

國立交通大學

工學院精密與自動化工程學程

碩士論文

12 吋晶圓廠冰水系統節能實務

**The Practice of Saving Power Consumption
by Chiller System in 12 inch Fab**

研究生：楊景超

指導教授：傅武雄教授

中華民國九十五年六月

12 吋晶圓廠冰水系統節能實務

研究生：楊景超

指導教授：傅武雄

國立交通大學工學院精密與自動化工程學程

摘要

本研究之目的為不更改現有已從事量產的半導體廠冰水主機系統架構下，利用可控制之系統參數設定，如：冰機開台數、冷卻水塔開台數、冷卻水塔冷卻水出水水溫等，提升全系統效能指標（Coefficient of Performance, COP），使得冷卻水塔風扇、泵浦、冰水主機之整體效能提升，達到節省能源耗損之目的。並藉由蒐集分析現有冰機系統各項運轉參數以及運轉資料，建構系統效能模型，並依據環境狀態、冷卻負載、設備操作特性，提供最佳化過後的操作設定，提供給設備操作人員參考或進行自動控制。藉由廠務冰水主機系統之操作策略改變達成節約能源為量產中之廠房實行節能之最有效方法。

實現一冰機節能系統，該系統定期從資料庫中取得設備運轉即時資料，將數據輸入建置於節能系統中的設備耗能模型，運算後預估不同操作條件下的全系統耗能，以得到最少耗能的設備操作指引，給予設備操作員一個有效的設備操作參考依據。

The Practice of Saving Power Consumption
by Chiller System in 12 inch Fab

Student : Ching-Chao Yang

Advisor : Dr. Wu-Shung Fu

Master Degreeed Automation and Precision Engineering
National Chiao Tung University

Abstract

This project attempted to manipulate the controllable settings of a chiller system, without changing its architecture, thus reducing the total chiller system costs. The controllable settings were the chiller operation, cooling tower running settings and cooling water temperature settings. Properly adjusting these controllable settings increases the performance coefficient, thus decreasing the total power cost. The full system performance model was constructed by collecting and analyzing the system running data, environment conditions, total cooling load and equipment operating characteristics. The total power cost of the chiller system was predicted by using these data, and was used to determine helpful chiller operation strategies. for minimizing the total operating cost.

誌謝

十分感謝學校提供這一學習環境與教授利用下班時間來教導我們，讓我們這一群有心進修的人有機會重拾課本再讀書，其中的酸甜苦辣實非時下一般年輕人所能體會，尤其一邊工作一邊讀書。在工作、家庭、課業一起煎熬下，曾經使我身心疲憊，但經過這一段歷程更使我珍惜這得來不易的收穫。

碩士學位能順利完成，首先應感謝我的指導教授傅教授武雄博士君，在我的研究過程中不斷的提供意見與指導，更能體諒學生的工作繁忙，教授的諄諄教誨，同時具備一顆包容的心，銘感於心。再感謝工業技術研究院王子奇君、張文耀君，論文中的實驗與相關軟體在其鼎力協助，內容與實驗結果在其傾囊相助，使我受益良多，幫助我可以順利畢業，及感謝我工作上的長官陳博士成章君、李忠庸君，在其鼓勵之下與工作上適當的調配，使我有能力與時間來完成學業。感謝同事方丁彥君、洪文炎君協助擷取運轉數據，並協助進行測試驗證。我的心中更感激吾妻玲慧，因為有他的鼓勵與支持，使我在工作與課業上無後顧之憂。最後謹以此論文獻給我摯愛的家人及關心我的師長及朋友，謝謝你們的支持與鼓勵。

目 錄

| | |
|-----------------------|------------|
| 中文摘要..... | i |
| 英文摘要..... | ii |
| 誌謝..... | iii |
| 目錄..... | iv |
| 圖目錄..... | v |
| 表目錄..... | vii |
| 1.緒論..... | 1 |
| 1.1 研究背景與動機..... | 1 |
| 1.2 文獻探討..... | 6 |
| 1.3 研究目的..... | 12 |
| 2.物理模式 | 13 |
| 2.1 冰水系統架構說明..... | 13 |
| 2.2 冰水系統設備架構..... | 14 |
| 3.統計分析方法 | 17 |
| 3.1 主成份分析..... | 17 |
| 3.1.1 主成份分析演算..... | 17 |
| 3.1.2 主成份分析的幾何意義..... | 19 |
| 3.2 部分最小平方分析..... | 23 |
| 3.2.1 部分最小平方分析演算..... | 23 |
| 3.3 系統模型建構..... | 27 |
| 3.3.1 冰水主機效能模型建立..... | 27 |
| 3.3.2 冷卻水塔耗能模型建立..... | 36 |
| 3.4 最適化節能軟體系統簡介..... | 40 |
| 3.4.1 軟體運作流程介紹..... | 40 |
| 3.4.2 軟體介面及功能介紹..... | 47 |
| 4.結果與討論 | 54 |
| 4.1 冰水主機效能模型建立..... | 54 |
| 4.2 冷卻水塔耗能模型建立..... | 75 |
| 4.3 系統效能與耗能分析..... | 80 |
| 4.4 節能系統實機測試分析..... | 97 |
| 5.結論..... | 99 |
| 6.參考文獻 | 101 |
| 自傳..... | 105 |

圖目錄

| | |
|---|----|
| 圖 1-1 半導體廠各系統用電比例圖 | 3 |
| 圖 1-2 外氣設計條件與實際外氣狀況差異曲線 (2003/06/01~2004/05/31) | 4 |
| 圖 1-3 離心式冰水主機耗電量與負載關係 | 5 |
| 圖 2-1 冰水系統示意圖 | 15 |
| 圖 2-2 一般冰水主機系統設備架構 | 16 |
| 圖 3-1 資料X與P1及P2方向線的關係圖 | 21 |
| 圖 3-2 三維空間中的橢球..... | 21 |
| 圖 3-3 三維空間中的傾斜橢球..... | 22 |
| 圖 3-4 主成份二維空間中的橢球..... | 22 |
| 圖 3-5 PLS-資料前處理[43]..... | 24 |
| 圖 3-6 PLS-主成分一計算[43]..... | 25 |
| 圖 3-7 PLS-回歸演算一[43]..... | 25 |
| 圖 3-8 PLS-第一次建模殘差計算[43] | 25 |
| 圖 3-9 PLS-回歸演算二[43]..... | 26 |
| 圖 3-10 PLS-建模結果驗證[43] | 26 |
| 圖 3-11 模型建構流程..... | 31 |
| 圖 3-12 所有CCOP計算所需參數圖式 | 32 |
| 圖 3-13 CCOP模型建構流程 | 32 |
| 圖 3-14 各台冰水主機CCOP建模示意圖 | 33 |
| 圖 3-15 冰水主機模型及其效能輔助模型示意圖 | 34 |
| 圖 3-16 所有冷卻水塔風扇耗電計算所需參數圖式..... | 38 |
| 圖 3-17 冷卻水塔耗能模型建構流程..... | 38 |
| 圖 3-18 冷卻水塔耗能建模示意圖 | 39 |
| 圖 3-19 冷卻水塔耗能模型及其輔助模型運作示意圖 | 39 |
| 圖 3-20 整體模型架構及輸入變數關係圖 | 42 |
| 圖 3-21 節能軟體系統程式運作圖一..... | 43 |
| 圖 3-22 節能軟體系統程式運作圖二 | 44 |
| 圖 3-23 『目前運轉狀況』頁面..... | 48 |
| 圖 3-24 『使用者自訂參數』頁面..... | 49 |
| 圖 3-25 『最適化組合』頁面..... | 50 |
| 圖 3-26 『原始數值資料』頁面..... | 51 |
| 圖 3-27 『耗能趨勢圖』頁面..... | 52 |
| 圖 3-28 『耗能趨勢圖』 | 53 |
| 圖 4-1 冰機CCOP模型準確率 (PLS分析, 兩個自變數) | 61 |
| 圖 4-2 冰機CCOP模型準確率 (PLS分析, 五個自變數) | 61 |
| 圖 4-3 不分組與分組之冰機負載率模型比較..... | 62 |
| 圖 4-4 不分組與分組之冰機CCOP模型比較 | 62 |

| | |
|---------------------------------|----|
| 圖 4-5 冰機 1 效能曲線圖 | 63 |
| 圖 4-6 冰機 1 效能預估評估..... | 63 |
| 圖 4-7 冰機 2 效能曲線圖..... | 64 |
| 圖 4-8 冰機 2 效能預估評估..... | 64 |
| 圖 4-9 冰機 3 效能曲線圖..... | 65 |
| 圖 4-10 冰機 3 效能預估評估..... | 65 |
| 圖 4-11 冰機 4 效能曲線圖..... | 66 |
| 圖 4-12 冰機 4 效能預估評估..... | 66 |
| 圖 4-13 冰機 5 效能曲線圖..... | 67 |
| 圖 4-14 冰機 5 效能預估評估..... | 67 |
| 圖 4-15 冰機 6 效能曲線圖..... | 68 |
| 圖 4-16 冰機 6 效能預估評估..... | 68 |
| 圖 4-17 冰機 7 效能曲線圖..... | 69 |
| 圖 4-18 冰機 7 效能預估評估..... | 69 |
| 圖 4-19 冰機 8 效能曲線圖..... | 70 |
| 圖 4-20 冰機 8 效能預估評估..... | 70 |
| 圖 4-21 冰機 9 效能曲線圖..... | 71 |
| 圖 4-22 冰機 9 效能預估評估..... | 71 |
| 圖 4-23 冰機 10 效能曲線圖..... | 72 |
| 圖 4-24 冰機 10 效能預估評估..... | 72 |
| 圖 4-25 冰機 11 效能曲線圖..... | 73 |
| 圖 4-26 冰機 11 效能預估評估..... | 73 |
| 圖 4-27 冰機 12 效能曲線圖..... | 74 |
| 圖 4-28 冰機 12 效能預估評估..... | 74 |
| 圖 4-29 8/23 到 9/30 的分析資料 | 82 |
| 圖 4-30 10/1 到 10/31 的分析資料 | 83 |
| 圖 4-31 11/1 到 11/30 的分析資料..... | 84 |
| 圖 4-32 12/1 到 12/31 的分析資料 | 85 |
| 圖 4-33 1/1 到 1/25 的分析資料 | 86 |
| 圖 4-34 各月份可進行節能操作時間比率..... | 88 |
| 圖 4-35 12 月份冰機開台數分佈圖..... | 89 |
| 圖 4-36 冰機負載VS濕球溫度分佈圖..... | 90 |
| 圖 4-37 冰機開台數VS濕球溫度分佈圖..... | 91 |
| 圖 4-38 冰水回流量VS濕球溫度分佈圖..... | 92 |
| 圖 4-39 各月份平均節能效益圖..... | 94 |
| 圖 4-40 11 月份冰機總台數分佈圖 | 95 |
| 圖 4-41 11 月份最大負載率分佈圖 | 96 |
| 圖 4-42 節能系統實機測試分析..... | 98 |



表目錄

| | |
|----------------------------------|----|
| 表 3-1 冰機部分負載PLS模型 | 35 |
| 表 3-2 參數定義表 | 45 |
| 表 4-1 冷卻負載、耗電量以及CCOP之計算表 | 57 |
| 表 4-2 模型誤差率比較表（不同種類自變數之比較） | 57 |
| 表 4-3 冰機部分負載PLS模型 | 57 |
| 表 4-4 冰機部分負載預估所需即時數據表 | 58 |
| 表 4-5 冰機冷卻水入水水溫PLS模型 | 58 |
| 表 4-6 冰機冷卻水入水水溫預估所需即時數據表 | 58 |
| 表 4-7 冰機CCOP模型 | 59 |
| 表 4-8 冰機CCOP預估所需數據表 | 59 |
| 表 4-9 冰機部分負載PLS模型(分組) | 59 |
| 表 4-10 模型誤差率比較表（不同開機組合之比較） | 60 |
| 表 4-11 馬達運轉電流預估模型方均根誤差率表 | 77 |
| 表 4-12 [風扇 1]運轉電流模型 | 77 |
| 表 4-13 [風扇 1]運轉頻率資料 | 77 |
| 表 4-14 冷卻水塔風扇耗電之計算表 | 78 |
| 表 4-15 冷卻水塔負載率PLS模型 | 78 |
| 表 4-16 冷卻水塔負載率預估所需即時數據表 | 79 |
| 表 4-17 冷卻水塔耗能PLS模型 | 79 |
| 表 4-18 冷卻水塔耗能預估所需即時數據表 | 79 |

1.緒論

1.1 研究背景與動機

由於現今能源逐漸短缺，能源費用節節升高，面對國內十幾年來經濟持續的成長，國民所得增加，電器使用普及造成用電成長急速增加，尤以夏季冷氣用電更形成電力系統尖峰負載，平均每年尖峰負載成長高達 1,000MW 以上，而新電源開發不易與環保抗爭不斷，使得台電不足以應付尖峰負載之成長，導致電力供需不能平衡，每屆夏季屢有限電發生，影響工業發展與民眾生活甚鉅，此並非一個高度工業化國家應有的合理現象。

一般人常誤以為半導體產業既然是高科技產業，一定是省能工業，事實上，半導體產業耗能相當龐大，一般而言冷凍容量達 10,000RT 之商用空調標的物相當少，但一座八吋晶圓廠之冷凍容量往往就超過 10,000 RT。而且由於晶圓製造之附加價值高，能源費用佔整體生產成本之比例低，導致廠務普遍養成產能至上、工程進度為重之認知，在高可靠度之電能供應下便鮮少注意到節約能源。根據 [1]針對九家半導體廠耗能調查所做的統計，半導體廠耗能比例如圖 1-1 所示，平均而言廠務系統的耗能佔了整廠耗能的 56.6%，製程設備則佔了 40.4%，而空調系統約佔了全部耗能的 40% 是最大的部分。空調系統中又以冰水主機的耗能佔了全廠的 27.2% 最為可觀，這顯示外氣除濕與潔淨室循環氣流的冷卻是最耗能的部份。因此冰水系統之設計與運轉策略改變為節約能源極重要目標之一。若以一般總需求冰水負載約 10,000 冷凍噸之半導體廠為計算基準；冰水主機效能若提升 0.01 kW/冷凍噸，以每度電費 1.8 元來計算，其效能由目前平均效能 0.778 kW/冷凍噸增加至 0.768kW/冷凍噸，每年約可節省電費約 150 萬。

在冰水系統節能議題上，一般而言可依照設計及操作兩方面進行修改，在設計面上的修改上，一般常見的作法包含冰水側變頻設計、雙溫度冰水系統設計、高溫差冰水系統設計以及冰水管路壓差控制設計等，上述提及之修改方式必須更改現有半導體廠的設備架構，對於已經運轉之工廠會有一定的衝擊與影響；在操作面上的修改，一般常見的做法包含冰水主機最佳化運轉排序、冷卻水塔變頻控制、提高冰水出水溫度、降低冷卻水溫度等等。但是對於整個系統，包含空調箱、泵浦、冰水主機、冷卻水塔的整體耗能狀況是否均運轉在最佳狀態，系統的運轉效率是否在最佳狀

態，則值得做進一步的分析與探討。

由於廠務冰水主機系統在設計階段，一般皆以最嚴酷氣候條件下進行尖峰負載之計算（Peak Cooling Load），以之做為選取系統容量之依據，再配合工程裕度之容量，往往使主機超量設計（Over Size Design）。造成於一年之中，尤其是佔絕大部分運轉時數的春、秋季節（或稱中間季）如圖 1-2 所示，主機長期運轉於效率較低的部分負載率（Partial Load Factor，簡稱 PLF）狀態，而導致 COP (coefficient of performance) 性能劣化、kW/RT 耗電量急遽增高。一般來說，冰水主機廠商根據選機程式所得到之運轉效率曲線，冰水主機於負載率約 70% ~80% 的情況下其具有最高效率，而非滿載時效率最高，如圖 1-3 所示。在所有電力負載中，耗電約佔夏季尖峰用電的 30% 以上，而冰水主機為中央空調系統的心臟，為中央空調系統中最主要的設備，其耗電力約佔中央空調系統耗電的 60%。因此若能提高冰水主機的能源使用效率，對降低空調使用電力及緩和夏季尖峰用電的成長必定有其助益。



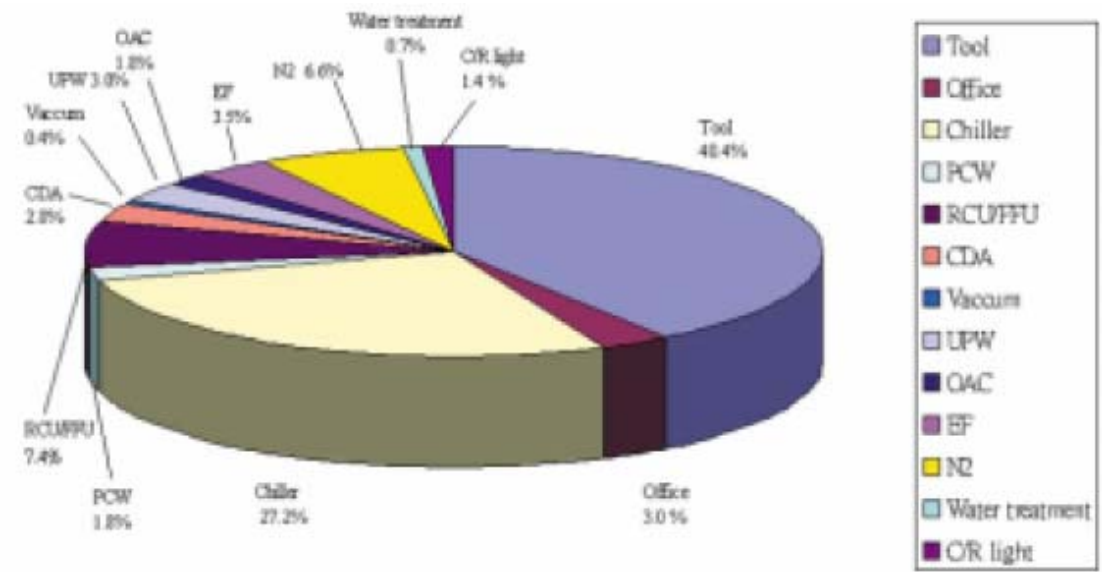


圖 1-1 半導體廠各系統用電比例圖[1]

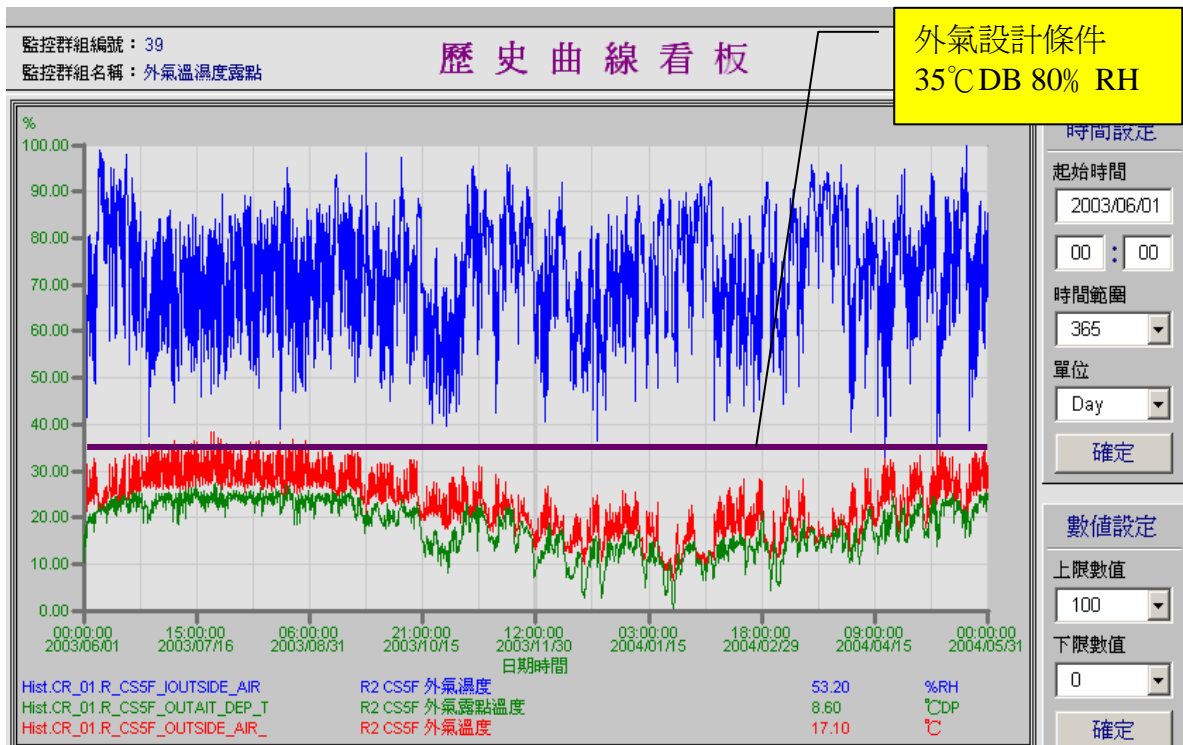


圖 1-2 外氣設計條件與實際外氣狀況差異曲線
 (2003/06/01~2004/05031)

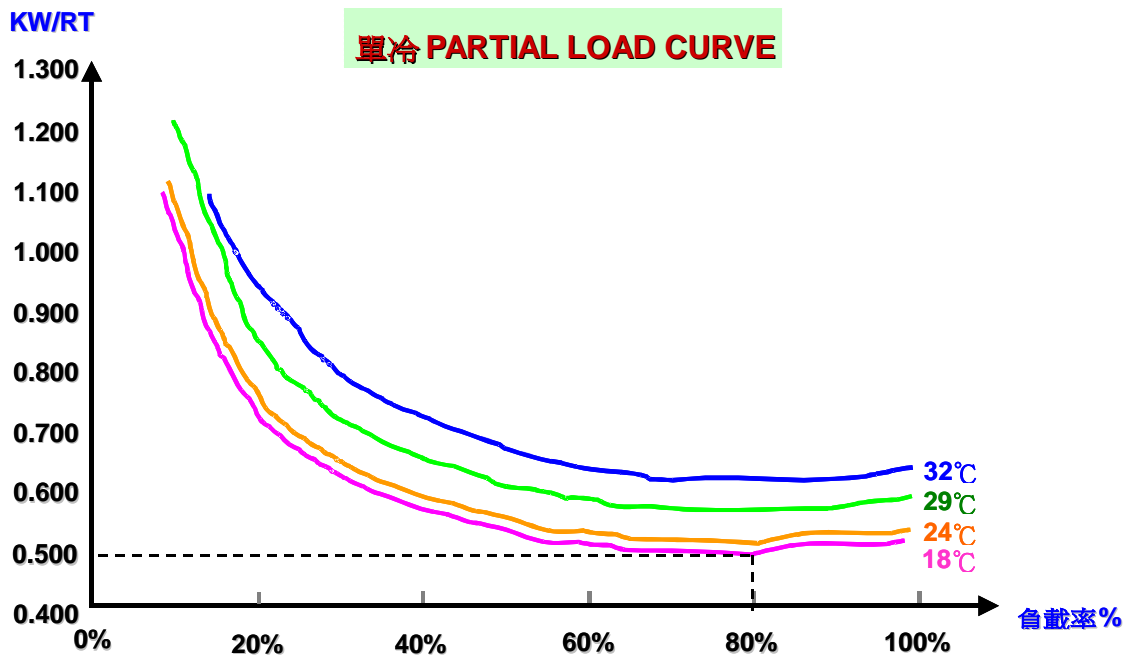


圖 1-3 離心式冰水主機耗電量與負載關係

1.2 文獻探討

有關冰水主機系統的節能最佳化運轉策略及模式研究，在相關文獻的研究及時下常被業界所採用的方式有下列幾種：

許[2]提出冰機經驗模式應用於性能評估之研究，於不同的冰機型態下，比較六種 COP 建模方式(簡單線性回歸，雙二次回歸，複變數多項式回歸，Gordon-Ng 通用冰水機熱力學模式，Lee 冰水機簡化熱力學模式)，得知利用雙二次回歸模式來預測 COP 可以得到較為準確之結果。雙二次回歸模式較為準確之原因為：『其模式中擁有許多的擬和係數』。涂[3]提出冰水主機負載分配最佳效能之提升將各台冰水主機之耗電以部分負載率的三次方多項式形式來表示。定義耗電總量為目標函數，以拉格朗傑乘數法來求取一定的負載需求下，各冰機的最佳負載率設定。由運算結果顯示在系統高空調負荷時，使用拉格朗傑乘數法較平均負載法節省 3-8%之耗電量。吳[4]提出直膨螺旋機式冰水機組操作特性與效率提昇之研究，以實驗方法研究半密閉直膨螺旋機式冰水機組在不同操作參數下的運轉特性，主要探討過熱度與冰水入水溫度對冷凍能力的影響，而壓縮機耗電量是受到冷卻水入水溫的影響，實驗結果發現冷凍能力倒數與 $1/COP$ 成正比。李[5]提出當線上所有冰水主機負載率達 80%時，則需啟動另一部主機，並將總負載於所有上線主機平均分配。黃[6]提出在線上的數部冰水主機，除了一部隨空調負載負荷變化作容量調整外，其餘皆滿載運轉。楊[7]提出若採用單一台冰水主機時，當該部主機運轉在較低負載率時，其效率將嚴重偏低，導致耗能大大增加，如果能以兩台較小主機匹配。當系統在低負載時可以獲得較佳的運轉效率。張[8]提出兩種冰水主機節能調度運轉策略，首先以最佳排序方法預估系統週期內各階段空調負荷需求，找出冰水主機最佳排序，使得在此週期內消耗電量最小，決定機組運轉或停止，然後再以最佳負載分配方法，一個機組 COP 最大直分配獻上各部機組所以負擔的負載率，使得總耗能最小，滿足節能之目的。趙[9]提出使用拉格朗傑乘數法來解決冰水主機之最佳負載分配，利用冰水主機的 COP 值為一凸曲線的二次多項式特性，以 COP 作為目標函數，使得冰水主機於最大 COP 值下運轉，獲得較一般平均負載法佳之結果。林[10]以支界法應用於冰水主機最佳化排序之研究，利用冰水主機的 COP 值為冰機負載率的二次多項式特性，以 COP 作為目標函數，以支界法來求取一定的負載需求下，各冰機的

最佳負載率設定。利用此方法可以快速求得最佳排序。林[11]提出流體力學設計法，動態規劃法與系統模擬進行半導體廠冰水供應系統最佳化設計，並以一案例作為設計與模擬的比較依據，討論此三種設計法的優缺點、限制條件即是用程度，據以提出冰水供應系統管路最佳化。林[12]分別利用平均負載法，拉格朗傑乘數法，基因演算法來計算出個台冰機的最佳負載率。

在冰水主機的經驗模式裡，已經發展出只要輸入幾個參數即可預測冰水主機性能，例如蒸發器的入水溫度、冷凝器的入水溫度及冷凍能力等，因此在冰水主机的性能預測模式，一般可分成三大類：(一)物理模式 (physical model) (二)經驗模式 (empirical model) 及 (三)半經驗模式 (semi-empirical model)。

(一)物理模式稱為白盒模式 (white-box)，主要是依據系統的元件分別作詳細模擬計算，其中除了考慮各項元健物理模型尺寸與流体性質外，如壓縮機的形式、熱交換器的幾何配置 (管長度、部管方式、管間距、管束及水迴路)、冷凍油及冷媒狀態等，還須檢驗模擬經驗式的可靠性，所以其計算流程及為煩瑣，而研究學者也必須對系統內的物理現象相當了解。冰水主機物理模式相關文獻探討如下：

Browne 等[13]提出以物理模式進行 COP 之預測，並發展出一套蒸汽壓縮式冰水機模擬軟體。其撰寫模擬元件以穩態理論模式為主，並利用四階 Runge-Kutta 數值方法求解。最後該程式驗證動態的數據能有誤差，原因是缺乏考慮壓縮機熱損失與冷凍油的影響。Browne 等[14]又假設在穩態下，利用熱力與熱傳理論基礎推導出離心式冰水主機系統的性能模式，並以固定冷卻水入水溫度 25°C 之兩筆離心式冰水機實驗數據與理論模式進行分析，其驗證結果包含輸入電能、冷凍能力、與 COP 均在±10%的誤差內。Browne 等[15]利用 NTU- ϵ 方法，使蒸汽壓縮式冰水機可以在寬廣的運轉範圍內做穩態模擬，主要使用殼管式冷凝器與蒸發器，只需輸入一些簡單量測得到的參數，如冷凝器與蒸發器的入出水溫度，也可以輸入該熱交換的熱傳係數以增加模擬系統的準確性，如此便能得到冰水機的係能係數 COP 或消耗電力。這套模擬系統被驗證在單螺旋式與雙螺旋式冰機上，其誤差在±10%內。Fu 等 [16]利用文獻上之經驗公式建立一套螺旋式冰水機系統，其模擬的元件包括螺旋式壓縮機、殼管式冷凝器、膨脹閥及滿溢

式蒸發器。經過四台冰水主機的實驗驗證，其誤差在 $\pm 10\%$ 內。

(二) 經驗模式又稱為黑盒模式 (block-box)，其假設在不知任何冰水主機系統的前提下，利用已獲得的系統操作參數，建立出可以解釋冰水主機系統能力的關係式。

Yik 等[17]利用雙二次回歸模式預測冰水機的耗電量，作者並採用製造商的性能數據，經過驗證得到螺旋式冰水機耗電量在 $\pm 5\%$ 誤差內。Sreedharan 等[18]將三種不同的冰水機行為模式做實驗驗證：其中包含了 ASHRAE Toolkit Model、Gordon-Ng Model 及 DOE-2 Model。作者藉由實驗室量測及現場量測之兩筆數據進行模擬，其結果顯示出 Gordon-Ng Model 在現場模擬較為準確。Swider 等[19]提出冰水機的預測穩態性能經驗式，但此模式並不包含任何物理及熱力學的意義。作者並利用類神經網路來預測冰水機模式，使用輸入的參數有冰水出水、冷卻水入水及冷凍能力。此方法預測壓縮機的輸入功及 COP 都在 $\pm 5\%$ 。Bechtler 等[20]利用一個新人性的類神經網路方法去動態模擬一已知的爭氣壓縮冷凍系統，並準確的模擬出兩台不同的冰水機的動態操作行為，這套模擬系統只需輸入一些簡單量測得到的參數，就能得到相關的資料如 COP 或消耗電力。Hydeman 等[21]採用水冷式之離心式與螺旋式冰水機在 ARI 550/590 的標準條件下量測所得到的數據，並利用 45 筆不同的實驗數據驗證 DOE-2 及 Gordon 之冰水機行為模式，其結論得到 DOE-2 的 RMS 最小為 0.7%，Gordon 模式 RMS 最小為 1.6%。Hydeman 等[22]發展出一個新的冰水主機模式並驗證它與其他三個已發表的冰水機模式，這些模式能夠被用來診斷冰水機的性能與耗電，此新模式有較佳的結果。Reddy 等[23]比較 Gordon-Ng 通用冰水主機熱力學模式與複變數多項式回歸模式，並利用離心式冰水機量測數據驗證之，其 COP 預測能力顯示出複變數多項式回歸模式較佳。Swider[24]綜合比較穩態蒸汽壓縮式冰水機的經驗模式，並且利用線性回歸模式、熱力學模式、徑向基底函數類神經網路及多層認知方法類神經網路來分析。操作者只需要輸入幾個變數就可以知道冰水主机的性能，作者實驗證明徑向基底函數類神經網路所估測出之 COP 誤差較小。黃等[25]提出類神經網路模式研究，以黑箱模式進行 COP 之預測，將冰水主機最佳化問題表示成限制型非線性規劃問題，將結果與頻均負載法進行比較。在不增加設備及成本的情況下，採用倒傳遞類神經網路演算法則來控制離心式

