

# 水側節能運用設計與探討

吳旭聖<sup>1\*</sup> 鄭秋南<sup>2</sup> 李彥澄<sup>3</sup> 顏維謀<sup>4</sup> 蔡明宏<sup>5</sup>

## 摘要

製冷設施已經成為住、商及工業等場所不可或缺之設備，更是關鍵能源使用設施，舉凡運用於人員舒適空調、室內空氣品質管理、製程冷卻、精密產業製程環境或特定作業場所溫度管理等，皆需使用製冷設施以移除環境或製程所產生之熱量，因此如何提高製冷設施能源使用效率或降低該項設施使用率，則具有高度節能效益。本研究針對精密產業或數據機房等特定作業場所，需全年度運用製冷設施進行溫/濕度管理場域，探討於臺灣氣候條件為基準下，及運用既有冷卻水塔設計基礎下，開發自然冷卻系統以供應場所需求之低溫冷卻水，以作為降低場所之熱負載或取代運用電力製冷設施，減少製冷設施用電量，此外也期望該項冷卻水設計，利於高效能新型製冷設施之導入，如廣域冷卻水溫運用之磁浮冰水機，以協助產業降低能源使用量及能源成本，且實踐產業於我國永續經營管理，更落實我國能源管理及發展之政策。

**關鍵詞：**冷卻水溫，節能，冰水機組

## 1. 前言

全球皆面臨產業發展及人口成長等因素造成持續不斷增加能源使用量，而我國地小人稠，人口密度為全球第二，且自有能源匱乏，約98%依賴進口，近年更因核能議題發酵可能衝擊電力供需平衡現況，因此能源主管機關擬定「永續能源政策綱領」，將由國內能源供應面從「淨源」與能源需求面從「節流」做起，進而實現國家或人民安全之確立，且維持國家經濟持續穩定發展，更兼顧民生基本生存需求，以永續發展及管理我國能源政策。然開創新興能源或許可舒緩未來我國能源供應窘境，但新發電設施所需投入成本龐大，而其所需建

置及穩定運轉之供應電能等待期間長，難以獲得立竿見影之效，而於需求面藉由能源效率管理及節能技術開發，則可提升能源使用產品之效率，減少能源使用量及不當損失，所開創節能效益常等同於建置新電廠，且為更快速且符合國家或使用者之成本效益。

於能源效率管理及節能技術開發則需先探討能源使用分布狀態，進而評估關鍵能源使用部門及其節能策略，如參考經濟部能源局(2016)能源平衡表，針對於電能使用分布狀態可繪製如圖1，其中服務與住宅部門之用電佔比皆約在20%，而住宅部門多為冰箱、電視、冷氣、電熱水器等維持日常生活之必要用電，雖相關商品個別用電量不大，但商品型態廣泛且

<sup>1</sup>財團法人工業技術研究院綠能與環境研究所 資深工程師

<sup>2</sup>一昌冷凍空調有限公司 副總經理

<sup>3</sup>誼昌空調工程有限公司 副總經理

<sup>4</sup>臺北科技大學能源與冷凍空調工程系 教授

<sup>5</sup>誼昌空調工程有限公司 經理

\*通訊作者電話: 03-5913631, E-mail: wu.h.s@itri.org.tw

收到日期: 2017年08月28日

修正日期: 2017年11月03日

接受日期: 2017年11月23日

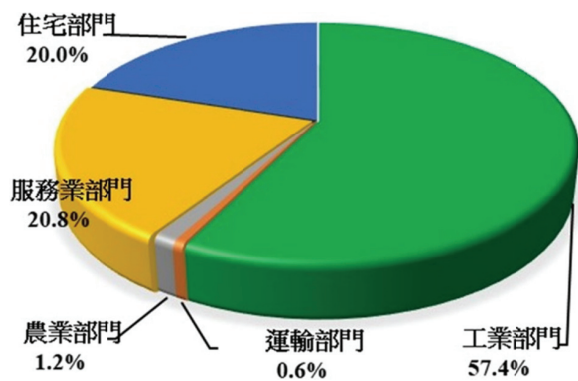


圖1 2016電能使用量分布(本研究整理)

銷售量大，因此我國針對家電商品擬定有自願性節能標章及強制性分級標示商品管理策略。工業部門用電佔我國電力使用量57.4%之高，且工業部門及服務部門具有專業生產或營運設備差異屬性，另基於營運成本與產業競爭需求，投資新節能技術運用意願相對高，因此本研究團隊持續於產業關鍵節能技術之研究，以期共同開創實質產業發展潛力。

參考我國內政部建築研究所於2008年所出版之綠空調實踐與應用，該刊物指出空調其耗能佔整體建築物逾四成，夏季尖峰時期，耗能比例達五成，而冰水主機更佔空調系統耗能超過五成以上，如圖2所示，此外冰水機組設備更是工業或商業重要且不可或缺之製冷設施，尤其工業製程需求相關製冷設施可能全年度24小時運轉，更加顯示空調系統冰水主機能源使用效率對於臺灣整體節能率提升之重要性。

空調系統使用率及能源效率皆深受環境氣

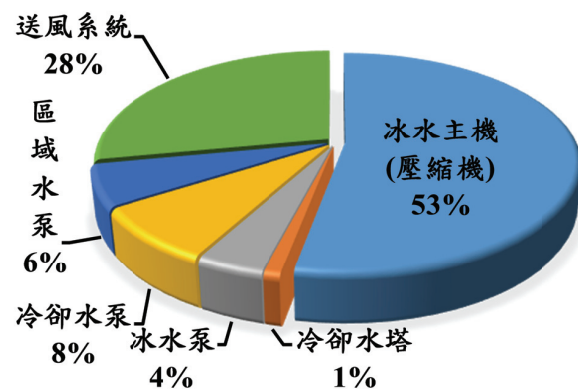


圖2 臺灣建築物空調系統能源使用分布  
資料來源：臺灣內政部建築研究所，2008。

溫條件等影響，因此本研究團隊進一步以臺灣十年平均氣溫資訊與台灣電力公司公布之2016年工業及民生用電資訊進行分析與整理(台電公司，2016)，則可彙整環境氣溫對用電量之影響分析，如圖3所示，臺灣環境月平均氣溫高低值約15°C之溫差，民生用電部分則可觀察出戶外環境氣溫對用民生電量具顯著影響，於春冬季節環境氣溫較低時，民生用電量約在200百萬度，當平均氣溫高於20°C以上，整體民生用電開始逐步攀升，於夏季時段可攀升至350百萬度，秋天氣溫下降則民生用電逐步減少，依據該資訊評估氣溫對民生用電至少約有增加75%用電量之影響，而民生空調用電具有是否使用之選項，可將氣溫上升所增加用電量，視為反應於熱負載對於空調系統於使用率或能源使用效率所影響之電能使用量之變化，然住宅部門之空調用電多為小型空調機商品市場，如窗型空調或分離式空調系統，因此於該商品能源效率基準我國已擬定冷氣季節性能因數(Cooling Seasonal Performance Factor, CSPF)，並要求標示、分級或MEPS (Minimum Energy Performance Standards)等管理政策，以強化整體空調系統用電需求量之改善，更期望可平抑夏季尖峰用電需求。

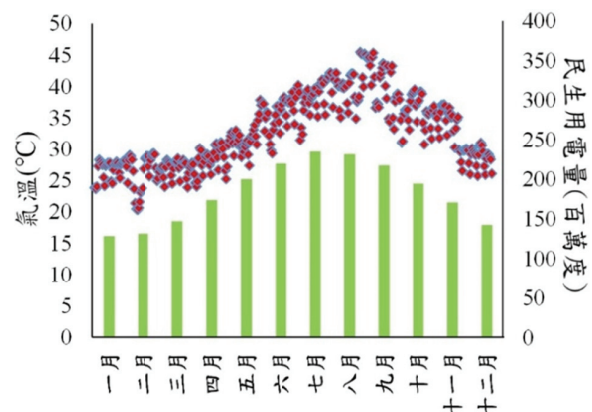


圖3 氣溫對民生用電之影響(本研究整理)

相同如將氣溫條件與工業用電進行整理與分析，則如圖4所示，工業用電部分穩定約在300~350百萬度，而2月份使用電量明顯下降區域恰為春假期間，因此1~2月份之電量使用下

