

# 严寒地区近零能耗办公建筑负荷特性分析

王庆辉<sup>1,2</sup>, 马语辰<sup>1</sup>, 黄凯良<sup>1</sup>, 冯国会<sup>1</sup>, 徐 宁<sup>1</sup>

(1. 沈阳建筑大学市政与环境工程学院, 辽宁 沈阳 110168; 2. 辽宁省建设科学研究院有限责任公司, 辽宁 沈阳 110005)

**摘要** 目的 研究严寒地区某近零能耗办公建筑负荷特性, 以便逐步完善近零能耗办公建筑的性能化设计方案, 达到近零能耗建筑预定的性能目标。方法 以处于设计阶段的某近零能耗办公建筑为研究对象, 使用 DesignBuilder 软件对参照建筑与目标建筑分别进行能耗模拟, 并对结果进行分析比较。结果 目标建筑全年累计热负荷指标为  $15.96 \text{ (kW} \cdot \text{h)/m}^2$ , 全年累计冷负荷指标为  $19.94 \text{ (kW} \cdot \text{h)/m}^2$ ; 目标建筑与 65% 的节能建筑相比, 累计总负荷指标降低 45.86%, 热负荷指标降低 64.34%, 冷负荷指标降低 5.89%。结论 近零能耗办公建筑夏季冷负荷指标略高于冬季热负荷指标, 各项节能技术对降低热负荷指标及累计总负荷指标均有促进作用, 内部热扰和外墙太阳得热对冷热负荷指标影响应予以重视。

**关键词** 严寒地区; 近零能耗建筑; 办公建筑; DesignBuilder; 负荷模拟

中图分类号 TU243

文献标志码 A

**引用格式:** 王庆辉, 马语辰, 黄凯良, 等. 严寒地区近零能耗办公建筑负荷特性分析[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2024, 40(1): 141-147. (WANG Qinghui, MA Yuchen, HUANG Kailiang, et al. Analysis on load characteristics of a nearly zero energy office building in severe cold area[J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2024, 40(1): 141-147.)

## Analysis on Load Characteristics of a Nearly Zero Energy Office Building in Severe Cold Area

WANG Qinghui<sup>1,2</sup>, MA Yuchen<sup>1</sup>, HUANG Kailiang<sup>1</sup>, FENG Guohui<sup>1</sup>, XU Ning<sup>1</sup>

(1. School of Municipal and Environmental Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168; 2. Liaoning Province Building Science Research Institute Co. Ltd., Shenyang, China, 110005)

**Abstract:** The load characteristics of a nearly zero energy office building in severe cold area were studied in order to gradually improve the performance-based design, and to achieve the performance goals for nearly zero energy buildings. A nearly zero energy office building in the design stage taken as the research object, the energy consumption of the reference building and the target building were simulated using DesignBuilder software. The simulation results were analyzed and compared. The

收稿日期: 2023-06-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(52178082); 辽宁省“兴辽英才计划”项目(XLYC2203184)

作者简介: 王庆辉(1968—), 男, 教授级高级工程师, 主要从事建筑节能、绿色建筑等方面研究。

cumulative annual heating load index of the target building is  $15.96 \text{ (kW}\cdot\text{h)/m}^2$  and the cumulative annual cooling load index is  $19.94 \text{ (kW}\cdot\text{h)/m}^2$ . Compared with the 65% energy efficient building, the cumulative total load index of the target building is reduced by 45.86%. The heating load of the target building is reduced by 64.34% and the cooling load of the target building is reduced by 5.89%. So in the summer the cooling load of the nearly zero energy office building in Shenyang is slightly higher than the heat load in the winter. Each energy-saving technology has a promoting effect on reducing the heat load and the cumulative total load index. The influence of internal heat disturbances and solar heat from external windows on the cold and heat load index should be given attention.