冰水主機的加載與卸載動作。對於空調儲冰系統而言，應用類神經網路預測空調負載可達到很高的準確度。如能預測明日（一天）的儲冰量就能滿足系統操作人員的需求。

（三）半經驗模式又稱灰盒模式（gray-box），主要是將相關物理定律經由公式推導完成，其中忽略可能影響較小的參數，盡而得到可描述冰水主機性能的關係式。

Gordon 等[26]藉由原本應用於往復式與吸收式冰水機上的一個簡單熱力學模擬方法使用在商用離心式冰水主機，經由實驗量測，成功地發現了性能係數與冷凍能力上的關係。Ng 等[27]假設在固定式冷媒以水側流量穩定的條件下，以熱力學與熱傳模式建立水冷式往復是冰水主機行文模式，作者參考 ARI 590-86 測試標準進行兩台往復式冰水機之驗證建模模式。Gordon 等[28]利用熱力學第一及第二熱力學定律發展出冰水主機的經驗模式，並利用線性回歸法把量測的實驗數據用來驗證冰水機的性能係數，以該模式驗證穩態的兩台往復式冰水機。Gordon 等[29]探討冷凝器冷媒質量流率對冰水主機的影響，作者量測大型離心式冰水機的實驗數據做驗證，並利用 9 種不同冷媒流率對冰水機熱力學行為模式作線性回歸來預測其性能係數，其結論是冷凝器冷媒質量流率將會影響到冰水機性能係數，主要是與冷媒的體積流率與熱交換效率有關。Lee[30]提出一個經驗模式，主要利用第一及第二熱力學定律以及熱交換器 NTU- ϵ 模式來預測螺旋式冰水機在各種操作條件下的 COP，特別是藉由冰水回水感測來控制冷凍能力，用一系列的實驗來驗證此模式，將水側的操作條件輸入到此冰水機模式可立即得到冰水主機效率。藉由實驗以及理論推測可獲得該經驗模式。Hackner[31]運用冰水主機之 COP-PLR 特性曲線來控制機組之運轉，由於 COP-PLR 曲線為一凹函數，在此曲線下決定訂出最佳切換點，以決定另一台冰水主機是否啟動或停止。線上的冰水主機併聯運轉，並平均分配負載。ASHRAE Handbook[32]當系統需要另一機組加入運轉時，此冰水主機必須具有最大尖峰 COP，才能讓該部冰水主機投入系統併聯運轉

關於冰水主機系統最適化操作相關專利、專利提出廠商以及專利內容描述如下所描述：

Johnson Controls[33]提出 Cooling system with improved fan control and method，該系統包含有冰水主機（包含有蒸發器，冷凝器）、冷卻水塔。

冰水主機所產生之冰水用作空調系統之空氣冷卻。風扇控制所指的是控制冷卻水塔的風扇轉速，使得系統中風扇馬達與冰水主機壓縮機的總耗能減至最小。本方法包含了冰機負載預估法，並依據冰機負載得出一控制參數，依據此控制參數來針對風扇馬達轉速進行控制。TRANE[34]提出 Near optimization of cooling tower condenser water，本專利提出冰水與冷卻水系統之操作最小耗能方法。先確認冰機效能、冷卻水塔效能、冰機與冷卻水塔間熱能傳輸率的量測方式，再以冰機效能，冷卻水塔效能，以及熱傳輸率計算出一近最佳之冷卻水塔出水溫度。煜豐科技[35]提出 Refrigerating/air conditioning heat exchanging system with combined air/water cooling functions and the method for controlling such a system，利用位於冰機、冷卻水塔水霧裝置、冷卻水塔風扇馬達所擷取得到的感測資料輸入控制裝置中，並予裝置中所預存之量值進行比對，藉以控制水閥開度以及冷卻水塔風扇馬達之轉速。Thomas Hartman Company[36]Method of control of cooling system condenser fans and cooling tower fans and pumps，在不同的冰機負載下依靠著冷卻水塔的馬達運轉控制與泵浦(冷卻水泵浦與冰水泵浦)的變頻控制來增加冰水主機的效能。本專利之控制策略是依據冷媒溫度壓力的改變而得到的，並依據負載的變化而有所不同，特別是對於低負載的狀況。冷卻負載指的是當時電力負載與最大電力負載的比率。Chiller Plant Optimizer[37]提出 Method to optimize chiller plant operation，本專利提出一方法調協冷卻水塔、冷卻水泵浦、與冰機本身來使得整體耗能減低。冷卻水泵浦控制冷卻水流量，使得進出冷凝器之水溫差維持一定。冷卻水塔風扇的控制是比較冷卻水溫與冷卻水流量其相對的設計值而得到的。量測每一台冰機的熱交換率，並建立最佳設定點使的效益提昇至最高。井昇[38]提出 Cooling tower for automatically adjusting flow rates of cooling water and cooling air with variations of a load，冷卻水塔控制器會依據不同的冷卻負載自動調整冷卻水流量與風扇運轉頻率。最佳的操作範圍、冷卻水塔的熱傳輸特性值、外氣溫度與 approach 之間的關係被建置在控制器中。運轉時，藉由溫度等量值的量測而得到最佳之冷卻水流量與風扇運轉頻率，來達到省能的目的。American Standard International Inc.[39]提出 Chiller capacity control with variable chilled water flow compensation，本專利提出一冰機容積(chiller capacity)控制方法，該方法之控制步驟，量測實際冰水進出水

水溫，決定一冰水出水水溫設定值，建立以實際冰水出水水溫與與預設冰水出水水溫差為函數之冰機容積 (chiller capacity)，依據冰水入水水溫與預設冰水出水水溫來調整冰機容積。



1.3 研究目的

綜觀上述國內外文獻，有關現有冰水主機經驗模式之預測研究，已有許多的學者提出。然而在文獻中一般會分別討論冰水側(chilled water side)或冷卻水側節能(cooling water side)，少有全系統節能分析之討論。其部分研究提出需更改現有半導體廠冰水主機系統架構以進行節能，此在進行量產中的廠房是不易實現的；另一部份由於沒有考慮到現場有限的可控制參數以及可控參數之特性，其所得之控制方式往往無法有效的實施。

本實驗主要考量操作面上的修改模式，也就是在不更改現有已經在從事量產的半導體廠的架構下，利用半導體廠務監控系統的歷史資料庫所蒐集之冰水主機及冷卻水塔運轉紀錄，進行建模分析，以求取冰水主機及冷卻水塔在每一個時間點的 COP 值，並建立每一台冰水主機及冷卻水塔之運轉性能曲線，再利用回歸計算尋找出每一步冰水主機及冷卻水塔之最高運轉效率，之後利用統計方法分析冰水主機與冷卻水塔 COP 與系統中可控制變數、環境變數之關係，建立全系統耗能之預估模型。利用可控制系統參數的設定，如：冰機開台數、冷卻水塔開台數、冷卻水塔冷卻水出水水溫等，使操作人員能夠在某一外氣環境及某負載需求下得知最節省系統整體耗能的系統配置方式，使冷卻水塔風扇、泵浦、冰水主機運轉之效能配合實際冰水負載做最合適搭配，達到節省能源耗損之目的。

因此，本研究的成果將可做為冰水系統運轉性能的預測、節能改善的評估等應用之參考依據。

2.物理模式

2.1 冰水系統架構說明

目前一般的空調系統大部分是藉由冰水系統將空調空間所需的空調負荷轉移至冰水主機上，再經由冷卻水系統將負荷移轉至外部環境中，主要元件配置及操作原理，如圖 2-1 所示，基本上包含五道熱量交換的循環系統，分別有室內熱負載與冰水盤管進行熱交換；冰水與冷媒在蒸發器中進行熱交換；之後冷媒與冷卻水在冰水主機的冷凝器中進行熱交換；最後則是冷卻水和室外空氣在冷卻水塔中進行熱交換。若是以運轉特性來區分，又可以分類成冰水循環系統、冰水主機循環系統、冷卻水循環系統。冰水循環系統將冰水機(CHILLER)製造的冰水利用冰水循環泵浦輸送各區域的負載盤管，利用冰水循環使負載（潔淨室空調、非潔淨室空調、製程冷卻）達到熱交換的目的。冷卻水循環系統是由冷卻水泵浦及冷卻水塔所組成主要是將冰水機冷凝器的熱予以移除。而冷卻水塔為一種排熱裝置，係使水與空氣接觸，而有部分水蒸發進入空氣，達到將水冷卻之目的設備。為了增加水的表面積，可利用噴嘴（Nozzle）將水噴灑，或者使用多片檔板使水潑濺，造成大量的液滴，這些液滴有極大的表面積與空氣接觸，增加熱傳接觸面積，使得由冰水主機側高溫的水能在冷卻水塔中由低溫的空氣降溫，將主機所吸收或產生的熱能排放置大氣中，由於水具有高潛熱熱能，加上取得容易，而空氣具有吸濕能力，因此冷卻水塔為散熱最有效且最方便的工具。所謂的冰水負載側又依目的不同，可分成冷卻用和空調用，由於半導體廠內冰水負載與冰水系統間關係較複雜，在此先不做討論，本文乃是針對上述 1~3 熱交換程序“進行整體冰水系統運轉效能評估”提出嶄新的節約能源方法，減少空調系統的電力使用量，降低尖峰用電的壓力。

在圖 2-1 冰水主機系統中共有四大類型之轉動設備，此四大類型之轉動設備所耗費能量分別佔冰水主機系統之比例，分別為 M1(冷卻水塔風扇 10%)、M2(冷卻水泵 15%)、M3(冰水主機壓縮機 60%)以及 M4(冰水泵 15%)，

2.2 冰水系統設備架構

本研究主要針對冰機全系統進行節能方案之實施，除冰水主機本身的運轉效能提升外，與冰水主機有關之冰水泵、冷卻水泵、冷卻水塔之運轉效能也都一併考慮。而系統之建模及測試系統案例為國內某半導體廠，其系統設計冷凍容量於尖峰時段約為 15000 冷凍噸，主要供應性質為無塵室空調系統、辦公大樓空調及製程冷卻等多功能使用，為了符合製程上 CLASS 100 潔淨室之溫度 23°C、相對溼度 43%RH 之特殊負載需求條件，其系統設備架構如圖 2-2 所示。

為了使系統利於分析建模，因此將系統區分為冷凍負載、冰水主機及冷卻水塔，其主要設備有下列幾項：

冰水主機 (CH-1~12)：12 台 1250RT 離心式冰水主機，使用 R-123 冷媒，其中有 5 台為熱回收機型。其性能規格為冷卻水流量 970 CMH，進水溫度 32°C，出水溫度 37°C 之條件時，可產生冰水 430 CMH 及進水溫度 14°C 的情況下，可使出水溫度維持在 5°C，冷凍能力達到 1250RT，最大耗電量為 798KW。

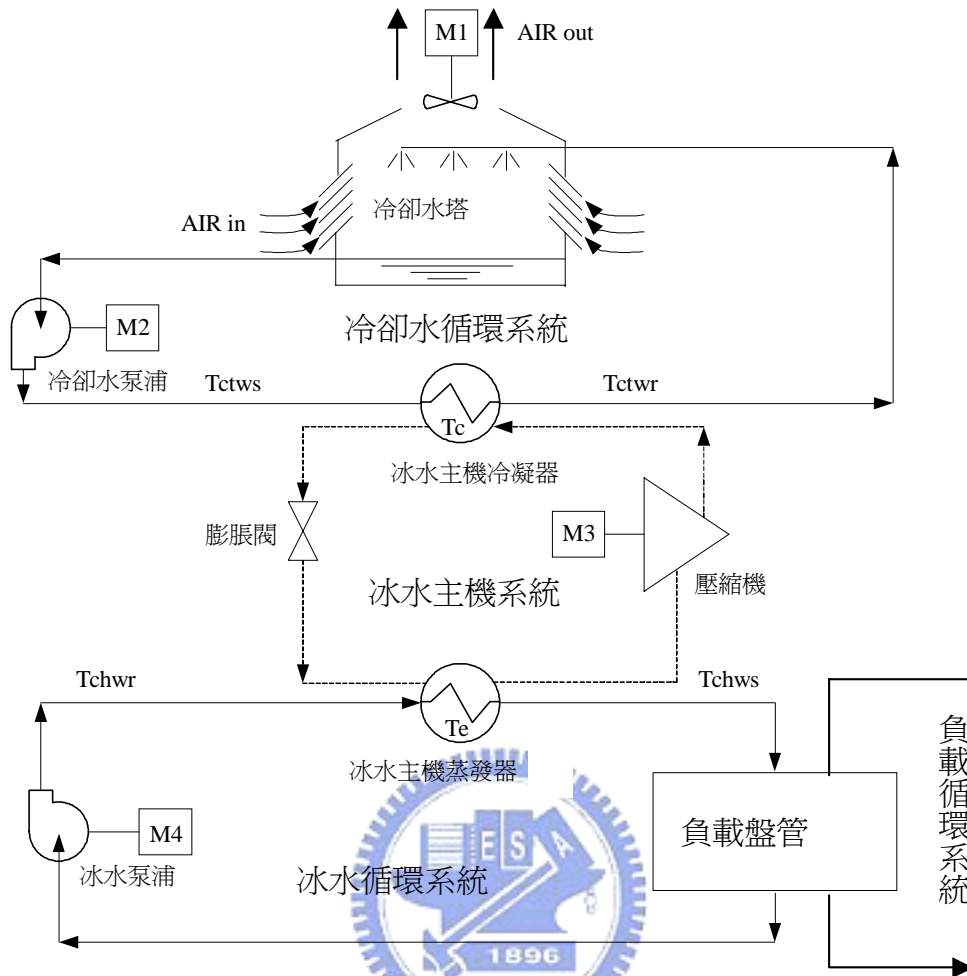
一次冰水泵浦 (CCP1~12)：12 台泵浦規格均為流量 $Q=430\text{CMH}$ 、揚程 $H=12\text{m}$ 、馬達馬力 $\text{HP}=25\text{hp}$ 。

二次冰水泵浦 (SCCP1~6)：6 台泵浦規格均為流量 $Q=1205\text{CMH}$ 、揚程 $H=43\text{m}$ 、馬達馬力 $\text{HP}=250\text{hp}$ ，採用變頻方式驅動。

冷卻水泵浦 (CWP1~12)：12 台泵浦規格均為流量 $Q=970\text{CMH}$ 、揚程 $H=12\text{m}$ 、馬達馬力 $\text{HP}=100\text{hp}$ 。

冷卻水塔 (CT1~13)：13 台冷卻水塔，其性能規格為流量 4024GPM，在外氣濕球溫度 29°C 時，可以使入水溫度為 37°C 之冷卻水溫降至 32°C，最大耗電量為 75hp。

冰水系統採一次側/二次側 (primary-second system) 方式設計，一次側冰水泵浦隨著冰水主機的起停開關，二次側泵浦隨著負載之變化進行恆壓變頻控制。



符號說明：

M1：風扇馬達

M2：冷卻水之水泵馬達

M3：壓縮機馬達

M4：冰水泵馬達

T_{ctwr} ：冷卻水塔回水溫度

T_{ctws} ：冷卻水塔出水溫度

T_{chwr} ：蒸發器回水溫度

T_{chws} ：蒸發器出水溫度

T_c ：冰水主機冷凝器冷媒溫度

T_e ：冰水主機蒸發器冷媒溫度

圖 2-1 冰水系統示意圖

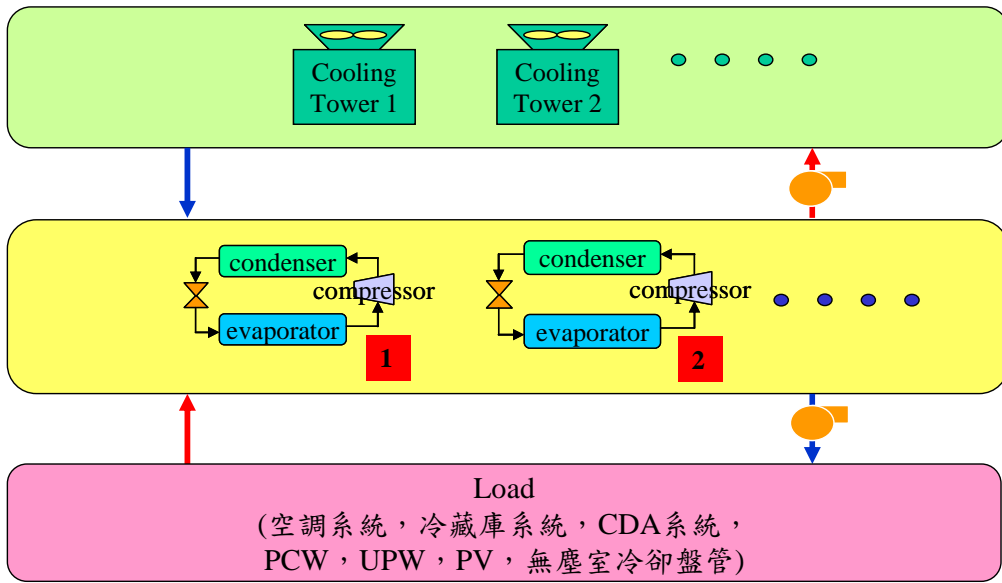


圖 2-2 一般冰水主機系統設備架構

3.統計分析方法

3.1 主成份分析

主成份分析(Principal Component Analysis, PCA)是一種多變數分析方法，其主要的概念是將數據中各個變數及影響因子加以結合，而找出變數相互間主要的變化趨勢，以進一步壓縮變數及萃取出系統的有效資訊。

主成份分析可用來粹取出多變數矩陣 \mathbf{X} 中所隱含的變數變異關係，分析 \mathbf{X} 矩陣，找出隱藏的變數（主成分,最大變異方向）可以用來瞭解 \mathbf{X} 所隱含的特性，且評估眾多變數所隱含的維度有多少，並瞭解資料的分佈模式。於冰水主機系統模型建構時，可用來檢驗各參數之相依程度，並分析各變數之相互關係。

3.1.1 主成份分析演算

PCA 計算方法主要是利用變數的共變異係數矩陣。假定一數據矩陣 \mathbf{X} ，如式 (1) 所示，其維度為 $K \times J$ ，其中 J 為變數的數目， K 為量測點數

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{2,1} & \cdots & x_{J,1} \\ x_{1,2} & x_{2,2} & \cdots & x_{J,2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{1,K} & x_{2,K} & \cdots & x_{J,K} \end{bmatrix}_{K \times J} \quad (1)$$

則共變異係數矩陣為式 (2) 所示

$$\mathbf{S}_{\mathbf{xx}} = \frac{\mathbf{X}^T \mathbf{X}}{J-1} = \begin{bmatrix} \sum_{k=1}^K (x_{1,k})^2 & \sum_{k=1}^K (x_{2,k} x_{1,k}) & \cdots & \sum_{k=1}^K (x_{J,k} x_{1,k}) \\ \sum_{k=1}^K (x_{1,k} x_{2,k}) & \sum_{k=1}^K (x_{2,k})^2 & \cdots & \sum_{k=1}^K (x_{J,k} x_{2,k}) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sum_{k=1}^K (x_{1,k} x_{J,k}) & \sum_{k=1}^K (x_{2,k} x_{J,k}) & \cdots & \sum_{k=1}^K (x_{J,k})^2 \end{bmatrix}_{J \times J} \quad (2)$$

此共變異係數矩陣為一對稱矩陣，其中對角線上的各元素代表了各原始變數的變異數值，而其它元素則為其所在行、列代表的變數間的共變異數(Co-variance)。各變數的變異數值顯示出數據在各變數軸上散佈的幅度，而共變異數則顯示了變數間的相關性。所以藉由計算共變異係數矩陣

的特徵值及特徵向量，就可以瞭解數據的分佈情形。

共變異係數矩陣 \mathbf{S}_{xx} 計算特徵值及特徵向量，可以以奇異值分解 (Singular Value Decomposition, SVD) 方法分解成特徵值矩陣 Λ 與特徵向量矩陣 \mathbf{P} ，所以共變異係數矩陣可以改寫如式 (3)：

$$\mathbf{S}_{xx} = \mathbf{P}\Lambda\mathbf{P}^T \quad (3)$$

其中

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} p_{1,1} & p_{2,1} & \cdots & p_{J,1} \\ p_{1,2} & p_{2,2} & \cdots & p_{J,2} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{1,K} & p_{2,K} & \cdots & p_{J,J} \end{bmatrix}_{J \times J} = [\mathbf{p}_1 \quad \mathbf{p}_2 \quad \cdots \quad \mathbf{p}_J]$$

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & \lambda_J \end{bmatrix}_{J \times J}$$

其中， \mathbf{P} 矩陣每一行代表數據點投影在某一方向上的投影向量； Λ 為一個對角矩陣，矩陣中的對角數據值代表數據點在每一個方向向量上的特徵值。利用共變異係數矩陣的特徵值及特徵向量，原始資料可藉由式 (4) 轉換到由主成軸所組成的新座標中：

$$\begin{aligned} \mathbf{X} &= \mathbf{t}_1\mathbf{p}_1^T + \mathbf{t}_2\mathbf{p}_2^T + \cdots + \mathbf{t}_J\mathbf{p}_J^T \\ &= [\mathbf{t}_1 \quad \mathbf{t}_2 \quad \cdots \quad \mathbf{t}_J] \begin{bmatrix} \mathbf{p}_1^T \\ \mathbf{p}_2^T \\ \vdots \\ \mathbf{p}_J^T \end{bmatrix} \\ &= \mathbf{TP}^T \end{aligned} \quad (4)$$

此式即表示數據點投影在第一個方向上的投影量 t_1 可以表示為 $p_{1,1}\mathbf{x}_1 + p_{2,1}\mathbf{x}_2 + \cdots + p_{J,1}\mathbf{x}_J$ ；而投影在第二方向上的投影量 t_2 可以表示為 $p_{1,2}\mathbf{x}_1 + p_{2,2}\mathbf{x}_2 + \cdots + p_{J,2}\mathbf{x}_J$ ，且各投影向量相互正交。此外，我們可以從特徵值上看出各特徵向量對系統影響的重要性，並以此選取系統的主成份

數，例如當 $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \dots > \lambda_n$ 時，我們即可發現影響系統的主要變數有兩個，所以可用 2 個主成份數來代表整個系統，即表示將整個系統的 J 個維度，壓縮成 2 個維度，以達到減少變數的目的，如圖 3-1 所示。

則式(4)可簡化為

$$\mathbf{X} = \mathbf{t}_1 \mathbf{p}_1^T + \mathbf{t}_2 \mathbf{p}_2^T + \mathbf{E} \quad (5)$$

式(5)中 \mathbf{t}_i 為第 i 個方向 Score 值(Latent Variable)， \mathbf{p}_i 為在第 i 個方向的負荷向量(Latent Vector 或 Loading Vector)，亦為 \mathbf{S}_{xx} 的特徵向量， \mathbf{E} 為一誤差值(Residual Matrix)。如果系統包含 R 個主成份數時，

$$\mathbf{X} = \mathbf{t}_1 \mathbf{p}_1^T + \mathbf{t}_2 \mathbf{p}_2^T + \dots + \mathbf{t}_R \mathbf{p}_R^T + \mathbf{E}$$

所以由上述 PCA 的計算，可以達到壓縮變數，萃取系統有效資訊的效果。

3.1.2 主成份分析的幾何意義

在一個多變數線性系統中，每一個變數代表的就是一個維度空間，在圖形上就使用一個座標軸表示，對於一個 J 個變數系統來說，一般就用一個擁有 J 個正交座標軸的直角座標系表示，假設各變數均為高斯分佈，且彼此皆為獨立，則其在空間的分佈將形成一個 J 維的橢球，橢球中心座標即為各變數的平均數，而橢球各軸的長度與其代表的扁樹枝標準差成正比，標準差及代表了此變數變異量的大小，也就是說橢球中越長的軸就代表資料點在這個方向的分佈越廣。

對於某些多變數線性系統中，其變數間存在相關性，並非彼此彼此完全獨立，如此一來，在同樣的 J 維空間中資料點的分佈就不再是如變數彼此獨立時的維橢球了，由於變數間關係式存在，在相關係數 x_i 、 x_j 的分佈會落在由 x_i 軸與 x_j 軸組成的二維空間的一條直線上，從整體 J 維空間中來看，此 J 維橢球在這條直線於此平面上的垂直線方向上沒有分佈，也就是橢球在這個方向上內縮了進去，所以若有 $J-R$ 個關係存在，則資料點的分佈就應為 J 維空間中的一個 R 維橢球。

由以上說明可以知道當變數間有關係式存在的時候，資料點分佈的維度會縮減，但是對於觀察者而言，以原始座標去觀察這個資料點分佈的時候。此 R 維橢球在空間中是傾斜的，當觀察者關心的是資料點真實的分佈狀況時，將橢球轉正是最好的觀察方法，而接著找到此 R 維橢球各軸當作新座標便可以達到這樣的目的，主成分分析就是找出這些新座標軸的方

法，並且可以將原始的變數投影到新的座標上，求出新的變數值，也就是主成分變數值。

所以主成分分析主要的功能有以下三點：

1. 找出多變數系統中真正主宰系統變化的變數
2. 降低多變數問題的維度
3. 排除變數間的相關性

以三維空間為例，圖 3-2 中辨識一個三維空間中的橢球，相當於擁有三個互不相關變數的資料點在三維空間分佈的某個問下的信賴區間 (Confidence Interval) 界限，可以想像成資料點的分佈區域。

當變數間具有線性關係的時候，資料點受到此關係式的限制，就收縮到如圖 3-3 的一個寬間橢圓面上了，也就是橢球與代表此線性關係式的平面相交的部分，由圖中可以發現，從原來座標軸的任何一個方向去觀察這個橢圓面，都不如存垂直於此橢圓面的方向觀察來的清晰，而主成分分析即是以座標轉換的方法，將座標轉成如圖 3-4 所示的橢圓，如此便可以僅僅以二維座標系描述這個資料點的分佈情況，以達到減低問題的複雜度以及清晰地監控資料點分佈狀況的目的。



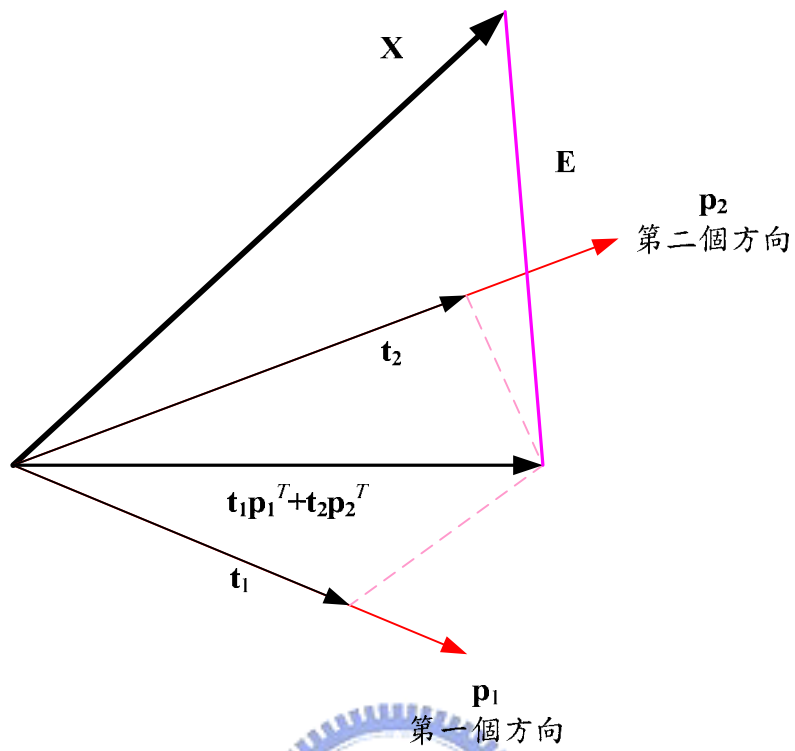


圖 3-1 資料 X 與 P_1 及 P_2 方向線的關係圖

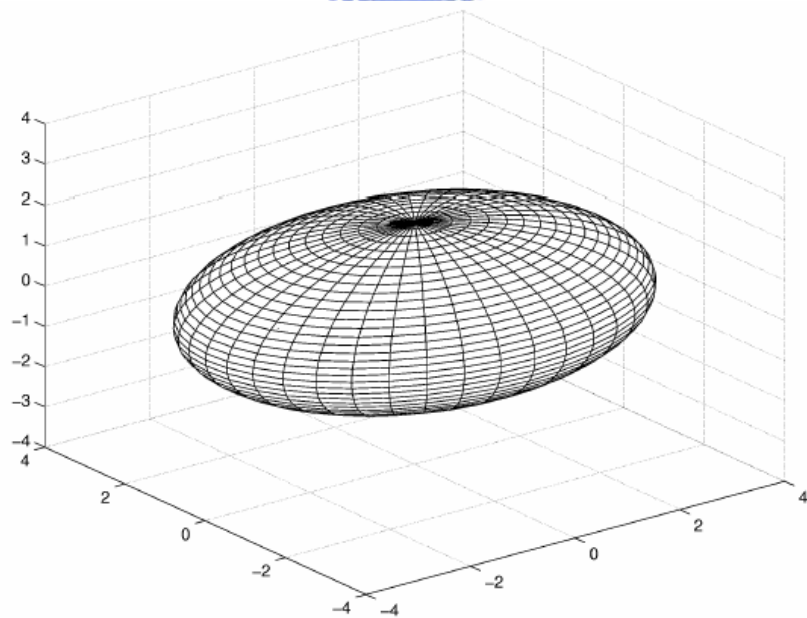


圖 3-2 三維空間中的橢球

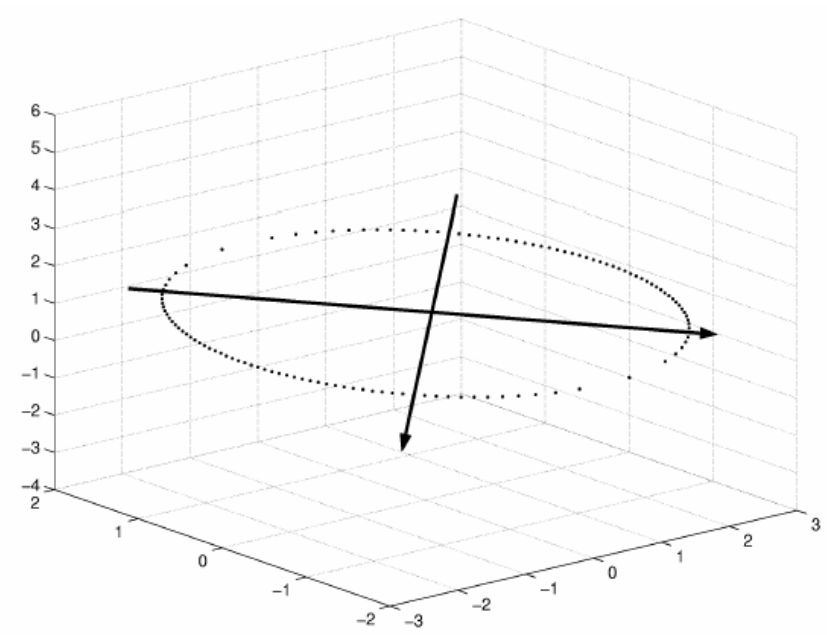


圖 3-3 三維空間中的傾斜橢球

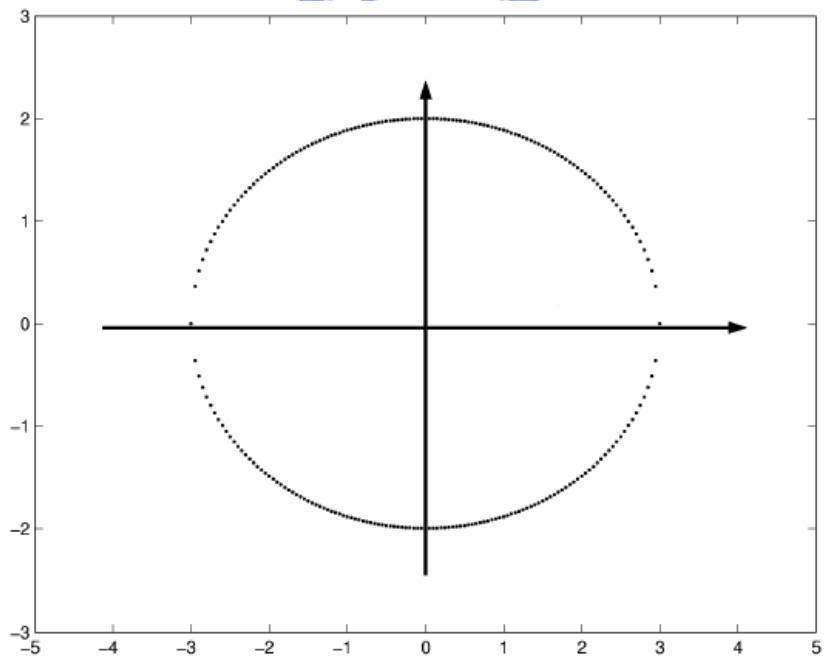


圖 3-4 主成份二維空間中的橢球

3.2 部分最小平方分析

部分最小平方法 (Partial Least Square, PLS) 是一種延伸自 PCA 技術的回歸模式，用來準確的建立多變數矩陣 X 與 Y 的關係。

3.2.1 部分最小平方分析演算

3.2.1.1 資料前處理

將資料量值的比例縮放(Scaling)，主要使用的方法是 *unit variance (UV) scaling* 方法，主要目的是讓資料量值分佈中(Mean-centering)，使得量值分佈較大的數值與量值分佈較小數值擁有相同的影響程度，如圖 3-5 所示。