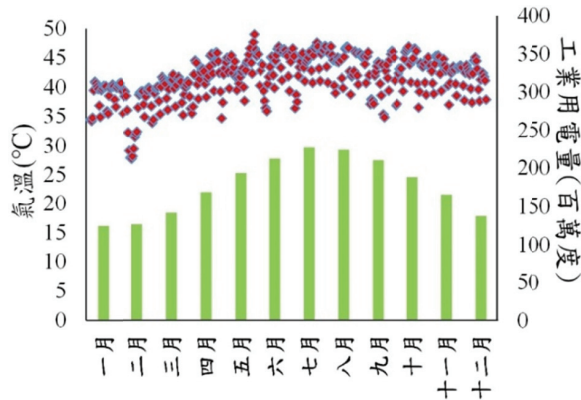


圖4 氣溫對工業用電之影響(本研究整理)

降是否為氣溫影響則需再進一步分析與討論，但如就4~12月環境氣溫與工業用電量分析，可將氣溫條件視為對工業用電量未具有明顯之衝擊。

工業用電居高不下，而製冷設施之使用為產業必要情境，如何在不影響產業發展與營運下，本工作團隊期望以多年專業空調系統設計與規劃者，實際進行探討與研究節能策略，期望可開創工業用電更高節能潛力，以盼做為未來政令或產業空調規劃之參考。

## 2. 文獻回顧

工業廠區用電非單純影響我國整體用電量之衝擊，更直接影響企業之獲利率與永續產業發展，其中高科技產業因應無塵環境製程，其空調系統需以24小時連續運轉，而該產業涵蓋食品、生醫、半導體、材料、光電…等多項領域，如參考Hu與Chuah (2003)針對臺灣半導體平均電力消耗分布進行調查研究，文中指出廠區內製程設備能源使用量約佔40.4%，而空調及無塵室部分能源使用量約佔39.6%。相同參考台積電公司(TSMC)之空調系統運轉最佳化策略簡報，該文指出半導體廠廠務用電佔全廠用電47%，其中又以空調設備系統耗電為最大宗佔廠務用電60%，是最有效投資效益的範疇。因此我國關鍵產業積極投入空調系統之節能改善設計，開創整體產業國際競爭力。

如TSMC於2008年後新廠設計採以雙冰水

溫之設計，如將MAU (Make-up Air Unit)預冷盤管由5°C改採12°C之冰水，則降低冰水機之運轉節省7.95%，預期年節電7.3 GWh/year，如圖5所示。

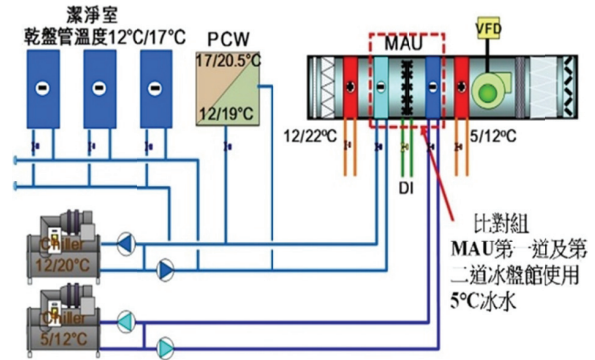


圖5 TSMC雙冰水溫設計

資料來源：TSMC之空調系統運轉最佳化策略，2016。

而此項節能設計如早期陳良銅(2001)針對潔淨室外氣空調箱特性與節能之研究內容，藉由將外氣空調箱使用雙溫度之冰水系統，則可減少整體外氣空調系統2.9%之耗電，至目前業已廣泛運用於高科技廠房之水側節能運用，如台積電或聯電等廠區節能設計。由此顯示我國產業願意投入新技術或設計，以提升廠區之能源使用效率，而該設計節能控制策略可由下列幾點進行說明：

- (1) 戶外空氣條件於我國四季變化中，具有明顯之溫溼度差異，也因此所引入空調箱之處理空氣焓值變動性高，具有明顯之熱交換負載差異，如圖6所示。
- (2) 因應引入之外氣焓值差異，則空調箱所需處理空氣之熱負荷差異，則可藉由出口溫溼度管理控制，調節冰水使用流量，進而減少水泵使用能源及冰水機使用負載，如圖7所示，水閥開度可視為空調箱水/氣側之間熱交換變動。
- (3) 製冷設施(冰水機組)運轉性能曲線或特性，如參考王輔仁與黃景亮(2013)以R123冷媒之冰冰機為基準，運用R123莫里爾線圖及參照冷媒熱力性質表進行COP (Coefficient of



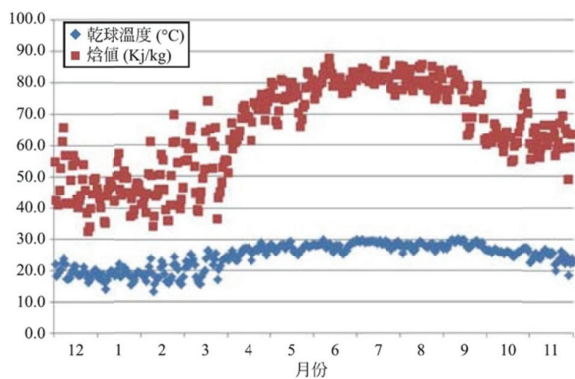


圖6 2011/12~2012/11每日平均外氣乾球溫度與焓值

資料來源：王輔仁與黃景亮，2013。

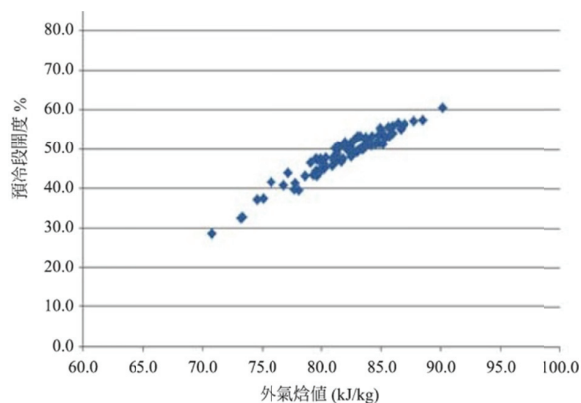


圖7 每小時平均最高外氣焓值與MAU預冷盤管水閥開度

資料來源：王輔仁與黃景亮，2013。

Performance)值推估，並繪製如圖8所示，由圖可觀察出以進入冰水機組之冷卻水溫固定條件下，將冰水機組冰水出水之水溫提高，則該冰水機組具有增加COP之趨勢，而如將冰水機組輸出之冰水水溫固定條件下，則冷卻水入水溫度下降，則該冰水機組具相同COP增加之趨勢。

但冷卻水入水溫過低將可能造成冰水機組回油問題及喘振等問題，如大金(Daikin)發表之冷水機應用指南2014，依AHRI (Air Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute)測試條件建議冷卻水塔之控制策略建議，如圖9所示，當供應冷卻器之冷卻水溫達18.3°C時則調製最低冷卻水塔風扇運轉狀態，以獲得較佳之冰水系統之節能。但參考Herbert W. Stanford

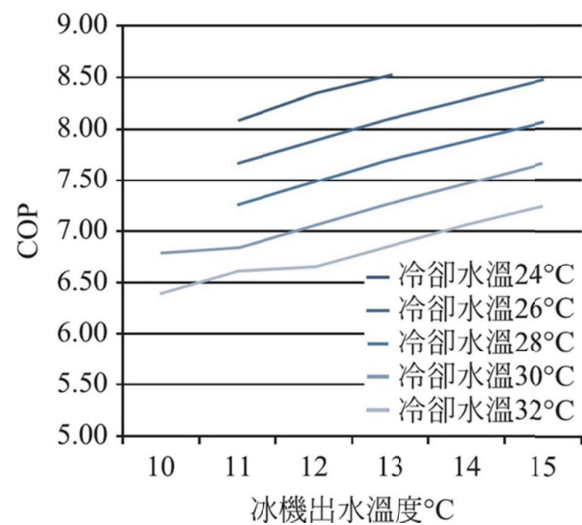


圖8 冰水機出水溫度及冷卻水COP圖

資料來源：王輔仁與黃景亮，2013。

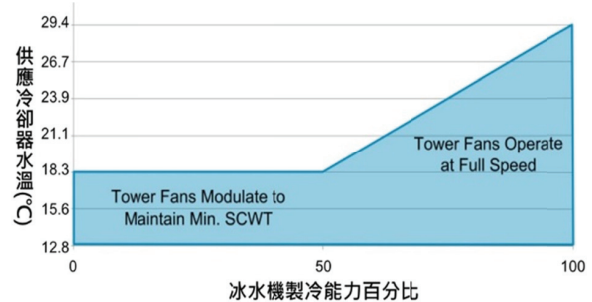


圖9 變動負載與冷卻水塔溫度設定

資料來源：Daikin, 2014。

III (2003)指出大多數冰水機組製造商皆會設定最低冷卻器入水溫度於21~24°C之間。而特靈離心式冷水機組維護說明也指出當供應冷卻水溫低於25°C時，應對冷卻水流量進行修正，避免低冷媒溫度停機(特靈，2015)。

