

典型建筑能耗模型搭建—以长沙商场建筑为例

潘 晓¹, 陈毅兴^{1,2}, 邓 章¹, 陈志华¹, 杨楚豪³

(1. 湖南大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410082; 2. 湖南大学 建筑安全与节能教育部重点实验室, 湖南 长沙 410082;
3. 东南大学 建筑设计研究院有限公司, 江苏 南京 210008)

摘要: 城市建筑群能耗模拟通过建立自下而上的建筑能耗模型, 可有效地评估不同节能技术在指定城市的节能效果。由于数据有限, 城市建筑群能耗模拟一般基于各类型建筑的典型能耗模型。以长沙地区商场建筑为例, 主要研究典型能耗模型搭建的方法。首先, 对长沙地区商场建筑进行现场调研, 包括建筑几何特征、内部功能分区、室内平均温度等。其次, 通过调研设计规范与标准, 确定商场建筑的围护结构、室内热扰、空调系统、生活热水系统的形式和能效参数。接着, 通过对部分商场的分项计量实测数据进行聚类来获取长沙地区商场建筑的运行作息, 包括灯光、设备、空调系统的作息。最后, 使用 SketchUp 和 OpenStudio 软件搭建了典型商场建筑 EnergyPlus 能耗模型。模拟结果中年均用电量为 $192.7 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 燃气用量为 $0.21 \text{ GJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 与调研的长沙商场平均用能较为接近。搭建的商场建筑典型能耗模型, 将用于评估长沙市所有商场建筑的能耗特点及其未来碳中和路径。

关键词: 商场建筑; 特征参数调研; 典型建筑能耗模型; 聚类分析; EnergyPlus

中图分类号: TU83

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2021)06-0947-08

Development of prototype energy model: A case study of shopping mall buildings in Changsha

PAN Xiao¹, CHEN Yixing^{1,2}, DENG Zhang¹, CHEN Zhihua¹, YANG Chuhao³

(1. College of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China; 2. Key Laboratory of Building Safety and Energy Efficiency of the Ministry of Education, Hunan University, Changsha 410082, China;
3. Architectural Design and Research Institute Co. Ltd., Southeast University, Nanjing 210008, China)

Abstract: Urban building energy modeling can effectively evaluate the energy-saving effects of different energy-saving technologies in designated cities by establishing bottom-up building energy models. Due to limited data, urban building energy models are typically generated based on prototype energy models of different building types. This paper took the shopping mall buildings in Changsha as an example, and studied the method to develop prototype energy models. First, on-site surveys of shopping mall buildings in Changsha were conducted to obtain such information as the building geometric characteristics, internal zoning, and average indoor temperature setpoints. Secondly, by investigating the design codes and standards, the energy efficiency parameters of the envelope, internal loads, heating, ventilation, and air conditioning system (HVAC), and domestic hot water system were determined. Then, by clustering the measured end-use data of some shopping malls, the working schedule of shopping malls in Changsha was obtained, including the working schedule of lighting, equipment and HVAC. Finally, the EnergyPlus energy model of the typical shopping mall building was built by means of SketchUp and OpenStudio software. The simulated annual electricity energy use intensity was $192.7 \text{ kW} \cdot \text{h}/\text{m}^2$ and the annual natural gas use intensity was $0.21 \text{ GJ}/\text{m}^2$, which was closer to the surveyed energy use intensity of Changsha shopping malls. The prototype energy model of shopping malls built in this paper will be used to evaluate the energy consumption characteristics of all shopping malls in Changsha and their future carbon neutralization paths.

Key words: shopping mall; characteristic information survey; prototype building model; cluster analysis; EnergyPlus

收稿日期: 2021-07-03

修改稿日期: 2021-11-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51908204); 湖南省自然科学基金优秀青年基金资助项目(2020JJ3008)

第一作者: 潘 晓(1996—), 女, 硕士生, 主要从事典型建筑能耗模型搭建方法的研究。E-mail: xiaopan@hnu.edu.cn

通信作者: 陈毅兴(1984—), 男, 博士, 教授, 主要从事城市能源系统和建筑人工智能方面的研究。E-mail: yixingchen@hnu.edu.cn

自2001年以来,公共建筑竣工面积约80亿 m^2 ,约占当前公共建筑保有量的79%,公共建筑面积大量增长的同时,大体量公共建筑占比也显著增加^[1]。2018年全国建筑运行能耗统计中,人均面积占比仅19%的公共建筑,能耗和碳排放占比高达40%^[2]。公共建筑中商场建筑体量大、空间集中、人流量大,对建筑热舒适要求较高,因此供热、供冷时间长,能耗密度大、节能潜力较大。建立商场建筑的典型能耗模型,有助于了解商场建筑的能耗特点,研究商场建筑实现零能耗的路径和可行性,为实现2060年“碳中和”目标提供依据。

目前,关于典型能耗模型搭建的研究,主要是参照建筑节能、热工设计的规范与标准。Carnieletto等^[3]基于建筑能源规范和标准开发了46个意大利典型建筑能耗模型,包括16个单户住宅、16个多户住宅和14个办公楼。陈智博等^[4]参照《公共建筑节能设计规范》、《民用建筑热工设计规范》等,建立了中国三类公共建筑(办公楼、商场、酒店)在北京、上海和广州的EnergyPlus典型能耗模型。桂晨曦等^[5]基于建筑设计等相关规范标准构建了北京地区4个居住建筑和11个公共建筑(包括办公、酒店、商场、学校、医院5种类型)的典型能耗模型。

