

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2023.09.016

牟风云, 黄淇, 王俊秀, 等. 重庆市轨交客流与土地利用混合度耦合协调关系研究 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2023, 45(9): 162-170.

# 重庆市轨交客流与土地利用混合度 耦合协调关系研究

牟风云<sup>1</sup>, 黄淇<sup>1</sup>, 王俊秀<sup>2</sup>, 何勇<sup>1</sup>, 张用川<sup>1</sup>

1. 重庆交通大学 智慧城市学院, 重庆 400074; 2. 重庆市规划和自然资源信息中心, 重庆 401147

**摘要:** 为探究重庆市城市轨道交通站点客流与站域土地利用混合度的耦合协调关系, 从 2018 年、2021 年 2 个时间横断面出发, 首先基于 IC 卡数据计算站点工作日日均出站客流量, 其次基于 POI 数据构建站域 POI 重分类体系, 计算站域土地利用混合度, 最后探究两者耦合协调关系. 研究表明: 重庆市 2018 年至 2021 年轨道交通站点工作日日均出站客流量均值由 6 594 人次上升为 9 071 人次, 前 10 名变化较小, 后 10 名变化明显. 站域土地利用混合度均值由 0.61 上升为 0.67, 前 10 名、后 10 名均大幅变化. 两者的耦合度总体上均处于上游水平(0.69~1.00), 协调度则在下游至上游均有分布(0.28~0.79), 根据耦合协调度识别出优质、中级、初级耦合协调型站点各 17、136、6 个. 由此推论, 2018 年至 2021 年重庆市轨道交通站点客流与站域土地利用混合度总体在高度耦合作用下协调发展, 站点客流与站域土地利用融合较好.

**关键词:** 城市轨道交通; 客流量; 土地利用混合度;  
耦合协调关系; 重庆

中图分类号: U12; F572.88

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



文章编号: 1673-9868(2023)09-0162-09

## Research on the Coupling and Coordination Relationship between Passenger Flow of Rail Transit Stations and Mixing Degree of Station Area Land Use-Taking Chongqing as an Example

MU Fengyun<sup>1</sup>, HUANG Qi<sup>1</sup>, WANG Junxiu<sup>2</sup>,  
HE Yong<sup>1</sup>, ZHANG Yongchuan<sup>1</sup>

1. Smart City Academy, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

2. Chongqing Planning and Natural Resources Information Center, Chongqing 401147, China

**Abstract:** In order to explore the coupling coordination relationship between passenger flow and land use

收稿日期: 2022-09-09

基金项目: 国家重点研发计划项目(2019YFB2102503); 自然资源部城市国土资源监测与仿真重点实验室开放基金项目(KF-2021-06-102); 重庆交通大学研究生科研创新项目(CYS21362); 重庆市研究生科研创新项目(CYS21362).

作者简介: 牟风云, 博士, 教授, 主要从事交通经济、国土资源遥感、3S 技术集成与应用研究.

mixing degree of Chongqing urban rail transit station, this paper makes up for the lack of existing studies. Starting from two time cross-sections in 2018 and 2021, the average daily outbound passenger flow of the station on weekdays was calculated based on IC card data. Secondly, the POI reclassification system was constructed based on POI data to calculate the land use mixing degree of the station. Finally, the coupling coordination degree model was used to analyze the coupling coordination relationship. The research results can provide time dimension and model method reference for related research, and finally provide scientific decision-making basis for the organic combination of urban land use planning and public transport planning. The results show that From 2018 to 2021, the average daily outbound passenger flow of Chongqing rail transit station on weekdays increased from 6594 to 9071, with small changes in the top ten stations and obvious changes in the bottom ten stations. The average land use mixing degree increased from 0.61 to 0.67, and the top ten and the bottom ten stations had significant changes. The coupling degree between the change of daily outbound passenger flow in working days and the change of land use mixing degree in the station area was generally at the upstream level (0.69—1.00), while the coordination degree was distributed from the downstream to the upstream levels (0.28—0.79). According to the coupling coordination degree, 17, 136 and 6 sites of high quality, intermediate and primary coupling coordination type were identified, respectively. It can be concluded that the mix degree of passenger flow and land use in Chongqing rail transit stations from 2018 to 2021 was coordinated under the action of high coupling, and the mix of passenger flow and land use in Chongqing rail transit stations was better.

