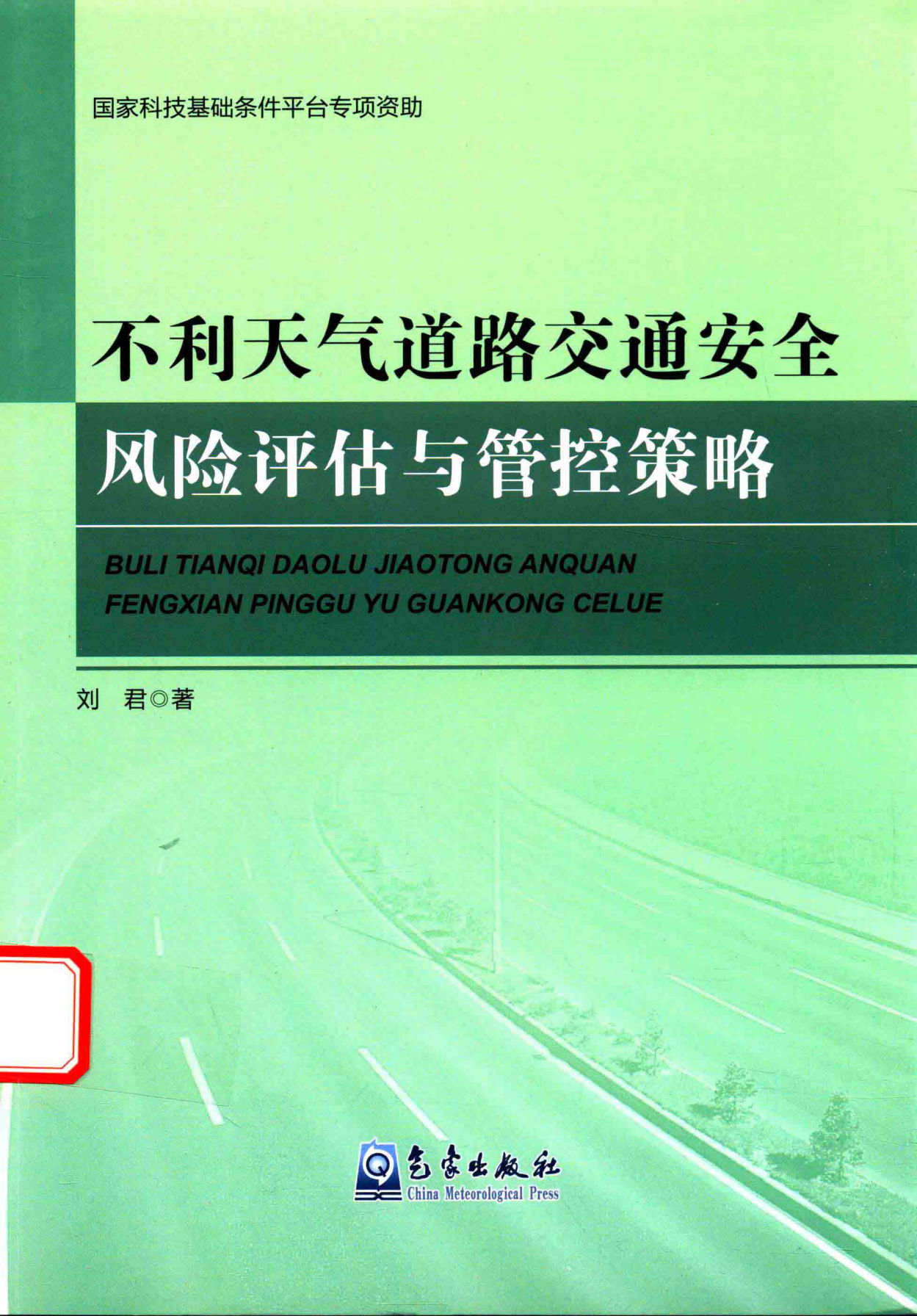


国家科技基础条件平台专项资助

不利天气道路交通安全 风险评估与管控策略

*BULI TIANQI DAOLU JIAOTONG ANQUAN
FENGXIAN PINGGU YU GUANKONG CELUE*

刘 君◎著



 气象出版社
China Meteorological Press

国家科技基础条件平台专项资助

不利天气道路交通安全 风险评估与管控策略

刘 君 著

 气象出版社
China Meteorological Press

内 容 简 介

本书从道路类型、事故形态和能见度水平等多个视角,系统分析了雨、雪、雾、大风、沙尘、冰雹6类典型不利天气交通事故时空分布特征,划分了不利天气等级,识别了不利天气交通安全影响因素,采用模糊综合评价方法对不利天气交通安全风险等级进行了评估,对应风险等级提出了交通安全保障措施。

本书重点探讨了不利天气条件下交通安全风险评估方法及应用实践,可供道路交通安全管理人员、研究人员参考,也可供高等学校相关专业师生教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

