



寻路视角下的动物园游径可达性分析及优化

张冰,董一凡,张帆,徐振

(南京林业大学风景园林学院,南京210037)

摘要: 动物园为游客提供了科普、观赏和游憩服务,是城市中访客最多的公园绿地之一;多生境的动物场馆的空间可达性、标识与游客体验密切相关。研究从寻路视角出发,对园区游径空间组构进行分析,优化导向标识系统,以此提升园区效能,改善游览体验。以南京红山森林动物园为研究对象,运用空间句法探究园区游径空间形态对游客寻路行为的潜在影响,并结合GIS网络分析功能重新规划游览路径。结果表明:南京红山森林动物园的全局整合度呈现“中间高两端低”的格局;不同半径范围内,局部整合度差异较大;空间可理解度较弱,会对游客的定位与寻路产生消极影响。在此基础上,从优化路网结构、加强热点区域人群管控、加强无障碍设计、完善导向标识系统以及应用数字交互技术等方面提出了城市动物园的园区建设建议,以提升动物园的空间可达性和游客的寻路效率与游赏体验。该研究可为动物园路网规划与优化提供参考。

关键词: 动物园;寻路;空间句法;空间组构;网络分析

中图分类号: TU986.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-3851(2023)01-0148-09

引文格式: 张冰,董一凡,张帆,等. 寻路视角下的动物园游径可达性分析及优化[J]. 浙江理工大学学报(自然科学),2023,49(1):148-156.

Reference Format: ZHANG Bing, DONG Yifan, ZHANG Fan, et al. Analysis and optimization of trail accessibility of the zoo from the perspective of wayfinding [J]. Journal of Zhejiang Sci-Tech University, 2023, 49(1): 148-156.

Analysis and optimization of trail accessibility of the zoo from the perspective of wayfinding

ZHANG Bing, DONG Yifan, ZHANG Fan, XU Zhen

(School of Landscape Architecture, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China)

Abstract: The zoo, which provides tourists such services as popular science, viewing and recreation, is one of the most visited park green spaces in the city. The spatial accessibility of multi-habitat animal venues and wayfinding signage systems are closely related to visitor experience. From the perspective of wayfinding, the research analyzes the space configuration of trails and optimizes the current guidance system to enhance the efficiency and the tour experience of the zoo. The study uses space syntax to explore the potential impact of the space configuration of Nanjing Hongshan Forest Zoo on the wayfinding behavior of tourists, and uses network analysis of GIS to replan the tour path. The results show that the global integration degree in the peripheral areas is inferior to that of those in the central areas; the local integration degrees are different greatly within different radius; the intelligibility degree of trails is low, which will have a negative influence on the positioning and wayfinding for tourists. In order to improve the space accessibility of the zoo and the wayfinding efficiency and tour experience of tourists, the research proposes some suggestions on the construction of zoos in the city from the aspects of optimizing route network structure, strengthening crowd control in popular places, improving barrier-free design, improving the guidance signage system and using digital interaction technology. The research can provide

收稿日期: 2022-06-09 网络出版日期: 2022-10-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(52078254, 31971721)

作者简介: 张冰(1998—),女,辽宁铁岭人,硕士研究生,主要从事城市规划与设计方面的研究。

通信作者: 徐振, E-mail: xuzhen@njfu.edu.cn

reference for the spatial planning and optimization of route network in zoos.

Key words: zoo; wayfinding; space syntax; space configuration; network analysis

0 引 言

根据《城市绿地分类标准》(CJJ/T 85—2017),动物园是指在人工饲养环境下移地保护野生动物的绿地,可进行动物饲养、繁殖等,并具有良好的设施和解说标识系统,为游客提供科普、观赏、游憩等活动。城市动物园作为专类园承载着保护资源、延续城市文脉的功能^[1],通常是城市中访客最多的公园绿地之一,已经成为很多城市的热门景点和自然教育基地。南京红山森林动物园作为目前国内唯一自收自支的公益性动物园,以其经营理念独特、生境多样著称,吸引了大量市民和外地游客前来游赏。近两年园区客流量明显增加,园内基础设施配置无法满足游客需求,同时部分场馆亟待更新,路网混乱与标识系统不完善等问题愈加突出。

为了便于游客在园中顺利找到目标场馆、提高场馆到访率进而提升游览体验,需要从认知科学角度对相关的环境要素、空间组构进行分析。寻路(Wayfinding)为这种分析提供了关联环境与感知的视角。心理学家最先研究空间组构对人认知空间的影响,认为寻路是受环境空间组构影响下的人对空间的感知问题,并通过认知地图和实证研究对其进行验证,但相关研究缺乏对认知结果的分析^[2]。寻路逐渐受到语言学、图形设计、建筑学、风景园林、城市规划、环境行为学以及认知心理学等领域学者的重视,并逐渐成为一个跨学科的研究主题^[3]。游客的寻路行为会受到外部环境因素(导向标识系统、空间组构信息等)和个人因素(个人经验、方向感、对环境的熟悉程度、心理和生理因素等)^[4]的影响。空间构形源自用途分区和路网拓扑,是影响寻路的结构性和底层因素;导向标识系统作为表层因素,影响游客对直接信息的读取,因此导向标识的布点与具体设计也会影响寻路效率。在不同尺度和类型的场地中,这两个因素的信息暗示与传递交互作用,是影响游客寻路心理最主要的外界空间环境要素。近二十年来,研究者们开展了一系列实证研究,发现以文字符号标识为载体的标识系统对寻路行为的作用有限,场所特质、路网拓扑对复杂场地有着重要影响^[2]。与此同时,研究者们也发现,一些空间构形指标可以预测人们的寻路感知乃至行为^[5],且研究成本较低,更容易快速开展。

