DOI:10.19951/j.cnki.1672-9331.20221012001 文章编号:1672-9331(2024)05-0146-10
引用格式:李亨,况爱武,黄中祥.地铁站点区域交通与土地利用协调性分析[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2024,21(5):146-155.
Citation: LI Heng, KUANG Aiwu, HUANG Zhongxiang. Coordination analysis of traffic and land use around subway stations[J]. J Changsha Univ Sci Tech (Nat Sci), 2024, 21(5): 146-155.

地铁站点区域交通与土地利用协调性分析

李亨,况爱武,黄中祥
(长沙理工大学 交通运输工程学院,湖南 长沙 410114)

摘　要:【目的】随着城市化进程不断加快,城市交通拥挤、环境污染、用地紧张等问题日趋严重。城市交通拥挤的主要原因之一在于交通供给与土地利用之间的不协调。地铁站点周边交通与土地利用的协调性分析有利于促进城市交通建设的可持续发展。**【方法】**本文基于节点-场所模型(Node-Place Model, N-P Model),考虑使用节点价值与场所价值的比值对传统模型进行优化,同时通过运用地理信息系统(geographic information system, GIS),选取站点场所功能和节点功能多个评价指标,并结合熵权-TOPSIS(technique for order preference by similarity to ideal solution)评价法构建站点协调度评价体系,最后获得站点排名情况、轨道交通站点周边交通与土地利用的协调水平。**【结果】**本文对长沙市轨道交通二号线部分站点进行协调性分析。其结果表明,优化后的模型与传统的模型存在差异,且大部分站点地区协同程度较高,但协调性存在差异。本文对协调性差的站点提出了相应的优化策略。**【结论】**轨道交通站点区域交通与土地利用的协调性分析能为城市轨道交通发展提供理论参考,有利于城市交通可持续发展。

关键词:轨道交通站点;土地利用;Node-Place模型;地理信息系统;熵权-TOPSIS法
中图分类号:U231+.4　　**文献标志码:**A

Coordination analysis of traffic and land use around subway stations

LI Heng, KUANG Aiwu, HUANG Zhongxiang
(School of Traffic & Transportation Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China)

Abstract: [**Purposes**] As urbanization accelerates, issues, such as traffic congestion, environmental pollution, and land scarcity, are becoming increasingly pronounced. A significant factor contributing to urban traffic congestion is the insufficient coordination between traffic supply and land use. Analyzing the coordination between traffic and land use around subway stations is essential for promoting the sustainable development of urban traffic construction. [**Methods**] The traditional Node-Place (N-P) Model was used and optimized by considering the ratio of node value to place value. A geographic information system (GIS) was adopted, and a variety of evaluation indicators related to station functions and node functions were selected. An evaluation system for the degree of coordination between stations was established by using the entropy weight-technique for order preference by similarity to ideal solution (TOPSIS) method. This approach yielded rankings of stations and assessed the coordination levels between traffic and land use around rail transit stations. [**Findings**] The coordination analysis conducted on selected stations of Changsha

收稿日期:2022-10-12;**修回日期:** 2022-12-25;**接受日期:** 2022-12-26
基金项目:国家自然科学基金资助项目(51978082),湖南省自然科学基金资助项目(2021JJ50146)
通信作者:黄中祥(1965—)(ORCID: 0000-0002-5407-8845),男,教授,主要从事交通规划与管理、交通系统工程等方面的研究。E-mail:mehzx@126.com

Rail Transit Line 2 reveals notable differences between the optimized model and the traditional model. Most stations exhibit a high degree of coordination. However, variations in coordination levels are identified. For those stations displaying poor coordination, specific optimization strategies are proposed. [**Conclusions**] The analysis of the coordination between traffic and land use around rail transit stations offers valuable theoretical insights for urban rail transit development, thereby supporting the sustainable development of urban traffic.

Key words: rail transit station; land use; Node-Place Model; geographic information system; entropy weight-TOPSIS method

Foundation items: Project (51978082) supported by the National Natural Science Foundation of China; Project (2021JJ50146) supported by Hunan Province Natural Science Foundation

Corresponding author: HUANG Zhongxiang (1965—) (ORCID: 0000-0002-5407-8845), male, professor, research interest: transportation planning and management, transportation system engineering, etc. E-mail: mehzx@126.com

0 引言

近年来,我国进入高速发展阶段,城市人口日益增加,居民的交通需求随之提高。各大城市开始推行公交优先政策,但这并不能从根本上解决城市交通拥挤等问题。从协调性角度看,城市交通系统与土地利用之间存在一种动态的相互反馈机制,而交通拥挤是两者不协调发展的具体表现。因此,了解轨道交通站点周边交通与土地利用之间的协调性,对未来城市规划有重要作用。

