

# 城市轨道交通与站域建成环境协同发展评价 ——以昆明地铁3号线为例

胡博文<sup>1,2</sup>, 唐翀<sup>2,3</sup>, 孙俊<sup>1</sup>, 郜俊成<sup>1</sup>

(1. 南京市城市与交通规划设计研究院股份有限公司, 江苏 南京 210008; 2. 昆明理工大学建筑与城市规划学院, 云南 昆明 650500; 3. 深圳市城市交通规划设计研究中心股份有限公司, 广东 深圳 518057)

**摘要:** 在存量更新的大背景下, 促进城市轨道交通与站域建成环境协同发展对加快城市转型发展和结构优化具有重要的现实意义和研究价值。以昆明地铁3号线为例, 基于客流视角并考虑站域更新潜力对城市轨道交通与站域建成环境协同发展评价模型及评价指标体系进行拓展和改进。分析结果显示: 地铁3号线站域建成环境与城市轨道交通协同发展状态总体较差; 按照模型评价结果可将全线20个车站划分为6类; 车站节点价值、场所价值和客流价值的空间分布存在一定规律。与传统节点-场所(N-P)模型相比, 改进后的节点-场所-客流(N-P-R)模型及其全技术流程可从客流视角更加精细地识别城市轨道交通车站与站域建成环境的协同发展状态, 对于面向城市轨道交通引导下的空间更新发展具有更好的适用性。

**关键词:** 城市轨道交通; 站域建成环境; N-P-R模型; 节点价值; 场所价值; 客流价值; 更新潜力; 昆明市

Evaluation of the Coordinated Development Between Urban Rail Transit and the Built Environment of Station Areas: Taking Kunming Subway Line 3 as an Example

HU Bowen<sup>1,2</sup>, TANG Chong<sup>2,3</sup>, SUN Jun<sup>1</sup>, GAO Juncheng<sup>1</sup>

(1. Nanjing Institute of City & Transport Planning Co., Ltd., Nanjing Jiangsu 210008, China; 2. School of Architecture and Urban Planning, Kunming University of Science and Technology, Kunming Yunan 650500, China; 3. Shenzhen Urban Transport Planning Center Co., Ltd., Shenzhen Guangdong 518057, China)

**Abstract:** In the context of stock renewal, promoting the coordinated development of rail transit and the built environment of station areas has important practical significance and research value for accelerating urban transformation and structural optimization. Taking Kunming Subway Line 3 as an example, this paper attempts to expand and improve the evaluation model and indicators system for the coordinated development of rail transit and the built environment of station areas based on the perspectives of passenger flow and considering the potential for station renewal. The analysis results show that the overall status of coordination development of the built environment and rail transit is poor in the station area of Subway Line 3. According to the model evaluation results, 20 stations along the subway line can be divided into 6 categories. At the same time, there is a certain pattern in the spatial distribution of value of node, value of place, and passenger flow value. Compared with the traditional Node-Place (N-P) model, the improved Node-Place-Passenger flow (N-P-R) model and its entire technical process can be more efficient in identifying the coordinated development status between rail stations and the built environment of station areas from the perspective of passenger flow. It has better applicability for Transit-Oriented Renewal.

**Keywords:** urban rail transit; built environment of station areas; N-P-R model; value of node; passenger flow value; renewal potential; Kunming

收稿日期: 2024-05-28

作者简介: 胡博文(1999—), 男, 江苏淮安人, 硕士, 助理工程师, 研究方向为城市轨道交通规划及TOD, 电子邮箱2538485156@qq.com。

通信作者: 唐翀(1972—), 男, 云南昆明人, 教授级高级工程师, 深圳市城市交通规划设计研究中心股份有限公司专业总工程师, 昆明理工大学建筑与城市规划学院硕士生导师, 研究方向为城市规划, 电子邮箱1297503239@qq.com。

## 0 引言

随着中国城市发展由增量向存量转变,增进空间要素间协同配合和一体化水平已成为城市高质量发展的必然要求。城市轨道交通作为城市交通体系中的主动脉,有着强大的空间联系和活力集聚效应。而随着城市轨道交通的快速建设,大量的城市轨道交通车站以植入的方式存在于城市已建成空间中,与城市功能的融合性不够。未来应进一步发挥城市轨道交通车站引导空间更新发展的重要作用。

城市轨道交通与城市用地开发等建成环境要素的理想互动状态应是协调发展、良性互馈,并共同唤起人群活力的回归和物质性要素的动态更新<sup>[1]</sup>。由于现实中城市轨道交通与城市建成环境要素在建设时序上往往存在错位,二者常会出现发展价值上的不协同,造成对空间和交通资源的浪费和发展潜力的抑制。因此,应对城市轨道交通与城市建成环境的发展关系进行识别,并利用更新机遇对不协同关系进行纠正。