空间句法(Space syntax)是一种能够有效量化空间、深度发掘空间组构规律的空间构形分析方法,最初用于建筑内部空间和城市街道的分析。人类的空间认知很大程度上受到空间组构的影响,同时空间的复杂性致使人们的感知是片面的,而空间认知又决定了人空间行为的发生^[6]。空间句法通过形态分析变量来定量描述位于城市自由空间中的交通线路的空间属性,将人的活动与社会结合起来^[7]。空间句法模型有轴线模型(Axial model)、凸状模型(Convex model)、线段模型(Segment model)和视域模型(Visibility model) 4 种。其中:轴线模型较多地应用于线性空间的研究;线段模型是以轴线模型为基础逐渐发展起来的,这个模型因同时考虑了实际距离、路网偏转角度以及空间拓扑关系,更贴近城市空间的实际情况和使用者寻路行为,数据准备上可直接利用城市 GIS 数据中的道路中心线构建模型单元^[8],在多个国家进行的实证研究都表明预测结果与实际交通流有很好的拟合度^[9]。

近二十年来,空间句法已运用于校园绿地^[10]、综合公园^[11]、古典园林^[12-14]的研究中,成为风景园林学科的重要研究方法之一,其研究内容多侧重于公园内部空间的可达性、安全性以及环境空间特征分析等,很少有学者将公园内部游径空间组构与寻路行为结合进行量化分析。与此同时,一些学者发现,由于风景园林场地中人的行为和感知与城市街道和建筑内部有所不同,可能需要整合不同方法来提高研究的信度,增加相关性分析以形成更有操作性的建议^[15]。本文从寻路视角出发,以南京红山森林动物园为研究对象,探究游径空间组构和导向标识系统对游客寻路行为的潜在影响。首先,采用空间句法对游径空间组构进行量化分析;其次,结合问卷调查、实地调查分析导向标识的现存问题,并结合 GIS 网络分析优化当前游线;最后,从寻路视角出发,根据研究结果对动物园规划设计和经营管理提供参考建议。

1 研究区域与方法

1.1 研究区域概况

南京红山森林动物园位于南京市玄武区,是南京市重要的专类公园之一。本文选择该公园作为研究区域基于以下两点:首先,近两年来红山森林动物

园因其经营理念和旅游价值吸引了大量市民和外地游客前来游赏,为提升游客游览体验,改善动物生境,园区面临基础设施提档升级、场馆翻新改建等问题。其次,与其他类型的公园相比,游客在动物园游览过程中,寻路的目标性极强,而且由于动物园地形变化丰富、路网复杂,导致游客时常迷路。因此,本

文以南京红山森林动物为研究对象进行案例研究。南京红山森林动物园是位于和燕路与红山路之间,临近地铁 1 号线和南京站,交通便利,区域示意图如图 1 所示。动物园整体分为大红山猛兽区、小红山禽鸟区和放牛山灵长区 3 个片区,占地面积 68 hm²,园区绿化覆盖率达到 85%。

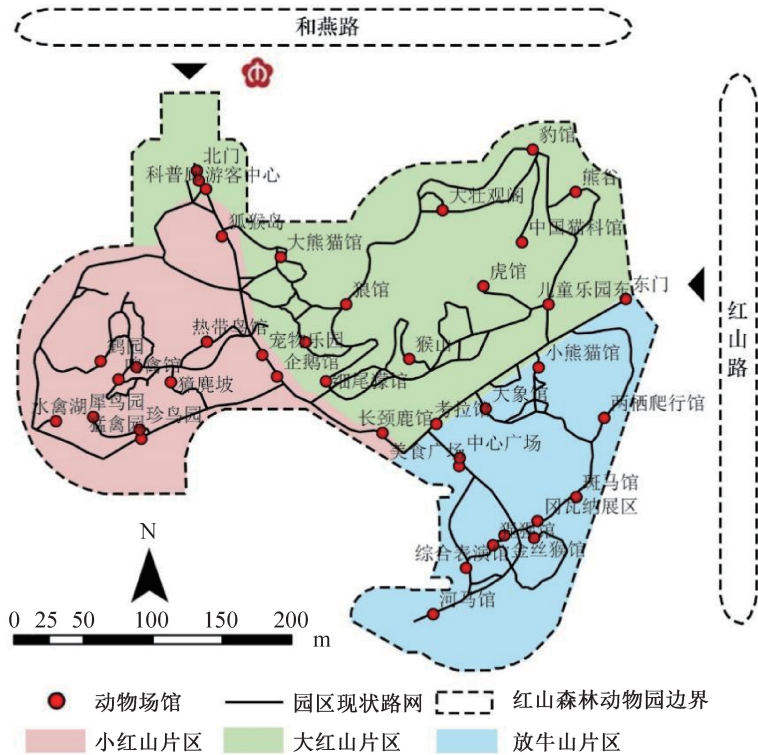


图 1 红山森林动物园区域示意图(图片由作者自绘)

