



同济大学 1907-2017
Tongji University



同济博士论丛
TONGJI Dissertation Series

总主编 伍江 副总主编 雷星晖

王晓飞 郭忠印 著

灾变条件下道路网运营 安全管理及应急处置研究

Research on Operation Safety Management
and Emergency Disposal Against Disastrous
Conditions of Freeway Corridor



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

王晓飞 郭忠印 著

灾变条件下通道路网运营 安全管理及应急处置研究

Research on Operation Safety Management
and Emergency Disposal Against Disastrous
Conditions of Freeway Corridor

内 容 提 要

本书以通道路网为研究对象,以路网运营安全为基本目标,依托济青南线相关路网,在各类灾变条件下(灾害性天气事件、不良交通状态事件、交通事件),研究事件影响范围内路网运营安全管理及应急处置方法,对部分关键技术进行深入理论研究,并将结果应用于青岛—新疆红旗拉甫公路青岛至莱芜段工程实践。

本书适合相关专业高校师生、研究人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

灾变条件下通道路网运营安全管理及应急处置研究 /
王晓飞,郭忠印著. —上海:同济大学出版社,2018.12
(同济博士论丛/伍江总主编)
ISBN 978-7-5608-8229-1

I. ①灾… II. ①王… ②郭… III. ①道路网—交通
运输管理—灾害管理—研究—中国 IV. ①F512.99

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 257456 号

灾变条件下通道路网运营安全管理及应急处置研究

王晓飞 郭忠印 著

出 品 人 华春荣 责任编辑 王有文 卢元姗

责任校对 谢卫奋 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)

经 销 全国各地新华书店

排版制作 南京展望文化发展有限公司

印 刷 浙江广育爱多印务有限公司

开 本 787 mm×1092 mm 1/16

印 张 13.25

字 数 265 000

版 次 2018 年 12 月第 1 版 2018 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5608-8229-1

定 价 68.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

“同济博士论丛”编写领导小组

组 长：杨贤金 钟志华

副 组 长：伍 江 江 波

成 员：方守恩 蔡达峰 马锦明 姜富明 吴志强
徐建平 吕培明 顾祥林 雷星晖

办公室成员：李 兰 华春荣 段存广 姚建中

“同济博士论丛”编辑委员会

总 主 编：伍 江

副 总 主 编：雷星晖

编委会委员：（按姓氏笔画顺序排列）

丁晓强	万 钢	马卫民	马在田	马秋武	马建新
王 磊	王占山	王华忠	王国建	王洪伟	王雪峰
尤建新	甘礼华	左曙光	石来德	卢永毅	田 阡
白云霞	冯 俊	吕西林	朱合华	朱经浩	任 杰
任 浩	刘 春	刘玉擎	刘滨谊	闫 冰	关侗红
江景波	孙立军	孙继涛	严国泰	严海东	苏 强
李 杰	李 斌	李风亭	李光耀	李宏强	李国正
李国强	李前裕	李振宇	李爱平	李理光	李新贵
李德华	杨 敏	杨东援	杨守业	杨晓光	肖汝诚
吴广明	吴长福	吴庆生	吴志强	吴承照	何品鼎
何敏娟	何清华	汪世龙	汪光焘	沈明荣	宋小冬
张 旭	张亚雷	张庆贺	陈 鸿	陈小鸿	陈义汉
陈飞翔	陈以一	陈世鸣	陈艾荣	陈伟忠	陈志华
邵嘉裕	苗夺谦	林建平	周 苏	周 琪	郑军华
郑时龄	赵 民	赵由才	荆志成	钟再敏	施 璠
施卫星	施建刚	施惠生	祝 建	姚 熹	姚连璧

袁万城	莫天伟	夏四清	顾 明	顾祥林	钱梦弼
徐 政	徐 鉴	徐立鸿	徐亚伟	凌建明	高乃云
郭忠印	唐子来	閻耀保	黄一如	黄宏伟	黄茂松
戚正武	彭正龙	葛耀君	董德存	蒋昌俊	韩传峰
童小华	曾国荪	楼梦麟	路秉杰	蔡永洁	蔡克峰
薛 雷	霍佳震				

