

道路交通应急区域疏散管理 理论、方法与实践

安 实 崔建勋 崔 娜 编著



科学出版社

道路交通应急区域疏散管理 理论、方法与实践

安实 崔建勋 崔娜 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

近年来,世界范围内自然灾害、人为灾害频繁发生,给人类的生命财产造成了极大损失。道路交通系统作为承载应急救援、疏散活动的关键性基础设施,发挥着举足轻重的作用。道路交通应急疏散管理日渐成为灾害管理、应急响应过程中的重要举措。本书针对道路交通应急区域疏散管理的理论、方法和实践问题进行了研究,涵盖道路交通应急区域疏散管理问题的建模方法及基础理论、道路交通应急区域疏散交通需求的生成规律及预测方法、道路交通应急区域疏散交通诱导理论、逆行车道优化理论、多应急交通流协同优化理论及公共交通在区域疏散中的应用等多个研究内容。

本书可作为道路交通应急疏散管理方向研究者和实践者的参考书,也可作为交通规划与管理、管理科学与工程、公共管理等专业研究生的教材或教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

道路交通应急区域疏散管理理论、方法与实践/安实,崔建勋,崔娜编著. —北京:科学出版社,2014

ISBN 978-7-03-041123-5

I. ①道… II. ①安…②崔…③崔… III. ①公路运输-交通运输管理 IV. ①U491

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 125665 号

责任编辑:匡 敏 李 清/责任校对:何晓萍

责任印制:阎 磊/封面设计:迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京市文林印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2014年5月第 一 版 开本:720×1000 B5

2014年5月第一次印刷 印张:12

字数:241 000

定价:60.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

近年来,全球频发的自然灾害给人类社会造成了巨大的生命和财产损失,自然灾害成为各国面临的共同挑战。中国是世界上自然灾害最为严重的国家之一,伴随着全球气候变化、中国经济快速发展和城市化进程不断加快,中国的资源、环境和生态压力加剧,自然灾害防范应对形势更加严峻复杂(国务院新闻办公室,2009)。中国政府在《国家综合减灾“十一五”规划》等文件中明确提出“十一五”期间(2006~2010年)及中长期国家综合减灾战略目标,即建立比较完善的减灾工作管理体制和运行机制,灾害监测预警、防灾备灾、应急处置、灾害救助、恢复重建能力大幅提升,公民减灾意识和技能显著增强,人员伤亡和自然灾害造成的直接经济损失明显减少。国务院办公厅于2011年12月8日印发的《国家综合防灾减灾规划(2011~2015年)》指出,“十二五”时期,在全球气候变化背景下,自然灾害风险进一步加大,中国防灾减灾工作形势严峻(国务院办公厅,2011)。除自然灾害以外,技术失败(Technology Failure)所带来的灾害和人为蓄意造成的灾害同样威胁着人类社会的安全。技术失败所带来的灾害主要包括:核泄漏、工厂毒气泄漏等;人为蓄意造成的灾害主要包括恐怖袭击、战争等。

在国家科技发展规划层面,重大灾害下的防灾减灾工作先后被列为重点扶植项目。在《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006~2020年)》中,“交通运输安全与应急保障”被列入了重点领域及优先主题(国务院,2006)。国家重点基础研究发展计划(“973”计划)于2011年将“城市交通与灾害的基础研究”纳入到重要的支持方向之中,强调超大城市、大城市或城镇密集地区综合交通体系的基础理论与实证研究,以城市典型灾害(如重大火灾)为对象,研究其致灾机理、减灾途径及防控预警(科技部,2011)。国家自然科学基金委员会自2009年以来,设立了“非常规突发事件应急管理研究”重大研究计划,持续资助一系列与“非常规突发事件应急管理”相关的研究,着重研究非常规突发事件的信息处理与演化规律建模、非常规突发事件的应急决策理论、紧急状态下个体和群体的心理反应与行为规律,并利用三个集成升华平台整合相关研究成果(国家自然科学基金委员会,2009~2013)。

道路交通运输系统作为区域及城市防灾减灾的关键性承载设施,对于保障灾害条件下的应急工作具有不可估量的重要意义。一方面,道路交通运输在突发事

件的应急救援中发挥着极为重要的作用,保障重点物资、抢险救灾物资的快捷运输和重点时段交通的安全稳定运行,对于挽救人民生命与财产至关重要;另一方面,灾害发生时往往伴随着紧急疏散和避难,道路交通运输系统在运输受灾人群从危险区域迅速转移到安全区域的过程中同样扮演着重要角色。

