景观要素对社区公园儿童活动空间夏季热环境的影响*

欧阳金龙 杨昕宜 高庆龙

四川大学建筑与环境学院 成都 610065

摘要：社区公园儿童活动空间是儿童户外活动的重要场所，但在炎热夏季其使用率普遍较低。针对这一问题，以成都市云朵乐园为例，通过实地热环境参数测试、表面温度测试、问卷访谈、儿童时空分布观察，探究景观要素对社区公园儿童活动空间夏季热环境的影响。结果表明：1）遮荫度较高（即遮荫度 63%～86%）的乔木更能降低气温及黑球温度，遮荫度适中（即遮荫度 35%～51%）的景观构筑物对相对湿度影响较小，靠近水体与盛行风向一侧及植物、景墙和建筑围合度低的空间风速更大，景观要素遮荫及水体营造能降低材料表面温度，自然材料、浅色材料热风险较低；2）遮荫度较高的乔木更能遮挡太阳辐射、改善热舒适度，但当气温大于 38 ℃时，相对湿度是影响热舒适度的主要参数，此时需避免景观要素过度增湿；3）儿童的时间选择偏好受监护人影响，空间选择偏好具互动性景观要素的遮荫空间，并与气温、黑球温度、热舒适度关系较大。因此，近水设置遮荫度适中的景观构筑物、远水设置遮荫度较高的落叶乔木、增设具互动性设施的遮荫空间、增设低矮植物及水景、减少景观要素围合度高的空间、选择热风险低的景观要素材料等方法可改善社区公园儿童活动空间热环境，提高儿童户外活动热舒适度。

关键词：热舒适度；表面温度；户外活动；优化设计；社区公园

DOI：10.12169/zgcsly.2024.07.06.0001

Impact of Landscape Elements on Summer Thermal Environment at Children's Play Spaces in Community Park

Ouyang Jinlong Yang Xinyi Gao Qinglong

(College of Architecture and Environment, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: Children's play spaces in community parks are important places for outdoor activities, but their usage rate is generally low during the hot summer months. To address this issue, a case study is conducted at Yun Duo Park in Chengdu. Through field measurements of thermal environmental parameters, surface temperature measurement, questionnaire surveys, and observations of children's spatiotemporal distribution, the study explores the impact of landscape elements on the summer thermal environment at children's play spaces in community parks. The results indicate that: 1) Trees with higher shading (i. e., shading degree at 63% - 86%) are more effective in reducing air temperature and black globe temperature. Landscape structures with moderate shading (i. e., shading degree at 35% - 51%) have less impact on relative humidity. Spaces closed to water bodies, in prevailing wind directions and with lower plant density, landscape walls, and building enclosures tend to have higher wind speeds. Shading from landscape elements and the presence of water bodies can lower surface temperatures of materials, and the natural and light-colored materials have lower thermal risks; 2) Trees with higher shading are more effective at blocking solar radiation and improving thermal comfort. However, when the air temperature exceeds 38 ℃, relative humidity becomes the main factor affecting thermal comfort. At this point, excessive humidity should be

收稿日期：2024-07-06

* 基金项目：国家重点研发计划项目（2022YFC3802704）

第一作者：欧阳金龙（1976- ），男，博士，教授，研究方向为城市与建筑物理环境。E-mail：ow761202@scu.edu.cn

通信作者：高庆龙（1978- ），男，博士，教授，研究方向为建筑环境与节能。E-mail：gao3066@163.com

avoided for landscape elements; and 3) Children have their time preferences influenced by their guardians, and the shaded areas with interactive landscape elements are their spatial preferences. These preferences are strongly related to air temperature, black globe temperature, and thermal comfort. Hence, the ways for improving the thermal environment of children's play spaces in community parks and the thermal comfort of children's outdoor activities include placing landscape structures with moderate shading near water bodies, using deciduous trees with higher shading away from water bodies, adding shaded spaces with interactive facilities, incorporating low plants and water landscape, reducing the spaces with high landscape closure, and selecting materials with lower thermal risks.

