

艾冰, 黄炜, 李阳兵. 基于最小邻近成本的喀斯特山地城市公园可达性分析: 以贵阳市为例[J]. 中国岩溶, 2022, 41(6): 952-961.
DOI: 10.11932/karst20220607

基于最小邻近成本的喀斯特山地城市公园可达性分析 ——以贵阳市为例

艾冰, 黄炜, 李阳兵

(贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵州 贵阳 550025)

摘要:以典型喀斯特城市贵阳市为例, 分析地貌特征对于公园绿地供给能力的影响, 采用最小邻近成本分析法和空间自相关分析, 对贵阳市公园绿地的供给特征以及不同类别公园可达性空间差异进行评价, 探讨喀斯特城市公园可达性的提升策略。结果表明: 研究区城市公园供给总量较高, 但公园斑块面积二元结构明显, 且坡度 15° 以上面积占比53%; 公园可达性整体较好, 91.89%的居民小区到公园的最小邻近成本低于500 m, 但不同类别城市公园可达性存在一定差异。因此, 喀斯特山地城市要提升公园服务水平, 首先应补足公园服务的盲区, 尤其是建成区残存孤峰、小峰丛公园服务能力不足造成的隐性盲区; 其次, 在老旧城区公园建设需避免盲目求大, 应着重提高服务质量与效率, 并且发挥自然山体优势建设独具特色的公园服务体系; 应结合人口分布特征和不同类别的公园配置状况, 合理进行喀斯特山体公园化利用, 避免生态环境破坏与公园空置。

关键词:可达性分析; 城市公园; 喀斯特地貌; GIS; 最小邻近成本

中图分类号: P642.25 **文献标识码:** A

文章编号: 1001-4810(2022)06-0952-10

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



0 引言

城市公园不但可以促进人体的身心健康, 提升幸福感^[1], 也是社会交往、公共活动以及传承社会历史文化的重要空间载体^[2]。此外, 城市公园还是人与自然在城市中的交互界面^[3], 创造了人与自然建立深层次联结、构建“人与自然生命共同体”的可能性。“可达性”(accessibility)是评价城市公园供给水平和空间布局合理性的主要指标^[4]。通过计算供需比例、最小邻近成本、累积机会等, 可达性能够评价居民获得公园服务的可能性、最小空间成本以及质量与数量^[5-6], 解决了传统的统计指标法无法在小尺度上评价公园服务空间差异的问题, 近年来得到了广泛的

应用, 成为衡量城市可持续发展水平的重要测度^[7-8]。地貌是城市形成和发展的基础, 也直接影响了城市公园绿地供给的数量与质量。近年来, 随着城镇化的快速发展, 我国一些喀斯特山地城市面临建设用地少、人口密度高、人均公园绿地面积少的问题, 开始对城市中的喀斯特自然山体进行公园化建设和利用, 以提高城镇人均公园绿地面积^[9]。这种做法一方面提升了公园服务的供给总量和多样性, 但也面临着一些问题。有关黔中地区喀斯特山体公园游人容量的研究显示, 与常规地貌公园相比, 游人容量是喀斯特城市山体绿地公园化利用的主要限制因素, 喀斯特山体公园80%的空间属于消极空间, 是游人难以进入或者很少进入的空间, 20%属于积极空间, 是

第一作者简介: 艾冰(1981—), 女, 硕士研究生, 主要从事自然资源保护与开发管理研究。E-mail: 49130264@qq.com。

通信作者: 李阳兵(1967—), 男, 教授, 主要从事土地利用变化研究。E-mail: li-yapin@sohu.com。

收稿日期: 2021-10-13

游人入园的主要游憩空间,在对安顺市中心城区调查时发现近一半喀斯特山体公园实际游人数量为零^[10]。因此如何结合公园斑块大小、地形地貌,以及人口分布特征等要素,识别公园服务的盲区,合理开发山体公园,提升公园服务品质和多样化,满足居民日益增长的户外游憩需求,保障城市生态安全,是喀斯特山地城市共同面临的挑战。基于此,本研究以典型喀斯特山地城市——贵阳市中心城区为例,在对公园地貌特征进行定量化分析的基础上,评价公园供给的概况及不同类别公园服务可达性的空间差异,探讨喀斯特城市公园可达性的提升策略,将为喀斯特城市公园绿地系统规划与建设、管理提供参考,有助于促进喀斯特城市进一步提升公园服务的合理性和公平性,从而实现生态保护与社会服务的优化路径。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

贵阳市地处云贵高原东斜坡地带,喀斯特地貌占全市土地面积的71.8%,是典型的喀斯特山地城市^[11]。受地貌影响,城市地表较为破碎,山高坡陡平地较少,宜作为建设用地的喀斯特盆地、残丘洼地、溶蚀槽谷分布零散不规则,造成城市建设强度高、人口密集,且建设用地中的公园绿地数量少、面积小,布局分散^[11-12]。为了解决这一突出矛盾,近年来贵阳市大力推广山地公园化利用,通过改造喀斯特自然山体从而缓解公园绿地的不足。根据贵阳市绿地系统规划(2015—2020年),到2020年,贵阳市人均公园绿地达到 $17.35\text{ m}^2/\text{人}$,实现公园500 m服务半径对居住区覆盖率100%。本研究范围大致以贵阳市绕城高速为界,基本覆盖中心城区,研究区总面积约 $1\,176\text{ km}^2$ 。根据贵阳市第六次人口普查数据,研究区总人口306万人。

1.2 数据收集

本研究使用从贵阳市相关部门获得的2018年贵阳市公园数据,研究区内共有923个城市公园斑块,总面积 $8\,868\text{ hm}^2$ (图1)。居民小区数据通过提取高德地图兴趣点(POI)获得,共计2 616个居民小区。由于居民小区的空间分布密度不均衡,空间分割尺度大小不一,不利于进行空间可视化表达,因此