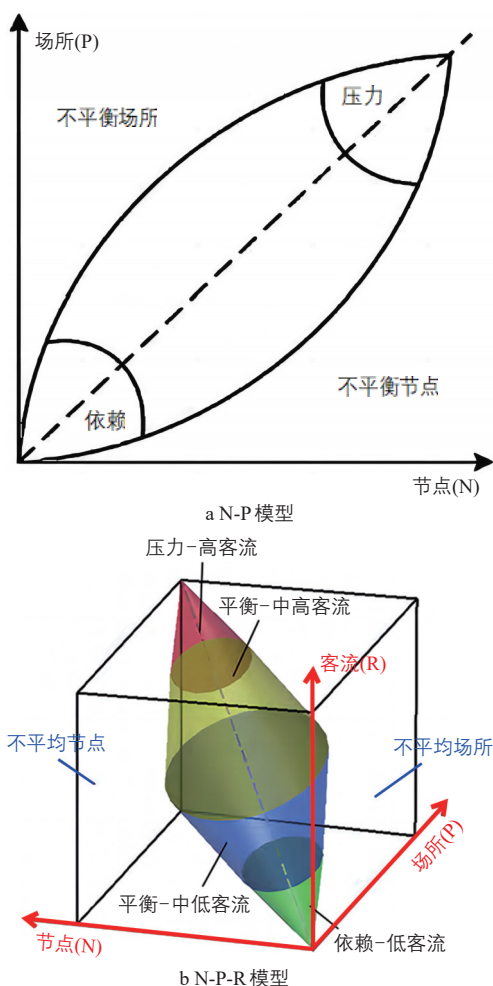


图1 N-P模型与N-P-R模型对比

Fig.1 Comparison between N-P model and N-P-R model  
资料来源:根据文献[4]改绘。

本文以昆明地铁3号线为例,从客流视角对城市轨道交通与站域建成环境协同发展评价模型进行拓展和改进,考虑城市轨道交通车站及站域的更新潜力对模型评价指标体系进行补充完善,以期更加精细地识别和刻画城市轨道交通与站域建成环境协同发展状态,并为以城市轨道交通为导向的空间更新发展(Transit-Oriented Renewal, TOR)提供量化依据。

## 1 N-P-R模型构建

“节点-场所”(Node-Place, N-P)模型已成为从中微观层面探讨城市轨道交通与站域建成环境协同发展及互动关系的主流研究方法和理论。传统N-P模型如图1a所示,以城市轨道交通车站的节点价值为横坐标、站域的场所价值为纵坐标,建立二维坐标系来观察两个维度价值间的互馈关系<sup>[2]</sup>。

在使用N-P模型的同时,广大学者也从价值维度、评价指标等角度对其进行不断地优化。在以往的研究中,常常将城市轨道交通客流作为场所或节点价值体系中的指标之一进行计算和分析,而实际上客流的大小应是场所和节点共同作用的结果且对评价城市活力和发展潜力有着独特价值<sup>[3]</sup>。因此本文尝试对传统N-P模型进行扩展,将客流(Ridership, R)价值维度加入其中,从而联合形成N-P-R模型,以期更加细致深入地对城市轨道交通与站域建成环境协同发展状态进行研究<sup>[4]</sup>。

如图1b所示,扩展改进后的N-P-R模型可从客流视角对车站进行更为细致的刻画和界定。例如对于“平衡型”车站可按客流大小细分为“平衡-中高客流”和“平衡-中低客流”类型,这有助于更好地分析车站的发展现状及未来发展路径,同时也可更深入地分析建成环境对城市轨道交通客流的影响。

## 2 研究样本与研究范围

### 2.1 昆明地铁3号线简况

昆明地铁3号线是昆明市第4条开通运营的地铁线路,于2017年8月29日开通试运营。3号线起始于西山公园站,终止于东部汽车站,全长23.35 km,由西向东穿越昆明主城,全线共设20个车站。2022年全线日均客运量达10.98万人次·d<sup>[-1]</sup><sup>[5]</sup>,客运量及客运强度居全市各条地铁线路的前列。

作为骨干城市轨道交通线路，3号线具备较好的典型性。一方面，车站类型、站域建成环境、区位条件等要素种类较为丰富，为研究提供了多个样本类型；另一方面，该线路客流水平相对较高且稳定，提供了较好的客流观测基础。

2.2 站域范围划定

站域指能直接受到城市轨道交通车站影响的空间范围，是分析城市轨道交通与建成环境协同互动关系的基础条件和重要前提。为降低传统划定方式产生的误差，基于以公共交通为导向的开发(Transit-Oriented Development, TOD)模式及“15分钟生活圈”内涵并考虑研究内容主题，将站域界定为人从车站中心出发步行15 min所能实际到达的等时圈，并采用高德地图开放平台路径规划应用程序接口(Application Program Interface, API)实现站域范围划定。同时，借助该平台在用户规模、高精地图、路况分析等大数据方面的优势，可客观精确地模拟和还原实际步行可达范围，进而体现各车站步行可达性的差异。

站域范围划定的具体处理流程如图2所示。首先以车站为中心建立半径1 500 m的缓冲区作为初始筛选范围；借助GIS渔网工具将缓冲区划分为50m×50 m的方格网；获取各方格网中心(作为终点)及车站坐标(作为起点)，从而构建步行路径规划OD坐标搜索集；再利用Python程序接入高德地图路径规划API，获得各OD对之间的实时步行时间成本数据(采集时间为2022年7月)；以15 min为阈值对API返回的时间成本进行筛选，继而得到车站的步行等时圈；由于部分车站15 min步行等时圈存在相互重合的情况，为了后续分析便利，使用泰森多边形工具按照最近距离将重合部分进行分割，最终得到各车站实际站域范围。

站域范围的形状大小与路网可达性、地块情况等有着密切的联系，因此站域面积也可反映车站周边道路建设和可达性水平。统计经泰森多边形分割后的实际站域面积(见表1)，可看出西部汽车站、东风广场等车站领先于其他车站，虹桥站站域面积最小。后续分析中均以该范围为研究范围。

