

Shanqu Gaosu Gonglu Zongpo Sheji Yu Papo Chedao Yanjiu

山区高速公路

纵坡设计与爬坡车道研究

庄传仪 著



中国矿业大学出版社

山区高速公路纵坡设计与 爬坡车道研究

庄传仪 著

中国矿业大学出版社

内 容 提 要

本书结合山区高速公路存在的长、大纵坡设计技术难题,在大量实测数据的基础上,分析了汽车在各种纵坡坡度下,其自由流车速随坡度、坡长的变化规律;基于载重汽车爬坡行驶的规律,建立了汽车功率质量比计算模型,提出以 15% 汽车功率质量比作为选择纵坡设计主导车型的依据,并提出一套确定功率质量比的试验方案。基于陕西省高速公路载重汽车主导车型,绘制了不同坡度下的加速、减速冲坡的爬坡性能曲线,提出了高速公路坡长限制建议值,给出了山区高速公路爬坡车道的设置条件与设计指标。

本书可供从事公路设计与施工的研究人员与技术人员参考,也可作为道路工程专业大专院校师生、研究生参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

山区高速公路纵坡设计与爬坡车道研究 / 庄传仪著.

徐州: 中国矿业大学出版社, 2015. 9

ISBN 978-7-5646-2848-2

I. ①山… II. ①庄… III. ①山区道路—高速公路—纵坡—设计—研究②山区道路—高速公路—车辆运行—车道—设计—研究 IV. ①U412.36

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 229816 号

书 名 山区高速公路纵坡设计与爬坡车道研究

著 者 庄传仪

责任编辑 吴学兵

出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)

营销热线 (0516) 83885307 83884995

出版服务 (0516) 83885767 83884920

网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com

印 刷 江苏徐州新华印刷厂

开 本 850×1168 1/32 印张 3.375 字数 102 千字

版次印次 2015 年 9 月第 1 版 2015 年 9 月第 1 次印刷

定 价 24.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

前 言

随着路网建设的进一步完善,公路已向山岭重丘地区覆盖,山区由于地形、地质条件复杂,环境保护工作难度大等因素的限制,不得不采用较大的纵坡和较长的坡长或组合坡段,对行车产生较大的影响,对路线的通行能力和行车安全性有了更高的要求。已有的工程建设实践表明,山岭重丘区的公路纵坡设计问题不仅对公路造价影响比较大,有时会因纵坡设计不够科学而舍弃了其他经济、技术指标都不错的路线设计方案,影响路线方案的合理性。因此,纵坡设计成为了路线设计的关键,上坡路段爬坡车道的设置成为增加路段的通行能力、提高行车安全性的重要措施。

由于我国公路建设起步较晚,对公路路线设计的几何参数未进行深入分析和验证,如纵断面设计时,最大纵坡、坡长限制和缓和坡段等最重要的控制性指标,是依据8 t载重车的爬坡性能曲线计算得出的。国内关于代表车型的选取,基本是根据某地区调查的车型及其总重进行统计分析,计算出货车载重吨位的分布情况。然后根

据载重吨位的累计分布曲线,选取一个满足大部分载重车需要的合适车型的大致吨位作为实验的额定载重。再考虑我国交通组成的主流货运车型,确定用于纵坡设计的主导车型。主导车型一经选定,用于纵坡设计的各设计要素如纵坡坡度、坡长限制值等参数都将确定,相应的爬坡车道、避险车道等的设置条件、设计参数亦将确定。但根据汽车行驶的动力学和运动学理论,以货车总重作为主导车型的选择依据,缺乏理论根据,将导致用于纵坡设计的主导车型不能真实反映我国公路交通现状,造成设计车型与实际运行状况不一致的弊端,给国家公路建设造成不必要的损失。

因此,本书基于汽车上坡运行特性和汽车运动学理论,提出了以货车功率质量比作为纵坡设计主导车型选择的依据,推导了货车功率质量比模型,给出了一套可行的实验方法,研究将为路线设计规范和公路工程技术标准相关条款的修订,提供科学依据。

书中参阅了许多专著、论文等文献资料,未一一列出,在此向原作者表示感谢。

山区高速公路纵坡与爬坡车道设计在不断发展与更新中,限于作者的学识和水平,书中错误、疏漏和不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

