基于豹猫生态需求的深圳坪山区绿地生态网络构建与优化*

李 冲[1] 韩 婧[2] 晏 海[3] 王俊杰[4] 王春晓[5]

(1. 深圳市深水水务咨询有限公司，深圳 518024；2. 深圳信息职业技术大学，深圳 518172；3. 浙江农林大学风景园林与建筑学院，杭州 311300；4. 深圳大学生命与海洋科学学院，深圳 518062；5. 深圳大学建筑与城市规划学院，深圳 518062)

摘要：【目的】聚焦豹猫，提取坪山区潜在生态廊道，定量化分析廊道空间特征及其与周边用地关系，科学优化区域生态网络结构，为坪山区生物多样性保护、国土空间修复规划提供科学依据与实践指导。【方法】以豹猫作为焦点物种，运用 MSPA-Conefor-MCR 复合模型识别生态源地与潜在廊道，结合碧道、绿道系统进行空间协同优化，形成弹性高效的绿地生态网络。【结果】1）MSPA 识别出 7 种景观类型，南部山林地的核心区面积近乎占研究区总面积的一半，为豹猫提供了稳定栖息地，而中北部的桥接区和孔隙区等易受干扰，需生态修复；2）识别出 30 个关键生态源地，南部和西部的大型源地连通性高，可作为核心栖息地，而中北部因城市扩张导致碎片化严重，豹猫迁徙受阻；3）南部低阻力区因高植被覆盖和低人类干扰，成为理想栖息环境，而中北部因建设用地密集、河流道路阻隔，景观阻力显著升高；4）识别出 39 条潜在生态廊道，结合碧道和绿道系统优化为 11 条生态廊道。【结论】优化后的绿地生态网络有效增强了南部核心源地与中北部孤岛化斑块之间的连通性。因此，在高度城市化破碎化背景下，区域生物多样性保护应从单纯扩大保护地面积转向精准修复关键连通节点，以低成本高效方式保障目标物种的基因交流与种群扩散。

关键词：焦点物种；绿地生态网络；MSPA-Conefor-MCR 复合模型；景观连通性；坪山区

DOI：10.12169/zgcsly.2025.03.17.0001

Construction and Optimization of a Green Space Ecological Network in Pingshan District, Shenzhen, Considering the Ecological Requirements of the Leopard Cat

Li Chong[1] Han Jing[2] Yan Hai[3] Wang Junjie[4] Wang Chunxiao[5]

(1. Shenzhen Shenshui Water Resources Consulting Co., Ltd., Shenzhen 518024, China; 2. Shenzhen University of Information Technology, Shenzhen 518172, China; 3. College of Landscape Architecture, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China; 4. College of Life Sciences and Oceanography, Shenzhen University, Shenzhen 518062, China; 5. School of Architecture & Urban Planning, Shenzhen University, Shenzhen 518062, China)

Abstract: 【Objective】 This study focused on the leopard cat (*Prionailurus bengalensis*) as the focal species to identify potential ecological corridors in Pingshan District, Shenzhen, analyze their spatial characteristics and relationships with surrounding land-use types, and optimize the regional green space ecological network for biodiversity conservation and ecological restoration planning. 【Method】 An integrated MSPA-Conefor-MCR model was used to identify key ecological sources and potential ecological corridors for the leopard cat. Blueway and greenway networks were then incorporated to construct a resilient

收稿日期：2025-03-17

* 基金项目：国家自然科学基金青年科学基金项目（51508515）

第一作者：李冲，男，1985 年生，硕士，高级工程师，研究方向为园林植物与城市生态。E-mail：371431768@qq.com

通信作者：韩婧，女，1986 年生，博士，讲师，研究方向为园林植物与城市生态。E-mail：271629104@qq.com

and efficient green space ecological network.【Result】1）MSPA identified seven landscape types. Core areas in the southern mountainous forests accounted for nearly half of the study area, providing stable habitats for leopard cats, whereas bridge areas and perforation zones in the central and northern parts were more vulnerable to disturbance and required ecological restoration. 2）A total of 30 key ecological sources were identified. Large ecological sources in the southern and western parts showed high connectivity and could serve as core habitats, while severe fragmentation caused by urban expansion in the central and northern parts restricted leopard cat movement. 3）Low-resistance areas in the south, characterized by high vegetation cover and low human disturbance, provided suitable habitats. In contrast, dense construction land, rivers, and roads in the central and northern parts significantly increased landscape resistance. 4）A total of 39 potential ecological corridors were identified and further optimized into 11 ecological corridors by integrating the blueway and greenway networks.【Conclusion】The optimized green space ecological network effectively enhanced connectivity between the southern core ecological sources and isolated patches in the central and northern parts of Pingshan District, providing a scientific basis for regional ecological restoration and biodiversity conservation.