目前,国外在交通与土地利用的动态关系方面的研究成果较多。大部分学者认为:"以公共交通为导向的开发"(transit-oriented development, TOD)区域交通网络与土地开发利用的协同效应能有效优化城市空间,带来显著的社会和经济效益[1-3]。国内相关理论研究逐步发展,但对国内大城市的实证研究仍然不足。目前,国内外多数学者认为:轨道交通站点区域交通与土地利用之间是否具有协调关系,影响到未来城市交通建设和城市可持续发展[1-3]。例如:李清扬[4]以节点-场所模型为基础,以成都市轨道交通三号线为例,构建了土地利用多目标优化模型;VALE[5]将节点-场所模型与车站区域的行人友好性结合,对里斯本车站区域内的每个站点步行网络进行评估和分类,扩展了节点-场所模型;PEZESHKRIEJAD等[6]以德黑兰"快速公交系统"车站为研究对象,将线路密度、行人连通性与节点-场所模型结合,发现车站区域具备连续人行道和良好集成性能,可更好地实施TOD模式;LIN等[7]通过TOD模式评估和调整了地铁站周边区域的开发密度规定;LYU等[8]将扩展的节点-场所模型应用到北京地铁站区域,确定了地铁站区域的6种不同类型;程之浩[9]以成都轨道交通二号线为实例,选取了相关指标构建综合评价体系,对各站点区域交通与土地利用协调性进行评价;NIGRO等[10]基于节点-场所模型,开发了一个适用于城市郊区或者小城镇的方法,用来评估交通与土地利用一体化程度;CAO等[11]通过东京的案例揭示了交通节点的功能、周边土地使用及乘客流量之间的复杂关系;MONAJEM等[12]通过节点-场所模型对德黑兰地铁站区域进行了空间整合评估;王帆等[13]探讨了如何合理规划,以协调城市轨道交通站点周边的交通与土地开发;XIE等[14]等揭示了轨道交通与土地利用在TOD模式下的协调关系;李立峰[15]通过节点-场所模型,揭示了不同站点区域在协调性上的差异,并提出了针对性的政策建议;杨进原[16]基于节点-场所模型,分析了深圳市的交通节点和土地利用在空间分布上的匹配情况;SHAO等[17]探讨了深圳市的土地利用对地铁交通客流量的影响。

综上所述,国外学者关注交通与土地利用一体化模型的开发,注重与行人连通性结合的研究,缺少对城市内部区域的详细研究;国内学者大多直接应用节点-场所模型进行实例验证,没有考虑模型结果的精确性[15-16]。本文认为:该模型不同状态之间的边界是模糊的,多数学者直接使用该边界来划分模型结果;这可能导致部分站点出现

“伪平衡”状态,存在准确性不足的问题。

本文对传统的节点-场所模型进行了优化,使用节点价值与场所价值的比值来划分协调与不协调发展区域,并通过熵权-TOPSIS法评价了各项研究指标,最后建立了地铁站点区域交通与土地利用的评价指标体系。该评价指标体系的建立能够更好地了解各站点协调发展程度,丰富国内轨道交通与土地利用协调分析的研究成果,为长沙市交通可持续发展提供参考。

1 节点-场所模型优化

1.1 传统节点-场所模型简介

节点-场所模型是BERTOLINI等[18]在研究荷兰轨道交通站点及其附近区域土地开发问题时,提出的一个轨道交通站点与周边土地开发利用之间协调关系的分析模型。该模型将站点区域同时视为交通网络的“节点”和城市的“场所”。

传统上,业界通过测量每个站点的节点和场所指标,可以识别5种典型情况,即“平衡”“压力”“依赖”“失衡场所”“失衡节点”,如图1所示。站点区域交通与土地利用若处于协调发展状态,就会分布在“平衡”“依赖”“压力”三个区域内;反之,站点区域交通与土地利用分布在“失衡节点”或“失衡场所”区域内。

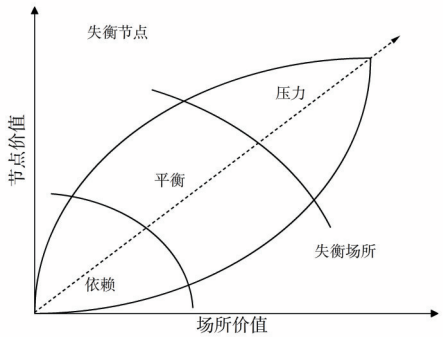

图1 传统节点-场所模型[18]

Fig. 1 Traditional Node-Place Model[18]

1.2 模型优化

传统的节点-场所模型5种状态之间的边界是模糊的、相对的。大多数研究直接将该边界用于模型结果的分类,导致模型结果精度不高、准确性不足。

本文认为,在节点-场所模型中,处于平衡状态的站点的节点价值与场所价值是共同发展、相互配合的。站点若处于依赖状态,其节点价值发展慢于场所价值;站点若处于压力状态,其场所价值发展慢于节点价值。站点在平衡与不平衡边界,越靠近中部平衡区域,节点与场所价值的比值逐渐趋近于1,这两者之间的变化与二次函数$y=x^2$的图像类似。因此本文将该二次函数图像与其关于平衡线$y=x$的对称图像组成的区域定为平衡区域,位于该区域的站点则被认为处于协调发展状态。从原点出发,将中线分为三等分,并以1/3、2/3平衡线为半径画半圆,划分出来的区域对应三种不同平衡状态。

本文优化后的模型如图2所示,与传统的模型相比,其平衡状态区域明显缩小。这表明,优化后的模型进一步提高了对各站点状态的评价精度,同时也更加明确了平衡与不平衡状态的边界。本研究将该模型与熵权-TOPSIS法结合,对各站点指标进行详细分析。

