



# 能源管理系統建置與空調節能

## 實務案例

計畫研究人員 / 作者： 劉子吉、甘凱文、吳雅婷、黃宗皇、陳彥銘



# 目錄

1. 前言.....	8
2. 能源管理系統的建置 .....	11
2.1. 系統架構 .....	12
2.2. 量測項目規劃與建置 .....	15
2.3. 資料取得與儲存 .....	22
2.3.1. 量測元件通訊接線範例 .....	23
2.3.2. 量測元件通訊協定-Modbus、OPC、BACnet.....	25
2.3.3. 數據傳輸通訊-物聯網通訊 MQTT .....	31
2.3.4. 資料儲存 .....	33
2.4. 分析與管理 .....	38
2.4.1. 即時設備或單位的能源耗用概況 .....	39
2.4.2. 遠端監控、即時通知、減少人力負荷 .....	46
2.4.3. 歷史資料的統計(日/月/年)與能耗合理性分析 .....	49
2.4.4. 即時預警(需量控制)與控制參數設定 .....	54
2.5. 客製化報表 .....	57
2.6. 能源基線的建立 .....	63
2.7. 統計製程管制(Statistical Process Control、SPC).....	67
2.8. 設備綜合效率指標(Overall Equipment Efficiency, OEE) .....	71
3. 管理系統應用於空調節能 .....	76
3.1. 空調節能措施 .....	76
3.2. 應用導入案例 .....	78



3.2.1. 設備模型的建立 .....	80
3.2.2. 模型誤差之修正模組 .....	85
3.2.3. 冰水系統運轉最適化控制演算法模組 .....	87
4. 結論 .....	91



# 圖目錄

圖 2.1 節能改善措施導入面向 .....	12
圖 2.2 能源管理系統架構 .....	13
圖 2.3 電力單線圖範例 .....	17
圖 2.4 電力單線圖能源管理網頁範例 .....	18
圖 2.5 單位組織用電架構 .....	19
圖 2.6 單位組織架構圖_能源管理系統範例 .....	20
圖 2.7 能源管理系統資料流架構 .....	23
圖 2.8 RS-485 全雙工(4 線式)通訊接線方式 .....	25
圖 2.9 半雙工(2 線式)通訊接線方式.....	25
圖 2.10 MQTT 發布(publish)/訂閱(subscribe)架構 .....	32
圖 2.11 資訊儲存系統架構差異 .....	34
圖 2.12 全廠總用電資訊 .....	40
圖 2.13 電力單線圖 .....	41
圖 2.14 單位成本電力架構圖 .....	42
圖 2.15 瓦斯類型用電資訊 .....	43
圖 2.16 瓦斯單位耗能統計與耗用正異常看板 .....	43
圖 2.17 水資源類型用量資訊 .....	45
圖 2.18 建立水流向圖表 .....	45
圖 2.19 建立水資源使用類別流量圖表 .....	46
圖 2.20 水資源能源流向圖表 .....	46
圖 2.21 空壓系統資訊畫面 .....	47
圖 2.22 空調系統資訊畫面 .....	48
圖 2.23 能源管理系統主動式管理-mail 通知範例.....	49
圖 2.25 能源用量統計資訊查詢範例 .....	50
圖 2.26 能源用量比例資訊呈現範例 .....	51



圖 2.27	時間電量費用比較資訊 .....	52
圖 2.28	每分鐘能耗設備變化量與比例排序圖表 .....	53
圖 2.29	瓦斯能耗設備每日/月/年用量統計報表 .....	54
圖 2.30	水資源階層用量統計資訊與視覺化 .....	54
圖 2.31	需量控制項目與警示管制 .....	56
圖 2.32	空壓系統順序控制參數設定 .....	57
圖 2.33	空壓系統順序控制修改紀錄資訊 .....	57
圖 2.34	單位成本管理報表範例 .....	58
圖 2.35	單位預算成本輸入介面範本 .....	59
圖 2.36	生產用量與產品單耗統計資訊與趨勢報表 .....	60
圖 2.37	生產與非生產時段用電查詢功能報表 .....	62
圖 2.38	此訊號整合方式判別生產與非生產用電量報表 .....	62
圖 2.39	設定用電量門檻方式判別生產與非生產用電量報表 .....	62
圖 2.40	以製程設備訊號判別能源耗用量報表 .....	63
圖 2.41	設定能耗範圍並建立能源基線模型清單 .....	64
圖 2.42	使用不同資料來源建立能源基線模型 .....	66
圖 2.43	模型系統化建立之操作與設定介面範例 .....	66
圖 2.44	能源基線模型趨勢 .....	67
圖 2.45	統計製程監控頁面範例 .....	69
圖 2.46	製程監控時間區間設定頁面範例 .....	69
圖 2.47	管制圖樣式 .....	70
圖 2.48	管制線制定原理 .....	70
圖 2.49	統計製程計算管制值與資料區間設定範例 .....	70
圖 2.50	OEE 應用能源設備項目對應 .....	73
圖 2.51	OEE 設備綜合效率指標頁面範例 .....	75
圖 2.52	OEE 能源利用率歷史紀錄資訊 .....	75
圖 2.53	能源 OEE 計算項目設定頁面範例 .....	76
圖 3.1	廠內系統監控網路架構 .....	77



圖 3.2	能源管理系統最適化冰水節能模組架構 .....	79
圖 3.3	線上型冰水系統最適化節能控制系統架構 .....	80
圖 3.4	冰水主機於不同冷卻水回水溫度下之特性曲線 .....	82
圖 3.5	透過 Spline 曲線建立冰水主機運轉模型 .....	82
圖 3.6	冰水主機模型架構 .....	83
圖 3.7	冷卻水塔模型架構 .....	84
圖 3.8	泵浦設備模型架構 .....	85
圖 3.9	冰水主機模型自適應修正技術架構 .....	86
圖 3.10	冷卻水塔風車模型自適應修正技術架構 .....	87
圖 3.11	泵浦模型自適應修正技術架構 .....	87
圖 3.12	冰水系統運轉最適化控制演算法流程 .....	89
圖 3.13	冰水系統最適節能模組功能輸出 .....	90
圖 3.14	冰水系統最適節能實際應用案例 .....	91



# 表目錄

表 2.1 單位組織電表使用參照表.....	20
表 2.2 Modbus 通訊設定 .....	26
表 2.3 Modbus 資料模式區塊與前置詞 .....	26
表 2.4 常用的 Modbus Function Code.....	27
表 2.5 電表 Modbus 通訊參數表範例 .....	27
表 2.6 資訊儲存系統架構差異比較表.....	34



## 1. 前言

工業能源管理系統經過多年的發展，管理的範疇也從傳統著重的公用系統耗用紀錄，跨入製程端與能源使用的行為分析，辨別能耗的合理性，也從單一設備的效率分析走向系統性與跨系統的整合分析與管理；另一方面隨著工業 4.0 的興起與政府的推動下，相關技術如:物聯網、人工智慧、大數據、雲端運算和網路安全快速的發展，透過物聯網技術取得廠內系統與設備的能源耗用與流向、整合 ERP、MES 等廠內系統資訊，並儲存於後端的大數據資料庫系統、運用雲端運算技術彙整與分析，導入人工智慧提升能源效率，網路安全資訊確保廠內資料的交換與傳遞安全，相關技術的應用有效發揮能源管理系統效益，減少工廠無效的能源耗用、提升設備的使用效率。

然而，能源管理系統可幫助工廠用電單位降低使用量，但為何能源管理系統的建置，卻未有普遍性的建置呢?主要訪視後的原因有認為建置費用高、能源管理的效益不易評估說明與不知如何進行之，建置費用高與效益不易說明，這與公司文化常有相關聯，效益超高，合理嗎? 是否會被認為平常沒有管理，效益低，常被認為沒



有投資效益；因此，建置費用通常建議分階段進行，效益評估則會視管理階層的參與度，如國際能源管理系統標準(ISO-50001)的實施是需要最高管理階層的承諾，也是能源管理實施後有效和成功的關鍵。

如何評估與建置符合公司工廠的能源管理系統，為能源管理單位面臨最為實際的問題，多數能管與設備維護員面對不確定的管理能源需求，以致不清楚應建置的範圍與項目，常盲目建置許多感測元件，又為了節省建置成本而安裝機械式或電子式卻無通訊功能的感測元件，然而，這些無通訊功能的感測元件，再透過大量的人力與時間抄寫與紀錄感測數據，這些透過抄寫的數據，其本身傳達出的價值是什麼？抄寫記錄人員對於數字的變化，若無感受，即使已有異常反應，那些感測元件呈現的也只是數字而已，或是在建置的範圍上，僅使用其中不到 30% 的能源資訊，沒有準確建置卻導致能源管理系統為有效發揮效益，原期望帶來的管理上的效益，如能耗異常原因發掘、改善的機會與能效提升的規劃，仍無法從中獲得，而致使被指責浪費經費的後果，為何如此呢？執行者為了大範圍建置避免無數據與預算的考量，建置不佳的感測元件與量測項目，最終導致後續無效率與較無價值的管理資訊。



本技術手冊主要說明工業能源管理系統的建置，提供管理與執行人員在工廠評估導入能源管理系統的應注意的事項與經驗分享，及其管理應用的案例；章節內容包含如何評估欲建置量測能耗的對象，能耗資料的取得(工業通訊協定)，以及產生大量且時間序列的能耗與運轉資料儲存機制、數據視覺化的運用、管理方法、平台功能及節能應用案例，將一一於後續章節說明之。



## 2. 能源管理系統的建置

說明能源管理系統建置前，本文先說明節能改善的方法及為何需建立能源管理系統；工業節能改善可區分為三個面向，設備面、行政面與操作面的改善措施，如圖 2.1 節能改善措施導入面向所示，設備面的節能措施，為使用高效率設備與改善製程，其節能效益明顯且直接，但相對地成本高，生產製程端的改善不易進行；行政面的節能措施，以教育或制定規定以改變人的行為與觀念，其執行成本最低，實務上執行不易有效且效益低；操作面的節能措施，導入系統節能控制或透過能源資訊透明化，發掘系統缺失、建立節能策略提升能效，達到永續循環的節能成效，廠內能源使用透明化則可透過能源管理系統的建立，收集能源資料與整合廠內各公用監控、物料、維護及品管系統，建立各設備或單位的能源指標與管制，促使各單位持續自主與主動地管理與改善能耗。

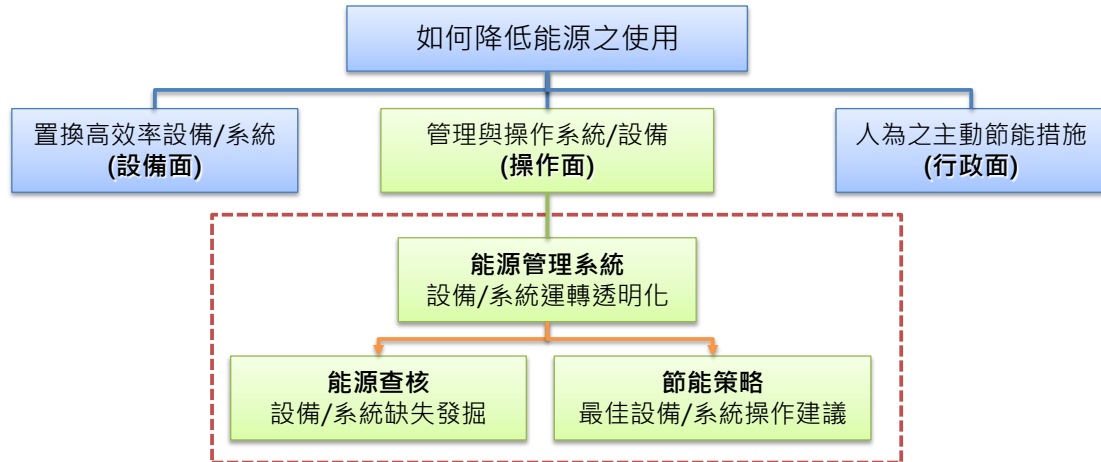


圖 2.1 節能改善措施導入面向

## 2.1. 系統架構

建置一工業能源管理系統，其架構上大致可分為基本三個項目，包含有：

- 能源量測
- 資料儲存與擷取
- 資訊應用

圖 2.2 能源管理系統架構表示期三個項目對應的面向，這三個項目同樣是在建置能源管理系統，基本所需要評估的面向；能源使用，即是評估廠內有哪些能源耗用的項目，通常包含有電力、瓦斯與油等能源項目或水的耗用等，電力的耗用量測仍為目前主要管理的項目，在實務經驗上，分為公用系統耗用，如空調、空壓、照明

等，或是生產製程耗用，如:機台、產線等，但廠內設備大小眾多，如何從中評估、選擇與建置，這是多數執行者在進行第一步遇到的問題。

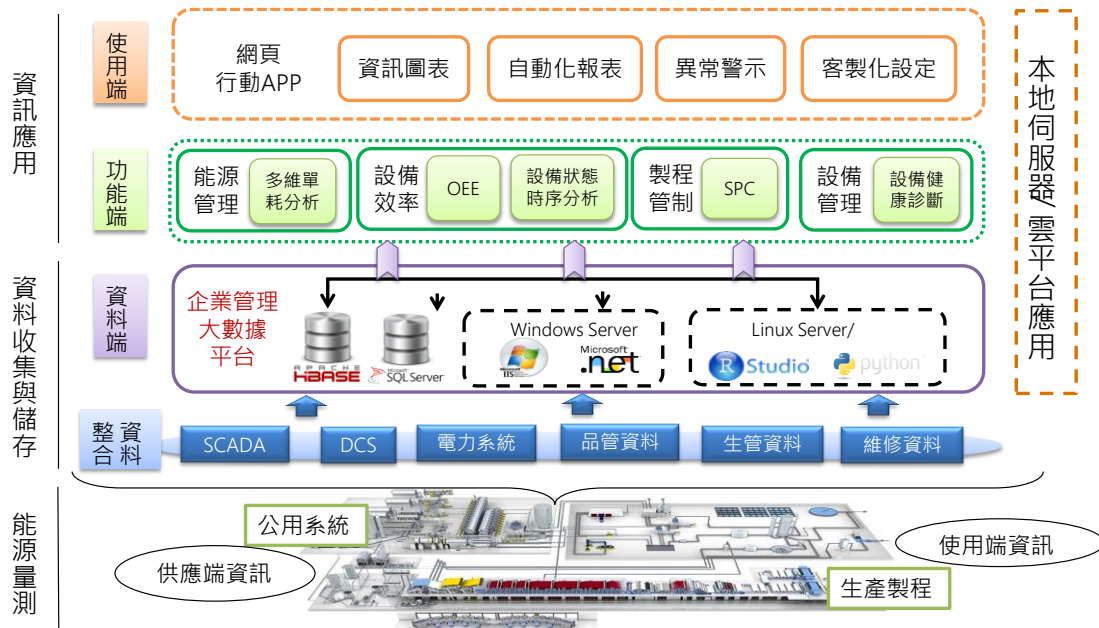


圖 2.2 能源管理系統架構

資料收集與儲存，資料收集的對象除了直接對電力電表取得量測電力、瓦斯流量擷取得瓦斯流量資訊外，亦有可能從廠內既有的監控系統，如: SQL、SCADA、DCS 與 PLC 等取得其相關資訊，或是從其他廠內系統取得應用資訊，如 REP、MES、品管或維修系統資料；資料的取得為當下的能源耗用或運轉資料，若未即時的儲存，則將失去當下的資料，後續則無法進行統計與分析，因此，建置後端的資料系統為其提供儲存與讀取的功能，大致可分為兩大類



型資料庫-關聯式資料庫與非關聯式資料庫，關聯式資料庫一般多用來儲存結構化的資料，其資料之間大多會有清楚地關聯，非關聯式資料庫多應用於非結構性資料，其處理的資料與其資料量，通常有以下特性：

- 低延遲應用程式的多樣資料存取模式
- 用於進行半結構資料的分析
- 高資料吞吐量
- 可輕鬆存放和擷取資料結構

非關聯式資料庫應用特性，相對於廠內資料運轉的特性，兩者特性相符，多為時間序列資料，因此，不論是能源管理系統或監控系統，若要快速與高資料量的讀取資料，應較傾向非關聯式資料庫的應用，但其實務應用上，非關聯式資料庫因發展較晚與過往廠內無大數據資料需求，及資訊管理單位較為熟習的關聯式資料庫等因素，以非關聯式資料庫應用的工業應用平台仍較為少數，故在眾多的能源管系統上，如何的評估選擇適合的資料庫，及資料取得的方法，這關乎系統未來的擴充性與彈性。

資訊應用，此項目的考量，應思考系統要提供使用者怎樣的管



理資訊，如:管理面的統計、分析、警戒、預警等資訊，這些資訊與應用介面可透過網頁方式、mail 與通訊軟體即時地與正確的提供，評估使用上可評估介面的友善程度與轉換成視覺化後的資料可讀性，以及可否彈性建置符合公司文化的報表與管理資訊，方可將能源管理系統發揮其管理價值，並發掘節能機會與節能效益。

## 2.2. 量測項目規劃與建置

規劃能源量測項目建議以能源使用量大者或重大能源使用設備為評估依據，建置與取代非自動化量測監控系統之設備，已知能源使用量大的設備，如公用系統的空壓、空調等，可透過既有資訊、設備銘牌與使用時數等，取得能源使用量並依序進行排比，選擇應建置能耗監控的設備；或選擇重大能源設備，依據評估準則決定重大能源使用設備。然而，在某些場域上，上述的能源建置容易造成局部與片段的能源管理，或其占全場域的能源使用過小，因此，在多數的案例中，多建議規劃以全廠主要提供電力之電盤為主，首先建立能源流向的資訊，再針對以主要/重大能源設備項目進行各電力與能源項的建置及監控，進而在能管系統下取得與分析能源流向與重大設備能耗資訊，透明與明確的資訊方有進行節能發覺與改善的



依據，以逐步進行規劃節能改善的項目。

以下將說明以一範例進行電力能源項目的建置，此案例是先建立以台電側進場後的電力流向，可參閱圖 2.3 電力單線圖範例及圖 2.4 電力單線圖能源管理網頁範例為電力單線圖於能源管理網頁實際範例，於此電力架構中的建置規劃如下：

- 初期可規劃三種類型使用:

- 全廠使用量

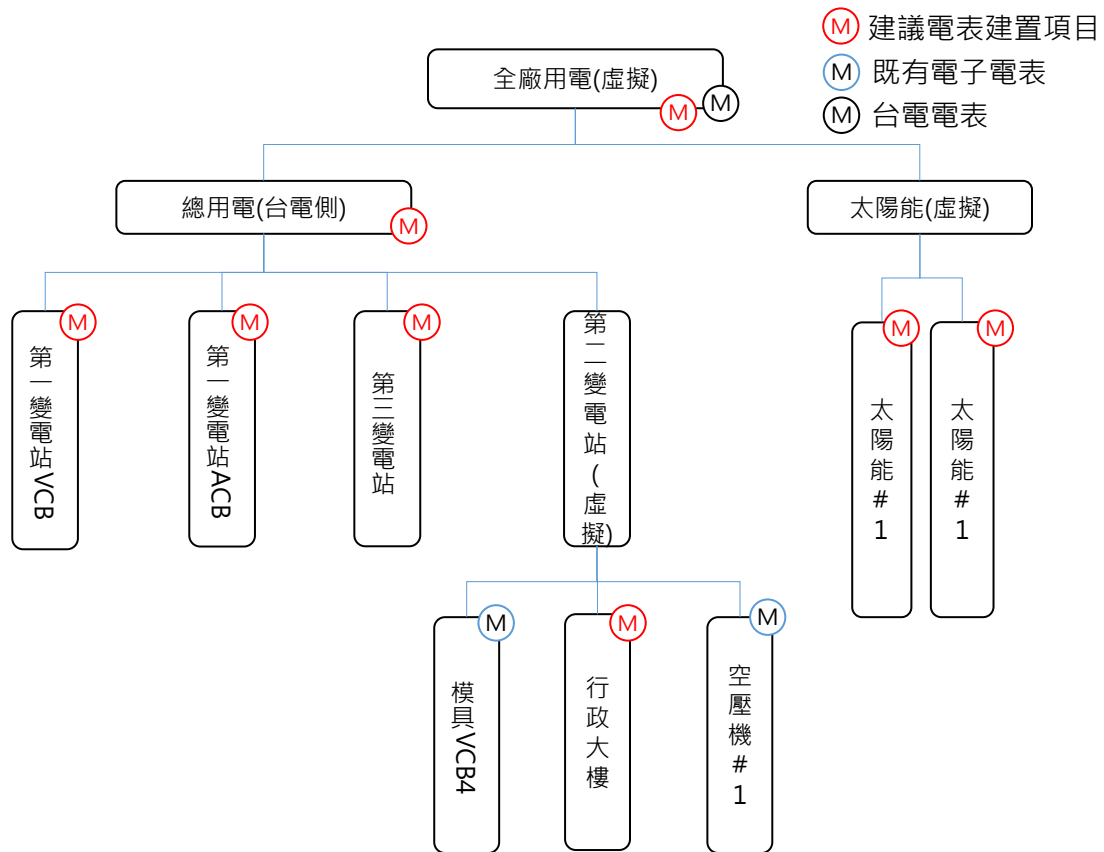
案例中建立與台電同位階的智慧電表，用以取得全場的用電變化與其統計量，功能面則可進行需量的管理、設備卸載與需量競價等。

- 分流情形

電力流向的第二接或第三階仍可能是主要區域或廠棟別的電力盤，此部分的建置資訊可提供各區域用電的占比、電盤的負載率、與換算各管理單位成本功能等，建立各單位使用成本，使能耗資訊與節能措施擴散至各個使用單位(者)。

## □ 重大能源設備使用

針對設備的直接量測能耗，可取得設備使用的能耗趨勢資訊、評估運轉/待機/停機能耗統計、單位產品/產線的能耗、能源基線的建立、設備大數據分析與預知保養等功能應用與研究。



