

“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

多年冻土区公路建设 环境保护关键技术

DUONIAN DONGTUQU
GONGLU JIANSHE HUANJING BAOHU
GUANJIAN JISHU

吴明先 单永体 胡 林·编著

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

多年冻土区公路建设 环境保护关键技术

吴明先 单永体 胡 林
编著



上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

多年冻土区公路建设环境保护关键技术/吴明先,
单永体, 胡林编著. —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 978-7-5478-4351-2

I. ①多… II. ①吴… ②单… ③胡… III. ①多年冻
土-冻土区-高速公路-道路工程-环境保护-研究-中
国 IV. ①X322. 2

中国版本图书馆CIP数据核字 (2019) 第024550号

多年冻土区公路建设环境保护关键技术
吴明先 单永体 胡林 编著

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)

印刷

开本 787×1092 1/16 印张 22.25

字数 490千字

2019年7月第1版 2019年7月第1次印刷

ISBN 978-7-5478-4351-2/U · 81

定价: 215.00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

本书结合共玉公路、青藏公路以及拟建青藏高原高速公路的建设实践，针对高寒生态脆弱区的环境特点和冻土区公路建设的特点，在全面分析现有公路环境保护技术措施和国内外研究成果的基础上，系统介绍了多年冻土区公路环境保护设计、施工新技术，并明确了技术原理、适用范围和技术要点。本书共分 11 章，概述了公路建设环境保护的概念与内涵、公路环境保护发展与进程；分析了多年冻土区公路建设的环境特征；以 G214 为例介绍了多年冻土区公路沿线生态环境评价指标体系以及生态植被空间分布与环境影响因子；阐述了冻土区公路建设生态防护与植被恢复关键技术、水土保持关键技术、环境污染防治技术、动物通道设置技术、冻土区公路环境保护施工技术以及公路全程环境保护管理技术方法体系，并附有工程实例加以论证。

本书的主要读者对象为公路环境保护行业的科研人员、设计人员、施工人员及技术管理人员等，也可供高等院校相关专业的师生参考。



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。

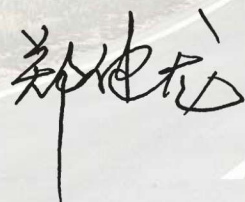
我国科技工作者在多年冻土区道路工程建设技术探索的道路上一直没有停歇。20世纪70—90年代末，围绕着青藏公路的历次整治改建，摸索形成的冻土工程研究方法与技术，逐步奠定了我国冻土工程研究的基础，并创建了我国公路冻土工程病害机理分析、病害整治技术与理论体系。21世纪初，通过青藏铁路的工程实践和系统集成，冻土工程研究中进一步融入了“冷却路基”的理论探索与技术设计，取得了一大批具有国际先进水平的研究成果。2011年，国家为尽快启动玉树地震后的交通重建工作，决定建设青海省共和至玉树高速公路，再次掀起冻土工程研究的高潮。

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

多年冻土在我国分布范围较广，总面积多达215万 km^2 ，世界排名第三，分为高纬度和高海拔多年冻土，主要分布在我国大/小兴安岭、青藏高原、阿尔泰山、天山、祁连山、横断山、喜马拉雅山以及东部山地。广泛分布多年冻土的青藏高原有着“世界屋脊”及“第三极”之称，也被称为“中华水塔”，是我国的生态安全屏障，使得这一区域公路环境保护面临巨大挑战。2017年8月1日，我国首条穿越青藏高原多年冻土区的高等级公路、通往玉树地区的“生命线”公路通道——共玉公路通车运营，其中多年冻土路段长达227.7 km，占路线总长的35.8%。与此同时，青藏高速公路格尔木至拉萨段（全长约1 100 km）启动前期勘察设计工作，全线分布超过500 km的多年冻土。由于高原特殊的地理、气候以及多年冻土环境，使其建设难度超越以往高海拔高寒地区的其他道路工程。

