

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2022.12.020

重庆市滨江公园与桥下公园 夏季热舒适度对比测析

张俊杰¹, 柳俊吉¹, 艾乔¹, 刘青²

1. 重庆交通大学 建筑与城市规划学院, 重庆 400074; 2. 南昌师范学院 美术学院, 南昌 330032

摘要: 重庆市夏季高温高湿、静风期长, 威胁当地人群的健康。以重庆市九龙外滩公园(滨江公园)、鹅公岩漫步公园(桥下公园)及北碚正码头滨江公园(兼为滨江公园和桥下公园)为例, 通过测量滨江公园和桥下公园夏季不同类型场地的小气候, 对比分析人体热舒适度, 结合行为注记法和访谈式问卷调查游人游园特征、实际热感受及环境偏好等, 结果显示: 重庆市夏季公园的游人数量随气温的增加而减少; 滨江公园和桥下公园的风力均为软风; 无桥面遮挡的九龙外滩公园整体热舒适度较低; 桥面投影区域能一定程度增湿, 其热舒适度高于林荫下环境, 显著高于草坪、铺装和沙坑等无遮挡场地, 表明桥面能显著影响夏季户外环境小气候, 故白天两个桥下公园的游人较多。夏季可利用地形, 增植乔木, 增设亭廊、花架等构筑物进行遮阳, 设置水景或喷雾设施吸收环境热量等以提升公园热舒适度; 在桥面下灵活设置健身活动或儿童游乐场地, 摆放相应设施, 可提高桥下空间的使用率。以期从小气候适应性角度提升重庆市滨江公园和桥下公园的使用率, 打造宜居环境, 助力城市品质提升。

关键词: 风景园林; 山地城市; 城市公园; 桥下空间; 小气候;

热舒适度

中图分类号: TU986

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 1673-9868(2022)12-0197-13

Comparison and Analysis of Thermal Comfort in Summer between Riverside Parks and Parks under the Urban Viaducts in Chongqing

ZHANG Junjie¹, LIU Junji¹, AI Qiao¹, LIU Qing²

1. College of Architecture and Urban Planning, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. College of Fine Arts, Nanchang Normal University, Nanchang 330032, China

Abstract: Summer in Chongqing Municipality is characterized as high temperature, high humidity and a

收稿日期: 2022-01-06

基金项目: 重庆市社会科学规划项目(2020QNYS78); 重庆市自然科学基金面上项目(csct2019jcy-j-msxmX0149); 重庆市 2021 年度中小学创新人才工程项目(CY210705); 重庆交通大学大学生创新创业训练计划项目(X202210618023)。

作者简介: 张俊杰, 博士, 讲师, 主要从事风景园林规划设计理论与、园林植物应用与园林生态研究。

通信作者: 艾乔, 高级工程师。

long period of calm wind, posing a threat to local people's health. Taking Jiulong Bund Park (belong to riverside parks), E'gongyan Walking Park (belong to parks under the urban viaducts) and Beibei Riverside Wharf Park (belong to riverside parks and parks under the urban viaducts) in Chongqing as examples, by measuring the microclimate of different types of sites in riverside parks and parks under urban viaducts in summer, the human thermal comfort was compared and analyzed. Combined with the behavior annotation method and interview questionnaire, the characteristics of visitors visiting the park, the actual thermal feelings and the environmental preferences were investigated. The results showed that: the number of tourists in the parks of Chongqing in the summer decreased with the increase of temperature. The wind in riverside parks and parks under urban viaducts is soft wind. The overall thermal comfort of Jiulong Bund Park without the bridge deck was the lowest in three parks. The bridge projection area could be more humidity, and the human thermal comfort degree in those areas was higher than the environment under the shade of trees, and significantly higher than unshaded sites such as lawns, pavements and sandpits, indicating that the bridge deck could significantly affect the microclimate of the outdoor environment in summer. Therefore, there were more visitors in those two parks under urban viaducts during the day. In summer, the various terrains could be used, and the number of trees, pavilions, pergolas and other structures could be increased to shade the sun. Water features or mist spray facilities could be set up to absorb environmental heat to enhance the thermal comfort in the parks. The fitness facilities or children's playground and corresponding facilities can be flexibly placed under the bridge deck to improve the utilization rate of space under the viaducts. This paper aims to improve the utilization rate of riverside parks and parks under urban viaducts in Chongqing from the perspective of microclimate adaptability, create a livable environment and improve the quality of the city.

Key words: landscape architecture; mountainous city; urban park; space under the urban viaducts; microclimate; thermal comfort

小气候一词由德国气象学家 Geiger 于 20 世纪 40 年代首次提出^[1],是指在具有相同的大气候特点范围内,由于小范围内各因素不一致而在局部地区形成的独特气候状况^[2].城市公共空间的逗留与使用受到人体热舒适度的影响^[3],规划设计师常常依靠直觉和经验预估城市公共空间的人体热舒适度并进行规划设计^[4].近年来,风景园林对于城市公共空间微气候的改善作用愈发被重视,理论逐渐完善.从小气候适应性角度着手城市公共空间规划设计可提升其综合功能的发挥^[5],改善人居环境、提升城市品质,成为现今风景园林学科的关注点^[6].

通常,人体感到舒适的空气温度和相对湿度分别为 22℃~28℃^[7]和 30%~70%(以 40%~50%为佳)^[8].此外,太阳辐射强度、风速也是影响人体热舒适度的重要因子^[9].植物、地形、水体、铺装、构筑物等风景园林设计要素共同影响城市环境的小气候特征^[10].玄明君等发现不同下垫面人体综合舒适度指标和舒适时间长度均为林地>草地>旷地^[11];晏海等研究发现不同树种群落对人体热舒适度的影响差异显著,夏季由冠大荫浓、枝叶茂密的树种群落形成的小气候环境更舒适^[12];王庆等探索了健身设施场地中使人们获得最佳舒适度感受的绿化率、乔木平均冠幅、灌木围合度及高度等因素的取值范围^[1];刘滨谊研究团队研究发现乔灌、水体、草坪配比较高,硬质铺装配比较低的场地人体热舒适程度相对较高^[13],同时该团队发现 4 种按顶面遮蔽方式划分的街道空间类型中,夏季以树荫全遮蔽区、冬季以建筑遮蔽区最舒适^[9],还发现建筑细部如骑楼、房檐和门斗等能在夏季给街道降温增湿、提供避暑空间^[14].除此之外,关于构筑

