

刘建蓓 汪双杰 · 著

高海拔地区高速公路 技术指标与安全设计

GAOHAIBA DIQU
GAOSUGONGLU JISHUZHIBIAO
YU ANQUANSHEJI

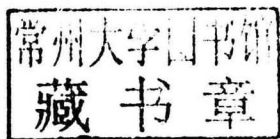
上海科学技术出版社





高海拔地区高速公路 技术指标与安全设计

刘建蓓 汪双杰
著



上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

高海拔地区高速公路技术指标与安全设计 / 刘建蓓,
汪双杰著. —上海: 上海科学技术出版社, 2017. 11

ISBN 978-7-5478-3807-5

I. ①高… II. ①刘… ②汪… III. ①青藏高原—高
速公路—道路施工—安全技术 IV. ①U415.12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 294872 号

高海拔地区高速公路技术指标与安全设计
刘建蓓 汪双杰 著

上海世纪出版(集团)有限公司 出版、发行
上海科学技术出版社
(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235 www.sstp.cn)

苏州望电印刷有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 18 插页 4

字数 470 千字

2017 年 11 月第 1 版 2017 年 11 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5478-3807-5/U·57

定价: 150.00 元

本书如有缺页、错装或损坏等严重质量问题, 请向工厂联系调换

内容提要

本书以青藏高原高海拔地区特殊地理位置和低压环境条件为立足点,充分考虑在低压缺氧环境下车辆综合性能衰减和长期积雪冰冻中行车稳定性剧降,同时易引发驾驶员的高原反应和疲劳驾驶等因素,全面系统地介绍了高海拔地区低压缺氧环境下大型典型货运车型综合性能以及驾驶员的心理生理变化和驾驶行为变化规律、高速公路运行速度预测模型、高速公路速度控制与安全设计关键技术、高速公路几何设计关键技术指标与取值标准、服务设施配置标准等研究成果,最后结合在花石峡至大武公路工程的示范和应用,对示范工程的公路路线设计、速度控制设施进行了优化与完善。

本书主要读者对象为公路设计、交通运输、交通安全管理等专业领域的工程技术人员、科研人员、装备开发人员、技术管理人员以及高等院校有关专业的师生。



前言

西藏是我们伟大祖国的西南门户和国防战略要地,经过改革开放近 40 年的艰苦奋斗,西藏交通发生了翻天覆地的变化,为全区经济发展、社会进步、人民群众生活水平提高和祖国西南边疆巩固发挥了重大作用。但是随着西藏地区与其他地区联系的日益密切和扩大,同时受制于区域客观自然条件和相关建设技术瓶颈,现有公路交通运输系统已不能满足人民群众快速的交通出行和物资运输需求,截至 2015 年年底我国高速公路总通车里程达 12 万 km,位居世界第一,而西藏自治区是全国唯一一个未与外界高速公路相连接的省份,成为国家高速公路网中的一个“孤岛”。如何推动西藏现代化交通建设、促进地区经济发展的繁荣和稳定,始终牵系着党和国家乃至全国人民的心。

受青藏高原地区特殊地理位置、低压缺氧环境、恶劣自然条件、复杂地质条件和脆弱生态环境等因素的影响,在西藏高海拔地区建设高速公路会面临一系列的困难和挑战。从全世界范围来看,可供借鉴的成熟经验较少,使得在青藏高原上修建高速公路的难度将远远大于平原地区。在破解冻土这一世界性难题的同时,还面临着一系列未曾解决的技术难题:青藏公路沿线平均海拔 4 000 m 以上,唐古拉山口甚至达到 5 231 m,在低压缺氧环境中车辆综合性能衰减,使得在高海拔地区纵坡的取值必然与平原地区有所区别;高海拔缺氧环境将引发高原反应和驾驶操作行为迟缓,长距离连续驾驶很可能引起疲劳驾驶,在服务设施等设置过程中应当充分考虑高原反应以及疲劳驾驶等因素;长期积雪冰冻造成行车稳定性剧降等严重影响高速公路行车安全,在交通安全设施方面均须重点考虑。为克服以上技术难题、保障高海拔地区高速公路交通安全,急需开展前瞻性的研究和技术攻关。

本书根据国家科技支撑计划项目“高海拔高寒地区高速公路建设技术”的系列课题研究,主要针对入藏典型车辆综合性能在低压缺氧环境条件下的改变,以及高原地

区公路行车驾驶心理、生理变化和驾驶行为变化规律,开展了高海拔地区高速公路几何指标参数、技术标准选用原则方法、交通安全保障技术等研究,集成高原特殊环境下高速公路安全设计关键技术,并开展工程示范和应用,为实现保障高原地区高速公路行车安全、实现西藏地区高速公路快速发展提供基础性试验、研究和工程示范等的研究成果,经归纳整理编撰完成。