**Key words:** severe cold area; nearly zero energy building; office building; DesignBuilder; load simulation

过去二十年,我国公共建筑面积存量迅速增长,从2001年的约38亿 $\text{m}^2$ 增长到2020年的约140亿 $\text{m}^2$ 。目前,办公建筑是公共建筑的主要类型,2020年占比为34%<sup>[1]</sup>。不同气候区不同类型的公共建筑能耗强度差别很大,故使用我国公共建筑节能设计标准中相对节能率作为近零能耗建筑的约束性指标<sup>[2]</sup>。在建筑全生命周期的设计阶段中,建筑设计参数选取对整个公共建筑的能耗有着重要的影响<sup>[3]</sup>。冯国会等<sup>[4-6]</sup>等对围护结构的节能率和敏感性进行了分析,得出近零能耗建筑设计参数的适应性及其在严寒地区的负荷特性。张时聪等<sup>[7]</sup>使用 TRNSYS 软件对北京市某近零能耗办公建筑负荷特性及其复合式可再生能源系统进行分析优化。史芸桐等<sup>[8]</sup>建立近零能耗居住建筑和办公建筑模型,发现从哈尔滨到北京,供热能耗节能率逐渐增大。高宇波等<sup>[9]</sup>通过采取多项主被动式节能技术研究了适用于山西省的近零能耗办公建筑设计方法。A. Boyanoa 等<sup>[10]</sup>使用 Energyplus 软件模拟得出在欧洲三个主要气候区代表城市中典型办公建筑的能耗结果和节能潜力。Z. Dong 等<sup>[11]</sup>使用 DesignBuilder 软件,分析了在夏热冬冷地区实现净零能耗建筑的影响因素以及减少建筑生命周期碳排放的途径。G. Murano 等<sup>[12]</sup>使用 DesignBuilder 软件对意大利不同气候区及不同建筑类型的近零能耗建筑进行模拟研究,发现通过减少围护结构  $U$  值导致了冷热

需求不平衡的情况,冷负荷上升了5%~6%。S. Guillén-Lambea 等<sup>[13]</sup>发现在当前通风策略下仅有少数温暖气候区域建筑可以达到被动式建筑要求。M. Gao 等<sup>[14]</sup>以乌鲁木齐市某高校教学楼为研究对象,利用 DesignBuilder 软件模拟了不同供热策略在不同通风换气次数下的能耗和碳排放差异。现有研究对于我国严寒地区近零能耗办公建筑负荷特性及节能措施效果关注较少。基于此,笔者采用 DesignBuilder 软件建立严寒C区近零能耗办公建筑模型,对其进行负荷模拟,并对结果进行分析比较,以便从设计阶段开始完善近零能耗办公建筑的性能,达到近零能耗建筑预定的性能目标。

## 1 数值模型

### 1.1 目标建筑概况

以沈阳市某个处于设计阶段的近零能耗办公建筑为研究对象。该建筑地上三层,朝向为北偏西 $30^\circ$ ,模型计算面积约为 $1\,016 \text{ m}^2$ ,体型系数为0.4。建筑窗墙面积比:偏东侧为0.13;偏南侧为0.3;偏西侧为0.25;偏北侧为0.11。屋顶透光部分小于屋顶总面积的20%。建筑主要功能区域分为办公区、会议区、会客室、休息区、前厅、卫生间、楼梯间等。采用以 EnergyPlus 9.4 为计算内核的 DesignBuilder 软件对建筑进行负荷模拟,模型如图1所示。

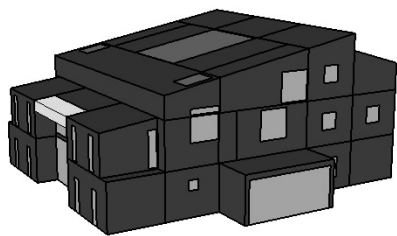


图 1 近零能耗办公建筑模型

Fig. 1 Model of nearly zero energy office building

1.2 模拟参数设置

1.2.1 气象参数

在建筑热工设计分区中,沈阳市属严寒 C 区,供热季为每年 11 月 1 日至次年 3 月 31 日,制冷季为每年 6 月 1 日至 8 月 31 日,其他时间视为过渡季。气象参数使用 EnergyPlus 自带气象参数文件,最冷月为一月,室外平均干球温度为 -11.46℃,最热月为七月,室外平均干球温度为 25.67℃,具体逐时气象参数如图 2 所示。

