

GAOYUAN HANQU SUIDAO JIANSHE JISHU



高原寒区隧道 建设技术

陈宏伟 任少强 朱永全 吴应明 著
王平安 冀胜利 谭忠盛 杨星智



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

高原寒区隧道建设技术

陈宏伟 任少强 朱永全 吴应明 著
王平安 冀胜利 谭忠盛 杨星智



中国铁道出版社

2017年·北京

内 容 简 介

本书为高原寒区隧道建设技术与实例。全书共十章，主要包括：青藏高原典型铁路隧道工程概况及特点，寒区隧道洞内环境温度场分析，风火山隧道冻土围岩保护技术，隧道洞内碎屑流、高地应力薄层板岩隧道大变形和软硬岩接触带隧道突水涌泥施工技术，严寒地区富水隧道冻害防治技术，高原隧道施工机械保障和高原隧道施工人员健康保障技术等。

本书可供隧道及地下工程建设管理、设计、施工的工程技术人员学习参考，同时可为相关院校师生的学习资料。

图书在版编目 (CIP) 数据

高原寒区隧道建设技术/陈宏伟等著. —北京:

中国铁道出版社, 2017. 11

ISBN 978-7-113-23905-3

I. ①高… II. ①陈… III. ①高原-冻土区-隧道病害-防冻-研究 IV. ①U457

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 255190 号

书 名: 高原寒区隧道建设技术

作 者: 陈宏伟 任少强 朱永全 吴应明 王平安 冀胜利 谭忠盛 杨星智

责任编辑: 张卫晓

编辑部电话: 010-51873193

封面设计: 崔丽芳

责任校对: 苗 丹

责任印制: 高春晓

出版发行: 中国铁道出版社 (100054, 北京市西城区右安门西街 8 号)

网 址: <http://www.tdpress.com>

印 刷: 中煤 (北京) 印务有限公司

版 次: 2017 年 11 月第 1 版 2017 年 11 月第 1 次印刷

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 16.75 字数: 404 千

书 号: ISBN 978-7-113-23905-3

定 价: 150.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书, 如有印制质量问题, 请与本社读者服务部联系调换。电话: (010) 51873174 (发行部)

打击盗版举报电话: 市电 (010) 51873659, 路电 (021) 73659, 传真 (010) 63549480

序

近年来随着我国经济的快速发展，高速铁路网建设的不断推进，高铁工程建设由沿海及华中地区向高纬度、高海拔等气候条件恶劣的寒冷地区延伸，高海拔、高寒区隧道建设中的问题及很多规律的认识，有待加深认识与提高。

青藏高原普速铁路风火山隧道、高速铁路祁连山隧道和大梁隧道的成功建设，是高原寒区隧道的代表性作品，她凝聚了参建者多年艰辛、智慧与奉献，积累了丰富的高原寒区隧道建设经验，该书的及时出版，为高原、寒区隧道建设提供了重要参考资料。

书中介绍了高原、寒区隧道建设中关键技术，包括：高原寒区隧道工程的高海拔、严寒、多年冻土及特殊地质问题，寒区隧道洞内环境温度场理论，多年冻土围岩保护、隧道结构及防排水系统防寒保温、高原隧道施工机械保障和高原隧道施工人员健康保障技术，碎屑流、高地应力薄层板岩隧道大变形和软硬岩接触带涌水等特殊地质的隧道建设技术。目前，高速铁路大建设亟待一本高原寒区隧道建设技术专著，该书的及时出版，相信对高原寒区隧道建设中的高海拔、严寒及冻土等隧道建设问题的处理具有指导意义和参考价值。

高速铁路网建设的不断推进，“西部大开发”、“一带一路”战略的深入实施，高原、寒区隧道建设将越来越多。为此，我们需要大力提高高原隧道机械化作业程度、减低人员作业强度、改善人员的作业环境，真正体现以人为本的建设理念；高原区域生态环境脆弱，构造特殊，地层多变、地质复杂，需要大幅提高高原不良地质隧道的建设水平，真正实现保护高原环境的建设理念；严寒地区隧道冻害问题突出，需要攻克区隧道结构和防排水体系的防寒保温技术，确保高原寒区隧道的建设质量，为中国铁路隧道建设发展而奋斗，为世界隧道的建设作出新的贡献。