本书共分为7章。第1章介绍青藏高海拔地区高速公路建设技术指标选用和路线设计面临的主要技术问题,从保证公路系统运行安全的角度,研究进藏车辆、司乘人员、公路条件及环境等方面涉及安全的内容;第2章介绍高海拔地区交通运行特征;第3章研究高海拔地区低压缺氧环境下典型车辆动力特性;第4章研究高海拔地区低压缺氧环境下驾驶员心理生理变化特性;第5章研究高海拔地区高速公路运行速度模型;第6章研究高海拔地区高速公路路线安全设计技术;第7章介绍相关技术的应用与示范。

全书由刘建蓓主持撰写完成。具体编写分工如下:第1章、第2章由刘建蓓、汪双杰、贺玉龙撰写;第3章由刘建蓓、郭忠印撰写;第4章由张志伟、马小龙撰写;第5章由刘建蓓、高晋生撰写;第6章由刘建蓓、贺玉龙、柳本民撰写;第7章由刘建蓓、史恒撰写。感谢邓涵月、竺灵杰、张彦宁、冯丙丙、张园、李大鹏、张梅梅、张鲁飞、侯洋洋等所做的研究为本书提供的支持。

限于水平,书中不妥之处在所难免,欢迎批评指正。

作 者

2017年10月于西安

目 录

第 1 章 绪论 / 1

1.1 研究背景 / 2

1.2 国内外研究现状简介 / 5

1.2.1 高海拔地区车辆动力特性 / 5

1.2.2 高海拔地区驾驶员心理生理变化特性 / 7

1.2.3 高海拔地区高速公路交通运行特征 / 11

1.2.4 高海拔地区高速公路路线技术指标 / 17

1.3 主要研究内容 / 21

1.3.1 低压缺氧环境下车辆性能与驾驶行为研究 / 22

1.3.2 青藏地区高速公路交通特征与速度控制研究 / 25

1.3.3 低压缺氧环境下高速公路路线主要技术指标研究 / 27

1.3.4 青藏高速公路技术标准与设计指南研究 / 29

1.4 技术难点与研究方法 / 29

1.5 科技成果与创新 / 32

1.6 成果应用情况 / 35

1.7 经济效益和社会效益 / 36

第2章 高海拔地区交通运行特征 / 39

- 2.1 高海拔特殊环境下交通事故特征 / 40
 - 2.1.1 交通事故基础数据 / 40
 - 2.1.2 交通事故分析指标及方法 / 40
 - 2.1.3 交通事故总体分布特征 / 44
 - 2.1.4 交通事故与人、车、路、环境的关系特征 / 51

- 2.2 高海拔特殊环境下交通流运行特性 / 66
 - 2.2.1 基础数据采集情况 / 66
 - 2.2.2 交通量及其组成分析 / 67
 - 2.2.3 交通流行驶特性分析 / 74

- 2.3 高海拔地区交通安全服务水平 / 78
 - 2.3.1 路段划分方法确定 / 79
 - 2.3.2 交通事故影响因素分析 / 81
 - 2.3.3 区域公路事故预测模型 / 85
 - 2.3.4 二级公路交通安全服务水平 / 91
 - 2.3.5 高速公路交通安全服务水平研究初探 / 93

第3章 高海拔地区低压缺氧环境下典型车辆动力特性 / 95

- 3.1 试验车型与试验方案 / 96
 - 3.1.1 试验车型 / 96
 - 3.1.2 试验方案 / 100
 - 3.1.3 试验地点及环境状况 / 100

- 3.2 高原地区车辆动力特性原理 / 101
 - 3.2.1 车辆行驶动力原理 / 101
 - 3.2.2 车辆行驶阻力原理 / 103
 - 3.2.3 基于海拔的动力和阻力折减原理 / 105

-
- 3.3 发动机外特性 / 109
 - 3.3.1 发动机外特性的试验及计算过程 / 109
 - 3.3.2 不同海拔下发动机外特性比较 / 111
 - 3.3.3 发动机转矩折减系数分析 / 113
-

- 3.4 发动机制动特性 / 117
- 3.4.1 发动机制动特性试验及计算过程 / 117
- 3.4.2 不同海拔下发动机制动特性比较 / 118
- 3.4.3 发动机制动转矩折减系数分析 / 121

