

國際冰水主機部分負載管理現況

Current Status of Integrated Part Load Value Management for International Chiller Systems

莊士峰, 鄭佳威, 楊愷祥

Shi-Feng Zhuang, Jia-Wei Zheng, Kai-Shing Yang

國立勤益科技大學 冷凍空調與能源系

Refrigeration, Air Conditioning and Energy Engineering, National Chin-Yi University of
Technology

趙令裕, 陳奕瑞

Ling-Yu Chao, Yi-Ray Chen

財團法人工業技術研究院 綠能與環境研究所

Green Energy and Environment Research Labs, Industrial Technology Research Institute

摘要

近年來世界各地空調製冷的需求大幅提升，空調製冷主要是用於室內環境的空氣調節。而空調的能源消耗相當地高，占了整體建築物能源消耗的一半左右，並以大樓的冰水機為主，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。空調設備節能政策通常以其性能指標為標準，常見的性能指標有 COP、EER、SEER、IPLV 等等，眾多不同的性能指標，導致目前各國相關的能源政策皆採用不同的標準，因此如何制定冰水機部分負載的能效標準，是首先要克服的議題。

關鍵詞：冰水機、部分負載、COP、EER、SEER、IPLV、空調節能、能源法規。

Abstract

In recent years, the demand for air-conditioning and refrigeration around the world has increased significantly, and air-conditioning and refrigeration are mainly used for air conditioning in indoor environments. The energy consumption of air-conditioning is quite high, accounting for about half of the energy consumption of the entire building, and it is mainly the chiller plants in the building. How to effectively improve the energy-saving of the air-conditioning system has become an important issue today. Air-conditioning equipment energy-saving policies are usually based on their performance indices. Common performance indices include COP, EER, SEER, IPLV, etc. Many different performance indices lead to different standards for energy policies in various countries. Therefore, how to formulate energy efficiency standards for partial loads of chillers is the first issue to be solved.

Keywords: chiller, part load, COP, EER, SEER, IPLV, air conditioning energy saving, energy regulations.

一、前言

近年來，全球氣溫不斷攀升，導致各國空調

需求急速增加。尤其是在熱帶地區和夏季高溫季節，空調已經成為人們生活中不可或缺的一部分。然而，空調使用的同時也帶來了一些問題，其中之一就是能源消耗的問題。

空調的能源消耗相當地高，占了整體建築物能源消耗的一半左右，並以大樓的冰水機組為主，因此提高空調系統的能源效率已成為全球節能減排的重要任務之一。

為了減少能源消耗，提高空調系統的效率，研究和開發高效、穩定的空調冰水機已經成為工業界和學術界的重要研究方向之一，根據實際運轉情況顯示，冰水機組大部分時間都在部分負載下運轉，使得同時空調冰水機的部分負載性能指

二、 內容

2.1 各個國家標準變化差異

以各地區的現行標準來看，所採用的冰水機組部分負載指標的計算公式中的部分負載權重皆有些許不同，由圖 1 可以觀察出，所有標準在 100% 負載的權重都非常低，基本上負載集中在 50%、75%，較值得注意的是，歐盟的 EN14511/14825 標準，在 25% 負載的權重大幅高出其他標準，而在 75% 負載則是低於其他標準。

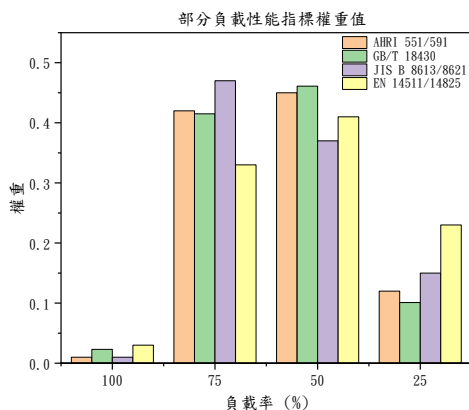


圖 1 各地區部分負載指標公式權重比較

美國國內採用冰水機能效管理的標準為 ASHRAE 90.1，然而美國各州法規採用的版本皆

標也成為了一個重要的研究方向。

部分負載性能指標是指在空調負載部分區間，冰水機的能耗、效率方面的表現。常見的性能指標有 COP、EER、SEER、IPLV 等等，眾多不同的性能指標，導致目前各國相關的能源政策皆採用不同的標準，沒有一致的規定，而我國目前針對冰水機的能源法規只有制定滿載 COP 的最低要求，但實際上冰水機僅少數時間處於滿載下運轉，因此如何制定冰水機部分負載的能效標準，是首先要克服的議題。

