

DT
446.7
1143
100
225118

國立勤益科技大學
冷凍空調與能源科技研究所
碩士學位論文

儲冰空調系統儲冰融冰控制技術之探討
-以大學體育館新建工程為例



Investigation of Charging and Discharging Control Strategies for a
Thermal Energy Storage System
- A Case Study of University Gymnasium

研究生：張梓祥

指導教授：許守平 博士

中華民國 100 年 1 月

國立勤益科技大學圖書館



225118

儲冰空調系統儲冰融冰控制技術之探討

-以大學體育館新建工程為例

**Investigation of Charging and Discharging Control Strategies for a
Thermal Energy Storage System
– A Case Study of University Gymnasium**

研究生：張梓祥

指導教授：許守平 博士



國立勤益科技大學
冷凍空調與能源科技研究所
碩士論文

A Thesis

Submitted to

National Chin-Yi University of Technology
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Science
in
Engineering

January 2011

Taiping, Taichung, Taiwan, Republic of China

中華民國 100 年 1 月

國立勤益科技大學

博碩士論文全文上網授權書

(提供授權人裝訂於紙本論文書名頁之次頁用)

本授權書所授權之論文為授權人在國立勤益科技大學
冷凍空調系 _____ 組 99 學年度第 一 學期取得碩士學位之論
文。

論文題目：儲冰空調系統儲冰融冰控制技術之探討-以大學體育館新
建工程為例

指導教授：許守平 博士

■ 同意

本人具有著作權之論文全文資料，非專屬、無償授予本人畢業學校圖
書館，不限地域、時間與次數，以微縮、光碟或數位化等各種方式重
製與利用，提供讀者基於著作權法合理使用範圍內之線上檢索、閱
覽、下載及列印。

論文全文上載網路公開之範圍及時間：

校內區域網路	<input checked="" type="checkbox"/> 立即公開
校外網際網路	<input checked="" type="checkbox"/> 立即公開

授權人：張梓祥

簽名：張梓祥

中 華 民 國 100 年 2 月 24 日

國家圖書館

博碩士論文電子檔案上網授權書

本授權書所授權之論文為授權人在國立勤益科技大學冷凍空調系 99 學年度第一學期取得碩士學位之論文。

論文題目：儲冰空調系統儲冰融冰控制技術之探討-以大學體育館新建工程為例

指導教授：許守平 博士

茲同意將授權人擁有著作權之上列論文全文（含摘要），非專屬、無償授權國家圖書館，不限地域、時間與次數，以微縮、光碟或其他各種數位化方式將上列論文重製，並得將數位化之上列論文及論文電子檔以上載網路方式，提供讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印。

上列論文為授權人向經濟部智慧財產局申請專利之附件或相關文件之一（專利申請案號：_____），請於_____年_____月_____日後再將上列論文公開或上載網路。

因上列論文尚未正式對外發表，請於100年6月30日後再將上列論文公開或上載網路。

授權人：張梓祥

親筆簽名及蓋章：張梓祥

民國100年2月24日

電話：

傳真：

聯絡地址：台中市北屯區興安路一段49號

E-Mail：zuhsiang@ms21.hinet.net

審定書

國立勤益科技大學
冷凍空調與能源系碩士班
論文口試委員會審定書

本校 冷凍空調與能源系 碩士班 張梓祥 君

所提論文 儲冰空調系統儲冰融冰控制技術之探討

-以大學體育館新建工程為例

合於碩士資格水準，業經本委員會評審認可。

口試委員：胡維祖 _____

許子平 _____

吳友烈 _____

指導教授：許子平 _____

系(所)主管：張梓祥 _____

中華民國 100 年 / 月

儲冰空調系統儲冰融冰控制技術之探討

-以大學體育館新建工程為例

研究生：張梓祥

指導教授：許守平 博士

國立勤益科技大學冷凍空調與能源科技研究所

中文摘要

由於人類文明的進步，物質生活水準不斷提高，空調使用普及率逐年增長，電力的使用在尖峰用電時刻亦每年另創高峰。雖然電力在夏季尖峰用電時吃緊，甚至要達到調節大型供電用戶需量情形，但在離峰用電時段，發電量又無法得到充份運用，因此如何調整尖離峰用電，平衡電力供應，提高電力有效利用，實為重要課題，因此電力公司為了推動此項政策，提供了尖離峰時間電價優惠辦法，促使儲冰空調系統有足夠發展及存在之必要。儲冰空調系統為一利用夜間離峰時間儲冰而於白天融冰釋出冷能提供空調之系統，其為一有效轉移尖峰時空調電力負載之應用技術。本文將以中部某大學體育館之儲冰空調系統運轉實例提出探討及研究，在儲冰及融冰運轉過程中，採用最佳控制方式，經由長期之現場量測及監控數據顯示，此儲冰式空調使系統不僅能長期穩定並適時提供體育館之空調需求，並成功且令人滿意地達到轉移尖離峰用電需量及節省電費支出之目的。

關鍵詞：儲冰、空調、尖峰用電、離峰用電。

Investigation of Charging and Discharging Control Strategies for a Thermal Energy Storage System – A Case Study of University Gymnasium

Researcher : Tzu-Hsiang Chang

Advisors : Dr. Shou-Ping Hsu

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

Abstract

The peak load of electric power demand and energy demand has increased dramatically during recent years due to a large increase of air conditioning demands during summer time. However, the limitations on the level of electric power and high costs for electric power during peak hours made the off-peak application of air conditioning equipment feasible. Thermal energy storage (TES) system is considered one of the most advanced energy technologies to solve a mismatch between the supply and consumption of energy. TES systems are the storage of ice for space cooling generated electrically during off-peak hours and for use during subsequent peak hours. This paper deals with the methods and applications of assessing control strategy for TES system. A case study in a university gymnasium was conducted to evaluate the optimum control of the charging and discharging process corresponding to the air conditioning demand for the TES system. The results from field measurement and on-site monitoring data revealed that the TES system can meet the air conditioning demands of the gymnasium satisfactorily and shift the peak load electric power demand successfully. The proposed charging and discharging control strategies for the TES system can provide not only satisfactory cooling load demand and stable operation, but also energy-saving and cost-effective system by shifting on-peak demand.

Key words: Thermal energy storage, air conditioning, on-peak demand,
off-peak demand.



誌 謝

終於到了寫謝誌的時刻，讓我能順利完成研究所階段的學習，真的要感謝太多人的教誨與幫助。三年半的時間不算短暫，但也匆匆的就這樣經歷過。構思如何撰寫這份論文的謝誌，彷彿是回想這三年半來研究所的點滴，感謝之意時時放在心底，但若有因為我的疏忽而有所遺漏的部份，請你們見諒，但在我心裡其實抱著十二萬分的感謝。

本論文能夠順利完成，首先要感謝的就是恩師許守平博士。他由論文題目的發想建議，到之後的實地執行與分析撰寫，每次的 meeting 老師都不厭其煩的教導與提點，也讓我有持續的動力能夠完成這份論文。而在與老師的互動過程中，儘管我的想法有時表達的不夠完整，老師仍清楚地指出我該走的方向；儘管我論文進度緩慢時常拖延，老師仍耐心的給予鼓勵，因此，這份論文的完成順利付梓，更要感謝老師的付出與包容，讓學生能夠在研究階段如此順利完成學業。

此外，也要感謝兩位口試委員胡耀祖博士與吳友烈博士對這份論文的建言。感謝二位在百忙之中仍不辭辛勞，願意擔任這份論文的口試委員，同時以豐富的學術涵養與嚴謹的研究精神，給予這份論文精闢的見解與寶貴的建議，使得這份論文能夠更臻於完整。

感謝共同努力的研究所同學，特別感謝：金雄、明志同學，因為有你們在一旁共同鼓勵，讓艱辛的研究所學習過程變得較為有趣，使這段學習期間，增添許多歡笑及色彩。在此感謝翁國亮博士、淨英學弟，在文件整理期間，能夠給予行政

事務上的幫助及指導。

最後，特別要感謝父母養育之恩，感謝我的家人、兄長及內子不斷的鼓勵與支持，讓我能繁忙的工作與家庭責任中，猶能撥出時間無後顧的完成研究所學業，感謝您們對我的照顧與包容。

在工作二、三十年後，仍然能重返校園再溫學子夢想，心中是滿懷感恩，對於這段求學之路，儘管是在家庭與工作兩頭忙碌之際完成，如果在研究所的領域有一絲一毫的成就，我都意與大共同分享。

回首過去，感謝所有曾經為我擔心、幫助我與照顧我的人，謝謝你們!! 因為有你們的幫助，我才能順利完成這份論文。



張梓祥 謹誌於
國立勤益科技大學
冷凍空調與能源科技研究所
100年1月

目 錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
誌 謝.....	iv
目 錄.....	vi
表目錄.....	viii
圖目錄.....	ix
第一章 緒論	1
1.1 研究背景.....	1
1.2 研究目的.....	3
1.3 文獻回顧.....	4
1.4 研究流程.....	12
第二章 研究方法	14
2.1 實驗步驟.....	21
2.2 實驗設備.....	23
2.3 資料分析.....	25
第三章 案例分析.....	26
3.1 案例基本資料.....	28
3.2 原系統規劃.....	33
3.3 問題分析與探討	37
3.4 改善方案.....	40
第四章 案例實證分析	41
4.1 實驗資料.....	41
4.2 案例資料分析	52

4.3 實驗驗證與結果	54
4.4 本研究案例經濟效益	60
第五章：結論與建議	62
5.1 結論	62
5.2 建議	63
參考文獻	64
附錄一：實驗過程記錄	附 1-1
附錄二：作者簡歷	附 2-1



表目錄

表 1 儲冷空調系統與傳統式空調系統之比較.....	4
表 2 全量及分量儲冰系統特性比較.....	18
表 3 水、冰及優態鹽儲能密度之比較.....	19
表 4 乙二醇特性表.....	20
表 5 主要的量測儀器.....	24
表 6 融冰狀態搜集資料表.....	25
表 7 冰水主機標準規範表.....	28
表 8 融冰模式-比例式水閥開度 100%記錄值.....	42
表 9 融冰模式-比例式水閥開度 90%記錄值.....	43
表 10 融冰模式-比例式水閥開度 80%記錄值.....	44
表 11 融冰模式-比例式水閥開度 70%記錄值.....	45
表 12 融冰模式-比例式水閥開度 60%記錄值.....	46
表 13 融冰模式-比例式水閥開度 50%記錄值.....	47
表 14 融冰模式-比例式水閥開度 40%記錄值.....	48
表 15 融冰模式-比例式水閥開度 30%記錄值.....	49
表 16 融冰模式-比例式水閥開度 20%記錄值.....	50
表 17 融冰模式-比例式水閥開度 10%記錄值.....	51
表 18 融冰模式-比例式水閥開度 35%記錄值.....	52
表 19 儲冰系統與一般系統經濟效益比較.....	60
表 20 儲冰系統與一般系統運轉費用比較表.....	61

圖目錄

圖 1 內融冰儲冰方式	6
圖 2 外融冰儲冰方式	7
圖 3 內融冰與外融冰之冷媒或鹵水離開儲冷槽之溫度變化情況	7
圖 4 研究架構圖	13
圖 5 全量儲冰式空調系統運轉時程圖	14
圖 6 全量儲冰式空調系統儲冰過程	15
圖 7 全量儲冰式空調系統空調過程	15
圖 8 分量儲冰式空調系統運轉時程圖	16
圖 9 分量儲冰式空調系統儲冰過程	16
圖 10 分量儲冰式空調系統空調過程	17
圖 11 案例之儲冰水管測試系統圖	22
圖 12 量測儀器設備圖	23
圖 13 儲冰空調監控系統圖	25
圖 14 本研究案例之建築外觀	26
圖 15 儲冰空調主機設備安裝圖	29
圖 16 本研究案例系統流程示意圖	29
圖 17 儲冰水桶內部圖	30
圖 18 儲冰水桶外觀圖	30
圖 19 板式熱交換裝置設備圖	31
圖 20 冰水側循環水泵	31
圖 21 本研究案例儲冰狀態之流程示意圖	33
圖 22 本研究案例融冰狀態之流程示意圖	34
圖 23 本研究案例儲冰系統檢修時-運轉狀態之流程示意圖	34
圖 24 原系統水管流程圖(一)	35

圖 25	原系統水管流程圖(二).....	36
圖 26	案例之儲冰水管測試系統圖.....	37
圖 27	原系統設計融冰曲線圖.....	38
圖 28	融冰時之儲冰無完全融化.....	39
圖 29	融冰模式-比例式水閥開度 100%測試曲線圖.....	42
圖 30	融冰模式-比例式水閥開度 90%測試曲線圖.....	43
圖 31	融冰模式-比例式水閥開度 80%測試曲線圖.....	44
圖 32	融冰模式-比例式水閥開度 70%測試曲線圖.....	45
圖 33	融冰模式-比例式水閥開度 60%測試曲線圖.....	46
圖 34	融冰模式-比例式水閥開度 50%測試曲線圖.....	47
圖 35	融冰模式-比例式水閥開度 40%測試曲線圖.....	48
圖 36	融冰模式-比例式水閥開度 30%測試曲線圖.....	49
圖 37	融冰模式-比例式水閥開度 20%測試曲線圖.....	50
圖 38	融冰模式-比例式水閥開度 10%測試曲線圖.....	51
圖 39	融冰模式-比例式水閥開度 35%測試曲線圖.....	52
圖 40	融冰模式-比例式水閥開度 35%測試系統圖.....	53
圖 41	最佳融冰流量之儲冰槽融冰量記錄圖-第 1 天(A).....	54
圖 42	最佳融冰流量之儲冰槽餘冰量記錄圖-第 1 天(B).....	55
圖 43	最佳融冰流量之儲冰槽儲冰量記錄圖-第 1 天(C).....	55
圖 44	最佳融冰流量之儲冰槽融冰量記錄圖-第 2 天(A).....	56
圖 45	最佳融冰流量之儲冰槽餘冰量記錄圖-第 2 天(B).....	56
圖 46	最佳融冰流量之儲冰槽儲冰量記錄圖-第 2 天(C).....	57
圖 47	最佳融冰流量之儲冰槽融冰量記錄圖-第 3 天(A).....	57
圖 48	最佳融冰流量之儲冰槽餘冰量記錄圖-第 2 天(B).....	58
圖 49	最佳融冰流量之儲冰槽儲冰量記錄圖-第 3 天(C).....	58

第一章 緒論

儲冰空調系統(Ice storage air conditioning systems)係利用夜間離峰電力，啟動空調主機，製冷儲存，待日間尖峰時段釋放冷能，供應冷氣系統，充份利用離峰時段較低廉之電力，來轉移尖峰空調負載，是降低尖峰電力負荷的最佳方法之一。對電力供應者而言，儲冰系統是避免電力用電增加需再增設發電廠與減少管理負擔的最佳辦法。對電力用戶而言，儲冰系統可充分利用離峰時段較低廉之電力，用戶不但可以降低經常用電契約容量，享受電價優惠，節省空調電費支出，電源缺乏時還可以提高空調的可靠使用。

1.1 研究背景

人類的日常生活中約有70%的時間都待在建築物中，而現代的建築物也在舒適性的前提下增加諸多耗能設備，空調設備成為能源的極大使用設備，約佔一般建築大樓總耗電的30~40%，同時也是夏季造成尖峰負載的主要原因，如何使空調系統在不影響室內空氣品質及人類舒適性下，達到省能的目的，便成為空調系統規劃一大前題。

近年來，由於國民所得提高，冷氣負載大幅增加，導致電力系統尖峰負載激增。因此，如何推廣儲冰空調系統至一般大型商業辦公大樓及工業界使用，為現階段最直接也是最有效的負載管理方式。國內現在雖有少數大樓採用儲冰空調系統或冰水儲存系統，但一般用戶而言，因其回收年限過於長

久，因此不易有效大力的推廣。

儲冰空調系統其優點：

- (1). 冷凍主機容量降低，電力設備費用與機械室面積減少，受電容量設備可減少。
- (2). 利用離峰電力，可平衡電力之功能，減緩新電廠之設置。
- (3). 運轉費用減少；因冷凍主機容量降低，減少基本電費之支出。且主機處於高效率狀況下，可節省電力，並且享受電力公司離峰時段優惠的時間電價，而減少流動電費的支出。
- (4). 空調區間設備容量減少、噪音降低，此乃由於儲冰式空調，冰水系統出水溫度較低之原故。
- (5). 相對溫度低，係因為冰水溫度進水溫度低時，空氣經過冷卻盤管時除濕量多，室內相對濕度降低，空調區間品質、舒適性較高。
- (6). 利用區域水泵規劃，空調負荷可以分區相當精細。結合區域冷房系統，降低初設費用及運轉費用，更具節能功效。
- (7). 停電時，尚可供應部分重要地區之空調。
- (8). 提高電力系統設備利用率，抑制電力之尖峰用電負載，達到平衡尖離峰時電力負載。

儲冰空調系統其缺點：

- (1). 增加儲冰設備之裝置費用與空間。
- (2). 製冰時蒸發溫度降低，冷凍主機製冷能力降低，單位耗能量增加。
- (3). 儲冰空調系統設計、規劃較複雜。

1.2 研究目的

本研究以某大學體育館新建為實證案例，將原設計實際狀況之操作模式下，所產生儲冰完成時進行融冰模式運轉時無法達到全部融冰之問題，以本案例之儲冰空調系統之融冰水管迴路，加裝比例式控制閥，配合監控系統相關設定及變頻器控制，維持板式熱交換器定量溫度之輸出，控制融冰水泵在最佳運轉頻率及最低耗電能，使儲冰槽之儲冰量可完全釋出。本研究有下列目的如下：

- 1、改善本研究案例之儲冰空調系統於融冰運轉模式時，可以達到儲冰桶內最大儲冰量時運轉 8 小時，總融冰比例為達 90% 以上，達到控制最佳化。
- 2、改善本研究案例之儲冰空調系統儲冰桶之儲冰量及融冰量之計算及控制，避免儲冰桶內尚有存冰或到達儲冰量時，因控制計算誤差使儲冰主機仍持續運轉，造成電能之浪費。

1.3 文獻回顧

儲冰系統設備最早於 1930 年代便已開始使用，常見於教堂與會議廳，但直到 1970 年代兩次能源危機後，隨著各種空調系統節能技術與設備的相繼開發，儲冰系統的應用才被大量的發展與研究。儲冰空調系統與傳統式空調系統有基本上不同的設備及運轉概念，除增加儲冷槽外，另有冰水、滷水管路的搭配及運轉策略上的差異。

「儲冷式空調系統」可移轉尖峰時間用電至離峰時間，充分利用離峰時段較低廉之電力，用戶不但可以降低經常用電契約容量，享受電價優惠節省空調電費支出，電源缺乏時還可以提高空調的可靠使用，如表 1 所示，儲冷式空調系統之全量儲冷式比傳統式空調系統電費節省較多[1]。

表 1 儲冷式空調系統與傳統式空調系統之比較

系統種類 項目	儲冷式空調系統		傳統式空調系統
	分量儲冷	全量儲冷	
冷凍主機容量	小	次大	最大
冷凍主機運轉時間	全天	離峰時間	尖峰時間
儲冰槽	小	大	無
初設成本	中	高	低
節省電費	有(較少)	有(較多)	無

資料來源：台灣電力公司網站，2010 年。

儲冰空調系統設備的空調設計上，1975 年 Cuplinks 提出儲冷設備容量之選取方式，可作為系統設計之參考依據[2]，另外 McNeil 針對既有的儲冷系統設備予以評估，發現其運轉費用較傳統式空調節省 22%，並可以提高建築物空調負載因子(Load Factor) [3]。

儲冰空調系統之主機利用夜間離峰電力將尖峰所需的空調負載，以製冰或冰水的方式將冷能儲存起來，而於白天尖峰時段釋放出來，以供空調負載，而方式分成全量儲冰系統及分量儲冰系統兩種。

儲冰空調系統是利用電力負載之離峰時間儲冷，於尖峰時間將冷能用於空調負荷，為平衡尖離峰電力負載有效方法之一。

- 對電力公司方面：
- (1).降低尖峰負載用電。
 - (2).有減緩發電廠建設之壓力。
 - (3).增加離峰用電。
 - (4).可提高發電廠之營運效益

- 對使用戶方面：
- (1).降低尖峰負載用電。
 - (2).可大幅降低契約電費。
 - (3).增加離峰用電。
 - (4).以低價離峰電力轉移至供應尖峰用電時間之空調負荷。

