

基于运行数据的高校绿色建筑节能潜力分析

高力强^{1,2}, 朱丽¹, 周海珠³, 周立宁³, 孙勇¹, 刘其¹

(1. 天津大学建筑学院, 天津 300072; 2. 石家庄铁道大学建筑与艺术学院, 河北 石家庄 050043;

3. 中国建筑科学研究院天津分院, 天津 300072)

摘要:以石家庄铁道大学基础楼为例, 该教学楼为寒冷地区绿色建筑二星级运行标识建筑, 分析了建筑 2015 年全年实际运行数据, 得出单位建筑面积能耗为 37.69 kWh/m², 空调能耗和照明能耗约占整个教学楼能耗的 85% 左右, 空调节能和照明节能是学校节能的重点领域, 在此基础上构建了建筑能耗模型, 分别分析了围护结构、空调节能以及照明节能潜力, 得出围护结构性能提高对于降低建筑能耗并不明显, 在优化制冷机组能效提高 3.96 的基础上空调能耗可降低 7.89%, 照明功率密度则可以降低建筑能耗 11.10%, 可见优化照明设计更适合于寒冷地区的高校绿色建筑节能。

关键词:绿色教学楼; 运行数据; 空调节能; 照明节能; 潜力分析

中图分类号: TU831.4

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2017)03-0422-05

The energy-saving potential analysis of green universities building on operating data

GAO Liqiang^{1,2}, ZHU Li¹, ZHOU Haizhu³, ZHOU Lining³, SUN Yong¹, LIU Qi¹

(1. School of Architecture, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. School of Architecture and Art, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China;

3. Tianjin Branch, The China Academy of building research, Tianjin 300072, China)

Abstract: This paper based on basic teaching building project of Shijiazhuang TIEDAO University which is two-star green building. The operating date of 2015 is analyzed, and the energy consumption of the basic teaching building project is 37.69 kWh/m², the air conditioning and lighting energy consumption was 85% of the total energy consumption, A model of energy consumption was built, and the energy saving potential of the air conditioning and lighting was analyzed, the results showed that the envelope energy saving effect was not obvious, the air conditioning unit energy saving effect was 7.89%, but the energy saving effect was obvious (11.10%) by reducing the lighting power density, so optimize the performance of the lighting should be priority when designing.

Key words: green teaching building; the operating date; air conditioning energy-saving; lighting energy-saving; potential analysis

近年来,随着我国高校规模的扩张,许多学校都扩建、新建了校区,校舍面积、在校人数快速增长,据统计,我国高校总数从 1997 年到 2015 年从 1020 所增加到 2 845 所,增长了约 2.8 倍,高等学校建筑面积截止到 2015 年 5 月份已经达到了 7.88 亿 m²,正在施工建筑面积为 5 900 万 m²,独立使用非学校产权校舍建筑面积达到了 1.02 亿 m²[1]。高校的迅速扩张,使得高校对能源的需求不断增加,现已是重要的能源消耗大户,其能耗约占全国生活消费总能耗的 8.4% [2],另外,据统计 2008 年全国高校人均生活用能 0.897 t 标煤,是全国人均生活用能的 4 倍,用能较大 [3]。高校集教

学、生活、科研于一体,能源费用占总经费的 10%~15%,为能源消耗大户 [4-5],而建筑能耗占高校总能耗的 80% 以上 [6],因此高校节能的重点在于建筑节能,而影响高校建筑节能的主要因素分为室外自然因素、建筑设计性能、建筑设备的性能以及建筑的使用情况 [7]。目前国内学者研究大多集中于对围护结构节能的定性研究,关于空调和照明节能量化研究更少 [8-10]。

本文在上述研究的基础上,以寒冷地区石家庄铁道大学基础教学楼为例,在对 2015 年全年实际运行数据的实测基础上,分别对围护结构和空调机组、照明节能潜力进行了分析研究,并给出

收稿日期: 2016-09-02

修改稿日期: 2017-05-24

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51478297); 国家科技支撑计划课题基金资助项目(2015BAJ09B02)

作者简介: 高力强(1975—),男,博士生,副教授,主要从事绿色建筑与节能设计研究. E-mail: 365092617@qq.com

了量化数据。

1 教学楼概况

石家庄铁道大学基础教学楼，又称为基础楼，项目位于石家庄市桥东区，石家庄铁道大学校园内，周边环境状况良好，总建筑面积为 4.9 万 m²，建筑地上 19 层，地下 2 层，建筑主体高度为 81 m，其功能集教学、办公于一体，项目定位于绿色建筑二星级设计和运行标识，于 2015 年 12 月获得绿色建筑二星级设计标识。

