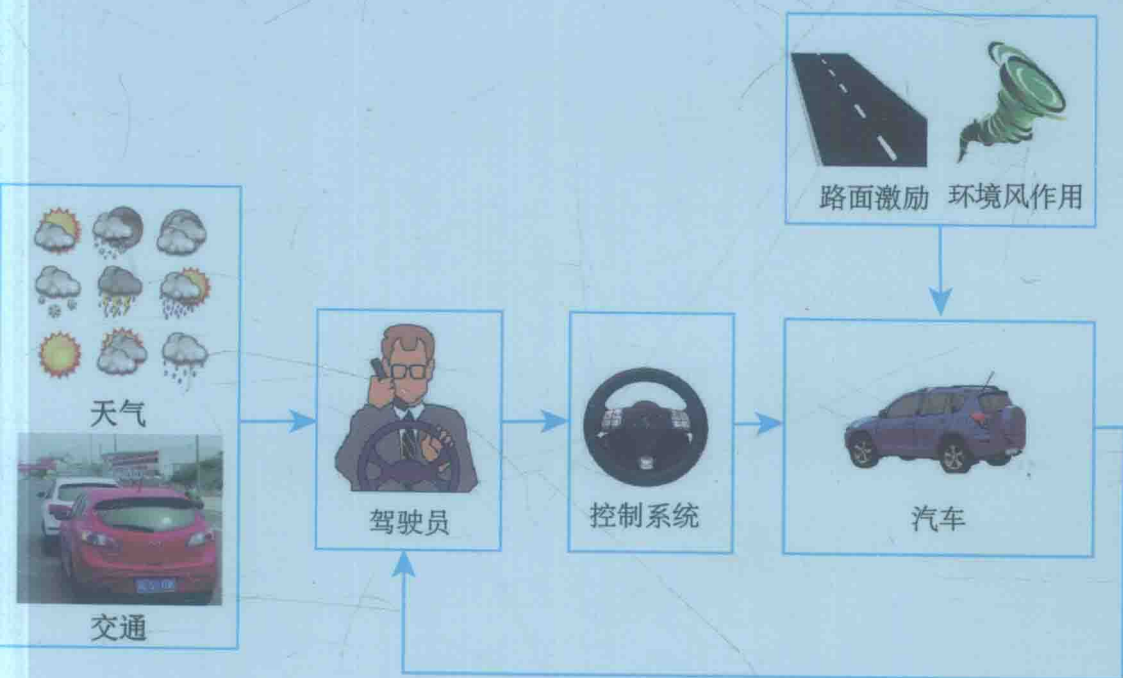


# 人-车-路-环境复杂系统 建模与分析

何杰 著



科学出版社

# 人-车-路-环境复杂系统建模与分析

何 杰 著

科 学 出 版 社

北 京

## 内 容 简 介

本书分别从理论、建模、实验三个方面,全面阐述了人-车-路-环境复杂系统的建模仿真问题。全书共分为三个部分:第一部分(第1章、第2章)介绍了人-车-路-环境系统的研究背景和研究方法;第二部分(第3章~第6章)全面详细地论述了驾驶员、车辆、道路、环境风四个子系统的建模与分析方法;第三部分(第7章~第10章)对人-车-路-环境复杂系统的联合建模进行了研究,并从行车安全、路面损伤和货物损伤角度给出了应用实例。

本书适合交通运输工程、车辆工程及其他相关专业的高等学校与研究机构的教师、高级研究人员、研究生与高年级本科生使用,也可供相关专业的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

人-车-路-环境复杂系统建模与分析/何杰著. —北京:科学出版社, 2016.10

ISBN 978-7-03-050110-3

I. ①人… II. ①何… III. ①公路运输—交通管理系统—系统建模—研究 IV. ①U491.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第235541号

责任编辑:胡凯 李涪汁/责任校对:贾伟娟  
责任印制:张倩/封面设计:许瑞

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

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2016年10月第一版 开本:720×1000 1/16

2016年10月第一次印刷 印张:18

字数:362 000

定价:99.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 前 言

随着交通运输领域及信息技术（IT）行业技术的进步与发展，交通安全、道路设计、车辆生产、货物运输等领域的研究与管理均急需寻求一种新方法，能够满足分析结果更加可靠、成本低、周期短的需要。其中对真实系统进行仿真模拟的方法因具有上述优点而逐渐得到广泛研究和应用。

