

DOI:10.11918/j.issn.0367-6234.201801116

区域建筑空调电力负荷特征指标体系及案例

陈淑琴¹, 张喜勇¹, 屈利娟², 王立民², 徐芸青²

(1. 浙江大学 建筑工程学院, 杭州 310058; 2. 浙江大学 后勤管理处, 杭州 310058)

摘要: 区域建筑负荷是该区域各类建筑负荷在时间和空间上的有序耦合, 电力负荷特征的把握是区域能源规划的基础. 为分析区域建筑空调电力负荷特征, 从区域建筑空调电力负荷的时间动态特征、负荷波动特征、以及单体建筑和区域建筑负荷的耦合关系等方面建立区域建筑负荷分析指标体系, 并利用 GIS 将建筑负荷信息可视化. 最后以一典型高校校园建筑为例, 利用上述方法对该校校园建筑的夏季空调电力负荷特征进行分析, 得到该校各类建筑和区域建筑的夏季空调电力负荷特征及其耦合关系. 分析结果表明: 就负荷水平而言该校科研类、办公类建筑负荷水平最高, 教学类建筑单位面积负荷小于宿舍类建筑, 但日尖峰负荷和日平均负荷则大于宿舍类建筑; 就负荷波动性而言, 科研、宿舍建筑日、周负荷波动小, 办公和教学类建筑波动大; 就单体建筑对区域负荷贡献而言, 科研类、办公类、教学类建筑对区域尖峰负荷贡献大, 宿舍较小. 各类建筑运行模式和使用时长是影响建筑负荷特征的重要因素; 区域负荷特征与区域内建筑种类和配比有关, 适当的建筑类型配比有助于减小区域负荷的波动性. 不同指标分析的侧重点不同, 本方法所建立的指标体系可以较为全面地反映区域建筑负荷特征、以及与单体建筑负荷的耦合关系.

关键词: 区域建筑; 空调电力负荷; 指标体系; 贡献率; 高校校园

中图分类号: TU831.2

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2019)04-0187-07

Indices system to analyze the characteristics of air conditioning electrical loads of regional buildings and a case study

CHEN Shuqin¹, ZHANG Xiyong¹, QU Lijuan², WANG Limin², XU Yunqing²

(1. College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China;

2. Logistics Management Office, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: The load of regional buildings is the orderly coupling of the loads of different type of buildings in the region, and the mastery of electrical load characteristics are the basis of regional energy planning. To analyze the characteristics of the air conditioning electrical loads of regional buildings, an analytic indices system was established from the perspectives of dynamic features, load fluctuation features, and the load coupling relationship between the individual buildings and the regional buildings. Geographic Information System was used to visualize the characteristics of the regional loads. A typical university campus was taken as an example, and the characteristics of the air-conditioning electrical loads of the buildings on this campus were analyzed. In terms of load level, research buildings and office buildings had the highest load; teaching buildings had smaller unit area load but higher daily peak load and daily average load compared with dormitory buildings. The fluctuation of the daily and weekly load was small for research buildings and dormitories, while office buildings and teaching buildings fluctuated greatly. As for the contribution of individual buildings to the regional load, research buildings, office buildings, and teaching buildings had the larger contribution to the regional peak load, while the dormitories contributed smaller. The pattern and the length of the building operation are important factors that affect the load characteristics. The regional load characteristics are related to the types and numbers of buildings, and the appropriate proportion of building types can reduce the fluctuation of the regional load. Different indices focus on different points, and the indices system developed in this paper can fully reflect the regional load characteristics and the coupling relationship with individual buildings.

Keywords: regional buildings; air conditioning electrical load; indices system; contribution rate; university campus

收稿日期: 2018-01-21

基金项目: 国家自然科学基金(51508500, 51561135002)

作者简介: 陈淑琴(1981—), 女, 副教授, 博士生导师

通信作者: 屈利娟, lijuanqu@intl.zju.edu.cn

区域建筑种类多, 各类建筑的负荷特征各不相同. 区域建筑空调电力负荷动态特性并非是单体建筑负荷特征的简单相加, 而是在时间与空间上的有序耦合. 直接沿用单体建筑的负荷估算方法会造成

区域建筑整体负荷特性的偏差. 因此,了解区域建筑负荷的特征及单体建筑负荷与区域负荷的耦合关系,可为区域用能设备选型、用电负荷设计及其优化运行提供基础数据支撑. 相关学者利用统计分析方法计算得到区域内建筑冷负荷以此对区域负荷水平进行定量分析^[1],另一些学者通过对同时使用系数指标的计算着重分析了单体建筑对区域尖峰负荷的影响^[2-4]. 此外,也有研究利用平准化率等指标对区域负荷波动性进行分析,从削峰特性、减波作用及分布特征几个方面分析了建筑总体负荷随建筑数量变化的特点^[5-6]. 同时也有不少学者探究了空调负荷同宏观指标的关系如:GDP、居民收入、人口数量等^[7-9]. 在区域建筑负荷分析的过程中建筑数量多,信息量大,应用 GIS 作为数据源并对繁杂的数据进行管理可以有效提高工作效率^[10-14].

