

台湾地区办公建筑 耗能特性调查研究

华夏技术学院 杨谦柔[☆]

中国文化大学 张世典

摘要 针对台湾地区 29 栋办公大楼进行了为期一年以上的耗能监测解析,探讨了办公建筑耗能结构及其影响因子。对长期监测所得到的耗电数据进行了耗能分析、耗能分项比分析以及耗能量回归分析,建立了办公建筑耗能量模型,包括单位面积耗电密度回归方程、单位面积用电需量强度回归方程,得以预测办公建筑用电需求及耗能量。研究发现使用者的能源消费行为态度对办公建筑耗能量具有显著性影响,反映在室内环境温度与照度值设定上。以往对于动力设备用电分项比例有高估之现象,且由于全球变暖的影响,使得春、秋、冬季之空调分项比居高不下。随着办公建筑智能化与办公设备日益增多,照明与插座之耗电量及分项比有增加之趋势,此部分的节能潜力不容忽视。

关键词 办公建筑耗能 调查研究 耗电密度 用电需量强度

Investigation and research on characteristics of the energy consumption of office buildings in Taiwan

By Yang Chienjou[★] and Chang Shyhdean

Abstract Aiming at 29 office buildings in Taiwan, conducts energy consumption monitoring in over one year, and discusses the energy consumption structure and influencing factors. Analyses the energy consumption, energy consumption proportions and regressions based on the monitoring data, and establishes the energy consumption model, including the regression equations of the energy use intensity (EUI) and the demand use intensity (DUI), thus the power demand and energy consumption can be forecast. It is found that the user's behavior and attitude affect the energy consumption greatly, which is reflected on the setting values of the indoor environmental temperature and illumination. The power consumed by power appliances was overestimated in the past and due to the effect of global warming, the power consumption proportion of air conditioning is on the higher side in spring, autumn and winter. Along with the intellectualization of office buildings and the increase of office equipment, the power consumption of the illumination and socket appliances tends to become larger, and the energy saving potential in this sector should not be ignored.

Keywords energy consumption of office building, investigation and research, energy use intensity, demand use intensity

★ Hwa Hsia Institute of Technology, Taiwan, China

①

0 引言

以往对于办公建筑耗能特性的研究仅止于耗能总量调查部分,通过 DOE-2 软件仿真样本建筑物或藉由查核耗能设备装置量而推估,以及问卷调查等方式。上述研究缺乏空调、照明、动力等设备的耗能结构解析,而且无法找出影响办公建筑耗能之主要因子。

因此,本研究通过调查与监测的方式,针对办公建筑空调、照明、动力等设备耗能资料进行

①☆ 杨谦柔,男,1974 年 5 月生,博士,助理教授
台湾省台北县中和市工专路 111 号
886-0-920-572-283
E-mail: chienjou@ms33.hinet.net
收稿日期:2008-04-29
修回日期:2009-10-01

统计分析,以探讨大楼耗能结构及其影响因子,阐释办公建筑耗能特性,进而找出影响耗能之主要因子,作为建筑耗能量预测及节能策略拟定之参考。

1 建筑耗能分析方法之回顾

1.1 动态耗能仿真软件解析

Lam 等人 1996 年针对位于香港的一栋办公建筑,使用 DOE-2 软件进行耗能敏感性分析,将相关调查参数输入 DOE-2 软件进行仿真,找出每年的围护结构热负荷以及耗能尖峰负荷,探讨建筑耗能特性^[1-2]。DOE-2 具有相当高的可信度,广为美国冷冻空调相关行业采用,但需输入相当多的假设数据,诸如照明密度、设备运转时间、人员使用时间、构造材料等等,若无详实的调查资料输入,其耗能解析信赖度有待商榷。

1.2 耗能设备装置量查核与推估

Lee 等人于 2001 年针对香港 31 栋商业建筑进行调查^[3],从使用端设备量探讨建筑耗能,影响因素包括:照明设备密度、人员密度、办公设备密度等。发现设备超量设计是影响香港商业建筑物能源性能优劣的主要因素,若进行合理化设计,估计可减少 6%~21% 的电力消费。

1.3 问卷调查统计

台湾地区曾有专家学者以问卷、电费单统计的方式,针对耗能总量进行研究^[4-5]。此方法可以获得大量样本数,快速获得台湾地区平均值。然而,若受访者在填写过程中勾选错误,则统计资料的信赖度则大为降低。透过电费单只能大致了解该用户的总用电量,对于空调、照明、动力等设备的耗能结构缺乏详细的解析,也无法反映出建筑耗能特性。