1.2 研究方法

本文采用空间句法、问卷调查法和 ArcGIS 网络分析法,对动物园内游径可达性进行分析,并根据游客偏好和园区现状优化当前游线。

1.2.1 空间句法理论

本文使用线段模型对动物园的游径可达性进行分析。线段模型可以处理路网的几何特性,累计每一对交叉路网之间的角度(Angular),其研究结果可以很好地解释空间组构与寻路行为的联系^[16]。本文选取整合度(Integration)、连接度(Connectivity)、可理解度(Intelligibility)3 个指标对游径可达性进行计算与评估分析。整合度又称集成度,可以体现某一空间相对其余空间的中心性,能够衡量一个空间吸引到达交通的潜力。整合度分为全局整合度与局部整合度^[17],全局整合度越高,空间可达性越高。连接度表示与指定道路相交的其他道路总数。根据空间句法原理,连接度越大,空间渗透性越好^[18]。可理解度表示全局与局部整合度之间的相关性,与寻路行

为息息相关。空间可理解度越高,表明感知可达性越强^[19]。

利用 Auto CAD 2016 软件绘制出动物园现状道路的中心线,将绘制好的路网储存在 DXF 格式的文件,然后导入 Depthmap+Beta1.0 软件。先将路网转为轴线模型,再转为线段模型。由于相邻场馆之间的距离在 50~200 m,因此在本研究中,将半径 r 设置为 50、100、150 m 和 200 m,选用长度作为分析权重,建立线段分析模型,共梳理出 602 条线段。

1.2.2 问卷调查

为获取不同游客游览信息和满意度,本文针对游客开展问卷调查。问卷包括游憩者基本信息、游憩者特征和游览满意度三部分。第一部分游憩者基本信息包括性别、年龄、教育程度、居住地和收入情况;第二部分游憩者特征包括游憩次数、出行方式、随游人群、实际游览时间、游览方式及游览场馆偏好;第三部分采用李克特五级量表调查游客游览满意度。问卷发放时间为 2021 年 7 月 22 日—2021

年 7 月 24 日,通过线上结合线下发放调查问卷。本次调查问卷共发放 240 份,为后期利用 ArcGIS 网络分析功能优化当前游线提供数据支撑。

1.2.3 GIS 网络分析

目前,大多有关寻路的研究以时间成本、路程成本和景观视觉评价等容易量化的指标设计游线,极少考虑游客偏好,使得游线无法很好地满足游客需求。本文利用 GIS 网络分析,结合问卷调查得到游客场馆偏好的数据,对当前游线进行分析和优化。

首先,构建网络分析模型。红山动物园是典型的山地、丘陵地带动物园,园内坡度变化较大,游客步行速度也会因坡度变化而变化。Rees^[20]总结了在山地环境下步行速度与坡度的关系,可以用式(1)表示:

$$1/v=a+bm+cm^2 \tag{1}$$

其中: v 是步行速度,m/s; m 表示坡度,用高程与水平距离的比值表示; $a=0.75$ s/m, $b=0.09$ s/m, $c=14.6$ s/m。

本文利用 ArcGIS10.6 中 Network Analyst 分

析模块,将路网作为建立拓扑关系的基础要素集,结合空间分辨率为 0.5 m 的动物园 CAD 高程数据,在路网属性表里计算各路段三维空间的实际路径距离,再根据式(1)计算游览时间。

其次,生成推荐路径。使用 Network Analyst 分析模块,新建工作路径,将动物园北门(正门)设为推荐游线的起点和终点,结合场馆偏好和当前路网,以实际距离为阻抗进行分析,计算最优游览路线。

2 结果分析

2.1 空间可达性分析

2.1.1 全局整合度

将全局整合度的高低按照颜色不同进行划分,颜色由蓝到红代表整合度越来越高,红色为最高。图 2 为游径全局整合度的分析结果,整合度较高的是连接东、北两门的主路,并以此为中心逐次向道路两侧递减,动物园的全局整合度呈现“中间高,两端低”的布局。动物园内道路空间全局整合度最大值为 130.210,最小值为 52.018,平均值为 82.655。

