

大数据背景下景观感知对实践决策的价值 ——以北京小西山步道为例

The Significance of Landscape Perception Research for Practical Decision-Making in the Context of Big Data: A Case Study of the Xiaoxishan Trail in Beijing

宋佳鸿 王志芳^{*} 李天舒
SONG Jiahong WANG Zhifang^{*} LI Tianshu

(北京大学建筑与景观设计学院, 北京 100080)
(College of Architecture and Landscape, Peking University, Beijing, China, 100080)

文章编号: 1000-0283(2026)01-0030-10

DOI: 10.12193/j.laing.20250331002

中图分类号: TU986

文献标志码: A

收稿日期: 2025-03-31

修回日期: 2025-07-01

摘要

在全民健康背景下, 步道作为公共服务设施的核心载体, 其规划需兼顾多维景观信息与使用者偏好。然而, 传统方法难以全面获取步道三维景观数据, 且缺乏对用户偏好的精准评估。大数据显著提升了景观感知研究的精准性与全面性, 但其与景观设计实践的深度融合亟待推进。以北京小西山为例, 构建“数据获取—偏好评价—决策支撑”框架, 结合地理信息数据与问卷调研, 应对当下的实践决策难点。大数据的景观感知研究能够: (1) 提供多维的步道信息, 包括常用起止点、打卡点、步道网络以及区域层面的步道景观信息, 揭示铺装前的自然路网中土石路(62.92%)与土路(22.90%)占主导; (2) 揭示全城范围内三类使用者的偏好满足程度, 发现铺装改造后(铺装路占39.44%), 非徒步者满意度提升, 但长途徒步者因偏好步道类型被破坏而满意度下降; (3) 支撑步道空间规划优化。基于偏好差异提出空间优化策略, 如恢复高偏好的原始步道类型, 在低密度路网区开发针对不同人群的偏好道路类型, 实现路线差异化设计。研究证实, 多源数据融合能有效解决规划前端数据匮乏与实践中偏好落位难题, 并通过“信息获取—需求诊断—决策支撑”路径推动景观感知研究向循证设计转化, 为步道建设提供科学依据。

关键词

景观偏好; 景观感知; 循证设计; 步道规划; 小西山; 大数据

Abstract

Within the context of public health initiatives, trails serve as critical infrastructure in public service systems, requiring planning that integrates multidimensional landscape information and user preferences. However, conventional methodologies struggle to comprehensively capture three-dimensional (3D) trail landscape data and lack the capacity to quantify user preferences precisely. While big data has significantly enhanced the accuracy and comprehensiveness of landscape perception research, its deep integration with landscape design practice remains an urgent need. This study employs Beijing's Xiaoxishan area as a case study to establish a "Data Acquisition-Preference Evaluation-Decision Support" framework that integrates geospatial data with questionnaire surveys to address current practical decision-making challenges. Big data-enabled landscape perception research demonstrates its capacity to: (1) Provide multi-dimensional trail information, including frequently used start/end points, photo-taking hotspots, trail networks, and regional trail landscape information, revealing that unpaved trails dominate the natural network before paving (rock-dirt trails: 62.92%; dirt trails: 22.90%); (2) Quantify preference fulfillment levels among three distinct user groups across the entire area, revealing that paving (39.44% paved trails) improves non-hiker satisfaction but decreases long-distance hiker satisfaction due to altered trail types; (3) Inform spatial planning optimization. Based on preference-based disparities, spatial optimization strategies are formulated, including restoration of high-preference natural trail types and development of user-specific trail typologies in low-density network zones to achieve route differentiation. This study confirms that multi-source data fusion effectively addresses foundational planning data scarcity and the challenge of preference localization during implementation. Furthermore, it advances the translation of landscape perception into evidence-based design through the "Information Acquisition-Demand Diagnosis-Decision Support", thereby establishing a robust scientific foundation for trail development.

Keywords

landscape preference; landscape perception; evidence-based design; trail planning; Xiaoxishan; big data

宋佳鸿

2000年生/女/安徽合肥人/在读硕士研究生/
研究方向为景观规划、景观感知

王志芳

1976年生/女/北京人/博士/研究员/研究方向为设计研究、景观感知、公园绿地活力、乡土景观、生态修复、绿色基础设施规划设计、景观绩效评价等

李天舒

2000年生/男/北京人/在读硕士研究生/研究方向为景观规划

*通信作者 (Author for correspondence)

E-mail: zhifangw@pku.edu.cn

基金项目:

国家自然科学基金项目“基于多源数据的城市绿地系统游憩服务价值形成机制研究”(编号: 42271300)

大数据的应用显著提升了景观感知研究的精准性与全面性^[1]，通过社交媒体、地理信息、传感器等多元数据^[2-3]，为景观特征识别与空间模式分析提供支持。基于手机信令与POI的时空行为研究^[4]及户外软件轨迹数据的徒步路线分析^[5]已形成基础，但大数据驱动的景观感知研究如何系统融入景观设计实践以指导空间优化，仍是亟待突破的核心议题。

本研究以山地步道规划为例，探究实践转化路径。全民健康背景下，中国山地步道规划面临两大核心难点：其一，步道规划使用人群画像以及分区分类体系不明确。国外已建立步道类型（国家游憩、历史、休闲步道）—用途（步行、骑马、自行车）—难度分级（路面状况、坡度、地形）的整体体系，并制定不同开发等级的步道工程建造和维护规范^[6-9]。国内则粗分为人工性强的城市绿道^[10]与自然化定位的森林步道^[11]，缺乏对使用者细分群体及其空间偏好的精准界定。其二，现有步道规划方法大多以客观建设条件为评估指标，对主观感知，特别是对真实三维体验的考虑不足。现有方法依赖自然条件评估（如自然条件、难度、景观可达性、景观资源、游憩行为、建设适宜性评价等复合选线指标^[12]）或主观问卷分析^[13]，但主观感知要素未能空间落位。大尺度山地步道更面临基底数据缺失——出入口定位与区域景观特征难以高效获取，亟需多源数据支撑。

现有研究已开始使用多源数据对山地步道展开探索，但相关技术方法尚未和山地步道规划有机结合。多源数据（轨迹、遥感、社交媒体、POI）空间分析技术已可支持步道选线^[14]；评价体系从景观资源评估^[15]延伸至使用体验评价指标^[16]，并创新性融合图像识