3 数据获取及处理

为支撑后续中微观尺度的量化分析，本

文采用的数据种类较多、来源广泛，可按数据用途分为建筑土地、人口活力和交通相关三种类型，将主要数据梳理成表2。

使用 Panorama 360 & Virtual Tours App 对昆明地铁3号线20个车站共60个出入口街景影像进行人工采集。街景影像采集点位分别位于地铁车站出入口正前方、左侧、右侧，并处于出入口5 m范围内(见图3)。采集时人手持手机转动180°，在每个出入口获得3张街景影像。较之从网络获取的街景数据，自采集街景影像时效性更强、拍摄视角更贴近人的实际感观，为后续站域空间品质分析奠定良好基础。

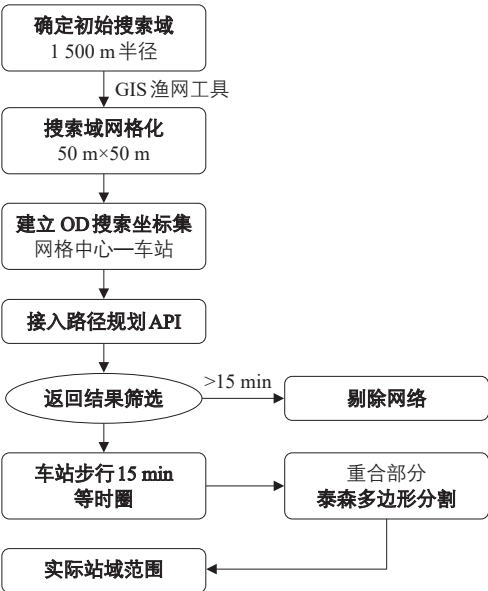


图2 城市轨道交通车站站域范围划定技术路线  
Fig.2 Technical routes for delineating the station area of urban transit

表1 城市轨道交通车站步行15 min等时圈及实际站域面积  
Tab.1 15-minute walking time circles and actual station area of urban rail stations

车站	等时圈面积	实际站域面积	车站	等时圈面积	实际站域面积
东风广场	2.53	1.96	昌源中路	2.03	1.22
西部汽车站	2.46	1.99	金马寺	1.78	1.36
大渔路	2.44	1.75	普坪村	1.75	1.58
潘家湾	2.42	1.62	眠山	1.64	1.30
梁家河	2.34	1.63	西山公园	1.62	1.49
五一路	2.27	1.82	车家壁	1.53	1.26
拓东体育馆	2.21	1.59	太平村	1.42	1.11
西苑	2.10	1.52	石咀	1.35	1.00
大树营	2.09	1.51	东部汽车站	1.12	1.15
市体育馆	2.09	1.31	虹桥	0.69	0.54

## 4 指标体系构建

### 4.1 节点价值维度

节点价值维度主要反映城市轨道交通车站的交通联系功能和未来的发展潜力，所以应从现状和规划两个视角进行分析。首先是车站本身的交通服务功能(即汇集和疏散能力)；其次是车站城市轨道交通线网中的地位和作用(即中转和通过能力)。选取中心性、连接度、接驳便利度、发展潜力4个模块共9项指标作为节点价值维度的评价指标(见表3)<sup>[6-8]</sup>。其中需要特别解释说明的指标有：

1) N11 中心距离：指车站到城市中心的直线距离，用于评价车站在地理位置上的

中心程度，为负向指标，值越大说明距城市中心越远。本文将东风广场确定为城市中心，利用高德地图测距工具量取各站距东风广场的直线距离即为中心距离值。

2) N21 城市轨道交通连接度：指从某城市轨道交通车站出发30 min内实际到达的车站数，从实体行程视角对车站在线网中的连接能力进行评价。使用高德地图开放平台数据，考虑了换乘、候车等造成的时耗因素。

3) N22 城市功能连接度：用于衡量从各城市轨道交通车站到达城市中心所需的行程时间，其值越小说明车站与城市中心的连接越便捷。使用高德地图开放平台路径规划API获取相应数据。

表2 研究数据一览

Tab.2 Summary of research data

数据类型	数据内容	采集时间	来源
建筑 土地	兴趣点(Point of Interest, POI)数据	2023年12月	高德地图开放平台
	兴趣面(Area of Interest, AOI)数据	2023年12月	高德地图开放平台
	昆明市建筑物矢量数据	2017年、2023年	高德地图开放平台、昆明市自然资源和规划局
	中国10米地物分类数据集(AIEC)	2022年	AI Earth地球科学云平台
	高分卫星影像	2023年	谷歌地图
	地铁车站出入口街景影像	2023年5月	自采集
人口 活力	昆明市城市轨道交通刷卡数据	2022年7月	昆明轨道交通集团有限公司
	人口活动热力	2023年12月	百度地图
	昆明市房价数据	2023年11月	安居客
交通 相关	昆明市道路数据集	2023年9月	开放街道地图(Open Street Map, OSM)平台
	昆明市公共交通数据集(含城市轨道交通)	2023年9月	OSM平台、高德地图开放平台
	步行及城市轨道交通可达性数据	2023年	高德地图开放平台