青藏高原多年冻土地区公路建设将面对高寒缺氧、多年冻土和生态脆弱三大难题，以及由此引发的一系列自然环境、建设环境、运营环境和养护环境等问题，这将是制约该地区公路建设、运营、养护等的重要背景因素。开展青藏高原多年冻土区高速公路建设环境保护技术研究，解决制约青藏高速公路建设的环境保护难题，对于保障多年冻土区高速公路建设，保护青藏高原脆弱的生态环境，具有重要的现实意义。多年冻土的技术研究表明，青藏铁路、青藏公路路基相对较窄，青海省共玉（结古）公路、花石峡至大武公路等新建道路也达到了一定的规模和等级，但其在多年冻土路段宽分幅路基方案与高速公路宽幅标准路基存在较大差距，对于多年冻土区公路环境保护技术与实践缺乏相关系统的研究和梳理。为解决多年冻土区高速公路建设环境保护技术问题，中交第一公路勘察设计研究院有限公司长期开展不间断的科学研究与工程试验，

研究成果“多年冻土地地区公路修筑成套技术研究”获国家科学技术进步一等奖，“多年冻土地地区公路生态环境保护与评价技术研究”获中国公路学会科学技术奖一等奖，“高速公路岩质边坡生态防护技术研究”获陕西省科学技术二等奖，“青海省共和至玉树（结古）公路建设关键技术研究”获2015年度中国公路学会科学技术奖特等奖，并于2017年5月通过国家科技支撑计划“高海拔高寒地区高速公路建设技术”项目验收。在这些勘察设计实践和科研攻关的过程中，积累了一些冻土区公路建设环境保护理论和技术。撰写本书的目的就是为对已有的研究成果及工程经验进行系统总结，以期对青藏高原多年冻土区公路环境保护工程建设有所借鉴和帮助。

全书以青藏高原多年冻土区共玉公路、青藏公路、青藏高速工程科研设计成果为基础，结合已建工程相关的技术经验，同时参考了国内外近年冻土工程研究成果，全面阐述了多年冻土区公路环境保护的相关理论与实践技术，首次系统总结了勘察设计、施工、管理等全寿命周期的公路环境保护理念。全书内容较为丰富，注重适用性。吴明先负责全书编写的总体设计、组织和定稿工作；单永体、胡林负责全书的撰写及审校工作；郭文、尹静、陈瑞华、王琦、孙冬旭、张震参与了具体章节编写。同时，汪双杰对本书的主要章节进行了认真的修改并提出了有益的建议，在此一并表示感谢。

由于作者水平有限，书中难免存在错误和疏漏，有不当之处，敬请读者提出宝贵意见和建议。

作 者

2019年3月于西安

目 录

第1章 绪论 / 1

- 1.1 公路建设环境保护概念与内涵 / 2
 - 1.1.1 环境保护的概念、内容和要求 / 2
 - 1.1.2 公路建设环境保护的内涵、任务和内容 / 3
-

- 1.2 公路环境保护发展与进程 / 7
 - 1.2.1 环境污染 / 8
 - 1.2.2 生态环境保护 / 10
 - 1.2.3 水土流失 / 11
 - 1.2.4 野生动物保护 / 14
 - 1.2.5 社会环境保护 / 15
-

- 1.3 国内外研究概况 / 17
 - 1.3.1 植被恢复技术 / 17
 - 1.3.2 水土保持技术 / 18
 - 1.3.3 水环境保护技术 / 18
 - 1.3.4 动物通道技术 / 19

第2章 多年冻土区公路建设环境特征 / 21

- 2.1 冻土区现状 / 22

- 2.1.1 冻土区分布特征 / 22
- 2.1.2 冻土区现状 / 26
- 2.1.3 冻土退化原因 / 26

2.2 多年冻土区生态环境概况 / 28

- 2.2.1 气候特征 / 28
- 2.2.2 土壤状况 / 29
- 2.2.3 江河源区 / 30
- 2.2.4 植被类型 / 32
- 2.2.5 动植物资源 / 35
- 2.2.6 旅游资源 / 35

