基于手机信令数据的过江通道通车后路网拥堵识别与缓堵策略研究

朱卫俭
中誉设计有限公司南京分公司　江苏 南京　210000

摘　要　为精准研判和燕路过江通道通车后城市关键交通区域拥堵风险，科学制订缓堵预案，本研究以中国移动2022年5月连续31天匿名手机信令数据为核心，依托市域46 626座移动通信基站覆盖优势，构建交通需求预测模型，系统分析过江通道、重点立交及骨干道路运行特征。通过轨迹聚集分析、路径匹配、交通车辆溯源等技术，识别过江通道出行特征与重点节点拥堵现状，研判通道开通后快速路交织区、重点交叉口等潜在堵点。研究表明，手机信令数据可有效提升拥堵研判精准度，为通道开通后交通管控优化、路网资源配置及拥堵预防提供科学支撑。

关键词　手机信令数据；过江通道；拥堵识别；交通预测模型；缓解拥堵

Research on Congestion Identification and Mitigation Strategies for the Road Network After the Opening of a River-Crossing Corridor Based on Mobile Phone Signaling Data

Zhu Wei-jian
Nanjing Branch of Zhongyu Design Co., Ltd., Nanjing 210000, Jiangsu Province, China

Abstract　To accurately assess congestion risks in key urban traffic areas after the opening of the Heyanlu River-Crossing Corridor and scientifically formulate congestion mitigation plans, this study utilized anonymized mobile phone signaling data from China Mobile over 31 consecutive days in May 2022. Leveraging the extensive coverage of 46,626 mobile communication base stations in the urban area, a traffic demand prediction model was constructed to systematically analyze the operational characteristics of the river-crossing corridor, key interchanges, and major arterial roads. Through trajectory clustering analysis, route matching, and traffic source tracing techniques, the study identified travel patterns of the river-crossing corridor and congestion status at key nodes, predicting potential congestion points in fast road weaving sections and major intersections after the corridor's opening. The research demonstrates that mobile phone signaling data can effectively improve the accuracy of congestion assessment, providing scientific support for optimizing traffic management, allocating road network resources, and preventing congestion after the corridor's opening.

Key words　Mobile Phone Signaling Data; River-Crossing Channels; Congestion Identification; Traffic Prediction Model; Congestion Mitigation

交通模型是交通决策核心工具，传统OD调查存在抽样率低、更新滞后等问题。手机信令数据凭借高覆盖、细粒度、实时性优势，成为交通分析关键数据源。南京市既有过江通道高峰期进城方向交通压力突出，全天总量达49万辆，高峰拥堵严重。本研究旨在通过手机信令数据构建高精度模型，分析现状拥堵，研判和燕路过江通道通车后潜在堵点并提出缓堵预案，意义重大[1]。技术路线遵循“数据支撑—模型构建—分析研判—策略制订”闭环，确保研究严谨性。

1　数据基础与预处理

1.1 手机信令数据来源与特征

本研究采用中国移动2022年5月连续31天的匿名手机信令数据，数据包含用户匿名ID、基站坐标、信令发生时间、信令类型等核心字段。南京市域范围内共有移动通信基站46 626座，覆盖全域且呈现“内密外疏”的布局特征，与城市各级中心区布局相契合，为精准定位用户出行轨迹提供了坚实基础。

1.2 交通小区划分

交通小区划分遵循与行政区划一致、与轨道线网及路网布局协调、面积管控等原则，以城市道路、自然地理分界线、行政管理边界为界限，将南京市域划分为27个交通中区、1 334个交通小区，其中轨道交通沿线及核心区小区划分更细，外围小区面积相对较大。通过将手机信令数据与交通小区进行映射和匹配，为后续OD矩阵构建奠定基础。

1.3 数据预处理流程

手机信令数据预处理包括信息清洗、去噪、匹配分析等步骤：首先剔除异常信令数据；其次将移动通信基站数据映射至对应的交通小区；最后通过轨迹聚集分析、关联匹配等手段，提取出行活动强度、人口分布、职住关系、出行OD等核心交通特征数据[2]。