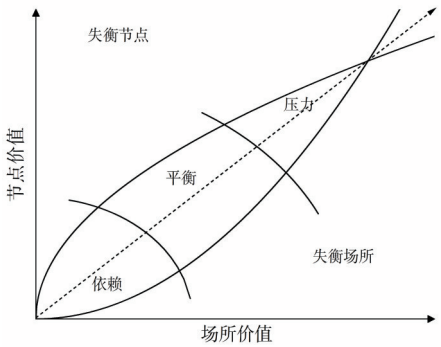

图2 优化后的节点-场所模型

Fig. 2 Optimized Node-Place Model

1.3 模型指标选取

1.3.1 节点指标

在该模型中,轨道交通站点作为交通系统的一个节点。该区域内反映一个站点交通价值的指标为节点价值。本文选取地铁站出入口量及步行覆盖范围作为反映地铁站可达性的节点指标。站点可达性越高,居民到达地铁站便捷程度越高,站点区域土地的开发机会越多;公交线路数量反映该站点区域使用公交与地铁或其他交通方式接驳的程度;公交站点密度反映该区域公交服务整体水平,公交站点密度越大表示居民从出发地到公交站点所用时间越短,距离越近,换乘更便捷;最后,选取停车场数量为指标,停车场数量直接体现机动车对于轨道交通系统的换乘衔接程度。

1.3.2　场所指标

在节点-场所模型中，轨道交通站点作为城市的一个场所。反映该区域内土地活动的指标被称为场所价值，用于衡量一个站点的承载能力。本文选取容积率作为指标之一。该区域建筑面积与区域总面积之比反映站点周边土地开发程度，容积率越大表示该地区开发强度越大，土地开发越充分。本文选取各种功能建筑规模作为场所指标。轨道站点周边因其较高的土地开发程度和完善的交通服务，吸引了不同功能建筑在其周边聚集，如办公类用地、商业用地、公共服务类用地（医疗卫生、学校、行政管理、文化体育、金融等）和住宅用地。该范围内的各类建筑规模大小反映区域内就业水平。交叉口密度指的是特定区域内交叉口的数量，交叉口密度越高，区域内的街区越小，有利于居民步行和骑行出行。

1.4　指标取值

通过上述对各项指标的描述，并借鉴前人选取该模型指标的经验，本研究选取了评价节点和场所功能的多个指标，如表1所示。

表1　各项指标取值情况

Table 1　Values of various indicators

指标		计算方法
节点指标	地铁可达性	N_1=站点出入口数量
	公交线路数量	N_2=区域内公交车站连接的线路数
	公交站点密度	N_3=区域内公交车站数量/区域面积
	停车场密度	N_4=站点区域内停车场数量/区域面积
场所指标	容积率	P_1=区域内建筑面积总和/区域总面积
	交叉口密度	P_2=区域内交叉口数量
	区域内人口密度	P_3=范围内总人口数/区域面积
	4种功能建筑规模	P_4=办公类建筑面积/区域面积
		P_5=商业类建筑面积/区域面积
		P_6=公共服务类建筑面积/区域面积
		P_7=住宅用地面积/区域面积

2　熵权-TOPSIS法

2.1　方法简介

熵权法比较客观，通过各指标自身离散程度确定权重系数。同时，TOPSIS法是一种多目标评价方法，其基本原理是通过计算评价指标与理想化目标之间的接近程度进行排序，其重点在于如何赋予指标数据合适的权重。TOPSIS法与熵权法的结合使得评价指标能更全面反映数据信息，进而提高评价准确度。因此，熵权-TOPSIS法是一种多目标决策分析的常用综合评价方法[19]。

本文对于获取的评价指标数据，首先使用熵权法对指标进行归一化处理，然后确定各指标的权重，并将标准化后的数据赋予权重得到一组新数据，接着利用这组新数据进行TOPSIS分析，最后得到站点排名及站点综合评价值。后文根据熵权-TOPSIS法进行具体计算[20-21]。

2.2　熵权法计算指标权重

2.2.1　指标归一化处理

在赋权之前，先对指标X_{ij}进行归一化处理，化为无量纲的表达式。

$$X_{ij}^{*} = (X_{ij} - X_{ij}^{\min})/(X_{ij}^{\max} - X_{ij}^{\min}) \tag{1}$$

式中：i为节点或场所指标，i=1，2；j=1，2，···，m（指标数m=4或者7）；X_{ij}为第i类第j项指标；X_{ij}^{*}为归一化后的指标数据；$X_{ij}^{\min}$、$X_{ij}^{\max}$为该类指标的最小值、最大值。

2.2.2　计算X_{ij}指标比重q_{ij}

$$q_{ij} = X_{ij}^{*} \Big/ \sum_{i=1}^{n} X_{ij}^{*} \tag{2}$$

式中：$\sum_{1}^{n} X_{ij}^{*}$为处理后的指标之和；n为样本数，n=6。

2.2.3　利用式（3）计算第j个指标的信息熵e_j

$$e_j = -\frac{2.303}{\lg n}\sum_{i=1}^{n} q_{ij}\ln q_{ij},\quad 0 < e_{ij} < 1 \tag{3}$$

2.2.4　计算j列指标的权重ω_j

$$\omega_j = 1 - e_j \Big/ \sum_{j=1}^{m}(1 - e_j) \tag{4}$$

2.3　TOPSIS法计算综合评分

1）通过熵权法对数据处理，再将标准化数据赋予权重，得到一组新数据z_{ij}并构建加权决策矩阵$\boldsymbol{Z}$，然后在$\boldsymbol{Z}$矩阵里确定正、负理想解，对应决策矩阵中各项指标的最大、最小值。

$$\boldsymbol{Z} = (z_{ij})_{n\times m} = \begin{pmatrix} z_{11} & \cdots & z_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ z_{n1} & \cdots & z_{nm} \end{pmatrix} \tag{5}$$

