



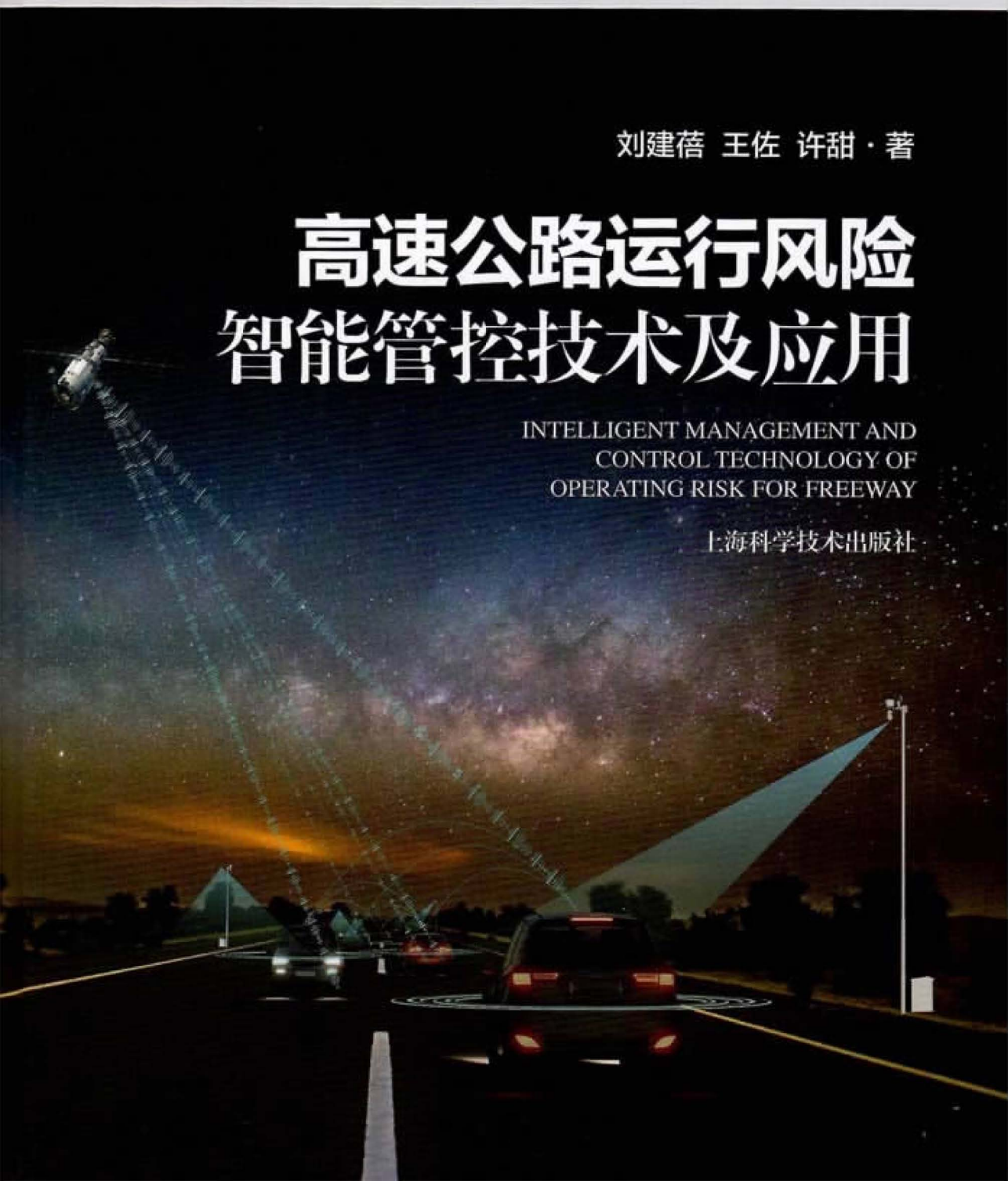
道路交通安全主动预警与智能化管控

刘建蓓 王佐 许甜·著

高速公路运行风险 智能管控技术及应用

INTELLIGENT MANAGEMENT AND
CONTROL TECHNOLOGY OF
OPERATING RISK FOR FREEWAY

上海科学技术出版社



道路交通安全的主动预警与智能管控

高速公路运行风险智能 管控技术及应用

刘建蓓 王 佐 许 甜 著

上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

高速公路运行风险智能管控技术及应用 / 刘建蓓, 王佐, 许甜著. — 上海: 上海科学技术出版社, 2023. 1
(道路交通安全主动预警与智能化管控)
ISBN 978-7-5478-5918-6

