

DOI:10.3969/j.issn.1674-1951.2021.12.011

基于建筑综合物性系数的换热站运行调节策略分析

Analysis on operation regulation strategy for heat exchange stations based on building comprehensive physical property coefficients

郑刚¹, 李金刚², 刘依婷^{3*}
ZHENG Gang¹, LI Jingang², LIU Yiting^{3*}

(1. 国能宁夏供热有限公司, 银川 750001; 2. 华电内蒙古能源有限公司卓资发电分公司 内蒙古 乌兰察布 012300;
3. 河北工业大学 能源与环境工程学院, 天津 300401)

(1. Guoneng Ningxia Heating Company Limited, Yinchuan 750001, China; 2. Zhuozi Power Generation Branch of Huadian Inner Mongolia Energy Company Limited, Ulanqab 012300, China; 3. School of Energy and Environmental Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China)

摘要: 集中供热系统的热力管网及换热站运行调节策略是实现整个系统优化运行的关键。将如何根据建筑热特性、室内温度以及室外气象参数的变化制定科学合理、简单易行的运行调节策略设为研究目标。根据热平衡理论, 即散热设备的散热量与建筑耗热量近似, 定义出建筑综合物性系数 B_c 。在计算出换热站 B_c 的基础上, 提出补偿周期(T_b)的概念, 利用 B_c 结合建筑延迟时间以及供热系统 T_b , 提出了一种基于 B_c 的热网运行调控策略。将提出的调控策略应用到某寒冷地区智慧供热系统中 2 个典型换热站的运行中, 结果显示应用建筑综合物性系数指导供热系统运行调节取代了以往的盲目供热和经验供热, 提高供热精准度同时能够达到很好的节能效果。

关键词: 智能热网; 建筑综合物性系数; 运行调节策略; 建筑延迟时间; 供热系统补偿周期; 智慧供热

中图分类号: TM 732 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-1951(2021)12-0072-07

Abstract: The operation regulation strategy of heating pipe networks and heat exchange stations in central heating systems is the key to optimize the operation of the whole system. Formulating a scientific, reasonable and simple regulation strategy for the system according to the thermal characteristics, indoor temperature and outdoor meteorological parameters of buildings is the research goal. According to the heat balance theory, heat dissipation of radiating equipment is approximately equal to the heat consumption by buildings, the comprehensive physical property coefficient of buildings (B_c) is defined. Based on the calculation results of B_c value of a heat exchange station, the concept of "compensation period" is proposed. Using the B_c , time lags and compensation period of the heating system, a heat network operation control strategy based on the B_c is proposed. The proposed regulation strategy for the intelligent heating system has been applied in two typical heat exchange stations in a cold area. The results show that replacing the conventional aimless operation regulation for heating systems by B_c -based operation regulation can improve the heating accuracy and energy-saving effect.

Keywords: intelligent heat network; comprehensive physical property coefficient of buildings; operation regulation strategy; construction delay time; compensation period of heating system; intelligent heat supply

0 引言

随着我国节能减排政策的不断加强, 智慧热网已经逐渐开始普及^[1]。同时, 随着信息化、自动化、智能化技术的成熟和完善, 基于信息化的智慧供热

系统逐渐代替传统供热系统^[2-3]。近年来, 智慧供热技术使区域供热系统变得更加灵活, 经过高度优化的智慧供热系统可满足用户室内热舒适并节省成本^[4]。热网的自动化监测和控制无疑有效地改善了系统供热质量差、用户冷热不均的现象, 更有效防止了因热网漏损大、耗电量高、盲目供热引起的巨大能源浪费。随着换热站数据的信息化以及智能化, 如何根据建筑热特性、室内温度、室外气象参数

