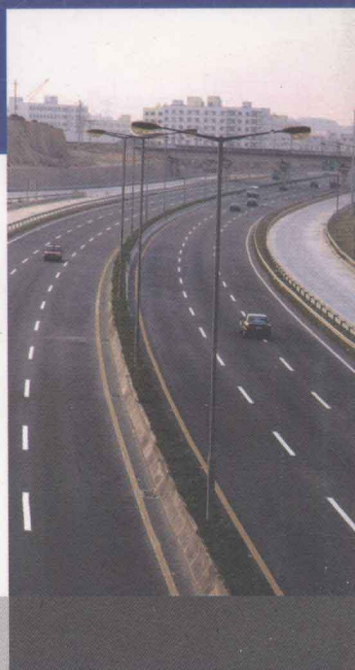


路网环境下高速公路 交通事故影响传播分析与控制

王建军 邓亚娟 著



Traffic Accident Impact Analysis
and **Control of Expressway**
under Road Network



科学出版社
www.sciencep.com

路网环境下高速公路交通事故 影响传播分析与控制

Traffic Accident Impact Analysis and Control of Expressway under Road Network

王建军 邓亚娟 著

国家高技术研究发展计划(“863”计划)项目资助

科学出版社

北 京

内 容 简 介

随着我国交通基础设施的建设,高速公路交通安全问题日益突出,如何在发生交通事故情况下提高高速公路交通管理效率,成为高速公路交通安全管理的一项重要内容。本书以高速公路交通事故管理措施为研究对象,基于车流波理论,分析了路网环境下高速公路交通事故微观和宏观影响范围;建立正常和特殊天气条件下,发生一般和特殊路段交通事故时紧急交通组织预案库;采用 Visual Basic 程序基于 Vissim 微观交通仿真软件开发“高速公路交通事故预测与控制”软件,提高发生交通事故时交通组织管理策略制定的便捷性。

本书可作为高等院校交通工程、交通运输规划与管理专业本科生及研究生教材,也可供交通运输工程、道路交通安全领域管理者和专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

路网环境下高速公路交通事故影响传播分析与控制/王建军,邓亚娟著. —北京:科学出版社,2010

ISBN 978-7-03-029115-8

I. ①路… II. ①王… ②邓… III. ①高速公路-公路运输-交通运输事故-处理-研究 IV. ①U491.31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 190421 号

责任编辑:童安齐/责任校对:马英菊

责任印制:吕春珉/封面设计:耕者设计工作室

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

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010 年 10 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010 年 10 月第一次印刷 印张:28 1/4

印数:1—1 500 字数:655 000

定价:68.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换(双青))

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62137026 (BA08)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

20 世纪 90 年代末期,我国加快了基础设施建设的步伐,公路交通建设迎来了前所未有的发展机遇。这十几年间,国家不断加大对公路交通建设的投资力度,公路技术等级和路面等级不断提高,路网密度和通达水平显著提升,公路里程持续增长,尤其是高速公路得到了跨越式发展。随着我国高速公路网建设蓬勃发展,交通安全问题也变得越来越尖锐。由于我国高速公路建设起步比较晚、缺乏高速公路交通管理经验、人们的交通意识比较淡薄等,使得我国交通安全状况较之发达国家有很大差距,高速公路交通事故较为频繁,事故率大大高于日本、美国等发达国家。高速公路上发生重大交通事故,带来直接的人员伤亡及经济损失,造成巨大的社会负面影响。此外,堵塞车辆得不到及时疏散,更进一步加大了旅客、货物滞留,使得资源浪费,经济蒙受巨大损失,对我国道路运营安全管理形成了严峻考验。为适应公路网建设发展的趋势,有效利用、发挥现有公路设施整体效能,有必要研究适时、超前的路网运营安全管理问题。