不利天气道路交通安全风险评估与管控策略/刘君
著. —北京:气象出版社,2016.12
ISBN 978-7-5029-6488-7

I. ①不… II. ①刘… III. ①公路运输-交通运输安
全-安全管理-研究 IV. ①U492.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 290792 号

不利天气道路交通安全风险评估与管控策略

出版发行:气象出版社

地 址:北京市海淀区中关村南大街 46 号 邮政编码:100081

电 话:010-68407112(总编室) 010-68408042(发行部)

网 址:<http://www.qxcbs.com>

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

责任编辑:黄红丽 周 露

终 审:邵俊年

责任校对:王丽梅

责任技编:赵相宁

封面设计:博雅思企划

印 刷:北京中新伟业印刷有限公司

开 本:710 mm×1000 mm 1/16

印 张:11

字 数:233 千字

版 次:2016 年 12 月第 1 版

印 次:2016 年 12 月第 1 次印刷

定 价:50.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换。

前言

道路交通运行的自然地理条件,决定了不利天气影响交通安全的必然性。近年来,我国不利天气交通安全事故总量和死亡人数均呈下降趋势。据公安部交通管理局发布的《道路交通事故统计年报》数据显示,2014年雨、雪和雾三类不利天气条件下发生交通事故总数为19963起,事故死亡6308人,相较2010年三类天气交通事故总数(24966起)下降25%,死亡人数(8718人)下降38%,比2005年三类天气交通事故总数(53368起)下降63%,死亡人数(11906人)下降47%。然而,不利天气交通事故比重未发生显著变化,2014年占比仍达到10%,因此不利天气交通安全风险的防控水平仍有很大的提升空间。从不利天气交通安全影响机理出发,研究不利天气交通安全出行风险,对于预防和控制交通事故具有重要理论价值和现实意义。

我国大部分国土地处北纬 $20^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 之间,亚热带面积广阔,季节变化明显,自然灾害频发,尤其是气象灾害对道路交通安全的影响显著。2016年7月,我国从南至北遭遇年度最大范围的强降雨过程,局部道路交通运行几乎处于瘫痪状态。7月1日,武汉市中心城区遭遇了8个半小时的持续降雨,首次启动二级应急响应,城区共有45处路段车辆无法通行,前往武汉天河机场通道因积水受阻,启动临时交通管制措施,禁止所有车辆通行。7月中旬,华北、黄淮、江汉等多地出现入汛以来较强降水天气,20日北京市气象台将暴雨蓝色预警升级为暴雨橙色预警,天津市气象台发布暴雨橙色预警,河北省气象台发布暴雨红色预警,降雨过程中部分城区一片汪洋,道路交通正常运行一度停滞。面对不利天气对交通安全的影响,早在2004年《中国气象事业发展战略研究》明确指出,现代道路交通气象的重点任务是进行气候区划,建立交通气象监测网系统,开展交通气象预测和灾害预警服务,开展气象对交通影响的评估方法,研制中国特色的道路气候信息服务系统,提高交通安全系数。由此,中国气象局、交通运输部和公安部联合发文,共同应对不利天气交通安全管理,为全国各地充分利用不利天气预警预报信息,提高不利天气下的交通风险应对能力提供了保障。

针对我国不利天气交通事故特征,以及公安交管部门交通安全风险管控实践存

在的问题,公安部道路交通安全研究中心联合兰州大学开展了不利天气交通安全风险评估与管控策略研究。从不利天气交通事故特征出发,辨识不利天气交通安全风险因素,按照风险因素及其评价指标确定了不利天气交通安全风险等级,依据交通安全风险等级探讨了不利天气交通安全管控策略,期望能够为我国公安交管部门制定和实施不利天气交通安全管理决策提供支持。

本书共分为6章,第1章在综述国内外关于不利天气交通安全影响、安全风险和风险保障研究成果的基础上,总结了欧洲、美国、日本等国家不利天气交通管理制度建设和先进做法,论述了我国从国家层面到行业管理部门不利天气交通管理制度和实践情况,提出了当前存在的问题和解决的思路;第2章依据我国公安交管部门统计的道路交通事故数据,分析了全国范围和北京市域内不利天气交通事故时空分布特征,进一步提取了不利天气交通安全影响因素和影响后果指标特征;第3章按照不利天气交通安全影响特征提取结果,分析了不利天气对道路环境、驾驶人和车辆运行的影响,并由其影响程度划分了等级;第4章依据交通安全风险理论和不利天气交通安全影响分析,确定了不利天气交通安全风险因素集及其评价指标体系,采用改进雷达图法对不同类型和等级的不利天气风险因素进行识别,并进行了实例验证;第5章针对不利天气交通安全风险因素,分析了不利天气交通安全的耦合风险,采用模糊综合评价理论确定了不利天气交通安全风险等级,通过实例分析验证了模型的有效性;第6章基于不利天气交通安全风险等级,划分了不利天气交通应急预警级别,重点针对公路交通安全给出了应急保障措施,并综合前述研究成果,提出了不利天气交通风险管控系统功能结构,为不利天气交通安全管控提供辅助决策。