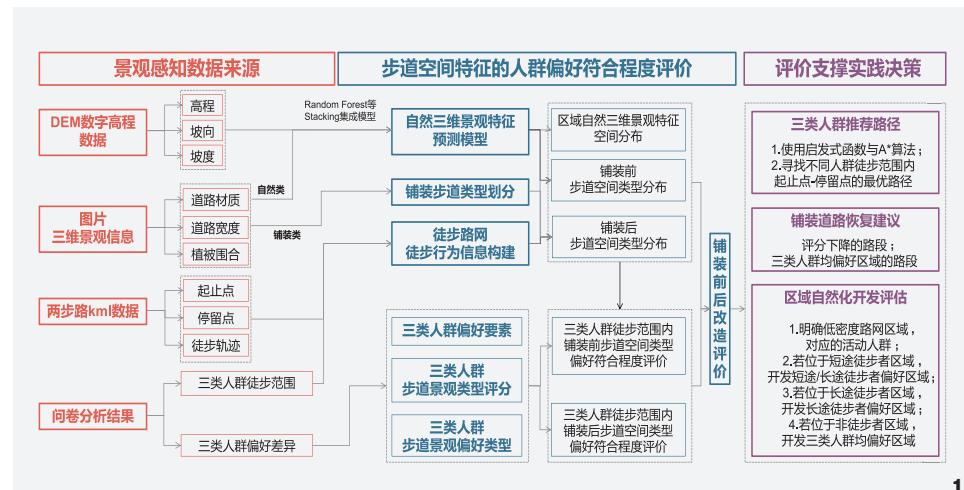


图1 研究框架
Fig. 1 Research framework

别^[17]、文本挖掘^[18]。现有技术已具备支撑山地步道规划的潜力，但技术的系统整合及其在步道线路规划中与使用者感知偏好的空间融合机制，仍有待深入研究。

本研究基于“空间信息获取—空间需求诊断—空间规划决策”逻辑框架，致力于解决三大关键问题：(1) 如何获得现有人群的登山徒步信息，并实现区域尺度铺装前后步道三维景观特征的快速识别？(2) 不同人群徒步范围内步道空间特征是否符合人群偏好？铺装化改造是否满足不同人群的使用需求？(3) 如何通过景观感知评价支撑城郊山地的步道空间规划优化？

1 研究区域与研究框架

北京小西山(89.84 km²)东起百望山，南到模式口，西到军庄一大觉寺一线，北到温泉路，凭借交通便利性、文化景观及多样化“香八拉”自然徒步线路(总长687.39 km)，成为北京户外短途徒步者的首要目的地之一。《石景山区国家森林城市建设总体规划(2018—2035)》、石景山区“十四五”时期园林

绿化发展规划、《石景山分区规划(国土空间规划)(2017年—2035年)》区域规划明确将西山绿道作为“多道合一”试点，亟需整合现有路网，融入“香八拉”户外短途线路。既有研究通过层次分析法评估坡度、植被、道路开发难度、旅游资源等级、可达性等要素规划精品线路^[19]，但未验证其与多元人群步行需求的匹配度。

本研究构建“景观感知的数据获取—步道空间特征的偏好符合程度评价—偏好符合程度评价支撑实践决策”框架：基于两步路地理信息数据提取人群徒步信息，通过图片特征构建自然步道景观类型的预测模型与铺装类步道景观的分类方法，解析铺装前后步道景观类型的空间分布；进而以多元人群偏好差异为标准建立评价体系（不同人群在步行范围内铺装前后的偏好符合程度、偏好组合类型），量化铺装改造对不同人群偏好符合程度的影响；最终指导步道选线优化与自然化恢复方案(图1)。科学验证机制中，自变量为铺装引发的步道空间类型变化，因变量为三类人群对铺装前后步道空间类型的满

意度变化,核心铺装化改造会有效提高三类人群对步道空间的步行满意度。

2 研究方法

2.1 基于两步路kml数据与图片数据的城郊山地路网构建方法

两步路平台(<https://www.2bulu.com/>)是国内基于位置定位服务(LBS)的专业户外平台之一,研究可通过广泛收集研究区域内平台发布的地理信息数据与附带的照片数据^[20],将收集到的kml数据中的轨迹批量转化为线要素shp,将轨迹附带的全部图片数据转化为点要素shp,分别通过GIS的线密度、核密度功能分析人群的轨迹、打卡点、起止点的空间分布特征。根据已有研究筛选包含步道空间信息的照片数据,并进行步道空间的道路材质(铺装、土路、土石、石头)、植被围合(乔木、灌木)、道路宽窄(窄路0~1.2m,宽路1.2m以上)、坡度(缓坡0°~15°、中坡15°~40°、急坡40°以上)分类,形成三维景观信息点的空间分布。

本研究以北京小西山为研究范围,以“八大处”“香山”“国家植物园”“黑石头”“克勒峪”“隆恩寺”“卧牛台”“天山陵园”“胡家岭”“福寿岭”“法海寺”“双泉寺”“潭峪”“打鹰洼”“憨死猫”“望京楼”“东山村”“西杨坨”“东杨坨”“香峪”等为关键词,收集范围内两步路平台发布的地理信息数据及附带的照片数据,获取原始地理轨迹1 399条,去除无地理信息的无效轨迹,总共得到轨迹1 275条,打卡图片5 298张,清洗得到1 752张与步道空间相关的图片。

综合现有的徒步轨迹与地图路网叠合筛选出步道网络,叠加路径上的常见打卡点与起止点体现登山徒步行为特征,与反映步道

三维景观特征的点信息结合,形成研究区域内步行环境的基础信息。

2.2 基于两步路图片数据与DEM数据的步道三维景观预测方法

三维景观信息来源于与步道空间相关图片的信息识别,由于信息不连续、分布不均匀而无法全面了解区域步道三维景观特征,需进行分类预测。

2.2.1 自然类步道三维景观预测模型训练

由于小西山范围内与自然步道空间相关的地理信息数据及附带的照片数据有限,且集中分布,因此,研究以小西山及周边鹫峰、妙峰山、凤凰岭、棋盘山、千灵山、定都峰等山地空间为数据提取范围,在原有小西山的搜索范围外增加“北宫”“戒台寺”“千灵山”“天门山”“九龙山”“刺梅花坨”“天泉寺”“笔架山”“鹫峰”“妙峰山”“东大坨”“阳台山”“涧沟村”“白虎涧”“凤凰岭”“灵鹫寺”“潭柘寺”“圈门”“斜河涧”“三尖洞”“马蹄窝”“谷积山”等关键词,于2024年11月在两步路上获取搜索范围内的原始地理轨迹并提取标记点图片11 949张,筛选与自然步道景观特征相关的图片3 118张,构建地理信息图片数据集。

自然道路特征与DEM信息密切相关,可以此构建预测模型以综合研判。研究将数据集中涉及自然步道空间的图片转化为点要素shp,并附加道路材质(土路、土石、石头)、植被围合(乔木、灌木)、道路宽窄(宽路、窄路)的分类信息与DEM数据中所在位置的高程、坡度、坡向,形成点位的完整属性信息。对相距<100m的点编组并比对属性差异,通过投票模型确定每组<100m的点中概率最大的属性并进行整组赋值,减少季节、视角等

因素对类型判断的干扰。通过算法筛选与集成,分析现有数据集中高程、坡度、坡向与道路材质、植被围合、道路宽窄的相互关系,并预测数据集未覆盖区域内步道空间的道路材质、植被围合、道路宽窄分类情况。