此外因應氣候影響因素過低之冷卻水溫可能無法啟動冰水機組系統，相同於該文中建議可於鄰近冷卻器水泵出處設計一冬季冷卻水短循環管線，以維持額定冷卻水流量下，快速提高冷卻水溫度，以利於冬季寒冷氣候下可快速啟動冰水機組，或設計將冷卻水可旁通不經冷卻水塔，以利維持穩定冷卻水供應溫度，如圖10所示。

雖外氣空調箱為高科技產業須持續不斷運轉之設施，該設施之能源使用效率改善十分重要，但製冷設備(冰水機組)之使用非僅限於具



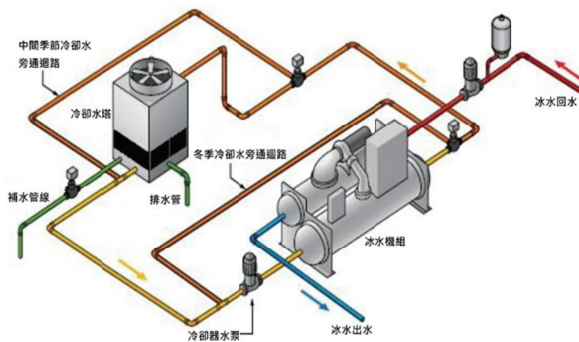


圖10 冷卻水旁通管線規劃

資料來源：Daikin, 2014。

有明顯負載變動之外氣空調箱，如王輔仁與黃景亮(2013)之研究案例，該案例廠區建立冰水冷卻需求分布如圖11所示，可觀察出整體空調箱冷卻需求為最大，但其中外氣空調箱約佔33%，而熱負載量不易受戶外環境變動如製程設備冷卻約佔8%，以及潔淨室冷卻盤管約佔29%，而對此具有穩定之熱負載系統則無法引用上述之策略進行節能改善，此外製程冷卻系統尚有壓力與水流量之限制，故於節能改善策略額外須評估其系統各項使用限制與需求。

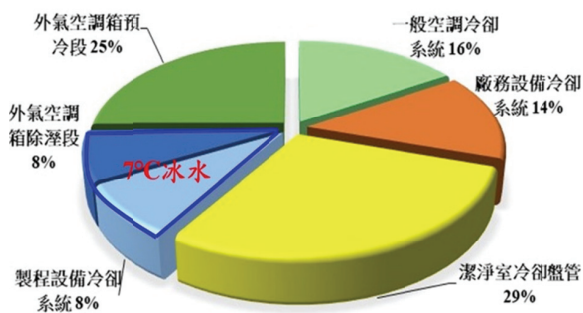


圖11 冰水製冷量需求之分布

資料來源：王輔仁與黃景亮，2013。

如假設於既有製程與空調下，且具有穩定熱負載之系統，不進行冰水供水溫度之調整，但因應不同冷卻系統需求，則應具有不同之回水溫度，相同以王輔仁與黃景亮(2013)之研究案例該廠區以使用7°C冰水水溫作為冷卻用之比率約佔16%，其他則採以較高溫度之14°C冰水作為冷卻設計溫度(圖11所示)，而冰水系統之回水溫度依各項操作製成需求，如圖12所示，其中高於19°C冰水回水溫度設定佔比約為

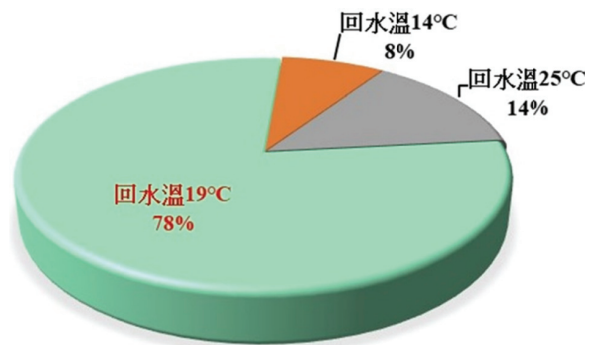


圖12 冰水機回水溫度分布

資料來源：王輔仁與黃景亮，2013。

92%，然該溫度如作為預熱系統尚不足滿足成本回收效益，因此目前未見將該冰水回水作為熱回收使用，基於此設計規劃則該冰水系統將形成穩定熱負載。

此外，外氣空調箱設計則因應移除氮氧化物則會於外氣空調箱入風側加裝水洗系統，但該設計會增加被處理空氣之潛熱，因此須於外氣空調箱運用較低溫之冰水進行供應至無塵室之空氣濕度控制，以至於空氣經除濕段後溫度過低，需藉由空調箱再熱系統之設計，將除濕後之空氣提升溫度後，再輸送至無塵室內。如以往傳統空調箱設計，則會以電熱或鍋爐供應之熱水進行空氣再熱回溫，但該回溫設施所需能源損耗大，因此如TSMC於2008年後新廠設計，則利用板式熱交換器將主系統之冷卻水與熱泵系統冷卻水進行熱交換，進而維持熱泵系統以略高溫冷卻水進入該熱泵系統之冷卻器，以獲得較高溫度之冷卻水出水溫，再以該較高溫冷卻水進行經空調箱除濕段後空氣的預熱或加熱使用，雖可能損失熱泵於製冷段之COP值，但以廢熱作為基準之進行空調熱回收設計，實現製冷與再熱雙效，以獲得整體能源使用量下降，如圖13所示。

藉由工業廠區用電文獻回顧，可了解我國冷凍空調產、學、研等持續投入空調節能商品開發與創新技術之探討，更可觀察出我國工業對於廠區內新節能技術運用之投入，共同努力確保我國產業永續發展外，更建立美麗綠能熱寶島，或許也是因為如此我國工業用電量，未

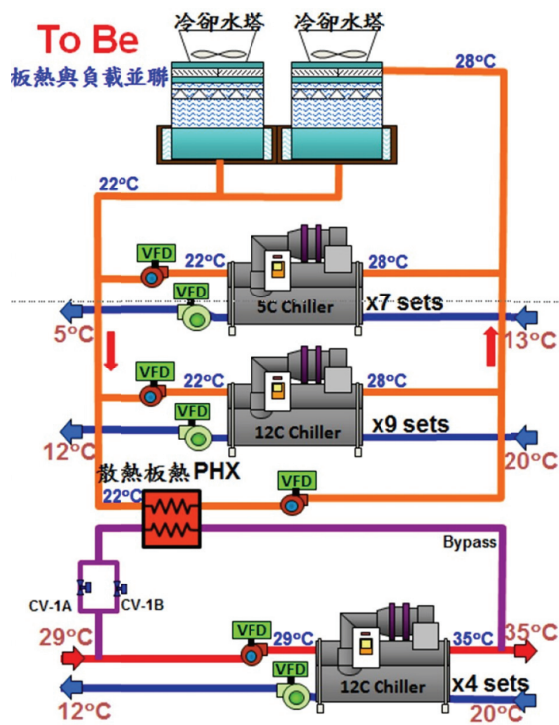


圖13 冰機出水溫度及冷卻水COP圖

資料來源：TSMC之空調系統運轉最佳化策略，2016。

明顯觀察出氣候之浮動影響。

### 3. 產業暨設施用電調查

大型製冷設施(冰水機組)國際陸續推動 IPLV (Integrated Part Load Value)之季節效率，雖該項指標值尚未列入我國冰水機組之能效管制，然高科技產業因應使用需求業以導入相關採購或驗收要求，除我國產業以致力於相關節能策略推動外，本研究團隊基於學習及延續既有節能設計或策略，期望藉由實際調查商品與運轉狀態資訊，盼求可進一步探討廠區節能技術之開發，本文將以國內某半導體廠進行設施與運轉紀錄進行調查與評估，分別依序評估該廠區設施性能資訊，及現場實際設施運轉之資訊，進而評估在此既有系統與運轉限制下之可施行節能策略。