要搭建较为详细的能耗模型,除了参照规范与标准外,还需要通过详细的现场调研来获取模型输入参数。美国能源信息管理局(U. S. Energy Information Administration)从1979年开始,对商业建筑(CBECS项目^[6])和住宅建筑(RECS项目^[7])的建筑信息和能耗进行了详细调研,并公开统计数据用于支持建筑节能。这些调研数据平均每四年左右公布一次,为后续美国能源部建立商业建筑和住宅建筑的典型能耗模型^[8]提供了重要依据。LÜ等^[9]通过调研统计珠江三角洲200多栋商业建筑的尺寸、形状、方位、围护结构参数以及内部空间分布等基本信息,建立了珠三角地区商场、办公和酒店的典型能耗模型。桂晨曦等^[5]采用问卷调研的形式来获取空调采暖开关方式、人员上下班时间等,并归纳出了典型用能模式作为DeST能耗模型的输入。Peng等^[10]调研了珠三角地区120个住宅小区,建立了珠三角地区三种住宅建筑的典型能耗模型。朱丽等^[11]实地调研了天津地区5所高校的宿舍(10栋)、教学楼(7栋)和食堂(5栋),并根据现行标准规范,建立了宿舍、教学楼、食堂的EnergyPlus能耗模型,用于分析建筑的能耗强度、供热量和供冷量。

此外,建立典型能耗模型,还需要分析建筑实测的能耗数据,以获取建筑的运行作息和用电强度等信息。Zhao等^[12]通过分析办公设备的电耗数据来

获取办公建筑的典型人员作息,并将该作息输入到美国能源部的典型中型办公建筑能耗模型中,分析人员作息对不同气候区建筑能耗的影响。Kontar等^[13]通过对实测电耗数据聚类得到照明、设备、供暖、和制冷的用能模式,作为模型的输入,对城市群建筑能耗模型进行校准。Giuseppina等^[14]以国家人员时间利用情况调查(National Time Use Survey)为依据,确定典型人员作息,开发典型住宅能耗模型,用于分析住宅建筑的供热能耗需求。

建立高能耗公共建筑的典型能耗模型,有利于了解该类建筑的能耗特点及节能潜力。然而,国内针对各类建筑的调研数据还较为缺乏。本文创新性地结合建筑标准与规范、现场调研、和实测分项计量数据分析三种方式,以长沙商场建筑为例,研究搭建典型建筑能耗模型的方法。

1 研究方法

本研究建立的典型能耗模型考虑了整体能耗以及空调、照明、设备等各分项能耗。模型的主要输入包括建筑几何尺寸、空间布局、围护结构、照明、设备、人员等室内热扰,以及空调系统和生活热水系统。

图1为本研究的技术路线图。

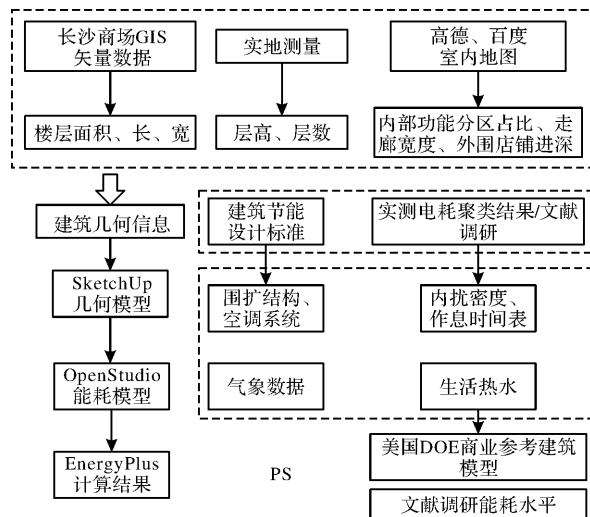


图1 研究技术路线

Fig. 1 Research Workflow

本文首先通过现场调研、高德和百度室内地图调研,对长沙40个商场进行了调研,包括建筑的地上轮廓面积、层高、楼层数、窗墙比、不同朝向外围店铺进深、走廊宽度、及主要功能分区占比。此外现场实测了其中13栋商场建筑冬季、夏季以及过渡季节不同功能分区的室内温度。围护结构热工参数以及空调系统主要参考GB50189-2015《公共建筑节能设计标准》^[15]中关于夏热冬冷地区的相关要求。利用K-means算法对长沙某购物

中心逐时分项能耗进行聚类分析,以获取照明和设备的典型运行作息。K-means 聚类根据所设定的聚类数 k 值,选取 k 个聚类中心,把每个对象分配给距离它最近的聚类中心,聚类中心再根据聚类中现有的对象来重新计算。通过不断迭代,