**Key words:** urban rail transit; passenger flow; land use mixing degree; coupling coordination relationship; Chongqing

为了缓解由无序使用小汽车导致的城市交通拥堵等诸多矛盾,“公共交通导向型开发”(Transit Oriented Development, TOD)被提出,倡导以公共交通枢纽为城市核心建立高效、混合的土地利用模式.2014年,国务院办公厅正式以文件形式提出TOD的概念;2015年,TOD理念正式出现在规划技术准则中;2017—2018年,“轨道+新城”等新型建设理念被提出,各大城市纷纷出台政策,支持轨道交通TOD发展.截至2019年末,我国40个开通轨道交通的城市中,已有近一半城市出台TOD相关政策.2020年,重庆市也相继出台了《关于推进主城都市区城市轨道交通区域综合开发的实施意见》《重庆城市轨道交通TOD综合开发实施方案》和《主城都市区城市轨道交通TOD综合开发专项规划》,强调以轨道交通站点为中心划定半径范围,进行高强度集约化开发,打造集多种用地功能于一体的混合功能区.轨道交通站域土地利用混合度是衡量其TOD发展水平的重要参考之一,探究站点客流与站域土地利用混合度之间的耦合协调关系,可以有效检验城市轨道交通出行服务与城市功能的融合程度.

对相关研究进行梳理总结发现:①城市用地功能的量化逐渐由土地利用转向POI.土地利用混合度测度方法可归纳为基于数量规模、空间结构、功能关系、多维综合4种<sup>[1]</sup>,现有研究多从数量规模维度展开,直接依据不同土地利用类型的数量或面积比例计算土地利用混合度<sup>[2]</sup>,或间接采用熵指数<sup>[3]</sup>等多样性指标反映土地利用混合度.传统的测度数据多基于土地利用数据,其获取成本高、样本少、精度低,难以精细量化城市用地功能<sup>[4-7]</sup>,随着基于位置的服务(Location Based Services, LBS)技术的迅速发展,利用百度、高德以及Google地图爬取POI数据以替代土地利用数据,从而识别城市用地功能、量化用地功能混合度,逐渐成为研究热点<sup>[6-8]</sup>.②客流与土地利用间双向因果关系被忽略.目前探究客流与土地利用关系的模型可分为全局常参数模型和局部变参数模型,前者包括以两阶段最小二乘法、普通最小二乘法(Ordinary Least Squares regression, OLS)、逐步回归等为代表的传统全局回归法和以空间误差模型(Spatial Error Model, SEM)、空间滞后模型(Spatial Lag Model, SLM)、空间杜宾模型(Spatial Dubin Model, SDM)等为代表的空间全局回归法<sup>[9]</sup>,后者包括以地理加权回归模型(Geographically Weighted Regression, GWR)及其衍生模型<sup>[10-12]</sup>为代表的空间局部回归方法.但上述模型多以土地利用因素作为自变量,客流因素作为因变量,

探讨土地利用对于客流的影响<sup>[13-17]</sup>,忽略了客流与土地利用之间相互依存、彼此制约的双向因果关系。③缺乏不同时间横断面数据纵向比较。既有研究多受限于数据样本的局限性,仅就单一时间横断面作出探讨<sup>[11-13]</sup>,但客流与土地利用间的相互响应存在一定时间过程,基于单一时间横断面的研究无可避免地陷入片面性。

综上,本研究弥补现有研究不足,从 2018 年、2021 年 2 个时间横断面出发,首先基于重庆市轨道交通 IC 卡数据,计算两期工作日日均出站客流量;其次根据城市建设用地功能特征,基于 POI 数据构建重庆市城市轨道交通站域 POI 重分类体系,实现站域土地利用混合度的精细量化;最后采用耦合协调度模型探究两者相互作用关系,研究结果可为相关研究提供时间维度和模型方法上的参考,并最终为城市用地规划与公共交通规划的有机结合提供科学决策依据。

## 1 研究区域与数据说明

### 1.1 研究对象概况

2018 年重庆市轨道交通开通运营的线路包括 1 号线、2 号线、3 号线、4 号线、5 号线、6 号线、10 号线以及环线,共 160 个站点(不含重复站点);2021 年新建线路包括环线重庆图书馆至海峡路段、5 号线跳蹬至石桥铺段、6 号线沙河坝至王家庄段,新增 24 个站点,共 184 个站点(图 1)。截至 2021 年 1 月,重庆轨道交通总运营里程已达 370 km,居西部城市次位,中国第八位,全网日均客运量近 300 万人次,日均开行班次 2 205 次。

