

| 贵州省交通建设系列科技专著 |

高速公路特殊路段 运营安全技术

OPERATING SAFETY TECHNOLOGY OF
FREEWAY SPECIAL SECTION

贵州省交通运输厅 组织编写

漆贵荣 粟周瑜 吕晓舜 编著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

贵州省交通建设系列科技专著

高速公路特殊路段 运营安全技术

贵州省交通运输厅 组织编写
漆贵荣 粟周瑜 吕晓舜 编 著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书为“贵州省交通建设系列科技专著”中的一本。特殊路段对高速公路的管理起到控制作用,是进行公路运营安全管理重点区域。作者对近十几年高速公路特殊路段安全运营的基础理论知识、设计技术、评价方法、管理技术等方面的研究成果做了梳理,编写成本书,希望有助于高速公路特殊路段安全方面的科研与实践问题的解决。本书共分为9章,其主要内容包括:特殊路段交通安全问题概述、特殊路段界定与划分、特殊路段行车安全影响因素、特殊路段事故致因机理、特殊路段运营风险评价技术、特殊路段安全设计技术、特殊路段运营安全管理技术、事件状态下特殊路段应急管理技术和工程应用。

本书可供从事公路运营安全管理、公路安全评价、公路安全设计及交通行业有关人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

高速公路特殊路段运营安全技术 / 漆贵荣, 粟周瑜, 吕晓舜编著; 贵州省交通运输厅组织编写. — 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2015. 11

(贵州省交通建设系列科技专著)

ISBN 978-7-114-12573-7

I. ①高… II. ①漆… ②粟… ③吕… ④贵… III. ①高速公路—交通运输安全—安全管理 IV. ①U491.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 255405 号

贵州省交通建设系列科技专著

书 名: 高速公路特殊路段运营安全技术

著 作 者: 漆贵荣 粟周瑜 吕晓舜

责任编辑: 周 宇 韩 帅

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)59757973

总 经 销: 人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 13.75

字 数: 323 千

版 次: 2015 年 11 月 第 1 版

印 次: 2015 年 11 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-12573-7

定 价: 60.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书,由本公司负责调换)

贵州省交通建设系列科技专著

编审委员会

主 任：王秉清 陈志刚

副 主 任：罗 强 潘 海

委 员：康厚荣 熊 文 龙平江 刘 彤 赵 伟

冯 伟 任 仁 杨贵平 张 胤 徐仕江

章友竞 刘金坤 许湘华 张 林 梅世龙

粟周瑜 丁志勇 李黔刚 母进伟 何志军

龙万学 邓卫东 杨建国 李华国 胡江碧

吴春颖 王丽铮 彭运动 郭忠印 彭元诚

刘学增 吴立坚 马旭东

总 主 编：罗 强

副总主编：康厚荣

总 序

Preface

古往今来,独特的地形地貌赋予贵州重峦叠嶂山高谷深的隽秀之美,但山阻水隔也桎梏着贵州经济社会发展的步伐。打破交通运输瓶颈,建设内捷外畅的现代综合交通运输体系,与全国同步迈向小康,一直是贵州人的夙愿。

改革开放特别是进入“十二五”以来,党中央、国务院及交通运输部等国家部委高度重视贵州经济社会发展。2012年年初,国务院出台支持贵州发展的国发2号文件,将贵州省经济社会发展的战略规划上升到国家层面。贵州省委、省政府立足当前、着眼长远,提出坚持把交通作为优先发展的重大战略,举全省之力加快交通基础设施建设。2012年以来,贵州省先后启动了高速公路建设、水运建设三年会战,普通国省干线公路建设攻坚,“四在农家·美丽乡村”小康路行动计划,“多彩贵州·最美高速”和“多彩贵州·平安高速”创建等一系列行动,志在“十二五”末,通过交通大建设一举打破大山的束缚,畅通经济发展的交通网络。

