

湖南某大学校园建筑环境 热舒适调查研究

湖南大学 杨薇[☆] 张国强

摘要 对湖南某大学校园内建筑的环境热舒适度进行了现场调查和分析,采取现场测试与问卷调查相结合的方法。共测试了20间教室和5间学生宿舍,收集问卷调查表1273份。发现温度、风速、着衣热阻等参数对热舒适有明显的影响,但相对湿度对热舒适的影响不大。学生可接受的作用温度范围比ASHRAE标准规定的舒适区温度范围要宽得多,PMV指标与实际情况存在较大差别。讨论了适应性问题,推导出了室内舒适温度与室外平均温度之间的关系式,并将所得结果与其他研究成果进行了比较。

关键词 校园 热舒适 现场调查 中性温度 期望温度 适应性

Thermal comfort investigation of buildings on a campus in Hunan

By Yang Wei[★] and Zhang Guoqiang

Abstract Investigates and analyses the thermal comfort of the campus environment, adopting both the field measurement and questionnaires. Surveys 20 classrooms and 5 dormitories and collects 1273 questionnaires. The results show that the parameters such as temperature, air velocity and clothing insulation have obvious effects on thermal comfort, and the effect of relative humidity is not evident. The operative temperature range is much wider than the comfort temperature zone in ASHRAE 55 standard, and the PMV index is not always consistent with the actual situation. Discusses the adaptability, deduces the relationship between indoor comfort temperature and outdoor mean air temperature, and compares the results with those from other field studies.

Keywords campus, thermal comfort, field measurement, thermal neutrality temperature, preferred temperature, adaptability

★ Hunan University, Changsha, China

①

0 引言

随着经济水平的提高和生活条件的改善,热环境与人体热感觉、热舒适问题已越来越为人们所关注。学校人员密度大,建筑多数采用自然通风,其热舒适状况直接影响着学生的身心健康和学习效率,因此对校园建筑环境的热舒适研究具有较为现实的意义。迄今为止,国外已经开展了许多关于学校热舒适的调查研究^[1-4],但是国内这方面的研究还很少。

由于春季室外温度及相对湿度的变化与其他季节相比较为特殊,而国内已有一些研究者对冬季和夏季的热舒适状况进行了调查分析^[5-7]。本文选

择春季这一特殊季节进行调查研究,对于其他季节的调查将在以后进行。

本文的研究目的是通过测试来确定春季校园建筑内的热舒适状况,分析温度、湿度、风速等因素对热舒适的影响程度;将测试结果与PMV指标^[8]以及其他研究成果进行比较;分析适应性问题,并推导出室内舒适温度与室外平均温度之间的关系

①[☆] 杨薇,女,1984年1月生,在读硕士研究生
410082 长沙市湖南大学南校区15舍214室
(0) 13787252394
E-mail: yangv1984@163.com
收稿日期:2005-12-12
修回日期:2006-02-16

式。

1 调查内容及方法

1.1 调查地点

调查地点是湖南某大学,它位于长沙市,地处全国著名的岳麓山风景名胜。本次调查选取了该校内两栋教学楼及一栋学生宿舍楼进行测试,其通风方式均为自然通风。

1.2 调查时间与天气状况

实测调查时间为2005年3月24日至4月23日。此时长沙处于春季,春季气候有两个特点:一是增温迅速,气温变化大;二是阴雨连绵,空气潮湿。在调查期间,室外最低温度是9.0℃,最高温度是29.8℃,相差超过了20℃;室外相对湿度很高,其平均值为79.15%。室外日平均温度和相对湿度的分布情况见图1,2。

