

第一章 緒論

1.1 前言

為了因應全球環境快速暖化的重大危機及能源逐漸短缺的疑慮；各國行政掌理能源單位在溫室氣體數量管控上，立即進行能源之施行對策及訂立規範分階段執行溫室氣體減量。反觀台灣當下的能源政策，必需先由穩定的電力供應、搭配全民溫室氣體減量、政府能源措施方針訂定下，方可達成能源利用效益之提昇。但以現今全台建構之電力能源供應結構評估下，在於替代能源開發上並不容易進行，且在環保議題發聲及與環保團體持續抗爭不斷，實質影響電力增擴建設的腳步；故提高能源使用效率，是現階段節約能源最佳方式。

對於工廠節能而言，無塵室空間環境使用之中央空調系統是極為重要需節能的角色。中央空調系統提供工廠內生產的產品需求和生產過程所需的溫濕度環境條件，並也提供工廠在營運、儲存、銷售、人員所需之舒適的溫濕度環境。但中央空調系統所搭配的相關設備，必須損耗整體工廠大部份的電力；觀察台灣地區之空調用電，約佔總用電量的30%以上，而夏季尖峰時段可高達40%以上。針對LED封裝工廠之中央空調系統進行有效的節能措施，立即降低中央空調系統的能源消耗，將使工廠營運成本再降低和增加產品在市場上的競爭力。

中央空調系統已發展為綜合技術整合性工程，如空間動線及設備位置規劃、無塵室氣流環境考量、溫濕度管控系統、相關設備選機能力調配、產生廢棄物處理(空、水、廢、毒)、節能設備選用、工廠擴充需求，進而再整體考量系統架構和控制程序...等等。空調系統的節能方式由設計規劃施工開始、運作中來安排機組運轉管理、廠區環境有效的管控程序。近年來國內積極推廣節能效益驗證機制方法(ESCO)，使得在計算節能效益成效之指標更加明確，也是台灣未來發展能源服務產業重要的基礎及讓推廣節能事業時，更具有強而有力的見證。

中央空調系統電力耗能，佔了30%是全廠電力最大的能源損耗，這也顯示出為了管控”無塵室內之恆溫恆濕環境”，為此提供穩定的空調品質條件是最為耗能部分。然而中央空調系統設置運轉後，進行改善規劃設計與運轉對策改變為進行節約能源重要工作，說明如下：

1. 空調系統改善規劃設計：工廠在原設計規劃設置完成後，配合工廠運轉現狀之生產線的各項條件和外氣環境，通常理論上改善方式如下：熱回收冰水主機二

次側泵浦加變頻器、雙溫度冰水系統設計、冰水主機二次側泵浦加變頻器、冰水管分路之壓力平衡控制、冷卻水塔之風扇加變頻器、冷卻水塔進出水溫度管控加減載開機數、水質管控、冷卻水回水混合管控、泵浦葉片修正調整選用、各樓層分流量分析後管路修改變更、冷盤管數量加設評估、空調箱加大提昇效能、無塵室內空間重新規劃…等。上述方式，若實際應用於更改現有運行工廠的設備架構，對於工廠是以生產為主要存在的價值目的相衝突，而改變原有設計規範理念來進行改善工程，在於整體工廠各系統穩定度上，一定有存在意外風險影響及改善工程期間，對於工廠產量的損失影響；通常改善大工程，皆會無期延宕無法進行。運轉對策改變：修改廠務人員日常操作方式，通常採用方式敘述如下：評估提高冰水主機出水溫度、依冰水主機效能來搭配開關輔助設備至節能運轉、冷卻水塔自動加減載控制變頻風扇、降低冷卻水溫度、調高無塵室內溫度、冰水主機限載運轉、調整空調箱送風量…等。本研究以利用地表淺層水源，其常年溫度約保持在 $25^{\circ}\text{C}\pm 5$ ，相對工廠節能由空調系統操作改變以不開啟熱回收冰水主機，達到節能功效。進而可關閉熱回收BY-PASS管路、關閉熱回收一次泵浦及熱回收二次泵浦、關閉各樓層空調箱預熱盤管和再熱盤管、關閉各樓層空調箱輔助泵浦、並將冬季冰水出水溫度調高至 8°C （原冰水出水溫度 6°C ）；藉由收集操作改善後空調系統中各項參數及長時間運轉記錄，分析此系統最節能之操作；無塵室內空調系統，穩定供應溫濕管控與節能效益兩者取得平衡，是廠務操作者除本職學能增長與經驗累積下，方可產生實際節能效益。

1.2 研究動機

本研究主要為LED封裝廠空調系統節能效益模擬方法與驗證。利用地表淺層水源，其常年溫度約保持在 $25^{\circ}\text{C}\pm 5$ (圖1)，相對工廠節能由空調系統操作改變以不開啟熱回收冰水主機，兩方面進行節約達到節能操作方式；換言之，利用LED封裝廠之中央監控系統歷史資料庫，蒐集運轉紀錄(表一)，進行參數分析[5]；以求取最佳參數值；並採用冰水主機之運轉性能指標，再套用驗證最佳參數值，相較比對計算每一部冰水主機之最高運轉效率；有以下控制最佳系統參數之設定：冰水主機開台數、冷卻水泵浦開台數、冷卻水塔開台數、冰水出水水溫、冷卻水出水水溫…等。

參考國內外文獻，少有針對地表淺層水源相對於空調系統之節能分析之討論研究。其本研究以不需更改現有 LED 封裝廠之空調系統架構，便進行空調節能調校作業；若變更整個工廠空調系統架構，則在實際量產中的工廠是較不可行及需承擔生產風險和各項成本花費考量。為使廠務操作人員，得最節能的系統配置方式，使系統空調系統總用電度數降低，來節省能源耗損及降低運轉成本，以達到節省能源耗損目的。此次研究分析的成果，可做為空調系統預保維修運轉狀態之安排、各項節能改善評估、運轉調控參考、日後建廠空調基本條件設立...等之參考依據。

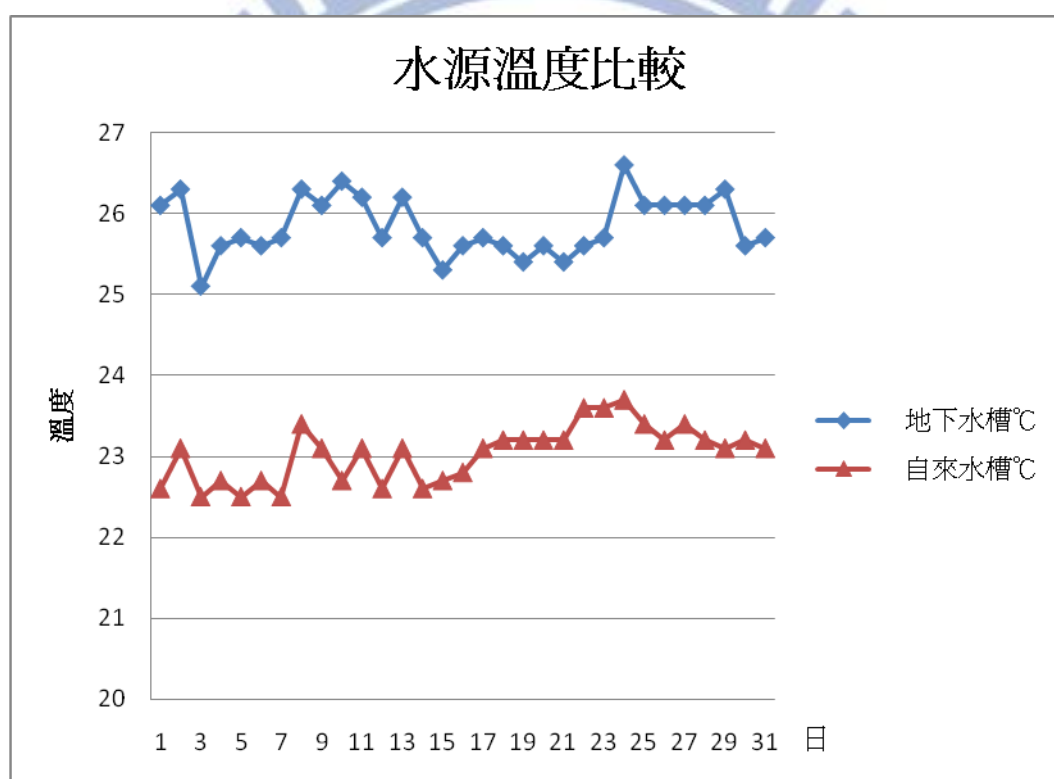


圖 1 水源溫度比較圖

時 間	A 區冰水流量	B 區冰水流量	合計冰水流量	一 號 機						
				A 機電流	B 機電流	冰水入水溫度	冰水出水溫度	冷凍能力 KW	消耗功率 KW	COP
2010/11/1 00:00	969.8	5851.2	3410.50	149	148	9.5	5.8	883.32	195.47	4.52
2010/11/1 01:00	723.95	5922.37	3323.16	150	148	9.4	6	790.91	196.13	4.03
2010/11/1 02:00	1128.31	5767.09	3447.70	146	145	9.8	6	917.09	191.52	4.79

2010/11/1 03:00	668.96	5757.39	3213.18	158	155	9.9	6.2	832.21	206.00	4.04
2010/11/1 04:00	989.21	5873.84	3431.53	147	146	9.7	5.8	936.81	192.84	4.86
2010/11/1 05:00	594.56	5996.77	3295.67	149	148	9.7	6.2	807.44	195.47	4.13
2010/11/1 06:00	1115.37	5650.64	3383.01	147	145	9.9	6	923.56	192.18	4.81
2010/11/1 07:00	762.77	6164.98	3463.88	148	146	9.8	6.1	897.14	193.50	4.64
2010/11/1 08:00	1063.61	6074.4	3569.01	170	168	10.2	6.5	924.37	222.46	4.16
2010/11/1 09:00	1461.5	6181.15	3821.33	227	203	10.3	6.2	1096.72	283.01	3.88
2010/11/1 10:00	1364.46	6329.96	3847.21	236	206	10.4	6.3	1104.15	290.91	3.80
2010/11/1 11:00	1717.05	6161.74	3939.40	178	163	10.3	5.4	1351.21	224.43	6.02
2010/11/1 12:00	1199.48	6304.08	3751.78	178	170	10.3	5.6	1234.34	229.04	5.39
2010/11/1 13:00	1040.97	6310.55	3675.76	181	172	10.5	6.7	977.75	232.33	4.21
2010/11/1 14:00	1248	6514.34	3881.17	179	172	10.8	5.7	1385.58	231.01	6.00
2010/11/1 15:00	1448.56	6359.07	3903.82	208	213	10.4	5.4	1366.34	277.09	4.93
2010/11/1 16:00	1464.74	6232.91	3848.83	212	203	10.6	6.5	1104.61	273.14	4.04
2010/11/1 17:00	1383.86	6507.87	3945.87	219	226	10.6	6.3	1187.71	292.88	4.06
2010/11/1 18:00	1154.19	6362.31	3758.25	232	232	10.3	5.8	1183.85	305.39	3.88
2010/11/1 19:00	1516.49	6423.77	3970.13	232	232	10.4	5.9	1250.59	305.39	4.10
2010/11/1 20:00	1209.18	6536.99	3873.09	174	166	10.5	5.9	1247.13	223.77	5.57
2010/11/1 21:00	1467.97	6271.73	3869.85	174	170	10.6	5.5	1381.54	226.41	6.10
2010/11/1 22:00	1351.52	6232.91	3792.22	185	176	10.7	6.7	1061.82	237.60	4.47
2010/11/1 23:00	1357.99	6249.09	3803.54	232	228	10.4	6	1171.49	302.75	3.87
2010/11/2 00:00	1286.82	6320.25	3803.54	219	219	10.2	6	1118.24	288.27	3.88

表一 冰水主機運轉紀錄表

1.3 文獻回顧

中央空調系統之冰水主機運轉，可分為二部份流動之液體系統 [1][2]：第一部份”冰水系統”，流動液體的介質以”純水”為供應管內液體流動，此管路是以封閉性回路設計運轉，與冷媒作熱交換，純水將釋放熱能，使管內水溫降低；第二部份”冷卻水系統”，流動液體的介質以”自來水、井水(圖 2)、回收水”擇一來供應管內液體流動，與冷媒作熱交換，管內液體將吸收熱能，管內水溫上升；此管路會經由冷卻水塔使之管內液體熱量散熱，屬於開放性管路設計，相對會與

空氣接觸下，直接作反應影響到液體水質，導致管內液體會增加細菌、藻類、泥垢、管路生鏽、生物粘泥，進而產生腐蝕、結垢、微生物沉積...等情況。水路循環系統，若使用之水質不佳，鈣鎂離子會累積，管內結垢之速度快，水垢生成後，對熱傳導均造成極大的影響，故廠務人員權責需要確保冰水主機之熱交換效率成效高，才不導致使冰水主機成為工廠耗能的主因。當熱交換器之水垢厚度在 0.15mm 以下，其熱損耗可忽略；水垢厚度達 0.30mm，會增加能源損耗達 5.5%；水垢厚度達 0.45mm，會增加能源損耗達 11.0%；水垢厚度達 0.60mm，會增加能源損耗達 16.5%；水垢厚度達 0.75mm，會增加能源損耗超過 22.0%，追求能源效率要能降低水垢生成速度或減少水垢厚度，會降低運轉費用。若水質管控得宜，可減少腐蝕的產生，且可降低冷卻水系統保養維護的風險及降低異常停機檢修之次數，亦可延長空調各項設備使用壽命；阻止水中沉積物堆疊附著於熱交換表面，亦即降低管內結垢形成，化學酸洗技術對去除水垢是最快速有效，但使用水垢去除技術時，需注意是否會損傷熱交換器金屬表面，對於選擇藥劑必需更加審慎，是為努力追求的目標。保持熱傳效果在最佳狀況和減少管內流體管損，才能穩定熱交換的傳熱效率，進而提高空調系統節能，並降低水污染排放的疑慮。