2017.10.24

2017年10月于北京交通大学隧道中心

前 言

在青藏高原修建高速铁路长大隧道是一个世界性的技术难题,设计施工中会遇到一系列的风险和困难,高速铁路隧道修建标准更高,应对复杂地质的方法更难以把握。

海拔高度 4 905 m,地处多年冻土的青藏铁路风火山隧道;海拔为 4 345 m,多次穿越断层富水带、碎屑流等不良地质地层的兰新高速铁路祁连山隧道,全长 9 490 m;海拔高度 4 430 m,长段落的高地应力软岩大变形隧道——兰新高速铁路大梁隧道,这些地处高原寒区的隧道的先后成功建设,凝聚了参建者多年艰辛、智慧与奉献,积累了丰富的经验,提高了高海拔、高寒区隧道建设困难的认知。中铁二十局集团有限公司联合北京交通大学、石家庄铁道大学等高校在建设中开展了“隧道通风技术及施工温度场研究”(2001G001-E-06)、“昆仑山和风火山隧道施工机械性能及配套技术”(2001G001-E-07)、“青藏铁路风火山隧道综合施工技术研究”(2001-KG-005)、“世界第一高隧——青藏铁路风火山冻土隧道施工技术研究”(2002-G-137)、“寒区高速铁路隧道温度场时空演化规律及防冻技术研究”(51778380)等系列研究工作,并对课题的研究成果总结汇总形成该专著。

本书系统总结了高海拔、高寒区、多年冻土保护技术,确定了隧道内施工环境气温控制方法和控制值,提出了高海拔、高寒区、冻土隧道洞内施工环境温度场的理论模型,介绍了隧道施工环境温度场分布规律;提出了冻土隧道围岩温度场理论模型,介绍了冻土围岩温度场分布规律;介绍了高海拔、高寒区、冻土隧道通风与供热一体化系统,施工中全面控制隧道洞内沿程环境气温,有效地保护了多年冻土。论证并提出高原隧道通风设计标准、通风系统和设备选型配套的设计原则及方法,介绍了高原专用隧道施工风机,有效保证了高原隧道施工洞内空气质量。分析了寒区铁路隧道洞内空气温度场和围岩温度场规律,给出了隧道寒区划分建议,介绍寒区隧道洞内空气和围岩温度场分布规律,寒区隧道洞内温度场不仅与洞外环境温度有关,还与隧道围岩原始地温及列车行驶速度与频度有关,隧道建设中应结合实际气象和地层稳定等资料计算确定隧道结构及防排水系统的防寒、保温参数。介绍了祁连山高原隧道碎屑流形成机理及隧道稳定性控制技术和大梁隧道高地应力薄层板岩隧道大变形控制技术,详细介绍了祁连山隧道和大梁隧道以泄水洞为主,辅以保温防寒水沟、保温中

心水沟和伴热电缆采暖式水沟的排水系统综合防寒、保温技术,保证了开通后隧道的排水畅通,消除了运营期间的冻害及安全隐患。隧道工地海拔近 5 000 m,空气稀薄、缺氧严重,空气中的含氧量仅为内地(海平面)的 50%,被称为“生命禁区”,隧道施工人员集中、工人劳动强度大。因此,洞口制氧、供氧是贯彻“以人为本”、保障施工人员身体健康的重要举措。针对内燃机工作条件恶化、发动机功率下降,绝缘密封件功能降低等高原恶劣环境,研究提出了高海拔地区的适应性和功率保持技术、合理的设备选型与配套方案,并介绍了设备管理和安全保证体系,保证了高海拔、高寒区施工机械的正常运转和安全使用。

本书由中铁二十局集团公司邓勇策划,任少强、吴应明组织编撰;陈宏伟、任少强、朱永全、吴应明、王平安、冀胜利、谭忠盛和杨星智同志共同撰写,高炎撰写了第二章寒区隧道洞内环境温度场分析;赖涤泉教授提供了高原风机和供暖一体化机组成果资料,贾晓云和李现者提供了第三章风火山隧道冻土围岩保护技术相关成果资料,全书由朱永全和杨星智负责编审,薛琪、曹万玲、仲维玲参与编审工作。感谢其他同志在提供资料和文字编写过程中所提供的帮助。