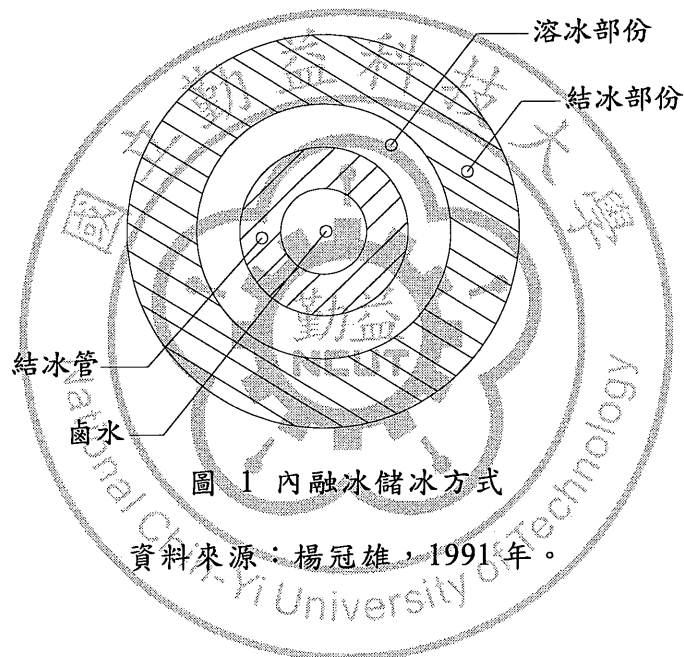
1.儲冰方式

空調回來之滷水通過結冰管路之內部而使之結冰的方式分為:內

融冰式與外融冰式二種[4]。

(1).內融冰儲冰方式

內融冰係指藉空調回水(滷水)通過結冰管路之內部，而使結冰層自管壁處逐漸向外融化之方式(如圖 1 所示)。此模式由於熱阻關係，使融冰釋冷之速率受阻，影響滷水未能充分與冰、水進行熱交換，使溫度上升。



(2).外融冰儲冰方式

外融冰則係藉空調回水(滷水)之溫水，直接進入結滿冰層的儲冰槽內，融冰方式係將冰自外而內逐漸的融解(如圖 2 所示)。此模式由於空調回水直接與冰直接接觸，融冰的結果而有較佳的熱交換效率，因此大抵可維持相變化溫度 (0°C) 左右，約 (1°C) 左右之離槽溫度。

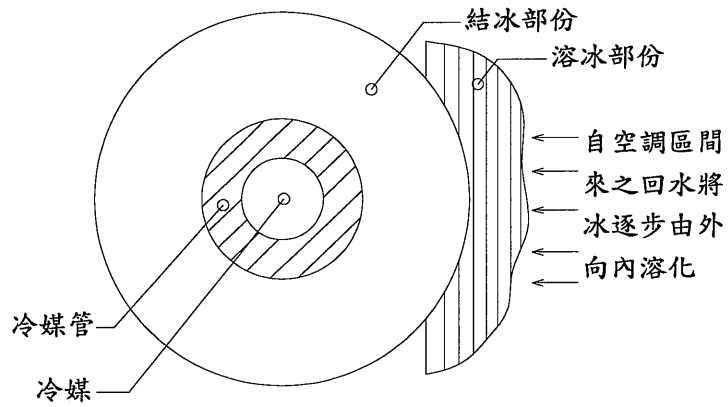


圖 2 外融冰儲冰方式

資料來源：楊冠雄，1991 年。

(3).融冰過程

融冰過程中儲冰槽之溫度變化(如圖 3 所示),依不同儲冰方式之儲冰水槽出水溫度。

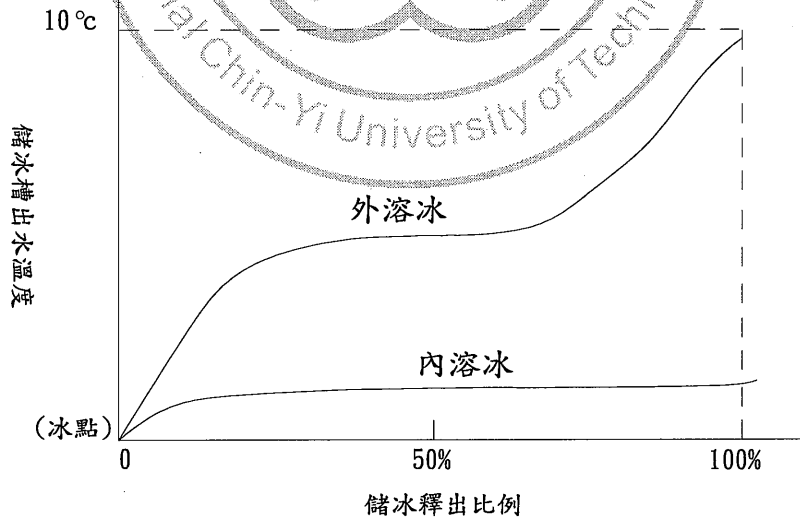


圖 3 內融冰與外融冰之冷媒或鹵水離開儲冷槽之溫度變化情況

資料來源：楊冠雄，1991 年。

儲冰空調系統之基本原理是在電力離峰時段，利用儲冷介質以顯熱或潛熱的方式將冷能儲存，爾後於尖峰時段將冷能釋放，以達到轉移尖峰電力，節省電費及降低電力容量、設備容量之目的。

2. 儲冰槽方式

(1). 冰盤管式(Ice on coil)

將儲冰系統的蒸發器冷媒盤管緊密佈滿整個儲冰槽，當冷媒在管內膨脹時直接使冰結在管外，而釋冰時，則讓空調負載之回水直接沖蝕盤管上的結冰，而達到交換冷能的效果，由於結冰層由外向內融化，故為外融冰方式。

冷媒盤管在結冰的過程中，由於冰層厚度持續的增加，造成熱傳阻抗亦隨之大增，進而使所需的冷媒蒸發溫度必須得更低才行，根據理論，此必造成冷凍主機耗費更多的壓縮功，成為系統耗電增加的主因，通常需於槽內設置攪拌器或以空氣泵使水溫均勻，但其副作用便是長期的泵送空氣於水中，將使水呈現弱酸，易加速盤管的腐蝕。

(2). 完全凍結式(Total Freeze-Up)

儲冰主機蒸發器製得冷能經由二次冷媒(滷水；一般為乙二醇水融液)將儲冰槽內的水結冰儲存，通常用一般塑膠細管深入儲冰槽內，供滷水通過釋放冷能或吸收冷能，不同於冰盤管式，因為細管管路緊密設計，對於儲冰槽內的水可達完全結冰利用，而由於釋冷時滷水經管內融解冰帶走冷能，故為內融冰方式，也因此

所需反應時間會較長。

由於採用滷水作為製冷介質，故屬間接冷凍方式，就理論上而言，儲冰時所需的儲冷主機蒸發器冷媒溫度需更低，但由於為內融冰方式，其裸管向外結冰之熱阻反而較小。因為其造價成本、維護費用低且故障少，所以市場接受度高。

(3).冰球式(Ice Ball)

冰球式使用直徑 2"~4"之球型容器，內裝水再以不凍易讓冰球內的水結冰來儲冷，其冰球式優點：建置成本較低及可利用建築物之筏式基礎作為儲冰空間。

(4).冰晶或冰泥式(Crystal Ice or Ice Slurry)

利用馬達帶動攪拌器下產生冰結晶，其形成過程類似雪花，自結晶核以三度空間方式向外成長，由於此一特性，其結晶後相當鬆軟，能以泵送至儲冷槽，釋冷時，直接進入熱交換器冷卻冰回水。雖然結冰及融冰速率快，但由於馬達攪拌器為運轉元件，所以故障率較高，且維護費用昂貴，因此較少使用。

(5).優態鹽(Eutectic Salt)

優態鹽一般係指水、無機鹽類及添加劑等不同配方所組成之混合物，日前廣用之商用品有 42°F及 47°F進行相變化兩種，具較高之結凍溫度，可採用較佳效率之一般冰水主機，須具自動切換控制閥之線路及在高除濕要求下之盤管選取，儲冰槽與冰水主機之間的水路系統需設置穩壓閥與安全閥，故優態鹽類之成本較

高。

在儲冰空調系統之研究中，Dorgan Elleson 對儲冰系統有完整性的敘述，並提出了設計準則及經濟分析的方法[5]。在運轉策略方面，Williams 與 Tambllyn 提出儲冰式空調系統的主機之運轉策略，其建議採用可變容量的主機，可獲得更進一步的節能效益[6]、[7]。Kintner-Meyer et al.針對了儲冰式中央空調系統之成本最佳化進行研究，結果顯示所能節約之費用最多為總成本的 25 % [8]。楊冠雄提出儲冷系統的最適化運轉，並經由全尺度實驗與分析證明套裝式儲冰系統轉移尖峰負載的成效及經濟可行性[9]。蔡尤溪等提出儲冷式空調的簡易測試方法，獲得現場實用等特性，並同時得到利用儲冰系統之基本功能與熱傳特性，適用於不同儲冰空調方法之測試[10]。

林鴻彬等提出加裝蓄熱能電池之儲冰式空調系統，與一般的氣冷式空調系統相較，其優點如下：

- (1).能夠提高 40~60%的冷房能力，減少空調設備的設計容量。
- (2).配合足量之儲冰，在尖峰負載時約可轉移空調電力的三分之一。
- (3).對於運轉八小時的場所，至少可節省 15.1%的電費。

其蓄熱能電池之儲冰式空調系統，不僅能夠轉移夏季的尖峰電力需求，對於業主亦可收到節省電費的效益[11]。

丁俊智等提出動態規劃法於儲冰式空調系統之最佳化設計，動態規劃法同時考慮最小生命週期成本建立儲冰式空調系統之最佳化設計方法。利用動態規劃方法進行最佳化設計。透過數值程式的模擬分析，進行了系統的最佳化設計及分析，獲得在運轉壽命內一最佳的主機容量與儲冰槽容量，及最佳的運轉條件[12]。

嚴志偉提出變流量節能技術應用於儲冰空調系統，以內融冰盤管式（Internal melt ice-on-coil）儲冰系統為範疇，經由動態空調負載估算儲冰槽應有之逐時釋冷量、解析儲冰槽融冰特性、融冰時理論流量及泵浦耗能等程序，模擬出全年泵浦耗能量之理論值[13]。

而我國自 1989 年以來，經濟部能源局與台灣電力公司開始大力推廣儲冷式空調系統之應用，包括拉大電力負載尖離峰的電價差距及使用儲冷系統的電價折扣等，使其獲得顯著績效與深遠影響。



1.4 研究流程

本研究以某大學體育館新建工程為實證案例，並對於其原設計空調系統設計概況做分析，再針對其空調耗能進行調查評估，以原儲冰空調系統運轉記錄，分析儲冰空運系統設備發生之問題及狀況，經過審慎評估與討論發現該儲冰空調系統所產生儲冰完成時進行融冰時無法全部融冰問題。

以案例原系統管路中增加比例式水閥及融冰時水量採用變流量控制，循環水泵變頻控制於實驗測試時變頻控制以 60Hz 狀態，以比例式水閥實際實驗方式找出最佳融冰方式(融冰時最佳循環水量)，調整融冰時之比例式水閥開度調整 10%~100%，找出最佳融冰模式-比例式水閥開度時之融冰水流量。

融冰水流量經由實驗驗證後，依融冰水流量作為最佳流量控制依據，經由流量訊號回饋控制變頻器輸出頻率，可以達到控制融冰水泵在最佳運轉頻率及最低耗電能，使儲冰槽之冰量，可完全釋出達到控制最佳化，其研究架構流程如圖 4 所示。

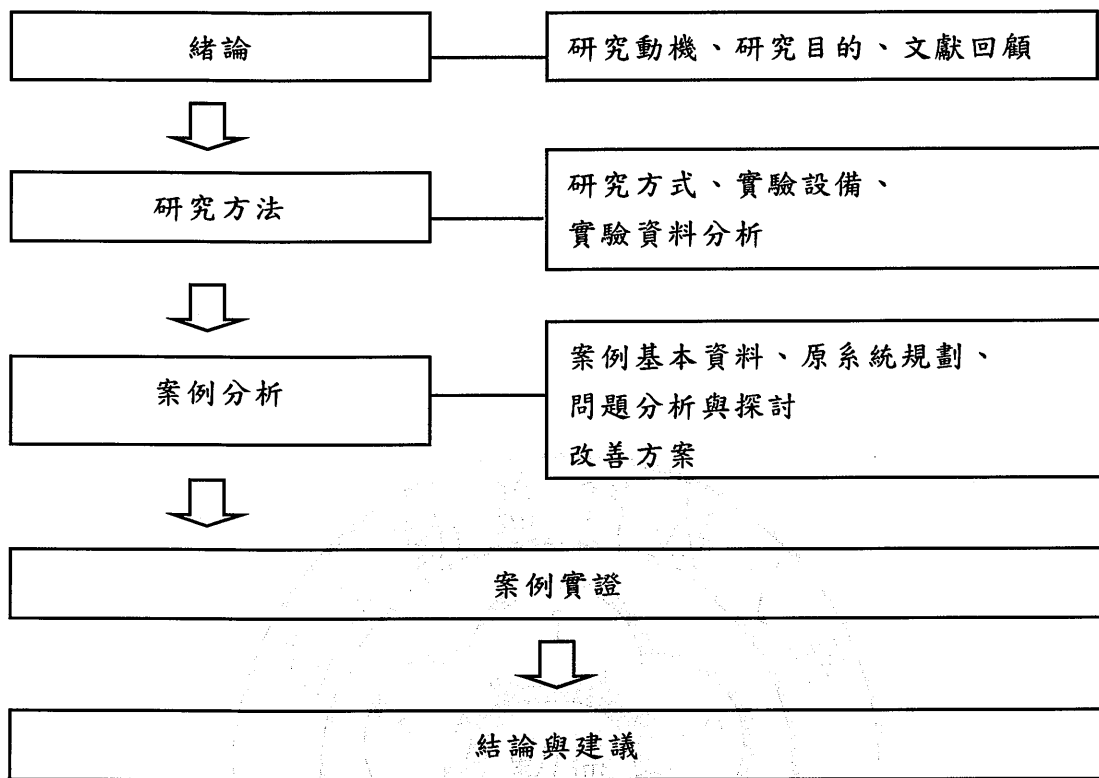


圖 4 研究架構圖

第二章 研究方法

傳統式空調系統的容量設計皆以最大空調負荷(peak cooling load)作為設計的標準，方法雖然簡便，但也經常使得選取主機的容量過大，造成運轉效率不佳。而儲冰式空調系統的設計，則需詳細計算冷房空調負載(hourly cooling load)，以反應出實際的動態負載型態，其準確性將對儲冰系統之冷凍主機的選取與運轉控制策略產生影響。而方式分成全量儲冰系統及分量儲冰系統兩種。

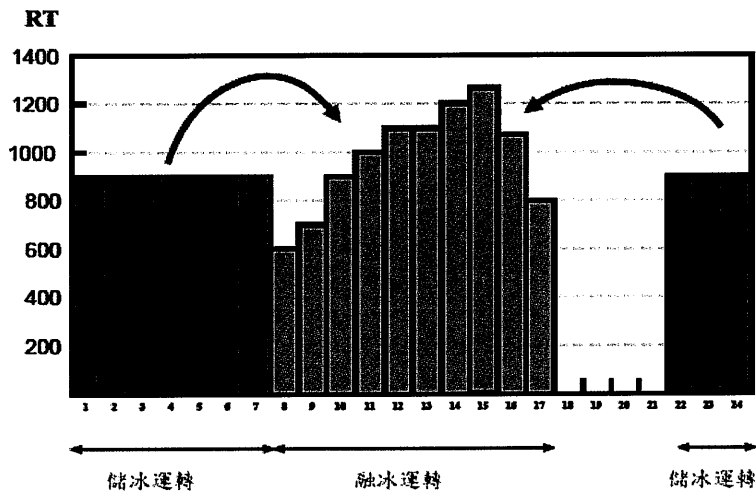


圖 5 全量儲冰式空調系統運轉時程圖

資料來源：台灣電力公司網站，2010年。

1. 全量儲冰式

空調系統於離峰時段全載運轉儲冰，白天尖峰時段空調主機完全停止運轉，而由儲冰槽供應空調所需全部負載，將尖峰時段所需之空

調電力全部轉移至離峰，故尖離峰電價差越大時最有利，其運轉時程

及系統如圖 5~7 所示。

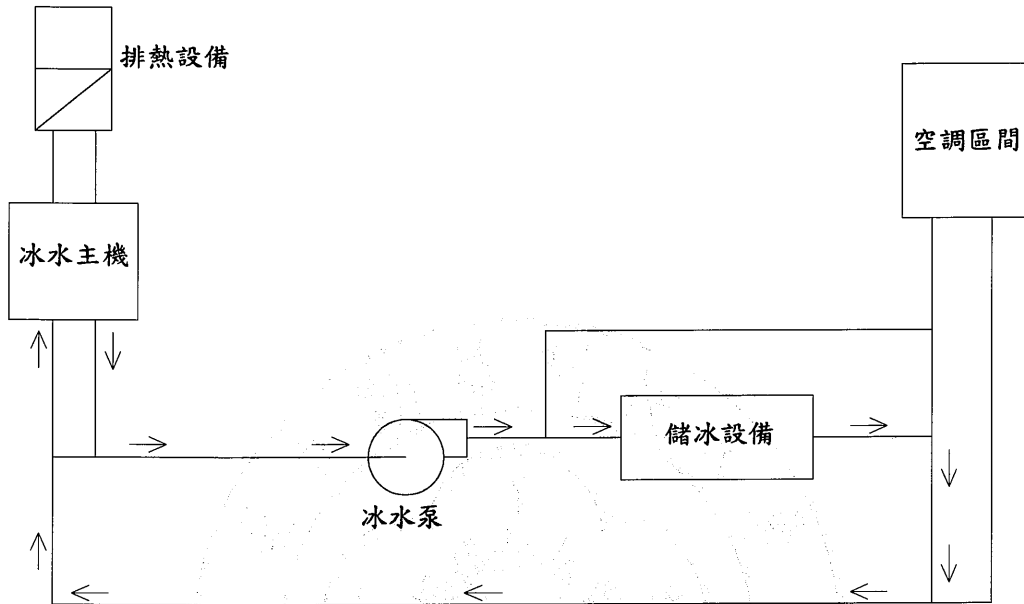


圖 6 全量儲冰式空調系統儲冰過程

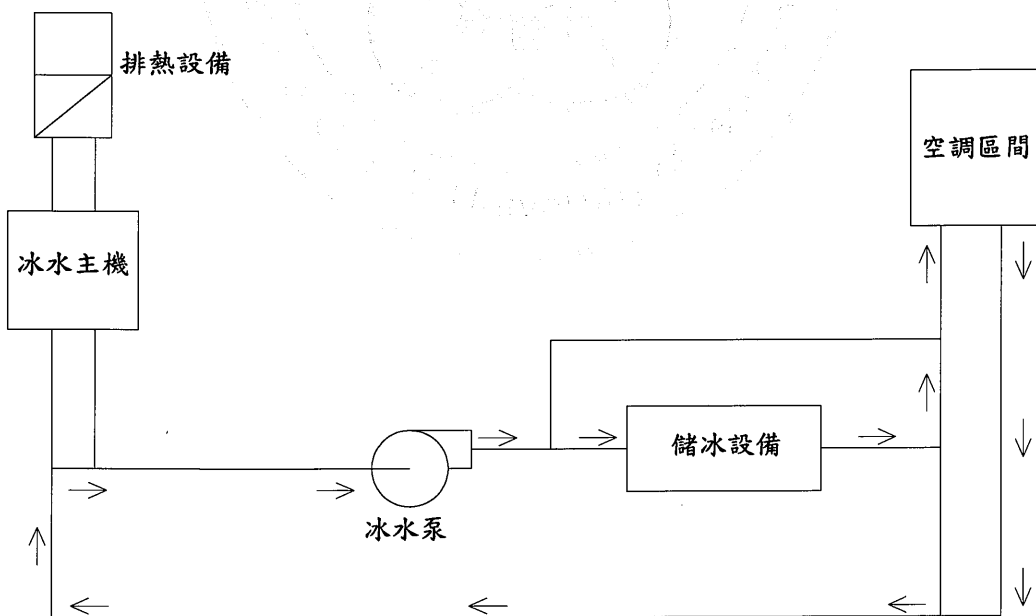


圖 7 全量儲冰式空調系統空調過程

2.分量儲冰式

分量儲冰式藉冷凍主機全日運轉，在離峰或非空調時段儲冰，待尖峰或空調時段由儲冰設備提供空調能力，不足部份則再運轉冷凍主機分擔部份空調負載，其運轉時程及系統如圖 8~10 所示。

