

内蒙古西部农牧区住宅过渡季室内热舒适现场研究

金国辉¹, 张东杰¹, 沈 强², 史俊鑫³ (1. 内蒙古科技大学 土木工程学院, 内蒙古, 包头 014000; 2. 厦门大学 建筑与土木工程学院, 福建, 厦门 361000; 3. 河南大学 商学院, 河南, 开封 475000)

[摘 要] 对内蒙古西部农牧区的 81 户住宅的过渡季和采暖期初的室内外环境参数进行了现场测试, 并以主观问卷调查的方式对居民的着装情况和热感觉等做了统计。经过对调查测试的结果进行了统计分析, 得出内蒙古西部农牧区的过渡季和采暖期初的热中性温度为 15.6 °C 和 15.3 °C, 热期望温度为 17.9 °C 和 18.6 °C, 80% 居民可接受温度下限为 13.1 °C 和 14.3 °C, 90% 的热可接受温度范围为 15.9 ~ 23.3 °C 和 17.5 ~ 21.9 °C。结果表明处于当地气候条件下和穿衣、适应措施的综合影响下, 农牧区居民对偏冷环境的适应性较好。

[关键词] 内蒙古西部; 热舒适; 热环境; 热中性温度; 热感觉投票的平均值

[中图分类号] TU831.1 **[文献标识码]** A

Residential Thermal Comfort in Western Agricultural and Pastoral Areas of Inner Mongolia in Shoulder Season

JIN Guohui¹, ZHANG Dongjie¹, SHEN Qiang², SHI Junxin³ (1. The School of Civil Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014000, Inner Mongolia, China; 2. The School of Architecture and Civil Engineering, Xiamen University, Xiamen 361000, Fujian, China; 3. The Business School of Henan University, Henan University, Kaifeng 475000, Henan, China)

Abstract: The indoor and outdoor environmental parameters of 81 houses in the western agricultural and pastoral areas of Inner Mongolia in shoulder season and heating periods were tested. Questionnaire about the clothing and thermal sensation was sent to residents in the houses. By analyzing the survey results, it was found that the acceptable neutral temperature in shoulder season and heating periods is 15.6 °C and 15.5 °C, respectively; the preferred temperature in shoulder season and heating periods is 17.9 °C and 18.6 °C, respectively; the lowest temperature that 80% residents can accept in shoulder season and heating periods is 13.1 °C and 14.3 °C, respectively; and the thermal comfort temperature at which 90% residents feel satisfied in shoulder season and heating periods ranges from 15.9 °C to 23.3 °C and from 17.5 °C to 21.9 °C, respectively. The results show that the residents in agricultural and pastoral areas are better adaptable to the cold environment because of the combined influence of local climate, dressing and adaptation measures.

Keywords: western Inner Mongolia, thermal comfort, thermal environment, neutral temperature, MTS

[收稿日期] 2017-01-17 [修回日期] 2017-03-27

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目“内蒙古农村牧区低能耗居住建筑模式研究”(51668051); 内蒙古自然科学基金资助项目“内蒙古寒冷区低能耗住宅能耗机理与节能优化研究”(2014MS0535); 内蒙古自然科学基金资助项目“内蒙古农牧区居住建筑绿色节能技术研究”(2016MS0516); 内蒙古研究生教育创新计划资助项目“基于气候适应性的内蒙古西部沙漠气候区被动式超低能耗住宅热环境及热舒适性研究”(S20161012702); 内蒙古自然科学基金: 基于非均衡节能体系与节能经济性视角的内蒙古河套地区低能耗居住建筑节能优化研究(2017MS(LH)0532)

[作者简介] 金国辉(1965-), 男, 硕士, 教授

[联系方式] 13626083768@163.com

0 引 言

随着我国城市化和人们社会生活质量的不断提高, 对住宅建筑的室内热环境和舒适性也随之提高, 用于冬夏季采暖和制冷的能源消耗也在大幅增加。目前为止, 国外对热舒适做了大量的实验研究和现场调查, 从最初由 Fanger^[1-2] 基于实验室研究提出人体热感觉模型 PMV-PPD, 到 Brager, de Dear,^[3] Goto^[4] 和 Andersen^[5] 等在全球不同气候区不同的条件下的现场实验研究, 逐步建立起建筑室内热舒适标准 ASHRAE55 和 ISO7730^[6-8] 等。

