

基于扩展节点-场所模型的北京轨道微中心地铁站点评价与分类

路羨乔, 王晶*, 张政, 胡新宁, 郭红娟

北京建筑大学建筑与城市规划学院, 北京 100044

摘要 节点-场所模型通过关注交通和土地特征的平衡, 为评估公共交通导向开发(TOD)提供了有效的框架。在传统节点-场所模型的基础上, 增加可步行性作为新的评价维度, 定量描述站点地区的步行网络可达性与设施可步行性, 提出了节点-场所-可步行性扩展模型。基于多源数据与地理信息系统技术(GIS), 利用扩展模型对北京轨道微中心地铁站点进行了评估和分类, 并与传统节点-场所模型评价结果进行比较。结果表明, 节点、场所与可步行性之间存在明显的协同作用, 站点的发展水平存在较大差异, 并且新模型与传统节点-场所模型相比可以更加全面地评价地铁站点。

关键词 城市轨道交通; 公共交通导向的开发; 土地利用; 节点-场所模型; 可步行性

公共交通导向的开发(transit-oriented development, TOD)模式是一种促进公共交通使用和减少对私人汽车依赖, 促进城市可持续发展的城市规划策略^[1]。但是, 近年来实施TOD模式时, 因建设条件、规划导向、规划实施等因素影响^[2], 不同站点TOD的发展水平存在较大差异, 造成了土地资源浪费、城市空间混乱和交通发展不便等现象。因此, 开展TOD评价与分类研究具有重要的实践意义。

对于TOD类型评价, 既有研究主要基于TOD

特征、站区主导功能及TOD地区潜力等展开。Bertolini^[3]提出的节点-场所模型也是TOD类型评价的理论之一。他主张节点-场所模型是一个二维框架, 同时包含站点区域的交通供应(节点)和土地使用(场所)特征。但随着节点-场所模型的广泛应用^[4-6], 研究人员开始意识到其局限性^[7]: 模型不能全面地对TOD站点进行分类与评价, 节点-场所模型主要关注TOD交通与土地特征的平衡, 未能揭示其与城市形态和功能之间的关系, 站点区域在交

收稿日期: 2023-04-13; 修回日期: 2023-05-23

基金项目: 北京建筑大学研究生教育教学质量提升项目(2023007); 国家自然科学基金项目(51408023); 中国建设教育协会教育教学科研项目(2021020)

作者简介: 路羨乔, 硕士研究生, 研究方向为城乡规划与设计, 电子信箱: 386444237@qq.com; 王晶(通信作者), 副教授, 研究方向为交通与用地协调、城市更新与设计、韧性城市, 电子信箱: wangjing@bucea.edu.cn

引用格式: 路羨乔, 王晶, 张政, 等. 基于扩展节点-场所模型的北京轨道微中心地铁站点评价与分类[J]. 科技导报, 2023, 41(24): 41-51; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2023.24.006

通、土地利用和建成环境特征方面仍缺乏综合评估工具。可步行性作为可以评估建成环境的影响因素,轨道交通站点通过改善区域可步行性,吸引充足的设施与人流聚类,从而提高场所的交通供应,并为土地的开发创造有利条件,与此同时,站点交通属性的提升与功能的强化又为步行可达性的提高奠定了基础。

在传统的节点-场所模型中,引入1个新的评估维度——可步行性,用于将建成环境要素纳入评价体系,并把道路肌理、步行网络可达性与设施可达性作为站点区域的可步行性的评价因子,用于定量评价站点区域可步行性的特性,并从3个维度结合多源数据与地理信息系统技术(GIS),对站点进行分类划分,探究不同类型站点的发展水平。

1 节点-场所模型的原理与构建

1.1 传统节点-场所模型

Bertolini^[9]提出的节点-场所模型的基本理念是将站点视为交通网络中节点和城市土地功能的组合。在模型中(图1),将节点价值和场所价值分解为表示节点和场所性能的指标,通过多要素综合分析将不同的变量组合起来,反映到 x 、 y 坐标位置上,这2个维度的坐标位置反映了站点及其周边地区的TOD水平。模型将现有的站点分为以下5类。(1)平衡型:站点沿着对角线形成的纺锤形平衡区域的中部分布,表示交通和土地利用是相互协同、

可持续的。(2)压力型:站点位于平衡区的上部,表示节点和场所的价值都达到了上限,可能存在相互竞争关系,阻碍彼此发展。(3)从属型:站点位于平衡区的下部,表示交通供应量和土地利用程度较低,有较大的发展潜力。(4)失衡节点型:站点位于斜线上半区,表示交通性能远高于土地利用。(5)失衡场所型:站点位于斜线下半区,代表土地过度开发,超过了当前交通容量所能提供的服务水平。

1.2 节点-场所-可步行性模型

为了更好地探讨城市的土地利用、城市设计和交通网络对站点的影响,许多后续研究通过引入更多指标或考虑节点和场所以外的第3个维度,如设计、乘客流量、网络中心性和社会活动等,扩展了传统节点-场所模型^[8-10]。例如,Vale等^[11]将节点-场所模型扩展为能够反映影响站点区域行人可步行范围比例的城市设计条件的设计指标。Lyu等^[12]使用交叉口密度和平均街区大小等城市设计指标,并将其添加到名为“定向”的新评估维度中。张志健等^[13]将客流维度加入到模型之中,测度节点、场所与客流三者之间的协同程度。