研究分别计算Random Forest等十几个模型算法,并比较Blending、Stacking、AdaBoost、Voting、Bagging等模型集成方法,最终选取准确率最高的Random Forest、Gradient Boosting、Extra Trees、Bagging、Lightgbm、Catboost为基础模型,进行Stacking分类器计算。相比其他集成方法,Stacking分类器充分体现模型的多样性与互补性,提高数据利用效率,平衡复杂数据的方差与偏差以提高泛化能力,进一步提高预测上限。研究以Accuracy、Precision、Recall、F1 Score评价准确率,以AUC值评价Stacking模型的泛化能力。模型以数据集中随机抽取的80%数据为训练集,剩余20%作为测试集评估模型性能,进行SMOTE采样并多次迭代,有效解决样本分布不均的问题,解决召回率与F1-score等指标低下的模型性能偏差,生成多样化样本避免样本过拟合,降低随机性影响以保证模型稳定性。

2.2.2 现有铺装类步道类型划分

由于铺装道路具有单一性,因此可根据研究范围内铺装类步道类型的分布进行分析判断。若两点间铺装步道类型相同,则这两点间步道为同一类型;若存在不同步道类型,则主要以道路交点作为类型变化的节点。参考实际调研中道路类型的分布情况,将100m影响半径作为同一类型点的最小辐射半径,并与实际道路等级(防火道、公园主路、小径)结合,判断铺装路网的三维特征。与自然步道类型的分布比较分析,可获得铺装前后步道空间类型的分布变化。

2.3 基于问卷分析结果的步道景观评价指标与规划方法

基于310份问卷结果^[21]将评价指标分为两类：三类人群对不同步道空间类型的偏好评分、三类人群重点偏好的步道景观组合类型。

(1) 根据不同人群的徒步路径长度与问卷结果的人群聚类与现有人群用户类型刻画^[22]，可将活动人群分为非徒步爱好者（步行距离在5 km之内）、短途爱好者（距离在5~10 km）、长途爱好者（距离>10 km）。通过对23种常见自然步道与4种铺装类型的偏好评分（不喜欢到喜欢为1~3分），以相近类型的平均分作为不常见步道类型的评分参考，利用加权平均分将步道类型划分为7类偏好组合：三类人群均不偏好、三类人群均偏好、非徒步者偏好、短途徒步者偏好、长途徒步者偏好、非徒步者偏好/短途徒步者偏好、短途徒步者偏好/长途徒步者偏好（表1）。

(2) 基于问卷确定的群体偏好差异，将对应步道空间组合类型覆盖率作为规划焦点：非徒步者（安全、舒适导向）重点关注坡度与植被围合要素，对应侧重乔木类、缓坡类组合；短途爱好者（安全、舒适导向）重点关注坡度、材质，对应聚焦缓中坡类、铺装土路类组合；长途爱好者（趣味、舒适导向）重点关注坡度与材质，对应关注土路/土石类、中急坡类组合。

在步道空间分类评价的基础上，构建路线推荐与区域恢复与开发的规划优化建议。

(1) 路线推荐以三类人群的步行起止点、常见打卡点为依据，以不同人群对不同类型步道空间的评价分数为选线依据，分别在不同打卡点之间、起止点与打卡点之间构建最优路径。首先，考虑每个打卡点与距离最近的三个打卡点，以启发式函数与A*算

法寻找两节点间三类人群对应评价分数与路线长度加权平均值最大的路线，为不同打卡点之间的最佳路径。再者，在起止点与其距离最近的打卡点之间以相同方法寻找对应人群评价分数与路线长度加权平均值最大的路线，选取与每个打卡点至起止点相连加权平均值最大的4条路线，对应起止点为推荐起止点，对应路线为起止点与打卡点之间的最佳路径。至此，得到每类人群的推荐起止点，并串联推荐起止点至各打卡点的最佳路径作为每类人群的推荐路径，以比较偏好符合程度的提升情况。

(2) 规划优化分为铺装道路的自然化恢复与低密度道路区域的自然化开发两部分。通过比较铺装前后的评价改变，在保证重要防火道不变的情况下，重点恢复铺装后评价得分下降的道路及铺装前三类人群均偏好的道路。通过识别低密度路网片区内步行的人群类型，对应在短途徒步者步行区域开发短途/长途人群偏好的三维景观类型，在长途徒步者步行范围内开发长途徒步者偏好的三维景观类型，或是在非徒步者步行区域内自然化开发三类人群均偏好的类型。

3 研究结果

3.1 小西山登山路网信息构建

本研究以北京小西山为研究范围，由于东侧各公园入口为非徒步者、短途徒步者、长途徒步者的共同起止点，三类人群的活动范围自东向西逐渐变大，东侧人群活动密度较高，轨迹路线与打卡点均体现西北疏、东南密的分布特征（图2）。以小西山步道网络叠加路径上的常见停留点，与反映步道三维景观特征图片点相结合，形成小西山徒步的基础信息。

(1) 常见轨迹路线提炼：活动人群在

小西山区域形成高密度、多长度、多难度的道路轨迹，具有西北疏东南密的特点。其中虎头山脚—虎头山—翠微绝顶—红叶大峡谷—南马场水库—北马场水库为轨迹的高密度区域，其次为挂甲塔—望京楼、鬼笑石—和顺门。

(2) 常见打卡点提取：活动人群在小西山区域形成多个集中分布的停留区域，具有西北疏东南密的特点。其中总共识别出73处打卡点，虎头山顶、翠微绝顶、南马场水库、望京楼、挂甲塔、樱桃沟、香峪为重点打卡点，其余有鬼笑石、双泉寺、慈善寺、克勒峪、八大处。

(3) 常见起止点提取：非徒步爱好者、短途徒步爱好者、长途徒步爱好者三类人群，活动距离分别为5 km之内、5~10 km及10 km以上。香山公园、西山公园、八大处公园等公园出入口是所有人群的步行起止点，黑石头、法海寺、潭峪是短途徒步者、长途徒步者的起止点，西侧香峪与北侧部分村庄出入口仅作为长途徒步者的起止点，共计40处起止点。

(4) 步道三维景观信息分类：根据对步道空间的分类，形成与道路材质、植被围合、路宽、坡度相关的三维景观信息点分布。

3.2 小西山步道景观特征的空间分布

3.2.1 自然状态下的小西山全域三维景观特征与分布规律

研究构建的自然步道景观预测模型对道路材质、道路宽窄、植被围合的预测Accuracy值分别达到74.20%、83.17%、79.49%，Precision值分别为74.18%、83.27%、79.50%，Recall值分别为74.20%、83.17%、79.50%，F1 Score值分别为73.58%、82.44%、79.07%，且AUC值分别为0.8718、0.8751、0.8814。通过特征重要性