从已有研究发现:1) 区域建筑空调电力负荷动态特性是在时间与空间上的有序耦合,但当前的研究大多只对负荷特征的某一方面进行分析,缺乏对区域建筑负荷特征全面分析,缺乏指标体系和方法揭示区域建筑负荷的耦合特性、以及单体建筑负荷的耦合关系及对区域负荷的贡献特征. 2) 研究区域

内的建筑类型大多单一,多为住宅小区,无法体现不同建筑类型对于区域负荷的贡献.

区域内建筑负荷种类多,空调电力负荷在建筑负荷中占有很大比重,同时其有明显的季节性和日间动态性,基于此,本文以区域建筑空调电力负荷为例,建立区域建筑空调电力负荷特征分析指标体系,旨在全面揭示区域建筑空调电力负荷的时间动态特征、负荷波动特征、空间分布特征以及单体建筑负荷与区域建筑负荷的耦合关系. 最后以浙江省某高校建筑为例,基于校园能耗监管平台实时监测的夏季逐时数据,利用该分析方法对高校建筑空调电力负荷特征进行分析应用.

1 区域建筑空调电力负荷特征指标体系的建立

图 1 展示了区域建筑空调电力负荷特征分析指标体系框架. 首先从负荷水平、负荷的波动特征、单体建筑负荷对区域尖峰负荷的贡献等方面出发建立区域建筑空调负荷的分析指标体系. 然后利用 GIS 图对各指标进行直观的展示.

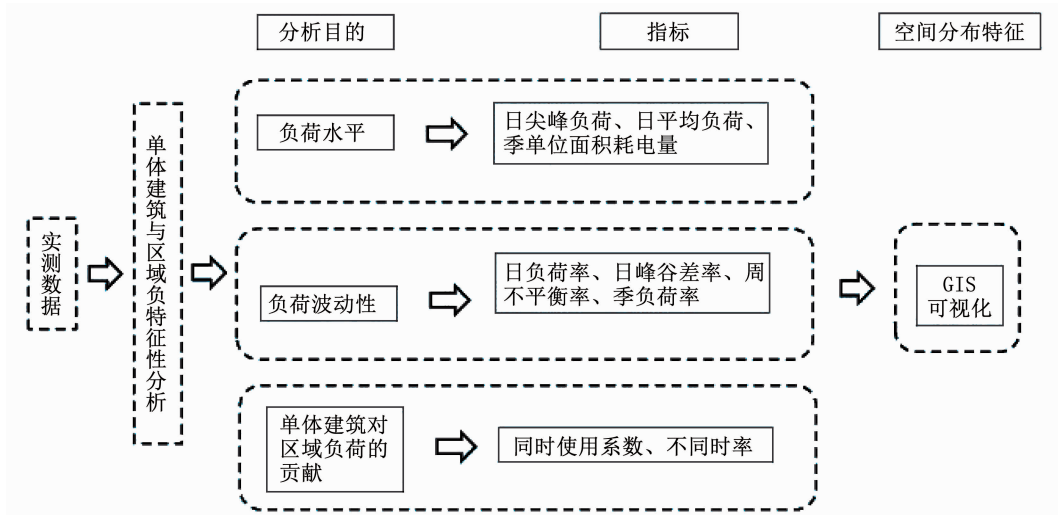


图 1 区域建筑空调电力负荷分析框架

Fig. 1 Analytic framework for the characteristic of air conditioning electricity loads of regional buildings

1.1 区域建筑空调电力负荷特征分析指标体系建立

区域建筑空调电力负荷特征分析指标体系见表 1,分别从负荷水平、负荷波动性和单体建筑的贡献率 3 个方面来建立指标体系. 首先,选择日尖峰负荷、日平均负荷、季单位面积耗电量 3 个指标从不同时间维度对负荷水平进行分析. 为分析负荷波动性,选择日负荷率、日峰谷差率、周不平衡率、季负荷率 4 个指标. 为了解不同类型建筑的负荷对区域尖峰负荷的贡献,选取了同时使用系数、不同时期率 2 个指

标. 在此对部分指标做进一步解释. 为了从不同时间维度分析负荷波动性,选择日负荷率表征 1 d 之中负荷分布的均衡性,该值越大则说明负荷在 1 d 中分布越均衡;选择日峰谷差率表征 1 d 中负荷的波动的大小,该值越大则说明负荷波动性越大;周不平衡率反映一周内每日尖峰负荷的变化,该值越大说明这一周内负荷波动性越小;选择季负荷率评价整个空调季负荷波动性,该指标越大则表明负荷波动性越小. 同时使用系数是区域尖峰负荷出现时刻各

建筑负荷与自身尖峰负荷的比值,用来表征各建筑尖峰负荷时刻与区域尖峰负荷时刻出现的一致性,该值越大则二者尖峰负荷时刻出现越一致,也就说明单体建筑对于区域尖峰负荷的贡献越大. 不同时

率为各建筑尖峰负荷之和与区域尖峰负荷的比值,该值越小则说明各建筑尖峰负荷出现时间越集中,区域负荷的波动性也越大,反之亦然.

