

长江中下游地区住宅冬季供暖典型案例及关键问题^{*}

清华大学 郭偲悦[☆] 燕 达 崔 莹 周 欣 彭 琛 朱安东

摘要 详细介绍了 5 个典型案例的热源形式、末端形式、供暖耗热量及费用、住户满意情况。结合对 5 个案例的分析及长江中下游地区住宅冬季供暖的间歇性、局部性、多样性特点,认为该地区住宅冬季供暖的关键问题在于围护结构性能、末端与热源 3 个方面,并给出了具体建议。

关键词 长江中下游地区 住宅 供暖 案例分析 耗热量

Case studies and key questions of space heating in residential buildings in Yangtze River basin

By Guo Siyue[★], Yan Da, Cui Ying, Zhou Xin, Peng Chen and Zhu Andong

Abstract Presents the heat source forms, terminal types, heat consumption and cost of space heating and household satisfaction of five typical cases in detail. Combined with the case study and the intermittent, local and diverse features of residential building in Yangtze River basin, concludes that the key issues of space heating in this region lie in the performances of envelope, terminal and heat source, and presents detailed suggestion.

Keywords Yangtze River basin, residential building, space heating, case study, heat consumption

[★] Tsinghua University, Beijing, China

①

0 引言

我国长江中下游地区属于夏热冬冷气候区,冬季有供暖需求。近年来,该地区供暖能耗不断增长,从 2001 年至今能耗增长已超过 5 倍,这与改善冬季室内环境的需求增加有关。考虑到我国碳排放约束与能耗总量控制的要求,该地区供暖能耗不宜大幅增长^[1]。如何实现在改善该地区居民冬季住宅室内环境的同时,控制供暖能耗不大幅增长,是当前建筑节能领域亟需解决的问题。

目前已有一些学者通过实测对不同技术在该地区的应用情况进行研究。付祥钊等人的测试案例表明,系统开机 8 h 后室内温度才能从 15 °C 上升到 17 °C,房间温度变化缓慢,而系统连续运行时书房平均温度 16.1 °C,客厅温度 18.3 °C,小时耗电量为 18.65 W·h/m²^[2];王子介的测试案例表明,系统分时段连续运行时,每天开机 6~12 h,供暖期(3 个月)耗电量约 7.3 kW·h/m²,而 24 h 连续运行时供暖期(90 d)

耗电量约 52 kW·h/m²^[3];赵康等人的测试结果表明空气源热泵+地板辐射供暖系统运行时室内温度维持在 16~18 °C,折合整个供暖季单位面积电耗约为 32 kW·h/m²^[4]。周翔等人对上海地区冬季采用分体热泵空调和燃气壁挂炉+地板供暖模式的住户进行了能耗、室内热环境及热舒适的调查和测试,使用分体热泵空调的住户供暖期耗电量仅为 4 kW·h/m²,然而,冬季室内环境及热舒适水平有待提高;而用燃气壁挂炉+地暖系统的住宅供暖天然气耗量为 6.1 m³/(m²·a),冬季运行供暖设备时室内温度在 16~22 °C 范围内^[5]。付玉在实验室内对采用碳晶电热板及电暖气时的室内温度场进行了测试,按照电热板铺设方式的不同,30 min 内平均温升为 4~5.6 °C,稳定时间为 80~90 min,而采用电暖气时 30 min 内平均温升为 4.1 °C,稳定时间为 97 min;他还计算了在上海地区应

①[☆] 郭偲悦,女,1990 年 1 月生,在读硕士研究生
100084 清华大学建筑节能研究中心
(010) 62789761
E-mail: guo-cy12@mails. tsinghua. edu. cn
收稿日期: 2014-04-26

^{*} “十二五”国家科技支撑计划“建筑节能技术支撑体系研究”项目——“建筑节能基础数据的采集与分析 and 数据库建立”(编号: 2012BAJ12B01)

用局部辐射供暖、空调供暖和电暖气供暖 3 种供暖方式的供暖耗电量,年能耗量“电热板<空调<电暖气”,年耗电量“空调<电热板<电暖气”^[6]。可以看出,绝大部分研究专注于其中的一种系统设备,对多种设备形式的比较不多。

多项研究表明,不同于北方地区冬季“全时间、全空间”的供暖模式,该地区居民多采用“部分时间、部分空间”的供暖模式^[1,7-9]。而供暖技术多样化是长江中下游地区供暖的又一特征,现有的供暖形式包括热泵型房间空调器、户式空调(水-空气系统)、户式空调(制冷剂系统)、辐射供暖、散热器、区域供热等^[10]。目前,绝大部分居民自行选择供暖形式来满足其自身供暖需求。根据现有研究,可以总结出该地区居民供暖有分散性、局部性与多样性的特点。

