

轨道站点客流与站点空间品质关系研究 ——以宁波市为例

李朋州¹, 贺 宁¹, 洪智勇^{2*}

¹浙江华展研究设计院股份有限公司, 浙江 宁波

²宁波市规划设计研究院, 浙江 宁波

收稿日期: 2025年5月21日; 录用日期: 2025年7月10日; 发布日期: 2025年7月22日

摘 要

为了揭示轨道站点客流与站点空间品质的内在关系, 研究基于轨道站点周边基础性与高阶性空间需求两个层级构建了空间品质评价体系, 涵盖站点可达性、功能服务性、空间舒适性、安全性和场所交往性五个方面。以宁波市为例的实证分析表明, 站点的设施密度、绿地率、容积率、步行指数等与轨道进出站量有较强的正向影响, 可据此改善轨道站点空间品质, 提升轨道吸引力。

关键词

轨道站点客流, 空间品质, 相关性, 马斯洛需求层次理论

Research on the Relationship between Rail Transit Passenger Flow and Station Spatial Quality —Taking Ningbo City as an Example

Pengzhou Li¹, Ning He¹, Zhiyong Hong^{2*}

¹Zhejiang Huazhan Research and Design Institute Co., Ltd., Ningbo Zhejiang

²Ningbo Urban Planning & Design Institute, Ningbo Zhejiang

Received: May 21st, 2025; accepted: Jul. 10th, 2025; published: Jul. 22nd, 2025

Abstract

In order to reveal the internal relationship between the passenger flow and the spatial quality of

*通讯作者。

文章引用: 李朋州, 贺宁, 洪智勇. 轨道站点客流与站点空间品质关系研究[J]. 交通技术, 2025, 14(4): 480-492.
DOI: 10.12677/ojtt.2025.144048

rail stations, this study constructed the spatial quality measurement index based on the basic environmental needs and advanced environmental needs around rail stations, covering five aspects: station accessibility, functional service, spatial comfort, safety and place interaction. Taking Ningbo as an example, the empirical analysis shows that the accessibility, facility density, green space ratio, plot ratio, walking index and social interface index of the station have a strong correlation with the number of rail stations, which can improve the spatial quality of rail stations and enhance the attractiveness of rail.

Keywords

Rail Transit Passenger Flow, Spatial Quality, Relativity, Maslow's Hierarchy of Needs

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着城市化进程加速,轨道交通作为缓解交通拥堵、优化出行结构的重要载体,其对城市具有经济、社会、交通效益,如轨道交通促进沿线地价和房价的升值,促进社会不同阶层的融合等,而客流量是反映轨道交通综合效益的重要指标[1]。但从全国已运营轨道线路客流情况来看,有较多城市客流效益并不理想。截至2024年底,中国大陆地区共有58个城市开通城市轨道交通运营线路361条,运营里程达12160.77公里,全国全年城轨交通客运量322.57亿人次,客运强度为0.61万人次/公里·日,虽同比增长0.06万人次/公里·日,增幅达10.25% [2],但很多城市并未达到国务院办公厅提出地铁线路初期客运强度不低于每日每公里0.7万人次;轻轨线路初期客运强度不低于每日每公里0.4万人次的要求[3]。因而,解析与揭示轨道交通客流与站点周边空间环境的关系,对强化轨道交通服务效能、实施车站辐射圈层空间品质的精细化调控以及推进可持续城市交通范式转型具有不可忽视的理论价值与实践指导意义。

2. 研究范围

截至2024年底,宁波市已建成运用5条轨道交通线路,分别为1号线、2号线、3号线一期及二期、4号线、5号线一期组成,全长194.46公里,客运强度为0.56万人次/公里·日。参考十五分钟生活圈的半径划定标准,本研究以800 m半径作为轨道站点用地、人口岗位和公共服务设施等的分析范围[4]。考虑换乘接驳的可能性,选择200米半径作为站点接驳换乘的分析范围。

3. 研究方法

轨道交通站点邻近区域的空间质量评估可汲取街道空间解析的学术积淀,基于视觉审美视角,以实现契合人类感知体验的空间环境为目标实施量化测评[5]。站点环境不仅涵盖车站出入口范围平立面空间,还涉及站点敷设范围道路两侧的建筑立面形态、绿化配置及街道附属设施等要素共同构筑的三维立体空间。鉴于此,本研究将轨道交通节点空间质量界定为其邻近限定区域内的综合建成环境特征。

相关研究旨在揭示轨道交通场所空间属性与客流动态的关联机制。客流动态本质上表征社会活力,体现个体在轨道交通服务半径内开展通勤、休憩、社交、健身及消费等多样化社会行为的聚合效应。

在方法论层面，多采用混合研究方法推进实证研究。具体实施过程中，往往整合多维指标开展系统性解析：

(1) Ewing & Clement 建构的街道质量评估框架包含空间围合性、人体工程学尺度、视觉渗透度、空间复合度及场所意象性五大维度框架[6]；

(2) 另有学者补充了植被可视率、天空可视度、步行界面占比、街道剖面系数等静态评估参数[7][8]，同时纳入人群活动特征的建成环境要素、交通可达性、区位属性、街道行为模式及功能设施配置等多元变量[9]。

3.1. 空间品质指标选取及分析

站点空间品质不仅仅体现站点周边物质环境品质的高低，还应体现站点对于居民出行、休憩、娱乐等各类日常生活行为需求的满足能力。马斯洛需求层次理论将人的需求分为生理需求、安全需求、爱的需求、尊重需求及自我实现五个层次[10]；周素红将马斯洛需求层次对应到城市空间中，表达为基础空间需求、高阶空间需求及自我实现需求[9](见图 1)；参考城市空间需求，轨道站点周边的空间品质评价也可分为以上三个层次。站点可达性及功能服务型是站点周边的基本空间需求，满足使用者快捷、方便使用轨道站点的需求；空间舒适性、安全性及场所交往性是站点周边的高级空间需求，满足使用者舒适性、趣味性、安全性及交往性等更为多远丰富的生活需求。自我实现属于主观、个性化需求，目前尚无量化指标，本研究暂不考虑；基于以上分析，本研究从轨道站点周边的基础性与高阶性空间需求构建指标评价体系，共涵盖站点可达性、功能服务性、空间舒适性、安全性和场所交往性 5 个方面评价指标。

