

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2013.S1.040

## 北京地区办公建筑供暖系统的数值模拟

冯涛,李迅,丁德平

(北京市气象服务中心,北京 100089)

**摘要:**应用能量平衡原理,建立建筑物热损失方程和供热量方程,从而推导出室外温度和室内温度、供水、回水温度的数值模型,建立了北京地区某办公建筑供暖系统数学模型。利用自动气象观测站获得的24 h逐时的室外温度实况数据,对2012年2月1日至29日期间的供、回水温度进行数值模拟,并与该办公大厦实况值进行对比分析。检验结果表明,供、回水温度模拟值随着室外温度的变化而发生明显的变化,并且与室外温度呈反比例关系,相关系数为-0.95,室内温度模拟值始终维持在设计温度附近上下波动。此外,供热量的模拟值与实况值具有较一致的变化趋势,随着室外气温的升高,模拟的供热量能够随着下降,供热量的模拟值要比实况值低,能够节约约8%的供热量。上述情况表明该供暖系统数学模型的模拟效果较好。

**关键词:**能量平衡原理;数值模拟;供暖系统;供水温度;回水温度

**中图分类号:**TU111.19 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2013)S1-0181-05

## Numerical Simulation of the Heating System for the Office Building in Beijing Area

Feng Tao, Li Xun, Ding Deping

(Beijing Meteorological Service Center, Beijing 100089, P. R. China)

**Abstract:** The principle of the energy equilibrium is applied to establish the relationship between heat loss and supply, indoor and outdoor temperature, supply and return water temperature of heating system for a building. A numerical simulation model of supply-return water temperature is deduced. The heating system mathematical model for the office building in Beijing area is developed. Based on the hourly air temperatures at the automatic weather observation station and observed indoor temperature from the office building in February 2010 in Beijing area, a simulation experiment of hourly prediction for next 24-hours is executed. The test results show that the simulated and observed supply and return water temperature changed significantly when the outdoor air temperature changes, it is inversely proportional relationship between them, the correlation coefficient is -0.95, the simulated indoor temperature has remained near the designed temperature. There is a consistent trend between simulated and observed heating, as outdoor air temperatures rise, the simulated heating declined, it can save nearly 8% for heating. This means the simulated model of supply-return water temperature has a good quality.

**Key words:** energy conservation; numerical simulation; heating system; supply water temperature; return water temperature

近年来随着中国经济的发展和人民生活水平的提高,节能环保越来越受到重视。与发达国家相比,中国城镇建筑单位面积供暖能耗是同纬度国家的2~3倍,而建筑除供暖外的其他用能(照明、空调、家电、建筑设备等)按照单位面积比较,却仅为发达国家的1/5~1/2<sup>[1]</sup>。因此供暖节能应是我国建筑节能工作中潜力最大、最主要的途径。降低中国建筑供暖能耗的关键,就是改善建筑围护结构的保温以降低建筑物供暖耗热量;改善集中供暖系统的调节,以避免各种局部过热造成的热损失。供暖系统供热调节的意义是非常重大的,对于节约能源、经济运行的效益是可观的。

由于供暖系统和建筑物有很大的热惰性,气象参数和供水温度、流量等参数的变化对用户室内温度的影响并不是立

刻产生,而是滞后一段时间。因此,必须对供暖系统的运行进行动态调节。中国学者们对供暖系统热特性的预测进行了大量研究。黄晓飞等<sup>[2]</sup>基于气象预报确定未来4个时段室外温度的量化值及供暖系统热特性确定出供水温度的量化值,以此指导供暖系统的运行。郝有志等<sup>[3]</sup>提出了基于BP神经网络的供热计量系统热负荷短期预测方法。李连众<sup>[4]</sup>建立了独立别墅供暖系统的非线性动态模型并分析了其动态特性,针对可能的供暖系统控制策略进行了动态仿真。刘大龙等<sup>[5]</sup>采用建筑能耗动态模拟方法研究了中国在气候变暖条件下居住建筑能耗的变化规律。徐宝萍等<sup>[6]</sup>提出了温控阀作用下的房间动态特性计算方法,建立了描述温控阀、散热器、房间动态特性的方程并联立求解,计算过程较

收稿日期:2013-01-16

基金项目:北京市科技计划课题资助项目(Z111100074211010)

