

文章编号: 1005-0523(2024)01-0078-09



## 基于出行链的铁路车站开通初期客流预测研究

叶玉玲<sup>1,2</sup>, 朱资岳<sup>1,2</sup>, 汪龙洋<sup>3</sup>, 宋唯维<sup>1,2</sup>, 周文涛<sup>1,2</sup>

(1. 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 上海 201804; 2. 同济大学交通运输工程学院, 上海 201804;  
3. 中国铁路上海局集团有限公司无锡站, 江苏 无锡 214001)

**摘要:**【目的】为解决铁路车站开通初期客流预测缺乏数据支撑,以及估计不同交通方式成本来计算客流转移量结果与实际偏差较大的问题。【方法】以新开通南沿江城际铁路江阴站为例,考虑该线与既有高速及城际铁路的线位关系,基于城际出行链,依托旅客出行行为调查对区域内可选择的不同交通方式的城际出行效用进行定量计算,采用 Multinomial Logit (MNL) 模型,区分工作日与非工作日,结合客流分配现状对效用变量系数进行标定,据此预测南沿江城际铁路江阴站开通后发往南京、上海枢纽的客流量,同时结合城市经济和社会发展推演计算发往沿线其他站点的客流。【结果】结果表明,南沿江城际铁路江阴站的开通可以有效吸引江阴地区原本选择既有铁路、公路去往南京、上海的客流以及选择公路去往南沿江城际铁路沿线其他城市的客流。【结论】因此,南沿江城际铁路的开通能有效缓解辐射范围内既有铁路、公路的运输压力,客流预测结果还将支撑站点运力资源配置优化研究。

**关键词:** 铁路运输; 客流预测; MNL 模型; 出行效用; 城际出行链; 旅客出行行为调查

中图分类号: U293.1

文献标志码: A

本文引用格式: 叶玉玲, 朱资岳, 汪龙洋, 等. 基于出行链的铁路车站开通初期客流预测研究[J]. 华东交通大学学报, 2024, 41(1): 78-86.

## Research on Passenger Flow Forecast of Railway Stations at the Initial Stage of Operation Based on Intercity Trip Chain

Ye Yuling<sup>1,2</sup>, Zhu Ziyue<sup>1,2</sup>, Wang Longyang<sup>3</sup>, Song Weiwei<sup>1,2</sup>, Zhou Wentao<sup>1,2</sup>

(1. Key Laboratory of Road and Traffic Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 201804, China;  
2. College of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China; 3. Wuxi Railway Station,  
China Railway Shanghai Group Co., Ltd., Wuxi 214001, China)

**Abstract:** 【Objective】In order to address the lack of data support for passenger flow forecast of railway stations at the initial stage of operation, as well as the significant deviation between the roughly calculated passenger flow transfer of different transport modes considering the costs of different modes and the actual situation. 【Method】This paper takes the newly opened Jiangyin Station of the South Riverside Intercity Railway as an example, considering the location relationship between the line and the existing high-speed and intercity railways, based on the intercity trip chain, and relying on the passenger travel behavior survey to quantitate the intercity trip utilities of different transportation modes. Combined with the current passenger flow assignment and distinguishing workdays and non-workdays, the Multinomial Logit (MNL) model is established for calibrating the co-

收稿日期: 2023-09-08

基金项目: 上海市自然科学基金项目(22ZR1465800)

efficients of utility variables. Accordingly, the passenger flows from Jiangyin Station on the South Riverside Intercity Railway, the passenger flows to Nanjing and Shanghai terminals were predicted, to other stations along the line were also calculated deductively in combination with the economic and social developments of the cities along the line. **【Result】**The results show that the opening of Jiangyin Station can effectively attract the passenger flows in Jiangyin area who originally chose the existing railways and highways to Nanjing and Shanghai, as well as the passenger flows that chose the highways to other cities along South Riverside Intercity Railway. **【Conclusion】**Therefore, the opening of South Riverside Intercity Railway can effectively relieve the transportation pressure of existing railways and highways in the region, and the passenger flow forecast results also supports the optimization of station resource allocation.

**Key words:** railway transportation; passenger flow forecast; MNL model; travel utility; intercity trip chain; passenger travel behavior survey

**Citation format:** YE Y L, ZHU Z Y, WANG L Y, et al. Research on passenger flow forecast of railway stations at the initial stage of operation based on intercity trip chain[J]. Journal of East China Jiaotong University, 2024, 41(1): 78-86.

