



新建居住建筑供暖效果影响因素的计算分析

北京工业大学 简毅文[☆] 白贞 刘建

摘要 以北京市两栋装有分户热计量装置的新建住宅楼为研究对象,对楼内的 113 个住户进行冬季供暖耗热量、热水流量以及供回水温度等相关数据的定期采集,并在供暖季对其中 9 个住户的房间进行室温的连续测试。统计结果表明,住户的供暖耗热量高于北京现行节能标准的要求,但围护结构并不是影响住户供暖能耗大小的主要原因。通过对典型住户室内热环境的模拟计算及分析对比发现,房间通风状况、邻室室温状况、房间遮阳状况以及客厅与阳台门的开关状况等人的行为因素对住户的供暖效果产生不可忽视的重要影响。

关键词 居住建筑 供暖效果 影响因素 居住者行为

Calculation and analysis of influencing factors on heating effects of new built residential buildings

By Jian Yiwen[★], Bai Zhen and Liu Jian

Abstract Taking two new built residential buildings installed with household heat metering systems in Beijing as research objects, periodically collects the data for heat consumption, hot water flow rate, supply and return water temperatures, etc. in 113 apartments, and continuously measures indoor air temperature in the 9 apartments among them. Statistical results show that the heat consumption is higher than the value mentioned in current energy saving standard in Beijing but the building envelope is not the main cause for the consumed heat quantity. Simulation calculation and analysis results of indoor air temperature of the typical apartment show that room ventilation conditions, adjacent room air temperatures, room shading conditions and the opening/closing state of doors between the living room and the balcony will have important influences on heating effects of residential buildings.

Keywords residential building, heating effect, influencing factor, occupancy activity

★ Beijing University of Technology, Beijing, China

①

0 引言

在我国各类建筑能源消耗中,北方城镇供暖能耗所占比例较大。对此,国家制定了一系列相关的建筑节能标准与规范,以强制条文的形式,力求实现北方城镇建筑供暖能耗的降低;同时,随着供热收费体制的改革,分户热计量装置逐渐应用到集中热水供暖系统中,目的在于促使住户由被动节能向主动节能的转变^[1-3]。

北京市 2004 年全面实施居住建筑第三步的节能标准,该标准着重于围护结构保温性能的改善和供暖系统分户热计量的实施,在此基础上,要求居住建筑的供暖耗热量指标低于 14.65 W/m^2 ^[2]。在该节能标准实施若干年后,有必要关注新建住宅

在使用运行过程中的实际供暖能耗状况,评价围护结构保温性能增强对供暖能耗的影响程度,并寻找影响供暖能耗或供暖效果的其他重要因素。

对此,以北京市两栋 2006 年新建并安装供暖分户热计量装置的居住建筑为研究对象,本文通过对住户冬季供暖耗热信息的数据采集及室温的连续测试,分析增强围护结构保温性能后,新建住宅实际的供暖能耗状况,并用模拟计算和分析对比的

①[☆] 简毅文,女,1967 年 7 月生,博士,副教授
100124 北京工业大学建筑工程学院建筑环境与设备工程系
(010) 67391608 - 807
E-mail: jianyiw@bjut.edu.cn
收稿日期:2011-08-31
修回日期:2011-11-14

方法,对影响居住建筑供暖能耗或供暖效果的因素进行分析和确定。

1 研究对象简介

研究对象为北京市某机关大院两栋新建住宅楼,分别称为 a 楼和 b 楼。建筑围护结构参数见表 1。两栋楼均为地上 15 层,地下 3 层,户型均为三室两厅,但两栋楼住宅的建筑面积分别约为 120 m² 和 95 m²。两栋楼中,a 楼调查对象为第 1~2 单元的 1~15 层住户,有效样本数为 56;b 楼调查对象为第 1~4 单元的 1~8 层住户,有效样本数为 57。

表 1 建筑围护结构参数

材料构成	传热系数/ (W/(m ² ·K))
外墙 200 mm 钢筋混凝土,100 mm 膨胀聚苯板	0.49
屋面 100 mm 钢筋混凝土,100 mm 挤塑聚苯板	0.32
楼板 130 mm 钢筋混凝土	2.8
外窗 塑钢中空窗(中空 9 mm)	2.7

