

WUGUI YUNSHU
GAOWASI SUIDAO SHIGONG

无轨运输 高瓦斯隧道施工

邓勇 肖清华 吴应明 杨延勇 黎爱清 等 编著

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

无轨运输高瓦斯隧道施工

邓勇 肖清华 吴应明 杨延勇 黎爱清 等 编著



中国铁道出版社

2018年·北京

内 容 简 介

本书依托新建铁路成都至贵阳线兴隆坪隧道,总结了长大瓦斯隧道采用无轨运输进行施工时围岩力学行为、隧道瓦斯逸散规律、隧道内燃设备防爆改装、隧道超前地质预报施工、隧道智能门禁系统、隧道瓦斯监测及检测、隧道用电、隧道监控量测等方面所取得的成果。

图书在版编目(CIP)数据

无轨运输高瓦斯隧道施工/邓勇等编著. —北京:
中国铁道出版社, 2018. 12
ISBN 978-7-113-25170-3

I. ①无… II. ①邓… III. ①无轨运输-铁路隧道-
瓦斯隧道-隧道施工-研究 IV. ①U459.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 268475 号

书 名: 无轨运输高瓦斯隧道施工
作 者: 邓勇 肖清华 吴应明 杨延勇 黎爱清 等

策 划: 张卫晓
责任编辑: 曹艳芳 编辑部电话: (010)51873162
封面设计: 高博越
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: 北京柏力行彩印有限公司
版 次: 2018年12月第1版 2018年12月第1次印刷
开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 14 字数: 342 千
书 号: ISBN 978-7-113-25170-3
定 价: 80.00 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

前 言

中国是世界上隧道和地下工程最多、发展最快、水文地质及结构形式最复杂的国家。尽管目前对隧道工程的研究已经取得了极为丰富的成果,但对大断面复杂地质条件下高瓦斯地层的隧道施工技术研究,还需要做大量的工作才能更好地指导实践。瓦斯是隧道及地下工程的一个重要的地质灾害,正因瓦斯事故具有突发性、变化性、惨重性等特点,一旦发生事故将对工程建设带来巨大损失。尽管当前对于瓦斯隧道施工已经有了一定规范和指导纲要,但要在大断面且长大瓦斯特别是高瓦斯隧道中进行快速施工,仍然需要进一步深入研究,才能确保工程顺利修建施工安全。

新建铁路成都至贵阳线乐山至贵阳段兴隆坪和猫鲁寺等长大隧道地质构造复杂,不良地质和特殊岩土发育且种类多,其主要工程地质问题有瓦斯、天然气、采空区、岩溶及岩溶水,断层破碎带、顺层、岩爆、高地应力、高地温、危岩落石、岩堆、滑坡以及特殊岩土如盐溶角砾岩、软岩、石膏、软黏土、盐岩等,使得施工技术复杂,安全风险极大。在高浓度瓦斯地层进行隧道施工,需要充分认识到瓦斯对隧道施工的特殊影响。一是需要及时准确地预测瓦斯的含量及逸散情况;二是需要加强瓦斯防治;三是需要确定与具有较强运能的大断面无轨运输的整套隧道施工方法。

中铁二十局集团有限公司联合西南交通大学组建课题组,就成贵铁路建设技术,开展了大量技术研究工作。本书的内容就是研究成果的综述,总结了长大瓦斯隧道采用无轨运输进行施工时围岩力学行为、隧道瓦斯逸散规律、隧道内燃设备防爆改装、隧道超前地质预报施工、隧道智能门禁系统、隧道瓦斯监测及检测、隧道用电、隧道监控量测等方面所取得的成果。

本书由邓勇策划并与肖清华、吴应明、杨廷勇、黎爱清共同完成,参加课题研究和本书编写工作的还有任少强、赵崇科、王国良、陈选生、张旭辉、高雷州、周中财、张乃乐、郭朋超、薛琪、王克俭、郭海涛、刘建国、赵伟、陈桥枫、艾健森、邱瑞成、朱洪江、丁猛、袁文、何亚涛、熊强。全书分为九章,内容为绪论、高瓦斯长大隧道施工围岩力学行为特性、邻近和穿越煤气地层隧道瓦斯逸散与施工通风计算、瓦斯隧道内燃设备防爆改装技术、瓦斯隧道超前地质预报技术、隧道智能门禁系统设计技术、瓦斯隧道瓦斯监测及检测技术、瓦斯隧道用电施工技术、瓦斯隧道信息化技术。

