



交通运输部科技示范工程丛书
重庆绕城高速公路科技示范工程丛书

SHANQU GAOSU GONGLU
JIAOTONG ANQUAN
BAOZHANG YU YUNYING
JIENENG JISHU



山区高速公路 交通安全保障与运营节能技术

何川 唐伯明 张琦 高海龙 周健 耿波 编著



人民交通出版社
China Communications Press



交通运输部科技示范工程丛书
重庆绕城高速公路科技示范工程丛书

山区高速公路交通安全保障 与运营节能技术

何 川 唐伯明 张 琦 高海龙 周 健 耿 波 编著



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书是《重庆绕城高速公路科技示范工程丛书》中的一本。全部共分六篇，主要内容包括：高速公路安全运行控制管理技术、路侧振动带技术、桥梁船撞设计及预警技术、公路隧道火灾防治技术、山区高速公路隧道节能型照明及供配电系统、公路隧道智能联动控制技术。

本书可供交通行业的科研人员、管理人员、工程技术人员等学习和参考。

图书在版编目（CIP）数据

山区高速公路交通安全保障与运营节能技术 / 何川
等编著. —北京：人民交通出版社，2013.7

ISBN 978-7-114-10480-0

I. ①山… II. ①何… III. ①山区道路—高速公路—
交通运输安全—安全管理②山区道路—高速公路—节能—
技术 IV. ①U491.4

中国版本图书馆CIP数据核字（2013）第056289号

交通运输部科技示范工程丛书

重庆绕城高速公路科技示范工程丛书

书 名：山区高速公路交通安全保障与运营节能技术

著 者：何 川 唐伯明 张 琦 高海龙 周 健 耿 波

责任编辑：韩亚楠 尤晓玮 崔 建

出版发行：人民交通出版社

地 址：（100011）北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址：<http://www.cpress.com.cn>

销售电话：（010）59757973

总 经 销：人民交通出版社发行部

经 销：各地新华书店

印 刷：北京盛通印刷股份有限公司

开 本：880×1230 1/16

印 张：29.25

字 数：810千

版 次：2013年7月 第1版

印 次：2013年7月 第1次印刷

书 号：ISBN 978-7-114-10480-0

定 价：187.00元

（有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换）

《重庆绕城高速公路科技示范工程丛书》编委会

主任：滕宏伟

副主任：李祖伟 韩道均 唐伯明

委员：（按姓氏笔画排序）

邓卫东	田启贤	刘浪	孙立东	庄卫林	何川
张太雄	李关寿	李海鹰	杜国平	陈李峰	周刚
易亚滨	胡旭辉	钟宁	钟明全	凌天清	高海龙
敬世红	蒋再文	蒙华			

参编单位

重庆市交通委员会

重庆高速公路集团有限公司

招商局重庆交通科研设计院有限公司

重庆交通大学

四川省交通运输厅公路规划勘察设计研究院

西南交通大学

中铁大桥局集团武汉桥梁科学研究院

江苏省交通科学研究院有限公司

交通运输部公路科学研究院



preface

按照“十二五”规划，2015年我国将基本完成国家8.6万公里高速公路网建设。我国是一个多山的国度，大部分高速公路位于山区，桥隧比例大，沿线气候环境复杂，高速公路交通安全和运营能耗问题日益突出。为此，广大公路交通科技工作者从新技术、新理念、创新管理等方面进行积极探索和研究，以改善提高道路安全性，降低事故率，降低运营能耗。

“安全、节能、快捷”一直是高速公路建设和管理的目标。超速驾驶、疏忽驾驶是引发高速公路交通事故的主要因素；桥梁撞击、隧道火灾是高速公路重特大安全事故防治的关键；隧道照明、供电系统是高速公路节能的主要对象；隧道智能控制系统的研究与应用是提高隧道舒适性和安全性的重要平台。本书针对以上高速公路安全保障和节能减排的关键问题，较为全面系统地阐述了高速公路车速管理技术、路面振动警示技术、桥梁防船舶撞击技术、隧道火灾防治技术、隧道照明与供电节能技术、隧道智能联动控制技术等方面的新理念和新方法。书中提出的理论、方法和技术均已在重庆绕城高速公路工程中得以应用和实践，具有创新性、较强的实用性和可操作性。

