

文章编号: 1671-6612 (2021) 06-914-05

某宾馆能源审计方法探讨

张 敏 郑 敏

(四川省建筑科学研究院有限公司 成都 610036)

【摘 要】 通过对某宾馆建筑的能源审计报告分析, 结合现有的公共建筑能源审计相关标准和导则, 对该宾馆建筑的能源审计中所用的能源审计方法进行了探讨, 从而对现有的一些方法提出了改进措施, 为以后的公共建筑的能源审计工作提供理论指导。

【关键词】 宾馆; 能源审计; 分项能耗; 计算方法

中图分类号 TK018 文献标识码 A

Discussion on Energy audit Method of a Hotel

Zhang Min Zheng Min

(Sichuan Institute of Building Research Co., Ltd, Chengdu, 610036)

【Abstract】 Based on the analysis of the energy audit report of a hotel building, combined with the existing public building energy audit standards and guidelines, this paper discusses the energy audit methods used in the energy audit of the hotel building, and puts forward some improvement measures for the existing methods, so as to provide theoretical guidance for the future energy audit of public buildings.

【Keywords】 Hotel; Energy audit; Itemized energy consumption; Computing method

基金项目: 四川省科技厅科技成果转化基金项目 (2018YSZH0010)

作者简介: 张 敏 (1992.10-), 女, 硕士, E-mail: 846542450@qq.com

通讯作者: 郑 敏 (1976.1-), 女, 博士, 高级工程师, E-mail: 894248768@qq.com

收稿日期: 2021-04-16

0 引言

建筑能源审计是一种建筑节能的科学管理和
服务方法, 是建筑能耗评价的基础。建筑能源审
计可以提高用能单位的市场竞争力, 提高经济效益和
社会效益, 实现经济、社会和环境的统一。针对建
筑能源审计及节能潜力研究领域, 国内外学者进行
了大量的研究。

有人基于能耗模拟基础, 来预测和计算建筑实
际能耗。Harry Bruhns 等^[1,2]对非住宅建筑的能耗进
行调查和分析, 建立数据库, 用于预测和分析建筑
能耗情况。朱伊敏^[3]用案例分析的方式, 运用
eQuest 能耗模拟软件, 建立虚拟建筑室内环境, 对
空调通风及照明等系统的能耗进行研究, 对传统的
建筑能源审计方法提出一些改进。Marcel Macarulla

等^[4,5]提出了一种基于神经网络的预测控制策略,
用建筑神经能耗性能指标评估建筑的能耗水平, 在
建筑锅炉 BEMS 中实现预测控制, 可以将建筑供
热能耗降低 20%左右。Antonio Colmenar-Santos^[6]
等通过优化系统技术规程, 使办公楼和行政建筑能
耗有所降低。Gao^[7,8]等提出将聚类分析的方法用在
不同类型建筑物之间进行能耗基准测试, 该方法能
提供更全面的基准方法。万理达^[9]就公共建筑的能
源审计方法和节能潜力展开研究, 提出了软件模拟
与理论分析相结合的能耗计算方法。黄凯等^[10]通过
对两个建筑和能耗数据的分析, 采用两种不同的暖
通空调拆分方法, 计算出建筑分项能耗指标。

还有人提出记录建筑能耗的新方法, 使数据可
视化, 便于建筑管理人员管理和分析数据。J

Haberl^[11,12]采用了一种先进的数据显示技术,并构造了新的先进能源管理框架,支持对所有测量的能量数据进行标准化,以便将来进行分析和可视化。Pantelis N Botsaris^[13]提出了一种记录建筑能耗的新方法,该方法利用热负荷指数、能量分配指数等能量指标,模拟建筑内外空间因温度变化引起的热损失。该方法既可以作为单一审计,也可以作为建筑能源审计的一部分。此外,它还可以用于公共或市政建筑的能源效率检测。Cavalheiro^[14]等提出了一个可根据复杂性、可用性和设计指标对建筑能源使用进行评估的新模型,实现了一个高质量的可重用的多维数据模型,可用于创建或改进建筑能源管理系统的数据模型。

