酷熱氣候有逐年拉長的趨勢。由此可見夏季長、冬季短已成為台灣典型的氣候模式，故空調設備之使用在台灣的夏季裡，必然是不可或缺的重要設備之一。

隨著經濟蓬勃的發展與科技的進步，人們對於生活品質及環境舒適度的要求逐漸提升，不論是住宅商辦大樓為符合室內空氣品質外，各型工業廠區在某些製程或配合人員作業的工作環境下，都需大量仰賴空調以維持環境之舒適度。然而根據空調系統能源查核與節約能源案例手冊⁽¹⁾，如圖 1 所示。在各行各業中空調系統之用電占比幾乎將近 50% 左右，由此可知要如何有效地針對空調系統進行節能改善已成為現今重要的議題，於夏季時不僅可以緩解尖峰用電之需求問題，也能在各行各業發展很大的節電效果，以降低整體設備之用電量。

行業名稱	空調設備	照明設備	冷凍冷藏設備	事務設備	送排風設備	給水污水設備	電梯設備	其它設備
污染整治業	5.40	3.78	0.08	0.67	9.12	66.26	0.38	14.32
營造業	32.89	13.10	0.34	3.64	3.11	2.90	2.54	41.48
批發及零售業	43.16	23.76	9.83	3.30	5.05	3.69	6.47	4.74
運輸及倉儲業	23.00	10.06	3.02	1.65	4.45	1.94	3.49	52.39
住宿及餐飲業	48.05	19.53	6.23	3.10	5.13	4.42	6.11	7.40
資訊及通訊傳播業	38.68	8.11	0.27	6.53	1.19	1.35	2.39	41.48
金融及保險業	46.03	16.05	0.90	13.29	3.66	4.27	5.78	10.03
不動產業	53.98	17.05	0.81	8.40	4.68	4.02	7.83	3.23
專業、科學及技術服務業	46.25	14.77	5.66	5.80	3.73	3.04	3.67	17.09
支援服務業	52.06	15.60	0.78	13.84	5.95	2.21	5.04	4.52
公共行政及國防；強制性社會安全	45.68	19.80	3.17	9.91	5.45	4.72	4.23	6.79
教育服務業	46.49	23.84	4.55	7.78	2.78	4.17	4.24	6.15
醫療保健及社會工業服務業	50.35	16.72	4.12	6.10	5.07	3.68	5.80	8.16
藝術、娛樂及休閒服務業	48.87	16.14	4.53	4.03	4.40	3.76	3.84	14.43
其他服務業	47.36	23.60	3.29	3.93	5.29	4.48	7.09	4.96

註：統計期間為 2016 年 1 月至 12 月。

圖 1. 不同行業別各項設備能源占整體電力比例⁽¹⁾。

二、建築全能耗分析軟體 EnergyPlus

EnergyPlus 是模擬建築物及其相關的供熱、通風和空調等設備的模擬軟體，開始研製開發於 1996 年，而在 2001 年投入使用。是由美國能源部與美國勞倫斯柏克來實驗室、美國軍隊建築工程實驗室、俄克拉何馬州立大學、伊利諾斯大學等單位一同研發的能耗分析軟體。

EnergyPlus 主要結合兩項全能耗分析軟體 DOE-2 和 BLAST 之優點，開發出許多新功能，成為現在建築全能耗分析軟體的主流。如圖 2 所示，EnergyPlus 的模組化能提供便利性且快速的輸入建置研發組件，將組件套用至 EnergyPlus 中⁽²⁾。其主要特點有⁽³⁾：

1. 集成同步的負荷、系統、設備的模擬方法。
2. 在計算熱負荷時，可以定義小於 1 小時的時間步長 (time step)，也就是時間差，於系統模擬中，時間步長自動調整。
3. 熱平衡法模擬負荷。
4. 使用傳導傳遞函數 (CTF) 模擬牆體、屋頂、地板等的瞬態傳熱。
5. 三維有限差分土壤模型和簡化的解析方法對土壤傳熱進行模擬。
6. 以傳熱、傳質模型對牆體的傳熱及傳濕進行模擬。
7. 基於人體活動量、室內溫濕度等參數的熱舒適模型模擬熱舒適度。
8. 各向異性的天空模型以改進傾斜表面的天空散射強度。
9. 先進的窗戶傳熱的計算，可以模擬可控的遮陽裝置、可調光的電鍍玻璃等。
10. 日光照明的模擬，包括室內照度的計算、眩光的模擬和控制、人工照明的減少對負荷的影響等。
11. 基於環路可調整結構的空調系統模擬，可以模擬典型的系統，而無需修改源程式。
12. 能使建築系統作更詳細的模擬，可與常用的模擬軟體鏈結，如 WINDOW5、COMIS、TRNSYS、SPARK 等。
13. 源代碼開放，可根據需要新增新的模組或功能。