目前,针对高速公路事故后的紧急交通处置问题,国家和各级交通管理部门都给予了极大关注。2006 年国务院发布了《国家突发公共事件总体应急预案》,明确了各类突发公共事件分级分类和预案框架体系,规定了国务院应对特别重大突发公共事件的组织体系、工作机制等内容。2009 年交通运输部发布了《国家公路交通突发事件应急预案》,以加强公路交通突发事件的应急管理工作,建立完善应急管理体制和机制,提高突发事件预防和应对能力,控制、减轻和消除公路交通突发事件引起的严重社会危害,及时恢复公路交通正常秩序,保障公路畅通,并指导地方建立应急预案体系和组织体系,增强应急保障能力,满足有效应对公路交通突发事件的需要,保障经济社会正常运行。同时,各个地方的交通管理部门也都根据各自情况制定了相应的交通事故后交通管理预案。国家和地方制定的方案,为事故后的应急处理奠定了很好的体制基础,并提供了良好的政策环境,但同时这些方案只重视了体制和体系的建立,没有提供详细的组织实施方案,在实际应用当中,交通管理人员在高速公路发生事故后往往根据自己的经验去疏导和组织交通,缺乏科学性、合理性,因此分析高速公路交通事故影响传播机理,制定科学的事故后紧急交通组织预案具有很大的应用价值。

本书共分为三篇。第一篇(第一章至第七章)为路网环境下高速公路交

通事故影响传播研究, 主要对路网环境下高速公路交通事故影响传播机理进行分析, 并分别从微观和宏观两个方面介绍了高速公路交通事故的影响范围确定方法, 其中微观方面又分别从事故发生的位置, 即高速公路基本路段、高速公路基本路段邻近立交处、高速公路立交处, 建立了三种情况下的交通事故及干涉作用下的交通流模型, 宏观方面着眼于高速公路交通事故影响在路网环境下的传播, 并分别建立了直接影响范围和间接影响范围计算方法; 第二篇(第八章至第十四章)为路网环境下高速公路紧急交通组织研究, 主要考虑公路网的布局形式及高速公路自身的特点, 结合目前我国高速公路的发展情况和交通管理状况, 对并列型路网及高速环线+放射线路网中高速公路一般路段和特殊路段(长大下坡、互通立交)发生交通事故后的紧急交通组织进行研究; 第三篇(第十五章和第十六章)为高速公路交通事故影响预测与控制软件开发, 主要介绍路网环境下高速公路交通事故影响预测、交通组织策略制定和交通组织方案仿真等相关模块的功能和软件使用方法。本书从高速公路交通事故影响传播机理分析, 到不同影响区内的紧急交通组织预案制定, 再到各类交通组织预案的计算机实现和效果验证, 论述全面、系统和详细。不仅如此, 本书兼顾理论性与实用性, 采用实例对相关理论及交通组织预案进行验证和应用。

期望读者能够通过本书, 了解高速公路交通事故影响传播相关理论, 并能够针对不同路网类型、道路交通状况和交通事故类型, 依据本书所提出的紧急交通组织预案库, 制订高速公路交通事故下的紧急交通组织与管理控制策略。

本书得到国家高技术研究发展计划(“863”计划)项目“路网环境下高速公路交通事故影响传播与控制研究”的支持。

本书由长安大学王建军和邓亚娟撰写和统稿。参加本项目研究的人员还有长安大学严宝杰、马荣国、陈宽民、陈红、梁国华等教师, 以及已毕业和在读的硕士研究生常振文、谢陈峰、张晶晶、郑荣莉、陈勇军、邹娇、贺倩倩、沈营、杨发顺、任朝君、毛龙、邱礼平、刘平、宋子祥、范俊玲、王娟、徐秀芹、贾伟、乔晓冉等。

在本书撰写过程中, 参考了国内外相关研究文献资料及相关研究人员的理念、经验与体会, 在此对这些文献资料的作者和相关研究人员表示衷心的感谢。

由于在高速公路交通事故影响与控制领域至今无一本较为全面的书籍或标准规范, 加上作者理论功底和水平有限, 书中难免有所疏漏, 恳请同行及读者批评指正, 以期不断改进和完善。

