

动物生境导向的深圳市光明区景观生态安全格局识别与自然游憩空间优化研究

Identification of Landscape Ecological Safety Patterns and Optimisation of Natural Recreational Spaces in Shenzhen's Guangming District Based on Animal Habitat Orientation

王鲁帅 罗仁泽 叶芳芳

WANG Lushuai, LUO Renze, YE Fangfang

摘要

在人与自然和谐共生的现代化目标引领下,构建人与动物友好的自然游憩空间成为新时期人居环境建设的重要命题。以深圳市光明区为例,基于景观生态安全格局理论,综合运用形态空间格局分析、基于图论的连通性评估、最小累积阻力模型及电路理论等方法,构建了“生境基底识别-优质斑块筛选-廊道网络识别诊断-总体格局整合”的分析框架。结果显示:动物生境导向的光明区景观生态安全格局由三要素构成,即由高核心区(包含10个郊野公园和12个城市公园)、3级172条生境廊道、17个夹点组成的关键生境网络,6处道路障碍点(公常路、龙大高速等)以及7类生境基底(核心区、边缘区等)。该格局存在三重风险:“人-动物-环境”协同性不足、障碍点割裂生态流、基底要素功能潜力未充分激活。基于分析结果与在地实践经验,提出三级优化策略:网络连通性强化、障碍点修复与基底服务效能提升。

Abstract

Under the guidance of the goal of modernizing the harmonious coexistence between humans and nature, optimizing nature-based recreational spaces has become an important task in the development of human settlements. Taking Guangming District, Shenzhen as an example, and based on the theory of landscape ecological security patterns, this study employs methods such as morphological spatial pattern analysis (MSPA), graph theory-based connectivity assessment, the minimum cumulative resistance (MCR) model, and circuit theory to establish an analytical framework consisting of 'habitat matrix identification—high-quality patch selection—corridor network identification and diagnosis—overall pattern integration'. The results show that the animal habitat-oriented landscape ecological security pattern in Guangming District comprises three elements: a key habitat network consisting of high-core areas (including 10 country parks and 12 urban parks), 172 habitat corridors at three levels, and 17 pinch points; 6 road barrier points (such as Gongchang Road and Longda Highway); and 7 types of habitat matrices (core areas, edge areas, etc.). This pattern faces three risks: insufficient synergy among 'humans, animals, and the environment,' fragmentation of ecological flows by barrier points, and underutilized functional potential of matrix elements. Based on the analysis results and practical experience, a three-level optimization strategy is proposed: enhancing network connectivity, restoring barrier points, and improving basic habitats.

文章亮点

1) 融合MSPA、图论、MCR与电路理论,构建“生境基底识别-优质斑块筛选-廊道网络识别诊断-总体格局整合”系统性分析框架,显著提升生态源地选择客观性与修复靶向性。2) 提出“关键网络-障碍点-生境基底”三级解析体系,识别出高核心区、廊道、夹点及障碍点,揭示高密度城区生境修复的优先级。3) 创新提出“网络连通-障碍修复-基底服务效能提升”三级优化策略,兼顾生态保护与游憩功能,为人与动物协同型自然游憩空间提供具体建设指引。

关键词

生态安全格局; 动物生境; 自然游憩空间; 形态学空间格局分析; 最小累积阻力模型; 图论; 电路理论

Keywords

Ecological security pattern; Animal habitat-oriented; Natural recreation space optimization; Morphological spatial pattern analysis; Minimum cumulative resistance model; Graph theory; Circuit theory

收稿日期: 2025-04-15

修回日期: 2025-06-06

光明区作为深圳市“西部门户”，既具备快速城镇化的特征，又拥有丰富的生态资源，其生境破碎化与游憩空间扩张之间的矛盾在高密度城市地区具有典型性。中国共产党第二十次全国代表大会报告提出的“人与自然和谐共生的现代化”目标，与《深圳市光明区国土空间分区规划（2021—2035年）》中“生态优先、绿色发展”原则高度契合，为破解城镇化与动物生境保护之间的矛盾提供了政策框架。在此背景下，亟需通过构建人与动物友好型自然游憩空间，统筹生态安全与高质量发展。

景观生态安全格局是景观中具有某些潜力的空间格局，对维护或控制某种生态过程有着重要的意义^[1]。国外以 Richard T.T. Forman 为代表的学者构建了以斑块、廊道、基质为核心的理论框架。后续研究不断深化量化方法，如运用图论方法识别生态源地、利用最小累积阻力模型模拟物种迁徙路径、借助电路理论模拟“生态流”来识别夹点和障碍点^[2]。国内研究始于 20 世纪 90 年代，以俞孔坚为代表的学者提出了城市与环境协同的理论，为我国城乡规划提供了新思路^[3]。随后，研究重点转向格局识别与优化策略，并广泛应用于国土空间规划和生态专项规划中^[4]。在自然游憩空间领域，学者们开始关注生态保护与游憩功能的协同，探讨绿道网络的生态与游憩双重价值，以及基于生态敏感性的游憩策略^[5]。然而，研究多侧重于宏观安全格局，对动物生境导向的关注不足；缺乏针对生态空间破碎、人类活动密集的高密度城区的成熟方法体系和优化策略；研究的技术路径对数据依赖性高，在基础数据薄弱的地区难以应用。

