

街道建成环境对自行车出行的影响分析 ——以成都市环城生态区为例

刘丙乾, 于儒海, 鱼宁, 周垠
(成都市规划设计研究院, 四川 成都 610041)

摘要: 针对街道建成环境对自行车出行的影响进行精细化评估, 能够合理引导非机动车道与自行车专用路建设, 有效指导城市街道空间治理。构建街道建成环境对自行车出行的影响评价体系, 包含客观物质环境和主观情绪感受两个维度共11项评价指标, 并提出各指标的计算方法和影响关系分析方法。以成都市环城生态区一级环城绿道为例, 以共享单车出行数据为研究样本来表征自行车出行特征, 分析街道建成环境对自行车出行的影响。结果显示: 环生区自行车交通网络客观物质环境指数平均值仅为35.1分, 表明路权保障和道路基础设施配套是影响自行车出行选择的首要条件; 客观物质环境和主观情绪感受与自行车出行高度相关, 且主观情绪感受影响更强; 工作日和周末不同出行目的自行车出行路径选择呈现高度相似性, 重合比例高于75%, 表明自行车交通网络建设应强化客观物质环境与主观情绪感受的衔接。

关键词: 自行车交通; 共享单车; 街道建成环境; 客观物质环境指数; 主观情绪感受指数; 成都市
Analysis of the Impact of Street Built Environment on Bicycle Travel: A Case Study of Chengdu's Ring Ecological Zone

LIU Bingqian, YU Ruhai, YU Ning, ZHOU Yin
(Chengdu Institute of Planning & Design, Chengdu Sichuan 610041, China)

Abstract: A refined assessment of how the street built environment affects bicycle travel can reasonably guide the development of non-motorized lanes and dedicated bicycle routes, and effectively inform urban street space governance. This paper presents an evaluation framework to assess the influence of the street built environment on bicycle travel, incorporating 11 evaluation indicators from two dimensions: objective physical environment and subjective emotional perception. The methods for calculating each indicator and analyzing the influence relationship are proposed. Using the primary ring greenway in the Chengdu Ring Ecological Zone as a case study, shared bicycle travel data are employed as the research sample to characterize bicycle travel patterns and analyze the impact of the street built environment on bicycle travel. The results have shown that the average score of the objective physical environment index for the bicycle transportation network in the Ring Ecological Zone is merely 35.1, indicating that right-of-way protection and roadway infrastructure are the primary factors influencing bicycle travel choices. Both the objective physical environment and subjective emotional perception exhibit a strong correlation with bicycle travel, with subjective emotional perception having a greater influence. In addition, bicycle travel paths for different travel purposes on weekdays and weekends have high similarity with an overlap rate exceeding 75%, underscoring the need for enhanced integration between objective physical environment and subjective emotional perception in bicycle transportation network development.

Keywords: bicycle transportation; shared bicycles; street built environment; objective physical environment index; subjective emotional perception index; Chengdu

收稿日期: 2024-03-21

作者简介: 刘丙乾(1992—), 男, 山西忻州人, 硕士, 工程师, 研究方向为城市交通和智慧城市, 电子邮箱 liubingqian110@sina.cn。

0 引言

自行车出行是城市居民中短距离出行的

重要方式之一^[1], 更是推进健康城市建设、降低交通碳排放的重要途径^[2-3]。对街道建成环境与自行车出行相关性进行精细化评估,

能够合理引导非机动车道与自行车专用路建设,有效指导城市街道空间治理。

大量研究表明,道路基础设施质量、道路空间品质、骑行者空间感受等街道建成环境要素与自行车出行高度相关^[2,4-6]。1)道路基础设施质量:利用层次分析、模糊综合评判等方法,既有研究从设施完整度和交通运行状况等视角选择机非隔离形式、非机动车道宽度、停车占道等指标量化评价街道建成环境对自行车出行的影响^[6-8]。2)道路空间品质:利用多源数据综合分析、回归分析等方法,既有研究选择道路网密度、服务设施混合度、公共交通车站可达性等指标对自行车交通网络通达性、服务获得便捷性、设施完整性等进行表征^[2,5,9-13]。3)骑行者空间感受:基于街景图像数据和机器学习算法,既有研究选择绿视率、开敞度、围合度、建筑比(街景图像中建筑要素比例)等指标解析骑行者空间感受与自行车出行的相关性^[4]。

整体来看,道路基础设施质量和道路空间品质评价重点关注影响自行车出行的客观物质环境,而骑行者空间感受评价更侧重对街道建成环境的主观情绪感受。受街道建成环境、天气条件、出行方式选择、出行目的等诸多因素影响,自行车出行存在很大随意性^[2]。单纯强调客观物质环境对自行车出行的影响会导致出行需求与出行环境不匹配,进而影响自行车出行意愿^[2,5];而过分强调主观情绪感受对自行车出行的影响^[4]容易忽视街道这一自行车出行的基本空间载体。有少数研究尝试从客观物质环境和主观情绪感受两个维度探讨街道建成环境与自行车出行的

耦合关系,但忽略了不同出行目的对自行车出行的影响^[2]。

本文从客观物质环境和主观情绪感受两个维度构建街道建成环境对自行车出行的影响评价体系,并以成都市环城生态区(以下简称“环生区”)一级环城绿道(以下简称“环城绿道”)为例,以环生区共享单车^①出行数据为研究样本来表征自行车出行特征,以共享单车出行路径形成的自行车交通网络为研究范围,考虑工作日与周末不同出行目的,评估街道建成环境对自行车出行的影响,为自行车交通网络建设与精细化治理提供参考。

1 街道建成环境对自行车出行的影响评价体系

1.1 影响评价体系构建

本文从影响自行车出行的客观物质环境和主观情绪感受两个维度出发,构建街道建成环境对自行车出行的影响评价体系(见图1)。

客观物质环境维度包括道路基础设施完整性、自行车交通网络通达性和道路功能服务性3类7项评价指标。非机动车道宽度和机非隔离形式用于表征自行车出行的空间通行能力和路权保障水平;整合度和穿行度用于表征自行车交通网络连通性、完善性与可用性水平;路段服务设施数量、路段功能混合度和公共交通车站选择度用于表征自行车出行可获得的交通服务设施数量、类型及便捷度水平。

基于骑行者的空间感受,主观情绪感受

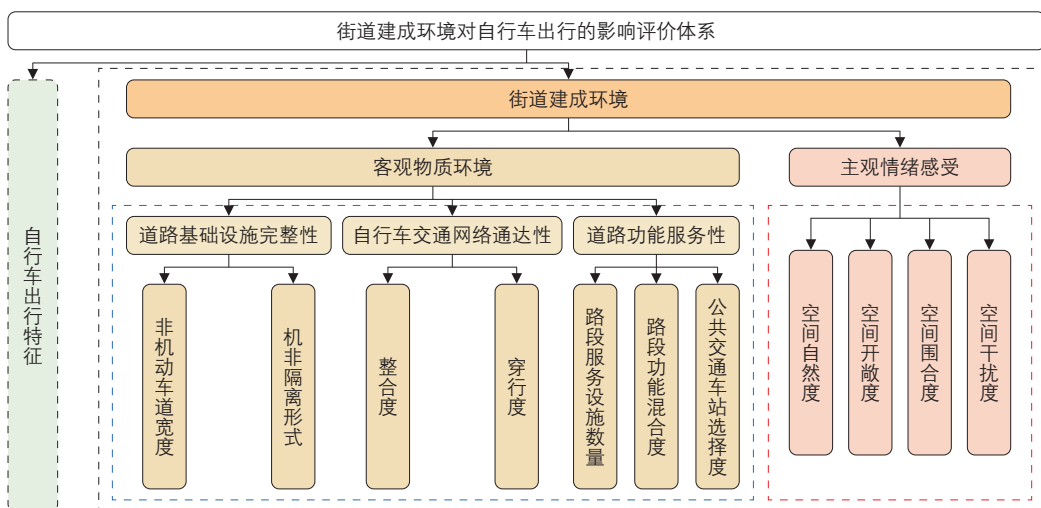


图1 街道建成环境对自行车出行的影响评价体系

Fig.1 Evaluation framework for the impact of the street built environment on bicycle travel

