

夏热冬冷地区近零能耗办公建筑能耗特征 及降耗路径分析

郑晓云¹,冯毅¹,陈超俊¹,郑坚¹,项幼幼¹,张天翔²,张彬彬³

(1. 国网浙江省电力有限公司温州供电公司,浙江温州 325000;2. 温州市城市规划设计研究院有限公司,浙江温州 325000;3. 中国建筑技术集团有限公司,北京 100013)

Analysis of energy consumption characteristics and consumption reduction paths of near-zero energy office buildings in areas with hot summer and cold winter

ZHENG Xiaoyun¹, FENG Yi¹, CHEN Chaojun¹, ZHENG Jian¹, XIANG Youyou¹,

ZHANG Tianxiang², ZHANG Binbin³

(1. Wenzhou Electric Power Supply Company, State Grid Zhejiang Electric Power Co., Ltd., Wenzhou 325000, China;2. Wenzhou Urban Planning and Design Institute Co., Ltd., Wenzhou 325000, China;3. China Building Technology Group Co., Ltd., Beijing 100013, China)

摘要:为探究夏热冬冷地区近零能耗公共建筑能耗特征及降耗技术路线,选取温州某近零能耗办公建筑为研究对象,利用eQUEST建筑能耗模拟软件并根据GB/T 51350—2019等相关规定,首先对项目基准建筑与设计建筑全年能耗进行仿真模拟,分析其能耗构成和能耗特点,然后对冬夏季能耗占比最大的外窗负荷进行研究;其次探讨了建筑全年用电构成及降耗技术路径;最后计算了建筑碳排放水平、本体节能率、综合节能率及可再生能源利用率。通过以上途径,实现了项目近零能耗建筑的设计目标,判断了建筑碳排放水平。研究结果为建筑节能专业人员合理选择技术路线,进行近零能耗公共建筑的设计提供参考建议。

关键词:近零能耗;办公建筑;能耗特征;节能降耗;碳排放

Abstract: In order to explore the energy consumption characteristics and consumption technical routes in the nearly zero-energy consumption public building in the summer cold area, model selects a nearly zero-energy-consuming office building in Wenzhou as the research object, uses eQUEST building energy consumption simulation software and relevant provisions in the national standard GB/T51350. First of all, it stipulates that the energy consumption simulation of the project and design building of the project yearly, analyzes its energy consumption composition and energy consumption characteristics. Then it studies the largest outer window load, electricity composition and consumption technology path in winter and summer. Finally, it calculates the level of carbon emissions, the energy saving rate of the body, the comprehensive energy saving rate and the utilization of renewable energy, through the above channels, and achieves the design goals of the nearly zero energy consumption building of the project, also judges the carbon emission level of the building. The results of the research energy-saving professionals selects the technical route reasonably, and provides reference suggestions for the design of nearly zero energy consumption public buildings.

Key words: near zero energy consumption; public buildings; energy consumption characteristics; energy conservation and consumption reduction; carbon emission

0 引言

建筑领域为我国主要碳排放来源之一,建筑领域推行高标准的节能技术,是实现碳中和目标的重要手段。在实现碳达峰、碳中和目标时,通过做好建筑节能,降低采暖、空调、照明等终端用能需求将成

建筑运行期间节能降碳的最好策略。根据国际能源署和联合国环境规划署发布的《2019年全球建筑和建筑业状况报告》,2017年至2018年全球建筑行业碳排放量增长2%,达到历史最高水平。有研究表明,建筑业能源和过程相关二氧化碳排放占全球的近40%^[1]。超低/近零能耗建筑通过被动式设计最大程度降低供暖、空调、照明需求,通过主动技术措施最大程度提高能源设备与系统效率,充分利用可再生能源,以最少的能源消耗提供舒适室内环境,满足能

收稿日期:2023-03-04;修回日期:2023-05-01

基金项目:浙江省电力实业总公司科技项目(CF058804062022001)

