

doi:10.11835/j.issn.2096-6717.2019.189

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



# 湿热地区夏季城市人行空间热舒适研究

蒋毅<sup>1,2</sup>, 赵立华<sup>2</sup>, 孟庆林<sup>2</sup>

(1. 长沙理工大学 建筑学院, 长沙 410076; 2. 华南理工大学 亚热带建筑科学国家重点实验室, 广州 510641)

**摘要:**为揭示夏季湿热地区城市室外人行空间行人和骑行者的热舒适特点及热环境需求,通过实验观测及问卷调查相结合的方法,对人行空间的热环境水平,行进中的行人和骑行者的热感觉、热舒适、热环境偏好及热接受度进行了统计和相关性分析。分析结果表明,随着人行空间阴影率的变化,行人的热感觉变化比骑行者更敏感,舒适性水平低于骑行者;行人和骑行者的不舒适因素主要为过大的太阳辐射和过高的温度,SET\* 值越低,行人和骑行者感觉越舒适。使用者对夏季人行空间的热环境需求,行人为 SET\* ≤ 30.2 °C,对应热感觉 TSV ≤ 1.4;骑行者为 SET\* ≤ 32.9 °C,对应热感觉 TSV ≤ 1.5,行人和骑行者的热舒适状况和热需求存在一定的差异,遮荫率越小,差异越大,行人对热环境的要求更高。

**关键词:**湿热地区;人行空间;热感觉;热舒适;热环境

**中图分类号:**TU111.2      **文献标志码:**A      **文章编号:**2096-6717(2020)03-0174-09

## Study on urban outdoor thermal comfort of pedestrian space in hot-humid area in summer

Jiang Yi<sup>1,2</sup>, Zhao Lihua<sup>2</sup>, Meng Qinglin<sup>2</sup>

(1. School of Architecture, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410076, P. R. China; 2. State Key Laboratory of Subtropical Building Science, South China University of Technology, Guangzhou 510641, P. R. China)

**Abstract:** To reveal the thermal comfort characteristics and thermal environment requirements of outdoor pedestrians and cyclists in hot and humid areas in summer, the methods of environmental parameters testing and questionnaire survey was used to investigated the thermal environment status, thermal comfort, thermal environment preference and thermal environment acceptability of pedestrians and riders, then correlation analysis was carried out. The results show that with the change of shading rate, thermal sensation of pedestrians are more sensitive than that of cyclists, and the comfort level is lower than that of cyclists. The main uncomfortable factors are excessive solar radiation and temperature. The lower the SET\* value, the more comfortable pedestrians and cyclists feel. The thermal requirement for pedestrians is that SET\* ≤ 30.2 °C, TSV ≤ 1.4, for cyclists SET\* ≤ 32.9 °C, TSV ≤ 1.5, Pedestrians have higher requirements for thermal environment.

**Keywords:** hot-humid area; pedestrian space; thermal sensation; thermal comfort; thermal environment

**收稿日期:**2019-09-20

**基金项目:**国家自然科学基金(51878288);广东省国际科技合作项目(2018A050501007)

**作者简介:**蒋毅(1983-),男,博士,主要从事城市热环境研究,E-mail:zoroyi@qq.com.

赵立华(通信作者),女,教授,博士生导师,E-mail:lhzhao@mail.scut.edu.cn.

**Received:**2019-09-20

**Foundation items:**National Natural Science Foundation of China (No. 51878288); Guangdong International Science and Technology Cooperation Project (No. 2018A050501007)

**Author brief:**Jiang Yi (1983-), PhD, main research interest: urban thermal environment, E-mail: zoroyi@qq.com.

Zhao Lihua (corresponding author), professor, doctoral supervisor, E-mail:lhzhao@mail.scut.edu.cn.

绿色出行可以缓解城市交通拥堵,降低交通能耗,改善城市空气质量,对生态城市建设有重要作用。夏季是一年中最为炎热的季节,对该季节行进中行人和骑行者的热舒适特点和差异进行研究,有助于对室外人行空间的热环境进行优化,提高人行空间的使用频率。

室外空间微气候是影响使用者使用和评价室外空间的重要因素<sup>[1-5]</sup>,因此,热环境参数一直是室外热舒适研究的重点,对室外太阳辐射、阴影率、风场进行合理的整合,可以最大化改善室外空间热环境,提高使用质量和减少城市化的消极影响<sup>[6-8]</sup>。探讨不同热舒适指标,评价室外空间热舒适的适用性,以及人群中性区域、偏好区域、舒适区域和接受区域值,进而评价不同设计手法的热环境改善效果<sup>[9-12]</sup>,可以对室外空间设计进行改进,使空间的热舒适指标值处于人群热舒适区域。