20 世纪 90 年代谭福军^[9]首次对寒冷地区办公建筑的热舒适调查研究。随后国内更多研究人员开始关注建筑室内热舒适研究,对全国各地不同气候区的不同建筑进行了现场调查研究。以王昭俊^[10-12]为代表对哈尔滨住宅、办公等建筑的冬季室内热环境及热舒适做了系统的研究;夏一哉、曹彬和杨柳^[13-16]等对北京、陕西和宁夏部分地区的夏冬季节的住宅建筑的室内热舒适进行了调查研究;张宇峰、金玲^[17-18]等对基于气候适应性下的广州岭南地区农宅的热环境进行了优化研究。国家也推出 GB/T 1 8049^[19]、GB/T 50785^[20]和 GB/T 5701 等与热舒适研究相关的标准。

但大量的热舒适现场研究中,以东部或南部的温带季风性气候和亚热带季风气候为主,却对地处西北内陆的温带沙漠气候的研究较少。内蒙古西部农牧区属典型的温带沙漠干旱气候区,昼夜温差大,光照时间长,降水少蒸发大,全年干燥且风沙较多。^[21]因此,对内蒙古西部农牧区秋冬过渡季节和采暖期初住宅室内热环境和人体热舒适进行调查,分析室内热环境情况,热舒适性和可接受温度范围,以确定农牧区住宅的室内热环境与人体热适应的关系,并与国内东、南部地区相关研究成果比较。

1 研究方法

1.1 区域概况

内蒙古西部草场牧区约 467 万 hm^2 ,在热工分区中属于严寒地区。当地四季分明,年温差约 36 $^{\circ}\text{C}$,平均气温约 4 ~ 8 $^{\circ}\text{C}$,平均降水量约 190 mm,平均相对湿度约 43.5%。依据物候学方法,5 d 平均气温在 10 $^{\circ}\text{C}$ 以下为冬季和现行内蒙西部地区供暖日期 10 月 15 日^[22]。因此,本研究将 10 月 15 日之前视为秋冬过渡季,10 月 16 日之后视为采暖期初,期间共选取 81 户住宅,189 人参加现场调查,共得到 653 份有效调查结果。

1.2 测试仪器及参数

本次现场研究分为对农牧区住宅室内外环境参数测量和居民室内热舒适的主观问卷调查两部分。室内外环境测量包括:室内外的空气温度、相对湿度、风速等,测试所用仪器为 JT-HAQ 热环境测试仪,精度如表 1 所示,测点选取在距离地面 1.2 m 以上,距离门窗和壁面 0.6 m 以上的距离。测试时间为 2016 年 9 月至 11 月,每 2 ~ 3 周入户调查一次。

1.3 热舒适评价指标

问卷调查包括居民穿衣量、活动量、热感觉和热舒适等主观热反应,采用 ASHRAE7 级指标作为热舒适尺度,如表 2 所示。

表 1 仪器测试范围及精度

传感器名称	范围	精度
干球温度传感器	-30 ~ 60 $^{\circ}\text{C}$	± 0.5 $^{\circ}\text{C}$
黑球温度传感器	-30 ~ 120 $^{\circ}\text{C}$	± 0.5 $^{\circ}\text{C}$
湿度传感器	0 ~ 100% RH	$\pm 1.5\%$ RH
风速传感器	0.05 ~ 5 m/s	± 0.03 m/s + 2%

表 2 调查问卷投票标度

标度	热感觉	热舒适	热期望	湿感觉
-3	冷			很潮湿
-2	凉			潮湿
-1	稍凉		降低	有点潮
0	中性	舒适	不变	适中
1	稍暖	稍不舒适	升高	有点干
2	暖	不舒适		干燥
3	热	很不舒适		很干燥

当室内相对湿度在热舒适范围内,室内风速小于 0.2 m/s 时,适宜用操作温度来作为热舒适评价标准。计算方法为操作温度值 t_o 等于空气温度 t_a 与平均辐射温度的平均值式(1),平均辐射温度计算式(2)^[15]。

$$t_o = (t_a + \bar{t}_r) / 2 \quad (1)$$

$$\bar{t}_r = t_g + 2.44v^{0.5}(t_g + t_a) \quad (2)$$

式中: t_g 为黑球温度, $^{\circ}\text{C}$; v 为室内空气流速, m/s。

2 调查结果与分析

2.1 样本详情

本次调查男性 108 人、女性 81 人,男性占比 57.1%、女性占比 42.9%,女性比例略低于男性。在内蒙古西部地区居住最短 1 a,最长 68 a,平均为 29 a,居民多数健康状况良好,对当地气候及住宅热环境已经适应。现场调查时,居民多数在家休息或从事较轻家务劳动或农活,活动量在 0.8 ~ 1.4 met (46.52 ~ 81.41 W/m^2) 之间为主,调研样本特征分布如表 3 所示。