本书理论与实践并重,经典理论、方法与现代新技术、新方法相结合。为高原、高寒区隧道工程建设引提供参 考,供工程技术人员和在校研究生阅读参考。

由于时间仓促,水平有限,书中难免有不足之处,恳请专家和读者批评指正。

作 者
二〇一七年九月

目 录

第一章 青藏高原典型铁路隧道工程概况与特点	1
第一节 隧道工程概况	1
一、风火山隧道	1
二、祁连山隧道	2
三、大梁隧道	4
第二节 高原环境特征	5
一、风火山地区	5
二、祁连山和大梁地区环境特征	7
三、气候状况及降雨量	8
四、生态环境及保护要求	9
第三节 高原地质特征	9
一、风火山隧道工程地质及水文地质	9
二、祁连山隧道工程地质及水文地质	10
三、大梁隧道工程地质及水文地质	11
第四节 隧道工程特点	14
一、自然条件恶劣	14
二、环境保护	14
三、冻土隧道施工技术	14
四、隧道长距离穿越碎屑流地层	14
五、极高地应力软岩隧道大变形	15
六、穿越高压富水软硬结合段落长,施工过程突水涌泥	15
七、高海拔隧道冻害问题严重,防止冻害发生难度极大	16
第二章 寒区隧道洞内环境温度场分析	17
第一节 寒区隧道洞内空气流体力学和传热学理论基础	17
一、流体力学基本概念及性质	17
二、隧道空气动力学基本方程	18
三、围岩传热学理论	19
四、寒区隧道内空气与围岩对流换热耦合控制方程	20
五、Fluent 求解寒区隧道内导热与对流换热耦合问题	21
第二节 寒区运营隧道洞内温度场计算分析	22
一、计算模型及相关参数	22

二、自然风速影响因素分析·····	22
三、洞外环境气温影响因素分析·····	24
四、洞外环境气温与自然风速综合影响因素分析·····	25
五、围岩温度(地温)影响因素分析·····	27
第三节 寒区隧道围岩温度场分析·····	28
一、计算模型的建立·····	28
二、边界条件及计算参数的设置·····	29
三、自然风速计算结果及分析·····	29
四、洞外环境平均气温计算结果及分析·····	32
五、围岩初始温度计算结果及分析·····	33
第四节 祁连山隧道洞内空气及围岩温度场计算分析·····	34
一、祁连山隧道现场温度实测·····	34
二、祁连山隧道洞内空气及围岩温度场分析·····	35
三、小 结·····	37
第三章 风火山隧道冻土围岩保护技术·····	38
第一节 隧道供热保温与控制系统·····	38
一、寒季洞内供热风温估算和供热系统加热量计算·····	38
二、高海拔高寒区隧道专用通风/空调一体化机组的研制·····	38
三、供热通风系统的控制·····	41
四、洞内施工防寒保温技术·····	41
第二节 冻土围岩融化圈深度对隧道稳定性影响分析·····	44
一、隧道稳定性分析方法·····	44
二、计算结果与分析·····	45
三、洞内外环境与岩面温度测试分析·····	46
第四章 祁连山隧道碎屑流形成机理及稳定性控制技术·····	55
第一节 碎屑流工程特征与形成机理·····	55
一、碎屑流定义·····	55
二、碎屑流工程特征·····	55
三、碎屑流形成机理分析·····	56
第二节 隧道穿越碎屑流稳定性控制技术·····	59
一、碎屑体超前预报·····	59
二、掌子面封堵·····	63
三、超前高位泄水·····	64
四、超前支护·····	66
五、初期支护·····	66
六、小 结·····	69

第五章 大梁隧道高地应力薄层板岩隧道大变形控制技术	71
第一节 薄层板岩工程特性	71
一、地质概况	71
二、围岩物理力学性质	71
三、地应力	72
四、软岩变形特性	77
第二节 高地应力板岩隧道大变形机理及分级	79
一、隧道大变形机理	79
二、隧道大变形的分级方法	80
三、大梁隧道大变形等级的划分	81
第三节 支护参数及预留变形量	82
一、现场试验	82
二、极高地应力变形的统计分析	86
三、预留变形量	89
第四节 薄层板岩隧道施工锚杆作用效果	91
一、现场测试	91
二、锚杆控制变形数值模拟分析	93
三、锚杆作用效果分析	95
第五节 薄层板岩隧道格栅与型钢作用效果	96
一、现场试验方案设计	96
二、试验结果	98
三、型钢与格栅支护效果对比分析	99
第六节 薄层板岩隧道施工变形辅助控制措施	108
一、大拱脚	108
二、长锁脚锚管	108
三、钢腰带	108
四、湿喷混凝土施工技术	108
五、仰拱换填	108
第七节 小 结	109
第六章 富水断层及软硬岩接触带隧道突水涌泥防治技术	110
第一节 隧道施工突水涌泥灾害情况	110
一、第一次突水涌泥	110
二、第二次突水涌泥	110
三、第三次突水涌泥	112
第二节 突水涌泥灾害特征和原因分析	112
一、灾害特征	112
二、灾害原因分析	113