式中：$z_{ij}=\omega_j X_{ij}^{*}$。

2）确定正、负理想解，由式（5）得到

$$\boldsymbol{Z}^{+} = (z_1^{+}, z_2^{+}, \cdots, z_m^{+}) = (\max z_{ij} | j = 1, 2, \cdots, m) \tag{6}$$

$$\boldsymbol{Z}^{-} = (z_1^{-}, z_2^{-}, \cdots, z_m^{-}) = (\min z_{ij} | j = 1, 2, \cdots, m) \tag{7}$$

式中：$\boldsymbol{Z}^{+}$、$\boldsymbol{Z}^{-}$分别为正、负理想解；z_m^{+}、z_m^{-}分别为各项指标的最大、最小值。

3) 按式(8)~(9)计算各样本到正、负理想解的距离 D_i^+、D_i^-。

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{m}\left(z_j^+ - z_{ij}\right)^2} \tag{8}$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{m}\left(z_j^- - z_{ij}\right)^2} \tag{9}$$

4) 按式(10)计算各站点综合评价值,结果见表2。

$$C_i = D_i^-/(D_i^+ + D_i^-) \tag{10}$$

式中:C_i为综合评价值,$0 \leqslant C_i \leqslant 1$。

表2 TOPSIS综合评价结果

Table 2 Comprehensive evaluation results of TOPSIS

站点	D_i^+	D_i^-	C_i	排名
梅溪湖东	0.633 9	0.586 1	0.480 4	4
望城坡	0.562 6	0.622 8	0.525 4	3
五一广场	0.500 8	0.689 5	0.579 3	1
袁家岭	0.764 2	0.460 1	0.375 8	5
万家丽广场	0.522 0	0.665 9	0.560 5	2
杜花路	0.966 0	0.258 4	0.211 0	6

3 案例分析

3.1 研究对象

长沙市为湖南省省会,其常住人口数在2020年突破1 000万,机动车保有量突破300万辆,城市交通拥挤问题日趋严重,同时居民日常出行对轨道交通要求越来越高。本研究以长沙市轨道交通二号线(下文简称“二号线”)为例。二号线是长沙市第一条建成并运营的地铁线路(2014年4月29日开通),全长26.53 km,均为地下线,共设23座车站。二号线大致呈东西走向,西起于梅溪湖西站,途经长沙市岳麓区、天心区、开福区、芙蓉区、雨花区及长沙县,连接长沙汽车西站、长沙站、长沙南站三大客运枢纽,东止于光达站。二号线在2021年5月1日的客流量为103.78万人次,这也是长沙市单条地铁线路单日客流量首次超过百万人次。

3.2 数据获取及分析

3.2.1 地铁可达性(N_1)

数据来源于Bigemap软件中的卫星图像(后文简称Bigemap),并在ArcGIS中进行分析。地铁站点出入口是与外界进行交互的节点,出入口数量越多代表该站点到达的方便程度越高。梅溪湖东站、五一广场站和万家丽广场站三个站点的出入口沿着道路700 m半径的覆盖范围最大。五一广场站和万家丽广场站是出入口数量最多的。

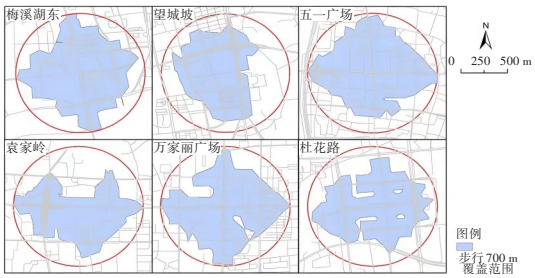

图3 站点区域步行700 m覆盖范围

Fig. 3 700 m walk area around station

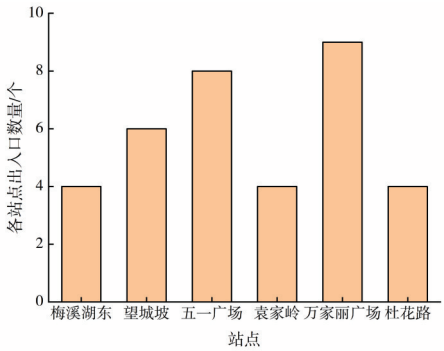

图4 各站点出入口数量

Fig. 4 Number of entrances and exits at each station

3.2.2 公交线路数量(N_2)

公交线路数量数据主要来自百度地图,如图5所示。从图5可以看出,望城坡站作为湘江新区综合交通枢纽站,其周边的公交资源配套较完整,公交线路数量最多;杜花路站由于靠近城市边缘,其周边公交线路数量最少。

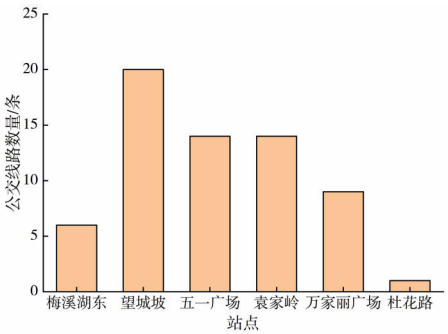

图5 公交线路数量

Fig. 5 Number of bus lines

3.2.3 公交站点密度(N_3)