综合上述耗能分析方法,可发现较少论及建筑物营运阶段的能源消费特性与耗能量之关系,若能从使用端的设备耗能量、室内环境背景之调查与解析,将可了解使用者能源消费态度对建筑耗电量的影响。

2 研究方法与研究范围

2.1 调查内容与研究样本取样说明

台湾位于亚热带地区,属于夏热冬暖气候区,空调部分仅需制冷系统,无锅炉设备,故建筑设备之能源消费以电力为大宗。所以,本研究藉由数字电表长时间监测记录办公建筑耗电情形,建立建筑

物耗能数据库,分析办公建筑耗能特性,进而找出影响耗能之主要因子。

2.1.1 调查内容

1) 环境背景调查:分别了解建筑平面、建筑立面、设备、营运管理情形等背景资料。

2) 耗能监测作业:以能明确区分空调、照明、动力等设备耗能为前提,规划耗能监测点位置并安装数字电表、记录器,并与其联机,进行建筑物耗能实测分析及控制。

3) 室内物理环境实测作业:进行室内物理环境实测作业,包括温度、相对湿度及照度,探讨室内物理环境与耗能相关性。

2.1.2 研究样本取样说明

针对台湾北中南等地愿意配合长期研究之办公建筑共 29 栋,进行为期一年以上之电力监测,探讨办公建筑耗能特性。

2.2 建筑耗能解析项目与方法

2.2.1 建筑耗能解析项目

因为每一栋大楼之总楼地板面积并不一样,不能单以大楼耗能总量相互比较,必须以大楼总楼地板面积为分母,求得单位面积耗电密度 EUI (energy use intensity) 及单位面积用电需量强度 DUI (demand use intensity)。

1) 单位面积耗电密度为年平均单位楼地板面积消耗之电量。可分为空调、动力、照明等三大类,其计算式为 $EUI = \text{全年总用电量} / \text{总楼地板面积}$,单位为 $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。

2) 单位面积用电需量强度为单位楼地板面积之最大用电需量。本研究依据空调、动力、照明等监测记录数据,找出各类设备用电尖峰,分析建筑物整体单位面积用电需量强度,其计算式为 $DUI = \text{瞬间最大总用电量} / \text{总楼地板面积}$,单位为 W/m^2 。

2.2.2 建筑耗能量回归分析方法

本研究以复回归分析的方式建立耗能模型,包含影响较强的自变量,以求得较准确之预测。

假设:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_i x_i \quad (1)$$

式中 x_i 为自变量, y 为应变量, β_i 为系数。

1) 逐步回归分析

采用逐步回归法 (stepwise) 进行重要影响因素分析。首先,模型中不包含任何自变量,然后采

用顺向选择法,根据对模型的贡献最大者,挑选自变量进入回归模型中。而在每一步骤中,已被纳入模型的自变量则必须再经过反向淘汰法的考验,以决定该自变量要被淘汰亦或留下。藉此找出 EUI 与 DUI 之主要影响因子。

2) 最适函数型态测验

为求最适函数型态,将逐步回归分析所得到的主要影响因子带入 Lin-Lin, Lin-Log, Log-Log, Log-Lin 等四种测验方式,找出判定系数 R^2 较高者,即为最适函数型态回归方程。

3 建筑耗能调查

3.1 电力系统配置型态调查

办公建筑可分为自用型与出租分户型两大类,自用型办公建筑采用高压用电,供电系统由台湾电力公司以 11.4 kV 或 22.8 kV 供电,经变压器降压至三相四线 220 V/380 V 及单相三线 110 V/220 V 供电为主,如图 1 所示。一般配电盘根据办公室能源设备的用途分为空调主机(380 V)、动力(电梯、水泵、风车 220 V)、照明及插座(110 V/220 V)三盘供电,另外加上电容器,以改善功率因数控制盘及设置紧急发电机,以便停电时供应电力。出租分户型办公建筑由于产权分配影响,其公用设备都采用高压用电,而承租户及各分户多采用低压电力(3 Φ 4 W)供应照明插座及空调使用,此方式有利于各承租户厘清电力费用,如图 2 所示。

