

“十一五”国家重点图书
交通部西部交通建设科技项目支持

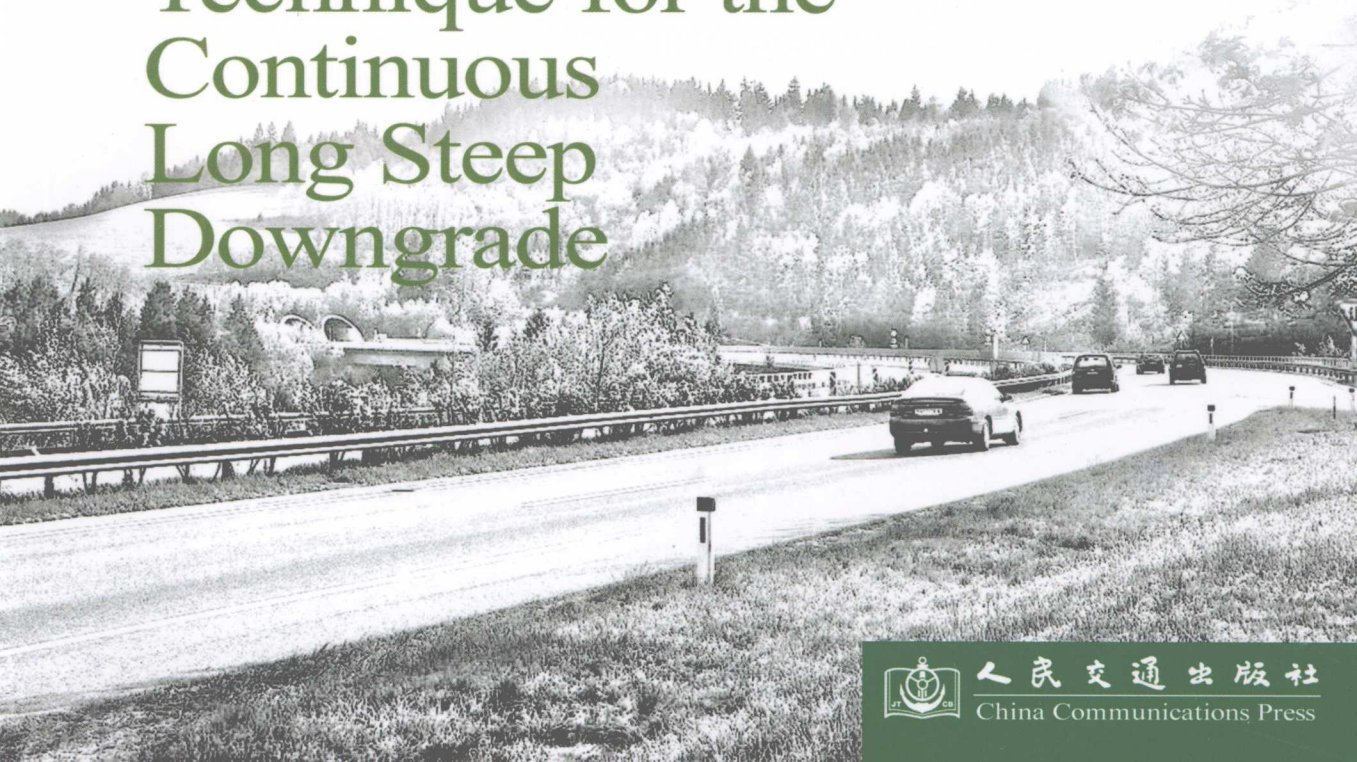


道路交通安全技术丛书

公路连续长大下坡安全处置技术

● 吴京梅 何 勇 主编

Safety Treatment
Technique for the
Continuous
Long Steep
Downgrade



人民交通出版社
China Communications Press

“十一五”国家重点图书

交通部西部交通建设科技项目支持

道路交通安全技术丛书

公路连续长大下坡安全处置技术

Safety Treatment Technique for the Continuous Long Steep Downgrade

吴京梅 何 勇 主编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为《道路交通安全技术丛书》之一。作者总结和收集了近年来国内、外连续下坡的实践经验及科研成果,系统地阐述了连续下坡路段事故发生的机理,并结合我国的国情因地制宜提出了切实可行的安全对策。主要内容包括连续下坡路段交通安全特征分析,货车制动失效机理分析,纵坡坡度与坡长限制,制动失效缓冲车道设置,交通工程、沿线服务设施设置,交通安全管理,综合处置措施等。

本书可供道路设计、管理、科研等部门的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

公路连续长大下坡安全处置技术/吴京梅等主编. —北京:
人民交通出版社,2008.6

ISBN 978-7-114-07099-0

I.公… II.吴… III.公路路基—边坡—安全技术
IV.U418.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第053258号