表 3 调研样本特征分布

特征	最小值	最大值	均值	标准偏差
年龄 / 岁	13.0	68.0	37.8	13.1
居住时间 / a	1.0	68.0	29.0	16.2
活动量水平 / met	0.8	2.7	1.3	0.7

2.2 建筑概况

现场调研中发现,农牧区住宅多以带围院的单层平房或低层楼居多,建筑面积在 90 ~ 120 m²。住宅围护结构外墙多数为 370 mm 厚水泥砂浆实心或空心粘土砖墙且砂浆不饱满,少量耳房为生土建筑。墙体的密实性较差,多数没做外墙保温处理,少量采用聚苯板做外墙保温板;住宅外窗多为单层或双层铝合金或塑钢窗,部分单层或双层木窗;住宅门多为单层木门,少量入户门为铁门或防盗门,有棉门帘;屋顶以单坡或双坡屋顶为主平屋顶为次,较少住宅对屋顶进行保温处理。冬季采暖大部分用燃炉式土暖气,少量有采用火炕辅助采暖。

2.3 服装热阻

现场调查了居民着装量,过度季着装,男子下身为牛仔褲或运动褲,上身为长袖衬衫或 T 恤、休闲外套或夹克;女子下身为薄短裙与连裤袜或薄连衣裙,上身风衣或外套、T 恤。采暖初期室内着装,男子着装与过渡季相比增穿秋衣裤、毛衣和棉服等,女子着装增穿秋衣裤、厚连衣裙、连裤袜、毛衣等。

服装热阻分布频率如图 1 所示。在过渡季节,有 87.7% 的居民服装热阻在 0.6 ~ 1.0 clo 之间,均值为 0.88 clo;在采暖初期,有 80.6% 的居民服装热阻在 0.8 ~ 1.2 clo 之间,均值为 1.05 clo。与 ASHRAE55-2013 舒适标准中规定冬季 0.9 clo^[7,23] 的服装热阻相比,采暖期初有 79.7% 的样本结果在要求范围之外。

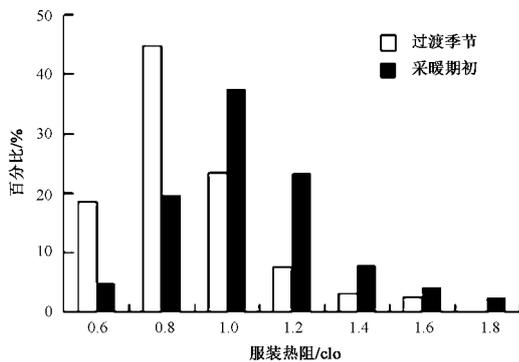


图 1 服装热阻分布频率

2.4 室内外环境分析

对 81 户进行过渡季与采暖初期的室内外空气温度和相对湿度测试,测试统计结果如表 4 所示。由表可知,过渡季节室内外空气温度均值为 13.5 °C 和 14.4 °C,相对湿度均值为 53.7 % 和 57.3 %;采

暖期初室内外空气温度均值分别为 2.5 °C 和 13.6 °C,相对湿度均值为 45.8 % 和 29.9 %。

表 4 室内外环境参数状况

	最大值	最小值	均值	标准偏差	
过渡季节	室外温度/°C	25.4	6.2	13.5	6.3
	室外湿度/%	79.8	24.2	53.7	11.2
	室内温度/°C	24.5	8.3	14.4	5.8
	室内湿度/%	75.3	30.4	57.3	10.2
	辐射温度/°C	23.8	7.9	13.1	6.1
采暖初期	室外温度/°C	12.2	-3.9	2.5	4.6
	室外湿度/%	78.6	20.3	45.8	12.3
	室内温度/°C	21.4	6.4	13.6	5.9
	室内湿度/%	55.2	22.7	29.9	3.7
辐射温度/°C	20.7	6.1	13.8	5.6	

图 2 和图 3 是过渡季与采暖期初室内外空气温度与相对湿度分布频率。由图 2 可知,过渡季室内外空气温度主要分布在 8 ~ 16 °C,占比均在 70% 以上,昼夜温差较大,原因是受温带沙漠气候影响,相对湿度均在 30% ~ 60% 之间,占比 80% 以上。与南方湿热地区秋冬过渡季 20.1 ~ 28.6 °C^[17] 相比农牧区室外空气温度要低。