室外热舒适具有一定的地域特性,不同地域的人群具有不同的气候适应性<sup>[13-15]</sup>。中国南部湿热地区属于海洋性亚热带季风气候,夏季漫长,其中,7月最热,典型气象日8:00—18:00的空气温度范围为29~35℃、相对湿度范围为65%~82%<sup>[16]</sup>。炎热季节城市街谷的热环境和微气候状况受到学者的关注。相关学者基于街谷高宽尺度、绿化配置、下垫面铺装、车辆影响等,对街谷人居区域的热环境、风环境开展相关实验观测和模拟研究,对街谷和人行空间的规划设计及热环境改善提出优化设计策略<sup>[17-20]</sup>。但目前尚无基于行进中行人、骑行者的使用需求对湿热地区室外人行空间热舒适状况、使用特点和热环境偏好的研究。笔者采用问卷调查和环境测试相结合的方法,选取湿热地区典型城市广州,对夏季室外人行空间的热舒适状况、热环境水平和行人、骑行者的热需求进行调研,对各种因素进行相关性分析,为城市人行空间热环境优化设计和微气候改善提供参考。

## 1 研究对象及研究方法

### 1.1 研究对象

人行空间热环境设计是通过乔、灌、草的不同配置方法,与下垫面构造一起营造良好的室外环境,对局部热环境气候产生影响。对同属湿热地区台湾的研究<sup>[21]</sup>表明,夏季台湾云林室外人群偏好凉爽、弱太阳辐射的活动场地,有遮荫的空间使用率更高;文

献<sup>[22]</sup>也指出,广州住宅区室外空间使用人数与空间太阳辐射量的相关性大于与空间温度的相关性。因此,选取阴影率(SAR)<sup>[23]</sup>指标对研究对象进行分类,该指标的计算方法为:用鱼眼相机对空间遮荫进行拍摄,所得照片如图1所示,按要求处理后,输入Hemisfer软件<sup>[24]</sup>进行计算即可获得阴影率。

以华南理工大学五山校区校园内6处典型人行空间及路过人群为研究对象,采用夏季典型气象日各人行空间的阴影率为区分指标,将人行空间分为3种类型:第1种是全遮荫类型,阴影率范围 $SAR \geq 0.70$ ,阴影率较大,如图1(a)、(d)、图2(a)、(d)所示。场所特点为较密集地种植芒果树、细叶榕、人面子等高大常青乔木,间隔1~3m,在夏日能为过路行人和骑行者提供大量遮荫。第2种是部分遮荫类型,阴影率 $0.30 \leq SAR < 0.70$ ,阴影率适中,如图1(b)(e)、图2(b)(e)所示。场所特点为两侧乔木树冠较小,树叶稀疏,叶面积指数小,如隆缘桉、大王椰子树、白千层等,种植间隔3~7m,在夏日能为过路行人和骑行者提供部分遮荫。第3种是无遮荫类型,阴影率范围 $SAR < 0.30$ ,如图1(c)、(f)、图2(c)、(f)所示。场所特点为两侧无遮荫绿化,或者绿化植物距离较远,起不到遮荫作用,在夏日,不能为过路行人和骑行者提供遮荫。

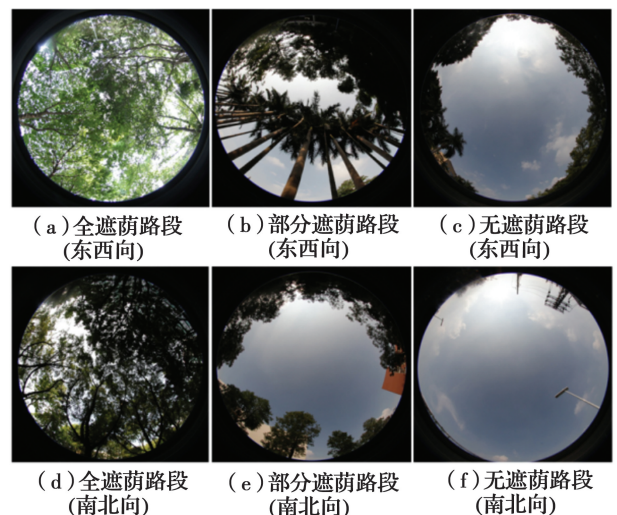


图1 研究场地的鱼眼照片<sup>[25]</sup>

Fig. 1 Hemisfer photos of investigation field

### 1.2 研究方法

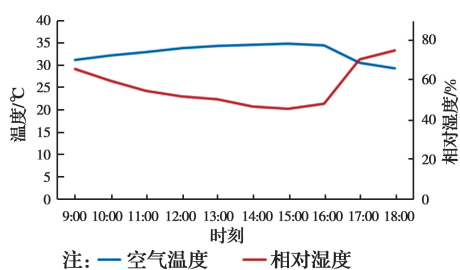
采用实验观测和问卷调查相结合的方法,研究室外人行空间行人和骑行者夏季室外热舒适特点及差异。问卷调查和观测实验于2018年6月28日进行,当天实验时段内天气晴朗,如图3、图4所示,各