表 1 区域建筑空调负荷分析指标系^[3,15]

Tab. 1 Indices system of air conditioning electrical load for regional buildings^[3,15]

编号	指标类型	指标名称	指标解释
I	负荷水平	日尖峰负荷	当日逐时负荷最大值
II	负荷水平	日平均负荷	当日逐时负荷平均值
III	负荷水平	季单位面积耗电量	空调季总耗电量与建筑空调面积比值
IV	负荷波动性	日负荷率	当日逐时负荷平均值与最大值之比
V	负荷波动性	日峰谷差率	当日逐时负荷的最大值与最小值之差与最大值之比
VI	负荷波动性	周不平衡率	一周内各日逐时负荷最大值的平均值与该周最大逐时负荷之比
VII	负荷波动性	季负荷率	空调季逐时负荷平均值与最大值之比
VIII	单体建筑贡献	同时使用系数	区域逐时负荷最大值时各建筑负荷之值与其各自逐时负荷最大值之比
IX	单体建筑贡献	不同时率	各建筑逐时负荷最大值之和与区域逐时负荷最大值之比

利用上述指标进行分析可得出各类建筑空调电力负荷特征,其中电力负荷水平是区域能源规划设备选型的关键,负荷波动性的大小可作为设备运行及能源供给策略制定的重要依据,使区域能源供需更加平衡. 各类建筑负荷反映在时间及建筑类型上的差异可为区域内电力调配等政策的制定提供参考.

1.2 基于 GIS 的区域建筑负荷空间特征展示方法

地理信息系统(geographic information system)是一种空间信息存贮、分析处理系统. 区域建筑数量多,建筑信息复杂,对信息的管理和存储产生了巨大挑战. 本文应用 GIS 集成上述信息,并利用其良好的

交互界面对信息进行管理和查看,最后利用 GIS 对建筑负荷空间特征进行直观的展示.

2 案例分析—某高校建筑夏季空调电力负荷特征分析

2.1 案例高校基本信息

案例高校位于中国夏热冬冷地区,年降水量大,日照偏少,年平均气温为 15.9℃~17.0℃. 该高校为一所综合性高校,共 7 个校区,本文选取其中一个校区作为研究案例. 该校区建筑包括教学类、科研类、办公类、宿舍 4 种类型,共计建筑面积 255 724 m². 建筑的具体信息见表 2.

表 2 建筑信息

Tab. 2 Building information

建筑名称	总面积/m ²	建筑年代	空调系统形式	空调面积/m ²	建筑功能
A	15 269	2007	分体式空调	10 180	科研
B	20 511	2005	多联机	12 780	科研
C	37 500	2001	分体式空调/多联机	11 880	科研
D	21 157	2006	分体式空调	14 750	教学
E	40 795	2001	集中式全空气系统	18 799	教学
F	37 500	2001	分体式空调/集中	11 435	科研
G	14 000	2004	多联机	8 250	办公
H	46 592	2006	多联机	24 300	科研
I	5 600	2002	分体式空调	2 088	宿舍
J	5 600	2002	分体式空调	2 088	宿舍
K	5 600	2002	分体式空调	2 088	宿舍
L	5 600	2002	分体式空调	2 088	宿舍

2.2 数据收集方法

该校的校园建筑能耗监管平台自 2008 年开始,对该高校每栋建筑的逐时空调电耗进行实时监测.本文选取 2015 年 5 月至 10 月的夏季空调逐时用电负荷数据进行分析.

2.3 校园空调电力负荷水平分析

本案例对该高校一校区建筑的夏季空调电力负荷的特征进行分析.利用本文提出的指标体系对空调逐时电力负荷数据进行处理,并用 GIS 对处理结果进行展示,色带图例如图 2 中左下角所示.

首先对建筑空调电力负荷水平进行分析,利用 GIS 对分析结果进行展示,如图 2 所示.