2.3 多年冻土区公路建设环境影响分析 / 36

- 2.3.1 环境影响特征 / 36
- 2.3.2 环境影响的形式与危害 / 39

2.4 冻土区公路环境保护与水土保持理念 / 45

- 2.4.1 环境保护理念 / 45
- 2.4.2 水土保持理念 / 47

第3章 多年冻土区公路生态环境评价指标体系 / 49

3.1 多年冻土公路沿线生态环境评价指标体系 / 50

- 3.1.1 评价指标的分类 / 50
- 3.1.2 评价指标选定原则 / 50
- 3.1.3 评价指标的无量纲化 / 51
- 3.1.4 评价指标的确定 / 52
- 3.1.5 评价指标的测算方法 / 52
- 3.1.6 评价指标权重的确定方法 / 57
- 3.1.7 评价指标的归一化处理 / 62

3.2 多年冻土区公路沿线生态环境综合评价方法 / 64

- 3.2.1 多年冻土区公路建设项目生态环境影响综合评价步骤 / 64
- 3.2.2 多年冻土区公路沿线生态环境综合评价结果分析 / 64

- 3.3 多年冻土区公路建设对生态环境的保护措施 / 67
 - 3.3.1 一般要求 / 67
 - 3.3.2 路线工程 / 67
 - 3.3.3 路基路面工程 / 67
 - 3.3.4 桥涵工程 / 68
 - 3.3.5 隧道工程 / 68
 - 3.3.6 取弃土场 / 69
 - 3.3.7 施工便道 / 69
 - 3.3.8 砂石料场 / 69
 - 3.3.9 冻土环境保护 / 70
 - 3.3.10 水资源的保护 / 70

第4章 多年冻土区公路沿线生态植被空间分布与环境影响因子 / 71

- 4.1 多年冻土区公路环境现状及植被恢复空间分布 / 72
 - 4.1.1 公路走廊带土地利用现状分析 / 72
 - 4.1.2 公路植被恢复空间分布 / 81
- 4.2 多年冻土区公路植被与环境因子影响分析 / 90
 - 4.2.1 植被指数与环境因子相关性分析 / 90
 - 4.2.2 不同植被类型的土壤养分特征分析 / 108
 - 4.2.3 土壤和植被特征分析 / 110

第5章 冻土区公路边坡生态防护与植被恢复关键技术 / 121

- 5.1 高海拔寒区植被条件及重建机理分析 / 122
- 5.2 退化草场的利用及植被恢复重建技术 / 122
 - 5.2.1 退化草场的筛选及评价指标 / 123
 - 5.2.2 草皮料场使用后生态恢复 / 124
 - 5.2.3 退化草场恢复效果分析 / 125
- 5.3 边坡生态防护及植被恢复关键技术 / 125

- 5.3.1 铺草皮边坡防护技术 / 125
 - 5.3.2 高边坡铺草皮生态防护技术 / 126
 - 5.3.3 人工播种技术 / 126
 - 5.3.4 喷播技术 / 126
 - 5.3.5 草皮移植技术 / 128
 - 5.3.6 三维网技术 / 129
 - 5.3.7 植生带技术 / 129
 - 5.3.8 植生袋技术 / 130
 - 5.3.9 植物纤维毯技术 / 130
-
- 5.4 植被恢复效果调查分析 / 131
 - 5.4.1 铺草皮边坡防护技术效果分析 / 131
 - 5.4.2 高边坡铺草皮生态防护技术效果分析 / 131
 - 5.4.3 草皮移植技术效果分析 / 133
 - 5.4.4 三维网技术效果分析 / 133
 - 5.4.5 植物纤维毯技术效果分析 / 133
 - 5.4.6 植生袋技术效果分析 / 135
 - 5.4.7 植物防护措施的优缺点分析 / 138
 - 5.4.8 不同流域植被恢复效果分析 / 139

第6章 水土流失及其防治 / 141

- 6.1 公路建设的水土流失特点 / 142
-
- 6.2 多年冻土区公路环境水土流失特征 / 143
 - 6.2.1 水土流失分区 / 143
 - 6.2.2 水土流失现状 / 144
 - 6.2.3 侵蚀类型多样 / 144
 - 6.2.4 冻土区公路沿线的水土流失背景值 / 145
-
- 6.3 多年冻土区公路环境水土保持技术 / 146
 - 6.3.1 取弃土场水土保持技术 / 146
 - 6.3.2 施工场地水土保持技术 / 149
 - 6.3.3 施工便道水土保持技术 / 149
 - 6.3.4 隧道弃渣处置技术 / 150