

三星绿色办公建筑运行实效分析

王毅晖¹, 蔡健敏¹, 周燕^{1*}, 张求洪¹, 余志锋²

(1. 宁波大学 土木与环境工程学院, 浙江 宁波 315211; 2. 宁波大学建筑设计研究院有限公司, 浙江 宁波 315211)

摘要: 为了全面了解和评价宁波首个获得绿色三星级运行标识建筑的实际运行性能, 本文介绍了该绿色办公建筑的关键节能技术点, 通过对全年典型房间室内环境参数的测试, 结合用户满意度问卷调查和能耗监测系统运行数据, 分析了该建筑室内环境质量、建筑能耗和地源热泵多联机系统的运行情况。研究结果为进一步提升夏热冬冷地区绿色办公建筑设计和运行阶段的性能提供参考依据。

关键词: 绿色办公建筑; 地源热泵多联机; 室内环境质量; 能耗; 运行性能

中图分类号: TU-023

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132 (2021) 05-0095-08

近十多年来, 在国家节能减排的大背景下, 获得绿色建筑标识认证的建筑物数量迅速增长, 文献[1-5]对国内不同气候区内获得设计标识的典型绿色办公建筑实际运行效果进行了分析。与迅速增长的设计标识绿色建筑数量相比, 获得运行标识的数量很少, 并且建筑的实际运行效果和设计目标往往存在偏差^[6-7]。本文通过对宁波地区首个获得三星级运行标识的绿色办公建筑运行性能进行实测, 从室内环境质量、用户满意度以及建筑能耗方面对该建筑的运行性能进行全面研究, 在此基础上, 分析影响运行能耗和室内环境质量的原因, 为夏热冬冷地区绿色建筑设计和运行阶段进一步提升性能提供参考依据。

1 研究对象

宁波大学科技服务大楼是 2019 年获得三星级绿色建筑运行认证标识的建筑, 是目前为止宁波地区唯一获得绿色建筑三星级运行标识的建筑。该建筑由地上 9 层和地下 1 层组成, 建筑平面形状呈回字形, 总建筑面积约为 12 461.60 m², 其中地上建筑面积 10 634.09 m², 地下建筑面积 1 827.51 m², 总高度约为 39.5 m, 体形系数为 0.27, 朝向为

南, 如图 1 所示, 其主要功能为大学对社会提供科技服务。



(a) 平面布置及测试区域



(b) 实景

图 1 案例建筑

收稿日期: 2021-03-10.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journal.g.nbu.edu.cn/>

基金项目: 浙江省自然科学基金(LY20E080009); 宁波市自然科学基金(2019A610400); 宁波市公益性计划项目(202002N3120); 宁波市住房和城乡规划建设局科技项目。

第一作者: 王毅晖(1996-), 男, 浙江湖州人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 绿色建筑节能技术. E-mail: 1589766588@qq.com

*通信作者: 周燕(1977-), 女, 河南南阳人, 博士/副教授, 主要研究方向: 建筑节能与可再生能源的利用. E-mail: zhouyan@nbu.edu.cn

1.1 被动式节能设计技术

案例建筑被动式节能设计策略有利用中庭进行自然通风和自然采光,中庭尺寸为 $19\text{ m}\times 9.4\text{ m}\times 38.7\text{ m}$,从一层通高到顶且无顶盖,中庭四周有大面积可开口回廊,回廊内侧墙上都有可开启窗户,如图2所示,中庭在提供建筑自然采光的同时,能有效利用烟囱效应促进室内自然通风;另外,还设置了屋顶绿化、庭院绿化和东西向墙体攀援植物垂直绿化。外墙采用 20 mm 厚无机轻集料保温砂浆内外保温,传热系数为 $0.95\text{ W}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{K})^{-1}$,屋顶采用 75 mm 厚挤塑复合保温板,传热系数为 $0.36\text{ W}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{K})^{-1}$,窗墙比分别为东向 0.35 ,南向 0.31 ,西向 0.27 和北向 0.28 ,外窗均采用断热铝合金高透光 LOW-E 玻璃,传热系数为 $2.7\text{ W}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{K})^{-1}$,遮阳系数为 0.53 。

