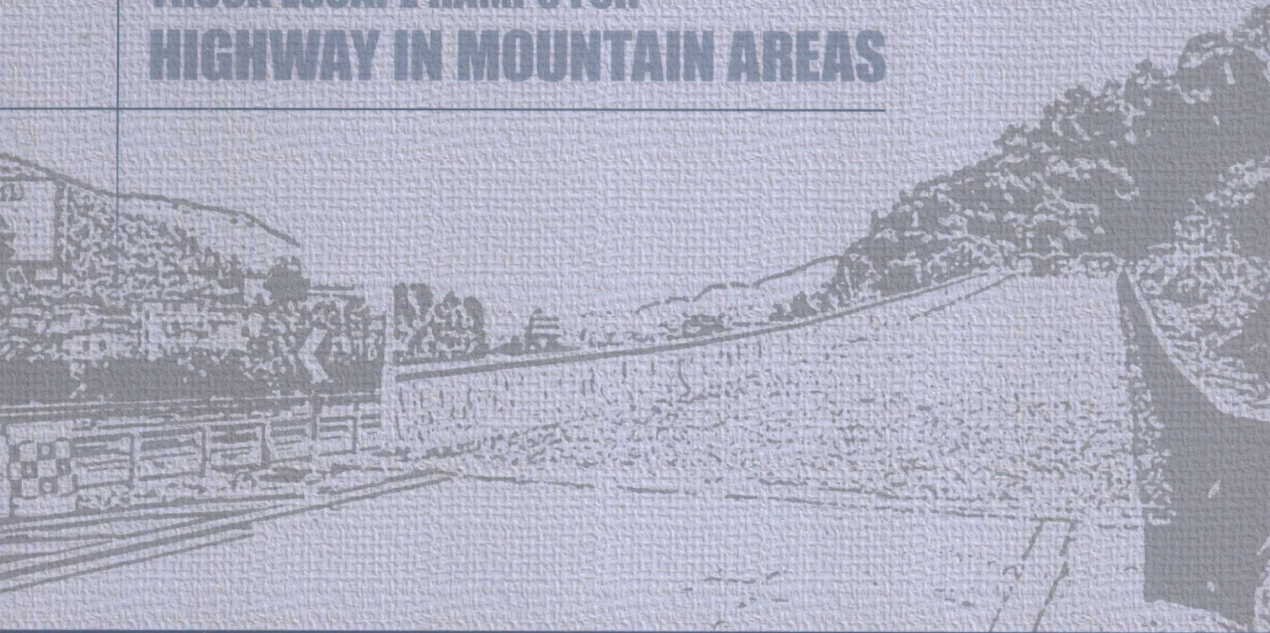


DESIGN AND LOCATION DETERMINATION OF
TRUCK ESCAPE RAMPS FOR
HIGHWAY IN MOUNTAIN AREAS



山区公路长下坡避险车道的 设置与设计

胡昌斌 赖世桂◇著



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

山区公路长下坡避险车道的 设置与设计

胡昌斌 赖世桂 著



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

内 容 提 要

本书针对山区公路长下坡路段制动床型避险车道的设置与设计方法开展研究,具体内容包
括:避险车道的分类与应用研究、山区公路长下坡路段交通安全与避险车道使用调查、长
下坡路段载货汽车制动系统热衰退机制与制动片温升规律、避险车道设置必要性与选址、路
床散体集料静动力工作机制、避险车道制动机制与制动距离计算、避险车道综合设计与养护
管理等。

本书可供交通工程、道路工程领域的科技人员,公路工程领域的从业人员及相关专业的高
等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

山区公路长下坡避险车道的设置与设计 / 胡昌斌,
赖世桂著. — 北京:人民交通出版社股份有限公司,
2016.5

ISBN 978-7-114-12989-6

I. ①山… II. ①胡… ②赖… III. ①山区道路—车
道—坡道—设计 IV. ①U412

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 090363 号

书 名:山区公路长下坡避险车道的设置与设计

著 作 者:胡昌斌 赖世桂

责任编辑:郑蕉林

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:720×960 1/16

印 张:19

字 数:325 千

版 次:2016 年 7 月 第 1 版

印 次:2016 年 7 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-12989-6

定 价:50.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前 言

Foreword

避险车道(Truck Escape Ramps, TER)是改善公路连续长下坡路段交通安全的一种有效工程措施。制动床型避险车道是其中应用最广泛的一类,因其技术简单、容易维护、工作有效等优点,自1998年北京八达岭高速公路设置了国内第一条避险车道以来,在我国发展迅速。据不完全统计,截至2010年,全国已建成制动床型避险车道总数量超过180条,遍及北京、甘肃、福建、云南、河南、山西、河北、新疆、广东、陕西、湖南、广西、青海、浙江等省(自治区、直辖市)。十几年来,制动床型避险车道的设置为我国长下坡路段交通安全改善做出了重要贡献。