本书吸取借鉴了国内外相关研究文献资料，综合凝结了重庆高速公路集团有限公司、招商局重庆交通科研设计院有限公司、西南交通大学、重庆交通大学、交通运输部公路科学研究院、重庆市港航管理局等单位专家、学者的大量科研成果，在此向他们表示由衷的感谢。

重庆绕城高速公路是2007年度交通运输部和重庆市科委科技示范工程。在项目的实施和本书的撰写过程中，得

到了交通运输部科技司、西部交通建设科技项目管理中心、重庆市科委的倾心关怀和支持，得到了项目承担单位的大力帮助和指导，项目其他参加人员为此付出了辛勤的劳动，在此，一并表示深切的谢意。

由于作者学识水平有限，书中难免有错误、疏漏及不足之处，请各位读者不吝批评指正！

作者
2013年5月



第一篇 高速公路安全运行控制管理技术

第一章 速度管理理论与限速值确定方法	3
第一节 速度管理理论基础	3
第二节 限速值确定方法	13
第二章 限速方案及其优化	21
第一节 限速方案	21
第二节 限速方案优化	24
第三章 速度管理技术措施	27
第一节 工程措施	27
第二节 管理措施与智能技术措施	31

第二篇 路侧振动带技术

第一章 公路路侧振动带的发展概述	35
第一节 路侧振动带发展与类型	35
第二节 路侧振动带的作用及适用范围	37
第二章 路侧振动带的汽车动力学仿真分析	38
第一节 路侧振动带试验的 ADAMS 建模	38
第二节 路侧振动带试验方案设计与施工测试	45
第三章 路侧振动带的安全性和噪声干扰评价	60
第一节 路侧振动带安全性评价	60
第二节 路侧振动带噪声干扰分析	64
第三节 噪声警示与振动警示关系	66
第四章 路侧振动带警示效果评价	70
第一节 振动带警示效果的评价标准	70
第二节 设计要素变化对警示效果的影响	73



contents

第五章 路侧振动带设计方法和流程	79
第一节 振动带主要尺寸设计	79
第二节 振动带布设宽度和布置偏距	81
第三节 振动带视觉诱导与特殊路段的布置	86
第四节 路侧振动带设计流程	90
第六章 路侧振动带实施效果评价	93
第一节 ROR 事故特征分析	93
第二节 依托工程实施效果评价	97
参考文献	102

第三篇 桥梁船撞设计及预警技术

第一章 绪论	107
第一节 船撞桥事故综述	107
第二节 桥梁船撞设计及防撞对策的现状与趋势	114
第二章 基于风险的桥梁船撞设计	117
第一节 桥梁船撞概率计算	117
第二节 桥梁船撞倒塌概率	127
第三章 桥梁船撞预警技术	135
第一节 船桥碰撞预警计算方法	135
第二节 三峡库区船桥预警及在线监控系统设计 分析	140
第三节 三峡库区船桥预警及在线监控系统软件 需求分析	147
第四节 系统功能界面介绍	158
第五节 系统在江津观音岩长江大桥的应用	159
参考文献	167



第四篇 公路隧道火灾防治技术

第一章 公路隧道火灾情况与危害	173
第一节 公路隧道火灾事故分析	173
第二节 公路隧道火灾的危害	178
第二章 公路隧道火灾监测技术	180
第一节 火灾自动报警系统的基本构成与分类	180
第二节 公路隧道火灾自动报警系统	184
第三节 隧道火灾自动报警设备评价与选型	188
第三章 公路隧道灭火与防护	199
第一节 消防系统现状	199
第二节 水喷雾消防系统	201
第三节 自动喷水—泡沫联用系统	205
第四节 几种常用隧道消防灭火方案的特点	210
第五节 隧道衬砌结构防火	212
第四章 公路隧道防灾附属设施配置	221
第一节 公路隧道防灾附属设施配置现状	221
第二节 公路隧道监控设施	229
第三节 公路隧道消防灭火设施配置	235
第四节 避难联络通道设施	237
第五章 公路隧道管理与控制	240
第一节 公路隧道管理模式	240
第二节 隧道救灾控制策略	242
第三节 危险品管理	247
第六章 火灾逃生与通风	250
第一节 火灾工况下人员疏散条件	250
第二节 火场环境对人员疏散的影响	253
第三节 火灾通风	255