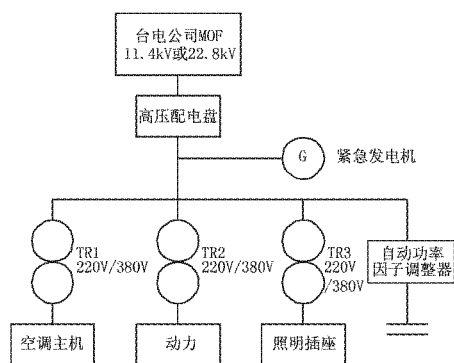


图 1 自用型办公建筑的配电示意单线

3.2 建筑耗能调查室内环境背景

本研究针对 29 栋办公建筑进行为期一年以上之耗能监测解析,受测样本建筑之 EUI 平均值为 169.53 kWh/(m²·a), DUI 平均值为 43.18 W/m²,室内环境背景见表 1。

3.3 耗能分项比例分析

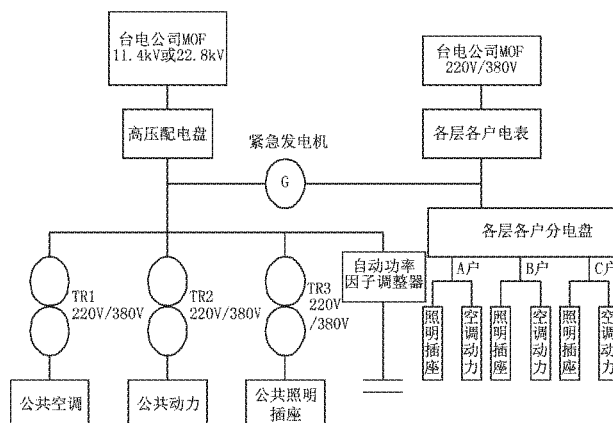


图 2 出租分户型办公建筑的配电示意单线

表 1 办公建筑耗能与室内环境背景

	平均值
单位面积耗电密度 EUI /(kWh/(m ² ·a))	169.53
单位面积用电需量强度 DUI /(W/m ²)	43.18
人员密度/(人/m ²)	0.03
照明设备装置密度/(W/m ²)	11.81
空调设备装置密度/(W/m ²)	175.85
室内环境温度/℃	24.47
相对湿度/%	52.11
照度/lx	157~582

从 29 栋办公建筑的全年耗能实测数据中,取出各月空调、照明、动力三类设备分项 EUI 值,以季节分开统计其用电分配比,得到办公建筑的用电分项比例如表 2 所示。

表 2 办公建筑耗能分项比例

	空调	照明	动力
夏季	47	40	13
春秋季	41	46	13
冬季	34	49	17

3.4 耗能量回归分析

针对建筑耗能实测之数据,包括 EUI , DUI , 建筑楼层数,总楼地板面积,空调区楼地板面积,人员密度,室内环境温度,湿度与照度,空调主机装置量,照明设备装置量,电梯设备装置量等因子,进行耗能影响分析并建立台湾地区办公建筑耗能量回归方程式。

3.4.1 EUI 耗能回归分析

藉由逐步回归分析法,找出影响 EUI 的因子为 DUI 与空调区楼地板面积等,再经过最适函数型态测验解析之后找出最适回归方程式,见式(2)。

$$y = 92.08 + 0.93x_1 + 0.002x_2 \quad (2)$$

式中 y 为 EUI 值; x_1 为 DUI 值; x_2 为空调区楼地板面积;判定系数 $R^2 = 0.7115$;调整后的判定

系数 $R_{Adj}^2 = 0.6864$ 。

3.4.2 DUI 耗能回归分析

从式(2)可以知道 EUI 受 DUI 影响很大,因此,采用逐步回归法深入分析影响 DUI 值之自变量,找出自变量为 EUI 值、室内环境温度、室内环境平均照度及空调区楼地板面积等,再经过最适函数型态测验解析之后找出最适回归方程式,见式(3)。

$$y = 4.7581 + 0.0102x_1 - 0.1121x_2 + 0.0008x_3 - 0.00002x_4 \quad (3)$$

式中 y 为 DUI 值; x_1 为 EUI 值; x_2 为室内环境温度; x_3 为室内环境平均照度; x_4 为空调区楼地板面积; $R^2 = 0.7115$; $R_{Adj}^2 = 0.6566$ 。