不相同(圖 2)。

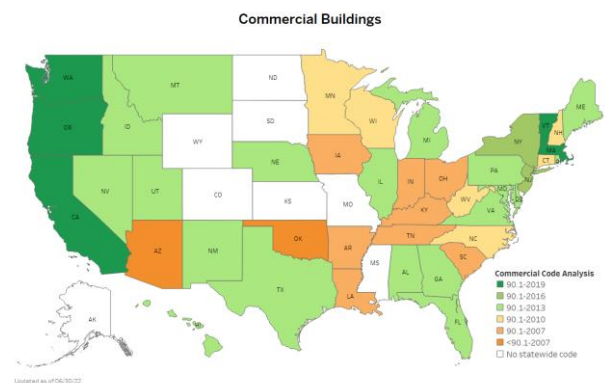


圖 2 美國國內冰水機能源標準採用情形[4]

由於世界各國對於節能減碳的趨勢，ASHRAE 90.1 標準中，冰水主機的部分負載最低能效值約每六年調整一次，包含氣冷式、水冷容積式及水冷離心式；其中水冷容積式冰水機的最低限制值每六年皆有小幅調高(圖 3)；而且水冷離心式冰水機要求較水冷容積式嚴格，其中值得注意的是，冷凍能力 528kW~2110 kW 區間的最低限制值在 2010 年的改版中沒有變動(圖 4)；氣冷式冰水機因為包括冷卻器的能效損失，最低限制值要求約只有水冷式的一半，並且只有分為

