人本视角下城市骑行空间可骑行性研究进展及评价方法*

梁馨玥 袁艺格 孙杨炀 李方正

北京林业大学园林学院 北京 100083

摘要：现阶段可骑行性研究的研究对象和目标丰富多样，评价指标和方法存在较大差异性。文章基于人本化视角，从骑行供需维度对国内外城市可骑行性研究进展与评价方法进行综述。结果表明：骑行供需维度中的供应层面包括对宏观骑行基础设施要素和微观骑行空间品质要素的评价方法，需求层面包括对宏观空间需求和微观视觉感知及心理偏好的评价方法；在分析供需维度各种评价方法优缺点以及未来研究方向的基础上，总结出可骑行性的供需评价框架；最后从空间供应、骑行需求、体系构建、数据稳健 4 个维度提出展望，即明晰影响骑行体验的重要空间供应要素、结合人工智能开发动态骑行具身感知体验技术、构建供需耦合的动态反馈多尺度评价体系、完善多源数据融合利用的稳健性。

关键词：人本视角；可骑行性；骑行网络；骑行空间；评价方法

DOI：10.12169/zgcsly.2025.08.26.0001

Research Progress and Evaluation Methods on Bikeability in Urban Cycling Spaces from a Human-centric Perspective

Liang Xinyue Yuan Yige Sun Yangyang Li Fangzheng

(School of LandscapeArchitecture, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: The current research on bikeability encompasses diverse subjects and objectives, with significant variations in evaluation metrics and methodologies. This paper reviews international research progress and evaluation approaches for urban bikeability at both supply and demand dimensions from a human-centered perspective. The supply dimension includes evaluation methods for macro-level elements of cycling infrastructure and micro-level factors to cycling spatial quality, while the demand dimension encompasses evaluation methods for macro-level spatial demand and micro-level visual perception and psychological preferences. After analyzing the strengths and weaknesses of various methods from the supply and demand dimensions as well as the future research directions, a supply-demand evaluation framework for bikeability is proposed. Finally, four dimensions for future research are outlined, i. e., spatial supply, cycling demand, system construction, and data robustness. These include clarifying key spatial supply factors influencing cycling experiences, developing dynamic embodied perception technologies for cycling using artificial intelligence, establishing a multi-scale evaluation system with dynamic feedback coupling supply and demand, and enhancing the robustness of multi-source data fusion and utilization.

Keywords: human-centric perspective; bikeability; cycling network; cycling space; evaluation method

收稿日期：2025-08-26

* 基金项目：林草科技创新发展与研究项目（2024132024）

第一作者：梁馨玥（2001-），女，硕士生，研究方向为风景园林规划与设计。E-mail：lxy626@bjfu.edu.cn

通信作者：李方正（1989-），男，教授，博士生导师，研究方向为城市绿地系统。E-mail：fangzhengli@bjfu.edu.cn

骑行作为重要的城市慢行方式，通常是城市居民通勤“最后一公里”的关键链接，直接促进了低碳出行，同时也构成了居民慢跑、散步等运动休闲方式的线性空间网络。因此，骑行从单一的城市交通方式，拓展为破解城市减排、促进居民健康的多重效益上。2025 年中央城市工作会议首次提出建设现代化人民城市的目标，作出“城市的核心是人”“城市是人民的城市”等重要论述[1]。虽然目前已有大量研究与完善的政策支撑骑行及其空间的管理问题，但如何从人本视角提升骑行空间品质，促进良好城市骑行体验以呼应“人民城市”的建设需求，成为骑行研究的重要拓展点。

目前骑行空间研究更多聚焦自行车出行，本文使用国际上通用的 Cycling Spaces 界定骑行的空间构成及其外部环境，包括骑行交通基础设施非机动道、游憩功能的绿道、公园内专用骑行道等，这些也是目前居民日常使用最多的骑行空间。当前，骑行空间建设已成为国内外基础设施建设重要内容之一，甚至有城市把“可骑行性”作为评价城市可持续发展的重要标准。推动建设“自行车友好型城市”已成为全球趋势，丹麦[2]、德国[3]、英国[4]等欧美国家相继出台促进自行车使用的政策，从城市规划、基础设施、公共参与等方面提出建议；国内出台的《绿色出行创建行动方案》《绿色交通“十四五”发展规划》《城市步行和自行车交通系统规划标准》等政策文件也对城市骑行空间规划建设进行了相关要求。尽管如此，目前国际仍重实践轻理论，国内研究则重空间管理、轻空间体验，难以从人本视角真正打造高品质、优体验的骑行空间。