2 交通模型构建与现状交通分析

2.1 交通模型构建

本研究构建基于四阶段法的交通模型，引入手机信令数据提升精度与效率。模型流程包括：①出行生成，基于手机信令识别居民常住地与就业地，利用KDTree算法实现移动基站与交通小区映射，结合人口与用地数据计算各小区出行发生量与吸引量；②出行分布，分析南京市机动车OD数据，发现通勤出行呈走廊集聚特征。早高峰由外围向中心聚集，跨江需求显著。六合、大厂、高新园、浦口与主城联系紧密，江北核心区相对独立；慢行交通集中于浦口与中心城区，机动车长距离出行以小汽车为主，跨江通道建设需求迫切；③方式划分，按出发时间划分情景，借助导航API规划路径，结合信令轨迹与导航数据进行时空匹配，识别用户出行方式；④交通分配，采用随机用户平衡法，通过Visum软件将OD流量分配至路网，模拟现状交通运行。

2.2 现状交通运行特征

1.区域路网特征。城北区域快速路与主干路建成率高，次干路不足，形成“5横5纵”的骨架路网。路网层级不协调、功能匹配度低，断头路多、横向分流通道有限，过境交通疏解能力弱，对主干道及节点冲击较大。

2.重点节点运行特征。

过江通道：日均交通量约49万辆，早晚高峰集中。早高峰江北至江南达2.1万veh/h，长江大桥、应天大街隧道饱和度达1.04；八卦洲大桥以小客车为主（69%），双向流量均衡。

立交与骨干道路：新庄立交高峰流量约2.4万pcu/h，饱和度近1.0，玄武大道东向西排队2.3 km；江北大道拥堵集中于大厂至七里河段，北向南断面量5 406 pcu/h，饱和度1.11，大桥北路立交为关键拥堵节点。

3 关键通道交通溯源与拥堵点识别

3.1 关键通道交通溯源分析

基于手机信令数据的轨迹追踪分析，对两大核心过江通道开展交通溯源，明确了流量来源与分布特征：①长江大桥，早高峰机动车由北向南流向为主。北向流量主要来自化工园、大厂、高新区及浦口片区；南向流量多流向中心城区及鼓楼城北地区，具体路径分布为：经郑和北路、建宁路、模范西路向西约占15%，经栖霞大道、建宁路、内环北线向东约占39%，经内环西线向南约占46%。②八卦洲大桥，早高峰同样由北向南为主导。北向流量主要衔接六合中心城区及周边乡镇；南向流量经柳塘立交集散至鼓楼城北地区，再通过玄武大道及绕城高速分流至中心城区，具体路径分布为：经栖霞大道、华银路、玄武大道向西约占46%，经栖霞大道、金尧路、智谷大道向东约占25%，经绕城高速向南约占29%。

两大通道的通勤客流高度集中于鼓楼、城北等核心就业区，跨江通勤平均出行距离为18.6 km，平均出行时间为42 min，该特征为后续过江通道的流量组织与分流策略提供了重要依据。

3.2 现状拥堵点识别

结合交通模型分配结果与实地监测数据，采用“饱和度—延误”双指标评价体系[3]，识别出市域核心拥堵节点共23处，主要分为三类：①过江通道类，长江大桥、应天大街长江隧道，共2处；②立交节点类，新庄立交、大桥北路立交、柳塘立交等，共5处，其中大桥北路立交拥堵最为严重；③骨干道路节点类，江北大道沿线的江北鼓楼医院节点、学府路节点、兴浦路节点，玄武大道的樱铁村节点、花园路节点，龙蟠中路的西安门节点等，共16处，这些节点的饱和度均在1.03以上，平均延误3.2 ~ 4.5 min/辆。分析表明，这些拥堵节点多位于交通流量汇集区域，路网通行能力不足与交通流组织不合理是主要成因，在过江通道开通后，若不采取针对性管控措施，部分节点的拥堵状况可能进一步加剧。

4 过江通道开通前潜在堵点研判

4.1 快速路出入口交织区堵点

基于流量转移预测，主要快速路交织区将成为关键堵点：①江南段首个主线出口：下游交叉口通行能力仅3 200 pcu/h，开通后高峰流量预计达1 800 pcu/h，受其制约易出现排队回溯，早高峰饱和度预判为1.12，平均延误5.6 min/辆；②栖霞大道交织区：交织区长度仅280 m，汇集流量预计4 500 pcu/h，交织冲突将导致持续缓行，高峰饱和度达1.08，车速不足20 km/h；③新庄立交关联交织区：现有拥堵叠加新增流量，高峰饱和度预计升至1.15，拥堵时长延长至120 min。

注：晓庄立交衔接段因交织区长度充足（550 m），预计保持畅通。

4.2 交叉口堵点

交叉口疏散能力不足将传导至主线，主要分为两类：

①沿线交叉口：如和燕路—神农路、华电西路、红山南路等交叉口，现有高峰流量已达2 800～3 200 pcu/h，开通后预计增长30%～40%，若渠化与信号配时未优化易形成瓶颈，其中和燕路—红山南路早高峰饱和度预计达1.09，平均延误4.9 min/辆；②周边关联交叉口：如神农路—燕春路、华电西路—北苑西路等，将承接分流流量，高峰饱和度预计为0.95～1.02，需强化信号协同控制。