秘书组成员：谢永生 赵泽毓 熊磊丽 胡晗欣 卢元姗 蒋卓文

总序

在同济大学 110 周年华诞之际，喜闻“同济博士论丛”将正式出版发行，倍感欣慰。记得在 100 周年校庆时，我曾以《百年同济，大学对社会的承诺》为题作了演讲，如今看到付梓的“同济博士论丛”，我想这就是大学对社会承诺的一种体现。这 110 部学术著作不仅包含了同济大学近 10 年 100 多位优秀博士研究生的学术科研成果，也展现了同济大学围绕国家战略开展学科建设、发展自我特色，向建设世界一流大学的目标迈出的坚实步伐。

坐落于东海之滨的同济大学，历经 110 年历史风云，承古续今、汇聚东西，秉持“与祖国同行、以科教济世”的理念，发扬自强不息、追求卓越的精神，在复兴中华的征程中同舟共济、砥砺前行，谱写了一幅幅辉煌壮美的篇章。创校至今，同济大学培养了数十万工作在祖国各条战线上的人才，包括人们常提到的贝时璋、李国豪、裘法祖、吴孟超等一批著名教授。正是这些专家学者培养了一代又一代的博士研究生，薪火相传，将同济大学的科学研究和学科建设一步步推向高峰。

大学有其社会责任，她的社会责任就是融入国家的创新体系之中，成为国家创新战略的实践者。党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央高度重视科技创新，对实施创新驱动发展战略作出一系列重大决策部署。党的十八届五中全会把创新发展作为五大发展理念之首，强调创新是引领发展的第一动力，要求充分发挥科技创新在全面创新中的引领作用。要把创新驱动发展作为国家的优先战略，以科技创新为核心带动全面创新，以体制机制改

革激发创新活力,以高效率的创新体系支撑高水平的创新型国家建设。作为人才培养和科技创新的重要平台,大学是国家创新体系的重要组成部分。同济大学理当围绕国家战略目标的实现,作出更大的贡献。

大学的根本任务是培养人才,同济大学走出了一条特色鲜明的道路。无论是本科教育、研究生教育,还是这些年摸索总结出的导师制、人才培养特区,“卓越人才培养”的做法取得了很好的成绩。聚焦创新驱动转型发展战略,同济大学推进科研管理体系改革和重大科研基地平台建设。以贯穿人才培养全过程的一流创新创业教育助力创新驱动发展战略,实现创新创业教育的全覆盖,培养具有一流创新力、组织力和行动力的卓越人才。“同济博士论丛”的出版不仅是对同济大学人才培养成果的集中展示,更将进一步推动同济大学围绕国家战略开展学科建设、发展自我特色、明确大学定位、培养创新人才。

面对新形势、新任务、新挑战,我们必须增强忧患意识,扎根中国大地,朝着建设世界一流大学的目标,深化改革,勠力前行!

万 钢

2017年5月

论丛前言

承古续今,汇聚东西,百年同济秉持“与祖国同行、以科教济世”的理念,注重人才培养、科学研究、社会服务、文化传承创新和国际合作交流,自强不息,追求卓越。特别是近 20 年来,同济大学坚持把论文写在祖国的大地上,各学科都培养了一大批博士优秀人才,发表了数以千计的学术研究论文。这些论文不但反映了同济大学培养人才能力和学术研究的水平,而且也促进了学科的发展和国家的建设。多年来,我一直希望能有机会将我们同济大学的优秀博士论文集中整理,分类出版,让更多的读者获得分享。值此同济大学 110 周年校庆之际,在学校的支持下,“同济博士论丛”得以顺利出版。

