

國 立 交 通 大 學

工學院精密與自動化工程學程

碩 士 論 文

既有半導體廠潔淨室之節能改善與效益分析

The Improvement on Energy Saving and Efficiency of Foundry's Clean Room

研 究 生 : 李政煌

指 導 教 授 : 陳 俊 勳 教 授

中華民國 九十九 年 七 月

既有半導體廠潔淨室之節能改善與效益分析
The Improvement on Energy Saving and Efficiency
of Foundry's Clean Room

研究 生：李 政 煌
指 導 教 授：陳 俊 勳

Student : Cheng-Hung Lee
Advisor : Chiun-Hsun Chen

國 立 交 通 大 學

工學院精密與自動化工程學程



A Thesis

Submitted to Degree Program of Automation and Precision Engineering
College of Engineering
National Chiao Tung University
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of
Master of Science
in
Automation and Precision Engineering
July 2010
Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 九十九 年 七 月

摘要

既有半導體廠在動態運轉狀況下，仍需持續不斷進行能源效率查核，透過系統診斷，改善系統運轉效率，以降低能源成本。

本研究對半導體二個系統進行能源效率評估與改善：

(1) 評估增設儲冷式空調，轉移尖峰時段用電，以取得電力公司的電費價差。規劃 2,000RTH 儲冷空調系統，節省電費 862,288 元/年，工程投資 7,415,000 元，投資回收年限 8.6 年。

(2) 規劃改善潔淨室乾盤管輸水系統，2 台 100 馬力離心式泵浦，由原全量輸出運轉，規劃加裝 2 台變頻器，可節省 46% 電力輸出，節省電力成本 1,349,040 元/年，投資回收年限 1.12 年。

關鍵字：潔淨室節能；儲冷式空調；變頻控制

ABSTRACT

Existing foundry's fab. in the dynamic operating conditions, still on-going energy efficiency audit, through the system diagnostics to improve operational efficiency of the system to reduce energy costs.

In this study, two systems for foundry's fab. to improve the energy efficiency assessment:

(a) Assessment of additional TES air-conditioning, load shifting of electricity during peak hours in order to obtain TPC preferential rates. Planning 2,000 RTH TES air conditioning system, saving electricity cost 862,288 NTD / year, NTD7,415,000 project investment, the ROI limit in 8.6 years.

(b) Planning to improve the clean room dry coil system, 2 sets of 100 hp centrifugal pump, the original total output operation, planning to install two invertors can save 46% power output, saving electricity costs 1,349,040 NTD/ year, the ROI limit in 1.12 years.

Keywords: clean room power saving ; thermal energy storage system ; inverter

目 錄

摘要	-----	i
ABSTRACT	-----	ii
目錄	-----	iii
表目錄	-----	v
圖目錄	-----	vi
一、緒論	-----	1 -
1.1 研究動機與目的	-----	1 -
1.2 文獻回顧	-----	2 -
1.3 研究內容及方法	-----	4 -
二、儲冷空調系統評估	-----	6 -
2.1 前言	-----	6 -
2.2 儲冷空調系統介紹	-----	6 -
2.2.1 儲冷系統運轉策略	-----	7 -
2.2.2 儲冷槽型式介紹	-----	9 -
2.3 既有空調系統介紹	-----	12 -
2.3.1 設備規格	-----	12 -
2.3.2 夏月空調負載	-----	13 -
2.3.3 電價結構	-----	16 -
2.4 既有廠區儲冷空調系統評估	-----	18 -
2.4.1 系統設置工程評估	-----	20 -
2.4.2 經濟效益評估	-----	22 -
2.5 儲冰空調系統評估小結	-----	23 -
三、潔淨室節能改善工程效益分析	-----	24 -
3.1 潔淨室定義	-----	24 -
3.2 潔淨室架構	-----	26 -
3.2.1 外氣空調箱 (MAU)	-----	28 -
3.2.2 風機濾網機組 (Fan Filter Unit, FFU)	-----	30 -
3.2.3 乾式冷卻盤管 (Dry Cooling Coil, DC)	-----	31 -

3.3 變頻泵浦控制 -----	33 -
3.3.1 變頻器基本原理 -----	33 -
3.3.2 變頻器應用於感應電動機主要控制功能 -----	34 -
3.3.3 變頻器的節能原理 -----	35 -
3.3.4 離心泵介紹 -----	35 -
3.3.5 離心泵特性曲線 -----	35 -
3.4 水泵流量調整方式 -----	38 -
3.4.1 節流流量控制 -----	38 -
3.4.2 旁通流量控制 -----	38 -
3.4.3 關斷流量控制 -----	39 -
3.4.4 變頻流量控制 -----	39 -
3.5 節能改善及效益比較 -----	42 -
3.5.1 改善工程標的模型 -----	42 -
3.5.2 工程範圍與系統建置成本 -----	43 -
3.5.3 改善工程前系統規格紀錄 -----	44 -
3.5.4 改善工程後系統規格紀錄 -----	46 -
3.6 結果比較 -----	48 -
3.6.1 耗功比較 -----	48 -
3.6.2 流量比較 -----	48 -
3.6.3 揚程比較 -----	48 -
3.6.4 碳排放比較 -----	48 -
3.6.5 投資回收率分析 -----	48 -
3.7 小結 -----	49 -
四、結論與建議 -----	51 -
4.1 結論 -----	51 -
4.2 建議 -----	52 -
參考文獻 -----	53 -

表 目 錄

表 2-1 水、冰與優態鹽儲能密度比較 -----	7 -
表 2-2 各類儲冰式空調系統運轉特性比較 -----	10 -
表 2-3 傳統式空調系統與儲冷式空調系統設備品項比較 -----	12 -
表 2-4 夏月分時空調負載 -----	13 -
表 2-5 系統操作元件狀態 -----	15 -
表 2-6 三段式高壓供電電價表 -----	17 -
表 2-7 高壓供電戶儲冷式空調系統用戶優惠電價價差 -----	18 -
表 2-8 尖峰時區釋冷負載計算表 -----	19 -
表 2-9 評估選定儲冰系統規格 -----	20 -
表 2-10 設備所需樓地板設置面積 -----	20 -
表 2-11 總工程費估算表 -----	23 -
表 3-1 Fed-Std-209E潔淨度定義 -----	25 -
表 3-2 ISO-14644 潔淨度定義 -----	25 -
表 3-3 彙整說明上述四種流量控制方式 -----	40 -
表 3-4 Dry Coil循環泵性能規格 -----	44 -
表 3-5 改善前系統規格 -----	46 -
表 3-6 系統改善前後比較 -----	47 -
表 3-7 系統改善前後比較 -----	49 -

圖 目 錄

圖 1-1 永續發展 3E理念	1
圖 1-2 儲冰空調系統評估研究流程	4
圖 1-3 潔淨室節能改善工程效益分析流程	5
圖 2-1 儲冰系統分時運轉情況	7
圖 2-2 全量儲冰系統	8
圖 2-3 分量儲冰系統	9
圖 2-4 既有空調冰水系統供應組成示意	12
圖 2-5 夏月分時空調負載	14
圖 2-6 儲冷空調設備系統管路配置規劃	15
圖 2-7 傳統與儲冰空調系統分時負載曲線比較	22
圖 3-1 ISO-14644 潔淨度定義微粒分佈	26
圖 3-2 潔淨室構造	27
圖 3-3 潔淨室空氣循環平衡	27
圖 3-4 典型MAU (Make-up Air Unit, MAU) 單元構造	28
圖 3-5 夏天MAU各單元設定點	29
圖 3-6 冬天MAU各單元設定點	30
圖 3-7 風機濾網機組構造	31
圖 3-8 半導體廠空調系統架構	32
圖 3-9 二次冰水系統迴路	33
圖 3-10 三相變頻器基本方塊圖	34
圖 3-11 變頻器電路架構	34
圖 3-12 離心泵基本構造	35
圖 3-13 等轉速離心泵特性曲線	36
圖 3-14 不同轉速離心泵特性曲線	36
圖 3-15 離心泵浦之相似理論	38
圖 3-16 廠區空調冰水系統供應迴路	42
圖 3-17 工程費用報價單	43
圖 3-18 Dry Coil性能曲線	45

圖 3-19 改善工程後系統圖	47
圖 3-20 系統改善後節能效益	49
圖 3-21 改善後系統曲線	50



一、緒論

1.1 研究動機與目的

根據經濟部能源科技研究發展計畫中指出，企業永續發展之推動需從能源（Energy）、經濟（Economic）、環境（Environment）的 3E 理念持續不斷發展，才能在產業競爭市場中成長茁壯，不被吞噬，尤其以台灣能源短缺 95% 以上仰賴進口的島國而言更為重要，如圖 1-1 示【1】。

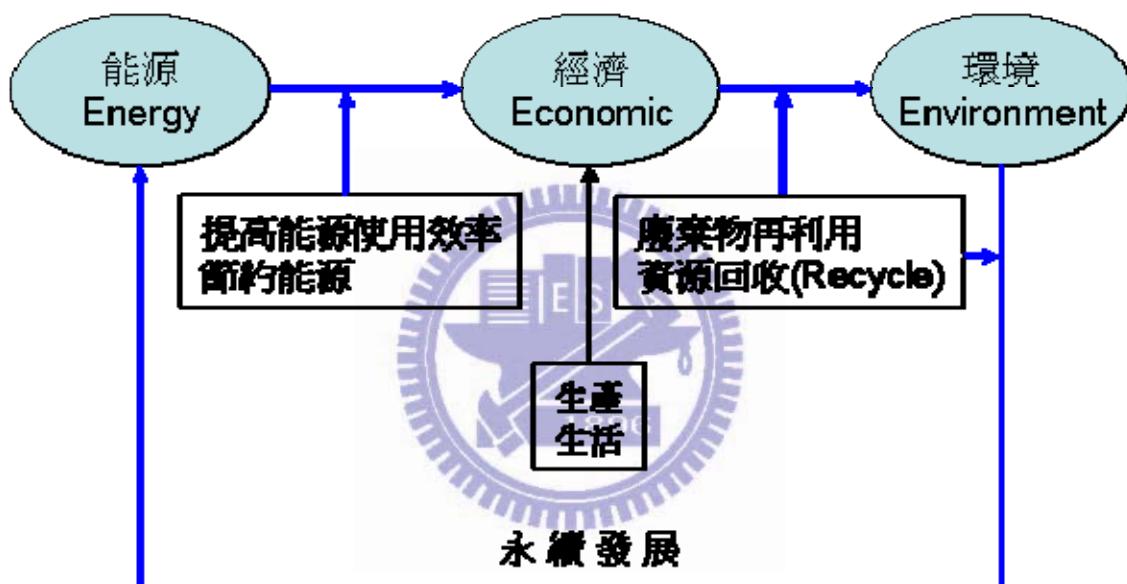


圖 1-1 永續發展 3E 理念

資料來源：經濟部能源科技研究發展計畫，九十一年度執行報告

2009 年聯合國氣候變化大會（2009 年 12 月 7 日—12 月 18 日），在丹麥首都哥本哈根的貝拉會議中心舉行。同時，它還是京都議定書簽字國第五次會議。根據「巴厘路線圖」的決定，本次會議將誕生一份新的哥本哈根議定書，以代替 2012 年到期的京都議定書。如果在本次會議上，各國不能達成共識、並通過新的決議，那麼在 2012 年京都議定書第一承諾期到期後，全球將沒有一個共同文件來約束溫室氣體的排放。因此，本次會議被喻為「拯救人類的最後一次機會」。由此可知，全球工業大國對於溫室氣體排放所帶來的全球氣候變遷問題，是多麼高度關切與迫切解決。

高科技產業在台灣的經濟發展上扮演極為重要的角色，2008 年的金融

風暴使企業經營受到嚴峻的考驗。半導體生產屬於高能源密度產業，如何降低能源使用與提高能源運用效率，使生產成本降低提昇產業競爭力，進而減少溫室氣體排放，盡一份棉薄的貢獻力，實為當今需正視的課題。

在 80 年代台灣半導體晶圓廠崛起，電子產業景氣循環快速，新建廠房須儘早切入量產的時間競賽特性下，廠房的建造在設計初期無不以相同設計模型條件下仿照參考，快速模組化的複製廠房設備軟硬體，且建造一座半導體廠需達百億資金，建廠設計階段，為達驗收門檻與未來的可變彈性，無不將系統安全係數與容量提高，導致初始設備容量過大，造成運轉能源的浪費與製造成本的提高。

有鑑於此，本文研究改善在既有半導體廠動態運轉生產情況下，進行系統能源效率改善工作，以提升能源使用效率，降低生產成本。盼能在全球綠色與節能減碳的浪潮下，除了能繼續保有我國半導體產業之領先優勢外，並再創新競爭力。

半導體廠空調系統一般分為一次側系統與二次側系統，一次側系統通常是指空調冰水製造單元，亦即為前段製冷設備。二次側系統通常是指負載側使用設備，一般又概分為潔淨室空調、非潔淨室空調及製程冷卻負載。

本文研究分為二部分主題，關於既設半導體廠前段冰水主機新增儲冰空調系統可行性評估與後段潔淨室 Dry Coil 負載側實際執行節能改善工程案例效益紀錄，期對於既設半導體廠節能改善工程執行面上，能做為業界參考。

1.2 文獻回顧

由於近年石油價格不斷攀升與節能減碳降低環境衝擊等環保議題不斷被關切，因此對於既設工廠的用電效率查核與改善，為在產業界必須面對與解決的問題。有鑑於此，經濟部能源局結合學界與各產業界及綠能基金會團體等，彙編一系列關於能源效率查核與節能手冊，供產業界參考。文獻【2】就傳統冰水空調系統管理與節能措施有詳細介紹，文中並導入儲冰空調系統的規劃設置與運轉模式管理，對於現行常見的儲冷介質密度有精闢的比較。文獻【3】【4】就各類特殊空調工程的設置規劃差異優劣與實務上系統節能運轉管理重點提出見解，其中對儲冰式空調系統設備提供完整的介紹，並也指出儲冰空調只能轉移抑制若干尖峰用電量，獲得若干的

離峰電價補償，實際上並不能節省能源，設置儲冷系統是否有利，仍得仔細計算，但其好處在於特殊地點空調，如電腦室、電信交換機房等，於短期內機組損壞或維修，不會影響空調供應。文獻【5】對儲冷式空調系統進行全尺寸量測與能源效益改善分析，結論指出，對儲冷空調的釋冷特性為其系統重要的要項，文中並建議依不同季節空調負載需求，採「分量設計，全量儲存」模式規劃運轉，可避免夏季冷能不足，冬季過剩的缺點。文獻【6】【7】以動態規劃法並考量最小生命週期成本，建立儲冰式空調系統的最佳化設計方法，並對給予工程設置相關費用估算方法。文獻【8】對六個設置儲冰空調系統單位進行查核研究，資料得知，儲冰空調對尖峰電力轉移是有效的方法，但有三個單位的流動電量是增加的，顯示在節能觀點上需再提升，文並建議採用離心式壓縮機作為系統運轉，以提升全系統效率。文獻【9】更指出採用三段式高效率離心式主機，其主機效率可達0.65kW/RT。文獻【11】【12】潔淨室標準 Fed-Std-209E 與 ISO-14644 對潔淨室等級定義、測試與監視的規範、測試的程序方法、設計與建造等等，皆有詳細的規範標準。文獻【13】對產業界實務上泵浦的串/並聯系統應用、泵浦特性曲線、系統運轉曲線、效率查核、效率降低原因及節能改善提出諸多實務上應用方法，文獻【14】將離心式泵浦細部圖解介紹內部結構，並指出揚程與流量下降原因與葉輪磨耗增大與泵殼間隙有關。【15】【16】【17】【18】皆在論述變頻器應用於流體輸送機械上之效益顯著，及其設置應用方法，能有效達成節能效益。

