

陈 斌·著

高速公路 交通意外事件管理 关键技术

GAOSU GONGLU JIAOTONG
YIWAI SHIJIAN GUANLI GUANJIAN JISHU



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

四川省交通科技基金重点资助项目 (2003-7-10)

高速公路交通意外事件 管理关键技术

陈 斌 著

西南交通大学出版社

• 成 都 •

内 容 简 介

交通意外事件管理是智能交通系统中的关键技术之一,全书围绕在该技术领域进行探索性研究所取得的阶段性成果进行阐述。结合现代信息处理技术分析交通意外事件下高速公路交通流的行为,阐述该情景下交通流微观模型的建立,描述交通意外事件检测模型的建立和试验应用,介绍如何利用现代控制技术进行交通意外事件下的高速公路匝道控制。

本书可供从事智能交通系统研究、开发、设计、施工的研究者和科技工作者阅读和参考,也可作为相关专业的研究生、本科高年级学生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高速公路交通意外事件管理关键技术 / 陈斌著. — 成都:
西南交通大学出版社, 2007.2
ISBN 978-7-81104-577-2

I. 高… II. 陈… III. 高速公路—交通运输安全—安全管理 IV. U491

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 023680 号

高速公路交通意外事件管理关键技术

陈 斌 著

*

责任编辑 黄淑文

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蜀通印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 11.875

字数: 297 千字

2007 年 2 月第 1 版 2007 年 2 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-81104-577-2

定价: 29.80 元

图书如有印装问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

智能运输系统 (Intelligent Transportation System, ITS) 是将先进的信息技术、数据通讯传输技术、电子传感技术、控制技术及计算机技术等有效地集成运用于整个地面交通管理, 从而建立的一种广域、高效的综合交通运输管理系统。交通运输的发展历程已经并将继续证明, ITS 将成为未来交通系统的发展方向。

目前, ITS 包含了先进的交通管理系统 (Advanced Traffic Management system, ATM)、先进的出行者信息系统 (Advanced Traveler Information System, ATIS)、先进的公共交通系统 (Advanced Public Transportation System, APTS)、先进的车辆控制系统 (Advanced Vehicle Control System, AVCS)、营运车辆调度管理系统 (Commercial Vehicle Operation Management, CVOM)、电子收费系统 (Electronic Toll Collection, ETC), 等等。其中, 先进的交通管理系统 ATM 有一个重要的内涵, 即针对交通意外事件进行检测并进行相应的控制, 该技术是系统进行意外事件管理的基础, 也是系统的关键技术。

当前, 我国高速公路发展迅猛, 到 2005 年末, 全国高速公路里程已经突破 4.1 万 km, 继续稳居世界第二。作为运输的大动脉, 高速公路在国民经济建设中起着越来越重要的作用。然而, 高速公路的高效运行需要先进的交通管理系统作为技术保障。作为 ATM 的重要组成部分, 意外事件管理系统未来将逐渐融入高速公路信息化建设的平台, 而建设的过程必然涉及相关的基础技术理论的支撑。为此, 笔者结合多年相关专业的研究和实践经验, 撰写了拙著。其主要目的是通过对相关问题的研究、分析、探索, 与广大高速公路交通信息化建设中的科技工作者共享一些相关的研究成果; 此外, 笔者期望各位同行能结合自己的实际工作, 在本书的研究范畴内, 更加深入地开展相关研究工作, 以推动交通科技的发展。

全书共分 13 章。第 1 章分析了我国高速公路发展的态势, 通过交通意外事件的影响分析和 ITS 与交通意外事件管理系统的关系来探讨本文研究问题的意义。第 2 章分析了交通意外事件对道路资源的占有特性, 结合数值模拟技术阐述了交通意外事件影响下跟驰模型、车道变换模型的存在问题和基本特征。第 3 章、第 4 章结合智能主体技术, 分别就建立交通意外事件影响下的跟驰模型和车道变换模型进行了分析。第 5 章研究分析了交通意外事件影响下的仿真关键技术, 并结合智能主体技术介绍了开发实例。第 6 章介绍了交通意外事件管理系统及其技术关键, 就不同的检测模式和技术进行了分析。第 7 章引入人工神经网络, 介绍了基于多层前馈神经网络的交通意外事件检测模型的工作过程。第 8 章就支持向量机进行了探讨分析, 阐述了如何利用支持向量机建立交通意外事件检测模型。第 9 章就小波变换展开探讨, 介绍了小波变换技术在交通意外事件中的应用。第 10 章描述了结合神经网络、支持向量机和小波变换的组合算法在交通意外事件检测中的应用。第 11 章介绍了高速公路交通意外事件影响下的匝道控制模式和控制策略。第 12 章介绍了交通意外事件管理中应用到的卡尔曼滤波和线性二次高斯控制。第 13 章介绍了一种动态随机匝道控制模式在高速公路交通意外事件管理中的建模技术和应用。