效指标^[2]。文献[3]以浙江青山湖科技城为案例,提出建筑节能及低碳化的3个思考:一是降低建筑能源需求;二是充分利用再生资源;三是科学管理建筑能源。文献[4]通过对国家及地方被动式超低能耗建筑项目研究,提出通过因地制宜地采用高性能保温隔热非透明围护结构,高保温气密性外窗,无热桥、高气密性、高效热回收新风系统,充分利用可再生资源等技术手段,可以大幅降低建筑能耗。

综上,本文以温州市某近零能耗办公建筑为例,研究近零能耗建筑能耗特征、外窗传热及辐射负荷变化特性,不同节能措施对建筑降耗的贡献率以及设计建筑的碳排放水平等,为夏热冬冷地区近零能耗办公建筑的性能化设计提供参考和支持。

1 研究对象

1.1 项目概况

项目位于浙江省温州市,建筑朝向北偏东 54° ,建筑占地面积 645 m^2 ,总建筑面积 $1\ 800\text{ m}^2$,建筑地上3层,无地下室,建筑高度 13.6 m ,主要功能为营业厅及办公场所。

1.2 设计建筑围护结构参数

屋面构造做法(由上至下)为:50厚C30 UEA补偿收缩细石混凝土+10厚1:4石灰砂浆找平层+3.5厚SBS卷材防水层+1.5厚聚合物水泥防水涂料+20厚1:3水泥砂浆找平层保温材料+150厚挤塑聚苯板+120厚钢筋混凝土+结构找坡3%;屋面传热系数为 $0.23\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。

外墙构造做法(由内至外)为:无机涂料+刮腻子+5厚抗裂砂浆耐碱玻璃纤维网布+240厚A5B07蒸压加气混凝土砌块+20厚1:2.5防水水泥砂浆找平层+满涂防水渗透液+专业粘接砂浆+150厚岩棉板(辅以M8尼龙锚栓固定)+抗裂砂浆复合耐碱玻纤网格布+墙面设钢龙骨及连接件+铝板/光伏板;外墙传热系数为 $0.28\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。

外窗:三玻两腔低辐射中空玻璃,内置遮阳百叶,外窗传热系数为 $1.5\text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ 。建筑各朝向窗墙比为:东向窗墙比为0.37;西向窗墙比为0.2;北向窗墙比为0.3。

1.3 设计建筑能耗计算其他参数

建筑能耗模拟计算其他相关参数为:

(1) 室内设计参数:夏季为 $26\text{ }^\circ\text{C}$,相对湿度 $\leq 60\%$;冬季为 $20\text{ }^\circ\text{C}$,相对湿度 $\geq 30\%$ 。

(2) 新风量设计参数:营业厅新风量为 $20\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{p})$;生产用房为 $30\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{p})$;餐厅为 $25\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{p})$;新风热回收效率为70%。

(3) 空调系统为风冷热泵水系统,末端一层三层为风机盘管+新风系统,二层为毛细管辐射+新风系统。热泵供冷额定工况能效比为3.7;热泵供热额定工况能效比为3.4;生活热水系统为太阳能集热器+风冷热泵水系统,热泵供生活热水额定工况能效比为3.3。

(4) 建筑生产用房及餐厅等房间照明功率密度为 $7.3\text{ W}/\text{m}^2$;生产用房设备功率密度为 $13\text{ W}/\text{m}^2$;营业厅人员密度为 $5\text{ m}^2/\text{人}$;生产用房人员密度为 $10\text{ m}^2/\text{人}$;餐厅人员密度为 $2\text{ m}^2/\text{人}$ 。

(5) 建筑供冷季为5月至10月共6个月,建筑供暖季为12月至次年2月共3个月。

(6) 建筑日运行时间、室内热扰及在室率变化等参数按照《近零能耗建筑技术标准附录A》执行。

设计建筑可再生能源相关计算参数为:

(1) 建筑屋顶布设 233 m^2 晶硅光伏,建筑立面布设 125 m^2 幕墙光伏。

(2) 第三层走廊布设8套导光管系统。

(3) 第二层屋顶设置太阳能平板集热器,面积 11.2 m^2 。

基准建筑按照《GB/T 51350—2019 近零能耗建筑技术标准附录A》和《GB 50189—2015 公共建筑节能设计标准》相关要求计算,建筑模型如图1所示。