广大交通建设者紧紧抓住发展的历史机遇,凝心聚智,在广袤的黔山秀水之间,用光阴和汗水构筑贵州面向未来的交通新格局。“十二五”期间,全省交通基础设施建设将完成投资4500亿元,新建成高速公路3600公里,高速公路通车总里程将突破5100公里,全省88个县(市、区)将全部通高速公路。乌江、赤水河建成四级航道700公里,改写了贵州无高等级航道的历史。建成构皮滩水电站翻坝枢纽工程,实现乌江航道全线通航。曾经的黔道天堑正变成康庄大道,一张以高速公路为骨架、国省干线公路为支撑、县乡公路为脉络、小康路为基础的四级公路路网正在形成,“扬帆赴江海”指日可待。

围绕贵州交通发展中出现的科技需求,贵州省交通运输厅组织开展了一批省部级重大科研项目攻关,重点突破一批关键、共性技术难题,在支撑工程建设、引领行业创新发展方面成效显著。在山区复杂条件下大型桥梁建设技术方面,形成了千米级悬索桥、高墩大跨刚构桥和钢管混凝土拱桥等设计施工成套技术,有力支撑了坝陵河大桥、清水河大桥、鸭池河大桥、赫章大桥、木莲大桥等一批世界级桥梁建设工程,实现了我省桥梁建设技术的大跨越;针对西部山区复杂地质地形条件,从勘察设计、建设施工、养护管理和生态环保等方面系统开展基础研究和

技术开发,形成一批山区高速公路修筑技术,其成果居国内先进水平,有力支撑了复杂山区环境下高速公路项目建设;在山区航道整治、船型标准、通航枢纽建设等方面取得的创新性成果,促进了贵州航运工程的发展;完成了“贵州乌蒙山区毕都高速公路安全保障科技示范工程”等交通运输部科技示范项目,有力推动了交通科技成果推广应用;以“互联网+便捷交通”推进智慧交通建设,率先开展智能交通云的建设和应用。交通运输科技成果连续3年获得贵州省科技进步和成果推广一等奖。

为展现在公路、水路和交通安全、信息化建设等方面取得的技术成就,促进技术交流,加大推广应用,贵州省交通运输厅组织编写了“贵州省交通建设系列科技专著”。这套科技专著的出版,对传承科技创新文化,提升交通科技水平,深入实施科技兴省战略,促进贵州经济社会快速发展,意义重大、影响深远。

交通成就千秋梦,东西南北贯黔中。编撰这套系列科技专著,付出的是艰辛、凝结的是智慧、反映的是成绩,折射了交通改变地理劣势、奋斗推动跨越的创新精神,存史价值较高,是一笔当代贵州的可贵财富。

王清

2015年10月

前言

Foreword

改革开放以来,随着我国经济的快速发展,高速公路的建设重心正逐渐从东部的平原微丘区进入中西部的山岭重丘区,特殊路段(如长大纵坡、立交、桥隧等)越来越多。随着公路里程的增加、设计施工技术的更新,特殊路段的里程比例也随之增加。如此大规模的特殊路段,不但日常运营管理工作十分艰巨,而且交通安全问题也日益突出。如何提高特殊路段运营的安全性,一直是道路安全工程领域的热点议题。

特殊路段运营安全技术涉及道路工程、交通工程、安全工程、运输工程、电子信息工程、计算机工程等学科,其交通运行环境是人—车—路—环境4种要素的统一体,这4个方面都与行车安全密切相关。由于特殊路段将对高速公路的管理起到控制作用,如隧道路段和立交区域作为公路网中的重要节点,是进行公路运营安全管理(如防灾安全管理、路网交通路径动静态诱导和交通智能化管理)的重点区域,其复杂的交通环境和特殊的功能迫切需要加强特殊路段运营安全技术的研究。

本书作者近年来依托交通运输部西部科技项目、国家科技支撑计划项目以及贵州省科研项目,对道路交通安全开展了一系列研究工作。本书从特殊路段界定与划分、行车安全影响因素、事故致因机理、运营风险评价技术、安全设计技术、运营安全管理技术等方面提出了自己的见解。本书适合交通管理部门、交通运输部门等相关工程人员和管理人员阅读参考,也可以作为交通工程专业的研究人员和相关从业人员使用。