#### 3.1 製冷設施(冰水機組)效能

該廠區使用雙冰水水溫之設計，所使用之

冰水機組分為2,600 RT (Refrigeration ton)冰水設計出水溫度為5°C離心冰水機，及3,200 RT冰水設計出水溫度為12°C離心冰水機，依據製造商所提供之商品運轉模擬資訊於冰水溫差8°C狀態繪製如圖14之部分負載曲線，可觀察出該商品依測試規範之部分負載測試之製冷能力與冷卻水溫條件下，COP值會隨製冷能力下降而上升，且冰水出水溫為12°C冰水機COP值高於冰水出水溫為5°C冰水機，而兩者之間差距皆維持大於20%之COP值差異。

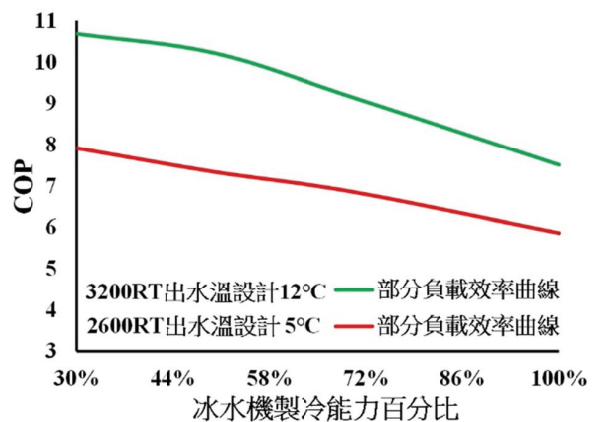


圖14 場所使用冰水機組之部分負載效率曲線 (本研究整理)

然如將該商品完整之選機軟體資訊進行整理，如可分別繪製如圖15及16之商品效能曲線，該廠牌之離心冰水機商品具有相似之效能發展趨勢，於相同冷卻水入水溫度下，冰水機運轉較佳操作製冷能力百分比約在60~80%之間，而非冰水機組製冷能力百分比越低具有越

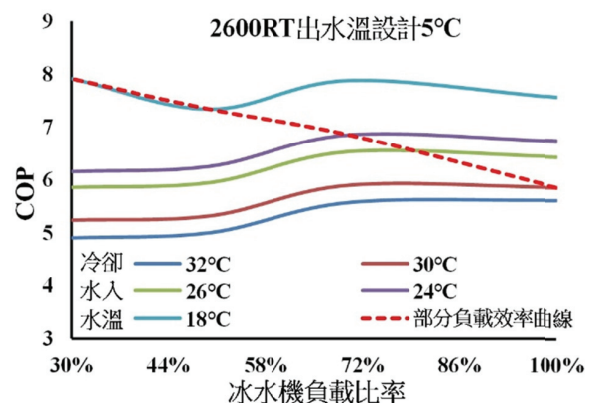


圖15 5°C冰水出水溫冰水機組部分負載效率與冷卻水入水溫關係曲線(本研究整理)

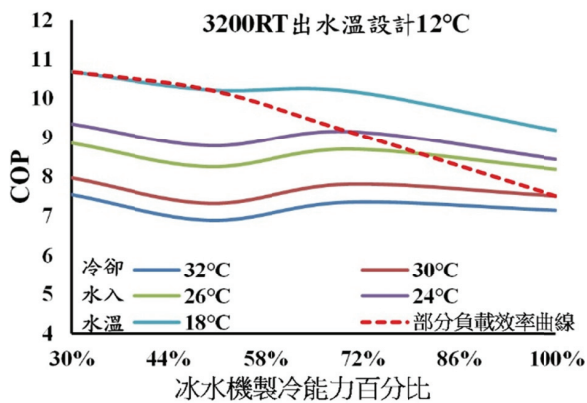


圖16 12°C冰水出水溫冰水機組部分負載效率與冷卻水入水溫關係曲線(本研究整理)

高之COP值，此部分於工業製程或無塵室等具有固定熱負載之場域使用須具有適當冰水機組複合配置使用，以維持整體冰水設備之能效於較高性能運轉狀態。

因應產業製程等熱負載變異不大狀態下，依額定製冷能力及70%製冷能力評估冷卻水入水溫度對COP值增益效果，則冰水出水溫度為5°C之冰水機組於額定製冷能力下冷卻水入水溫由30°C下降至18°C則具有約23%的COP值增益，於70%製冷能力下冷卻水入水溫由30°C下降至18°C則具有約25%的COP值增益。而冰水出水溫度為12°C之冰水機組於額定製冷能力下冷卻水入水溫由30°C下降至18°C則具有約18%的COP值增益，於70%製冷能力下冷卻水入水溫由30°C下降至18°C則具有約23%的COP值增益。因此藉由提高冰水機組之冰水出水溫度可獲得較高之運轉COP值，但相對該商品對於冷卻水入水溫度之下降狀態所提升COP增益會略微下降。

### 3.2 場所區域監測資訊

依據3.1章節之設施實際進行該場所運轉狀態之資訊監測，該場所冷卻水系統設計為具有可旁通不經冷卻水塔，以維持穩定較高冷卻水溫度，關閉冷卻水塔風機設定值為冷卻水塔供水溫低於22°C，因此如將該場所之戶外環境濕度之監測，藉由該監測視訊可計算環境濕球溫度進而評估其對冰水機組冷卻水入水溫度之

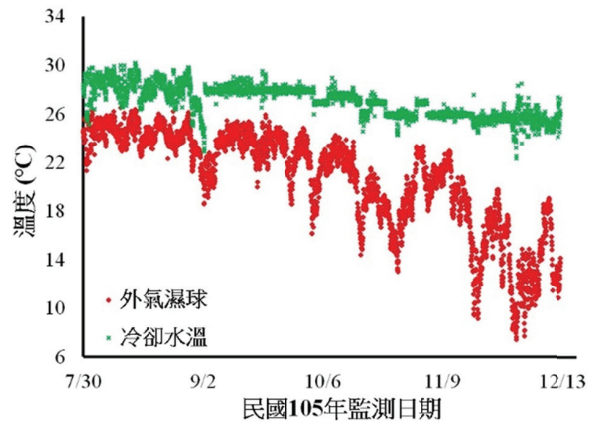


圖17 外氣濕球與冷卻水溫監測值(本研究整理)

影響，則可獲得如圖17之資訊。

如以該場所8月份較高氣溫條件下取平均外氣濕球溫度與冰水機組冷卻水入水溫度，兩者之間差值為3.75°C，作為最高負載下冷卻水塔設計溫度差基準(旁通閥全關狀態)，而於9月份之後，開始該兩者之溫度差異越來越大，如以10月份取平均外氣濕球溫度與冷卻水溫分析，兩者之間差值為7.1°C，而12月份紀錄資訊取平均外氣濕球溫度與冷卻水溫分析，兩者之間差值更高達12.0°C。由11~12月份監測資訊可知，即使所購置之商品選機條件冷卻水入水溫度可至18°C，但該場所設定供應製冰水機組冷卻器之入水溫為25°C以上，因此相關冷卻水節能效益僅至25°C之COP評估值。

該場域之冰水機組運轉耗電與外氣焓值分析如圖18及圖19所示，圖18為冰水出水溫度12°C離心冰水機組群之耗電監測資訊，可觀察

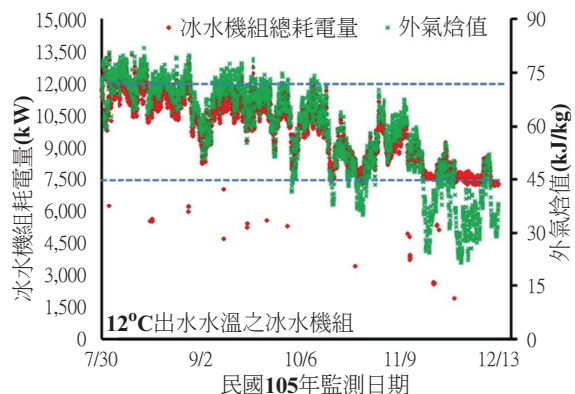


圖18 外氣焓值與12°C冰水機群組耗電監測值(本研究整理)