早在 20 世纪 90 年代初,从应对各种灾害的角度,人们便提出了灾害/应急管理(Disaster/Emergency Management)的概念。灾害/应急管理可以按照发生时间的先后划分为以下四个阶段:减轻(Mitigating)、准备(Preparing)、响应(Responding)和恢复(Recovering)。作为灾害/应急管理响应阶段的关键策略,区域疏散的涵义是指人员从危险区域移动到安全地点的运动过程。由于是区域范围内的疏散,受灾人员往往需要借助机动车完成疏散过程。在这个过程中,管理者需要预测灾害影响的时空演化规律、划定疏散区域、分阶段发布疏散指令、估计疏散需求和被疏散者的响应形式、引导被疏散者到指定的疏散路线上、执行逆行车道等疏散策略和更新交通信号来有效地疏散车辆和人群。道路交通应急区域疏散的核心问题是如何在有限的道路网基础设施通行能力限制条件下,以最快、最安全的方式,将受灾区域内人员转移到安全的地点(避难所)。

尽管区域疏散在道路交通应急响应中扮演着重要的角色,但由于各种灾害发生与演变机理存在较强的不确定性,不可能精确地给出某个区域遭受灾害侵袭的准确时间和地点。而大规模的疏散会影响经济活动与群众的正常生活,过于频繁的疏散指令也会导致人们产生麻痹心理而忽视疏散指令。城市应急救灾指挥部门需要统观全局,在十分紧急的状况下才能发出疏散的指令。因此,从指令下达到受灾人群的疏散结束时间是非常有限的。如何在短暂的安全疏散时间内,有限通行能力的区域道路网上,有序、高效地完成大规模机动车辆的疏散,是道路交通应急管理领域迫切需要解决的理论和实践难题。

本书正是在这样的大背景下,对灾害条件下需要借助道路交通运输系统完成的机动车区域疏散问题进行深入探讨和研究,试图提出灾害条件下道路交通运输系统机动车疏散管理的成套理论和方法,重点涵盖道路交通应急区域疏散管理问题的建模方法及基础理论、道路交通应急区域疏散交通需求的生成规律及预测方法、道路交通应急区域疏散交通诱导理论、逆行车道优化理论、多应急交通流协同优化理论及公共交通在区域疏散中的应用等内容。在一定程度上,本书有助于加深读者对应急条件下疏散网络交通演化的内在机理和运行规律的认识和理解,同时能够为应急管理者制定高效、合理的应急疏散管理策略提供先进的理论和方法支撑。

本书的结构如下:第 1 章讲述了应急疏散的分类、道路交通应急区域疏散的内

涵及特点,着重介绍了道路交通应急区域疏散研究思想的发展历程;第2章阐述了道路交通应急区域疏散管理的集成建模框架,从系统的角度梳理了道路交通应急区域疏散管理所涉及的相关问题及其相互联系;第3章以行为分析为基础,阐述了道路交通应急区域疏散决策行为分析与交通需求预测的相关理论和模型,着重阐述了应急疏散交通需求从个体决策到需求发生的过程;第4章阐述了适用于道路交通应急区域疏散建模的基础网络流理论,重点介绍了基于经典图论的疏散网络流模型和基于交通分配的疏散网络流模型;第5章基于元胞传输理论,构建了用于描述道路交通应急区域疏散的网络流模型,在此基础上整合了逆行车道设置、交叉口冲突消除以及分阶段疏散策略的疏散交通管理集成模型;第6章针对区域疏散中经常采用的逆行车道设置策略进行了描述,涵盖了逆行车道设置优化模型以及相应的实践策略;第7章针对区域疏散过程中常常存在的疏散交通流与救援交通流相互冲突的问题,展开了系统的研究,在整合逆行车道设置以及多交通流冲突建模的基础上,给出了实践中对多应急交通流进行协同管理的策略和建议;鉴于公共交通系统在区域疏散中扮演的重要角色,第8章以灾害影响区域中无车群体的疏散组织方案为研究目标,提出采用公共车辆对无车群体进行集中救援和疏散的组织策略,并对其中的关键问题——集散设施的选址问题进行了深入探讨。