作者简介:冯涛(1977-),男,工程师,硕士,主要从事建筑气象等应用气象研究,(E-mail)baidulasg@163.com。

复杂。国外学者更关注气象参数对建筑耗热量的影响,并进行了大量研究工作。Nielsen 等<sup>[7]</sup>提出了采用灰盒法进行区域供暖系统负荷的模拟研究,并在实际工程中实现了基于气象预报数据和 SCADA 系统的负荷在线预测。Omer 等人<sup>[8]</sup>选取室外温度、风速、相对湿度、太阳辐射 4 个气象参数进行研究,得到了建筑耗热量和这些气象参数的回归方程。Valdimarsson<sup>[9]</sup>、Yildirim<sup>[10]</sup>等利用能量平衡原理,根据建筑物的实况温度和相应的外界气温来计算需增加的热量,既满足了供热需求也节约了能源。Westphal 等<sup>[11]</sup>采用不同的气象周期和不同标准的气象年数据,研究气象参数对建筑耗热量和供暖系统负荷的影响。Popescu<sup>[12]</sup>利用气象条件建立了关于建筑能耗的数值模拟方法。Liao 等<sup>[13]</sup>利用简化物理模型估算室内温度的波动情况,并应用于锅炉控制的推理中,建立了室温与锅炉出水温度之间的反馈闭合回路。

建筑围护结构能耗是建筑使用过程中的主要能耗。闫成文等<sup>[14]</sup>研究了夏热冬冷地区外窗传热系数变化对建筑能耗的影响。孔凡红等<sup>[15]</sup>建立了多孔介质热质耦合传递的理论模型,模拟新建建筑围护结构的传热系数随围护结构干燥的变化情况,为建筑节能的进一步细化研究提供理论依据。另外,风机盘管作为办公类建筑的主要供暖末端设备,它的运行调节与优化控制是中央空调系统乃至建筑节能的重要实施手段。刘静纨等<sup>[16]</sup>将模糊 PID 控制应用于变风量空调系统中,任务是将送风温度和空调房间内的温度控制在各自的设定目标值附近。

本文应用能量平衡原理建立供暖系统的供、回水温度数学模型,考虑了建筑物结构对供热的影响,并利用自动气象观测站的 24 h 逐时的室外温度实况资料,模拟了北京某商业办公大厦未来 24 h 逐时的供、回水温度,并将模型的数值模拟值与该大厦实况值进行了对比分析,验证该模型的模拟性能。

## 1 室外天气条件对供热的影响

室外天气条件的变化会导致建筑物热量的变化,为了保证室内温度保持在一定范围内,就需要供热设备减少(或增加)一定的供热量。由此看来,室外天气条件对供热起着至关重要的作用,下面就来分析各个气象因素对供热的影响情况。

### 1.1 研究对象基本情况

选用的办公大厦位于北京市东城区,项目总建筑面积 65 000 m<sup>2</sup>,其中写字楼建筑面积约 40 000 m<sup>2</sup>。建筑高度为 75 m,标准层建筑面积约为 2 200 m<sup>2</sup>。主体结构采用钢筋混凝土框架,剪力墙结构体系。建筑外轮廓表现为基本规则的方形建筑,其平面左右两侧各有一个天井(由自成结构体系的玻璃幕墙和轻质采光钢屋面组成),主体结构形成 2 个缺角矩形反对称布置。

### 1.2 室外天气条件对供热的影响

利用 2012 年 2 月该大厦逐时供热量监测资料及附近相应的自动气象观测站气象要素观测数据,进行了对比分析。一天主要分为 3 个时段进行分析,分别为 07:00—17:00, 17:00—22:00 及 22:00—07:00。从结果来看,07:00—17:00 和 17:00—22:00 两个时段供热量明显要高于 22:00—07:00 时段,并且 07:00—17:00 时段供热量最大。