物和景观设施影响小气候的实测案例较欠缺。

城市立体交通的发展, 催生了立交桥下空间。日前有少量关于桥下空间小气候的研究, 如殷利华等利用 Ecotect 软件模拟立交桥下自然环境, 分析桥阴自然环境规律, 但未进行实测^[15]; 刘燕珍等对立交桥下植物景观的小气候进行实测发现, 全遮荫较半遮荫区域气温低 $1\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, 植物群落结构中以乔灌草组合搭配模式降温幅度最大($1\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 2\text{ }^{\circ}\text{C}$)^[16]。重庆位于我国西南地区, 为成渝地区双城经济圈核心城市之一, 夏季高温高湿、静风期长, 气温在 $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的天数达到了 $15\text{ d}\sim 25\text{ d}$ ^[17], 2008 年至 2013 年间夏季高温日平均死亡人数居全国城市之最^[18], 且 2008 年至 2018 年间极端高温天数($\geq 40\text{ }^{\circ}\text{C}$)呈逐渐增加的趋势^[19], 严重威胁当地人群健康。重庆市自然山水环境独特^[20], 市内修路架桥顺应自然山水之势^[21], 其桥下空间存在坡地、堡坎和崖壁等地形; 此外, 其“两江四岸”存在延绵的驳岸和生态廊道^[22], 不同场地类型塑造了多样的小气候。桥下空间与滨江廊道的治理、绿化和美化成为重庆城市品质提升的关注点。在城市发展从增量扩张迈入存量提升新阶段的背景下^[23-24], 重庆市将部分桥下空间和滨江场地作为山体“消极空间”和滨水廊道园林绿化品质提升的重要节点, 建成供市民就近观光、运动、交流和休憩的城市公园。

但目前我国尚缺乏山地城市滨江公园和利用立交桥下空间建成的公园(下文简称“桥下公园”)的小气候实测及其人体热舒适度的相关研究。鉴于此, 本文以九龙外滩公园、鹅公岩漫步公园及北碚正码头滨江公园为例, 对重庆市滨江公园和桥下公园夏季不同类型场地的太阳辐射、空气温度、相对湿度和风速的日变化进行测量, 对比分析人体热舒适度, 并采用行为注记法和访谈式问卷调查游人游园特征、实际热感受及环境偏好等, 以期明确不同类型场地对热舒适的影响, 提出优化公园夏季小气候的策略和建议, 可为重庆市宜居环境的规划设计提供依据, 助力城市品质提升。

1 研究对象与方法

1.1 场地概况及测点选取

本研究选取重庆市九龙坡区长江滨江的九龙外滩公园(北纬 $29^{\circ}31'20''$ 、东经 $106^{\circ}31'38''$), 与之相距约 300 m 的鹅公岩漫步公园(北纬 $29^{\circ}31'15''$ 、东经 $106^{\circ}31'26''$), 以及嘉陵江滨江的北碚正码头滨江公园为研究对象(北纬 $29^{\circ}49'49''$ 、东经 $106^{\circ}26'38''$, 与前两者相距约 35.4 km)(图 1), 3 者均为开放式公园。

九龙外滩公园为重庆著名的滨江公园。选取与滨江道路在同一层级的区域进行观测, 整体地势平坦, 面积约 5.36 万 m^2 。选取摆放健身设施的健身区(测点 3 m 范围内有枝叶稀疏的小乔木)、设置儿童活动设施和沙坑的儿童活动区、下垫面为草皮的大草坪、大面积硬质铺装的大广场(对照 CK)和散植了 10 余株大樟树的林荫休息区(下文简称“林荫区”)共 5 个测点(图 2)。除健身区和林荫区外, 其余 3 个测点以观测者所在位置为圆心、半径 10 m 范围内均无遮蔽光照和视线的要素。

鹅公岩漫步公园为重庆市第一个利用立交桥下坡地打造的桥下公园, 面积约 6.32 万 m^2 , 绿地率约 85%, 其南面为山体崖坡。公园由健身梯道(高差约 70 m 的健身梯道贯穿公园东西, 含 18 处休息平台), 景观山丘, 主入口平台等构成(图 3)。经测量, 各级平台地面距立交桥底面的高度在 14.8 m 至 49.5 m 之间。选取健身梯道的其中 3 处休息平台(主入口平台、中位平台和东入口平台)、娱乐广场和美人梅休息平台共 5 处游人活动频繁的场地作为测点, 并以桥面投影外的空地作为对照(CK)。前 3 处休息平台均位于立交桥面投影部分(合称为“鹅公岩桥面投影测点”), 美人梅休息平台和娱乐广场分别约 65% 和 35% 的面积处于桥面投影部分。

北碚正码头滨江公园(以下简称“北碚滨江公园”)位于北碚嘉陵江大桥匝道下, 既是滨江公园, 又是桥

下公园,为北碚著名的综合性公园,占地面积约 5.89 万 m^2 (图 4). 选取含大面积硬质铺装的正码头广场(对照 CK)、供孩童玩沙的儿童沙坑、供游人桥下活动的桥下游憩区、可吹江风赏江景的桥下滨河区、供静坐休憩的桥下休息区(其中一面为堡坎)以及摆放较多健身设施的桥下健身区共 6 处作为测点. 后 4 个测点位于北碚东嘉陵江大桥匝道下桥面投影区中(合称为“北碚桥面投影测点”); 其余 2 个测点以观测者所在位置为圆心、半径 10 m 范围内均无遮蔽光照和视线的要素.