的变化制定科学合理、简单易行的运行调节策略,是亟待研究的目标。

室外的环境热作用通过建筑物外围护结构影响着建筑物室内的热环境,太阳辐射强度与室外空气温度的周期波动也会引起室内温度的周期波动。但是由于围护结构具有蓄热性,围护结构对室外温度波动有一定的衰减、延迟作用,即建筑热特性对建筑室内温度有一定的影响^[5]。李田凯^[6]对以室内温度为目的的换热站智能调控模式进行了探究,发现该调控模式是可行的:它既避开了供热系统的滞后性,又及时注意到日照等其他热源的输入,降低了能耗,取得了良好的经济与社会效益;但是该调控模式具有成本高、对一次网冲击较大的问题。宋士杰等^[7]提出了集中供热运行调节曲线在实际工程中的应用,实际供热运行时不同地区的供热室外设计计算温度不同,应用不同的供热曲线,决定热用户室内温度参数为二次网供回水平均温度,不同热源及热网参数导致一次网曲线差异,二次网曲线仅随供暖地区变化而变化。Dahl 等^[8]考虑小时室外温度、风速、太阳辐射以及相对湿度,建立了自回归 (ARX) 耗热量预测模型,同时考虑天气时变不确定性对该模型进行优化,优化的模型应用到换热站调控中可以降低供水温度。Xue 等^[9]将时间变量、室外温度以及历史热负荷作为影响因素,基于机器学习建立多步超前区域供热系统热负荷预测框架,保证了区域供热系统的稳定运行。Dong 等^[10]将天气预报 (温度、太阳辐射和风速) 与用户行为结合起来,利用机器学习方法实现对供暖系统实时模型预测控制。Aoun 等^[11]提出并论证了一种基于混合整数线性规划 (MILP) 的模型预测控制 (MPC) 策略,用于规划建筑物的空间供暖需求。该策略利用建筑物及其供暖系统固有的热惯性,在预期天气条件和能源成本变化的情况下,优化空间供暖负荷。结果表明,基于柔性 MILP 的 MPC 是经济、有效的。

传统的气候补偿调控没有有效结合建筑热惰性。MPC 虽然同时实现供热系统节能运行并保证空间的热舒适需求,但 MPC 具有较高的复杂性,导致计算耗时长,限制了其在大规模供热系统运行调控中的广泛应用。且大多数现有的 MPC 都不将室内温度作为影响因素或反馈调节因素,所以不能实现闭环控制。将建筑的时滞特性与供暖系统换热站的调控方式有效融合,形成以室温为目标的反馈调节技术,并将其应用到实际供暖系统运行的调控中是急需研究的方向。在此背景下,基于供暖信息系统参数计算建筑综合物性系数,综合考虑建筑时滞性以及供热系统补偿周期等因素,提出基于建筑

综合物性系数的智慧热网换热站运行调节策略。

1 建筑综合物性系数的相关概念

1.1 建筑综合物性系数的定义

在供热系统稳态运行时,忽略其他因素的影响,为了使室内温度保持恒定不变,散热器单位时间的供热量、房间的自由得热以及太阳辐射形成的热负荷应等于单位时间房屋向室外的散热量。在此,利用综合传热系数来表示地板供暖对流和辐射放热系统的散热,具体公式如下^[12]

$$Q = FK(t_{2pj} - t_n), \quad (1)$$

$$Q' = F'K'(t_n - t_w), \quad (2)$$

$$Q + Q_z + Q_T = Q', \quad (3)$$

$$t_{2pj} = \frac{(t_{2g} + t_{2h})}{2}, \quad (4)$$

式中: Q 为散热设备单位时间散热量, W ; K 为散热设备的综合传热系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$; F 为散热设备的散热面积, m^2 ; t_{2pj} 为散热设备进出口平均温度, $^\circ C$; t_{2g} , t_{2h} 分别为供暖设备的供水和回水温度, $^\circ C$; t_n 为供暖用户室内温度, $^\circ C$; Q' 为房间单位时间向室外散失的热量, W ; F' 为房间围护结构传热面积, m^2 ; K' 为房间围护结构综合传热系数, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$; t_w 为室外空气温度, $^\circ C$; Q_z 为房间的自由得热, W ; Q_T 为太阳辐射得热, W 。由式 (1) — (4) 可得式 (5), 进一步整理得到式 (6)。

$$FK(t_{2pj} - t_n) = F'K'(t_n - t_w) - Q_T - Q_z, \quad (5)$$

$$\frac{FK}{F'K'} = \frac{(t_n - t_w)}{(t_{2pj} - t_n)} - \frac{(Q_T + Q_z)}{F'K'(t_{2pj} - t_n)} = \frac{(t_n - t_w)}{(\frac{t_{2g} + t_{2h}}{2} - t_n)} - \frac{(Q_T + Q_z)}{F'K'(\frac{t_{2g} + t_{2h}}{2} - t_n)} \quad (6)$$

若令 $\frac{(Q_T + Q_z)}{F'K'(\frac{t_{2g} + t_{2h}}{2} - t_n)} = M$, 则建筑综合物性

系数 B_c 可以表示为

$$B_c = \frac{FK}{F'K'} = \frac{(t_n - t_w)}{(\frac{t_{2g} + t_{2h}}{2} - t_n)} - M \quad (7)$$