作 者

2010年7月

于长安大学

目 录

第一篇 路网环境下高速公路交通事故影响传播研究

第一章 交通拥挤传播概述	3
1.1 拥挤扩散研究简述	3
1.1.1 交通拥挤空间扩散模型研究	3
1.1.2 交通拥挤时间扩散模型研究	4
1.2 拥挤扩散研究总结分析	8
1.2.1 交通拥挤空间扩散模型总结	8
1.2.2 交通持续时间研究总结	8
第二章 交通波理论	10
2.1 交通波模型	10
2.2 交通模型比选	11
2.2.1 Greenshields 线性模型	11
2.2.2 Grenberg 对数模型	11
2.2.3 Underwood 指数模型	12
2.2.4 Grenberg 和 Greenshields 模型比选	12
2.3 线性模型下的交通波方程	13
2.3.1 交通流三参数模型	13
2.3.2 线性模型下的交通波方程	13
第三章 高速公路交通事故影响范围研究	15
3.1 高速公路交通事故及干涉作用车流波模型	15
3.1.1 高速公路事故车流波模型	15
3.1.2 高速公路干涉车流波模型	18
3.1.3 分流干预措施的解除时刻	21
3.1.4 车流波模型参数含义说明	22
3.2 高速公路基本路段交通事故影响范围研究	23
3.2.1 高速公路事故车流波线性模型	23
3.2.2 高速公路干涉车流波线性模型	25
3.2.3 基于线性模型的分流干涉措施的解除时刻	26
3.3 高速公路立交下游交通事故影响范围研究	27
3.3.1 高速公路基本路段交通事故对上游分流区的影响分析	27
3.3.2 高速公路基本路段交通事故对上游合流区影响分析	30
3.3.3 高速公路基本路段交通事故对上游交织区的影响分析	36

3.3.4	高速公路立交下游交通事故车流波模型参数说明	39
3.4	高速公路立交处交通事故影响范围研究	40
3.4.1	高速公路分流区交通事故影响分析	40
3.4.2	高速公路合流区交通事故影响分析	41
3.4.3	高速公路交织区交通事故影响分析	43
3.5	实证分析	44
第四章	路网环境下高速公路交通事故影响范围研究	47
4.1	路网环境下高速公路交通事故直接影响范围研究	47
4.2	路网环境下高速公路交通事故间接影响范围研究	48
4.2.1	可容忍行程时间边界	48
4.2.2	事故路段行程时间	48
4.2.3	交通事故间接影响范围确定	50
4.2.4	绕行持续时间	51
4.2.5	绕行量的确定	52
4.3	干涉作用下高速公路交通事故间接影响范围研究	55
4.4	路网环境下高速公路交通事故影响判断	56
第五章	事故条件下高速公路通行能力研究	58
5.1	事故路段通行能力分析	58
5.1.1	高速公路基本路段通行能力分析	58
5.1.2	事故路段通行能力分析	59
5.2	事故条件下高速公路匝道连接处通行能力分析	60
5.2.1	合流区事故通行能力分析	60
5.2.2	交织区事故通行能力分析	64
5.2.3	分流区事故通行能力分析	69
第六章	高速公路交通事故时间影响分析	70
6.1	交通事故持续时间分析	70
6.2	交通事故延迟时间决策树模型	72
第七章	实证分析	76
7.1	路网概述	76
7.2	高速公路交通事故影响范围	77
7.2.1	高速公路基本路段交通事故影响范围	77
7.2.2	路网环境下高速公路交通事故影响范围	78
7.3	路网环境下高速公路交通事故影响判断	83
参考文献 (第一章~第七章)		85

第二篇 路网环境下高速公路交通事故紧急交通组织研究

第八章	紧急交通组织概述	89
8.1	交通控制技术	89
8.2	交通控制策略	91

8.3 紧急救援	91
第九章 高速公路交通事故紧急交通组织基础	94
9.1 路网形态分析	94
9.2 事故影响区划分	95
9.2.1 保护区	95
9.2.2 控制区	96
9.2.3 缓冲区	96
9.3 事故持续时间分析	96
9.3.1 事故持续时间定义	96
9.3.2 事故持续时间影响因素	97
9.3.3 事故持续时间区段划分	100
9.4 主要交通组织方式简介	100
9.4.1 信号控制	100
9.4.2 速度及车距控制	101
9.4.3 主线控制	102
9.4.4 匝道控制	103
9.4.5 交通诱导	104
第十章 不同路网环境下高速公路一般路段紧急交通组织	106
10.1 并列型路网判定	106
10.1.1 距离综合评价法	106
10.1.2 并列型路网判定	107
10.2 保护区紧急交通组织	108
10.3 控制区紧急交通组织	108
10.3.1 车辆排队等待	108
10.3.2 利用对向车道通行	109
10.3.3 速度控制	109
10.4 缓冲区紧急交通组织	111
10.4.1 交通诱导	112
10.4.2 交通控制	114
10.4.3 缓冲区紧急交通组织方案组合	117
10.5 高速环线+放射线路网特征	118
10.5.1 高速环线+放射线定义	118
10.5.2 高速环线+放射线特征	118
10.6 高速环线+放射线路网界定	119
10.6.1 路网界定原则	119
10.6.2 路网边界界定	121
10.7 高速环线+放射线路网事故后紧急交通组织	122
10.7.1 基于环线节点联系量的事故后紧急交通组织实施范围	122
10.7.2 事故后诱导方案	125