因此，本研究聚焦于高密度城市中动物生境保护与自然游憩空间优化的协同难题，将景观生态安全格局理论引入自然游憩空间领域。研究以深圳市光明区为例，综合运用形态空间格局分析（Morphological Spatial Pattern Analysis, MSPA）、图论连通性评估、最小累积阻力模型（Minimum Cumulative Resistance, MCR）及电路理论^[6]，构建了“生境基底识别—优质斑块筛选—廊道网络识别诊断—总体格局整合”的分析框架。通过该框架，研究旨在识别光明区动物生境导向的景观生态安全格局及其潜在风险，并提出动物生境保护与自然游憩空间的协同优化策略，为建设人与动物友好的自然游憩空间提供参考。

1 研究方法

1.1 研究范围与扩展研究区

研究以光明区行政区划为研究范围。为完整表现跨行政区的生态流，将毗邻的宝安区、龙华区的生态区域（农林用地等非建设用地）纳入景观生态格局分析范围，最终形成总面积为 210.5 km² 的扩展研究区（图 1）。

1.2 数据来源与处理

研究整合多源数据支撑分析。其中，行政界线和土地利用数据源自《深圳市光明区国土空间分区规划（2021—2035年）》；高程和影像数据来自 Bigemap 平台（<http://www.bigemap.com/>）下载的 2024 年 3 月开源数据，数

字高程模型（Digital Elevation Model, DEM）的分辨率为 30 m 且网格间距为 10~15 m，影像数据是栅格数据且分辨率为 2 m，坐标系均为 WGS84；坡度数据基于 DEM 数据，通过 ArcGIS 软件空间分析模块计算生成。

数据处理包括坐标统一、地类转换与二值处理、栅格数据矢量化和阻力面生成 4 项内容。其中，坐标统一是利用 Bigemap 软件，将下载的开源数据转换为 GCS2000 坐标系；地类转换与二值处理是根据《国土空间调查、规划、用途管制用地用海分类指南》（自然资发〔2023〕234 号），将土地利用数据转换为一级地类，并赋值形成二值栅格数据（农林生态用地=1，含耕地、园地、林地、草地、湿地、陆地水域、农业设施建设用地、其他土地 8 类；建设用地=0，含居住用地、公共管理与公共服务用地、商业服务业用地、工矿用地、仓储用地、交通运输用地、公用设施用地、绿地与开敞空间用地、特殊用地 9 类）；栅格数据矢量化是基于 MSPA 分析结果，通过 ArcGIS 的栅格转面工具将栅格数据转为矢量数据；阻力面生成是对高程、坡度和土地利用数据进行重分类，通过加权叠加得到综合阻力面。

1.3 技术方法

研究以“生境基底识别—优质斑块筛选—廊道网络识别诊断—总体格局整合”为技术框架，构建光明区动物生境导向的景观生态安全格局。流程包括：1）通过 MSPA 分析提取核心区、边缘区、环道、孔隙、孤岛、连接桥、支线 7 类要素，并解析空间分布特征；2）结合图论理论，通过重要性指数评估核心区重要性，划分高、中、低 3 级，筛选高核



图 1 研究范围与扩展研究区示意

Fig.1 Location of the study area

心区作为生态源地; 3) 融合 MCR 与电路理论, 构建综合阻力面, 识别潜在生境廊道并定位夹点与障碍点; 4) 整合形成动物生境导向的景观生态安全格局, 经在地验证揭示其潜在风险, 为自然游憩空间协同优化提供依据。

1.3.1 生境基底识别

研究运用 Guidos 软件, 以默认参数对二值栅格数据进行要素识别, 以全面覆盖潜在生态空间。借助数学形态学运算, 共提取出 7 类景观生态空间要素^[7]。其中, 核心区是动物的重要栖息地, 为其提供繁育空间; 边缘区是核心区与非绿色区域的过渡带; 环道多为核心区内的消防道路, 一般不具备生态功能; 孔隙是核心区内的点状建设区域, 一般不具备生态功能; 孤岛是与其他生态要素连接性较差的散点绿斑, 生态服务功能较弱; 连接桥是两端均连接核心区的线性绿斑, 对动物迁徙有着重要作用; 支线是仅一端与其他生态要素连接的线性斑块, 对动物迁徙的作用较弱。