表1 三类人群的步道空间类型偏好情况
Tab. 1 Preferences for trail types by three population groups

道路材质 Material	植被围合 Vegetation	道路宽窄 Width	坡度 Slope	非徒步者分数 Non-hiker score	短途徒步者分数 Short-hiker score	长途徒步者分数 Long-hiker score	偏好情况 Preference	重点偏好组合 Focused preference
铺装	灌木	窄路	缓坡	2.17	2.09	1.82	○	★
铺装	灌木	窄路	中坡	2.27	2.06	1.79	○	-
铺装	乔木	宽路	缓坡	2.25	2.13	1.79	○○	★★
铺装	乔木	宽路	中坡	2.41	2.26	1.84	○○	★★
铺装	灌木	宽路	缓坡	2.21	2.11	1.81	○	★
铺装	乔木	窄路	缓坡	2.21	2.11	1.81	○	★
石头	灌木	宽路	急坡	1.94	1.96	2.06	-	-
石头	乔木	宽路	急坡	1.94	1.82	1.92	-	-
石头	灌木	宽路	缓坡	2.13	2.12	2.18	○	-
石头	灌木	宽路	中坡	1.98	2.03	1.96	-	-
石头	乔木	宽路	中坡	2.11	2.10	2.14	○	★
石头	灌木	窄路	急坡	1.94	2.09	2.20	○	★
石头	灌木	窄路	缓坡	1.96	2.06	2.04	-	-
石头	乔木	窄路	急坡	2.13	1.88	2.24	○	★
石头	乔木	窄路	缓坡	2.17	2.00	2.12	○	★
石头	乔木	宽路	缓坡	2.30	2.18	2.32	○○○	★★
石头	灌木	窄路	中坡	2.15	2.09	2.12	-	-
石头	乔木	窄路	中坡	2.23	2.18	2.32	○○○	★★★
土路	乔木	宽路	急坡	2.12	2.26	2.35	○○	★★
土路	灌木	宽路	中坡	2.05	2.20	2.26	○○	★★
土路	灌木	窄路	急坡	2.01	2.23	2.18	○○	★★
土路	乔木	宽路	中坡	2.12	2.26	2.35	○○	★★
土路	乔木	窄路	急坡	2.05	2.20	2.26	○○	★★
土路	灌木	窄路	中坡	1.98	2.15	2.16	○○	★★
土路	乔木	窄路	中坡	2.05	2.20	2.26	○○	★★
土路	灌木	宽路	缓坡	2.24	2.24	2.29	○○○	★★★
土路	灌木	窄路	缓坡	2.01	2.23	2.18	○○	★★
土路	乔木	宽路	缓坡	2.47	2.26	2.39	○○○	★★★
土路	乔木	窄路	缓坡	2.30	2.37	2.45	○○○	★★★
土石	乔木	宽路	急坡	2.09	2.15	2.12	○	-
土石	灌木	宽路	中坡	2.23	2.25	2.22	○○○	★★
土石	灌木	窄路	急坡	2.00	2.20	1.93	○	-
土石	乔木	宽路	中坡	2.07	2.09	2.26	○	★
土石	乔木	窄路	急坡	1.95	2.05	2.02	-	-
土石	灌木	宽路	缓坡	2.13	2.15	2.27	○○	★★
土石	灌木	窄路	中坡	2.00	2.03	2.22	○	★
土石	灌木	窄路	缓坡	2.22	2.13	2.32	○○○	★★★
土石	乔木	宽路	缓坡	2.15	2.15	2.39	○○	★★
土石	乔木	窄路	中坡	1.90	1.93	2.29	○	★
土石	乔木	窄路	缓坡	2.23	2.15	2.49	○○○	★★★
加权平均分				2.17	2.13	2.14		

注: ○代表非徒步者偏好, ○代表短途徒步者偏好, ○代表长途徒步者偏好; ★代表非徒步者重点偏好组合类型, ★代表短途徒步者重点偏好组合类型, ★代表长途徒步者重点偏好组合类型。

(feature importance) 分析自然状态下步道三维景观特征的分布规律, 高程、坡向、坡度对道路材质的影响程度为0.3575、0.3213、0.3212, 对道路宽度的影响程度为0.3888、0.3057、0.3055, 对植物围合的影响程度为0.3595、0.3236、0.3169。预测模型可构建小西山研究区域内完整的自然三维景观信息分布, 累计组合类型34种(图3)。

通过特征重要性可知, 高程、坡向、坡度影响预测的重要性依次下降。随着高程和坡度增加, 各道路材质的出现频率为: 石头>土石>土路; 不同道路宽窄出现的频率为: 窄路>宽路; 不同植被围合出现的频率为: 灌木>乔木。石头、土石、土路类道路分别集中出现在东北/南/西北坡、南坡、西/南坡; 宽路在北向出现频率较高, 窄路在南向出现频率较高; 乔木在东向出现频率较高, 灌木在西向出现频率较高。

根据预测模型和环境DEM数据可知, 在自然状态下小西山全域(包含现有步道空间区域和未开发区域)各环境要素的占比情况: 土石类占据优势, 土路类其次, 分别占61.22%、20.98%; 窄路类环境与乔木类环境具有显著优势, 分别占88.97%、79.79%; 缓坡占比为53.10%, 中坡占比为42.02%, 急坡占比为4.88%。其中土石乔木窄路缓坡、土石乔木窄路中坡、土路乔木窄路缓坡、土石灌木窄路中坡、石头乔木窄路中坡所占面积较大, 占区域总面积的69.29%, 土路乔木宽路急坡、土路灌木宽路中坡、土石乔木宽路急坡、石头灌木宽路急坡、土路灌木窄路急坡所占面积较小, 仅占总面积的0.059%。