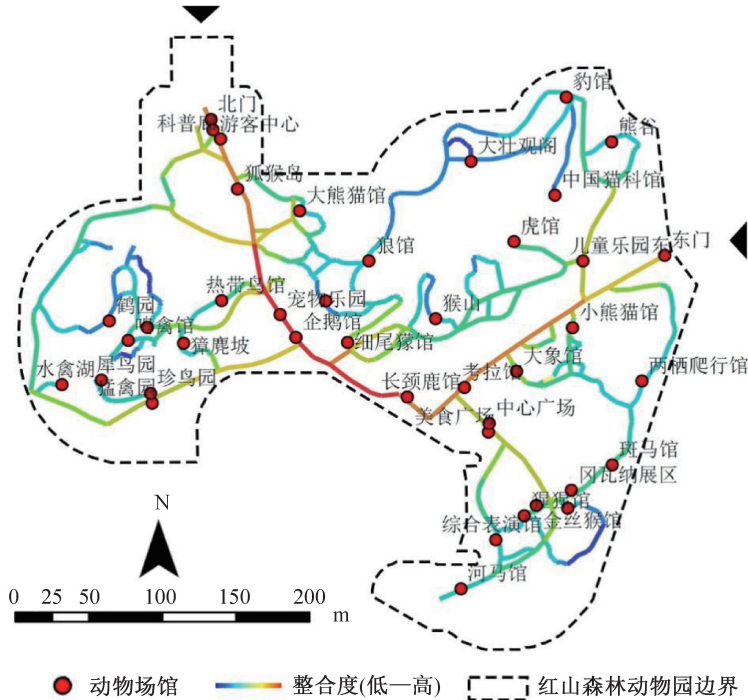


图 2 红山森林动物园游径全局整合度分析图(图片由作者自绘)

宠物乐园、企鹅馆、长颈鹿馆周边是整合度最高的区域,其路网空间形态对游客有很强的引导性,更容易被人们感知。从空间特征来看,这些空间出现在最短拓扑路径上的次数较多,表明更容易被游人感知,人流量聚集明显。这些整合度高的路段视域相对开阔,是游客形成空间认知的焦点区域,具有较

高的可达性。同时,此处也是连接大红山、小红山和放牛山的重要路段。

2.1.2 局部整合度

局部整合度表示某个节点与其附近节点联系的紧密程度。半径从 50 m 增加到 200 m 时局部整合度数值见表 1,局部整合度统计情况见表 2。由表 1

和表 2 可以看出,半径范围越大,局部整合度平均值越大,路网可达性越高。不同半径范围内局部整合度的极差较大,表明不同道路空间局部整合度之间

存在较大差异,游客在不同区域对空间的感知能力也有所不同。

表 1 不同半径范围内局部整合度

$r=50\text{ m}$		$r=100\text{ m}$		$r=150\text{ m}$		$r=200\text{ m}$	
局部整合度数值区间	线段数目/条	局部整合度数值区间	线段数目/条	局部整合度数值区间	线段数目/条	局部整合度数值区间	线段数目/条
<56.122	594	<8.165	7	<9.601	4	<12.070	9
$[56.122,106.775)$	6	$[8.165,11.436)$	58	$[9.601,13.158)$	36	$[12.070,16.235)$	33
$[106.775,157.428)$	1	$[11.436,14.707)$	115	$[13.158,16.716)$	90	$[16.235,20.400)$	108
$[157.428,208.081)$	0	$[14.707,17.978)$	158	$[16.716,20.273)$	158	$[20.400,24.565)$	142
$[208.081,258.734)$	0	$[17.978,21.249)$	142	$[20.273,23.830)$	115	$[24.565,28.729)$	124
$[258.734,309.387)$	0	$[21.249,24.520)$	66	$[23.830,27.387)$	93	$[28.729,32.894)$	85
$[309.387,360.041)$	0	$[24.520,27.791)$	24	$[27.387,30.944)$	50	$[32.894,37.059)$	40
$[360.041,410.694)$	0	$[27.791,31.062)$	11	$[30.944,34.502)$	19	$[37.059,41.224)$	34
$[410.694,461.347]$	0	$[37.062,34.333]$	15	$[34.502,38.059]$	20	$[41.224,45.389]$	18
>461.347	1	>34.333	6	>38.059	17	>45.389	9

表 2 局部整合度统计数据

统计指标	统计值			
	$r=50\text{ m}$	$r=100\text{ m}$	$r=150\text{ m}$	$r=200\text{ m}$
最大值	512.000	37.603	41.616	49.554
最小值	5.469	4.894	6.044	7.905
平均值	16.381	17.710	21.838	25.890
标准差	22.744	5.476	6.592	7.623
线段数目/条	602	602	602	602

2.1.3 连接度分析

连接度可以反映空间渗透性,表示空间中某一

空间与其直接相连的空间个数。红山森林动物园游径连接度见图 3,图中游径颜色不同,表明空间连接度不同,颜色由蓝到红代表连接度越来越高,红色为最高。连接度越高,空间的渗透性越强。从图 3 可以看出,园区内连接度最高的路段位于主路与大熊猫馆西南方的交界处。此处的连接度为 6,高于全局连接度的平均值 2.472,这表明此处空间渗透性良好,与周围空间联系较强,是园区内人流分散的重要位置。该位置标识牌的布点和设计,会影响游客入园后的寻路行为以及对整个园区环境空间的感知。

