

DOI:10.11918/201905214

波动气候下高校少数民族学生热适应性分析

汪语哲^{1,3}, 张津淼², 马海萍², 李辉², 米霞², 高天一², 史小平¹

(1. 哈尔滨工业大学 控制与仿真中心, 哈尔滨 150001; 2. 大连民族大学 机电工程学院, 辽宁 大连 116600;
3. 大数据应用技术国家民委重点实验室(大连民族大学), 辽宁 大连 116600)

摘 要: 热感觉是人类对于周围温度、湿度等环境的感知. 为研究少数民族群体在波动气候环境下的热感觉, 使其能更快适应异地环境, 对冬季大连教室环境进行现场测试, 对来自不同气候分区的 80 名汉族学生、88 名少数民族学生(回族 24 名、蒙古族 12 名和土家族 14 名等其他少数民族)的着装、热感觉进行问卷调查, 分别对调查结果进行回归分析, 将不同少数民族的数据, 进行对比并分析差异原因, 同时对实验结果进行验证. 结果表明: 少数民族学生舒适度满意区间为 18.5℃ ~ 19.4℃, 与汉族热感觉存在差异. 根据 TSV 模型得出各民族学生实际的热中性温度, 分别为: 回族 18.5℃、蒙古族 16.9℃ 和土家族 15.0℃. 经分析 PMV 模型并不能准确预测真实热感觉, 本研究根据热感觉适应性模型(aPMV)为各民族提出了 λ 参考值, 分别为: 回族 -0.79、蒙古族 -0.90 和土家族 0.97. 不同民族指标存在较大差异, 表明学生对当地气候具有一定适应性, 而到大连求学伴随着气候波动, 使学生不能快速适应新环境. 基于此利用 aPMV 模型对少数民族学生的热感觉进行预测, 并提供了实验室热工改造方案.

关键词: 少数民族学生; 热感觉; 适应性热感觉模型; 预测热感觉模型; 波动气候环境

中图分类号: TU111.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2021)06-0027-07

Analysis of thermal adaptability of ethnic minority students in universities under fluctuating climatic conditions

WANG Yuzhe^{1,3}, ZHANG Jinmiao², MA Haiping², LI Hui², MI Xia², GAO Tianyi², SHI Xiaoping¹

(1. Control and Simulation Centre, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; 2. College of Mechanical and Electronic Engineering, Dalian Minzu University, Dalian 116600, Liaoning, China; 3. Key Laboratory of Big Data Applied Technology (Dalian Minzu University), State Ethnic Affairs Commission, Dalian 116600, Liaoning, China)

Abstract: Thermal sensation is human's perception of the surrounding temperature, humidity, and other environments. In order to study the thermal sensation of ethnic minority groups in fluctuating climatic environments and make them adapt to different environments more quickly, the classroom environment of Dalian in winter was tested on the spot, and the clothing and thermal sensation of 80 Han students and 88 ethnic minority students (24 Hui, 12 Mongol, 14 Tujia, and other minorities) from different climatic zones were investigated by questionnaires. The results were analyzed by regression. The data of different ethnic minorities were compared, the reasons for the differences were analyzed, and the experimental results were verified. Results show that the comfortable temperature range of the minority students was between 18.5℃ and 19.4℃, which was different from that of Han students. According to the thermal sensory voting (TSV) model, the actual thermal neutral temperatures of students of different ethnics were 18.5℃ for Hui, 16.9℃ for Mongol, and 15.0℃ for Tujia. The predicted mean vote (PMV) model could not accurately predict the true thermal sensation. On the basis of the thermal sensation adaptability model (aPMV), parameter λ was put forward as a reference for all ethnic groups, namely, Hui -0.79, Mongol -0.90, and Tujia 0.97. There were great differences in the indicators of different ethnics. It indicates that students have certain adaptability to the local climate, while studying in Dalian is accompanied by climate fluctuations, which makes students unable to adapt quickly to the new environment. Hence, the aPMV model was used to predict the thermal sensation of ethnic minority students, and a scheme of laboratory thermal reconstruction was provided.