两栋楼各住户的供暖热入口处均安装分户热计量装置,但尚未对住户实施按热计量收费。通过户用热表可读取累计耗热量、累计流量、当前供回水温度以及瞬态流量等,对于所有的调查住户,每隔 3~4 天持续采集了 2008—2009 年整个供暖季的上述参数。同时,在供暖季内采用温湿度记录仪对其中 9 个住户的房间室温进行了连续测试和记录,测试时间间隔为 10 min。

2 调查结果分析

2.1 耗热量分布

对供暖耗热量的采集数据进行统计分析,并依据式(1)将各个住户的供暖耗热量折算成室内设计温度为 16 ℃、室外设计计算温度为 -1.6 ℃时的耗热量值。测试期内,9 个测试住户的平均室温约为 24.0 ℃,将该数值近似等同为测试期内整栋楼的平均室温,期间室外温度的平均值为 4.6 ℃。由此,得到各调查住户供暖季单位面积折算耗热量的分布,见图 1。

$$Q = KF\Delta t \quad (1)$$

式中 Q 为通过围护结构的散热量, W; K 为围护结构传热系数, W/(m²·℃); F 为围护结构外表面积, m²; Δt 为室内外温差, ℃。

统计结果显示,即使从折算能耗的角度看,也只有 2 个住户单位面积耗热量低于 14.65 W/m²,其他住户的供暖能耗都不满足北京市第三步建筑节能标准的要求,并且不同住户的供暖能耗各不相同。其中,近 70% 调查住户的单位面积耗热量在

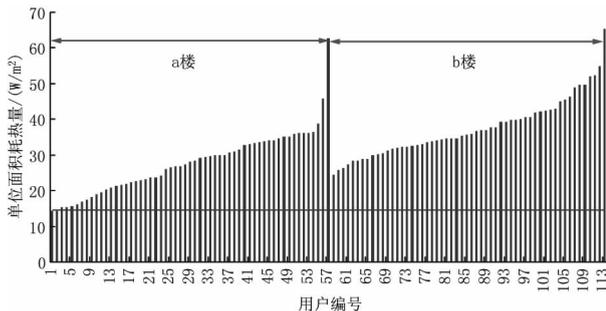


图 1 各个住户单位面积折算耗热量

25~45 W/m² 之间,10% 住户的单位面积耗热量高于 45 W/m²,20% 住户的单位面积耗热量低于 25 W/m²。不同住户的供暖能耗差异明显,单位面积折算耗热量最高为 65.2 W/m²,最低仅为 14.2 W/m²。对于如此高的能耗状况和明显的能耗差异,有必要进行认真分析。

2.2 住户耗热量与建筑围护结构

对于早期建筑,围护结构保温不良是供暖能耗偏高的主要原因^[4],然而,对于围护结构热工性能得到良好改善的新建建筑,这种影响是否还存在呢?图 2 是 a 楼三面外墙(其中一面是东山墙)住户和与其相邻的两面外墙住户单位面积耗热量的对比(图中第 4 层和 14 层住户的供暖数据无效,因而空缺)。

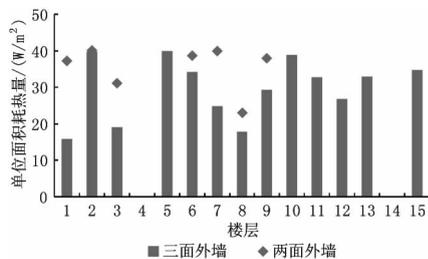


图 2 不同外墙住户单位面积耗热量

从图中可看出,虽然多了一面外墙,但三面外墙与两面外墙住户的单位面积耗热量之间的关系并不确定,前者的耗热量有可能比后者低,也有可能比后者高。因此,可以认为,对于按照北京市第三步节能标准建造的新建住宅,建筑围护结构的热工性能已不再对供暖能耗的差异产生重要影响。

对于安装有恒温阀和热计量装置供暖系统且居住者可以自行调节室温的住宅来说,不同住户供暖耗热量的差异是否是由房间室温的高低导致的呢?