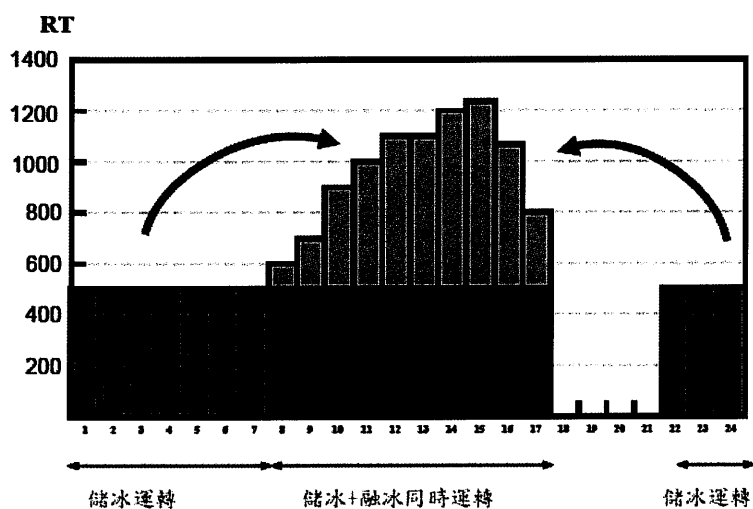


圖 8 分量儲冰式空調系統運轉時程圖

資料來源：台灣電力公司網站，2010 年。

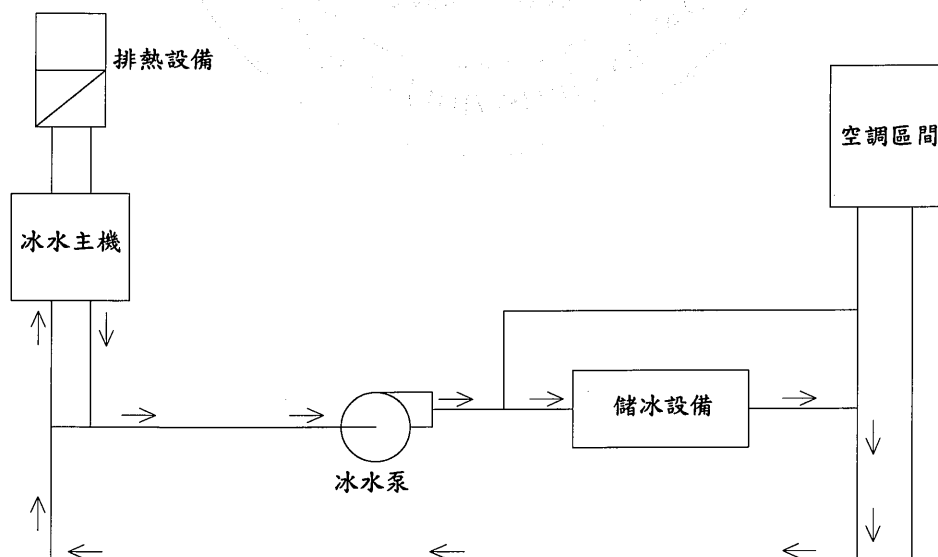


圖 9 分量儲冰式空調系統儲冰過程

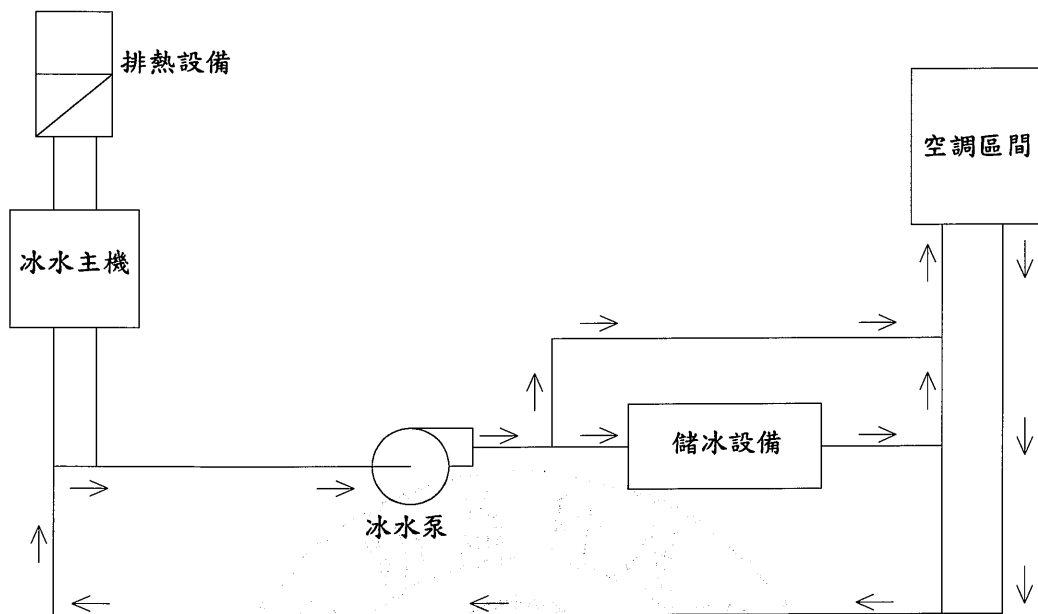


圖 10 分量儲冰式空調系統空調過程

分量儲冰式依冷凍主機，儲冰設備藉由運轉順序不同，可再分為冰水機優先運轉及儲冰設備優先運轉二種，其二者比較如表 2 所示。

(1).冰水機優先運轉

係空調負載大於冷凍主機容量時，優先運轉冷凍主機，不足之空調負載則由儲冰設備補充備應。在空調負載低於冷凍主機容量時，則不需儲冰，而冷凍主機均運轉於較高的蒸發溫度下，以冷凍主機的運轉效率較高。

(2).儲冰設備優先運轉

空調時，優先運轉儲冰設備提供空調負載，不足之空調負載，則運轉冷凍主機補充，當空調負載較小時，可全部由儲冰設備供應，而僅需離峰或非空調時段造冷，充分利用電力公司離峰時段的優惠電價。但因運轉之冷媒蒸發溫度較低，所以主機運轉較耗電。

表 2 全量及分量儲冰系統特性比較

種類比較 項目	儲冷式空調系統	
	全量儲冰式	分量儲冰式
初設費用	較高	較低
主機容量	大	小
運轉時間	較短	較長
主機效率	一般	較佳
轉移電力	最多	較少
適用場所	空調負荷較大之種類：如教室、展覽館、會議室	空調負荷較小之種類：如醫院、旅館及某些不適用於全量儲冷的工廠製程等均適用

資料來源：整理於台灣電力公司網站資料，2010年。

3. 冷凍機能力計算

儲冰空調系統最常見的儲冷介質為水、冰或優態鹽相變物質(如表 3 所示)，這些介質的主要差異在於每單位質量之儲冷量與儲冷之溫度，而儲冰空調系統之儲冰水管路，一般採用乙二醇融液調整濃度比重約為 1.03~1.035 之間，每 100kg 融液中含有 23.6~27.4kg 之乙二醇，凝固溫度為-13℃~-15℃，儲冰系統之不凍液特性表如表 4 所示，而儲冰空調系統之冷凍機能力計算(如公式 1)，計算空調系統之冷凍機設備能力計算。

冷凍機能力公式：

$$\dot{Q} = \dot{m} \times C_p \times \Delta T \quad (\text{公式 1})$$

$$\begin{aligned}
 &= \rho \times \dot{V} \times C_p \times \Delta T \\
 &= (\rho \times LPM \times 60) \times C_p \times \Delta T \text{ (kcal/hr)} \\
 &= (1 \times LPM \times 60) \times 1 \times \Delta T \text{ (kcal/hr)}
 \end{aligned}$$

註： \dot{m} = 質量流率 (kg/s)

C_p = 比熱 (J/kg-K)

ΔT = 溫差 (°C)

表 3 水、冰及優態鹽儲能密度之比較

項目	水	冰	優態鹽
儲冷方式	顯熱儲冷	顯熱+潛熱	潛熱
相變溫度	-	0°C	4°C~12°C
溫度變化範圍	12°C~7°C	12°C水到 0°C冰	8°C液體到 8°C固體
單位質量儲冷容量 (kJ/kg)	21.0	384	96
單位體積儲冷容量 (Mj/m ³)	21.0	355	153
(kWh/m ³)	5.81	98.6	42.5
(RTH/m ³)	1.65	28.1	12.1
每 1000RT 需儲冷介 質多少體積	606m ³	35.3m ³	82.6m ³

表 4 乙二醇特性表

15℃ 比重 kg/l	溶液 100 kg 含有量 kg	凝固温度 ℃	比热 (kCal/kg·℃)					黏性係數 $\eta \cdot 10^4$ (kg·S/M ²)						熱傳導率 λ (kCal/m.h.℃)				
			+50°	+20°	±0°	-10°	-20°	+50°	+20°	10	±0°	-10°	-20°	+50°	+20°	±0°	-10°	-20°
1.010	8.4	-4	0.98	0.97	0.97	—	—	0.7	1.2	1.6	2.3	—	—	0.51	0.49	0.47	—	—
1.020	16.0	-7	0.96	0.94	0.93	—	—	0.8	1.5	2.1	2.9	—	—	0.48	0.46	0.44	—	—
1.025	19.8	-10	0.95	0.93	0.92	—	—	0.8	1.7	2.3	3.2	—	—	0.47	0.45	0.43	—	—
1.030	23.6	-13	0.94	0.92	0.90	0.90	—	0.9	1.8	2.6	3.6	5.2	—	0.45	0.43	0.42	0.42	—
1.035	27.4	-15	0.92	0.90	0.89	0.88	—	0.9	2.0	2.8	4.0	5.8	—	0.44	0.42	0.41	0.41	—
1.040	31.2	-17	0.91	0.89	0.87	0.87	—	1.0	2.2	3.1	4.5	6.8	—	0.43	0.41	0.40	0.40	—
1.045	35.0	-21	0.89	0.87	0.85	0.85	—	1.1	2.5	3.5	5.0	7.8	—	0.41	0.40	0.40	0.39	—
1.050	38.8	-26	0.88	0.85	0.84	0.83	0.82	1.2	2.8	3.8	5.7	8.8	14.5	0.40	0.39	0.39	0.39	0.39
1.055	42.6	-29	0.86	0.83	0.82	0.81	0.80	1.4	3.0	4.1	6.3	9.8	16.4	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
1.060	46.4	-33	0.84	0.81	0.80	0.79	0.78	1.6	3.5	4.7	7.0	11.0	18.5	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37

2.1 實驗步驟

本研究以某大學體育館新建為實證案例，以原設計實際狀況之操作模式下，所產生儲冰完成時進行融冰時無法全部融冰問題，進行原設計問題檢討，以實際實驗方式找出最佳融冰方式，將原設計之系統增加比例式水閥設備及融冰水泵變頻控制，變頻裝置控制以 60Hz 頻率使融冰水泵運轉，並控制比例式水閥，調整水閥開度，取得最佳融冰水流量之數據，由比例式水閥開度調整 10% ~ 100%，找出不同運轉參數之融冰效率；使儲冰桶在最固定儲冰量時運轉 8 小時，總融冰比例達 90% 以上，控制變頻器輸出頻率，達到最佳運轉頻率及最低耗電能之最佳化模式。

實驗開始於儲冰過程中將儲冰桶之儲冰量達到最大值 1,020RT-hr 以上時，實驗以融冰模式原設計之水流量值，利用比例式水閥開度調整進行測試記錄。

步驟一：以原設計融冰模式-無比例式水閥(以比例式水閥開度 100%)進行測試記錄。

步驟二：以融冰模式-比例式水閥開度 90%。

步驟三：以融冰模式-比例式水閥開度 80%。

步驟四：以融冰模式-比例式水閥開度 70%。

步驟五：以融冰模式-比例式水閥開度 60%。

步驟六：以融冰模式-比例式水閥開度 50%。

步驟七：以融冰模式-比例式水閥開度 40%。

步驟八：以融冰模式-比例式水閥開度 30%。

步驟九：以融冰模式-比例式水閥開度 20%。

步驟十：以融冰模式-比例式水閥開度 10%。

由上述 10 項步驟依儲冰空調系統之儲冰水管路量測系統圖(如圖 11 所示)，運轉記錄進行分析，找出最佳融冰運轉模式。

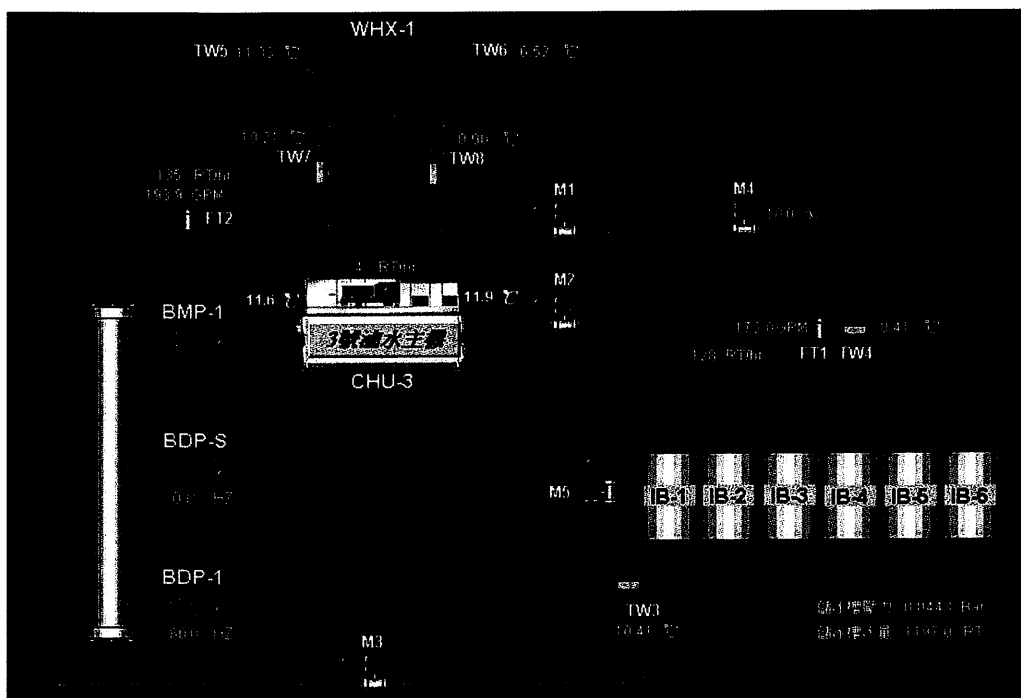


圖 11 案例之儲冰水管測試系統圖

2.2 實驗設備

儲冰空調系統增加比例閥設備及融冰水泵變頻控制設備，儲冰系統之水管測試圖資料搜集之相關資料，以電子式溫度計、密度測試器、電磁式液體流量計、功率計等(主要量儀器如表 5 及圖 12 所示)，資料搜集部份運用即有儲冰空調監控系統，進行運轉融冰運轉時比例式水閥開度參數設定，依實驗步驟進行資料搜集，主要量測設備用途如下：

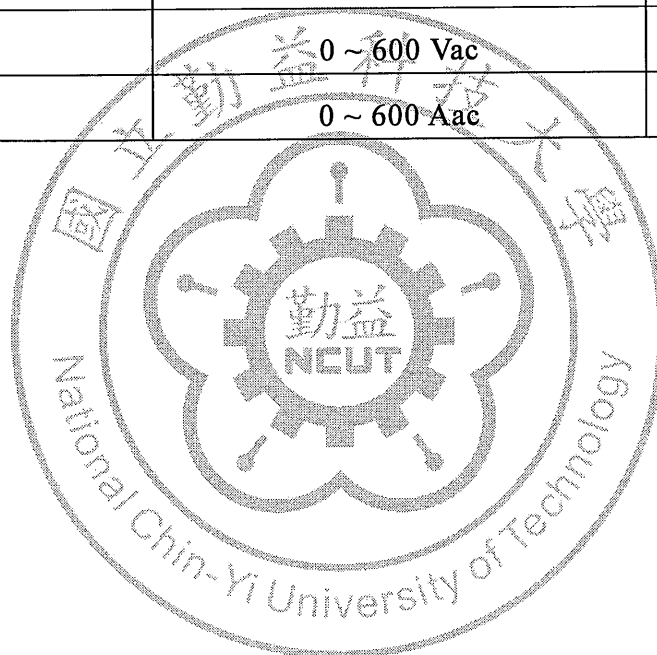
- (1).電子式溫度計：用以量測系統各點之溫度變化。
- (2).功率計：量測系統運轉所消耗之電能。
- (3).電壓表：量測系統之電壓值。
- (4).電流表：量測系統之電流值。
- (5).磁式液體流量計：量測冰水之流量。
- (6).密度測試器：量測儲冰桶內之水密度。



圖 12 量測儀器設備圖

表 5 主要的量測儀器

名 稱	規 格	精 度
1.電子溫度計	Testo 445	$\pm 1\%$
2.密度測試器	Testo 445	$\pm 0.5\%$
3.電磁式液體流量計	AM204DG-AJ1-LSJ 0~150 Lpm	$\pm 0.2\%$
5.功率計	YOKOGAWA 253313	$\pm 0.5\%$
6.電壓表	0 ~ 600 Vac	$\pm 1\%$
7.電流表	0 ~ 600 Aac	$\pm 1.5\%$



2.3 資料分析

由實驗步驟中搜集相關資料進行整理，依儲冰空調監控系統整體出所需相關數據(如表 6 及圖 13 所示)，記錄比例式水閥開度及儲冰桶內融冰比例值，找出最佳融冰運轉模式後，進行個實驗驗證測試，以最佳運轉模式進行連續三天運轉測試記錄。

表 6 融冰狀態搜集資料表

融冰模式-比例式水閥開度： %										
	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8	NO.9	備註
時間 (hr)										
融冰比例 (%)										

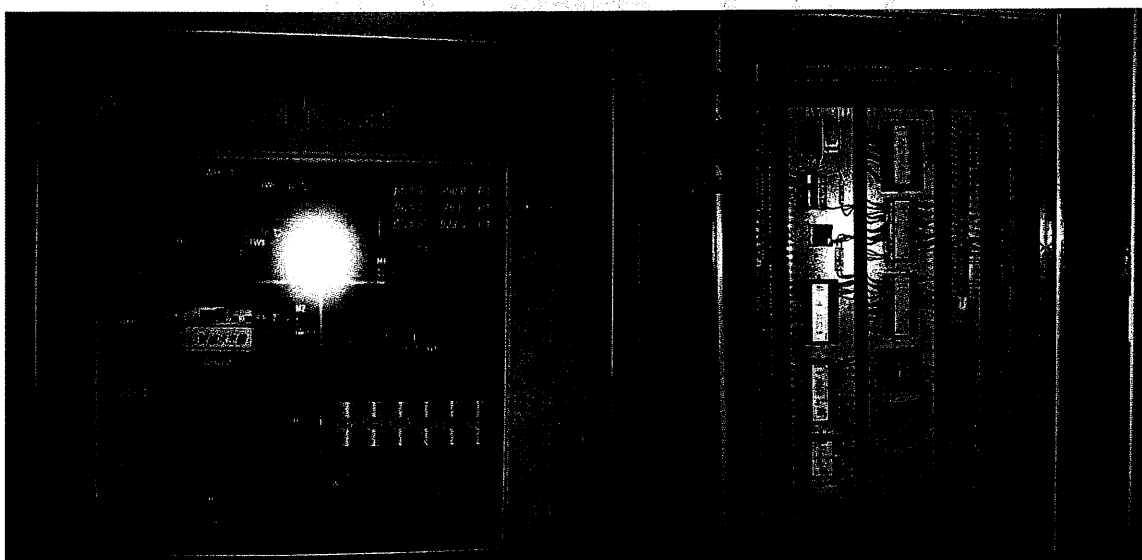


圖 13 儲冰空調監控系統圖

第三章 案例分析

本研究以某大學體育館新建為實證案例，工程施工位於台中市(如圖 14 所示)，原設計實際狀況之操作模式：採全量儲冰及分量儲冰並存方式，其用如下列：



圖 14 本研究案例之建築外觀

- (1).全量儲冰：在體育管主球場未使用情形下，採全量儲冰運轉模式，每天在離峰時段儲冰量，可功應全館空調使用。
- (2).分量儲冰：在體育管主球場使用情形下，採分量儲冰運轉模式，每天在離峰時段儲冰量，主要功應體育館空調使用，降低空調設備裝置容量(300 冷凍噸)，及維持一定之契約容

量，節省電費支出。

工程設備施工完成時，運轉操作發生相關問題：

(1).原設計系統中體育管主球場使用情形時候，儲冰槽之冰量，在大量融冰情形下，未能充分完全釋放儲冰量，造成需求落差，操作困難，無法達到預期之目的。

(2).原設計規劃監控系統控制，累計之儲冰量：冷凍噸-小時，以

$\dot{Q} = \dot{m} \times C_p \times \Delta T$ (公式 1)之公式計算儲存，但在每天儲、融冰後，累計之計算，會產生冷凍噸總計之變化，且誤差值會愈來愈大，甚至造成系統停機。



3.1 案例基本資料

案 名：某大學體育館新建工程

地理位置：台中市

用 途：學校體育館

樓 層：5 層樓，1 樓~ 4 樓為辦公室，5 樓為體育館。

面 積：單一樓層 5127 m²

空調負荷：總負荷 454 RT，1 樓~ 4 樓辦公室：154 RT，5 樓體育館：
300 RT。

設計規格：儲冰空調主機部份設計以一般空調主機 2 台及一台儲冰空調
機 1 台規劃(如表 7 及圖 15 所示)，圖 16 所示為本研究案例
系統流程。

表 7 冰水主機標準規範表

設備名稱	設備編號	規格	數量	備註
冰水主機	CHU-1	150 RT	2 台	空調專用
	CHU-2			
冰水主機	CHU-3	100 RT (68RT)	1 台	空調、製冰 共用
儲 冰 桶	IB1~IB6	200 RT-HR	6 只	
板式熱交換器	WHX-1	220 RT	1 只	