1.2.2 热工参数

根据已有示范项目及《近零能耗建筑技术标准》(GB51350—2019)、《公共建筑节能

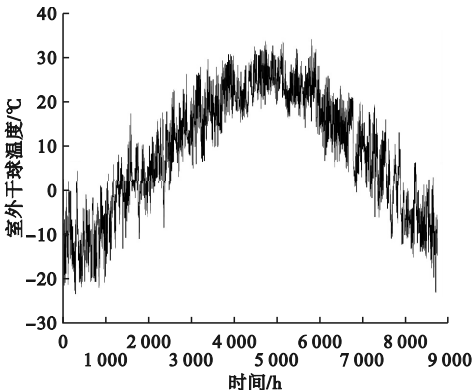


图 2 逐时气象参数

Fig. 2 Hourly weather data

设计标准》(GB 50189—2015)<sup>[17]</sup>分别对参照建筑和目标建筑的相关参数进行设置,建筑围护结构热工参数如表 1 所示。参照建筑的外窗传热系数为 2.4 W/(m<sup>2</sup>·K),太阳得热系数为 0.45。目标建筑外窗传热系数为 1.2 W/(m<sup>2</sup>·K),太阳得热系数冬季为 0.45,夏季为 0.3。参照建筑气密性指数 N<sub>50</sub> 为 3.0,目标建筑气密性指数为 1.0。建筑内部热扰及空调参数设置如表 2 所示。

表 1 建筑围护结构等部位的传热系数

Table 1 The heat-transfer coefficient of building envelope structures W/(m<sup>2</sup>·K)

工 况	屋面	外墙	地面	楼板	隔墙	外门
参照建筑	0.28	0.38	0.3	0.38	1.5	1.0
目标建筑	0.10	0.10	0.20	0.20	1.0	1.0

表 2 建筑内部热扰及空调参数

Table 2 Internal thermal disturbance and air conditioning parameters of the building

区 域	人员密度/ (人·m <sup>-2</sup> )	设备功率密 度/(W·m <sup>-2</sup> )	照明功率密 度/(W·m <sup>-2</sup> )	冬季温度/℃	夏季温度/℃	人均新风 量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )
办公区	0.10	13	9	20	26	30
会议区	0.30	5	9	20	26	30
其他区域	0.05	0	5	18	28	30

空调系统开启时间为工作日 8:00 ~ 18:00,休息日空调系统关闭。办公室、会议室及其他区域的人员在室率和照明、设备使用率如图 3、图 4 所示,冬季值班供热温度设置为 5℃。依照上述设置,经统计分析得出,

人均占地面积为 13.86 m<sup>2</sup>,平均照明功率密度为 6.62 W/m<sup>2</sup>,平均设备功率密度为 5.08 W/m<sup>2</sup>。新风作息与人员作息时间设为一致,新风热回收装置采用全热型,全热交换效率为 70%。

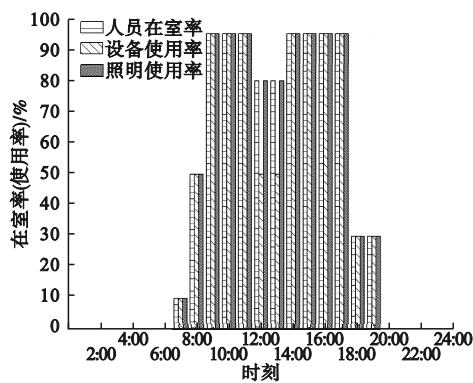


图3 办公区域人员在室率、设备照明使用率  
Fig. 3 Personnel occupancy rate, usage rate of equipment and lighting in office area

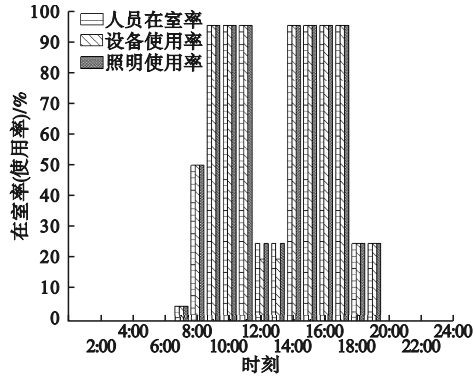


图4 其他区域人员在室率、设备照明使用率  
Fig. 4 Personnel occupancy rate, usage rate of equipment and lighting in unoffice area