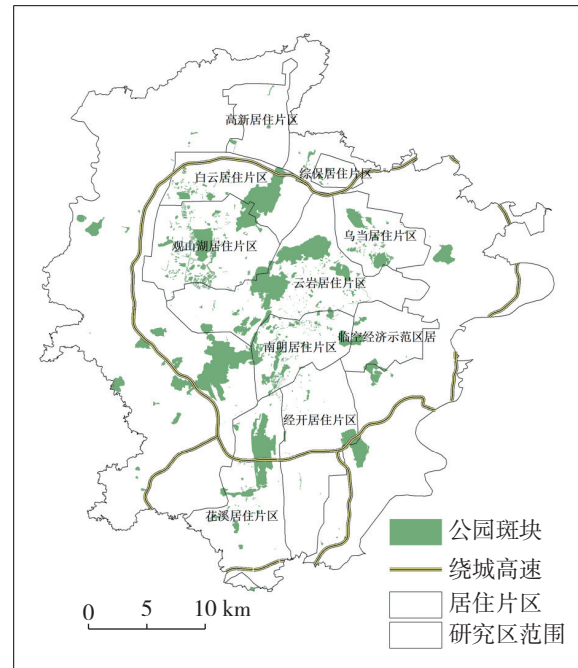


图1 研究区城市公园分布图

Fig. 1 Map of urban parks in the research area

引入居住栅格数据,将研究区分成 $1\,000\text{ m}\times 1\,000\text{ m}$ 的栅格渔网,并与居民小区点数据进行叠加相交,从而获394个居住栅格。此外,高程数据、行政边界等数据来自Bigemap网站并进行判读修正。

1.3 数据处理

1.3.1 城市公园分类

我国2019年实施的《城市绿地规划标准》(GB/T 51346-2019)将公园绿地根据面积大小分为居住区公园和综合公园两大类,并且对各类公园的适宜规模和服务半径做出明确说明。本研究结合该标准,将923个公园斑块按照面积是否大于 10 hm^2 ,分为综合公园和居住区公园两大类。综合公园面积较大,配套设施与服务功能更完善,景观多样性与生物多样性水平更高,可以提供品质更高的公园服务;居住区公园面积较小,但数量多,靠近居民区,便捷性更高,可以满足居民基本的公园服务需求。

研究区城市公园存在大量山体,这些山体公园的服务能力与常规地貌的平缓公园相比利弊并存。与平缓公园相比,山体增加了视觉的层次感与美感,还可以获得攀登乐趣;大部分山体公园是自然生长状态,受人为改造程度较小,可以提供城市荒野的体验乐趣;同时生物多样性水平也更高,在科普教育等

方面具有更突出的服务功能^[13-14]。但部分喀斯特孤峰、小峰丛公园坡度大,平缓活动空间少,游人容量低,无障碍通行水平低,难以满足居民尤其是老年人与儿童等高需求人群的日常基本户外游憩需求,较适合作为平缓公园的补充,满足差异化与多样化的公园服务需求。

此外,喀斯特地区是典型的生态环境脆弱区,发展水平较高的贵阳中心城区是喀斯特生态环境高风险地区^[15]。相关研究表明,2013年贵阳市城市生态安全处于较低水平,且出现一定程度的恶化^[16];在对以几个大型公园为主构成的贵阳环城林带进行生态敏感性评价时发现,有77.17%的区域评价为极度、高度、中度敏感区^[17];对喀斯特山体进行重度公园化利用会对植物群落物种多样性造成明显的负面影响^[18]。因此,喀斯特自然山体资源有其生态脆弱性,不合理开发利用会对城市生态安全造成一定的影响。

综上所述,对公园地貌进行定量化的分析是评价喀斯特城市公园绿地供给状况和空间分布合理性

的基础。本研究利用高程数据和 ArcGIS 软件计算研究区公园的坡度值,并引入地形系数,用公园坡度 15° 以下的地貌空间所占比例来表征公园的地貌特征及有效服务空间。这是由于在公园等风景园林建设的用地适宜性评价中,可建设用地的指标之一是坡度 15° 以下的区域^[19],而城市公园中的硬质铺装和建筑景观场地是游人主要聚集和活动的场所,其空间大小能够在一定程度上客观反映公园容纳游人数量的大小。本研究根据地形系数是否大于 0.6,将研究区公园斑块分为平缓公园与山地公园两类。

公园地形系数公式如下:

$$D_i = \frac{N_i}{M_i} \quad (1)$$

式中: D_i 为公园的地形系数; N_i 为公园坡度小于 15° 的面积(hm^2); M_i 为公园的面积(hm^2)。

本研究将城市公园斑块根据面积及地形系数两个标准,分为综合公园与居住区公园、平缓公园与山地公园,其特点如表 1 所示:

表 1 研究区公园分类及特点
Table 1 Classification and features of the park patches

	分类依据	分类标准	特点
综合公园	斑块面积	面积 $\geq 10 \text{ hm}^2$	面积较大,配套设施与服务功能更完善,景观多样性与生物多样性水平更高
居住区公园		面积 $< 10 \text{ hm}^2$	面积较小,服务功能较单一,数量多,靠近居民区,便捷性更高
平缓公园	地形系数	地形系数 ≥ 0.6	地势较平缓,游人容量大,无障碍化水平高,能够满足居民基本的日常需求
山地公园		地形系数 < 0.6	山体比例大,活动空间少,游人容量低,无障碍化水平低,但可提供多样化与差异化的公园服务,可作为平缓公园的补充

1.3.2 最小邻近成本分析

最小邻近成本分析是计算某一需求点到服务供给点的空间最小邻近成本,成本包括距离、时间或者阻力等,能够反映居民点获得某类公共服务最低限度所需要耗费的空间成本。本研究基于欧式距离,通过 ArcGIS 软件的 NEAR 分析工具,计算 2 616 个居民点到最近公园的距离,以及到最近的综合公园、居住区公园、平缓公园、山地公园四类公园的最小邻近距离,从而评价不同类别公园服务的可达性水平。