3.2.1.2 主成分計算

利用如同主成分分析法之技術計算第一個主成分，如下圖 3-7 所示。接著利用回歸計算一，找出各量值對於第一個主成分的投影量 t_1 ，利用 t_1 與 y 進行回歸得到數學式子： $c_1 t_1 = y^{(1)}$ ，求取回歸模型結果 c_1 ，如圖 3-8 所示。再利用回歸計算二，取得先前利用單一主成份所之預測模型，計算其殘差($y - y^{(1)} = f_1$)作為新的預測標的，如圖 3-9 所示。此時對 X 建構第二個主成分找出各量值對於第二個主成分的投影量 t_2 ，利用 t_2 與 f_1 進行回歸得到數學式子： $c_2 t_2 = f_1$ ，求取回歸模型結果 c_2 ，如所示。經過上述分析後可以得到回歸式： $c_1 t_1 + c_2 t_2 = y^{(2)}$ ，利用該模型預測所得之 y 與 $y^{(2)}$ 作圖，若是落於 45 度角線表示預測準確，得到如所示之最終模型。若是自變數之主成份超過兩個以上亦可以依據此方式進行分析，找出最為合適之。

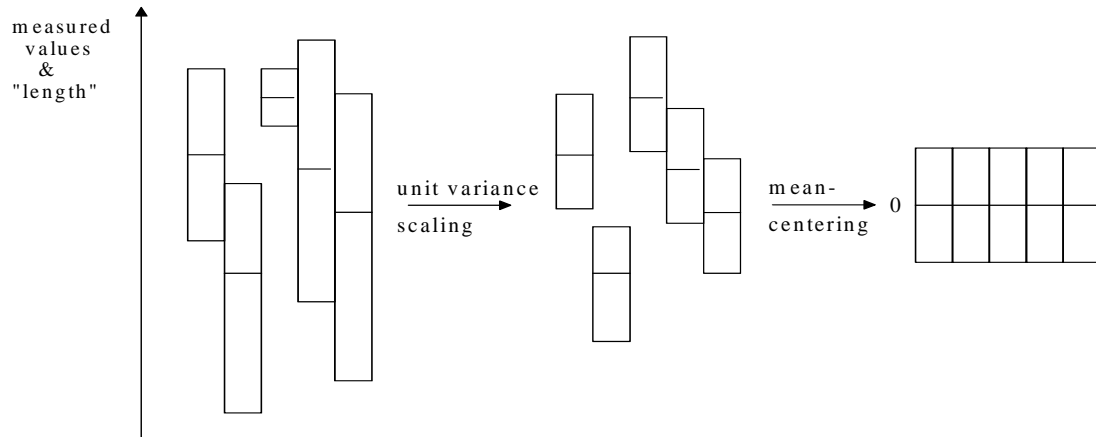


圖 3-6 PLS-資料前處理[43]

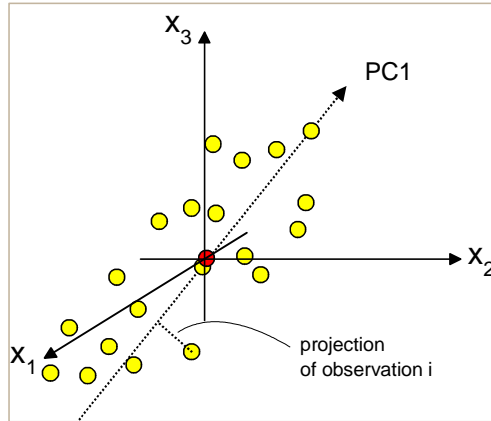


圖 3-7 PLS-主成分一計算[43]

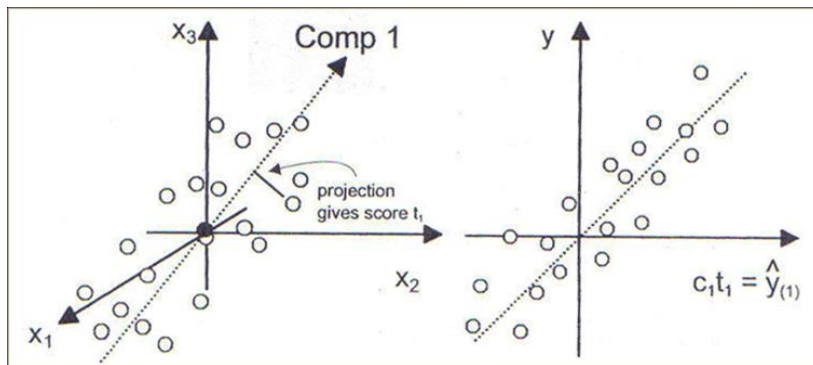


圖 3-8 PLS-回歸演算一[43]

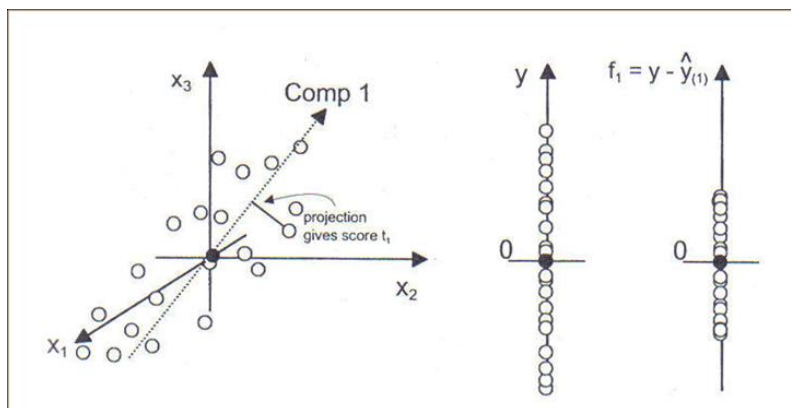


圖 3-9 PLS-第一次建模殘差計算[43]

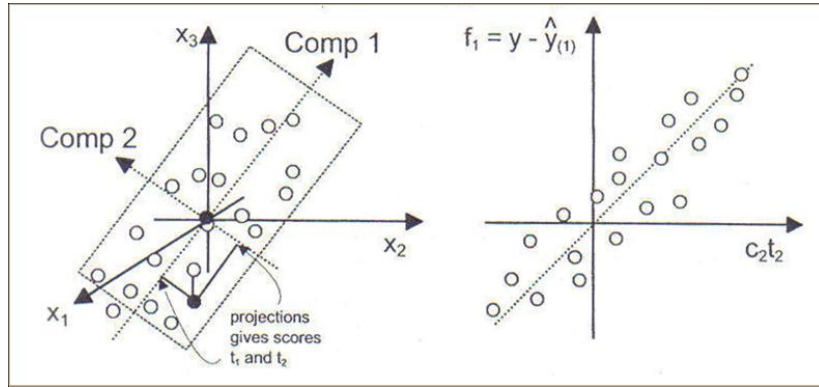


圖 3-10 PLS-回歸演算二[43]

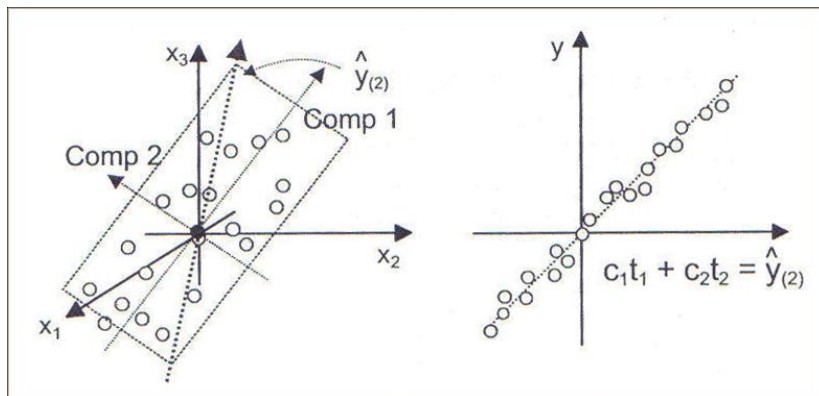


圖 3-11 PLS-建模結果驗證[43]

3.3 系統模型建構

節能系統的運作核心為冰機系統及冷卻水塔系統的耗能之效能計算模型。模型利用運轉資料進行建構。本技術採用 PLS 方法進行建模，模型之預估標的 (Y) 通常會是需要經過計算的數值，例如系統效能、系統耗能，所以第一步驟需要定義模型預估標的，並進行預估標的計算。第二步驟利用物理模式及 PCA、PLS 方法分析建模所需的參數，其中可能有部分參數是無法直接取得，需要進行簡易計算的。在瞭解所需要的所有參數後，則從資料庫擷取所有資料進行 PLS 建模，建模後並需要進行測試驗證，是否模型誤差率能夠達到 5% 以下。若模型參數考慮不週或資料庫所擷取得到之資料包含有過多暫態資料將致使模型誤差過大，當發現模型誤差過大時，則需要進行必要之修正，修正方式為重新審視相關之物理模式，並輔以 PCA、PLS 方法找出所有可能相關的參數，最後察看建模資料的變異性，剔除變異過大或分佈於非正常穩態運轉區間的資料，並重新建模。模型建構流程如圖 3-11 所示。

3.3.1 冰水主機效能模型建立

在瞭解上述建模實施流程後，首先建立冰水主機效能模型，故進行第一步驟求取預估標的，冰水主機效能參數定義與計算。由熱力學得知，各台冰水主機效能 (CCOP) 定義為各台冰水主機冷凍負載除以各台冰水主機耗電量。

利用能量守衡的觀念得知，冰水主機內部的冷卻劑在工作一個循環之後其淨能量為零，所以得到下面式 (6)：

$$P_{in} - Q_c + Q_e = 0 \quad (6)$$

其中 P_{in} 為設備的輸入能量， Q_c 是冷卻水所帶走的能量 (作用於冷凝器)， Q_e 是從需冰水所吸收的能量 (作用於蒸發器)。

冰水主機的 COP 定義為式 (7)：

$$COP = \frac{Q_e}{P_{in}} \quad (7)$$

冰水主機的目的是利用冰水來帶走負載端的熱，達到冷卻負載的目的，故移除負載端的熱量與所需消耗的壓縮機電能之比值即為冰水主機之效能指標。利用所測得到之系統資料可求取每一個時間點 COP 值，之後利

用統計方法分析 COP 與系統中可控變數、環境變數之關係，以求取 COP 預估模型。

在此各台冰水主機冷凍負載與耗電量之單位皆相同 (kJ/hr)，故 CCOP 為一個無單位參數。冰水主機冷卻負載之計算是以冰水主機出回水溫差與冰水設計流量計算。因為系統原始各冰水主機冰水之流量設計為冰水泵浦所能供給之水流量，但因為管路配置或是泵浦機械性能之變異，故所求得冷卻負載可能會較實際值高一些，所以求得之冷卻負載與實際之冷卻負載只是相差一固定的比例，且因本技術所提出之建模方式為利用歷史運轉數據進行分析建模求得之經驗模型，並依據相同的運算法則進行模型驗證與確效，故並不需要加設流量計得知實際各台冰水主機冰水流量。因此各台冰水主機冷卻負載(CL_i)的計算方式為式 (8)：

$$(Tchr_i - Tchs_i) \times Fchw \times Cp \times 1,000 \quad (8)$$

其中 $Tchr_i$ 為各台冰機冰水回水水溫， i 代表各台冰機代號其範圍介於 1 ~ n 。該數值來自於資料庫。 $Tchs_i$ 為各台冰機冰水出水水溫。該數值來自於資料庫。 $Fchw$ 為各台冰機之冰水泵浦所能供給之水流量，該數值來自於設備規格。 Cp 為水的定壓比熱，一般而言水在 25°C 的定壓比熱為 4.18(kJ/kg-k)。最後需乘上 1000 指的是水的密度單位換算值。所以各台冰水主機耗電量的計算方式為式 (9)：

$$V \times I \times 3^{0.5} \times P.F. \times 3,600 / 1,000 \quad (9)$$

其中 V 指的是各台冰水主機電壓，該數值來自於設備規格。 I 指的是各台冰水主機目前運轉電流，運轉電流資訊在資料庫中以電流百分比方式存在，與需要經過換算即可。 $P.F.$ 指的是功率因數，功率因數是實際耗能與理論耗能之間的關係參數，在此固定為 0.9。

完成了冰水主機效能模型的預估標的 CCOP 計算之後，接下來需要透過物理分析或是 PCA、PLS 等分析手法瞭解 CCOP 與相關可控制變數、環境變數之間的關係，決定建模參數。從文獻討論中([2]、[4]、[10]、[25]、[17]-[33])，得知預估 CCOP 所需要考慮的因素有很多，但因為考慮到系統的可控性，故利用冰機部分負載以及冷卻水進口水溫進行建模，其中冰水主機之部分負載可以由調配冰水主機的開台數進行調配，冷卻水的進口水溫可以由冷卻水塔的出口水溫設定得到，且為提高準確度通常將此兩個參數組合成二次模式進行建模分析。

瞭解了模型的自變參數後，便從資料庫擷取相對應的下列數值，冰水出回水水溫、冰水流量、冰機運轉電流百分比、冷卻水進口水溫，進行 PLS 建模分析。CCOP 建模流程如圖 3-13 所示。

在此針對各台冰水主機建立一個獨立的效能模型，未來能夠透過各台冰水主機的部分負載率以及冷卻水進口水溫瞭解每一台冰水主機的運轉效能狀況，依據總冷卻負載需求調整冰水主機的開啟台數以及冷卻水進口水溫以期得到最大之運轉效益。圖 3-14 為各台冰水主機 CCOP 建模示意圖。

由於冰水主機皆採用同一廠牌、各項規格皆相同且冰水水流設計為平均分配，故在理想上冰水主機的冷卻負載理應平均分配。但因冰水主機機型差異、溫度感測器的誤差且冰水水流量並非每一台都是固定的，所以致使各台冰機在實際運轉中所計算得到的部分負載率都是不同的，所以需要依據冰水主機系統的總冷卻負載、各台冰水主機理想應有的負載分配（冰水主機總負載冰水主機開台數）以及濕球溫度、焓值等環境因素的考量來預測出各台冰水主機部分負載率，將此預測出之結果輸入 CCOP 預測模型進行冰水主機效能輔助模型建立。

在夏季時，由於冰水主機的冷卻水出水溫度偏高，故規劃編號 4~8 台冰機的冷卻水出水在超過一定的溫度後會部分流至溫熱水系統進行熱交換，以進行熱回收作業，如此一來部份有經過溫熱水系統的冷卻水回流會與流經冷卻水塔的出水進行混和，然後流入冰水主機中，由於混和過程中會有部分熱損失，所以需要針對編號 4~8 台冰機中有開啟溫熱水系統水流閥之冷卻水入水水溫進行預估。因為溫熱水系統會依據溫水系統的負載以及冰機冷卻水出水水溫自動的調整溫水閥的閥開度，使溫水系統出水水溫維持在一個定值，且一次在五個溫水閥中只會有一個溫水閥打開進行熱交換作業，故依據上述運轉特性可以歸納出所需建模參數包括有：冰水主機的部分負載（相對於冰機冷卻水出水水溫）、冷卻水溫度設定值（關於混和水溫）、溫水系統負載（關於流入溫熱水系統的水流量）、溫水系統出水水溫（關於混和水溫）、濕球溫度與焓值（關於環境變異）。

冰水主機效能輔助模型建立主要是配合系統配置與系統運轉特性所產生的輔助模型，目的是使 CCOP 模型預估結果更趨近於實際狀況，圖 3-15 為冰水主機效能模型及其輔助模型運作示意以及相關所需擷取的參數示意圖。

由於冰水主機的CCOP預估模式包含有兩個模型的輔助方能正確的預估成效，如圖 3-16 所示。所以模型驗證的順序是：冰水主機部分負載模型→冷卻水入水水溫模型→冰水主機CCOP模型。由於本技術所使用之建模手法皆為PLS建模方法，由於PLS建模之所得包括有：自變數正規化參數(平均數 mx_i ，標準差 $stdx_i$)、應變數正規化參數(平均數 my_i ，標準差 $stdy_i$)以及模型參數(pls_i)，驗證方式需將自變數進行正規化後與模型參數進行內積，然後進行反正規化求得預估標的。如式 (10) 所示。

$$y = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{(x_i - mx_i)}{stdx_i} \right) \times pls_i \right] \times stdy + my \quad (10)$$

表 4-3 為冰機部分負載 PLS 模型，模型包括各自變參數：冰水主機總負載、濕球溫度、焓值以及理想負載分配（冰水主機總負載冰水主機開台數）之正規化參數；應變參數：冰水主機部分負載之正規化參數以及模型參數進行冰水主機部分負載模型驗證； $pls1 \sim pls4$ 。

由於不同的開機組合下，冰機會有不同的交互影響，故在絕大部分時候可使用不同的開機組合下的冰機負載預測模型進行預估，作為冰水主機負載模型誤差判定與模型修正，以求得較高之準確率。

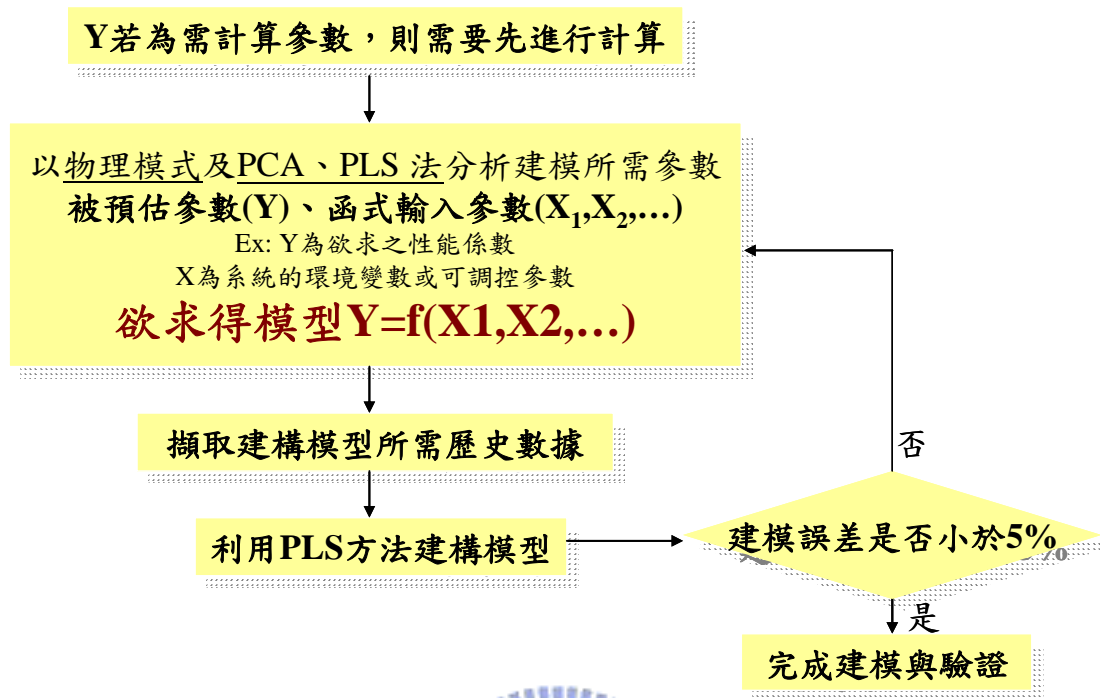


圖 3-12 模型建構流程

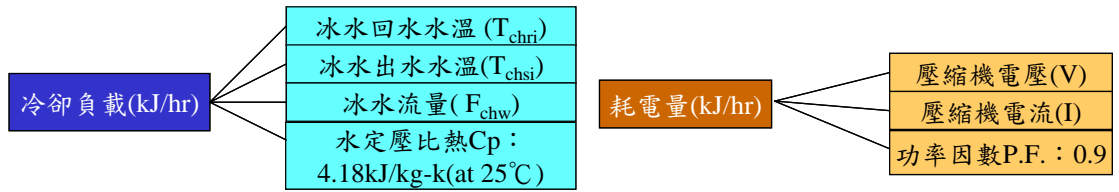


圖 3-13 所有 CCOP 計算所需參數圖式

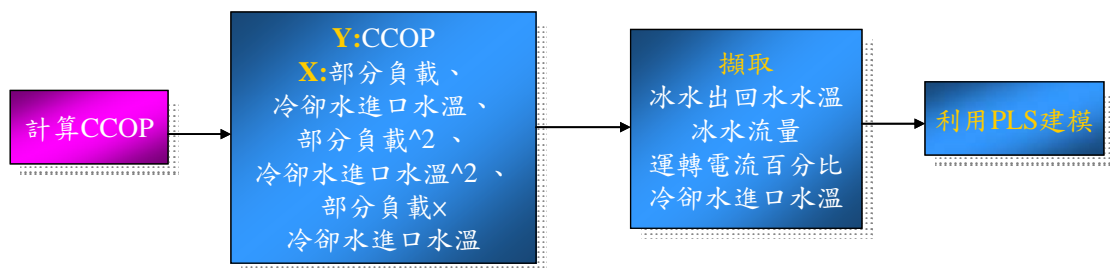


圖 3-14 CCOP 模型建構流程

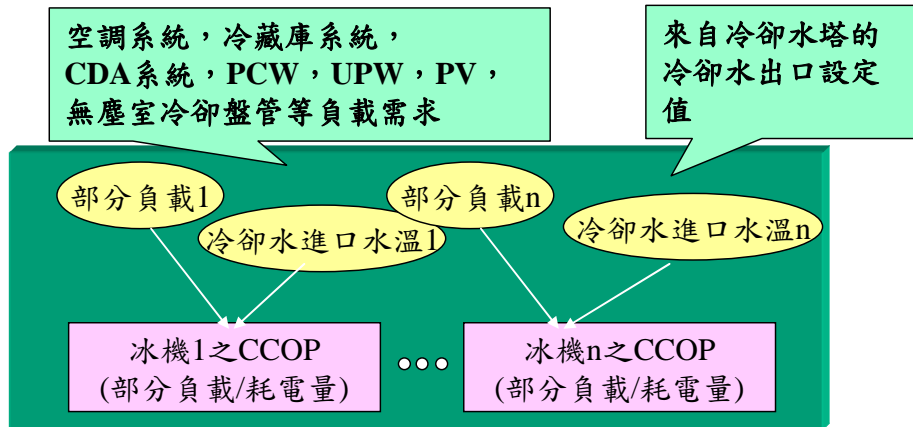


圖 3-15 各台冰水主機 CCOP 建模示意圖

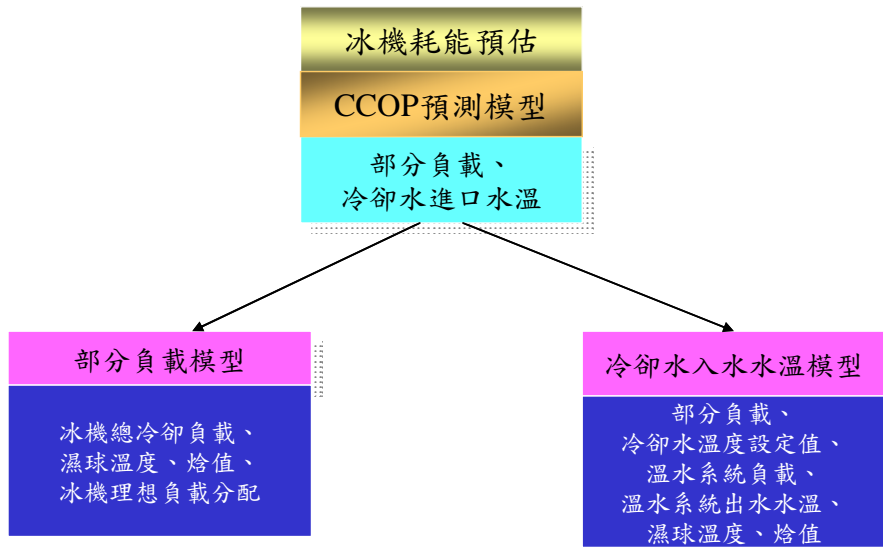


圖 3-16 冰水主機模型及其效能輔助模型示意圖

表 3-1 冰機部分負載 PLS 模型

| 冰機總負載 | 濕球溫度 | 焓值 | 理想負載分配 | 部分負載 |
|------------|-------------|----------|-------------|-----------|
| TL | T_{WB} | H | TL/N | PL_1 |
| mx_1 | mx_2 | mx_3 | mx_4 | my |
| 118695382 | 22.2483924 | 66.26343 | 12527468.17 | 75.309171 |
| $stdx_1$ | $stdx_2$ | $stdx_3$ | $stdx_4$ | $stdy$ |
| 8333432.4 | 1.95604616 | 7.303965 | 650801.057 | 4.8794465 |
| pls_1 | pls_2 | pls_3 | pls_4 | |
| 0.01011188 | -0.49088018 | 0.450027 | 0.864587528 | |



3.3.2 冷卻水塔耗能模型建立

冷卻水塔耗能模型之預估標的即為冷卻水塔耗能，由於其耗電量估算所需之風扇運轉電流並沒有儲存於資料庫中，所儲存的相關資料只有風扇運轉頻率，所以利用一整年的風扇運轉手抄資料建構了風扇運轉頻率與風扇運轉電流關係模型，利用該模型可以將所量測得到風扇運轉頻率換算為風扇運轉電流。一般而言馬達運轉電流直接與馬達運轉頻率之二次方相關，為提高建模準確率採用馬達運轉頻率、馬達運轉頻率²、馬達運轉頻率³做為模型之自變數。各台冷卻水塔耗電量計算式如式（11）所示。

$$V \times I \times 3^{0.5} \times P.F. \times 3,600 / 1,000 \quad (11)$$

其中 V 指的是各台冷卻水塔風扇電壓，該數值來自於設備規格。I 指的是各台冷卻水塔風扇目前運轉電流，運轉電流資訊需要經過前述運轉電流模型換算。P.F.指的是功率因數，功率因數是實際耗能與理論耗能之間的關係參數，在此固定為 0.85。所有所需之計算參數如所示。

完成了冷卻水塔耗能模型的預估標的計算之後，接下來需要透過物理分析或是 PCA、PLS 等分析手法，決定建模參數，瞭解冷卻水塔耗能與相關可控制變數、環境變數之間的關係。本研究系統之冷卻水塔的耗能受到環境變數：冷卻水塔冷卻負載率、濕球溫度、焓值及可控變數：冰水主機及冷卻水塔開啟台數、冷卻水出水溫度值的影響。瞭解了模型的自變參數後，便從資料庫擷取相對應的數值：冰水主機及冷卻水塔開啟台數、冷卻水出回水水溫、冷卻水水流量、溫水閥閥開度、冷卻水塔補水量、濕球溫度、焓值，進行 PLS 建模分析。

冷卻水塔耗能模型建模流程如圖 3-17 所示。利用此一資料擷取流程針對冷卻水塔群建立一個獨立的效能模型，未來能夠透過外在環境因素：冷卻水塔的負載率、濕球溫度及焓值變化以及可調變之參數：冷卻水出口水溫設定、冷卻水塔及冰機開台數瞭解冷卻水塔群的運轉耗能狀況，故依據環境需求調整可控制參數可以得到冷卻水塔最大之運轉效益。為冷卻水塔耗能建模示意圖。由於冷卻水塔耗能預估模式包含有一個模型的輔助方能正確有正確的預估成效，如圖 3-18 所示。所以模型驗證的順序是：冷卻水塔負載率模型→冷卻水塔耗能模型。以下簡述冷卻水塔耗能輔助模型之建立。

由於預估冷卻水塔耗能需考量冷卻水塔本身之負載率，且冷卻水塔負載會依據冰水主機組配置、冰水主機冷卻負載，溫熱水系統負載等相關參數而有所變異，故在未來進行冷卻水塔耗能預測時需要透過建模計算方式來預估冷卻水塔之負載率，使冷卻水塔耗能模型預估結果更趨近於實際狀況，圖 3-19 為冷卻水塔耗能模型及其輔助模型運作示意以及相關所需擷取的參數示意圖。

完成冷卻水塔耗能輔助模型建立後，需進行模型驗證，冷卻水塔負載率模型驗證包括各自變參數：冰水主機總耗能、溫熱水系統負載、冰機冷卻負載、濕球溫度、焓值、冷卻水出水水溫以及冰機二次側冷卻負載之正規化參數；應變參數：冷卻水塔負載率之正規化參數以及模型參數：pls1～pls7。冷卻水塔耗能模型驗證包括各自變參數：冰水主機開台數、冷卻水塔開台數、冷卻水塔負載率、濕球溫度、焓值、冷卻水出水水溫之正規化參數；應變參數：冷卻水塔耗能之正規化參數以及模型參數：pls1～pls6。

由於上述冷卻水塔部分負載模型預估誤差率有些許偏高的趨勢，所以需要進行模型的修正，目前所擷取的數據資料大都是屬於夏季的資料，且資料數還不夠豐富，若是資料分佈範圍更廣且更多，則所建構的數值模型將更為準確。



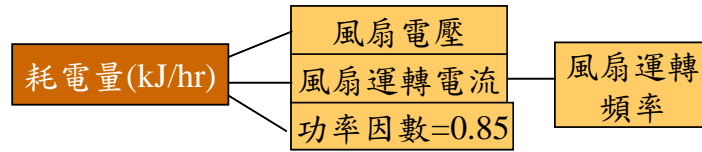


圖 3-17 所有冷卻水塔風扇耗電計算所需參數圖式

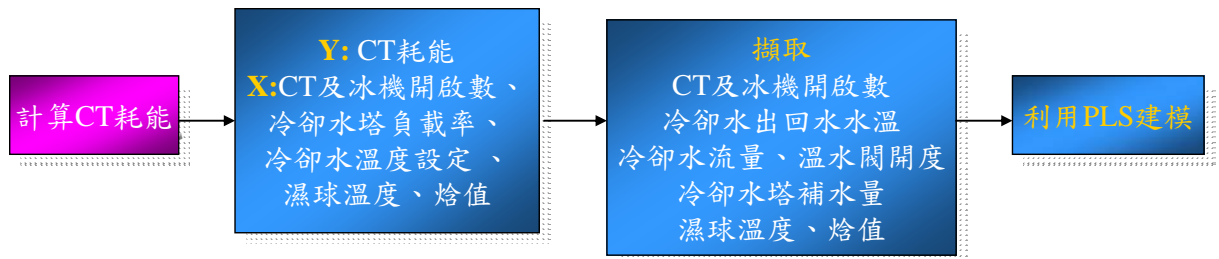


圖 3-18 冷卻水塔耗能模型建構流程

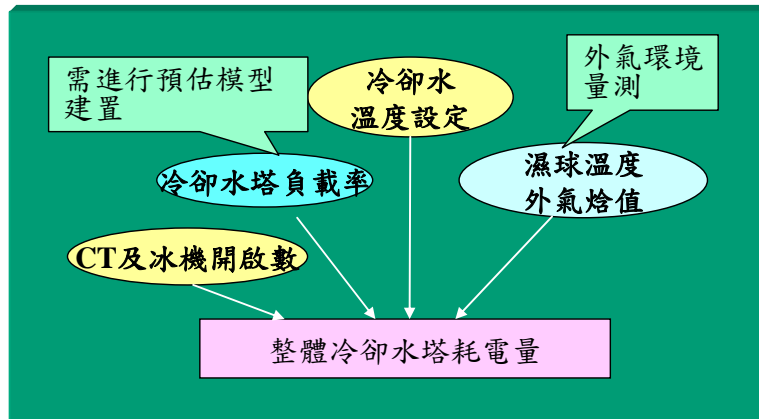


圖 3-19 冷卻水塔耗能建模示意圖

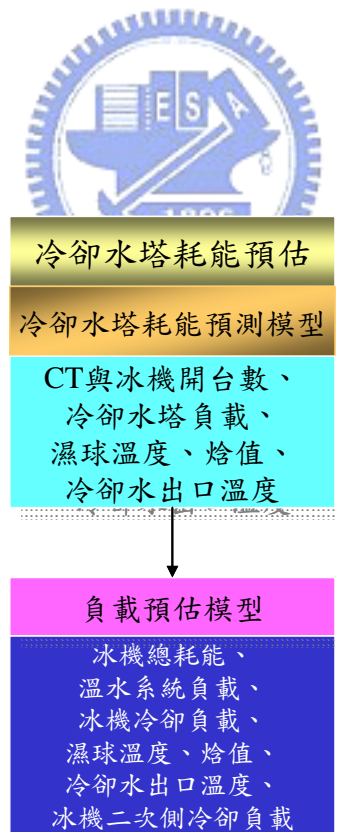


圖 3-20 冷卻水塔耗能模型及其輔助模型運作示意圖

3.4 最適化節能軟體系統簡介

為了有效預估在各種不同操作條件下之全系統耗能需建立全系統耗能預估模型，從前一章節可以瞭解到全系統各項性能以及耗能模型的建立方式，並配合設備架構特性及預測模式所需建立相關輔助模型。圖 3-20 揭示了本節能系統運作所需之六大種類模型以及各模型之自變參數。此六大模型為節能軟體之運作核心所在，於節能軟體系統運作時需要即時擷取各模型所需之輸入自變參數進行系統耗能的計算。