10.7.3 事故后交通控制方案	129
第十一章 恶劣天气条件下高速公路交通事故紧急交通组织	132
11.1 恶劣天气条件下紧急交通组织可变情报板 (VMS) 信息发布	132
11.1.1 可变情报板信息发布原则	132
11.1.2 高速公路紧急交通组织可变情报板分类	133
11.2 恶劣天气条件下限速与限距计算模型	134
11.2.1 良好气候环境下高速公路临界安全车速与安全车距	134
11.2.2 恶劣天气条件下高速公路限速与安全车距	135
11.3 恶劣天气条件下紧急交通组织预案决策依据	136
11.3.1 评判指标体系建立	136
11.3.2 影响因素权重确定及模糊综合评判	137
11.4 雾天对交通安全影响分析	140
11.4.1 高速公路沿线雾的分类	140
11.4.2 雾天交通安全影响因素分析	140
11.5 雾天高速公路交通事故紧急交通组织	142
11.5.1 保护区紧急交通组织	142
11.5.2 控制区紧急交通组织	144
11.5.3 缓冲区紧急交通组织	149
11.6 雨雪天气对交通安全影响分析	153
11.6.1 雨雪天气对交通安全影响机理分析	153
11.6.2 雨雪天气交通安全影响因素分析	153
11.7 雨雪天气高速公路交通事故紧急交通组织	155
11.7.1 保护区紧急交通组织	155
11.7.2 控制区紧急交通组织	157
11.7.3 缓冲区交通组织	160
第十二章 高速公路特殊路段交通事故紧急交通组织	162
12.1 长大下坡路段判定及交通事故紧急交通组织	162
12.1.1 长大下坡路段的判定	162
12.1.2 长大下坡路段的事故特点	163
12.1.3 长大下坡路段交通事故紧急交通组织	163
12.2 隧道事故紧急交通组织	166
12.2.1 隧道的分类及事故特点	166
12.2.2 隧道内一般交通事故紧急交通组织	168
12.2.3 隧道内火灾事故紧急交通组织	171
12.2.4 隧道外紧急交通组织	173
12.3 互通立交处事故紧急交通组织	175
12.3.1 保护区紧急交通组织	176
12.3.2 控制区紧急交通组织	176
12.3.3 缓冲区紧急交通组织	177

第十三章 紧急交通组织预案库建立及评价	181
13.1 紧急交通组织方案形成.....	181
13.1.1 紧急交通组织方案设计流程	181
13.1.2 交通事故紧急交通组织预案	182
13.2 交通组织方案评价指标体系研究.....	182
13.2.1 建立评价指标体系的原则	182
13.2.2 评价指标的筛选	183
13.2.3 评价指标的定义与计算	185
13.3 评价方法选择.....	190
13.3.1 单指标评价	190
13.3.2 综合评价	191
13.3.3 动态综合评价方法在路网宏观评价中的应用	191
13.4 评价示例.....	196
13.4.1 事故描述及组织预案介绍	196
13.4.2 交通组织预案评价实现	201
第十四章 高速公路二次事故预警及信息发布	202
14.1 国内外事故预警研究现状.....	202
14.1.1 国外研究现状	202
14.1.2 国内研究现状	203
14.2 高速公路二次事故预警管理系统研究.....	204
14.2.1 高速公路交通事故预警管理的理论基础	204
14.2.2 高速公路二次预警管理系统建立的理论框架	205
14.2.3 高速公路二次预警管理系统构建步骤	206
14.2.4 高速公路二次交通事故预警管理对策	207
14.3 高速公路二次预警管理系统的指标体系.....	208
14.3.1 高速公路二次交通事故原因	208
14.3.2 高速公路二次交通事故特点	209
14.3.3 高速公路二次事故预警管理指标建立的原则	210
14.3.4 高速公路二次交通事故预警管理指标体系的建立	210
14.3.5 各指标警限区间的设置	212
14.4 高速公路二次预警信息发布系统.....	213
14.4.1 高速公路二次预警信息发布方式	213
14.4.2 VMS 信息发布形式	214
14.4.3 信息发布方法研究	216
14.4.4 可变信息发布内容	219
14.4.5 VMS 设置位置.....	225
14.5 实例分析.....	236
14.5.1 实例一.....	236
14.5.2 实例二.....	241