2.3 住户耗热量和室温

为回答上述问题,针对进行过室温测试的 9 个住户房间,笔者研究分析了住户供暖耗热量与房间

室温的相互关系,结果见图3。由图3可以看出,

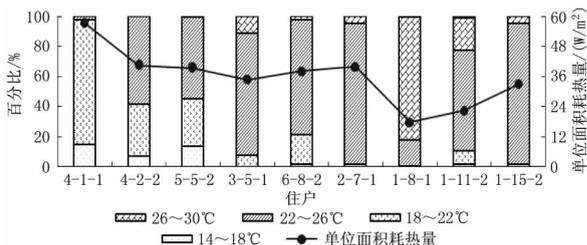


图3 典型住户室内温度分布和单位面积耗热量的关系

住户供暖耗热量并非随房间室温水平的提高而上升,最典型的是,住户4-1-1在整个供暖期室温主要分布在18~22℃之间,甚至有部分时间低于18℃,但其供暖能耗最高,实际的单位面积耗热量接近60 W/m²;而住户1-8-1室温主要在26~30℃之间,最低也高于22℃,其实际的单位面积耗热量却最低,只有不到20 W/m²。这一方面表明所调查住宅楼的供暖效果很不理想,另一方面也表明住户能耗的差异并不是由室温的高低所导致的。

上述分析表明,建筑围护结构、室内温度均不是造成住户供暖能耗存在明显差异的主要原因。对此,以下从定量的角度,通过房间室温的模拟计算及与实测数据的分析对比,寻找影响住宅供暖效果的主要因素。

3 典型住户房间室温的模拟分析

3.1 研究方法

采用DeST软件模拟计算测试房间室温的变化状况,并与房间的实测室温进行对比分析,基于两者的差异,分析发现模拟计算中没有反映或描述与实际存在偏差的扰量,从而确定影响住宅供暖效果的主要因素。

房间室温是室内外各个扰量共同作用于建筑后的结果,这些室内外扰量包括室外温度、太阳辐射、室外长波辐射、室内人员、灯光、电器设备以及供暖散热和室内外通风换气等,各个扰量对室温的贡献程度可以采用DeST软件模拟计算确定。在上述各个扰量中,由于气体湍流运动的脉动特征,室内外逐时的通风换气次数是未知的,这将无法保证房间室温模拟计算值与实测值的一致。

对此,可在DeST软件中调节室内外通风换气次数,看看能否保证室温模拟计算值与实测值的一致,如果无法满足上述的一致性,则说明在室温模拟计算过程中,对部分扰量没有反映出来或者没有

给予正确的描述。于是,在上述对比分析的过程中,通过室温模拟计算值与实测值的差异,可以发现影响住宅供暖效果的主要因素。

3.2 研究对象

选择室温最低、但供暖耗热量最高的住户4-1-1作为计算分析的对象,住户的平面图如图4所示,测试房间为客厅。

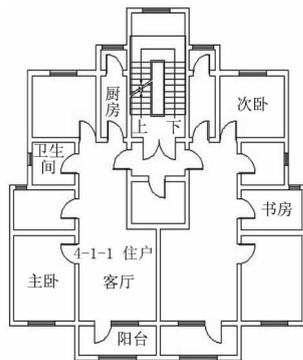


图4 住户平面图

各个扰量中,室外温度、太阳总辐射、太阳散射辐射的数据由北京市气象台提供;建筑与周围环境长波辐射换热的确定采用文献[5]提出的等效温度的计算方法;室内人员、照明及家电设备的逐时散热状况根据调查住户的家庭成员结构,按照文献[6]所提供的室内发热量数据确定。该住户位于地上1层,模拟计算时考虑了地下1层不供暖的影响;白天拉开外窗的窗帘,外窗遮阳系数为0.83。

3.3 供暖散热量的分配

对于冬季供暖的房间,供暖系统散热对房间室温状况有重要影响。因此,在模拟计算供暖散热对室温的影响时,应在DeST软件中输入逐时的供暖散热量值。然而,人工采集的方式只提供了每隔3天或每隔4天的供暖信息数据,包括供暖系统平均耗热量、累计水流量以及数据采集时刻的供、回水温度和瞬态流量。图5反映了1月2—30日的供暖数据采集时间内,住户4-1-1上述各个参数的变化。