但在十几年的应用过程中,我国避险车道的设置与设计也显现出一些问题。具体表现为:设置长度不够、坡度过陡、宽度不足,服务车道设置不合理,避险车道与主线交角过大,没有足够长的引道,辅助安全设施设置不合理,连续设置多条避险车道无车去避险等,直接影响了避险车道避险效果的发挥和充分利用,亟须研究改善。

目前避险车道技术引入我国的时间还较短,很多方面的认识还不深入,也还需要开展更深入的理论和技术研究。积极开展技术创新,提出明确的和全过程分析的计算方法和设计理论,提出受限于经济地形条件的关键性技术指标,明确我国山区公路长下坡路段的道路、交通、驾驶员行为的特性,修正目前避险车道的设计方法,这些都是我们需要努力的方向。

福建省三面环山,一面临海,境内峰岭耸峙,丘陵连绵,普通公路和高速公路多为山区公路,受地形地势的影响,公路坡陡弯急、长大下坡等不利线形普遍。一直以来,福建省山区公路的交通安全形势并不

乐观。特别是近十几年来,随着社会经济的快速发展,福建公路交通量、载货汽车比例增长迅猛,直接导致以往一些道路线形受限路段的交通事故率陡增,严重威胁道路的运营安全。

为能充分合理地在长下坡路段使用避险车道技术,从2007年开始,福州大学道路工程课题组与龙岩市公路局多年持续合作,以福建山区公路避险车道实际工程为依托,开展了“山区公路长下坡避险车道设置与设计方法”课题研究。通过学习国外经验,开展实地调查研究,我们分析了我国山区公路长下坡路段交通安全和避险车道使用特点,对避险车道设置设计环节、技术细节要点进行总结和分析,并进行了大量室内试验和现场试验,开展了数字化和定量化分析理论研究。

为及时总结相关成果,特以“山区公路长下坡避险车道的设置与设计”为题,撰写了本书。具体内容包括避险车道的分类与研究应用、山区公路长下坡路段交通安全与避险车道使用调查、长下坡路段载货汽车制动热衰退与制动片温升规律、避险车道设置必要性与选址、路床散体集料静动力工作机制、制动床型避险车道制动机制与距离计算、避险车道综合设计与养护管理等。

本书研究是在福建省交通运输厅交通科技发展项目的立项支持下完成的,在研究过程中得到了各级领导和技术人员的指导和支持,龙岩市公路局张渭庭副局长、陈永明高级工程师,福州大学土木工程学院陈友杰副教授、卓曦博士、赖元文博士,道路工程课题组研究生吴艳、沈金荣、杨文沅、黄金龙、贾凌雁、阙文炜、蒋振梁等为课题开展都做了重要研究和技术工作。在此向以上相关领导、技术人员、老师、研究生们表示衷心的感谢。

本书在进行研究和总结过程中,参阅了大量国内外文献和资料,在书后尽可能一一引出,在此一并向这些文献资料的原作者表示衷心的感谢和敬意!限于时间和作者水平,本书的研究和总结还十分粗浅,难免出现错漏,还恳请专家和广大读者批评指正。

作 者
2016年2月

目 录

Contents

第一章 避险车道总论	1
第一节 避险车道分类	1
第二节 避险车道设置设计与应用情况	5
第三节 制动失效车辆制动技术新进展	18
第四节 本书研究内容	25
第二章 山区公路长下坡路段交通安全与避险车道调查	26
第一节 山区公路线形与车辆特性调查	26
第二节 长下坡路段交通事故实例调查分析	35
第三节 避险车道设置与设计情况调查	41
第四节 国内避险车道技术特点分析	57
第三章 长下坡路段载货汽车制动系统热衰退机制与制动片温升规律	60
第一节 制动系统热衰退机制分析	60
第二节 长下坡路段载货汽车制动片温升实车试验	61
第三节 载货汽车鼓式制动器增温规律有限元分析	75
第四节 坡度严重度分级系统 GSRS 制动器温升模型应用	99
第四章 避险车道设置必要性与选址	106
第一节 避险车道设置的必要性判断与选址	106
第二节 基于可能速度的山区公路安全评价	112
第三节 避险车道设置必要性判断与选址案例分析	123
第五章 避险车道路床散体集料静动力学工作机制	130
第一节 路床散体集料形态特征与评价	130
第二节 避险车道路床集料评价指标与计算模型	137
第三节 路床集料工作机制离散元分析模型建立	146
第四节 静力学相互作用机制	162
第五节 避险车道路床砾石集料车轮沉陷试验	173