5D原则作为TOD特征类型划分的另一种方式^[14],是指将密度(density)、多样性(diversity)、合理的设计(design)、交通换乘距离(distance to transit)和目的地可达性(destination accessibility)作为典型TOD建成环境特征。根据站点地区建成环境的属性特征,可以更好地评价建成环境对于TOD的影响。而传统节点-场所模型主要关注的是交通供应与场所的土地利用特征,缺少对影响TOD建成环境的考虑。因此应该在模型中考虑影响TOD的建成环境。

步行环境的营造是TOD的重要导向之一,参考关于建成环境与步行之间关系的文献^[15-17],发现应将站点区域的可步行性测度加入模型中。根据“5Ds”影响可步行性的研究^[18],通过评价站点区域的步行条件,可以评估影响出行的建成环境的所有维度。因此,在节点-场所模型中扩展出第3个“可步行性”维度(图2),使得该模型能够体现建成环境,即步行环境对地铁站点的影响。

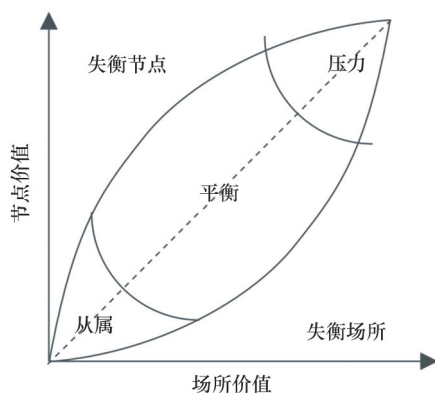


图1 节点-场所模型示意

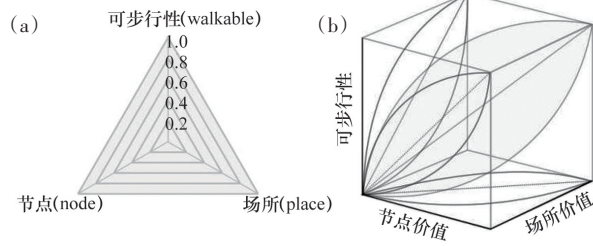


图2 节点-场所-可步行性测度框架(a)与模型(b)

2 研究方法 with 数据

2.1 研究对象与数据来源

北京市于2020年提出建设以轨道交通站点为核心的城市轨道微中心,在《北京市轨道微中心名录(第一批)》中,共划定了71个轨道微中心,包括17个火车站和54个地铁站,研究对象为截至2023年2月,31个已建成并投入使用的地铁站(表1)。

表1 北京31个已建成并投入使用的轨道微中心地铁站

城区	地铁站数量	站点类别及名称	
		换乘站	一般站
中心城区	海淀区 3	牡丹园	五道口、六道口
	朝阳区 2	十里河	东大桥
	丰台区 6	景风门、草桥、新宫、丽泽商务区站	丰台南路、榆树庄
	石景山区 2	金安桥	新首钢
外围地区	亦庄新城 5	次渠	北神树、次渠北、荣昌东街、同济南路
	大兴区 1	—	大兴新城
	房山区 2	—	房山线良乡大学城、良乡南关
	昌平区 4	霍营	回龙观东大街、沙河高教园、生命科学园
副中心	通州区 6	花庄	万盛西、万盛东、群芳、高楼金、嘉会湖

在研究轨道交通站点的影响范围时,通常会使用步行吸引范围(pedestrian catchment area, PCA)来表示站点的服务覆盖范围。这一范围通常用圆形缓冲区来表示。本文采用10 min的步行时间阈值和1.3 m/s的平均步行速度,将地铁站点的PCA设定为800 m缓冲区。

运用的多源大数据主要包含:北京轨道交通站点数据与线路数据、站点周边兴趣点(POIs)、建筑数据、路网数据、小区数据、公交站点、线路和站点进出站量数据等。上述多源数据主要来自于电子地图运营商、公开数据等数据源,具体描述如表2所示。

表2 多源数据使用详情

名称	数量	字段	来源	年份
轨道交通站点数据	458	站点名称、经纬度	Open street map	2023
轨道交通线路数据	520	线路名称、经纬度	高德地图	2023
站点运营数据	—	站点运营时刻表	北京地铁、京港地铁、北京轨道运营官方网站	2023
公交站点数据	3637	线路名称、经纬度	高德地图	2023
公交线路数据	6253	线路名称、经纬度	高德地图	2023
站点周边兴趣点	46521	名称、类别、经纬度	BIGmap	2023
建筑数据	43755	高度、类型、面积、位置	Open street map	2023
路网数据	20716	ID、分类、长度	Open street map	2023
小区数据	605	名称、房价	链家网	2023
站点客流数据	62	日期、进出站量	北京交通与土地协同研究课题	2022