气象参数范围与文献[16]提供的夏季典型气象日气象参数范围接近。为获得行进中行人和骑行者的热舒适状况,工作人员询问路过的行人和骑行者,是否愿意对刚行走或骑行路过该路段过程中的热感受填写问卷。调研的场地平坦,因此,行人和骑行者的行进速度按常规取值,行人取 1.2 m/s,相应的新陈代谢取 150 W/m<sup>2</sup>,骑行者视其为锻炼活动状态,新陈代谢取 180 W/m<sup>2</sup>。



图2 研究场地<sup>[25]</sup>

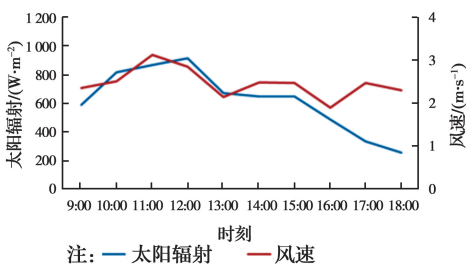
Fig. 2 Investigation field



注: — 空气温度 — 相对湿度

图3 测试时间段温湿度

Fig. 3 Temperature and humidity during the measure period



注: — 太阳辐射 — 风速

图4 测试时间段太阳辐射和风速

Fig. 4 Solar radiation and wind speed during the measure period

1.2.1 问卷调查 问卷发放时间为 9:00—18:00, 问卷包括 3 部分内容:第 1 部分是基本信息统计,如年龄、性别、籍贯、着装及出行方式等,服装热阻的取值参考 ANSI ASHRAE Standard 55-2017<sup>[26]</sup>。第 2 部分统计热感觉、热舒适及热接受度状况。热感觉统计采用 ASHRAE 9 度评价标尺进行,即:非常冷(-4)、冷(-3)、凉(-2)、稍凉(-1)、中性(0)、稍暖(+1)、暖(+2)、热(+3)、非常热(+4);热舒适统计采用 4 度热舒适标尺进行,即:舒适(0)、稍微不舒适(+1)、不舒适(+2)、非常不舒适(+3);热接受统计采用 4 度标尺进行,即:完全接受(+1)、刚刚接受(+0.0)、刚刚不接受(-0.01)、完全不接受(-1)。第 3 部分调查对太阳辐射、温度、相对湿度和风速的偏好,采用 ASHRAE 的 3 度标尺,即:增大(+1)、不变(0)、减小(-1)。

1.2.2 环境参数测试 在问卷发放时间段内不间断地对人行空间问卷发放点周围的热环境参数:空气温湿度、风速、黑球温度和太阳辐射进行观测记录。仪器的选择参考 ISO 7726:1998<sup>[27]</sup> 有关规定,选择符合测试精度及敏感度的仪器,见表 1。测点距地面高 1.5 m,为保证 HOBO 温湿度记录仪测试数据的精度,测试过程中对探头做了防辐射处理。在热环境参数测试时间段内,测试记录时间间隔为 1 min,风速在分析过程中取 3 min 的平均值。

表 1 实验仪器、量程及精度

Table 1 Experimental instruments, range and accuracy

变量	测试仪器	量程	精度
温度	HOBO Pro V2	-40~70 °C (-40~158 °F)	±0.2 °C
	U23-004 温湿度数据记录仪		
相对湿度	HOBO Pro V2	10%~90%	±2.5%
	U23-004 温湿度数据记录仪		±0.05 m/s
风速/风向	意大利 Deltaohm	0~5 m/s	(0~1 m/s);
	热指数仪 HD32.3		±0.15 m/s
黑球温度	意大利 Deltaohm	-10~100 °C	(1~5 m/s)
	热指数仪 HD32.3		±0.5 °C
太阳辐射	HD3201.1	0~2 000 W/m <sup>2</sup>	±2%
	太阳辐射仪		(15%~90%)



## 2 调查结果

### 2.1 样本信息

调查共收集问卷 562 份,详细构成信息见表 2。该季节人行空间使用人群服装热阻差异较小,服装热阻的分布范围为  $0.28 \pm 0.06$  clo。

表 2 样本信息

Table 2 Sample information

类型	合计	行人		骑行	
		男性	女性	男性	女性
全遮荫	169	71	57	23	18
部分遮荫	203	86	75	26	16
无遮荫	190	84	64	25	17

### 2.2 热感觉及热舒适特征

2.2.1 热感觉特征 对热感觉投票结果进行统计如表 3 和图 5、图 6、图 7 所示。各路段行人和骑行者热感觉投票情况如下:全遮荫路段行人、骑行者最多投票均为中性(0);部分遮荫路段行人是热(+3)的投票最多,骑行者是暖(+2)的投票最多;无遮荫路段,行人、骑行者最多投票均为热(+3)。可以看出,行人对路段阴影率 SAR 的减小非常敏感,行人感觉更热。

表 3 各路段最多投票热感觉

Table 3 Maximum number of thermal sensation votes

人群	全遮荫	部分遮荫	无遮荫	季节汇总
行人	微暖(+1)	热(+3)	热(+3)	热(+3)
骑行者	微暖(+1)	暖(+2)	热(+3)	暖(+2)