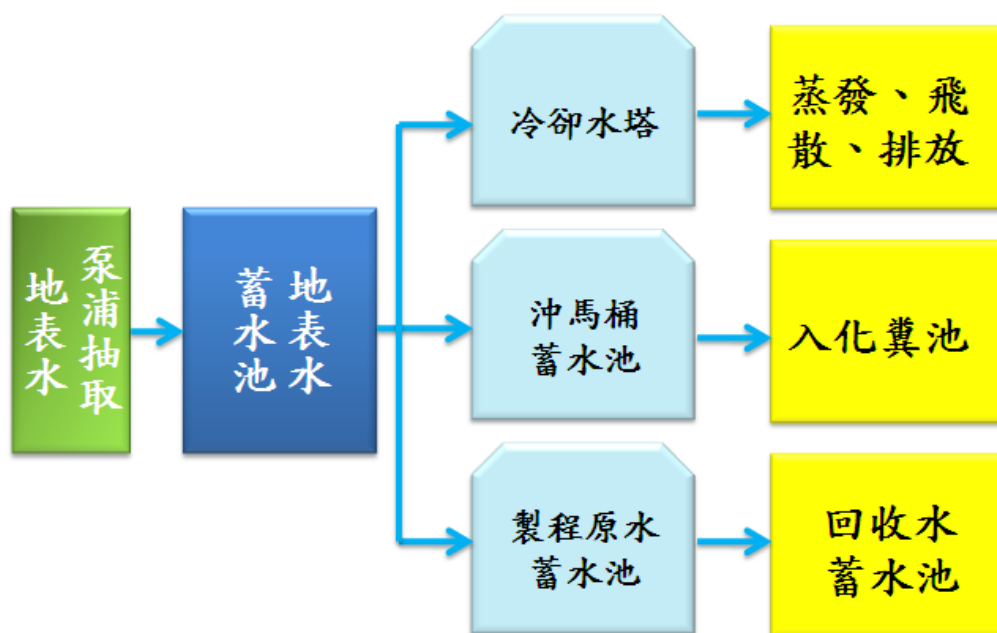


圖 2 地表水循環系統示意圖

1. 管路系統與水質對於節能系統設計影響：

- (1) 腐蝕現象對空調系統管路節能效率降低的影響，腐蝕的產生是有多方面的因素綜合而成。其中主要為管壁與管內液體之溶解氧產生了化學反應，進而管壁引起腐蝕現象；中央空調之冷卻水系統，管內液體是在開放性管路循環過程中，因管內液體有經過冷卻水塔散熱，液體是有產生蒸發現象或風扇散熱所造成的溢散作用，會使管內液體所內含之各項鹽類濃度比例增加，當液體水離子濃度較高時，會使金屬表面的保護膜防腐能力降低，而引起金屬表面局部腐蝕；另外開放性管路管內液體之微生物容易滋生，產生細菌性腐蝕...等。腐蝕作用使管道及設備內壁產生鏽渣，脫落的鏽渣，日積月累會堵塞熱交換盤管，而使管內流體速度下降，並且影響熱交換盤管之管壁傳熱，會變成金屬加鏽垢，導致熱交換盤管之管壁熱阻增大，傳熱效率降低，皆會使空調系統熱交換效率不佳。
- (2) 冷卻水系統來去除冰水主機中冷媒產生的廢熱，水為最普遍的液體媒介，冷卻水塔運轉會產生蒸發和溢散作用，會使得循環冷卻水水量減少，循環冷卻水中含鹽量會漸漸增加濃度，會使得空氣中的二氧化碳和冷卻水中碳酸鈣產生化學作用，在管內傳熱面上增加結垢；水垢產生會使導熱係數降低，使熱交換盤管的傳熱效率降低，影響空調系統的製冷能力；冷卻水之管內液體會溫度升高，導致冰水主機製冷效率降低，輸出負荷增加，造成冰水主機耗電量增大。
- (3) 冷卻水系統中之管內液體內含的微生物主要有藻類、細菌、真菌、青苔孢子...等微生物。細菌具有粘性和細胞壁會形成團狀物；會增加影響設備維護次數，使操作效率降低或損壞設備，甚至增加機台當機的风险性，需定期分析冷卻水水質及化學加藥水處理是屬於必要的工作。空氣中內含落塵和其它雜質成分，若經陽光照射後，在冷卻水塔之水盤及管壁內，會易形成青苔及藻類適合的生長環境，而造成寄生物滋生、懸浮物、淤泥，形成沉積作用，在管壁內表面之生成物，日積月累會越積越厚，沉積的污垢對傳熱效率影響直接嚴重阻礙；當污垢厚度達到1mm時，這時熱交換盤管的傳熱效率下降35%；微生物沉積影響和污垢厚度使管內液體流速降低，皆會嚴重影響管內的傳熱效率。

冷卻水系統整體規劃設計時，應考慮熱交換材質之熱轉換效率、水質選用影響、冷卻水塔設置安裝位置與散熱時風向搭配考量、廠區四周環境品質影響

考量...等各項條件，水質管控應選用加入最適合的藥劑及用量，使冷卻水系統能最佳有效的水管理，而達到整體空調系統節能目的。

冷卻水溫度在夜間或春季秋季利用變頻控制、分段控制冷卻水塔風扇運轉，盡可能調低溫度其來降低冷卻水溫度約於 23~25℃；如果冷卻水溫度過高，顯然省了冷卻水塔之風扇的耗電量，但卻可能增加冰水主機的負載。地表淺層水源補充水水量的水溫，對於冷卻水系統的影響小，最主要是為水質的管控；地表淺層水源之水質偏硬及多生菌，需加藥適宜管控；因水質偏硬在於防鏽防垢藥劑可使用較少用量；整體水質的管控費用降低，相較於自來水每月所需費用較高，成本會較省錢。而於冷卻水塔出水溫度設定上，會依原規劃參考設備夏季、冬季的設定值不同，及需考量外氣溫濕度再考量設定值。如在設定上冷卻水塔出水溫度設定值過小，會導致冷卻水塔開機台數增多，造成不必要的冷卻風扇運轉耗能；如設定冷卻水塔出水溫度設定值過大，會導致冰水主機之冷卻水在熱交換不良狀態下，造成冷卻水無法將冰水主機之冷媒所產生的熱能帶走，導致冰水主機系統運轉效率降低造成耗能。

冰水主機最佳操作方式[5]，以單機操作考量，可依設備之原運轉效率狀況去設定各參數，以達到最佳輸出效率，例如冰水主機之負載率70%~80%有最高輸出效率，當負載率滿載時，輸出效率反而低；若設定後未能達到最佳輸出效率，便可查稽設備狀況，並作預保維修運轉之安排。兩台以上冰機併聯運轉，其運轉效率，需考量設置當時設計規劃管路是否完善、冰水進回水平衡管，設置點是否充分混合、冷卻水進回水管路設置點是否恰當、若為熱回收冰水主機，則需考慮消耗之熱水能量，會損耗熱回收冰水主機之總運轉效率，後再依實際廠端負載率，來加減冰水主機台開機數。各項設定參數會影響，將使冰水主機最佳操作各參數會隨時改變。

廠務人員對於空調設備之調控上，來選定以關閉熱回收冰水主機(圖 3)及相關附屬設備的時機。會依當時外氣空氣條件及負載總量來調整冰水主機之出水溫度，夏季時冰水主機之出水溫度會設定為 6℃，冬季時會調高冰水主機之出水溫度至 8℃。原無塵室內設定溫度為 23±3℃、相對濕度為 50%±10，若無塵室內溫濕度超過基礎設定值，便需立即加開啟熱回收冰水主機，供應各層樓空調箱之熱水，來調整外氣空氣品質以符合無塵室內需求。

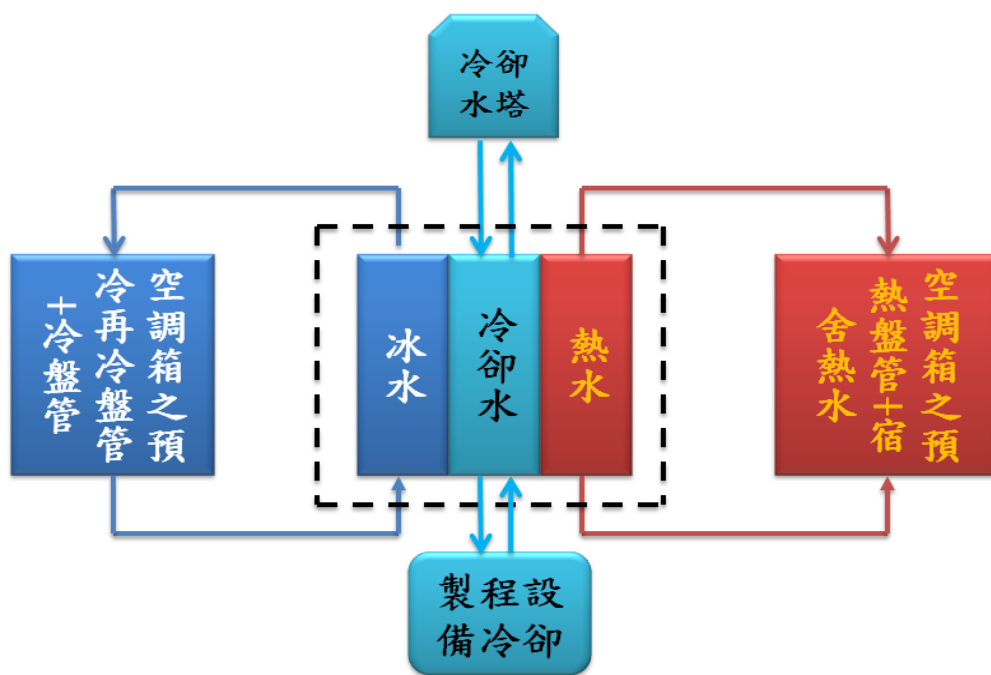


圖 3 熱回收冰水系統示意圖

第二章 空調系統規劃設計

整體空調系統之設置委由專業電機顧問技師事務所統籌規劃，設計為從開始建置到設備使用年限結束，通常其整體成本考量分為三部份：1、設計建造：10%、2、維修汰換：20%、3、運轉：70%。空調主要目的以人體舒適度為指標，加入人員衣著量及活動量為考量因素，另外有溫濕度、空氣的流動、輻射熱交換量也會影響。工廠空調除了考量人員舒適度，主要需將產品在控制在良好溫濕度的無塵環境中。設計空調系統會將其耗能原因併列考量如：1.設備基本性能及特性：冰水主機效率低、泵浦及風車機械效能低，品質差、閥件、風門壓損大、舊機或未符合實際需求、控制系統無法有效控管。2.規劃設計：冰水主機及輔助設備選用不佳、無整體系統考量、管線規劃不佳、僅考慮建置成本，操作運轉成本未考量。3.施工品質：未選取適當合格承包商，僅以價格考量、承包商良莠不齊，導致工程品質差、各工程整合度配合不佳、廉價之空調設備及系統建置。4.維護及管理：維護保養不佳、空調系統建置後，未能依實際運轉進行系統平衡調整、不適當運轉操作調整，使空調系統耗能且無法供應室內空調需求。故考量以上所有因素及依照LED廠之設備總需求和預估數量、總員工數、可用空間、無塵室等級、消防避難空間…等，來設計無塵室相關各系統供應量。

2.1 工廠空調系統說明：

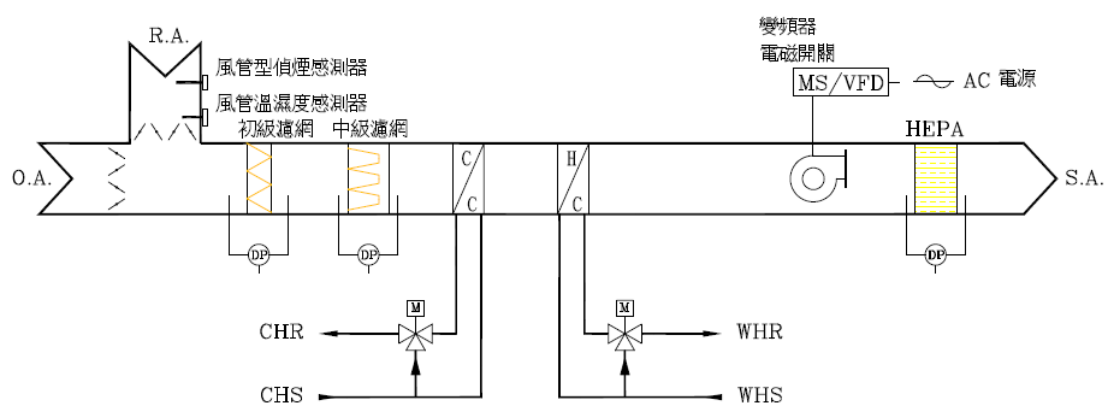
工廠內產線和辦公空間整體規劃的空調總負荷需求量：1,800RT，依此需求量，設置冰水主機 500RT x 4 台；二台採用熱回收冰水主機機型，熱回收冰水主機其中一台，採用國產之滿液式蒸發器高效率大溫差(8.5℃)熱回收螺旋式冰水機，另三台冰水主機，則採用進口離心式高效率大溫差(8.5℃)的冰水機組。於工廠頂樓設置總容量 3,000 噸的方型低噪音冷卻水塔，以提供冰水主機、發電機、空壓機、電腦機房及部分製程設備之冷卻水需求。冰熱水系統之附屬設備包含冰水主機、一次側與二次側冰水泵浦、冷卻水泵浦、熱回收一次側與二次側熱水泵浦、相關支線管路、保溫材質包覆、電動閥件與控制感應器、設備配電盤、樓層機房內之導線架及配電配管…等。冰水、熱水管路分兩迴路銜接A、B 區域垂直管道間之立管 (B1F~7F)，並於各樓層A、B區域機房，預留管路關斷閥門，以利各樓層之一般區域空調和無塵室設備系統管路之銜接；熱回收冰水機之熱水系

