

道路交通 运营安全与管理

Transportation Operations
Safety and Management

孙璐 著



科学出版社

道路交通运营安全与管理

孙 璐 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是作者根据近年来主持的国家及省部级等多项科研项目研究成果,进行全面梳理总结而成。本书共分四篇。第一篇(第1、2章)重点介绍道路交通安全分析基础;第二篇(第3~10章),主要论述道路安全评价;第三篇(第11~17章)系统介绍高速公路运营安全管理;第四篇(第18~21章)主要介绍应用案例。

本书可供交通运输、市政建设、公安交警和安全生产监督等部门参考,也可作为高等院校道路工程、交通工程、城市与交通规划等专业的教师、高年级本科生及研究生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

道路交通运营安全与管理/孙璐著. —北京:科学出版社,2014
ISBN 978-7-03-039546-7

I. ①道… II. ①孙… III. ①公路运输-交通运输管理-安全管理-中国
②公路运输-交通运输管理-运营管理-中国 IV. ①U491

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 008978 号

责任编辑:童安齐 袁莉莉 / 责任校对:王万红
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

*

2014 年 4 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2014 年 4 月第一次印刷 印张:33 3/4

字数:664 000

定价:98.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

销售部电话 010-62136131 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

我国道路交通建设正处于一个前所未有的高速发展时期,公路建设里程和机动车保有量正实现跨越式增长,与此同时,我国道路安全问题却面临着严峻的形势,道路安全水平的提高速度远远落后于道路建设速度。毋庸置疑,安全是交通运输发展的永恒主题,是交通运输可持续发展的基本保障。近年来,道路安全问题日益成为社会各界广泛关注的热点问题。

道路安全涉及人—车—路—环境等多方面因素,从不同方面加以考虑可以得出不同的解决途径。本书重点研究了道路安全评价与道路运营安全管理。道路安全评价是一种有效的预防性减少交通事故的方法,其无需等待大量事故发生后再进行安全问题诊断分析,目前已在国内外得到广泛应用,有效性也被多个国家的实践所证明。国外道路安全评价的理论研究以及应用实践开展较早,近年来我国也引进了道路安全评价理念,并逐步开展了相关研究和评价实践,代表性成果是2004年交通部推出的《公路安全性评价指南》,指南中提出了道路规划、设计以及今后运营的不同阶段开展安全评价所需要考虑的要素,并从规范角度给出了道路安全评价的标准流程、评估报告的标准格式等,为我国道路安全评价应用的进一步推广奠定了基础。然而,由于我国对道路安全评价研究起步总体较晚,在开展道路安全评价实践过程中也暴露出一些急需解决的问题,同时,目前采用的道路安全评价方法多样,各自都存在一定的不足,需要系统的梳理和总结。本书一方面介绍了作者近年来在道路安全评价领域的研究成果,另一方面也对国内外现有的相关研究进行了系统总结提炼,构建了道路安全评价方法体系,以期对道路安全评价的进一步深入研究奠定基础。

除了道路安全评价之外,道路运营安全管理对于改善道路交通安全也具有十分重要的意义。道路运营安全管理着力于在道路运营期间预防交通事故和减少交通事故所造成的损失和不利影响。在道路日常运营过程中,通过对道路各关键监测点的全天候监测,道路运营管理部门能够及时发现突发事件和开展应急处置工作,从而提高重大道路交通突发事件的反应速度,减少其引发的损失和不利影响。有鉴于此,本书也对道路运营安全管理进行了研究。

在道路运营安全管理方面,本书着眼于高速公路的运营安全管理。一方面,高速公路作为国家干线公路,在道路交通运输乃至整个综合交通运输体系中起到了

至关重要的作用,开展道路运营安全管理非常有必要;另一方面,高速公路等级高,布设了大量的监测设备,最具备开展道路运营安全管理的条件。按照交通运输“十二五”发展规划,“十二五”期间我国高速公路总里程将达到 10.8 万公里,覆盖 90% 以上的 20 万以上城镇人口城市。随着高速公路网的不断建设和完善,以往只顾埋头建设而轻视运营安全管理的高速公路发展模式变得愈发不可取,而保证道路畅通、减少交通事故、加强应急能力、提高管理效率已转变为政府和交通从业人员的首要职责。交通运输“十二五”发展规划也已经明确提出将“切实强化交通运输安全和应急保障能力建设”。在这样的背景下,本书内容中关于高速公路运营安全管理的研究将有助于开展高速公路运营安全管理,促进高速公路交通安全与应急保障能力的提升。