兩個區間(<528kW 及 ≥528kW)，而最低限制值每次改動均有調高最低限制值(圖 5)。

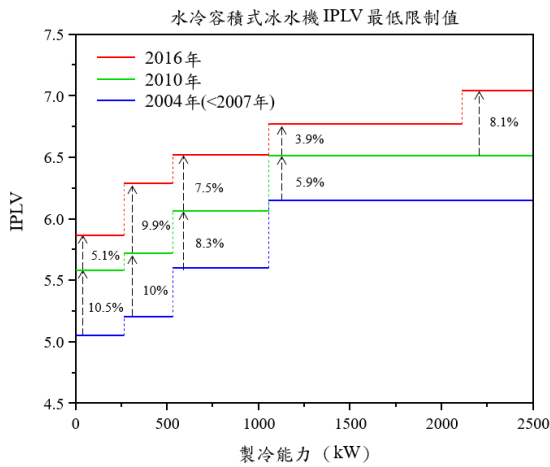


圖 3 ASHRAE 90.1 水冷容積式冰水機 IPLV 最低限制值比較

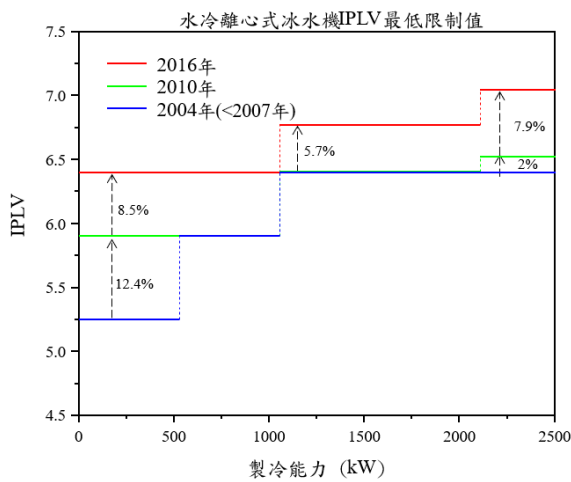


圖 4 ASHRAE 90.1 水冷離心式冰水機 IPLV 最低限制值比較

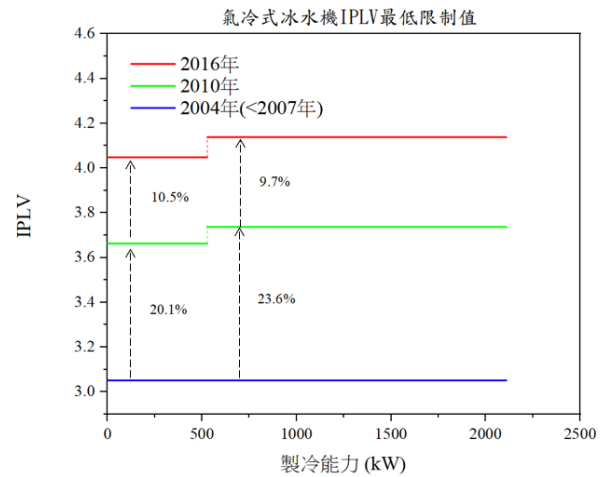


圖 5 ASHRAE 90.1 氣冷式冰水機 IPLV 最低限制值比較

適用於 ASHRAE 90.1 標準的測試標準是 ARI 551/591 (ARI 現已改為 AHRI)，起初在 1992 年制定 IPLV 的計算公式，之後在 1998 年的改版大幅變動公式的權重，其中 100% 負載的權重變動最為明顯，從 1992 年的 0.17 變更為 1998 年的 0.01 (圖 6)。

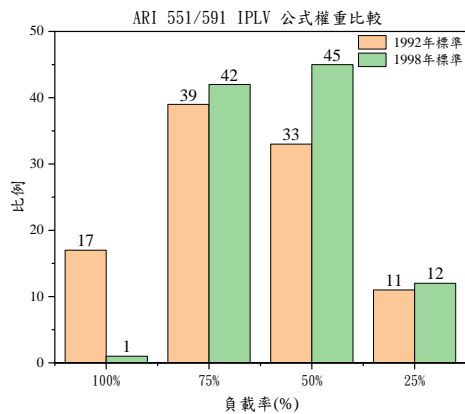


圖 6 ARI 551/591 IPLV 公式權重比較[5]

中國的冰水機能源標準為 GB 19577 冰水機組能效限定值及能效等級，其中能效等級分成三級，一級能效最高，三級能效最低，同時也是最低限制等級，內容一樣分別對水冷式(圖 7)及氣冷式(圖 8)有各自規定，如同其它國家法規要求，氣冷式的最低限制值約為水冷式的一半左右。比較特別的地方為，三級標準與二級標準間的差距

偏大，因此產品若想達到二級甚至一級能效等級，則廠商需要負擔更多的技術與成本。

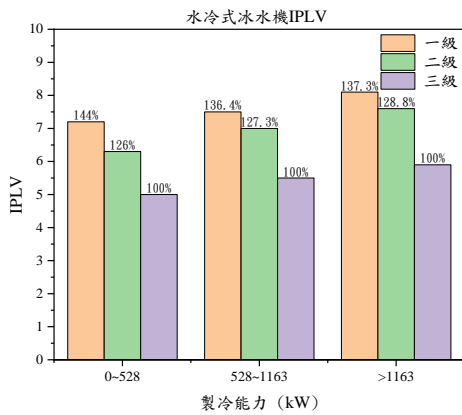


圖 7 GB19577 水冷氣式冰水機組能效限定值及能效等級[6]

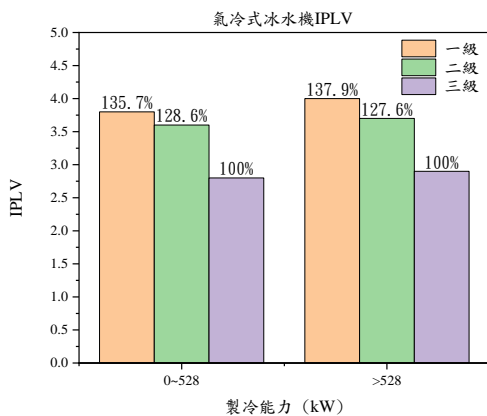


圖 8 GB19577 氣冷氣式冰水機組能效限定值及能效等級[6]

此外，中國對於公共建築節能設計有另外的標準規範，為 GB 50189 公共建築節能設計標準 [7](圖 9)，此標準也有對於冰水機進行能效要求，其中水冷氣式冰水機的標準要求只規定到 528kW 冷凍能力的機種，而氣冷氣式冰水機方面只規定到 100kW 冷凍能力的機種(圖 10)，較特別的地方是，氣冷氣式冰水機的要求較氣冷氣螺旋式的高，與其他國家的標準和一般普羅大眾的認知不同。