統，亦提供宿舍棟生活熱水之預熱需求；一般區域及無塵室區域之冰水、熱水、冷卻水塔冷卻水之供應，皆由A、B區域機房各系統預留之關斷閥門銜接，包含壓模製程冷卻水、錫爐 PCW(RO 純水)冷卻水、空氣壓縮機(160HP/台)之冷卻水、(19.2CMH/台)製程真空泵浦所需之無壓自吸式冷卻系統、1F 壓模機預熱冷卻系統 (20 LPM/台)、水冷式緊急發電機(1,000Kw/台)之二次循環冷卻系統、MIS 機房的水冷式恆溫恆濕箱型機之冷卻系統(< 40kW)...等。

冰水系統的組成(含熱回收)，可簡述為數項系統(圖7)：冰水主機、一次側循環泵浦、二次側循環泵浦、冷卻水塔、預冷空調箱、空調箱、冷卻盤管、FFU...等相關設備，無塵室內熱負荷藉由冰水主機熱交換，再由冷卻水系統將熱負荷轉換至外氣環境中。冰水系統屬密閉管路主要供應各層樓預冷空調箱、冷盤管使用。冷卻水系統(圖6)屬開放式管路主要是將冰水機熱交換轉移藉由冷卻水泵浦輸送至冷卻水塔散熱，冷卻水塔原理是上方有冷卻風扇空氣流動由下往上運轉，冷卻水由上往下流動，並藉由鰭片與空氣增加接觸面積散熱。當多台冷卻水塔併聯運轉時，冷卻循環水量一定要平衡水位；冷卻水塔設置應有充足空間，避免濕熱空氣的排出，會再被循環抽回進風口；冷卻水溫度每降低1.0℃，可省電約2.0%的冰水主機用電；冷卻水塔合理的趨近溫度(空氣濕球溫度與冷卻水塔出水溫度之差)為3℃，趨近溫度越低，雖然風車耗電，但可節約冰水主機耗電。

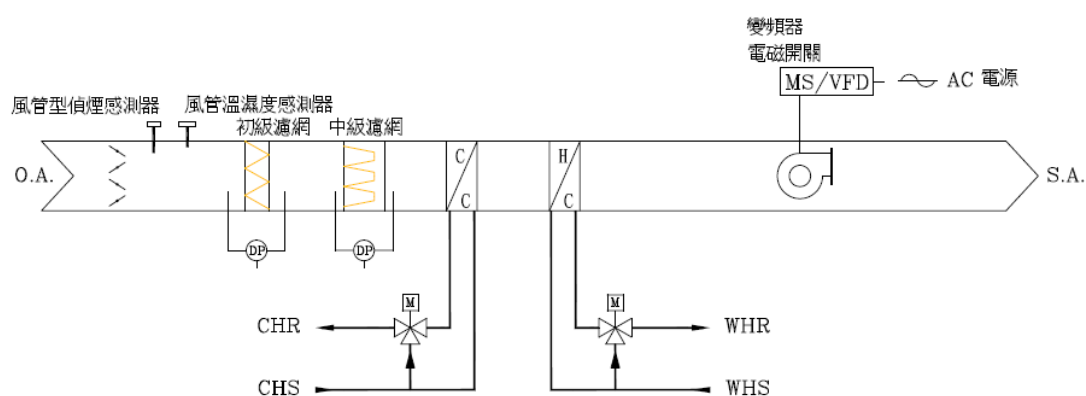
無塵室生產線內會產生製程廢氣、機台廢熱、人員呼吸、無塵室內需保持正壓，以避免外在環境污染；故需以外在空氣補足無塵室內空氣循環量，以達到人員安心工作環境條件。MAU 及 AHU 主要控制是提供穩定的空調氣體給予無塵室，由外在空氣吸入空調箱，由溫度感應器偵測後，再輸出控制訊號予控制冰水盤管閥開度及熱水盤管閥開度，以控制露點溫度以維持無塵室內原設定之溫濕度。LED 封裝工廠分樓層有設置 MAU(圖 5)及 AHU(圖 4)系統，依無塵室內需求設計來設置回風柱、預冷空調箱、送風機、冰水盤管、熱水盤管、過濾器 HEPA、加溼器、送回風管、FFU、BY-BASS 風門...等。空調設備最耗電力能源部份，皆為管控無塵室內之空調熱負荷，冰水主機原設定出水溫度為 6℃，空調箱設備控制出風條件為無塵室內所需，故使用冰水盤管冷卻及熱水盤管加熱，並搭配回風柱內乾盤管再將空氣冷卻，但反覆性的冷卻和加熱空氣作動，顯而易見的耗費能量。目前 LED 封裝工廠作法是冬季提高冰水溫度至 8℃及

控制 MAU 空調箱出風設定溫度 11~12℃，AHU 空調回風溫度 22℃及 乾盤管設定溫度 22℃，改變後直接提高冰水主機效率並減少耗電量，讓冰水用於真正需要的地方，進而達到節能。配合全外氣條件，來控制引入無塵室內之空氣條件，當然在外氣條件不符合時，將回歸開啟熱回收冰水主機，大大減少外氣空調箱之冷卻除濕盤管之負荷，相對降低冰水主機耗電量。



空調箱系統圖 AHU

圖 4 空調箱系統圖 AHU



空調箱系統圖 MAU

圖 5 空調箱系統圖 MAU

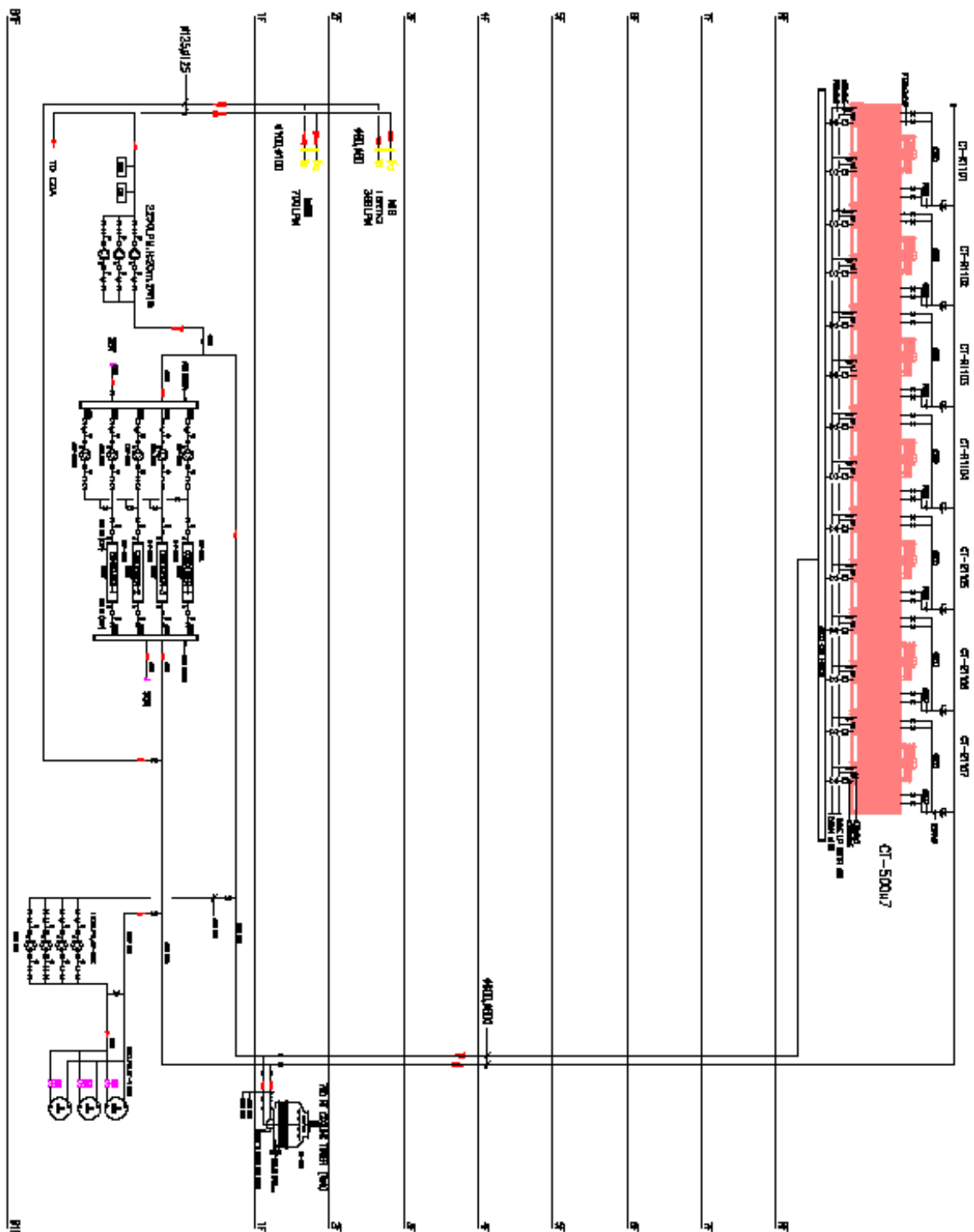


圖 6 空調冷卻水系統流程圖

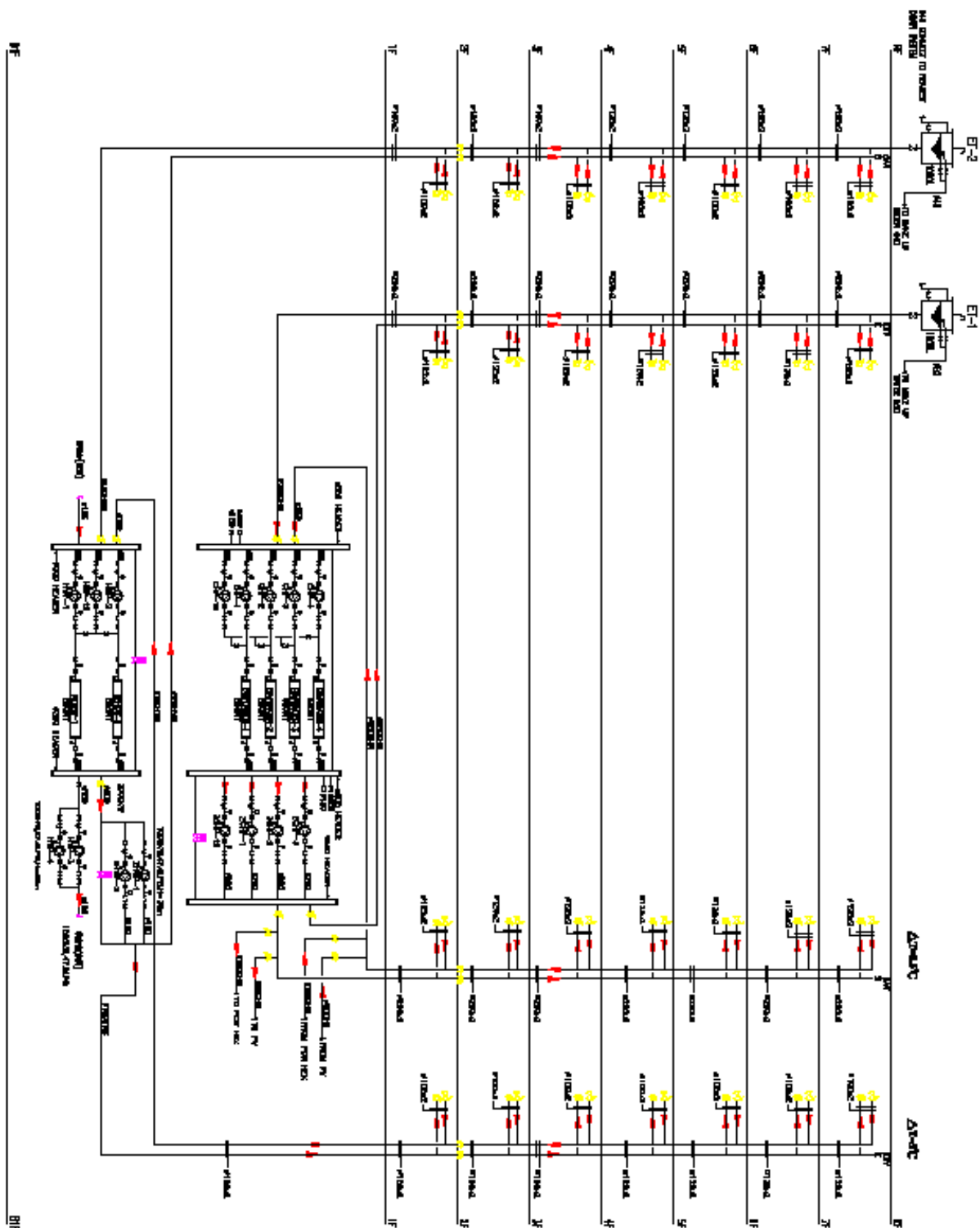


圖 7 空調冰熱水管系統流程圖

第三章 空調系統節能效益研究方法分析

空調系統節能措施之評估項目包括：空氣側系統、水側系統、散熱設備、能源回收、高效率設備的選用、應用新節能技術、天然資源應用、能源管理節省空調系統能源耗用、正當操作及保養維護、系統負荷及容量設計、空調區劃與控制、風管及水管路保溫、系統測試、系統平衡。節能重點在於系統負荷及容量設計—避免過大設計、空調主機設備效率—降低耗電、溫度控制—因應負荷變化、離峰控制—避免浪費、水側系統節能—降低泵耗電、散熱設備(如冷卻水塔)節能、送風節能—減少風機耗電、熱回收設備—排氣能源回收、風管及管路保溫—減少熱損、系統監測與記錄—能源管理、系統測試、平衡與驗收—增加系統性能、對於新設空調，空調負荷計算為正確選擇系統和設備容量之必要，避免過大設計。一般採用熱回收冰水主機的原因為熱回收冰水主機有兩組冷凝器，將冰水主機之部份散熱量回收再使用。其中可降低冷卻水塔的負荷量和耗電量和另外回收的熱能可以作為溫水負載使用，以降低電熱器進而節約電費。