1.1 围护结构

本项目外墙保温板采用 30 mm 厚聚苯板，外窗采用断桥铝合金框+中空(6+12+6)玻璃窗，围护结构做法见下表 1。

表 1 围护结构做法表

Tab. 1 Enclosing Structure

构件名称	构件构造
外墙	水泥砂浆(20 mm)+加气混凝土(B06)(250 mm)+水泥砂浆(20 mm)+聚苯板(30 mm)+厚环氧树脂面板(5 mm)
屋顶	面砖(10 mm)+水泥砂浆(25 mm)+聚乙烯薄膜(0.15 mm)+高聚物改性沥青防水卷材(6 mm)+水泥砂浆(20 mm)+聚苯板(85 mm)+水泥砂浆(20 mm)+钢筋混凝土(120 mm)
外窗	断桥铝合金框+中空(6+12+6)玻璃窗，南向外窗传热系数 1.9 W/m ² ·K，玻璃遮阳系数 0.50，北向外窗传热系数 2.3 W/m ² ·K，东西向外窗传热系数 2.8 W/m ² ·K

1.2 空调采暖系统

石家庄铁道大学基础教学楼项目位于河北石家庄市，属于寒冷地区。为学生营造良好的学习环境，空调冷热源采用地源热泵系统，末端采用风机盘管系统。

1.3 照明系统

在教学楼的教室、办公室以及公共走廊等主要建筑空间，照明灯具选择采用高效节能型荧光灯，所用直管荧光灯均采用电子镇流器。各个房间照明功率密度按照目标值进行设计。

2 建筑能耗数据分析

本项目为二星级绿色建筑运行标识项目，按照绿色建筑要求对空调用电、照明及插座用电、

电梯用电、风机和水泵用电分别设置计量电表，并设置有节能监测平台，每月均会生成用电数据报表，其实际运行能耗数据如下所示。

2.1 逐月能耗数据分析

本项目属于高校教学兼科研办公性质的高层建筑，作息时间和建筑用能不同于普通建筑，其用能系统主要包括空调用电、照明和插座用电、电梯用电、风机和水泵用电四个部分。2015 年对基础教学楼全年运行能耗数据进行测试分析。

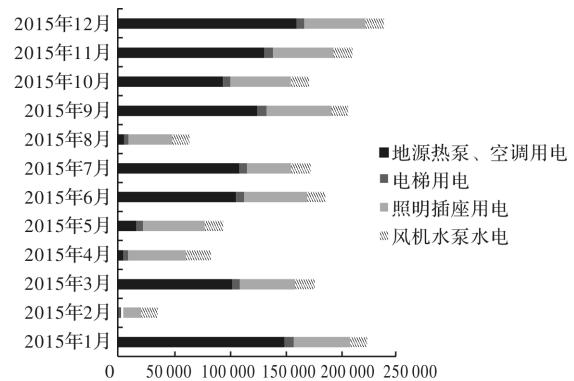


图 1 能耗逐月变化情况

Fig. 1 Monthly changes in energy consumption

逐月用能数据如图 1 所示，项目逐月用能变化幅度较大，其冬季用采暖季变化范围从 3.5~23.7 万 KWh，最大耗能月用电数据是最小效能月能耗数据的 6.7 倍之多，其中最大耗能月为 12 月份，最小耗能月为 2 月份，这主要是因为项目位于寒冷地区，冬季需要采暖来维持室内相对舒适的教学和学习环境，因此 12 月份能耗最大，而 2 月份虽然同属于冬季，甚至是全年最冷月份，但是 2 月份大部分时间为学校寒假，学校在校人数较少，因此其能耗相对低很多。对于夏季空调季，用能变化从 6.4~20.6 万 KWh，其中 9 月份出现一个用能高峰期，8 月份基础教学楼用能最低，这主要是因为 8 月份为学校暑假时间，学校在校人数较少，因此空调能耗也相对较少。另外，在过渡季 4 月、5 月、10 月三月份能耗也相对较低，主要是因为这期间室内仅需自然通风就能满足室内舒适性要求，空调能耗较低。

2.2 全年能耗数据分析

据统计：教学楼单位建筑面积年用电量为 37.69 kWh/m²，通过对本项目全年能耗数据进行分析，照明和空调用电占比最多，约占整个项目用电的 85% 左右，照明插座用电位居其次，因此对于本项目来说，降低能耗应首先从降低空调能耗和照明能耗两个方面入手。