在长江中下游地区不同住户供暖需求差异显著的情况下,住户间的供暖能耗存在较大不同,而不同类型供暖设备的使用效果和能耗情况也会产生明显差异。在改善冬季室内环境的要求下,发展适宜于使用者生活方式的供暖形式并尽可能降低能耗,是推动节能的关键。

本研究从不同系统设备的案例测试出发,针对热电联产集中供热系统(末端为地板供暖或散热器)、水源热泵风机盘管系统、燃气壁挂炉地板供暖系统、分体热泵空调、电供暖(电油汀)这 5 种系统,对其形式特点进行评述,并综合比较,总结该地区冬季供暖特征,在此基础上提出供暖技术的关键问题,为该地区技术改进提供参考依据。本研究技术路线如图 1 所示。

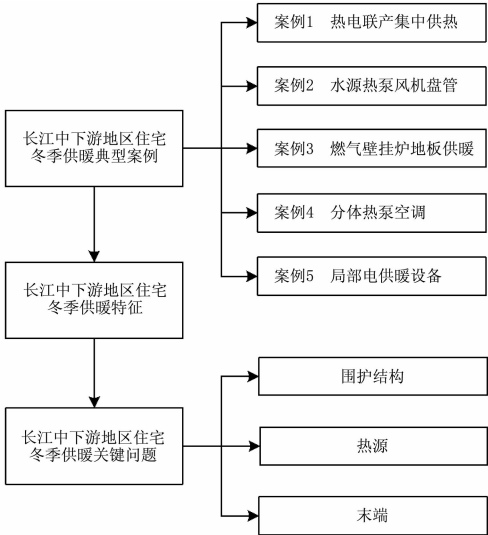


图 1 研究技术路线

1 典型案例分析

2012—2014 年供暖季,笔者在长江中下游地区进行了 46 户住宅的冬季室内情况案例测试与访谈,测试与访谈内容包括室内环境、冬季供暖能耗、住户评价等。从以上案例中,根据系统形式挑选 5 个案例进行分析。案例基本信息如表 1 所示。

表 1 案例基本情况

地点	测试时间	系统形式
案例 1 武汉	2013-12—2014-03	热电联产供热
案例 2 武汉	2013-01—2013-03	水源热泵+风机盘管
案例 3 上海	2012-12—2013-03	燃气壁挂炉+地板辐射末端
案例 4 上海	2011-12—2012-03	分体热泵空调
案例 5 南京	2013-01—2013-03	电供暖设备

1.1 热电联产集中供热案例

案例 1 位于武汉,采用集中供暖系统。该系统于 2012 年起正式供热。系统热源为热电厂蒸汽,末端可为散热器与辐射地板供暖 2 种,由小区物业或户主自选。2013 年供暖季,系统实际供暖面积为 92.2 万 m²。管网公司保证住户的室内温度在 18℃ 以上。

该系统住户侧采用 2 种收费方式:按面积收费,价格为 8.5 元/(m²·月),供暖时间为 3 个月或 4 个月,自选;按热量收费,价格为 0.33 元/(kW·h)。目前,绝大部分住户选用了按面积收费的方式。此外,管网公司向供热的开发商收取 180 元/m² 的入网费。

在调查中发现,住户普遍在冬季将供暖设备调至最大值,并不进行调节。大部分住户在冬季会开窗以保证室内空气质量。部分住户表示,由于小区集中供暖后室温升高,开窗时间增加。

2013—2014 年,该集中供暖系统供暖期为 11 月 16 日至次年 3 月 15 日,总供暖面积为 92.2 万 m²,热源提供的总热量为 31.8 万 GJ,折合单位面积平均耗热量为 95.8 kW·h/m²,显著高于南方地区供暖平均水平,与北方地区供暖耗热量相近,如图 2 所示。系统首站耗电量 85.42 万 kW·h,估算得热力站总耗电 114.56 万 kW·h,折合单位面积电耗为 2.17 kW·h/m²。

根据实际的住户测试发现,大部分住户的室温都在 18℃ 以上。典型房间的典型日室温如图 3 所示。

通过访谈,大部分住户表示在搬入小区之后,

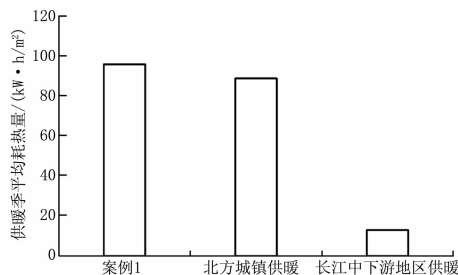
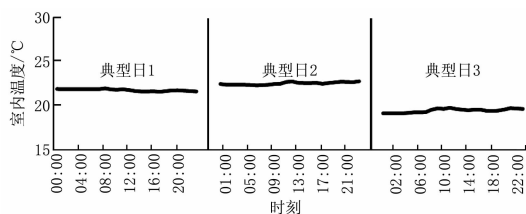
图2 供暖季平均耗热量比较^[1]