从图 1 可以看出,室外温度与供热量成反比例关系,也就是说,当室外温度升高时,供热量就相应地降低,而当室外温度降低时,供热量就相应地升高。

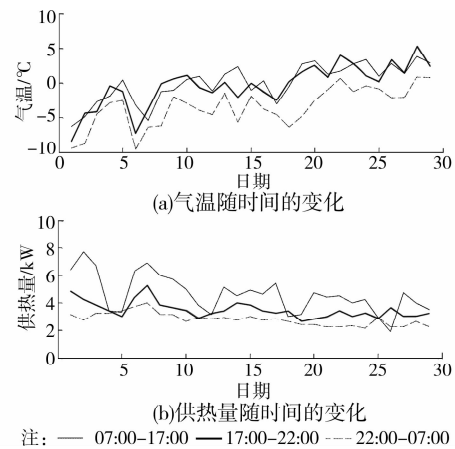


图 1 北京市某大厦 2012 年 2 月气温与供热量随时间的变化

从图 2 同样地可以看出,相对湿度与供热量成反比例关系,也就是说,当相对湿度增大时,供热量就相应地降低,而当相对湿度减小时,供热量就相应地升高。

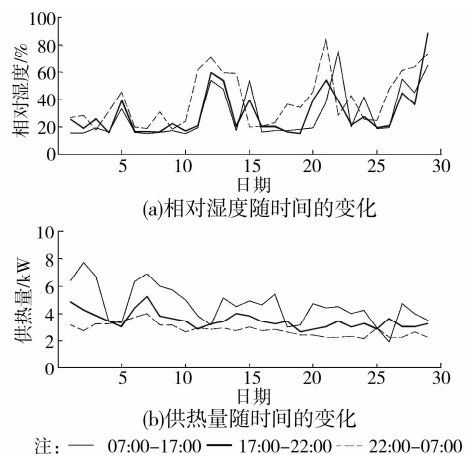


图 2 北京市某大厦 2012 年 2 月相对湿度与供热量随时间的变化

从图 3 同样地可以看出,风速与供热量也成反比例关系,也就是说,当风速增大时,供热量就相应地降低,而当风速减小时,供热量就相应地升高。

从图 4 可以看出,气压与供、回水温度也成正比例关系。

另外,分析了气象要素与供热量之间的相关关系,气温与供热量呈明显的负相关,达到  $-0.72$ ,相对湿度与它的相关系数为  $-0.23$ ,而风速与它的相关系数为  $0.55$ ,气压与它的相关系数为  $0.30$ 。综上所述,室外气温与供热的关系最密切,因此室外气温作为唯一的供热模型输入天气变量。下面就详细地分析供热模型的具体情况。

## 2 供暖系统的物理模型原理简介

供暖系统中所需要提供的单位面积供热量主要决定于房屋的结构和室外的温度,由于建筑物及管网随时间的变化比室外温度的变化慢得多,对短的温度间隔来说,可以忽略供暖系统的流体动力问题。另外在模拟过程中考虑恒定的流量,即管中流量不随时间变化。第三,假设管道中没有热

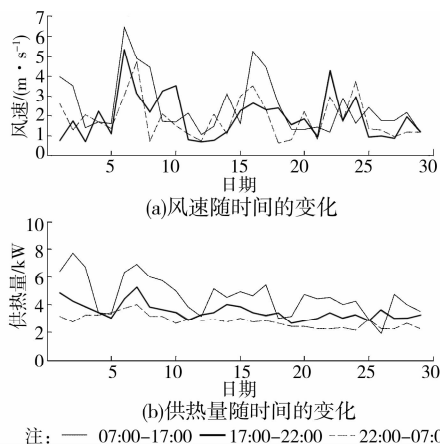


图 3 北京市某大厦 2012 年 2 月风速与供热量随时间的变化

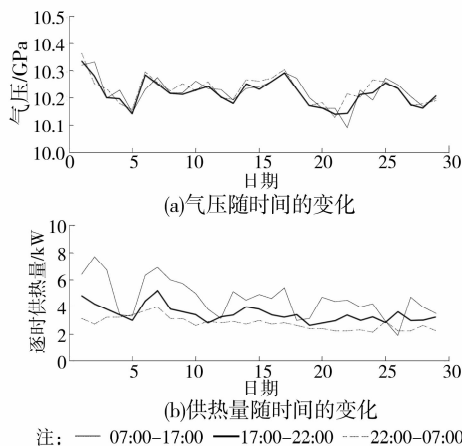


图 4 北京市某大厦 2012 年 2 月气压与供热量随时间的变化

量损失,可忽略管网中温度的下降。则供暖模型主要由三部分组成,分别是热损失部分、供热设备部分和建筑物能源储藏部分。热损失单元描述流失到环境中的热量。供热设备单元将热水中的热量转移到建筑物中。建筑物能源储藏单元描述建筑物热的储藏效果。