参考文献 (第八章~第十四章)	243
-----------------	-----

第三篇 高速公路交通事故影响预测与控制软件开发

第十五章 高速公路交通事故影响预测与控制软件总体设计	251
15.1 软件简介	251
15.2 软件需求分析	251
15.3 软件概要设计	252
15.3.1 软件功能结构设计	252
15.3.2 软件数据库设计	254
15.3.3 软件开发环境	256
15.4 软件详细设计	257
15.4.1 主界面	257
15.4.2 交通事故信息模块	258
15.4.3 事故影响预测模块	258
15.4.4 交通事故控制模块	260
15.4.5 交通仿真平台模块	261
15.4.6 评价与决策模块	261
15.4.7 软件测试	261
第十六章 高速公路交通事故影响预测与控制软件实现	264
16.1 软件主界面	264
16.2 交通事故信息	265
16.3 事故影响预测	269
16.4 交通事故控制	271
16.5 交通仿真平台	273
16.6 评价与决策	276
附录	277
A 控制信息发布内容	277
B 交通事故紧急交通组织预案	279
C 雾天并列型路网高速公路一般路段交通事故紧急交通组织预案应用实例	424
D 软件部分源代码	431

第一篇

路网环境下高速公路交通 事故影响传播研究

- 第一章为交通拥挤传播概述。
- 第二章对交通波基本模型进行分析，即对三种速度-密度模型进行分析比选，确定选用线性模型，然后基于线性模型建立交通波模型。
- 第三章介绍高速公路交通事故影响范围，即通过分析高速公路交通事故车流波及干涉车流波的传播速度，寻求交通流参数与车辆排队长度之间的关系，描述车流的拥挤-消散过程，并运用该车流波传播机理，分别从事故发生的不同位置，即高速公路基本路段、高速公路基本路段邻近立交处、高速公路立交处，建立三种情况下的交通事故及干涉作用下的交通流模型。
- 第四章阐述路网环境下高速公路交通事故影响范围，即从路网角度分析高速公路发生交通事故后，对主线上游车辆及相邻道路欲汇入主线的车辆造成的直接影响，以及因堵塞车辆自行绕行或由于紧急交通组织对周边路网产生的间接影响，并据此分析过程，分别建立直接影响范围和间接影响范围计算方法。
- 第五章研究事故条件下高速公路通行能力确定方法，即提出高速公路一般路段事故情况下的通行能力确定方法，并按照事故发生的不同位置，给出高速公路立交合流区、交织区和分流区通行能力计算模型。
- 第六章论述高速公路交通事故时间影响，即在对以往事故延迟时间计算方法进行总结分析的基础上，基于决策树模型，提出不同事故类型下的事故延迟时间预测方法。
- 第七章为实例分析，即以陕西关中环线以内，西宝高速及周边路网为例，针对事故发生在基本路段邻近立交处及发生在基本路段两种情况采用算例进行具体验证分析。

第一章 交通拥挤传播概述

高速公路上发生重大交通事故，将带来直接的人员伤亡及经济损失，并造成巨大的社会负面影响。此外，堵塞车辆如得不到及时疏散，则将更进一步加大旅客、货物滞留，造成资源浪费，经济蒙受巨大损失，这对我国道路运营安全管理形成了严峻考验，从而提出了更加紧迫的要求。为适应公路网建设发展的趋势，有效利用、发挥现有公路设施整体效能，有必要研究适时、超前的路网运营安全管理问题。

在一定的道路交通条件和自然环境下，应保持较高的路网管理水平。对高速公路的管理应着眼于其所处的局域路网，通道路网应进行全天候运营安全管理，及时有效地疏通和诱导交通，使路网上交通流的运行处于最佳状态，改善交通拥挤和阻塞情况，最大限度地提高路网的通行能力和运输系统的效率和效益，从而提高整个公路运输系统的机动性、安全性和生产效率，体现高速公路的网络服务特性，真正发挥路网的整体效率，这将对社会经济发展的各个方面产生积极影响。