本书由刘君执笔,感谢公安部道路交通安全研究中心孙广林博士在部分模型算法构建过程中给予的指导,感谢胡伟超同志在事故数据提取工作中给予的帮助,参加本项目研究的人员还有鲁娥、徐灵旸,兰州大学的康彩燕、宁贵财。特别感谢成都信息工程大学王式功教授学术团队和兰州大学尚可政副教授学术团队给予的大力支持。感谢气象出版社黄红丽和周露编辑为本书的编辑出版付出的辛勤劳动。同时,本书撰写过程中参考和引用了国内外同行和前辈的部分研究成果,为此,对署名和未署名的成果贡献者,表示衷心的感谢。

不利天气条件下的交通出行安全,是交通管理部门和交通出行者共同的期望,需要所有交通参与者不断认识不利天气交通安全影响规律特点,交通管理部门因时因地科学施策,交通出行者循规守法积极配合,才能有效降低不利天气交通安全风险。书中内容难免有不足之处,敬请各位读者批评、指正。

作者

2016年10月

目 录

前 言

第 1 章	绪论	(1)
1.1	研究背景	(1)
1.2	国内外研究现状	(2)
1.3	不利天气交通管理制度与实践	(11)
1.4	存在的问题与解决思路	(21)
1.5	小结	(23)
第 2 章	不利天气条件下交通事故特征	(24)
2.1	不利天气交通事故分析范围	(24)
2.2	全国不利天气交通事故特征	(29)
2.3	不利天气重特大交通事故特征	(41)
2.4	北京市不利天气交通事故特征	(46)
2.5	不利天气交通事故特征提取	(49)
2.6	小结	(50)
第 3 章	不利天气交通安全影响及等级划分	(51)
3.1	不利天气对道路环境影响分析	(51)
3.2	不利天气对驾驶人影响分析	(57)
3.3	不利天气对车辆运行影响分析	(59)
3.4	不利天气等级划分	(60)
3.5	小结	(62)
第 4 章	不利天气交通安全风险因素识别	(63)
4.1	交通安全风险理论	(63)
4.2	交通风险生成机理	(64)
4.3	风险因素组成与评价指标	(65)

4.4	安全风险因素识别	(70)
4.5	小结	(79)
第 5 章	不利天气交通安全出行风险耦合研究	(80)
5.1	不利天气交通风险耦合分析	(80)
5.2	交通风险评估方法	(84)
5.3	不利天气交通风险评估模型	(96)
5.4	实例分析	(110)
5.5	小结	(113)
第 6 章	不利天气条件下交通安全出行保障	(114)
6.1	不利天气交通保障原则及流程	(114)
6.2	不利天气交通应急预警	(116)
6.3	不利天气交通应急保障措施	(119)
6.4	不利天气交通风险管控系统	(127)
6.5	小结	(133)
参考文献		(134)
附录一	国家气象灾害应急预案	(138)
附录二	高速公路交通应急管理程序规定	(154)
附录三	交通运输突发事件应急管理规定	(162)

第1章 绪论

1.1 研究背景

道路是依托自然地理条件修建的供车辆和行人通行的基础设施,道路与自然条件的相互依存特性,决定了道路交通运行受气象条件变化影响的必然性。随着我国道路建设和交通需求急剧增长,不利天气对交通出行安全影响愈加极端化和复杂化。据公安部交通管理局发布的《道路交通事故统计年报(2014年度)》数据显示,2014年仅雨、雪和雾三类不利天气条件下发生交通事故总数为19963起,事故死亡6308人。因此,如何从不利天气交通安全影响机理出发,研究不利天气条件下交通安全出行风险,对于预防和控制交通事故具有重要理论价值和现实意义。

我国大部分国土地处北纬 $20^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 之间,亚热带面积广阔,四季更替典型,季节变化明显,自然灾害频发,尤其是气象灾害对道路交通安全的影响愈加显著,时常发生大面积拥堵、恶性交通事故,直至道路封闭引发交通中断。另一方面,随着我国高速公路、一级公路等高等级道路比例的不断攀升,交通运行安全和高效的管理需求对气象条件的敏感性和依赖性日趋增大。天气条件除了造成道路问题(如结冰、湿滑、视程障碍等)导致的交通事故之外,特殊天气条件(如雾霾、冰冻等)对驾驶人员健康状况及交通工具也会产生明显的影响,从而导致交通事故频发。2004年《中国气象事业发展战略研究》明确指出,现代道路交通气象的重点任务是进行公路气候区划,建立交通气象监测网系统,开展交通气象预测和灾害预警服务,开展气象对交通影响的评估方法,研制中国特色的道路气候信息服务系统,建立道路交通气候论证制度,提高交通安全系数。2005年7月交通部和中国气象局签署了《共同开展公路交通气象预报工作备忘录》。2007年1月19日,公安部和中国气象局联合下发了《关于建立道路交通安全气象信息交换和发布制度的通知》,联合加强道路交通安全

保障工作。2013年,公安部、交通运输部和中国气象局联合下发了《关于加强恶劣天气公路交通应急管理工作的通知》(公通字〔2013〕1号),要求各地充分利用不利天气气象预警预报信息,提高不利天气下的交通应对能力以确保公路安全畅通。