### 4.2 场所价值维度

场所价值维度主要评价站域建成环境要素的发展水平和更新潜力，包括6个模块共21项指标(见表3)。指标的主要筛选原则包括：

1) 基于5D原则的指标选择。5D原则即密度(Density)、设计(Design)、多样性(Diversity)、距离(Distance)和目的地(Destination)，其中密度更加强调站域人群活力和土地开发强度，设计注重站域空间景观质量和宜人程度，多样性重视土地利用的混合度，距离和目的地更强调车站与站域内部交通(特别是非机动车和公共交通)的可达性<sup>[9-10]</sup>。基于对5D原则的理解并结合数据获取情况和技术实现可行性，构建了场所价值评价指标体系中的5个模块：活力聚集(对应密度原则)、开发集约(对应密度原则)、空间宜人(对应设计原则)、功能混合(对应多样性原则)和交通便捷(对应距离和目的地原则)，共19项指标。

2) 基于更新潜力评价的指标扩充。由于城市轨道交通与土地开发建设在发展时序上的错位，当前大量的地铁车站是以植入的方式存在于城市成熟建成区，因此城市更新将成为城市轨道交通带动站域发展的重要实现途径之一。昆明地铁3号线作为一条东西向横贯主城区的线路，其大多数车站站域范围内均为成熟建成区，因此有必要将更新潜力作为站域建成环境的要素之一。受制于数据获取，本文在更新潜力维度主要评价站域的空间潜力，共选取了2个指标。

场所价值维度需要特别解释说明的指标有：

1) P22 开发紧凑度。使用经筛选和重分类后的POI数据，以车站为中心建立400 m

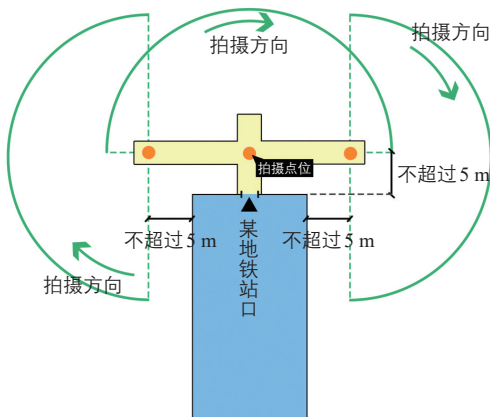


图3 地铁车站出入口街景影像数据采集方法

Fig.3 Method for collecting streetscape data of rail station entrances and exits

半径缓冲区。站域*i*的开发紧凑度

$$Dco_i = \frac{\sum POI_{400}/A_{400}}{\sum POI_{400 \rightarrow b}/A_{400 \rightarrow b}},$$

式中： $POI_{400}$  为 400 m 半径缓冲区内的 POI 数量/个； $A_{400}$  为 400 m 半径缓冲区面积/km<sup>2</sup>； $POI_{400 \rightarrow b}$  为站域范围内缓冲区外的 POI 数量/个； $A_{400 \rightarrow b}$  为除缓冲区以外的站域面积/km<sup>2</sup>。

2) P31 城市氛围。作为人们进入站域的第一展示面，地铁车站出入口周边的景观感受和 design 质量至关重要。本文将这种人本视角下的城市特色和城市景观设计感知概括为城市氛围，并使用自采集街景影像尝试量化评价地铁车站周边的城市氛围。主要计算流程如下：①邀请 5 位本地规划专家制定能体现昆明城市氛围的要素提示词和打分细则；②征集 10 名有专业基础的学生和本地居民作为志愿者，分别依照提示词和打分标准依次对街景图片进行评分(0 分最差，4 分最好)；③去除各图片打分中出现的极高和极低值后求平均，得到每张街景影像的最终评分，按正面 50%、左右侧各 25%的权重加和得到各地铁车站出入口的城市氛围评分，之后按车站进行汇总平均从而得到各车站的评分。

3) P32 生活性道路密度。站域范围内的出行大多出于购物、休闲等生活性目的且以步行、自行车等方式完成，因此非机动车可达性是站域空间环境设计的重要评价内容。基于数据获取情况、简化计算以及增强不同车站间可比性的考虑，采用生活性道路密度这一指标评价站域空间非机动车可达性，生活性道路是指以承接生活性交通为主要功能且能满足步行、自行车等出行需求的道路。使用筛选类型后的 OSM 路网数据集，分站域加和统计单线化处理后的生活性道路长度，将其与站域面积相比即可得到生活性道路密度。

4) P55 15 min 步行可达性。计算方法为车站 15 min 步行实际可达范围面积与理论可达圈面积(本文设定半径为 800 m，面积为 2.01 km<sup>2</sup>)之比，其值越大说明车站 15 min 步行可达性越好。

5) P62 潜力用地占比。将未被开发利用的闲置用地和适宜通过更新被使用的存量用地定义为潜力用地。基于正、逆向结合的思路对站域潜力用地进行识别，具体技术路线如图 4 所示。分站域汇总潜力用地面积，其与站域面积之比即为该站域的潜力用地占比。

4.3 客流价值维度

客流价值维度主要反映车站和站域共同作用下的客流规模和聚集情况。由于城市轨道交通客流在不同时间、不同方向均会受到不同因素的影响从而产生不同变化，因此从全天客流、时间分布、进出站客流 3 方面选取 6 项指标作为客流价值维度的评价指标(见表 3)。

