

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2021.05.020

# 室内人体舒适度预报模型研究

杨云洁<sup>1,2</sup>, 张滨<sup>3</sup>, 李玉姣<sup>4</sup>, 袁波<sup>5</sup>,  
黎荣<sup>6</sup>, 韩琳<sup>1</sup>, 王鸽<sup>7</sup>

1. 成都信息工程大学, 成都 610225; 2. 新晃侗族自治县气象局, 湖南 怀化 419200;
3. 民航湖南空管分局, 长沙 410141; 4. 崇礼县气象局, 河北 张家口 076350;
5. 安顺黄果树机场, 贵州 安顺 561000; 6. 德江县气象局, 贵州 铜仁 565200;
7. 中国气象局成都高原气象研究所/高原与盆地暴雨旱涝灾害省重点实验室, 成都 610072

**摘要:** 选取成都信息工程大学不同类型室内及气象观测场作为样点, 采集了 2013 年 5 月 18 日—2014 年 4 月 30 日的逐日气象资料, 建立了室内人体舒适度预报模型, 并得出如下结论: ① 室内、外人体舒适度之间的正相关关系有统计学意义( $p < 0.01$ ), 不同类型室内与室外的相关系数( $R^2$ )均达到 0.84 以上; ② 在相对较寒冷的秋冬季及春夏季的上午, 直接利用室外气象要素来预报室内人体舒适度的准确率较低, 而利用室内人体舒适度预报模型能够显著提高预报准确率; ③ 通过问卷调查分析, 将前人对室内人体舒适度预报等级的九级划分法订正为五级划分法, 且通过实测数据进一步证明, 五级划分的正确率普遍高于九级划分法。

**关键词:** 人体舒适度; 预报模型; 室内; 公共气象服务

**中图分类号:** P456

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9868(2021)05-0162-10

随着信息技术的迅猛发展, 人们在室内学习、生活和工作时间越来越长, 如何利用室内人体舒适度的预报产品来改进室内环境, 进而提高学习和工作效率已成为一个重要论题。

在国外, 有关室内人体舒适度的研究相对较早。根据刘梅等<sup>[1]</sup>、吴兑<sup>[2]</sup>的研究, 早在 1947 年, 国外就有研究人员根据人体在不同气温、湿度和风速条件下所产生的热感觉指标提出了实感气温。1966 年, Terjung<sup>[3]</sup>提出气候舒适性指数这一概念。1979 年, 美国生物气象学家 Steadman<sup>[4-5]</sup>提出了体感温度。之后, Steadman<sup>[6]</sup>建立了室内广泛适用的体感温度模型:  $T_{ape} = -1.30 + 0.92T_a + 0.22e_a$  ( $-40 < T_a < 50$ ,  $T_a$  为气温,  $e_a$  为水汽压), 并于 1994 年修改了该模式的参数, 并考虑了模式在澳大利亚的应用条件。丹麦学者 Fanger<sup>[7]</sup>提出预计热指标 PMV, 又扩充了舒适度方程的适用性, 并最终提出了 PMV-PPD 指标, 该指标综合了人体变量和环境变量 6 个影响人体热舒适的因素, 是目前实际应用中,

收稿日期: 2019-12-26

基金项目: 国家青年自然科学基金项目(41105101); 成都信息工程学院科研人才基金项目(J201308); 成都信息工程学院大学生创新创业训练计划项目(CX201319)。

作者简介: 杨云洁, 硕士研究生, 工程师, 主要从事气象服务与应用气象研究。

通信作者: 王鸽, 副研究员。

最全面、最通用的室内热环境评价指标. 在1984年, 国际标准化组织提出将PMV-PPD标准采纳进入ISO7730标准中, 并利用该标准来评价热环境<sup>[8]</sup>.

在国内, 有关室内人体舒适度的研究起步相对较晚. 1998年, 张清<sup>[9]</sup>提出了温湿指数:  $I_T = T_a - 0.55(1-R) \times (T_a - 58)$ , 式中:  $I_T$  为炎热指数,  $T_a$  为干球温 $^{\circ}\text{F}$ ,  $R$  为相对湿度. 通过实验表明该指数不仅适合成都地区的室外预报, 同样适合成都地区室内的预报. 徐大海等<sup>[10]</sup>认为根据室内人体体表温度  $T_p$  的大小, 可以判断室内人体舒适度. 王昭俊<sup>[11]</sup>认为可以将有效温度作为冬季严寒地区室内热舒适指标. 王宇等<sup>[12]</sup>考虑成都地区夏季气候高温高湿微风的特点, 提出了补偿温度和评价温度的概念. 杨柳<sup>[13]</sup>根据大量的实验数据分析, 建立了我国室外月平均温度与中性温度的相关模型. 胡毅等<sup>[14]</sup>针对四川盆地、云南丽江等地的实际情况将北京人体舒适度指数范围划分进行了修正. 李思阳等<sup>[15]</sup>分析了绿化屋顶对室内热环境及人体热舒适性的影响. 雷婷等<sup>[16]</sup>基于温湿指数, 对黔江区气候舒适性进行分析.