还有一部分人通过对建筑的能源审计,对其进行节能改造。M Santamouris^[15]等对希腊的 158 家酒店进行了能源审计,分析制冷、采暖、照明等系统对建筑总能耗影响,对其进行节能改造。结果表明,具有明显的节能效果。Joshua D Rhodes^[16]等人对奥斯汀市 4971 户住宅进行了能源审计,指出了典型的空调设计和安装的普遍性问题,并估计解决这些问题将对峰值电力需求和冷却能耗的影响。Kyosung Choo^[17]等人通过实验、数值和仿真研究,对马里兰大学校园内的一个中型数据中心的性能进行了评估,建议通过优化数据中心的热流体流动来降低能耗。Saleh N J Al-Saadi^[18]等为降低图书馆的空调系统在阿曼炎热气候条件下的能源消耗,对图书馆建筑进行了能源审计,使用 DesignBuilder 生成建筑能量模型,进行校准,并对模型在采用节能策略后进行评价,结果表明,该模型的能耗可降低 38.5%。

我国建筑能源审计工作现还处于发展阶段,仅构筑了刚性体系,并没有形成具有可操作性、系统性的、规范性的审计方法。因此,为了提高用能建筑能源管理水平,查清能源计量现状,优化设备运行方式,完善能源管理体系,挖掘存在的节能潜力,寻找节能技改方向,针对建筑能源审计方法进行改进研究具有重要意义。

1 分项能耗计算基本方法

《公共建筑能源审计导则》中对建筑物设有分项计量系统和没有设有分项计量系统两种情况下的建筑分项能耗给了计算方法。

1.1 建筑分项能耗——有分项计量系统

当建筑物有能耗分项计量系统时,在能源审计中对各分项能耗优先直接读取平台数据。

1.2 建筑分项能耗——无分项计量系统

如果是定频工作的设备,则通过统计设备数量、功率以及运行情况,将总功率与估算运行时间相乘得到其总能耗。如果是变频工作的设备,有两种方法计算其总能耗。一是,采用运行记录中的逐时功率,对全年运行时间进行积分;二是,若无逐时功率,则将设备的额定功率与当地同类建筑的当量满负荷运行小时数相乘得到其总能耗。

在实际工程中,大部分建筑用能设备比较杂乱无章,用电线路比较混杂,且未安装分项计量系统,因此不能直接通过计量结果确定分项能耗,来获取用能建筑的能耗具体情况。再有,无分项计量系统分项能耗计算中,当设备是变频工作的,一般实测不到其逐时功率,因此只能通过其额定功率来计算,这必然会使计算结果产生一定误差。所以,在分项能耗分析计算中,采用相对准确有效的审计方法,可以减少计算结果与实际结果的误差,提高能源审计的有效性,促进节能改造的工作开展。

2 能源审计实例分析

2.1 建筑基本信息

某宾馆建筑主要包含 1#楼(含东楼、南楼和西楼)、2#楼、3#楼以及部分辅助用房,总建筑面积约为 132094m²,其中 1#+3#楼 65038m²,2#楼 67056.69m²。本次能源审计的建筑主要是 1#楼、2#楼和 3#楼。

2.2 建筑围护结构情况

1#楼为砖混结构,实心红砖作为外墙。墙体厚度不一,3 层以下 700mm,3 层以上 300mm。窗户为双层中空玻璃。

2#楼为剪力墙结构,采用页岩空心砖外墙,其厚度为 200mm,25 厚的聚苯乙烯挤塑板保温层,最外端干挂花岗石幕墙。外窗采用断桥型铝合金型材,中空玻璃门窗。屋面保温层为 40mm 厚的聚苯乙烯挤塑板,透明部分选用铝合金断桥单框 LOW-e 中空玻璃 5+9A+5。

3#楼为剪力墙结构,外墙采用加气混凝土砌块填充,墙体厚 200mm,立面幕墙采用全隐框反射玻璃幕墙。外门窗采用银白色铝合金反射玻璃窗和

银白色百叶窗。屋面分为上人屋面和不上人屋面，未加保温层。

2.3 用能系统概况

2.3.1 供暖空调设备情况

三栋建筑的夏季制冷采用的是集中制冷空调系统，末端采用风机盘管和散流器，较大的空间有组合式空调风柜、吊顶风柜进行风处理之后通过散流器进入使用空间。

目前三栋建筑的夏季制冷主要由两套冷水机组系统进行供给，这两套系统水路可串通联合供冷。其中 3#楼地下室的 3 台特灵机组使用了约 20 多年，主要负责 1#楼、3#楼和 2#楼的高层（6 层以上）夜间供冷，而 2#楼的特灵机组分为高区和低区（5 层以下为低区，6 层以上为高区，5-6 层之间为设备层），高区 2 台，低区 3 台，主要负责 2#楼低区白天的制冷和高区白天制冷。2#楼机房设有空调系统控制平台，可对 2#楼机组进行自动控制。