此外，節能系統除了進行系統耗能預估計算外也需要能即時地顯示冰水主機系統、冷卻水塔系統以及全系統運作的耗能狀況、效能狀態。故綜合整理所需要擷取之資料點共 76 個，可分為 13 個種類：冰水出回水水溫、冰機運轉電流百分比、冷卻水塔風扇運轉頻率、冷卻水塔冷卻水總出入水水溫、出入溫水系統水溫、溫水閥閥開度、冷卻水全系統 BYPASS 閥開度、補水水量、二次側冰水流量、二次側冰水出入水水溫、外氣焓值、外氣濕球溫度、二次泵浦頻率。

系統運作所需之相關設定參數部分開放給使用者進行動態的設定，在程式暫停進行節能運算其間使用者可以重新定義部分參數。所有的描述如下表 3-2 所示。在程式起始運作期間會將參數定義從資料儲存處 (EXCEL 中) 讀取出來，並顯示可更新之使用者參數於使用者介面之上，一旦使用者有更新某一參數則會寫入資料儲存處，使下次程式重啟依然保有最近一次的使用者設定。

3.4.1 軟體運作流程介紹

本技術所建構之冰水主機系統節能軟體運作可以分以下兩個部分，第一部分為主機系統運轉耗能、系統運轉效能等之即時運轉狀態計算，如圖 3-21 所示。軟體系統在使用者設定的固定擷取時間下，定時的依據定義於訊號擷取點清單 (程式設計該清單表存在於一 EXCEL 表單中) 擷取相對應的資料點數值 (前述之 76 個資料點)，並依據使用者設定參數之相關設定值進行設備運轉耗能、系統運轉效能等之計算與顯示，並且判定環境變異或冷卻負載變異是否過大 (變異範圍界線定義於使用者參數設定中)，如果變異過大則執行節能演算，求得最適化操作策略，並有效告知設備操作員進行設備配置更新動作。第二部分為主機系統最佳配置集合之求取，

如所示。軟體系統在使用者設定的節能操作頻率下會自動執行節能配置演算，通常為數分鐘執行一次。節能系統首先會針對目前冷卻負載與前次計算之冷卻負載作比較，若發現冷卻負載增加則考慮增加一台冰水主機、冷卻水塔或是不增加冰水主機、冷卻水塔數，反之同理，若發現冷卻負載減少則考慮減少一台冰水主機、冷卻水塔或是不減少冰水主機、冷卻水塔數，但若冷卻負載不變則不改變冰水主機、冷卻水塔運轉數，並依據使用者的冷卻水入水水溫設定產生可用之冷卻水入水水溫設定值以及冰水主機、冷卻水塔系統之部分負載率允許範圍產生設備配置集合。

軟體程式會一一取出設備配置集合進行冰水主機系統耗能演算，演算順序為(1)各台冰機負載率預估(2)各台冷卻水入水水溫預估(3)各台冰水主機效能 CCOP 預估(4)求取冰水主機總耗能(5)冷卻水塔部分負載率預估(6)冷卻水塔耗能預估。由於冷卻水出口水溫設定是採用使用者所輸入設定產生，有可能該設定值無法在有限的冷卻水塔運轉台數下產生，故需檢視各冷卻水塔風扇的運轉電流是不是大於額定最大允許之運轉電流，若大於最大允許之運轉電流則該運轉組合不予以考慮，若是小於最大允許之運轉電流則進行該運轉組合之總耗能計算，並且將此一組合進行耗能排序，最後待所有設備配置集合都計算完成後，取出各類型配置下的最低運轉耗能設備配置組合，將設備配置資料、耗能、耗能率等資訊顯示於使用者介面上，並於耗能趨勢曲線圖上產生耗能標點、系統效能趨勢圖上產生效能標點，使得設備操作員可以進行系統運轉監視，相關數據資料也一併會儲存於程式外部之表單中，方便日後進行分析討論。

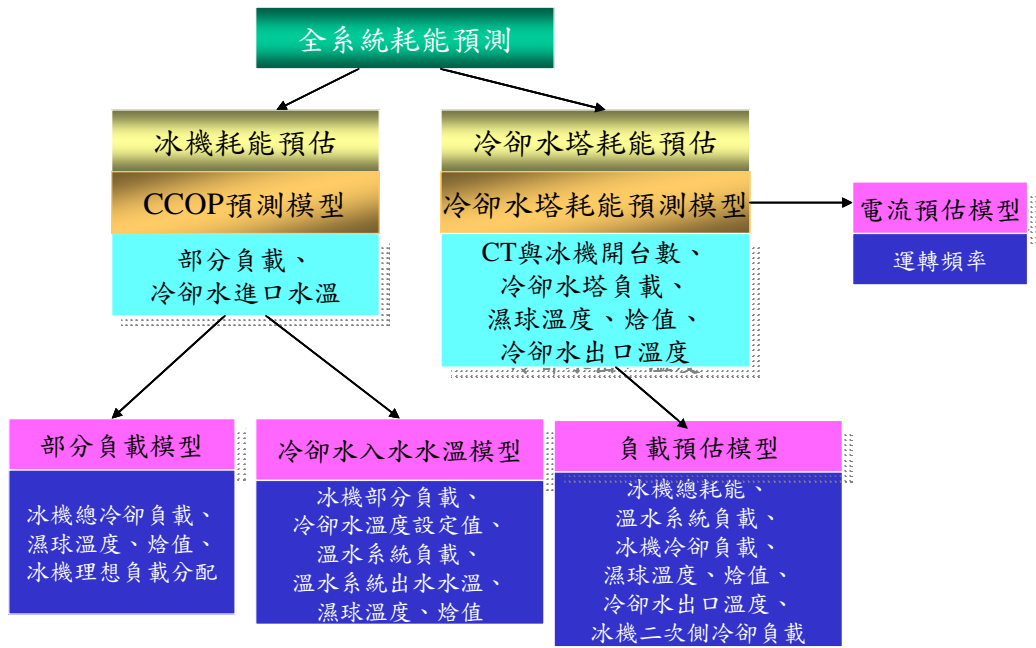


圖 3-21 整體模型架構及輸入變數關係圖

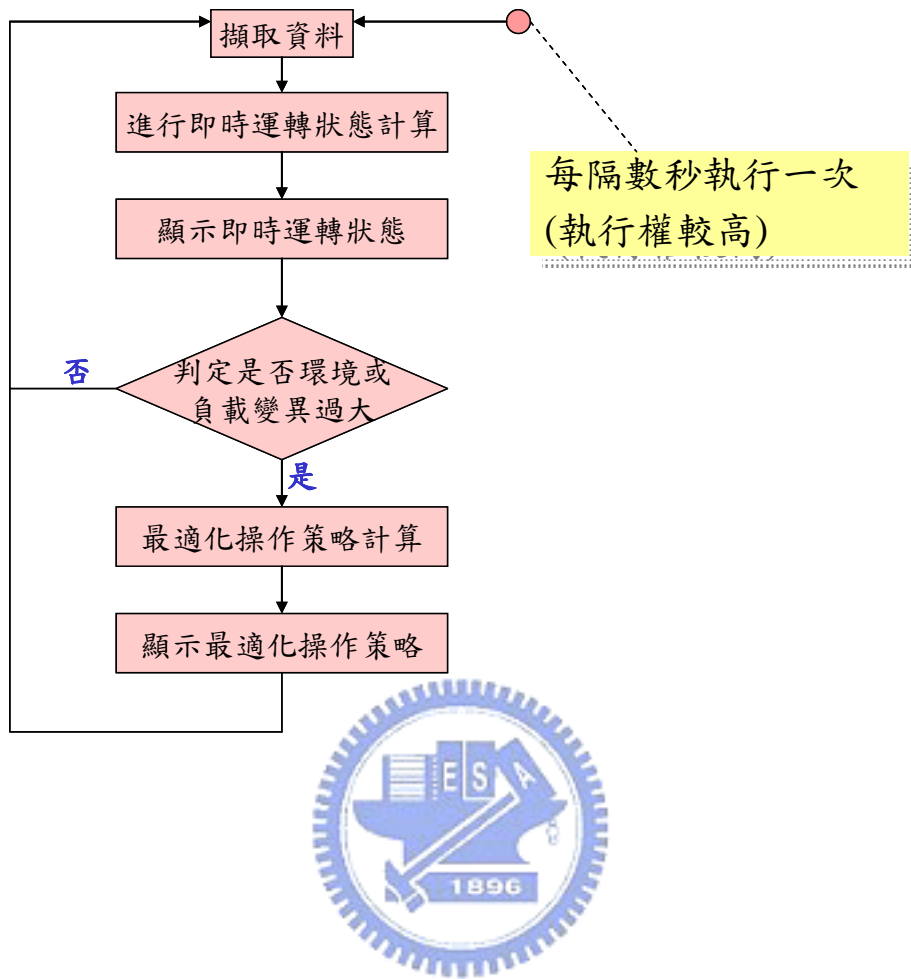


圖 3-22 節能軟體系統程式運作圖一

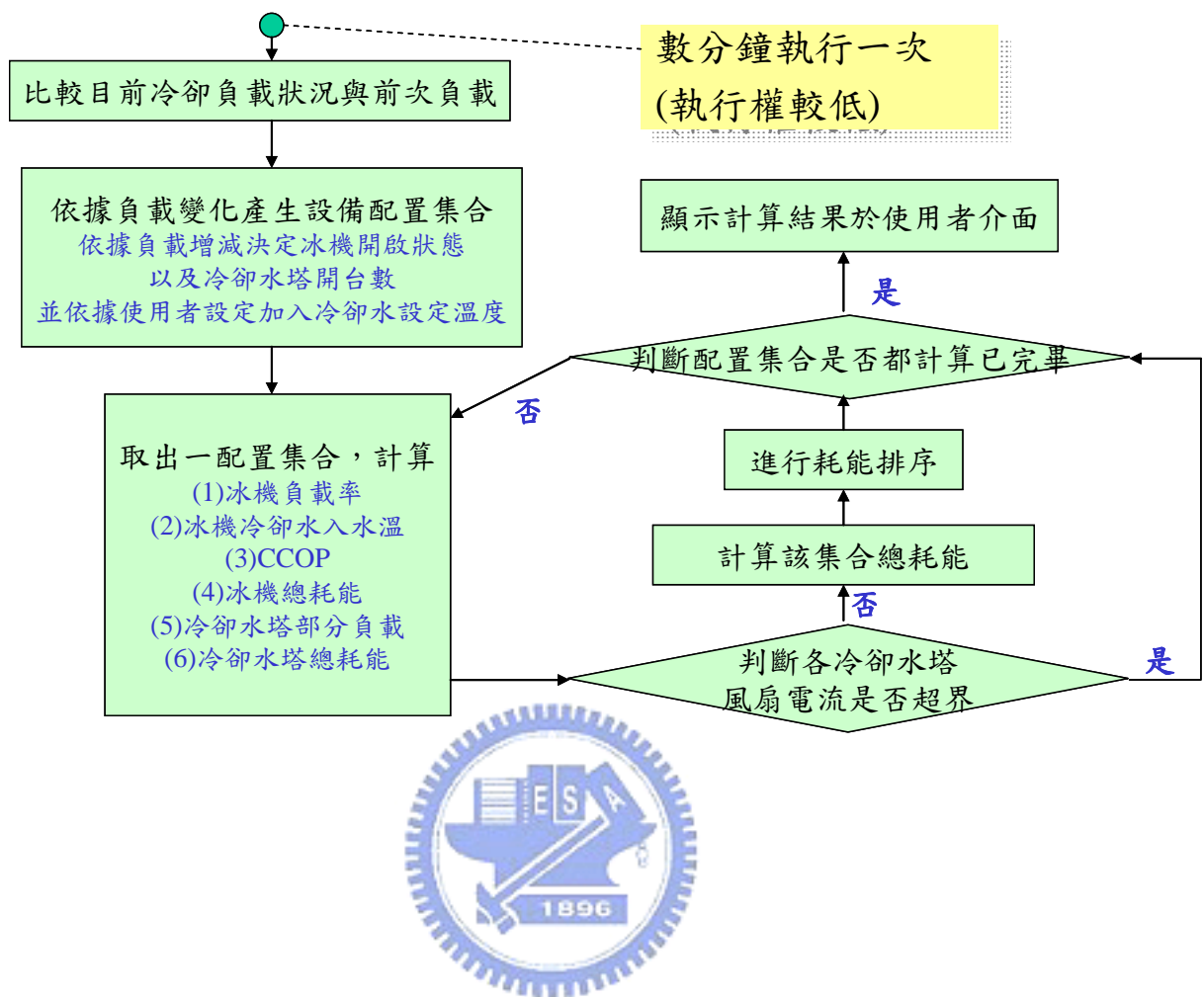


圖 3-23 節能軟體系統程式運作圖二

表 3-2 參數定義表

| 參數名稱 | 參數代碼 | 數值 | 單位 | 附註 |
|-----------------------|--------------------------|-------|---------|--------------------|
| 系統重新計算操作配置頻率 | ReCal_Freq | 1 | min | 使用者自訂 |
| 水的定壓比熱 | Water_Cp | 4.18 | kJ/kg-K | 來自熱力學於 25°C 所定義之數值 |
| 冰水主機壓縮機運轉電壓 | CH_V | 4160 | 伏特 | 來自設備規格 |
| 冰水主機壓縮機最大運轉電流 | CH_C | 121 | 安培 | 來自設備規格 |
| 冰水主機壓縮機功率因數 | CH_Power_Facter | 0.9 | | 來自廠務經驗 |
| 判定冰機是否開關機最小運轉電流百分比 | LowBound_CH_Current_Perc | 0 | % | 來自廠務經驗 |
| 冰水主機最大進出冰水溫差 | Full_Tch_Diff | 9 | °C | 來自設備規格 |
| 判定冷卻水塔風扇馬達是否開關機最小運轉頻率 | LowBound_CT_Fan_Freq | 10 | Hz | 來自廠務經驗 |
| 冷卻水塔設計最大進出水溫差 | Full_Tcw_Diff | 5 | °C | 來自設備規格 |
| 冷卻水塔風扇馬達運轉電壓 | CT_Fan_V | 480 | 伏特 | 來自設備規格 |
| 冷卻水塔風扇馬達運轉功率因數 | CT_Fan_Power_Facter | 0.85 | | 來自廠務經驗 |
| 冷卻水水溫設定間隔值 | Tcw_Interval | 0.1 | °C | 使用者自訂 |
| 可設定之最小 approach | Min_Approach | 1 | °C | 使用者自訂 |
| 可設定之最大 approach | Max_Approach | 20 | °C | 使用者自訂 |
| 一台冰水主機一次側冰水 PUMP 流量 | CH_Pump_Flow | 430.6 | CMH | 來自設備規格 |
| 冰水泵浦電壓 | CH_Pump_V | 480 | 伏特 | 來自設備規格 |
| 冰水泵浦電流 | CH_Pump_C | 31 | 安培 | 來自設備規格 |
| 冰水 PUMP 功率因數 | CH_Pump_Power_Facter | 0.9 | | 來自廠務經驗 |
| 一台冰水主機冷卻水 PUMP 流量 | CW_Pump_Flow | 914 | CMH | 來自設備規格 |
| 冷卻水泵浦電壓 | CW_Pump_V | 480 | 伏特 | 來自設備規格 |
| 冷卻水泵浦電流 | CW_Pump_C | 121 | 安培 | 來自設備規格 |
| 冷卻水 PUMP 功率因數 | CW_Pump_Power_Facter | 0.9 | | 來自廠務經驗 |

| | | | | |
|-----------------------|---------------------------|------|-----|---------------------------|
| 判定是否為正確的補水水量讀值的最小界線 | LowBound_Water_Supply | 20 | CMH | 來自廠務經驗,目前假設低於 20 的補水是有問題的 |
| 判定溫水系統供應閥是否開關之最小開啟百分比 | LowBound_MV | 9 | % | 目前假設閥開度讀值低於9表示其實閥沒有打開 |
| IH_DATA 抓取間隔 | IH_DATA | 60 | sec | 使用者自訂 |
| 冰機負載率上限 | CH_PLR_UpBound | 90 | % | 使用者自訂 |
| 冰機負載率下限 | CH_PLR_LowBound | 50 | % | 使用者自訂 |
| 冷卻水塔負載率上限 | CT_PLR_UpBound | 90 | % | 使用者自訂 |
| 冷卻水塔負載率下限 | CT_PLR_LowBound | 20 | % | 使用者自訂 |
| 負載變異上限 | Load_Variance_UpBound | 20 | % | 使用者自訂 |
| 濕球溫度變異上限 | Twb_Variance_UpBound | 20 | % | 使用者自訂 |
| 焓值變異上限 | Enthalpy_Variance_UpBound | 20 | % | 使用者自訂 |
| 冷卻水塔風扇馬達最大運轉電流 | CT_Fan_C_UpBound | 85 | A | 來自廠務經驗 |
| 冷卻水直接回流閥 MV6 開啟溫度 | MV6_Open_Temp | 14 | °C | |
| IH_Server_Name | IH_Server_Name | XXXX | | 來自伺服器自有設定 |
| IH_Server_User_Name | IH_Server_User_Name | XXXX | | 來自伺服器自有設定 |
| IH_Server_Password | IH_Server_Password | XXXX | | 來自伺服器自有設定 |
| 二次泵浦電壓 | SCCP_V | 480 | 伏特 | 來自設備規格 |
| 二次泵功率因數 | SCCP_Power_Factor | 0.9 | | 來自廠務經驗 |
| 冷卻水最低出水溫設定 | Twb_LowBound | 18 | °C | 來自廠務經驗 |

3.4.2 軟體介面及功能介紹

藉由『目前運轉狀況』頁面，如圖 3-23 所示，可以快速而清楚的瞭解目前系統運轉狀態，包括目前冰水主機、冷卻水塔以及全系統（包括二次泵浦）之耗能狀況、冰水主機及冷卻水塔之冷卻負載狀況、各冰水主機、冷卻水塔以及全系統（包括二次泵浦）性能係數。使用者可以自由設定系統畫面更新時間，基本上以超過 IH 資料庫更新時間-四十秒為原則。在中央處理器配備為 PIII mobile CPU：1200Hz 之系統計算時間小於 1 秒。

在『使用者自訂參數』頁面中，如圖 3-24 所示，顯示目前系統時間以及下一次需要進行最適化耗能配置演算的時間，並提供快速簡易的設定方塊方便使用者設定各種系統狀態參數。包括有冰機系統設定、冷卻水系統設定、泵浦系統設定、系統運轉頻率設定、重新計算條件設定等。

在『最適化組合』頁面中，如圖 3-25 所示，用於顯示目前所計算所得之最佳運轉操作策略，上半部顯示有各種可能操作組合下擁有最少耗能之系統配置與耗能預估值。設備操作員可以於本頁面下半部取得最佳操作策略的實施方式。在中央處理器配備為 PIII mobile CPU：1200Hz 之系統計算時間約 1 秒。在『原始數值資料』頁面中，如圖 3-26 所示，用於顯示目前從資料庫所擷取得到最新的資料數值。在『耗能趨勢圖』頁面中，如圖 3-27 所示，有兩條曲線，用於即時顯示顯示目前系統耗能（Current Power Cost）以及最佳配置下的耗能（Optimized Power Cost），可以方便系統管理員掌握系統耗能趨勢，並提供系統確效之參考依據。在『系統效能趨勢』頁面中，如圖 3-28 所示，有兩條曲線，用於即時顯示顯示目前系統運轉效能（Current_SCOP）以及最佳配置下的系統運轉效能（Optimized_SCOP），可以方便系統管理員掌握系統運轉效能趨勢，並提供系統確效之。



圖 3-24 『目前運轉狀況』頁面

| 目前運轉狀況 | 使用者自訂參數 | 最適化組合 | 原始數值資料 | 耗能趨勢圖 | 系統效能趨勢 |
|--------|---|-------|---|-------|---|
| | <p>目前時間： 2005/10/01 06:24:16</p> <p>下次重計時間： 2005/10/01 06:24:16</p> <p>強制重新計算條件設定</p> <p>負載變異上限： 20 %</p> <p>濕球溫度變異上限： 20 %</p> <p>焓值變異上限： 20 %</p> <p>系統運作頻率設定</p> <p>系統重新計算操作配置頻率： 1 min</p> <p>抓取IH_DATA 間隔時間： 60 sec</p> <p>冷卻水泵設定</p> <p>冷卻水泵電壓： 略 A</p> <p>冷卻水泵電流： 略 A</p> <p>冷卻水泵功率因數： 略</p> <p>冷卻水泵流量： 914 CMH</p> | | <p>冷卻水塔相關設定</p> <p>最大進出水溫差： 略 °C</p> <p>冷卻水溫設定間隔值： 略 °C</p> <p>最小approach： 略 °C</p> <p>最大approach： 略 °C</p> <p>風扇馬達運轉電壓： 略 V</p> <p>水塔風扇馬達最小運轉頻率： 略 Hz</p> <p>風扇馬達運轉電流上限： 略 A</p> <p>風扇馬達運轉功率因數： 略</p> <p>冷卻水塔負載率上限： 略 %</p> <p>冷卻水塔負載率下限： 略 %</p> <p>溫水系統供應閥最小開啓： 略 %</p> <p>冷卻水回流閥MV6致動溫度： 略 °C</p> <p>最低允許冷卻水出水溫度： 略 °C</p> <p>水的定壓比熱： 4.18 kJ/kg-K</p> | | <p>冰水主機設定</p> <p>冰機最大進出冰水溫差： 略 °C</p> <p>冰機壓縮機運轉電壓： 略 V</p> <p>冰機最小運轉電流百分： 略 %</p> <p>冰機壓縮機最大運轉電流： 略 A</p> <p>冰機壓縮機功率因數： 略</p> <p>冰機負載率上限： 略 %</p> <p>冰機負載率下限： 略 %</p> <p>冰水泵浦設定</p> <p>冰水泵浦電壓： 略 V</p> <p>冰水泵浦電流： 略 A</p> <p>冰水泵浦功率因數： 略</p> <p>冰水泵浦流量： 略 CMH</p> <p>二次泵運轉電壓： 略 V</p> <p>二次泵浦功率因數： 略</p> |



圖 3-25 『使用者自訂參數』頁面

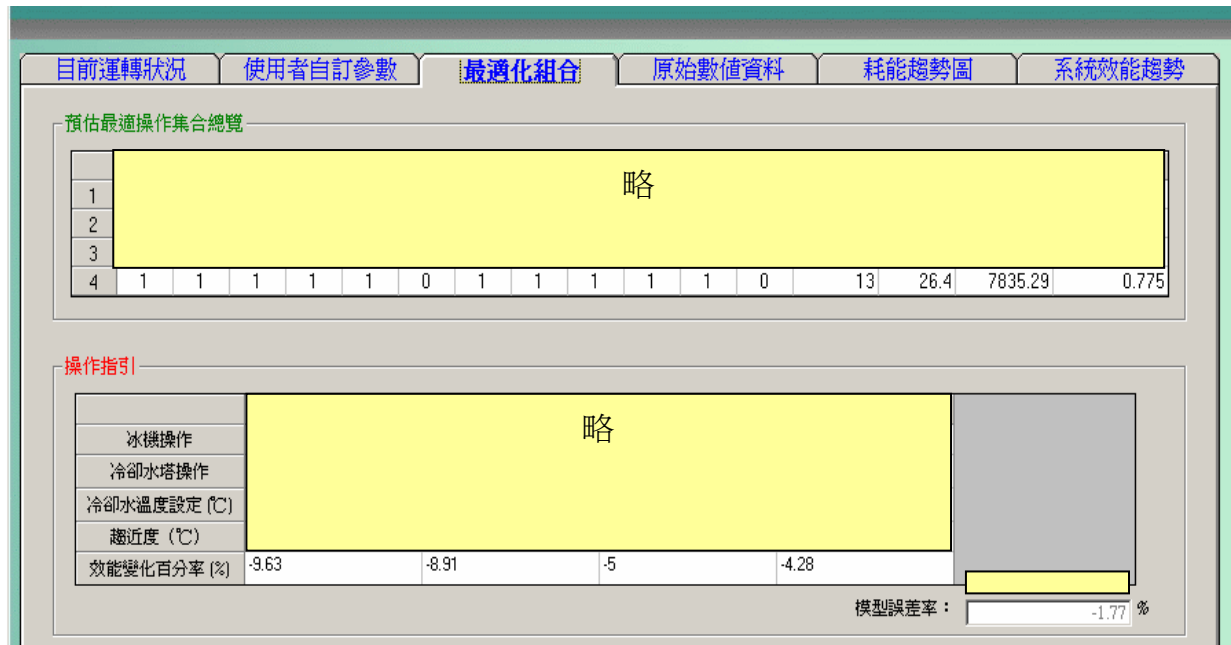


圖 3-26 『最適化組合』頁面



圖 3-27 『原始數值資料』頁面

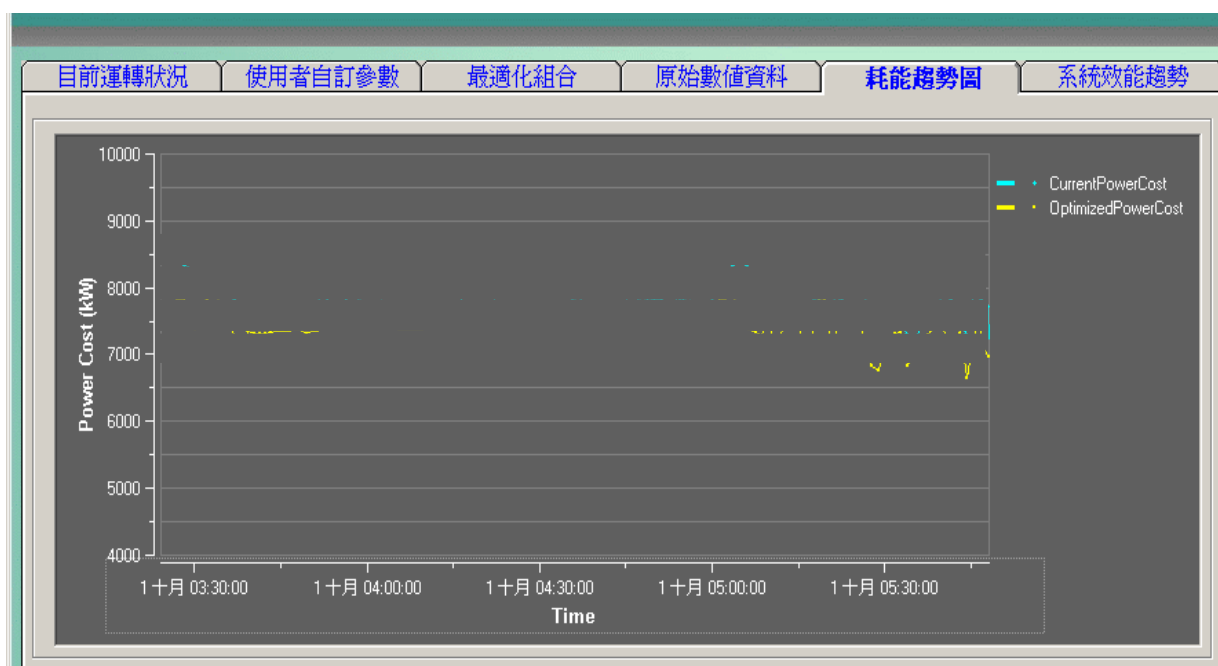


圖 3-28 『耗能趨勢圖』頁面

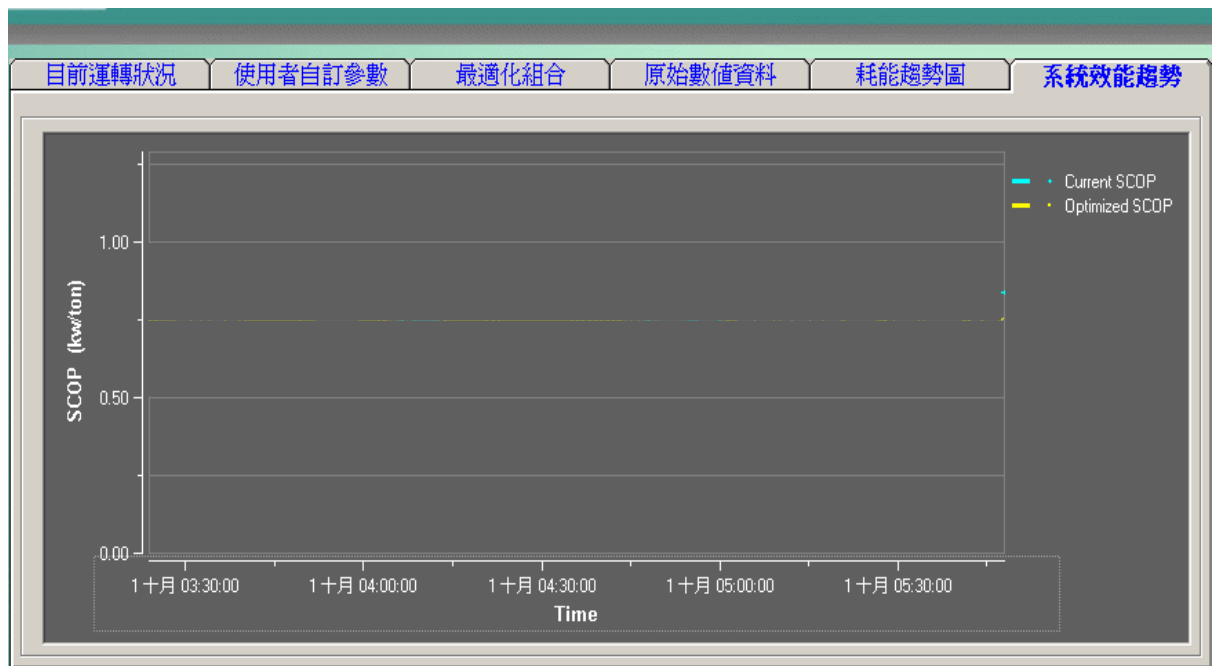


圖 3-29 『耗能趨勢圖』

4.結果與討論

4.1 冰水主機效能模型建立

首先建立冰水主機效能模型，先進行第一步驟求取「預估標的」，即冰水主機效能參數定義與計算。由熱力學得知，各台冰水主機效能(CCOP)定義為各台冰水主機冷凍負載除以各台冰水主機耗電量。以某日所抓取到的冰機即時運轉數據為例，經過上述計算，所得之冷卻負載、耗電量以及CCOP如表 4-1 所示。