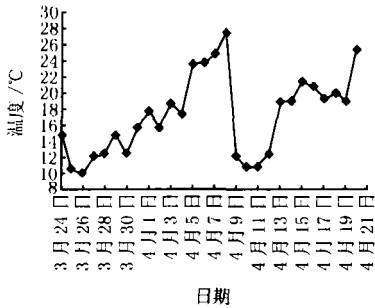


图1 测量期间室外日平均温度分布情况

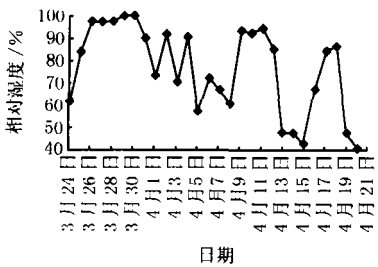


图2 测量期间室外相对湿度的分布情况

1.3 调查方法

调查分两种方式同时进行:一种是对房间物理参数的测量;另一种是主观调查,采取问卷调查的形式。

1.3.1 物理参数测量

1.3.1.1 测量参数及测量仪器

测量空气温度和相对湿度采用的是DHM2型通风干湿表,其相对湿度测量范围是10%~100%,温度测量范围是-26~51℃。测量黑球温度采用的是标准黑球温度计。测量风速采用的是

CDF-2A型热球式风速计,测量范围为0.05~10 m/s。

新陈代谢率无法直接测量。由于在整个调查过程中受试者通常是坐着回答问题,而且在测试前他们已在教室静坐了至少15 min,所以把新陈代谢率定为69.78 W/m²(1.2 met),这是坐着轻微活动者所具有的代谢水平。

在调查过程中,详细记录了受试者当时的着衣情况。按照ASHRAE Standard 55-1992^[9],计算出每个受试者所穿服装的热阻值,以clo表示(1clo = 0.155 m²·℃/W)。

1.3.1.2 测点布置

测量室内空气干湿球温度、平均辐射温度、风速的测点布置于房间中央,距地1.1 m处;测量室外空气干湿球温度的测点布置在离外墙大约1 m的室外,为防止太阳辐射的影响,测点设置在建筑物的北侧没有日晒的地方。

1.3.2 主观调查

在测量物理参数的同时进行主观测量,请受试者填写调查表并对教室(或宿舍)热环境进行主观评价,每次测试的人数为20~30人。调查问卷的内容包括:1)受试者背景资料,如性别、年龄、在该城市居住的时间等;2)调查时受试者的着衣情况;3)调查时受试者的热感觉,热感觉投票值采用ASHRAE的7级指标表示(+3很热,+2热,+1较热,0适中,-1较冷,-2冷,-3很冷)^[10];4)调查时受试者对此时环境的相对湿度、风速的7级评价指标;5)对此时热环境期望度(以Preference标度表示,-1较凉,0不变,1较暖)和接受程度(以接受、不接受表示)的调查。

2 调查结果

2.1 室内环境参数及问卷调查结果

对室内环境参数及问卷调查表的统计结果见表1,其中, t_a 为空气温度, φ 为相对湿度, t_r 为平均辐射温度, t_o 为作用温度(空气温度与平均辐射温度的平均值), v 为风速, I_a 为衣服热阻, PMV 为预计平均热感觉指数, PPD 为预计不满意者的百分数, TSV 为热感觉投票值, HPV 为湿度感觉投票值, DPV 为吹风感觉投票值。作用温度、相对湿度、风速的分布频率见图3~5。由图3可见,作用温度主要分布在17~22℃之间,占总样本的70%左右;由图4可见,室内的相对湿度很大,有95%以

表 1 室内环境参数及问卷调查统计表

	平均值	最大值	最小值	标准偏差
$t_a / ^\circ\text{C}$	20.93	29.40	16.00	3.07
$\varphi / \%$	70.29	90.56	40.22	11.28
$t_r / ^\circ\text{C}$	22.45	30.94	17.27	3.51
$t_o / ^\circ\text{C}$	21.69	29.85	16.93	3.21
$v / (\text{m/s})$	0.10	0.60	0.01	0.02
I_a / clo	0.94	1.35	0.52	0.23
PMV	-0.36	1.13	-1.10	0.45
PPD	13.59	36.26	5.20	6.91
TSV	-0.04	2.10	-1.90	0.48
HPV	0.11	1.458	-0.40	0.37
DPV	-1.52	0.286	-2.65	0.60

