



重大突发事件下区域综合交通系统应急保障和管理

吴建军¹, 高自友²

1 北京交通大学 轨道交通控制与安全国家重点实验室, 北京 100044

2 北京交通大学 交通运输学院, 北京 100044

摘要: 重大突发事件的发生严重威胁人们的生命和财产安全, 合理利用综合交通系统高效疏散需求和运输救援物资是应急响应中的关键。为提升重大突发事件下区域综合交通系统应急保障和管理能力, 针对突发事件对区域交通系统可能带来的影响, 从重大突发事件下区域综合交通出行智能预测与行为决策、交通网络流量传播与关键因素识别、交通运行状态仿真计算与推演、交通系统韧性评估与智能管控、交通应急资源配置与协同保障5个方面对其研究内容进行系统阐述, 并提出相对应的典型科学问题, 旨在为提升交通系统应对重大突发事件韧性、减少重大突发事件造成的损失提供系统理论方法和科学决策依据。

关键词: 重大突发事件; 区域综合交通系统; 应急响应; 管控; 优化

中图分类号: C93

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1672-0334.2021.06.007

文章编号: 1672-0334(2021)06-0067-04

引言

自然灾害、恐怖袭击、公共卫生和公共安全等重大突发事件一直困扰着人类社会, 极大干扰了人们的正常生产和生活秩序^[1]。历次事件的经验教训表明, 高效的交通系统是有效应对重大突发事件、开展应急救援、恢复社会秩序的重要保障。重大突发事件具有随机性强、破坏性大和实时性要求高等特点, 一旦发生会导致区域性综合交通网络的损毁, 进而给综合交通系统的运行效率带来极大影响^[2]。此外, 重大突发事件发生后, 往往伴随着短时暴增的受灾人员疏散需求和救援物资的运输需求。在此情形下, 重大突发事件下的区域综合交通系统将成为稀缺性资源, 需要应急指挥部门进行统一的资源配置和调度指挥。而对于公共卫生类重大突发事件, 综合交通系统还是疫情传播的重要载体, 为了快速应对疫情, 区域性的交通管制是切断传播的有效途径, 这在本次新冠肺炎疫情中得到充分验证。因此, 应对频发的重大突发事件, 亟须针对区域综合交通系统应急保障和管理中的相关科学问题进行深入研究, 以

减少重大突发事件对社会经济的影响, 尽快恢复正常社会秩序。

交通系统的应急保障和管理是交通强国战略的重要组成部分。2019年9月19日, 中共中央、国务院印发的《交通强国建设纲要》指出, 建设交通强国是全面建成社会主义现代化强国的重要支撑。2019年11月29日, 中共中央总书记习近平在主持以应急管理体系和能力建设为主题的中共中央政治局第十九次集体学习中强调了应急管理在社会和国家等层面的重大作用。近期, 习近平总书记总结了此次新冠肺炎疫情中的应急防控工作, 并要求大家总结经验, 进一步建立健全国家应急管理体系, 提高应急处理能力^[3-4]。面对重大突发事件, 局部区域的应急处理、单点防控只能扬汤止沸, 而以整个区域为研究范围, 以系统观点为指导进行联防联控, 才能起到釜底抽薪的作用, 区域交通综合系统正是统筹和沟通各区域、保障区域内的交通系统运行效率达到最优的重要环节。因此, 建设重大突发事件下区域综合交通系统应急保障和管理体系具有重要的战略意义。

收稿日期: 2021-10-10 **修返日期:** 2021-11-10

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金(2021PT206); 国家自然科学基金(71621001, 71890972, 71890970)

作者简介: 吴建军, 工学博士, 北京交通大学轨道交通控制与安全国家重点实验室教授, 研究方向为城市交通系统复杂性分析等, 代表性学术成果为“A case study on the coordination of last trains for the Beijing subway network”, 发表在2015年第72卷《Transportation Research Part B: Methodological》, E-mail: jjwu1@bjtu.edu.cn