本书结合作者所承担过的研究项目:美国国家科学基金“智能微观交通流理论、建模与仿真模拟”;交通运输部西部交通科技项目“高速公路速度协调一致性研究”;教育部“微观驾驶行为理论研究”;安徽省交通厅“安徽省六武高速公路交通安全评价与对策研究”;住房和城乡建设部“城市快速路道路安全评价”;山西省交通厅“山西省干线公路交通安全评价与对策研究”;“十一五”国家科技支撑计划三部委(科技部、交通运输部、公安部)“国家道路交通安全行动计划课题二:山区公路交通安全保障措施研究”,国家自然科学基金委“山区高速公路驾驶行为模型研究”,安徽省交通厅“安徽省公路网管理与应急处置平台关键技术研究”以及南京市交通运输局、南京住房和城乡建设委员会等委托开展的多条道路安全评价和道路运营安全管理研究,其全面系统阐述了道路安全评价和道路运营安全管理的基本理论方法及内容,并结合实例论证了其中主要技术环节。

全书由以下内容组成:第一篇(第 1 章至第 2 章)为道路交通安全分析基础,概述了道路安全评价和高速公路运营安全管理,分析了道路交通安全的影响因素。第二篇(第 3 章至第 10 章)为道路安全评价,系统论述了国内外现有的道路安全评价方法,构建了一个完整的道路安全评价理论框架体系,并针对道路典型危险路段研究了相应的改善措施。第三篇(第 11 章至第 17 章)为高速公路运营安全管理,介绍了高速公路信息管理与运行监控、高速公路基础设施运行状况监测和评价、高速公路交通运行状况监测与评价、高速公路突发事件应急预案、高速公路突发事件应急响应、省级高速公路网应急联动、高速公路运营安全与应急保障管理系统等内容。第四篇(第 18 章至第 21 章)为应用案例,其中,第 18 章综合分析道路交通事故影响因素;第 19 章和第 20 章介绍作者所负责主持的道路安全评价具体实际案例,涵盖高速公路、一级公路以及城市快速路等多种道路类型,力求通过工程实例来进一步阐述道路安全评价的思路理念和方法流程;第 21 章则结合案例介绍了不

良天气条件下山区高速公路的应急管理,为读者提供参考。

本书的撰写历时三年,是在参阅并引用了大量的国内外文献资料基础上完成的,在此衷心地感谢前人的研究。作者的博士研究生游克思、郁烨、葛敏莉、徐建、李根和硕士研究生金姣萍、李易峰、秦玉秀、钱泽东、程群群、尹洪正、杨薪、唐睿、刘灿在本书的编写过程中参与了资料收集、整理、校订等工作,在此一并加以感谢。

由于道路交通运营安全与管理涉及众多的学科领域以及工程管理实践,书中挂一漏万,难免存在疏漏或值得商讨之处,敬请读者批评指正。

作者

2013年2月

目 录

前言

第一篇 道路交通安全分析基础

1 概论	3
1.1 国内外道路交通安全现状	3
1.2 道路安全评价	6
1.3 高速公路运营安全管理	11
1.4 本书章节安排	16
主要参考文献	16
2 道路交通安全影响因素分析	18
2.1 概述	18
2.2 影响因素的分析模型	18
2.3 道路条件与交通安全	25
2.4 驾驶员特性与交通安全	44
2.5 车辆性能与交通安全	46
2.6 交通流特性与交通安全	47
2.7 天气条件与交通安全	48
主要参考文献	51

第二篇 道路安全评价

3 道路安全评价方法体系	59
3.1 概述	59
3.2 道路安全评价方法体系分类	60
3.3 道路安全评价软件介绍	68
主要参考文献	82
4 基于事故分析的道路安全评价	84
4.1 概述	84
4.2 事故黑点鉴别与分析	84
4.3 道路交通事故预测模型	94
主要参考文献	104