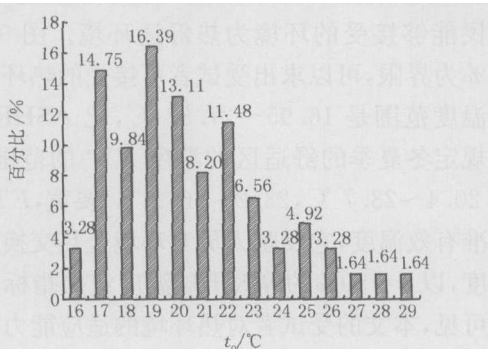


图 3 作用温度的分布频率

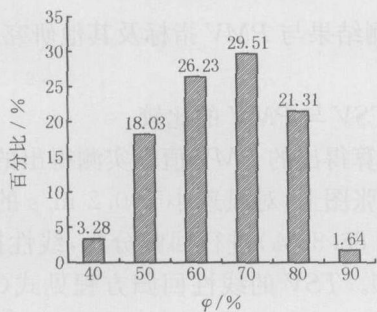


图 4 相对湿度的分布频率

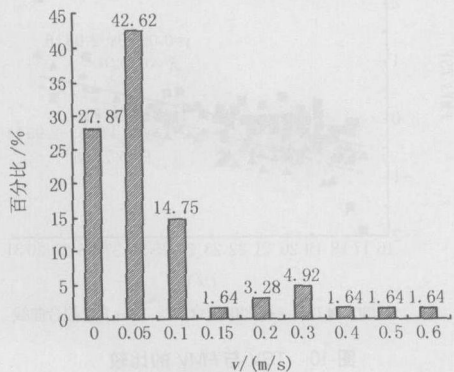


图 5 风速的分布频率

上的样本相对湿度大于等于 50%，这是由于测试期间阴雨连绵造成的；由图 5 可以看出，86.88% 的样本的室内风速小于 0.2 m/s。

2.2 相对湿度对热舒适的影响

热舒适标准推荐相对湿度 $\varphi = 25\% \sim 70\%$ 。实际调查中的相对湿度在 40% ~ 90% 之间波动，有 47.54% 的样本相对湿度处在 40% ~ 70%，52.46% 的样本相对湿度大于 70%。通过统计问卷表，发现受试者对相对湿度的投票值全部位于 -1 到 +1 之间(见图 6)。这意味着受试者对其所

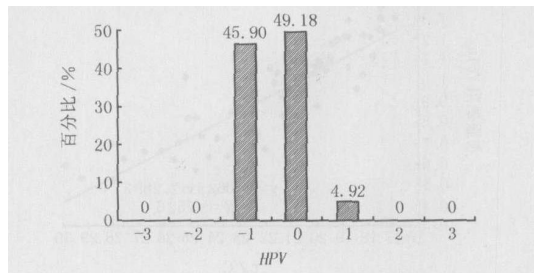


图 6 HPV 的分布频率

处热环境的相对湿度的感觉是适中的，尽管相对湿度的变化范围很大，并且有的超过了热舒适标准推荐的上限值，但受试者没有强烈的反应。有关研究已说明，在一定范围内相对湿度对热舒适的影响很小，相对湿度的影响主要表现在高温场合^[11]。本文测试的时间为春季，此时气温不是很高，因而相对湿度对热舒适的影响不是很显著。