I. ①高… II. ①刘… ②王… ③许… III. ①高速公路—交通运输管理—风险管理 IV. ①U491

中国版本图书馆CIP数据核字(2022)第185243号

高速公路运行风险智能管控技术及应用

刘建蓓 王佐 许甜 著

上海世纪出版(集团)有限公司 出版、发行
上海科学技术出版社

(上海市闵行区号景路159弄A座9F-10F)

邮政编码 201101 www.sstp.cn

印刷

开本 787×1092 1/16 印张 23

字数 400千字

2023年1月第1版 2023年1月第1次印刷

ISBN 978-7-5478-5918-6/U·135

定价: 146.00元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题, 请向印刷厂联系调换

内容提要

本书适应了“新基建”下高速公路智慧化的发展要求,针对高速公路运行中存在的交通安全风险问题,利用现代化设备和技术方法,多层面管理并举,丰富了“新基建”下道路交通安全管理及控制的手段。

本书根据“十三五”国家重点研发计划项目“道路交通安全主动防控技术及系统集成”的子课题研究成果,针对高速公路交通安全特点,介绍了高速公路运行风险分析、运行风险实时评估与短临预警、不良驾驶行为主动干预、交通流感知与预警、匝道联动控制、异常天气智能管控、路网交通流动态分配、高速公路网络化综合智能防控体系,以及北斗高精度定位、主动管控、人工智能分析等新技术,在核心思想上注重交通安全管理的科学性。此外,本书还介绍了在全国多地开展的高速公路主动安全管控工程的应用情况。

本书的内容将智慧交通的提升方式与主动防控管理相结合,可在提高高速公路的智慧化水平的同时,保障高速公路运行安全性能,并为高速公路运营管理与设备和谐发展提供有利的技术支持。

丛书序

安全,是交通的永恒主题。近 20 年来,随着智慧公路、自动驾驶、车联网、车路协同等技术的兴起,主动安全防控也成为道路交通研究的重点方向之一,旨在通过车载、路侧设备实时检测不良驾驶行为与交通风险,对驾驶员进行主动预警与干预,从而避免交通事故发生。这对降低我国交通事故发生率,维护交通运输行业安全运营具有重大意义。

我国交通安全状况总体上处于事故稳中有降阶段,而美、日、德等发达国家已处于事故全面控制阶段。主动安全防控系统涉及交通参与者行为、车辆运行状况、道路状况等交通安全组成要素,涉及面广,内容复杂。与发达国家相比,我国在道路交通安全主动防控研究方面还有一定的差距,缺乏关键技术的突破、必要的分析平台和特殊的监测手段。特别是在适合中国国情的主动安全防控系统基础理论与应用技术研究方面,存在着明显的短板。

本丛书基于“十三五”国家重点研发计划项目“道路交通安全主动防控技术及系统集成”的研究成果,全面介绍了面向人、车、路的点、线、面相结合的综合防控干预成套理论与技术体系,包括驾驶行为谱表征方法、车辆运行安全隐患在线评估与预警方法、无线激光/微波混合传输技术等一系列覆盖城市道路和等级公路的交通安全综合主动防控体系关键技术与方法,具有前沿性和引领性。丛书兼顾交通安全主动防控的理论与应用,对交通数据采集、驾驶行为建模、人工智能辨识、道路风险评估、车辆主动安全等诸多方面都进行了深入的论述,并给出了具体的研究案例,具有科学性和实用性。这些内容,对相关从业者都具有一定的参考借鉴价值。

丛书编写团队聚集了我国一批优秀的交通安全研究工作者与工程应用专家,他们为我国交通事业的发展,特别是道路交通安全主动防控技术的研发和应用付出了辛勤的努力。这套丛书,就是他们创新性研发成果的生动展现。开卷有益,希望本丛书的出版,能为致力于道路交通安全主动防控工作的各位学生、教师、科研人员及工程技术人员提供一个入门的指导和有力的工具,共同促进未来我国道路交通安全主动防控技术向高效、精准、全方位服务方向健康发展,并通过一批重大科技成果、设备和装备的研发,孵化出与之相适应的新型产业体系,为我国道路交通安全水平的提升和建设人民满意、保障有力、世界前列的交通强国做出积极贡献。

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized Chinese characters '周伟' (Zhou Wei).