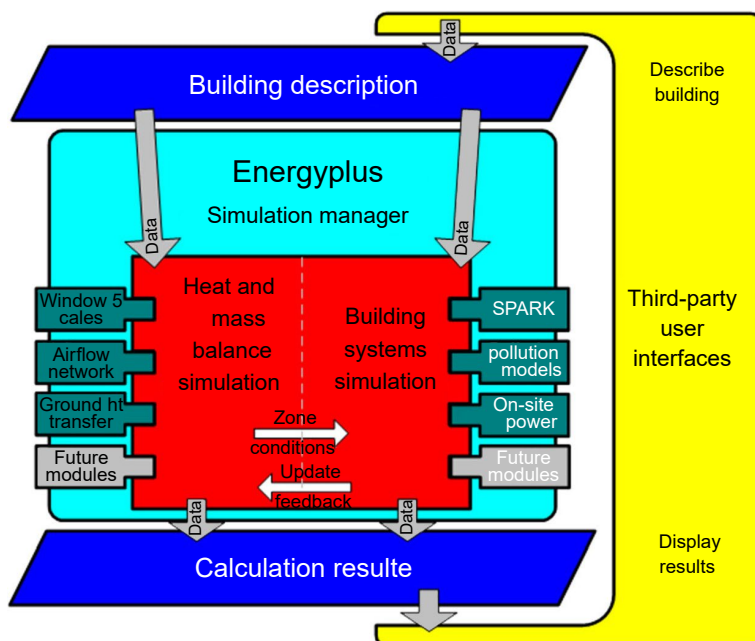


圖 2. EnergyPlus 建築能耗分析軟體程式模組架構圖⁽²⁾。

本文主要針對冰水主機之組合進行探討，了解中央空調系統、冰水系統基本構造之理論，及常用於冰水主機性能係數，更進一步了解冰水主機其他節能手法。

三、中央空調系統架構

1. 中央空調系統

中央調系統是多種形式元件所組成之系統，其中包含驅動流體的元件 (如風車、壓縮機、水泵)、熱交換器 (如蒸發器、冷凝器、冷卻除濕盤管、散熱材) 及連接各裝置的管路 (如風管、水管、冷媒管) 所組成。如圖 3 所示。中央空調系統架構透過室內空氣循環、冰水循環、冷媒循環、冷卻水循環及室外空氣循環組成。

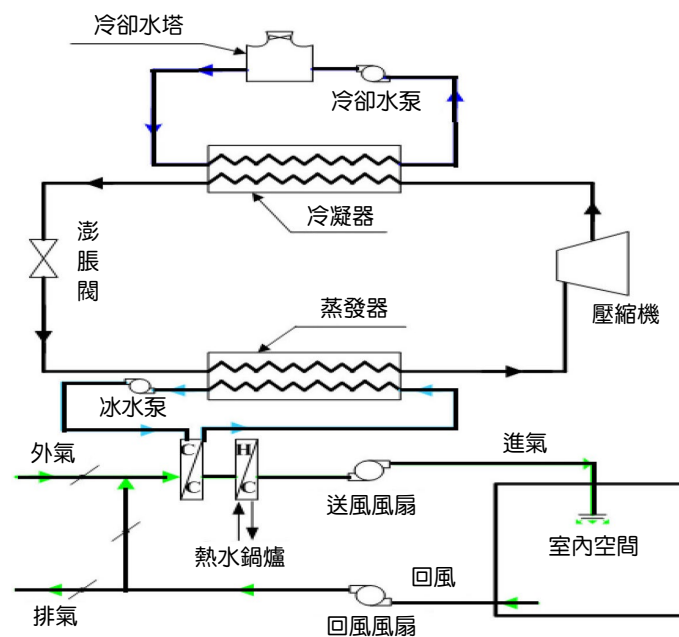


圖 3. 中央空調系統架構⁽⁴⁾。

2. 冰水主機介紹

冰水主機的基本元件包括壓縮機、蒸發器、冷凝器、液冷媒膨脹或流量控制裝置，以及控制盤。尚有其他元件如儲液器、液氣分離器與節能器及附屬設備如油冷卻器、回油裝置、油分離器、油泵與排氣裝置等。如圖 4 為冰水主機之運轉原理，以空調應用為例。

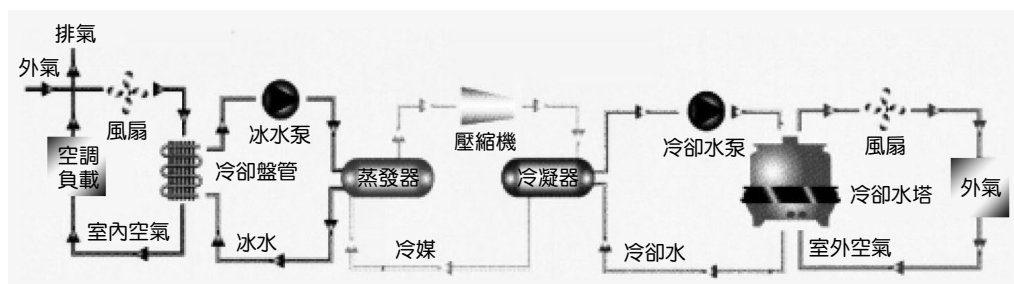


圖 4. 中央空調系統流程示意圖⁽⁴⁾。

3. 冰水主機性能表示

在冰水主機性能測試中，常用的性能係數表示有下列三種方式：
性能係數 (coefficient of performance, COP)：

$$COP (kJ/kJ) = \frac{\text{製冷效果 (kJ)}}{\text{壓縮機輸入功 (kJ)}} \quad (1)$$

能源效率比值 (energy efficiency ratio, EER)：

$$EER (Btu/W \cdot hr) = \frac{\text{製冷能力 (Btu/hr)}}{\text{輸入電功率 (W)}} \quad (2)$$

$$EER (kcal/W \cdot hr) = \frac{\text{製冷能力 (kcal/hr)}}{\text{輸入電功率 (W)}} \quad (3)$$