作者

2015年08月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景和必要性	1
1.2 国内外研究概况	4
1.2.1 美国	4
1.2.2 日本	6
1.2.3 国内研究概况	8
1.3 主要研究内容与技术路线	11
1.3.1 研究方法	11
1.3.2 主要研究内容	11
1.3.3 技术路线	12
第 2 章 上坡运行特性与主导车型的选取	13
2.1 上坡运行特性	13
2.1.1 上坡运行速度数据采集	14
2.1.2 实验数据的采集	16
2.1.3 货车上坡运行速度特性	17

2.2	主导车型的选择	23
2.2.1	理论依据	24
2.2.2	模型的建立	26
2.2.3	数据采集	33
2.2.4	数据分析	35
2.2.5	推荐的载重汽车主导车型	39
第3章	基于汽车行驶理论的动力性能分析	45
3.1	货车在纵坡上的运行分析	45
3.2	平衡速度与平衡坡长的确定	55
3.3	程序实现——爬坡性能曲线绘制流程图	58
3.3.1	程序流程图	58
3.3.2	载重汽车主导车型的理论爬坡 性能曲线	59
第4章	高速公路纵坡坡长限制	64
4.1	坡长限制	64
4.2	等效坡度	80
第5章	高速公路爬坡车道	84
5.1	设置原则	84

目 录

5.2 设置方法	87
5.2.1 设置范围	87
5.2.2 横向设计	89
 第 6 章 结论	 91
6.1 主要研究结论	91
6.2 进一步研究的问题	92
 附表	 94
 参考文献	 96

第1章 绪 论

1.1 研究背景和必要性

随着社会经济和公路交通事业的蓬勃发展,高速公路建设的重心由大中型城市向边远城镇转移,由平原微丘区向山岭重丘区延伸。由于山区地形、地质条件复杂,环境保护工作难度大等因素的限制,不得不采用较大和较长的纵坡或组合坡段,对高速公路的行车产生较大的影响,主要表现在:单位质量功率低的大型车行驶速度降低过多,其车速与小汽车的速度相差较大,超车频率增加,易造成行车安全事故;小汽车行驶自由度减少,通行能力降低;采用低挡行驶,燃油消耗增加,发动机磨损加快,运输成本提高,而且尾气排放增加,严重污染了大气环境。为消除这些现象,可采用下列两种方案:一是通过减小路线纵坡、坡长以增加大型车速度;二是通过设置附加爬坡车道,将大型车从主线的交通流中分离出去,以提

高小汽车的行驶自由度,确保行车安全,增加该区间的通行能力。前者有时很难与地形、路线沿线景观相适应,造成路基工程大填、大挖,增加了跨越沟谷的高架桥或穿越山岭的隧道,工程造价大幅增高;后者相对工程量较小、造价较低,易与公路沿线自然地形、地貌配合,也有利于保护环境^[1],是一种比较可行的解决陡坡路段交通瓶颈问题的方案。

爬坡车道是陡坡路段正线行车道外侧增设的供载重车行驶的专用车道,如图 1-1 所示。爬坡车道作为一种附加车道,已在很多国家得到了较好的应用^[2]。



图 1-1 爬坡车道

爬坡车道的设置取决于下列因素：

- (1) 载重汽车主导车型的爬坡性能；
- (2) 进入单一陡坡路段或几个陡坡组成的组合坡段(下称“特定纵坡路段”)时的初速度；
- (3) 在坡道上容许的速度降低值的标准；
- (4) 载重汽车的混入率对坡道上交通流的影响以及该路段按所要求的服务水平对应的服务交通量(或流率)。

由于我国修建山区高速公路的时间不长,还没有对山区高速公路的通行能力和路线设计的技术参数进行过系统的研究。爬坡车道的设置条件、设置区间和特定纵坡路段的通行能力的计算方法基本上是沿用国外的研究成果。但是,我国的交通组成以及载重汽车的动力性能与国外的情况差异较大,直接沿用国外的研究成果不能反映我国山区高速公路的实际运行特性。因此,研究适合我国情况的爬坡车道设计理论,建立一套实用性强的操作方法已刻不容缓。陕西的咸阳至永寿高速公路和西安至汉中高速公路均出现了爬坡车道的设计问题,迫于我国没有较成熟的设计方法,主要是参考日本和美国的方法进行设计。从陕西省工程现实需要的角度出发,对山区高速公路爬坡车道设计理论和方法进行研究也十分必要。

