

“十三五”国家重点图书出版规划项目 | 高海拔高寒地区高速公路建设关键技术

高海拔高寒地区 高速公路安全技术

GAOHAIBA GAOHAN DIQU
GAOSUGONGLU
ANQUAN SHEJI JISHU

刘建蓓 汪双杰·著
上海科学技术出版社



“十三五”国家重点图书出版规划项目
高海拔高寒地区高速公路建设关键技术



高海拔高寒地区 高速公路安全设计技术

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

高海拔高寒地区高速公路安全设计技术 / 刘建蓓,
汪双杰著. —上海: 上海科学技术出版社, 2019. 7

(高海拔高寒地区高速公路建设关键技术)

ISBN 978-7-5478-4352-9

I. ①高… II. ①刘… ②汪… III. ①高原—寒冷地区—高速公路—道路工程—安全设计 IV. ①U412.36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 024584 号

高海拔高寒地区高速公路安全设计技术

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)

浙江新华印刷技术有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 18.25 插页 4

字数 380 千字

2019年7月第1版 2019年7月第1次印刷

ISBN 978-7-5478-4352-9/U·82

定价: 145.00 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。

高海拔高寒地区高速公路建设关键技术

学术顾问

程国栋 中国科学院院士

郑健龙 中国工程院院士

赖远明 中国科学院院士

郑皆连 中国工程院院士

杜彦良 中国工程院院士

王复明 中国工程院院士

王秉纲 浙江大学教授

王 玉 中国公路学会专家委员会委员

陈国靖 原交通部公路科学研究所所长

张鲁新 原青藏铁路专家组组长

高海拔高寒地区高速公路建设关键技术

编委会

编委会主任

汪双杰

编委

(以姓氏笔画为序)

王 佐 刘 戈 刘建蓓 吴明先 陈建兵

纳启财 单永体 胡 林 夏才初 韩常领

总 序

多年冻土是高海拔高寒地区道路工程建设的“拦路虎”。自1954年青藏公路建成通车至今的60余年间，伴随着不同形式冻土工程病害的发生、发展，我国科技工作者对多年冻土物理、力学性质的认识逐渐深入，也对冻土工程的复杂性有了更系统的认知。2006年青藏铁路建成通车以来，全球气候变暖、冻土退化，也带来铁路路基沉陷、开裂等工程病害。几十年来国家重大冻土工程建设经验充分证明，冻土工程领域科学与技术进步将是一个螺旋式发展的长期过程。

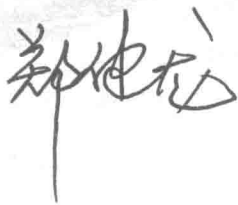
我国科技工作者在多年冻土区道路工程建设技术探索的道路上一直没有停歇。20世纪70—90年代末，围绕着青藏公路的历次整治改建，摸索形成的冻土工程研究方法 with 测试技术，逐步奠定了我国冻土工程研究的基础，并创建了我国公路冻土工程病害机理分析、病害整治技术与理论体系。21世纪初，通过青藏铁路的工程实践和系统集成，冻土工程研究中进一步融入了“冷却路基”的理论探索与技术设计，取得了一大批具有国际先进水平的研究成果。2011年，国家为尽快启动玉树地震后的交通重建工作，决定建设青海省共和至玉树高速公路，再次掀起冻土工程研究的高潮。

相对青藏铁路、二级青藏公路而言，在多年冻土地基上建设大尺度、高标准、重荷载的高速公路面临着工程尺度效应、大断面厚重路面结构的封闭储热效应及黑色路面强吸热效应等问题，可能导致更大的工程风险。冻土区高速公路建设必须进行理论创新与技术突破。

令人欣喜的是，“高海拔高寒地区高速公路建设关键技术”丛书让我们看到我国冻土工程科研工作者挑战高海拔高寒地区高速公路建设关键技术的系列重要成

果,其内容包含路基、路面、桥梁、隧道、环境保护、监测预警等专业方向,创立了公路冻土工程尺度效应理论及能量平衡设计方法,代表了我国乃至世界道路冻土工程研究最新成果。丛书的主编单位具有40余年多年冻土区公路工程科研与设计经验,拥有“高寒高海拔地区道路工程安全与健康国家重点实验室”这一高端研发平台。编者队伍中既有我国公路冻土工程领域的设计大师、知名专家,又有长期持续开展专项研究的青年才俊。他们深厚的技术积淀、理论功底和丰富的实践经验对保障丛书的学术和技术水平起到了重要的作用。

2013年9月,习近平总书记首次提出共同建设“丝绸之路经济带”的倡议以来,“一带一路”倡议已成为我国深化改革开放、践行中国梦、实现世界共同发展、共建人类命运共同体的国家战略,实现这些伟大战略构想的基础在交通运输。“陆上丝绸之路经济带”是实现亚欧非大陆互联互通的核心通道,由东向西跨越青藏高原、喀喇昆仑山脉、帕米尔高原、西伯利亚等高海拔高寒地区及北半球高纬度寒冷地区,涉及主要干线公路里程将达1.2万km。我相信丛书的出版将对保障穿越高海拔高寒地区的大规模道路工程建设,支撑交通行业抢抓“一带一路”发展机遇,助推我国“标准、技术走出去”发挥重要作用。



中国工程院院士

2019年2月10日

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里程14.26万 km，位居世界第一，而西藏是全国唯一一个未与外界高速公路相连接的省区，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

2019年2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设计技术 / 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