本书部分内容取自于当前较为成熟以及最新的研究成果,作者对这些成果进行了系统总结,更多的内容主要取自于作者所在研究团队近年来共同完成的研究成果。在撰写本书时,作者查阅了大量的国内外相关文献,力求做到内容新颖,取材丰富。

本书是作者与作者指导的研究生们近年来理论研究与实践的结晶,张昕明、王泽、赵蒙、刘海洋、姜慧夫、杨海强、高晶、于航、马诗咏等同学在课题研究与本书的撰写过程中付出了辛勤的劳动。

本书有关科研工作的完成得益于国家自然科学基金面上项目(编号:70973032)、国家自然科学基金管理学部主任基金项目(编号:70841007)和高等学校博士学科点专项科研基金项目(编号:20112302110054)的资助。此外,本书的出版也得到了哈尔滨工业大学“交通安全特种材料与智能化控制技术”交通部行业重点实验室、“智能交通管理技术”黑龙江省重点实验室以及哈尔滨工业大学交通科学与工程学院的大力支持,谨在此一并致谢。

由于作者学识有限,书中难免存在不足之处,请各位读者不吝赐教。

作 者

2014 年 4 月于哈尔滨工业大学

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 疏散分类	1
1.2 道路交通应急区域疏散内涵及其特点	1
1.3 道路交通应急区域疏散研究思想的发展历程	2
1.4 道路交通应急区域疏散所涉及的研究内容	5
1.5 本章小结	6
第 2 章 道路交通应急区域疏散管理集成建模框架	7
2.1 灾害管理	7
2.1.1 灾害类型	7
2.1.2 灾害管理阶段	12
2.1.3 灾害交通管理	14
2.2 疏散管理	16
2.2.1 疏散管理方案的制订	16
2.2.2 疏散管理方案的执行	17
2.2.3 疏散管理与其他灾害管理活动的关系	17
2.2.4 疏散管理的一般框架	17
2.3 疏散管理中的交通分析	19
2.4 疏散交通管理建模	20
2.4.1 疏散交通管理建模核心问题	21
2.4.2 疏散交通管理建模的需求	21
2.4.3 疏散交通管理集成建模框架	22
2.5 本章小结	24
第 3 章 道路交通应急区域疏散决策行为分析	25
3.1 灾害条件下应急疏散决策行为影响因素分析	25
3.2 应急疏散行为意向调查与数据分析——以台风灾害为例	27
3.2.1 调查设计	27
3.2.2 调查内容	28
3.2.3 各项基础数据统计分析	29

3.3	基于疏散决策行为分析的疏散需求预测	34
3.3.1	基于有限理性理论的风险容忍阈值模型	34
3.3.2	模型回归与参数估计	38
3.4	台风灾害下被疏散者的风险容忍阈值分析	44
3.4.1	平均的风险容忍阈值分析	44
3.4.2	不同类别群体的风险容忍阈值分析	46
3.4.3	台风灾害下的应急疏散需求预测	47
3.5	本章小结	49
第4章	道路交通应急区域疏散路径规划理论	50
4.1	最小费用动态流	51
4.2	最大动态网络流	56
4.3	全局最大流(最早到达流)	59
4.4	最快路径	61
4.5	最快流	64
4.6	多优先级的疏散交通诱导理论	64
4.7	连续时间动态网络流	66
4.8	基于动态交通分配的疏散路径优化	68
4.9	本章小结	69
第5章	基于元胞传输模型的道路交通应急区域疏散交通管理策略建模	70
5.1	元胞传输模型基础理论	72
5.1.1	元胞传输模型基本假设	72
5.1.2	元胞传输模型公式表达	73
5.1.3	元胞传输模型的改进	74
5.2	基于元胞传输模型的疏散道路网络建模方法	79
5.2.1	单终点疏散路网模型	79
5.2.2	元胞-连接桥路网模型	80
5.3	基于元胞传输模型的疏散交通流建模	86
5.4	基于元胞传输理论的区域疏散交通管理集成模型	90
5.4.1	基于逆行车道的疏散交通流模型扩展	92
5.4.2	基于交叉口冲突消除的疏散交通流模型扩展	95
5.4.3	基于小区分阶段疏散的疏散交通流模型扩展	97
5.4.4	疏散交通管理集成模型	98
5.5	案例分析	100
5.5.1	疏散情景	100

