

高科技廠房能源使用調查及管理模式建構

李訓谷¹ 陳文亮²

¹國立成功大學機械工程系

70101 台南市大學路 1 號

²樹德科技大學生活產品設計系

82445 高雄縣燕巢鄉橫山路 59 號

摘要

近年來，台灣高科技產業蓬勃發展，就各類指標而言例如產值、出口值、雇用員工人數，乃至研究發展經費，占整體製造業的比重均大幅攀升，成為台灣經濟成長的主要動力，更成為台灣出口的主力產業。依據台灣電力公司所公佈的資料，電子製造業佔 95 年用電量的第一名，所以在能源短缺的台灣，高科技產業的能源使用管理，非常值得大家認識與關注。本研究透過問卷的方式，首先調查統計電子廠廠務各系統的用電分佈。再者調查高科技廠的廠務監控系統（facility monitoring & control system, FMCS）有無能源管理功能（energy management system, EMS）及如何執行能源管理，並藉此了解廠務管理人員節能作法與觀念，以及對能源管理系統的需求程度。本研究有以下發現：（1）製程機台及空調無塵室的用電量，為廠務系統用最主要的耗能，此與前人的文獻調查結果不謀而合。（2）FMCS 缺乏能源管理功能。（3）應用國外盛行已久的建築物能源管理系統（building and energy management system, BEMS）與高科技廠普遍使用的 FMCS 作最佳化的結合，在最小影響下以能源管理工作站的方式來執行 EMS 功能。最後建議廠務人員須提升在中央監控（control system）及資訊科技（information technology, IT）領域的教育訓練，以及希望政府仿效歐美日各國鼓勵設立能源服務公司（energy service company, ESCO）推動節能工作。

關鍵詞：高科技廠，節能，廠務監控系統，建築物能源管理系統

An Energy Consumption and Management Mode Study in a High-Tech Factory

SHIN-KU LEE¹ and WEN-LIANG CHEN²

¹Department of Mechanical Engineering, National Cheng Kung University

No.1, University Rd., Tainan, Taiwan 70101, R.O.C.

²Department of Product Design, Shu-Te University

No. 59, Hun Shan Rd., Yen Chau, Kaohsiung, Taiwan 82445, R.O.C.

ABSTRACT

In Taiwan the rapidly flourishing high-tech (electronics) industry has become the primary

contributor to economic development, as indicated by relevant indices such as value output, exports, employees and R&D expenses. According to the Taiwan Power Company's consumption ranking for 2006, the high-tech industry was first among the seven types of industries surveyed. Therefore, energy consumption management in this industry deserves more attention since Taiwan has an energy shortage. The purpose of this study was to investigate the feasibility of applying a Building Energy Management System (BEMS) to the high-tech industry. First, the researchers examined the power consumption distribution of utility equipment in a high-tech factory by means of a questionnaire. Then, the functions of a Facility Monitoring & Control System (FMCS) and the BEMS were compared in detail to investigate their applicability to the Energy Management System (EMS) within the FMCS. Energy conservation methods implemented by the administrator and their respective considerations and degrees of demand in energy management were also studied. The results of this research are summarized as follows: (1) The Process Tool, Cleaning Room and HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) are the major consumers of power in a high-tech factory, a finding in agreement with previous studies. (2) The FMCS lacked an EMS function. (3) This study applied the BEMS and set up an Energy Management Workstation to develop the EMS function without affecting the existing FMCS. Two recommendations are also made: (1) Administrators of utility systems should offer more self-training programs for their staff in the Control System and IT fields. (2) To promote energy conservation, the Taiwanese government should establish an Energy Service Company (ESCO), similar to agencies in Japan, the USA, and the EU.

Key Words: high-tech factory, energy conservation, facility monitoring & control System (FMCS), building energy management system (BEMS)

一、前言

近年來，台灣高科技產業蓬勃發展，尤其是半導體、光電、資訊電子、通訊等產業，不論其產值、出口值、雇員工人數，乃至研究發展經費，占整體製造業的比重均大幅攀升，成為台灣經濟成長的主要動力。根據台灣電力公司所公佈的用電別與行業別售店資料顯示，電子製造業佔 95 年用電量的最高，為 224 億度、佔比 18.1%，相較於 94 年 205 億度、17.5% 及 93 年 178 億度、15.7% 皆呈持續的增加趨勢 [1]。

高科技產業絕大部分是 24 小時連續生產，因此其能源消費以電力消耗佔 93.4% 為最大，其次為石油產品佔 4.7%，天然氣佔 1.9%，主要能源使用設備包括製程設備、空調設備，以及空壓設備等廠務設備 [8]。且由於高科技產業屬能源密集度較低之產業，每單位產能所耗能源較低，相對地能源使用成本佔整體生產成本比例不高，間接造成多數高科技廠不重視節能。過去數十年台灣電價低廉，但未來將因世界性二氧化碳排放量之管制而成為歷史，各高科技廠如不力行節能減碳，除必須負擔高額電費外，甚至會面臨貿易制裁的問題，所以在能源短缺的台灣，高科技產業的能源使

用管理，為首要解決之問題，亦是本文探討之主題。

在政府政策的規劃下，高科技業逐漸以科學園區的方式形成聚落，例如新竹科學園區主要為半導體及其周邊，台南科學園區主要以光電業及其周邊，也因此這些科學園區的用電特性有別於一般工業區。就用电總量來說，高科技產業的電力總消耗量已超過鋼鐵及石化業，而且嚴格要求可靠性與電力品質。

根據 Hu 與 Chuah [11] 針對台灣半導體平均電力消耗分佈之調查研究中，提出半導體產業廠務系統之耗電耗電用電量分佈上，以製程設備最為耗能（約佔 40.4%），其次為空調及無塵室部分（約佔 39.60%）。

高科技廠之廠務系統於製程上需包含潔淨室及空調、電力、廠用空氣及真空、純水及軟水、廢水及廢氣、特殊氣體、化學品供應等七大類系統，來提供生產所需的一切環境條件，另外由於管理及整合的要求，廠務系統也包含消防設施、門禁管理及監視系統（closed circuit television, CCTV）。