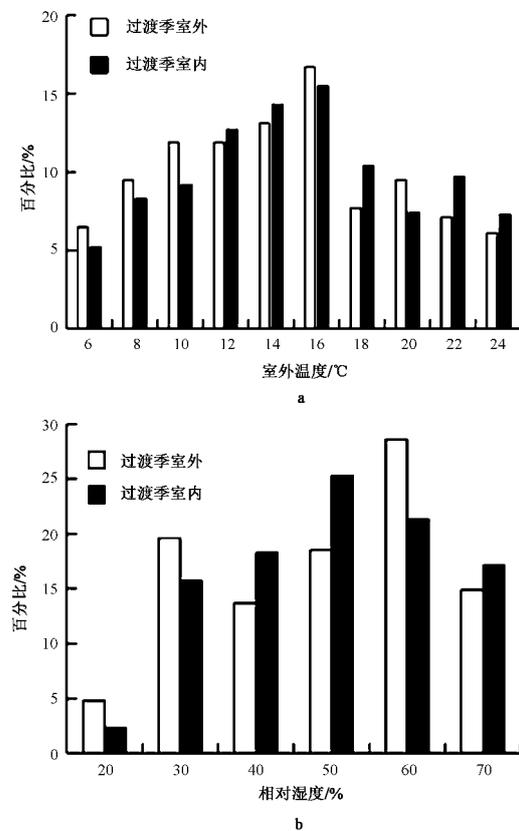


图 2 过渡季室内外环境参数分布频率

由图 3 可知,采暖期初室外空气温度集中在 $-2 \sim 6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 占比 72.9%,相对湿度分布范围广且较为均匀的在 20% ~ 70%。室内空气温度由于受燃炉式暖气影响集中在 $10 \sim 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 占比 81.1%,相对湿度集中在 20% ~ 40% 占比 90.4%。与 ISO7730 和 ASHRAE55^[7] 标准中严寒地区冬季热舒适温度为 $21.0 \sim 24.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ^[24] 和 $20.0 \sim 23.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 相比采暖初期至少有 91.8% 的样本结果低于标准范围,相对湿度则在 30% ~ 60% 的标准范围之内。

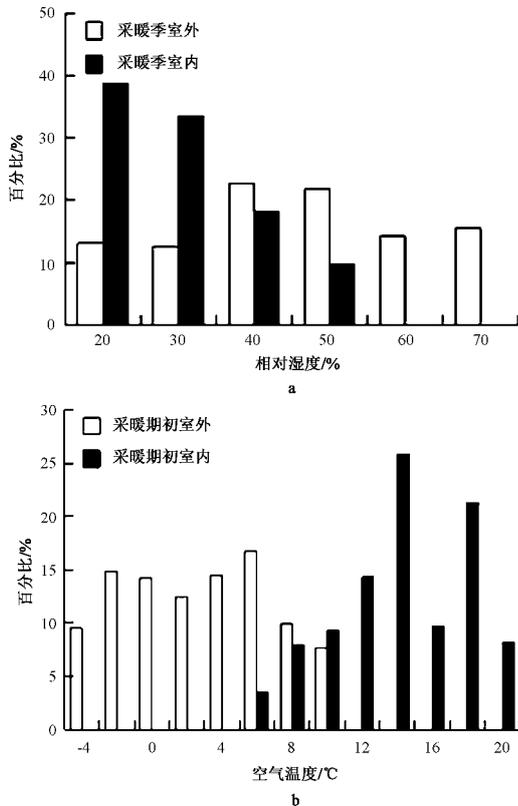


图 3 采暖期初室内外环境参数分布频率

2.5 热感觉与热中性温度

内蒙古西部地区农牧区过渡季与采暖期初居民热感觉分布频率如图 4 所示,在过渡季节有 39.6% 的居民投票为适中(0),9.6% 和 3.4% 的投票为微暖(1)和暖(2)。在采暖期初有 46.8% 的居民投票为适中(0),17.4%,7.3% 和 1.3% 的分别投票为微暖(1)、暖(2)和热(3)。若将投票在 $-1, 0$ 和 $+1$ 的百分比表示为热感觉可接受,则在过渡季节和采暖期初分别有 73.4% 和 88.3% 的热接受率,与直接询问居民室内热环境是否可接受统计的过渡季和采暖期初分别有 86.5% 和 92.1% 的可接受率相比要略低。