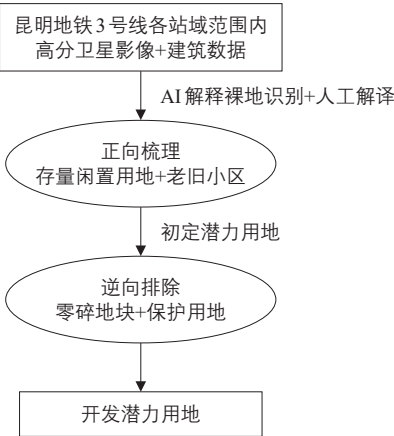


图4 潜力用地识别流程  
Fig.4 Process of potential land identification

表3 N-P-R模型评价指标  
Tab.3 Evaluation indicators for N-P-R model

价值类型	模块	指标	价值类型	模块	指标
节点价值	中心性	N11 中心距离	场所价值	P31 城市氛围	
		N12 介数中心性		空间宜人	P32 生活性道路密度
	连接度	N21 城市轨道交通连接度			P33 绿地率
		N22 城市功能连接度		功能混合	P41 用地功能混合度
	接驳便利度	N31 车站出入口数		交通便捷	P51 公共汽车站密度
		N32 城市轨道交通换乘系数			P52 公共汽车线路密度
		N33 公共汽车接驳线路数			P53 公共汽车服务覆盖率
		N34 公共建筑直连率			P54 路网密度
	发展潜力	N41 发展潜力			P55 15 min 步行可达性
					P56 停车场密度
场所价值	活力聚集	P11 居住人口密度	更新潜力		P61 建筑平均年份
		P12 工作人口密度			P62 潜力用地占比
		P13 职住平衡度	客流价值	全天客流	R11 工作日客流
		P14 住宅均价			R12 休息日客流
	开发集约	P21 平均容积率		时间分布	R21 早高峰系数
		P22 开发紧凑度			R22 晚高峰系数
		P23 建筑密度	进出站客流		R31 工作日平衡系数
		P24 商业服务设施密度			R32 休息日平衡系数
		P25 公共服务设施密度			

5 指标处理与权重计算

5.1 指标正向化与标准化处理

各指标间存在量纲和数量级差异，同时部分指标为负向或无指向性指标，如果直接带入后续计算会产生较大的不必要误差。因此，需先对指标数据进行正向化和标准化处理。

1) 正向化。N11 中心距离及 N22 城市功能连接度指标为负向指标，对其进行正向化的方法为用最大值减去原值；P13 职住平衡度、R21/22 早/晚高峰系数、R31/32 工作日/休息日平衡系数为无指向性指标，理想状态下应使其值趋近于 1，因此进行如下处理： $X_{正} = 1 - |X_{原} - 1|$ ， $X_{正}$  为正向化值， $X_{原}$  为原值。

2) 标准化。使用 Min-Max 标准化方法将各指标处理成取值范围为 0~1 的无量纲标准数据。

5.2 基于空间莫兰指数的权重计算

N-P 模型指标权重计算常运用熵权法、

层次分析法、德尔菲法、专家打分法等传统方法<sup>[6]</sup>。对于城市轨道交通而言，各车站的地理空间位置均不同，但彼此之间又有线网进行联系，因此其指标特性既存在空间异质性又存在关联性。前述几种权重计算方法无法反映城市轨道交通车站的这种特点且存在主观性。而空间莫兰指数(Moran's I)是地理空间分析中常用的空间自相关性分析方法，能充分反映分析对象在空间中的聚集和分布情况(越聚集说明指标越重要，所占权重也越大)，且计算结果更为客观。因此本文引入全局莫兰指数计算模型各指标权重，计算方法为

$$GMoran's I_b = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \times \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} z_i^b z_j^b}{\sum_{i=1}^n z_i^{b^2}},$$

式中： $GMoran's I_b$  为指标  $b$  的全局莫兰指数(取值范围为 -1~1，若大于 0 表示数据呈空间正相关关系，值越大则空间差异性越大；若小于 0 表示数据呈空间负相关关系，值越小则空间差异性越大；若等于 0 则空间呈随机性)； $n$  为车站总数/个，取值为 20； $w_{ij}$  为车站  $i$  与  $j$  间的空间权重值； $z_i^b$  和  $z_j^b$  为车站  $i$  和  $j$  的  $b$  指标与其平均值的偏差。

全局莫兰指数即为各指标原始权重。由于本文认为 N-P-R 3 个维度在空间发展上具有同等的重要性，同时为便于后续计算分析，对各指标的原始权重进行标准化处理，使各维度指标的全局莫兰指数加和均等于 1，从而得到各指标的实际权重(见表 4)。

6 模型求解及车站分类

6.1 N-P-R 模型求解

对各指标进行加权计算可得到各维度价值得分，计算公式为

$$N_i = \sum_{a=1}^n X_a w_a, \\ P_i = \sum_{b=1}^n Y_b w_b, \\ R_i = \sum_{c=1}^n Z_c w_c,$$

式中： $N_i$ ， $P_i$ ， $R_i$  分别为车站  $i$  的节点、场所、客流价值得分； $X_a$ ， $Y_b$ ， $Z_c$  分别为车站  $i$  3 个维度对应的指标值； $w_a$ ， $w_b$ ， $w_c$  分别为各指标对应的权重。

根据计算结果可知，昆明地铁 3 号线 20 个车站的得分沿线路呈正态分布：即线路中段的东风广场、五一路等车站各维度价值得

表 4 N-P-R 模型评价指标的全局莫兰指数及权重值  
Tab.4 Global Moran's index and weighting values of evaluation indicators for N-P-R model