Keywords: thermal comfort; surface temperature; outdoor activities; optimal design; community park

在“儿童友好城市”建设背景下[1]，儿童因其年龄和安全等因素，出行面临诸多限制，社区公园作为周边居民便捷的活动空间[2]，成为儿童日常户外活动、接触自然、增强体质并促进心理健康[3-4]的重要场所。然而，全球变暖加剧城市热环境恶化[5]，高温频发使社区公园儿童活动空间使用率降低，调研发现在成都的夏季，儿童户外活动局限于特定时间或空间，如清晨或傍晚的树荫下、可遮荫的廊架下等。同时，夏季不舒适的室外热环境会减少儿童户外活动的机会，增加其中暑、晒伤及呼吸道疾病风险[6]。儿童与成年人不同，其免疫系统未成熟，对恶劣环境抵抗力弱，气候变化下健康风险更高[7]。因此，研究成都社区公园儿童活动区夏季热环境及儿童热舒适很有必要。

目前学者多关注校园空间[8]、居住区儿童游戏场[9]、综合公园儿童活动区[10]的热环境，并围绕儿童空间环境偏好[11-12]、身心健康及交往需求[13]、场地安全性[14]、环境友好度评价[15]等因素，研究并提出优化社区公园的建议，以更好地服务儿童。虽然已有学者关注景观要素对社区公园热环境的影响[16]，但较少从儿童使用社区公园的角度，研究社区公园中儿童活动区内专为儿童设计的景观要素对热环境的影响，且较少以影响儿童热安全的材料表面温度评估热环境，并将分析结果转换为优化实地空间的建议。

因此，针对炎热夏季社区公园利用率低的问题，如空间使用局限于某些区域[16]、空间使用频率与时长较低[10]等，以夏热冬冷地区的成都市云朵乐园为例，通过实地热环境参数测试、表面温度测试、问卷访谈、儿童时空分布观察，探究景观要素对社区公园儿童活动空间热环境的影响，思考如何优化景观要素改善热环境及儿童热舒适度，拓展儿童在社区公园的活动空间并延长其活动时间，提高社区公园儿童活动空间的夏季使用率，同时不影响其冬季使用率。

1　研究区概况

四川省成都市属亚热带季风性湿润气候，夏季闷热冬季湿冷，是典型的夏热冬冷城市。云朵乐园约 25 000 m^2，紧邻市政道路与麓湖，是麓湖生态城 3 个社区公园之一[17]，其周边多为居住区，虽距市中心约 20 km，但距地铁站仅需步行约 1 km，因此周边居民、市区内大众及外来游客在下班时间或休息日喜爱前往游玩，其整体使用人群基数较大[18]，同时其位于成都市未来城市新中心——天府新区，未来将受到更多欢迎。该公园是由上海张唐景观设计有限公司设计的亲自然儿童专类游乐场地，园内景观丰富并具充足的儿童活动空间，受大多数家长及儿童的青睐，但某些空间在炎热夏季使用率较低，因此该公园是研究景观要素对社区公园儿童活动空间夏季热环境影响的理想场所。

2　研究方法

2.1　测点布置及特征

为覆盖公园内多元的景观要素，兼顾不同类型的活动空间与架设热环境测试仪器的可行性，在公园内布置了 8 个测点（图 1）。

按照测点内的植物、水体、景观构筑物 3 类景观要素，将儿童空间分为 5 类（图 2），并测量每个空间景观要素的遮荫度，遮荫度是指场地被遮荫面积占场地总面积的比值。因植物遮荫呈现出不规则的树荫无法精准测量，故在测量时采用

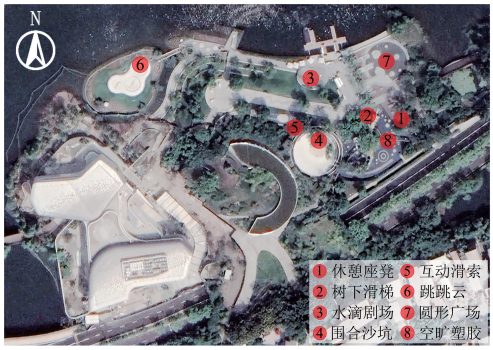


图 1 云朵乐园测点分布

样点法[19]，在场地中平均布点，在每个区域每隔 50 cm 布置 1 个样点，均匀布满整个样地，观测记录每个样点是否被阴影覆盖，通过计算被阴影遮盖的样点数与总样点数的比值表示该场地的遮荫度。经实地测量，一天中同一场地遮荫度会变化，因此，在 9：00、12：00、15：00 和 18：00 时分别测量每个样地的遮荫度，得出每个区域景观要素遮荫度的范围[20]。各空间特征如下：