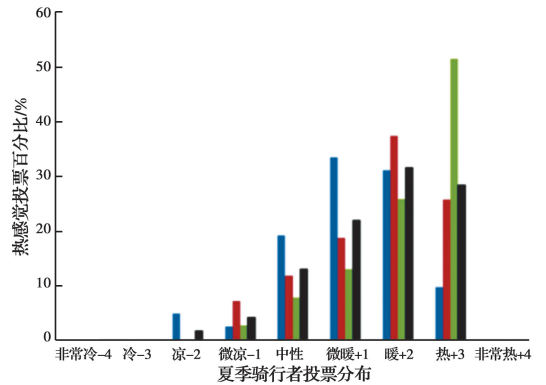


图 6 骑行者热感觉投票分布

Fig. 6 Thermal sensation votes by riders

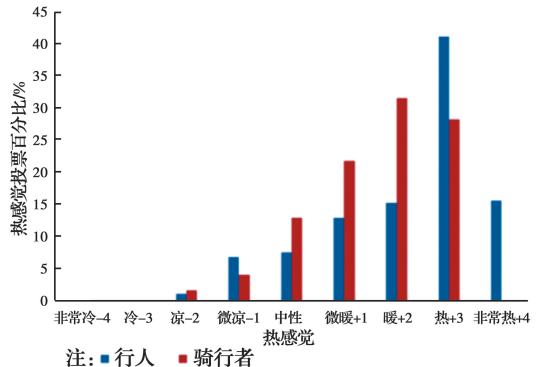


图 7 行人和骑行者的热感觉投票差异比较

Fig. 7 The difference of thermal sensation votes by pedestrians and riders

2.2.2 热舒适特征 行人和骑行者的热舒适投票结果如表 4 和图 8、图 9、图 10 所示。随着阴影率 SAR 的减小,行人热舒适变化比骑行者更敏感,骑行者比行人有更多的舒适(0)投票,且没有非常不舒适(3)投票,骑行者热舒适性高于行人。由此可以得出,在较热环境中,行人热舒适状态变化比骑行者更敏感,舒适投票的比例低于骑行者。

表 4 各路段最多热舒适状态投票

Table 4 Maximum number of thermal comfort votes

人群	全遮荫	部分遮荫	无遮荫	季节汇总
行人	舒适	稍有不适	不舒适	稍有不适
骑行者	舒适	稍有不适	稍有不适	稍有不适

2.2.3 热环境参数偏好 行人和骑行者的热环境参数偏好如图 11、图 12 所示。其中,-1 为期望该环境参数变小,0 为期望该环境参数不变,1 为期望该环境参数变大。从图 11 和图 12 可以看出,该季