维度选择空间自然度、空间开敞度、空间围合度、空间干扰度4项评价指标。空间自然度用于表征自行车交通网络空间的绿化水平；空间开敞度用于表征自行车交通网络空间的视觉开阔水平；空间围合度用于表征自行车交通网络空间的连续性水平；空间干扰度用于表征机动车交通对自行车出行的影响程度。

1.2 评价指标计算方法

1.2.1 客观物质环境

借鉴相关研究^[2, 8, 15-16]，综合数据可获得性，采用人工审计、软件计算、大数据分析等定量分析方法对客观物质环境维度评价指标进行计算(见表1)。

1) 道路基础设施完整性。

非机动车道宽度和机非隔离形式以路段中点街景数据为基础，选择正视角街景图像(0°或180°)，利用人工审计方法对其进行检测和标注(见图2)。首先，结合边缘检测

技术，通过参照物宽度检测(例如树池、机动车道等宽度较为固定的街道要素)计算非机动车道宽度。由于采集车沿机动车道行驶时存在图像透视变形现象，结合视线有效信息的距离衰减原理，非机动车道宽度按0.5 m向下取整(如3.15 m取整为3.00 m，3.76 m取整为3.50 m)。其次，对街景图像进行目测，对部分下穿与上跨路段的非机动车道宽度与机非隔离形式按主线路段特征进行标记。最后，利用街景图像数据所包含的经纬度信息对非机动车道宽度和机非隔离形式进行空间落位。

2) 自行车交通网络通达性。

借鉴空间句法的分析方法计算整合度和穿行度^[15-16]。以成都市2022年共享单车出行数据为例，中心城区平均行驶速度7.6 km·h⁻¹、平均出行时间13.5 min，得到距离阈值为1 700 m；以该距离阈值为分析范围，利用自然断裂点法对整合度和穿行度计算结果进行分段处理。

表1 客观物质环境维度评价指标及计算方法

Tab.1 Evaluation indicators and calculation methods for the objective physical environment dimension

一级评价指标	二级评价指标	指标说明	计算方法
道路基础设施完整性	非机动车道宽度	自行车出行路径通行空间宽度	利用人工审计方法进行检测和标注，得到非机动车道宽度，记为 $D_{\text{审计}}/\text{m}$
	机非隔离形式	自行车出行路径空间路权保障形式	利用人工审计方法进行检测和标注，得到机非隔离形式 $S_{\text{标记}}$ ，无隔离记为0，划线隔离记为1，金属或塑料栏杆隔离记为2，混凝土护栏隔离记为3，绿化带隔离记为4
自行车交通网络通达性	整合度	自行车出行路径间离散或集聚程度	$L_i = \frac{k}{\sum_{j=1}^n d(i,j)},$ 式中：L_i为自行车出行路径中某路段整合度；k为分析距离阈值范围内路段总数(不含当前路段)；$d(i,j)$为当前路段<i>i</i>与距离阈值范围内每条路段<i>j</i>的最短拓扑路径距离。L_i值越大，表明某条路段在距离阈值范围内与其他路段的连通程度越高
	穿行度	自行车出行路径选择可能性	$C_x = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n D(i,x,j)}{(n-1)(n-2)},$ 式中：C_x为自行车出行路径中某路段穿行度；i, j为测地线端点；x为测量穿行度的路段节点位置；$D(i,x,j)$为分析距离阈值半径内通过<i>x</i>的<i>i</i>与<i>j</i>之间最短拓扑路径。C_x值越高，表明实际出行中选择通过该路段的概率越大
道路功能服务性	路段服务设施数量	自行车出行路径缓冲区内的兴趣点(Point of Interest, POI)数量	自行车出行路径中各路段缓冲区范围内的POI数量 $C_{\text{poi}}/\text{个}$
	路段功能混合度	自行车出行路径缓冲区内POI类型的丰富性	$C_g = -\sum_{i=1}^n (P_i \times \ln P_i),$ 式中：C_g为某条自行车出行路径中某路段功能混合度；P_i为某路段第<i>i</i>类POI数量占该路段POI总数的比例/%；n为该路段POI的类别总数
	公共交通车站选择度	自行车出行路径缓冲区内公共交通车站数量	出行路径中各路段缓冲区内公共交通车站的数量 $C_t/\text{个}$

资料来源：根据文献[2, 8, 15-16]整理绘制。

3) 道路功能服务性。

以自行车交通网络缓冲区(自行车出行路径中心线两侧各 25 m)范围内的公园绿地、商业服务(百货商场、便利店、体育用品店、综合市场、餐饮店、露营地)、市政公用(公共汽车站、地铁站、停车场、公厕)、文化休闲(剧场影院、文化场馆、运动场馆)、医疗服务(综合医院、诊所)等POI数据为基础,利用 ArcGIS 空间连接方式对服务设施点位进行汇总统计。其中,路段服务设施数量根据路段所集聚的服务设施点位数量进行计算,路段功能混合度以自行车交通网络缓冲区内 POI 数据为基础进行计算^[15-16],公共汽车站选择度利用公共汽车站在路段的分布数量来计算。

4) 评价指标权重与指数分级。

首先,采用熵权法^[2,15,17]以路段为统计单元计算二级评价指标的权重,进而得到一级评价指标值。随后,再次应用熵权法计算一级指标权重,最终得到自行车交通网络客观物质环境指数。最后,利用自然断裂点法将指数按 100 分值进行分级。以成都市为例,客观物质环境维度评价指标权重见表 2,结合自然断裂点法将客观物质环境指数分为 5 个等级,即高品质路段、较高品质路段、一般品质路段、较低品质路段和低品质路段。

1.2.2 主观情绪感受

1) 评价指标计算。

主观情绪感受维度评价指标以街景图像数据为基础,利用 DeeplabV3 语义分割网络与 Cityscapes 数据集对图像进行语义分割与识别,提取图像中绿化、建筑、天空、墙体、机动车等要素像素比例^[15-17]并进行分类计算。主观情绪感受维度评价指标及计算方法见表 3。

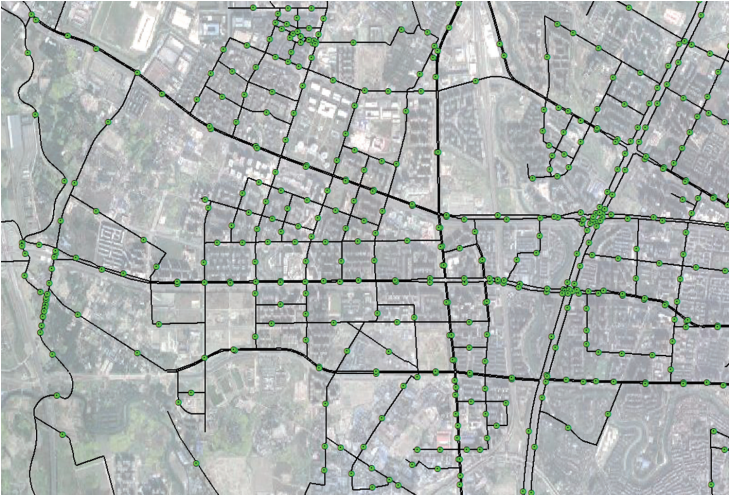
2) 评价指标权重与指数分级。

计算方法与客观物质环境维度相同。其中,空间自然度、空间开敞度、空间围合度与自行车出行呈显著的正相关关系^[4];空间干扰度与自行车出行呈负相关关系。以成都市为例,主观情绪感受维度评价指标权重见表 4,主观情绪感受指数分为 5 个等级,即高感知路段、较高感知路段、一般感知路段、较低感知路段和低感知路段。

1.3 影响分析

影响分析包括街道建成环境与自行车出行耦合性分析、关联性分析和相关性分析 3

个部分。利用四象限分析法^[2]分析街道建成环境与自行车出行耦合性(见图 3),将客观物质环境与自行车出行耦合性依据象限划分为高出行-高品质、低出行-高品质、低出行-低品质、高出行-低品质 4 类;将主观情绪感受与自行车出行耦合性依据象限划分为



a 路段中点街景点位



b 人工审计服务程序界面

图2 采用人工审计方法对非机动车道宽度与机非隔离形式进行检测和标注
Fig.2 Examination and marking of non-motorized lane width and separation types of motorized and non-motorized lanes based on manual audit