直到没有对象被重新分配给不同的聚类,聚类中心不再变化。采用和戴维森堡丁指标(Davies-Bouldin Index, DB 指标)来判断最佳聚类数 k 值。DB 指标利用簇内与簇间距离的比值代表分类效果,可以避免 K-means 算法中由于只计算目标函数而导致局部最优的情况,DB 指标值越小,分类效果越好。人员密度、灯光、设备功率密度等参数结合建筑节能设计标准以及文献调研得到。生活热水系统参照美国能源部典型商业建筑模型^[16]设定。气象数据(包括干球温度、露点温度、风向、风速、太阳水平辐射强度、太阳总辐射强度等)使用了 EnergyPlus 中长沙地区的 TMY3 格式气象文件。以上主要特征参数确定后,通过 SketchUp OpenStudio Plugins 建立几何模型,使用 OpenStudio App 搭建了商场能耗模型,利用 EnergyPlus 进行模拟计

算,获得典型商场建筑的模拟能耗。将典型商场建筑能耗结果与长沙地区商场建筑的能耗水平对比,确保模拟结果在可信范围之内。

1.1 商场几何模型搭建

图 2 为商场的几何参数调研结果,包括 40 栋商场的建筑面积、层高与层数,及外围店铺进深。40 栋商场的面积中位数为 $93\,546\text{ m}^2$,地上层数 4.9 层、地下 1.5 层,层高 4.7 m。不同朝向的外围店铺进深分别为东向 17.7 m,南向 19.8 m,西向 20.8 m,北向 15.9 m。实地调研发现商场外窗可分为零散分布在外墙的窗户,半玻璃幕墙,全玻璃幕墙三类,商场建筑更加追求外立面的一体化设计和内部空间的高效利用,外窗较少,多在一层设置玻璃幕墙。本文根据商场外立面图片估算窗墙比,结果如图 3 所示,长沙 40 栋商场的窗墙比在 0.15~0.7 之间,平均数为 0.35。本文的典型模型中选用矩形形状,长度为 185 m,宽度为 98 m,地上 5 层,地下 1 层,层高 4.7 m,地上楼层的窗墙比 0.35,走廊进深 10.85 m,各朝向的外围店铺进深根据调研平均值设置,如图 12 所示。

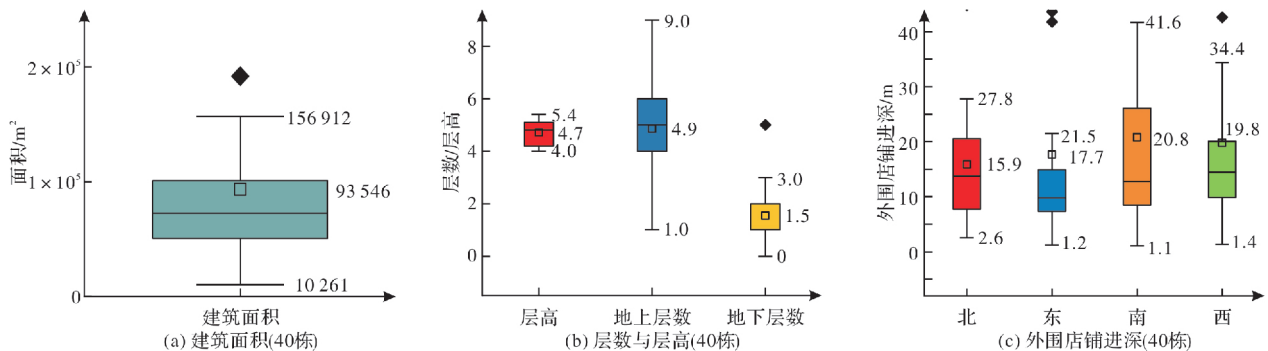


图 2 商场几何参数调研

Fig. 2 Geometrical parameters of shopping malls

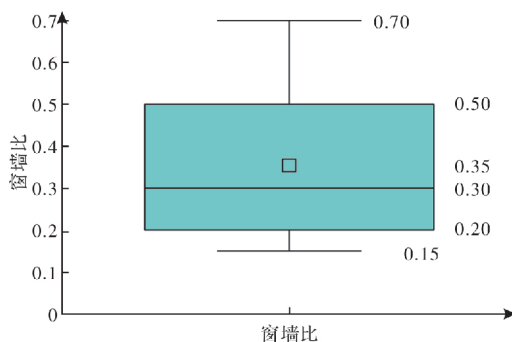


图 3 商场建筑的窗墙比

Fig. 3 Window to wall ratio of shopping malls

接着,对 40 栋商场主要功能分区的占比进行调研,主要采用了高德、百度室内地图及实地调研的方式图 4 展示了部分商场楼层的主要功能分区,40 栋商场各功能分区的占比统计如图 5 所示。

商场主要包括 8 种功能分区,40 栋商场各功能分区的占比统计如图 5 所示。商场主要包括 8 种功能分区,包括服装配饰、中庭走廊、停车场、餐饮、超市、童玩个护、办公、和影城。服装配饰面积占比最高为 33.4%,辅助空间(中庭、走廊和停车场)占比之和为 38%,其余功能区占比大小依次为培训办公、餐饮、超市、影城、童玩。