3.2.2 小西山铺装前后步道空间类型分布对比

对前文构建的步行路网部分进行分析, 未进行铺装化改造前的自然步道空间以土

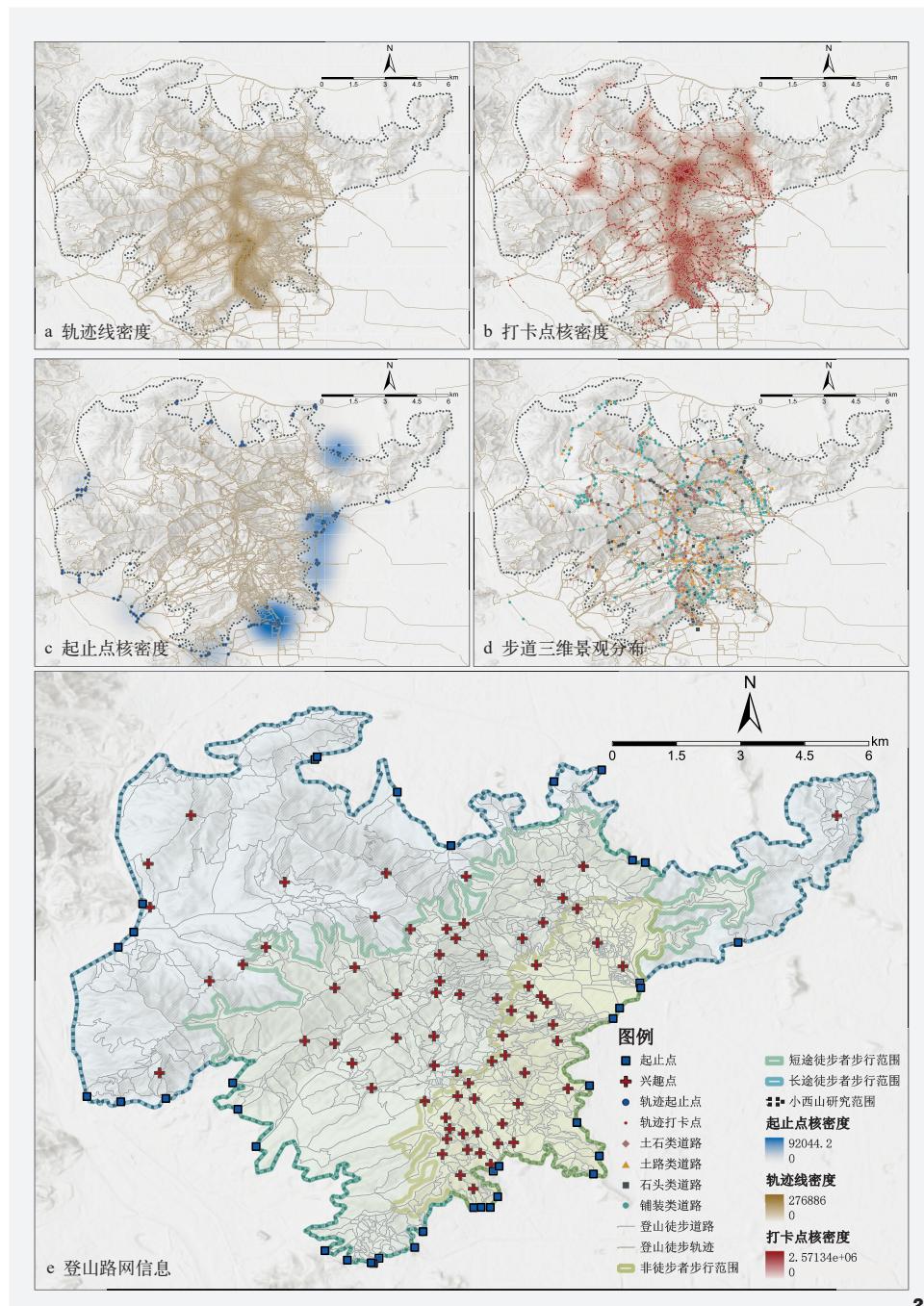


图2 登山路网信息
Fig. 2 Hiking trail network information

石、乔木、窄路为主, 缓坡较多: 土石类占比为62.92%, 土路、石头类材质的占比分别为22.90%、14.18%; 乔木占比为79.78%; 窄路

占比为88.38%; 缓坡占比为63.17%, 中坡为34.70%, 急坡为2.13%。

铺装后的步道空间以铺装类与土石类居

多, 乔木为主, 窄路相对较多, 缓坡为主: 铺装改造使得原自然步道空间的土石类与土路类材质占比分别下降24.22%、11.31%, 形成39.44%的铺装类道路, 乔木围合占比上升4.71%, 宽路占比上升29.40%, 缓坡占比上升

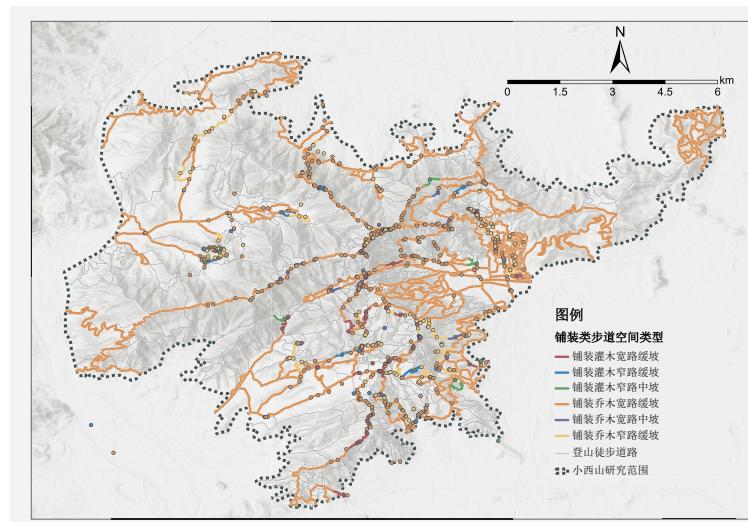
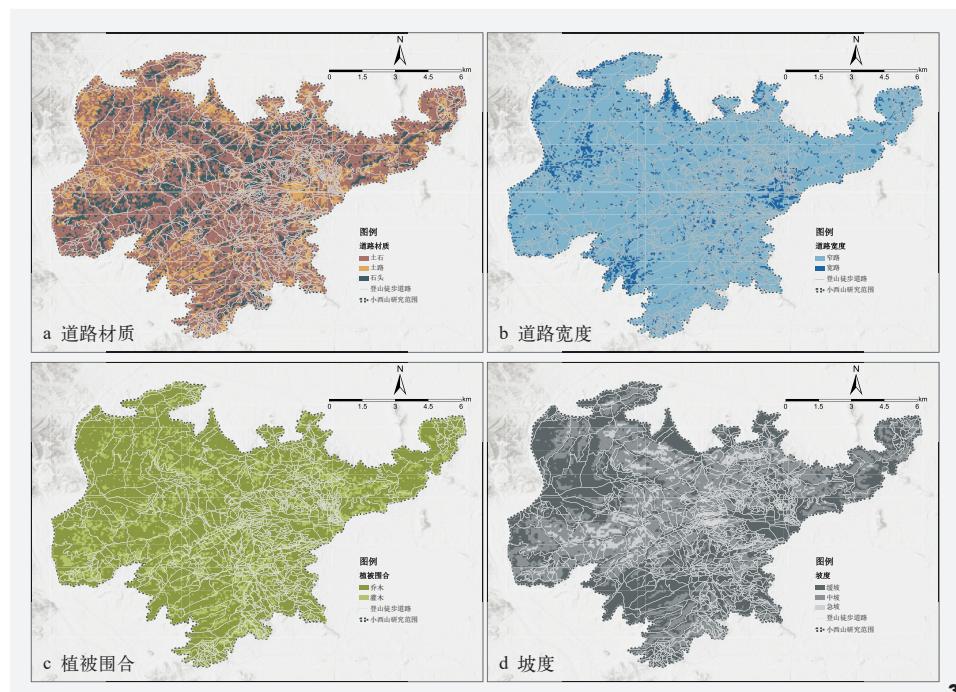
8.60%。以土路乔木窄路缓坡、土石乔木窄路缓坡、土路乔木宽路缓坡、土石灌木窄路缓坡、土石乔木宽路缓坡、土石乔木窄路中坡为主要被改造的自然步道类型, 占被改造路段的79.16%, 铺装乔木宽路缓坡为主要铺装