Ⅰ区：有遮荫度 63%~86%（即遮荫度较高）的乔木，远水（距水体约 40 m）；

Ⅱ区：有遮荫度 35%~51%（即遮荫度适中）的景观构筑物，近水（距水体约 10 m）；

Ⅲ区：有遮荫度 1%~17%（即遮荫度较低）的乔木，远水（距水体约 40 m）；

Ⅳ区：无遮荫，近水（距水体约 10 m）；

Ⅴ区：无遮荫，远水（距水体约 45 m）。

各空间均有不同材料的景观小品与地面铺装。



图 2 5 类活动空间测点实景及特征

2.2 实地热环境参数测试

合理的景观要素设计可改善热环境[21]，避免恶劣热环境危害儿童身心健康。为分析景观要素对热环境参数的影响，用 JT2180 环境舒适度测试仪（图 3）在成都夏季典型气候日 2023 年 8 月 21 日 9：00—19：00 实地测试热环境参数，测量 8 个测点的空气温度、黑球温度、相对湿度和风速，每间隔 2 h 测量一轮。仪器布置在儿童室外站立或走动状态高度，即距地面 1.1 m 高处。



图 3 JT2180 环境舒适度测试仪

2.3 实地表面温度测试

儿童游玩时会触摸、坐卧于各种景观要素，或跑掉鞋子接触高温地面，为降低热风险，需在关键设施上采用合适材料或提供遮荫。物体与空气发生热交换，高表面温度材料会加热空气，因此，热环境评价还需准确评估材料的表面温度。为分析景观要素对表面温度的影响，在热环境参数测试当天用 Testo 890 热成像仪（图 4）获取儿童游玩时可能碰触超过 5 s 的景观要素表面温度，每间隔 1 h 测量一轮。



图 4 Testo890 热成像仪

2.4 热舒适度评价

为分析景观要素对热舒适度的影响，选取近年来室外热舒适研究中被广泛应用的热气候指数（universal thermal climate index，UTCI）评价热舒适度[22]，基础公式如下：

$$UTCI = T_a + O_{ffser}(T_a, T_{mrt}, v_a, RH) \quad (1)$$

式（1）中：O_{ffset}为温度偏差（℃）；T_a为空气温度（℃）；T_{mrt}为平均辐射温度（℃）；v_a为风速（m/s）；RH 为相对湿度（%）。

UTCI 指数可评估人体所承受的热胁迫值[9]，在预测动态热舒适的案例中，其相较于其他生物气象指数有更高的准确性[23]，且可应用于所有天

气、季节和空间尺度[24]。已有学者[7]表明 UTCI 可以用于评价儿童热舒适。但通用的 UTCI 评价标准是基于成年人试验测定的，儿童与成人间代谢率存在差异，因此需使用修正后的夏热冬冷地区儿童的 UTCI 评价标准[25]，使其适用于儿童群体，修正后的儿童 UTCI 评价标准与成人 UTCI 评价标准的差异如表 1 所示。

表 1　修正后的儿童 UTCI 评价标准与成人 UTCI 评价标准差异（夏季）　℃

UTCI 热应力等级	UTCI 舒适度等级	成人 UTCI 范围	儿童 UTCI 范围
极强热应力	极热,不舒适	≥46	>77.1
很强热应力	很热,不舒适	38~46	63.8~77.1
强热应力	热,不舒适	32~38	50.5~63.8
较强热应力	较热,不舒适	26~32	23.8~50.5
无热应力	舒适	9~26	10.5~23.8

2.5　问卷访谈及儿童时空分布观察

为分析儿童对热环境的感受，在热环境参数测试当天对场地内儿童进行问卷访谈。问卷内容包括：受访儿童基本信息及其对正在游玩空间的热环境感受。受访儿童年龄为 2~12 岁，在同一空间内活动超过 10 min，40 名男生、36 名女生，故问卷样本具代表性。对受访儿童的提问内容主要包括其对所处空间的热舒适度、热感觉、对热环境参数的变化期望。考虑儿童理解能力，采用四级量表调查热感觉，采用三级量表调查其对热舒适度、热环境参数的变化期望，并用通俗易懂的语言提问。

为分析热环境对儿童活动分布的影响，每间隔 2 h 对各测点停留 10 min 以上的儿童数量作统计，并计算各测点平均儿童数量。

3　结果与分析

3.1　各空间实测热环境参数特征

由图 5 可知，在降低空气温度和黑球温度的程度上，各景观要素表现为遮荫度较高的乔木>遮荫度适中的景观构筑物>遮荫度较低的乔木>水体；遮荫度适中的景观构筑物对相对湿度影响较小；靠近水体与盛行风向一侧及植物、景墙和建筑围合度低的空间风速更大。

