

绿色公共建筑运行能耗特征分析及能效评估

王 宇, 李 婉, 何发龙

(天津城建大学 能源与安全工程学院, 天津 300384)

摘要: 为有效把握我国寒冷地区绿色公共建筑运行能耗特征及运行能效水平, 以天津生态城公屋展示中心为研究对象, 通过运营阶段实时监测数据, 掌握案例建筑能耗结构、不同季度各分项能耗分布、系统季节能效系数、热泵机组能效系数、循环水泵输送系数等能耗指标, 并从机组的启停时序及供回水温差两方面优化案例建筑运行, 分析其节能潜力。分析整理实时监测数据可知, 采暖季建筑能耗占全年能耗比例最大达 63%, 此时段建筑耗电量达 77%; 热泵系统夏季能效比为 5.77, 冬季能效比为 3.53; 冷冻水循环水泵冬季输送系数为 35.29、夏季输送系数为 58.85; 利用模拟工具对采用优化方案后建筑运行能耗进行运行效果分析可知, 控制机组启停时序总能耗降低 27.2%, 在此基础上提高系统供回水温差总能耗可降低 30.8%。

关键词: 能耗监测; 能效系数; 输送系数; 能耗模拟

中图分类号: TU83

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2017)04-0565-08

Operation energy consumption characteristics analysis and energy efficiency evaluation of green public building

WANG Yu¹, LI Wan¹, HE Falong¹

(1. School of Energy and Safety Engineering, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China)

Abstract: In order to effectively grasp the energy consumption characteristics and operational energy efficiency of green public buildings in cold areas of China, this paper takes the Tianjin Eco-City Public Housing Exhibition Center as the research object, realizes the data through the operation phase, controls the energy consumption structure of the case building, energy consumption distribution, energy efficiency coefficient of the system, energy efficiency coefficient of the heat pump unit, and the transport coefficient of the circulating water pump, to optimize the case building operation from the aspects of the start and stop timing of the unit and the supply and return temperature. Through analysis and finishing real-time monitoring data it can be seen that the energy consumption of the building season accounted for the largest annual energy consumption up to 63%, with electricity consumption of 77% at the time. Heat pump system summer energy efficiency ratio of 5.77, and winter energy efficiency ratio of 3.53. The winter transmission coefficient of the chilled water circulating pump is 35.29 and the summer transmission coefficient is 58.85. The simulation results show that total energy consumption of the control unit is reduced by 27.2%, and the system is provided on the basis of the simulation tool. The total energy consumption of the water temperature difference can be reduced by 30.8%.

Key words: energy consumption monitoring; energy efficiency; transmission coefficient; energy consumption simulation

绿色建筑核心理念是为人类提供健康、舒适的环境下, 最大限度地节约资源、保护环境和减少污染。目前, 许多国家创建适合自己的绿色建筑评估体系, 如美国的 LEED 评估体系、日本的 CASBEE 评估体系、英国的 BREEAM 评估体系等^[1-3]。我国于 2006 年首次颁布《绿色建筑评价标准》GB 50378-2006, 2015 年 1 月正式实施《绿色建筑评价标准》GB 50378-2014^[4]。目前大量建筑已获

得相关绿色设计认证, 但其实际运营过程的能耗与基于模拟的设计能耗有较大偏差, 一些节能技术并没有达到预期效果^[5-6]。

国外关于绿色建筑实际运行性能的研究较多, 如美国绿色建筑委员会 Cathy T^[7]等人于 2008 年研究表明部分 LEED 认证的公共建筑实际运行能耗未达到设计效果, 甚至没有达到设计限值^[8]; Abbaszadeh 于 2006 年发表关于绿色建筑运营阶段室

收稿日期: 2016-10-09

修改稿日期: 2017-7-11

基金项目: 住房和城乡建设部研究开发项目(2016-R1-008)

第一作者: 王 宇(1980—), 男, 博士, 副教授, 主要研究建筑节能与可再生能源综合利用、暖通空调系统测量控制。E-mail: 18142232383@163.com

内环境品质研究表明,绿色建筑的光环境、声环境、办公室布局等方面用户满意度并未优于常规建筑^[9]; Hassan Radhi 等人基于英国政府办公楼实际监测能耗值,对能耗模拟模型修正,优化运行系统,分析能耗的影响因素^[10].

与国外相比,我国大多数学者对绿色建筑研究分析研究都基于设计阶段或软件模拟计算,对运营阶段能耗研究较少.为此,本文选取已获得绿色建筑认证绿色建筑为研究对象,通过整理其运营阶段监测的数据,分析其实际能耗水平、能效系数,为研究我国绿色建筑实际运行性能提供一定参考.

1 案例建筑的概况

天津生态城公屋展示中心属公共建筑,一部分作为公屋的展示、销售,另一部分作为房管局办公和档案储存.整体呈菱形,占地面积约 8 090.7 m²,建筑面积为 3 467 m²,地上两层约 3 013 m²,地下一层约 454 m,建筑总高度为 15 m,体形系数为 0.22,总体窗墙比 0.2.

