

文章编号:1674-2974(2009)06-0013-05

## 夏热冬冷地区村镇住宅热环境与热舒适研究\*

韩杰,张国强<sup>†</sup>,周晋

(湖南大学 土木工程学院,湖南 长沙 410082)

**摘要:**为了详细了解夏热冬冷地区村镇住宅热环境状况和居民热舒适水平,分别在2006年冬季和2007年夏季对湖南某典型村镇住宅热环境与居民热舒适进行了现场调查。调查总户数85户,131人。调查结果表明,村镇居民在夏季和冬季对室内温度的满意度分别为71.6%和80%,对相对湿度的满意度分别为75.4%和80%;夏季仅有48.1%居民对室内风速感觉满意,因此有必要在夏季加强通风设计。夏季服装平均热阻0.31 Clo,可接受热舒适操作温度范围为15.65~30.14,冬季服装的平均热阻2.15 Clo,可接受热舒适操作温度范围为8.41~15.65,全年可接受的热舒适操作温度范围为8.41~30.14。

**关键词:**热舒适;村镇住宅;热环境;现场调查研究

**中图分类号:** TU834.85

**文献标识码:** A

## Research on the Rural Residential Thermal Environment and Thermal Comfort in Hot Summer and Cold Winter Climate Zone

HAN Jie, ZHANG Guo-qiang<sup>†</sup>, ZHOU Jin

(College of Civil Engineering, Hunan Univ, Changsha, Hunan 410082, China)

**Abstract:** A field study was carried out in the winter of 2006 and the summer of 2007 in some villages of Hunan Province, which represents the typical hot summer and cold winter climate zone of central south China. The number of families surveyed was 85 and 131 subjects were interviewed in the surveys. The results have shown that 71.6% of the subjects are satisfied with the indoor temperature in the summer and 80% are satisfied with the indoor temperature in the winter. 75.4% of the occupants of the rural zone are satisfied with the indoor relative humidity in the summer and 80% are satisfied with the indoor relative humidity in the winter. Only 48.1% of the occupants are satisfied with the indoor air velocity in the summer, which shows that natural ventilation design is needed. The mean clothing insulation is 0.31Clo, and the acceptable operative temperature range is 15.65~30.14 in summer. The mean clothing insulation is 2.15Clo, and the acceptable operative temperature range is 8.41~15.65 in winter. The acceptable operative temperature range is 8.41~30.14 in the whole year.

**Key words:** thermal comfort; rural residence; thermal environment; field study

国外众多研究者对世界上不同气候区城市住宅热环境与居民热舒适进行了广泛的现场调查研究<sup>[1-2]</sup>。我国也有一些研究者对大中城市如北京、哈尔滨、上海、长沙、西安、香港、广州和深圳住宅热环境与居民热舒适进行了现场调查研究<sup>[3-9]</sup>,但是对于我国村镇住宅热环境与居民热舒适却鲜有研

究。我国是一个发展中国家,70%的居民住在农村,为了提高农村居民的生活水平,我国政府正在大力推行新农村建设,那么村镇住宅热环境状况和居民热舒适实际水平究竟怎样?是否可以把城市住宅热环境和热舒适标准直接用于村镇住宅?这都是必须解决的基础科学问题。众所周知,我国农村经济水平

\* 收稿日期:2008-08-09

基金项目:国家十一五科学技术支撑计划资助项目(子课题 2006BA504A05);村镇低品位能源利用关键技术研究资助项目(2006BAJ04B04)

作者简介:韩杰(1977-),男,湖南汉寿人,湖南大学博士研究生  
<sup>†</sup>通讯联系人, E-mail: gqzhang@188.com

和生活方式与城市大不一样,如村镇住宅绝大多数是自然通风建筑,城市中普遍使用空调而在村镇却很少见,Fanger和Toftum认为经常使用空调的居民热期望值要高于不经常使用空调的居民<sup>[10]</sup>;另外村镇居民过去的热经历也和城市大不一样,Brager等研究表明行为调节、过去的热经历和热期望都会影响人体热舒适<sup>[11]</sup>,研究证明村镇居民的热舒适与城市居民大不相同.金虹等对严寒地区村镇冬季室内热环境与居民热舒适进行了研究<sup>[12]</sup>,但是在我国夏热冬冷地区还没有相关研究报道.本文对夏热冬冷地区村镇住宅热环境和居民热舒适进行现场研究,为夏热冬冷地区村镇住宅节能计算、热舒适条件

与被动式建筑设计提供理论依据.