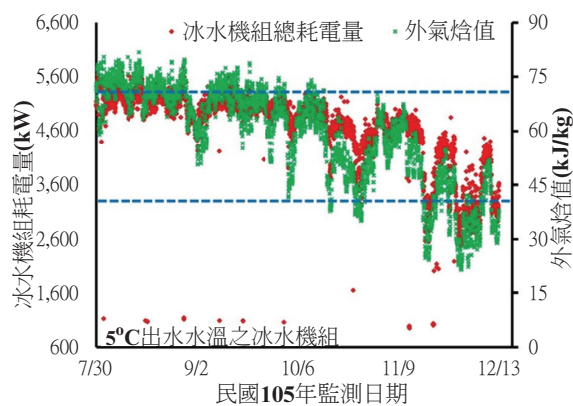


圖19 外氣焓值與5°C冰水機群組耗電監測值(本研究整理)

出該冰水機群組耗能於11月之前與外氣焓值具有明顯相依特性，而11月份之後可能因氣溫下降加上水洗系統，即使外氣焓值有所變動，但所需移除顯熱之預冷卻需求減少，及冷卻水溫維持恆定25°C供應，冰水機組之能源使用效率變動不大，計算7~8月之平均耗電量為11,404.25 kW，而12月份之平均耗電量為7,578.95 kW，可將12月份冰水機群組運轉及負載狀態視為該場區必要基本冷卻需求耗電量。

圖19為冰水出水溫度5°C離心冰水機組群之耗電監測資訊，該冰水機群組使用電量發展趨勢不同於冰水出水溫度12°C離心冰水機組群，即使於12月份具有較低外氣焓值或低濕球溫度下，該商品之運轉耗電依舊隨外氣焓值波動變化。

#### 4. 工業空調節能策略探討

藉由冰水機組之文獻及商品效能特性資訊，初步可觀察到較低冷卻水溫可降低製冷設施之電功耗損，進而提升冰水機組COP值，製冷量維持不變下，其冷卻水溫由30°C下降至19°C可改善COP幅度約在17~23%，然現場量測資訊顯示進入冰水機組冷卻器之水溫被設定25°C，基於商品選機資訊可評估COP改善幅度約在9~12%，因此可假設冰水機組耗電量減少因素可分為(1)外氣空調箱(MAU)因應外氣焓值下降，所需冷卻空氣熱交換需求量減少，(2)冷

卻水溫下降使相同製冷需求量下所需耗電量減少。因此進一步將該廠區冰水機組監測之製冷總量與其總耗電量進行計算平均運轉冰水機組之COP值，以確認冷卻水溫對該廠區之冰水機組總體能耗影響，可繪製如圖20所示。

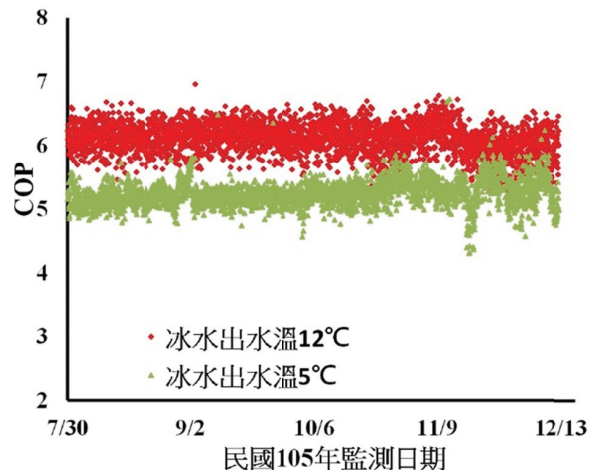


圖20 冰水機群組COP計算值(本研究整理)

以該廠區監測資訊可了解冰水機組並未因冷卻水溫之降低，或廠區熱負載之減少，進而獲得較高商品運轉COP值，此部分並未符合商品對於部分負載(IPLV)或者冷卻水溫節能改善之評估，或許是場所因應冰水機商品穩定運轉對冰水/冷卻水側管理設定，因此高科技廠區之水側節能應著重於如何降低整體熱負載量。

冰水機組因應穩定長期運轉提高進入冰水機組冷卻器水溫，雖犧牲可能冰水機組COP提升率，但可降低冷卻水塔及水泵之輸出電功損耗，然參考Recommendations for Measuring and Reporting Overall Data Center Efficiency(The green grid, 2010)對於不同能源使用型式之能源計算係數如表1所示，可觀察出使用冰水與冷卻水之整體能源使用效率比高達10倍，因此廠區節能策略是否可修正探討，以獲得更高節能效益。

此外產業不斷精進高性能冰水機組之技術，如大金、海爾、格力等公司於磁浮變頻冰水機組商品型錄中皆指出藉由高效能電動機及無油設計，冰水機無須油溫控制與加熱，且實現12°C低溫冷卻水操作狀態，及高COP運轉(海

表1 能源型式權重係數

Energy Type	Weighting Factor
Electricity	1.0
Natural gas	0.31
Fuel oil	0.30
Other fuels	0.30
District chilled water	0.31
District hot water	0.40
District steam	0.43
Condenser water	0.03

資料來源：The green grid, 2010。

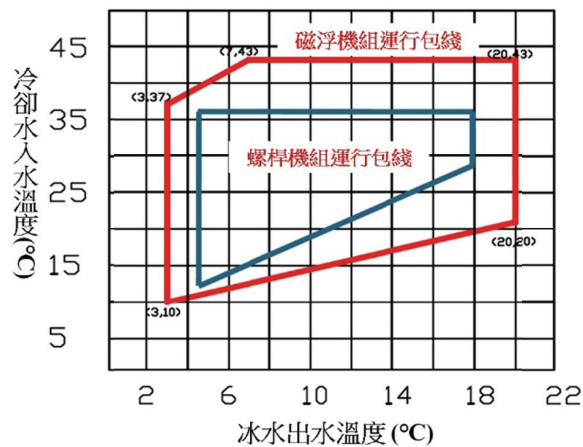


圖21 磁浮冰水機群組運轉包綫

資料來源：劉華，2017。

爾，2015)。

因臺灣位處於亞熱帶，戶外氣候屬溫暖潮濕氣候，是否可運用冷卻水塔提供低溫冷卻水進行冷卻需進一步討論，參考本文圖12所示之資訊，基於冰水回水溫度 $24^{\circ}\text{C}$ 進行探討分析，以SXP Cooling Technologies公司之冷卻水塔商品性能圖評估，如以熱負載量維持原設計滿載水溫差，戶外濕球溫度須低於 $18^{\circ}\text{C}$ 下，方可供應低於 $24^{\circ}\text{C}$ 以下之冷卻水溫，如圖22所示。

因此如需再製程熱負載變異不大工業家工廠所進行製程冷卻水預冷卻設計，則需建立於戶外氣候之具有較低濕球溫度，因此以101年臺北戶外之氣候資訊進行整理，如圖23所示，戶外濕球溫度低於 $18^{\circ}\text{C}$ 總時數約為3,179小時，而戶外濕球溫度低於 $12^{\circ}\text{C}$ 總時數約為980小時，以具有適當節能運轉小時數，其中包含提供給冰

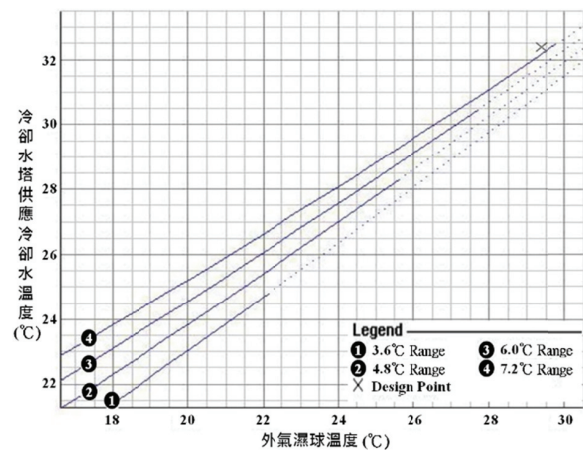


圖22 冷卻水塔供應水溫圖

資料來源：SXP Cooling Technologies Inc., 2012。

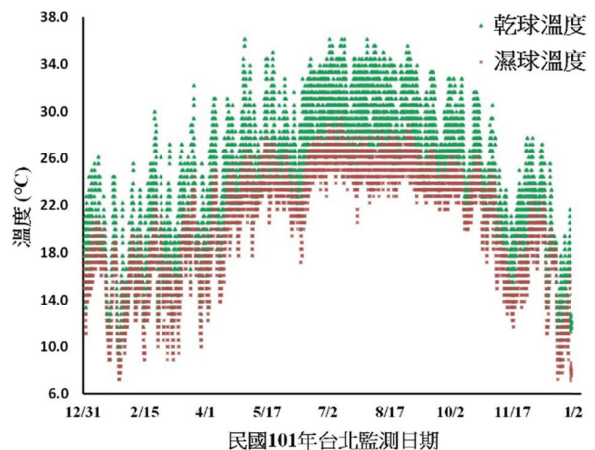


圖23 101年臺北乾/濕球溫度(本研究整理)