### 1.2 数据获取及处理

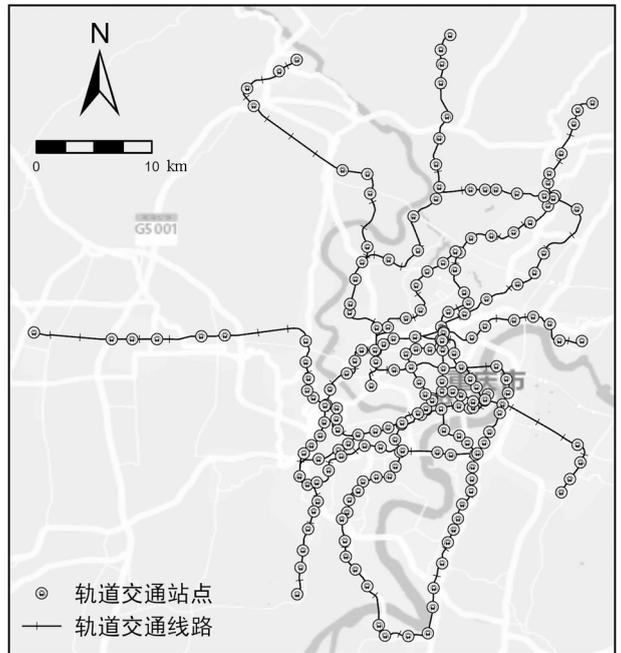
1) 重庆市轨道交通站线数据。采用 2018 年、2021 年重庆市城市轨道交通站点、线路矢量数据,根据重庆市出台的主城都市区城市轨道交通 TOD 综合开发相关文件,围绕各站点以 500 m 为半径生成缓冲区,以提取缓冲区内 POI。

2) 重庆市轨道交通 IC 卡数据(表 1)。来源于重庆市公交集团,包括 11 个属性字段,根据需求保留了卡号、线路、进站时间、进站编号、出站时间、出站编号等字段,运用 Python 分别提取 2018 年和 2021 年的 6 月 5 日—6 月 11 日各站点工作日日均出站客流量。

表 1 轨道 IC 卡刷卡数据样例

卡号	线路	进站时间	进站编号	出站时间	出站编号
4000000215386310	01	20210608071122	0115	20210608074036	0123
4000000215407750	01	20210608073052	0116	20210608073756	0114
4000001840389559	06	20210608074449	0603	20210608080043	0607
4000001840393249	06	20210608074458	0603	20210608080052	0607
4000001840397022	06	20210608075216	0611	20210608080052	0608

3) 重庆市辖区高德 POI 数据。通过高德地图开放平台爬取两期重庆市辖区 POI,原始 POI 分类体系包含 23 个一级分类、267 个二级分类和 904 个三级分类;对所爬取 POI 进行清洗、提取,剔除与居民出行



该图基于《重庆市城市轨道交通第三期建设规划(2018—2023 年)》内示意图制作。

图 1 重庆市 2021 年轨道交通网络空间分布图

目的无关的自然地名、路、桥及地址地名等 POI<sup>[18]</sup>, 提取轨道交通站点 500 m 缓冲区范围内 POI; 再根据《城市用地分类与规划建设用地标准》, 对站点 500 m 缓冲区内 POI 进行拆分、重组, 构建重庆市轨道交通站域 POI 重分类体系(表 2), 用以计算各站域内土地利用混合度。

表 2 重庆市轨道交通站域 POI 重分类体系

用地类型	I 级 POI
居住用地	商务住宅
公共管理与公共服务设施用地	医疗保健服务、科教文化服务、公用设施、政府机构及社会团体
商业用地	住宿服务、摩托车服务、汽车服务、汽车维修、汽车销售、餐饮服务、商业服务、购物服务
商务用地	商务写字楼、金融保险服务、产业园区、生活服务、公司企业
娱乐健康用地	体育休闲服务、洗浴休闲服务
工业用地	工业用地
道路与交通设施用地	交通服务设施、道路附属设施
公共设施用地	公共设施、丧葬服务
绿地与广场用地	风景名胜

## 2 研究思路及方法

### 2.1 土地利用混合度

根据上文所构建的重庆市轨道交通站域 POI 重分类体系(表 2), 轨道交通站域内 POI 被重分类为 9 种用地类型, 在此基础上构建空间信息熵模型, 以量化轨道交通站域 500 m 缓冲区内土地利用混合程度, 计算公式如下:

$$M = - \sum_{i=1}^n \left( \frac{P_i}{P} \times \ln \frac{P_i}{P} \right) \quad n = 1, 2, \dots, 10 \quad (1)$$

式中:  $M$  为站域内土地利用混合度, 其值越大则站域内用地功能越复杂, 用地混合程度越高;  $n$  为 POI 的类型数量,  $P_i$  为站域内第  $i$  类 POI 的数量;  $P$  为站域内所有类型 POI 的数量。

### 2.2 耦合协调度模型

耦合度是指 2 个或多个系统之间相互作用以实现协调发展的动态关联关系, 可以反映系统间相互依存、彼此制约的程度。计算公式如下:

$$C = 2 \sqrt{\frac{F \times M}{(F + M)^2}} \quad (2)$$

式中:  $C$  表示耦合度,  $C$  值介于 0~1, 当  $C=1$  时, 说明系统之间存在着良好的耦合效应;  $F, M$  分别表示轨道交通站点客流量与站域土地利用混合度。