2.2 指标选择和计算方法

综合参考国内外多位学者的相关研究,结合北京地铁发展特点及多源数据可获取性,基于GIS平台建立空间数据库,选取节点-场所-可步行性相

关指标因子,完成数据整合梳理和测算等工作。从节点价值、场所价值与可步行性3个维度,筛选出19项指标(表3),各项基础指标描述性统计的量化值见表4。

表3 节点-场所-可步行性评价体系与描述

维度	分项指标	基础指标	指标说明
节点价值	站点承载力	站点出入口数量(N_1)	站点出入口个数
		站点服务方向数(N_2)	终点站的方向数为1,增加可以换乘的额外线路,方向增加2
	站点网络中心性	地铁网络的介数中心度(N_3)	通过站点的最短路径占网络总路径的比例
		地铁网络的接近中心度(N_4)	站点与其他站点的平均距离的倒数
		地铁站之间的平均距离(N_5)	站点到相邻站点的平均距离
	站点换乘便捷性	站域公交站点数量(N_6)	站点区域内公交站点的数量
		公交换乘便捷性(N_7)	站点周边200 m公交换乘线路的数量
	站点活力性	日均客流量(N_8)	站点一周内的日均流量
场所价值	土地开发水平	建筑开发强度(P_1)	建筑总面积占总面积的比例
		建筑密度(P_2)	建筑面积占总面积的比例
	土地混合利用	土地利用功能混合度(P_3)	信息熵计算POIs土地利用混合度
		场所设施数量(P_4)	站点区域内的POIs数量
	土地价值	周边房价(P_5)	站域内二手房住宅的平均价格
道路肌理	道路网密度(W_1)	基于北京Open street map站区道路网络总长与站域面积的比例	
可步行性	设施可达性	商业服务设施修正步行指数(W_2)	Walk Score方法商业服务设施可达性
		公共服务设施修正步行指数(W_3)	Walk Score方法公共服务设施可达性
		生活服务类设施修正步行指数(W_4)	Walk Score方法生活服务类可达性
		公园绿地修正步行指数(W_5)	Walk Score方法公园绿地设施可达性
	步行网络可达性	站点步行网络可达性(W_6)	通过sDNA计算BtA800c取平均值

表4 节点-场所-可步行性基础指标描述性统计

基础指标	最小值	最大值	均值	标准偏差
N_1	2	10	4.77	1.92
N_2	1	5	2.675	1.16
N_3	0	29340	7878.06	8097.49
N_4	4.93×10^{-8}	1.24×10^{-7}	7.97×10^{-8}	2.17×10^{-8}
N_5	850	19165.5	2581.49	3231.15
N_6	0	44	20	9.09
N_7	0	90	22.41	20.45
N_8	703	80339	25438.29	21157.35
P_1	0.0015	3.24	1.15	0.71
P_2	0.00013	0.39	0.17	0.10
P_3	0.0015	3.24	1.15	0.71
P_4	15	11676	1457.22	2287.32
P_5	25838	91116.23	49590.11	16128.79
W_1	0.73	9.58	3.00	1.93
W_2	0	100	17.10	25.73
W_3	0	100	19.83	22.30
W_4	0	100	34.20	23.56
W_5	0	100	15.08	25.42
W_6	683.07	70286.60	20091.62	14648.67

节点价值维度由4个分项指标组成:站点承载力、站点网络中心性、站点换乘便捷性、站点活力性,分项指标下有8项基础指标。场所价值维度主要包括土地开发水平、土地混合利用、土地价值3个分项指标,分项指标下有5项基础指标。

对于可步行性指标测度,Vale^[7]将行人步行覆盖率作为指标评价站点的可步行性,后续又加入了交叉口密度和道路长度的道路基本属性作为可步行性的扩充^[11]。Wu等^[19]以天津轨道站点为例,运用空间句法对站点每个维度的步行网络可步行性进行了测量,并且步行网络可达性反映了该地区道路设计的连通性和灵活性。综上,本文可步行性维度选取道路基本属性和基于空间句法的步行网络测度。

可步行性指标既要包括步行网络对步行的支持程度,也要包括对各类设施的可达性测度^[20],因此,增加了可以评价各类设施可达性的步行得分。

综上所述,可步行性维度分为3个分项指标:道路肌理、设施可达性、步行网络可达性,下分6项基本指标。

上述基础指标中,介数中心度、接近中心度、土地利用混合度、步行得分、步行网络可达性具体计算方法如公式(1)(2)(3)所示。

介数中心度(N_3):基于复杂网络分析,将北京的地铁线路转换为网络结构,利用GIS平台的UNA插件进行分析^[21-22],得到北京市地铁站点的介数中心度。

$$C_B(i) = \sum_{kt} \frac{\sigma_{kt}(i)}{\sigma_{kt}} \quad (1)$$

式中, $\sigma_{kt}(i)$ 是通过*i*的任意2个节点*k*和*t*之间的最短路径数, σ_{kt} 是*k*和*t*间的总路径数。

接近中心度(N_4):表示站点与其他站点的平均距离的倒数,离地理中心更近的节点具有更高的接近中心度指。其也运用GIS平台的UNA插件进行分析。

$$C_c(k) = \frac{1}{\sum_{t=1}^n d_{kt}(k \neq t)} \quad (2)$$

式中, d_{kt} 表示站点*k*和站点*t*之间的最短网络距离。

土地利用功能混合度(P_3):通过计算站点地设施种类混合度来表示土地利用功能混合度,采用香农多样性指数计算。

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \ln p_i \quad (3)$$

式中, H 为站点地区商业设施混合度; p_i 为站域内第*i*种POI类型占POI总数的比例。

混合度 $H \geq 0$,每个站点地区的*H*值越大代表站点地区服务设施多样性越好。

步行得分($W_2 \sim W_5$):指基于步行指数法的单点步行指数。单点步行指数是使用Su等^[23]提出的修正步行得分计算的,该修正步行得分是根据步行得分进行修改的,各类设施的分类与权重是以中国背景确定的,本文分别计算了商业服务设施、公共服务设施、生活服务设施、公园4类设施的修正步行指数。