Keywords: focal species; green space ecological network; MSPA-Conefor-MCR integrated model; landscape connectivity; Pingshan District

城市无序扩张与灰色基础设施建设加剧绿地破碎化，导致生物多样性降低[1]，构建生态网络成为提升城市生态连通性的关键策略[2-3]。随着形态学空间格局分析（Multiple Spatial Pattern Analysis，MSPA）、景观连通性评价等方法的应用，生态网络研究已从定性转向定量[4]。其中，MSPA 通过斑块面积与空间拓扑关系客观识别生态源地，减少人为主观性[5]；景观连通性评价可以作为生态廊道设置的重要依据[6]。目前，提取生态廊道的方法主要有图论[7-8]、电路理论[9-10]、重力模型[11]以及最小累积阻力模型（Minimum Cumulative Resistance，MCR）[10,12-13]等。

以焦点物种为核心的生态廊道与生态网络构建是研究热点，相关成果已覆盖不同物种与尺度。其中，Shanu 等[7]以孟加拉虎（*Panthera tigris tigris*）为研究对象，采用博弈论和图论方法识别其潜在廊道，为大型猫科（Felidae）动物保护提供了思路；Dehaghi 等[9]结合 MSPA 与电路理论绘制东方盘羊（*Ovis orientalis*）廊道；曹瀚文等[10]基于 MaxEnt 模型与 MCR 模型构建了水鸟廊道网络，为高密度城市化区域的生态网络优化提供了参考依据。然而，现有研究在方法上多采用单一模型，在尺度上多集中于区域层面，对中小型兽类等焦点物种的生态需求关注仍显不足。此外，MSPA-Conefor-MCR 复合模型应用渐广，但相关研究有限且多集中于区域尺度，未充分考虑目标物种生态需求，导致成果的针对性与可实施性有待加强[14-15]。

现有研究普遍存在物种适用性有限、阻力因子整合不全面等问题；且多采用单一模型构建生态网络，对豹猫（*Prionailurus bengalensis*）等中小型兽类等焦点物种的生态需求关注不足，呈现“重构建、轻管控”问题，难以支撑城市生态精细化管控。因此，立足焦点物种生态需求，采用复合模型开展中小尺度生态修复研究，具有重要理论与实践价值。目前，深圳正开展多项生态规划研究，提出以豹猫、穿山甲（*Manis pentadactyla*）等为焦点物种，加强生物通道建设，修复关键生态节点，提升生态系统完整性、稳定性和连通性。本研究聚焦豹猫，运用 MSPA-Conefor-MCR 复合模型，提取坪山区潜在生态廊道，结合城市碧道、绿道系统，通过定量化分析廊道空间特征及其与周边用地关系，科学优化区域生态网络结构，旨在为坪山区生物多样性保护、国土空间修复规划提供科学依据与实践指导。

1　研究区概况

坪山区（22.67°—22.75° N，114.32°—114.38° E）地处深圳东北部，北邻惠阳大坑自然保护区，南接大鹏半岛自然保护区，属亚热带海洋性气候，以浅丘陵和盆地为主，呈“南山北水中田园”格局，中部为冲积台地和平原，西部为低山丘陵，

南部为山地。辖区超半数面积在生态保护红线内，森林覆盖率 60%，绿化覆盖率 65%，人均公园绿地面积 16.98 m^2，坪山河贯穿全境，总面积 166.31 km^2。尽管坪山区在国土空间规划中构建了“一环、二带、三心、多廊”的生态网络，但高度城市化使区域生态景观破碎化加剧，城市道路生态割裂效应突出，结构性绿地间生态连通性差，生态空间呈孤岛化趋势，生物多样性保护面临严峻挑战。

2 研究方法

2.1 数据来源与处理

本研究采用 2023 年 5 月 12 日高分二号遥感影像（1 m 空间分辨率），用 ENVI 5.3 软件对其进行预处理，然后通过人机交互解译方法，参照百度地图、谷歌地图数据及实地调研结果，将研究区的现状用地划分为林地、城市绿地、农田、建设用地、道路、河流、库塘和未利用地共 8 类。经误差矩阵验证，解译成果总体分类精度为 92.023 8%，Kappa 系数为 0.931 0，符合专题图制图精度要求。此外，采用 30 m 分辨率的 COP-DEM 高程数据，利用 2019 年 9 月 20 日 Landsat8 卫星遥感影像数据获取植被覆盖度和地面温度数据。

2.2 焦点物种选择

豹猫属猫科豹猫属中小型兽类，多在晨昏或夜间活动，以小型哺乳动物、鸟类等为食，活动受捕食对象分布影响，偏好山林[16]，倾向于避开大型人工区域[17-18]，主要栖息于森林、灌丛和草地中，其野生种群面临人类干扰、过度捕杀、栖息地丧失等威胁[18-19]，被《中国生物多样性红色名录》列为易危种，是国家Ⅱ级重点保护野生动物。在深圳，豹猫是现存唯一野生猫科动物，作为食物链顶端捕食者，能调控猎物数量与群落动态[20-21]，对维持区域生态平衡、稳定食物链意义重大[19,22]。因其对人为干扰和栖息地破碎化敏感，常被视作衡量区域生态健康的指示物种[16,18,23]，可作为评估一个地区自然生态系统健康底线的重要依据[18]，故本研究将其选为焦点物种。