綜觀以上論述，本研究將擷取學者精闢之研究成果與業界先進對於工程實務經驗，進行工程評估與改善的重要參考。

1.3 研究內容及方法

本研究第一部分主題為「儲冷空調系統導入既設傳統冰水空調系統評估」，藉由儲冷系統的特性與現有既有廠房空調負載解析，選擇一適當之儲冷方式與儲冷容量進行可行性評估，其中須考量設置成本、經濟效益與現場施工改裝空間容納和管路銜接等問題，評估方法與步驟如下圖 1-2 示：

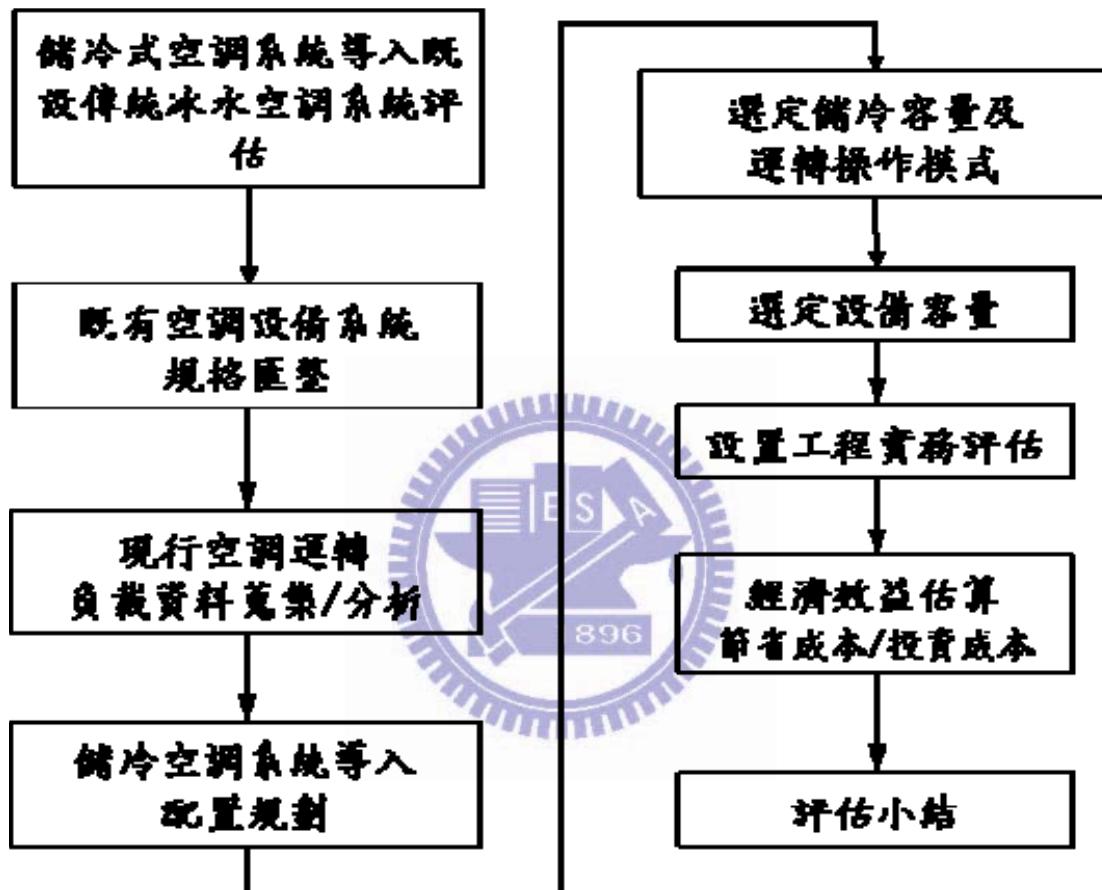


圖 1-2 儲冰空調系統評估研究流程

第二部份研究主題為「潔淨室節能改善工程執行效益分析」，選定月產 32K/200mm 晶圓既有半導體廠潔淨室 Dry Coil 系統，實際執行節能工程改善，由評估規劃階段至完工後的改善效益驗證，進行節能工程改善計畫紀錄與研究。工程改善計畫流程如圖 1-3 示：

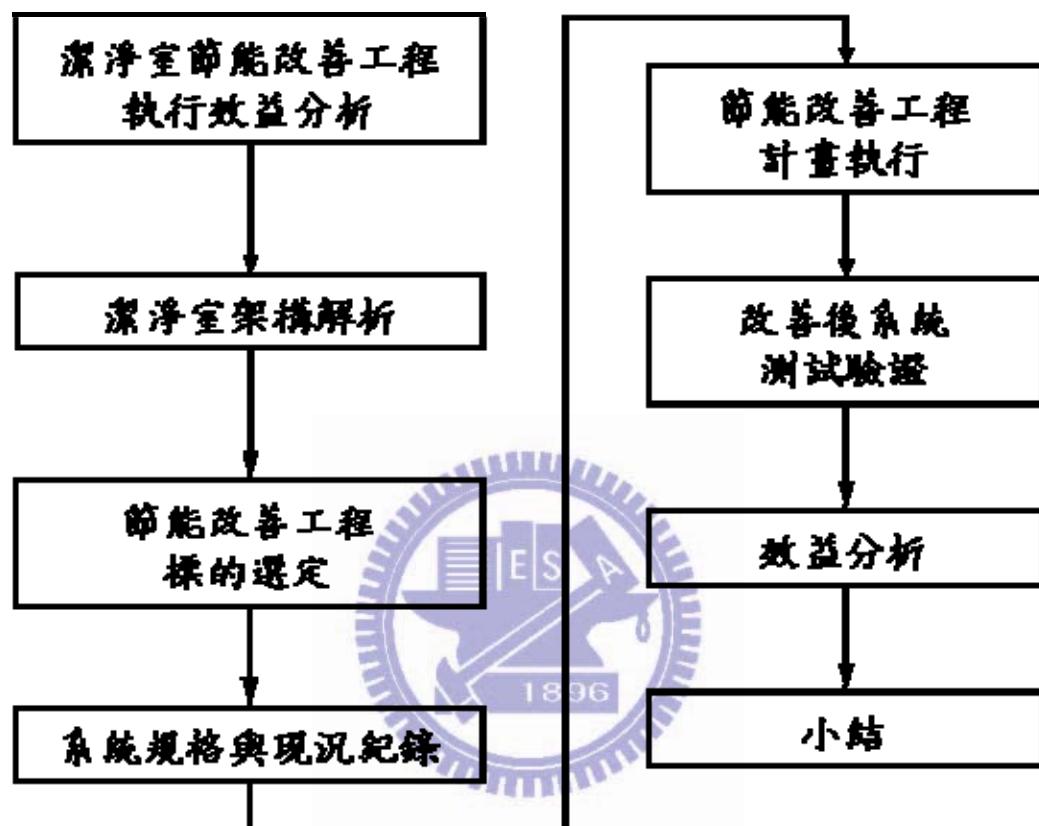


圖 1-3 潔淨室節能改善工程效益分析流程

二、儲冷空調系統評估

2.1 前言

儲冷空調系統是利用「電價結構」進行節省電費的一種運轉策略。換言之，利用夜間電力公司給予的優惠離峰電價進行空調主機運轉，將成本便宜的冷能儲存起來，於白天電價昂貴時將冷能釋放，使所需的製冷成本降低，這就是「負載平移」。如果空調主機冷凍能力為 300RT，需於白天連續提供 8 小時的空調負載，這時所需的總空調負載能力為 2400RTH。此設計如果換成儲冰空調系統，此時只須一台 100RT 空調主機連續運轉 24 小時，即可滿足白天空調負載，這就是「負載攤平」。換句話說，儲冰空調系統就是在「電價結構」誘因下，進行「負載平移」與「負載攤平」的一種空調運轉策略模式。對電力公司而言，可降低投資尖峰用電電量的能源開發成本。對用戶端而言，達到減少電費成本支出的效益。



2.2 儲冷空調系統介紹

「儲冷空調系統」(Thermal energy storage air conditioning systems , TES)係指冷凍主機在離峰時間運轉製冷並將冷能儲存起來，儲存的冷能在尖峰時間釋放出來，以供應空調系統之所需；本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(限電)時還可以提高空調的可靠使用，圖 2-1 所示為儲冰系統分時運轉情況。用這種填補的方法改善發電廠的利用率，降低尖峰用電，對發電廠的好處就是減少尖峰的設備容量；對顧客而言，獲益的是能獲得較低的電價。如此用戶與台電公司雙方面都有利益。

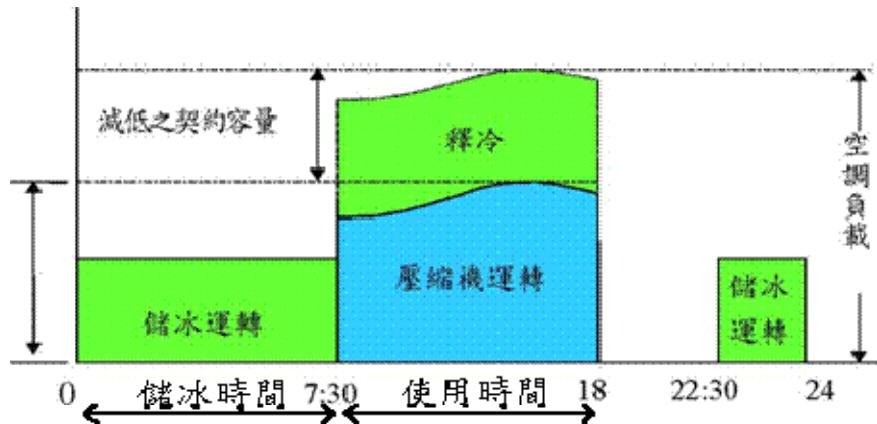


圖 2-1 儲冰系統分時運轉情況

2.2.1 儲冷系統運轉策略

儲冷空調系統之基本原理是利用儲冷介質在電力離峰時段將冷能儲存，於電力尖峰時段將冷能釋放用於空調負載需求。常見的儲冷介質為水、冰或優態鹽項變物質，這些介質主要差異在於每單位質量之儲冷量與儲冷的溫度，三種儲冷介質水、冰與優態鹽其儲能密度比較，如表 2-1

表 2-1 水、冰與優態鹽儲能密度比較

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	4~12°C
溫度變化範圍	12~7°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1000RTH需儲冷 介質多少體積	606 m ³	35.3m ³	82.6m ³

資料來源：空調系統能源查核及節約能源案例手冊，經濟部能源局

儲冰空調系統依運轉策略又可分為全量儲冰(Full Storage)與分量儲冰(Partial Storage)。

全量儲冰，圖 2-2 是將白天電價尖峰時段所需的空調負荷全部轉移到

夜間電力離峰時段。也就是在白天時，空調主機與其附屬設備完全停止運轉，只藉由儲冷設備釋冷提供所有空調負荷。此方式最大好處是可完全利用電價差來節省電費，降低運轉成本，但缺點是主機容量無法減少且必須增加更多儲冷設備費用。

分量儲冰，圖 2-3 是將白天電力尖峰時段所需的部份空調負載藉由儲冷設備提供，不足部分仍由空調主機供應，此運轉策略空調主機與儲冷設備容量均較小，適用於整日需空調負載且負載變化不大的場所。分量儲冰依空調主機與儲冷設備使用之優先順序又可分為：

(1) 主機優先運轉策略

以空調主機有先開啟提供空調負載，若有不足，儲冷設備釋放冷能供應。此運轉策略較無法充分利用儲冰系統設置之主要目的。

(2) 儲冰優先運轉策略

空調負載以儲冰設備優先釋冷供應，不足部份再由空調主機運轉供應，較能充分利用離峰電力帶來的降低製冷成本的好處，但最大釋冷率須先決定，以避免冷能提前於尖峰時段即耗盡，造成空調用電成本增加。

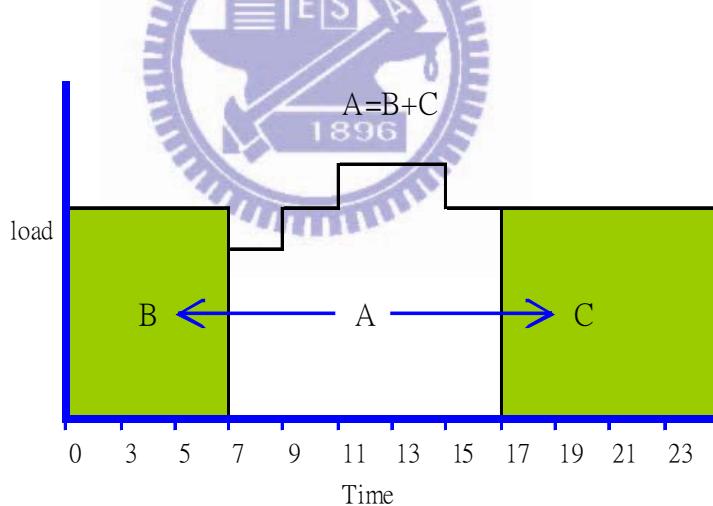


圖 2-2 全量儲冰系統

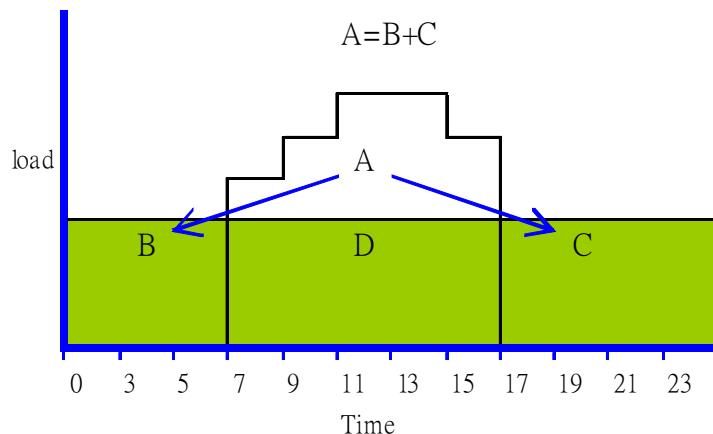


圖 2-3 分量儲冰系統

2.2.2 儲冷槽型式介紹

另依儲冰槽結構與製冰、融冰的不同方式，儲冰系統又分為：外融冰式、內融冰式、製冰滑落式、冰晶式、容器式、儲冰水式及優態鹽式。各類儲冰式空調系統運轉特性比較，如表 2-2



表 2-2 各類儲冰式空調系統運轉特性比較

種類內容	外融冰式	製冰滑落式	冰晶式	容器式
儲存介質結凍形狀	冰於冷媒盤管外結成圓柱	薄冰結於凍結板上，再滑於下部除冰槽內	類似雪花冰，呈可流動狀態	圓球型、方形或啞鈴型
供應至空調區間之冷卻介質	冰水	冰水	冰晶(冰+5%~6%EG)	滷水
每儲冰1000RTH所需儲冷介質體積 (實際容積再乘	85m ³	85m ³	85m ³	85m ³
常用儲冰槽型式	開放式	開放式	密閉式或開放式	密閉式或開放式
儲冰槽所需一般淨高	3m	5m以上	1.3m~3m	無限制(立式或橫式密閉槽為
常用冷媒壓縮機型式	往復式、螺旋式	往復式、螺旋式	往復式、螺旋式	往復式、螺旋式
運轉特性	外融冰式。釋冷相當快，同時適用於工業製程。但冷媒之洩露及主機回油問題須克服。	製冰循環有除霜過程，機件相形下較多。須注意冰塊滑落後之分佈及釋冷之平均程度。	釋冷能力極快，且可直接用泵浦送至所需地方。然目前大抵應用於30~50RT較小型儲冰系統。	內融冰方式。冰球本身置放之方式彈性較大而方便。然而為防止滷水旁通，盡量採取密閉式系統設計。

資料來源：空調系統能源查核及節約能源案例手冊，經濟部能源局

(接表 2-2)