交通运输系统是由驾驶员、车辆、道路、环境等多个因素组成的一体化复杂整体，各个因素之间共同作用，相互影响。因此为了保证仿真结果的质量，应将研究范围从某个特定方面扩展到整个交通运输系统，建立完整的人-车-路-环境复杂系统模型。目前国内外关于驾驶员模型、道路模型、车辆模型、环境风模型的理论研究基本上已经成熟，但是关于以上四个模型的具体应用，各个模型之间的耦合作用及整个复杂系统的联合建模的研究还不成熟且较少。

鉴于社会发展的需要和相关研究理论的不足，本书在前人研究的基础上，就人-车-路-环境复杂系统的建模问题进行了全面系统地研究与分析。考虑到不同的应用领域，本书还融入了一些其他经典的研究方法，并对其进行了优化与改进。本书以理论为指导，以应用为核心，内容上层次清晰、重点突出，论述上深入浅出。为了体现理论的连续性与研究结果的实用性，本书在建模理论部分详细梳理了模型的原理、发展历程以及与整体的关系，并给出对应的具体应用实例。

本书的出版获得国家自然科学基金项目“人-车-路-环境风耦合作用下公路交通事故的形成机理研究（51078087）”“车-路耦合作用下道路破坏的多领域协同建模与仿真方法研究（50708020）”等项目的资助，同时也离不开东南大学交通学院各位老师及学生的帮助与支持。在编写过程中参阅了大量的国内外文献资料，吸收了同行的辛勤劳动成果，在此向他们谨表谢意。此外，还要特别感谢陈一锴、彭佳、李金辉、李培庆、任秀欢、高梦起、张静芬、刘霞、丁和平、杨娇、时晓杰、吴德华、杜恒、史登峰等的研究工作及对他们学位论文内容的引用，另外还要感谢史登峰、张莹、李金辉、李培庆、刘亚对本书编写的巨大贡献。衷心地感谢参与和支持本书出版的所有同志。

人-车-路-环境复杂系统仍有许多有待进一步研究开发的领域，因著者水平有限，书中疏漏和不足之处恳请广大读者批评指正交流。

何 杰

2016年6月

# 目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 背景与意义	1
1.2 项目和成果支撑	2
1.2.1 科研项目支撑	2
1.2.2 专利和论文成果支撑	3
1.3 内容和体系结构	3
1.3.1 研究内容	3
1.3.2 体系结构	4
1.4 应用和展望	4
参考文献	5
第 2 章 人-车-路-环境系统分析方法综述	6
2.1 基于实际系统的分析方法	6
2.1.1 基于交通数据的行车安全研究	7
2.1.2 基于车辆实时力学参数的行车安全研究	8
2.2 基于数学模型的分析方法	11
2.2.1 道路线形与行车加速度关系数学模型	11
2.2.2 车辆-道路耦合系统动力学模型	12
2.3 基于模拟驾驶器的分析方法	13
2.3.1 模拟驾驶器基本原理与结构	13
2.3.2 驾驶模拟器在人-车-路-环境系统方面的应用	14
2.4 基于计算机虚拟仿真的分析方法	15
2.5 不同方法的比较分析	18
参考文献	18
第 3 章 驾驶员控制模型	19
3.1 驾驶员模型概述	19
3.1.1 驾驶员模型的提出	19
3.1.2 驾驶员模型的应用领域	19
3.2 驾驶员控制模型的发展	21
3.2.1 基于人-车-环境闭环系统汽车操纵稳定性的驾驶员模型	21