2 模拟结果及分析

2.1 负荷模拟结果及分析

经过模拟计算,参照建筑的全年逐时空调负荷如图5所示,全年累计热负荷为45 496 kW·h,全年累计冷负荷为21 045 kW·h。目标建筑全年逐时空调负荷(未包含新风热回收)如图6所示,全年累计热负荷为16 221 kW·h,全年累计冷负荷为19 806 kW·h。目标建筑启用新风热回收后全年逐时空调负荷如图7所示,全年累计热负荷为6 826 kW·h,全年累计冷负荷为19 009 kW·h。参照建筑全年累计热负荷指标为44.76 (kW·h)/m<sup>2</sup>,全年累计冷负荷指标为20.71 (kW·h)/m<sup>2</sup>。目标建筑未启用新风热回收时全年累计热负荷指标为

15.96 (kW·h)/m<sup>2</sup>,全年累计冷负荷指标为19.49 (kW·h)/m<sup>2</sup>;启用新风热回收后全年累计热负荷指标为6.72 (kW·h)/m<sup>2</sup>,全年累计冷负荷指标为18.70 (kW·h)/m<sup>2</sup>。

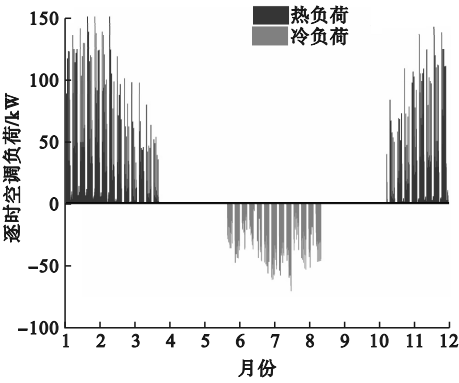


图5 参照建筑逐时空调负荷  
Fig. 5 Hourly air conditioning loads of reference building

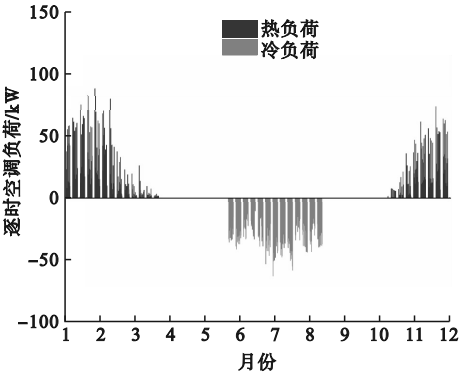


图6 目标建筑逐时空调负荷  
Fig. 6 Hourly air conditioning loads of target building

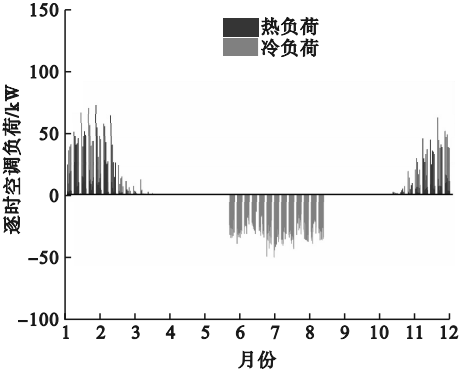


图7 开启新风后目标建筑热回收逐时空调负荷  
Fig. 7 Hourly air conditioning loads after turn on the fresh air heating recovery of target building

对比负荷模拟结果发现,参照建筑全年累计热负荷远大于累计冷负荷,目标建筑全年累计热负荷有明显下降,在启用新风热回收装置后下降幅度尤为明显。由于近零能耗建筑气密性较高,且无额外机械通风及自然通风设置,在此条件下,目标建筑全年累计冷负荷大于热负荷。气象参数统计分析结果显示,沈阳地区夏季室外干球温度超过 28℃的时间占全部制冷季时间的比例仅为 15%,故启用新风热回收装置后对冷负荷的降低收效甚微。