图 1 3 个公园(研究场地)所处位置

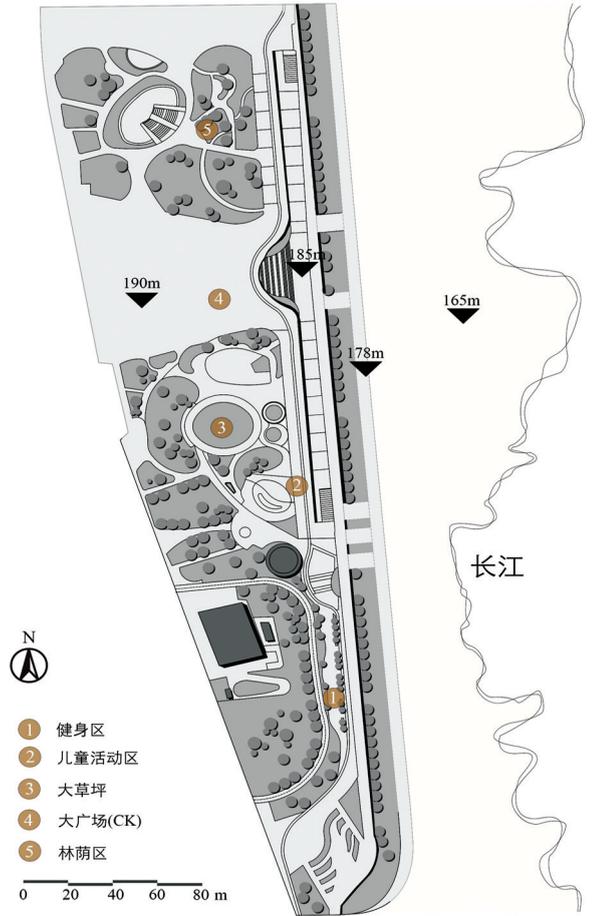


图 2 九龙外滩公园平面图与测点

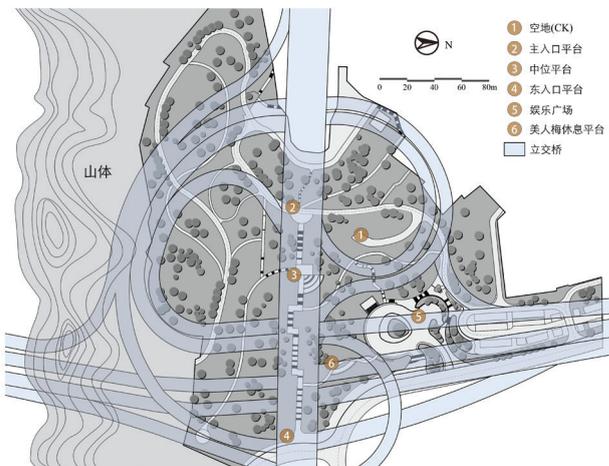


图 3 鹅公岩漫步公园平面图与测点



图 4 北碚正码头滨江公园平面图与测点

1.2 研究方法

1.2.1 研究时间

结合天气预报, 于 2021 年选择重庆市夏季典型气候特征时间进行户外实测与调查. 于 7 月 30 日(工作日, 晴, 最高气温 37 °C, 平均云量 15.0%) 在 3 个公园进行同步测量, 分别于 7 月 24 日(休息日, 多云, 最高气温 35 °C, 平均云量 31.4%) 在鹅公岩漫步公园, 8 月 1 日(休息日, 晴, 最高气温 37 °C, 平均云量 14.5%) 在九龙外滩公园, 8 月 3 日(工作日, 晴, 最高气温 40 °C, 平均云量 14.6%) 在北碚滨江公园进行测量(当日气温和云量来源 <https://www.worldweatheronline.com/>). 各测点于上午(8:00、9:30 与 11:00)、下午(12:30、14:00、15:30 与 17:00) 和晚上(19:30) 3 个时段共测量 8 个时间点的小气候数值.

1.2.2 仪器测量与热舒适度指标

场地面积运用合众思壮集思宝手持 GPS(G120BD) 测量; 桥高(测量点地面距立交桥底的高度) 运用激光测距仪(YHJ-200j) 测量. 运用 TES-1333 太阳辐射仪(精度 $\pm 5\%$ 、分辨率 0.1 W/m^2) 测定太阳辐射强度; 采用 Kestrel 5500 手持式综合气象仪距地面高度 1.5 m 测定空气温度(精度 $\pm 0.5\%$ 、分辨率 $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$), 相对湿度(精度 $\pm 2\%$ 、分辨率 0.1%) 和风速(精度 $\pm 3\%$ 、分辨率 0.1 m/s). 每 30 s 记录 1 次仪器数据, 连续 5 次取平均值.

以生理等效温度(Physiologically Equivalent Temperature, PET) 作为户外人体热舒适度的评价指标^[25]. 采用 RayMan 1.2 软件计算 PET, 个人生理指标设置为身高 1.75 m, 体重 70 kg, 年龄 35 岁, 服装热阻设为 0.5 clo, 新陈代谢率为 80 W/m^2 . 将小气候因子和 PET 整理为上午、下午及白天(上午和下午) 的平均值.

1.2.3 行为注记与访谈式问卷调查

进行小气候实测的同时, 用行为注记法分时段记录各公园停留人数(路过除外) 及到访目的, 并对公园游人进行一对一访谈式问卷调查, 了解其年龄构成, 询问游人夏季环境偏好及改善场地热舒适度的建议等. 同时以非常不舒适、不舒适、舒适和非常舒适 4 级标准, 采用热舒适度投票(Thermal Comfort Vote, TCV) 调查游人的实际热感受^[9]. 鹅公岩漫步公园、九龙外滩公园与北碚滨江公园分别发放 119、126 和 124 份问卷, 没有接受完整访谈或随意作答的问卷将被当场淘汰, 问卷回收率为 100%, 且全部有效.

1.2.4 数据统计与处理

运用 SPSS 26.0 软件整理与统计数据, 运用单因素方差的多重比较(Duncan) 分析 7 月 30 日白天 3 个公园所有测点小气候的差异显著性, 将公园停留人数与公园全天小气候因子的关系用 Pearson 相关系数(双尾检验) 进行相关性分析. 运用 Excel 2007 绘制柱状图与线性回归关系图.

2 结果与分析

2.1 九龙外滩公园小气候

表 1 显示, 九龙外滩公园除了被树冠遮蔽部分阳光的林荫区, 其余 4 处测点白天平均太阳辐射多在 200 W/m^2 以上. 由于西面距测点 200 m~300 m 处有高层住宅遮挡, 故除林荫区外, 各测点下午的平均太阳辐射均较上午低. 樟树的遮荫有一定的降温效果, 7 月 30 日和 8 月 1 日上午林荫区比其余测点的气温均值分别低 $1.5 \text{ }^\circ\text{C}$ 和 $1.9 \text{ }^\circ\text{C}$; 两日下午林荫区与其余测点气温均值分别相差 $2.3 \text{ }^\circ\text{C}$ 和 $2.6 \text{ }^\circ\text{C}$. 各测点全天的平均相对湿度呈先降低后升高的趋势, 下午比上午和晚上均低 10% 以上. 各测点的平均风力均处于软风状态(风速 $\leq 2 \text{ m/s}$, 人体无明显“吹风感”)^[26]. 林荫区各时段的 PET 均值皆较其余 4 处测点低; 无遮挡的儿童活动区、大草坪、大广场的 PET 均值皆较高, 8 月 1 日下午甚至超过了 $45 \text{ }^\circ\text{C}$, 超出“十分热”的临界值($41 \text{ }^\circ\text{C}$)^[27].

表 1 九龙外滩公园各测点小气候

测点	场地面积/ m ²	下垫面材质	时段	平均太阳		平均气温/℃		平均相对		平均风速/ (m·s ⁻¹)		PET 均值/℃	
				辐射/(W·m ⁻²)				湿度/%					
				7月30日	8月1日	7月30日	8月1日	7月30日	8月1日	7月30日	8月1日	7月30日	8月1日
健身区	1 615	EPDM 塑胶	上午	271.9	319.7	35.2	35.1	62.1	58.4	0.3	0.7	39.0	39.4
			下午	175.2	273.4	39.9	40.1	47.0	46.3	0.1	0.5	40.4	44.1
			晚上	6.5	7.6	34.3	35.3	56.8	54.0	0.0	0.4	—	—
儿童活动区	1 715	EPDM 塑胶+细沙	上午	347.1	358.0	35.8	35.2	56.6	54.6	0.2	0.5	42.3	40.8
			下午	237.2	310.0	40.4	40.7	43.6	42.8	0.3	0.6	42.9	45.7
			晚上	5.6	6.8	34.3	35.2	54.3	55.4	0.0	0.0	—	—
大草坪	1 860	草皮	上午	319.2	309.7	36.5	35.3	56.0	56.0	0.3	0.8	41.9	39.4
			下午	211.5	273.5	40.5	41.2	42.0	41.9	0.5	0.7	42.6	45.1
			晚上	2.7	3.6	34.2	35.1	54.4	53.2	0.0	0.3	—	—
大广场(CK)	15 440	花岗岩	上午	319.0	337.6	36.9	36.9	54.5	54.9	0.1	0.7	42.4	42.2
			下午	254.7	298.8	41.2	41.0	41.0	41.4	0.3	0.7	44.1	45.4
			晚上	1.0	2.7	34.3	35.4	54.9	52.0	0.3	0.5	—	—
林荫区	580	花岗岩+草皮	上午	100.0	100.4	34.6	33.7	58.9	56.0	0.4	0.7	33.4	32.5
			下午	108.6	127.2	38.2	38.2	46.4	44.2	0.4	0.6	37.4	38.1
			晚上	0.7	1.1	34.3	35.1	54.5	54.8	0.0	0.0	—	—