本书的内容来源于四川省交通科技项目，得到四川省交通科技基金重点资助。全书在长安大学原校长、交通运输研究院院长、博士生导师陈荫三教授和四川交通职业技术学院院长魏庆曜教授的指导下完成；编写和出版工作得到了四川省交通厅科技教育处处长许东明、教育厅科技处处长李义的大力支持和热情帮助。在本书所列问题的研究过程中，得到了西南交通大学博士生导师金炜东教授、博士生导师靳蕃教授、博士生导师高世廉教授和博士生导师罗霞教授的悉心指教；北京理工大学博士生导师高利教授、交通部科学研究院院长周伟教授、吉林工业大学博士生导师许洪国教授、北京交通大学博士生导师邵春福教授、北京工业大学博士生导师关宏志教授、长安大学汽车学院院长魏朗教授和交通安全研究所所长付锐教授、西华大学汽车与交通学院院长黄海波教授和副院长陈翀教授、四川省交通厅公路勘察设计研究院副总工程师陈应忠教授级高级工程师等都曾对相关的研究给予了有益的建议。在此，笔者谨以文墨致以衷心的感谢！

本书的内容主要是笔者在相关刊物上发表的论文，同时也引入了其他交通科技工作者的部分最新研究成果。为此，对所有署名和未署名的成果贡献者，表示深深的感谢。全书撰写过程中，四川交通职业技术学院李克、殷涛等同志给予了大力支持和帮助，在此表示深深的感谢。

由于高速公路交通意外事件管理技术是新兴学科 ITS 中的内容，加之时间仓促，而笔者水平和学识有限，所以书中难免出现不妥之处，殷切恳请各位专家学者不吝赐教。

作 者

二〇〇六年十一月于蓉城

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 我国高速公路交通的发展状况	1
1.2 高速公路交通意外事件及其影响	1
1.3 ITS 与高速公路交通意外事件管理	3
1.4 高速公路交通意外事件管理的意义	4
第 2 章 交通意外事件影响下的车辆行为	6
2.1 车辆行为模型概述	6
2.2 交通意外事件占用道路资源的特性	7
2.3 交通意外事件对高速公路交通流的影响	8
2.4 意外事件影响下的跟驰模型分析设定	9
2.5 意外事件影响下的线性跟驰模型特性	12
2.6 意外事件影响下的非线性跟驰模型特性	15
2.7 意外事件下基于紧急制动的防碰撞模型分析	16
2.8 交通意外事件影响下的基于期望间距的跟驰模特性	17
2.9 交通意外事件影响下的车辆跟驰试验	18
2.10 车道变换条件调查与特征分析	20
2.11 意外事件下的车道变换行为	22
第 3 章 智能主体与交通意外事件下的车辆跟驰模型	24
3.1 智能主体概述	24
3.2 智能主体认知模型和理论	25
3.3 智能主体体系结构的研究	26
3.4 智能主体之间的协作和协调	27
3.5 智能主体与车辆行为的联系	28
3.6 交通意外事件下的跟驰模型框架与车辆主体结构	29
3.7 车辆跟驰的信念-愿望-意图模型	31
3.8 间距愿望的描述	34
3.9 基于 PD 控制的加速度愿望描述	36
3.10 车辆跟驰的意图描述	38
3.11 意外事件影响下的跟驰模型应用	38