目前,我国交通气象监测预警服务在电视、广播、网络等媒介推送已形成了常态,针对不利天气交通安全影响,各级政府道路交通安全管理相关部门均出台了应急预案,为不利天气条件下交通出行提供了基本的安全预警和保障框架。然而,对于交通气象与交通事故直接的耦合关系研究进展缓慢,尚不能够为交通安全出行策略制定提供依据,并且不利天气交通安全出行问题涉及行业数据支持,多部门数据共享存在现实困难。由此,综合气象和交通安全学科优势,研究不利天气条件下交通安全出行机理,并利用这些机理为公众出行提供安全策略,可为我国交管部门交通安全策略制定和出行者交通安全提供支持和保障。

本书从不利天气交通事故特征出发,确定不利天气交通影响范围和对象;通过定量和定性方法分析了不利天气对道路交通环境、车辆运行安全和驾驶人行为等因素的影响,并依据不利天气强度指标划分了雨、雪、雾三类天气等级;结合不利天气交通安全影响分析,构建了风险因素集及其评价指标体系,进一步识别主要风险因素基础上,评估了不利天气交通出行耦合风险。以北京市机场高速路段为例验证风险因素识别模型和风险评估模型的科学性、可靠性;依据不利天气交通安全风险评估结果,划分了交通应急预案等级,重点针对公路交通安全提出了不利天气交通应急保障策略和交通风险管控系统开发框架。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 国外研究现状

不利天气主要是相对于晴天而言的,主要指阴天、雨天、雪天、大雾、高温及沙尘暴等对道路交通产生安全影响的天气类型。不利天气对道路交通安全的影响,主要表现为道路路面附着系数降低、驾驶人视距受限以及心理负荷加重,造成行驶车辆转向和制动稳定性变差,车辆出现打滑、甩尾和制动距离增加等,驾驶人反应时间延长,大大提高了车辆发生交通事故的概率。目前,不利天气道路交通安全理论和应用研究,集中面向交通安全防控实践,以不利天气交通安全影响、安全风险评估和交通安全保障研究为主。

(1) 不利天气交通安全影响研究

从二十世纪九十年代开始,美国政府越来越重视不利天气条件下的道路管理和交通保障,各地相继建设道路气象信息系统(RWIS),获取了大量的基础道路气象数据,为交通管理部门提供了必要的决策依据,同时也为不利天气条件下的交通流影响研究创造了必要条件(Pisano et al, 2008)。此后,针对降雨和降雪等不利天气对道路交通流的影响,国外研究学者开展了大量的研究。

从宏观上,不利天气主要影响交通需求、交通安全和交通流状态。针对不同天气强度下的多种出行方式(通勤出行、长途旅行),发现暴雨(超过 0.25 英寸^①/小时)导致高速公路通行能力平均下降 14%,大雪(超过 0.5 英寸/小时)导致通行能力平均下降 22%。在拥挤的城市道路系统中,通行能力降低 10% 到 25% 会对交通运行延误和效率产生重要影响(Maze et al, 1948)。HCM2000 指出,当不存在能见度问题时,潮湿的路面对速度没有特别的影响。小雨天气条件对路段自由流和通行能力的影响很小,而大雨天气条件使自由流速度下降 5.0~7.0 km/h,最大流率降低 14%~15%。小雪天气对路段自由流影响并不明显,最大流率降低 5%~10%。大雪天气下由于积雪清扫不及时,驾驶人为了保证更大的安全车距和侧向净空,导致路段通行能力下降 30%(Transportation Research Board, 2000)。以美国双子城高速公路作为研究对象,首先将不同影响因素进行分级,并对各个级别下的速度、车头时距和流量变化特征进行横向和纵向比较,并对降雨、降雪、温度、风速、低能见度和路面环境等不同因素对路段交通流的影响程度研究结果显示,暴雨、降雪和低能见度对路段自由流速度和通行能力的影响最显著;降雨强度超过 0.25 英寸/小时,道路通行能力降低 10%~17%,自由流速度降低 4%~7%;降雪强度超过 0.5 英寸/小时,道路通行能力降低 19%~27%,自由流速度降低 11%~15%;能见度低于 0.25 英里^②时,道路通行能力降低 12%,自由流速度降低 10%~12%(Agarwal et al, 2006)。

不利天气微观交通安全影响,主要包括对道路摩擦系数、行车视距等涉及交通安全参数的影响。Harold(1988 年)研究显示雨天的事故率比晴天事故率高出 2~3 倍,并且长时间晴天之后的雨天引发的事故率更高(Brodsyk et al, 1988)。Brilon 和 Ponzlet 以德国高速公路为研究对象,针对湿滑道路、白天/晚上、不同的出行目的和出行距离等可能会导致运行速度时变特性的影响因素进行对比分析,结果表明,高