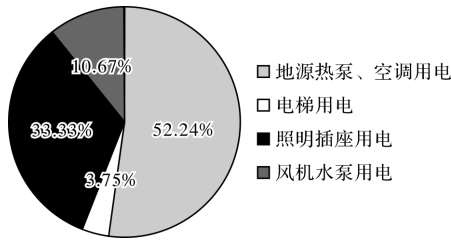


图 2 建筑能耗比例

Fig. 2 Building energy consumption ratio

3 节能潜力分析

经过对本项目全年能耗进行逐月分析发现,项目空调用电比例最大为整个基础教学楼用电的 52.24%,与文献调研结果空调能耗约占学校总能耗 50%^[11]的结果相接近,而照明插座用电则占到 33.33%,两者约占整个教学楼用电总量的比例为 85.57%。可见,空调节能和照明节能已经成为现代高校教学建筑能耗的重点区域,以下文章分别从不同方面分析了空调节能和照明节能对于基础教学楼能耗的影响。

3.1 空调节能潜力分析

围护结构和空调机组性能属于空调节能的重要组成部分,对于空调能耗影响最大。为了降低空调能耗,本文分别分析了围护结构和空调机组的节能潜力。

3.1.1 围护结构节能潜力

对于围护结构的节能潜力,参考《绿色建筑评价标准》GB/T50378-2014 分别模拟了设计建筑在外窗和外墙传热系数降低 5%的基础上,对建筑全年 8 760 h 逐时冷热负荷的影响,以量化外窗和外墙传热系数降低对于建筑节能的影响,结果如表 2 所示。

表 2 累积负荷

Tab. 2 Cumulative load

	全年累积负荷	降低比例/%
设计建筑	6 030 835.92	—
外窗 K 值降低 5%	5 998 858.17	0.53
外墙 K 值降低 5%	6 019 266.95	0.19
外窗和外墙 K 值均降低 5%	5 987 340.60	0.72

首先在围护结构性能未调整前,通过模拟得出全年逐时负荷结果如图 3 所示,全年最大冷负荷为 2 312.62 kW,出现在 9 月 23 日下午 16 时,累积冷负荷为 3 509 555.90 kW,全年最大热负荷为 1 501.11 kW,出现在 1 月,累积热负荷为 2 521 280.01 kW,全年累积负荷为 6 030 835.92 kW。

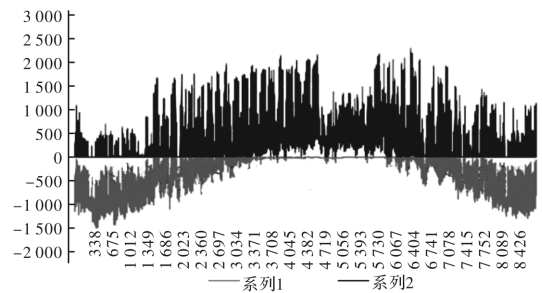


图 3 设计建筑全年逐时负荷

Fig. 3 Design architectural annual hourly load

其次在外窗和外墙传热系数降低 5%的基础上,通过模拟,其全年逐时负荷结果如图 4 所示,全年最大冷负荷为 2 306.45 kW,出现在 9 月 23 日下午 16 时,累积冷负荷为 3 514 060.82 kW,全年最大热负荷为 1 443.50 kW,出现在 1 月,累积热负荷为 2 473 279.78 kW,全年累积负荷为 5 987 340.60 kW。

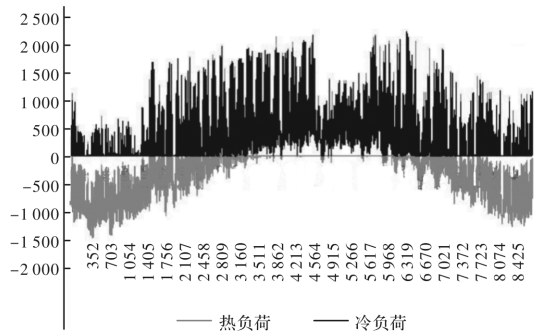


图 4 外窗和外墙性能提高后全年逐时负荷

Fig. 4 The annual hourly load after the performance of exterior windows and exterior windows improve