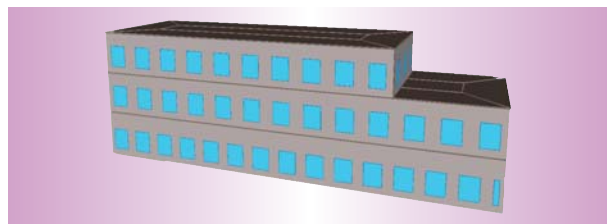


图1 eQUEST建筑模型

Fig. 1 eQUEST building model

2 建筑全年能耗计算及分析

2.1 建筑逐月能耗

如图2、图3所示,对于夏热冬冷地区,集中式空

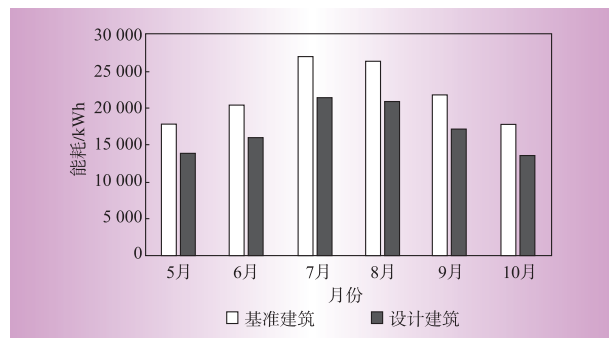


图2 供冷季逐月建筑能耗

Fig. 2 Monthly building energy consumption during the cooling season

调负荷以冷负荷为主,最大冷负荷大于最大热负荷^[5]。通过对项目全年逐时负荷计算,供冷季能耗最大值出现在7月,供暖季能耗最大值出现在1月。供冷季基准建筑单位建筑面积能耗 73.0 kWh/(m²·a),供暖季基准建筑单位建筑面积能耗 15.3 kWh/(m²·a),供冷季设计建筑单位建筑面积能耗 57.0 kWh/(m²·a),供暖季设计建筑单位建筑面积能耗 14.0 kWh/(m²·a)。

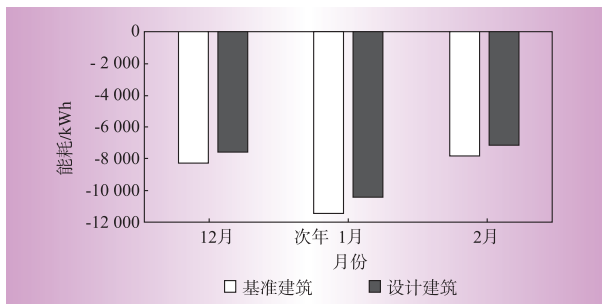


图3 供暖季逐月建筑能耗

Fig. 3 Monthly building energy consumption during heating season

2.2 建筑能耗构成及特点

供冷、供暖季建筑能耗分别如图4、图5所示。

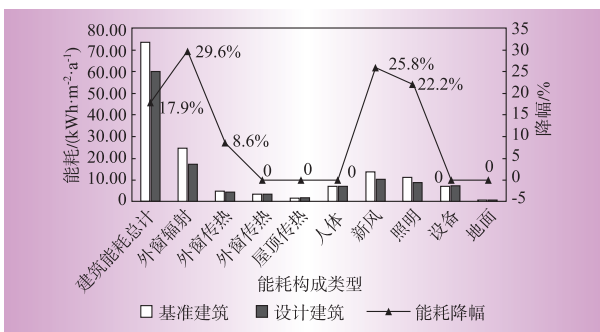


图4 供冷季建筑能耗构成及降耗量

Fig. 4 Composition and reduction of building energy consumption during the cooling season

