文章编号：1003-1421(2026)06-0099-12
引用格式：苗琦琦，单仕平，朱炜.考虑路网变化与线路特征的区域高速铁路新线客流预测方法[J].铁道运输与经济，2026，48(6)：99-110.
MIAO Qiqi，SHAN Shiping，ZHU Wei. Passenger Flow Forecasting Method for Newly Opened Regional High Speed Railway Lines Considering Network Evolution and Line Characteristics[J]. Railway Transport and Economy，2026，48(6)：99-110.

考虑路网变化与线路特征的区域高速铁路新线客流预测方法

苗琦琦[1,2]，单仕平[3]，朱　炜[1,2]

(1.同济大学 交通学院，上海　201804；2.同济大学 上海市轨道交通结构耐久与系统安全重点实验室，上海　201804；3.中国铁路上海局集团有限公司 客运部，上海　200071)

摘　要：针对高速铁路新线开通初期客流预测系统性不足的问题，聚焦区域高速铁路新线客流预测研究。现有客流预测方法在规划阶段忽略了线路特征，在设计阶段主要关注单条线路，而面向运营的开通初期又较少考虑后续新线接入对本线客流的影响。鉴于我国高速铁路持续快速发展，特别是区域加密、补强的高速铁路线路，通常具有突出的服务区域路网的功能导向，诸如开行方案等运输组织的调整优化须统筹新线与既有线路，以系统提升路网整体效能。为此，提出一种考虑路网变化与线路特征的区域高速铁路新线客流预测方法，在四阶段法框架下优化高速铁路新线与既有线的客流分配过程，并引入基于相似线路的参数标定机制。以池黄高速铁路新线开通为例对所提方法进行了应用与检验，预测结果总体相对误差为6%，研究成果可为新线投运后区域高速铁路网络的运输组织协同优化提供支持。

关键词：高速铁路新线；开通初期；路网变化；线路特征；相似线路比选
中图分类号：U293.1+3　　**文献标识码：**A　　**DOI：**10.16668/j.cnki.issn.1003-1421.20250513004

Passenger Flow Forecasting Method for Newly Opened Regional High Speed Railway Lines Considering Network Evolution and Line Characteristics

MIAO Qiqi[1,2]，SHAN Shiping[3]，ZHU Wei[1,2]

(1. College of Transportation, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. Shanghai Key Laboratory of Rail Infrastructure Durability and System Safety, Tongji University, Shanghai 201804, China; 3. Passenger Transport Department, China Railway Shanghai Group Co., Ltd., Shanghai 200071, China)

Abstract: To address the problem of systematic deficiency in passenger flow forecasting for newly opened high speed railway lines during the initial opening stage, this paper focused on the research of passenger flow forecasting for newly opened regional high speed railway lines. Existing passenger flow forecasting methods ignore line characteristics in the planning stage, mainly focus on single lines in the design stage, and rarely consider the impact of subsequent new line access on the passenger flow of the line itself during the operation-oriented initial opening stage. Given the continuous and rapid development of China's high speed railway, especially high speed railway lines for regional

收稿日期：2025-05-13
通信作者：单仕平(1983—)，男，江苏连云港人，中国铁路上海局集团有限公司客运部高级工程师。
基金项目：国家自然科学基金项目(72071147)；中国铁路上海局集团有限公司科研计划课题(2024046)

densification and reinforcement, which usually have a prominent function orientation of serving the regional network, the adjustment and optimization of transport organization such as train operation schemes must coordinate new lines and existing lines to systematically improve the overall efficiency of the network. For this reason, a passenger flow forecasting method for newly opened regional high speed railway lines considering network evolution and line characteristics was proposed. The method optimized the passenger flow allocation process between newly opened high speed railway lines and existing lines under the framework of the four-stage method and introduced a parameter calibration mechanism based on similar lines. The proposed method was applied and tested using the opening of the new Chizhou–Huangshan High Speed Railway as an example. The overall relative error of the prediction results is 6%. The research results can provide support for the collaborative optimization of transport organization in the regional high speed railway network after the commissioning of new lines.

Keywords: Newly Opened High Speed Railway Line; Initial Opening Stage; Network Evolution; Line Characteristic; Similar Line Comparison and Selection

0　引言

近年来，随着铁路建设不断推进，我国铁路网越织越密，并正由以路网干线建设为主向联网补网强链转变[1]。区域高速铁路新线，是指主要服务于城市群内部或城市群之间出行需求的新建高速铁路线路，通常具有较明确的服务功能导向，并在发挥自身功能的同时承担着优化既有线网的作用，如开行方案等运输组织的调整须与既有线路统筹优化，以实现路网整体效能的提升。客流预测是开行方案编制及调整的基础，而区别于长大干线，区域高速铁路新线在功能定位上往往呈现较明显的通勤、旅游等特征，可作为客流预测的重要依据。因此，如何在客流预测中充分考虑路网的整体变化以及新线的线路特征，提出更具针对性的预测方法，已成为当前亟待解决的问题。

针对铁路新线开通初期的客流预测，早期方法有时间序列法、回归分析法、类比生成法等[2-3]，但这些方法未能充分考虑不同运输方式间的竞争关系，后续逐渐被基于“四阶段法”的预测方法所代替。该方法将新线客流分解为趋势客流、转移客流和诱增客流3个部分[4]，并针对不同场景进行了改进研究。例如，针对长大干线铁路原始OD数据获取难度大的问题，提出免OD调查利用客流区段观测值直接反推OD矩阵的方法[5]；针对传统重力模型连续预测时需重复标定参数的问题，建立反映时间变化对重力模型本身参数影响的函数关系[6]；针对铁路诱增客运量传统预测方法仅考虑经济人口因素的问题，提出考虑交通改善和TOD引导的预测思路[7]等。然而，国内研究前期主要聚焦于长大干线，路径较为单一，通常仅考虑从公路、航空等其他交通方式转移而来的客流[4, 8]，或者根据路网分流原则，通过人工机制进行OD的简单分配[9]。后续有研究识别了新线所在客运通道内的平行线路，并基于线路分工等因素考虑了既有铁路转移客流[10-11]，但范围仍有限且模型较为简化。进一步，有研究将分析范围扩展至局部路网进行更全面的客流分配[12]，但仍然以新线为核心，并未深入分析新线开通后对既有线路客流分布的影响。相比之下，国外研究更加关注高速铁路新线所产生的网络效应，强调其对整体路网协同效率与服务能力的提升作用。在欧盟绿色协议背景下，已有研究构建全欧高速铁路网络以评估新线对长距离出行结构的影响，从网络层面预测高速铁路出行需求[13]，但在单线运营组织、服务供给等细节层面存在一定简化；也有研究聚焦于服务设计、班次优化及通道功能划分[14]，为新线功能定位与资源配置提供了理论支撑。此外，在模型参数设定层面，既有的参数标定方法多依赖专家经验或人为设定，具有较强的主观性，而在城市轨道交通领域，已有研究考虑出行者异质性带来的参数差异化[15]，针对特定功能导向线路建立特征驱动的客流预测范式[16]，引入基于线路相似度的客流预测方法[17-18]，以及采用聚类和数据驱动的预测方法等[19-22]，相关研究表明，考虑线路功能定位带来的乘客异质性可有效提升预测准确程度。