表2 成都市自行车交通网络客观物质环境维度评价指标权重
Tab.2 Weighting of evaluation indicators for the objective physical environment dimension of Chengdu's bicycle transportation network

一级评价指标	二级评价指标	正负向	权重	
道路基础设施完整性	非机动车道宽度	+	0.58	0.52
	机非隔离形式	+	0.42	
自行车交通网络通达性	整合度	+	0.74	0.25
	穿行度	+	0.26	
道路功能服务性	路段服务设施数量	+	0.36	0.23
	路段功能混合度	+	0.44	
	公共汽车站选择度	+	0.20	

表3 主观情绪感受维度评价指标及计算方法

Tab.3 Evaluation indicators and calculation methods for the subjective emotional perception dimension

评价指标	指标说明	计算方法
空间自然度	自行车通行空间视觉感知范围内绿化要素像素面积比例	$S_z = \frac{S_{gz}}{S_i}$, 式中： S_z 为某条街道采样点 <i>i</i> 横断面的空间自然度； S_{gz} 为某条街道采样点 <i>i</i> 横断面中绿化要素的像素面积之和； S_i 为采样点 <i>i</i> 横断面识别的要素像素总面积
空间开敞度	自行车通行空间视觉感知范围内天空要素像素面积比例	$S_k = \frac{S_{tk}}{S_i}$, 式中： S_k 为某条街道采样点 <i>i</i> 横断面的空间开敞度； S_{tk} 为某条街道采样点 <i>i</i> 横断面中天空要素的像素面积之和
空间围合度	自行车通行空间视觉感知范围内建筑、墙体、植物等要素的像素面积比例之和	$S_w = \sum_i^n \left(\frac{S_{ai} + S_{wi} + S_{pi}}{S_i} \right)$, 式中： S_w 为某条街道采样点 <i>i</i> 横断面的空间围合度； n 为采样点数量； S_{ai} 为某条街道采样点 <i>i</i> 横断面中建筑要素的像素面积之和； S_{wi} 为采样点 <i>i</i> 横断面中墙体要素的像素面积之和； S_{pi} 为采样点 <i>i</i> 横断面中植物要素的像素面积之和
空间干扰度	自行车通行空间视觉感知范围内除自行车方式以外的各交通方式像素面积比例之和	$S_g = \sum_i^n \left(\frac{S_{hi} + S_{mi} + S_{ci}}{S_i} \right)$, 式中： S_g 为某条街道采样点 <i>i</i> 横断面的空间干扰度； S_{hi} 为某条街道采样点 <i>i</i> 横断面中公共汽车与货车要素的像素面积之和； S_{mi} 为采样点 <i>i</i> 横断面中摩托车要素的像素面积之和； S_{ci} 为采样点 <i>i</i> 横断面中小汽车要素的像素面积之和

资料来源：根据文献[15-17]整理绘制。

表4 成都市自行车交通网络主观情绪感受维度评价指标权重

Tab.4 Weighting of evaluation indicators for the subjective emotional perception dimension of Chengdu's bicycle transportation network

评价指标	正负向	权重
空间自然度	+	0.30
空间开敞度	+	0.30
空间围合度	+	0.28
空间干扰度	-	0.12

元线性回归模型，以自行车出行特征(工作日和周末共享单车订单出行轨迹路段分布频次)为因变量、自行车交通网络客观物质环境指数和主观情绪感受指数为自变量，进行街道建成环境与自行车出行相关性分析。

2 成都市环生区案例概况

2.1 研究对象及数据

成都市环生区由中心城区绕城高速公路两侧各500 m范围以及周边7个楔形地块组成，跨经12个区，总面积187.15 km²[18]，是城市的重要生态地区。环生区环城绿道于2022年底开通运营，全长约100 km(见图4)，全线采用高架与地面结合形式建设，确保与城市道路完全分离。本文以环生区共享单车出行数据为研究样本表征自行车出行特征，以共享单车出行路径形成的自行车交通网络为研究范围。其中，与环生区相关的共享单车出行包括到发出行(起终点一端位于环生区)、区内出行(起终点均位于环生区)和过境出行(出行轨迹经过环生区)。

研究数据包括道路网、共享单车订单、视频、街景图像、自行车交通网络、POI和兴趣面(Area of Interest, AOI)等数据(见表5)。

街景图像数据以自行车交通网络为基础，基于百度全景地图服务，按50 m间隔

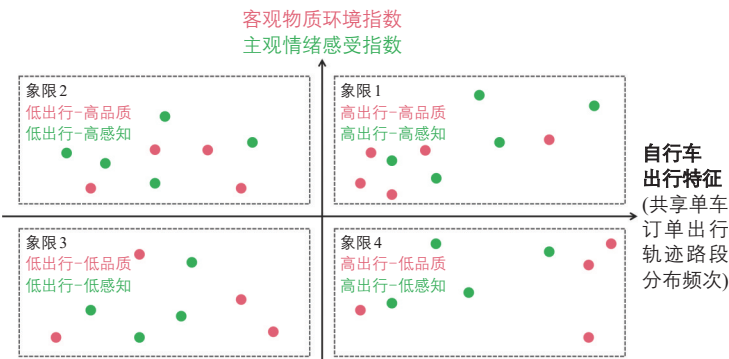


图3 街道建成环境与自行车出行耦合性分析

Fig.3 Coupling analysis of the street built environment and bicycle travel

高出行-高感知、低出行-高感知、低出行-低感知、高出行-低感知4类。

在耦合性分析结果基础上进行街道建成环境与自行车出行关联性分析，判识不同类型耦合性路段在空间上的分布情况。利用多

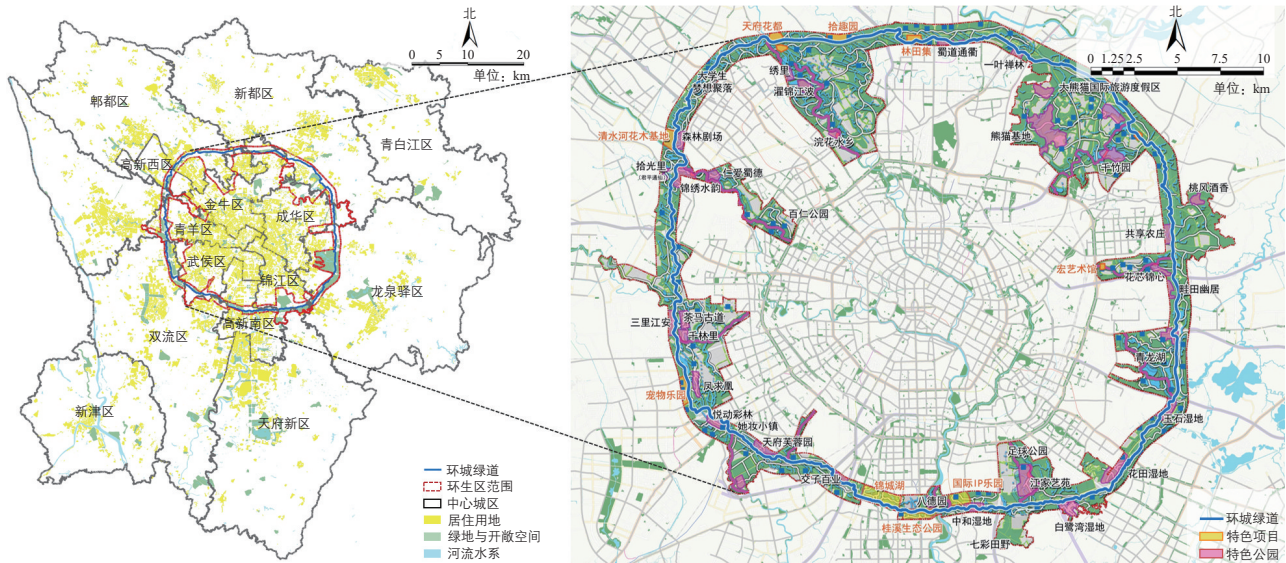


图4 成都市环生区环城绿道空间区位
Fig.4 Spatial location of the Ring Greenway in the Chengdu Ring Ecological Zone