高科技廠的廠務系統，如圖 1 所示，所有系統主要都在供應製程設備的需求，不論是製程設備或是所有廠務系統，都是在無塵室內匯集，最後生產出產品，各廠務系統的管理

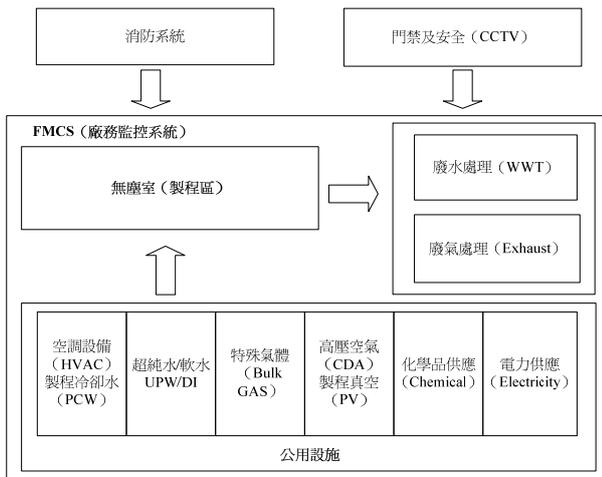


圖 1. 廠務系統組成架構

都是經由廠務監控系統 (facility monitoring & control system, FMCS) 來執行，監控電腦可以記錄各信號點的即時監測值、歷史監測值、警報值，並且可以列印日報、月報、年報、稼動率報表等。廠務管理人員只要透過螢幕顯示的人性化圖形監控畫面 (man machine interface, MMI)，就可遠方遙控 (remote control) 廠務系統的各项設備。FMCS 主要以程式控制器 (programmable logic controller, PLC) 或數位直接控制器 (direct digital controller, DDC) 為硬體架構，並配合感測器 (sensor) 例如流量、溫濕度等，以及各類儀表例如控制閥、變頻器等所組成。

而其廠務系統用電特性可概述為下列四點 [6]：

1. 連續性生產流程：高科技產業大部份以自動化生產設備運轉，為連續生產流程，以竹科內比例最高之半導體製造廠為例，晶圓全部製造過程都是在無塵室進行，整個生產過程為 24 小時連續運轉，故高科技產業對於電力供應可靠度要求較高。
2. 製造環境要求嚴格：在半導體製造工廠的生產流程中，若瞬間或長時間的電壓驟降，將造成廠務設施或製程機台跳機，大部份的傳統產業於復電後可以繼續生產，但半導體製程機台會因氣壓、水壓、高溫等不符合要求而致連鎖跳機。復電後，製程機台的環境參數必須予以重新設定，由設定至整個製程穩定運轉，需費時數十分鐘至數十小時。因此，電壓驟降，對於半導體製造工廠而言等同於停電。
3. 高效率生產用電：從竹科廠商各項用電資料顯示，廠商每單位的裝置容量及用電量均高，以半導體業為例，其

單位用電量可高達 5,000 度以上。此外高科技業用電負載率，普遍較一般產業為高，半導體業更可高達 0.95，而高科技產業為連續製程之自動化作業，故離峰用電量亦高，無法移轉尖峰用電量。再者，由於高科技產業用戶大致全年無休，每年僅安排一天分區全面停電檢修，整體用電呈現平穩的型態，其冷氣空調系統全年運轉，夏季用電略高於冬季。

4. 用電之產值高：高科技產業屬能源密集度較低之產業，每單位產能所耗之能源較低，半導體歸電機電子類產業，其能源密度僅 1.26 公秉油當量/百萬元，遠較其他行業為低；半導體每單位用電量產值高達 156.9 元/瓦，顯示出高科技產業每消耗 1 度電，可獲得高價值的產品。

本研究針對高科技廠房能源使用調查及管理模式等問題予以調查與探討分析，研究方法採取問卷調查法。採取問卷調查法之目的主要希望受訪者對本研究欲了解之議題，能確實表達出來，再蒐集研究資料，藉以探究假設中諸變相的關係，並藉由量化問卷的形式來統計分析，檢討目前高科技廠房能源使用之問題，並據此結果推論至全體。利用問卷方式取得高科技廠之用電資料及廠務監控人員有關能源管理功能之問卷，希望藉此了解高科技廠能源消耗是如何分配，並且為節能找出新的解決方向為本研究之目的。本文共由四小節組成，第一節前言介紹目前台灣高科技產業用電量居高不下，能源使用的管理為首要解決之問題。第二節為廠務系統運作與能源管理模式問卷調查之結果分析。第三節則將 ESCO (energy service company) 與 BEMS (building and energy management system) 及廠務系統作最佳化之結合，建立具能源管理能之 FMCS 架構及節能管理模式。第四節為對本文之研究結果做總結。

二、問卷調查

(一) 問卷設計與目的

為了瞭解廠務系統的運作及能源管理模式的現況，本研究針對從事廠務工作的相關人員，設計了一份問卷。針對目前廠務監控系統進行能源管理功能 (energy management system, EMS) 瞭解；包含廠務管理系統是否為全自動化管理、有無以數位電錶來區隔及記錄全廠的用電量，另外對於高科技廠的契約用電量管理是否有計劃降低，亦是問卷收集的重點。另外，對於執行用電量統計的廠商，本研究提供了一份用電量比例請廠務人員填寫，此部分將於能源流向與用

電量分析章節中討論，並將與前人文獻做比較。為了減少受訪問卷之偏差，本研究之問卷採用目標人員面談（target visiting）以及郵寄問卷訪問兩種形式。問卷調查時間為 96 年 1 月至 96 年 3 月；受訪的高科技廠房主要座落在新竹、南部科學工業園區與高雄楠梓加工出口區內。