式(3)中影响 DUI 值之最主要因素为 EUI 值,所以单靠式(2)与式(3)并无法藉由大楼室内环境背景调查推估并预测 EUI 值,因此删除 EUI 变量,再以逐步回归法针对数据库中各数值与 DUI 值之关系进行解析,找出自变量为室内环境温度、平均照度,再经过最适函数型态测验解析之后找出最适回归方程式,见式(4)。

$$y = 5.8071 - 0.1037x_1 + 0.0010x_2 \quad (4)$$

式中 y 为 DUI 值; x_1 为室内环境温度; x_2 为平均照度; $R^2 = 0.3911$; $R_{Adj}^2 = 0.3381$ 。

4 成果与讨论

4.1 办公建筑耗能量模型

EUI 系指单位楼地板面积消耗之电量,藉由解析可以知道受测大楼耗电与平均水平之差异,判断该栋大楼是否属于高耗能建筑,并进行建筑耗能诊断。 DUI 系指单位楼地板面积之最大用电需量,藉由解析可以知道受测大楼之最大用电需量,进而在申请供电时,签订合理之契约容量,以免届时用电尖峰超载而受罚,额外缴交惩罚性之电费。

从办公建筑 EUI 回归方程式(2)中发现主要影响因子为 DUI 与空调区楼地板面积,显示其受建筑设备装置量与建筑空间规模影响。从办公建筑 DUI 回归方程式(3)中发现, DUI 与 EUI 互为因果。另从式(4)可知,当室内环境温度值设定越低(空调耗电大)、平均照度值设定越高(照明耗电大)时, DUI 值亦跟着相对升高。此发现突破以往认为 DUI 值与设备装置量有关之思路,得出影响 DUI 强度的最大因素在于使用者对能源消费的行为,且受室内环境控制程度影响。此外,可藉由式

(4)及式(2)预测办公建筑耗能量。

4.2 办公建筑各项设备用电分配比例

本研究长期实测 29 栋办公建筑案例之用电分配比例,与李靖男短期量测 8 栋办公建筑案例之用电分配比例^[6]有显著差异(见表 3)。两者之差异主要在于动力用电部门部分,分配比例约减少 10%,显然过去在动力方面的推估值有过大的倾向,差异原因在于本研究为长期量测,而李靖男系短期量测,推论其量测时间可能集中在上班时间,大楼人员出入之升降设备、泵运转而提高动力用电分项比。此外,本研究解析空调部门分项比例并未如李靖男所提数据有明显之季节变化差异性。受到气候变迁、全球变暖,以及近年来台湾地区春秋、冬季日均温上升之趋势的影响,春秋季、冬季之空调用电分项比仍然高居不下。由于办公设备日益增多,而插座用电多划入照明设备部门之电力系统配置,因此也造成照明用电分项比例增加,甚至与空调用电部门不相上下。

表 3 办公建筑用电分项比例之比较 %

	空调		照明		动力	
	本研究	文献[6]	本研究	文献[6]	本研究	文献[6]
夏季	47	40	40	35	13	25
春秋季	41	27	46	48	13	25
冬季	34	19	49	57	17	24

5 结论与建议

5.1 研究结论

本研究调查解析发现,室内环境舒适度的控制对于办公建筑耗能量有显著之影响,室内环境温度与照度的平均水准值影响 DUI ,而 DUI 与空间规模大小影响办公建筑 EUI 。以往对于动力设备用电分项比例有高估之现象,受全球变暖的影响,春秋季、冬季之空调分项比居高不下,未有显著季节性差异。随着办公建筑智能化与办公设备日益增多,照明与插座用电部门之耗电量及分项比例有增加的趋势,采用节能灯具与节能办公设备的节能潜力不容忽视。

5.2 研究建议

受办公建筑业主配合意愿之限制,仅寻到 29 栋建筑样本,若能扩大样本数,将提升本研究各项解析成果之效度与可信度。由于本研究系从使用端的角度,解析建筑设备耗能情形,对于设计端之建筑围护结构设计、外部环境状况等变因,并未深入探讨,因此,后续研究建议如下。