第4章 高海拔地区低压缺氧环境下驾驶员心理生理变化特性 / 125

- 4.1 低氧环境下驾驶员的感知与操作能力 / 126
 - 4.1.1 试验方案设计 / 126
 - 4.1.2 驾驶员反应能力变化特性 / 129
 - 4.1.3 复杂线形条件下驾驶员心率变化特性 / 130
 - 4.1.4 复杂线形条件下驾驶员心率变化模型 / 134
-

- 4.2 低氧环境下驾驶员的疲劳特性 / 139
- 4.2.1 试验方案设计 / 139
- 4.2.2 不同海拔条件下的驾驶疲劳特性 / 143
- 4.2.3 不同海拔条件下的驾驶疲劳模型 / 149

第5章 高海拔地区高速公路运行速度模型 / 157

- 5.1 代表车型 / 158
 - 5.1.1 小型车代表车型 / 158
 - 5.1.2 大型车代表车型 / 159
-

5.2 动力和阻力折减对车辆行驶速度的影响 / 159

5.3 平衡速度与等效坡度的关系 / 160

5.3.1 小于 80 km/h 的等效坡度和坡度偏移值 / 161

5.3.2 大于 80 km/h 的等效坡度和坡度偏移值 / 168

5.4 考虑等效坡度的运行速度预测模型 / 173

5.5 运行速度预测模型的验证分析 / 174

第 6 章 高海拔地区高速公路路线安全技术 / 179

6.1 高海拔地区高速公路主要几何指标与参数 / 180

6.1.1 平面线形指标研究 / 180

6.1.2 公路纵坡设计指标 / 183

6.1.3 连续长陡下坡界定标准 / 193

6.1.4 横断面组成与尺寸 / 196

6.1.5 路拱横坡与路面超高 / 198

6.1.6 冰雪条件下停车视距 / 211

6.2 服务设施合理间距 / 216

6.2.1 服务设施设置间隔主要考虑因素 / 217

6.2.2 服务设施种类划分及功能定位 / 224

6.2.3 青藏公路第二类服务设施间隔 / 226

6.2.4 青藏公路第三类服务设施间隔 / 227

6.2.5 青藏公路第一类服务设施间隔 / 229

6.3 高海拔地区高速公路设计速度动态分段技术 / 231

6.3.1 以公路功能、技术等级选择设计速度 / 231

6.3.2 以海拔地形条件等布线因素选择设计速度 / 232

6.3.3 考虑气候条件选择设计速度 / 233

6.3.4 考虑典型车辆的运行速度选择设计速度 / 234

6.3.5 考虑沿线路网节点选择速度分段 / 235

6.3.6 速度过渡设计 / 235

6.4 路线安全设计优化方法 / 238

6.4.1 线形指标的选用原则 / 238

6.4.2 路线安全性优化设计流程 / 239

6.5 青藏高原高速公路技术标准研究 / 242

6.6 高海拔地区高速公路动态速度控制(限速)设计技术 / 244

6.6.1 限速方式及其分布 / 244

6.6.2 车辆超速情况分析 / 247

6.6.3 既有限速设施限速效果评价 / 251

6.6.4 特殊环境下限速决策与设置技术 / 251

第 7 章 依托工程应用与示范 / 257

7.1 依托工程概况 / 258

7.2 设计速度分段适应性分析 / 259

7.2.1 功能定位与布设条件 / 259

7.2.2 车辆运行条件 / 260

7.2.3 路网节点条件 / 261

7.3 运行速度协调性评价 / 261

7.4 基于运行速度的平纵几何线形指标检验 / 263

7.4.1 平面线形指标检验 / 263

7.4.2 纵面线形指标检验 / 264

7.4.3 视距检验 / 265

7.5 限速实施方案 / 266

7.5.1 示范工程主要内容及技术路线 / 267

7.5.2 限速综合决策模型的应用 / 267

7.5.3 具体实施方案 / 268

7.5.4 限速标志设置 / 269

7.5.5 其他速度管理建议方案 / 269

参考文献 / 271

第 1 章

绪 论

1.1 研究背景

西藏因其独特的地理气候条件、自然原始的生态环境以及神秘的民族宗教文化,被誉为“世界最后一片净土”,是全世界人民神往的地方。同时西藏又是我们伟大祖国的西南门户和国防战略要点,其发展、繁荣和稳定始终牵系着党和国家乃至全国各族人民的心。但受制于客观自然条件和相关建设技术瓶颈,其作为地区经济发展命脉的公路交通系统发展却一直严重滞后。在我国高速公路通车总里程达 12.3 万 km(2015 年,位居世界第二)的快速发展形势下,至今西藏地区高速公路建设发展缓慢,尚无一条能够抵御自然灾害、全天候通车且与其他地区保持密切联系的高速公路。在 2013 年 6 月发布的《国家公路网规划》中明确纳入建设青藏高速公路[G6(北京—拉萨高速公路)一部分]内容。随着“一带一路”发展规划的推进,习近平总书记在中央第六次西藏工作座谈会上,明确提出要加快构建西藏综合交通运输体系,把西藏打造成为我国面向南亚开放的重要通道。

