

跨境铁路客运需求预测关键技术与全流程框架研究 ——以港深西部铁路为例

胡家琦¹, 周军²

(1. 深圳市规划国土发展研究中心, 广东 深圳 518040;

2. 广东省城市规划与交通仿真决策工程技术研究中心, 广东 深圳 518040)

摘要: 目前, 我国对外开放已进入全面发展的新阶段, 跨境铁路出行需求呈现快速增长态势, 当前跨境客流预测面临数据获取难、影响因素复杂等挑战, 亟须建立一套完整的预测框架和关键技术, 为跨境铁路的规划建设和运营管理提供决策依据。本文梳理了跨境铁路的发展历程, 对比其与本地铁路的特征差异, 总结跨境客流预测面临的关键问题与挑战, 构建完整的客流预测框架。研究提出三项关键技术: 问卷抽样调查与多源大数据融合还原出行特征、总量预测-空间分布-线路客流分层次解析出行需求、构建口岸约束下跨境与本地一体化的交通分配模型。结合港深西部跨境铁路案例, 分析深港跨境出行现状特征, 研判未来需求并完成线路客流量预测, 进而提出规划应用建议。

关键词: 跨境铁路; 全流程框架; OD还原; 一体化交通分配; 预测技术

中图分类号: U293.13

文献标识码: A

Research on Full-Process Framework and Core Methodologies for Cross-Border Railway Passenger Demand Forecasting —A Case Study of Hong Kong-Shenzhen Western Railway

HU Jiaqi¹, ZHOU Jun²

(1. Shenzhen Urban Planning & Land Resource Center, Shenzhen 518040, Guangdong, China;

2. Guangdong Urban Planning & Traffic Simulation Decision Engineering Technology Research Center,
Shenzhen 518040, Guangdong, China)

Abstract: China's opening-up has entered a new phase of all-round development, with a rapid growth in travel demand for cross-border railways. Cross-border passenger flow forecasting faces obstacles including difficult data collection and complex influencing factors. A complete forecasting framework and key technologies are urgently built to support the planning, construction and operation management of cross-border railways. The development of cross-border railways is reviewed, and differences between cross-border and local railways are analyzed. Core challenges in passenger flow forecasting are summarized and a comprehensive framework is established. Three key technologies are proposed: (1) Travel characteristics restored via questionnaire sampling and multi-source big data; (2) Hierarchical analysis of travel demand based on total volume, spatial distribution and line passenger flow; (3) Port-constrained integrated traffic assignment model for cross-border and local transport. Taking the Hong Kong-Shenzhen Western Cross-border Railway as a case, current cross-border travel features are analyzed, future demand and passenger flow are forecasted, and planning suggestions are put forward.

Key words: cross-border railway; full-process framework; OD matrix restoration; integrated traffic assignment; forecasting technology

收稿日期: 2026-01-20

作者简介: 胡家琦, 高级工程师, 硕士, 研究方向为城市交通大数据分析、交通建模、交通场站设施规划

近年来,我国陆地边境经济开发与跨境区域经济合作快速推进^[1],跨境经济合作作为边境毗邻国家经贸协作核心模式,能够有效赋能边境区域发展^[2]。跨境铁路服务不同地域、不同社会制度的旅客,其客流形成机理与预测难度远高于普通本地铁路,现有预测方法适配性不足。我国跨境铁路发展大致经历了三个阶段:1978年以前为萌芽阶段,近代工业革命带动国际贸易兴起,滇越铁路、广九铁路相继建设;早期线路以军事物资运输为核心功能,客流预测工作主要采用经验研判方法开展粗放分析。1978—2010年为探索发展阶段,该时期欧洲跨境铁路路网体系逐步成型,包括连接法国、比利时、德国和荷兰的大力士高速列车线路,连接英国伦敦、法国巴黎和比利时布鲁塞尔等城市的欧洲之星铁路。2000年,香港特别行政区政府提出了兴建广深港跨境高铁。2010年后,在共建“一带一路”倡议下,跨境铁路项目开始加速发展,中欧班列、中老铁路、中泰铁路等项目陆续投建运营。现阶段铁路项目投融资管控趋严,工程财务分析需求提升,对客流预测的精细化、专业化提出了更高要求。本文深入分析跨境铁路客流预测的难点,构建预测框架和关键技术,以港深西部铁路为例开展实证研究,以期为国内同类跨境铁路规划建设提供技术参考。