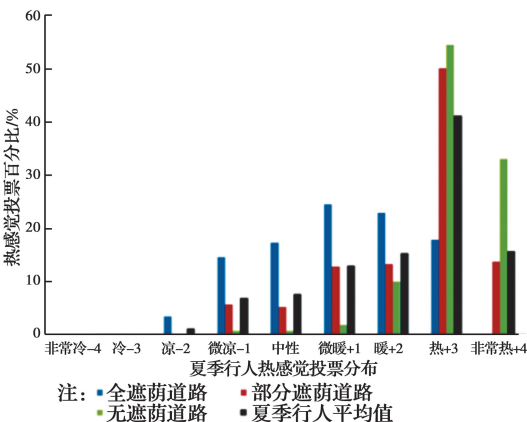


图 5 行人热感觉投票分布

Fig. 5 Thermal sensation votes by pedestrians

节行人和骑行者基本一致的热环境参数偏好,仅是比例稍有不同。

度都没有明显的偏好,希望维持不变的投票最多。

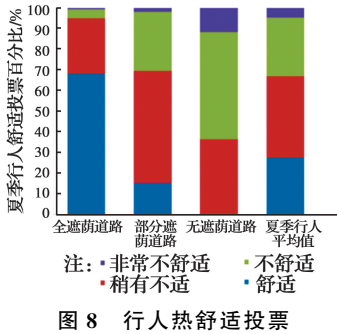


图 8 Thermal comfort votes by pedestrians

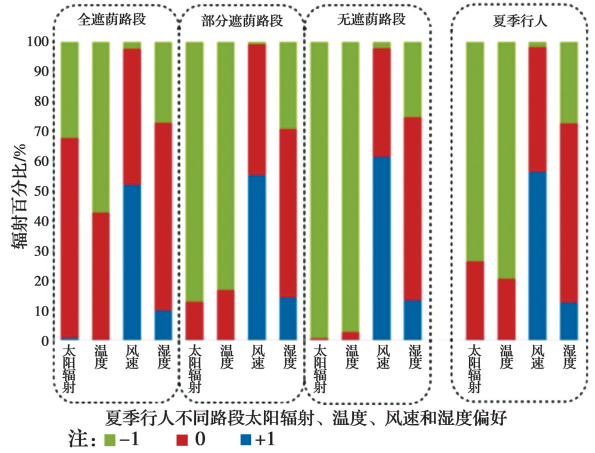


图 11 行人的热环境参数偏好投票

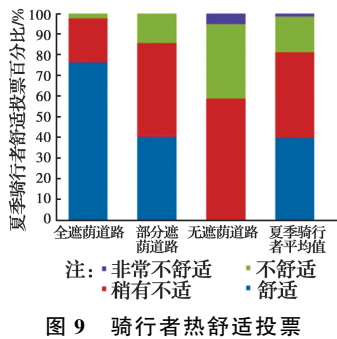


图 9 Thermal comfort votes by riders

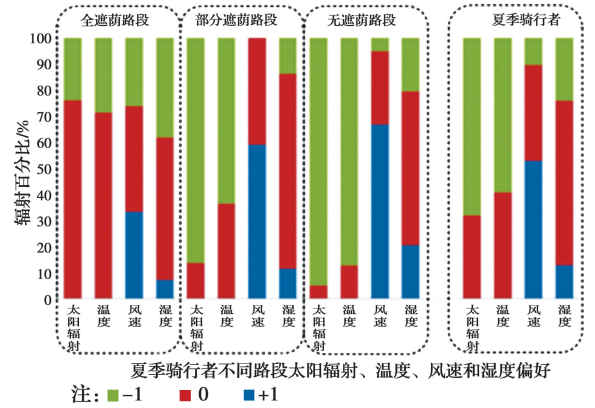


图 12 骑行者的热环境参数偏好投票

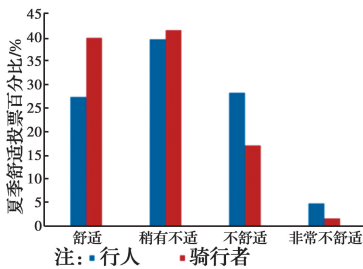


图 10 行人和骑行者的热舒适投票差异比较  
Fig. 10 The difference of thermal comfort votes by pedestrians and riders

对太阳辐射和温度的偏好:各路段行人和骑行者不存在增大投票,在全遮荫路段,骑行者对太阳辐射的接受度都较高;行人对太阳辐射接受度较高,希望温度降低的投票最多。随着阴影率 SAR 的减小,行人和骑行者希望减小太阳辐射和温度的趋势均增大。

对风速的偏好:各路段行人希望增大风速的投票均最多;骑行者在部分遮荫和无遮荫路段希望风速增大的投票最多,在全遮荫路段希望维持不变的比例最多,说明风速偏好跟阴影率存在相关性。

湿热地区夏季湿度高,但行人和骑行者对于湿

2.2.4 引起不舒适的因素分析 采取的分析方法为,从问卷中选择热舒适投票为非舒适的问卷,即稍有不适(+1)、不舒适(+2)和非常不舒适(+3)的问卷,统计这些问卷中行人和骑行者希望改变的环境因素,结果如图 13、图 14 所示,将这些因素视为引起行人和骑行者不舒适的因素。从图 13 和图 14 可知,该季节造成不舒适的因素非常明显:主要是过强的太阳辐射、过高的温度及较小的风速,行人骑行者均希望太阳辐射减弱、温度降低,风速增大。

### 2.3 热舒适的定量评价

2.3.1 中性 SET\* 采用标准有效温度 SET\* 定量评价室外慢行空间的热舒适特点,为建立对应不同 SET\* 值热感觉范围,将 SET\* 值进行 1℃ 分组,并对分组内的热感觉值取平均值,然后对 SET\* 值及对应的热感觉均值采用 SPSS 软件进行分析,研究其相关性。结果如图 15、图 16 所示。行人和

骑行者的标准有效温度 SET\* 和热感觉均呈线性关系,线性关系式见表 5。

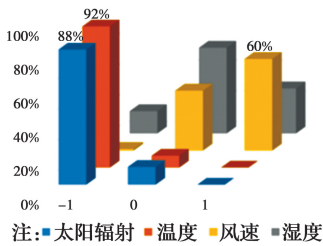


图 13 行人的不舒适因素

Fig. 13 Uncomfortable factors of pedestrians

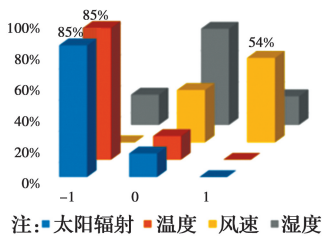
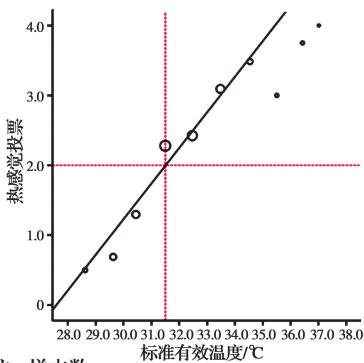