该建筑已获得我国绿色建筑三星设计标识,达到美国 LEED 白金奖、新加坡 GREENMARK 白金奖、生态城绿色建筑白金奖要求.优先采用被动技术,获得良好的自然通风、自然采光,降低建筑负荷;采用变风量、独立末端技术,提高系统能效,降低建筑能源需求;利用地源热泵技术降低建筑化石能源消耗;采用光伏发电技术实现建筑运行周期的“零能耗”.案例建筑一、二层平面图如图 1、图 2 所示,本建筑南侧为办公区域,而档案馆、机房等布置在北侧,对太阳能利用、自然采光等非常有利^[11-14].

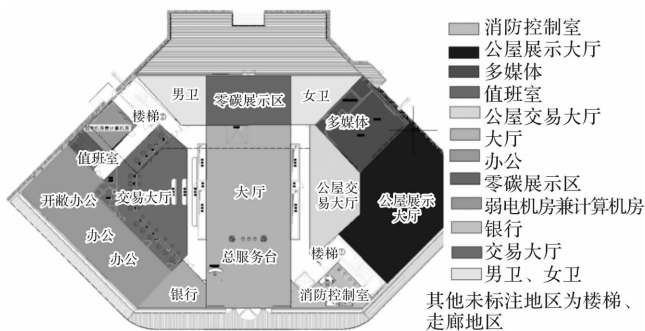


图 1 首层平面图与功能分区

Fig. 1 The first floor plan and functional partition

2 案例建筑的运行能耗特征分析

2.1 能耗结构与能耗分布

案例建筑的能耗结构通过其实际运行时段各

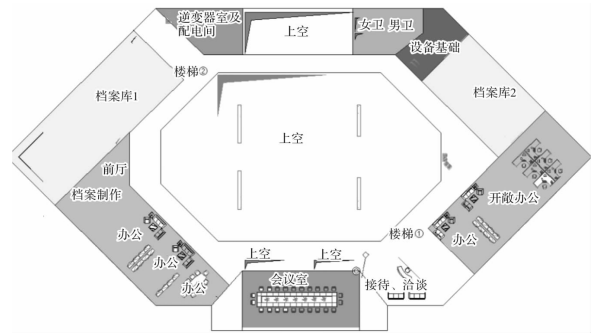


图 2 二层平面图与功能分区

Fig. 2 The second floor plan and functional partition

设备能耗占比来表征,取 2015 年全年监测数据作为分析依据.图 3 为案例建筑在 2015 年逐月耗市电量和光伏发电量情况,图 4 为案例建筑各季度能耗占全年总能耗的比例,图 5 为案例建筑各季度耗市电量所占比例.本文所述各季度能耗是建筑实际运营总能耗,而非采暖/制冷能耗.

由图 3 可知,2015 年 4 月至 10 月案例建筑耗电量以光伏发电为主,市电为辅,光伏发电量足以满足建筑用电量需求,另有部分电量并网,冬季案例建筑以市电为主,光伏发电为辅.由图 4、图 5 可知,采暖季建筑能耗所占比例最大达 63%,此季度案例建筑耗市电占全年耗市电量的 77%,制冷季建筑能耗占全年能耗的 23%,供冷季和过渡季建筑耗市电比例都大幅下降,这与夏季太阳辐射强、过渡季热泵系统不运行故建筑能耗小,而冬季运营时间长能耗较高而太阳辐射较弱有关.夏季建筑能耗较低说明案例建筑夏季通风效果好,空调系统能耗低,也可能与案例建筑夏季人员少,机组开启时间少有关系.

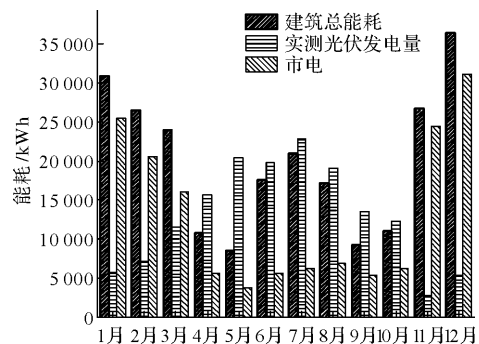


图 3 2015 年案例建筑逐月能耗与光伏发电量

Fig. 3 Energy consumption and photovoltaic power generation of every month in 2015