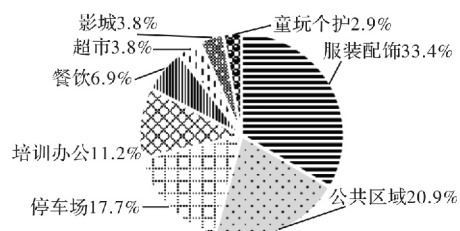


图 4 长沙部分商场楼层平面图

Fig. 4 Floor plan of some shopping malls in Changsha

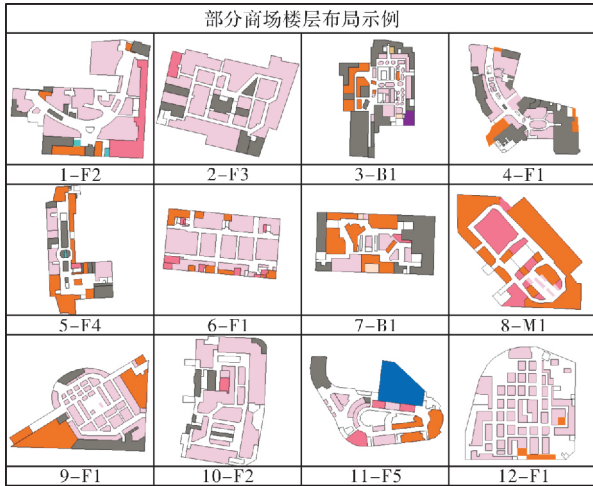


图 5 40 栋商场建筑内部功能分区及占比统计

Fig. 5 Internal function zoning and proportion statistics of 40 shopping mall buildings

1.2 围护结构、空调系统设定

围护结构热工参数以及空调系统的设定参考 GB50189—2015《公共建筑节能设计标准》^[15] 选取. 购物中心由于空间较大、人员较多、需要集中进行温湿度控制, 一般采用全空气系统. 根据标准, 夏热冬冷地区冷源一般采用电驱动冷水机组, 热源采用燃气锅炉形式; 刘倩^[17] 等人调研了长沙 18 栋商场建筑的空调系统形式, 冷源以离心式冷水机组(15 栋)为主, 还有离心式、螺杆式冷水机组组合(2 栋)、直燃式冷水机组(1 栋)等; 热源主要采用燃气锅炉(8 栋)、直燃机(6 栋)形式或者无热源的形式(4 栋). 故本研究中商场建筑采用全空气空调系统形式, 冷热源分别采用离心式冷水机组和燃气锅炉的形式. 围护结构、空调系统和热水系统的参数设定如表 1 所示, 其中设备选型通过 EnergyPlus 的自动选型(Autosize)功能实现.

表 1 围护结构和空调系统参数设定

Tab. 1 Setting of envelope structure and air conditioning system parameters

系统	参数	取值
围护结构	屋顶 K 值	0.38
	外墙 K 值 $W/(m^2 \cdot K)$	0.59
	外窗 K 值 $W/(m^2 \cdot K)$	2.5
	窗户太阳得热系数(SHGC)	0.4
空调系统	作息	10:00~22:00
	冷水机组 COP	5.17
	燃气锅炉热效率/%	80
	风机效率	0.60
热水系统	系统形式	热水锅炉
	燃气锅炉热效率/%	80
	人均用水量峰值	2.3
	/L(d·人)	

此外线上调研了 40 家商场的营业时间, 主要营业时间段有 4 种: 10:00~22:00, 9:00~22:00, 9:30~22:00 和 10:00~22:30, 分别占比 67%, 20%, 8%, 5%. 部分商场周五至周日的晚上比平时多半小时. 选取多数商场的营业时间 10:00~22:00 作为典型商场建筑的空调运行时间.

1.3 典型建筑各功能分区内扰和设定温度

不同功能分区的照明和设备功率密度不同, 人员密度也不同. 典型商场照明功率、设备功率和人员密度的参数设定如表 2 所示.

表 2 典型商场照明、设备功率和人员密度设定

Tab. 2 Lighting power, equipment power and people densities of typical shopping mall

功能分区	照明功率密度 /W·m ⁻²	设备功率密度 /W·m ⁻²	人员密度 /m ² ·人 ⁻¹
服装配饰	19	13	8
中庭走廊	9	5	15
培训办公	10	5	15
停车场	5	13	20
童玩个护	10	9	5
影城	9	11	5
餐饮	9	11	10
超市	15.5	9	10
参考依据	文献[18]	文献[15][19]	文献[20][21]

不同功能分区照明功率密度取值参考 GB50034—2013《建筑照明设计标准》^[18] 设定. 设备功率密度取值参考 GB50189—2015《建筑节能设计标准》^[15]. 为了获取商场照明和设备的作息规律, 利用 K-means 算法对一栋商场 3 年总计 1 095 天的分项计量电耗数据进行聚类分析, 通过 DB 指标(Davies-Bouldin Index)判断最佳聚类数. 设备和照明电耗聚类数 k 值和 DB 指标的关系如图 6 所示, 可以看出, 设备和照明电耗的最佳聚类数分布为 3 和 2.

