

“十二五”国家重点图书出版规划项目
交通运输建设科技丛书 · 公路基础设施建设与养护

The Construction Key Technology for the Highway
from Zhamu to Motuo in Xizang

西藏扎木至墨脱公路 建设关键技术



蒋树屏 林 志 汪继泉 著



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

“十二五”国家重点图书出版规划项目

交通运输建设科技丛书·公路基础设施建设与养护

西藏扎木至墨脱公路建设关键技术

蒋树屏 林 志 汪继泉 著



人民交通出版社股份有限公司

China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书以西部交通建设科技项目——“西藏扎木至墨脱公路建设关键技术研究”为依托,系统论述了恶劣环境下山地公路建设原则、设计思路与设计方法;阐述了高山峡谷地区活动构造调查、地震地表破裂预测方法以及在环境恶劣地区地震监测台阵建立方法,预测了隧址区主要活动断裂活动特性;介绍了活动断层区公路隧道抗错断结构设计技术、高烈度地震区震害评估及隧道结构抗震设计技术、高地应力区隧道围岩稳定性预测技术与工程措施、扎墨公路典型地质灾害防治措施及环境保护技术,并总结了西藏多年来在公路病害和地质灾害防治方面的主要成果及应用建议。

本书介绍的高海拔、复杂地质地貌、恶劣气候条件下公路工程技术群,为西藏扎木至墨脱公路建设及养护提供了强有力的技术支撑,对于高寒、高地应力和高烈度地震区的隧道设计施工、地质灾害异常发育活跃区的公路设计施工、自然环境非常敏感和脆弱区的生态公路建设与保护等方面具有显著的应用价值。

本书可供从事我国西部,特别是青藏高原及其周边地区的重点公路或其他重大工程设计、施工和科研人员使用,也可作为相关大中专院校师生参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

西藏扎木至墨脱公路建设关键技术/蒋树屏,林志,
汪继泉著. —北京:人民交通出版社股份有限公司,
2015.7

ISBN 978-7-114-12219-4

I. ①西… II. ①蒋… ②林… ③汪… III. ①道路工
程—工程技术—西藏 IV. ①U41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 090018 号

“十二五”国家重点图书出版规划项目

交通运输建设科技丛书·公路基础设施建设与养护

书 名: 西藏扎木至墨脱公路建设关键技术

著 作 者: 蒋树屏 林 志 汪继泉

责任编辑: 尤 伟

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: 787×1092 1/16

印 张: 22.5

字 数: 510 千

版 次: 2015 年 11 月 第 1 版

印 次: 2015 年 11 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-12219-4

定 价: 120.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

交通运输建设科技丛书编审委员会

主 任：庞 松

副主任：洪晓枫 袁 鹏

委 员：郑代珍 林 强 付光琼 石宝林 张劲泉 赵之忠
费维军 关昌余 张华庆 蒋树屏 沙爱民 郑健龙
唐伯明 孙立军 王 炜 张喜刚 吴 澎 韩 敏

总 序

近年来，交通运输行业认真贯彻落实党中央、国务院“稳增长、促改革、调结构、惠民生”的决策部署，重点改革力度加大，结构调整积极推进，交通运输科技攻关不断取得突破，促进了交通运输持续快速健康发展。目前，我国公路总里程、港口吞吐能力、全社会完成的公路客货运量、水路货运量和周转量等多项指标均居世界第一。交通运输事业的快速发展不仅在应对国际金融危机、保持经济平稳较快发展等方面发挥了重要作用，而且为改善民生、促进社会和谐做出了积极贡献。

长期以来，部党组始终把科技创新作为推进交通运输发展的重要动力，坚持科技工作面向需求，面向世界，面向未来，加大科技投入，强化科技管理，推进产学研相结合，开展重大科技研发和创新能力建设，取得了显著成效。通过广大科技工作者的不懈努力，在多年冻土、沙漠等特殊地质地区公路建设技术，特大跨径桥梁建设技术，特长隧道建设技术，深水航道整治技术和离岸深水筑港技术等方面取得重大突破和创新，获得了一系列具有国际领先水平的重大科技成果，显著提升了行业自主创新能力，有力支撑了重大工程建设，培养和造就了一批高素质的科技人才，为交通运输科学发展奠定了坚实基础。同时，部积极探索科技成果推广的新途径，通过实施科技示范工程，开展材料节约与循环利用专项行动计划，发布科技成果推广目录等多种方式，推动了科技成果更多更快地向现实生产力转化，营造了交通运输发展主动依靠科技创新，科技创新服务交通发展的良好氛围。