截至 2016 年年底,京藏高速北京—格尔木段均已建成高速公路,唯有格尔木—拉萨段尚未启动。格尔木—拉萨高速公路连接青海省与西藏自治区,其建设将改写西藏与外界不通高速公路的历史、拉近西藏与其他地区的距离、密切西藏与其他地区的联系,对促进西藏、青海地区社会经济发展和改善民生,也将起到巨大的推动作用。青藏公路格尔木—拉萨段总长约 1 138 km,其中有 528 km 路段穿越环境极其恶劣、地质条件复杂多变的高原多年冻土地区。自 1953 年在青藏高原冻土区修筑青藏公路开始,我国冻土工程科研与技术人员就通过 60 多年来长期的研究探索工作,不断推动着冻土地区筑路技术的发展与进步,保障了青藏公路的健康运营,也为开展青藏高速公路建设奠定了坚实的技术基础。

然而,在确定青藏高速公路建设走廊带后首先需要面对的一项重要技术难题就是技术标准的选用问题。高速公路是专供汽车高速行驶的公路,受青藏高原地区特殊地形、地质和环境等因素影响,在青藏高原地区建设高速公路将面临一系列的困难和挑战。在破解冻土这一世界性难题的同时,如何克服低压缺氧环境中车辆综合性能衰减、高海拔引发高原反应和驾驶操作行为迟缓、长期积雪冰冻造成行车稳定性剧降等严重影响高速公路行车安全的关键性问题,保障高海拔地区高速公路交通安全,均需要开展前瞻性的研究和技术攻关,而目前国内外在相关领域的研究上还处于空白。

为此,国家科技支撑计划研究项目“高海拔高寒地区高速公路建设技术”特别设立“青藏高原特殊环境下高速公路安全设计技术研究”,旨在揭示大型典型货运车型高海拔综合性能变化、试验总结高原地区公路行车驾驶心理生理变化和驾驶行为变化规律、研发适用于冰雪环境新型安全防护设施等的基础上,开展高海拔地区高速公路几何指标参数、技术标准选用原则方法、交通安全保障技术等研究,集成高原特殊环境下高速公路安全设计关键技术,并

开展工程示范和应用,为实现保障高原地区高速公路行车安全、实现西藏地区高速公路快速发展提供基础性试验、研究和工程示范支撑。

由于青藏高原具有特殊的地理环境特征,导致未来该地区高速公路运营将面临巨大的交通安全挑战。青藏高原高速公路建设主要面临以下交通安全技术问题:

1) 国内外现有高海拔地区公路设计技术研究成果资料较少

国内外研究公路线形设计指标的内容较多,但是针对高原低压缺氧环境特点开展公路技术标准、几何线形指标和参数研究的较少,针对高速公路的更是鲜有涉及。国内部分学者针对青藏公路取得了一些研究成果,但由于青藏公路属于二级公路,其技术标准选择、设计指标和参数的确定依据是否适应高速公路,有待进一步研究。在纵坡设计方面,虽然国内在高原地区公路纵断面研究方面取得了一定的成果,但许多问题还停留在试验阶段,尚未对高原高海拔地区最大纵坡、坡度折减与驾驶行为关系等问题进行系统深入的研究。在服务区间间隔设置方面,目前主要是以定性方法为主,着眼于旅客的生理需求和车辆运行。针对高原低压缺氧环境,还须考虑驾驶疲劳、人的生理需要、安全行车安全要求以及医疗救助等,结合沿线地质条件、交通流量和国内外服务设施布局经验,对青藏高原高速公路服务设施合理间距做进一步研究。在超高取值方面,不同国家均有一定的差异性,最大超高值的选取应当视实际情况而定。