综上所述, 我国在室内人体舒适度预报模型的研究方面虽有一定的基础, 但离人们对公共气象服务精细化的需求还有一定的差距. 因此, 有必要对室内人体舒适度的预报准确性进行深入研究, 其研究成果不仅具有公共服务价值, 而且具有社会经济价值.

## 1 材料方法

### 1.1 研究区概况

成都市( $102^{\circ}54' - 104^{\circ}53' \text{E}$ ,  $30^{\circ}05' - 31^{\circ}26' \text{N}$ )位于四川盆地西部的岷江中游地段, 东部为龙泉山脉, 西部为纵贯南北的龙门山脉. 成都属于亚热带湿润季风气候区, 热量丰富, 雨量充沛, 日照较少. 全市年平均气温为  $15.6 \sim 16.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . 最高温出现在7月, 月平均气温为  $25.0 \sim 26.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 最低温出现在1月, 月平均气温为  $5.0 \sim 6.0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . 全市年平均降水量为  $759.1 \sim 1\,155.0 \text{ mm}$ . 年平均日照时数为  $825.7 \sim 1\,202.9 \text{ h}$ .

### 1.2 仪器设备

利用DHM2机械通风干湿表测量室内温湿度, 测量湿度时能在  $-10 \sim 45 \text{ }^{\circ}\text{C}$  的环境下正常工作; 相对湿度测量范围为  $10\% \sim 100\%$ ; 温度表的测量范围为  $-26 \sim 51 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , 精度为  $0.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

利用WQG-11干湿球表(置于观测场百叶箱内)测量室外温湿度, 干球表测量范围  $-27 \sim 41 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , 湿球表测量范围  $-36 \sim 46 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 干湿表的精度均为  $0.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### 1.3 数据收集及样地选取

利用通风干湿表等仪器, 采集了成都信息工程大学室内外的温度、湿度和风速等气象要素, 采样时间为2013年5月—2014年5月, 共获得数据近7 000多条. 分为8:00, 14:00, 20:00, 夜间凌晨2:00. 考虑到采样人员的实际情况, 对国家气象局的基本观测标准采样时间进行了调整, 采样时间分别为每日的8:00, 13:30和19:00.

分别选取以下4种空间类型:

① 人流量少的小型室内, 选取教师办公室, 面积为  $13 \text{ m}^2$ , 人流量为2~3人, 可代表家庭、办公室等场所;

② 人流量多的小型室内, 选取学生宿舍, 面积为  $20 \text{ m}^2$ , 人流量为4~6人, 可代表公共厕所, 学生、工人宿舍, 宾馆等场所;

③ 人流量多的大型室内, 选取成都信息工程大学三楼的大型阶梯型教室, 面积为  $200 \text{ m}^2$ , 人流量为150人以上, 可代表小型超市等场所;

④ 室外, 选取校内标准气象观测场, 在距离地面 1.5 m 的百叶箱内置仪器采集数据.

各类型室内的朝向均为北向, 避免太阳直接辐射, 均处于自然通风的状态, 室内通风干湿表安装在距离地面 1.5 m 处, 距离墙 0.5 m 以上.

#### 1.4 人体舒适度计算公式

由于仪器设备等的局限性和预报公式服务应用的广泛性, 本研究暂时只从温湿度考虑适合成都室内人体舒适度预报的模型.

本研究利用温湿指数  $I$  来计算:

$$I = T_d - 0.55(1 - R) \times (T_d - 58)$$

式中:  $T_d$  为干球温度(华氏度温标, 单位 $^{\circ}\text{F}$ );  $R$  为空气相对湿度. 摄氏度与华氏度的换算关系为:  $T_d(^{\circ}\text{F}) = T_d(^{\circ}\text{C}) \times 9/5 + 32$ .

利用 SPSS 19.0, 建立了室内外人体舒适度预报模型, 并对模型的显著性进行检验.

#### 1.5 人体舒适度分级

胡毅等<sup>[14]</sup>针对四川盆地、云南丽江等地的实际情况将北京人体舒适度指数范围以及感觉程度的指数划分进行了修正(表 1).

表 1 舒适指数分级表

人体舒适度指标值	人体舒适感描述	等级	人体舒适度指标值	人体舒适感描述	等级
<40	极冷, 极不舒适	E2	[65, 70)	比较凉爽, 舒适	B1
[40, 45)	寒冷, 不舒适	D2	[70, 75)	偏热, 较不舒适	C1
[45, 55)	偏冷, 较不舒适	C2	[75, 80)	闷热, 不舒适	D1
[55, 60)	较凉爽, 舒适	B2	$\geq 80$	极其闷热, 极不舒适	E1
[60, 65)	非常凉爽, 非常舒适	A			

注: 其中“1”代表趋向夏季(热), “2”代表趋向冬季(冷). 当温湿数值低于 55 或高于 70 时, 由于寒冷或炎热, 人会感觉到不舒适; 在 55 到 70 之间, 人会感到很舒适, 有利于人们的生活工作.