价值类型	指标	全局莫兰指数	权重	价值类型	指标	全局莫兰指数	权重
节点价值	N11	0.935 0	0.190 3	场所价值	P31	0.707 8	0.059 2
	N12	0.548 3	0.111 6		P32	0.307 4	0.025 6
	N21	0.941 0	0.191 6		P33	0.202 2	0.016 9
	N22	0.922 1	0.187 7		P41	0.149 0	0.012 5
	N31	0.348 4	0.070 9		P51	0.648 6	0.054 3
	N32	0.097 6	0.019 9		P52	0.747 8	0.062 5
	N33	0.562 4	0.114 5		P53	0.510 9	0.042 8
	N34	0.304 3	0.062 0		P54	0.484 6	0.040 6
场所价值	N41	0.253 0	0.051 5	客流价值	P55	0.646 8	0.054 1
	P11	0.650 4	0.054 4		P56	0.863 8	0.072 3
	P12	0.809 6	0.067 8		P61	0.553 5	0.046 3
	P13	0.138 2	0.011 6		P62	0.410 8	0.034 4
	P14	0.775 0	0.064 9		R11	0.674 4	0.314 5
	P21	0.839 8	0.070 3		R12	0.547 8	0.255 4
	P22	0.490 8	0.041 1		R21	0.156 7	0.073 1
	P23	0.464 8	0.038 9		R22	0.218 7	0.102 0
	P24	0.700 8	0.058 7		R31	0.240 9	0.112 4
	P25	0.845 8	0.070 8		R32	0.305 7	0.142 6

分最高，线路东西两端车站得分逐渐降低(见图5)。后文将基于聚类分析对N-P-R模型结果进行深入探讨。

6.2 基于K-means聚类的车站分类

前述N-P-R模型的求解结果虽客观展示了各车站不同价值维度及总体的得分情况，但是由于缺乏判断标准无法按照模型理论构想的分区对车站进行分类。为更精细地解读模型结果、深入探讨车站发展价值水平，本文尝试引入K-means聚类算法，基于维度价值差异对地铁3号线车站进行分类，这也是城市轨道交通与站域协同发展评价的主要结论。

K-means是一种基于距离的聚类算法，其核心原理是将数据集分为K个簇，使得每个点到所属簇的质心距离最小，这就在最大程度上保证了同簇聚类内部数据特征的一致性，因此可精确识别不同的车站类型<sup>[8]</sup>。对车站进行K-means聚类分析，通过8次迭代后收敛，将地铁3号线20个车站分为6个聚类(见图6)。首先，基于各车站节点、场所两个维度价值水平的相对高低划分得到初始聚类；再引入客流维度对初始聚类进行补充界定，客流水平的高低按车站聚类客流价值水平的均值划定(满分为1，设定>0.8为高水平，>0.5~0.8为中高水平，>0.3~0.5为中低水平，≤0.3为低水平)；最后，根据各类型车站在3个维度上的价值表现，定义城市轨道交通车站分类(见表5)。昆明地铁3号线各类型车站在空间上的分布如图7所示。由于昆明主城区为单中心圈层结构，因此随着与城市中心的距离增大，各车站的客流价值总体上呈下降趋势。同时由于城市轨道交通线网布局整体上西疏东密，失衡车站在滞后性方面具有空间聚集性，其中场所滞后型车站总体上位于线路东段；节点滞后型车站均位于线路西段。

7 不同类型车站的价值水平成因分析

7.1 失衡发展型—高客流类型

该类型主要包括东风广场和五一路2个车站，其在地理空间中位于城市中心和线路中段。节点价值方面，由于东风广场站是地铁2号线与3号线的换乘站、五一路站是3号线与5号线的换乘站且二者在城市轨道交通线网中均处于中心位置，因此均具有极高的中转作用；由于地铁2号线、3号线形成

的十字形骨干线路效应以及具有更发达的公共汽车线路衔接，东风广场站的节点维度价值高于五一路站。场所价值方面，两站地处主城区核心位置，土地开发强度大(站域容积率平均值达3.17)，由于建设较为成熟、城市公共服务和交通设施配套到位，站域活力

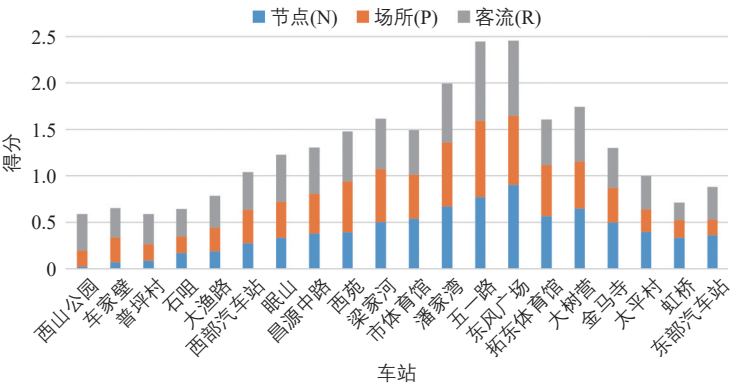


图5 城市轨道交通车站N-P-R模型各维度价值得分  
Fig.5 Value scores of various dimensions in the N-P-R model for rail transit stations

