城市生态韧性与保护

基于多目标导向的拉萨市中心城区复合型绿道网络构建*

段 尚 李运远

（北京林业大学园林学院，北京 100083）

摘要：【目的】在复杂建成环境中统筹多种绿道建设需求，提出一套面向生态、游憩与文化协同的多目标导向复合型绿道网络构建方法，为高原城市中心城区绿道系统的科学规划提供方法支撑。【方法】以拉萨市中心城区作为研究对象，采用形态空间格局理论方法（MSPA），结合 POI 识别重要生态、人文节点；通过多因子叠加构建阻力面并基于绿道建设适宜性评价对集中建设区内线性空间进行精细化修正，使其更符合高密度建成区的实际约束；通过最小累计阻力模型（MCR）生成绿道最低成本路径；经过人工优化生成中心城区复合型绿道网络，提出分类分级管控策略。【结果】识别生态节点 109 处，人文节点 103 处，揭示了生态节点“破碎散布”和人文节点“区域集中”的空间异质性特征；构建了全场约 668.32 km 的复合型绿道，并按其特征分为 5 类；重点建设区实现了对中心城区主要组团及世界文化遗产核心区的有效覆盖。【结论】面向生态、游憩与文化协同的多目标导向复合型绿道网络构建方法能够有效平衡高原城市生态保护和城市发展的需求；基于适宜性修成的阻力模型提升了绿道选线的工程可行性，为高原生态人文自由密集型城市的空间优化提供了参考。

关键词：绿道网络构建；最小累计阻力模型；形态空间格局分析；拉萨市

DOI：10.12169/zgcsly.2025.02.19.0001

Multi-objective-oriented Construction of Composite Greenway Network in Lhasa's Central Urban Area

Duan Shang Li Yunyuan

（Schoolof Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China）

Abstract:【Objective】To coordinate diverse needs in greenway development within complex built environments, this study proposes a multi-objective-oriented approach for constructing a composite greenway network that integrates ecological, recreational, and cultural functions, aiming to provide methodological support for the science-based planning of greenway systems in the central urban areas of cities on plateau.【Method】Taking the central urban area of Lhasa as the study case, the authors employ Morphological Spatial Pattern Analysis (MSPA) and Point-of-Interest (POI) data to identify key ecological and cultural nodes. A resistance surface is constructed through multi-factor overlay analysis, incorporating a fine-grained correction of linear spaces within concentrated built-up areas based on greenway construction suitability assessments. This makes the space better aligned with the actual constraints of high-density urban environments. Subsequently, the Minimum Cumulative Resistance (MCR) model is applied to generate the lowest-cost paths. Through manual optimization, a composite greenway network for the central urban area is developed, and the classified and hierarchical management

收稿日期：2025-02-19

* 基金项目：国家重点研发计划（2024YFD2200902）

第一作者：段尚，男，1994 年生，博士生，研究方向为风景园林规划与设计。E-mail：344539250@qq.com

通信作者：李运远，男，1976 年生，博士，教授，研究方向为风景园林工程。E-mail：lyygd819@163.com

strategies are proposed.【Result】 In total, 109 ecological nodes and 103 cultural nodes are identified, revealing the spatial heterogeneity characteristics of ecological nodes' fragmented distribution and cultural nodes' regional concentration. The composite greenway of 668.32 km is constructed, which is categorized into 5 types according to the distinct characteristics. The key built-up areas effectively cover the main clusters and the core areas of World Cultural Heritage sites in the central city.【Conclusion】The ways to construct the multi-objective-oriented composite greenway network, which synergize ecological, recreational, and cultural benefits, can effectively balance ecological conservation and urban development in plateau cities, and the resistance model, refined through suitability assessments, significantly enhances the engineering feasibility of greenway route selection. This study provides a valuable reference for spatial optimization in plateau cities characterized by dense ecological and cultural resources.

Keywords: greenway network construction; minimum cumulative resistance model; morphological spatial pattern analysis; Lhasa

《国家“十四五”规划和 2035 年远景目标纲要》中明确强调要“科学规划布局城市绿环绿廊绿楔绿道”“优先发展慢行网络”。随着生态文明建设迈向新阶段，对于城市绿色网络体系构建也随之产生了新的要求。近年来，由于城市化进程的不断推进，土地资源压力逐步增大，城市建设与生态矛盾日益突出。绿道通过连接自然、文化与社会功能，为现代城市发展提供了一种兼具生态、社会和经济效益的综合解决方案。通过科学的绿道选线规划进而建设高质量的城市绿道系统，对于提升城市生态环境效益、提升人民福祉等方面具有重要现实意义[1]。