提升骑行空间品质的首要问题是构建规范化的评价指标与体系，以评估现有城市骑行空间对骑行行为的支持能力[5]。近年来，“可骑行性”概念被应用于评估骑行空间品质研究，客观关注骑行空间评价，主观关注人本骑行感受[6-7]。实际上，骑行的空间供给保障可骑行基础，骑行需求体现骑行空间体验、感知和品质的更高要求，城市骑行空间仍有较多问题未被系统梳理：1）如何在中国本土视角界定可骑行空间？2）可骑行空间供给有哪些关键要素？人本视角下如何测度？3）居民对可骑行空间有哪些需求层级？如何测度？4）可骑行空间研究的局限性和潜力有哪些关键点？本研究聚焦骑行中的自行车出行方式，基于人本视角，从供需双维度对国内外可骑行性的定量研究方法进行梳理，并总结出其优缺点与适用性，旨在探索构建规范化的城市骑行空间人本化评价理论与框架。

1 可骑行空间构成和多维评价

1.1 国内外城市骑行空间的多元构成

城市骑行空间指以骑行交通路径串联公共空间和景观环境的整体[8]。西方国家骑行网络发展相对较早且更成熟，对城市骑行空间及其构成具有较明确的界定：具有独立自行车道或具有地标、物理设施隔离、相对独立的自行车交通和停放空间；在远离城市主干道且保障安全的前提下，可与机动交通空间混合[2-4]。国内交通网络较西方国家更注重机动车建设且交通流量更高，骑行空间受到挤占[9]，其种类与构成更为复杂。国内城市常见可供骑行的道路包括道路范围内的自行车专用道、非机动车道，居住区、商业区等内部的非机动车道或街巷、里弄、胡同，公园内部或风景区的景观绿道；骑行空间则为可供骑行的城市道路空间及其构成要素。

1.2 可骑行空间的多维评价

可骑行性（bikeability）可定义为骑行空间在感知舒适度、便利性和可达性的程度[10]，是影响人们选择将自行车出行作为一种可行可取的交通方式，这不仅是对道路基础设施的评价，也是对骑行体验的多维度评价[11]。评价维度包含客观与主观：客观上关注城市道路环境要素能否保障基础的骑行过程[6]；主观上关注骑行者对骑行空间的环境感知与骑行体验[7]。可骑行空间融合了骑行可达性、骑行便利性、骑行舒适性和骑行安全性等空间评价维度[12]，包含了空间与体验的多维概念（图 1）。

2 骑行空间的多元供应要素和规划前评价方法

2.1 骑行空间多元供应要素

国内复杂的骑行空间要素造成城市骑行网络品质提升的空间落点难以确定。梳理骑行空间多元供应要素，能帮助掌握骑行空间本体的现状问

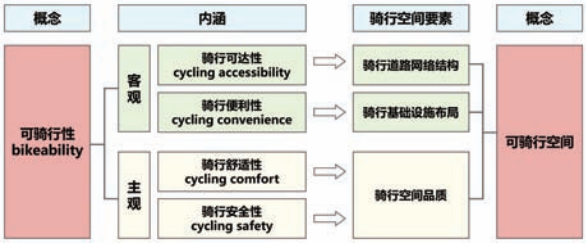


图 1　可骑行性概念

题。结合骑行空间的规划设计维度，将供应元素分为两类（图 2），即宏观基础设施要素和微观空间品质要素。宏观基础设施要素包括线性骑行道路的可达性、点状骑行起终点停放设施的公平性、面状骑行网络联通社会服务的丰富度，保障了骑行空间对可骑行性的基础功能。微观空间品质要素具体为促进良好骑行体验的环境要素，一方面指对机动交通产生隔离作用的安全保障要素，包括机动交通情况、道路质量和设计、信号灯控制、绿化隔离[13-16]等空间要素和影响骑行安全的风速、降水[17-18]；另一方面指提升骑行舒适品质的要素，包括道路坡度、曲折度[19-20]和遮荫度[21]、空气质量[20]等，保障了骑行道路顺畅性和微气候舒适性。近年来，开始从人本化视角构建微观评价指标体系，此评价指标体系主要呈现 3 点特征：1）评价要素逐渐贴合骑行视角，如对交通量评价，从评价道路的整体交通情况深化至对骑行外侧各种机动流量带来的安全风险；2）评价场景逐渐关注完整骑行过程，从只关注道路要素深化至对骑行途径的交叉口要素、骑行停留的路边要素等多种场景要素的评价；3）评价视角逐渐关注空间环境的整体感知，对空间单体要素质量评价深化至对整体骑行环境和微气候的评价，如骑行空间绿化情况、车道设计形式等空间整体性评价，风速、降水、空气质量等微气候感知要素。