1.3.2 优质斑块筛选

研究基于核心区矢量数据, 采用图论方法量化评估斑块连通性, 筛选对动物迁徙具有重要价值的生态源地。首先, 通过 Conefor 软件计算各核心区的重要性指数 (dPC), 该指数数值越大, 表明斑块对整体系统连通性的贡献越大, 对动物迁徙路径的支撑作用越关键。具体计算公式如下:

$$PC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i \times a_j \times p_{ij}}{A_L^2} \tag{1}$$

$$dPC = \frac{PC - PC_{remove}}{PC} \tag{2}$$

式 (1) 中, n 为斑块总数目; a_i 、 a_j 分别为斑块 i 、 j 的面积大小; A_L 为景观总面积; p_{ij} 为物种移动到斑块 i 和 j 之间的最大概率; 式 (2) 中, PC_{remove} 为斑块移除时的景观连接度。

接着基于 dPC 数值将核心区分为高、中、低 3 级, 并通过德尔菲法验证分组合理性。其中, 高核心区 (前 10%) 作为生态源地, 聚焦于生境廊道交汇处与关键迁徙节点, 中核心区 (10%~30%) 与低核心区 (后 70%) 分别服务于次级网络补足与微生境优化^[8]。通过此方法, 研究将动物迁徙路径需求与斑块连通性耦合, 为廊道分析提供科学的生态源地数据, 也为后续策略制定提供量化支持。

1.3.3 廊道网络识别诊断

研究通过集成 MCR 与电路理论, 构建动物生境导向的生境廊道网络体系。具体步骤如下:

1) 构建综合阻力面。基于层次分析法确定各因子的阻力系数及其权重。研究邀请了 10 位来自生态学、景观规划领域的专家, 对各因子进行两两比较评判, 构建判断矩阵, 最终确定土地利用类型 (权重 0.42)、高程 (权重 0.29) 和坡度 (权重 0.29) 的阻力系数, 在 ArcGIS 平台生成分辨率为 100 m 的加权阻力面 (表 1)。

2) 识别潜在廊道。运用 Linkage Mapper 提取高核心区 (生态源地) 间的最小成本路径, 形成潜在生境廊道网络。

3) 识别夹点、障碍点。利用 Pinchpoint Mapper、

Barrier Mapper 工具模拟生态流空间分布, 通过电流强度识别夹点 (高连通性节点), 并定位电流值发生突变的区域 (如道路) 作为障碍点。通过此方法, 研究实现了从生境质量评估到廊道空间优化的系统整合, 为后续“人-动物-环境”协同优化提供了量化基础。

1.3.4 总体格局整合

基于生境基底识别、优质斑块筛选和廊道网络识别诊断结果, 研究整合关键生境网络、障碍点及生境基底 3 类要素, 构建动物生境导向的景观生态安全格局。其中, 关键生境网络包括高核心区、生境廊道及其夹点, 三者协同保障动物迁徙路径的连续性, 是维持生境连通的核心结构; 障碍点是基于电路分析识别的动物迁徙断裂点, 阻断了生境网络的连续性, 是生态修复的重点关注; 生境基底包括 7 类景观生态要素, 支撑生境网络的稳定性与适应性, 是整个景观生态安全格局的底盘。

2 动物生境导向的景观生态安全格局分析

2.1 生境基底识别结果

研究显示, 景观总面积为 132.6km², 核心区面积最大 (92 km², 占 69.4%), 边缘区 (13.4 km², 占 10.1%) 与连接桥 (13.1 km², 占 9.9%) 次之, 三者共占景观总面积的 89.4%; 其余环道 (6.5 km²)、孔隙 (2.5 km²)、孤岛 (2.4 km²) 和支线 (2.8 km²) 等要素的面积相对较小, 占比分别为 4.9%、1.9%、1.8% 和 2.1%。核心区的斑块面积呈现显著异质性 (均值 ± 标准差为 7.7 ± 84.8 hm²), 反映出高密度城市地区典型的“生态极核-

表 1 阻力值与权重分配
Tab.1 Resistance values and weighting by land use, elevation, and slope

影响因子	分级指标	阻力值	权重
用地类型	林地、湿地、陆地水域	1	0.42
	草地	10	
	园地	20	
	耕地	30	
	农业设施建设用地、其他土地	100	
	建设用地	500	
高程	<150 m	1	0.29
	150~300 m	10	
	>300 m	50	
坡度	<5°	1	0.29
	5°~14°	10	
	15°~19°	50	
	20°~25°	75	
	>25°	100	

碎片化生境”二元特征。空间分布显示，核心区沿研究区外围呈不连续的倒“C”形分布模式（图2），这种离散的格局导致生境结构韧性降低，并抑制了建成区与外围生态系统的联系。