## 2 结果与分析

### 2.1 不同类型室内外人体舒适度相关性的日变化趋势

本研究利用温湿指数公式计算出室内外人体舒适度的实际指标值, 对计算出来的室内外实际指标值进行分析和处理, 采用 2013 年 5 月 18 日—2014 年 4 月 30 日的数据, 利用一元线性回归方程建立预报模型.

#### 2.1.1 室外与人流量少的小型室内之间的人体舒适度相关关系

图 1 给出了室外与人流量少的小型室内人体舒适度的关系. 从图 1 可以看出, 室外与人流量少的小型室内人体舒适度的相关性很大, 相关系数  $R^2$  值都达到了 0.84 以上, 且有统计学意义. 因此, 室外人体舒适度  $X$  值对室内人体舒适度  $Y$  值的贡献很大, 在该问题上选择一元线性回归方程是合适的; 人流量少的小型室内在不同的时刻与室外人体舒适度的指标值的相关性不同, 其中最大值出现在 19:00,  $R^2 = 0.923$ , 最小值出现在 13:30,  $R^2 = 0.848$ . 8:00 室外与人流量少的小型室内人体舒适度的相关系数  $R^2$  值略小于 19:00 的相关系数值, 但相差不大.

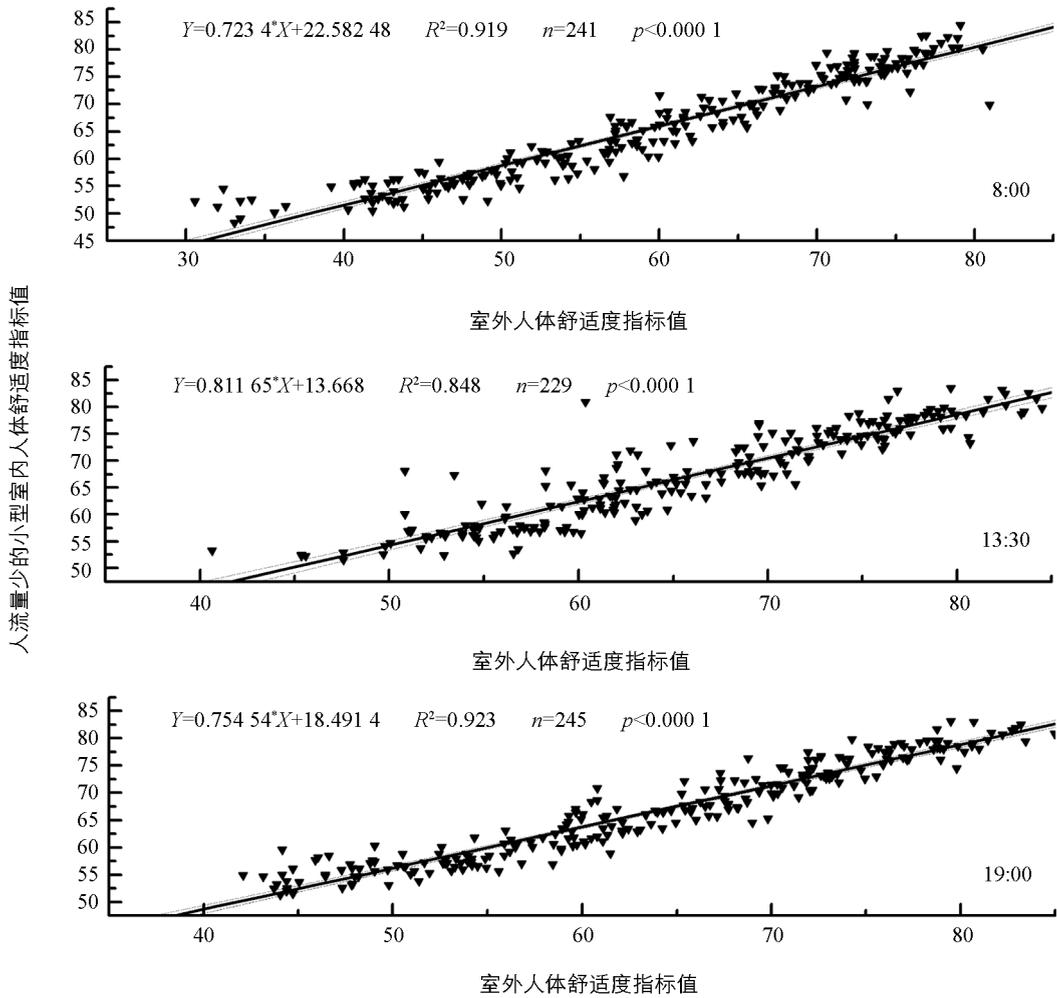


图 1 不同时刻室外与人流量少的小型室内的人体舒适度相关关系

2.1.2 室外与人流量多的小型室内之间的人体舒适度相关关系

图 2 给出了室外与人流量多的小型室内人体舒适度的关系。从图 2 可以看出, 室外与人流量多的小型室内人体舒适度的相关性很大, 相比与人流量少的小型室内人体舒适度其相关系数  $R^2$  值略高, 达到了 0.88 以上。同样的, 室外人体舒适度  $X$  值对室内人体舒适度  $Y$  的值贡献很大, 在该问题上选择一元线性回归方程是合适的; 人流量较多的小型室内中, 相关系数最大值同时出现在 19:00 和 8:00,  $R^2=0.926$ , 最小值同样出现在 13:30,  $R^2=0.888$ 。