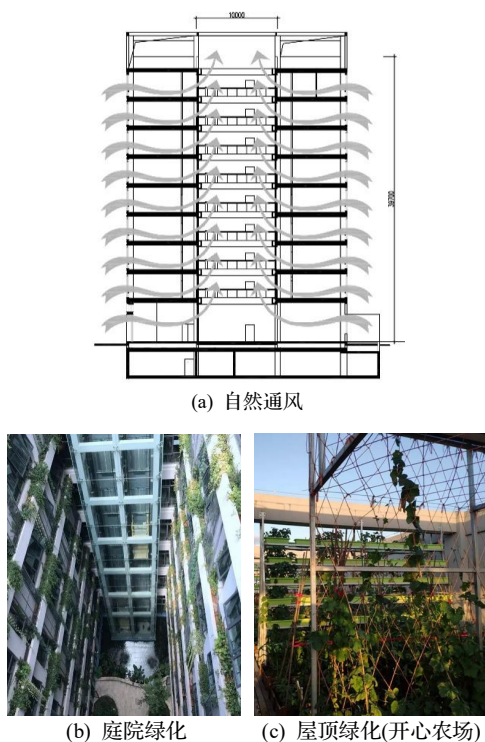


图2 被动式节能设计策略

1.2 空调系统设计

通过对不同空调方案进行对比分析后,案例建筑空调系统采用地源热泵型水冷多联机,将变制冷剂流量多联机和室外地埋管系统相结合,在制热期间可以保证机组高效运行,其中机组总冷负荷约为 $1\,011\text{ kW}$,热负荷约为 728 kW 。室内机侧为直接蒸发式,室外机侧采用地埋管与闭式冷却塔串联的方式,制冷时,冷却水优先采用地埋管冷却^[8]。

2 室内环境质量测试和问卷调查方法

2.1 测试仪器和方法

选取大楼中典型布局的普通和大空间办公室进行测试,普通办公室有2名工作人员,大空间办公室有10名工作人员,如图1(a)中的红线区域,位于6楼南向。测试的物理参数有室内空气温度、相对湿度、黑球温度、二氧化碳浓度和照度。测试时间为2019年1月至12月,所用测量仪器见表1,所有测试数据自动记录时间间隔为 15 min ,室内温湿度测量仪器放置在测量房间相应的办公桌上,距离用户日常办公范围 1 m 以内,同时避开热源以确保测量仪器能够直接记录用户感受的环境参数。室内热湿环境调节在夏季和冬季依靠开启空调系统,而在春季和秋季依靠室内外自然通风,空调系统不运行。测量照度时,照度计在距离地面 75 cm 高度的位置。

2.2 用户满意度调查

为了定量分析用户对案例建筑室内环境质量的满意度,对建筑内的用户进行了有关室内环境感知的问卷调查,主要包括用户对室内热湿环境、光环境、空气品质和整体环境质量的满意度。问卷中关于室内环境质量的问题采用从 -3 到 $+3$ 的7等级表示用户满意度水平从十分不满意至十分满意,即“非常不满意(-3)、不满意(-2)、稍微不满意(-1)、

表1 测量仪器的范围和精度

测量参数	仪器种类	测量范围	分辨率	精度
空气温度	RC-4 温湿度数据记录仪	$-40\sim 85\text{ }^{\circ}\text{C}$	$0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$
相对湿度	RC-4 温湿度数据记录仪	$0\sim 90\%$	0.1%	$\pm 3\%$
黑球温度	JTR04 黑球温度记录仪	$-20\sim 85\text{ }^{\circ}\text{C}$	$0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$
CO_2 浓度	HT-2000 CO_2 测试仪	$0\sim 9.999\times 10^{-3}$	10^{-6}	$\pm 5\times 10^{-5}$
照度	GM1040 照度计	$0\sim 100\,000\text{ lx}$	1 lx	$\pm 3\%$

中立(0)、稍微满意(+1)、满意(+2)和非常满意(+3)”。本次调研一共得到126份有效问卷,案例建筑中超过85%的用户参与了问卷调查,其中男性占68.25%,女性占31.75%,参与问卷调查用户年龄分布和在案例建筑中周工作时间分布如图3所示,年龄层分布涵盖各个年龄段,多数用户每周约有40 h在案例建筑内,具有代表性。

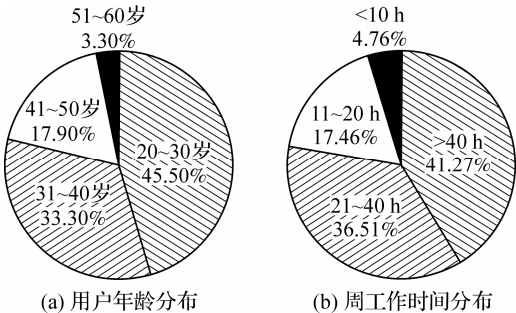


图3 参与问卷调查用户的基本信息

3 室内环境质量分析

3.1 室内热湿环境分析

普通和大空间测试房间内全年温度和相对湿度变化趋势基本一致,对普通办公室内测试数据进行分析,测点分布如图4所示,全年划分为四季,春季为3月—5月,夏季为6月—8月,秋季为9月—11月,冬季为1月—2月和12月,冬季和夏季开启空调系统进行采暖和制冷,春秋两季主要依靠开

窗进行自然通风.参考民用建筑供暖通风与空气调节设计规范^[9]中规定的热舒适度Ⅱ级区域,即图4中两条点划线之间的区域:夏季室内温度为24~28℃,相对湿度40%~70%;冬季室内温度18~24℃,相对湿度≤60%.为了全面分析案例建筑全年室内热湿环境情况,分别计算了不同季节数据测点落在热湿舒适区域内的比例,见表2.