全书共分9章,第1章为概况,主要介绍了特殊路段的交通安全问题及解决这些问题的基本思想;第2章主要介绍了特殊路段界定与划分的基本概念、构成基元及基元组合类型;第3章介绍了特殊路段影响行车安全的主要因素,包括驾驶人、道路条件、交通条件及环境条件;第4章分析了特殊路段事故致因机理,建立了人→物和物→人两种事故致因模型,总结了瞬态失效致因模式和疲劳失效致因模式;第5~7章分别介绍了特殊路段运营风险评价技术、安全设计技术和运营安全管理技术;第8章介绍了事件状态下特殊路段应急管理目标、应急管理总体结构、事件的快速检测与动态管理技术;第9章介绍了工程应用方面的内容。

全书由漆贵荣总体策划,漆贵荣、粟周瑜、吕晓舜、陈尚江、方勇等人撰写。其他参加编写

人员还有欧阳男、王维利、张晓燕、乔东华、张华、何飞、柳治国、敖清文、夏怡等。

本书成稿过程中得到了贵州省交通运输厅、同济大学郭忠印教授等单位和专家的大力支持与帮助，作者在此深表谢意。本书在编写过程中，参考了许多国内外研究学者的见解和方法，书中已尽可能标注出来，在此一并致谢。

由于编写人员学术水平的局限性，本书不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

作 者

2015 年 2 月

目 录

Contents

第 1 章 概况	1
1.1 特殊路段交通安全问题的认识	1
1.2 解决特殊路段交通安全问题的基本思想	1
第 2 章 特殊路段界定与划分	4
2.1 特殊线形基元	4
2.2 特殊的结构物基元	7
2.3 高速公路特殊路段基元的组合	13
第 3 章 特殊路段行车安全影响因素	17
3.1 驾驶人条件对行车安全性的影响	18
3.2 道路条件对行车安全性的影响	20
3.3 交通条件对行车安全性的影响	22
3.4 环境条件对行车安全性的影响	23
第 4 章 特殊路段事故致因机理	26
4.1 交通事故影响因素分析	26
4.2 特殊路段人→物事故致因模型	26
4.3 特殊路段物→人事故致因模型	29
4.4 物→人事故失效模式分析	31
第 5 章 特殊路段运营风险评价技术	38
5.1 特殊路段运营风险类型	38
5.2 事故后果和危险等级划分	38
5.3 高速行驶风险	42
5.4 跟驰行驶风险	49
5.5 换车道行驶风险	52
5.6 高速公路特殊路段运营风险评价	56

第 6 章 特殊路段安全设计技术	68
6.1 线形安全设计	68
6.2 标志标线安全设计设置	79
6.3 交通安全设施设计设置	99
6.4 服务设施安全设计设置	119
6.5 长大下坡特殊路段安全设计	121
6.6 隧道交通工程设施安全设计设置	125
6.7 隧道洞外环境安全设计	144
第 7 章 特殊路段运营安全管理技术	146
7.1 交通控制对策及控制模式	146
7.2 交通流静态控制对策	147
7.3 自由流状态下交通流动态控制对策	152
7.4 非自由流状态下交通流动态控制对策	160
7.5 基于运营安全的高速公路交通控制系统	165
第 8 章 事件状态下特殊路段应急管理技术	175
8.1 应急管理目标	175
8.2 应急管理总体结构	175
8.3 事件的快速检测与动态管理	177
第 9 章 工程应用	180
9.1 运营安全分析	180
9.2 危险曲线段安全改善	185
9.3 长大下坡改善方案	190
9.4 隧道改善方案	192
9.5 预警系统	200
参考文献	207

第1章

概况

1.1 特殊路段交通安全问题的认识

随着公路里程的增加、设计施工技术的更新,特殊的公路段(如立交、桥隧、服务区等)的里程比例也随之增加。由于特殊路段将对高速公路的管理起到控制作用,如隧道路段和立交区域作为公路网中的重要节点,是进行公路运营安全管理(如防灾安全管理、路网交通路径动态诱导和交通智能化管理)的重点区域,其复杂的交通环境和特殊的功能迫切需要通过道路线形设计的舒顺性、交通工程设施布设的安全合理性。通过研究特殊路段交通环境对行车安全的影响,可为管理者提供判断交通运行状况好坏的参考标准,便于消除环境中存在的不安全因素,达到有效减少事故以及降低事故严重程度的目的。

