

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2014.S1.021

重庆中海拔村镇住宅毛细管供暖性能实测分析

刘 猛, 粟 珩, 张会福

(重庆大学 城市建设与环境工程学院; 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400045)

摘 要: 夏热冬冷地区冬季室内阴冷潮湿、热舒适性差, 属于非传统供暖区。通过对重庆村镇住宅供暖现状的调研, 了解了该地区冬季室内热舒适状况和供暖需求。选取重庆村镇地区某住户, 对实际供暖系统运行状况进行了测试, 针对不同供水温度进行了供暖效果和运行能耗对比分析。结果表明, 空气源热泵结合毛细管地板辐射供暖系统供水温度为 35、40、45、50 °C 时均能满足冬季供暖需求, 35 °C 工况下的耗电量仅占 40、45、50 °C 工况下的 83.0%、66.8% 和 57.7%。

关键词: 夏热冬冷地区; 村镇; 住宅; 供暖; 能耗

中图分类号: TU831.1; TU832.1; TU833.3 文献标志码: A 文章编号: 1674-4764(2014)S1-0075-04

Capillary Floor Radiant Heating System of Rural Residential Building in Chongqing

Liu Meng, Su Heng, Zhang Huifu

(Faculty of Urban Construction and Environmental Engineering;

Key Laboratory of the Three Gorges Reservoir Region's Eco-environment of MOE, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China)

Abstract: The indoor environment in this zone, not officially assigned as a traditional heating zone, is cold and humid with poor thermal comfort in winter. Investments and surveys the status of heat consumers in rural residential buildings in Chongqing, intending to understand the indoor thermal comfort condition and heating demands. Based on a rural residential building in Chongqing, compares and analyses the heating effect and energy consumption for four different water supply temperature modes, and tests its practical operation condition. The results show that the air source heat pump combined with capillary floor radiant heating system can meet the winter heating demands, however, the energy consumption of the 35 °C mode only accounts for 83.0% of the 40 °C modes', for 66.8% of the 45 °C modes', and for 57.7% of 50 °C modes'.

Key words: hot-summer and cold-winter zone; villages; houses; heating; energy consumption

2012年的严冬激发了“南方供暖”的话题,而谈及南方供暖,呼声最大的是夏热冬冷地区。我国夏热冬冷地区的范围大致为陇海线以南,南岭以北,四川盆地以东,涉及上海、重庆、湖北、湖南、四川等16个省、市、自治区,该地区最显著的气候特点为夏季湿热、冬季阴冷,最冷月平均气温为0~10 °C,平均相对湿度在80%左右,冬季日照率较低,仅20%~40%,而我国北方多数地区冬季日照率大于60%^[1-2]。

马斯洛为人的“基本需求”事物提出5条定义,其中有2条:“缺少它会引起疾病,有了它能免于疾病”,建筑供暖恰恰具备了这样的特征,因为寒冷正是许多疾病并发甚至死亡的诱因,而预防医学将人体“冷耐受”的下限温度定为11 °C,夏热冬冷地区未供暖的住宅已经达到耐受温度的临界值^[3]。

随着国家经济的发展,居民的生活水平和居住环境得到了改善。但是,夏热冬冷地区住宅冬季室内热环境问题仍然较为突出,村镇住宅较城市住宅而言更是有过之而无不及。笔者通过对重庆村镇住宅供暖情况的调研及对某村镇住宅

供暖方式和运行状况的分析,探讨了夏热冬冷地区村镇住宅的供暖必要性和适宜方式。

1 村镇住宅供暖情况调研

2013年冬季,针对重庆市中海拔村镇住宅建筑进行调研,结果如图1所示,该中海拔村镇的冬季温度较重庆主城区温度低,二者冬季平均温差为2 °C。

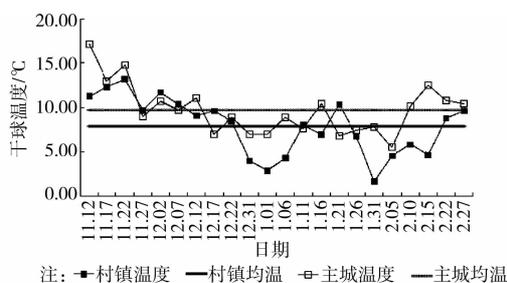


图1 冬季气候

收稿日期: 2014-05-20

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划重大项目(2013BAJ11B05); 国家自然科学基金(51108473)