协调度反映了系统间的良性耦合程度, 体现了系统间协调状况的好坏, 可以避免 2 个或多个系统高度耦合却发展较差的情况。计算公式如下:

$$D = \sqrt{C \times T}, \quad T = A \times F + B \times M \quad (3)$$

式中:  $D$  为轨道交通站点客流量与站域土地利用混合度的耦合协调度;  $T$  为轨道交通站点客流量与站域土地利用混合度的协调度;  $A, B$  为待定系数, 且  $A+B=1$ , 本研究将轨道交通站点客流量与站域土地利用混合度视为同等重要, 因此  $A, B$  取值均为 0.5。

## 3 结果与讨论

### 3.1 轨道交通站点客流时空分异特征分析

2021 年轨道交通站点工作日日均出站客流量均值较 2018 年显著上升(图 2a), 2018 年至 2020 年各站域土地利用混合度排名前 10 名变化幅度较小, 后 10 名变化幅度明显(图 3a)。2018 年, 前 10 名从大

到小依次为：观音桥、小什字、南坪、两路口、红旗河沟、石桥铺、沙坪坝、嘉州路、工贸和石油路；2021 年，前 10 名从大到小依次为：沙坪坝、小什字、观音桥、大坪、红旗河沟、两路口、光电园、南坪、杨家坪和嘉州路。