① 1 英寸 = 2.54 cm。

② 1 海里 = 1.609344 km。

速公路晚上的平均运行速度相比白天减少约 5 千米/小时,而湿滑路面条件下运行速度平均降低约 10 千米/小时(Brilon et al,1996)。研究表明,雨雪道路环境下交通事故伤亡率增加 25%,事故率上升 100%,因雨引起的交通事故占因不良天气引起的交通事故的 31.3%。雪天每百万车辆千米就会发生 5.86 起的车辆碰撞、刮擦事故,而在非雪天,每百万车辆千米发生车辆碰撞、刮擦事故仅为 0.41 起,二者之间的差异高达 13 倍多(卢涛等,2009)。

国外不利天气交通事故统计资料表明,在发生的人身伤亡交通事故中,在潮湿路面上大约有 1/3 与侧滑有关,在冰雪路面上 70%~80% 与侧滑有关(徐吉谦,1991)。通过分析澳大利亚墨尔本 1989—1996 年间天气要素对交通流量的影响,发现降水是相关最大的天气要素(刘清泉,2000)。英格兰、威尔士 1999 年交通事故与环境的关系研究数据表明,雾天的事故较严重,而雨天发生的轻微事故比较多(Edwards,1999)。雨天由于路面有积水,水膜使摩擦力降低,高速行驶时可能会导致车轮与路面分离,即发生水滑现象(Khan et al,1994)。汽车轮胎的受力情况与车速、不同水膜厚度相关,雨天事故率高的主要原因是摩擦力小和发生滑水现象导致的(Hight et al,1990)。雨天在道路上行驶,由于路面上有水,安全问题变得更加重要,即使是技术熟练、小心谨慎的司机;当路面上有水时,高速行驶也难以控制车辆,因为水膜导致摩擦力降低,甚至轮胎与路面完全分离(即发生滑水,也可称为水漂)(Borrough,1997)。1994 年,Ibrahim 和 Hall 研究表明降雨强度小则对交通影响小,降雨强度大则对交通影响很大;小雨时,行车速度会降低 2 km/h(1.7%);大雨时,速度会降低 5~10 km/h(4.4%~8.7%)(Ibrahim and Hall,1994)。Schlosser(1975)研究了 1965 年到 1966 年所有发生在荷兰国道上的事故(共 36364 起),其中 2360 起发生在雨天的高速公路上,5243 起发生在雨天的其他道路上,结果表明随着抗滑值的下降,事故率呈指数型增加(Schlosser,1985)。

此外,不利天气条件下交通事故发生原因,同时与道路几何特性、驾驶人特性相关。根据 1994 年至 2003 年旧金山地区的高速公路交通事故和气象数据资料统计,对晴天和雨天条件下交通事故数量、原因及位置的分布情况分析得出,降雨使事故率增加,车速过高是雨天引发交通事故的首要原因(Hwang et al,2008)。2007 年,Kopelias 等人研究了汽车碰撞事故的发生与道路的几何特性、驾驶人的操作特性及气候因素之间的关系,研究表明雨天路面湿滑,会增加事故的发生率,且碰撞事故的发生多是由于驾驶人自身的原因,例如注意力不集中等,较少的是因为道路的几何特性所致(Kopelias et al,2007)。

依据交通事故时间分布统计结果,不同季节道路交通事故的发生数量和概率具

有明显的差异。同时,不利天气条件对驾驶人压力负荷产生影响。Hosking(1986)分析了英国路网中抗滑值的季节变化,用摆式仪和横向力系数测试车测量了5年的抗滑值,夏季的抗滑值最低,冬季的抗滑值最高,相对于平均值变化了30%。并且统计了每个月事故发生率,研究表明事故发生率和抗滑值有关,随着抗滑能力的增加,潮湿路面溜滑事故率曲线下降,与Schuize的结论相似(AASHTO,1997)。Hill和Boyle在不同的天气、路面条件和交通状况等因素组成的场景下,采集得到了驾驶人压力负荷数据,通过比较不同类型的驾驶主体在各种驾驶场景下的压力负荷,证明驾驶人的压力负荷除了与个体差异相关外,还受到特定驾驶环境的影响(Hill and Boyle,2007)。

(2)不利天气交通安全风险研究

安全风险分析始于二十世纪中期,最早应用于欧美国家核电厂安全性评估,随后风险分析理论逐渐扩展至金融、建筑、保险等行业领域。交通领域引入风险概念的时间相对较晚,从二十世纪七十年代起交通系统安全分析中开始应用安全风险方法。安全风险研究的目的是通过确定和分析影响安全的不确定因素,评估可能产生的安全问题。安全风险管理过程,一般分为风险预测与识别、风险评估与分析、制定风险处置计划和实施处置计划措施(Tumer,1993)。

安全风险分析理论和方法,主要有计划评审技术、效用理论、模拟法、影像图分析法、事件树分析法、灰色系统理论、模糊分析法、主观概率法、故障树分析法和外推法等(Durgaprasad and Appa Rao,1997)。此外,关于常用的风险分析方法及其在土木工程中的应用,2001年M. H. Faber在“Risk and safety in civil engineering”专著中进行了系统总结和对外出版发行(Faber,2002)。