(1).主機容量：儲冰冷凍機 100RT(製冰 68RT)

* 1 台

空調冷凍機 150RT

* 2 台

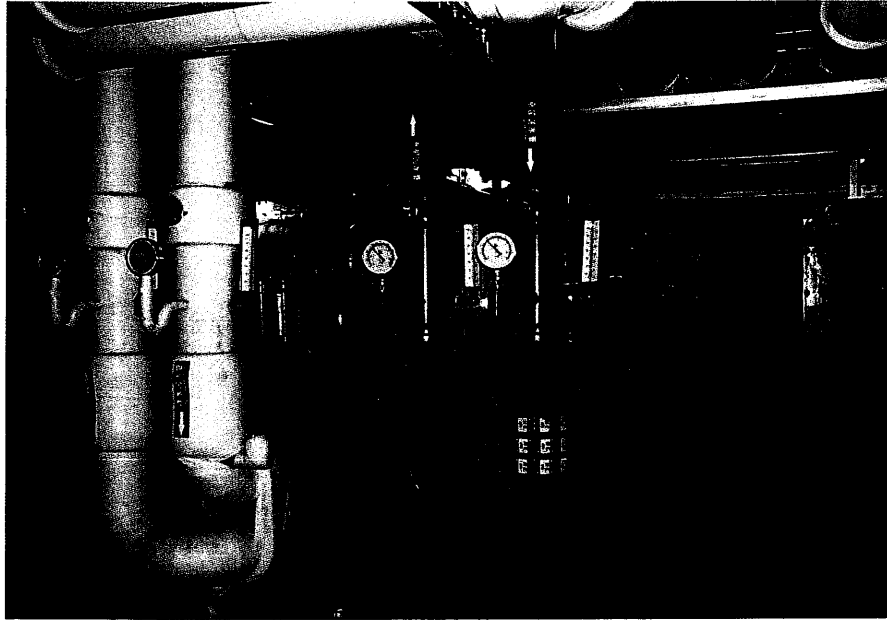


圖 15 儲冰空調主機設備安裝圖

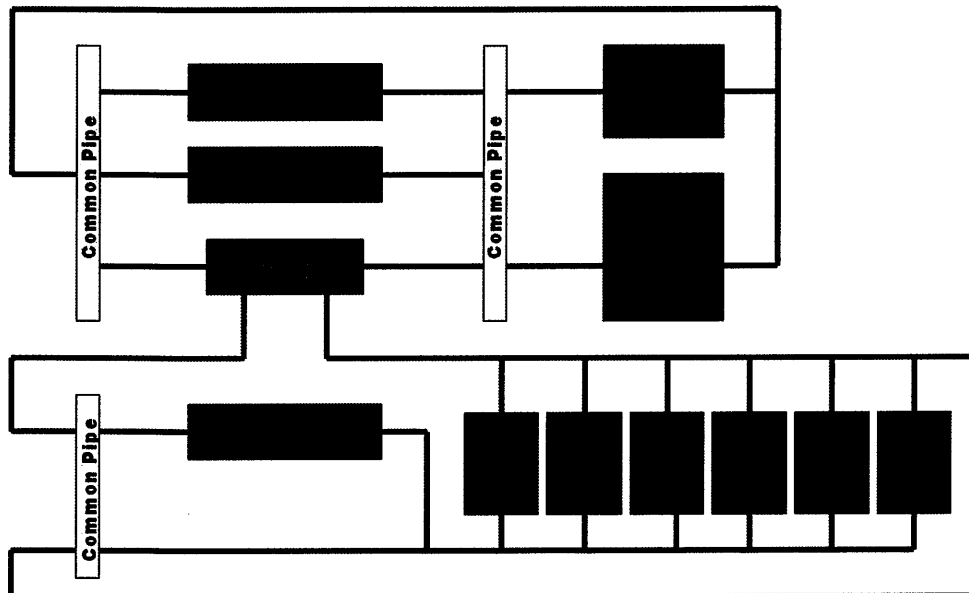


圖 16 本研究案例系統流程示意圖

(2).儲冰方式：a.採用全量儲式及分量儲存共用系統。

b.採用冰水主機優先運轉。

c.採用完全凍結之儲冷方式。

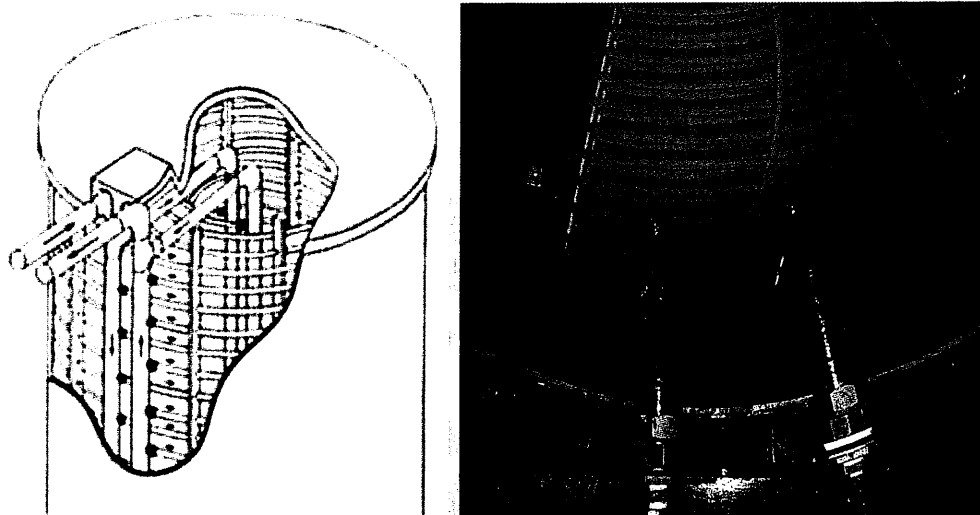


圖 17 儲冰水桶內部圖

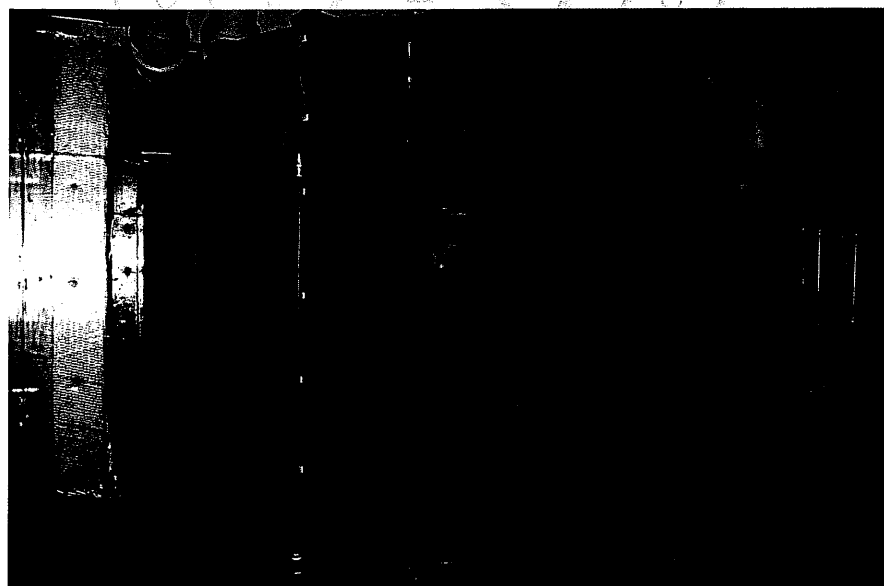


圖 18 儲冰水桶外觀圖

(3).儲冰量：儲冰桶分成 6 個儲存桶(如圖 17~18 所示)，其總
儲冰量 1200RT-hr。

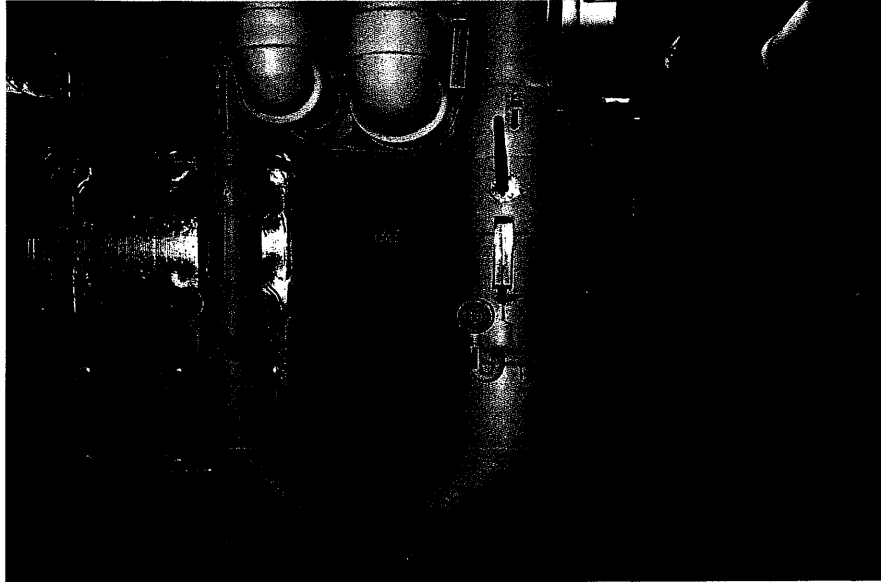


圖 19 板式熱交換裝置設備圖



圖 20 冰水側循環水泵

(4).板式熱交換裝置：儲冰空調系統經由板式熱交換器(如圖 19 所示)及循環水泵群連鎖控制(如圖 20 所示為冰水側循環水泵)將儲冰桶能量轉換至空調負荷區域進行熱交換。

(5).儲冰空調監控系統：系統設定說明。

a.可採時間表控制或直接手動控制。

b.採時間表控制時需點選『定時控制』。

c.區域#1~3 空調任一區動作及依照空調加載順序選擇主機或融冰運轉。

(6).儲冰融冰量計算及控制

本研究案例儲冰空調系統在操作運轉時，原設計規劃監控系統控制，累計之儲冰量：冷凍噸-小時。以 $\dot{Q} = \dot{m} \times C_p \times \Delta T$ (公式 1)之公式計算儲存，但在每天儲、融冰後，累計之計算，會產生冷凍噸總計之變化，且誤差值會愈來愈大，甚至造成系統停機。經第一次修正功能採用每一星期歸零一次再重新計算，誤差值變少不甚理想，但可正常運轉。

於秋冬時候儲冰時間固定，融冰耗能較低時，會產生儲冰仍有存量時，儲冰桶又歸零動新計算，造成系統累計之錯誤，造成系統儲冰桶有存冰量，但儲冰主機仍持續運轉，造成電能之浪費，實為另一控制不良之要點。

3.2 原系統規劃

本研究案例原設計系統中體育管主球場使用情形時候，利用下班離峰時間，以 CHU-3 主機製冰，並儲存於 IB1~IB6 儲冰槽，儲冰空調系統運轉流程如下：

- (1). 儲冰空調系統-儲冰流程：其運轉模式流程如圖 21 所示。
- (2). 儲冰空調系統-融冰流程：其運轉模式流程如圖 22 所示。
- (3). 儲冰空調系統-檢修時-運轉流程：其運轉模式流程如圖 23 所示。

本案例儲冰空調系統流程(如圖 24~25 所示)，當體育館使用時為再開啟 CHU-1, CHU-2 冰水主機，配合 WHX-1 板式交換器，可供應 520RT 之空調能力，滿足空調滿載負荷 454RT 需求，儲冰槽之冰量配合融冰運轉模式，儲冰桶是否可以能充分完全釋放儲冰量，成為本系統重要關鍵因素。

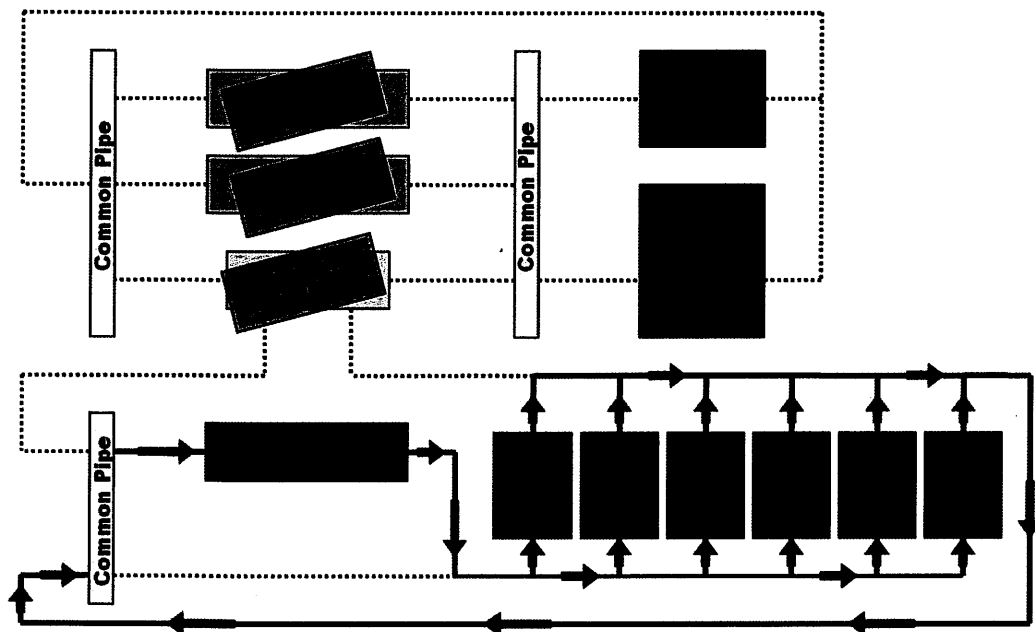


圖 21 本研究案例儲冰況態之流程示意圖

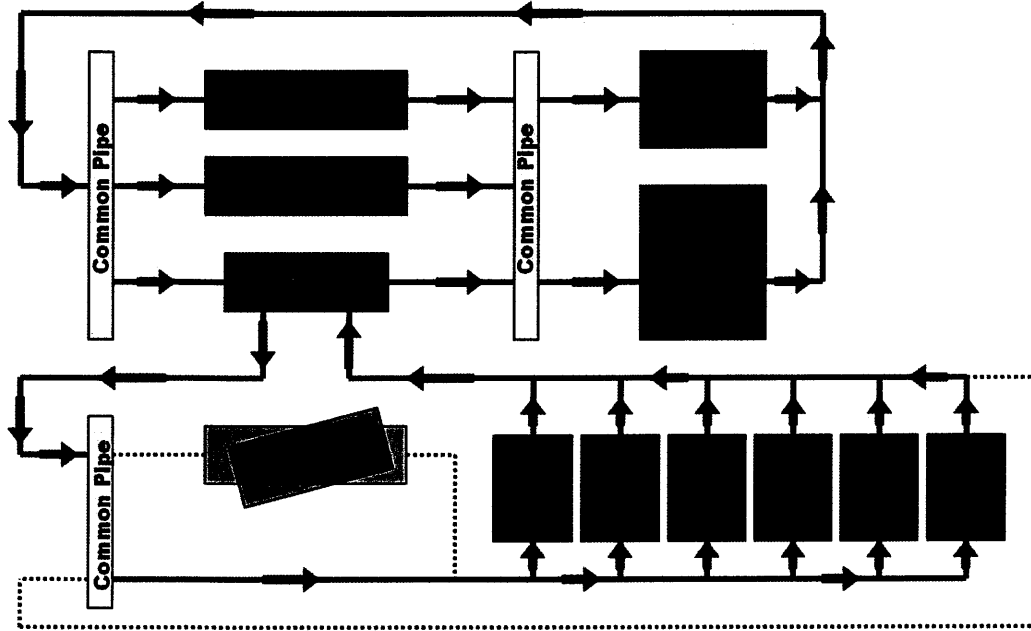


圖 22 本研究案例融冰狀態之流程示意圖

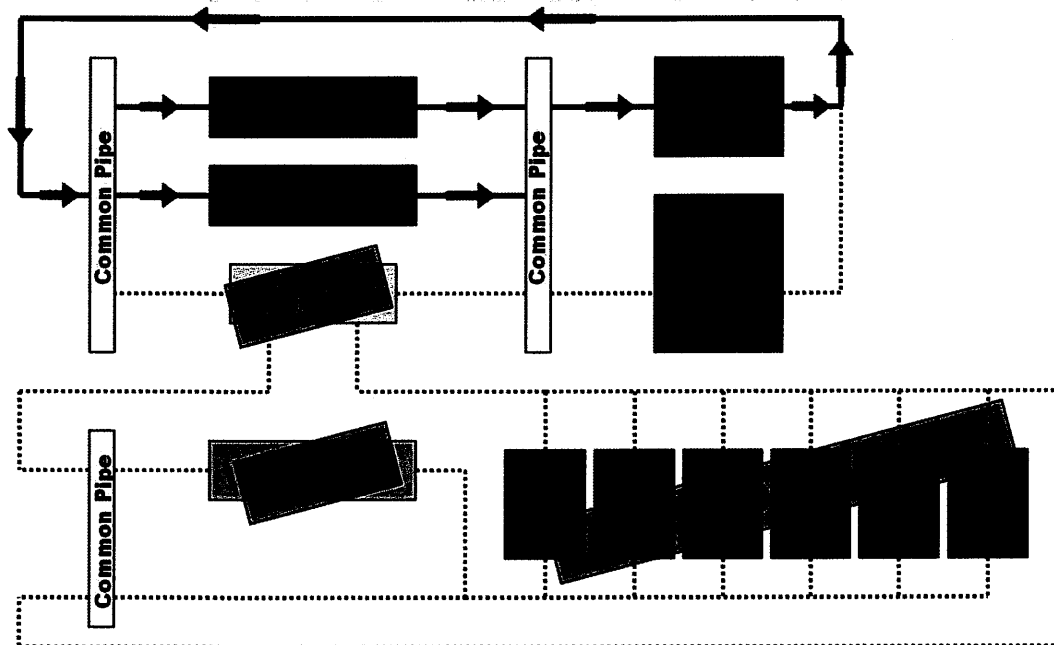


圖 23 本研究案例儲冰系統檢修時-運轉狀態之流程示意圖

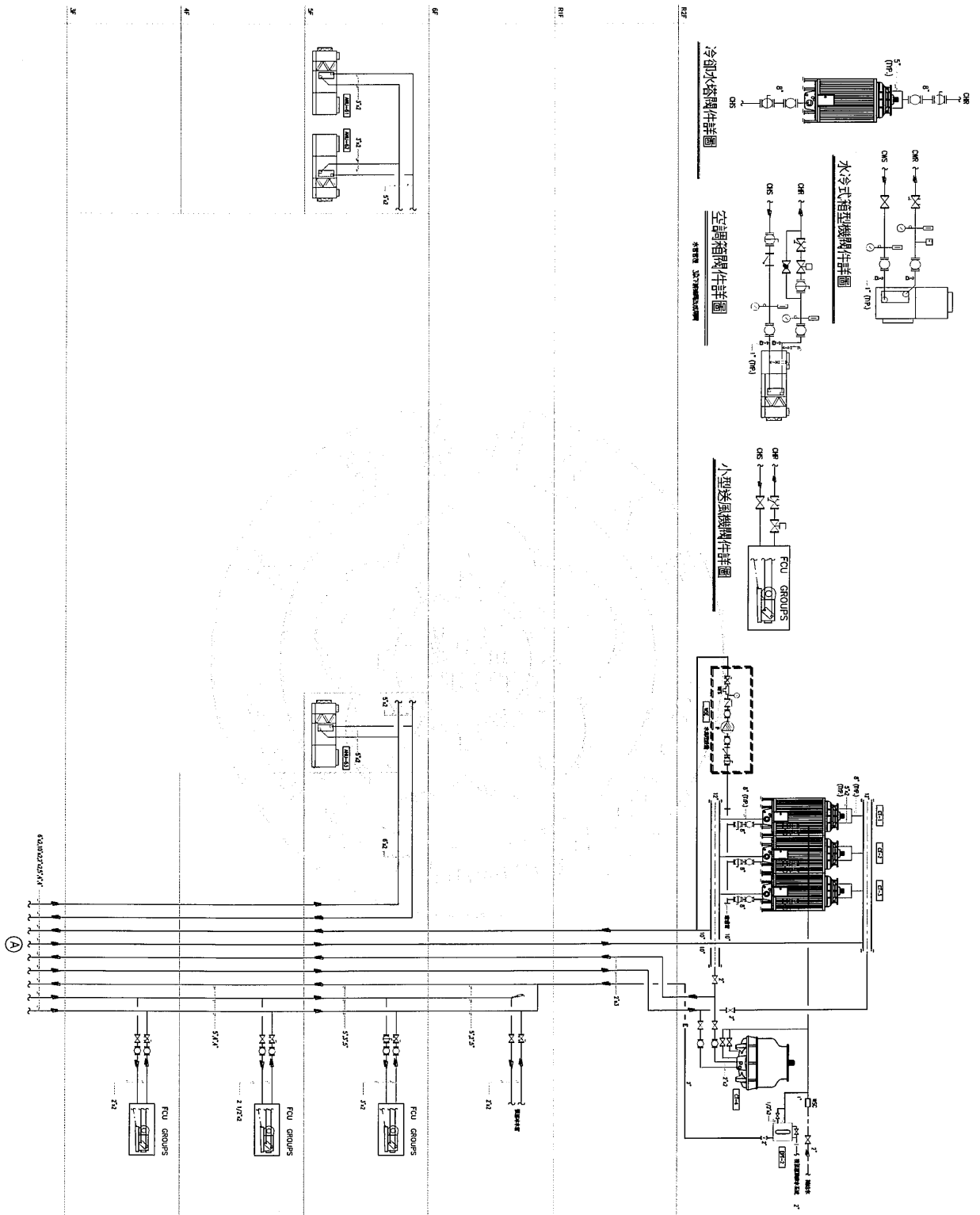


圖 25 原系統水管流程圖(二)