5 道路安全审计	105
5.1 概述	105
5.2 道路安全审计基本内容	109
5.3 道路安全审计的实施	115
5.4 道路安全审计清单的构建	119
主要参考文献	122
6 基于速度协调性的道路安全评价	124
6.1 概述	124
6.2 几个概念介绍	125
6.3 运行速度预测模型	128
6.4 速度协调性评价及实例	131
主要参考文献	143
7 基于交通冲突分析的道路安全评价	145
7.1 概述	145
7.2 交通冲突技术的概念与方法	145
7.3 基于微观仿真的交通冲突技术	147
7.4 案例分析	153
主要参考文献	160
8 基于车辆动力学仿真模拟道路安全评价	161
8.1 概述	161
8.2 人一车一路闭环系统仿真建立	162
8.3 基于车辆动力学模拟安全分析	183
主要参考文献	196
9 综合评价技术	198
9.1 综合评价基本理论方法	198
9.2 基于综合评价方法的道路安全评价实例	206
主要参考文献	217
10 安全改善措施与对策研究	219
10.1 概述	219
10.2 典型危险点安全改善措施	220
10.3 安全改善措施决策优化	259
10.4 安全改善效果后评价技术	262
附表 典型危险路段与改善措施清单	269
主要参考文献	273

第三篇 高速公路运营安全管理

11 高速公路信息管理与运行监控	277
11.1 概述	277
11.2 高速公路信息管理	277
11.3 高速公路运行监控	289
主要参考文献	292
12 高速公路基础设施运行状况监测与评价	293
12.1 高速公路基础设施	293
12.2 气象条件监测	294
12.3 路面状况监测	297
12.4 桥梁状况监测	305
12.5 隧道状况监测	311
12.6 边坡状况监测	314
12.7 交通工程及沿线设施状况监测	318
主要参考文献	319
13 高速公路交通运行状况监测与评价	320
13.1 高速公路交通流特性分析	320
13.2 交通信息采集技术	322
13.3 高速公路交通状态评价	325
13.4 交通事件自动检测算法	329
主要参考文献	334
14 高速公路突发事件应急预案	336
14.1 概述	336
14.2 突发事件应急预案编制	336
14.3 我国高速公路的应急管理现状	342
14.4 高速公路应急预案的制定及实施	344
14.5 高速公路突发事件应急资源配置	348
主要参考文献	353
15 高速公路突发事件响应	355
15.1 高速公路突发事件分类分级	355
15.2 高速公路突发事件应急响应分析	356
15.3 高速公路突发事件应急救援方案	359
附录 预案集	371
主要参考文献	386

16 省级高速公路网应急联动	387
16.1 概述	387
16.2 发达国家标准化应急指挥体系	389
16.3 我国应急指挥体系现状	407
16.4 省级高速公路网应急联动	413
主要参考文献	424
17 高速公路运营安全与应急保障管理系统实现	425
17.1 国内外设计与开发的 EMIS 简介	425
17.2 高速公路运营安全与应急保障系统建设框架	429
17.3 高速公路运营安全与应急保障系统建设	432
主要参考文献	438

第四篇 应用案例

18 道路交通事故影响因素分析案例	441
18.1 概述	441
18.2 交通事故分布特征	441
18.3 影响因素选取和路段单元划分	450
18.4 模型构建	454
18.5 研究结果分析	456
主要参考文献	465
19 公路安全评价及对策分析案例	467
19.1 某山区高速公路安全评价及对策分析	467
19.2 山西某干线公路改造工程安全评价及对策分析	480
主要参考文献	488
20 城市快速路安全评价及对策分析案例	489
20.1 南京绕城公路快速化改造工程安全评价及对策分析	489
20.2 南京某快速路改造工程安全评价及对策分析	493
主要参考文献	508
21 不良天气条件下山区高速公路应急管理	509
21.1 背景	509
21.2 信息监测系统	509
21.3 不良天气条件交通管理与控制	513
21.4 基于物联网的硬件与信息系统典型示范工程	519
主要参考文献	526