使用百度地图和Bigemap获得的站点区域内公交站点密度如图6所示。望城坡站作为长途汽

车枢纽站，其周边公交车站点密度最大，与区域周边公交线路数量相匹配；杜花路站周边公交站站点密度最低，公共交通资源不发达。

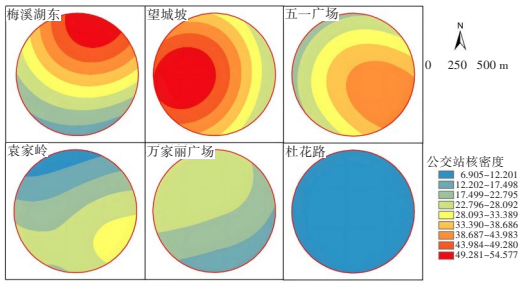

图6　公交站点密度

Fig. 6　Bus stop density

3.2.4　站点区域停车场数量(N_4)

长沙市停车场信息通过百度地图和Bigemap获得，并用SPSS软件计算停车场数量与区域面积的比值，如图7所示。从图7看出，杜花路站周边停车场密度最小；五一广场站、袁家岭站和万家丽站停车场分布比较均匀，大部分为商场、酒店配套停车场及住宅小区停车场。

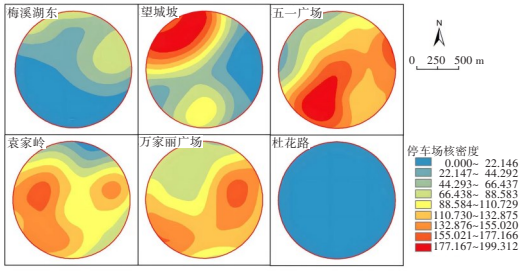

图7　停车场密度

Fig. 7　Parking density

3.2.5　容积率(P_1)

本研究使用Bigemap和ArcGIS软件研究区域内建筑楼层层数及总用地面积，最后得该区域建筑容积率，如图8~9所示。其中，袁家岭站点区域容积率最大，其周边土地利用已趋于饱和，土地开发强度大；杜花路站容积率最小，其周边未利用地块较多，开发强度不足，土地利用经济效益最低。

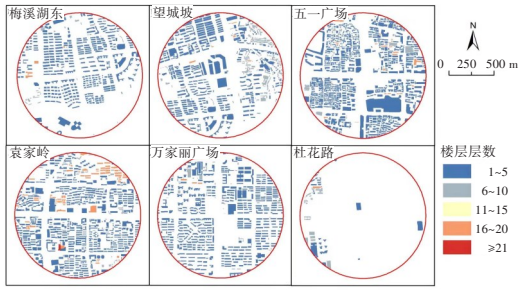

图8　区域楼层层数

Fig. 8　Regional floor number

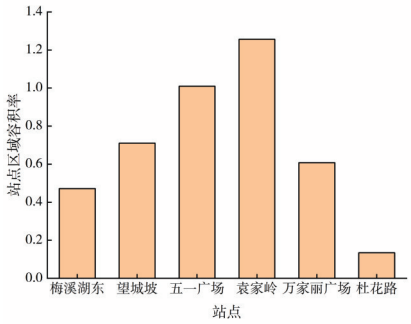

图9　站点区域容积率

Fig. 9　Plot ratio in station areas

3.2.6　交叉口数量(P_2)

本研究通过Bigemap获得各站点区域内的交叉口数量，如图10所示。从图10可以看出：望城坡站点区域交叉口数量最多，交叉口数量较多的为杜花路站和袁家岭站。交叉口数量越多，表示该区域内街区较小，有利于居民步行和骑行，这些站点区域活力相对也较高。

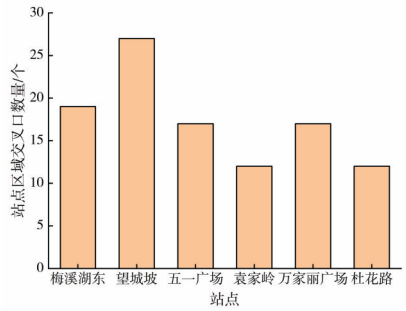

图10　站点区域交叉口数量

Fig. 10　Intersection number of station areas

3.2.7　区域人口密度(P_3)

本研究通过2020年长沙市统计年鉴获取各分区人口总数，并使用Land Scan软件确定研究范围内人口密度，如图11所示。

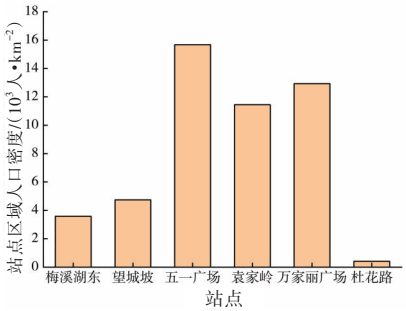

图11　站点区域人口密度

Fig. 11　Population density in station areas

从图11看出,人口密度最大的站点为五一广场站。五一广场站是长沙人气最旺的,站点周边商业、饮食、娱乐设施等非常多,人流量很大。

3.2.8 各类建筑密度(P_4~P_7)

使用Bigemap获取的站点区域内各类土地利用类型数据如图12所示。从图12可以看出:五一广场站周边土地利用类型大部分为商业用地和住宅用地;梅溪湖东站周边住宅用地大部分分布在二号线沿线区域;杜花路站区域内有大部分的未利用地,土地利用类型较少。