第三节 防治技术·····	115
一、预报技术·····	115
二、预警系统·····	118
三、综合治理技术·····	124
第四节 小 结·····	131
第七章 严寒地区富水隧道冻害防治技术·····	133
第一节 国内外寒区隧道冻害调研及冻害程度划分·····	133
一、国内寒区隧道综合防冻害措施研究·····	133
二、国外寒区隧道综合防冻害措施研究·····	137
三、国内寒区隧道冻害调研·····	141
四、寒区隧道分区·····	148
五、国内寒区隧道冻害类型及成因分析·····	149
六、寒区隧道保温排水技术分析·····	152
第二节 隧道保温段长度分析·····	155
一、寒区长大隧道洞内温度实测与分析·····	155
二、不同影响因素条件下围岩温度场变化规律·····	157
第三节 隧道保温层厚度分析·····	159
一、极端气温条件下保温层适用范围·····	159
二、不同气温和地温条件下无保温层温度场分布规律·····	160
三、不同气温和地温条件下有保温层温度场分布规律·····	163
第四节 防冻胀内置式保温衬砌结构·····	165
一、内置式保温衬砌结构形式与参数·····	165
二、内置式保温衬砌施工·····	166
三、运营阶段出现的冻害情况·····	168
第五节 防排水及防冻害技术·····	170
一、祁连山隧道、大梁隧道施工中涌水情况·····	170
二、隧道施工阶段的防排水·····	171
三、严寒地区隧道主要防排水措施设计·····	177
四、运营阶段冻害情况及附加防寒排水设施·····	180
第六节 小 结·····	183
第八章 高原隧道施工机械保障技术·····	185
第一节 高原型工程机械的特殊要求·····	185
一、青藏铁路早期施工机械设备情况·····	185
二、高原型工程机械的特殊要求·····	185
第二节 高原发动机功效测试·····	186
一、测试系统的搭建·····	186
二、参数标定·····	189

三、测试步骤	190
四、新机外特性分析	191
五、旧机外特性分析	193
六、新旧发动机性能对比分析	196
七、工作效率的数学模型	198
第三节 高原空压机功效测试	202
一、测试系统的搭建	203
二、实验结果与分析	205
第四节 高原内燃机功率保持技术	207
一、高原对柴油发动机的影响	207
二、柴油机功率补偿	207
三、柴油机功率匹配	207
四、发动机高原适应性改造技术	208
第五节 设备维修保养技术	210
一、建立完善的设备管理制度	210
二、设备防寒防冻技术及措施	212
三、油料使用与管理	212
第九章 高原隧道施工人员健康保障技术	215
第一节 高原隧道制氧、供氧系统	215
一、高原制氧方式的选择	215
二、供氧方法分析与选择	216
三、供氧量及能耗计算	216
四、系统方案	217
五、制氧、供氧系统运行及使用效果	218
第二节 风火山隧道通风模式及通风设计	218
一、高海拔隧道施工通风标准及系统设计计算方法	219
二、工程特点及对环境控制的要求	222
三、通风系统设计	222
四、GYF-S-100 型高原轴流式隧道通风机的研制	223
五、高原轴流风机性能特性的分析与评价	226
六、通风系统工作参数测试结果	227
第三节 祁连山隧道通风系统设计	228
一、通风方案的制定依据	228
二、隧道施工环境标准	228
三、通风管理	228
四、祁连山隧道通风系统设计	229
第四节 洞内空气质量测试分析	233
一、主要试验测试仪器和方法	233