（二）問卷結果分析

本次問卷主要針對高科技廠從事廠務工作之廠務人員為問卷主要對象，總共對 14 家高科技廠發出了 100 份問卷，回收了 66 份有效問卷，34 份無效問卷主要是無回覆問卷以及未完成問卷內容，而問卷整體信度係數為 0.862，且問卷內容來自於學理基礎、實證經驗及專家共識，具有相當的內容效度。本研究問卷之受訪者背景資料分為負責系統及年資兩部分作調查，在負責系統中調查電力項目佔最大宗之比例，水處理則為次要調查系統。而受訪比例最高之人員為年資 1-3 年之受訪者，再者為工作 4-6 年人員，詳細分析如表 1。

另外，對於受訪者針對能源管理相關問題回答問卷內容之分析如表 2，經由訪者的回答，初步可以知道受訪者工作的高科技廠都有設置廠務監控系統，但是多數廠房無法全自動化運轉管理。進一步了解之後得知部分的廠務系統設備例

表 1. 受訪者背景資料整理

| 項目 | 人數 | 比例 | |
|------|-------|----|-------|
| 負責系統 | 空調 | 13 | 19.7% |
| | 電力 | 22 | 33.3% |
| | 水處理 | 17 | 25.8% |
| | 氯化系統 | 6 | 9.1% |
| | 其他 | 8 | 12.1% |
| 年資 | 1~3 年 | 23 | 34.8% |
| | 4~6 年 | 19 | 28.8% |
| | 7~9 年 | 12 | 18.2% |
| | 10 年~ | 12 | 18.2% |

表 2. 廠務系統管理方式之問卷結果

| 問題 6 廠務系統管理方式 | 回答分析 | |
|--------------------------|------|---------|
| | 人數 | 百分比 (%) |
| (1) 全部以中央監控系統 (FMCS) 自動化 | 8 | 12.1 |
| (2) 部份以中央監控系統 (FMCS) 自動化 | 52 | 78.8 |
| (3) 全部以人工手動管理 | 6 | 9.1 |
| (4) 其他 | 0 | 0.0 |

如排風機、揚水泵等，建廠當初並無設置交替運轉功能，所以當設備運轉一段時間後就須以手動切換。另外有一些現場端 (local) 的儀錶沒有連線功能，因此也須定時抄錶填數據。

另外回答全手動的人員，是因為設備老舊且設廠當初只做簡易控制，所以運轉多年後僅可以手動操作。有關「有無設置電力管理系統」之問卷回答，如表 3 所示，可看出目前的高科技廠普遍都有裝設數位電錶以統計各系統的用電量，表示高科技廠已有用電量管制的觀念，所以對於用電數據的取得很方便。另外，對於「是否知道貴廠之用電契約容量」上 (表 4)，約有四成的受訪者不了解自己廠的契約容量，表示受訪的廠務人員對於用電的總量管控觀念不足。

高科技廠重視節能的同時，其實並沒有以總量降低為控管目標，因為只有一成的人回答有計劃降低契約用電量 (如表 5 所示)。而在廠務系統最耗能部分之調查 (如表 6 所示)，近幾乎九成五的受訪廠務人員都是回答無塵室及空調系統是整個廠務系統中最耗能的，與文獻記載的結論也不謀而合 [8, 10, 11] 表示廠務人員都知道能源消耗的重點所在。

此外，對於「有否被要求降低廠務系統運轉成本」方面 (如表 7 所示)，約 6 成的受訪廠務人員都有被公司要求降低運轉成本，除了設備保養及耗品更換外，節能是最直接、最節省也最快的方式。所以能源管理應當是目前廠務人員，除了維持設備的妥善及生產環境的穩定外，一個極重要的課題。綜合上述問卷結果亦顯示出受訪人員年資愈高，對於高

表 3. 有無設置電力管理系統之問卷結果

| 問題 7 有無設置電力管理系統 (例如將將電力系統劃分 為空調/無塵室、一般電 力、製程用電等子系統， 並以數位電表區隔) | 回答分析 | | | |
|--|----------|-------------|------------|--------------|
| | 回答 人數 | (1) 有 58 | (2) 無 6 | (3) 不知道 2 |
| | % | 87.9 | 9.1 | 3.0 |

表 4. 是否知道貴廠之用電契約容量之問卷結果

| 問題 8 是否知道貴廠之用電契約容量 | 回答分析 | | |
|-----------------------|----------|---------------|--------------|
| | 回答 人數 | (1) 不知道 27 | (2) 知道 39 |
| | % | 40.9 | 59.1 |

表 5. 對於現有契約容量是否有計劃降低之問卷結果

| 問題 9 對於現有契約容量是否有計劃降低 | 回答分析 | | |
|-------------------------|----------|------------|--------------|
| | 回答 人數 | (1) 有 6 | (2) 沒有 60 |
| | % | 9.1 | 90.9 |

表 6. 廠務系統最耗能部分調查之問卷結果

| 問題 10 | 回答分析 | | | | |
|------------------------|------|---------------|--------------|------------|-----------|
| 請勾選廠務各系統中 你認為最耗能的系統 | 回答 | (1)一般空調及無塵室系統 | (2)照明及一般電力系統 | (3)純水及廢水系統 | (4)製程排氣系統 |
| | 人數 | 64 | 0 | 0 | 2 |
| | % | 97.0 | 0.0 | 0.0 | 3.0 |

表 7. 有否被要求降低廠務系統運轉成本之問卷結果

| 問題 11 | 回答分析 | |
|---------------------|------|------------|
| 有否被要求降低廠務系統運轉 成本 | 回答 | (1)有 (2)沒有 |
| | 人數 | 44 22 |
| | % | 66.7 33.3 |

科技廠房節能之迫切性的認知就愈大。然而對於多數廠務人員而言並不具備能源管理的能力，因此建議廠務人員在專業上應多接受此方面的教育訓練。

另外，由在能源使用最佳化與否之議題上可得知（如表 8 所示），若以回答好為合格能源使用程度，目前的受訪廠務人員對於自己所管理的廠，其能管理使用的程度，有一半以上都認為還有改善的空間。回答人數中（如表 9 所示），有三分之二的人認為廠務管理系統需要能源管理功能，代表目前絕大多數的廠務管理系統缺乏此項功能，因此在節能的同時，不是只在硬體上改善，軟體上也應設置節能功能。