图3 典型房间典型日室温情况

冬季室内环境有了较大的提高,对室内环境较为满意;供暖费用与之前相比较,但是尚在可负担的范围内。

对供热公司的访谈发现,相关人员表示目前公司处在亏损状态,他们认为其主要原因在于供热面积较小、政府支持力度不够等。而对热电厂相关人员访谈发现,尽管该热电厂的热价已经高于北方一些热电厂(33元/GJ)^[11],但该热电厂依然表示亏损,认为如果将热卖给相关工业可获利更多,且用于集中供暖的设备每年闲置时间较长,需要大量的设备维护工作。

综上所述,该案例中的平均耗热量远高于该地区其他系统形式,与北方地区供暖耗热量接近。研究认为该案例耗热量过高,与住户不对供暖设备进行调节相关,居民开窗也是增加耗热量的重要因素。住户这一使用方式与该案例采用按面积收费的集中供暖方式有关。

1.2 水源热泵案例

案例2位于武汉,为一水源热泵系统小区。该小区于2009年建成,共5栋住宅楼,建筑面积约5万m²,入住率85%左右。小区使用2台螺杆式水源热泵机组进行区域供暖与供冷,水系统形式为一级泵变流量系统。系统末端为风机盘管,末端安装电动阀可调节流量,住户可按照自身需求调节“高、中、低”三挡风速。该案例采用按热量计费的方式,热价为0.2元/(kW·h)。

由于该案例中,供暖费用与耗热量直接挂钩,

用户具有主动调节供暖末端的意识。住户大部分时间仅开启部分房间的供暖设备,且每天开启时长远低于24h。

2013年供暖季在该小区的实测数据显示,热泵机组COP约为5.37,系统EER约为3.25,输送系数为8.25,机组负荷率均值为81%。该案例供暖季平均耗热量约为31.9kW·h/m²,折合供暖费用约为6.38元/m²。

选取8户住户进行的室温测试表明,住户未开启供暖设备时平均室温一般在13~17℃之间;开始供暖后,室温可达到25℃以上。实测各住户室温情况如图4所示。

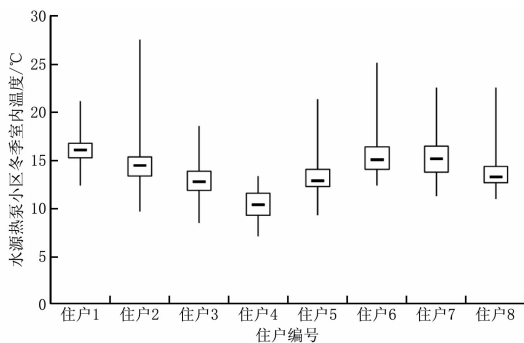


图4 住户室温分布

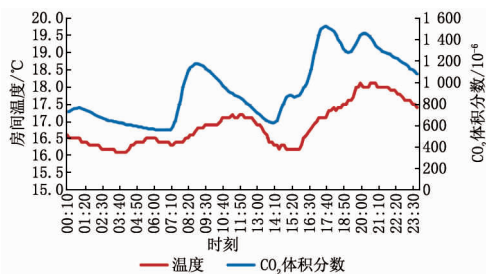
绝大部分住户目前对冬季室内情况较为满意,且认为经济性较好。但也有住户感觉风机盘管的效果不太好,冬天室内没有“完全热起来”。

1.3 燃气壁挂炉+辐射地板供暖案例

案例3位于上海,采用了燃气壁挂炉+辐射地板供暖的系统形式。该户住宅2009年建成,建筑面积为138m²。该住宅的各个房间均装有控制面板,各个房间温度均可独立调节。该住户家中有2个大人,1个小孩。一般16:00至次日8:00家中有人。

访谈发现,尽管各个房间的温度均可调节,但该住户在冬季一直保持各房间温度在16℃,并不进行调节。同时,该住户在采用这一供暖设备后开窗明显减少。

2012—2013年供暖季,该住户供暖费用约为3000元,折合约7.25元/(m²·月),折合消耗了天然气1200m³。实测该住户冬季室内温度在15~17℃,客厅CO₂体积分数为1000×10⁻⁶~1400×10⁻⁶。典型日客厅温度与CO₂体积分数如图5所示。

图5 客厅典型日室温与CO₂体积分数

住户表示,在采用这一供暖形式之后,冬季室内舒适度有了明显的提升;价格虽然较高但在可承受的范围内。该住户的能耗已明显高于该地区平均水平,这主要是因为案例采用了“全部时间、全部空间”的供暖方式,这可能与采用地板辐射方式的热惯性较大、供暖设备一旦关闭会需要很长时间才能重新加热房间有关。