表2 全年温度和相对湿度测点在舒适区域内的比例/%

项目	春季	夏季	秋季	冬季
温度	99.31	85.74	90.31	58.11
相对湿度	55.62	15.06	62.81	51.87

由图4和表2可知,全年各季节温度测点落在舒适区域内的比例均高于相对湿度,特别是依靠开窗自然通风的春秋两季,落在舒适区域内的比例均在90%以上,冬季最低为58.11%,这与夏热冬冷气候区人们长期的生活习惯有关,冬季更喜欢偏低的室内温度.对于相对湿度,夏季落在舒适区域内的测点最少,只有15.06%,而春、秋、冬季测点在舒适区域内的比例均在50%以上,因此,全年大部分测点相对湿度未达到舒适要求.

3.2 室内CO₂浓度分析

分别选取测试房间全年不同季节的室内CO₂浓度进行分析,如图5所示,图5(a)为普通办公室全年不同季节典型周的室内CO₂浓度变化趋势,

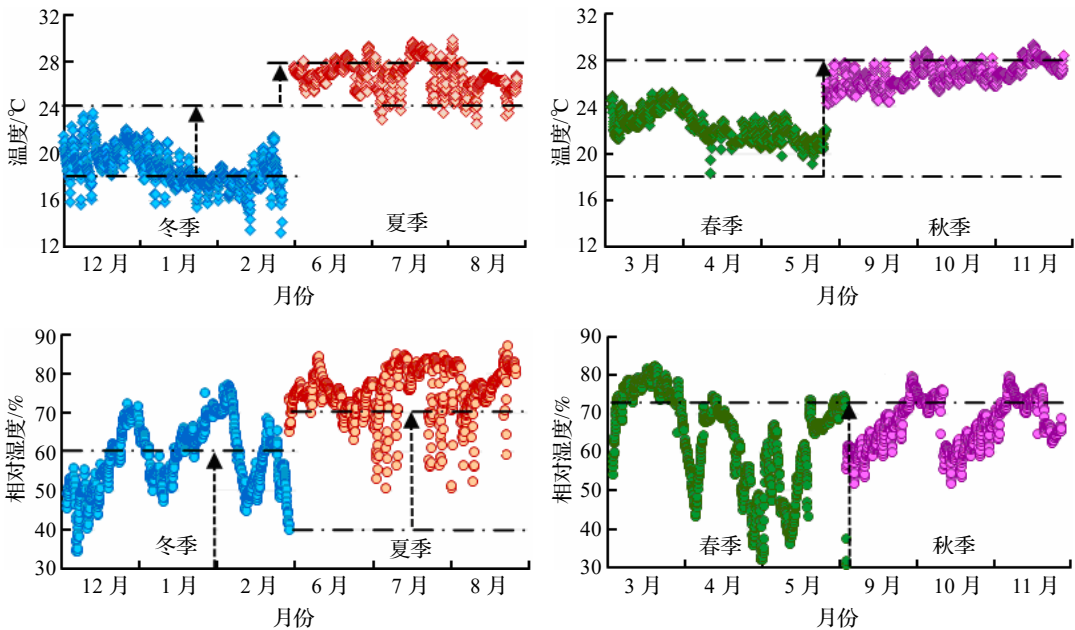
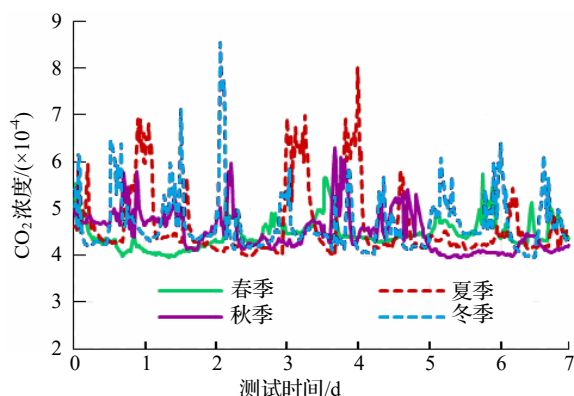
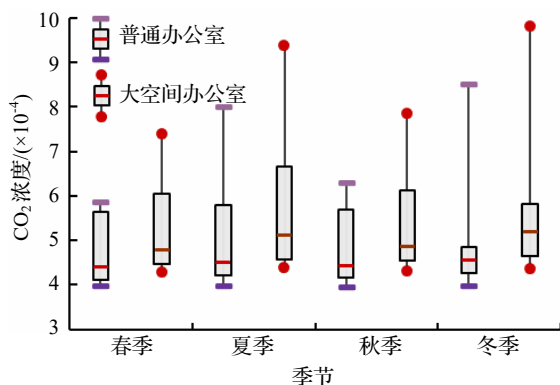