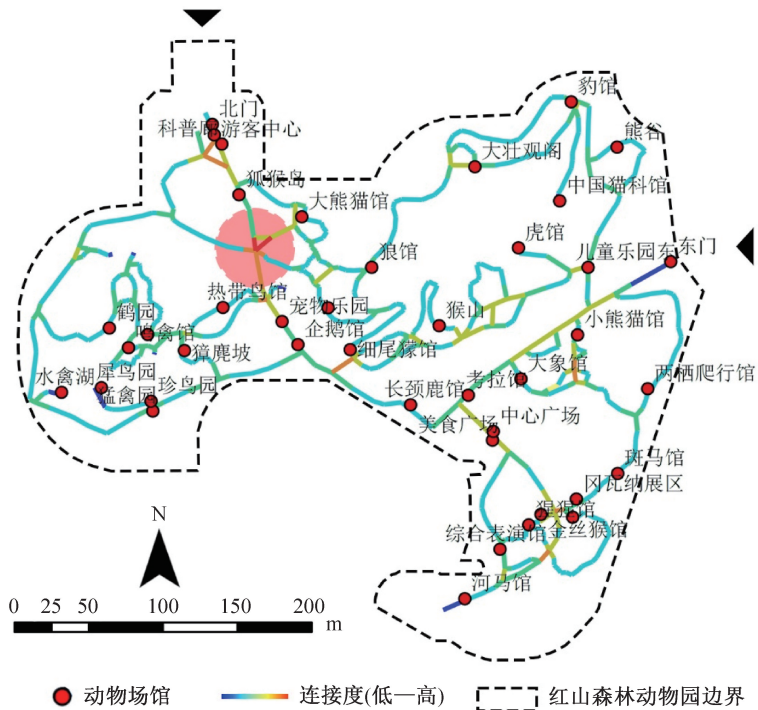


图 3 红山森林动物园游径连接度分析图(图片由作者自绘)

2.1.4 可理解度分析

可理解度描述局部空间与整体空间的关联性,可理解度越高,表示人在局部空间可以更好地了解整体空间组构,从而在局部空间中把握整个空间系统的结构特征。用统计学的 R^2 ($0 \leq R^2 \leq 1$)表示局部整合度和全局整合度的相关程度。一般认为, $R^2 < 0.5$ 表示两者之间呈弱相关或不相关; $0.5 \leq R^2 \leq 0.7$ 表示两者是相关的,空间可理解度较好,在局部空间中能够较好地建立对整体空间组构的认知; $R^2 > 0.7$ 表示两者呈显著相关,

可理解度值越大,局部空间与整体空间之间的统一性越高^[21]。

当半径大小 $r=50、100、150$ m 和 200 m 时, R^2 分别为 $0.016、0.066、0.177$ 和 0.330 ,均小于 0.5 。当 $r=200$ m 时,空间可理解度散点图如图 4 所示,其中: x 表示全局整合度, y 表示局部整合度($r=200$ m)。从图 4 可以看出,该动物园的整体空间被感知程度较低,空间可理解性较差,游客很难通过局部空间感知动物园整体空间。这可能是受园区地形影响,所以空间可识别程度较低。

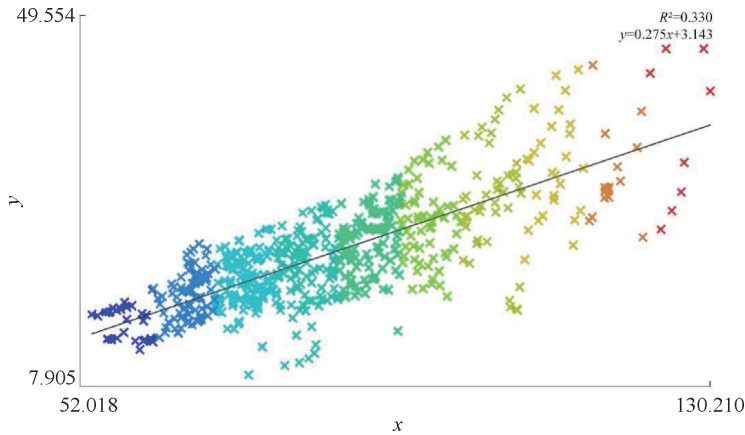


图 4 红山森林动物园游径可理解度散点图($r=200$ m)(图片由作者自绘)

2.2 游线优化

2.2.1 问卷调查分析

从性别情况来看,被调研对象中男性为 104 人,女性为 136 人,女性比例略高于男性。从年龄分布来看,18~30 岁的人群占比达到 58.75%,表明被调研的对象中青年人居多;从教育程度来看,本科及以上占比人群为 70%;从居住地情况来看,70%以上的游客为南京本地人。

游客寻路方式饼状图如图 5 所示,从图中可以看出,有 40.4% 的游客选择参照导游图和指示

牌游览。因此,导向标识牌位置摆放混乱、内容设计不合理等现存问题,可能会对游客寻路效率产生消极影响。场馆偏好程度饼状图如图 6 所示,从图中可以看出,共有 12 个热门场馆,分别为豹馆、熊谷、猩猩馆、河马馆、大象馆、小熊猫馆、猴山、长颈鹿馆、虎馆、中国猫科馆、大熊猫馆、狐猴岛。对不同类型游客之间的差异比较发现,不同性别、不同年龄、不同教育程度、不同居住地的游客在寻路方式和场馆偏好上均不存在显著差异。