在2014年回访住户时,住户表示今年冬季其供暖费用减少了一半左右,其原因包括周围邻居也安装了地板供暖,以及外温发生了变化。说明邻室传热会对居民的供暖能耗产生很大影响。

1.4 分体热泵空调案例

该案例位于上海,采用了分体热泵空调的供暖形式。该户住宅于2004年建成,建筑面积为146 m²。该住户在客厅、主卧与2个次卧均安装了分体热泵空调。该住户家中有2位老人、2个大人和1个孩子,家中有人的时间较多。

访谈中,住户表示其客厅的空调在下班后与入睡前使用;主卧空调在入睡前开,睡着了关,第二天早晨起床时再开一段时间;孩子卧室入睡前开,第二天早晨关;老人卧室的空调基本不开。总的来说,该住户采用的是“部分时间、部分空间”的供暖模式。

实测在2011—2012年供暖季,该住户的冬季供暖能耗约为4.7 kW·h/m²,折合供暖季电费约为2.4元/m²。实测供暖季各热泵空调使用频率如图6所示。

住户房间温度在开启供暖设备时约为15~17℃,未开启供暖设备时约为13~14℃。各房间典型日室内温度如图7所示。

分析认为,该案例采用了“部分时间、部分空间”的供暖方式,代表了当前该地区大部分家庭的供暖情况。在访谈中,该住户表示对现有的供暖形式并不太满意。主要原因是认为空气源热泵制热

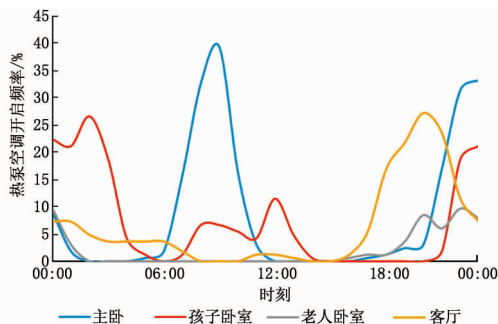


图6 供暖季各热泵空调使用频率

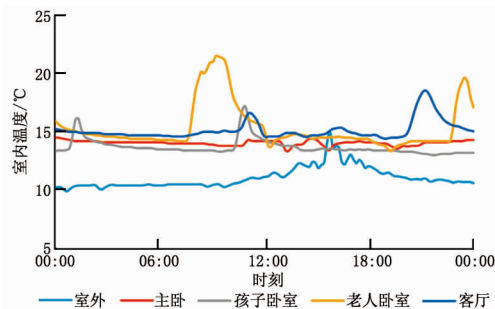


图7 典型日各房间室温情况

效果不好,加热时间较长,无法满足需求,且室内开启供暖设备后感觉较干燥。

1.5 分散电供暖案例

电加热设备有很多种,差异也很大,本文所选案例位于南京,采用在各个房间均安装电油汀的供暖方式。该户住宅于20世纪90年代建成,建筑面积77 m²。住户在客厅、书房与2个卧室均安装了电油汀。该住户家中只有2位退休老人,绝大部分时间都在家中。通过调研了解,住户表示在屋里觉得冷时就会开启设备,离开房间时关闭。

实测在2012—2013年供暖季,该住户供暖能耗约为1.7 kW·h/m²,折合电费约为0.9元/m²。实测中发现该住户实际使用的电油汀仅书房与客厅的2台,其中书房电油汀的使用频率较高,但整个供暖季也未超过30%。该住户各房间电油汀开启频率如图8所示。

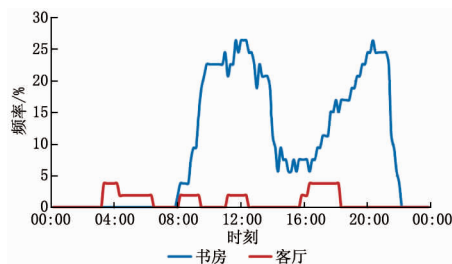


图8 各房间电油汀开启频率

实测发现该住户室内温度约为 14~17℃。典型日书房温度如图 9 所示。

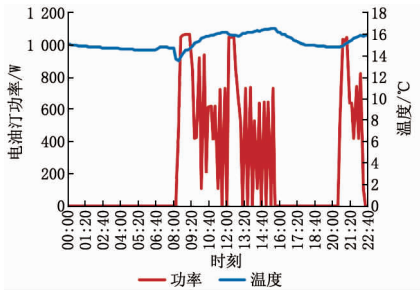


图9 典型日书房温度

该住户对室内情况较为满意,且认为经济性较好。与其他住户相比,该住户的室内温度并不高,且设备使用率很低,住户对冬季室内热环境的要求不高。相对来说,电油汀可加热的空间较小,室内温度的均匀性较差。