2.2 优质斑块筛选结果

研究共识别出1169个核心区（总面积为92 km²），其重要性指数*dPC*呈现显著差异（数值为0.000 1~44.12，均值±标准差为0.21±2.25）。基于*dPC*的百分位将核心区划分为3个等级（图3）：高核心区（前10%）占核心区总面积的93%，包含10个郊野公园（如罗田森林公园）和12个城市公园（如科学公园），构成了研究范围的生态源地；中核心区（10%~30%）占核心区总面积的6%，以社区公园（如西田公园）为主体，主要服务片区生境连通；低核心区（后70%）占核心区总面积的1%，主要为附属绿地、街角绿地等小微空间，生态功能相对有限。该分级体系有效揭示了光明区“核心-次核心-边缘”的3级生境结构特征。

2.3 廊道网络识别诊断结果

2.3.1 生境廊道识别结果

研究共识别出172条生境廊道（图4），总长度为135.5 km，单条廊道长度在17.9 m至8115.4 m之间（均值±标准差为787.7±1230 m），生态廊道呈显著离散分布。依据长度与功能差异，将生境廊道划分为3级，一级廊道（长度大于1000 m）的总长为96.4 km，包括茅洲河廊道、后底坑-崖岭廊道、楼村水廊道等，这些廊道串联城区核心区与外围斑块，是连接建成区内外生境系统的关键骨架；二级廊道（长度为100~1000 m）的总长为36.4 km，主要连接外围破碎化斑块集群，以提升局部生态连续性；三级廊道（长度小于100 m）的总长为2.7 km，优先采用低成本维护方式，

用于修复核心区边缘斑块的生态连接性。

2.3.2 夹点与障碍点诊断结果

研究共定位到17个夹点（图5），集中分布于茅洲河支流水系，其中后底坑-崖岭廊道有8个、木墩水廊道有3个，以及茅洲河玉律段有2个，这些夹点是提升生境水平的关键区域，需优先保护以维持生境韧性。同时，基于Linkage Mapper分析结果和实地研判，研究共识别出6处高等级道路障碍点，分别是公常路、观光路、龙大高速、松白路、南光高速、新玉路（图5）。这些障碍点阻断了区域生境的连续性，形成倒“C”形扇面阻隔格局。例如，公常路障碍点割裂罗田森林公园与光明森林公园，龙大高速障碍点削弱了观澜森林公园与大雁山森林公园间的连接性。

2.4 总体格局整合结果

研究范围内动物生境导向的景观生态安全格局由关键生境网络、障碍点和生境基底三部分组成（图6）。其中，关键生境网络由高核心区（包含10个郊野公园和12个城市公园）、串联高核心区的172条生境廊道、17个夹点组成，促进了动物迁徙与基因流动；障碍点为6处高等级道路切割点，分布在倒“C”形生态扇面上，削弱了城区外围的生境整体性；生境基底是由核心区等7种景观生态要素组成的生态底盘，支撑着生境网络的稳定性。然而光明区生境整体面临关键生境网络“人-动物-环境”的协同性不足、障碍点割裂生态流、基底要素功能潜力未充分激活等潜在风险挑战。