通过以上外窗传热系数降低 5%、外墙传热系数降低 5%工况下逐时分别模拟,教学楼围护结构全年负荷的敏感性出现以下结果,如表 2。在外窗和外墙传热系数均降低 5%的基础上,经过分析可知,建筑全年累积负荷降低比例为 0.72%,其中外窗贡献率为 73.43%,外墙贡献率为 26.57%,因此外窗对于建筑全年负荷更为敏感,但是在外墙和外窗传热系数均降低 5%的基础上建筑全年累积负荷仅降低了 0.72%,分析原因,主要是因为

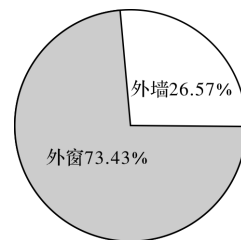


图 5 外窗和外墙负荷贡献率

Fig. 5 Exterior windows and exterior windows load contribution rate

本项目为教学楼项目室内人员密度较大而且设备较多，其负荷贡献率也较大，一味的降低围护结构传热系数并不是降低空调能耗的可行途经。

3.1.2 空调机组节能潜力分析

本项目冷热源采用地源热泵系统，末端采用风机盘管系统。按照《绿色建筑评价标准》GB/T50378-2014 寒冷地区，空调制冷性能系数与《公共建筑节能设计标准》GB50189-2015 中规定制冷性能系数相比提高 6% 后制冷性能系数为 5.51，与本项目实际选用机组制冷性能系数 5.30 相比其制冷性能系数提高了 3.96%，本文利用 equest 模拟软件对基础教学楼机组能效按照《绿色建筑评价标

准》提高前后能耗进行对比，模拟结果见表 3。

根据对本项目全年用电数据统计，本项目单位建筑面积用电数据为 37.69 kWh/m²，与本项目设计建筑模拟结果 38.86 kWh/m² 相比误差为 3%，模拟结果在合理的范围之内，本文模拟结果可靠性较高。当在机组制冷性能系数提高到 5.51(与设计建筑相比提高比例为 3.96%)，教学楼年制冷能耗降低了 21 600 kWh，降低幅度为 7.89%。因此提高机组性能系数与单纯的提高围护结构性能相比，其节能潜力更为明显，因此在后续设计时应优先考虑优化机组性能。

表 3 能耗模拟结果

Tab. 3 Energy simulation results

能耗类型	机组性能提高后能耗模拟结果		设计建筑能耗模拟结果	
	年总耗电量/kWh	单位面积年耗电量/kWh·m ⁻²	年总耗电量/kWh	单位面积年耗电量/kWh·m ⁻²
照明耗能	637 900	12.97	637 900	12.97
电器设备耗能	497 000	10.11	497 000	10.11
风机能耗	210 400	4.28	210 400	4.28
水泵能耗	114 000	2.32	114 000	2.32
供冷耗能	252 300	5.13	273 900	5.57
供热能耗	177 500	3.61	177 500	3.61
总计	1 889 100	38.42	1 910 800	38.86

3.2 照明节能潜力分析

对本项目全年能耗数据进行分析，本项目照明插座能耗约占整个教学楼耗电的 33.33%，能耗比例较高，具有较大的节能潜力。本项目照明功率密度设计时按照《建筑照明设计标准》GB50034-2013 中目标值 8.0 W/m² 进行布置设计。

在教学楼后期实际设置中，在满足照明质量的情况下调整 LPD，降低非作业区域照度，对教室部分照明系统在自然采光的区域设置定时和光电控制设施，非自然采光区通过照度控制器和传感器实现本地自控，同时在建筑整体上采取分层分区分时段的照明控制，最大限度的优化建筑照明。对优化后教室照明功率密度进行实测，实测值为 6.6 W/m²，低于照明标准中目标值 8.0 W/m² 的要求。为了量化其节能效果，按照河北省《公共建筑节能设计标准》附录 B 规定，分别模拟在不同照明功率密度条件下建筑照明能耗，对优化前的建筑照明设计进行能耗模拟，照明能耗与设计建筑相比从 637 900 kWh 降低到了 567 100 kWh，照明能耗降低了 70 800 kWh，降低幅度为 11.10%，

降低幅度明显。

4 结论

通过对石家庄铁道大学基础教学楼 2015 年全年运行数据进行实测，在此基础上，对建筑项目进行一系列的节能潜力分析，得出以下结论：

(1)通过建筑全年运行数据分析，得到全年单位建筑面积能耗为 37.69 kWh/m²，其中空调能耗占总能耗的比例为 52.24%，照明能耗占整个教学楼能耗的比例为 33.33%，两者约占教学楼全部能耗的 85% 左右。可见，空调能耗和照明能耗是寒冷地区教学建筑节能的重点；