第七章 公路隧道火灾防治技术应用案例	258
第一节 工程概况	258
第二节 隧道防灾附属设施	258
第三节 尖山子隧道救援控制方案	259
参考文献	270

第五篇 山区高速公路隧道节能型照明 及供配电系统

第一章 照明设计参数选取	275
第一节 公路隧道照明质量指标	275
第二节 公路隧道视觉效应与照明标准	276
第三节 隧道洞外亮度设计参数	280
第四节 中、短隧道照明设计参数	288
第二章 公路隧道照明光源的对比分析	295
第一节 隧道照明条件下的视觉特性	295
第二节 视觉反应	303
第三节 反应时间试验	306
第四节 光源在隧道照明条件下的等效亮度	323
第五节 照明光源的对比研究	328
第三章 公路隧道照明系统分期实施方案	336
第一节 公路隧道照明分期实施的必要性和 可行性	336
第二节 基本照明与加强段照明分期方案	338
第四章 公路隧道供配电节能设备选取	344
第一节 EPS 应急电源	344
第二节 照明节电设备	346
第三节 节能设备试验	349
第四节 照明节电设备在高速公路隧道中的应用	355



第五章 隧道供配电系统分步实施..... 365

- 第一节 隧道供配电系统分步实施的适用范围与原理 365
- 第二节 隧道供配电系统分步实施方案 366
- 第三节 分步实施方案经济性评价模型 368
- 第四节 隧道供配电系统分步实施案例 372

第六篇 公路隧道智能联动控制技术

第一章 绪论..... 381

第二章 联动控制的硬件框架与软件流程..... 383

- 第一节 联动控制的硬件框架 383
- 第二节 联动控制的软件流程 388

第三章 公路隧道群及毗邻隧道智能通风控制..... 401

- 第一节 隧道通风控制计算模型 401
- 第二节 智能模糊通风控制 411
- 第三节 前馈式智能模糊控制的系统构成 413
- 第四节 前馈式智能模糊控制器 416
- 第五节 公路隧道群及毗邻隧道的通风控制策略 422

第四章 联动控制软件预案的控制策略..... 425

- 第一节 预案联动控制原则 425
- 第二节 应急组织体系 428

第五章 联动控制软件预案的控制流程..... 432

- 第一节 路段交通事件控制预案 432
- 第二节 隧道火灾情况下控制预案 435
- 第三节 隧道交通管制情况控制预案 438
- 第四节 隧道正常情况下控制预案 444

第一篇



高速公路安全运行控制管理技术

第一章 速度管理理论与限速值确定方法

第一节 速度管理理论基础

速度管理是指在法律法规的总体框架下,为实现保障交通安全,改善交通环境,提高道路运输效率的目的,规范驾驶行为和控制行车速度,给予驾驶人适宜的强制、警告、提示、建议等信息而采取的法律、监控管理和工程措施等的总称。

一、速度管理涉及的概念

速度管理涉及的概念有:设计速度、运行速度、平均速度、85%位车速 v_{85} 、限制速度、速度差、行驶速度、行程速度、期望速度、运营速度和建议速度。

1. 设计速度

设计速度是一个理论上的技术指标,是公路设计时,在保证交通安全的前提下,受地形限制路段(如小半径弯道、陡坡、视距受限等)应遵循的相应最低技术指标的代表值。设计速度是在交通、气象环境等行车条件良好,车辆行驶只受公路本身条件影响时,在地形等受限制的路段,具有中等驾驶技术的人员能够安全且较舒适地驾驶车辆的速度。设计速度是道路设计时确定道路几何线形等基本要素的最主要技术指标,是充分考虑了道路所处区域地形、地质、地理和工程造价等具体因素而采用的一个最低设计指标。设计速度是表征某一道路本身线形条件的最低技术指标,实际道路上绝大部分路段的线形条件都高于该路段设计速度所代表的技术指标值。