（三）FMCS 能源管理缺失

由問卷調查結果可以看出目前 FMCS，對於能源管理有下列幾項缺失：

1. 用電量的統計多數使用數位電錶來做統計，不是為了節能，是為方便計算各系統的用電成本。
2. 累計用電的資料庫，沒有轉為能源消費控管及使用效率分析的依據，所以具備用電資料庫卻無法有 BEMS 的能

源管理功能。

3. 受訪者普遍被要求降低運轉成本及節能，但 FMCS 中卻無此項功能，因此大部分受訪者希望能加入能源管理功能。
4. 若以好為及格標準，受訪者的回答中有一半以上的人，其服務的高科技廠能源使用都有改善的空間。
5. 受訪的高科技廠大都沒有計畫性的降低，代表能源管理在高科技廠中沒有被全盤性的考量。

（四）節能方式

問卷內多數人填寫的幾乎為廠務各系統之節能方式，可知節能是降低廠務運轉成本最直接的方式，表 10 為所填寫之節能建議彙整：由表 10 可看出廠務人員所填寫之節能方式，大致可歸類為二個部份來分析，首先是電力及照明，對於調整契約容量而言最直接的效益就是節省電費及免於受罰，若能將用電量合理降低並使契約容量達到合理值，其實就是達到節能。另外對於改善功率因數其目的就是降低無效電流，如此可有下列好處：

1. 增長設備之壽命：改善功率因數後線路總電流減少，使已達到飽和之變壓器、開關等機器設備和線路容量，因此而減少溫升，增加使用壽命。
2. 節省電費：電力公司為鼓勵用戶提高功率因數，在電價表中訂有功率因數折扣，電力用戶每月用電的功率因數

表 8. 能源使用最佳化與否之問卷結果

| 問題 13 | 回答分析 | | | | | |
|----------------------------|------|--------|------|-------|------|--------|
| 請判斷及勾選貴廠之能源（水及電力）使用是否已達最佳化 | 回答 | (1)最佳化 | (2)好 | (3)普通 | (4)差 | (5)不知道 |
| | 人數 | 0 | 24 | 34 | 2 | 6 |
| | % | 0.0 | 36.4 | 51.5 | 3.0 | 9.1 |

表 9. 廠務管理系統需要能源管理功能之問卷結果

| 問題 14 | 回答分析 | | | | | |
|---------------------------|------|--------|-------|---------|--------|----------|
| 對於目前的廠務管理系統是 否需要能源管理功能 | 回答 | (1)極需要 | (2)需要 | (3)可有可無 | (4)不需要 | (5)完全不需要 |
| | 人數 | 14 | 26 | 13 | 11 | 2 |
| | % | 21.2 | 39.4 | 19.7 | 16.7 | 3.0 |

表 10. 節能建議之彙整

| 系統 | 節能改善建議 | 填寫人數 |
|------------|-----------------------|------|
| 電力及 照明 | 改善功率因數 | 2 |
| | 改善照明迴路控制 | 1 |
| | 照明燈具安定器改電子式 | 2 |
| | 調整契約容量 | 1 |
| | 管理小電力使用，要求隨手關燈 | 4 |
| | 照明系統增加感應器及 Time Relay | 3 |
| 空調及 無塵室 | 限制一般空調設定溫度，提高空調箱溫度 | 2 |
| | FFU 變頻最佳化控制，減少換氣次數 | 1 |
| | MAU 加濕器電熱改水洗 | 1 |
| | 管線定期測漏 | 2 |
| | 提高冰水溫度（不同設定） | 1 |
| | 減少非必要區空調 | 1 |
| | 確實保養保持設備應有效率 | 1 |
| | 冷卻水塔變頻最佳化控制 | 2 |
| | 泵浦及風車馬達變頻控制 | 2 |
| | 降低無塵壓正壓 | 2 |
| | 空調主機變頻最佳化控制 | 4 |
| 降低負載延長設備壽命 | 1 | |

以百分之八十為基準，每降低一個百分點，該月份電費加收千分之 3；每超過一個百分點，該月電費減收千分之 1.5。

- 減少電力損失：一般工廠動力配線的電力損失約 2.5-7.5%，當提高功率後，總電流降低，可減少電力損失，亦相對可增加供電能力。
- 改善供電品質：提高功率因數可減少負載總電流及電壓降。

關於照明所填寫的節能方式都是屬於與人有關的用電習慣，不論是小電力的管理例如插座使用，或是照明設備的開關管理皆是。以前都倡導隨手關燈或是細分照明迴路來避免浪費，現在可以運用兩線式照明控制系統，以自動化方式來達成節能 [12]。另外也可運用 BEMS 的分析功能，以時程 (schedule) 及出勤人數來長期追蹤照明用電量，並適時的對控制系統提出節能建議的控制策略。

其次是空調及無塵室，就此部分來看，所有填寫的節能作法，大略可分為幾個方式：第一就是使用馬達變頻節能，變頻器是一種電力電子裝置，它利用將固定的電源電壓和頻率 (Hz) 轉變為可變量，實現對三相交流馬達無段調速以達到節能的功效 [4, 9]。所以風車、泵浦及風扇過濾單元 (fan filter unit, FFU) 等的節能都是使用變頻器，就連無塵室的正

壓控制及換氣次數也是透過變頻風車來達成。機器設備使用變頻器其優點如下：

- 節能：任何時候馬達轉速都能無段調速滿足實際需求。特別是對於離心泵浦和風機，其耗能按速度的立方遞減，因此以半速運轉時僅消耗 12.5% 的額定功率。
- 延長設備壽命：因變頻器具有緩啟動 (soft start) 功能，所以會降低瞬間啟動轉矩，在緩起停時的斜坡信號可避免對機器零件產生衝擊和震動。
- 維護簡單：變頻器無需維護，系統控制較傳統 (on-off) 穩定。
- 改善工作環境：由於馬達可低速運轉減少摩擦，因此不必要的噪聲就可以降低。