书 名: 道路交通安全技术丛书
公路连续长大下坡安全处置技术
著 作 者: 吴京梅 何 勇
责任编辑: 沈鸿雁 黎小东
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.ccpres.com.cn>
销售电话: (010)85285838, 85285995
总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司
经 销: 各地新华书店
印 刷: 北京凯通印刷厂
开 本: 787×1092 1/16
印 张: 12.25
字 数: 289 千
版 次: 2008年6月第1版
印 次: 2008年6月第1次印刷
书 号: ISBN 978-7-114-07099-0
定 价: 30.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

《道路交通安全技术丛书》

编写委员会

主 编：何 勇

副主编：包左军 高海龙 唐琤琤

编 委：韩文元 张高强 苏文英 张智勇 张巍汉

侯德藻 朱传征 吴京梅 郭 艳 杨文静

姜 明 李长城 张铁军 朱立伟 高建刚

李 伟 刘玉新 杨 涛 刘恒权 郭东华

周志伟

序

——为《道路交通安全技术丛书》而作

安全、能源、资源与环境构成了全世界共同关注的、人类可持续发展的四大支柱和热点问题。道路交通安全问题是现代道路业和汽车工业迅猛发展伴生出来的严重社会问题。预防和减少道路交通安全事故,是世界各国政府交通主管部门的重要任务。

在全面建设小康社会的伟大进程中,我国交通工作的重要任务是推进现代交通业的发展,到2020年基本建成更安全、更通畅、更便捷、更可靠、更和谐的交通运输服务体系,使交通发展的成果惠及城乡、人民共享。为此,必须坚持科学发展、安全发展、和谐发展的理念,既要加快建设并维护好一个四通八达、高效便捷的交通基础设施网络,还要建立并完善好一个安全畅通、保障有力的运输服务网络,达到安全、便捷、经济、舒适、环保的系统目标。

在这一系统目标中,安全是基础也是前提。只有安全得到有效保证,才能有助于实现便捷、经济、舒适、环保的诸多要求。尽最大可能地控制系统中人的不安全行为,最大限度地解决车、路、环境等诸要素的不安全状态,正是道路交通安全技术研究的核心内容。《道路交通安全技术丛书》以科学发展观为指导,从有效改善我国道路交通安全现状出发,综合运用交通工程、信息技术、材料科学、管理科学、气象科学等多学科知识,充分吸收借鉴国内外成功经验,对影响道路交通安全的人、车、路、环境四大要素进行了全面深入的研究评价,提出了一系列富有建设性的改进建议和技术措施,对于预防和降低交通事故具有重要的理论意义和应用价值。

由交通部公路科学研究院交通安全研究中心的中青年专家组织编写的《道路交通安全技术丛书》就要出版发行了。希望这套丛书的出版发行,对改善我国道路交通安全形势,提高我国道路交通安全水平发挥有益的作用。



二〇〇八年三月

丛书前言

安全、能源、资源和环境一起构成全世界共同关注的、人类可持续发展的四大支柱和热点问题。道路交通安全问题是现代道路交通业和汽车工业迅猛发展而伴生的严重社会问题。汽车是人类文明和技术进步的结晶,它改变了人类的出行方式,扩大了活动空间,提高了生活质量,推动了社会的文明进步,改变了人类的生活。在享受现代道路交通和汽车带来的舒适和便捷的同时,无情的交通事故正时刻吞噬着宝贵的生命。据统计,自有记录的交通事故发生以来,全世界死于道路交通事故的人数已近5 000万。也就是说,自汽车发明一百多年来,全世界累计死于道路交通事故的人数已相当于两次世界大战的死亡人数。道路交通事故已成为人类几大死亡因素之一,成为世界最大公害,其给社会、家庭带来的危害是巨大和深远的。日益严重的道路交通安全问题成为全世界不得不面对的棘手难题。

二战结束后,西方国家致力于经济的发展并使社会达到了繁荣富强。伴随经济的快速增长,西方国家机动车迅猛增加,道路交通事故也不断攀升,并先后在20世纪六七十年代达到高潮。在20世纪70年代,西方发达国家就认识到道路交通事故是影响国民经济和社会生活的国家重大问题,因而从人、车、路、环境等多方面着手,综合运用管理技术和科学技术研究治理道路交通安全问题,成效显著。其车辆保有量占全世界的2/3左右,但交通事故死亡人数却仅占全球总数的1/4。从20世纪70年代以来,西方发达国家的道路交通事故就趋于逐渐下降,虽在20世纪90年代有所反弹,但仍保持在较低的水准线下。