**【研究意义】**随着我国城市群发展进程加快,城际铁路以其大运量、公交化的优点逐渐成为城市之间出行的主要交通方式。南沿江城际铁路作为中长期铁路网规划的重要组成部分,是长江经济带综合立体交通走廊的重要组成部分,也是沪宁通道的第二条城际铁路,主要承担沿线通道内以及沿线与沪宁部分城市间的城际客流。客流需求是铁路旅客运输的前提,尤其对于新开通车站而言,合理的客流预测结果对其制定契合实际需求的开行方案具有重要指导意义。

**【研究进展】**对于客流预测,国内外学者在公路线路及网络层面已经做出了较为全面的研究<sup>[1-2]</sup>,铁路领域则多为借鉴公路客流预测方法,考虑出行成本,针对铁路线路层面进行研究<sup>[3]</sup>。对于既有铁路车站的客流预测,国内现有研究主要从解析既有规律出发,何必胜等<sup>[4]</sup>充分结合历史数据,提出了基于时空图神经网络的铁路车站短期到发客流预测方法,李洁等<sup>[5]</sup>以武广高铁部分车站数年来发送旅客实际数据为基础,构建了高速铁路客流预测的长短期记忆模型。对于缺乏历史数据的新建站点的客流预测,国内既有研究也主要针对城市轨道交通,姚恩建等<sup>[6]</sup>基于客流生成机理,以相同土地利用性质的既有车站客流特征为参考,实现城市轨道交通新站的客流预测,凌同华等<sup>[7]</sup>通过对长沙1号线各车站周边居民的出行行为调查,对该地铁线路初期客流进行预测分析;而新建铁路车站的客流预测,大

多是粗略考虑不同交通方式成本,在其吸引范围内简单计算交通方式转移而得到的<sup>[8-9]</sup>。

**【创新特色】**目前我国针对高速铁路新开通车站初期的客流预测方法研究较为单一,缺乏定量研究,预测结果通常偏差较大,且新站开通初期的客流缺乏历史数据支撑,增加了预测的难度。因此,研究适用于新线开通前车站客流需求的预测方法,有助于支持车站及线路合理安排运力资源配置方案,提升铁路部门的运营管理水平。

**【关键问题】**为准确计算区域内可选择的各交通方式的出行效用,提升客流预测精度,本文将旅客出行全过程作为一条完整的出行链,涵盖从出发住地至交通枢纽再至到达住地的所有环节。为实现出行链时间和费用的量化目标,本文依托旅客出行行为调查,结合公路与铁路部门实际运营数据,在分析区域旅客出行行为特征的基础上,研究各交通方式的出行效用计算方法。在此基础上,本文将区分工作日、非工作日,利用区域内旅客既有出行数据及客流分配现状求解交通方式选择模型,结合沿线城市经济发展,预测南沿江城际江阴站开通后发送客流的的空间分布,支持铁路部门运营管理决策,对充分发挥线路的整体能力和综合效益具有实际意义。

## 1 城际出行链

城际出行链为出行者从出发城市至到达城市

的城际间出行全过程。如图1所示,其主要包括出发地点至出发交通枢纽(I)、城际间出行(II)、到达交通枢纽至到达地点(III),即两个市内出行以及一个城际间出行<sup>[10]</sup>。

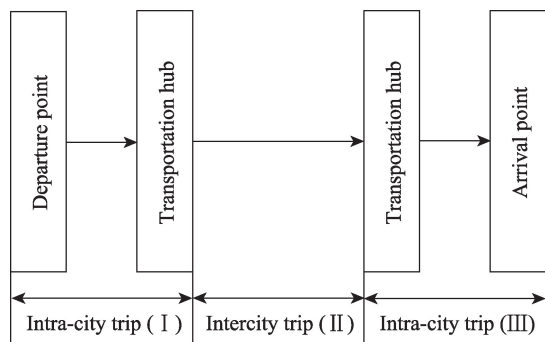


图1 城际出行链结构

Fig. 1 Structure of intercity trip chain

本文研究中的出行链,是指江阴地区城际间出行的旅客,由出发地选乘适当交通方式,至区域内便利可达的既有高铁与城际站点乘坐高铁与城际列车或江阴客运站乘坐公路大巴,至到达站点后选乘适当交通方式至最终到达地,亦或自驾小汽车一次性完成出发地至到达地的城际间出行。

## 2 旅客调查方法及情况

旅客出行行为的调查方法有RP(revealed preference)调查和SP(stated preference)调查。由于南沿江城际铁路还未正式开通运营,因此调查采用RP调查(行为调查)与SP调查(意愿调查)相结合的方式,为确定由江阴地区出发的城际间旅客的出行行为和出行意愿提供数据支持。

依托该方法,以区域内便利可达的既有铁路站点(京沪高铁的常州北站与无锡东站;沪宁城际的常州站、戚墅堰站、惠山站、无锡站及无锡新区站)旅客为主,其他交通方式(江阴客运站公路大巴及小汽车)旅客为辅进行旅客出行行为特征调查,并基于此开展南沿江城际铁路开通运营后旅客相关出行意愿和方式偏好调查。调查采集了旅客的性别、年龄、职业、月收入、出行目的;出发地点、出发站点、出发地距出发站点的行程时间和费用、到达站点、到达地点、到达站点距到达地的行程时间和费用;出发地距江阴站的行程时间和费用、未来是否选择江阴站出发、期望的江阴站发车时间(若选