Keywords: ethnic minority students; thermal sensation; adaptive thermal sensation model; predicting thermal sensation models; fluctuating climatic environments

收稿日期: 2019-05-28

基金项目: 中央高校基本科研业务费(2020fwgj044); 大连市青年科技之星项目(2017RQ022)

作者简介: 汪语哲(1983—), 男, 博士, 讲师;
史小平(1965—), 男, 教授, 博士生导师

通信作者: 汪语哲, 124478369@qq.com

热环境的舒适程度直接影响学生的学习效率, 室内环境品质直接影响着人们的舒适性、健康及工作效率^[1], 因此环境的热舒适度一直是热舒适领域

的研究重点^[2]. 近几年来, 国内外出现的很多热舒适研究表明, 人们对室内热环境的实际热感觉与国际热舒适标准中规定的基于稳态 PMV 模型的预测结果存在显著差异, 多次证明了热适应性的存在^[3]. 早在 19 世纪初期, 不舒适的室内热环境已经引起了当时人们的注意. 丹麦的 Fanger^[4]教授提出的关于室内热环境的模型是这一领域的重要突破, 并提出了综合性的舒适性方程以及 PMV-PPD 指标. 早在 19 世纪 70 年代法国学者 Humphreys^[5]通过对小学生的热感觉和热需求来研究人体热舒适性. 与此同时, 国际标准化组织 (ISO) 和美国空调学会 (ASHRAE) 还相继颁布 ISO7730《适中的热环境—PMV 与 PPD 指标的确定及热舒适条件的确定》和 ASHRAE55-2013《人类居住热环境条件》等热舒适标准, 为热舒适领域的研究提供了理论基础^[6]. 又在此基础上, 为提高传统热舒适模型预测的准确性, 提出了热适应模型^[7]. 文献[8–10]通过环境参数测量、主观调查等方式, 将数据进行对比分析, 通过拟合计算, 得出了适应性 PMV 模型, 为该地区中小学教学建筑室内热环境控制与调节、供暖系统设计提供依据. 李念平等^[11]探究了有关老年人的热感觉舒适性.

在波动性气候环境的适应性研究方面, 闫海燕^[12]结合相关领域知识得出结论: 气候波动的程度和持续时间决定着人体热适应的水平, 气候和适应时间是影响适应性热舒适的主要因素. 钱建伟等^[13]通过对 3 个基本气候带的气候, 探究人在长期进化过程中所体现出的气候环境适应性. 结果表明, 生活在不同地区的人, 逐渐演化成适应当期气候的生活习惯. 而在现有相关研究中, 对于人们在人口流动中, 不同气候环境适应性的研究相对较少. 本文以中国不同气候环境下的少数民族为主体, 提高少数民族学生的热感觉适应性.

本文依据人体热舒适性理论, 探讨少数民族异地求学过程中对于波动气候环境的适应性. 波动的气候环境是指来自严寒地区、夏热冬暖地区、夏热冬冷地区和温和地区的学生来到大连求学. 大连属于中国寒冷地区, 由于特殊的沿海地理位置, 气候适宜较为宜居. 但对于异地求学的少数民族学生来说, 气候环境的波动使他们不能较快的适应大连气候. 将少数民族作为研究主体, 对加速民族团结乃至民族融合都极具重要意义. 随着社会的发展以及多民族融合的加速形成, 越来越多的少数民族学生离开自己的家乡外出求学, 突破了地域、南北方、气候等相关因素的界限. 因此产生一系列的问题, 例如饮食习惯不同、气候差异大、不能适应新环境等. 因此, 结合

民族院校学生群体, 本文研究了来自严寒、夏热冬暖、夏热冬冷地区的回族、蒙古族和土家族学生, 探究了气候波动的情况下在室内热环境中的适应性, 为提高少数民族生产效率奠定了基础.

1 实验及验证方法

1.1 实验方法

本次现场实验在本校展开, 包括 8 间教室, 教室内冬季大多使用暖气供暖, 室内平均温度为 17.2 °C 低于国家标准, 供暖效果不佳. 调研时间为 2018 年 12 月 24 日至 2019 年 1 月 10 日, 处于一年中教室较冷的时段. 实验对象由来自全国的回族、蒙古族和土家族学生组成.

教室内热环境测试参数主要包括空气温湿度、空气流速、黑球温度、二氧化碳浓度等, 本次试验采用德国 BAPPU 仪器对教室的热环境参数进行测量, 测点距离地面高度约 1.1 m. 建立热舒适客观评价模型的过程离不开主观问卷调查^[14], 问卷调查内容主要包括学生的民族、家庭供暖方式、生源地、服装热阻以及对当教室内环境的热感觉 (ASHRAE 7 级标尺)、热舒适、期望温度等主观评价. 通过主观调查和客观环境测量的方式能全面掌握学生处在相应环境中的不同变化.

开始上课前, 开启实验仪器对教室内热环境进行持续检测, 为使数据更加准确, 更精准的掌握学生热感觉, 第 1 次问卷调查安排在课前, 此时学生进入教室时间较短, 没有熟悉教室温度, 所测得的数据为学生对教学建筑环境最初的判断. 第 1 次调查后, 开始进行正常的教学活动, 在此期间实验者持续观察学生行为, 例如衣物增减情况、情绪、上课状态等. 课后, 进行第 2 次主观问卷调查, 此时学生已熟悉周围空气环境, 再综合教室内空气和湿度等环境的变化, 得出的综合热感觉投票. 第 2 次主观问卷调查后回收问卷, 实验结束.