2.2 鹅公岩漫步公园小气候

由表 2 可知, 鹅公岩漫步公园空地和娱乐广场由于场地无遮挡或较少遮挡, 白天太阳辐射较强, 而其余 4 处测点由于完全或大部分位于桥面投影区, 太阳辐射较弱. 由于 7 月 24 日云量较多, 部分测点太阳辐射值较 7 月 30 日低. 美人梅休息平台由于上午被太阳照射, 下午太阳照射被桥面遮挡, 故太阳辐射值变化较大. 两日中各测点下午的气温分别比上午高 1.6℃~4.6℃和 1.7℃~2.9℃, 以娱乐广场升温最显著, 应是下午太阳大部分时间直射广场及下垫面为混凝土地坪的缘故. 3 处桥面投影测点的气温均较低. 下午各测点的平均相对湿度均低于上午. 各测点全天各时段的平均风力均为软风. 晚上各测点气温差距缩小, 以空地的气温最高, 应是下垫面白天吸收的太阳辐射较多, 其夜间地面长波辐射较强所致, 但其相对湿度最低.

根据生理等效温度热感觉和生理应激等级划分, 对户外空间环境热舒适度进行评价, 夏季 PET 值越低, 人体感到越舒适^[27]. 除美人梅休息平台下午的 PET 均值较上午低之外, 其余测点下午的 PET 均值较上午高. 无遮挡的空地热舒适度最低; 3 处桥面投影测点的 PET 均值均较其他测点低, 相对舒适.

2.3 北碚滨江公园小气候

据表 3 可知, 正码头广场和儿童沙坑由于附近无遮挡, 两日中白天平均太阳辐射均大于 180 W/m², 而其余 4 个测点位于桥面投影区, 阳光仅在某时段能投射到测点, 故太阳辐射较弱. 两日中各测点下午的气温分别比上午高 2.7℃~5.1℃和 4.8℃~7.4℃. 8 月 3 日正码头广场和儿童沙坑最高气温达 43.2℃和 44.1℃. 下午各测点的相对湿度均较上午低, 且 8 月 3 日因气温较高, 各测点相对湿度多在 30%至 40%之间. 各测点的平均风力也均为软风状态. 晚上各测点的温、湿度差距缩小. 正码头广场及儿童沙坑的 PET 均值较高, 下午在 42.7℃至 51.4℃之间, 均超出“十分热”的临界值, 4 处桥面投影测点 PET 均值在 33.9℃至 39.9℃之间, 属“温暖”或“热”的范畴^[26].

表 2 鹅公岩漫步公园各测点小气候

测点	场地面积/ m ²	下垫面材质	桥高/ m	时段	平均太阳		平均气温/℃		平均相对		平均风速/ (m·s ⁻¹)		PET 均值/℃	
					辐射/(W·m ⁻²)		7月30日 7月24日		湿度/%		7月30日 7月24日		7月30日 7月24日	
					7月30日	7月24日	7月30日	7月24日	7月30日	7月24日	7月30日	7月24日	7月30日	7月24日
空地(CK)	130	水泥	—	上午	320.6	190.2	36.1	34.1	62.7	66.2	0.3	0.2	40.8	35.8
				下午	166.5	88.9	40.2	36.4	51.1	63.8	0.2	0.0	41.4	34.6
				晚上	2.1	2.4	34.4	33.2	57.2	59.6	0.4	0.0	—	—
主入口平台	85	透水砖	21.9	上午	25.5	28.0	32.8	32.1	62.9	67.3	0.5	0.4	29.5	29.0
				下午	35.8	29.3	35.7	33.7	54.7	63.1	0.0	0.4	31.9	30.6
				晚上	1.8	3.5	34.0	32.9	58.4	62.9	0.0	0.0	—	—
中位平台	95	透水砖	30.9	上午	24.3	22.3	32.8	31.8	65.1	69.5	0.1	0.3	29.5	28.5
				下午	36.4	37.3	35.5	33.5	54.0	64.4	0.2	0.3	32.3	30.7
				晚上	0.9	1.5	33.7	32.3	60.7	64.6	0.2	0.0	—	—
东入口平台	60	青石板	37.2	上午	29.0	29.7	32.7	31.7	63.1	66.1	0.4	0.1	29.6	28.7
				下午	31.1	36.9	35.4	33.4	56.0	64.3	0.2	0.4	32.0	30.6
				晚上	0.3	0.3	32.7	31.6	62.7	66.6	0.3	0.0	—	—
娱乐广场	1 260	混凝土地坪	29.6	上午	125.0	83.2	35.6	33.4	60.1	66.2	0.7	0.1	35.4	31.8
				下午	160.6	70.0	40.2	36.3	52.6	65.8	0.4	0.1	40.8	34.0
				晚上	0.8	0.8	32.8	31.7	63.7	67.1	0.0	0.3	—	—
美人梅休息平台	195	透水砖	24.1	上午	157.7	93.7	34.2	32.0	60.0	67.5	0.6	0.5	34.4	32.1
				下午	35.0	26.4	35.5	33.7	55.5	65.2	0.3	0.4	32.5	30.7
				晚上	0.4	0.8	32.8	31.6	63.0	66.7	0.3	0.0	—	—

表 3 北碚滨江公园各测点小气候

测点	场地面积/ m ²	下垫面材质	桥高/ m	时段	平均太阳		平均气温/℃		平均相对		平均风速/ (m·s ⁻¹)		PET 均值/℃	
					辐射/(W·m ⁻²)		7月30日 8月3日		湿度/%		7月30日 8月3日		7月30日 8月3日	
					7月30日	8月3日	7月30日	8月3日	7月30日	8月3日	7月30日	8月3日	7月30日	8月3日
正码头广场(CK)	6 385	花岗岩	—	上午	188.5	254.3	35.4	35.9	63.8	56.8	0.3	0.6	36.7	38.7
				下午	242.6	306.9	39.7	43.2	54.9	35.3	0.4	0.6	42.7	48.6
				晚上	0.7	0.6	32.0	36.0	67.5	52.0	1.0	0.0	—	—
儿童沙坑	583	细沙	—	上午	215.2	233.8	35.9	36.7	63.0	52.8	0.2	0.9	37.9	38.7
				下午	363.8	379.8	41.0	44.1	53.9	34.7	0.2	0.9	47.6	51.4
				晚上	0.6	0.8	31.9	36.1	68.9	51.2	0.3	0.1	—	—
桥下游憩区	937.9	透水砖+花岗岩	8.3	上午	47.4	61.2	33.3	35.6	64.0	55.7	0.3	1.2	30.8	33.9
				下午	87.1	72.7	36.3	40.5	54.1	38.4	0.5	0.8	35.3	39.8
				晚上	0.2	0.2	31.5	36.0	70.7	51.4	0.4	0.3	—	—
桥下滨河区	107.2	花岗岩	5.3	上午	40.4	41.8	32.5	35.1	66.1	56.1	0.4	0.9	30.1	32.7
				下午	80.7	72.2	35.6	39.9	55.7	38.5	0.4	0.9	33.9	39.3
				晚上	0.3	0.6	31.4	35.9	70.8	50.5	0.7	0.9	—	—