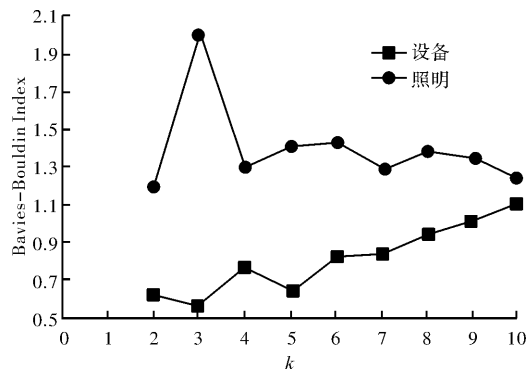


图 6 设备和照明电耗聚类数 k 值对应的 DB 指标

Fig. 6 DB index corresponding to cluster number k of equipment and lighting power consumption

照明电耗的聚类最佳 K 值为 2, 如图 7 所示, 商场照明主要有两种典型用电负荷曲线, 商场照明主要分布在营业期间 9:30~22:00, 并且照明使用比例随营业时间逐步增加, 19:00~22:00 照明 100% 开启。非营业时间段主要有楼体、景观等夜景照明以及其他室内外应急照明等。图 6 中整体用电量较高的 cluster 0 占 33%, cluster 1 占 67%, 按一周七天计, 其比值为 4.7:2.3, 四舍五入后为 5:2。Cluster 0 中周六和周日的天数较多, 且 cluster 1 中周一至周五的天数较多, 因此把 cluster 0 作为周末的照明作息, 把 cluster 1 作为周一至周五的照明作息, 得到商场典型照明作息如图 8 所示。

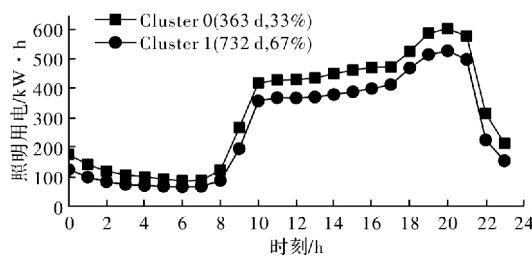


图7 照明用电典型负荷曲线

Fig. 7 Typical load curves of lighting energy consumption

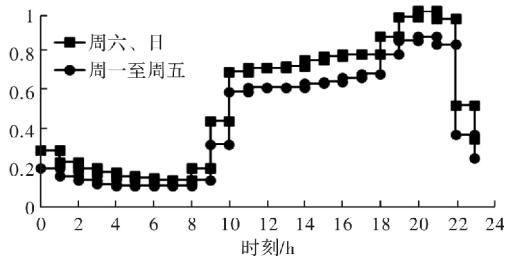


图8 商场建筑照明作息典型模式

Fig. 8 Typical schedule of lightings in shopping malls

商场设备电耗聚类最佳 K 值为 3, 典型用能模式如图 9 所示。商场设备用电呈现“双峰”特征, 每天 10:00~14:00 以及 17:00~20:00 时间段设备使用率为 100%。图 9 中三类负荷曲线 cluster 0、

cluster 1、cluster 2 天数占比分别为 48%、30%、22%, 一周按七天计, 比值为 3.4:1.5:2.1, 四舍五入后为 3:2:2。Cluster 0 在周一、四、五的天数较多, cluster 1 在周二、三的天数较多, cluster 2 在周六和周日的天数较多, 因此把 Cluster 0 作为周一、四、五的作息, cluster 1 作为周二、三的作息, cluster 2 作为周六和周日的作息, 建立典型商场设备作息, 如图 10 所示。

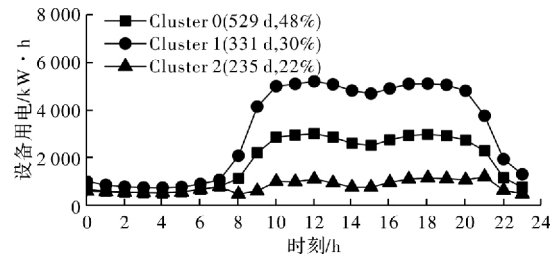


图9 设备用电典型负荷曲线

Fig. 9 Typical load curves of equipment energy consumption

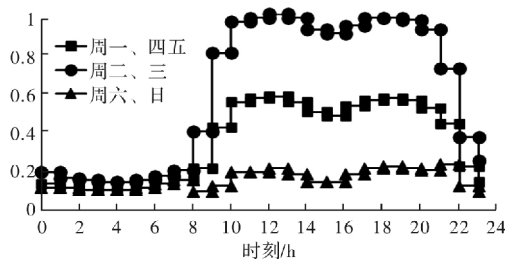


图10 商场建筑设备作息典型模式

Fig. 10 Typical schedule of equipment in shopping mall

人员逐时在室率参照郑林涛等人^[22]在对夏热冬暖地区 5 家商场公共区域、服装配饰、餐饮、超市、影院、童玩等 6 个功能分区人员作息调研结果, 分为工作日和周末两种作息模式, 如图 11 所示。办公区域人员作息模式参照文献^[15]设定。商场的室内温度设定值如表 3 所示, 在依据文献^{[15][19]}的基础上, 实测了长沙 13 栋商场在 1 月份(冬季)、7 月份(夏季)正常营业时间内的不同功能区的室内温度。