择)等数据,为后续量化区域旅客出行效用奠定基础。

本次旅客出行行为调查的时间是2022年8月29日—9月18日(含中秋节)、9月26日—10月9日(含国庆节)的工作日、周末及法定节假日,覆盖多时段,共计35 d。基于出发站点考虑,在江阴地区便利可达的常州北站、无锡东站、常州站、戚墅堰站、惠山站、无锡站、无锡新区站及江阴公路客运站广泛地进行问卷发放,共收回有效问卷3 008份。

## 3 区域旅客出行特征与客流分析

### 3.1 旅客出行特征

通过对区域内便利可达既有铁路站点、江阴公路客运站出发旅客调查,部分出行特征分析如下。

1)职业。调查显示,旅客中各职业比例相近,以工人、技术人员为主,占比49.7%,其次是学生、军人、农民、公职人员、教师。

2)收入。调查显示,月收入在5 000~10 000元的旅客所占比重最大,为37.1%,其次是月收入在2 000~5 000元的旅客,所占比重为32.8%,月收入小于2 000元的旅客和月收入10 000元以上的旅客所占比重最小,分别为12.3%和17.8%,这也与该地区的社会经济发展水平相吻合。

3)出行目的。调查显示,选择务工的旅客占比最高,为被调查旅客总数的28.3%,与之相近的是选择公务出差的旅客,占比27.2%,其次则是选择上学的旅客,占比19.9%,选择旅游休闲和探亲访友的旅客分别占比10.6%和10.9%。此外,区分工作日、非工作日,工作日有较多的往南京的商务客流,非工作日有较多的往上海的旅游客流。

### 3.2 客流分析

如图2所示,南沿江城际铁路与既有京沪高铁、沪宁城际线路走向存在较大不一致,由江阴地区便利可达的既有高铁及城际车站出发,亦或未来开通运营的江阴站出发,共同可抵达的目的地只有南京和上海(南沿江城际止于太仓站后利用沪通铁路进入上海枢纽)。本文基于既有铁路、公路站点发送旅客的实际数据,依托调查问卷结果统计分析对江阴出发经区域内便利可达的铁路、公路站点或自驾至南京及上海的各出行方式OD客流进行分析计算。结合上文,将出发交通站点共分为8组:常州北站、无锡东站、常州站、戚墅堰站、惠山站、无锡站、

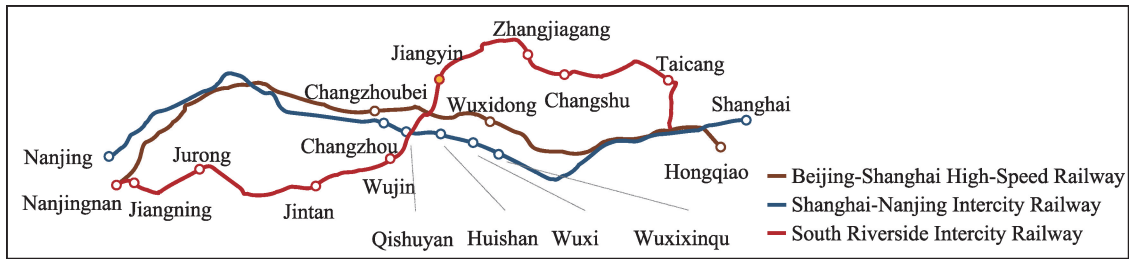


图2 南沿江城际铁路线路平面图  
Fig. 2 Plan of South Riverside Intercity Railway

无锡新区站及江阴公路客运站。

根据旅客出行调查统计分析,表1为江阴地区便利可达的各既有铁路站点中前往南京、上海的旅客来自江阴的比例。

表1 既有铁路站点往南京、上海旅客中来自江阴的比例  
Tab.1 Proportions of passengers from Jiangyin in the passengers to Nanjing and Shanghai at existing stations

Station	Proportion	Station	Proportion
Changzhoubei	5.6%	Huishan	3.1%
Wuxidong	7.5%	Wuxi	17.3%
Changzhou	4.7%	Wuxixinqu	5.3%
Qishuyan	3.6%		

据此,结合各既有铁路站点在调查时段内旅客发送量的实际数据,对前往南京、上海旅客中来自江阴地区的旅客数量按工作日、非工作日进行区分计算(根据上文调查时段安排对工作日、非工作日的定义方法:将周末、法定节假日、法定节假日前后各一天作为非工作日处理,除此外的普通工作日按工作日处理)。

同时,结合江阴客运站对应时间范围内目的地为南京、上海的旅客发送数据及公路的手机信号数据,共同计算由江阴出发(选择既有高速列车、公路大巴、小汽车)至南京和上海的工作日、非工作日的日均客流,结果见表2。

表2 江阴至南京和上海的各出行方式的日均客流数据  
Tab.2 Daily average passenger flows of different modes from Jiangyin to Nanjing and Shanghai

