

大型公共建筑能耗监测平台及监管模式

刘 丹

(西安市城乡建设委员会房地产与综合开发处, 陕西 西安 710061)

摘要: 以我国大型公共建筑能耗监测及监管模式为研究对象, 基于此类建筑的能耗分析、现场能耗测试, 分析研究了其能耗监测系统及节能管理问题, 建立了能耗监测平台和运行模式. 利用 ISM 解释结构模型和 AHP 层次分析法, 分析了大型公共建筑能耗监测的监管指标模式和监管要素权重, 给出了监管模式实施的技术路线. 研究成果对我国大型公共建筑用能管理具有一定工程价值和科学意义, 所采用的方法可拓展应用于工业建筑重点用能设备的监测与节能管理等相关技术领域.

关键词: 建筑能耗; 节能管理; 能耗监测; 大型公共建筑

中图分类号: TU 111

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2014)01-0096-05

近几年来, 随着我国城市建设的发展, 建筑能耗、特别是国家机关办公建筑和大型公共建筑高耗能的问题日益突出^[1]. 据统计, 国家机关办公建筑和大型公共建筑每平方米年耗电量是普通居民住宅的 10~20 倍, 此类建筑能源的节约对于“十二五”期末, 建筑节能形成 1.16 亿吨标准煤节能能力的目标至关重要^[2]. 尽管行政主管部门通过各项措施在积极解决这一矛盾, 但问题并没有得到有效的控制, 其中一个很重要的原因就是目前我国建筑能耗的监督管理信息化水平不高. 监管手段的滞后必然导致政府职能部门政务不公开、监管工作不透明, 并且由于行业监管对信息的采集缺乏动态性、准确性与实时性, 不能实现数据资源的共享, 导致建设行政相关主管部门缺少足够的科学依据去制定建筑节能发展规划和宏观调控政策^[3]. 为此, 应建立国家机关办公建筑和大型公共建筑能耗监测平台, 对各省、市、县、镇、村、组各级机关办公建筑与大型公共建筑能耗的实时远程监管, 实现“用能管理制度化、运行监测信息化、预测预警规范化”.

目前大型公共建筑能耗监测的研究主要是从宏观层面统计分析建筑的能源消耗情况, 无法校验数据的可靠性和正确性. 而目前的监测系统主要是对各项用能情况的显示与记录, 并不具有更进一步的分析与管理功能. 因此虽然能发现问题, 但不能给出系统的解决方案.

本文结合国内外建筑能耗监测研究理论与实践经验的分析借鉴, 基于典型大型公共建筑能耗现状的测试与分析, 以系统工程和软件工程思想为基础, 从信息管理视角出发研究设计了大型公共建筑能耗监测系统平台. 并对相应的监管模式及影响能耗监测平台监管质量的若干要素进行了分析, 确定了监管评价模式及关键监管要素. 通过对各要素权重的分析与计算, 提出了能耗监测平台监测及节能管理的技术路径, 为相关管理部门采用该系统平台进行能耗监测及节能管理奠定了技术基础和平台保障.

1 相关研究基础与理论方法

本文针对能耗监测数据缺乏, 能耗监测管理不力等问题, 运用系统工程^[4-5]和软件工程^[6-8]相结合的思想, 设计并建立了当前我国大型建筑能耗监测平台. 而平台的有效监管首先要知道其中各要素之间的相互关系, 也就是要知道系统的结构或者建立系统的解释结构模型 (Interpretative Structural Modeling, ISM). ISM 分析法是 Warfield 教授为分析复杂的社会经济系统有关问题而开发的一种方法^[9]. 其特点是把复杂的系统分解为若干子系统 (要素), 利用人们的实践经验和知识, 以及计算机的帮助, 最终将系统构造成一个多级递阶的结构模型. 解释结构模型能够反映出元素的层次逻辑结构, 但并不能反映各要素的相对重要性. 因此需要运用 Satty 教授提出的层次分析法^[10] (Analytic Hierarchy Process, AHP) 进一步分析要素对最终决策目标的重要程度. 它根据问题的性质和所要达到的目的, 按目标层、决策层、准则层分解多层次的目标树, 并按目标间的相互关联影响及隶属关系分组, 形成一个多层次的分析结构模型. 通过对每一层次目标下一级目标两两比较的方式确定下级层次中诸目标的相对重要性, 然后通过测定或估计整体中各部分对系统的影响综合出所需的结果.