2022年9月14日

周伟: 教授,交通运输部原总工程师、交通运输部专家委员会主任委员。

前言

高速公路在我国经济社会发展过程中扮演着关键角色。截至 2020 年年底,我国高速公路通车里程达 16.10 万公里,高速公路对 20 万以上人口城市覆盖率超过 98%,我国已形成全球最大的高速公路网络。高速路网的快速发展有利于改善运输结构、提升通行效率、降低运输成本,为人们的出行提供了极大的便利。现阶段的高速公路发展不再追求大规模的基础路网建设,而是改为以“安全、快速、高效、准时”为运营管理目标。但是,我国交通事故预防、预警预报和应急救援手段相对落后,交通安全领域的科技应用还不够深入,科技创新对安全保障的支持作用还未充分发挥,高速公路交通安全仍有巨大的提升空间。

交通系统是一个典型的复杂系统,依靠传统的交通管理方式,单从道路或车辆的角度考虑,很难解决近年来日益严峻的交通拥堵、事故频发等问题。随着近些年智慧交通技术的发展,可以采用人、车、路多角度协同管理的方法,利用智慧手段,结合先进的管控方式,对高速公路的运行中可能产生的高风险状态进行管控,降低运营期的风险,保障道路的通行安全,进而提高交通运输系统的效率和安全性,实现交通系统的可持续性发展。

本书以国家“十三五”重点研发计划项目“道路交通安全主动防控技术及系统集成”的系列课题研究成果为基础,该项目针对高速公路运行过程中面临的风险问题,开展了高速公路运行风险分析,并采用智慧化的管理方式,从车辆、不良行为、连续交通流、关键节点、区域路网、异常天气等角度,综合面向车辆短临预警、不良驾驶行为、出入口匝道管理、异常天气主线管控、区域

路网等风险管控技术研究,集成高速公路网络化综合智能防控体系,并在广东、陕西、河北等地开展了工程示范及应用,实现典型路段的主动引导防撞预警、车辆运行风险实时评估与短临预警、交通事件检测与预警预报,以期为高速公路交通安全提供新的范式。

本书共分为 11 章。第 1 章介绍高速公路运行风险智能管控技术研究的背景和开展关键技术研究面临的主要技术问题;第 2 章梳理高速公路风险分析理论,从微观(车辆)、中观(路段)、宏观(路网)的角度,介绍高速公路运行风险的分析方法;第 3 章介绍针对行驶车辆面临的风险问题,联合车路协同的智能预警技术,介绍车辆运行风险实时评估与短临预警技术的流程与方法;第 4 章介绍与不良驾驶行为匹配的主动干预对策;第 5 章结合智慧交通检测技术的发展,介绍连续交通流感知与交通事件预警技术;第 6 章介绍高速公路出入口匝道联动控制技术;第 7 章针对异常天气高速公路管理难点,介绍高速公路主线交通流智能管控技术;第 8 章从路网管控的角度,介绍基于运行风险的区域路网交通流动态分配技术;第 9 章介绍高速公路网络化综合智能防控体系;第 10 章介绍相关技术的应用与示范;第 11 章介绍相关创新的成果及前景。

全书由刘建蓓主持编撰完成,具体编写分工如下:第 1 章由刘建蓓、王佐编写;第 2 章由许甜、刘玮蔚编写;第 3 章由许甜、赵超杰编写;第 4 章由孙云华编写;第 5 章由马小龙、马媛媛、赵斌编写;第 6 章由李国强编写;第 7 章由刘玮蔚编写;第 8 章由骆中斌编写;第 9 章由叱干都编写;第 10 章由许甜、骆中斌编写;第 11 章由刘建蓓、王佐编写。在本书编写过程中,张志伟、单东辉、史恒、邓涵月等协助进行了资料收集、校对工作。

由于作者的学识和水平有限,书中难免有错误不当之处,恳请各位读者和专家批评指正。

刘建蓓 王 佐 许 甜

2022 年 9 月于西安

目 录

第 1 章 绪论

- 1.1 研究背景 _3
- 1.2 国内外研究现状 _6
 - 1.2.1 高速公路风险分析研究现状 _6
 - 1.2.2 高速公路交通管控技术研究现状 _8
 - 1.2.3 高速公路智能交通管控干预体系研究现状 _10
- 1.3 主要研究内容 _13
- 1.4 技术路线 _15