组织出版《交通运输建设科技丛书》，是深入实施创新驱动战略和科技强交战略，推进科技成果公开，加强科技成果推广应用的又一重要举措。该丛书分为公路基础设施建设与养护、水运基础设施建设与养护、安全与应急保障、运输服务和绿色交通等领域，将汇集交通运输建设科技项目研究形成的具有较高学术和应用价值的优秀专著。丛书的逐年出版和不断丰富，有助于集中展示和推广交通运输建设重大科技成果，传承科技创新文化，并促进高层次的技术交流、学术传播和专业人才培养。

今后一段时期是加快推进“四个交通”发展的关键时期，深入实施科技强交战略和创新驱动战略，是一项关系全局的基础性、引领性工程。希望广大交通运输科技工作者进一步解放思想、开拓创新，求真务实、奋发进取，以科技创新的新成效推动交通运输科学发展，为加快实现交通运输现代化而努力奋斗！



王永顺

2014年7月28日

序

西藏墨脱县地处青藏高原—喜马拉雅山脉东南坡、岗日嘎布山脉南面,南与印度接壤,东、西、北三面为喜马拉雅山脉和岗日嘎布山脉所阻隔,印度洋暖湿气流与青藏高原寒冷气流在此交汇,降雨量丰沛,地势高差大、内外营力作用十分强烈。其特殊的自然地理、地质构造、气候环境造就了地形起伏最大、自然坡降最大、降雨量最大、地震烈度最高、地质灾害最多、地质条件最复杂的“六项之最”,墨脱公路所在区域是当之无愧的“地质灾害博物馆”,地质灾害的严重程度在世界上也是少见的。墨脱公路建设面临三大世界性难题:一是作为墨脱公路控制性工程的嘎隆拉隧道,所在区域新构造运动强烈,存在高地应力、高烈度地震、多条活动大断层影响,如何解决这些问题是世界性难题;二是沿线地质灾害种类繁多且分布广泛,在缺乏前人研究资料、一切都是空白的基础上要对沿线灾害进行综合治理;三是墨脱公路部分位于雅鲁藏布大峡谷自然保护区实验区内,需要科学、客观地评价墨脱公路对环境的影响,并最大程度减少对环境的负面影响。

为保障墨脱公路顺利建成、破解其中重大关键技术问题,2007年交通运输部立项“西藏扎木至墨脱公路建设关键技术研究”。通过10多家科研、设计和施工单位,100多位科技人员近9年联合攻关,研发了4种调查方法,12种创新设计方法,4种新材料、新结构和工法,填补了3种资料空白,取得以下4个方面的主要科技创新成果:

- (1)创建了喜马拉雅山地区公路隧道建设技术;
- (2)建立了新构造运动异常活跃区公路地质灾害调查和防治技术;
- (3)建立了恶劣环境下山地公路设计方法;
- (4)研发了雅鲁藏布大峡谷自然保护区环境观测和保护新技术。

项目成果对墨脱公路的建设和运营发挥了重要作用,还对我国西部特别是青藏高原及其周边地区的重点公路,以及水利水电工程,如:进藏高速公路、南水

北调、雅砻江流域开发、大渡河流域开发等重大工程的设计和施工有重要的借鉴作用或参考价值。现在,项目组同志将研究成果撰写成书正式出版。这是一件推动山区公路工程与岩土工程科技进步的好事,我衷心希望该书出版后能达到著者的初衷。在此,特向《西藏扎木至墨脱公路建设关键技术》一书的出版表示祝贺。