單位冷凍噸消耗之電功率 (kW/RT)：

$$kW/RT = \frac{\text{輸入功率 (kW)}}{\text{製冷能力 (USRT)}} \quad (4)$$

其中，上述之 USRT = 3,024 kcal/hr = 3.516 kW = 12,000 Btu/hr 為美國的空調或冷凍設備常用噸標示其冷凍能力。

4. 冰水主機節能手法

中央空調系統中冰水主機耗電量佔有相當大的比例，因此冰水主機之節能手法顯得相當重要，主機相關節能手法如下：

(1) 精確計算冰水主機最大設備量

由空調最大負荷、設備效率、氣象因素及熱負荷等因素決定冰水主機設備容量，透過經認證之空調計算程式、標準的室內條件及氣象資料來模擬計算動態負荷，得到精確的空調設備設計量，以達節能效果。

(2) 採用高效率空調主機

如表 1 所示為我國冰水主機經濟部能源局所公告之空調系統冰水主機能源效率標準，冰水主機基本上少數時間處於滿載下運轉，選擇冰水主機時，不僅要考量滿載效率，部分負載效率也是重要考量之一，滿載效率 COP 與部分負載效率 IPLV 最低標準值如表 2 所示。冰水主機全年各部分負載之運轉時數統計如圖 5 所示，多數時間則處於 50%—75% 之部分負載下進行運轉，因此可選擇當設備運轉負載於 50%—75% 部分負載的條件下，使用高效率冰水主機，將能達到最佳節能效果。

(3) 利用多部冰水主機搭配運轉

多部冰水主機並聯組成運轉時，若同時在低負載時可關閉一台冰水主機，維持主機在高效率下運轉。單台冰水主機運轉時，通常為了滿足空間最高負載所以其噸數皆為較大，而在低負載下進行運轉造成此冰水主機付出較多運轉成本，節能手法可以加裝一台較小噸數之冰

表 1. 空調系統冰水主機能源效率標準⁽⁴⁾。

執行階段		第一階段		第一階段	
實施日期		民國九十二年一月一日		民國九十四年一月一日	
型式	冷卻能力等級	能源效率比值 (EER) kcal/h-W	性能係數 (COP)	能源效率比值 (EER) kcal/h-W	性能係數 (COP)
水冷式	容積式 壓縮機	< 150 RT	3.50	4.07	3.83
		≥ 150 RT ≤ 500 RT	3.60	4.19	4.21
		> 500 RT	4.00	4.65	4.73
	離心式 壓縮機	< 150 RT	4.30	5.00	4.30
		≥ 150 RT < 300 RT	4.77	5.55	4.77
		≥ 300 RT	4.77	5.55	5.25
氣冷式	全機種	2.40	2.79	2.40	2.79

表 2. 冰水主機滿載效率 COP 與部分負載效率 IPLV 最低標準值⁽⁵⁾。

型式	冷卻能力等級	全載性能係數 (COP)	部分負載效率 IPLV
水冷式	容積式 壓縮機	< 528 kW	4.45
		≥ 528 kW ≤ 1055 kW	4.90
		> 1055 kW	5.50
	離心式 壓縮機	< 528 kW	5.00
		≥ 528 kW ≤ 1055 kW	5.55
		< 528 kW	6.10
氣冷式	全機種	2.80	2.80

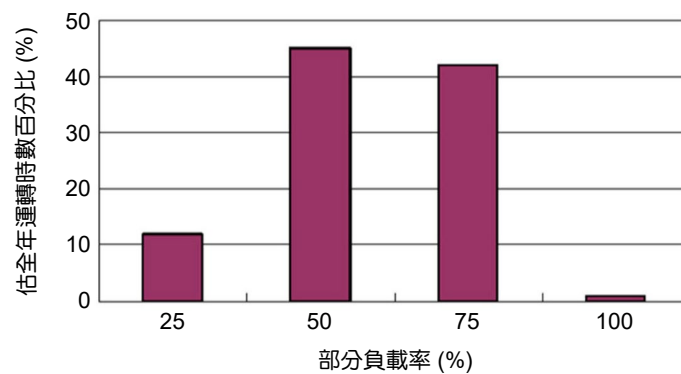


圖 5. 冰水主機全年各部分負載運轉時數統計⁽⁵⁾。

水主機，關閉噸數大的冰水主機，讓噸數小的冰水主機維持高效率運轉，以達節能效果。

(4) 調整冰水設定溫度

調整冰水設定溫度，每提高 1 °C 冰水溫度約可以提高 3% 的冰水主機效率，根據熱力學的冷凍循環原理，冰水主機的蒸發溫度越高其效率越好，因此提高冰水主機供水溫度或冷媒蒸發溫度可使冰水主機處於高效率運轉。當冰水溫度下降時，冰水主機性能降低，耗電量即會增加，但是水泵的耗電量將會減低，因此會有一個最佳的運轉點，但是必須考量環境需求來做決定，冰水出水溫度增加時，空調箱除濕能力會降低，以免省了電費卻犧牲其最重要的舒適度。

四、研究方法

本研究之方法參考李文興、李政霖等人^(6,7)之方法，使用 EnergyPlus 進行冰水主機組合的最佳化，並在此基礎之上對開機策略進行佳化，進一步得到更佳之節能成效。

運用 EnergyPlus 軟體進行建模，內部設定包含室內環境、日照、照明、人員及設備負載、空調系統等。進行各項不同的冰機容量設定進行比較。並將各種不同容量冰水主機組合的模型檔案透過 EnergyPlus 進行模擬，整理出各冰水主機組合之耗電，其最節能之組合即為最佳之冰水主機組合，並將該最佳冰水主機組合進行開機策略的最佳化，其流程如圖 6 所示。



圖 6. 透過 EnergyPlus 模擬來分析空調狀況。

1. EnergyPlus 建築模擬軟體

建立建築 3D 模型，透過其環境設定、結構設定、開窗設定、照明設定及本研究重點討論的空調設定進行建模，再將各冰水主機組合之配置分別加入至此模型內，產出各不同冰水主機組合之模型檔案，以進行後續之分析。

