

## 影響辦公大樓耗能費用各種因素之探討

The impact of various factors on the office building energy consumption

楊謙柔\* 黃信翔\*\* 張世典\*\*\*

### 一、緣起與目的

目前在辦公大樓耗能因子的解析上，不外透過樣本建築物調查，進而使用 DOE-2 軟體進行模擬(Lam, Joseph C., Hui, Sam C. M., 1996)。本研究以三年的時間在台灣地區陸續尋找 23 棟辦公大樓，進行為期一年以上之長期耗能監測與使用行為的調查，藉由資料採礦(Data mining)的方式探討影響辦公大樓耗能費用各種因素。並且進行相關分析與迴歸分析，藉以闡釋辦公大樓耗能表現之分析方法與原理。

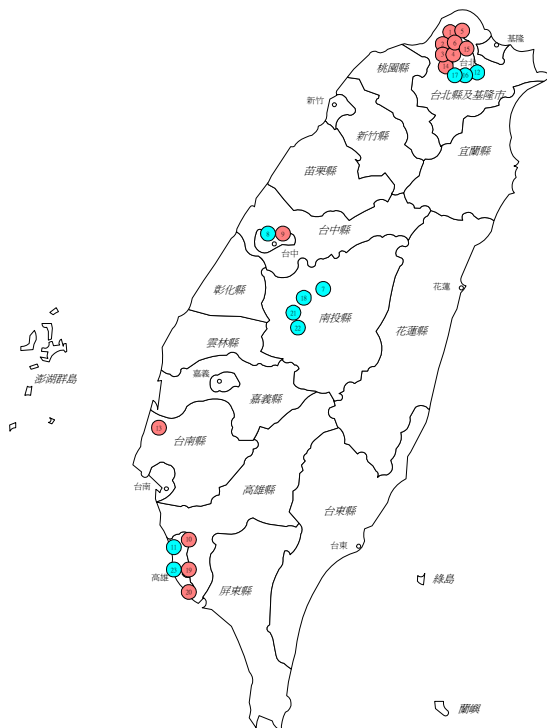


圖 1 全省監測 23 棟辦公建築分佈圖

### 二、理論與方法

#### (一) 辦公建築耗能影響因子

解構 Power DOE 軟體之耗能模擬操作，耗能因子包括建築地點、方位、外殼性能、空調系統、室內溫度、外氣量、室內人員密度、設備密度、照明密度、運轉時間等因子。

另外，可分為「外殼節能設計」、「內部使用區劃及調配」、「設備效能改良」及「設備使用管理技術」四大部分(張世典, 2003)。

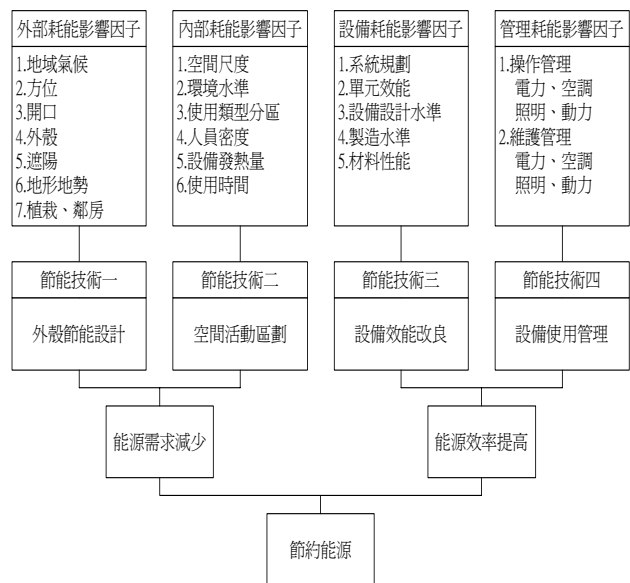


圖 2 耗能影響因子 (張世典, 2003)

#### (二) 調查方法

1.大樓背景調查：指建築物基本資料之調查，可分為建築設計概要、建築外殼設計概要、建築設備概要、營運管理情形等四大面向。此部分重點在對大樓營運狀況的了解。

\*楊謙柔，文化大學建築及都市計畫研究所博士生  
\*\*黃信翔，文化大學建築及都市計畫研究所碩士生  
\*\*\*張世典，文化大學建築及都市計畫研究所教授

- (1)建築設計概要：包括座落地點、基地面積、建築面積、總樓地板面積、樓層數、建築物高度、建築方位、構造方式、平面設計、各樓層的用途、機械室的位置、週邊環境等。
- (2)外殼設計概要：包括外殼面積、構造、遮陽設計情形、大廳出入口有無設置除風室等。
- (3)建築設備概要：包括空調方式、容量、台數、送風方式、運轉時間、衛生器具設置情形、電力、照明、動力設備設置情形等。
- (4)營運管理情形：包括人員數、使用時間、管理體制與管理基準等。