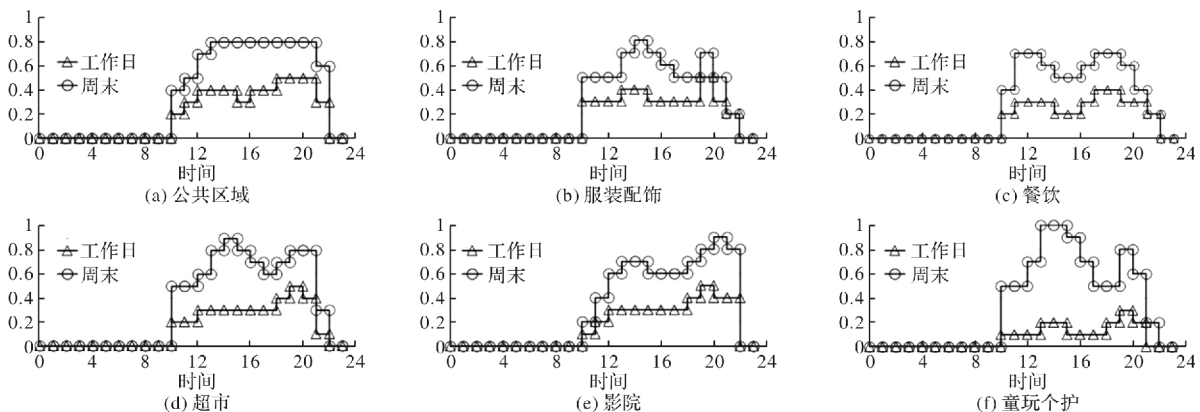
图11 不同功能分区人员作息模式(数据来自^{[15][22]})Fig. 11 Work and rest patterns of staff in different functional areas(The data are from literature^{[15][22]})

表3 典型商场设计参数设定

Tab. 3 Temperature set points and ventilation requirement of typical shopping malls

功能分区	新风量 $\text{m}^3 \cdot (\text{h} \cdot \text{人})^{-1}$	夏季设计参数		冬季设计参数	
		温度/ $^{\circ}\text{C}$	相对湿度/%	温度/ $^{\circ}\text{C}$	相对湿度/%
服装配饰	30	27.2	65	22.3	35
童玩个护	30	26.7	65	22.3	35
办公室	30	26.8	65	24.0	35
餐饮	25	27.3	65	22.3	35
超市	20	26	65	20.7	35
影城	20	25.2	65	21.2	35
中庭走廊	20	27.9	65	22.1	35
停车场	—	30.3	65	20	35
参考依据	文献[15][19]		实地测量		

2 模型搭建与模拟结果分析

2.1 OpenStudio 能耗模型搭建

根据调研结果, 本文的参考模型选用矩形形状, 长度 185 m, 宽度 98 m, 外围店铺进深取 10~15 m, 走廊进深 10.85 m, 层高 4.7 m, 窗墙比 0.35, 地上 5 层, 地下 1 层. 商场地下一层一般用作停车场, 一层主要为体积小、租金贵、可以代表商场形象的珠宝配饰区或者可以引流的百货超市; 二至三层主要是男女品牌服装配饰、儿童娱乐等; 四五层主要是餐饮、影城以及培训办公等可以带来人气的功能区; 中庭走廊从一层贯穿至顶层. 典型商场能耗模型各楼层分区如图 12 所示, 其中各功能分区的占比与图 5 一致.

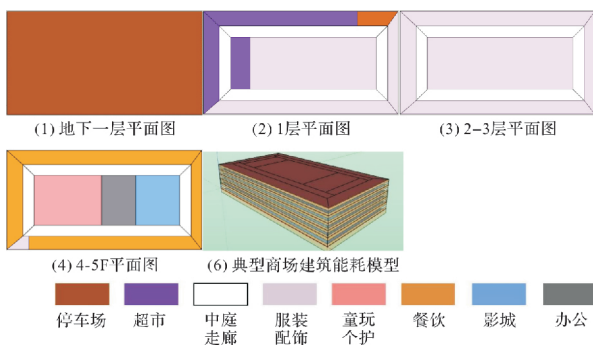


图 12 典型商场建筑的几何模型

Fig. 12 A geometric model of a typical shopping mall building

2.2 典型商场能耗模型结果

典型商场 EnergyPlus 能耗模型结果中年耗电量为 $192.7 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 燃气消耗量为 $0.21 \text{ GJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. 各分项用电量如图 13 所示, 其中制冷、照明、设备、风机、水泵、和冷却塔的用电强度分别为 51.3 、 51.3 、 52.5 、 44.1 、 16.4 、

16.9 、 $11.6 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 用电量占比分别为 27% 、 27% 、 23% 、 8% 、 9% 、 6% . 各用电分项逐月电耗分布如图 14 所示. 燃气能耗中供暖能耗占比 94.7% , 生活热水能耗占比 5.3% , 燃气逐月用能如图 15 所示.

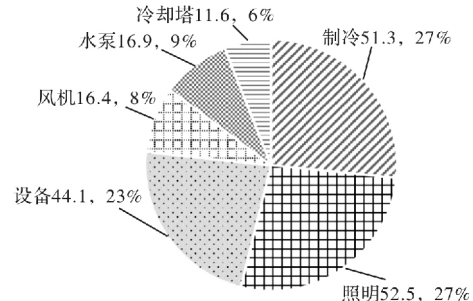
图 13 典型商场模型各分项用电量 ($\text{kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$)

Fig. 13 Energy use intensities by end-uses of typical shopping mall model

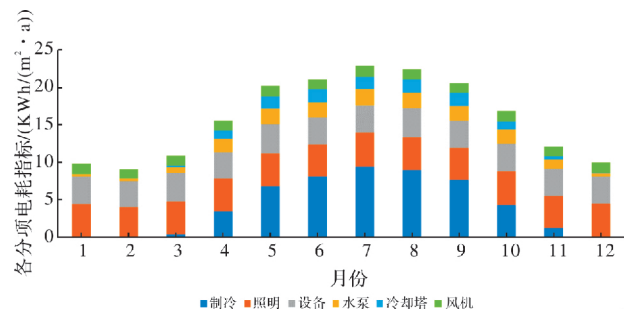


图 14 典型建筑能耗模型各分项逐月电耗指标

Fig. 14 Monthly energy use intensities of each end-use of typical shopping mall building