收稿日期: 2013-01-07

修改稿日期: 2014-02-16

基金项目: 西安建筑科技大学青年科技基金项目 (QN0938); 陕西省教育厅专项科研计划项目 (11JK0362)

作者简介: 刘丹 (1976-), 男, 博士, 主要从事节能管理, 城市建设计划投资方面的研究. E-mail: danliu0202@163.com.

2 大型公共建筑能耗案例测试与现状统计

大型公共建筑能耗监测在北京、深圳等城市已经进行了初步研究，但在西北地区尚未开展。本文针对西北地区具有代表性的西安市 27 座典型大型公共建筑进行了实地能耗测试与分析，以此了解各类大型公共建筑的能耗情况，找出了建筑能耗方面存在的不足与技术漏洞。表 1 为此次调研大型公共建筑的基本情况。

图 1 是大型公共建筑分项能耗的情况。由图可知办公建筑中能耗主要为采暖能耗和空调能耗，其次为办公设备能耗；商场类建筑中主要能耗为空调能耗和照明能耗，其次为供暖能耗。两者的区别主要由建筑类型决定，对于商场建筑，人员多、散热负荷大，因此采暖能耗相对较低，空调负荷有所提升。同时商场建筑照明周期长，照度要求高，因此照明能耗较高。但这两类建筑以及其他建筑的调研发现，大型公共建筑分项能耗中电量能耗是最高的。

表 1 调研建筑类型和数量
Tab. 1 Building type and quantity in surveyed

建筑类型	数量	总建筑面积/ (万 m ³)
综合性商务楼	3	9.43
写字办公楼	12	27.58
商场	2	6.2
宾馆饭店	7	14.12
教学楼	1	2.16
医院	2	5.45

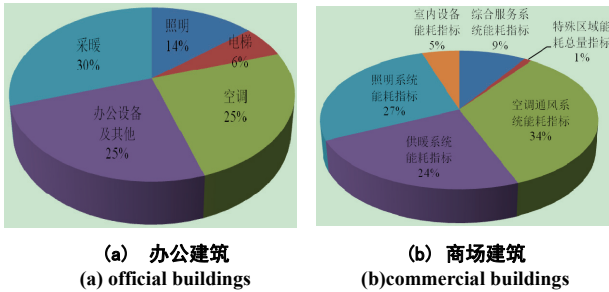


图 1 西安市大型公共建筑分项用能比例关系图
Fig. 1 Ratio of item-based energy consumption in larger public buildings of Xi'an

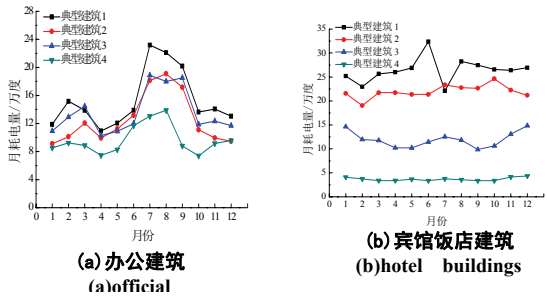


图 2 西安市大型公共建筑月耗电量变化图
Fig. 2 Monthly electricity consumption in larger public buildings of Xi'an

图 2 分别以测试的 4 个典型的办公类和宾馆饭店类建筑为例，给出了大型公共建筑电量分项逐月的变化情况。由图可知，办公类建筑逐月耗电量存在较大波动，总体上 6-9 月耗电量最高。而宾馆饭店建筑逐月耗电量则存在较小波动，全年逐月耗电量基本一致，这主要由此类建筑的营业运行性质决定的。

以上分析可知，根据建筑类型的不同，大型公共建筑能耗分类及分项存在一定的不同，但总体上以用电为主要能耗。因此大型公共建筑能耗的降低可以通过用电量的减少来主要实现，但是如果建筑用电能耗没有计量，带有人为主观因素的能耗拆分数据不可靠，则将无法有效的发现用电问题，进而造成决策偏差。供电局提供数据或人工抄表数据缺乏实时性，且时间间隔不准确，无法用于能耗技术分析，缺乏基础数据平台，各种节能措施的实际效果无法得到客观的反映和评价，缺乏评估手段，这将使节能管理的推广和发展处于十分被动的局面。因此大型公共建筑能耗数据的分项计量及监测存在长远的社会意义。