1) 外壳耗能设计与空调设备耗能之关系

研析各栋大楼之围护结构耗能设计情形,包括围护结构耗能值与围护结构传热系数,从设计端探讨其与空调设备耗能之关系。

2) 建筑群体间之环境热负荷影响

探讨大楼建筑群体间阴影遮蔽效应,藉由逐时耗能量之变化,探讨其对空调耗能的影响。

3) 事务机器耗能量占照明插座用电部门之比例关系

针对办公建筑内 OA 设备调查,尤其办公设备的部分,探讨设备装置量与电力使用量之特性。

4) 耗能诊断专家系统之建立

利用现有之数据库,扩大现有解析范围,建立办公建筑耗能诊断专家系统,帮助大楼业主、管理人员进行简易诊断评估,寻求节能对策。

参考文献:

- [1] Lam J C, Hui S C M. Sensitivity analysis of energy performance of office buildings [J]. Building and Environment, 1996, 31(1): 27-39
- [2] Lam J C, Li D H W, Cheung S O. An analysis of electricity end-use in air-conditioned office buildings in Hong Kong [J]. Building and Environment, 2003, 38(3): 493-498
- [3] Lee W L, Yik F W H, Jones P, et al. Energy saving by realistic design data for commercial buildings in Hong Kong [J]. Applied Energy, 2001, 70 (1): 59-75

- [4] 黄汉泉. 办公类建筑耗能总量调查之研究[R]. 台北: [出版者不详], 2000

- [5] 蔡尤溪, 李文兴, 李魁鹏. 住商部门能源总量管制制度执行体制规划报告 90 年度期末报告[R]. 台北: [出版者不详], 2001

- [6] 李靖男. 空调系统省能案例 中央空调系统[M]. [出版地不详]: 中国技术服务社, 1994: 188-194

- [7] 张世典, 杨冠雄, 林宪德, 等. 建筑物能源管理技术研究计划(1/4)[R]. 台北: [出版者不详], 2001

- [8] 温维谦, 张世典, 杨冠雄, 等. 建筑物能源管理技术研究计划(2/4) [R]. 台北: [出版者不详], 2002

- [9] 温维谦, 张世典, 杨冠雄, 等. 建筑物能源管理技术研究计划(3/4) [R]. 台北: [出版者不详], 2003

- [10] 温维谦, 张世典, 杨冠雄, 等. 建筑物能源管理技术研究计划(4/4) [R]. 台北: [出版者不详], 2004

- [11] 张世典, 蔡必超, 杨谦柔. 办公建筑能源管理技术之现状分析与问题探讨[C]// 建筑物能源管理技术国际研讨会论文集. 台北, 2002

- [12] 张世典, 蔡必超, 杨谦柔, 等. 办公建筑节能调查评析 [C]// 建筑物能源管理技术研讨会论文集. 台北, 2003

- [13] 张世典, 杨谦柔, 蔡必超. 办公建筑能源管理作业之研究[C]// 建筑物能源管理技术研讨会论文集. 台北, 2004

- [14] 杨谦柔. 办公建筑耗能诊断与节能改善作业之研究 [C]// 2004 年能源与冷冻空调学术研讨会论文集. 台北, 2004

· 简讯 ·

变风量空调系统设计实践研讨班成功举办

2009 年 10 月 14—16 日, 由《暖通空调》杂志社与上海现代建筑设计集团华东建筑设计研究院机电技术研究与发展中心联合举办的变风量空调系统设计实践研讨班在上海举行, 来自全国各地的 30 余位暖通工程师参加了学习。

研讨班邀请到了同济大学的范存养教授、中国建筑设计研究院的潘云钢总工、华东建筑设计研究院的叶大法总工和杨国荣总工担任主讲。范存养教授介绍了高层办公楼的空调方式; 潘云钢总工介绍了国内超高层办公建筑空调系统的发展情况; 叶大法总工介绍了变风量空调系统的概念、选择、计算、控制以及自然冷却设计; 杨国荣总工介绍了变风量空调系统的末端、消声和气流组织以及低温变风量

空调系统设计。他们均结合工程设计实例进行了讲解, 理论与实际相结合的授课方式使学员们更深入地认识了变风量空调系统。

研讨班期间, 学员们还参观了上海悦达 889 大厦以及恒隆广场的变风量空调系统工程, 在施工现场学员们又发现了许多新的问题, 并及时与现场技术人员沟通, 在探讨中进一步提高了对变风量空调系统的认识。

研讨班得到了江森自控有限公司、上海大智科技发展有限公司、上海新晃空调设备有限公司、皇家空调设备工程(广东)有限公司、上海洗霸科技有限公司的大力支持。

(本刊)