3.3 問題分析與探討

本研究案例實際運轉發生問題：

- (1). 本研究案例原設計系統中，模擬原設計之融冰運轉模式下測試運轉融冰水流量，以加裝變頻控制設備以 60Hz 全載運轉模擬原設計定流量設計方式，另外新增加裝比例式水閥(M4)之開度 100% 狀況下(模擬原設計未安裝比例式水閥)量測水流量 FT1 為 172.0 GPM(如圖 26 所示)。

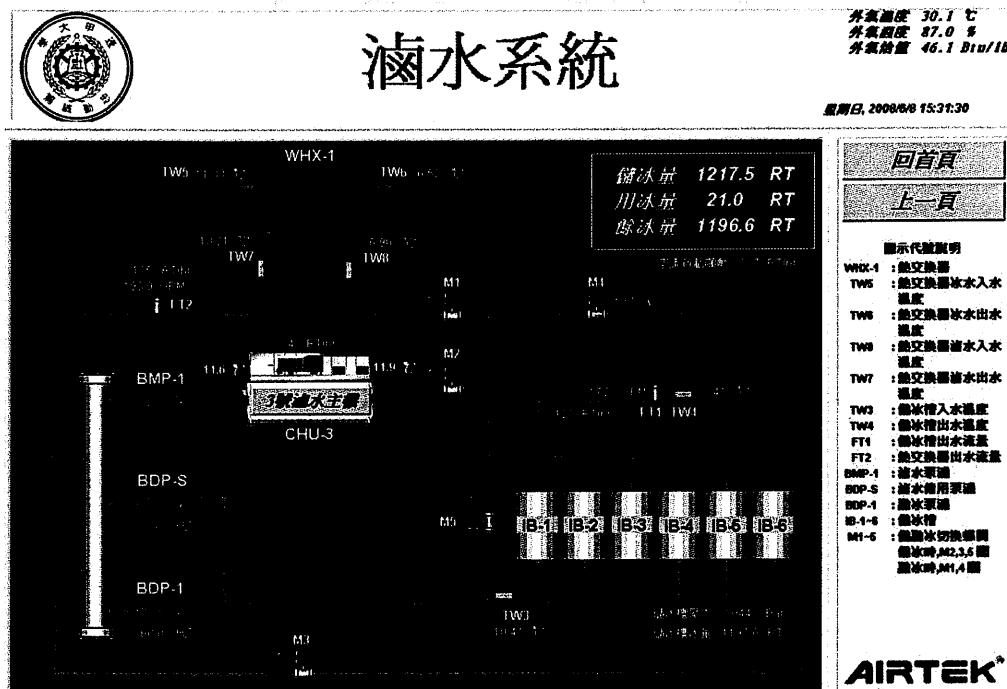


圖 26 案例之儲冰水管測試系統圖

- (2). 本研究案例原設計系統中，體育管主球場使用情形時候，儲冰槽之儲冰量依原設計融冰水流量為 172.0 GPM，室內側負荷為 140 RT~ 160 RT 之間測試大量融冰情形下，未能充分完全釋放儲冰量，造成需求

落差，操作困難，無法達到預期完全融冰之目的(如圖 27 所示)。

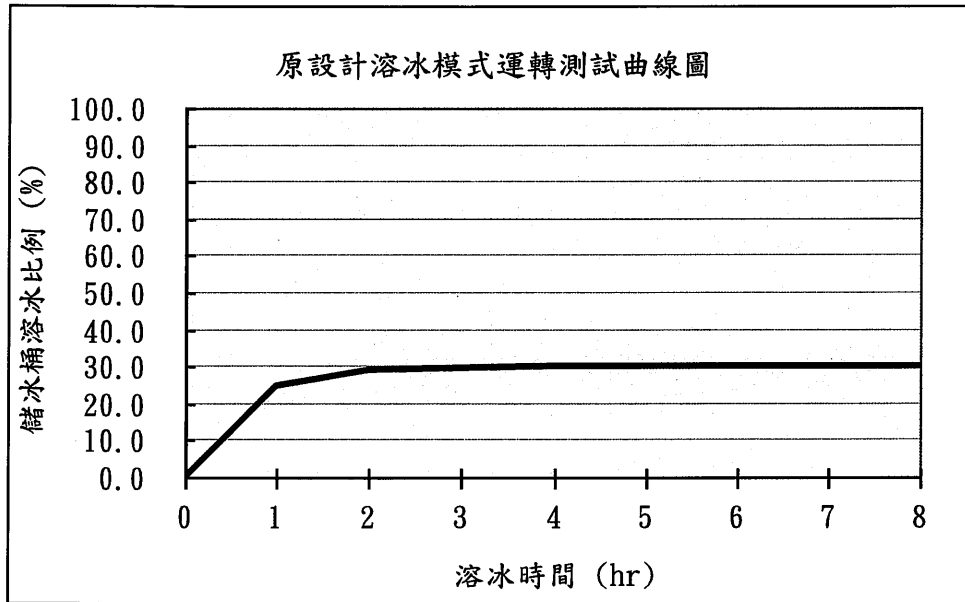


圖 27 原系統設計融冰曲線圖

(3). 儲冰融冰量計算及控制

原設計規劃監控系統控制，累計之儲冰量：冷凍噸-小時，以

$$\dot{Q} = \dot{m} \times C_p \times \Delta T \quad (\text{公式 1})$$

之公式計算儲存，但累計之計算會產生冷

凍噸總計之變化，且誤差值會愈來愈大，甚至造成系統停機。

經第一次討論功能修正後，決議功能修改為每一星期歸零一次再重新計算方式，進行監控程式修改並運行正常，但季節至秋冬時候而產生儲冰仍有存量時，儲冰桶又歸零動新計算，造成系統累計之誤差，造成儲冰空調系統中之儲冰桶尚有存冰量時，但因監控系統累計之誤差使儲冰主機仍持續運轉，造成電能之浪費，實為另一

控制不良之要點。

- (4). 儲冰桶融冰時之儲冰無完全融化(如圖 28 所示)，經儲冰桶熱交換之後冰水溫度大於 10°C 以上，無法達到儲冰系統之目標。

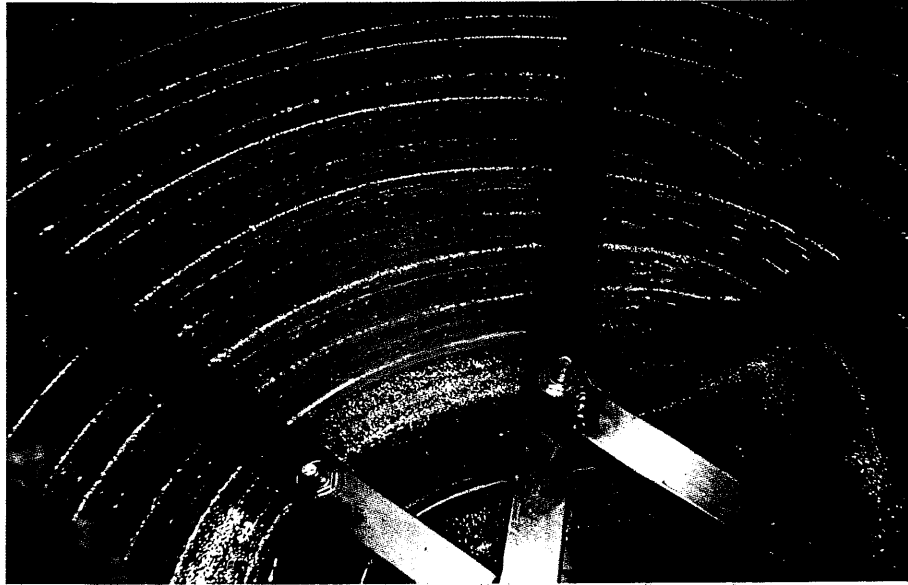


圖 28 融冰時之儲冰無完全融化

3.4 改善方案

(1).儲冰桶融冰融冰效率改善方式

本研究以原設計實際狀況之操作模式下，所產生儲冰完成時進行融冰時無法全部融冰問題，進行原設計問題檢討，以原系統管路中增加比例式水閥及融冰時水量採用變流量控制(增加循環水泵變頻控制於實驗測試時變頻控制以 60Hz 狀態)，以比例式水閥實際實驗方式找出最佳融冰方式(融冰時最佳循環水量)，調整融冰時之比例式水閥開度調整 10%~100%，找出不同運轉參數之融冰效率。

找出最佳融冰模式-比例式水閥開度時，依比例式水閥開度所對應融冰水流量作為最佳流量控制依據，經由流量訊號回饋控制變頻器輸出頻頻，可以達到控制融冰水泵在最佳運轉頻率及最低耗電能，使儲冰槽之冰量，可完全釋出達到控制最佳化。

(2).儲冰融冰量計算及控制改善方式

儲冰桶加裝水壓力微壓控制，在原水管路連 PVC 水管加裝一只微壓力控制傳訊器(0~0.5Bar)偵測儲冰桶內之壓力變化，經由線路連接至儲冰空調系統之監控電腦，運用儲冰及融冰時，水之體積產生之變化，使視窗之水位連動變化(升、降)，傳送水差力差之變化，可精確的量測及控制儲冰融冰量，維持儲冰空調系統長期正常運轉。

第四章 案例實證分析

本研究案例之原設計之系統增加比例閥及融冰水泵變頻控制(變頻控制以 60Hz 模式運轉)，進行融冰模式運轉(融冰時比例式水閥開度調整 10% ~ 100%)，找出不同運轉參數之融冰效率。

- (1).融冰模式-比例式水閥開度 100%測試。
- (2).融冰模式-比例式水閥開度 90%測試。
- (3).融冰模式-比例式水閥開度 80%測試。
- (4).融冰模式-比例式水閥開度 70%測試。
- (5).融冰模式-比例式水閥開度 60%測試。
- (6).融冰模式-比例式水閥開度 50%測試。
- (7).融冰模式-比例式水閥開度 40%測試。
- (8).融冰模式-比例式水閥開度 30%測試。
- (9).融冰模式-比例式水閥開度 20%測試。
- (10).融冰模式-比例式水閥開度 10%測試。

由測試項目量測儲冰系統運轉記錄，預定找出最佳融冰運轉模式。

4.1 實驗資料

調整融冰時之比例式水閥開度 10% ~ 100%，實際運轉方式找出最佳融冰方式找出不同運轉參數之融冰效率。

(1).融冰模式-比例式水閥開度 100%測試(如表 8 及圖 29 所示)。

表 8 融冰模式-比例式水閥開度 100%記錄值

	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8	NO.9	備註
時間 (hr)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
融冰比例 (%)	0.0	25.0	29.0	29.5	29.9	29.9	30.0	30.0	30.0	

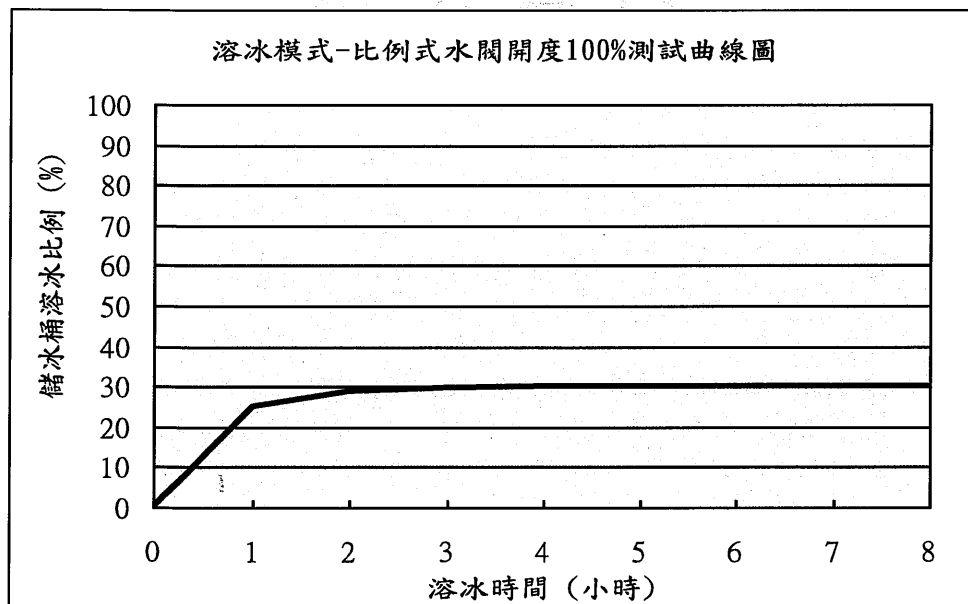


圖 29 融冰模式-比例式水閥開度 100%測試曲線圖

融冰模式-比例式水閥開度 100%時，運轉第二小時儲冰水桶融冰比例幾乎沒有再增加融冰比例，運轉至 8 小時則總融冰比例為 30%，無法到運轉 8 小時總融冰比例達 95%以上之預期效果。

(2).融冰模式-比例式水閥開度 90%測試(如表 9 及圖 30 所示)。

表 9 融冰模式-比例式水閥開度 90%記錄值

融冰模式-比例式水閥開度：90%										
	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8	NO.9	備註
時間 (hr)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
融冰比例 (%)	0.0	25.0	35.0	38.5	39.0	39.3	39.4	39.7	40.0	

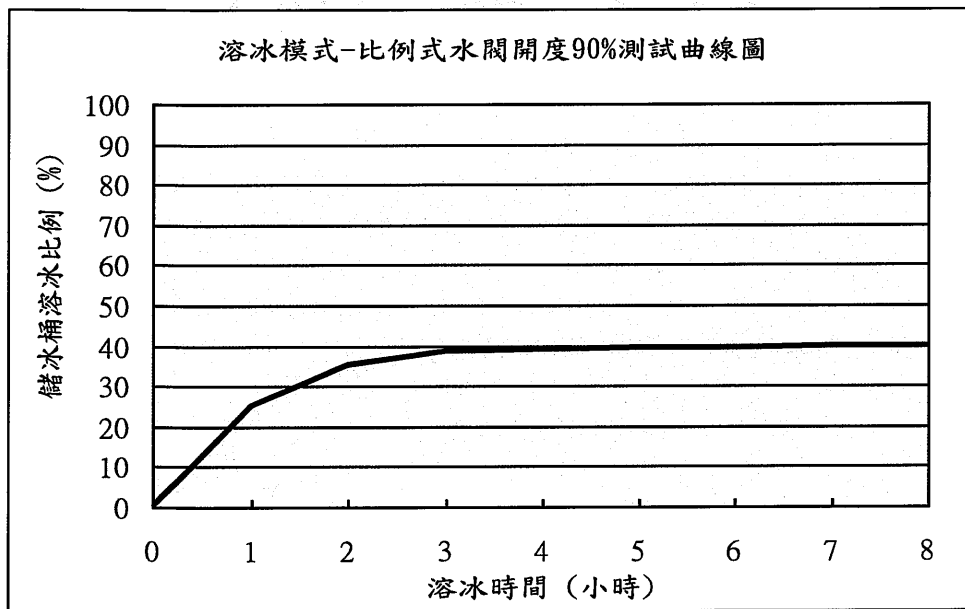


圖 30 融冰模式-比例式水閥開度 90%測試曲線圖

融冰模式-比例式水閥開度 90%時，運轉第二小時儲冰水桶融冰比例幾乎沒有再增加融冰比例，運轉至 8 小時則總融冰比例為 40%，無法到運轉 8 小時總融冰比例達 95%以上之預期效果。

(3).融冰模式-比例式水閥開度 80%測試(如表 10 及圖 31 所示)。

表 10 融冰模式-比例式水閥開度 80%記錄值

融冰模式-比例式水閥開度：80 %										
	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8	NO.9	備 註
時間 (hr)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
融冰比例 (%)	0.0	30.0	46.0	48.5	49.0	49.3	49.5	49.7	50.0	

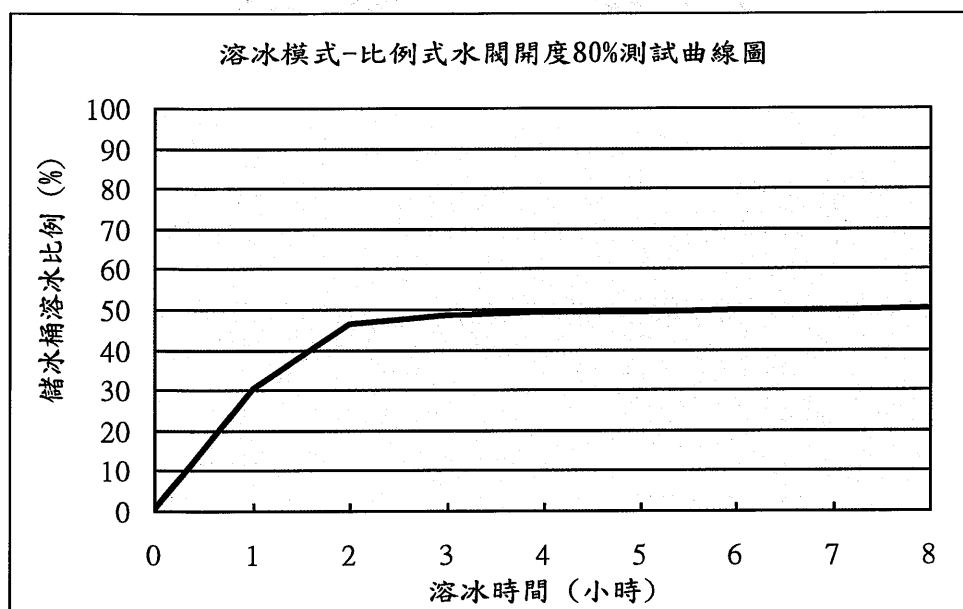


圖 31 融冰模式-比例式水閥開度 80%測試曲線圖

融冰模式-比例式水閥開度 80%時，運轉第二小時儲冰水桶融冰比例幾乎沒有再增加融冰比例，運轉至 8 小時則總融冰比例為 50%，無法到運轉 8 小時總融冰比例達 95%以上之預期效果。

(4).融冰模式-比例式水閥開度 70%測試(如表 11 及圖 32 所示)。

表 11 融冰模式-比例式水閥開度 70%記錄值

融冰模式-比例式水閥開度：70 %										
	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8	NO.9	備 註
時間 (hr)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
融冰比例 (%)	0.0	39.0	56.5	58.5	59.5	59.6	59.7	59.8	60.0	

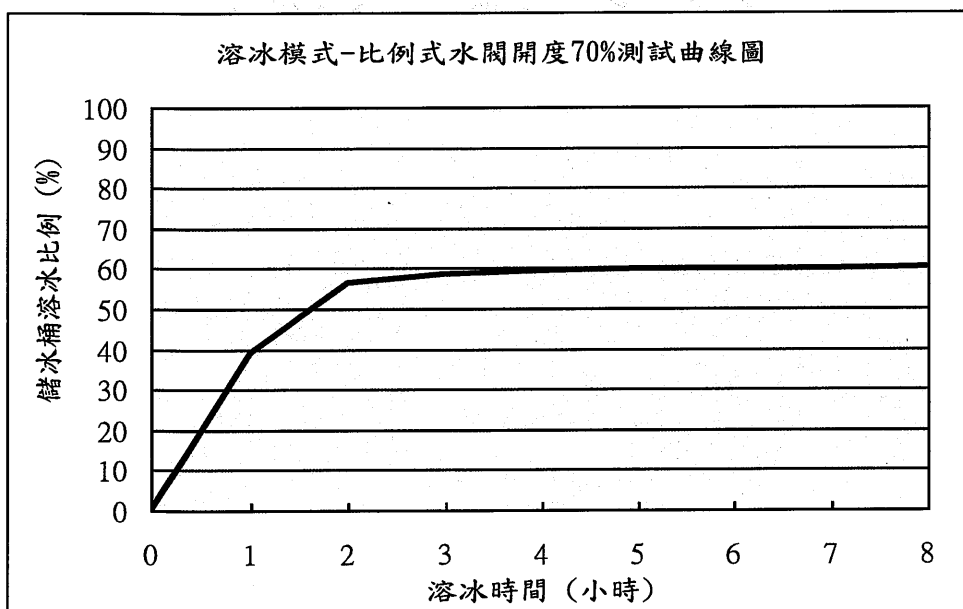


圖 32 融冰模式-比例式水閥開度 70%測試曲線圖

融冰模式-比例式水閥開度 70%時，運轉第二小時儲冰水桶融冰比例幾乎沒有再增加融冰比例，運轉至 8 小時則總融冰比例為 60%，無法到運轉 8 小時總融冰比例達 95%以上之預期效果。