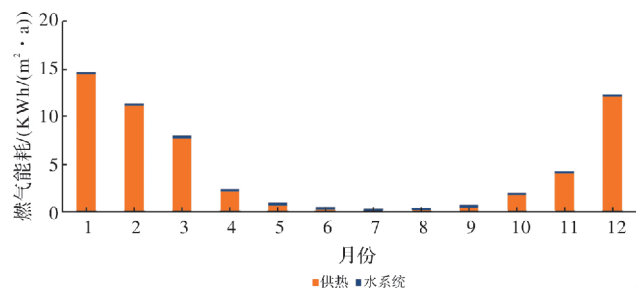


图 15 典型建筑能耗模型逐月燃气能耗

Fig. 15 Monthly gas energy use intensities of typical shopping mall building

2.3 能耗结果的对比分析

表 4 列举了部分地区商场建筑的年能耗调研结果, 其中长沙地区商场的年平均能耗指标为 $226.9 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 包含电力和燃气(天然气折电系数为 $10.82^{[17]}$). 本文所搭建的典型商场 EnergyPlus 能耗模型结果中年耗电量为 $192.7 \text{ kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 燃气消耗量为 $0.21 \text{ GJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 模拟的用电量结果在长沙地区商场建筑年能耗水平范围之内, 与文献调研结果较为接近, 具有一定的可信度.

表 4 不同地区商场建筑的能耗水平统计

Tab. 4 Statistics of energy use intensities of shopping mall buildings in different areas

地区	商场数量	平均能耗水平 $\text{kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	能耗范围 $\text{kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	文献
广州	13 栋	256.7	250~300	[23]
长沙	20 栋	226.9	134~297	[17]
山东	40 栋	227.9	220~300	[24]
无锡	22 栋	229	100~250	[25]

3 结论

本文首先对长沙 40 栋商场进行详细调研, 结果显示商场平均地下有一层为停车场, 地上五层, 楼层高 4.7 m, 窗墙比 0.35, 其中服装配饰占 33.4%, 中庭走廊占 20.9%, 停车场占 17.1%, 培训办公区域占 11.2%, 餐饮区占 6.9%, 超市占 3.8%, 影城占比 3.8%, 儿童个护占 2.9%。冬季室内平均温度在 20~24 ℃, 夏季室内平均温度在 25~30 ℃。

接着对长沙某商场的实测设备与照明的分项电耗数据进行聚类分析, 得到商场照明和设备的典型用电模式。按照不同模式日内负荷曲线占比情况构建了典型商场的照明和设备作息时间表。

最后, 本研究基于长沙商场的典型几何信息、功能分区特征、围护结构参数、空调系统、热水系统、室内热扰参数等数据使用 SketchUp OpenStudio Plugins 和 OpenStudio App 建立了长沙商场的典型 EnergyPlus 能耗模型。EnergyPlus 模拟结果中年耗电量为 192.7 $\text{kW} \cdot \text{h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, 燃气消耗量为 0.21 $\text{GJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。模拟的用电量结果与长沙商场的用能调研数据较为接近, 模拟结果在合理范围之内。本研究建立的夏热冬冷地区商场建筑典型能耗模型具有一定的代表性, 可为今后城市建筑群能耗模拟提供模型基础。

本文存在一些不足之处。由于商场工作日和节假日均在运行, 每天营业时间达 12 h 以上, 内部热扰对空调年能耗影响巨大。本研究中设备、照明的作息时间表仅根据长沙某商场逐时分项电耗数据聚类得到, 不具有典型性, 未来还需收集更多商场的实测能耗数据。在得到照明和设备的作息聚类结果后, 本文作者首先使用了决策树分析, 想建立起每类作息与天气参数、工作日/休息日、季节等因素的关系, 但未能得到较好的结果, 因此采用了较为简单的方式建立了每周作息。本文人员作息的输入信息采用了夏热冬暖地区的数据, 气候差异可能会影响人员活动时间。今后需要针对夏热冬冷地区的商场进行详细的人员作息

调研, 以获取更为准确的人员密度及作息信息。

参考文献 References

[1] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告 2020 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2020.
Building Energy Research Center of Tsinghua University. Building energy saving development annual report of China. 2020 [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2020.

[2] 中国建筑节能协会. 中国建筑能耗研究报告 2020[J]. 建筑节能, 2020, 49(2): 1-6.
China Association of Building Energy Efficiency. China Building Energy Consumption Research Report 2020[J]. Building Energy Efficiency, 2020, 49(2): 1-6.

[3] CARNIELETTO L, FERRANDO M, TESO L, et al. Italian prototype building models for urban scale building performance simulation[J]. Building and Environment, 2021, 192: 107590.

[4] 陈智博, 沙华晶, 许鹏, 等. 中国公共建筑的建筑典型模型建立[J]. 建筑节能, 2020, 48(2): 97-99, 106.
CHEN Zhibo, SHA Huajing, XU Peng, et al. Establishment of reference building models in China. Building Energy Efficiency, 2020, 48(2): 97-99, 106.