第二是冰水溫度設定，一次冰水溫度不再固定為 5°C 或 7°C，而是視負載需要以不同之冰水主機來提供不同溫度之一次冰水，如此對於佔能源使用最大的冰水系統而言，其節能效果也最顯著 [2]。最後就是設備的保養維護必須確實，以維持設備的高效率，效率高自然無效功率就低，設備就不消耗更多的電能。管線的定期測漏也屬一種設備保養的工作，由於冰水管路是屬於封閉系統，只要沒有洩漏就不需額外補充，也就不必消耗電力。其他關於空調設備使用管理，諸如設定溫度提高，關閉不必要的空調區域等，其實都可透過 BEMS 的能源分析追蹤功能來達成，這也是廠務監控系統需補強之處。

(五) 用電分佈調查

本次問卷訪談同時亦請廠務管理人員依據所管理之廠務設備，參考其供電系統各數位電錶累計值，並依系統區分為製程設備、空調及無塵室、機械及排氣、水處理、氣化供應、照明及其他等六大類來調查其用電分佈比例。在 14 家高科技廠房之問卷訪談結果中僅有 8 家高科技廠房提供廠務設備的用電資料，所得到結果如圖 2 所示。雖然本研究調查之高科技廠並無同質性，生產之產品也不相同，唯一共同點在於各廠均具有無塵室及相關廠務公用系統。但是從本研究之問卷數據分析卻發現由電能供應的角度而言，可看出在廠務系統的管理下，製程用電及空調無塵室用電，為高科技廠用電分配比例占最大的兩項，與先前文獻 [8, 10, 11] 分析的結果不謀而合，也因此可看出高科技廠節能之方向與能源管理的重點。

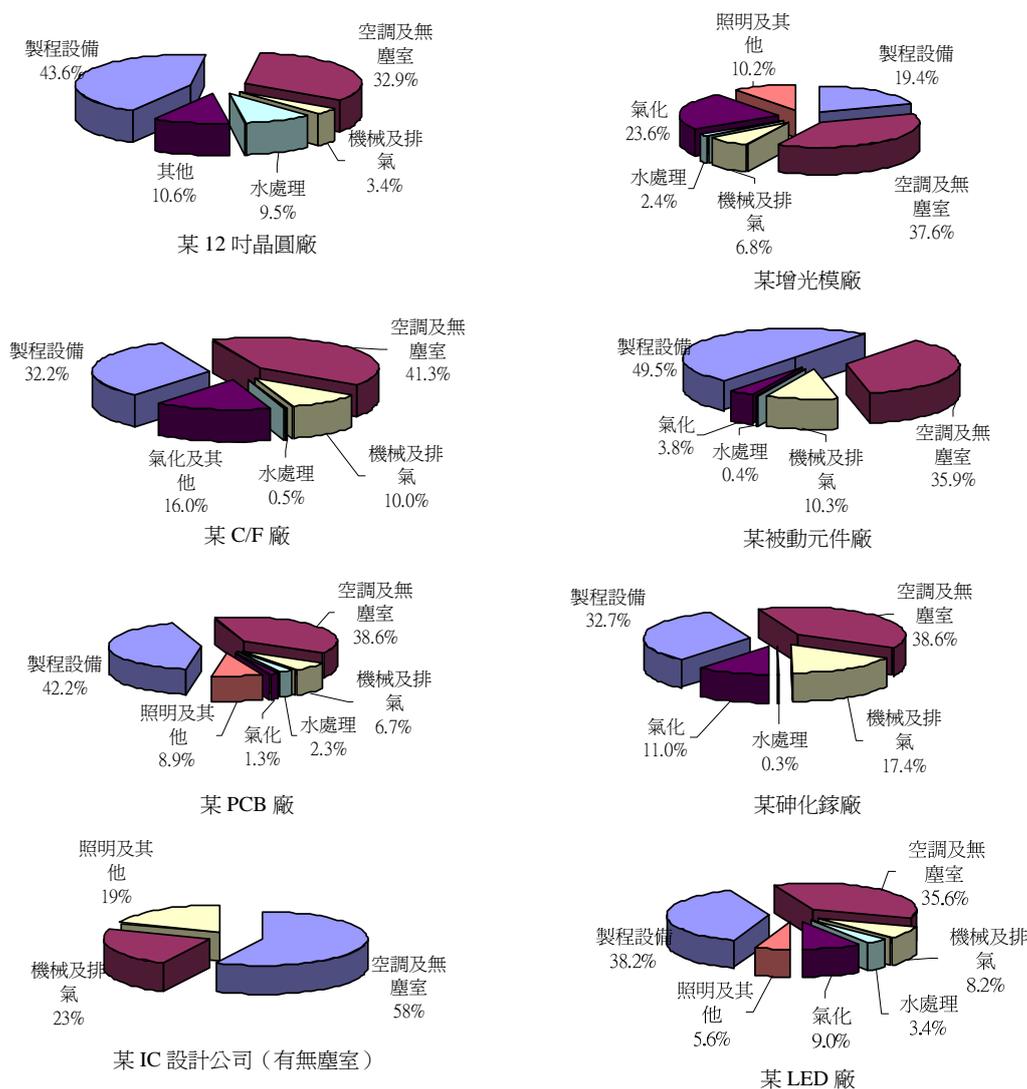


圖 2. 八家高科技廠用電比例

三、具能源管理功能之 FMCS 架構及節能管理模式建立

(一) FMCS 與 BEMS 差異比較

建築物能源管理系統 (BEMS) 之基本概念在於如何經由有效之系統監控與管理而減少消耗能源, 此概念比新技術的取得和設計更具實際意義 [3]。

建築物能源管理系統乃運用資訊科技 (information technology, IT) 資訊技術建構網上存取之線上系統 (on line system), 透過網路化之遠距資料存取、傳輸與共享, 以建立建築能源遠端網路管理與診斷系統與能源遠端網路管理之整合系統 [5]。BEMS 系統係由不同的子系統組成 (如圖 3 所示), 例如電力、空調、機電設施、防災及門禁安全等, 系統內含建築物自動化系統 (building automation system,