5.5.2 结果分析	102
5.6 本章小结	106
第6章 道路交通应急区域疏散逆行车道设置理论及实施方法	107
6.1 逆行车道	107
6.1.1 逆行车道设置的主要研究内容	108
6.1.2 逆行车道设置流程	109
6.1.3 逆行车道设置的形式	110
6.2 道路交通应急逆行车道设置规划模型	112
6.2.1 动态交通分配的排队模型	112
6.2.2 基于元胞的逆行车道设置规划模型	115
6.2.3 模型求解算法	121
6.2.4 案例分析	122
6.3 道路交通应急逆行车道设置实践	125
6.3.1 逆行车道入口设计	125
6.3.2 逆行车道出口设计	125
6.3.3 逆行车道道路标志设计	126
6.4 道路交通应急逆行车道设置的其他问题	129
6.4.1 安全性	129
6.4.2 驾驶员信息获取	129
6.4.3 人力安排	130
6.5 本小结	130
第7章 道路交通应急多类交通流协同优化与路网优化再设计	131
7.1 应急救援与疏散的特点分析	132
7.1.1 应急救援特点	132
7.1.2 应急疏散特点	133
7.2 应急疏散与救援的冲突性和协同性	134
7.2.1 应急疏散与救援的冲突性	134
7.2.2 应急疏散与救援的协同性	135
7.3 最小费用流模型的基础理论	136
7.3.1 基本概念及问题描述	136
7.3.2 最小费用流模型的求解	136
7.3.3 基于最小费用流的疏散模型和救援模型	137
7.4 多应急流协同优化及路网再设计模型	139
7.5 算例分析	143

7.5.1	数据准备与模型求解	143
7.5.2	结果分析	146
7.6	实践讨论	149
7.7	本章小结	150
第8章	公共交通在区域疏散交通管理中的应用	152
8.1	灾害条件下大规模疏散集散设施选址模型	154
8.1.1	问题描述	155
8.1.2	模型构建	160
8.2	应急救援分配中心选址模型	163
8.3	模型求解与结果分析	165
8.3.1	数据准备	166
8.3.2	实验结果及分析	167
8.3.3	设施失效概率灵敏度分析	168
8.4	本章小结	173
参考文献		174

第1章 绪 论

1.1 疏散分类

有关疏散的研究所涉及的内容十分广泛,大致可以按照如下的方式进行划分(Liu, 2007):

(1) 从疏散范围上,可以将疏散分为建筑物内部疏散(如大型商场、体育场馆等)、运输工具内部疏散(飞机、轮船等)、居住社区疏散(Neighborhood Evacuation)和区域疏散(Regional Evacuation)。

(2) 按疏散所采用的交通方式而言,可以划分为步行疏散(如商场、运输工具等范围内的疏散)、机动车疏散(如大范围的区域疏散),以及采用其他种类交通工具的疏散(如采用飞机、轮船等方式进行的疏散)。

(3) 按疏散发生时有无通知,可以分为有通知疏散(Notice Evacuation)和无通知疏散(No-Notice Evacuation),前者主要针对诸如台风、洪水等可以大致预测发生地点和发生时间的灾害,此时的疏散也可以称之为“灾前疏散”;后者则主要针对恐怖袭击,以及有毒物质运输过程中的泄漏等灾害,由于这些类型的灾害很难预测发生的地点和时间,因而其疏散往往是在没有通知的情况下发生的,此时的疏散也可以称之为“灾中疏散”或“灾后疏散”。

此外,根据发生的灾害类型不同,相应导致的疏散具有不同的特点。例如,由于恐怖袭击所导致的疏散,伴随着受灾区域人员的恐慌与混乱;由于飓风侵袭引发的疏散问题,则一定程度上可以认为受灾人员能够理性地服从疏散管理者的指挥和安排。又如,地震、洪水等灾害所导致的疏散,常常伴有路网的局部甚至大面积损毁,而对于毒气泄漏、恐怖袭击等灾害,则相对而言,路网基础设施较为完好。总而言之,疏散的根本目的在于采用某种交通工具(包括步行)将人、物从危险区域转移到安全区域。