步行网络可达性(W_6):借助GIS平台的空间句法sDNA测度站点地区网络步行的支撑程度^[22],半

径需要根据实际的需求来设置,采用和研究半径一致的800 m角度中介性来度量步行流量。

2.3 评价方法

使用信息熵加权方法来分别综合3个维度的指标,该方法避免了人工加权的主观性。在信息熵计算出各维度综合指标的基础上,运用K-means方法对各站点进行聚类分析得到相应结果。该方法需要主观决定簇的数量*K*,但为了保证评价的客观性,采用轮廓系数法选择*K*,*K*值介于-1到1之间,轮廓系数值越大,表示聚类效果越好。

3 研究结果

3.1 指标分析

由于评价体系涉及多个变量,为避免指标间存在共线性,本研究使用Spearman的相关系数进行相关性评价。借鉴前人的研究经验,将0.7作为阈值^[25],来检测指标的相关性,发现指标间的相关系数均小于0.7,这说明指标间具有相对独立性。

采用熵值法确定基础指标的权重,如表5所示,每个指标在指标体系中的权重分布相对均匀。

表5 节点-场所-可步行性指标权重

维度	基础指标	权重
节点价值	N_1	0.12
	N_2	0.12
	N_3	0.13
	N_4	0.12
	N_5	0.12
	N_6	0.12
	N_7	0.13
	N_8	0.13
场所价值	P_1	0.19
	P_2	0.19
	P_3	0.18
	P_4	0.23
	P_5	0.19
可步行性	W_1	0.15
	W_2	0.18
	W_3	0.16
	W_4	0.15
	W_5	0.21
	W_6	0.15

将各站点在3个维度的量化结果进行可视化(图3)。场所价值与可步行性指标多遵循组团分布的规律,中心区域位置高于外围区域位置。节点价值分布主要符合其在轨道网络系统中的重要性,得分较高的基本位于轨道换乘枢纽处。场所价值分布较高的主要在各个区的核心区域,如海淀区的中关村科学城核心地区、朝阳区的北京商务中心区;外围区域也存在着部分价值较高的区域,如亦庄区域、新首钢区域、回龙观区域。可步行性分布方面,中心区域明显高于外围区域,并且评分较高的主要是建成环境较为健全的地区,在地铁线路末端的城市外围地区的站点可达性水平极低。将3个维度

分别进行比较(表6),节点均值略高于场所,表明目前的交通供应可以满足站点周边现有土地使用产生的潜在需求,也印证了微中心站点的发展潜力。将可步行性与节点、场所价值比较,发现站点的可步行性均值明显低于节点、场所价值的均值,并且中心区域部分站点显示出较好的节点与场所指标,但是可步行性指标却很低,这表明可步行性不能匹配其节点与场所水平,这是由于微中心站点多处于中心城区的边缘地区,且微中心建设处于初期,支持可步行性的道路等基础设施还未建设完全。东大桥、十里河、五道口、景风门地区在这3个维度的评分均较高,建设轨道微中心的基础条件较好。

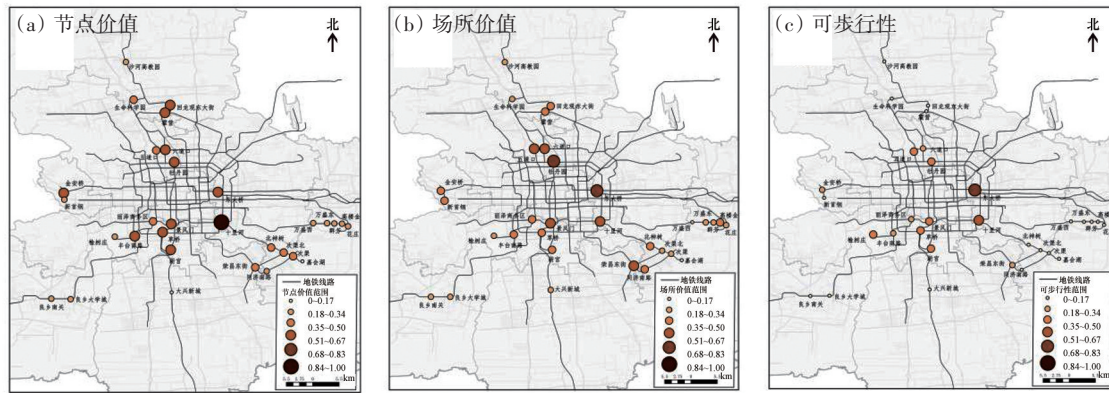


图3 地铁站点指标空间分布

表6 节点-场所-可步行性各维度描述性统计

维度	最小值	最大值	均值	标准偏差
节点价值	0.15	0.88	0.42	0.16
场所价值	0.037	0.75	0.39	0.16
可步行性	0.0024	0.78	0.23	0.18

3.2 站点评价结果

为了进一步探究节点、场所和可步行性的协同效应,对站点进行更细致的评价,通过应用K-means方法,根据节点、场所和可步行性对所有31个地铁站进行聚类。对节点、场所和可步行性在0和1之间进行了归一化处理。通过K均值聚类,选择了K=6,最佳轮廓值为0.54的聚类(图4)。同时还分析了节点、场所和可步行性指标之间的关系