设置街景采集点位, 总计 11.3 万个, 并获取采集点位 4 个方向 44.2 万个街景影像(见图 5)。针对环生区内道路、环城绿道无街景覆盖的情况, 利用视频数据, 按照每隔 100 帧(即每 4 s)进行抽帧处理, 共补充无街景路段图像 4 244 张。

基于 OSM 道路网络数据, 结合环生区共享单车订单出行轨迹数据, 构建自行车交通网络。采用空间聚合分析方法, 对路段层级的共享单车出行频次进行量化统计, 筛选出高频使用路段(阈值设定为 50 次·d⁻¹)。通过拓扑网络分析剔除孤立路段(拓扑断裂路段)及城市快速路主路等禁行区段, 最终基于共享单车实际出行路径数据形成环生区自行车交通网络(见图 6)。

2.2 自行车出行特征

2.2.1 出行时间与出行距离

基于 2022 年某工作日和周末共享单车订单数据, 从订单总量、出行时间、直线出行距离、实际出行距离、行驶速度等方面对自行车出行特征进行分析。其中, 订单总量指研究时限内发生在研究区域的共享单车订单次数; 出行时间指订单记录中所标记借车和还车时间差的平均值; 直线出行距离指订单记录中起点坐标和终点坐标间的欧式距离平均值; 实际出行距离指订单记录的出行轨迹实际距离平均值; 行驶速度指共享单车用户出行实际距离与出行时间的比值。

整体来看, 与环生区相关的共享单车出行在出行时间、直线出行距离、实际出行距

表 5 研究数据类型与来源

Tab.5 Types and sources of research data

数据类型	日期	来源	内容
道路网	2023 年 10 月	开放街道地图 (OpenStreetMap, OSM)	主干路、次干路、支路、环城绿道等道路网中心线
共享单车订单	2019 年 4 月某工作日和周末、2022 年 10 月某工作日和周末	美团	订单 OD 订单出行轨迹
视频(自行车和共享单车)	2022 年 10 月以来	哔哩哔哩	环城绿道自行车和共享单车出行记录拍摄时长超过 5 h 的视频
街景图像(自行车和共享单车)	2021 年 7 月 2023 年 10 月	百度全景地图 哔哩哔哩	城市道路街景 环城绿道出行视频抽帧
自行车交通网络	2022 年某工作日和周末	开放街道地图、美团	道路网、共享单车订单出行轨迹
POI	2022 年	百度电子地图	公园绿地、商业服务、市政公用、文化休闲和医疗服务等设施点位
AOI	2022 年	百度电子地图	公园、水系等空间矢量数据

离和行驶速度等方面均高于研究时限内与中心城区相关的共享单车出行(见表 6)。同时, 与环生区相关的共享单车出行周末订单量相较于工作日增加 3.3 万单, 且周末共享单车直线出行距离、实际出行距离与绕行系数(实际出行距离与直线出行距离的比值)明显增加、行驶速度显著降低, 这表明工作日与周末自行车出行目的具有差异性。

2.2.2 出行时空分布

从出行时段特征来看, 2022 年某工作日共享单车订单主要集中于 6:00—9:00 和

16:00—19:00, 与通勤时段基本吻合; 而周末订单主要集中于10:00—17:00。这一对比反映出工作日自行车出行以通勤为主, 周末以休闲游憩为主(见图7)。

从出行到发空间分布来看, 2022年某工作日和周末48.6%的订单来自高新南区、武侯区和金牛区, 2019年某工作日和周末48%的订单也来自这三个区(见图8)。这反映出

环城绿道的建设并未从本质上改变区域自行车出行的空间格局, 南强北弱、西密东疏的空间分布特征依旧是成都市居民自行车出行的典型空间特征。

2.3 街道建成环境特征

道路基础设施完整性方面, 仅44.8%的路段非机动车道达到最小宽度(2.5 m)要求

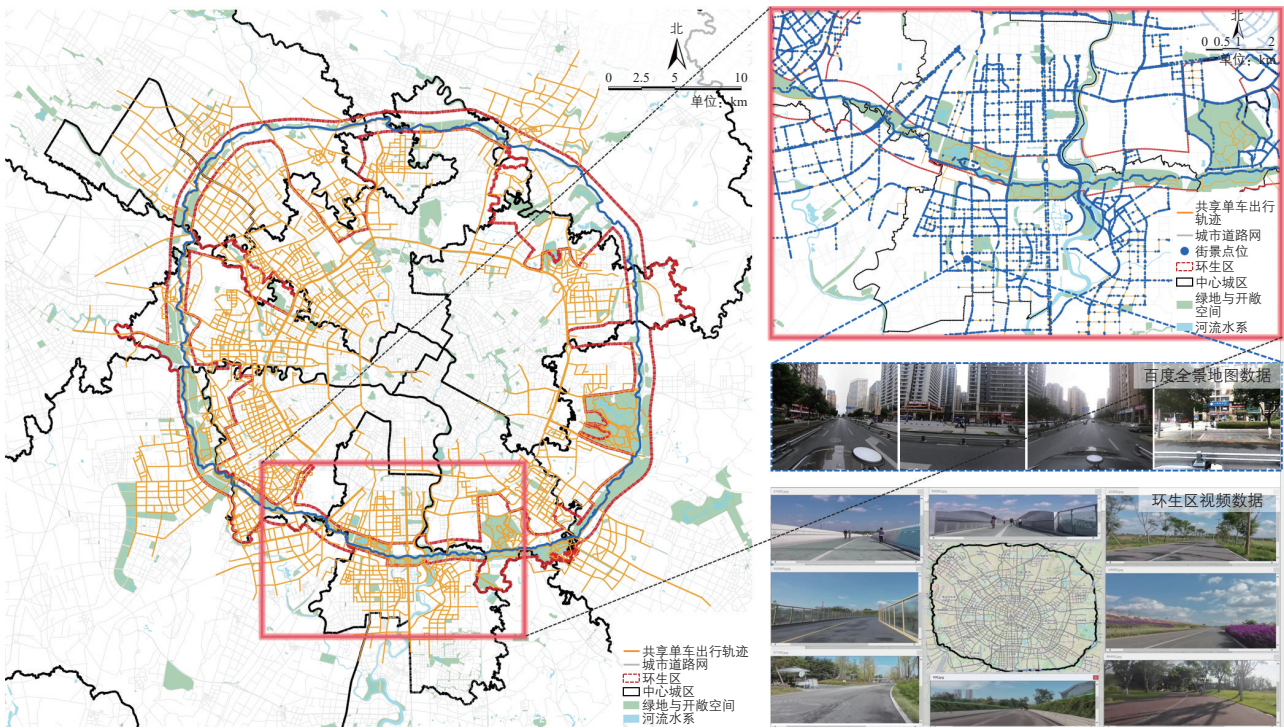


图5 成都市环生区自行车交通网络街景图像采集点分布
Fig.5 Distribution of street view image collection points for the bicycle transportation network in the Chengdu Ring Ecological Zone