3.1 地表淺層水源處理方法分析：

地表淺層水為取水最原始的方式，現階段取得的水源偏硬及多生菌，因水質偏硬在於防鏽防垢藥劑可使用較少用量；添加化學藥劑作為工廠中水處理方法是最為快速及有效方式，因開放式的冷卻水系統隨時面臨蒸發和溢散作用，於操作應用上可立即補充調整水質；加藥時機需先作原水水質及原冷卻水水質分析，計算需投藥種類及份量後，陸續觀察及收集水質分析資料，如硬度、pH 值、溶解氧、氯離子濃度、溶解固形物（或含鹽量）、懸浮物...等；首先需了解LED封裝工廠設備建置所採用之材料，如管道、閥門、水泵、熱交換器、冰水主機所用材質。再去選擇搭配合適的化學藥劑如：緩蝕劑、阻垢劑、殺生劑和分散劑，正確配成化學處理配方，後續定週期加藥控制水質，來符合需求水質之條件。

(1) 加藥系統說明如下：

- ①殺菌剝離藥劑：主要作用是抑制細菌藻類，疏緩生物粘泥。
- ②化學清洗藥劑：垢、銹與化學藥劑進行反應，成為易溶於水的狀態。
- ③化學藥劑使表面形成保護膜及清洗管道內壁，以保持金屬管壁清潔度。各種藥劑在溶於水的狀態下，緊密依附在金屬壁上，形成高分子膜。

④採用自動加藥裝置來穩定水質，LED 封裝工廠冷卻水系統管控，由膨脹水箱處以自動控制盤方式，加入化學藥劑及自動補充水系統。冷卻水泵浦循環運轉，將藥劑均勻分佈至各管路，有效控制水系統的濃縮倍數。每月定期進行水質分析。可由補排水量、天氣溫濕度、來控制水系統平衡，每月依分析結果再作細部調整。

根據結合地表淺層水源水質特點，水循環系統中，皆內含有細菌、藻類、垢、銹以及生物粘泥，但經過加藥處理後，是可穩定水系統。冷卻水系統，會定期定量排放污水量，便於控制冷卻水系統的濃縮倍數。以上去有效控制腐蝕、結垢及微生物粘泥...等危害的前提下，掌握在原廠建議冷卻水之濃縮倍數運行系統，以得到最佳化的水處理經濟效益。

冷卻水在冷卻水塔內，由上而下和空氣流動中充分混合，冷卻水中內含的溶解氧可說是不會匱乏，故冷卻水中溶解氧持續是在飽和狀態下；而冷卻水中大量的溶解氧，是造成金屬電化學腐蝕的主要原因。冷卻水塔的環境條件易形成微生物與藻類，且生物逐漸擴大繁殖在循環冷卻水管路內，並形成污泥阻塞管路與生物薄膜來阻礙熱交換，且在污泥底部也會形成氧氣濃淡電池的腐蝕反應。水垢也會阻塞管路，使得管內徑變小、液體流量減少，降低熱交換器的冷卻效率；進而也造成金屬的熱傳導不良，降低熱交換器的熱傳導效率。

3.2 水垢形成原理分析：

冷卻水中含有許多可溶性物質，其中一項碳酸氫鈣 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ，原本此物質是穩定溶解在水中，但由於管路循環受到熱量與液體濃縮比例提升影響，使得冷卻水中含的碳酸氫鈣，產生化學構造改變，形成碳酸鈣 CaCO_3 濃度提高，故形成沉澱物，附著在管壁內，化學結構改變的方程式如下：



$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ ，成份在水中溶解度是與溫度成正比，但 CaCO_3 的溶解度與水溫成反比；由於化學性質是不同於其他鹽類，水溫越高 CaCO_3 越不易溶解，故易生成固體狀態 CaCO_3 ，沉澱在金屬表面；金屬管表面溫度與循環水系統溫度落差高，水垢結晶就產生，熱傳導效率因而降低。水垢的成份，是以 CaCO_3 為主要成份，但水中內含有濃度高之硫酸鹽、矽酸鹽時，會產生硫酸鈣、矽酸鎂之水垢。

3.3 化學藥劑選用分析：

管路腐蝕結垢處理劑：包含有二種功能，抑制水垢生長與分散水垢結構。

(1) 抑制水垢生長說明：

管路腐蝕結垢處理藥劑成份為”有機聚合物”，可直接破壞水垢之結晶分子結構過程；”有機聚合物”使水垢分子結構會形成不規則形狀，導致分子結構間不易在金屬表面形成高密度緊密分子結構狀態；換言之，水垢之結晶分子結構相互間會有應力產生，結晶結構愈大，相對應力愈大，進而水垢之結晶結構，更易破裂和脫落，以達到抑制水垢的功效。

(2) 分散水垢結構說明：

管路腐蝕結垢處理藥劑成份中的有機聚合物，分子結構為低分子量的電解質，易能吸附在水垢的分子；水垢之分子結構，增加入負電荷，使之分子間同性相斥力會加大；進而水垢的分子，會在液體中維持著懸浮狀態，不易沈積。換言之，水中之沈積物是帶負電荷，增加入聚合物上的負電荷，沈積物表面的負電荷更強，達到分散水垢結構排斥、分離的作用。

(3) 腐蝕防治方面：

含銅腐蝕抑制劑，可有效抑制銅合金的腐蝕，以適當的濃度和形式存在於環境時，可以防止及減緩材料腐蝕的化學物質。用於開放式冷卻水用量很小效果顯著。

腐蝕藥劑成份說明：

- ①Sodium Polycarylate- 對泥漿具分散功能，加大它的流動性，並且中和微粒的電荷，使它不結塊且易於鬆動剝落。
- ②Phosphonate- 對鐵銹、氧化銅具清潔作用。
- ③Citric Acid- 對金屬離子有錯合作用，使它不致沈積，附著管壁上。
- ④EDTA- 對各種陽性離子作用，不易沈積，以達清潔之作用。
- ⑤Non-ionic Surfactant- 對水中污物具潤溼作用，易於讓水分子包圍，而達流動，易剝離的功能。

管路殺菌滅藻劑說明：

藥劑為殺菌滅藻的高分子化合物，內含多量負電荷，負電荷附著於水中懸浮物或管壁沉積物，使懸浮物和沉積物吸附含負電荷，同性相斥作用下，會分散懸浮物及使沉積物鬆脫管壁；懸浮物和沉積物皆轉變為微粒於管內浮動易於排出。

(4) 藥量計算說明(搭配設備規格用)：

①冰水機 500RT×4 台。

②冷卻水塔 500RT×7 座。

③空調冷卻水系統(開放冷卻水系統)。

④運轉噸數以1,000RT 為計算(冰水機夏季最大量為500RT×2 台)。

⑤保有水量(M^3) \div 80Ton (管路體積 + 水塔存水量 + 冰水機保水量)。

⑥循環水量(M^3/hr) = 500 M^3/hr 。

⑦蒸發量(M^3/day) $500 \times 1\% \times 24hr = 120$ 。

⑧預估(冬)負載蒸發量(M^3/day) $120 \times 75\% = 90$ 。

⑨預估(夏)負載蒸發量(M^3/day) $120 \times 95\% = 114$ 。

以夏季來做藥劑量估算：

①濃縮倍數：2 (1,200 $\mu s/cm$) 地下水(回收水)。

②濃縮倍數：3 (1,500 $\mu s/cm$) 地下水(回收水)。

③濃縮倍數：4 (1,800 $\mu s/cm$) 地下水(回收水)。

④排放量(M^3/day)：以濃縮倍數：3 倍，估算為38 M^3/day 。

⑤總補給水量(M^3/day)：152 (蒸發量+排放量)。

⑥總補給水量($M^3/月$)：4,560 (每天補水量×30 天)。

管路殺菌滅藻劑：

①以保有水量(M^3) \div 80Ton計算藥劑添加量。

②劑量：150ppm。

③150ppm×80Ton/1,000=12kg。

④每兩週添加12kg/次 × 2 次/月 =24kg/月。

⑤每月添加24kg/月 ×12 月/年 =288kg/年。

管路腐蝕結垢處理劑(內含銅腐蝕抑制劑)

①每天排放量，以濃縮倍數：3 倍，估算為 $38 \text{ M}^3/\text{day}$ 。

②劑量 $40\text{-ppm} \times 38 \text{ M}^3/1,000 \div 1.5\text{kg}$ 。

③ $1.5\text{kg}/\text{day} \times 30 \text{ 天}/\text{月} \div 45\text{kg}/\text{月}$ 。

④每二週手動添加 10kg ；每月2 次-共 20kg 。

⑤定量加藥機負責添加共 25kg 。

⑥ $45\text{kg}/\text{月} \times 12 \text{ 個月} = 540\text{kg}/\text{年}$ 。

(5) 冷卻水塔之水損計算：

①蒸發水量(E)

冷卻過程中，從冷卻水中蒸發逸入大氣的水蒸汽量可由下式計算：

$$E = a(C-W) \quad \text{m}^3/\text{hr}$$

上式中

E：蒸發水量 m^3/hr 。

a：蒸發損失率% ；“a” 的計算式為 $a = z(T_1 - T_2)$ 。

C：系統中循環水量 m^3/hr 。

W：排污水量 m^3/hr 。

T₁、T₂；冷卻水進水溫度 $^{\circ}\text{C}$ 、出水溫度 $^{\circ}\text{C}$ 。

z：損失係數。

②風扇損失水量(F)

冷卻水塔的空氣流動散熱方式，是藉由冷卻水塔之上方冷卻風扇轉動，將熱空氣流往上方帶動，氣流中含有水滴，會隨時空氣帶走，對於LED封裝工廠冷卻水塔，風扇水損失量F約為總循環水量的0.1%左右。

③排污水量(W)

在冷卻水循環過程中，蒸發損失會引起水濃縮倍數產生，需搭配良好水質處理成效及適當的排放污水量，以防止水質結垢或腐蝕現象發生。

$$W=E/(n-1)-F \quad \text{m}^3/\text{hr}$$

W：排污水量 m^3/hr 。

F：風扇損失水量 m^3/hr 。

n：濃縮倍數。

④滲漏損失：

循環冷卻水管道、閥件、儲水桶槽，滲漏損失的水量。

⑤開放式循環冷卻水系統的水平衡：

補充水量=蒸發水量+風吹損失水量+排污水量+滲漏損失。

3.4 空調節能方式分析：

工廠之空調系統運轉主要節能三大方向：空氣、冰水、冷卻水三大系統。工廠建置各系統完成試運轉後，主要的三大系統，隨著工廠空調總負荷(表2,表3)需求時間進行系統操作改變，常用的空調節能方式說明：改變外氣空氣流量控制、冰水流量控制、冰水溫度調控。一般空調的循環流向是從室內空調需求，再到冰水盤管冷卻作用，再到冰水主機流過蒸發器至冷凝器，再至冷卻水塔散熱；而會造成耗能的設備有進氣風扇、冰水泵浦、冷卻水泵浦、水塔風扇、管損...等。空調設計[10]一般皆採取較大的設計方式(圖8)，使得初期設置成本較高，而且系統長期需處於低負載狀態運轉，造成低效率相對運轉成本提高。未考量節能措施是一般空調設計的通病，忽略整體系統平衡及監控制點位設置不當，或設定值不妥，皆會使得設備於不當的運轉條件下作動，使得空調供應大於空調空間滿足要求，並使得各設備相對耗電。整體的分析中央系統的節能效率時，需針對各設備的耗電能力，來調查檢測分析，進而了解整體系統耗能分佈圖；再作為系統各機件合適之改善節能調整方案。

冷房負荷統計					
項目	數量	KCAL/HR	噸數	單位	比例
設備熱源		51,600	17	RT	12%
燈具	62720W	67,424	22	RT	15%
人員	100	15,000	5	RT	3%
傳導熱		25,088	8	RT	6%
外氣		259,630	86	RT	60%
安全率		15,911	5	RT	4%
TOTAL		434,653	144	RT	100%

表二空調冷房負荷統計表

空調負荷計算書

1.業主名稱：x x 電子工業股份有限公司

2.案件名稱：廠區空調負荷計算

3.業務編號：

編號	室名	面積 (坪)	高度 (M)	要求條件			設備發熱		照度 LUX	外氣量 (CMH)	總噸數 (RT)	總風量 (CMH)	換氣次數 (T/HR)	坪/RT	加熱量 (KW)	加溫量 (KG/HR)	備註
				℃	%RH	CLASS	KW	使用率									
1	6樓無塵室	678.8	6	25	55	100,000	320	25%	400	25,000	166	403,200	30	4.08	-	-	
2	5樓無塵室	678.8	6	25	55	100,000	227	25%	400	20,000	138	403,200	30	4.94	-	-	
3	4樓無塵室	678.8	6	25	55	100,000	240	25%	400	20,000	144	403,200	30	4.72	-	-	
4	3樓無塵室	678.8	6	25	55	100,000	316	25%	400	20,000	144	403,200	30	4.70	-	-	
5	2樓無塵室	678.8	6	25	55	100,000	245	25%	400	10,000	101	201,600	15	6.71	-	-	
6	1樓無塵室	678.8	6	25	55	100,000	212	25%	400	20,000	138	201,600	15	4.93	-	-	