Mode	Type	Avg. OD (capita/d)	Mode	Type	Avg. OD (capita/d)		
High-speed train (Changzhoubeizhan)	Workday	To Nanjing	92.2	High-speed train (Wuxizhan)	Workday	To Nanjing	1 034.9
		To Shanghai	140.2			To Shanghai	2 060.7
	Nonworkday	To Nanjing	141.1		Nonworkday	To Nanjing	1 643.5
		To Shanghai	175.3			To Shanghai	2 861.5
High-speed train (Wuxidongzhan)	Workday	To Nanjing	93.0	High-speed train (Wuxixinquzhan)	Workday	To Nanjing	8.2
		To Shanghai	230.8			To Shanghai	28.6
	Nonworkday	To Nanjing	131.4		Nonworkday	To Nanjing	13.7
		To Shanghai	317.4			To Shanghai	31.5
High-speed train (Changzhouzhan)	Workday	To Nanjing	208.7	Bus (Jiangyin Passenger Station)	Workday	To Nanjing	348.5
		To Shanghai	328.0			To Shanghai	727.8
	Nonworkday	To Nanjing	394.1		Nonworkday	To Nanjing	695.2
		To Shanghai	442.7			To Shanghai	875.9
High-speed train (Qishuyanzhan)	Workday	To Nanjing	2.5	Car (Self driving)	Workday	To Nanjing	2 611.7
		To Shanghai	7.2			To Shanghai	3 645.5
	Nonworkday	To Nanjing	5.4		Nonworkday	To Nanjing	4 042.5
		To Shanghai	10.1			To Shanghai	5 642.6
High-speed train (Huishanzhan)	Workday	To Nanjing	4.8				
		To Shanghai	9.9				
	Nonworkday	To Nanjing	11.8				
		To Shanghai	11.4				

## 4 交通方式选择模型构建与标定

### 4.1 模型构建思路

模型采用集计多项 Logit 模型 (multinomial logit, MNL) 建立旅客出行方式选择模型, 根据随机效用理论, 旅客总是选择具有最大出行效用的出行方式, 不同旅客群体  $n$  选择出行方式  $i$  的概率

$$P_n(i) = \Pr(U_{ni} \geq U_{nj}), \forall j \in C_n, j \neq i \quad (1)$$

式中:  $\Pr$  表示概率;  $U_{ni}$  为出行方式  $i$  对出行群体  $n$  的出行效用;  $U_{nj}$  为不同于出行方式  $i$  的出行方式  $j$  对出行群体  $n$  的出行效用;  $C_n$  为出行群体  $n$  可以选择的出行方式集合。  $U_{ni}$  与旅客群体自身的特性和出行方式的特性相关, 离散选择模型假设它为可观测的影响因素构成的效用确定项  $V_{ni}$  和不可观测的影响因素构成的效用随机项  $\varepsilon_{ni}$  之和

$$U_{ni} = V_{ni} + \varepsilon_{ni} \quad (2)$$

式中:  $V_{ni}$ 、 $\varepsilon_{ni}$  分别为出行方式  $i$  对于出行群体  $n$  的确定、随机出行效用值。当  $\varepsilon_{ni}$  服从相互独立的 Gumbel 分布, 出行群体  $n$  从可选出行方式集中选择出行方式  $i$  的概率为

$$P_n(i) = \frac{\exp V_{ni}}{\sum_{j \in C_n} \exp V_{nj}} \quad (3)$$

式中:  $V_{nj}$  为出行方式  $j$  对于出行群体  $n$  的确定出行效用值。

上述多项 Logit 模型具有良好的不相关选择独立性, 满足本问题分析的需要。

### 4.2 出行效用函数的确定

本文对于 4 种旅客群体: 工作日、非工作日前往南京、上海的出行者; 针对不同交通方式: 既有高铁与城际 (含选择不同车站的出行方式)、公路大巴及小汽车; 选择时间、费用和舒适性 3 个因素作为出行效用函数变量<sup>[11]</sup>, 并对选择既有高铁与城际不同车站出行方案前往南京、上海的行程时间和行程费用进行集计处理。

1) 出行效用的确定项  $V_{ni}$ 。交通方式  $i$  对旅客群体  $n$  的出行效用确定项的形式为

$$V_{ni} = \beta_{nt} T_{ni} + \beta_{nf} F_{ni} + \beta_{nc} C_i \quad (4)$$

式中:  $T_{ni}$  为旅客群体  $n$  选择交通方式  $i$  的行程时间;  $F_{ni}$  为旅客群体  $n$  选择交通方式  $i$  的行程费用;  $C_i$  为选择交通方式  $i$  的舒适性标度值;  $\beta_{nt}$ 、 $\beta_{nf}$  和  $\beta_{nc}$  分别为旅客群体  $n$  对行程时间、行程费用、舒适性的敏感系数。