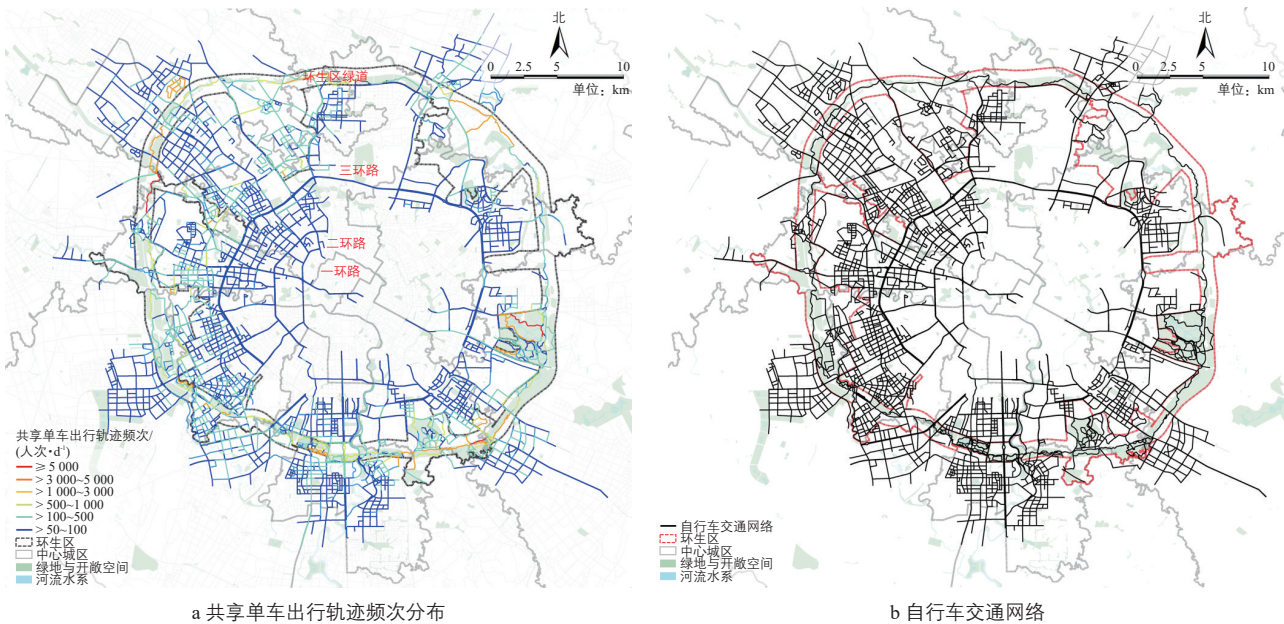


图6 成都市环生区自行车交通网络与共享单车出行轨迹频次分布
Fig.6 Bicycle transportation network and the frequency distribution of shared bicycle travel trajectories in the Chengdu Ring Ecological Zone

(见图 9a), 自行车出行路径通行空间宽度严重不足; 高达 28.1% 的路段为机非混行状态 (见图 9b), 自行车出行路径空间路权保障方面存在较大提升空间。

自行车交通网络通达性方面, 环生区自行车交通网络整合度和穿行度呈现明显的西南高东北低的态势, 高整合度、高穿行度路段主要集中在青羊区、武侯区和高新南区。

道路功能服务性方面, 路段服务设施数量、路段功能混合度和公共交通车站选择度 3 项评价指标并未呈现明显的空间分布差异, 各区域表现较为均衡。

主观情绪感受维度 4 项评价指标并未呈现明显的空间分布差异, 一定程度上反映出成都市街道建成环境规划建设的无序性。

3 案例研究结果

3.1 客观物质环境指数分级

环生区自行车交通网络客观物质环境水平一般, 指数平均值仅为 35.1 分(见图 10)。

1) 从路段分布来看, 高品质路段比例为 10.8%, 主要是环城绿道; 较高品质路段比例为 17.0%, 主要为三环路、金芙蓉大道、剑南大道等城市骨干道路。这些路段横断面宽阔, 环境优美, 机非隔离形式以绿化带隔离为主, 非机动车道宽度基本能够满足 2.5 m 最小宽度要求。

2) 一般品质路段比例为 19.4%, 主要为日月大道(青羊区段)、蜀都大道(青羊区段)、府城大道(科华南路—新园大道段)等交通性主干路。

3) 较低品质路段和低品质路段比例合计为 52.8%, 其中 65% 为次干路和支路。这些路段分布在工业园区、产业园区、城中村等街道空间尺度有限的区域, 缺乏非机动车道。

3.2 主观情绪感受指数分级

环生区自行车交通网络主观情绪感受指数平均值为 60 分, 相较于客观物质环境指数更高(见图 11)。

1) 从路段分布来看, 高感知路段比例为 7.4%, 其中 80% 为环城绿道。

2) 较高感知路段比例为 25.4%, 主要分布于高新西区百叶路(西源大道与红光大道之间)、武侯区武侯新城片区(武兴路与永康路之间)、锦江区华熙 528 片区(三环路与绕

城高速公路之间)等区域。相关路段绿化水平较高, 环境优美; 停车占道现象不显著, 视野开阔; 设置机非隔离设施, 机动车交通对自行车出行干扰性较低。

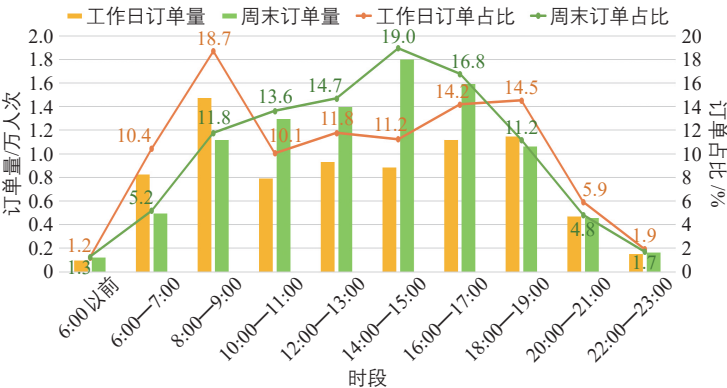
3) 一般感知路段比例为 37.6%, 主要包括三环路、天府大道、金芙蓉大道、剑南大道、蓉都大道等骨干道路, 机动车交通对自行车出行干扰性较高。

4) 较低感知路段和低感知路段比例合计为 29.6%, 主要分布于高新南区中和片区、双流区蛟龙工业港片区、金牛区茶店子片区等城中村与产业园区。这些路段的绿化植物矮小或缺乏, 绿化环境一般; 建筑密

表 6 2022 年某工作日和周末成都市环生区自行车出行特征
Tab.6 Bicycle travel characteristics in the Chengdu Ring Ecological Zone on typical weekday and weekend in 2022

数据类型		订单 总量/ 万单	出行 时间/ min	直线出 行距离/ km	实际出 行距离/ km	行驶 速度/ (km·h ⁻¹)
工作日	与中心城区相关的 共享单车出行	287.4	12.2	1.2	1.6	7.9
	与环生区相关的 共享单车出行	6.2	25.6	2.1	4.5	10.5
	环生区到发出行	3.0	25.8	1.6	3.8	8.8
	环生区区内出行	2.6	25.3	2.6	4.4	10.4
	环生区过境出行	0.6	30.1	2.8	4.6	9.2
周末	与中心城区相关的 共享单车出行	235.9	14.7	1.3	1.8	7.3
	与环生区相关的 共享单车出行	9.5	36.7	2.5	5.4	8.8
	环生区到发出行	4.3	39.2	1.7	5.1	7.8
	环生区区内出行	4.6	35.4	3.3	5.6	9.5
	环生区过境出行	0.6	31.2	2.9	5.8	11.2