第一篇 道路交通安全分析基础

1 概 论

1.1 国内外道路交通安全现状

自 1896 年在伦敦记录的首例行人与机动车碰撞的死亡事件至今,道路交通事故每年在全球大约吞噬 120 万人生命,另约有 5000 万人受伤,即大约每 25s 就有一个人死亡,相当于每天有 10 架可乘 350 人的波音 777 大型喷气客机坠毁。更为严峻的问题是,如果不实施积极主动的干预措施,预计 2020 年全球道路伤亡总数将上升 65%,而中低收入的发展中国家死亡人数将增加 80%。道路交通事故已被称为“全球第一公害”,道路交通安全已成为世界各国关注的焦点。道路交通系统是一个由人、车、路和环境共同组成的复杂系统,一旦系统中四个组成部分之间相互关系失调就会产生交通安全问题,研究探寻人一车一路一环境之间内在关系和事故发生机理、寻求相应管理措施对策,对减少交通事故的发生具有重要意义。

1.1.1 我国道路交通安全状况

经过多年建设,我国的道路建设取得了巨大进步,路网密度有了很大提高,至 2010 年底,我国公路网总里程达到 395 万 km。1988 年上海至嘉定高速公路建成通车后,实现了我国高速公路零的突破。近二十多年来,我国交通建设重点主要是高速公路,截至 2009 年 6 月底,已建成国家高速公路网 48 896km,占总规划里程的 56.5%。与此同时,伴随着公路网的完善,我国的机动车工业也迅速发展。受我国汽车产业政策调整的影响,社会机动车保有量迅猛增加,截至 2008 年年底,全国汽车保有量已达到 6467 万辆,比中华人民共和国成立前增长了近 1290 多倍。我国道路运输业也得到了空前发展,2003 年全国道路交通运输部门共完成旅客周转量达 7960 亿人/km、货物年周转量达 7100 亿 t/km。

然而与迅猛的交通发展相比,我国道路安全面临的形势更为严峻,如表 1.1 所示,以交通事故死亡人数为例,20 世纪 80 年代初,我国死于交通事故的年平均人数在两万余人,到 90 年代初,这一数字已达到 5 万多人,到 21 世纪初年平均死亡人数急升,已经突破了 10 万人,多年来我国交通事故死亡的绝对人数一直高居世界第一,以 2009 年为例,据公安部交通管理局统计,全国共发生道路交通事故 23.8351 万起,死亡人数为 6.7759 万人、受伤 27.5125 万人,全国万车死亡率为 3.62%,直接财产损失 9.1 亿元,发生一次死亡 10 人以上特大道路交通事故 24 起。

表 1.1 我国近年来交通事故状况(1990~2009 年)

年份	事故数/起	死亡人数/人	受伤人数/人	万车死亡率/%	10 万人口死亡率/%
1990	250 297	49 271	155 072	33.38	4.31
1991	264 817	53 292	162 019	32.15	4.60
1992	228 278	58 729	144 264	30.19	5.00
1993	242 343	63 508	142 251	27.24	5.36
1994	253 537	66 362	148 817	24.26	5.54
1995	271 843	71 494	159 308	22.48	5.90
1996	287 685	73 655	174 447	20.41	6.02
1997	304 217	73 861	190 128	17.50	5.97
1998	346 129	78 067	222 721	17.30	6.25
1999	412 860	83 529	286 080	15.45	6.82
2000	616 971	93 853	418 721	15.60	7.27
2001	754 919	105 930	546 485	15.46	8.51
2002	773 137	109 381	562 074	13.71	8.79
2003	667 507	104 372	494 174	10.81	8.08
2004	517 889	107 077	480 864	9.93	8.24
2005	450 254	98 738	469 911	7.57	7.60
2006	378 781	89 455	431 139	6.16	6.84
2007	327 209	81 649	380 442	5.11	6.21
2008	265 204	73 484	304 919	4.33	5.56
2009	238 351	67 759	275 125	3.62	5.14