中国工程院院士 郑颖人

2014年7月

前言

墨脱地处藏东南中印边界北侧,是当时我国唯一不通公路的县,工程资料极度缺乏。新建西藏扎木至墨脱公路穿越喜马拉雅—岗日嘎布山脉,新构造运动活跃,雨水充沛,地势高差大,地质灾害广为分布,强震破坏性效应十分强烈,是世界最不稳定地区。本书以西藏扎墨公路新建工程为依托,围绕我国高地应力、高地震烈度、地质灾害严重、气候条件恶劣等地区的公路建设与运营养护,系统论述了喜马拉雅山地区公路隧道建设技术,全面总结了新构造运动异常活跃区公路地质灾害调查和防治技术,详细阐述了恶劣环境下山地公路设计方法,提出了雅鲁藏布大峡谷自然保护区环境观测和保护新技术,形成了具有自主知识产权的高海拔,复杂地质、地貌,恶劣气候条件下修建公路工程的技术群体,为西藏扎木至墨脱公路建设及养护提供了强有力的技术支撑。

本书共分10章。第1章阐述了扎墨公路存在的主要技术问题及其国内外研究现状与研究方案;第2章系统论述了恶劣环境下山地公路建设原则、设计思路与设计方法;第3章阐述了高山峡谷地区活动构造调查、地震地表破裂预测方法以及在环境恶劣地区地震监测台阵建立方法,预测了隧址区主要活动断裂活动特性;第4章阐述了穿越活动断层隧道超挖、铰接和隔离消能3种抗错断设计方法;第5章阐述了近场地震动输入方法、新型隔震材料泡沫混凝土以及公路隧道抗减震设计方法;第6章阐述了地应力测试的综合方法,最大熵最优相对隶属度岩爆预测方法及岩爆防治措施;第7章详细介绍了扎墨公路沿线主要地质灾害形成机理、发育及分布规律,全线80条泥石流沟和64处滑坡崩塌的综合防治技术;第8章阐述了应用RS技术对十余年来扎墨公路沿线周边区域的植被指数、植被覆盖度、叶面积指数和植被净初级生产力等生态指标进行时—空变化分析的环境观测评价方法,以及环境保护技术;第9章总结了西藏多年来在公路病害和地质灾害防治方面的主要成果,以及应用建议;第10章对全书的主要内容进行了归纳总结。

本书由招商局重庆交通科研设计院有限公司牵头,会同中交第二公路勘察设计院有限公司、交通运输部科学研究院、西藏自治区地震局工程研究所、西藏自治区地质环境与灾害防治科学研究所、四川武通路桥工程局等单位,依托交通运

输部西部课题“西藏扎木至墨脱公路建设关键技术研究”的研究成果编写而成。感谢王锦河、冉仕平、王洁、曹忠权、马和平、何先志、谢正理、田金昌、郭小红、刘海京、程尊兰、刘涌江、陈卫忠、张前进、尤惠川、程春明、乔春江、邹宗良、谢平、成民、刘九林、方林、白玛次仁、张晓峰、靳晓光、曹广华、王芳其、何子文、张晓刚、程崇国、秦峰、孙建国等对本书的贡献。本书对于从事我国西部,特别是青藏高原及其周边地区的重点公路或其他重大工程设计、施工和科研人员具有重要借鉴价值,亦可供相关大中专院校师生参考使用。

由于编写人员水平有限,书中难免存在不足之处和不当之处,敬请读者批评指正。

作 者
2014 年 7 月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 项目概况	1
1.2 国内外研究现状	7
1.3 本书主要内容	20
第2章 恶劣环境下公路建设原则和设计思路与方法	25
2.1 建设条件	25
2.2 建设原则与设计思路	35
2.3 基于卫星的地形图测量	37
2.4 隧道大纵坡论证	37
2.5 路线方案比选论证	42
2.6 路基及排水设计方法	47
2.7 地质灾害设计	53
第3章 活动大断裂带对隧道工程建设的影响	71
3.1 区域地质构造与地震构造环境	71
3.2 活动断裂特性	78
3.3 地震活动监测和研究	90
3.4 本章小结	100
第4章 活动断层区公路隧道抗错断结构设计	102
4.1 概述	102
4.2 嘎隆拉隧址区活动断层错断分析	103
4.3 活动断层区隧道结构抗断对策	104
4.4 超挖设计方法	105
4.5 荷载—结构法“铰接设计”	105
4.6 本章小结	119
第5章 高烈度地震区震害评估及隧道结构抗震设计技术	120
5.1 概述	120
5.2 泡沫混凝土隔震材料的研制	120
5.3 岩石和泡沫混凝土动力特性	122
5.4 合理的地震动输入方法研究	124
5.5 隧道地震响应特性研究	130
5.6 高烈度地震对隧道结构安全性的影响	133
5.7 次级断层走滑错动对隧道安全性影响	149