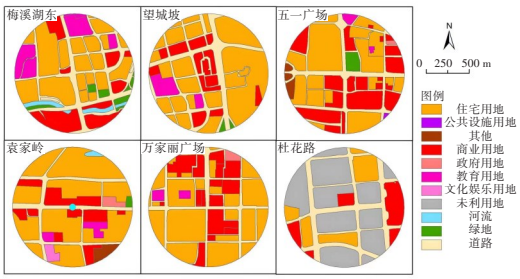

图12 站点区域用地类型

Fig. 12 Land type in station areas

4 结果与协调性分析

4.1 TOPSIS综合评价结果

从表2可看出,6个站点按照TOPSIS综合评价排名由高到低依次为五一广场、万家丽广场、望城坡、梅溪湖东、袁家岭和杜花路。五一广场的停车场密度、区域内人口密度和商业类建筑规模等指标均排名第一,说明该站点周边商贸发展较好,人流量较大。万家丽广场与五一广场整体评定值差异不大,需合理分配功能建筑规模。望城坡站是重要交通枢纽,其公交线路数量、公交站点及交叉口密度指标评分较高。梅溪湖东站在办公类、公共服务类建筑规模指标上排名较高。袁家岭站在住宅用地面积指标上排名第一,表明其周边主要为住宅区。杜花路除容积率外,其各指标排名较低,尚需整体改善。

4.2 节点-场所模型结果

4.2.1 节点价值和场所价值计算

本研究利用式(11)~(13)对各标准化指标加权求和,进而得到6个站点的节点价值和场所价值,两者协调度S的计算结果见表3。S越接近1,表明该站点协调程度越高。

表3 节点价值与场所价值及协调度结果

Table 3 Node value, place value, and degree of coordination

站点	节点价值	场所价值	S
梅溪湖东	0.209	0.626	0.601
望城坡	0.640	0.473	0.742
五一广场	0.807	0.496	0.796
袁家岭	0.352	0.291	0.566
万家丽广场	0.796	0.460	0.778
杜花路	0.000	0.106	0.000

4.2.2 协调度S计算

1)耦合度V计算如式(11)所示:

$$V = 2\sqrt{U_1 \times U_2}/(U_1 + U_2) \tag{11}$$

式中:U_1,U_2分别为节点、场所价值。

2)协调指数T计算如式(12)所示:

$$T = \alpha U_1 + \beta U_2 \tag{12}$$

式中:节点价值与场所价值相互制约、相互促进,两者重要程度相当,所以两个待定系数α=β=0.5。

3)协调度S计算如式(13)所示:

$$S = \sqrt{V \times T} \tag{13}$$

4.2.3 站点协调状态图

各站点的节点价值和场所价值评价结果反映到两种Node-Place模型的结果如图13~14所示:

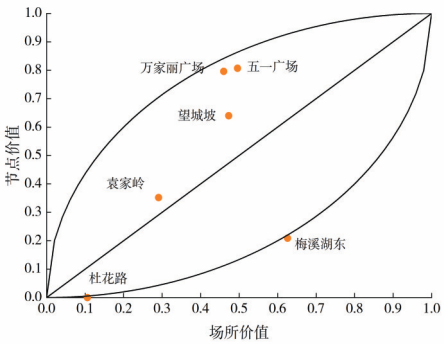

图13 传统模型的协调状态图

Fig. 13 Coordination state of traditional model

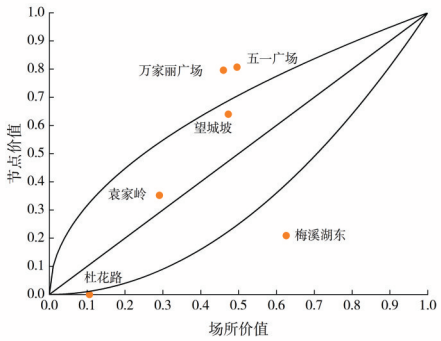

图14 优化后模型的协调状态图

Fig. 14 Coordination state of optimized model

4.3　站点区域交通与土地协调性分析

传统节点-场所模型和优化后的模型存在差异。传统模型以节点和场所价值的最高值，即以(0,1)和(1,0)为圆心，以协调水平最高值1为半径画圆来区分平衡和不平衡状态。优化后模型考虑节点价值与场所价值的比值，站点越靠近中部平衡区，该比值越接近1，该站点的现状发展越协调。故优化后的模型使得平衡区域更加“严格”，避免出现“伪平衡”站点。

通过对比图13~14可以看出，五一广场站和万家丽广场站在传统模型中的协同发展水平最高，均处于平衡发展状态，但两站点在优化后模型中处于“失衡节点”区域。通过实际情况看，两站点在优化后模型中均处于城市核心区域，人流量较大，土地开发基本结束，其节点价值大于场所价值。这说明交通供给能力大于土地活动需求，并没有达到传统模型反映出的平衡状态，同时这些区域也面临人流量过大产生的拥堵问题。因此，这些站点区域可以通过降低交通服务水平来缓解压力，通过完善步行、慢行交通设施等措施避免交通拥堵。