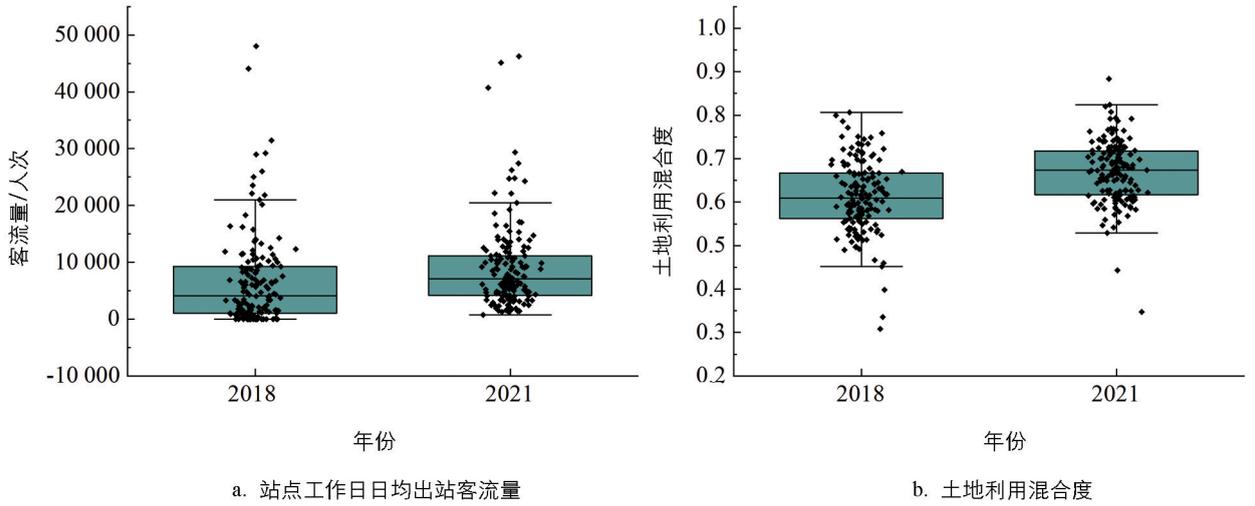


图 2 2018 年、2021 年轨道交通站点工作日日均出站客流量(a)和站域土地利用混合度(b)箱线图

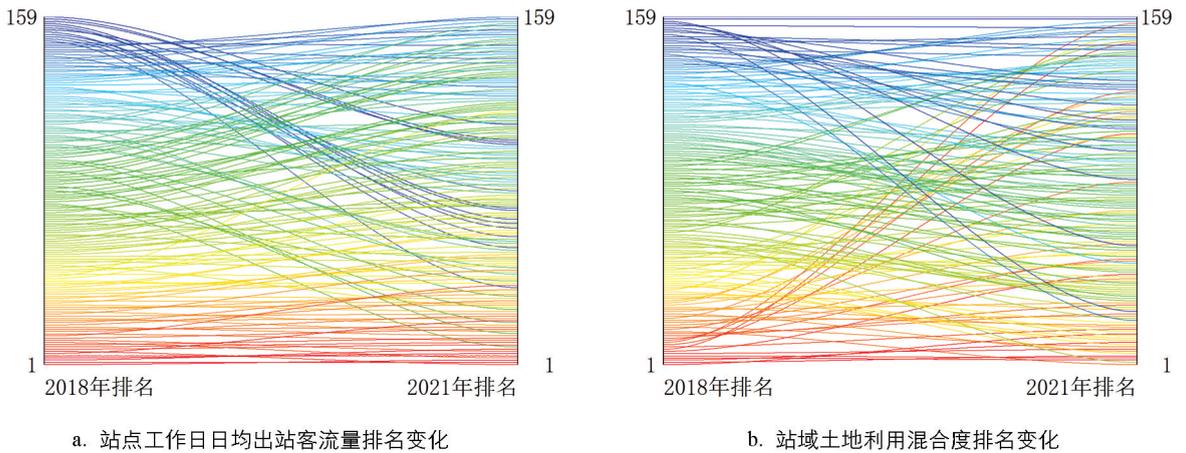
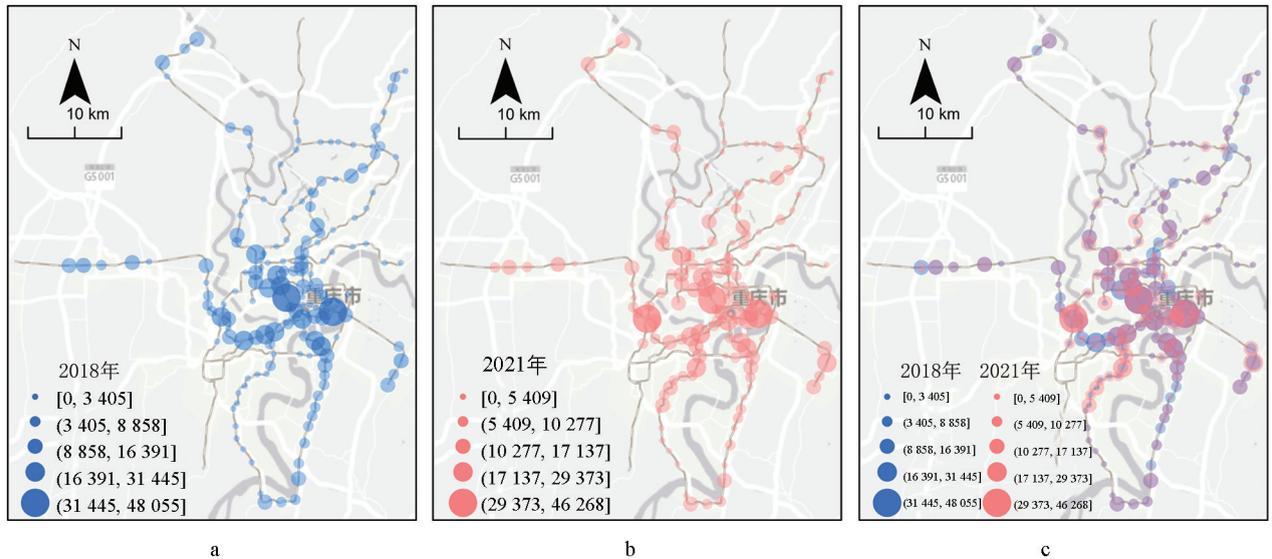


图 3 轨道交通站点工作日日均出站客流量(a)和站域土地利用混合度(b)排名变化图

根据 2018 年、2021 年轨道交通站点工作日日均出站客流量时空分异图(图 4)，随着环线(重庆图书馆至海峡路段)的全面开通和 5 号线(跳蹬至石桥铺段)的进一步建设，沙坪坝站成为一座集高铁、轨交、公交、出租车等多种交通方式为一体的综合交通枢纽，出行需求极其旺盛，在成为环线与 1 号线的换乘站后，大量出行需求被满足，因此其工作日日均出站客流量呈现出爆发式增长，排名由第七名跃为榜首；谢家湾站作为重庆市重点打造的历史文化站点，其周围分布了众多抗战历史遗址、学校等 POI 点，加之邻近大坪换乘站，客流需求亦十分旺盛，在成为环线与 2 号线的换乘站后，客流需求被满足，其工作日日均出站客流量亦大幅增长，尽管排名未进入前 10，但增长幅度仅次于沙坪坝站，而 2 号线上与谢家湾站近邻的杨家坪站、大坪站、袁家岗站的工作日日均出站客流量也随之显著增长；此外，随着 6 号线(沙河坝至王家庄段)的进一步建设，小什字站作为 6 号线与 1 号线的换乘站，又是重庆重要景点的中枢站，其工作日日均出站客流量显著增长，排名稳居第二；而光电园作为重庆市规模最大的产业园集群，随着白领出行需求被满足，工作日日均出站客流量亦显著增长，排名跃入前 10。