2 长江中下游地区住宅冬季供暖特征分析

前文所述 5 个案例使用了不同的设备形式与使用方式,冬季室内环境的舒适度、冬季供暖费用也有一定差别。

对 5 个案例进行综合比较,如表 2 所示。

表 2 案例综合情况

	案例 1	案例 2	案例 3	案例 4	案例 5
系统热源	热电厂余热	水源热泵	燃气壁挂炉	空气源热泵	电加热
末端形式	地板供暖或散热器自选	风机盘管	地板供暖	分体室内机	电油汀
开启供暖时的室温	20~25℃	25℃以上	16℃以上	15℃以上	15~17℃
供暖季平均室温	21℃	15℃	16℃	15℃	14℃
年耗热量(含输配)	95.8 kW·h/m ²	31.9 kW·h/m ²	83.3 kW·h/m ²	9.4 kW·h/m ²	1.7 kW·h/m ²
供暖季供暖费用	25.5 元/m ²	6.38 元/m ²	21.7 元/m ²	2.4 元/m ²	0.9 元/m ²
一次能耗效率 ¹⁾	1.73	1.29	0.93	0.85	0.40
建筑年代	2010 年左右	2009 年	2000 年	2000 年	1990 年
收费方式	按面积	按热量	按热量	按热量	按热量
供暖使用方式 ²⁾	a	b	c	b	b
开窗方式 ³⁾	i, iii	i, iv	ii, iv	i, iv	i, iv

1) 定义一次能耗效率用以表征供热系统或设备的能源利用效率。一次能耗效率=供热热量/系统的一次能耗(电按照发电煤耗法计算,其他类型的一次能耗按照其热值计算)。折算系数参考《中国能源统计年鉴 2012》^[11]、《中国建筑节能年度发展报告 2011》^[12]。

2) 供暖使用方式:a,一直最大程度地开启供暖设备;b,有人在家且觉得冷时开启设备,离开时关闭;c,整个冬季一直开启供暖设备,家中无人时调低温度。

3) 开窗方式:i,每天保证一定时间的开窗通风;ii,较少开窗通风;iii,开供暖设备时开窗;iv,开供暖设备时不开窗。

由案例分析可发现,不同的设备形式对应着不同的使用方式,以及不同的室内舒适程度与供暖能耗。同时,不同人群对供暖的需求不尽相同。大部分居民倾向于室内有人时开启供暖设备,而室内没有人时供暖设备不开启或关小。居民的使用方式与选用的设备系统有一定关联,系统的改变可能会造成供暖行为的变化。

综合分析,认为该地区住宅冬季供暖存在显著的多样性、局部性和分散性特点。

3 关键问题分析

综合 5 个案例的分析与多样性、局部性和分散性的特点,认为该地区住宅冬季供暖的关键问题主要为围护结构性能、末端与热源 3 个方面,如图 10 所示。

3.1 围护结构性能

房屋传热系数、换气次数、体形系数均与建筑耗热量直接相关。长江中下游地区冬季室外温度

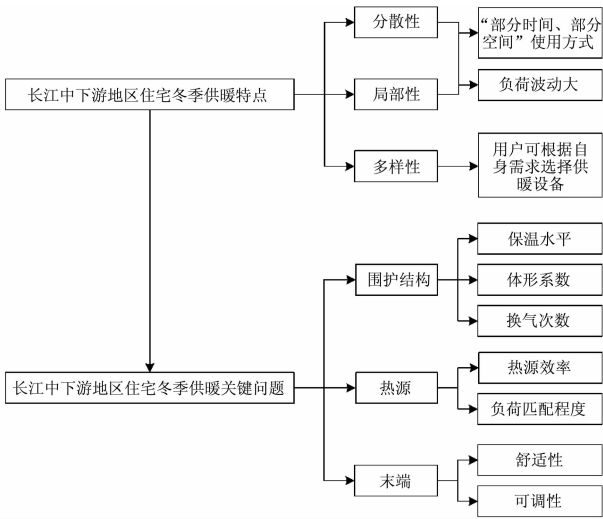


图 10 长江中下游地区冬季供暖特点与关键问题

高于北方,但在采取相同的供暖措施时耗热量接近,其中一个重要的原因是目前该地区围护结构要求低于北方。在考虑建筑的全年能耗后,该地区围

护结构性能并非传热系数越低越好。

围护结构需考虑的因素包括体形系数,外墙、窗与屋面的传热系数,窗墙面积比,门窗气密性,遮阳等。考虑到邻室传热,楼板的传热系数也应当考虑。

《夏热冬冷地区居住建筑节能设计标准》^[13]中要求外墙的传热系数在 $1.5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (热惰性 >2.5) 以下。需要说明的是,目前有人认为保温越厚越好,传热系数越低,就表示建筑越节能。但事实上,考虑气候条件、居民使用方式等,外墙传热系数在达到一定程度后,节能量会越来越来少,在一定厚度之后继续增加保温可产生的节能效果有限,甚至可能适得其反。因此,应当详细论证该地区适宜的保温水平,确定合适的传热系数限值。