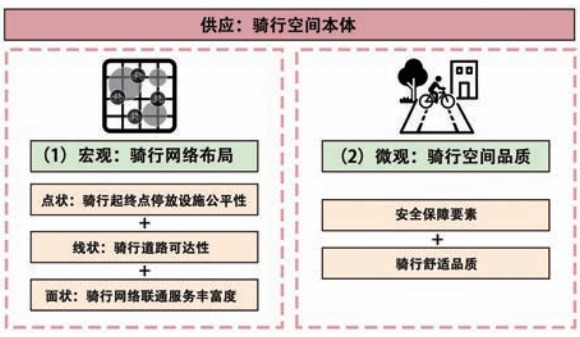


图 2　骑行空间供应评价框架

2.2　骑行空间供应要素的评价方法

2.2.1　骑行道路客观可达性

骑行道路客观可达性主要是对城市可供骑行道路到达任意目的地的难易程度进行评价[22]，从而完善骑行网络。传统评价方法主要源于可达性的相关算法[12,23-25]，注重对城市道路“量”的评价，但由于机动交通路权冲突等问题，现实中往往存在客观的骑行绕行问题。目前较多研究使用的路网数据都与骑行道路现状存在差异，导致计算误差。因此记录骑行轨迹的方法逐渐被许多研究采用：计算起终点的最短骑行路径与骑行轨迹的实际路径之间的距离比能反映骑行道路的绕行率[26]；利用递归 logit 模型整合大量骑行轨迹能预测较高真实性的高骑行可达路线[27]。骑行轨迹能反映道路的使用情况，但数据量的大小与范围会限制评价宏观骑行网络。对骑行道路真实情况的识别依旧是未来重要研究方向。

2.2.2　骑行起终点停放设施公平性

评价骑行网络起终点自行车停放设施的公平性并进行宏观布局调控，能提升骑行网络末端的自行车服务获取能力，促进自行车出行意愿。传统骑行主要使用私家自行车，但能否方便使用停放设施在一定程度影响自行车出行选择[28]，计算城市不同分区停放设施的数量、密度、可达性、设施类型等[29]，结合社会经济指标以识别设施分配、建设不均衡的区域。目前无桩共享单车即停即走的便捷模式逐渐成为居民短途出行和“最后一公里”通勤需求的选择，私家自行车的使用需求更多转移到骑行爱好上。许多无桩共享单车运营商为提升管理模式，对外公开骑行行程数据集。基于时空统计和空间绘图分析骑行轨迹起终点要素，能定量评价城市各区无桩共享单车的投放情况[30]，识别骑行需求枢纽[31]；利用计算机模型预测无桩共享单车接驳公交站点的集成模式，能从供需角度掌握城市各区的通勤骑行路线对骑行流的影响[32]，识别高需求的“最后一公里”骑行路线[33]；结合人口、经济、停放空间模式、运营管理等构建回归模型识别不公平区域和分析驱动因素[30]，可帮助提升无桩共享单车的投放公平和完善运营模式。目前无桩共享单车使用群体更广泛，

未来研究中对其行程数据集进行分析能够纳入多样化骑行目的，分析结果能够完善无桩共享单车运营模式的人本化，提升产品的使用频率。

2.2.3 骑行联通服务丰富度

骑行网络联通周边社区服务的丰富程度体现了居民骑行出行时轻松获取商业、绿地、公共服务等城市机会的能力，研究范围聚焦骑行可达的邻近社区或“15 分钟生活圈”。目前研究大多使用香农多样性指数（Shannon Diversity Index）[19] 和累积机会模型（Cumulative Opportunity Model）[29]进行评价，数据使用土地利用或 POI（兴趣点）。通常以人本化视角，依据不同群体的出行目的划分服务类型，常见类型包括居住、交通、商业、工作、休闲等[5,19,29]。主要研究区别在于根据不同的研究目标所划定的评价范围：关注骑行道路两旁的设施配置情况，研究范围为骑行道路两旁缓冲区[5]；关注骑行网络联通服务的覆盖程度，研究范围为骑行道路集水服务区[29]。目前大部分研究的评价方法都较为单一，未来研究可尝试挖掘创新性的评价思路与方法。