2.2 能耗水平及能耗强度分析

能耗水平即体现考察时段内(小时、日、周、月、年度)各能耗计量项目的用能指标(总用电量、冷热源系统用电量、办公用电量、动力用电量

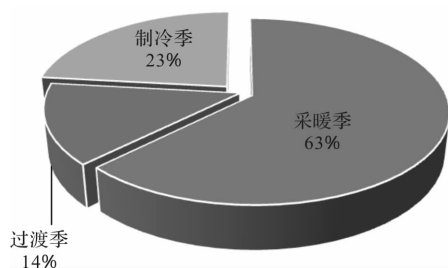


图4 全年各季度建筑能耗所占比例

Fig. 4 Year-round operation energy consumption proportion of each quarter

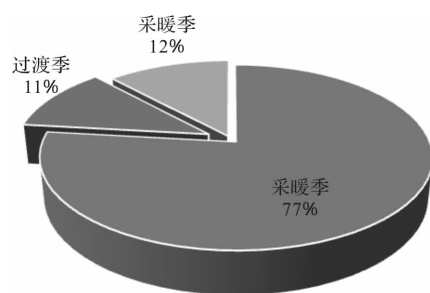


图5 各季度耗电量所占比例

Fig. 5 The proportion of electricity consumption in each quarter

等)。能耗水平描述可直接由监测数据获得,图6为案例建筑各分项在2015年1月5日和1月6日这两天逐时运行能耗情况。由图可知,这两天空调机房都是从早上8点运行到下午5点左右,此时段内对外服务窗口及银行能耗有所上升,但地上动力逐时能耗全天波动不大,热泵机房虽全天运行但此时段内稍有下降,这是由于室内温度确定的情况下,晚上室内外温差大,造成室内负荷大,机组能耗增大。

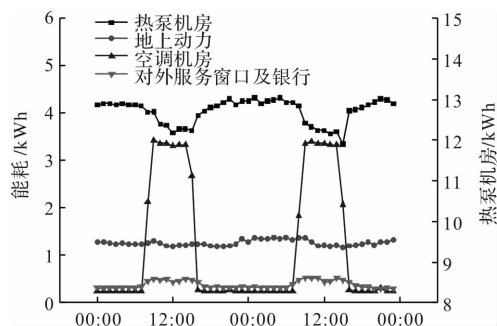


图6 案例建筑的各分项逐时运行能耗水平

Fig. 6 The sub-item equipment running energy consumption level of the building

图7为案例建筑在2015年11月9日—15日这一周的运行能耗情况。由图可知,本周热泵系统周六、日未开启,但整周空调机房能耗波动不大,

周六、日空调机房仍然运行;对外服务窗口及银行周六、日运行能耗降低,建筑周六日属非工作时段。

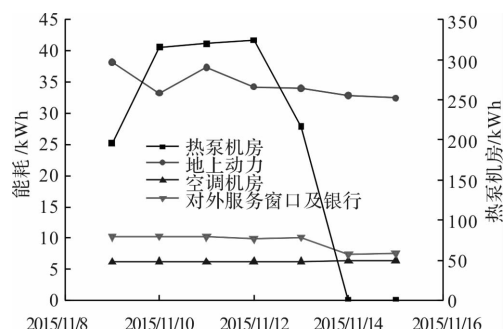


图7 案例建筑的各分项一周运行能耗水平

Fig. 7 The equipment energy consumption statistics in a week

图8为案例建筑各分项在2015年的逐月运行能耗情况。由图可知,对外服务窗口及银行的逐月能耗波动不大,运行相对较稳定,热泵系统采暖季能耗较大,空调机房在制冷季能耗较大,而地上动力(水泵/风机)能耗波动情况与热泵系统能耗变化趋势一致,冬季能耗高于夏季。

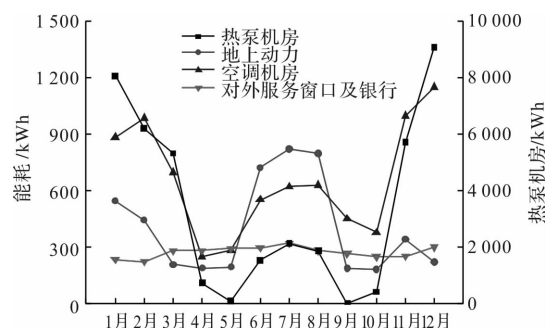


图8 案例建筑的各分项逐月运行能耗水平

Fig. 8 Monthly energy consumption level of each component

采用单位面积运行能耗 EA 作为系统能耗强度的指标,实际情况中,公共建筑能耗强度指标即单位面积用能系统耗电量,如公式(1)所示:

$$EA = \frac{E}{A} \quad (1)$$

案例建筑用能系统项目主要包括:地源热泵机房能耗、地下室空调机房能耗、地上动力能耗、对外服务窗口及银行能耗。统计建筑2015年实际运营数据,各分项能耗水平及能耗强度指标如表1所示:

由表可知2015年案例建筑制热量是1355 GJ,制冷量为352 GJ,单位面积年能耗约 $69.1 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$,单位面积年耗市电约 $45.4 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{a}$,由于案例建筑采用了光伏发电系统,根据GB/T 51161-2016《民用建筑能耗标准》规定,需除掉光伏发电量对建筑的贡献,因此建筑单位面积耗市电量是建筑

运营阶段实际能耗水平,该值满足 GB/T 51161-2016《民用建筑能耗标准》中关于天津地区商业办公建筑非供暖能耗的约束值 $65\text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$,引导

值为 $55\text{ kWh/m}^2\cdot\text{a}$ 的规定,案例建筑属于低能耗建筑.