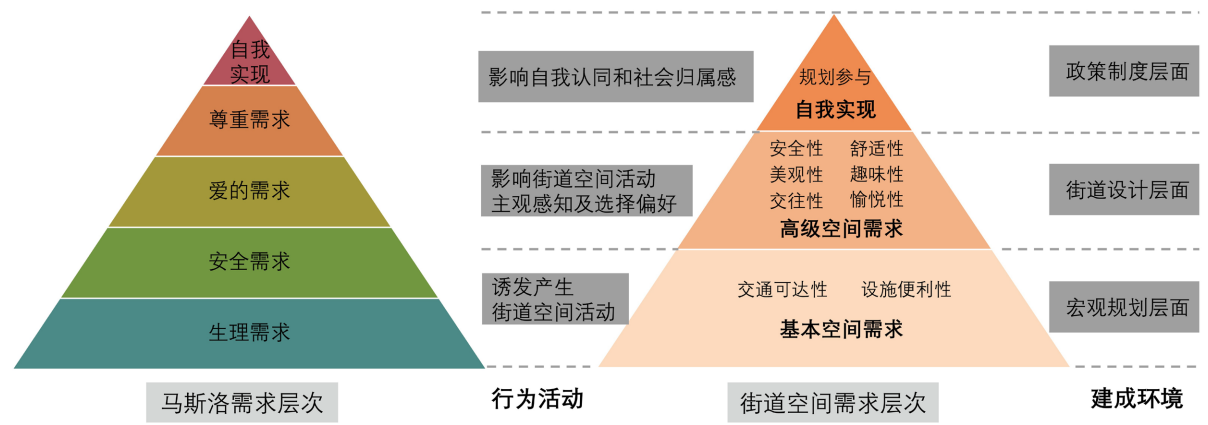


Figure 1. Street space demand hierarchy based on Maslow demand hierarchy [5]

图 1. 基于马斯洛需求层次的街道空间需求层次[5]

在站点可达性上，轨道站点的核心职能在于保障居民在城市交通系统中的高效通勤，因此本研究选择轨道站点的平均可达性作为可达性指标，平均可达性指轨道站点到其余站点出行时间的平均值，意在表达乘客使用轨道交通的快捷性。

在功能服务性上，站点周边服务设施的空间聚集度决定其服务承载阈值，而设施的异质性则影响活动的多元程度，因此本研究选取设施密度和设施混合度表征轨道站点周边的功能服务能力，其中，设施密度为站点范围 POI 权重总数量与站点周边用地面积的比值，设施混合度为站点周边各类 POI 权重之和占有所有 POI 权重之和的比值。同时，选取人均慢行接驳设施数量和人均机动化接驳设施数量来表征轨道站点与其余交通方式的接驳能力，分别为单位人口岗位内慢行接驳设施数量与机动车接驳设

施数量。

宜人的空间尺度和良好的场所感都能提高空间舒适程度，故本研究选取绿地率和容积率作为评价空间舒适性的指标，绿地率为绿地面积与用地总面积的比值，容积率为建筑面积与用地总面积的比值。

站点周边街道的安全感知与机动车交通存在显著关联性，交通事故发生率与机动车排放强度常对出行者造成心理胁迫效应，而完善的步行网络系统则能有效增强行人的安全感，因此选定步行友好度系数与交通流干扰系数作为慢行安全评价基准。考虑到支路对于步行最为友好，选取支路网长度与用地总面积的比值作为步行友好度系数，而主次干路对于步行交通干扰较为明显，选取主次干路网长度与用地总面积的比值作为交通流干扰系数。

社会交往活动的产生需具备主体、活动及空间载体三项基本构成要素，其中界面商业及公共服务设施通过提供多元服务功能形成人流集聚效应，从而诱导潜在社交行为。本研究选取社交界面指数作为场所交往性表征指标，社交界面指数为沿街商业、公共服务类 POI 数量与街道长度的比值。

综合以上分析，结合宁波规划大数据，本研究构建了人本视角的站点空间品质测度指标体系(见表 1)。

Table 1. Spatial quality measurement index system

表 1. 空间品质测度指标体系

需求类型	一级指标	二级指标	计算公式	量化解释
基本空间需求	站点可达性	站点平均可达性	$\tau_i = \frac{\sum_{j \in I} \mu_{ij}}{V-1}$ $\mu_{ij} = \sum_{k=1}^K \omega_k^s + \alpha(K-1)$	τ_i 为车站 i 的平均综合出行成本/min; μ_{ij} 为车站 i 到 j 的最小成本/min; V 为车站总数; K 为路径中边的数量; ω_k^s 是边的权重/min, 包含车内时间和等车时间
		设施加权密度	$PD = POI/A$	POI 指 POI 权重总之和, A 为用地总面积
	功能服务性	设施混合度	$H = -\sum_{i=1}^n (p_i \times \ln p_i)$	n 为 POI 类型总数; p_i 为站点周边第 i 类 POI 权重之和占有所有 POI 权重之和的比重。
		人均慢行接驳设施数量	$SC = CS/(POP + EMP)$	CS 为慢行接驳设施数量; POP 为人口数量; EMP 为岗位数量
		人均机动化接驳设施数量	$MC = CM/(POP + EMP)$	CM 为机动化接驳设施数量; POP 为人口数量; EMP 为岗位数量
	空间舒适性	绿地率	$GR = G/A$	G 为绿地面积, A 为用地总面积
		容积率	$PR = BA/A$	BA 为建筑总面积, A 为用地总面积
	高级空间需求	步行友好度系数	$SW = W/A$	W 为支路网长度, A 为用地总面积
		交通流干扰系数	$VI = V/A$	V 为主、次干路网长度, A 为用地总面积
	场所交往性	社交界面指数	$SI = I/L$	I 为沿街商业、公共服务类 POI 加权和, L 为街道长度

注：本表指标所用基础数据来源于宁波规划大数据。

从可达性分析可以看出，高可达性站点普遍集中在城市核心区范围，外围站点的可达性较差(见图 2)。从 POI 设施加权密度分析可以看出，高密度站点集中在城市核心区 1 号线沿线及换乘站附近(见图 3)。