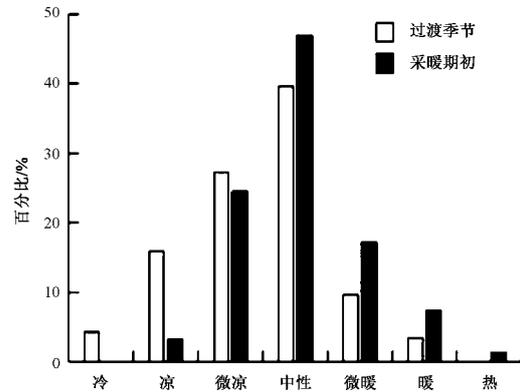


图 4 热感觉分布频率

统计数据结果,剔除风速大于 0.2 m/s 的样本,保留剩余样本以每 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的操作温度为间隔划分若干个温度区间,以每个区间的平均温度为自变量,实测居民热感觉投票的平均值 (Mean Thermal Sensation vote, MTS) 为因变量,回归分析出 MTS 和操作温度的变化关系曲线,如图 5 所示。

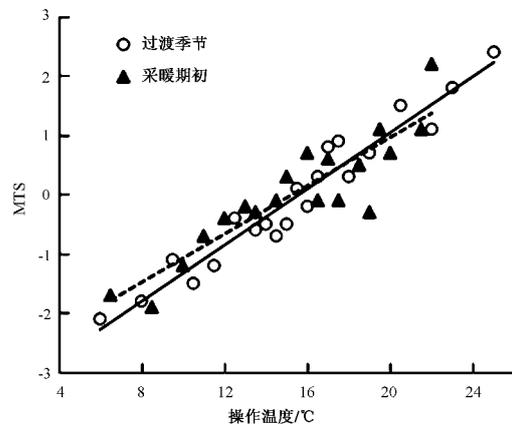


图 5 MTS 与操作温度的关系

过渡季与采暖期初的线性回归方程为式(3)、式(4):

$$\text{过渡季节: } \text{MTS} = 0.237 t_o - 3.709 \quad (R^2 = 0.9414) \quad (3)$$

$$\text{采暖期初: } \text{MTS} = 0.204 t_o - 3.114 \quad (R^2 = 0.8098) \quad (4)$$

当 $\text{MTS} = 0$ 时所求解 t_o 值则为热中性温度,过渡季和采暖期初的热中性温度为 $15.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $15.3\text{ }^{\circ}\text{C}$,要略高于实测室内温度均值约 $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。图 5 中回归方程的斜率反映牧区居民对室内操作温度的敏感性,可以看出当过渡季和采暖期初室内操作温度升

高 4.3 ℃ 和 5.0 ℃ 时,热感觉投票值增加 1,说明对人体对热环境有较好的适应性。

2.6 热可接受度与热期望

把投票热可接受率和操作温度进行抛物线回归,得出操作温度和居民热接受率的关系,如图 6 所示。

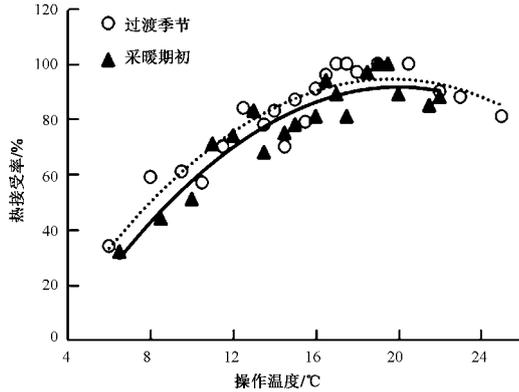


图 6 过渡季与采暖期初热接受率

过渡季与采暖期初的线性回归方程为式(5)、式(6):

$$\text{过渡季节: } Y = -0.329t_0^2 + 12.914t_0 - 32.469 \quad (R^2 = 0.8737) \quad (5)$$

$$\text{采暖期初: } Y = -0.337t_0^2 + 13.521t_0 - 44.092 \quad (R^2 = 0.8986) \quad (6)$$

ISO7330 和 ASHRAE 标准中将 80%、90% 的居民热接受率认为是较为舒适的热环境,由图 6 可知,在过渡季和采暖期初 80% 的热可接受温度下限为 13.1 ℃ 和 14.2 ℃,90% 的热可接受温度范围为 15.9 ~ 23.3 ℃ 和 17.9 ~ 22.2 ℃,在标准热舒适温度范围内。

对居民的室内温度的期望进行了调查,采用概率统计的方法:以 0.5 ℃ 的操作温度为组距,统计所期望的室内热环境比此时较暖和较凉的人数所占总人数的百分比,对期望变暖和期望变冷分别与操作温度做线性回归,再求解两条线的交点所对应操作温度值即为期望温度,如图 7 所示。