表 1 案例建筑的逐月运行能耗水平及能耗强度

Tab. 1 Monthly energy consumption and energy consumption of the building

时间	单位面积热泵 机房能耗 $/\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$	单位面积空 调机房能耗 $/\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$	单位面积地 上动力能耗 $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$	单位面积对外服 务窗口及银行能 耗/ $\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$	单位面积 耗市电量 $/\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$	单位面积 总能耗 $/\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$	制热量 $/\text{GJ}$	制冷量 $/\text{GJ}$
2015/1	2.3	0.2	0.3	0.1	7.3	8.9	325	0
2015/2	1.8	0.1	0.3	0.1	5.9	7.6	251	0
2015/3	1.5	0.1	0.2	0.1	4.6	6.9	194	0
2015/4	0.2	0.1	0.1	0.1	1.6	3.1	26	0
2015/5	0.0	0.1	0.1	0.1	1.1	2.4	0	6
2015/6	0.4	0.2	0.2	0.1	1.6	5.1	0	95
2015/7	0.6	0.2	0.2	0.1	1.8	6.0	0	117
2015/8	0.5	0.2	0.2	0.1	2.0	5.0	0	133
2015/9	0.0	0.1	0.1	0.1	1.5	2.7	0	0
2015/10	0.1	0.1	0.1	0.1	1.8	3.2	16	0
2015/11	1.6	0.1	0.3	0.1	7.1	7.7	196	0
2015/12	2.6	0.1	0.3	0.1	9.0	10.5	347	0
总和	11.9	1.4	2.3	0.9	45.4	69.1	1 355	352

3 案例建筑的运行能效评估

3.1 评估指标体系建立

根据绿色公共建筑能源供应方式及能源消费类型,确定建筑节能及能源有效利用的评价指标体系,如图 9. 所述指标体系中包括建筑整体能源利用评价指标组、建筑用能子系统能源利用评价指标组、关键设备评价指标组.

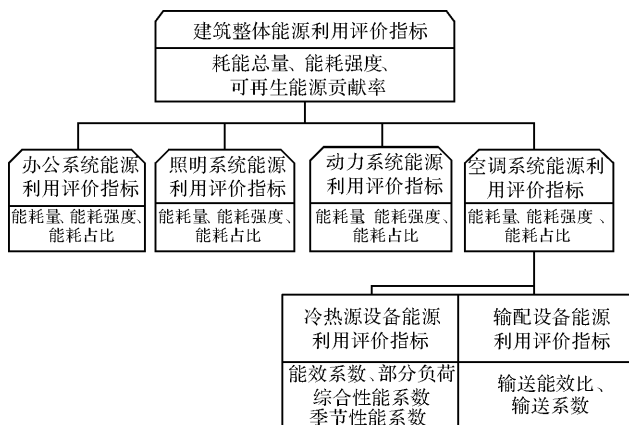


图 9 建筑运行能源利用评价指标体系

Fig. 9 Energy utilization evaluation index system of building operation

建筑整体能源利用评价指标组具体包括:能

耗总量、能耗强度、可再生能源贡献率;建筑用能子系统能源利用评价指标组具体包括:能耗量、能耗强度、能耗占比;一般建筑用能子系统中关键设备分为电源类设备和电机类设备,能源利用评价指标为运行效率;空调子系统中关键设备包括冷热源设备及热媒输配设备,冷热源设备能源利用评价指标具体包括能效系数、部分负荷综合性能系数、季节性能系数;热媒输配设备能源利用评价指标具体包括:输送能效比或输送系数.

通过统计整理绿色公共建筑监测系统监测各分项的数据,可对建筑实际运行能耗进行相关分析评价,并对未来节能改造提供数据支持.通过有效能耗计算方法及节能优化措施,可减少建筑运营阶段的能耗^[15].

根据案例建筑运行能耗结构特征可知,空调系统的运行能耗占主要部分,其运行能效很大程度上影响案例建筑能源利用水平,因而需要重点分析冷热源机组和输配环节的能源利用效率.

3.1.1 热泵系统季节能效系数

热泵系统季节能效系数如公式(2)所示:

$$SEER=\frac{Q_{\text{season}}}{W_{\text{season}}}\quad(2)$$

式中: Q_{season} 为冷机在整个供热或供冷季的累计供

热/冷量, GJ; W_{season} 为冷机在整个供热或供冷所消耗的能耗, kWh.