2.3 风速对热舒适的影响

调查中测得的平均风速为 0.10 m/s。问卷调查中受试者对风速的评价(见图 7)，只有 18.03%

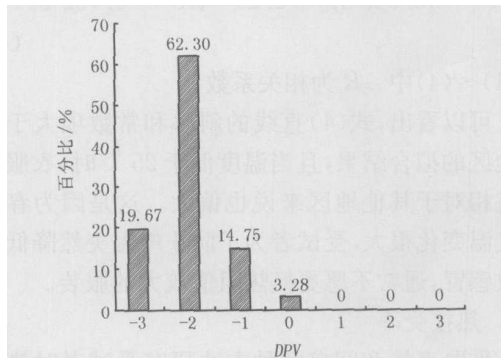


图 7 DPV 的分布频率

的人认为风速适中，而 62.30% 的人认为风速过小，19.67% 的人认为根本就没有风。可见，风速过小在一定程度上影响了受试者的热舒适感觉。在调查过程中，还时常听到有学生抱怨风速不够。造成这种结果的原因之一是受试者为了安静习惯将门窗关闭；原因之二是所测试的教学楼通风状况本

来就很差。

2.4 衣服热阻

众所周知,人们会自觉地根据天气的变化增减服装,以适应不同的温度条件。在本次测试中可以明显地看出,衣服热阻值随温度的升高呈减小的趋势(见图8)。已有许多研究者通过现场测试得出

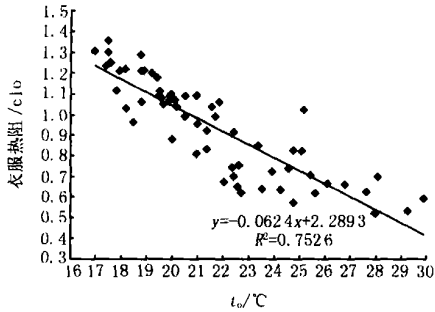


图8 衣服热阻值与作用温度的关系

了衣服热阻值与作用温度之间的关系,例如: de Dear 等人得出式(1)^[12], Mui 等人通过对台湾空调建筑的研究得出式(2)^[13], Bouden 等人通过对突尼斯自然通风建筑研究得出式(3)^[14]。在本次测试中,经过线性回归处理得出的衣服热阻值与作用温度之间的关系见式(4)。

$$I_{cl} = -0.04t_o + 1.73 \quad (R^2 = 0.18) \quad (1)$$

$$I_{cl} = -0.04t_o + 1.76 \quad (R^2 = 0.21) \quad (2)$$

$$I_{cl} = -0.038t_o + 1.33 \quad (R^2 = 0.4919) \quad (3)$$

$$I_{cl} = -0.0624t_o + 2.29 \quad (R^2 = 0.7526) \quad (4)$$

式(1)~(4)中 R 为相关系数。

可以看出,式(4)直线的斜率和常数项大于其他地区的拟合结果,且当温度低于 25 °C 时,衣服热阻值相对于其他地区来说也偏大。这是因为春季的气温变化很大,受试者为了防止气温突然降低而导致感冒,通常不愿更换热阻值较大的服装。

2.5 热接受率

采取直接和间接两种方法研究受试者对热环境的接受率。直接法是在调查问卷中让受试者直接表明对此热环境是否接受,统计结果显示 97.09% 的受试者能够接受其所处的热环境。间接法是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。在某一作用温度下投票值为可接受的人数占总投票人数的百分

数就是该温度下的可接受率,统计结果见图9。

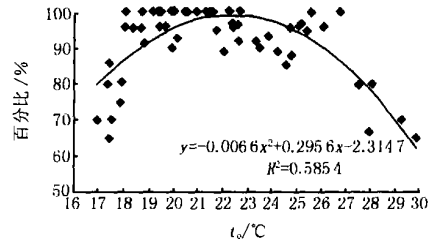


图9 热接受率

数。根据 ASHRAE 标准和 ISO 7730^[15] 标准中规定: 80% 的居民能够接受的环境为热舒适环境。图9中,以 80% 为界限,可以求出受试者可接受的热环境的作用温度范围是 16.95~27.83 °C,比 ASHRAE 标准规定冬夏季的舒适区的温度 ET^* 的范围(分别为 20.4~23.7 °C, 23.2~26.2 °C)要宽, ET^* 指新标准有效温度,它反映人员对环境全热交换的当量温度,以 $\phi = 50\%$ 的等效干球温度定义指标值。由此可见,本文的受试者对热环境的适应能力是很强的。