由图 7 可知,过渡季的居民期望温度为 17.9 ℃,比中性温度高 2.3 ℃。采暖期初的居民期望温度为 18.6 ℃,比中性温度高 3.3 ℃,是由于调查居民在采暖期初增添衣服和室内燃炉采暖的原因。与国内其他地区研究的结果对比^[16,23-24],在寒冷地区居民的室内对热环境的温度期望要高于人体热中性

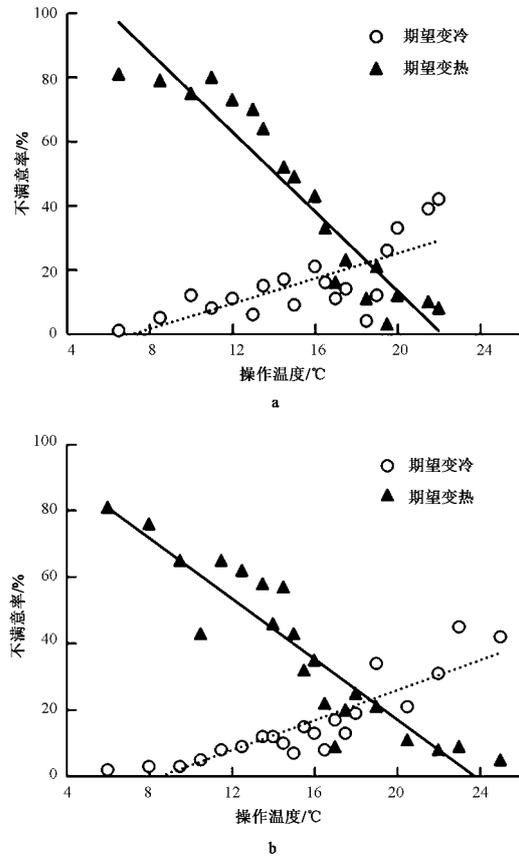


图 7 过渡季和采暖期初期望温度求解

温度,本研究结果与其他研究结果相符。

2.7 湿感觉和适应性行为

在入户测试与问卷调查中也包括了居民湿感觉和湿环境可接受度调查,在过渡季和采暖期初当室内相对湿度在 20% ~ 30% 时,56.4% 和 52.3% 的居民感觉空气干燥,43.6% 和 47.7% 的居民感觉适中;在 30% ~ 40% 时,38.4% 和 35.8% 的居民感觉空气干燥,61.6% 和 64.2% 的居民感觉适中;在 40% ~ 50% 时,22.5% 和 23.1% 的居民感觉空气干燥,65.6% 和 62.7% 的居民感觉适中,11.9% 和 14.2% 的居民感觉潮湿;在 50% ~ 60% 时,8.5% 和 6.3% 的居民感觉空气干燥,68.6% 和 54.5% 的居民感觉适中,22.9% 和 39.2% 的居民感觉潮湿;在 60% 以上时,过渡季有 66.5% 的居民感觉适中,33.5% 的居民感觉潮湿。由此可见,受干旱气候和心理适应性的影响,居民对湿舒适度要求远低于沿海地区,在过渡季和采暖期初的室内较为舒适的相对湿度为 30% ~ 60%。

在过渡季和采暖期初人们所采取的适应性措施

主要是衣着的增减和门窗的开关以保持室内空气流通,为缓解室内干燥,室内居民多采用室内洒水、养绿植和使用加湿器等方式。此外,采暖期初居民还使用暖水袋或暖手宝、电热毯、电暖炉等进行辅助采暖。

3 比较

3.1 MTS 与 PMV 对比

预计平均热感觉指数 (Predicted mean vote, PMV) 是 Fanger 教授基于实验室研究提出^[1-2],根据现场实测的室内空气温度、相对湿度、服装热阻和人体新城代谢率等参数通过公式计算得出 PMV 值,然后与实测热感觉 MTS 做对比,如 8 图和式 (7) (8) 所示。

$$\text{过渡季节: PMV} = 0.229x - 3.844 \quad (R^2 = 0.9105) \quad (7)$$

$$\text{采暖期初: PMV} = 0.193x - 3.289 \quad (R^2 = 0.8492) \quad (8)$$

由图 8 可知,在过渡季与采暖期初,预测平均热感觉值 (PMV) 要低于实测平均热感觉值 (MTS)。当 PMV = 0 时,计算得到过渡季和采暖期初的预测热中性温度分别是 16.8 °C 和 17.1 °C,高于冬季实测热中性温度 15.6 °C 和 15.3 °C,说明蒙西农牧地区居民的冷适应性能要比预测值高。