(图5),解释了交通、土地利用与建成环境之间的复杂协调关系,从6类站点中可以观察到节点、场所与可步行性的发展趋势。

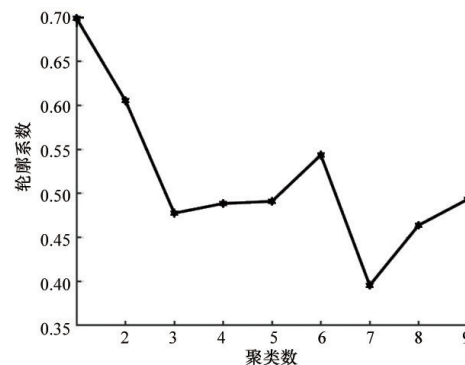


图4 轮廓系数

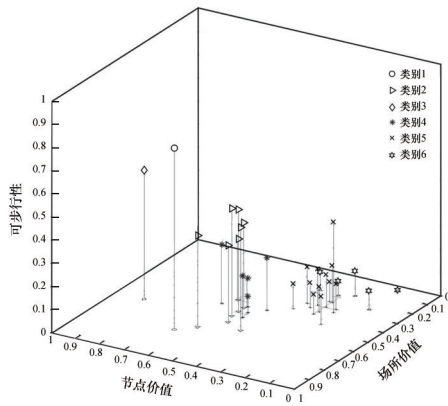


图5 节点、场所与可步行性模型散点图

6类站点的特点如下:类别1具有较高的节点价值、场所价值和可步行性;类别2具有中等水平的节点价值、场所价值和可步行性;类别3具有较高的节点价值与中等水平的场所价值和可步行性;类别4具有中等水平的节点价值和场所价值与较低的可步行性;类别5具有中等偏低的节点价值

和场所价值与较低的可步行性;类别6具有低节点价值、低场所价值和低可步行性。在这些类别中值得注意的是类别2与类别4,其有着相似的节点价值与场所价值,但可步行性却明显不同,这一趋势表明,不同站点的交通与土地协同情况一致,在可步行性方面却存在这差异,也说明了扩展可步行性维度的有效性。

对节点、场所和可步行性之间也进行了相关性分析(图6)。结果显示,节点价值与场所价值之间正相关($R^2=0.559$)(图6(a))。可步行性与节点价值间正相关($R^2=0.505$)(图6(b)),表明当交通基础设施供应水平提高,场所的可步行性水平也会随之提高,符合文献中关于交通基础设施对建成环境的正向影响。场所价值与可步行性之间也正相关($R^2=0.595$)(图6(c)),表明土地利用属性与建成环境也存在正反馈。总体而言,正相关关系证明了节点、场所价值与可步行性之间存在协同效应。

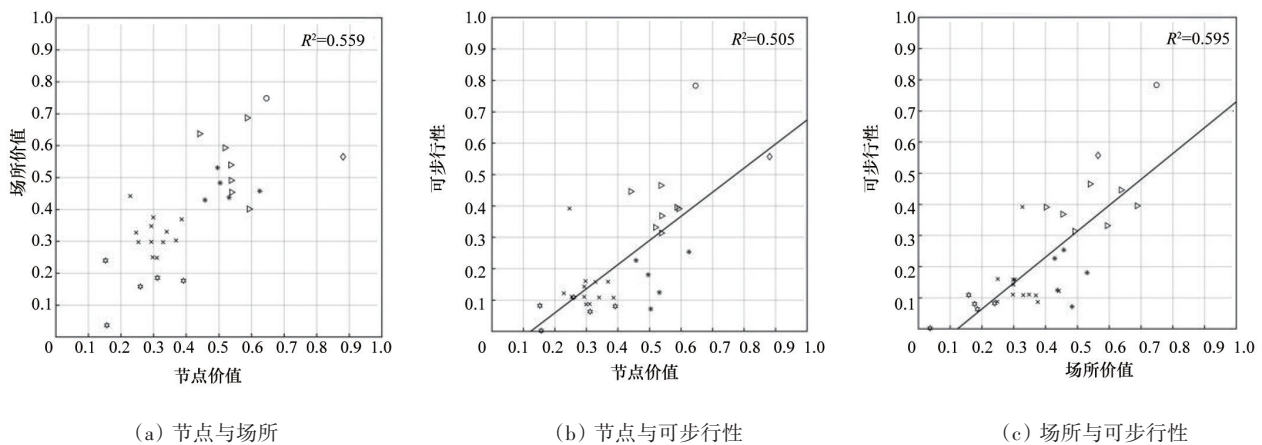
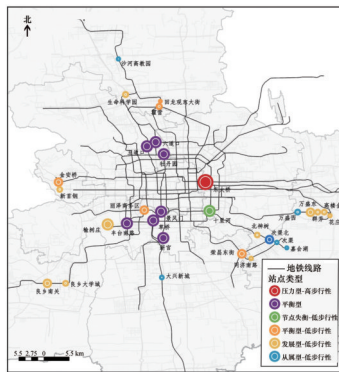


图6 节点、场所和可步行性之间的相关性分析

为进一步探究节点、场所和可步行性的空间分布,对评价结果进行了空间可视化处理(图7)。

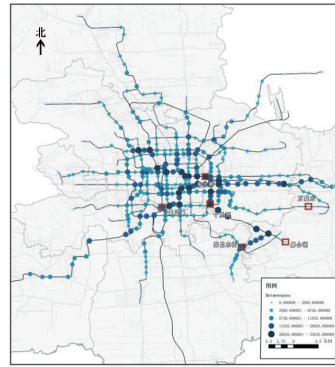
根据类别在模型中的位置,将类别1命名为压力型,表示站点在交通供应与土地利用方面处于压力状态,并且拥有较高的可步行性。此类站点主要位于中心商务区(CBD),是交通便利,土地利用多样的中心城区。这类地区由于发展空间已趋于饱和,其进一步发展可能受到制约。典型站点是东大