1 跨境客流预测面临的挑战

1.1 国内外研究现状

欧洲地区的相关研究表明,客流预测需要整合多维度核心数据,综合分析区域经济发展水平、旅游资源禀赋、跨境通勤需求强度及多模式

交通竞争态势等,同时需动态关注通关政策调整与基础设施升级对客流规模、时空分布的潜在影响。预测方法以传统四阶段法为核心,重点标定航空、高速铁路、长途巴士、小汽车等替代交通方式的竞争参数,以此提升预测精准度^[3-4]。该方法的优势在于理论体系成熟,适用于交通网络相对稳定、影响因素较为单一的场景,但其局限性也较为明显。该方法基于均质化的出行特征假设,未充分考虑跨境场景的口岸约束、政策动态变化等特殊因素,且对数据的完整性和一致性要求较高。

国内客流预测的研究主要聚焦在城市和城际轨道交通领域,重点从影响因素、理论方法和结果分析等方面提升客流预测工作科学性^[5-8],但涉及跨境铁路的研究较少。少数研究尝试将机器学习模型应用于客流预测^[9],在一定程度上提升了预测的拟合精度,但其劣势在于仅注重数据间的关联关系,缺乏对跨境出行机理的深度解析,未系统考量口岸效率、通关政策、跨境合作区发展等跨境铁路特殊因素,导致模型的可解释性较差。

1.2 主要问题和挑战

跨境铁路与本地铁路存在显著差异:在客流结构上,跨境铁路主要服务跨境居民,其出行需求包含旅游、购物、探亲等类型,跨境产业链与供应链集聚还催生了大量商务、通勤出行;在运营组织上,前者运营主体多元,采用合作、分段运营模式且需通关检查,后者由单一主体运营、无通关环节;在口岸管理上,跨境铁路有单口岸、多口岸等布局,查验分为“一地两检”“两地两检”^[10-12],通关时长与效率直接影响旅客出行效用及路径选择(表1)。

表1 跨境铁路与本地铁路差别

类别	需求特征			运营组织	口岸设置	
	人群	目的	影响因素		口岸数量	查验模式
跨境铁路	跨境居民	旅游、购物、探亲、商务和通勤等	国际或地区形势区域合作关系	运营管理复杂 通关口岸影响	单一口岸 多口岸分散	“一地两检” “两地两检”
		本地居民通勤、日常出行为主	本地人口和经济发展	单一企业运营 无通关流程	无	

在具体技术框架方面,存在以下问题:

(1) 跨境数据碎片化与协同难,数据融合难。深港每日跨界出行人数多达数十万至上百万人,难以实施普查等全面调查^[13]。受跨区域数据共享机制缺失的制约,单一地区交通数据难以还原完整出行起讫点,需要探索运用多源大数据融

合技术开展分析。

(2) 既有客流预测范式不适用,需建立新预测框架。既有研究多沿用城际铁路预测思路,未充分考虑群体差异、口岸效率、通关政策、跨境合作区发展和多模式竞争等多因素扰动,缺乏对多元需求的分层刻画能力。

(3) 出行选择多元化, 竞争关系机理复杂。传统模型以市为单位建立, 未实现跨境与本地出行的有效衔接, 难以模拟不同人群全过程出行选择, 需要探索搭建一套全新的模型框架, 实现对全流程各类因素的统筹考量。

2 总体框架及关键技术

2.1 客流预测总体框架

本研究构建了适配跨境铁路客流的全流程预测技术框架(图1), 核心涵盖三大关键技术: 跨境出行起讫点 OD 还原技术、分层次客流需求分析技术、跨境+本地一体化交通模型技术, 并以跨境交通综合多源大数据为基础支撑。

技术流程上, 首先依托多源数据开展跨境出行 OD 还原, 通过口岸问卷、边检数据、手机信令等校核, 生成分方式 OD; 再通过数据与模型标定, 开展分层次需求分析, 从总量、分布、线路三个层面逐层细化客流特征; 最终将跨境与市域需求模型整合, 形成一体化模型, 完成轨道交通分配, 实现跨境与本地客流的同步精准预测。其中, 跨境+本地一体化模型以“一套模型贯穿全程”为核心逻辑, 衔接“起点—口岸—终点”全链条出行, 有效解决跨境与本地行程割裂导致的预测偏差问题。