图4 测试房间全年热湿环境测点在热湿舒适区域分布情况

图 5(b)为普通和大空间办公室全年 CO_2 浓度分布情况。从图中可以看出,无论在哪个季节,室内 CO_2 浓度大部分时间均保持在一个相对较低的水平,全年 CO_2 浓度最大值均低于室内空气质量标准^[10]中规定的标准值 1.0×10^{-3} 。冬季和夏季的室内 CO_2 浓度均比春季和秋季高,标准差高于春秋两季,分布也更加不均匀,主要原因为测试房间春秋两季依靠开窗通过自然通风来调节室内热环境,而冬夏两季依靠开启空调系统来调节室内热环境,虽然室内有新风系统,新风量满足设计标准,但室内换气次数远低于自然通风。



(a) 普通办公室不同季节典型周内 CO_2 浓度变化



(b) 全年 CO_2 浓度分布

图 5 测试房间全年 CO_2 浓度分布情况

3.3 室内光环境分析

天然采光系数和人工照明照度两个参数可用于对室内光环境质量进行综合分析。为了分析人工照明照度,对案例建筑中所有房间(除一层大厅外)进行测量,并选取各楼层主要普通办公室和大空间办公室不同区域的照度值进行分析,如图 6 所示,大空间办公室的照度平均值为 354 lx,普通办公室内照度平均值为 470 lx,均高于建筑照明设计

标准^[11]中的标准值 300 lx,符合设计标准要求。

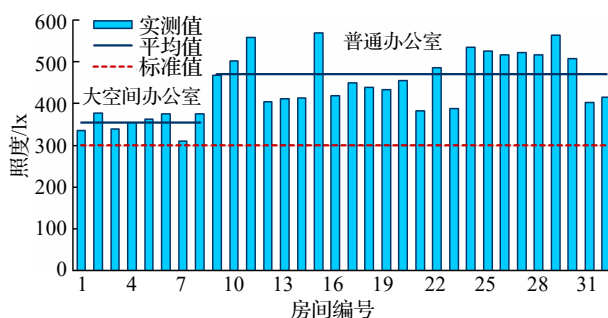


图 6 案例建筑办公房间照度实测值

对于自然采光系数测量,选取 5 楼南面开放办公区进行测试,根据采光测量方法^[12]的要求,为了避免光照的不稳定性对测试结果的影响以及树木与其他建筑物的遮挡,选择在全阴天时对图 7 中测试区域进行照度测量,测试时间为 2019 年 10 月 15 日下午 13:30,室外照度测试值为 12 200 lx。测试房间的长、宽、高分别为 8.4 m、6.6 m、3.6 m,外窗面积为 $3.0 \text{ m} \times 2.6 \text{ m} + 1.5 \text{ m} \times 2.6 \text{ m} = 11.7 \text{ m}^2$,该房间的窗墙面积比为 0.39。为了更详细地了解室内采光系数的分布情况,以房间东南角为原点,测点布点原则为:沿长度 x 方向在 600, 1 200, 1 800, ..., 7 800 mm 处布置 13 个测点;沿宽度 y 方向在 600, 1 200, 1 800, ..., 6 000 mm 处布置 10 个测点; z 方向取工作面高度 750 mm。布点位置如图 7 所示,共 130 个测点。