1.2 国内外研究概况

1.2.1 美国

爬坡车道作为特定纵坡路段提高通行能力和改善交通安全的主要措施,其研究同步于 20 世纪 50 年代起的美国道路通行能力的研究和大中型载重汽车爬坡运行特性的研究。长而陡、长或陡的特定纵坡路段,受载重汽车减速阻挡车流的影响,成为公路的瓶颈路段,其通行能力的研究始终是公路基本路段通行能力研究的重点内容之一,美国相继出版了《道路通行能力手册》(*Highway Capacity Manual*, 简称 HCM)第一、二、三版和 HCM2000 版,对特定纵坡路段的通行能力,特别是对大中型载重汽车在一定的坡度、坡长范围内的大型车换算成小客车的系数 E_{HV} 进行了系统的研究,为美国爬坡车道的设置提供了通行能力计算和服务水平分析的理论基础^[3]。随着美国大中型载重汽车动力性能的提高和路网交通流数据的不断累积,其研究还在不断发展和完善。同时,美国的研究表明,在特定的纵坡路段,载重汽车的行驶速度偏离平均行驶速度越多,发生事故的概率越大。因而,美国公路与运输协会(AASHTO)规定载重汽车的

行驶速度比入坡初始速度降低 16 km/h 时,宜设爬坡车道。同时 16 km/h 的速度折减量也是美国确定爬坡车道起点的依据,其原因是当低于这一速度时,将对后面的车辆造成很大的影响,而且当速度变化量大于 16 km/h 时,事故数明显增加^[4]。

AASHTO 按照典型货车(功率质量比为 8.13kW/t)的爬坡性能曲线,通过调查特定纵坡路段的初始速度(平均运行速度),提出不同速度折减量下的临界坡长值以及组合坡段等效纵坡,为爬坡车道的设置提供了理论基础。

美国高速公路按照不同的设计速度和地形条件给出了全国性应用的最大纵坡控制^[4],见表 1-1。

表 1-1 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

另外,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 110 km/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、坡长和速度变化之间的关系,如图 1-2 所示。

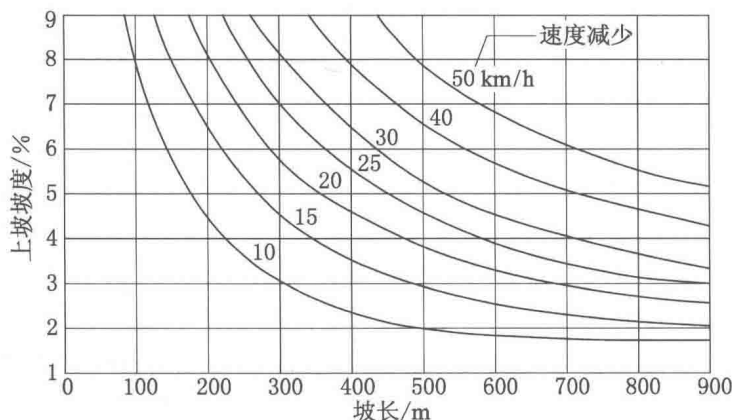


图 1-2 纵坡坡度、坡长和速度折减量之间的关系图

图中显示了典型货车(8.13 kW/t)以 110 km/h 速度驶入后,各纵坡坡度在不同速度折减量下的坡长,同时规定用 16 km/h 的速度差作为确定某一给定纵坡最大坡长的一般设计准则。如果设计坡长大于 16 km/h 的速度折减量对应的坡长,尤其是交通量达到或接近通行能力或者载重车混入率较高时,应考虑增设爬坡车道专供慢行车辆行驶^[4,5],并提出了爬坡车道的设置方法^[4,6]。

