

“节点-场所-活力”三维模型视角下 济南轨道交通站域协调性评价

赵金宝^{1,2}, 周 齐¹, 侯科科¹, 李明星¹, 刘文静¹, 姜嘉伟¹

(1. 山东理工大学交通与车辆工程学院, 山东淄博 255000; 2. 东南大学交通学院, 南京 210009)

摘 要: 针对传统节点-场所模型在复杂城市环境中的二维视角局限, 构建“节点-场所-活力”三维模型, 以济南轨道交通 41 座车站为研究对象, 划定站点周边 800 m 为服务半径, 从交通功能(节点)、城市空间(场所)、动态活力(活力)三维度选取指标进行共线性检验, 并运用主客观综合赋权法与 K-means 聚类分析站域协调性。结果表明, 三维模型能有效揭示节点、场所、活力间的协同关系, 并将站点划分为高活力枢纽站、活力提升型、均衡发展型、节点强化型、综合培育型 5 类, 其空间分布与济南城市主中心、次中心及边缘区域发展特征高度关联。构建的三维模型可有效量化站域协调度, 为济南 TOD 策略提供优化措施。

关键词: 城市轨道交通; 节点-场所-活力模型; 站点活力; 协调性评价; 发展策略

中图分类号: U231

文献标志码: A

文章编号: 1672-6073(2026)02-0038-08

Coordination Evaluation of Jinan Rail Transit Station Areas from the Perspective of “Node-Place-Vitality” Three-Dimensional Model

ZHAO Jinbao^{1,2}, ZHOU Qi¹, HOU Keke¹, LI Mingxing¹, LIU Wenjing¹, JIANG Jiawei¹

(1. School of Traffic and Vehicle Engineering, Shandong University of Technology, Zibo, Shandong 255000;

2. School of Transportation, Southeast University, Nanjing 210009)

Abstract: In view of the limitations of the two-dimensional perspective of the traditional node-place model in complex urban environments, this study constructs a three-dimensional “node-place-vitality” model. With 41 stations of Jinan’s rail transit as the research subjects, a service radius of 800 meters around each station is demarcated. Twenty-four indicators are selected from three dimensions: traffic function (node), urban space (place), and dynamic vitality (vitality). The comprehensive subjective-objective weighting method and K-means clustering analysis are employed to evaluate the coordination of station areas. The results indicate that the three-dimensional model can effectively uncover the synergistic relationships among nodes, places, and vitality. Moreover, the stations are classified into five types: high-vitality hub stations, vitality-improvement stations, balanced-development stations, node-reinforcement stations, and comprehensive-cultivation stations. Their spatial distribution is highly associated with the development characteristics of Jinan’s main urban centers, sub-centers, and marginal areas. This research offers a scientific foundation for the optimization of Jinan’s rail transit station areas and the formulation of TOD strategies. Additionally, it provides a novel perspective for studies on the coordination of station areas in similar cities.

Keywords: urban rail transit; node-place-vitality model; station vitality; coordination evaluation; development strategy

收稿日期: 2025-06-06 修回日期: 2025-12-26

第一作者: 赵金宝, 男, 博士, 副教授, 从事城市轨道交通规划研究, zhaojinbao919@163.com

通信作者: 周齐, 女, 硕士研究生, 从事城市轨道交通规划研究, zhouqi919@126.com

基金项目: 国家自然科学基金项目(51608313); 山东省自然科学基金(ZR2021MF109)

引用格式: 赵金宝, 周齐, 侯科科, 等. “节点-场所-活力”三维模型视角下济南轨道交通站域协调性评价[J]. 都市轨道交通, 2026, 39(2): 38–45.

Zhao Jinbao, Zhou Qi, Hou Keke, et al. Coordination evaluation of Jinan rail transit station areas from the perspective of “node-place-vitality” three-dimensional model[J]. Urban rapid rail transit, 2026, 39(2): 38–45.

随着全球城市化进程加速,城市人口密度不断攀升,“城市病”日益凸显。在此背景下,城市轨道交通因运量大、效率高、绿色环保等特性,成为缓解交通压力、引导空间布局的核心。而轨道交通站点作为城市交通网络的关键节点与城市活动的重要载体,其站域的协调性不仅直接影响交通系统的运行效率,更与城市空间品质息息相关。

欧洲学者 Bertolini 首次提出节点-场所模型(node-place model, NP)^[1],为研究轨道交通站域功能与交通关系提供了重要理论基础。国内学者对 NP 模型的研究也逐渐扩展,王雯^[2]以西安地铁 3 号线为例,基于 NP 模型的改进对站点进行分类并提出适配的公共交通为导向的开发(transit-oriented development, TOD)策略。郭源园等^[3]基于构建的节点-场所-品质模型,分析了天津存量地区轨道站域更新潜力。

然而,在复杂多变的城市发展环境下, NP 模型逐渐暴露出局限性^[4],其二维视角难以全面涵盖站域内动态交互的多元要素;在面对城市新兴发展需求方面,传统模型的解释力与适用性也表现不足。为此,部分学者将模型扩展为三维模型进行研究。目前, NP 模型的扩展多样化趋势,主要以节点-场所-客流模型(node-place-ridership, NPR)^[5-6]、节点-场所-功能模型(node-place-functionality, NPF)^[7-8]等为主流。