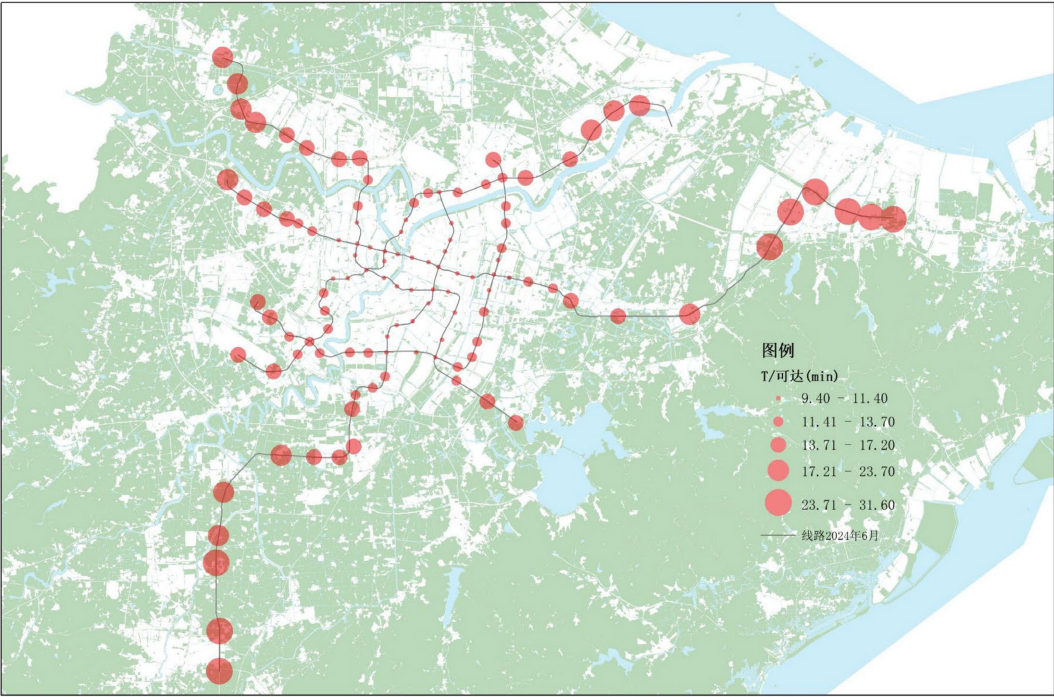


Figure 2. Distribution of site accessibility
图 2. 站点可达性分布

从 POI 设施混合度分析可以看出，设施混合度较高的站点主要集中在三江口、石契附近，其他区域的站点设施混合度较为分散(见图 4)。

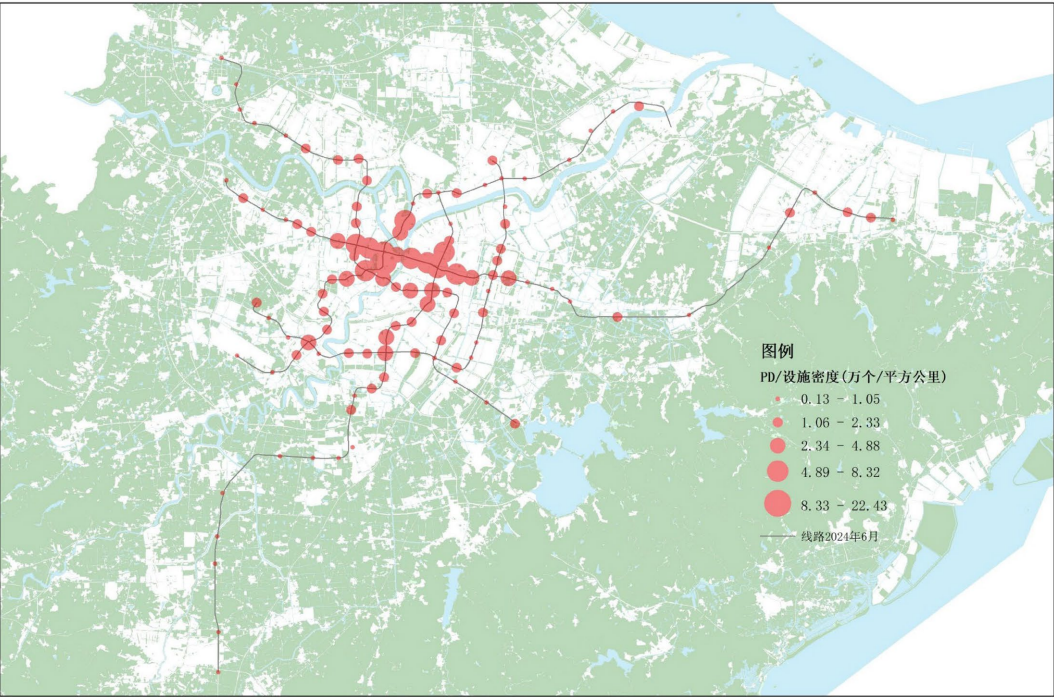


Figure 3. Distribution of POI facility density
图 3. POI 设施密度分布

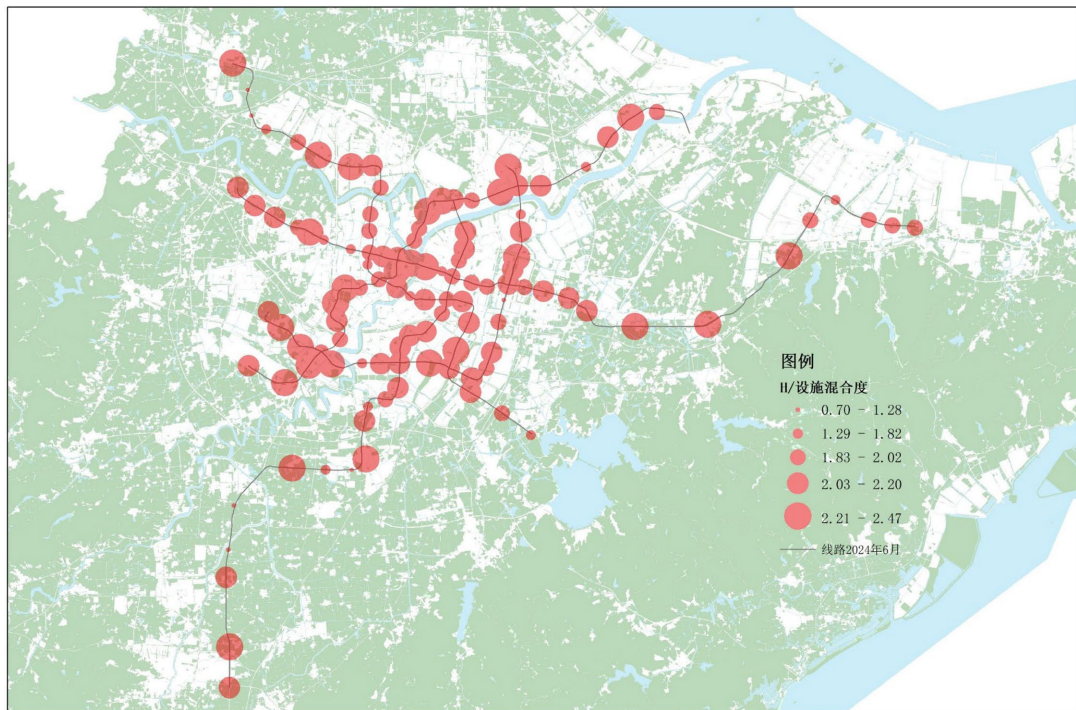


Figure 4. Distribution of POI facility mix
图 4. POI 设施混合度分布

从人均慢行接驳设施(人均公共自行车点位数量)供给分析可以看出, 轨道沿线的公共自行车点位配给差异性较大, 人均配给量较高的站点主要集中在 2 号线沿线(见**图 5**)。