2.3 生态源地识别

2.3.1 绿地空间破碎化分析

MSPA 是基于数学形态学原理处理图像的方法，用于度量、识别和分割栅格图像空间格局[5]。本研究运用 ArcGIS Pro3.01 软件提取林地、耕地和城市绿地等作为前景（赋值 2），其他用地类型为背景（赋值 1），栅格化后转二值影像；用 Guidos Toolbox 3.0 软件的 MSPA 模块，设置边缘宽度 1，在 10 m×10 m 尺度以八邻域分析法，得出核心区、孤岛、孔隙、边缘区、环道、支线和桥接区 7 种景观类型。因豹猫属中小型哺乳动物，城市中最大的小型哺乳动物至少需要 10 hm^2 的面积才能维持其适宜的生存环境[24]，因此选取面积≥10 hm^2 的核心区作为生态源地备选斑块。

2.3.2 景观连通性评价

根据豹猫活动规律[16-19,21-23,25-26]，豹猫核心栖息地平均面积约为 0.7 km^2，平均月活动范围为 0.83 km^2，平均日活动半径为 500 m，基于生态源地备选斑块数据，运用 Conefor2.8 设定连接阈值为 1 000 m、连通概率为 0.5，分析景观连通性。通过综合评价整体连通性（IIC）、可能连通性（PC）等指标，依据相对重要性指数（dPC）筛选生态源地，dPC 值越高，表示该斑块在景观连通中的重要性越高，若该斑块消失将严重降低其他栖息地斑块之间的连通性，也意味着该斑块在景观格局中的核心地位越明显。鉴于城市绿地分布差异，提取 dPC≥0.5 的斑块确定为生态源地[12]。dPC 的计算公式如下：

$$dPC = 100 \times (PC - PC_r)/PC \quad (1)$$

式（1）中：dPC 表示斑块重要性指数；PC 表示斑块间可能连通性指数（0<PC<1）；PC_r 表示去除某斑块后剩余斑块组成景观的可能连通性指数值。

2.4 综合阻力面构建

阻力面用于量化物种在栖息地移动的难易程度，反映物种生态适应性与景观异质性影响[27]，其阻力值与物种移动、土地利用、人为干扰相关[28]。本研究依据豹猫栖息要求和活动规律，结合区域特点，选取土地利用类型、高程、坡度、地面温度（人为干扰因素）和植被覆盖度等作为迁移阻力因子。用层次分析法确定权重[11-12]，经 ArcGIS Pro3.01 赋值计算，得到综合景观阻力面（表 1）。

表 1　评价因子的景观阻力值及权重值

评价因子	阻力值										权重
	1	10	20	30	40	50	60	70	80	100	
土地利用类型	林地	城市绿地	河流	—	农田	—	道路	库塘	未利用地	建设用地	0.4
高程/m	—	≤100	100~200	200~300	300~400	—	≥400	—	—	—	0.1
坡度/°	<6	—	—	6~15	—	15~25	—	25~35	—	>35	0.1
地面温度/℃	<30	—	30~35	—	35~40	—	—	40~45	—	>45	0.1
植被覆盖度(NDVI)	>0.47	—	—	0.32~0.47	—	0.13~0.31	—	0.01~0.12	—	≤0	0.3

2.5　基于 MCR 模型的潜在廊道提取

MCR 模型能够有效整合和分析复杂环境中的各种阻力因子，较好模拟生物空间运动的潜在趋势，也是被运用得最为广泛的廊道提取方法。本研究基于生态源地和景观阻力面数据，借助 ArcGIS Pro 3.01 软件与 Linkage_Mapper v 3.1.0 工具，构建生态源地间的潜在生态廊道（公式 2）。