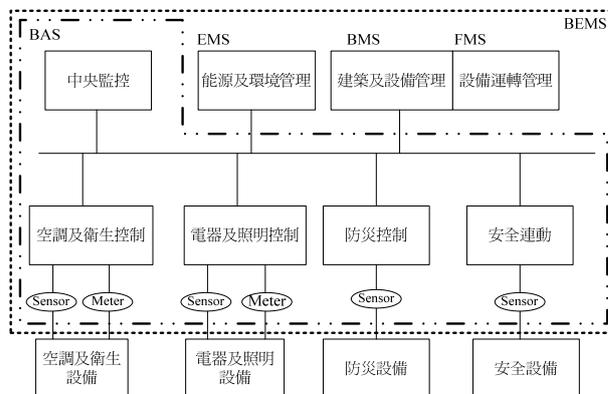


圖 3. 建築物能源管理系統組成

BAS)、能源管理系統、建築物管理系統 (building management system, BMS) 及設備管理系統 (facilities management system, FMS) 等以下功能 [3]。

由於廠務監控系統 (FMCS) 與建築物能源管理系統 (BEMS) 其運用場合不同, 一個是使用於高科技廠, 一個是使用於住商大樓, 因此對於軟硬體及儀控設備的要求, 基本上就有差異, 也因此兩者有許多差異是因使用場所不同而造成, 並非系統本身之優缺點或強弱程度。例如以整體系統的建置費用, 工業上的運用預算一定比民生上的運用預算高, 就整體系統的反應速度來看, FMCS 的要求也一定高於 BEMS, 畢竟工業上要求精準及快速, 例如無塵室的控制即是如此。所以 FMCS 具備與 BEMS 相同的絕大部分功能, 而且在軟硬體上有絕對的優勢, 可是卻缺乏了最重要的能源管理功能, 因此 FMCS 與 BEMS 做最佳的結合就是 FMCS 融入 BEMS, 再加入能源管理, 唯有以能源管理為訴求的 FMCS, 才是符合環保要求及降低運轉成本的監控系統。

(二) 具能源管理功能之 FMCS 架構

所以在既有之 FMCS 架構中要如何建立能源管理功能, 本研究提出圖 4 的方式發展出具能源管理功能之 FMCS 架構。此架構藉由新增設的能源管系統工作站將現場蒐集的歷史資料, 包含用電量、分配比例、環境設定 (溫濕度及壓力)、設備運轉狀態、時程、外氣狀態等儲存為資料庫, 並配合能源管理系統之軟體分析功能, 將各迴路即時用電資料、電力單線圖、用電趨勢圖、全區設備位置圖、交替運轉、電力需量管理、冰水主機效率計算分析、各迴路定時整點抄表、泵浦及風車變頻改善後數據資料計算比對等, 除了透過人機介面 (man machine interface, MMI) 將各類趨勢圖展現於電腦螢幕上外, 並由節能軟體比對分析功能, 將現場狀況與歷史資料及節能設定比對分析後, 做成最佳運轉控制策略回饋給 FMCS 的主控工作站, 透過控制器的軟體功能將控制動作信號送至現場端, 達成最佳化的運轉及節能, 這樣的系統改善對既有之 FMCS 來講衝擊最小, 且設置成本也最小, 其基本的流程架構可參考圖 4, 另外由國外的 ESCO 在導入 BEMS 改善建築物既有的中央監控系統時也有相類似的作法, 其系統架構概可參考圖 4。

(三) 節能管理模式

如何建立廠務系統的能源管理模式, 首先應當從自我能源的消耗清查做起, 藉由自我能源查核制度, 發現潛在節約能源機會, 從而改善, 使能源合理有效的利用。能源查核制

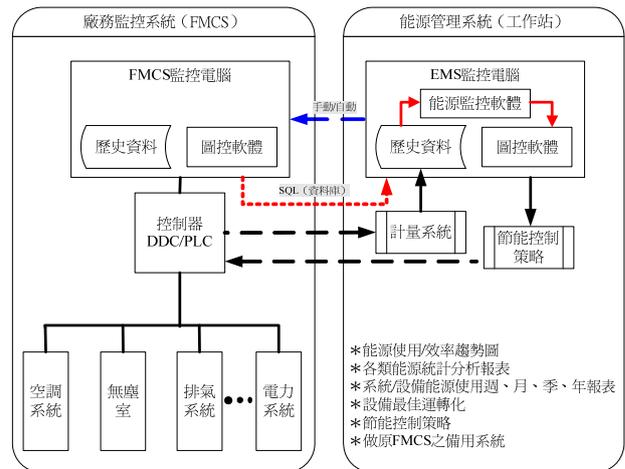


圖 4. EMS 及 FMCS 結合架構

度的建立, 可依經濟部所制定之能源查核制度實施作法 [7], 並結合既有之廠務監控系統的功能, 再加以 BEMS 的能源管理功能來達成, 其具體的工作應包括如下:

1. 建立能源查核專責組織: 由廠務管理單位例如廠務處/部/課等, 結合行政管理單位及製程管理單位, 共同組成能源查核專責組織, 定期開會檢討, 以節能對策的 P-D-C-A 法則, 從 Plan (計畫) > Do (實施) > Check (效益評估) 和 Action (修正再行動) 的過程中, 根據 BEMS 的詳細數據作反覆的討論及改善。
2. 能源流程分析: 有系統的分析生產過程及生產部門使用能源效率, 對投入的能源種類、數量及損耗等分別測定之並做能源流程圖表, 並加以分析比較進行節能動作。此功能可由既設之數位電錶及 BEMS 的能源管理功能分析圖表整合而成, 圖 5 為簡單之範例。
3. 儀錶監視及測試系統: 各系統或生產流程的耗能資料取得, 必須有賴於監視儀錶的裝設, 方能由廠務監控系統集中搜集並進行統計分析, 此部分在高科技廠的電力系統中已普遍裝設, 但如何分系統或製程裝設、裝設數量等, 還是必須透過能源查核組織的決定。系統或製程分割越細, 能源使用資料越準確, 但相對需付出越高之設置成本。
4. 主要設備耗能效率標準及運轉記錄: 廠務系統的各主要耗能設備, 例如冰水主機、空壓機、外氣空調箱等, 需長時間監控耗能狀態, 並依據機器運轉記錄、產能或天氣狀態, 訂定耗能效率標準, 作為能源管理之依據。
5. 定期檢查各使用能源設備之效率: 機器設備的效率會隨

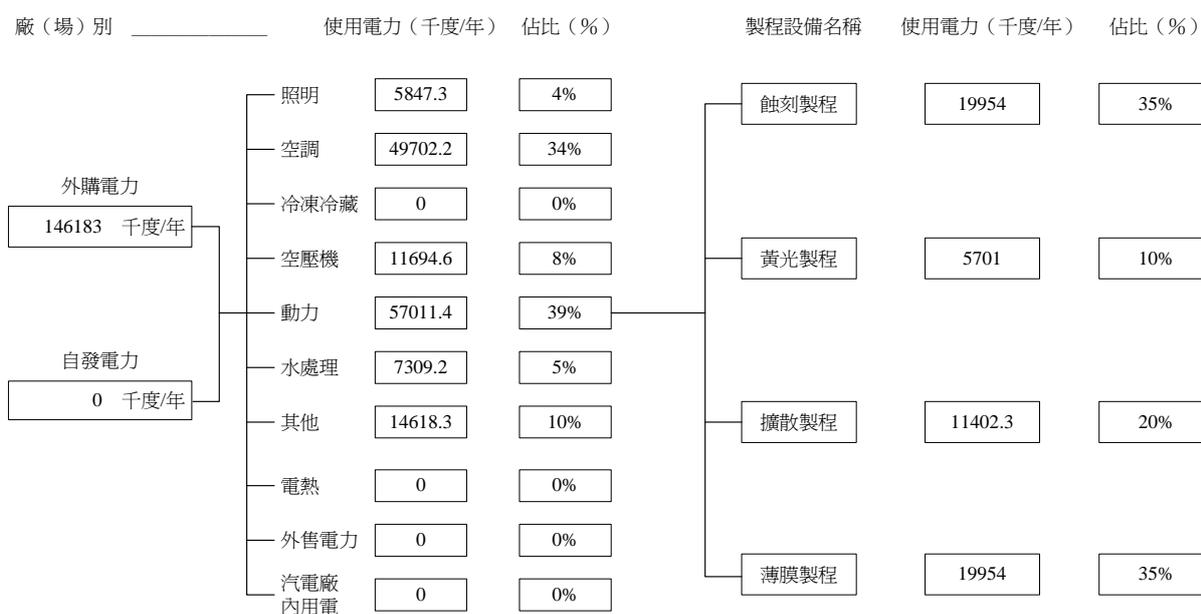


圖 5. 能源流程使用分析

著運轉時間而降低，效率低的機械設備自然就高耗能，所以必須定期檢查或保養，以保持設備在最佳效率下運轉。

- 能源耗用統計及單位產品耗能分析：整廠或系統甚至製程的能源使用量，應長時間的追蹤統計，並做成分析圖表。耗能程度的優劣應有指標可供參考，所以運用單位產品的耗能最方便也客觀，各廠依產能與用電量即可計算出單位產品的耗電量，依此可作為節能指標的自我參考依據。
- 節能潛力分析：在蒐集全廠的能源使用查核資料及流程後，應當就資料加以分析並進行能源使用監控。對於能源使用流程上，佔全廠能源使用比例較高的部份，可針對該部分進行節能機會調查，根據結果研討改進方法，改善設備效率或進行節能措施。
- 年度執行節約能源計畫成效檢討：節能計畫是一項無止境的工作，只要有任何節能機會應當予以正視並全力進行。所以節能計畫每年都應設立目標，依據 PDCA 的標準節能作法，對每年所設的目標在年度結束後進行檢討。除了執行單位的努力外，經營者也應給予最大的支持，如此方能週而復始的每年展開節能計畫。

四、結論

能源管理技術在耗能極大的台灣更顯現出其重要性，本研究除了針對台灣的高科技廠進行能源使用調查外，也對高科技廠的廠務管理人員進行問卷及訪談，目的在了解廠務監控系統 (FMCS) 的能源管理功能及運作現況，並希望藉由建築物能源管理系統 (BEMS) 的能源管理功能加以補強。因此本研究獲至以下的結論：

- 就廠務人員的問卷有以下的重要結果：
 - 高科技廠的廠務設備管理都設有監控系統 (FMCS) 來管理。
 - 都有設置數位電錶來區分及統計各系統的用電量。
 - 約 97% (64/66) 的受訪者認為空調無塵室為廠務系統中最耗能。
 - 約 67% (44/66) 的廠務管理人員有被要求降低運轉成本，其中 80% 的人填寫節能措施作為降低運轉成本的方法，可見節能對成本控制的重要性。
 - 若以「好」為合格的能源管理程度，有 64% (42/66) 的人認為其所服務的高科技廠，能源管理有待改善。
 - 約 60% (40/66) 廠務人員認為目前需要在廠務監控系統內加入能源管理功能。
- 由八家高科技廠的用電比例調查 (圖 2)，可以看出雖然這八家高科技電子業無同質性，所生產的產品也不同，