2.1.3 室外与人流量多的大型室内之间的人体舒适度相关关系

图 3 给出了室外与人流量多的大型室内人体舒适度的关系。从图 3 可以看出: 室外与人流量多的大型室内人体舒适度的相关性同样很大, 相比与人流量多的小型室内人体舒适度其相关系数  $R^2$  值整体略低, 但是都达到了 0.88 以上, 且有统计学意义。同样的, 室外人体舒适度  $X$  值对室内人体舒适度  $Y$  的值贡献很大, 在该问题上选择一元线性回归方程是适合的; 人流量较多的大型室内中, 相关系数最大值同样出现在上午 8:00,  $R^2=0.915$ , 最小值同样出现在中午 13:30,  $R^2=0.887$ 。

2.1.4 室内外人体舒适度相关关系综合分析

不同类型室内与室外人体舒适度的相关关系均具有显著的日变化趋势(表 2)。同一地点, 不同时刻, 室内外人体舒适度的相关关系相差较大: 两者相关系数  $R^2$  在中午相对最小, 而早晚的相关系数较中午大, 但差异没有统计学意义。同一时刻, 不同地点, 室内外人体舒适度的相关系数差异相对较小, 其与人流量

和室内大小有关;室内与人流量多的小型室外的人体舒适度相关性在一天中的不同时刻均为最大值,而与其他两种类型的相关性相对较低.