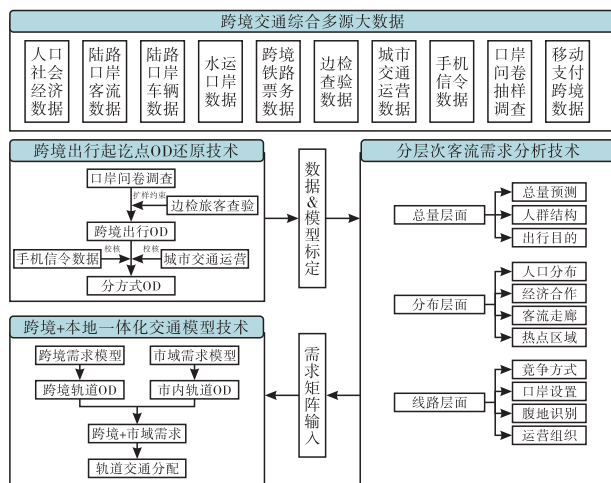


图1 客流预测总体框架

2.2 跨境出行 OD 还原技术

如图2所示, 传统小样本问卷调查受限于样本代表性, 难以真实反映跨境出行特征, 本研究构建“小样本抽样-多源数据融合-OD反推”的技术框架, 以解决上述问题。

开展多源数据融合与校核时, 综合考量数据准确性、空间覆盖程度及对出行分布还原的作

用, 采用层次分析法确定各项数据的融合权重。研究以数据权威性、特征完整性、空间互补性为准则搭建判断矩阵, 经一致性检验 ($CR < 0.1$), 最终确定边检查验数据权重为 40%、手机信令数据权重为 30%、轨道公交刷卡数据权重为 20%、接驳交通流量数据权重为 10%。四类数据各有侧重: 边检查验数据可保证客流总量与结构真实可靠, 手机信令数据完善问卷样本的空间分布特征, 轨道及接驳流量数据则用于校准出行交通方式属性。技术流程上, 先通过口岸抽样问卷联合扩样, 构建口岸调查扩样数据库, 结合边检数据校核口岸总体流量、人群户籍结构与口岸时空分布; 再通过多源大数据融合, 校核跨境出行目的与交通方式; 最终依托小区 OD 比例分解矩阵, 将分方式大区 OD 拆分为分方式小区级 OD, 完成跨境出行分布的精准还原。

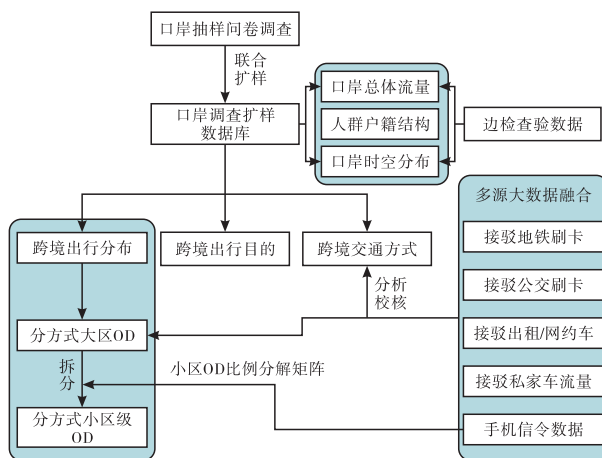


图2 多源数据还原技术流程

2.3 分层次跨境出行需求分析技术

针对跨境铁路客流腹地广、影响因素复杂的特征, 构建“总量预测-空间分布-线路客流”自上而下的分层次需求分析体系(图3)。

出行总量预测选用引力模型。城市间引力与人口、经济及综合运输网络等要素密切相关, 本研究结合现状跨境流量完成模型参数标定。人员通关政策调整直接对跨境出行产生抑制或促进作用, 对跨境出行总量影响较大。为充分考量政策带来的影响, 本研究引入虚拟变量, 结合弹性系数法开展预测工作。跨境合作区规划政策属性突出, 可依托人口与就业岗位布局测算出行需求, 计算公式如式(1)。

$$T_{ij} = k \cdot \frac{M_i^\alpha \cdot M_j^\beta}{D_{ij}^\gamma} \cdot e^{\text{policy}_{ij}} \quad (1)$$