1.2 道路交通应急区域疏散内涵及其特点

道路交通应急区域疏散是疏散问题的一种,其核心问题是如何在有限的道路网基础设施通行能力条件下,以及有限的安全时间范围内,以最快、最安全的方式,将受灾区域内的人员借助机动车辆转移到安全地点(避难所)。其特点在于:

①灾害类型为对一定区域道路网交通正常运行产生不利影响的非常规突发事件；②疏散空间为一定空间范围内的区域道路网络；③疏散的对象界定为机动车辆，即受灾人员通过乘坐机动车辆转移到安全地点；④研究的目标是在灾害发生前或发生后的一定安全时限内，疏散路网没有遭到完全物理性破坏的情况下，通过合理预测时变的疏散交通需求，寻求各种疏散交通管理控制策略的最佳组合，从而最大限度地提高疏散效率，减少人员伤亡及财产损失。

此外，区域疏散的交通管理控制措施总体上可以分为需求管理控制措施和供应管理控制措施。需求管理控制措施主要是指分阶段、分优先级地对整个受灾区域内各个疏散小区进行有计划、有步骤的疏散，从而在一定程度上控制疏散交通需求量在时间跨度上的分布，同时对加载到路网的疏散交通需求进行有效的路径诱导，以期在空间上对其进行合理分流，避免造成严重的交通拥堵；供应管理控制措施主要考虑如何对现有疏散路网基础设施进行管控，从而最大限度地利用现有的道路资源服务于区域疏散，其主要措施包括：疏散路网的优化再设计（主要包括逆行车道的设置、路肩及某些专用车道的开放等）、关键交叉口的流向冲突管理，以及关键疏散通道上的信号配时调整等。

1.3 道路交通应急区域疏散研究思想的发展历程

从道路交通应急区域疏散问题建模的思想演变来看，疏散交通的建模逐渐从经典图论中的各种网络流问题和常规交通规划需求预测领域的静态交通分配问题过渡到动态交通分配问题，从而导致了疏散交通的研究从规划层面逐渐向实时管理与控制的实践层面过渡，而疏散交通管理措施的建模从单一的路径诱导和预先规划走向多种管理措施的集成化和实时化。

从交通分析的角度考察由于自然灾害和人为灾害所导致的区域疏散建模问题，国外始于20世纪70年代末期。早期的工作主要围绕在飓风的疏散问题(Urbanik, 2006)。而后，人们又开始关注人为灾害的疏散建模问题，尤其是1979年3月28日，美国宾夕法尼亚州的三里岛核事故发生后，核电站周围区域的疏散问题倍受关注(Corps of Engineers et al., 2007)。从美国“9·11恐怖袭击事件”发生后，针对人为灾害所导致的疏散问题的研究逐步引起政府、高校及科研机构的重视。

Lewis(1985)首次描述了飓风所导致的疏散交通需求预测的一般方法。如图1-1所示。该方法与城市交通需求预测的方法是相对应的，并提出了疏散交通规划的一些关键问题，包括疏散交通形式(Evacuation Traffic Patterns)预测、疏散交通需求估计、疏散清空时间估计和交通控制方法。

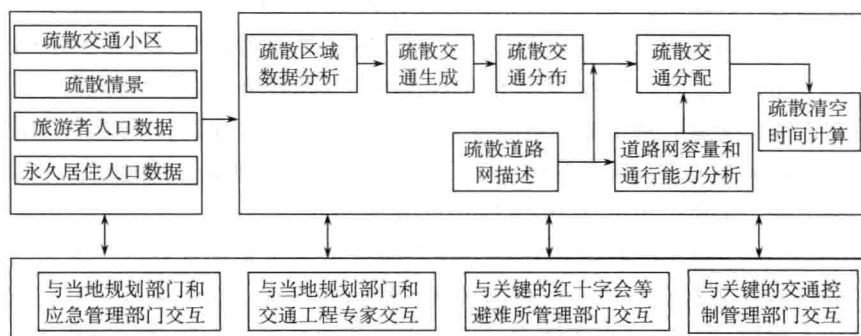


图 1-1 Lewis(1985)提出的疏散交通建模框架

Southworth(1991)针对区域疏散建模进行了综述,指出区域疏散的建模过程应分为以下 5 个阶段:①疏散交通需求预测子模型(包括疏散总人口数预测和疏散交通机动化程度预测);②疏散响应时间子模型(经常称为疏散交通加载率);③疏散终点选择子模型;④疏散交通路线分配子模型;⑤疏散方案设定、分析和修正。