2) 解释性变量的确定规则。

① 行程时间。对于不同旅客群体  $n$  选择不同交通方式  $i$  (既有高铁与城际含不同车站选择) 的行程时间  $T_{ni}$  的确定, 包括 4 个部分: 旅客出发地至出发站点的时间  $T_{ni}^{(D)}$  (高铁与城际、公路大巴由调查问卷结果加权平均得到, 小汽车不考虑)、候车时间  $T_{ni}^{(W)}$  (假设高铁与城际 30.0 min, 公路大巴 15.0 min, 小汽车不考虑)、在途时间  $T_{ni}^{(T)}$  (参照列车运行时刻表及公路网数据取均值) 以及到达站点至到达地的时间  $T_{ni}^{(A)}$  (高铁与城际、公路大巴由调查问卷结果加权平均得到, 小汽车不考虑), 计算式为

$$T_{ni} = T_{ni}^{(D)} + T_{ni}^{(W)} + T_{ni}^{(T)} + T_{ni}^{(A)} \quad (5)$$

对旅客群体  $n$  选择既有高铁与城际的行程时间进行集计处理

$$T_{nH} = \sum_{k \in R_n} T_{nH,k} P_{nH,k} \quad (6)$$

式中:  $T_{nH}$  为旅客群体  $n$  选择既有高铁与城际的行程时间期望;  $T_{nH,k}$  为旅客群体  $n$  选择既有高铁与城际经铁路站点  $k$  的行程时间;  $P_{nH,k}$  为旅客群体  $n$  中选择既有高铁与城际的出行者中经由站点  $k$  出行的比例;  $R_n$  为旅客群体  $n$  选择既有高铁与城际不同出发车站的出行方案。

② 行程费用。对于不同旅客群体  $n$  选择不同交通方式  $i$  (既有高铁与城际含不同车站选择) 的行程费用  $F_{ni}$  的确定, 包括 3 个部分: 旅客出发地至出发站点的费用  $F_{ni}^{(D)}$  (高铁与城际列车、公路大巴由调查问卷结果加权平均得到, 小汽车不考虑)、在途费用  $F_{ni}^{(T)}$  (高铁与城际列车、公路大巴取其相应票价均值, 小汽车基于手机信令数据以其行程燃油费及高速公路通行费之和作为其费用) 以及到达站点至到达地的时间  $F_{ni}^{(A)}$  (高铁与城际列车、公路大巴由调查问卷结果加权平均得到, 小汽车不考虑), 计算式为

$$F_{ni} = F_{ni}^{(D)} + F_{ni}^{(T)} + F_{ni}^{(A)} \quad (7)$$

对旅客群体  $n$  选择既有高铁与城际的行程费用进行集计处理

$$F_{nH} = \sum_{k \in R_n} F_{nH,k} P_{nH,k} \quad (8)$$

式中:  $F_{nH}$  为旅客群体  $n$  选择既有高铁与城际的行程费用期望;  $F_{nH,k}$  为旅客群体  $n$  选择既有高铁与城际经铁路站点  $k$  的行程费用。

③ 出行舒适性。舒适性是旅客在选择出行方式时考虑的主要指标之一, 本文采用交通工具行驶过程中的振动加速度、人均占有空间作为变量, 形

成舒适性的度量指标  $C$  为

$$C = C_s + \frac{1}{C_A} \quad (9)$$

式中:  $C_A$  为平均振动加速度;  $C_s$  为人均占有交通工具空间。

对人均占有空间和平均振动加速度进行调查后汇总,根据式(9)确定不同交通方式舒适性并进行标度处理,见表3。

表3 不同交通方式的舒适性  
Tab.3 Travel comfortableness of different modes

Mode	High-speed train	Bus	Car
Space per capita/m <sup>3</sup>	3.6	1.5	3.0
Avg. vibration acceleration/ (m/s <sup>2</sup> )	1.8	4.5	3.0
Comfortableness	1.0	0.4	0.8

3)解释性变量的确定。针对3种交通方式,选择时间、费用和舒适性3个因素作为出行效用函数变量,基于解释性变量的确定规则,得到行程时间、行程费用及舒适性的量化数值。对于本文确定的不同出行时间(工作日或非工作日)的不同行程(江阴至南京或上海)的各交通方式的行程时间期望和行程费用期望,求得江阴地区出行旅客选乘各交通方式的解释性变量数值,见表4。

### 4.3 参数标定及分析

基于表4中江阴旅客选择各交通方式出行的解释性变量数值,以及既有各交通方式的实际占比,利用求解器完成系数标定,得到不同旅客群体对出

行各效用确定项所对应的系数,见表5。

如表5所示,江阴出行旅客交通方式选择中效用变量系数完成标定后,  $\beta_m$ 、 $\beta_{nt}$  和  $\beta_{nc}$  分别是不同时段(工作日或非工作日)内不同行程(江阴至南京或上海)的出行群体  $n$  对行程时间、行程费用、舒适性的敏感系数,分析得各效用项的敏感性变化存在一定趋势。