道路风险评估(journey risk assessment)是根据道路风险评估小组采集的道路行程过程中现场信息,设定风险接受标准,并依据确定的风险发生的概率和后果严重程度计算行程安全风险等级。道路风险评估的主要推动者是国际道路安全评估组织(IRAP),国际道路评估计划是依据各国国情、交通习惯及环境等因素,将收集到的某道路中某路段的交通事故数据放大成为该道路的年度数据,并应用该数据对该道路所在地区范围之内的道路安全性评估等级,从而提出提高交通安全的对策,改善道路沿线设施。为了缓减事故多发路段的交通风险,英国的BP公司对道路风险评估的使用范围、步骤和流程都做出了相应的规定,并制定了针对道路的风险指南——《道路风险管理规划指南》(Journey Risk Management Plan Guidance)。针对道路安全风险问题,欧洲建立了道路评估方案系统(Euro RAP),按照该安全评估方案,可通过现场检查,评定道路交通安全等级,并能定期地跟踪连接欧洲各国枢纽道

路的安全状况。

(3)不利天气交通安全出行保障研究

不利天气对城市道路和公路交通安全影响程度不同,城市道路交通流量大,车辆行驶速度相对较低,不利天气超速行车的概率不高,避免发生刮擦事故或长时间延误导致交通拥堵是城市道路不利天气交通安全保障的重点;公路相对于城市道路而言,行车速度较高,行车视距和车辆制动距离是保障安全的关键要素。因此,不利天气条件下城市道路和公路交通安全出行保障内容和措施存在差异。

针对不利天气条件下城市道路交通出行安全策略,国外学者多集中于路网信号配时的系统仿真和方案优化(乔国梁,2014)。不利天气交通安全管控措施,主要是根据不利天气条件下道路交通流折减结果,设计基于天气影响的动态交通分配模型和交通预测应用模型,分析不利天气导致的交通需求和供给情况的变化特点,给出对应特殊天气条件下可采取的针对性信息服务和交通控制措施(Mahmassani et al, 2009)。同时,许多学者利用 VISSIM 等交通仿真软件模拟雨雪天气湿滑路面条件对城市交通运行的影响,主要考虑易受不利天气影响的交通流参数,研究结果表明车辆加速度值是对天气最敏感的参数,并且干燥和湿滑路面条件下的期望车速和饱和流率具有显著差异,湿滑路面条件的自由流速度和加速度值也因此而降低(Tantillo and Demetsky,2006)。

不利天气条件下公路交通安全保障,主要通过建立或安装不利天气条件检测系统或装备,分析和获取不利天气交通安全影响信息,发布不利天气交通安全预警服务,提高不利天气公路交通安全出行的可靠性。例如,发达国家普遍在高速公路上安装了灾害天气警告系统,用来预报不利天气生成的时间和交通安全影响等级,从而提高在途车辆交通运行安全水平。美国联邦公路局在交通规划中一直将天气作为首要条件,高速公路管理部门根据天气监测信息和专业天气预报,决策高速公路的关闭、开启条件和车速限定。美国科研机构还专门研制了一种利用红外光探测雾气的自动化监测系统,当有雾发生,能见度不好时,它可自动通知监控中心,然后警示牌发出信息要求车辆降低车速。原联邦德国也非常重视公路气象预报,一般要求气象部门提供 1~3 天的预报信息,以便制定公路管理计划,另外需要当天 2~24 小时气象预报作为更为详细的公路区域气象预报的补充和解释,明确给出 24 小时内气象条件在时间和空间上的变化情况,包括路面温度和公路路况等。澳大利亚干线公路主要采用沿途可变情报板发布不利天气预报信息;法国在公路沿线安装通信和监控系统,监测道路交通信息,通过可变情报板、交通电台及互联网等方式实时发布交通信息;日本国土交通省建立了全国范围的道路交通信息服务系统,通过互联网向

使用者提供道路气象信息。针对大雾天气对交通安全的影响,意大利研制出抗雾智能公路系统,通过雾天条件下高压钠灯来提高能见度,能够减轻驾驶人的行驶压力,有利于行车安全;此外,芬兰研制了可以探测雾况的 FD-12 雾检测仪,加拿大 PED 公司研制了对高速公路能见度进行实时监测的 PEP9012 型能见度仪,可以根据高速公路上的实时雾况及时将信息反馈给监控中心,监控中心从而可以采取合理的措施指导驾驶人员安全行驶,保障高速公路交通出行安全。

除不利天气交通影响预报信息外,实时监控和获取不利天气条件下交通运行情况,对于保障公路交通安全举足轻重。发达国家高速公路监控,主要是在道路沿线布设传感器、高空摄像机和可变情报板来实施的,当有不利天气预警发生时,利用自动监控系统 and 专用的高速公路电台及时将信息提供给管理人员及驾驶人员,从而起到监控管理的目的。