注: 工作日环生区过境出行订单量比例约为 10%, 周末约为 6%。



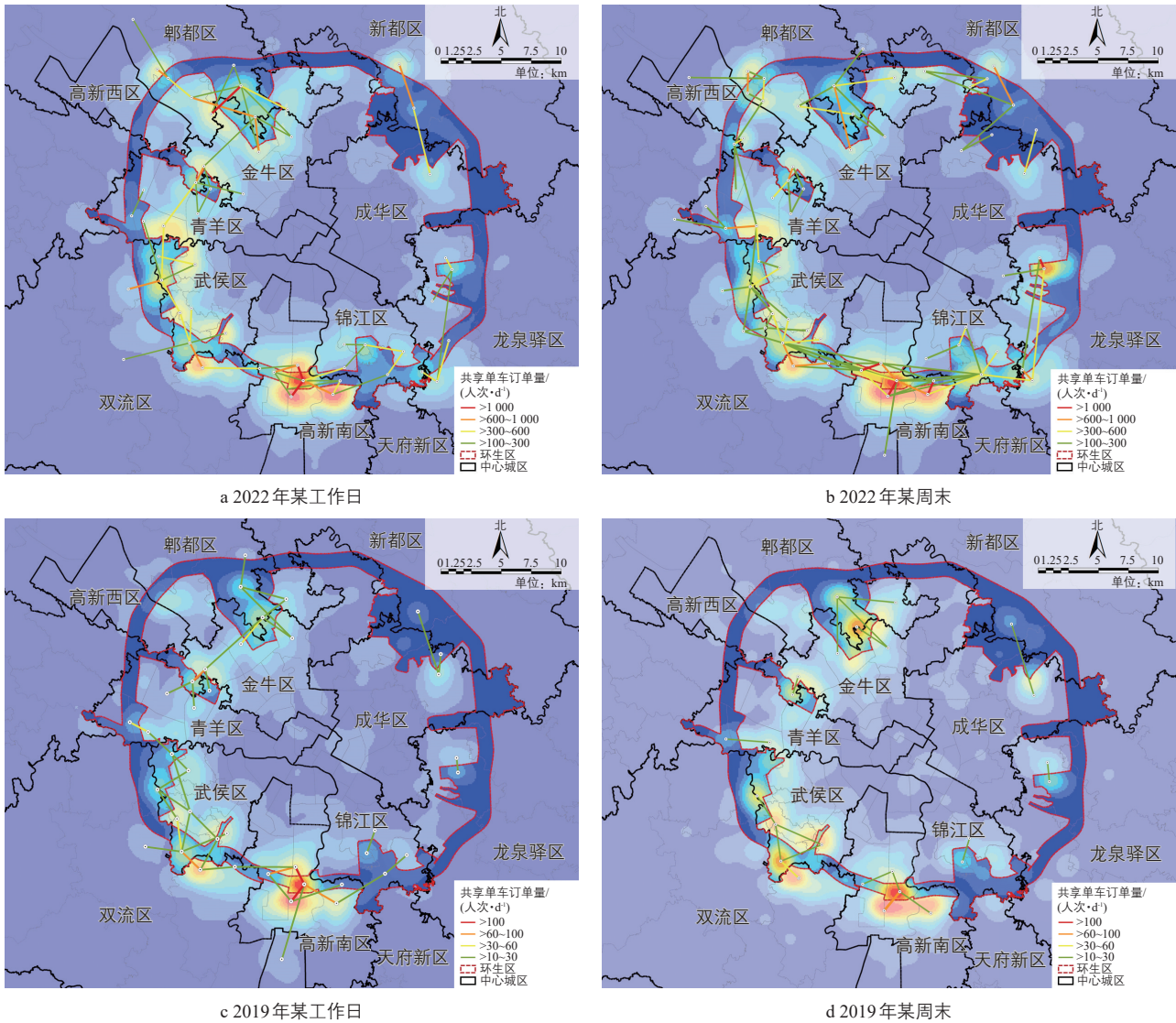
注: 数据为分段抽样, 时段不连续。

图 7 2022 年某工作日和周末与成都市环生区相关的自行车出行时段分布
Fig.7 Temporal distribution of bicycle travel related to the Chengdu Ring Ecological Zone on typical weekday and weekend in 2022

集，视野范围内的遮挡较为严重；机动车交通量大，机非隔离设施缺失，且部分路段受停车占道和施工占道影响，对自行车出行干扰性强。

3.3 自行车出行与客观物质环境的耦合性分析

利用四象限分析法，对自行车出行特征和客观物质环境指数中位数进行区间划分



注：成都市中心城区范围内，美团共享单车订单数据研究样本量2019年为16.7万单，2022年为287.4万单。

图8 成都市环生区共享单车到发出行空间分布变化

Fig.8 Spatial distribution changes of shared bicycle departure and arrival locations in the Chengdu Ring Ecological Zone

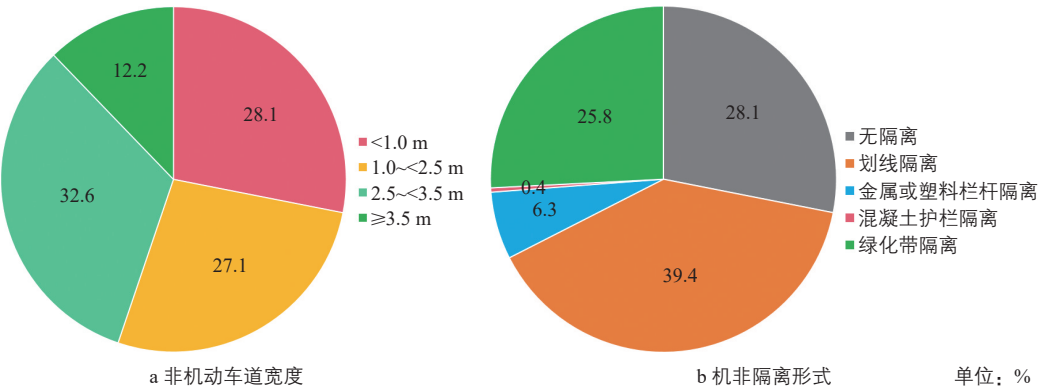


图9 成都市环生区非机动车道宽度与机非隔离形式分布

Fig.9 Distribution of non-motorized lane width and separation types of motorized and non-motorized lanes in the Chengdu Ring Ecological Zone

(见图12)。

1) 高出行—高品质耦合性。这类路段工作日和周末的重合比例高达80%，包括环城绿道、金芙蓉大道、剑南大道、蓉都大道、光华大道等。除环城绿道外，其他路段均是串联就业中心与居住组团的重要通道。

2) 低出行—高品质耦合性。这类路段工作日和周末的重合比例为82%，主要为二环路(新华大道—高升桥路段)、三环路、日月大道(二环路—绕城高速公路段)、西芯大道(金芙蓉大道—绕城高速公路段)、金牛大道(金芙蓉大道—绕城高速公路段)等骨干道路。

3) 低出行—低品质耦合性。这类路段工作日和周末的重合比例为78%，包括成龙大道(汽车城大道以外段)、天府大道(三环路以内段)等路段，以及锦江区蓝谷地片区和高新南区新川片区。这些区域主要为自行车交通网络的边缘地区。

4) 高出行—低品质耦合性。这类路段工作日和周末的重合比例为80%，主要分布在郫都区安靖片区、高新南区中和片区、武侯区簇桥片区、龙泉驿区洪河片区、青羊区蛟龙工业港片区、成华区龙潭总部片区和新都区大丰片区。这些区域主要聚集在三环路与绕城高速公路之间，是联系环生区环城绿道与中心城区居住、就业组团间的服务网络。

3.4 自行车出行与主观情绪感受的耦合性分析

对自行车出行特征和主观情绪感受指数中位数进行区间划分，分析主观情绪感受与自行车出行的耦合性。

自行车出行路径选择在工作日和周末呈现较高的一致性，高出行—高感知路段重合比例为81%，低出行—高感知路段重合比例为76%，低出行—低感知路段重合比例为82%，高出行—低感知路段重合比例为77%。此外，主观情绪感受与自行车出行耦合性的空间分布相对分散，无显著分布规律。

3.5 街道建成环境与自行车出行关联性分析

整体来看，工作日和周末自行车出行路径选择呈现高度相似性，重合比例均高于75%。这表明与环生区相关的自行车出行路径选择相对稳定。

从相同象限耦合性路段的关联特征来

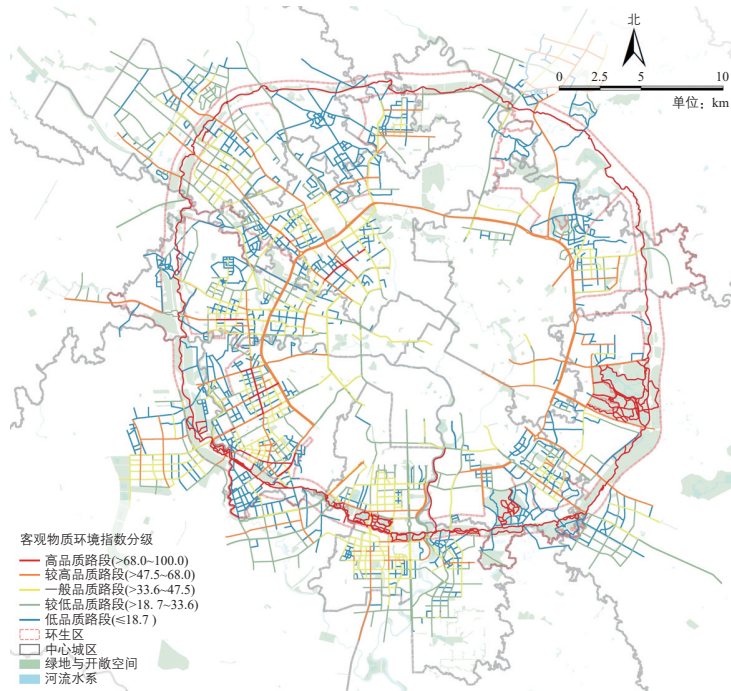


图10 成都市环生区自行车交通网络客观物质环境指数分级

Fig.10 Classification of the objective physical environment index for the bicycle transportation network in the Chengdu Ring Ecological Zone