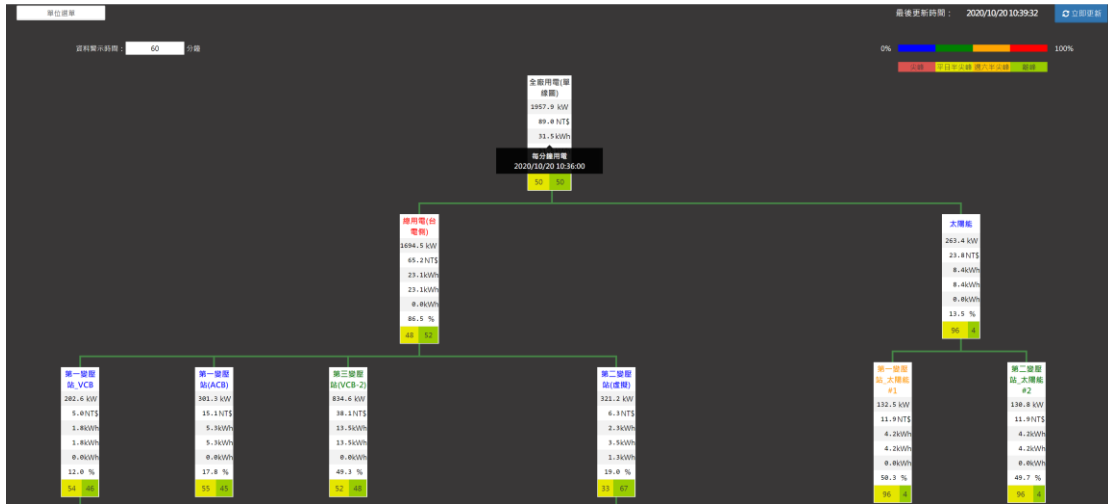


圖 2.4 電力單線圖能源管理網頁範例

當電力量測元件建置後，若僅是單就監控與統計電盤的用電使用，依經驗對於使用者單位較無法有耗用的”感受”，因一般情形下，廠內的電力盤在建置上較不會是由單一的部門或單位使用，所以，在無法提供給各單位能耗量的資訊下，能耗的節約仍落在公用或廠務單位，故建議將電盤或以裝設的電表，透過統計的方式線上轉換成”單位”的使用資訊，如建立圖 2.5 單位組織用電架構用電資訊，圖 2.6 為電力單線圖於能源管理網頁實際範例，量測電表可能因多個單位的使用，因此可建立如單位組織電表使用參照表，如建立”生產”與”非產生”用電資訊，將製程使用的電表歸類於生產單位，將行政類電表歸類於非產生單位，其中，交互使用的電表則可透過加減方式歸類，如表 2.1 中生產用電包含有直接生產單位、間接生產單位的加總，但須扣減電表 11、電表 19 用電，方為該場域

的生產用電量；建立各生產或非生產單位的用電(如：製造一課、二課、行政、倉管、總務、研發等)，當各單位清楚自我的能源耗用，可促使各單位建立自行的管理辦法，達成自主管理的目的，自己的用電，自己省，並可使布建的電表有更多的附加價值，提醒注意，電表的安裝若不正確，將影響用電的量測，然而，以實務的經驗，許多電表安裝的工廠，多未檢核電力安裝的正確，認為有電功率、電流、電壓就認為安裝完成，但往往發現其電力相位裝設錯誤，雖有數值，但數值不正確而進行錯誤的紀錄與管理。

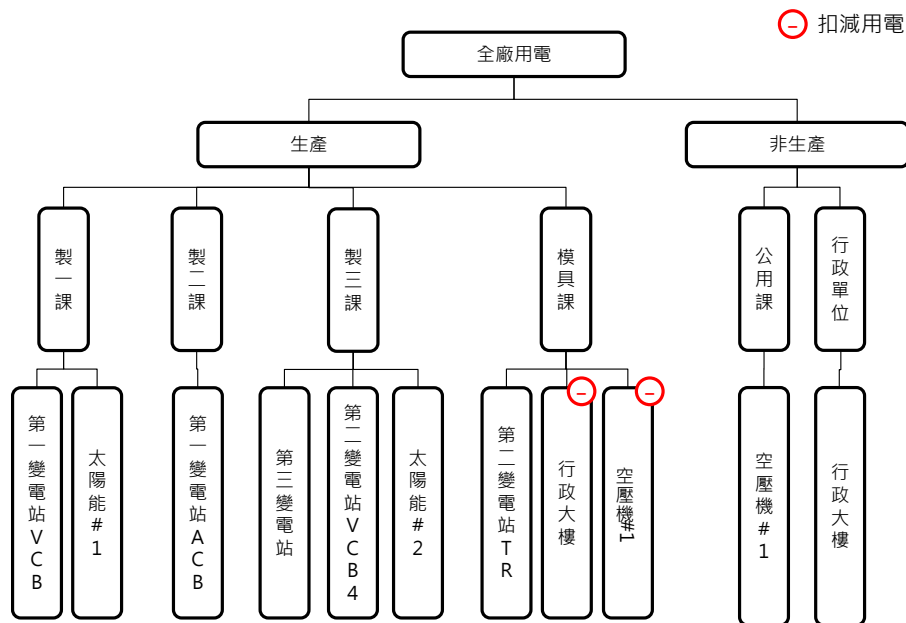


圖 2.5 單位組織用電架構



圖 2.6 單位組織架構圖\_能源管理系統範例

表 2.1 單位組織電表使用參照表

項目	”加”電表	”減”電表
全廠總用電	台電	
生產用電	直接生產單位、間接生產單位	電表 11、電表 19
非生產用電	行政單位、總務單位、研發單位	
直接生產單位	製一課、製二課、製三課、模具	
間接生產單位	公用課、行政單位	
製一課	電表 1、電表 2、電表 3	
製二課	電表 5、電表 6	
製三課	電表 7	
模具課	電表 8、電表 9	電表 12
公用課	電表 10、電表 11、電表 12	電表 6
行政單位	電表 13	
研發單位	電表 18、電表 19	

● 二期規劃

二期的規劃，除設備與系統的電力量測項目增設外，此階段亦建議，廠內的公用系統，如：空壓與空調則可加以進行自



動化或節能控制，空調則可以配合需量警戒機制進行設備卸載功能，以避免電力使用超過與台電的契約容量；瓦斯與水量使用的用量管理，評估瓦斯使用是否有過多的空燃耗用，改善前端生產排程，集中使用瓦斯或蒸氣，避免為維持溫度或鍋爐持續耗用瓦斯，用水雖未為能源項目，然在台灣水資源亦是相當重要，可建置其流量計以建立基本監控，掌握水用量使用是否合理(工作日與非工作日差異)；設備效率的建立，空壓與空調的空氣與水流量均可將其運轉資料進行演算，以獲得設備能源效率，如空壓系統能效(M/kW)，空調系統能效(ton/kW)。

電力量測元件經第一期的建置後，則可規劃區域性與重大設備的能耗量測建置，如該區域範圍生產管理單位(課別、組別、產線別)，或是建築物之廠房與棟別，於此階段可介接生產管理系統，如 ERP、MES 系統，將產品數量或原料資訊進行能源密集度、單位產品能耗與能源使用效率演算與監控管理；

- 後續規劃

於後續階段的規劃，可以針對各單位的需求，或以終端能源設備為主，選擇的項目可以依據設備規格用電、設備使用頻



率與關鍵設備做為建置的評估項目，此階段目的效益為降低設備無效的用電，及降低待機或非預期生產時的用電，提升設備能源效率，並可導入 OEE 製程設備效率的管理。

以上階段為經驗上的建議說明，各廠可依需求進行規劃，並建置即時警示通知系統，如製程管制(SPC)，搭配 mail 或線上通訊軟體進行相關訊息的通知與警示。

### 2.3. 資料取得與儲存

感測元件建置後，一般會運用控制器(PLC)讀取量測數值，或元件本身既有通訊功能，再透過工業通訊方式取回其量測數據，現今在工業領域通訊上，有許多工業通訊協定標準，例如 Modbus RTU/TCP、OPC UA、BACnet、EtherCAT、PROFINET 與 Ethernet/IP 與等，通訊傳輸媒介上逐漸的走向乙太網路技術，但在大區域的環境下，乙太網路技術會受限於傳輸距離；圖 2.7 為能源管理系統資料流架構範例，內含 Modbus、BACnet、OPC UA 等整合式服務，透過 RJ-45 或 EIA-485(RS-485)通訊埠以連結前端的儀表、設備和系統等現場端的感測訊號來源，再透過網路(Ethernet)連結後端的系統或雲端，後端蒐集的數據資料藉由 MQTT broker 接受

外部的訂閱和操作(MQTT broker 依應用架構可設置於閘道器本身或專屬伺服器)，讓使用者可以隨時取得這些運轉數據和能效資料的檔案。

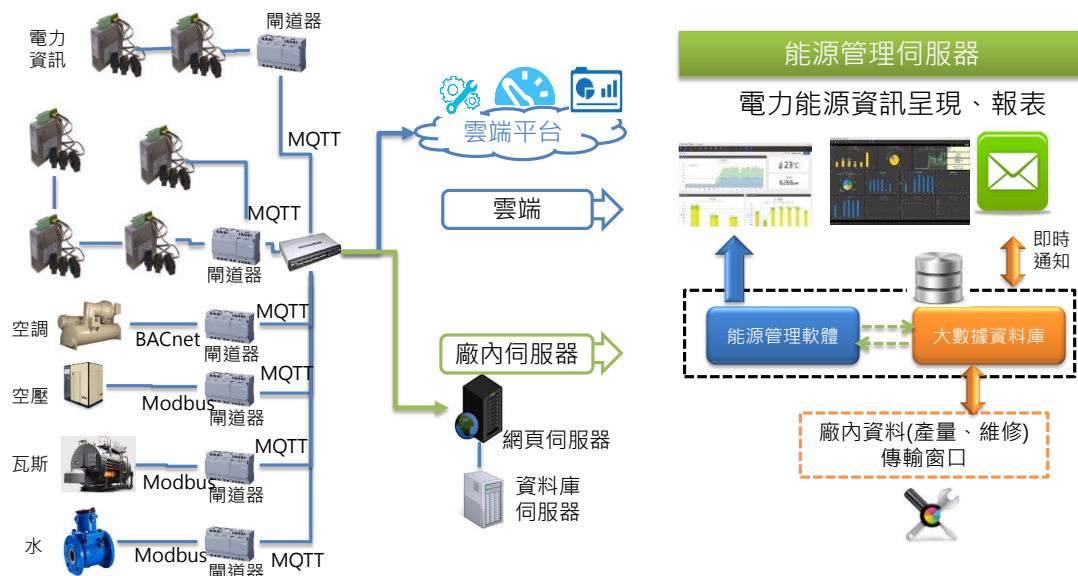


圖 2.7 能源管理系統資料流架構

### 2.3.1. 量測元件通訊接線範例

現今工業通訊協定多走向乙太網路(Ethernet)系統，感測元件建置具有網路通訊模組的，其資料的擷取可透過網路進行，接線方式透過 RJ-45 通訊埠連接網路，但因其通訊距離會有所限制，因此，目前國內實務應用上大多數案例仍多 EIA-485 的通訊，並透過 Modbus RTU(仰賴於輪詢機制)讀取感測資訊，多數感測元件多有提供此資料傳輸的通訊格式，易於讀取裝置上的資料，並允許多個裝



置串接在同一個通訊迴路上進行通訊，Modbus 通訊在應用層面提供的架構非常適合於大部分工業應用場景，主從式架構僅需要主要裝置發起一個請求-等待回應即可取得運轉資料。Modbus 相較其他通訊協定使用的更廣泛的主要原因有：

- 公開發表並且無版權要求
- 易於部署和維護
- 對供應商，修改移動原生的位元或位元組沒有很多限制

然而，其被廣泛運用的原因，易造成建置的系統被單一廠商掌握；控制器通過 Modbus 協定和各設備之間進行通信，可由

- 串列網路：Modbus RTU、Modbus ASCII
- 乙太網路：Modbus TCP

於實務接線方式的說明，Modbus 為一種序列通訊協定，其透過多種的傳輸媒介進行異步串行傳輸，常見的有 EIA/TIA-232-E、EIA-422、EIA/TIA-485-A，實務上多稱為 RS-232、RS-485，應用同一迴路可串接多個感測元件或資料傳送裝置，分為 4 線式(全雙工)和 2 線式(半雙工)傳輸模式，4 線式可允許同時雙向通訊，4 條式其導線從 master 上的發送數據 (TXD) 端或接收數據 (RXD) 端，運行到

slave 上相應的 TXD 或 RXD(Ref: <https://www.ni.com>)，如圖 2.8 RS-485 全雙工(4 線式)通訊接線方式，但通常 4 線式方式較少在實場應用上，多為 2 線式的通訊與結線，2 線式半雙工模式是屬於非同時的雙向通訊，如圖 2.1 節能改善措施導入面向所示之。

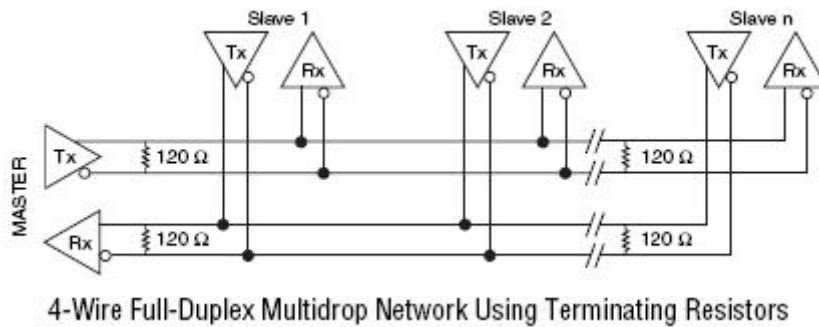


圖 2.8 RS-485 全雙工(4 線式)通訊接線方式

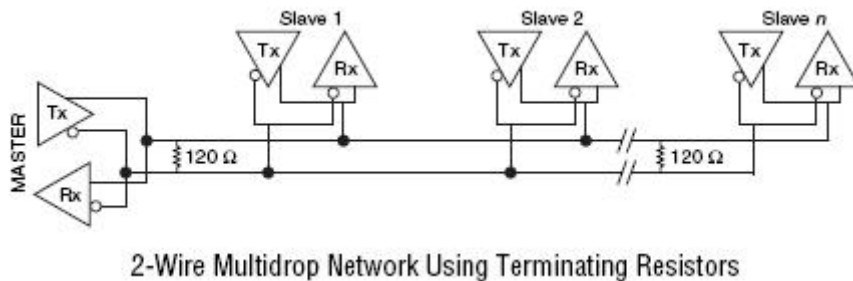


圖 2.9 半雙工(2 線式)通訊接線方式

### 2.3.2. 量測元件通訊協定-Modbus、OPC、BACnet

- Modbus

量測元件建置完成後，後續將進行量測元件裝置數據的取得，因



通訊協定眾多，此將以上述 Modbus 的格式為介紹，裝置因在同一迴路式通訊，故在資料傳輸上需先進行通訊參數的設定，如表 2.2 Modbus 通訊設定範例，表 2.3 Modbus 資料模式區塊與前置詞則為 Modbus 通訊資料模式型態，在欲取得的通訊格式位址下，設定其 Modbus 功能碼(前置值)，表 2.4 為常見與應用的 Modbus 功能代碼，如表 2.5 電表 Modbus 通訊參數表範例其中可以得知參數名稱、Modbus 暫存區位置、資料格式等，以表中名稱 Vln\_a(a 相相電壓)、暫存區位置為 31025，資料格式為 Float(浮點)，其中暫存區位置的手位數”3”為 Modbus 的 Input Registers，功能代碼為 04，部分產品的通訊手冊上，位址清單前會標示說明其功能碼，後續清單則表列其暫存區位址，在實際應用上需再對應之。

表 2.2 Modbus 通訊設定

Modbus RTU	Modbus TCP
Device ID: 1~255	Remote IP Address :
Baud Rate : 9600, 19200, 38400	xxx.xxx.xxx.xxx
Mode : 8N1, 8E1, 8O1	Remote Port : 502

表 2.3 Modbus 資料模式區塊與前置詞



記憶體區塊	資料類型	存取權限	前置碼
Discrete Input	single bit	僅讀取	1 ( 10002 : 表示 Discrete Input 區塊的第 2 個位置 )
Discrete Output (Coils)	single bit	讀/寫	0 ( 00102 : 表示 Coils 區塊的第 102 個位置 )
Input Registers	16-bit word	僅讀取	3 ( 30112 : 表示 Input Registers 區塊的第 112 個位置 )
Holding Registers (Registers)	16-bit word	讀/寫	4 ( 40123 : 表示 Holding Registers 區塊的第 123 個位置 )

表 2.4 常用的 Modbus Function Code

FUNCTION CODE	描述	FUNCTION CODE	描述
01	讀取 Coils 狀態	05	寫入單一 Coil
02	讀取 Discrete Input 狀態	06	寫入單一 Holding Register
03	讀取 Holding Registers	15	寫入多個 Coil
04	讀取 Input Registers	16	寫入多個 Holding Registers

表 2.5 電表 Modbus 通訊參數表範例



Parameter name	Modbus Register		Len	Data Type	PA3000	PA310/ PA310L	PA330	PA30		R/W
	Modicom Format	Hex						PA33	PA34	
VIn_a	31025-31026	0x0400-0x0401	Dword	Float	Y	Y	Y	only for 1P2W/1P3W	V1	R
VIn_b	31027-31028	0x0402-0x0403	Dword	Float	Y	Y	Y	N (填 0)	V1	R
VIn_c	31029-31030	0x0404-0x0405	Dword	Float	Y	Y	Y	only for 1P3W	V2	R
VIn_avg	31031-31032	0x0406-0x0407	Dword	Float	Y	Y	Y	only for 1P2W/1P3W	V2	R
VII_ab	31033-31034	0x0408-0x0409	Dword	Float	Y	Y	Y	only for 3P3W/3P4W	N (填 0)	R
VII_bc	31035-31036	0x040a-0x040b	Dword	Float	Y	Y	Y	only for 3P3W/3P4W	N (填 0)	R
VII_ca	31037-31038	0x040c-0x040d	Dword	Float	Y	Y	Y	only for 3P3W/3P4W	N (填 0)	R
VII_avg	31039-31040	0x040e-0x040f	Dword	Float	Y	Y	Y	only for 3P3W/3P4W	N (填 0)	R
I_a	31041-31042	0x0410-0x0411	Dword	Float	Y	Y	Y	Y	I_1	R
I_b	31043-31044	0x0412-0x0413	Dword	Float	Y	Y	Y	Y	I_2	R
I_c	31045-31046	0x0414-0x0415	Dword	Float	Y	Y	Y	Y	I_3	R
I_avg	31047-31048	0x0416-0x0417	Dword	Float	Y	Y	Y	Y	I_4	R
In	31049-31050	0x0418-0x0419	Dword	Float	Y	Y	N (填 0)	N (填 0)	N (填 0)	R
Freq	31051-31052	0x041a-0x041b	Dword	Float	Y	Y	Y	Y	Y	R
kW_a	31053-31054	0x041c-0x041d	Dword	Float	Y	Y	Y	Y	kW_1	R
kW_b	31055-31056	0x041e-0x041f	Dword	Float	Y	Y	Y	Y	kW_2	R
kW_c	31057-31058	0x0420-0x0421	Dword	Float	Y	Y	Y	Y	kW_3	R
kW_total	31059-31060	0x0422-0x0423	Dword	Float	Y	Y	Y	Y	kW_4	R

## ● OPC UA

OPC UA 的全名是 Open Platform Communications Unified

Architecture ( OPC 統一架構 ) ，是 OPC 基金會應用在自動化技術的機器對機器網路傳輸協議，用於工業設備資料收集以及控制的通訊，其資料通訊不受限於平台、統一存取機制、通訊的標準化以及安全憑證機制的特性。其優點在於，

- 功能等同性(Functional equivalence)：所有傳統的 OPC



規範都對應到 OPC UA 。

- 跨平台(Platform independence)：從嵌入式微型控制器到基於雲端的基礎架構。
- 安全(Secure):加密，認證和審計(auditing)。
- 可擴展性(Extensible)：在不影響現有應用程式的情況下添加新功能的能力。
- 全面的資訊建模(Comprehensive information modeling)：用於定義複雜的資訊。

OPC UA 可整合各個不同裝置、跨多種平台與感測器等相關通訊標準通訊協定，能夠互相通訊與控制，並用以規範資料交換的安全性，由於 OPC UA 的彈性非常高，能夠搭配各種傳輸協定以符合生產現場應用，如在子網路與區域網路環境中，OPC UA 傳輸層偏好搭配 UDP (user datagram protocol)，在雲端環境或廣域網路，則搭配 AMQP 或 MQTT 可以達到最佳效果。

- BACnet

BACnet 是 Building Automation Control Networks 的簡稱，它是由美國暖氣、冷凍與空調工程師學會(ASHRAE, American Society of



Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) 制定的資料通信協定之一，用於建築物自動化控制網路，可運用在冰水空調系統 (HVAC，包括暖氣、通風、空氣調節)，也可以用在照明控制、門禁系統、火警偵測系統、建築能源管理系統及其相關的裝置；BACnet 為了使不同廠家生產的控制器，都可以相互交換數據並整合在一個系統或網路，達成網路控制的目的，因此定義了許多服務 (service) 及物件模型(object)，使各裝置之間能相互通訊。

此外，BACnet 通訊協定也定義了幾種不同的資料鏈結層/實體層，以應用於不同類型的網路，其包括：ARCNET、乙太網路、BACnet/IP、RS-232 上的點對點通訊、RS-485 上的主站-從站/權杖傳遞(Master-Slave/Token-Passing，簡稱 MS/TP) 通訊與 LonTalk 等，此可防止裝置供應商及系統業者的壟斷，也因此未來系統擴充性與相容性大為增加。BACnet 的特點

- 互通性和標準化：資料格式一致，資料交換方式一致。
- 通信性能：提供 Ethernet、MS/TP(RS-485)、PTP(RS-232)、Lontalk、BACnet/IP(IPv4)、BACnet/IPv6(IPv6) 與 Zigbee 等多類常用之傳輸媒體，支援 Web Services 與 XML 等。



- 標準安全模型：資料訊息安全管理。
- 與平台無關：開放式通訊協定，不需特殊通訊晶片及使用權利金。
- 完整資料模型與服務：應用類別有完整的定義，且具有擴充性。

### 2.3.3. 數據傳輸通訊-物聯網通訊 MQTT

物聯網基本定義即是實體物件信息共享、交換的網路，透過各種無線和有線通訊網路可以將感測器或設備數據傳送到標的物，亦可讓設備之間互相通訊，然而能夠達到這個目的的主要因素是在通訊環境與通訊協定標準；然在許多工業環境應用下低可靠度與受限的網路通訊頻寬區間內運作，因此需要一套更有效率的網路及通訊架構。因此在物聯網發展下其網路層常用之通訊技術，包含有 MQTT(Message Queuing Telemetry Transport)、DDS(Data Distribution Service for real-time systems)、AMQP(Advanced Message Queuing Protocol)與 CoAP(Constrained Application Protocol)等協定，其中，MQTT 和 DDS 的兼容性相對於其他協定較高。

MQTT 是由 IBM 發展的訊息序列遙測傳輸技術，使用一種經常

性資源使用需求較低的封包與發布/訂閱(publish/subscribe)架構，能降低裝置與終端設備間的網路延遲與改善即時通訊速度，並且 MQTT 開發的目的在於克服低頻寬的網路環境、高延遲或不可靠的網路，以及不受限設備資源的輕量級通訊協定，所以，MQTT 可應用在低處理器資源的物聯網裝置及有限網路頻寬，且仍保有一定程度的傳輸可靠度。也由於 MQTT 的低頻寬與耗電量小特性，因此在物聯網環境應用中是非常的理想選擇。

MQTT 透過發布(publish)/訂閱(subscribe)共同主題(Topic)的方式來做訊息傳送，如支援 Web socket 協定，允許服務端主動向客戶端推送數據，資料傳輸內容與格式，由閘道器(中介軟體)產生出 JSON 或 XML 等標準格式檔案，透過 MQTT Broker 傳送至後端，提供能源管理系統使用。