1 国内外研究现状和发展态势

自然灾害和重大传染病等重大突发事件严重破坏交通基础设施系统,威胁其正常运行^[5]。重大突发事件发生时,区域综合交通系统为输送救援物资和人员、转运救治重大伤员等提供关键保障。世界各国政府高度重视重大突发事件下区域交通系统应急保障和管理,欧盟支持了一系列的交通基础设施应急管理项目,在2014年《应对极端天气的基础设施网络风险分析》项目中考虑了极端天气事件对交通基础设施的影响,并制定一系列的减灾工具来增强基础设施网络的安全性^[6]。面对重大突发事件,如何进行疏散和救援成为当下科学研究的热点,解决这些问题的核心关键是区域综合交通系统应急保障的管理。GUPTA et al.^[7]认为,发生灾害需要疏散人员时,要研究提前多久发布警告信号,以及这些信号对交通运输、公共交通运输系统和疏散私家车的影响。

对交通系统应急管理的研究也引起了学术界广泛的关注。李琼等^[8]以2003年至2020年发表的包含应急管理主题的论文为研究对象,对2241篇文献进行多维度分析,发现学者们对应急管理的探索在不断深入,研究内容愈加多元化,研究成果更加丰硕。由此可见,对交通应急管理的研究已经受到学者的足够重视。

2 中国的发展基础和态势

首先,中国应急管理有一定的政策基础。2006年国务院发布了《国家突发公共事件总体应急预案》,标志着中国在突发事件管理上从依靠战略管理上升到国家管控的层面^[9]。2007年中国颁布了第一部应急管理领域的基本法——《中华人民共和国突发事件应对法》,中国逐步推进应急预案和标准体系的建设,目前已初步形成了应急管理法律法规体系^[10]。对于交通应急,中共中央、国务院印发的《交通强国建设纲要》明确提出要强化交通应急救援能力。

其次,中国应急管理存在一定的制度优势。党的十九届四中全会审议通过的《中共中央关于坚持和完善中国特色社会主义制度、推进国家治理体系和治理能力现代化若干重大问题的决定》明确指出,中国的完善制度是应急管理体系建设的有效保障^[11]。

2018年成立中华人民共和国应急管理部,指导各地区、各部门做好应对突发事件的处置工作,统筹组织应急力量。“十三五”规划强调健全的公路交通安全系统是应对交通突发事件的重要支撑^[11]。在这些强有力的保障体系下,中国为应对一系列重大事件提供了有效的交通系统应急管控,如2019年和2020年新冠肺炎疫情下的交通管控。

最后,中国应急管理具有较强的学术研究基础。利用Web of Science,以“emergency transportation management”为主题检索发现,2015年至2019年,北京交通大学、北京航空航天大学、同济大学、东南大学和中南大学等学术机构发表的国际学术论文共有342篇,排在同期全球各个国家和地区同类论文数量的第二位(美国以349篇名列第一),表明中国在交通应急管理研究领域处于世界前沿水平,为中国交通应急保障和管理体系建设提供了科学理论支撑。

3 主要研究方向和典型科学问题

重大突发事件下区域交通系统应急保障和管理涉及的主体关系复杂多变,需从多维度出发,细化研究方向。具体可概括为五大方向:重大突发事件下区域综合交通出行智能预测与行为决策、交通网络流量传播与关键因素识别、交通运行状态仿真计算与推演、交通系统韧性评估与智能管控、交通应急资源配置与协同保障。为了保障区域交通系统的平稳运行,首先要基于大数据分析技术对交通出行行为和需求进行智能预测;利用出行需求动态变化特征,刻画交通流在路网上的传播规律,提取有效性指标,识别关键节点和路段,便于制定具有适应性的应急资源配置和调度方案计划;通过加载出行需求,对区域综合交通系统进行仿真与推演,以获取实时和预测的路网运行状态信息,为交通系统的韧性评估与智能管控、应急资源配置与协同保障提供决策依据。各方向之间的逻辑关系框架图见图1。