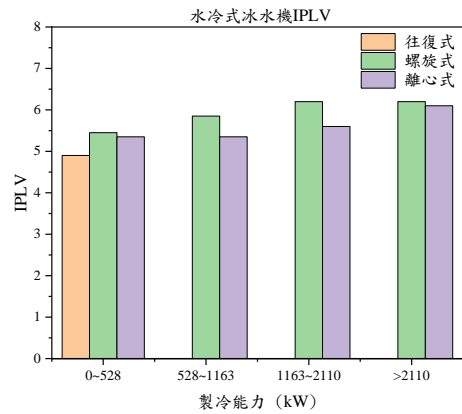


圖 9 GB50189 水冷氣式冰水機組能效限定值

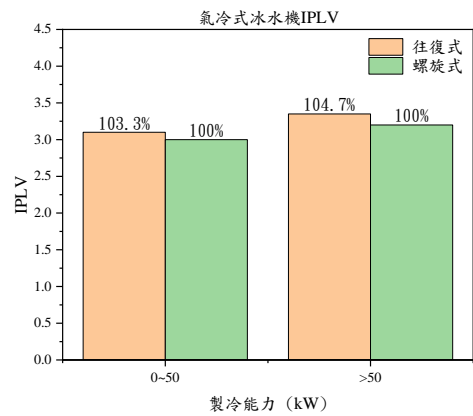


圖 10 GB 50189 氣冷氣式冰水機組能效限定值

GB 50189 的冰水機最低能效值要求在 GB 19577 的三級及二級標準之間(圖 11)(圖 12)，因此公共節能建築的冰水機必須選用更高效能的機種，才能同時符合以上兩種標準。

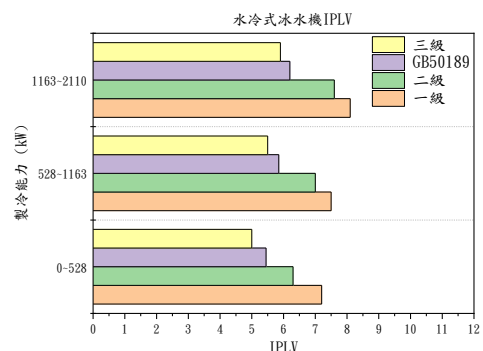


圖 11 GB 19577 與 GB 50189 水冷式冰水機標準差異

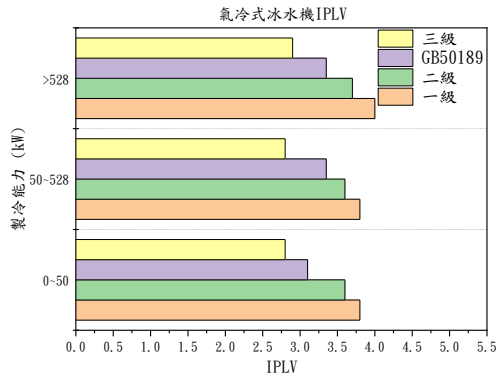


圖 12 GB19577 與 GB50189 氣冷式冰水機標準差異

2.2 與其他性能指標差異

冰水機常見的性能指標有 COP、EER、IPLV、ESEER 等，而這些性能指標各自接有些許差異，測試的條件、代表的涵義也都不同，因此同一台冰水機能計算出不同性能指標數值，分別代表設備在不同負載條件下運轉的性能，使業主能依照需求選擇適合之設備。

以國內廠商的螺旋式冰水機 A 型的實測數據(圖 13)來看，此冰水機的 COP 為 5.16，係指冰水機在 CNS 12575 全載條件下運轉之能源效率，然而若依照 AHRI 551/591 測試標準中的整合型部分負載公式算出的 IPLV 為 9.09；因此此冰水機若長時間部分負載運轉，實際冰水機效率會大幅高於長期滿載運轉之效率，若業主欲使用此冰水機，應設計冰水機系統，使此冰水機能長期在部分負載運轉。