进入21世纪,国际社会对道路交通安全问题的关注,掀起了全球范围内对交通事故斗争的新一轮高潮。2003年5月22日,联合国大会通过了关于全球道路安全危机的第57/309号决议,其指出全球因道路交通死亡、受伤和致残者的人数正迅速增加,认识到发展中国家的死亡率偏高,注意到道路交通伤害对各国国民经济和全球经济的不利影响,期望各国政府提高对道路交通伤害问题重要性的认识。2004年4月7日,世界卫生组织(WHO)把世界卫生日的主题定为道路安全。在世界卫生日当天,世界卫生组织和世界银行联合发行了“预防道路交通伤害世界报告”。报告强调许多方面可以在预防道路交通伤害方面发挥作用,说明了预防道路交通伤害的基本概念,道路交通伤害的影响,主要的决定因素和风险因素,突出了有效的干预战略。联合国大会题为“加强全球道路安全”的第58/289号决议承认联合国系统需要努力解决全球道路安全危机。2004年世界卫生组织(WHO)同欧洲经济委员会和其他区域委员会密切配合,协助成立了联合国和其

他国际道路安全组织的一个联合国道路安全协作机制。

中国的道路交通安全形势尤令世人瞩目。道路交通是我国最重要的运输方式,公路交通是我国多数县、乡、村与其他地区进行交流的主要交通方式。近20年来,中国道路交通事业得到了长足发展,道路建设无论在总量上还是在质量上都实现了重大突破,2007年底中国公路总里程达到357.3万公里,其中高速公路5.36万公里。中国仅用了20年时间就完成了发达国家50年时间所进行的公路建设目标,取得了举世瞩目的成就,公路交通已由制约国民经济的阶段向基本适应阶段转化。但同一时期,中国的汽车工业已跻身世界前三甲,中国已成为新兴和富有活力的汽车生产和销售大国。汽车工业的高速发展,车辆急剧增加,交通量增大,使道路建设发展仍然难以适应车辆增长的需求,交通拥挤、人车混行的交通环境仍大量存在,这必然造成道路交通事故频繁发生。道路交通事故已经成为近年来最影响中国公众安全感的重要因素之一。

建国以来,中国政府及各级政府主管部门一直较为关注道路交通安全问题。但长期以来,限于社会经济的发展状况和道路交通运输的发展程度,道路交通安全问题一直未能真正列入各级政府和政府主管部门的议事日程,全社会对道路交通安全的认识仍是粗浅和不完善的,因而对道路交通事故的处置仅是针对具体发生的事件。宣传教育多是零星的,而非长期的、系统的,而且宣传教育的深度不够,只是强调交通事故对家庭造成的危害等浅层次问题上。现阶段中国对道路交通事故的斗争仍处于起步阶段,套用联合国大会关于交通安全问题的决议中的一句话来说,道路交通安全问题在中国仍是一个被忽视、但却越来越重要的公共健康和安全问题。迄今为止,这一问题远没有得到同其重要性相等同的关注和资源。

安全、快捷、经济、舒适和低公害是道路交通这一动态系统的基本要求。其中,安全是诸要素的基础,只有保证了安全才能谈到快捷、经济、舒适和低公害的问题。要保障道路交通系统的安全,就应使其协调地运转。道路交通安全技术是研究道路交通系统中人、道路、车辆和环境的基本安全特性、相互依存关系和相互作用,尽最大可能控制系统中人的不安全行为和道路、车辆及环境的不安全状态,保障系统协调正常运行的交叉边缘学科。道路交通安全技术是以人的出行和物品的运输为核心,把人、道路、车辆和环境四大要素相互关联的内容综合在动态交通系统中进行研究,对系统的安全性、可靠性、经济性进行评价,寻求交通事故最少,交通伤害和损失最低的系统保障措施,达到安全、快捷、经济、舒适和低公害的系统目标。

交通部公路科学研究所属交通安全研究中心暨国家交通安全设施质量监督检验中心是我国第一家全方位在道路交通安全、交通工程和交通管理领域从事研究、设计、计量检测、标准规范制订、交通事故司法鉴定和安全评价等咨询服务的单位,始建于1973年。在30多年不断发展壮大的历史中,完成了一大批具重大影响的国家级、省部级道路交通安全和交通工程领域科学研究、试验检测及标准