3 自然游憩空间协同优化策略

基于动物生境导向的景观生态安全格局识别结果及其存在的潜在三大风险挑战，研究以“生态优先、人与动物友

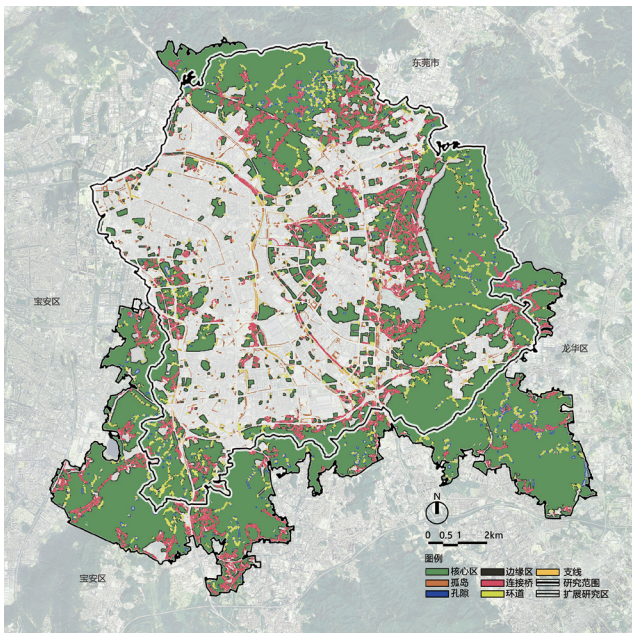


图2 各类景观生态空间要素分布
Fig.2 Landscape ecological elements

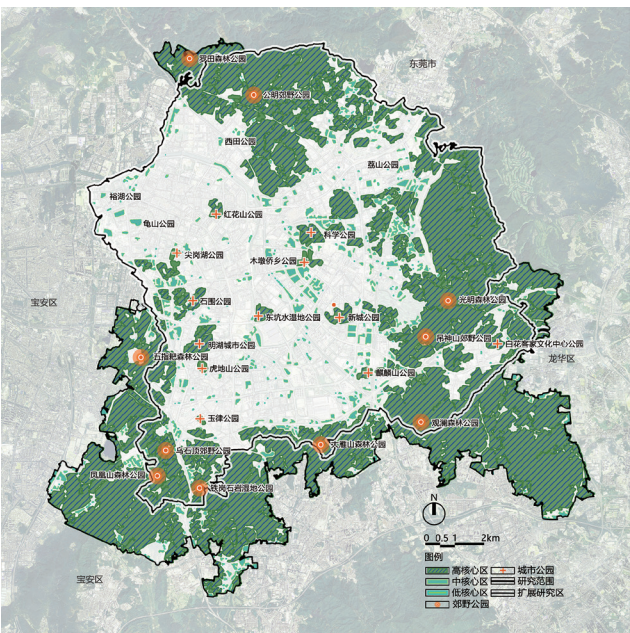


图3 各级核心区分布
Fig.3 Multi-tier core areas

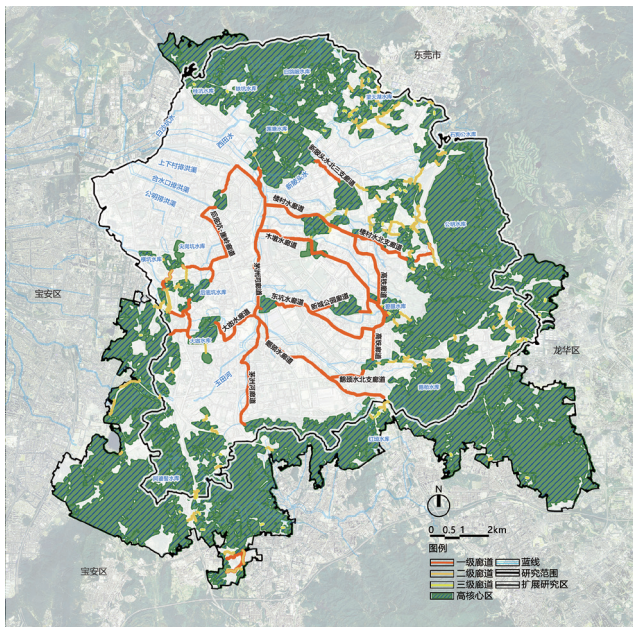


图 4 生境廊道分布
Fig.4 Habitat corridors

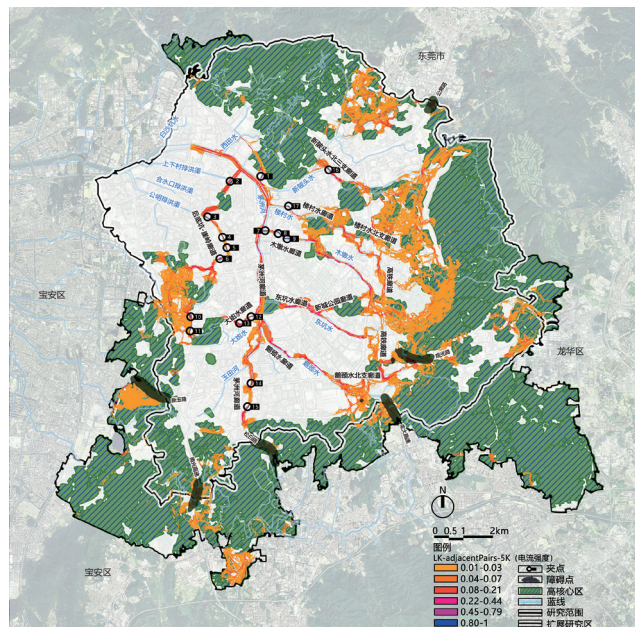


图 5 夹点、障碍点分布
Fig.5 Pinch points and barrier points

好共融”为核心理念，构建系统性优化框架：1）强化网络连通性，以绿道为纽带，统筹生态保护与游憩需求；2）修复障碍点，结合廊桥与通道等工程措施，缝合生境断点，减轻道路切割对动物迁徙的负面影响；3）提升生境基底服务效能，进行差异化引导，推动景观生态空间要素嵌入游憩功能，兼顾动物栖息与市民活动需求。上述策略旨在实现生态韧性提升及人与动物友好共生的目标，为高密度城市游憩发展与生境保护提供协同优化的实践路径。

3.1 以绿道为主强化网络连通性

在关键生境网络面临的生境保护与游憩开发矛盾中，绿道作为兼顾二者的核心纽带，既可通过缝合断裂的生境网络保障生态连通性，又能通过串联自然空间满足市民亲近自然的需求，是破解“单一生态建设忽视教育功能”与“过度开发破坏生境”难题的关键路径^[9]。研究基于关键生境网络特性，协同生境保护要求与游憩休闲需求，提出绿道建设优化指引（表 2）。