(1) 重大突发事件下区域综合交通出行智能预测与行为决策

重大突发事件一旦发生,人们对综合交通出行网络的依赖性将激增。而重大突发事件往往与区域性综合交通出行网络和运行环境的损毁、管制或破坏

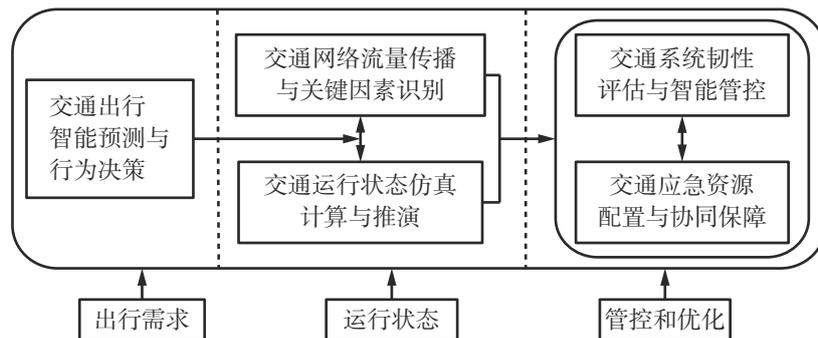


图1 研究方向框架

Figure 1 Framework of Research Directions

相耦合,严重影响区域交通者的出行行为和运行规律。同时,交通出行行为的决策变化也将对重大突发事件下组织指挥、风险评估、监测预测和应急保障产生重要影响。因此,研究重大突发事件下区域综合交通出行智能预测与行为决策对重大突发事件的应急管理和保障具有极其重要的意义。

典型科学问题举例:重大突发事件对区域综合交通出行行为影响机理研究,重大突发事件下区域综合交通出行链智能识别方法与机器学习算法,融合多源数据的重大突发事件对区域综合交通枢纽运行影响分析,重大突发事件下个体-群体出行智能预测与行为决策理论。

(2) 重大突发事件下区域综合交通网络流量传播与关键因素识别

重大突发事件往往伴随着区域综合交通的动态管理和流量控制,导致区域综合交通网络局部关键节点、关键路段或关键区域(枢纽)的交通流规律呈现与常态交通的显著不同。因此,需要深入挖掘重大突发事件与区域综合交通网络动态管控相耦合作用下的流量传播机制,在此基础上提出不同事件对区域综合交通流量传播影响的关键因素识别方法,对于理解重大突发事件下区域综合交通流演化复杂性、评价相关管控措施的实效性具有重要的价值和意义。

典型科学问题举例:重大突发事件对区域综合交通路网拓扑结构的影响评价与通行能力风险评估方法,考虑资源分布的重大突发事件在区域综合交通网络中的传播复杂性,重大突发事件下区域综合交通网络流量传播模型构建,重大突发事件对区域综合交通影响的关键因素识别方法。

(3) 重大突发事件下区域综合交通运行状态仿真计算与推演

重大突发事件具有随机性强、破坏性大、实时性要求高等特点,在区域性应急响应过程中,难以实时量化突发事件对区域综合交通路网的影响,更难通过数理解析和精确计算等方式快速掌握准确的区域级综合交通运行现状信息^[10]。因此,亟须开展重大突发事件下区域综合交通运行状态的仿真计算模型研究和快速推演方法,提高区域综合交通应急管理能力和快速推演方法。

典型科学问题举例:重大突发事件下区域综合交通出行费用有效估计方法,重大突发事件下区域综合交通网络能力快速计算,区域综合交通网络出行流量快速加载,重大突发事件下区域综合交通网络运行状态评估,重大突发事件下区域综合交通运行多智能体仿真计算模型,考虑重大突发事件多重极端条件、工况环境叠加下的区域综合交通运行情景推演方法。