综上，一方面现有客流预测方法多侧重于单线预测，忽视或简化了高速铁路新线开通对既有线路客流分布的影响，难以适应当前新线与既有线开行方案协

同调整的实际需求；另一方面，也较少关注线路特征与模型参数之间的关系，难以满足区域高速铁路新线客流预测对准确性与通用性的双重要求。基于区域高速铁路新线开通并网运营的现实背景，提出了一种考虑路网变化与线路特征的客流预测方法，在四阶段法框架下优化高速铁路新线与既有线的客流分配过程，并引入基于相似线路的参数标定机制，为路网整体协调与开行方案优化提供更加有效的支持。

1　预测方法的总体框架

在以路网干线建设为主向联网补网强链转变的新阶段，区域高速铁路新线客流预测目的主要是获取新线及相关既有线开通运营初期的各区间断面客流量和各车站上下客流量，为开行列对、运行区段、停站及编组等在内的旅客列车开行方案设计提供依据。为此，提出一种考虑路网变化与线路特征的客流预测方法，在客流调查基础上增加客流分布预测和网络客流分配2个阶段。在客流分布预测阶段，将客流细分为趋势客流、转移客流和诱增客流，根据通勤、旅游等不同线路特征，类比既有相似线路的历史客流数据，确定新线的客流转移和诱增系数，从而得到新线开通后的客流分布情况。在网络客流分配阶段，预测范围不再局限于单条线路，而是基于新线开通初期的区域路网，引入列车调向能力等客观行车条件对有效路径进行约束，构建拓扑网络进行客流分配。进一步在日常客流预测结果的基础上，根据线路特征确定周末及节假日的客流波动系数，为编制周末及高峰开行方案提供依据。考虑路网变化与线路特征的区域高速铁路新线客流预测方法技术流程图如图1所示。

2　考虑线路特征的客流分布预测

作为本研究提出客流预测方法的一项主要改进方面，客流分布预测旨在测算各交通小区之间的潜在客运量，为后续的路径分配和网络加载提供基础。该部分包括趋势客流、转移客流和诱增客流，均涉及模型构建与参数标定，且参数准确性对预测结果具有决定性影响。然而，传统的参数标定方法多依赖专家经验，主观性强，难以满足区域高速铁路新线客流预测对准确性与通用性的双重要求。实

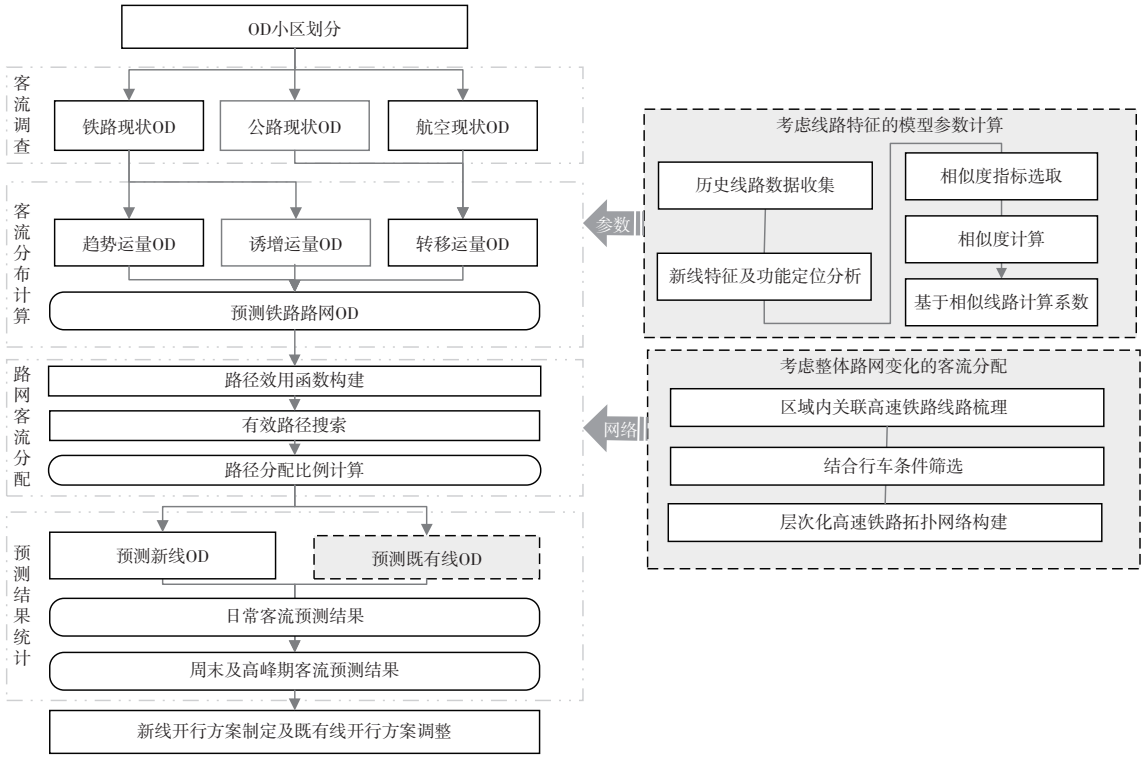

图1　考虑路网变化与线路特征的区域高速铁路新线客流预测方法技术流程图

Fig.1　Technical flowchart of passenger flow forecasting method for newly opened regional high speed railway lines considering network evolution and line characteristics