3.2 以廊桥和通道为主修复障碍点

在既有基础设施难以重建的情况下，可推动以廊桥和通道为载体的生态修复措施，逐步恢复倒“C”形扇面的完整性，使其兼具生态功能和自然教育价值^[10]。基于已识别的 6 处障碍点，建议采取路上廊桥、路下通道或者两者相结合的方案，以促进动物沿廊道迁徙。其中，路上廊桥采用仿自然覆土植被（灌木群落为主），并结合隔音屏障，优化廊桥的微生境，提升通行舒适性（图 7）。路下通道则采用干湿分离式通道设计，湿区通过配置浅水洼地与挺水植物服务两栖类动物，干区则利用碎石基质与倒木微生境引导小型动物迁徙（图 8）。为提高生态设施的综合效益，建议在廊桥与通道内部集成隐蔽式生物监测装置（如红外相机、声纹记录仪），

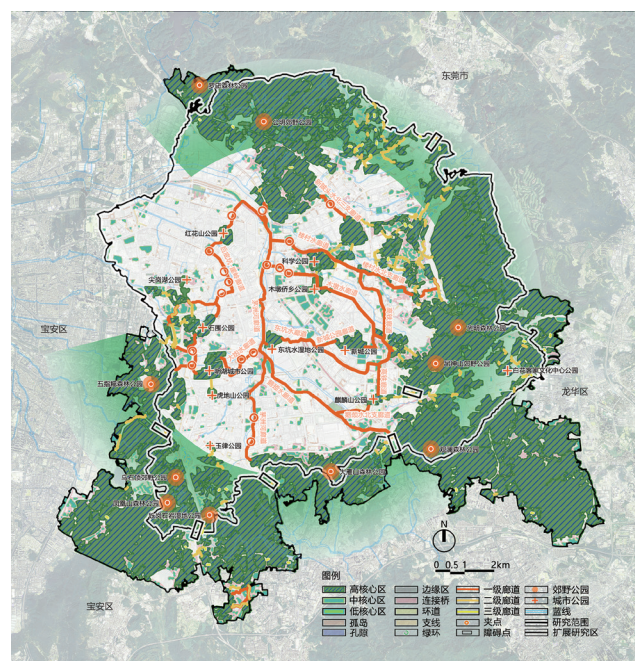


图 6 景观生态安全格局
Fig.6 Landscape ecological security pattern

实时追踪动物迁徙动态；在外部则结合监测数据可视化与解说设施，打造生态足迹展示节点，实现生态修复与自然教育的协同增效。

3.3 提升生境基底服务效能

景观生态空间要素作为维持生境系统的载体，其建设优化应基于功能分异特征、生态敏感性梯度及游憩需求差

异，制定分类管控与功能适配的建设指引，在保障生态完整性的前提下，实现游憩功能的适配性嵌入^[11]。本研究通过耦合景观生态学原理与游憩行为理论，提出差异化引导策略（表 3）。

4 结语

本研究集成 MSPA、图论、MCR 与电路理论，解析生态安全格局，提出协同游憩与生境保护的系统路径，研究表明：光明区动物生境导向的景观生态安全格局由关键生境网络、障碍点和生境基底三要素协同构成。其中，关键生境网络（10 个郊野公园和 12 个城市公园构成的高核心区、3 级 172 条生境廊道、17 个夹点）是维持生境连通的核心骨架，但该网络在“人－动物－环境”协同性上不足；6 处道路障碍点（公常路、龙大高速等）形成生态割裂带，阻断了动物迁徙；7 类生境基底（核心区、边缘区等）支撑生境网络稳定性，但其功能潜力尚未充分激活。针对上述格局特征，提

出网络连通性强化、障碍点修复、生境基底服务效能提升的三级优化策略，其核心内容包括绿道分类建设、廊桥 / 通道工程及景观生态空间要素差异化引导，旨在协同提升生态韧性，增强游憩功能。

本研究在技术方法层面突破了传统 MCR 模型依赖土地利用类型或专家经验划定源地的局限，通过前置生境基底识别与图论驱动斑块筛选，显著减少生态源地选择的主观偏差；引入电路理论精准识别 MCR 分析结果中的夹点与障碍点，提高生态修复的靶向性；构建了仅需土地利用、高程等基础数据的低数据依赖型技术路径，为数据基础薄弱地区提供最低可行性分析框架。在理论认知层面，本文重构了传统“核心区－廊道”的静态保护范式，提出“关键网络－障碍点－基底”三级解析体系。该体系整合高核心区、生态廊道与夹点，构建了“结构稳定－功能高效－过程连续”的复合网络；精准定位道路切割等生态断裂区，验证了 Dean L. Urban^[12]提出的生态网络层级崩溃机制；将传统背景环境转化为主动