为了反映疏散需求和网络条件的动态特性,Barrett 等(2000)提出了另外一个疏散交通建模框架。他们提出了一个动态飓风疏散建模的框架,包括了建模需求的定义、模型框架的定义和一般的操作方法。首先,根据建模的任务是最优化疏散系统的性能,定义了模型的功能需求,这要求模型能够存储和分析飓风信息,反映道路系统的改变和仿真管理策略,以及确定交通需求的改变(包括动态出行生成、出行分布和路线选择)。建模的框架主要是基于以下的方法:①在理想条件下,也就是被疏散者行为能够被完全控制的情况下,可以通过优化得到最小的疏散时间;②当基于疏散终点选择、疏散交通方式选择、出发时间选择和路线选择而得到的用户最优疏散时间一定程度上超过了系统最优疏散时间时,须提出应急管理策略来使得用户最优的选择向系统最优的疏散形式过渡,从而减少总体疏散时间;③更新道路网和 OD 数据来反映管理策略介入所导致的改变,重复以上三步,直到预期的疏散时间和系统最优疏散时间相差在一定可接受的范围内为止。该框架既适用于事前疏散规划建模,也适用于实时疏散管理建模。

Franzese 和 Han(2001)提出了另一个飓风疏散的建模框架,称为事故管理决策辅助系统(Incident Management Decision Aid System, IMDAS)。在该框架中,飓风疏散的分析被分为 3 个步骤:①根据所面临的灾害,将疏散区域划分为紧急响应区、保护区和预警区;②确定处于紧急疏散区的人口数,包括常住居民、旅游者和一些临时的人口;③基于行为分析估计实际疏散的人口数,这一步骤包含出发时间估计、终点选择和车辆的使用率估计。这三步输出的是一个动态 OD 表,该 OD 表

连同疏散网络一起输入到交通模型中,来估计疏散的性能(疏散清空时间等)。其交通模型与美国橡树岭国家实验室开发的 OREMS 疏散交通模型(Rathi and Solanki, 1993)是一致的。该交通模型能够评价和对比不同的路径分配方案、终点选取方案、交通控制策略、交通管理策略、被疏散者响应率和疏散出发时间。该系统使用了一个疏散出发时间曲线来代表短时的交通需求分布。OD 表就是按照这些疏散交通加载曲线确定的,从而产生了基于时间变化的交通需求。

Liu 等(2006)指出的疏散规划对于应急准备来说是非常重要的。然而,对于未来交通疏散情景却很难给出合理的预测,因为对于疏散情况来说,其特点是高度动态和不确定的,所以有效的实时疏散交通管理对于最大限度利用交通系统和减少生命财产损失是至关重要的。鉴于此,作者提出了一个基于实时交通管理的模型参照自适应控制(Model Reference Adaptive Control, MRAC)建模框架(图 1-2),该框架结合了动态网络建模技术和自适应控制技术。在该框架中,疏散交通网络被视为一个动态的系统。系统的状态可以通过现存和紧急安置的数据采集装置的检测数据来获取。在系统中,预先植入了一个动态交通分配(DTA)模型,动态预测基于系统最优目标的预期交通状态。该模型为自适应控制提供了一个参照点,将预期要达到的交通状态(系统最优)和通过检测数据获取的当前路网交通状态输入到自适应控制模型中,从而产生实时的交通控制策略。这些控制策略最终将引导交通流向预期的交通状态过渡。在该框架中,由于预测是短期行为,以及基于最新的交通检测数据,尤其是自适应控制可以容忍甚至消除预测的误差,因而 DTA 预测的误差可以被最小化。该框架包含了三个主要的部件:预先设定的 DTA 模型、自适应控制模型和真实世界的交通状态模型。