因此,高海拔地区公路设计技术指标还须结合实际环境特征开展进一步系统性研究。

2) 高原高海拔特殊地理环境对人、车安全影响巨大

青藏高原空气中氧含量较低,对车辆和人员都将产生很大的影响。

(1) 对车辆的影响

在高海拔地区,空气里的氧含量只有平原地区一半,空气稀薄会导致车辆发动机进气量中氧气含量低而影响车辆性能。其工作原理是:发动机燃油混合气燃烧不完全,冷车状态润滑油黏度大,发动机运转阻力大,功率损耗大而动力输出减少,同时冷却液沸点比平原地区低,车辆出现“开锅”,发动机高温,车辆不能正常行驶。春、秋、冬季车辆在平路和下坡路行驶时,发动机温度下降快,影响发动机功率提升。

海拔增高、车辆性能普遍降低也影响到车辆运行安全,特别是对于满载的大型运输车辆在该区域爬坡能力下降明显,并导致车辆行驶速度降低,大小型车行驶速度差变大,极易引发交通事故。

(2) 对人员的影响

在高海拔环境下氧含量明显降低,低氧会令人头痛、胸闷、气短、心悸、恶心呕吐、口唇发绀、失眠、多梦,血压亦可能升高,有极少数人因劳累、受寒和上呼吸道感染等原因,症状可能逐渐加重,发展成为高原肺水肿或高原脑水肿,而高原肺水肿、脑水肿发病快,死亡率高。平原区人员进入高原之后,一般发病率为30%~40%;在已经发生高原反应的人群中,脑水肿与

肺水肿的比例占10%~20%。在海拔5 100 m的高度处90%的驾驶员都会发生高原反应。总体来说,到达海拔3 000 m以上时,由于氧含量降低,会出现一定程度的高原反应,且随着海拔高度的上升,出现高原反应的风险迅速增加。

受高原低氧环境的影响,驾驶员更容易出现驾驶疲劳和操作行为不当的情况。主要表现为注意广度、注意转移、短时记忆、复杂思维判断力下降,导致驾驶员驾驶能力下降,严重影响到行车安全。随着海拔的升高,驾驶员反应时间随之增加,驾驶动作敏捷度随之而下降,疲劳、误操作等行为对行车安全的影响巨大。

因此,研究掌握高海拔地区对车辆动力性、制动性能的影响程度,了解驾驶者的驾驶心理生理行为,是开展安全设计的必要指导因素。

3) 面对青藏高原特有的自然气候条件,需要更新和提升高速公路的设计方法和技术

我国地域广阔,地区差异性显著,现行的《公路工程技术标准》和《公路路线设计规范》等技术标准规范在全国范围内的执行和使用方面,存在一定的差异性。受西藏地区特殊的地理位置、恶劣的自然环境等因素的影响,高海拔地区高速公路设计方法和关键技术需要更新和拓展。

针对高海拔地区车辆性能降低、发动机因散热能力降低易过热情况,当海拔超过3 000 m时,公路路线设计应对纵坡予以折减。当前高海拔地区车辆普遍配有涡轮增压系统,沿线交通中载重货车组成比例、其发动机外特性能力差异较大等情况,与我国内陆地区明显不同;高原地区高寒易结冰公路,考虑路面摩阻能力减弱条件,其平曲线最小半径、曲线长度等指标会有较大变化;我国高速公路服务区内设施布局时,缺乏定量分析和规模可行性分析,一般着眼于旅客的生理需求和车辆运行极限,而忽略了高速公路沿线环境、交通运输流的双向作用、驾驶员的疲劳驾驶特征等因素的影响。针对高原低压缺氧环境下,考虑车辆加油需求、人的生理需要、安全行车要求,结合沿线地质条件、交通流量和国内外服务设施布局及合理间距等方面的研究非常少。

另外,高原上地形起伏平缓,通视良好,青藏地区公路线形指标普遍较高,公路在多年冻土区基本无横向干扰,驾驶员通常期望以较高速度穿越高寒缺氧地段。同时,进藏公路沿线大多为无人区,高原地区公路长距离运行特点明显,导致部分路段易出现超速行驶。开展基于运行速度分布的公路线形与速度适应匹配设计与控制技术十分必要。

因此,青藏高速公路建设需要结合区域自然气候特点,从安全角度,以满足驾驶员舒适性与车辆性能稳定性为目标,研究确定青藏高速公路技术主要指标和参数采用阈值,建立适合高原地区公路几何设计的方法体系。

4) 频繁、多样的恶劣气象条件对高速公路主动抗灾、保通能力提出更高要求

高海拔地区雨、雪、冰、冻灾害频繁发生,相对于我国内陆地区事故概率大幅增加,高速公路建成之后,在冰雪路面上的制动侧滑现象也很突出,车辆发生侧滑后,往往要导致交通