该地区的内外保温问题也需要解决。一般认为,由于该地区冬季室内外温差较小,负荷具有间歇性的特点,需要室内温度变化较快,使用内保温较为适宜。但在既有建筑节能改造中,内保温施工较为麻烦,且内保温会一定程度上“占用”居民的住房面积。综合考虑各项因素,确定该地区的保温方式,也十分重要。

长江中下游地区门窗气密性普遍不高。2014 年冬季,笔者在上海、成都各选取 3 户住户采用鼓风门法对住宅气密性进行测试,结果如图 11 所示。从图中可以看出,多数住宅换气次数为 $1 \sim 2 \text{ h}^{-1}$,20 世纪 80 年代的老建筑其换气次数可高达 3.2 h^{-1} 。较差的气密性会导致较大的渗风量,从而显著提高供暖负荷。因此,提高气密性也是该地区提升围护结构性能的重要部分。

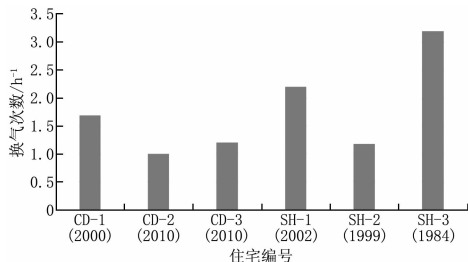


图 11 实测该地区住宅换气次数(鼓风门法, 4 Pa)

3.2 末端形式——舒适性、可调性

末端形式直接影响了住户的舒适性,同时末端对调节的敏感性会对住户的使用习惯产生影响。此处“可调”是指在调节末端后房间温度可以很快随调节发生变化,即末端的热惯性较小。

目前使用较多的末端形式有:送风末端、地板辐射供暖末端、散热器、局部电取暖设备等。

1) 送风末端

送风末端目前主要为上送风,如分体热泵空调(案例 4)与风机盘管系统(案例 2)。这一末端存在的主要问题为温度梯度与吹风感。由于热风密度较小,热风积聚在房间顶部,造成室内竖直方向上有明显的温度梯度,尽管房间顶部室温已经较高,人员活动区的温度还是相对较低,如图 12 所示。同时,热风由于温度较高,相对湿度

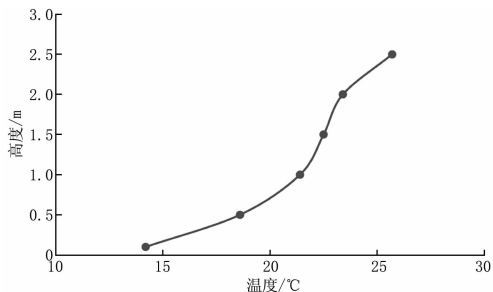


图 12 分体热泵空调室内温度梯度

较低,易造成吹风感,让人有干燥的、不舒服的感觉。因此,需采取手段搅匀室内空气,同时降低住户的吹风感。目前已有一些相关的解决方案,如在室内加循环扇^[14]、在冬季改用下送风^[15-16]等。实测结果显示相关方案可以改善室内温度梯度的问题,如图 13 所示。

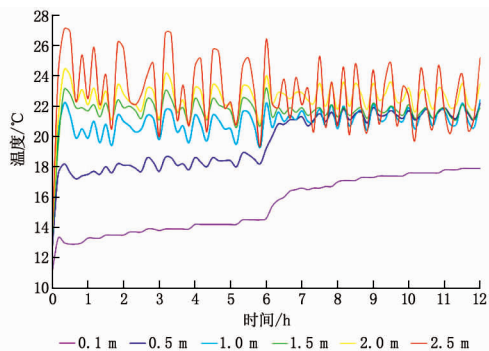


图 13 循环扇对室内温度梯度的改善作用 (6 h 时开启循环扇)

2) 地板辐射供暖末端

在地板下铺埋水管制热的地板供暖末端,因为所需热水温度相对较低,被认为是一种较节能的供暖方式。但在实测中发现,采用了这一末端形式的住户往往会改变其“部分空间、部分时间”的供暖习惯,整个冬天都开启供暖设备,导致房间的耗热量大