$$MCR = f_{\min} \sum_{j=n}^{i=m} (D_{ij} \times R_{ij}) \qquad (2)$$

式（2）中：MCR 为最小累积阻力；D_{ij}表示从生态源地 i 到目标源地 j 的空间距离；R_{ij}表示目标源地 i 到目标源地 j 的阻力系数。

3　结果与分析

3.1　基于 MSPA 的景观类型空间特征

通过 MSPA 识别出研究区有核心区、孤岛、孔隙、边缘区、环道、支线和桥接区 7 种景观类型（图 1，表 2），面积约 89.34 km^2，占研究区总面积的 53.72%。其中核心区面积最大，达 80.06 km^2，占生态景观面积的 89.61%和研究区总面积的 49.29%，在南部集中连片，为豹猫提供栖息和食物，而中心城区及北部的核心区破碎化程度较高，限制了豹猫活动，会降低种群遗传多样性。桥接区对豹猫迁徙和基因交流意义重大，但其面积仅占生态景观面积的 0.1%，若生态管控不足，可能导致桥接区被破坏或干扰，进而影响豹猫的正常迁徙和扩散。孔隙区集中在南部森林区和中西部山体公园，占生态景观面积的 1.47%，表明核心区内部穿孔现象严重，使豹猫觅食活动风险增加。边缘区和支线分别占生态景观面积的 7.59%和 0.99%，分布于斑块外围，利于豹猫拓展活动范围或在不同斑块间移动，但受人类活动影响大，存在被捕猎或交通事故等风险。环道面积约 0.02 km^2，可作为豹猫在核心区内秘密移动的通道，有助于其躲避天敌和人类干扰，不过其与外围生态斑块的连接度低，但对核心区内部生物迁移和觅食至关重要。孤岛占生态景观面积的 0.02%，由于资源少和连通弱，豹猫很难频繁进出，因此是设置生物踏脚石的关键区域，能为豹猫提供临时场所。

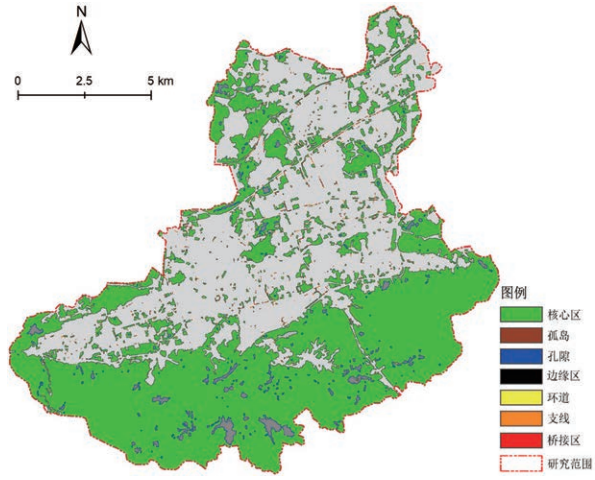


图 1　基于 MSPA 的坪山区景观类型空间分布

表 2　景观类型分类统计

景观类型	面积/hm^2	占林地总面积比例/%	占研究区总面积比例/%
核心区	800 591.87	89.61	49.29
孤岛	1 965.52	0.22	0.12
环道	178.68	0.02	0.01
桥接区	893.42	0.10	0.06
孔隙	13 133.24	1.47	0.81
边缘区	67 810.43	7.59	4.17
支线	8 844.84	0.99	0.54

3.2　生态廊道网络构建及空间特征分析

3.2.1　生态源地识别及空间特征

根据 MSPA 分析，研究区内的生态斑块分布对豹猫的栖息地需求具有重要影响。研究区共有 110 个生态斑块，参考美国农业部的研究数据[24]，将 30 个面积≥10 hm^2 且 dPC≥0.5 的斑块被确定

为重要生态源地，总面积为 81.11 km^2，占研究区总面积的 48.77%（图 2）。其中，21 个斑块 dPC 大于 1（表 3），如马峦山、田头山-笔架山等大型生态斑块，主要集中在南部和西部边界，面积大、连通性高，能为豹猫提供适宜栖息环境，对维持其种群数量和质量至关重要。而中部和北部因人类开发，生态源地规模缩小、破碎化严重，仅少数斑块有一定生态功能，其余斑块小且分散，无法满足豹猫生存需求，导致该区域豹猫面临栖息地隔离、迁徙受阻、边缘效应加剧等威胁，甚至被迫进入人类活动区域，增加了灭绝风险。为此，需在中部和北部设置生物踏脚石或通道，连接孤立斑块，为豹猫提供安全迁徙路径；强化南部和西部核心区保护，限制开发，维持其“核心源地”功能。