住建部印发的《绿道规划设计导则》中，根据不同的空间尺度及连接功能，将绿道划分为区域绿道、城市绿道及社区绿道 3 级。不同尺度绿道的规划目标不尽相同：区域绿道主要串联重要自然资源，实现区域生态保护功能[2]；社区绿道主要连接城乡居民点及其周边的绿色开敞空间，以提升建成区内的绿化环境品质为目标；城市绿道同时串联近郊自然区域和城市集中建设区，其规划目标和功能更为综合多样。国内关于各级绿道网络构建方法已有大量的实践探索：区域绿道主要基于资源环境评价[3]、形态学空间格局分析法（Morphological Spatial Pattern Analysis, MSAP）[4]、最小累计阻力模型（Minimum Cumulative Resistance, MCR）[5]、重力模型[6]、电路理论[7]等理论方法模拟构建区域生态绿道网络；城市绿道和社区绿道的选线研究主要通过 POI 数据分析[8]、多源轨迹数据分析[9-10]、选线适宜性评价[11]等方式分析人群行为从而进行绿道建设线路的选择。总的来说，现阶段城市绿道构建方法多从游憩[12-13]或通勤[14-15]等单一视角模拟绿道选线，其构建的绿道网络无法真实反应城市绿道的多元使用需求；研究多集中于城市集中建设区，缺乏对于城市近郊生态区域绿道布局的兼顾。综上，本研究以拉萨市中心城区为研究区，提出基于多目标导向的复合型绿道网络构建方法：结合 MSPA 和 POI 数据分析识别城区重要生态、人文节点；多因子叠加构建阻力面并通过绿道建设适宜性评价对集中建设区线性空间阻力值进行修正。使其更好的表征集中建设区对于绿道选线的限制情况。

1　研究区概况

拉萨市中心城区地处雅鲁藏布江支流拉萨河中游河谷平原，东起达孜大桥、西至象雄美朵园区、南到拉萨高新技术产业开发区边界及自然山体边界下城镇开发边界、北抵自然山体下城镇开发边界，总面积约 360.08 km^2。区域内自然人文资源丰富，界内有拉鲁湿地国家级自然保护区，布达拉宫、大昭寺、罗布林卡等 3 处世界文化遗产，以及八廓街、蔡一村 2 处历史文化街区。

2　研究方法

2.1　数据来源

研究数据主要包括拉萨市中心城区数字高程数据、NDVI 数据、道路矢量数据、POI 数据、土地利用数据等（表 1）。所有地理信息数据均进行 WGS_1984_UTM_Zone_46N 的投影坐标系转换，栅格数据像元大小统一设置为 30 m。

表 1 数据类型、年份、分辨率及来源

数据类型	年份	空间分辨率	来源
中心城区边界范围	2021	—	《拉萨市国土空间总体规划(2021—2035)》
遥感影像数据	2020	30 m	地理空间数据云(http://www.gscloud.cn/)
数字高程数据	2020	30 m	
NDVI 数据	2020	30 m	国家生态科学数据中心
土地利用数据	2020	30 m	中国科学院资源环境科学与数据中心（https：//www. resdc. cn/）
道路矢量数据	2024	—	Open Street Map 平台（https：//www. openstreetmap. org/）
POI 数据	2024	—	高德地图开放平台（https：//lbs. amap. com/）

2.2 研究框架

中心城区近郊区域和集中建设区内绿道的空间载体、连接对象类型及服务功能侧重均有所不同[11,16]（表 2），因此在绿道网络构建过程中应精准串联重要节点，选择兼具经济性和适宜性的绿道空间载体。基于多目标的复合型绿道网络构建流程如图 1 所示。

表 2 不同区域绿道特征分析

绿道所属区域	串联节点类型	空间载体	空间服务功能	布局自由度
城市近郊区域	风景名胜区、自然保护区、湿地公园、郊野公园及观光农业园等自然景观节点	水系、农田、林地等自然肌理的开放空间边缘	生态保护、休闲游憩	选线自由度较高
城市集中建设区	城镇居住区、公园绿地广场、重点文保单位、商业区、历史文化街区等人文景观节点	道路、水渠、带状绿地等城市线性基础设施及其附属空间	日常通勤、休闲游憩、历史人文保护等	建设用地制约明显