2.2 各项节能措施的优化贡献率

节能措施优化主要包括围护结构、外窗保温性能提高,气密性提高以及新风热回收。以参照建筑负荷模拟结果为基准,对各项节能技术措施进行分步优化模拟分析,全年累计冷热负荷结果如图 8 所示,全年建筑面积冷热负荷指标如表 3 所示。与参照建筑相比,目标建筑分步优化节能措施后冷热负荷节能贡献率如表 4 所示。

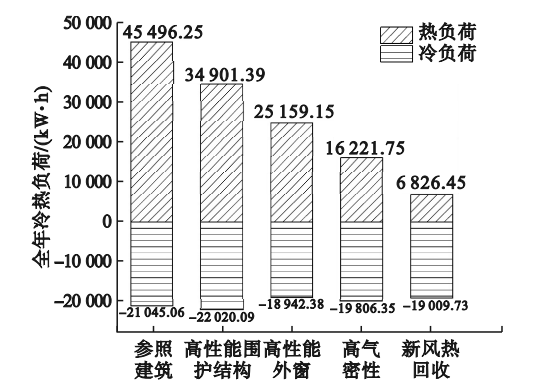


图 8 分步优化节能措施后全年冷热负荷模拟结果  
Fig. 8 The simulation results of annual cooling and heating load after the step-by-step optimization of energy-saving measures

2.3 目标建筑供热季建筑得失热占比

根据模拟结果,对目标建筑在供热季的内部热扰与外窗太阳得热的逐月得热情况进行统计,结果如表 5 所示。其中外窗太阳得热占比最大为 50%,人员、照明、设备得热分别占比 17%、19%、14%。

表 3 分步优化后全年建筑冷热负荷指标节能效果

Table 3 Energy saving effect of annual building cooling and heating load indicators after the step-by-step optimization (kW·h)/m<sup>2</sup>

工 况	热负荷指标	冷负荷指标	总负荷指标
初始工况	44.76	20.71	65.47
高性能围护结构	34.34	21.67	56.01
高性能外窗	24.75	18.64	43.39
高气密性	15.96	19.49	35.45
新风热回收	6.72	18.70	25.42

表 4 分步优化节能措施负荷节能累计贡献率  
Table 4 Cumulative contribution rate of load energy-saving after step by step optimization of energy-saving measures %

工 况	热负荷节能率	冷负荷节能率	总负荷节能率
高性能围护结构	23.29	-4.63	14.46
高性能外窗	44.70	9.99	33.72
高气密性	64.34	5.89	45.86
新风热回收	85.00	9.67	61.17

表 5 供热季逐月得热情况  
Table 5 Monthly heat gain during the heating season kW·h

月份	人员得热	照明得热	设备得热	外窗得热
1	1 275	1 402	1 046	2 888
2	1 072	1 219	910	3 786
3	1 054	1 341	1 001	4 696
11	1 122	1 341	1 001	2 993
12	1 165	1 280	955	2 634

统计目标建筑在供热季通过外窗、外墙、屋顶、渗透、新风引起的逐月失热情况,结果如表 6 所示。其中新风失热,占比最大为 37%,其次为外窗失热,占比为 32%,渗透与外墙失热占比分别为 14%、10%,屋顶失热占比为 7%。



表 6 供热季围护结构及通风失热情况

Table 6 Heat loss from envelope structures and ventilation in heating season					kW·h
月份	外窗失热	外墙失热	屋顶失热	渗透失热	新风失热
1	3 973	1 197	804	1 770	4 842
2	2 983	1 017	632	1 386	3 564
3	2 620	879	549	1 185	2 719
11	2 672	597	546	1 142	2 977
12	3 509	1 016	726	1 518	3 894

由以上统计情况可以看出,虽然外窗在所有围护结构中失热占比最大,但通过外窗获得的太阳得热在建筑得热占比中也是最大。由于目标建筑为办公建筑,供热季新风引起的热负荷较大,故在启用新风热回收装置后会有明显下降。外墙、屋顶等围护结构优化程度接近极限,而由于气密性带来的渗透通风所引起的失热仍有优化空间。