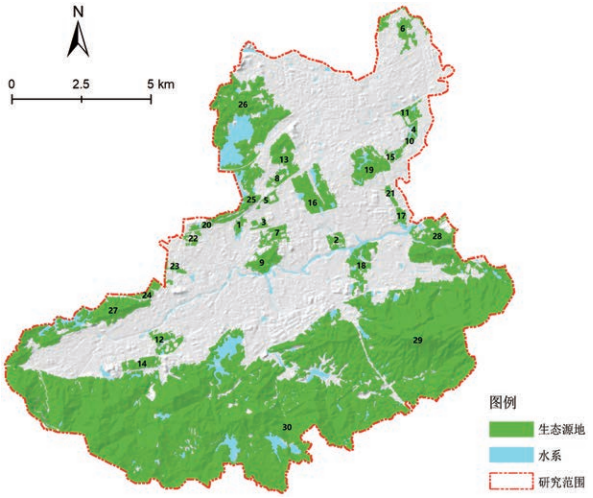


图 2 生态源地空间分布

表 3 30 个重要生态源地的重要性指数

斑块编号	斑块面积/hm^2	dPC	斑块编号	斑块面积/hm^2	dPC
1	16.01	0.54	16	137.37	2.21
2	26.57	0.55	17	18.11	2.36
3	15.16	0.57	18	86.91	2.46
4	11.11	0.71	19	112.30	2.62
5	15.90	0.71	20	13.86	2.68
6	70.66	0.84	21	13.57	2.80
7	46.32	0.91	22	16.09	2.81
8	28.51	0.96	23	18.58	3.04
9	66.21	0.99	24	29.63	3.50
10	10.20	1.01	25	109.66	4.68
11	31.01	1.03	26	418.68	6.90
12	49.33	1.18	27	143.36	7.13
13	84.06	1.35	28	235.98	8.04
14	46.02	1.41	29	1631.69	42.06
15	17.77	1.50	30	4590.64	84.60

3.2.2 综合景观阻力面构建及空间特征

研究区综合景观阻力面南北差异显著（图 3）。南部马峦山-田头山-笔架山片区因高植被覆盖、人类活动干扰少，景观阻力值低，为豹猫提供了理想栖息地，可满足其对隐蔽性、植被覆盖和低干扰环境的需求，利于觅食、繁殖及种群基因交流。而北部和中部（如中心城片区、坑梓工业园区）因建设用地密集、植被覆盖率低且受河流道路阻隔，景观阻力值显著升高，导致豹猫栖息地破碎化、食物资源减少、迁徙受阻、景观连通性下降，生存风险增加。故需强化南部低景观阻力区生态完整性，限制开发以维持核心栖息地功能；同时在北部和中部高景观阻力区设置生态缓冲带、生物踏脚石或生物通道，降低景观阻力，提升生态连通性。

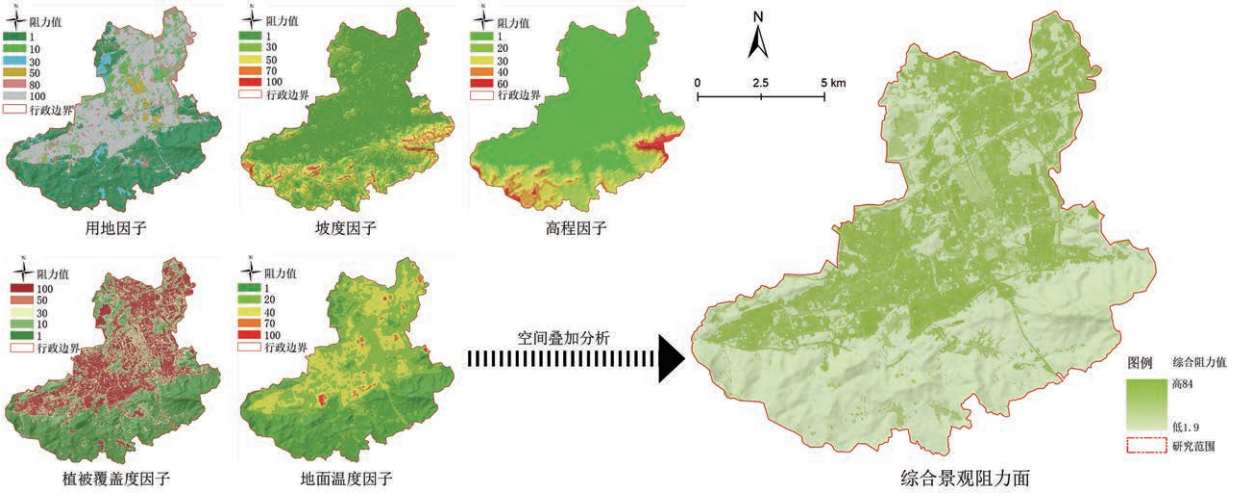


图 3 综合景观阻力面空间分布

3.2.3　潜在生态廊道构建及空间特征

基于 30 个生态源地和综合景观阻力面的成本距离栅格数据，运用 MCR 模型提取并剔除重复无效路径后，研究区得到 39 条潜在生态廊道（图 4），为豹猫的栖息地连通性保护提供了关键支撑。这些廊道长度为 30~2 011.25 m，覆盖全域，构建起了复杂高效的生态网络。其中，南部和西部廊道强化了马峦山等大型生态斑块的完整性，可为豹猫提供核心栖息地，降低其与人类活动区域的重叠风险。而中部和北部廊道则为豹猫穿越农田、道路和河流等阻力景观提供通道。这些潜在廊道保障了豹猫在破碎化栖息地中的自由迁徙，维持了种群基因交流及物质能量流动，对豹猫种群稳定繁衍和区域生态系统健康具有重要意义。