第 4 章 交通意外事件下的车道变换模型	41
4.1 意外事件下的车道变换模型框架	41
4.2 车道变换的信念-愿望-意图模型	41
4.3 车道变换模型的空间规则	44
4.4 车道变换的时间规则	48
4.5 车道变换的状态规则	50
4.6 车道变换的主观意愿	51
4.7 意外事件影响下的车道变换模型应用	53
第 5 章 意外事件下的交通系统仿真技术	55
5.1 系统仿真技术回顾	55
5.2 交通仿真技术分析	57
5.3 交通系统仿真的需求分析	60
5.4 基于分层解析的需求分析	61
5.5 车辆主体属性与 ER 模型分析	63
5.6 多车辆主体之间的协同	65
5.7 系统控制域的相互关系	66
5.8 仿真前的交通调查	67
5.9 交通系统仿真中的随机变量与车辆产生	70
5.10 交通意外事件下的交通仿真平台开发案例	72
5.11 交通仿真系统与交通意外事件影响下的交通流数据库	73
第 6 章 交通事件管理系统与检测技术	76
6.1 交通事件管理系统的作用原理	76
6.2 交通事件管理系统的发展现状	77
6.3 交通意外事件的视频检测	78
6.4 交通意外事件人工与 SOS 探测	80
6.5 交通意外事件的交通流参数检测	81
6.6 交通意外事件检测算法性能评价方法	82
6.7 交通意外事件检测的模式识别算法	83
6.8 交通意外事件检测的事故理论算法	85
6.9 交通意外事件检测的统计预测算法	85
6.10 交通意外事件检测的人工智能高级检测	87
6.11 国内交通意外事件检测的成果	88
第 7 章 神经网络在交通意外事件检测中的应用	89
7.1 人工神经网络的特点及其应用	89
7.2 人工神经网络的典型模型分析	90
7.3 被处理信息与算法选择	92

7.4 基于 BP 算法的 MLF 模型	93
7.5 基于 MLF 的高速公路意外事件检测模型	94
7.6 检测模型的输入特征规律分析	97
7.7 检测模型的隐层结构特征分析	103
7.8 不同神经网络检测模型的比较	104
第 8 章 支持向量机 (SVM) 在交通意外事件检测中的应用	105
8.1 线性可分 SVM 及其应用	105
8.2 非线性可分 SVM 分类器的描述与高维推广	108
8.3 SVM 分类器中的核函数分析	111
8.4 SVM 分类器用于交通意外事件检测的分析与实现	112
8.5 基于 SVM 的高速公路交通意外事件检测	113
8.6 不同输入的高速公路交通意外事件检测分析	116
第 9 章 小波变换在交通事件检测中的应用	120
9.1 傅里叶变换及其局限性	120
9.2 Garbor 变换—窗口 Fourier 变换	121
9.3 小波分析的数学描述	122
9.4 选择小波函数的四个原则	123
9.5 一维连续小波变换与交通意外事件检测	125
9.6 一维离散小波变换与交通意外事件检测	127
9.7 二维小波变换与交通意外事件检测	129
9.8 基于离散小波的交通意外事件检测	130
9.9 检测尺度和小波基的选择	133
第 10 章 组合算法在交通事件检测中的应用	135
10.1 不同模型性能检测的数据库设置	135
10.2 模型检测试验结果与对比分析	136
10.3 一种意外事件检测的组合算法与性能测试	137
10.4 在线检测时间与检测车道的规律分析	139
第 11 章 高速公路交通控制模式	141
11.1 匝道控制系统特性	141
11.2 匝道控制策略	142
11.3 匝道控制控制模式	143
11.4 动态随机控制模式	146
第 12 章 交通意外事件管理中的卡尔曼滤波与二次高斯控制	148
12.1 控制属性描述	148

12.2	最优控制问题	149
12.3	随机最优控制	149
12.4	最优状态估计	150
12.5	线性二次型高斯控制	153
第 13 章	交通意外事件下的高速公路匝道控制	156
13.1	控制系统范围	156
13.2	系统内车流行为	157
13.3	系统变量分析与建模	158
13.4	交通意外事件下的动态随机匝道控制模式	162
13.5	控制目标的选择与分析	166
13.6	动态随机匝道控制模式的解法	167
13.7	交通意外事件匝道控制效果分析	170
参考文献		176

第1章 绪 论

1.1 我国高速公路交通的发展状况

我国的高速公路发展相比西方发达国家晚近半个世纪的时间。1988年,上海至嘉定高速公路建成通车,结束了我国大陆没有高速公路的历史。1990年,沈大(沈阳—大连)高速公路全线建成通车,标志着我国高速公路发展进入了一个新的时代。1992年,交通部制定了“五纵七横”国道主干线规划并付诸实施,从而为我国高速公路持续、快速、健康发展奠定了基础。1993年,京津塘(北京—天津—塘沽)高速公路的建成,使我国拥有了第一条跨省(市)的高速公路。到1997年底,我国高速公路通车里程达到4 771 km,相继建成了沈大、京津塘、成渝(成都—重庆)、济青(济南—青岛)等一批具有重要意义的高速公路。