利用 PLS 分析，如圖 4-1 所示，比較自變數為冰機部分負載、冷卻水進口水溫(共兩個自變數)與其二次組合之模型準確率，發現利用二次組合(共五個自變數)之模型準確率由 0.465 提升至 0.581。如圖 4-2 所示。進一步的進行建模驗證分析，發現組別一，自變數為冰機部分負載、冷卻水進口水溫與組別二，冰機部分負載、冷卻水進口水溫之二次組合的模型預測準確率比較，可以很明顯的發現組別二的準確率要比組別一準確率高。表 4-2 為此兩組模型誤差率比較，其單位為百分比，紅色部分表示該組擁有較佳的模型準確率。以某日所抓取到的冰機即時運轉數據如表 4-4 所示。經過如下驗證計算：

$$\begin{aligned} & ((126,542,310.6 - 118,695,381.8) / 8,333,432.4 \times 0.01 + (25.6-22.25) / 1.956 \\ & \times (-0.49) + (77.5-66.26) / 7.3 \times 0.45 + (12,654,231.1 - 12527468.17) / 650,801.1 \times 0.86 \\ & \times 4.879446516 + 75.31 = 75.47 \end{aligned}$$

所得之冰水主機部分負載預估值為 75.47，在此時利用即時運轉資料，冰水出入水水溫差所計算出的實際負載率為 75.88，故誤差率為 0.6%。

接下來進行冰水主機冷卻水入水水溫模型驗證，在表 4-5 中為冰機冷卻水入水水溫 PLS 模型，模型包括各自變參數：冰水主機部分負載、冷卻水設定溫度、溫水系統負載、溫水出水水溫、濕球溫度、焓值之正規化參數；應變參數：冰水主機冷卻水入水水溫之正規化參數以及模型參數：pls1 ~ pls6。以某日所抓取到的冰機即時運轉數據如表 4-6 所示。其中，冰水主機部分負載代入的先前所預估出的部分負載率。經過如下驗證計算：

$$\begin{aligned} & ((75.47-76.9) / 4.44 \times (-0.24) + (28.34-25.5) / 2.16 \times 0.48 + (2,464,438.2 \\ & - 2,320,618.4) / 1,014,633.9 \times 0.37 + (33.47-33.3) / 0.63 \times (-0.08) + (25.6 - \\ & 22.17) / 2.55 \times (-0.02) + (77.5-66.2) / 9.64 \times (-0.09)) \times 0.59 + 31.1 = 31.46 \end{aligned}$$

所得之冰水主機冷卻水入水水溫預估值為 31.46，在此時即時冷卻水入水水溫資料為 31.14，故誤差率為 1%。

最後進行冰水主機 CCOP 模型驗證，在表 4-7 中為冰機 CCOP 之 PLS 模型，模型包括各自變參數：冰水主機部分負載、冷卻水入水水溫度、冰水主機部分負載²、冷卻水入水水溫度² 以及冰水主機部分負載×冷卻水入水水溫度之正規化參數；應變參數：冰水主機 CCOP 之正規化參數以及模型參數：pls1~pls5。以某日所求取到的冰機運轉數據如表 4-8 所示。其中，冰水主機部分負載以及冷卻水入水水溫帶入的先前所預估出的部分負載率。經過如下驗證計算：

$$\begin{aligned} & ((31.46-27.15)/2.66 \times (-4.13) + (75.47-75.31)/4.88 \times 2.36 + (989.7316 - 744.23) / \\ & 146.87 \times 2.65 + (5,695.72-5,695.24) / 741.68 \times (-2.29) + (2374.29 - 2047.25) / \\ & 261.15 \times 0.86) \times 0.43 + 6.09 = 5.61 \end{aligned}$$

所得之冰水主機 CCOP 預估值為 5.61，在此時利用即時運轉資料所計算出之 CCOP 為 5.57，故誤差率為 0.7%。

在實際實施時，於模型中加註冰機開機組合群組代號以及模型誤差率。比較不區分開機組合與區分開機組合之模型準確率，則以準確率高者模型進行冰機負載預測，如圖 4-3 所示，就實際分析發現，區分群組的模型誤差率幾乎都要比為不區分群組的誤差率低。其中分組代號是以冰機代碼組成二進位碼代表，故每種開機組合都是一個獨立的代碼。例如：冰機 1~7 開啟，冰機 8~12 關閉，則冰機分組代碼計算方式為：

$$1 \times 2^0 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^5 + 1 \times 2^6 + 0 \times 2^7 + 0 \times 2^8 + 0 \times 2^9 + 0 \times 2^{10} + 0 \times 2^{11} = 127$$

本例中組別 4030 代表開啟冰機為：2、3、4、5、6、8、9、10、11、12，關閉冰機為：1、7。

$$0 \times 2^0 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^3 + 1 \times 2^4 + 1 \times 2^5 + 0 \times 2^6 + 1 \times 2^7 + 1 \times 2^8 + 1 \times 2^9 + 1 \times 2^{10} + 1 \times 2^{11} = 4,030$$

表 4-9 為分組冰機部分負載 PLS 模型，模型包括各自變參數：冰水主機總負載、濕球溫度、焓值以及理想負載分配（冰水主機總負載冰水主機開台數）之正規化參數；應變參數：冰水主機部分負載之正規化參數以及模型參數：pls₁~pls₄。以某日所抓取到的冰機即時運轉數據如表 4-4 所示。經過如下驗證計算：

$$\begin{aligned} & ((126,542,310.6 - 125,281,302.3) / 5,777,976.265 \times 6,584,094,786,011 + \\ & (25.6 - 23.33) / 1.53 \times 0.12 + (77.5 - 70.23) / 5.95 \times (-0.03) + (12,654,231.06 - \end{aligned}$$

$$12,528,130.23) / 577797.6265 \times (-6,584,094,786,010) \times 3.57 + 74.21 = 75.48$$

所得之冰水主機部分負載預估值為 75.48，在此時利用即時運轉資料，冰水出入水水溫差所計算出的實際負載率為 75.88，故誤差率為 0.5%，較先前所計算出誤差率為低。因此須進行冰水主機 CCOP 模型誤差判定與模型修正，由先前討論得知，採用二次組合(共五個自變數)之模型準確率會比單純採用兩個自變數之模型較高，就 PLS 建模的觀點而言，模型準確率越接近 1 是代表準確率越高，且建議之數值希望能夠大於 0.7，故進一步的分析發現，由於運轉的冰機與冰機之間會有交互作用，在不同的開機組合下，冰機會有不同的運轉特性，所以可以區分不同的冰機開機組合進行建模，以提高模型的準確度。表 4-10 為不同的開機組合下的冰機效能模型之誤差率。紅色部分表示該組擁有較佳的模型準確率。依據上述分析，本技術另行建構分組之冰機 CCOP 模型，分組誤差率低於不區分開機組合之 CCOP 模型誤差率，如圖 4-4 所示。套用分組之冰機 CCOP 模型經過如下驗證計算：

$$((31.46-27.22)/ 1.59 \times (-7.35) + (75.47-74.21)/ 3.57 \times 6.48 + (989.7316 - 743.25) / 88.44 \times 12.32 + (5,695.72-5,520.11) / 531.02 \times (-0.45) + (2,374.29 - 2,022.85) / 187.41 \times (-9.84)) \times 0.315 + 6.04 = 5.54$$

所得之冰水主機 CCOP 預估值為 5.54，在此時利用即時運轉資料所計算出之 CCOP 為 5.57，故誤差率：0.5%，較先前所計算出誤差率為低。有了以上的準確度預估後，接下來就可將所擷取的運轉數據建立冰水主機效能曲線圖，以下各圖(圖 4-5~圖 4-28)顯示各冰水主機於不同的部分負載以及不同的冷卻水入水水溫下的效能分佈曲線以及各冰水主機效能模型的預估概況，曲線求取是以非分組模型來建構。從各個效能曲線圖可以發現到除了第一台冰機在不同溫度下的最佳效能點有比較大的變異以外，每一台冰水主機之運轉效能模態大都是固定的。其中部分冰機的最佳效能點似乎是位於滿載處，主要是由於參與建模資料之資料群聚分佈於一小部分區間，致使外插預估資料不準確，才會產生如此的模態，待全年數據資料收集齊備，便可以建構更為正確的冰水主機效能預估模型。

表 4-1 冷卻負載、耗電量以及 CCOP 之計算表

| | | | |
|------------|------------|-----------|---|
| T_{chr4} | T_{chs4} | F_{chw} | CL_i |
| 11.94 | 5.116 | 430.6 | $(11.94-5.116) \times 430.6 \times 4.18 \times 1000 = 12,282,572$ |
| V | I (%) | | $Power_i$ |
| 4,160 | 78 | | $4,160 \times (121 \times 0.78) \times (3^{0.5}) \times 0.9 \times 3.6 = 2,203,327$ |
| | | | $CCOP_i = CL_i / Power_i$ |
| | | | $12,282,572 / 2,203,327 = 5.5746$ |

表 4-2 模型誤差率比較表 (不同種類自變數之比較)

| 冰機 # | CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 | CH7 | CH8 | CH9 | CH10 | CH11 | CH12 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 組別一 | 2.48 | 3.29 | 2.19 | 4.59 | 4.46 | 2.87 | 3.80 | 4.44 | 2.71 | 2.44 | 2.44 | 2.61 |
| 組別二 | 2.27 | 3.24 | 2.26 | 2.94 | 3.05 | 2.86 | 3.15 | 2.83 | 2.53 | 2.64 | 2.61 | 2.50 |



表 4-3 冰機部分負載 PLS 模型

| 冰機總負載 | 濕球溫度 | 焓值 | 理想負載分配 | 部分負載 |
|------------|-------------|----------|-------------|-----------|
| TL | T_{WB} | H | TL/N | PL_i |
| mx_1 | mx_2 | mx_3 | mx_4 | my |
| 118695382 | 22.2483924 | 66.26343 | 12527468.17 | 75.309171 |
| $stdx_1$ | $stdx_2$ | $stdx_3$ | $stdx_4$ | stdy |
| 8333432.4 | 1.95604616 | 7.303965 | 650801.057 | 4.8794465 |
| pls_1 | pls_2 | pls_3 | pls_4 | |
| 0.01011188 | -0.49088018 | 0.450027 | 0.864587528 | |

表 4-4 冰機部分負載預估所需即時數據表

| 冰機總負載 | 濕球溫度 | 焓值 | 理想負載分配 |
|-------------|----------|------|-------------|
| TL | T_{WB} | H | TL/N |
| 126542310.6 | 25.6 | 77.5 | 12654231.06 |

表 4-5 冰機冷卻水入水水溫 PLS 模型

| 部分負載 | 冷卻水溫設定 | 溫水系統負載 | 溫水出水水溫 | 濕球溫度 | 焓值 | 冷卻水入水溫 |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| PLi | T_{CTWS} | WLoad | T_{WS} | T_{WB} | H | T_{CTWSi} |
| mx_1 | mx_2 | mx_3 | mx_4 | mx_5 | mx_6 | my |
| 76.90984538 | 25.53766542 | 2320618.398 | 33.29774958 | 22.17171343 | 66.1897309 | 31.10759867 |
| $stdx_1$ | $stdx_2$ | $stdx_3$ | $stdx_4$ | $stdx_5$ | $stdx_6$ | stdy |
| 4.440926525 | 2.156302363 | 1014633.948 | 0.625794244 | 2.551805127 | 9.64053089 | 0.588291331 |
| pls_1 | pls_2 | pls_3 | pls_4 | pls_5 | pls_6 | |
| -0.24108426 | 0.479799241 | 0.36981663 | -0.0827965 | -0.02247352 | -0.0881023 | |



表 4-6 冰機冷卻水入水水溫預估所需即時數據表

| 部分負載 | 冷卻水溫設定 | 溫水系統負載 | 溫水出水水溫 | 濕球溫度 | 焓值 |
|-------|------------|-----------|----------|----------|------|
| PLi | T_{CTWS} | WLoad | T_{WS} | T_{WB} | H |
| 75.47 | 28.3437 | 2464438.2 | 33.47 | 25.6 | 77.5 |

表 4-7 冰機 CCOP 模型

| 冷卻水入水溫 | 部分負載 | 冷卻水入水溫 ² | 部分負載 ² | 冷卻水入水溫 ×部分負載 | 性能係數 |
|--------------|-------------|---------------------|-------------------|-------------------------|-------------|
| T_{CTWSi} | PL_i | T_{CTWSi}^2 | PL_i^2 | $T_{CTWSi} \times PL_i$ | CCOP |
| mx_1 | mx_2 | mx_3 | mx_4 | mx_5 | my |
| 27.15069757 | 75.30917145 | 744.2314365 | 5695.240884 | 2047.250484 | 6.092935805 |
| $stdx_1$ | $stdx_2$ | $stdx_3$ | $stdx_4$ | $stdx_5$ | $stdy$ |
| 2.661350143 | 4.879446516 | 146.8735241 | 741.6849143 | 261.1527134 | 0.431977378 |
| pls_1 | pls_2 | pls_3 | pls_4 | pls_5 | |
| -4.130404605 | 2.358574214 | 2.652641838 | -2.292127982 | 0.861747139 | |

表 4-8 冰機 CCOP 預估所需數據表

| 冷卻水入水溫 | 部分負載 | 冷卻水入水溫 ² | 部分負載 ² | 冷卻水入水溫 ×部分負載 |
|-------------|--------|---------------------|-------------------|-------------------------|
| T_{CTWSi} | PL_i | T_{CTWSi}^2 | PL_i^2 | $T_{CTWSi} \times PL_i$ |
| 31.46 | 75.47 | 989.7316 | 5695.7209 | 2374.2862 |

表 4-9 冰機部分負載 PLS 模型(分組)

| 冰機總負載 | 濕球溫度 | 焓值 | 理想負載分配 | 部分負載 |
|-------------|-------------|--------------|--------------|-------------|
| TL | T_{WB} | H | TL/N | PL_i |
| mx_1 | mx_2 | mx_3 | mx_4 | my |
| 125281302.3 | 23.33280953 | 70.22624463 | 12528130.23 | 74.21223535 |
| $stdx_1$ | $stdx_2$ | $stdx_3$ | $stdx_4$ | $stdy$ |
| 5777976.265 | 1.53471571 | 5.952455356 | 577797.6265 | 3.569622347 |
| pls_1 | pls_2 | pls_3 | pls_4 | |
| 6.58409E+12 | 0.118624898 | -0.032615521 | -6.58409E+12 | |

表 4-10 模型誤差率比較表 (不同開機組合之比較)

| CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 | CH7 | CH8 | CH9 | CH10 | CH11 | CH12 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 3.02 | 1.77 | 1.36 | 2.78 | 3.69 | 2.07 | | 3.74 | 2.35 | 1.35 | | 2.08 |
| 1.59 | 2.00 | 1.67 | 1.68 | 1.70 | | 2.83 | 1.65 | 1.83 | | 1.91 | 2.22 |
| 2.22 | 2.18 | 2.16 | 2.71 | 2.37 | 2.79 | | 2.77 | | 2.24 | 2.23 | 2.17 |
| 1.95 | 1.60 | 1.75 | 1.39 | 1.94 | | 2.86 | | 2.17 | 1.68 | 1.79 | 1.80 |
| 1.58 | 1.95 | | 2.44 | 1.64 | 1.40 | 2.28 | | 1.54 | 1.69 | 2.09 | 2.39 |
| 2.07 | | 2.93 | 1.94 | 2.24 | 2.04 | 2.45 | | 2.39 | 2.93 | 3.27 | 1.98 |
| 1.95 | | 2.45 | 1.71 | 2.53 | 2.75 | | 3.01 | 2.43 | 2.24 | 3.39 | 1.96 |
| | 2.72 | 2.20 | 2.76 | 2.58 | 1.61 | | 2.12 | 2.33 | 1.76 | 1.92 | 1.94 |
| 1.96 | | 2.00 | | 2.20 | 3.03 | 1.69 | 2.30 | 1.70 | 3.07 | 2.28 | 2.19 |



Project Title: CCOP modeling data

Observations (N) = 2169, Variables (K) = 3

Models:

| No. | Model | Type | A | R2X | R2Y | Q2(cum) | Date | Title | Hi... |
|-----|-------|------|---|-------|-------|---------|----------|----------|-------|
| 1 | M1 | PLS | 1 | 0.504 | 0.465 | 0.464 | 2006/1/2 | Untitled | |

圖 4-1 冰機 CCOP 模型準確率 (PLS 分析，兩個自變數)



Project Title: CCOP modeling data2

Observations (N) = 2169, Variables (K) = 6

Models:

| No. | Model | Type | A | R2X | R2Y | Q2(cum) | Date | Title | Hi... |
|-----|-------|------|---|-----|-------|---------|----------|----------|-------|
| 1 | M1 | PLS | 4 | 1 | 0.581 | 0.58 | 2006/1/2 | Untitled | |

圖 4-2 冰機 CCOP 模型準確率 (PLS 分析，五個自變數)

| 不區分開機組合 | | | | | | 區分開機組合 | | | | | |
|---------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|
| CH# | 冰機總負載 | 濕球溫度 | 焓值 | 理想負載分配 | 部分負載 | CH# | 冰機總負載 | 濕球溫度 | 焓值 | 理想負載分配 | 部分負載 |
| 4 | TL | T _{wb} | H | TL/N | PL _i | 4 | TL | T _{wb} | H | TL/N | PL _i |
| 組別 | mx ₁ | mx ₂ | mx ₃ | mx ₄ | my | 組別 | mx ₁ | mx ₂ | mx ₃ | mx ₄ | my |
| 0 | 118695381.8 | 22.24839238 | 66.26343482 | 12527468.17 | 75.30917145 | 4030 | 125281302.3 | 23.33280953 | 70.22624463 | 12528130.23 | 74.21223535 |
| 誤差率 | stdx ₁ | stdx ₂ | stdx ₃ | stdx ₄ | stdy | 誤差率 | stdx ₁ | stdx ₂ | stdx ₃ | stdx ₄ | stdy |
| 3.30% | 8333432.405 | 1.956046158 | 7.30396497 | 650801.057 | 4.879446516 | 1.86% | 5777976.265 | 1.53471571 | 5.952455356 | 577797.6265 | 3.569622347 |
| | pls ₁ | pls ₂ | pls ₃ | pls ₄ | | | pls ₁ | pls ₂ | pls ₃ | pls ₄ | |
| | 0.010111884 | -0.490880183 | 0.450026885 | 0.864587528 | | | 6.58409E+12 | 0.118624898 | -0.032615521 | -6.58409E+12 | |

圖 4-3 不分組與分組之冰機負載率模型比較



| 不區分開機組合 | | | | | | | 區分開機組合 | | | | | | |
|---------|--------------------|-------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|-------------|--------|--------------------|-------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|-------------|
| CH# | 冷卻水入水溫 | 部分負載 | 冷卻水入水溫 ² | 部分負載 ² | 冷卻水入水溫 | 性能係數 | CH# | 冷卻水入水溫 | 部分負載 | 冷卻水入水溫 ² | 部分負載 ² | 冷卻水入水溫 | 性能係數 |
| 4 | T _{ctwsi} | PL _i | T _{ctwsi} ² | PL _i ² | T _{ctwsi} × PL _i | CCOP | 4 | T _{ctwsi} | PL _i | T _{ctwsi} ² | PL _i ² | T _{ctwsi} × PL _i | CCOP |
| 組別 | mx ₁ | mx ₂ | mx ₃ | mx ₄ | mx ₅ | my | 組別 | mx ₁ | mx ₂ | mx ₃ | mx ₄ | mx ₅ | my |
| 0 | 27.15069757 | 75.30917145 | 744.2314365 | 5695.240884 | 2047.250484 | 6.092935805 | 4030 | 27.2165751 | 74.21223535 | 743.2499842 | 5520.112561 | 2022.84541 | 6.043332588 |
| 誤差率 | stdx ₁ | stdx ₂ | stdx ₃ | stdx ₄ | stdx ₅ | stdy | 誤差率 | stdx ₁ | stdx ₂ | stdx ₃ | stdx ₄ | stdx ₅ | stdy |
| 3.39% | 2.661350143 | 4.879446516 | 146.8735241 | 741.6849143 | 261.1527134 | 0.431977378 | 2.04% | 1.589015456 | 3.569622347 | 88.44495833 | 531.0172808 | 187.4108476 | 0.315167832 |
| | pls ₁ | pls ₂ | pls ₃ | pls ₄ | pls ₅ | | | pls ₁ | pls ₂ | pls ₃ | pls ₄ | pls ₅ | |
| | -4.130404605 | 2.358574214 | 2.652641838 | -2.292127982 | 0.861747139 | | | -7.353510835 | 6.483577282 | 12.31723037 | -0.446573534 | -9.841895369 | |