3 讨论

3.1 实测结果与 PMV 指标及其他研究成果的比较

3.1.1 TSV 与 PMV 的比较

将计算得出的 PMV 值和实测得出的 TSV 值画在同一张图上,对风速小于 0.2 m/s 的样本(占总样本的 86.88%)进行回归分析,线性拟合的结果见图10。TSV 的线性回归方程式(5), $R^2 =$

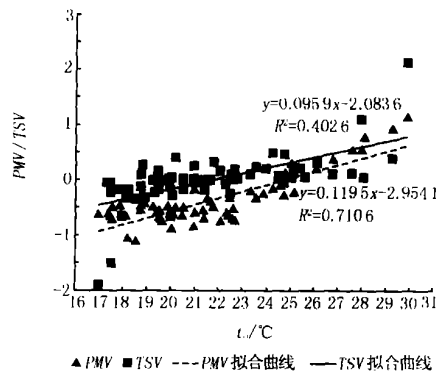


图10 TSV 与 PMV 的比较

0.4026; TSV 的线性回归方程见式(6), $R^2 =$

$$TSV = 0.0959t_o - 2.0836 \quad (5)$$

$$PMV = 0.1195t_o - 2.9541 \quad (6)$$

令 $TSV=0$ 和 $PMV=0$, 求出实测中性温度和预测中性温度分别为 $21.73\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $24.72\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。预测中性温度要高于实测中性温度, 两者之差为 $2.99\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。可见 PMV 指标与实测结果存在较大的差别。

PMV 指标认为无论在哪个季节, 人体对热环境的反映在生理上和心理上都是相同的^[16]。而事实上, 人的心理反应和心理期望是影响热舒适感的重要因素。这可能就是 PMV 指标与实测结果存在较大差异的原因之一。

3.1.2 实测结果与其他研究结果的比较

为了将本次调查的结果与其他热舒适现场研究结果进行对比分析, 现将部分在国外或国内各地所进行的较为典型的研究结果汇总于表 2。

表 2 现场研究结果统计

研究者	研究地点	实测热感觉回归方程	相关系数	$ET^*(t_0)/\text{ }^{\circ}\text{C}$
Shiller	旧金山	$TSV=0.26ET^*-5.83$	0.927 4	22.6
de Dear	汤斯威尔	$TSV=0.522t_0-12.67$	0.984 9	24.4
Domini	蒙特利尔	$TSV=0.493t_0-11.69$	0.989 9	22.6
Cena	卡尔古利	冬季 $TSV=0.21t_0-4.28$ 夏季 $TSV=0.27t_0-6.29$	0.842 6 0.888 8	冬季 20.3 夏季 23.3
Feriadi	印尼	$TSV=0.59t_0-17.21$	0.178	29.2
Hwang	台湾	$TSV=0.1413ET^*-3.762$	0.885 7	26.5
夏一哉	北京	$TSV=0.298ET^*-7.950$	0.925	26.7
吕芳	天津	$TSV=0.281ET^*-7.309$	0.537 4	26
谭福君	哈尔滨	$TSV=0.36ET^*-6.37$	0.97	17.69
王昭俊	哈尔滨	$TSV=0.302t_0-6.506$	0.872 2	21.5

本次测试 TSV 值随作用温度 t_0 变化曲线的斜率(此斜率表示人们对温度的敏感程度)为 0.095 9, 明显小于其他地区。这说明受试者对温度的敏感程度低于其他地区。出现这种结果的原因有两点: 一是测试时间为春季, 热环境相对其他季节来说比较接近舒适区; 二是受试者为学学生, 他们对热环境的要求比其他群体要低, 即使室内温度变化较大, 其热感觉也不会出现很大的波动。后者是最主要的原因。