表 2 是根据监测系统实时监测数据统计出的案例建筑在 2015 年运营阶段净累计热量、热泵系统能耗、空调系统的季节能效比情况. 由表可知, 热泵系统在整个采暖季的供热量为 1 355 GJ, 其总能耗为 41 256 kWh, 热泵系统供暖季能效比为供暖季的供热量与供暖季热泵系统总能耗的比值, 其计算结果为 3.53; 热泵系统在整个制冷季的供冷量为 352 GJ, 其总能耗为 5 646.9 kWh, 在整个制冷季的能效比为制冷季的制冷量除以制冷季热泵系统能耗, 计算结果为 5.77. 热泵系统夏季月能效比较高, 但波动较大; 供暖季月能效比较小, 波动较小, 机组运行较稳定. 热泵系统冬季月能效比低是因为系统运行过程中温差较小, 基本维持在 3.6℃左右, 出现“小温差大流量”现象, 从而造成冬季系统能耗较高, 能效较低现象.

表 2 系统季节能效系数

Tab. 2 Seasonal energy efficiency coefficient of system

日期	累积供冷 /(热)量/GJ	系统能耗 /kWh	热泵系统 季节能 效系数	
2015/1	325	8 073.1	3.73	
2015/2	251	6 218.1	3.74	
2015/3	194	5 330.4	3.37	
2015/4	26	732.4	3.29	
2015/5	6	97.2	5.72	
2015/6	95	1 545.4	5.69	
2015/7	117	2 127.3	5.09	
2015/8	133	1 877	6.56	
2015/9	16	426.4	3.47	
2015/10	196	5 714.1	3.18	
2015/11	347	9 097.3	3.53	
2015/12	325	8 073.1	3.73	
总和	采暖季	1355	35 591.8	3.53
	制冷季	352	5 646.9	5.77

3.1.2 热泵机组能效系数 COP

瞬时能效系数如公式(3)所示:

$$COP=Q/\dot{P} \quad (3)$$

式中: Q 为机组制热或制冷量, kW; \dot{P} 为热泵耗电量, kW.

上述公式为瞬时能效系数公式, 若计算某小时的 COP, 则需根据该小时的瞬时热流量转换成

制热量, 该小时制热量与其热泵功率比值的平均值即为某小时的 COP. 图 10 为热泵系统在 2015 年 1 月 1 日至 2015 年 3 月 31 日实际运行逐时能效系数, 采暖运行期间, 所有数据测量装置都进行了数据同步记录匹配. 能效系数瞬时值根据实测瞬时热流量与机组功率计算所得.

由图可知, 采暖季热泵系统稳定运行期间, 机组能效系数平均值约 4.8, 而系统能效系数基本维持在 3.8, 额定工况下, 热泵机组冬季 COP 为 4.4, 机组实际运行状况良好, 满足关于 GB50189-2015《公共建筑节能设计标准》中关于采用电机驱动的蒸气压缩循环冷水(热泵)机组性能系数(COP)在寒冷地区名义制冷量 ≤ 528 kW 时, 寒冷地区 COP(W/W)值不小于 4.7 的 0.95 倍要求.

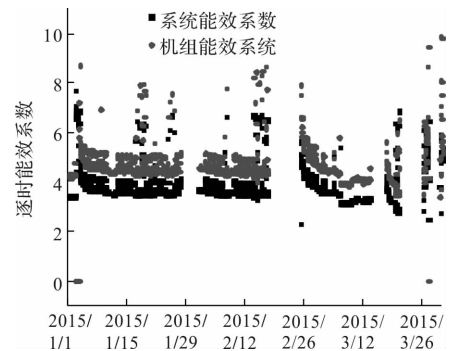


图 10 热泵系统/机组采暖季逐时能效系数

Fig. 10 Energy efficiency coefficient of heat pump during heating/cooling season

3.1.3 输送环节能效评价指标

输送系数 WTF_{chw} 定义为输送的冷量或热量与水泵能耗之比, 如公式(4)所示:

$$WTF_{\text{chw}}=\frac{Q}{E_{\text{chp}}} \quad (4)$$

式中: Q 为冷热源机组制备的总冷/热量, kWh; E_{chp} 为水泵的总能耗, kWh.

根据案例建筑循环水泵的实际运行监测数据, 可计算出案例建筑采暖季输送系数为 35.29, 制冷季输送系数为 58.85, 大于典型工况下的最低值 35, 全年累计工况下的输送系数为 38.46, 大于全年累计工况的最低限值 30. 图 11 是根据计算结果所得循环水泵逐月输送系数. 由图可知, 夏季输送系数较大, 循环水泵运行效率较高. 冬季输送系数小, 热泵系统循环水泵的输送效率较低, 其原因可能在于输送系统的冷冻水在冬季温差小, 而为保持冬季房间舒适性导致循环水泵的流量增大, 造成循环水泵的能耗增加.