桥站($N=0.65, P=0.75, W=0.78$),在未来轨道线网规划中作为4条线路换乘枢纽,在轨道交通网络中具有重要地位(图8),其位置在朝阳区上位规划中为北京商务中心区,在轨道交通供应方面拥有较高的水平。在土地利用方面,站点位于北京设施密度最高的地区之一,拥有众多商业、公共服务设施,并且街道网络较为密集,因此显示的可步行指数也较高(图9)。

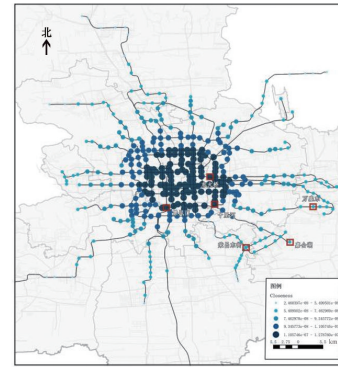


圆圈大小代表可步行性高低

图7 节点、场所与可步行性模型分类结果空间分布

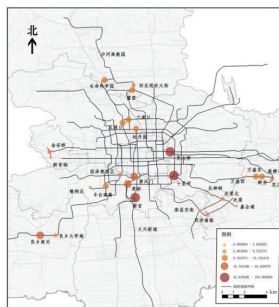


(a) 介数中心度

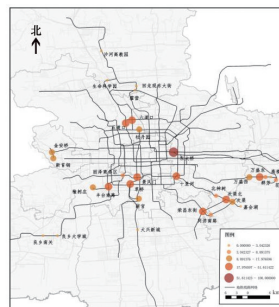


(b) 接近中心度

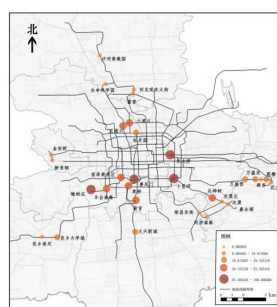
图8 站点网络中心性空间分布



(a) 商业服务设施步行指数



(b) 公共服务设施步行指数



(c) 生活服务设施步行指数



(d) 公园绿地步行指数

图9 设施步行指数空间分布

类别2命名为平衡型,3个维度总体处于平衡协同的状态。其中不仅节点和场所之间处于平衡状态,而且可步行性也处于中等水平,有着较好的建成环境,也呈现出多样化的场所功能。此类站点主要位于靠近中心城区的地区,呈组团式布局,主要是中关村组团和丰台区中心城区组团,如景风门站点($N=0.54, P=0.54, W=0.47$),其作为双线换乘枢纽,是轨道线网中的重要节点,周围大多为建设比较成熟的居住区,有着较为便利的服务设施和步行可达性。

类别3是节点失衡型-低步行性,表示节点功能超过了场所与可步行性功能。十里河($N=0.88, P=0.56, W=0.55$)是3条线路的换乘枢纽,并且紧邻北京五环,中心性指数较高,有着较高的网络重要性,但是场所与可步行性指数低于节点发展水平。十里河站点周边多为“老旧”市场,场所功能业

态单一,并且道路步行网络可步行性处于水平中等,较节点价值还需进行品质提升。在后续发展中,应对十里河地区的场所进行优化提升,通过对老旧市场,老旧住区进行改造升级和城市更新,优化步行网络。

类别4命名为平衡型-低步行性。表明交通和土地利用发展协同,表现出站点与设施间的物理距离很近,但是表现出的可步行性较差。荣昌东街站($N=0.49, P=0.53, W=0.18$)是典型站点,其位于北京的东南郊区,作为双线换乘枢纽,周边公共交通发达,有42个公交站点,站点换乘便利,有着较好的节点价值。在土地利用方面,其作为北京亦庄开发区核心地区,周边拥有较多的高新技术产业,开发强度也较高,路网规划较为健全,但是由于处于建设初期,各类设施的可达性和交通网络的可达性均低于平均水平。未来希望继续扩大街区的规模,植

入不同的设施,健全道路网络,提升各类设施的步行可达性。

类别5为发展型-低步行性。这类站点的节点与场所价值低于平衡型,同时可步行性水平也较低,多位于城市外围地区或靠近终点站的区域,代表交通供应较差的孤立站点,但是却是最有潜力成为TOD的站点,因为交通基础设施已经存在,建设还处于初步阶段,周边有少量新建成的居住区,整体还未进行开发建设,有着良好的发展条件。代表站点为万盛东站(N=0.30,P=0.25,W=0.16),周边的路网建设已初具规模,并且已有少量居住区建设,后期的发展潜力较大。

类别6为从属型,其所有综合指标都非常低,这类站点是发展型站点的前身,道路等基础设施还未建设,整体用地条件还是空白。代表性站点为嘉会湖站(N=0.16,P=0.03,W=0.003),作为地铁17号线的终点站,其在轨道交通网络中的重要性显示很低,在土地利用方面,周边几乎为未建设用地,没有进行规划建设,几乎没有服务设施。因此,由于缺少道路等基础设施建设,在步行网络和4类设施可达性方面表现极低。