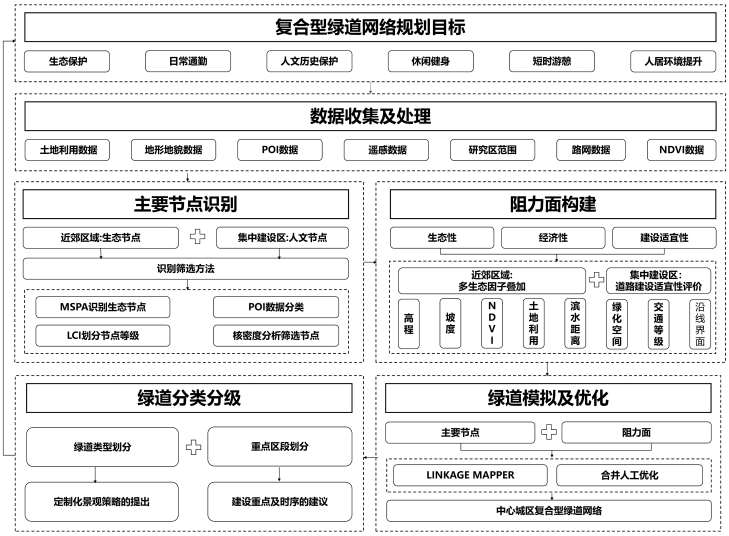


图 1 中心城区复合型绿道网络构建流程

2.3 重要节点筛选

本研究将复合型绿道网络串联对象概括为生态节点和人文节点两类。生态节点主要是分布于建设区边缘普遍具有高生态价值的生境斑块，其对于维持生态系统的完整性和多样性有着重要作用。选取 MSAP 进行近郊生态节点的识别，可以避免生态源地选择上的主观性[17-19]；将林地、草地及水域 3 种用地类型作为前景进行 MSPA 分析，提取核心区且面积大于10 hm^2 的区域作为生态源地；通过景观联通性指数（Landscape Connectivity Index，LCI）中的斑块重要性指数（dPC）分析筛选重要生态节点[20-23]，选取 dPC 值大于 0.5 的斑块作为核心生态源地，其余斑块为一般生态源地，将斑块中心点作为生态节点。人文节点是城市集中建设区内部依托人文资源和社会活动分布的点状空间。通过对 POI 数据核密度分析揭示数据的集中趋势和空间特征，概括人群的行为活动偏好[8]；基于交通、游憩、文化服务等目标导向，选取商业、科教文化服务、居住、人文历史游憩以及公园绿地游憩 5 类 POI 数据基于 ArcGIS 平台

进行核密度分析、重分类，并对 5 类数据进行等权叠加，将其活力程度划分为 10 级，提取活力程度 8 级以上区域作为初步选区；考虑到老城区和城郊区发展的不均衡，高活力区域大部分集中于中部老城区，秉承绿道建设公平性的原则，对建设不完善区域进行针对性节点补充；通过叠加研究区高清卫星影像，对初选点进行数据清洗去冗余，筛选最终高活力人文节点。

2.4　阻力面构建

阻力面可以反映地理空间中不同区域类型对物种迁徙、扩散或移动的难易程度[24-25]。不同区域绿道由于其空间载体特征的不同，其阻力值的设定也需要进行区分：近郊区域绿道由于较少受到建设用地的限制，选线空间较大，其阻力值多受高程、坡度、植被覆盖度、土地利用类型等因子的影响；建设区内高程、坡度等因子不再具备较大的阻力差异，绿道选线更多受到道路沿线界面、绿化宽度等线性因子的影响。为了真实表征近郊和建设区内的绿道选线适宜程度，本研究参照以往阻力面构建基础，进一步通过建成区内绿道建设适宜性评价修正线性空间阻力值，使其充分表征近郊区域和集中建设区的绿道选线适宜程度。

2.4.1　基于多因子叠加的基础阻力面构建

选择高程、坡度、归一化植被指数（NDVI）、土地利用和滨水距离 5 类阻力因子构建阻力面：海拔及坡度主要影响绿道的可达性、建设成本及施工难度；植被覆盖度和滨水距离则影响绿道的生态价值及实际体验；土地利用类型直接反应人类活动强弱程度，直接影响区域物种的多样性[26]。将除土地利用外的 4 类阻力因子按自然断点法进行 6 级划分，采用 10 分制进行阻力赋值，并依据层次分析法确认各因子权重值（表 3）。

表 3　基础阻力面阻力因子分级及赋值

阻力值	坡度/°	高程/m	归一化植被指数	滨水距离/m	土地利用类型
1	<3. 32	<3 664	>0. 73	<25	林地
2	3. 32~6. 65	3 664~3 710	0. 56~0. 73	25~50	草地
4	6. 65~11. 17	3 710~3 769	0. 41~0. 56	50~75	湿地
6	11. 17~17. 12	3 769~3 845	0. 29~0. 41	75~100	耕地、水系
8	17. 12~25. 67	3 845~3 959	0. 18~0. 29	100~125	未利用地
10	>25. 67	>3 959	<0. 29	>125	建设用地
权重值	0. 0702	0. 0702	0. 2576	0. 11	0. 492

2.4.2　基于绿道建设适宜性评价修正阻力面

选取高快速路、主干道、次干道等绿化条件充足的线性空间作为基本评价单元进行建设适宜度评价。通过加权叠加及阻力值转换，确定研究区线性空间阻力值。采用专家咨询法，邀请风景园林领域专家 5 人、拉萨相关部门工作人员 2 人、项目实际参与人员 3 人进行指标选取，确立沿线绿化空间、道路交通等级、沿线界面形式 3 类因子作为评价指标。沿线绿化空间直接影响绿视率、舒适度和吸引力，绿化空间越大其绿道改建适宜性越高；交通道路等级影响绿道可达性和连续性，高等级道路车流量较大，应首要保证其交通功能，城市支路等低等级道路受限于绿化空间，也不适合作为绿道选线；道路沿线界面会对绿化效果产生影响，如商业界面占比较大的路段，机动车及非机动车停靠需求较大，对绿化产生极大限制。对各指标分别进行分级、赋值，并基于层次分析法确立各指标权重（表 4）。在绿道建设适宜性评价的基础上按自然断点法进行 5 级划分，并按照“适宜性越高，阻力值越低”的原则进行阻力值转换[27]，生成城区内线性空间阻力值。将基础阻力面和线性空间阻力值进行叠置，最终生成研究区综合阻力面。