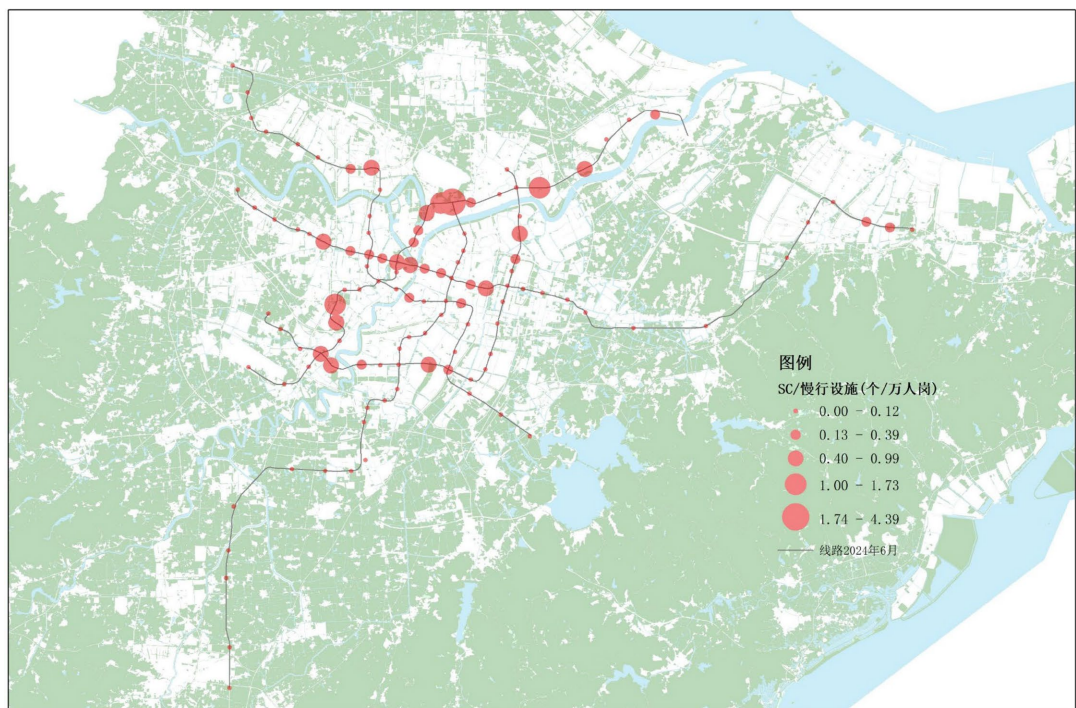


Figure 5. Distribution of slow traffic facilities per capita
图 5. 人均慢行设施分布

从人均机动化接驳设施(主要考虑 100 米范围内的 P+R 停车场、公共停车场和公交站点数量)供给分析可以看出,轨道沿线机动化接驳设施主要集中在历史老城和非城市核心区域(见图 6)。

从绿地率分析可以看出,轨道沿线高绿地率车站主要集中在三江口、东部新城和南部新城(见图 7)。

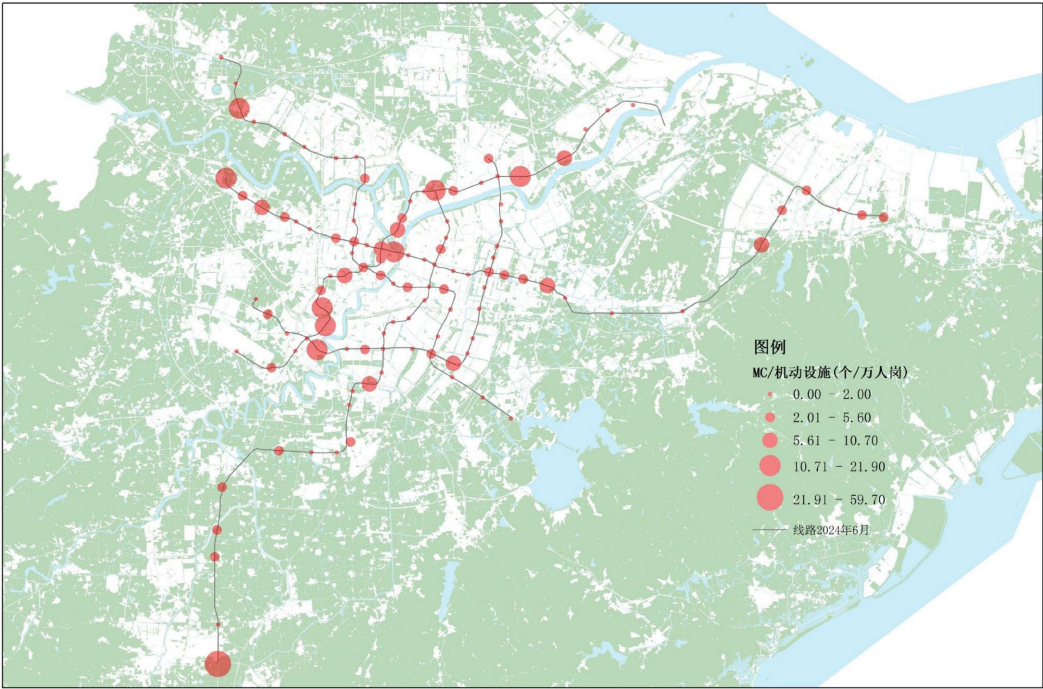


Figure 6. Distribution of motorized connection facilities per capita
图 6. 人均机动化接驳设施分布