(5).融冰模式-比例式水閥開度 60%測試(如表 12 及圖 33 所示)。

表 12 融冰模式-比例式水閥開度 60%記錄值

融冰模式-比例式水閥開度：60 %										
	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8	NO.9	備 註
時間 (hr)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
融冰比例 (%)	0.0	40.0	60.0	65.0	67.0	67.5	67.7	67.8	68.0	

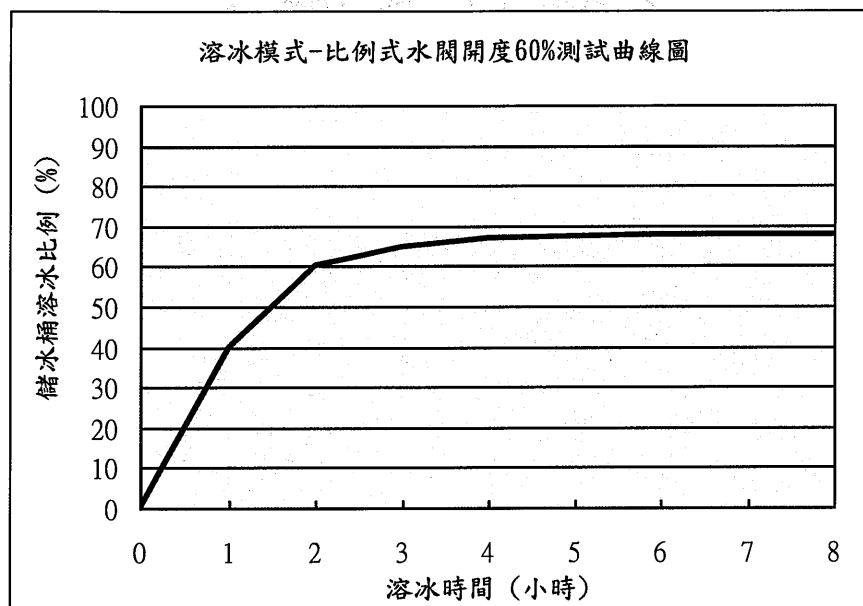


圖 33 融冰模式-比例式水閥開度 60%測試曲線圖

融冰模式-比例式水閥開度 60%時，運轉第三小時儲冰水桶融冰比例幾乎沒有再增加融冰比例，運轉至 8 小時則總融冰比例為 68%，無法到運轉 8 小時總融冰比例達 95%以上之預期效果。

(6).融冰模式-比例式水閥開度 50%測試(如表 13 及圖 34 所示)。

表 13 融冰模式-比例式水閥開度 50%記錄值

融冰模式-比例式水閥開度：50%										
	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8	NO.9	備註
時間 (hr)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
融冰比例 (%)	0.0	40.0	62.0	70.0	73.0	73.5	74.0	74.6	75.0	

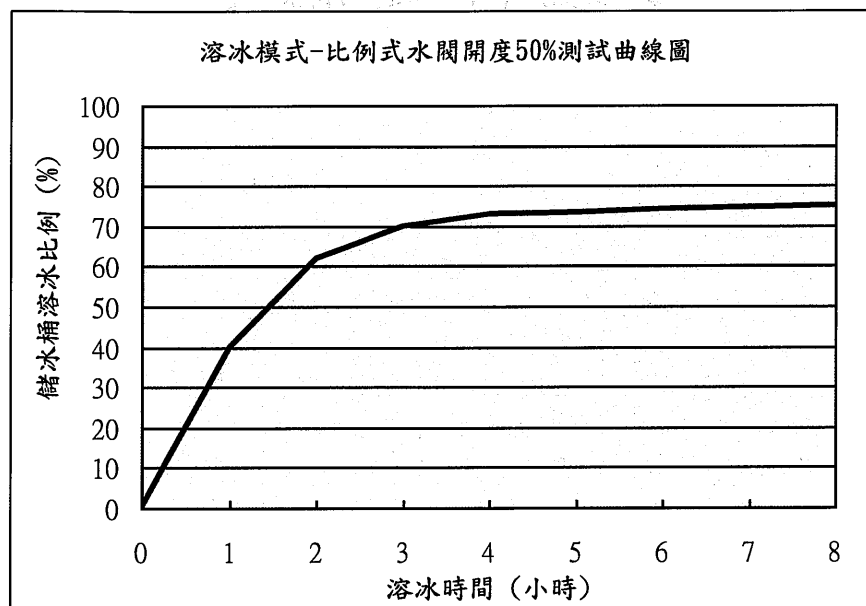


圖 34 融冰模式-比例式水閥開度 50%測試曲線圖

融冰模式-比例式水閥開度 50%時，運轉第三小時儲冰水桶融冰比例幾乎沒有再增加融冰比例，運轉至 8 小時則總融冰比例為 75%，無法到運轉 8 小時總融冰比例達 95%以上之預期效果。

(7).融冰模式-比例式水閥開度 40%測試(如表 14 及圖 35 所示)。

表 14 融冰模式-比例式水閥開度 40%記錄值

融冰模式-比例式水閥開度：40 %										
	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8	NO.9	備 註
時間 (hr)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
融冰比例 (%)	0.0	42.0	63.0	72.0	79.5	81.8	83.3	85.5	88.0	

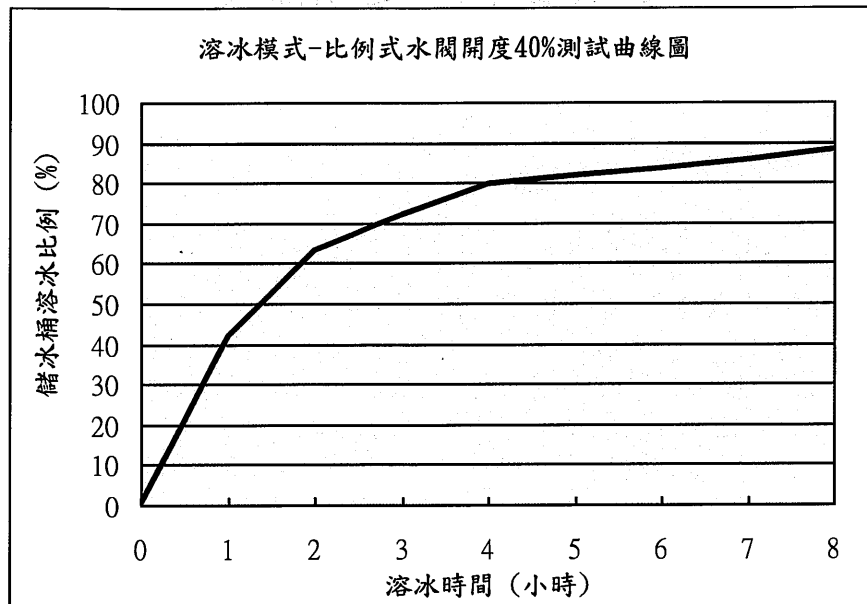


圖 35 融冰模式-比例式水閥開度 40%測試曲線圖

融冰模式-比例式水閥開度 40%時，運轉第四小時儲冰水桶融冰比例為慢慢增加融冰比例，運轉至 8 小時則總融冰比例為 88%，無法到運轉 8 小時總融冰比例達 95%以上之預期效果，但已接近 90%融冰比例。

(8).融冰模式-比例式水閥開度 30%測試(如表 15 及圖 36 所示)。

表 15 融冰模式-比例式水閥開度 30%記錄值

融冰模式-比例式水閥開度：30 %										
	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8	NO.9	備 註
時間 (hr)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
融冰比例 (%)	0.0	38.0	60.0	73.0	79.5	83.0	85.5	88.0	90.0	

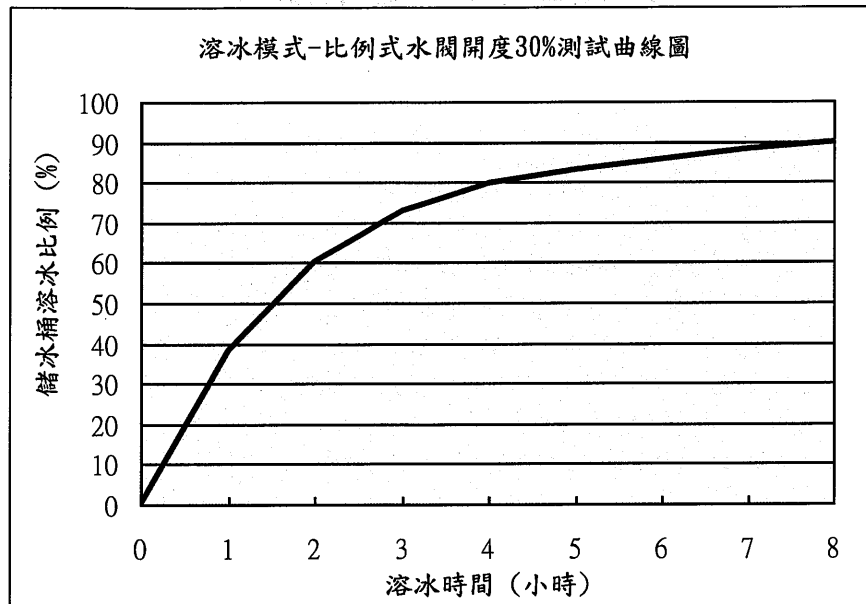


圖 36 融冰模式-比例式水閥開度 30%測試曲線圖

融冰模式-比例式水閥開度 30%時，運轉第五小時儲冰水桶融冰比例為慢慢增加融冰比例，運轉至 8 小時則總融冰比例為 90%，無法到運轉 8 小時總融冰比例達 95%以上之預期效果，但已達 90%融冰比例。

(9).融冰模式-比例式水閥開度 20%測試(如表 16 及圖 37 所示)。

表 16 融冰模式-比例式水閥開度 20%記錄值

融冰模式-比例式水閥開度：20 %										
	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8	NO.9	備 註
時間 (hr)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
融冰比例 (%)	0.0	22.0	35.0	48.0	60.0	70.0	73.0	77.0	78.0	

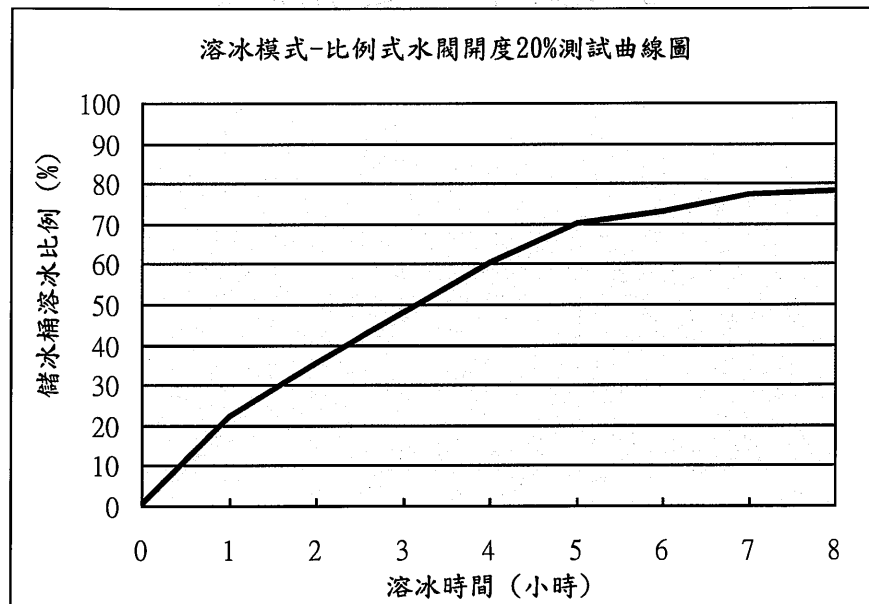


圖 37 融冰模式-比例式水閥開度 20%測試曲線圖

融冰模式-比例式水閥開度 20%時，運轉第五小時儲冰水桶融冰比例為慢慢增加融冰比例，運轉至 8 小時則總融冰比例為 78%，無法到運轉 8 小時總融冰比例達 95%以上之預期效果。

(10).融冰模式-比例式水閥開度 10%測試(如表 17 及圖 38 所示)。

表 17 融冰模式-比例式水閥開度 10%記錄值

融冰模式-比例式水閥開度：10 %										
	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8	NO.9	備 註
時間 (hr)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
融冰比例 (%)	0.0	20.0	34.0	45.0	56.0	61.0	62.0	63.0	65.0	

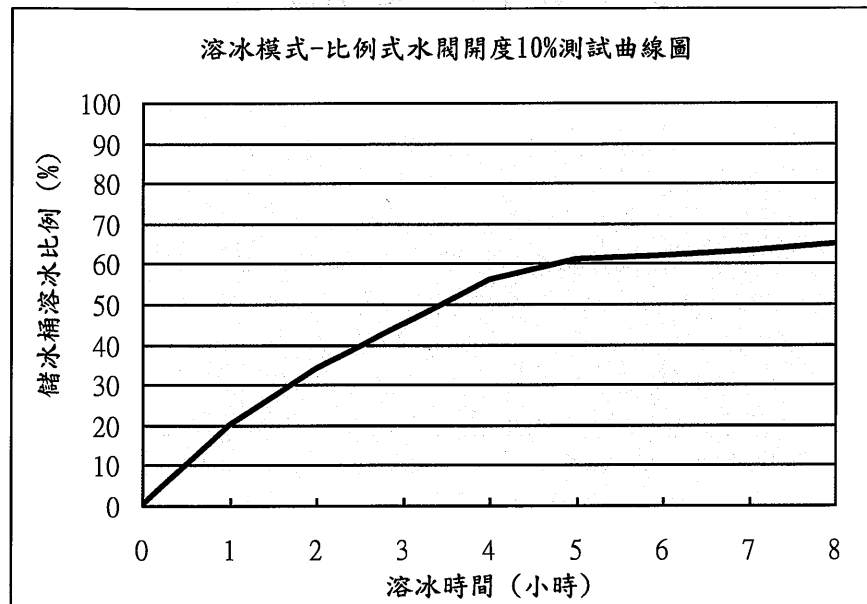


圖 38 融冰模式-比例式水閥開度 10%測試曲線圖

融冰模式-比例式水閥開度 10%時，運轉第五小時儲冰水桶融冰比例為慢慢增加融冰比例，運轉至 8 小時則總融冰比例為 65%，無法到運轉 8 小時總融冰比例達 95%以上之預期效果。

4.2 案例資料分析

由(1)~(10)項目調整融冰時之水流量調整 10%~100%，實際運轉方式找出最佳融冰方式找出不同運轉參數之融冰效率，其中融冰模式-比例式水閥開度 30%與 40%時所獲得效率最佳，因此規劃增加測試融冰模式-比例式水閥開度 35%時運轉效率測試。

(11).融冰模式-比例式水閥開度 35%測試(如表 18 及圖 39 所示)。

表 18 融冰模式-比例式水閥開度 35%記錄值

融冰模式-比例式水閥開度：35 %										
	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	NO.8	NO.9	備註
時間 (hr)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
融冰比例 (%)	0.0	25.0	45.0	60.0	70.0	80.0	86.0	93.0	98.0	

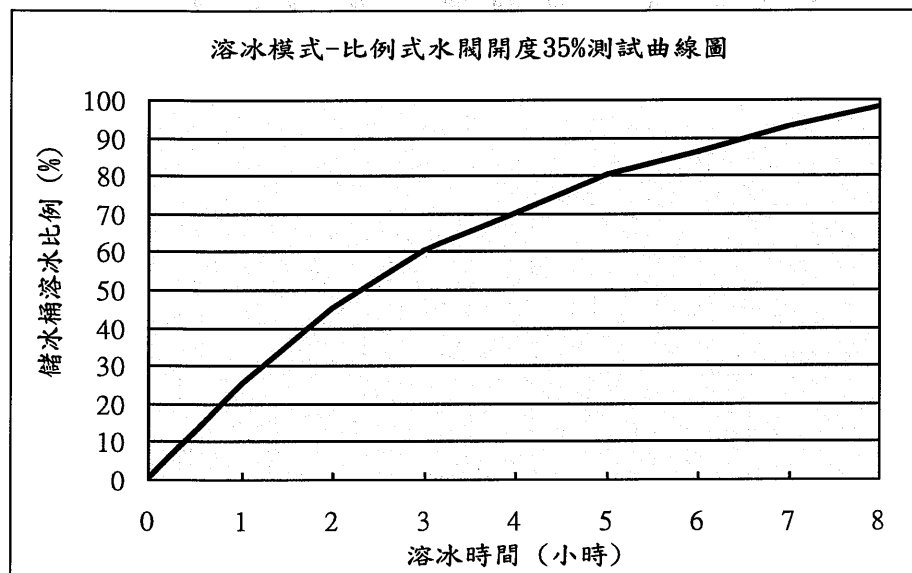


圖 39 融冰模式-比例式水閥開度 35%測試曲線圖

融冰模式-比例式水閥開度 35%測試完成之後，由數據顯示-M4 比例式水閥開度 35%之水流量為最佳融冰流量為 67.0 GPM，融冰模式運轉中之室內側負荷為 147 RT/hr(如圖 40 所示)，其運轉 8 小時之後儲冰桶內之儲冰融解可達 98%到幾乎完全融冰。

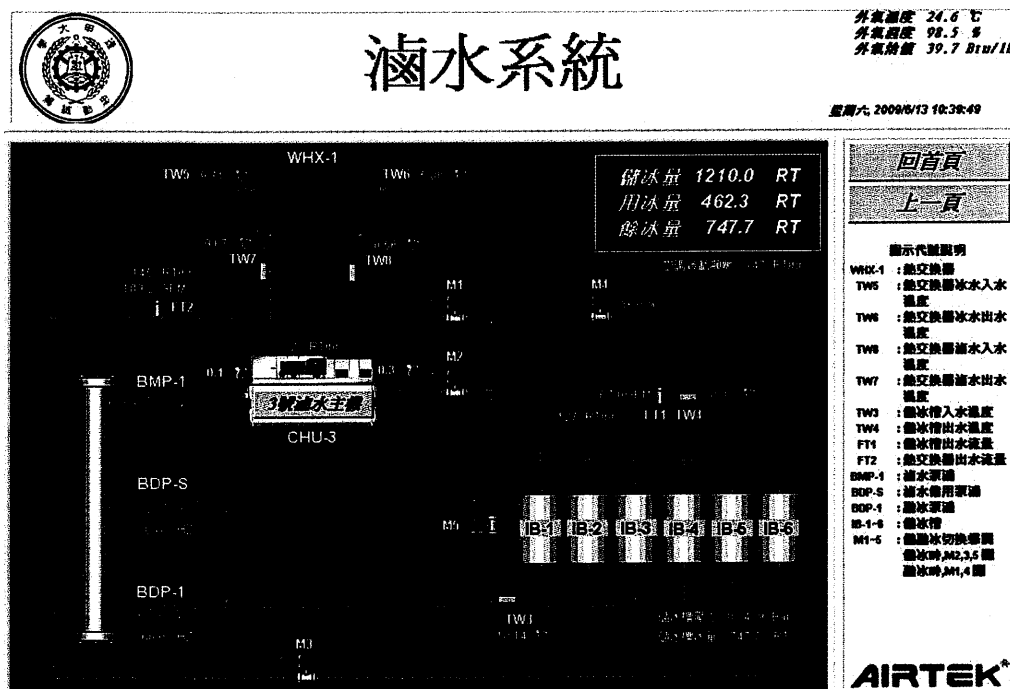


圖 40 融冰模式-比例式水閥開度 35%測試系統圖

本研究案例原設計(比例式水閥開度 100%)之融冰流量 FT1 為 172.0 GPM,經測試結果融冰模式-比例式水閥開度 35%之融冰流量為 67.0 GPM 為最佳狀態，並以流量計之回饋訊號經監控制軟體計算，控制變頻器之輸出頻率，達到融冰模式最佳流量 67.0 GPM 實驗驗證之參數，並且可以節省融冰水泵之運轉耗電量。

4.3 實驗驗證與結果

本研究測試完成找出最佳融冰模式-比例式水閘開度 35%時運轉效率，其儲冰桶融冰比例可達 98%到幾乎完全融冰，最佳融冰水流量 67.0 GPM。預定進行實驗驗證步驟將其運轉數值記錄，測試期間之室內空調負荷為 100RT~120RT 之間，融冰水泵之變頻控制裝置以頻率輸出 25Hz~60Hz 之間自動控制，維持空調負荷區域之板式熱交換器二次側出水溫度為 5.8°C~9.8°C 之間，以維持空調負荷區域之室內側空調機冷房能力。以結果最佳融冰流量 35%進行實際運轉測試 3 天並記錄相關資料。其運轉記錄如下：

- (1). 第 1 天運轉記錄：如圖 41~43 所示。
- (2). 第 2 天運轉記錄：如圖 44~46 所示。
- (3). 第 3 天運轉記錄：如圖 47~49 所示。