## 1 调查内容和方法

### 1.1 调查目的和人群

为了详细了解夏热冬冷地区村镇住宅热环境状况和居民的热舒适水平,分别在2006年冬季和2007年夏季对湖北某典型村镇住宅室内热环境状况与居民热舒适水平进行了现场调查(冬季调查自然通风住宅30户50人,夏季调查自然通风住宅55户81人,冬、夏季节共调查住宅85户,被调查人员131人),被调查人员的背景特征数据详见表1.

表1 被调查人员的背景特征

Tab.1 Background characteristic of occupants

参 数	2006年冬季				2007年夏季			
	年龄	当地居住 时间/年	新陈代谢率 /Met	服装热阻 /Clo	年龄	当地居住 时间/年	新陈代谢率 /Met	服装热阻 /Clo
平均值	40.1	30.6	1.53	2.15	47.6	20.7	1.33	0.31
标准偏差	13.9	19.6	0.50	0.46	14.1	28.3	0.71	0.11
最小值	12.0	3.0	1.00	1.16	11.0	2.0	1.00	0.09
最大值	70.0	70.0	2.00	2.89	82.0	69.0	2.00	0.43

### 1.2 调查方法

现场调查采用现场测试和问卷调查相结合的方法.现场测试主要测试室内外物理参数,测点布置为在室内选择3个测试点成对角线布置,测试时距离地面高度为1.1m,测试仪器采用瑞典仪表公司生产的Swema3000热舒适测试系统,该系统有3个测试探头,分别是微风速/风温探头SWA03,测试精度为 $\pm 0.03$  m/s,无方向性, $\pm 0.3$ ;湿度/风温探头Hygroclip S,测试精度为 $\pm 1.6\%$  RH, $\pm 0.3$ ;辐射温度探头SWAT,测试精度为 $\pm 0.3$ .

问卷调查内容包括:1)受试者背景资料,如性别、年龄、身高、体质量、在该地居住时间、受教育程度等;2)受试者此时着衣量和活动量;3)受试者此时热感觉,其值采用ASHRAE 7级热感觉投票(+3很热,+2热,+1有点热,0适中,-1有点冷,-2冷,-3很冷);4)受试者对此时环境湿度的感觉评价(-3很干,-2干,-1较干,0适中,+1较湿,+2湿,+3很湿);5)受试者对此时环境风速的感觉评价(-3无风,-2只有一点风,-1风速不够,0刚好,+1风有点大,+2风速过大,+3风大得无法忍受);6)受试者对此时热环境期望度(-1期望冷些,0不变,1期望热些)和热可接受程度(对热环境是否接受)评价.参与调查人员3人,当1人进行现场测试时,另外2人同时进行问卷调查.

### 1.3 热舒适性指标的计算

热舒适性指标的计算采用Fountain等开发的Wincomf软件<sup>[13]</sup>进行在线计算(<http://atmos.es.mq.edu.au/rdedear/pmv/>):输入现场测试和问卷调查所获得数据,通过Wincomf在线计算软件可以计算出PMV,PPD,ET\*,SET\*,DISC,TSENS和PD等热舒适性指标.

## 2 调查结果统计与分析

### 2.1 室内热环境特征

表2提供了冬、夏季节室内气候特征物理参数数据,冬季室内空气温度范围为6.19~11.22,平均8.66;辐射温度范围5.93~11.45,平均8.48;操作温度是空气温度和平均辐射温度与换热系数的加权平均值,为了计算方便,操作温度通常取空气温度和辐射温度的平均值.冬季操作温度范围为6.06~11.24,平均8.57;相对湿度范围为68.04%~85.57%,平均78.79%;风速很小,平均0.05 m/s.夏季空气温度范围为28.60~31.60,平均30.10;辐射温度范围为28.40~31.27,平均29.83;操作温度范围为28.50~31.43,平均30.97;相对湿度范围为62.97%~81.17%,平均72.07%;风速范围为0.01~0.19 m/s,平均0.10 m/s.