1)江阴至南京。由表5可知,对于行程时间,江阴至南京的旅客在工作日具有更大的敏感性,结合旅客出行行为调查结果,这一定程度上是因为相较非工作日,江阴至南京的旅客在工作日的出行有明显更多的公务出差客流,因此在工作日对行程时间有更大的敏感性;而对于行程费用和舒适性,江阴至南京的旅客在工作日与非工作日对其的敏感性基本保持不变。

2)江阴至上海。由表5可知,对于行程时间,江阴至上海的旅客在非工作日具有更大的敏感性,结合旅客出行行为调查结果,这一定程度上是因为相较工作日,江阴至上海的旅客在非工作日的出行有明显更多的旅游休闲客流,因此在非工作日对行程时间有更大的敏感性;同时,对于行程费用和舒适性,江阴至上海的旅客在工作日与非工作日对其的敏感性基本保持不变。

## 5 江阴站旅客发送量预测及分析

### 5.1 江阴站至南京与上海枢纽的客流预测

江阴站开通运营后,江阴至南京和上海,可选择的出行方式为既有高铁与城际、公路大巴、小汽

表4 江阴出行选择各交通方式至南京和上海的解釋性变量数值

Tab.4 Values of explanatory variables for each transportation mode from Jiangyin to Nanjing and Shanghai

Type	Destination	Mode	Travel time/min	Travel cost/yuan	Comfortableness	Avg. OD/(capita/d)	Proportion
Workday	Nanjing	High-speed train	169.0	103.8	1.0	1 444.4	32.8%
		Bus	221.8	75.0	0.4	348.5	7.9%
		Car	145.0	743.8	0.8	2 611.7	59.3%
	Shanghai	High-speed train	165.6	87.7	1.0	2 805.4	39.1%
		Bus	206.8	71.0	0.4	727.8	10.1%
		Car	135.0	122.8	0.8	3 645.5	50.8%
Nonworkday	Nanjing	High-speed train	169.0	103.8	1.0	2 340.8	33.1%
		Bus	221.8	75.0	0.4	695.2	9.8%
		Car	145.0	743.8	0.8	4 042.5	57.1%
	Shanghai	High-speed train	165.6	87.7	1.0	3 850.0	37.1%
		Bus	206.8	71.0	0.4	875.9	8.5%
		Car	135.0	122.8	0.8	5 642.6	54.4%

表5 不同群体出行效用变量系数

Tab.5 Variable coefficients of travel utilities of travelers

Type	Destination	$\beta_{nt}$	$\beta_{nt}$	$\beta_{nc}$
Workday	Nanjing	-0.031 6	-0.004 7	0.007 8
	Shanghai	-0.042 5	-0.028 8	0.008 9
Nonworkday	Nanjing	-0.027 5	-0.004 8	0.007 1
	Shanghai	-0.047 3	-0.029 8	0.008 8

车以及南沿江城际铁路。南沿江城际铁路作为一种新增的出行方式,其拥有不同的出行效用,结合出行调查中的SP调查部分,确定其行程时间、行程费用以及舒适性(方法同4.2):由江阴出发经南沿江城际铁路至南京和上海的出行链行程时间分别为105.0 min和118.6 min,出行链行程费用分别为90.0元与86.0元,舒适度均为1.0。据此量化其城际出行效用并结合交通方式选择模型完成江阴至南京和上海的客流再分配,见表6。

### 5.2 江阴站至南沿江城际沿线站点客流推演计算

南沿江城际铁路规划与既有京沪高铁、沪宁城际线路走向存在较大不一致,从江阴地区出发,经既有铁路站点乘坐高铁列车或选择未来开通运营的南沿江城际,共同可抵达的目的地为南京和上海。因此,江阴至南京和上海的客流再分配得到的区域内既有铁路、公路转移到南沿江城际的客流量,其结果只是针对江阴站至南京和上海的客流预

测,对于江阴站到达沿线其他站点的客流,结合相关研究资料,出行的产生与吸引很大程度上由地区的人口规模及经济发展所决定。因此,对于江阴站发往南沿江城际沿线站点的旅客流量,由目的地城市的人口数量、地区生产总值GDP以及人均年收入作为影响因素,三者等同作用于目的地城市旅客吸引,其模型为

$$y = ax + b \quad (10)$$

式中: $y$ 是江阴站发往目的地站点的旅客数量; $a$ 是对应目的地城市人口数量、地区生产总值GDP以及人均年收入的系数向量; $x$ 是目的地城市人口数量、地区生产总值GDP以及人均年收入的向量; $b$ 是常数。