5.8	高烈度地震下隧道抗震方法	155
5.9	嘎隆拉隧道抗震分析	161
5.10	现场地震监测	172
第6章	高地应力区隧道围岩稳定性预测技术与工程措施	176
6.1	概述	176
6.2	隧址区地应力现场测试	176
6.3	隧道地应力 Kaiser 效应测试研究	179
6.4	隧道地应力场反演分析	182
6.5	隧道围岩二次应力测试与模拟	189
6.6	岩爆预测与防治措施研究	196
第7章	西藏扎墨公路典型地质灾害防治	207
7.1	概述	207
7.2	泥石流、滑坡(含崩塌)的分布规律与危险程度	207
7.3	扎墨公路泥石流灾害防治技术	231
7.4	扎墨公路滑坡防治关键技术	242
7.5	扎木至墨脱公路典型地质灾害数据编目库查询系统说明	248
第8章	西藏扎墨公路建设环境保护技术	251
8.1	概述	251
8.2	扎墨公路区域环境概述	251
8.3	扎墨公路建设对环境的影响研究	257
8.4	具体工程措施研究	267
8.5	扎墨公路沿线环境观测方法	281
第9章	西藏交通既有科研成果在扎墨公路建设中的推广应用	293
9.1	概述	293
9.2	主要科研成果	293
9.3	扎墨公路路基病害主要类型	294
9.4	泥石流灾害治理及其处治技术措施	299
9.5	滑坡、崩塌灾害治理及其防治技术措施	311
9.6	水毁灾害治理及其防治技术措施	324
9.7	扎墨公路其他灾害治理及其处治技术措施	328
第10章	本书结语	330
10.1	主要结论	330
10.2	主要特色	338
参考文献		341
索引		347

第1章 绪 论

1.1 项目概况

1.1.1 工程背景

墨脱县是我国唯一不通公路的县。墨脱县是门巴、珞巴等少数民族聚居区,西、北、东三面被喜马拉雅山和岗日嘎布山阻隔,南面与印度、缅甸两国接邻,雅鲁藏布大峡谷及其支流帕隆藏布峡谷穿行其间,地形十分险要。由于客观条件制约、地质灾害频发,公路屡建屡毁,长期以来,进出墨脱县的物资全靠人背畜驮,翻山越岭。人口不多,经济发展滞后。

为解决墨脱县通公路问题,交通运输部、国家发改委、西藏自治区领导十分关心,高度重视,立项建设西藏波密扎木至墨脱公路,真正解决好墨脱县通路通车的问题,图 1-1 为西藏扎墨公路新建工程路线平面示意图。



图 1-1 西藏扎墨公路新建工程路线平面示意图

扎墨公路新建工程起点位于波密县扎木镇老扎墨公路与 318 国道的交叉点,利用扎木大桥,向南经嘎隆寺(K24),以隧道穿越嘎隆拉雪山进入墨脱境冈戎勒(K52),之后路线沿嘎弄曲右岸原始森林行进,经洒拉库(K69)、波弄贡(K80),于 K108 跨越金珠藏布至 K113,路线继续沿雅鲁藏布江左岸半坡行进,经米日、马迪,跨西莫河,到达终点墨脱县城墨脱镇莲花广场,全线长 117.278km。路线所经过的地形最高海拔约 4 300m,最低海拔约 820m,相对高差为 3 480m。

路线平纵指标:

- ①最小平曲线半径,一般路段 15m,特殊困难地段 8m;
- ②最大纵坡,一般路段 10%,特殊困难路段 14%;
- ③平均纵坡,不大于 7%;



- ④最小平曲线长度,一般路段不小于40m,地形极其复杂地段不小于20m;
- ⑤错车道设置,有条件路段,每公里2~3处,困难路段至少1处。

工程特点:

- ①项目区域气候、气象条件特殊;
- ②地质条件极其复杂,不良地质发育;
- ③地形复杂;
- ④地震烈度高;
- ⑤项目建设条件差,人工、材料单价高,施工周期短;
- ⑥项目风险性高,大部分工程在大的地质灾害面前存在损毁的可能。

施工条件:

- ①墨脱境内雨季长,气候条件恶劣,严重影响工程施工;
- ②运输条件极差,大型机械设备无法通行,建设成本高;
- ③施工及生活物资供应困难;
- ④医疗卫生条件差,电力供应不足;
- ⑤沿线场地狭窄,施工期间保通压力大;
- ⑥劳动力依靠外地招募,人工单价偏高。

全线重难点工程:K9、K14雪崩沟,众多泥石流的处理;嘎隆拉隧道,进口接线湿地路基处理,弃渣堆放问题;嘎隆拉隧道,出口接线岩堆路基处理;“K89”滑坡、打尔曲大型崩塌、芒给沟泥石流;K108~K113两端新线、马迪2及3号滑坡、西莫桥、达国桥;众多泥石流、水毁和滑坡。

嘎隆拉隧道全长3360m,隧道进口设计高程为3775.559m,位于岗日嘎布山北坡谷地的中间坡脚,隧道出口设计高程为3645.170m,位于岗日嘎布山南坡西侧。根据地震安全评价方法得到的工程场地设计地震动参数结果,结合《中国地震动参数区划图》(GB 18306—2001)的相关规定,本工程场地的地震基本烈度为Ⅷ度。

隧道区地层主要有第四系土层,及燕山—喜马拉雅期的花岗岩类,基岩大多裸露,仅在山凹、缓坡及坡脚处被第四系土层所覆盖。第四系土层(Q)分布于隧道处的山凹、缓坡及坡脚地带,主要为崩坡积物和冰碛物。花岗岩类主要为黑云母花岗岩、混合花岗岩、二云母花岗岩及花岗闪长岩。

1.1.2 扎墨公路历史沿革

长期以来,中央人民政府和西藏自治区政府对墨脱公路的修建都十分重视。早在20世纪50年代即开始调查研究,70年代开始修建,历经了几代公路人的艰苦努力,付出了巨大的代价,皆因环境恶劣、资金不足、技术手段落后等诸多因素,加之气候多变,塌方、洪水、泥石流、雪崩等灾害一年四季轮番发生,墨脱公路几经上马又几次下马,始终没有建成通车。

1962年开始沿雅鲁藏布江修筑通向墨脱的公路,但只修筑了8km,花费800万元,死亡8人。路,一直没有修通。

1975年,国家投资2400万元修筑从波密县的扎木翻多热拉通往墨脱的公路。后因资金、地质条件、自然灾害等原因,修建了80km后被迫停工。

1988~1989年,西藏自治区又投入200万元资金,用于修整扎木至墨脱公路K80处的

路段。

1990~1993年,国家先后拨款1400余万元,用于墨脱公路K80处至县城路段的建设。

1994年2月1日,《人民日报》发布了我国最后一个不通公路的墨脱县通车的消息,各族人民载歌载舞,迎来了进入墨脱的第一辆汽车。由于地质环境恶劣,雨水多,公路修通不久就出现多处大面积塌方和泥石流,部分路基在雨季的洪水肆虐下荡然无存。所谓的“通车”实际上只通了一天车,也只通过一辆车。这也许是世界上通车时间最短、车流量最小的一条新建公路。而那辆解放牌大卡车,最终也没能再开出来。

1995~1997年,西藏自治区交通厅开始对墨脱公路进行养护,基本实现了季节性、分段、简易便道通行的目标。2000年易贡冰湖溃决,再次冲毁扎墨公路多处路段。

2000年至今,西藏自治区财政厅、交通厅每年筹措少量资金,实施保通工程,维持扎墨公路每年夏季约两个月的间断性便道通行的目标。

1.1.3 项目研究的重要性

扎墨公路之所以屡建屡毁,是其独特的自然地理条件决定的,这也是“西藏扎木至墨脱公路建设关键技术研究”项目开展的主要原因。

墨脱县南迦巴瓦地区处于我国新构造运动强烈的藏东南,是印度板块东北角与欧亚板块交互作用的前缘地段,由于太平洋板块的砥柱作用,南迦巴瓦地区成为强大应力高度集中地区,构造运动特别是新构造运动既强烈又特殊,成为强烈的地震活动中心。新构造运动也使该区地质构造复杂化,并在外营力参与下使地貌形态特殊化,塑造出独特的孕灾地质环境。强烈的新构造运动,对公路设计和建设造成极其不利的影响。