际上，区域高速铁路线路通常具备明确的功能定位和服务对象，其客流表现出一定规律性。通过对铁路客票数据的分析发现，功能定位相似的线路在开通初期的客流转移与诱增趋势上呈现出较高的一致性。为此，在当前高速铁路网络较为成熟背景下，本研究提出一种基于相似线路的参数标定方法，选取在关键指标上与待预测线路相似的历史线路，提取其转移系数与诱增系数用于模型构建，从而提升预测模型的适应性与准确性。

2.1　相似性指标选取

在构建基于相似线路的参数标定方法时，为全面表征线路间的相似程度，基于四阶段法及既有实证研究，聚焦潜在需求、服务质量、竞争力与区域特性等影响客流的核心因素，从基本属性、服务特征、沿线经济以及既有路网4个维度选取具备可量化性、可获取性和代表性的指标，相似度评价指标选取如表1所示。针对所属区域、主要客流类型等定性指标，采用标准化赋分规则转换。

2.2　相似度计算

在完成相似性指标体系构建后，需进一步量化线路之间的整体相似程度。采用加权相似度评价方法，综合考虑多项指标对线路特征的影响程度，以衡量历史线路与目标线路之间的相似度水平，如式(1)所示。

$$S_t = \sum_{i=1}^{n} w_i \cdot s_i \tag{1}$$

式中：S_t为2条线路的综合相似度；n为影响路径选择的因素总数；s_i为2条线路在第i个指标上的相似度；w_i为第i个指标的权重。

其中，对于连续型数值指标，采用欧氏距离作为差异度量指标，对于如线路所属区域、主要客流类型等定性变量，通过赋值方式进行数值化处理后，可纳入欧氏距离统一计算框架，2条线路在第i个指标的相似度计算方法如下。

首先计算欧氏距离，如式(2)所示。

$$D_i = \left| X_i - Y_i \right| \tag{2}$$

式中：D_i为2条线路在第i个指标上的差异度量；X_i，Y_i为线路X，Y在第i个指标上的值。

为消除不同指标量纲的影响，将计算出的欧氏距离进行归一化，进而计算相似度，如式(3)所示。

$$S_i = 1 - \frac{D_i}{D_{\max,\ i}} \tag{3}$$

式中：$D_{\max,\ i}$为所有线路在第i个指标上的最大欧氏距离。

2.3　相似线路识别与参数标定

在计算待预测线路与各历史线路的综合相似度后，按照相似度值进行排序，选取相似度最高的m条历史线路(结合现场应用情况，m取3)，构成相似线路集。为实现参数迁移与标定，将各相似线路的历史参数值按相似度加权平均，计算目标线路的预测参数，如式(4)和式(5)所示。

$$\theta_{\text{new}} = \sum_{j=1}^{m} \omega_j \theta_j \tag{4}$$

表1　相似度评价指标选取

Tab.1　Selection of similarity evaluation indicators

指标类别	指标名称	单位/类型	作用
线路基本属性	长度	km	反映线路的空间覆盖范围与潜在市场规模
	平均站间距	km	表征列车运行速度及沿线客流分布特征
	设计速度	km/h	衡量高速铁路对公路、航空等交通方式的竞争力
	开通运营时间	年	反映线路客流发展阶段
线路特征	所属区域	东部/中部/西部	表征线路所处区域的经济发展水平与主要服务对象
	是否跨省	0/1	判断线路对中长途客流的覆盖能力
	主要客流类型	通勤/旅游/商务/综合	评估客流的稳定性、规律性及波动性
沿线城市经济特征	沿线城市总人口	万人	表征潜在客流基数及市场规模
	沿线城市人均GDP	万元/人	衡量居民支付能力和高速铁路出行意愿
	沿线旅游景区数量	个	反映线路对旅游客流的吸引能力
既有运输网络情况	沿线是否有其他高速铁路线路	0/1	评估新线路的边际吸引力与替代程度
	沿线公路网络密度	km/km^2	衡量高速铁路与公路间的替代与竞争关系
	沿线机场数量	个	判断航空运输对高速铁路客流分流的可能性

$$\omega_j = \frac{S_j}{\sum_{k=1}^{m} S_k} \tag{5}$$

式中：θ_{new}为目标线路待估参数；θ_j为第j条相似线路的对应参数值；S_j为第j条相似线路与目标线路的相似度；ω_j为相似度归一化后的权重系数。

基于上述参数标定思路，可充分发挥既有数据价值，为模型参数标定提供更多数据支撑。其中，转移系数和诱增系数作为影响预测结果准确性的核心参数，其具体含义及计算公式如下。

（1）转移系数。转移系数用于衡量高速铁路新线对其他交通方式(如公路、航空)客流的吸引力，计算公式如式(6)所示。

$$\theta_k = \frac{Q_k^{\text{before}} - Q_k^{\text{after}}}{Q_k^{\text{before}}} \tag{6}$$

式中：θ_k为第k种交通方式的客流转移比例；Q_k^{before}为高速铁路新线开通前交通方式k的客流量；Q_k^{after}为高速铁路新线开通后交通方式k的客流量。

（2）诱增系数。诱增系数反映高速铁路新线开通后，由于服务改善而新增的客运量，计算公式如式(7)所示。

$$\theta_i = \frac{Q_{\text{after}} - Q_{\text{before}}}{Q_{\text{before}}} \tag{7}$$

式中：θ_i为高速铁路新线的诱增系数；Q_{after}为高速铁路新线开通后区域铁路网总客运量；Q_{before}为高速铁路新线开通前区域铁路网的总客运量。

3　考虑路网变化的网络客流分配

区域高速铁路新线开通初期，路网结构发生显著变化，不仅包括目标新线的加入，还可能伴随其他新线的同步建设并投入运营，导致区域内路网连通性和客流流向发生重构，为此，有必要在更细致的网络建模基础上开展网络客流分配。提出一种基于层次化拓扑网络的网络客流分配方法，在充分考虑新线开通初期路网结构变化的基础上，结合行车条件构建拓扑网络，系统模拟新线与区域既有线路之间的连通关系，实现高速铁路客流在多层级路网中的协同分配预测。该方法不仅可用于目标新线的客流评估，也可为区域范围内的多线路协同运营优化提供依据。