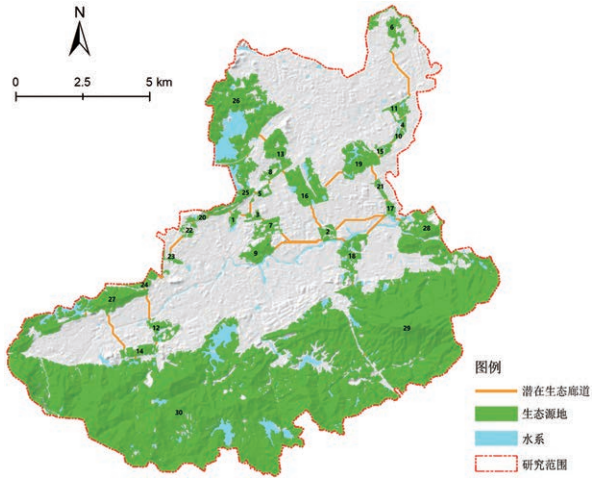


图 4　潜在生态廊道空间分布

3.3　绿地生态网络优化及分级管控

3.3.1　绿地生态网络结构优化

根据《深圳市绿道网专项规划（2024—2035 年）》与《碧道建设总体规划（2020—2035 年）》，将潜在生态廊道与碧道、绿道系统进行整合，结合豹猫生态需求与活动规律，系统性优化研究区绿地生态网络，构建 11 条生态廊道（6 条陆域、5 条水域）（图 5）。依据生态功能及连通重要性，2 条一级陆域廊道与 2 条一级水域廊道作为豹猫核心迁徙通道，保障生境连续性；3 条二级陆域廊道与 1 条水域廊道为其提供觅食活动过渡空间；1 条三级陆域廊道与 2 条三级水域廊道侧重连接碎片化栖息地，缓解城市开发隔离效应。通过 MSPA 分析识别出 20 个廊道断裂点为修复节点，在道路密集区建地下通道、生态廊桥、设生态缓冲带，在水域廊道交汇处构建“生物踏脚石”，提升区域生态连通性。优化后的生态网络增强了南部核心生态源地与中北部城市绿地斑块连通性，构建的分级廊道体系可形成多层次、多功能生态连接通道，保障了豹猫在城市化区域的基因交流与种群扩散能力。

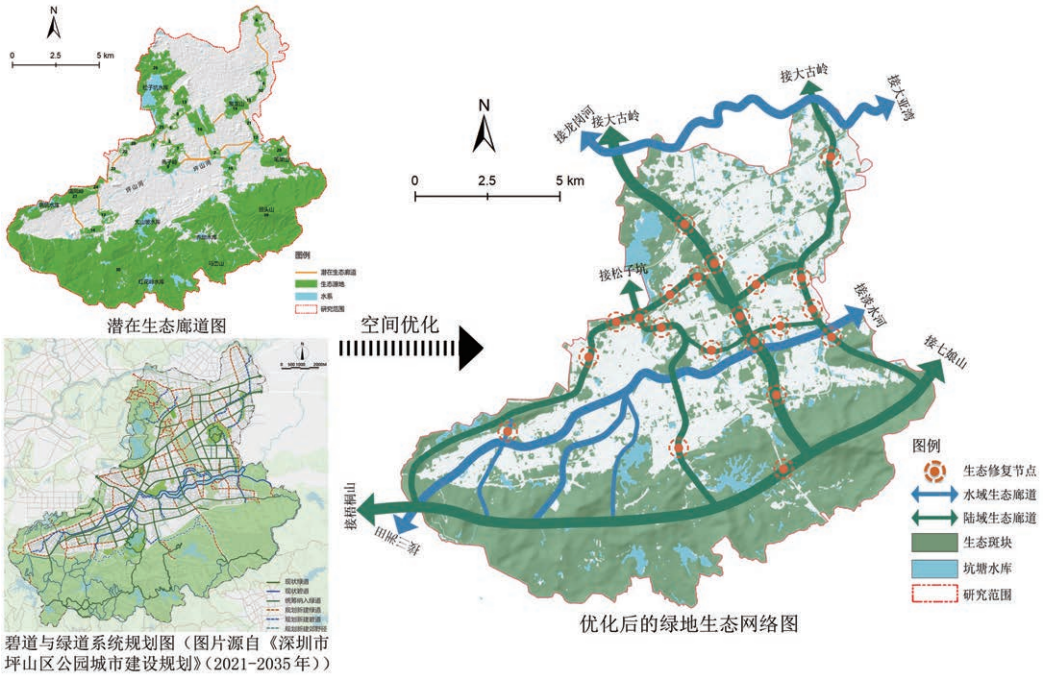


图 5　坪山区绿地生态网络空间优化

3.3.2 生态廊道分级管控措施

当前学界针对生态廊道宽度阈值的判定尚未形成统一标准[29]，现有研究多将生态廊道适宜宽度设定为 60~100 m[24,30-31]。因此，依据生态廊道空间等级、生态功能及连通重要性，构建三级差异化管控体系：一级廊道连接核心生态源地，生态价值最高，纳入生态保护红线，禁开发建设，加强断裂点修复，建生态廊桥或生物通道，预留≥100 m 缓冲带，补充水源食源；二级廊道连接次重要生态源地，控制建设活动，保护现有绿地水域，修复断裂点，建小型生物通道或管涵隧道，预留 60~100 m 缓冲带；三级廊道连接较小生态源地，允许低强度开发，确保生态功能，修复断裂点，通过小型生态工程提升连通性，预留 30~60 m 缓冲带，建立动态监测体系。