第六节 车轮-散体集料的动力学相互作用机制	185
第六章 避险车道制动机理与制动距离计算	195
第一节 基于运动学原理的制动距离计算方法	195
第二节 基于动量学原理的制动距离计算方法	198
第三节 基于离散元模型的车辆制动距离分析方法	218
第四节 车辆制动距离计算方法对比分析	230
第五节 避险车道制动距离实车试验	236
第七章 避险车道综合设计与养护管理	255
第一节 避险车道综合设计原则与问题分析	255
第二节 设计参数的计算与建议	257
第三节 避险车道长度、纵坡设计	268
第四节 避险车道横断面设计与结构形式选择	274
第五节 附属设施	276
第六节 避险车道运营与养护管理	283
第八章 研究展望	288
参考文献	290

第一章 避险车道总论

第一节 避险车道分类

避险车道(Truck Escape Ramps, TER)是设置在路侧的,将制动失灵车辆分离出主线,利用重力、滚动阻力,或者两者的综合作用,通过能量转化,减慢失控车辆速度并使车辆安全停车的辅助车道。其总体结构一般包括三大系统,即引导系统、减速消能系统和安全保护系统。各系统具体构成和作用如下:

(1)引导系统包括一系列的诱导、预告及警示标志标线等。

(2)减速消能系统是避险车道的核心部分,该部分的作用就是试图用有效的耗能方法使车辆减速并在一定长度内安全停住。

(3)安全保护系统设在避险车道的末端,一般用沙堆或废旧轮胎等筑成保护装置,以增加系统的安全保障。

避险车道一般由引道、制动坡床、服务车道及其他附属设施组成。附属设施包括端部防撞消能设施、救援地锚、交通标志和照明设施等(图 1-1)。

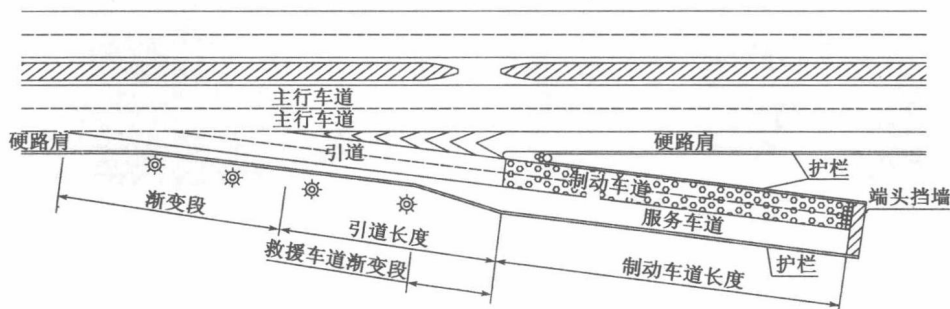


图 1-1 典型避险车道平面示意图

避险车道最早出现在美国,据说当时人们发现失控车辆经常冲出道路停在路旁废料堆上,或者冲到山上用于滚木的旧路上,由此道路工程技术人员受到启发。1956 年,第一条避险车道在美国加利福尼亚诞生。据 1990 年统计,美国有

27 个州使用了避险车道,数量达 170 条。

1998 年,北京八达岭高速公路设置了国内第一条避险车道,在一定程度上取得了减少恶性交通事故频繁发生的效果。随后避险车道的使用在国内发展迅速,据不完全统计,目前全国在北京、甘肃、福建、云南、河南、山西、河北、新疆、广东、陕西、湖南、广西、青海、浙江等省(自治区、直辖市)均设置了避险车道。近十几年来的工程实践表明,恰当的设置避险车道,在长下坡路段交通安全的事故预防和减少损失方面效果卓著。