该系数体现了建筑供暖设备的放热特性与建筑散热特性的匹配程度。在散热面积、放热面积一定的情况下, 2 个传热系数 (K, K') 波动不大, 则该建筑物性系数趋于稳定。若供暖系统随着外扰合理运行调节, 则利用供暖数据计算的 B_c 值仍处于稳定。根据式 (7) 可知, 当太阳辐射和房间自由热相对较大且波动时, 若供热系统换热站未及时进行调控, 则根据供热系统采集数据计算的 B_c 值将会有较

大波动。本文研究建筑综合物性系数的目的是获得不同建筑固有的热特性,用于指导供热系统调控。选取供热系统相对稳定的高寒期运行数据进行计算。高寒期太阳辐射得热量与总热负荷相比热贡献率很小,且居住建筑房间自由热可忽略,因此在高寒期居住建筑散热器单位时间的供热量等于单位时间房屋向室外的散热量,即 $M=0$,则式(7)可简化成

$$B_c = \frac{FK}{F'K'} = \frac{(t_n - t_w)}{(t_{2pj} - t_n)} = \frac{(t_n - t_w)}{(\frac{t_{2g} + t_{2h}}{2} - t_n)} \quad (8)$$

1.2 影响建筑综合物性系数的因素

理论上,对一类建筑的某个房间而言,供暖设备的散热面积和传热系数不变,建筑传热面积和综合传热系数不变, B_c 应为定值。但由于忽略了房间的自由得热及太阳辐射的影响,利用式(8)求出的建筑综合物性系数会有小幅波动。在实际情况下,供热调节二次网供/回水温度及流量不能保持恒定,传热系数 K 会有所波动,并且随着室外风速等扰量的变化, K' 也有所波动^[13]。因此,尽管 B_c 将呈现微

小波动,但该波动在供热系统实际工程应用中可忽略。

结合供热系统调节规律和室外温度的变化规律,为了避免供热系统延时性、建筑热惰性以及供热信息系统数据采集的干扰波动误差,按时间加权平均计算的瞬时建筑综合物性系数

$$B_{c,s} = \frac{\int_1^N B_c(\tau) d\tau}{N} = \frac{\int_1^N \frac{(t(\tau)_n - t(\tau)_w)}{(\frac{t(\tau)_{2g} + t(\tau)_{2h}}{2} - t(\tau)_n)} d\tau}{N} \quad (9)$$

式中: N 为代表时间段内各参数采集的样本数; τ 为代表采集时刻。时间步长可以取 4 h, 6 h, 12 h, 24 h。

分别以 2021 年寒冷地区典型的采用散热器和采用地暖供暖的建筑为研究对象,取时间步长为 24 h,分析 2 种换热站在采暖期系数 B_c 的变化规律,如图 1—2 所示(数据来源于智慧热网项目监控平台)。