(1) 環境設定 (activity)

1. 建築活動模板設定 (activity template)：因應活動場所設定其模板，例如醫院、飯店、辦公室、實驗室等。
2. 人員設定 (occupancy)：計算室內新陳代謝潛熱依照案場使用時間下之人數設定其人口密度及時間表。
3. 新陳代謝 (metabolic)：設計狀態下每人的散熱量，活動類型及其各因素 (男性因素 = 1，女性因素 = 0.85，兒童因素 = 0.75，混合使用則取平均數)。依照冬天夏天不同衣物設定其衣服熱阻 (冬季室內衣物 = 1、夏季輕薄衣物 = 0.3、工作服 = 0.8)。
4. 環境控制 (environmental control)：空調設置溫度、通風設置溫度、設置最小換氣量、照明設置。

(2) 結構設定 (construction)

1. 建築結構模板設定 (construction template)：普遍結構和開窗模型。
2. 結構設定 (construction)：外牆、地下室外牆、平屋頂、斜屋頂、內隔牆、半曝露外牆、半曝露天花板、半曝露地板、地板、外部地板、內部地板，以上使用者可以設置實際材料，也透過添加新材料以達與現實材料相同匹配的目的，厚度、傳熱係數、密度、熱阻、表面屬性 (熱吸收係數、太陽輻射係數、可見光吸收係數、粗糙程度、顏色及表面紋理)。

(3) 開窗設定 (openings)

1. 建築開窗模板設定 (glazing template)：因應實際現場設定窗門、通風洞口之模板。
2. 窗戶 (external windows)：窗戶玻璃材質，選擇單玻璃、雙玻璃、三玻璃，也可選擇玻璃類型、厚度、空氣層厚度。窗戶布置模板：設置窗戶在外牆上之布置方式及窗與牆的比例，窗框的尺寸參數，包含窗框、水平及垂直間隔數量和寬度。

(4) 照明設定 (lighting)

1. 建築照明模板設定 (lighting template)：因應實際現場設定其模板。
2. 一般照明 (general lighting)：內部主要照明情況，包含照明密度、照明使用時間表、燈管形式、輻射係數、可見光係數。如圖 7，在光源類型中分別有以下五種，Suspended、Surface mount、Recessed、Luminous and louvered ceiling、Return-Air ducted。

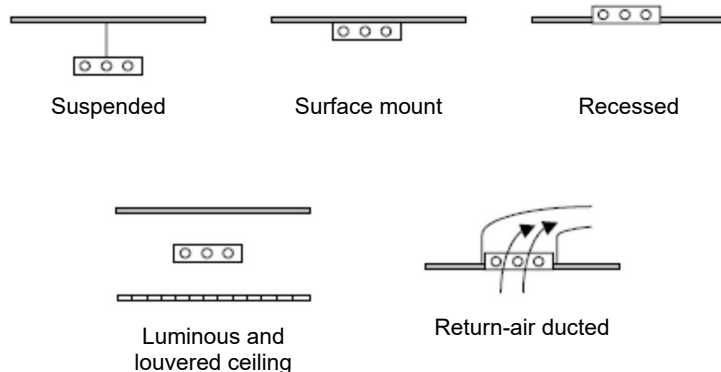


圖 7. 光源類型⁽⁸⁾。

(5) 空調設定 (HVAC)

1. 建築空調模板設定 (HVAC template)：空調系統模組，因應實際現場空調配置去設定其模板。
2. 機械送風 (mechanical ventilation)：根據不同的送風需求選擇不同之送風模式：
 - ① By zone：輸入室外空氣每小時直接控制下的流速。(單位為 ac/h)。 $m^3/s = ac/h \times zone \text{ volume} \div 3600$
 - ② Min fresh air (per person)：由每個人所需要的最低換氣量定義出來的最大自然通風率。 $m^3/s = minfreshair \times number \text{ people} / 1000$ ，number people = occupancy density (people/m²) × zone floor area (m²)，minfreshair 是每人最低換氣量。
 - ③ Min fresh air (per area)： $m^3/s = l/s \cdot m^2 \times Zone \text{ Floor Area} / 1000$ 。
 - ④ Min fresh air (sum per person + per area)： $m^3/s = (l/s \cdot m^2 \times Zone \text{ Floor Area} + minfreshair \times number \text{ people}) / 1000$ 。
 - ⑤ Min fresh air (max per person and per area)： $m^3/s = \text{Maximum of } (l/s \cdot m^2 \times zone \text{ floor area} / 1000) \text{ and } (minfreshair \times number \text{ people} / 1000)$

2. 冰水主機進階設定

參數設定

1. 冰水主機模板設定 (chiller template)：因應實際配置空調去設定其模板。
2. 標稱能力 (reference capacity)：冰水主機的冷凍能力，1 噸 = 3.5168 kW。
3. 性能係數 (reference COP)：設定冰水主機的 performance 係數。
4. 溫度設定：設定冰水主機冰水出水溫度、冷卻水進水溫度。
5. 流量設定：設定冰水流量、冷卻水流量。
6. 性能曲線 (performance curve)：冰水主機的 performance 曲線，可以從性能曲線得知此台冰水主機好壞，也可以依照不同性能曲線做不同案場用途，可看到性能曲線 (performance curve) 有三種曲線：
 - (1) 冷凍能力對應溫度之修正曲線 (cooling capacity function of temperature curve)：二元二次方程式，變數溫度為冰水出水溫度與冷卻水回水溫度，實驗出相對應溫度下之冰水主機冷凍能力，所發展出的對應修正因子曲線，其方程式如式 (5)，如圖 8 為 Trane-4,610 kW 之冷凍能力對應溫度之修正曲線。

$$EvapCapFT_{clg} = a + bT_{cw,l} + cT_{cw,l}^2 + dT_{Cond} + eT_{Cond}^2 + fT_{cw,l}T_{Cond} \quad (5)$$