路网环境下高速公路交通事故影响传播分析是实行有效的交通控制、事故快速处理、交通诱导的基础，并为高速公路交通事故紧急交通组织提供理论与技术支持，对提高交通事故的处理效率和构筑道路的交通安全保障系统有着十分重要意义。

1.1 拥挤扩散研究简述

对国内外已有文献的分析表明，早期的拥挤扩散研究主要是针对发生在高速公路上的偶发性交通拥挤，通过建立预测模型对偶发性交通拥挤的排队长度和持续时间进行研究。其中对拥挤空间扩散范围的研究主要是以交通波模型、到达-离去模型与累计到达-离去模型、确定性排队模型和随机性排队模型为基础，对提出的偶发性交通拥挤的排队长度进行预测^[1~8]。这些模型充分利用了高速公路交通流的连续性和守恒性，具有良好的预测效果。对于偶发性交通拥挤持续时间的预测是通过对历史数据的统计，分析与交通事故各个相关因素的关系，建立预测模型。

1.1.1 交通拥挤空间扩散模型研究

近年来，随着交通拥挤问题的日益突出，国内外对交通拥挤相关理论的研究日益关注，尤其是对交通拥挤的状态判别和扩散规律及其模型的研究。早期交通拥挤扩散规律及其模型的研究重点主要是针对交通事故引起的偶发性拥挤，Morales 于 1986 年提出利用到达率和离去率曲线来估计事故引起的总延误的确定性排队论模型，同时得出了拥挤持续时间和排队长度。但是该模型假设到达率和离去率是不变的确切值，而且需要预先获得交通事故持续时间值，属于离线估计模型，因此该模型更多是用来对交通流状况进行分析，而不是对交通状态的实时估计^[4]。Michalopoulos 于 1981 年提出了用来估计

偶发性拥挤扩散范围的交通波模型,该模型运用流体动力学的基本原理,把车流密度的变化比拟成水波的起伏,当车流因道路或交通状况的改变而引起密度的改变时,在车流中产生交通波的传播,通过分析交通波的传播速度,以寻求交通流量和密度、速度之间的关系,并描述车流的拥挤-消散过程。该模型相对于确定性排队论模型更为符合实际交通情况,但在建模过程中需要采集大量的密度数据,这点在实际中比较难以实现^[5]。Newell 于 1993 年提出了以波动理论为基础的累计流量到离曲线模型以及由此衍生出累计占有率到离曲线模型、累计流量—占有率曲线模型,对高速公路上的交通状态进行估计,该模型最大的优点是完全基于实际数据建立,缺点是只能对交通状态进行定性分析,无法获得实时的量化指标值^[6~8];Lawson 于 1997 年通过对 I/O 模型进行改进,估计瓶颈路段车辆排队的时空扩散范围,对事故引起的延误和车辆的排队时间进行区分,提出通过追踪队尾车辆的方法获得拥挤时空扩散范围,但是该模型也需要假设到达率和离去率确定不变,不适合对过饱和和交叉口的估计,并且事故引发的道路通行能力不能发生多次变化^[9]。Sheu 于 2001 年提出随机排队预测模型,并基于车道变换行为定义了 6 个随机交通状态参数,用以预测事故发生点处的排队长度,但是该模型只适用于阻塞一条车道的交通事故,并在建模过程中需要对驾驶员的换道行为进行一系列的假设,在预测过程中需要保证排队长度不会溢出上游检测器^[10]。

国内研究大多是借鉴国外的先进思想和方法,比如 1998 年郭冠英基于交通波理论建立了事故引起的阻塞排队长度解析模型,该模型也是建立在到达率和离去率在某个时间段不变的前提下^[11];黄晓敏等于 2001 年比较了确定性排队模型和交通波模型在事故条件下对拥挤扩散范围估计的异同点^[12];2002 年温慧敏通过比较事故和非事故条件下路段行程时间的差异,提出了一种以流量和速度为基础的延误估计模型^[13];彭国雄等于 2003 年基于交通波理论建立了事故条件下车辆排队长度的估计模型^[14]。