续表 3

测点	场地面积/ m ²	下垫面材质	桥高/ m	时段	平均太阳		平均气温/℃		平均相对		平均风速/ (m·s ⁻¹)		PET 均值/℃	
					辐射/(W·m ⁻²)				湿度/%					
					7月30日	8月3日	7月30日	8月3日	7月30日	8月3日	7月30日	8月3日	7月30日	8月3日
桥下休息区	68.4	花岗岩	4.2	上午	22.3	30.5	32.4	34.9	67.3	56.4	0.4	0.8	29.4	32.4
				下午	85.4	93.7	35.1	39.8	55.6	40.4	0.5	0.9	34.0	39.9
				晚上	0.6	0.2	31.4	35.1	70.8	57.0	0.0	0.3	—	—
桥下健身区	4 396	花岗岩	9.5	上午	41.9	55.1	32.6	35.6	65.8	55.2	0.7	0.8	30.3	33.5
				下午	75.0	65.4	35.7	40.6	57.4	38.4	0.3	0.4	33.9	38.6
				晚上	0.5	0.5	31.1	35.6	71.5	53.9	0.0	0.3	—	—

2.4 3 个公园小气候比较

由表 4 可知, 7 月 30 日 3 个公园在各对照测点之间, 以及两滨江公园中的儿童沙坑与儿童活动区之间在太阳辐射、气温、PET 均值上均无显著性差异, 说明 3 个公园间的各小气候因子可进行比较。

九龙外滩公园(滨江公园)的大广场与鹅公岩漫步公园(桥下公园)和北碚滨江公园(兼为滨江公园和桥下公园)的桥下投影测点的气温差值最高分别达 5.1℃和 5.3℃, 降幅达 13.0%和 13.4%。两桥下公园 7 处桥面投影测点的太阳辐射、气温及 PET 均值均显著低于对照及九龙外滩公园除林荫区外的所有测点, 无桥面遮挡的九龙外滩公园整体热舒适度较低。65%位于桥面投影区的美人梅休息平台的平均气温显著低于 3 个公园的无遮挡测点和娱乐广场。

将两日中鹅公岩漫步公园与北碚滨江公园各桥面投影测点的太阳辐射值与气温进行相关性分析, 发现两因子间呈显著正相关(图 5, $R^2=0.5335$, $p<0.01$)。说明在桥面投影区域, 气温随着太阳辐射的增大而升高。由于立交桥桥面遮挡了大量太阳辐射, 7 月 30 日两公园所有测点的太阳辐射、气温和 PET 均值分别较九龙外滩公园显著降低 59.4%和 43.8%, 6.3%和 6.4%, 15.9%和 12.7%, 湿度则显著提升 15.5%和 19.3%, 即白天鹅公岩漫步公园与北碚滨江公园的小气候较九龙外滩公园舒适。

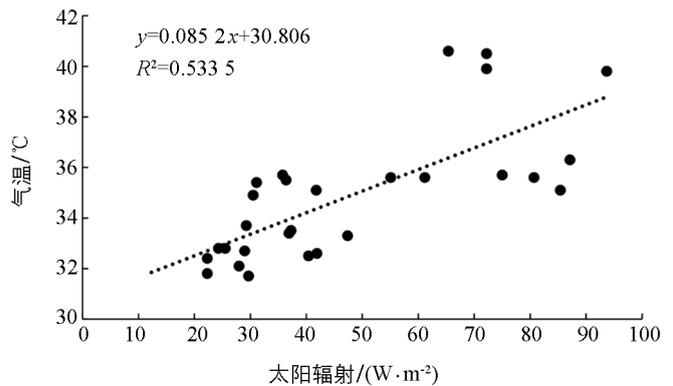


图 5 鹅公岩漫步公园与北碚滨江公园桥面投影测点太阳辐射值与气温的线性回归关系

同属于滨江公园, 北碚滨江公园的桥面投影测点的相对湿度显著高于九龙外滩公园的大部分测点; 同属于桥下公园, 鹅公岩漫步公园与北碚滨江公园各测点的相对湿度无显著性差异, 但桥面投影测点的相对湿度较其余测点略高。总体而言, 两个滨江公园的各测点平均风速较鹅公岩漫步公园略高, 但多数测点间风速差异不显著。

两桥下公园桥面投影测点与非桥面投影测点间的 PET 均值最大差分别达 10.3℃和 11.4℃。根据热舒适指标与热感觉的关系^[27], 两桥下公园 7 处桥面投影测点和美人梅休息平台的热感觉属于温暖范畴($23\text{℃}<PET<35\text{℃}$), 相对舒适; 三公园中, 健身区、林荫区、娱乐广场和正码头广场属于热的范畴($35\text{℃}<PET<41\text{℃}$); 其余测点包括无遮挡的空地、广场、草坪和儿童活动场地, 均属十分热的范畴($PET>41\text{℃}$)。林荫区的 PET 均值显著低于除 7 处桥面投影和美人梅休息平台外的其余测点。

表 4 7 月 30 日 3 个公园白天各测点小气候

测点		平均太阳辐射/ (W · m ⁻²)	平均气温/ ℃	平均相对湿度/ %	平均风速/ (m · s ⁻¹)	PET 均值/ ℃
九龙外滩公园	健身区	216.6±74.2bc	37.9±3.0ab	53.5±8.9abcd	0.2±0.2b	39.8±2.7ab
	儿童活动区	284.3±76.0ab	38.4±2.9a	49.1±8.4bcd	0.3±0.2ab	42.6±2.5a
	大草坪	257.7±85.4ab	38.7±2.9a	48.0±9.1cd	0.4±0.3ab	42.3±2.6ab
	大广场(CK)	282.2±44.1ab	39.3±3.2a	46.8±8.9d	0.2±0.3ab	43.4±2.8a
	林荫区	104.9±17.8de	36.6±2.5abc	51.7±7.3abcd	0.4±0.3ab	35.7±2.9cd
鹅公岩漫步公园	空地(CK)	232.6±93.3ab	38.5±2.5a	56.1±7.8abcd	0.2±0.2ab	41.2±2.5ab
	主入口平台	31.3±10.2e	34.5±1.9c	58.2±6.0ab	0.2±0.3b	30.9±1.8e
	中位平台	31.2±12.2e	34.3±1.7c	58.7±6.9ab	0.2±0.2b	31.1±1.8e
	东入口平台	30.2±10.1e	34.2±1.6c	59.1±5.4ab	0.2±0.2ab	30.9±1.6e
	娱乐广场	145.3±83.8cd	38.2±3.0a	55.8±6.1abcd	0.5±0.4a	38.5±4.3bc
	美人梅休息平台	87.6±92.2de	34.9±0.9bc	57.4±4.2abc	0.4±0.2ab	33.3±1.7de
北碚滨江公园	正码头广场(CK)	219.4±64.5abc	37.9±2.9ab	58.7±9.1ab	0.4±0.2ab	40.1±3.9ab
	儿童沙坑	300.1±155.0a	38.8±3.4a	57.8±9.0ab	0.2±0.2ab	43.4±7.3a
	桥下休憩区	70.2±34.5de	35.0±2.3bc	58.4±9.4ab	0.5±0.2ab	33.4±3.1de
	桥下滨河区	63.4±29.6e	34.2±2.4c	60.1±9.0a	0.4±0.3ab	32.3±2.9de
	桥下休息区	58.3±58.3e	34.0±2.1c	60.6±9.3a	0.5±0.2ab	32.0±3.3de
	桥下健身区	60.8±21.0e	34.4±2.3c	61.0±7.2a	0.5±0.4ab	32.3±2.6de