2.4 目标建筑制冷季建筑得失热占比分析

对目标建筑在制冷季内部热扰及外窗太阳得热的逐月得热情况进行统计,结果如表 7 所示。其中外窗太阳得热占比最大为 45%,人员、照明、设备得热占比分别为 14%、23%、18%。与供热季不同,制冷季围护结构与通风逐月得失热情况并不一致。对目标建筑在制冷季通过外窗、外墙、屋顶、渗透、新风的逐月得失热情况进行统计,结果如表 8 所示。近零能耗建筑在制冷季通过围护结构及外窗的累计得热较少,部分围护结构在非最热月均为失热。除在最热月通过新风得热外,渗透通风与新风通风均为失热。

表 7 制冷季逐月得热情况

Table 7 Monthly heat gain by the heat components during the cooling season					kW·h
月份	人员得热	照明得热	设备得热	外窗得热	
6	754	1 280	955	2 576	
7	812	1 341	1 001	2 479	
8	852	1 402	1 046	2 617	

表 8 制冷季围护结构及通风得失热情况

Table 8 Heat gain from envelope structures and ventilation in coding season					kW·h
月份	外窗失热	外墙失热	屋顶失热	渗透失热	新风失热
6	64	-5	-72	-359	-424
7	685	-15	13	-130	145
8	438	-56	-20	-250	-164

由统计结果可知,在制冷季,近零能耗办公建筑的内部热扰得热和外窗太阳得热为冷负荷主要来源。严寒地区制冷季气候特点导致了渗透通风及非最热月的机械通风在逐月累计的情况下起冷却作用。因此,通过白天自然通风和夜间机械通风来降低严寒地区近零能耗办公建筑制冷季的冷负荷具有一定潜力可挖。

3 结 论

(1)目标建筑累计冷负荷略大于累计热负荷,在开启新风热回收措施后,累计冷热负荷差距进一步扩大;目标建筑相对于参照建筑累计热负荷指标降低 64.34%,累计冷负荷指标下降 5.89%;启用新风热回收后累计热负荷指标降低 85.00%,累计冷负荷指标下降 9.67%,累计冷热负荷指标差值进一步增大。

(2)分步采取提高围护结构性能、提高外窗性能、提高气密性、新风热回收在内的节能措施后,累计热负荷指标节能贡献率分别为 23.29%、44.70%、64.34%、85.00%;总负荷累计节能率分别为 14.46%、33.72%、45.86%、61.17%;优化围护结构性能和气密性后近零能耗办公建筑累计冷负荷指标分别增加 4.63%、4.56%;提高外窗保温性能后累计冷负荷指标降低 13.98%;新风热回收措施对降低累计冷负荷指标作用较小,累计冷负荷指标降低 4.02%。