式中, T_{ij} 为 i 至 j 的跨境出行总量; M_i , M_j

分别为 i 、 j 人口或经济规模； D_{ij} 为 i 至 j 可达性函数（综合出行时间距离，含口岸通关）； α 为距离衰减系数， β 为政策弹性系数，基于现状跨境出行数据标定； k 为标定系数； Policy_{ij} 为政策虚拟变量（通关政策宽松取 1.2、常规取 1.0、严格取 0.8）；跨境合作区通勤需求则直接根据跨境合作区规划人口岗位和跨境就业比例计算。

为简化表述，文中公式下标规则如下： i 代表出发地交通小区； j 代表目的地交通小区； r 同 i ，指城市内交通小区； k 类似 j ，指可选目的地； I 代表城市集合； K 为来源地 i 的所有可选目的地集合； m 、 n 均代表口岸， N 为可选口岸的集合。同类下标含义保持统一，后续正文表述中不再重复标注其区域属性。

出行分布预测：对总量预测得到的城市级客流分布进行需求拆分，以支撑线路层面的需求分配。根据两地人口社会经济分布、跨境经济合作平台、跨境基础设施规划及交通可达性等构建综合效用函数，采用目的地选择模型预测交通小区客流比例^[14]，分析跨境客流主要走廊。

$$P_{ij} = P_{(i|I)} \times P_{(j|i)} = \frac{\exp(V_i)}{\sum_{r=1}^R \exp(V_r)} \times \frac{\exp(V_i)}{\sum_{k=1}^K \exp(V_{ik})} \quad (2)$$

式中， P 代表跨境客流占比； V 代表不同小区和小区对之间的效用。 V_r 和 V_{rk} 的计算公式如下：

$$V_r = \sum \beta_r \cdot X_r + c_1 \quad (3)$$

$$V_{rk} = \sum \beta_{rk} \cdot X_{rk} + c_2 \quad (4)$$

式中， X 代表小区相关属性，包括常住人口数、GDP、商服用地规模、旅游景区数、可达性、面积等变量； X_{rk} 代表 OD 的相关属性，包括出行时间、出行费用等； β_r 和 β_{rk} 为标定系数； c_1 和 c_2 为常数项。

结合线路功能定位、技术标准，分析与其他跨境交通方式的竞合关系，确定线路核心服务客流类型；采用交通可达性分析法，以口岸/车站为核心，按公共交通 30 分钟出行圈界定线路客流腹地，为线路客流精细化预测提供依据。

2.4 跨境 + 本地一体化交通模型技术

将跨境需求模型和本地需求模型整合，在同一交通网络系统内开展客流分配（图4）。图4为跨境 + 本地一体化交通分配模型技术框架，整体分为跨境需求模型、市域（本地）需求模型两大

模块，通过需求融合实现跨境与本地客流的一体化网络分配。

2.4.1 跨境需求模型

主要用于模拟跨境口岸和路径选择竞争关系，该模块核心是通过口岸选择 logit 模型，完成跨境总体 OD 到分口岸 OD 的分配，为后续本地模型提供输入。交通网络重点整合区域跨境骨干交通网络和口岸枢纽节点系统，针对跨境铁路合作运营、分段运营等模式，根据不同运营方案设置列车路径、发车间隔、停站时间、票价等参数，构建“起点—口岸—终点”全过程出行综合效用函数，标定口岸选择 logit 模型，进行跨境流量分配，从而得到分口岸的跨境出行 OD。由 logit 模型可计算出往来深圳行政区 i 和香港行政区 j 的跨境 OD 选择口岸 m 的概率 P_{imj} 。式中， V_{imj} 表示 OD 对 $i-j$ 选择通过 m 口岸过关的跨境出行效用项，主要包括 i 到口岸时间距离、口岸通关时间距离、 j 到目的地时间距离； β_{imj} 为各效用项系数； c 为常数项。