受地理条件的限制,某些公路路段呈现出弯道半径小、纵坡坡度大、四周封闭、下部悬空等典型特征,造成纵向上运行环境的突变,这些路段称为特殊路段,如小半径曲线段、长大纵坡段、弯坡组合段、立交段、隧道段、大桥段等。根据交通运行环境的不同,特殊路段可以分为两类,即特殊的物理线形(如小半径曲线、长大纵坡以及弯坡组合段等)和特殊的路段类型(如隧道及隧道群、大跨径桥梁、立交等)。

特殊路段的交通运行环境是人—车—路—环境4种要素的统一体,这4个方面都与行车安全密切相关。道路因素主要包括道路的几何线形、路面性能和交通工程设施;车辆因素主要包括交通组成、交通量和车速;环境因素主要包括恶劣天气、时段和路域景观;驾驶人因素主要考虑驾驶人的生理、心理和反应过程。

1.2 解决特殊路段交通安全问题的基本思想

近年来,国家不断加大资金投入,高速公路的交通安全设施和安全管理水平都有了较大的提高,交通安全管理也陆续在各大中城市得以实践,对于减少拥堵、预防交通事故起到了积极的作用。

然而,这些成绩只是交通安全管理的初步尝试,我国的拥堵和事故等交通安全问题形势依然严峻,我们需要从静态和动态两个方面来做好运营安全保障工作。

1.2.1 静态安全管理

静态安全管理指对公路运营阶段一定时期内的安全问题进行监督和管理。属于静态安全管理范畴的工作主要包括公路运营阶段的安全管理规划、定期的公路运营安全状况分析与评价、公路交通设施的定期维护与改善等。静态安全管理工作具有周期性、相对稳定性的特征,即在一定的管理周期内,管理决策不是随着运营的实时状况而变化,而是基于对周期内运营状况的综合分析与评价,以及未来运营安全状况发展趋势的预测,制定相应的管理决策。

公路运营管理人员和上级管理部门需要考虑如何分配利用有限的资金,来最大限度地提高公路的运营安全水平。这就需要对公路运营安全的现状做出评价,对公路运营安全状况的发展趋势做出预测,由此确定哪些项目需要投资改善,分析公路网内所有候选项目的效益后提出费用-效果最佳的管理对策,在预算容许的范围内按优先次序资助尽可能多的急需项目,以取得最大的安全效益。各级道路交通安全委员会和道路交通安全的研究机构需要了解公路运营安全的状况及其影响因素等方面的详细信息,以便采取相应的政策法规和宣传教育等措施,进行深入的理论和应用研究。

基于上述系统用户的需求分析,静态安全管理系统的主要功能概括为以下4个方面:

(1) 公路运营安全的影响因素分析与研究

了解与公路运营安全性关系密切的因素,在公路的规划和管理中可以趋利避害,为改善方案的比较、筛选提供依据,制订出理想的方案。通过建立适当的分析和统计模型或算法,将调查、监测得到的原始数据转化为对分析和研究有帮助的各类评价指标,进而总结出各种客观影响因素对公路运营安全的影响规律与机理,以便为安全管理决策更好的服务。例如,对于事故分布规律的研究,可以通过建立事故的时间分布、空间分布、形态特征分布、交通方式分布等统计模型,以及交通事故与公路线形、路口路段类型、路面条件、天气条件、照明条件、交通管制条件、监控设备配置情况等统计算法来实现;对于造成事故的主要客观原因的分析,也可以从道路条件、交通条件和环境条件等多个角度,建立事故分析模型或算法来解决。

(2) 公路运营安全状况评价

科学地评价公路运营安全状况,有针对性地解决公路运营阶段的安全问题。公路运营安全状况评价功能可以用于综合评价整个路网或单条公路或个别路段的运营安全状况。它主要通过采用合理的评价指标体系和建立科学的评价方法来实现。通过对公路运营安全状况的评价,可以为科学、合理地制定安全改善对策提供前提和依据,可以比较区域路网间或单条公路间或不同路段的运营安全水平的差异,分析产生差异的原因,找到消除差异的办法,最终达到提高所辖区域内公路网整体运营安全水平的目的。