1.2.2 国内研究现状

国内不利天气道路交通安全研究,主要集中在不利天气交通安全影响和安全保障研究两个方面,不利天气安全风险评估研究相对薄弱,多偏重于不利天气交通可靠性研究(刘清,2004)。我国不利天气交通安全研究成果显示,不利天气交通安全影响季节性较强,表现为夏季受雨的交通影响最为显著,冬季北方以冰雪天气交通影响为主,中南和西部地区交通以冰冻和大雾灾害交通影响为主。

(1) 不利天气交通安全影响研究

我国影响道路交通安全的不利天气,主要包括雨、雪、雾、风、冰冻等灾害类型。依据 1995 年不利天气条件对我国交通系统造成的影响进行分析,其中,所有不利天气中交通安全影响最大的是暴雨,其次是雾、雪、风等灾害天气(张清,1996)。针对国内外两条典型快速路路段交通流进行分析,发现非雾引起的低能见度和低于 21 km/h 的风速对自由流速度无显著影响;不同强度降雨对自由流速度和道路通行能力均产生不同程度的影响,降雨强度越大,产生的影响越大。降雨使车头时距普遍上升且分布更为离散,道路通行能力明显降低;由雾引起的低能见度使自由流速度显著降低(施莉娟,2012)。

围绕不利天气对道路交通路面、视距和驾驶人等的影响,国内学者开展了量化研究,并提出了相应的交通安全保障措施。莫振龙从能见度、路面附着系数等方面分析了雨、雾、冰雪等不利天气对高速公路交通安全的影响,大雾天气降低高速公路能见度、造成驾驶人心理紧张、降低路面附着系数,而雨天和冰雪天气主要影响能见度和路面附着系数,由此提出了加强对驾驶人的宣传教育、加强对机动车特别是

货运车辆的管理、加强对道路交通设施养护和管理、建立高速公路沿线气象环境监测、预报系统的交通安全保障措施(莫振龙,2013)。

针对雨雪天气对道路路面附着系数的影响,2004年,娄峰等利用有限元模拟分析了附着系数与车速、水膜厚度的关系,提出雨天对道路能见度的影响可参考雾天能见度的方法进行预测(娄峰等,2004)。此外,降雨形成路面水膜、降雨量对水膜厚度产生影响,同时水膜对轮胎与路面接触亦会产生影响(季天剑等,2004)。

不利天气交通事故原因和形态与良好天气交通事故具有一定的差别,由1996—1998年交通事故资料分析不利天气条件交通事故率和发生形态的规律,结果表明有70%~75%的事故为没有保持安全距离、超速追尾、滑入边沟及撞固定物;通过分析1996—1998年和2002—2004年某高速公路35 km路段交通事故数据得出,高速公路出入口附近,由于进、出车辆多,车辆变线频繁,车辆刹车减速情况多,是交通事故发生率最高路段(刘利花和张金喜,2006)。

不利天气强度等级不同,对交通安全和交通运行参数的影响不同。杨中良等以上海市快速路监控中心采集存储的长期交通数据,以及气象局发布的天气状况信息为研究对象,根据降雪/雨量大小和对道路交通参数的影响程度,将雨雪划分为轻、中和重三个等级,进一步基于交通流模型拟合理论提出了通行能力计算模型,确定了不同天气等级对应通行能力的折减系数,小雨(降雨量小于0.25 mm/h)通行能力的折减在6%~8%之间,中雨(降雨量在0.25~6.25 mm/h)通行能力的折减在10%~11%之间,大雨(降雨量大于6.25 mm/h)通行能力的折减在13%~15%之间(杨中良等,2010)。刘力力等利用北京市快速路布设的固定检测器采集获取的交通流数据,对比分析了降雪天气和晴好天气条件下的交通流特征差异,研究表明,大雪条件下快速路的平均运行速度相比正常天气条件下降10~20 km/h,平均车头时距增加2~4 s,通行能力降低约25%(刘力力等,2012)。贺芳芳等针对上海地区不良天气条件,用分级加权方法,先对交通事故产生的后果每项进行分级,再赋予每项一个权重系数,定义了每日的交通事故指数;通过对比雨日与晴阴天日交通事故指数,得出雨日均交通事故指数比晴阴天日高,初雨日比雨日还高;冬季雾对交通影响的程度较大,轻雾天气日均交通事故指数比雾天高;下雪第二日的日均交通事故指数较高,比冬季日均交通事故指数高0.36(贺芳芳等,2004)。

(2) 不利天气交通安全风险研究

我国安全风险理论与交通理论的综合研究,最早应用于铁路与航空交通,而后才应用到道路交通领域中(赵利苹,2013)。道路交通领域的安全风险研究与应用,同样遵循交通安全风险因素辨识与分析,安全风险预测或评价,最后提出安全风险