1.3.3 空间自相关分析

空间自相关分析(又称 Moran's I 指数)是指某些带有空间属性的变量在同一分布区的观测数据之间

潜在的相互依赖性或者联系的紧密性^[20]。本研究通过 ArcGIS 和 GeoDa 软件,在居住栅格尺度,对研究区不同类别公园最小邻近成本进行全局 Moran's I 分析,检验其是否有空间聚集特征,并对综合公园与居住区公园、平缓公园与山地公园两个变量进行双变量局部 Moran's I 分析,评价不同类别公园可达性的空间配置状况。

2 结果与分析

2.1 公园整体供给量较高但斑块面积二元结构明显

研究区共有公园斑块 923 个,总面积 8 868 hm^2 ,占研究区总面积的 7.54%,人均公园面积达到 28.98 m^2 ,

城市公园不但数量多,且整体供给量较高。但公园斑块的面积二元结构明显(表 2), 25 个面积大于 50 hm² 以上的大型公园约占公园总面积的八成, 主要分布在城市中心区边缘或城市组团之间的过渡地带(图 1), 如面积最大的阿哈湖公园斑块为 1 479 hm²; 数量众多的居住区公园面积小, 零碎且分散, 多分布

在人口密度较高、建设年代久远、建设强度高的建成区。造成这一现象的原因与喀斯特地貌密切相关, 山多平地少造成建设用地紧张, 早期建成区的公园大都面积小且分散, 原本阻隔城市组团的大面积山体在城镇化发展的过程中被公园化利用, 改造成了新的大型公园。

表 2 研究区公园斑块面积分类统计

Table 2 Statistics of the park patches

类型	面积/hm ²	个数及占比/%	面积及占比/%
综合公园	≥50.0	25(2.7)	7 170.86(80.85)
	20.0~50.0	12(1.3)	421.71(4.75)
	10.0~20.0	26(2.81)	342.43(3.86)
总计		63(6.82)	7935.01(89.47)
居住区公园	社区公园 5.0~10.0	37(4)	257.44(2.9)
	1.0~5.0	218(23.61)	457.15(5.15)
	游园 0.4~1.0	222(24.05)	148.54(1.67)
	0~0.4	383(41.49)	70.43(0.79)
总计		860(93.17)	933.58(10.52)

2.2 公园地貌空间半数为坡地且部分公园为纯山体公园

计算研究区公园的坡度值并根据地形系数进行公园分类, 结果显示: 坡度 15° 以上的斜坡、陡坡、急坡和险坡占公园总面积的 53% (图 2), 山地公园主要集中在研究区中部和南部的云岩、南明、花溪居住片区(图 3)。有 52.37% 的综合公园和 6.73% 的居住区公园地形系数小于 0.6 (表 3), 这说明一半以上的综合公园都以山地地貌为主, 大多数居住区公园地势都较为平缓, 但仍有少量居住区公园面积小且坡度大, 可用于日常休闲游憩的空间

十分有限。而地形系数低于 0.2 的公园, 主要是青龙山山体公园、军体校休闲山体公园、仙人洞公园、东山山体公园、宅吉红军山山体公园等, 大多

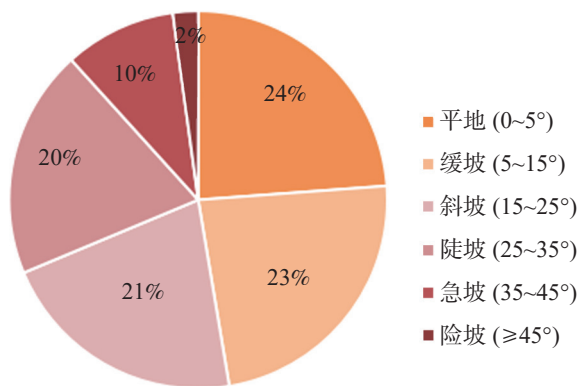


图 2 研究区公园斑块坡度分类图

Fig. 2 Gradient classification of the parks

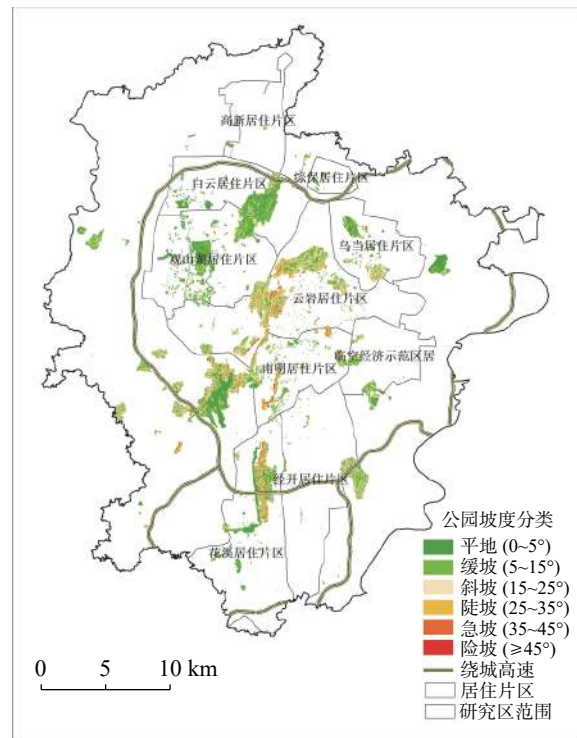


图 3 研究区公园斑块坡度分布图

Fig. 3 Map of gradients of the parks

表 3 研究区公园地形系数统计表

Table 3 Statistics of Park Topographic Coefficient

公园类型	地形系数范围	个数及占比/%	总面积及占比/%
综合公园	0.8~1.0	23(36.5)	2 202.29(24.83)
	0.6~0.8	7(11.11)	348.5(3.92)
	0.4~0.6	17(26.98)	3 407.09(38.42)
	0.2~0.4	9(14.28)	1 730.56(19.51)
	0~0.2	7(11.11)	246.55(2.78)
居住区公园	0.8~1.0	755(87.79)	673.45(7.59)
	0.6~0.8	47(5.46)	98.81(1.11)
	0.4~0.6	27(3.13)	74.57(0.84)
	0.2~0.4	21(2.44)	59.78(0.67)
	0~0.2	10(1.16)	26.95(0.3)