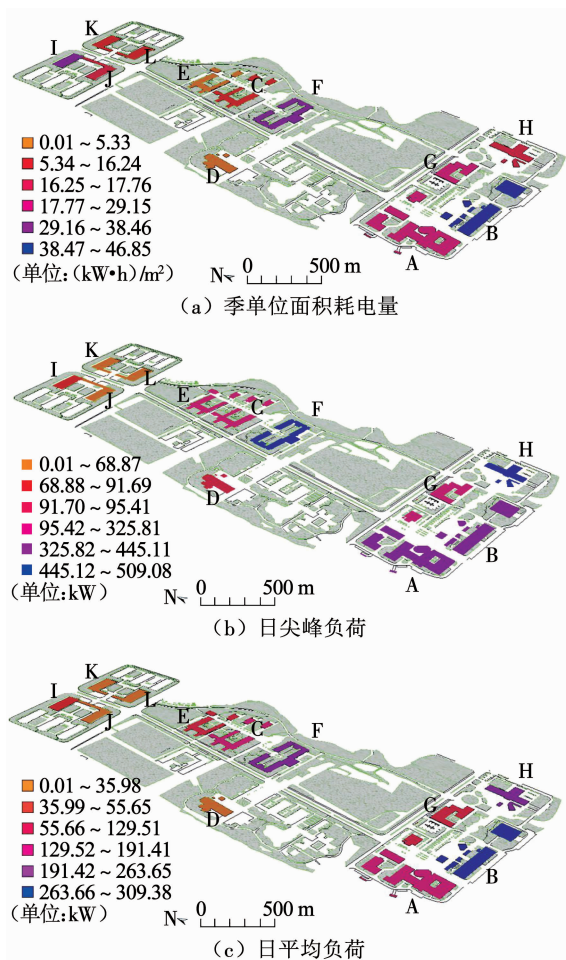


图 2 负荷水平分析结果

Fig. 2 Analysis results for load level

图 2(a) 为各建筑季单位面积空调耗电量,分析可得科研类建筑电耗强度最高,其中科研建筑 B 为 $46.85(\text{kW} \cdot \text{h})/\text{m}^2$,科研建筑 F 为 $34.75(\text{kW} \cdot \text{h})/\text{m}^2$,科研建筑 A 为 $25.57(\text{kW} \cdot \text{h})/\text{m}^2$.办公类建筑电耗强度也较高,其中办公建筑 G 耗电量为 $25.57(\text{kW} \cdot \text{h})/\text{m}^2$.宿舍建筑电耗强度较低,其中宿舍 J、L、K 依次分别为 17.76 、 16.24 、 $16.10(\text{kW} \cdot \text{h})/\text{m}^2$;值得注意的是

宿舍 I 季单位面积耗电量为 $38.46(\text{kW} \cdot \text{h})/\text{m}^2$ 与其他宿舍相比明显偏高,分析发现该楼为研究生宿舍,相比于本科生宿舍因暑假大量房间空置而言,该宿舍暑假使用时间长、电耗强度大.教学类建筑季单位面积耗电量最低,如教学类建筑 E、D 分别为 5.33 、 $3.15(\text{kW} \cdot \text{h})/\text{m}^2$.分析原因,科研类建筑因使用时间最长,室内实验设备多,散热量大,因而空调电耗强度最高.办公类建筑同科研建筑使用模式类似,电耗强度也较高.宿舍因电费自付等原因,学生为了节省电费而减少空调的使用,因而整体空调电耗强度较低.教学类建筑电耗强度最低,原因是该类建筑的空调夏季使用时间短,如暑假大部分教室停用,同时其空调系统统一管理有效的避免了人为浪费.

图 2(b) 为各建筑日尖峰负荷,分析可得科研类建筑 F 尖峰负荷 509.08 kW ,科研类建筑 H、B、A、C 分别为 483.88 、 445.11 、 435.59 、 325.81 kW .办公建筑 G 为 276.22 kW .教学类建筑 E、D 分别为 181.11 、 95.41 kW .宿舍尖峰负荷水平最低,在 $91.69 \sim 61.35 \text{ kW}$ 之间.通过分析可以发现该校科研类建筑尖峰负荷水平最高且同其他类型建筑具有较大差异,办公类、教学类、宿舍建筑日尖峰负荷依次减小.

图 2(c) 为各建筑日平均负荷,科研类建筑日平均负荷最高,科研类建筑 B、H、F、A、C 依次为 309.38 、 263.65 、 251.29 、 191.41 、 163.08 kW .办公建筑 G 为 129.51 kW ,教学建筑 E、D 分别为 86.23 、 32.90 kW .宿舍日平均负荷整体最低在 $55.65 \sim 30.04 \text{ kW}$ 之间.