本实验采用现场环境测试与主观问卷调查相结合的调查手段, 在对教室内热环境参数进行测试的同时, 对正在上课的学生进行问卷调查, 其中被试者年龄在 18~22 岁之间, 身体健康状况良好, 无不良嗜好. 教室内热环境测试参数主要包括空气温湿度、空气流速、黑球温度、二氧化碳浓度等. 通过主观调查和客观环境测量的方式能全面掌握学生处在相应环境中的不同变化.

1.2 验证方法

本文将得出的 PMV (预测热感觉) 模型、aPMV (预测热感觉适应性) 模型和 TSV (实际热感觉) 模型相对比, aPMV 曲线更接近于 TSV 曲线表明针对

于少数民族制定的波动性气候自适应系数的调解结果较为准确.

2 调研测试结果分析

2.1 室内热环境参数分析

教室内的空气温度(T_a)、黑球温度(T_p)、空气速度(v)和湿度(ρ)见表1,教室内平均空气温度为17.2℃,低于供暖标准,最小值为13.6℃与舒适区间相差较大.可见在气候分区为寒冷地区的大连,学生一直处于较冷的环境下学习.

表1 室内热环境参数				
Tab. 1 Indoor thermal environment parameters				
评估指标	$T_a/^\circ\text{C}$	$T_p/^\circ\text{C}$	$v/(\text{m}\cdot\text{s}^{-1})$	$\rho/\%$
平均值	17.2	16.6	0.07	23.0
最大值	20.8	18.2	0.29	36.8
最小值	13.6	13.6	0	9.2

经计算,如图1所示,16℃~17℃占60%,16℃以下占40%,室内平均温度16℃,远低于ASHRAE-55《人类居住热环境条件》中规定20.0℃~23.5℃的冬季舒适区温度范围.如图2所示,室内平均湿度为33%,在20%~45%的范围内较多,相对湿度在ASHRAE 55—2004《热环境条件下的人群入住》规定的20%~60%范围内.如图3所示,0.05~0.10 m/s占70%,空气平均速度为0.08 m/s,整体风速都较低,学生感觉较舒适.

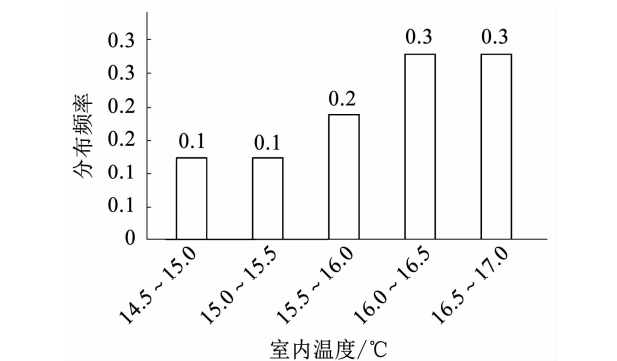


图1 教室内温度分布频率

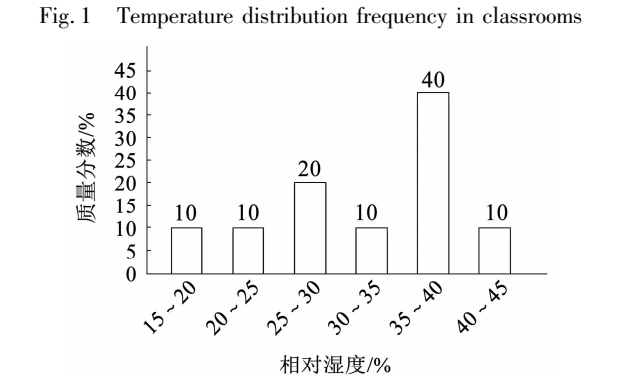


图2 教室内相对湿度百分比

Fig. 2 Percentage of relative humidity in classrooms

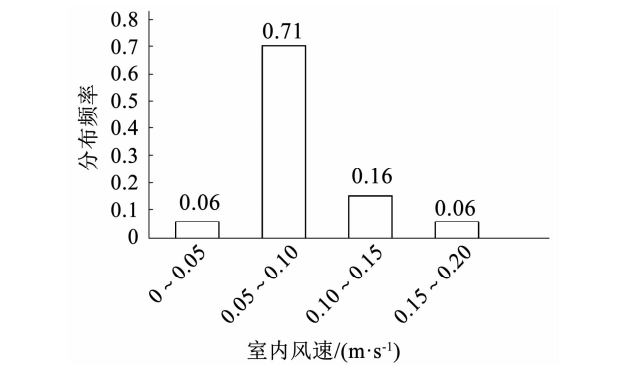


图3 教室内风速分布频率

Fig. 3 Distribution frequency of wind velocity in classrooms

2.2 热舒适性分析

由室内空气温度、气流速度、相对湿度、平均辐射温度、服装热阻和新陈代谢率计算得到的预计平均热感觉指数PMV,是预测反映被试者热感觉的重要指标.而少数民族与汉族在相同环境下的热感觉上,存在着很大的差异.由图4所示,落在ASHRAE 7级标准中-0.5~0.5的舒适区之间的散点较少,总体上少数民族和汉族在教室内的舒适性不高,根据下文中PMV-PPD预测以及热感觉投票,学生普遍感觉较冷.