4 讨论

本研究运用 MSPA 和 Conefor 模型识别出的生态源空间分布，与《深圳市坪山区国土空间分区规划（2021—2035 年）》的“半边山水半边城”蓝绿空间格局高度契合，可为生态廊道的建设提供空间锚点[6,25]。借鉴欧洲绿道规划中“生物运动廊道”理念构建绿道系统，不仅能保障物种扩散迁移的自然条件，还能为社会文化交流提供空间支持，成为构建空间生态网络的关键要素[32]。通过叠加城市碧道与绿道系统，构建复合生态廊道网络，可平衡豹猫种群扩散需求与人类活动干扰，为生态保护与城市空间协同管理提供科学依据[10,15]。廊道分级管控策略可为精细化管理提供操作框架[15]，量化景观要素可降低主观性偏差、提升廊道构建的科学性[15,25]。然而，本研究仍存在局限：一是因豹猫活动范围差异大[17,26]，研究设定的连接阈值（1 000 m）和连通概率（0.5）或许存误差，未来需结合栖息地调查与生物多样性监测数据优化参数[10]；二是景观阻力面构建未充分考虑不同物种生态行为特性与环境响应差异，后续应深入研究距离阈值、景观阻力值对焦点物种运动及栖息地利用的影响[33-34]，完善阻力值参数设定；三是生态网络优化方案在实际落地与长期运维中面临挑战，后续实践需综合技术、经济、社会等因素持续完善，以保障生态保护目标实现。

5 结论

景观空间配置格局并非单纯指面积占比，而是决定物种栖息地生态功能的关键控制因子。研究区核心栖息地面积仅占 49.29%，且呈现显著南北分异，导致生态连通性呈非线性衰减。南部连续植被区（占研究区总面积的 49.29%）为豹猫核心源区，中北部破碎化斑块则表现为汇与阻隔效应，共同形成种群分布的空间不对称格局。

生态源地规模与连通性之间存在显著正反馈机制：南部、西部大型源地可维持较高 dPC 指数并支撑稳定种群存续，而北部小型孤立源地因缺乏有效迁移通道，生态功能快速退化。景观阻力分析显示：低阻力区并非均匀分布，而是依赖高植被覆盖与低人为干扰的耦合条件；当遭遇建设用地、河流与道路形成的复合阻隔并突破阻力阈值后，物种迁移概率呈急剧下降态势。基于上述规律，通过关键断裂点修复与碧道、绿道等多类型线性空间系统整合，将 39 条潜在廊道优化为 11 条水陆协同廊道，可显著提升南北向生态连通性。

综上，景观连通性并非由源地面积单独决定，而是源地格局、阻力阈值效应与廊道结构完整性协同调控的结果。在高度城市化破碎化背景下，区域生物多样性保护应从单纯扩大保护地面积转向精准修复关键连通节点，以低成本高效方式保障目标物种的基因交流与种群扩散。

参考文献

[1] WU J,LIU Z M,QIAN J Q.Non-linear effect of habitat fragmentation on plant diversity:evidence from a sand dune field in adesertified grassland in northeastern China [J]. Ecological Engineering, 2013,54:90-96.

[2] 张亚丽,尹伟特,胡希军,等.基于 MSPA 与 MCR 模型的资源节约型生态网络构建:以福建省东山岛为例[J].西北林学院学报,2021,36(5):254-261.

[3] 韩婧,李冲,李颖怡.基于 GIS 的珠海市西区绿地生态网络构建[J].西北林学院学报,2017,32(5):243-251.

[4] CUSHMAN S A, MCGARIGAL K, NEEL M C. Parsimony in landscape metrics: strength, universality, andconsistency [J]. Ecological Indicators,2008,8(5):691-703.

[5] SOILLE P,VOGT P.Morphological segmentation of binarypatterns[J]. Pattern Recognition Letters,2009,30(4):456-459.

[6]杨娅楠，王金亮，习晓环，等.野生动物生境景观连通性综述[J].环境科学导刊，2015，34(3)：10-15.

[7]SHANU S，IDICULLA J，QURESHI Q，et al.A graph theoretic approach for modelling tiger corridor network in Central India-Eastern Ghats landscape complex，India[J].Ecological Informatics，2019，50：76-85.

[8]宋利利，秦明周，张鹏岩，等.基于图论的景观图表达、分析及应用[J].应用生态学报，2020，31(10)：3579-3588.

[9]DEHAGHI I M，SOFFIANIAN A，HEMAMI M R，et al.Exploring structural and functional corridors for wild sheep (Ovis orientalis) in a semi-arid area[J].Journal of Arid Environments，2018，156：27-33.