[5] 桂晨曦, 燕达, 郭偲悦等. 基于实际用能特征的北京地区典型建筑模型研究[J]. 建筑科学, 2020, 36(6): 14-22.
GUI Chenxi, YAN Da, GUO CAI yue et al. Research on prototype building models in Beijing based on actual energy consumption characteristics [J]. Building Science, 2020, 36(6): 14 -22.

[6] U. S. Energy Information Administration. Commercial Buildings Energy Consumption Survey (CBECS) Survey letter Report[M]. Washington, DC: National Academies press, 2019.

[7] U. S. Energy Information Administration. Residential Energy Consumption Survey [M]. Washington, DC: Nation Academies press, 2009.

[8] U. S. Department of Energy. Prototype Building Models [M]. Washington, DC: Freedom of Information Act. 2013.

[9] LÜ Y, PENG H, HE M, et al. Definition of typical commercial building for South China's Pearl River Delta: Local data statistics and model development [J]. Energy and Buildings, 2019, 190: 119-131.

[10] PENG H, HE M, LI M, et al. Investigation on spatial distributions and occupant schedules of typical residential districts in South China's Pearl River Delta [J]. Energy and Buildings, 2020, 209: 109710.

[11] 朱丽, 张吉强, 杨洋, 等. 天津地区高校建筑用能特

- 性对比研究[J]. 建筑节能, 2019, 47(8): 58-62, 81.
- ZHU Li, ZHANG Jiqiang, YANG Yang, et al. Comparative study on building energy consumption characteristics of universities in Tianjin[J]. Building Energy Efficiency, 2019, 47(8): 58-62, 81.
- [12] ZHAO J, LASTERNAS B, LAM K P, et al. Occupant behavior and schedule modeling for building energy simulation through office appliance power consumption data mining[J]. Energy and Buildings, 2014, 82: 341-355.
- [13] EL Kontar R, RAKHA T. Profiling occupancy patterns to calibrate urban building energy models (UBEMs) using measured data clustering[J]. Technology Architecture and Design, 2018, 2(2): 206-217.
- [14] BUTTITTA G, TURNER W J N, NEU O, et al. Development of occupancy-integrated archetypes: Use of data mining clustering techniques to embed occupant behaviour profiles in archetypes [J]. Energy and Buildings, 2019, 198: 84-99.
- [15] 中国建筑科学研究院. 公共建筑节能设计标准: GB50189-2015 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
- China Academy of Building Research. Standard for energy-saving design of public buildings: GB50189-2015 [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2015.
- [16] DERU M, FIELD K, STUDER D, et al. U. S. Department of energy commercial reference building models of the national building stock[R]. Washington, DC: National Renewable Energy Laboratory, 2011: 1-47.
- [17] 刘倩, 杨昌智, 胡攀. 长沙市商场建筑能耗影响因素与预测模型构建研究[J]. 建筑科学, 2017, 33(12): 96-102, 109.
- LIU Qian, YANG Changzhi, HU Pan. Research on influencing factors and prediction model of commercial building energy consumption in Changsha[J]. Building Science, 2017, 33(12): 96-102, 109.
- [18] 中国建筑科学研究院. 建筑照明设计标准: GB50034-2013[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- China Academy of Building Research. Architectural Lighting Design Standard: Gb50034-2013[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2013.
- [19] 中国建筑科学研究院. 公共建筑节能设计标准: GB50189-2005 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- China Academy of Building Research. Energy Saving Design Standard for Public Buildings: Gb50189-2005 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2005.
- [20] ZEFERINA V, WOOD F R, EDWARDS R, et al. Sensitivity analysis of cooling demand applied to a large office building [J]. Energy and Buildings, 2021, 235: 110703.
- [21] YANG T, PAN Y, MAO J, et al. An automated optimization method for calibrating building energy simulation models with measured data: Orientation and a case study[J]. Applied Energy, 2016, 179: 1220-1231.
- [22] 郑林涛, 赵立华. 夏热冬暖地区大型商场人员作息调研及分析[J]. 暖通空调, 2020, 50(3): 87-94, 110.
- ZHENG Lintao, ZHAO Lihua. Investigation and analysis on staff schedule in large-scale shoppingmall in hot summer and warm winter zone[J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2020, 50(3): 87-94, 110.
- [23] 黄斌. 广东地区大型商场建筑能耗模拟与节能研究[D]. 广州: 广州大学, 2019.
- HUANG Bin. Research on building Energy consumption simulation and energy saving of large-scale shopping malls in Guangdong Province [D]. Guangzhou: Guangzhou University, 2019.
- [24] 曲继晓, 楚广明, 田顺, 等. 山东省某商场建筑能耗调研及结果分析[J]. 区域供热, 2017(2): 85-89.
- QU Jixiao, CHU Guangming, TIAN Shun et al. Research and result analysis of building energy consumption of a shopping mall in Shandong province[J]. District Heating, 2017(2): 85-89.
- [25] 仇铮, 倪文晖. 无锡市公共建筑能耗统计分析研究[J]. 建筑节能, 2020, 48(6): 84-88.
- QIU Zheng, NI Wenhui. Statistical analysis of energy consumption of public buildings in Wuxi city [J]. Building Energy Efficiency, 2020, 48(6): 84-88.

(编辑 吴海西 沈 波)