“同济博士论丛”的出版组织工作启动于 2016 年 9 月,计划在同济大学 110 周年校庆之际出版 110 部同济大学的优秀博士论文。我们在数千篇博士论文中,聚焦于 2005—2016 年十多年间的优秀博士学位论文 430 余篇,经各院系征询,导师和博士积极响应并同意,遴选出近 170 篇,涵盖了同济的大部分学科:土木工程、城乡规划学(含建筑、风景园林)、海洋科学、交通运输工程、车辆工程、环境科学与工程、数学、材料工程、测绘科学与工程、机械工程、计算机科学与技术、医学、工程管理、哲学等。作为“同济博士论丛”出版工程的开端,在校庆之际首批集中出版 110 余部,其余也将陆续出版。

博士学位论文是反映博士研究生培养质量的重要方面。同济大学一直将立德树人作为根本任务,把培养高素质人才摆在首位,认真探索全面提高博士研究生质量的有效途径和机制。因此,“同济博士论丛”的出版集中展示同济大

学博士研究生培养与科研成果,体现对同济大学学术文化的传承。

“同济博士论丛”作为重要的科研文献资源,系统、全面、具体地反映了同济大学各学科专业前沿领域的科研成果和发展状况。它的出版是扩大传播同济科研成果和学术影响力的重要途径。博士论文的研究对象中不少是“国家自然科学基金”等科研基金资助的项目,具有明确的创新性和学术性,具有极高的学术价值,对我国的经济、文化、社会发展具有一定的理论和实践指导意义。

“同济博士论丛”的出版,将会调动同济广大科研人员的积极性,促进多学科学术交流、加速人才的发掘和人才的成长,有助于提高同济在国内外的竞争力,为实现同济大学扎根中国大地,建设世界一流大学的目标愿景做好基础性工作。

虽然同济已经发展成为一所特色鲜明、具有国际影响力的综合性、研究型大学,但与世界一流大学之间仍然存在着一定差距。“同济博士论丛”所反映的学术水平需要不断提高,同时在很短的时间内编辑出版 110 余部著作,必然存在一些不足之处,恳请广大学者,特别是有关专家提出批评,为提高同济人才培养质量和同济的学科建设提供宝贵意见。

最后感谢研究生院、出版社以及各院系的协作与支持。希望“同济博士论丛”能持续出版,并借助新媒体以电子书、知识库等多种方式呈现,以期成为展现同济学术成果、服务社会的一个可持续的出版品牌。为继续扎根中国大地,培育卓越英才,建设世界一流大学服务。

伍 江

2017 年 5 月

前言

在“五纵七横”国道主干线和国家高速公路网系统规划下,我国公路运输网由疏到密,逐步形成和完善。但因灾害性天气、不良交通状况和交通事件等引发公路交通拥挤、交通中断和交通延误以及伤亡惨重的交通事故也随着路网里程的增多而增加。造成这种情形的很大一部分原因在于管理水平没有跟上路网建设的发展水平。因此,有必要适时、超前地研究路网运营安全管理问题。

本书以通道路网为研究对象,以路网运营安全为基本目标,依托济青南线相关路网,在各类灾变条件下(灾害性天气事件、不良交通状态事件、交通事件),研究事件影响范围内路网运营安全管理及应急处置方法,对部分关键技术进行深入理论研究,并将结果应用于青岛—新疆红旗拉甫公路青岛至莱芜段(以下简称济青南线)工程实践。

在高速公路通道运营安全管理路网构建方面,在分析影响道路运营安全的三类灾变事件基础上,提出高速公路通道管理路网确定的基本原则,并提出完整的路网构建流程和管理单元划分方法。

在高速公路管理单元属性分析方面,全面分析了影响道路运营安全以及影响运营管理决策的各类静态属性和动态属性,建立了静态属性矩阵和动态属性矩阵。

在灾变条件下通道路网运营安全管理及应急处置研究方面,主要包括以下几个方面的内容:

首先,提出对策类型和决策依据(灾变事件类型、灾变事件等级、交通流状况、运营安全性及用户行程时间)。

然后,重点分析表征管理单元运营安全性的实时安全可靠度确定方法,和作为路阻函数的管理单元行程时间确定方法。实时安全可靠度确定方法根据交通流状态不同而不同,自由流下采用模糊综合评判的方法,主要考虑道路设施因素、交通工程及沿线设施因素和环境因素;非自由流下实时安全可靠度包括静态安全可靠度和动态安全可靠度,静态安全可靠度仍采用模糊综合评判方法,动态安全可靠度以单车行车风险为基础,采用可靠性图能分析方法。行程时间的计算方法分为未发生交通事件和发生交通事件两种情形。

其次,对各类灾变事件的影响范围确定方法进行了探讨。灾变事件的影响范围分为两类:主线高速公路事发单元:出现灾害性天气、不良交通状况、交通事件等灾变事件的主线高速公路管理单元;事发点上游单元:上游事件影响范围。

再次,针对高速公路上各类灾变事件的不同影响范围,针对性的采取实时安全管理对策,并对各类管理对策研究决策模型,即灾变条件下道路网运营安全管理及应急处置决策模型研究。对于第一类影响范围,根据灾变事件类型、事件等级和实时交通流状况,提出相应的车速控制、车道控制、限流管理等对策,以防止交通事件的发生或再发生。对于第二类影响范围,以实时安全可靠度为基本约束条件,行程时间为路阻函数,研究基于运营安全的道路网交通诱导决策模型。

最后,设计简单路网,举例说明决策流程。

工程应用方面,结合济青南线依托工程,以济青南线为主线高速公路,将灾变条件下道路网运营安全管理及应急处置研究成果应用于工程实践。

目 录

总序

论丛前言

前言

第 1 章	引言	1
1.1	研究背景	1
1.1.1	国内公路网建设现状	1
1.1.2	国内道路运营安全现状	2
1.1.3	研究的必要性	3
1.2	国内外研究现状	4
1.2.1	国内外相关管理系统的研究现状	4
1.2.2	国内外灾变条件下的管理对策研究现状	13
1.2.3	动态路径诱导系统的国内外研究现状与发展	18
1.3	本书主要研究内容	21
1.3.1	高速公路通道运营安全管理路网构建	22
1.3.2	高速公路通道路网管理单元属性分析	22
1.3.3	灾变条件下通道路网运营安全管理及应急处置决策依据研究	22
1.3.4	灾变条件下通道路网运营安全管理及应急处置决策模型及算法	23
1.3.5	工程应用	23
1.4	技术路线	23

第2章 高速公路通道运营安全管理路网构建	25
2.1 高速公路通道管理路网的确定	25
2.1.1 影响道路运营安全的灾变事件	25
2.1.2 高速公路通道管理路网确定需考虑的因素和基本原则	29
2.1.3 高速公路结点的确定	30
2.1.4 高速公路并行辅助线的确定	31
2.2 路网管理系统的构成——管理单元划分	35
2.2.1 划分目标和划分层次	36
2.2.2 管理单元划分方法	37
2.3 路网拓扑结构的建立	39
2.3.1 立交枢纽的表示方法	39
2.3.2 并行辅助线与高速公路组成的通道表示方法	40
2.3.3 路网图论模型的表示方法	40
2.3.4 路网的矩阵表示方法	41
2.4 本章小结	43
第3章 高速公路通道路网管理单元属性分析	44
3.1 静态属性	44
3.1.1 管理单元道路设施类型	45
3.1.2 普通路段设施属性集	45
3.1.3 桥梁设施属性集	48
3.1.4 隧道设施属性集	49
3.1.5 立交设施属性集	52
3.1.6 管理单元交通工程及沿线设施属性	55
3.1.7 其他静态属性	56
3.1.8 静态属性矩阵	58
3.2 动态属性	59
3.2.1 管理单元交通事件等级属性	60
3.2.2 管理单元水膜厚度	67
3.2.3 管理单元路面附着系数属性	67
3.2.4 管理单元驾驶员可视距离	70
3.2.5 管理单元驾驶员反应时间属性	71