本次测试的热中性温度为 $21.73\text{ }^{\circ}\text{C}$, 与王昭俊等人在哈尔滨的研究结果近似^[6]。

3.2 期望温度

图 11 为在某一温度区间内, 通过线性回归得出的所期望的热环境比当时状态更冷和更暖的人数的百分比曲线, 两条直线的交点处所对应的温度即为期望温度^[17]。由此可以求出人们所期望的温度约为 $22.25\text{ }^{\circ}\text{C}$, 比实测中性温度高 $0.52\text{ }^{\circ}\text{C}$, 这说

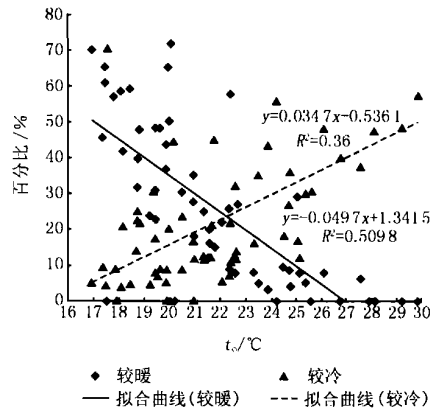


图 11 期望温度的计算

明了中性温度并不一定是最满意的温度, 相反人若长期处于热中性环境中, 可能产生乏味、烦躁的心理。由表 3 得知只有 50.85% (投票为 -1, 0, 1) 的人希望温度不变, 有 26.48% 的人期望更热一些。可见在温度由冷变热的春季, 本次调查的受试者所期望的温度偏向于稍暖和的那一侧。

表 3 热感觉投票与热期望的比较

热感觉标度	热期望		
	再冷一点	保持不变	再热一点
-3, -2	0	0	13(100%)
-1, 0, 1	280(22.67%)	628(50.85%)	327(26.48%)
2, 3	18(72%)	7(28%)	0

注: 括号外的数字表示在相应热感觉标度间热期望的人数, 括号内的数字表示在相应热感觉标度间热期望人数所占的百分比。

3.3 适应性问题

3.3.1 适应性模型的提出

本文的实测结果与 PMV 指标存在不少差别。事实上, 许多关于热舒适的现场研究都已说明 PMV 指标在评价热舒适时与实际状况有出入, 尤其对于以自然通风为主的建筑。1998 年 de Dear 等研究者提出了适应性模型(adaptive model)^[18], 这一模型已被 ASHRAE55 标准的最新修订版本采用, 称之为 Adaptive Comfort Standard^[19]。其核心思想是: 人不仅是环境热刺激的被动接受者, 同时还是积极的适应者, 人的适应性对热感觉的影响超过了自身热平衡, 对环境的适应会使人逐渐对该环境满意^[20]。

适应性主要包括生理、心理和行为的适应。本文的受试者对热环境有很强的适应能力, 多年的学校生活使他们早已习惯恶劣的环境状况, 这导致了

他们在生理上对热环境的反应与其他群体不同,在心理上对热环境的期望也比其他人低。除此之外,受试者对教室或宿舍的热环境还有着不同程度的调节行为。上文中已提到衣服热阻值随温度的升高呈减小的趋势,受试者通过增减服装来适应变化的热环境。在调查过程中还发现,当室内空气温度较高(大于 27 °C)时,受试者会将教室内的吊顶风扇不同程度地打开。测试结果显示,当室内温度为 28.4 °C 时,如果将教室内所有吊顶风扇打开,其热感觉投票值和室内温度为 26.1 °C 时差不多,也就是说通过开电风扇,受试者可以承受比实际温度更高的温度。诸如以上适应性因素增加了受试者的舒适感,提高了他们对热环境的满意程度。