- (2) 冰水主機性能對應溫度之修正曲線 (electric input to cooling output ratio function of temperature curve)：二元二次方程式，變數溫度為冰水出水溫度與冷卻水回水溫度，實驗出相對應溫度下之冰水主機性能，所發展出的對應修正因子曲線，其方程式如式 (6)，如圖 9 為 Trane-4610 kW 之冰水主機性能對應溫度之修正曲線。

$$EIRFT_{clg} = a + bT_{cw,l} + cT_{cw,l}^2 + dT_{Cond} + eT_{Cond}^2 + fT_{cw,l}T_{Cond} \quad (6)$$

- (3) 冰水主機性能對應部分負載之曲線 (electric input to cooling output ratio function of part load ratio curve)：一元二次方程式，條件於操作冰水出水溫及冷卻水回水溫下且主機滿

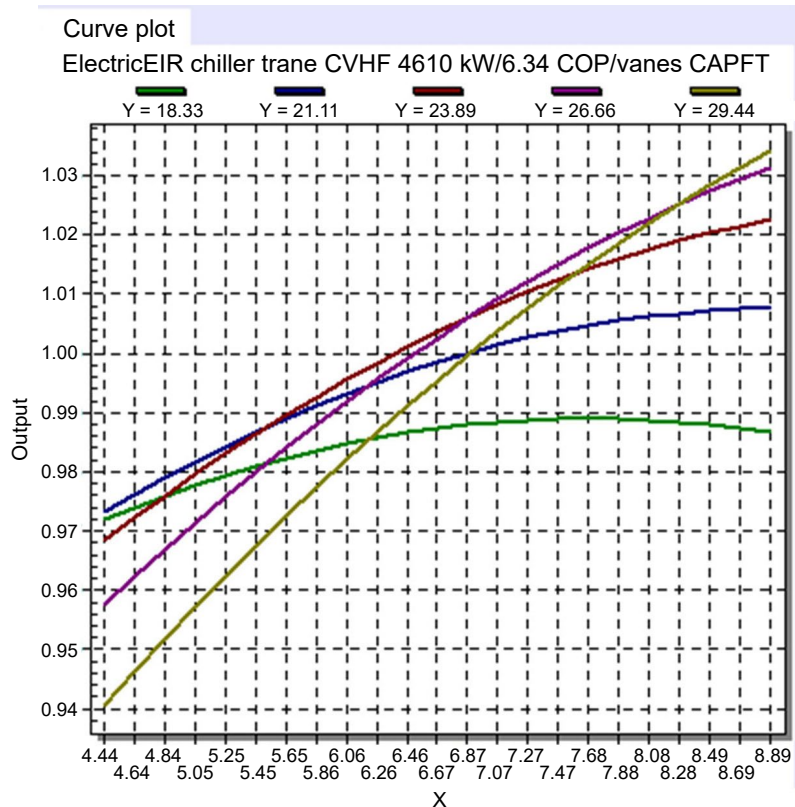


圖 8. Trane-4610 kW 之冷凍能力對應溫度之修正曲線。

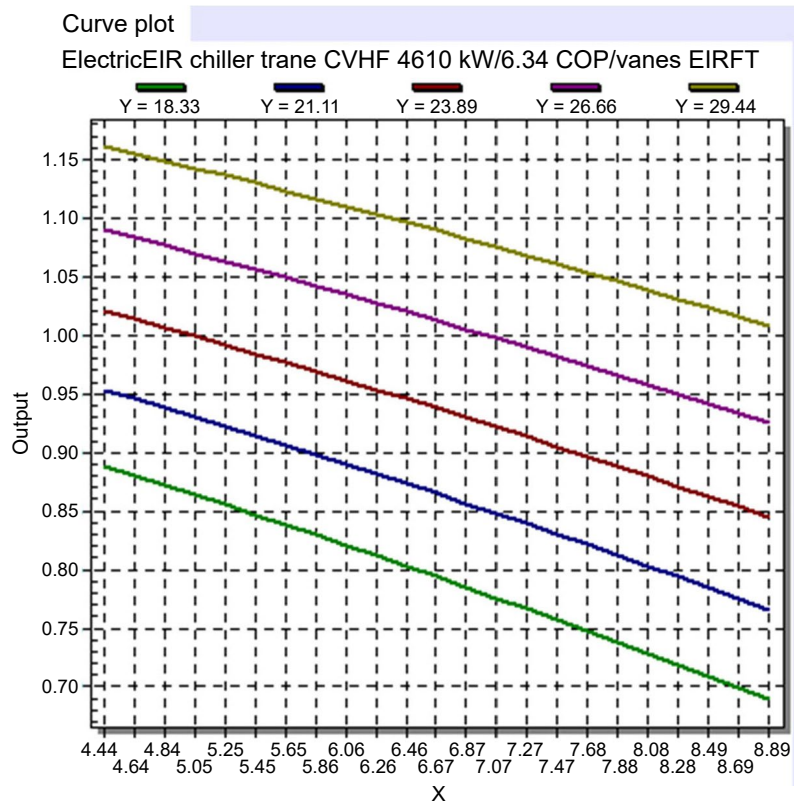


圖 9. Trane-4,610 kW 之冰水主機性能對應溫度之修正曲線。

載時，實驗出相對應部分負載下之冰水主機性能，帶入上述兩修正因子曲線式 (5)、(6) 進行修正。其由下方三條方程式其中一條方程式即可，如式 (7)、(8)、(9)，如圖 10 為 Trane-4610 kW 之冰水主機性能對應部分負載之曲線。