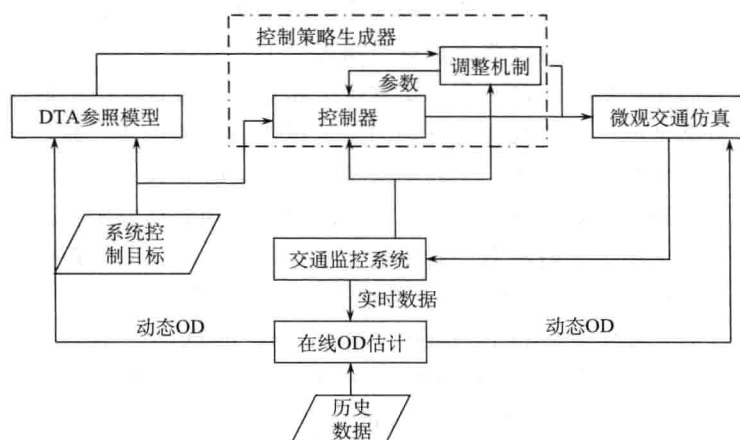


图 1-2 区域疏散建模框架(Liu 等, 2006)

Liu 等(2007)提出了一个区域疏散的集成控制系统框架,该系统能够同时执行不同的控制措施,包括交通路线诱导(Traffic Routing)、逆行车道设置(Contra-Flow)、分阶段疏散(Staged Evacuation)和关键疏散通道的信号控制(Evacuation Corridor Signal Control)。该系统具有双层控制框架,网络层将交通分配到不同的疏散通道上,选择路段,实现逆行车道操作及标定不同疏散小区的疏散先后顺序;通道层将网络层的决策作为输入,从而标定问题严重的控制点,并且沿着主要的疏散通道实现最优的信号配时。

1.4 道路交通应急区域疏散所涉及的研究内容

道路交通应急区域疏散有关的研究问题十分广泛,概括而言,主要涉及灾害相关、行为相关、需求相关、路网相关、管理相关,以及信息相关六个方面(图 1-3)。

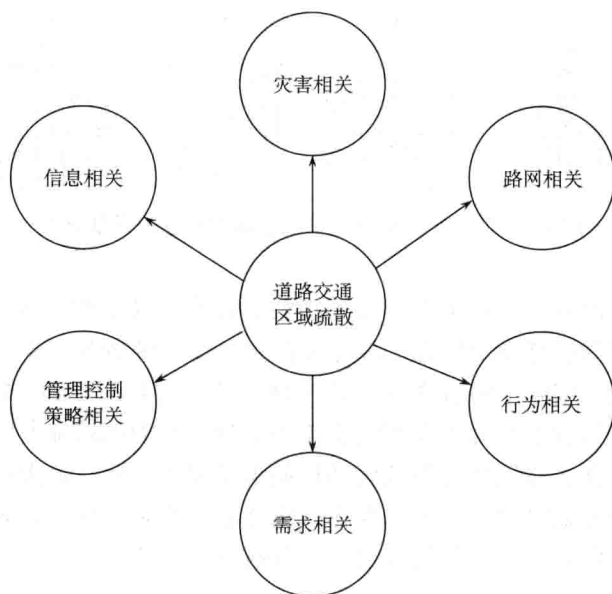


图 1-3 道路交通应急区域疏散所涉及的研究问题

灾害相关的研究往往作为区域疏散研究的背景,提供了灾害情景的模拟和再现,同时建立灾害时空演化规律,为疏散的建模与分析提供基础输入。路网相关的研究则主要包括:灾害影响区域(亦即疏散区域)的范围划定、疏散区域的交通小区划分、疏散路网的健康程度估计等。行为相关的研究往往服务于需求相关的

研究,目的是更加准确地估计被疏散者在面临灾害、疏散指令时的行为反应,以便确定相应产生的交通需求及需求的时空分布规律。需求相关的研究涉及疏散时刻选择、疏散终点选择及疏散路径选择等多个方面,是区域疏散交通管理研究的核心内容和前提。管理控制策略相关的研究涉及疏散交通流的路径规划与诱导、疏散逆行车道的设置、分阶段疏散策略的制定、关键信号交叉口和信号控制通道的信号控制策略调整,以及交叉口流向冲突管理等,是区域疏散交通管理研究的核心内容和直接目的。信息相关的研究则融合于其他五项研究之中,如灾情信息的获取与发布、路网健康程度信息及监控、人员行为信息的捕捉、疏散交通流的时空分布信息、借助信息化的疏散指令发布及管理控制策略信息的发布与执行。研究内容的详细分类见图 1-4。