从1998年至今,我国高速公路建设进入了快速发展时期,年均完成投资1 400亿元。1999年,全国高速公路里程突破1万km。2001年,有“西南动脉”之称的西南公路出海通道经过10多年的艰苦建设实现了全线贯通。2002年底,我国高速公路通车里程一举突破2.5万km,位居世界第二位。2004年底超过3万km,除西藏外,各省、自治区和直辖市都已拥有高速公路,有15个省份的高速公路里程超过1 000 km。到2005年,我国高速公路总里程已经达到4.1万km,继续稳居世界第二,在国民经济建设中发挥着举足轻重的作用。

2004年,《国家高速公路网规划》^[1]经国务院审议通过。《国家高速公路网规划》采用放射线与纵横网格相结合的布局方案,形成由中心城市向外放射以及横贯东西、纵贯南北的大通道。布局由7条首都放射线、9条南北纵向线和18条东西横向线组成,简称为“7918网”,总规模约8.5万km,其中主线6.8万km,地区环线、联络线等其他路线约1.7万km。

随着高速公路的飞速发展和相继贯通,我国主要公路运输通道交通紧张状况得到较大的缓解,长期存在的运输能力紧张状况得到明显改善。高速公路的快速发展,大大缩短了省际及重要城市之间的时空距离,加快了区域间人流、物流、信息流的交换速度,有效降低了生产运输成本,在更大空间上实现了资源有效配置,拓展了市场,对提高企业竞争力、促进国民经济发展和社会进步都起到了重要的作用。同时,高速公路的便捷也正在改变着人们的时空观念和生活方式。

1.2 高速公路交通意外事件及其影响

安全、快速、高效、环保的高速公路交通是国民经济快速、健康、可持续发展的重要保障。然而,研究表明,高速公路交通延滞的主要原因之一是非重现性拥塞,其诱导因素有交

通事故（见图 1-1）、车辆故障、货物倾落、暂时维护与修理、施工活动、信号和检测器等高速公路机电系统故障及其他的特殊但非正常的事件。

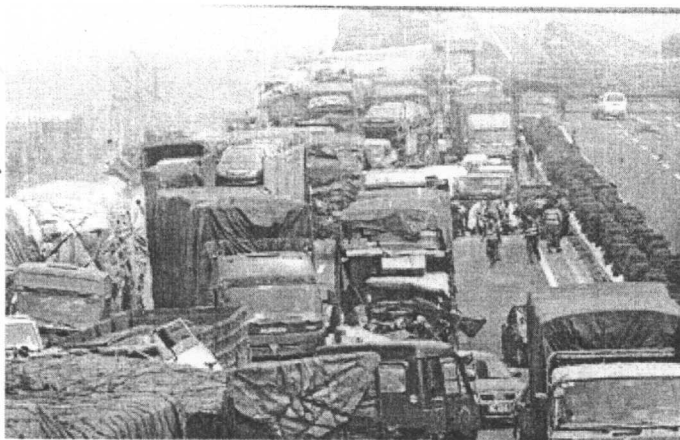


图 1-1 交通事故导致高速公路堵塞

高速公路交通中的这些特殊但非正常的事件通常影响巨大。以下是不同时间、不同国家（地区）发生的属于高速公路意外事件范畴的几个实际案例。

（1）美国第二大城市洛杉矶 2002 年 11 月 3 日发生一起严重的高速公路连环撞车事故，大约 200 辆各类车辆相撞，导致 40 多人受伤，其中 9 人伤势严重，高速公路堵塞，近 10 万辆车行驶受到影响。

（2）2003 年 1 月 20 日，斯洛伐克西南部城市加兰塔附近高速公路发生一起连环撞车事故，约 70 辆各类汽车相撞，造成 1 人死亡，6 人重伤，发生事故的路段长约 5 km，撞毁的汽车挤作一团，一些汽车还冲进了路旁的农田里，高速公路堵塞。

（3）2006 年 4 月 6 日，我国京珠高速公路 614 km 处河南新乡段发生多起追尾事故（如图 1-2 所示），百余辆车相撞，其中 38 台严重损毁，引发各界 200 余人参加了大营救。在此次事故中，共有 4 人死亡，10 人受伤，高速公路堵塞。