规范制订工作。在道路安全评价、改造与设计,相关标准、规范制修订,道路安全设施产品及试验设备研发,道路安全监控预警系统开发与集成,道路交通事故分析与司法鉴定,道路运输和道路施工生产安全保障技术研究与推广应用等方面卓有建树。2004年以来承担了交通部开展的全国公路安全保障工程的技术支撑工作,已完成数十条公路项目、累计几千公里路段的安全评价工作。在交通部主管部门和交通部西部交通建设科技项目管理中心的支持下,通过对公路交通安全评价、交通事故统计和成因分析、公路条件对行车安全性影响等方面开展深入系统的研究,开发出了适应我国道路特点的公路安全评价方法、道路安全性预测和评价系统,填补了国内相关领域的空白。

基于道路交通安全工作的重要社会意义,交通部公路科学研究院交通安全技术团队集结多年的科研和实践成果,创作完成了《道路交通安全技术丛书》,本丛书是上述研究和实践成果的结晶,也是交通部西部建设科技项目管理中心开展的一系列交通安全应用研究项目成果的具体体现。该套丛书兼具先进性与实用性,对道路交通安全技术的研究具有重要的理论意义和应用价值。

丛书有幸得到交通部冯正霖副部长的题序,感谢冯正霖副部长对道路交通安全工作的高度重视和对丛书的认可。正如他在序言中所说,“在全面建设小康社会的伟大进程中,我国交通工作的重要任务是推进现代交通业的发展,到2020年基本建成更安全、更畅通、更便捷、更可靠、更和谐的交通运输服务体系,使交通发展的成果惠及城乡、人民共享。”“希望这套丛书的出版发行,对改善我国道路交通安全形势,提高我国道路交通安全水平发挥有益的作用。”

丛书在编写过程中,得到了交通部公路司戴东昌、李华、杨国峰、徐成光、赵延东,交通部科教司郑代珍,交通部西部交通建设科技项目管理中心刘家镇、陈国靖、魏道新、谢素华,交通部科学研究院王晓曼和交通部公路科学研究院王笑京、姚震中、张元方、杨志峰、任红伟等领导的鼎力支持,交通部公路科学研究院其他同仁、领导给予了大力配合和热情指导,在此表示衷心感谢。书中参阅了大量的国内外参考文献,引述文献已尽量予以标注,但难免存在疏漏,在此对各文献作者一并致谢!

21世纪初叶,是我国社会经济发展的重要时期,同时也是我国道路交通从紧张和制约状态实现全面改善并迈向资源节约型、环境友好型可持续发展之路的关键时期,道路交通安全是实现这一发展目标中重要而且艰巨的组成部分。希望通过我们大家的共同努力,为我国交通安全事业的发展贡献微薄之力。

何 勇

2008年3月

前 言

在山区公路设计中,为克服高差难以避免地设置连续长大下坡,而连续长大下坡和货运车辆的结合存在着潜在的危險。近年来我国交通事故统计分析表明,山区公路的交通事故主要集中在连续长大下坡路段,而且随着交通运输行业的发展,连续长大下坡的事故数量呈递增趋势。因连续下坡路段事故频发,且事故后果严重,其安全问题引起了道路设计、运营管理、政府等多方面部门的高度重视。

目前,许多事故频发的长大下坡路段被驾驶员称为“死亡之路”、“死亡谷”,由此可见其危险性。连续长大下坡的事故形态主要是货车的制动系统出现故障,表现为制动器过热,导致车辆失控。

超载是导致连续下坡事故高发的根本原因。驾驶员不规范的驾驶行为,如从经济利益出发,采用非正常的制动方式,较高挡位行驶是导致连续长大下坡事故的重要原因,道路条件为诱发因素,杜绝超载是彻底解决连续长大下坡交通事故高发的根本途径。超载是复杂的社会问题,涉及法律、公民素质教育、运输管理体制等多方面问题,并且和一个国家的经济发展密切相关,在短期内彻底解决超载存在一定困难。因此,结合我国国情,综合考虑人、车、路构成道路交通的三方面基本因素,采用综合处置措施是目前提高我国连续长大下坡交通安全水平的可行途径。

近年来,交通部公路科学研究院针对连续长大下坡安全问题开展了相关研究及具体咨询项目,取得一些研究成果并积累了实际工程经验;而且通过对外交流也获取了国外(如美国)的连续长大下坡安全处置技术资料。现将目前我们掌握关于连续长大下坡安全处置技术相关研究成果、工程经验及国外处置技术加以整理编写成此书,希望对道路设计人员和管理人员在工作中有所帮助,提高我国道路安全水平。

本书第一章、第四章、第六章由吴京梅、何勇执笔,第二章由刘兴旺执笔,第三章由矫成武、刘兴旺执笔,第五章、第七章由杨曼娟、何勇执笔,第八章由吴京梅、刘兴旺执笔,全书由吴京梅统稿。