1.1.2 我国道路交通事故特点

1.1.2.1 事故发生时间分布

图 1-1 是 2000~2005 年,事故在一天 24h 的分布情况。从图 1-1 中可以看出,死亡率分布随时间的不同而变化显著。事故死亡率发生最高的时间段是在傍晚时段,大概分布在 18:00~21:00;相反,通常在午夜以后死亡率最低,大概分布在 1 时至 5 时,造成这种现象的原因主要是傍晚时间段光线较暗。

1.1.2.2 不良天气引发事故死亡率分布

不良天气主要包括冰、雪、雨、雾等,不良天气不仅增加了行车困难,还造成驾驶员心理负担,容易导致事故发生。我国每年发生很多起群死群伤的特大事故,通

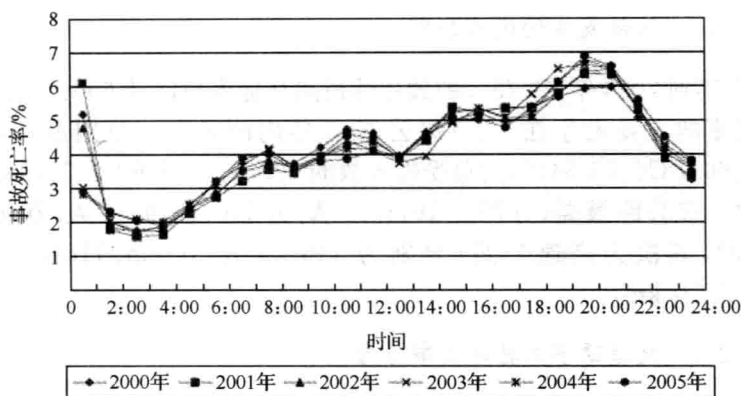


图 1-1 事故死亡率时间分布

常都与恶劣的行车环境有关,如表 1.2 所示。

表 1.2 恶劣天气下的交通事故死亡率

年份	交通事故数/起	死亡率/%
2000	21 924	23.4
2001	23 570	22.3
2002	24 261	22.2
2004	22 786	20.5
2005	23 872	24.2

1.1.2.3 驾驶员年龄分布

在交通事故死亡人员中,驾驶员年龄分布如表 1.3 所示。从表 1.3 中可以看出,死亡率最高的年龄段在 26~45 岁。

表 1.3 事故死亡中的驾驶员年龄分布

年份	0~15 岁		16~25 岁		26~45 岁		46~55 岁		56~65 岁	
	事故数/起	比重/%	事故数/起	比重/%	事故数/起	比重/%	事故数/起	比重/%	事故数/起	比重/%
2000	3 501	3.7	19 634	20.9	59 116	63.0	7 450	7.9	2 095	2.2
2001	1 723	1.6	21 349	20.2	67 251	63.5	8 711	8.2	2 301	2.2
2002	1 609	1.5	21 384	19.6	70 737	64.7	9 582	8.8	2 231	2.0
2004	1 035	1.0	20 980	19.6	72 219	67.4	9 552	8.9	2 388	2.2
2005	703	0.7	18 438	18.7	67 929	68.8	8 966	9.1	1 620	1.6
平均		1.7		19.8		65.5		8.6		2.1

1.1.2.4 事故发生的道路分布

2006年到2008年,约75%的致死性道路交通事故以及60%左右的非致死性道路交通事故主要发生在二、三级公路,3年内两者合计分别占总死亡人数的60.21%、60.18%、55.54%,占总受伤人数的59.04%、58.69%、57.38%。万公里死亡率以一级公路最高(分别为1913.89人/万km、1519.40人/万km、1821.85人/万km),其次为高速公路(分别为1466.2人/万km、1181.51人/万km、1001.94人/万km)。

1.1.2.5 交通肇事工具与肇事行为

在2006~2008年,驾驶客车肇事导致死亡人数占总死亡人数的比例逐年小幅上升。而电动自行车是非机动车肇事的主要交通工具类型,2008年占非机动车肇事的50.4%,其中死亡人数占非机动车交通肇事死亡人数的比例为39.17%,受伤人数占非机动车肇事受伤人数的53.44%,且3年间事故数、受伤人数以及死亡人数都呈明显的上升趋势。