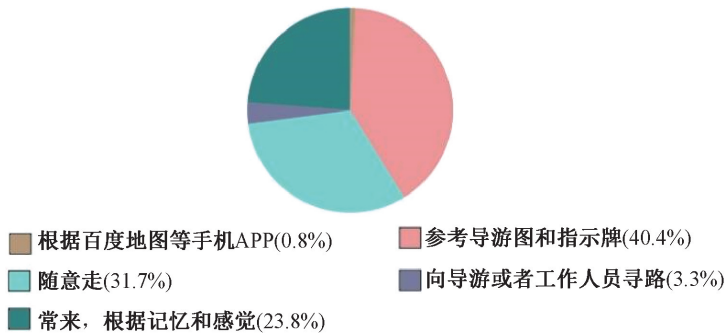


图 5 游客寻路方式饼状图(图片由作者自绘)

2.2.2 推荐游览路线优化

本文结合游客场馆偏好及当前游线现存问题,利用 GIS 网络分析功能对游线进行优化。通过 GIS

网络数据分析和实地调研发现,当前游线存在较多问题,主要有:a)缺少科学规划,游览顺序不合理且游览时间较长;b)并未结合游客偏好设计游线,且

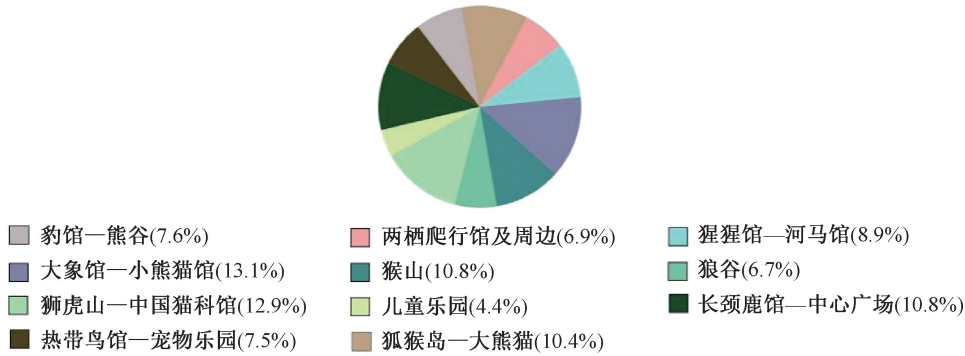


图 6 游客场馆偏好饼状图(图片由作者自绘)

部分热门场馆并未囊括其中,如猴山;c)设有台阶的路段并未在游线中显示,可能会给老年人、带小孩的家长造成不便。

针对问题 a)和 b),本文将场馆按片区重新划分,结合游客偏好,减少游览场馆个数,增加游线方案数量,规划后的游览路线 I 如图 7(a)—(b)所示。当前游线共经过 19 个场馆,全长约 3.8 km。假设游客在每个场馆停留 20 min,结合速度公式(1)进行估算,游客行走约花费 1.0 h,在完全不休息的情况下完成整个游线耗时约 7.3 h。规划后的游览路线经过 13 个热门场馆,游览大约花费 4.0 h。针对问题 c),本文将园区内设有台阶的路段或展区(猴山、熊谷、热带鸟馆和澳洲动物区)在模型中标记出来,设为“不予通过”路段,得到规划游览路线 II,如图 7(c)—(d)所示。

推荐游线 I (北门+大红山+放牛山片区)游览顺序为:北门—虎馆—中国猫科馆—豹馆—小熊猫馆—大象馆—考拉馆—猩猩馆—金丝猴馆—长颈鹿馆—大熊猫馆—北门。

推荐游线 II (北门+小红山+大红山片区)游览顺序为:北门—孔雀园—热带鸟馆—猴山—虎馆—中国猫科馆—豹馆—熊谷—小熊猫馆—大象馆—考拉馆—长颈鹿馆—宠物乐园—大熊猫馆—北门。

3 优化策略

为了更好地提高场馆到访率和游客的空间感知水平,本文从以下几个方面对提升城市动物园的空间可达性和寻路效率提出建议,为园区建设提供参考。

3.1 优化路网结构,提高道路可达性

园路是公园的重要组成部分,具有组织空间和引导游览的作用,良好的路网连通性可以提高游览体验。结合空间句法分析结果,园内道路改善可以参考以下两方面:首先,提升空间可理解性。在视域

较差的空间,结合园区实际情况,设置活动休憩设施,以提高空间使用率。其次,完善路网结构。适当增设支路,改善园内重点区域局部连接度,以提高道路成网率,避免断路路的出现,提高路网连通性。

3.2 加强热点区域人流管控,合理规划人群流线

动物园整合度和连接度较高的主路连接多个热门场馆,承载园内大部分车流量和人流,尤其在节假日期间可能会出现拥堵情况。因此,在客流量大的特殊时期,园方可以采用分流措施,在不对游览造成妨碍的前提下设计单向游览路线,以缓解高峰期道路的承载力,保证游客顺利通行;连接度较高的路段需加强标识系统引导,降低人流冲突,减少人群聚集。

3.3 加强无障碍设计,提高园路安全性

加强园区无障碍设计可以从园路设施和场馆设计两方面综合考虑。园路的无障碍设计对行动不便者尤为重要,特别是坡度过大或有台阶的地段更要重视标识系统的设置,要有预先告知标识,提升园路环境中的安全性。同时,将无障碍设计理念融入到场馆设计中,使场馆功能更完善,满足不同游客的使用需求。园方可以制作无障碍地图,详细标出园内坡度较大的路段、台阶数量以及无障碍设计路段等相关信息,方便游客选择游览路线及游览方式。