(3) 公路运营安全状况预测

公路运营安全状况预测是指面向所辖区域内的整个路网或单条公路或路段进行的运营安全状况发展趋势预测,即探究随着客观环境的变化(如地区经济的发展、运输量的增加、汽车和机动车保有量的增多、人员流动性的提高、交通量的增大等)和主观因素的变化(如管理对策的实施等)引起的运营安全状况转移规律。通过有效地预测公路运营安全状况的发展趋势,可以实施主动的安全管理,防患于未然,为改善区域路网或特定公路的运营安全水平做好规划工作。

(4)公路运营安全管理决策支持

公路运营安全管理决策支持功能体现在公路运营阶段安全管理资源分配的优化。项目级公路运营安全管理决策基于各路段安全改善的优先排序、相应的对策和预算资金的约束,确定最终的管理方案和资源分配。网级公路运营安全管理决策需考虑路网内所有项目、项目内可行方案和方案实施时间三者之间的相互均衡协调,以保证在预期的管理标准或可获得的投资预算等约束条件下达到费用最小而效益最大的目的。根据评价、预测、优化的结果,即可得到在规划期内保证公路运营安全状况达到预定水平而总费用最少(最小化问题),或在规划期内在满足预定的投资预算下采用最佳管理策略以达到最佳运营安全水平(最大化问题)的投资方案。

1.2.2 动态安全管理

动态安全管理是指对公路运营阶段出现的交通事故、灾害性天气、重大政治事件、恐怖事件等影响公路运营安全的问题进行实时的监督和管理。

动态安全管理对交通硬件设备的要求很高,需要智能化的交通信息系统与之匹配,该系统一般包括信息采集系统、决策支持系统和信息发布系统。路网动态安全管理流程如图 1.1 所示。

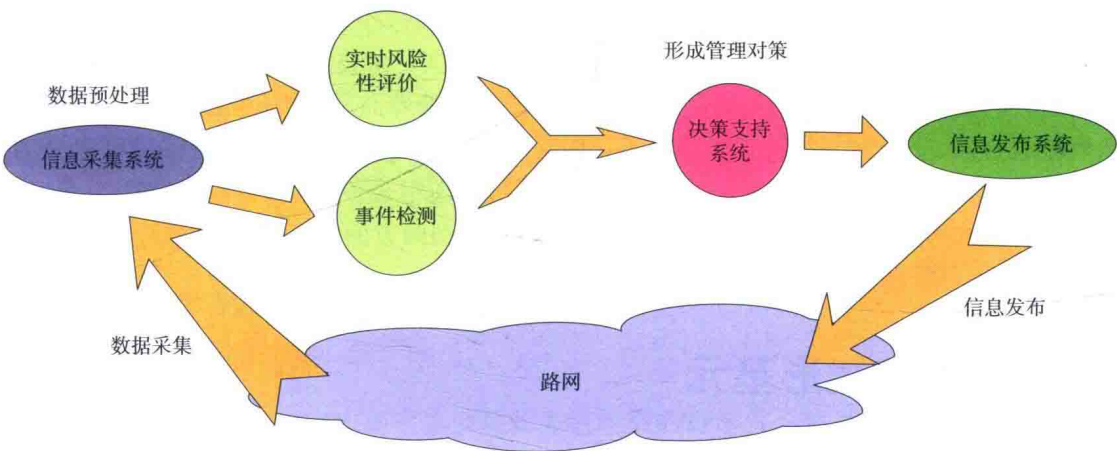


图 1.1 路网动态安全管理流程

属于动态安全管理范畴的工作主要包括事故后的紧急救援、灾害性天气下的事故预防、各类事件条件下的交通管制等。动态安全管理工作具有动态性、实时性的特征,即管理决策随着客观运营环境的实时状况进行动态的变化。如灾害性天气下,根据雾、风、雨、雪的不同等级,实行相应的交通管制对策、工程措施以及联动对策,可以充分发挥路网的运营效率,有效减少和预防交通事故。