3. 大型公共建筑能耗监测系统平台的建设

结合以上大型公共建筑能耗调研的现状，基于系统工程和软件工程的思想，提出系统平台建设指导思想如图 3 所示。并通过“单体建筑的能耗在线监控子系统的建设”、“监管中心与各单体建筑子系统之间的联网”、“整个在线监管网络性能的优化”三个步骤逐步实施。能耗监测平台数据采集系统由数据采集模块、电能计量装置、水表、燃气表、热量表、温湿度采集器和针对建筑类型而设置的燃油/煤计量装置等组成。数据采集方式

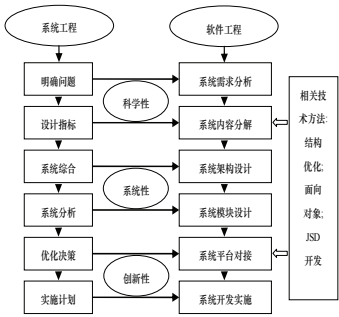


图 3 系统平台的建设思想
Fig. 3 Construction thought of system platform

采用人工采集和自动采集相结合的方式,其中人工方式主要用于建筑基本项(功能、总面积等)和附加项(人员、运营时间)的采集.能耗数据传输系统包含计量装置和数据采集器之间的传输,数据采集器和数据中心的传输以及数据中心到上一次数据中心的传输三个部分.

建筑能耗管理系统包含数据采集软件子系统、数据处理子系统、数据上报子系统、数据接收子系统、消息管理子系统、数据分析展示子系统、建筑业主服务子系统、公众服务子系统、信息维护子系统、系统监测子系统 10 个模块,并由能耗数据采集系统、能耗数据分析系统、能耗专家系统、能耗数据审计系统、能耗数据全景系统 5 个部分具体实现.图 4 为设计的大型公共建筑能耗监测系统平台能耗数据采集系统和能耗数据分析系统展示.

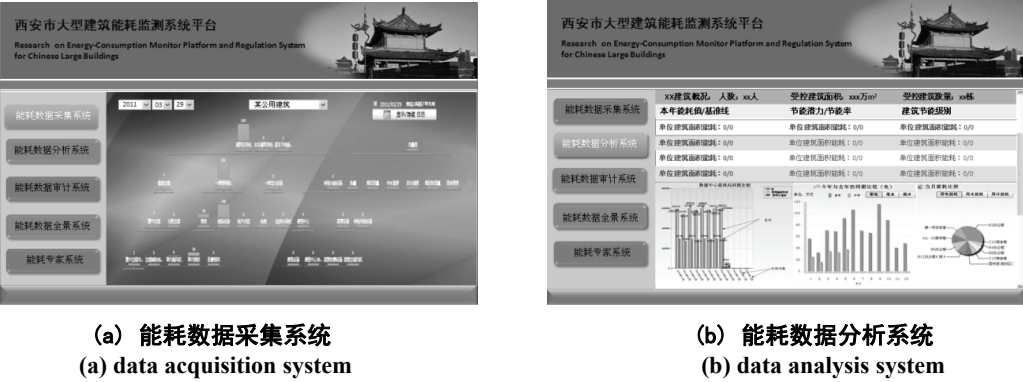


图 4 能耗监测系统平台界面
Fig. 4 Interface of energy consumption monitor platform

上图中:①能耗数据采集系统主要采集建筑用电量、水耗量、燃气量、集中供热耗热量、集中供冷耗冷量和其它能源应用量.采集方式以自动采集为主,辅助以建筑信息等参数的人工采集方式;②能耗数据分析系统主要对采集的能耗数据通过各种模型进行分析.具体包含能耗标准分类设置、能耗标准参数维护、能耗预警设置和能耗分析比对等功能;③能耗专家系统针对每种类型的能耗以及相关设备建立专门的专家库,同时可以整合社会资源,专业厂家也可以将自己的专家知识系统共享在能耗监测平台之上.目的是对能耗数据所暴露出来的各种问题进行解决.具体包含设置设备模型、设置建筑物模型、系统运行模型、生成专家系统方案、专家系统接口等功能;④能耗数据审计系统通过数据中心建立内外部发布机制,凡是通过主管单位审核的合规数据,都可以通过 Web 网站、短信等发布机制向公众发布.具体包含审计对象维护、

审计单位维护、审计内容定义、审计标准维护、能耗审计、审计信息发布等功能;⑤能耗数据全景系统采用计算机全景管理门户,地理信息等技术构建一个能够把复杂的应用变得操作简单全景管理系统,更直观、更形象的为每一个负责人,每个主管单位建立能耗数据的全景视图.