3.1　构建拓扑网络

作为客流分配的基础，需构建一个层次化的高速铁路运输拓扑网络，以准确刻画不同空间尺度下的出行需求及其流动特征。该拓扑网络以图论为基础，由节点与边构成，在铁路物理网络的基础上进一步结合实际行车条件描述车站间可达关系，以便检索旅客潜在出行路径。

区域高速铁路新线虽以服务区域客流为主，但通过与既有干线高速铁路衔接，也承担一定的长途跨线客流服务功能。为提升预测方法的适用性，同时避免网络过于复杂，网络节点按功能和空间范围划分为3个层级，分别对应细、中、粗3种颗粒度：①本线层次(细粒度)，包括新建高速铁路线路沿线的所有车站，主要用于刻画新线内部的客流流动情况，预测结果可为线路初期列车开行方案、运能配置以及站点服务能力布局提供直接支撑；②区域路网层次(中粒度)，覆盖新线辐射区域范围内(如都市圈、毗邻城市群)的主要铁路客运站，每个市级行政单元选择1~3个典型高速铁路车站，反映区域内铁路客流集散与转移路径，为衔接既有铁路与优化区域连接提供支持；③长途通道层次(粗粒度)，拓展至区域外的重点铁路通道节点，覆盖新线规划定位所服务的中远程旅客通道，以各省为单位选取1~3个主要高速铁路枢纽站，体现跨省旅客通道的替代路径与吸引范围，客流预测结果可反映新线对多个主要通道内长途旅客出行路径的影响，为未来跨省通道能力释放后的线路布局优化和运输组织调整提供决策支持。

网络的边表示不同节点间存在的“可通达关系”，构建网络的边时采取以下策略：①基于实际物理连接关系，结合调车能力等行车条件，确保边所连接的节点具备通车条件，反映真实可行的运行路径；②考虑到区域性高速铁路新线对长距离通道客流的影响相对有限，在长途通道与区域网络之间存在多条连接路径的情形下，仅保留旅行时间最短、换乘次数最少或运能最优者等代表性最强的一条通道，以简化网络结构。层次化高速铁路运输拓扑网络示意图如图2所示。

3.2　建立路径阻抗函数

旅客路径选择估计是网络客流分配的关键，其

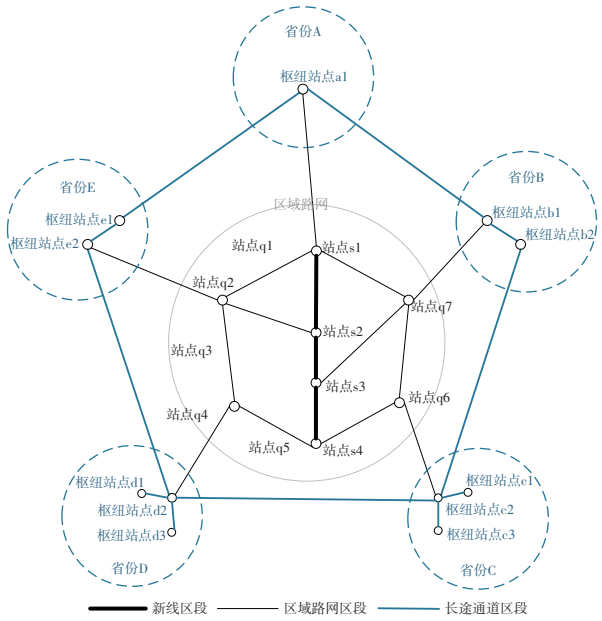

图2　层次化高速铁路运输拓扑网络示意图

Fig.2　Schematic diagram of topological network for hierarchical high speed railway transport

中路径阻抗函数用于量化旅客对路径“成本”的综合感知。在高速铁路网络客流分配问题中，路径效用受到多种因素影响，定量因素主要有旅行时间、票价等，定性因素则主要考虑旅客个人偏好，特别是对于旅游线路、美食线路等特色线路的偏好。为此，建立路径阻抗函数，如式(8)所示。

$$Z = \sum_{i=1}^{n} w_i \tilde{x}_i \tag{8}$$

式中：$\tilde{x}_i$为第i个因素的归一化值。

3.3　生成有效路径集

路径分配前需构建OD节点对间的候选路径集。但考虑实际出行中旅客对超长、多换乘路径的排斥行为，应对候选路径集进行筛选，形成“有效路径集”。本研究采用K最短路径法生成初始路径集合，具体步骤如下。

（1）初始化。首先使用Dijkstra算法找到起点s到终点t的第一条最短路径，并将其存入路径集合。

（2）路径生成。接着通过删除路径上的一个节点或边(障碍元素)，然后重新计算剩余图中的最短路径。每次生成新的路径，若其不在路径集合中，则添加至集合中。

（3）停止条件。重复以上步骤，直到找到K条不同的最短路径，或者没有更多的有效路径。

得到OD对w的K条最短路径后，设其中最短路径的综合出行阻抗为$T_{\min}^{w}$，如果其他路径的综合出行阻抗值减去$T_{\min}^{w}$的值超出一定范围时，则认为该路径不合理。

3.4　计算客流分配比例

在有效路径集基础上，需确定各路径的客流分配比例。考虑路径阻抗对选择概率的影响，采用正态分布型路径选择模型，OD对(r, s)的路径中，路径k客流分配比例P_k^{rs}的计算如式(9)—式(11)所示。

$$P_k^{rs} = \frac{U_k^{rs}}{\sum U_k^{rs}} \tag{9}$$

$$U_k^{rs} = \exp\left(-\frac{(x_k - a)^2}{2\sigma^2}\right) \tag{10}$$

$$x_k = \frac{T_k^{rs} - T_{\min}^{rs}}{\min\{T_{\min}^{rs} \times \theta,\ U\}} \tag{11}$$

式中：U_k^{rs}为OD对(r, s)的路径k的效用；x_k为路径k的综合出行阻抗超过最短路径综合出行阻抗的程度；T_k^{rs}为OD对(r, s)的路径k的综合阻抗；$T_{\min}^{rs}$为OD对(r, s)的最短路径的效用；a为得到概率最大期望值的x值，这里是0；σ，θ为常量，可以通过分析交通调查结果拟合该值。