$$P_{imj} = \frac{\exp(V_{imj})}{\sum_{n=1}^N \exp(V_{inj})} \quad (5)$$

$$V_{imj} = \sum \beta_{imj} \cdot X_{imj} + c \quad (6)$$

2.4.2 市域（本地）需求模型

市域（本地）需求模型将进一步细化小区和需求，该模块的核心是在分口岸 OD 的基础上，分离轨道方式需求、拆分小区级客流，并与本地轨道 OD 融合，最终完成交通网络分配。通过方式划分模型从跨境需求 OD 中分离出轨道方式，采用加权分布法进行小区需求拆分，并与本地出行轨道 OD 融合，作为分配矩阵。采用用户平衡法（UE）进行本地交通网络分配，衔接城市既有交通模型参数体系，最终输出跨境铁路全线客流、断面客流等核心指标。

3 案例分析

港深西部铁路规划起于香港洪水桥站，止于深圳前海湾站，全长约 18.1 km。通关口岸设置在深圳湾口岸站和前海湾站，拟实施“一地两检”通关模式。基于前文提出的跨境铁路全流程预测框架，开展客流预测实证分析。

3.1 深港现状跨境出行特征

根据多源大数据融合 OD 还原技术，整合 2024 年深港边检查验数据、手机信令数据、轨道公交刷卡接驳流量数据，完成深港跨境出行 OD

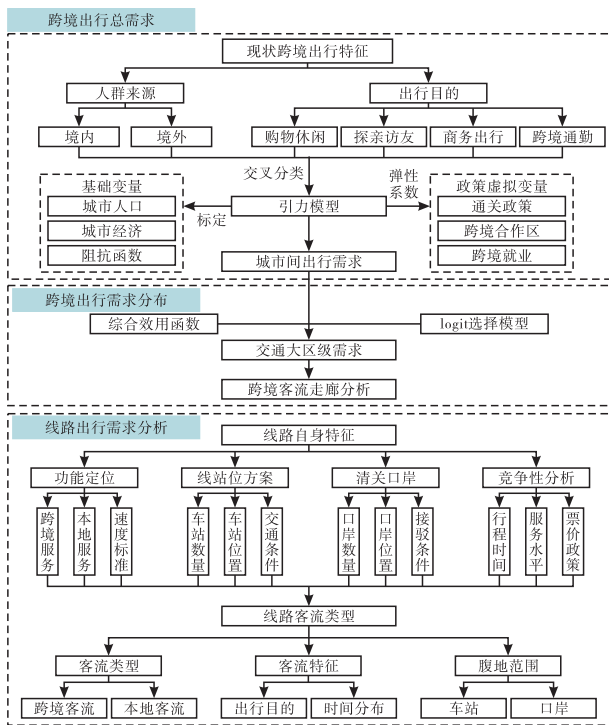


图3 跨境轨道交通需求分析技术

矩阵还原。2024 年深港日均跨境出行 60 万人次，其中香港居民占比 74%，内地居民占比 25%，其他居民占比 1%。空间分布主要集中在深港之间，占比 83%，其次为大湾区其他城市。出行目的以购物观光、探亲访友和公务出行为主，跨境通勤出行比例较低，仅约 2%^[15-16]。