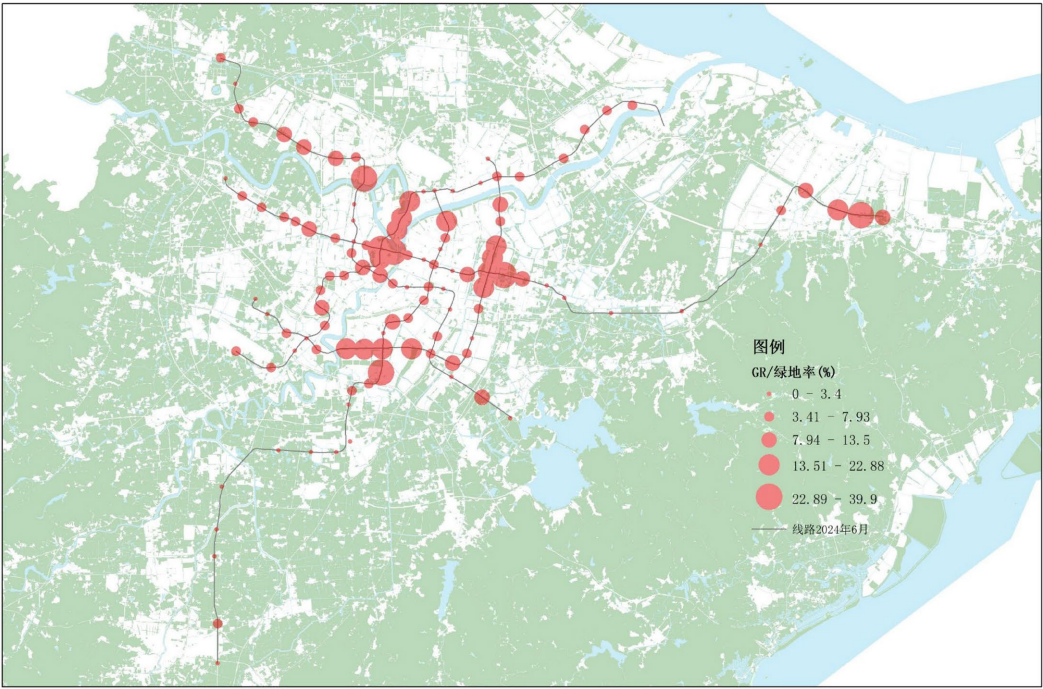


Figure 7. Distribution of green space rate
图 7. 绿地率分布

从容积率分析可以看出,轨道沿线高容积率车站主要集中在城市核心区范围内,呈现沿 1 号线分布的东西向主走廊和沿 2、3、5 号线分布的南北向次走廊分布形态(见图 8)。