4　预测客流指标统计

在客流预测结果统计阶段，需面向新建高速铁路线路与既有线路分别提取并整合关键指标，服务于新线初期开行方案的制定以及既有线运营方案的优化。

4.1　新建线路指标

对于新建线路，应重点获取以下3类客流指标，新线客流预测指标体系如表2所示。

（1）基础类指标。包括OD间客运量、车站到发客运量及断面客运量，旨在揭示潜在客流需求的空间分布特征，为新线运行方案提供基本依据。

（2）波动类指标。通过计算周末客流增长系数、高峰客流增长系数等，刻画客流在不同时段的波动规律，为周末及高峰期(节假日)开行计划的制定提供数据支撑。

（3）旅客行为类指标。结合线路功能定位，开展旅客行为分析，识别关键旅客群体的出行偏好特

表2　新线客流预测指标体系

Tab.2　Index system for passenger flow forecasting of newly opened railway lines

类别	指标名称	指标说明
基础类	OD间客运量	预测线路起讫城市间的客运量，反映整体客流规模
	车站到发客运量	各车站的到发旅客数量，衡量站点吸引和辐射能力
	断面客运量	线路各区段的客流通过量，反映线路运行压力分布
波动类	周末增长系数	周末客流与日常客流的比值，刻画周末客流波动程度
	高峰增长系数	节假日等高峰期客流与日常客流的比值，辅助确定高峰列车开行方案
行为类	出行时段偏好	关键客群对出行时间的偏好分析
	出行目的地偏好	不同旅客群体主要流向城市分布
	路径选择偏好	旅客在存在多条路径时的选择偏好，用于评估线路吸引力

征，如出行时段选择、目的地倾向及路径偏好等，从而指导客运产品设计与服务优化。

4.2　既有线路指标

对于既有线路，应重点获取以下3类客流指标，既有线客流预测指标体系如表3所示。

（1）客流变动类指标。分析新线开通前后既有线路典型车站的到发客流量变化、周末及高峰期客流波动等情况，量化新线对既有线路的客流影响及变化趋势。

（2）客流转移影响指标。评估既有线路客流的转移趋势，包括客流流失比例、主要转移路径等，识别高速铁路网络中可能出现客流压力减轻或加剧的关键区段，量化新线对既有线路的分流效应和替代关系。

（3）能力利用指标。针对运力资源较为紧张的路段，计算新线开通后的剩余运力释放程度及其潜在利用率，为列车编组和运行图优化提供参考。

4.3　周末及高峰期客流增长系数

为更准确地反映周末及节假日高速铁路线路客流的波动特征，支撑周末及高峰开行方案的制定，有必要在日常预测客流基础上进一步确定周末及高峰期的客流增长系数。高速铁路周末与高峰开行方案推算流程如图3所示。

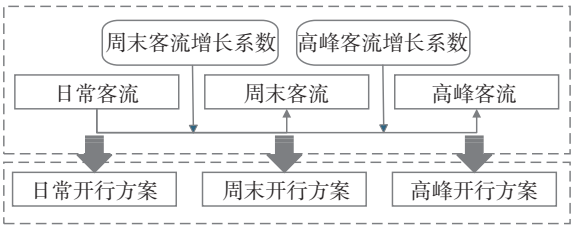

图3　高速铁路周末与高峰开行方案推算流程

Fig.3　Flowchart of train operation scheme estimation for high speed railway during weekend and peak hours

采用基于相似线路迁移的方法，参考前文所述参数标定思路，提取若干与预测线路特征相近的历史线路样本，统计其周末、高峰期客流的相对增幅，进而推算预测线路的客流增长系数。

（1）选取待预测线路最相近的n条历史线路。

（2）统计这些历史线路的周末客流增长系数及高峰客流增长系数。

（3）基于线路综合相似度对上述增长系数加权平均，获得预测线路的增长系数。

5　案例应用及分析

以中国铁路上海局集团有限公司(以下简称“上海局集团公司”)管内长三角路网中的池黄高速铁路(池州—黟县东)为例，对提出的预测方法进行案例应用与分析。基于池黄高速铁路开通前(2023年1—12月)的

表3　既有线客流预测指标体系

Tab.3　Index system for passenger flow forecasting of existing railway lines

类别	指标名称	指标说明
客流变动类	车站到发客流量变化率	分析新线开通前后典型车站客流变化
	客流增长系数变化率	关注新线开通前后周末和高峰期客流波动变化情况
转移影响类	客流流失比例	评估既有线路的客流流失比例
	主要转移路径	识别客流转移的主要路径
能力利用类	剩余运力	针对特定区段，计算新线开通后的剩余运力释放情况
	潜在利用率	评估新线开通后剩余运力的潜在利用率

铁路客流数据开展预测分析，并结合开通后(2024年5—6月)的实际运营数据对预测结果进行验证。

5.1　客流分布预测

综合考虑池黄高速铁路沿线地区经济发展、人口、产业及既有交通情况，特别是沿线旅游资源分布情况，确定池黄高速铁路开通后可能影响的重要客流方向，划分交通小区24个。基于其线路走向、服务区域及功能定位，构建候选线路库，涵盖全国范围内区位相近、功能相似的既有高速铁路线路。在此基础上，围绕线路基本属性、沿线经济特征和既有运输网络条件3类指标计算综合相似度，并据此排序选取杭黄高速铁路(杭州东—黄山北)富阳—绩溪北段与合福高速铁路(合肥南—福州)铜陵北—绩溪北段作为参考线路，线路相似度指标得分如表4所示。分别计算趋势客流、转移客流和诱增客流，汇总得预测OD客流表，池黄高速铁路预测OD客运量如表5所示。

5.2　网络客流分配

在网络客流分配阶段，结合线路走向、OD小区及行车条件，构建了涵盖新线、区域内高速铁路线路及长途通道方向的多层级拓扑网络。重点分析可能经由新线运行的OD对，搜索其可行路径并计算客流分配比例，预测新线开通后的客流变化情况。拓扑网络示意图如图4所示。

以武汉—杭州通道为例，结合行车条件与既有列车开行情况，最终筛选出5条可行路径，分别经过沪蓉—宁杭、沪蓉—合杭、武九—京港—宁安—合杭、武九—衢九—杭昌及武九—武冈—阜黄—京港—宁安—池黄—杭昌通道，里程分别为757 km，745 km，751 km，764 km，788 km。其中，经由池黄高速铁路的路径整体里程较长，但由于其具备较强的通道能力与旅游吸引潜力，仍在客流分配中占据18.90%，体现其作为新增通道的运力补充价值。