类道路, 占铺装道路的87.28% (图4)。

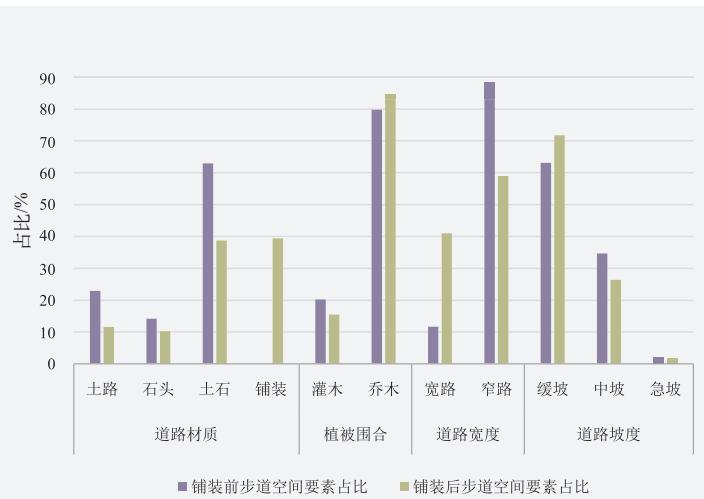
3.3 三类人群步行范围内铺装前后步道空间偏好符合程度评价

铺装前, 人群自发选择形成的自然徒步路网已达到较高的偏好符合程度。而铺装后, 非徒步者与短途徒步者的偏好符合程度有所上升, 长途徒步者的偏好符合程度下降明显。非徒步者偏好的缓坡、乔木类步道空间组合与短途徒步者偏好的铺装/土路类步道空间组合的覆盖度提高, 但长途徒步者偏好的土路/土石类步道空间组合占比受到较大负面影响。

未进行铺装前, 在各自徒步范围内长途徒步者的偏好满足程度明显高于非徒步者与短途徒步者。非徒步者步行区域内, 满足非徒步者偏好的占比为65.98%; 短途徒步者步行区域内, 满足短途徒步者偏好占比为66.04%; 长途徒步者步行区域内, 满足长途徒步者偏好占比为92.79%。在非徒步者步行



a 铺装后铺装类步道空间类型分布



b 铺装前后步道空间要素变化

4

图3 小西山自然景观要素空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of natural scenic elements in Xiaoxishan

图4 铺装前后步道空间要素变化与铺装类型空间分布

Fig. 4 Changes in trail elements before and after paving and spatial distribution of pavement types

范围内，非徒步爱好者偏好的缓坡、乔木围合类步道空间组合分别占比为62.93%、58.39%；短途徒步者步行范围内，其偏好的缓中坡与铺装/土路类步道空间组合分别为65.60%、21.78%；长途徒步者步行范围内，其偏好的中急坡、土路/土石类步道空间组合分别为33.16%、85.14%。

铺装改造后，在各自步行范围内进行路网偏好符合程度评价，非徒步爱好者的偏好符合程度最高，短途徒步爱好者其次，长途爱好者最低。铺装改造使非徒步者与短途徒步者的偏好符合程度分别提高12.80%、3.57%，长途徒步者下降37.72%。非徒步者偏好的缓坡、乔木类步道空间组合占比分别提高12.38%、13.46%，短途徒步者偏好的铺装/土路类、缓中坡类步道空间组合分别提高22.21%、3.60%；长途徒步者偏好的土路/土石类、中急坡类步道空间组合分别下降35.43%、8.97%（图5）。

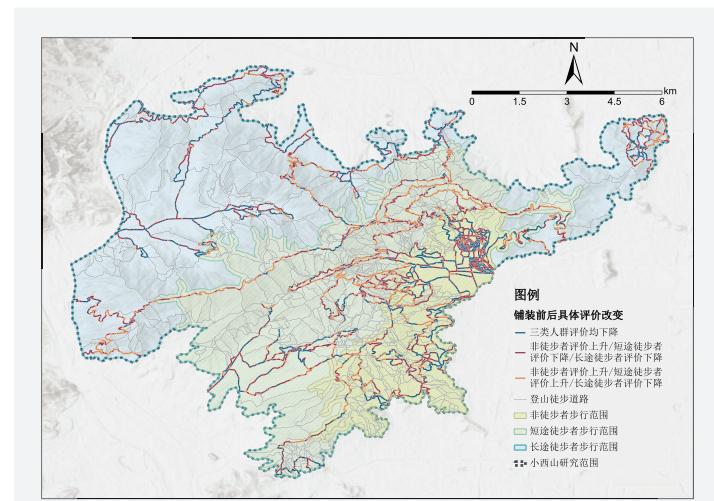
总的来说，铺装改造对长途徒步者的徒步体验不利，且铺装化的效益随着徒步范围的扩展而下降至消失。铺装改造前自然步道空间为三类人群均偏好的类型占比达66.08%，长途徒步爱好者偏好的类型占比为17.39%，短途徒步者/长途徒步者偏好的类型占比为12.20%，而改造后88.76%为非徒步者与短途徒步者偏好，11.24%仅为非徒步者所偏好。在具体评分变化上，铺装后三类人群评分均下降的路段占比为29.92%，非徒步者评分上升、短途徒步者与长途徒步者评分下降的占比为42.51%，非徒步者与短途徒步者评分上升、长途徒步者评分下降的占比为27.56%。在非徒步者范围内，铺装后评分上升的路段占全部铺装道路的58.52%，短途徒步者范围内铺装后评分上升占全部铺装道路的29.23%，长途徒步者范围内铺装后评分均下降。

4 规划决策建议

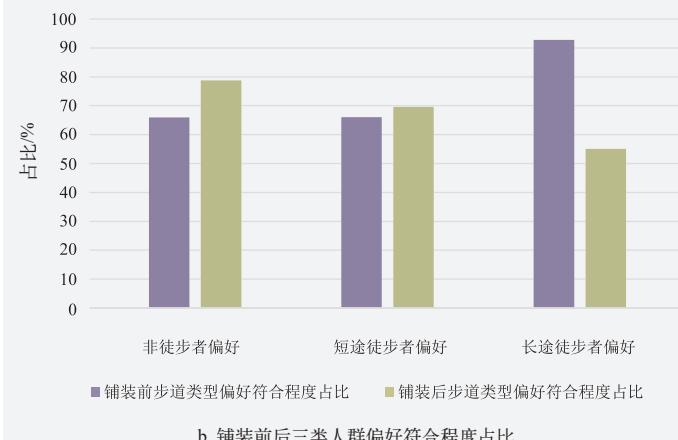
基于不同人群的偏好进行的推荐路线能在一定程度上提高步行体验，但对长途徒步者来说，无法达到铺装前的偏好符合程度。因此需自然化恢复部分铺装类道路，并自然化开发偏好度较高的低密度路网区域。

4.1 以人群偏好为依据的登山路线推荐

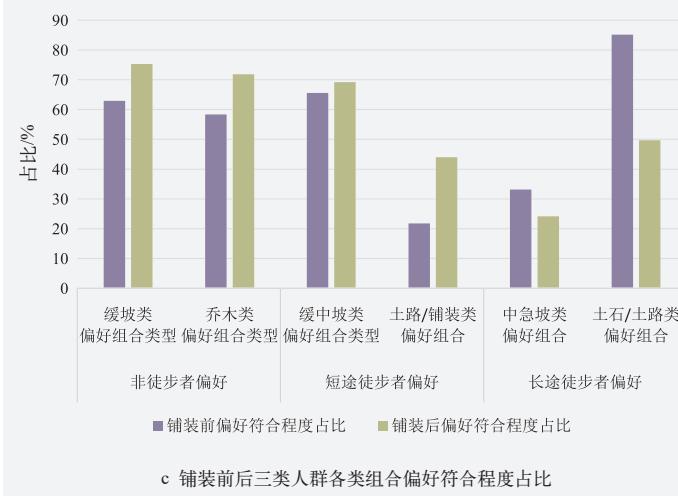
在不同人群的步行范围内，以不同人群的起止点、兴趣点为路线推荐的节点，以不同人群对步道空间类型的评价得分为比较依据，形成三类人群的路线推荐。非徒步爱好者、短途徒步者、长途徒步者推荐路线满足各人群偏好的占比分别为85.56%、73.81%、64.30%，