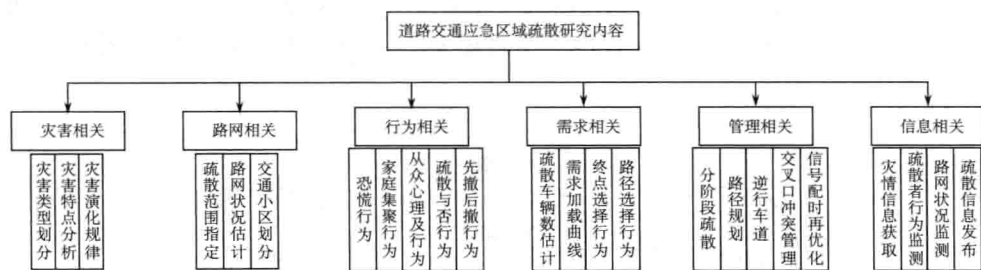


图 1-4 道路交通应急区域疏散研究内容的详细分类

这些研究可以进一步归类为:背景相关、需求相关、供应相关及手段相关。灾害相关的研究为道路交通应急区域疏散提供了必要的背景,但其相关研究不仅仅限于疏散问题,实际上灾害学已经成为独立的一门新兴学科(李树刚,2008)。需求相关的研究包含了行为相关和需求相关本身,作为区域疏散“求”的一方而存在。供应相关包含了路网相关以及管理控制策略相关,旨在最大限度地提升疏散效率,作为区域疏散“供”的一方而存在。信息相关则是一种手段相关的研究,融合于其他研究之中,发挥着信息获取、策略执行等功能。

1.5 本章小结

鉴于疏散研究所涉及的内容十分广泛,本章首先对疏散问题进行了分类,从而引出本书的研究重点,即道路交通应急区域疏散。在描述道路交通应急区域疏散的内涵及特点基础上,阐述了道路交通应急区域疏散研究思想的发展历程,并提炼了道路交通应急区域疏散所涉及的研究内容。

第 2 章 道路交通应急区域疏散管理集成建模框架

灾害条件下的交通管理是一个多阶段、多任务的决策与调度过程，可能会面对各种交通问题，诸如受灾区域疏散交通管理、应急救援交通管理及路网恢复/重建管理等(Murray-Tuite and Wolshon, 2013)。同时，灾害交通管理还必须与其他灾害管理活动协同进行，如灾害预报、可能受灾区域的危险性分析，以及避难所管理等(Bish and Sherali, 2013)。此外，灾害前后的行为研究，可以服务于灾害交通管理过程中的交通需求预测(Stepanov and Smith, 2009)。

区域疏散是灾害交通管理的一个重要组成部分。即便对于疏散本身而言，依据发生的时间阶段，如灾前或者灾后，也包含了不同的规划与响应活动。在疏散交通管理过程中，有许多活动都与之同时发生，并与之相互影响，如紧急救援与紧急路网修复等。因而，疏散不仅仅是要解决疏散清空时间估计的问题。为此，有必要从灾害管理的全局角度审视疏散交通管理问题，明确其内涵及外延，从而建立区域疏散交通管理的集成建模框架。

本章在对灾害管理所涉及的灾害类型、灾害管理阶段，以及灾害管理过程中所涉及的交通管理等内容进行分析的基础上，着重阐述灾害条件下疏散交通管理所涉及的核心内容及其相互关联，为疏散交通管理集成建模提供框架支撑。

2.1 灾害管理

在通常情况下，灾害按照成因分类为自然灾害和人为灾害。但从灾害交通管理的角度来看，这种划分方法并不能有效说明问题(Tuydes and Ziliaskopoulos, 2004)。例如，恐怖袭击或核事故虽然与飓风或地震本质上属于不同类型的灾害，但从交通分析的角度，却导致了相似的疏散活动。因而，本节将从灾害相关、需求相关和路网相关三个角度，给出各种灾害的具体特性分析，从而解析相关灾害交通管理的特性，描绘出灾害条件下道路交通管理问题的基本轮廓。

2.1.1 灾害类型

表 2-1~表 2-6 给出了具有代表性的大规模破坏性人为灾害和自然灾害的交通管理特性，包括地震、洪水、飓风/台风、核设施事故、危险物质事故和恐怖袭击。根据表 2-1~表 2-6 的对比可知：