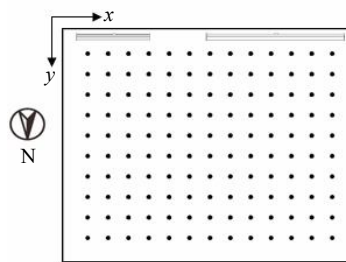


图 7 自然采光测点位置布置

根据采光系数的定义式可计算各测点的采光系数。

$$C = \frac{E_n}{E_w} \times 100\%,$$

式中: C 为采光系数; E_n 为室内照度, lx; E_w 为室外照度, lx, 本次测试为 12 200 lx。

根据实测数据计算得到采光系数,如图 8 所示,测试房间的采光系数平均值为 3.13%,略高于建筑

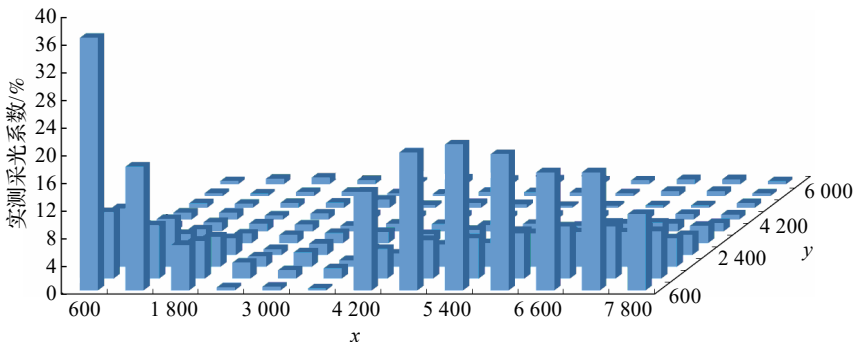


图 8 测试房间实测采光系数

采光设计标准^[13]中规定的 3.0%, 距离外窗 2 400 mm 以内的测点采光系数基本大于 3.0%, 平均值为 6.5%, 2 400 mm 以外的测点采光系数小于 3.0%, 平均值为 1.06%.

3.4 用户满意度分析

通过对用户满意度问卷调查结果进行分析, 用户对案例建筑室内环境质量的满意度水平如图 9 所示, 包括室内总体环境、光环境、空气品质和各季节室内热湿环境的满意度评价. 其中室内总体

环境质量满意度水平最高, 最低的是室内光环境, 春秋季节的室内热湿环境满意度水平相对较高, 夏季和冬季室内热环境满意度水平低于室内湿环境.

案例建筑全年各个季节室内温度、相对湿度分布和用户满意度水平如图 10 所示, 其中, 圆点代表了用户平均满意度水平. 春秋季节温度的满意度水平明显高于夏冬两季, 而在相对湿度方面, 全年相对湿度范围明显偏高, 且全年相对湿度测点