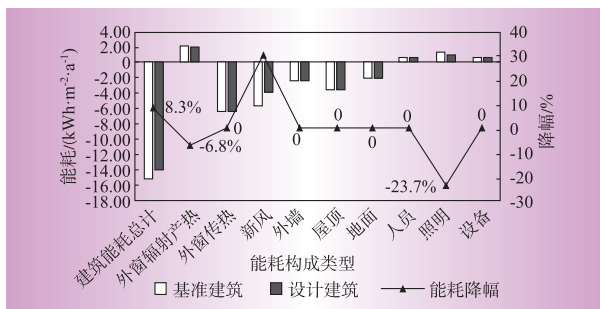


图5 供暖季建筑能耗构成及降耗量

Fig. 5 Energy consumption composition and reduction of buildings during the heating season

可以看出,供冷季基准建筑和设计建筑能耗占比最大的前3项是外窗、新风及照明能耗,分别占基准建筑总能耗的比值为39%、19%、15%,设计建筑总能耗的比值为35%、17%、14%。供暖季基准建筑

和设计建筑能耗占比最大的前3项是新风、外窗、屋顶,分别占基准建筑总能耗的比值为32%、23%、20%,设计建筑总能耗的比值为26%、24%、22%。供冷季当设计建筑采用中空玻璃内置遮阳百叶形式后,相对于基准建筑无遮阳外窗,其辐射得热量降幅为29.6%,传热损失量能耗降幅为8.6%。新风系统采用70%热回收效率的高效设备后,相对于基准建筑60%热回收效率的设备,其能耗降幅为25.8%。照明系统采用光导管和功率密度更低的节能照明灯具后,设计建筑其能耗降幅为22.2%。由于供暖季基准建筑外窗无遮阳措施,辐射得热量对于基准建筑供暖而言为有利因素,因此设计建筑外窗辐射得热能耗降幅为-6.8%。高功率的照明灯具散热量大,对于基准建筑供暖而言亦为有利因素,因此,设计建筑照明系统能耗降幅为-23.7%。冬季设计建筑相对于基准建筑供暖降低主要途径是高效新风热回收设备的应用,其能耗降幅为30.7%。

2.3 设计建筑外窗能耗变化规律

本项目外窗能耗夏季占比超过35%,冬季占比超过23%。由图6可知,设计建筑夏季即使考虑中置遮阳措施,在外窗能耗中辐射能耗依然远大于传热能耗。供冷季初末期室外气温较低,5月和10月外窗辐射能耗是外窗传热能耗的9.2倍和7.9倍。随着供冷季中期室外气温上升,两者差距逐渐缩小,在7月外窗辐射能耗与外窗传热能耗的比值降为2.9。供暖季外窗辐射得热对提升房间温度是有利因素,但房间外窗传热损失量远大于外窗辐射得热量,由图7可知,外窗辐射得热量仅为外窗传热损失量的30%左右,因此从能量平衡角度看,为保证冬季房间室温稳定,还需要其他形式热源提供热量。

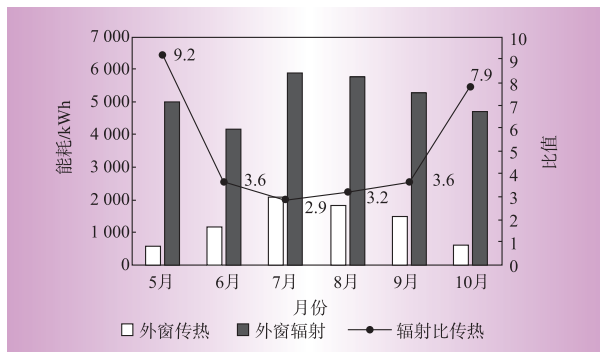


图6 供冷季外窗逐月能耗规律

Fig. 6 Monthly energy consumption pattern of outdoor windows during the cooling season