種類內容	內融冰式	儲冰水式	優態鹽式
儲存介質結凍形狀	儲冰槽內整槽結冰	不凍結	長方形塑膠容器內，共晶鹽類整體凍結
供應至空調區間之冷卻介質	滷水(25%EG或冰水)	冰水	冰水
每儲冰1000RTH所需儲冷介質體積 (實際容積再乘以1.3~1.5倍)	85m ³	360m ³	120m ³
常用儲冰槽型式	密閉式	密閉式或開放式	開放式
儲冰槽所需一般淨高	2m~3m	較無限制	2m~3m
常用冷媒壓縮機型式	往復式、螺旋式	離心式、往復式、螺旋式	離心式、往復式、螺旋式
運轉特性	內融冰匹配滷水式主機，為成熟技術。然所需釋冷時間稍長。	以冰水溫差顯熱儲冰。系統回水與出水間之溫度分層為成敗關鍵。可與目前傳統式空調主機搭配，同時適合「新設及改建」之儲冰系統。	目前廣用優態鹽配方係於42~47°F結凍，因此亦可搭配目前傳統式空調主機，同時適合「新設及改建」之儲冰系統。因利用潛熱所需體積較小。系統設計容易，但出水溫度略高。

綜合上述，表 2-3 示，傳統式空調系統與儲冷式空調系統設備品項比較，儲冷式系統於設備品項上多出了：製冰水泵、融冰水泵、儲冷槽、儲冷介質與熱交換器等。

表 2-3 傳統式空調系統與儲冷式空調系統設備品項比較

品項	傳統式空調系統 設備品項	儲冰式空調系統 設備品項
1	冰水主機	冰水主機
2	冷卻水泵	冷卻水泵
3	冷卻水塔	冷卻水塔
4	冰水泵	冰水泵
5	X	製冰水泵
6	X	融冰水泵
7	X	儲冰槽
8	X	儲冷介質
9	X	熱交換器

2.3 既有空調系統介紹

2.3.1 設備規格

本文既有半導體廠空調冰水系統供應組成全尺寸模型為：一次冰水泵；離心式冰水主機；二次冰水泵及冰水負載側組成，圖 2-4 所示，組成元件規格如下

離心式冰水主機：1250RT×8 台

一次冰水泵：離心泵 1250GPM/75HP×8 台

二次冰水泵：2500GPM/250HP×4 台

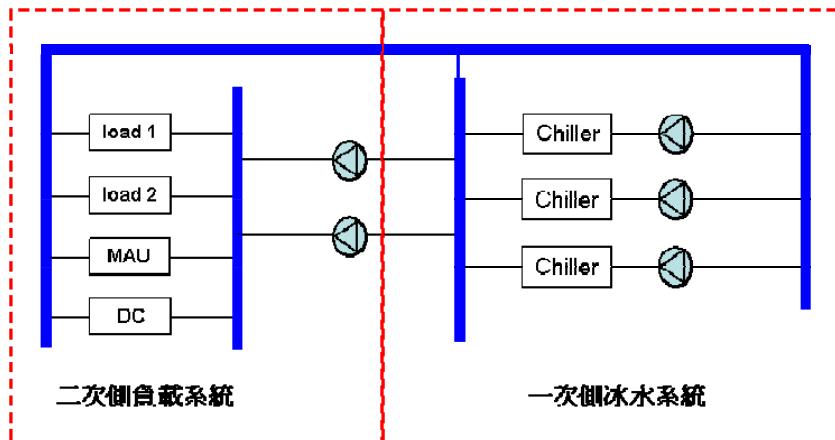


圖 2-4 既有空調冰水系統供應組成示意

2.3.2 夏月空調負載

既有廠區夏月(6月1日至9月30日)分時空調負載收集分析，如表2-4；圖2-5表示：

平均空調負載：5,327RTH

全日空調總負載：127,844RTH

每日最大空調負載時段：11時~16時

表 2-4 夏月分時空調負載

TIME	Total RTH	Total kWH	COP
00	5,155	4,127	0.801
01	5,113	4,076	0.797
02	5,075	4,009	0.790
03	5,052	3,995	0.791
04	5,016	3,939	0.785
05	4,974	3,875	0.779
06	5,012	3,914	0.781
07	5,109	4,024	0.788
08	5,243	4,231	0.807
09	5,339	4,410	0.826
10	5,446	4,590	0.843
11	5,583	4,844	0.868
12	5,559	4,804	0.864
13	5,604	4,859	0.867
14	5,546	4,749	0.856
15	5,564	4,737	0.851
16	5,567	4,702	0.845
17	5,537	4,646	0.839
18	5,519	4,598	0.833
19	5,476	4,545	0.830
20	5,370	4,437	0.826
21	5,356	4,406	0.823
22	5,323	4,398	0.826
23	5,306	4,395	0.828
MAX.	5,604	4,859	0.868
MIN.	4,974	3,875	0.779
AVE.	5,327	4,388	0.823
TOT.	127,844	105,310	

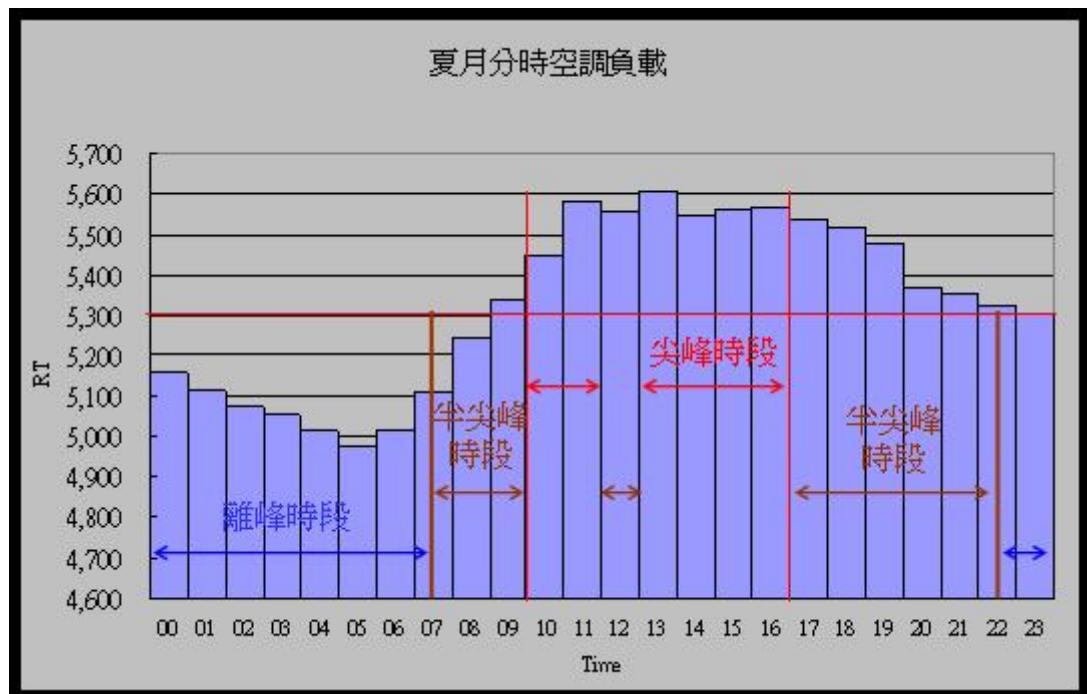


圖 2-5 夏月分時空調負載

以目前既有管線設備配置現狀，如規劃儲冷空調設備系統，管路配置規劃如圖 2-6 所示，系統操作元件狀態如表 2-5 示：



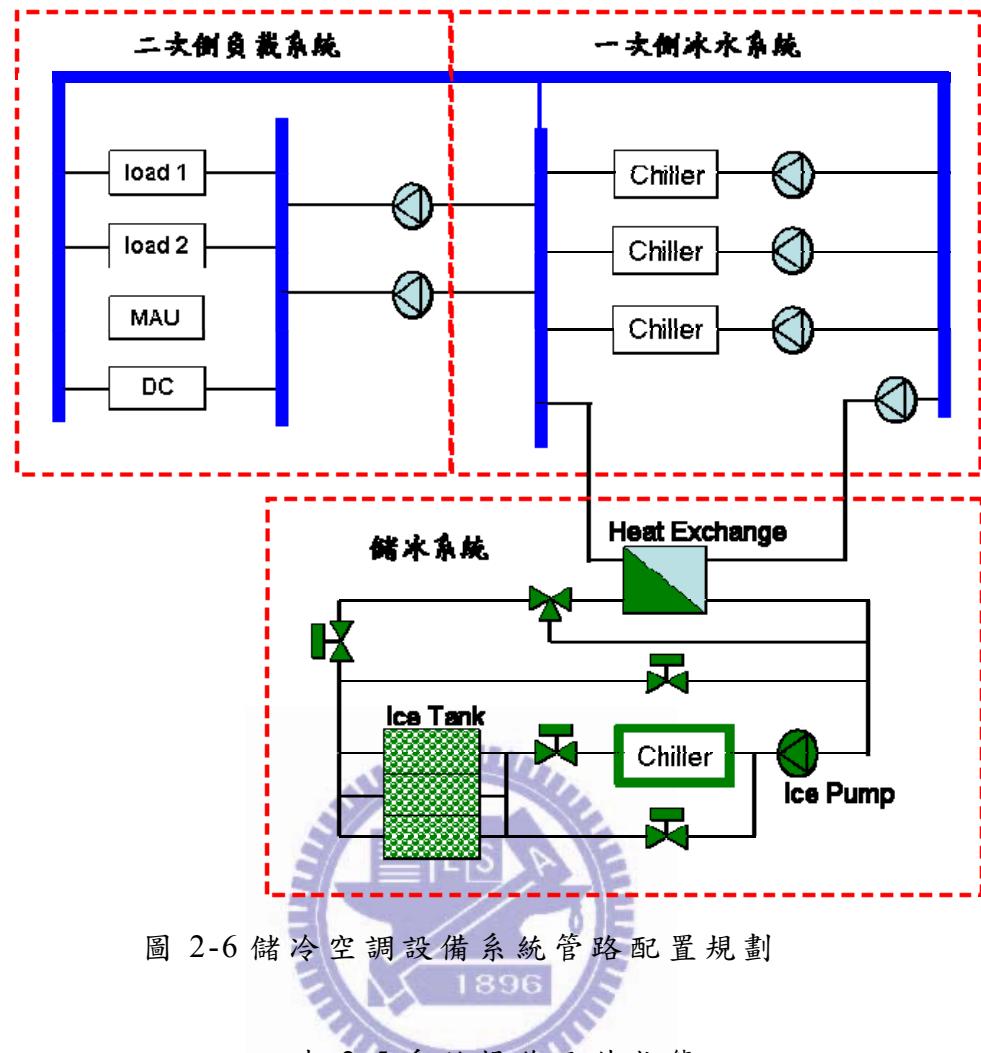


圖 2-6 儲冷空調設備系統管路配置規劃

表 2-5 系統操作元件狀態

設備 行程 \	儲冰 主機	冰水泵 #1	冰水泵 #2	電動閥 MV1	電動閥 MV2	電動閥 MV3	電動閥 MV4	電動閥 MV5
儲冰行程	ON	OFF	ON	ON	OFF	ON	OFF	OFF
融冰行程	OFF	ON	ON	OFF	ON	OFF	ON	ON

2.3.3 電價結構

現況台電施行的電價結構是以季節、計價時段及計價範圍作為區別。其中就季節區分，分為：「夏月；6月1日至9月30日」與「非夏月；夏月以外時間」二種區分。就計價時段可再分為「尖峰時間」、「半尖峰時間」及「離峰時間」三種計價時段，即不同「季節」與「時段」有不同的電價價錢。

對工業電力用戶而言，其所必須支付的電費包括兩項：契約電費與流動電費。契約電費是根據用戶的用電最高需量訂定，以 kW 計費；流動電費則依據用戶的用電量來計費，以 kWh 計算。下表 2-6 為台電三段式工業用戶供電電價表【9】：



表 2-6 三段式高壓供電電價表

(二)三段式時間電價：

單位：元

分類				高壓供電		特高壓供電	
				夏月 (6月1日至 9月30日)	非夏月 (夏月以 外時間)	夏月 (6月1日至 9月30日)	非夏月 (夏月以 外時間)
基本電費 (每瓩每月)	經常契約			223.60	166.90	217.30	160.60
	半尖峰契約			166.90	166.90	160.60	160.60
	週六半尖峰契約			44.70	33.30	43.40	32.10
	離峰契約			44.70	33.30	43.40	32.10
流動電費 (尖峰時間 固定) (每度)	週一 至 週五	尖峰時間	夏月 10:00-12:00 13:00-17:00	4.26	—	4.21	—
		半尖峰時間	夏月 07:30-10:00 12:00-13:00 17:00-22:30	2.70	—	2.66	—
			非夏月 07:30-22:30	—	2.62	—	2.58
		離峰時間	00:00-07:30 22:30-24:00	1.35	1.27	1.30	1.22
	週六	半尖峰時間	07:30-22:30	1.80	1.71	1.67	1.58
		離峰時間	00:00-07:30 22:30-24:00	1.35	1.27	1.30	1.22
	週日及 離峰日	離峰時間	全 日	1.35	1.27	1.30	1.22
	週一 至 週五	尖峰時間	夏月 (指定30天) 10:00-12:00 13:00-17:00	7.22	—	7.16	—
		半尖峰時間	夏月 (指定30天) 07:30-10:00 12:00-13:00 17:00-22:30	2.70	—	2.66	—
			夏月 (指定以外 日期) 07:30-22:30				
		離峰時間	00:00-07:30 22:30-24:00	1.35	1.27	1.30	1.22
	週六	半尖峰時間	07:30-22:30	1.80	1.71	1.67	1.58
		離峰時間	00:00-07:30 22:30-24:00	1.35	1.27	1.30	1.22
	週日及 離峰日	離峰時間	全 日	1.35	1.27	1.30	1.22

資料來源：台灣電力公司，<http://www.taipower.com.tw/>

台電為鼓勵用戶降低「尖峰時間」的用電量，對儲冷式空調系統使用者優惠電價措施，訂定「儲冷式空調系統冷凍機及所需附帶用電器具，其離峰時間用電之流動電費按適用電價 60% 計收」，經計算其電價差異如表 2-7 所示：

表 2-7 高壓供電戶儲冷式空調系統用戶優惠電價價差

項目		未打折		60%折價	
		單價 (元/度)	尖離峰 電價比	60%折價 (元/度)	尖離峰 電價比
三段式	尖峰	4.26	3.16 : 1	4.26	5.26 : 1
	離峰	1.35		0.81	

2.4 既有廠區儲冷空調系統評估

依據上列章節對於儲冷系統介紹，選定評估既有廠區儲冷空調系統規格依據表 2-8 所示，於尖峰時區負載高於每日分時負載平均值 5327RTH 之空調熱負載，納為儲能容量，考量系統運轉穩定性，每日 12:00~13:00 半尖峰時區亦納為儲能容量，所得每日需儲能負載量為 1580RTH。製冷於離峰時區運轉，運轉時間為 22:30~07:30 計 9 小時，所得平均分時製冷能力為 187RT。



表 2-8 尖峰時區釋冷負載計算表

電價時區	TIME	Total RTH	尖峰時區高於平均值負載量
離峰	00	5,155	X
離峰	01	5,113	X
離峰	02	5,075	X
離峰	03	5,052	X
離峰	04	5,016	X
離峰	05	4,974	X
離峰	06	5,012	X
離峰	07	5,109	X
半尖峰	08	5,243	X
半尖峰	09	5,339	X
尖峰	10	5,446	119
尖峰	11	5,583	256
半尖峰	12	5,559	232
尖峰	13	5,604	277
尖峰	14	5,546	219
尖峰	15	5,564	237
尖峰	16	5,567	240
半尖峰	17	5,537	X
半尖峰	18	5,519	X
半尖峰	19	5,476	X
半尖峰	20	5,370	X
半尖峰	21	5,356	X
半尖峰	22	5,323	X
離峰	23	5,306	X
MAX.		5,604	
MIN.		4,974	
AVE.		5,327	
TOT.		127,844	1,580