表 2 绿道优化指引
Tab.2 Greenway optimization guidelines

绿道类型	定位	适配要素	优化指引
复合型绿道	人与动物协同使用	一级生态廊道	在条件允许的区段，结合地形高差设置动物专用迁徙绿廊断面和慢行断面；绿廊断面宽度不小于 2 m，以连续灌丛和遮阴乔木为主，避免大面积连续草坪；滨水区段的绿廊断面应贴近水域布置，与水岸空间协同设计，避免设置连续硬质驳岸；非滨水区段每隔 1 km 设置 1 处小型生态饮水点；慢行断面兼顾休闲需求，划分人行和骑行空间，避免骑行道直接毗邻动物迁徙绿廊
自然手作道	以人为主，低干扰体验	郊野公园	需避开自然保护地以及其他生态安全底线空间，采用低干扰、轻介入策略，依托现状自然路径，就地取材建设郊野游憩步道；步道宽度不宜大于 1 m，同步完善标识系统和配套服务设施
动物安全道	以动物为核心，保障迁徙安全	城市公园	沿生境廊道布局，在公园内设置宽度不小于 4 m 的连续动物迁徙绿廊，并于适宜节点构建池塘、湖泊等生态水域，兼具动物补给功能与景观价值
生态驿站	生境强化与花境观赏	生态夹点	结合廊道夹点设置不小于 2 m × 2 m 的生境节点，内侧种植多样化灌丛，外围配置观赏花木，形成动物迁徙休憩点及小型观花区；滨水型夹点需重点设计浅滩、浅水区、深水区等多层次水位环境，通过驳岸与基底优化提升水域生境质量
绿道留白区	生态提升与科普教育	二、三级生境廊道及连接的核心区	近期暂不规划绿道线路，作为生态修复与自然教育预留空间

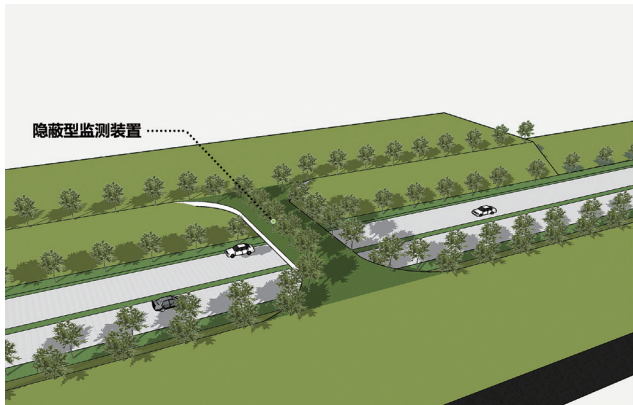


图 7 路上廊桥示意
Fig.7 Schematic of the wildlife overpass

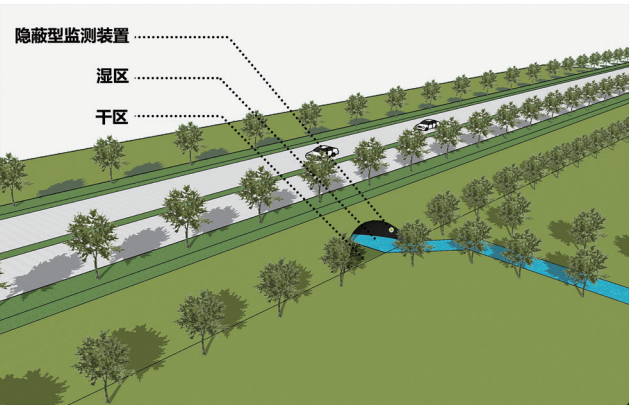


图 8 路下通道示意
Fig.8 Schematic of the wildlife underpass

表 3 景观生态空间要素优化指引

Tab.3 Optimization guidelines for landscape ecological elements

类型	案例	优化指引
核心区	中核心区 光明小镇龟山公园	现状农林用地（光明小镇）可规划为主题化自然游乐空间（批而未建的用地除外），但应避免高强度开发和游憩建设；现状绿地公园（龟山公园）实施再野化设计，重点优化本地植物群落配置（物种选择、植被结构、群落组合）及水域生境营造
	低核心区 塘尾社区绿地	增设巢箱以缓解环境胁迫效应，强化生态庇护功能，同步完善自然教育设施体系
边缘区	东坑水湿地公园边缘	适度设置环形绿道、亲自然活动场地及游憩服务设施，但应与生态承载力匹配
环道	乌石顶郊野公园消防路	与郊野自然步道系统统筹布局，采用生态材料与透水铺装进行路面改造；沿线设置树桩式应急救援设施，提升郊野游憩安全性
孔隙	将石采石场	梯次推进生态修复与功能转型，优先改造为自然教育基地或低干扰生态游憩节点
连接桥	龙大高速沿线部分绿地	维持自然绿地连续性，限制大规模游憩空间开发；高生态价值区可规划为微型栖息地，配套生态解说系统
孤岛	华强创意产业园组团绿地	在满足日常游憩需求前提下，通过组合配置低灌丛与遮阴乔木，构建遮蔽空间
支线	茅洲河沿线部分绿地	结合用地功能布局线性游憩节点，实现游憩网络与生境廊道协同构建