水回水溫度 $19^{\circ}\text{C}$ 之使用情境。

即使具有適當冷卻水溫度以供製程冷卻水進行預冷卻之功效，然對既有系統冰水機操作之影響也須加以評估，如圖24為本文調查之半導體廠冷卻水塔運轉耗能與進入冷凝器之冷卻水溫度，可觀察出該場所因應進入冷凝器之冷卻水溫度維持 $25^{\circ}\text{C}$ 需求，故於當戶外濕球溫度於 $20^{\circ}\text{C}$ 時，冷卻水塔運轉負荷量已下降至約設計值1/5，而此資訊顯示該場所基於原最大冷卻水塔熱交換負載量下，具有充足冷卻水塔運轉寬裕度以作為冷卻水系統切割，以提供既有冰水機組系統冷凝器冷卻水溫度 $25^{\circ}\text{C}$ 需求，額外再分割一水路系統依據戶外濕球溫度下降提供較低溫度之冷卻水溫，而該較低溫之冷卻水可



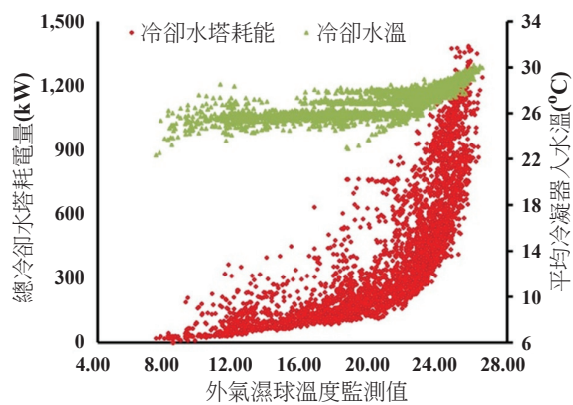


圖24 冷卻水塔耗能監測值(本研究整理)

藉由板式熱交換器提供製程冷卻之高冰水回水溫預冷卻，以降低整體系統熱負載，進而降低冰水機組運轉耗能。

此外對於新高效能冰水機組(如磁浮冰水機)，也可不需全廠區進行更換冰水機組下，可藉由冷卻水之水路切割設計，提供不同冷卻水溫度，進而評估與確認該磁浮商品是否具有於低冷卻水溫且高COP之持續穩定運轉操作條件，進而提供使用場所對於此類型新技術商品導入或操作運轉環境之設定評估，將可加速高效能冰水機組商品對產業製冷能源使用改善確認與市場接受度，基於此節能運用與策略，本研究團隊規劃雙/多出水溫度之冷卻水系統設計，如圖25所示。

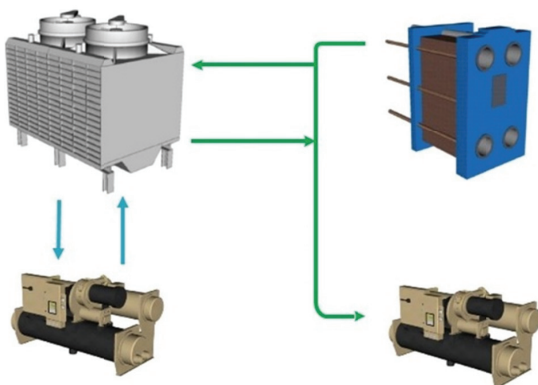


圖25 冷卻水塔雙出水溫設計概念(本研究規劃)

## 5. 雙冷卻水溫系統

基於不影響既有冰水機組及冷卻水系統進

行設計規劃，且因應未來冷卻水塔之維護或老舊設備更換，除將冷卻水塔之冷卻水出入口加設手動開關閥外，並將冷卻塔之入出水路以環形系統規劃，並於該環形水路依既有冷卻水塔數量等分規劃位置，分別設置電動及手動冷卻水路之開關閥，各項水路閥件設置完成如圖26所示，以利本研究未來施行雙出水溫之冷卻水路之切割。



圖26 切割冷卻水路之電動閥(本研究規劃)

此外，因應原場所操作設定的高溫差及高冰水出水溫之冰水系統，故於本實驗所營造之較低出水溫度冷卻水路分支設置板式熱交換器，如圖27所示，而板式熱交換器另銜接至冰水機組回水管路，期望可藉由該低溫冷卻水預冷卻冰水系統之熱負載，因此本研究團隊於板式熱交換器之取冰水回水的管路，分別架設水



圖27 以低溫冷卻水預冷冰水回水之板式熱交換器(本研究規劃)





圖28 設置板式熱交換器之冰水回水管BTU監測設施(本研究規劃)

溫度計及超音波流量計，並將訊號連接至BTU meter，如圖28所示。

本次研究相關設施建置原則，基於場所設置冷卻水塔數量為配合實際場所可發生之最大負載能力下之假設，此部分主要為夏季運轉情境，除基本設施或製程熱負載需求外，外氣供

應之MAU或PAH額外之熱負載需求，則可將水路系統藉由電動閥之開啟或關閉設定，將冷卻水塔之水路區隔為夏季(單出水溫)運轉模式，其運轉示意如圖29所示，冷卻水塔水側迴路僅有一種循環模式，經冷卻水塔降溫後輸送至冰水機組冷凝器熱交換，較高溫冷卻水再送回冷卻水塔進行降溫。

於其他季節或部分熱負載模式下，冷卻水塔之水路電動閥開關設定可如圖30所示，藉由電動閥間之關閉，將冷卻水塔及其水路切割成左右兩側各自獨立系統，另關閉右側冷卻水塔之供應冰水機組之出回水電動閥，並將開啟該區域之旁支管路電動閥，而該旁支管可連接一熱交換器或輸送至磁浮冰水機系統，而該獨立循環水系統須額外設置水泵，以提供該冷卻水系統流體之輸送。

本研究團隊依據實驗需求且不影響場所既有冰水系統運轉為優先選項，分別規劃兩階段之實驗，(1) 冷卻水系統雙出水溫度可行性；(2)

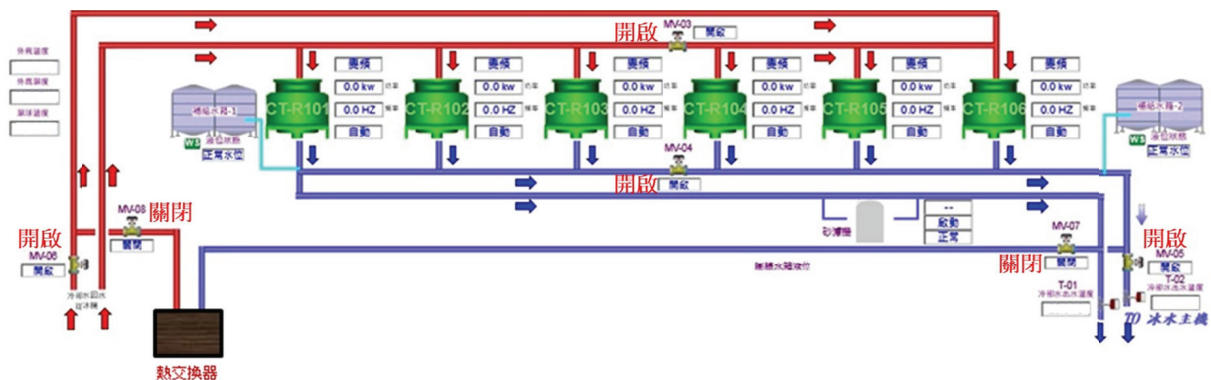


圖29 夏季(單出水溫)冷卻水塔運轉模式之電動閥設定(本研究規劃)