本书的撰写,一方面展示成贵铁路修筑过程中的艰辛与不易,尽管困难重重,

但最终都通过对问题的分析研究逐一解决;另一方面也期望本书能为类似地质条件下的隧道设计和施工提供示范和参考,拓宽行业应用范围,促进施工技术水平提升。

本书受到湖南省科技厅 2017 年度省重点研发计划项目(编号:2017SK2393)资助。

由于时间紧凑,书中难免存在疏漏之处,敬请读者批评指正。

编者
2018 年 10 月

目 录

第一章 绪 论	1
一、研究背景和意义	1
二、国内外研究进展与应用现状	1
三、主要研究内容	3
第二章 高瓦斯长大隧道施工围岩力学行为特性	6
一、工程概况	6
二、隧道所处地区自然特征	6
三、隧道围岩稳定性理论分析	8
四、隧道施工围岩力学行为数值计算	14
五、本章小结	41
第三章 邻近和穿越煤气地层隧道瓦斯逸散与施工通风计算	43
一、地层中的瓦斯逸散规律	43
二、高瓦斯隧道施工通风仿真分析	44
第四章 瓦斯隧道内燃设备防爆改装技术	95
一、改装设备管理要求	95
二、改装技术	96
第五章 瓦斯隧道超前地质预报技术	105
一、地质复杂程度分级	105
二、超前地质预报的目的及主要内容	106
三、超前地质预报的方法	107
四、超前地质预报工艺流程	117
五、质量要求	119
六、安全措施	121
七、超前地质预报工作制度	122
八、地质预报成果的验证及技术总结要求	122
九、本章小结	123
第六章 隧道智能门禁系统设计技术	124
一、概 述	124
二、系统组成及工作原理	125

三、系统功能特点	132
四、软件功能	134
五、主要设备介绍	137
六、工程注意事项	142
第七章 瓦斯隧道瓦斯监测及检测技术	144
一、瓦斯基本概况	144
二、瓦斯监测及检测方案	145
三、高瓦斯隧道瓦斯监控管理制度	152
四、瓦斯监控安全管理措施	161
五、瓦斯防爆措施	163
六、瓦斯监测浓度异常处理程序	166
七、瓦斯燃烧和爆炸	167
八、隧道应急预案	171
第八章 瓦斯隧道用电施工技术	179
一、编制依据	179
二、施工用电工程施工部署	179
三、施工用电负荷计算	179
四、施工用电计算及其结果	181
五、电杆、横担、瓷瓶计算	187
六、临时用电安装规定	187
七、机械用电要求	196
八、安全用电技术措施	197
九、安全用电组织措施	201
十、电气防火措施	202
第九章 瓦斯隧道信息化技术	203
一、监控量测目的	203
二、监控量测组织机构	203
三、监控量测信息化施作流程图	203
四、监控量测技术要求	204
五、监控量测的具体方法	209
六、围岩稳定性的综合判别及管理等级要求	209
七、量测数据整理、分析及信息化应用	210
八、监控量测信息反馈及工程对策	211
九、质量、安全保证措施	212
参考文献	215

第一章 绪 论

一、研究背景和意义

新建铁路成都至贵阳线乐山至贵阳段在岩溶山区长大隧道穿越高瓦斯地层施工难度较大,必须对该课题做深入研究,以期采取有效的施工与处理技术,及时有效治理瓦斯,确保成贵铁路顺利修建,确保工程安全。

成贵铁路隧道地质构造复杂,不良地质和特殊岩土发育且种类多。主要工程地质问题有:瓦斯、天然气、采空区、岩溶及岩溶水,断层破碎带、顺层、岩爆、高地应力、高地温、危岩落石、岩堆、滑坡等,以及特殊岩土如盐溶角砾岩、软岩、石膏、软黏土、盐岩等,使得施工技术复杂,安全风险极大。猫鲁寺及兴隆坪等隧道全长 4 295 m,中心里程为 D1K215+527.5,进口里程为 D1K213+380,出口里程为 D1K217+675。隧道穿越地层主要为三叠系砂岩、泥岩及煤层等软质岩且节理裂隙较发育,以Ⅳ级、Ⅲ级围岩为主。预测隧道平常期涌水量为 10 009 m³/d,雨期最大涌水量为 25 023 m³/d。不良地质现象主要为有害气体、突泥涌水、顺层、断层破碎带等,为高瓦斯隧道。隧道初始风险等级评定为“高度”。隧道出口 DK217+672 起线路前进方向左侧 30 m 设置平行平导一座,长 2 102 m。出口(平导)工区承担 2 625 m 的施工,为高瓦斯工区。