调控要素，揭示了核心区、边缘区、孔隙、孤岛等基底要素的差异化功能，激活了全域生态服务效能。

但本研究存在一定局限：在数据基础方面，由于缺乏红外相机的连续监测数据，当前策略尚未充分考虑人与动物活动的冲突。未来研究拟结合无人机热成像技术，并借鉴 Kaitlyn M. Gaynor 等^[13]提出的人类活动对哺乳动物昼夜节律的影响模型，开展精细化空间模拟，同时加强对人类游憩行为的系统分析^[14~15]。在实施机制方面，研究虽提出“可叠加”技术路径，但对多产权地块协同治理机制的研究不足。未来将融合生态博弈论^[16]，开发兼顾生态效益与土地权益人诉求的协同决策工具。

总体而言，本研究通过方法论创新与理论解构，为新型城镇化进程中“人-动物”共生关系构建提供了可迁移范式。后续研究将深化景观生态安全格局理论的应用维度，推动更具包容性的自然游憩空间体系建设。

注：图片均由作者自绘。

参考文献：

- [1] 俞孔坚. 生物保护的景观生态安全格局[J]. 生态学报, 1999 (1): 10-17.
- [2] 刘世梁, 侯笑云, 尹艺洁, 等. 景观生态网络研究进展[J]. 生态学报, 2017, 37 (12): 3947-3956.
- [3] 俞孔坚, 李迪华, 韩西丽. 论“反规划”[J]. 城市规划, 2005 (9): 64-69.
- [4] 刘淼, 史思雪, 张廷爽, 等. 景观生态学在国土空间规划中的应用与展望[J]. 应用生态学报, 2024, 35 (9): 2372-2381.
- [5] 李斌. 生态保护与城市游憩视角下上海城市绿道设计研究[J]. 城市建筑空间, 2024, 31 (6): 49-52.
- [6] 张启舜. 连通性保护导向的江苏省生态安全格局构建研究[D]. 南京: 南京大学, 2021.
- [7] SOILLE P, VOGT P. Morphological segmentation of binary patterns[J]. Pattern Recognition Letters, 2009, 30 (4): 456-459.
- [8] 刘瑞雪, 林小龙, 李云. 基于 MSPA- 生境质量评估和电路理论

- 的城市绿色基础设施网络优化研究——以深圳市为例[J]. 中国园林, 2024, 40 (10): 68-74.
- [9] 周年兴, 俞孔坚, 黄震方. 绿道及其研究进展[J]. 生态学报, 2006 (9): 3108-3116.
 - [10] 万敏. 与生态立交：绿色桥梁的理论与实践[J]. 世界桥梁, 2005 (4): 68-71.
 - [11] 倪佳佳. 建成环境中的河漫滩湿地公园设计策略研究[D]. 南京: 东南大学, 2018.
 - [12] URBAN D L, MINOR E S, TREML E A, et al. Graph models of habitat mosaics[J]. Ecology letters, 2009, 12 (3): 260-273.
 - [13] GAYNOR K M, HOJNOWSKI C E, CARTER N H, et al. The influence of human disturbance on wildlife nocturnality[J]. Science, 2018, 360 (6394): 1232-1235.
 - [14] 师浩辰, 赵渺希, 林思仪. 社会感知视角下基于“头尾划分”的游憩热点识别新方法[J]. 地理与地理信息科学, 2022, 38 (1): 23-30.
 - [15] 师浩辰, 姚玥希, 赵渺希, 等. 基于众包数据的慢行游憩热点时空识别与分析——以广州市老城区为例[J]. 旅游科学, 2024, 38 (11): 30-47.
 - [16] 柴剑峰, 龙磊. 川甘青毗邻涉藏地区生态治理路径优化研究——基于地方政府、寺庙、农牧民的三方动态博弈视角[J]. 青海社会科学, 2020 (3): 30-40.

作者简介：

王鲁师/1990年生/男/山东滨州人/硕士/中国城市规划设计研究院深圳分院(深圳 518040)/工程师/专业方向为国土空间规划、城市设计、智慧城市与数智治理等

罗仁泽/1988年生/男/广东揭阳人/硕士/中国城市规划设计研究院深圳分院(深圳 518040)/高级工程师/专业方向城市地理、区域经济、城乡规划等

叶芳芳/1988年生/女/广东湛江人/硕士/中国城市规划设计研究院深圳分院(深圳 518040)/高级工程师/专业方向为国土空间规划、城市设计等