大增加。这主要是由于这一末端形式的热惯性较大,一旦关闭需要较长时间才能重新加热房间。目前,绝大部分地板供暖的住户都沿用了北方地区传统的混凝土型地板供暖,若间歇运行,需 6~11 h 室温才基本稳定^[17-18]。新型的轻薄型地板供暖取消了混凝土蓄热层,热惰性相对较小^[19],但也需要 4 h 左右才能有效提高室内温度。实测 2 种地板供暖启动后的室温变化如图 14 所示。可认为,目前这一形式的热惰性普遍偏大,不太适应该地区供暖“可调”的特点,还应进一步降低热惰性,减少升温时间。

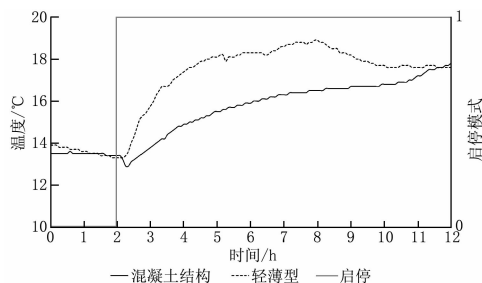


图 14 2 种地板供暖形式启动后空气温度变化

3) 局部电取暖设备

局部电取暖设备能够快速提高周围空气温度,如图 15 所示。但是,这种末端可提升温度的空间范围有限,如图 16 所示。同时,这种末端存在低温烫伤、火灾等隐患,需要相应技术加以改善。

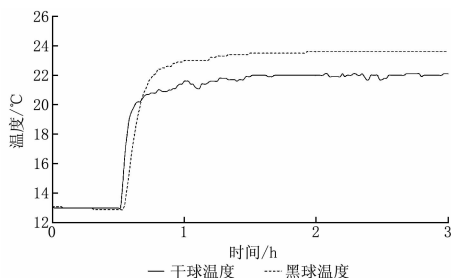


图 15 局部取暖设备周围 0.5 m 处温度场

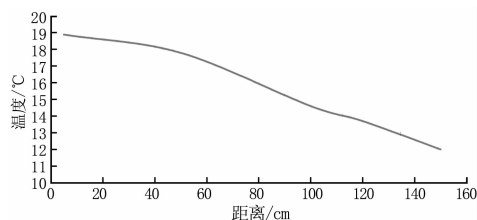


图 16 局部供暖设备加热范围

3.3 热源形式

系统的热源形式直接影响系统的能效比,同时也可能对住户舒适度产生影响。同时需考虑热源的负荷与住户的实际需求是否匹配,如果不是,则

系统运行可能会出现较大问题。研究中发现收费方式也会对供暖能耗产生较大影响,考虑到这属于经济问题,本研究暂不对此进行分析。此外,由于长江中下游地区室内外温差较小,住户需求差异大,冬季供暖负荷逐日、逐时均有较大变化,而热源形式必须能与这一供暖特性相匹配。

目前使用较多的热源形式有:热电厂供热、地埋管地源/水源热泵系统、燃气壁挂炉、空气源热泵、电供暖等。

1) 热电联产供热

在北方,热电联产是最高效的供暖方式之一。若热电厂所供余热为抽气所得,则相当于 COP 为 4.76 的热泵(大、中规模抽凝热电联产电厂)^[11]。利用热电厂所供余热一般是在规模较大的供热网络中,因此会存在输配能耗。同时,考虑到该地区供暖的局部性与可调性,其负荷曲线是实时变化的,与热电厂稳定供热的特性并不符合。因此,若要大规模利用热电厂余热,需要解决两者负荷特性不匹配的矛盾。

2) 地埋管地源/水源热泵系统供热

地埋管地源/水源热泵系统也被广泛认为是一种高效的热源方式。这一热源方式一般也需要在集中的系统中运行。与其他几种运行的热源相似,该热源需考虑集中系统的整体效率与输配系统的能耗影响。

3) 空气源热泵

空气源热泵是目前使用较多的热源形式。其优点在于冬夏两用,且能效相对较高。目前存在的问题主要为冬季的除霜问题、气温过低时效果不好与负荷匹配的问题。长江中下游地区冬季室外温度较低、湿度较大,机组冬季制热运行时,其蒸发器表面会逐渐结霜,霜层加厚会影响制热能力,除霜时需从室内取热,室温将降低 5~6 °C^[20]。室外温度过低时,这一热源形式的效果不佳。另一方面,由实际模拟计算可得,该地区最大热负荷可能高于最大冷负荷,如图 17 所示,机组若按夏季负荷选型可能不足以给住户供暖,因此在选型时应该充分考虑冬季制热要求。