可以看出,该住户的供暖耗热量、热水流量以及各个采集时刻的供、回水温度和瞬态流量基本处于平稳的状态。调查回访得知,住宅楼供热系统的集中调节方式为质调节,即供暖系统的水流量不变,只根据室外温度的变化改变供水温度。因此,可以认为1月份该住户的恒温阀处于最大开度,供暖系统水流量基本没有受到其他住户流量调节的影响。因此,在模拟计算中以1h为单位对该住户

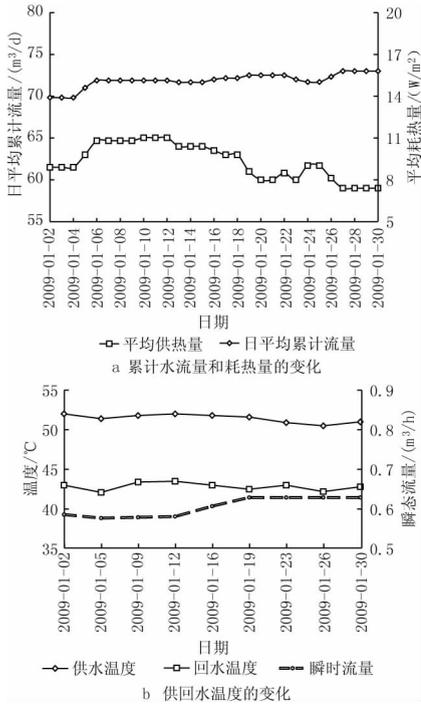


图5 住户供暖状态的变化

的供暖散热量进行平均分配。

3.4 模拟结果分析及对比

选择2009年1月1—31日对测试房间的室温进行模拟计算,并考虑数值计算结果的收敛性,分析比较1月11日后的室温模拟计算结果。

首先,在通风换气次数为0的情况下,运用DeST软件模拟计算房间密闭室温的逐时变化情况,并与实测室温相比较,结果见图6。

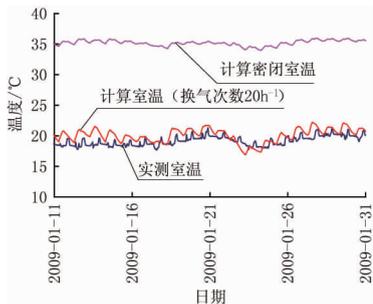


图6 密闭室温、通风模拟室温与实测室温对比

可以看出,密闭室温远高于实测温度,两者的差值最高达到17.6°C,在这种情况下,改变房间通风换气次数为 20 h^{-1} ,重新模拟计算房间室温,并与实测室温相比较,结果见图6。

房间换气次数增加到 20 h^{-1} 后,模拟计算室温仍基本高于实测室温,也即是,要使得模拟计算室温与实测室温一致,所对应的通风换气次数要大于

20 h^{-1} ,这样的通风换气状况对冬季住宅来说显然是与实际不相符的。因此,在模拟分析过程中,某些扰量对室温的影响没有予以正确的反映。

在对各个内外扰量仔细分析以及大量模拟计算和分析比对的基础上,发现对于以下三个因素的描述与实际存在偏差。

1) 邻室室温状况。邻室室温是影响室内热环境的重要扰量,模拟计算测试房间室温时,邻室室温的初始设定值与住户1房间的平均室温接近一致,为 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$;但通过对位于其上一层的2层住户供暖耗热量数据的分析得知,2层住户房间始终处于空置状态,不存在人员、设备、灯光以及供暖设备向室内散热,房间室温通常会低于 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

2) 测试房间的太阳辐射得热状况。该住户位于地上1层的中间单元内,且其南向有1栋6层高的准备拆除的住宅楼。这使得住户房间在冬季得不到良好的太阳直接照射,进入室内的太阳辐射主要为太阳散射辐射。此时,不应按0.83的遮阳系数考虑房间的太阳辐射得热。

3) 客厅与阳台连接内门的开关状况。调查得知,为扩大使用面积,住户拆除了客厅与阳台的连接内门,相当于内门处于完全开启的状态,这削弱了玻璃内门的屏障作用,增强了阳台室内热环境对客厅室温的影响和作用。