2. 运行速度

运行速度是在一般条件下,85%的驾驶人依据具体的道路条件和行车环境,依据自己的驾驶条件(主要指驾驶技术和车辆条件)和心理预期而采取的安全行车速度,它是表征道路交通流运行状况的一个技术指标,通常使用实际观测或预测的第85%位车速(即通常所说的 v_{85})作为运行速度。运行速度表征了某一道路的实际交通运行情况,与地形、公路线形条件、交通流量、交通组成、驾驶群体素质、驾驶人期望速度、交通管理设施、交通安全设施、路侧环境等多重因素相关。采用运行速度进行道路交通速度管理,能接近实际的车辆运行状态。

3. 平均速度

平均车速,包括时间平均速度和区间平均速度两个概念。时间平均速度是指在单位时间内通过道路某断面各车辆的地点速度的算术平均值。区间平均速度是指在某一特定瞬间行驶于道路某一特定长度内的全部车辆速度分布的平均值。

4. 85%位车速 v_{85}

85%位车速 v_{85} 是在某路段所有车辆统计分布曲线或统计表中占比例达85%的车辆行驶速度的一个表征值,其表明在该路段行驶的所有车辆中,85%的车辆的行驶速度在此速度值以下,只有15%的车辆的行驶速度高于此值。85%位车速 v_{85} 常作为运行速度值。

5. 限制速度

限制速度是指道路运营后,在保障车辆安全运行条件下,道路交通管理部分为发挥道路的运输效



率,对道路上行驶车辆规定的管理车速,其包含最高行车速度限制和最低行车速度限制。限制速度具有法律效率,是交通警察执法的依据,也是分析交通事故原因常用的一个指标。我国道路交通安全法对道路限速有较明确的规定。

6. 速度差

速度差的概念一般有以下三种:

(1) 相邻路段 v_{85} 的差值。它表征的是相邻路段的一致性和安全性,调查一般选取断面速度为调查变量。

(2) 各个路段的 v_{85} 与设计速度的差值。它表征的是整体道路指标的均衡性。

(3) 速度调查样本的均方差。它一般用来表征某一断面速度分布的均匀性。速度均匀性(速度方差)必须是在某种特定的服务水平下(如交通量)才具有意义。速度调查样本的速度可为地点速度、行驶速度。

在速度管理工作中,比较常用的是前两个概念。重要的一点是,在设计阶段的运行速度通常是指自由流状态下,即车速普遍较高的情况。因而设计阶段的速度差也就是自由流状态下的速度差。运营阶段的安全评价,会采用有一定交通量的速度分布,但是当交通量达到一定数值以后,速度差就不具备表征线形一致性的功能,而是受交通量的影响为主。

7. 行驶速度

行驶速度是车辆行驶在道路上某一区间的距离与行驶时间(即行程时间中扣除因阻滞而产生的停车时间)的比值。行驶速度是衡量道路服务质量、估算路段通行能力及延误的主要参数。

8. 行程速度

行程速度也称区间速度,是车辆行驶在道路某一区间的距离与行程时间的比值。行程时间包括行驶时间和中途受阻时的停车时间。行程速度是评价道路行车通畅程度与分析车辆发生延误原因的重要指标。

9. 期望速度

期望速度是车辆在不受或基本不受其他车辆约束的条件下,驾驶人所希望达到的最高“安全”车速。一般而言,期望车速与道路等级、交通条件、车辆性能、驾驶人的性格及技术水平、承运任务的急缓等相关。当驾驶人感觉行驶过程中的车辆速度低于期望车速一定数值时,便有改变其车速的意图。