4 结论

4.1 目前,长江中下游地区居民多为自供暖,且供暖形式多样,包括分体热泵空调、热电联产集中供暖、地源/水源热泵、燃气壁挂炉、电供暖设备等;使

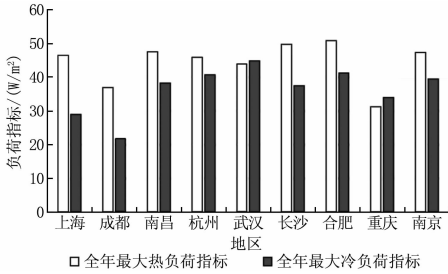


图 17 部分长江中下游地区城市冬夏最大负荷指标比较

用方式不同于北方“全部时间、全部空间”的供暖形式,一般仅在有人的房间开启供暖设备。分析认为,该地区居民供暖具有显著的多样性、分散性、局部性特点。

4.2 不同供暖形式的室内热环境、能耗、费用等均有显著差别。这一差别是由于住户的使用习惯、系统形式等综合作用产生的。系统设备会在一定程度上影响住户的使用习惯。

4.3 从多样性、分散性、局部性特点出发,应当分别针对不同的系统设备提出改进方式,以改善该地区居民室内冬季环境,同时供暖能耗不大幅增加。

4.4 针对不同的供暖方式,应当发展相适应的供暖技术。

参考文献:

[1] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告 2013[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2013

[2] 付祥钊,林真国,王勇,等. 空气源热泵与地板供暖联合运行实验研究[J]. 暖通空调, 2005, 35(2): 100-103

[3] 王子介. 空气源热泵用于住宅地板辐射供暖的实测研究[J]. 暖通空调, 2003, 33(1): 8-11

[4] 赵康,吴明洋,佟振,等. 长江流域住宅分散式供暖改造案例及分析[J]. 暖通空调, 2013, 43(6): 58-63

[5] 周翔,张淇淇,张静思,等. 上海地区住宅冬季室内环境调研及热需求分析[J]. 暖通空调, 2013, 43(6): 64-67

[6] 付玉. 碳晶电热板用于室内局部辐射供暖的研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2010

[7] 史洁,瞿燕. 上海高层住宅能耗现状与节能潜力[J]. 建筑科学, 2010(2): 52-58

[8] 钟婷,龙惟定. 上海市住宅空调的相关调查及其耗电量的估算[J]. 建筑热能通风空调, 2003, 22(3):

22-24

[9] 李哲. 中国住宅中人的用能行为与能耗关系的调查与研究[D]. 北京:清华大学, 2012

[10] 龙惟定. 夏热冬冷地区住宅供暖问题刍议[J]. 暖通空调, 2013, 43(6): 42-49

[11] 清华大学建筑节能研究中心. 中国建筑节能年度发展研究报告 2011[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2011

[12] 国家统计局能源统计司. 中国能源统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社, 2012

[13] 中国建筑科学研究院. JGJ 134—2010 夏热冬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

[14] 杨德润,张旭,周翔,等. 加强室内空气循环改善空调供暖房间温度分层实验研究[C]//第十八届全国暖通空调制冷学术年会, 2012

[15] 黄振兴. 分体壁挂式空调冷(暖)气定点引导装置: 中国, CN201672638U[P]. 2010-12-15

[16] 毕海云. 壁挂式空调热风导流装置: 中国, CN102128483A[P]. 2011-07-20

[17] 王恩丞,谭洪卫. 上海地区空气源热泵地板供暖系统应用研究[J]. 建筑热能通风空调, 2004, 23(6): 25-29

[18] 李雄志,王汉青,张杰. 长沙地区空气源热泵地板供暖系统实测分析[J]. 制冷与空调, 2007, 7(6): 71-76

[19] 张群力,狄洪发,阎雅丽. 预制轻薄型低温热水地板供暖系统热性能测试研究[C]//全国暖通空调制冷 2008 年学术文集, 2008

[20] 石文星,李先庭. 房间空调器热气旁通法除霜分析及实验研究[J]. 制冷学报, 2000(2): 29-35

更 正

因排版公司原因,本刊 2014 年第 5 期部分页眉出现了错误,其中,第 55, 72, 74, 76, 78, 83, 88, 90, 98, 100, 102, 104, 108, 110, 112, 114, 116, 118 页页眉中的“第 4 期”应为“第 5 期”;第 73, 77, 89, 91, 99, 101, 105, 107, 109 页页眉中的“2014(4)”应为“2014(5)”;第 99, 101 页页眉中的“朱进桃:阿自倍尔自控工程(上海)有限公司”应为“朱进桃:变风量空调系统的节能运行”;第 104 页页眉中的“科技综述”应为“技术交流”;第 105 页页眉中的“冯培兵,等:江苏久信医疗科技股份有限公司”应为“冯培兵,等:Ⅱ级洁净手术室节能方案的实验研究”。特此更正并向作者、读者致歉。

(本 刊)