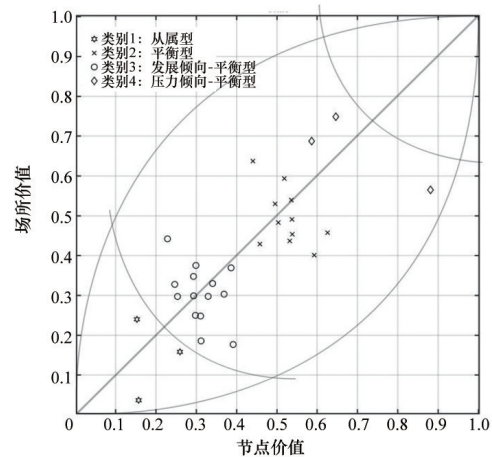
总体来说,交通发展、土地利用与建成环境三者的评价结果间有明显的正相关性。虽然北京轨道交通微中心地铁站点大都处于节点和场所平衡的状态,但是在新的评价模型中,大部分站点的可步行性维度均低于45°线。这在一定程度上反映出微中心的道路网建设密度、道路可达性、设施可达性较低,与交通、土地发展存在不匹配的现象。

3.3 与传统节点-场所模型比较

根据传统节点-场所模型对站点进行聚类,与节点-场所-可步行性模型的结果进行比较,对聚类结果之间的差异进行探索。

通过K-means聚类方法,确定了4个聚类,其最佳轮廓值为0.65。类别1位于从属区域。这个类别类似于节点-场所-可步行性模型中的从属型。类别2具有相对平衡的节点和场所指标,类似于节点-场所-可步行性模型中的平衡型。类别3具有相对平衡的节点和场所价值,但是处于较低的水平,类似于节点-场所-可步行性模型中的发展

型-低步行性。类别4位于节点-场所图平衡区的上半部分,具有较高的节点和场所价值,类似于节点-场所-可步行性模型中的压力型。不同类别站点的地理分布如图10所示。分布遵循组团式分布,节点和场所价值较高的站点通常靠近市中心区域。节点和场所价值平衡的站点通常位于中心区与郊区之间的环线区域。节点和场所价值较低的站点通常位于城市边缘或靠近轨道交通站的尽头。



(a) 聚类结果



(b) 空间分布

图10 传统节点-场所聚类结果与空间分布

图11描述了节点-场所模型和所提出的节点-场所-可步行性模型之间的聚类差异。图中连接不同类别曲线的厚度表示在节点-场所模型下类别转移到节点-场所-可步行性模型类别站点的比例。可以发现,在2个模型中,大部分站点都保持在其原始的类别。例如,无论采用节点-场所或节

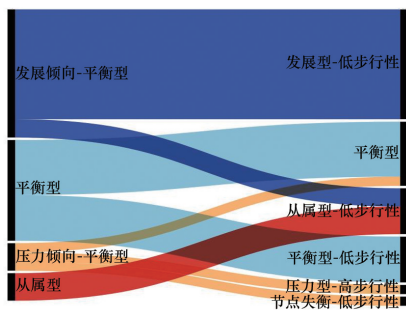


图11 节点-场所与节点-场所-可步行性模型下站点类别变化桑基图

点-场所-可步行性模型,从属类别和压力类别的大多数站点都保持在相似的类别中,表明大部分站点在2种不同的评估模型下的差异非常微小。

但在2个模型中,一些站点从一种类别转移到另一种类别或产生了新的类别。这反映了站点的交通可达性、土地使用模式和可步行性之间的不匹配。例如,节点-场所模型下部分站点被分类为平衡型,但在节点-场所-可步行性模型下,这些站点被划分为2类,即平衡型-可步行性高和平衡型-可步行性低。结果表明,原始节点-场所模型可能无法注意到站点之间可步行性的差异,而且在节点-场所可步行性模型下,一些被节点-场所模型分类为具有高节点和场所指数值的压力倾向型站点变成了节点失衡型-低步行性和平衡型站点。

节点-场所-可步行性模型和节点-场所模型之间的聚类差异表明,在这2个模型下大多数站点仍处于相似的聚类中,但也存在着不同聚类结果。因为对站点可步行性分析是对站域建成环境测度的补充,是对公交导向发展相关5Ds框架原则的补充,所以引入可步行性维度可以帮助识别建成环境和节点场所不匹配的站点。

4 结论

通过将可步行性扩展到节点-场所模型当中,对北京轨道微中心地铁站点的发展协同进行了评价,有以下3个关键发现。

1) 在北京轨道微中心地铁站点的建设中,将交通发展、土地利用与建成环境之间作为一个整体考虑,三者的结果有明显的正相关性,表明三者之

间存在着协同作用。

2) 对北京轨道微中心地铁站点运用节点-场所-可步行性扩展模型进行评价分类,结果显示站点之间存在明显的发展水平差异,站点可被分为6类,并且大部分站点的可步行性发展水平较节点、场所水平滞后。

3) 与传统场所-节点模型比较发现,在传统评价模型中评价结果全是平衡的,但在加入可步行性维度后站点被分配为新的类型,出现了不平衡和低步行性的评价结果。

尽管在节点-场所模型中添加可步行性作为评估维度是有效的,但是其结果存在一定的局限性。例如,忽略了指标计算的正态性,造成一些权重与主观意识的不匹配,因此,应该对变量进行对数变换以缩小变量的尺度,使得数据更加平稳,避免极大数值对数据整体产生影响,并且应尝试与主观评价方法,如层次分析法(AHP)、专家问询法等结合来确定权重。此外,轨道微中心正处于建设之中,对于其未来规划建设因素考虑得较少,主要为现状评价,缺少对于未来建成要素、轨道系统的考虑,应加入如未来规划方案、基于规划实施后的要素进行评价。同时,可步行性不仅包括道路属性,步行网络可达性、设施可达性,还应该包括步行交通相关的物质建成空间的环境质量,如步行舒适、步行感知等指标。因此,可以增加其他衡量轨道站点建成环境的指标以评价站点的可步行性。