图 14 骑行者的不舒适因素

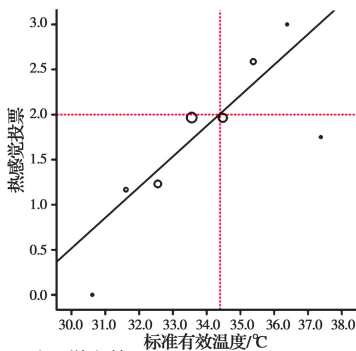
Fig. 14 Uncomfortable factors of riders



注: 样本数  
·1 ·4 ·10 ·29 ·32 ·71 ·76 ·99 ·111

图 15 行人热感觉投票与 SET\* 的相关性

Fig. 15 Correlation between thermal sensation vote and SET\* of pedestrians



注: 样本数  
·4 ·12 ·17 ·26 ·28 ·30

图 16 骑行者热感觉投票与 SET\* 的相关性

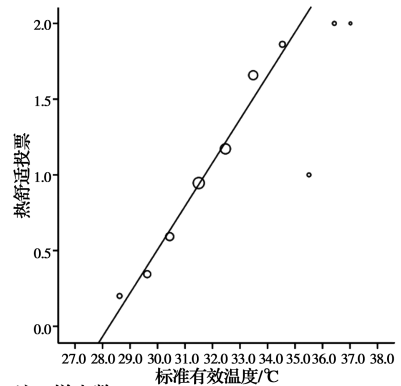
Fig. 16 Correlation between thermal sensation vote and SET\* of riders

表 5 行人和骑行者热感觉投票与 SET\* 的相关性关系式  
Table 5 Correlation formula between thermal sensation vote and SET\* of pedestrians and riders

人群	关系式	R <sup>2</sup>
行人	$TSV = 0.51SET^* - 14.05$	0.92
骑行者	$TSV = 0.34SET^* - 9.67$	0.71

由表 5 可以看出,线性关系式的斜率行人远大于骑行者,每一热感觉标尺的变化对应的 SET\* 度数行人为 2.0 °C,骑行者为 2.9 °C,说明行人热感觉变化更敏感,更少的 SET\* 度数变化就会引起热感觉的变化。行人对应暖(2)的 SET\* 为 31.5 °C,骑行者对应暖(2)的 SET\* 为 34.4 °C,相同热感觉行人对应的标准有效温度 SET\* 低于骑行者。

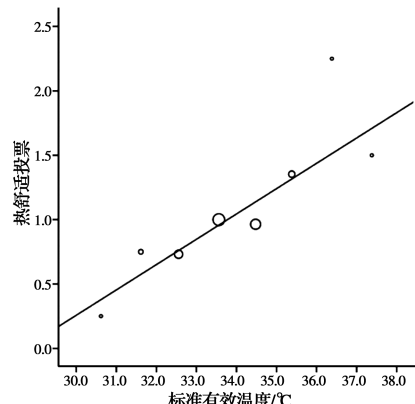
2.3.2 舒适的 SET\* 范围 对行人和骑行者热舒适投票值和标准有效温度 SET\* 进行相关性分析,分析结果如图 17、图 18 所示,关系式见表 6。



注: 样本数  
·1 ·4 ·10 ·29 ·32 ·71 ·76 ·99 ·111

图 17 行人热舒适投票和 SET\* 的相关性

Fig. 17 Correlation between thermal comfort vote and SET\* of pedestrians



注: 样本数  
·4 ·12 ·17 ·26 ·28 ·30

图 18 骑行者热舒适投票和 SET\* 的相关性

Fig. 18 Correlation between thermal comfort vote and SET\* of riders

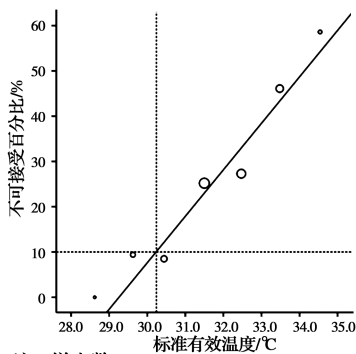
表 6 行人和骑行者热舒适投票与 SET\* 值的相关性

Table 6 Correlation formula between thermal comfort vote and SET\* of pedestrians and riders

人群	关系式	R <sup>2</sup>
行人	TCV = 0.29SET* - 8.11	0.92
骑行者	TCV = 0.20 SET* - 5.64	0.74

由表 6 可以看出,行人和骑行者的热舒适投票和 SET\* 均呈线性关系,说明人行空间的标准有效温度 SET\* 越低,行人和骑行者的热舒适水平就越高。两个线性关系式的斜率,行人为 0.29 °C<sup>-1</sup>,骑行者为 0.20 °C<sup>-1</sup>,说明随着环境标准有效温度改变,行人的不舒适变化比骑行者敏感。