註：

1. 10:00~17:00 釋冷，計 7 小時
2. 22:30~07:30 製冷，計 9 小時

依據上述資料，並比對冰水主機與儲冰槽規格，選定機組規格：

儲冰式冰水主機：離心式壓縮機 250RT

儲冰容量：2000RTH

評估選定儲冰系統規格，表 2-9 示：

表 2-9 評估選定儲冰系統規格

項目	規格
冰水主機形式	離心式
主機容量	250RT
儲冰容量	2000RTH
儲冰系統	優態鹽式
運轉策略	分量儲冰+儲冰優先
運轉模式	9小時製冷+7小時釋冷

2.4.1 系統設置工程評估

新系統設置對既設已運轉生產達 10 年，月產能達 32K/200mm 晶圓產出的半導體廠房而言，新設備設置所需基地面積、空間與新舊系統管線銜接等等問題是工程評估初期必須考量的問題。本章節就如何在現有基地既設設備餘裕空間內放置新設備，新、舊管線系統銜接介面點等問題進行工程面可行性評估。

1. 儲冰式冰水主機與附屬設備所需樓地板設置面積估算如下列表 2-10 表示：

表 2-10 設備所需樓地板設置面積

項次	儲冰式空調系統 設備品項	購置成本 估算NTD	備註
1	冰水主機	3,000,000	7*3 高:3M
2	冷卻水泵	50,000	
3	冷卻水塔	1,200,000	7.5*7.5
4	冰水泵	40,000	
5	製/融冰水泵	25,000	
6	儲冰槽+儲冷介質	600,000	高:3M 容積:170m ³
7	熱交換器	300,000	
8	管路配製	1,000,000	
9	電氣監控工程	1,200,000	
預估總工程費		7,415,000	

2. 工程施作考量：

工程施作對於正在運轉生產的半導體廠言為一重要導入因素，尤其以須於全廠性一次側空調供應管線系統中做不停機施工與新管線系統導入，現廠實務考量如下：

(1) 一次側冰水供應系統共同輸送管路(common head)已無預留閥可供銜接。儲冰系統管路冰水導入共同管路中，需全廠停機於共同管路中新設置銜接口，如此於銜接過程中潔淨室無法保持最基本的運轉條件，實務上於本場無法達成。

(2) 由上一章節敘述，所有儲冰主機及其附屬設備所需樓地板面積預估為 m²，於現況設備配置無法提供完整基地面積，尤其以儲冰槽設置地點最難取得（無既設筏基可供放置）。



2.4.2 經濟效益評估

(1) 電費節省費用估算：

尖峰時段總釋冷冷能：1580RTH

平均運轉能源效率(COP)：0.824 kW/RT

夏月流動電費節省費用：

$1580 \times 0.824 \times (4.26 - 0.81) \times 30$ 天 = 134,749 元/月

夏月流動電費總節省費用：134,749 元/月 $\times 4$ 個月 = 538,996 元/夏月

調降尖峰契約：176RTH $\times 0.824$ kW/RT = 145kW

調降尖峰契約節省費用（夏月）： $145 \times 223.6 \times 4 = 129,688$ 元

調降尖峰契約節省費用（非夏月）： $145 \times 166.9 \times 8 = 193,604$ 元

初估全年電費節省成本：862,288 元/年

預估設置後空調負載曲線如圖 2-7 示：

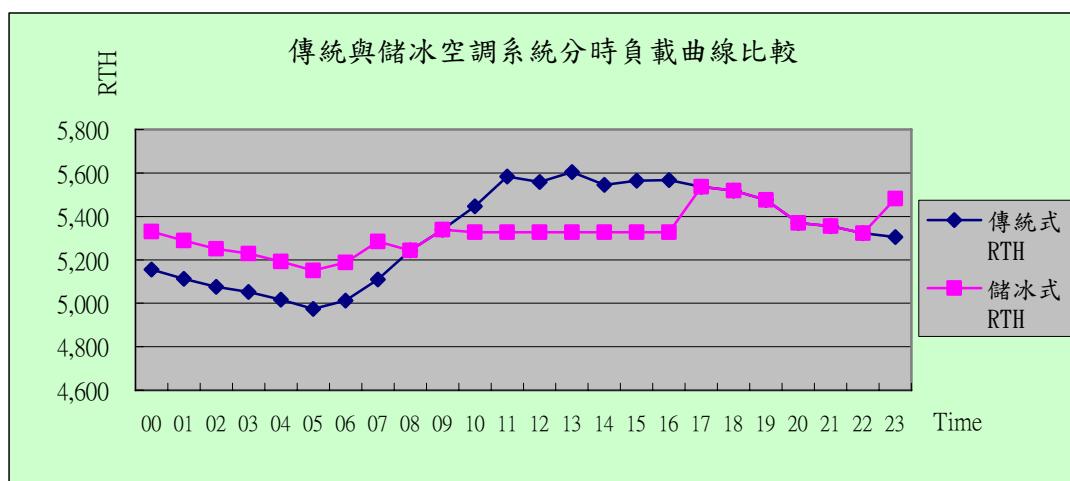


圖 2-7 傳統與儲冰空調系統分時負載曲線比較

(2) 系統設置成本估算：

依據選用設備容量與施工費用，估算總工程費為 7,415,000 元，如下

表 2-11 示：

表 2-11 總工程費估算表

項次	儲冰式空調系統 設備品項	購置成本 估算NTD
1	冰水主機	3,000,000
2	冷卻水泵	50,000
3	冷卻水塔	1,200,000
4	冰水泵	40,000
5	製/融冰水泵	25,000
6	儲冰槽+儲冷介質	600,000
7	熱交換器	300,000
8	管路配製	1,000,000
9	電氣監控工程	1,200,000
預估總工程費		7,415,000

2.5 儲冰空調系統評估小結

根據上述，既有半導體廠增設儲冰空調系統評估結論如下：

1. 由於舊廠運轉設置規劃已可滿足現有供應容量，舊廠評估設置新設備，空間配置是否足放置新設備，應列入考量。
2. 管路系統已無預留閥組可供銜接，對於初設廠房時，於管路預留閥需增加其預度。
3. 規劃總儲冷能力 2000RTH/儲冰主機 250RT 容量之儲冰系統設備，其估算投資回收效益為 8.6 年，投資回收年限過長，對於投資人誘因不足。
4. 儲冰空調系統對既有設備言，主要是「轉移尖峰負載」，至於「負載攤平」因現有設備已能滿足現況所需，並無法因負載攤平後帶來的降低設備設置容量的效果。
5. 因整座系統經過儲冷設備與釋冷熱交換器轉換，對於儲冰空調是否能達到「節省能源」目標，仍必須於實務中量測計算。

三、潔淨室節能改善工程效益分析

3.1 潔淨室定義

潔淨室（Clean Room, C/R）是指一個具低污染水準的環境，這裡所指的污染來源有灰塵，空氣傳播的微生物，懸浮顆粒，和化學揮發性氣體。更準確的講，一個淨室具有一個受控的污染級別，污染級別可用每立方米的顆粒數，或者用最大顆粒大小來釐定的。

潔淨室的定義，最早是在美國聯邦標準 209 上出現，之後日漸普及並廣為半導體業與制藥業接受。在歐洲與日本，隨著工業的日益發展，各國的版本也逐漸出現。到了 90 年代後期，產業界體認到若是無共同標準，就不能實現經濟的全球化，於是 ISO-14644 的產生，在 2001 年 11 月 29 日，美國正式廢止 209E，改用 ISO-14644。但是在台灣產業界，仍習慣於沿用 209E。

潔淨室標準 Fed-Std-209E 與 ISO-14644 整個系列涵蓋了潔淨室等級定義、測試與監視的規範、測試的程序方法、設計與建造、操作、及其他相關設備等，涵蓋範圍很廣。以下為潔淨室的等級標準與規範表 3-1；表 3-2；圖 3-1 示【10】【11】：

表 3-1 Fed-Std-209E 潔淨度定義

Class Limits											
Class name		0.1 μm		0.2 μm		0.3 μm		0.5 μm		5 μm	
		Volume units		Volume units		Volume units		Volume units		Volume units	
SI	English	(m³)	(ft³)	(m³)	(ft³)	(m³)	(ft³)	(m³)	(ft³)	(m³)	(ft³)
M1		350	9.91	75.7	2.14	30.9	0.875	10.0	0.283	-	-
M1.5	1	1,240	35.0	265	7.50	106	3.00	35.3	1.00	-	-
M2		3,500	99.1	757	21.4	309	8.75	100	2.83	-	-
M2.5	10	12,400	350	2,650	75.0	1,060	30.0	353	10.0	-	-
M3		35,000	991	7,570	214	3,090	87.5	1,000	28.3	-	-
M3.5	100	-	-	26,500	750	10,600	300	3,530	100	-	-
M4		-	-	75,700	2,140	30,900	875	10,000	283	-	-
M4.5	1000	-	-	-	-	-	-	35,300	1,000	247	7.00
M5		-	-	-	-	-	-	100,000	2,830	618	17.5
M5.5	10000	-	-	-	-	-	-	353,000	10,000	2,470	70.0
M6		-	-	-	-	-	-	1,000,000	28,300	6,180	175
M6.5	100000	-	-	-	-	-	-	3,530,000	100,000	24,700	700
M7		-	-	-	-	-	-	10,000,000	283,000	61,800	1,750



表 3-2 ISO-14644 潔淨度定義

Maximum concentration limits (particles/m³ of air) particles equal to and larger than the considered sizes shown below						
Classification Numbers(N)	0.1 μm	0.2 μm	0.3 μm	0.5 μm	1 μm	5.0 μm
ISO Class1	10	2	-	-	-	-
ISO Class2	100	24	10	4	-	-
ISO Class3	1,000	237	102	35	8	-
ISO Class4	10,000	2,370	1,020	352	83	-
ISO Class5	100,000	23,700	10,200	3,520	832	29
ISO Class6	1,000,000	237,000	102,000	35,200	8,320	293
ISO Class7	-	-	-	352,000	83,200	2,930
ISO Class8	-	-	-	3,520,000	832,000	29,300
ISO Class9	-	-	-	35,200,000	8,320,000	293,000

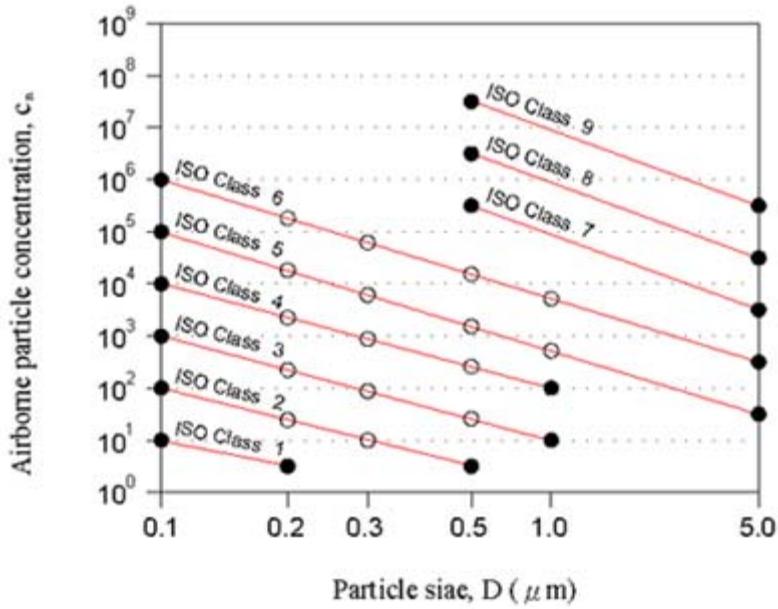


圖 3-1 ISO-14644 潔淨度定義微粒分佈

潔淨室的定義為將空間範圍內之空氣中的微塵粒子等污染物排除，而得到一個相當潔淨的環境。亦即這個環境中的微塵粒子相當少，稱之為潔淨室。淨室被廣泛地應用在對環境污染特別敏感的行業，例如半導體生產、生化技術、生物技術、精密機械、製藥、醫院等行業等，其中以半導體業其對室內之溫濕度、潔淨度要求尤其嚴格、故其必需控制在某一個需求範圍內，才不會對製程產生影響。

3.2 潔淨室架構

潔淨室系統，製造符合規格之潔淨空氣，連續且穩定供給足夠之潔淨空氣給使用端，無塵室內的製造區（FAB）。一般而言，製造潔淨空氣之氣源為外氣（OUTSIDE AIR），經過淨室系統各種處理單元設備之處理後進而得到符合規格之潔淨空氣。以下簡單介紹其處理流程：外氣經由外氣空調箱（Make-up Air Unit, MAU）初步過濾微塵（particle）並控制其溫溼度後，經由回風管道間（Mech. Chase），將淨室之循環風量與外氣空調箱之補充風量混合，透過風機濾網機組（Fan Filter Unit, FFU）並經過超高性能過濾網（Ultra-low penetration air, ULPA Filter）過濾後，供應至 FAB 及 RAP (Return Air Plenum)，帶動淨室的氣流循環帶走微塵及熱量，經由乾式冷卻盤管（Dry Cooling Coil）將 FAB 區移除的熱量冷卻降溫後，再回