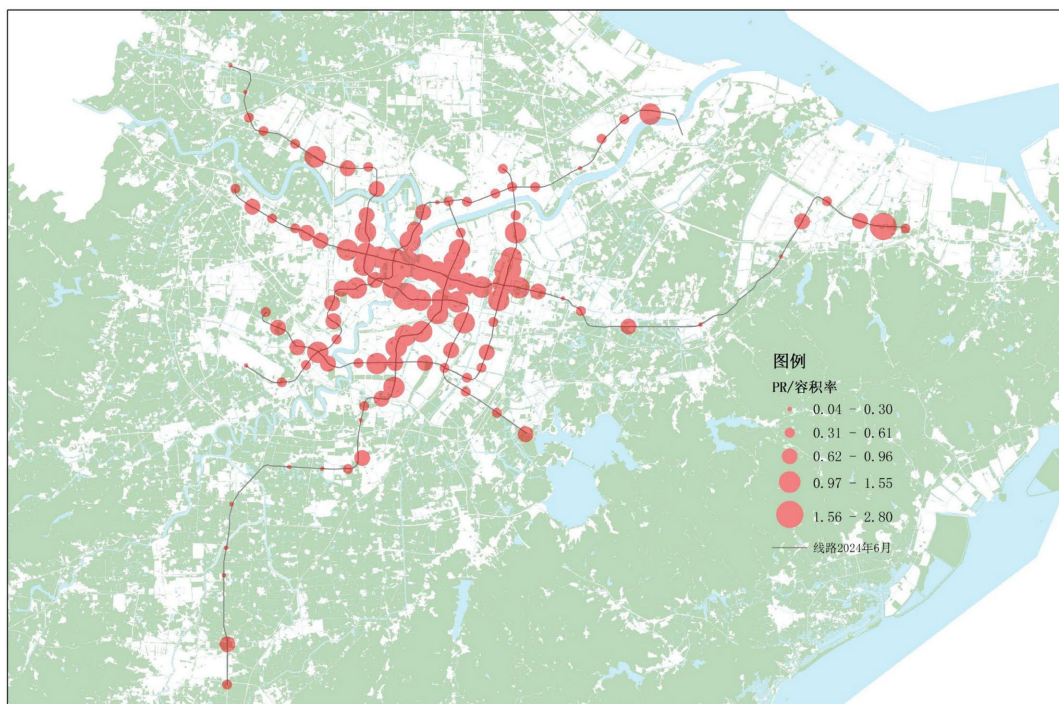


Figure 8. Distribution of average plot ratio

图 8. 平均容积率分布

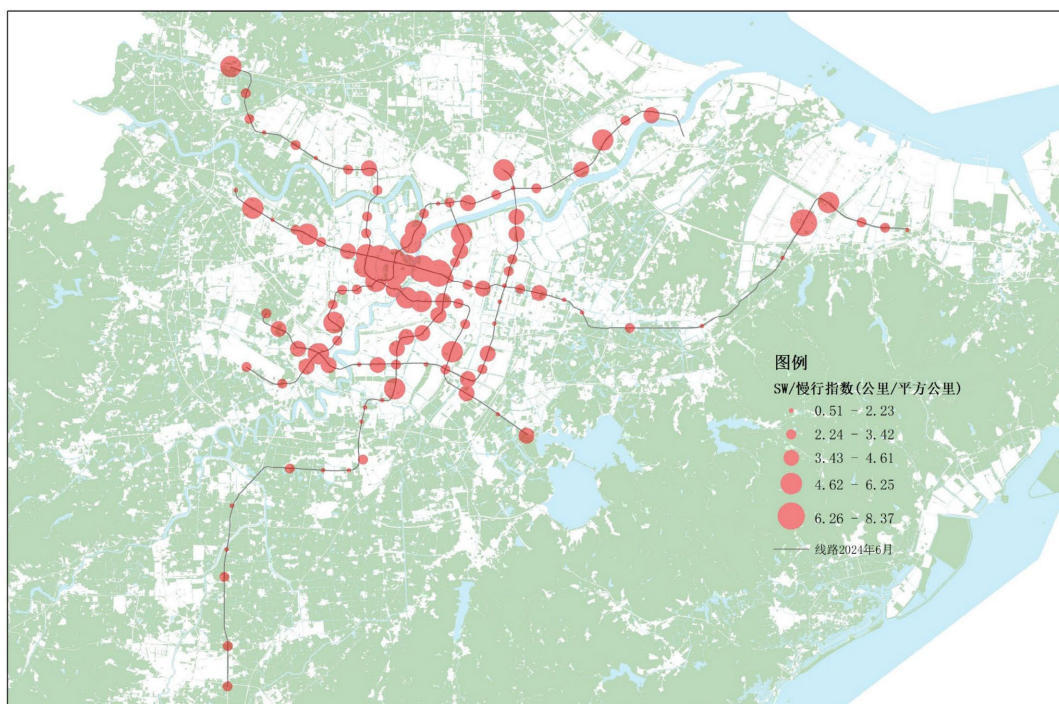


Figure 9. Distribution of walkability index

图 9. 可步行指数分布

从可步行指数(支路网密度)分析可以看出,轨道沿线步行指数较高的站点主要集中在三江口和老江东区域(见图 9)。

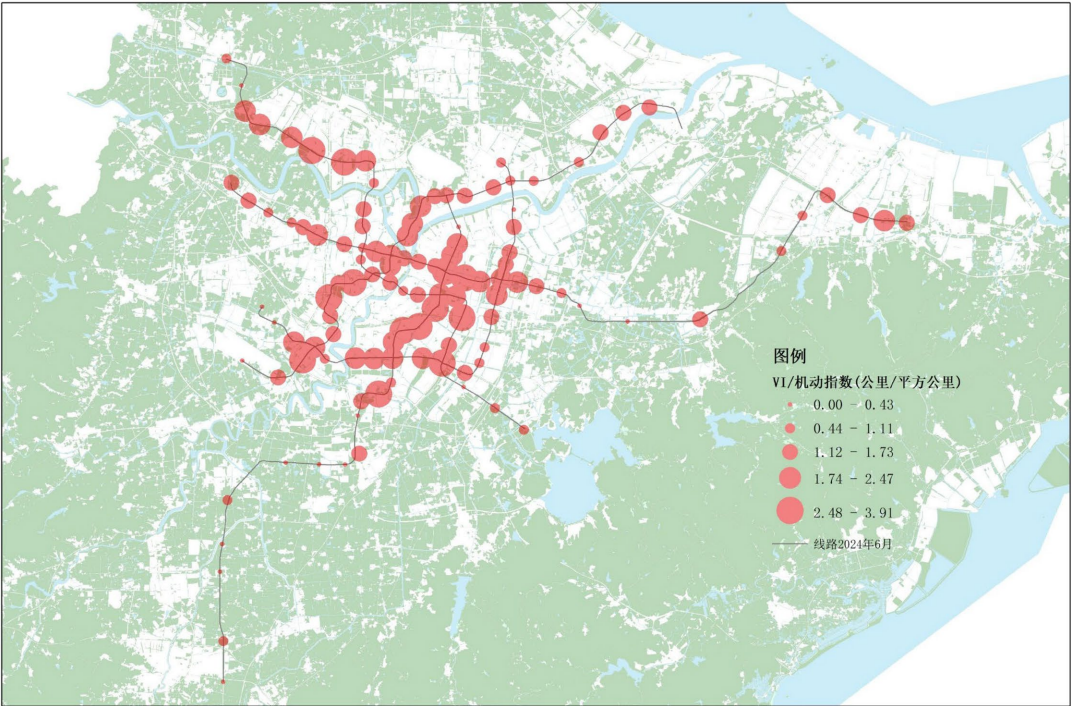


Figure 10. Distribution of motor traffic interference index
图 10. 机动交通干扰指数分布

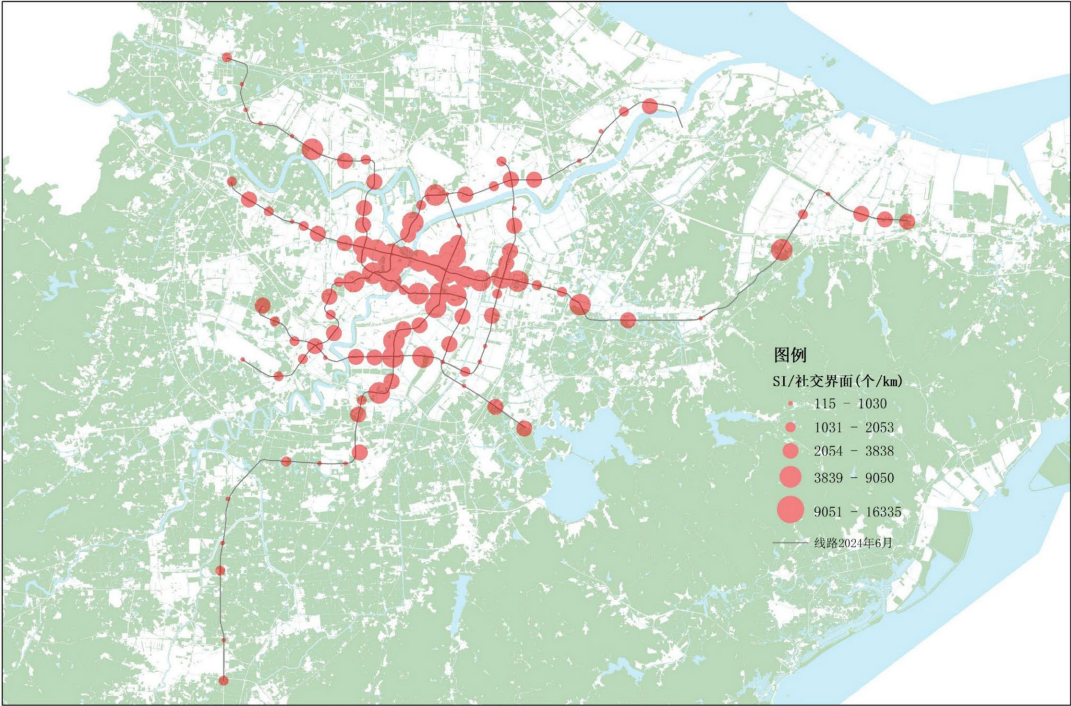


Figure 11. Distribution of social interface index
图 11. 社交界面指数分布

从机动交通干扰指数(主、次干路网密度)分析可以看出,轨道沿线机动交通干扰指数较高的站点主要集中在3号线沿线、东部新城、南部新城和姚江新城等城市发展的新兴区域(见图10)。

从社交界面指数分析可以看出,轨道沿线社交界面指数较高的站点主要集中在城市核心区范围内的1号线沿线东西向走廊、东部新城、南部新城和换乘节点(见图11)。

3.2. 空间品质与站点客流关系分析

3.2.1. 相关性分析

本次研究采用相关性分析,以反映轨道站点人员活力(用站点的进出站量表示)与上述指标之间的线性关系强度。相关系数取值范围为[-1, 1],其中-1表示完全负相关,0表示无相关性,1表示完全正相关。

具体而言,车站客流与空间品质因素间的关系如下(见表2):

- (1) 与站点可达性之间存在一定的负相关关系,这表明可达越高(数值越小),进出站量越高。
- (2) 与站点设施加权密度存在一定的正相关关系,这表明设施密度越高,进出站量越高。
- (3) 与绿地率存在一定的正相关关系,这表明绿地率越高,进出站量越高。
- (4) 与容积率存在一定的正相关关系,这表明容积率越高,进出站量越高。
- (5) 与可步行指数(支路网密度)存在一定的正相关关系,这表明可步行指数越高,进出站量越高。
- (6) 与机动化干扰指数存在一定的负相关关系,这表明机动化干扰指数越高,进出站量越低。
- (7) 与社交界面指数存在一定的正相关关系,这表明社交界面指数越高,进出站量越高。

(8) 与设施混合度、人均慢行接驳设施数量、人均机动化接驳设施数量的直接关系较弱,其相关影响机理有待进一步进行多因素综合分析。

Table 2. Correlation coefficient analysis between site staff vitality and related factors
表 2. 站点人员活力与相关因素的相关系数分析

相关系数	N 进出站量(人次)
T/可达(min)	-0.3
PD/设施密度(万个/平方公里)	0.43
H/设施混合度	0.089
SC/慢行设施(个/万人岗)	-0.00048
MC/机动设施(个/万人岗)	0.05
GR/绿地率(%)	0.37
PR/容积率	0.47
SW/慢行指数(公里/平方公里)	0.26