2.3.3 90%不可接受率 先将行人和骑行者的热接受投票按每 1 °C SET\* 值分组,然后进行 SPSS 回归分析,探讨热接受跟标准有效温度 SET\* 之间的关系。ASHRAE Standard 55<sup>[28]</sup>认为室内热环境为良好的空间,其热接受率应在 90%以上。据此开展研究,统计人行空间 90%热环境接受率的分布状况。定义热不可接受率为热不接受的投票占总投票的百分比,每 1 °C SET\* 的热不可接受率为热不接受的投票占整组样本数的百分比<sup>[25]</sup>。考虑样本的有效性,数量少于 10 的分组被剔除,结果如图 19、图 20 所示,相关性关系式见表 7,90%热接受率所对应的 SET\* 值的范围和热感觉范围见表 8。



注: 样本数  
 • 10 • 29 ◻ 32 ◻ 71 ◻ 76 ◻ 99 ◯ 111

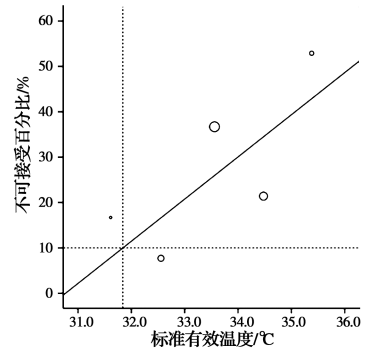
图 19 行人不可接受百分比与 SET\* 的相关性

Fig. 19 Correlation between thermal unacceptable percentage and SET\* of pedestrians

表 7 行人和骑行者不可接受百分比和 SET\* 值的关系式

Table 7 Correlation formula between thermal unacceptable percentage and SET\* of pedestrians and riders

人群	关系式	R <sup>2</sup>
行人	URV = 10.27SET* - 300.32	0.93
骑行者	URV = 4.61SET* - 141.57	0.84



注: 样本数  
 • 17 ◻ 26 ◻ 28 ◯ 30

图 20 骑行者不可接受百分比和 SET\* 的相关性

Fig. 20 Correlation between thermal unacceptable percentage and SET\* of riders

表 8 对应 90%热接受率的 SET\*、热感觉范围

Table 8 Range of SET\* value and thermal sensation corresponding to 90% thermal acceptable percentage

人群	90%热接受率 SET* 值范围/°C	90%热接受率热感觉范围
行人	≤ 30.2	≤ 1.4
骑行者	≤ 32.9	≤ 1.5

由图 19、图 20 和表 7、表 8 可以看出,不可接受百分比和 SET\* 正相关;SET\* 越大,接受率越低,行人和骑行者都偏好良好遮荫的环境,夏季室外人行空间需要良好的遮荫措施。另外,行人 90%接受率所对应的 SET\* 值小于骑行者 90%接受率所对应的 SET\* 值,夏季骑行者对热环境的接受度高于行人。

### 3 结论

研究采用问卷调查结合热环境观测的方法,对夏季湿热地区室外人行空间的热环境状况,使用者的热舒适状况进行调查,定性和定量地评价了行人和骑行者的热舒适特点、热环境需求及两类人群之间的差异性,主要结论如下:

1)随着阴影率 SAR 的减小,行进中行人的热感觉变化非常敏感,当环境阴影率 SAR 减小至 0.7 以后,行人出现最多“热”投票并且不适的投票数超过舒适的投票数;当环境阴影率 SAR 减小至 0.3 以后,骑行者出现最多“热”投票并且不适的投票数超过舒适的投票数。

2)夏季行人和骑行者的不舒适因素主要为太阳辐射和温度。湿热地区夏季湿度非常高,但是两类



人群对湿度都没有明显的偏好,也不是产生不舒适的因素。

3)夏季行人和骑行者的热感觉投票与环境标准有效温度 SET \* 均呈线性关系。随着夏季人行空间环境标准有效温度的变化,行人热感觉的变化比骑行者更敏感,引起一个标尺热感觉变化的 SET \* 度数,行人为 2.0 °C,骑行者则为 2.9 °C。

4)行人和骑行者的热舒适投票与 SET \* 均呈线性关系,SET \* 值越低,舒适性越高。使用者对夏季人行空间的热环境需求,行人为:SET \* ≤ 30.2 °C,TSV ≤ 1.4;骑行者为:SET \* ≤ 32.9 °C,TSV ≤ 1.5。