圖 4-4 不分組與分組之冰機 CCOP 模型比較

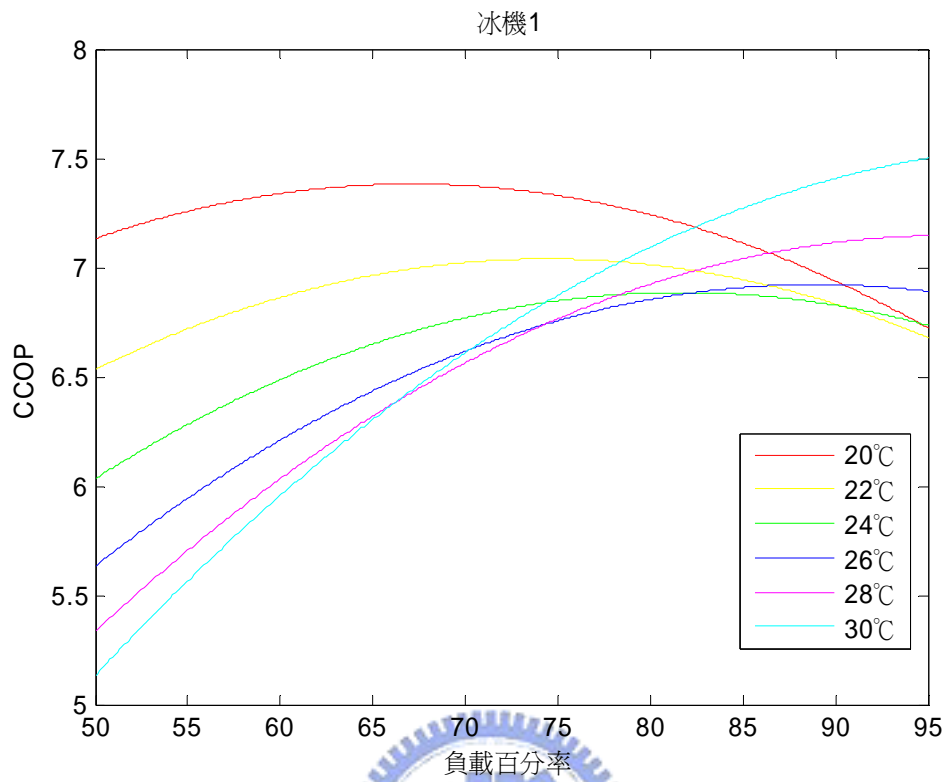


圖 4-5 冰機 1 效能曲線圖

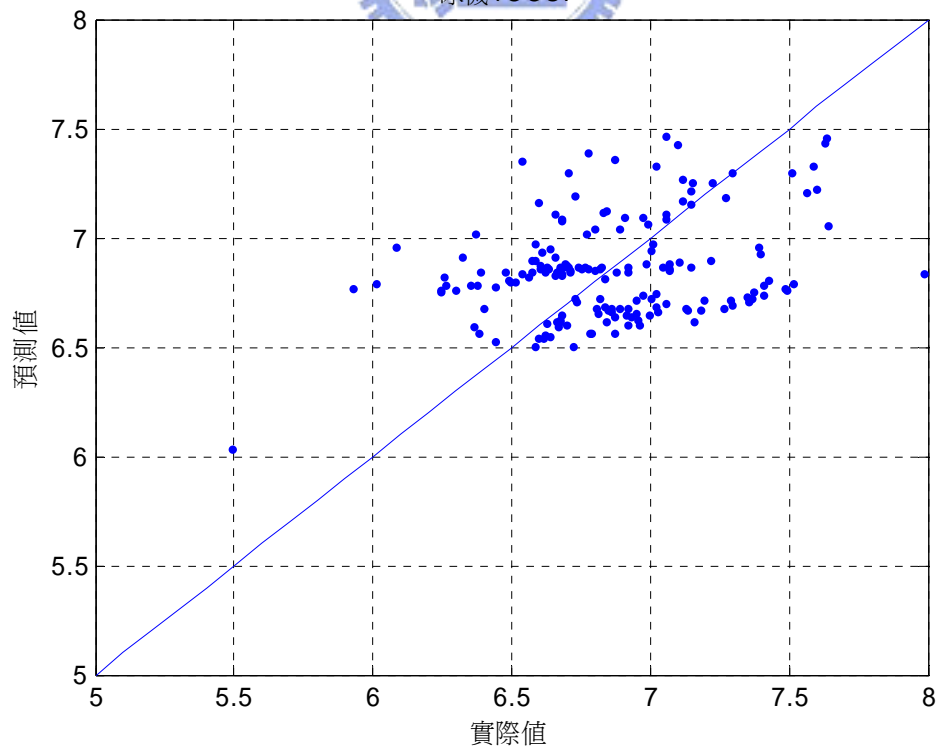


圖 4-6 冰機 1 效能預估評估

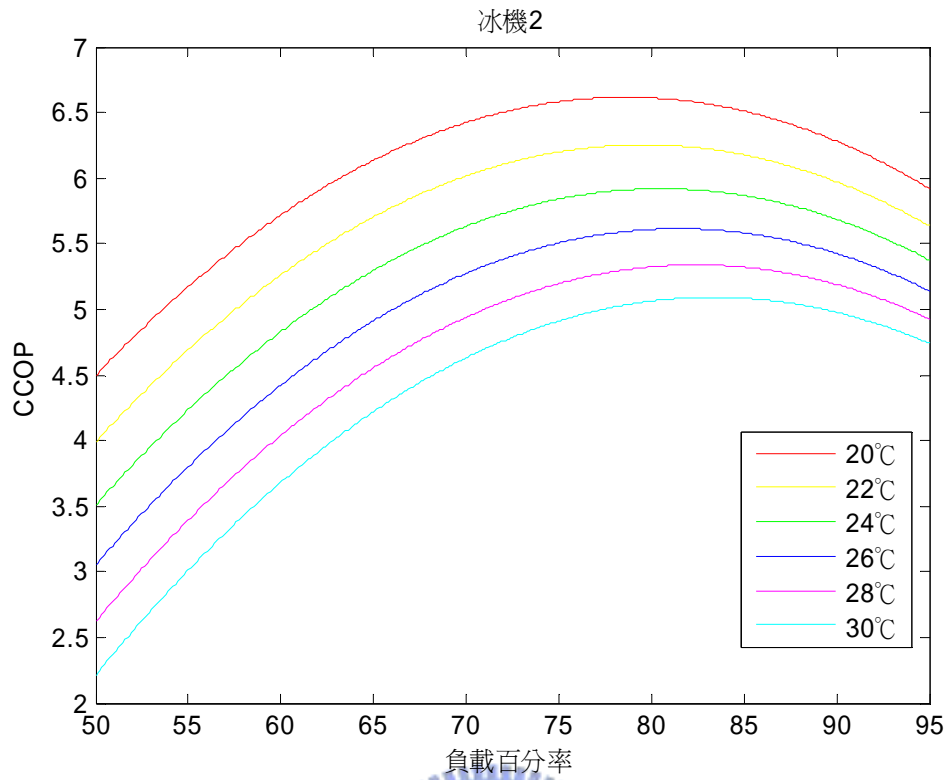


圖 4-7 冰機 2 效能曲線圖

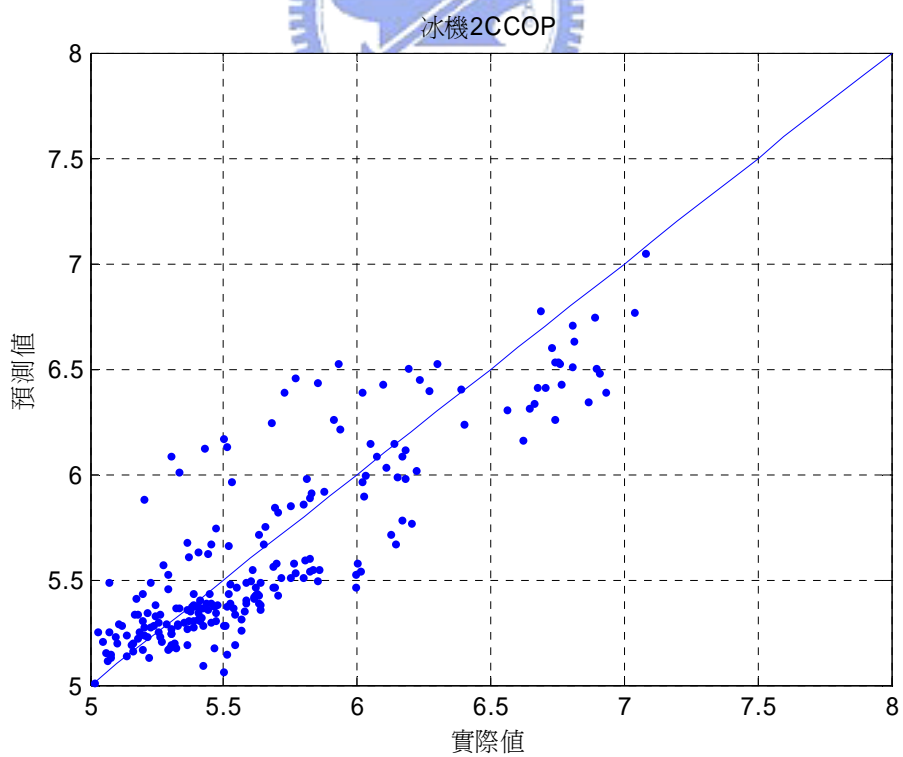


圖 4-8 冰機 2 效能預估評估

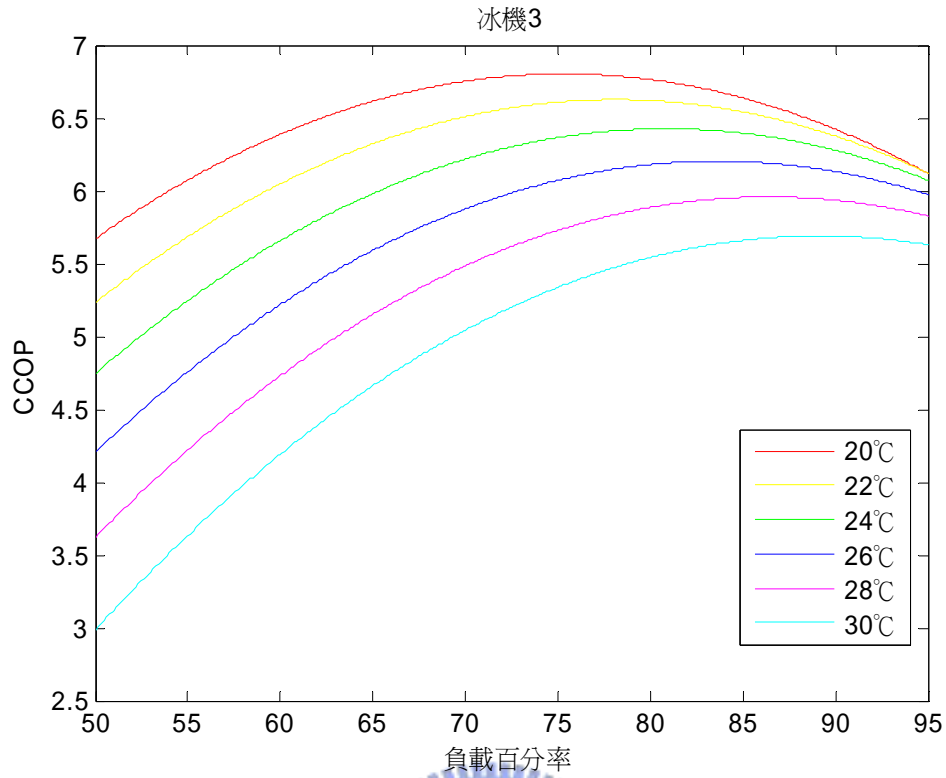


圖 4-9 冰機 3 效能曲線圖

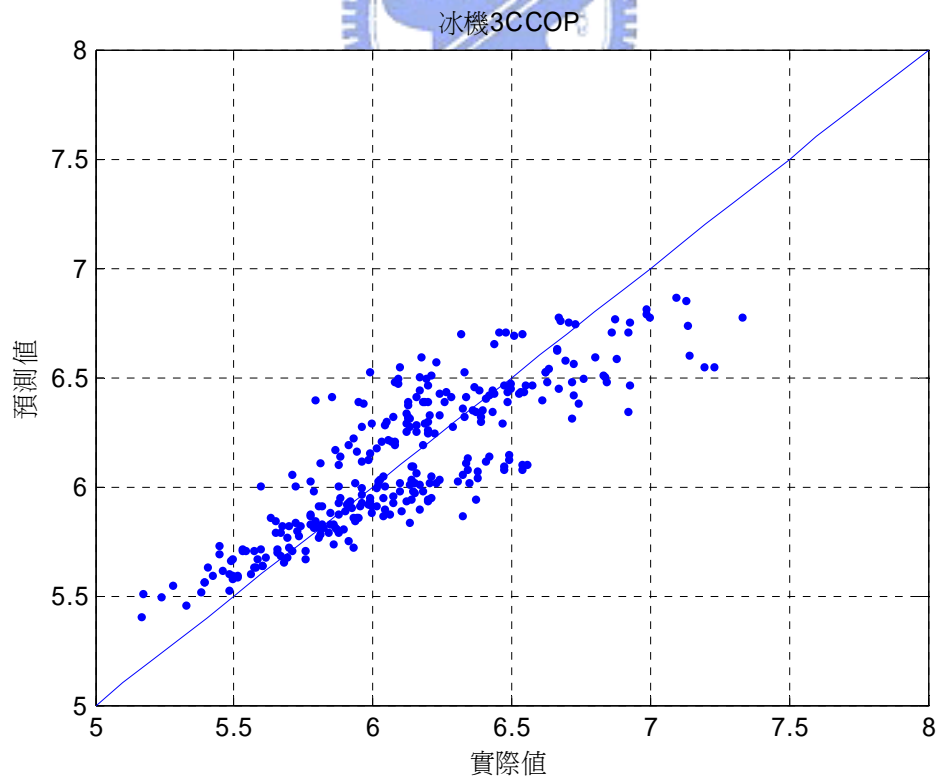


圖 4-10 冰機 3 效能預估評估

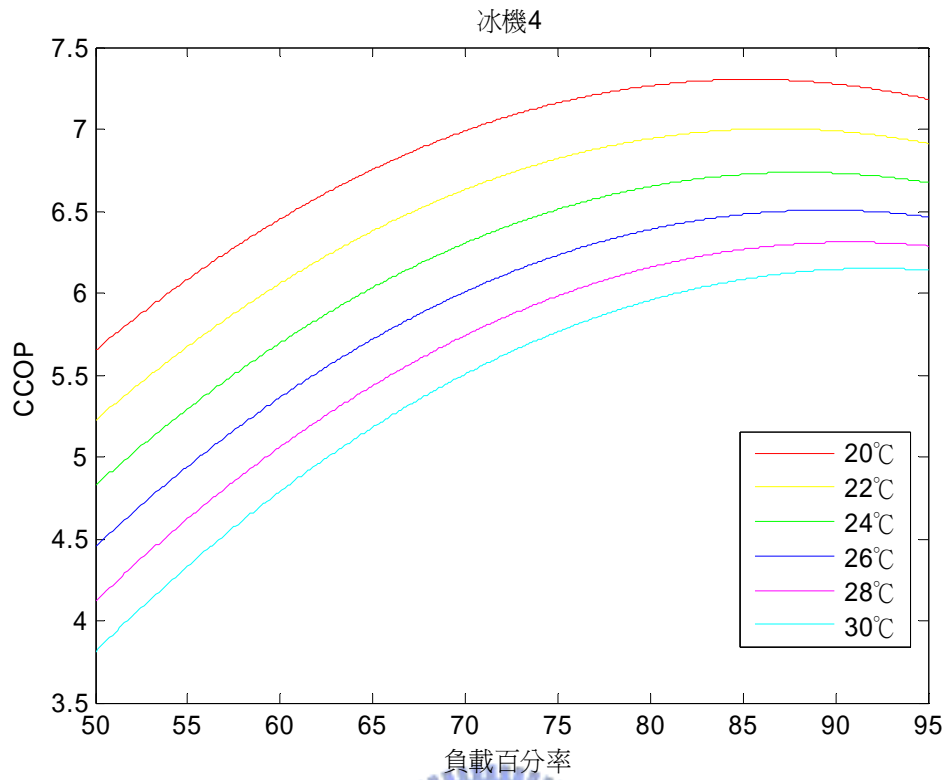


圖 4-11 冰機 4 效能曲線圖

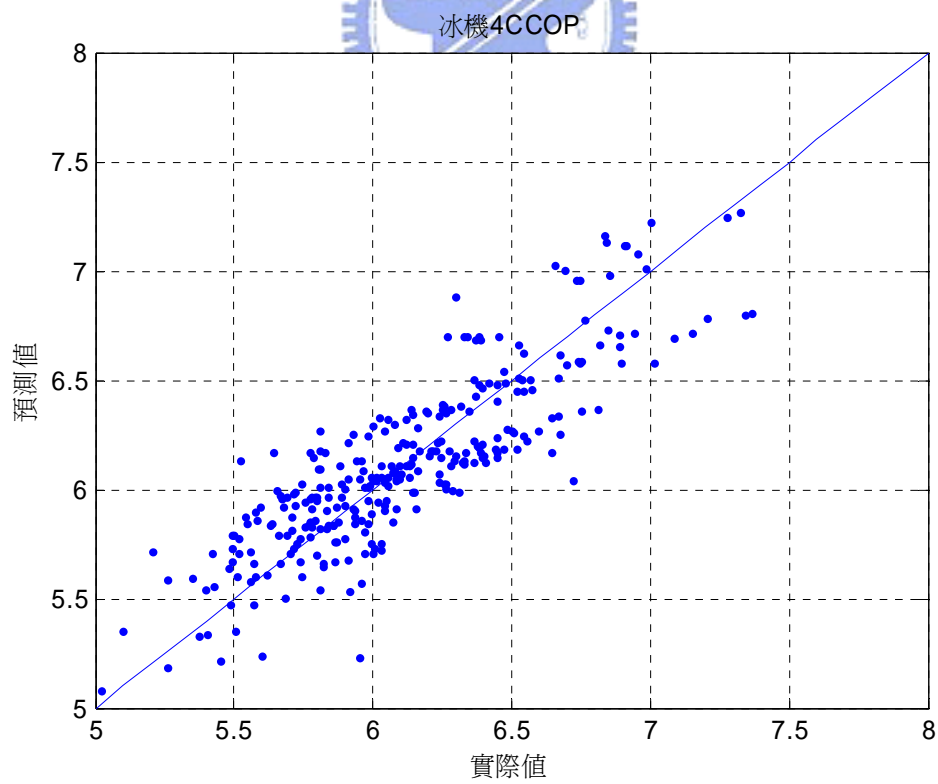


圖 4-12 冰機 4 效能預估評估

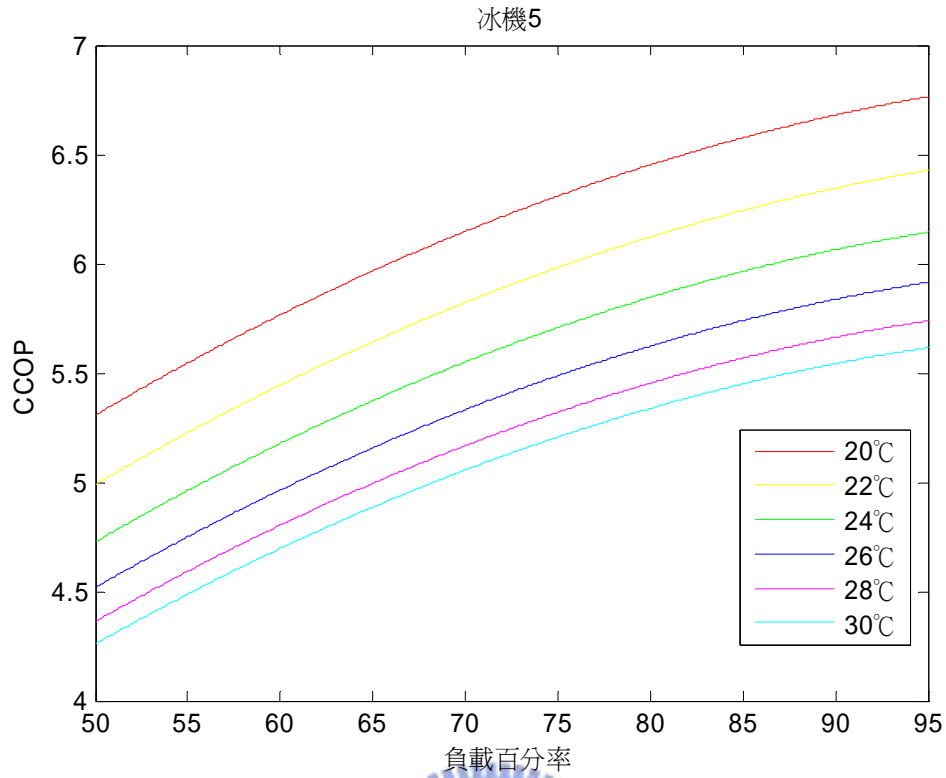


圖 4-13 冰機 5 效能曲線圖

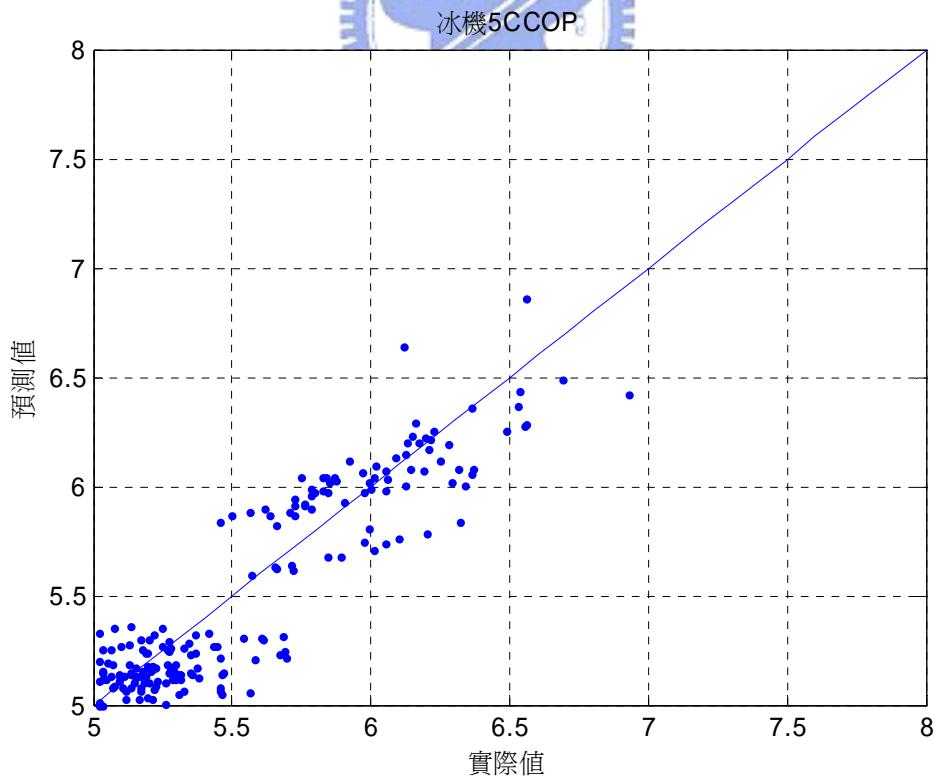


圖 4-14 冰機 5 效能預估評估

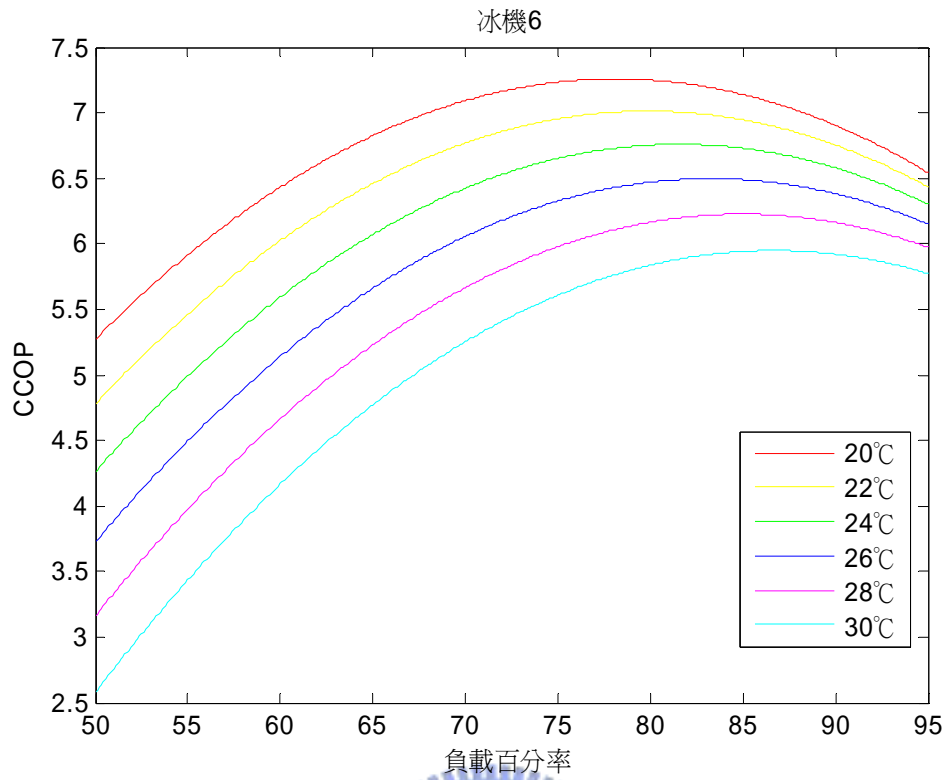


圖 4-15 冰機 6 效能曲線圖

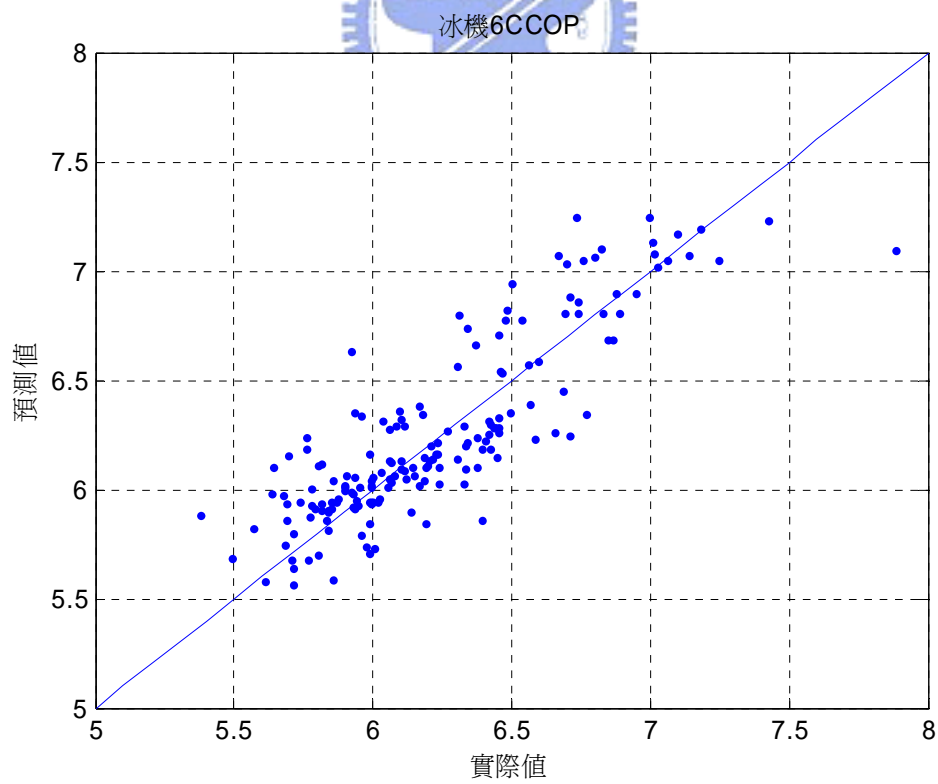


圖 4-16 冰機 6 效能預估評估

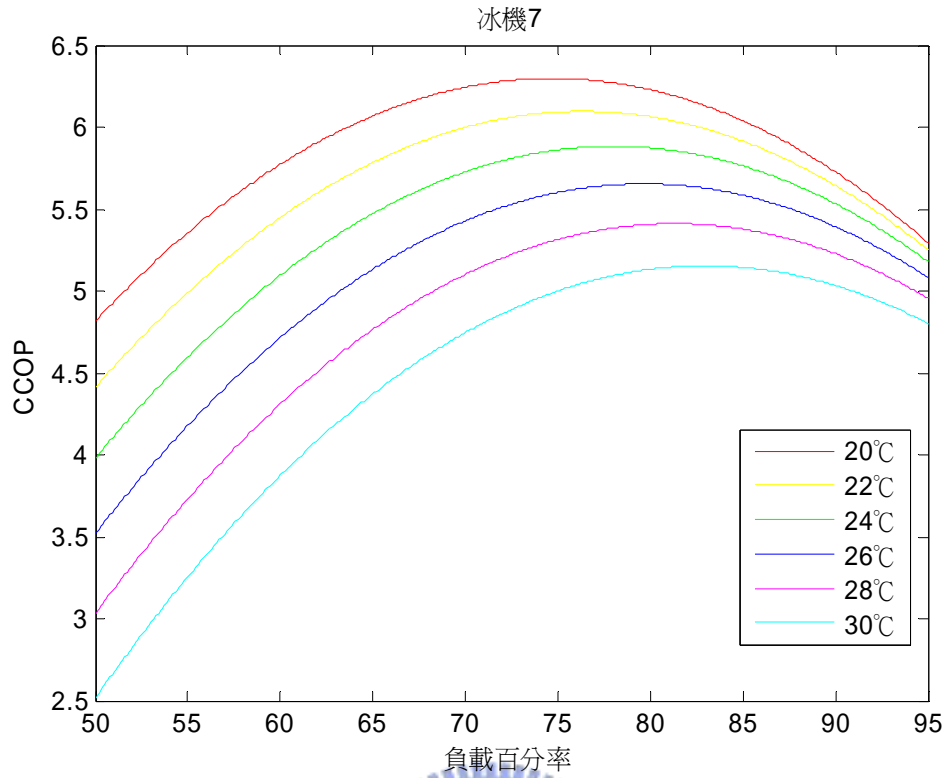


圖 4-17 冰機 7 效能曲線圖

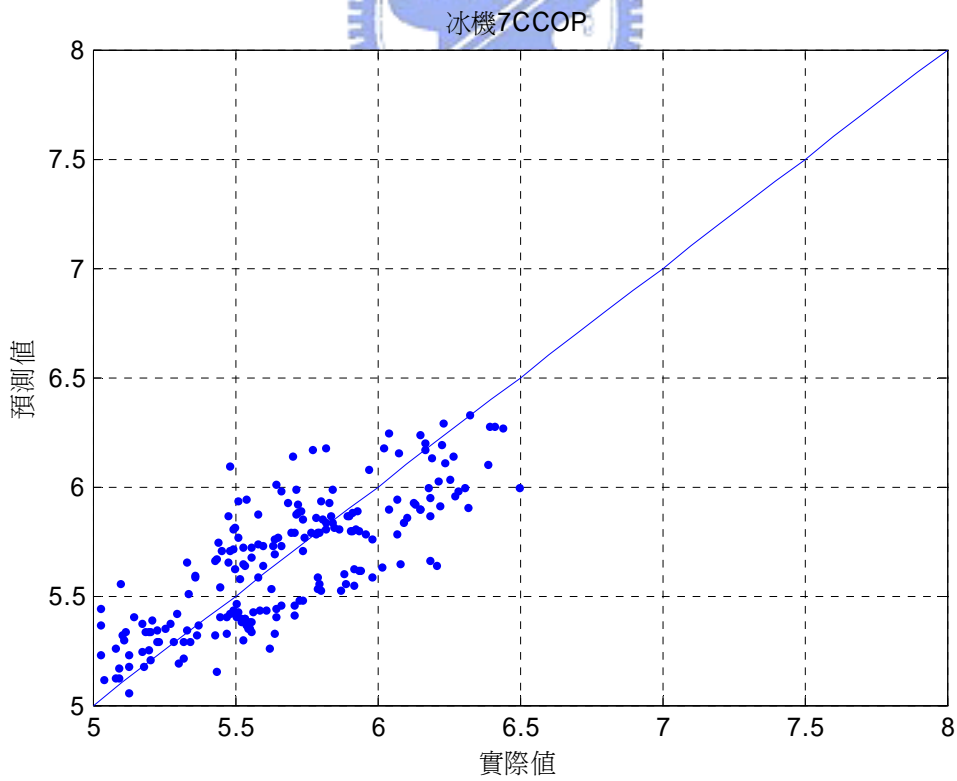


圖 4-18 冰機 7 效能預估評估

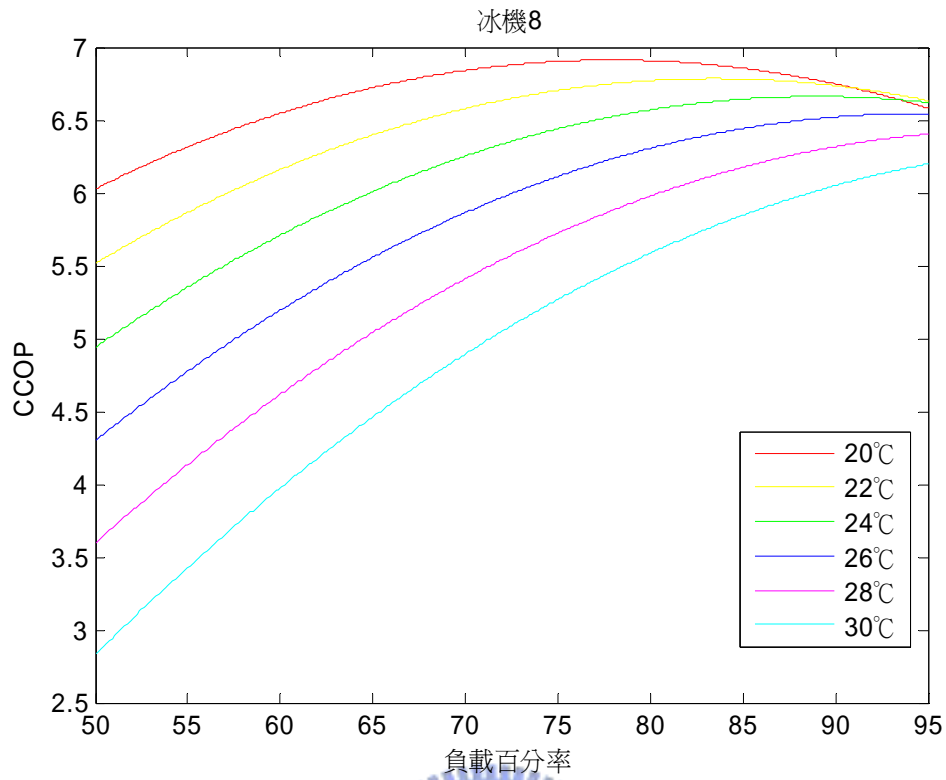


圖 4-19 冰機 8 效能曲線圖

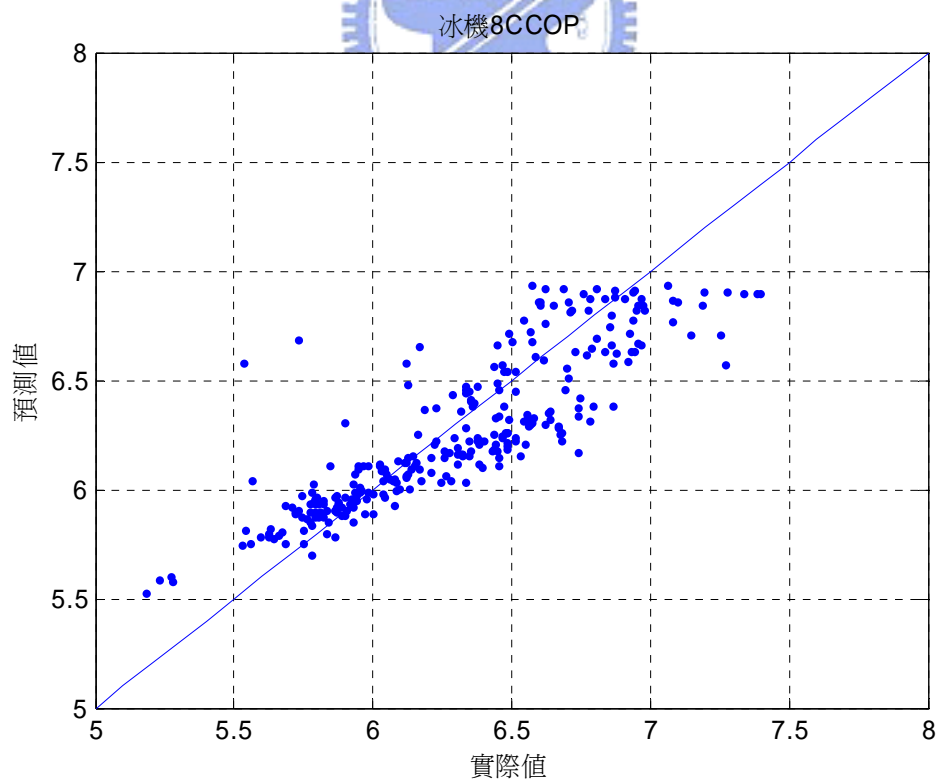


圖 4-20 冰機 8 效能預估評估

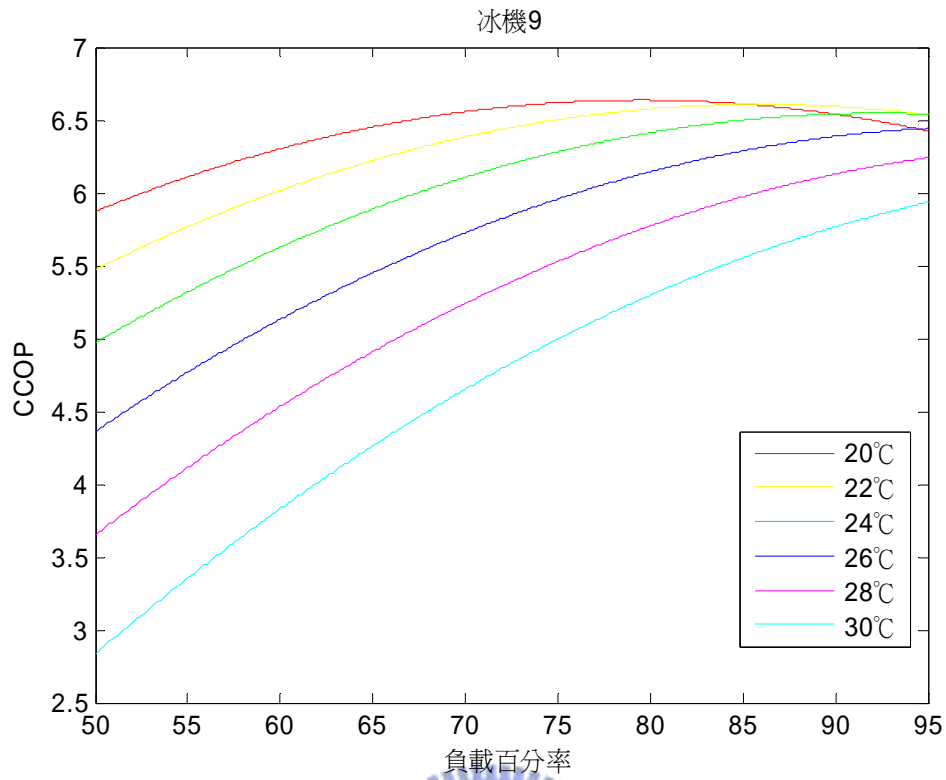


圖 4-21 冰機 9 效能曲線圖

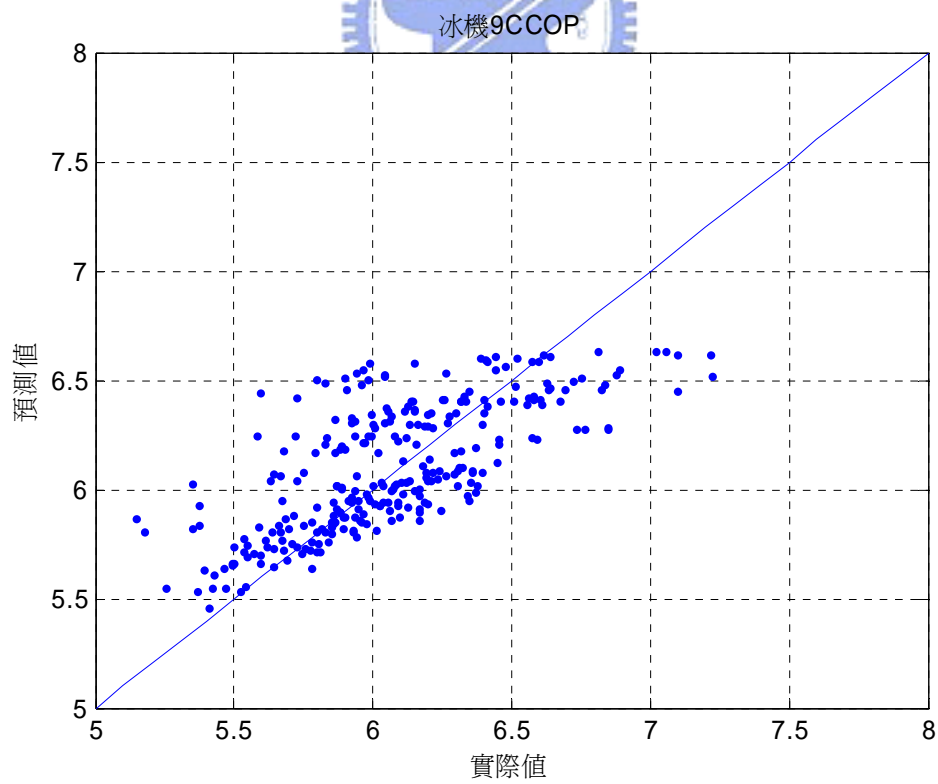


圖 4-22 冰機 9 效能預估評估

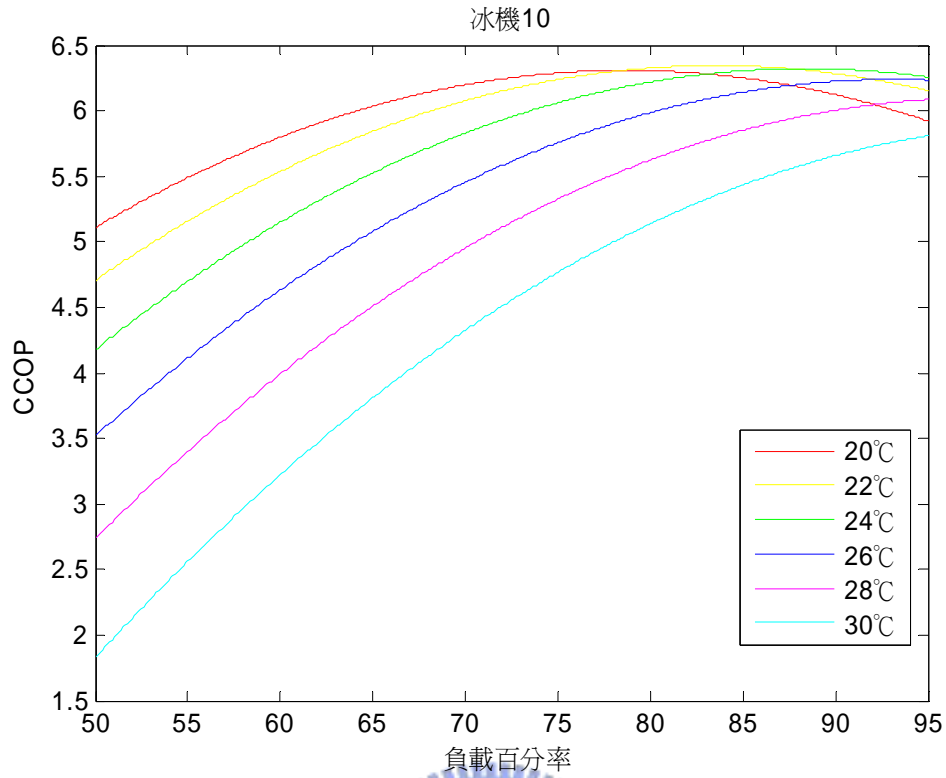


圖 4-23 冰機 10 效能曲線圖

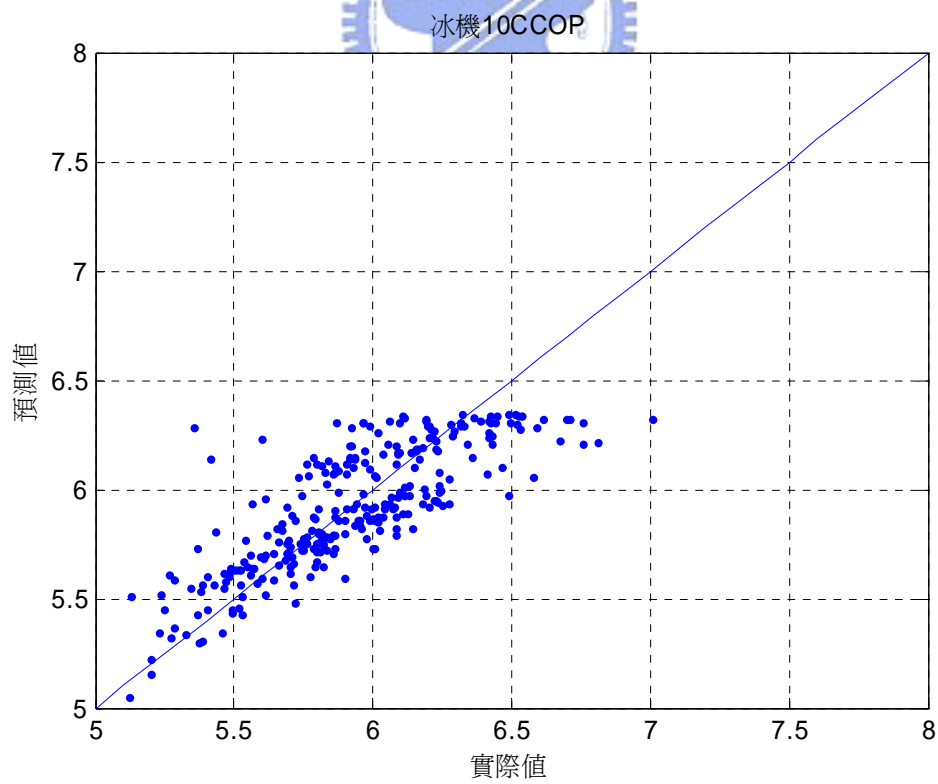


圖 4-24 冰機 10 效能預估評估

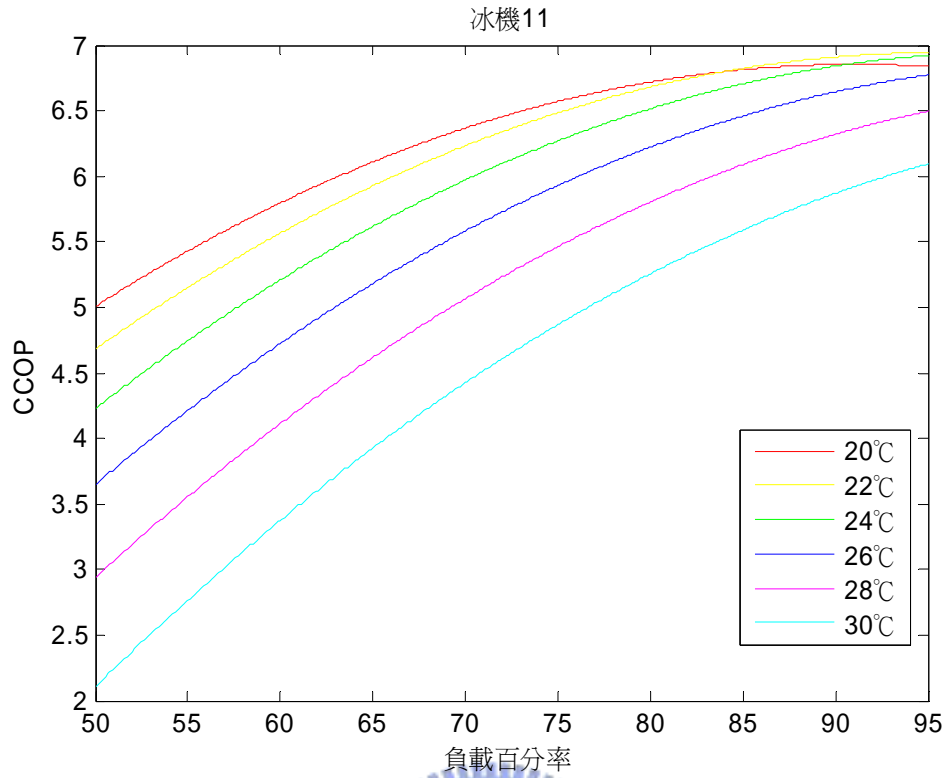


圖 4-25 冰機 11 效能曲線圖

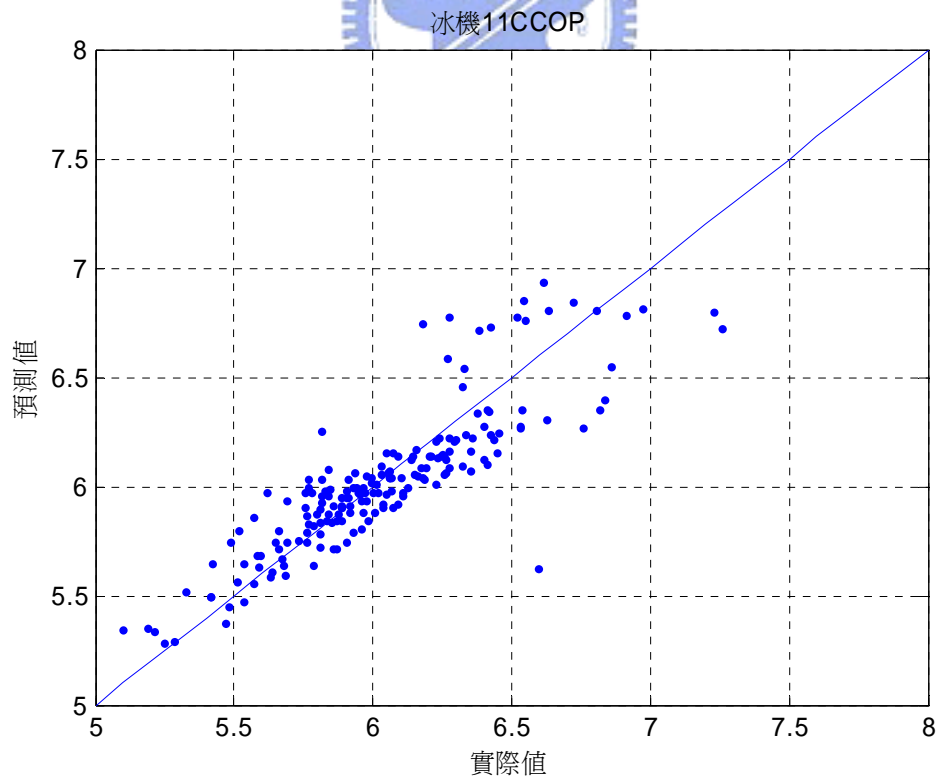


圖 4-26 冰機 11 效能預估評估

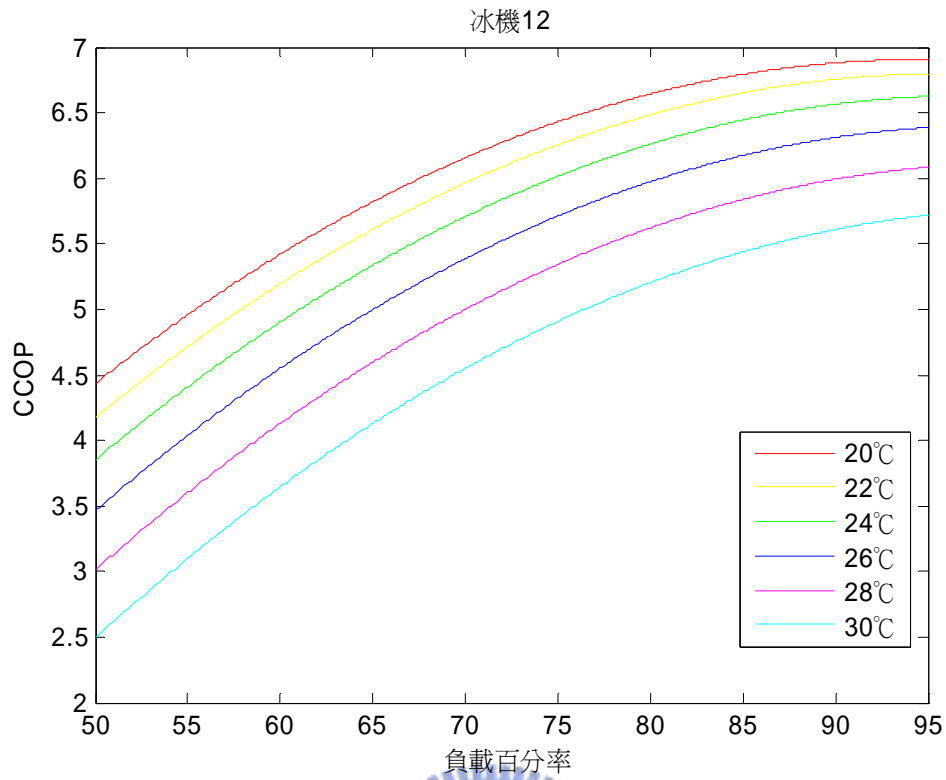


圖 4-27 冰機 12 效能曲線圖

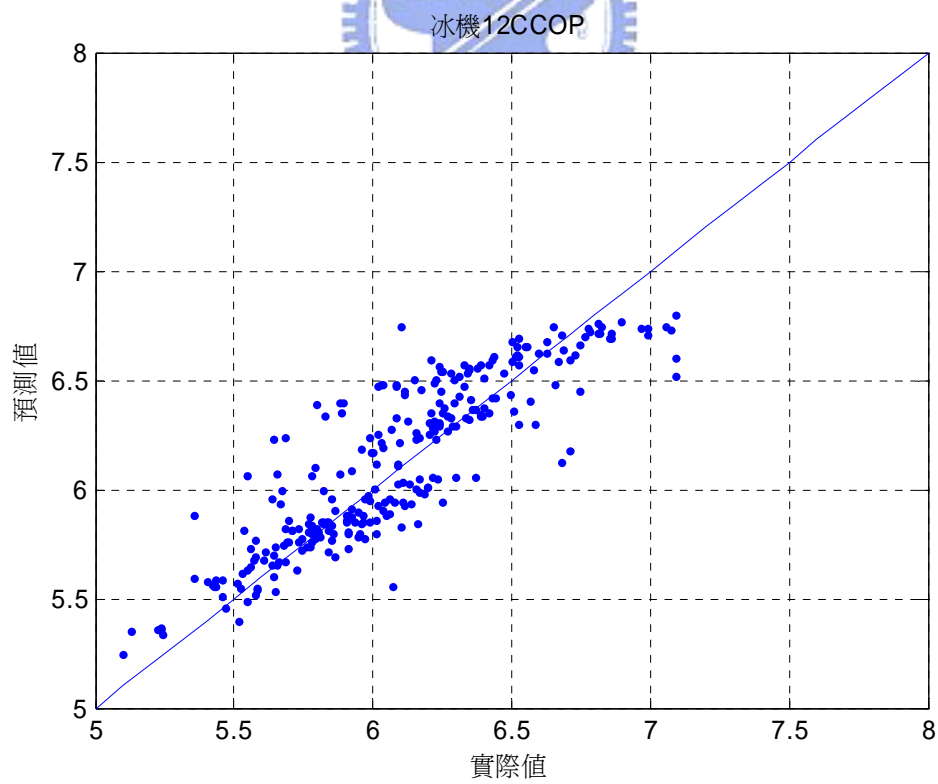


圖 4-28 冰機 12 效能預估評估

4.2 冷卻水塔耗能模型建立

在冷卻水塔的耗能模型建立方面，因為缺乏馬達的運轉電流的歷史資料，故需先建立風扇運轉電流模型，一般而言馬達運轉電流直接與馬達運轉頻率之二次方相關，在本技術為提高建模準確率採用馬達運轉頻率、馬達運轉頻率²、馬達運轉頻率³做為模型之自變數，經實際驗證 PLS 模型準確率高達 96% 以上，方均根誤差率皆低於 5%，如表 4-11 所示。

在表 4-12 中為分組風扇一運轉電流 PLS 模型，模型包括各自變參數：馬達運轉頻率、馬達運轉頻率²、馬達運轉頻率³；應變參數：馬達運轉電流之正規化參數以及模型參數：pls₁~pls₃。以某日風扇一運轉頻率數據如表 4-13 所示。經過如下驗證計算得到之運轉電流為 83.2 安培。

$$((60 - 50.74) / 9.86 \times (-1.92) + (60^2 - 2,672.07) / 904.46 \times (5.04) + (60^3 - 144456.3) / 64,628.6 \times (-2.15)) \times 18.07 + 65.4 = 83.2$$

以某日所抓取到的冷卻水塔即時運轉數據為例，經過上述計算，所得之耗電量如表 4-14 所示。以某日所抓取到的系統即時運轉數據，如所示，作為冷卻水塔負載率預估所需即時數據。經過如下驗證計算：

$$((23,031,238-19,393,308) / 2,529,283.659 \times 1.55 + (2,464,438.2-1,591,331.2) / 1,074,719.266 \times (-0.143) + (126,542,310.6-115,346,365) / 10,833,307 \times (-0.035) + (25.6-21.34) / 2.74 \times (-0.023) + (77.5-63.19) / 9.61 \times 0.13 + (28.34-25.07) / 2.49 \times (-0.71) + (121,412,886.6-100,193,416.8) / 20,103,137 \times (-0.058)) \times 6.9 + 63.12 = 71.68$$

所得之冷卻水塔負載率預估值為 71.68，在此時利用系統即時運轉資料，冰水出入水水溫差所計算出的實際負載率為 67.99，故誤差率為 5.4%。

以某日所抓取到的系統即時運轉數據以及上述計算所得之冷卻水塔負載率，如下表 4-18 所示，作為冷卻水塔耗能預估所需即時數據。經過如下驗證計算：

$$((10-9.28) / 0.87 \times (0.09) + (13-12.9) / 0.316 \times 0.696 + (71.68-63.02) / 6.93 \times (-0.0985) + (25.6-21.3) / 2.72 \times 0.04 + (77.5-63.06) / 9.58 \times 0.02 + (28.34-25.04) / 2.48 \times (-0.01)) \times 96,149.8 + 2,574,322.65 = 2,624,506$$

所得之冷卻水塔耗能預估值為 2,624,506，在此時利用系統即時運轉資料，冰水出入水水溫差所計算出的實際耗電為 2,624,936.6，故誤差率為

0.02%。

由於上述冷卻水塔部分負載模型預估誤差率有些許偏高的趨勢，所以需要進行模型的修正，目前所擷取的數據資料大都是屬於夏季的資料，且資料數還不夠豐富，若是資料分佈範圍更廣且更多，則所建構的數值模型將更為準確。檢視建模數據後發現，由於建模資料約三分之二集中於夏季而冬季之運轉資料約佔三分之一，且冬季之冷卻水塔風扇整體運轉於較低頻率之轉速，由於原始建模資料的不完備可能造成預測冬季運轉預測誤差過大，故需要針對蒐集更多的資料以進行分析。



表 4-11 馬達運轉電流預估模型方均根誤差率表

| CH1 | CH2 | CH3 | CH4 | CH5 | CH6 | CH7 | CH8 | CH9 | CH10 | CH11 | CH12 | CH13 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 4.00 | 2.71 | 2.58 | 3.59 | 3.31 | 2.90 | 2.63 | 3.45 | 2.86 | 2.89 | 2.64 | 2.44 | 3.50 |

表 4-12 [風扇 1]運轉電流模型

| 頻率 | 頻率 ² | 頻率 ³ | 電流 |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------|
| Hz | Hz ² | Hz ³ | I |
| mx ₁ | mx ₂ | mx ₃ | my |
| 50.7438515 | 2672.06573 | 144456.2814 | 65.03834197 |
| stdx ₁ | stdx ₂ | stdx ₃ | stdy |
| 9.86383825 | 904.459527 | 64628.63722 | 18.06998045 |
| pls ₁ | pls ₂ | pls ₃ | |