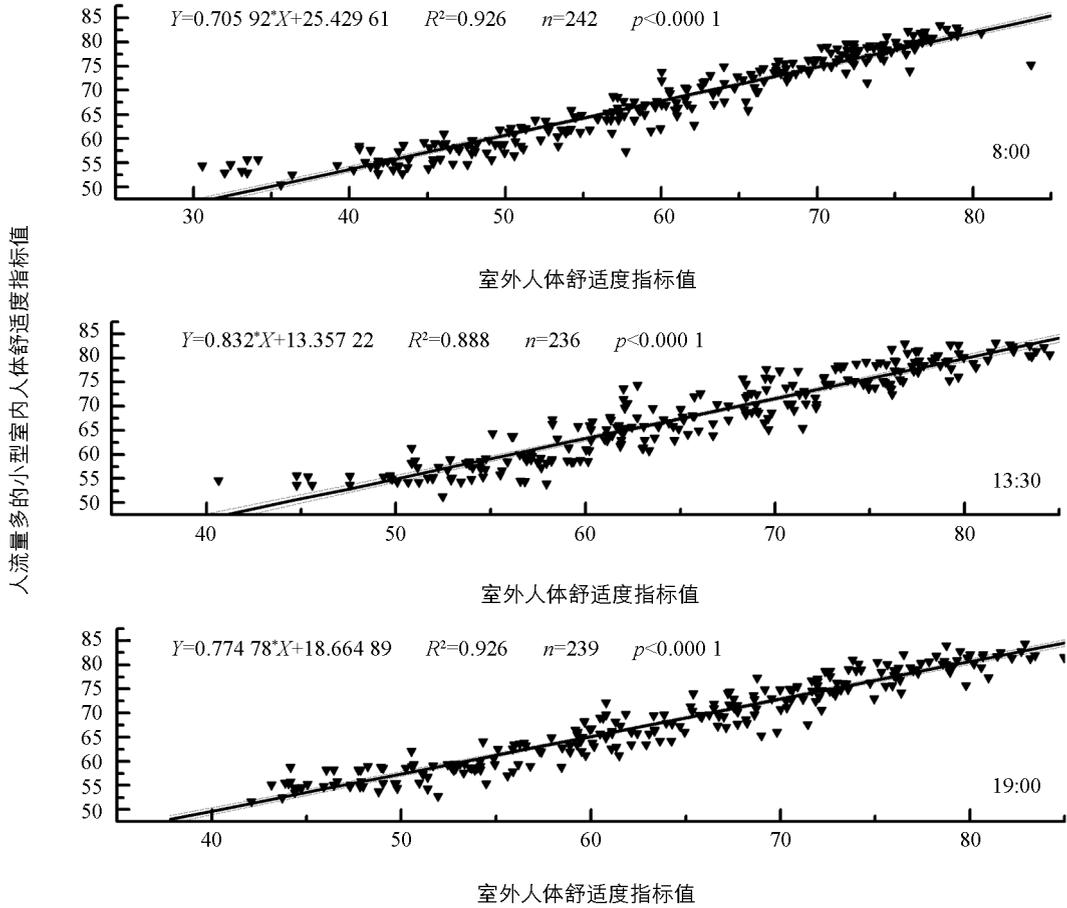


图 2 不同时刻室外与人流量多的小型室内的人体舒适度相关关系

表 2 室内外人体舒适度预报模型

	时间	预报模型	相关系数( $R^2$ )
室外—人流量少的小型室内	8:00	$Y=0.72340X+22.58248$	$R^2=0.919^{**}$
	13:30	$Y=0.81165X+13.66800$	$R^2=0.848^{**}$
	19:00	$Y=0.75454X+18.49140$	$R^2=0.923^{**}$
室外—人流量多的小型室内	8:00	$Y=0.70592X+25.42961$	$R^2=0.926^{**}$
	13:30	$Y=0.83200X+13.35722$	$R^2=0.888^{**}$
	19:00	$Y=0.77478X+18.66489$	$R^2=0.926^{**}$
室外—人流量多的大型室内	8:00	$Y=0.70934X+24.44693$	$R^2=0.915^{**}$
	13:30	$Y=0.77991X+17.13361$	$R^2=0.887^{**}$
	19:00	$Y=0.71470X+22.73568$	$R^2=0.894^{**}$

注: Y 表示预报的室内人体舒适度, X 表示对应的室外人体舒适度, \*\* 表示相关关系有统计学意义( $p<0.05$ ).

## 2.2 预报模型的正确率比较

基准正确率是指室内外人体舒适度等级相同的天数除以观测总天数;利用表 2 公式计算室内人体舒适

度拟合值, 拟合值与实测值等级相同的天数除以观测总天数即为预报正确率; 预报正确率减去基准正确率得到正确率提高的百分率. 不同季节正确率及正确率提高的百分率见表 3~表 7.

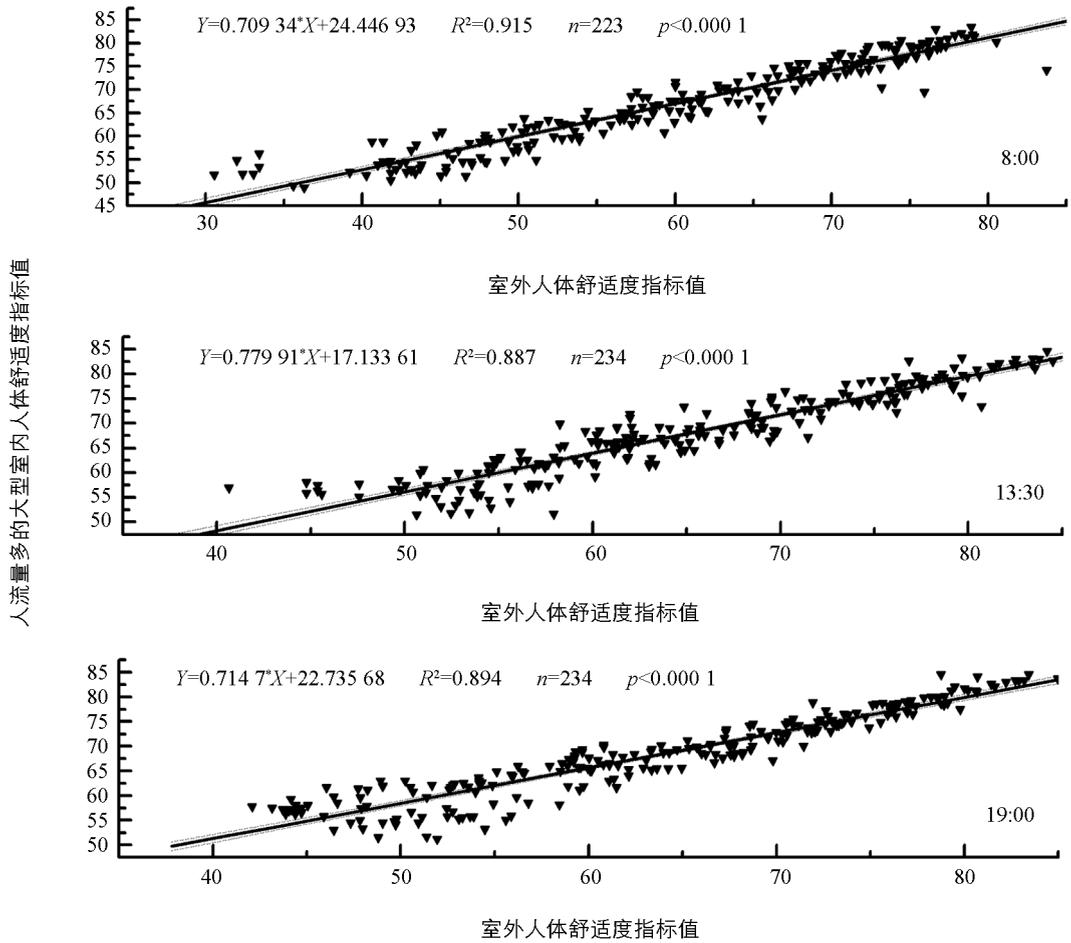


图 3 不同时刻室外与客流量多的大型室内的人体舒适度相关关系

2.2.1 预报模型在夏季的正确率

如表 3 所示, 夏季 13:30 和 19:00 的基准正确率均达到了 55% 以上, 最高的正确率是 80%, 因此该时段利用室外人体舒适度代替室内人体舒适度是可行的. 利用预报模型预测室内人体舒适度在不同类型的室内的 8:00 均得到了明显的提高, 但是其他时间的正确率变化并不明显. 因此, 在夏季, 预报模式仅在温度较低的 8:00 有订正效应.