4.3 关键通道关联堵点

过江通道开通后，将承接六合、大厂、高新区至鼓楼城北的转移客流（转移比例分别为35%、28%、37%）。预判：①长江大桥、八卦洲大桥流量分别下降25%、22%，饱和度降至0.78、0.68，拥堵缓解但运行压力仍存；②衔接的江北大道北段、江南段快速路高峰流量预计增长42%、38%，其中雍庄立交至大厂段、晓庄立交至红山南路段可能成为新堵点，饱和度分别达1.07、1.05，需提前部署管控措施。

5 缓堵策略

5.1 路网优化策略

完善快速路与主次干路衔接，构建周边微循环体系，推动规划路网实施，打通瓶颈路段与断头路[4]。针对潜在拥堵节点实施以下硬件优化：①拓宽过江通道江南段首个主线出口下游交叉口，由4车道增至6车道，优化渠化设计，通行能力提升至4 500 pcu/h以上；②延长过江通道与栖霞大道交织区长度至450 m，增设专用换道车道，减少交织冲突；③改造关键交叉口渠化，如和燕路—红山南路交叉口设置左转待转区与右转专用道，采用“进口拓宽+出口渠化”模式提升疏散效率；④完善衔接路网，在江北大道北段新增地面辅道分流压力，江南段快速路沿线增设2处人行过街设施。

5.2 交通管控策略

基于快速路交通特点，实施匝道控制与交通诱导协同策略，实现“慢进快出”。具体措施包括：①匝道动态管控：主线车速低于15 km/h或排队超2 km时限制辅路汇入，高于30 km/h时允许汇入；②红山路—玄武大道匝道处实施分车道信号控制，神农路入口实施匝道限流；③早高峰在过江通道及衔接道路设置可变车道，增加1～2条直行车道；④对长江大桥、八卦洲大桥实施货车限行与错峰通行，通过差异化收费引导车流合理分配；⑤建立动态监测预警机制，在关键节点布设检测设备，饱和度达0.9时发布绕行信息[5]。

5.3 出行引导策略

推动出行结构优化与智能引导：①构建智慧出行平台，联动导航软件实时推送拥堵信息与最优路径，预计分流20%～25%拥堵流量；②提升公交服务，加密江北至中心城区公交地铁线路，新增3条跨江快线，公交分担率目标提升至35%以上；③完善慢行设施，沿线增设公共自行车租赁点与共享单车停放区，引导短途绿色出行；④倡导错峰与拼车出行，通过宣传激励降低高峰时段小汽车流量10%～15%[6]。

6 结束语

本研究以手机信令数据为核心，构建交通需求预测模型，系统分析了南京市现状交通运行特征，精准识别了和燕路过江通道通车后的路网潜在拥堵点，并提出了路网优化、交通管控、出行引导相结合的拥堵预防策略。研究结果表明，手机信令数据能够有效提升交通拥堵研判的精准度，为过江通道开通前的交通管理决策提供科学支撑[7]。

未来研究可进一步拓展数据来源，融合公交IC卡、网约车轨迹等多源交通数据，提升模型的全面性与准确性；同时可结合和燕路过江通道正常运行后的实际交通运行数据，对拥堵研判结果与预防策略效果进行验证，为后续交通设施优化与管理提供更完善的参考。

参考文献

[1]陆化普.交通运输系统工程[M].北京:清华大学出版社,2017.

[2]王炜,过秀成.交通工程学[M].南京:东南大学出版社,2020.

[3]张蕊,李铁柱,王昊.手机信令数据在城市交通OD调查中的应用[J].交通运输研究,2019,5(3):45-52.

[4]陈峻,刘攀.城市过江通道交通流量预测与拥堵治理[J].中国公路学报,2021,34(2):156-165.

[5]李军,杨晓光.基于手机信令的交通出行方式识别方法研究[J].公路交通科技,2020,37(8):108-114.

[6]中华人民共和国住房和城乡建设部.城市综合交通体系规划标准(GB/T 51328—2018)[S].北京:中国建筑工业出版社,2018.

[7]南京市交通运输局.南京市“十四五”综合交通运输体系发展规划[R].南京:南京市交通运输局,2021.

（本文编辑 杜宇琪）