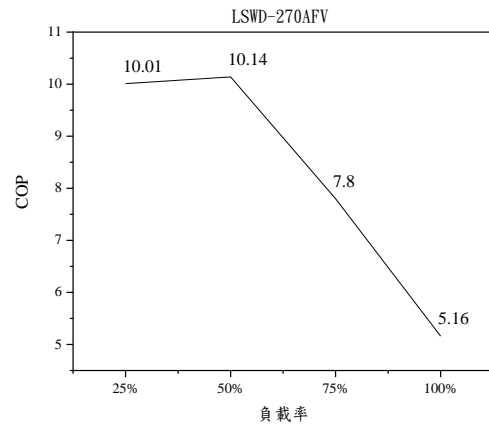


圖 13 A 型螺旋式冰水機實際測量數據

2.3 部分負載性能指標計算方式

冰水機之部分負載效率指標 IPLV 是針對單個冰水機在 4 個不同的部分負載條件運轉下之能源效率，部分負載條件的制定，不同地區應以當地之相關資料制定，以美國 AHRI 551/591 標準為例，其標準中的 IPLV 公式權重值，是以美國 29 個城市的氣候資料、建築物類型分布、實際運轉時段等資料進行加權平均，之後結合 ASHRAE Temperature Bin Method 計算得出。

AHRI 551/591 標準先將建築物類型分成四種，並設定冰水機運轉時段及最低運轉之室外溫度，之後將冰水機在不同溫度的負載曲線(圖 14)與冰水機在不同溫度的運轉時數(圖 15)結合成負載時數圖(圖 16)

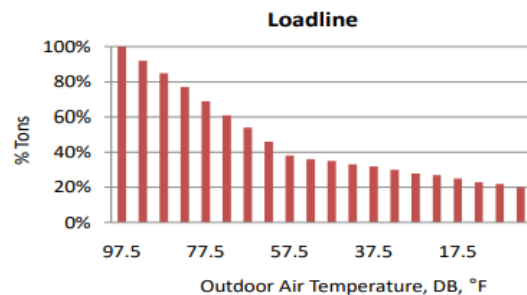


圖 14 冰水機負載曲線圖[9]

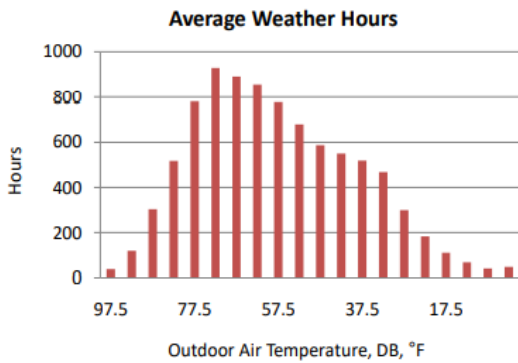


圖 15 氣候溫度時數分布圖[9]

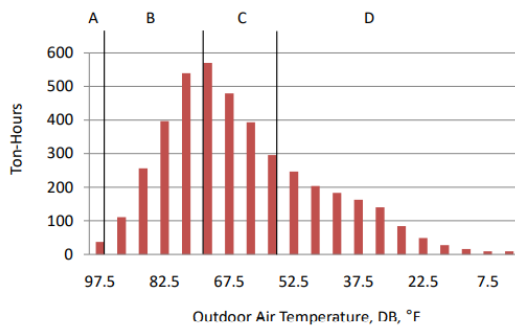


圖 16 第一類建築之負載時數圖[9]

Bin 方法依照溫度歸類，分為 4 個群組，分別為設計值(Design Bin)、峰值(Peak Bin)、低值(Low Bin)、最小值(Min Bin)，以第一類建築之負載時數圖(圖 16)為例，設計值為 A 區間，為第一個溫度區間；峰值為 B 區間，取設計值之後 4 個溫度區間；低值為 C 區間，取峰值之後 4 個溫度區間；最小值為 D 區間，取 55°F 以下所有溫度區間，之後算出 A、B、C、D 區間各自占比，再將以上步驟套用至其他三種建築種類，算出 4 種建築類型各別 A、B、C、D 區間權重值(表 1)。

表 1 4 種建築類型之 IPLV 權重計算結果[9]