10. 营运车速

营运车速是指营运车辆在运输路线上的周转速度,即车辆行驶距离与运营时间的比值。例如公共汽车的运营时间包括行驶时间、停车延误时间、停靠站等待时间、起终点调头时间和发车间隔时间。营运车速是衡量运输企业管理水平和运输效率的重要指标。

11. 建议速度

建议速度是指推荐的安全行驶速度,用来提醒驾驶人通过弯道或其他受限制的道路路段时最大的行驶速度。建议速度应与适当的警告标志配合同时使用。建议速度属警告性标志,并非强制执行,在道路非危险路段但线形指标接近低限的点段(诸如小半径曲线路段)常设立相应的建议速度标志。

二、速度管理的相关理论

1. 速度伤害理论

速度伤害“Speed Kill”理论是根据能量守恒定律得出,一些学者认为较高速度会相应减少驾驶人对危险情况的反应时间,降低车辆的横向稳定性,从而直接或者间接导致事故发生或增加事故严重性。该理论的基本公式表示如下:

$$e=0.5av^2 \quad (1-1-1)$$

式中： a ——减加速度，该值越大， e 值也越大，释放出的能量也越高；

v ——车辆速度，该值越大，说明车辆的动能越大；

e ——在一定时间内车辆释放出来的能量。

从以上关系式可知，车辆的速度越大，在发生碰撞事故时，要求急剧消耗的能量就越大，减加速度值也越大，对车辆和人的伤害也越严重。

2. 速度差伤害理论

1964年英国学者 Solomon 首先提出变化伤害“Variance Kills”理论，后来很多学者研究也发现速度均方差与事故率之间存在着关系。Solomon 分析乡村公路数据发现，事故随着车流的速度差增大而增大，亿英里事故率与速度均值离差之间存在“U”形曲线关系，如图 1-1-1 和式 (1-1-2) 所示。

$$I=10^{0.000602 \Delta v^2 - 0.006675 \Delta v - 5.15} \quad (1-1-2)$$

式中： I ——亿英里事故率，次/亿英里；

Δv ——车速与平均车速离差，mile/h。

3. 安全—速度—运输效率

安全—速度—运输效率之间也存在一定关系，按照速度伤害“Speed Kill”理论，行车速度提高会造成事故发生可能性和严重性增加，道路运输效率会提高；行车速度降低，车辆行驶的安全系数增高，道路运输效率降低。两者之间近似存在如图 1-1-2 所示趋势。

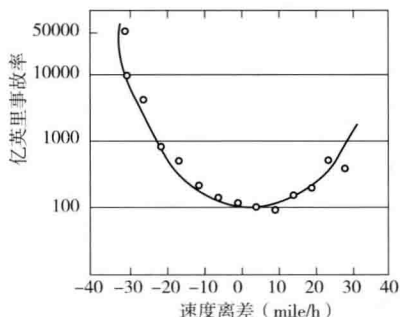


图 1-1-1 速度均值离差与亿英里事故率间的关系

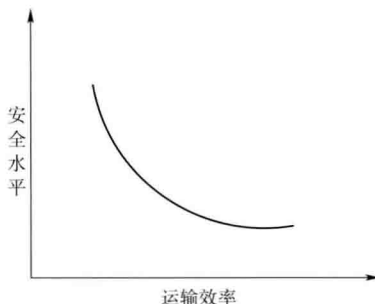


图 1-1-2 安全水平与运输效率趋势图

1984年，美国联邦公路局组织研究发现，与1973相比，1982年机动车限速为55mph以下，在同样的公路上额外花费了10亿小时。1973年正好是NMSL限速法案实施的前一年。此外，还发现低速增加了道路使用者的额外旅行时间，但同时也减少了事故的发生，尤其是恶性交通事故的发生。为了量化安全—速度—运输效率之间的关系，研究人员将旅行时间与避免严重伤害进行了对比。研究发现，在限速55mph的条件下，平均每个人（避免伤害、死亡的人）额外花费的时间相当于被挽救的生命节约的时间。尽管用生命与时间来对比毫无意义，但这样一项研究却给分析安全—速度—运输效率之间的关系，采用合适的限速数值，平衡运输时效和交通安全之间的关系提供了思路。