3 建筑电耗特征及降耗路线

3.1 建筑全年用电构成

在建筑全年用电构成中,如图8所示,基准建筑与

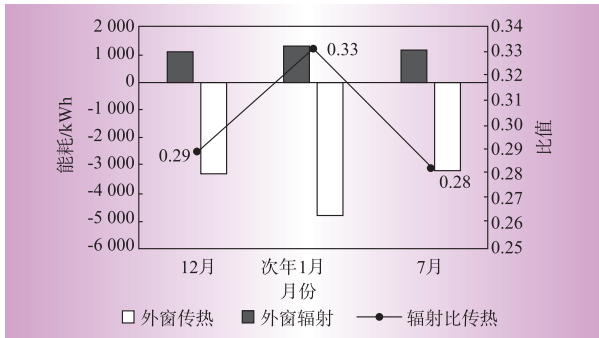


图7 供暖季外窗逐月能耗规律

Fig. 7 Monthly energy consumption pattern of outdoor windows during the heating season

设计建筑全年电耗规律一致。由于本项目办公建筑为供电所建筑,营业厅等相关功能房间照明时间较长,因此基准建筑和设计建筑用电构成中照明电耗占比最大。其中基准建筑照明电耗 $27.0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,占全年用电总量的40%,设计建筑照明电耗 $21.0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,占全年用电总量的43%。其次是供冷系统电耗,其中基准建筑供冷季冷源耗电量为 $21.5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,占全年用电总量的32%,设计建筑供冷季冷源耗电量为 $12.6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,占全年用电总量的26%。相对于基准建筑,设计建筑采用节能灯具和采光管照明系统后,照明电耗降幅为 $6.0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,采用高效能供冷设备后冷源电耗降幅为 $8.8 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。基准建筑年总耗电量为 $67.7 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,设计建筑扣除光伏产电量后,年实际总耗电量仅为 $19.38 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。

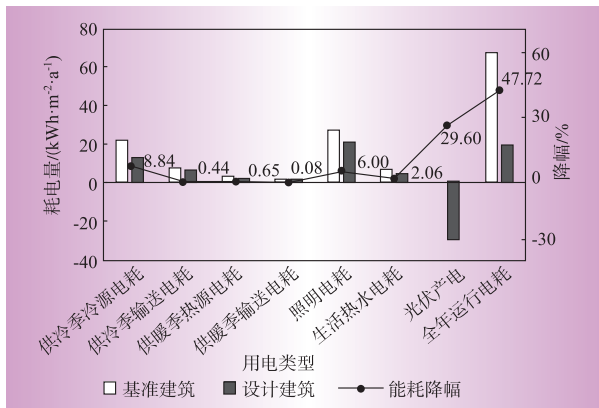


图8 全年用电构成

Fig. 8 Annual electricity consumption composition

3.2 建筑节能技术路径

相对于基准建筑能耗和目标能耗,其能耗降低的路线。《GB/T 51350—2019 近零能耗建筑技术标准》规定电力能源换算系数为 $2.6 \text{ kWh}_{(能)}/\text{kWh}_{(电)}$ 。以下节能路径中的电能均按此系数转换。标准中对基准建筑的定义为与设计建筑形状、大小,内部划分,房间功能和围护结构做法一致,因此设计建筑围护结构节能措施主要是建筑窗墙比和外窗遮

阳的优化,按照标准规定,建筑面积小于 1 万 m^2 的办公建筑其基准建筑的各朝向窗墙比为31%,基准建筑外窗构造做法与设计建筑相同但不设置活动遮阳措施,因此设计建筑其窗墙比按照上文1.2节进行优化,外窗采用三玻两腔中置遮阳措施后,设计建筑通过外窗系统节能,年单平米能耗降低 7.49 kWh ,能耗降低比例占比4.3%。

图9为设计建筑采用不同途径节能技术。

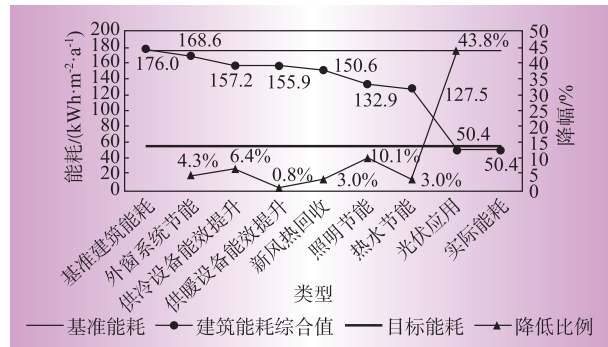


图9 办公建筑近零能耗综合值节能路径

Fig. 9 Energy saving path of office buildings with near zero energy consumption comprehensive value