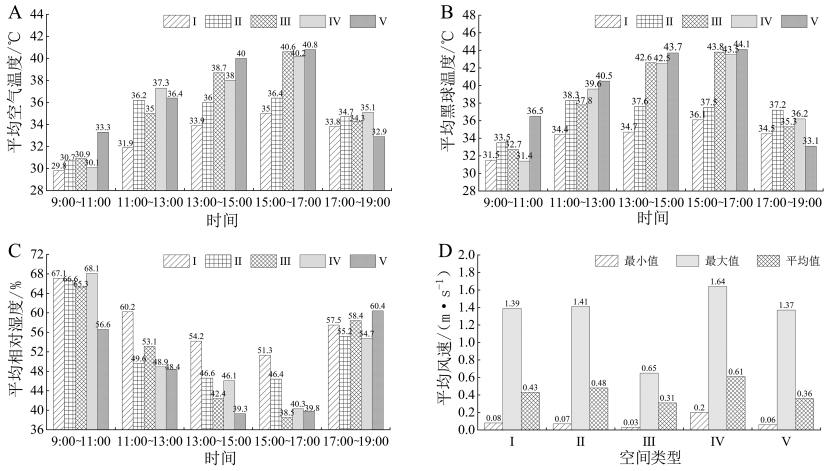


图 5　5 类空间热环境参数的时空变化

通过整体比较所有空间可知，Ⅰ和Ⅱ区的空气温度与黑球温度较低（图 5A、5B），相对湿度较高（图 5C），因为空间内遮荫度 63%~86%的乔木及遮荫度 35%~51%的景观构筑物遮挡太阳辐射；Ⅱ和Ⅳ区风速较大（图 5D），因当天盛行西北风，近西北侧的近水空间较开敞，且水面摩擦力较小，空气流动较顺畅。

通过比较与水体等距的Ⅰ、Ⅲ和Ⅴ区及Ⅱ和Ⅳ区可知，遮荫度 63%~86%的乔木更能降低空气温度和黑球温度，使空气温度降低 3.5~6.1 ℃、使黑球温度降低 5~9 ℃（图 5A、5B），其次是遮荫度 35%~51%的景观构筑物；对相对湿度影响最小的是遮荫度 35%~51%的景观构筑物，仅使相对湿度增加了 0.5%~6.1%（图 5C）；Ⅰ、Ⅲ和Ⅴ区风速均较小（图 5D），因为Ⅰ区乔木较多，Ⅲ区南侧建筑围合度高，Ⅴ区南侧植物、景墙围合度高。

通过比较均无遮荫的Ⅳ和Ⅴ区可知，水体可使空气温度降低 0.6~3.2 ℃、使黑球温度降低 0.6~5.1 ℃（图 5A、5B），使相对湿度增加

0.5%~11.5%（图 5C）。

值得注意的是，13：00—17：00 Ⅲ区空气温度及黑球温度较Ⅳ区高，而其他时段较Ⅳ区低（图 5A、5B），因为 13：00—17：00 时Ⅲ区旁乔木未形成遮荫，其他时段乔木形成一定程度遮荫，说明可形成遮荫的乔木比水体降温效果好。

3.2 各空间材料表面温度特征

由表 2 可知，景观要素遮荫及水体营造能降低材料表面温度，自然材料、浅色材料的热风险较低，而浅色不锈钢（特别是氧化不锈钢）、深色塑胶在遮荫空间热风险较低。

通过分析与水体等距的Ⅰ、Ⅲ和Ⅴ区可知，相同材料表面温度表现为Ⅰ区<Ⅲ区<Ⅴ区，说明遮荫度较高的乔木更能降低材料表面温度，对不锈钢表面温度降低效果最明显，可降低 48 ℃；通过分析均无遮荫的Ⅳ和Ⅴ区可知，Ⅳ区塑胶表面温度小于Ⅴ区，说明近水材料表面温度低。

通过分析远水有遮荫的Ⅰ和Ⅲ区可知，植物、石材表面温度较低，塑胶、不锈钢表面温度较高；分析近水有遮荫的Ⅱ区，可知木材表面温度较低，且氧化不锈钢表面温度较抛光不锈钢低；分析近水无遮荫的Ⅳ区，可知植物、塑料表面温度相对较低，塑胶表面温度最高。通过分析远水无遮荫的Ⅴ区可知，木材表面温度较低，不锈钢表面温度最高，且热风险较大；分别分析Ⅰ区和Ⅳ区中的石材，可知浅色材料表面温度较深色低 0.5~2.2 ℃。