| -1.91850444 | 5.03978255 | -2.148208735 | |

表 4-13 [風扇 1]運轉頻率資料

| CT# | 頻率 |
|-----|----|
| | Hz |
| 1 | 60 |

表 4-14 冷卻水塔風扇耗電之計算表

| V | $I_1+\dots+I_{13}$ | Power |
|------|--------------------|--|
| 4160 | 1031.78 | $480 \times (1031.8) \times (3^{0.5}) \times 0.85 \times 3600 \div 1000 = 2,624,936.6$ |

表 4-15 冷卻水塔負載率 PLS 模型

| 冰機總耗能 | 溫水系統 負載 | 冰機冷卻 負載 | 濕球溫度 | 焓值 | 冷卻水 出水溫度 | 冰機二次側 冷卻負載 | CT負載 率 |
|-------------|-------------|------------|-----------|-----------|-------------|---------------|-----------|
| CHPower | WLoad | CL | T_{WB} | H | T_{CTWS} | Clsec | CTPL |
| mx_1 | mx_2 | mx_3 | mx_4 | mx_5 | mx_6 | mx_7 | my |
| 19393308.24 | 1591331.24 | 115346365 | 21.335819 | 63.187476 | 25.07080364 | 100193416.8 | 63.12145 |
| $stdx_1$ | $stdx_2$ | $stdx_3$ | $stdx_4$ | $stdx_5$ | $stdx_6$ | $stdx_7$ | $stdy$ |
| 2529283.659 | 1074719.27 | 10833307 | 2.7388949 | 9.6124589 | 2.489357902 | 20103137.35 | 6.903965 |
| pls_1 | pls_2 | pls_3 | pls_4 | pls_5 | pls_6 | pls_7 | |
| 1.550218863 | -0.14304472 | -0.035074 | -0.022623 | 0.1312808 | -0.70859552 | -0.058065854 | |

表 4-16 冷卻水塔負載率預估所需即時數據表

| 冰機總耗能 | 溫水系統 負載 | 冰機冷卻 負載 | 濕球溫度 | 焓值 | 冷卻水 出水溫度 | 冰機二次 側 |
|-------------|-------------|-------------|-----------------|------|-------------------|-----------|
| CHPower | WLoad | CL | T _{WB} | H | T _{CTWS} | CLsec |
| 23031238.48 | 2464438.224 | 126542310.6 | 25.60994 | 77.5 | 28.34369 | 121412887 |

表 4-17 冷卻水塔耗能 PLS 模型

| 冰機 開台數 | 冷卻水塔 開台數 | 冷卻水塔 負載率 | 濕球溫度 | 焓值 | 冷卻水 出水溫度 | 耗能 |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------|
| CHOpen | CTOpen | CTPL | T _{WB} | H | T _{CTWS} | CT Power Cost |
| mx ₁ | mx ₂ | mx ₃ | mx ₄ | mx ₅ | mx ₆ | my |
| 9.279265493 | 12.88752869 | 63.0187098 | 21.299255 | 63.059716 | 25.042383 | 2574322.653 |
| stdx ₁ | stdx ₂ | stdx ₃ | stdx ₄ | stdx ₅ | stdx ₆ | stdy |
| 0.873757308 | 0.316066364 | 6.92508914 | 2.7248254 | 9.5818306 | 2.4780904 | 96149.81611 |
| pls ₁ | pls ₂ | pls ₃ | pls ₄ | pls ₅ | pls ₆ | |
| 0.094817245 | 0.696096452 | 0.09856289 | 0.0379226 | 0.0181881 | -0.011007 | |

表 4-18 冷卻水塔耗能預估所需即時數據表

| 冰機 開台數 | 冷卻水塔 開台數 | 冷卻水塔 負載率 | 濕球溫度 | 焓值 | 冷卻水 出水溫度 |
|-----------|-------------|-------------|-----------------|------|-------------------|
| CHOpen | CTOpen | CTPL | T _{WB} | H | T _{CTWS} |
| 10 | 13 | 71.68 | 25.60994 | 77.5 | 28.34369 |

4.3 系統效能與耗能分析

完成了上述冰水主機運轉效能模型及冷卻水塔運轉耗能模型後，接下來便是將程式安裝在伺服主機上，根據資料庫所記憶的運轉資料進行總體耗能分析，由於本實驗所需擷取的數據為運轉中之系統，為了不影響供應品質，故在操作上會依正常運轉情形給予以下的限制條件：冰機最少開 7 台；冰機負載率上限設定小於 95%；冷卻水塔出水水溫（冰水主機冷卻水入水水溫）下限設定必須大於 20°C；因為冰水系統負載較大，且超過 50% 的負載為製程冷卻用，瞬間氣候變化對空調負載變化影響不大，故可以假設冰水系統總體負載量於操作後一段時間恢復調校前數值，也就是假設製程負載及空調負載在半小時內不會有改變；為避免過度頻繁的操作影響系統穩定性，設定節能效益至少應大於 1% 始可進行操作。利用約五個月的歷史資料，確認節能系統所能達成之效能，並就冰水主機節能系統之運作瓶頸作一探討。為了有效縮減系統模擬所需的時間，故將 2005/8/23 ~ 2006/1/25 其間每三十分鐘的資料以每分鐘之頻率轉匯入程式模擬資料庫 2006/1/1~2006/1/6 中，調整系統模擬頻率，設定為一分鐘進行一次模擬計算，可將 155 天的數據於六天內模擬完成，所擷取出來的廠務系統總資料數為 7440 筆，其中可進行操作，使節能效益大於 1% 的資料有 5301 筆，約有 71 % 的時間是可以進行有意義之節能操作，其餘 29% 的時間經評估後，以維持目前操作狀態為最佳之運轉模式，平均節能效益為 4.77% 為了能夠更明確知道各月份結果的分析結果與節能效益，與冬季和夏季之節能效果差異，因此將分析結果分成 5 個月來做檢討

在 8/23 到 9/30 的分析資料中，區間總共可用資料有 1872 筆，可進行操作使節能效益大於 1% 的資料有 1691 筆，約有 90% 的時間是可以進行有意義之節能操作，其餘 10% 的時間經評估後，以維持目前操作狀態為最佳之模式，9 月份的平均節能效益為 5.22%，見圖 4-29。

在 10/1 到 10/31 的分析資料中，區間總共可用資料有 1488 筆，可進行操作使節能效益大於 1% 的資料有 1055 筆，約有 84% 的時間是可以進行有意義之節能操作，其餘 16% 的時間經評估後，以維持目前操作狀態為最佳之模式，10 月份的平均節能效益為 4.35%，見圖 4-30。

在 11/1 到 11/30 的分析資料中，區間總共可用資料有 1440 筆，可進

行操作使節能效益大於 1%的資料有 998 筆，約有 73%的時間是可以進行有意義之節能操作，其餘 27%的時間經評估後，以維持目前操作狀態為最佳之模式，11 月份的平均節能效益為 3.8%，見圖 4-31。

在 12/1 到 12/31 的分析資料中，區間總共可用資料有 1488 筆，可進行操作使節能效益大於 1%的資料有 319 筆，約有 21%的時間是可以進行有意義之節能操作，其餘 79%的時間經評估後，以維持目前操作狀態為最佳之模式，12 月份的平均節能效益為 4.6%，見圖 4-32。

在 1/1 到 1/25 的分析資料中，區間總共可用資料有 1152 筆，可進行操作使節能效益大於 1%的資料有 988 筆，約有 86%的時間是可以進行有意義之節能操作，其餘 14%的時間經評估後，以維持目前操作狀態為最佳之模式，1 月份的平均節能效益為 4.57%，見圖 4-33。