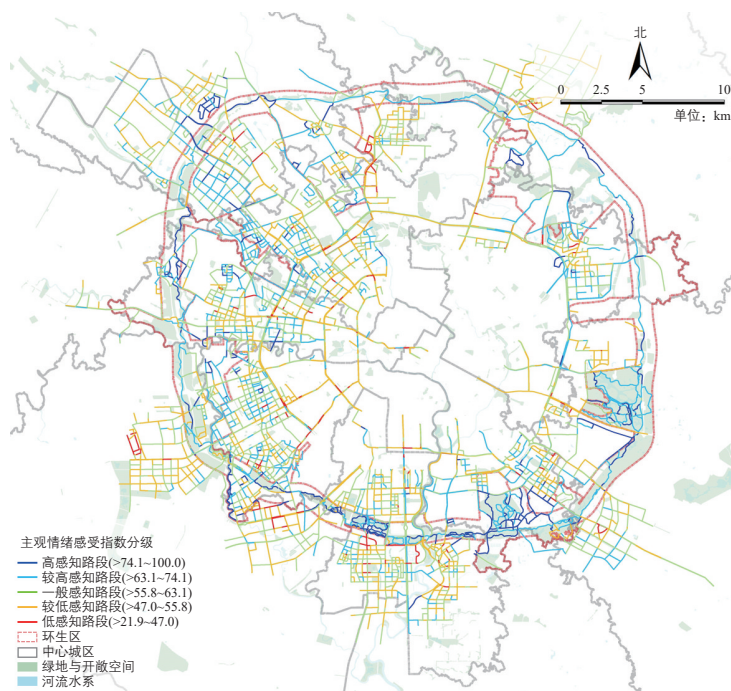


图11 成都市环生区自行车交通网络主观情绪感受指数分级

Fig.11 Classification of the subjective emotional perception index for the bicycle transportation network in the Chengdu Ring Ecological Zone

看，自行车出行路径选择呈现高度相似性。其中，高出行—高品质—高感知的路段比例为23.4%，低出行—高品质—高感知的路段比例为7.2%，低出行—低品质—低感知的路段比例为7.8%，高出行—低品质—低感知的路

段比例为 11.6%。这表明与环生区相关的自行车出行路径选择相对稳定。

从不同象限耦合性路段的关联特征来看，高品质-低感知路段比例为 24.5%(含高出行-高品质-低感知 14.1%，低出行-高品质-低感知 10.4%)，例如三环路(金牛区段)、剑南大道(高新区段)、成龙大道(锦江区段)等骨干道路网；这些路段机动车交通量大，自行车出行受干扰程度较高。而低品质-高感知路段比例为 25.5%(含高出行-低品质-高感知 17.7%，低出行-低品质-高感知 7.8%)，例如百草路、西源大道等；这些路段存在机非混行、非机动车道宽度不足、

服务设施与服务能力不足等问题，但绿化水平高、街道空间界面整洁、停车占道现象不明显，街道建成环境主观情绪感受较好。

3.6 街道建成环境与自行车出行相关性分析

从街道建成环境与自行车出行相关性模型验证结果来看(见表 7)，无论是工作日还是周末，主观情绪感受指数非标准化系数 B 均高于客观物质环境指数，这表明主观情绪感受对自行车出行的影响更强，且对周末(5.572)的影响明显高于工作日(2.035)；而客观物质环境对自行车出行的影响则相对较为

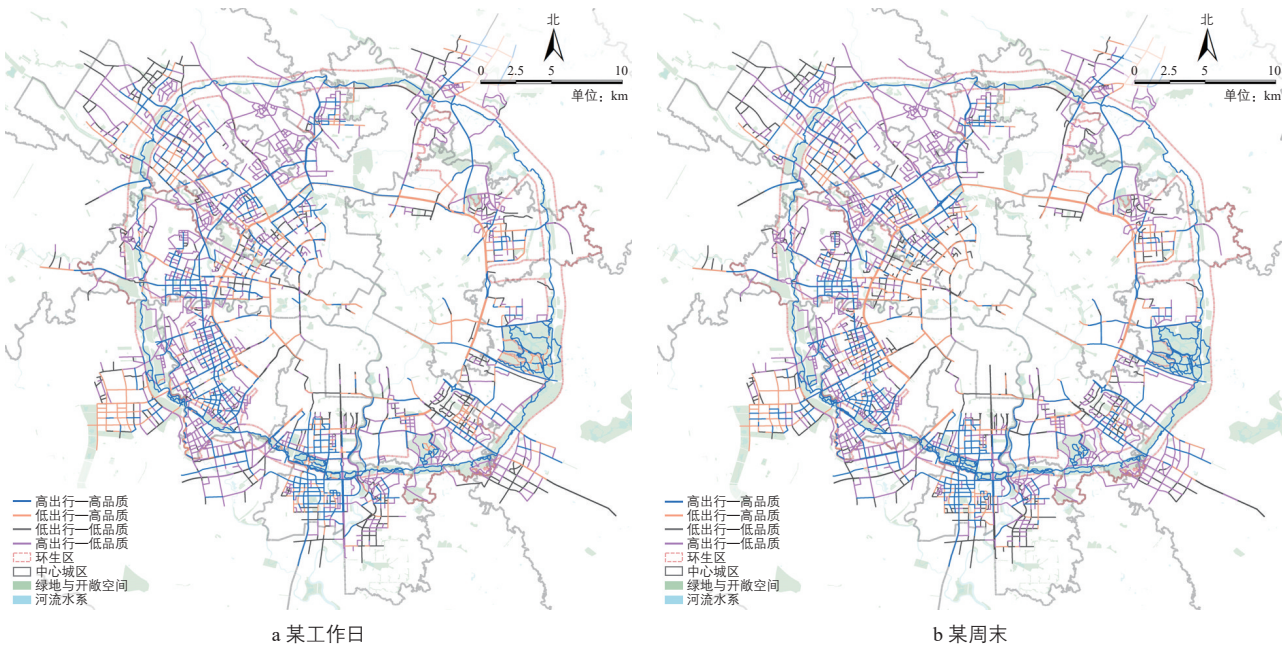


图 12 2022 年成都市环生区客观物质环境与自行车出行的耦合性分析

Fig.12 Coupling analysis of the objective physical environment and bicycle travel in the Chengdu Ring Ecological Zone in 2022

表 7 街道建成环境与自行车出行相关性模型验证结果

Tab.7 Model validation results of the correlation between the street built environment and bicycle travel

项目	非标准化系数		回归系数 β	回归系数 显著性 检验(t)	显著性 水平 ($Sig.$)	方差膨 胀因子 (VIF)	决定 系数 (R^2)	模型显 著性检 验(F)
	B	标准 误差						
2022 年 某工作日	常数	-192.846	15.025	-9.261	$P < 0.001$			
	客观物质 环境指数	1.528	0.162	0.115	10.156	$P < 0.001$	1.018	0.31
	主观情绪 感受指数	2.035	0.167	0.126	14.022	$P < 0.001$	1.018	
2022 年 某周末	常数	-275.518	25.491	-10.808	$P < 0.001$			
	客观物质 环境指数	1.027	0.158	0.082	6.483	$P < 0.001$	1.018	0.38
	主观情绪 感受指数	5.572	0.423	0.167	13.157	$P < 0.001$	1.018	120.993

稳定(工作日为1.528, 周末为1.027)。工作日自行车出行受客观物质环境和主观情绪感受的影响差异不显著, 这与通勤出行相关。周末客观物质环境和主观情绪感受与自行车出行的相关性($R^2=0.38$)相较于工作日($R^2=0.31$)更显著, 且主观情绪感受更能够影响自行车出行, 进一步表明周末自行车出行以休闲游憩为主。

4 结论

1) 自行车交通网络是自行车出行最基础的空间载体。环生区由于自行车交通网络结构失衡呈现南强北弱、西密东疏的自行车出行需求空间分布特征。完善的自行车交通网络是改善自行车出行的重点, 提升自行车交通网络服务与空间需求匹配度是提高自行车出行选择的关键。