到回風管道間，與外氣空調箱（MAU）之補充風量混合，氣流再次循環。

圖 3-2 示潔淨室構造。圖 3-3 示潔淨室空氣循環平衡

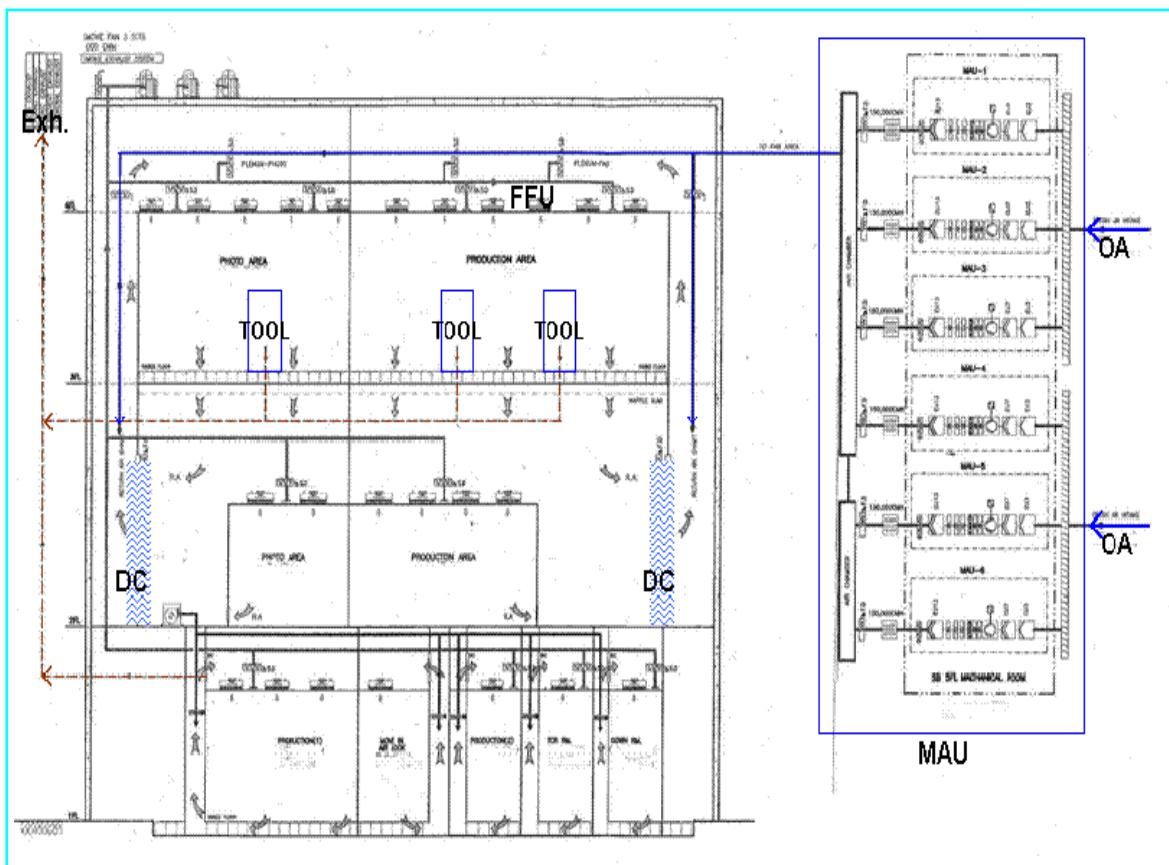


圖 3-2 潔淨室構造

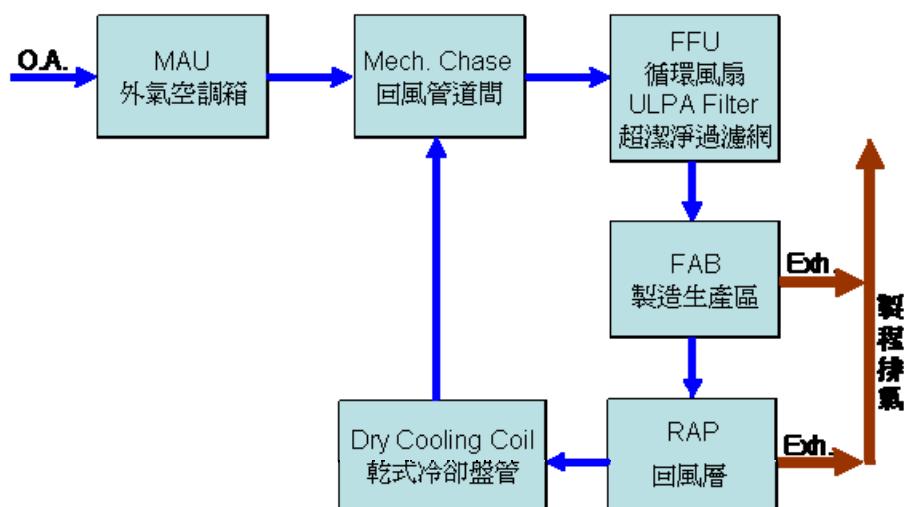


圖 3-3 潔淨室空氣循環平衡

3.2.1 外氣空調箱 (MAU)

典型 MAU (Make-up Air Unit , MAU) 單元構造如圖 3-4 所示，組成單元有出及空氣過濾器、送風機、第一道熱水盤管、第一道冰水盤管、空氣洗滌加溼器 (Air Washer & Humidifier) 、第二道冰水盤管、第二道熱水盤管、HEPA Filter 、 Damper 等單元，將室外空氣品質；溫度、溼度及微塵粒子量精製到符合標準後送入潔淨室。

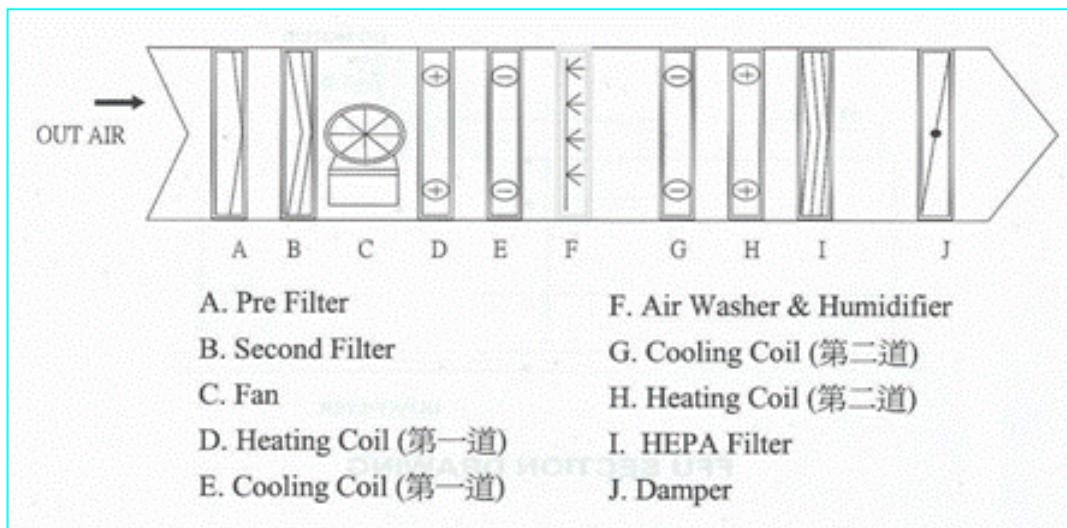


圖 3-4 典型 MAU (Make-up Air Unit , MAU) 單元構造

以下就 MAU 各單元之功能運作說明：

設夏天外氣條件：乾球溫度 35°C 、相對溼度 80% ，圖示 a 點
第一道冷盤管：降溫除濕至 15°C ；相對濕度約 100% ，如 $a \rightarrow b$
第二道冷盤管：除濕至設定絕對溼度 8.0g/kg ，圖示 $b \rightarrow c$
第二道熱盤管：將空氣加溫到設定溫度 15°C ，圖示 $c \rightarrow d$
最終空氣達到出風條件：乾球溫度 15°C ；絕對溼度 8.0g/kg ，圖 3-5
示， d 點

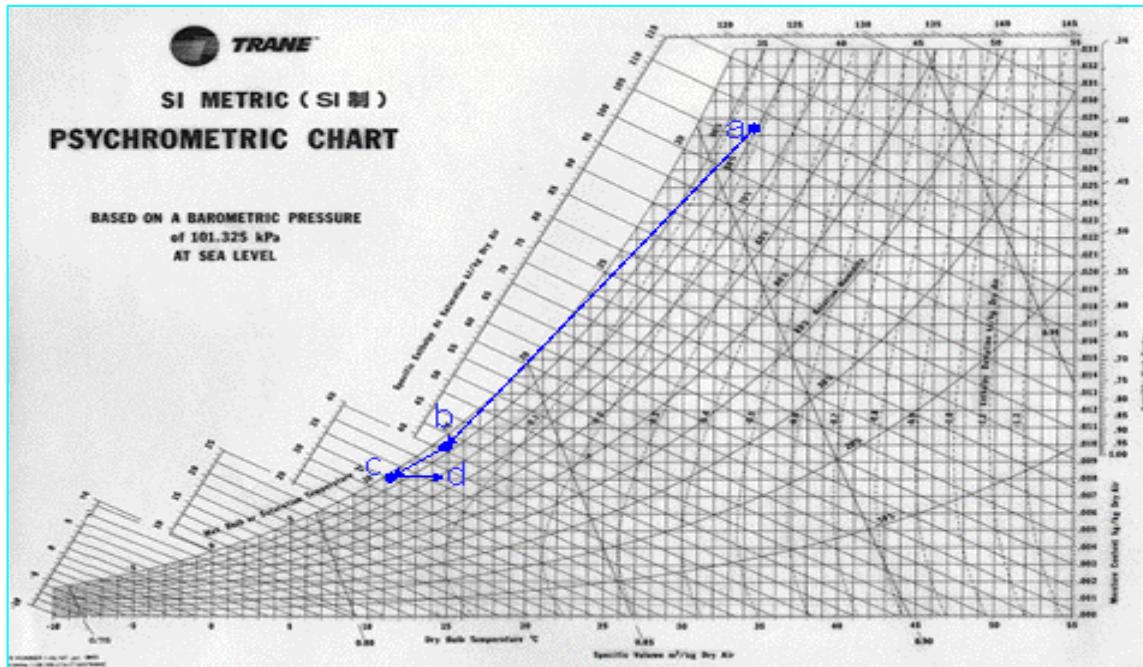


圖 3-5 夏天 MAU 各單元設定點

設冬天外氣條件：乾球溫度 5°C、相對溼度 45%，圖示 a 點
 第一道熱盤管：升溫至 26.5°C；相對濕度約 100%，如 a→b
 空氣洗滌加溼器：將空氣加濕至相對濕度約 100%，圖示 b→c
 第二道冷盤管：除濕至設定絕對濕度 8.0g/kg，圖示 c→d
 第二道熱盤管：將空氣加溫到設定溫度 15°C，圖示 d→e
 最終空氣達到出風條件：乾球溫度 15°C；絕對濕度 8.0g/kg，圖 3-6
 示，e 點

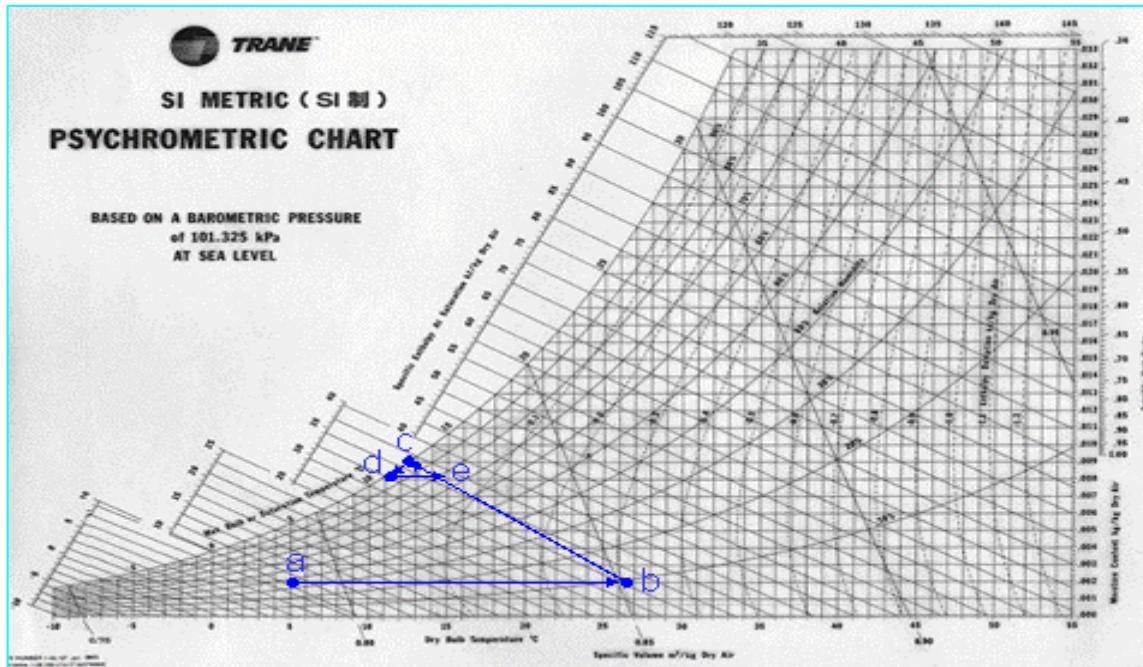


圖 3-6 冬天 MAU 各單元設定點



3.2.2 風機濾網機組 (Fan Filter Unit, FFU)

風機濾網機組 (Fan-Filter Unit, FFU) 是一種結合送風機與高效濾網 (HEPA / ULPA) 的氣流循環與過濾設備，圖 3-7 示，其大量的應用在潔淨室中，做為潔淨室二次側循環過濾系統的主要設備，同時也是整個潔淨室氣流處理的終端設備，圖示。風機濾網機組基本上是送風機技術的延伸，由於安裝於潔淨室天花板架 (ceiling grid) 上，對可靠度、振動及噪音問題相當敏感，因此在馬達、扇葉與風道的設計及整體組裝品質的要求上比一般送風機高。一般而言，潔淨室等級越高，FFU 的鋪設密度亦越高，也因為 FFU 的鋪設密度高，對於單一設備故障導致潔淨室停擺的風險相對較小。

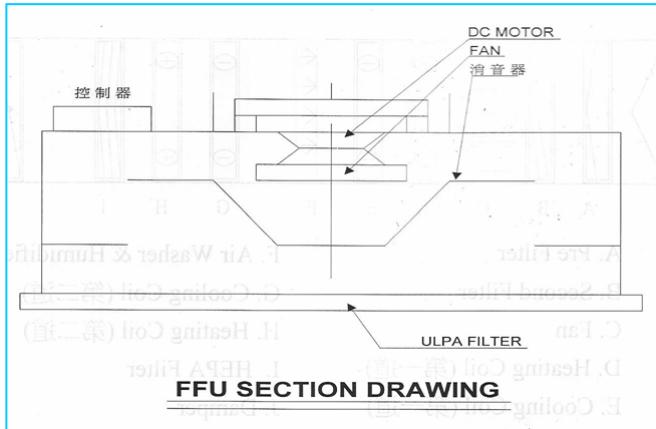


圖 3-7 風機濾網機組構造

3.2.3 乾式冷卻盤管 (Dry Cooling Coil, DC)

所謂乾式冷卻盤管就是盤管上不產生凝結水，即盤管內冰水溫度不低於周界空氣露點溫度(Dew point)。如圖 3-2 潔淨室構造空氣循環圖，潔淨室氣流經過 FAB 時，將機台產生的熱量經由 Dry Coil 降溫冷卻，因空氣通過實不產生凝結水，所以 Dry Coil 帶走的是空氣顯熱 (sensible heat)。

一般半導體廠如只有單溫冰水供應系統，圖 3-8 示，半導體廠空調系統架構，冰水供應溫度約 7°C，此溫度冰水如直接進入潔淨室 Dry Coil 中，由空氣線圖查得盤管上必定產生凝結水。所以供給到 Dry Coil 系統的冰水，必須經過一道熱交換器進行昇溫，自成一獨立循環冰水供應系統，再此稱為二次冰水系統。

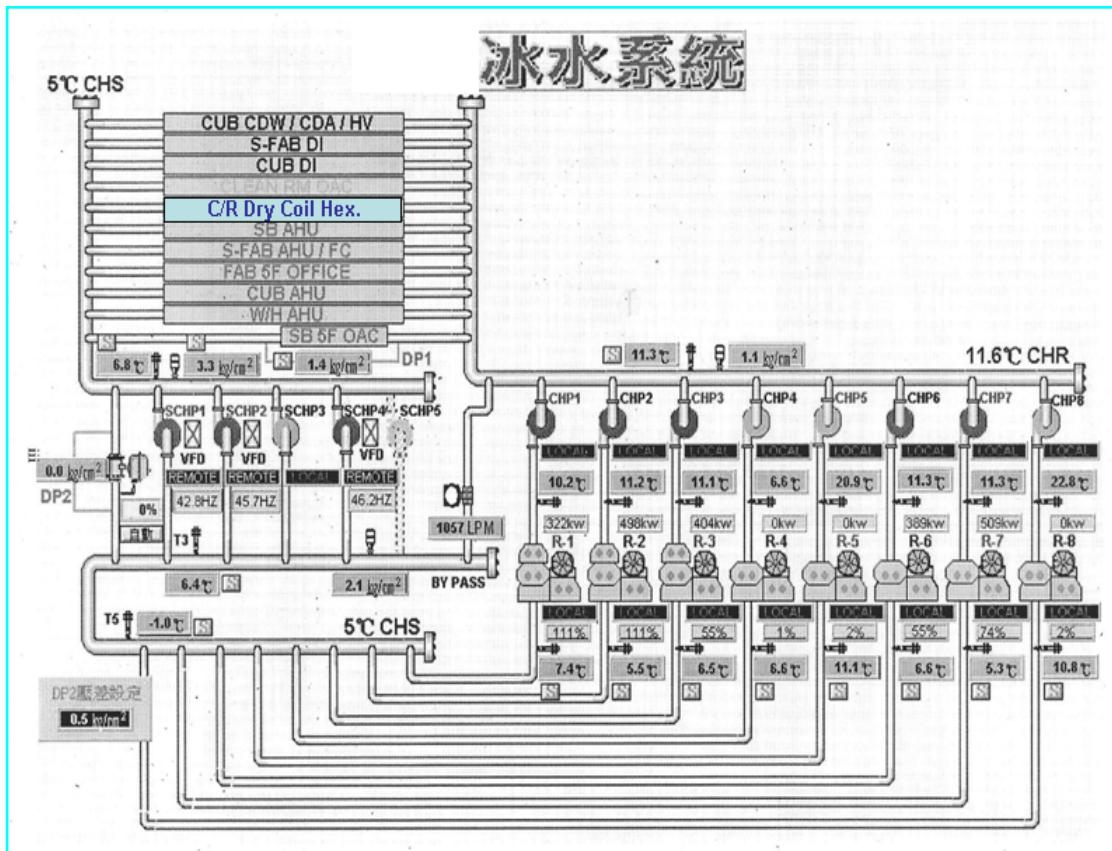


圖 3-8 半導體廠空調系統架構

圖 3-9 所示，為二次冰水系統迴路，一次冰水系統經由熱交換器為媒介，與二次冰水系統進行熱交換，經由 100HP 泵浦輸送至 FAB 每一個 Dry Coil 點。本文即對此泵浦討論改善其節能效益。