综上所述,猫鲁寺及兴隆坪等隧道地质条件差,涌水量大且出口反坡排水距离长,出口高瓦斯工区施工工序多,任务重,施工技术难度大,安全风险高。在各种因素综合影响下,成贵铁路猫鲁寺及兴隆坪等隧道工程表现其特殊性。在高浓度瓦斯地层进行隧道施工,需要充分认识到瓦斯对隧道施工的特殊影响。一是需要及时准确的预测瓦斯的含量及分布情况;二是需要加强瓦斯防治;三是需要及时调整隧道掘进的施工方法。可见该课题急需进行专题研究,以期早日提供科学有效的隧道施工与瓦斯防治措施,确保隧道工程的质量及安全。因而对该课题的研究具有极为重要的理论意义以及实践指导价值。

二、国内外研究进展与应用现状

尽管目前对隧道工程的研究已经取得了极为丰富的成果,但对大断面岩溶地区复杂地质条件下高瓦斯地层的隧道施工技术研究,还需要做大量的工作,以完善隧道工程的理论与实践指导研究。

(一)国内外研究进展

到目前为止,瓦斯隧道大致分为两大类,即伴煤瓦斯(煤层瓦斯)、非伴煤瓦斯。伴煤瓦斯是指煤层中吸附的和紧邻岩层空隙中游离赋存的甲烷为主的天然气。在 15 世纪前,瓦斯便被人们所认识,20 世纪 40 年代开始,伴随着煤矿生产实践的发展,瓦斯灾害也不断发生,人们开始研究瓦斯的赋存、分布、运移规律,相关的研究也比较成熟,并逐渐形成了煤层瓦斯勘察及

安全生产规范。2000年,铁路系统借鉴煤炭系统相关规范,出版了铁路瓦斯隧道技术规范,该规范成了铁路、公路行业共同遵循的规范,近年来关于煤与瓦斯突出的相关研究、物理模拟、数值模拟研究较多叫非伴煤瓦斯,主要是指煤系地层中远离煤层的地质体或非煤系地质体空隙中的有害天然气,研究较多的是天然气。关于天然气的运移、聚集及分布规律,国内外已做出了较为详尽的研究,例如:陈荣书等根据天然气勘探的实践与物理模型试验,得出断层及裂隙是天然气运移的通道;房德权等系统建立了天然气的运移与扩散地质模型与数学模型;苏培东等结合成一简一级公路给出了龙泉山隧道浅层天然气的运移路线图。

在结合隧道建设的研究中,主要成果集中在对隧道中瓦斯的检测、监测及防治措施的研究。例如:姜洪亮等,研究了煤层瓦斯隧道人工现场检测及遥控自动化监测系统的使用方法与步骤,提出了瓦斯隧道安全生产施工的措施;叶跃忠等,提出了瓦斯隧道衬棚气密混凝土现场配制与检测方法;周董等,研究了非瓦斯隧道通风模拟及瓦斯安全风险评价。

根据国内外文献,许多学者积极进行矿井瓦斯防治的研究,主要集中在瓦斯涌出预测和机理方面的系统研究。对煤层内瓦斯气体的运移的影响因素和规律的研究比较多,对瓦斯抽放的研究也较为深入。例如 Hubebert 提出流体势这一概念,为油气运移的研究提供良好的方法口。一些计算学者通过对天然气藏的形成与分布及其运聚机理等方面的研究,取得大量成果。根据天然气勘探的实践与模拟实验,得出断层及裂隙是天然气运移,特别是地下天然气向上运移的通道。

(二)国内外研究现状及发展趋势

目前,由于地下工程与隧道的受力特征和复杂性,工程界已经开始对隧道施工过程的数值模拟、隧道构筑理论的完善、隧道结构计算方法的优化以及隧道的监控量测逐步进行深入的研究分析,特别是近几年来,数值模拟分析方法更是将计算机技术、现场量测技术及岩石、岩土力学理论有机地结合在一起,逐渐掌握了隧道和地下工程的结构特征,并且此方法已经被大量地采用了,给隧道的分析、设计以及施工提出了一种可行的方法。

隧道工程的施工技术研究是隧道工程设计施工中的一个传统课题和综合性的岩土工程难题,涉及岩土体的开挖与掘进、变形与稳定性、施工工艺以及特殊环境的影响问题,同时还涉及诸多影响因素的综合作用,对这些问题的认识及其对策的研究,是随着土力理论、分析技术、测试仪器以及施工机械、施工技术的进步而逐步完善的。