831RT

表三空調負荷計算書

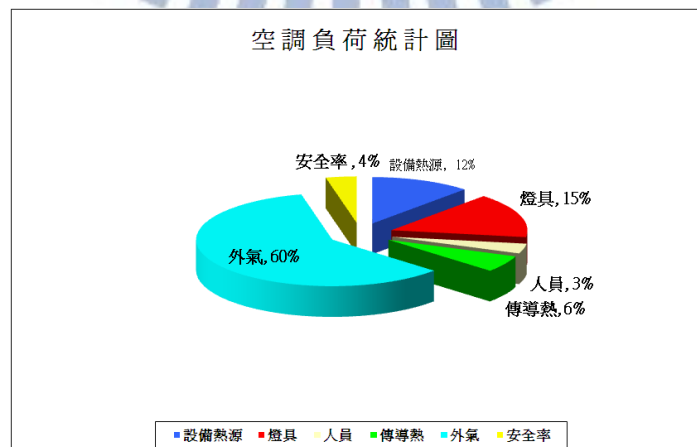


圖 8 空調負荷統計圖

3.4 空調設備說明：

空調箱大部分解有設置風機、冰水盤管、熱水盤管、空氣過濾器(初、中、高級過濾網)、加溼器、空氣混合箱、送回風及旁通風門…等。風扇過濾單元其組成元件為：箱殼、空氣過濾器、盤管箱、風門混合箱、空氣洗滌器、風車馬達所組成。空調箱之控制器的主要功能依外氣空氣及回風條件不同，來考量無塵室空調的需求大約包含有：需排放大量製程排氣、機台及人員熱量、有機污染濃度稀釋和排放、濕度控制，必須隨時補充足夠外氣，再透過熱水盤管、冰水盤管迴路之作熱交換，控制出風之露點溫度。經由風管將出風送至無塵室之回風管道或是回風層，與回風混合後，經乾盤管降溫冷卻，由風扇過濾單元送至無塵室內完成空氣循環。空調箱之控制器的主要功能依外氣空氣及回風條件不同，透過熱水盤管、冰水盤管迴路之作熱交換，控制出風之露點溫度。經由風管將出風送至無塵室之回風管道或是回風層，與回風混合後，經乾盤管降溫冷卻，由風扇過濾單元送至無塵室內完成空氣循環。

熱回收冰水主機的基本設備包含壓縮機、蒸發器、冷凝器、熱回收器、冷媒膨脹、感測控制裝置、附屬設備、控制盤。冷媒循環主要設備為壓縮機、膨脹裝置、冷凝器、蒸發器、熱回收器。壓縮機將蒸發器內低壓低溫氣態冷媒做功為高壓高溫之氣態冷媒，再送至冷凝器或熱回收器，經低溫冷卻水或低溫熱水冷卻，形成低壓中溫之液態冷媒，再由膨脹裝置使冷媒降壓膨脹為低壓中溫之液態冷媒，蒸發器吸收空調中冷卻負荷，冷媒轉為低壓低溫之氣態冷媒。

熱回收冰水主機在熱回收器吸熱產生熱水，用於LED封裝廠之無塵室空調箱，於冬季使用溫水來加溫預熱盤管及再熱盤管，水溫會加溫至32~35℃，溫水由冰水主機之冷凝器，吸收廢熱回收再利用，利用冰機熱回收系統，來提供所需的溫水溫度；依季節不同需調整供應水溫32~35℃區間，避免因廢熱回收之過量導致能源浪費。冰水主機使用熱回收器吸熱來加熱，會產生電量耗損，以10度冰機冬季加熱耗能評估，寒流期間會加熱設定至35度，一般冬季加熱設定約32~35度運轉，冬季不供應溫水時，出水溫度為28度；以加熱1℃約3~5%能源消耗計算，10度平均較夏日增加4度溫差，能源消耗增16%。冰水主機用電量=冷媒運轉消耗電量+冰機熱回收系統消耗電量。

3.2 空調運轉原理：

冷卻水塔供應低溫冷卻水，冷卻水由循環泵浦輸送至冰水主機，低溫冷卻水吸收冷媒於冷凝器散發之熱量，轉為高溫冷卻水，返回冷卻水塔冷卻動作；經由冰水一次循環泵浦來供應冰水主機之低溫冰水，冰水二次循環泵浦輸冰水，送至空調箱之冷卻負載側，低溫冰水吸收空調箱之冷卻負載之熱量，轉為高溫冰水，返回冰水主機冷卻動作；熱回收器供應高溫熱水，經由熱水二次循環泵輸送熱水至空調箱之熱負載側，高溫熱水釋出熱量於空調箱之熱負載後，轉為低溫熱水，返回熱回收器吸熱動作。

節能方案可分為空氣、冰水、冷卻水和地表水；空氣節能方式有：採用熱回收外氣空調箱、調整室內正壓值大小、降低進風量、降低室內進風溫度、轉動設備變頻、外氣空調箱冷凝水回收、回風混氣處理、外氣空調箱管控、管路洩漏檢測...等。冰水節能方式有：熱回收式冰水主機、調高冰水供水溫度、雙溫冰水主機、冰水泵浦變頻、舊冰水主機更換、最佳化管控開關機台...等。冷卻水和地表水節能方式有：水質管控優化、冷卻風扇最佳化運轉、冷凝器除垢、增設砂濾器、放流水回收再利用、熱交換器定期清潔...等。資料來源是由中央監控設備擷取資料，擷取變數有包括，冰水主機運轉各項參數、無塵室內溫濕度、外氣環境條件、空調箱運轉狀態、冷卻水塔運轉狀況...等，善用中央監控系統來分析節能方法，設定各項變數，進行上下限管制，並於偵測異常狀況時警報，若有警報產生，將探討原因及改變設定值。無塵室溫濕度的掌控上，會落在露點溫度的設定值，由空調箱內之冰水進行除濕動作後，再將處理過的空氣吹入無塵室內。透過有效中央監測無塵室內露點溫度，若發生異常狀況時，能即時警報與診斷失效原因、廠務人員可透過關閉熱回收冰水主機後，來管控MAU出風露點溫度之設定值，分析對無塵室濕度之影響性、實際運轉記錄空調箱之出風露點溫度，分析設定值與相對濕度關係，協助廠務人員，依季節不同，設定露點溫度值。

LED 封裝廠之製程設備耗電量約佔總耗電量之 40%，而其中大部份均轉為潔淨室內空調熱負載，其空調特性為使用乾盤管冷卻，而乾盤管水溫通常設計在 13~20 °C 之間，也因此傳統冰水溫度 6°C 供應需再昇溫，熱水管於前後冷卻除濕盤管之間作熱交換，將其空氣昇溫，第二道冷卻除濕盤管下游之低溫空氣再調整溫度，總空氣負荷為冷卻除濕負荷與再熱負荷，為浪費能源的作法。一般為規

劃設計依設備需求規劃雙冰水溫度分別供應 MAU & 乾盤管，對於冰水主機可提高效率，減少主機耗電量，達到節能目的。需配合一般排氣，外氣空調箱冷卻除濕盤管之負荷，降低冰水主機耗電量。LED 封裝工廠現是採用熱回收外氣空調箱、熱回收式冰水主機、水質管控優化、冷卻水塔風扇最佳化運轉(圖 9)、最佳化管控開關機台為現階段規劃方向。評估工廠內熱負荷和廠區環境及設備狀態後，進行關閉熱回收冰水主機系統，來去除製造熱水後所耗用的電力如：空調箱為達到設定溫度而進行熱交換所造成的電力耗損、熱回收冰水主機運轉時，部份耗能是由製造熱水的電力損耗、熱回收相關輔助泵浦之電力損耗；已在不影響產線生產條件，進行相關系統關閉，經以下驗證在無塵室管控上是可達到應有的需求。

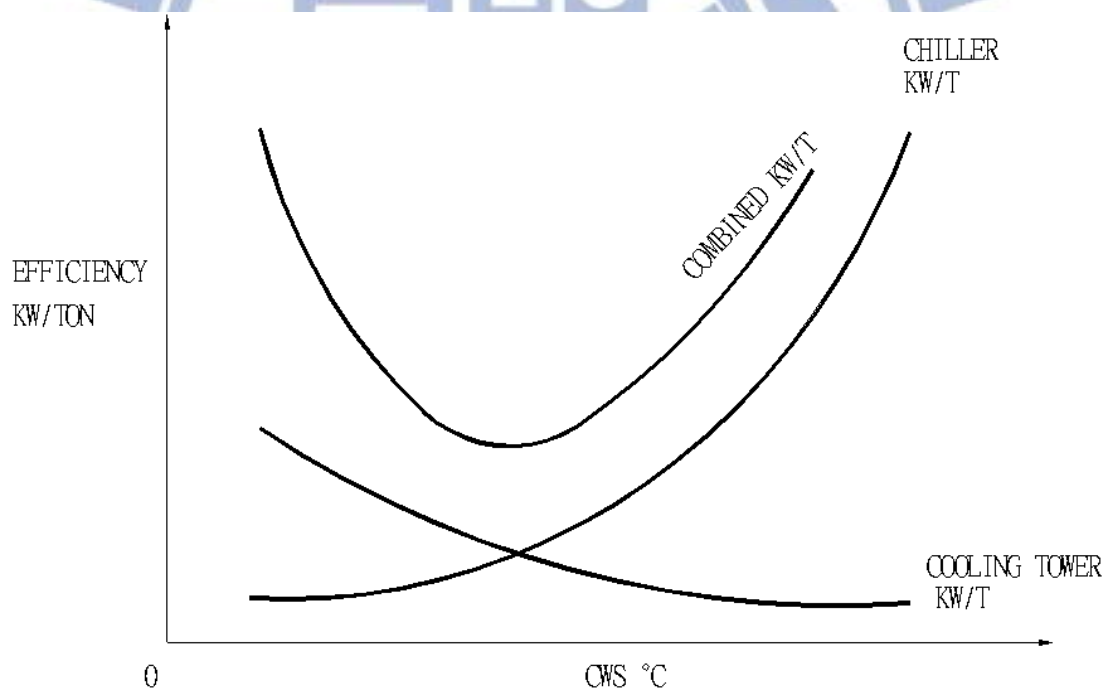


圖 9 冰水主機及冷卻水塔最佳性能曲線圖

第四章 實驗設置與測試系統

將低層溫能之水質適當的應用在空調冷卻水系統需進行長期水質管控，利用定期化學藥劑加入、穩定水質濃度比，定期排放水、定期送第三單位檢測水質、將水質管控在合理濃縮範圍內。

冷卻水質要求標準：

1. 電導度(Conductivity Total dissolved solids)

Conductivity：1,200~10,500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

工業冷卻水其水中各種溶解固體必須在1,500 PPM 以下，以電導率測知，總體固體含量。

2. pH 值 (pH Value)

pH Value：7.5~9.5。

工業冷卻水中pH 值是一項重要指標，過酸的水質與過於鹼性的水質都會呈現不同的問題，例如pH 值過低會導致設備、管件腐蝕，pH 值過高容易產生結垢。

3. 鹼度(Alkalinity)

M-Alkalinity (ppm)：<350

如果以節能為考量，所使用冷卻水的氫氧離子及碳酸鹽類總成可以維持在200 ppm 以下，將可以有效控制冷卻水系統結垢狀況。

4. 硬度(Hardness)

Total hardness (ppm)：<550

鈣、鎂等離子是冰水主機結垢的主要元素，觀察及了解冷卻水中鈣、鎂鹽類的變化是進行工業冷卻水處理的重要環節。

5. 矽化物(silica)

silica (ppm)：<100

二氧化矽體積結構小，溶解度低經過熱交換後，成為結構緊實的水垢，清洗起來十分難以清除及判斷。

6. 其他水質要求：

Total Iron as Fe ppm (全鐵)	<0.50
Copper as Cu, ppm (銅離子)	< 0.30
MB. Count 總菌數 cfu/ml	20×10 ⁴
每年委託 SGS，檢驗退伍軍人細菌	不得檢出(陰性)
濃縮倍數(倍)	5~7
每 3 個月委託 SGS，檢驗銅鐵金屬離子	銅離子<0.30，全 鐵<0.50
LSI 碳酸鈣飽和指數	+0.50~ +2.50

7. 實際水質管控後，皆在管理上下限內：

(1) 水質管控 pH 值，控管的成效如圖 10，CW 曲線為記錄每月採水 pH 值檢測的結果，實際檢測後之數值如圖所示；由 CW 曲線 pH 值記錄得知，在水質 pH 值管控初期是超過上限值，但經過化學藥劑加入水質管控調整後，CW 曲線 pH 值後續管控在合理的水質範圍內。