[10]曹瀚文，祝明建，祝诗榕，等.基于水鸟飞行阻碍的粤港澳大湾区生态廊道的构建与复合[J].中国城市林业，2025，23(1)：168-178.

[11]弓灏洁，常金生，杜雨阳.基于 MCR 和重力模型的县域生态网络构建[J].测绘通报，2023(11)：23-29，81.

[12]李倩瑜，唐立娜，邱全毅，等.基于形态学空间格局分析和最小累积阻力模型的城市生态安全格局构建：以厦门市为例[J].生态学报，2024，44(6)：2284-2294.

[13]雷雪，沈一，王倩娜，等.四川洪雅县森林破碎化分析及生态空间格局优化：基于 MSPA 与 MCR 模型分析[J].中国城市林业，2023，21(3)：36-42.

[14]王越，赵雯琳，刘纯青.基于 MSPA-Conefor-MCR 路径的生态网络优化及其构建：以彭泽县为例[J].江西农业大学学报，2022，44(2)：504-518.

[15]杜箫宇，吕飞南，王春雨，等.基于 MSPA-Conefor-MCR 的县域尺度生态网络构建：以延庆区为例[J].应用生态学报，2023，34(4)：1073-1082.

[16]向荣伟，吴佳忆，曾凡刚，等.太行山东北部豹猫(*Prionailurus bengalensis*)秋季生境利用研究[J].生态科学，2023，42(3)：1-7.

[17]CHEN M T，LIANG Y J，KUO CC，et al.Home ranges，movements and activity patterns ofleopard cats (*Prionailurus bengalensis*) and threats to them in Taiwan[J].Mammal Study，2016，41(2)：77-86.

[18]韩思成，陆道炜，韩宇辰，等.北京近郊浅山地区的野生豹猫分布及环境影响因素[J].生物多样性，2024，32(8)：58-68.

[19]XIONG M Y，SHAO X N，LONG Y，et al.Molecular analysis of vertebrates and plants in scats of leopard cats (*Prionailurus bengalensis*) in southwest China[J].Journal of Mammalogy，2016，97(4)：1054-1064.

[20]RITCHIE E G，JOHNSON C N.Predator interactions，mesopredator release and biodiversity conservation[J].Ecology Letters，2009，12(9)：982-998.

[21]邓雪琴，刘统，刘天时，等.河南内乡宝天曼国家级自然保护区豹猫及其潜在猎物之间日活动节律的季节性[J].生物多样性，2022，30(9)：110-118.

[22]张红勇，张德喜，毛锐锐，等.甘肃兴隆山森林生态系统豹猫及其潜在猎物的日活动模式[J].野生动物学报，2023，44(2)：239-247.

[23]刘小斌，赵凯辉，王勐.利用红外相机监测数据分析佛坪国家级自然保护区豹猫和黄喉貂活动节律及空间分布[J].动物学杂志，2022，57(1)：9-18.

[24]BENTRUP G.Conservation buffers：design guidelines for buffers，corridors，and greenways[Z].General Technical Report SRS-109.Asheville，NC：USDA Forest Service Southern Research Station，2008.

[25]毛媛媛，徐凡，高义轩，等.基于形态学空间格局分析的汝州市蓝绿生态网络构建与规划应用[J].应用生态学报，2023，34(8)：2226-2236.

[26]RABINOWITZ A R.Behaviour and movements of sympatric civet species in Huai Kha Khaeng Wildlife Sanctuary，Thailand[J].Journal of Zoology，1991，223(2)：281-298.

[27]SPEAR S F，BALKENHOL N，FORTIN M J，et al.Use of resistance surfaces for landscape genetic studies：considerations for parameterization and analysis[J].Molecular Ecology，2010，19(17)：3576-3591.

[28]杨波.黑龙江完达山东部林区东北虎栖息地连通性研究[D].哈尔滨：东北林业大学，2024.

[29]朱强，俞孔坚，李迪华.景观规划中的生态廊道宽度[J].生态学报，2005，25(9)：2406-2412.

[30]孔阳，王思元.基于 MSPA 模型的北京市延庆区城乡生态网络构建[J].北京林业大学学报，2020，42(7)：113-121.

[31]基于 MSPA 和 MCR 模型的株洲市生态网络构建与优化[J].西北林学院学报，2024，39(2)：217-227.

[32]谢子颖，张正栋，陈裕婵，等.基于绿道与生境关系的空间生态网络构建：以从化区关键种栖息地为例[J].华南师范大学学报(自然科学版)，2021，53(1)：70-77.

[33]ZELLER K A，MCGARIGAL K，WHITELEY A R.Estimating landscape resistance to movement：areview[J].Landscape Ecology，2012，27(6)：777-797.

[34]沈舟，尹海伟，孔繁花，等.江苏省域鸟类多样性保护格局构建与生态廊道优化[J].自然资源学报，2024，39(12)：2834-2852.