避险车道按制动机制可分为重力型、沙堆型、制动床型和拦阻装置型四大类。

重力型避险车道有一个铺砌的路面和紧密压实的集料表面,主要依靠重力的作用使制动失灵车辆减速并停车,滚动阻力起的作用非常小。重力型避险车道通常较长、较陡,美国的经验长度为 360 ~ 460m,易受地形限制(图 1-2)。重力型避险车道的车损最小,但由于制动失灵车辆减速停车后会因为重力的作用滚回主线,在没有有效阻拦装置的情况下,容易造成折叠(牵引车与挂车折合的现象)。目前重力型避险车道在实际工程中已停止使用。

沙堆型避险车道由松散干燥的沙子堆砌而成,主要依靠松散的沙子提供的滚动阻力使制动失灵车辆减速停车,一般长度为 60 ~ 120m。由于沙堆的减速特性非常剧烈,并且沙床极易在雨水浸泡下出现板结,性能易受到天气的影响,目前也已较少使用(图 1-3、图 1-4)。

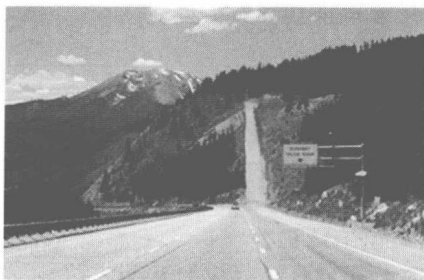


图 1-2 美国公路的重力型避险车道



图 1-3 美国公路沙堆型避险车道的救险



图 1-4 沙堆型避险车道

制动床型避险车道是目前使用最为广泛的一种类型。制动床表面为铺满松软砂砾的制动层,如图 1-5 所示。制动床型避险车道的原理是增加大型车辆的

滚动阻力,把失控车辆的动能转化为重力势能和抵抗砾石沉陷壅高变形、飞散的能量,从而使车辆停下来,同时制动床的滚动阻力还能阻止大型车在停车后向后翻转,如图 1-6 所示。

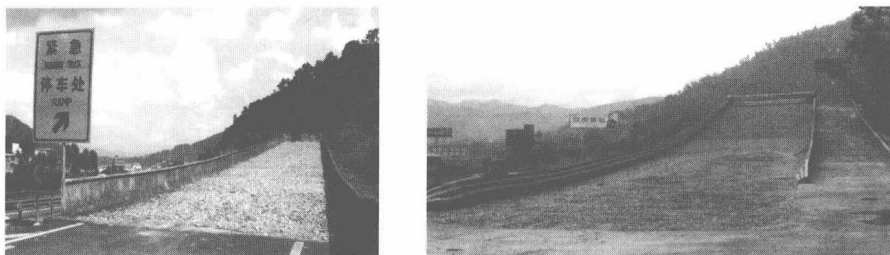


图 1-5 某高速公路典型制动床型避险车道

制动床型避险车道按照坡度又可分为下坡型、水平型和上坡型。

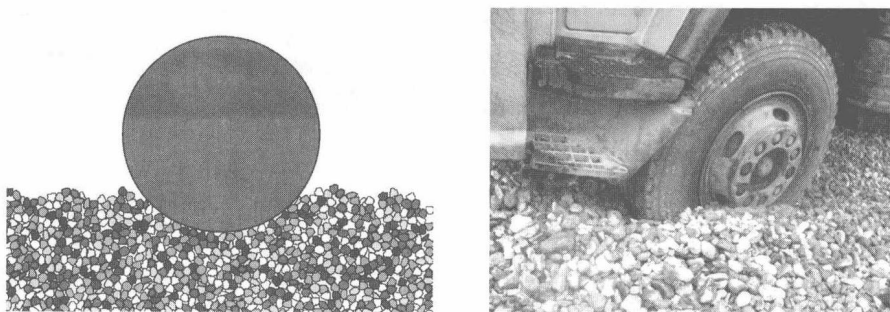


图 1-6 避险车道铺满沙石或松软砂砾的制动层

下坡制动床型避险车道与主线平行并紧贴主线(图 1-7),因为坡度阻力的方向与制动失灵车辆的运动方向一致,重力的影响不会帮助削减车辆的速度,所以这种类型避险车道的长度将更长。这种避险车道一般有一个易见的返回主线路径,以使那些质疑避险车道有效性的驾驶员感觉他们能以一个较低的速度返回公路主线。