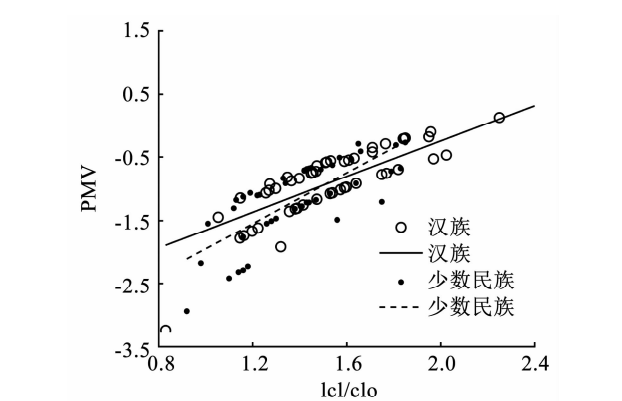


图4 少数民族、汉族PMV与服装热阻回归模型

Fig. 4 Regression model of PMV and clothing thermal resistance of ethnic minority students and Han students

根据表2,在PMV与服装热阻回归模型中,当学生处于热中性状态(即 $PMV=0$)时,少数民族学生衣服热阻为1.98 clo;汉族学生衣服热阻为2.18 clo,二者都远高于被测学生的平均衣服热阻1.53 clo.因此,预测学生在教室内的舒适程度较低.且由上述模型可知,汉族PMV与服装热阻的相关性较强,对于汉族学生来说,衣服的增减对他们热舒适的影响更显著,因此少数民族与汉族的热舒适性存在差异,少数民族学生对衣物改变适应性的依赖较小.

表 2 PMV 与服装热阻回归方程

Tab. 2 Regression equation of PMV and clothing thermal resistance

指标	拟合方程	R^2
少数民族	$y = 1.994x - 3.946$	0.981
汉族	$y = 1.409x - 3.065$	0.681

本文在将数据统计预测的同时,还将少数民族学生和汉族学生的热感觉投票和热不满意率进行了对比.由图 5 和表 3 回归方程所示,取满意度为 80%,冬季教室内可接受温度,汉族与少数民族分别为 18.0℃和 18.5℃;取满意度为 90%,冬季教室内可接受温度,汉族与少数民族分别为 18.7℃和 19.4℃.由此得知,汉族满意的舒适温度区间为 18.0℃~18.7℃,少数民族满意的舒适度区间为 18.5℃~19.4℃.对本次调研样本的统计得到,教室内落到舒适区间的样本较少,室内环境需得到改善.

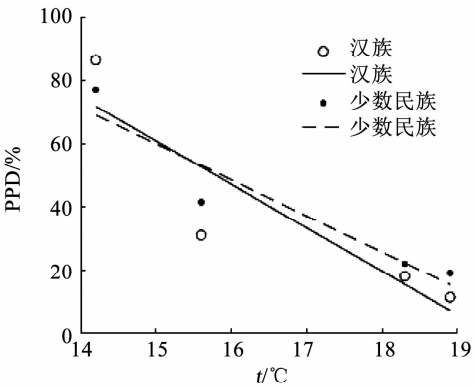


图 5 少数民族、汉族 PPD 与温度回归模型

Fig. 5 Predicted percentage dissatisfied (PPD) and temperature regression model of ethnic minority students and Han students

表 3 PPD 与室内温度回归方程

指标	拟合方程	R^2
少数民族	$y = -11.39x + 230.7$	0.901
汉族	$y = -13.71x + 266.4$	0.799

本文根据 ASHRAE 7 级标准,将本次测试的学生的预测热感觉 (PMV) 与热感觉投票 (TSV) 比例分配如图 6、7 所示. (PMV 与 TSV 为热感觉衡量等级指数,一般从 -3 ~ +3 划分,从小到大分别对应冷、凉、微凉、适中、微暖、暖和热) 学生的预测热感觉大部分都在热中性 (标尺为 0) 以下.图 7 中在 -1 ~ 1 这 3 个可接受舒适度标尺中,少数民族学生占 86.96%,汉族学生占 81.03%,少数民族学生有较高的适应性.因此汉族对大连地区的新环境有较低的满意率,是因为本校少数民族生源多来自严寒

地区、寒冷地区以及夏热冬冷地区,而汉族多来自夏热冬暖、温和地区,因生活环境相差较大导致满意率不近相同.