2.2.4 骑行空间品质要素微观评价

聚焦于骑行空间组成要素，是从宏观骑行空间基础水平的评估深入至微观骑行空间品质的精细化提升，从空间设计视角评价骑行空间对良好骑行体验的保障能力。早期评价方法由于深度关注骑行空间单体要素细节，大多依靠现场调研来获取数据，研究成本较高，研究范围局限。目前较多研究开始尝试对各种开源数据进行精细化处理分析，不仅提升传统要素的评价效率，降低调研成本，同时也延伸出部分创新指标。对于传统指标，运用手机信令、骑行轨迹数据评价交通量与拥挤度[19,34]；曲折度通过计算骑行道路或轨迹行驶距离与起终点直线距离之间的比率评价，坡度通过计算高程评价[20]；遮荫度以骑行道路两旁缓冲区的 NDVI 指数评价[21]。对于创新指标，骑行空间微气候质量通过获取各个时段的风速、降水、空气质量等气候数据，处理后利用格式化空间插值的方式对不同骑行路段进行评价[19,35]；街景图像数据能够高效评价骑行空间的整体要素构成，通过语义分割模型或计算机视觉（CV）技术计算各要素占比[19,36]。创新指标包括绿景指数、天景指数等。多源大数据的创新利用能提高研究效率和尺度，但数据精度会对微观尺度的评价结果产生一定误差。未来研究需对多源大数据进行灵活运用，必要时补充实测数据，结合计算机预测模型拓展尺度，提高评价精度。

2.2.5 指标权重确定

宏观评价多利用大数据分析，一般通过数据驱动权重的方式进行确定，例如主成分分析法（PCA）、数据包络分析（DEA）等。微观评价聚焦空间要素细节，评价方法也较为主观，一般采用专家一致性方式进行确定，例如德尔菲法（Delphi Method）、层次分析法（AHP）等。指标权重确定能够掌握对可骑行空间产生重要影响的供应要素，完善供应评价体系（表 1）。

表 1 骑行空间多元供应的要素和评价方法

宏观评价:骑行基础设施					
适用尺度	评价指标	评价层级	空间要素	评价方法	典型数据源
城区尺度	客观可达性	核心要素	骑行路网拓扑结构	多层网络建模[12]、空间句法[23]	城市路网 OSM 数据
			骑行服务区	网络分析法[24]	
			骑行节点间相互吸引	两步移动搜索法[25]	
		拓展要素	骑行绕行	骑行轨迹绕行率[26]	骑行轨迹数据
			骑行高可达线路	骑行轨迹整合[27]	
城区/社区尺度	布局公平性	核心要素	私家自行车停车设施	时空统计或空间绘图计算数量、密度、类型、可达性等;结合社会经济等因素进行相关性分析[29-31]	自行车停车设施点位数据
			无桩共享单车投放点		无桩共享单车行程数据集、社会经济人口数据
		拓展要素	无桩共享单车接驳公交站点集成模式	基于图卷积的空间嵌入模型(MGCN-XGB)[32]、机器学习模型[33]	无桩共享自行车行程数据集、城市路网 OSM 数据
城区尺度	服务丰富度	核心要素	骑行道路缓冲区或服务区的土地利用情况	香农多样性指数[19]、累积机会模型[29]	土地利用、POI 数据

表 1(续)

微观评价:骑行空间品质					
适用尺度	评价指标	评价层级	空间要素	评价方法	典型数据源
社区/场地尺度	安全保障	核心要素	道路交通情况、限速、车道数和宽度、路面材质和质量[13]、机动交通冲突情况[14]	实地调研	现场调研数据、市政数据、手机信令数据
		拓展要素	道路标线标志、自行车道和交叉口设计、信号灯控制、道路停车、绿化隔离带[15-16]		
城区/社区尺度		情景要素	风速、降水[17-18]	对多源地理大数据进行处理与转化,部分点位可进行现场调研	风速、降水等气候地理数据
社区/场地尺度	舒适品质	核心要素	道路曲折度、坡度[19-20]、道路遮荫度[21]		城市路网数据、道路高程、NDVI、PM2.5 浓度、街景图像或现场拍摄照片
		拓展要素	景观要素占比[19,36]		
		情景要素	空气质量[19,35]		

注：根据评价重要性和场景将骑行空间要素分为 3 类：核心要素为可骑行空间的重要组成要素，构建指标体系时建议必选；拓展要素为近年相关研究的创新指标，帮助完善核心评价体系与提升评价准确度；情景要素具有评价场景针对性，需根据不同的研究场景与目标进行选用，如骑行环境微气候舒适性评价。表 2 同。