2) 明确道路基础设施配套在自行车出行选择中的作用。环生区自行车交通网络客观物质环境指数平均值仅为35.1分, 混行路段比例高达28.1%, 非机动车道宽度达标路段不足50%, 无法满足自行车出行需求。路权保障和道路基础设施配套是影响自行车出行选择的首要条件, 也是自行车交通网络建设的基础。

3) 主观情绪感受是影响自行车出行的重要因素。环生区主观情绪感受与自行车出行的耦合性分析表明, 各等级主观情绪感受的路段分布特征无显著规律; 而街道建成环境与自行车出行相关性分析则表明主观情绪感受对自行车出行的影响明显高于街道客观物质环境。因此, 要构建更为舒适、安全的自行车出行环境, 提升出行体验以提高自行车出行选择概率。

4) 客观物质环境和主观情绪感受与自行车出行高度相关。环生区街道建成环境与自行车出行关联性分析表明, 无论是工作日通勤还是周末休闲游憩, 自行车出行路径选择呈现高度相似性(重合比例高于75%)。同时, 高品质路段并非一定是高感知路段, 低品质路段也并非均是低感知路段。因此, 自行车交通网络建设应强化客观物质环境与主观情绪感受的衔接, 在保障自行车交通路权、网络可达和高水平设施服务的同时, 在有限的街道空间中通过增补绿化、降低出行干扰来提升主观情绪感受水平, 进而提升自行车交通网络的整体服务水平。

注释:

Notes:

- ① 共享单车已成为仅次于公共汽车、地铁的第三大城市交通方式^[14]。由于自行车数据获取的限制, 本文以共享单车出行数据为研究样本来表征自行车出行特征。

参考文献:

References:

- [1] 李世伟. 北京市回龙观至上地自行车专用路评估及思考[J]. 城市交通, 2023, 21(6): 59-64.
LI S W. Evaluation and reflection on Beijing Huilongguan to Shangdi cycling superhighway [J]. Urban transport of China, 2023, 21(6): 59-64.
- [2] 杨林川, 喻冰洁, 梁源, 等. 多源大数据支持下的共享单车出行与空间品质耦合研究[J]. 西部人居环境学刊, 2023, 38(4): 47-54.
YANG L C, YU B J, LIANG Y, et al. The coupling of bike-sharing use and cycling space quality: a multi-source data-supported analysis [J]. Journal of human settlements in west China, 2023, 38(4): 47-54.
- [3] 刘丙乾, 熊文. 碳达峰碳中和背景下的自行车交通碳排放研究[C]//中国城市规划学会城市交通规划学术委员会. 绿色·智慧·融合: 2021年中国城市交通规划年会论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2022: 3251-3260.
- [4] 贾敬涵, 王子尧, 李惊. 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.
JIA J H, WANG Z Y, LI L. Research on the correlation between road visual features and cycling traffic based on multi-source big data and deep learning[J]. Chinese landscape architecture, 2023, 39(4): 84-90.
- [5] 闫水玉, 刘雯. 基于供需匹配的厦门岛骑行环境优化策略研究[J]. 西部人居环境学刊, 2024, 39(1): 68-74.
YAN S Y, LIU W. Research on cycling environment optimization strategy based on matching of supply and demand: a case study on Xiamen Island[J]. Journal of human settlements in west China, 2024, 39(1): 68-74.
- [6] 肖书影, 欧阳君, 郭明洋, 等. 基于熵权层次分析法的自行车骑行质量评价方法[J]. 交通工程, 2023, 23(4): 8-15.
XIAO S Y, OUYANG J, GUO M Y, et al.

- Evaluation method of bicycle riding quality based on entropy weight method and analytic hierarchy process[J]. Journal of transportation engineering, 2023, 23(4): 8-15.
- [7] 张智勇, 邵越, 黄鑫灿, 等. 基于模糊综合评判法的自行车骑行环境评价: 以北京市为例[J]. 科学技术与工程, 2022, 22(16): 6711-6718.
- ZHANG Z Y, SHAO Y, HUANG X C, et al. Evaluation of bicycle riding environment based on fuzzy synthetic evaluation method: a case study in Beijing[J]. Science technology and engineering, 2022, 22(16): 6711-6718.
- [8] 曹哲静, 辜培钦, 韩治远, 等. 面向街道的步行与骑行环境评估: 以天津市为例[J]. 城市交通, 2018, 16(6): 43-53.
- CAO Z J, GU P Q, HAN Z Y, et al. Evaluation of street walkability and bikeability: a case study of Tianjin[J]. Urban transport of China, 2018, 16(6): 43-53.
- [9] 汪晴, 崔珩. 建成环境对共享单车高峰出行的非线性影响: 以厦门主岛为例[J]. 南方建筑, 2024(1): 20-28.
- WANG Q, CUI H. Nonlinear influences of built environment on travel with shared bicycles in rush hour: a case study of principal island in Xiamen[J]. South architecture, 2024 (1): 20-28.
- [10] 周艳, 邵海雁, 靳诚. 基于大数据的厦门岛建成环境对共享单车起讫点分布的影响[J]. 南京师大学报(自然科学版), 2024, 47(1): 21-29.
- ZHOU Y, SHAO H Y, JIN C. The impact of built environment on distribution of bike-sharing in Xiamen Island based on big data[J]. Journal of Nanjing Normal University (natural science edition), 2024, 47(1): 21-29.
- [11] 傅彬, 叶宇, 林中杰. 基于多源数据的城市街区紧凑度与骑行活动关联效应研究: 以苏州为例[J]. 西部人居环境学刊, 2022, 37(5): 123-128.
- FU B, YE Y, LIN Z J. Analyzing the correlation between urban compactness and cycling activities using multi-source data: a case study of Suzhou[J]. Journal of human settlements in west China, 2022, 37(5): 123-128.
- [12] 王维凤, 叶建红, 方雪丽, 等. 基于骑行感受的自行车出行品质评价应用研究[J]. 城市交通, 2016, 14(5): 44-49.
- WANG W F, YE J H, FANG X L, et al. Users' experience oriented cycling service evaluation[J]. Urban transport of China, 2016, 14(5): 44-49.
- [13] 吴静娴, 唐桂孔, 李文翔. 建成环境对共享单车分时骑行量的非线性作用研究: 以上海市为例[J]. 交通运输系统工程与信息, 2024, 24(1): 290-298.
- WU J X, TANG G K, LI W X. Nonlinear effect of built environment on bike-sharing ridership at different time periods: a case study from Shanghai[J]. Journal of transportation systems engineering and information technology, 2024, 24(1): 290-298.
- [14] 梅剑飞, 洪叶, 许愿, 等. 【新华日报】一辆共享单车的“重生之旅”[EB/OL]. (2023-11-13) [2024-02-21]. http://jtyst.jiangsu.gov.cn/art/2023/11/13/art_41651_11069305.html.
- [15] 刘丙乾. 基于多源数据的北京历史文化街区街道可步行性研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2020.
- LIU B Q. Research on the walkability of Beijing historical and cultural districts based on multi-source data[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2020.
- [16] 刘丙乾, 熊文. 基于15分钟生活圈的北京副中心步行友好性评价[C]//中国城市规划学会城市交通规划学术委员会. 交通治理与空间重塑: 2020年中国城市交通规划年会论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2020: 43-59.
- [17] 刘丙乾, 周垠, 于儒海. 健康街道视角下街道空间更新治理成效评估: 以成都市老旧小区周边街道更新为例[J]. 城市交通, 2024, 22(2): 54-66.
- LIU B Q, ZHOU Y, YU R H. Evaluation of the effectiveness of street space renewal governance based on the healthy streets approach: take the renewal of streets around old residential areas in Chengdu as an example[J]. Urban transport of China, 2024, 22(2): 54-66.
- [18] 钟婷, 张垒, 刘益激. 新时期生态地区治理路径: 以成都市环城生态区为例[J]. 四川环境, 2022, 41(6): 229-234.
- ZHONG T, ZHANG L, LIU Y W. Governance path of ecological regions in the new era: take ecological zone around the city in Chengdu as an example[J]. Sichuan environment, 2022, 41(6): 229-234.