表 3 2013 年夏季室内人体舒适度预报正确率比较

正确率	时 间 地 点								
	人流量少的小型室内			人流量多的小型室内			人流量多的大型室内		
	8:00	13:30	19:00	8:00	13:30	19:00	8:00	13:30	19:00
总天数/d	49	49	50	48	49	50	48	49	45
基准正确率/%	34.7	67.3	72.0	33.3	77.6	56.0	33.3	77.6	80.0
预报正确率/%	50.1	65.3	68.0	85.4	77.6	62.0	70.8	75.5	80.0
正确率提高的百分率/%	15.4	-2.0	-4.0	52.1	0.0	6.0	37.5	-2.1	0.0

2.2.2 预报模型在秋季的正确率

如表 4 所示, 秋季基准正确率普遍降低, 特别是 8:00, 人流量多的室内正确率均低于 10%. 除了人流量少的室内 13:30 正确率达到 60.3% 以外, 其他时间的正确率都低于了 50%, 因此该时段利用室外人体

舒适度代替室内人体舒适度的误差较大,然而,预报模型正确率均达到了 60%,最高的正确率达到了 82.1%,其订正效果非常的显著.预报准确率提高幅度也非常明显,最多提高了 74.6%.因此,该预报模型在秋季是十分适用的.

表 4 2013 年秋季室内人体舒适度预报正确率比较

正确率	时 间 地 点								
	人流量少的小型室内			人流量多的小型室内			人流量多的大型室内		
	8:00	13:30	19:00	8:00	13:30	19:00	8:00	13:30	19:00
总天数/d	77	78	79	67	74	73	67	74	73
基准正确率/%	18.2	60.3	41.8	7.5	40.5	17.8	7.5	40.5	23.3
预报正确率/%	61.0	60.3	69.7	61.2	59.5	63.0	82.1	63.5	74.0
正确率提高的百分率/%	42.8	0.0	27.9	53.7	19.0	45.2	74.6	23.0	50.7

### 2.2.3 预报模型在冬季的正确率

如表 5 所示,冬季基准正确率与秋季类似,普遍比较低,除人流量少的小型室内 13:30 正确率达到 54.5%以外,其他时间的正确率都低于了 30%.然而,利用预报模型预测室内人体舒适度,正确率得到了普遍的提高,最高的正确率达到了 72%,最低的正确率也有 30.2%.提高幅度非常显著,最高提高了 50%.因此,预报模型在冬季也十分适用.

表 5 2013 年冬季室内人体舒适度预报正确率比较

正确率	时 间 地 点								
	人流量少的小型室内			人流量多的小型室内			人流量多的大型室内		
	8:00	13:30	19:00	8:00	13:30	19:00	8:00	13:30	19:00
总天数/d	50	44	50	48	51	50	48	51	56
基准正确率/%	16.0	54.5	22.0	18.7	23.5	20.0	16.6	23.5	26.4
预报正确率/%	66.0	68.2	72.0	45.8	41.2	66.0	58.3	49.0	30.2
正确率提高的百分率/%	50.0	13.7	50.0	27.1	17.7	46.0	41.7	25.5	3.8

### 2.2.4 预报模型在春季的正确率

如表 6 所示,春季基准正确率除 8:00 较低外,其他时间均较高,达到了 50%以上,最高的正确率为 67.3%.预报正确率,除了 8:00 正确率有很大的提高外,其他时间的正确率没有明显提高.13:30,人流量多的小型室内和人流量多的大型室内出现了明显的负值,然而人流量少的小型室内出现的负值并不明显.由此可见,预报模式的适用性不仅与温度的日变化有关,还与室内类型有关.

表 6 2014 年春季室内人体舒适度预报正确率比较

正确率	时 间 地 点								
	人流量少的小型室内			人流量多的小型室内			人流量多的大型室内		
	8:00	13:30	19:00	8:00	13:30	19:00	8:00	13:30	19:00
总天数/d	54	52	57	49	49	56	49	49	55
基准正确率/%	24.1	57.7	61.4	18.4	67.3	53.6	18.4	67.3	50.9
预报正确率/%	63.0	53.8	61.4	51.0	46.9	58.9	57.1	44.9	49.1
正确率提高的百分率/%	38.9	-3.9	0.0	32.6	-20.4	5.3	38.7	-22.4	-1.8

### 2.2.5 预报模型在一年内总体正确率

如表 7 所示,就一年内整体而言,利用预报模型公式预测室内人体舒适度的正确率要高于直接用室外人体舒适度来预测室内人体舒适度的正确率,因此采用预报模型公式来预测室内人体舒适度在实际应用中