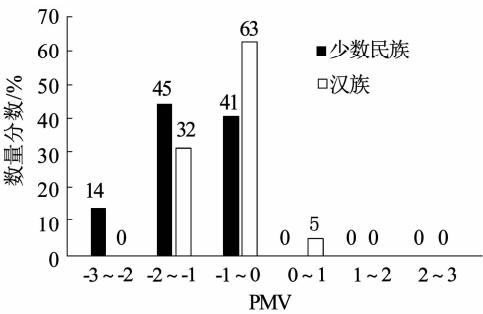


图 6 预测热感觉 (PMV) 比例分配

Fig. 6 Proportional distribution of PMV

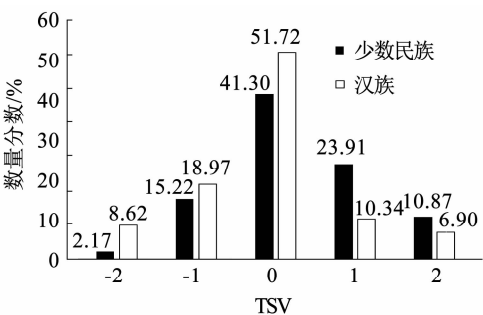


图 7 热感觉投票 (TSV) 比例分配

Fig. 7 Proportional distribution of TSV

由室内空气与预计平均热感觉指数 PMV 拟合的模型,也是预测反映被试者热感觉的重要指标.少数民族学生在气候波动条件下,对环境的感知也存在着很大的差异.如图 8 ~ 10 所示,PMV 与 TSV 的回归曲线之间相差较大,这说明由于学生自身的适应性,PMV 已经不能准确预测学生热感觉.

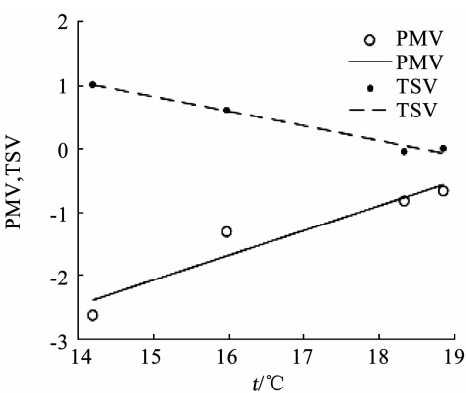


图 8 回族 PMV、TSV 与温度回归模型

Fig. 8 PMV, TSV, and temperature regression model of Hui students

当 $TSV = 0$, $PMV = 0$ 时,回族、蒙古族和土家族实际和预测热中性温度见表 4 ~ 6,学生的实际热感觉因自身对于长期生活环境的适应性,投票值 TSV 明显与 PMV 相差较大,其中土家族实际热中性温度

最低,原因是生长在中国南方地区的少数民族由于长期没有供暖,身体产生了相应的适应性;回族实际热中性温度最高,原因是长期使用辅助温度调节设施,人们冬季对抗自然温度的能力较低,需要更高的室内温度来保持热舒适。

表4 PMV、TSV与温度拟合数据(回族)

Tab.4 PMV,TSV,and temperature fitting data(Hui)

指标	拟合方程	R ²	中性温度/℃
PMV	$y = 0.392x - 7.961$	0.910	20.3
TSV	$y = -0.231x + 4.274$	0.981	18.5

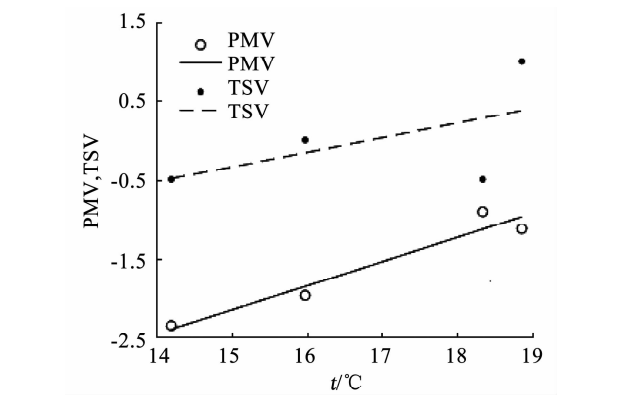


图9 蒙古族 PMV、TSV 与温度回归模型

Fig. 9 PMV,TSV,and temperature regression model of Mongol students

表5 PMV、TSV与温度拟合模型(蒙古族)

Tab.5 PMV,TSV,and temperature fitting model(Mongol)