1.1.2 交通拥挤时间扩散模型研究

交通拥挤时间扩散模型即为事故持续时间预测模型。目前已有的事故持续时间预测模型大多是基于大量数据分析,这些事故持续时间预测技术彼此差异较大。每一个研究都使用不同的数据源,不同的变量,不同的样本大小和各不相同的预测技术。最常用的预测模型有概率分布模型 (Golob et al., 1987)、线性回归模型 (Garib et al., 1997)、时间序列模型 (Khattak et al., 1995)、决策树模型 (Ozbay, et al., 1997)、非参数回归法和模糊逻辑法^[15]。

1) 概率分布 (probabilistic distributions)

Golob 等于 1987 年采用洛杉矶和加利福尼亚地区连续两年的交通事故数据,对 332 条高速公路和 193 个匝道进行分析,得出了与 TRB (1994) 相同的结论,即交通事故的持续时间包括 4 个部分。Golob 还发现,交通事故每一阶段的持续时间受前一部分持续时间的影 响,并利用中心极限定理最终得出总的事故持续时间服从对数正态分布。但是由于研究中采用的交通事故数据仅包括事故总的持续时间,因此不能证明每一阶段的持续时间都受前一阶段持续时间影响这一假设。Golob 的这一研究是对事故持续时间统计分布的第一次研究,此后这一研究结论鼓励其他研究者在基于持续时间对数正态分布

模型的基础上对事故持续时间进行研究。

1989 年 Giuliano 将对数正态分布应用于事故持续时间分析, 同样得出在相同类型的交通事故中事故持续时间服从对数正态分布的结论, 但方差较大。Giuliano 根据不同事故的特点, 分别建立统计学模型来预测事故延迟时间。Giuliano 通过分析得出, 影响交通事故持续时间的变量包括事故类型、发生时间、是否涉及卡车、车道关闭数等。由于研究中使用的数据样本较小, 模型的精度受到影响。

1997 年 Garib 和 Sullivan 等同样认为事故的持续时间服从对数正态分布, Sullivan 基于这样的假设建立了 IMPACT 模型, 它包括 4 个子模型, 即事故发生率、事故严重程度、事故持续时间、交通延误。该模型只能用于粗略的估计事故持续时间和交通延误。Sullivan 指出由于交通事故数据的样本不同, 应对事故子模型进行精确描述和标定, 事故数据的分类对成功预测起到了至关重要的作用, 并建议把收集事故数据作为一项基础工作进行。

Ozbay 和 Kachroo 于 1999 年将对高速公路事故的持续时间问题研究又推进了一步。其通过研究发现事故的持续时间近似服从对数正态分布, 但是被统计显著性分析拒绝。然而, 如果将交通事故按照事故类型、严重程度分成子类, 则相似的交通事故持续时间服从正态分布, 这一结论支持了事故持续时间是随机变量的推测。

Jones 等于 1991 年使用西雅图的交通事故数据建立了事故持续时间的双对数概率分布。Nam 和 Mannering 于 2000 年发现威布尔概率分布也可以用于描述一些事故数据。该方法的缺点是在预测模型中较少考虑事故的相关影响因素。

2) 条件概率 (conditional probabilities)

条件概率是用于建立事故持续时间预测模型的另一种概率分布。交通管理者更关心交通事故发生一段时间后, 事故还将继续持续时间的概率, 因此应促进事故持续时间预测应用与先进的出行者信息系统 (ATIS, advanced traveler information system) 的结合。最早将条件概率的思想用于预测事故持续时间预测的是 Golob, 他认为, 事故在每一个状态的持续时间都受前一个状态持续时间的影响。Jones 等将双对数分布应用于基于风险的事事故持续时间预测中, 又分析了 2156 个交通事故持续时间数据, 采用条件概率的思想, 分析一个已经持续了 $X_{\min}$ 的事故在第 $Y_{\min}$ 结束的概率。