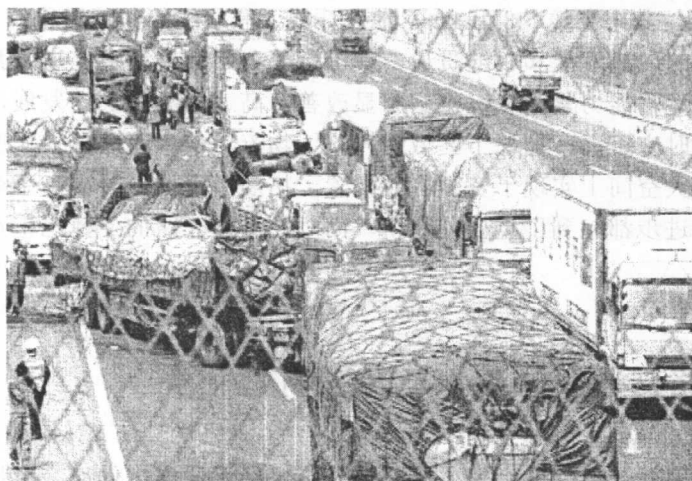


图 1-2 京珠高速公路 614 km 处的追尾

(4) 2006年4月15日6时30分许,一辆大货车在京珠高速146 km处突然起火(见图1-3)。经过各方及时抢救,9时许明火被扑灭,京珠高速恢复通行。一场大火导致高速公路阻塞近3小时,上万辆车行程受到延滞。

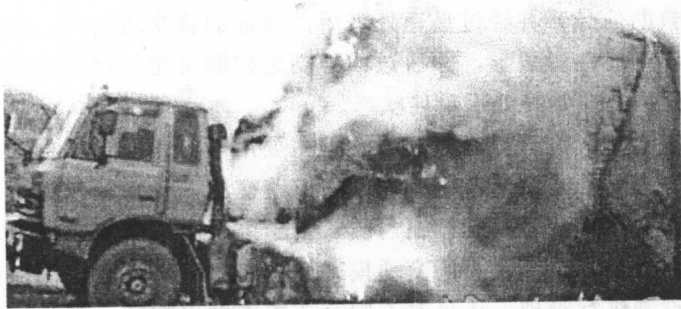


图 1-3 大火导致高速公路堵塞

这些交通意外事件一方面造成了巨大的直接和间接经济损失,同时也导致了很大的社会问题。本著作将诱发交通表现出非正常交通流的事件统称为交通意外事件^[2]。由交通调查可知,高速公路上发生的交通意外事件会干扰正常的交通流,从而导致交通延滞,严重时甚至引发交通堵塞。而且,交通意外事件具有偶发特征——即事件发生的时间、地点和严重程度都是随机的。虽然事件的发生具有不可预测性,但由于事件的影响,车辆的行为会发生变化,因此会导致交通流状态的改变,并表现为交通流参数随着时间的变动。这种对交通流的冲击可能导致交通流拥挤,甚至堵塞交通。

1.3 ITS 与高速公路交通意外事件管理

智能交通系统(Intelligent Transportation System, 简称 ITS)^[3]是未来交通系统的发展方向。它将先进的信息技术、数据通讯传输技术、电子传感技术、控制技术及计算机技术等有效地集成,运用于整个地面交通管理系统,致力于建立一种在大范围内、全方位发挥作用的,具有实时、准确、高效特征的综合交通运输管理系统。当前 ITS 的服务领域有先进的交通管理系统、先进的出行者信息系统、先进的公共交通系统、先进的车辆控制系统、营运车辆调度管理系统、电子收费系统、应急管理系统等。

高速公路交通的迅速发展为促进经济建设和社会发展起到了重要的作用。因此,安全、高效、畅通的高速公路交通是经济建设和社会发展的重要保证,而这必然要求先进的交通管理系统(Advance Traffic Management System, 简称 ATMS)作为保障条件。

ATMS 最主要的特征就是系统的高度集成化。它利用先进的通讯、计算机、自动控制、视频监控技术,按照系统工程的原理进行系统集成,使得交通工程规划、交通信号控制、交通检测、交通电视监控、交通事故的救援及信息系统有机地结合起来,通过计算机网络系统,实现对交通的实时控制与指挥管理。ATMS 的另一特征是信息高速集中与快速处理,ATMS 由