是可行的; 针对同一地点不同时刻, 利用预报模型公式预测室内人体舒适度, 其正确率提高的百分率中, 8:00 提高的百分率最高, 其次是 19:00, 正确率的提高百分率最低的是 13:30, 提高率都小于 10%, 由此可见, 当环境温度较高时, 可以利用室外人体舒适度来预报室内人体舒适度, 但是当环境温度较低时, 采用预报模式来预报室内人体舒适度的可信度更高。

表 7 室内人体舒适度预报正确率比较

正确率	时 间 地 点								
	人流量少的小型室内			人流量多的小型室内			人流量多的大型室内		
	8:00	13:30	19:00	8:00	13:30	19:00	8:00	13:30	19:00
基准正确率/%	23.2	58.5	48.1	18.3	50.0	35.0	17.9	50.0	44.5
预报正确率/%	61.4	60.2	68.9	60.9	56.4	62.4	62.2	58.5	60.4
正确率提高的百分率/%	38.2	1.7	20.8	42.6	6.4	27.4	44.3	8.5	17.9

### 2.3 室内人体舒适度预报模型的检验

通过为期一个月的问卷调查研究发现, 由于极不舒适与不舒适、舒适与非常舒适, 其本身的界限不是很明显, 而且受试者多数为非气象专业人员, 所以在做舒适度问卷调查和预报时, 对于室内人体舒适度预报值范围可以采用五级划分的方法, 即-2, -1, 0, 1, 2, 其分别表示: 寒冷, 不舒适; 偏冷, 较不舒适; 凉爽, 舒适; 偏热, 较不舒适; 闷热, 极不舒适。利用五级划分方法重新对全年室外舒适度预报室内的正确率、预报模型公式预测室内的正确率和正确率提高的百分率进行了分析比较(表 8)。

表 8 室内人体舒适度预报正确率比较

正确率	时 间 地 点								
	人流量少的小型室内			人流量多的小型室内			人流量多的大型室内		
	8:00	13:30	19:00	8:00	13:30	19:00	8:00	13:30	19:00
室外舒适度预报室内的正确率/%	44.8	71.2	56.2	33.9	66.1	59.8	43.1	73.7	63.2
预报模型公式预测室内的正确率/%	80.1	80.30	82.4	82.2	77.1	80.1	77.6	81.2	83.8
正确率提高的百分率/%	35.3	9.1	26.2	48.3	10.0	20.3	34.5	7.5	20.6

对于室内人体舒适度预报范围的等级划分不同, 其预报的正确率也不同, 虽然范围划分为五级的正确率提高的百分率比划分为九级的正确率提高的百分率相对较小, 但是五级划分的正确率普遍要高于九级划分的正确率, 由此可知, 当划分范围相对粗略时, 正确率也相对较高。

## 3 结论与讨论

Steadman<sup>[4-6]</sup>、张清<sup>[9]</sup>、李玉姣等<sup>[17]</sup>普遍认为室内空气温度、空气湿度等因素对室内人体舒适度起决定性作用。彭昌海<sup>[18]</sup>研究的南京室内自然条件下 PMV-PPD 分析中, 在夏、冬两季节各取 3 天作为实验样本, 比较出夏、冬季节南京室内人体舒适差异。本研究中, 充分考虑室内空气温度、空气湿度在室内人体舒适度研究中的重要地位, 采集的数据相比其他关于室内人体舒适度的研究而言, 数据量较多, 采集时间较长, 具有一定的代表性。

通过对数据的综合处理分析, 室内外人体舒适度的实际指标值具有极显著正相关关系,  $R^2$  值都达到了 0.84 以上。利用一元线性回归方程, 能够建立相关性较高的室内外人体舒适度模型。对于同一地点, 不同时刻, 室内外人体舒适度呈极显著正相关关系。一般而言, 13:30 时,  $R^2$  相对较小; 8:00 和 19:00 相关系数都比中午的大, 两者之间的差异不明显; 对于同一时刻, 不同地点, 室内外人体舒适度的正相关关系差异小, 其差异与人流量和室内大小有关。无论在什么时刻, 室外与人流量多的小型室内的人体舒适度相

关系数较大;室外与人流量少的小型室内和人流量多的大型室内的人体舒适度相关系数较小.

通过对模型季节性的检验,室内人体舒适度的预报模型的适用范围比较广,主要适用于相对比较寒冷的秋、冬季节以及春、夏季的上午.对于相对比较热的春夏季节,中午和下午适用性并不是很强,此时可以直接使用室外人体舒适度预报等级来代替室内人体舒适度预报等级.

本研究除了对室内外人体舒适度理论进行研究外,还做了一系列的问卷调查,将人体舒适度的理论值和人体实际感受值进行了比较,有力地支持了本文观点.在进行问卷调查时发现,由于极不舒适与不舒适、舒适与非常舒适,其本身的界限不是很明显,而且受试者多数为非气象专业人员,对于它们的区分更加不清楚,所以笔者认为在做舒适度问卷调查和预报时,可以将胡毅等<sup>[14]</sup>对室内人体舒适度预报值范围的九级划分研究成果改为五级划分法,对于室内人体舒适度预报值范围可以采用五级划分的方法,即-2,-1,0,1,2,其分别表示:寒冷,不舒适;偏冷,较不舒适;凉爽,舒适;偏热,较不舒适;闷热,极不舒适.