综上所述,可以发现无论是季单位面积耗电量还是就日尖峰负荷和日平均负荷来说,该校科研类建筑负荷水平最高,办公类次之.教学类建筑的季单位面积耗电量低于宿舍类为最低,但就日尖峰负荷及日平均负荷而言则高于宿舍类.这是因为虽然教学类建筑在使用期间日尖峰负荷高,但由于寒、暑假等原因其使用时间短,在整个空调季来看其单位面积耗电量最低.因此只根据季单位面积耗电量等指标并不能有效的判断其负荷水平高低,还应结合使用时长等因素利用日尖峰负荷等指标来全面分析.

2.4 负荷波动性分析

负荷波动性指标的处理结果如图 3 所示.季负荷率反映整个空调季电力负荷波动性,该值越大说明波动性越小.根据图 3(a) 将各建筑依据该指标降序排列可以发现:科研类、办公类、宿舍类,教学类建筑季负荷率依次减小,负荷波动性变大.科研类建筑 F、B 负荷率分别为 0.84 、 0.77 .办公建筑 G 为 0.75 ,宿舍类建筑在 $0.73 \sim 0.58$ 之间.教学类建筑 E 为

0.55. 分析原因,季负荷率与使用时长以及使用期内逐时负荷的大小有关,科研类及办公类建筑夏季空调使用集中在白天,使用比例高,且逐时负荷波动相对较小. 而宿舍类建筑由于电费自付等原因,使用人员为了省电导致不同季节及同一天内的不同时刻负荷波动大;同时教学类和宿舍类建筑存在暑假使用率低等因素,导致季负荷率低.

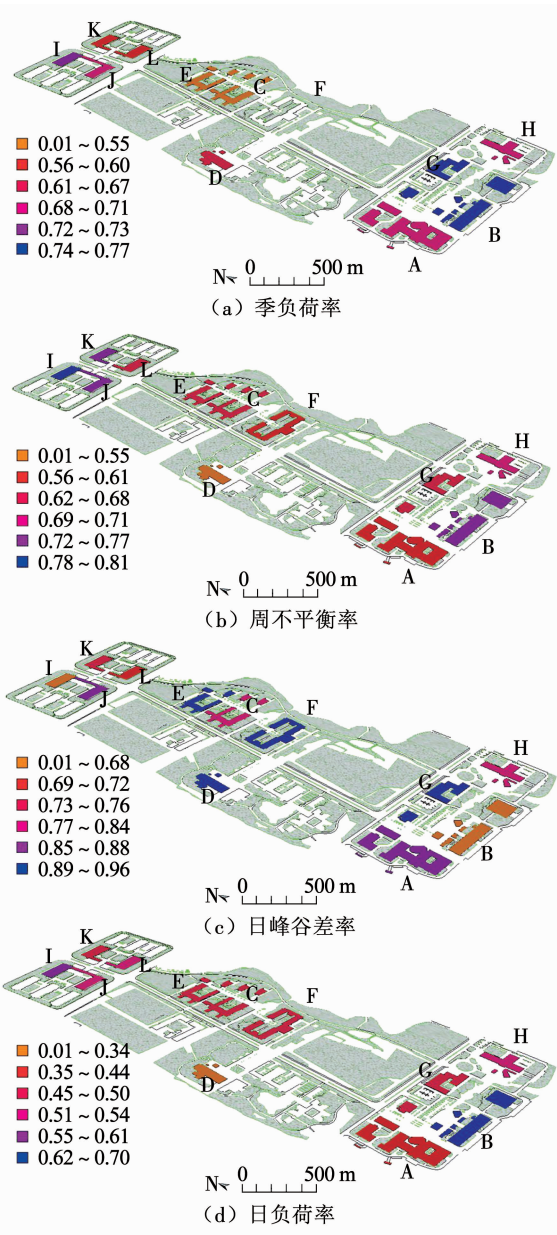


图3 负荷波动性分析结果

Fig. 3 Load fluctuation analysis results

周不平衡率反映了一周内各日尖峰负荷的波动性,该值越大说明各日尖峰负荷波动越小. 根据图3(b)将各建筑依据该指标降序排列可以发现:宿舍类、科研类、办公类,教学类建筑周不平衡率依次减小,负荷波动性变大. 宿舍类建筑I、J、K周不平衡率分别为0.81、0.77、0.74,科研类建筑B、H分别为0.74、0.71,办公类建筑G为0.67,教学类建筑E、D

分别为0.65、0.55. 分析原因,工作日与周末负荷差值成为影响该指标的重要原因,各类建筑运行方式不同,宿舍类和科研类建筑工作日与周末负荷差值较其他类建筑较小. 而夏季负荷水平高,周末与工作日负荷差值变大,负荷波动性随之变大,因此教学类等建筑和办公类建筑周不平衡系数较低. 对于宿舍和科研类建筑而言,夏季由于气温升高导致空调使用时间变长,因而波动性减小,周不平衡率较高.