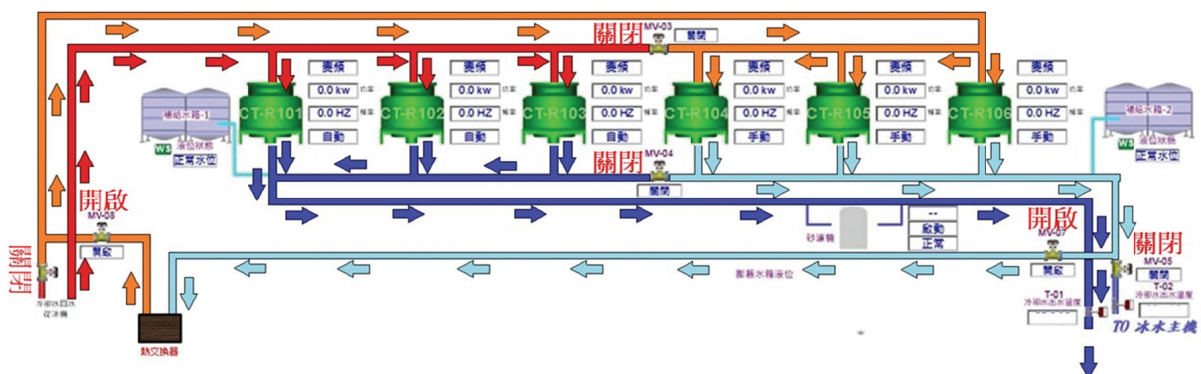


圖30 多出水溫冷卻水塔運轉模式之電動閥設定(本研究規劃)

板式熱交換系統預冷卻節能可行性，於雙出水溫度可行性評估之程序，則先評估戶外環境條件，以降低既有冰水機組系統僅運用部分冷卻水塔進行冷卻水降溫可能造成之衝擊，如圖31所示，測試時期戶外乾球溫度為 $16.7^{\circ}\text{C}$ ，濕球溫度為 $13.4^{\circ}\text{C}$ ，啟動自然冷卻或預冷模式，冷卻水塔水側電動閥則依據自然冷卻設定進行關閉或開啟，使該冷卻水系形成兩個獨立迴路，僅啟動自然冷卻水系之冷卻水水泵及冷卻水塔

各一台，於不啟動冰水側取水泵之狀態下，觀察與紀錄相關冷卻水出入水溫資訊，如圖31所示，可觀察該測試狀態下自然冷卻水系之水溫約在 $17.2^{\circ}\text{C}$ ，而供應至冰水機組之冷卻水溫約在 $24.8^{\circ}\text{C}$ 。於該狀態下持續運轉45分鐘後再次紀錄監測畫面，如圖32所示，可觀察該測試狀態下自然冷卻水系之水溫約在 $13.1^{\circ}\text{C}$ ，而供應至冰水機組之冷卻水溫約在 $24.6^{\circ}\text{C}$ 。

經由實際測試可確認本研究規劃可將冷卻

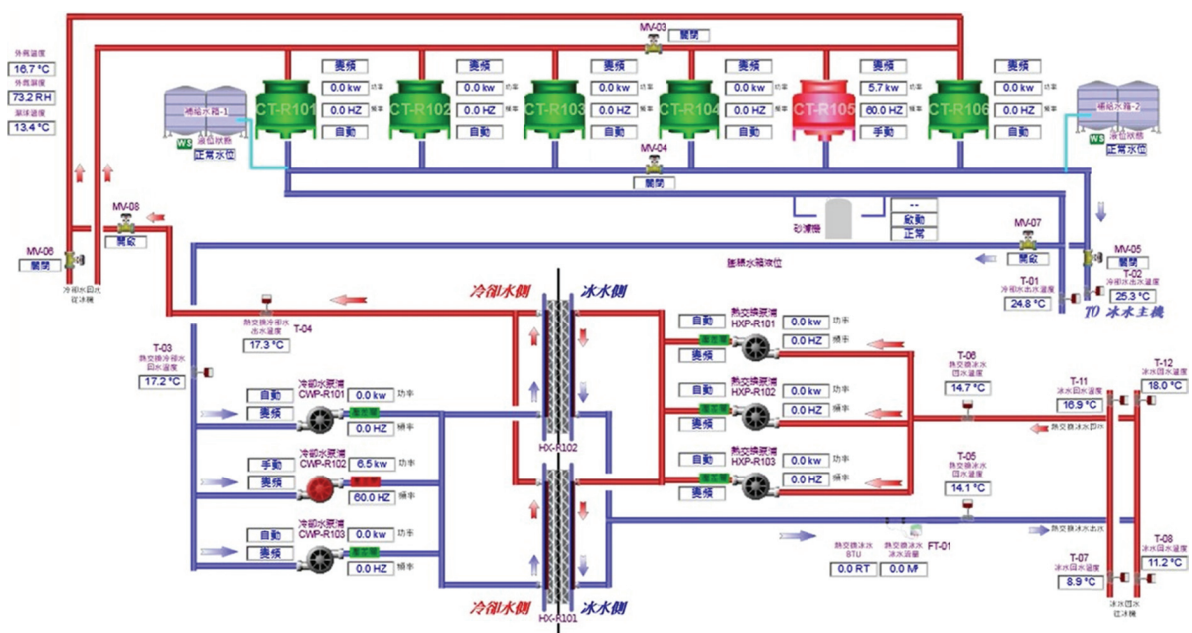


圖31 冷卻水塔雙出水溫度測試起始狀態(本研究規劃)

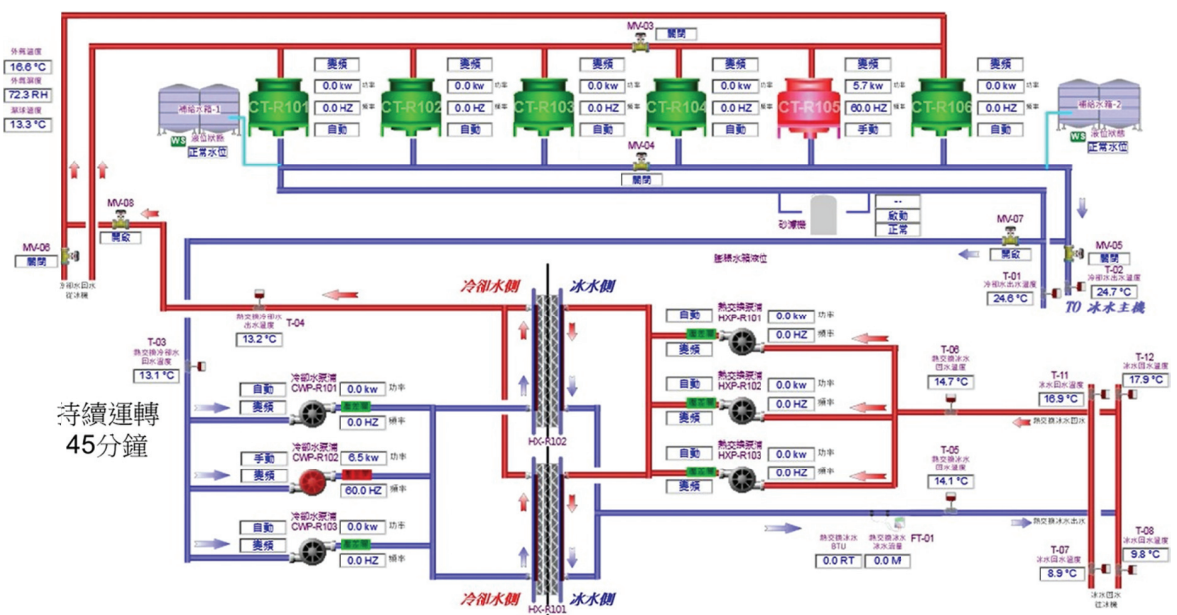


圖32 測試45分鐘後冷卻水塔雙出水溫度狀態(本研究規劃)



水塔獨立區隔為兩個水系，且相互不受影響，而其中於節能可行性評估，本研究團隊分別施行取熱與放熱等調節熱負載需求測試，以擷取預冷冰水回水溫之監測資訊，以評估節能效益及注意事項。