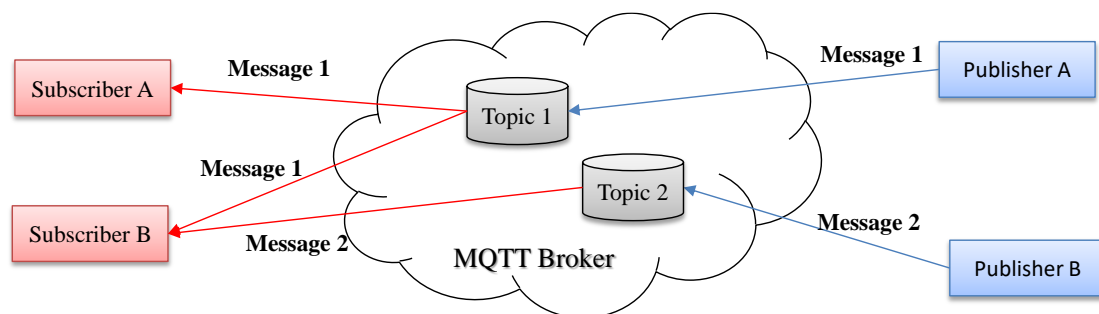


圖 2.10 MQTT 發布(publish)/訂閱(subscribe)架構



#### 2.3.4. 資料儲存

一般工業監控系統資料的儲存，多為廠內電腦或伺服器的資料庫進行儲存，然而，隨者資訊儲存技術的演進，除了儲存位置的改變，儲存技術亦有所演變，在評估能源管理系統時，此部分亦為評估的項目。

首先將說明資料儲存硬體的差異，傳統上，工廠內的資料多是由公司內部資訊部門負責其儲存與維運，然資訊技術的進步，雲端技術的應用越來越普遍，並可減少資訊人員維護的工作量與降低建置成本，但相對其資料需儲存於公司外，對此某些公司則會有所顧慮；圖 2.11 為在能源管理系統上資訊儲存的應用架構，相關優缺點提供如表 2.6 資訊儲存系統架構差異比較表所示，可從表中得知雲端系統在預算、管理成本、建置時程、遠端操作彈性上有較佳的優勢，而近端(公司內部掌管)則在資料量、資料掌握度、衍生應用開發上有較佳的優勢，雲端在資料量上因儲存資料量越大費用越高，但仍可做備存的應用以減少資料儲存的成本。

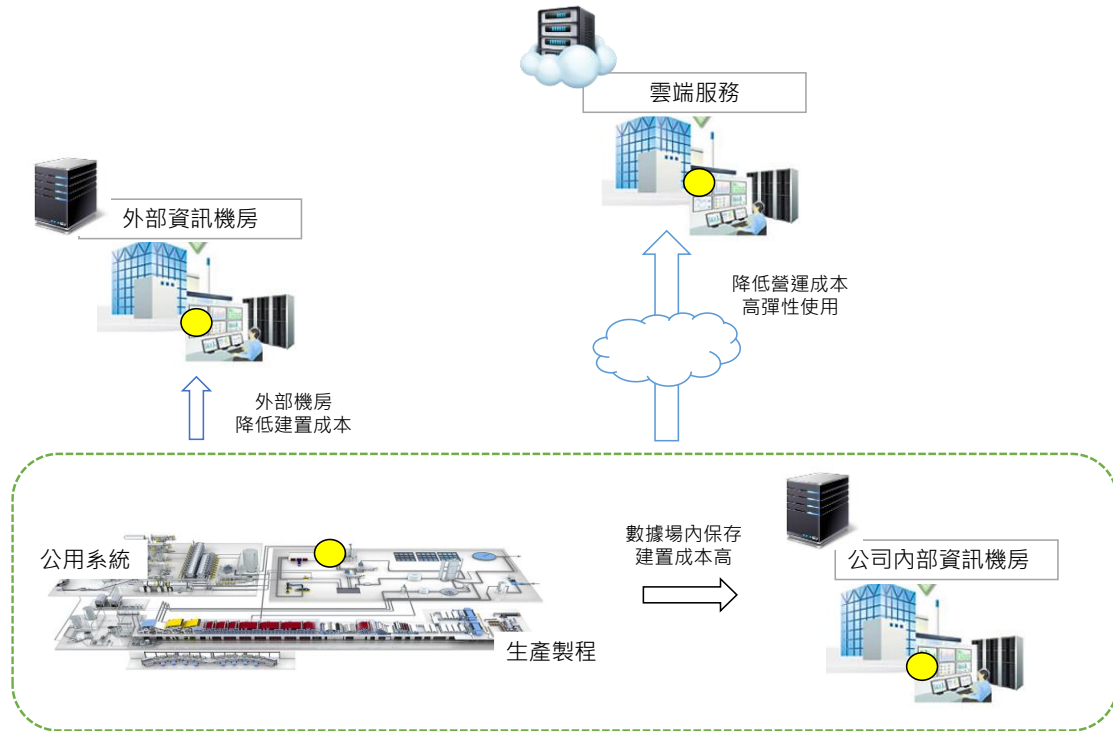
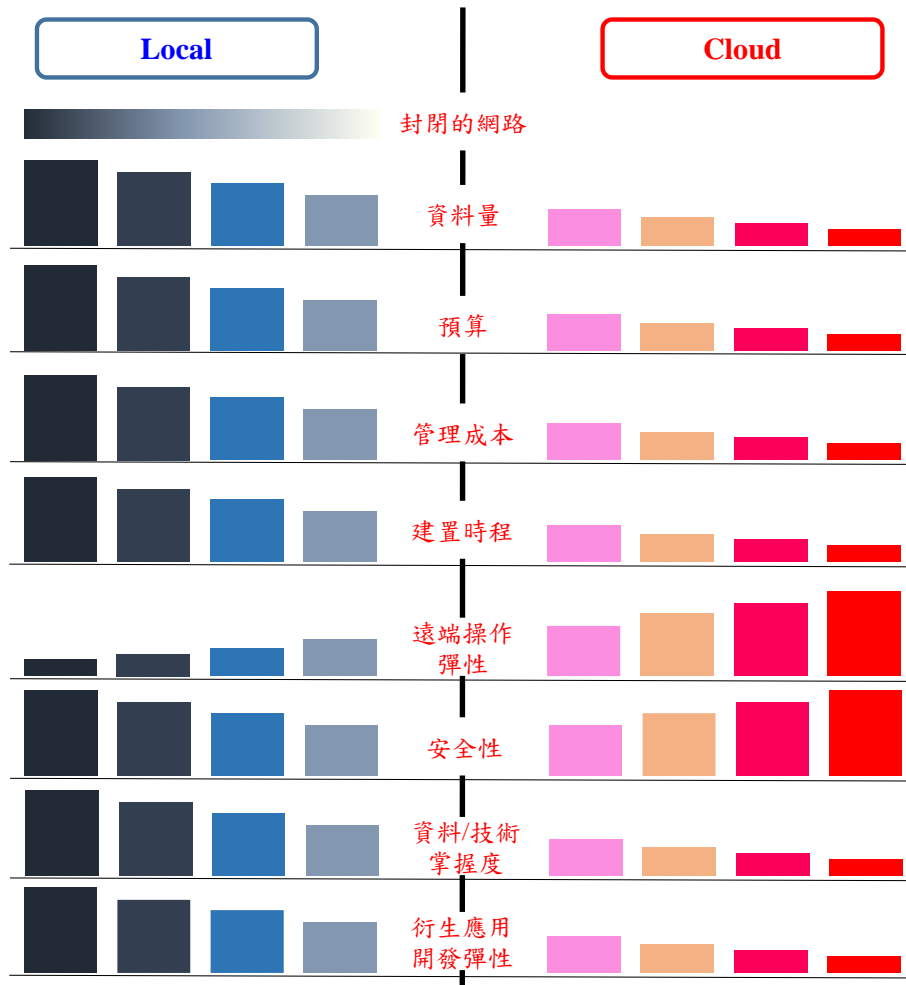


圖 2.11 資訊儲存系統架構差異

表 2.6 資訊儲存系統架構差異比較表



另一有關資料儲存技術上，目前常見的資料庫管理系統分別為「關聯式資料庫(Relational Database)」與「NoSQL(非關聯式)資料庫」兩大類型；關聯式資料庫是將資料建立一組關係模型，再依此基礎建立之系統架構，如微軟 MS SQL、MySQL 與 Oracle 等，資料依照既定的結構，存放在資料庫管理系統建立的檔案中，稱為資料庫，資料庫以資料表構成，每張資料表則由許多筆紀錄所組成，每筆紀錄又以許多欄位組合而成，每個欄位則存放著一筆資料。資料庫中的每個欄位，皆只能存放一筆資料，這些資料依循著一定的



結構標準記錄各種訊息，例如文字、數字或日期，在資料表設計允許下，資料也可能會出現任何資訊都沒有的空值(NULL)。

目前有關資料庫的使用仍是以關聯式資料庫為主流，其優點在於對結構化資料關聯的詳細定義和控制，並且確保資料庫系統運作時必須符合的不可分割性(Atomicity)、一致性(Consistency)、獨立性(Isolation)及持久性(Durability)等四種特性；在具有支援非常複雜的資料表結構下，可利用 SQL 語言做出各式各樣的查詢，然而，關聯式資料庫在每次的資料交易(Transaction)所花費的計算是相當大的，因此，對於同等性質的資料皆儲存在同一張資料表上，當資料紀錄越來越多，在一張具有巨量資料的資料表上進行查詢，其資料庫的運作是無效率性且花費過多的時間。

NoSQL(非關聯式)資料庫是一個統稱的名詞，泛指非關聯式資料庫的資料庫技術，包括了數十種不同類型的資料庫系統，因這些資料庫大多沒有支援標準的 SQL，商業應用上，如 google BigTable(google cloud)、Amazon S3 的 Dynamo(AWS)，或是微軟 Azure 平台儲存資料的方式，都是屬於 NoSQL 資料庫的一種，常見有 4 種 NoSQL 類型，分別是圖學資料庫(Graph Database)、文件導



向資料(Document-Oriented Database)、點位數值儲存(Key-Value Store)分散式資料庫和記憶體快取為主的資料庫，相關產品有，如 Amazon's Dynamo、Cassandra、HBase 與 MongoDB 等。

NoSQL 資料庫為一種時間序列資料庫(Time Series Database System)，此時間序列資料庫系統是一種專為時間序列特性資料最佳化處理的資料庫，時間序列資料的最大特性在於所有的資料均帶有時間戳記，並且資料依據時間順序存入資料庫，此外，對於資料進行處理時，亦多依據時間範圍進行查詢，當針對者些時間戳記進行複查邏輯或商業邏輯應用時，關聯式資料庫會是一種效率差與沉重的運作，但對於時間序料資料庫而言卻是易如反掌，目前已商業的搜尋網頁、社交網頁、店商與電信等均有應用之，如:google、Facebook、Twitter、Yahoo!與 SAP 等。

在工廠運轉監控系統上，每一分鐘所發生的運轉資訊，都具有其當下的特性，所以，每一筆發生的資料都有其時間戳記與讀值(特性)，除滿足時間序列資料的特性外，亦滿足 NoSQL 資料庫 Key-value 的特性，在運用上特性相當，且 NoSQL 在處理大數據資料上，其能效益較於優異，因此在儲存技術的選擇上，建議選取與廠



內運轉現況相符的資料庫特性，以經驗應用上，相關的能源設備項目、參數、工廠的產品、單位與製程具有相關聯式資料庫定義之，而其運轉原始資料則選擇以具有時間序列的非關聯式資料庫導入，兩者運用並不會衝突與造成困擾，反之更易於管理與前端的資料呈現。

## 2.4. 分析與管理

能源管理系統在收集與儲存相關能源與廠內資料後，不是將相關數據顯示或繪製趨勢圖表，即表示有管理功能或有能源管理效益，而是，需要再進一步的針對數據資料進行整合、統計或分析，轉換為可用的資訊，建立「能源可視化」及運用可視化介面，可較直覺的發現不合理耗能，並透過各項技術與功能建置「主動式」的能源管理系統。

針對能源管理系統基本需具有的功能，在於將相關能源資料進行監控與統計，建議在管理方法上可具有的以下功能：

- 即時設備或單位的能源消耗概況
- 遠端監控、即時通知、減少人力負荷
- 歷史資料的統計(日、月、年)與能耗合理性分析



## － 即時預警(需量控制)與系統控制參數

在實務應用上，公司文化與制度影響著管理上的效益，建議在應用管理上，可參考國際能源管理標準(ISO50001)進行，或建立制度化、Top-down 管理及定期檢視的會議，以有效落實相關管理及節能改善的執行。以下提供管理資訊與應用範例參考。

### 2.4.1. 即時設備或單位的能源耗用概況

即時資訊的呈現為能源管理系統最基本的功能，除了可以製作成各區域的看板資訊外，資訊數據的查詢與比對，也是發掘節能機會的基本手法，以圖 2.12 全廠總用電資訊網頁為例，提供電力流向的兩個階層用電需量趨勢，一周用電資訊及時間用電資訊，並以視覺化方式呈現其警戒數值與用電比較資訊(前一日用電、或同一生產特性用電)，並在一特定區域顯示文字資訊。



圖 2.12 全廠總用電資訊

圖 2.13 簡易的電力單線圖呈現電力流向，可讓電力資訊清楚的呈現其用量及時間用電(尖峰、半尖峰、離峰、周六半尖峰)的占比，顯示的資訊可進行篩選呈現，如新增顯示該電力盤的視在功率(KVA)，可用以評估該電力盤的附載情形，或是評估電力監控範圍是否合理，用電大或需要細分的電力迴路，其電力資訊可較為詳細。

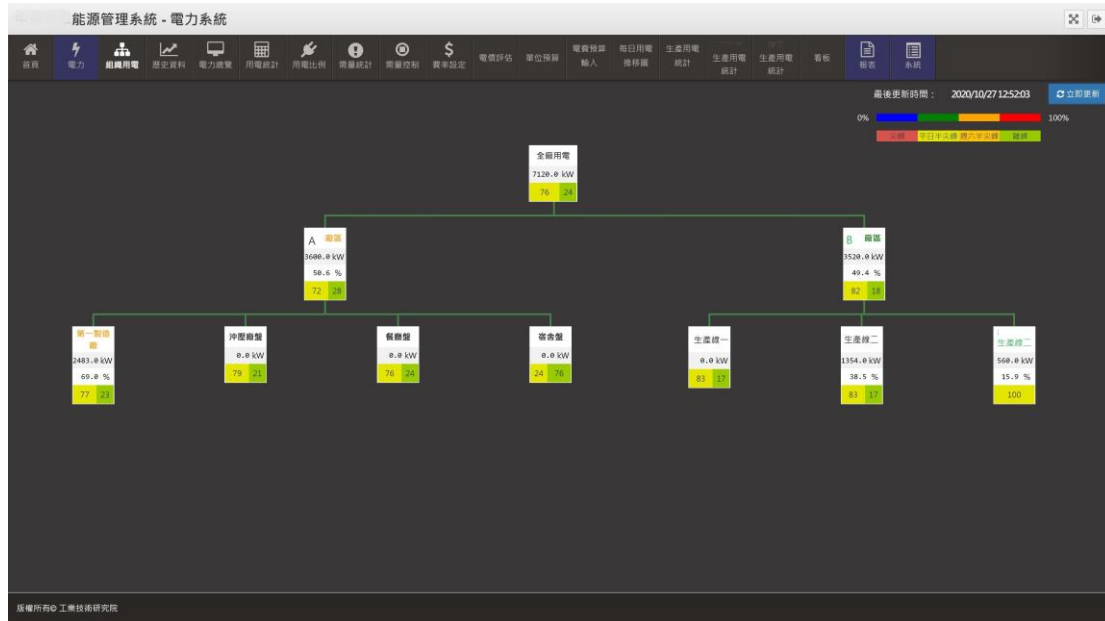


圖 2.13 電力單線圖

前一章節有提及，在電表資訊建構的條件下，可透過電力電表資訊轉換演算機制制定單位成本的用電，如圖 2.14 顯示單位成本電力架構圖，可清楚地得知生產與非生產的用電資訊，以及各下階層的用電情形，電力的計算可呈現其由那些電表的加總與扣除非該單位用電。

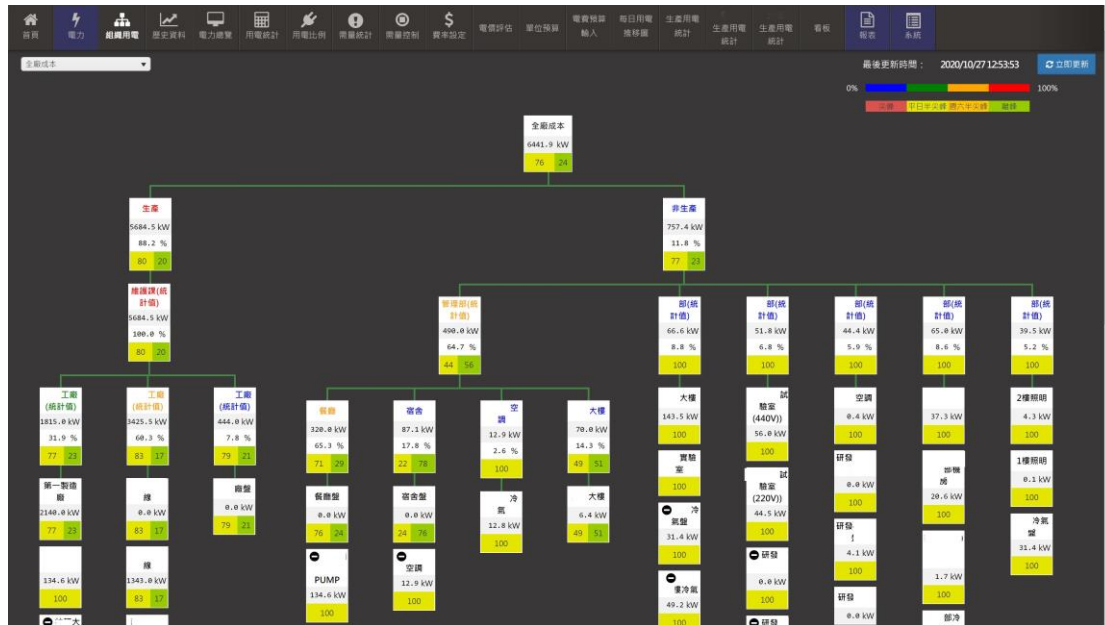


圖 2.14 單位成本電力架構圖

瓦斯能源類型運用在鍋爐或是特定加熱設備，製程或設備參數往往影響著瓦斯用量，因此如溫度的設定、加熱環境的物件多寡與外氣溫度等資訊，建議納入管理瓦斯用量的變數中，以評估其用量合理或建立回歸模型(能源基線)等管理資訊進行監管，圖 2.15 瓦斯類型用電資訊為應用上參考範例，其中，包含資訊有即時用量、當日累積量、當月累積量、產品單位能耗及對應的上限使用管制值，可清晰呈現是否在合理使用範圍；統計量上可有各設備的使用時間統計、周/月/年用量統計、瓦斯單價紀錄、瓦斯總費用周/月/年統計及產品單耗的歷史趨勢等。另一資訊呈現範例，圖 2.16 瓦斯單位耗能統計與耗用正異常看板，資訊呈現其瓦斯單位耗能統計與耗用

正異常看板。



圖 2.15 瓦斯類型用電資訊

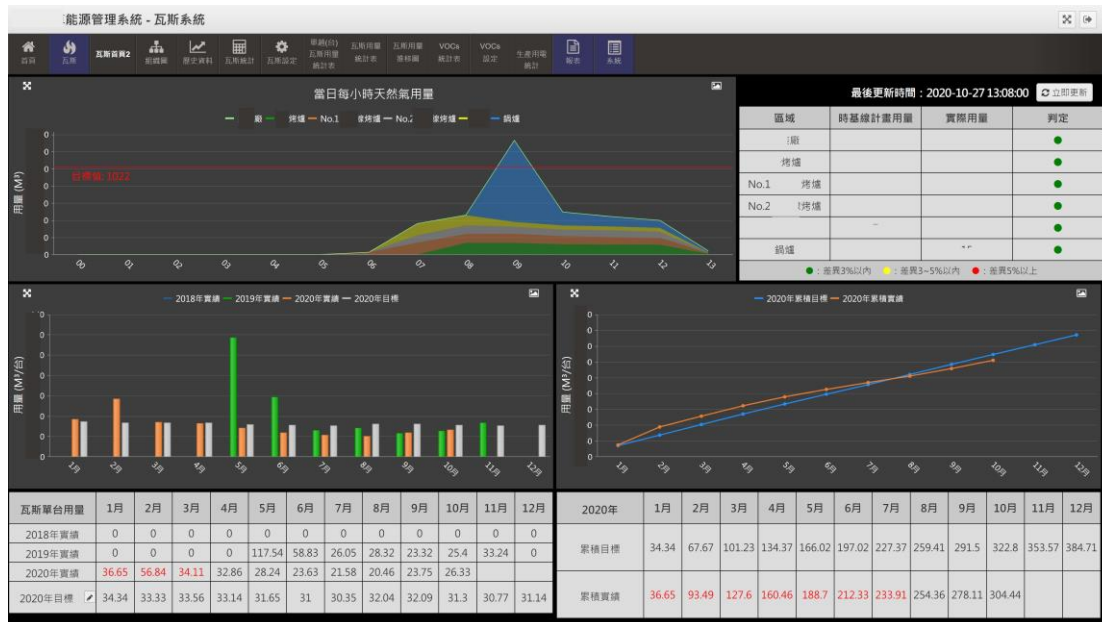


圖 2.16 瓦斯單位耗能統計與耗用正異常看板

水資源類型雖不屬於能源項目，但台灣缺水議題幾乎年年發



生，工廠亦不能置身事外，且以工業內部管理觀點，建議仍需要進行管理與掌握，水的管理與電能管理同樣面對相同的困境，因單價均較其他國家單價為低，以致進行節電與節水的誘因偏低；然而，仍有公司願意進行相關的投資與改善，提升工廠用水與節水的措施，水資源探討的議題目前亦多為節水設備及廢水循環利用，也是績優水資源的評估項目，再導入相關設備與改善前，仍建議先進行相關監控與管理，以下為一建置水資源案例的管理資訊，其提供資訊包含有當日用水量、工作日平均用水量、周六日平均用水量、當月累積用量、水費等資訊與趨勢圖表，亦可透過歷史資料查詢功能查找某時間區間的即時用量與每日用量統計資訊，或是透過如圖 2.18 建立水流向圖表掌握水的流量使用量，圖 2.19 建立水資源使用類別流量圖表掌握區分使用量，區別製程用水、一般用水(生活用水)、廢水處理量與水回收量等，亦可使用視覺化圖表，如圖 2.20 水資源能源流向圖表所示呈現相關數據變化。