a 铺装前后三类人群评价改变分布



b 铺装前后三类人群偏好符合程度占比



c 铺装前后三类人群各类组合偏好符合程度占比

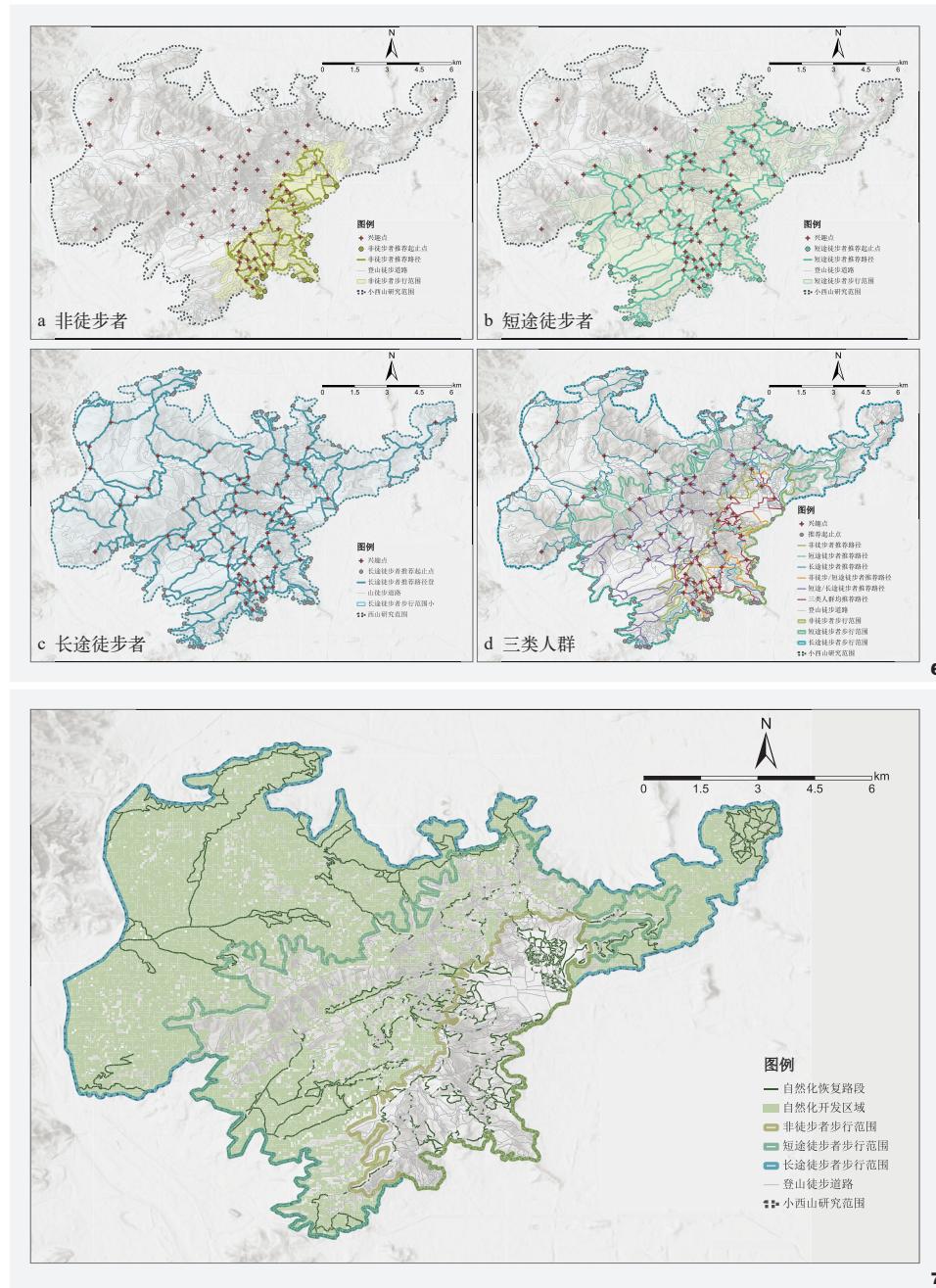


图6 三类人群的登山路线推荐
Fig. 6 Recommended hiking routes for three groups

图7 登山路网优化建议
Fig. 7 Optimization suggestions of hiking trail network

相比整体路网的偏好符合程度提高6.78%、4.20%、9.23%。其中非徒步者推荐路线中偏好的缓坡、乔木围合类步道空间组合占比为81.89%、79.66%，提高6.58%、7.81%；短途徒步者推荐路线中偏好的中缓坡、土路/铺装类步道空间组合占比为78.59%、49.83%，

提高9.39%、5.84%；长途徒步者偏好的中急坡、土路/石路类步道空间组合占比为25.16%、58.48%，提高0.97%、8.77%（图6）。

4.2 以人群偏好为依据的登山路网优化

路网优化应分为铺装道路的自然化恢复和未开发区域的自然化开发两种方式（图7）。

(1) 在保留重要防火道铺装不变的情况下，小西山应首要恢复铺装后评价分下降的路段，特别是仅有长途徒步爱好者的步行区域，应完全不进行铺装；其次可恢复铺装前为三类人群均偏好的道路，以提高徒步人群在非徒步者步行范围内的步行体验。

(2) 小西山应重点自然化开发低密度路网区域：在长途徒步者步行范围内可开发长途徒步者偏好的景观类型，特别是偏好度较高的中急坡组合类型；在西南侧短途徒步者步行范围内开发短途/长途人群偏好的景观类型，特别是中低高程、中低坡度、西/南坡向、偏好度较高的土路类空间组合类型。

5 讨论与结论

大数据背景下，本研究提出景观感知研究的三步路径“空间信息获取—空间需求诊断—空间规划决策”，并通过北京小西山案例实证其突破现有研究与实践局限的价值。

其一，突破二维自然景观特征评估局限，本研究与徒步行为信息相结合，搭建区域三维景观特征识别方法。以往步道研究存在依赖自然条件综合评估的局限，仅有较少研究考虑步道的细节：步道坡度、路面材质、路面宽度、路面深度等与路面安全的相关性^[23]，或根据景观破碎化指标讨论自然道路与铺装道路的生态影响^[24]。本研究融合景观感知大数据，纳入道路材质/宽度/植被围合要素，基于地理照片与DEM构建步