但这些模型在进行站域协同性研究时,仍存在一定局限,传统的 NP 模型仅具有静态衡量功能,忽略了动态活动对模型的影响;NPR 模型虽聚焦于客流方面的研究,却未能实现经济与空间价值的有效关联;NPF 模型则缺少对活力“动态性”特征的量化功能。

节点-场所模型及其扩展模型为评估 TOD 绩效提供了框架^[6]。但过往研究中, TOD 评估多聚焦于建成环境等形态因素,缺少对客流和活动等需求因素的研究。事实上,需求因素更能反应站点及其区域发展状态,对城市空间结构具有推动作用。因此,本文为探究站点动态活动,构造了“客流+经济+空间+功能”的四维活力,反映需求特征与发展状态,完善对轨道交通站域“人-地-交通”互动关系的评估。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区域

济南作为山东省省会,近年来轨道交通建设快速推进,但也面临着诸如交通换乘不便、功能布局失衡、区域活力不足等问题,因此亟须对济南轨道交通站域协调性展开深入研究。截至 2024 年 3 月,济南轨道

交通已构建起“一横两纵”骨干线网,开通了 1 号线、2 号线及 3 号线一期,运营里程达 84.1 km,串联 41 座车站,覆盖历下区、槐荫区、天桥区、市中区、历城区及长清组团,总面积 2 162.91 km²(见图 1)。其中,历下、槐荫、天桥、市中及历城(不含南部山区)作为济南市中心城区,是政治、经济、文化与金融核心功能的高度集聚区,也是城市产业转型与交通枢纽建设的关键区域;长清组团作为西部新城的重要增长极,正依托轨道交通实现与中心城区的产业协同与空间融合^[9]。



图 1 研究区域
Figure 1 Study areas

在城市轨道交通站域协调性研究中,综合既有研究成果^[5, 10]及济南轨道交通站点实际特征,将站点服务半径划为 800 m。该范围的确定既考虑步行 10~15 min 的舒适通勤距离,契合多数乘客从站点出入口到周边目的地的实际活动范围,也符合 TOD 理论中“步行友好区”标准^[11]。

1.2 数据来源

研究数据主要来源于济南轨道集团提供的地铁运营数据、济南市自然资源和规划局以及济南市统计局等部门,涵盖土地利用数据、人口分布数据与经济统计数据,以及通过高德地图应用程序接口(application programming interface, API)获取的济南市兴趣点(point of interest, POI)数据和路网分布等地理空间数据(见表 1)。

2 研究方法及数据说明

2.1 模型原理

2.1.1 节点-场所及其扩展模型

节点-场所模型将轨道交通站点抽象为节点与场所的

表 1 指标评价体系
Table 1 Indicator evaluation system

维度	分项指标	基础指标	指标说明	数据来源
节点	承载能力	出入口数量 N_1	车站与外部连接的通道数量/个	济南本地宝
		服务方向数 N_2	线路可到达的不同方向数量/个	
	服务能力	运营时间 N_3	线路每日运营时长/min	济南市地铁运营列车时刻运营表
		发车间隔 N_4	相邻列车到达时间间隔/min	
	网络中心性	与中心距离 N_5	站点到济南主城区直线距离/km	百度地图
		站点间平均距离 N_6	相邻站点间平均距离/km	
	方式接驳	公交线路数 N_7	站点周边可换乘公交线路数量/个	济南本地宝
		换乘线路数 N_8	换乘轨道交通线路数量/个	
		停车场数量 N_9	含机动车和非机动车泊位数量/个	高德地图
		道路密度 N_{10}	站点 800 m 范围内道路长度与面积比/(km/km ²)	开放街道地图(open street map, OSM)
场所	土地利用	用地混合度 P_1	六类用地的混合熵指数	济南市自然资源和规划局
	开发强度	商业服务设施用地占比 P_2	商业用地面积与总用地面积比值	
		居住用地占比 P_3	居住用地面积与总用地面积比值/%	
		交通设施用地占比 P_4	交通用地面积与总用地面积比值/%	
		公园绿地用地占比 P_5	公园绿地用地面积与总用地面积比值/%	
		工作办公用地占比 P_6	工作用地面积与总用地面积比值/%	
		公共服务设施用地占比 P_7	公共服务用地面积与总用地面积比值/%	
	经济价值	人均房价 P_8	站点 800 m 范围内均价/(万元/m ²)	安居客
	人口特征	人口密度 P_9	常住人口数与面积比值(人/km ²)	第七次人口普查数据
活力	客流活力	工作日日均客流量 V_1	工作日均进站量/人次	济南轨道交通集团有限公司
		非工作日日均客流量 V_2	非工作日均进站量/人次	
	空间活力	街道活力指数 V_3	站域内行人热力值与夜间灯光强度的加权平均值	高德地图
	经济活力	GDP 密度 V_4	单位面积产出值(亿元/km ²)	济南市统计局
	功能活力	POI 密度 V_5	POI 数量与区域面积比值(个/km ²)	高德地图