第2章

特殊路段界定与划分

众多研究表明:事故多发段一般处于交通运行环境比较特殊的路段,因此我们对特殊路段的认识是基于以前安全研究的常识,即事故率较高的路段。实际上这是以事故率为标准来界定特殊路段,然而事故高发的原因有多种类型,事故率指标不能体现各种路段事故致因的差别,因此单用事故率指标难以准确界定并划分特殊路段,还需辅以其他标准。

从物理线形上看,半径过小、坡度过大的路段,事故率一般都较高,这类安全问题主要由线形的不良组合引起;从环境上看,隧道(群)及大跨径桥梁路段的事故率较高,这类安全问题与线形的相关性较小,主要由复杂、独立的小环境引起;从交通行为上看,立交段的事故率较高,这类安全问题主要由交通流的相互交织引起。因此,为了研究的需要,本文给出了特殊路段的定义:受地理条件的限制,某些公路路段呈现出弯道半径小、纵坡坡度大、四周封闭、下部悬空等典型特征,造成纵向上运行环境的突变,这些路段称为特殊路段,如小半径曲线段、长大纵坡段、弯坡组合段、立交段、隧道段、大桥段等。根据交通运行环境的不同,特殊路段可以分为两类,即特殊的物理线形(如小半径曲线、长大纵坡以及弯坡组合段等)和特殊的路段类型(如隧道及隧道群、大跨度桥梁、立交等)。下面将从线形和类型两方面分析其对交通安全的影响,并探讨基于线形与类型相结合的特殊路段划分方法。

2.1 特殊线形基元

2.1.1 平面线形

(1)长直线段

直线过长容易引起驾驶人疲劳,反应迟钝,判断出错,遇到突发情况,来不及反应而造成车祸,如图 2.1、图 2.2 所示。德国的研究成果表明,驾驶人在直线段上正常行驶超过 70s 后就会感到单调。如果不需要超车,4.8km 长的直线段就会使驾驶人感到烦躁,甚至打瞌睡,带来灾难性的后果,所以高速公路上长直线段是指长度大于 4.8km 的直线。

(2)小半径曲线段

汽车在平曲线上行驶,将产生离心力,曲线半径越小,车速越高,离心力越大。如果离心力过大,汽车将产生横向倾覆或侧向滑移。相关研究成果表明:交通事故的危险性(通常以交通事故率表示)和严重性随曲线半径的增加而降低;曲线半径低于 200m 的路段,交通

事故率较大;具有相同或相近曲线半径的路段的安全性高于曲线半径各不相同的路段,尤其是长直路段中突然插入一段小半径的平曲线,这对行车非常不利。平曲线半径与事故的关系如图 2.3 所示。因此,高速公路上小半径曲线段主要是指半径小于 1 000m,坡度小于 3% 的路段。