注: 小气候因子以平均值±标准误(Mean±S. D.)表示; 同一列数据不同字母表示不同测点某小气候因子间差异显著(Duncan 多重比较, $p < 0.05$).

2.5 观察与调研问卷分析

3 个公园的受访者在年龄组成上有差异(图 6). 鹅公岩漫步公园受访的多为 60 岁以上的老年人(39.5%)及 36~59 岁的中年人(37.0%); 九龙外滩公园则以中年人占比最高(42.9%), 其次为 19~35 岁的青年人, 占比 27.8%; 北碚滨江公园 4 个年龄段的人数相对平均, 中年人占比稍高(32.3%).

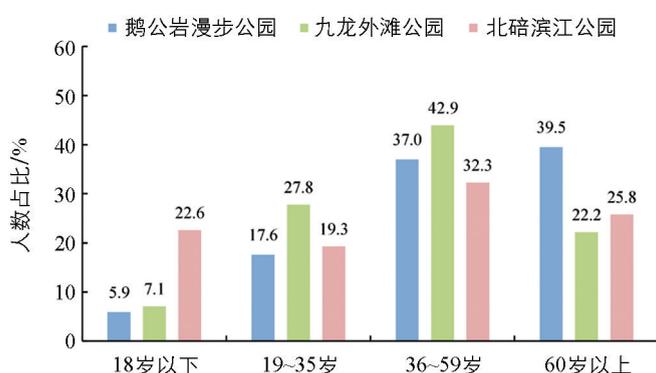


图 7 显示, 在 7 月 30 日, 以北碚滨江公园全天的游憩总人数最多, 晚上甚至达 269

人; 但 8 月 3 日很可能由于天气更炎热, 北碚滨江公园使用总人数骤减, 下午仅有不到 10 人停留. 工作日, 鹅公岩漫步公园以气温较低的上半和晚上停留的游人较多; 而九龙外滩公园白天太阳辐射强度大, 气温高, 多数场地人体感觉十分炎热, 上下午均不足 10 人停留, 晚上游憩人数猛增至 117 人. 休息日, 鹅公岩漫步公园上午停留人数达 162 人, 下午和晚上下降超过 50%; 九龙外滩公园休息日呈现上午游人较工作日多, 下午锐减, 晚上激增的趋势.

3 个公园的停留人数与公园内各场地全天的平均气温、PET 均值呈极显著负相关, 分别与平均太阳辐

射和相对湿度呈显著负相关、正相关,与平均风速不相关(表 6),证明夏季气温越低、热舒适程度越高,来公园游玩的人越多。

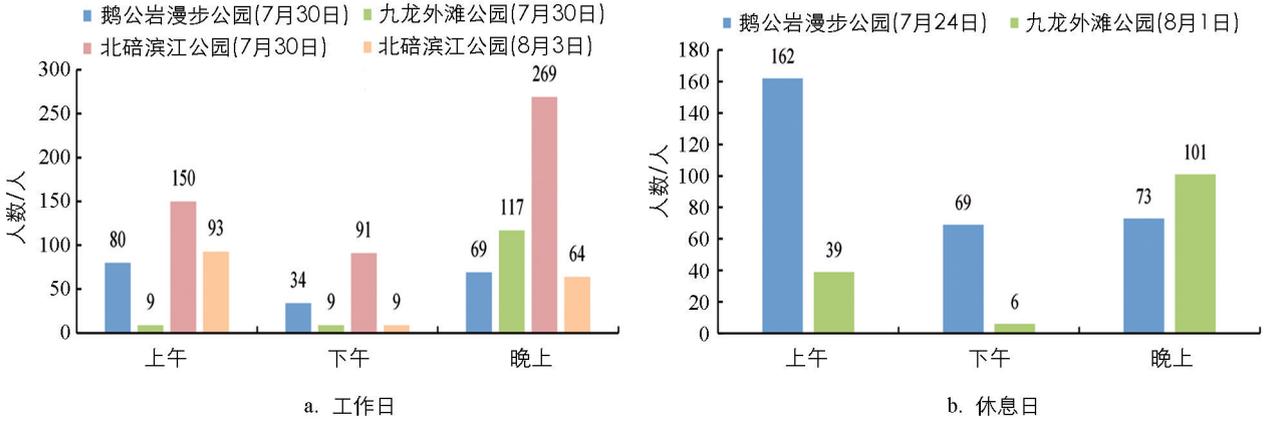


图 7 公园停留人数

表 6 公园停留人数与公园全天小气候因子的相关性

	平均太阳辐射	平均气温	平均相对湿度	平均风速	PET 均值
公园停留人数	-0.575*	-0.687**	0.722*	-0.168	-0.827**

注: * 表示 $p < 0.05$ 水平显著相关; ** 表示 $p < 0.01$ 水平显著相关。

图 8 显示,鹅公岩漫步公园中,以休憩为目的的游人为主,占比 29.4%,其次为穿越公园(路过)的游人,再次为亲子与锻炼的游人.由于九龙外滩公园健身与儿童活动设施较多,故以使用运动器械、散步、跳广场舞等锻炼为目的的游人为主,其次为亲子及游赏江景的游人.北碚滨江公园因桥下场地休憩与运动设施丰富,故其以休憩和锻炼为主要目的的游人最多,其次为放风筝、唱歌、棋牌等娱乐活动的游人.分别有逾四成和逾半数的游人认为鹅公岩漫步公园和北碚滨江公园的小气候环境较舒适,而逾半数游人评价九龙外滩公园极不舒适(图 9)。