二、风火山隧道洞内空气质量测试分析	234
三、祁连山隧道洞内空气质量测试分析	236
第五节 高原施工人员健康保证技术	238
一、体力劳动强度分级	238
二、高原地区人体机能测试	240
三、高原环境下的人体机能保障措施	240
第十章 结论与展望	243
第一节 结 论	243
一、克服了高原高寒极端环境和多项不良地质问题,成功建设了青藏 高原长大铁路隧道	243
二、形成了高海拔、高寒区、多年冻土保护技术	244
三、成功研制和应用了高海拔、高寒区、冻土隧道通风与供热一体化 系统,实现了隧道洞内沿程环境气温的全面控制	245
四、分析掌握了寒区铁路隧道洞内空气温度场和围岩温度场规律	246
五、祁连山隧道碎屑流形成机理及隧道稳定性控制技术	247
六、大梁隧道高地应力薄层板岩隧道大变形控制技术	247
七、高原隧道排水防寒技术	248
八、形成了高原隧道制氧、供氧系统技术	248
九、高原隧道施工机械保障技术	248
第二节 展 望	249
一、高原、高寒、冻土隧道施工经验不足	249
二、寒区隧道洞内温度场理论需进一步深入	249
参考文献	250
后 记	256

第一章 青藏高原典型铁路隧道工程概况与特点

第一节 隧道工程概况

一、风火山隧道

1. 青藏铁路格拉段概况

青藏铁路格拉段(格尔木—拉萨)修建是我国西部大开发的伟大之举。在世界屋脊上修建铁路,也是我国乃至世界铁路史上历史性的挑战,对人类极限生存、工作能力和现代铁路建设技术是一个极大的考验。格拉段全长 1 100 km,平均海拔 4 600 m 以上,其中,有 550 km 位于多年冻土区,海拔在 4 800 m 以上,跨越唐古拉、昆仑山两大山脉,铁路全线的两个高峰点也在这两大山脉之巅,即:最高点唐古拉山 5 072 m,第二高点风火山(属昆仑山脉)5 010 m。青藏铁路格拉段平纵断面示意如图 1-1 所示。

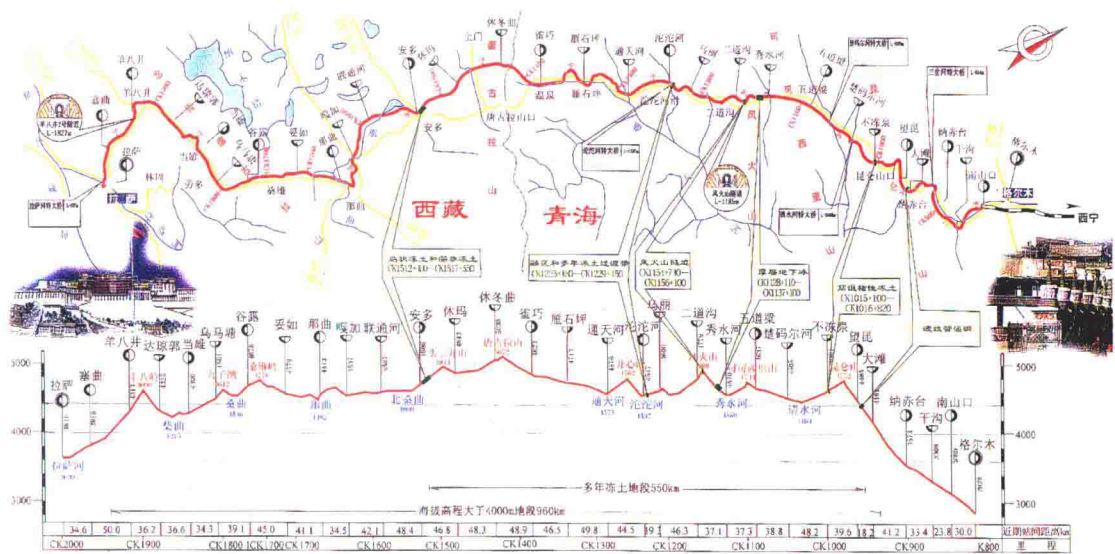


图 1-1 青藏铁路格拉段平纵断面示意

2. 风火山隧道概况

风火山隧道全长 1 338 m,施工起讫里程为 DK1159+000~DK1160+338,单线铁路隧道,线路最大纵坡-14‰。风火山隧道地处青藏高原腹地,位于昆仑山与唐古拉山之间,线路行走于风火山低山丘陵区,自然坡度平缓,一般为 10°~15°,山顶海拔高度 5 075 m,轨面海拔高度 4 905 m,属高原丘陵地貌、自然条件恶劣。隧道进口处为山梁地带、坡度较陡;出口位于山凹地带,坡度较缓。