但因同樣具備廠務系統，其空調及無塵室約佔全廠總耗電量的 32-38%。

3. 就硬體架構而言，FMCS 與 BEMS 大致類似，但由於 FMCS 主要應用於工業上，所以在硬體上有絕對的優勢，系統處理速度也較快，但相對的設置成本也較高。就功能而言，FMCS 與 BEMS 同樣具備建築物管理系統、建築物自動化系統、設施管理系統及同樣運用圖像化 (graphical user interface, GUI) 的人機介面，但 BEMS 具備能源管理功能，FMCS 則無，因此可用節能工作站來加入原有系統執行能源管理功能。
4. 廠務各系統各類節能措施，例如設備變頻控制、降低無塵室正壓及換氣次數等，都應納入能源管理系統的功能內，加以追蹤及效益評估。
5. 針對廠務系統的能源管理模式，除了將 FMCS 加入能源管理系統的功能外，也需執行自我的能源查核制度，如此方能每年設立節能目標，透過既有的軟硬體設施及節能 PDCA 計畫，達成節能的目標。

誌謝

感謝傑和機電工程股份有限公司吳志華經理於問卷調查所提供之協助，致使本文之研究成果得以順利完成，特此誌謝。

參考文獻

1. 台灣電力公司 (民 96)，台電 95 年用電別及行業別售電新聞資料，98 年 1 月 12 日，取自 <http://www.taipower.com.tw/news/news978.htm>。
2. 施宜輝 (民 93)，廠務空調系統冰水主機水側溫度節

能實務分析，中原大學機械工程研究所碩士論文。

3. 彭立德 (民 96)，建築能源管理系統 BEMS 分級架構之建立與省能案例分析，國立中山大學機械與機電工程學系研究所碩士論文。
4. 黃建平 (民 92)，風機運轉監測與系統分析計畫，工業技術研究院環安中心，新竹。
5. 楊冠雄、陳文洲、彭立德、江慶麟 (民 94)，BEMS 建築物能源管理系統，能源與冷凍空調學術研討會，台北。
6. 經濟部能源局 (民 92)，電腦王國背後的原動力—新竹科學園區用電特性，98 年 1 月 6 日，取自 <http://www.tier.org.tw/energymonthly/outdatecontent.asp?ReportIssue=9206&Page=11>。
7. 經濟部能源管理局 (民 92)，電機電子業能源查核及節約能源案例手冊，經濟部能源管理局，台北。
8. 簡銘賢 (民 93)，電機電子業能源使用現況，能源查核與節約能源研討會，台北。
9. 嚴志偉 (民 94)，變頻器於空調系統之應用及節能案例，能源查核與節約能源研討會，台北。
10. 顏登通 (民 94)，高科技廠務，全華科技圖書，台北。
11. Hu, S. C. and Y. K. Chuah (2003) Power consumption of semiconductor fabs in Taiwan. *Energy*, 28(8), 895-907.
12. Li, D. H. W., T. N. T. Lam and S. L. Wong (2006) Lighting and energy performance for an office using high frequency dimming control. *Energy Conversion and Management*, 47(9-10), 1133-1145.

收件：98.03.05 修正：98.05.18 接受：98.07.09

附錄一、用電比例問卷

請填入貴廠契約容量

(kW)

| | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------------|-------|--------|------|---------|-------|-------|--------|
| 參考 範 例 | 數位電表讀值 (kW) | 448.0 | 421.0 | 17.0 | 41.0 | 37.0 | 36.0 | 1000.0 |
| | 數位電表所轄系統 | 製程設備 | 無塵室及空調 | 水處理 | 設施機械及排氣 | 氣體及化學 | 照明及雜項 | |
| | 用電比例 | 44.8% | 42.1% | 1.7% | 4.1% | 3.7% | 3.6% | 100.0% |
| 貴 廠 數 據 | 數位電表讀值 (kW) | | | | | | | |
| | 數位電表所轄系統 | | | | | | | |
| | 用電比例 | | | | | | | |
| PS: 1. 數位電表所轄系統請參考貴廠動力單線圖 | | | | | | | | |
| 2. 數位電表讀值請填入截至目前之累積值或可供計算用電比例之值 | | | | | | | | |

附錄二、廠務人員問卷

廠務系統能源使用調查問卷

說明：本問卷所得之資訊僅供於學術使用，旨在於了解高科廠之廠務各系統之能源使用及廠務管理之現況，請仔細思考後填寫，謝謝!!

填寫者：_____ 負責之廠務系統：_____ 日期：_____

- 請勾選貴公司所屬之產業別：半導體 光電 電腦系統 通訊與網路 機電設備 電子精密儀器 製藥與生物科技
電腦週邊與零組件
- 請填入貴 公司之主要產品：_____
- 請勾選你的廠務工作年資：1~3 年 4~6 年 7~9 年 10 年以上
- 請勾選你的級職：助理工程師 工程師 主任/組長 副理 經理
- 請填入你所負責之廠務系統名稱：_____
- 請問貴廠的廠務系統管理方式：
全部以中央監控系統(FMCS)自動化管理
部份以中央監控系統(FMCS)自動化管理，部份以人工手動管理
全部以人工手動管理
其他_____
- 請問貴廠目前是有無設置電力管理系統(例如將將電力系統劃分為空調/無塵室、一般電力、製程用電等子系統，並以數位電表區隔)：
有 無 不知道
- 是否知道貴廠之用電契約容量：不知道 知道_____ KW(請填入)
- 對於現有契約容量是否有計劃降低：有 無
- 請勾選廠務各系統中你認為最耗能的系統：
一般空調及無塵室系統
照明及一般電力系統
純水及廢水系統
製程排氣系統
其他_____
- 有否被要求降低廠務系統之運轉成本
有(請答第 11 條)
沒有(跳答第 12 條)
- 貴廠目前降低廠務系統之運轉成本之方法概述：

13. 請判斷及勾選貴廠之能源(水及電力)使用是否已達最佳化：

最佳化 好 普通 差 不知道

14. 對於目前的廠務管理系統是否需要能源管理功能：極需要 需要 可有可無 不需要 完全不需要

*能源管理：具有電力監視及控制功能的監控系統，例如電力分配、卸載、使用記錄及分析等，以達電力使用最佳化及節省電力之目的。