本文提出的大型公共建筑能耗监测系统平台可根据需要进行二次扩展,将更多的功能(如黑度分析等)集成到监测系统当中,实现功能上的进一步完善.同时为了

整个系统在可预见的将来进行功能扩展和系统规模扩展,上述系统预留了各个子系统之间以及整个系统的对外接口,可以将现在流行的、经过实践检验成熟的数据接口纳入整个系统方案中.

4 大型公共建筑能耗监测平台的监管模式

大型公共建筑能耗监测要切实实现节能管理目标,就需要形成模式化监管样式,以确保能耗监测平台

表 2 能耗监测平台监管要素标识			
Tab. 2 Regulation factors indentified on energy consumption monitor platform			
标志	要素名称	标识	要素名称
S0	节能监测平台的监测	S12	政府节能投资
S1	节能政策的完备性	S13	节能监测平台的管理能力
S2	基础设施配套水平	S14	节能管理模式创新性
S3	节能监测技术	S15	节能技术推广程度
S4	技术人员素质	S16	政府制定节能规划及战略措施
S5	节能系统创新性	S17	技术标准的完善性
S6	技术竞争力	S18	行业标准的变化
S7	生态环境影响	S19	节能改造能力
S8	系统维护运行成本	S20	政府监管能动性
S9	节能预算占财政支出比例	S21	节能监测技术标准
S10	节能预算年增长率	S22	节能监测平台的管理成本
S11	政府节能采购规模		

的有效运行。文章采用系统工程的方法，充分考虑节能政策、节能标准和节能技术等因素，遵循科学性、有效性、导向性、可比性、可操作性、完整性、定量与定性指标相结合 7 项原则，评价和分析了大型公共建筑能耗监测平台的关键要素，选取了 22 个（S1-S22）对大型公共建筑能耗监测具有影响的要素，如下表所示。

由于影响要素众多，且各要素将存在一定的相互关系，因此采用 ISM 解释结构模型建立了影响大型公共建筑能耗监测各要素的宏观模型，如图 5 所示。

图 5 给出的解释结构模型为一个三层结构，分别用目标层 A、准则层 B 和方案层 C 表示。B 层包含四个要素，从 B1 到 B4（S3，S13，S21，S22），C 层包含 18 个要素，从 C1 到 C18（其余 S 指标）。由于解释结构模型只能反映元素的层

次逻辑结构，并不能反映各要素的相对重要性。因此运用 AHP 层次分析法首先建立图 5 中各元素判断矩阵；其次对判断矩阵进行标度定义；再次根据建立的判断矩阵和定义的标度，在 A 层准则下，根据 B 准则层的重要程度，对准则层 B 权重值进行计算；最后依此类推计算方案层 C 的各项权重值，分析各要素对最终决策目标的重要程度，得到各监管要素权重如表 3 所示。

基于上表的数据，可以得到节能政策的完备性、基础设施配套水平、节能系统创新性、行业标准的变化、技术竞争力和技术人员素质等监管要素是影响能耗监测平台监管质量中权重较大的关键要素，监管时应优先考虑。因此大型公共建筑能耗监测平台监管模式技术路线可以通过三个阶段来实现逐步实现：第一阶段实现累计权重排序 1~6 项的监管，第二阶段实现累计权重 7~12 项监管的初步设计，第三阶段实现累计权重 13~18 项监管的深度设计。

5. 结论

本文针对大型公共建筑的能耗监测和节能管理问题进行了研究分析。在典型公共建筑用能现状测试的基础上，得到了现有公共建筑用能以电为主，但计量上却存在滞后、各用电节点不能分项统计等问题。为此，以系统工程和软件工程思想为基础，建立了大型公共建筑的能耗监测平台，对平台包含的能耗采集、分析等 5 个系统模块的具体功能和平台的二次扩展性进行了说明，为能耗管理活动的实践应用提供了技术支持。同时，基于监测平台监管要素权重的分析与计算，给出了能耗监测平台监管模式的三阶段实施技术路线，为监测平台分重点、分步骤的系统化实施提供理论参考。研究成果丰富了大型公共建筑能耗监测和节能管理体系，并为建筑节能激励技术政策的制订提供了科学依据。