为典型的喀斯特山地城市建设区残留的锥状喀斯特孤峰或小峰丛,为山高坡陡的纯山体公园,有效

服务空间不足。

2.3 公园可达性总体较高但不同类别公园可达性存在一定差距

研究区公园可达性水平整体较高,91.89%的居住小区到公园的最小距离低于500 m(表4),这说明虽然研究区公园斑块的面积二元结构明显,但公园数量多,尤其是与人口的空间分布匹配度较高,且在居住区内斑块分布较为均匀,因此居民享受公园服务的空间成本整体较低。到公园最小距离大于500 m的居民小区主要位于各居住片区的边缘地带,或一些新开发的城区区域,包括临空经济示范区居住片区、经开居住片区东部和南部、花溪居住片区的南部等(图4),大都是一些地理位置偏远且零散、人口较少的居民点。

表 4 居民小区到各类公园的最小邻近成本(个数及占比)

Table 4 Statistics of minimum cost to different kinds of parks

距离/m	0~500	500~800	800~1 500	1 500~3 000	>3 000
所有公园(占比/%)	2 404(91.89)	107(4.09)	75(28.66)	25(0.95)	5(0.19)
综合公园(占比/%)	942(36)	477(18.23)	780(29.81)	360(13.76)	57(2.17)
居住区公园(占比/%)	2 264(86.54)	168(6.42)	109(4.16)	62(2.37)	13(0.49)
平缓公园(占比/%)	2 261(86.42)	192(7.33)	116(4.34)	40(1.52)	7(0.26)
山地公园(占比/%)	997(38.11)	505(19.3)	695(26.56)	266(10.16)	153(5.84)

如表4、图4所示,不同类别的公园可达性存在一定差异,居住区公园与平缓公园可达性最高,综合公园与山地公园可达性稍低。在500 m内,综合公园覆盖的居民小区比例为36%,但1 500 m内,这一比例提高到84.04%,说明综合公园可达性虽不及居住区公园,但在一定范围内仍可以满足居民对更优品质公园服务的需要。到综合公园可达性较低的居民小区集中在云岩居住片区中部、南明居住片区中部、经开居住片区北部等,这些区域是贵阳市建设年代久、建设强度高的区域,难以规划建设大面积的公园绿地。

大部分居民小区都能就近享有地势平缓、无障碍水平较高的基础公园服务,但仍有13.57%的居民小区离最近的平缓公园距离大于500 m,主要位于老城区边缘及云岩居住片区的东部、临空经济示范区居住片区等地。山地公园在1 500 m对居民小区的覆盖比例也达到了83.98%,反映出贵阳山中有城、城中有山的独特景观格局,这表明大部分居民能就近享有喀斯特山体公园带来的多样化与差异化的公园服务。

2.4 不同类别公园空间配置存在一定差异

研究区居民小区到所有公园以及综合公园、居住区公园、平缓公园、山地公园最小邻近成本的全局莫兰指数分别为0.44、0.63、0.47、0.48、0.65,说明公园可达性存在空间正相关,有比较显著的聚集效应。这一聚集效应可能并非公园空间分布不合理造成,而是喀斯特地貌造成建设用地零散不规则分布导致的。其中综合公园、山地公园的可达性比居住区公园、平缓公园呈现出更强的聚集效应,说明综合公园与山地公园的空间分布均衡性低于居住区公园与平缓公园。

综合公园与居住区公园的最小邻近成本双变量局部莫兰指数分析显示(图5A),观山湖居住片区、乌当居住片区中部、南明居住片区西部等区域两类公园可达性均较高,究其原因在于这些区域是城市新开发区域,规划建设了大型公园配套,是公园供给较为饱和的区域;南明、云岩居住片区的中部等零散区域的综合公园可达性较低,但到居住区公园可达性较高,这些区域是建设强度高、年代久的老中心城