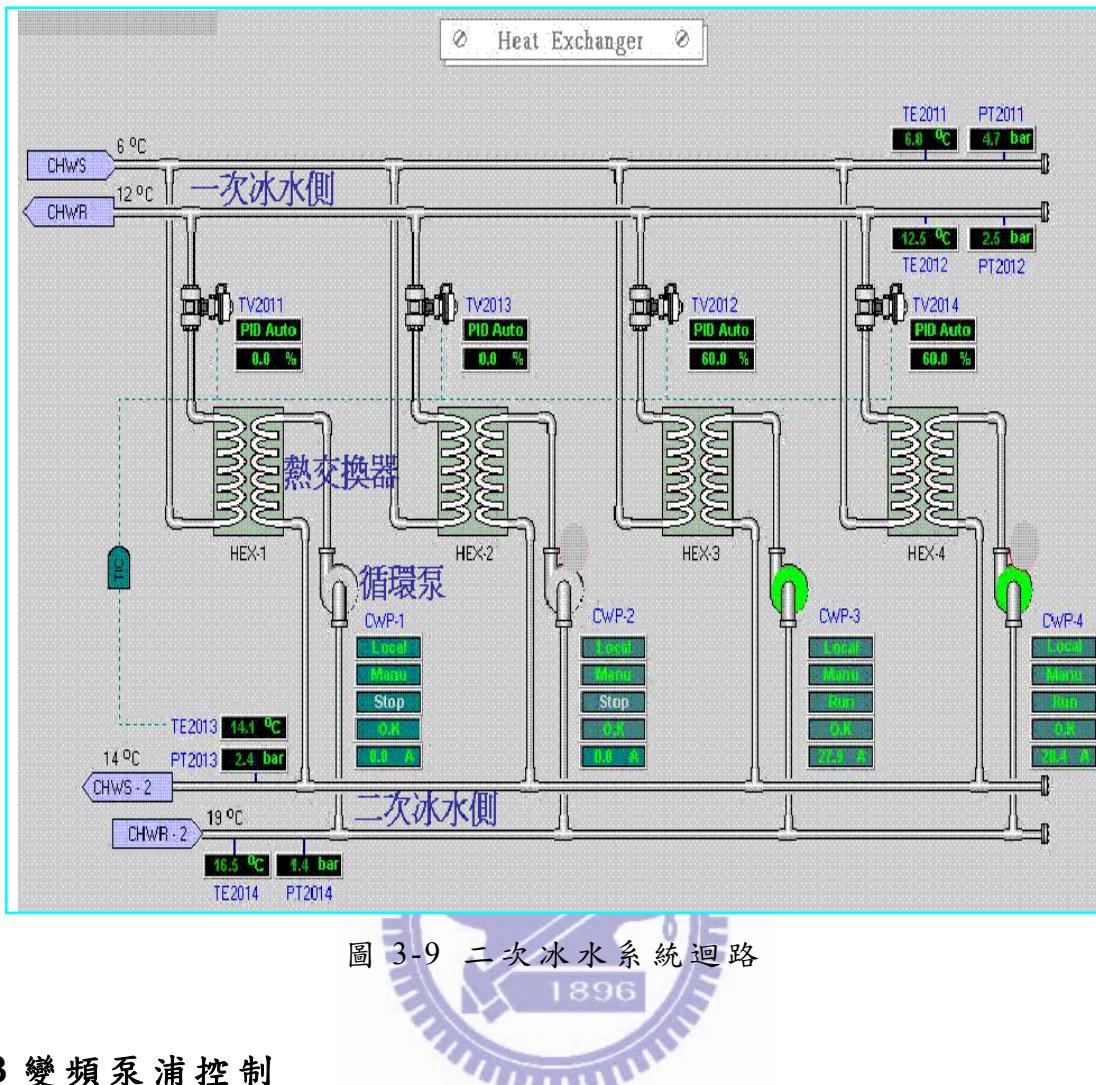


圖 3-9 二次冰水系統迴路

3.3 變頻泵浦控制

3.3.1 變頻器基本原理

變頻器主要功能為同時控制輸出交流電壓大小與頻率，其應用範疇十分廣泛，包括水量控制、風量控制及電扶梯節能系統(高雄捷運)等。圖 3-10 所示，為三相變頻器基本方塊圖，包括交流/直流轉換器、直流/交流轉換器、回授訊號、驅動控制與切換控制等。

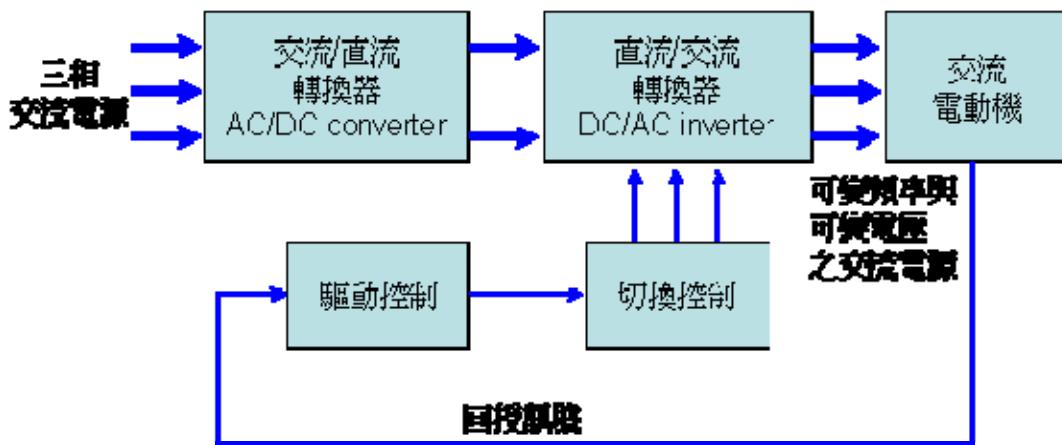


圖 3-10 三相變頻器基本方塊圖

變頻器係將固定頻率與固定電壓之交流電源整流成直流電源，再藉由切換技術或是所謂脈波寬度調變（Pulse-width Modulation，PWM）原理，將直流電源轉換為電源電壓與頻率均為可控的交流電源，藉此改變交流電動機之轉速。

3.3.2 變頻器應用於感應電動機主要控制功能

變頻器是以頻率之變化來控制馬達轉速，電路架構如圖 3-11 示，而頻率與馬達轉速二者之關係如下列公式所示：

$$N = \frac{120F}{P}(1-S)$$

N：轉速(rpm)；P：馬達極數；F：頻率；S：馬達之轉差率

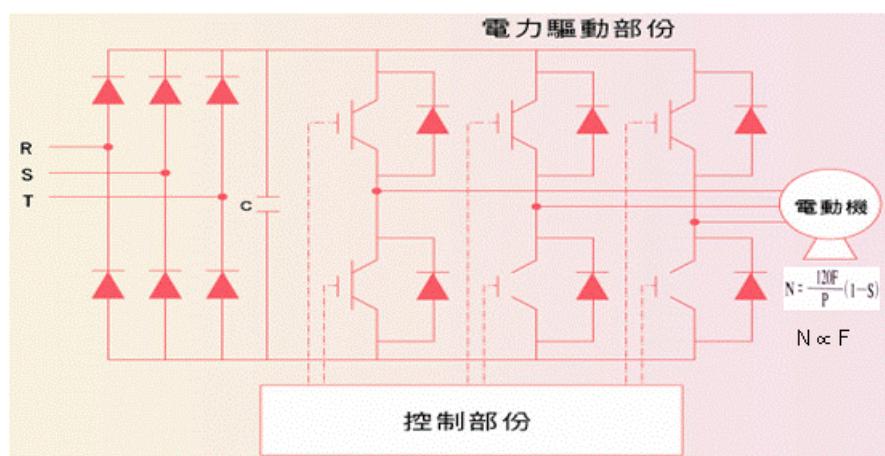


圖 3-11 變頻器電路架構

3.3.3 變頻器的節能原理

利用變頻器或變速裝置提昇電效率，其基本原理為所謂相似定律 (Affinity Law)，運用於流體運送過程中，電動機耗電量與其轉速的三次方成正比。所以，於流體運送管線中設置適當的偵測器，視負載變動狀況而適時調降電動機轉速，可大幅減少其耗電量。

3.3.4 離心泵介紹

泵浦 (PUMP) 是一種提供流體能量，使流體獲得壓力、速度的機械。泵的種類繁多，分類複雜，依對流體施加壓力的方式，可將泵分為動力式泵、容積式泵兩大類。

動力式泵：分為離心泵和漩渦泵兩種，輸送型式為低壓大流量。

容積式泵：包括往復泵和回轉泵兩種，輸送的型式為高壓小流量。

本章節僅就動力式泵中之離心泵作介紹。

離心泵係藉離心力使流經泵內之流體形成加壓效果而產生壓力能，而將流體送出，圖 3-12 示：

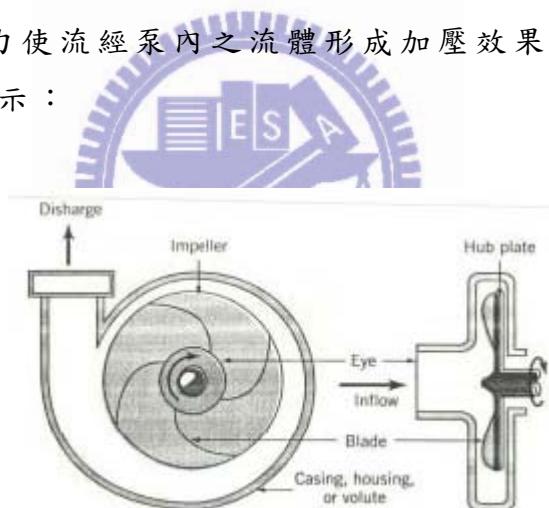


圖 3-12 離心泵基本構造

3.3.5 離心泵特性曲線

離心式泵浦一般是以特性曲線 (Characteristic Curves) 來表示其性能。設計者依負載需求得知系統所需流量與揚程後，即可進行選擇設備規格，設備供應商會依泵浦特性曲線選擇適合的設備。圖 3-13 所示，為等轉速下的泵浦特性曲線，包括流量-揚程曲線 (Q-H)，流量-效率曲線 (Q- η)，流量-功率曲線 (Q-L)。

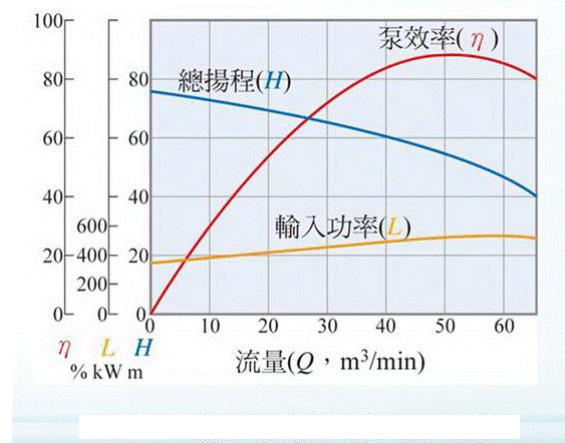


圖 3-13 等轉速離心泵特性曲線

圖 3-14，為相同的離心泵浦於不同轉速時之特性曲線圖，圖中分別描述泵浦之揚程、馬力及流量關係於不同轉速下的變化程度顯示，圖中同時也包括等效曲線的變化趨勢，這些變化正是導致泵浦的變速控制能提高能源效率的主要因素。

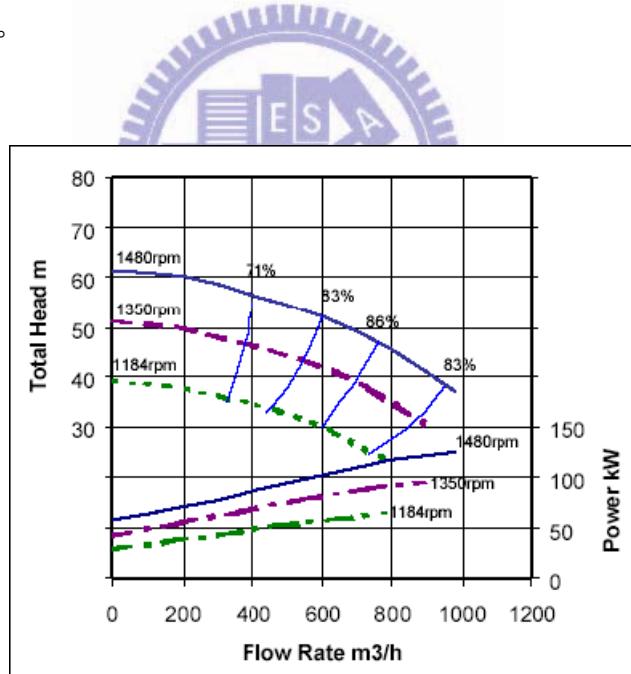


圖 3-14 不同轉速離心泵特性曲線

3.3.6 離心泵相似定律

相似定律 (Affinity Law)，是指當泵浦的轉速改變時，泵浦的輸出具有下列函數關係式：

$$\frac{Q}{Q_0} = \frac{N}{N_0}$$

$$\frac{H}{H_0} = \left(\frac{N}{N_0} \right)^2$$

$$\frac{T}{T_0} = \left(\frac{N}{N_0} \right)^2$$

$$\frac{P}{P_0} = \left(\frac{N}{N_0} \right)^3$$

N_0 : 額定轉速

N : 實際運轉速度

Q_0 : N_0 時的流量

Q : N 轉速時的流量

H_0 : N_0 時的揚程

H : N 轉速時的揚程

T_0 : N_0 時的轉距

T : N 轉速時的轉距

P_0 : N_0 時的馬力

P : N 轉速時的馬力

理論上，所有離心式泵浦其特性曲線圖與其轉速之函數關係皆可由相似定律描述。

根據上述相似定律，如圖 3-15 所示，轉速的變化對於輸出流量、揚程與馬力分別為線性、平方與立方的函數關係。因此轉速的降低可有效減少馬力需求。亦即：

當 $N = 1/2 N_0$, $Q = 1/2 Q_0$; $H = 1/4 H_0$; $P = 1/8 P_0$



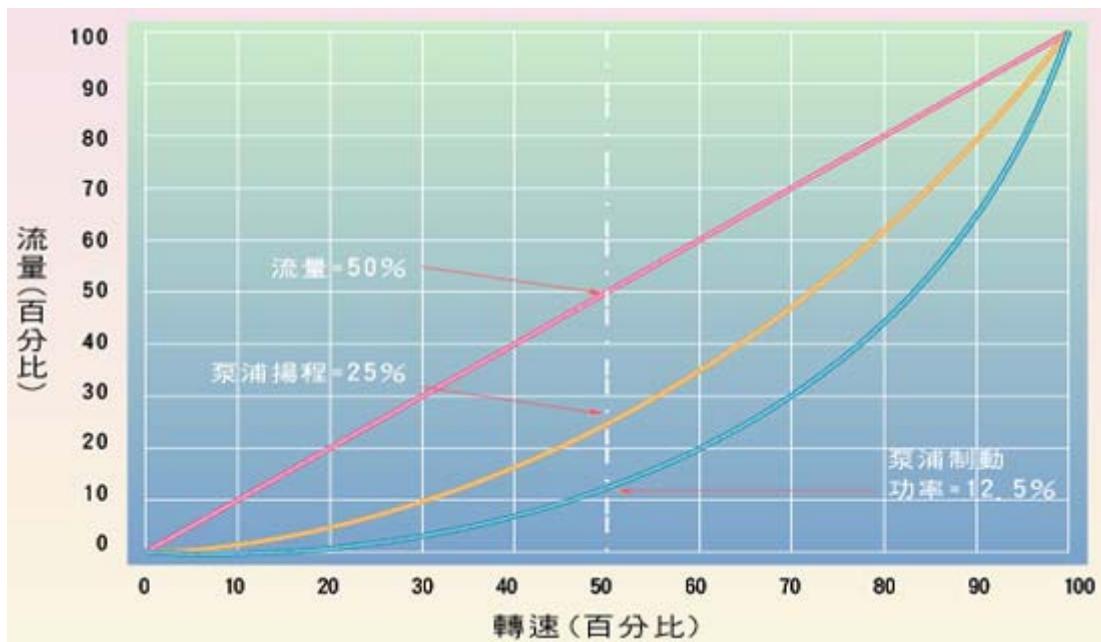


圖 3-15 離心泵浦之相似理論

3.4 水泵流量調整方式

對空調水路供應系統言，設計初期與實際運作必有些許差異，此時必須透過流量調整，系統才能達到流量平衡。一般而言，離心式泵欲調整出水流量，使用方式包括節流、旁通、關斷及變頻控制，此四種方式原理比較分述如下：