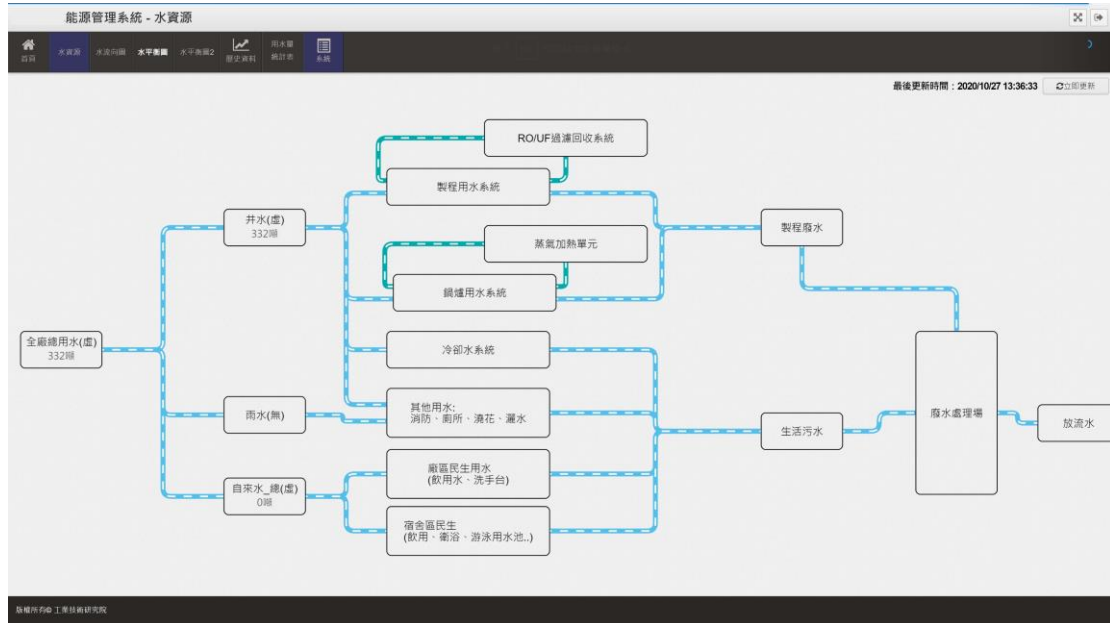


圖 2.19 建立水資源使用類別流量圖表

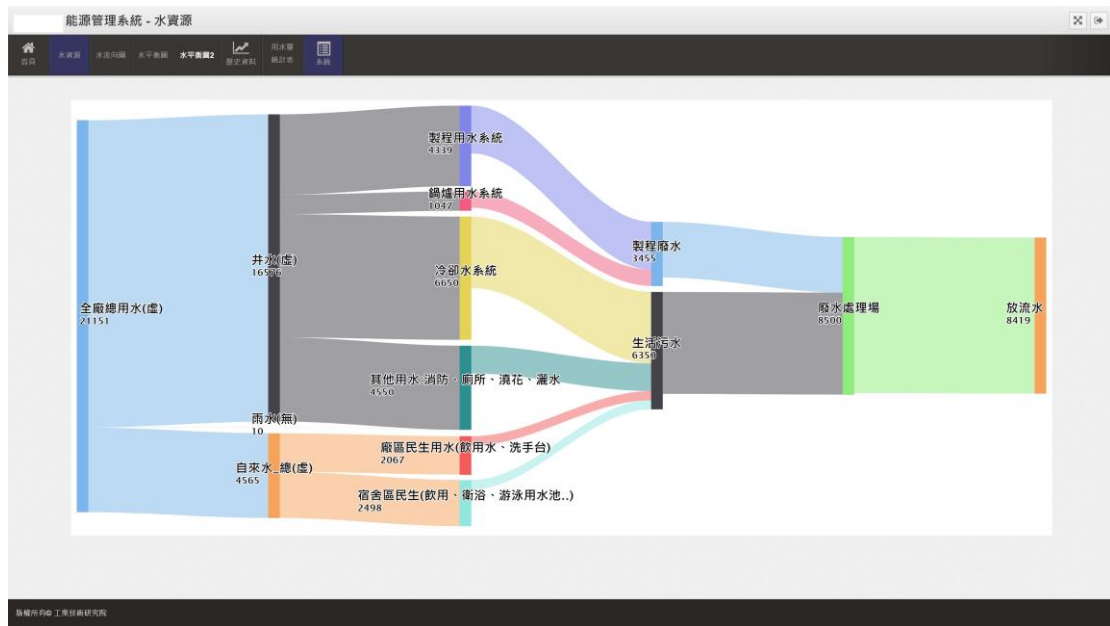


圖 2.20 水資源能源流向圖表

#### 2.4.2. 遠端監控、即時通知、減少人力負荷

遠端功能可使全廠員工或必要人員均可容易獲得能源耗資訊，

於工廠內網的環境下，可透過瀏覽器方式操作網取得相關資訊，如設備運轉狀態、環境資訊、能源用量與預警資訊等，並透過 mail 或通訊軟體即時的通知報表，如範例圖 2.21 空壓系統資訊畫面掌握設備運轉狀態、空壓空氣流量/壓力，以及空壓系統能效資訊等，圖 2.22 空調系統資訊畫面為空調系統資訊畫面範例，提供空調系統設備運轉狀態，空調系統能效指標與環境溫度等資訊。

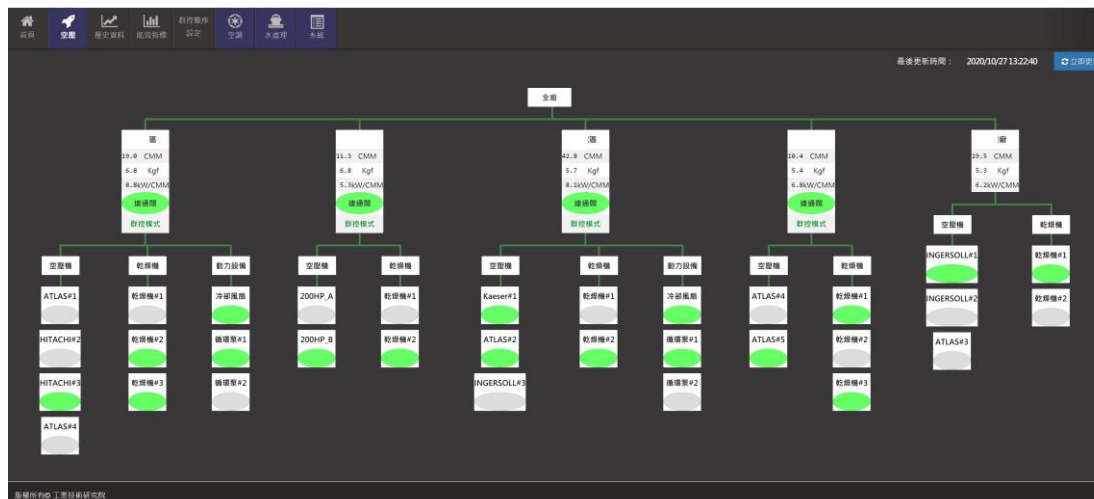


圖 2.21 空壓系統資訊畫面

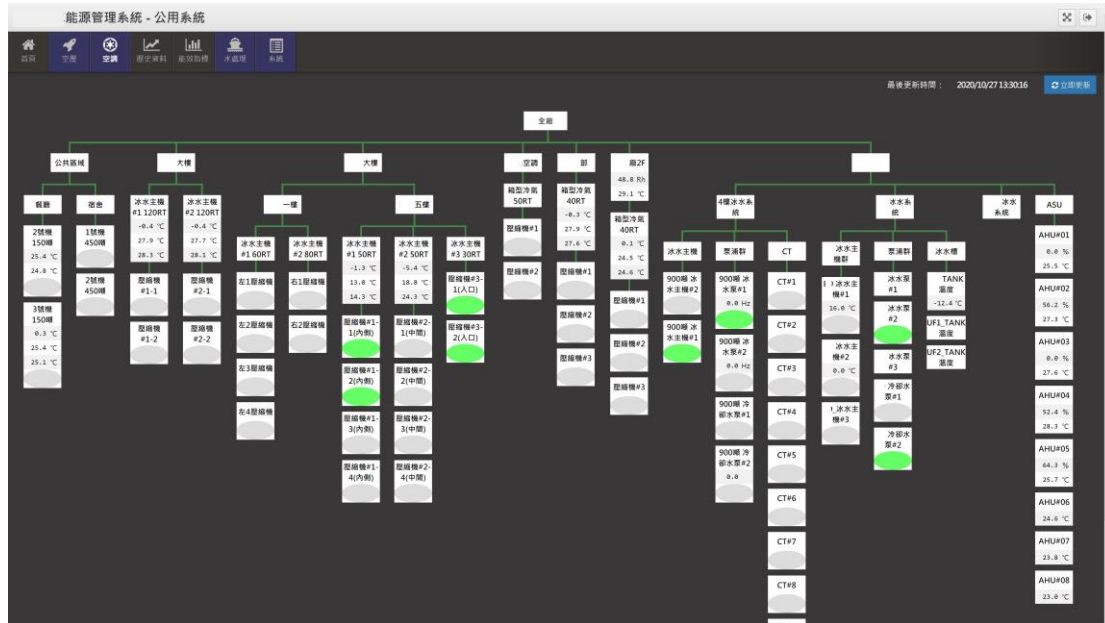


圖 2.22 空調系統資訊畫面

廠內能源設備與系統運轉資訊，可透過能源管理平台進行相關數據的監控與管理，後續章節將說明透過設備狀態與運轉資訊評估設備能效(OEE)，或以製程管制(SPC)監控技術進行能源管理措施，當這些管理項目發生異常時，此主動式能源管理系統功能將主動發出相關資訊(mail/通訊軟體)通知至相關人員並記錄資訊，如圖 2.23 能源管理系統主動式管理-mail 通知範例，或如圖 2.24 能源管理系統主動式管理-即時通訊軟體告警範例。



2020/10/29 (週四) 上午 09:51

ITRI-EMS@ITRI.CloudEMS.TW

SPC Alarm (分)

收件者 XXX,000,

2020-10-29 09:46:00

類別	點位名稱	異常說明	數值單位	OP 值	規格上界	規格下界	管制上界	管制下界	全距值	全距上界	全距下界
Pressure	空壓機HITACHI#3空壓機 3 故障狀態			1			0.9				
電力	空壓機(無油)動力室無油空壓機組_總用電		kW	6336			459.3		6336		
電力	空壓機組(微油)動力室微油空壓機組_總用電		kW	10746	550		540		10746		
Pressure	區# [空壓能效指標_區]		kW/CMM	452.57			160	0			
Pressure	區# [空壓能效指標_區]		kW/CMM	430.86			160	0			

圖 2.23 能源管理系統主動式管理-mail 通知範例



圖 2.24 能源管理系統主動式管理-即時通訊軟體告警範例

### 2.4.3. 歷史資料的統計(日/月/年)與能耗合理性分析

能源使用量的統計為基本的管理資訊，也是較為容易掌握的數據呈現，數據大小影響著後續的管理作法與措施，有系統的能源管理平台可提供比人為抄表資訊較為有準確度、效率的資訊，並延伸擴充其他管理功能，如日/周/月/年的統計量查詢，並帶有時間用量



(尖峰、半尖峰、離峰、周六半尖峰)的資訊，如圖 2.25 能源用量統計資訊查詢範例，可選定欲查詢能耗項目與時間區間，快速的提供相關耗用量資訊，並可依能源流向或單位區別進行用量的衡量，像是流向的占比、單位前一日用量/費用比較及前一月的總量比較等，如圖 2.26 能源用量比例資訊呈現範例。

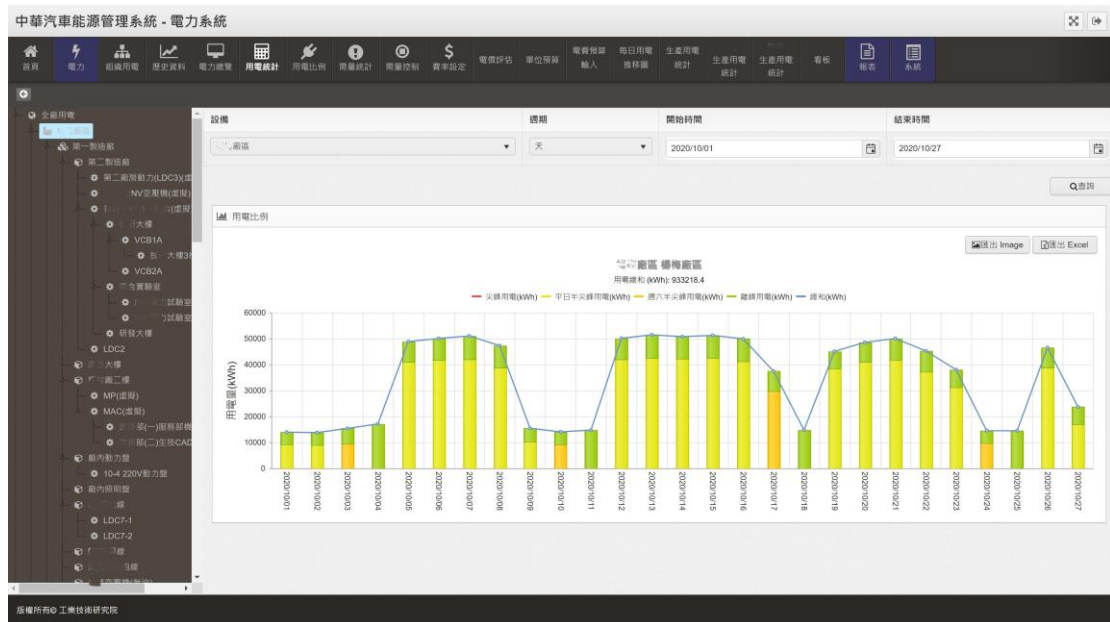


圖 2.25 能源用量統計資訊查詢範例

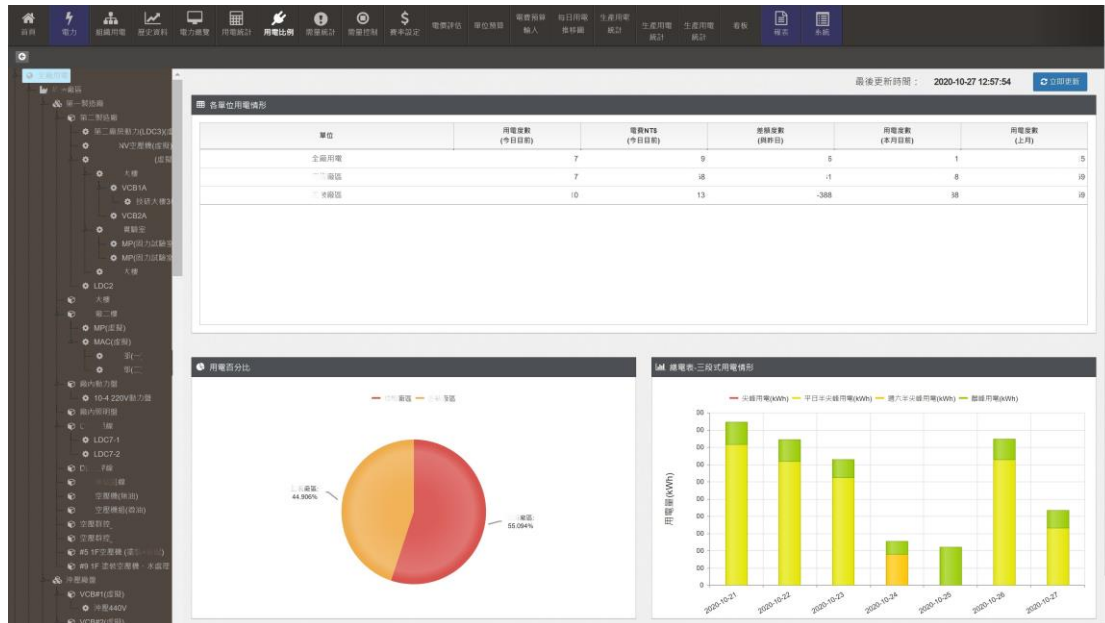
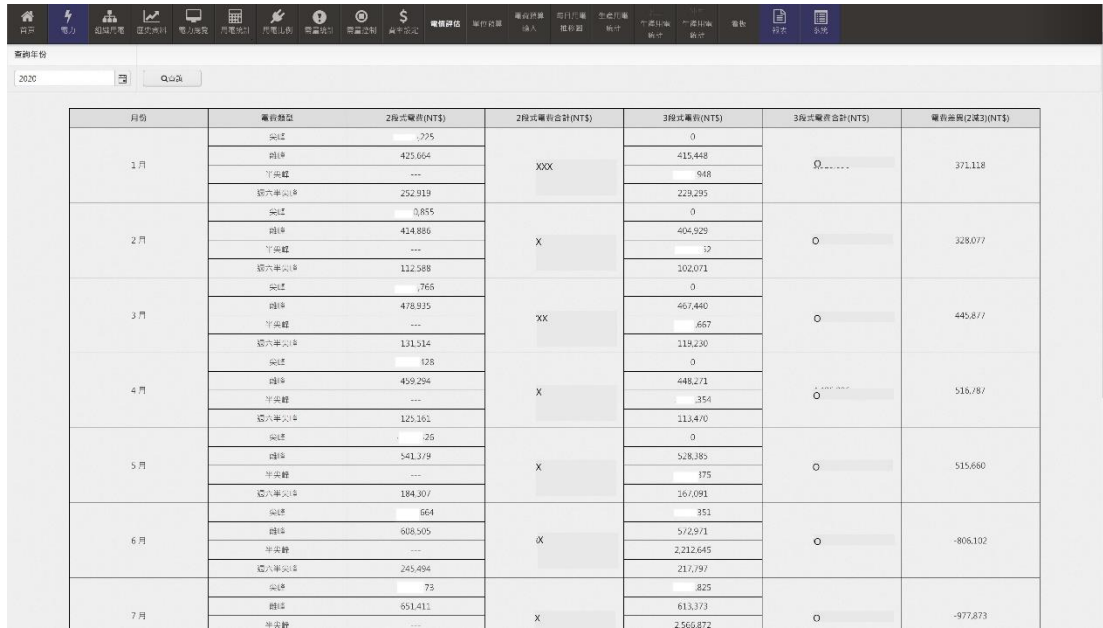


圖 2.26 能源用量比例資訊呈現範例

主動式的能源管理系統取得電能資訊後，亦可規劃評估時間電價的區別，時間電價的差異-兩段式與三段式電價，可簡易用電價單上的尖離峰比例略微換算，或是評估廠內是否有其不同班別(白/晚班)，一般而言，具有晚班或離峰時段用電量高的計費電表，較適合選擇三段式時間用電，但費用真的是否較為划算?此亦為困擾電力管理人員，提供相關計算進行評估才會有所依據，此為對工廠進行節費的改善(目前台電有針對工業用戶提供電力網站-高壓入口網站，亦有提供相似功能)。



月份	電費類型	2段式電費(NT\$)	2段式電費合計(NT\$)	3段式電費(NT\$)	3段式電費合計(NT\$)	電費差異(2或3)(NT\$)
1月	尖峰	375	XXX	0	0	374.118
	離峰	425,664		415,448		
	半尖峰	---		948		
	離半尖峰	252,939		229,295		
2月	尖峰	8,855	X	0	0	328,077
	離峰	424,886		404,929		
	半尖峰	---		12		
	離半尖峰	132,588		102,071		
3月	尖峰	765	XX	0	0	445,877
	離峰	478,935		467,440		
	半尖峰	---		667		
	離半尖峰	131,514		119,230		
4月	尖峰	128	X	0	0	518,787
	離峰	459,294		448,271		
	半尖峰	---		354		
	離半尖峰	125,382		113,470		
5月	尖峰	25	X	0	0	515,660
	離峰	541,319		528,385		
	半尖峰	---		375		
	離半尖峰	184,307		167,091		
6月	尖峰	664	X	351	0	-806,102
	離峰	608,505		572,971		
	半尖峰	---		2,212,645		
	離半尖峰	245,494		217,797		
7月	尖峰	73	X	825	0	-977,873
	離峰	651,411		613,373		
	半尖峰	---		2,569,872		
	離半尖峰	---		---		

圖 2.27 時間電量費用比較資訊

另一因能源管理可進行節費的改善是，發掘電力超過契約容量的因素，往往電力需量超過契約容量管制量時，會進行需量控制(後續章節介紹)，然亦有可能超過契約容量，而無法得知當時是哪一用電設備的用量徒增造成超過電力契約用量，於應用範例上，提供一參考管理資訊範例，如圖 2.28 每分鐘能耗設備變化量與比例排序圖表，此為可查詢每分鐘用量的變化，包含用量與其占全廠用電百分比，若每當用量超過契約容量時，可查詢比對與發掘可能造成的設備，若多次的結果顯示同設備在此時的用量變化較大，往後則可針對該項目進行節能措施或控制手法的評估。

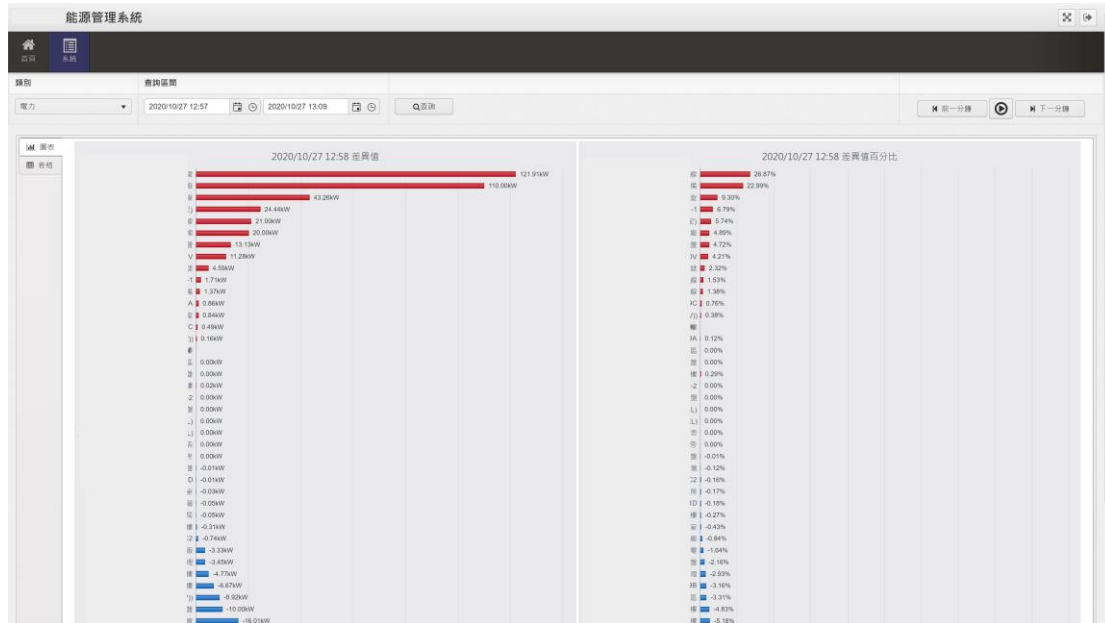


圖 2.28 每分鐘能耗設備變化量與比例排序圖表

另與電能不同類型的能源項目，瓦斯則可運用其他統計與視覺化方式提供相關資訊，如圖 2.29 瓦斯能耗設備每日/月/年用量統計報表範例，以及水資源用量統計方式亦運用其他視覺化方式呈現，如圖 2.30 水資源階層用量統計資訊與視覺化範例，提供不同的方式呈現資訊，對於每一公司文化可能會有不同習慣的呈現模式，以上範圍提供數種數據可視化呈現的範例。