二元统一体^[2]。在模型示意图中(见图 2)，节点价值与场所价值被拆解成用以表征节点和场所性能的指标，并将各类变量进行组合，映射到坐标体系中，通过二维坐标系将站点划分为平衡、不平衡节点、不平衡场所、压力、依赖等不同区域，直观呈现站点交通与城市功能的发展状态及关系。

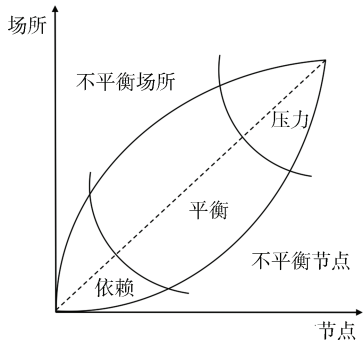


图 2 节点-场所模型
Figure 2 Node-place model

在节点-场所模型的基础上，本文引入活力维度建立三维坐标系，用相应指标反映区域动态活力，如图 3 所示。在该模型中，节点、场所、活力三者相互作用，节点功能吸引人流促进场所与活力发展，场所功能完善提升节点与活力，活力增强又反哺节点和场所，同时不同站点在坐标系中的位置展示其功能发展状态。

2.1.2 K-means 算法原理

由于站点划分的类别以及各类别的具体特征无法在节点-场所-活力模型中被定义，应用聚类方法实现将具有相似性特征的站点聚集在一起，从而揭示站点群潜在的分类模式^[12]。K-means 算法作为无监督学习算法，具有简单高效、聚类结果可解释性强等优点。该算法的核心逻辑是将 n 个数据对象分配至 l 个簇中，通过优化使得同一簇内数据对象的相似度最大化，不同簇之间的数据对象相似度最小化，其聚类过程遵循

最小化误差平方和(sum of squared errors, SSE)原则。

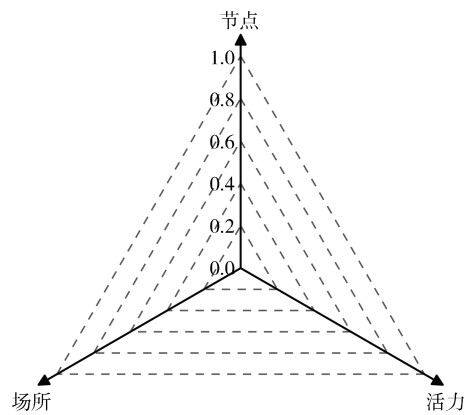


图3 节点-场所-活力模型
Figure 3 Node-place-vitality model

$$SSE = \sum_{m=1}^l \sum_{x \in C_m} \|x - \mu_m\|^2 \tag{1}$$

式中， l 是预设的簇的数量； C_m 表示第 m 个簇， x 是簇 C_m 中的数据点； μ_m 是第 m 个簇的质心； $\|x - \mu_m\|^2$ 表示数据点 x 到质心的欧氏距离的平方，通过不断调整质心位置，使 SSE 达到局部最小值。

2.2 评价指标体系构建

2.2.1 指标选取与计算方法

基于“节点-场所”模型的经典指标，本研究突出活力因素，形成涵盖 12 个类型，共计 24 项指标的指标体系，基础指标描述统计见表 2。

表2 基础指标描述统计
Table 2 Descriptive statistics of basic indicators

基础指标	最小值	最大值	均值	方差膨胀系数
N_1	2	15	3.561	1.825
N_2	2	4	2.098	2.192
N_3	953	1013	979.537	11.672
N_4	5	7	5.537	15.345
N_5	1.700	27.800	11.388	8.085
N_6	0.900	3.750	2.091	3.255
N_7	0	35	7.415	2.394
N_8	1	2	1.049	12.663
N_9	0	119	28.073	8.326
N_{10}	39	1 292	693.171	11.002
P_1	0.535	0.925	0.765	1.472
P_2	0.119	0.379	0.242	4.141
P_3	0.119	0.379	0.242	4.682
P_4	0.029	0.600	0.119	3.610
P_5	0	0.200	0.040	2.159

续表

基础指标	最小值	最大值	均值	方差膨胀系数
P_6	0	0.446	0.176	3.170
P_7	0.032	0.401	0.178	15.094
P_8	0	39633	13 571.439	11.221
P_9	493	6012	2 190.512	3.357
V_1	661.400	16 749.800	5 401.693	4.122
V_2	731.000	19 239.500	6 304.073	4.014
V_3	0.006	0.383	0.139	5.307
V_4	2 925	185 855	53 620.512	3.811
V_5	5.970	3 003.681	729.742	8.195

节点维度包括承载能力、服务能力、网络中心性和方式接驳。出入口数量 N_1 和服务方向数 N_2 衡量车站对客流的承载能力；运营时间 N_3 和发车间隔 N_4 体现轨道交通线路为乘客提供服务的时长和频次，反映车站的服务能力；与中心距离 N_5 和站点间平均距离 N_6 反映站点在空间上的相对位置，体现网络中心性；公交线路数 N_7 、换乘线路数 N_8 、停车场数量 N_9 以及道路密度 N_{10} 反映车站与其他交通方式的衔接能力和周边道路网络情况。