1.2.2 日本

日本在 1980~1981 年间曾对纵坡问题在已运营公路上做过不少调查研究^[7],根据单位质量马力数为 10

ps/ton(约 7.355 kW/t)的载重汽车确定其爬坡性能;长上坡路段通行能力的计算是参照美国的《道路通行能力手册》进行的。日本在《关于爬坡车道的调查研究报告书》中采用模拟的方法,分析爬坡车道的设置,即用变化的交通条件和道路条件,分析长陡上坡路段的交通现象,并从交通服务和交通安全两方面加以评价确定设置爬坡车道的条件和区间,并对设置爬坡车道的效果作了如下评价:

(1) 公路纵坡 $i < 3\%$ 或 $i < 4\%$ 、坡长 $l < 5\,000\text{ m}$ 时,设置爬坡车道效果不明显。

(2) 纵坡 $i = 4\%$ 、 $l > 5\,000\text{ m}$ 或 $i = 5\%$ 、 $l < 1\,500\text{ m}$ 且 $AADT \leq 10\,000$ 辆/日时,设置爬坡车道效果不明显;但在服务和安全上对小型车有所提高。

(3) $i = 5\%$ 、 $l > 1\,500\text{ m}$ 且 $AADT > 10\,000$ 辆/日或 $i > 5\%$ 时,设置爬坡车道在交通服务和安全上效果明显。

日本在考虑行驶速度、通行能力之后,提出爬坡车道的设置条件:

(1) 主线大型车行驶速度小于容许行驶速度、路段通行能力小于设计通行能力、路段长度大于 200 m 时,应设置爬坡车道,爬坡车道的最短长度为 500 m ;

(2) 主线大型车行驶速度小于容许行驶速度,路段

通行能力大于设计通行能力、小于容许行驶速度的路段长度大于 1 000 m 时,应设置爬坡车道;

(3) 符合上述条件,但当设计速度小于 80 km/h,设计交通量在 20 000 辆/日以下,公路纵坡在 3% 以下或公路纵坡 4% 以下、坡长 5 000 m 以下时,可不设置爬坡车道。

1.2.3 国内研究概况

与国外相比,国内在爬坡车道设置和研究方面都起步较晚,相关的研究很少,各地在爬坡车道设置方面还没有统一的标准可以遵循。《公路工程技术标准》^[8]中只是规定“高速公路、一级公路以及二级公路的连续上坡路段,当通行能力、运行安全受到影响时,应设置爬坡车道。爬坡车道宽度不应小于 3.50 m。六车道以上的高速公路,可不设置爬坡车道。”现行的《公路路线设计规范》^[9]给出了爬坡车道的设置条件,即只要满足大型车上坡方向的行驶速度小于容许行驶速度或通行能力小于设计小时交通量之一者,就需设爬坡车道。这个设置条件基本上是沿用日本的研究成果,但比日本的设置条件要严得多,在我国经济实力比较弱的情况下,投资有些超前。我国目前也没有与《公路路线设计规范》相配套的爬坡车道设计理论与设计操作方法,各公路设计单位在进行爬坡

车道设计时,主要还是依靠设计人员的主观判断,造成设计结果与我国实际情况出现偏差。

实际应用中,应对路段内大型车的爬坡性能和混入率对通行能力及大、小车型速度差等的影响进行分析,以确定是否设置爬坡车道。爬坡车道宽度内不包含右侧硬路肩的宽度。

我国从20世纪70年代末、80年代初开始,部分科研设计院所和高校就车辆在坡道上运行规律进行了初步调研,主要成果如下:

同济大学1982开始对我国公路路线使用质量评价问题作了比较系统的研究,提出了采用行车速度、耗油量及交通事故率作为公路线形使用质量的评价指标。为了求得公路线形与行车速度的关系,选择了各种不同平曲线半径、纵坡坡度和几种不同路面宽度的113个典型路段进行行车试验和车速测定。主要针对二、三级公路,以及公路上8~10 t的中型载重汽车。根据实测的车速与相应的曲线路段公路线形指标,建立了统计回归模型^[10]。但由于是以二、三级公路双车道为主,而且仅考虑了曲率和路宽的因素,缺乏对其他影响因素的全面考虑。

交通部公路所受部公路司委托于1988年7月进行了“纵坡与汽车运行速度和油耗之间的关系”专题研究。项目组以当时的主要车型东风140和解放141为代表车