设计建筑供冷及供热系统采用高效冷热源及输送设备,其中冷热源选用空气源热泵机组,其额定工况制冷能效比为3.7,额定工况制热能效比为3.4,循环水泵效率为71%,相对于标准中能效比限值,设计建筑供冷供暖设备通过能效提升,年单平米能耗分别降低 11.32 kWh 和 1.35 kWh ,能耗降低比例占为6.4%和0.8%;新风系统采用转轮热回收机组,设备全热回收效率由GB 50189—2015中的60%提升为GB/T 51350—2019中的70%,设计建筑年单平米能耗降低 5.26 kWh ,能耗降低比例3%;照明系统采用节能灯具和光导管照明系统后,减少了照明功率密度值和照明设备开启的时间,设计建筑年单平米能耗降低 17.77 kWh ,能耗降低占比为10.1%;生活热水系统采用太阳能+风冷热泵热水系统后,增加可再生能源的应用,相对于基准建筑燃气锅炉供生活热水系统,年单平米能耗降低 5.36 kWh ,能耗降低占比为3.0%;设计建筑采用屋顶光伏及薄膜立面光伏后,年产电量 $27.66 \text{ kWh}/\text{m}^2$,设计建筑年单平米减少用能 71.92 kWh ,能耗降低占比为40.8%。

由此可见,太阳能光伏系统的应用在本项目近零能耗实施路径中节能贡献量最大,其次是供冷系统和照明系统的节能措施。经过一系列相关节能技术的运用,设计建筑的最终能耗水平为 $50.4 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,相对于基准建筑,能耗降幅占比71.4%,低于GB/T 51350—2019标准中小型办公建筑目标能耗 $55 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 的要求。

4 技术指标分析

4.1 能源消耗及碳排放

根据《GB/T 51366—2019建筑碳排放计算标准》中的运行能耗计算方法,按照浙江省公布的1 kWh的电量相当于标煤0.283 kgce,CO₂排放0.524 6 kg计算,本项目基准建筑年一次能源消耗量为19.0 kgce/(m²·a),设计建筑年一次能源消耗量为5.5 kgce/(m²·a),基准建筑年CO₂排放量为35.2 kgCO₂/(m²·a),设计建筑年CO₂排放量为9.1 kgCO₂/(m²·a),设计建筑年CO₂排放量降幅为25.1 kgCO₂/(m²·a),其中可再生能源系统减碳量为16.6 kgCO₂/(m²·a),如图10所示。

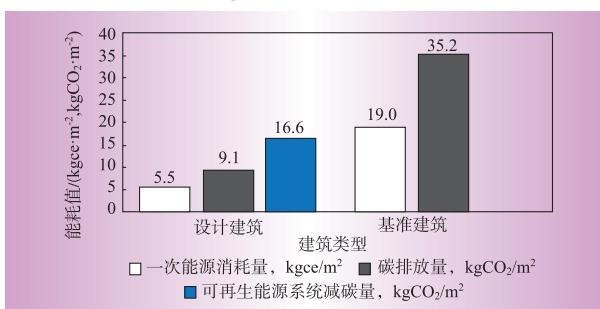


图10 单位建筑面积一次能源消耗及碳排放计算

Fig. 10 Calculation of Primary energy consumption and carbon emissions per unit building area

4.2 建筑节能率及可再生能源利用率

对标《GB/T 51350—2019近零能耗建筑技术标准》中建筑本体节能率,建筑综合节能率及可再生能源利用率的计算方法及相关要求,本项目建筑本体节能率为27%,建筑综合节能率为71%,可再生能源利用率为101%,分别满足标准中对其不低于20%,60%和10%的相关规定,如图11所示。