表 2 5 类空间儿童可接触景观要素平均表面温度 ℃

材料种类	Ⅰ区	Ⅱ区	Ⅲ区	Ⅳ区	Ⅴ区
浅色不锈钢（抛光）	滑梯 44.1	座凳 53.0	—	—	滑梯 92.1
浅色不锈钢（氧化）	—	构筑物 43.1	—	—	—
深色塑胶	铺装 35.9	—	铺装 51.5	铺装 51.0	铺装 57.2
浅色塑料	—	—	—	跳跳云 34.8	—
沙子	—	—	沙坑 45.8	—	—
深色木材	铺装 37.3	铺装 40.2	—	—	秋千 48.2
浅色石材	景墙 31.1	—	—	铺装 43.7	—
深色石材	座凳 33.3	—	—	座凳 44.2	—
浅色水磨石	—	—	滑坡 33.1	—	—
植物	灌木 31.0	—	灌木 32.9	地被 37.2	—

3.3 各空间热舒适度（UTCI）评价特征

由图 6 可知，云朵乐园儿童活动空间几乎处于较热不舒适的状态，在改善热舒适度的程度上，各景观要素表现为遮荫度较高的乔木>遮荫度适中的景观构筑物>遮荫度较低的乔木>水体，太阳辐射影响热舒适度，当空气温度大于 38 ℃时，相对湿度是影响热舒适度的主要参数。

通过整体比较所有空间可知，UTCI 变化趋势与黑球温度相似，随太阳辐射变化，Ⅰ区的 UTCI 最低，因为Ⅰ区遮荫度较高的乔木相对于其他空间可以遮挡大量太阳辐射，说明太阳辐射影响热舒适。

通过比较与水体等距的Ⅰ、Ⅲ和Ⅴ区，Ⅱ和Ⅳ区可知，遮荫度 63%~86%的乔木更能降低 UTCI，可使 UTCI 降低 4.3~7.1 ℃，其次是遮荫度 35%~51%的景观构筑物，可使 UTCI 降低 1.9~5.9 ℃。

通过比较均无遮荫的Ⅳ和Ⅴ区可知，水体可使 UTCI 降低 0.4~3.9 ℃。但在 13：00—17：00，Ⅴ区黑球温度大于Ⅳ区，UTCI 却小于Ⅳ区，因为该时间段Ⅴ区相对湿度小于Ⅳ区，该现象与“13：00—17：00 Ⅲ区黑球温度大于Ⅳ区，但Ⅲ区相对湿度小于Ⅳ区，所以 UTCI 小于Ⅳ区”相同，说明空气温度大于 38 ℃时，相对湿度是影响热舒适度的主要参数。

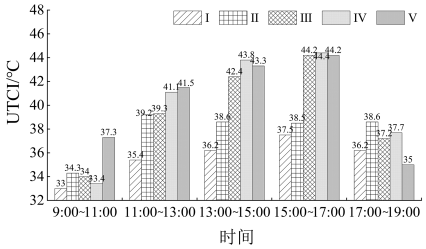


图 6 5 类空间热舒适度 UTCI 的变化

3.4 问卷访谈及儿童时空分布观察特征

3.4.1 问卷访谈结果

访谈对象为 2~12 岁的儿童，有效问卷 76 份，男生和女生分别为 40 和 36 人。68%儿童活动时感到“一般”舒适（图 7A），59%儿童觉得“有点热”（图 7B），超过 70%的儿童对高温、强太阳辐射和过低风速不满意（图 7C），表明云朵乐园热环境需改善。

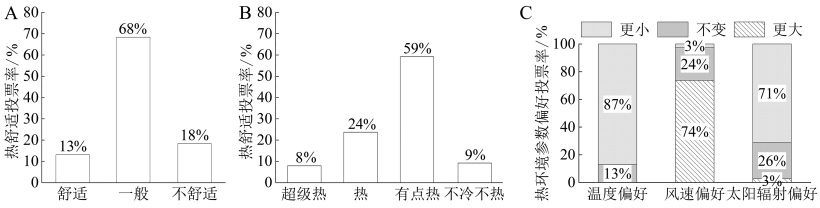


图 7　儿童热评价及热环境参数偏好投票结果

3.4.2　儿童时空分布

根据图 8，儿童受监护人影响，大多下午在户外活动；其空间选择偏好与空气温度、黑球温度、热舒适度关系较大，受相对湿度和风速影响较小，儿童喜欢具互动性景观要素的遮荫空间。

根据图 8A，13∶00—15∶00 儿童数量最少，这是因为该时段儿童大多在家午休，虽然云朵乐园热环境在 15∶00—17∶00 最不舒适，儿童活动数量却显著增加，表明监护人倾向在午休后带儿童前往社区公园。

通过比较与水体等距的Ⅰ、Ⅲ和Ⅴ区，Ⅱ和Ⅳ区（图 8A）可知，Ⅰ区最受儿童欢迎，这是因为该空间有遮荫度较高的乔木，空气温度、黑球温度较低，热环境最舒适；虽然Ⅳ区舒适度较差，但更受儿童欢迎，因为Ⅳ区游乐设施更丰富，Ⅱ和Ⅳ区儿童均较少，说明儿童对风速偏好不明显。