3　骑行空间需求层级和使用后评价方法

3.1　骑行空间需求层级和要素

目前研究较多关注慢行道感知体验，较少将居民实际的需求层级系统地落实到规划应用中。本研究将需求层级划分为两类，即宏观的骑行基本意愿和微观的空间偏好（图 3）。宏观的骑行基本意愿包括路线选择和需求分布。骑行路线选择包括骑行时段、骑行路线、骑行目的、路线选择原因等，通常受骑行者的社会、经济、人口等背景因素影响[6]。微观的空间偏好包括空间要素感知和视觉心理偏好。空间要素感知是结合心理学对骑行空间进行更细致的感知评价，目的是精准了解各要素的使用需求，具体包括景观类别、小品设计、植物配置、基础设施、商业设施、应急设施等空间要素[37-38]，也包括骑行者对骑行路线上物理、交通、社会环境要素对骑行安全、吸引、舒适等维度的影响[39-41]。骑行作为一种动态过程，不同骑行速度下景观序列的动态变化会带来不同的视觉感知体验。因此，骑行视觉需求通常以骑行动态视觉感知偏好为基础，以贴近骑行者的微观方式，掌握骑行景观动态变化时对骑行者视觉产生影响的空间要素。

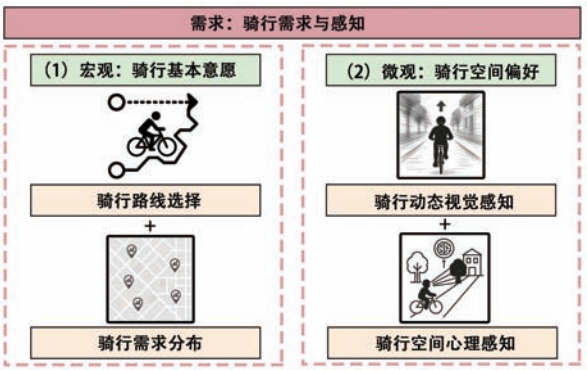


图 3　骑行需求和感知评价框架

3.2　骑行需求的测度方法

3.2.1　空间需求基础

空间需求基础是对骑行线路选择的图示化表达，关注宏观层面人群骑行意愿在城市各区的分布与选择，以精准掌握骑行高需求路线，调控城市骑行网络布局。随着各种骑行记录软件发展，骑行轨迹大数据成为骑行路线选择的重要评价基础，通过分析城市道路的骑行频率，结合微观骑行空间品质评价，以识别高需求低质量的骑行空间[5]；或结合各种建模方式，探究不同出行需求路线选择与建筑空间特征之间的关系[42]，例如，哥本哈根的一项研究案例分析了骑行轨迹中的行为绕行率（BDR）[43]，即骑行者的故意绕行路线，揭示了建筑空间特征如何影响自行车绕行幅度。

3.2.2　视觉评价

视觉评价关注骑行过程的动态视觉体验，提升骑行空间动态景观序列品质和线性空间骑行体验。传统评价通过尽可能地将街景图像采样点设置较小间隔来模拟骑行的连续视觉感知，结合综合景观分析评价法、语义差别法[44]等设置感知评

价问卷，分析空间要素占比与感知问卷数据之间的相关性评价，但该方法无法准确还原动态的骑行视觉感受。眼动追踪技术的应用能够帮助深入研究。利用眼动仪结合 EDA 设备等生物生理传感器，能够测试骑行者对动态骑行空间变化的视觉感知、情绪变化和行为表现[45]；或结合感知问卷评价骑行视觉感知偏好[46]。

3.2.3 心理学交叉验证

心理学交叉验证聚焦骑行者对骑行空间微观景观要素的满意程度，掌握居民真正需要和喜欢的骑行空间特质，以进一步完善骑行空间人本化设计。目前大多数研究都采用心理感知问卷的形式进行测量。国内有研究引入心理学理论构建感知问卷，包括刺激-机体-反应理论（S-O-R）和全象限全层次理论（AQAL）[47-48]，以探讨骑行路线上的物理空间、文化氛围、社会体验等要素对骑行感受的影响。最为常见的方法有语意差别法（SD）[37]，通过使用交谈的话语尺度测定骑行者对骑行空间景观要素的心理感受。为使受访者对骑行空间更具有直观性，构建可视化感知问卷的方法也被许多研究所应用。通过预设不同等级或种类的骑行景观要素，以控制变量的方式研究骑行空间要素的感知偏好[49-51]，但该方法会受到研究者对骑行环境的主观判断，容易与实际情况产生较大的偏差，需要研究者对环境要素具有较高的观察和概括能力（表 2）。