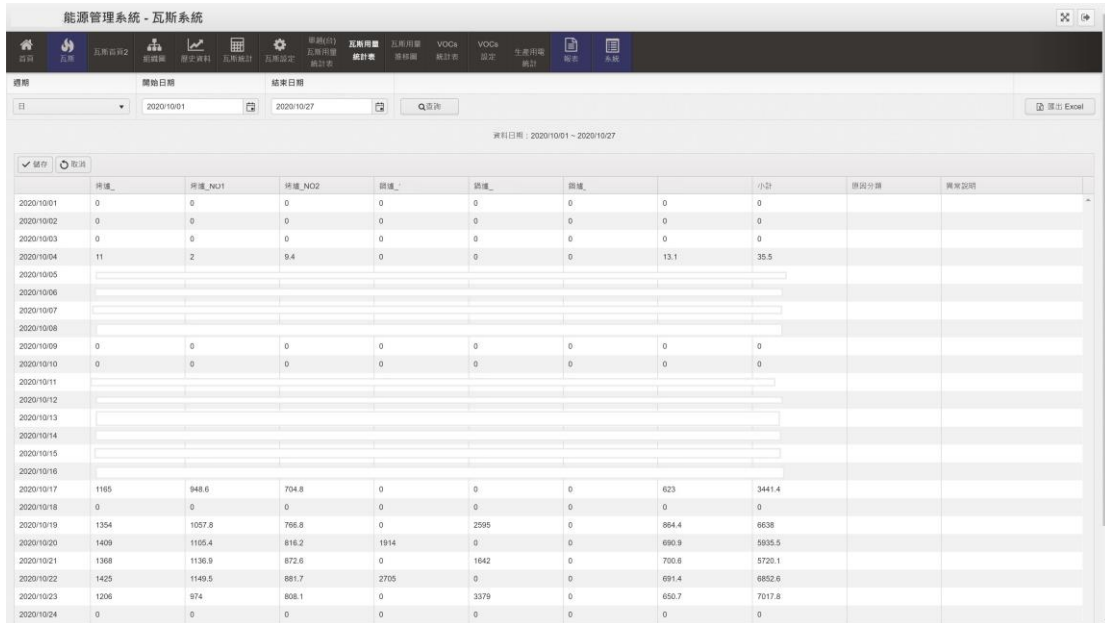


圖 2.29 瓦斯能耗設備每日/月/年用量統計報表

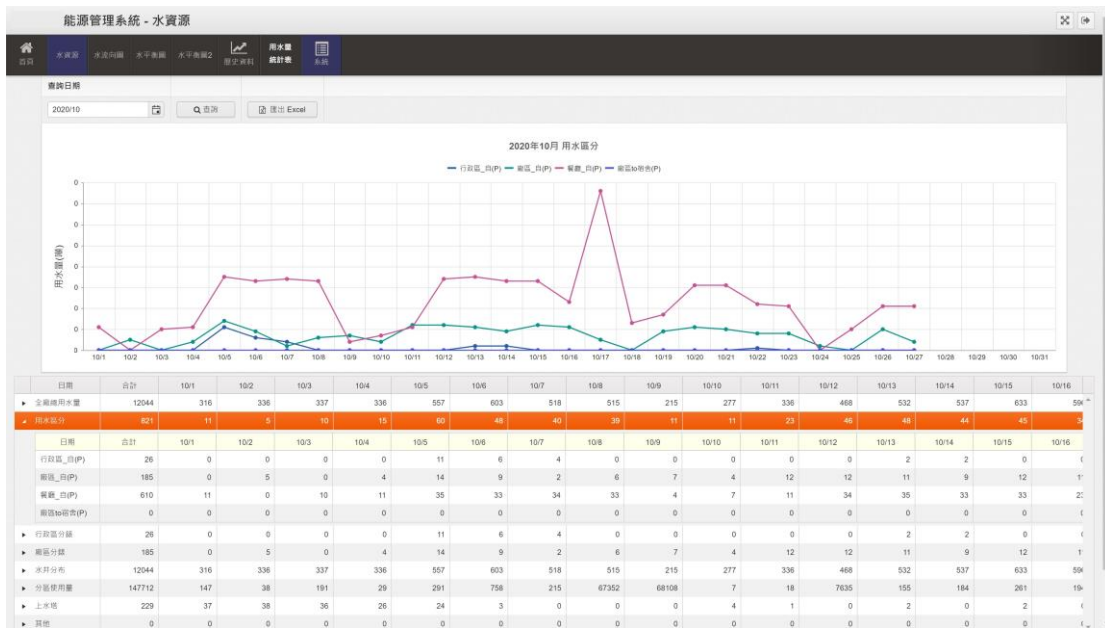


圖 2.30 水資源階層用量統計資訊與視覺化

#### 2.4.4. 即時預警(需量控制)與控制參數設定

需量控制為一般抑致電利用電量上升的手法，主要透過電力的



監控設定一比例或數值的門檻警戒值，當觸發警戒值時，透過警示燈號警示值班人員，或透過已設定的控制邏輯進行能耗設備的卸載，設備卸載方式可有評估方法眾多，以下以依範例說明，當需量警示處發後，一次性的將設備卸載至警戒值之下另一設定值；另一卸載方式則可是一次一設備的卸載，電力耗用仍持續上升則持續卸載設備至警戒值下或無設備，電力耗用小於警戒值後，設備重新加載，亦可如同卸載之邏輯進行之。控制設備加卸載邏輯有多種方式，制定符合廠內設備運轉需求為其主要考量，目前進行卸載設備設定對象多以非製程空調設備為主，次之為非製程的排風風機與泵浦等，選擇卸載設備時，應多考量是否會影響人員作業安全，以及製程作業流程，若有影響，則應避免設定其為卸載設備，圖 2.31 需量控制項目與警示管制為一卸載設定介面範例，範例中，可設定卸載設備的順序，與是否加入卸載的控制對象，以及需量警戒值的設定等。

能源管理系統在廠內的資訊架構下，其位階應是在全廠管理應用的階層，所以，其系統不建議直接控制相關運轉設備，能管系統功能應是設定相關參數，並發起觸發控制訊號之功能，至實際控制動作應是現場的控制器(PLC)或遠端 I/O 控制器為制動元件，因此，

能源管理系統介面應提供相關設定參數介面，如卸載控制設備其卸

載順序，空壓節能群控功能，設定其加卸載控制順序，如圖 2.32

空壓系統順序控制參數設定與圖 2.33 空壓系統順序控制修改紀錄資

訊範例參考，其致動控制由現場控制元件(PLC)或遠端 I/O 控制器執

行之。

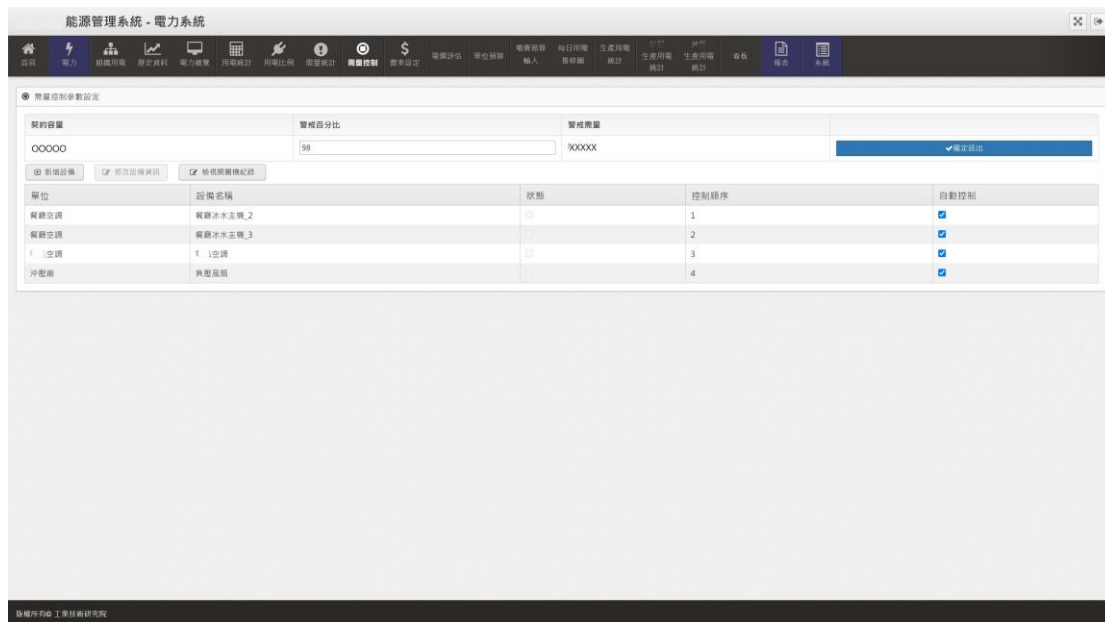
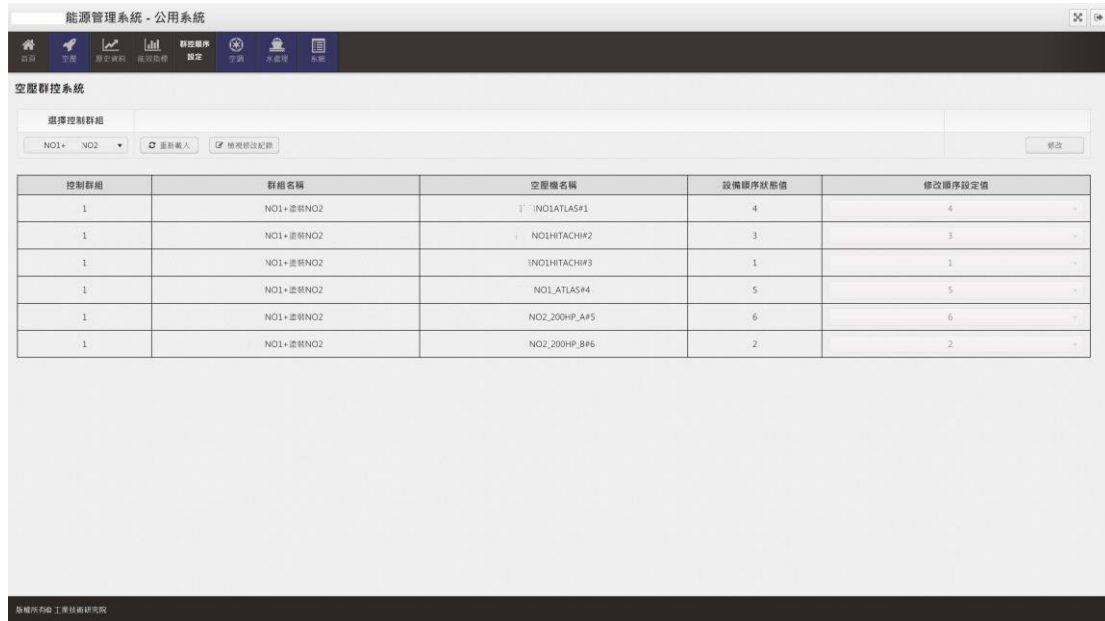
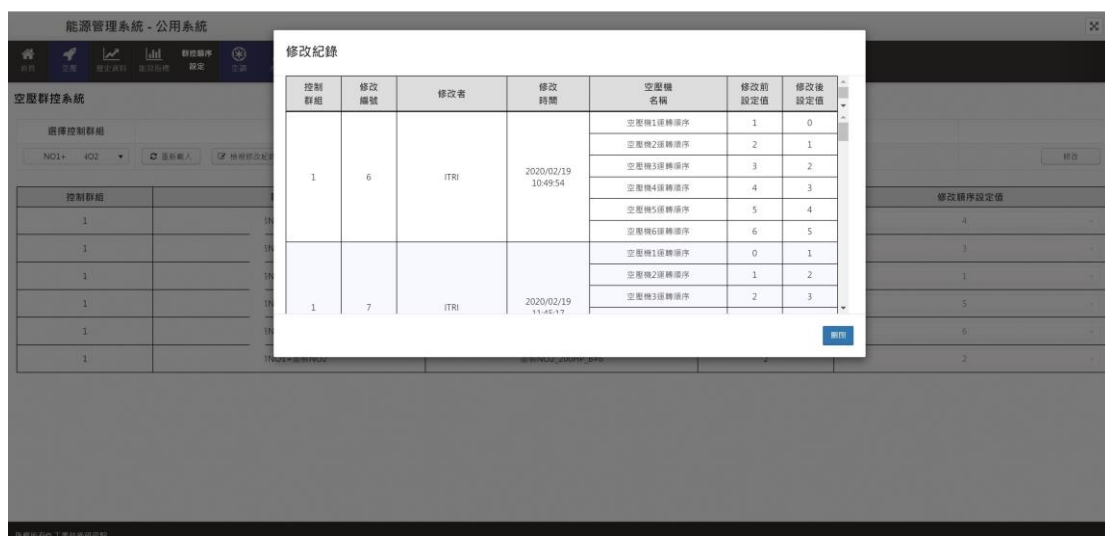


圖 2.31 需量控制項目與警示管制



控制群組	群組名稱	空壓機名稱	設備順序狀態值	修改順序設定值
1	NO1+空壓NO2	INO1ATLAS#1	4	4
1	NO1+空壓NO2	INO1HITACHI#2	3	3
1	NO1+空壓NO2	INO1HITACHI#3	1	1
1	NO1+空壓NO2	NO1_ATLAS#4	5	5
1	NO1+空壓NO2	NO2_200HP_A#5	6	6
1	NO1+空壓NO2	NO2_200HP_B#6	2	2

圖 2.32 空壓系統順序控制參數設定



控制群組	修改編號	修改者	修改時間	空壓機名稱	修改前設定值	修改後設定值
1	6	ITRI	2020/02/19 10:49:54	空壓機1旋轉順序	1	0
				空壓機2旋轉順序	2	1
				空壓機3旋轉順序	3	2
				空壓機4旋轉順序	4	3
				空壓機5旋轉順序	5	4
				空壓機6旋轉順序	6	5
1	7	ITRI	2020/02/19 11:46:17	空壓機1旋轉順序	0	1
				空壓機2旋轉順序	1	2
				空壓機3旋轉順序	2	3

圖 2.33 空壓系統順序控制修改紀錄資訊

## 2.5. 客製化報表

基礎的用電資料收集與呈現後，可延伸擴展的功能則可規劃符合用電單位需求的報表與分析資訊，此資訊提供管理的決策與效益將會



較前述功能更為有效與助益，於此手冊將提出參考的報表資訊；圖 2.34 單位成本管理報表範例，此報表內容提供了以 ISO-50001 為管理單位的能耗資訊，以單位成本劃分負責，並呈現能管負責單位、各單位能源管理人員資訊、單位實際與預算費用的差異，以及分擔電費基本費的數據，耗用越多負擔越多，促使各單位重視能源耗用的重要性；預算費用若能與公司內部系統介接則為佳，若無法介接時，亦可由系統建置一輸入介面，如圖 2.35 單位預算成本輸入介面範本。

能源管理系統 - 電力系統

查詢日期: 2020/10

部門	總管理			管理部				台電帳單電費					合計	
	工總	工總	工總	餐廳	容會	空運	大樓	部	部	部	部	部		
ISO50001窗口														
部門用電量數(度)	1044							11344	41133	1759	11398	1039	1142470	
部門流動電費(元)	9278							1766	3248	9716	715	6178	17981	
電費佔比(%)	79.58%							2.06%	3.02%	4.49%	1%	0.59%	100%	
單位用電量數(度)	518469	174481	35884	11591	110120	2858	13395	13044	19333	1759	11398	1039	12470	
單位流動電費(元)	1272189	1719151	1198786	117367	144986	7460	17065	3766	110348	100716	40715	26178	17981	
電費佔比(%)	31.44%	42.28%	5.9%	3.15%	6.7%	0.17%	2.15%	2.06%	3.02%	4.49%	1%	0.59%	100%	
分攤基本電費(元)	44335	517535	81384					29114	42681	63456	14133	8338	13280	
分攤給粉費(元)	0	0	0					0	0	0	0	0	0	
分攤功率因數費(元)	0	0	0					0	0	0	0	0	0	
分攤電費差額費(元)	0	0	0					0	0	0	0	0	0	
實際總電費(元)	17524	2116686	322170					10880	17929	7172	9848	1516	131261	
電費預算(元)	13225	2123843	308748					10283	17000	75583	718	1625	12572	
差異(元)	-21399	7157	-13422					6097	9229	-4411	11670	-109	1111	

圖 2.34 單位成本管理報表範例

單位名稱	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
平電成本	4675310	6115297	5959615	6151810	6571675	8152498	8621447	7888102	6387811	5652072	5833121	5811737
燃料(單位)	373484	709337	715943	878676	1216491	1414878	1298527	1316715	1383770	844747	774219	788681
水(單位)	290000	211666	211666	211666	201063	201063	201063	201063	201063	201063	201063	201090
副(單位)	100000	200099	200402	200000	180000	213750	213750	213750	213750	100000	180000	180000
電(單位)	361667	361667	361667	361667	343583	343583	343583	343583	343583	343583	343583	343583
副(單位)	48895	48895	49194	60281	81470	111338	129118	102470	110320	71118	22012	60118
電(單位)	37500	37500	37500	37500	35625	35625	35625	35625	35625	35625	35625	35625
工(單位)	1101230	1840227	1570375	1589382	1822872	2112589	2386431	2033948	1477410	1483226	1510595	1019656
上(單位)	1729352	2588828	2480752	2490485	2424254	3308898	3614057	3187100	2314732	2323843	2385825	2381228
工(單位)	229232	341429	327268	331220	337817	430755	480663	423878	307938	308748	316319	316698

圖 2.35 單位預算成本輸入介面範本

圖 2.36 生產用量與產品單耗統計資訊與趨勢報表為整合 ERP 系統，將產量資訊與能源資訊整合計算其產品單耗，並將其當日、當月、生產用電、非生產用電、生產天數與其用電資訊整合一報表，並以視覺化方式呈現其數據、趨勢變化與其表格數據。



圖 2.36 生產用量與產品單耗統計資訊與趨勢報表

生產用電與非生產用電的統計，因工業生產型態樣式眾多，有站台式或連續式等生產模式，本文將提供數種統計的方式，有時間定義方式生產(含加班)/非生產、有透過感測訊號判定是否為生產狀，或是以產線用電量判定方式，供業界參考與規劃，圖 2.37 生產與非生產時段用電查詢功能報表為透過時間定義的方式，設定其生產與非生產時段用電查詢功能報表，此介面亦可設定當日是否有加班工作，用評估含加班時間下，能耗成本的多寡，當僅有少數生產單位加班時，其用電與正常班時用電或產品單耗有多少差異，是否合乎用電成本，可供生產排程單位與能耗單位評估參考；圖 2.38 此訊號整合方式判別生產與非生產用電量報表為透過訊號整合方式

判別兩者用量報表，將生產製程設備資訊整合至能源管理系統，將製程訊號作為生產起訖判斷；圖 2.39 設定用電量門檻方式判別生產與非生產用電量報表為運用設定產線用電量門檻方式判別生產與非生產用電量報表，將產線實際用電列為生產，待機、故障、維修等時段列為非生產用電，當非生產用量偏高時，則代表機台設備稼動率偏低，不必要的能耗與成本將相對增加；整合製程資訊，則可針對同一設備不同製程行為或動作進行分析，其耗用的時間與能耗差異，甚至亦可整合產品批號/型號，進行更細的產品能耗占比分析，將產品成本有效的評估，而非平均式的分擔其能源成本，視覺化呈現方式可參閱，如圖 2.40 以製程設備訊號判別能源耗用量報表。