逐一考虑上述因素对测试房间室温的影响,重新计算得到测试房间的密闭室温,并与实测室温相比较,结果见图7。

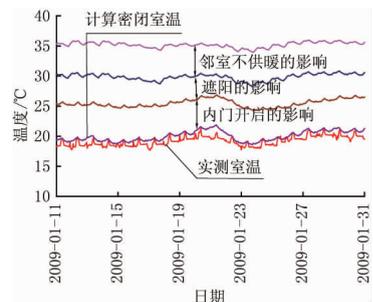


图7 邻室供暖、遮阳、内门开启对室温的影响

考虑上述三个因素的影响后,房间密闭室温的变化趋势与实测室温基本保持一致。同时,对比图7的计算结果发现,客厅与阳台连接内门的开关状态对房间热环境的影响最为明显。相比较内门完全关闭的状态,完全打开内门会导致房间密闭室温平均降低约 $5.5\text{ }^{\circ}\text{C}$;相比较 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的邻室设定温度,

上层住户的空置导致测试房间密闭室温平均降低 $5.3\text{ }^{\circ}\text{C}$; 太阳直射辐射的遮挡使房间密闭室温平均降低 $4.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

在上述计算分析的基础上,逐时调节房间的通风换气次数,使房间室温计算值与实测值一致,图 8、9 分别反映 1 月 11—15 日测试房间室温计算值与实测值的对比结果以及房间通风换气次数的变化状况。

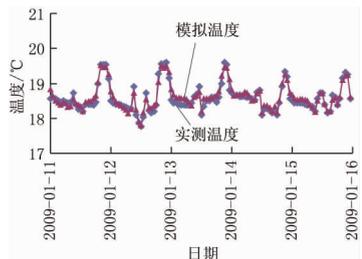


图 8 房间模拟室温和实测室温的对比

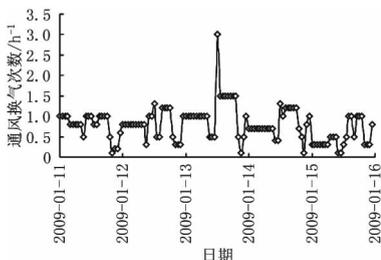


图 9 房间通风换气次数的变化

逐时调节通风换气次数后,房间的模拟室温和实测室温基本趋于一致,两者的差值最大为 $0.25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。这说明了室温模拟计算过程中对各个扰量描述的合理性。房间通风换气次数主要分布在 $0.5\sim 1.5\text{ h}^{-1}$ 的范围内,如此的室内外通风换气状况导致房间密闭室温基本降低了 $1\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

房间室温模拟计算与实测室温分析对比表明,

邻室室温状况、房间遮阳状况、阳台与客厅连接内门的开关状况以及室内外通风换气状况对新建住宅室内热环境和供暖系统的供热效果有重要影响。

4 结论

对于新建的居住建筑,尽管其围护结构的热工性能满足建筑节能标准的要求,仍有可能出现建筑供暖能耗高于节能标准要求的状况。

住户的行为方式是影响居住建筑供暖能耗的重要因素,较多的室内外通风换气,打开阳台与客厅连接内门、消除阳台对室温的屏障和缓冲作用将会明显降低系统的供暖效果;另一方面,房间太阳辐射得热和邻室传热状况对建筑供暖能耗有重要影响,较少的房间太阳辐射得热、较多的邻室传热同样会削弱供暖效果。

对于新建住宅,在保证上述条件的基础上,通过适当的流量调节,就可有效降低居住建筑供暖能耗,同时为居住者提供健康舒适的室内热环境。

参考文献:

- [1] 中国建筑科学研究院. JGJ 26—2010 严寒和寒冷地区居住建筑节能设计标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2010
- [2] 北京市建筑设计研究院. DBJ 01-602—2004 居住建筑节能设计标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2004
- [3] 中国有色工程设计研究总院. GB 50019—2003 采暖通风与空气调节设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2004
- [4] 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
- [5] 彦启森. 建筑热过程[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1986:30-31
- [6] 简毅文,江亿. 北京住宅房间内热源逐时发热状况的调查分析[J]. 暖通空调,2006,36(2):33-37