墨脱区域气候、气象、地质条件极其复杂,如图1-2所示。由于长期与外界隔绝,境内气候、气象、地质等各种基础资料基本为空白,能收集到的主要是一些科学考察文献资料,对工程仅能起到宏观参考作用。尽管整个勘测期间进行了不间断的观察,也采取了一些高科技手段,但对于一些需要长期观测才能获取的数据(如最大降雨量、降雪量、冰雪消融速度等)在测设周期内很难确定下来,这给沿线地质灾害的分析、预测带来了相当大的难度。

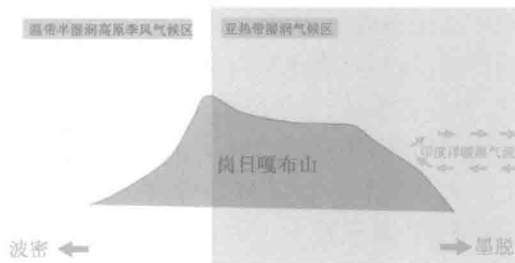


图1-2 西藏扎墨公路气候分区示意图

1.1.4 扎墨公路存在的主要问题

扎墨公路设计里程约117.278km。项目区气候、气象条件特殊,地质条件极其复杂,不良地质发育。该地区位于欧亚板块与印度板块的缝合线上,印度洋暖湿气流与青藏高原寒冷气流交汇区,新构造运动活跃,雨水充沛,地势高差大,内外营力作用十分强烈,是世界最不稳定地区,松散堆积物厚度大,河流动力地质作用强烈。地质灾害种类繁多,泥(水)石流、滑坡、崩塌、水毁、冰雪害及路基渗水翻浆等不良地质广为分布。强震破坏性以及地震效应十分强烈。

原墨脱公路全长141.2km,1973年开始测量,1975年动工,建设历时5年之久,最终被迫



停工。其主要问题有:

(1)路线翻越海拔4300多米的多热拉山,该地段积雪和雪崩十分严重,一年只能通车两个月。由于路线在山的两侧强行展线,回头线多设在横坡较平缓的地带,而这种地带恰好是雪崩体堆积区,雪崩路段也很多,大的约23处,其堆积厚度一般达5~10m,如不人工扫雪和清除滚石则无法通车。该路段路基宽度很窄,没有破坏的也多为4.5m左右,平纵面突破四级路技术标准处很多,特别是回头曲线处,有的半径只有5~6m,纵坡有的超过15%。无边沟,无防护,排水工程(如涵洞等)严重不足,且多为临时性的,致使雨季水在路基上漫流。

(2)原墨脱公路若干路段如打尔曲(原里程K68)至达国桥(原里程K108)段,相对高差超过1700m,原路线线位很低,紧靠嘎隆藏布和金珠藏布。由于两条河流比降很大(7%~13%),河水湍急,河床深切,两岸极不稳定,线位靠近河槽,支流流域长,水量大,泥石流对公路的危害加大。更为严重的是,路线展线地段多分布在泥石流堆积体或者滑坡体上,遇暴雨、山洪、地震时,会产生塌方、滑坡、泥石流和水毁灾害。由于灾害点多,灾害规模大,每逢雨季,公路就被毁坏分割成许多小段,使交通中断。

现在,原墨脱公路冬季雪封山,夏季水断路,一年之中基本上是南通北阻、北通南阻的状况。由波密方向运进的物资多在8~9月份,抢修多热拉段道路后运至波弄贡(即K80),待雨季过后再用小型车辆或人挑马驮运往墨脱县城。

由于异常复杂的地质原因,墨脱是一个自然灾害极为频繁的地区,洪水、泥石流、滑坡、地震、冰雪灾害等司空见惯,随时发生。由于受喜马拉雅山脉和岗日嘎布山的阻隔和频繁的自然灾害影响,直到本项目竣工前,墨脱仍是全国唯一不通公路的县。从墨脱走到有公路有汽车的地方,最短也要4天,并且沿途猛兽出没,雪崩、泥石流等随时可能发生。