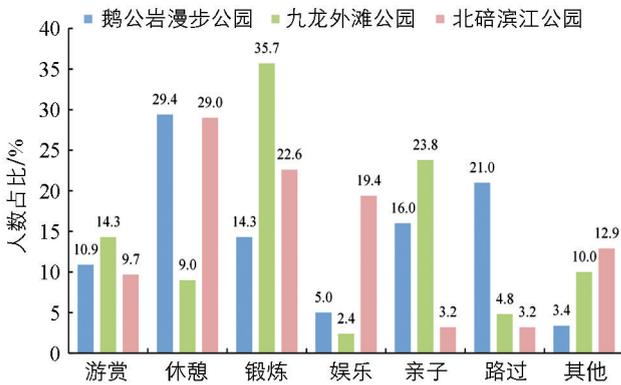


图 8 游人到访目的

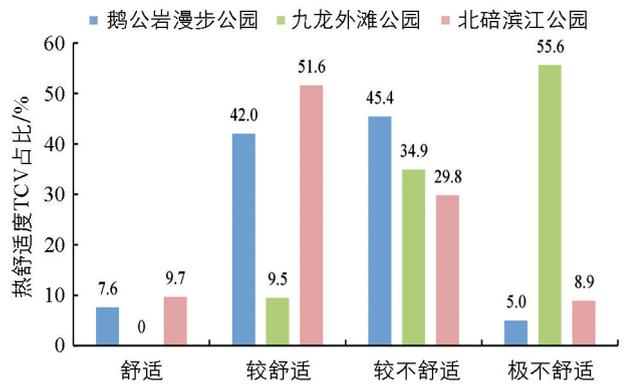


图 9 热舒适度投票占比

3 个公园游人的夏季环境偏好相似(图 10),较喜欢在多风、湿润、阴影、人少的环境中活动.图 11 显示,鹅公岩漫步公园与北碚滨江公园的游人倾向于增加喷雾、水景或花草以调节热舒适度.九龙外滩公园的游人倾向于增加亭或廊、喷雾、乔木或花草来改善热舒适度。

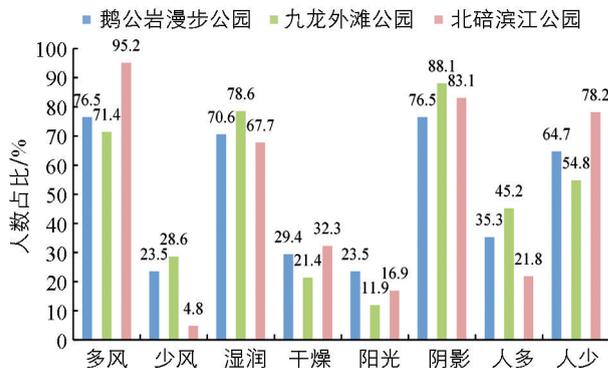


图 10 游人夏季环境偏好

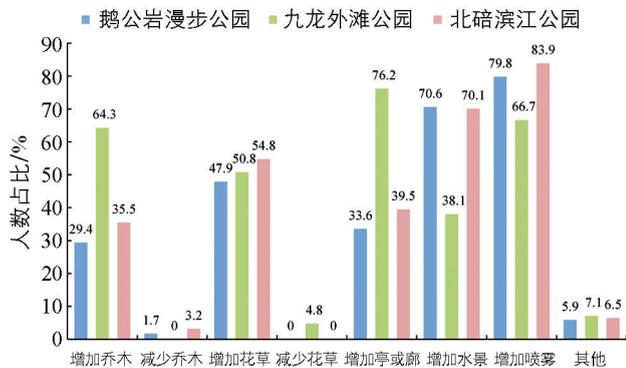


图 11 游人改善场地热舒适度的建议

3 讨论与建议

上述研究表明,重庆市夏季公园的游人数量随气温的增加而减少,气温影响游人的游园意愿.夏季3个公园中,白天两个桥下公园的气温相对较低(8月3日的北碚滨江公园下午除外),游人较多;无桥面遮挡的九龙外滩公园多数场地白天曝露于阳光下,除林荫区外所有测点均高于 35°C ,故游人较少;8月3日下午北碚滨江公园由于所有测点气温高(桥下投影测点最低温为 39.8°C),游人不超10人.故降温是提高重庆夏季公园使用率的关键.

桥面投影测点的相对湿度均较高,应是桥面形成隔离层,阻止了水汽扩散、空气与外界交换以致湿度增加,但白天均未大于70%的高气湿临界值,说明桥面投影区域能一定程度增湿.一般认为,大面积水体储热能力强,不易增温,能加快空气流动,调节小气候^[2, 28].副热带高压控制下的重庆主城区夏季酷热,原本较低的风力再被山城地形和高层建筑削弱,导致滨江公园场地的风速低,难以促进汗液的蒸发,人体降温困难.

三处公园中,无遮挡的广场、草坪等场地的PET均值皆较高,部分或全部下垫面为细沙的儿童活动区和儿童沙坑,下午PET均值均超出“十分热”的临界值,甚至达 51.4°C ,应是其下垫面为细沙,比热容较小故升温较快的缘故.林荫区的PET均值显著低于无遮挡的所有测点.研究表明,植物通过吸收和反射太阳辐射、蒸腾作用等以影响周围热环境^[29],同等覆盖面积下,乔木改善热环境的效果最好,人体热舒适较高^[25, 30],灌木其次,草坪最差^[31].故建议活动场地在满足活动必须的硬质铺地外,夏季可通过提供多种冷却因素以营造热舒适度适宜的空间,如利用或改造地形,增植乔木,增设亭廊、花架等构筑物进行遮阳,设置水景或喷雾设施吸收环境热量等以提升热舒适度,增加公园全天候游人数量.

桥面投影测点和65%位于桥面投影区的美人梅休息平台的热舒适度高于林荫下环境,显著高于草坪和铺装等无遮挡场地,且随着投影程度的增加热舒适度提高,表明桥面投影区域能显著提升热舒适度,桥面能显著影响夏季户外环境小气候,故白天两个桥下公园的游人较多.因此,桥下公园可一定程度提升交通节点的综合价值.

九龙外滩公园健身区及儿童活动区安装了运动设施与儿童活动设施,有既定的功能,部分健身或亲子的游人表示若鹅公岩漫步公园桥面投影区域增设运动器械(现缺乏),夏季白天其更乐意到此活动.而北碚滨江公园的桥面投影区域有较多场地及运动设施,场地的热舒适较适宜且供活动内容更丰富,成为其7月30日游人量大于其他两个公园的原因.可见,灵活运用桥面遮阳降温的功能设置健身活动或儿童游乐场地,摆放相应设施,夏季可提高桥下空间的使用率.晚上鹅公岩漫步公园与九龙外滩公园的气温相近,较白天降低,而北碚滨江公园由于离市中心较远、热岛效应较低等因素,晚上降温幅度更大.游人可在两个滨江公园从事鹅公岩漫步公园没有条件进行的器械健身、赏滨江夜景、儿童游玩等活动,而鹅公岩漫步公园由于活动内容受限,故游人相对较少.