表 2 骑行空间需求层级和测度方法

评价对象	评价指标	适用尺度	评价层级	评价要素	评价方法/工具
空间需求基础	骑行线路选择和空间偏好	社区/场地尺度	核心要素	骑行时段、路线、目的、路线选择原因、沿线建筑空间特征[6]	受访者主动报告详细的骑行活动数据/骑行轨迹频率数据与建筑空间特征要素进行相关性分析
		城区/社区尺度	拓展要素	骑行行为绕行率(BRD)[43]	
视觉偏好感知	骑行过程中的动态视觉感知	场地尺度	核心要素	骑行过程中的动态景观	眼动仪实验结合生理测量/问卷感知[45-46]
		社区尺度	拓展要素	骑行线路景观序列	街景图像数据的要素占比与感知问卷结果之间的相关性[44]
心理偏好感知	骑行绿道景观要素心理感知	场地尺度	情景要素	景观类别/小品、视觉体验、植物、坡度和遮荫、人车隔离、休憩设施等[37]、消费/游憩/应急/运动/基础等设施[38]	语意差别法(SD)[37]、深度访谈法[38]
	骑行通勤路线的环境感知	社区尺度	情景要素	废气、噪音、绿化、景观、坡度、交通安全等[39]	主动通勤路线环境量表[39]
	骑行道路的环境要素感知	社区尺度	情景要素	交通安全、吸引、土地利用、步行/骑行基础设施等[40]	可骑行性和可步行性量表[40]
	居民步行/骑行通勤的安全可达性感知	社区尺度	情景要素	安全、距离、交通事故风险、拥挤、坡度等[41]	安全和可达性指数[41]
	骑行空间绿化程度感知偏好	场地尺度	情景要素	无;中等:行道树;高:包括行道树、中低植被、绿色立面[49]	照片拼贴式感知问卷[49]
	城市负载区附近的骑行感知舒适度	社区尺度	情景要素	环境交通量:低/高/卡车相邻;自行车道路面标记:白色/绿色实线/虚线;交通标志:无标志、警告标志[50]	三维渲染图像感知问卷[50]

4 展望

本文基于骑行空间供应与需求双维度对目前城市可骑行性评价及方法的相关研究进展进行回顾与总结，关注到目前国内城市骑行空间建设的供需不匹配问题，对中国本土化的可骑行空间界定、可骑行空间供给要素人本化评价、居民骑行需求测度等关键问题进行了综述，创新性构建了人本视角的可骑行性供需耦合评价框架（图 4），未来应从空间供应、骑行需求、体系构建、数据稳健等方面展开重点研究。

4.1 明晰影响骑行体验的重要空间供应要素

现阶段可骑行性空间的供应评价指标已较丰富饱和，容易过度关注单体要素的细节，导致评价体系复杂难实践，难以掌握对骑行体验具有重要作用的要素。未来研究需结合骑行感知实验，挖掘真正影响骑行体验的供应要素，精简可骑行空间供应评价体系。

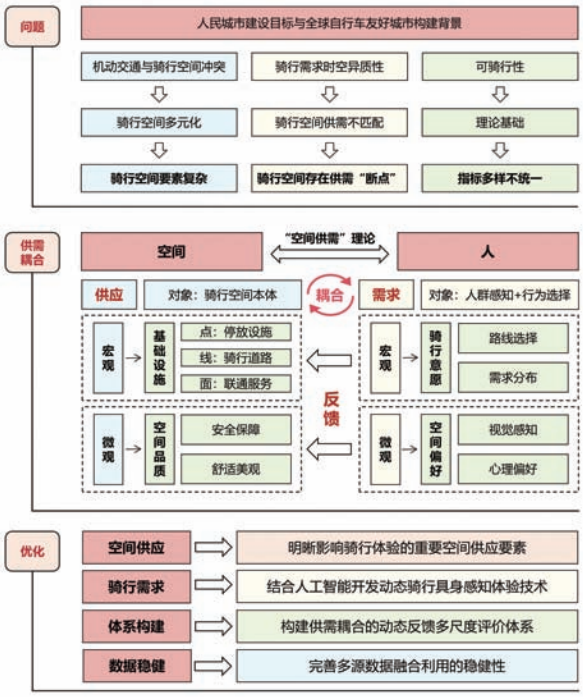


图 4　可骑行性供需耦合评价框架与研究展望

4.2　结合人工智能开发动态骑行具身感知体验技术

目前可骑行性需求评价主要倾向于骑行空间的静态感知，但骑行过程中对景观序列的视觉变化、微气候的体感、道路坡度变化的感知都更为敏感，目前却缺少相关研究。具身智能技术（Embodied AI）目前发展迅速，通过赋予 AI 模型以物理身体来实现环境交互，其感知、决策、行动等能力能够提升动态感知实验的效率。未来研究应结合大量骑行感知实验数据以训练具身智能机器人学习进化，这样不仅能实现动态骑行感知高效评价与扩展研究尺度，还可将感知结果嵌入至城市街道骑行空间的规划设计导则中，以推动城市街道的骑行人本化设计。