**2.耗能監測作業：**從圖面的了解與現場勘查、電表裝設、數據下載與解析，操作程序如後：

- (1)由建築物電力系統單線圖及昇位圖瞭解建築物各項能源設備系統的分電盤位置及內容。
- (2)經現場細部查訪核對，確認或修正能源設備管線之平面圖及昇位圖。
- (3)針對耗能分析所需要的監測事項，規畫監測點位置。
- (4)監測點工作環境及安全檢視。
- (5)感測器、記錄器、分析及控制器之安裝與設定。
- (6)監測系統連線測試。
- (7)建築物耗能實測。

### 3.室內物理環境實測作業

由於辦公建築空調耗能深受室內物理環境品質之影響，包括外氣量、室內照明器具與人員發熱量，而且室內照度品質亦直接影響到照明耗能程度。因此在進行耗能實測解析時，須探討室內物理環境情形。作業時間盡量在上班工作時間內進行室內物理環境實測作業。

表 1 耗能與室內物理環境實測作業工具

1.電流傳訊器：依監測點之電流量大小，分為100A、300A、400A、800A、1600A、2400A等六種類型。	
2.網路系統整合路由器：利用對絞隔離線將各監測點之電錶即時監測數據傳輸至路由器，並回傳至監測中心。	
3.監測軟體：將各監測點之數據傳輸記錄於電腦中，並設定每一個電錶所資料與記錄時間。	
4.溫濕度計：手持德製 Testo 615 型之輕巧型溼度計，於上午、中午、晚上等三個時段分別進行量測。	
5.照度計：使用儀器為 TES - 1330，於測試當日上午進行全面性的測點均勻分佈量測，每一樓約有 30 個測點。	
6. CO <sub>2</sub> 濃度計：德製 TESTO 535 對室內環境空氣品質量測，測點主要分佈在出風口、回風口、空氣滯留處。	

**4.大樓耗能解析作業：**包括：(A)每月總耗電量、空調耗電、照明耗電及其他動力耗電量(kWh)分析；(B)空調耗電、照明耗電及

其他動力之比例(%)分析；(C)監測期間內最高需量(kW)之單月及單日進行分析；(D)各類設備單位面積用電需量強度 DUI 值(W/m<sup>2</sup>)分析；(E)各類設備單位面積耗電密度 EUI 值(kWh/m<sup>2</sup>.yr)分析。

(1)單位面積耗電密度 EUI(Energy Use Index)：單位樓地板面積消耗之電量(度)。可分為空調(AC)、動力(Distribution)、照明(Lighting)等三大類。依分析之耗電設備主體不同，其計算公式例舉如下：

$$EUI_{AC} = \frac{\text{空調總用電度數 (kWh)}}{\text{空調總樓地板面積 (m}^2\text{)}} \quad (2.1.1 \text{ 式})$$

$$EUI_{Distribution} = \frac{\text{動力總用電度數 (kWh)}}{\text{動力總樓地板面積 (m}^2\text{)}} \quad (2.1.2 \text{ 式})$$

$$EUI_{Lighting} = \frac{\text{照明總用電度數 (kWh)}}{\text{照明總樓地板面積 (m}^2\text{)}} \quad (2.1.3 \text{ 式})$$

$$EUI_{Total} = \frac{\text{全建物總用電度數 (kWh)}}{\text{全建物總樓地板面積 (m}^2\text{)}} \quad (2.1.4 \text{ 式})$$

(2)單位面積用電需量強度 DUI(Demand Use Index)：單位樓地板面積消耗之最大功率(kW)。依分析之耗電設備主體不同，包括空調(AC)、動力(Distribution)、照明(Lighting)等計算公式例舉如下：

$$DUI_{AC} = \frac{\text{空調最大總用電功率 (kW)}}{\text{空調總樓地板面積 (m}^2\text{)}} \quad (2.2.1 \text{ 式})$$

$$DUI_{Distribution} = \frac{\text{動力最大總用電功率 (kW)}}{\text{動力總樓地板面積 (m}^2\text{)}} \quad (2.2.2 \text{ 式})$$

$$DUI_{Lighting} = \frac{\text{照明最大總用電功率 (kW)}}{\text{照明總樓地板面積 (m}^2\text{)}} \quad (2.2.3 \text{ 式})$$

$$DUI_{Total} = \frac{\text{全建物最大總用電功率 (kW)}}{\text{全建物總樓地板面積 (m}^2\text{)}} \quad (2.2.4 \text{ 式})$$