该图基于《重庆市城市轨道交通第三期建设规划(2018—2023年)》内示意图制作。单位:人次。

图4 2018年、2021年轨道交通站点工作日日均出站客流量时空分异图

### 3.2 轨道交通站域土地利用混合度时空分异特征分析

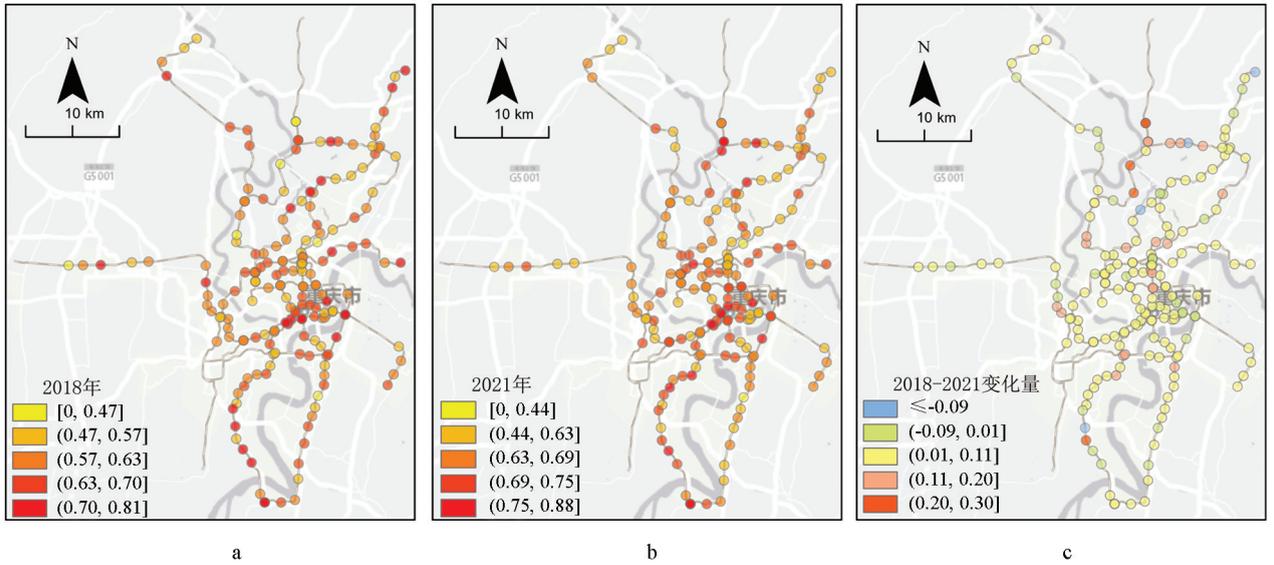
2021年轨道交通站域土地利用混合度均值较2018年显著上升,2018年至2020年各站域土地利用混合度排名变化较大,前10名、后10名均大幅变化(图3b),2018年前10名从大到小依次为:海棠溪、大剧院、刘家坝、鱼洞、鹅岭、佛图关、白居寺、举人坝、园博中心和龙凤溪,2021年前10名从大到小依次为:中央公园、悦来、鱼洞、鹅岭、大剧院、动物园、曾家岩、佛图关、翠云和洪湖东路。

根据2018年、2021年轨道交通站域土地利用混合度时空分异图(图5),随着6号线国博支线(沙河坝至王家庄段)的进一步建设,其沿线站域各类型POI点逐渐增多,因此土地利用混合度上升趋势最为显著,如黄茅坪、高义口、王家庄、悦来等站点,其中悦来跃入前10并位居第二;而随着重庆市建设重心的逐渐北移,10号线沿线站域土地利用混合度亦显著上升,上升幅度仅次于6号线国博支线,如中央公园、中央公园西、龙头寺、长河等站点,其中中央公园跃入前10并成为榜首。此外,2号线金家湾站域内土地利用混合度亦大幅提升。尽管总体而言土地利用混合度呈现出上升趋势,但仍有部分站域土地利用混合度呈现出下降趋势,如建桥、举人坝、湖霞街、曹家湾。