3.2 深港跨境出行需求分析

基于前文提出的分层次需求解析技术，结合深港发展规划，分步骤开展需求预测，详细拆解

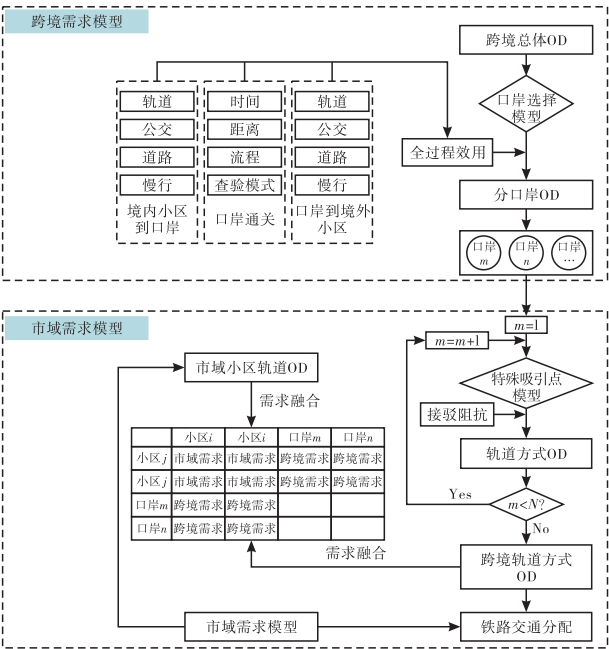


图4 跨境+本地一体化交通模型技术

从区域跨境出行总量到线路客流的转化逻辑，充分考量政策、跨境合作等因素影响。

(1) 总体跨境出行需求分析。根据引力模型总量预测方法，设置基本情景和乐观情景，核心参数及假设条件主要体现在人口规模、GDP 增速、政策宽松度以及跨境合作区的发展（表 2）。未来跨境出行总量达到 102 万~127 万人次/日，其中深港之间 76 万人次/日，占比 75%。

(2) 线路客流需求分析。从客流空间分布看，

表 2 不同情景下核心参数取值假设

情景类型	人口规模	GDP 年均增速	通关政策虚拟变量	跨境合作区发展水平
基本情景	深圳 1 800 万，香港 819 万	深圳 5%，香港 3%	维持现状通关政策，取 1.0	规划落地率 60%，高跨境比例（10%）
乐观情景	深圳 2 000 万，香港 936 万	深圳 4%，香港 2%	内地居民宽松政策，取 1.2	规划落地率 100%，低跨境比例（3%）

深港西部走廊由于前海合作区和香港北部都会区的建设，已成为客流增长最快的走廊，远期客流占比接近 30%。深港之间未来将形成 8 个陆路口岸，不同口岸客流腹地差异大，港深西部铁路前海口岸站衔接穗莞深城际和深圳地铁 1、5、11 号线等四条轨道，公共交通可达性 30 分钟覆盖范围达南山区全域及宝安区 80% 的区域。从线路竞争看，分析与广深港高铁等跨境轨道的竞合关系。本线票价更低（约为广深港高铁的 60%），

覆盖腹地更靠近西部产业区，主要承担跨境通勤、中短途商务、本地购物客流，与广深港高铁的长途旅游客流形成互补。

(3) 线路客流结果分析比较。未来本线跨境客流 23 万~31 万人次/日。乐观情景下，通关政策调整与跨境合作区的发展对客流的刺激效应显著，前海合作区以及香港北部都会区的发展促进了跨境通勤、商务出行增长，对线路客流及长期运营效益影响更为突出（表 3）。

表 3 不同情景客流预测结果比较

情景类型	基本情景	乐观情景	差异幅度	差异成因分析
深港跨境出行总量/(人次/日)	102 万	127 万	25%	人口规模扩大、通关政策宽松（政策虚拟变量取 1.2），刺激旅游、探亲及通勤类客流增长
港深西部铁路客流量/(人次/日)	23 万	31 万	35%	宽松政策降低出行门槛，西部产业区通勤、商务客流激增
跨境通勤客流量及占比/%	6.1 万（6%）	12.4 万（9%）	51%	北部都会区、前海合作区通勤需求增加

3.3 规划应用建议

（1）科学看待预测结果，强化参数论证。客流预测过程涉及因素众多，难以完全通过预测技术的把握确保结果准确^[17]。以往深港跨境交通设施的客流预测工作，由两地政府分别委托本地咨询机构独立开展，预测结果偏差普遍较大，统筹协调难度较高^[18-19]。应建立统一预测框架，围绕通关政策、跨境合作区规划等要素进行敏感性分析，组织专家研讨，审慎确定技术参数。

（2）情景差异化应用，支撑多维度决策。考虑不同情景假设，土建设施空间预留采用乐观情景，保留最大发展弹性；财务分析采用基本情景，确保项目具备一定财务可行性。政策发展建议深港两地优先推进通关政策协同优化（如扩大“一地两检”适用范围、简化跨境通勤人员查验流程），并加快前海合作区与香港北部都会区的产业联动，通过刚性客流培育提升线路运营效益。

（3）建立动态调整机制，适配需求变化。考虑到跨境出行需求受政策、跨境合作等因素影响显著，建议定期收集边检查验数据、轨道刷卡数据及跨境合作区发展进度，实时更新模型参数，动态调整预测结果，为线路运营组织优化、口岸资源配置及政策调整提供持续支撑。