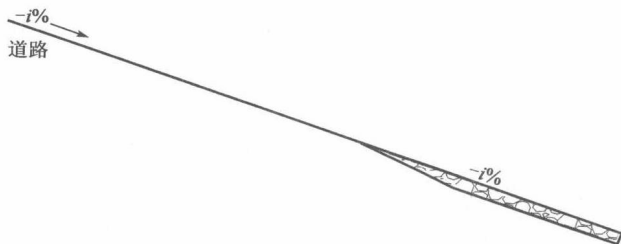


图 1-7 下坡制动床型避险车道

如果地形能够容纳,水平制动床型避险车道是另一选项。它依靠制动床松散的集料提供滚动阻力使车辆减速并停车,重力的影响较小(图 1-8、图 1-9)。这种类型避险车道长度大于上坡型避险车道。



图 1-8 水平制动床型避险车道

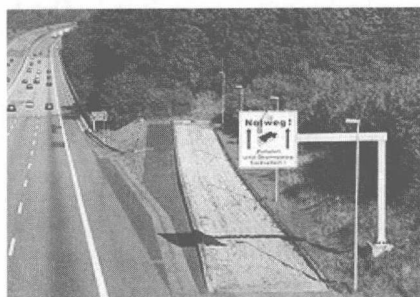


图 1-9 美国亚利桑那州水平制动床型避险车道

上坡型避险车道是使用最广泛的避险车道类型。由于坡度阻力的方向与制动失灵车辆运动的方向相反,所以这种类型的避险车道既利用了坡度阻力,同时也利用了制动床集料提供的滚动阻力使制动失灵车辆减速停车,因而所需的避险车道长度较小(图 1-10)。同时,松散的集料使得制动失灵车辆在安全停车之后能停在避险车道制动床中。



图 1-10 上坡制动床型避险车道

针对山区地形条件有限,避险车道无足够空间展线的现实问题,近年来有研究提出,拦阻装置型避险车道,如网索式避险车道(图 1-11)、橡胶空腔强制减速车道等新的防护设施,详见本章第三节。

避险车道的类型需与所设置位置的环境和地形相协调。按照相对于道路的路侧位置,避险车道又可分为左侧避险车道和右侧避险车道两类。专用车道公路均为右侧设置避险车道;而对于普通公路,由于受到地形限制,同时对侧上坡路段车辆车速较低,因此有时可以根据具体情况,在道路左侧设置避险车道(图 1-12)。



图 1-11 美国网索式避险车道

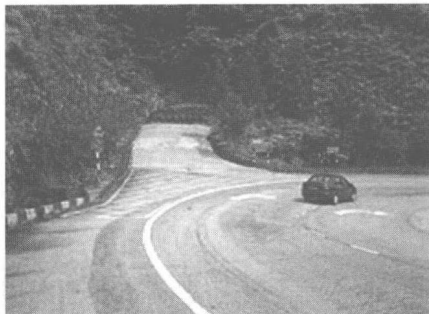


图 1-12 左侧型避险车道

一条设计合理的避险车道,一般需要满足以下四个功能:

- (1) 恰当的位置设置,保证及时合理地救助失控车辆。
- (2) 保证失控车辆能顺利地进入避险车道并有足够缓冲空间。
- (3) 保证失控车辆在避险车道内能获得足够的消能后平稳停车。
- (4) 使失控车辆和人员在避险车道内能得到安全、有效的救助。

实践表明,避险车道及与之对应设置的标志、管理设施(如在坡顶设置大型车辆制动检查站和休息区)可有效减少交通事故的发生,特别是减少载货汽车的失控事故率和因之诱发的重、特大交通事故造成的过大人员伤亡及财产损失。

第二节 避险车道设置设计与应用情况

避险车道的工程设计内容一般包括:避险车道的设置必要性判断、避险车道设置的位置选址和避险车道的综合设计三个方面。避险车道在国外已经使用了多年,诸如英国、澳大利亚、南非和美国都有自己的技术指南。以下对相关研究和应用现状进行简要概述。

一、国外避险车道设置方法

避险车道设置研究包括避险车道的必要性和选址两方面的内容。在国外一般通过工程经验法和事故频率法及坡度严重率分级法三种方法进行避险车道的设置判断。

1. 国外避险车道必要性研究

(1) 工程经验法和事故频率法

美国 1989 年签发了《紧急避险车道设置必要性指南》。该指南认为,紧急避险车道是否有必要设置的主要考虑因素为三个方面,即事故率、平面线形与车辆运行速度之间的相关关系、导致严重交通事故的安全隐患(如校车车辆较多的道路、交叉口)。而设置交通提示标志、限速措施、设置强制停靠区域也是不可忽略的重要方面。