3.2.6	高速公路管理单元通行能力属性	74
3.2.7	动态属性矩阵	79
3.3	本章小结	80
第4章	灾变条件下道路网运营安全管理及应急处置决策依据	81
4.1	灾变事件下道路网运营安全管理及应急处置对策类型	81
4.2	灾变事件下道路网运营安全管理及应急处置决策依据	82
4.3	管理单元实时安全可靠度	84
4.3.1	自由流下管理单元运营安全可靠度确定方法 P1	84
4.3.2	非自由流下管理单元运营安全可靠度确定方法 P2	91
4.4	用户行程时间	100
4.4.1	未发生交通事件情形下管理单元行程时间	101
4.4.2	发生交通事件情形下管理单元行程时间	101
4.5	算例	107
4.6	本章小结	111
第5章	灾变条件下道路网运营安全管理及应急处置决策模型与算法	113
5.1	主线高速公路灾变事件影响范围研究	114
5.1.1	灾变事件的辨识及等级判定	114
5.1.2	事发单元上游影响范围确定	115
5.2	主线高速公路事发单元运营安全管理及应急处置对策	124
5.2.1	灾害性天气下事发单元运营安全管理对策	124
5.2.2	不良交通状况下事发单元运营安全管理对策	130
5.2.3	交通事件下事发单元运营安全管理对策	130
5.2.4	事发单元可逆车道交通组织对策及决策	134
5.3	基于运营安全的道路网交通诱导决策模型	136
5.3.1	交通诱导范围	138
5.3.2	路径诱导决策模型	140
5.4	算例	151
5.5	本章小结	154

第 6 章 工程应用	156
6.1 工程背景	156
6.2 路网构建	156
6.2.1 路网的确定	157
6.2.2 管理单元划分	157
6.2.3 拓扑结构的建立	159
6.3 管理单元属性分析	159
6.4 高速公路道路网运营安全管理及应急处置对策应用	159
6.4.1 济青南线事发单元运营安全管理对策库	159
6.4.2 高速公路道路网交通诱导管理对策应用	159
第 7 章 结论与展望	173
7.1 主要内容及结论	173
7.2 本书创新点	176
7.3 发展与展望	177
附录 A	179
附录 B	182
参考文献	188
后记	195

第 1 章

引言

1.1 研究背景

1.1.1 国内公路网建设现状

据交通部最新的《2006 年公路水路交通行业发展统计公报》显示,截至 2006 年底,全国公路总里程达 345.70 万公里。路网结构进一步改善,上述公路里程中,国道 13.34 万公里,省道 23.96 万公里,县道 50.65 万公里,乡道 98.76 万公里,专用公路 5.80 万公里,村道 153.20 万公里,分别占公路总里程的 3.9%、6.9%、14.7%、28.6%、1.7%和 44.3%。2006 年底,全国高速公路总里程达到 45 335 公里,其中,东部地区高速公路 20 279 公里,中部地区高速公路 13 339 公里,西部地区高速公路 11 717 公里。2006 年,全国新增高速公路通车里程 4 334 公里,其中,河南、浙江、江苏和陕西四省全年新增高速公路通车里程均超过 300 公里。^[1]2007 年,全国的高速公路里程已达到 5.3 万公里。

不仅如此,在“五纵七横”国道主干线系统规划的指导下,2005 年 1 月,交通部出台了《国家高速公路网规划》,规划了 7 条首都放射线、9 条南北纵向线和 18 条东西横向线,简称为“7918 网”,到 2010 年,国家高速公路网总体上将实现“东网、中联、西通”的目标。从 2005 年起到 2030 年,国家将斥资 2 万亿元,新建 5.1 万公里高速公路,使我国高速公路里程达到 8.5 万公里。^[1]

由此可见,我国高速公路的密度不断提高,公路网规模逐渐扩大,通达深度也进一步改善。以山东省的公路网为例,山东省的公路网遍布全省,以路面质量和公路里程位居全国之首,截至 2006 年底,山东省高速公路总里程达到 3 280 公里。到 2007 年底,全省高速公路通车里程突破 4 000 公里,到 2010 年,全省公路通车里程达到 90 000 公里,其中,高速公路 5 000 公里,一级公路 6 000 公里,