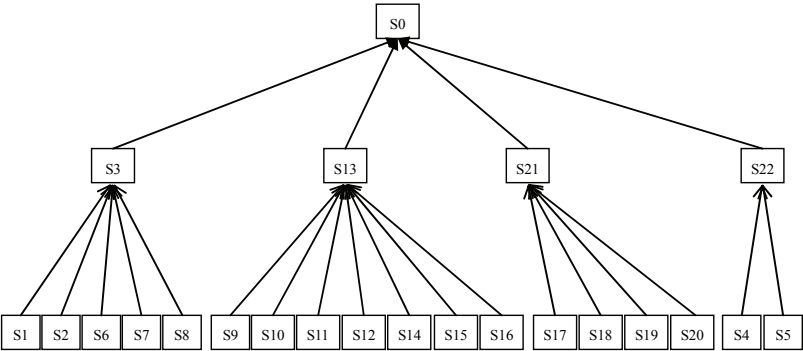


图 5 监管要素结构模型图
Fig. 5 Structural model of regulation factors

表 3 能耗监测平台监管要素权重分析表
Tab. 3 Weighting analysis of regulation factors on energy consumption monitor platform

能耗监测平台监管质量评价模式				
目标层	准则层及权重	方案层及权重	累积权重	累积权重排序
A1	B1-0.4862	C1-0.3409	0.1657	1
		C2-0.3409	0.1657	1
		C3-0.1416	0.0688	5
		C4-0.0934	0.1454	9
		C5-0.0832	0.0405	10
		C6-0.0473	0.0062	17
	B2-0.1306	C7-0.0461	0.0060	18
		C8-0.1441	0.0188	14
		C9-0.1360	0.0178	15
		C10-0.1305	0.0171	16
		C11-0.1478	0.0193	13
		C12-0.3482	0.0455	8
	B3-0.1985	C13-0.1061	0.0211	12
		C14-0.4502	0.0894	4
		C15-0.1838	0.0365	11
		C16-0.2599	0.0516	7
	B4-0.1847	C17-0.3333	0.0616	6
		C18-0.6667	0.1231	3

参考文献 References

- [1] 江亿. 我国建筑能耗趋势与节能重点[J]. 建设科技, 2006(7): 11-13.
JIANG Yi. Our focus on building energy consumption trends and energy-saving [J]. Construction Technology, 2006(7): 11-13.
- [2] 住房和城乡建设部. 《“十二五”建筑节能专项规划》[Z], 建科(2012) 72号, 2012.05.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development. The "Twelfth Five-Year Plan": Special planning of building energy-saving [Z]. No. 2012-72, 2012.05.
- [3] 张丽. 中国终端能耗与建筑节能[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
ZHANG Li. China's ending energy consumption and building energy saving [M]. Beijing: China building industry press, 2007.
- [4] 孙东川、林福永、孙凯. 系统工程引论(第2版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011.
SUN Dong-chuan, LIN Fu-yong, SUN Kai. Introduction to system engineering, 2th Edition [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2011.
- [5] 黄贯虹, 方刚. 系统工程方法与应用(修订版)[M]. 广州: 暨南大学出版社, 2006.
HUANG Guan-hong, FANG Gang. System engineering: Method and application, Revised Edition [M]. Guangzhou: Jinan University Press, 2006.
- [6] 韦群. 软件工程原理及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012.
WEI Qun. Software engineering: Principle and application [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2012.
- [7] 刘忠宝. 软件工程: 理论、方法及实践[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012.
LIU Zhong-bao. Software engineering: Theory, method and practice [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2012.
- [8] M A Jackson. Principles of Program Design [M]. London, Academic press, 1975.
- [9] Warfield J N. Social systems: Planning, policy and complexity [M]. New York: John Wiley & Sons, 1976.
- [10] 钱颂迪. 运筹学(第3版)[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
QIAN Song-di. Operations research, 3th Edition. Beijing: Tsinghua University Press, 2005.

Energy consumption monitor platform and regulation system for large public buildings

LIU Dan

(Department of Real Estate and Development, Urban and Rural construction commission in Xi'an, Xi'an 710061, China)

Abstract: Large public building energy consumption monitoring platform and operating mode was established on basis of energy consumption analysis and measurement. The index and factors of supervision of large public building energy consumption monitoring were analyzed by Interpretative Structural Modeling (ISM) model, Analytic Hierarchy Process (AHP), and the technology roadmap of the regulation of energy consumption monitoring platform was provided. The research results make great sense in large public building energy management. Meanwhile, the research method also can be used for other fields, such as the equipment monitoring and energy-saving management in industrial buildings.

Key words: building energy consumption; energy management; energy consumption monitoring; large public buildings

(本文编辑: 吴海西)