3.2 运行能效评估流程

建筑运行节能的评估流程, 如图 12 所示, 具体可以包括如下步骤:

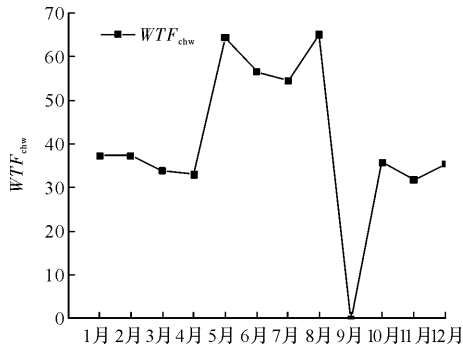


图 11 案例建筑的循环水泵逐月输送系数

Fig. 11 Circulating pump transporting coefficient from month to month

根据评价指标数学计算模型分别通过实测数据和历史数据计算获得监测指标和统计指标,与根据设计数据合相关规范标准涉及的内容确定相应评估基准对比,明确建筑运行状态及能源利用水平.从建筑整体能源利用评价指标组中各指标与评估基准的对比中,明确建筑能耗水平、能耗分布特征、可再生能源利用效果;从建筑用能子系统能源利用评价指标组各指标与评估基准对比中,明确建筑各用能系统的能耗结构、实际能耗与设计能耗对比结果;从关键设备各评价指标与评估基准对比中,明确能效水平或等级.

3.3 优化运行控制策略分析及验证

根据不同诊断周期内相关指标与同期历史数据进行统计分析可确定关键设备运行控制对于运行能效具有关键的影响,主要体现在设备的启停时序控制及机组运行温差调节控制.

3.3.1 热泵机组及循环水泵考虑热舒适及输配系统热媒热容性的启停时序优化

公共建筑工作时段规律性较强,传统运行冷热源装置(如热泵机组)的启停时序基本按照上下班时间进行启停设定.若考虑热舒适规律及输配系统热媒水的热容特征,可适当地对启停时间进行调整,减少机组的运行时间而实现运行节能.

例如,如果建筑室内外温度相差 10°C 以上,则会出现过热或过冷的不舒适感,一定程度也会影响健康,因此可以考虑适当地延迟机组开启时间,使得人们进入工作区后较好地适应室内外温度的差异,最终达到工作状态下所需要的舒适感;同样,在即将结束当天工作时,可考虑提前关闭机组,一方面是为了方便工作人员适应由室内到室外温度差异的适应,另一方面也是考虑到输配系统中容纳了足够的热媒,可在一定时间内承担建筑的冷(热)负荷.如图 13 所示为根据室内舒适

性调节冷热源机组的启停时间的流程图.

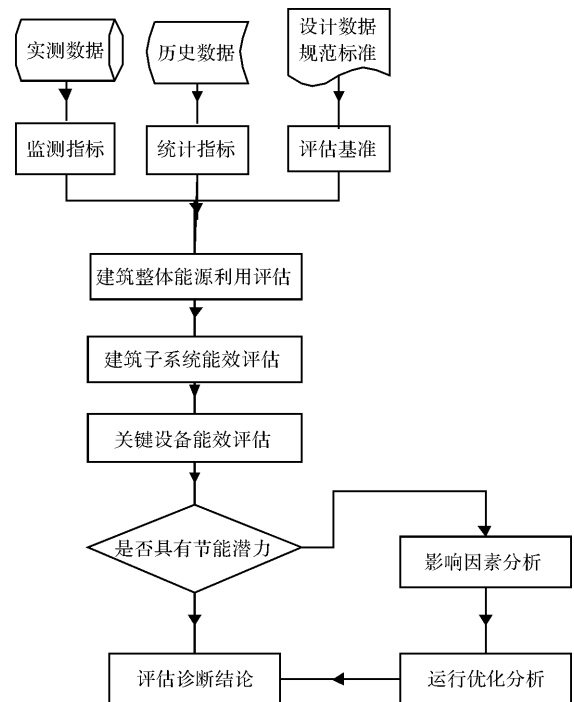


图 12 运行能效评估及节能潜力分析诊断流程

Fig. 12 Operation evaluation of energy efficiency and energy saving potential analysis