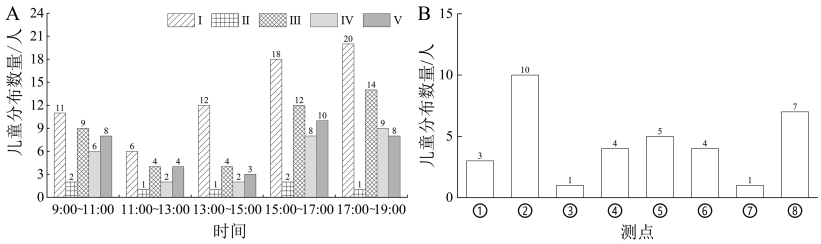


图 8　儿童时空分布

根据图 8A，儿童数量相近，说明儿童不喜爱无互动性的水体，并且对相对湿度感知不大。

由图 8B 可知，在Ⅰ区中，儿童偏好在测点②（树下滑梯）进行游玩，而非测点①（休憩座凳），因为测点②的游乐设施更具互动性；Ⅳ区中的测点⑥（跳跳云）因互动性更强，比测点⑦（圆形广场）更受儿童喜爱；但访谈发现，在测点⑦（圆形广场）水景池开放日，会形成浅水池，儿童又更喜爱在此处戏水；除此之外，虽然测点⑧（空旷塑胶）景观要素表面温度较高，但较多儿童在此处活动，因该空间有互动性强的滑梯及秋千。说明互动性景观要素会提高空间的使用率，同时要合理运用景观要素材料，避免对儿童造成热风险。

4　讨论

4.1　景观要素与热环境及材料表面温度

在降低空气温度和黑球温度的程度上，景观要素的表现与广东园林中景观要素的表现[26]相对一致，说明不同景观要素对热环境参数影响不同；遮荫度适中的景观构筑物比遮荫度较低的乔木更能降低气温及黑球温度，并且对相对湿度影响较小，这一结果为温湿度较高城市改善空间热环境提供了一个新思路；靠近水体与盛行风向一侧及植物、景墙和建筑围合度低的空间风速更大这一结果与天津综合公园研究结果[10]类似，说明合理布局景观要素可增大空间风速。景观要素遮荫及水体营造能降低材料表面温度这一结果与杭州道路铺装表面温度降低方式研究结果[5]类似，说明在使用热风险较高材料时，可适当进行遮荫或水体降温。“自然材料、浅色材料的热风险较低，而浅色不锈钢、深色塑胶在遮荫空间热风险较低”与西安[7]及广州[27]儿童公园的研究结果相对一致，说明需合理选择材料及搭配合适的景观要素，降低儿童活动空间热风险。

4.2　景观要素与热舒适度

云朵乐园儿童活动空间几乎处于较热不舒适的状态，68%儿童活动时感到一般舒适，由此结果推测大部分儿童游玩时过于投入导致热舒适敏感性较低，这与广州儿童热敏感度低于成年人[27]相对一

致，说明需从儿童角度改善热环境；与西安儿童问卷结果[7]对比，发现热环境参数投票基本一致，但热感觉投票中 26.3%的西安儿童觉得有点热，大部分处于“热”及“很热”的状态，与此次结果 59%儿童觉得有点热不一致，说明南方儿童相对于北方儿童更能忍受炎热；太阳辐射是影响热舒适度的关键因子已被反复证实[26]，此次也得出相同结论，但还发现当空气温度大于 38 ℃时，相对湿度是影响热舒适度的主要参数，与成都综合公园中 40 ℃时风速和相对湿度成为影响热舒适的关键性气候因子的结论[28]相对一致，说明在高温下，需控制乔木量及种植点，或设置遮荫度适中的景观构筑物，避免过度增湿，导致高温高湿让儿童热不舒适，这与干热地区建议植被与水景协作达到降温增湿的效果[29]不一致，说明不同气候区在基于热环境改善的景观要素设计方面存在差异。

4.3 热环境参数与儿童空间选择偏好

儿童空间选择偏好与热舒适度关系较大，且喜欢具互动性景观要素的遮荫空间的结果与天津综合公园[10]儿童选择偏好相对一致，说明南北方儿童对空间选择均会受热舒适度的影响且偏好空间类似；研究发现空间选择偏好与空气温度、黑球温度关系较大，受相对湿度和风速影响较小，这一结果补充了儿童选择活动空间时的热环境参数偏好，这一发现在其他地区是否适用还有待进一步验证。