场所维度侧重站点周边区域的城市功能，包括土地利用、开发强度、经济价值、人口特征 4 个方面。用地混合度 P_1 通过混合熵指数来衡量土地利用的多样化程度，反映区域土地利用的合理性和综合性，计算公式见式(2)^[13]；开发强度用不同类型用地在总用地面积中的比例($P_2 \sim P_7$)来体现区域的开发强度和功能布局；人均房价 P_8 反映站点周边区域的经济价值和房地产市场情况；人口密度 P_9 体现站点周边常住人口的分布情况，作为衡量区域人口集聚程度的重要指标。

$$H_i = - \frac{\sum_k (p_{ik} \cdot \ln p_{ik})}{\ln k} \tag{2}$$

式中， H_i 表示站点 i 的土地利用混合熵，取值范围为 $[0, 1]$ ； k 为 POI 类型，包括商业、居住、交通、办公、交通和公园绿地、公共服务 6 类； p_{ik} 为站点 i 的第 k 类 POI 类型与研究区域内 POI 总数的比值。

活力维度通过客流活力、空间活力、经济活力、功能活力 4 个方面来评价站域内的动态活动强度与可持续发展潜力。本文客流数据为 2024 年 3 月 4 日至 3 月 25 日济南轨道交通 3 条运营线路，共计 41 座车站的进出站客流量。统计研究时间范围内的工作日日均客流量 V_1 和非工作日日均客流量 V_2 ，反映站点的乘客流量情况；街道活力指数 V_3 采用站点 800 m 范围内的

10:00—12:00、18:00—20:00 行人热力值与夜间灯光强度的加权平均值,反映站域内实际人员活动强度;GDP 密度 V_4 为研究区域内的经济发展水平和经济活力,将获取的济南市各行政区 GDP 总量为基础数据,将站点 800 m 范围内“各类用地面积占所在行政区总用地面积的比例”为权重计算站域 GDP 初步值,然后进行误差修正,计算公式见式(3);POI 密度 V_5 则通过所占比例来反映区域功能的丰富程度和活力。

$$V_4 = \frac{\text{GDP} \times \text{用地权重} \times \text{POI}_{\text{经济活跃度系数}}}{\text{站域面积}} \quad (3)$$

2.2.2 指标综合评价

1) 指标多重共线性检验。由于 24 项基础指标中可能存在多重共线性问题,本文采用方差膨胀因子(variance inflation factor, VIF)进行检验,通常当指标的 $\text{VIF} > 10$ 时,可判断该变量存在严重多重共线性,检验结果见表 3。通过 VIF 检验可知,删除冗余指标 N_3 、 N_4 、 N_8 、 N_{10} 、 P_7 、 P_8 后的指标集如表 3 所示。

表 3 指标权重汇总

Table 3 Summary of indicator weights

维度	基础指标	组合权重	指标正负向
节点	N_1	0.043	正
	N_2	0.188	正
	N_5	0.034	负
	N_6	0.010	负
	N_7	0.030	正
	N_9	0.030	正
场所	P_1	0.004	正
	P_2	0.013	正
	P_3	0.005	正
	P_4	0.026	正
	P_5	0.005	正
	P_6	0.008	正
活力	V_1	0.013	正
	V_2	0.030	正
	V_3	0.023	正
	V_4	0.005	正
	V_5	0.030	正

2) 指标标准化。为确保模型评价结果的科学性与可靠性,需对指标进行标准化处理。本文根据指标的正负向(见表 4),对其进行 min-max 标准化,将所有指标数值映射到[0, 1]区间,正负向指标公式分别为:

$$X'_{ij\text{正}} = \frac{x_{ij} - \min(x_j)_{1 \leq j \leq n}}{\max(x_j)_{1 \leq j \leq n} - \min(x_j)_{1 \leq j \leq n}} \quad (4)$$

$$X'_{ij\text{负}} = \frac{\frac{1}{x_{ij}} - \min\left(\frac{1}{x_j}\right)_{1 \leq j \leq n}}{\max\left(\frac{1}{x_j}\right)_{1 \leq j \leq n} - \min\left(\frac{1}{x_j}\right)_{1 \leq j \leq n}} \quad (5)$$

式中, X'_{ij} 为标准化后站点 i 的第 j 项指标数值; x_{ij} 为原始状态下站点 i 的第 j 项指标数据; x_j 表示在所在站点中的第 j 项指标的原始数据; n 为各维度指标的数量。

3) 权重确定。本文采用层次分析法(analytic hierarchy process, AHP)与熵权法(entropy weighted model, EWM)相结合的方式计算基础指标权重,既避免主观赋权法导致权重结果偏离实际,又避免仅使用客观赋权法导致缺乏领域内先验知识的支撑,AHP 法计算公式如下:

$$w_h = \sqrt[n]{A_h} / \sum_{j=1}^n \sqrt[n]{A_j} \quad (6)$$

$$A_h = \prod_{j=1}^n a_{hj}, h, j \in [1, n] \quad (7)$$

式中, a_{hj} 表示指标体系中第 h 个指标相较于第 j 个指标的重要程度; w_h 表示 AHP 法赋予各指标的权值。

将 AHP 法确定的主观权重与运用熵权法计算得出的权重作为修正因子进行有机融合,通过特定公式形成组合权重,熵权法计算公式为:

$$W_j = (a_j \times w_j) / \left(\sum_{h=1}^n a_h \times w_h \right) \quad (8)$$

$$a_j = (1 - e_j) / \left(n - \sum_{h=1}^n e_h \right) \quad (9)$$

$$e_j = -(\ln m)^{-1} \sum_{i=1}^m (p_{ij} \ln p_{ij}) \quad (10)$$

$$p_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij}, i \in [1, m]; j \in [1, n] \quad (11)$$