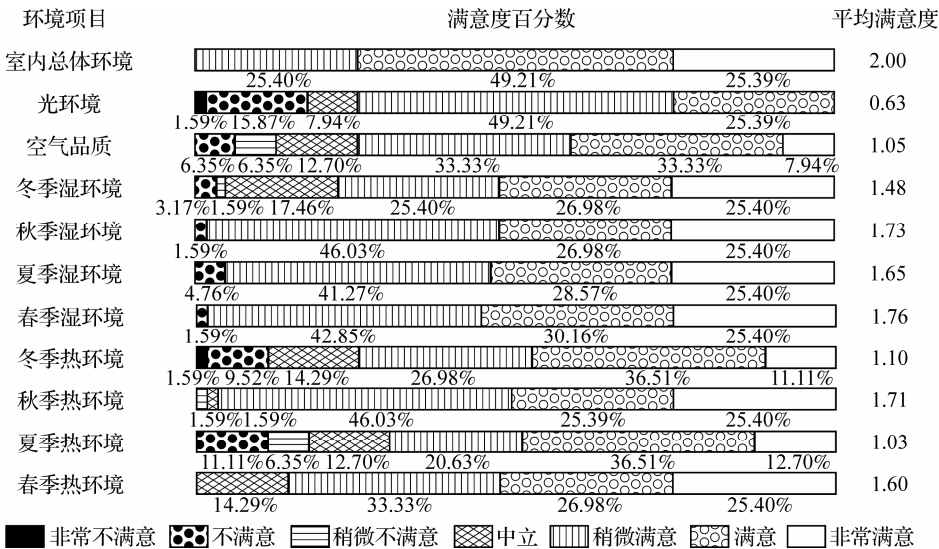


图 9 用户满意度百分数及平均分

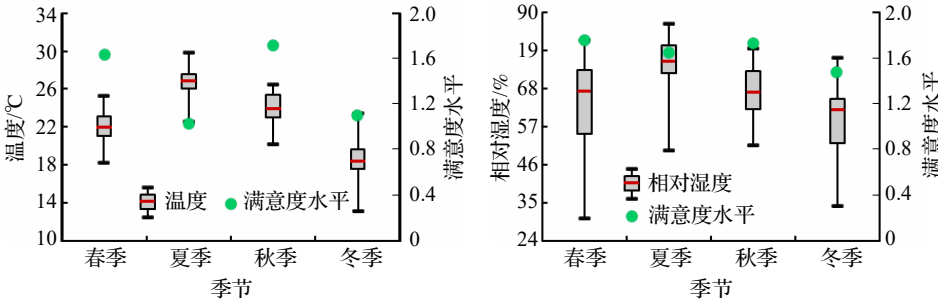


图 10 室内温湿度分布及用户满意度水平箱型图

落在热舒适区域内的比例较小(表 2), 但用户的满意度水平仍然较高。

3.5 分析与建议

3.5.1 室内热湿环境

根据以上测试和问卷调查分析结果, 对于室内热环境, 全年温度除冬季外大部分时间满足绿色建筑设计标准要求, 全年湿度大部分时间不满足标准要求。由于宁波地处东南沿海, 全年降水较多, 相对湿度较大, 特别是夏季, 但问卷调查结果表明, 虽然夏季室内相对湿度大部分时间不满足设计标准要求, 但用户满意度水平仍然较高, 这可能与该气候区人们常年处于高湿环境且已经适应了这种高湿环境有关。冬季室内温度大部分时间低于设计标准, 而用户满意度水平并没有偏低, 与该地区冬季没有集中供暖, 人们已经习惯而且更偏向于空调系统设定较低的室内温度有关。对于全年室内相对湿度较大的问题, 建议在必要的场所增加除湿设备, 降低室内相对湿度。

3.5.2 室内空气质量

对于室内空气质量, 由于条件限制, 本文仅测试了室内 CO_2 浓度, 室内 CO_2 浓度在一定程度上可以反映室内空气质量的好坏。案例建筑采用了较好的被动式自然通风设计策略, 通高庭院设计, 建筑平面呈“回”字形, 中庭四周为大面积可开窗回廊, 可形成良好的自然通风和采光效果, 春秋两季室内依靠自然通风换气, 夏冬两季依靠新风系统进行换气, 无论普通或大空间办公区, 全年室内 CO_2 浓度均保持在相对较低的水平。

3.5.3 室内光环境

对于室内光环境, 天然采光系数和人工照明照度均满足绿色建筑设计标准要求, 但用户满意度水平却最低, 这主要是由于有些区域照度超标, 有些区域室内照度分布不均导致有些工作面照度不能达到要求。开放办公区一般是从事工程设计的人员, 对室内照度要求较高, 而测试结果开放办公区室内平均照度低于普通办公区。另外, 开放办公区有些位置只能依靠人工照明, 不能自然采光, 导致用户满意度较低。建议室内照明设计时要综合考虑照明质量、采光系数和个性化调节等要求, 尽量合理利用自然采光, 使室内照度和均匀度综合提升, 增强相应区域工作人员的心理舒适和满

意度, 降低照明能耗。

4 能耗分析

4.1 案例建筑全年运行能耗分析

案例建筑 2018 年 4 月投入运行, 本文选取案例建筑 2019 年 1 月—12 月的全年能耗监测数据进行分析, 消耗的能源只有电能, 每月各项耗电量如图 11 所示。单位面积耗电量最多的月份为 8 月 $6.71 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-2}$, 最低的月份为 10 月 $3.36 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot\text{m}^{-2}$, 一方面是因为过渡季空调电耗较少, 另一方面因为国庆节放假, 比同季节的 11 月份低; 同理, 2 月份电耗低于 1 月和 3 月的主要原因是春节假期。

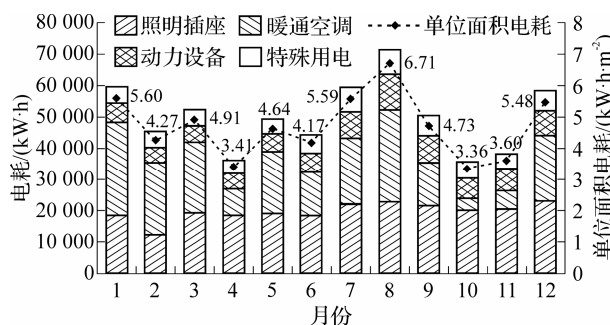


图 11 案例建筑 2019 年全年逐月耗电

过渡季节存在空调用电量的原因, 主要是由于局部空调用电, 如报告厅和活动室的新风机组用电, 以及机房及个别实验室空调用电。

案例建筑的单位面积年耗电量约为 $56.5 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{a})^{-1}$, 低于国家民用建筑能耗标准^[14]中对夏热冬冷地区 A 类办公建筑的约束值 $70 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{a})^{-1}$, 稍高于其引导值 $55 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{a})^{-1}$; 其中暖通空调电耗占全年电耗比例约为 36%, 照明插座电耗约占 39%, 动力设备约为 14%, 特殊用电约为 11%。由于案例建筑空调系统采用的是地源热泵多联机, 全年暖通空调系统电耗比例相对较小, 为了对比案例建筑空调系统能耗情况, 选取文献[15]中夏热冬冷地区绿色办公建筑 A-CW-1~7 的能耗进行分析, 如图 12 所示。文献[15]中建筑 A-CW-1~2 的单位面积年耗电量低于案例建筑, 其他建筑均高于案例建筑, 但案例建筑单位面积年暖通空调耗电量 $21.2 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{a})^{-1}$ 均低于其他建筑, A-CW-1~7 中单位面积年暖通空调耗电量最低的是建筑 A-CW-7, 为 $21.5 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{a})^{-1}$ 。根据文献[5]的分析结果, 影响绿色办公建筑暖通空调能