第 2 章 高速公路交通风险分析

- 2.1 高速公路交通风险分析理论 _19
 - 2.1.1 静态风险分析理论 _21
 - 2.1.2 动态风险分析理论 _25
- 2.2 高速公路车辆运行冲突风险 _28
 - 2.2.1 车辆运行冲突风险的定义 _28
 - 2.2.2 基于多源传感器的车辆运行冲突风险识别 _29
 - 2.2.3 基于高精度定位的车辆运行冲突风险识别 _30
- 2.3 高速公路路段风险 _38
 - 2.3.1 风险特征因素分析 _39
 - 2.3.2 基于熵理论的路段风险分析模型 _44
 - 2.3.3 路段运行风险评估实例验证 _49

- 2.4 高速公路区域路网交通流风险 _52
 - 2.4.1 交通运行态势评估 _53
 - 2.4.2 关键影响因素风险评估 _57
 - 2.4.3 基于隐马尔可夫模型的交通运行态势预测模型 _60
 - 2.4.4 交通运行态势实例 _66

第3章 高速公路车辆运行风险实时评估与短临预警

- 3.1 高精度定位信息获取方法 _73
 - 3.1.1 高速公路沿线北斗地基增强系统 _73
 - 3.1.2 基站的组成 _75
- 3.2 高精度定位车载预警终端 _76
 - 3.2.1 模块选型 _77
 - 3.2.2 整体设计流程 _78
- 3.3 车路通信系统搭建 _79
- 3.4 风险实时评估及短临预警平台 _81
 - 3.4.1 开发需求分析 _81
 - 3.4.2 平台系统框架构建 _83
 - 3.4.3 数据库体系结构 _83
 - 3.4.4 车辆冲突风险识别模型嵌入 _87
 - 3.4.5 高精度地图数据采集与匹配 _87
 - 3.4.6 高并发数据处理与优化 _88

第4章 面向高速公路不良驾驶行为的主动干预

- 4.1 不良驾驶行为综合辨识与分析 _93
 - 4.1.1 不良驾驶行为综合辨识 _94
 - 4.1.2 典型不良驾驶行为特征分析 _94
 - 4.1.3 基于规则匹配的不良驾驶行为综合识别方法 _105

- 4.2 驾驶意图识别及驾驶行为预测 _111
 - 4.2.1 驾驶意图识别 _111
 - 4.2.2 驾驶行为与意图预测方法 _112
- 4.3 不良驾驶行为分级评价 _125
 - 4.3.1 分级评价模型 _126
 - 4.3.2 分级评价实例 _129
- 4.4 不良驾驶行为主动安全预警 _131
 - 4.4.1 客观评价指标 _131
 - 4.4.2 主观评价指标 _133

第 5 章 连续交通流感知与交通事件预警

- 5.1 多目标检测与数据融合 _139
 - 5.1.1 毫米波雷达目标检测 _139
 - 5.1.2 视频目标检测 _145
 - 5.1.3 雷视数据融合 _151
- 5.2 路段雷视数据组网 _154
 - 5.2.1 设备布设方法 _154
 - 5.2.2 数据组网方法 _157
- 5.3 交通事件预警 _164
 - 5.3.1 典型交通事件 _164
 - 5.3.2 预警设备 _168
 - 5.3.3 预警体系与方法 _176

第 6 章 高速公路匝道联动控制

- 6.1 入口自适应控制方法 _183
 - 6.1.1 入口控制影响因素 _184
 - 6.1.2 入口控制策略 _185

- 6.1.3 基于行车风险分析的入口控制模型 _187
- 6.1.4 入口控制仿真分析 _189
- 6.2 出口诱导管理 _191
 - 6.2.1 运行状态评估模型 _191
 - 6.2.2 出口诱导控制模型 _192
 - 6.2.3 交通诱导信息发布方式 _196
- 6.3 出入口联动控制系统 _199
 - 6.3.1 总体架构 _200
 - 6.3.2 数据处理流程 _202
 - 6.3.3 系统功能模块 _202
- 6.4 出口车辆智能管控预警装备设置 _206
 - 6.4.1 功能定位 _206
 - 6.4.2 新型可导向防撞垫 _206
 - 6.4.3 系统设计 _208

第7章 异常天气下高速公路主线交通流智能管控

- 7.1 雾天高速公路主线交通流管控 _215
 - 7.1.1 可变限速控制 _215
 - 7.1.2 分级控制策略 _228
- 7.2 雨天高速公路主线交通流管控 _231
 - 7.2.1 可变限速控制 _231
 - 7.2.2 分级控制策略 _238
- 7.3 雪天高速公路主线交通流管控 _241
 - 7.3.1 可变限速控制 _241
 - 7.3.2 分级控制策略 _245