Nam 和 Mannering 于 2000 年将 Jones 的基于风险的模型中不切合实际的参数删除, 对事故持续时间的每一个阶段分别建立子模型, 但不包括通常定义的第 4 个阶段, 即交通状况恢复阶段。研究采用 618 个事故时间子样, 对这些数据分别进行了不同分布形式的拟合度检验。研究结果表明事故的发现时间和响应时间这两个子模型的持续时间服从威布尔分布, 而事故的清除时间服从双对数分布。Nam 和 Mannering 确定了对事故持续时间具有显著影响的因素, 如事故发生的时间、位置、天气状况等。Nam 和 Mannering 还指出, 研究所采用的数据并不连续, 这对研究的精度有很大影响, 如果可以获得更多、更细致的信息将大大提高预测的精度。

3) 回归模型 (regression models)

线性回归模型描述了在线性关系下, 事故持续时间与不同事故影响因素的关系。回归模型由于其简单、有效的特点一直被广泛应用。事故特征由一系列连续的二进制变量

来表征,持续时间与这些变量是线性关系。该方法的优点是模型可以直接反映事故持续时间与不同影响因素的关系,例如涉及的肇事者数,伤亡的严重性,受影响的车道数,天气情况,发生的时间和响应时间等。模型的缺点是不能结合模型中没有考虑的因素。

Garib 等于 1997 年也建立了用于预测事故持续时间的线性回归模型。研究中采用的数据包括来自奥克兰和加利福尼亚两个月内的 205 个事故,研究表明事故持续时间服从对数正态分布,并分析发现 6 个显著变量:①受影响的车道数 (X_1);②所涉及的车辆数 (X_2);③是否涉及卡车的二元变量 (X_3);④事故发生时间的二元变量 (X_4);⑤警察响应时间的自然对数 (X_5);⑥天气状况的二元变量 (X_6)。

1997 年 Garib 等发现警察响应时间是最显著的影响因素,但没有对未用于建立模型的事故数据进行验证和相关解释,因此该模型在 81% 的概率下保证了事故持续时间的预测精度。Garib 等还具体说明了模型的适用性,如在旅行信息系统、匝道控制方面的应用。

Wang 于 1991 年、Ozbay 和 Kachroo 于 1999 年建立了预测交通事故清除时间的回归模型。他们采集了芝加哥地区 121 个交通事故的清除时间数据,发现 9 个统计显著变量,即 A. 运作因素:①严重肇事者,②响应机构的救援,③沙/盐路面运行状态;B. 事故类型因素:④涉及重车的数量,⑤重载量,⑥液体或重车上物品的破损,⑦严重伤亡人数,⑧由交通事故引起的高速公路设施损害;C. 天气因素:⑨极端天气情况 (WX);另外还包括两个重要变量响应时间,事故报告 (不是统计显著变量),但 Wang、Ozbay 和 Kachroo 没有说明该回归模型的准确性和有效性。

1997 年 Cohen 和 Nouveliere 建立了线性回归模型来预测法国城市快速路上的交通事故持续时间,研究数据来自交警记录的 1132 条交通事故数据。模型包含了 10 个变量,如机械问题、伤亡人数、是否涉及卡车、事故类型、火警或医务救护、是否涉及摩托车、事故发生在立交还是匝道位置、第一次求助的时间、事故车辆涉及的乘客数、事故发生的时间。然而,这个回归模型不能预测持续时间小于 11min 的交通事故。作者认为,影响模型精度的主要原因是数据库中存在大量错误事故数据和缺失数据,因此,作者指出收集可靠、详尽和精确的事故数据对分析事故持续时间至关重要。

4) 时间序列模型 (time sequential models)

时间序列模型的优点是可以在事故发生的早期使用少量数据进行回归预测,在事故发生的后期,当获得更多信息时对预测结果进行更新,可以更灵活地说明事故的级数。该模型的缺点是需要大量的数据来标定,因为每一个阶段都需要被单独测试和标定。

1995 年 Khattak 等详细分析了伊利诺斯州交通部提供的从 1989~1990 年的芝加哥地区六条高速公路的 109 个交通事故数据,认为大部分的事故持续时间预测模型没有实用意义,因为这些模型都需要得知影响持续时间的所有变量。他尝试定量表示事故清除时间的影响因素,建立事故清除时间的时间序列模型。模型给事故管理部门提供了一个连续的越来越趋于准确的事故持续时间预测。Khattak 等还发现对事故持续时间影响最显著的变量是事故类型和严重程度。该方法主要是证明时间序列模型,而不表明可以用于交通管理中。此后,关于事故持续时间预测的时间序列模型的研究很少。