耗的主要因素有空调系统能效比、新风能耗以及分区设计和优化控制策略。案例建筑采用地源热泵多联机空调系统,该系统能效比高,使用灵活,负荷调节能力强,每层采用独立控制的新风系统^[8],因此单位面积年暖通空调能耗相对较低。

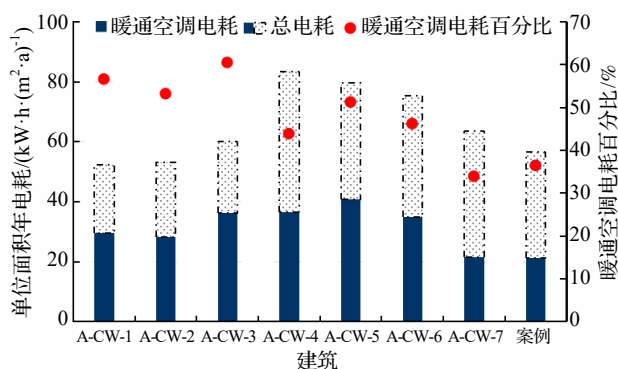


图12 案例建筑与夏热冬冷地区绿色办公建筑^[10]暖通空调能耗对比

4.2 地源热泵多联机运行性能分析

案例建筑设有地源热泵多联机地源侧进出口水温监测系统,数据自动记录时间间隔为10 min。由于该地区冬季人们更习惯于低温的室内环境,空调开启率较低,进出口水温差较小,本文以夏季最热月2019年8月份为例进行分析,大楼空调全部开启,进出口水温差变化情况如图13所示。地源热泵多联机夏季进出口水温差在0.1℃和3.0℃之间进行波动,见表3,平均值为1.13℃,说明地源侧水系统处于大流量小温差的运行工况。进口水温以25.5℃为平衡线,在23.1~28.7℃之间进行波动,进口水温始终低于地源热泵多联机额定工况30℃,实际能效比高于设计时参考的额定工况。以案例建筑使用数量较多,制冷量为112 kW的室

外地源热泵多联机为例进行分析,当额定工况满负荷运行(进口水温为30℃),水流量为 $30.1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ 时,能效比为4.71;其他参数不变,当进口水温为25℃时,能效比为5.75,提高了22%,案例建筑地源热泵多联机进口水温平均值为25.5℃,说明案例建筑空调系统处于高效比工况下运行。

表3 地源热泵多联机进出口水温及温差分布/℃

取值类型	出口温度	进口温度	进出口温差
最大值	31.3	28.7	3.0
最小值	23.7	23.1	0.1
平均值	26.6	25.5	1.1

5 结论

为了全面了解和评价宁波首个获得绿色三星运行标识的建筑的实际运行性能,本文通过对典型房间全年室内环境参数的测试,并结合用户满意度问卷调查和能耗监测系统运行数据,分析了该建筑室内环境质量、建筑能耗和地源热泵多联机系统运行情况,结论如下:

(1)全年各季节温度测点落在舒适区域内的比例均高于相对湿度,全年室内热湿环境大部分测点未达到设计标准要求;而问卷调查结果表明,虽然夏季室内相对湿度和冬季室内温度大部分时间不满足设计标准要求,但用户满意度水平并没有偏低,这可能与该气候区人们已经适应了这种高湿环境,和冬季人们更偏向于空调系统设定较低的室内温度有关。