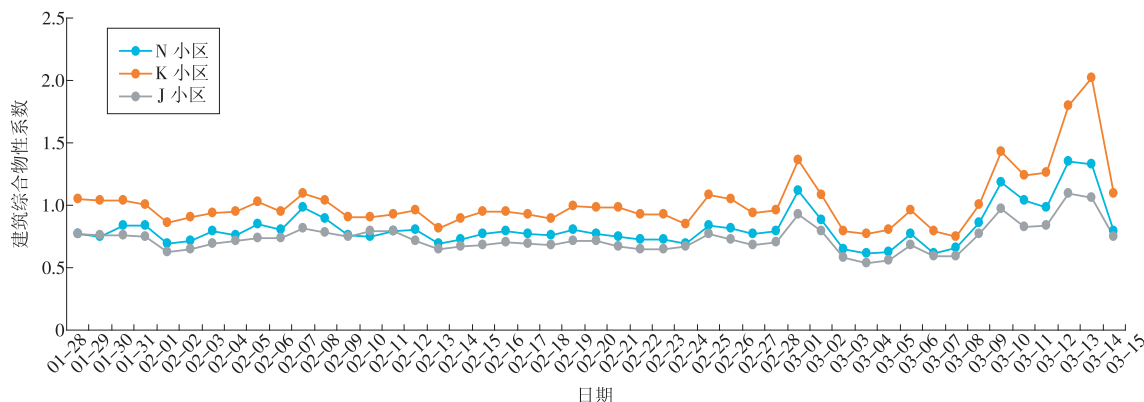


图 1 2021 年散热器供暖换热站 3 个小区 B_c 的变化

Fig. 1 Variation of B_c in three communities heated by radiators in 2021

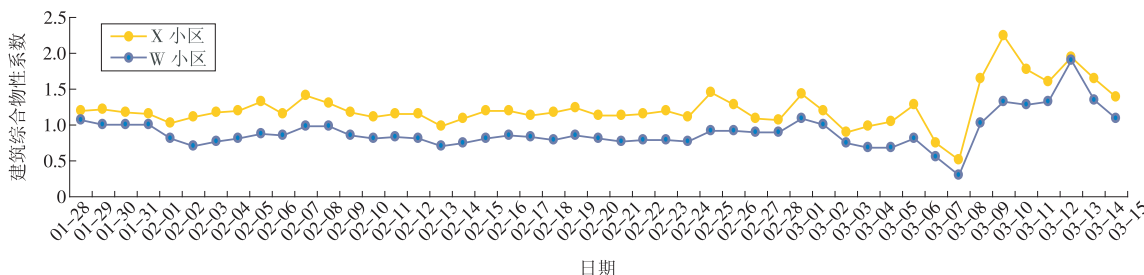


图 2 2021 年地板供暖换热站 2 个小区 B_c 的变化

Fig. 2 Variation of B_c in two communities taking radiant floor heating in 2021

由图 1—2 可以看出,系数 B_c 在高寒期保持比较平稳的趋势。但由于 B_c 是由室、内外温度及供、回水平均温度反映出来的,在供暖末期室外空气温度变化剧烈且有强烈太阳辐射的情况下,若供、回水平均温度未进行及时、有效调节,则室内温度会出

现过高或过低的现象,使由采集数据计算出的系数 B_c 出现大幅波动。本文的主要研究目的是获得反映建筑热特性的 B_c , 所以通过计算其规律分析可以得出,按照高寒期供热系统信息化数据计算 B_c 相对合理。

2 建筑延迟时间与供热系统补偿周期

2.1 建筑延迟时间

建筑延迟时间是指在没有供热系统的自然状态下或供热系统供热量恒定的情况下,连续 24 h 室内温度波峰与室外温度波峰值出现的时间差。同一换热站的各建筑的年代、建筑特性相似,可看作拥有相同的延迟时间。

2.2 换热站 B_c 与供热系统运行调节补偿周期

采集建筑顶、中、底部 9 个典型位置用户^[14]的室内温度,将整栋建筑的室温进行加权平均计算出建筑的代表性室温,求出 B_c ,再对换热站对应的所有 B_c 值取平均得到建筑群的 B_c 。由室外温度、换热站对应的建筑综合物性系数以及合理的室内温度目标值,反推二次侧供、回水的平均温度

$$t_{2pj}' = \frac{(t_{2g} + t_{2h})}{2} = \frac{t_n' - t_w}{B_c} + t_n', \quad (10)$$

式中: t_n' 为室内目标设定温度,取 20 °C。

由式(10)可知,每个 t_w 对应一个 t_{2pj}' 。由于室外温度是不断变化的,所以供、回水平均温度也会随着室外温度的变化而变化。但频繁的变化 t_{2pj} 对设备的寿命以及系统的稳定性有着极其不利的影响,并且由于建筑具有热惰性,频繁调节是不必要的。提出“补偿周期”的概念:即室内温度在一定变化范围内,系统并不进行调节;当室内温度波动超过设定值时,系统启动调节策略,并在预测下一时间段的供热参数之前对上一时间段的遗留偏差在短时间内给予补偿。

第 i 时刻和第 $i+1$ 时刻为 2 个相邻时刻,其供回水平均温度分别为

$$t_{2pj,i} = \frac{(t_{2g,i} + t_{2h,i})}{2} = \frac{t_{n,i} - t_{w,i}}{B_c} + t_{n,i}, \quad (11)$$

$$t_{2pj(i+1)} = \frac{t_{n(i+1)} - t_{w(i+1)}}{B_c} + t_{n(i+1)} \quad (12)$$

若该相邻时刻室温波动在允许范围之内不需要改变二次侧供回水平衡温度,即 $t_{2pj(i+1)} = t_{2pj,i}$,则由式(12)减式(11)可得

$$t_{2pj(i+1)} - t_{2pj,i} = \frac{(t_{n(i+1)} - t_{n,i}) - (t_{w(i+1)} - t_{w,i})}{B_c} + (t_{n(i+1)} - t_{n,i}) = 0,$$