3.4.1 節流流量控制

利用出口節流閥將節流閥關小，因此在相同的泵浦性能曲線條件下，改變系統性能曲線，使得節流閥關小後的系統曲線比原來的系統曲線斜率陡，導致水泵性能曲線與系統曲線的交點往上移動，而得到較小流量較高揚程的運轉點。雖然藉由節流閥關小可獲得較小的流量，但也相對提升水泵的運轉揚程，由離心式水泵耗電量 $P(\text{kW})$ 等於體積流率 (m^3/s) 與壓降 (kPa) 之乘積，水泵無法獲得明顯的節能效果。

3.4.2 旁通流量控制

利用旁通管路將部分水泵吐出水量旁通回到水泵吸入口，此方式可降低至使用端水量，但因旁通使得水路系統壓損減小，故系統性能曲線斜率變緩，使得系統曲線與水泵性能曲線之運轉點往下移動，導致水泵總流量

變大和較低的揚程。雖然藉由旁通可控制使用端的水量，但卻提升水泵運轉的總流量，因此此方式亦無法獲得明顯的節能效果。

3.4.3 關斷流量控制

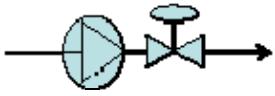
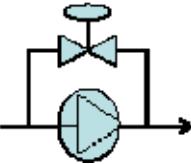
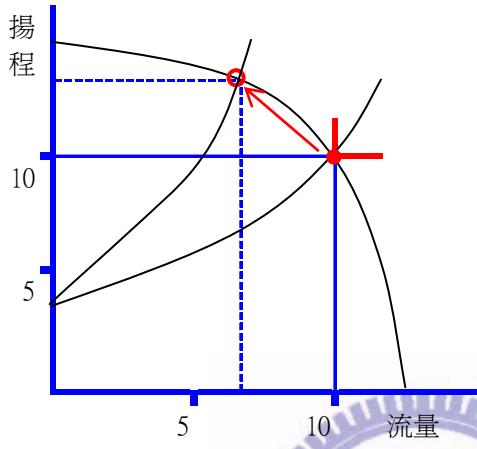
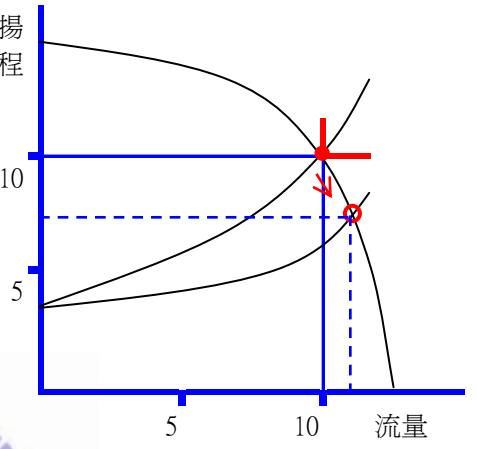
利用起停方式控制水泵使用時數，此方式水量控制成間歇性供應，無法連續且穩定供應所需水量，且起停頻繁易造成設備損壞。

3.4.4 變頻流量控制

利用泵浦相似定律，使用變頻器將水泵轉速降低，水泵性能曲線約平行於原曲線往下移動，使得系統曲線與水泵性能曲線的交會點往下移動，而同時得到較低的水泵流量與較低的揚程輸出。據泵浦定律，水泵耗電與轉速成三次方正比關係，因此節能效果顯著，且運轉效率約可維持滿載運轉點效率。表 3-3 示，彙整說明上述四種流量控制方式：

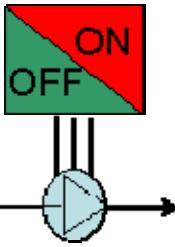
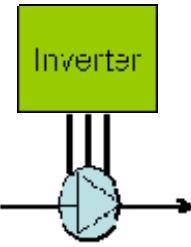
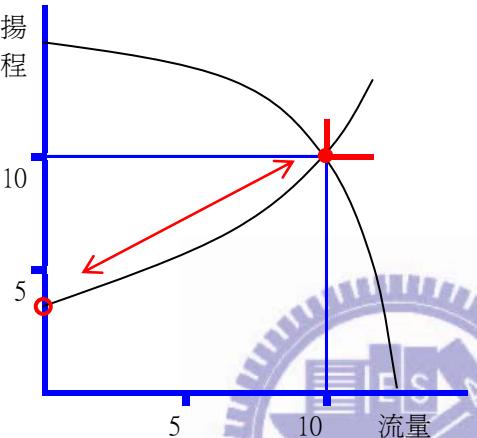
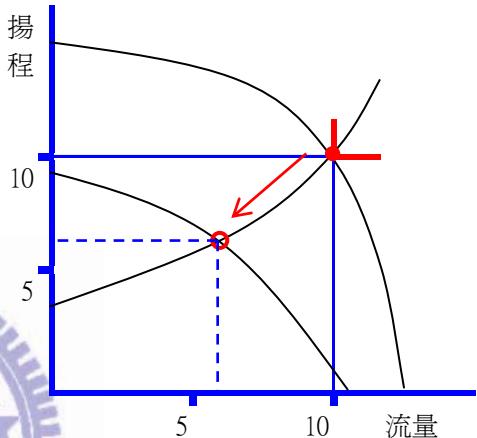


表 3-3 彙整說明上述四種流量控制方式

控制方式	節流控制	旁通控制
控制圖示		
性能曲線		
控制原理	節流閥關小，改變系統特性曲線。使用端流量降低，揚程提高。	控制旁通閥，改變系統特性曲線。使用端流量雖降低，但水泵總輸出流量提升，揚程降低。

資料來源：變頻器應用節能技術手冊，綠色生產力基金會

續表 3-3

控制 方式	關斷 控制	變頻器 控制
控制 圖示		
性能 曲線		
控制 原理	<p>利用起停方式控制水泵 使用時數，無法連續且穩定供應所需水量。</p>	<p>利用泵浦相似定律，使用變頻器將水泵轉速降低，改變水泵性能特性曲線，同時得到較低的水泵流量與較低的揚程輸出。</p>

3.5 節能改善及效益比較

3.5.1 改善工程標的模型

本節能工程改善案，係對於既設且運作中半導體廠潔淨室乾盤管空調系統進行能源效率提升，以流體輸送機械領域為出發點，探討空調水路輸送系統的節能改善。在不影響潔淨室的穩定控制前提下執行此項工程改善措施。

初始設置工程標的模型：

設計產能：30k wafer out

潔淨室面積：10000 m²

外氣空調箱（MAU）：150000CMH*6 台

Dry Coil 循環泵：100HP/1822gpm/148ft *4 台

熱交換器：2300kW*4 座

Dry Coil 總能力：6753 kW

廠區空調冰水系統供應迴路如圖 3-16 示：

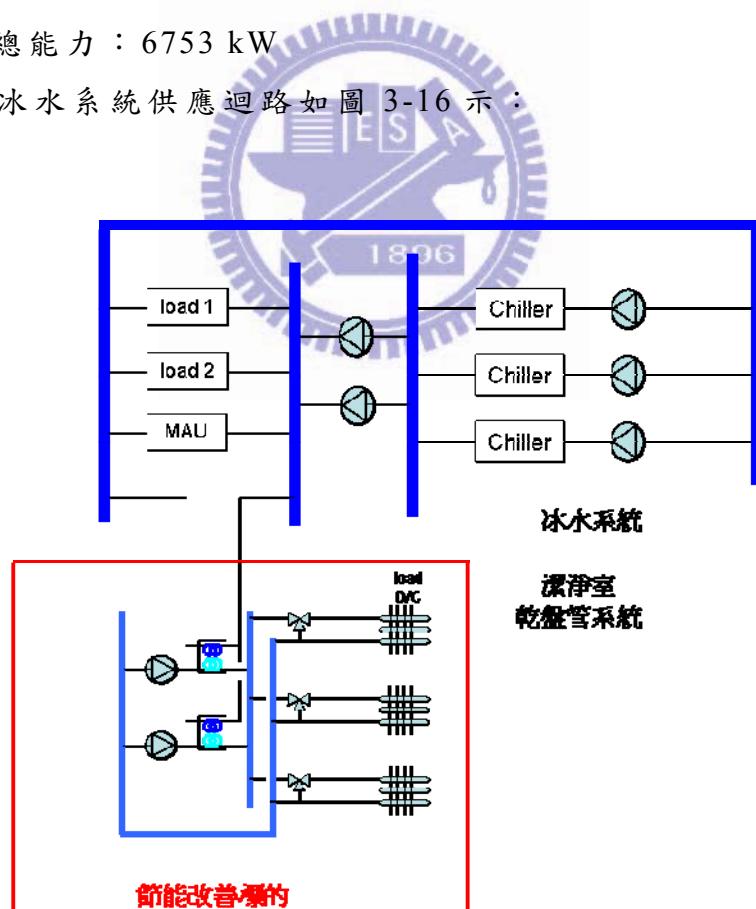


圖 3-16 廠區空調冰水系統供應迴路

3.5.2 工程範圍與系統建置成本

工程範圍：設置 2 台 100hp Reliance 變頻器，其中包括主電力系統改接、定壓自動控制運轉設計及遠端監視系統修改與建置等 3 項現有工程修改。圖 3-17，工程報價：

系統建置成本：120 萬，其中包括工程費用 70 萬元；變頻器 2 台 50 萬元

TO致： 電子 QUOT. DATE 報價日期：
ATTN連絡人： QUOT. NO. 報價單號碼：
TEL電話： FAX傳真：
SHIP TO 寄貨地址：待確認
CREDIT TERMS 付款條件：交貨90% BY T/T, 驗收後10% BY (交貨後30天內若無法驗收或試車, 則視同驗收或試車完成論)
DELIVERY 交貨期：30 Days after confirm final design
VALIDITY 報價有效期限：WITHIN 30 DAYS FROM THE DATE OF THIS QUOTATION
REMARK 附註：5% VAT NOT INCLUDED

總價：新台幣

柒拾肆萬肆仟肆佰柒拾

本報價不含5%營業稅

主管：

承辦人：

EP-3-009

圖 3-17 工程費用報價單

3.5.3 改善工程前系統規格紀錄

節能改善標的，Dry Coil 循環泵性能規格與性能曲線如下，表 3-4，圖 3-18 示：

表 3-4 Dry Coil 循環泵性能規格

PUMP		MOTOR			
編號	DCP	相位	3	電壓	480
型號	KP-6015	馬力	100	額定電流	
設計流量	1822	轉速	1780	啟動方式	Y-△
設計揚程	148	EFF%	94.5%	操作係數	1
葉輪直徑	12.06"	絕緣等級	CLASS F		
效率	88.12%				



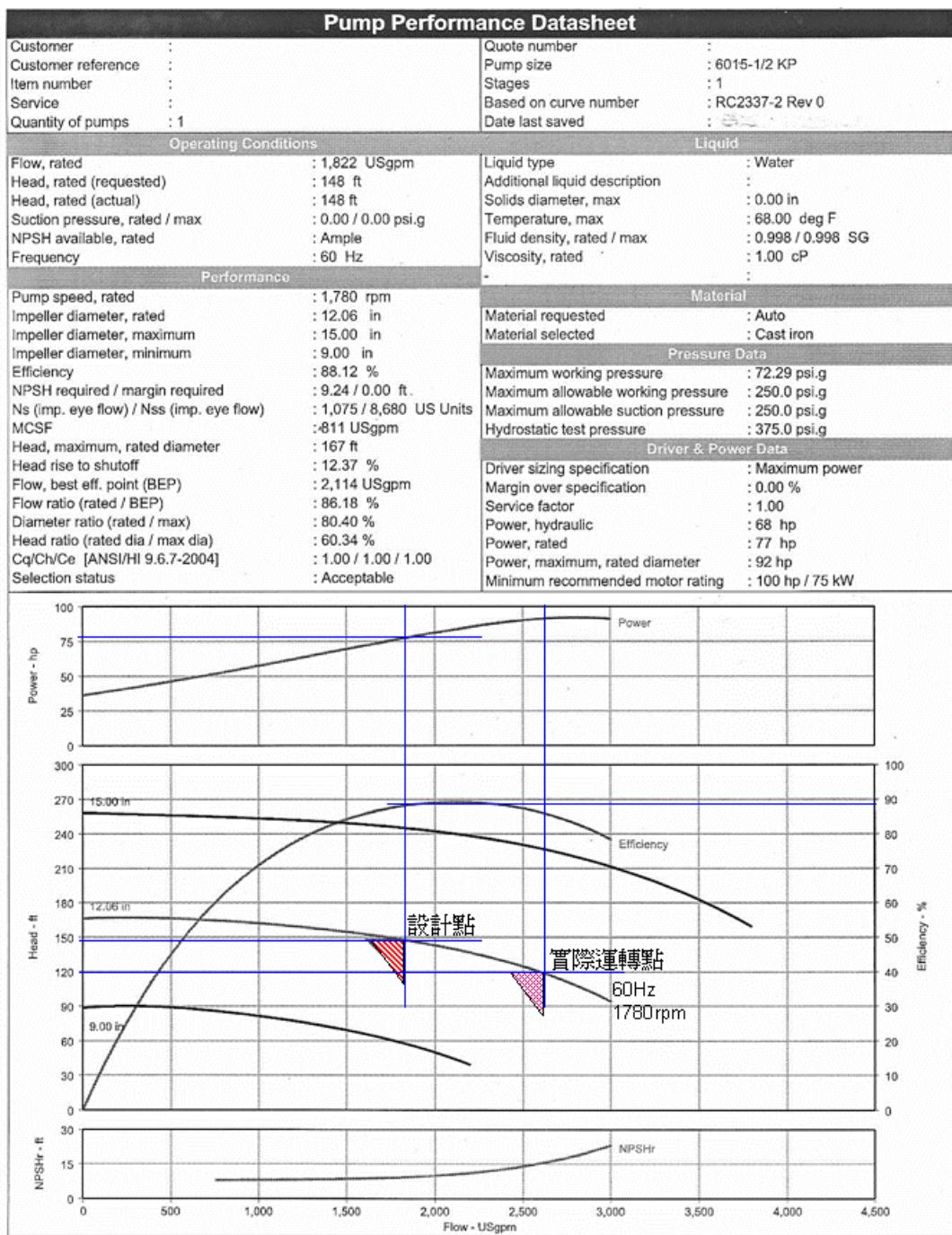


圖 3-18 Dry Coil 性能曲線

由性能曲線可知，系統設計點與實際運轉點並不同，其原因為：

1. 設計軸動力馬達規格為 58kW(77hp)，搭配輪徑 12.06in 葉輪，由於此型號規格葉輪輪徑最大可搭配 15.00in，軸動力輸出為 92hp。因上述理由。設備商實際選機時，配置動力馬達為 75kW(100hp)。
2. 既設管路系統並未設置流量計，可量測數據為揚程與馬達功率，依所需動力公式：

$$Bhp = \frac{U.S.gpm \times H (ft) \times sp\ gr}{3960 \times \eta}$$

其中

$$3960 = 33000/8.33 \quad (1\text{hp} = 33000(\text{ft-lb/min}); 1\text{gallon} = 8.33\text{lb})$$