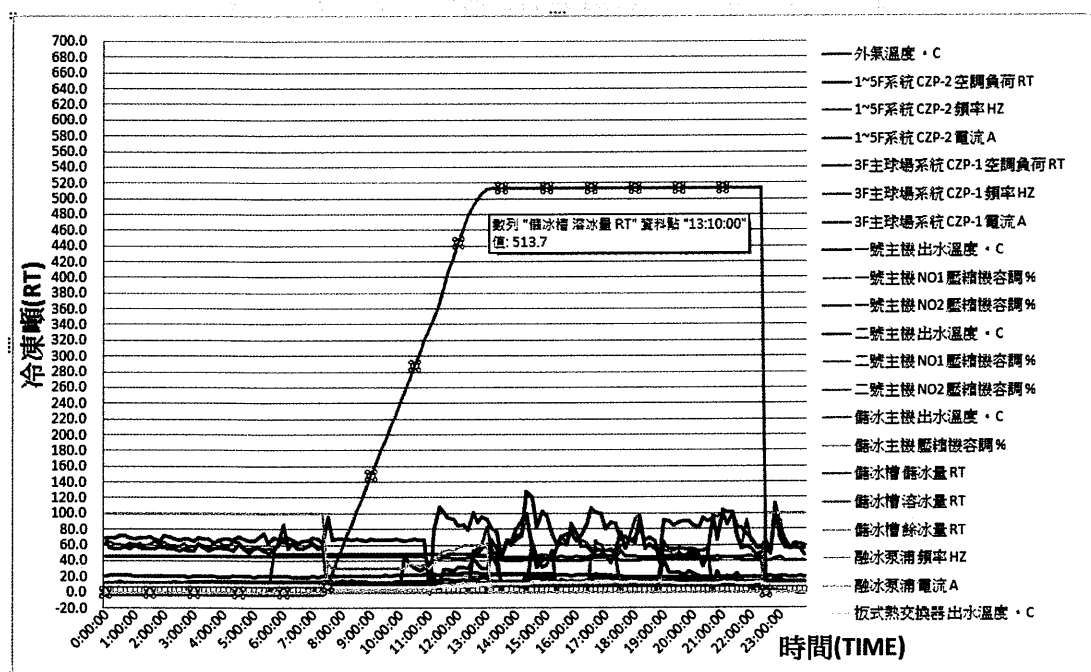


圖 41 最佳融冰流量之儲冰槽融冰量記錄圖-第 1 天(A)

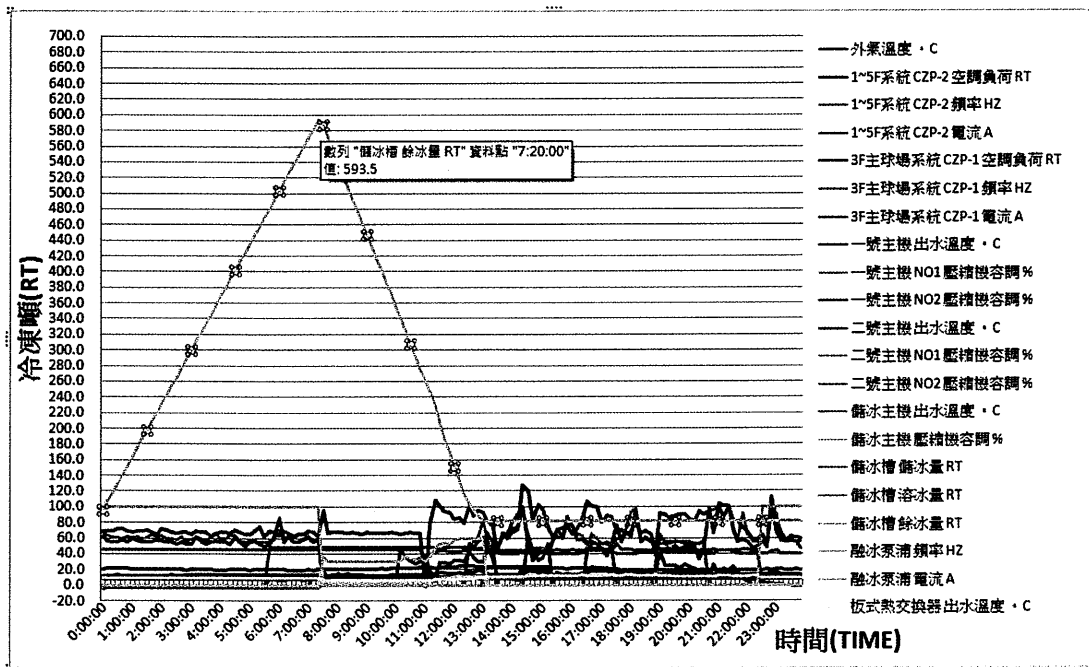


圖 42 最佳融冰流量之儲冰槽餘冰量記錄圖-第 1 天(B)

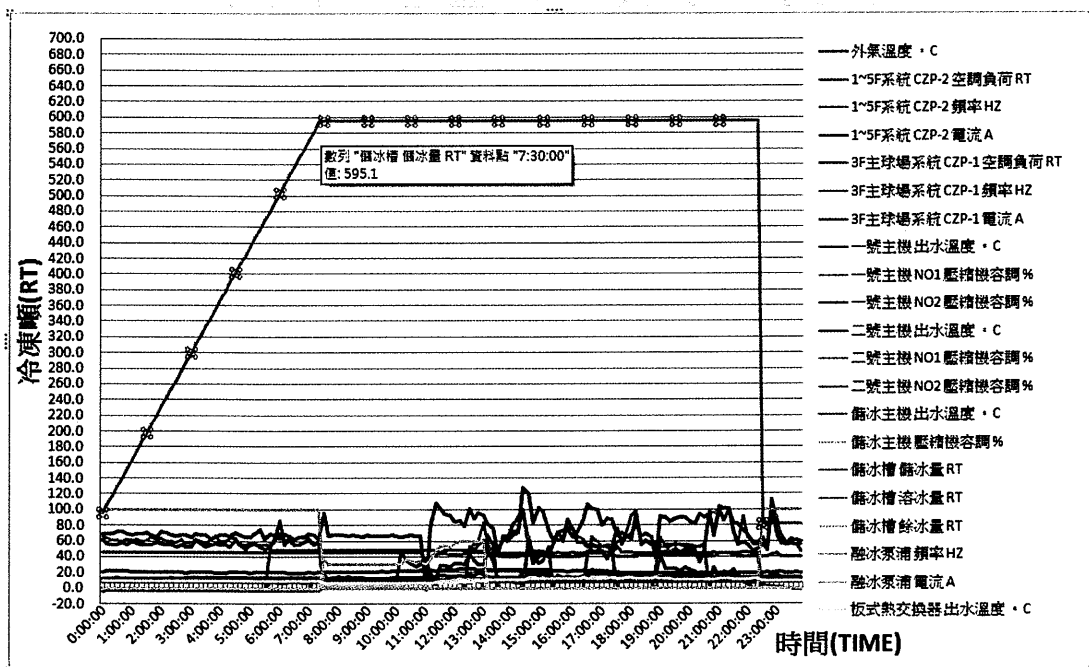


圖 43 最佳融冰流量之儲冰槽儲冰量記錄圖-第 1 天(C)

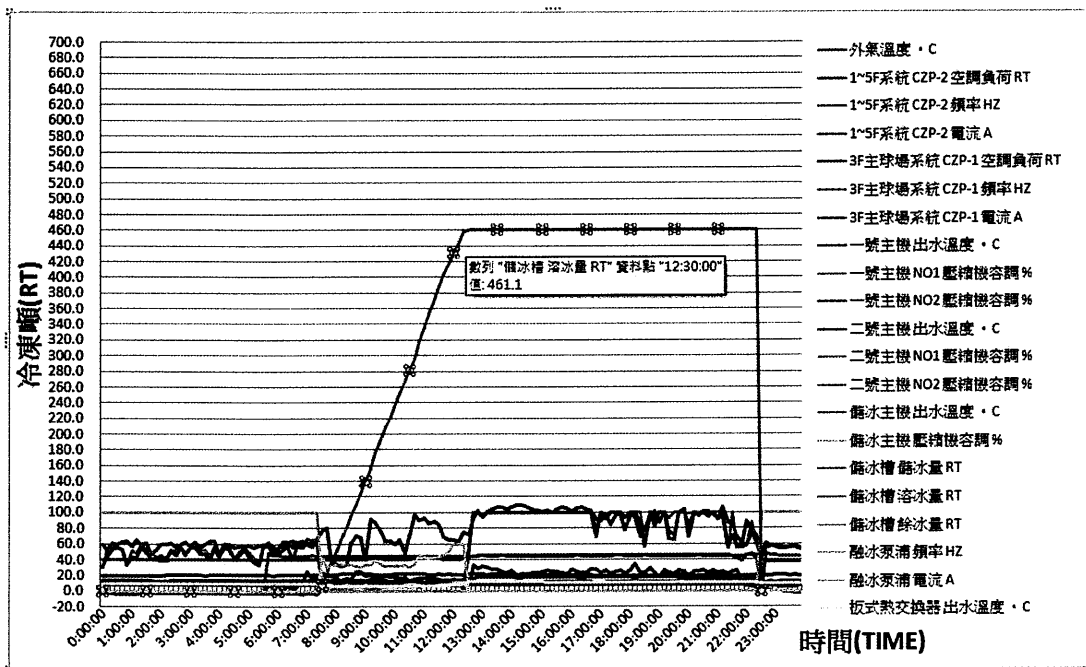


圖 44 最佳融冰流量之儲冰槽融冰量記錄圖-第 2 天(A)

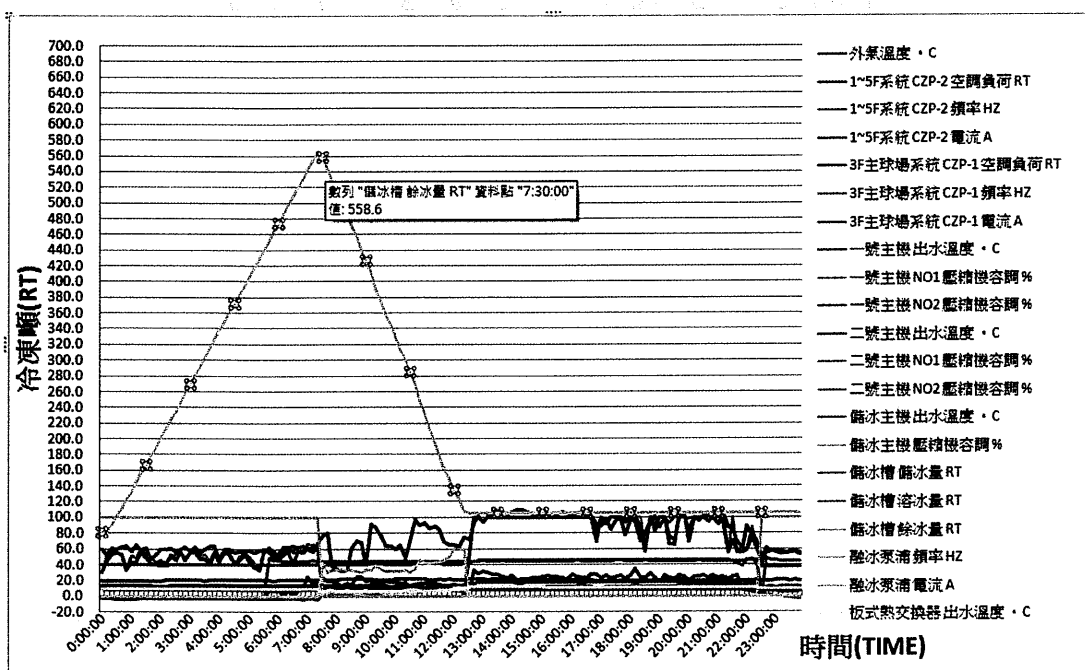


圖 45 最佳融冰流量之儲冰槽餘冰量記錄圖-第 2 天(B)

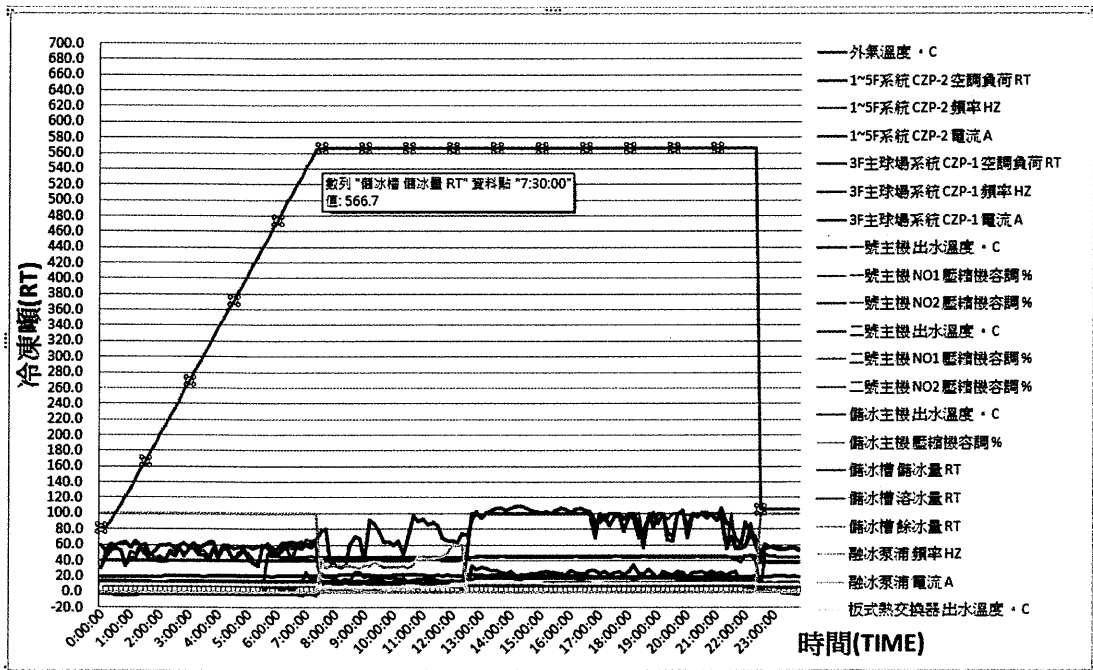


圖 46 最佳融冰流量之儲冰槽儲冰量記錄圖-第 2 天(C)

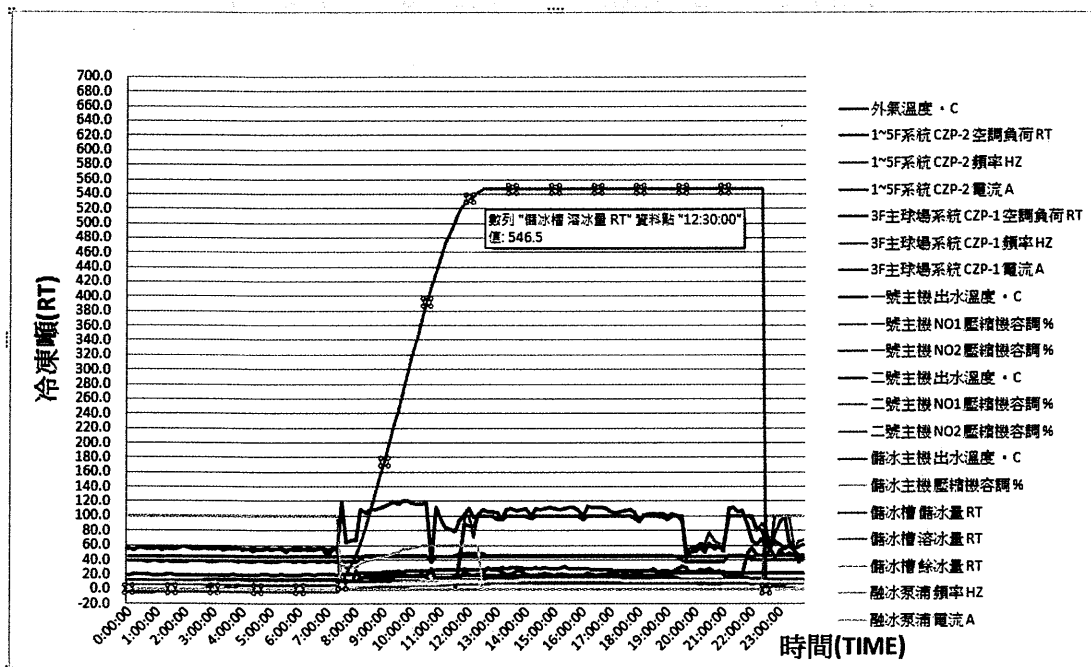


圖 47 最佳融冰流量之儲冰槽融冰量記錄圖-第 3 天(A)

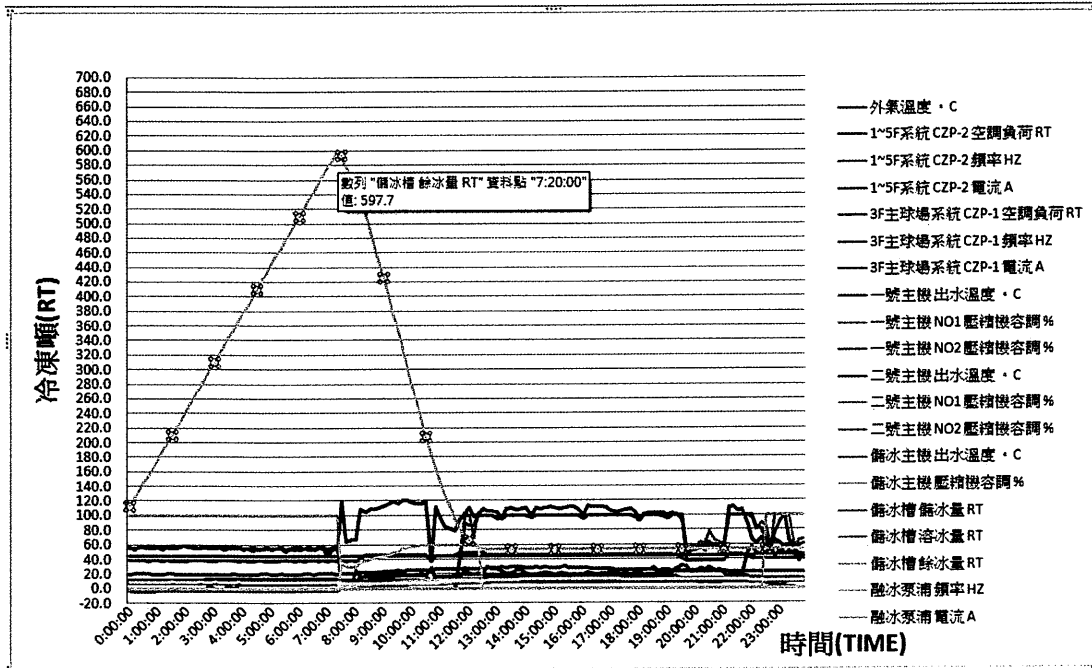


圖 48 最佳融冰流量之儲冰槽餘冰量記錄圖-第 2 天(B)

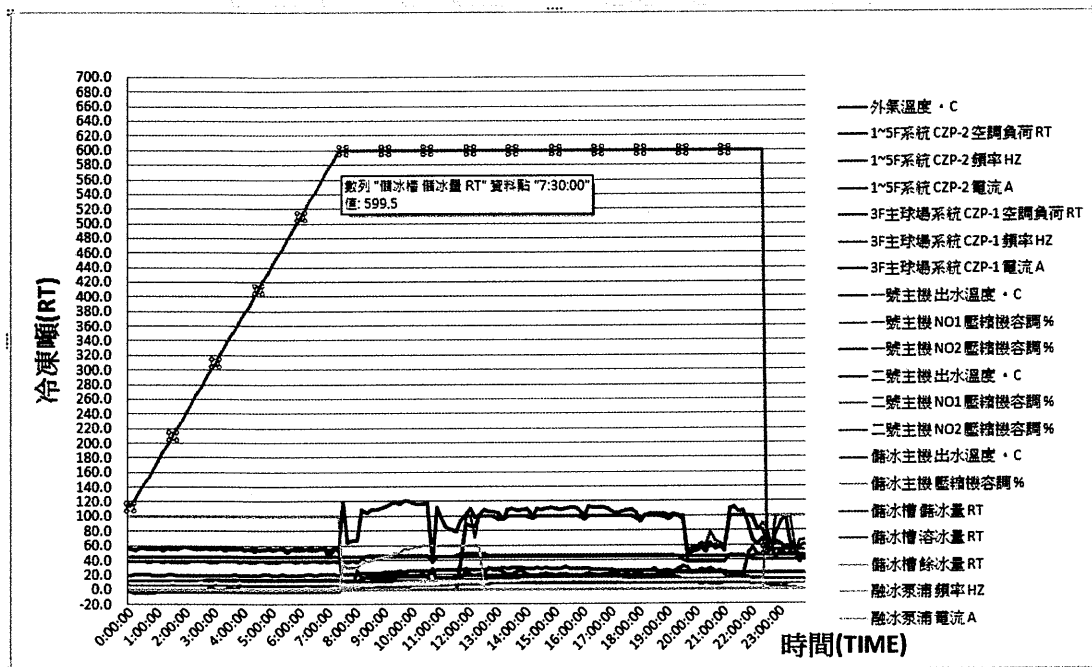


圖 49 最佳融冰流量之儲冰槽儲冰量記錄圖-第 3 天(C)