### 3.3 轨道交通站点客流与站域土地利用混合度的耦合协调关系分析

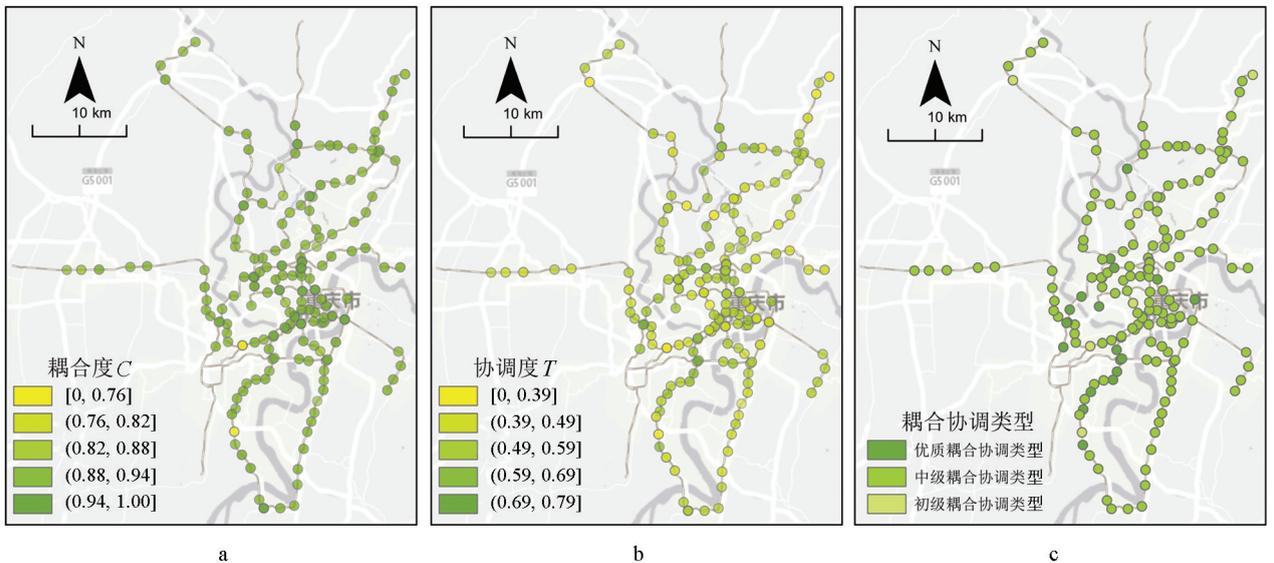
重庆市轨道交通站点客流与站域土地利用混合度的耦合度 $C$ 值总体上均处于上游水平(0.69~1.00)(图6a),说明各站点两者相互作用程度高,但协调度 $T$ 值则在下游至上游均有分布(0.28~0.79)(图6b),说明部分站点虽然相互作用程度高,但未实现协调发展。根据耦合协调度 $D$ 值将各站点耦合协调类型划分为优质、中级和初级3种耦合协调类型(图6c),其中优质耦合协调型站点共17个,中级耦合协调型站点共136个,初级耦合协调型站点共6个。优质耦合协调型站点多分布于2号线和环线沿线,由于2号线是重庆市最早投入运营的城市轨道交通线路,其沿线以杨家坪、金家湾为代表的站域内土地利用结构经过长期调节,已逐渐与站点客流达到优质耦合协调状态,而环线虽于2018年年末才投入运营,但随着其加速成环,以沙坪坝、谢家湾为代表的站点工作日日均出站客流量迅速增长,加之环线位居主城区核心地带,受到政

策规划的高度重视,因此其沿线站域土地利用结构加速调节,得以与迅速增长的站点客流达到优质耦合协调状态;初级耦合协调型站点分别为建桥、石桥铺、举人坝、湖霞街、观音桥、龙凤溪站点,其中建桥、举人坝、湖霞街、龙凤溪等站点均位于各线路近末端位置,尽管其工作日日均出站客流量随着轨道交通加速成网而有所增长,但其站域内土地利用结构却相对较为滞后,尚未得到充分开发利用,土地利用混合度亦呈下降趋势,因此与站点客流仅达到初级耦合协调状态,而石桥铺、观音桥站点,或因其为换乘中枢或紧邻换乘中枢,因而站域内土地利用结构在政府的高度重视下不断优化,土地利用混合度亦不断上升,但其站点却常年拥堵,近年来其客流又为新兴站点所分担而呈下降趋势,因此其站点客流与站域土地利用混合度仅达到初级耦合协调状态。



该图基于《重庆市城市轨道交通第三期建设规划(2018—2023年)》内示意图制作。

图 5 2018 年、2021 年轨道交通站域土地利用混合度时空分异图



该图基于《重庆市城市轨道交通第三期建设规划(2018—2023年)》内示意图制作。

图 6 2018 年、2021 年轨道交通站点工作日日均出站客流量变化量与站域土地利用混合度变化量耦合协调关系时空分异图

## 4 结论与展望

从2个时间横断面出发,可以窥探到站点客流在较长时间序列上的变化.随着轨道交通加速成环成网,一些站点由于旺盛的客流需求被满足,工作日日均出站客流量显著增长,排名或跃为榜首或跃入前10,成为新兴热门站点,在新兴热门站点的分担下,早期热门站点的客流拥堵情况得到一定程度缓解,工作日日均出站客流量排名下滑.

以POI数据替代土地利用数据,可以实现站域土地利用混合度的精细量化.重庆市2018年至2021年轨道交通站域土地利用混合度均值由0.61上升为0.67,排名上发生较大变化.随着6号线国博支线的进一步建设,6号线国博支线沿线站域土地利用混合度上升趋势最为显著;而随着重庆市建设重心的逐渐北移,10号线沿线站域土地利用混合度较为显著;仅少量站域土地利用混合度呈下降趋势.

采用耦合协调度模型,可以更好地探索客流与土地利用间的相互作用关系.重庆市2018年至2021年轨道交通站点工作日日均出站客流量变化量与站域土地利用混合度变化量的耦合度 $C$ 值总体上均处于上游水平(0.69~1.00),协调度 $T$ 值则在下游至上游均有分布(0.28~0.79),根据耦合协调度 $D$ 值识别出优质耦合协调型站点17个,中级耦合协调型站点136个,初级耦合协调型站点6个.优质耦合协调型站点多分布于2号线和环线,其站点客流和站域土地利用混合度或于早期修建经长期调节后达到优质耦合协调状态,或受轨道交通加速成网和政府规划重视影响,均大幅上升而达到优质耦合协调状态;初级耦合协调型站点或位于线路末端,土地利用变化滞后于客流变化,或为换乘中枢和紧邻换乘中枢,客流变化滞后于土地利用变化,因而仅达到初级耦合协调状态.