指标	拟合方程	R ²	中性温度/℃
PMV	$y = 0.306x - 6.746$	0.937	22.0
TSV	$y = 0.184x - 3.106$	0.318	16.9

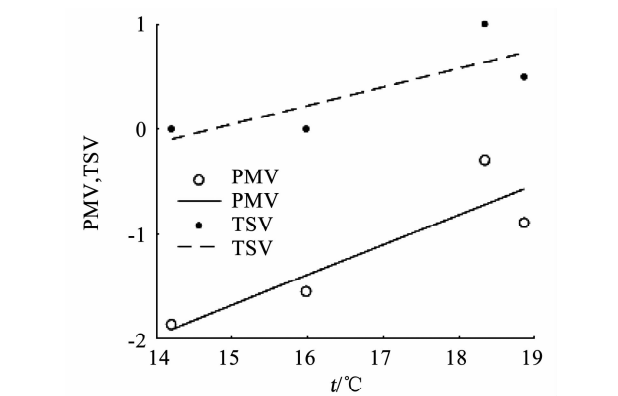


图10 土家族 PMV、TSV 与温度回归模型

Fig. 10 PMV,TSV,and temperature regression model of Tujia students

表6 PMV、TSV与温度拟合模型(土家族)

Tab.6 PMV,TSV,and temperature fitting model(Tujia)

指标	拟合方程	R ²	中性温度/℃
PMV	$y = 0.287x - 5.989$	0.788	20.9
TSV	$y = 0.178x - 2.629$	0.650	15.0

2.3 热感觉适应性模型

PMV 在 $-1 \sim 0$ 之间占 41%, $-2 \sim -1$ 之间占 45%,与 TSV 分析结果相悖,这样的结果说明 PMV 与 TSV 之间存在差异. PMV 模型并不能准确预测少数民族学生教室内的平均热感觉,其中人们自身产生的对环境的适应性是重要的原因. 预测平均热感觉 aPMV 模型,给出了自适应系数 λ (λ 反映了人体采取的自适应调节水平, λ 绝对值越大自适应水平越高) 将 PMV 与 aPMV 联系在一起^[15],如下式所示:

$$aPMV = \frac{PMV}{1 + \lambda * PMV}.$$

(1)

根据数据对比,本校回族、蒙古族和土家族学生适应性存在明显差异,对于问卷调查数据,利用最小二乘法^[9]求得自适应系数见表 7.

表7 各少数民族 λ 值参考值

Tab.7 Reference values of λ values for different ethnic minorities

回族	蒙古族	土家族
-0.79	-0.90	0.97

3 个少数民族 λ 绝对值总体比较,土家族 > 蒙古族 > 回族,土家族的人们对波动的热环境适应能力最强,回族最弱. 土家族居住在中国夏热冬冷和夏热冬暖地区属于中国南方地带,普遍冬季没有供暖,夏季闷热、冬季湿冷的气候环境使得居住在那里的人们有较高的适应能力. 而居住在中国最北方地区以及中原地带的回族因为日常有较高的服装热阻来抵御寒冷,在气候波动时表现出较弱的适应性.

将各气候分区的少数民族 λ 值带入到式(1)中并将 aPMV 与温度进行拟合.

回族:

$$aPMV = \frac{PMV}{1 - 0.79PMV}.$$

(2)

蒙古族:

$$aPMV = \frac{PMV}{1 - 0.90PMV}.$$

(3)

土家族:

$$aPMV = \frac{PMV}{1 + 0.97PMV}.$$

(4)

如式(2)~(4)所示,根据现场问卷调查及测试所得出的 aPMV 相对于 PMV 更接近少数民族学生的实际热感觉,能够更准确预测少数民族学生的热感觉,帮助各地区少数民族学生更快适应大连沿海地区冬季环境,准确调节室内温度. 对于教室内温度较低、教室内空气流速较低的情况,建议学校采取有效的供暖设备,屋内采取新风系统根据学生情况来控制空气流速,提高学习效率.

2.4 热感觉适应性模型验证

根据图 11~13, 相比于 PMV 模型, aPMV 模型的曲线更接近于热感觉投票值 TSV, 这表明针对于少数民族制定的波动性气候自适应系数的调解结果较为准确. 但还需进一步加强实验方案设计以及扩大调查范围, 使结果更为准确.