3.3.2 舒适温度与室外平均温度之间的关系

根据适应性模型,室内舒适温度(以中性温度 t_n 表示)与室外平均温度 t_w 有着密切的联系。许多研究者在现场研究中都推导出了他们之间的关系式($t_n = at_w + b$),由于各地区地理、气候的差异以及居民生活水平、生理特点、生活习惯的不同,所得出的结果不尽相同。Humphreys 的研究结果见式(7)^[21], Milne 的研究结果见式(8)^[22], Auliciems 等人的研究结果见式(9)^[23], Nicol 的研究结果见式(10), (11)^[24], Mui 的研究结果见式(12)^[13]。如图 12 所示,笔者在对测试数据统计的基础上,通过线性回归也推导出了舒适温度与室外平均温度的关系,见式(13)。

$$t_n = 0.255t_w + 18.9 \quad (7)$$

$$t_n = 0.16t_w + 18.6 \quad (8)$$

$$t_n = 0.31t_w + 17.6 \quad (9)$$

$$t_n = 0.38t_w + 17.0 \quad (10)$$

$$t_n = 0.36t_w + 18.5 \quad (11)$$

$$t_n = 0.158t_w + 18.303 \quad (12)$$

$$t_n = 0.25t_w + 16.57 \quad (13)$$

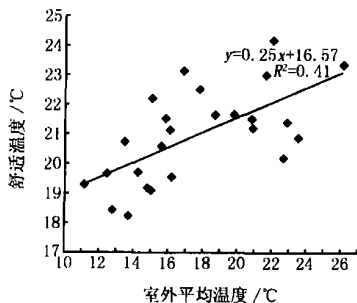


图 12 舒适温度与室外平均温度的关系

可以看出,上述研究结果的系数很不一致,并且本次测试结果的系数与上述各地也存在差异。这说明在不同的地区,舒适温度随室外温度的变化幅度是不相同的,不存在固定的公式,但是室内舒适温度随室外温度的变化而变化却是各地研究者得出的共同结论。

4 结论

4.1 虽然室内相对湿度在 40% ~ 90% 之间变动,但几乎所有的受试者对其所处热环境的相对湿度的感觉都是适中的。这是由于测试时间为春季,室内温度不是很高,而只有在高温场合相对湿度才会对热舒适产生较大的影响。

4.2 室内风速对热舒适的影响比较显著,本次实验测得的平均风速为 0.10 m/s,只有 18.03% 的人认为风速适中,而 62.30% 的人认为风速过小,19.67% 的人认为根本就没有风。因此,平时应多开门窗,以加强教室或宿舍的通风换气。

4.3 衣服热阻值随室内作用温度的升高呈减小的趋势。通过和其他研究成果进行比较,可以看出其直线的斜率和常数项偏大,并且当温度小于 25 °C 时,衣服热阻值相对于其他地区的研究结果来说也偏大。

4.4 80% 的受试者可接受的作用温度范围是 16.95~ 27.83 °C,比 ASHRAE 标准规定的冬夏季舒适区的温度范围要宽,热环境接受率高达 97.09%。因此,不能全部照搬国外或者国内其他地区的研究结果,应根据实际情况,研究适合本地区人群的热舒适标准。

4.5 据 PMV 指标计算出的预测中性温度为 24.72 °C,按 ASHRAE 7 点标度计算出的实测中性温度为 21.73 °C,两者之间存在较大的差别。PMV 指标由于忽视了受试者的生理反应和心理期望而低估了受试者对冷的承受能力,并不适用于所有地区。

4.6 本次测试 TS V 值随作用温度 t_o 变化曲线的斜率为 0.0959,通过与国外或国内其他地区的研究结果作比较,发现其值明显小于上述地区,可见受试者对温度的敏感程度低于其他地区。

4.7 受试者所期望的温度为 22.25 °C(稍高于热中性温度),可见热中性状态并不一定是最舒适的状态。这也说明了在温度由冷变热的春季,人们所期望的热环境要偏向于稍暖和的那一侧。