2#楼白天高区和低区各开一台主机，到晚上时候，低区不使用空调，低区机组关闭，如果高区机组负荷（电流百分比）低于 60%则高区冷水机组也关闭。而 3#楼白天开一到两台主机，供 1#楼和 3#楼，制冷到夜间，同时通过板式换热器供 2#楼高区制冷和 1#楼制冷。2#楼冷冻泵可变频操作（工作频率手动在控制平台系统上调节，基本定在 35-40HZ 左右运行），而 3#楼冷冻泵是工频运行。

2.3.2 照明插座系统情况

该宾馆建筑功能较为复杂，有宴会大厅、会议室、客房、游泳池、商业街、厨房等，现有电路无法区分出详细的照明和插座信息，其照明支路上的插座接出的设备形式较多，包括电视、风机盘管等用电设备。

1#楼的南楼过道和会议室基本采用 LED 灯具，东西楼基本采用普通的节能灯具，2#楼基本采用可调光的灯，3#楼基本采用普通节能灯，室外灯具基本采用金属卤化物灯具。

2.3.3 动力情况（电梯、动力泵）

目前该宾馆三栋建筑共有电梯 33 部。

2.3.4 厨房情况

目前正在投入使用的厨房及设备较多，2#楼 1、3、4、5 层均有厨房餐厅，2 层为冷库，1#楼的 1 层和 9 层也有厨房餐厅，8 层的日式餐厅目前未投入使用。现场检查发现大部分的设备的铭牌信息不

全，设备分散。

部分厨房实行外包。2#楼每个厨房都有气表，1#楼只有一个，水表没有分开计量，电是外租的厨房（包含商铺），有单独的电表，其余的没有分开计量。

2.3.5 生活热水供给情况

生活热水主要是通过锅炉+换热器进行供给，3 台燃气锅炉和 3 台热水锅炉产生的热水或蒸汽通过热交换罐分别提供给 1#楼和 2#楼、3#楼的热

水。

现场检查发现，无论是 1#楼还是 2#楼和 3#楼，生活热水系统和冬季供暖系统是联合在一起的一个锅炉系统供给，生活热水和供暖系统消耗的燃气量无法计量分开。

2.3.6 供配电分配情况

该宾馆正在使用的变压器共 10 台，分布在两个变压器机房，1#下的变压器机房放置 3-1T 和 3-2T 变压器，其余的变压放置在 2#楼的负一层。

变压器的荷载分布并没有按照楼栋来分配，也没有按照照明插座、动力、空调、厨房等能源审计导则要求的分项来进行计量，现场检查发现系统末端的照明插座和其他荷载混在一起，照明灯具种类繁多，大部分无法进行拆卸检查，也无法进行数量和功率的统计。

2.4 建筑能耗分析计算

2.4.1 建筑总能耗

该宾馆的能源种类主要分为四类，即燃气、电、水、燃油。用能设备可以分为暖通空调设备、动力设备、餐厨设备、照明插座设备，其他设备。对该宾馆的能源审计周期为 3 年，2016 年 1 月 1 日至 2018 年 12 月 30 日。三年平均用水量为 426745 吨，用电量为 12672246kWh，用气量为 1721646 方，用油量为 7126 升。

2.4.2 分项能耗拆分

（1）空调系统能耗

①集中空调机房能耗数据分析

该宾馆的空调机房共有两个，负责向两个空调机房的供电的变压器有五个。机房设备包含了制冷主机、冷却泵、冷冻泵和冷却塔、冬季供暖泵等，有少量其他泵（如潜水泵、排污泵就近接入）。