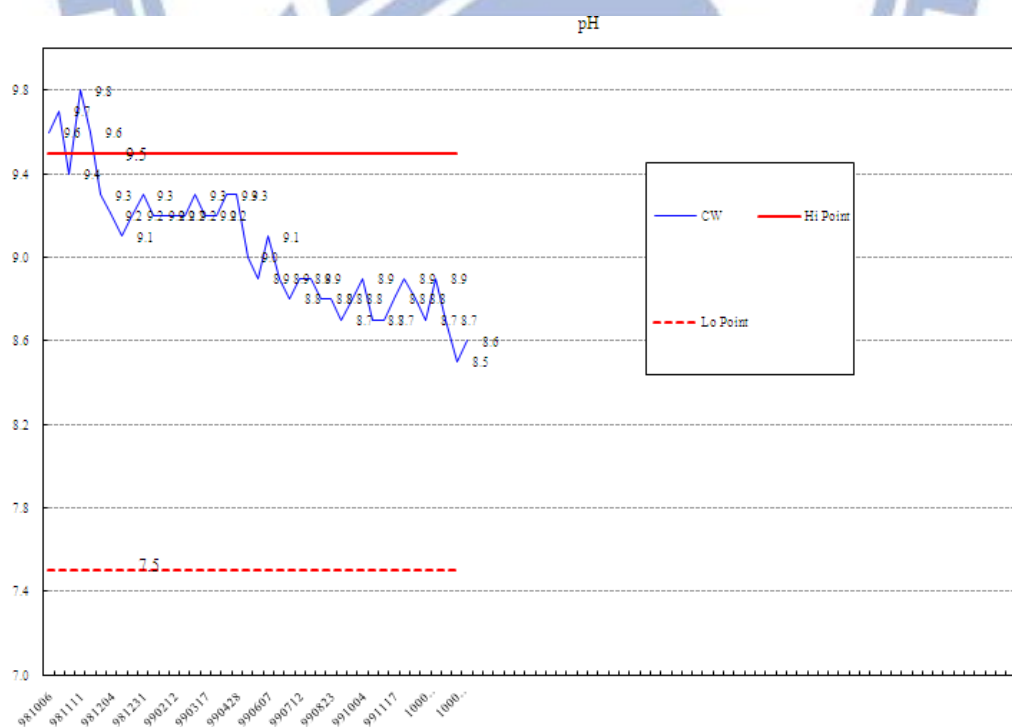


圖 10 水質管控 pH 值圖

(2) 水質管控鹼性度，控管的成效如圖 11，CW 曲線為記錄每月採水鹼性度檢測的結果，實際鹼性度檢測後之數值如圖所示；由 CW 曲線鹼性度記錄得知，在水質管控鹼性度初期是數值不穩定，造成水質無法管理妥當，但經過化學藥劑加入水質管控調整後，CW 曲線鹼性度後續管控在合理的水質範圍內。

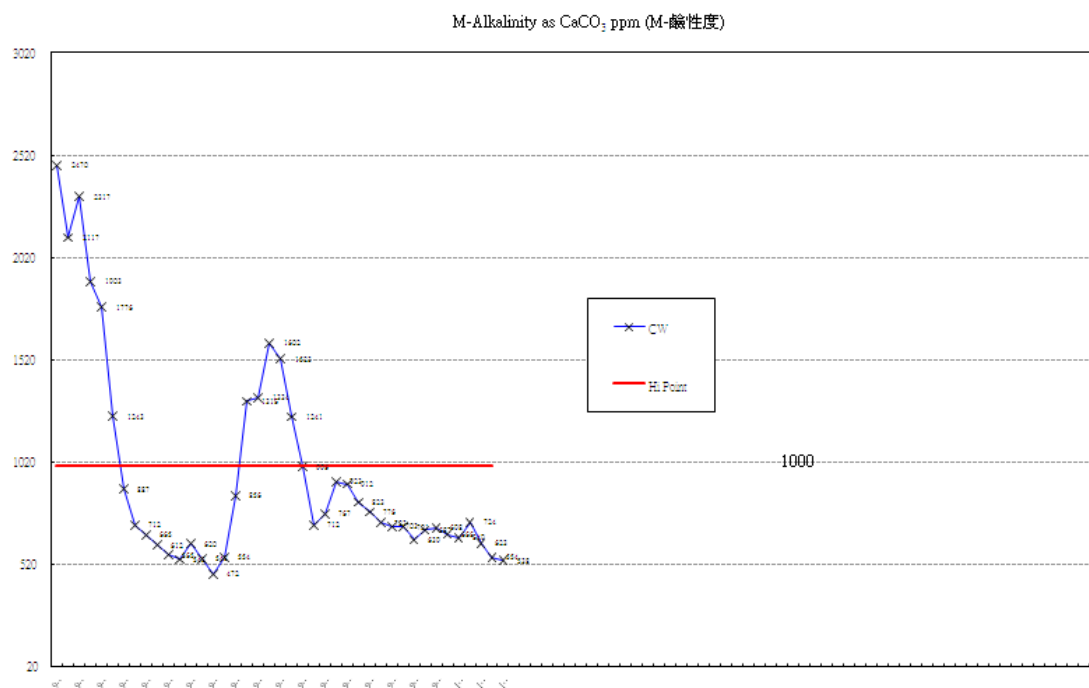


圖 11 水質管控鹼性度圖

(3) 水質管控總硬度，控管的成效如圖 12，CW 曲線為記錄每月採水檢測總硬度的結果，實際總硬度檢測後之數值如圖所示；由 CW 曲線總硬度記錄得知，在水質管控初期總硬度之數值變化大，但經過化學藥劑加入水質管控調整後，CW 曲線總硬度後續平穩管控在合理的水質範圍內。

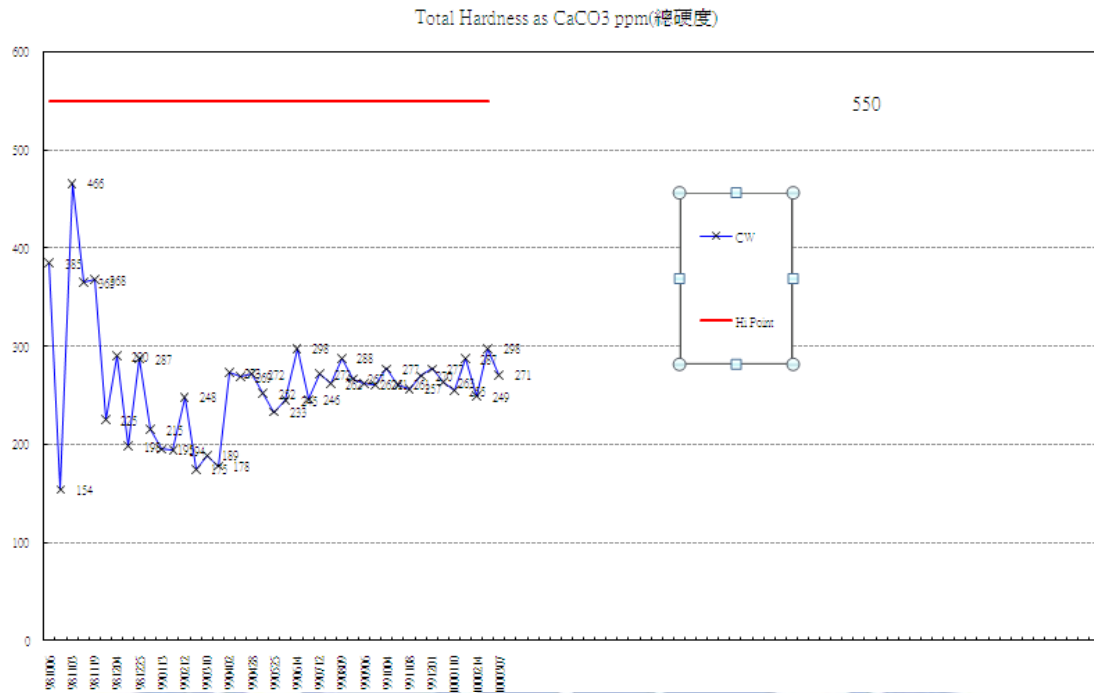


圖 12 水質管控總硬度圖

(4) 水質管控全鐵，控管的成效如圖 13，CW 曲線為記錄每月採水檢測全鐵的結果，實際全鐵檢測後之數值如圖所示；由 CW 曲線全鐵記錄得知，在水質管控初期全鐵之數值很大，代表內管壁腐蝕惡化嚴重，但經過化學藥劑加入水質管控調整後，CW 曲線全鐵後續平穩管控在合理的水質範圍內。



圖 13 水質管控全鐵圖

(5) 水質管控銅離子，控管的成效如圖 14，CW 曲線為記錄每月採水檢測銅離子的結果，實際銅離子檢測後之數值如圖所示；由 CW 曲線銅離子記錄得知，在水質管控初期銅離子之數值很大，代表內管壁腐蝕惡化嚴重，但經過化學藥劑加入水質管控調整後，CW 曲線銅離子後續平穩管控在合理的水質範圍內。

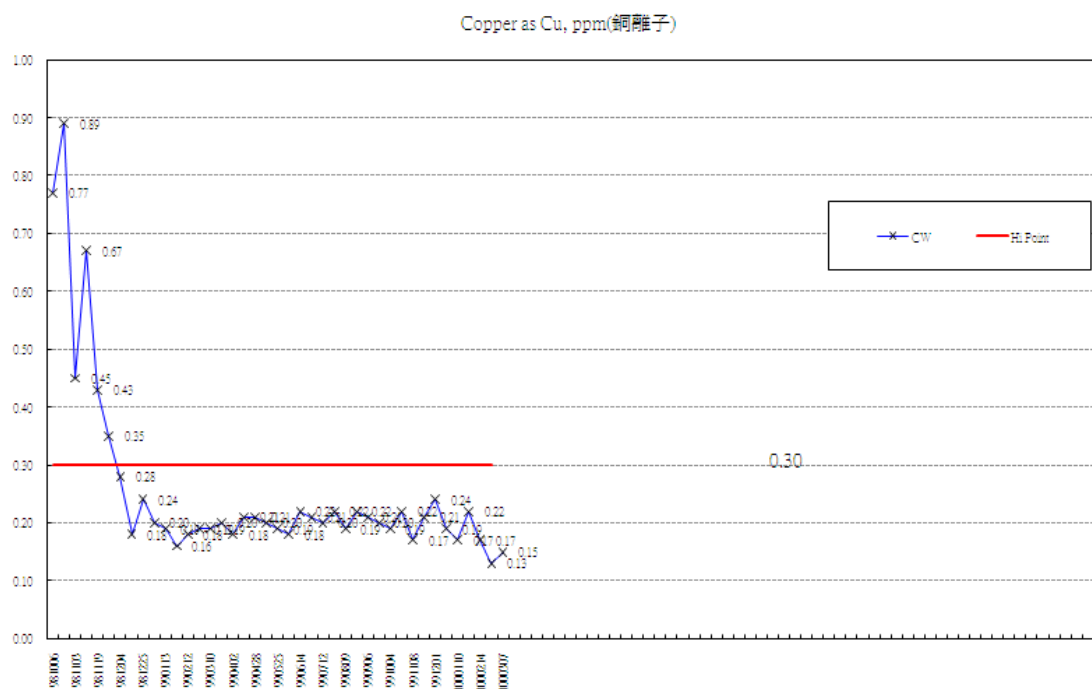


圖 14 水質管控銅離子圖

(6) 水質管控導電度，控管的成效如圖 15，CW 曲線為記錄每月採水檢測導電度的結果，實際導電度檢測後之數值如圖所示；由 CW 曲線導電度記錄得知，在水質管控初期導電度之數值很大，過程在導電度管控中，期間有調整冷卻排水量和化學加藥劑量，故曲線較為浮動，但持續化學藥劑加入水質管控調整後，CW 曲線導電度後續平穩管控在合理的水質範圍內。

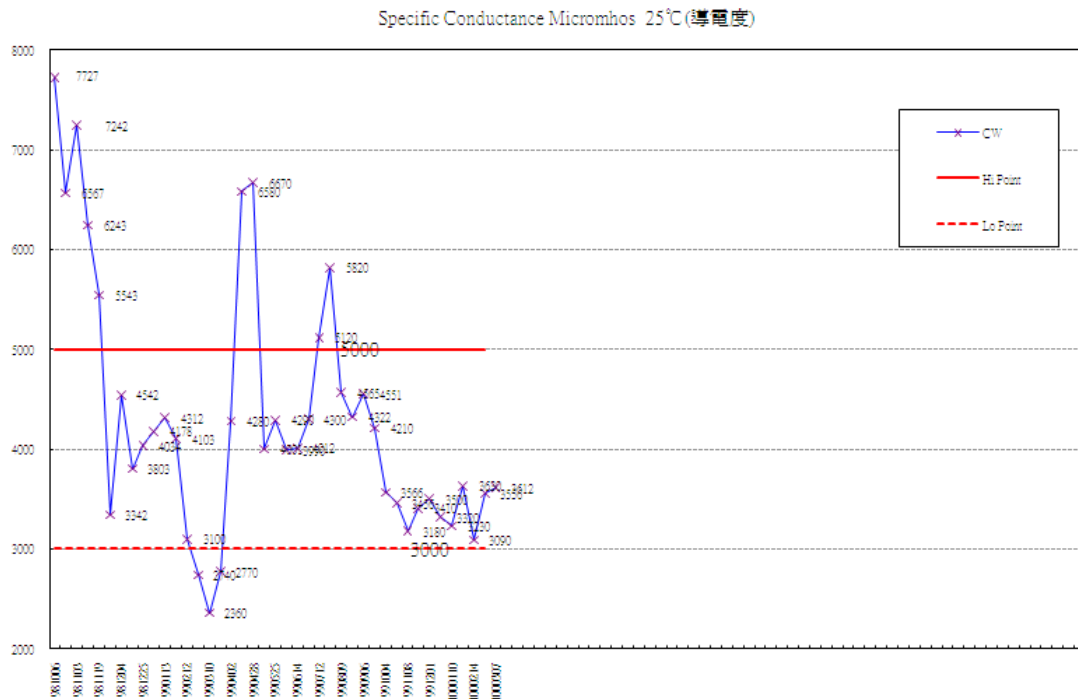


圖 15 水質管控導電度圖

(7) 水質管控碳酸鈣飽和指數，控管的成效如圖 16，CW 曲線為記錄每月採水檢測碳酸鈣飽和指數的結果，實際碳酸鈣飽和指數檢測後之數值如圖所示；由 CW 曲線碳酸鈣飽和指數記錄得知，在水質管控初期碳酸鈣飽和指數之數值大，過程在碳酸鈣飽和指數管控中，期間有調整冷卻排水量和化學加藥劑量，故曲線較為浮動，但持續化學藥劑加入水質管控調整後，CW 曲線碳酸鈣飽和指數後續平穩管控在合理的水質範圍內。

The graph displays three data series over time from 1980 to 2000. The CW series (blue line with 'x' markers) shows a general downward trend with significant fluctuations. The Hi Point (solid red line) is constant at 2.50, and the Lo Point (dashed red line) is constant at 0.50.