### 3 供暖系统数学模型

#### 3.1 建筑物的供热量

供热量的方程为

$$Q_{\text{supply}} = m C_p (T_s - T_r) \quad (1)$$

式中:  $Q_{\text{supply}}$  为供热量, kW;  $m$  是流量;  $C_p$  为水的热容量,  $\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $T_s$  为供水温度,  $^\circ\text{C}$ ;  $T_r$  为回水温度,  $^\circ\text{C}$ 。方程(1)表示供热量是流量、供水温度和回水温度的函数。

#### 3.2 建筑物的热损失

建筑物的热损失方程可以写成如下形式:

$$Q_{\text{loss}} = U_b A_b (T_i - T_o) \quad (2)$$

式中:  $Q_{\text{loss}}$  为建筑物热损失, kW;  $U_b$  为建筑物热交换系数,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $A_b$  为建筑物面积,  $\text{m}^2$ ;  $U_b$ 、 $A_b$  是与建筑物的热性质有关数。  $T_i$  为室内温度,  $^\circ\text{C}$ ;  $T_o$  为室外温度,  $^\circ\text{C}$ 。方程(2)表明热损失是室外、内温度的函数。

#### 3.3 建筑物储藏模型

假定在任何时间建筑物的所得到的热量都用来加热室内温度,那么建筑物可以用单一的热单元来模拟,可将微分

方程写为流入建筑物中的净热量与室内温度的时间导数和建筑物热容量之间的一个表达式,即建筑物的净热量可以描述为如下方程:

$$C_{\text{air}} \frac{dT_i}{dt} = Q_{\text{net}} = Q_{\text{supply}} - Q_{\text{loss}} \quad (3)$$

式中:  $C_{\text{air}}$  为建筑物热容量,是与建筑物的热性质有关的常数。

利用离散方法求解。方程(3)可以简化为

$$T_{i(i)} = \frac{Q_{\text{supply}(i-1)} + U_b A_b T_{o(i-1)}}{U_b A_b} - \frac{e^{(-U_b A_b \Delta t / C_{\text{air}})} [Q_{\text{supply}(i-1)} + U_b A_b (T_{o(i-1)} - T_{i(i-1)})]}{U_b A_b} \quad (4)$$

式中,下标  $(i-1)$  表示前一时间步长的值。通过方程(7),当前时间步长的室内温度  $T_i$  可以通过前一时间步长获得。方程(4)的初始条件是室内温度  $T_{i(0)}$ , 取为  $21^\circ\text{C}$ , 即初始值取为当地或小区物业所规定的标准室内温度值接近的值。

#### 3.4 锅炉模型

锅炉可以看作是一个具有固定热量的源,其热量传输给流入其中的水。来自锅炉的出水温度为  $T_b$ , 由于假设管道中没有热量损失,所以供水温度等于锅炉的出水温度。根据能量守恒原理,利用下面的关系式可计算锅炉的出水温度。

$$\frac{dT_b}{dt} = \frac{Q_{\text{boiler}} - m C_p (T_b - T_r)}{M_{\text{boiler}} C_p} \quad (5)$$

式中:  $T_b$  为锅炉出水温度,  $^\circ\text{C}$ ;  $t$  为时间, s;  $Q_{\text{boiler}}$  为锅炉热容量, kW;  $M_{\text{boiler}}$  为锅炉水质量, kg。

上面的方程(5)与(3)类似,采用同样解法,整理后得到:

$$T_b(t) = \frac{Q_{\text{boiler}} - m C_p T_r - Q_r}{m C_p} \quad (6)$$

式中,

$$Q_r = [Q_{\text{boiler}} + m C_p (T_r - T_{b(\text{old})})] \exp\left(-\frac{\Delta t m}{M_{\text{boiler}}}\right) \quad (7)$$

$T_{b(\text{old})}$  在前一时间步长  $(t - \Delta t)$  的锅炉出水温度,  $\Delta t$  为时间步长,这里取为 360 s。

#### 3.5 散热器模型

供热量方程(1)也可以用下式来表述:

$$Q_{\text{supply}} = U_{\text{he}} A_{\text{he}} \text{LMTD}_{\text{he}} = Q_{\text{he}} \quad (8)$$