4.3　构建供需耦合的动态反馈多尺度评价体系

目前可骑行性研究的评价维度均较为单一，缺乏供需耦合的综合评价。骑行空间供应评价是在城市规划层面指导可骑行性网络构建，骑行需求评价则从使用后维度进行动态反馈，人本化地促进城市可骑行性。构建供需耦合的动态反馈多尺度评价体系，结合利用多源地理空间大数据，形成网络-道路-节点-设施的可骑行性多尺度动态评价体系，例如，利用多时段骑行轨迹数据集动态优化骑行设施的宏观布局，并在中微观层面改进城市骑行路线规划与休憩空间设计等，从而更全面掌握城市骑行空间现状与发展动态，推动骑行网络的分期规划。

4.4　完善多源数据融合利用的稳健性

目前多源大数据的综合运用逐渐普及，但街景图像、骑行轨迹数据集、气候数据等难免存在地理覆盖和季节时段等偏差，处理后数据需进行可信度检验：代表性检验结合人口普查、交通调查等权威数据与可骑行空间的时空分布进行宏观对比；敏感性分析针对模型中的关键参数（如轨迹停留点识别阈值、多源数据融合权重等）进行合理范围内的系统性扰动检验数据稳健性；小样本地面核验利用近期高分辨率卫星图或实地访问，在结论代表的重点区域（如骑行热点、异常点），随机抽取样本点进行交叉核验。可信度检验虽能降低评价误差，但未来研究仍需结合实地调研与跨学科合作，避免过度依赖单一数据源或模型所带来的研究局限性。

参考文献

[1]人民日报.践行人民城市理念,建设现代化人民城市:论学习贯彻中央城市工作会议精神[EB/OL].(2025-07-16)[2025-08-26]. https://www.peopleapp.com/column/30049677041-500006378178.

[2]DENMARK MINISTRY OF TRANSPORT. Denmark-on your bike! The national bicycle strategy[R]. Copenhagen: Denmark Ministry of Transport, 2014.

[3]GERMANY FEDERAL MINISTRY OF TRANSPORT, BUILDING AND URBAN DEVELOPMENT. National cycling plan 2020: joining forces to evolve cycling[R]. Berlin: Germany Federal Ministry of Transport, Building and Urban Development, 2012.

[4]BRITISH DEPARTMENT OF TRANSPORT. Cycling delivery plan[R]. London: British Department of Transport, 2014.

[5]WANG D, JIN M H, TONG D, et al. Evaluating the bikeability of urban streets using dockless shared bike trajectory data[J]. Sustainable Cities and Society, 2024, 101: 105181.

[6]NIELSEN T A S, SKOV-PETERSEN H. Bikeability-urban structures supporting cycling. Effects of local, urban and regional scale urban form factors on cycling from home and workplace locations in Denmark[J]. Journal of Transport Geography, 2018, 69: 36-44.

[7]SHEN H P, WENG J C, LIN P F. Exploring the nuanced correlation between built environment and the integrated travel of dockless bike-sharing and metro at origin-route-destination level[J]. Sustainable Cities and Society, 2025, 119: 106090.