3.2.2	基于智能交通系统的驾驶员行为模型 .....	29
3.2.3	基于交通安全的驾驶员疲劳模型 .....	30
3.2.4	驾驶员模型的研究趋势 .....	32
3.3	驾驶员行为特性 .....	33
3.3.1	驾驶员驾驶特性影响因素分析 .....	33
3.3.2	驾驶员驾驶特性分类 .....	35
3.3.3	基于驾驶员驾驶特性分类的表征参数选择 .....	38
3.4	驾驶员控制模型的仿真应用 .....	40
3.4.1	基于 MATLAB/Simulink 的驾驶员模型 .....	40
3.4.2	驾驶员模型在 ADAMS 中的应用 .....	41
3.5	实例分析 .....	44
3.5.1	试验设计 .....	44
3.5.2	试验车型模型构建 .....	45
3.5.3	基于驾驶员行为特征的仿真试验 .....	49
	参考文献 .....	58
<b>第 4 章</b>	<b>车辆动力学及其建模 .....</b>	<b>61</b>
4.1	车辆动力学的发展 .....	61
4.1.1	车辆动力学发展历程 .....	61
4.1.2	车辆动力学发展趋势 .....	62
4.2	车辆动力学的研究内容 .....	63
4.2.1	轮胎动力学 .....	64
4.2.2	驱动力学 .....	66
4.2.3	制动力学 .....	70
4.2.4	操纵动力学 .....	70
4.2.5	行驶动力学 .....	72
4.3	车辆动力学建模理论 .....	77
4.3.1	车辆动力学模型研究现状 .....	77
4.3.2	车辆动力学建模方法 .....	79
4.4	典型车辆模型的建立 .....	80
4.4.1	ADAMS/Car 模块介绍 .....	80
4.4.2	ADAMS/Car 建模步骤 .....	80
4.4.3	整车模型的简化 .....	81
4.4.4	前悬架模型 .....	82
4.4.5	后悬架模型 .....	83

4.4.6 转向机构模型	84
4.4.7 轮胎模型	85
4.4.8 动力系统模型	86
4.4.9 制动系统模型	87
4.4.10 车身模型	88
4.4.11 整车装配模型	89
4.5 车辆动力学的应用	90
4.5.1 车辆动力学在人-车系统中的应用	90
4.5.2 车辆动力学在车-路系统中的应用	90
4.5.3 车辆动力学在车-货系统中的应用	91
4.5.4 车辆动力学在车-环境系统中的应用	91
参考文献	92
<b>第5章 数字化三维道路模型</b>	<b>93</b>
5.1 路面不平度时域模型	94
5.1.1 路面不平度概述	94
5.1.2 路面不平度时域模拟方法	94
5.1.3 路面不平度时域仿真模型	96
5.1.4 总结分析	97
5.2 二维路面模型向三维路面模型的转化	97
5.2.1 路面不平度随机激励时域模型向三维随机路面模型的转化	98
5.2.2 二维设计路面模型向三维路面模型的转化	98
5.3 三维路面不平度时域模型的建立	99
5.3.1 常用非三维路面不平度时域模型	99
5.3.2 基于 FFT 方法的三维随机路面建模	106
5.3.3 ADAMS 中三维路面通用模型构建	108
5.3.4 ADAMS 中三维路面生成算例	111
5.3.5 结论	112
5.4 路面结构有限元建模分析	112
5.4.1 动载荷产生的原因	112
5.4.2 路面不平度频域模型	113
5.4.3 半刚性沥青路面结构与力学模型	114
5.4.4 有限元分析软件的选择与简介	116
5.4.5 路面有限元模型的建立	122
参考文献	125

<b>第 6 章 公路环境风模拟方法</b> .....	127
6.1 环境风下道路行车受力分析 .....	127
6.1.1 气动力产生的原因及数学描述 .....	127
6.1.2 环境风下道路行车力学模型 .....	129
6.2 典型地形下的环境风研究 .....	133
6.2.1 典型地形环境风的研究方法 .....	133
6.2.2 坡度对孤立山体周围环境风的影响 .....	138
6.2.3 三维孤立山体周围环境风研究 .....	145
6.2.4 典型地形环境风的数学模型构建 .....	152
6.3 “风-车-路”仿真环境中环境风建模研究 .....	154
6.3.1 风压中心位置变化 .....	154
6.3.2 风压中心建模 .....	155
6.3.3 稳态侧风的模拟 .....	157
6.3.4 非稳态侧风的模拟 .....	158
6.4 环境风对行车安全影响虚拟仿真试验 .....	158
6.4.1 汽车侧风敏感性虚拟试验 .....	158
6.4.2 汽车侧风稳定性评价指标 .....	160
6.4.3 汽车侧风稳定性虚拟试验 .....	161
参考文献 .....	164
<b>第 7 章 人-车-路-环境虚拟实验系统的构建</b> .....	165
7.1 一体化仿真系统的基本构架 .....	165
7.1.1 仿真基本概念 .....	165
7.1.2 数据-实验-模型的关系 .....	167
7.1.3 仿真系统的基本结构 .....	168
7.2 人-车-路系统联合建模 .....	171
7.2.1 驾驶员与车辆联合建模 .....	171
7.2.2 车辆与道路联合建模 .....	173
7.2.3 车辆与货物联合建模 .....	173
7.2.4 联合建模仿真系统的验证 .....	174
7.3 人-车-路-环境仿真系统的应用 .....	175
参考文献 .....	176
<b>第 8 章 基于人-车-路-环境系统的路面损伤应用研究</b> .....	177
8.1 路面损伤评价方法 .....	177
8.1.1 基于轮胎力的评价方法 .....	178