此外，望城坡站处于协调发展状态，其节点价值与场所价值差距较小，协调度较高。该站点属于居住型站点，也是城市对外交通枢纽站，注重节点、场所价值协调发展，同时可以采用TOD模式发展，充分发挥交通枢纽区位优势带动土地发展。袁家岭站位于“依赖”区域，该站点区域的建筑容积率大，人口密度大，住宅用地面积比例较大。虽然该区域节点和场所价值相当，处于协调发展状态，但是两者均处于较低水平，该区域的城市活动对于交通和空间利用的需求较低，可以考虑增加站点地区的功能容量，发挥轨道交通引导土地发展的作用。梅溪湖东站处于“失衡场所”区域，区域周边建筑类型较多，土地功能过度聚集，土地利用强度大于交通供给。该区域较易产生交通拥堵等问题。由于节点-场所模型能够动态评价区域发展状况，对于“失衡场所”的站点可以通过提高交通供给来满足现状土地活动需求，后续需要发掘站点周边交通的发展潜力。杜花路站处于“失衡场所”区域，其周边节点价值和场所价值严重失衡。从站点位置看，该区域位于城市边缘，交通需求量很低，人口密度也低，并且存在大部分未利用地。未来城市发展规划可加大土地开发强度，增强该区域的人流量吸引力和交通供给能力，防止两者不平衡发展。具体措施有增加公交线路数量、建设多功能综合体等。

5　结论

本研究将研究对象定为轨道交通站点700 m半径以内的区域，通过优化节点-场所模型，并结合熵权-TOPSIS法进行综合评价，最后以二号线为实例构建了站点区域交通系统与土地利用评价指标体系，并验证了评价体系的适用性。主要结论如下：

1）节点-场所模型能够直观反映交通与土地利用的协调关系。本次研究选取6个站点中仅有两个为协调发展状态，其余不平衡站点的交通水平与土地利用差距较大。虽然本研究存在一定局限性，但也暴露了长沙市当前轨道交通发展水平较低。交通与土地如何一体化发展应当是未来轨道交通规划考虑的问题。

2）从研究结果看，协调度高的站点也不一定处于平衡状态，该类站点在传统模型中属于协调发展状态，而优化后的模型缩小了平衡状态的范围，避免了出现该类“伪平衡”站点。与传统模型相比，优化后的模型提高了测度结果精度，对于平衡与不平衡站点的划分更加准确，能更好地研究区域交通与土地利用协调性的关系。

3）节点-场所模型指标的选取应当结合研究地区的实际情况，选取的指标因人而异。本次研究选取地铁站点为对象，未来可以选取大型交通枢纽、旅游热门景区等为对象，研究该模型在不同条件下的适用性。此次研究建立的评价指标体系适用于长沙市轨道交通协调发展分析，为评估和优化轨道站点区域提供了新视角。

[参考文献]

[1] NASRI A, ZHANG L. The analysis of transit-oriented development (TOD) in Washington, D. C. and Baltimore metropolitan areas [J]. Transport Policy, 2014, 32: 172-179. DOI: 10.1016/j. tranpol. 2013. 12.009.

[2] CERVERO R, DAI D. BRT TOD: Leveraging transit oriented development with bus rapid transit investments [J]. Transport Policy, 2014, 36: 127-138. DOI: 10.1016/j.tranpol.2014.08.001.

[3] JAAFAR SIDEK M F, BAKRI F A, KADAR HAMSA A A, et al. Socio-economic and travel characteristics of transit users at transit-oriented development (tod) stations[J]. Transportation Research Procedia, 2020, 48: 1931-1955. DOI: 10. 1016/j.trpro.2020.08.225.

[4] 李清扬. 城市轨道交通站点地区的土地利用评价及优化研究: 以成都轨道交通三号线为例[D]. 成都: 西南交通大学, 2021. DOI: 10.27414/d. cnki. gxnju.2021.001396.
LI Qingyang. Study on land use evaluation and optimization in urban rail transit stations: a case study of Chengdu rail transit line 3[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2021. DOI: 10.27414/d. cnki. gxnju.2021.001396.

[5] 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. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2015. 04.009.

[6] PEZESHKNEJAD P, MONAJEM S, MOZAFARI H. Evaluating sustainability and land use integration of BRT stations via extended node place model, an application on BRT stations of Tehran [J]. Journal of Transport Geography, 2020, 82: 102626. DOI: 10. 1016/j.jtrangeo.2019.102626.

[7] LIN J J, GAU C C. A TOD planning model to review the regulation of allowable development densities around subway stations[J]. Land Use Policy, 2006, 23 (3): 353-360. DOI: 10.1016/j. landusepol. 2004. 11.003.

[8] LYU G W, BERTOLINI L, PFEFFER K. Developing a TOD typology for Beijing metro station areas [J]. Journal of Transport Geography, 2016, 55: 40-50. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2016.07.002.

[9] 程之浩. 成都市轨道交通站点地区空间利用评价及优化策略研究: 以成都地铁二号线为例[D]. 成都: 西南交通大学, 2019. DOI: 10.27414/d.cnki.gxnju. 2019.001764.
CHENG Zhihao. Evaluation and optimization strategy of regional space utilization of Chengdu rail transit station [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2019. DOI: 10.27414/d.cnki.gxnju.2019.001764.

[10] NIGRO A, BERTOLINI L, MOCCIA F D. Land use and public transport integration in small cities and towns: assessment methodology and application [j]. Journal of Transport Geography, 2019, 74: 110-124. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2018.11.004.

[11] CAO Z J, ASAKURA Y, TAN Z B. Coordination between node, place, and ridership: comparing three transit operators in Tokyo[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2020, 87: 102518. DOI: 10.1016/j.trd.2020.102518.