表 2 室内热环境数据  
Tab.2 Indoor thermal environmental data

参数	2006 年冬季					2007 年夏季				
	空气温度 /	辐射温度 /	操作温度 /	相对湿度 / %	风速 / (m s <sup>-1</sup> )	空气温度 /	辐射温度 /	操作温度 /	相对湿度 / %	风速 / (m s <sup>-1</sup> )
平均值	8.66	8.48	8.57	78.79	0.05	30.10	29.83	29.97	72.07	0.10
标准偏差	1.22	1.25	1.23	4.34	0.04	2.12	2.03	2.07	12.87	0.12
最小值	6.19	5.93	6.06	68.04	0	28.60	28.40	28.50	62.97	0.01
最大值	11.22	11.45	11.24	85.57	0.17	31.60	31.27	31.43	81.17	0.19

2.2 居民的热感觉

居民的主观感觉包括热感觉、湿感觉和风速感觉,这些数据都直接来源于问卷调查表,热感觉、湿感觉和风速感觉投票采用 ASHRAE 通用的 7 级投票指标。冬、夏季的居民的热感觉投票频率分布如图 1 所示。夏季 43.2% 居民热感觉投票为 0(适中), 28.4% 热感觉投票为 +1(有点热), 13.6% 和 14.8% 热感觉投票分别是 2(热)和 3(很热),如果把热感觉投票为 0 和 +1 认为可接受,那么夏季有 71.6% 居民热感觉可接受。冬季 48% 居民热感觉投票为 0(适中), 32% 热感觉投票 - 1(有点冷), 10% 和 6% 热感觉投票分别是 - 2(冷)和 - 3(很冷),同理假如把热感觉投票 0 和 - 1 认为可接受,那么有 80% 居民热感觉可接受。

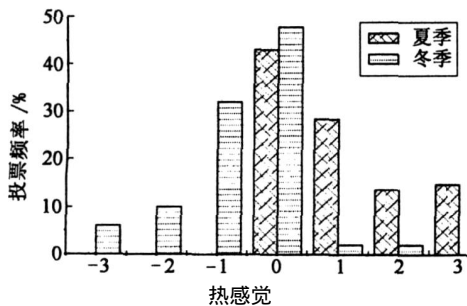


图 1 热感觉投票频率分布

Fig.1 Frequency distribution of thermal sensation votes

2.3 居民的湿感觉

ASHRAE 推荐的热舒适区的相对湿度范围为 20% ~ 70%, 实际调查获得的夏季相对湿度范围为 62.97% ~ 81.17%, 冬季相对湿度范围为 68.04% ~ 85.57%。图 2 给出了夏、冬季节湿感觉投票频率分布, 夏季 42% 的居民湿感觉投票 0(适中), 23.5% 和 17.3% 的居民分别投票 - 1(有点干)和 - 2(干), 9.9% 的居民湿感觉投票 + 1(有点潮), 如果把湿感觉投票 - 1, 0, + 1 认为湿度可接受, 那么夏季 75.4% 居民感觉室内的湿度可接受。冬季 48% 的居民湿感觉投票 0(适中), 22% 的居民湿感觉投票 - 1(有点干), 10% 和 14% 的居民湿感觉投票分别为 - 2(干)和 + 1(有点潮), 同理若湿感觉投票 - 1, 0, + 1 认为可接受, 则冬季 84% 的居民感觉湿

度可接受。

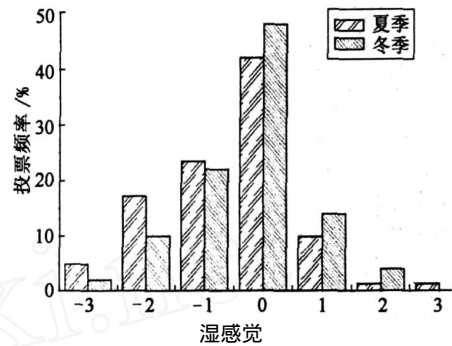


图 2 湿感觉投票频率分布

Fig.2 Frequency distribution of relative humidity sensation

2.4 居民的风速感觉

图 3 给出了夏、冬季节风速感觉投票频率分布。夏季 33.3% 的居民风速感觉投票是 0(刚好), 9.9% 和 42% 的居民分别投票 - 1(风速不够)和 - 2(只有一点风), 4.9% 的居民风速感觉投票 + 1(风有点大), 如果把风速感觉投票 - 1, 0, + 1 认为感觉满意, 那么夏季仅有 48.1% 居民对室内风速感觉满意。因此, 夏季加强对室内住宅的自然通风设计是改善室内住宅热环境和提高居民舒适水平的有效措施。冬季 28% 的居民风速感觉投票 0(刚好), 36% 的居民风速感觉投票 - 2(只有一点风), 12% 和 18% 的居民风速感觉投票分别为 - 3(无风)和 + 1(风有点大), 冬季住宅为了保温, 通常都关闭门窗。