[8]赵光辉,陈东健,林昕.慢行与骑行:现代交通新趋势[M].北

京:人民邮电出版社,2023.
[9]王倩文.街道建成环境对骑行行为的影响研究:基于性别差异和感知视角的分析[D].南京:南京林业大学,2024.
[10]SCHMID-QUERG J, KELER A, GRIGOROPOULOS G. The Munich bikeability index: a practical approach for measuring urban bikeability[J].Sustainability,2021,13(1):428.
[11]XU L R, LUO S L, O'HERN S, et al. Do protected cycle lanes make cities more bike-friendly Integrating street view images with deep learning techniques[J].Cities,2025,161:105890.
[12]REGGIANI G, VAN OIJEN T, HAMEDMOGHADAM H, et al. Understanding bikeability: a methodology to assess urban networks[J].Transportation,2022,49(3):897-925.
[13]DAVIS W J. Bicycle safety evaluation[D]. Auburn: Auburn University, 1987.
[14]EPPERSON B D. Evaluating suitability of roadways for bicycle use: toward a cycling level-of-service standard[J].Transportation Research Record,1994,1438:9-16.
[15]WANG K L, AKAR G. Street intersection characteristics and their impacts on perceived bicycling safety[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2018,2672(46):41-54.
[16]ADINARAYANA B, MIR M S. Development of bicycle safety index models for safety of bicycle flow at 3-legged junctions on urban roads under mixed traffic conditions[J]. Transportation Research Procedia,2020,48:1227-1243.
[17]EREN E, UZ V E. A review on bike-sharing: the factors affecting bike-sharing demand[J]. Sustainable Cities and Society, 2020, 54:101882.
[18]THE CITY OF LONDON CORPORATION. City of London wind microclimate guidelines[R]. London: The City of London Corporation, 2019.
[19]DAI S Q, ZHAO W F, WANG Y W, et al. Assessing spatiotemporal bikeability using multi-source geospatial big data: a case study of Xiamen, China[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2023, 125: 103539.
[20]TRAN P T M, ZHAO M S, YAMAMOTO K, et al. Cyclists' personal exposure to traffic-related air pollution and its influence on bikeability[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2020, 88: 102563.
[21]LU Y, YANG Y Y, SUN G B, et al. Associations between overhead-view and eye-level urban greenness and cycling behaviors[J]. Cities, 2019, 88: 10-18.
[22]DALVI M Q, MARTIN K M. The measurement of accessibility: some preliminary results[J]. Transportation, 1976, 5(1): 17-42.
[23]盛强.街道拓扑形态与宜骑行性:天津多年跨度截面流量数据分析[J].西部人居环境学刊,2024,39(6):106-111.
[24]刘莹,张俊峰,马昱伯,等.顾及出行方式和道路网络结构的城市公园绿地可达性分析:以开封市鼓楼区为例[J].绿色科技,2023,25(1):193-197,204.
[25]唐翀,胡博文.基于 iG2SFCA 的公园绿地可达性研究以昆明市主城区为例[J].中国名城,2023(8):58-66.
[26]YEN Y, ZHAO P J, SOHAIL M T. The morphology and circuity of walkable, bikeable, and drivable street networks in Phnom Penh, Cambodia[J]. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 2021, 48(1): 169-185.
[27]ZIMMERMANN M, MAI T E, FREJINGER E. Bike route choice modeling using GPS data without choice sets of paths[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2017, 75: 183-196.
[28]OROZCO-FONTALVO M, BOLÍVAR J, VÉLEZ A, et al. Bicycle parking allocation and its equity implications: the case of Bogota, Colombia[J]. Latin American Transport Studies, 2024, 2: 100022.
[29]ZHANG Y P, SHI Z Q, XIAO W, et al. Analysing the equity of dockless bike-sharing based on service-opportunity accessibility and multi-source urban data[J]. Travel Behaviour and Society, 2025, 41: 101089.
[30]ZHOU Z Q, SCHWANEN T. Exploring the production of spatial inequality in dockless bicycle sharing in Shenzhen[J]. Journal of Transport Geography, 2024, 119: 103955.
[31]YANG Y X, HEPPENSTALL A, TURNER A, et al. A spatiotemporal and graph-based analysisof dockless bike sharing patterns to understand urban flows over the last mile[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2019, 77: 101361.
[32]FU C, HUANG Z, SCHEUER B, et al. Integration of dockless bike-sharing and metro: prediction and explanation at origin-destination level[J]. Sustainable Cities and Society, 2023, 99: 104906.
[33]YIN G M, FU C, REN S L, et al. Traffic prediction and road space optimization for the integration of dockless bike-sharing and subway[J]. Sustainable Cities and Society, 2025, 121: 106162.
[34]贾敬涵,王子尧,李倞.基于多源大数据与深度学习的道路视觉特征与骑行流量相关性研究[J].中国园林,2023,39(4):84-90.
[35]刘冰,史帅,朱俊宇.基于 $PM_{2.5}$ 呼吸暴露的骑行网络优化设计研究[J].风景园林,2022,29(7):103-110.
[36]ITO K, BIILJECKI F. Assessing bikeability with street view imagery and computer vision[J]. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 2021, 132: 103371.
[37]贺慧,林小武,余艳薇.基于 SD 法的绿道骑行环境感知评价研究:以武汉市东湖绿道一期为例[J].新建筑,2019(4):33-37.
[38]王巧云,程建灿,肖楚晗,等.人-境交互可供性视角下厦门环岛骑行道的供求差异[J].中国城市林业,2023,21(3):125-132.

(下转第 87 页)