4.4 平衡冬季采光需求

如何在改善夏季热环境的同时平衡冬季采光需求，是一个复杂的设计挑战。

首先，可以选择落叶树种，夏季遮荫，冬季落叶后不会阻挡阳光。合理安排植物的高度与种类，避免高大常绿植物对冬季阳光的遮挡。选择低矮灌木和草本植物作为下层植被，以便让阳光更好地照射到公园内部。其次，利用水体的反射效果，增加冬季阳光的利用。例如，池塘、喷泉等水体能够反射阳光，帮助提高冬季的光照强度。最后，适当选择具有较高反射率的铺装材料，如浅色石材等，能反射太阳辐射，减少夏季的热积累，同时在冬季增强阳光的反射与照射[30]。

4.5 云朵乐园可借鉴的良好热环境营造策略

云朵乐园在盛行风向一侧毗邻水体设置，并且未设置高大乔木进行遮挡，增大了场地风速，让夏季更凉爽[31]；测点②内大冠幅落叶乔木结合不锈钢滑梯设计，打造儿童偏好的具互动性景观要素的遮荫空间，夏季遮荫降温，冬季落叶透光，满足儿童对阳光的需求[7]；近水的测点③设置可遮荫的景观构筑物降低空气温度，避免过多乔木遮荫导致相对湿度太大；测点①④⑦运用较多自然材料如木材、石材，测点②⑤⑥设置低矮植物景观，儿童亲自然的同时无热风险；测点⑥利用浅色塑料打造游乐设施，具较低热风险；测点⑦在夏季水景池开放日会形成浅水池，降低空气温度，夏季开放此类小尺度互动性水景，可在对相对空气湿度影响较小的情况下降低空气温度[29]。

4.6 云朵乐园热环境与功能性结合的优化设计建议

云朵乐园需优化之处（图 9）：分别减少测点①④东北侧、北侧乔木种植量，盛行风向一侧避免种植过多高大乔木形成“挡风墙”[10]；分别在测点②⑥⑧不锈钢滑梯、跳跳云及景墙处设智能喷雾装置，降低热风险[7]；测点③增设互动性强的游乐设施，创造兼具舒适与趣味的活动空间，并对不锈钢座凳进行氧化处理，降低热风险；增植大冠幅落叶乔木于测点④⑤内，测点⑦周边，测点⑧不锈钢滑梯旁，降低空气温度及热风险；将测点⑧中黄色塑胶比例适当扩大，选用黄色等高反射率颜色可降低材料热风险[7]。

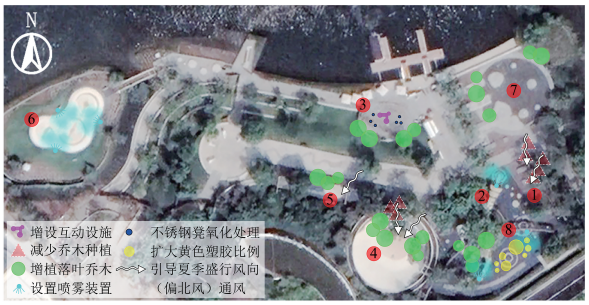


图 9 基于热环境改善的云朵乐园优化设计示意

5 结论

1）遮荫度较高的乔木更能降低气温及黑球温度，遮荫度适中的景观构筑物对相对湿度影响较小，靠近水体与盛行风向一侧及植物、景墙和建筑围合度低的空间风速更大，景观要素遮荫及水体营造能降低材料表面温度，自然材料、浅色材料热风险较低。

2）遮荫度较高的乔木更能遮挡太阳辐射、改善热舒适度，但当气温大于 38 ℃时，相对湿度是影响热舒适度的主要参数，此时需避免景观要素过度增湿。

3）儿童的时间选择偏好受监护人影响，空间选择偏好具互动性景观要素的遮荫空间，并与气温、黑球温度、热舒适度关系较大。

4）近水设置遮荫度适中的景观构筑物、远水设置遮荫度较高的落叶乔木，二者均搭配互动性强的游乐设施；增设低矮无毒植物、小型互动水景、喷雾装置；降低盛行风向一侧植物、景墙、建筑围合度；多使用自然材料、浅色材料、高反射率材料等可改善社区公园儿童活动空间热环境，提高儿童户外活动热舒适度。

参考文献

[1]武昭凡.儿童友好城市的理论溯源、演进分期和分析框架：基于童年视角的全龄友好城市研究展望[J].城市规划，2024，48(7)：111-122.

[2]张琳，刘苏燕，贾虎，等.基于公共健康需求的城市社区公园景观设计[J].中国城市林业，2020，18(6)：49-54.