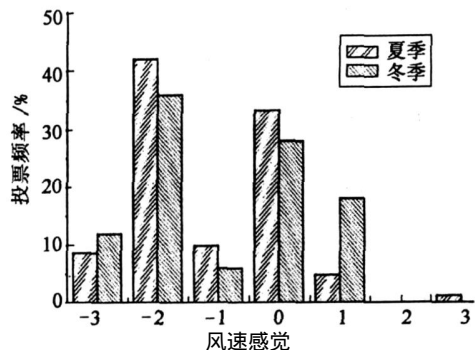


图 3 风速感觉投票频率分布

Fig.3 Frequency distribution of air velocity sensation

2.5 热期望

图 4 给出了热期望投票频率分布。热期望投票

采用 McIntyre 的 3 级热期望投票标准: - 1 (期望冷些), 0 (保持不变), + 1 (期望热些). 夏季 74 % 的居民热期望投票为 0, 26 % 的居民热期望投票 - 1; 冬季 36 % 的居民热期望投票为 0, 62 % 的居民热期望投票 + 1. 在冬季有超过半数的居民期望室内再暖和些, 因此在冬季就需要通过墙体保温措施改善居民的室内热环境. 居民在冬季对热的期望远高于夏季对冷的期望, 这有可能是因为居民的夏季耐热能力要比冬季的耐冷能力强, 也有可能是冬季热环境偏离热舒适区更远.

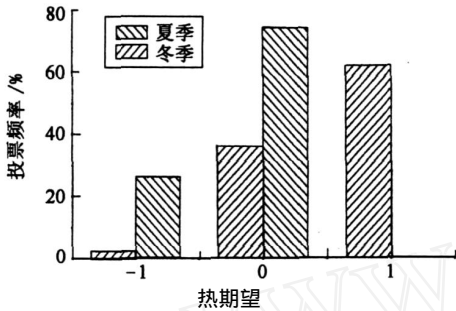


图 4 热期望投票频率分布  
Fig. 4 Frequency distribution of thermal preference

2.6 热可接受程度

通过 2 种方法可以获得热接受程度频率分布. 一种方法是直接法, 即在调查问卷中让受试者直接表明对此热环境是否接受, 按这种方法得到夏、冬季热可接受程度频率分布如图 5 所示, 夏季 76.5 % 的居民接受室内热环境, 冬季 78 % 的居民接受室内热环境. 另外一种方法是间接法, 即按照调查问卷中受试者填写的热感觉投票值进行统计分析, 当其热感觉投票值在 - 1 到 + 1 之间时认为他们对此时的热环境能够接受, 按照这种方法计算得到的热可接受频率分布为夏季 71.6 % 的居民认为室内热环境可接受, 冬季 82 % 的居民认为室内热环境可接受. 比较这 2 种方法得到的热可接受程度频率分布, 可以发现村镇居民接受热环境的频率要低于接受冷环境的频率.

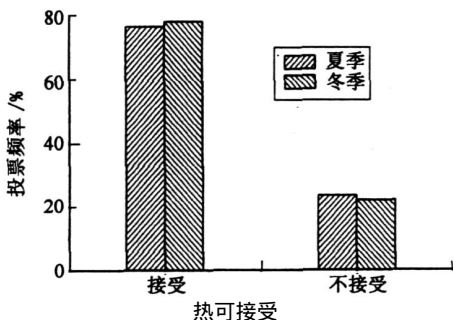


图 5 热可接受投票频率分布  
Fig. 5 Frequency distribution of thermal acceptability

2.7 改善热环境的方式

冬季有 90 % 以上的住宅采用烧木炭烤火的方式来改善室内热环境, 还有少量住宅使用电炉来改善室内热环境. 夏季居民改善室内热环境的方法主要是使用电风扇、开门窗、户外乘凉和冲澡等; 其中利用电风扇改善室内热环境的居民将近 100 %, 通过开门窗改善室内热环境的居民有 60 %, 通过户外乘凉提高居民热舒适水平的有 43 %, 通过冲澡提高居民热舒适水平的有 26 %.