Group 1	% Load	ECWT, °F	EDB, °F	Weight	Group 2	% Load	ECWT, °F	EDB, °F	Weight
A	100.0%	85.0	95.0	0.95%	A	100.0%	85.0	95.0	1.2%
B	75.7%	75.5	81.8	30.9%	B	75.7%	75.5	81.8	42.3%
C	50.3%	65.3	65.4	41.3%	C	50.3%	65.3	65.4	56.5%
D	31.9%	47.1	38.6	26.9%	D	N/A	N/A	N/A	0.0%
IPLV.IP = $\frac{1}{0.009/A + 0.309/B + 0.413/C + 0.269/D}$					IPLV.IP = $\frac{1}{0.012/A + 0.423/B + 0.565/C + 0.0/D}$				
Group 3	% Load	ECWT, °F	EDB, °F	Weight	Group 4	% Load	ECWT, °F	EDB, °F	Weight
A	100.0%	85.0	95.0	1.5%	A	100.0%	85.0	95.0	1.8%
B	75.7%	75.6	82.2	40.9%	B	76.4%	75.6	82.2	50.1%
C	50.3%	65.8	66.0	39.2%	C	51.3%	65.8	66.0	48.1%
D	31.9%	47.7	40.0	18.4%	D	N/A	N/A	N/A	0.0%
IPLV.IP = $\frac{1}{0.015/A + 0.409/B + 0.392/C + 0.184/D}$					IPLV.IP = $\frac{1}{0.018/A + 0.501/B + 0.481/C + 0.0/D}$				

將 4 種建築類型之 IPLV 權重計算結果(表 1) 依照各別占比相乘，算出最終 IPLV 公式權重值(如公式(1)所示)，以 A 區間為例，其計算方式為第一類建築 A 區間占比(0.95%)乘以建築占比(24.0%)，加上第二類建築 A 區間占比(1.2%)乘以建築占比(12.2%)，加上第三類建築 A 區間占比(1.5%)乘以建築占比(32.3%)，加上第四類建築 A 區間占比(1.8%)乘以建築占比(31.5%)，得出 0.014，再四捨五入成 0.01。

$$IPLV.IP = 0.01A + 0.42B + 0.45C + 0.12D \quad (1)$$

本研究亦嘗試以台灣的資料計算，圖 18 為 IPLV 公式權重推導流程圖，首先找出不同建築種類各別的占比以及對應的運轉時段，之後蒐集台灣不同地區的天氣資料，制定 Bin 方式 4 個溫度群組的溫度，算出不同溫度區間的負載度時數，得到 IPLV 公式權重值。

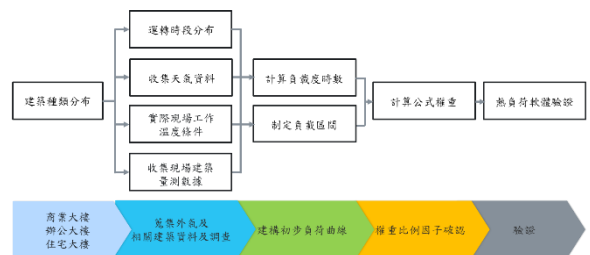


圖 17 IPLV 公式權重推導流程圖

圖 19 是台灣的建築種類分布，資料來自於內政部營建署，主要分成三種建築，分別是商業大樓、辦公大樓、生活住宅，其中生活建築占比最多，高達 67%，辦公大樓占比最少，只佔 12%。

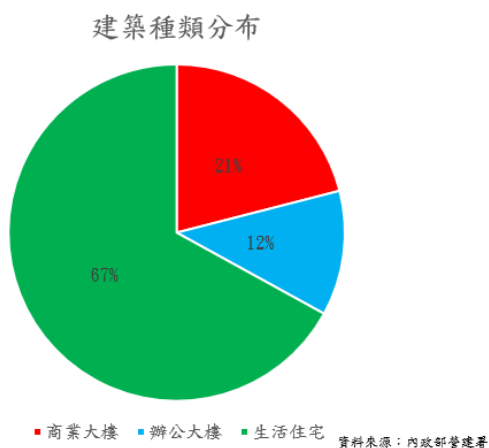


圖 18 台灣建築種類分布圖

建築運轉時段則是參考中國 GB/T 17758-2010 標準，商業大樓每週星期一至星期日，每日 9 時至 22 時；辦公大樓每週星期一至星期五，每日 8 時至 18 時；生活住宅星期一至星期五的 18 時至 8 時，星期六星期日則是全天運轉。

以交通部中央氣象局 2021 年之氣候資料分析，其中分析了三個縣市，從北至南為台北市、台中市、高雄市。氣候資料以溫度作區分搭配上上述不同建築種類的運轉時段，再以度時法計算度時數，基準溫度為 21°C，統計出一年中台北市、台中市、高雄市(表 2)不同建築種類各個溫度區間的度時數。