表7是南沿江城际铁路沿线站点所在城市的人口数量、地区生产总值GDP以及人均年收入,区分工作日与非工作日,结合江阴至南京和上海枢纽的客流预测完成式(10)中的参数标定。其中,对于工作日江阴站至南沿江城际铁路沿线站点的出行客流预测模型的系数标定为

$$\begin{aligned} a &= (0.465\ 9\ 0.026\ 8\ 605.745\ 1) \\ b &= -1\ 648.202\ 5 \end{aligned} \quad (11)$$

对于非工作日江阴站至南沿江城际铁路沿线站点的出行客流预测模型的系数标定为

$$\begin{aligned} a &= (0.689\ 5\ 0.039\ 7\ 896.431\ 4) \\ b &= -2\ 337.824\ 0 \end{aligned} \quad (12)$$

表6 江阴至南京和上海客流再分配

Tab.6 Reassignment of passenger flows from Jiangyin to Nanjing and Shanghai

Type	Destination	Mode	Avg. OD/(capita/d)	Avg. total OD/(capita/d)	
Workday	Nanjing	Existing railways	391.4	4 404.6	
		Bus	82.2		
		Car	697.3		
	South Riverside Intercity Railway			3 233.8	
	Shanghai	Existing railways	681.0	7 178.7	
		Bus	186.5		
Car		914.9			
South Riverside Intercity Railway			5 396.3		
Non-workday	Nanjing	Existing railways	762.8	7 078.5	
		Bus	198.5		
		Car	1 230.2		
	South Riverside Intercity Railway			4 886.9	
	Shanghai	Existing railways	844.3	10 368.5	
		Bus	199.3		
Car		1 237.6			
South Riverside Intercity Railway			8 087.2		

表7 南沿江城际铁路沿线站点的城市人口数量、GDP与人均年收入

Tab.7 City populations, GDP and average annual incomes of stations along South Riverside Intercity Railway

Destination station	Population /( $\times 10^4$ person)	City GDP /( $\times 10^8$ yuan)	Avg. annual income /( $\times 10^4$ yuan)
Nanjing terminal	942.3	16 355.3	6.6
Jiangning Station	195.4	2 810.5	6.0
Jurong Station	63.9	675.5	4.5
Jintan Station	58.5	1 101.1	5.1
Wujin Station	171.7	2 951.6	5.8
Zhangjiagang Station	143.2	3 030.2	6.6
Changshu Station	168.6	2 672.0	5.7
Taicang Station	83.1	1 574.1	6.5
Shanghai terminal	2 489.4	43 214.9	7.8

据此,可以得到开通年(2023年)区分工作日、非工作日下午南沿江城际铁路江阴站至沿线各站点发送旅客预测结果,见表8。

表8 江阴站至南沿江城际沿线站点旅客发送量预测

Tab.8 Forecast of passenger flows from Jiangyin Station to other stations along South Riverside Intercity Railway

Destination	Workday avg. OD /(capita/d)	Non-workday avg. OD /(capita/d)
Nanjing terminal	3 233.8	4 886.9
Jiangning Station	2 178.2	3 324.9
Jurong Station	1 186.3	1 857.0
Jintan Station	1 548.0	2 392.1
Wujin Station	2 053.9	3 140.9
Zhangjiagang Station	2 465.1	3 749.4
Changshu Station	1 969.1	3 015.4
Taicang Station	2 330.9	3 550.8
Shanghai terminal	5 396.3	8 087.2
Total	22 361.6	34 004.6

### 5.3 区域客流变化及诱增趋势分析

南沿江城际铁路开通后,由江阴地区出发经江阴站由南沿江城际铁路至沿线各站,因其行程时间、费用、舒适性确定的出行效用变化,可以有效吸引区域内客流,其客流变化分析如下。

1)江阴至南京和上海。江阴站开通后,相较选择京沪高铁与沪宁城际、公路大巴、小汽车前往南

京和上海,江阴地区出行者选择江阴站前往南京枢纽和上海枢纽具有更少的行程时间、低于既有高铁与城际及小汽车的行程费用、高于公路大巴与小汽车的舒适性,因此可以有效吸引该地区原本选择其他出行方式去往南京、上海的客流。经计算,工作日范围内,江阴站至南京枢纽的客流,32.6%来自既有高铁与城际,67.4%来自公路(公路大巴、小汽车),江阴站至上海枢纽的客流,32.3%来自既有高铁与城际,67.7%来自公路;非工作日范围内,江阴站至南京枢纽的客流,39.4%来自既有高铁与城际,60.6%来自公路,江阴站至上海枢纽的客流,37.2%来自既有高铁与城际,62.8%来自公路。

2)江阴至南沿江城际铁路沿线城市。江阴站开通后,相较选择公路出行前往南沿江城际铁路沿线站点城市,江阴地区出行者选择江阴站出发具有少于公路大巴的行程时间、低于小汽车的行程费用、更高的出行舒适性,因此可以有效吸引该地区原本选择公路出行去往沿线城市的客流。而江阴地区至南沿江城际铁路沿线城市原本不具备便捷的铁路出行方案,因此推演计算的客流预测结果极大比例来自公路。