(4) 重大突发事件下区域综合交通系统韧性评估与智能管控

重大突发事件对区域综合交通的运行存在系统性风险,特别是极端情况下交通网络的管制或破坏,将直接影响交通系统的通行能力和安全韧性。已有研究主要集中在事后评估,对重大突发事件下交通

网络韧性的研究尚不成熟,缺乏具有自主认知和决策特征的智能管控能力,较少形成分析-预警-管控的决策闭环。特别是在区域综合交通系统被严重损坏的背景下,如何切实有效建立重大突发事件下区域综合交通系统韧性评估模型,并基于集中式-分布式感知模式切换的交通网络可靠性分析,提出面向韧性管理的突发事件区域综合交通智能管控方法,已经成为韧性城市规划和重大突发事件下提升区域综合交通应急管理亟须解决的问题。

典型科学问题举例:综合交通系统的韧性指标体系,重大突发事件下区域综合交通韧性建模和评价方法,城市交通高效中央集中式管控条件下运行风险与可靠性之间的最优权衡,重大突发事件下区域综合交通系统的脆弱性和风险预警,考虑韧性的区域综合交通路网应急交通组织优化方法,基于机器学习的区域综合交通系统韧性调控,运输能力受限下多类应急物资智能交通管控方法。

(5) 重大突发事件下区域综合交通应急资源配置与协同保障

重大突发事件导致区域爆发性的短时大量物资需求,为确保救援工作的顺利进行,需依靠地方或中央政府相关应急指挥部门进行统一的区域性应急资源配置和调度,而交通是保证应急资源快速运达、遏制事件蔓延的重要前提。如何在新型环境下保障区域综合交通运输资源与应急物资的最优匹配,对于完成需求不平衡分布下大范围、高强度、强时效的交通运输任务,形成跨区域大运力运输需求时空优化配置理论和协同调度保障方法具有重要理论意义和应用价值。

典型科学问题举例:重大突发事件下应急资源的智慧化和精准化时空优化配置理论,全景突发事件数据驱动下临时性区域综合交通运输网络优化设计方法,大数据和人工智能环境下区域综合交通运输资源与应急物资的匹配优化理论,需求响应型区域综合交通合作、共享及一体化联动服务和协同调度理论,应急物资统配统调智慧决策优化和应用。

4 结束语

交通运输系统是中国应急管理和保障体系的重要组成部分,交通线就是生命线。本研究结合国家战略需求和研究现状,分析重大突发事件下区域综合交通系统应急保障和管理研究的重要性,通过综合该研究领域的内涵和实践过程,从交通系统科学的层面,整体性、系统性提出五大研究方向及其相对应的科学问题,为提高综合交通系统的应急能力提供科学依据。

参考文献:

- [1] 田芳,赵光辉,刘玥彤.中国交通应急管理:现状与政策研究. *中国市场*, 2019(16): 5-14.
TIAN Fang, ZHAO Guanghui, LIU Yuetong. Traffic emergency management in China: current situation and policy research. *China*