由于作者水平有限,书中差错在所难免,恳请专家和读者给予指正。

编 者
2008年2月

目 录

第1章 概述	1
1.1 国内外纵坡和坡长规定	1
1.2 连续下坡事故机理分析	5
1.3 长大下坡综合处置技术	7
第2章 连续下坡路段交通安全特征分析	9
2.1 交通事故统计分析	9
2.2 超载分析	18
2.3 驾驶行为特征分析	24
第3章 货车制动失效机理分析	28
3.1 货车制动系统	28
3.2 制动系统热衰退及其对交通安全的影响	31
3.3 制动器温升模型建立	36
3.4 制动器温升模型的应用——下坡严重度分级系统	42
3.5 温升模型实例计算分析	50
第4章 纵坡坡度与坡长限制	58
4.1 纵坡设计原理及方法	58
4.2 我国最大纵坡坡度和坡长限制研究	68
4.3 设计应注意的安全问题	82
第5章 制动失效缓冲车道设置	91
5.1 起源与发展	91
5.2 设置位置	95
5.3 制动机理与制动距离计算	98
5.4 结构设计	111
5.5 制动床材料	117
5.6 附属设施	119
5.7 养护与救援	126
5.8 云南元磨高速公路制动失效缓冲车道设置实例分析	127
第6章 交通工程、沿线服务设施设置	136

6.1	交通工程设施设置	136
6.2	服务设施	153
第7章	交通安全管理	159
7.1	驾驶员安全管理	159
7.2	车辆安全管理	161
7.3	道路运营管理	164
第8章	综合处置措施	167
8.1	概述	167
8.2	案例	167
8.3	其他	179
	参考文献	180

第1章 概述

据统计,我国的山地丘陵约占全国土地总面积的43%。由于地形、地质、水文等自然条件复杂,且生态环境制约大,山区公路往往存在坡度大、坡道长的连续长大下坡路段。2003年,公安部和安全生产监督管理局研究确定了两部局督办治理的全国29处公路危险路段。在这29处事故多发段中,属于连续长大下坡路段就有16处,高达55%。长大下坡路段重特大交通事故发生率高,面临着严峻的交通安全形势。当前,车辆严重超载是我国长大下坡路段重特大交通事故发生的主要原因,但也与特定的长大下坡道路线形等密切相关。

我国现有技术规范没有对长大下坡线形做出明确的定义。长大下坡路段一般是指在线形设计上出现的容易造成车辆长时间制动或空挡滑行的长距离、大坡度的坡段,常伴随长上坡和连续弯道。这些长大下坡依山傍崖,地势落差大,使得车辆(尤其是重载货车)长时间使用制动器,引起制动毂过热而导致制动减弱或者失效,进而车辆失控引发交通事故。

为了解决长大下坡路段的交通安全问题,需要对人、车、路、环境、管理等因素进行综合分析思考。人的因素包括驾驶员的行驶行为,车的因素包括车辆载重量和制动性能,路的因素包括路段的线形设计和工程设施,环境因素主要为影响安全行车的气候条件,管理因素包括管理部门采取的各种管理措施。

1.1 国内外纵坡和坡长规定

汽车运行速度除了与发动机和汽车车身设计制造水平有关外,还与道路所处地形、周围环境、车辆状况和驾驶员操作行为等密切相关。欧美发达国家关于运行速度的研究起步较早,并基于长期大规模的丰硕研究成果给出了不同设计速度下的纵坡坡度与坡长限制规定。表1-1列出了日本在公路纵断面设计中关于纵坡坡度的规定。

表1-1 《日本高速公路设计要领》纵坡坡度标准

设计速度(km/h)	最大容许纵坡(%)		设计速度(km/h)	最大容许纵坡(%)	
	标准最大纵坡(%)	绝对最大纵坡(%)		标准最大纵坡(%)	绝对最大纵坡(%)
120	2	5(4)	80	4	7(6)
100	3	6(5)	60	5	8(6)

注:括号内为寒冷地区采用的数值。

根据设计车速,纵坡坡度要采用小于左栏所列的标准最大纵坡值。但当地形及其他原因不得已时,可以用到右栏所列的绝对最大纵坡值;而在寒冷积雪地区,绝对最大纵坡坡度要小于括号内的数值。此外,对于超出标准最大纵坡的路段,其坡长限制如表1-2所列。



表 1-2 采用标准最大纵坡以上坡度时的坡长限制

设计车速 (km/h)	坡度值 (%)	限制长 (m)	设计车速 (km/h)	坡度值 (%)	限制长 (m)
120	3	800	80	5	600
	4	500		6	500
	5	400		7	400
100	4	700	60	6	500
	5	500		7	400
	6	400		8	300