Year	CW	Hi Point	Lo Point
1980	3.54	2.50	0.50
1981	3.23	2.50	0.50
1982	2.89	2.50	0.50
1983	2.44	2.50	0.50
1984	2.25	2.50	0.50
1985	2.18	2.50	0.50
1986	2.25	2.50	0.50
1987	2.22	2.50	0.50
1988	2.41	2.50	0.50
1989	2.11	2.50	0.50
1990	2.22	2.50	0.50
1991	2.10	2.50	0.50
1992	2.25	2.50	0.50
1993	2.25	2.50	0.50
1994	2.25	2.50	0.50
1995	2.25	2.50	0.50
1996	2.25	2.50	0.50
1997	2.25	2.50	0.50
1998	2.25	2.50	0.50
1999	1.82	2.50	0.50
2000	2.01	2.50	0.50

(7) 冷卻水水質管控，控管的成效如表四，各項數值指標皆於管控範圍內，進而有益於冰水主機之熱交換運轉效率提昇。

表四 冷卻水水質管控總表

(8) 冰水水質管控，控管的成效如表五，冰水管內因屬密閉空間，故各項水質數值指標，較容易合理管控在範圍內，進而有助益於冰水主機之熱交換運轉效率。

某電子廠				
密閉冰水CHW系統 / 每月採樣一次				
	8.0~9.5	<150	<1.00	<1000
日期	pH	Total Hardness as CaCO ₃ 總硬度ppm	Total Iron as Fe 全鐵 ppm	Specific Conductance Micromhos 25°C(導電度)
990513	9.0	91	0.08	354
990607	9.1	87	0.07	342
990712	9.0	92	0.08	357
990809	9.0	89	0.09	334
990906	9.0	88	0.07	351
991004	8.9	85	0.08	365
991108	8.8	90	0.07	353
991201	8.8	83	0.09	363
1000110	8.9	87	0.08	367

表五 冰水水質管控總表

廠務設備之調控：

1. 關閉熱回收冰水主機(圖 17)及相關附屬設備。
2. 依季節調整出水溫度，夏季冰水主機出水溫度設定為 6°C，冬季調高冰水出水溫度至 8°C。
3. 原設定溫度為 23°C±3、相對濕度為 50%±10，若超過基礎設定值便需加開啟熱回收冰水主機，以符合需求。
4. 記錄空調系統管控狀況及耗能計算。
5. 實際套用在冰水主機上(含熱回收主機)，以了解目前針對冰水主機效能表現(表六)。
6. 進一步了解掌控淺層水源，對於冰水主機效能的影響。

7. 進而專責人員在管控臺台以上冰水主機的起動順序可考量效能搭配。
8. 計算改變操控方式後，整體空調系統總節能比例及實際省下的運轉成本。
9. 長期記錄空調系統各項數據再深入分析，推估出最佳操作方式。

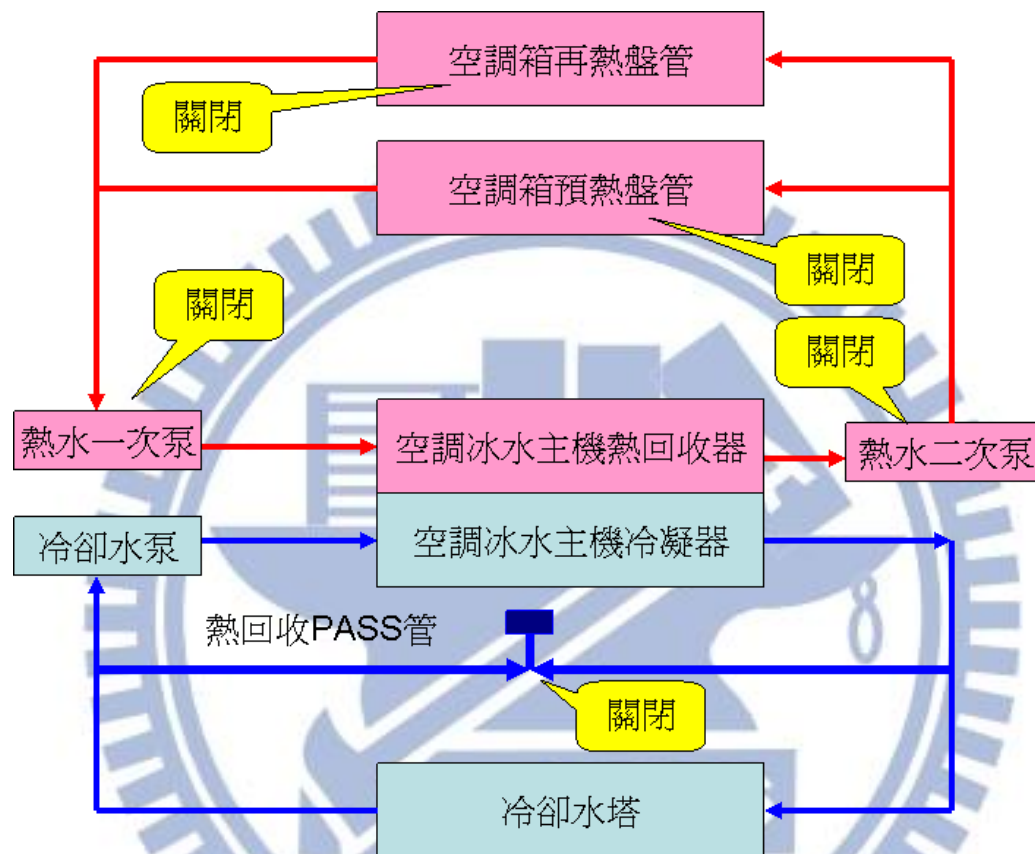


圖 17 熱回收冰水系統關閉示意圖

A	B	C	D	E	F
狀 況	相 關 設 備	優 點	缺 點	比 較	建 議
空調熱回收系統開啓	1.空調冰水主機熱回收器。 2.熱水一次泵。 3.熱水二次泵。 4.空調箱預熱盤管。 5.空調箱再熱盤管。	1.廠房有較穩定的空調，可穩定控制溫度於 $22^{\circ}\text{C}\pm 2$ 、相對濕度 $55\%\pm 5$ 。 2.溫濕變動範圍小。	1.需開啓相關設備，維護保養費用發生。 2.較耗能，相關設備用電費發生。	1.溫濕度穩定。 2.費用高。	1.當廠商稽核時需呈現穩定的無塵室空調條件時開啓熱回收系統
空調熱回收系統關閉	1.空調冰水主機熱回收器。 2.熱水一次泵。 3.熱水二次泵。 4.空調箱預熱盤管。 5.空調箱再熱盤管。	1.省電。 2.關閉相關設備，降低維護保養費用。	1.溫濕度變化較大，隨室外溫濕度條件變化，控制不易。 2.控制範圍，溫度於 $22^{\circ}\text{C}\pm 4$ 、相對濕度 $50\%\pm 10$ 。 3.超過第2點控制範圍，就須手動將熱回收系統投入。	1.溫濕度隨室外溫濕度及室內負載變化浮動。 2.費用低。	1.因公司產品容許的溫濕度條件較大，可關閉熱回收系統，節省電費。 2.當冬季氣候乾燥使室內濕度小於40%時才手動開啓熱回收系統。

表六 熱回收冰水系統關閉比較表

本研究記錄空調系統管控狀況及耗能計算，以設備原廠資料為依據及未改善前巡檢記錄，作為計算節能量測，各項基準指標。參照 ASHRAE GUIDELINE 14-2002 的方式計算出以下的公式[3][4]：

$$\frac{1}{COP} = -1 + \frac{T_{cwrt}}{T_{chwst}} + \frac{-54.291 + 2.9292 \cdot T_{cwrt} - 233.33 \cdot \left(\frac{T_{cwrt}}{T_{chwst}} \right)}{Q_{evap}}$$

T_{cwrt} ：冷卻水進水溫度；

T_{chwst} ：冰水出水溫度；

Q_{evap} ：總冷凍能力；

COP ：Coefficient of performance；

$$Q_{evap} = \frac{V_{chw} \cdot (T_{chwrt} - T_{chwst}) \cdot \rho_w \cdot C_{pw}}{60\text{sec}}$$

V_{chw} ：冰水流量(LPM)；

T_{chwrt} ：冰水回水溫度($^{\circ}\text{C}$)；

ρ_w ：水的密度=1kg/L；

C_{pw} ：水的比熱=4.186kJ/kg-°C；

$$COP = \frac{Q_{evap}}{P_{chiller}}$$

$P_{chiller}$ ：總用電量

將上述公式計算結果實際套用在冰水主機上(含熱回收主機)，以了解目前針對冰水主機效能表現。進一步了解掌控淺層水源，對於冰水主機效能的影響。進而專責人員在管控臺台以上冰水主機的起動順序可考量效能搭配。計算改變操控方式後，整體空調系統總節能比例及實際省下的運轉成本。長期記錄空調系統各項係數再深入分析，推估出最佳操作方式，計算冰水主機效能相對提昇 COP 節省費用。

地表淺層水源用於空調系統最主要為節省自來水的費用，依 LED 封裝廠，夏季每日耗水量約 120 度、非夏季每日耗水量約 60 度(冷卻水塔用水)，一度水 12 元，每年預估節省約\$ 350,640 元。水質管控每年花費約 20 萬元，管控皆在符合用水需求後，進而考量空調系統整體管控。

實際運轉由空調系統改變操作方式，依無塵室內溫濕度需求，不開啟熱回收冰水主機、關閉冰水主機熱回收 PASS 管路、關閉熱回收一次泵浦及二次泵浦、關閉空調箱預熱盤管和再熱盤管、冬季調高冰水出水溫度至 8°C(原出水 6°C)。若以關閉運轉設備計算效益成果呈現。

1. 熱水一次泵浦關閉：每年電費=18(kw)×24(hr)×365(日)×2.5(元)= 394,200 元。
2. 熱水二次泵浦關閉(全載 45kw 變頻後耗能 19kw)：每年電費
=19(kw)×24(hr)×365(日)×2.5(元)=416,100 元。
3. MAU3~6 空調箱熱水盤管關閉：每年電費 =
38(kw)×24(hr)×365(日)×2.5(元)= 832,200 元。
4. 總節省電費 = 394,200 + 416,100 + 832,200 = 1,642,500 元。

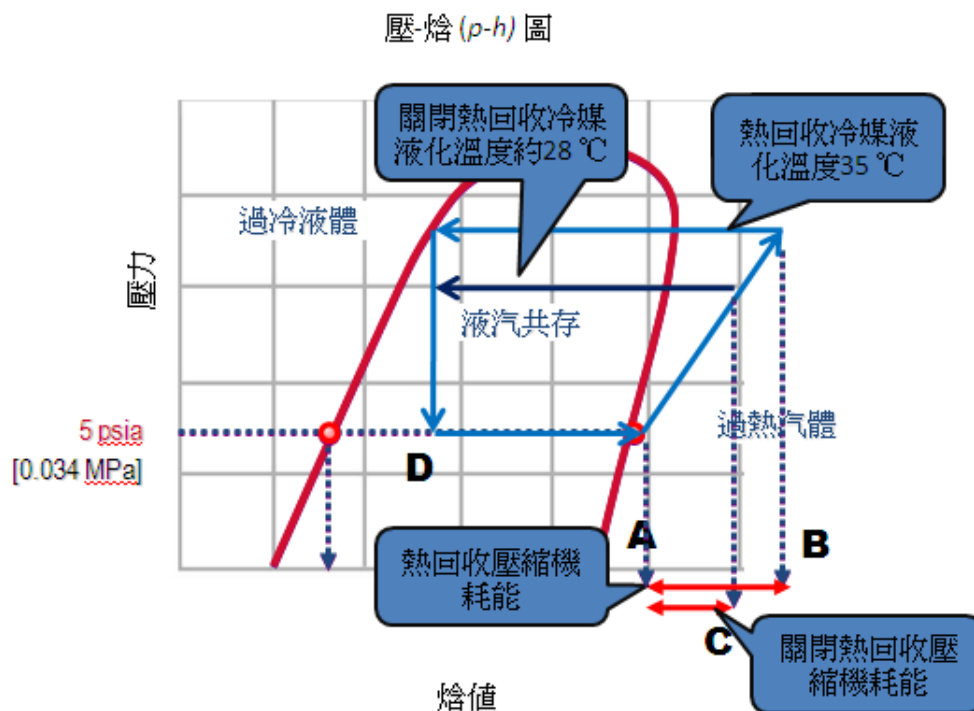


圖 18 卡諾循環圖

圖 18 為冷媒壓縮、冷凝、膨脹、蒸發之卡諾循環圖，當使用熱回收冰水主機系統運轉時，冷凝器會保持數值在 35°C，壓縮機作功區間為 AB 段。當關閉熱回收冰水主機系統時，冷凝器會隨著冷卻水溫作變化，冷卻水溫取一平均值約 28°C，則壓縮機作功區間為 AC 段，故 CB 段為節省電能區間。熱回收冰水主機系統開啟時， $COP = DA/AB$ 為計算方式。熱回收冰水主機系統關閉時， $COP = DA/AC$ 為計算方式。由圖 1 可知道，關閉熱回收冰水主機 COP 相對提升。CB 段區間為熱回收冰水主機，提供熱水給空調箱熱盤管，作為再熱用途，CB 段號能等於空調箱熱管排能力，查表得知此段能力為 19KW，因此每年節省費用為 $19kw \times 24hr \times 365 \text{ 天} \times 2.5 \text{ 元/度} = 416,100 \text{ 元}$ 。