表 4　绿道适宜性评价各因子分级及赋值

评价因子	权重	分级指标	赋分
沿线绿化空间/m	0. 55	>15	10
		10~15	7
		5~10	5
		3~5	3
		<3	1
交通等级	0. 09	次干路	10
		主干路	7
		高快速路	4
沿线界面	0. 36	滨水绿地	10
		山地林地、公园广场	8
		硬质水渠	5
		居民区	3
		商业及其他界面	1

2.5 基于 MCR 模型构建绿道网络

基于最小累计阻力（MCR）模型筛选最优路径。选取 Linkage Mapper 插件模拟绿道网络的最低成本路径，根据绿道服务半径将廊道截断距离阈值设置为 1 600 m[28]。考虑到纯理性思维生成的绿道网络选线无法充分反映地方政策导向的发展需求[29]，为避免客观限制因素与绿道选线冲突，综合考量研究区现有蓝绿空间结构及未来土地利用，对选线进行人工优化修正，提升绿道选线的准确度及后续建设可行性。

3 结果与分析

3.1 拉萨中心城区主要节点识别筛选

由表 5、图 2 可知，研究区核心区面积占比约为 25%，生态斑块呈现破碎散点式分布的空间特征，主要集中分布于拉萨河途径区域以及南北两山近山山麓区域。通过识别筛选，共提取 109 处生态源地，总面积约 78.94 km^2，其中核心源地 34 处，占源地总面积 74%，位于拉鲁湿地、拉萨河流域以及柳梧南组团周边区域；一般生态源地 75 处，占源地总面积 26%，多位于堆龙曲沿线及南北山近山区域。通过 POI 分析识别高活力人文节点 103 处（图 3），与生态节点的散点式空间布局不同的是，人文节点呈现区域集中分布的特征。节点主要集中于城关区、柳梧新区及经开区的中心区域，堆龙及达孜区的节点分布极少，体现了区域建设的不均衡。

表 5 MSPA 各景观类型占比情况

序号	景观类型	面积/km^2	面积占比/%	序号	景观类型	面积/km^2	面积占比/%
1	支线	5.81	1.6	5	桥接区	20.24	5.7
2	边缘区	25.25	7.1	6	环岛	3.56	1
3	孤岛	8.56	2.4	7	孔隙	0.31	0.1
4	核心区	88.73	25	8	背景	203.05	57.1