(2)在外墙和外窗传热系数均降低 5% 的基础上，建筑全年累积负荷降低了 0.72%，外窗相对于外墙对建筑负荷的影响更大，但是一味地追求降低围护结构传热系数对建筑全年累积负荷影响不明显；

(3)在空调机组能效提升 3.96% 的基础上，通过模拟得出全年制冷负荷降低了 21 600 kW，降低比例为 7.89%，所以优化机组性能的节能效果是

很明显的;

(4)通过对教室部分照明布置进行优化,优化后照明功率密度值从 8.0 w/m^2 ,降低到了 6.6 w/m^2 ,照明能耗降低了 $70\ 800\text{ kWh}$,能耗降低幅度达到 11.10% ,因此对于寒冷地区高校建筑节能因重点考虑空调节能和照明节能两个部分.

参考文献 References

- [1] 住房和城乡建设部科技发展促进中心. 中国建筑节能发展报告 2016 [R]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
Ministry of housing and urban rural development, science and Technology Development Promotion Center. China building energy efficiency development report 2016[R]. Beijing: China Building Industry Press, 2016.
- [2] 王维兵. 浅谈中国高校节能[J]. 环保低碳, 2011(5): 54-55.
WANG Weibing. A discussion on energy saving [J]. Environmental Protection Low Carbon in China's Colleges and Universities, 2011 (5): 54-55.
- [3] 刘启波, 周若祁. 寒冷地区高校既有建筑节能技术体系研究[J]. 工业建筑, 2013, 43(4): 49-53.
LIU Qibo, ZHOU Ruoqi. Cold area colleges and universities both building energy saving technology system [J]. Industrial Construction, 2013, 43 (4): 49-53.
- [4] 陈义波, 张莉红. 高校节能潜力及其适宜性分析[J]. 科技信息, 2010, 2(23): 206.
CHEN Yibo, ZHANG Lihong. Analysis of the potential and suitability of the university's energy saving [J]. Science and Technology Information, 2010, 2 (23): 206.
- [5] 许斌, 戚国强, 李巍. 高等学校节能减排方案设计与运行模式初探[J]. 高等农业教育, 2011(4): 31-34
XU Bin, QI Guoqiang, LI Wei. Preliminary study on the design and operation mode of energy conservation and emission reduction program for higher education institutions [J]. Higher Education of Agriculture, 2011 (4): 31-34.
- [6] 王林, 邹丽芳, 张莉红, 等. 高校节能必要性分析[J]. 江西化工, 2015(10): 33-34.
WANG Lin, ZOU Lifang, ZHANG Lihong et al. Analysis of the necessity of energy conservation in Colleges and universities [J]. Jiangxi Chemical Industry, 2015 (10): 33-34.
- [7] 郝占国, 苏晓明. 高校建筑能耗影响因素分析研究——以教学楼为例[J]. 建筑与文化, 2017, 4(1): 120-121.
HAO Zhanguo, SU Xiaoming. Analysis on influencing factors of university building energy consumption—teaching building as an example[J]. Architecture and Culture, 2017, 4(1): 120-121.
- [8] 孙忠, 韩春斌, 张彩凤. 高校建筑节能的多角度考虑[J]. 江苏建筑, 2011, (5): 100-103.
SUN Zhong, HAN Chunbin, ZHANG Caifeng. Multi-angular thoughts concerning energy saving of college building [J]. Jiangsu Architecture, 2011 (5): 100-103.
- [9] 王宏伟, 尹翠, 王晓华. 既有校园建筑能耗影响因素综述[J]. 科技展望, 2016, 26(24): 28.
WANG Hongwei, YIN Cui, WANG Xiaohua. A summary of factors affecting energy consumption of campus buildings [J]. Technology Outlook, 2016, 26(24): 28.
- [10] 周泽. 我国高校建筑节能存在的问题与措施[J]. 建筑与结构设计, 2016(16): 13-14.
ZHOU Ze. Problems and measures of architectural energy saving in China's colleges and universities [J]. Architecture and Structural Design, 2016(16): 13-14.
- [11] 植仲培, 刘晓娟. 高校暖通空调节能系统现状与技术措施分析[J]. 城市建筑, 2016(14): 143.
ZHI Chungpei, LIU Xiaojuan. Analysis of the current status and technical measures of HVAC energy saving system in College [J]. Urban Architecture, 2016 (14): 143.

(编辑 吴海西)