2001 年美国各州公路运输工作者协会(AASHTO)出版的《公路和城市道路几何设计原则》(简称“绿皮书”)指出,避险车道的设置需考虑车辆行驶安全的需要,包括行车道上其他非失控车辆的行驶安全、失控车辆本身的安全,以及居住在下坡底部的居民的安全。

美国亚利桑那州交通运输部《公路设计指导方针》指出,是否需要设置避险车道主要考虑事故发生率,特别是长下坡和平曲线线形组合情况下的事故发生率;其次是考虑制动器热衰退的交通量。同时可以通过访问专业载货汽车驾驶员、失事现场清理员、公共安全部官员和记录事故的相关资料进行避险车道必要性分析判断。其认为,没有统一的避险车道设置必要性标准,在有重型载货汽车和长大下坡紧接急弯或需停车

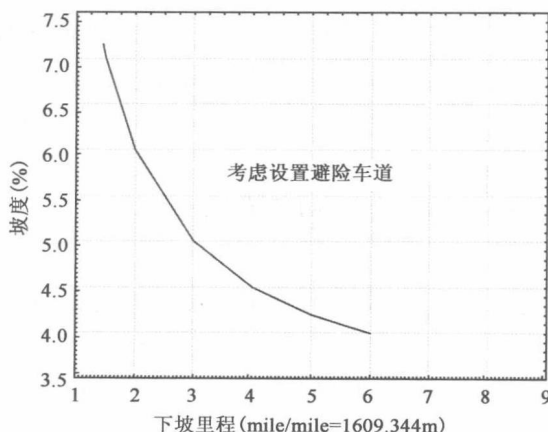


图 1-13 避险车道必要性判断曲线

组合的条件下可设置避险车道,车辆的失控速度、附近的地形条件和建造成本也是考虑的因素。另外,对于有几千米长下坡的新修公路,建议根据坡度和坡长来考虑是否需要设置避险车道,如图 1-13 所示。

美国北卡罗莱纳州交通运输部《公路设计手册》建议,不仅要沿乡镇的山区坡道设置避险车道,在城镇陡、短坡而载货

汽车交通量大、交通密集区也应设置避险车道。避险车道的设置,主要考虑因素是失控事故发生率,同时还需要考虑地形条件,如坡长、坡度、平曲线的组合和坡底的情况,以及平均日交通量和载货汽车的百分比等。但是可利用的路权和地形是避险车道位置选择时需要考虑的因素,不是确定避险车道必要性考虑的因素。

NCHRP 报告“Truck Escape Ramps”(Witthoford, 1992)引用 1979 年 Eck 的研究成果指出,确定避险车道设置必要性时,需要考虑如下因素:失控载货汽车事故率、下坡路段长度、坡度百分率、载货汽车百分率、坡底情况、日平均交通量、事故严重度、平曲线曲率、可用路权、地形等,如图 1-14 所示。

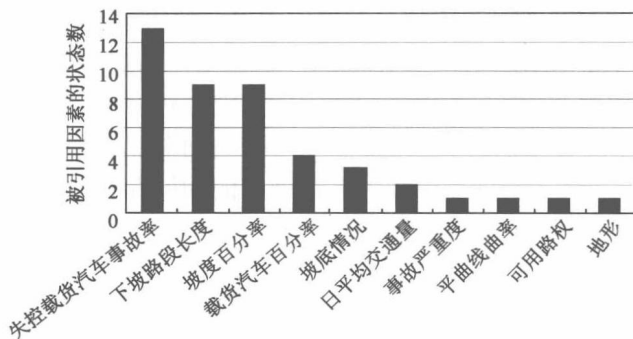


图 1-14 避险车道设置必要性相关因素

(2) 坡度严重度分级系统

1989 年,由美国联邦公路局开发的坡度严重度分级系统 (Grade Severity Rating System, GSRS) 是目前用于分析避险车道必要性较广泛的分析工具。这个系统的核心是计算出车辆在载重时的最大安全行驶速度。计算机计算出在选定坡长条件下,车辆每行驶 0.5mile (0.8km) 的距离时制动毂的温度,根据汽车动力学反算车辆行驶速度,当计算出制动毂温度达到极限温度 500°F (260℃) 时,与之相对应的反算车速即为最大安全行驶速度。有了这个系统后,就可以定量分析出在任一路况条件和车辆条件下,公路各个坡段的安全性,为是否设置避险车道和避险车道设置位置提供重要依据。