$$EIRFPLR_{clg} = a + bT_{Cond,l} + cT_{Cond,l}^2 + dPLR + ePLR^2 + fT_{Cond,l}PLR + g * 0 + hPLR^3 + i * 0 + j * 0 \quad (7)$$

$$EIRFPLR_{clg} = a + bPLR + cPLR^2 \quad (8)$$

$$EIRFPLR_{clg} = a + bPLR + cPLR^2 + dPLR^3 \quad (9)$$

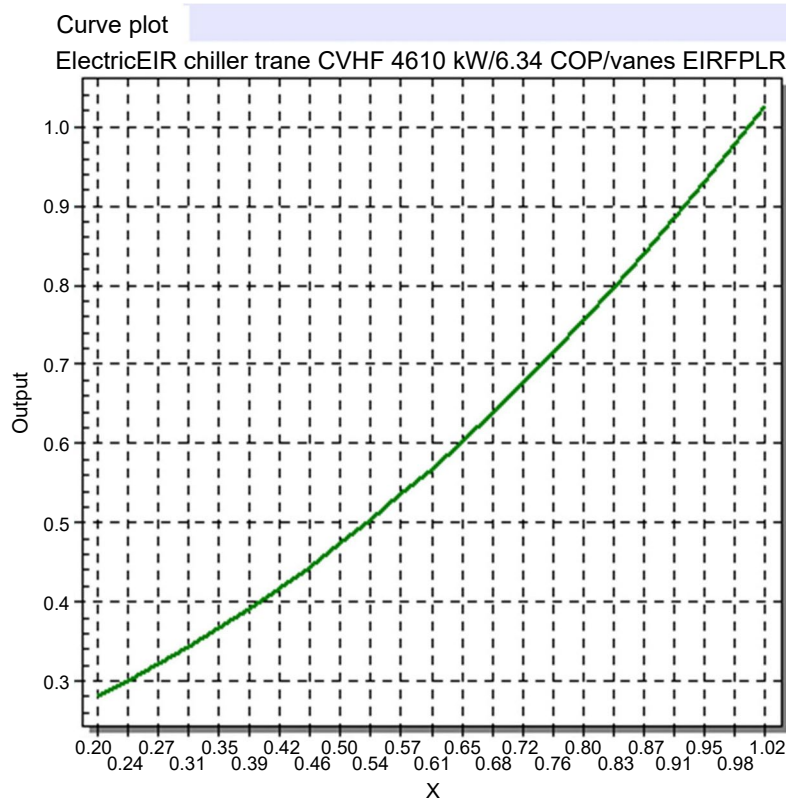


圖 10. Trane-4,610 kW 之冰水主機性能對應部分負載之曲線。

負載分配

如圖 11 EnergyPlus 之負載分配方案架構圖為冰水主機負載分配方案，根據不同的負載分配，整體冰水主機能耗也會有不同之結果，其有五種不同負載分配方式：

- (1) 佳化負載 (Optimal)：依各台冰水主機的性能曲線，啟動最佳化節能開機組合順序。
- (2) 平均負載 (UniformLoad)：無先後順序之分依負載大小皆平均啟動各台冰水主機。
- (3) 次序負載 (SequentialLoad)：依照順序啟動冰水主機，首台冰水主機已達滿載，則再啟動次台冰水主機。
- (4) 平均部分負載 (UniformPLR)：無先後順序之分依負載大小皆依其冷凍能力大小進行部分