- Market*, 2019(16): 5–14.
- [2] 王晓娟. 公路突发事件应急管理研究: 以大理公路管理总段为例. 昆明: 云南财经大学, 2015: 7–8.
WANG Xiaojuan. *Study on emergency management of highway emergencies: taking Dali highway as an example*. Kunming: Yunnan University of Finance and Economics, 2015: 7–8.
- [3] 游志斌. 健全国家应急管理体系, 提高处理急难险重任务能力. *中国应急管理科学*, 2020(2): 14–16.
YOU Zhibin. Perfect national emergency management system, and improve disposal abilities of daunting tasks or perfecting national emergency management system, and improving disposal abilities of urgent, difficult, and dangerous tasks. *Journal of China Emergency Management Science*, 2020(2): 14–16.
- [4] 刘志谦. 公共卫生事件下的交通应急保障与出行管控. *综合运输*, 2020, 42(12): 10–17.
LIU Zhiqian. Traffic emergency support and travel control under public health incidents. *China Transportation Review*, 2020, 42(12): 10–17.
- [5] KOKS E E, ROZENBERG J, ZORN C, et al. A global multi-hazard risk analysis of road and railway infrastructure assets. *Nature Communications*, 2019, 10: 2677–1–2677–11.
- [6] NOGAL M, O'CONNOR A, CAULFIELD B, et al. A multidisciplinary approach for risk analysis of infrastructure networks in response to extreme weather. *Transportation Research Procedia*, 2016, 14: 78–85.
- [7] GUPTA S, STARR M K, FARAHANI R Z, et al. Disaster management from a POM perspective: mapping a new domain. *Production and Operations Management*, 2016, 25(10): 1611–1637.
- [8] 李琼, 杨洁. 重大公共突发事件背景下的中国应急管理研究(2003~2020年): 历程、热点与展望: 基于CNKI文献的可视化分析. *风险灾害危机研究*, 2020(1): 79–106.
LI Qiong, YANG Jie. Research on emergency management in China (2003-2020): history, hot spots and prospects: visual analysis based on CNKI literature. *Journal of Risk, Disaster & Crisis Research*, 2020(1): 79–106.
- [9] 谢明海. 突发事件下城市道路交通态势评估方法研究. 南京: 南京理工大学, 2014: 3–4.
XIE Minghai. *Study on urban road traffic situation assessment method under emergency*. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2014: 3–4.
- [10] 徐翠翠. 铁路突发事件应急物资管理系统与应急物资布局模型研究. 长沙: 中南大学, 2010: 2–3.
XU Cuicui. *Study on the management system of railway emergency materials and distribution model of emergency materials*. Changsha: Central South University, 2010: 2–3.
- [11] 王文李. 综合交通运输体系应急保障工作现实问题及措施. *中国水运*, 2020(7): 146–148.
WANG Wenli. Practical problems and measures of emergency support in comprehensive transportation system. *China Water Transport*, 2020(7): 146–148.

Emergency Support and Management of Regional Integrated Traffic System under Significant Events

WU Jianjun¹, GAO Ziyu²

1 State Key Laboratory of Rail Traffic Control and Safety, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China

2 School of Traffic and Transportation, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China

Abstract: The occurrence of significant events seriously threatens the safety of people's lives and property. The key of emergency response is to make rational use of the integrated traffic system to evacuate demand and transport relief materials efficiently. In order to improve the emergency support and management ability of the regional integrated traffic system, considering the effect of significant events on the regional integrated traffic system, the research content mainly elaborates five aspects: regional integrated traffic travel intelligent prediction and behavioral decision, network traffic propagation and key factor identification, operation state simulation calculation and deduction, system resilience assessment and intelligent control, and emergency resource allocation and collaborative support. Besides, the corresponding typical scientific problems of each aspect are proposed. It is to provide systematic theoretical methods and scientific decision-making basis for improving the resilience of traffic systems and reducing the losses caused by significant events.

Keywords: significant events; regional integrated traffic system; emergency response; management and control; optimization

Received Date: October 10th, 2021 **Accepted Date:** November 10th, 2021

Funded Project: Supported by the Fundamental Research Funds for the Chinese Central Universities (2021PT206) and the National Natural Science Foundation of China (71621001, 71890972, 71890970)

Biography: WU Jianjun, doctor in engineering, is a professor in the State Key Laboratory of Rail Traffic Control and Safety at Beijing Jiaotong University. His research interest focuses on complexity analysis on the urban traffic system. His representative paper titled "A case study on the coordination of last trains for the Beijing subway network" was published in the *Transportation Research Part B: Methodological* (Volume 72, 2015). E-mail: jjwul@bjtu.edu.cn □