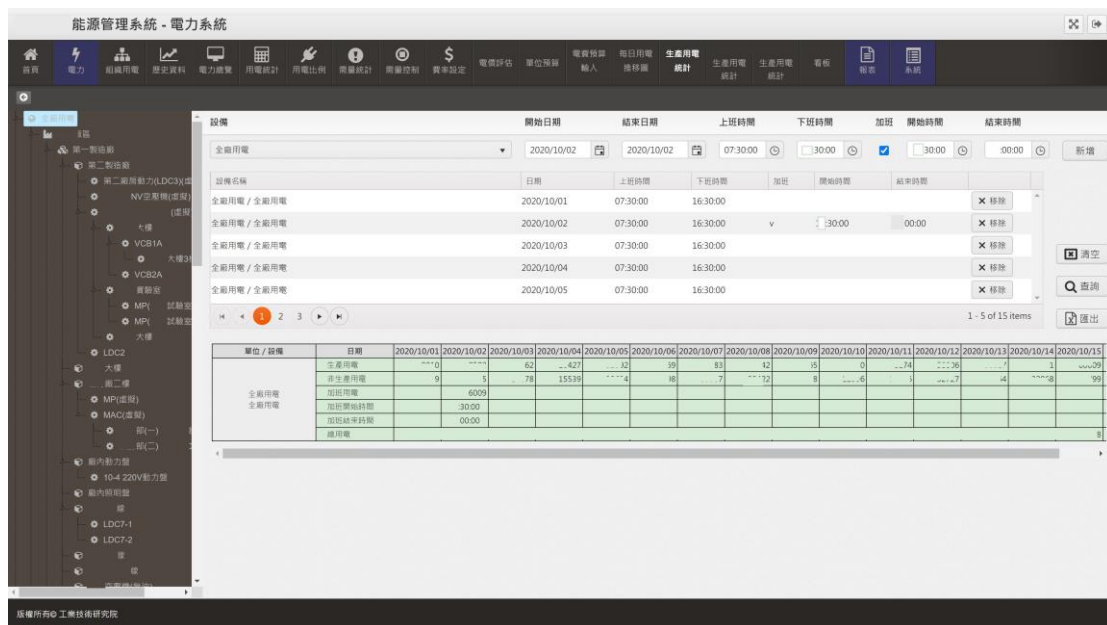


圖 2.37 生產與非生產時段用電查詢功能報表

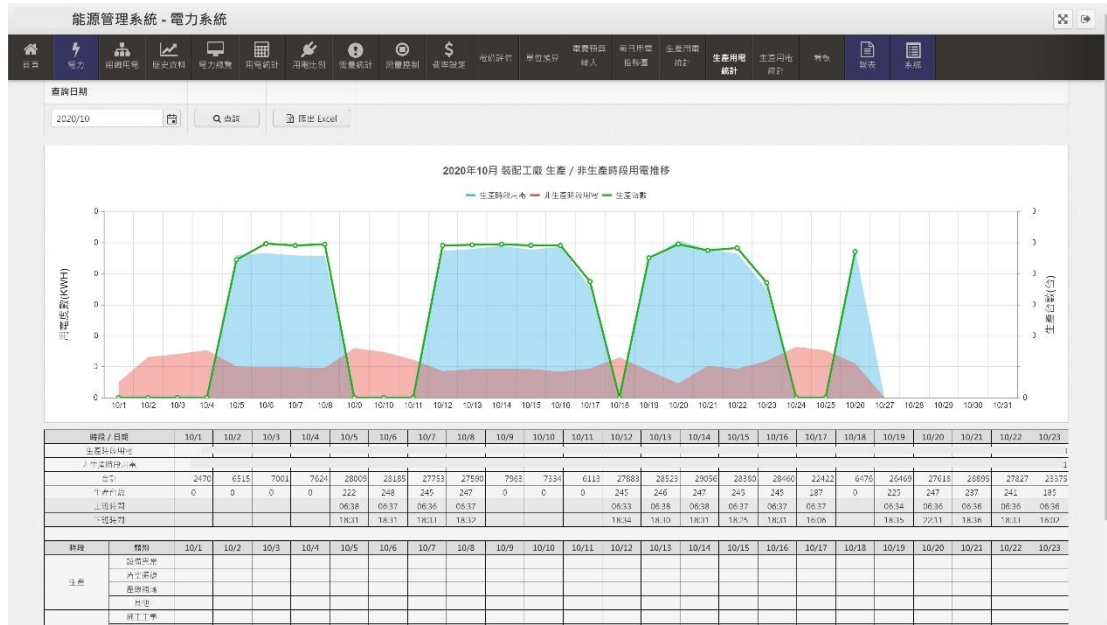


圖 2.38 此訊號整合方式判別生產與非生產用電量報表

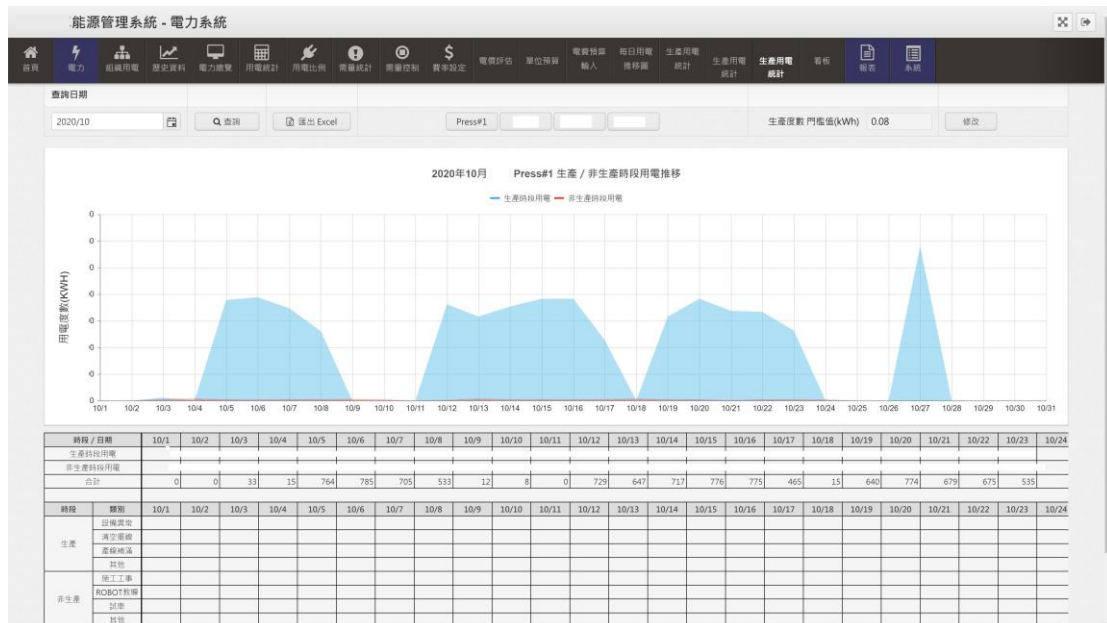
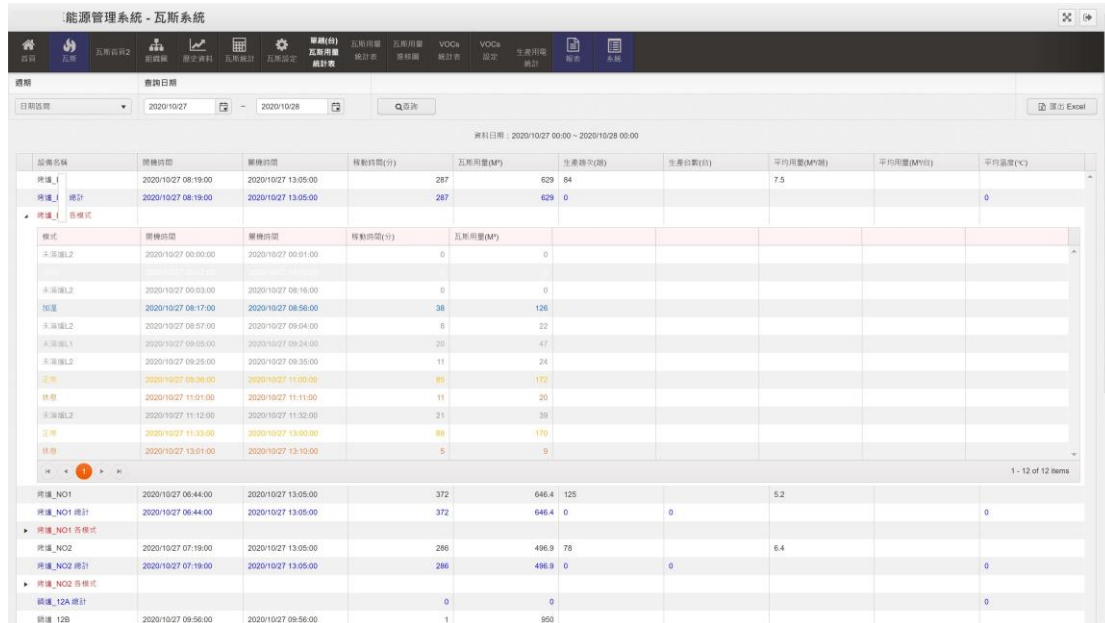


圖 2.39 設定用電量門檻方式判別生產與非生產用電量報表



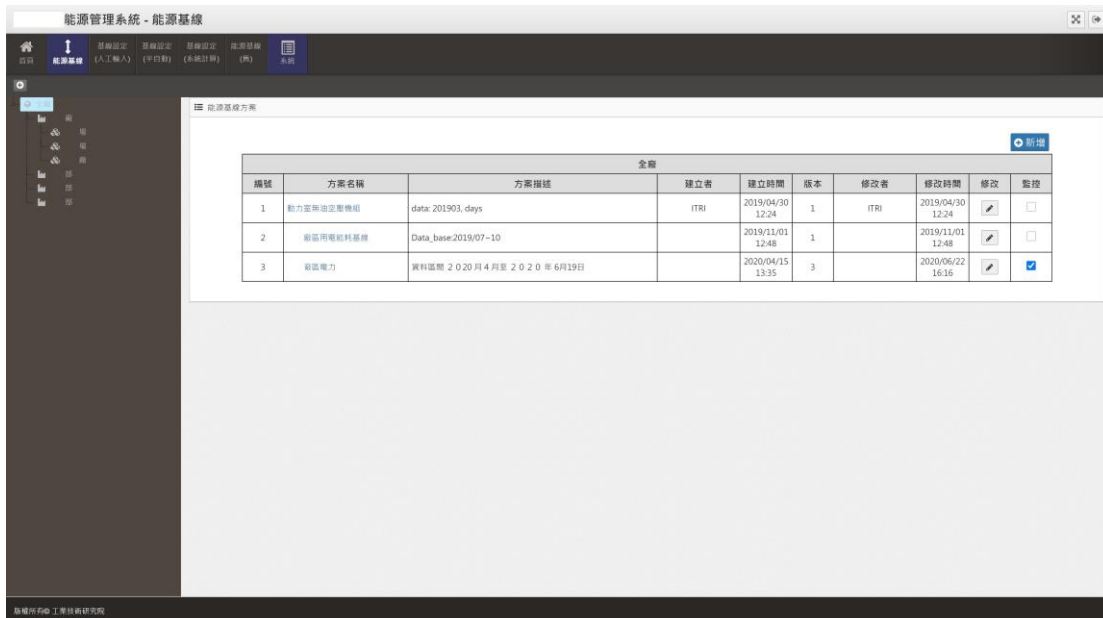
設備名稱	開始時間	結束時間	耗電量(kWh)	瓦斯用量(M <sup>3</sup> )	生產廢水(噸)	空壓台數(台)	平均用量(M <sup>3</sup> /週)	平均用量(M <sup>3</sup> /日)	平均溫度(°C)
機櫃_1	2020/10/27 08:19:00	2020/10/27 13:05:00	287	629	84		7.5		
機櫃_1 總計	2020/10/27 08:19:00	2020/10/27 13:05:00	287	629	0				0
機櫃_1 各機式									
機式	開始時間	結束時間	耗電量(kWh)	瓦斯用量(M <sup>3</sup> )					
未滿溫_12	2020/10/27 09:00:00	2020/10/27 09:01:00	0	0					
未滿溫_12	2020/10/27 09:03:00	2020/10/27 09:16:00	0	0					
加溫	2020/10/27 08:17:00	2020/10/27 08:56:00	38	126					
未滿溫_12	2020/10/27 08:57:00	2020/10/27 09:04:00	6	22					
未滿溫_11	2020/10/27 09:05:00	2020/10/27 09:24:00	20	47					
未滿溫_12	2020/10/27 09:25:00	2020/10/27 09:35:00	11	24					
正常	2020/10/27 09:36:00	2020/10/27 11:00:00	85	172					
待機	2020/10/27 11:01:00	2020/10/27 11:11:00	11	20					
未滿溫_12	2020/10/27 11:12:00	2020/10/27 11:32:00	21	39					
正常	2020/10/27 11:33:00	2020/10/27 13:00:00	88	170					
待機	2020/10/27 13:01:00	2020/10/27 13:10:00	5	9					
機櫃_NO1	2020/10/27 06:44:00	2020/10/27 13:05:00	372	646.4	125		5.2		
機櫃_NO1 總計	2020/10/27 06:44:00	2020/10/27 13:05:00	372	646.4	0				0
機櫃_NO1 各機式									
機櫃_NO2	2020/10/27 07:19:00	2020/10/27 13:05:00	286	496.9	76		6.4		
機櫃_NO2 總計	2020/10/27 07:19:00	2020/10/27 13:05:00	286	496.9	0				0
機櫃_NO2 各機式									
機櫃_12A 總計			0	0					0
機櫃_12B	2020/10/27 09:56:00	2020/10/27 09:56:00	1	690					

圖 2.40 以製程設備訊號判別能源耗用量報表

## 2.6. 能源基線的建立

能源管理系統或節能評估的基線建立，對於一般維護/公用/廠務單位為另一知識與技術領域，在實務應用上，略有其相對的困難度與抗拒感，然而，一能源管理系統已將相關的能源資訊建置，若能將影響其耗能因數整合至管理平台，則可以將基線功能的建置，透過視覺化方式的操作點選，即完成一次方程線性的回歸模型，對於管理面與節能評估上有相當的助益；在本技術手冊，將不多以解釋與說明 ISO-50001 能源管理系標準與章節內容要求，僅將說明如何透過能源管理系統，透過系統介面的點選，並自動化的建立線性回歸模型，並可以文件化方式儲存與參數輸入方式預估數值，如圖

2.41 設定能耗範圍並建立能源基線模型清單所示，其資訊可提供基線方案名稱、方案描述、建立者、建立時間、版本及修正資訊等，細部資料亦可得知建立基線所運用的資料期間，並設有監控功能選項，將基線數值與實際值進行數值差異的監控，當差異超過設定數值，則會有警示訊息通知管理人員。



能源管理系統 - 能源基線

能源基線 (人工輸入) (自動) (系統計算) (四)

能源基線方案

全部									
編號	方案名稱	方案描述	建立者	建立時間	版本	修改者	修改時間	修改	監控
1	動力室柴油空壓機組	data: 201903, days	ITRI	2019/04/30 12:24	1	ITRI	2019/04/30 12:24		<input type="checkbox"/>
2	新舊用電材料基線	Data_base:2019/07-10		2019/11/01 12:48	1		2019/11/01 12:48		<input type="checkbox"/>
3	新區電力	資料區間: 2 0 20 月 4 月至 2 0 2 0 年 6月19日		2020/04/15 13:35	3		2020/06/22 16:16		<input checked="" type="checkbox"/>

編輯內碼: 工業技術研究院

圖 2.41 設定能耗範圍並建立能源基線模型清單

能源基線的建立，在系統上可運用已整合的變數作為回歸模型的自變數，然而，實務上仍有變數是透過人工抄寫紀錄的，在完整能源基線建立的功能上，在本技術手冊應用的能源管理系統，具有半系統化的基線建立功能，部分變數資料由能源管理系統提供，部分變數資料由人員輸入取得，即可演算其回歸模型，或是全部由人



員輸入相關資料，建立其能源基線，以建立符合能源基線文件化的規範，此範例功能可參閱圖 2.42 使用不同資料來源建立能源基線模型；圖 2.43 模型系統化建立之操作與設定介面範例為模型系統化建立之操作與設定介面範例，在設定介面中，需提供基線文件化的資訊，方案名稱、內容、資料區間、能源基線建立的週期(日、月、年)，以及基線目標變數類型，為一總值或能效的數值，並進行系統上能耗點位的選擇與是否需進行點位的計算，相同的自變數亦為相同的操作模式，執行基線計算後，並提供用於評估模型與這些量測數據有多大的符合性的決定係數(Coefficient of determination， $R^2$ )，以及常用於判斷變數在統計上是否顯著的重要指標 p 值(p-value)，系統亦會將常用於辨別是否顯著的門檻值(0.05)作為，變數篩選的機制，衍生 n-1 個模型，供使用者進行欲建立模型的選用。

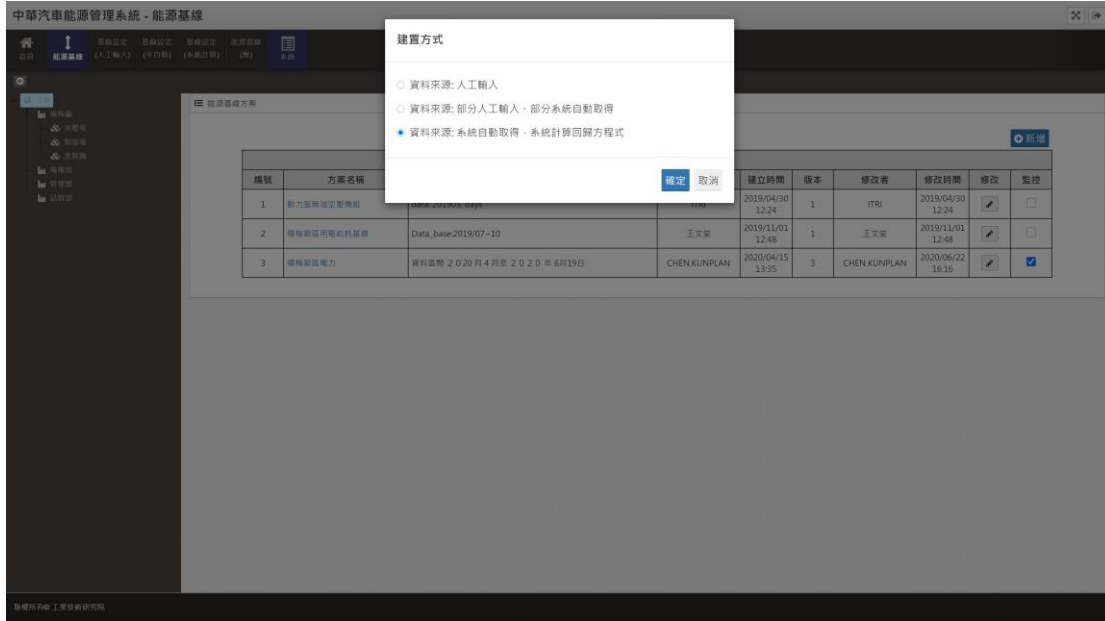


圖 2.42 使用不同資料來源建立能源基線模型

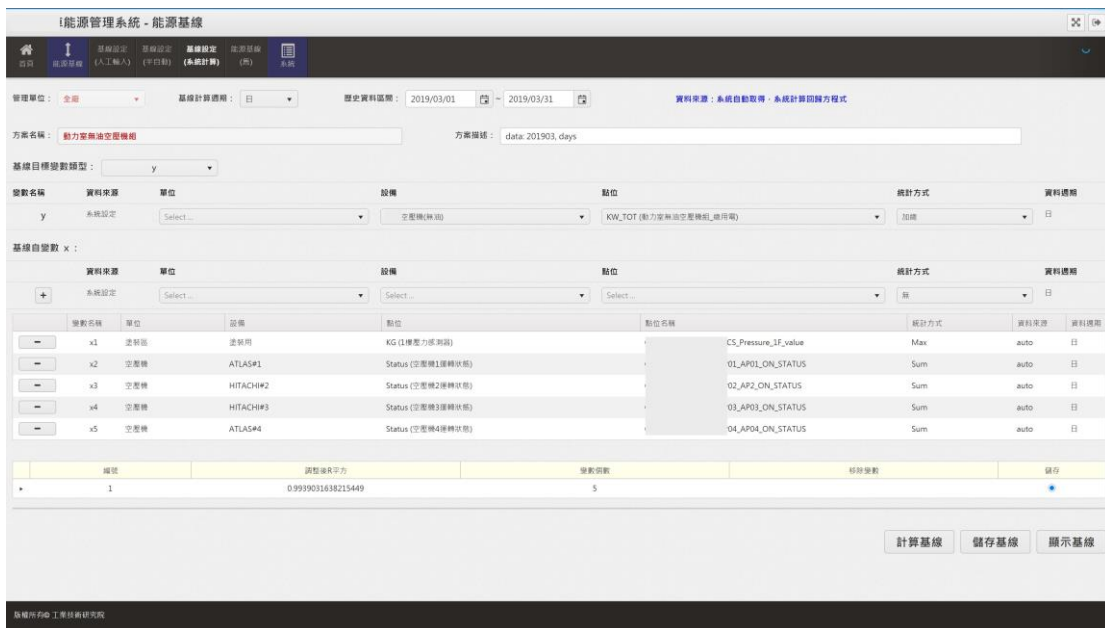


圖 2.43 模型系統化建立之操作與設定介面範例

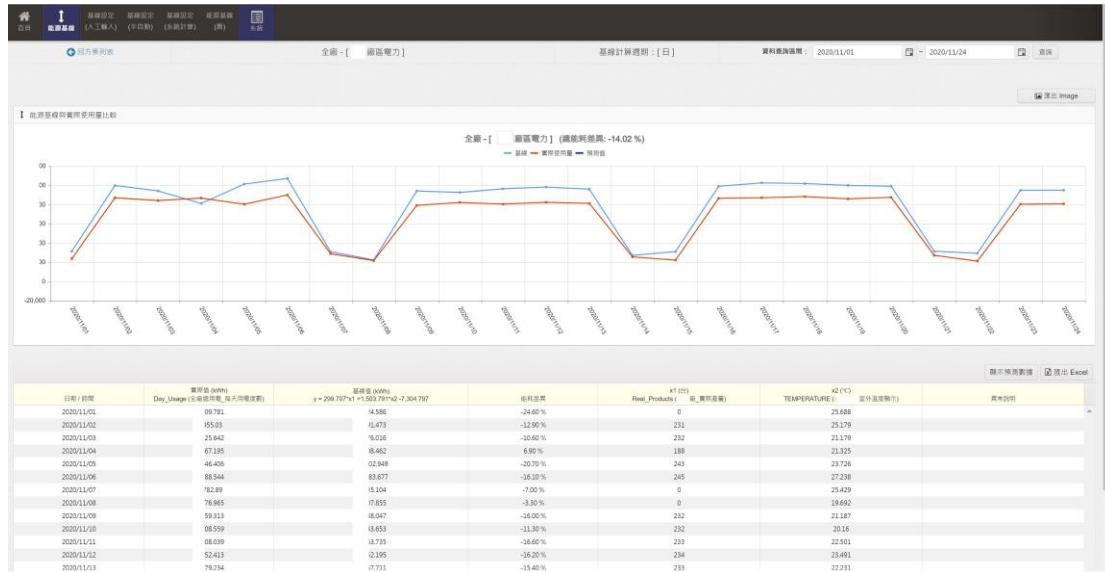


圖 2.44 能源基線模型趨勢

## 2.7. 統計製程管制(Statistical Process Control, SPC)

愛德華茲·戴明是著名的質量管理大師，戴明博士最早提出 PDCA 迴圈的概念與推廣統計製程管制 ( Statistical Process Control, SPC )，他的觀念是系統地檢查產品的瑕疵，分析缺點的成因並加以修正，並記錄隨後品質改變的效果，將品質改善的觀念由「檢驗」拉至「流程管制」此概念說明品質是製造出來的，而非檢驗出來的。統計製程管制(SPC)之目的為監視製程之狀態，當發現製程不穩定時可以及時找出異常原因，在必要時採取適當之矯正行動以排除異常，降低製程之變異並使製程恢復穩定狀態；統計製程管制為一預防性的品質管制手段，比事後的檢驗更能提升產品品質。



於能源管理系統應用下，將品質管制的目的，轉換成”能耗/能效”的管制，以促進設備能耗的”品質”，如圖 2.45 統計製程監控頁面範例，同一設備點位可設定多個管制值在不同的管制時間，設定參考如圖 2.46 製程監控時間區間設定頁面範例。然而，原先的製程統計分析為離散抽樣式的數值，前後數值較無關聯性，但在廠務設備運準資料上為時間序列性，前後數值有一定的關聯性，故再評估需略微調整其方法，在能源管制的方法上，仍應用了管制圖表的型式，管制圖中包含中心線 ( center line, CL )、管制上限 ( upper control limit, UCL )、管制下限 ( lower control limit, LCL )，如圖 2.47 管制圖樣式與圖 2.48 管制線制定原理所示之，運用平均值( $\mu$ )與標準差( $\sigma$ )定義其管制上下線，此上下限值與設備規格管制線(spec limit)意義大不同，規格管制線為設備本身可承受的運轉限度，UCL 與 LCL 可透過統計方式計算出其管制值，如範例案例使用時間序列的 I-Chart 與移動全距 MR-Chart 兩類型，其應用畫面範例，可參閱圖 2.49 統計製程計算管制值與資料區間設定範例。