制定 Bin 方法中 4 個溫度群組的負載區間(圖 20)，設計值與最小值參考 GB/T 17758-2010 標準的，其中商業大樓與辦公大樓一樣，設計值 35°C、峰值 31°C~34°C、低值 27°C~30°C、最小值 21°C~27°C；生活住宅設計值 35°C、峰值 31°C~34°C、低值 27°C~30°C、最小值 24°C~27°C(圖 22)。

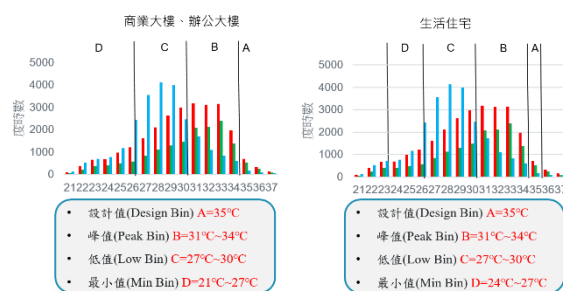


圖 19 建築負載區間

最後將各城市的 A、B、C、D 溫度區間(表 2)占比平均後，得出台灣 IPLV 公式(如公式(2)所示)，與美國 AHRI 551/591 的公式相比，可以發現台灣的冰水機部份負載操作溫度高於 AHRI 551/591，運轉條件最低載溫度約於 24°C 且最高溫度條件在 35°C，然權重分布較長時間於 50% 負載左右負載運轉(測試溫度在 27~30°C 間)。

表 2 縣市溫度區間占比

	A	B	C	D
台北市	1.5%	28%	52.7%	17.8%
台中市	0.4%	20.4%	53.2%	26%
高雄市	0%	12.8%	60.9%	26.3%

$$IPLV = 0.006 \times COP_a + 0.204 \times COP_b + 0.556 \times COP_c + 0.234 \times COP_d \quad (2)$$

三、 結論

各國冰水機能源標準與測試標準皆因地區環境條件與使用特性而有所不同，各國冰水機組測試標準內採用的冰水機性能指標也呈現不一致性，其中可分為全載與整合型部分負載性能指標兩大類，部分國家採用 COP 與 IPLV 為能源效率參考指標，而歐盟則採用 EER 及 ESEER 為參考指標。

AHRI 551/591 所提出整合性部分負載性能指標之計算，由該地區的氣候數據及建築種類分布，因此各地區的氣候數據與建築型態均不相同。因此本研究嘗試以 2021 年國內氣候數據，參考

AHRI 551/591 所提出方法，模擬適合我國使用之部分負載性能測試條件及權重分布，本研究搜集國際間冰水主機部分負載管理現況，並初步分析冰水機組部分負載指標與實際使用之情況，供後續探討適合國內使用之冰水機組部份負載能效指標。

四、 感謝詞

本研究承蒙經濟部能源局E0417「冰水主機能源效率基準管理與推動」計畫支持，謹致謝忱。

五、 參考文獻

- [1] “性能係數COP.”
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%80%A7%E8%83%BD%E4%BF%82%E6%95%B8>
(accessed Nov. 15, 2022).
- [2] “EER、SEER.”
https://en.wikipedia.org/wiki/Seasonal_energy_efficiency_ratio#Relationship_of_SEER_to_EER_and_COP (accessed Nov. 15, 2022).
- [3] “ESEER.”
https://en.wikipedia.org/wiki/European_seasonal_energy_efficiency_ratio (accessed Nov. 15, 2022).
- [4] “美國各州採用之冰水機能源標準.”
<https://www.energycodes.gov/status/commercial> (accessed Nov. 22, 2022).
- [5] “Implications For Chilled-Water Plant Design,” 1999.
- [6] “GB 19577-2015 冷水機組能效限定值及能效等級”，中國國家標準。
- [7] “GB 50189-2015.，公共建築節能設計標準”，中國國家標準。
- [8] W. R. Geister and M. Thompson, “A Closer Look At Chiller Ratings,” 2009.
[Online]. Available: www.ashrae.org.
- [9] “Performance Rating of Water-chilling

and Heat Pump Water-heating Packages Using the Vapor Compression Cycle.”