日峰谷差率反映了日负荷波动性,该值越大说明负荷波动性越大. 根据图3(c)将各建筑依据该指标降序排列可以发现:办公类、教学类、科研类,宿舍日峰谷差率依次减小. 办公类建筑G、教学类建筑E、D日峰谷差率接近且较高,分别为0.95、0.94、0.94,科研类建筑A、H、C日峰谷差率分别为0.88、0.84、0.80,宿舍K、L分别为0.76、0.72,科研类建筑和宿舍I分别为0.68、0.67. 整体来看,教学类和办公类建筑峰谷差率高,宿舍类建筑整体偏低. 分析原因,这是因为建筑运行方式和气温对峰谷差率的影响,教学类和办公类建筑夜间停止使用造成负荷骤减接近于0,因此日峰谷差率高. 夏季气温升高,宿舍和科研类建筑空调使用量变大,日峰谷差减小,峰谷差率下降,负荷波动性随之减小.

日负荷率反映了日负荷的均匀性,该值越大说明负荷分布越均匀. 根据图3(d)将各建筑依据该指标对降序排列可以发现:宿舍类、科研类、办公类和教学类建筑日负荷率依次减小. 夏季宿舍I、L、J日负荷率分别为0.61、0.54、0.52,科研类建筑B、H日负荷率分别为0.70、0.54,办公类建筑G、教学类建筑D分别为0.47、0.34. 夏季宿舍日负荷率整体最高,教学类最低. 分析原因,随着气温的升高,夏季宿舍负荷升高,空调使用时间延长,日负荷率变高,负荷分布更均匀. 对于教学类建筑而言,随着白天尖峰负荷的增高昼夜负荷差持续增大,负荷波动性也随之变大,日负荷率因而变低.

通过上述分析可以发现,负荷的波动性与使用时长有很大关系. 就日负荷率、日峰谷差率和周不平衡率而言,科研、宿舍建筑日、周负荷波动小,办公、教学建筑波动大. 对于季负荷率而言,因宿舍建筑和教学建筑暑假使用少,季负荷波动大.

2.5 单体建筑对区域负荷贡献分析

同时使用系数的高低代表该建筑对于区域电力尖峰负荷影响的大小,该值越大则表明其对区域尖峰负荷的影响大.

如图4所示,夏季科研类建筑F同时使用系数最高为1.00,教学类建筑E为0.93,科研类建筑B为0.89,办公类建筑G为0.84,教学类建筑D为

0.83,科研类建筑 A、C、H 分别为 0.80、0.59、0.53,宿舍 I、L、K、J 同时使用系数最小依次分别为 0.53、0.48、0.35、0.34. 分析原因,气温和建筑使用模式共同影响着同时使用系数的大小. 通过上述分析可以发现,教学类、科研类、办公类建筑是区域尖峰负荷有较大影响. 分析原因,夏季中午气温最高,区域空调电力负荷峰值出现在下午 14:00 左右. 科研类、办公类、教学类建筑此刻使用率最高,负荷水平高,是区域尖峰负荷的主要组成部分,贡献也最大,因此具有较高的同时使用系数. 但此时宿舍使用率低,负荷水平低,因而其同时使用系数最低.

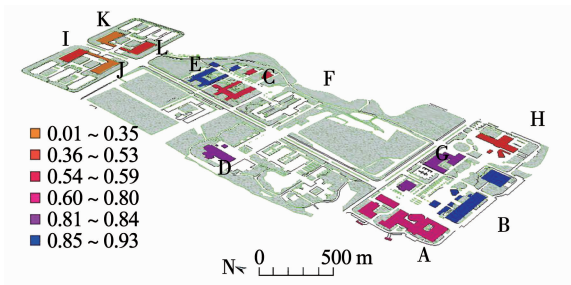


图 4 同时使用系数分析结果

Fig. 4 Coincidence factor analysis results

经实测得到该区域夏季尖峰负荷为 2 307 kW. 根据图 2(b),将各建筑尖峰负荷简单叠加得到的夏季区域尖峰负荷值为 3 035 kW,计算可得夏季的不同时率为 1.32.

2.6 单体建筑负荷指标值与区域建筑负荷指标值的差异分析

图 5 为各类型建筑与区域负荷在典型日的逐时负荷对比,根据上述分析选择科研类建筑 H、办公建筑 G、教学建筑 E、宿舍 J 为代表,探究单体建筑与区域建筑负荷指标值的差异.

由图 5 可知,在 9:00 - 12:00 之间办公建筑 G、教学建筑 E 负荷有所下降,但区域负荷同科研建筑 H 一样保持上升的态势;在 13:00 - 14:00 之间区域负荷同办公建筑 G、教学建筑 E 一起保持上升的态势,而此时科研建筑 H 则有所下降. 这说明区域负荷为各单体建筑负荷耦合而成并非为单一建筑影响的结果,区域内各建筑类型负荷共同影响区域负荷,而其对区域负荷影响的大小则与其负荷水平相关,负荷水平越高影响越大.