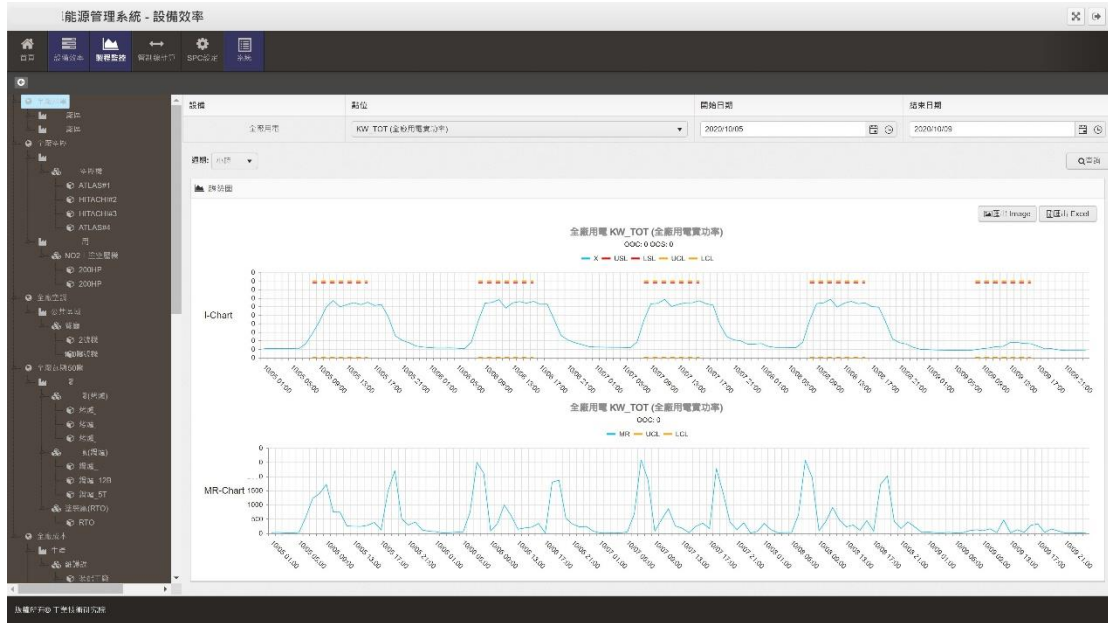


圖 2.45 統計製程監控頁面範例

圖 2.46 製程監控時間區間設定頁面範例

Shewhart管制圖樣式:

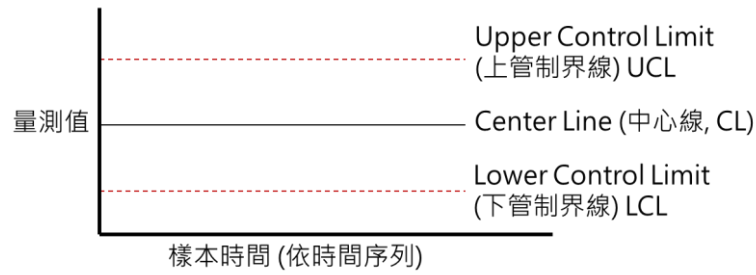


圖 2.47 管制圖樣式

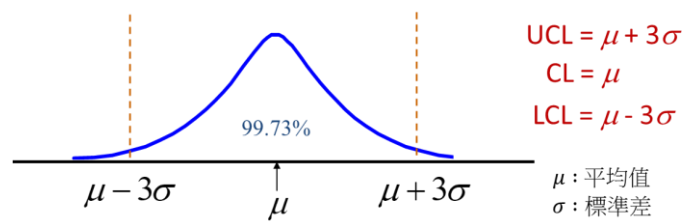


圖 2.48 管制線制定原理

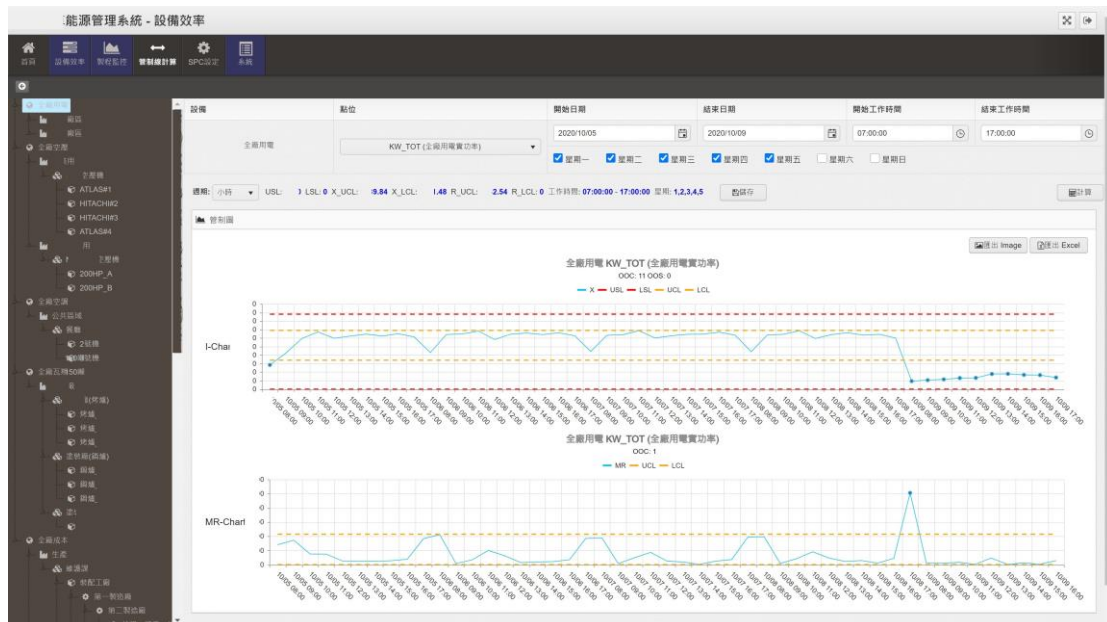


圖 2.49 統計製程計算管制值與資料區間設定範例



## 2.8. 設備綜合效率指標(Overall Equipment Efficiency, OEE)

為能了解製程設備能源耗用上之合理性及在能源管理上有效掌握製程設備能耗效率，引用設備綜合效率指標(Overall Equipment Efficiency, OEE)用以評估設備能耗與能效運作參考指標，設備綜合效率指標(OEE)的原始定義在評量生產設施有效運作的指數，在設定的時間中，以設備實際表現與設計或規劃能力的相較結果，藉以協助管理者透過對應指標，進行問題的排除，所以，導入能源設備 OEE 的目的在於提供全面性的效率指標、提供相同設備評比依據與提升管理效率。

提供全面性的效率指標評估方法乃因現有之監控工具較無整體評估系統設備之操作、運轉效(efficiency)，亦即無法明確瞭解系統設備實際的貢獻與投入能源間之關係；提供同一設備評比依據主因能源管理人員對於同類型設備，尚缺乏合理、具邏輯且基準相同之分析工具，能源 OEE 指標可作為系統設備相互評比之依據，在提升管理效率則當能管員在面對數量龐大之系統設備時，有問題之狀況常因在眾多的資料數據中，無法快速且正確地做出合理判斷，即時性能源 OEE 可提供能效降低因素與改善方向。



設備綜合效率指標(OEE)為目前普遍運用於製程設備生產效率的計算工具，可以表現實際的生產能力相對於理論產能的比率；OEE之計算是由可利用率(Availability)、運作效率(Performance)，以及品質效率(quality)所構成，其方程式表示為OEE = 可利用率 ×

運作效率 × 品質效率 式 2.1 :

$$OEE = \text{可利用率} \times \text{運作效率} \times \text{品質效率} \quad \text{式 2.1}$$

其中，

$$\text{可利用率} = \frac{\text{實際生產時間}}{\text{可用時間}} \quad \text{式 2.2}$$

$$\text{運作效率} = \frac{\text{實際產能}}{\text{理論產能}} \quad \text{式 2.3}$$

$$\text{品質效率} = \frac{\text{良品數}}{\text{實際生產數}} \quad \text{式 2.4}$$

$$\text{而可利用率} = \frac{\text{實際生產時間}}{\text{可用時間}} \quad \text{式}$$

$$2.2 \text{ 至品質效率} = \frac{\text{良品數}}{\text{實際生產數}} \quad \text{式 2.4}$$

中之名詞定義及相互關係可以由圖 2.50 OEE 應用能源設備項目對

應瞭解。可利用率的降低可能來自於機器設備故障、排程不良等，而運作效率可能受到不當待機、操作不當、設備能力降低等因素影響，而品質效率則是由品質管制能力所決定。OEE 效率上的損失亦是造成能源耗用上的浪費原因，例如不當待機或機器老舊所造成的運轉效率下降，也意味著在能源的單位生產效率上也表現不良，因此若在 OEE 指標計算上再加入能源項目，則可作為評估產線設備生產及能源效率的有效管理指標。改良後之指標定義可如圖 2.50 對應之。

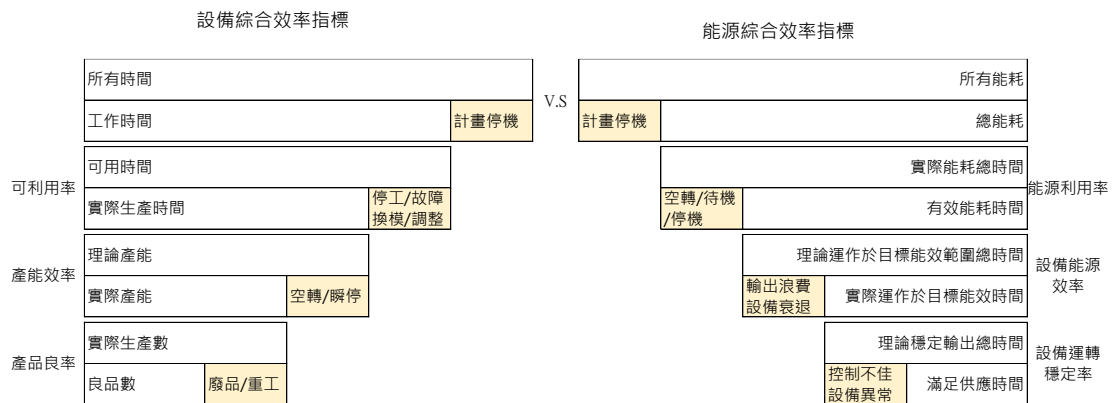


圖 2.50 OEE 應用能源設備項目對應

$$\text{能源利用率} = \frac{\text{有效能耗}}{\text{實際總能耗}} \quad \text{式 2.5}$$

$$\text{設備能源效率} = \frac{\text{實際運作於理論能效範圍時間}}{\text{理論運作於目標能效範圍總時間}} \quad \text{式 2.6}$$



$$\text{設備運轉穩定率} = \frac{\text{滿足供應時間}}{\text{理論穩定輸出總時間}} \quad \text{式 2.7}$$

能源 OEE 指標將原本的設備生產效率指標轉化為設備能源效率管理指標，與 OEE 指標相似，指標值越高(越接近 1)表示設備的效率越好，因此當發現該指標過低時，其原因可能是生產效率不佳造成不當能耗，亦可能是設備老化本身能源效率不佳所造成，能源管理者可再進一步拆解分析能源 OEE 內含的各項效率，評比各項效率的表現，藉此找出最對症下藥的改善措施，如圖 2.51 OEE 設備綜合效率指標頁面範例，圖 2.52 OEE 能源利用率歷史紀錄資訊，1 並以視覺化方式呈現設備機台狀態的變化(稼動率的變化)，圖 2.53 能源 OEE 計算項目設定頁面範例則提供實際應用時能源 OEE 計算項目設定頁面範的例。相較於單純監控設備能源耗用量之管理方式，使用此指標可加強能源管理人員掌控能源在產線耗用情形的能力，找出能源耗用大且生產效率不佳之節能潛力對象，可據此與生產單位共同檢討改善以同步提升設備的生產及能耗效率。



圖 2.51 OEE 設備綜合效率指標頁面範例



圖 2.52 OEE 能源利用率歷史紀錄資訊

設定				
可利用率	設備 第二變壓站_空壓機#1	點位	開機狀態門檻值	待機狀態門檻值
運作效率	設備 第二變壓站_空壓機#1	點位	目標產量	± 誤差容許值
品質效率	設備 第二變壓站_空壓機#1	點位	品質目標	± 誤差容許值

儲存 取消

圖 2.53 能源 OEE 計算項目設定頁面範例

### 3. 管理系統應用於空調節能

工廠內空調系統依使用類型主要提供人員舒適或生產製程環境需求，依據空調系統的設置通常分為集中與分散管理，此些不同供應與設置的類型在導入能源管理系統管理應用上，亦有不同的管理措施。

#### 3.1. 空調節能措施

能源管理系統與空調節能措施的執行，會因場域設置與規模而會有不同的可行控制措施，圖 3.1 為廠內監控系統網路架構，一般集中型設置的空調系統，通常具有相似網路架構，空調系統透過控制器與用戶服務端的監控系統(SCADA)進行監控，而能源管理系統的角色則於全廠管理的網路端，主要提供決策管理的訊號給控制器

進行管理與控制行為；若是較小型的空調系統或是分散式的設置，則可能較無控制器與監控系統(SCADA)進行監控，而是透過現場的控制器與人機進行單一空調設備的控制，故，在管理面上，能源管理系統將直接的對設備進行控制指令的執行。

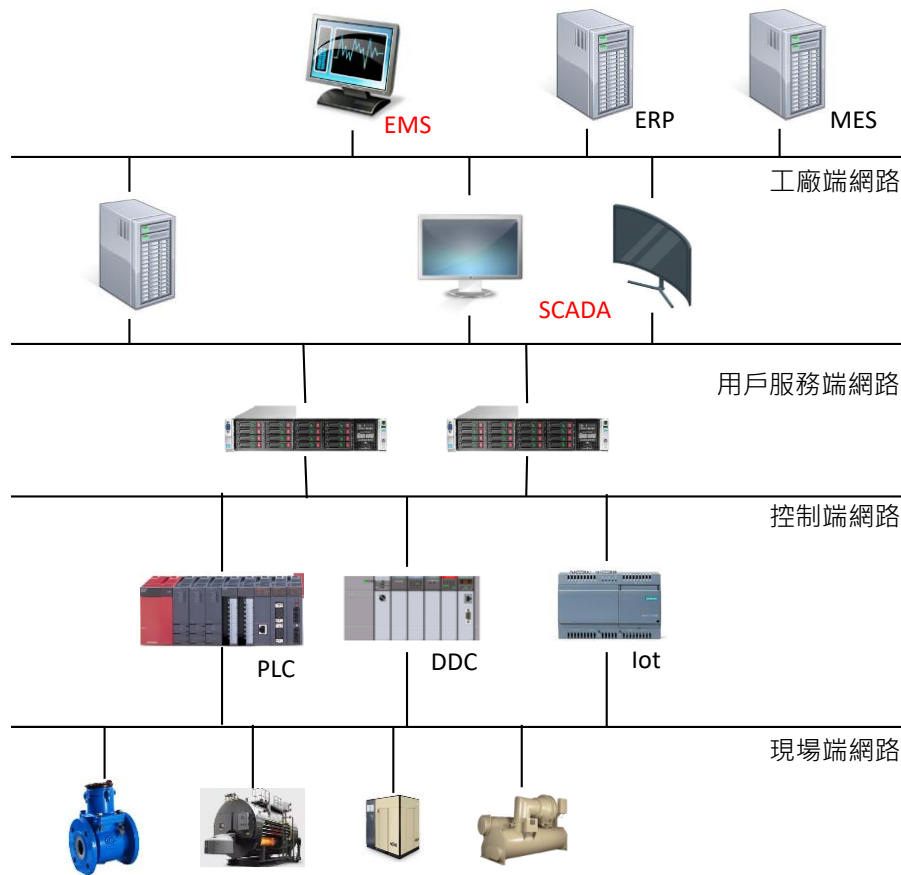


圖 3.1 廠內系統監控網路架構

一般工廠透過能源管理系統常見可行的空調節能措施，包含有：

- 空調設備卸載控制
  - 卸載空調設備以避免用電超約，節費措施與短暫節電。



- 空調控制參數的優化設定
  - 能管系統提供優化參數，如最適冰水出水溫度、冰水出回水最適溫差、變頻器最適控制頻率、最適冷卻水回水溫度、冷卻水最適溫差、最適空調設備運轉台數、最適室內溫度(溫控器控制)

### 3.2. 應用導入案例

本空調節能案例，將以空調冰水側控制參數的優化設定為案例說明，透過能源管理系統取得空調冰水系統運轉相關資料，進行建立系統/設備運轉模型，導入最適化演算法以求得系統最小用電量之運轉參數，此參數可於是當時機提供設備運轉的切換，並同時提供穩定的冰水出水供應。應用導入架構，如圖 2.1 節能改善措施導入面向能源管理系統最適化冰水節能模組所示，能源管理最適化冰水節能模組取透過中央監控系統(SCADA)取得及時運轉資料(OPC)，演算當下最適節能運轉組合，並顯示於監控系統，使值班人員透過監控系統取得目前最適節能資訊。

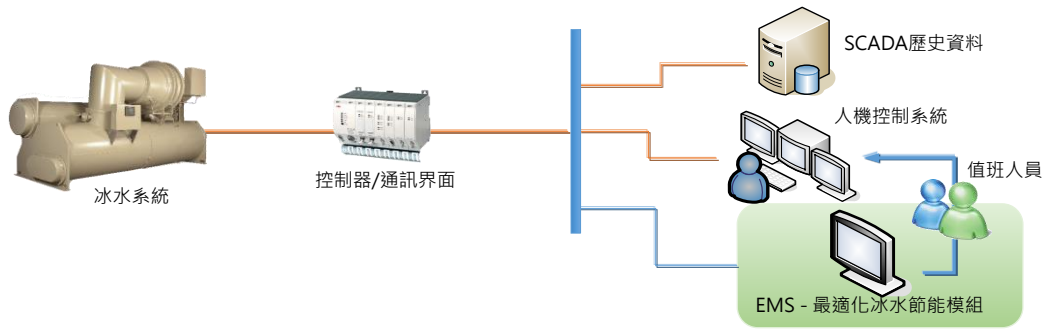


圖 3.2 能源管理系統最適化冰水節能模組架構

因即時運轉因素，故在設備/系統模型與最適化演算法上，均需要進行演算法效能上的考量，圖 3.3 為實際案例執行上的系統應用架構，其包含有線上型建構冰水系統運轉模型、最適化演算法以及一自適應演算法來修正運轉模型的準確度，以符合線上與自動運轉的功能。設備模型資料可以透過歷史資料進行離線建模，再移至即時最適化節能系統，或即時的建立設備模型資料，此時模型的準確度需要進行評估，以免不佳的模型提供錯誤的演算結果，須建立的相關設備/系統模型包括冰水主機、冷卻水塔、冷卻水泵與冰水泵等設備，於建立完成設備模型後適應模型修正技術亦會透過判斷機制或是運轉時間來判斷其修正參數，故在自適應修正技術上包含的功能有誤差修正、彈性擴充、自動調整與耗能診斷等。

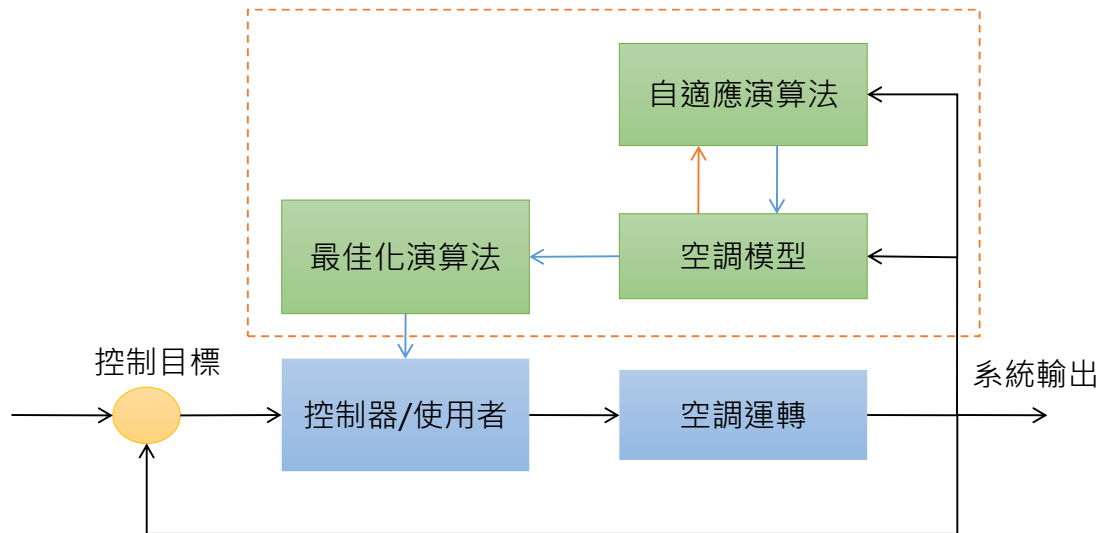


圖 3.3 線上型冰水系統最適化節能控制系統架構

### 3.2.1. 設備模型的建立

設備模型的建立包含冰水主機、冷卻水塔、冷卻水泵與冰水泵等設備，模型建立亦有眾多的方法，可以運用統計分析的方法，建立線性回歸模型，或是導入目前熱門的 AI 演算法等，以下將說明實際案例上，其建立模型時運用的參數資訊，提供模型建立時的參考。

- 冰水主機

冰水系統中運轉最為複雜的所屬冰水主機，圖 3.4 冰水主機於不同冷卻水回水溫度下之特性曲線為離心式冰水主機於不同冷卻水回水溫度下之特性曲線，由圖可知其運轉特



性非線性特性，而偏向於一曲線模式，故在實際案例中，曾導入非線性方法進行模型的建立，如圖 3.5 透過 Spline 曲線建立冰水主機運轉模型，以及運用類神經網路演算法進行模型的建置，線性與非線性模型建議可使用的輸入參數可包含有實際的運轉資料  $P_{ch}$ 、 $T_{cwi}$ 、 $T_{cwo}$ 、 $T_{chi}$ 、 $T_{cho}$  與  $Flow_{ccp}$  等，另亦包含使用者所設定之限制條件  $T_{cwo}$ 、 $T_{cho}$ 、熱回收設定溫度與其閥開度，以及一流量修正因子為其輸入資訊；輸出參數有  $P_{ch,model}$ 、 $COP_{model}$ 、 $RT_{model}$ 、 $T_{cho,model}$  與  $T_{cwo,model}$ ，分別為模擬之各冰水主機用電量、各冰水主機效能、各冰水主機冷凍噸、各冰水主機出水溫度以及各冷卻水出水溫度；線性模型冰水主機特性則可取用二次方程式來表示，如下  $COP=a \cdot PLR^2 + b \cdot PLR + c$