### 三、研究過程與成果

#### (一)耗能水準解析

1.設備耗能比例：辦公建築設備可分為空調、照明、動力，由 23 棟辦公大樓的全年耗能實測資料中，取出各月空調、照明、動力三個分項耗能 EUI 的值，以季節分開統計其用電分配比，得到辦公大樓的用電分配比例如表 2。

表 2 辦公大樓用電分配比例

季節別	空調	照明	動力
夏季(6~9月)	47%	40%	13%
春秋季(3~5、10~11月)	41%	46%	13%
冬季(12~2月)	34%	49%	17%

2.政府辦公廳舍耗能實測解析：人員密度平均值 0.025 人/m<sup>2</sup>，能源設備裝置密度(DUI)平均值 49.16W/m<sup>2</sup>，單位面積年耗電量(EUI)平均值 153.39kwh/m<sup>2</sup>·year，照明設備裝置密度(LPD)平均值 12.11W/m<sup>2</sup>，空調設備之型式以中央空調為主，空氣側大多採用空調箱(AHU)局部加設風圈個機(FCU)，空調設備裝置密度(熱源側)平均值為 0.05RT/m<sup>2</sup>，平均室內環境溫度 24.8℃，平均相對濕度值 51%，平均照度水準為 157Lux~440Lux。

3.商業辦公建築：人員密度平均值 0.039 人/m<sup>2</sup>，能源設備裝置密度(DUI)平均值 53.97W/m<sup>2</sup>，單位面積年耗電量(EUI)平均值 177.68kwh/m<sup>2</sup>·year，照明設備裝置密度(LPD)平均值 12.20W/m<sup>2</sup>，空調設備裝置密度(熱源側)平均值 0.05RT/m<sup>2</sup>，平均室內環

境溫度 24.23°C，相對濕度平均值 52.9%，平均照度水準 254Lux~582Lux。

## (二)辦公大樓耗能因子相關性分析

從 23 棟建築耗能實測資料庫中之各項調查成果進行相關分析，發現單位面積耗電密度 EUI 值與平均樓層空調面積關係最密切，呈正相關(0.482)的關係，其次為 DUI 值。

因此，欲尋找台灣地區辦公大樓單位面積耗電密度 EUI 值(kWh/m<sup>2</sup>.yr)的迴歸方程式，其自變數假設為平均樓層空調面積與 DUI 值。

## (三)辦公大樓耗能迴歸分析

本研究以複迴歸分析的方式進行推估。假設：

$$Y^{\wedge} = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_iX_i$$

然而，建立迴歸模型時，一方面希望包含比重大的自變數，以求得較準確之預測；另一方面也希望模式中的自變數的數目能儘量減少，希望能以較少的自變數，達到足以解釋整個模型的變異程度。通常選取自變數的方法可分兩大類：一為所有可能迴歸法，一為逐步選取法。

本研究採用逐步選取法中的逐步迴歸法(STEPWISE)。首先，模式中不包含任何自變數，然後採順向選擇法，根據對模型的貢獻最大者，挑選自變數進入迴歸模式中。而在每一步驟中，已被納入模型的自變數則必須再經過反向淘汰法的考驗，以決定該自變數要被淘汰亦或留下。以SAS統計分析軟體操作，逐步迴歸法的進入標準(F機率值)為0.15，剔除標準則為0.15。因此，透過SAS程序中的PROC STEPWISE的使用來選取適當的變數，進而來建立迴歸模型。

經過STEPWISE操作之後，求出該迴歸方程式為：

$$Y = 84.58 + 1.22X_1 + 0.04X_2$$

(31.12)      (0.51)      (0.01)

其中，X<sub>1</sub>為DUI值，X<sub>2</sub>為平均樓層空調面積。

## 四、結論與建議

### (一)研究發現

- 1.EUI 值以商業辦公建築較政府辦公廳為高，進一步分析其差異的原因在於樓層規模及使用人員密度，商業辦公建築的使用強度較高。
- 2.由於辦公室對於事務機器及電腦設備的需求度與日遽增，因此於照明部分的耗能，有極大部分是屬於事務機器與電腦設備的插座用電。因此對於實際之照明用電密度，需配合事務機器耗能量測與推估予以解析。
- 3.商業辦公大樓的辦公區照度之調查，發現多位於 520~760lux 之間，遠高於標準值 500lux。雖然照明密度不見得與耗電密度成正比，但是過高之照度水準的照明設計有浪費能源之傾向。