整理后

$$t_{w(i+1)} - t_{w,i} = (1 + B_c)(t_{n(i+1)} - t_{n,i}) \quad (13)$$

如果 $t_{n(i+1)} - t_{n,i} = \pm 1$, 则

$$t_{w(i+1)} - t_{w,i} = \pm(1 + B_c) \quad (14)$$

由式(13)可推得,室内温度在一定范围变化

时,室外温度亦有一定变化范围,在这个范围内不需对二次供、回水平均温度进行调节。根据式(14)可知,室温变化在 ± 1 °C 时室外温度波动的范围。若室外温度超过该范围则需要调节,那么将室外温度波动超过该温度范围的临界时间称为补偿周期 T_b 。 B_c 越大, T_b 也越大; B_c 越小,相应的 T_b 也越小。

3 基于建筑综合物性系数的换热站运行调节策略应用

3.1 策略概述

将基于建筑综合物性系数的运行调节策略嵌入到智慧热网监控平台中,通过计算建筑综合物性系数,输入建筑延迟时间,计算供热系统补偿周期进而启动气候补偿,对供热系统进行节能控制。下面对基于建筑综合物性系数的运行调节策略进行应用分析。

结合天气预报系统获得 $i+1$ 时刻室外温度 $t_{w(i+1)}$,室内设定温度为已知量,每个时刻均有相应的室内设定温度,记为 $t_{n(i+1)}$,利用式(10),即可计算出 $i+1$ 时刻需要的二次侧供、回水平均温度。补偿条件为当某一时刻的室外温度与上一个补偿时刻的室外温度相差超过设定的温差,且经历的这段时间(补偿周期)大于该换热站建筑综合延迟时间,则根据计算的补偿量启动补偿。

3.2 典型换热站的策略应用

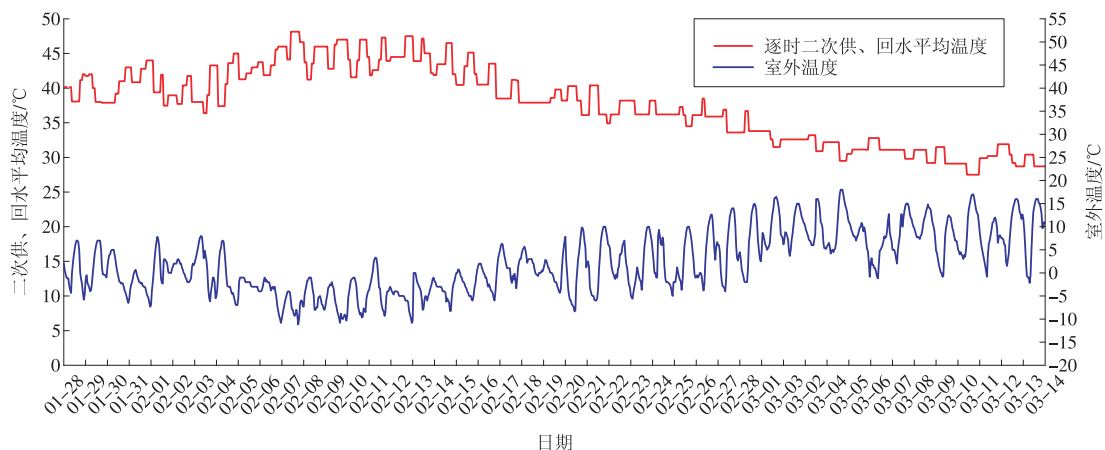
选取寒冷地区某智慧供热系统中#1 换热站与#2 换热站,并对其基于 B_c 的运行调节策略进行分析。

3.2.1 #1 换热站基于 B_c 的运行调节

以典型的#1 换热站为例,由于各建筑热工性能不同,其 B_c 不同。严寒期室外温度变化比较平缓, B_c 值趋于稳定,计算出#1 换热站对应的 B_c 为 1.0,由式(14)计算出室外温度波动范围为 2 °C,即室外温度变化超过 2 °C 且变化的时间大于建筑延迟时间时方可对系统进行调节。依据规范,冬季室内设计温度取 20 °C^[15],根据式(10)进行调节。