隧道全部穿越青藏高原多年冻土区,出露地层主要为第四系全新统坡、残积地层(地表层 3~4 m 及洞口坡积处为松散砾石夹粉黏土)及第三系砂岩与泥岩互层,其中泥岩占 60%~70%。洞口及浅埋段饱冰、富冰冻土,裂隙冰发育,局部含冰量高达 50% 以上,整个冻土、冻岩是由裂隙冰与岩土冻结形成的稳定体,如图 1-2~图 1-4 所示。

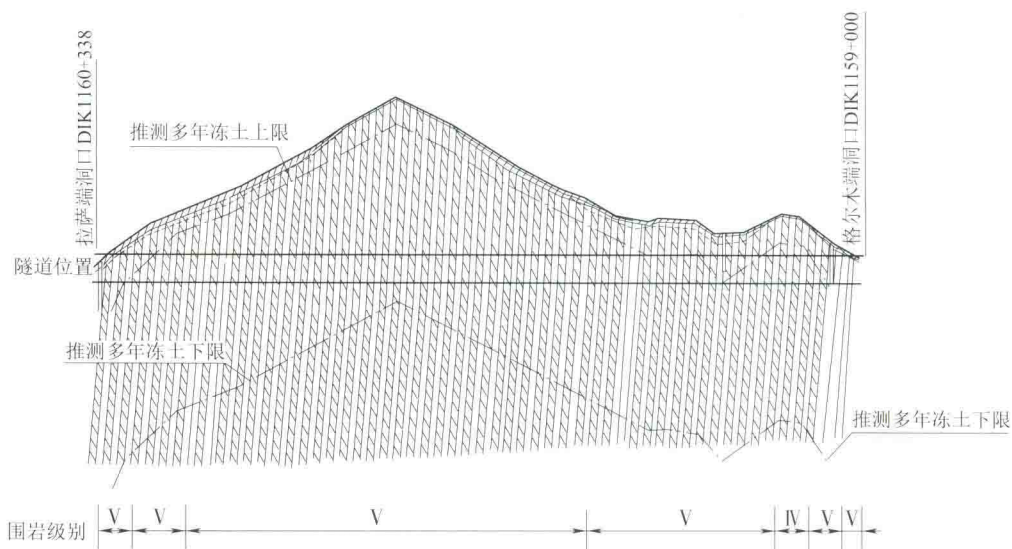


图 1-2 风火山隧道纵断面示意图



图 1-3 洞口段饱冰冻土地层



图 1-4 厚层地下冰

二、祁连山隧道

1. 兰新高铁概况

兰新高铁素有“钢铁丝绸之路”的美誉,是国家“八纵八横”铁路网主骨架之一陆桥通道的主要部分,也是国家中长期铁路网规划的重点项目。目前,世界上海拔最高、一次性建成最长的高速铁路。线路全长 1 776 km,自兰州西站,经乐都进入青海既有西宁站;然后折向北,经大通县进入门源盆地后,以隧道群穿越祁连山脉;进入甘肃省民乐县、张掖、酒泉,后至新疆哈密,终点至乌鲁木齐站。建成后,从兰州到新疆由原 16 h 缩短至 9 h。线路以隧道群穿越高

寒、高海拔的祁连山山脉,依次包括 6 座隧道:大梁隧道、祁连山隧道、小平羌隧道、大平羌隧道、金瑶岭隧道和元山隧道,隧道群总长 34.743 km,如图 1-5 所示。