3.4 完善标识系统,提升寻路效率

在动物园内,标识系统具有引导、说明和指示等功能,会影响游客对整个空间环境信息的获取,标识信息的完整性和准确性会提升游客对空间信息的感知能力,便于游客顺利到达目标场馆。园内动物场馆、园路与片区如同“点”“线”“面”的关系,线的设计可以在现有资源的基础上加以优化。建议园方及时完善施工地段标识、增设导向标识牌数量,结合游客偏好、游览时间等要素优化当前游线,提升游览体验。

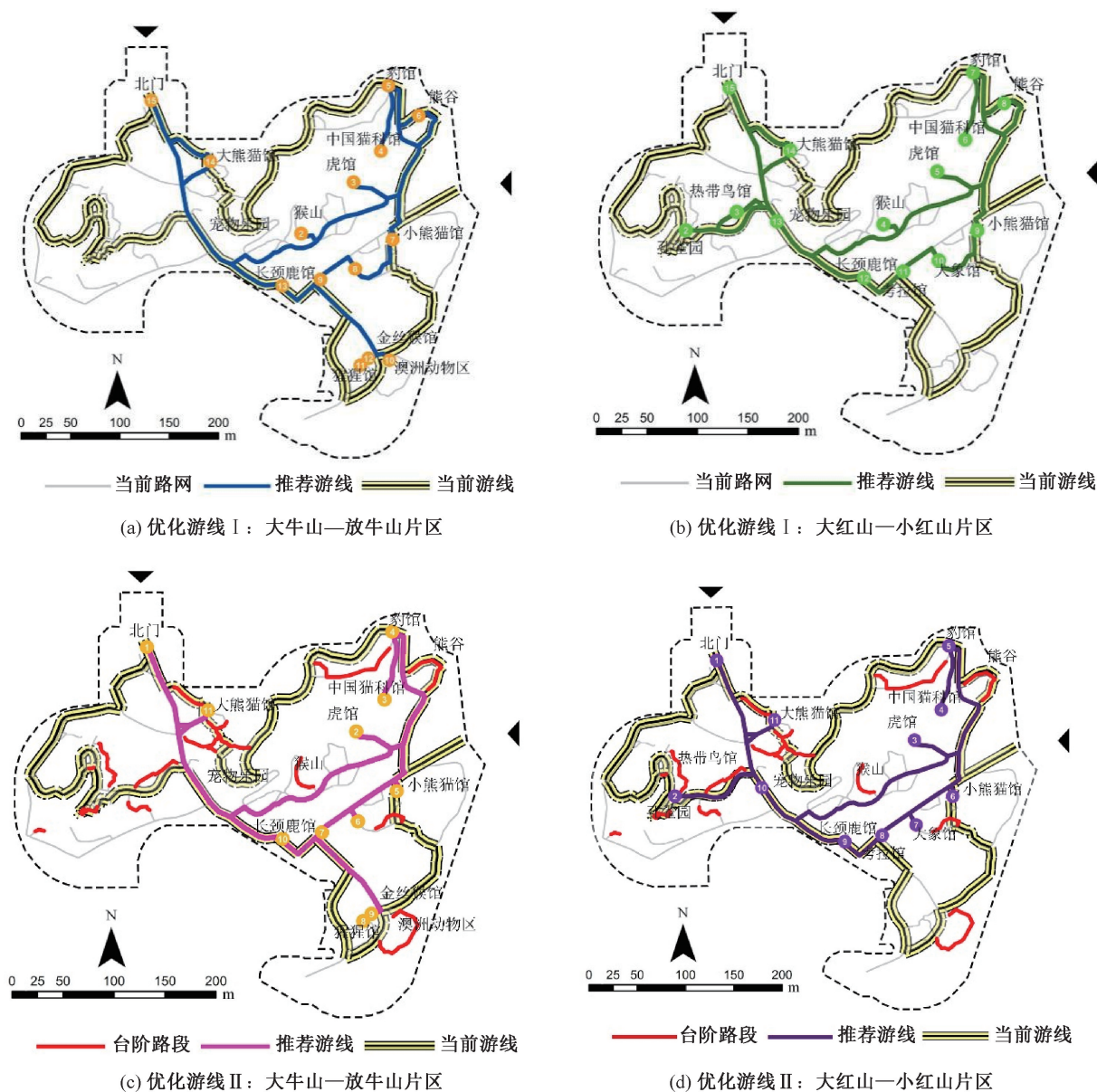


图 7 优化后的游览路线图(图片由作者自绘)

3.5 应用数字技术,满足游览需求

在互联网科技的时代背景下,游览路线作为游客寻路的基础设施,其设计的过程要综合考虑多方面的因素。数字交互技术可以提升游客游览体验效果,能够实现路径规划、地图导览、任务打卡等功能^[22],应该受到园方的重视。为此,可以结合游览时间、动物活动展览项目以及其他基础设施的分布综合考虑游览路线,满足游客的不同需求,提高游客满意度。