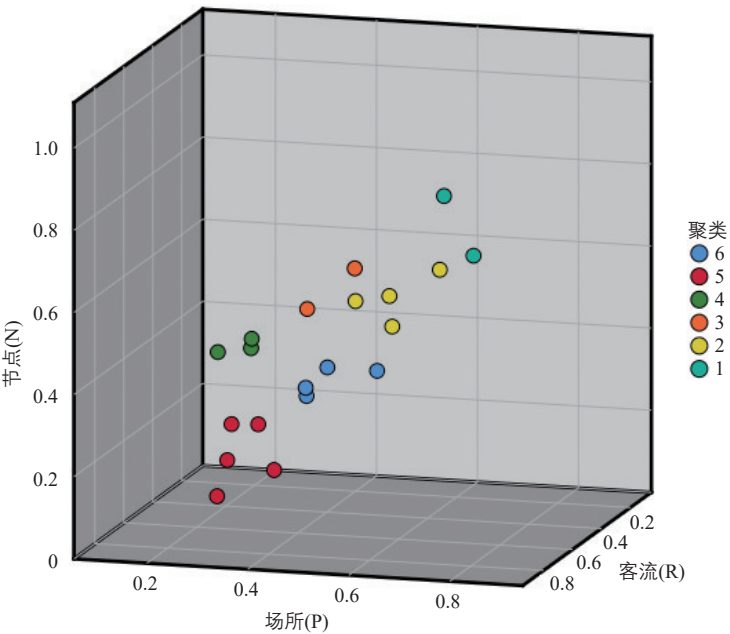


图6 城市轨道交通车站聚类分析车站维度价值分布  
Fig.6 Cluster analysis of urban rail stations and distribution of station dimensional value

表5 城市轨道交通车站分类

类型	节点价值 均值	场所价值 均值	客流价值 均值	总价值
失衡发展型—高客流	0.837 4	0.783 5	0.829 7	2.450 6
协同发展型—中高客流	0.567 8	0.572 7	0.536 2	1.676 7
场所滞后型—中高客流	0.574 3	0.438 2	0.509 8	1.522 3
场所滞后型—低客流	0.363 0	0.200 6	0.300 0	0.863 6
节点滞后型—低客流	0.107 9	0.210 6	0.283 6	0.602 1
节点滞后型—中低客流	0.345 8	0.429 5	0.488 1	1.263 4

聚集度高；五一路站商业办公建筑密度高、连片更新的时间更早，东风广场站尚在改造中，前者的场所价值高于后者。客流价值方面，二者客运量均处于全市最高水平，日均客运量超过3.0万人次·d<sup>-1</sup>；由于五一路站站域内有顺城、南屏街等热门商圈，其客流水平总体略高于东风广场站，且周末客运量高于工作日。

总体来看，东风广场站的价值总分略高于五一路站。具体而言，二者的滞后维度各不相同：东风广场站为场所价值低于节点价值，其空间宜人程度有待进一步提高；而五一路站则是场所价值高于节点价值，其车站功能对站域发展的支持作用不足。

### 7.2 协同发展型—中高客流类型

该类型主要包括潘家湾、梁家河、市体育馆和拓东体育馆4个车站，其在地理空间中毗邻城市中心并位于线路中段。节点价值方面，该类型车站均不是换乘车站但紧邻五一路、东风广场等主要换乘车站，因此在线网中仍具有较高的中介作用；潘家湾站旁为小西门公共汽车首末站，因此具备更高水平的公共汽车接驳服务。场所价值方面，该类车站周边开发较早，道路建设和公共服务配套较完善，站域平均容积率均达2.0以上，平均建筑密度达46.6%，站域建成环境发展较好，其中潘家湾站最佳。客流价值方面，由于该类型车站周边住宅、商业、办公建筑较密集且有大型医院和商业综合体等公共设施，因此日均客运量可达1.4万人次·d<sup>-1</sup>，在线网中处于较高水平。

总体来看，该类型车站各维度发展较为均衡，基本实现了城市轨道交通与站域建成环境协同发展。其中潘家湾站为整体价值最高的车站，其次分别是梁家河站、拓东体育馆站和市体育馆站。

### 7.3 场所滞后型—中高客流类型

该类型包括金马寺和大树营2个车站，其在地理空间中位于城市中心东侧及线路东段。节点价值方面，大树营为地铁3号线与4号线的换乘站，在线网中的换乘作用较好，而金马寺由于毗邻大树营站亦具备一定的中介作用；场所价值方面，二者地处主城区边缘，站域内部有较多的城中村，建筑稠密但配套设施和景观服务水平不高，尤以大树营站最为典型，其站域建筑密度近60%，为全线最高，但容积率仅1.79、城市氛围评分仅1.5分；客流价值方面，由于站域内人口密集(其中大树营站域居住人口密度全线最高)，因此日均客运量达1.2万人次·d<sup>-1</sup>，处于较高水平。

总体来看，大树营站在该类型车站中价值最高，站域建成环境制约了该类车辆的整体发展水平，应进行针对性的更新改善以实现城市轨道交通与站域建成环境协同发展。

### 7.4 场所滞后型—低客流类型

该类型包括太平村、虹桥和东部汽车站3个车站，其位于主城区东部及线路东段。节点价值方面，东部汽车站作为地铁3号线的终点站同时可与地铁6号线换乘，还衔接昆明东部长途汽车站和东部交通枢纽，在线网中较为重要；太平村站处于大树营站和东部汽车站的中间点，换乘较为便利，与公共汽车衔接水平也相对较好；虹桥站规模较小且公共汽车接驳线路较少。场所价值方面，3个车站位于主城区边缘，开发水平较低，各车站站域内部均有一定比例的城中村和老旧小区，生活性道路和公园绿地等公共服务配套不足，其中东部汽车站以交通枢纽场站功能为主，城市建设更显滞后，站域平均容积率仅0.35。客流价值方面，各车站站域居住人口导入不足且位于线路末端，总体客流价值为全线最低，各车站日均客运量仅0.5万人次·d<sup>-1</sup>，东部汽车站客运强度稍高。