图 1-5 大梁隧道、祁连山隧道位置

2. 祁连山隧道概况

祁连山隧道全长 9 490 mm,施工起讫里程为 DK335+660~DK345+150,为高速铁路双线铁路隧道,开挖断面达 160 m²,采用-20‰单面下坡。其中,进、出口端分别位于 R=8 000 m、R=7 000 m 的平曲线上。祁连山隧道地处青藏高原东北缘,位于青海省门源回族自治县及甘肃省民乐县境内,工点区域为祁连山中高山区,平均海拔为 3 500~4 345 m,最高海拔为 4 345 m,最大埋深达 823 m。隧址区山高坡陡、洞身地表起伏较大,其中,隧道进口位于硫磺沟,隧道出口位于小平羌沟;线路经过地段为无人区,车辆无法到达,交通极其困难。隧道穿越地层主要为砂岩、板岩和灰岩,以及 F6、F7 断层,断层宽度达 100~150 m,主要物质为断层角砾、水,存在突水突泥危险,施工工点位于季节性冻土区,土壤最大冻结深度 230 cm,最大涌水量 105 123 m³/d。隧道纵断面如图 1-6 所示,隧道各级围岩占比见表 1-1。

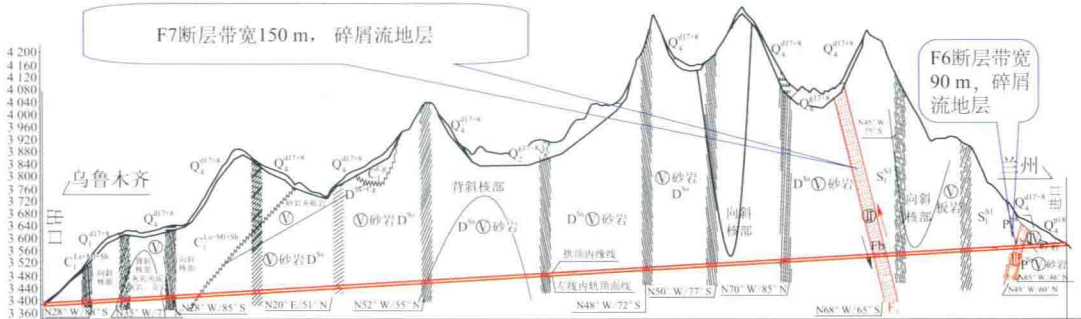


图 1-6 祁连山隧道碎屑流示意图

表 1-1 祁连山隧道分级统计表

隧道名称	围岩级别	长度(m)	所占比例
祁连山隧道	Ⅲ	5 860	61.75%
	Ⅳ	2 110	22.23%
	Ⅴ	1 520	16.02%
	小计	9 490	100%

祁连山隧道采用“进、出口正洞+两座斜井+长平导”的施工组织方案，每隔 600 m 设一处横通道进入正洞，共 8 处，如图 1-7 所示。

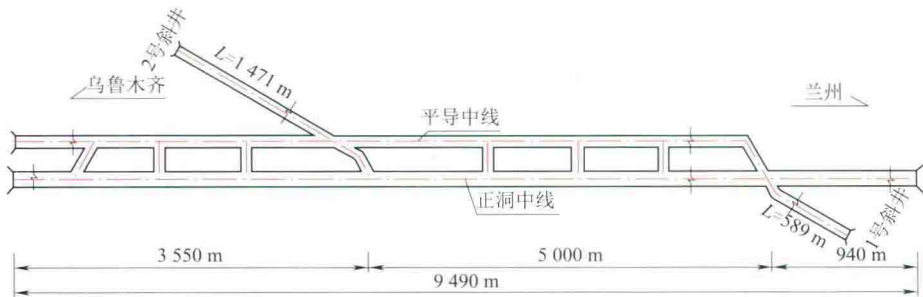


图 1-7 祁连山隧道施工方案示意图

三、大梁隧道

大梁隧道全长 6 550 m，施工起讫里程为 DK328+820~DK335+370，为高速铁路双线铁路隧道，开挖断面达 170 m²，采用+6‰、-9‰人字坡，进口端位于 R=9 000 m 平曲线上。大梁隧道位于青海省门源回族自治县，地处祁连山中高山区，平均海拔 3 600~4 200 m，最高海拔为 4 430 m，最大埋深达 780 m，轨面最高海拔 3 607.40 m，为全线最高点，也是目前世界上海拔最高的高速铁路隧道。隧址区山高坡陡，基岩部分裸露，沟壑纵横；隧道进、出口两端低而洞身部位高，进口段沟谷发育，基本呈东西向展布，沟内有季节性流水，堆积有大量块石；出口为硫磺沟侧陡坡。洞身穿越地层主要为砂岩、板岩及灰岩，岩性复杂多变；其中，板岩长大达 2 km，施工中出现极高高地应力大变形问题。同时，该隧道穿越 F5 区域性断裂带，宽度约 100 m，洞身向斜核部裂隙发育。断层裂隙带及岩层接触面地下水丰富，存在突水、突泥风险。隧道纵断面如图 1-8 所示，隧道各级围岩占比见表 1-2。