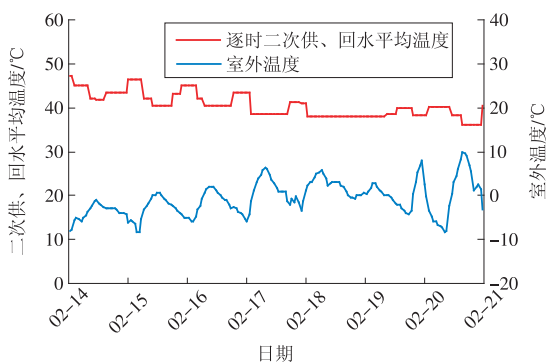
1# 换热站下辖的小区为 2005 年以后建成,供暖方式主要为散热器供暖,延迟时间为 3 h^[16]。管网的滞后时间近似等于流体流动的时间^[17],一般热水管道的介质流速为 1~2 m/s,换热站与热用户之间距离不超过 50 m,该时间可以忽略。具体的基于 B_c 的供热系统运行调节曲线如图 3 所示。

由图 3 可以看出,随着室外温度的震荡上升,二次供、回水平均温度呈折线下降。经过运行调整,室内温度由平均温度 22 °C 降为 20 °C,同时消除了站供回水平均温度、调节时间点及调节频率的不

图3 2021年#1换热站基于 B_c 的运行调节曲线Fig. 3 B_c based operation parameters of No. 1 heat exchange station in 2021

同。二次供、回水平均温度与室外温度有着良好的对应变化和调节效果。

具体到较短时间段调节情况,取1周的调节曲线进行分析,如图4所示。

图4 2021年#1换热站基于 B_c 的短期调节曲线Fig. 4 B_c based short-term operation parameters of No. 1 heat exchange station in 2021

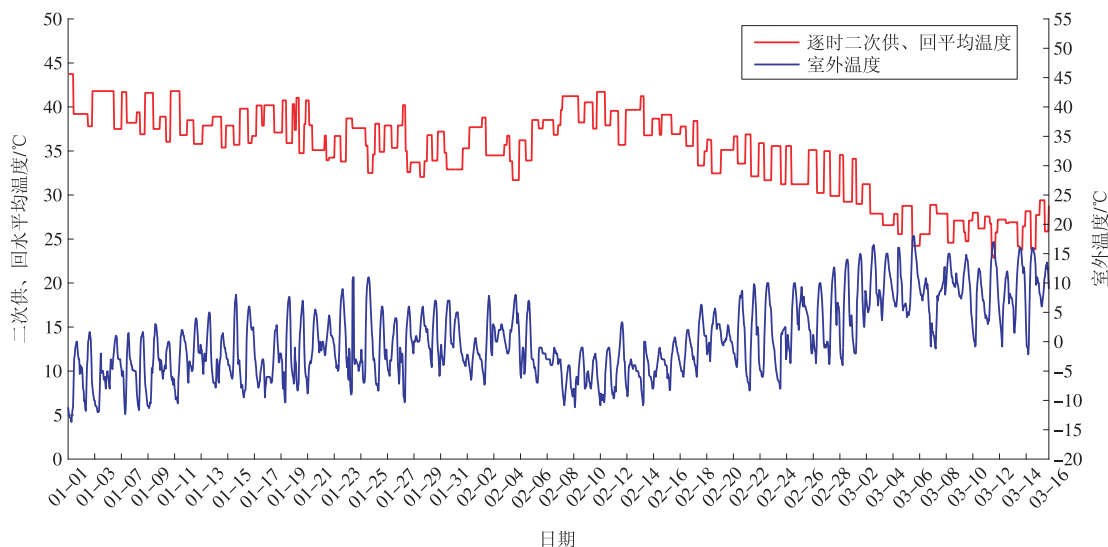
由图4可以看出,运用 B_c 进行供暖调节时,若一

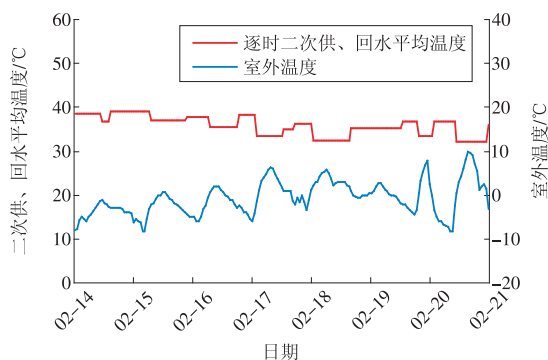
天内室外温度变化不大,则全天二次供、回水平均温度只需调节1~2次。当室外温度大幅度震荡波动,二次供、回水平均温度调节频率相对上升。