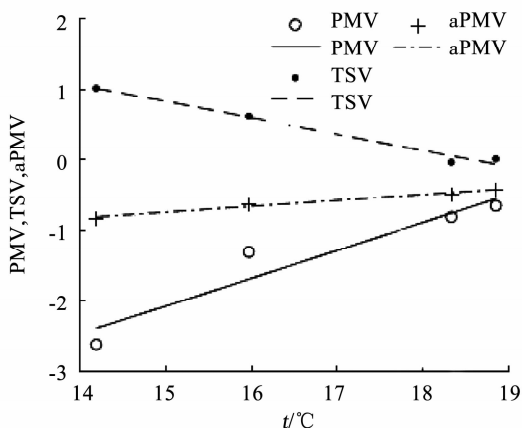


图 11 回族 PMV、aPMV、TSV 对比

Fig. 11 Comparison of PMV, aPMV, and TSV of Hui students

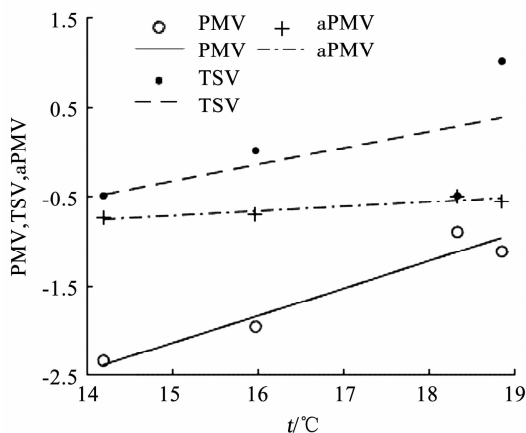


图 12 蒙古族 PMV、aPMV、TSV 对比

Fig. 12 Comparison of PMV, aPMV, and TSV of Mongol students

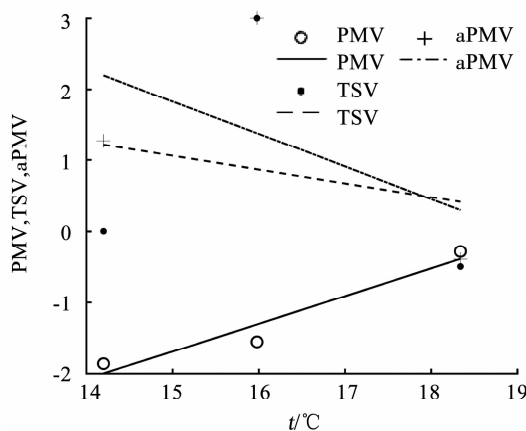


图 13 土家族 PMV、aPMV、TSV 对比

Fig. 13 Comparison of PMV, aPMV, and TSV of Tujia students

3 结 论

1) 汉族 PMV 与服装热阻的相关性较强, 对于汉族学生来说, 衣服的增减对他们热舒适的影响更显著. 冬季教室内可接受温度, 汉族与少数民族分别为 18.0 °C 和 18.5 °C; 取满意度为 90%, 冬季教室内可接受温度, 汉族与少数民族分别为 18.7 °C 和 19.4 °C. 由此得知, 汉族满意的舒适温度区间为 18.0 °C ~ 18.7 °C, 少数民族满意的舒适度区间为 18.5 °C ~ 19.4 °C. 对本次调研样本的统计得到, 教室内落到舒适区间的样本较少, 室内环境需得到改善.

2) PMV 模型并不能准确预测少数民族学生教室内的平均热感觉, 其中适应性是产生差异的主要原因. 因此本文为少数民族学生提出了预计适应性平均热感觉 aPMV 模型, 模型中给出回族、蒙古族和土家族 λ 参考值, 分别为 -0.79、-0.90、0.97, 并阐明了产生差异的原因. 本文提出的各气候分区少数民族适应性模型能准确预测学生的热舒适度.

3) 民族院校中, 少数民族占全校学生总数的半数以上, 为使少数民族加快适应波动的气候环境, 以实际热中性温度为标准, 通过安装新风系统、改善室内取暖设备等措施, 个性化的建立实验室热工改造方案.

参考文献

- [1] 王骏顺. 桌面送风对人体热舒适影响的分析及研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2008.
WANG Junshun. The analysis and research on the influence of bodies thermal comfort in the desktop air supplying system [D]. Changsha: Hunan University, 2008. DOI:10.7666/d.y1260325
- [2] 刘魁星, 贾怡红, 刘刚. 季节相关因素对大学教室内人体热舒适评价的影响[J]. 建筑节能, 2018, 46(10): 25.
LIU Kuixing, JIA Yihong, LIU Gang. Effects of the seasonal characteristics on the thermal comfort evaluation in the classroom [J]. Building Energy Efficiency, 2018, 46(10): 25. DOI:10.3969/j.issn.1673-7237.2018.10.005
- [3] 王哈旭, 王登甲, 刘艳峰, 等. 甘肃乡域中小学教室冬季室内热环境研究[J]. 暖通空调, 2017, 47(4): 99.
WANG Hanxu, WANG Dengjia, LIU Yanfeng, et al. Thermal environment in rural primary and secondary school classrooms in Gansu province in winter[J]. HV & AC, 2017, 47(4): 99
- [4] FANGER P O. Thermal comfort [M]. Malabar: Robert E Krieger Publishing Company, 1982
- [5] HUMPHREYS M A. A study of the thermal comfort of primary school children in summer[J]. Building and Environment, 1977, 12(4): 231. DOI:10.1016/0360-1323(77)90025-7
- [6] ANSI/ASHRAE. Thermal environmental conditions for human occupancy; ASHRAE Standard55—2013[S]. Atlanta: ASHRAE, 2013