式 3.1 所示之，冰水主機模型架構可參考圖 3.6 冰水主機模型架構所示。

$$COP = a \cdot PLR^2 + b \cdot PLR + c \quad \text{式 3.1}$$

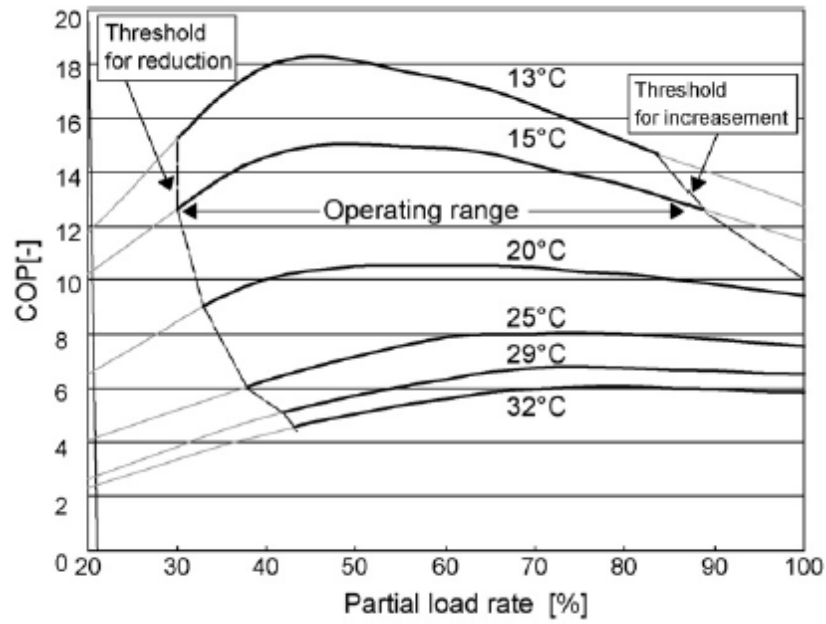


圖 3.4 冰水主機於不同冷卻水回水溫度下之特性曲線

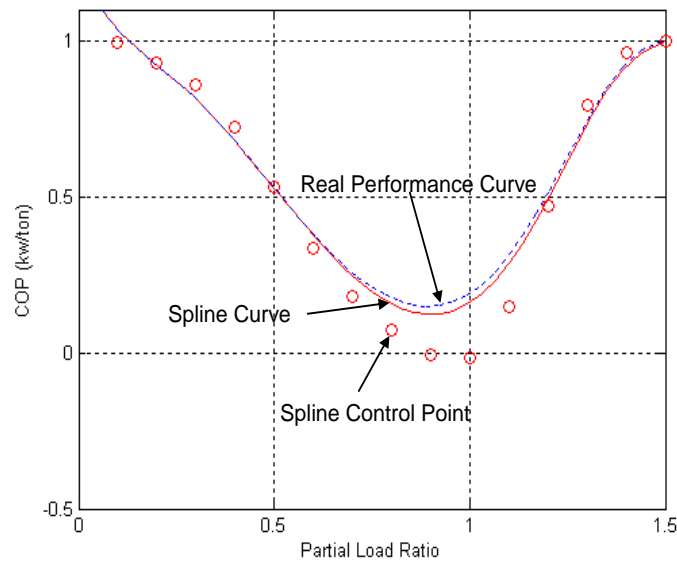


圖 3.5 透過 Spline 曲線建立冰水主機運轉模型

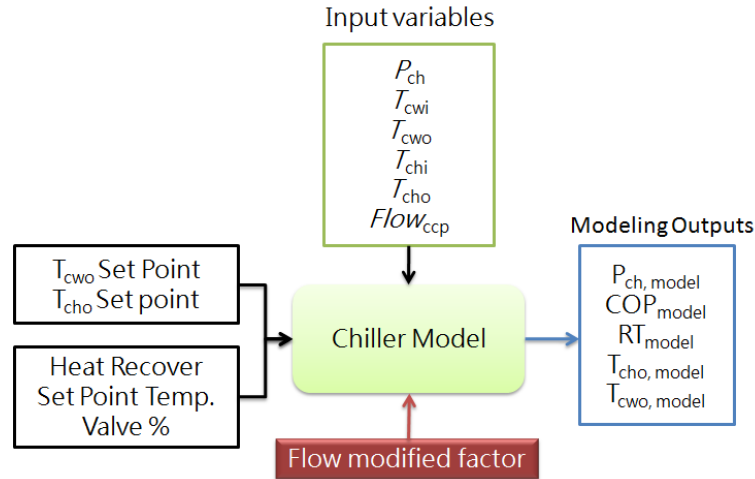


圖 3.6 冰水主機模型架構

- 冷卻水塔

建立此冷卻水塔模型架構如圖 3.7 冷卻水塔模型架構所

示，其輸出參數有  $P_{CT,model}$ 、 $Freq_{model}$  與  $T_{cto,model}$  三個輸出模

擬參數，輸入參數則包含有  $P_{CT}$ 、 $Freq$ 、 $T_{outside}$ 、 $T_{cti}$ 、 $T_{cto}$ 、

$Flow$  和  $Flow_{resupply}$ ，與使用者所設定之限制條件  $T_{cwo}$ ，以及

設備本身之限制如頻率上、下限，模擬估算之流量小於設

備規格流量等，冷卻水塔特性則是取用一三次方程式來表

示，如下式所示之

$$P_{CT,model} = a \cdot Freq^3 + b \cdot Freq^2 + c \cdot Freq + d \quad \text{式 3.2}$$

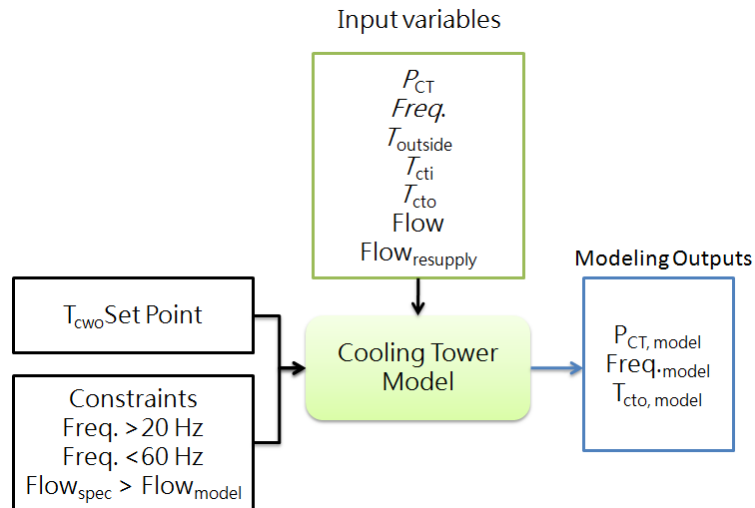


圖 3.7 冷卻水塔模型架構

- 相關泵浦設備

建立此泵浦模型架構如圖 3.8 所示，其輸出參數有

$P_{\text{pump,model}}$ 、 $\text{Freq}_{\text{model}}$  與  $\text{Flow}_{\text{model}}$  三個輸出模擬參數，輸入參

數則包含有  $P_{\text{pump}}$  和  $\text{Freq}$ ，以及設備本身之限制如頻率上、

下限，模擬估算之流量小於設備規格流量等，泵浦特性則

是取用一三次方程式來表示，如下式所示之

$$P_{\text{pump,model}} = a \cdot \text{Freq}^3 + b \cdot \text{Freq}^2 + c \cdot \text{Freq} + d \quad \text{式 3.3}$$

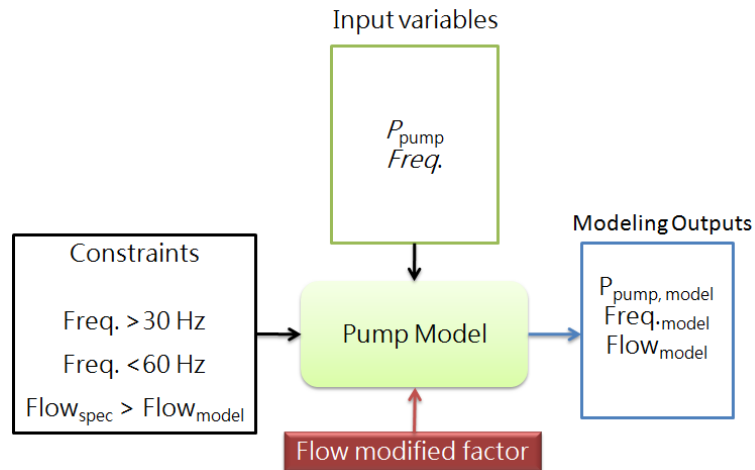


圖 3.8 泵浦設備模型架構

### 3.2.2. 模型誤差之修正模組

線上模型誤差之修正模組(自適應演算法)主要目的在於能使模擬設備之模型能隨時的有效且準確預估輸出參數，在此目標下作法仍依照設備之模型來規劃分析，於冰水主機模型自適應模組架構上，如圖 3.9 所示，此自適應技術對於冰水主機可針對特性曲線係數模型來修正，以及其冷凍噸計算函示中流量的流量修正因子進行其自適應的應用，實際應用則可視實務應用導入的模型，進行自適應演算法的應用，若無導入，則建議定期的檢視設備模型的準確度。

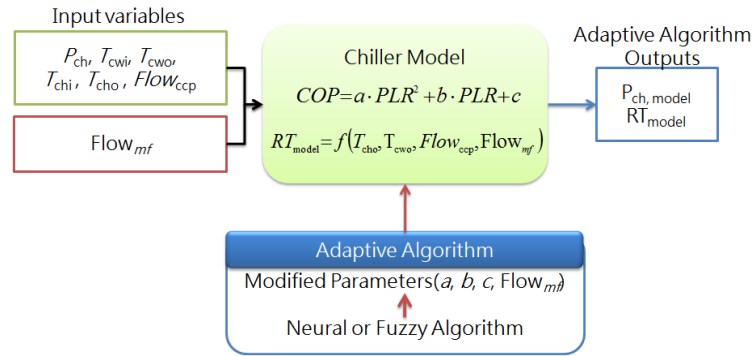


圖 3.9 冰水主機模型自適應修正技術架構

至於冷卻水塔與泵浦的自適應修正技術概念與應用於冰水主機的自適應修正技術的概念是一致的，其應用的自適應架構分別可描述如圖 3.10 冷卻水塔風車模型自適應修正技術架構圖，與圖 3.11 泵浦模型自適應修正技術架構圖，冷卻水塔風車之自適應修正參數對象則是其三次方程式特性曲線

$$(P_{CT, model} = a \cdot Freq^3 + b \cdot Freq^2 + c \cdot Freq + d \quad \text{式 3.2) 之係數，設}$$

備泵浦之自適應修正參數對象亦是其三次方程式特性曲線

$$(P_{pump, model} = a \cdot Freq^3 + b \cdot Freq^2 + c \cdot Freq + d \quad \text{式 3.3) 之係數，於設}$$

備使用此特性取現將有所偏移，利用此自適應修正技術期望能與實際運轉之特性相符。

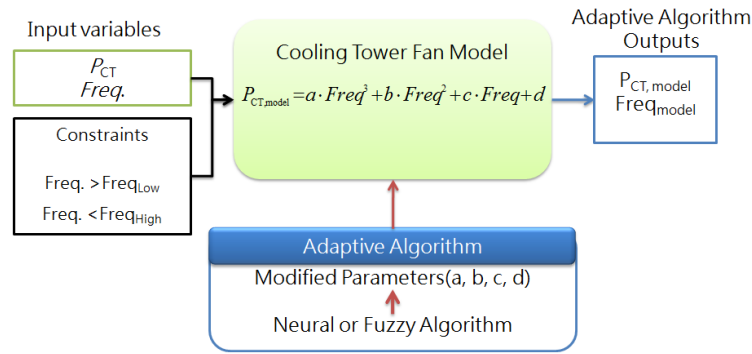


圖 3.10 冷卻水塔風車模型自適應修正技術架構

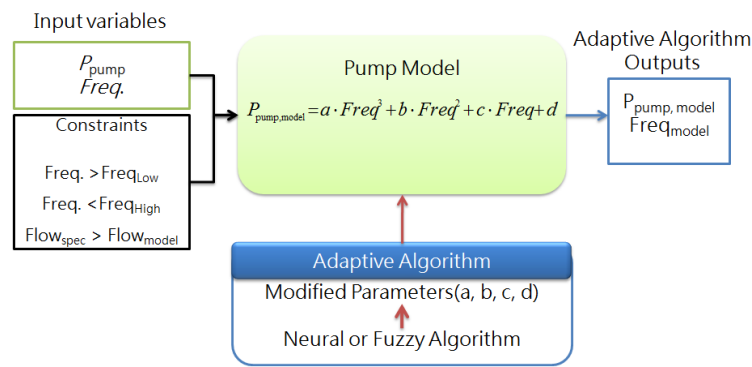


圖 3.11 泵浦模型自適應修正技術架構

### 3.2.3. 冰水系統運轉最適化控制演算法模組

冰水系統運轉最適化控制演算法模組，其主要流程如圖 3.12

冰水系統運轉最適化控制演算法流程所示，其將從及時資料收集模組取得即時之設備相關資訊，包含設備狀態與其用電量，可呈現如下式所示，

$$\mathbf{CH}_{state} = \{\mathbf{CH}_i | 0,1\} \quad i = 1, \dots, n \quad \text{式 3.4}$$



$$\mathbf{CT\_Fan}_{state} = \{\mathbf{CT\_Fan}_i | 0,1\} \quad i = 1 \cdots k \quad \text{式 3.5}$$

$$\mathbf{Pump}_{state} = \{\mathbf{Pump}_i | 0,1\} \quad i = 1, \cdots m \quad \text{式 3.6}$$

之後將針對不同設備進行不同之狀態轉換，於不同狀態組合下將與設備與系統模擬模組進行演算，以取得所需資訊，如是否違反限制條件等，每針對一次設備之狀態轉換將獲得其可行區域的擴展，並可將其表達成一設備可行運轉區域矩陣( $n \times k \times m$ )，其中單一設備可行的表示方式如下，

$$\mathbf{CH}_{valid} = [\mathbf{CH}_{valid,1} \quad \mathbf{CH}_{valid,2} \quad \cdots \quad \mathbf{CH}_{valid,n}]_{1 \times n}, \quad \mathbf{CH}_{valid} \text{ 為 } 0 \text{ 或 } 1$$

數值，表示其是否滿足其限制條件。

$$\mathbf{CT}_{valid} = [\mathbf{CT\_Fan}_{valid,1} \quad \mathbf{CT\_Fan}_{valid,2} \quad \cdots \quad \mathbf{CT\_Fan}_{valid,k}]_{1 \times k},$$

$\mathbf{CT\_Fan}_{valid}$  為 0 或 1 數值，表示其是否滿足其限制條件。

$$\mathbf{Pump}_{valid} = [\mathbf{Pump}_{valid,1} \quad \mathbf{Pump}_{valid,2} \quad \cdots \quad \mathbf{Pump}_{valid,k}]_{1 \times m},$$

$\mathbf{Pump}_{valid}$  為 0 或 1 數值，表示其是否滿足其限制條件。

於取得可行運轉設備組合矩陣後，即可就其透過設備模型計算其預估之用電量，並在其矩陣中獲得最小用電量與其對應之設備狀態組合，進而與目前用電量對比，以確定其是否有更低之用電量之

結果，並透過圖形化介面輸出至使用者或控制器。

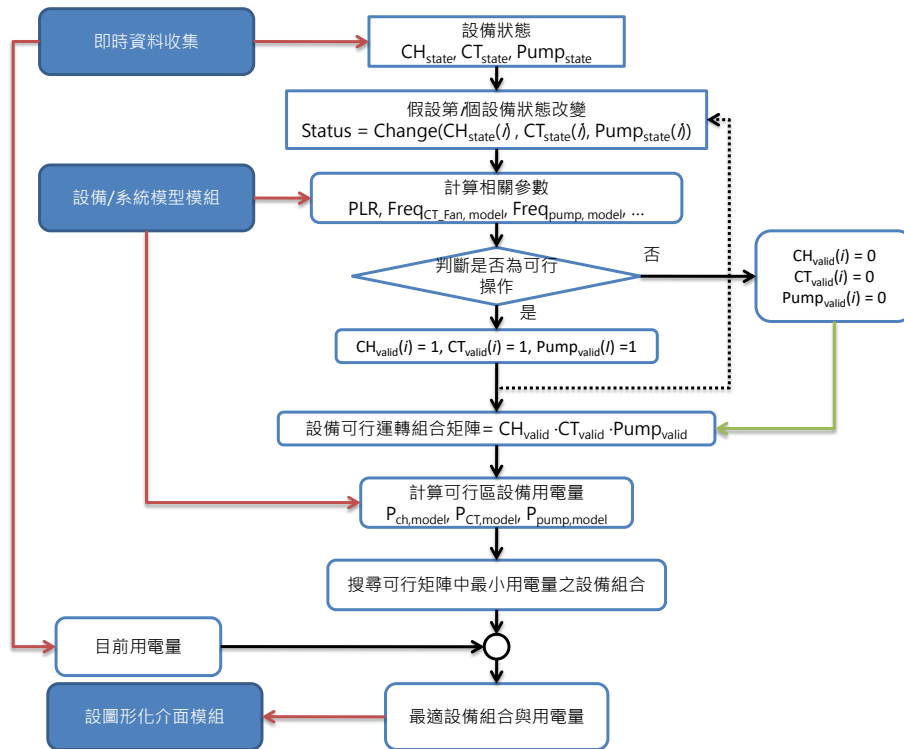


圖 3.12 冰水系統運轉最適化控制演算法流程

故針對以上描述之線上冰水系統運轉控制最適化演算法，可將其展開為一標準之最適化演算數學模型，如下式描述之，

- 目標函數

$$\min. \text{Watt}_{\text{Total}} = P_{\text{CH}} + P_{\text{CT}} + P_{\text{Pump}}(\text{CWP}, \text{CCP}, \text{SCCP})$$

- 限制條件

$g(\mathbf{x})$ ：泵浦頻率限制條件

$g(\mathbf{x})$ ：泵浦流量限制條件

$g(\mathbf{x})$ ：溫度限制條件

以上限制條件為列舉說明之限制條件，實際應用上限制條件將

會受限於實廠應用時而有所增減其條件，以符合實際或廠務之冰水系統運轉需求，不同型態之實際廠務冰水系統運轉將影響最佳化演算法的計算結果。圖 3.13 冰水系統最適節能模組功能輸出為實際應用冰水系統最適節能模組功能輸出案例，模組實際的反應冰水主機曲線特性進行設備的切換，以及性能異常的監控與警示，圖 3.14 為設備啟動但能耗降低的實際應用案例，外氣環境溫度增加的趨勢下，最適化模組因主機曲線特性建立開啟適當的冰水主機，使各主機從原高負載降至高效率區間，又未至輕載情形使主機能效變差，最終系統穩定後的評估，外氣負載增加 8.5%，而能耗減少 7.6%。

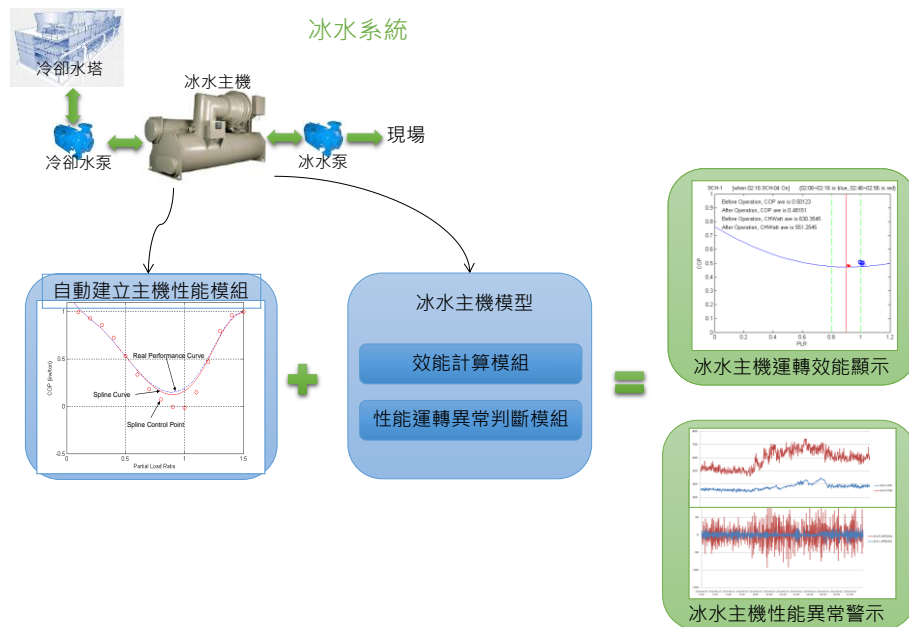


圖 3.13 冰水系統最適節能模組功能輸出

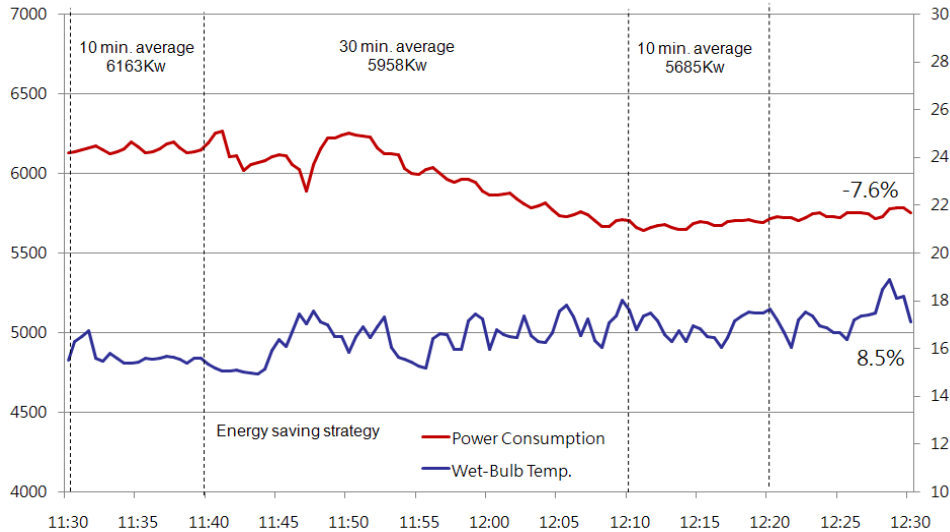


圖 3.14 冰水系統最適節能實際應用案例

## 4. 結論

能源管理系統的建置主要目的在於有效與確實地掌握廠內能源的流向，進行發掘缺失與執行節能改善，並可靠地評估改善措施的成效，如同 ISO PDCA 循環持續節能，因此，能源管理系統建置經常被詢問的是會有多少效益，能源管理著重的是其管理方法，系統的建置正確與確實的提供管理量化數據，較不會有直接的效益，不是有了帳本就能省錢，但加入管理方法後的間接效益則可以是確實與長久的，經驗上的導入效益有至 10%，亦有 1% 的效益，視各管理方式、場域與產業而有所不同的。

廠內能源管理單位當對於能耗、能源流量與設備能效，不知何



時會有最大的能耗發生、不知何設備為重大設備，或不清其效率、或會以”概估”的方式告知，這樣不確實與不精準的管理，通常在執行節能改善時，往往也會發生導入不佳的節能措施，如選擇錯誤的改善對象、無法評估節能改善的效益，執行節能改善，整體的能源耗用卻仍然未減等，要避免盲目的能源管理，此時，建議先應導入全廠能源管理系統，方能有效掌握能源與制定正確的節能改善措施。