作者简介: 刘 猛(1979-), 男, 副教授, 博士, 主要从事绿色建筑技术适宜性、建筑碳计量研究, (E-mail) liumeng2033@126.com。

调研有效数据 90 户,30 户没有任何供暖措施,其余 60 户的情况见图 2。从图 2 可以看出,该村镇现有供暖措施落后,难以保证冬季室内热湿环境需求。调研村镇中未通燃气管网,住户大多采用太阳能供生活热水,但冬季太阳能匮乏,难以满足供暖需求。

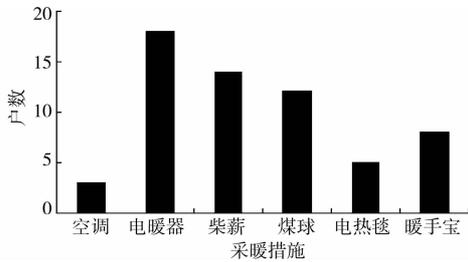


图 2 供暖措施分布图

住户对冬季供暖的需求程度见图 3(其中需求程度 5 代表需求强烈,需求程度 1 代表需求较弱)。接近 40% 住户的主观采暖需求并不强烈,这是当地人冬季生活习惯的一种体现,认为冬季多穿衣服即可解决寒冷带来的问题。但从图 4 可以看出,冬季不供暖的情况下,村镇住宅室内、外温差不大,室内温度均值 8.83 ℃,低于预防医学给出的人体“冷耐受”下限温度 11 ℃^[3]。由此可以看出,中海拔村镇住宅建筑供暖是一种客观需求。

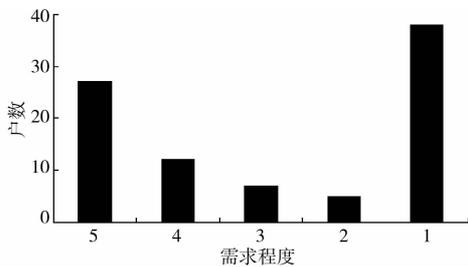
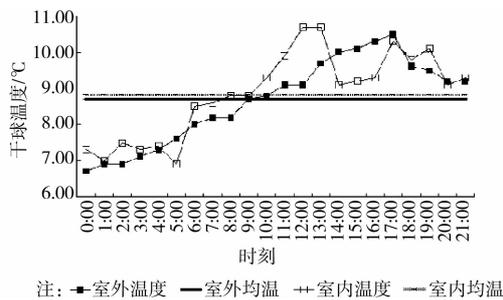


图 3 供暖需求分布



注: ■—室外温度 —室外均温 ++室内温度 ——室内均温

图 4 冬季村镇住宅建筑室内外温度

2 某住户供暖系统运行状况实测分析

以重庆某中海拔村镇住宅建筑为例,对空气源热泵结合毛细管地板辐射供暖系统的实际运行状况进行测试,比较分析不同供水温度下系统的能效、能耗和供暖效果。

该住宅是典型的农村 2 层住宅建筑,见图 5,二层平面见图 6。位于二层的主卧敷设有毛细管地板辐射末端,邻室次卧(无地暖管)面积与主卧相当。主卧供暖面积为 9.6 m²,邻室次卧作为对比房间参与测试。

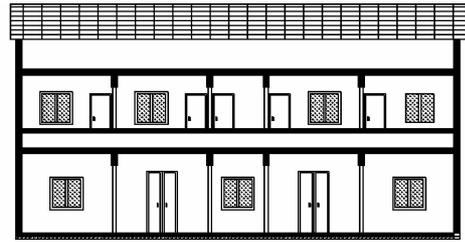


图 5 农村住宅正立面图

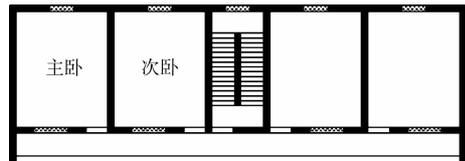


图 6 二层平面示意图

供暖系统主要由空气源热泵、60 L 缓冲水箱和毛细管末端组成,系统构成见图 7。热泵的制热能力为 3 400~9 800 W,制热能效比 2.6~4.5 W/W。