8.1.2 基于路面疲劳的评价方法	179
8.2 空气悬架车辆-路面系统模型	181
8.2.1 空气悬架车辆模型	181
8.2.2 白噪声法路面不平度时域建模	183
8.2.3 空气悬架车辆-路面系统仿真建模	184
8.3 路面损伤响应仿真分析	189
8.3.1 车辆载荷类型	189
8.3.2 车辆随机动载模拟	190
8.3.3 随机动载加载方法	192
8.3.4 路面随机动载响应分析	193
8.4 路面损伤的影响因素分析	202
8.4.1 路面损伤分析的系统化方法	202
8.4.2 随机动载的参数化模拟	203
8.4.3 路面动态响应参数影响分析	205
8.4.4 路面疲劳破坏参数影响分析	209
参考文献	212
<b>第9章 货物损伤虚拟试验实例</b>	<b>214</b>
9.1 常用包装材料的性能及应用	214
9.1.1 瓦楞纸箱	214
9.1.2 框架木箱	215
9.1.3 塑料周转箱	217
9.1.4 钢桶	217
9.2 基于不同堆码形式的运输包装件动力学模型构建	218
9.2.1 多层运输包装件的建模方法和假设	218
9.2.2 多层运输包装堆码件的建模过程	219
9.2.3 两类不同堆码形式的多层运输包装件模型	219
9.2.4 装载运输包装件的后车厢模型	222
9.3 道路-重型车辆-包装件货物集成建模方法研究	223
9.3.1 将车辆-道路系统和多层运输包装堆码件分开建模	224
9.3.2 将车辆-道路系统和多层运输包装堆码件集成起来建模	225
9.4 路面不平度对非线性包装系统的脆值边界响应分析	228
9.4.1 典型不平度类型路面	228
9.4.2 矩形凸块路面对非线性包装系统的脆值响应分析	231
9.4.3 斜坡路面对非线性包装系统的脆值响应分析	232

9.4.4	三角形凸块路面对非线性包装系统的脆值响应分析	233
9.4.5	正弦波路面对非线性包装系统的脆值响应分析	235
9.4.6	随机不平路面对非线性包装系统的脆值响应分析	236
	参考文献	237
<b>第 10 章</b>	<b>行车安全虚拟试验实例</b>	<b>238</b>
10.1	驾驶员驾驶特性对行车安全的影响	238
10.1.1	试验目的	238
10.1.2	试验流程	238
10.1.3	试验内容	238
10.2	道路线形对行车安全的影响分析	247
10.2.1	RVDES 系统的构建	248
10.2.2	安全评价指标选取	250
10.2.3	基于 RVDES 系统的道路安全性评价	251
10.3	环境风对行车安全影响的实例分析	259
10.3.1	风-车-路仿真环境的构建	260
10.3.2	侧风影响下侧翻倾向性的开环虚拟试验	263
10.3.3	侧风影响下侧翻倾向性的闭环虚拟试验	272
10.3.4	各因素对车辆侧翻影响的比较分析	276
10.3.5	基于侧风的公路安全行车措施	277
	参考文献	278