此外,南沿江城际铁路的开通将使原有运输通道的交通条件得到改善,运输能力和服务水平得到提升,区域之间可达性增强,出行更加便利、快捷,出行时间也相应缩短,区域间经济活动往来得到加强,将进一步引发诱增客流。

## 6 结论

本文基于城际出行链,采用MNL模型,对南沿江城际铁路开通后江阴站在工作日与非工作日发往沿线各站点的客流量进行了预测。主要结论如下。

1)提出了结合旅客出行行为调查的出行链效用量化方法,并以南沿江城际铁路江阴站为例,在考虑新建线路与既有线路线位关系的基础上,根据区域内各城际出行方式的实际情况,对于发往线路端点车站和沿线车站采用不同的预测方法,以缩小调查范围、降低调查成本,丰富了铁路车站开通初期客流发送的预测研究。

2)结果表明南沿江城际铁路的建设运营不仅完善了通道综合运输体系,也有效缓解了区域内既有铁路、公路的运输压力。



3)铁路客流预测是运力资源配置的基础,本文的预测结果可在未来的研究中支撑站点运力资源配置优化,实现以客流需求为导向,进一步发挥线路的整体能力和综合效益。

#### 参考文献:

- [1] ALVES M A C, CORDEIRO R L F. Effective and unburdensome forecast of highway traffic flow with adaptive computing[J]. Knowledge-Based Systems, 2021, 212: 106603.
- [2] HE N, LI J T. Highway passenger travel demand forecasting incorporating relationships among travel modes[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2018, 12(3): 90-96.
- [3] CAO W X, SUN S L, LI H T. A new forecasting system for high-speed railway passenger demand based on residual component disposing[J]. Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 2021, 183: 109762.
- [4] 何必胜, 朱永俊, 陈路锋, 等. 基于时空图神经网络的高速铁路车站短期客流预测方法[J]. 铁道学报, 2022, 44(9): 1-8.  
HE B S, ZHU Y J, CHEN L F, et al. A spatial-temporal graph neural network for prediction of short-term passenger flow at high-speed railway station[J]. Journal of the China Railway Society, 2022, 44(9): 1-8.
- [5] 李洁, 彭其渊, 文超. 基于LSTM深度神经网络的高速铁路短期客流预测研究[J]. 系统工程理论与实践, 2021, 41(10): 2669-2682.  
LI J, PENG Q Y, WEN C. Short term passenger flow prediction of high speed railway based on LSTM deep neural network[J]. Systems Engineering—Theory and Practice, 2021, 41(10): 2669-2682.
- [6] 姚恩建, 周文华, 张永生. 城市轨道交通新站开通初期实时进出站客流量预测[J]. 中国铁道科学, 2018(2): 119-127.  
YAO E J, ZHOU W H, ZHANG Y S. Real-time forecast of entrance and exit passenger flow for newly opened station of urban rail transit at initial stage[J]. China Railway Science, 2018(2): 119-127.
- [7] 凌同华, 陈京兆. 长沙市地铁1号线开通初期客流预测研究[J]. 公路与汽运, 2019(2): 26-29.  
LING T H, CHEN J Z. Research on passenger flow forecast of Changsha Metro Line 1 at the initial stage of operation[J]. Highways and Automotive Applications, 2019(2): 26-29.
- [8] YOUNG M A, BLAINEY S P, GOWLAND T, et al. An automated online tool to forecast demand for new railway stations and analyse potential abstraction effects[C]//Oxford: The 17th Annual Transport Practitioners' Meeting, 2019.
- [9] YOUNG M A. Modelling railway station choice: Can probabilistic catchments improve demand forecasts for new stations?[D]. Southampton: University of Southampton, 2019.
- [10] 叶玉玲, 韩明初, 陈俊晶. 基于出行链的城际旅客出行方式选择行为[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2018, 46(9): 1234-1240.  
YE Y L, HAN M C, CHEN J J. Intercity passenger travel mode choice behavior based on trip chain[J]. Journal of Tongji University(Natural Science), 2018, 46(9): 1234-1240.
- [11] 叶玉玲, 王艺诗. 沪杭运输通道内旅客出行方式选择行为研究[J]. 铁道学报, 2010, 32(4): 13-17.  
YE Y L, WANG Y S. Research on travel mode choice behavior in Shanghai-Hangzhou transport corridor[J]. Journal of the China Railway Society, 2010, 32(4): 13-17.



第一作者:叶玉玲(1971—),女,教授,博士,博士生导师,研究方向为轨道交通运输组织优化、轨道交通系统规划与设计、交通运输经济政策。E-mail:yyuling71@163.com。



通信作者:朱资岳(1994—),男,博士研究生,研究方向为运输组织优化与交通运输经济政策。E-mail:ziyue\_zhu@tongji.edu.cn。

(责任编辑:吴海燕)