于运用了先进的网络技术，获取信息快速、实时、准确，因而提高了控制的实时性。ATMS 的应用使交通管理系统中交通参与者与道路以及车辆之间的关系变得更加和谐，缩短了旅行时间，使城市的交通变得更加有序。

该系统具有向交通管理部门和驾驶员提供对道路交通进行实时疏导、控制和对突发事件做出应急反应的功能。它包括城市交通控制系统、交通事件管理系统等。它们在道路、车辆和监控中心之间建立起通讯联系，监控中心接收到各种交通信息（如车辆检测、车辆识别、交通需求、告警和救助信号）并经过迅速处理后，通过调整交通信号，向驾驶员和管理人员提供交通实时信息和最优路径引导，并通过信号制定控制策略，调节交通需求并保障交通流畅，从而使高速公路交通始终处于最佳状态。

目前，ATMS 在国内已经开始进行建设，但主要用于城市交通。例如，上海市交通控制与管理系统的主要管理对象是上海市中心城区的道路交通，该系统包括了“交通控制”、“交通意外事件（主要指交通事故）管理”在内的八个子系统。系统能完成对城市道路、公路交通的信号控制，对自行车、行人、不同交通模式交叉口的信号进行控制，并能对交通事故、交通环境以及所属设施进行管理，还可对不同交通需求做出响应。同时，能够将所属各子系统采集和处理后的交通信息实时地传输到交通信息中心供其他系统共享。

从前面的分析不难看出，对于高速公路而言，快速、高效应对高速公路交通意外事件，可大大地减小事件对高速公路交通的冲击，从而提高交通运输效率。然而，高速公路意外事件救援的效率很大程度上依赖于交通意外事件检测技术，较早检测出交通意外事件并提出响应控制策略进行紧急救援极其重要。因此，意外交通事件检测及其疏散控制技术便成为意外事件管理系统的核心技术，因而也成为 ITS 的基础关键技术理论。技术的从属关系如图 1-4 所示（CIUS 为 China ITS User Service 的简称，意为“中国 ITS 用户服务体系”）。

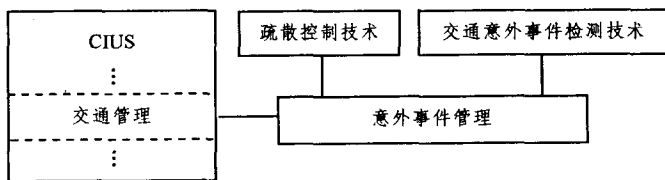


图 1-4 意外事件管理与 CIUS 的关系示意

1.4 高速公路交通意外事件管理的意义

假如高速公路一旦发生交通意外事件并因此而影响正常交通，其紧急救援对策的基本目标体现在以下两点^[4]：

- (1) 最大限度地降低交通意外事件所导致的人力、财力和物质损失。
- (2) 最快速的恢复高速公路的通行能力，以提高交通运输效率，减小各种直接和间接损失。

特别地，高速公路主线全封闭，交通意外事件一旦发生，因为没有立即可用的替代道路供车辆疏散，将会产生比一般道路更为严重的延滞损失，交通意外事件对交通流及道路通行能力的冲击也远远超过一般道路。因此，本著作将主要笔墨集中于高速公路意外事件的基础

理论研究,并期望通过建立基础理论,为建立高效的意外事件管理系统提供技术支持。这些基础理论包括三个方面:

(1) 进行高速公路交通意外事件影响的车辆行为分析和相关模型研究,以分析交通意外事件对交通流的影响,并量化交通流特征。

(2) 分析交通意外事件检测技术的发展状况,开发几种利用先进信息技术的交通意外事件检测模型,并对模型的应用进行详细的分析和描述,期望为未来的实践应用提供技术范例。

(3) 分析自动控制技术在交通意外事件发生后的交通控制管理功能,结合卡尔曼滤波技术,在改进的基础上建立一种交通意外事件管理控制策略。

本著作进行以上三个方面研究的意义主要体现为:

(1) 研究交通意外事件影响下的车辆行为模型,可为研究非稳定交通流下的车辆行为模型奠定理论基础,丰富交通流理论的内涵,具有重要的学术价值。

(2) 由于交通意外事件造成交通阻塞所消耗的消散时间与紧急救援的响应时间成指数关系。所以,及时检测出交通意外事件可降低交通意外事件对高速公路交通的冲击。

(3) 研究交通意外事件检测技术,以便快速的检测高速公路交通中的交通意外事件,可为交通意外事件管理系统中的疏散控制提供可靠信息,并同时为旅行者信息等子系统提供实时交通信息。