式中, a_j 表示熵权法计算得到的权重; W_j 表示组合权重; e_j 表示 j 项指标的信息熵; p_{ij} 表示 j 项指标在第 i 个站点中出现的概率; x_{ij} 是第 i 个对象对应的第 j 项评价指标的原始数值。基于组合权重值(见表 4),能够对模型内的各类指标进行计算,获取各个站点的综合评价值,计算公式为:

$$N_i = \sum_{j=1}^n N_{ij}, N_{ij} = W_j x_{ij} \quad (12)$$

$$P_i = \sum_{j=1}^n P_{ij}, P_{ij} = W_j x_{ij} \quad (13)$$

$$V_i = \sum_{j=1}^n V_{ij}, V_{ij} = W_j x_{ij} \quad (14)$$

式中, N_i 、 P_i 、 V_i 分别代表第 i 个站点的节点价值、场所价值与活力价值, 取值范围均在 $[0, 1]$; N_{ij} 、 P_{ij} 、 V_{ij} 分别对应第 i 个站点的第 j 项节点指标、场所指标与活力指标。

3 研究结果

3.1 站点分类结果分析

根据式(12)~式(14)得到各站点的价值得分, 利用 ArcGIS 进行相关性分析, 见图 4。分析结果的可视化表明, 节点价值与活力价值呈正相关($R^2=0.59$), 说明节点的交通枢纽功能越强, 周边经济活动和人员流动越活跃(见图 4(a)); 场所价值与节点价值呈正相关($R^2=0.56$), 说明节点价值能促进场所价值提升(见图 4(b)); 活力价值与场所价值呈正相关($R^2=0.54$), 说明场所功能的完善利于提升区域活力(见图 4(c))。

为进一步剖析节点价值、场所价值和活力价值之间的协同效应, 实现对站点的精细化评估, 运用 K-means 聚类算法对 41 个站点进行聚类分析, 依据肘部法则(elbow method), 当聚类数取 5 时曲线呈现拐点特征, 因此确定最佳聚类数 $K=5$, 聚类结果见图 5, 各类型站点的价值得分见图 6。