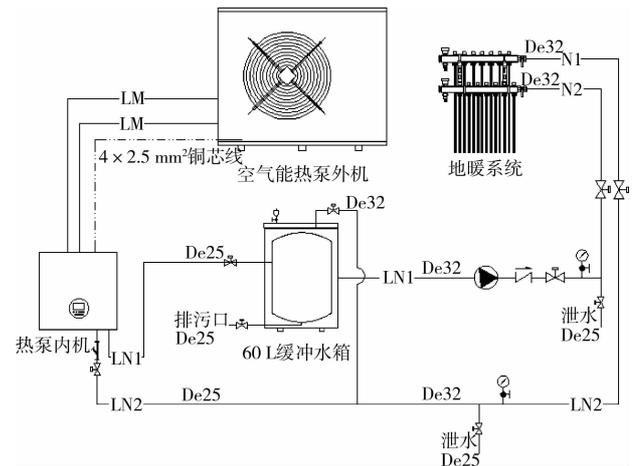


图 7 系统示意图

地板的温度测点采用“梅花”布点,以便测试毛细管末端地面温度分布的均匀性。考虑到足部、膝盖、手部和头部对温度的敏感性,室内正中的垂直温度测点分别高 0.1、0.6、1.1 和 1.7 m。此外,接入电表(灵敏度 0.001 kWh)实时监测热泵输入功率累计值;同时在毛细管供、回水管间接上热量表(灵敏度 1 kWh),实时关注末端有效供热量。测试工况见表 1。

表 1 测试工况

供水温度/℃	开机时间	关机时间	运行时长/h	供暖房间	对比房间
35	18:00	8:00	14	主卧	次卧
40	18:00	8:00	14	主卧	次卧
45	18:00	8:00	14	主卧	次卧
50	18:00	8:00	14	主卧	次卧

3 数据分析

3.1 气象数据分析

为了解该住户实际室外气候变化情况,于其所在村镇设

置小型气象站,该住户冬季室外温、湿度变化情况见图 8。如图可见,该地区冬季温度明显低于预防医学给出的人体“冷耐受”下限温度 11℃,相对湿度整体围绕 80%波动,冬季采暖是有必要的。

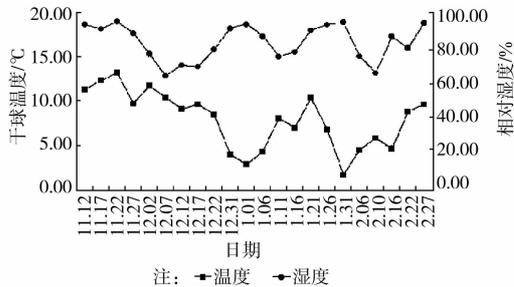


图 8 重庆市某村镇供暖期室外日平均温、湿度变化

3.2 热源性能分析

测试的房间类型为卧室,因此系统运行时间为每日 18:00 至次日 8:00,即用户使用卧室的时段。表 2 展示了毛细管地板辐射供暖末端在不同供水温度工况下空气源热泵的有效制热效率,表中 COP 值为每日有效供热量与热泵输入总功率的比值。

表 2 各工况运行能效

供水温度/ ℃	热泵 电能/kWh	采暖供 热量/kWh	COP	室外均温/ ℃	室外均湿/ %
35	13.865	30	2.16	8.45	94.66
35	14.108	31	2.20	7.66	94.68
40	16.637	36	2.16	9.80	94.25
40	17.084	37	2.17	9.21	94.63
45	20.682	43	2.08	11.48	83.12
45	21.197	44	2.08	10.31	88.64
50	25.057	54	2.16	8.44	94.07
50	23.417	52	2.22	11.00	79.30

如表 2 所示,该系统各工况实际运行数据计算所得 COP 相差不大,供水温度的差异对热泵 COP 值的影响并不明显。

整理数据后可以得到,供水温度为 35、40、45 和 50℃ 的热泵耗电量日均值分别是 14.0、16.9、20.9 和 24.2 kWh/d;电力折算标准煤系数为 0.1229 kg/kWh^[4],则折算成标准煤为 1.72、2.07、2.57 和 2.98 kg/d。换言之,35℃ 工况下的日耗电量仅占 40、45 和 50℃ 工况下的 83.0%、66.8% 和 57.7%。

图 9~图 12 分别是供水温度为 35、40、45 和 50℃ 工况下某日系统运行的实时情况,体现了热泵系统的实时耗电量,毛细管地板辐射末端的实时供热量,以及相应的热泵有效 COP 值(小时供热量/小时耗电量)和室外湿球温度。