研究结果可为相关研究提供时间维度和模型方法上的参考,并最终为城市用地规划与公共交通规划的有机结合提供科学决策依据.但本研究亦存在不足之处,仅基于POI对轨道交通站域的用地功能混合程度进行了度量,却未对不同用地功能之间的关系进行剖析<sup>[19]</sup>,在后续研究中,不仅要关注轨道交通站域用地功能在数量规模上的“混”,更要关注其在用地功能关系上的“合”,注重用地功能关系之间的兼容互补,实现混合空间的有机良性运转,从而推动轨道站点客流与站域用地的良性耦合和协调发展.

### 参考文献:

- [1] 郑红玉,黄建洪,卓跃飞,等.土地混合利用测度研究进展[J].中国土地科学,2019,33(3):95-104.
- [2] 窦旺胜,王成新,薛明月,等.基于POI数据的城市用地功能识别与评价研究——以济南市内五区为例[J].世界地理研究,2020,29(4):804-813.
- [3] 李建春,起晓星,袁文华.基于POI数据的建设用地多功能混合利用空间分异研究[J].地理科学进展,2022,41(2):239-250.
- [4] 崔秀萍,郭永新.近40a西部城市群土地利用结构时空动态演化分析[J].干旱区资源与环境,2022,36(2):16-24.
- [5] 聂雷,王圆圆,邵子南,等.城市土地利用效率测度及其影响因素——基于中国十大城市群的实证分析[J].经济问题探索,2022(2):82-93.
- [6] ZHUO Y F, JING X, WANG X Y, et al. The Rise and Fall of Land Use Mix: Review and Prospects [J]. Land, 2022,

12(12): 2198-2201.

- [7] SHI H C, ZHAO M X, SIMTH D A, et al. Behind the Land Use Mix: Measuring the Functional Compatibility in Urban and Sub-Urban Areas of China [J]. *Land*, 2021, 11(1): 2-11.
- [8] 丁彦文, 许捍卫, 汪成昊. 融合 OSM 路网与 POI 数据的城市功能区识别研究 [J]. *地理与地理信息科学*, 2020, 36(4): 57-63.
- [9] 胡晓鸣, 黎小龙, 蔚芳. 基于 POI 的城市功能区及其混合度识别研究——以重庆市核心城区为例 [J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2021, 43(1): 164-173.
- [10] 康翔, 潘剑君, 朱燕香, 等. 一种基于 POI 大数据的城市核心区识别方法 [J]. *遥感技术与应用*, 2021, 36(1): 237-246.
- [11] 彭诗尧, 陈绍宽, 许奇, 等. 基于 POI 的土地利用与轨道交通客流的空间特征 [J]. *地理学报*, 2021, 76(2): 459-470.
- [12] CHEN E H, YE Z R, WANG C, et al. Discovering the Spatio-Temporal Impacts of Built Environment on Metro Ridership Using Smart Card Data [J]. *Cities*, 2019, 95: 102359.
- [13] 高德辉, 许奇, 陈培文, 等. 城市轨道交通客流与精细尺度建成环境的空间特征分析 [J]. *交通运输系统工程与信息*, 2021, 21(6): 25-32.
- [14] YANG H T, ZHAO Z H, JIANG C Z, et al. Spatially Varying Relation between Built Environment and Station-Level Subway Passenger-Distance [J]. *Journal of Advanced Transportation*, 2022, 2022: 1-18.
- [15] 徐雅洁, 陈湘生, 白雪, 等. 地铁站出入口客流分布及其影响因素分析 [J]. *地下空间与工程学报*, 2022, 18(2): 351-358.
- [16] 杨羽婷. TOD 对城市轨道交通乘客出行行为影响分析——以北京市为例 [D]. 北京: 北京交通大学, 2020.
- [17] 甘佐贤. 建成环境对城市轨道交通客流及出行特征的影响机理研究 [D]. 南京: 东南大学, 2019.
- [18] LI S Y, LYU D J, LIU X P, et al. The Varying Patterns of Rail Transit Ridership and Their Relationships with Fine-Scale Built Environment Factors: Big Data Analytics from Guangzhou [J]. *Cities*, 2020, 99: 102580.
- [19] 申犁帆, 王焯, 张纯, 等. 轨道站点合理步行可达范围建成环境与轨道通勤的关系研究——以北京市 44 个轨道站点为例 [J]. *地理学报*, 2018, 73(12): 2423-2439.

责任编辑 包颖

崔玉洁