[3]JENNY V，KYLIE B，ELISE R，et al. Understanding children's preference for park features that encourage physical activity：an adaptive choice based conjoint analysis[J]. International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity，2021，18(1)：133-143.

[4]GLADWELL V F，BROWN D K，WOOD C，et al. The great outdoors：how a green exercise environment can benefit all[J]. Extreme Physiology and Medicine，2013(4)：3-9.

[5]岳甲，陈志骏，宋莎莎，等.杭州学院路绿化对夏季热环境的改善研究[J].中国城市林业，2017，15(6)：38-42.

[6]HAYES D，COLLINS P B，KHOSRAVI M，et al.Broncho constriction triggered by breathing hot humid air in patients with asthma. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine，2012，185：1190-1196.

[7]黄博泽.基于室外热舒适的儿童公园开放空间优化设计研究[D].咸阳：西北农林科技大学，2022.

[8]毛媛媛，叶云，谢俊民.小学教学楼庭院空间构成要素对儿童热舒适的影响[J].中国城市林业，2024，22(2)：36-41.

[9]杨超.下垫面对杭州居住区儿童活动空间热环境影响研究[D].杭州：浙江农林大学，2023.

[10]赵振宇.基于热舒适的综合公园儿童活动区儿童热偏好及空间优化[D].天津：天津大学，2021.

[11]章晶晶，项湫涯，胡广，等.基于关联规则的儿童户外活动空间偏好研究：以杭州三个社区公园为例[J].中国园林，2023，39(5)：69-74.

[12]AMINPOUR F，BISHOP K，CORKERY L. The hidden value of in-between spaces for children's self-directed play within outdoor school environments[J]. Landscape and Urban Planning，2020，194：103683.

[13]徐佳钰.社区公园儿童活动场地设计研究[D].杭州：浙江大学，2022.

[14]MILES R. Neighborhood disorder，perceived safety，and readiness to encourage use of local playgrounds[J]. American Journal of Preventive Medicine，2008，34(4)：275-281.

[15]李爱莉.儿童友好导向下的西安市碑林区社区公共空间优化策略研究[D].西安：西安建筑科技大学，2020.

[16]蒋钰.面向舒适度优化的城市社区公园微气候营造策略研究[D].苏州：苏州大学，2021.

[17]陈跃中，张妍妍，徐思婧.成都麓湖红石公园的设计思考与实践[J].中国园林，2017，33(2)：48-54.

[18]李婧艺.城市公园绿地中儿童互动体验式景观设计方法研究[D].天津：天津大学，2022.

[19]李永宁，张宾兰，秦淑英，等.郁闭度及其测定方法研究与应用[J].世界林业研究，2008，21(1)：40-46.

[20]陈家硕，荣立苹，高玉福，等.不同遮荫环境的温湿效应及其对人体舒适度的影响[J].西北林学院学报，2022，37(3)：254-260，274.

[21]陈睿智.城市公园景观要素的微气候相关性分析[J].风景园林，2020，27(7)：94-99.

[22]LI J，LIU N. The perception，optimization strategies and prospects of outdoor thermal comfort in China：a review[J]. Building and Environment，2020，170：106614.

[23]张毓淳.广州地区不同行走代谢水平下人体动态热舒适研究[D].广州：广州大学，2021.

[24]JENDRITZKY G，DE DEAR R，HAVENITH G. UTCI-why another thermal index？[J]. International Journal of Biometeorology，2012，56(3)：421-428.

[25]王宇.杭州临安人民广场儿童户外热舒适评价和空间优化研究[D].杭州：浙江农林大学，2024.

[26]薛思寒，肖毅强，王琨.湿热地区景观要素配置对园林热环境的影响研究[J].中国园林，2018，34(2)：29-33.

[27]李翠燕.湿热地区儿童户外活动空间热舒适评价及优化策略研究[D].广州：华南理工大学，2021.

[28]贾鑫睿，张鲲，袁溯阳，等.基于景观要素与夏季热舒适性的湿热地区城市公园吸引力研究[J].中国园林，2023，39(12)：114-119.

[29]王茉，李承来，宇娉.基于人体热舒适性的夏季干热地区儿童户外空间研究[J].城市建筑，2022，19(2)：155-157.

[30]HE X，MIAO S，SHEN S，et al. Influence of sky view factor on outdoor thermal environment and physiological equivalent temperature[J]. International Journal of Biometeorology，2015，59：285-297.

[31]黄海静，魏林颖.湿热地区老年人公园热舒适的环境因素[J].中国城市林业，2023，21(1)：13-19.