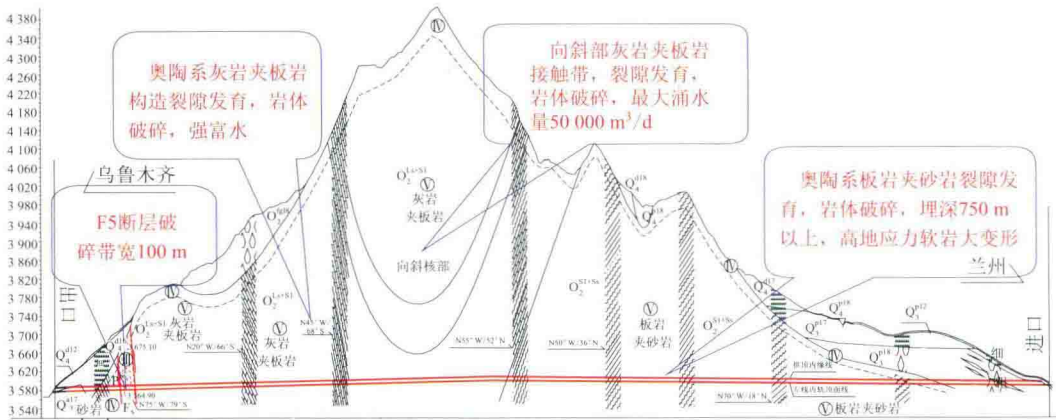


图 1-8 大梁隧道软岩大变形及富水带位置分布示意图

表 1-2 大梁隧道分级统计表

隧道名称	围岩级别	长度(m)	所占比例
大梁隧道	Ⅲ	1 130	17.25%
	Ⅳ	2 350	35.88%
	Ⅴ	3 070	46.87%
	小计	6 550	100%

大梁隧道采用“进、出口正洞+单斜井+局部平导”的施工方案组织施工,在突涌水段设高位泄水洞,斜井兼做防灾救援通道,如图 1-9 所示。

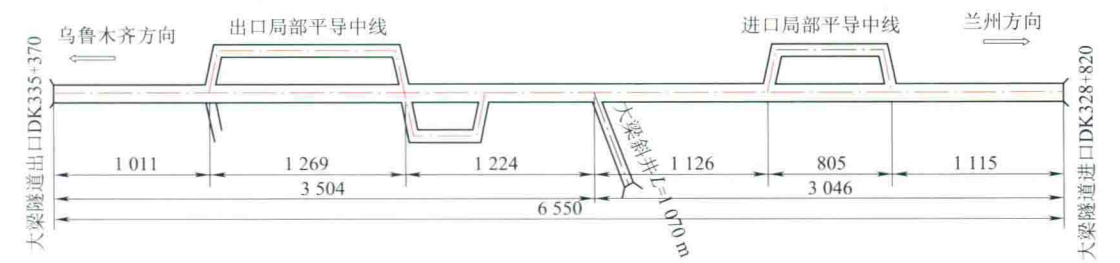


图 1-9 大梁隧道施工方案示意图(单位:m)

第二节 高原环境特征

一、风火山地区

1. 自然环境

风火山地区自然环境恶劣,被称为生命禁区。该区属昆仑山脉南部的一个分支,位于昆仑山与唐古拉山两大山脉之间,地处青藏高原腹地——可可西里无人区,平均海拔 4 800 m 以上,地势开阔、空旷,地形成丘陵状,局部起伏较大。隧道全部穿越青藏高原多年冻土、冻岩,冻土深度 100~150 m,地温-2~-4℃,属低温稳定多年冻土区,冻土上限 1.5~2 m(冻土上限:暖季地表冻融层融化的最大深度),该地区暖季地表冻融层融化,呈饱和松软状;寒季冻融层冻结、坚硬,局部出现冻胀丘、冰锥等冻害。冰锥及热融滑塌分别如图 1-10 和图 1-11 所示。



图 1-10 冰锥



图 1-11 热融滑塌现象