节点价值体现交通枢纽功能, 场所价值反映土地利用与空间品质, 活力价值代表人口活动及功能激活度, 三者协调是站域空间发展的关键, 可通过图 6 来

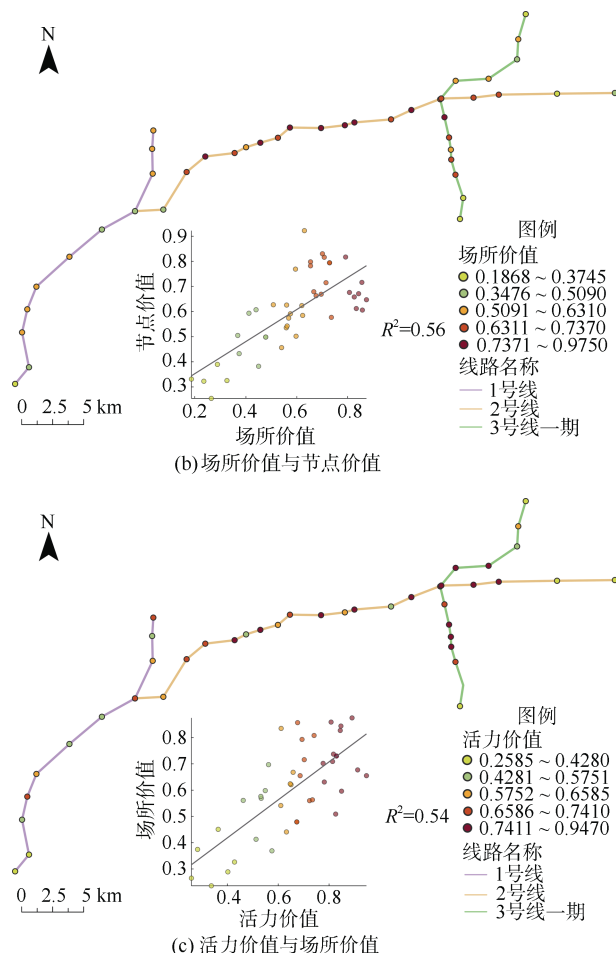


图 4 价值空间分布

Figure 4 Spatial distribution of value

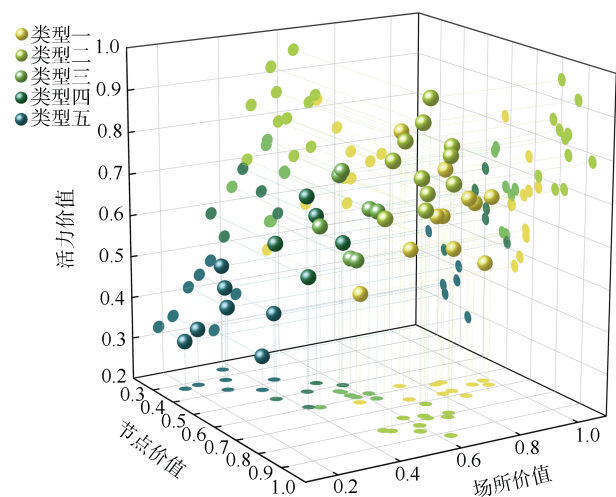
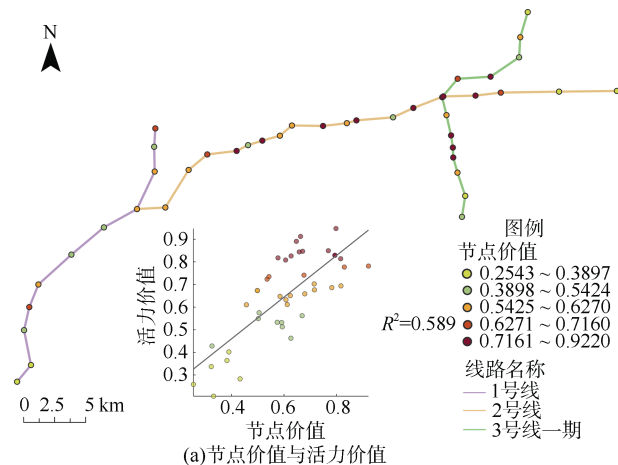


图 5 聚类结果可视化

Figure 5 Visualization of clustering results

判断其协调性。由图 6 可知, 不同类型的站点在节点、场所、活力维度表现各异, 根据每一类站点的价值得分进行汇总, 得到类别特征及评价结果, 如表 4 所示。



(a) 节点价值与活力价值

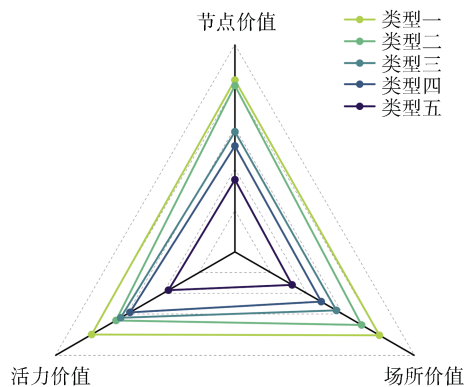


图 6 各类型站点价值
Figure 6 Values of each station type

3.2 站域协调发展状态分析

将得到的站点聚类结果与济南市主城结构规划相

结合来探究济南轨道交通站域协调发展状态，从而明确站点区位与城市结构的关系，如图 7 所示。同时，综合分析济南轨道交通与城市空间的一体化发展关系。

3.2.1 核心区域发展优势与局限并存

在城市主中心及部分次中心区域，如位于城市主中心的泉城广场周边站点多为高活力枢纽站。这些站点凭借优越的地理位置，交通网络密集，与多种交通方式高效衔接，能够快速集散大量人流(高节点价值)。同时，周边商业、办公、文化娱乐等功能高度集聚，土地利用混合度高，充分满足人们多样化的城市生活需求(高场所价值)，而大量的商务活动、消费行为使得区域活力值居高不下(高活力价值)，站域协调性较高。

表 4 车站类型评价结果
Table 4 Evaluation results of station types

分类	名称	车站特征
类型 1	高活力枢纽站点	节点价值、场所价值和活力价值均处于较高水平，交通辐射能力强，是区域交通转换的核心节点；周边商业、办公等活动频繁，经济活力高；土地利用功能综合，能满足多样化的城市功能需求
类型 2	活力提升型站点	节点价值较高，场所价值和活力价值中等，具备一定交通和城市功能基础，但尚未充分发挥潜力，通过合理规划和建设，在客流量、经济活跃度等方面有较大增长空间
类型 3	均衡发展型站点	节点价值、场所价值、活力价值中等，三个维度发展较为均衡，各项指标处于中等水平，整体发展较为平稳
类型 4	节点强化型站点	场所价值和活力价值表现相对一般，而节点价值有一定基础但仍需强化，由于客流量和城市活力的带动作用有限，可通过提升节点交通功能，改善站点及周边的发展状况
类型 5	综合培育型站点	节点价值、场所价值和活力价值处于较低位，交通便利性差，城市功能配套匮乏，区域活力不足，是后续需要重点投入资源进行全方位建设和发展的站点