3.2.2 #2换热站基于 B_c 的运行调节

#2换热站的建筑采用低温地板辐射供暖,计算出换其 B_c 系数为1.3,并由式(13)计算出室外温度波动范围为2.3°C。建筑为三部节能且是地板辐射供暖,延迟时间为6 h^[16],运行调节曲线如图5所示。由图5可以看出,利用 B_c 指导供暖与室外温度有很好的契合程度。具体到较短时间段调节情况,取1周的调节曲线进行分析,如图6所示。

由图6可知,#2换热站供热系统补偿周期变大,调节频率降低。虽然室外温度相同,但由于 B_c 系数与建筑延迟时间的差异,导致2个换热站供回水平均温度、调节时间点及调节频率均不同。可以看出应用系数 B_c 指导供热系统运行调节,取代了盲目供热和经验供热,提高了供热精准度。

图5 2021年#2换热站基于 B_c 的短期调节曲线Fig. 5 B_c based short-term operation parameters of No. 2 heat exchange station in 2021

图6 2021年#2换热站基于 B_c 的短期调节曲线Fig. 6 B_c based short-term operation parameters of No. 2 heat exchange station in 2021

3.3 B_c 指导供热系统运行调节的节能分析

基于 B_c 调节供热系统运行的主要目的是有效克制盲目供热,从而达到节能降耗的效果。根据智慧供热平台,获得2017—2018年供暖季和2018—2019年供暖季2个换热站的数据,2017—2018年供暖季平均室外温度为3.2℃,该供暖季换热站工作人员根据经验进行供热调节。2018—2019年供暖季平均室外温度为3.9℃,而系统启用将 B_c 作为供热调节依据。通过调节,2018—2019年供暖季室内平均温度在20℃上下,波动在1℃左右。

为了统一基准,将不同供暖时期的年耗热量按照式(15)进行折算

$$Q_{zs} = Q_{sj} \frac{20 - t_w}{t_{ns} - t_{ws}}, \quad (15)$$

式中: Q_{zs} 为折算后的年耗热量, $\text{GJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$; Q_{sj} 为不同供暖时期实际年耗热量, $\text{GJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$; t_{ns} 为不同供暖时期室内实际累积平均温度,℃; t_{ws} 为不同供暖时期实际室外平均温度,℃; t_w 为供暖期室外设计平均温度,0.5℃。

2017—2018年供暖季,#1换热站实际年耗热量为0.382 $\text{GJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,室内实际累积平均温度为21.8℃,折算后年耗热量约为0.400 $\text{GJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$; #2换热站实际年耗热量为0.349 $\text{GJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,室内实际累积平均温度为22.1℃,折算后年耗热量约为0.360 $\text{GJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。启用系数 B_c 进行供热系统的运行调节后,2018—2019年供暖季#1换热站年的实际耗热量为0.269 $\text{GJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,室内实际累积平均温度为19.8℃,折算后年耗热量约为0.330 $\text{GJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$; #2换热站年实际耗热量为0.227 $\text{GJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,室内实际累积平均温度为20.3℃,折算后年耗热量约为0.270 $\text{GJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ 。

综上所述,应用 B_c 指导供热能够达到很好的节能效果。

4 结论

(1)供热系统连续稳定供热时,根据热平衡理论,散热设备的散热量与建筑耗热量近似,由此得到建筑综合物性系数 B_c 。该系数体现了建筑供暖设备的放热特性与建筑散热特性的匹配程度,在散热面积、放热面积一定的情况下,若2个传热系数(K, K')波动不大,则 B_c 趋于稳定。

(2)由于 B_c 具有相对平稳的特性,利用供热信息系统和室温的目标设定温度可反求散热设备供回水平均温度,由此可将建筑综合物性系数作为获得二次侧供、回水平均温度运行调节曲线的依据。

(3)定义了供热系统的补偿周期,通过分析得出 T_b 与 B_c 的紧密关系。

(4)根据建筑的延迟特性和补偿周期,制定了启动补偿的条件,最终形成了基于建筑综合物性系数的供热系统运行调节策略。

(5)以 B_c 数指导供暖具有良好的节能效果。

参考文献:

- [1]邱海平. 智慧热网推动供热企业实现节能减排[J]. 节能与环保, 2017(10): 64-66.
- [2]王秋惠, 孙立国, 李佳雯. 基于相变储能的建筑光伏系统储能优化配置研究[J]. 华电技术, 2021, 43(9): 54-61.
- WANG Qiuhui, SUN Ligu, LI Jiawen. Optimized configuration of energy storage devices of building photovoltaic system with phase-change energy storage [J]. Huadian Technology, 2021, 43(9): 54-61.
- [3]韩钊, 袁建娟, 孙春华, 等. 基于信息化的智慧热网系统应用分析[J]. 区域供热, 2018(2): 24-30.
- [4]BI Q, LV X, Li D, et al. Research on deep peak-shaving capacity of large heating units based on heat storage network and building thermal storage characteristics [J]. Turbine Technology, 2014, 56(2): 141-144.
- [5]彦启森, 赵庆珠. 建筑热过程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986.
- [6]李田凯. 基于室内温度的热力站智能调控方式探究[J]. 区域供热, 2020(1): 34-37.
- [7]宋士杰, 李鹤, 孙刚. 集中供热运行调节曲线在实际工程中的应用[J]. 区域供热, 2020(2): 27-31.
- [8]DAHL M, BRUN A, ANDRESEN G B. Using ensemble weather predictions in district heating operation and load forecast[J]. Applied Energy, 2017, 193(1): 455-465.
- [9]XUE P N, JIANG Y, ZHOU Z G, et al. Multi-step ahead forecasting of heat load in district heating systems using machine learning algorithms [J]. Energy, 2019, 188:

- 116085.
- [10] DONG B, LAM K P. A real-time model predictive control for building heating and cooling systems based on the occupancy behavior pattern detection and local weather forecasting[J]. Building Simulation, 2014, 7(1): 89-106.
- [11] AOUN N, BAVIERE R, VALLEE M, et al. Modelling and flexible predictive control of buildings space-heating demand in district heating systems [J]. Energy, 2019, 188:116042.1-116042.17.
- [12] 贺平, 孙刚. 供热工程(新1版)[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993.
- [13] 迟进华, 张荣华. 区域供热系统供水温度的集中调节[J]. 工业锅炉, 2009(4): 36-39.
- [14] 刻婧婧, 刘兰斌, 涂壤. 供暖期空置住宅停暖对建筑室温及能耗的影响[J]. 建筑科学, 2019, 35(8): 125-130.
- [15] 居住建筑节能设计标准: DB 13(J)185—2020[S].
- [16] 索源志. 住宅建筑热惰性与供热负荷特性研究[D]. 北京: 北京建筑大学, 2018.
- [17] 郭海娇. 大型集中供热系统换热站运行调节策略研究[D]. 天津: 河北工业大学, 2013.
- (本文责编: 陆华)
-
- 作者简介:**
- 郑刚(1966—), 男, 山东日照人, 工程师, 从事供热公司的管理工作。
- 李金刚(1970—), 男, 山西朔州人, 工程师, 从事供热公司生产管理工作。
- 刘依婷*(1999—), 女, 四川绵阳人, 在读硕士研究生, 从事人工环境控制及节能技术方面的研究(E-mail: 739374741@qq.com)。

广告索引

- | | | | |
|------------------------|-----------|------------------------|-------------|
| 郑州科润机电工程有限公司 | (后插 1) | 郑州华电能源科技有限公司(跨版) | (后插 10, 11) |
| 华电水务科技股份有限公司(跨版) | (后插 2, 3) | 华电重工股份有限公司(跨版) | (后插 12, 13) |
| 华电环保系统工程有限公司(跨版) | (后插 4, 5) | 中国华电科工集团有限公司总承包 | |
| 中国华电科工集团有限公司新能源 | | 分公司(跨版) | (后插 14, 15) |
| 技术开发公司 | (后插 6) | 华电科工安全环境质量科学研究所 | (后插 16) |
| 国家能源生物燃气高效制备及综合利用技术 | | 山东华电节能技术有限公司 | (后插 17) |
| 研发(实验)中心 | (后插 7) | 《华电技术》更名启事 | (后插 18) |
| 华电综合智慧能源科技有限公司 | (后插 8) | 华电郑州机械设计研究院有限公司 | (封三) |
| 华电通用轻型燃机设备有限公司 | (后插 9) | 中国华电科工集团有限公司 | (封底) |