总之，该类型车站总体发展水平不高，其中又以场所价值发展最为滞后，太平村站总体发展水平相对较好。

### 7.5 节点滞后型—低客流类型

该类型包括大渔路、石咀、普坪村、车家壁和西山公园5个车站，其位于城市西部及线路西段。节点价值方面，该类型车站均为普通站且周边公共汽车接驳水平较低，平



图7 昆明地铁3号线各类型车站空间分布

Fig.7 Spatial distribution of various types of rail stations on Kunming Subway Line 3

均节点价值为各类型车站中最低。场所价值方面,由于各车站均处于城市郊区,土地开发水平较低,站域内部有大量的城中村及厂矿家属区等老旧小区,站域平均容积率仅为0.38;生活性道路建设除大渔路相对稍好外,其他车站均不成体系,公共服务设施配套也均显缺失。客流价值方面,该类型车站日均客运量仅为0.46万人次 $\cdot d^{-1}$ ,其中较为特别的是西山公园站,由于地处西山公园风景区,客流呈现周末显著高于工作日的特点,周末客运量达1.5万人次 $\cdot d^{-1}$ 。

综上,该类型车站的总体价值水平为全线最低,其中节点价值更低。大渔路站为此类车站中总体价值相对较高的车站,而西山公园站由于拥有良好的自然景观资源应在后续改善中突出特色。

## 7.6 节点滞后型—中低客流类型

该类型包括西苑、昌源中路、眠山和西部汽车站4个车站,其位于主城区西侧及线路西段。节点价值方面,该类型车站中无换乘车站,在线网中的作用一般。由于其地理位置距城市中心较近且周边公共汽车接驳服务相对较好,因此节点价值在全线处中等水平。场所价值方面,该类型车站站域用地开发以住宅为主,平均容积率1.4,其中西苑站和昌源中路站站域容积率高于眠山站和西部汽车站站。同时,西苑站生活性道路和公共配套相对较为完善,其他车站建设水平则有待提高。客流价值方面,该类车站日均客运量达1.1万人次 $\cdot d^{-1}$ ,其中西苑站域内由于高层住宅相对密集、昌源中路站域内有较多的企业办公,两站客流水平相对较高。

综上,该类型车站总体价值发展水平尚可,具备较好的建成环境发展潜力,但是城市轨道交通的功能作用较弱,制约了站域的整体发展水平。

## 8 结束语

利用N-P-R模型对昆明地铁3号线的实证分析发现,3号线站域建成环境与城市轨道交通协同发展状态总体较差,其线路中仅4个车站基本实现协同发展;各维度价值的空间分布存在一定规律性。

城市轨道交通车站与站域建成环境的协同发展是动态变化的过程,相比传统N-P模型,N-P-R模型及其全技术流程能更好地体现空间异质性并可从客流视角更加精细地识

别车站与周边环境的协同发展状态,对于面向城市轨道交通引导下的空间更新发展具有更好的适用性。

当前,中国城市存量地区的普遍特点是空间尺度小、建筑密度高、公共服务配套缺失、道路交通承载力饱和,大量的城市轨道交通车站只能以植入的方式存在于城市已建成空间中,若忽视对更新空间要素的系统思考、盲目套用TOD的开发手段进行大尺度、高强度的建设,将导致本就饱和的存量空间承受更大的交通压力且更难兼顾社会效益,既不符合实际也背离了促进城市发展的目标<sup>[1]</sup>。因此针对城市轨道交通等公共交通引导城市存量空间更新发展的新要求,应对TOD理论的内涵进行延伸和拓展,即TOR理念<sup>[2]</sup>,应参考N-P-R模型识别出的各维度价值发展水平,针对不同类型的车站找准病根、开对药方,分级推进、分类施策,借助城市更新机遇,从绿色交通体系、用地功能、空间品质等方面采取措施,推动城市轨道交通与站域建成环境更高水平的协同发展,从而促进人群活力的回归。

参考文献:

References:

- [1] 朱丹,刘李红,荣朝和,等.轨道交通TOD推进城市更新的机制保障与实现路径:以东京二子玉川站再开发为例[J].都市快轨交通,2023,36(6):129-136.  
ZHU D, LIU L H, RONG C H, et al. Mechanism guarantee and realization path of rail transit TOD to promote urban renewal: an example of redevelopment of Futako Tamagawa Station in Tokyo[J]. Urban rapid rail transit 2023, 36(6): 129-136.
- [2] 郭少锋,芦晓昀,刘义钰.从TOD到TOR:存量语境下轨道交通引领城市更新策略研究[J].规划师,2022,38(3):76-81.  
GUO S F, LU X Y, LIU Y Y. From TOD to TOR: transit oriented renewal in built-up area redevelopment[J]. Planners, 2022, 38(3): 76-81.
- [3] 王成芳,陈华馨.“节点-场所”模型发展脉络解析与国内外应用述评[J].铁道运输与经济,2024,46(1):155-164.  
WANG C F, CHEN H X. Analysis of development context of “node-place” model and its application at home and abroad[J]. Railway transport and economy, 2024, 46(1): 155-164.

(下转第95页)