### (二)後續研究建議

以實際監測國內23棟辦公建築耗能情形所得之基礎資料，進行辦公建築耗能迴歸方程式推估，因為樣本數略嫌不足(只有23個)，使得推估母體參數結果之可信度大為降低。在諸多建築耗能影響因子中以每層樓的空調面積、DUI值為自變數，建構出台灣地區辦公大樓單位面積耗電密度EUI值迴歸方程式(R-square=0.423, Adj R-sq=0.3555)。下一階段將陸續增加實測樣本數，並從新尋找可靠性高之變項指標，使得此一公式解釋力增加。

### 謝誌

本研究成果承經濟部能源局委託之「建築物能源管理技術研究1/4~3/4」研究計畫支持，在此致謝。

### 參考文獻

- 1.張世典、楊謙柔、蔡必起，辦公建築能源管理作業之研究，建築物能源管理技術研討會，經濟部能源委員會主辦，2004。

- 2.楊謙柔，辦公建築耗能診斷與節能改善作業之研究，2004年能源與冷凍空調學術研討會，國立台北科技大學主辦，2004。
- 3.張世典、蔡必超、楊謙柔等，辦公大樓節能調查評析，建築物能源管理技術研討會，經濟部能源委員會主辦，2003。
- 4.溫維謙、張世典、楊冠雄、林憲德、蔡尤溪等，建築物能源管理技術研究計畫，經濟部能源委員會，2003。
- 5.楊冠雄等，九十二年度中央廳舍暨院校空調節能改善計畫改善成果期末報告，內政部建築研究所，2003。
- 6.張世典、蔡必超、楊謙柔，辦公建築能源管理技術之現況分析與問題探討，建築物能源管理技術國際研討會，經濟部能源委員會主辦，2002。
- 7.溫維謙、張世典、楊冠雄、林憲德、蔡尤溪等，建築物能源管理技術研究計畫，經濟部能源委員會，2002。
- 8.財團法人省能源中心編，大樓的能源管理，財團法人省能源中心出版，東京：日本，2001。
- 9.張世典、楊冠雄、林憲德、蔡尤溪等，建築物能源管理技術研究計畫，經濟部能源委員會，2001。
- 10.蔡尤溪、李文興、李魁鵬，住商部門能源總量管制制度執行體制規劃計畫九十年年度期末報告，經濟部能源研究發展基金計畫，經濟部源委員會，2001。
- 11.蔡尤溪、李文興、李魁鵬，住商部門能源總量管制制度執行體制規劃報告90年度期末報告，台北，經濟部能源研究發展基金會，2001。
- 12.財團法人中技社，政府機關節能技術手冊，經濟部能源委員會，2000。
- 13.張世典，從建築省能到綠建築，中華民國建築學會，1998。
- 14.林憲德、楊冠雄、蔡尤溪、賴榮平等，建築節約能源基本教材，內政部建築研究所，1996。
- 15.陳錦賜、張世典，建築節約能源綜合指標研究，內政部建築研究所，1995。
- 16.張世典，「我國建築節能研究經緯，內政部建築研究所籌備處，1995。
- 17.張世典，1995，我國建築節能研究與地球環保責任，內政部建築研究所籌備處。
- 18.楊冠雄、林憲德，建築物設備使用管理計畫與節能效益調查研究，內政部建築研究所，1994。
- 19.張世典，省能建築芻議，現代營建雜誌月刊，第4卷40期，p.13，現代營建雜誌社，1983。
- 20.Jaggs, Michaela; Palmer, Johna, Energy performance indoor environmental quality retrofit — a European diagnosis and decision making method for building refurbishment, Energy and Buildings Vol: 31, Issue: 2, February, 2000.
- 21.Lam, Joseph C.; Li, Danny H.W.; Cheung, S.O., An analysis of electricity end-use in air-conditioned office buildings in Hong Kong, Building and Environment, Vol: 38, Issue: 3, March, pp. 493-498, 2003.
22. Lam, Joseph C.; Hui, Sam C. M., (1996). Sensitivity Analysis of Energy Performance of Office Buildings, Building and Environment, Vol: 31, Issue: 1, January, pp. 27-39, 1996.