3.2 与国内其他地区结果对比

国内很多学者对过渡季和采暖期初的室内热环境做了研究,如表 5 所示。西安和沈阳与蒙西农牧区的过渡季室内外均温和服装热阻较为接近,热中性温度为 15.6 °C 和热可接受温度 13.1 °C 低于表中其他地区。因为与其他地区的相比,蒙西地区农牧

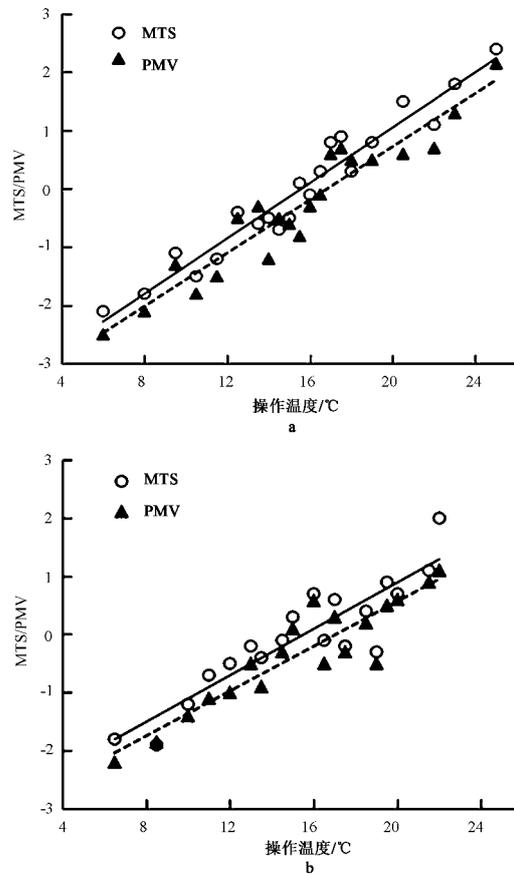


图 8 过渡季与采暖期初 MTS 与 PMV 对比

区在过渡季与采暖期初室外昼夜温差较大,使居民穿衣量较厚,热感觉模型中的平均热感觉随温度变化的敏感度较低 (0.238),且居民白天活动量较多且进出室内较为频繁没有更换衣服的习惯,使得长期处于较低温度环境下,对冷环境在心理上形成了对室内热环境的是适应性。

表 5 与其他研究结果对比

研究者	地点	室外均温/°C	室内均温/°C	服装热阻/clo	热感觉模型	中性温度/°C	80% 可接受温度下限/°C
屈万英 ^[25]	西安	13.9	18.1	1.19	$MTS = 0.0626t_{op} - 1.332$	21.3	11.4
杨薇 ^[26]	长沙	21.69	20.93	0.94	$MTS = 0.3322t_o + 14.263$	21.7	16.9
袁涛 ^[27-28]	沈阳	14.8	18.6	0.80	$MTS = 0.2477t_o - 4.6905$	18.9	
袁涛 ^[27-28]	广州	21.3	23.0	0.76	$MTS = 0.2508t_o - 5.7076$	22.8	
王昭俊 ^[11]	哈尔滨	—	20.1	1.37	$MTS = 0.302t_o - 6.506$	21.5	18.0
本文	蒙西地区	13.5	14.2	0.88	$MTS = 0.238t_o - 3.708$	15.6	13.1

4 结论

1) 内蒙古西部农牧区在过渡季和采暖期初室内平均温度为 13.5 °C 和 13.6 °C,相对湿度分别为 57.3% 和 29.9%,采暖初期有 91.8% 的样本结果低

于标准范围。

2) 在过渡季与采暖期初的服装热阻平均值分别为 0.88 clo 和 1.05 clo,居民的热中性温度为 15.6 °C 和 15.3 °C,要略高于实测室内温度均值约 2 °C,期望温度为 17.9 °C 和 18.6 °C,80% 居民可接受

温度下限为 13.1 °C 和 14.3 °C, 90% 的热可接受温度范围为 15.9 ~ 23.3 °C 和 17.5 ~ 21.9 °C。

3) 在过渡季和采暖期初, 内蒙古西部农牧区昼夜差较大, 与国内其他地区相比室内外温度要低, 因此长期居住在此居民也形成了较为良好的适应性。

[参考文献]