式中:  $U_{\text{he}}$  为散热器的热交换系数;  $A_{\text{he}}$  为散热器面积;  $\text{LMTD}_{\text{he}}$  为对数平均温度差;  $Q_{\text{he}}$  为散热器供热量。

$$\text{LMTD}_{\text{he}} = \frac{(T_s - T_i) - (T_r - T_i)}{\ln\left(\frac{T_s - T_i}{T_r - T_i}\right)} \quad (9)$$

即建筑物散热器的性能主要依赖于供水温度和回水温度。

$$P = \frac{Q_{\text{he}}}{Q_{\text{he0}}} = \left(\frac{\text{LMTD}_{\text{he}}}{\text{LMTD}_0}\right)^n \quad (10)$$

本文中考虑恒定的流量,  $m = m_0$ , 对方程(10)进行简化可以得到回水温度的数学模拟方程。

$$T_r = T_i + \frac{T_s - T_i}{\exp\left[\left(\frac{T_s - T_r}{T_{s0} - T_{r0}}\right)^{(1-\frac{1}{n})} \ln\left(\frac{T_{s0} - T_{i0}}{T_{r0} - T_{i0}}\right)\right]} \quad (11)$$

式(1)中,下标(0)表示供热设备的一种设计供回水温度情况。 $n$  的具体数值由经验来确定。中青旅大厦空调系统采用风机盘管加新风的空调方式。这里取为 1。方程两边都有  $T_r$ , 采用迭代法可解出回水温度  $T_r$ 。

## 4 样本建筑物及参数的计算

### 4.1 建筑物的总热交换系数的计算

建筑物热交换系数是用于描述平流、对流和辐射而引起在建筑物和周围环境之间产生的热交换<sup>[14]</sup>。

$$U_{\text{total}} = \frac{U_1 A_1 + U_2 A_2 + \dots + U_n A_n}{A_{\text{total}}}, \quad (12)$$

式中:  $U_{\text{total}}$  为建筑物总传热系数,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$ ;  $U_n$  为建筑物各部分(屋顶、地板、外墙和窗户)传热系数,  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{C})$ ;  $A_n$  为建筑物各部分面积,  $\text{m}^2$ ;  $A_{\text{total}}$  为建筑物总面积,  $\text{m}^2$ 。由上面的公式可以得到如下表。

表 1 建筑物传热系数 ( $U_b$ )、面积 ( $A_b$ ) 和总传热系数

	$U_b / (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{C}^{-1})$	$A_b / \text{m}^2$	$U_b A_b / (\text{W} \cdot \text{C}^{-1})$
屋顶	0.6	26 244	15 746
地板	0.5	26 244	13 122
外墙	0.6	1 440	864
窗户	0.9	12 757	11 481
总计			41 213

由表 1 可以得到取样建筑物的总传热系数值 ( $U_b A_b$ ) 为 41 213  $\text{W}/\text{C}$ 。

### 4.2 样本建筑物总热质量的计算

建筑物的热质量是表示建筑物存储热量的一种能力。样本建筑物的总热质量由各个部分(屋顶、地板、外墙和窗户)的热质量之和得到<sup>[14]</sup>。建筑物热质量公式如下:

$$C_{\text{air}} = m_{\text{air}} C_v = \rho_{\text{air}} V_{\text{building}} C_v. \quad (13)$$

式中:  $\rho_{\text{air}}$  为空气密度;  $V_{\text{building}}$  为建筑物的体积,  $C_v$  为热容量, 计算结果列于表 2。

表 2 建筑物各个部分的热质量及其建筑物总热质量  $C_{\text{air}}$

	$C_{\text{air}} / (\text{kJ} \cdot \text{C}^{-1})$
屋顶	5 856 098
地板	1 549 144
外墙	3 433 863
窗户	13 669 163
总计	24 508 268

由表 2 可知, 建筑物的总热质量为 24 508 268  $\text{kJ}/\text{C}$ 。

## 5 试验模拟结果与供热实况的对比

北京市采暖季节大约开始于 11 月中旬和结束于 3 月中旬。因此, 模拟过程只采用 2012 年 2 月 1 日—29 日供暖期进行了模拟试验, 在图 5~7 中实线为实况值, 虚线为模拟值。

图 5 中给出了 2012 年 2 月 1 日至 29 日该办公建筑室外温度与室内温度逐时的变化情况, 室内温度模拟值始终维持在 21 度上下波动, 总体上市呈现逐渐升高的过程, 刚好室外温度也呈现逐步升高的过程。而室内温度监测值却是波动明显, 有时温度很低, 低于  $20\text{C}$ , 有时又很高, 达到  $24\text{C}$ 。