(4) 作为 CIUS 中异常事件管理的关键技术,对于提高高速公路的运行效率,改善高速公路交通管理模式具有重要意义。

(5) 结合异常检测与疏散控制技术,给出疏散控制策略,对于提高交通应急响应效率,具有重要意义。

第2章 交通意外事件影响下的车辆行为

2.1 车辆行为模型概述

高速公路交通中,按照车辆的不同行驶行为,可将车辆行为划分为制动停车、跟驰、车道变换和自由行驶四种模式。因而,对应四种行驶模式的便有四种车辆行为模型。四种车辆行为模型中,国内外以车辆跟驰模型的研究成果最为丰富,而对车道变换模型研究者和成果都相对较少。制动停车模型和自由行驶模型相对简单,可参阅汽车理论相关知识给出解答。

就跟驰模型,文献[5]分析了传统车辆跟驰模型的局限性,建立了依据前后车速度关系确定的车辆跟驰模型:前后车以相同速度匀速行驶时的跟驰模型;前后车以不同速度匀速行驶,后车速度小于前车速度时的跟驰模型;前后车以不同速度匀速行驶,后车速度大于前车速度,当前车速度不变时的跟驰模型和前车减速时的跟驰模型。以四种跟驰模型为基础,分别建立了相应的速度-间距关系和车辆追尾模型。追尾模型表明:最小车头距离是后车速度的二次函数,随后车速度增大而急剧缩小;当实际车头距离小于该值时,则会发生追尾事件。文献[6]对目前多数微观仿真系统使用的基于安全间距的车辆跟驰模型进行了总结。文献[7]针对驾驶行为的不确定性,应用径向基函数神经网络建立了跟驰模型,但模型的训练需要大量的试验数据,且无法在线应用,使用者必须对人工神经网络非常熟练。文献[8]同样应用神经网络模拟无车道变换行为的单一车道车辆跟驰行为(加速、减速、不动作),将驾驶员周围的各种信息并行结合起来考虑车辆跟驰特性。文献[9]针对驾驶行为的不确定性,在模糊推断的基础上,以直接自然的语言描述驾驶行为准则,提出了车辆跟驰模型。文献[10]中,作者以前后车辆不碰撞为准则,建立了基于防碰撞的紧急制动下的车辆跟驰模型。文献[11]以前后车辆之间的间距期望为准则,建立了基于期望间距的跟驰模型。但总的分析,以上模型大多针对稳定流进行。

调查表明,国外对非稳定流下跟驰模型的研究多集中于城市交通。国内当前研究的新成果集中于吉林大学、同济大学、北京交通大学等科研机构,这些模型各有自己的实用场合,但其性能以及使用条件都未在相关文献中提及,模型是否符合高速公路异常事件影响下的真实交通状况,还需要证实。

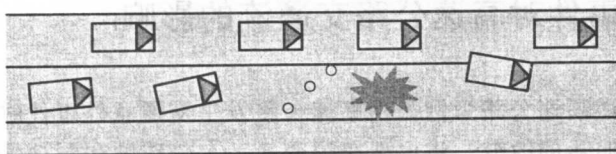
此外,从技术和方法上看,对于同样的问题,解决问题、描述问题的技术在不断进步,并逐渐趋向于智能化。在本著作所述的特殊环境下,交通意外事件会影响正常交通流。显然,与正常的交通相比较,当交通意外事件发生时,车辆的交通行为会有明显的不同。为此,著作将在本章对交通意外事件影响下的车辆行为进行分析,并结合数值模拟、试验和调查统计等方法,对现有车辆行为模型进行探讨,并结合实验技术,给出在意外事件影响下测量车辆行为的具体方法。

2.2 交通意外事件占用道路资源的特性

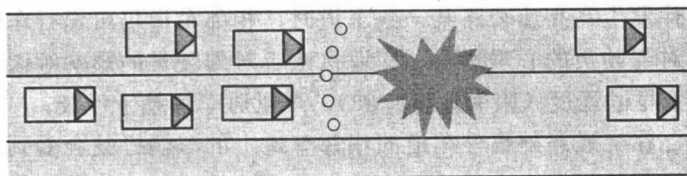
鉴于目前国内高速公路主要为双向4车道（见图2-1），为此，这里考虑图2-2所示双向4车道高速公路系统。