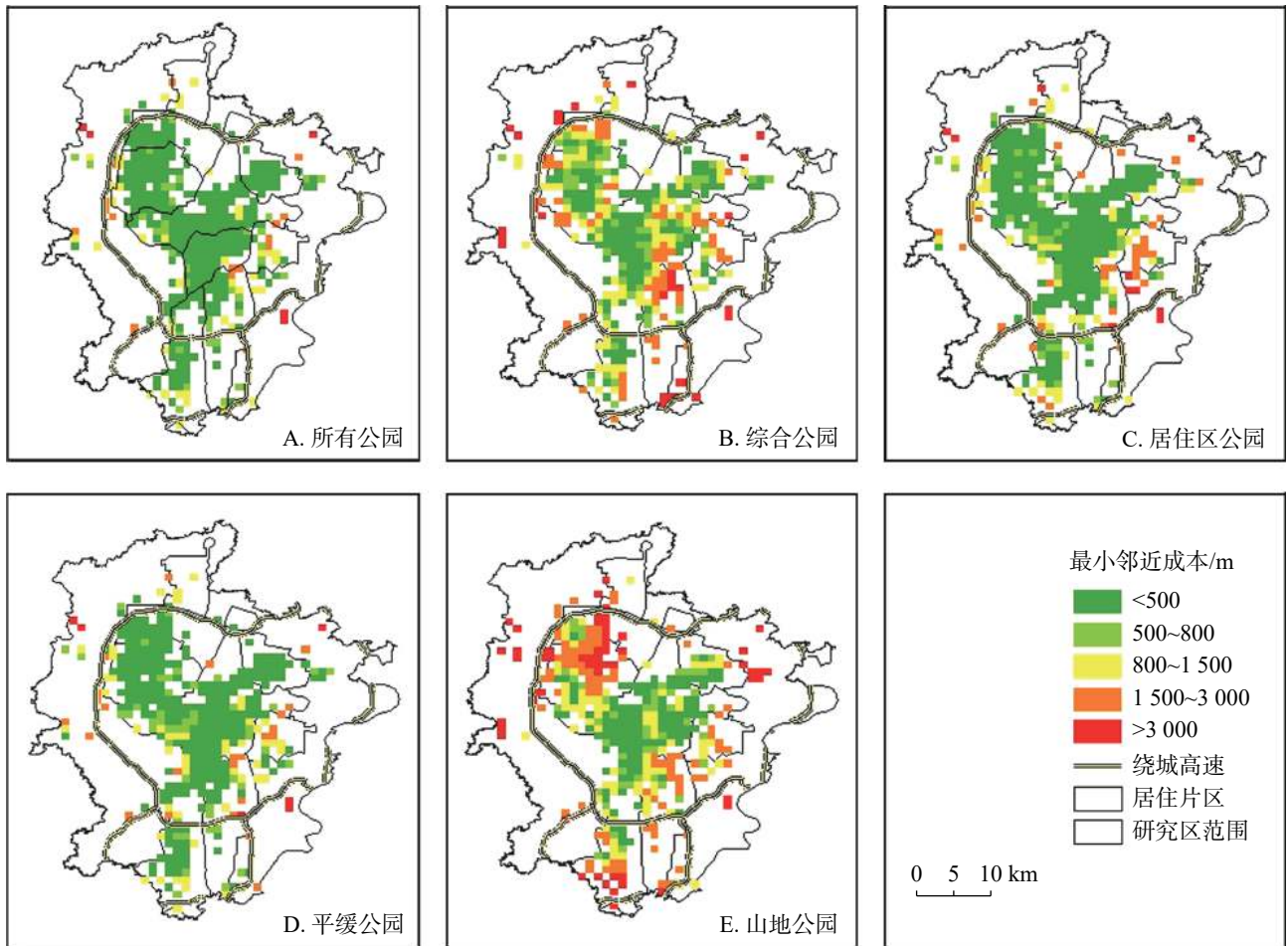


图 4 各类公园最小邻近成本

Fig. 4 Map of minimum cost to different kinds of parks

区,小斑块公园数量多密度大,但综合公园服务供给仍有较大的提升空间。

针对平缓公园与山地公园的最小邻近成本双变量局部莫兰指数分析显示(图 5B),云岩居住片区西南部、南明居住片区东北部、临空经济示范区居住片区东北部等 42 个较零散的居住栅格(占 10.65%)到山地公园可达性高但平缓公园可达性低,这些居民点靠近李家山、二层岩、青龙山等纯山体公园,但是距离平缓公园的距离较远,基本的公园服务需求难以就近得到满足,是由喀斯特地貌造成的公园服务的“隐性盲点”区域,需补充适量的平缓公园斑块;云岩居住片区、南明居住片区、乌当居住片区中部等区域距离平缓公园和山地公园的都较近,这是因为老旧城区小斑块公园多且靠近山体公园,可以兼顾两类公园的便捷性与多样化服务,两类公园服务都较饱和,应谨慎增加新的山体公园;观山湖居住片区、白云居住片区中部等区域到平缓公园成本低,但是附近缺乏山地公园,可以考虑补充一些山地公园

增加区域公园服务的多样化与差异化。

3 提升喀斯特城市公园可达性的策略

分析典型喀斯特城市贵阳市的公园服务供给特征及不同类别公园可达性,结果表明:喀斯特城市自然山体公园化改造利用后,城市公园供给总量较高,但公园斑块面积二元结构明显,大型公园多位于居住片区边缘;基于最小邻近成本的可达性水平整体较好,基本实现 500 m 见园的目标,但不同类型的城市公园可达性水平存在一定差异;老旧中心城区到综合公园的可达性较低,少量零散居民小区邻近山高坡陡的纯山体公园,附近缺乏平缓公园,难以满足便捷且无障碍的基本公园服务。因此,提出 4 个喀斯特城市提升公园服务的策略。