(2)案例建筑采用了较好的被动式通高庭院自然通风设计策略,春秋两季可以形成良好的自然通风效果,全年任何时刻室内 CO_2 浓度均低于 10^{-3} ,

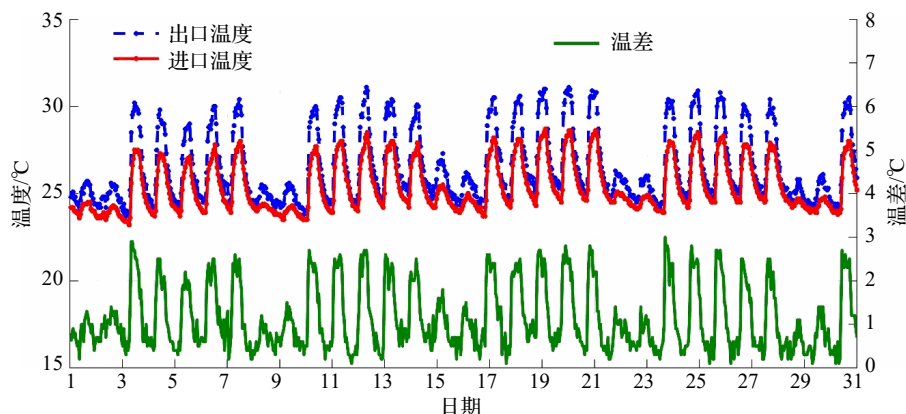


图13 地源热泵多联机地源侧进出口水温及温差变化情况(2019年8月)

大部分时间保持在一个相对较低的水平,满足设计标准要求。案例建筑室内光环境参数测试结果满足设计标准要求,但用户满意度水平却最低,这主要是由于开放办公区一般是从事工程设计的人员,对室内照度要求较高,而测试结果开放办公区室内平均照度低于普通办公区。另外,开放办公区有些位置只能依靠人工照明,不能自然采光,导致用户满意度较低。

(3)案例建筑单位面积年耗电量约为 $56.5 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{a})^{-1}$,远低于国家民用建筑能耗标准中夏热冬冷地区 A 类办公建筑的约束值,且单位面积年暖通空调耗电量为 $21.2 \text{ kW}\cdot\text{h}\cdot(\text{m}^2\cdot\text{a})^{-1}$,低于同气候区域中其他绿色办公建筑单位面积年暖通空调耗电量。地源热泵多联机运行效率分析结果表明,夏季地源热泵多联机进出口水温差在 0.1°C 和 3.0°C 之间波动,平均值为 1.1°C ,进口水温平均值为 25.5°C ,说明案例建筑地源侧水系统处于大流量小温差的运行工况,而且系统在高能效比工况下运行。

参考文献:

- [1] 倪欣,刘涛,孙建华.西北地区三星级办公建筑运营效果分析[J].工业建筑,2017,47(11):73-77.
- [2] 葛鑫,刘加根.夏热冬暖地区办公建筑绿色设计及运

- 行数据分析[J].工业建筑,2016,46(12):35-40.
- [3] 安宇,万科,张颖.崇明陈家镇生态办公楼绿色建筑运行效果研究[J].暖通空调,2014,44(11):17-22.
- [4] 丁研,何心,潘九生,等.天津某社区文化中心的绿色建筑技术评价分析[J].工业建筑,2016,46(12):31-34.
- [5] 林波荣,刘彦辰,裴祖峰.我国绿色办公建筑运行能耗及室内环境品质实测研究[J].暖通空调,2015,45(11):1-8.
- [6] 裴祖峰.绿色办公建筑运行性能后评估实测与研究[D].北京:清华大学,2015.
- [7] Geng Y, Lin B, Zhu Y. Comparative study on indoor environmental quality of green office buildings with different levels of energy use intensity[J]. Building and Environment, 2020, 168:106482.
- [8] 余志锋,应驰羚,李文,等.宁大科技服务大楼空调通风系统设计[J].建筑节能,2019,47(12):72-76.
- [9] GB 50736-2012.民用建筑供暖通风与空气调节设计规范[S].
- [10] GB/T 18883-2002.室内空气质量标准[S].
- [11] GB 50034-2013.建筑照明设计标准[S].
- [12] GB/T 5699-2017.采光测量方法[S].
- [13] GB 50033-2013.建筑采光设计标准[S].
- [14] GB/T 51161-2016.民用建筑能耗标准[S].
- [15] Lin B, Liu Y, Wang Z, et al. Measured energy use and indoor environment quality in green office buildings in China[J]. Energy and Buildings, 2016, 129:9-18.

The operational performance of the three-star green office building

WANG Yihui¹, CAI Jianmin¹, ZHOU Yan^{1*}, ZHANG Qiuqi¹, YU Zhifeng²

(1.School of Civil and Environmental Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2.Ningbo University Architectural Design and Research Institute Co., Ltd, Ningbo 315211, China)

Abstract: To comprehensively evaluate the actual operation performance of the first three-star green office building in Ningbo city, this paper introduces the key energy efficiency technology of the green office building. With long-term test of indoor environment parameters of the typical room, combined with the user satisfaction questionnaire and the operation data from the monitoring system, the indoor environment quality, the building energy consumption and the operation effect of the ground-source multi-split air conditioners are analysed. The results can provide references for further improving the design and operation performance of green office buildings in areas with hot summer and cold winter.

Key words: green office building; ground source VRF; indoor environment quality; energy consumption; operation performance

(责任编辑 韩超)