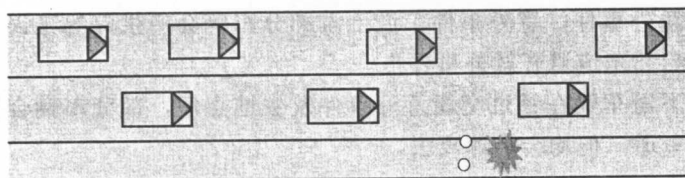
图 2-1 双向四车道高速公路



(a) 意外事件发生在一个车道



(b) 意外事件发生在两个车道



(c) 意外事件发生在路肩

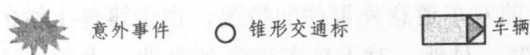


图 2-2 意外事件对车辆行为的影响示意图

由于问题的对称性，仅取单向2车道交通流为分析案例。对该问题调查的分析显示，交通意外事件对道路资源的占用分为三种情况：

(1) 交通意外事件发生在高速公路的某一条车道，无论是主车道还是超车车道，都将阻

断该车道的车辆通行，并影响相邻车道的车辆行驶，从而产生较大的交通冲击。如图 2-2 (a) 所示。在这种情形里，交通意外事件发生在主车道和超车道没有明显的区别，产生的影响基本一致，所以这里均以交通意外事件发生在主车道为例来分析描述。在这种模式下，车辆的行为模式较为复杂。

(2) 交通意外事件发生在两个车道，事件影响范围较“(1)”大，事件阻断交通，交通流基本被完全阻断，从而产生较“(1)”严重得多、影响范围更大的交通冲击，如图 2-2 (b) 所示。在这种情况下，车辆行为的模式相对单一。

(3) 交通意外事件发生在路肩上，这是一种较少出现的情况，如图 2-2 (c) 所示。这时，事件对主线车辆行驶速度产生轻微影响，通过车辆的速度有一定的降低。速度的变化可导致通行能力下降，进而降低高速公路运行效率。

鉴于交通意外事件发生对正常交通的影响程度，对车辆行为影响最大、行为变化最全、覆盖模式最多的是“(1)”。所以，本著作仅就交通意外事件发生在高速公路的某一条车道进行分析，后面的分析表明：交通意外事件发生在两个车道和交通意外事件发生在路肩上只是它的特殊情况。

2.3 交通意外事件对高速公路交通流的影响

仍然以单向双车道高速公路为例，当高速公路发生交通意外事件时，意外事件点上游、下游的车流行为会有明显的改变，将出现车道变换、车辆跟驰和制动停车等车辆行为。由图 2-2 (a) 可知：

(1) 当意外事件发生在高速公路某一条车道时，相邻车道仍可通行车辆，但由于侧向净空减小、意外事件对驾驶员的心理影响、交通执法者对驾驶员的影响等因素，导致车辆速度受到影响，从而降低行驶速度（限制速度行驶），严重时车辆趋于停驶。

(2) 该情形下，在交通意外事件车道的相邻车道上的车辆行驶会受到前车的约束，出现单车道行驶时的车辆跟驰特性，由于受到交通意外事件的影响，其跟驰具备了交通意外事件影响的扰动特征。

(3) 因为交通意外事件，意外事件车道上游部分车辆会产生停等延误，到达车辆会减速并被迫变换车道至相邻车道避开意外事件点。

(4) 相邻车道下游车辆在经过交通意外事件发生地点后，部分车辆会变换车道，驶上交通意外事件发生的车道，但均会加速离去。

图 2-3 列举了国外某高速公路上车辆刚刚抛锚时车流运行的瞬间状态，从图也不难得出以上结论。

对于图 2-2 (b) 展示的双车道意外事件的情况，由于事件上游的车辆被迫减速停车，从而造成了高速公路交通堵塞。显然，对于单车道意外事件，由于交通流受到的冲击比双车道意外事件小，故前者导致的交通流参数的变化不如后者强。因此，直观的结论是后者显然更加容易被检测。鉴于上面的叙述，那么，意外交通事件对车辆行为究竟有什么样的影响？现有模型能否正确表示意外事件影响下的行为特征？为深入了解这一问题，笔者首先对车辆行为中的跟驰模型进行意外事件下的行为分析。