注:设计车速为 80km/h、60km/h 时,容许最小速度不是设计速度的 1/2,而分别是 45km/h、40km/h。

原联邦德国关于事故与纵坡长度关系的调查研究表明:在单方向行车的公路上,下坡方向的事故数要比上坡多,而且当纵坡坡度大于 6% 时,行车事故明显超出平均事故数。因此,在道路设计规范中,从经济性与安全性出发,对允许的最大纵坡进行了表 1-3 所列的规定。

表 1-3 原联邦德国的最大纵坡设计标准

设计车速 (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	120
最大纵坡 (%)	—	—	8	7	6	5	4.5	4

美国 AASHTO 按照典型货车(质量/功率比为 120kg/kW)(注:“质量/功率比”是影响坡段上货车运行速度的重要参数,部分国家用“功率/重量比”表示。)的爬坡性能曲线,按照不同的设计速度,分地形给出了全国性应用的各级公路最大纵坡控制值,如表 1-4 所列。

表 1-4 美国各级公路最大纵坡控制

设计速度 (km/h)	120			100			80		
地形	平原	丘陵	山岭	平原	丘陵	山岭	平原	丘陵	山岭
最大纵坡 (%)	3	4	5	3	4	6	4	5	7

此外,美国还根据公路运输的典型货车数据,进入纵坡路段的车速按 110km/h 考虑,研究了不同减速度下,纵坡坡度与坡长的关系,绘制了纵坡坡度、坡长和速度变化值之间的关系,如图 1-1 所示。

图 1-1 中显示了对应于任何坡度,致使典型性货车(质量/功率比为 120kg/kW)以 110km/h 速度驶入后,速度降至平均运行车速以下时的坡长。同时规定用 15km/h 的速度差作为确定某一给定坡度最大坡长的一般设计准则,其原因是当低于这一速度时,将对后面的车流造成很大的影响,而且当速度变化量大于 15km/h 时,事故数量明显增加。如果设计坡长大于图中所示的长度,尤其是交通量达到或接近通行能力时,或者货车比例较高时,应考虑增设爬坡车道专供慢行车辆行驶。

东盟国家公路的设计标准按公路等级进行划分,如表 1-5、表 1-6 所列。

表 1-5 东盟国家公路最大纵坡控制

公路分类	重要公路			一级公路			二级(2 车道)			三级(2 车道)		
地形分类	平原	丘陵	山岭	平原	丘陵	山岭	平原	丘陵	山岭	平原	丘陵	山岭
设计速度 (km/h)	100~120	80~100	60~80	80~110	60~80	50~70	80~100	60~80	40~60	60~80	50~70	40~60
最大纵坡 (%)	4	5	6	5	6	7	6	7	8	6	7	8

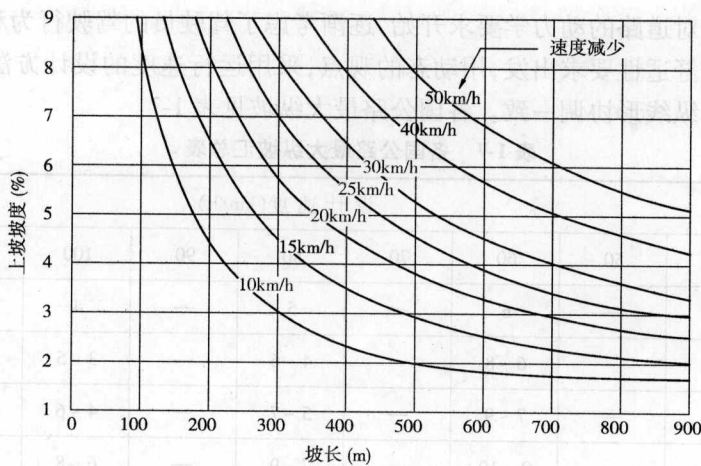


图 1-1 纵坡坡度、坡长和速度减小之间的关系图

表 1-6 东盟国家公路提供爬坡车道的临界坡长

地形分类	重要公路		一级公路	
	坡度(%)	临界坡长(m)	坡度(%)	临界坡长(m)
平原	3	800	3	900
	4	500	4	700
丘陵	4	700	4	800
	5	500	5	600
山岭	5	600	5	700
	6	400	7	400