4.8 人的适应性对热舒适有着很大的影响。根据适应性模型,推导出了室内舒适温度与室外平均温度之间的关系式,其系数与其他研究成果存在差异。这说明在不同的地区,由于地理、气候的差异以及居民生活水平、生理特点、生活习惯的不同,室内舒适温度随室外平均温度的变化幅度是不相同的,不存在固定的公式。

参考文献

- [1] Kwok A G. Thermal comfort in tropical classrooms [G] // ASHRAE Trans, 1998, 104(1): 1031-1047
- [2] Kwok A G, Chun C. Thermal comfort in Japanese schools[J]. Solar Energy, 2003, 74(3): 245-252
- [3] Wong N H, Khoo S S. Thermal comfort in classrooms in the tropics[J]. Energy and Buildings, 2003, 35(4): 337-351
- [4] Hwang R L, Lin T P, Kuo N J. Field experiments on thermal comfort in campus classrooms in Taiwan [J]. Energy and Buildings, 2006, 38(1): 53-62
- [5] 李念平, 潘尤贵, 吉野博. 长沙市住宅室内热湿环境的测试与分析研究[J]. 建筑热能通风空调, 2004, 23(1): 94-98
- [6] 王昭俊, 方修睦, 廉乐明. 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
- [7] 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
- [8] Fanger P O. Thermal comfort [M]. Copenhagen: Danish Technical Press, 1970
- [9] ASHRAE. ASHRAE Standard 55-1992 Thermal environmental conditions for human occupancy [S]. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers Inc, 1992
- [10] Bedford T. The warmth factor in comfort at work [J]. Pep Industr Health Res, 1936, 76(5): 45-60
- [11] Toftum J, Jorgensen A S, Fanger P O. Upper limits for indoor air humidity to avoid uncomfortably humid skin[J]. Energy and Buildings, 1998, 28(1): 1-13
- [12] de Dear R J, Brager G S. Towards an adaptive model of thermal comfort and preference[G] // ASHRAE Trans, 1998, 104(1): 145-147
- [13] Mui K W H, Chan W T D. Adaptive comfort temperature model of air conditioned buildings in Hong Kong[J]. Building and Environment, 2003, 38(6): 837-852
- [14] Bouden C, Ghrab N. An adaptive thermal comfort model for the Tunisian context: a field study results [J]. Energy and Buildings, 2005, 37(9): 952-963
- [15] ISO. International Standard 7730 Moderate thermal environments: determination of PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort[S]. Geneva: International Organisation for Standardisation, 1994
- [16] 纪秀玲, 戴自祝. 室内热舒适评价方法探讨[J]. 建筑热能通风空调, 2005, 24(5): 89-93
- [17] de Dear R J, Fountain M. Field experiments on occupant comfort and office thermal environments in hot-humid climate[G] // ASHRAE Trans, 1994, 100(2): 457-475
- [18] de Dear R J, Schiller B G, Cooper D. Developing an adaptive model of thermal comfort and preference[G] // ASHRAE Trans, 1998, 104(1): 145-167
- [19] de Dear R J, Brager G S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55[J]. Energy and Buildings, 2002, 34(6): 549-561
- [20] Humphreys M A. Field studies of thermal comfort compared and applied[J]. Journal of Institution of Heating and Ventilation Engineer, 1975, 44: 5-27
- [21] Humphreys M A. Outdoor temperatures and comfort indoors[J]. Building Research and Practice, 1978, 6(2): 92-105
- [22] Milne G R. The energy implications of a climate based indoor air temperature standard[M] // Nicol F, Humphreys M A, Sykes O, et al. Standards for thermal comfort—indoor air temperature standards for the 21st century, 1995: 182-189
- [23] Auliciems A, de Dear R J. Air conditioning in Australia I—human thermal factors[J]. Architectural Science Review, 1978, 29(3): 67-75
- [24] Nicol J F. Thermal comfort and temperature standards in Pakistan[M] // Nicol F, Humphreys M A, Sykes O, et al. Standards for thermal comfort—indoor air temperature standards for the 21st century, 1995: 149-157