# 第1章 绪 论

## 1.1 背景与意义

世界卫生组织在发布的《2015 年全球道路安全现状报告》中指出, 尽管道路安全有所改善, 但全球每年仍有约 125 万人死于道路交通事故, 超过 5000 万人在交通事故中致残; 每天有超过 500 名儿童因交通事故丧生, 交通事故也已成为 15~29 岁年龄段人群的“头号杀手”。报告还指出预测到 2030 年道路交通事故将是人类死亡的第五大致因<sup>[1]</sup>, 该报告引起了世界各国的广泛重视。大部分道路交通事故不是随机发生的, 而是可以避免的, 因此积极推进交通安全方面的研究工作, 大力实施有效的防治措施, 将对改善交通安全状况具有重要意义。

面对交通安全管理的严峻挑战, 亚洲各个国家的机构团体协同举办了亚洲道路交通安全研讨会。2016 年研讨会在北京举行, 此次大会的主题为: 至 2020 年将全球公路交通事故造成的死伤人数减半。

中国作为最大的发展中国家, 近 30 年社会经济正处在快速发展时期, 交通基础设施数量不断增加, 各种车辆日益增多, 导致交通事故频繁发生, 给社会生产、人民生活带来巨大损失。如图 1-1 和图 1-2 所示, 虽然随着我国交通法规的完善和道路、车辆安全性的提高, 全国交通事故总数和交通事故死亡人数在逐年减少。但是每年绝对交通事故数、交通事故死亡人数仍远高于世界其他国家<sup>[2]</sup>。

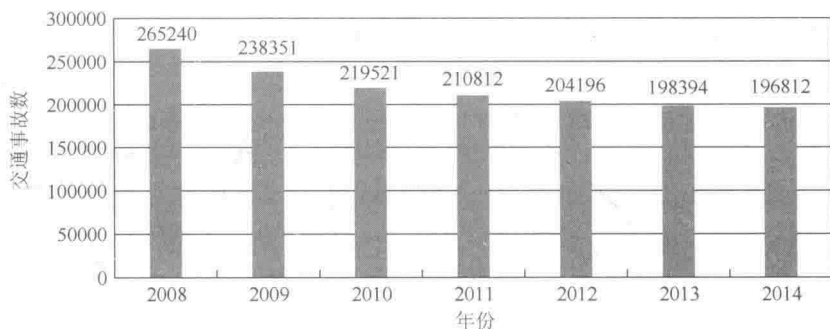


图 1-1 2008~2014 年全国交通事故数统计图

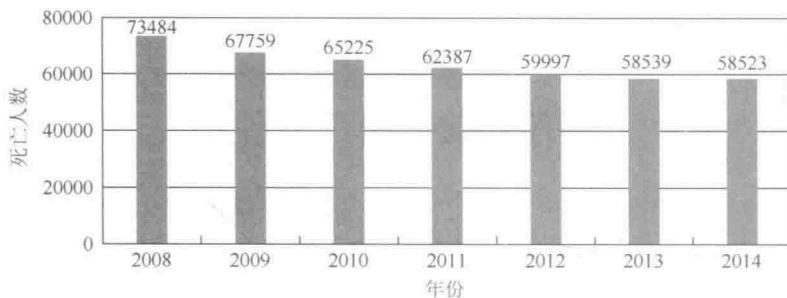


图 1-2 2008~2014 年全国交通事故死亡人数统计图

交通系统是一个由人、车、路、环境等多因素构成的复杂系统，各因素间信息的传递、处理、控制与反馈机制，决定了交通系统中的每个环节都可能对交通安全产生不利影响，并且很多情况下交通事故的发生是多个因素共同作用的结果，这种共同作用机理又由于系统的复杂性被掩盖，导致某些形态、某些地点的交通事故迟迟得不到有效改善。

本书进行人-车-路-环境复杂系统的建模与安全性分析，旨在明确交通安全的影响因素及其作用机理，探索更科学的交通安全的评估方法，找到从根本上改善交通安全的有效措施。这样不仅在理论上丰富人-车-路-环境复杂系统的建模研究，而且在实践中对提高道路交通安全具有重要意义。