### 参考文献:

- [1] 刘梅,于波,姚克敏.人体舒适度研究现状及其开发应用前景[J].气象科技,2002,30(1):11-14,18.
- [2] 吴兑.多种人体舒适度预报公式讨论[J].气象科技,2003,31(6):370-372.
- [3] TERJUNG W H. Physiologic Climates of the Conterminous United States: a Bioclimatic Classification Based on Man [J]. Annals of the Association of American Geographers, 1966, 56(1): 141-179.
- [4] STEADMAN R G. The Assessment of Sultriness. Part I: a Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science [J]. Journal of Applied Meteorology, 1979, 18(7): 861-873.
- [5] STEADMAN R G. The Assessment of Sultriness. Part II: Effects of Wind, Extra Radiation and Barometric Pressure on Apparent Temperature [J]. Journal of Applied Meteorology, 1979, 18(7): 874-885.
- [6] STEADMAN R G. A Universal Scale of Apparent Temperature [J]. Journal of Climate and Applied Meteorology, 1984, 23(12): 1674-1687.
- [7] FANGER P O. Calculation of Thermal Comfort: Introduction of a Basiccomfort Equation [J]. ASHRAE Transactions, 1967, 73(2): 1-20.
- [8] 许景峰.浅谈PMV方程的适用范围[J].重庆建筑大学学报,2005,27(3):13-18.
- [9] 张清.从人体舒适度看高温及其影响[J].甘肃气象,1998,16(2):38-39.
- [10] 徐大海,朱蓉.人对温度、湿度、风速的感觉与穿衣指数的分析研究[J].应用气象学报,2000,11(4):430-439.
- [11] 王昭俊.现场研究中热舒适指标的选取问题[J].暖通空调,2004,34(12):39-42.
- [12] 王宇,易小楠.成都地区气候条件对人体热舒适影响的研究[J].制冷与空调,2011,25(1):19-22.
- [13] 杨柳.建筑气候分析与设计策略研究[D].西安:西安建筑科技大学,2003.
- [14] 胡毅,李萍,杨建功,等.应用气象学[M].2版.北京:气象出版社,2005.
- [15] 李思阳,谭洋,王乐乐,等.绿化屋顶对室内热环境及人体热舒适性的影响[J].西南大学学报(自然科学版),2018,40(4):180-184.
- [16] 雷婷,张天宇,王勇,等.重庆黔江区生态旅游气候资源评估[J].西南师范大学学报(自然科学版),2018,43(7):138-147.
- [17] 李玉姣,杨云洁,张滨,等.不同天气条件下温湿对室内外人体舒适度的影响[J].气象科技,2015,43(6):1197-1202.
- [18] 彭昌海.南京地区室内自然条件下PMV-PPD分析[J].华中建筑,2005,23(1):83-84.

## A Study on Forecasting Models for Indoor Comfort Index of Human Body

YANG Yun-jie<sup>1,2</sup>, ZHANG Bin<sup>3</sup>, LI Yu-jiao<sup>4</sup>,  
YUAN Bo<sup>5</sup>, LI Rong<sup>6</sup>, HAN Lin<sup>1</sup>, WANG Ge<sup>7</sup>

1. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China;
2. Xinhua Meteorological Bureau, Huaihua Hunan 419200, China;
3. Air Traffic Regulating Branch of Hunan, Changsha 410141, China;
4. Chongli Meteorological Bureau, Zhangjiakou Hebei 076350, China;
5. Huangguoshu Airport, Anshun Guizhou 561000, China;
6. Dejiang Meteorological Bureau, Tongren Guizhou 565200, China;
7. Institute of Plateau Meteorology, CMA/Heavy Rain and Drought-Flood Disasters in Plateau and Basin Key Laboratory of Sichuan Province, CMA, Chengdu 610072, China

**Abstract:** In a study reported in this paper, teachers' office, students' dormitory, students' classroom and Meteorological Observation Field of Chengdu University of Information Technology were selected as the observations points, the daily meteorological data from May, 2013 to May, 2014 were collected, and a few forecasting models with relatively high forecast accuracy were established for indoor comfort index of human body. In autumn and winter, or in the morning of spring and summer, when the weather is relatively cool, it gave poor accuracy to forecast indoor comfort of human body based on outdoor meteorological elements. Using Forecasting Model for Indoor Comfort Index of Human Body to forecast of indoor comfort conditions greatly improved the forecast accuracy. Based on the data in a questionnaire survey, the authors recommended a 5-grade classification method instead of the currently used 9-grade classification method to forecast indoor comfort of human body, and the data in a test showed that the accuracy of the 5-grade classification method was higher than that of the 9-grade classification method.

**Key words:** comfort index of human body; forecast model; indoor; public meteorological service

责任编辑 包 颖