就日负荷率而言,四栋建筑 H、G、E、J 分别为 0.54、0.47、0.34、0.52,而区域的日负荷率为 0.61. 分析原因,各类建筑尖峰负荷出现时刻不尽相同,形成类似于“填谷”的作用,可以有效减小区域负荷的波动性. 例如宿舍类建筑尖峰负荷出现在夜间 23:00 - 0:00,而其他类型建筑均出现在 14:00 左右.

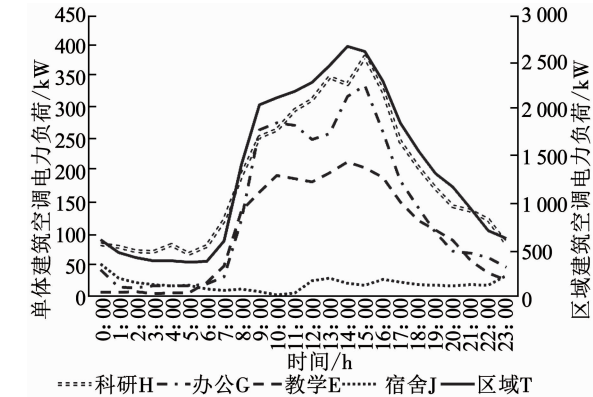


图 5 各类型建筑负荷与区域负荷典型日逐时变化

Fig. 5 Hourly load changes of various types of buildings and regional loads in a typical day

进一步分析,如图 6 所示,若将各建筑的负荷简单相加得到的负荷作为区域尖峰负荷,会造成负荷估计偏高的情况,在本案例中夏季高了 32%.

通过上述分析可以发现,区域空调电力负荷特征的分析并不能以单体建筑空调电力负荷简单相加作为分析依据. 各类建筑使用模式不同,耦合而成的区域空调电力负荷呈现负荷水平高,负荷波动性减小的特点,当然若区域内建筑类型单一则会造成区域负荷波动性变大. 因此,了解各类建筑及区域的空调电力负荷特点,合理的配置区域内的建筑类型对于区域能源规划来说十分重要.

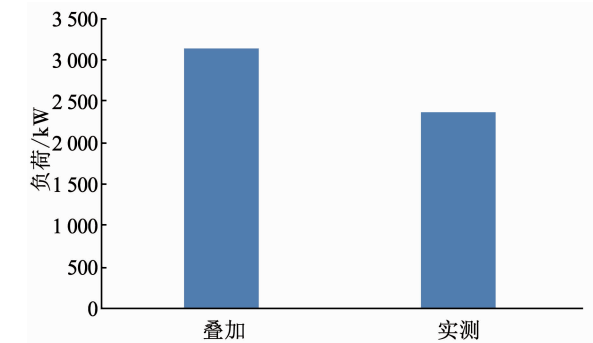


图 6 区域实测尖峰负荷与各建筑尖峰负荷叠加对比

Fig. 6 Comparison of regional measured peak load with the sum of the load of each building

3 结 论

1) 因为各指标侧重点不同,单个指标只能反映负荷一方面特征. 例如:单体建筑总负荷大的建筑其单位面积负荷可能很低,季负荷率大的建筑其日负荷率可能小. 因此,在对建筑负荷特征进行分析时,所选指标应全面的反映在不同时间范围内负荷水平及波动性等负荷特征.

2) 区域负荷水平由各建筑耦合而成,区域内建筑类型及数量都会影响区域负荷特征. 建筑类型不同,各建筑负荷尖峰负荷的大小及出现时间不一样,

例如:教学建筑、科研建筑的尖峰负荷往往出现在白天,宿舍的尖峰负荷多出现在夜晚,耦合而成的负荷也随着区域内教学建筑、科研建筑、宿舍建筑数量的不同而有所变化。

3)案例高校建筑夏季空调电力负荷特征如下:科研类建筑夏季负荷水平高,负荷波动性小,对区域贡献大,应为区域内实施节能改造和电力调峰的重点建筑;办公建筑负荷水平高,负荷波动性大,对区域贡献大。一方面可以实施节能改造降低其负荷水平,对该类建筑实施调峰措施,不仅可以降低其自身负荷波动性,对于区域尖峰负荷的减少也有重要意义;教学建筑负荷水平低,负荷波动性大。宿舍负荷水平低,负荷波动性小。这两类建筑对于区域负荷影响较小。

4)单体建筑空调电力负荷特征与建筑空调运行模式和使用时长有很大关系。不同建筑类型的空调使用模式与时长有很大不同,从而导致不同建筑空调用电负荷特征不同:例如教室暑假停止使用,尖峰负荷出现在中午,而像宿舍暑假继续使用且尖峰负荷多出现在夜间。