4. 机动车速度与能源消耗、污染之间关系

机动车速度与燃料消耗之间存在类似凹型或是凸型曲线关系。

Vincen (1980) 提出以下模型：

$$f_c = a + bv_c + cv_c^2 \quad (1-1-3)$$

式中： v_c ——稳定的巡航速度，km/h；

f_c ——在稳定巡航速度下，每千米消耗汽油量，mL/km；

a 、 b 、 c ——模型参数。

1983 年美国学者 Akcelik 标定模型参数为： $a=170 \text{ mL/km}$ ； $b=-4.55 \text{ mL} \cdot \text{h/km}^2$ ； $c=0.049 \text{ mL} \cdot \text{h}^2/\text{km}^3$ 。

1981 年 Post et al. 提出以下模型：

$$f_c = b_1 + b_2/v_c + b_3 v_c^2 \quad (1-1-4)$$

参数同上，经过标定： $b_1=15.9 \text{ mL/km}$ ； $b_2=2520 \text{ mL} \cdot \text{h/km}^2$ ； $b_3=0.00792 \text{ mL} \cdot \text{h}^2/\text{km}^3$ 。

美国学者 Akcelik 与 Bayley 提出了较全面的公式模式：

$$f = K_1 + K_2 v + K_3 v^3 + |K_4 a v + K_5 a^2 v| \quad (1-1-5)$$

式中： f ——瞬时的能量消耗， mL/s ；

v ——瞬时速度， km/h ；

a ——瞬时的加速度 ($a > 0$)， $\text{km} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ；

K_1 ——参数，每分钟出油量， mL/s ；

K_2 ——参数，表示克服的滚动阻力的燃料消耗；

K_3 ——参数，表示克服的空气阻力的燃料消耗；

K_4 、 K_5 ——参数，与加速度所引起的燃料消耗有关。

随着机动车设计水平的提高，整体上车辆的经济速度在逐渐提高，但模型结构和形式基本没有变化。

机动车速度很明显跟机动车尾气排放有着直接的关系。根据当前的模型研究成果，车辆在走走停停、速度很低的行驶状态下，排放的 VOC、影响臭氧物质和 CO 等污染物质要比自由流、高行驶速度状态多很多。

机动车速度增加，能源消耗增大，CO 和 VOC 排放量也增加。但是具体在某一速度值时能排放多少污染物，目前还没有清晰的研究定论。

当行车速度低于自由流速度时， NO_x 和影响臭氧的物质会增加，但具体在速度多少时开始增加及增加的幅度有多大并不能确定。下式为英国道路交通实验室使用的计算路网汽车尾气排放的公式：

$$\text{HC}(\text{ppm}) = 1.8 \text{CO}(\text{ppm}) \cdot R + 4.0$$

$$\text{NO}_x(\text{ppm}) = \text{CO}(\text{ppm}) \cdot R + 0.1 \quad (1-1-6)$$

式中： R ——在既定平均机动车速度下，污染物排放量与一氧化碳的比率，其取值见表 1-1-1。

不同平均速度下 R 取值

表 1-1-1

速度 (km/h)	NO_x (ppm)	HC (ppm)
20	0.035	0.205
30	0.05	0.24
40	0.07	0.26
50	0.085	0.28
60	0.105	0.29
70	0.12	0.305

高速行驶状况下，机动车速度很明显与机动车运动产生的车辆噪声有着直接的关系。由于车辆噪声的产生与道路类型、路面材料、路基结构、交通量、车辆构造、轮胎构造、车辆速度等因素相关，目前为止尚无车辆噪声与速度直接相关的定量研究成果。但随着机动车行驶速度越高，噪声增加的幅度越强劲，这是一个不争的事实。所以，在居住区和对噪声敏感的学校、医院等区域必然应实行严格