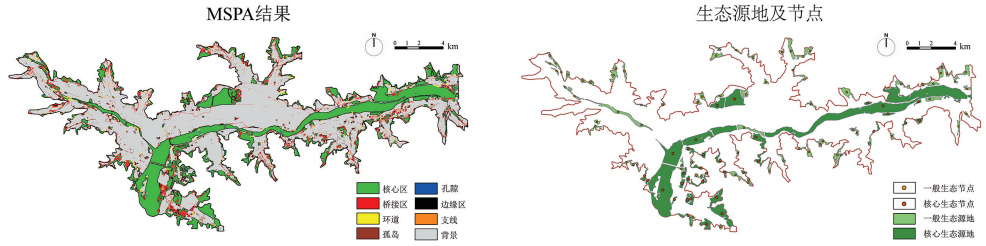


图 2 MSPA 结果及生态节点筛选

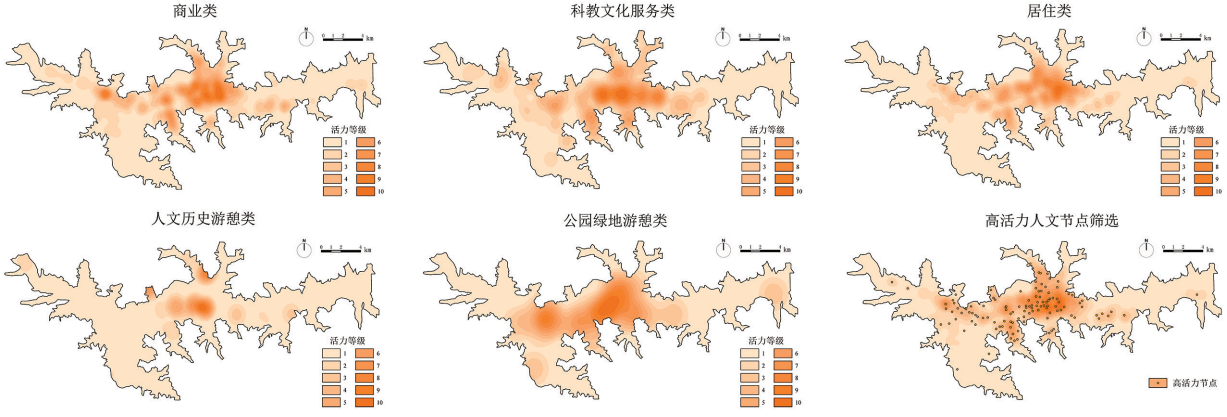


图 3 设施核密度分析及高活力人文节点筛选

3.2 拉萨中心城区综合阻力面构建

图 4 表明，基础阻力面呈现“中部高、四周低”的空间特征：高阻力区域主要为城市街区以及拉萨河水面区域；低阻力区域主要集中于拉萨河沿线滩涂、南北山近山山麓、拉鲁湿地及高新区南组团等地区，这些区域普遍具备地势平坦、