4 结 论

空间句法作为研究城市空间形态的定量分析方法,日益受到风景园林学科众多研究者的关注。以往研究过多关注城市路网空间、绿地可达性等大尺

度空间分析,缺乏对小尺度空间特殊性的可达性分析。本文突破了现有研究注重空间拓扑关系特征而忽视内部人群需求的研究思路,从寻路视角出发,以空间组构作为影响寻路的底层因素,将导向标识系统作为影响寻路的表层要素,探究两者在游客寻路过程中可能产生的潜在影响,并根据分析结果提出优化策略,为动物园规划设计、优化布局提供参考依据。

空间句法仅考虑道路的空间拓扑关系,计算结果稳定且可靠性高。然而,由于空间句法的分析仅停留在二维空间上,是一种理想情况下的模拟,与真实游览时的复杂情况存在差距,所研究结果并不能反映现实情况,与人们在真实环境中的空间认知存在一定程度的偏差。将空间句法与其他软件结合,

进行三维空间层面的相关研究还有待进一步探讨。另外,由于寻路行为易受到个人因素、路面情况等多重因素的影响,使得探究寻路行为与其影响要素之间的内在联系更加复杂,因此有必要结合人群实际寻路方式等数据进行相关分析。

参考文献:

- [1] 叶洁楠,王浩.城市公园绿地灾时避难功能结构和空间布局转换的可行性分析[J].南京林业大学学报(自然科学版),2018,42(3):175-181.
- [2] 韩默,庄惟敏.空间组构与空间认知[J].世界建筑,2018(3):104-107.
- [3] 牛力.以模拟寻路过程为方法探讨理想状态下的寻路问题[J].华中建筑,2005,23(4):47-48.
- [4] 吴小玲.基于游客寻路行为的景区导向标识系统评价研究[D].南京:南京师范大学,2015:18-22.
- [5] 吴荣华,张宏磊,张捷,等.城市历史文化旅游地的小尺度空间结构及关联:以南京夫子庙景区为例[J].地理研究,2014,33(12):2427-2436.
- [6] 陶伟,陈红叶,林杰勇.句法视角下广州传统村落空间形态及认知研究[J].地理学报,2013,68(2):209-218.
- [7] 王海军,夏畅,张安琪,等.基于空间句法的扩张强度指数及其在城镇扩展分析中的应用[J].地理学报,2016,71(8):1302-1314.
- [8] 张玉洋,孙雅婷,姚崇怀.空间句法在城市公园可达性研究中的应用:以武汉三环线内城市公园为例[J].中国园林,2019,35(11):92-96.
- [9] 樊亚明,田丽莹,郑文俊.基于空间句法的桂林市公园绿地可达性评价与优化[J/OL].桂林理工大学学报.2021,1-12.(2021-09-26)[2022-06-12].<http://kns.cnki.net/kcms/detail/45.1375.N.20210924.2219.002.html>.
- [10] 张浩.基于空间句法的校园绿地活动空间的可达性分析:以武汉大学信息学部校园为例[J].南方建筑,2015(1):114-118.
- [11] 杨梅,张建平,李宝勇,等.城市绿地空间可达性与安全感相关性研究:以南昌八一公园为例[J].中国园林,2019,35(11):76-80.
- [12] 杨琪瑶,张建林.基于空间句法的狮子林主假山神秘性分析[J].中国园林,2018,34(4):129-133.
- [13] 吕明扬.内外之际与空间格局:基于空间句法的苏州汪宅空间布局研究[J].建筑学报,2020(6):120-123.
- [14] 张清海,张山峰,赵晨晔.基于空间句法优化的南浔近代私家园林空间特征研究[J].南京林业大学学报(自然科学版),2021,45(6):209-216.
- [15] 钟丽玲,范伟程,林忠友,等.基于空间句法的城市防灾公园寻路行为研究:以福州市温泉公园为例[J].南方园艺,2021,32(2):31-37.
- [16] 金达·赛义德,特纳·阿拉斯代尔,比尔·希利尔,等.线段分析以及高级轴线与线段分析:选自《空间句法方法:教学指南》第5、6章[J].城市设计,2016(1):32-55.
- [17] 毛华松,黎宇梦,罗毅,等.基于空间句法理论的公共空间人群聚集风险评估与空间干预策略研究[J].西部人居环境学刊,2018,33(6):77-82.
- [18] 闫楚倩,马航,刘大平.基于空间句法的哈尔滨近代居住文化解读[J].建筑学报,2020(S2):152-157.
- [19] 李江,郭庆胜.基于句法分析的城市空间形态定量研究[J].武汉大学学报(工学版),2003,36(2):69-73.
- [20] Rees W G. Least-cost paths in mountainous terrain[J]. Computers & Geosciences, 2004, 30(3): 203-209.
- [21] 陶伟,林可枫,古恒宇,等.句法视角下广州市沙湾古镇空间形态的时空演化[J].热带地理,2020,40(6):970-980.
- [22] 许嘉诚,郑涵艺,彭雪萍.数字交互技术在提升景点游览体验效果中的应用研究:以南京红山森林动物园为例[J].信息与电脑(理论版),2021,33(21):166-168.

(责任编辑:康 锋)