## 1.2 项目和成果支撑

本书的编写具有丰富的项目经验和厚重的科研成果支撑。何杰课题组经过近 10 年的潜心研究，人-车-路-环境复杂系统建模分析方面依托的科研项目和取得的成果如下。

### 1.2.1 科研项目支撑

(1) 世界银行安徽公路项目 II，车辆超载控制及安全课题研究，2004/01~2006/12。

(2) 安徽省交通科技进步计划项目，2006-34，公路超载车辆运输管理关键技术研究，2006/01~2007/12。

(3) 江苏省自然科学基金项目，BK2007566，车-路耦合作用下货运车辆道路友好性设计的多领域协同建模与仿真方法研究，2007/01~2009/12。

(4) 国家自然科学基金项目，50708020，车-路耦合作用下道路破坏的多领域协同建模与仿真方法研究，2008/01~2010/12。

(5) 国家自然科学基金项目, 51078087, 人-车-路-环境风耦合作用下公路交通事故的形成机理研究, 2011/01~2013/12。

(6) 浙江省交通运输厅科技计划项目, 2012H12, 公路安全缺陷快速识别技术应用研究, 2013/01~2015/12。

(7) 教育部博士点基金项目, 20120092110044, 考虑轴荷平衡的大型车辆运输状况评价的虚拟实验方法研究, 2013/01~2016/12。

## 1.2.2 专利和论文成果支撑

相关论文研究成果主要包括课题组成员完成的发明专利、硕士和博士学位论文及发表的期刊论文。其中关于虚拟样机在人-车-路-环境领域的应用发明专利共5项; 关于人-车-路-环境复杂系统的相关理论研究博士学位论文4篇, 硕士学位论文10篇, 发表的国内外期刊论文35篇。

本书是在总结梳理以上研究成果的基础上, 结合目前交通安全现实需求进一步研究拓展, 同时吸收借鉴其他国内外学者的优秀成果, 最终形成人-车-路-环境复杂系统建模领域完整的知识体系。

## 1.3 内容和体系结构

### 1.3.1 研究内容

本书主要研究内容如下。

第1章主要从宏观上介绍本书的研究背景、研究内容和应用前景。

第2章主要介绍人-车-路-环境系统分析方法的原理、特点及其适用范围。

第3章主要分析驾驶员模型的理论发展、建模过程及驾驶员因素对人-车-路-环境系统的影响。

第4章主要分析车辆动力学理论、车辆建模方法及车辆模型在人-车-路-环境系统各个领域的应用。

第5章主要介绍二维路面与三维路面的建模原理与方法。

第6章主要从力学角度介绍环境风模型的建立方法, 并通过仿真实验来研究环境风对行车安全的影响。

第7章综合第3~6章已经建立的驾驶员模型、车辆模型、道路模型和环境风模型, 依据一体化仿真实论, 对人-车-路-环境系统进行联合建模。

第8~10章基于已经建立的人-车-路-环境系统模型进行仿真实验, 分别从路面损伤、货物损伤、行车安全三个方面实例说明人-车-路-环境复杂系统联合建模

仿真的应用。

### 1.3.2 体系结构

本书体系结构如图 1-3 所示。在结构上，按照总-分-总的模式组织，即先总体介绍人-车-路-环境系统的基本方法，再分别阐述人、车、路、环境的建模理论，最后形成完整统一的人-车-路-环境系统模型。在内容上，按照由理论到实践的思路展开，即各个模型先从理论上解释建模原理、梳理模型发展过程，再分别列举实例演示说明其具体应用过程，从而方便读者快速接受并掌握人-车-路-环境知识体系，进行更深入地研究与探索。