植被覆盖率高且开发建设强度较小的特点。城建区线性空间阻力呈现河渠沿线较低的特点，这是由于城区内绝大多数绿地空间都集中分布于拉萨河及干渠沿线。

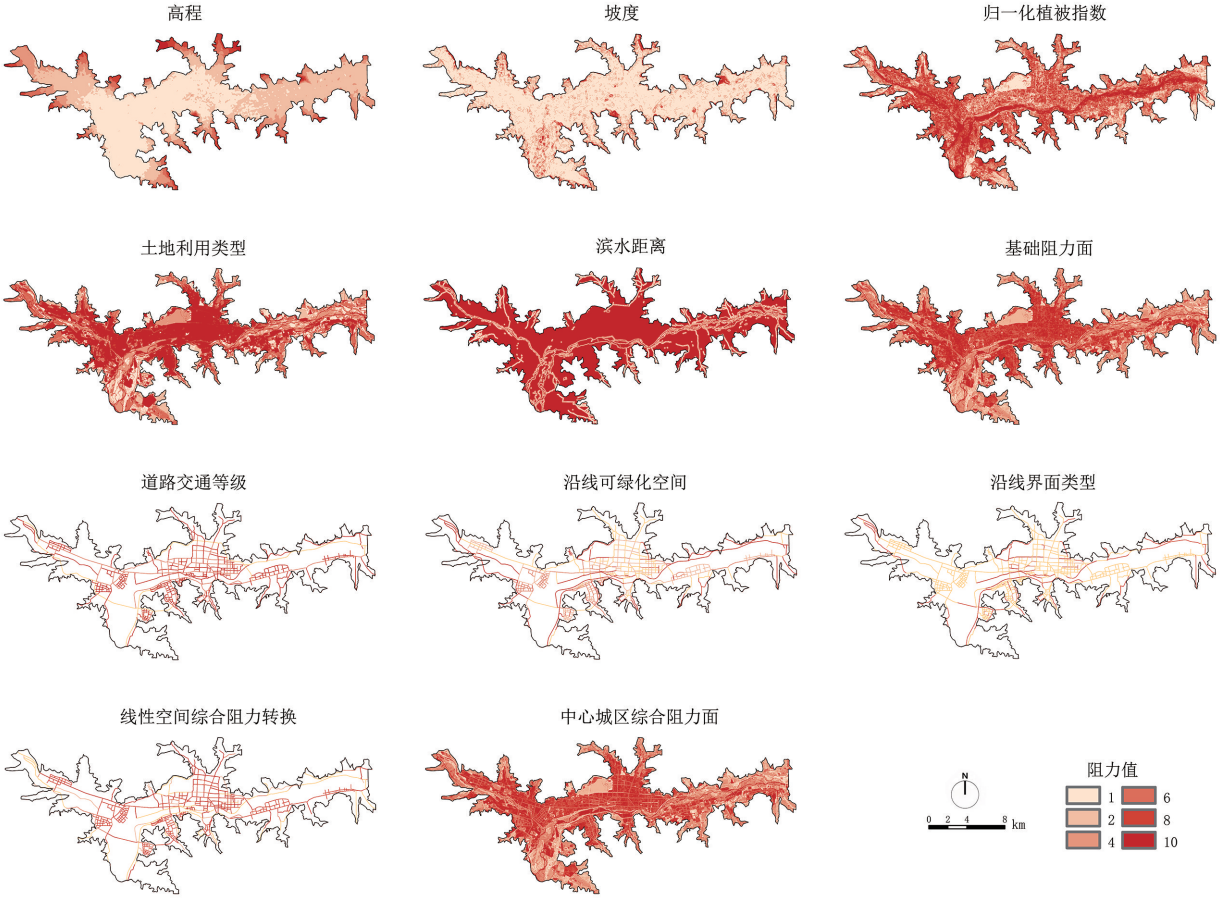


图 4　中心城区综合阻力面构建过程

3.3　拉萨中心城区复合型绿道网络构建及分类

图 5 ~ 7 表明，复合型绿道网络长度约 668.33 km，其中近郊生态绿道串联研究区内各大生态源地，均匀分布于南北山山麓、柳梧新区南组团等普遍具备较好自然资源及生境斑块的区域；城区综合绿道连接城市内部高活力人文节点，整体呈现中心密集、四周散布的特点，这是由于老城区高密度建设汇集了大多数重要节点，周边组团区域建设强度小、节点较少且离散。在绿道网络选线布局及分类的基础上，基于绿道空间载体、服务功能及景观特征的不同，将绿道类型进一步划分为近山生态型、湿地生态型、滨河绿地型、人文遗产型及综合通勤型 5 类（图 8），针对性进行规划目标和管控策略的制定（表 6）。为方便后续复合型绿道网络建设重点及建设时序的确立，对绿道选线进行重点建设区段划分，筛选遵循以下原则：1）《拉萨市国土空间总体规划（2021—2035）》重点结构中所涉及路径；2）3 大世界遗产核心区及历史文化街区周边线性公园及道路；3）连接重要生态源地线路。筛选后的重点绿道基本对中心城区各组团形成了覆盖，可作为后续建设时序的参考。

总体来说，中心城区现有绿道以线性公园绿地的空间形式集中建设于拉萨河、堆龙河及城市干渠沿线，较好地激活了城区滨水区域，形成了沿水系布局的绿道网络；近山区域绿道尚未形成规模体系，无法对各个生态节点形成较好串联，未来应依托南北山绿化工程结合自然地貌新建近山生态绿道，形成环绕中心城区的郊野生态环；同时，城区内综合型绿道网络所依托的道路空间土地资源紧张，存在绿化空间不足、绿化搭配不佳等情况，严重限制了复合型绿道网络的规划布局，应在保留原有空间功能的基础上根据各条道路的实际情况针对性进行绿化空间拓展和景观提升，从而形成覆盖各城区组团的绿道网络体系。