3.1 补足公园服务的盲区

喀斯特城市建成区往往被自然山体阻隔形成多

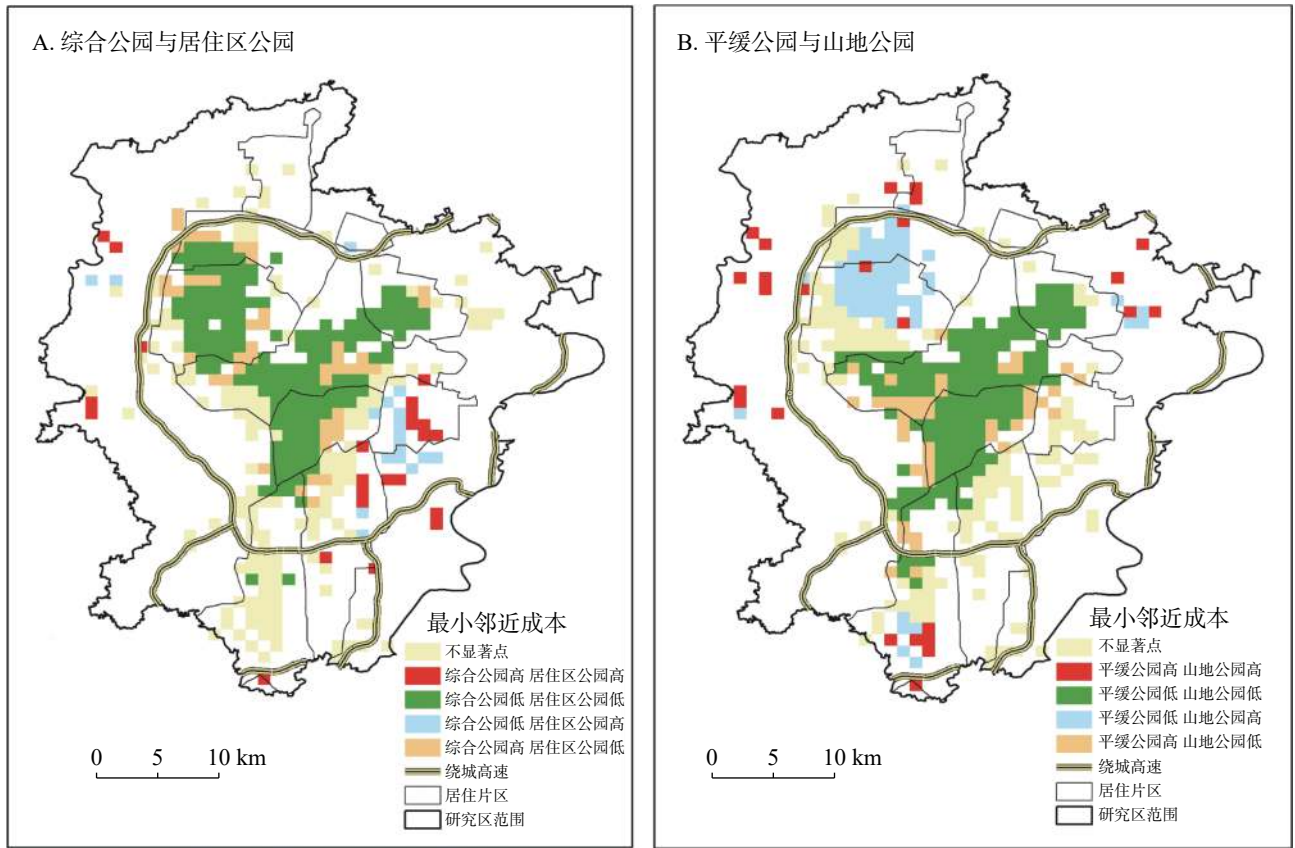


图 5 各类公园最小邻近成本的 LISA 聚类图

Fig. 5 LISA map of minimum cost between different kinds of parks

组团发展格局, 服务盲区主要存在于组团边缘分散且规模较小的居民点, 建议就近设置小型的居住区公园或口袋公园, 满足居民日常的亲绿需求; 建成区中残留的锥状喀斯特孤峰或小峰丛山高坡陡, 公园化改造利用后有效服务空间不足, 难以满足居民尤其是老年人与儿童等高需求人群的日常亲绿需求, 是由喀斯特地貌造成的公园服务的“隐性盲点”区域, 需要适当补足地势平缓的小斑块公园, 方便市民就近便捷开展日常休闲亲绿活动。

3.2 着重公园服务品质的升级与改善

在公园服务总体覆盖率较高、公园服务需求得到基本满足的情况下, 根据不同区域特点, 平衡“就近原则”和“质优原则”, 着重提高公园服务的质量与多样化。喀斯特城市的老旧城区往往用地紧张, 公园面积小、布局分散, 且难以新建较大规模公园, 公园提升不必盲目求大, 可充分利用街头绿地、社区公共绿地、建筑屋顶等增加小斑块公园密度, 同时完善公园配套设施, 提升管理水平, 参考新加坡等地的经验, 通过共建花园、参与式景观等方式, 提高公园单位面积的服务能力, 建设“小而美好”的街区公园。

在新开发的城区, 需在合理半径内配置居住区公园与综合公园, 提高居民游憩选择的多样性。

3.3 建设独具喀斯特特色的公园体系

喀斯特地貌城市具有山城交融的独特景观格局, 大量喀斯特丘峰或峰丛如珠串般散落在人口密集的建成区内部或周边, 山地公园的可达性较高, 居民开门见山, 就近即可享受登山、自然荒野、丰富的野生动植物等游园体验与科教资源, 这是其他非喀斯特地貌城市无法比拟的独特优势, 也契合近年来生态城市规划中出现的“再野化”的思潮。在满足平缓公园服务的基础上, 城市规划应利用山地优势, 合理布局山体公园, 在山体公园可达性较低区域补充山体公园, 新开发楼盘适当保留自然山体, 增加公园服务的多样性, 建设独具特色的喀斯特城市公园体系。

3.4 合理进行喀斯特山体公园化利用, 避免生态环境破坏与公园空置

喀斯特城市中的自然山体具有生态效益与社会效益双重功能, 且喀斯特山体生态环境脆弱, 一旦破

坏不易恢复,因此自然山体的公园化利用需要综合考虑山体公园的限制条件、人口分布以及与其他类型公园的空间配置状况。城市周边一些人口较少的新开发区域,应首先考虑配置小斑块的平缓公园,而不是开发游人容量十分有限的喀斯特山体公园;老城区已经有较多山体公园的情况下,应限制新增山体公园的数量,避免居民基本公园服务需求与公园服务条件不匹配造成的公园空置,以及过度开发造成的生态环境破坏。