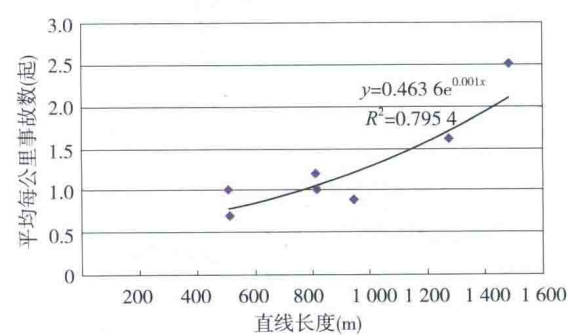


图 2.1 直线长度与事故率的关系

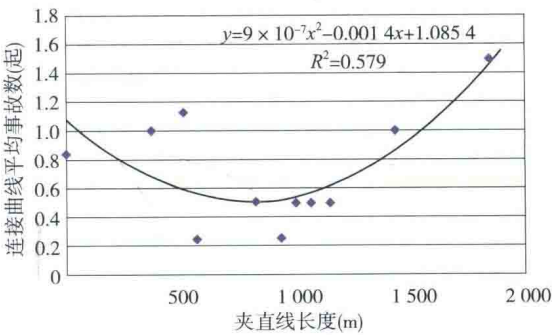


图 2.2 曲线间直线长度与事故率的关系

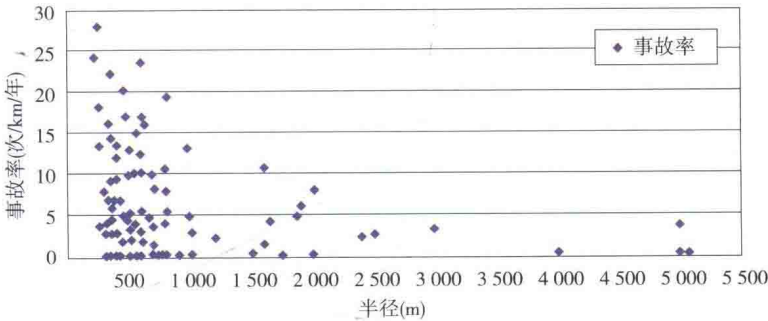


图 2.3 高速公路平曲线半径与事故的关系

2.1.2 纵断面线形

参考林宣财等人通过对山区高速公路长大纵坡段的行车安全性所进行的研究,将长大纵坡定义为:①连续 3km 纵坡路段平均纵坡大于 3.5%;②连续 5km 纵坡路段平均纵坡大于 3%;③连续 8km 纵坡路段平均纵坡大于 2.5%。

(1) 长大上坡段

长大上坡段,由于受到汽车爬坡性能的影响,大型货车在爬坡时速度急剧下降,甚至“熄火”,迫使后面跟车车辆改变车速或者变换车道,造成其车辆间的车速差过大,易引发交通事故。

(2) 长大下坡段

载货汽车在连续长大下坡路段行驶时,由于重力加速度的影响,车速会越来越快,为了控制车速、减小心理负荷,驾驶人必须不断制动减速,频繁制动致使刹车片温度过高,当超过热衰退临界温度(260℃)后,刹车片制动效率逐渐减小,遇到紧急情况时,甚至出现紧急制动失灵的险情,从而会引发大量的交通事故。张建军得到连续长大下坡路段车辆制动器温度预测模型为

$$T = -353.756 + 158.757 \times \ln i + 74.698 \times \ln v + 82.266 \times \ln S \quad (2.1)$$

式中: i ——下坡坡度(%);

 v ——车速(km/h);

S——距坡顶的距离(m)。

根据制动器温度预测模型可以确定长大纵坡的限制标准。纵坡与事故的关系如图 2.4 所示。某高速公路长大下坡肇事车辆类型如图 2.5 所示。

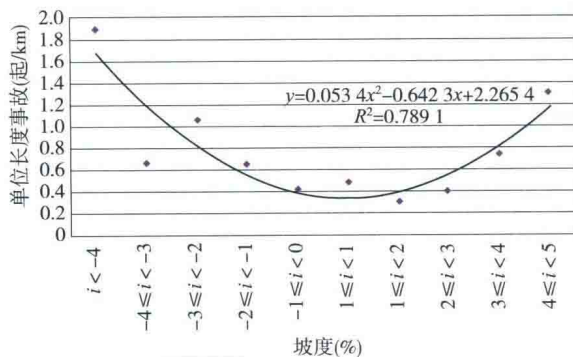


图 2.4 高速公路纵坡与事故的关系

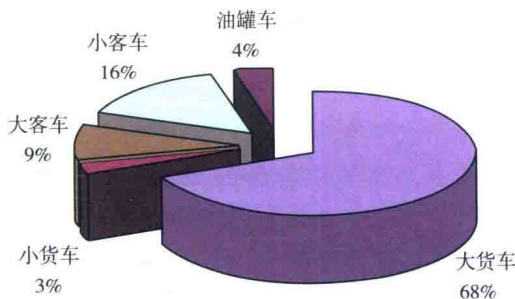


图 2.5 某高速公路长大下坡肇事车辆类型

2.1.3 平纵组合线形

(1) 弯坡组合段

弯坡组合段是半径小于1 000m,坡度大于3%的路段。当车辆行驶入弯坡路段时,驾驶人一方面要根据曲线半径和心理承受能力调整车速以完成转弯动作,同时又要平衡重力加速度在上下坡产生的速度干扰,保持车辆的稳定性。此时驾驶人在视觉和心理两方面都将遭受一定的考验,易产生错觉等障碍,引发交通事故。高速公路弯坡组合段与事故的关系如图2.6、图2.7所示。