在冷盤管效益計算上，評估的節省電能的 CB 區間段。冰水主機熱回收熱水，是提供給空調箱預熱盤管和再熱盤管及宿舍熱水使用，故 CB 段是為預熱盤管、再熱盤管、宿舍熱水之總耗能力，因預熱盤管是伴隨著加濕器作動，而加濕器作動取決於環境外氣條件決定；而夏季加濕器經常性的停止運作，故 CB 區間段之預熱盤管效益較難評估；故以合理計算工廠熱損耗減去實際冷凍噸耗能方式(表

七)，來計算預熱盤管效益，列入樓層空調箱省電計算。運轉成效呈現為 2011/1~9 月總用電度數與去年用電度數降低 8.5%(圖 19)，實質降低產品生產成本，讓公司更有市場競爭力，成果有目共睹。

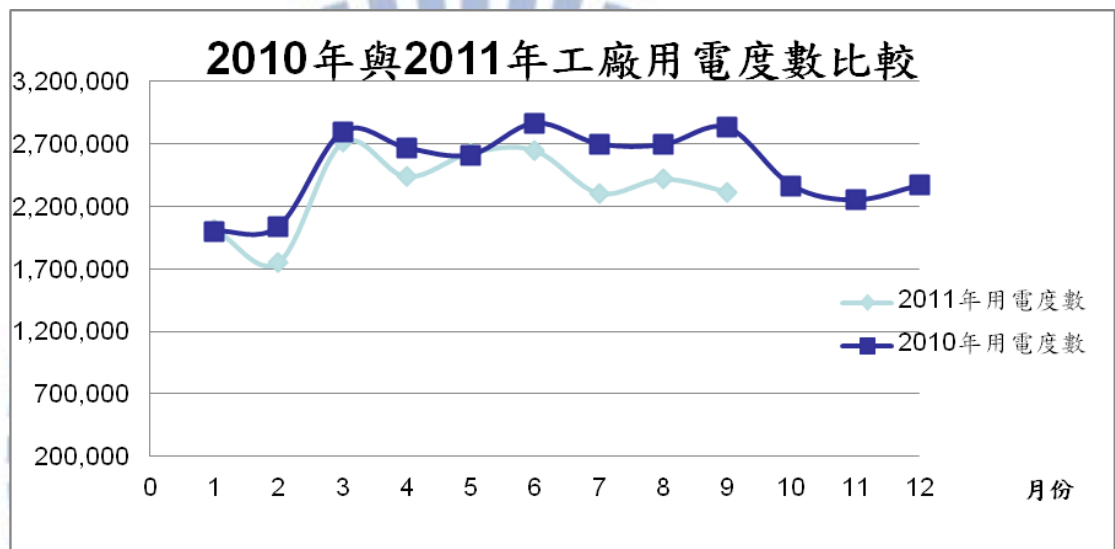


圖 19 工廠用電度數比較圖

時間	A 區冰水 流量	A 區回水 溫度	A 區出水 溫度	A 區冷凍噸(RT)	B 區冰水 流量	B 區回水 溫度	B 區出水 溫度	B 區冷凍噸(RT)	總冷凍噸(RT)	廠內總冷 凍噸(RT)	節省電能(KW)	節省電費(元)
2011/1/1	-68.78	13.43	8.19	-7.15	1025.69	9.29	8.06	25.03	17.88	460	309.48	18569.01
2011/1/2	-56.54	13.95	8.22	-6.43	1463.17	9.68	8.1	45.87	39.44	460	294.39	17663.47
2011/1/3	361.48	14.81	8.27	46.91	2290.42	10.95	8.18	125.88	172.79	460	201.05	12062.88
2011/1/4	1831.2	16.08	11.19	177.67	5011.79	12.97	11.1	185.95	363.62	460	67.46	4047.82
2011/1/5	4570.24	17.26	14.68	233.95	7050.63	15.98	14.66	184.66	418.61	460	28.97	1738.29
2011/1/6	2896.45	14.2	9.91	246.54	4997.84	11.99	9.86	211.22	457.76	460	1.57	94.03
2011/1/7	1793.73	13.2	8.09	181.86	1702.93	12.6	8.04	154.07	335.94	460	86.84	5210.57
2011/1/8	1282.58	12.27	8.14	105.10	2456.16	11.24	8.09	153.51	258.61	460	140.97	8458.37
2011/1/9	1391.54	12.47	8.02	122.86	2120.4	11.38	7.97	143.46	266.33	460	135.57	8134.24
2011/1/10	1320.76	15.11	8.21	180.82	2212.82	12	8.15	169.03	349.85	460	77.10	4626.17
2011/1/11	990.54	16.65	8.18	166.47	2306.96	12.04	8.12	179.43	345.90	460	79.87	4792.37
2011/1/12	943.08	16.68	8.07	161.11	1367.6	12.97	8	134.86	295.97	460	114.82	6889.26
2011/1/13	1378.82	15.91	8.64	198.89	3432.21	11.82	8.6	219.28	418.17	460	29.28	1756.89
2011/1/14	1832.36	15.45	9.33	222.50	4716.59	11.77	9.29	232.09	454.59	460	3.79	227.34
2011/1/15	1121.08	16.4	8.32	179.73	3354.05	11.42	8.26	210.29	390.02	460	48.98	2939.06
2011/1/16	698.56	16.72	8.11	119.34	564.59	14.3	8.05	70.01	189.35	460	189.45	11367.26
2011/1/17	850.45	16.63	8.03	145.12	1341.54	13.07	7.98	135.48	280.60	460	125.58	7534.74
2011/1/18	1159.57	16.28	8.27	184.29	3034.81	11.77	8.23	213.16	397.45	460	43.79	2627.18
2011/1/19	1833.21	15.6	9.54	220.42	4609.1	11.96	9.49	225.88	446.30	460	9.59	575.23
2011/1/20	1907.27	15.61	9.71	223.27	4662.21	12.17	9.69	229.41	452.68	460	5.12	307.36
2011/1/21	1473.91	15.63	8.72	202.08	4964.2	10.88	8.67	217.68	419.75	460	28.17	1690.33
2011/1/22	1237.14	16.23	8.63	186.55	5090.96	10.59	8.59	202.02	388.58	460	50.00	2999.85
2011/1/23	1218.33	16.02	8.56	180.33	5141.44	10.5	8.51	203.01	383.34	460	53.66	3219.83
2011/1/24	989.01	16.96	8.47	166.60	5119.93	10.29	8.45	186.92	353.52	460	74.54	4472.19
2011/1/25	1208.51	16.38	8.67	184.87	4902.23	10.63	8.61	196.48	381.35	460	55.05	3303.24
2011/1/26	1424.88	15.88	8.87	198.18	5025.08	11.02	8.83	218.35	416.53	460	30.43	1825.56
2011/1/27	1585.37	15.72	9.13	207.29	4884.09	11.44	9.08	228.70	435.99	460	16.80	1008.30
2011/1/28	1416.6	15.73	8.74	196.47	4997.5	10.88	8.69	217.15	413.62	460	32.46	1947.87
2011/1/29	831.18	17	8.36	142.49	4371.1	10.09	8.29	156.11	298.60	460	112.98	6778.85
2011/1/30	721.19	16.86	7.97	127.21	2012.27	10.85	7.93	116.58	243.79	460	151.34	9080.66
2011/1/31	641.01	16.89	8.03	112.69	1324.14	11.15	7.98	83.28	195.97	460	184.82	11089.27

表七 冷凍噸計算節約電費表

第五章 結論

LED 之封裝產品技術和生產與製造環境，隨著其產品封裝精密技術及發光亮度迅速提昇，相對於廠務專業需求也增大，要同步提升廠務能力的水準。如何穩定維持良好的生產環境，是廠務部門責任及義務，也是公司持續改善的目標。

本研究之目的，主要為 LED 封裝廠空調系統節能效益模擬方法與驗證。經由實驗結果得知，以地表淺層水源及由空調系統操作改變以不開啟熱回收冰水主機，兩方面進行節能操作方式，節能成果優異；在核算每年可節省總電費 = 關閉運轉設備計算效益 1,642,500 元 + 節約空調箱熱管排能力 416,100 元 = 2,058,600 元，後續廠內維持操作模式及記錄相關資訊，進行節能工作。換言之，再利用中央監控系統歷史資料庫，蒐集運轉紀錄，進行參數分析；以求取最佳參數值；並採用冰水主機之運轉性能指標，再套用驗證最佳參數值。現階段進行的成效，以去年為例：夏季冰水主機運轉兩台，負載率高達 85~98%，反觀今年夏季，改變控管條件：在以不開啟熱回收冰水主機狀況、產線需求相同、環境條件相同下，同樣開啟兩台冰水主機，然而負載率下降至 65~80%，節省效益便立即呈現；一般離心式冰水主機最佳運轉效率條件在 45~88% 負載時，螺絲式冰水主機則在 75~100% 為最佳；在多台主機運轉時，總負載可以藉由適當的台數控制，以維持冰水主機在最佳運轉效率狀態。使冰水主機運轉於最佳狀況，去適時的調整各項參數設定，以達到節能效益的改善分析所得結果，值得作為廠務工程師未來節能改善之方法依據。

此種操控模式已套用於其他廠別，會再依各廠環境的不同和設備差異，需評估各廠空調系統狀況，讓廠務人員能適時的改變空調操作內容，將廠務人員之專業知識和經驗結合起來，予以撰寫作業指導書，以達到經驗技術知識累積與傳承的成果，並持續進行公司節能改善的目標。

參考文獻

1. 郭儀煒、黃孟楝「工業冷卻水塔節水設計之研究」，國立台北科技大學，2010年11月。
2. 經濟部工業局，「工業用水效率提升及回收再利用技術手冊」，2003年12月。
3. ASHRAE Guideline 14「Measurement of Energy and Demand Savings」，2002年。
4. 柯明村、林建志、陳佳鴻“應用於冰水主機性能驗證模式適用性之研究”，國立台北科技大學，研討會論文，2007。
5. 楊景超”12吋晶圓廠冰水系統節能實務”，國立交通大學，2006, Jan。
6. 張永宗“冰水主機節能調度”，“冷凍與空調雜誌”，2002, Oct。
7. 蔡尤溪“節能之運轉與管理”，國立台北科技大學，2009。
8. 節約能源技術手冊，經濟部能源局，2008年12月。
9. 節約能源技術服務成果發表會技術專輯，經濟部能源委員會，2009年12月。
10. 王洪鎧”冷凍空調工程”，大中國圖書公司，台北，民國九十二年。

自傳

家庭背景

學生於民國 62 年出生於台灣省台南縣，因父親為人民的保姆——警察，隨父親職務的調動，定居於台中。家中為小康家庭，母親為家管兼修改衣服；姊姊目前於華航任職空服員，小弟於電腦系統整合公司上班。父母一直非常辛勤、踏實的工作，這也影響我的性格，一但決心要做的事，必會用心耕耘，朝目標努力。

求學

從小學就喜歡遙控車，因而藉由書本中了解，電動遙控車為蓄電池供給電力給直流馬達，藉由齒輪帶動輸出動力，並利用伺服器來控制方向及速度；所以引發想深入了解其中的技術和原理的興趣，於就讀明新工專時，選擇電機科，學習電機理論及應用，畢業時，以所學完成自行組裝的音響作品，對我的學習是極大的肯定與鼓勵，一門能把理論與生活結合的學問，更堅定我繼續學習的決心。並於改制後之明新科技大學繼續完成二技學業。

領導與合作

當兵時，於外島金門砲兵營中擔任下士砲長一職，學習領導統御，領導砲班組員時，利用適度分配組員權力義務，成效良好，除了了解“領導”的意義，是負責及遠見之外，亦得到來自各地朋友共處的寶貴經驗；並於空閒時，研讀廣泛大量的書籍，探索日後的生涯走向。目前對於工作業務內，對配合廠商亦必須克盡管理督導之責，在每一階段累積有效經驗，厚實日後擔當進階職務能力。

工作、自我成長、國際觀

自退伍後一直在相關行業中學習，；目前服務於 LED 封裝業工廠之人資處暨總務部，擔任主管一職，主要的工作內容為：廠務管控(高低壓電力、給排水、消防、空水廢毒管理、工程二次配發包施工)、緊急應變演練、庶務工作進行、環安衛管理、ISO14001&OHSAS18001 施行、碳足跡&綠色採購施行、推動企業社會責任專案...等。

曾服務於光電業之廠務處儀電課，擔任資深工程師，主要的工作內容為：動態式不斷電系統(Dynamic Uninterruptible Power Supply)設備之規劃發包、運轉保養、教育訓練(機組各項功能、啟停機組、停復電演練、併聯操作說明)、水質及油料管理、緊急停電演練計劃撰寫、危安改善工程等。

另曾參與政府 BOT 案「月眉育樂世界」(馬拉灣)-自來水、電力、噴灌管線設計規劃、現場監造；並利用時間考取相關證照。我認為學習是一種喜悅的事情，取得證照更是專業的肯定，自我挑戰，期許自己上更上一層樓。

參與國內大型工程，經常有機會與各國優秀人士共事。於「月眉育樂世界」服務期間，工作上密切與派駐本國之韓國三星的員工進行技術與建設經驗交流，也更了解亞洲其他國家之工作方法及態度。曾負責的動態式 UPS 是自荷蘭 HITEC 公司引進及技術合作，於擔任專案工程師時，也榮幸的由公司派遣前往荷蘭總公司進行短期的研討進修，期間內與當地工程人員一同上課及實務操作，從中也附加了解些許歐洲精進工業的源由與運行方式，受益良多。其它部份，也利用機會造訪鄰國的「達文西科學博物館」，藉以拓展學習的深度、視野，同時在工作態度上也能培養更宏觀、踏實精神。

二十一世紀國際人才交流頻繁，這些經驗除了為學生的國際觀暖身外，更激發學生的使命感，鼓勵學生在專業能力可以經得起國際化的挑戰，並在國際的舞台上為台灣盡一份力量。