GSRS 使用预先确定的制动器温度限制 (260℃) 来建立坡道的最大安全下坡速度。最大安全速度被定义为以此速度在坡底紧急制动,制动器温度不会超过预先确定的温度限制。在分析是否需要设置避险车道方面,GSRS 最明显的特点是它能根据给定的车辆总质量 (GVW) 和坡度严重度给出制动器温度曲线,进而判断制动器温度是否超过 260℃,从而确定避险车道设置的必要性 (若超过 260℃ 说明有必要设置避险车道)。

美国土木工程师协会(ASCE)杂志出版的“Determining Need For And Location Of Truck Escape Ramp”文章介绍了一种避险车道设置必要性分析的方法。该方法在分析避险车道是否需要设置时,考虑的主要因素为:坡道严重程度,即坡道长度和坡度;相关限制,即平曲线的允许转弯速度;事故历史记录,即以前失控车辆事故率;事故后果,即失控车辆的期望停车地点人员伤亡的可能性,即坡底情况。

对于一个特定的坡道,首先要选择设计车辆,并指明汽车总质量(GVW)和制动器热衰退温度(即制动器开始丧失有效制动功能时的温度);接着要判断坡顶制动检查站是否存在,鉴别载货汽车驾驶员是在坡顶制动检查站停车并以零速下坡,还是在制动检查站不会停车并以标志限定的速度开始下坡;然后使用同一个横坐标轴画出下坡坡道纵断面曲线图、载货汽车下坡速度曲线图,并指明坡道上所有曲线的限制速度和载货汽车制动器温度变化;再鉴别有无载货汽车下坡速度曲线超过其限制速度和制动器温度超过制动器热衰退温度的情况发生,并判断在载货汽车潜在的失控轨迹内有无固定的物体存在;最后就可以判断是否需要设置避险车道,如图 1-15 所示。

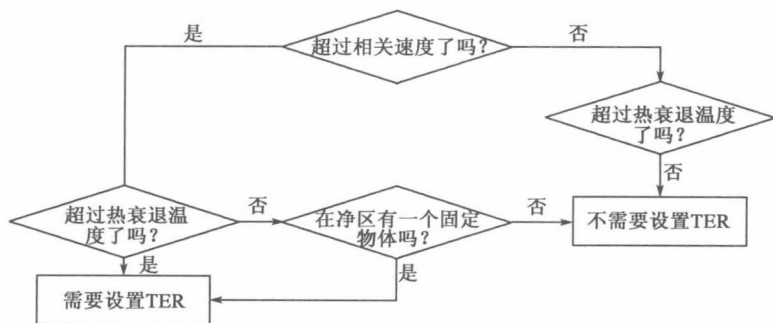


图 1-15 避险车道必要性分析

如果还存在以下两个情况,则进一步说明需要设置避险车道:以往发生过汽车失控事故情况;在失控汽车的运行轨迹之内,即在坡底或在受限平曲线的交叉点附近存在固定的物体(如房屋、学校、交叉口、水陆联运站等)。

2. 国外避险车道选址研究

(1) 工程经验法和事故频率法

南非的《道路几何设计手册》中规定,在有车辆失控事故历史的山区道路上,应该考虑设置带有制动床的避险车道。对于新建道路,在那些长大下坡无法避免的地方,以及由失控车辆引起的伤害后果可能性比正常情况下大的地方,在

项目设计阶段就应该设置带有制动床的避险车道。该手册中进一步规定,如果下坡坡度(%)的平方乘以距坡顶的距离(km)超过60,且坡度超过5%的地方,应考虑设置避险车道(图1-16)。手册还指出,在长下坡之后紧接长上坡的路段,避险车道一般不需要设置,因为即使设置了驾驶员也未必使用。