3 讨论

3.1 室内外操作温度之间的关系

图 6 给出了室内外操作温度之间相互关系. 由图 6 可知, 它们之间相关系数的平方是 0.94, 故室内外操作温度紧密相关, 同时还可以发现当室外操作温度每升高 1 时, 则室内操作温度上升 0.81; 这主要是因为村镇住宅在冬季主要是通过烤火, 夏季通过使用电风扇、开门窗、户外乘凉等方式改善室内热环境, 这些方式都不是在房子封闭的条件下使用的, 而是在自然通风的条件下改善室内的热环境, 因此室外气象参数是影响室内热舒适的主要因素之一. 另外从这里还可以发现村镇住宅墙体的保温隔热性能较差, 因此需要通过采用新的技术和新的建筑材料提高村镇住宅墙体的保温隔热性能.

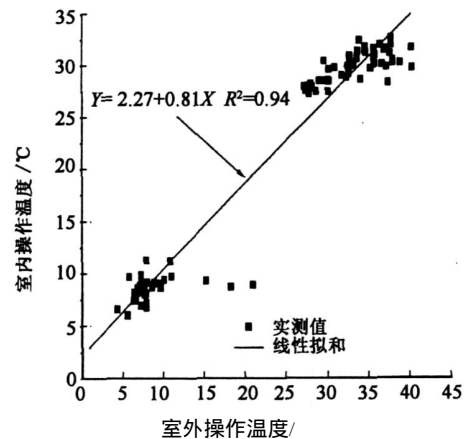


图 6 室内外操作温度之间的关系  
Fig. 6 Relationship between indoor and outdoor operative temperature

3.2 村镇住宅可接受的热舒适温度范围

在热舒适研究中, 人体热感觉的表述方式有 2 种——热感觉投票 (TSV) 和平均热感觉投票 (MTSV), 前者为某一温度的人体热感觉, 后者为某一温度区间内的热感觉. 图 7 给出了操作温度与平均热感觉投票 (MTSV) 相互关系. ASHRAE 55 -

1992 推荐的热舒适区是:夏季服装热阻 0.5 Clo, 舒适操作温度范围为 22.5 ~ 26 °C; 冬季服装热阻 1 Clo, 舒适操作温度范围 19.5 ~ 23.5 °C, 这个舒适区范围是来源于密闭的空调环境的测试数据, 因此它并不适用于本次调查的村镇住宅的自然通风环境。这次在村镇现场测试得到的数据为:夏季平均服装热阻 0.31 Clo, 操作温度范围 28.5 ~ 31.43 °C; 冬季平均服装热阻 2.15 Clo, 操作温度范围 6.06 ~ 11.24 °C。因为村镇夏季室内改善热环境的方式要比冬季多, 而且村镇居民夏季耐热能力可能要比冬季的耐冷能力强, 因此夏季的热感觉投票范围要比冬季宽。这里假设在冬季受试者进行热感觉投票时, 0.5 MTSV = 0 是可接受的热舒适范围; 在夏季当受试者进行热感觉投票时, 0 MTSV = +1 是可接受的热舒适范围, 图 7 提供了室内平均热感觉随室内操作温度变化的规律, 并且通过线形拟合的方式得到了室内平均热感觉随室内操作温度变化的线性方程, 根据上述的假设条件可以得到冬季可接受的热舒适操作温度范围: 8.41 ~ 15.65 °C, 夏季可接受的热舒适操作温度范围: 15.65 ~ 30.14 °C。夏、冬季节分别是一年之中的最热和最冷季节, 因此分别取冬季的下限和夏季的上限就能得到全年可接受的热舒适操作温度范围: 8.41 ~ 30.14 °C。

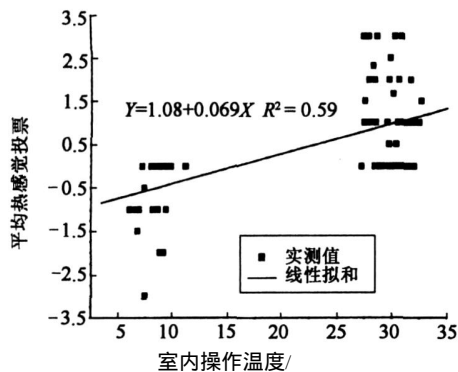


图 7 可接受热舒适温度范围

Fig. 7 Acceptable thermal comfort temperature range

## 4 结论

1) 夏季有 71.6% 居民对室内的温度可接受, 冬季有 80% 居民对室内的温度可接受; 夏季 75.4% 居民感觉室内的湿度可接受, 冬季 84% 的居民感觉室内湿度可接受; 夏季仅有 48.1% 居民对室内风速感觉满意, 因此在夏季需要通过加强对住宅的通风设计来改善室内住宅热环境和提高居民舒适水平。冬季有超过半数的居民期望室内再暖和些, 因此需要通过墙体保温措施改善住宅的冬季室内热环境。