机动车违法驾驶行为是引起道路交通伤害的主要原因,在2006~2008年,91.49%的致死性道路交通事故和91.26%非致死性道路交通事故均由机动车违法驾驶行为导致,且其所占道路交通事故的总数和死伤总数的比例逐年上升。

1.2 道路安全评价

1.2.1 安全评价

1.2.1.1 几个相关的概念

安全与危险的问题伴随着人类生产活动的产生而出现,只要有生产,就会存在安全与危险的问题。安全可分为绝对安全和相对安全。从名称上看,绝对安全是指完全不出事故,没有危险,导致人员伤亡、死亡或造成财产损失的环境危害完全被消除。严格意义上讲,绝对安全是不存在的,相比绝对安全,许多学者提出相对安全的概念,强调安全的相对性,即安全是在一定的可以容许风险程度下的状态。相对安全是指在并非无事故,而是在一定风险性条件下的系统状态,将人员伤亡或财产损失控制在可接受水平状态。

与安全定义相反,危险则定义为人员或财产在一定的生产活动中可能遭受的损失概率或严重程度超出了可接受范围的一种状态。危险包含各种隐患,既包括尚未被人所认识的因素,也包括已经被人所认识但还未被人所控制的各种潜在隐患。故障或事故与危险的区别在于:故障或事故是系统的危险在一定条件下的外

在表现形式,当系统没有发生故障或事故时并不能认为系统就是安全的,仍可能存在危险的因素,在今后一定条件下就可能发生故障。

安全问题经常提到的另一个概念是风险,风险是指系统在一定的环境和时间下,发生某种或多种故障或事故的可能性,它由风险因素、事故和损失等要素组成。目前国内外对风险的定义和内涵解释得较多,还没有形成统一定义,不同领域不同学者对风险的理解存在差异,有着不同解释。本书将风险定义为:在一定的条件和时期内,由于各种不确定性的危险因素作用而导致系统遭受损失的严重程度以及这种损失发生可能性概率。从定义上看,风险是一个二位概念,以损失的严重程度与损失发生的可能性两个指标衡量,具有客观性、普遍性、损失性、不确定性和社会性等多重特性。用数学函数表达式可以表示为

$$R = f(p, C) \quad (1.1)$$

式中: R 表示风险; C 表示严重程度; p 表示发生的概率。

风险分析是指对系统进行危险源识别、发生事故的可能性估算以及事故后果的预测等,它是一种将数据资料分析、实际经验以及主观认识综合的科学分析方法。风险分析可以将风险量化,为风险管理的决策提供科学可靠的依据,在有限的人力、物力等资源条件资金下,优化改善措施,减少投入成本,最终达到有效减少风险的目的。风险分析基本方法包括:系统初步危害分析;系统事故链、事件链和故障树分析;系统事故后果分析;系统失效模式与效应分析;危害度分析;原因-后果分析等。

1.2.1.2 安全评价的内涵

安全评价,也称为风险评价或危险评价,主要是对危险进行识别、诊断、分析。不同的文献对安全评价的定义存在差别,一般将安全评价定义为:对系统存在的潜在的危险因素分别进行定性和定量分析,获得系统发生的危险可能性及其严重程度的评价,其目的是寻求最低的事故率,减少投资安全改善成本,优化安全投资效率。还有将安全评价定义为:以提高工程安全为目的,系统采用安全工程及其他原理与方法,对工程中存在的危险因素进行系统识别与分析,判断工程发生事故的可能性及其严重程度,在此基础上,针对存在的问题,有针对性地提出安全改善对策,为工程制定防范措施和管理决策提供科学依据。欧洲航天局将安全评价定义为:安全评价是对系统隐患的确认和系统整体危险性的度量,它是进行决策和事故管理的一种方法。

通过上述定义可以看出,所有开展的安全评价都是为了识别工程及生产管理活动或系统中存在的潜在危险和有害因素,分析致害因素,预测发生事故的可能性及其严重程度,进而提出科学合理的安全对策,指导和预防事故发生,以最小的安全投资,达到最低事故率、最少损伤,提高安全投资效率,这对预防事故发生,减少