- [1] Fanger P, Toftum J. Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates [J]. *Energy and Buildings*, 2002, 34 (6) :533-536
- [2] Fanger P. *Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental engineering* [M]. New York: McGraw-Hill, 1972
- [3] Brager G S, Dear R J D. Thermal adaptation in the built environment: a literature review [J]. *Energy & Buildings*, 1998, 27 (1) :83-96
- [4] Goto T, Mitamura T, Yoshino H, et al. Long-term field survey on thermal adaptation in office buildings in Japan [J]. *Building and Environment*, 2007, 42 (12) :3944-3954
- [5] Andersen R, Fabi V, Toftum J, et al. Window opening behaviour modelled from measurements in Danish dwellings [J]. *Building & Environment*, 2013, 69 (11) :101-113
- [6] ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 55-2004. Thermal environmental conditions for human occupancy [S]. Atlanta: ASHRAE, 2004
- [7] ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 55-2013. Thermal environmental conditions for human occupancy [S]. Atlanta: ASHRAE, 2013
- [8] ISO. ISO 7730, Ergonomics of the thermal environment analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria [S]. Geneva: International Standard Organization, 2005
- [9] 谭福君. 办公建筑冬季室内热环境和舒适性的调查及研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨建筑大学, 1993
- [10] 王昭俊, 李爱雪, 何亚男, 等. 哈尔滨地区人体热舒适与热适应现场研究 [J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2012, 44 (8) :48-52
- [11] 王昭俊, 绳晓会, 任静, 等. 哈尔滨地区冬季农宅热舒适现场调查 [J]. *暖通空调*, 2014, 44 (12) :71-75
- [12] 王昭俊, 任静, 吉玉辰, 等. 严寒地区住宅与办公建筑热环境与热适应研究 [J]. *建筑科学*, 2016, 36 (4) :60-65
- [13] 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
- [14] 曹彬, 朱颖心, 欧阳沁, 等. 不同气候区住宅建筑冬季室内热环境及人体热适应性对比 [J]. *清华大学学报 (自然科学版)*, 2012, (04) :499-503
- [15] 杨柳, 杨茜, 闫海燕, 等. 陕西关中农村冬季住宅室内热舒适调查研究 [J]. *西安建筑科技大学 (自然科学版)*, 2011, 43 (4) :551-556
- [16] 闫海燕, 郝利平, 杨柳, 等. 银川住宅夏季室内热环境与热舒适调查研究 [J]. *建筑科学*, 2015, 31 (12) :21-27
- [17] 张宇峰, 王进勇, 陈慧梅. 我国湿热地区自然通风建筑热舒适与热适应现场研究 [J]. *暖通空调*, 2011, 41 (9) :91-99
- [18] 金玲. 潮汕地区农村住宅气候适应性研究 [D]. 广州: 华南理工大学, 2014
- [19] 中国标准化与信息分类编码研究所, 中国预防医学科学院劳动卫生与职业病研究所. GB/T 18049—2000 中等热环境 PMV 和 PPD 指数的测定及热舒适条件的规定 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2000:5
- [20] 重庆大学, 中国建筑科学研究院 GB /T 50785—2012 民用建筑室内热湿环境评价标准 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012:9-12
- [21] 李静, 何清, 姚俊强, 等. 内蒙古西部地区气候变化特征及影响因子分析 [J]. *干旱区资源与环境*, 2014, 28 (5) :186-191
- [22] 王昭俊, 宁浩然, 任静, 等. 严寒地区人体热适应性研究 (1): 住宅热环境与热适应现场研究 [J]. *暖通空调*, 2015, 45 (11) :73-79
- [23] 王登甲, 王晗旭, 刘艳峰, 等. 陕西关中乡域中小学教室冬季热舒适调查研究 [J]. *西安建筑科技大学学报 (自然科学版)*, 2016, 48 (2) :277-281
- [24] 王昭俊, 方修睦, 廉乐明, 等. 哈尔滨市冬季居民热舒适现场研究 [J]. *哈尔滨工业大学学报*, 2002, 34 (4) :500-504
- [25] 屈万英, 严海燕, 杨柳, 等. 西安地区过渡季人体热舒适气候适应模型研究 [J]. *建筑科学*, 2014, 30 (2) :51-56
- [26] 杨薇, 张国强. 湖南某大学校园建筑环境热舒适调查研究 [J]. *暖通空调*, 2006, 36 (9) :95-101
- [27] 袁涛, 李剑东, 王智超, 等. 过渡季节不同气候区公共建筑热环境研究 (I) [J]. *四川建筑科学研究*, 2010, 36 (5) :259-261
- [28] 袁涛, 李剑东, 王智超, 等. 过渡季节不同气候区公共建筑热环境研究 (II) [J]. *四川建筑科学研究*, 2010, 36 (6) :249-251