参考文献

- [1] 屠星月,黄甘霖,邬建国. 城市绿地可达性和居民福祉关系研究综述[J]. 生态学报, 2019, 39(2): 421-431.
TU Xingyue, HUANG Ganlin, WU Jianguo. Review of the relationship between urban greenspace accessibility and human well-being[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(2): 421-431.
- [2] 斯特凡纳·托内拉,黄春晓,陈焯. 城市公共空间社会学[J]. 国际城市规划, 2009, 24(4): 40-45.
Tonnelat S, HUANG Chunxiao, CHEN Ye. The sociology of urban public spaces[J]. Urban Planning International, 2009, 24(4): 40-45.
- [3] 杨丽娟,杨培峰. 空间正义视角下的城市公园: 反思、修正、研究框架[J]. 城市发展研究, 2020, 27(2): 38-45.
YANG Lijuan, YANG Peifeng. Urban parks from the perspective of spatial justice: reflection, revision and research framework[J]. Urban Development Studies, 2020, 27(2): 38-45.
- [4] 李平华,陆玉麒. 可达性研究的回顾与展望[J]. 地理科学进展, 2005, 24(3): 69-78.
LI Pinghua, LU Yuqi. Review and prospectation of accessibility research[J]. Progress in Geography, 2005, 24(3): 69-78.
- [5] 刘常富,李小马,韩东. 城市公园可达性研究: 方法与关键问题[J]. 生态学报, 2010, 30(19): 5381-5390.
LIU Changfu, LI Xiaoma, HAN Dong. Accessibility analysis of urban parks: Methods and key issues[J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(19): 5381-5390.
- [6] 李博,宋云,俞孔坚. 城市公园绿地规划中的可达性指标评价方法[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2008(4):618-624.
LI Bo, SONG Yun, YU Kongjian. Evaluation method for measurement of accessibility in urban public green space planning[J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2008(4):618-624.
- [7] 许泽宁,高晓路,王志强,马妍,邓羽,龙瀛. 中国地级以上城市公园绿地服务水平评估: 数据、模型和方法[J]. 地理研究, 2019, 38(5): 1016-1029.
XU Zening, GAO Xiaolu, WANG Zhiqiang, MA Yan, DENG Yu, LONG Ying. Evaluation of the service of parks in Chinese urban areas[J]. Geographical Research, 2019, 38(5): 1016-1029.
- [8] 宋岑岑. 基于可达性的公园绿地服务公平性研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2018.
SONG Cencen. Research on the fairness of the green space service based on accessibility: A case study of main urban area in Wuhan[D]. Wuhan: Wuhan University, 2018.
- [9] 张远,王志泰. 岩溶地区山地城市山体绿地资源公园化利用初探: 以黔中城市为例[J]. 山地农业生物学报, 2016, 35(4): 30-35.
ZHANG Yuan, WANG Zhitai. Preliminary discussion on the utilization of the mountain parks of green space resources in the mountainous cities in the karst region of central Guizhou Province[J]. Journal of Mountain Agriculture and Biology, 2016, 35(4): 30-35.
- [10] 张瑾瑜. 黔中地区喀斯特山体公园游人容量研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2019.
ZHANG Jinhui. Research of tourist capacity of karst hill parks in central Guizhou Region[D]. Guiyang: Guizhou University, 2019.
- [11] 高红艳,刁承泰. 试论喀斯特地貌对城市发展建设的影响: 以喀斯特山区城市贵阳为例[J]. 中国岩溶, 2010, 29(1): 81-86.
GAO Hongyan, DIAO Chengtai. Discussion on the impact of karst topography to urban development: A case in Guiyang City[J]. Carsologica Sinica, 2010, 29(1): 81-86.
- [12] 冯源嵩,杨庆媛. 喀斯特山地城市新区生态用地保护与开发案例研究: 以金阳新区为例[J]. 中国岩溶, 2013, 32(4): 453-461.
FENG Yuansong, YANG Qingyuan. Ecologic land protection and development of new urban district in karst mountain: A case study in the Jinyang new district[J]. Carsologica Sinica, 2013, 32(4): 453-461.
- [13] 周月婷. 山体公园规划设计规范体系研究[D]. 贵阳: 贵州大学, 2016.
ZHOU Yueting. Study on planning and design standard system of mountain park[D]. Guiyang: Guizhou University, 2016.
- [14] 殷艳,王志泰. 山地城市山体绿地资源保护与公园化利用初探[J]. 绿色科技, 2017(17): 19-24.
YIN Yan, WANG Zhitai. A Preliminary study on the protection of mountainous green space resources and the utilization of parks in mountainous cities[J]. Journal of Green Science and Technology, 2017(17): 19-24.
- [15] 董晓超,熊康宁,朱大运,蓝家程,廖建军,曹洋,刘兴宜. 喀斯特生态环境风险评价: 以贵州省为例[J]. 中国岩溶, 2019, 38(5): 713-721.
DONG Xiaocao, XIONG Kangning, ZHU Dayun, LAN Jiacheng, LIAO Jianjun, CAO Yang, LIU Xingyi. Risk assessment of karst ecological environments: A case study of Guizhou Province[J]. Carsologica Sinica, 2019, 38(5): 713-721.
- [16] 李雪冬,杨广斌,周越,李冰,张旭亚. 基于3S技术的岩溶地区城市景观生态安全评价: 以贵阳市为例[J]. 中国岩溶, 2016, 35(3): 340-348.
LI Xuedong, YANG Guangbin, ZHOU Yue, LI Bing, ZHANG Xuya. Evaluation of urban landscape ecological security in karst areas based on 3S technologies: An example of Guiyang City[J]. Carsologica Sinica, 2016, 35(3): 340-348.