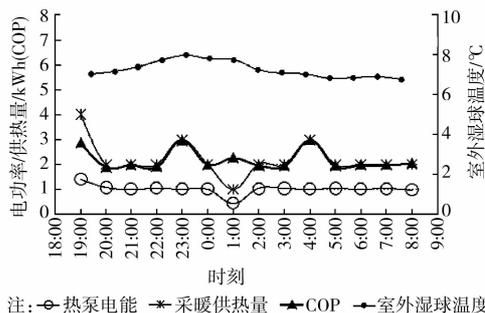


图 9 某日供水温度为 35℃ 的运行情况

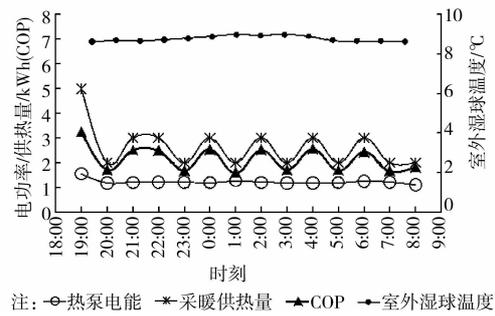


图 10 某日供水温度为 40℃ 的运行情况

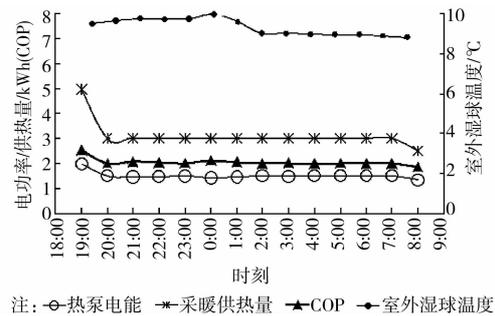


图 11 某日供水温度为 45℃ 的运行情况

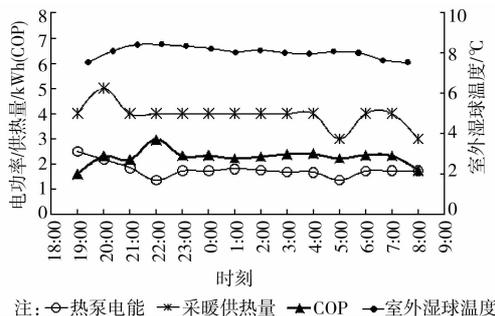


图 12 某日供水温度为 50℃ 的运行情况

3.3 末端效果对比

主卧采用混凝土做地板面层材料,据测试数据显示,系统 18:00 开机运行至 21:00 后主卧温度趋于稳定。选取各工况当日 21:00 至次日 8:00 的主卧地面温度(“梅花”布点)、主卧室室内温度(0.1、0.6、1.1 和 1.7 m 垂直布点)、次卧室内温度、室外温度和湿度,计算均值见图 13。

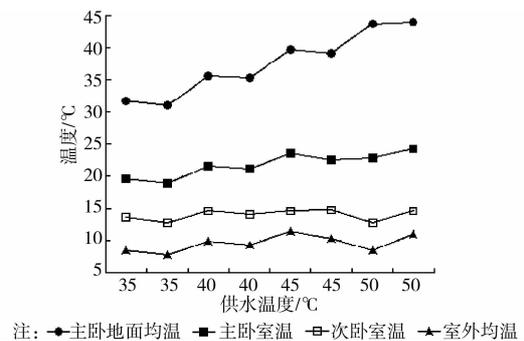
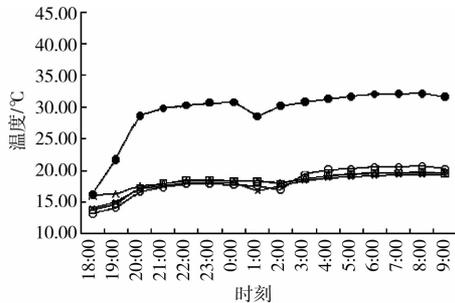


图 13 各工况末端效果

由此可以看出,供水温度为 35、40、45 和 50℃ 工况下的

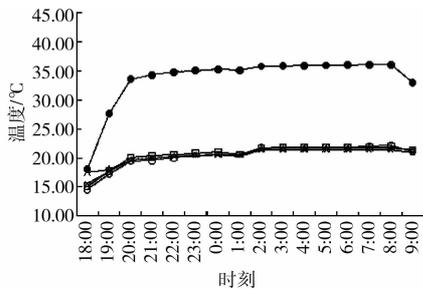
室内热环境都得到明显改善,都高于文献[5-7]规定的主要房间供暖设计温度最低值 16℃,基本满足住户夜间就寝时对室内热环境的需求。