負載分配啟動各台冰水主機。

- (5) 次序平均部分負載 (SequentialUniformPLR)：依照順序啟動冰水主機，若需要啟動其他台冰水主機，則依其冷凍能力大小進行部分負載分配。

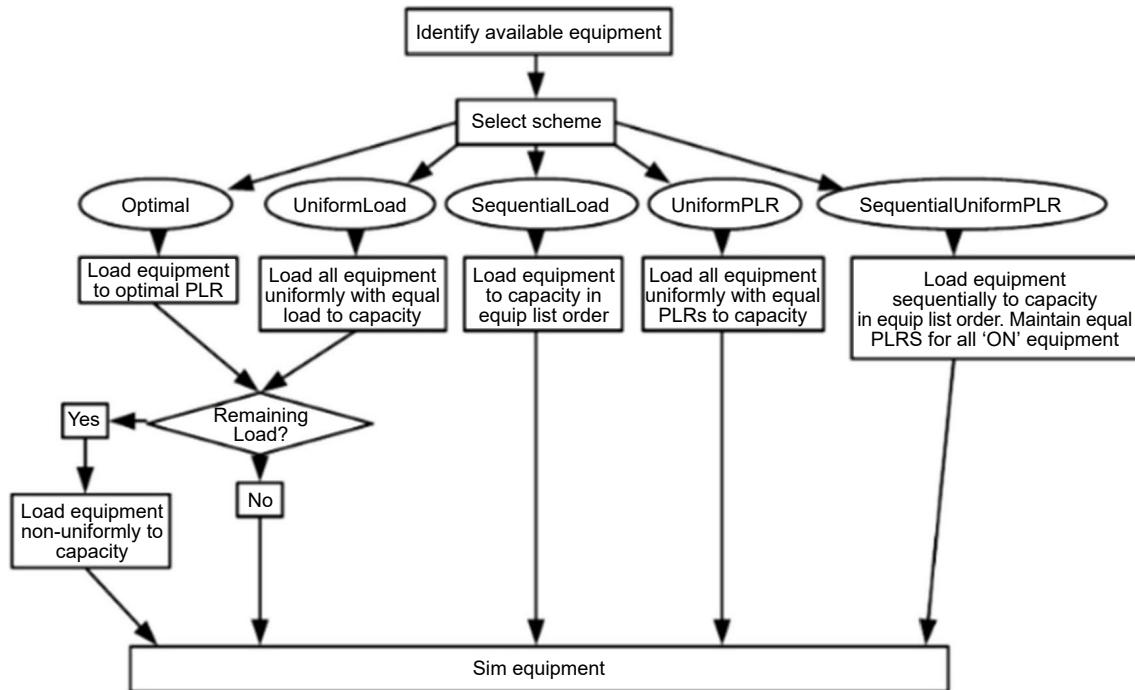


圖 11. EnergyPlus 之負載分配方案架構圖⁽⁹⁾。

五、案場介紹

本研究使用之虛擬建築物為地下 4 層樓、地上 16 層樓的辦公建築，總樓地板面積約為 48000 m²。選用三台冰水主機搭配，總噸數為 1800 RT。

六、實驗結果與分析

本章節主要運用 EnergyPlus 建置案場模型，案場模型為位於台北市之虛擬架空建築物，將此建築物模型環境係數設定完成後，將冰水主機的位置空出，並從 EnergyPlus 內建之冰水主機資料中挑選六台冰水主機作為冰水主機組合之選擇候補，並將可達到總噸數的冰水主機組合個別存檔，透過 EnergyPlus 模擬分析各種冰水主機組合，並透過空調系統的年總耗電量選擇出最節能的冰水主機組合以作為此案場的最佳選擇，並將該組合的開機策略進行最佳化。

1. EnergyPlus 模型建置

此研究透過 EnergyPlus 進行模型之室內環境、日照、照明、人員及設備負載、空調系統等設定，再將六台做為候補之冰水主機中選擇其中三台組成組合後，分別匯入至此模型內，產出各不同冰水主機組合之相同案場，以進行後續分析。

2. 建立冰水主機

透過 EnergyPlus 模擬軟體將本案場進行空間負載估算，其最大空間負載在 7 月份時高達約 1,549 RT，因此本案場最大空調負載約為 1,549 RT 且可搭配 3 台冰水主機。本研究將共有 6 種不同噸數的冰水主機候補，如表 3 所示，分別為 300 RT、400 RT、500 RT、600 RT、700 RT、900 RT。

表 3.6 台冰水主機候補之資料。

	Chiller Information	Capacity(RT)	COP(w/w)
1	McQuay PEH 1030 kW/8.58 COP/Vanes	300	8.58
2	McQuay PFH 1407 kW/6.60 COP/Vanes	400	6.6
3	McQuay WSC 1751 kW/6.73 COP/Vanes	500	6.73
4	McQuay PFH 2124 kW/6.03 COP/Vanes	600	6.03
5	McQuay PFH 2462 kW/6.67 COP/Vanes	700	6.67
6	McQuay PFH 3165 kW/6.48 COP/Vanes	900	6.48

透過將以上 6 種不同容量之冰水主機，選擇其中 3 台的組合來滿足此案場之負載需求，其總冰水主機噸數必須滿足本案場之最大空調負載 1,549 RT，因此選擇總噸數大於 1,549 RT 的 1,800 RT 來當作案場設計條件，並透過各種冰水主機容量組合來模擬本案場之空調系統耗電，找出其最佳組合並進行開機策略之最佳化。

3. EnergyPlus模擬分析

使用 EnergyPlus 模擬容量達 1,800 RT 之冰水主機組合，且使用次序平均部分負載來進行冰水主機之負載分配方式，如表 4，為各滿足條件的冰水主機組合，透過 EnergyPlus 進行整年的模擬，並將 5 種冰水主機組合的年總耗電量做比較，依照耗電量由小至大排列，整理結果如表 4 所示。

表 4.5 種滿足負載條件之冰水主機組合表及模擬之年總耗電量。

序號	Chiller-1 (RT)	Chiller-2 (RT)	Chiller-3 (RT)	Total Chiller (RT)	Cooling 年總耗 電量 (kWh)
1	400	700	700	1,800	989,831
2	300	600	900	1,800	990,107
3	400	500	900	1,800	999,250
4	500	600	700	1,800	1,022,608
5	600	600	600	1,800	1,027,936

透過上述之模擬分析，可得之最節能之冰水主機組合為 400 RT、700 RT、700 RT。使用這三台冰水主機的組合進行開機策略的最佳化，由於一整年使用同樣之開機策略並不合理，因此本研究選定夏季的其中一天作為代表，在此以 7 月 15 日作為代表，在當日滿足空

調負荷之各種開機組合及其模擬得出之日耗電量如表 5 所示，表中描述各種開機組合，共 6 種，表中的 1、2、3 分別代表第一台主機 (400 RT)、第二台主機 (700 RT)、第三台主機 (700 R)，且由左至右為三台主機的開機順序，其中因第二台及第三台主機為相同噸數之冰水主機，因此會有部分的序號之日總耗電量相同。

表 5.6 種開機策略日總功率表。

序號	開機順序	日總耗電量 (kWh)
1	1-3-2	5784.4
2	1-2-3	5784.4
3	3-1-2	5807.7
4	2-1-3	5807.7
5	3-2-1	5848.8
6	2-3-1	5848.8