η ：泵效率

操作運轉未做出口限流，所以操作運轉流量大於設計量。

上述說明為單機設備規格與實際運轉規格之不同，此系統平日為 2 台並聯運轉，所以改善前系統實際供應規格，表 3-5 示：

頻率：60HZ

流量：5200gpm

揚程：120ft

電力：150kW

表 3-5 改善前系統規格

項次	單機規格	供應系統規格
頻率 Hz	60	60
流量 gpm	2600	5200
揚程 ft	120	120
電力 kW	75	150
註：系統由 2 台並聯供應運轉		

3.5.4 改善工程後系統規格紀錄

於系統循環泵浦設置 75kW 變頻器且於管路中裝設壓力偵測器，作為變頻器之回授訊號，使管路供應系統於定壓輸送供應下運作，如圖 3-19 所示：

系統中設置的壓力偵測器其設定值為 3.2kg/cm²，作為偵測並監視系統壓力，壓力訊號回授到變頻器，達自動定壓運轉功能。

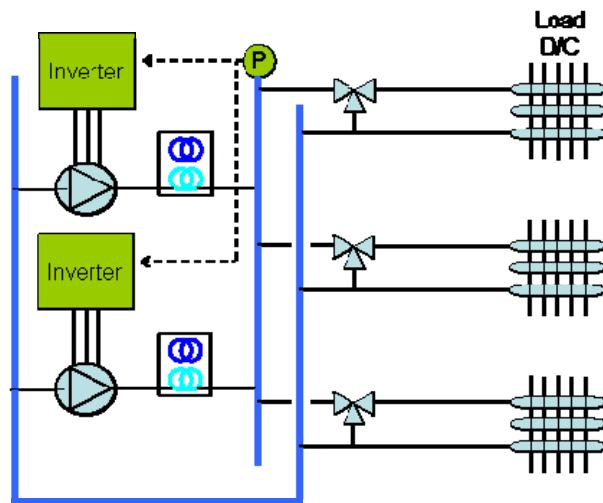


圖 3-19 改善工程後系統圖

系統節能改善後實際供應規格，如下表 3-6 示：

頻率：60HZ

流量：4160gpm

揚程：78ft

電力：80kW



表 3-6 系統改善前後比較

項次	改善前	改善後	降幅
頻率Hz	60	48	0.8
流量 gpm	5200	4160	0.8
揚程 ht	120	78	0.65
電力 kW	150	80	0.53
註：系統由2台並聯供應運轉			

3.6 結果比較

3.6.1 耗功比較

改善前耗電量-年： $150\text{kW} \times 24\text{hr} \times 365\text{d} = 1,314,000 \text{kWH/年}$

改善前電費-年： $1314000 \text{kWH/年} \times 2.2 \text{元/kWH} = 2,890,800 \text{元}$

改善後耗電量-年： $80\text{kW} \times 24\text{hr} \times 365\text{d} = 711,800 \text{kWH/年}$

改善後電費-年： $700800 \text{kWH/年} \times 2.2 \text{元/kWH} = 1,541,760 \text{元}$

3.6.2 流量比較

系統中並未設置流量偵測器，故僅能以計算是推估

改善前單機條件： $60\text{HZ}/2600\text{gpm}$

改善後條件： 48HZ

由相似定律： $N/N_0 = Q/Q_0$

改善後單機流量： $48/60 \times 2600 = 2080\text{gpm}$

改善後系統流量： $2080\text{gpm} \times 2 = 4160 \text{ gpm}$



3.6.3 揚程比較

改善前系統揚程量測： 120ft

改善後系統揚程量測： 78ft

由相似定律驗證： $(N/N_0)^2 = H/H_0$ $H = (48/60)^2 \times 120 = 76.8\text{ft}$

3.6.4 碳排放比較

據經濟部能源局 98 年度揭錄碳排放係數： 0.623kgCO2e/度 【19】

改善前碳排放量： $1,314,000 \text{kWH/年} \times 0.623\text{kgCO2e/度} = 818,622\text{kg/年}$

改善後碳排放量： $711,800 \text{kWH/年} \times 0.623\text{kgCO2e/度} = 443,451\text{kg/年}$

碳排放減量率： $(818,622 - 443,451) / 818,622 = 45.8\%$

3.6.5 投資回收率分析

工程設置成本： 120 萬

節能經濟效益：改善前電費-改善後電費 = $1,349,040 \text{ 元/年}$

投資回收率 $ROI = \text{節能效益} / \text{工程設置成本} = 1.12 \text{ 年}$

3.7 小結

綜合上述計算結果，系統改善前後比較與節能效益，如下列表 3-7：

表 3-7 系統改善前後比較

項次	改善前	改善後
頻率 Hz	60	48
流量 gpm	5,200	4,160
揚程 ht	120	78
電力 kW	150	80
電量/年 kWh/Y	1,314,000	711,800
電費/年 TWD/Y	2,890,800	1,541,760
碳排放 kg/Y	818,622	443,451
工程設置成本 TWD	1,200,000	
節能經濟效益 TWD/Y		1,349,040
投資回收率 ROI	1.12 (13.5個月)	

系統改善後，系統耗電為原系統 54%，節省電力高達 46%，圖 3-20
示：

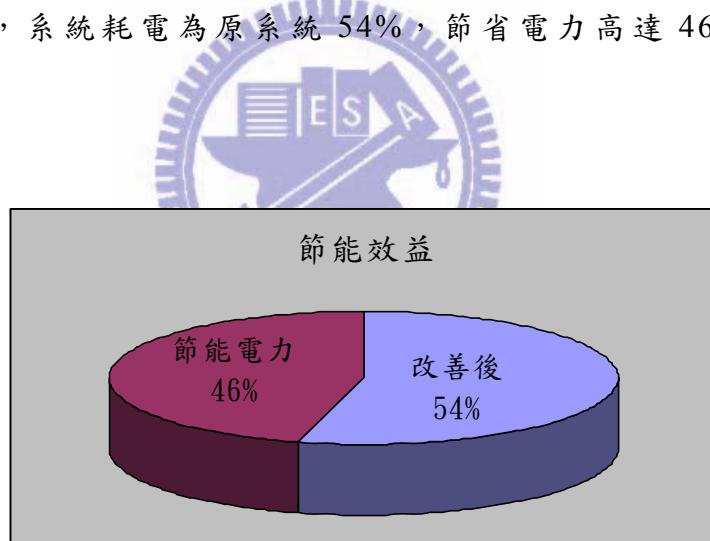


圖 3-20 系統改善後節能效益

由於系統改善加裝變頻器設備，改善後新運轉點標記如下圖 3-21 示：

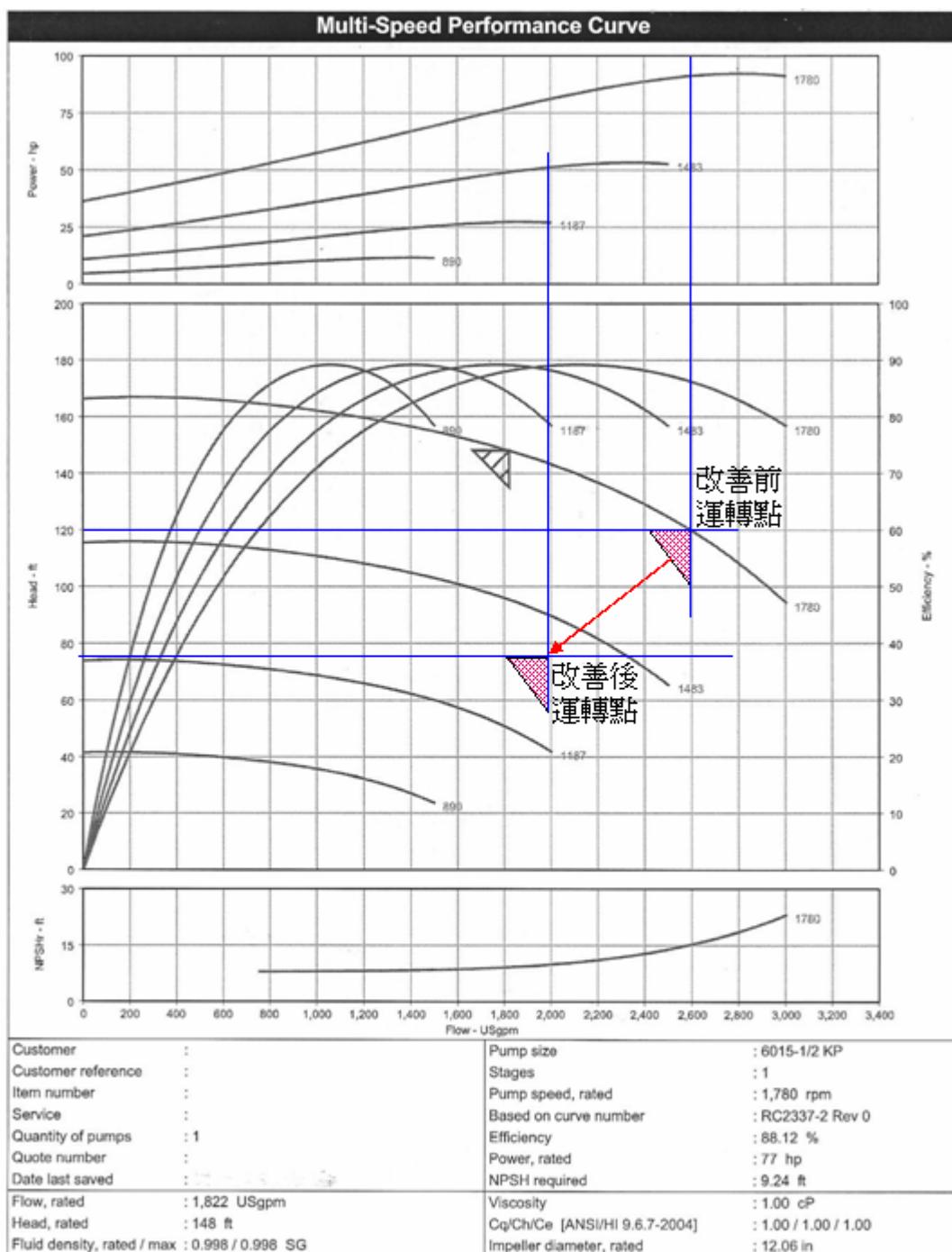


圖 3-21 改善後系統曲線

四、結論與建議

本文針對既有月產能 32,000 片/200mm 晶圓產出規模之半導體廠進行節能評估與改善，評估改善標的分別為「儲冷空調系統導入既設傳統冰水空調系統評估」與「潔淨室節能改善工程執行效益分析」，經分析探討，所得結論建議如下：

4.1 結論

1. 儲冷空調統確實能達到用電尖峰的「負載平移」之效果，且能有效降低契約容量，於夜間空調運轉機組，可得到 60% 的流動電費折扣。
2. 由於舊廠運轉設置規劃已可滿足現有供應容量，舊廠評估設置新設備，空間配置是否足放置新設備，應列入考量。以本文為例，如評估要落實執行，空間設置規劃為此案的工程瓶頸，仍待討論解決。
3. 儲冷式空調並不是「節省能源」的方式，實際上它並不能節省能源，只能抑制若干尖峰用電，並獲得離峰電價的設備投資補償。
4. 儲冷系統有一個很大的好處，就是短時間內機組損壞或者維修，不會影響空調供應，對某些特殊設備，如網路數據機房、電信交換機房等高密度熱負載冷房需求空調言，應為一可行之設備選項。
5. 新建廠房空調冰水輸送泵浦與實際運轉後須經過負載比對與調整，才能達到最佳運轉點，且達節能省電功效。
6. 調整控制系統流量與揚程有數種方法，如設計設備選機初期流量與揚程皆過大，經本文研究驗證，設置變頻器運轉，為一效果顯著的解決方案選項。
7. 設計初期必須盡量避免過大設計，因其不但增加初設成本，也增加了日後的運轉費用，亦或另覓經費改善系統。

4.2 建議

1. 台電公司自 98 年 2 月起，對儲冷式空調系統電力用戶擴大電費優惠幅度，離峰時間流動電費，由原按適用電價七五折擴大按六折計收。此電費優惠調幅對既設工業用戶大廠而言，其降幅仍不具改裝現有設備誘因，建議針對既設改裝用戶提供設置補助。

2. 以本文工業用戶言，全年無休全日運轉之空調負載電力用戶，尖峰空調負載僅高出全日平均空調負載 4.2%，對台電電力供應端與下游負載用戶端而言，其電力「負載平移」效果並不顯著。建議台電應將此系統推廣至如商辦用戶可夜間全量儲冰，白天釋冷供應用電戶，其「負載平移」效果較為卓著。



參考文獻

1. 陳俊勳，經濟部能源科技研究發展計畫，九十一年度執行報告，民國 91 年。
2. 空調系統管理與節能手冊，台灣綠色生產力基金會。
3. 李希聖，空調節能技術，徐氏基金會，民國八十二年。
4. 李希聖、郭文東，特殊空調工程，徐氏基金會，民國八十一年。
5. 游博文，大型海洋生物博物館儲冷式空調系統能源效益改善分析，碩士論文，國立中山大學機械與機電工程學研究所，民國九十四年。
6. 陳進龍，動態規劃法運用於儲冰式空調系統與低溫送風之最佳化設計，博士論文，國立臺灣大學機械工程學研究所，民國八十八年。
7. 陳希立，儲冰式空調系統之最佳化設計，國科會計劃 NSC89-2212-E-002-116，民國九十年。
8. 胡興邦等，評估測試台灣地區既有儲冰式空調系統之研究，台灣電力公司研究發展專題，民國七十八年。
9. 黃頌華，儲冰空調技術研討會-優態鹽簡介，工業技術研究院，民國八十年。
10. 台灣電力公司，<http://www.taipower.com.tw/>
11. 潔淨室標準 Fed-Std-209E，IEST，<http://www.iest.org/>
12. 潔淨室標準 ISO-14644，IEST，<http://www.iest.org/>
13. 張尚武，產業泵浦效率管理及節約能源案例手冊，經濟部能源局。
14. 張昆典，圖解離心式泵浦，化工技術，第 17 卷第 12 期，2009 年 12 月。

15. 空調系統能源查核及節約能源案例手冊，經濟部能源局。
16. 郭華生等編著，變頻器應用節能技術手冊，台灣綠色生產力基金會節約能源中心。
17. 蔡水源譯，變頻器之省能控制，電機月刊，第六卷第一期，1996年1月。
18. 莊漢東，變頻控制於流體機械節能之探討，Motor Express，第61期，2004年。
19. 王洪鎧編譯，空氣調節設計基礎，徐氏基金會，民國八十五年。
20. 98 年度電力排放係數，經濟部能源局，
http://verity.erl.itri.org.tw/EIGIC/technology_5.aspx?SectionID=56