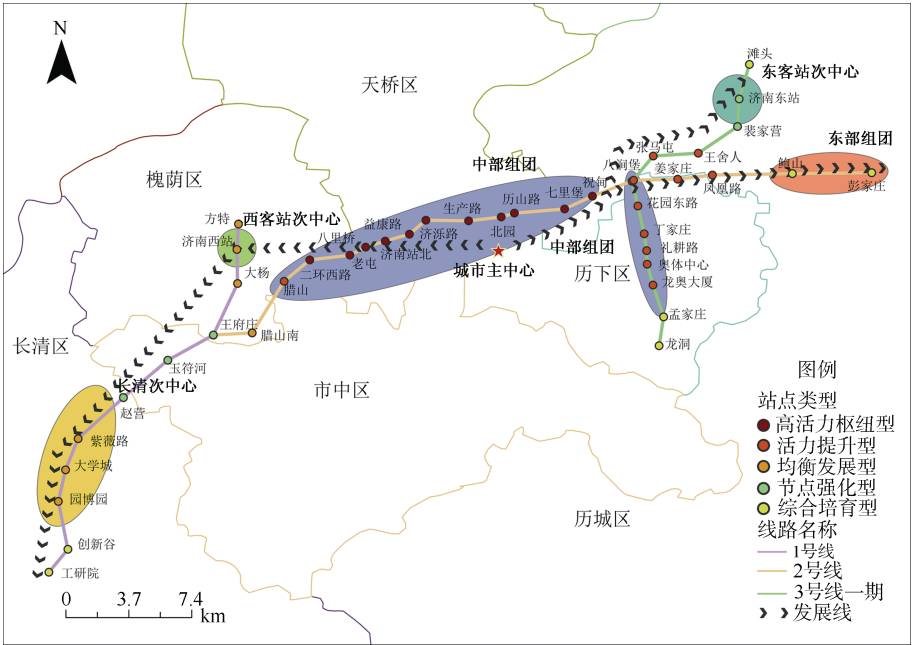


图 7 各类型站点空间分布及沿线发展规划
Figure 7 Spatial distribution of station types and development planning along the lines

3.2.2 新兴区域潜力与挑战共生

在城市新兴发展区域或边缘区域,存在较多活力提升型站点和节点强化型站点。以东部新开发区域为例,部分站点如张马屯站(活力提升型),虽然在节点和场所功能上有一定基础,但与成熟区域相比,交通枢纽功能的完善程度和城市功能的多样性还有待提高。而且节点方面存在轨道交通与周边道路、公交等交通方式衔接不够顺畅的情况,影响乘客的换乘体验和出行效率。场所方面,商业、公共服务设施的规模还有待提升,以满足居民和上班族的日常需求。对于节点强化型站点如赵营站所在区域,由于节点功能的不完善,难以有效带动客流量和城市活力,周边区域发展缓慢。

3.2.3 边缘区域发展任务艰巨

在城市边缘地带,如西部的工研院站等综合培育型站点分布区域,远离城市核心发展区,基础设施建设滞后,交通设施简陋且数量有限,导致站点的节点价值极低,难以吸引大量人流。同时,周边几乎没有成规模的商业、办公、公共服务等设施,土地利用单一,场所价值几乎无从谈起,区域经济活动稀疏,活力价值也处于极低水平。实现这些区域的站域协调发展,需要政府和相关部门制定长期且系统的发展规划,逐步完善交通、城市功能等基础设施,培育区域活力。

3.2.4 线路沿线发展差异显著

从各线路来看,不同线路上站点类型差异明显,导致沿线站域协调发展程度不均衡。例如,1号线部分路段串联了较多高活力枢纽站,沿线区域凭借站点的高节点价值,实现了高效的交通可达性,吸引了大量商业、产业资源集聚,场所价值和活力价值也随之提升,沿线发展态势良好。其他线路存在较多活力提升型、节点强化型甚至综合培育型站点,站点的节点功能不完善,无法有效带动客流,场所功能单一,难以激发区域活力,沿线区域发展相对滞后。

4 结论

本研究构建的“节点-场所-活力”三维模型能够有效揭示济南轨道交通站域内交通功能(节点)、城市空间(场所)与动态活力(活力)的协同关系,为轨道交通站域优化提供了决策依据,对于挖掘站域发展潜力,实现站域协调发展具有重要意义。同时,基于此模型对济南轨道交通站点进行的实证分析,主要得出以下

结论。

1) 多数站域处于中高水平状态,反映核心区域整体活力较好,但仍有部分站域存在“节点-场所-活力”失衡问题,集中于城市边缘及新兴发展区域,需针对性优化功能协同性。

2) 通过 K-means 聚类分析,将 41 座车站划分为高活力枢纽站、活力提升型、均衡发展型、节点强化型、综合培育型 5 类。其中,高活力枢纽站三维度价值均较高,而综合培育型站点在交通便利性、城市功能配套和区域活力方面均显著不足,需重点投入资源开发。

参考文献

- [1] 杨仙,于洋,周睿.国外节点—场所模型的研究和应用进展及启示[J].国际城市规划,2024,39(4):76-85.
Yang Xian, Yu Yang, Zhou Rui. Research and application progress of the node-place model abroad and its enlightenment[J]. Urban planning international, 2024, 39(4): 76-85.
- [2] 王雯.西安轨道交通站点 TOD 效果评估与提升策略[J].都市快轨交通,2024,37(6):8-16.
Wang Wen. Evaluating and enhancing transit-oriented development at Xi'an rail transit station[J]. Urban rapid rail transit, 2024, 37(6): 8-16.
- [3] 郭源园,郭淳锐,王贞欢,等.天津市存量地区轨道交通站域更新潜力研究:“节点-场所-品质”三维魔方状态模型分析[J].都市快轨交通,2025,38(1):37-43.
Guo Yuanyuan, Guo Chunrui, Wang Zhenhuan, et al. Renewal potentials of rail transit station area Tianjin's inventory areas: an analysis using the node-place-quality rubik's cube state model[J]. Urban rapid rail transit, 2025, 38(1): 37-43.
- [4] Yang Yongxin, Zhong Chen, Gao Qili. An extended node-place model for comparative studies of transit-oriented development[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2022, 113: 103514.
- [5] 周爱娇,杨静,周浪雅,等.城市轨道交通站点与建成环境协调性评估及针对性发展策略研究[J].铁道运输与经济,2025,47(3):161-170.
Zhou Aijiao, Yang Jing, Zhou Langya, et al. Assessment of coordination between urban rail transit stations and built environment and development strategies[J]. Railway transport and economy, 2025, 47(3): 161-170.