图 14~图 17 分别为供水温度为 35、40、45 和 50℃ 工况下某日毛细管地暖末端运行的实时效果,体现了地面温度和主卧垂直温度的实时变化。



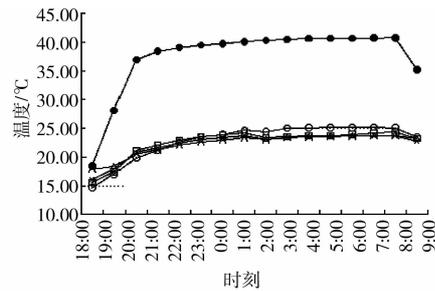
注:●地面温度 ○0.1 m温度 □0.6 m温度 *1.1 m温度 ▲1.7 m温度

图 14 某日供水温度为 35℃ 的末端情况



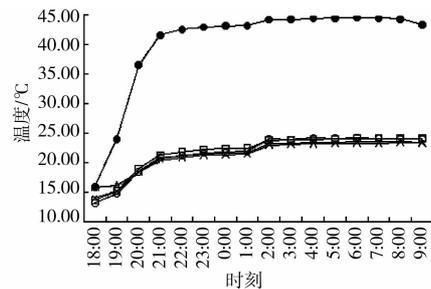
注:●地面温度 ○0.1 m温度 □0.6 m温度 *1.1 m温度 ▲1.7 m温度

图 15 某日供水温度为 40℃ 的末端情况



注:●地面温度 ○0.1 m温度 □0.6 m温度 *1.1 m温度 ▲1.7 m温度

图 16 某日供水温度为 45℃ 的末端情况



注:●地面温度 ○0.1 m温度 □0.6 m温度 *1.1 m温度 ▲1.7 m温度

图 17 某日供水温度为 50℃ 的末端情况

如图所示,采用毛细管地板辐射采暖末端的房间垂直温差不明显。表 3 是图 13~图 16 所示工况下,当日 21:00 至次日 8:00 的主卧各垂直温度测点的温度均值。由此可以看出,供水温度的差异对供暖房间垂直温度梯度没有显著影响。

表 3 各工况末端效果

供水温度/ ℃	室外均温/ ℃	室外均湿/ %	0.1 m 处 温度/℃	0.6 m 处 温度/℃	1.1 m 处 温度/℃	1.7 m 处 温度/℃	最大垂直 温差/℃
35	7.66	94.68	19.1	18.9	18.9	18.5	0.6
40	9.21	94.63	21.3	21.2	21.1	20.9	0.4
45	11.48	83.12	24.2	23.6	23.3	23.1	1.1
50	8.44	94.07	23.2	23.0	22.5	22.3	0.9

4 结论

1) 通过对重庆市中海拔村镇地区气象数据的分析,了解到该地区冬季温度明显低于预防医学给出的人体“冷耐受”下限温度 11℃,相对湿度整体围绕 80%波动,且村镇住宅建筑冬季室内、外温差不超过 2℃,冬季采暖存在客观必要性。

2) 对空气源热泵运行的实测分析结果表明,供水温度的差异对冬季系统运行能效的影响不显著,供水温度为 35、40、45 和 50℃ 的日 COP 值均在 2.1 W/W 左右,但 35℃ 工况下的耗电量仅占 40、45 和 50℃ 工况下的 83.0%、66.8% 和 57.7%。

3) 对毛细管地板辐射供暖系统的实测分析结果表明,供水温度的差异对房间垂直温差的影响不显著,供水温度为 35、40、45 和 50℃ 时,房间 0.1~1.7 m 之间的最大垂直温差在 1℃ 左右。

参考文献:

- [1] 余晓平,付祥钊,廖小烽. 浅析夏热冬冷地区低能耗住宅技术路线[J]. 重庆建筑大学学报,2008,30(6):116-119.
- [2] 付祥钊. 中国夏热冬冷地区建筑节能技术[J]. 新型建筑材料,2000(6):13-17.
- [3] 龙惟定. 同济大学教授龙惟定谈南方供暖[J]. 制冷与空调,2013,13(2):35.
- [4] 国家发展和改革委员会能源研究所. GB/T 2589—2008 综合能耗计算通则[S]. 北京:中国标准出版社,2010.
- [5] 中国建筑科学研究院. GB 50736—2012 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [6] 中国建筑科学研究院. GB 50368—2005 住宅建筑规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2005.
- [7] 中国建筑科学研究院. GB 50096—2011 住宅设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2011.