4 结语

客流预测是跨境铁路技术标准、线路方案、运营组织及投资建设模式决策的重要依据。本文提出适用于跨境铁路的客流预测整体框架与关键技术，基于港深西部铁路案例实践，总结形成以下经验供同类项目参考：一是多源数据融合，整合边检、手机信令等数据，通过权重标定与交叉校核，破解数据碎片化难题，实现 OD 精准还原；二是分层次解析，构建“总量－空间分布－线路客流”分析体系，结合模型兼顾分析宏微观需求特征；三是口岸约束导向，纳入口岸核心因素，通过 logit 模型量化选择概率，衔接全过程出行；四是跨境与本地一体化，整合两类需求模型，实现全网络一体化分配，避免行程割裂；五

是情景适配，考量政策、跨境合作等变量，多情景预测支撑多维度决策。

然而，本研究仍存在一定局限性：未开展与传统四阶段法、机器学习模型的实证量化对比，未能验证本文技术在预测精度、效率上的核心优势；口岸选择概率模型未考虑跨境心理成本、出行习惯等隐性因素影响。未来，在国家持续扩大对外开放的背景下，跨境铁路建设将迎来更广阔的发展空间，可依托更多跨境铁路项目实践积累丰富的实测大数据，进一步提高预测框架的科学合理性。

参考文献：

[1]黄江. 对建设我国陆地周边邻国跨境经济合作区的几点思考[J]. 武汉大学学报(哲学社会科学版),2013,66(6):135-140.

[2]MBA 智库百科. 跨境经济合作[EB/OL]. (2016-10-20)[2026-01-20]. <https://wiki.mbalib.com/wiki/跨境经济合作>.

[3]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, 17:23.

[4] GURBUZ H. Overcoming the barriers on rail: a european perspective of long-distance cross-border passenger rail[D]. Milan: Politecnico di Milano, 2024.

[5]陈必壮,沈云樟,王忠强,等. 上海市轨道交通客流预测理论方法研究[J]. 城市交通, 2009,7(1):13-19.

[6]沈景炎. 城市轨道交通客流预测内容 and 应用[J]. 城市交通,2008,6(6):9-15,20.

[7]汤友富. 都市圈城际轨道交通规划方法研究[D]. 成都:西南交通大学, 2006.

[8]王静,赖艺欢,刘剑锋. 基于乘客画像的市域(郊)铁路客流预测方法[J]. 城市交通, 2023,21(2):102-108.

[9]胡松,常征,杨贝,等. 基于 PSO-SVR 模型的轨道交通客流预测[J]. 都市快轨交通, 2025,38(5):50-56.

[10]周子航,施德浩,王雨. 港深协同发展:香港北部都会区与前海合作区的跨界治理——基于新国家空间理论的考察[J]. 城市发展研究, 2022, 29(10): 1-11.

(下转第 67 页)

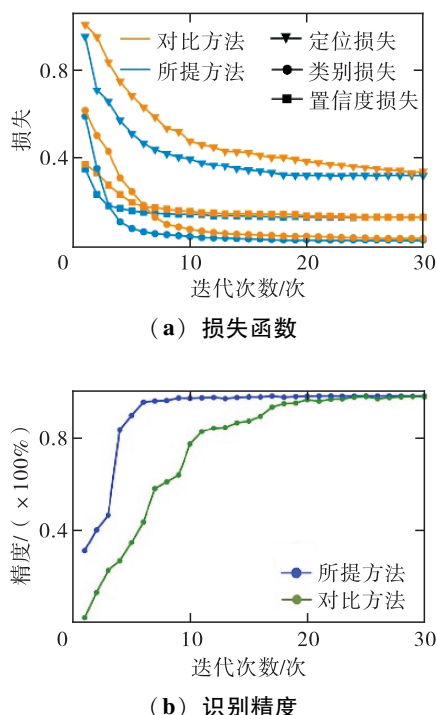


图4 对比方法与所提方法训练过程的比较

4 结论

为提高网联汽车智能装调准确性与高效性,提出了一种基于YOLOv5模型的网联汽车迁移学习智能装调方法,该方法在训练过程中只需要较少的标签数据、较短的训练时间,即可实现较高的故障识别精度。所提方法首先调用已训练好的YOLOv5模型进行智能装调的初始化,再采用已收集的装调数据作为训练集,并对各层模型的学习率及动态调整损失权重进行迭代优化。在网联汽车装调实验台上验证了该方法的有效性,评价指标表明该方法能够在更少的迭代次数(10代)内趋于稳定,并达到相对较高的精度(98%),未来的研究将致力于模型泛化能力的提升。