在全网范围内识别了池黄高速铁路开通后可能形成替代路径的关键通道方向，基于路径阻抗模型及路径选择概率，计算各通道中池黄路径的分配比例，典型通道路径及客流分配比例如表6所示。

由表6可知，在区域路网层面，池黄高速铁路打通了池州、安庆等皖南城市与南京、杭州、上海等长三角核心城市之间的快速联系，缩短了出行路径，提高了通达性和出行效率。例如，在安庆—上海、安庆—嘉兴等OD中，经由池黄的路径具有突出优势，已成为区域内旅客出行的主要通道。在长途通道层面，池黄高速铁路通过与宁安、杭昌等线路衔接，为跨区域方向(如南京—福建、合肥—广东、武汉—杭州)提供了新的路径选择，增强了对跨区域客流的承载能力，可为运输组织的调整提供新的方案。经客流分配计算，池黄高速铁路断面客运量如表7所示。

5.3　预测结果分析

为验证预测方法的有效性和准确性，将预测结果与池黄高速铁路开通后的实际结果进行对比，采用相对误差作为评价指标，新线预测结果误差分析如表8所示。

从新线客流规模来看，预测结果与实际结果总体上较为接近，总相对误差为6%。其中，池州、黄山西两大主要车站预测精度较高；九华山站预测客流低于实际，与该站主要服务于九华山风景区，旅游客流占比较高有关，特别是新线开通初期，周边景区、酒店、民宿、文化场馆等业态均发布高速铁路开通惠游政策，同时叠加五一假日效应，导致开通第一个月高峰客流波动系数达到2.99，实际客流波动性较大。尽管预测模型考虑了旅游属性，但对开通初期旅游市场爆发性增长敏感性仍显不足；黟县东站预测高于实际，该站服务的黟县及周边区域人口基数约10万人，原生客流基数偏小，导致相对误差较大，后续或需进一步关注并提升模型在小规模车站上的预测精度。从新线客流波动规律来

表4　线路相似度指标得分

Tab.4　Scores of line similarity indicators

指标类别	线路基本属性			沿线经济特征			既有路网	综合相似度
指标名称	平均站间距	设计速度	开通运营时间	沿线城市总人口	沿线城市人均GDP	沿线城市旅游指数	沿线既有高速铁路	
杭黄高速铁路富阳—绩溪北段	0.89	0.71	0.60	0.56	0.95	0.80	1.00	0.78
合福高速铁路铜陵北—绩溪北段	0.76	0.86	0.40	0.81	0.98	0.40	1.00	0.74

表5 池黄高速铁路预测OD客运量 人次/d

Tab.5 Predicted OD passenger volume of Chizhou-Huangshan High Speed Railway

预测OD客运量			本线铁路客运量				上海局集团公司管内主要城市铁路客运量													与管外主要方向铁路客运量								总计
							安徽					江苏					浙江		上海										
			池州	九华山	黄山西	黟县东	安庆	合肥	铜陵	芜湖	马鞍山	南京	苏州	无锡	常州	镇江	杭州	嘉兴		北京	福建	广东	河南	湖北	江西	山东	
本线铁路客运量		池州		94	125	57	647	1 063	297	560	111	732	98	65	74	38	244	13	401	53	3	52	22	162	234	60	5 203
		九华山	99		119	31	34	180	265	64	65	106	18	24	32	0	82	9	49	4	2	3	0	16	21	2	1 226
		黄山西	120	105		378	27	42	67	29	39	48	22	22	19	0	98	43	36	5	2	3	2	14	21	5	1 146
		黟县东	52	33	364		0	12	18	14	4	0	10	0	3	0	7	15	7	1	0	1	0	3	4	1	548
上海局集团公司管内主要城市铁路客运量	安徽	安庆	737	38	28	0											500	13	798	128							2 242
		合肥	1 079	169	44	12															1 444	1 129			2 076		5 952
		铜陵	223	266	70	19											157		409		198	45					1 387
		芜湖	723	68	30	15																					836
		马鞍山	102	70	39	5																					216
	江苏	南京	884	106	51	0															1 108	629					2 777
		苏州	84	24	23	11																					141
		无锡	78	27	23	0																					128
		常州	74	33	19	2																					128
		镇江	49	0	0	0																					49
	浙江	杭州	182	83	96	8	467		134															3 397			4 367
		嘉兴	16	18	47	15	20																				116
	上海		414	53	37	7	989		485																		1 985
与管外主要方向铁路客运量		北京	41	5	4	1	230																				280
		福建	3	1	1	0		1 339	179			987															2 510
		广东	44	6	3	1		1 149	60			762															2 026
		河南	2	0	2	0																					4
		湖北	133	17	12	2											3 120										3 284
		江西	235	30	21	4		1 885																			2 174
		山东	19	2	2	0																					24
总计			5 392	1 246	1 158	567	2 414	5 669	1 506	667	219	2 636	149	111	128	38	4 209	93	1 699	191	2 756	1 862	24	3 592	2 355	68	38 747