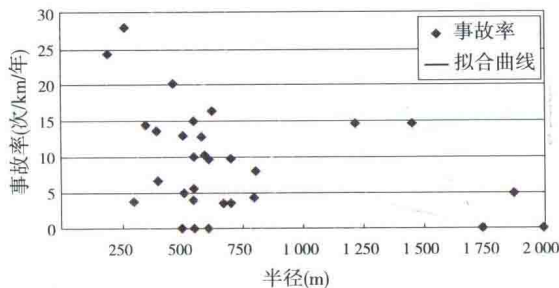


图 2.6 平曲线加下坡时半径与事故率的关系

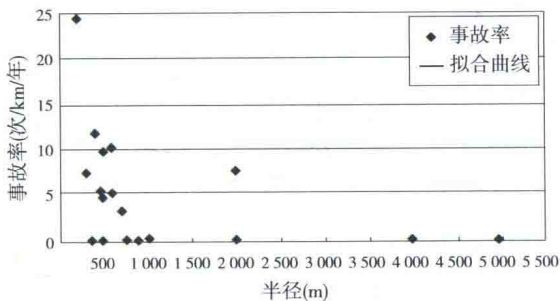


图 2.7 平曲线加上坡时半径与事故率的关系

(2) 合成纵坡段

合成纵坡是指在设有超高的平曲线上,路线的纵坡和弯道超高所组成的坡度。合成纵坡大于 10% 的路段合成纵坡计算公式为

$$I = \sqrt{i^2 + i_h^2} \quad (2.2)$$

式中： I ——合成坡度(%)；
 i ——路线纵坡坡度(%)；
 i_h ——超高(m)。

合成纵坡的影响主要体现在车辆的动力学特性上。在平纵组合的下坡路段，车辆会沿纵坡和超高的合成方向向下滑移，因合成坡度比纵坡和横坡均大，车速会沿合成纵坡方向迅速加快，使车辆沿合成坡度方向冲出弯道之外而发生交通事故。

2.1.4 特殊道路线形

根据平面线形、纵断面线形、平纵组合线形及其与事故的关系分析，定义三类特殊道路线形以及相应的主要安全问题，见表 2.1。

特殊道路线形的定义 表 2.1

特殊道路线形	路段名称	定 义	主要安全问题
特殊平面线形	长直线段	长度大于 4.8km 的直线	驾驶人疲劳、瞌睡
	小半径曲线段	半径小于 1 000m,坡度小于 3% 的路段	离心力过大,车辆横向倾覆或侧向滑移
特殊纵断面线形	长大上坡段	连续 3km 纵坡路段平均纵坡大于 3.5%;连续 5km 纵坡路段平均纵坡大于 3%;连续 8km 纵坡路段平均纵坡大于 2.5%	大型货车的爬坡性能引起的交通流扰动
	长大下坡段		载货汽车紧急制动鼓“热衰退”
特殊平纵组合线形	弯坡组合段	半径小于 1 000m,坡度大于 3% 的路段	视线错觉引起的误判
	合成纵坡段	合成坡度大于 10%的路段	车辆沿合成坡度方向冲出弯道

2.2 特殊的结构物基元

2.2.1 隧道段

由于隧道是半封闭的结构物，其对行车安全性的影响主要体现在驾驶人的视觉和心理方面。

(1)隧道入口

①“黑洞效应”和暗适应。

车辆驶近隧道口时，由于天空及附近设施的亮度比洞口内高，在视觉适应影响下，视网膜对低亮度物体的识别能力较差，造成驾驶人仍感到洞口很黑，以致无法辨认洞口附近的情况称作“黑洞效应”。由于“黑洞效应”与视觉适应的综合作用，驾驶人在刚刚进入隧道的时候仍然会保持相对的低速，如图 2.8 所示。

②道路横断面变窄和“边墙效应”。

由于隧道内未设路肩，从普通路段进入隧道时，道路横断面将变窄，会给驾驶人带来心理