道景观预测模型，解析铺装与自然步道景观类型空间分布，建立自然地形与自然三维景观特征的空间相关性，可推广至其他城郊山地空间的步道空间类型识别。

其二，延展使用者感知的尺度，结合步道空间类型分布全域进行评价。突破景观美学指标^[25]与机器学习偏好模型^[26]的实践局限，本研究基于问卷分析结果，建立不同人群步行范围内的步道空间类型—人群偏好符合程度评价映射关系，实现偏好空间落位，以提供规划优化的方向。铺装前的自然路网中土石路占比为62.92%，土路占比为22.90%，未铺装路网已达到较高的偏好符合程度。改造形成39.44%的铺装类道路，主要破坏了三类人群偏好度均较高或是徒步爱好者偏好的道路类型，致使非徒步者偏好满足程度上升，长途徒步爱好者对徒步环境的满意度下降。

其三，夯实基于使用者感知偏好的步道体系优化方法。现有的步道线路推荐方法多考虑最短时间方法^[27]，或是加入用地、坡度、起伏度、生态敏感区、汇水区等可量化的影晌因素计算成本距离^[28]。本研究基于不同人群对现有路网的偏好评分进行路线推荐；根据铺装前后步道空间的评价变化，提出自然化恢复的建议；根据区域三维景观的偏好评价分布，提出低密度路网区域自然化开发的建议，具有指导规划决策的实际应用价值。

本研究通过多源数据融合解决步道规划前端数据匮乏与偏好空间落位难题，构建的“提供数据—评价优劣—支撑实践”路径可通过一个案例打通理论研究与实践应用的桥梁，促进了循证决策^[29,30]，对其他地区的步道建设与其他类型的规划设计实践也具有指导价值。在后续的研究中会进一步比较街景图像评价、社交媒体文本评价、沉浸式VR等偏好建模方

法，构建更加完善的偏好评价与实践应用框架，并将徒步路网上的配套设施建设、步道自然化维护与开发的后续管理纳入研究范畴，为国内步道体系建设提出更多建议。

注：文中图表均由作者绘制。

参考文献

- [1] XU L Y. Intelligent Landscape Architecture as an Approach to Addressing Critical Issues[J]. *Landscape Architecture Frontiers*, 2024, 12(02): 4.
- [2] XIE P, LI T R, LIU J, et al. Urban Flow Prediction From Spatiotemporal Data Using Machine Learning: A Survey[J]. *Information Fusion*, 2020, 59: 1-12.
- [3] FARAHANI M, RAZAVI-TERMEH S V, SADEGHI-NIARAKI A, et al. A Hybridization of Spatial Modeling and Deep Learning for People's Visual Perception of Urban Landscapes[J]. *Sustainability*, 2023, 15(13): 10403.
- [4] 杨博, 殷明, 郑思俊, 等. 基于手机信令和POI数据的高密度城市公园绿地日夜游憩活度研究——以上海市典型公园绿地为例[J]. 园林, 2023, 40(07): 35-42.
- [5] VENTER Z S, GUNDERSEN V, SCOTT S L, et al. Bias and Precision of Crowdsourced Recreational Activity Data from Strava[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2023, 232: 10468.
- [6] 林盛兰. 美国国家游径系统及典型案例研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2010.
- [7] 唐超, 蒋爱伍. 澳大利亚国家公园步道建设及启示[J]. 林业调查规划, 2023, 48(04): 50-56.
- [8] 何疏悦, 赵新宇, 程敏, 等. 美国风景游径系统建设研究及其对中国自然保护地体系发展的启示[J]. 园林, 2022, 39(02): 69-76.
- [9] 孙婷婷, 陈元欣. 美国国家步道建设经验及启示[J]. 体育教育学刊, 2023, 39(01): 88-94.
- [10] 赵海春, 王舵, 强维, 等. 国内外绿道研究进展评述及展望[J]. 规划师, 2016, 32(03): 135-141.
- [11] 李奎, 陈鑫峰, 张燕, 等. 典型国家步道体制对我国国家森林步道建设的启示[J]. 世界林业研究, 2022, 35(04): 82-87.
- [12] 郑超. 城郊游憩绿道网络构建研究——以杭州临安市游憩型绿道为例[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2015.
- [13] 万云. 游客对国家森林步道属性的期望研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2019.
- [14] 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(04): 95-103.
- [15] MIZUCHI Y. Landscape Assessment of Forest Trail Using Geotagged Visitor Employed Photography: The Case of the Inariyama Trail in the Takao Quasi-national Park, Tokyo[J]. *Journal of Forest Research*, 2023, 28(01): 1-10.
- [16] 王柠怡. 基于AVC理论的重庆渝中区山地健身步道景观综合评价及优化[D]. 重庆: 西南大学, 2022.
- [17] 熊星, 温晓雨, 杨善睿, 等. 城市滨水绿道景观视觉质量评估及影响因素分析——以南京夹江滨江绿道为例[J]. 园林, 2024, 41(09): 69-77.
- [18] 邹伟, 项杰, 李胜, 等. 基于多源数据游客偏好的温州大罗山风景名胜区游径优化研究[J]. 园林, 2023, 40(09): 74-82.
- [19] 高大伟, 杜万光, 刘明星, 等. 北京小西山绿道综合评价与规划研究[J]. 中国园林, 2019, 35(12): 80-83.
- [20] 钟晓林. 基于两步路平台的武陵源景区游客时空分布与景观偏好研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2019.
- [21] SONG J H, LI T S, JIAN Y Q, et al. Naturalized or Paved: Preference Conflicts and Resolution Strategies of Trail Spaces in Suburban Mountain Areas[J]. *Landscape Architecture Frontiers*, 2025, 13(03): 70-87.
- [22] 王志芳, 康佳, 徐敏, 等. 北京公园用户类型刻画[J]. 2021, 28(09): 96-102.
- [23] MARION J L, WIMPEY J. Assessing the Influence of Sustainable Trail Design and Maintenance on Soil Loss[J]. *Journal of Environmental Management*, 2017, 189: 46-57.
- [24] WIMPEY J, MARION J L. A Spatial Exploration of Informal Trail Networks Within Great Falls Park, VA[J]. *Journal of Environmental Management*, 2011, 92(03): 1012-1022.
- [25] ZHANG N, ZHENG X R, WANG X. Assessment of Aesthetic Quality of Urban Landscapes by Integrating Objective and Subjective Factors: A Case Study for Riparian Landscapes[J]. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 2022, 9: 735905.
- [26] LIU W P, HU X Y, SONG Z L, et al. Identifying the Integrated Visual Characteristics of Greenway Landscape: A Focus on Human Perception[J]. *Sustainable Cities and Society*, 2023, 99: 104937.
- [27] MÁRQUEZ-PÉREZ J, VALLEJO-VILLALTA I, ÁLVAREZ-FRANCOSO J I. Estimated Travel Time for Walking Trails in Natural Areas[J]. *Geografisk Tidsskrift-Danish Journal of Geography*, 2017, 117(01): 53-62.
- [28] 袁畅洋, 成玉宁. 参数化风景环境道路选线研究[J]. 中国园林, 2015, 31(07): 36-40.
- [29] WANG Z F, HUANG L Y, XU M, et al. Bridging the Science-practice Gaps in Nature-based Solutions: A Riverfront Planning in China[J]. *Ambio*, 2021, 50(08): 1532-1550.
- [30] 王志芳. 图示景观设计实践与现代科研的错位与解决途径[J]. 景观设计学(中英文), 2018, 6(05): 66-71.