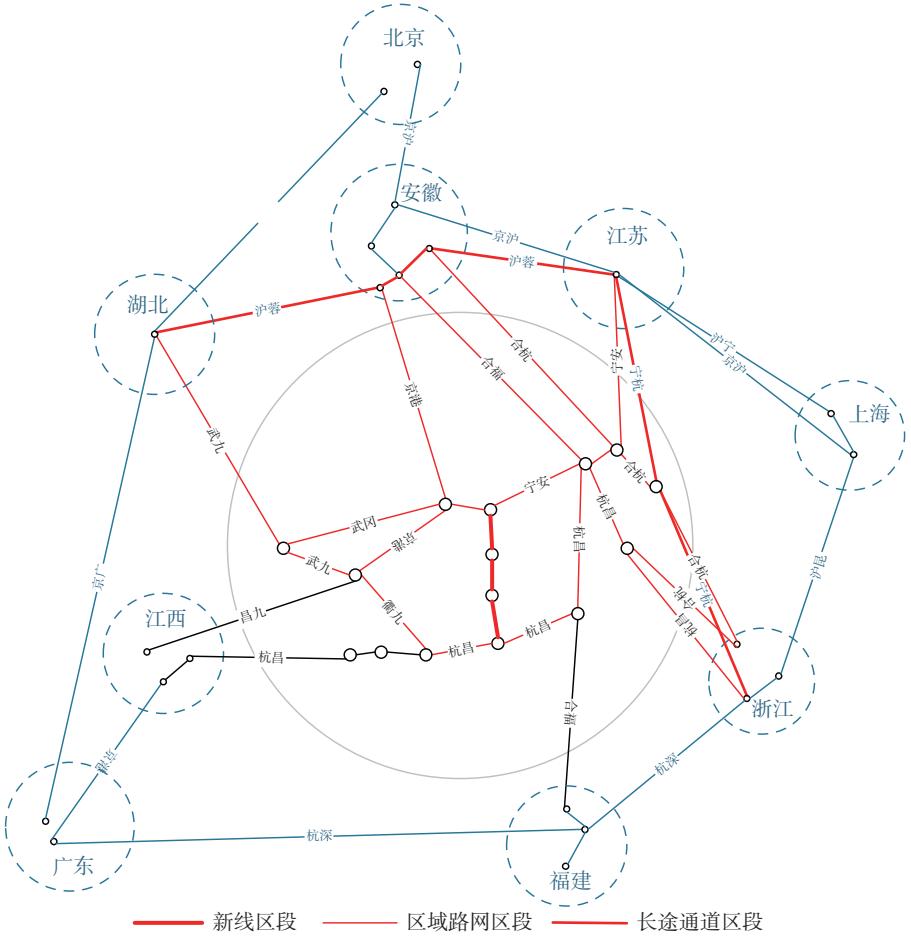

图4　拓扑网络示意图

Fig.4　Schematic diagram of topological network

表6　典型通道路径及客流分配比例

Tab.6　Typical corridor paths and passenger flow allocation proportions

通道方向	有效路径数	经由池黄高速铁路的路径数	池黄通道客流分配比例/%
安庆—杭州	4	1	25.35
安庆—嘉兴	2	1	99.55
安庆—上海	2	1	99.55
南京—福建	3	1	59.60
武汉—杭州	5	1	19.30
合肥—江西	3	1	28.00
合肥—广东	5	2	31.50
合肥—福建	2	1	48.00

表7　池黄高速铁路断面客运量　人/d

Tab.7　Sectional passenger volume of Chizhou-Huangshan High Speed Railway

断面	下行方向	上行方向
池州—九华山	6 667(4 203)	6 804(4 428)
九华山—黄山西	6 066(4 203)	6 233(4 428)
黄山西—黟县东	6 056(4 203)	6 236(4 428)

注：()内数值为该断面客运量中的跨线通过客运量。

表8　新线预测结果误差分析

Tab.8　Error analysis of prediction results for newly opened railway line

车站	预测发送客运量/(人/d)	实际发送客运量/(人/d)	相对误差/%
池州	5 203	5 524	−5.81
九华山	1 226	1 510	−18.81
黄山西	1 146	1 143	0.26
黟县东	548	442	23.98
总计	8 123	8 620	−5.77

看，基于杭黄高速铁路及合福高速铁路历史数据，预测池黄高速铁路周末及高峰客流增长系数分别为1.48与2.69，开通后的实际增长系数分别为1.28和2.99，预测误差在15%以内，验证了基于相似线路匹配方法推算波动系数的合理性和有效性。

从既有线客流分布来看，池黄高速铁路开通后，对武汉至杭州、广深至合肥方向等客运通道的既有高速铁路线路产成了一定的分流效应，以武汉—杭州通道为例，池黄高速铁路开通初期，调整2对列车运行径路改经池黄高速铁路，并新增开

1对，占该通道列车开行数量的近30%。宁安—合杭、沪蓉—宁杭等原经由线路列车高峰期客座率维持在90%左右，但列车开行数量减少，相关区段的运能得到一定释放，与预测的分流比例结果基本相符，进一步验证了本方法的可靠性，可为后续既有线路运输组织优化与区域运力结构调整提供依据。

6　结论

在我国高速铁路持续发展的背景下，区域加密、补强的高速铁路线通常具有突出的服务区域路网的功能导向，诸如开行方案等运输组织的调整优化须统筹新线与既有线路。提出了一种考虑路网变化与线路特征的区域高速铁路新线客流预测方法，在传统四阶段法框架下优化高速铁路新线与既有线的客流分配，能够较好地反映新线开通对区域客流格局的影响。同时，引入基于相似线路特征的参数标定方法，降低参数标定难度的同时有效提升了预测模型的适用性。以上海局集团公司管内2024年开通的池黄高速铁路为例进行了方法的应用与检验，结果表明：预测方法误差能够控制在合理范围内，具备较高的准确性和应用价值。

所提方法仍存在不足之处：其一，在客流分布阶段，重点考虑了新线开通对转移客流和诱增客流的影响，对趋势客流的预测仍依赖静态增长系数法；其二，在预测精度上，模型对小规模客流车站及OD对的预测波动较大，且对旅游季、节假日、大型活动等爆发性客流增长反应敏感性稍显不足。针对上述问题，后续研究将引入动态趋势客流模块，提升模型对客流时序特征和外部扰动的适应能力，同时，丰富服务质量与偏好因素的建模，以更全面地反映旅客个性化出行选择。此外，在多网融合加速推进的背景下，高速铁路、市域(郊)铁路、地铁等不同制式轨道交通系统间呈现深度网络协同效应——单一制式新线开通可能引发全网客流格局重构，未来研究还需进一步考虑不同制式之间的衔接关系与通达性特征，以及其对旅客出行行为的综合影响，并在网络建模中明确各制式边界，以更有效地适应复杂交通网络结构下的客流预测需求。

参考文献：

[1] 李心萍．“八纵八横”高铁网主通道建成投产约八成[N]. 人民日报，2024-10-02(1).

[2] MAZŪRA M，FADINA O. The Reliability of Forecasts in Transportation[J]. Transport，2002，17(6)：219-222.

[3] 彭　辉，王　洁．运输通道新建高速铁路客运量预测MD模型[J]. 交通运输工程学报，2005，5(3)：93-97.
PENG Hui，WANG Jie. MD Forecasting Model of Passenger Traffic Volume for Newly-Built High Speed Railway in Transport Corridor[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering，2005，5(3)：93-97.