5)上述分析表明,本文提出的区域建筑空调电力负荷特征指标体系能很好地揭示该校园建筑空调负荷的时空特征、区域负荷与单体负荷的差异、以及单体建筑负荷在区域负荷中的贡献。高校校园仅是区域的一个代表。如将区域的范围扩展至城区等更大的范围,并利用区域建筑空调电力负荷特征指标体系对城区等大范围建筑负荷加以分析,结合GIS图将能展示区域建筑负荷的时间和空间分布特征,为区域用电负荷管理提供有力支持。

参考文献

[1] ZHOU Xuan, YAN Junwei, ZHU Junwen, et al. Survey of energy consumption and energy conservation measures for colleges and universities in Guangdong province [J]. Energy and Buildings, 2013, 66: 112. DOI:10.1016/j.enbuild.2013.07.055

[2] 蔡龙俊, 欧阳生春. 区域供冷供热住宅建筑空调负荷同时使用系数的计算[J]. 能源技术, 2006, 27(3): 130

CAI Longjun, OU YANG Shengchun. Calculate the simultaneity usage coefficient of household air-conditioning load for district cooling and heating[J]. Energy Technology, 2006, 27(3): 130. DOI:10.3969/j.issn.1005-7439.2006.03.012

[3] GUAN Jun, NORD N, CHEN Shuqin. Energy planning of university campus building complex: energy usage and coincidental analysis of individual buildings with a case study[J]. Energy and Buildings, 2016, 124: 99. DOI:10.1016/j.enbuild.2016.04.051

[4] 张磊, 孟庆林. 广州大学城建筑冷负荷特点分析[C]//第九届

全国建筑物理学术会议. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004(4): 218

ZHANG Lei, MENG Qinglin. Analysis of cold load characteristics of Guangzhou University City Building [C]//Proceedings of the 9th Building Physics Conference of China. Beijing, China: Architecture Building Press, 2004(4): 218

[5] 刘海静, 潘毅群. 区域建筑群负荷预测及其平准化分析[J]. 暖通空调, 2017, 47(4): 14

LIU Haijing, PAN Yiqun. Load prediction and leveling analysis for community buildings[J]. Journal of HV & AC, 2017, 47(4): 14

[6] 周欣, 燕达. 区域建筑负荷特性及影响因素分析[J]. 暖通空调, 2014, 44: 264

ZHOU Xin, YAN Da. Analysis of regional building load characteristics and influencing factors [J]. Journal of HV & AC, 2014, 44: 264

[7] HUEBNER G M, HAMILTON I, CHALABI Z, et al. Explaining domestic energy consumption-The comparative contribution of building factors, socio-demographics, behaviours and attitudes[J]. Applied Energy, 2015, 159: 589. DOI:10.1016/j.apenergy.2015.09.028

[8] CAI Yiyong, NEWTH D, FINNIGAN J, et al. A hybrid energy-economy model for global integrated assessment of climate change, carbon mitigation and energy transformation [J]. Applied Energy, 2015, 148(3): 381. DOI:10.1016/j.apenergy.2015.03.106

[9] KHOSRAVANI H R, CASTILLA M D M, BERENGUEL M, et al. A comparison of energy consumption prediction models based on neural networks of a bioclimatic building [J]. Energies, 2016, 9(1): 57. DOI:10.3390/en9010057

[10] DALL'O G, GALANTE A, TORRI M. A methodology for the energy performance classification of residential building stock on an urban scale[J]. Energy and Buildings, 2012, 48: 211. DOI:10.1016/j.enbuild.2012.01.034

[11] HOWARD B, PARSHALL L, THOMPSON J, et al. Spatial distribution of urban building energy consumption by end use[J]. Energy and Buildings, 2012, 45: 141. DOI:10.1016/j.enbuild.2011.10.061

[12] MA Jun, CHENG J C P. Estimation of the building energy use intensity in the urban scale by integrating GIS and big data technology[J]. Applied Energy, 2016, 183: 182. DOI:10.1016/j.apenergy.2016.08.079

[13] QUNA S J, LI Qi, AUGENBROE G, et al. A GIS-based energy balance modeling system for urban solar buildings [J]. Energy Procedia, 2015, 75: 2946. DOI:10.1016/j.egypro.2015.07.598

[14] KOLTER J Z, FERREIRA J. A large-scale study on predicting and contextualizing building energy usage [C]//AAAI'11 Proceedings of the Twenty-Fifth AAAI Conference on Artificial Intelligence. San Francisco, California: AAAI Press, 2011: 1349

[15] 赵希正, 周小谦. 中国电力负荷特性分析与预测[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002: 30

ZHAO Xizheng, ZHOU Xiaoqian. Analysis and prediction of power load characteristics in China [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2002: 30

(编辑 张 红)