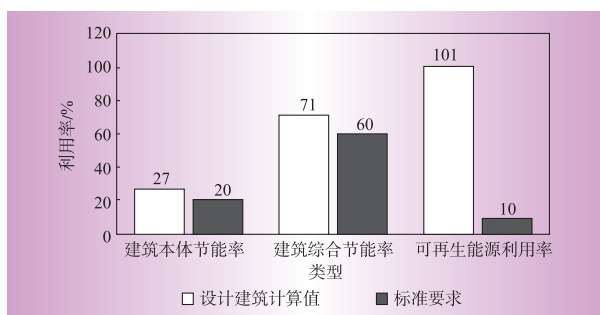


图11 节能率与可再生能源利用率对比

Fig. 11 Comparison of energy efficiency and renewable energy utilization

5 结束语

(1) 通过eQUEST建筑能耗模拟软件,对本项目基准建筑和设计建筑能耗构成和能耗特点进行

计算分析,得出供冷季能耗占比最大的前3项分别是外窗、新风及照明能耗,供暖季能耗占比最大的前3项分别是新风、外窗及屋顶能耗。

(2) 基准建筑和设计建筑全年用电量占比最大项为照明系统能耗,其次是供冷系统能耗。基准建筑年耗电量为67.10 kWh/m²,设计建筑通过维护结构优化、设备能效提升和可再生能源应用等途径后,实际年耗电量降低为19.38 kWh/m²。

(3) 通过对设计建筑不同节能措施降耗量计算,得出本项目节能降耗量由大到小顺序为太阳能光伏系统>照明系统节能>冷源设备能效提升>外窗系统节能>生活热水系统节能>新风热回收>供暖设备能效提升。

(4) 项目设计建筑本体节能率为27%,综合节能率为71%,可再生能源利用率为101%,满足GB/T 51350—2019标准相关要求。基准建筑年CO₂排放量为35.2 kgCO₂/(m²·a),设计建筑年CO₂排放量为9.1 kgCO₂/(m²·a),相对于基准建筑,设计建筑年CO₂排放量降幅为26.1 kgCO₂/(m²·a),其中可再生能源系统年减碳贡献量为16.6 kgCO₂/(m²·a)。

参考文献:

- [1] 时元元,强万明,付素娟,等.既有居住建筑超低能耗节能改造全生命周期碳排放研究[J].建筑技术,2021,52(4):417-420.
SHI Yuanyuan, QIANG Wanming, FU Sujuan, et al. Research on carbon emissions throughout the entire lifecycle of ultra-low energy and energy-saving renovation of existing residential buildings [J]. Building Technology, 2021, 52(4):417-420.
- [2] 吴剑林,李怀,于震,等.某近零能耗办公楼暖通空调系统优化运行分析[J].建筑科学,2020,36(6):35-41.
WU Jianlin, LI Huai, YU Zhen, et al. Optimization operation analysis of HVAC system in a near zero energy consumption office building [J]. Architecture Science, 2020, 36(6):35-41.
- [3] 叶水泉.建筑能源低碳化的思考与实践[J].电力需求侧管理,2015,17(2):5-8.
YE Shuiquan. Thinking and practice on low carbonization of building energy [J]. Power Demand Side Management, 2015, 17(2):5-8.
- [4] 于震,刘伟.中国被动式超低能耗建筑发展现状及展望[J].电力需求侧管理,2018,20(5):1-4.
YU Zhen, LIU Wei. The development status and prospects of passive ultra low energy buildings in China [J]. Power Demand Side Management, 2018, 20(5):1-4.
- [5] 刘畅.外窗热工性能对住宅采暖及制冷能耗的影响分析——以苏州金茂府某住宅为例[J].门窗,2019(23):7-8.
LIU Chang. Analysis of the impact of thermal performance of external windows on residential heating and cooling energy consumption-taking a residential building in Jinmao prefecture, Suzhou as an example [J]. Doors and windows, 2019(23):7-8.

作者简介:

郑晓云(1973),男,浙江衢州人,硕士研究生,研究方向为电力与可再生能源。

(责任编辑 张文翰)