保障措施的研究思路。

我国不利天气道路交通安全风险研究的目标,主要是为制定交通事故防控策略提供依据。2002年,陈艳艳、刘小明等在路网灾害影响分析当中引入风险评价与管理的概念,针对地震、洪水等自然灾害、恶劣气候及严重交通事故等交通路网灾害进行了风险评价,并根据风险程度及减灾措施的效益成果来评价减灾措施的可行性(陈艳艳等,2002)。2006年陈庚等人借鉴国外关于道路交通安全的风险研究成果基础上,将所有可能导致事故的因子统称为“风险因子”,对天津市路网引发交通事故的原因,运用风险理论分别从人、车、路和环境等方面对道路交通风险进行分类辨识,并针对可能存在的风险因素,提出风险减缓措施,以降低事故发生率(陈庚等,2006)。赵震在风险分析框架的基础上,综合运用风险认知、风险评价、风险管理和风险沟通理论,以北京市城市道路交通为例对城市道路交通安全进行了研究(赵震,2008)。

2007年,何寿奎在综合考虑交通安全风险影响因素的基础上,从设施脆弱性、道路运行承载能力、环境条件、人员、组织与管理方法、车辆六个方面建立城市交通安全风险三级评价指标体系,利用D-S论据融合法确定指标权重,进行了交通安全风险的模糊多属性评价(何寿奎,2007)。2008年,牛学军等人在《道路交通安全风险预控管理对策》中,根据国内外风险研究领域的相关研究,结合我国的研究现状,提出了道路交通安全风险的理解性概念,并根据不确定性程度对其进行了分类,最终提出了道路交通安全风险预控管理对策(牛学军等,2008)。2009年,杨耀武结合影响道路安全的因素、风险管理及政府职责理论,阐释了道路风险管理中的政府职责,并研究了政府应如何进行道路交通安全风险管理评价、沟通及体制建设(杨耀武,2009)。

不利天气条件下大型活动交通安全风险分析,对于安全保障具有重要作用。以奥运交通安全风险为研究对象,马海红等在明确奥运交通风险评价内容基础上,提出奥运交通风险评价以风险事件识别、分析、风险等级划分,以及风险应对措施(马海红等,2008)。针对不利天气交通风险等级,黄冰娥通过问卷调查获取驾驶人的风险感知数据,问卷中结合了道路、交通流等其他因素,在调查数据基础上建立了多元有序离散选择模型,划分了不利天气交通风险等级(黄冰娥,2012)。

(3) 不利天气交通安全出行保障研究

1992年成立的国际道路天气常设委员会(SIRWEC),其中一项任务是致力于降低和减少气象条件对交通的不利影响和研发道路气象信息系统,我国尚未参加这一国际学术团体。我国不利天气交通安全保障部门,主要包括交通和公安交管2个部门,分别从安全设施和管理两个方面提供交通安全保障。

不利天气交通安全保障总体上主张采用系统化策略,从信息发布、安全设施和管理等多个方面制定具体措施。李长城等提出了面向不利天气条件的公路交通安全管理的系统化策略框架,包括运营管理目标、信息收集与影响评估、运营管理策略和效果评估四部分(李长城和汤筠筠,2008);另一研究思路是从冰雪天气特性及其对交通运输安全的影响出发,提出不利天气条件下的交通管理措施和相关的安全管理系统设计(蒋军和代舒,2008)。

为描述不利天气对交通运行的影响,许多学者基于不利天气交通数据对交通流模型参数进行了修订,或利用交通管控设施优化控制参数保障交通安全。道路交通运行安全评价实践,是道路安全设施安全性审查的重要手段,能够确定不利天气条件下交通安全设施存在的潜在隐患(刘君和孙广林,2015)。此外,利用实时采集的交通运行数据,优化交通安全管控措施也是保障不利天气交通出行安全的有效途径之一。例如,才西月等基于实测数据分析并提出道路平面设计中的极限最小半径和停车视距参考值(才西月等,2008)。胡明伟从理论研究和仿真分析两方面对不利天气条件下的交叉口信号配时进行了优化研究,得出正常天气下的交叉口信号配时并不适用于不利天气条件,由于交通信号配时的效果取决于路网拓扑结构、信号控制方式、流量分布和天气情况等多方面因素,针对不利天气制定的优化配时通常只适用于一定范围的流量水平,流量过大或过小时交通流均无明显改善(胡明伟,2007)。

针对冰雪天气交通安全保障问题,蒋贤才和裴玉龙通过总结国内外冰雪天气条件下的道路交通安全管控策略,得出三类能有效降低冰雪天气对道路交通安全影响的管理措施,包括信息提供、交通控制和冰雪处理,并分别从道路维护管理者、紧急事件管理者、道路交通管理者和道路交通参与者四个方面进行了效果分析和评价(蒋贤才和裴玉龙,2007)。冯涛等采用数学方法推导了不同路面条件下基于安全距离的高速公路最高车速限制值计算公式,结果表明,高速公路安全车速与路面状况及能见距离关系较大,干、湿沥青路面安全车速明显大于积冰与积雪路面,随着能见距离的增加,安全车速也相应增大;另外,安全行车距离与车速和附着系数关系大,干、湿沥青路面状况比积雪与积冰路面的安全行车距离要大很多,当附着系数增加时,安全行车距离会增加,而当附着系数减小时,安全行车距离则将减小;随着车速的增加,安全行车距离也相应增加;随着能见距离的增大,安全行车距离会增加(冯涛等,2012)。