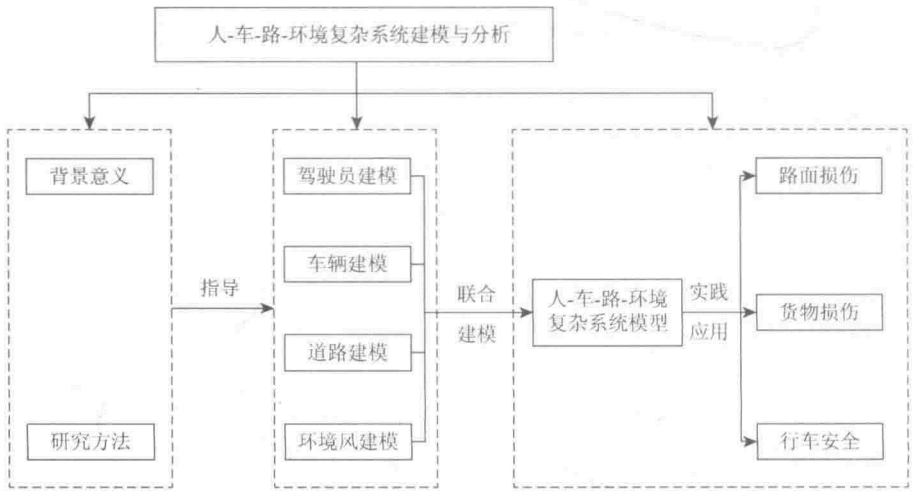


图 1-3 本书体系结构示意图

## 1.4 应用和展望

本书的研究内容具有广泛的科研应用价值，可以支撑道路交通安全、工程设计、运输经济等方面的研究。具体来说，本书可以用于研究道路交通安全影响因素及作用规律、道路安全性评价与改善。例如，本书给出的案例——研究不同驾驶员类型、不同道路特性、不同环境风风速在典型情况下对行车安全的影响规律。本书还可以作为基本理论方法进一步探索道路工程设计中线形、路面材料与结构等技术参数的选取标准与优化；车辆工程设计中根据各因素对车辆性能的影响规律，优化车辆机械结构。例如，基于本书道路-车辆协同作用理论，优化车辆悬架性能。另外本书还可以支撑货物损伤机理、运输可靠性评价等方面的研究，降低运输过程中的经济损

失。例如，本书给出了在不同行驶条件下货物包装系统的损伤机理研究案例。

考虑到本书的逻辑性和通用性，一些与人-车-路-环境系统相关的更细致的研究成果没有详细介绍，在具体应用过程中，关于车辆的悬架选择与控制优化，建议参考陈一锴的博士学位论文《基于道路友好性的公路重型货车悬架系统多领域协同控制与优化研究》和李金辉的博士学位论文《基于道路损伤的车-路相互作用协同建模与仿真方法研究》；关于典型地形对应的环境风详细建模过程，建议参考彭佳的博士学位论文《高速公路典型地形环境风下的行车安全研究》；不同载荷作用下路面的力学模型，建议参考丁和平的硕士学位论文《车辆轮载及联轴间距对沥青路面力学响应的影响研究》、高梦起的硕士学位论文《交通流动荷载对沥青路面疲劳寿命影响的数值分析研究》；关于试验部分，详细的内容可参考项目报告《公路安全缺陷快速识别技术应用研究》以及陈一锴和李培庆的博士学位论文。

另外，为了提高模型的精确度、准确性，扩展研究的应用范围，人-车-路-环境复杂系统建模研究在很多方面还需要进一步完善。例如，合理体现车辆变道过程的动力学特性研究；湿滑路面轮胎力学特征的变化与建模研究；积水路面轮胎和高速行驶中车辆的流体动力学特性分析；考虑道路景观，细化驾驶环境变化、随机路况与驾驶员驾驶特性的交互作用等。

### 参 考 文 献

- [1] Global Status Report on Road Safety: Time for Action [M]. Switzerland: World Health Organization, 2009.
- [2] 中华人民共和国国家统计局. 交通事故年度数据[EB/OL]. <http://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01> [2016-6-20].

## 第2章 人-车-路-环境系统分析方法综述

在科学研究过程中研究方法极为重要，不同的研究方法得出的结论或其精度往往不同，花费的成本也大小各异。虽然各种方法都能达到相同的研究目的，但是由于研究对象、应用范围等因素的变化，其优劣性也会差异甚大。因此在研究人-车-路-环境系统之前，有必要对其研究方法进行深入地了解与对比。目前关于人-车-路-环境复杂系统的研究，国内外研究者提出多种分析方法，根据研究对象性质的不同大致可以分为4种：基于实际系统的分析法、基于数学模型的分析法、基于模拟驾驶器的分析法和基于计算机虚拟仿真的分析法。