游人希望场地中人数少,符合“心静自然凉”的心理,与张德顺等^[28]的研究结果一致。访谈得知,多数游人意识到两个桥下公园上部的桥体起到遮阳降温作用,故不需多增加亭或廊以改善场地热舒适度;多数游人喜欢湿润的环境,希望增加水景或喷雾设施以提高夏季空气湿度,发挥水的蒸发吸热作用,但其忽略了在相对湿度高于70%的环境下,人体汗液不易蒸发,产生闷热感,使得热舒适度降低^[32];此外,增加花草可通过视觉作用于心理上让游人感觉清凉,但多数人忽略了增植花草会对桥下的通风环境造成影响。

4 结语

本文对重庆市滨江公园和桥下公园不同类型场地进行夏季小气候实测并对比各场地人体热舒适度,调查游人的游园特征、实际热感受、环境偏好与改善场地热舒适度的建议等,以探讨不同类型场地对人体热舒适度的影响,提出提升山地城市公园场地的热舒适度的策略和建议,以期提高公园的全天使用率,助力重庆市打造高品质生活宜居地。结果表明夏季桥下公园较滨江公园舒适,在今后的规划建设中应多利用桥下空间,优化滨江公园空间,为山地城市提供更多更好的休憩环境。

本文在有限的时间和场地对滨江公园和桥下公园进行小气候测量研究存在一定的局限性。在后续研究中,需进一步量化各因素对重庆桥下公园小气候的影响,如滨江公园所处的生态廊道、不同河谷形态类型、驳岸层级与周边建筑布局等,或立交桥的跨越形式、桥体走向及桥下净空的高宽比等因素,为山地城市公园小气候的适应性设计提供理论参考。

参考文献:

- [1] 王庆,李萌,李相逸.基于小气候人体舒适度的社区公园健身设施场地景观设计研究[J].中国园林,2021,37(8):68-73.
- [2] 庄晓林,段玉侠,金荷仙.城市风景园林小气候研究进展[J].中国园林,2017,33(4):23-28.
- [3] 侯榭婧,赵晓龙,张波.集体晨练运动与城市公园空间组织特征显著性研究——以哈尔滨市四个城市公园为例[J].风景园林,2017,24(2):109-116.
- [4] ELIASSON I. The Use of Climate Knowledge in Urban Planning [J]. Landscape and Urban Planning, 2000, 48(1/2): 31-44.
- [5] 张德顺,王振.高密度地区广场冠层小气候效应及人体热舒适度研究——以上海创智天地广场为例[J].中国园林,2017,33(4):18-22.
- [6] 张云路,李雄.人居更新、绿色引领:融入风景园林学科的城市更新目标与路径[J].风景园林,2021,28(9):42-46.
- [7] PERINI K, MAGLIOCCO A. Effects of Vegetation, Urban Density, Building Height, and Atmospheric Conditions on Local Temperatures and Thermal Comfort [J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2014, 13(3): 495-506.
- [8] LEE H, MAYER H, CHEN L. Contribution of Trees and Grasslands to the Mitigation of Human Heat Stress in a Residential District of Freiburg, Southwest Germany [J]. Landscape and Urban Planning, 2016, 148: 37-50.
- [9] 刘滨谊,彭旭路.上海南京东路热舒适分析与评价[J].风景园林,2019,26(4):83-88.
- [10] 王晶懋,刘晖,宋菲菲,等.基于场地生境营造的城市风景园林小气候研究[J].中国园林,2018,34(2):18-23.
- [11] 玄明君,王鼎震,孙彦坤.哈尔滨市郊八月不同下垫面人体舒适度指数日变化特征[J].东北农业大学学报,2011,42(5):104-109.
- [12] 晏海,王雪,董丽.华北树木群落夏季微气候特征及其对人体舒适度的影响[J].北京林业大学学报,2012,34(5):57-63.
- [13] 刘滨谊,黄弥儿.城市景观带风景园林要素配比与小气候舒适度的相关性研究——以上海世博公园和陆家嘴滨江带为例[C]//刘滨谊.风景园林与小气候:中国第二届风景园林与小气候国际研讨会论文集.北京:中国建筑工业出版社,2021:227-252.
- [14] 刘滨谊,张德顺,张琳,等.上海城市开敞空间小气候适应性设计基础调查研究[J].中国园林,2014,30(12):17-22.

- [15] 殷利华, 万敏. 武汉城区高架桥桥阴绿地光环境特征及绿化建议 [J]. 中国园林, 2014, 30(9): 79-83.
- [16] 刘燕珍, 陈琳, 许志敏, 等. 福州高架桥下植物景观空间微气候舒适度评价 [J]. 中国城市林业, 2020, 18(2): 46-50, 100.
- [17] 杨溟望, 杜钦, 王咏薇, 等. 重庆市 1959~2018 年夏季高温热浪及湿度影响特征分析 [J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(10): 2492-2501.
- [18] 栾桂杰, 殷鹏, 王黎君, 等. 中国多个城市居民死亡与夏季高温的相关性研究 [J]. 中华流行病学杂志, 2019, 40(1): 59-63.
- [19] 毛泳, 王勇. 近 30 年来重庆极端高温变化特征及其趋势分析 [J]. 科技通报, 2019, 35(4): 60-68.
- [20] 骆畅, 李相逸, 李淙钰. 基于生态系统服务价值评估的山地城市绿色空间规划策略——以重庆市主城区为例 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2021, 43(5): 195-204.
- [21] 王尧瑶, 周建华, 陈琴. 自然因素对重庆园林的影响 [J]. 西南师范大学学报(自然科学版), 2018, 43(3): 110-115.
- [22] 申晓佳. 重庆将打造 138 公里嘉陵滨江生态长廊——自北碚合川交界处到朝天门规划有 122 公里滨江步道 [N]. 重庆日报, 2021-12-03(1).
- [23] 卢峰. 重庆该如何建设山地生态宜居城市 [N]. 重庆日报, 2019-07-30(6).
- [24] 林坚, 叶子君, 杨红. 存量规划时代城镇低效用地再开发的思考 [J]. 中国土地科学, 2019, 33(9): 1-8.
- [25] LIN T P. Thermal Perception, Adaptation and Attendance in a Public Square in Hot and Humid Regions [J]. Building and Environment, 2009, 44(10): 2017-2026.
- [26] 郭晓晖, 包志毅, 吴凡, 等. 街道可视因子对夏季午后城市街道峡谷微气候和热舒适度的影响研究 [J]. 中国园林, 2021, 37(9): 71-76.
- [27] 刘滨谊, 魏冬雪, 李凌舒. 上海国歌广场热舒适研究 [J]. 中国园林, 2017, 33(4): 5-11.
- [28] 张德顺, 丽莎·萨贝拉, 王振, 等. 上海 3 个公园园林小气候的人体舒适度测析 [J]. 风景园林, 2018, 25(8): 97-100.
- [29] SHASHUA-BAR L, HOFFMAN M E. Quantitative Evaluation of Passive Cooling of the UCL Microclimate in Hot Regions in Summer, Case Study: Urban Streets and Courtyards with Trees [J]. Building and Environment, 2004, 39(9): 1087-1099.
- [30] 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: 110-118.
- [31] 杜万光, 王成, 包红光, 等. 夏季典型天气下公园绿地小气候环境及对人体舒适度的影响 [J]. 生态与农村环境学报, 2017, 33(4): 349-356.
- [32] MARTINELLI L, LIN T P, MATZARAKIS A. Assessment of the Influence of Daily Shadings Pattern on Human Thermal Comfort and Attendance in Rome during Summer Period [J]. Building and Environment, 2015, 92: 30-38.

责任编辑 任剑乔