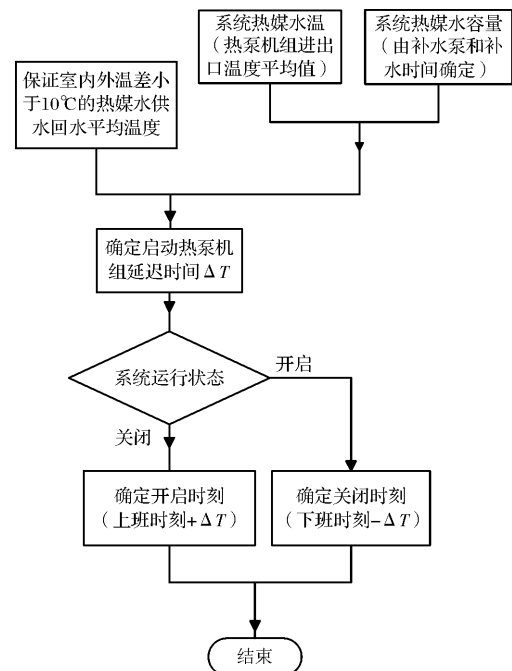


图 13 控制冷热源机组启停时间流程图

Fig. 13 The flow chart of control cold and heat source unit start-stop time

3.3.2 循环水泵的变频调节控制措施

由于设计选型、运行工况的变化,可能会出现大流量小温差运行,导致输送效能较低,故可采用变频措施降低流量、增大供回水温差(大于

5℃)降低系统能耗，图 14 为提高机组的供回水温差的流程图。

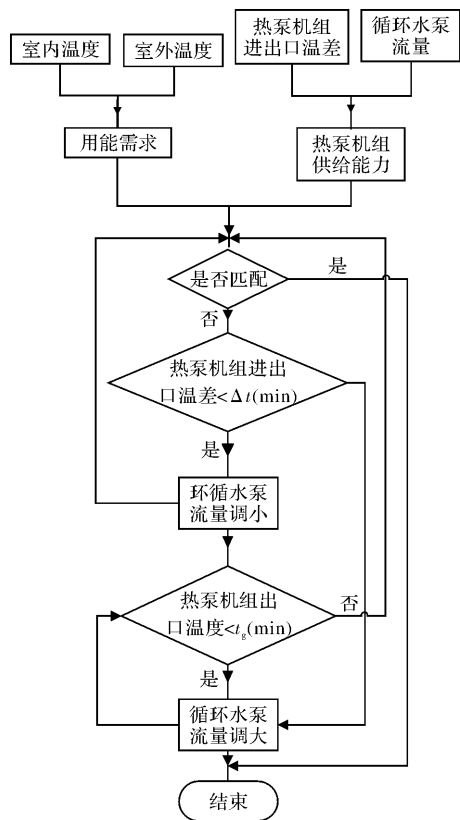


图 14 控制机组供回水温差流程图

Fig. 14 The flow chart of control unit supply and return water temperature difference

3.3.3 模拟结果分析

通过改变热泵机组及循环水泵启停时序、机组的供回水温差两种不同参数，通过不同优化运行策略的模拟结果与根据建筑实际运营参数模拟的结果相比有一定程度的降低，说明其在启停时序、供回水温差方面有一定的节能效果。图 15 是实测建筑全年总能耗、根据实际运营模拟总能耗、根据优化运行控制策略模拟结果情况，图 16 是案例建筑逐月总能耗与根据实际运营模拟能耗及不同控制策略下逐月能耗情况。其中，措施 1 为控制冷热源机组启停时间，措施 2 为控制机组供回水温差。由图可知，无论是提前关闭/延后开机，或在固定启停时序的基础上提高温差，模拟的能耗均有所降低。其中控制机组启停时间逐月能耗降低比例与提高机组供回水温差逐月能耗降低比例变化不大；延后开启一小时、提前关闭一小时机组总能耗降低 27.2%；在控制启停时序的基础上通过提高机组的供回水温差总能耗降低 30.8%。

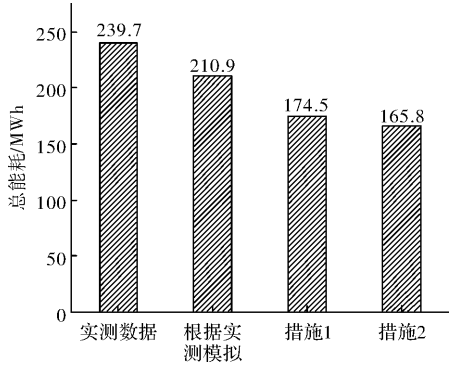


图 15 不同设计参数模拟能耗与实测值比较

Fig. 15 Simulation energy consumption of different design parameters compared with actual monitoring energy consumption

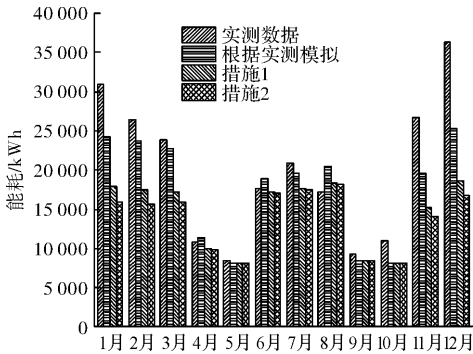


图 16 不同设计参数模拟逐月能耗

Fig. 16 Simulate energy consumption of different design parameters

4 结论

(1)中新天津生态城公屋展示中心位于寒冷地区，实际运行总能耗为 69.13 kWh/m²·a，耗市电为 45.42 kWh/m²·a，而 GB/T 51161-2016《民用建筑能耗标准》中严寒和寒冷地区商业办公建筑非供暖运行能耗的约束值为 65 kWh/m²·a，引导值 55 kWh/m²·a，建筑耗市电达到目标值。采暖季能耗占全年能耗所占比例最大达 63%，制冷季能耗占全年总能耗的 23%。

(2)该案例建筑热泵系统夏季能效比为 5.77，热泵系统冬季能效比为 3.53；热泵系统夏季日平均能效系数波动较大，系统能效系数在 5.0~7.0 范围内分布较多，机组能效系数在 6.0~8.0 范围内分布较多，与制冷季设计能效系数 5.91 相比，机组运行效果较好；热泵系统冬季逐时能效系数基本维持在 3.8，热泵机组逐时能效系数基本维持在 4.8，与供暖季设计能效比 4.48 相比，机组实