从以上各国的规定值看:由于国外公路小客车比例高、载重车动力性能好,因此国外对最大纵坡的规定值不仅普遍比国内标准值稍大,而且还可根据地形特征灵活采用。例如欧洲各国高速公路的路线设计标准普遍较高,尤其是在平原微丘地形和城镇间村镇分布不密集的地段,大量采用长直线、大半径路线,路面宽阔、笔直,路基高度普遍较低,纵面较平缓,很少有较大的凸凹起伏。但在特殊的条件下也采用了较低标准的极限值,如法国通往意大利的沿地中海蓝色海岸穿越阿尔卑斯山脉和亚平宁山脉的高速公路、意大利沿阿尔卑斯山脉连通奥地利和德国的高速公路。这些公路多处在山岭重丘区,许多路段公路多在陡峭的山崖上分别开凿,为了减少对周围自然景观和生态环境的影响,降低工程规模和工程造价,路线多沿山体顺应地形布线,曲线连曲线,个别地形复杂路段甚至采用了极限半径。为了减少开挖,路线纵面主要随地形起伏,纵面指标普遍较低,大纵坡、连续上下坡随处可见,个别路段甚至采用了 7.5% 的纵坡和 5km 的坡长。图 1-2 为德国高速公路中纵坡为 6% 的长大下坡路段。



图 1-2 德国高速公路 6% 的长大下坡路段

近几十年来,由于相关技术与实验条件的改善,计算机技术的飞速发展,车辆速度预测水平有了大幅度的提高,各国在公路线形设计方面已从



单纯根据汽车行驶对道路的动力学要求开始,逐渐考虑了驾驶员的驾驶行为和生理心理特征,从驾驶的连续性和舒适性要求出发,用动态的观点,采用运行速度的设计方法进行路线平面、纵面设计,使得平、纵线形协调一致。各国公路最大纵坡见表 1-7。

表 1-7 各国公路最大纵坡汇总表

国 家		设计速度(km/h)								
		40	50	60	70	80	90	100	110	120
中国		7	—	6	—	5	—	4	—	3
澳大利亚	平原	—	—	6~8	—	4~6	—	3~5	—	3~5
	丘陵	—	—	7~9	—	5~7	—	4~6	—	4~6
	山区	—	—	9~10	—	7~9	—	6~8	—	—
加拿大		7	7	6~7	6	7~8	6~7	5~7	5~6	5
次等级公路		11	11	10~11	9	7~8	—	5	—	—
法国		—	—	7	—	6	—	5	—	—
德国		—	—	8	7	6	5	4.5	—	4
希腊		—	11	10	9	8	7	5	4.5	4
意大利		10	10	7	7	6	5	5	5	5
次等级公路		12	—	10	—	7	6	6	—	—
日本		7	6	5	—	4	—	3	—	2
南非	平原	—	—	—	5	4	3.5	3	3	3
	丘陵	—	7	6	5.5	5	4.5	4	—	—
	山区	10	9	8	7	6	—	—	—	—
瑞典		12	—	10	—	8	—	6	—	4
美国	平原	—	—	5	5	4	4	3	3	3
	丘陵	—	—	6	6	5	5	4	4	4
	山区	—	—	8	7	7	6	6	5	5

注:图中各国的最大纵坡规定均为标准最大纵坡,没有考虑特殊情况下的绝对最大纵坡(即比标准最大纵坡稍大的极限纵坡)。

比较各国的标准最大纵坡规定,我国的最大纵坡值数值较低,日本纵坡值最低,我国比日本略高。但日本的绝对纵坡值比其标准纵坡要高很多,平均增加 3 个单位。鉴于我国的载重汽车性能与国外的汽车性能有一定的差别,因此,标准中没有设置更高的最大纵坡。

各国对临界坡长的规定,都考虑了不同的地形和不同的设计速度。在同一设计速度、同样的纵坡条件下,日本和东盟的坡长限制相同,都比我国的短 100m。较短的坡长限制将有利于

行车的顺畅和舒适,同时还能保证上坡车辆的车速不致降低过多,如果陡坡的坡长过长,尤其在山区,将会导致下坡方向因长距离的下坡,造成制动器制动效能衰退。美国给出的坡长限制是根据速度折减 15km/h 给出的,假定坡段前的引道是平坡,其坡长也比我国的坡长限制略短;而且要求一旦超出限制坡长,必须设置爬坡车道。

1.2 连续下坡事故机理分析

1.2.1 理论分析

1.2.1.1 制动器失灵事故机理

从制动原理来说,制动器在制动过程中是将车辆的动能转化为热能。制动器有三个主要的性能指标,第一是制动的效能,也就是短距离内制动的能力;第二是制动的稳定性,也就是车辆在制动过程中方向控制的能力,车辆在制动过程中会不会侧滑或者跑偏就取决于制动的稳定性;第三则是热衰退性,也可以叫做制动效能的恒定性。相关试验表明,一般情况下,当制动器温度不超过 200℃ 时,车辆的制动器不会发生明显衰减;当制动器温度达到 400 ~ 600℃ 时,车辆制动力明显下降,只能达到正常温度下(100℃ 以下)制动器制动能力的 20% ~ 25%;当制动器达到 600℃ 以后,就有可能使车辆制动器的制动力将到近似为零——制动完全失效。