2) 在冬季, 烧木炭烤火是改善室内热环境的主

要方式; 在夏季, 开电风扇是改善室内热环境的主要方式, 其次是开门窗、户外乘凉和冲澡。

3) 村镇住宅是自然通风环境, 室外气象参数是影响室内热舒适的主要因素, 通过调查分析后发现村镇住宅墙体的保温隔热性能不好, 因此需要通过采用新的技术和新的建筑材料提高村镇住宅墙体的保温隔热性能。

4) 夏季服装平均热阻是 0.31 Clo, 可接受热舒适操作温度范围为 15.65 ~ 30.14 °C; 冬季服装的平均热阻为 2.15 Clo, 可接受热舒适操作温度范围为 8.41 ~ 15.65 °C; 全年可接受的热舒适操作温度范围为 8.41 ~ 30.14 °C。

5) 村镇住宅不同于城市住宅, 住宅不封闭, 绝大多数是自然通风条件环境, 受当地气象条件影响大, 因此, 不能把城市中空调住宅热环境和居民的热舒适标准简单地推广到村镇住宅。

## 参考文献

- [1] DE DEAR R J. A global database of thermal comfort field experiments[J]. ASHRAE Transactions, 1998, 104(1b): 1141 - 1152.
- [2] NICOL J F, RAJA I A, Allaudim A, *et al.* Climatic variations in comfortable temperatures: the pakistan projects[J]. Energy and Buildings, 1999, 30: 261 - 279.
- [3] 夏一哉, 赵荣义, 江亿. 北京市住宅环境热舒适研究[J]. 暖通空调, 1999, 29(2): 1 - 5.  
XIA Y-zai, ZHAO Rong-yi, JIANG Yi. Thermal comfort in naturally ventilated houses in Beijing[J]. HV & AC, 1999, 29(2): 1 - 5. (In Chinese)
- [4] WANG Z J, WANG G, LIAN L M. A field study of the thermal environment in residential buildings in Harbin [J]. ASHRAE Transactions, 2003, 109(2): 350 - 355.
- [5] YE X J, ZHOU Z P, LIAN Z W, *et al.* Field study of a thermal environment and adaptive model in Shanghai [J]. Indoor Air, 2006, 16: 320 - 326.
- [6] HAN J, ZHANG G, ZHANG Q, *et al.* Field study on occupant thermal comfort and residential thermal environment in a hot-humid climate of China [J]. Building and Environment, 2007, 42: 4043 - 4050.
- [7] YOSHINO H, GUAN S, LUN Y F, *et al.* Indoor thermal environment of urban residential buildings in China: winter investigation in five major cities [J]. Energy and Buildings, 2004, 36: 1227 - 1233.
- [8] ZHANG G, ZHENG C, YANG W, *et al.* Thermal comfort investigation of naturally ventilated classrooms in a subtropical region [J]. Indoor and Built Environment, 2007, 16(2): 148 - 158.
- [9] YANG W, ZHANG G. Thermal comfort in naturally ventilated and air-conditioned buildings in humid subtropical climate zone in China [J]. International Journal of Biometeorology, 2008, 52(5): 385 - 398.
- [10] FANGER P O, TOFTUM J. Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates [J]. Energy and Buildings, 2002, 34: 533 - 536.
- [11] BRAGER G S, DE DEAR R J. Thermal adaptation in the built environment: a literature review [J]. Energy and Buildings, 1998, 27: 83 - 96.
- [12] 金虹, 赵华, 王秀萍. 严寒地区村镇住宅冬季室内热舒适环境研究 [J]. 哈尔滨工业大学学报, 2006, 38(12): 2108 - 2111.  
JING Hong, ZHAO Hua, WANG Xiurping. Research on the indoor thermal comfort environment of rural housing in winter in super-cold region [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2006, 38(12): 2108 - 2111. (In Chinese)
- [13] FOUNTAIN M E, HUIZENGA C. A thermal comfort prediction tool [J]. ASHRAE Journal, 1996, 38(9): 39 - 42.