际运行状况良好,满足 GB50189-2015《公共建筑节能设计标准》热泵机组性能系数不小于 4.7 的要求。

(3)循环水泵采暖季输送系数为 35.29,制冷季输送系数为 58.85,均大于典型工况下的最低值 35;全年累计工况下的输送系数为 38.46,大于全年累计工况的最低限值 30,循环水泵运行能效较高。

(4)控制机组启停时间总能耗降低 27.2%;在控制启停时序基础上提高机组的供回水温差总能耗降低 30.8%。

参考文献 References

- [1] 程世丹,喻斯文,尹卫民. 大型绿色公共建筑节能绩效后评估研究:以武汉“市民之家”建筑为例[J]. 动感(生态城市与绿色建筑),2015(2):102-107.
CHENG Shidan, YU Siwen, YIN Weimin. Study on the performance evaluation of large green public building energy efficiency: taking Wuhan “Citizen’s Home” building as an example[J]. Dynamic (Eco City and Green Building), 2015(2):102-107.
- [2] 汪飞宇. 夏热冬冷地区办公建筑能效评估典型方法研究[D]. 合肥:安徽建筑工业学院,2012.
WANG Feiyu. Study on typical methods of energy efficiency evaluation for office buildings in hot summer and cold winter zone[D]. Hefei: Anhui Institute of Architecture and Industry, 2012.
- [3] 李丛笑,林波荣. 我国绿色建筑使用效果后评估实践[J]. 动感(生态城市与绿色建筑),2015(1):53-58.
LI Congxiao, LIN Borong. China’s green building use effect evaluation practice[J]. Dynamic (Eco City and Green Building), 2015(1):53-58.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 国家标准 GB/T50378-2014《绿色建筑评价标准》将于 2015 年起实施[J]. 建筑科学,2014(6):65.
Ministry of Housing and Urban-Rural Construction of the People’s Republic of China. National standard GB/T50378-2014 “green building evaluation standards” will be implemented in 2015[J]. Building Science, 2014(6):65.
- [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(3):1-8.
LIN Borong, LIU Yanchen, PEI Zufeng. Research on energy consumption and indoor environment quality of green office building in China[J]. HVAC, 2015, 45(3):1-8.
- [6] 肖娟. 绿色公共建筑运行性能后评估研究[D]. 北京:清华大学,2013.
- XIAO Juan. Study on Post-evaluation of Green Public Building Operation Performance[D]. Beijing: Tsinghua University, 2013.
- [7] TURNER Cathy, FRANKEL Mark. Energy performance of LEED for new construction buildings[R]. Washington: Energy Performance of LEED Buildings, 2008: 15-19, 28-31.
- [8] SCOFIELD John H. Do LEED-certified buildings save energy? Not really Energy and Buildings[J]. 2009, 41: 1386-1390.
- [9] FARD Abbaszadeh. Occupant satisfaction with indoor environmental quality in green buildings[J]. Healthy Buildings, 2006, 111: 365-370.
- [10] RADHI Hassan. A systematic methodology for optimizing the energy performance of buildings in Bahrain [J]. Energy and Buildings, 2008, 40(7): 1297-1303.
- [11] 伍小亭. 超低能耗绿色建筑方法思考与案例分析:以中新天津生态城公屋展示中心为例[J]. 建设科技,2014(22):58-65.
WU Xiaoting. Thinking and case study of green building design method for ultra-low energy consumption: taking Zhongxin Tianjin ecological city public housing exhibition center as an example[J]. Construction technology, 2014(22):58-65.
- [12] 屠雪临. 天津中新生态城公屋展示中心的被动节能方案分析[J]. 绿色建筑,2013(1):20-23.
TU Xuelin. Analysis on passive energy-saving scheme of Tianjin Zhongxin ecological city public housing exhibition center [J]. Green Building, 2013(1):20-23.
- [13] 郑福居,魏慧娇,孙晓峰,等. 中新天津生态城公屋展示中心绿色建筑节能技术探讨[J]. 建设科技,2012(20):46-49.
ZHENG Fujia, WEI Huijiao, SUN Xiaofeng, et al. Discussion on green building energy saving technology of Zhongxin Tianjin eco city public housing exhibition center[J]. Construction technology, 2012(20):46-49.
- [14] 周锐. 寒冷地区零能耗公共建筑运行研究[D]. 天津:天津大学,2013.
ZHOU Rui. Study on zero energy consumption public building operation in cold area[D]. Tianjin: Tianjin University, 2013.
- [15] 肖丹. 公共建筑能耗分析的数据挖掘方法研究与系统开发[D]. 重庆:重庆大学,2012.
XIAO Dan. Research and system development of data mining method for energy consumption analysis of public buildings[D]. Chongqing: Chongqing University, 2012.

(编辑 桂智刚)