参考文献 (References)

- [1] Barton H. Eco-neighbourhoods: A review of projects[J]. *Local Environment*, 1998, 3(2): 159-177.
- [2] 夏海山, 韩宝明, 王琳妍. 中国城市轨道交通TOD建设发展30年回顾与思考[J]. *都市快轨交通*, 2022, 35(4): 2-11.
- [3] Bertolini L. Spatial development patterns and public transport: The application of an analytical model in the Netherlands[J]. *Planning Practice & Research*, 1999, 14(2): 199-210.
- [4] 杨镇铭, 杨林川, 崔叙, 等. 成都市中心型地铁站点地区协同性评价[J]. *规划师*, 2020, 36(23): 67-74.
- [5] 麦地娜·哈尔山, 母睿. 城市交通与土地利用一体化发展评价[J]. *城市规划*, 2018, 42(7): 86-92.
- [6] 王帆, 周健勇. 城市轨道交通站点周边交通与土地开发的协调性研究[J]. *物流科技*, 2021, 44(2): 126-130.

- [7] Vale D S. Transit-oriented development, integration of land use and transport, and pedestrian accessibility: Combining node-place model with pedestrian shed ratio to evaluate and classify station areas in Lisbon[J]. *Journal of Transport Geography*, 2015, 45: 70-80.
- [8] Zhou M Z. Introducing social contacts into the node-place model: A case study of Hong Kong[J]. *Journal of Transport Geography*, 2023, 107: 103532.
- [9] Dou M, Wang Y, Dong S. Integrating network centrality and node-place model to evaluate and classify station areas in Shanghai[J]. *International Journal of Geo-Information*, 2021, 10(6): 414.
- [10] Jeffrey D, Boulange C, Giles-Corti B, et al. Using walkability measures to identify train stations with the potential to become transit oriented developments located in walkable neighbourhoods[J]. *Journal of Transport Geography*, 2019, 76: 221-231.
- [11] Vale D S, Viana C M, Pereira M. The extended node-place model at the local scale: Evaluating the integration of land use and transport for Lisbon's subway network[J]. *Journal of Transport Geography*, 2018, 69: 282-293.
- [12] Lyu G, Bertolini L, Pfeffer K. Developing a TOD typology for Beijing metro station areas[J]. *Journal of Transport Geography*, 2016, 55: 40-50.
- [13] 张志健, 高顺祥, 陈越, 等. 基于改进节点-场所模型的城市轨道交通TOD评估[J]. *交通运输研究*, 2022, 8(3): 143-153.
- [14] 苏世亮, 赵冲, 李伯钊, 等. 公共交通导向发展的研究进展与展望[J]. *武汉大学学报(信息科学版)*, 2023, 48(2): 175-191.
- [15] Robert, Olga L S, Enrique J, 等. 建成环境对步行和自行车出行的影响——以波哥大为例[J]. *城市交通*, 2016, 14(5): 83-96.
- [16] Forsyth A, Southworth M. Cities afoot—Pedestrians, walkability and urban design[J]. *Journal of Urban Design*, 2008, 13(1): 1-3.
- [17] 聂焯城, 陈奕言, 陈箐. 建成环境可步行性研究及测度发展综述[J]. *南方建筑*, 2022(4): 88-98.
- [18] Ewing R, Cervero R. Travel and the built environment: A synthesis[J]. *Transportation Research Record*, 2001, 1780(1): 87-114.
- [19] Wu T, Zhou Y. Measuring the accessibility of metro stations in Tianjin: An origin-destination approach[J]. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 2023, 22(2): 693-704.
- [20] 周垠, 龙瀛. 街道步行指数的大规模评价——方法改进及其成都应用[J]. *上海城市规划*, 2017(1): 88-93.
- [21] 陈永辉. 基于UNA的南京老城区公共空间步行可达性研究[D]. 天津: 天津大学, 2017.
- [22] 宋小冬, 陶颖, 潘洁雯, 等. 城市街道网络分析方法比较研究: 以Space Syntax, sDNA和UNA为例[J]. *城市规划学刊*, 2020, 256(2): 19-24.
- [23] Su S, Pi J, Xie H, et al. Community deprivation, walkability, and public health: Highlighting the social inequalities in land use planning for health promotion[J]. *Land Use Policy*, 2017(67): 315-326.
- [24] Dormann C F, Elith J, Bacher S, et al. Collinearity: A review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance[J]. *Ecography*, 2013, 36(1): 27-46.

Evaluation and classification of Beijing rail microcenter subway stations based on extended node-place model

LU Xianqiao, WANG Jing*, ZHANG Zheng, HU Xinning, GUO Hongjuan

School of Architecture and Urban Planning, Beijing University of Civil Engineering and Architecture, Beijing 100044, China

Abstract The node-place model provides an effective framework for evaluating TOD by focusing on the balance of traffic and land characteristics. Based on the traditional node-place model, the node-place-walkability extended model was proposed by adding walkability as a new evaluation dimension to quantitatively describe the accessibility of pedestrian network and walkability of facilities in the site area. Based on multi-source data and GIS technology (GIS), the extended model was used to evaluate and classify Beijing rail microcenter metro stations and compared with the evaluation results of the traditional node-place model. The results show that there is an obvious synergy between nodes, places and walkability, that there are large differences in the development levels of stations, and that the new model can evaluate metro stations more comprehensively compared with the traditional node-place model.

Keywords urban rail transit; TOD; land use; node-place model; walkability ●



(责任编辑 王微)