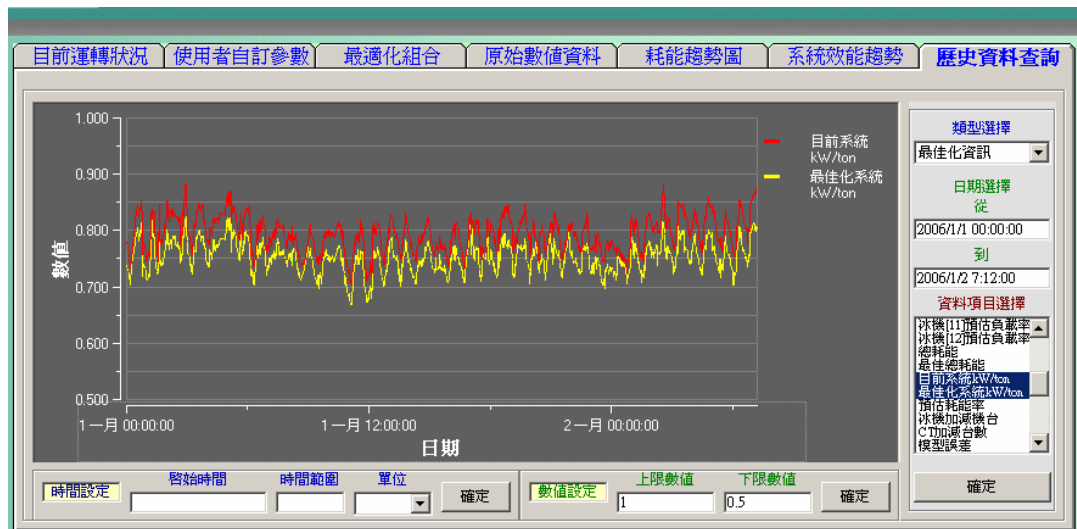


圖 4-29 8/23 到 9/30 的分析資料

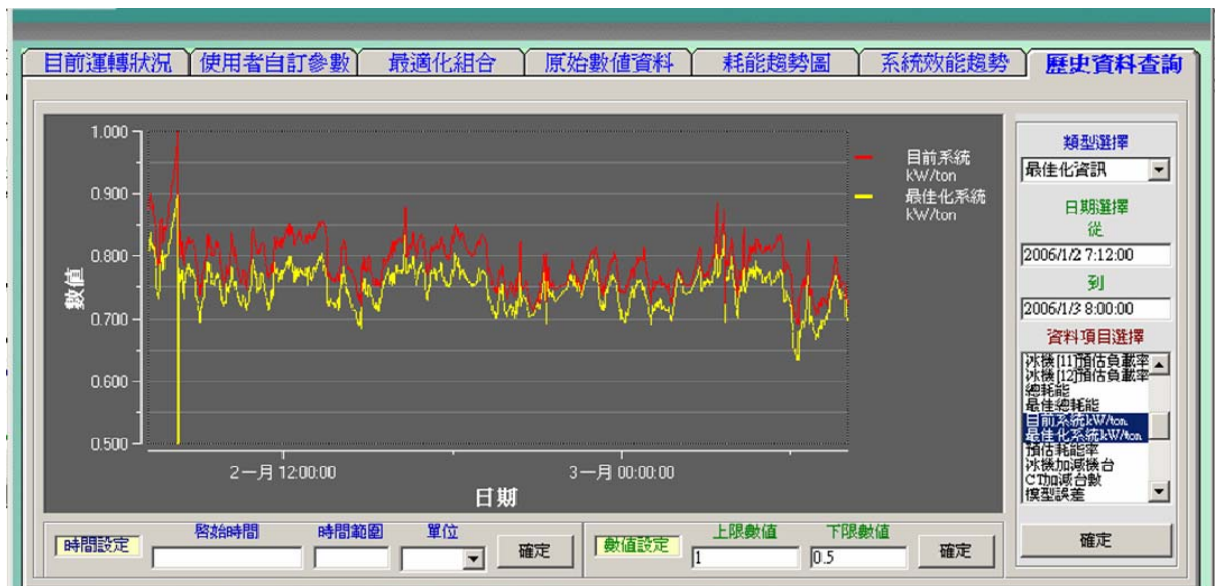


圖 4-30 10/1 到 10/31 的分析資料

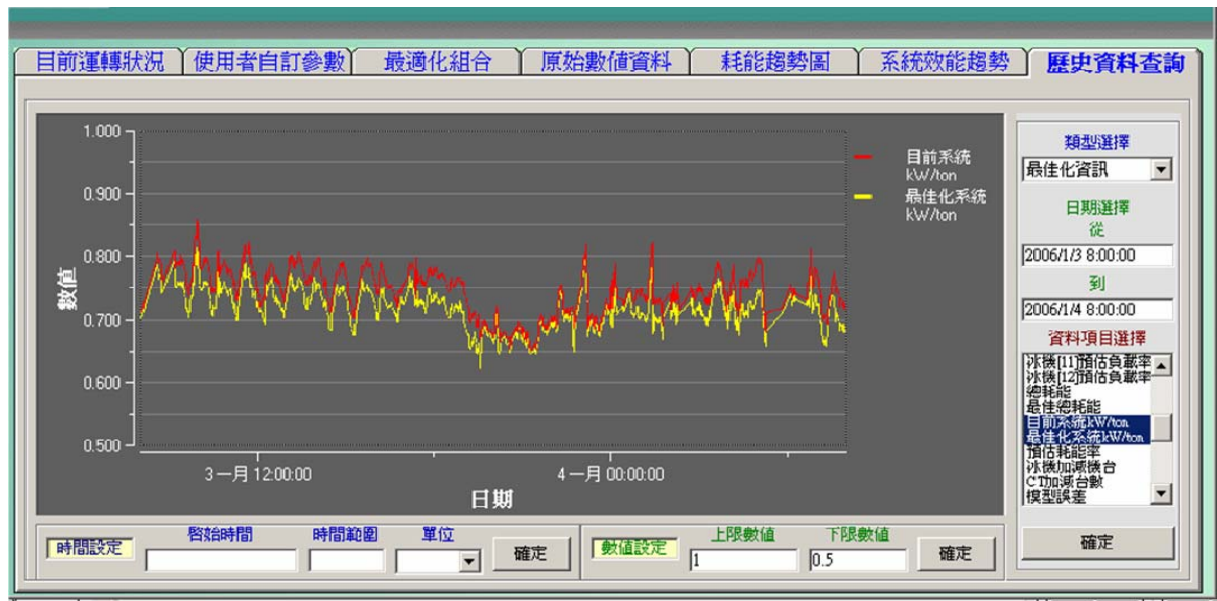


圖 4-31 11/1 到 11/30 的分析資料

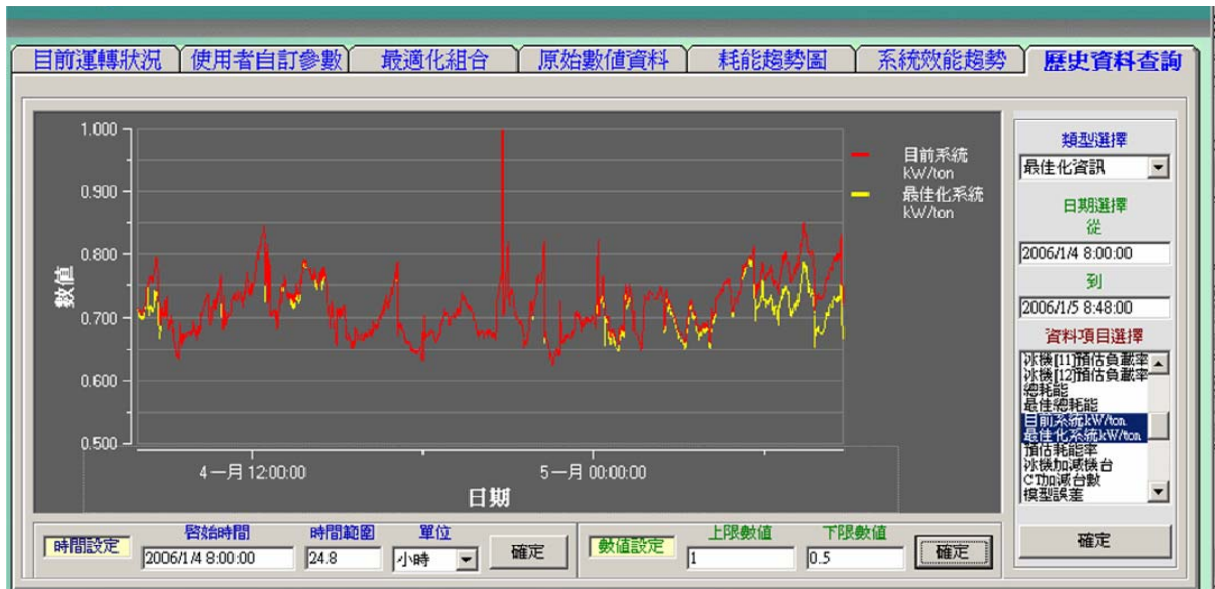


圖 4-32 12/1 到 12/31 的分析資料

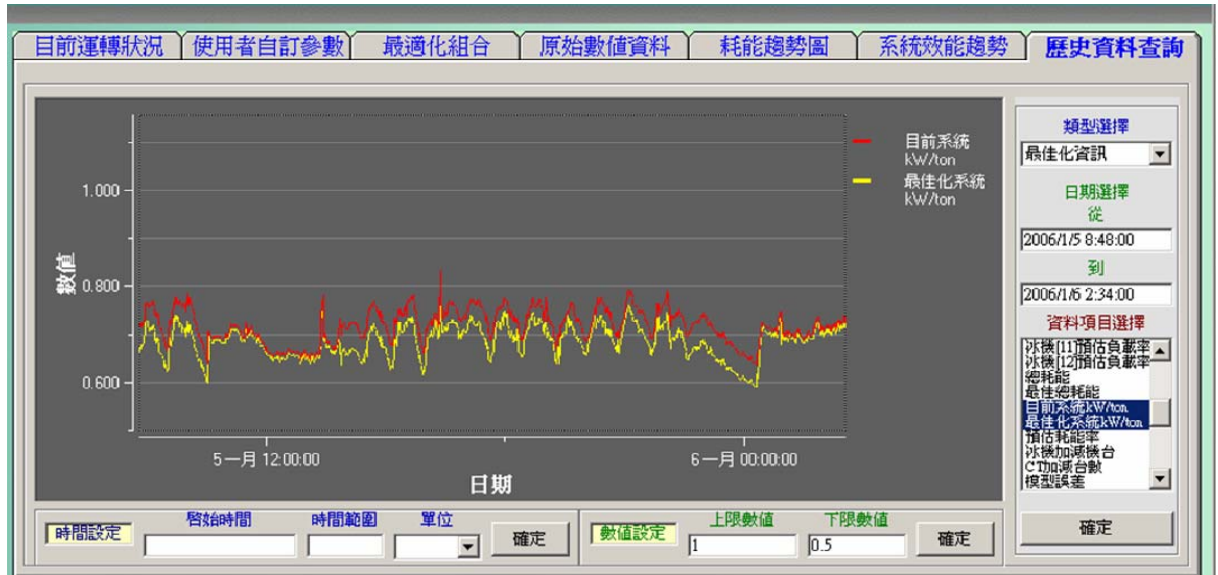


圖 4-33 1/1 到 1/25 的分析資料

根據以上的模擬結果進行以下分析，利用約一季之建模資料進行耗能最適化分析所得到的相關數據。冰機開台數限制導致 12 月份可以進行有意義節能操作的時間偏低，在圖 4-34 所示，12 月份可以進行有意義節能操作的時間偏低。為何 12 月份只有大約 21% 的時間是可以進行節能的？主要目前冰機開台數最低限制為七台，開台數是七台的時間佔全月時間的 79% ，如圖 4-35 所示。關閉不必要運轉之冰機使得其他冰機達到最適運轉效能點為提升系統效能最有效之方式。大部分濕球溫度極低的冬季，冰機開台數大約是七台，無法進行冰機關機之動作，致使 12 月份節能效益有限。冰機開台數限制之訂立主要是因為受限於一次，二次側冰水流量平衡的需求，如果流量過低恐會造成冰水逆流進而造成出水水溫不正常，雖然總冷卻負載極低的冬季，當初評估最低的冰機開台數也不能夠少於 7 台，致使許多的冰水回流至主機降低的冰水主機的負載率並增加水泵的耗電。但在濕球溫度極低的冬季，總負載需求隨著濕球溫度逐漸降低，如圖 4-36 所示。冰機的開台數也逐漸降低至開台數限制值七台，如圖 4-37 所示。可是冰水的回流量卻依然很高，如圖 4-38 所示。故實際上經由分析後，發現即使在濕球溫度低、負載低的狀況下，限制其開台數為七台仍有極大部分時候回流量超過一台一次冰水泵浦的流量，故理論上還是可以減開一台冰機的。

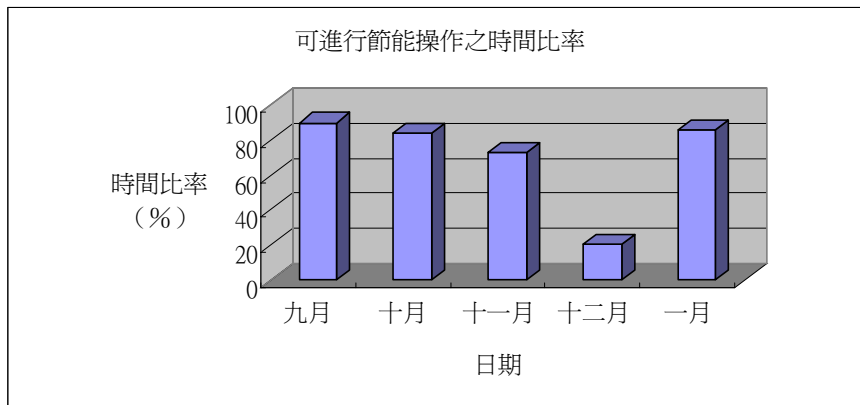


圖 4-34 各月份可進行節能操作時間比率

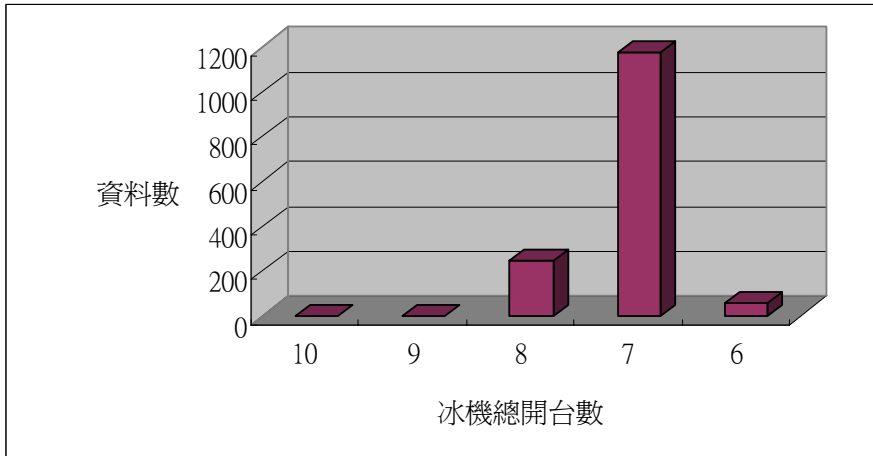


圖 4-35 12 月份冰機開台數分佈圖

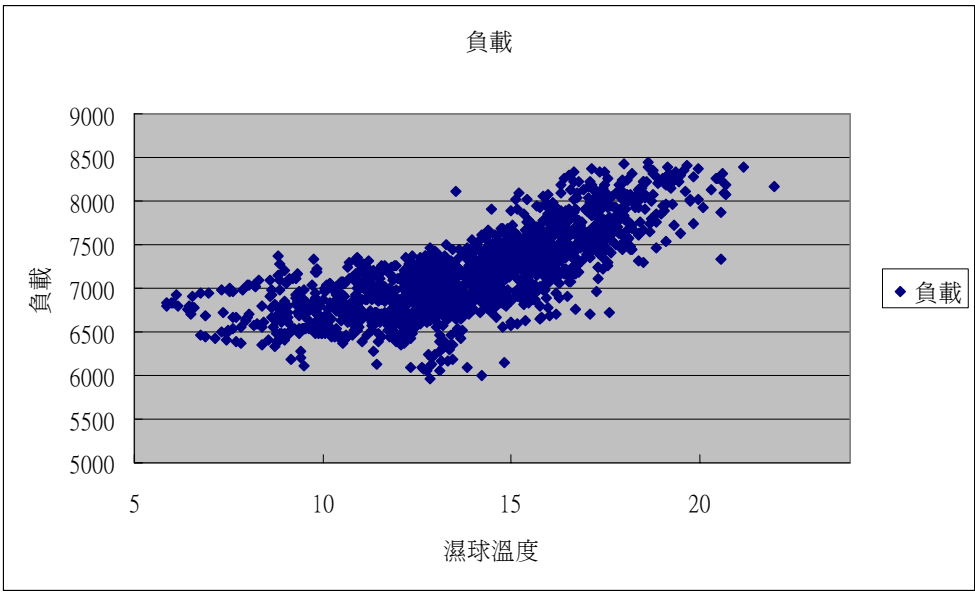


圖 4-36 冰機負載 VS 濕球溫度分佈圖

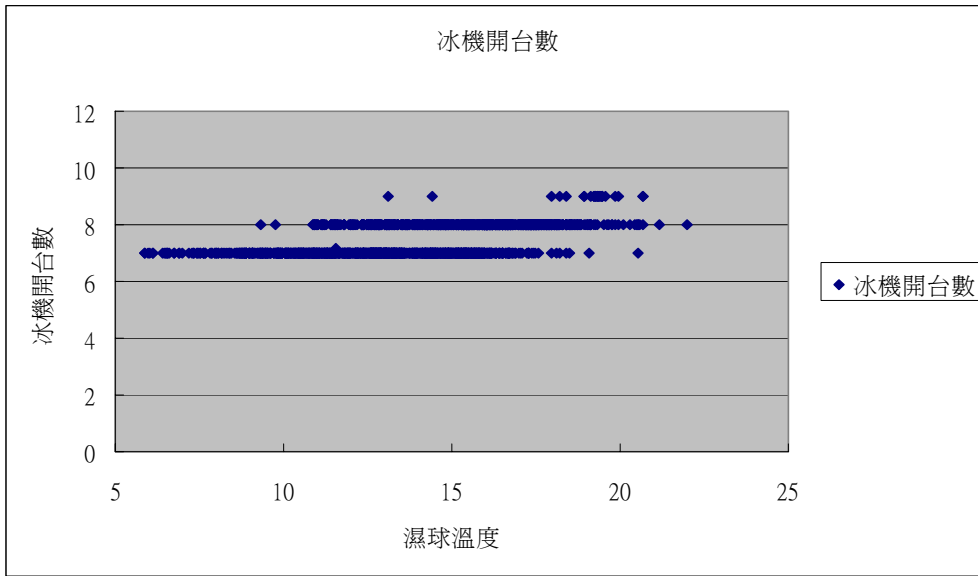


圖 4-37 冰機開台數 VS 濕球溫度分佈圖

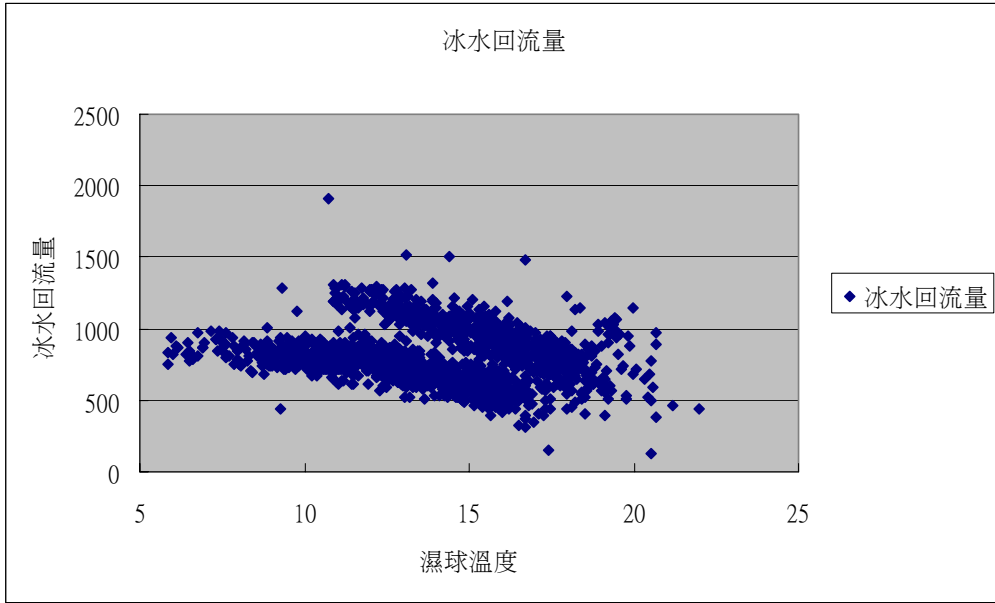


圖 4-38 冰水回流量 VS 濕球溫度分佈圖

在 11 月份大部分時間冰機都是維持在高負載狀態，使得平均節能效益略低，如圖 4-39 所示。雖然 11 月份大部分時間冰機開台數都是多於七台，如圖 4-40 所示，為何只有約 73% 的時間是可以進行操作來有效節能的？且平均節能效益並不是很高（3.8%）。由於關閉不必要運轉之冰機使得其他冰機達到最適運轉效能點為提升系統效能最有效之方式。由於冬季冰機開台數較低，大部分時間冰機都是維持在高負載狀態(如圖 4-41 所示)，關閉冰機會使得其他冰機負載過大，落於較為耗能的區間，所以本月部分的模擬結果效益較差。換句話說，在 11 月份既有的冰機系統的設備規格得以配合外界環境以及既有操作策略，使得本月份系統效能較高。



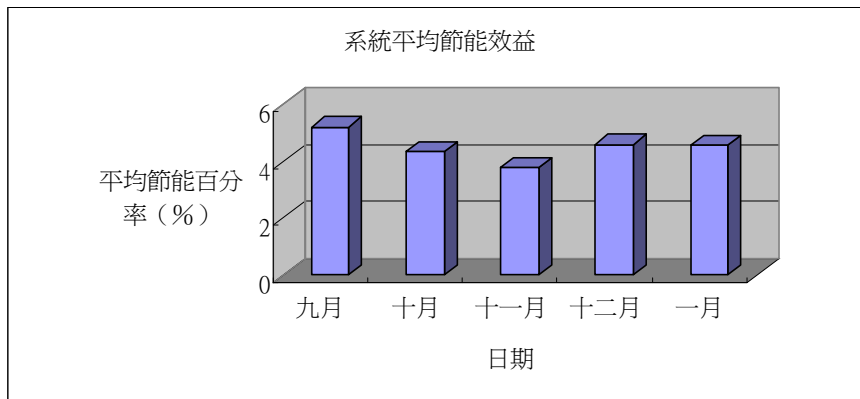


圖 4-39 各月份平均節能效益圖

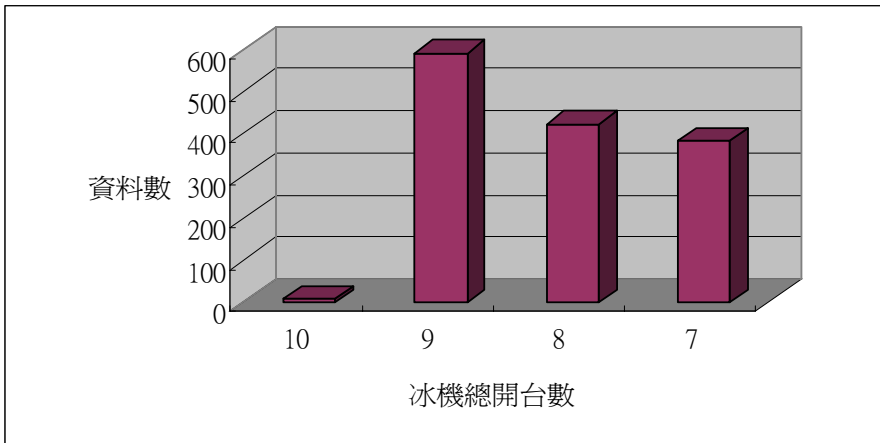


圖 4-40 11 月份冰機總台台數分佈圖

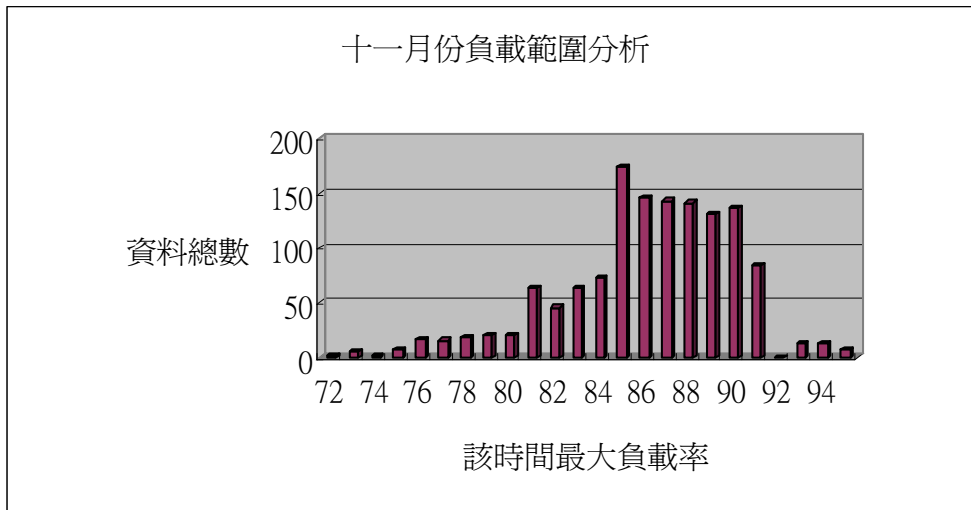


圖 4-41 11 月份最大負載率分佈圖

4.4 節能系統實機測試分析

有了以上的數據分析後，接著就是要將本冰水主機節能系統於實廠運作，直接請現場人員針對節能系統所提供之指引進行操作，進行實機確效。最後比較現有操作模式與導入本節能系統後可達成之操作方式及成效改進。以下於 2006/2/24 由系統評估可以進行減開一台冰機，其冰水主機系統單位冷凍噸耗能將會下降，故決定採用建議策略進行操作後，實際系統每單位冷凍噸的耗能（藍色）降低至當時預估的量值（黃色曲線之延伸），確認本節能系統可以正確預估出冰水主機系統的最適操作模式。見圖 4-42。



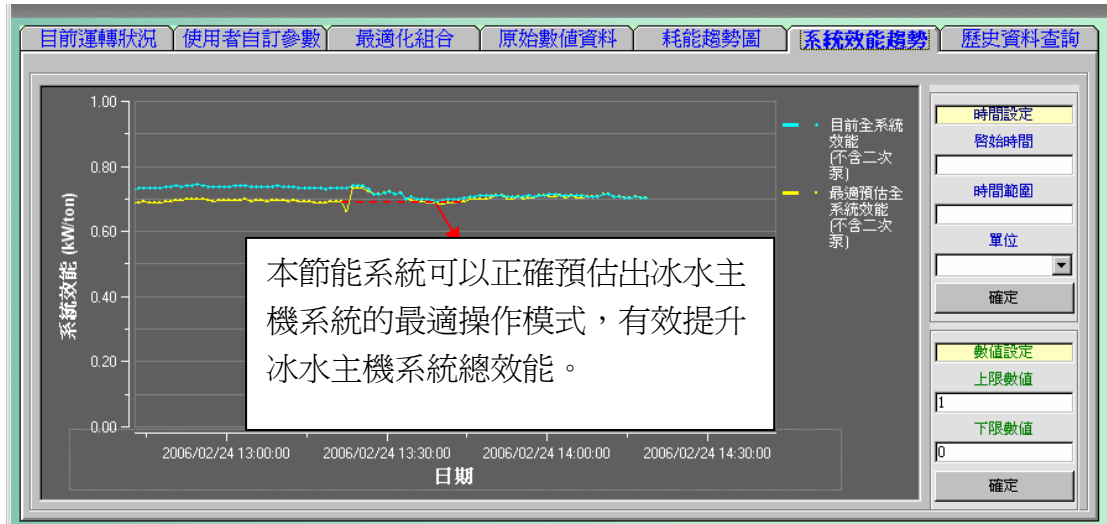


圖 4-42 節能系統實機測試分析

5. 結論

一般來說依據原廠所給之單台冰機效能曲線(效率 vs. 負載率)，冰水主機於負載率約為 70%~80%的情況下具有最高效率，而非滿載時效率最高，且冰水主機運轉於滿載的時間比例約 1%，又空調機組因調度的情形不同，各部主機在運轉的時間、管線配置等等因素影響之下，運轉一段時間之後，每台冰水主機的性​​能皆會有所差異，因此可採用良好的冰水主機控制策略來節約能源，而以往皆採用操作人員之經驗來操作，這種傳統的控制策略究竟會有多大的效益，往往都是以概估的數據來當作為節能的成效，這樣的做法也較難去評斷各種節能策略的差異程度，因此本論文所使用的統計分析方法，乃是利用運轉數據進行系統運轉模型建構，再根據實際運轉狀況比對出和運轉模型的差異，進而找出可能存在的節能空間，提供給操作人員作為操作的方向。經由前面章節的系統模擬分析以及實際安麗運轉測試數據的資料分析比較，可得到下列數點結論：

1. 冰水主機操作策略依據現有操作，多冰機併聯運作其效能並非如理想單台的測試結果一般，且運轉台數及其較佳效率點全憑操作員之經驗進行加減台數，再則依據不同的冷卻水入水溫度以及負載率，冰水主機會有不同的效能表現。經過改善後，考量冰機併聯效能表現，給予系統最佳化的操作建議，並能考量實際各台冰機的特性，以冷卻水溫及負載率預測其效能，而且每次至多加開或減開一台冰機，避免影響系統穩定性，不再需要憑藉過廣的操作區間及不正確的效能曲線進行不確定的操作，以全系統預估總效能為參考進行最佳運轉操作。
2. 冷卻水塔操作策略，依據各台運轉頻率之上下界線或操作員之經驗進行加減台，其上下界線頻率範圍廣(分別為 45HZ 及 30HZ)，範圍應可以縮減，並依據各項條件而有所改變。經過改善後，考量環境條件、冰機運轉、水塔負載、出水溫設定等以及給予系統最佳化之操作建議，不再需要憑藉過廣的操作區間及不正確的效能曲線進行不確定的操作，以全系統預估總效能為參考進行最佳運轉操作。
3. 冷卻水塔冷卻水出水水溫設定是參考冷卻水塔原廠所給之操作曲線，在不同外氣濕球溫度下設定不同的趨近溫度，趨近溫度設定過小可能造成冷卻水塔過於耗能，設定過大則可能造成冰水主機過於耗能。經過改

善後，考量冰機及冷卻水塔配置以及外氣條件，給予系統最佳化之操作建議，以全系統總效能為參考進行最佳運轉操作。

經過上述的運轉測試，歷史平均運轉耗能(不包含二次泵浦)為 26,544,100 (kw)；歷史平均運轉效能為 0.78 (kw/ton)。執行最適化後，平均運轉耗能(不包含二次泵浦)為 25,256,711 (kw)；平均運轉效能為 0.74 (kw/ton)，平均節能效率為-4.85 (%)，若是以單月節省電費概估如下：
 $0.04 \text{ (kw / ton)} * 10,000 \text{ (ton / hr)} * 24 \text{ (hr / day)} * 1.8 \text{ (NT / kw-hr)} * 30 \text{ (day / month)} = 518,400 \text{ (NT / month)}$



參考文獻

- [1] 胡石政,蔡尤溪, ”高科技產業耗能耗電研究”, 89 年度電力科技產業學術合作研究計畫
- [2] 許宏存, ”冰機經驗模式應用於性能評估之研究”, 國立臺北科技大學, 2004, June
- [3] 涂煌秋, ”冰水主機負載分配最佳效能之提升”, 國立臺北科技大學, 2003, Jan
- [4] 吳武傑, ”直膨螺旋機式冰水機組操作特性與效率提昇之研究”, 碩士論文, 國立臺北科技大學電機工程系碩士班, 2002
- [5] 李良梧, ”漫談建築、空調系統與節約能源”, 冷凍空調技術雜誌, Jun, 1991
- [6] 黃傳興, ”空調主機節約能源方法”, 中國冷凍空調雜誌, Jun, 1992
- [7] 楊冠雄, ”中央空調系統節約用電之研究”, 電機技師第 38 期
- [8] 張永宗, ”冰水主機節能調度”, 冷凍與空調雜誌, Oct, 2002
- [9] 趙慶松, ”冰水主機最佳化控制”, 臺北科技大學碩士論文, Jun, 2002
- [10] 林福安, 以支界法應用於冰水主機最佳化排序之研究, 碩士論文, 國立臺北科技大學冷凍空調工程系碩士班, 2003
- [11] 林彥翔, ”半導體廠冰水系統之最佳化設計”, 碩士論文, 國立臺灣大學機械工程學系碩士班, June, 2002
- [12] 林瑞昆, ”應用基因演算法於冰水主機負載分配之最佳化”, 國立臺北科技大學, June, 2003
- [13] Browne, M. W., and Bansal, P. K., “Challenges in modeling vapor-compression liquid chillers,” ASHRAE Transactions, vol. 104, pt. 1, 1998
- [14] Browne, M. W., and Bansal, P. K., “Steady-state model of centrifugal liquid chillers,” International Journal of Refrigeration, vol. 21, no. 5, 1998, pp. 343-358
- [15] Browne, M.W., and Bansal, P.K., “An elemental NTU-emodel for vapour-compression liquid chillers,” International Journal of Refrigeration, vol. 24, no. 7, 2001, pp. 612-627
- [16] Fu, L., Ding, G, Su, Z., and Zhao, G, “Steady-state simulation of screw

- liquid chillers,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 22, 2002, pp. 1731-1748
- [17] Yik, F.H.W., Lam, V.K.C., “Chiller model for plant design studies, ” *Building Services Engineering Research and Technology*, vol.19, no.4, 1998, pp.233-242
- [18] Sreedharan, P., and Haves, P., “Comparison of Chiller Models for Use in Model-Based Fault Detection,” Lawrence Berkeley National Laboratory, no. LBNL-48149, 2001
- [19] Swider, D.J., Browne, M.W., Bansal, P.K., and Kecman, V., “Modelling of vapour-compression liquid chillers with neural networks,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 21, 2001, pp. 311-329
- [20] Bechtler, H., Browne, M.W., Bansal, P.K., and Kecman, V., “New approach to dynamic modeling of vapour-compression liquid chillers: Artificial neural networks,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 21, 2001, pp. 941-953
- [21] Hydeman, M., “Tools and Techniques to Calibrate Electric Chiller Component Models,” *ASHRAE Transactions*, 2002, AC-02-9-1
- [22] Hydeman, M., Sreedharan, P., Webb, N., and Blanc S. “Development and Testing of a Reformulated Regression-Based Electric Chiller Model,” *ASHRAE Transactions*, HI-18-2. 2002
- [23] Reddy, T.A., and Andersen, K.K., “An evaluation of classical steady-state off -line linear parameter estimation methods applied to chiller performance data, ” *HVAC&R Research*, vol.8, no.1, 2002, pp.101-124
- [24] Swider, D.J., “A comparison of empirically based steady-state models for vapor-compression liquid chillers,” *Applied Thermal Engineering*, vol. 23, no.5, 2003, pp. 539-556
- [25] 黃博全, 古義椰, 蔡柏澧, 金光梅, 林瑞泓, “冰水主機機組之類神經網路模式與最適化研究,” 程式工程研討會, 2004
- [26] Gordon, J.M., K.C. Ng, and H.T. Chua, “Centrifugal chillers : thermodynamic modeling and a diagnostic case study,” *International Journal of Refrigeration*, vol. 18, no. 4, 1995, pp. 253-257

- [27]Ng, K.C., Chua, H.T., Ong, W., Lee, S.S., and Gordon, J.M., “Diagnostics and Optimization of Reciprocating Chillers: Theory and Experiment,” Applied Thermal Engineering, vol. 17, no. 3, 1996, pp.263-276
- [28]Gordon, J.M., and Ng, K.C., “Cambridge: International Science Publishing,” Cool Thermodynamics, 2000
- [29]Gordon, J.M., K.C. Ng, H.T. Chua, and C.K. Lim, “How varying condenser coolant flow rate affects chiller performance: thermodynamic modeling and experimental confirmation.” Applied Thermal Engineering, vol. 20, 2000, pp. 1149-1159
- [30]Lee, T.S. “Thermodynamic modeling and experimental validation of screw liquid chillers,” ASHRAE Transactions, vol. 110, pt.1, 2004
- [31]R.J. Hackner, J.W. Mitcell and W.A. Beckman, ” HVAC System Dynamaics and Energy Use in Buildings-Part I” , ASHRAE Transactions VOL.90, 1984
- [32]”Supervisory Control Strategies and Optimization,” ASHRAE Handbook, Ch.40, 1999
- [33]James E. Braun, George T. Diderrich, ”Cooling system with improved fan control and method,” United States Patent, August 20, 1991
- [34]Michael C. A. Schwedler, Jon R. Hage; Dennis R. Dorman; Michael J. Stiyer, “Near optimization of cooling tower condenser water,” United States Patent, February 11, 1997
- [35]Kuo-Liang Weng, “Refrigerating/air conditioning heat exchanging system with combined air/water cooling functions and the method for controlling such a system,” United States Patent, April 11, 2000
- [36]Thomas Hartman, “Method of control of cooling system condenser fans and cooling tower fans and pumps,” United States Patent, July 10, 2001
- [37]William R. Henry, “Method to optimize chiller plant operation,” United States Patent, April 13, 2004
- [38]Chi-Yi Wang, “Cooling tower for automatically adjusting flow rates of cooling water and cooling air with variations of a load,” United States Patent, September 10, 2002

- [39]Lee L. Sibik, “Chiller capacity control with variable chilled water flow compensation,” United States Patent, August 21, 2001
- [40]郭旭初, ” 空調系統一節能之概述” , 冷凍空調技術雜誌, P.96—100 , Jun , 1991
- [41]古松國, ” 倒傳遞類神經網路在冰水主機節能控制上的應用 ” , 國立臺北科技大學, 2003
- [42]陳志豪, ” 應用類神經網路預測空調負載 ” , 國立臺北科技大學, 2003
- [43]L. Eriksson, E. Johnson, N. Kettaneh-Wold, and S. Wold, “ Multi- and Megavariate Data Analysis,” Umetrics, June 07, 2001



自 傳

敝人，楊景超，於民國58年11月16日出生在台南縣善化鎮，目前定居在新竹市，已婚，育有一兒一女。

國中畢業後，順利進入國立高雄工業專科學校機械工程科就讀；服完憲兵役後，考進國立臺灣工業技術學院機械工程技術系。專題實務選擇參與德州儀器公司建教合作計畫「利用形狀記憶合金改善積體電路封裝」。大學畢業後，參加職訓中心舉辦之技能檢定，獲得冷凍空調裝修技術士乙級檢定執照，並於九十年通過冷凍空調技師高等考試。因為學而後知不足，在92年考取交通大學精密與自動化研究所在職專班，雖然一邊工作一邊唸書作研究，經歷工作、家庭與課業三者一起煎熬倍感辛苦，但是相較大學時代求學經驗感覺踏實許多。

85.08~89.04在臺灣日立股份有限公司，擔任經銷業務及工程設計；曾參與規劃欣錫國際股份有限公司竹崎新建廠房空調工程、私立大同商專體育館空調工程。89.04~迄今在力晶半導體股份有限公司廠務機電課擔任工程師，負責空調系統運轉改善及節能，參加94年節能績優廠商獲選傑出獎，95年升等為技術課長，負責12C無塵室建廠工程。

平常個性開朗、隨和，喜歡運動如羽毛球、手足球及電腦，專長為空調設計、節能改善，平時做事不怕挑戰，喜歡理論與實務結合。