第8章 基于运行风险的区域路网动态交通分配

- 8.1 区域路网动态交通分配策略 _251

- 8.1.1 交通事件影响 _251
- 8.1.2 交通拥挤及风险发展态势 _252
- 8.1.3 事件预防与疏散技术启动阈值 _252
- 8.1.4 拥挤控制策略与交通拥挤的匹配关系 _253
- 8.1.5 控制策略的决策流程 _254
- 8.1.6 初始拥挤风险疏散控制模块 _257
- 8.1.7 疏散策略转换启动模块 _258
- 8.2 路网动态交通分配 _260
 - 8.2.1 动态交通分配流程 _260
 - 8.2.2 小型路网动态交通分配数值模拟分析 _261
 - 8.2.3 大型路网动态交通分配模型 _265
 - 8.2.4 大型路网动态交通分配仿真 _280
- 8.3 区域路网动态交通分配应用情况 _282
 - 8.3.1 区域路网动态交通分配发展 _282
 - 8.3.2 国外区域路网动态交通分配应用 _288

第 9 章 高速公路网络化综合智能防控体系

- 9.1 高速公路网络化综合智能防控体系概述 _297
- 9.2 高速公路网络化综合智能防控体系服务集 _300
- 9.3 针对不同对象涵盖不同层次的高速公路网络化综合智能防控体系 _302
- 9.4 高速公路网络化综合智能防控体系的物理架构 _303
 - 9.4.1 信息获取体系 _303
 - 9.4.2 层次体系 _304
 - 9.4.3 实施体系 _305
 - 9.4.4 方法体系 _305
 - 9.4.5 对象体系 _306
- 9.5 综合智能防控体系的逻辑架构 _307

第 10 章 工程应用与示范

- 10.1 车辆运行风险实时评估与短临预警在示范工程中的应用 _315
 - 10.1.1 示范工程概述 _315
 - 10.1.2 示范工程建设 _315
 - 10.1.3 示范效果评估 _317
- 10.2 交通事件检测与预警系统在示范工程中的应用 _326
 - 10.2.1 示范工程概述 _326
 - 10.2.2 设备布设 _327
 - 10.2.3 系统平台搭建 _328
 - 10.2.4 示范效果评估 _330
- 10.3 互通、服务区出口主动引导防撞预警在示范工程中的应用 _335
 - 10.3.1 示范工程概述 _335
 - 10.3.2 设备开发功能 _335
 - 10.3.3 检测原理及设备结构 _336
 - 10.3.4 系统平台 _337

第 11 章 创新成果及前景效益

- 11.1 科技成果与创新 _341
- 11.2 应用前景与效益 _344

参考文献

目前,我国交通管理和控制主要从道路安全附属设施设置、车辆安全设施及设备配置和事故后应急管理救援等方面着手,这种防控管理方式属于被动的安全风险防控管理。2017年10月18日,习近平总书记在中国共产党第十九次全国代表大会上的报告中指出:“我国社会主要矛盾已经转化为人民日益增长的美好生活需要和不平衡不充分的发展之间的矛盾。”同时指出,“我国仍处于并将长期处于社会主义初级阶段的基本国情没有变,我国是世界最大发展中国家的国际地位没有变。”这是我们谋划发展的基本依据,具体到道路交通安全行业,人民群众安全出行需求的日益增长同我国道路交通安全行业发展水平之间的矛盾,已成为我国道路交通安全的主要矛盾,人们对于交通安全的重视程度越来越高,对于交通安全的要求已经不满足于减少事故发生时造成的损失和事故发生后及时的应急救援处理,如何在事故发生前做好防控即交通安全的智能管控,越来越成为人们关注的焦点。

1.1 研究背景

随着我国人口的不断增长、机械制造水平和人民生活水平的不断提高,我国机动车保有量进入高速增长期,据公安部交通管理局统计,截至2021年年底,全国机动车保有量达3.95亿辆,其中汽车3.02亿辆;机动车驾驶员达4.81亿人,其中汽车驾驶员4.44亿人。交通事故造成的损失仍然存在,2015年到2020年,交通事故死亡人数轻微上升,但大体上仍呈下降趋势;万车死亡人数随着时间的推移逐步降低,如图1-1所示。在国际上,美、英、德、日的万车死亡人数均低于我国,与之相比,我国的道路交通安全水平仍有提升空间。