實際運轉測試 3 天並由記錄資料可以了解以 67.0 GPM 之融冰運轉水量
可以達到控制融冰水泵在最佳運轉頻率及最低耗電能，使儲冰槽之冰量，可
完全釋出總融冰比例為達 90%以上，達到控制最佳化。



4.4 本研究案例經濟效益

本研究案例之儲冰空調系統與一般系統經濟效益比較，儲冰空調系統初設費用(空調 300RT+儲冰 100RT)為：15,000,000 元；一般空調系統初設費用(空調 454RT)為：11,350,000 元；其兩者差額：3,650,000 元，每年運轉費用：儲冰空調系統：3,021,870 元；一般空調系統：4,142,840.8 元，其儲冰空調系統每年節省費用：1,120,970.8 元，因此採用儲冰空調系統回收年限：約 3~4 年回收(如表 20 所示)。但如含維護保養費之傳統式系統一年運轉費用為 4,687,640.8 元，儲冰式系統一年運費用為 3,501,870 元(如表 19 所示)。

表 19 儲冰系統與一般系統經濟效益比較(以冰水主機容量計算)

項 目	說 明	傳統式系統	儲冰式系統
初 設 費 用	設備及工程費用	11,350,000 元	15,000,000 元
	線路補助費用 (1760 元/KW)	799,040 元	528,000 元
	小 計	12,149,000 元	15,528,000 元
	差 額		3,379,000 元
運 轉 費 用	電費總計(年)	4,142,840.8 元	3,021,870 元
	維護保養費(年)	544,800 元	480,000 元
	小 計	4,687,640.8 元	3,501,870 元
	差 額		-1,185,770.8 元
回收期限		約 3~4 年回收	

表 20 儲冰系統與一般系統運轉費用比較表(以冰水主機容量計算)

項目	說明	傳統式系統	儲冰式系統
1	基本電費 夏月每瓦每月	223.6 元	223.6 元
	非夏月每瓦每月	166.9 元	166.9 元
2	尖峰流動電費 每度(元)	4.26 元	4.26 元
3	離峰流動電費 每度(元)	1.35 元	0.81 元
4	契約容量 KW	454KW	300KW
5	尖峰耗電量 KW	454KW	300KW
6	離峰耗電量 KW	0KW	150KW
7	全年尖峰用電量(6時/日) 度	708,240 度	468,000 度
8	全年離峰用電量(9時/日) 度	0 度	351,000 度
9	全年夏月基本電費 (6~9月)	101,514.4 元	67,080 元
	全年非夏月期本電費	75,772.6 元	50,070 元
10	全年尖峰電費	3,017,102.4 元	1,993,680 元
11	全年離峰電費	0 元	284,310 元
12	變壓器損失電費 250 元/KW/年	113,500 元	75,000 元
13	全年運轉費用	4,142,840.8 元	3,021,870 元
14	差額		-1,120,970.8 元

由表 20 所示，統傳統式系統一年運轉費用為 4,142,840.8 元，儲冰式系統一年運費用為 3,021,870 元，其儲冰式系統每年可節省 1,120,970.8 元。

第五章：結論與建議

5.1 結論

儲冰空調系統與一般系統經濟效益比較，儲冰空調系統初設備費為：15,000,000 元；一般空調系統初設備費為：11,350,000 元；其兩者差額：3,650,000 元，每年總運轉費用：儲冰空調系統：3,501,870 元；一般空調系統：4,687,640.8 元，其儲冰空調系統每年節省費用：1,185,770.8 元，因此採用儲冰空調系統回收年限：約 3~4 年回收。

儲冰空調系統，除了在儲冰過程中，控制系統必需準確，使其儲冰主機能正確在飽和的儲冰量裡，正確的時間點停機。在融冰的過程中更為重要，需使儲冰槽之冰量能透過滴水之能量轉換，適當且完整的控制滴水流量，將儲冰槽之儲冰容量完全釋出，達到最佳的儲冰系統控制，本研究找出最佳融冰模式-融冰水流量為 67.0 GPM (比例式水閥開度 35%)時運轉效率，其儲冰桶融冰比例可達 98%到幾乎完全融冰，為最佳融冰水流量。儲冰融冰量計算及控制經改善，搜集儲冰及融冰時水之體積產生之變化，經感測器傳送訊號至儲冰空調監控系統判斷，可精確的量測及控制儲冰融冰量，維持儲冰空調系統長期正常運轉。

因此使用儲冰式空調系統，對用戶端不但可享受較低廉之電費及降低經常用電契約容量，對供電端可降低尖峰負載用電並可提高發電廠之營運效益。但若要使儲冰式空調系統發揮到淋漓盡致的話，事先的規劃安排及運轉

後的維護保養是造成儲冰式空調成敗的重要關鍵。

5.2 建議

儲冰空調未來在電力轉移用的功能上，具有節省電費支出實用的地位，亦為政府大力推廣之政策，但在系統中儲冰槽的結構及研發製造技術，仍有長遠的發展空間，如何尋求更高深的研發科技製造，使儲冰桶能具有更高效率的運轉，是未來發展的重要課題。本人對於儲冰桶之研發改良技術，深具興趣，希望能夠投入未來的更多研究。



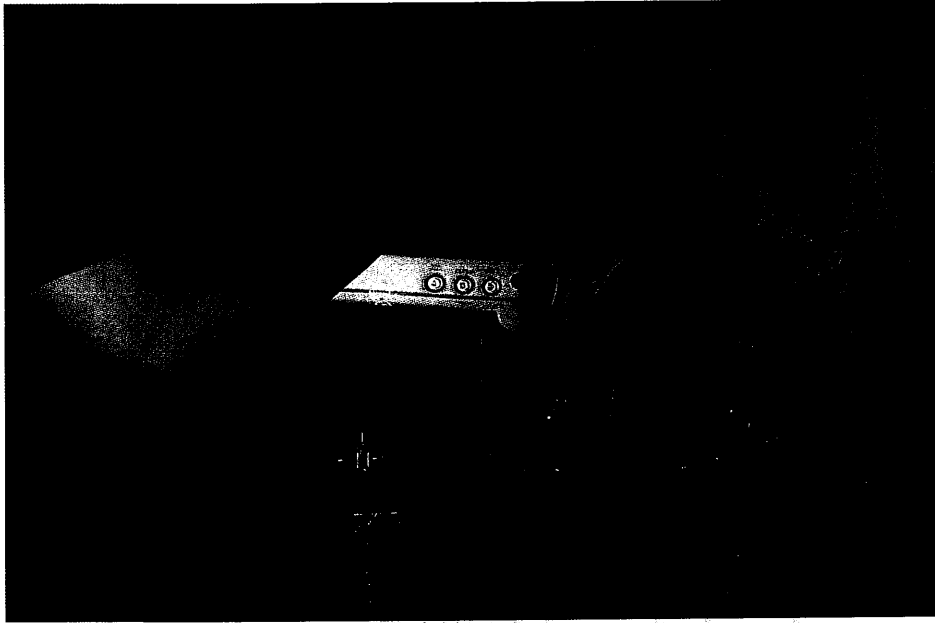
參考文獻

- [1]. 台灣電力公司網站(儲冷式空調系統-離峰用電優惠電價)，
<http://www.taipower.com.tw>，2010年10月。
- [2]. E.L. Cuplinks, July 1975, Sizing and application of thermal storage system,
ASHRAE Journal, pp. 31-32。
- [3]. W.P. McNeil, J.D. Mathey, 1985, Review of an operating ice storage
system performance, ASHRAE Trans., Vol. 91, Part 1B, pp. 977-992。
- [4]. 楊冠雄，1991年，儲冷式空調系統分析，中華民國建築師公會全國聯合會出
版社。
- [5]. Dorgan, C. E. and J. S. Elleson, 1993, Design Guide for Cool Thermal
Storage, Atlanta, GA: ASHRAE Inc。
- [6]. Williams, C. D., 1996, Optimizing TES Chiller Management, *ASHRAE
Journal*, Vol. 38, No. 4, pp. 43-48。
- [7]. Tamblyn, R. T., 1985, Control Concepts for Thermal Storage, *ASHRAE
Transactions*, Vol. 91, No. 1b, pp. 5-11。
- [8]. Kintner-Meyer, M. and A. F. Emery, 1995, Cost Optimal Analysis and Load
Shifting Potentials of Cold Storage Equipment, *ASHRAE Transactions*, Vol.
101, No. 2, pp. 539-548。
- [9]. 楊冠雄，2000年，儲冷式空調系統分析，長年出版社。

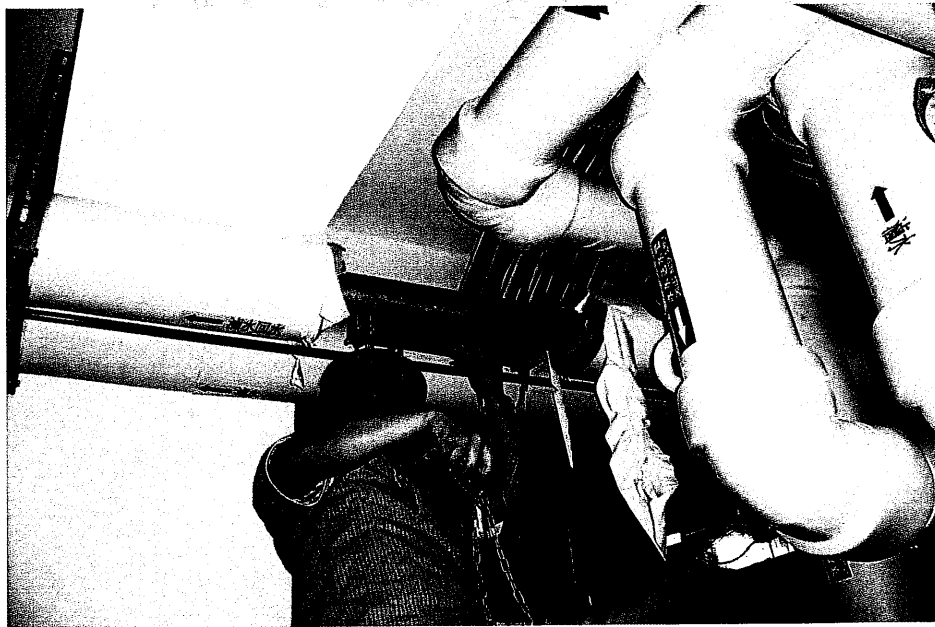
- [10].蔡尤溪、李宗興，2004年，儲冰空調系統技術，全華科技圖書股份有限公司，民國93年3月。
- [11].林鴻彬、蕭明哲、黃明朝、曾文森，2005年，應用蓄熱能電池於儲冰式空調系統之研究，國立臺灣科技大學出版技術學刊，民國94年，卷期：Vol.20 No.2，頁數：115-122。
- [12].丁俊智、王懷明、陳文亮、陳希立，2001年，動態規劃法於儲冰式空調系統之最佳化設計，國立臺灣大學「台大工程」學刊，民國90年6月，第1-11頁。
- [13].嚴志偉，2001年，變流量節能技術應用於儲冰空調系統之研究，國立台北科技大學冷凍與低溫科技研究所碩士論文。



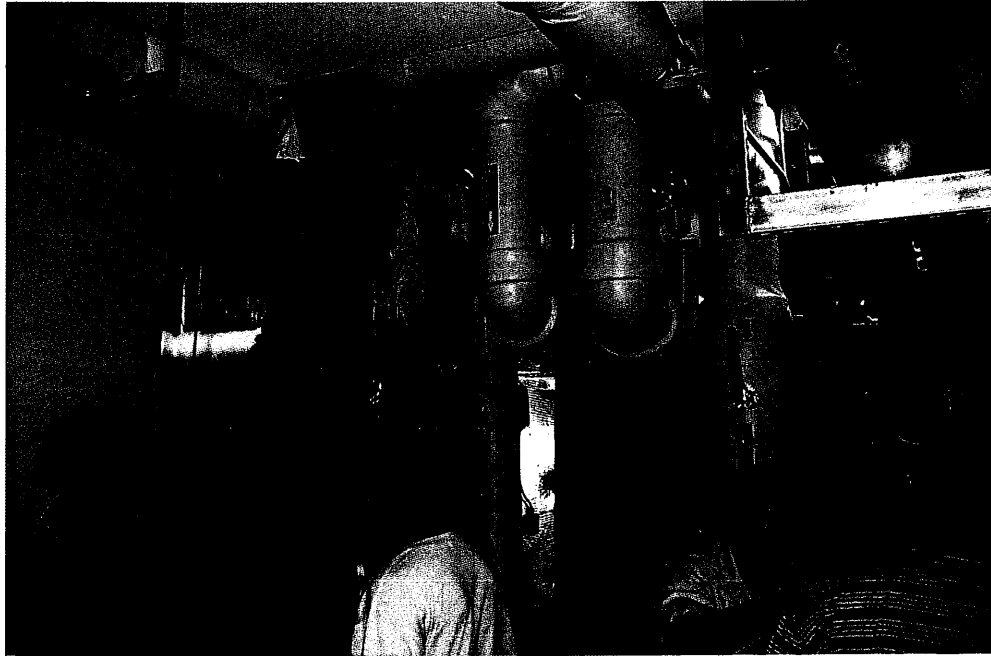
附錄一：實驗過程記錄



附圖 1-1 超音波流量計測前之設定



附圖 1-2 架設超音波流量計感測元件至主機管路系統



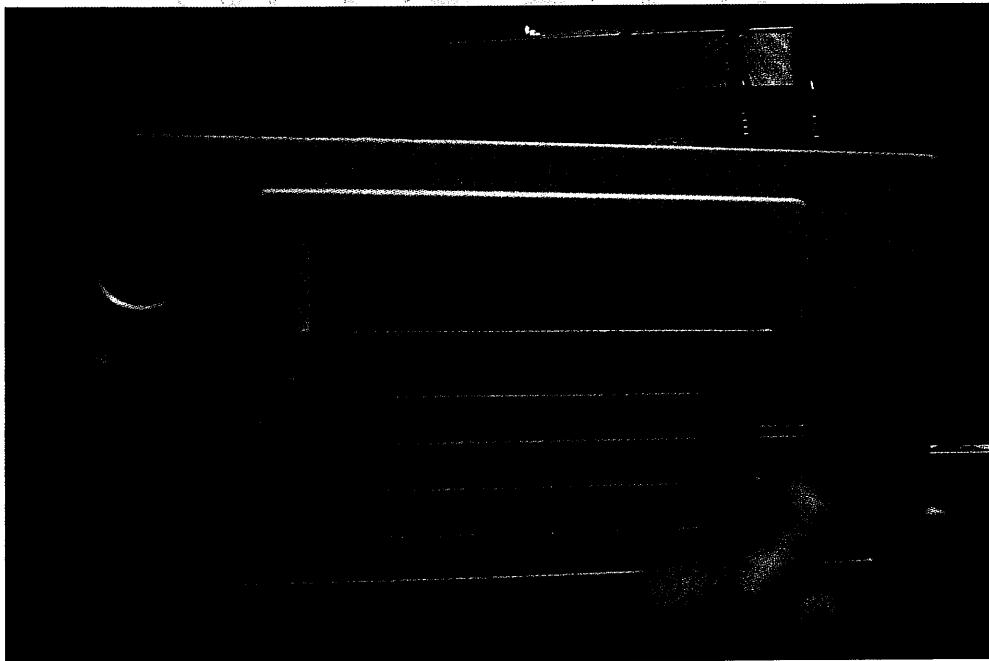
附圖 1-3 冰水主機性能量測情況



附圖 1-4 顯示超音波流量計量管內液體流量 (CH3 冰水主機)



附圖 1-5 超音波流量計量測前之設定



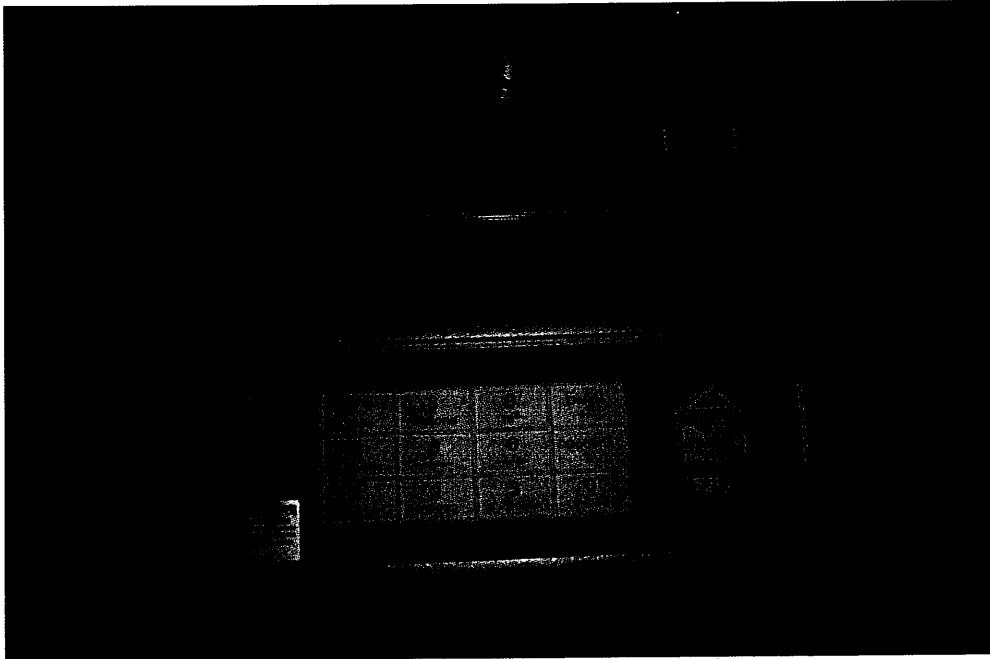
附圖 1-6 超音波流量計量測之快速設定介面



附圖 1-7 架設超音波流量計量感測元件至主機管路系統



附圖 1-8 顯示超音波流量計量管內液體流量 (CH1 冰水主機)



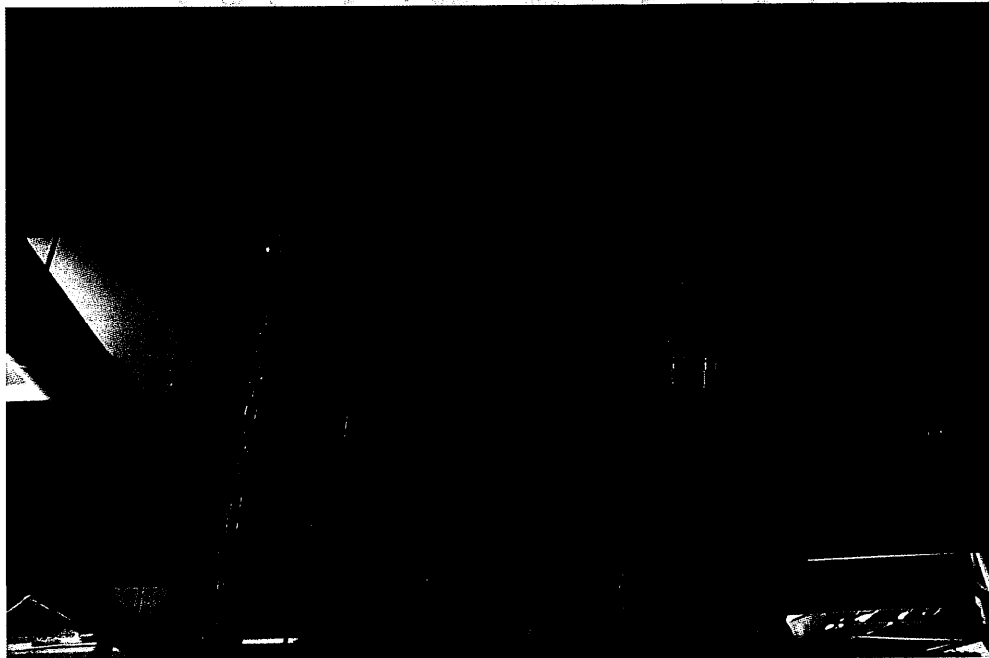
附圖 1-9 超音波流量計量測之快速設定介面



附圖 1-10 架設超音波流量計量感測元件至主機管路系統



附圖 1-11 檢查超音波流量計量感測元件與量測管路是否有貼緊



附圖 1-12 顯示超音波流量計量管內液體流量 (CH2 冰水主機)

附錄二：作者簡歷

姓名：張梓祥

學歷：私立勤益工專電機科(65年6月)

國立勤益技術學院冷凍空調系(95年6月)

經歷：台灣區冷凍空調工程工業同業公會理事、監事、常務理事、常務監事

台灣區電氣工程工業同業公會台中辦事處會員代表

台灣區水管工程工業同業公會台中市辦事處委員、代表、總務

台灣區冷凍空調工程工業同業公會中部連絡處主任委員

國立勤益科技大學冷凍空調與能源系系友會理事長(95年8月~99年)