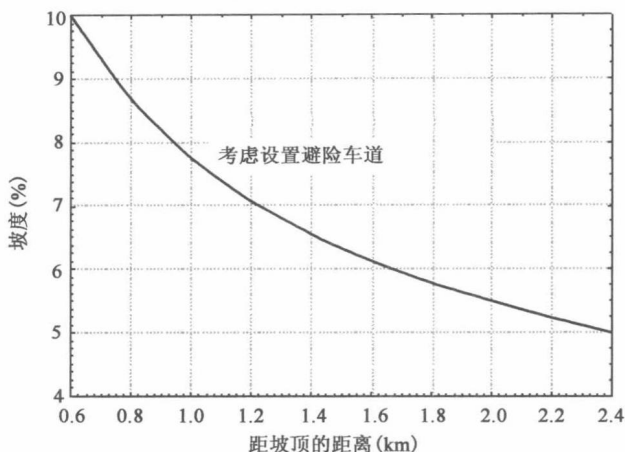


图 1-16 避险车道位置曲线图

NCHRP 报告“Truck Escape Ramps”(Witthoford, 1992)在此方面的文献资料指出:

①国外的实践经验表明,避险车道的选址首先要考虑经济条件,同时需要寻找受冰雪、冰冻影响较小的地方。

②Eck 提出避险车道选址需要考虑的因素如图 1-17 所示,认为地形和由此引起的土方量造价是最频繁被提及的因素,接下来是平曲线和事故黑点的位置。调查显示,直线和平曲线位置的事故率基本相当,挖方处事故的发生率大约是填方处的 2 倍。

③1982 年的一项调查得出结论,设计的可行性、设计类型和避险车道需要考虑的因素有:沿线地形的自然条件、道路线形和坡度、公路附近有无可用之地、避险车道建设对环境的影响、距离坡顶的距离、失控载货汽车的可能速度。

④美国科罗拉多州的一个报告提出,对长下坡路段,在很大程度上地形决定了避险车道的选址。然而,在设计过程中事故数据非常有用。事故数据研究表明:

- a. 避险车道应设置在能够拦截最大数量失控载货汽车的位置。
- b. 在陡坡上存在一个可能点,在这个可能点处失控载货汽车会达到可能造成灾难性事故的一个速度。

- c. 接近一个坡段坡顶的事故往往不太严重。
- d. 避险车道应建在道路平曲线之前,以防失控车辆冲出道路。
- e. 试验表明,坡顶往下 3 ~ 4.5 mile (4.8 ~ 7.2 km) 时能够拦截 70% ~ 80% 的失控车辆。

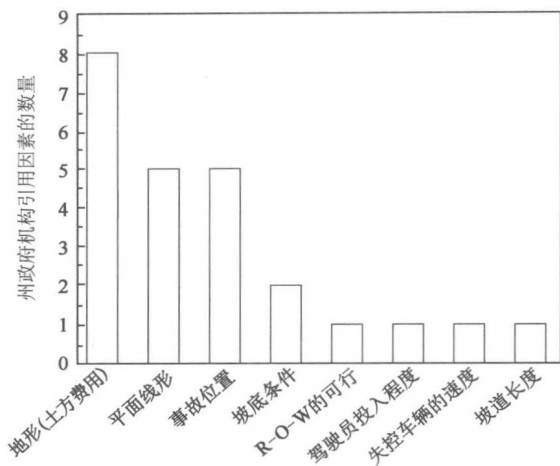


图 1-17 场地选择时考虑的因素

美国加利福尼亚州的避险车道设计指南指出,避险车道的位置,不管它是一个制动床或是重力避险车道,最主要的是受制于地形。一般避险车道应该设置在下坡的下半段,另外就是长下坡路段,这些位置驾驶员最需要和最愿意使用避险车道。避险车道不应该设置在曲线上,这将加重失控载货汽车的驾驶难度,最好设置在切线的通视位置。加利福尼亚州运输部的设计指南也指出,在多车道路路上也可以设置左侧避险车道,但要求不能越到对向交通的车道上。

美国国家公路与运输协会标准(AASHTO)绿皮书指出,场地位置选择时,有关事故数据分析也应该包括道路急上坡部分的评价,失控车辆可能的速度评价。绿皮书进一步指出,避险车道应该设在右侧,一般在切线上,设在密集的居住区和平曲线之前。

总结来看,避险车道选址没有明确的规定,目前的做法是依据工程调查,主要的控制因素是:地形、路线、距离坡顶的距离,这些反映了建造成本费用和与设计交通安全的线形、距坡顶距离等参数之间的一个综合考虑和平衡。

(2) 坡度严重度分级系统法

由于美国联邦公路局(FHWA)开发的坡度严重度分级系统内部预设了制动器限制温度为 260℃,一般认为当制动器温度超过 260℃ 的位置即为避险车道设