墨脱县西、北、东三面为喜马拉雅山和岗日嘎布山阻隔,雅鲁藏布大峡谷及其支流帕隆藏布峡谷无法通行,南面与印度相邻,通往墨脱的路都要翻过4000m以上的高山隘口,冰冻、积雪严重,每年只能通车两个月左右,且路途艰险,气候恶劣,安全无保障。墨脱军民所需建设物资、生活必需品、工业产品、医药卫生用品、文化教育用品等,每年几十万斤,都要靠人背、畜驮。背夫和马队伴随着崇山峻岭和悬崖峭壁,蹒跚于荆棘丛生、崎岖难行的羊肠小道,来回一趟需七八天乃至十多天,沿途自带食品和炊具。无论走哪条道,都要翻越雪山,即使在盛夏,山上仍白雪皑皑,寒气袭人。几十年来,死于墨脱路上的部队官兵、普通老百姓以及运送物资的牲口不计其数。前后有两架军用黑鹰直升机坠毁于多雄拉山口。由于运输条件恶劣,后勤保障跟不上,边防部队被迫撤出三分之一,墨脱县党政机关减员三分之一,仍难以维持。

1) 隧道

岗日嘎布山脉是新建扎墨公路必须翻越的山脉,其南坡地处印度洋暖湿气流的迎风坡,对流天气导致冬季的强降雪,海洋性冰川十分发育,积雪时间一年长达10个月,是制约扎墨公路通行时间的主要因素。为确保常年通车,建议修建嘎隆拉隧道。

扎墨公路嘎隆拉隧道位于青藏高原东南部的喜马拉雅山脉与横断山脉的交接处,构造上属喜马拉雅东西向构造带、冈底斯褶皱带和雅鲁藏布江缝合带的弧形转折部位,新构造运动强烈,发育有众多大断裂,隧址区高地应力与高烈度地震并存。而且隧址位于高海拔地区,空气稀薄,气候严寒,各种物资极端匮乏,隧道存在防冻、防雪等设计问题,以及在高海拔无人区的施工问题。如图1-3所示,修建嘎隆拉隧道将面临众多技术难题,必须开展针对性极强的课题

研究,为该隧道的设计、施工与运营提供技术保障。



a) 隧道进口



b) 隧道洞口环境

图 1-3 西藏扎墨公路嘎隆拉隧道进出口地形

在青藏高原如此复杂的地质条件下,由于高地应力的存在给隧道工程建设带来一些新的问题,需要采取适当的工程措施来解决,如果没有对此形成足够的认识,可能给隧道建设带来一系列极为不良的灾害(如岩爆、隧道大变形等)。

隧道所处的东喜马拉雅构造是现今青藏高原构造变形最为强烈的地区之一,伴随着地壳 NE-SW 向的强烈缩短和应力释放,发生了一系列的中强以上的地震,其中 1950 年发生在该地区的阿萨姆大地震($M=8.5$)就是该地区应力释放的结果;在青藏高原东部通过 GPS 测量获得的观测结果表明,由于南迦巴瓦—阿萨姆“犄角”的楔入作用,青藏高原东部及邻区的地壳运动特征表现为围绕东喜马拉雅构造结的顺时针涡旋运动,也使得东喜马拉雅构造结地区变形十分强烈。由于扎墨公路嘎隆拉隧道地形复杂,无法避让活动断裂,尤其是穿过隧道的 NW 向嘉黎断裂和 NE 向的马尼翁断裂,均为全新世活动断裂,破碎带较宽,次级断裂发育,不仅存在发生同震地表错动的可能,而且存在由于附近大地震的发生诱发的同震错动,并可能引发与断裂相关的次生地质灾害。因此,对隧道附近的嘉黎断裂和马尼翁断裂,必须研究其对隧道的影响,并努力把灾害减小到最低程度。首先要通过大范围内断裂的调查,研究断裂的空间结构和几何结构,查明其从深部到浅部的活动成因和机制,从青藏高原整体演化过程来说明其在时