参考文献:

- [1] 朱冰,党瑞捷,赵健,等. 智能汽车冗余电控制动系统电流传感器故障容错控制[J]. 中国公路学报, 2023, 36(4): 249-260.
- [2] 贾宏颖,李玉峰. 智能网联汽车一体化安全问题与内生安全[J]. 电信科学, 2024, 40(12): 15-29.
- [3] 罗建辉. 人工智能与“岗课赛证”融合的高职智能控制技术专业课程实施路径探索:以“智能控制系统集成与装调”课程为例[J]. 湖南教育(D版), 2025(11): 37-39.
- [4] ZHANG C, TU L, YANG Z, et al. A CMMOG-based lithium-battery SOH estimation method using multi-task learning framework [J]. Journal of Energy Storage, 2025, 107:114884.
- [5] SEO Y, KIM T, BARDE S. Enhancing battery SOH prediction with butler-volmer informed neural networks in data-scarce environments[J]. Energy, 2025:138316.
- [6] HE D, ZHANG Z, JIN Z, et al. RTSMFFDE-HKRR: a fault diagnosis method for train bearing in noise environment[J]. Measurement, 2025, 239:115417.
- [7] TAO L, LIU H, NING G, et al. LLM-based framework for bearing fault diagnosis[J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2025, 224:112127.
- [8] 候欣耀,曾昊,彭靖波,等. 基于改进YOLOv11的航空发动机叶片多模态多尺度损伤高精度检测技术[J/OL]. 推进技术, 1-17.
- [9] THUKRAL M, HARESAMUDRAM H, PIOETZ T. Cross-domain HAR: few-shot transfer learning for human activity recognition[J]. ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology, 2025, 16(1): 1-35.
- [10] SAPKOTA R, KARKEE M. Ultralytics YOLO evolution: an overview of YOLO26, YOLO11, YOLOv8 and YOLOv5 object detectors for computer vision and pattern recognition[EB/OL]. (2025-10-07) [2026-01-13]. <http://arxiv.org/abs/2510.09653>.
- [11] REDMON J, DIVVALA K S, GIRSH B R, et al. You only look once: unified, real-time object detection[C]. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2016: 779-788.

(上接第56页)

- [11] 任思儒,李郇,陈婷婷. 改革开放以来粤港澳经济关系的回顾与展望[J]. 国际城市规划, 2017, 32(3): 21-27.
- [12] 何斌,史凯旋,刘菁. 粤港澳大湾区陆路口岸旅客通关模式优化研究[J]. 港澳研究, 2024(2): 82-92, 96.
- [13] 谭泽芳,周军,黄嘉俊,等. 深圳市跨界交通调查理论与技术研究[J]. 城市交通, 2025, 23(2): 106-116.
- [14] 胡一冰,胡家琦,许项东,等. 考虑群体行为异质性的深港跨界口岸交通需求模型[J]. 交通与运输, 2024, 40(4): 8-13.
- [15] 深圳市规划和自然资源局. 2024年深港莞惠跨界交

- 通调查[R]. 深圳:深圳市规划和自然资源局, 2024.
- [16] 香港规划署. “北往南来”:二零一七年年跨界旅运统计调查[R]. 香港:香港规划署, 2018.
- [17] 李锋. 通过规划审核和综合决策完善轨道交通客流预测[J]. 城市交通, 2009, 7(1): 26-30.
- [18] 胡明伟,史其信,牛永宁. 深港西部通道过境交通量预测的比较研究[J]. 道路交通与安全, 2009, 9(3): 45-48.
- [19] 姚展鹏. 香港回归前后重大项目规划政策比较:以机场及高铁为例[D]. 北京:清华大学, 2011.