宾馆没有对所有空调系统年能耗和月能耗的详细记录和分析，但是在 2#楼设置有能耗监测平

台, 其从 2016 年 5 月开始到现在运行基本正常, 空调机房对应的变压器采集的数据也基本正确, 采用 2017 到 2018 年的完整数据对空调机房的运行状况进行分析。综合 2017 年和 2018 年的逐月能耗计量, 可得平均空调机组耗电量为 3183647kWh。

②集中空调末端能耗数据分析

该宾馆建筑对集中空调末端未安装分项计量系统, 因此, 本次审计对这部能耗通过各空调末端的额定功率与设备的年运行时间的乘积, 再乘以同时使用系数得到各空调设备的年总耗能量。各空调末端设备年总耗能量之和就是集中空调末端总能耗, 综合计算得空调末端系统(包含风机盘管、组合风柜、新风机)用电量每年约为 2654995kWh。

由此可得, 空调系统总能耗为 5838642kWh。

(2) 餐厨系统能耗

酒店的餐厨用电情况可在总用电管理平台上显示, 但是由于有些测试端口出现故障导致部分数据不准确, 对这部分回路采用现场实测的方法。测试时间为餐厨中午使用时间。传输无问题的回路采用平台数据。综合得餐厨系统年总能耗为 2491070kWh。

(3) 动力系统能耗

①电梯能耗情况

对于有平台数据的电梯系统采用平台数据, 没有的则通过理论计算, 最终可得电梯系统年总能耗为 275862kWh。

②水泵动力情况

此处水泵是指除去空调制冷系统中的泵和供暖泵之后的水泵。这些水泵基本是就近接入附近电路, 没有分开计量, 因此主要采用计算方法得出年用电量。通过各水泵的额定功率与年运行时间的乘积, 计算得该水泵年总能耗。通过计算得水泵动力年总能耗为 281032kWh。

③风机动力情况

宾馆通风机数量较多, 布置较为分散, 其数量和参数主要通过现场收集得到。由于风机主要是就近接入附近电路, 没有对应的计量设备, 运行时间和运行总天数不固定, 因此主要采用计算法算出其能耗, 通过各风机的额定功率与年运行时间的乘积, 计算得该风机年总能耗。计算得风机动力年总能耗为 1464236kWh。

由此可得, 动力系统总能耗为 2021130kWh。

(4) 其他能耗

洗衣机房动力属于其他电耗类, 其年平均总能耗为 143806kWh。

(5) 照明插座能耗

因为照明插座种类较多, 数量分散, 大部分没有文件记录也无法进行现场拆除, 因此采用总能耗减去其他能耗之和的办法计算, 如表 1 所示。

表 1 照明插座能耗计算表

Table 1 Energy consumption calculation table of lighting

socket	
用能分类	年能耗量 (kWh)
宾馆年平均总用电量	12645417
空调年平均总用电量	5838642
动力年平均总用电量	2021130
餐厨年平均总用电量	2491070
其他年平均总用电量	143806
照明插座年平均总用电量	2150769

注: 表 1 的宾馆年平均总能耗为 2017 年-2018 年两年的平均总能耗。

从表 1 可得, 照明插座年平均总能耗为 2150769kWh。

通过对该宾馆建筑的分项能耗计算, 发现该建筑用能设备比较杂乱, 用电线路比较混杂, 且未安装分项计量系统, 因此只能通过理论计算各分项能耗, 再将总能耗拆分, 计算不能直接通过理论计算得分项能耗。

3 分项能耗计算方法改进

通过实例分析, 发现建筑物实际用能情况并不都是像标准和导则里的用能分类, 实际上大部分建筑物在用能上没有细分, 也没有对各用能系统进行分项计量。因此, 在能源审计能耗计算中统计值和实际值会有一定的误差。该误差是不可避免的, 我们应该优化改进理论计算方法, 尽可能减小误差。

结合现有的《公共建筑能源审计导则》中提到的无分项计量系统的建筑分项能耗计算方法与本实例中采用的计算方法, 在此基础上对能源审计中建筑物各用能系统的能耗计算方法进行了改进。在本实例研究基础上, 对分项能耗计算方法提出了以下几点改进建议:

(1) 对于照明系统能耗, 在实际工程中灯具数量和种类都较多, 对于这部分分项能耗, 可以从

灯具的用途来分类计算各灯具的日能耗。在现有的照明系统能耗计算中大多采用的是不用种类灯具的年总能耗来计算照明系统能耗,而本文提出根据灯具用途来分类,其原因是在实际情况中相同种类的灯具可能会有多种用途,正常工作日中不同用途的灯具的工作时间是不一样的,根据用途分类计算的话,同一用途的灯具使用时间是大致相同的,这样可以减小灯具运行时间给能耗计算带来的误差。如在照明系统中走道里的声控灯具,这部分灯具较多,其能耗可以根据正常工作日中平均人次来计算,具体做法是通过向被审计建筑的管理人员或者现场试验调查,计算出某走道的日平均人次,再根据走道声控灯具的灯亮时间及延迟时间,可以算出走道声控灯具日能耗。

(2) 对于餐厨系统能耗,涉及的用能设备多而且复杂,大多情况又没有对这部分能耗进行分项计量,通常计算方法是对有平台数据的部分能耗采用平台数据,没有的则采用现场实测。因为这个系统,用能设备比较混杂,在实测中可能会对某些餐厨系统的设备遗漏,造成实测误差。对此可采取差值法,即工作日中餐厨工作时间段的平均功率与非餐厨工作时间段的平均功率的差值,再乘以餐厨日工作时间可以得到餐厨日能耗量。将日能耗量与全年餐厨工作天数相乘可得餐厨系统年总能耗。

(3) 对于动力系统和空调末端系统中定频工作的设备,因为这些设备的功率比较稳定,通过功率计测量各设备正常工作时的实际功率,结合设备的运行总时间来计算设备的年总能耗。用实际功率算出来的能耗比起铭牌功率(额定功率)计算的更贴合实际运行情况,误差更小。

4 结语

以某宾馆能源审计为背景,结合《公共建筑能源审计导则》,对现有的公共建筑能源审计方法对无分项计量的照明系统、餐厨系统以及动力系统和空调末端系统中定频工作的设备的能耗计算,提出了三点改进建议,可提高各分项能耗的准确性,从而找到建筑物的更切合实际的节能方向,挖掘其节能潜力,促进建筑节能改造研究。

参考文献:

[1] Bruhns H, Steadman P, Herring H. A database for

modeling energy use in the non-domestic building stock of England and Wales[J]. *Applied Energy*, 2000,66(4): 277-297.

- [2] Rhodes J D, Gorman W H, Upshaw C R, et al. Using BEopt (EnergyPlus) with energy audits and surveys to predict actual residential energy usage[J]. *Energy&Buildings*, 2015,86:808-816.
- [3] Zhu Y. Applying computer-based simulation to energy auditing:A case study[J]. *Energy&Buildings*, 2006,38(5): 421-428.
- [4] Macarulla M, Casals M, Forcada N, et al. Implementation of predictive control in a commercial building energy management system using neural networks[J]. *Energy and Buildings*, 2017,151:511-519.
- [5] Buratti C, Barbanera M, Palladino D. An original tool for checking energy performance and certification of buildings by means of Artificial Neural Networks[J]. *Applied Energy*, 2014,120:125-132.
- [6] Colmenar-Santos A, de Lober L N T, Borge-Diez D, et al. Solutions to reduce energy consumption in the management of large buildings[J]. *Energy and Buildings*, 2013,56:66-77.
- [7] Lara R A, Pernigotto G, Cappelletti F, et al. Energy audit of schools by means of cluster analysis[J]. *Energy and Buildings*, 2015,95:160-171.
- [8] Gao X, Malkawi A. A new methodology for building energy performance benchmarking: An approach based on intelligent clustering algorithm[J]. *Energy and Buildings*, 2014,84:607-616.
- [9] 万理达. 办公建筑能源审计方法与节能改造方案研究[D]. 武汉:华中科技大学,2016.
- [10] 黄凯,吴志敏,魏燕丽. 建筑能源审计中暖通系统能耗拆分方法的讨论[J]. 收藏,2012,(11):62-65.
- [11] Haberl J, Sparks R, Culp C. Exploring new techniques for displaying complex building energy consumption data[J]. *Energy&Buildings*, 1996,24(1):27-38.
- [12] Vikhorev K, Greenough R, Brown N. An advanced energy management framework to promote energy awareness[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2013,43: 103-112.

(下转第 936 页)