[12] MONAJEM S, EKRAM NOSRATIAN F. The evaluation of the spatial integration of station areas via the node place model; an application to subway station areas in Tehran[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2015, 40: 14-27. DOI: 10.1016/j.trd.2015.07.009.

[13] 王帆, 周健勇. 城市轨道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. DOI: 10.13714/j.cnki.1002-3100.2021.02.033.
WANG Fan, ZHOU Jianyong. Research on the coordination between traffic and land development around urban rail stations [J]. Logistics Sci-Tech, 2021, 44(2): 126-130. DOI: 10.13714/j. cnki. 1002-3100.2021.02.033.

[14] XIE B L, DING C. An evaluation on coordinated relationship between urban rail transit and land-use under TOD mode[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2013, 13 (2): 9-13. DOI: 10.1016/S1570-6672(13)60101-4.

[15] 李立峰. 基于节点-场所模型的轨道站点地区交通与土地利用协同性研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2018.
LI Lifeng. Research on the synergy of traffic and land use around rail transit station based on Node-Place Model[D]. Chongqing: Chongqing University, 2018.

[16] 杨进原. 基于Node-Place模型的深圳市土地利用与交通协调关系研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2018.
YANG Jinyuan. Evaluating integration of land use and transport of Shenzhen based on Node-Place Model[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2018.

[17] SHAO Q F, ZHANG W J, CAO X Y, et al. Threshold and moderating effects of land use on metro ridership in Shenzhen: implications for TOD planning[J]. Journal of Transport Geography, 2020, 89: 102878. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2020.102878.

[18] BERTOLINI L, SPIT T. Cities on rails: the redevelopment of railway stations and their surroundings [M]. 1st Edition. London: Routledge, 1998. DOI: 10. 4324/9780203980439.

[19] 谢晓东, 葛一键, 庞宝群, 等. 基于熵权-TOPSIS的EPC项目联合体协同度评价研究[J]. 工程管理学报, 2022, 36(3): 23-28. DOI: 10.13991/j.cnki.jem. 2022.03.005.
XIE Xiaodong, GE Yijian, PANG Baoqun, et al. Research on the evaluation of EPC project consortium

synergy based on entropy weight-TOPSIS[J]. Journal of Engineering Management, 2022, 36(3): 23-28. DOI: 10.13991/j.cnki.jem.2022.03.005.

[20] 武慧荣, 陈少阳, 崔淑华. 基于熵权TOPSIS模型的大宗货物运输方式综合评价[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2022, 36(6): 254-260.
WU Huirong, CHEN Shaoyang, CUI Shuhua. Evaluation of bulk goods transportation mode based on entropy TOPSIS method [J]. Journal of Chongqing University of Technology (Natural Science), 2022, 36 (6): 254-260.

[21] 谢庆元, 吴其育, 余亦彧. 不同交通管理策略下异质交通流稳定性分析[J]. 交通科学与工程, 2023, 39 (6): 123-133. DOI: 10.16544/j. cnki. cn43-1494/u. 202207262023121998.
XIE Qingyuan, WU Qiyu, YU Yiyu. Stability analysis of heterogeneous traffic flow under different traffic management strategies[J]. Journal of Transport Science and Engineering, 2023, 39 (6): 123-133. DOI: 10.16544/j.cnki.cn43-1494/u.202207262023121998.

(责任编辑:彭三军;校对:毛娜)

(上接第145页)

[25] WANG X L, GIRSHICK R, GUPTA A, et al. Non-local neural networks[C]//Proceedings of 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Salt Lake City, UT, USA: IEEE, 2018: 7794-7803. DOI: 10. 1109/CVPR.2018.00813.

[26] SHI W Z, CABALLERO J, HUSZÁR F, et al. Real-time single image and video super-resolution using an efficient sub-pixel convolutional neural network [C]// Proceedings of 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Las Vegas, NV, USA: IEEE, 2016: 1874-1883. DOI: 10.1109/CVPR.2016.207.

[27] 中国建筑科学研究院. 2008年汶川地震建筑震害图片集[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008: 21-73.
China Academy of Building Research. Photo collection of 2008 Wenchuan earthquake damage to buildings [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2008: 21-73.

[28] 孙柏涛. 四川省芦山"4·20" 7.0级强烈地震建筑物震害图集[M]. 北京: 地震出版社, 2014: 13-289.
SUN Botao. Atlas of earthquake damage of buildings in Lushan, Sichuan Province "4·20" M 7.0 strong earthquake[M]. Beijing: Seismological Press, 2014: 13-289.

[29] 戴君武. 四川九寨沟7.0级地震之工程震害[M]. 北京: 地震出版社, 2018: 39-288.
DAI Junwu. Engineering damage in Jiuzhaigou M 7.0 earthquake[M]. Beijing: Seismological Press, 2018: 39-288.

[30] 刘广林, 蒋志明, 邓琛, 等. 切缝间距对环向切缝管气隙聚能效应的影响[J]. 交通科学与工程, 2023, 39 (3): 90-97. DOI: 10.16544/j. cnki. cn43-1494/u. 20211105001.
LIU Guanglin, JIANG Zhiming, DENG Chen, et al. Influence of the slotted spacing on air-gap gathering energy effect of the circumferential slit tube[J]. Journal of Transport Science and Engineering, 2023, 39(3): 90-97. DOI: 10.16544/j. cnki. cn43-1494/u. 20211105001.

(责任编辑:彭三军;校对:毛娜)