[4] 任　民．铁路客运专线运量预测方法研究[J]. 铁道工程学报，2008，25(5)：89-92，96.
REN Min. Study on Method of Predicting the Traffic Volume of Railway Passenger Dedicated Line[J]. Journal of Railway Engineering Society，2008，25(5)：89-92，96.

[5] 李夏苗，黄桂章，汤　杰．基于OD反推模型预测客运通道客流量[J]. 铁道学报，2008，30(6)：7-12.
LI Xiamiao，HUANG Guizhang，TANG Jie. Passenger Flow Forecasting Based on OD-Matrix Estimation Model[J]. Journal of the China Railway Society，2008，30(6)：7-12.

[6] 李　凯，马　驷，许传粉，等．改进重力模型在铁路客运量预测中的应用[J]. 石家庄铁道大学学报(自然科学版)，2014，27(4)：94-97，103.
LI Kai，MA Si，XU Chuanfen，et al. Application of Improved Gravity Model in the Railway Passenger Traffic Volume Forecast[J]. Journal of Shijiazhuang Tiedao University (Natural Science Edition)，2014，27(4)：94-97，103.

[7] 解振全．TOD模式下客运专线诱增客运量预测研究[J]. 铁道运输与经济，2015，37(10)：41-46.
XIE Zhenquan. Study on Forecasting Induced-Increasing Passenger Traffic Volume of DPL under TOD Mode[J]. Railway Transport and Economy，2015，37(10)：41-46.

[8] 陈丽雯．兰新客运专线客流预测与开行方案研究[D]. 兰州：兰州交通大学，2013.

[9] 赵长江．长大干线铁路客运量预测方法研究[J]. 交通运输系统工程与信息，2004，4(3)：92-96.
ZHAO Changjiang. A Passenger Demand Forecast for Great Railway Corridor Lines[J]. Communication and Transportation Systems Engineering and Information，2004，4(3)：92-96.

[10] 李　立．济南至青岛高速铁路客运量预测研究[J]. 铁道运输与经济，2016，38(9)：45-49.
LI Li. Traffic Volume Forecast for Jinan-Qingdao High Speed Railway[J]. Railway Transport And Economy，2016，38(9)：

45-49.

[11] 丁海涛，张晓东. 高速铁路兰州至张掖三四线运输需求分析[J]. 铁道运输与经济，2020，42(1)：24-30.
DING Haitao，Zhang Xiaodong. A Research on Transport Demand of Lanzhou-Zhangye High Speed Railway[J]. Railway Transport and Economy，2020，42(1)：24-30.

[12] 宋　飞. 杭温高速铁路功能定位及运输需求研究[J]. 铁道经济研究，2020(3)：34-39，47.
SONG Fei. Research on Function Orientation and Transportation Demand of Hangzhou-Wenzhou High Speed Railway[J]. Railway Economics Research，2020(3)：34-39，47.

[13] KAMPP M，SEDELMEIER J，SCHÜTH J，et al. Design of a European High Speed Rail Network and Use of Passenger Demand Forecasting to Test European Policy Targets[J]. European Transport Research Review，2025，17(1)：23.

[14] GROLLE J，DONNERS B，ANNEMA J A，et al. Service Design and Frequency Setting for the European High Speed Rail Network[J]. Transportation Research Part A：Policy and Practice，2024，179：103906.

[15] 王立晓，曹建青，左　志，等. 考虑出行者异质性的新建城市轨道交通客流转移预测模型[J]. 城市轨道交通研究，2018，21(9)：75-79，83.
WANG Lixiao，CAO Jianqing，ZUO Zhi，et al. Predictive Model of Passenger Flow Shift on Newly Built Urban Rail Transit Regarding Traveler's Heterogeneity[J]. Urban Mass Transit，2018，21(9)：75-79，83.

[16] 郭旭东，刘永平，王远回. 以旅游功能为主的城市轨道交通线路客流预测方法[J]. 城市轨道交通研究，2018，21(1)：49-52.
GUO Xudong，LIU Yongping，WANG Yuanhui. Research on Passenger Flow Forecasting Method of Tourism-Oriented Unban Rail Transit Line[J]. Urban Mass Transit，2018，21(1)：49-52.

[17] 邓策方，金　安，陈先龙. 基于客流效益提升的多站点土地开发协同优化模型[J]. 城市轨道交通研究，2024，27(12)：127-134，139.
DENG Cefang，JIN An，CHEN Xianlong. Collaborative Optimization Model of Multi-Station Land Development Based on Passenger Flow Benefit Improvement[J]. Urban Mass Transit，2024，27(12)：127-134，139.

[18] 张鹏祯，左兴权，黄　海. 采用多任务学习预测短时公交客流[J]. 计算机工程与应用，2023，59(24)：360-366.
ZHANG Pengzhen，ZUO Xingquan，HUANG Hai. Predict Short Term Bus Passenger Flow *via* Multi-Task Learning[J]. Computer Engineering and Applications，2023，59(24)：360-366.

[19] 朱才华，孙晓黎，李培坤，等. 融合车站分类和数据降噪的城市轨道交通短时客流预测[J]. 铁道科学与工程学报，2022，19(8)：2182-2192.
ZHU Caihua，SUN Xiaoli，LI Peikun，et al. Short-Term Urban Rail Transit Passenger Flow Prediction Based on Incorporating Station Classification and Data Noise Reduction[J]. Journal of Railway Science and Engineering，2022，19(8)：2182-2192.

[21] 户佐安，邓锦程，杨江浩，等. 轨道交通站点聚类及其对客流预测的影响分析[J]. 交通运输系统工程与信息，2023，23(6)：227-238.
HU Zuoan，DENG Jincheng，YANG Jianghao，et al. Rail Transit Station Clustering and Its Impact on Passenger Flow Forecasting[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology，2023，23(6)：227-238.

[22] 姚恩建，白珂炎，张永生，等. 基于进出站双重选择的新线接入条件下城轨网络站间客流分布预测方法[J]. 北京交通大学学报，2023，47(04)：12-18，109.
YAO Enjian，BAI Keyan，ZHANG Yongsheng，et al. Prediction Method for Passenger Flow Distribution in Urban Rail Transit Network with New Lines' Operation Based on Entry and Exit Station Choices. Journal of Beijing Jiaotong University，2023，47(4)：12-18，109.

(责任编辑　汪沁萱)