基于实际系统的人-车-路-环境分析法是对真人真车的实际运行系统进行分析，该方法又有两个主要应用方向：一种是基于交通数据对行车安全的研究；另一种是基于车辆实时力学参数对行车安全的研究。基于数学模型的分析法是利用函数等数学方法建立人-车-路-环境系统的数学模型，通过解析计算获得相关结论。基于模拟驾驶器的人-车-路-环境系统分析法是利用驾驶模拟器进行虚拟试验，根据人、车、路、环境等要素研究侧重点的不同，主要从三个方面开展研究，即面向人的驾驶仿真、面向汽车开发和设计的驾驶仿真和面向道路（或环境）的驾驶仿真。基于计算机虚拟仿真的人-车-路-环境系统分析法是在计算机上运行已经建立的人-车-路-环境模型，进行仿真试验。

### 2.1 基于实际系统的分析方法

基于实际系统的分析法最突出的特点就是研究对象是最真实的人-车-路-环境系统，没有经过任何的简化与变形，因此省略了建模仿真的复杂过程，得到的数据也最真实、具有说服力。根据目前国内外学者的研究成果，该方法主要有两个应用方向：一种是基于交通数据对行车安全的研究，另一种是基于车辆实时力学参数对行车安全的研究。前者的主要思想是通过大量交通数据（尤其是交通事故历史数据）的分析，应用数理统计方法，找出影响交通安全的主要因素，一般主要用来确定事故黑点。后者的主要思想是在真人真车试验中，利用传感器等设备检测车辆上某些部件的力学或者动力学参数，分析行车过程中的安全性，一般主要用来确定事故黑点和测试、开发汽车性能<sup>[1]</sup>。



### 2.1.1 基于交通数据的行车安全研究

根据交通数据的不同可以将基于交通数据对行车安全的研究方法分为两大类：直接分析类和间接分析类。直接分析类是指借助交通事故的历史数据进行分析的方法；间接分析类是指利用某种中介来取代交通事故的历史数据进行分析的方法。利用该方法可以分析交通数据与驾驶员特性、道路位置、车辆参数的统计学关系，从而发现影响行车安全的因素，篇幅所限，本节仅以基于交通数据判定事故多发路段为例进行介绍。

#### 1. 直接分析类

(1) 事故数法。统计一个时间段内的交通事故绝对数据，选取临界事故次数为鉴别标准，如果某一路段的事故次数大于临界值，则是事故多发路段。该方法的优点是简单直接，容易应用，但未考虑交通量和路段长度的影响。该方法适用于鉴别较小交叉口、街道或道路系统<sup>[2]</sup>。

(2) 当量事故数法。基于受伤与死亡事故的次数及严重程度，通过计算方法赋予受伤及死亡事故的权重来计算事故的严重程度。该方法没有考虑交通量和路段的长度，同时权值对结果的影响很大。

(3) 简单事故率法。简单事故率法是以相对事故率作为指标，对交通安全水平直接进行评价比较，具有较强的可比性。使用最广泛的是万车死亡率、亿车死亡率及当量死亡率等，但单独使用某种事故率来评价交通安全，往往会出现片面假象，甚至得出互相矛盾的结果，因此利用相对事故率法对交通安全水平进行评价不能得到明确的结论。

(4) 综合事故率法。该法考虑了两个以上影响道路交通安全的主要因素，并对统计的基本数据进行当量变换计算，以表达道路交通安全综合水平。

(5) 矩阵法<sup>[3]</sup>。鉴于事故数法和事故率法各有优缺点，单独使用对反映事故状况都有片面性。作为一种修正，一些专家提出了将两者结合起来考虑的矩阵法。结合事故数法和事故率法作为鉴别标准，横轴代表事故次数，纵轴代表事故率，每一路段在矩阵上表示为一个矩阵单元，矩阵单元的位置就表示路段的危险程度。

矩阵法对每一个被研究的道路单元进行事故次数和事故率计算，然后将事故次数作为横坐标，车公里事故率作为纵坐标，根据事故的坐标在矩阵中找出对应的点，即可进行行车安全分析与评价。整个坐标可分为4个区：1区为高事故率、高事故次数区；2区为高事故率、低事故次数区；3区为低事故率、高事故次数区；4区为低事故率、低事故次数区，如图2-1所示。