(3)供热季近零能耗建筑内部得热以及外窗太阳得热作用应予以重视,由于建筑气密性导致的渗透通风虽然占比较少,但仍有优化空间,制冷季近零能耗建筑内部热扰得

热及外窗太阳得热为冷负荷主要来源。

## 参考文献

- [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 2022: 公共建筑专题 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2022.  
(Building Energy Efficiency Research Center of Tsinghua University. Annual development report of building energy efficiency in China 2022: public building project [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2022.)
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 近零能耗建筑技术标准: GB/T 51350—2019 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.  
(Ministry of Housing and Urban-rural Development of the People's Republic of China. Technical standard for nearly zero energy buildings: GB/T 51350—2019 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2019.)
- [3] 何立华, 宫俊逸, 谢耀征. 设计阶段基于参数化建模的公共建筑能耗优化[J]. 工程管理学报, 2019, 33(6): 48—53.  
(HE Lihua, GONG Junyi, XIE Yaozheng. Energy consumption optimization of public buildings based on parametric modeling in design stage [J]. Journal of engineering management, 2019, 33(6): 48—53.)
- [4] 冯国会, 徐小龙, 王悦, 等. 以能耗为导向的近零能耗建筑围护结构设计参数敏感性分析[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2018, 34(6): 1069—1077.  
(FENG Guohui, XU Xiaolong, WANG Yue, et al. Sensitivity analysis of nearly zero energy buildings envelope design parameters based on energy consumption [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2018, 34(6): 1069—1077.)
- [5] 冯国会, 李奇岩, 李环宇, 等. 近零能耗建筑设计参数适应性与负荷分析[J]. 节能, 2021, 40(8): 1—6.  
(FENG Guohui, LI Qiyang, LI Huanyu, et al. Adaptability analysis and load analysis of nearly zero energy buildings design parameters [J]. Energy conservation, 2021, 40(8): 1—6.)
- [6] 冯国会, 崔航, 黄凯良, 等. 严寒地区超低能耗建筑负荷特性研究[J]. 沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2021, 37(4): 724—729.  
(FENG Guohui, CUI Hang, HUANG Kailiang, et al. Load characteristics of ultra low energy consumption building in severe cold area [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2021, 37(4): 724—729.)
- [7] 张时聪, 孙德康, 吕燕捷, 等. 寒冷地区近零能耗办公建筑负荷特性与能源系统运行优化研究(2019—2021) [J]. 建设科技, 2021(21): 34—38.  
(ZHANG Shicong, SUN Dekang, Lü Yanjie, et al. Study on load characteristics and energy system operation optimization of nearly zero energy office building in the cold regions (2019—2021) [J]. Construction science and technology, 2021(21): 34—38.)
- [8] 史芸桐, 李慧, 吕欢, 等. 寒区近零能耗住宅和办公建筑热负荷特性分析[J]. 建筑科学, 2022, 38(4): 169—174.  
(SHI Yuntong, LI Hui, Lü Huan, et al. Analysis of heat load characteristics of nearly zero energy buildings in cold regions [J]. Building science, 2022, 38(4): 169—174.)
- [9] 高宇波, 田志峰. 山西省近零能耗办公建筑设计研究: 以太原市某办公楼为例[J]. 建设科技, 2022(16): 40—45.  
(GAO Yubo, TIAN Zhifeng. Research on the design of near zero energy consumption office buildings in Shanxi province: taking an office building in Taiyuan as an example [J]. Construction science and technology, 2022(16): 40—45.)
- [10] BOYANO A, HERNANDEZ P, WOLF O. Energy demands and potential savings in European office buildings: Case studies based on EnergyPlus simulations [J]. Energy and buildings, 2013, 65: 19—28.
- [11] DONG Z, ZHAO K, LIU Y, et al. Performance investigation of a net-zero energy building in hot summer and cold winter zone [J]. Journal of building engineering, 2021, 43: 103192.
- [12] MURANO G, BALLARINI I, DIRUTIGLIANO D, et al. The significant imbalance of nZEB energy need for heating and cooling in Italian climatic zones [J]. Energy procedia, 2017, 126: 258—265.
- [13] GUILLÉN-LAMBEA S, RODRÍGUEZ-SORIA B, MARÍN J M. Review of European ventilation strategies to meet the cooling and heating demands of nearly zero energy buildings (nZEB)/Passivhaus. Comparison with the USA [J]. Renewable & sustainable energy reviews, 2016, 62: 561—574.
- [14] GAO M, ZHANG L, ZHANG H, et al. Research on the influence of different heating strategies on energy consumption and carbon emission of a teaching building in Urumqi [J]. Energy reports, 2022, 8: 318—326.
- [15] 刘鑫, 张鸿雁. Energy Plus 用户图形界面软件 DesignBuilder 及其应用[J]. 西安航空技术高等专科学校学报, 2007, 25(5): 34—37.  
(LIU Xin, ZHANG Hongyan. Graphic interface designing software DesignBuilder of Ener Plus and its application [J]. Journal of Xi'an aerotechnical college, 2007, 25(5): 34—37.)
- [16] 房涛. 天津地区零能耗住宅设计研究[D]. 天津: 天津大学, 2012.  
(FANG Tao. Research on design of zero-energy residential building for Tianjin area [D]. Tianjin: Tianjin University, 2012.)
- [17] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 公共建筑节能设计标准: GB 50189—2015 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.  
(Ministry of Housing and Urban-rural Development of the People's Republic of China. Design standard for energy efficiency of public buildings: GB/T 50189—2015 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2015.)
- (责任编辑: 王国业 英文审校: 唐玉兰)