VI/机动指数(公里/平方公里)	-0.24
SI/社交界面(个/km)	0.41

3.2.2. 回归分析

(1) 全站点分析

根据相关性分析结果,设施混合度、人均慢行接驳设施数量、人均机动化接驳设施数量等因素与轨道站点进出站客流关系较弱,故不纳入回归分析模型。利用 SPSS 软件进行回归分析,模型计算结果如下:

Table 3. Regression model summary of all sites
表 3. 全站点回归模型摘要

模型	R	R 方	调整后 R 方	标准估算的错误	德宾 - 沃森
1	0.590	0.349	0.308	7426.05	2.431

回归模型调整后 R^2 为 0.308 (见表 3), 意味着模型能够解释因变量 30.8% 的变异性。这表明模型有一定的解释能力。

Table 4. Regression model coefficients of all sites
表 4. 全站点回归模型系数

模型	未标准化系数		标准化系数	t	显著性
	B	标准错误	Beta		
(常量)	5119.143	7145.364		0.716	0.475
T/可达(min)	-103.122	302.951	-0.032	-0.340	0.734
PD/设施密度(万个/平方公里)	3207.215	1524.416	0.415	2.104	0.038
GR/绿地率(%)	563.988	176.035	0.266	3.204	0.002
PR/容积率	3183.681	4431.299	0.095	0.718	0.474
SW/慢行指数(公里/平方公里)	593.946	1277.231	0.063	0.465	0.643
VI/机动指数(公里/平方公里)	-844.951	1634.524	-0.048	-0.517	0.606
SI/社交界面(个/km)	0.208	1.012	0.036	0.206	0.838

从回归系数分析结果来看, 设施密度、绿地率、容积率及慢行指数均对轨道客流有正向影响, 且绿地率及设施密度对车站进出客流影响显著, 详见表 4。

(2) 分区站点分析

为了更加精细化地研究轨道站点客流与各空间品质因素之间的关系, 将轨道站点按照距离市中心的距离区分为核心区站点及郊区站点, 其中核心区站点 82 座, 郊区站点 43 座。

1) 核心区站点回归分析

Table 5. Regression model summary of core sites
表 5. 核心区站点回归模型摘要

模型	R	R 方	调整后 R 方	标准估算的错误	德宾 - 沃森
1	0.743	0.552	0.514	1525.55	2.37

Table 6. Regression model coefficients of core sites
表 6. 核心区站点回归模型系数

模型	未标准化系数		标准化系数	t	显著性
	B	标准错误	Beta		
(常量)	34714.491	28226.691		1.230	0.223
T/可达(min)	-2360.306	2043.503	-0.167	-1.155	0.252
PD/设施密度(万个/平方公里)	2790.719	2306.560	0.337	1.210	0.230
GR/绿地率(%)	578.686	226.390	0.262	2.556	0.013