#### 参考文献:

- [1] GIVONI B, NOGUCHI M, SAARONI H, et al. Outdoor comfort research issues [J]. *Energy and Buildings*, 2003, 35(1): 77-86.
- [2] STATHOPOULOS T, WU H Q, ZACHARIAS J. Outdoor human comfort in an urban climate [J]. *Building and Environment*, 2004, 39(3): 297-305.
- [3] ELIASSON I, KNEZ I, WESTERBERG U, et al. Climate and behaviour in a Nordic city [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 82(1): 72-84.
- [4] YIN J F, ZHENG Y F, WU R J, et al. An analysis of influential factors on outdoor thermal comfort in summer [J]. *International Journal of Biometeorology*, 2012, 56(5): 941-948.
- [5] LAI D Y, GUO D H, HOU Y F, et al. Studies of outdoor thermal comfort in Northern China [J]. *Building and Environment*, 2014, 77(3): 110-118.
- [6] STEPHEN C, MARK F, LEANNE G R, et al. *Public space* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.
- [7] CLEAR C M, CAROLYN F. *People places-Design guidelines for urban open space* [M]. New York: Wiley & Sons, Inc, 1998.
- [8] TSERIA M, IRIT A C. Open space planning models: A review of approaches and methods [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 81: 1-13.
- [9] KÁNTOR N, EGERHÁZI L, UNGER J. Subjective estimation of thermal environment in recreational urban spaces: Part 1: Investigations in Szeged, Hungary [J]. *International Journal of Biometeorology*, 2012, 56(6): 1075-1088.
- [10] KÁNTOR N, UNGER J, GULYÁS A. Subjective estimations of thermal environment in recreational urban spaces: Part 2: International comparison [J]. *International Journal of Biometeorology*, 2012, 56(6): 1089-1101.
- [11] CHENG V, NG E, CHAN C, et al. Outdoor thermal comfort study in a sub-tropical climate: a longitudinal study based in Hong Kong [J]. *International Journal of Biometeorology*, 2012, 56(1): 43-56.
- [12] YAHIA M W, JOHANSSON E. Evaluating the behaviour of different thermal indices by investigating various outdoor urban environments in the hot dry City of Damascus, Syria [J]. *International Journal of Biometeorology*, 2013, 57(4): 615-630.
- [13] MAKAREMI N, SALLEH E, JAAFAR M Z, et al. Thermal comfort conditions of shaded outdoor spaces in hot and humid climate of Malaysia [J]. *Building and Environment*, 2012, 48(1): 7-14.
- [14] LIN T P, MATZARAKIS A. Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwan [J]. *International Journal of Biometeorology*, 2008, 52(4): 281-290.
- [15] KNEZ I, THORSSON S. Thermal, emotional and perceptual evaluations of a park: Cross-cultural and environmental attitude comparisons [J]. *Building and Environment*, 2008, 43(9): 1483-1490.
- [16] 张晴原, Joe Huang. 中国建筑用标准气象数据库[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- ZHANG Q Y, HUANG J. *Standard meteorological database for building of China* [M]. Beijing: China Machine Press, 2004.
- [17] 黄奕锴. 车辆对城市街谷热环境的影响研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2013.
- HUANG Y K. *Study on the vehicle's impact on the thermal environment of urban street canyons* [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2013. (in Chinese)
- [18] 杜晓寒. 广州生活性街谷热环境设计策略研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014.
- DU X H. *Study on design strategy for thermal environments of living street canyons in Guangzhou* [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2014. (in Chinese)



- [19] 俞溪. 基于车辆影响的城市街谷热环境研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2014.  
YU X. Study on thermal environment of urban street canyon based on vehicle's impact [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2014. (in Chinese)
- [20] 曹爱思. 道路型式对城市热环境影响的遥感和模拟分析[D]. 广州: 华南理工大学, 2016.  
CAO A S. Road type of remote sensing and the simulation analysis of the impact of urban thermal environment [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2016. (in Chinese)
- [21] LIN T P, TSAI K T, HWANG R L, et al. Quantification of the effect of thermal indices and sky view factor on park attendance [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2012, 107(2): 137-146.
- [22] LI K M, ZHANG Y F, ZHAO L H. Outdoor thermal comfort and activities in the urban residential community in a humid subtropical area of China [J]. *Energy and Buildings*, 2016, 133: 498-511.
- [23] 李日毅, 张宇峰, 吴杰, 等. 湿热地区城市住区微气候与设计[J]. *南方建筑*, 2018(1): 22-28.  
LI R Y, ZHANG Y F, WU J, et al. Microclimates and designs of urban residential areas in hot-humid region [J]. *South Architecture*, 2018 (1): 22-28. (in Chinese)
- [24] THIMONIER A, SEDIVY I, SCHLEPPI P. Estimating leaf area index in different types of mature forest stands in Switzerland: A comparison of methods [J]. *European Journal of Forest Research*, 2010, 129(4): 543-562.
- [25] 蒋毅. 湿热地区城市慢行空间热环境研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2019.  
JIANG Y. Research on thermal environment of urban slow space in hot and humid region of China [D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2019. (in Chinese)
- [26] Thermal environmental conditions for human occupancy: ASHRAE 55-2017 [J]. ASHRAE, Atlanta, GA, 2017.
- [27] Ergonomics of the thermal environment- Instruments for measuring physical quantities: ISO7726 [S]. International Organization for Standardization, Geneva, 1998.
- [28] Thermal environmental conditions for human occupancy: ASHRAE 55-2010 [S]. ASHRAE, Atlanta, GA, 2010.

(编辑 邓云)