大、中型车辆在连续下坡时,如果不采用发动机制动、排气制动等辅助制动措施,其行车制动器就必须在较长时间内连续地做强度很大的制动,使制动器温度常维持在 400℃,有时高达 600 ~ 700℃。可以说,长距离坡路中出现的制动器失灵,主要原因是制动器的热衰退性不能满足要求。

1.2.1.2 下坡路段制动系统温度模型

以上分析说明:如车辆不存在超载现象,且采用了辅助制动,一般情况下不会发生制动器失灵的现象。但目前,我国公路上通行的货车绝大多数存在严重超载现象,因此建立车辆载重、坡度与坡长的关系模型能够对评价现有交通环境下连续长下坡的安全水平,指导设计人员合理进行道路指标组合,确定避险车道位置提供理论依据起重要作用。世界道路协会《道路安全手册》根据能量守恒原理建立了下坡路段汽车制动系统的温度模型。

如图 1-3 所示,汽车在坡顶的总能量为汽车动能与势能之和。汽车动能公式见式(1-1),势能公式见式(1-2)。

$$E_{\text{kin}} = \frac{mv^2}{2} \quad (1-1)$$

式中: E_{kin} ——动能,J;

m ——汽车总质量,kg;

v ——汽车速度,m/s。

$$E_{\text{pot}} = m \times g \times y \quad (1-2)$$

式中: E_{pot} ——势能,J;

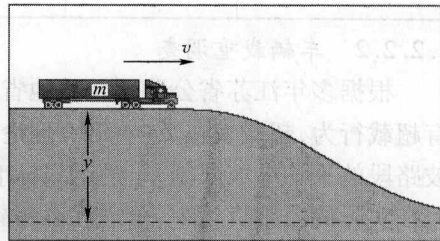


图 1-3 车辆下坡运行图示



m ——汽车总质量,kg;

g ——重力加速度,为 9.8m/s^2 ;

y ——坡的高度,m。

根据动能守恒原理,势能在下坡过程中,通过各种阻力(滚动、机械、空气、引擎、制动等)散发。制动系统通过两金属间的摩擦转换成热能。长时间的制动将能导致制动系统过热,从而导致制动系统失效。

美国 Myers et al(1980) 研发的货车制动系统温升模型见本书第 3 章 3.3 节。

1.2.2 调研分析

1.2.2.1 事故统计分析

对若干事故高发的连续下坡路段的分析表明:尽管道路的技术指标均满足有关规范要求,但仍然事故高发;事故以货车制动失效为主,且随下坡里程增加呈递增趋势,如表 1-8 所列,且事故车辆境外车辆多于境内车辆。

表 1-8 连续下坡数据资料表

道路名称	道路类型	下坡路段	道路技术指标	发生制动失效的集中位置
国道 312 线 咸永段	一级公路	K1562 ~ K1569	长 6.67km, 平均纵坡 3.85%, 最大纵坡 5.5%	距坡顶 3.6m
京珠北高速公路	山区高速公路; 设计速度 80km/h	K39 ~ K52(南行)	长 13km, 最大纵坡为 5% (K49 + 060 ~ + 760 处)	制动失效事故集中在坡底 K49 ~ 52 处
八达岭高速公路	山区高速公路; 设计速度 60km/h	K60 + 145 ~ K50 + 052(进京)	山岭重丘区高速公路, 长度 10 093m, 高差 324.33m, 平均纵坡 3.21%	制动失效事故集中在坡底 K55 ~ K51 处
漳龙高速公路	山区高速公路; 设计速度 80km/h	和溪—龙岩段	长度为 14.5km 的长下坡路段, 平均坡度 3.35%, 最大坡度 5.5%	

1.2.2.2 车辆载重调查

根据多年江苏省公路网及其他省市若干高速公路货车载重调查表明,我国绝大多数货车有超载行为,超载多在 2~4 倍。理论研究表明:受公路最大纵坡和坡长限制以及在长距离下坡路段的平均纵坡限制,车辆运载标准重量货物的情况下,行驶一般不会发生制动失效现象。但在实际的公路货运中,车辆货运超载的现象很常见,甚至在有的地区还非常严重。在公路设计中,宜考虑到超载的普遍性和严重程度,否则设计出来的公路不仅导致运行质量的降低,更会造成严重的交通事故。