图 6 中给出了 2012 年 2 月 1 日至 29 日该办公建筑供水

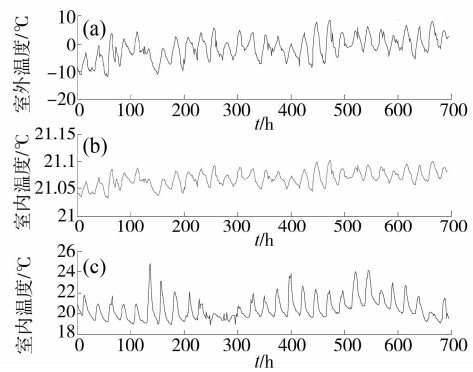


图 5 2012 年 2 月 1 日至 29 日室外温度与室内温度逐时的变化情况

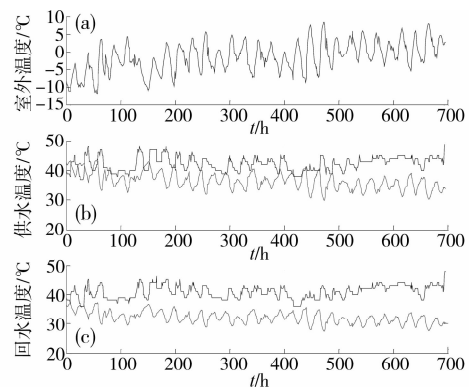


图 6 2012 年 2 月 1 日至 29 日供、回水温度模拟值与实况值对比分析

温度与回水温度逐时的变化情况, 从图中可以看出, 供水温度和回水温度模拟值具有基本一致的变化趋势。供、回水温度模拟值均低于实况值, 供、回水温度实况值基本上在  $40\text{C}$  左右上下波动, 供、回水温度差只有  $5\text{C}$  以内。并没有随着室外温度的变化而发生明显变化。而供、回水温度模拟值随着室外温度的变化而发生明显的变化, 并且与室外温度呈反比例关系, 相关系数为  $-0.95$ 。室外温度整体上是逐渐升高的过程, 而供、回水温度模拟值却是逐渐降低的过程, 正好呈现反位相关关系。而供、回水温度实况值却没有这种变化。

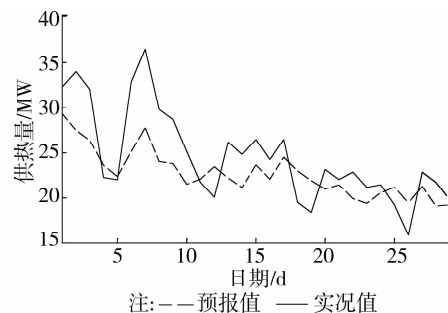


图 7 2012 年 2 月 1 日至 29 日供热量模拟值与实况值对比分析

图 7 给出了 2012 年 2 月 1 日至 29 日该办公建筑供热量的预报值与实况值之间的变化情况, 模拟值与实况值具有较一致的变化趋势, 随着室外气温的升高, 模拟的供热量能够随着下降, 另外, 供热量的模拟值要比实况值低, 能够节约近 8% 的供热量。

## 6 结 论

应用能量平衡原理建立供暖系统中室内温度,供、回水温度与室外温度的模拟模式,采用自动气象站观测获得的 24 h 逐时室外温度,对室内温度及供、回水温度进行模拟。最后将 2012 年 2 月 1 日至 29 日供、回水温度预报值与实况值进行对比试验。试验表明,供、回水温度预报值随着室外温度的变化而发生明显的变化,并且与室外温度呈反比例关系,相关系数为-0.95。另外,供热量的模拟值与实况值具有较一致的变化趋势,随着室外气温的升高,模拟的供热量能够随着下降,供热量的模拟值要比实况值低,能够节约近 8% 的供热量。该结果表明,供暖系统供、回水温度预报模式具有较好的预报效果。

在投入实际业务应用时,该供暖节能预报模型可以结合气象部门高分辨率数值预报输出产品,得到未来 48 h 甚至更长时间的供热预报产品,从而延长预报时效。另外,可以将本模型输出产品应用于气候补偿器,从而能够让气候补偿器准确地随着室外温度变化来调节,从而更加地节能。