[7] 储向阳, 于航, 焦瑜, 等. 与生理参数相关的热舒适实验研究综述[J]. 建筑热能通风空调, 2018, 37(12): 60
CHU Xiangyang, YU Hang, JIAO Yu, et al. A review of experimental study on physiological parameters in the field of thermal comfort[J]. Building Energy & Environment, 2018, 37(12): 60. DOI:10.3969/j.issn.1003-0344.2018.12.013

[8] 范小娜. 西北乡村太阳能建筑室内热环境分析及构造设计[D]. 西安: 西安理工大学, 2018
FAN Xiaona. The indoor thermal environment and construction design for rural solar buildings in northwest China[D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2018

[9] WANG Dengjia, XU Yanchao, LIU Yanfeng, et al. Experimental investigation of the effect of indoor air temperature on students' learning performance under the summer conditions in China[J]. Building and Environment, 2009, 140: 140. DOI:10.1016/j.buildenv.2018.05.022

[10] 白鲁建, 杨柳, 李署婷, 等. 西安市中小学春季室内热环境研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2015, 47(3): 407
BAI Lujian, YANG Liu, LI Shuting, et al. Study on the thermal environment of middle and primary school classrooms in spring in Xi'an[J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology, 2015, 47(3): 407. DOI:10.15986/j.1006-7930.2015.03.018

[11] 李念平, 方雪苗, 卫兆欣, 等. 湘西地区冬季住宅热环境与老年人热舒适研究[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2019, 46(7): 123
LI Nianping, FANG Xuemiao, WEI Zhaoxin, et al. Research on thermal environment of residences and thermal comfort sensation of elderly in rural areas of western Hunan in winter[J]. Journal of Hunan University(Natural Sciences), 2019, 46(7): 123. DOI:10.16339/j.cnki.hdxzbkb.2019.07.014

[12] 闫海燕. 基于地域气候的适应性热舒适研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2013
YAN Haiyan. Study on adaptive thermal comfort on the basis of regions and climates of China[D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2013

[13] 钱建伟, 张海虹. 人对气候的适应性探究[J]. 能源与环境, 2009(26): 131
QIAN Jianwei, ZHANG Haihong. A study of human's adaptability to climate[J]. Science & Technology, 2009(26): 131. DOI:10.3969/j.issn.1672-3791.2009.26.105

[14] 余娟, 朱颖心, 欧阳沁, 等. 基于生理指标评价人体热舒适、工作效率和长期健康的研究路线探讨[J]. 暖通空调, 2010, 40(3): 1
YU Juan, ZHU Yingxin, OUYANG Qin, et al. Discussion on research routes of using physiological index to evaluate human thermal comfort, work efficiency and long-term health[J]. HV & AC, 2010, 40(3): 1. DOI:10.3969/j.issn.1002-8501.2010.03.001

[15] YAO Runming, LI Baizhan, LIU Jing. A theoretical adaptive model of thermal comfort-adaptive predicted mean vote (aPMV) [J]. Building and Environment, 2009, 44(10): 2089. DOI:10.1016/j.buildenv.2009.02.014

(编辑 张 红)

封面图片说明

第 6 期封面图片来自论文“参数化艇身阻力特性的全局敏感度及设计空间”, 是上海交通大学王晓亮副研究员课题组基于对降低平流层飞艇艇身外形设计参数的维度、提高设计效率的研究. 平流层飞艇是一种能定点飞行、效费比高的平流层飞行器, 能完成诸如中继通信、监察和运输等任务, 具有极大的军事及民用价值, 找到使艇身具有最小阻力系数的外形具有十分重要的意义. 结合 PARSEC 参数化方法、CFD 方法和基于方差的 Sobol 全局敏感度分析方法, 形成了一套艇身外形参数关于阻力系数敏感度的评价体系. 研究结果表明, 与艇身阻力系数最敏感的 3 个参数分别为头部半径、最大半径和最大半径位置. 在此工作基础上形成了飞艇艇身外形的设计空间, 所得设计空间对提高飞艇外形设计效率、降低飞艇气动阻力系数具有积极意义.

(图文提供: 张宇, 王晓亮. 上海交通大学航空航天学院)