续表

PR/容积率	1063.508	6702.249	0.026	0.159	0.874
SW/慢行指数(公里/平方公里)	672.628	2303.953	0.059	0.292	0.771
VI/机动指数(公里/平方公里)	-1232.595	2595.671	-0.055	-0.475	0.636
SI/社交界面(个/km)	0.219	1.568	0.036	0.140	0.889

2) 郊区站点回归分析

Table 7. Regression model summary of suburban sites
表 7. 郊区站点回归模型摘要

模型	R	R 方	调整后 R 方	标准估算的错误	德宾 - 沃森
1	0.719	0.517	0.503	2348.21	1.78

Table 8. Regression model coefficients of suburban sites
表 8. 郊区站点回归模型系数

模型	未标准化系数		标准化系数	t	显著性
	B	标准错误	Beta		
(常量)	1018.356	2698.583		0.377	0.708
T/可达(min)	101.203	107.754	0.138	0.939	0.354
PD/设施密度(万个/平方公里)	562.233	1959.342	0.084	0.287	0.776
GR/绿地率(%)	185.761	170.337	0.242	1.091	0.283
PR/容积率	3177.628	3199.988	0.250	0.993	0.328
SW/慢行指数(公里/平方公里)	522.677	601.558	0.204	0.869	0.391
VI/机动指数(公里/平方公里)	-844.951	1634.524	-0.048	-0.517	0.606
SI/社交界面(个/km)	0.208	1.012	0.036	0.206	0.838

核心区及郊区回归模型调整后 R^2 分别为 0.514、0.503，相比全站点回归模型，核心区及郊区站点回归模型有更强的解释能力，详见表 5~8。

从核心区回归系数分析结果来看，设施密度、绿地率、容积率及慢行指数均对轨道客流有正向影响，与全域站点回归模型一致，但仅绿地率对车站进出客流影响不显著。

从郊区回归系数分析结果来看，设施密度、绿地率、容积率及慢行指数均对轨道客流有正向影响，与全域站点回归模型一致，但各变量对车站进出客流影响均不显著。

4. 站点空间品质提升建议

基于以上分析结果，本研究分别针对核心区站点及郊区站点提出以下空间品质提升建议：

(1) 核心区站点

核心区站点通常有一定的客流基础，但建设空间相对局促，大型设施建设难度较大，因此建议因地制宜，补充小型商业、公共服务设设施，针对性的完善服务功能，重点关注站点环境营造，增加公园绿化面积，改善步行环境，加强步行连续性，改造脏乱差空间，注重体验式消费与受欢迎的新兴业态的引进，同时发掘特色文化资源增强区域居民认同感，提升吸引力。

(2) 郊区站点

郊区站点多位于城市边缘,用地分散零碎,存在传统生活轴线与轨道站点位置不契合的情况,由于开发量较低,公共空间不足,没有形成完整的商业与步行空间,业态以个体零售为主,层次不完善。因此,在空间品质提升上,要形成对区位特点、区域资源的清晰认识,结合自身特色进行提升改造,重点补充完善业态设施,提升站点周边容积率,同时也应做好环境的营造。

5. 结论

本研究从基础性与高阶性空间需求出发,构建了空间品质测度指标体系,并建立空间指标与轨道客流的关系。结果显示,设施密度、绿地率、容积率、步行指数指数等与进出站量有较强的正向相关性。可据此构建分区域站点空间品质标准,提升场所吸引力:核心区内站点重点关注站点环境营造,增加公园绿化面积,改善步行环境,加强步行连续性;郊区内站点重点补充完善业态设施,提升站点周边容积率,同时也应做好环境的营造。相关城市可借鉴本文研究成果开展轨道站点客流评估和优化工作,以提升站点综合吸引力。

当然,本研究仍存在一定的局限性,轨道交通客流与建成环境空间品质间的非线性耦合特征,以及多维指标的交互效应,均需在后续研究中深化探讨。未来研究应聚焦复杂系统视角下的空间-行为动态关联模型构建,系统整合时空异质性、社会网络结构等深层影响因子,以完善空间品质评估理论框架。

参考文献

- [1] 颜冉,张纯,郑浩.站域建成环境对城市轨道交通客流的影响研究:以合肥市为例[J].都市快轨交通,2022,35(5):69-75.
- [2] 中国城市轨道交通协会.城市轨道交通2024年度统计和分析报告[R/OL].
<https://www.camet.org.cn/xytj/tjxx/660844283682885.shtml>,2025-03-28.
- [3] 国务院办公厅.国务院办公厅关于进一步加强城市轨道交通规划建设管理的意见[EB/OL].
https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2018-07/13/content_5306202.htm,2018-07-13.
- [4] 住房和城乡建设部.GB50180-2018城市居住区规划设计标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2018.
- [5] 黄志强,李智轩,郎崑.基于多源大数据的街道空间品质测度及其对街道活力的影响——以广州历史城区为例[J].上海城市规划,2023(6):122-130.
- [6] Ewing, R., Clemente, O., Neckerman, K.M., et al. (2013) Measuring Urban Design: Metrics for Livable Places. Island Press. <https://doi.org/10.5822/978-1-61091-209-9>
- [7] 樊钧,唐皓明,叶宇.街道慢行品质的多维度评价与导控策略——基于多源城市数据的整合分析[J].规划师,2019,35(14):5-11.
- [8] Li, X., Zhang, C., Li, W., Ricard, R., Meng, Q. and Zhang, W. (2015) Assessing Street-Level Urban Greenery Using Google Street View and a Modified Green View Index. *Urban Forestry Urban Greening*, **14**, 675-685.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.06.006>
- [9] 周素红,陈菲,戴颖宜.面向内涵式发展的品质空间规划体系构建[J].城市规划,2019,43(10):13-21.
- [10] 亚伯拉罕·马斯洛.动机与人格[M].许金声,等译.北京:中国人民大学出版社,2013.