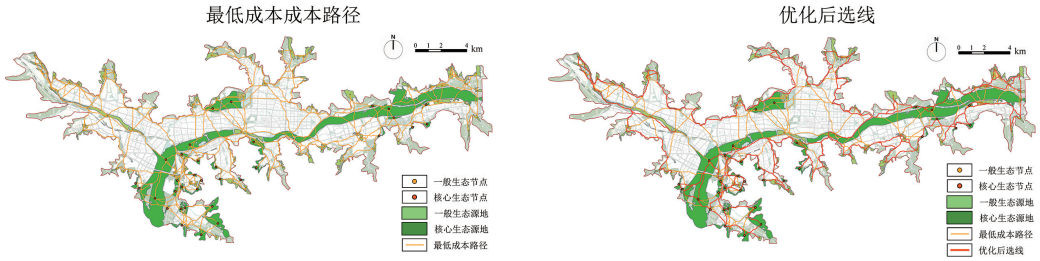


图 5 近郊生态绿道最低成本路径模拟及优化

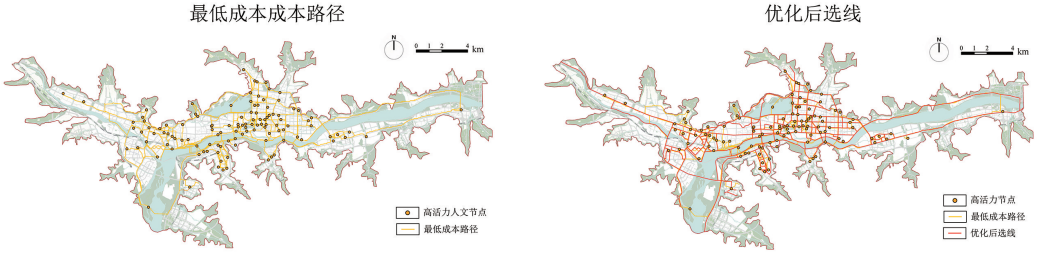


图 6 城区综合绿道最低成本路径模拟及优化

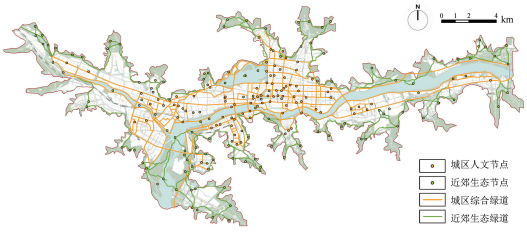


图 7 中心城区复合型绿道网络最终选线

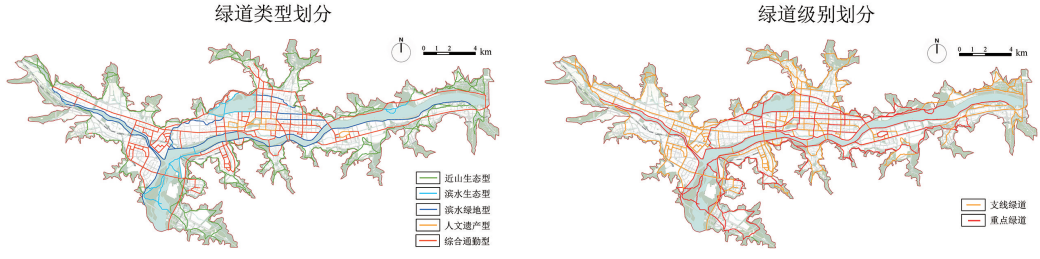


图 8 复合型绿道网络的分类分级

表 6 绿道分类及管控策略制定

绿道类型		长度/km	长度占比/%	重点区段分级	建设类别	管控策略建议
生态型绿道	湿地生态型	34.44	5	拉鲁湿地段、柳梧湿地段、察巴湿地段	新建	绿道与湿地核心区之间设置缓冲带，保护湿地动植物栖息地；合理规划观景台、观鸟塔、科普宣教牌等功能设施，着重强调绿道的科普宣教功能
	近山生态型	259.03	39	南山色雄－曲吉－桑果－白定段、北山嘎巴段	新建	注重原生植被的保护；近山区域采取生态工程措施避免因工程建设造成的水土流失及滑坡风险；绿道设计应与山地自然景观相融合，结合各山地历史文化设置观景台、休憩亭、解说牌等设施，展示区域山地文化特色
综合型绿道	滨河绿地型	109.05	16	拉萨河滨河公园群、北－中－南干渠及流沙河沿线绿地	景观提质更新	对沿线硬质栏杆进行改造，软化干渠驳岸，通过设置亲水平台、景桥等设施，提供安全的亲水体验；根据水系情况进行本地水生植物的恢复；进一步完善沿线服务设施，提升空间功能；公园绿地应进行无障碍系统的更新升级
	人文遗产型	19.53	3	世界遗产核心区段、历史文化街区段	景观提质更新	强调街道沿线绿化机会空间的挖掘；注重原有空间功能、遗产资源、景观风貌的保护；绿化种植应充分利用乡土植物结合文化线路主题进行特色打造，营造“一线一景”的空间氛围
	综合通勤型	246.28	37	鲁定路、金珠路、百淀大道等	景观提质更新	强调街道沿线绿化机会空间的挖掘；对沿街现有绿化种植进行配置更新；着重完善绿道基础设施

4　讨论

相较于李绍芃等[19]基于 MSPA-MCR 模型的绿道构建方法，本研究基于 MSPA 和 POI 分析的节点识别方法可以兼顾生态人文双重属性，构建的绿道网络包涵生态、通勤、游憩等多功能价值。相较于吴雪等[30]研究的阻力面构建方式，本研究基于绿道建设适宜性评估修正的综合阻力面可以充分体现城市建设用地对于绿道选线的限制，其模拟的绿道线路更符合实际情况，有效减少人为修正选线的影响。另外，本研究综合城市近郊区域和集中建设区绿道特征模拟绿道选线，避免了绿道网络仅侧重于城市建设区内部空间结构而忽视生态功能的需求，这与丁金华和马珺霓[31]、周聪惠[16]观点相一致。但是，本研究在绿道选线过程中更多基于生态串联、建设成本和适宜性进行选线，缺少对于动植物栖息地群落等生态敏感区域避让的考虑，后续应对研究方法进一步优化。

5　结论

本研究以拉萨市中心城区为研究对象，提出了基于“MSPA 结合 POI 分析筛选重要节点-多因子叠加结合建设适宜性评价构建阻力面-最小成本路径模拟选线”的复合型绿道网络构建模式，并据此对绿道类型进行划分和制定管控策略。

研究表明，拉萨市中心城区呈现生态资源“破碎散布”和人文资源“高度集中”的空间分异性特征，绿道网络并非简单的线性连接，需承担起维护生境连通和激活城市文化活力的双重使命。通过引入适应性评价对基础阻力模型修正，从而使绿道选线能够真实反映复杂建成区的物理限制，有效减少了纯理性选线与实际建设环境的偏差，提升了模型的环境适宜度。研究划分的 5 类绿道类型和重点建设区段，直接对应了拉萨市未来规划要求，为拉萨市未来绿道规划建设提供了科学依据和时序指导。该方法构建的复合型生态网络能够兼具生态游憩多功能属性，较好地体现区域自然人文特征，在城市尺度绿道网络构建具有一定的可行性及优势，可作为其他生态人文资源密集型城市绿道体系构建的参考。

参考文献

[1]蒋金亮,高湛,徐云翼,等.中心城区绿道智能选线规划研究:以宿迁为例[J].风景园林,2023,30(10):103-110.

[2]徐希,姜芊孜,王华,等.县域绿道选线方法探索:以江苏省盱眙县为例[J].规划师,2016,32(增刊 2):170-175.