引用本團隊其中一次之監測資訊，如圖33所示，測試時採自動運轉模式，於啟動3台自然冷卻水泵及冷卻水塔，戶外乾球平均溫度約在 $15.8^{\circ}\text{C}$ ，戶外平均相對濕度約66%RH，冷卻水供應至板式熱交換器之平均水溫約在 $13.3^{\circ}\text{C}$ ，平均冰水回水溫度約在 $15.7^{\circ}\text{C}$ ，經板式熱交換器預冷後，冰水側之出入平均水溫差約在 $1.1^{\circ}\text{C}$ ，於冰水側之BTU meter紀錄平均熱交換量約在71冷凍噸，對於高回水溫度設計之冰水系統可降低整體廠區或設施之熱負載，進而減少冰水機組能源使用量。

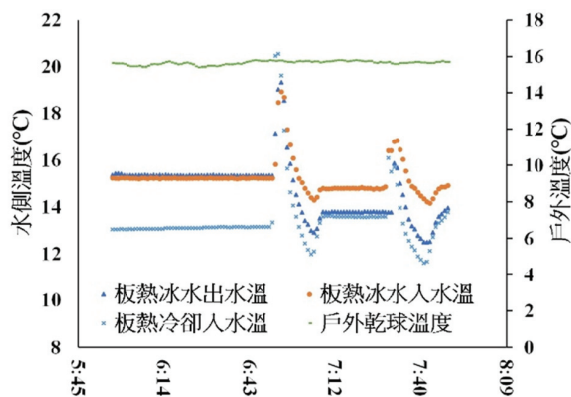


圖33 冷卻水與冰水於板熱系統監測值(本研究整理)

## 6. 討 論

本次研究成果及資訊可展現該項設計對於高溫冰水系統節能效益，本次實驗所運用之冰水回水溫度約為 $16^{\circ}\text{C}$ ，相較於高科技廠房冰水回水溫度 $19^{\circ}\text{C}$ 或 $24^{\circ}\text{C}$ 略低，相對也將可獲得更高熱交換效益，以降低整體廠區之空調製冷設施能源使用量，或提供如磁浮冰水機等可運用於低溫冷卻水之高效能商品，以創造高節能效益。

如圖33所示，本次研究於雙出水溫度之

水路設計，於該控制邏輯並未完善，當採自然冷卻之自動運轉模式並未確認供應冷卻水溫，系統僅將相關電動閥進行對應之開關，且同時開啟冷卻水塔、板式熱交換器冰水泵及板式熱交換器冷卻水泵，因此造成初期供應之冷卻水溫度超過 $22^{\circ}\text{C}$ (如圖33所示)第一次水溫上升波形)，以致前期板式熱交換器設備為提供冰水系統之熱負載，而造成負載量上升，導致冰水機加載運轉。

而當取消自然冷卻之自動運轉模式，雖關閉水泵及冷卻水塔，但相關電動閥也對應切換至夏季模式，此時兩冷卻水系瞬間混合，以導致冷卻水溫過低，需再次切換自然冷卻模式以保護冰水機組之運轉(如圖33所示第二次水溫上升波形)，該次之冷卻水溫則僅上升至約 $18^{\circ}\text{C}$ 。

本研究團隊對該雙水溫冷卻系統具有高度之肯定，但為了降低產業可能投入之試行或研究，發生如圖33之測試衍生之狀態，故以該次實驗資訊作為節能研究評估之說明，而非引用可營造更低冷卻水出水溫度之氣候條件下，作為雙出水水溫冷卻水塔之節能效應測試資訊，主要為期望將本研究團隊實際施行狀態與衍生之問題提出說明，以降低未來產業施行相似系統規劃可能造成對冰水機組系統之衝擊，並提供下列本研究團隊控制策略予產業參考。

目前本研究團隊已將此雙水溫冷卻系統控制邏輯新增進入板式熱交換器之冷卻水溫資訊，並以該項資訊加入時序控制策略，以降低瞬間造成冰水機組熱負載增加。此外因應自然冷卻運轉時間過長，導致冰水機組卸載停機，而冰水機組所使用之冷卻水系，多未加以保溫設計，恐造成冷卻水溫過低而不易重新啟動冰水機組，於控制邏輯中加入冰水泵卸載運轉以持續監測冷卻水之水溫，更可因應冷卻水溫變低時可即時再啟動冰水機組系統運轉。

科技發展日新月異，但能源與資源不易永續開發，本工作團隊期望可藉由研發新節能技術，並推廣及宣導相關節能技術之運用，以協助國內產業降低能源使用量，開創企業競爭力



與形象，更期望可與產業共同攜手打造低碳臺灣，為下一世代保留青山綠水的美麗寶島。

## 致 謝

本研究承經濟部能源局提供經費，論文得以完成，僅表致謝。

## 參考文獻

王輔仁、黃景亮，2013。使用溫冰水系統於電子廠房之節能改善研究，技術學刊第28卷第4期。

內政部建築研究所，2008。綠空調實踐與應用。

台灣積體電路製造股份有限公司，2016。空調系統運轉最佳化策略。

台電公司，2016。<http://www.taipower.com.tw/>。

海爾，2015。海爾磁懸浮中央空調及應用。

特靈，2015中國售後服務新疆維修部，特靈離

心式冷水機組。

陳良銅，2001。「潔淨室外氣空調箱特性與節能之研究」，碩士學位論文，國立臺北科技大學冷凍與低溫科技研究所。

經濟部能源局，2016。能源平衡表。

劉華，2017。變頻冷水機組在數據中心的應用，珠海格力電器。

Daikin, 2014. Chiller Application Guide.

Herbert W. Stanford III, 2003. HVAC Water Chillers and Cooling Towers: Fundamentals, Application, and Operation.

Hu, S. C. and Y. K. Chuah, 2003. Power consumption of semiconductor fabs in Taiwan, Energy.

SXP Cooling Technologies inc., 2012. Model:F442A42A4.006B Product data.

The green grid, 2010. Recommendations for Measuring and Reporting Overall Data Center Efficiency Version 1 and Version 2 - Measuring PUE at Dedicated Data Centers.

# The Study of Water Side Energy Saving Design

Hsi-Sheng Wu<sup>1\*</sup> Chiu-Nan Cheng<sup>2</sup> Yen-Chen Lee<sup>3</sup>  
Wei-Mon Yan<sup>4</sup> Ming-Hong Cai<sup>5</sup>

## ABSTRACT

Refrigeration facilities have become an indispensable device for living, commercial and industrial places. It is also a key energy use facility, which is used in personnel comfort air conditioning, indoor air quality management, process cooling, precision industry process environment or specific workplace temperature management. The use of refrigeration facilities has been removed from the environment or the heat generated by the process, so how to improve the efficiency of energy consumption of refrigeration facilities or reduce the utilization of the facilities, it is highly energy efficient. This study is aimed at the specific workplace of precision industry or data room. It is necessary to use the refrigeration facilities to carry out the temperature and humidity management field throughout the year. Based on the climatic conditions of Taiwan and the use of existing cooling tower design, the natural cooling system To reduce the cooling capacity of the refrigeration facilities, and to expect the cooling water design to facilitate the introduction of high-performance new refrigeration facilities, such as the introduction of a new type of cooling facilities, Field cooling water temperature using the active magnetic bearing compressor/chiller to help the industry to reduce energy use and energy costs, and the practice of industry in Taiwan sustainable management, but also the implementation of country energy management and development policies.

**Keywords:** cooling water temperature, energy saving, chillers

---

<sup>1</sup> Senior Engineer, Green Energy and Environment Research Laboratories, Industrial Technology Research Institute.

<sup>2</sup> Deputy General Manager, Yi Chang H.V.A.C Engineering Co., Ltd..

<sup>3</sup> Deputy General Manager, Yi Chang Air Condition Engineering Co., Ltd.

<sup>4</sup> Professor, Department of Energy and Refrigerating Air-Conditioning Engineering, National Taipei University of Technology.

<sup>5</sup> Manager, Yi Chang Air Condition Engineering Co., Ltd.

\*Corresponding Author, Phone: +886-3-5913631, E-mail: wu.h.s@itri.org.tw

Received Date: August 28, 2017

Revised Date: November 3, 2017

Accepted Date: November 23, 2017