(下转第 56 页)

- 35(5): 76-83.
- Shuai Chunyan, Xie Yawei, Shan Jun, et al. Prediction of short-term inbound passenger flow of urban rail transit based on the singular spectrum analysis and support vector regression model[J]. Urban rapid rail transit, 2022, 35(5): 76-83.
- [17] Zhai S, Talbott W, Srivastava N, et al. An attention free transformer[J]. arXiv preprint arXiv: 2105.14103, 2021.
- [18] Cho K, Van Merriënboer B, Gulcehre C, et al. Learning phrase representations using RNN encoder-decoder for statistical machine translation[J]. arXiv preprint arXiv: 1406.1078, 2014.
- [19] Liu Z, Wang Y, Vaidya S, et al. Kan: Kolmogorov-arnold networks[J]. arXiv preprint arXiv: 2404.19756, 2024.
- [20] Kolmogorov A N. On the representation of continuous functions of several variables by superpositions of continuous functions of a smaller number of variables[M]. American Mathematical Society, 1961.
- [21] Sakoe H, Chiba S. Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition[J]. IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2003, 26(1): 43-49.
- [22] Rumelhart D E, Hinton G E, Williams R J. Learning representations by back-propagating errors[J]. Nature, 1986, 323(6088): 533-536.
- [23] 赵新辉, 刘斌, 田志强, 等. 基于 CNN-Bi-LSTM 网络的城轨短时客流预测[J]. 兰州交通大学学报, 2024, 43(6): 130-137.
- Zhao Jinhui, Liu Bin, Tian Zhiqiang, et al. Short-term passenger flow prediction for urban railway based on CNN-Bi-LSTM network[J]. Journal of Lanzhou Jiaotong University, 2024, 43(6): 130-137.

(编辑: 傅依萱)

(上接第45页)

- [6] 安睿, 仝照民, 王梓蒙, 等. 武汉市轨道交通 TOD 绩效评估与类型划分: “节点-场所-功能”模型的实证应用[J]. 地理研究, 2024, 43(10): 2684-2701.
- An Rui, Tong Zhaomin, Wang Zimeng, et al. Evaluation and classification of TOD performance for Wuhan railtransit: Empirical application of the “Node-Place-Function” model[J]. Geographical research, 2024, 43(10): 2684-2701.
- [7] Su Shiliang, Zhang Hui, Wang Miao, et al. Transit-oriented development (TOD) typologies around metro station areas in urban China: a comparative analysis of five typical megacities for planning implications[J]. Journal of transport geography, 2021, 90: 102939.
- [8] Liao Cong, Scheuer B. Evaluating the performance of transit-oriented development in Beijing metro station areas: Integrating morphology and demand into the node-place model[J]. Journal of transport geography, 2022, 100: 103333.
- [9] 国务院关于《济南市国土空间总体规划(2021—2035年)》的批复[J]. 中华人民共和国国务院公报, 2024(33): 16-17.
- The reply of the state council on the overall planning of Jinan land space (2021—2035)[J]. Bulletin of the state council of the people's republic of China, 2024(33): 16-17.
- [10] 刘军, 孔令栋. 济南城市轨道交通发展现状研究[J]. 山东交通科技, 2024(5): 153-155.
- Liu Jun, Kong Lingdong. Research on the development status of Jinan urban rail transit[J]. Shandong jiaotong keji, 2024(5): 153-155.
- [11] Ma Jiexi, Shen Zhongwei, Xie Yi, et al. Node-place model extended by system support: Evaluation and classification of metro station areas in Tianfu new area of Chengdu[J]. Frontiers in environmental science, 2022, 10: 990416.
- [12] 夏雪, 盖靖元. 基于 K-Means 聚类算法的城市轨道交通站点分类及客流特征分析[J]. 现代城市轨道交通, 2021(4): 112-118.
- Xia Xue, Gai Jingyuan. Classification of urban rail transit stations and points and analysis of passenger flow characteristics based on K-Means clustering algorithm[J]. Modern urban transit, 2021(4): 112-118.
- [13] 李明星, 赵金宝, 刘文静, 等. 城市轨道交通站点地区土地利用与交通协同性评价[J]. 铁道运输与经济, 2024, 46(8): 222-231.
- Li Mingxing, Zhao Jinbao, Liu Wenjing, et al. Synergy evaluation of land utilization and traffic in urban rail transit station areas[J]. Railway transport and economy, 2024, 46(8): 222-231.

(编辑: 傅依萱)