[3]董晓峰,梁颖,侯波,等.基于资源环境评价系统构建的京津冀城市群绿道选线研究[J].城市发展研究,2021,28(12):118-127.

[4]李可璇,张蕾,李豪,等.基于 MSPA 模型和电路理论的晋西北国土空间生态修复关键区域识别[J].干旱区研究,2024,41(9):1593-1604.

[5]李海龙.基于最小累积阻力模型的川西高原绿道游径系统线路规划方法研究:以康定市为例[J].城市发展研究,2018,25(11):58-64.

[6]张乐相,柴波,张岩,等.基于重力模型与电路理论的生态网络对比研究:以济宁市为例[J].生态学报,2025,45(4):1684-1696.

[7]覃彬桂,林伊琳,赵俊三,等.基于 InVEST 模型和电路理论的昆明市国土空间生态修复关键区域识别[J].中国环境科学,2023,43(2):809-820.

[8]戴菲,杨超,徐亚如,等.基于 POI 点数据的武汉汉阳区绿道线路选择[J].中国城市林业,2020,18(6):26-31.

[9]邱彩琳,邱宁,张天洁.基于主动出行的建成环境对绿道使用强度的空间格局及效应研究:以北京中心城区为例[J].中国园林,2023,39(11):83-89.

[10]陈子璇,陈楚文.基于多源数据的义乌市绿道网络构建方法研究[J].园林,2024,41(4):95-103.

[11]陈柯宇,朱捷,吕梁,等.城市市级绿道适老性评价:以成都市熊猫绿道为例[J].中国城市林业,2024,22(6):140-147.

[12]许涛,樊鹤翔,周可钦,等.基于 MSPA-MCR-CIRCUIT 的山西省运城市景观生态网络构建[J].中国园林,2024,40(3):114-118.

[13]王丁冉,周庆华,聂川林,等.高密度城区游憩绿道网络规划的整合性框架研究:以西安市中心城区为例[J].规划师,2024,40(10):97-104.

[14]陈蕾如,曹悦,许克福.中小城市游憩型绿道综合使用评价[J].生态科学,2024,43(3):114-123.

[15]李林柯,吴晓华,应君,等.基于多源数据的通勤绿道选线研究[J].中国园林,2024,40(8):97-103.

[16]周聪惠.城市内部绿道布局特征及量化控制指标体系建构[J].中国城市林业,2014,12(1):47-51.

[17]WEBER T,SLOAN A,WOLF J.Maryland's green infrastructure assessment:development of a comprehensive approach to land conservation[J].Landscape and Urban Planning,2006,77(1/2):94-110.

[18]VOGT P,RIITTERS K H,IWANOWSKI M,et al.Mapping landscape corridors[J].Ecological Indicators,2007,7(2):481-488.

[19]李绍芃,杜庆章,宋跃朋,等.基于 MSPA-MCR 模型与 ROS 理

论的首都森林生态旅游区规划[J].京林业大学学报,2024,46(10):112-124.

[20] SAURA S, PASCUAL-HORTAL L. A new habitat availability index to integrate connectivity in landscape conservation planning:comparison with existing indices and application to a case study[J].Landscape and Urban Planning,2007,83(2/3):91-103.

[21] PASCUAL-HORTAL L,SAURA S.Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices:towards the prioritization of habitat patches and corridors for conservation[J].Landscape Ecology,2006,21(7):959-967.

[22] 李欣,郑颖,陈安宁,等.基于生态安全格局与风险评价的生态修复优先区识别:以神木市为例[J].生态学报,2024,44(19):8784-8797.

[23] 陈胜兰,丁山,魏甫,等.基于生态景观连通性的浏阳市自然保护地整合优化评价[J].中南林业调查规划,2023,42(4):21-25.

[24] 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.

[25] 王玉莹,沈春竹,金晓斌,等.基于MSPA和MCR模型的江苏省生态网络构建与优化[J].生态科学,2019,38(2):138-145.

[26] 潘振华,周媛,姚婧,等.基于形态空间格局分析与最小累积阻力模型的城市热环境生态网络优化研究[J].浙江农林大学学报,2024,41(5):1085-1093.

[27] 刘欣嵘,尹海伟,徐建刚,等.基于LCP的洛阳市多功能复合型绿道网络构建研究[J].现代城市研究,2018(1):126-131.

[28] 赵海春,王靛,强维,等.国内外绿道研究进展评述及展望[J].规划师,2016,32(3):135-141.

[29] 罗坤.大都市区绿道选线规划与建设策略研究:以上海市徐汇区绿道为例[J].城市规划学刊,2018(3):77-85.

[30] 吴雪,张云路,李雄.基于“三生空间”协同的乡村绿道选线研究:以怀柔科学城为例[J].城市发展研究,2021,28(1):27-32.

[31] 丁金华,马珺霓.生态与游憩双重导向下的水网乡村绿道网络构建[J].中国城市林业,2023,21(5):40-48.