4. 結果

從表 4 中挑選最節能與最耗能冰水主機之組合來做分析比較，其結果如表 6 所示，最節能之冰水主機組合為 400 RT、700 RT、700 RT，其 Cooling 年總耗電量為 989,831 kWh，最耗能之冰水主機組合為 600 RT、600 RT、600 RT，其 Cooling 年總耗電量為 1,027,936 kWh，兩組合 Cooling 年總耗電量差 38,105 kWh，若以最耗能之組合做為比較基準，則其節能率為 3.7%。5 種不同冰水主機組合平均 Cooling 年總耗電量為 1,005,946 kWh，最節能組合與 5 種組合平均之 Cooling 年總耗電量差 16,115 kWh，若以 5 種組合之平均值做為比較基準，則其節能率為 1.6%。

表 6. 冰水主機組合之最節能與最耗能及平均之組合耗電量分析。

序號	Chiller-1 (RT)	Chiller-2 (RT)	Chiller-3 (RT)	Total Chiller (RT)	Cooling 年總耗電量 (kWh)
1	400	700	700	1,800	989,831
7	600	600	600	1,800	1,027,936
平均全部 7 種組合				1800	1,005,946
最節能與最耗能之節能率 (%)				最節能與平均組合之節能率 (%)	
3.7%				1.6%	

開機策略佳化之結果分析如表 7 所示，表中按照日總耗電量進行排序，最節能的開機策略為序號 1，日總耗電量為 5784.4 kWh，耗能的開機策略為序號 6，日總耗電量為 5848.8kWh，兩種策略之日總耗電量相差 64.3 kWh，若以最耗電之開機策略為基準，其節能率為 1.1%。6 種開機策略之日總耗電量平均為 5813.6 kWh，若以 6 種開機策略之耗電量做為比較基準，則節能率為 0.5%。

表 7. 開機策略之最節能與最耗能及平均之組合耗電量分析

序號	開機順序	日總耗電量 (kWh)
1	1-3-2	5,784.4
6	2-3-1	5,848.7
6 種開機策略之平均		5,813.6
最節能與最耗能之節能率 (%)		最節能與平均組合之節能率 (%)
1.1.1%		0.5%

七、結論

本案經由 EnergyPlus 建模探討不同冰水主機組合之全年耗電量，以求得最佳之節能冰水主機組合，並進行冰水主機開機策略的最佳化。以位一位於台北之模擬案場進行分析，該建築物為地下 4 層樓、地上 16 層樓之辦公建築。搭配的冰水主機組合為三台冰水主機，總噸數合計 1,800 RT。經由分析結果顯示不同冰機組合其最節能與最耗能的組合能源使用相差約為 3.7%，且進行開機策略最佳化後每日還可再省下約 1.1% 的用電。

參考文獻

1. 能源資訊網, 「空調系統能源查核與節約能源案例手冊.pdf」.
2. GettingStarted.pdf, June 10 (2020). Please refer to the web site: https://energyplus.net/sites/default/files/pdfs_y8.3.0/GettingStarted.pdf.
3. 「52 鴻業科技杜軍恒某資料中心能耗及 CFD 模擬分析-百度文庫」, June 10 (2020). Please refer to the web site: <https://wenku.baidu.com/view/42e5881ddf80d4d8d15abe23482fb4daa58d1d85.html?re=view>
4. 「空調系統能源查核與節約能源案例手冊.pdf」, June 10 (2020). Please refer to the web site: https://www.ga.ntnu.edu.tw/eshs/Energy_Management/%E7%A9%BA%E8%AA%BF%E7%B3%BB%E7%B5%B1%E8%83%BD%E6%BA%90%E6%9F%A5%E6%A0%B8%E8%88%87%E7%AF%80%E7%B4%84%E8%83%BD%E6%BA%90%E6%A1%88%E4%BE%8B%E6%89%8B%E5%86%8A.pdf.
5. 「經濟部能源局, 建築節能應用技術手冊.pdf」.
6. 李文興, 李政霖, 陳柏瑜, 智動化 SmartAuto, 6, 74 (2020).
7. 李政霖, 應用EnergyPlus模擬分析最佳冰水主機組合, 國立臺北科技大學能源與冷凍空調工程系碩士論文, (2009).
8. 「DesignBuilder_2.1_Users-Manual_Ltr.pdf」, June 10 (2020). Please refer to the web site: http://www.designbuildersoftware.com/docs/designbuilder/DesignBuilder_2.1_Users-Manual_Ltr.pdf.
9. 「Table of Contents: Engineering Reference - EnergyPlus 9.1」, June 10 (2020). Please refer to the web site: <https://bigladdersoftware.com/epx/docs/9-1/engineering-reference/>

作者簡介

翁大峻先生為國立臺北科技大學能源與冷凍空調所碩士。

Ta-Chun Weng received his M.S. in Energy and Refrigerating Air-Conditioning Engineering from National Taipei University of Technology.

李政霖先生為國立臺北科技大學能源與冷凍空調所碩士。

Cheng-Lin Li received his M.S. in Energy and Refrigerating Air-Conditioning Engineering from National Taipei University of Technology.

柯潔霖女士為國立臺北科技大學能源與冷凍空調所碩士。

Chieh-Lin Ko received her M.S. in Energy and Refrigerating Air-Conditioning Engineering from National Taipei University of Technology.

李文興先生為國立台灣大學機械工程博士，現為國立臺北科技大學能源與冷凍空調系教授兼系主任。

Wen-Shing Lee received his Ph.D. in Mechanical Engineering from National Taiwan University. He is currently a professor and dean in Department of Energy and Refrigerating Air-Conditioning Engineering at National Taipei University of Technology.