- [17] 禹艺娜, 王中美. 基于GIS和AHP的贵阳市环城林带生态敏感性评价[J]. *中国岩溶*, 2017, 36(3): 359-367.
YU Yina, WANG Zhongmei. Evaluation of ecological sensitivity in the city-encircling forest belt of Guiyang based on GIS and AHP[J]. *Carsologica Sinica*, 2017, 36(3): 359-367.
- [18] 汤娜, 王志泰. 黔中城市喀斯特山体遗存植物群落公园化利用响应[J]. *生态学报*, 2021, 41(8): 3033-3052.
TANG Na, WANG Zhitai. Response of park utilization of karst mountain community in Guiyang, a middle Guizhou city[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(8): 3033-3052.
- [19] 李文静, 杨柳. GIS在风景区用地适宜性评价的应用: 以威海市圣水观风景区为例[J]. *现代园艺*, 2017(19): 130-131.
LI Wenjing, YANG Liu. Application of GIS in land suitability evaluation in scenic area: A case study of Shengshuiguan in Weihai[J]. *Modern Horticulture*, 2017(19): 130-131.
- [20] 王振波, 方创琳, 许光, 潘月鹏. 2014年中国城市PM_(2.5)浓度的时空变化规律[J]. *地理学报*, 2015, 70(11): 1720-1734.
WANG Zhenbo, FANG Chuanglin, XU Guang, PAN Yuepeng. Spatial-temporal characteristics of the PM_{2.5} in China in 2014[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(11): 1720-1734.

Spatial accessibility analysis of urban parks in typical karst area based on minimum cost of proximity: A case study of Guiyang City

AI Bing, HUANG Wei, LI Yangbing

(School of Geography and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550025, China)

Abstract Urban parks are important to urban residents' physical and mental well-being, social harmony, and sustainable urban development. Constrained by landform features such as high mountains, steep slopes and inadequate flatlands, cities located in karst mountainous regions often face challenges of inadequate land available for construction, high population density in built-up areas, and small areas of park space per capita. With accelerated urbanization in recent years, some cities have built urban parks in natural karst hills as a means to increase both the quantity and quality of park service. However, some of these parks featured with tower karst or cluster-peaks are subject to limited tourist capacity and low-level barrier-free access and thus fail to meet visitors' basic need for recreation. Therefore, an appropriate design and layout of urban park system in a karst mountain city should be conducted based on such key elements as the size of park patch, the topography of the park site, and the features of population distribution in the city.

With the principle of minimum cost of proximity, this study takes Guiyang, a typical karst mountain city, as an example and discusses strategies to improve urban park accessibility in karst mountain cities. In this study, we first set topographic coefficients. The percentage of park space with a gradient less than 15 degrees was determined to indicate the topography of the park. 923 urban parks in Guiyang were then categorized into "comprehensive parks" and "parks in residential areas" based on the sizes of the park patches. They were also classified into "parks with flat landform" and "montane parks" based on their topographic coefficients. Subsequently, with the principle of minimum cost of proximity, we measured the distances of 2,616 residential communities to their nearest and to other different types of parks. These distances were then used to assess the accessibility level of different park types. Thirdly, we conducted the spatial autocorrelation analysis to examine whether there would be spatial aggregation in various types of parks with different accessibility levels and what the pattern would be for their spatial distribution.

In this study, we have made the following findings. Firstly, the total amount of urban parks in the study area is large, accounting for 7.54% of the study area and a per capita park area of 28.98 m². Secondly, features of park patches are evidently dichotomous in terms of their areas. 93.17% of the parks cover an area smaller than 10 hectares, occupying 10.52% of the total park area, whereas 25 large-scale parks with an area larger than 50 hectares account for approximately 80%. Thirdly, the terrain of most parks is mountainous. 53% of the parks are located at a gradient larger than 15 degrees, and 6.73% of the parks in residential areas present a topographic coefficient below 0.6, some of these parks are completely built in tower karst or small cluster-peak areas where service capacity is limited. Fourthly, the accessibility of parks is generally good, with a good match between the park's service area and the population distribution. The minimum cost of 91.89% of the communities to a park is less than 500 meters. There are differences

in the accessibility level of different park types, but within a certain distance, accessibility levels are still able to meet the varied needs for park services. For more than 80% of the residential communities, their minimum cost to a comprehensive or a montane park is less than 1,500 meters. Lastly, spatial distributions of various park types are relatively balanced in the central part of residential areas in Yunyan, Nanming, and Wudang. In the central part of Guanshanhu residential area, however, there are less montane parks. In addition, 10% of the residential blocks have high accessibility to montane parks but low accessibility to parks in flat areas. The fact that park service may not cover these blocks caused by karst landform results in residents' difficulties in accessing parks with large open space and high-level barrier-free paths in the vicinity.

In order to improve park accessibility and service quality, the areas without the coverage of park services should firstly be provided with the services. Small parks should be built in small-scale residential areas scattered along the edge of the city. In the residential areas close to montane parks but far from parks with flat landform, parks can be built on small patches of smooth terrain. Secondly, the working focus should be placed on enhancing the quality and diversity of park services after satisfying the basic need for park services. In old urban areas where it is difficult to add large parks, efforts should be made to increase small park patches and the park service capacity per unit area. In the new urban development areas, considerations should be given to principles of proximity and quality in distributing different types of parks. Natural features of karst hills can be used to good advantages in building a unique park service system for karst cities. In addition, based on the features of population distribution and spatial patterns of park types in the city, park design in karst hills should proceed appropriately so as to avoid damage to the ecological environment and prevent parks from falling into disuse.

Key words spatial accessibility analysis, urban parks, karst landform, GIS, the principle of minimum cost of proximity

(编辑 张玲 杨杨)

中国 11 个自然保护地入选世界自然保护联盟绿色名录

据新华社消息: 世界自然保护联盟 12 月 10 日更新世界自然保护联盟绿色名录, 我国的广州海珠国家湿地公园、湖南壶瓶山国家级自然保护区、黄果树风景名胜区、吉林长白山国家级自然保护区、陕西长青国家级自然保护区、钱江源国家公园、龙湾群国家森林公园、湖北七姊妹山国家级自然保护区、

神农架国家公园、湖南八大公山国家级自然保护区和内蒙古大兴安岭汗马国家级自然保护区 11 处自然保护地入选。其中, 先前已入选绿色名录的陕西长青国家级自然保护区和龙湾群国家森林公园此次获得证书更新。