### 参考文献:

- [1] 江亿. 我国供热节能中的问题和解决途径[J]. 暖通空调, 2006, 36(3): 37-41.  
Jiang Y. Problems in improvement of central heating systems in China and possible solutions [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2006, 36(3): 37-41.
- [2] 黄晓飞, 张爱平, 朱向东. 冬季采暖室外气温与运行温度量化值的确定及实际运用[J]. 区域供热, 2003(2): 15-16.  
Huang X F, Zhang A P, Zhu X D. Determination and Application of outdoor air temperature and operational temperature during the winter heating [J]. District Heating, 2003(2): 15-16.
- [3] 郝有志, 李德英, 郝斌. 基于神经网络的供热计量系统热负荷短期预测[J]. 暖通空调, 2003, (6): 105-107.  
Hao Y Z, Li D Y, Hao B. Short-term heat load prediction for heating metering systems based on neural networks [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2003, (6): 105-107.
- [4] 李连众. 独立别墅热水供热系统动态模型、控制策略及能耗分析[J]. 暖通空调, 2006, 36(10): 102-110.  
Li L Z. Dynamic model, control strategies and energy consumption analysis for the hot water heating system in a detached villa [J]. Heating Ventilating & Air Conditioning, 2006, 36(10): 102-110.
- [5] 刘大龙, 刘加平, 杨柳, 等. 气候变化下建筑能耗模拟气象数据研究[J]. 土木建筑与环境工程, 2012, 34(2): 110-114.  
Liu D L, Liu J P, Yang L, et al. Analysis on simulation meteorological data under climate change [J]. Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering, 2012, 34(2): 110-114.
- [6] 徐宝萍, 付林, 狄洪发. 温控阀作用下的房间动态特性模拟[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2007, 47(6): 757-760.  
Xu B P, Fu L, Di H F. Simulation of room thermal dynamics with thermostatic temperature control [J]. Journal of Tsinghua University: Science and Technology, 2007, 47(6): 757-760.
- [7] Nielsen H A, Madsen H. Modelling the heat consumption in district heating systems using a grey-box approach [J]. Energy and Buildings, 2006(1): 63-71.
- [8] Yetemen O, Yalcin T. Climatic parameters and evaluation of energy consumption of the Afyon geothermal district heating system, Afyon, Turkey [J]. Renewable Energy, 2009, 34(3): 706-710.
- [9] Valdimarsson P. Modelling of geothermal district heating systems [J]. University of Iceland, 115, 37-82.
- [10] Yildirim N, Macit T Y, Gulden G. District heating system design for a university campus [J]. Energy and Buildings, 2006, 38: 1111-1119.
- [11] Westphal F S, Lamberts R. The use of weather data to estimate thermal loads of nonresidential buildings [J]. Energy and Buildings, 2004, 36: 47-54.
- [12] Popescu D, Ungreanu F, Hernandez-Guerrero A. Simulation models for the analysis of space heat consumption of buildings [J]. Energy, 2009, 34(10): 1447-1453.
- [13] Liao Z, Decter A L. A simplified physical model for estimating the average air temperature in multi-zone heating system [J]. Building and Environment, 2004, 39(9): 1013-1022.
- [14] 闫成文, 姚健, 周燕, 等. 夏热冬冷地区外窗传热系数对建筑能耗的影响[J]. 重庆建筑大学学报, 2008, 30(6): 120-123.  
Yan C W, Yao J, Zhou Y, et al. Effects of heat transfer coefficient of external window on residential buildings in subtropical areas [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2008, 30(6): 120-123.
- [15] 孔凡红, 廖胜明, 郑茂余. 新建建筑围护结构的传热系数变化研究[J]. 太阳能学报, 2010, 31(6): 717-722.  
Kong F H, Liao S M, Zheng M Y. Study on the change of envelope heat transfer coefficient for new completed building [J]. Acta Energiae Solaris Sinica, 2010, 31(6): 717-722.
- [16] 赵天怡, 马良栋, 张吉礼. 风机盘管占空比模糊控制试验研究[J]. 土木建筑与环境工程, 2012, 32(6): 92-99.  
Zhao T Y, Ma L D, Zhang J L. Experiment analysis on duty ratio fuzzy control for fan-coil unit [J]. Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering, 2012, 32(6): 92-99.

(编辑 郑 浩)