国内外许多专家学者对隧道工程的施工技术进行了大量的分析研究并在此基础上形成了一大批研究成果。随着科学技术的不断进步,对这一课题的研究也不断深入,研究手段也日新月异。隧道工程的施工技术种类很多,适用范围很广。常采用的施工技术有明挖法、钻爆法、盾构法、TBM 等方法,对于处理具体的隧道时,需要结合工程自身的特点,选择有效的处理措施,并研究选择相关的技术参数,提供优化的治理方案。与此同时还要充分考虑瓦斯对隧道施工的综合影响,采取有效地工程措施对瓦斯进行预测与治理,确保隧道的安全稳定。隧道稳定性分析方法多种多样,常用的是采用有限元法进行分析计算。

目前,隧道工程的分析研究方法主要是荷载结构分析方法与地层结构分析方法。荷载结构模型—洞室围岩已经发生松弛或坍塌,结构只是被动的承受围岩松动带来的荷载,结构内力按结构力学方法计算,围岩弹性抗力是结构与围岩相互作用的唯一反映,计算的关键在于确定围岩主动荷载和被动弹性抗力。地层结构模型—围岩与结构共同构成承载体系,荷载来自围

岩的初始应力和施工引起的应力释放;结构内力与围岩重分布应力一起按连续介质力学方法计算,围岩与结构的相互租用以变形协调条件来体现,计算的关键在于确定围岩的应力释放和围岩结构的相应作用。由于计算机技术的迅猛发展,很多数值分析方法开始应用于隧道稳定分析。主要有:有限元法、有限元强度折减法、DDA法、FLAC法、流形元法、边界元法、离散元法、界面应力元法等。

综上所述,国内外已经有大量学者针对瓦斯隧道施工技术进行了深入的研究,但是专门针对客运专线无轨大断面高瓦斯隧道的研究还很匮乏,需要进一步深入研究,本文依托新建铁路成都至贵阳线乐山至贵阳段在岩溶山区长大隧道穿越高瓦斯地层施工项目从围岩力学行为特性、瓦斯逸散与施工通风、内燃设备防爆改装、超前地质预报、智能门禁系统、瓦斯监测及检测、用电施工、隧道信息化等多个方面详细介绍了大断面高瓦斯隧道施工技术,但也存在以下的不足之处,需今后进一步深入的研究:

1. 本文主要运用数值计算的方式针对长大隧道围岩力学行为特性进行研究,难以考虑瓦斯等不良影响因素,后期应结合室内实验和现场监测的数据进一步深入研究在不同影响因素下的围岩力学行为特性。

2. 瓦斯是影响隧道施工安全的主要影响因素之一,本文仅针对如何在后期处理瓦斯的技术方面进行研究,但还是难以从瓦斯的源头解决问题,然而依靠现有技术难以对隧道瓦斯进行提前预测并在施工前将瓦斯排除保证施工安全,这应是今后发展的方向。

3. 本文针对瓦斯隧道信息化技术进行研究,但该技术还没有达到能够智能分析不同安全影响因素之间的相互作用及其联系,无法实现智能独立管理瓦斯隧道的功能,一定程度上还需要人工参与,在今后的研究中应向更加智能化、独立化、人性化等方面发展。

三、主要研究内容

针对岩溶山区长大隧道穿越高瓦斯地层施工关键技术进行以下研究工作。

(一)高瓦斯长大隧道施工围岩力学行为特性

复杂地质条件高瓦斯地层中隧道施工的影响因素很多,如复杂的地形地貌条件、岩土体的物理力学性质、隧道断面以及隧道开挖方式等都会对隧道施工安全和施工效率产生影响。结合工程所处地质环境,气象地貌特征等,对隧道围岩稳定性进行了理论分析,包括:隧道围岩力学特性研究、构造应力场分布研究、毛洞围岩力学状态研究以及隧道围岩位移特征研究等。结合计算机仿真,对现场典型工点进行施工模拟,并着重研究了上下台阶法对施工影响,通过改变围岩等级、台阶长度、开挖进尺等参数,模拟多种工况下围岩的位移力学响应特性。确保隧道的长期安全稳定,为成贵铁路的顺利修建提供支撑。

(二)邻近和穿越煤气地层隧道瓦斯逸散与施工通风计算

对于长大瓦斯隧道开挖,控制掌子面作业区和隧道内的瓦斯含量在通风标准要求范围内是隧道施工的重点和难点。通过理论分析,对位于老翁场大型气田核心区的兴隆平高瓦斯隧道的瓦斯逸散规律进行分析,包括断层、褶皱、顶底板岩性以及其它水文地质条件对瓦斯赋存的影响做了研究。现场采用设置通风竖井的方式应对隧道施工的高瓦斯情况,通过仿真系统,对兴隆平隧道作业面掘进的三个最不利位置作为研究对象,分析了在最不利通风位置条件下,

隧道内瓦斯含量、瓦斯逸散速度、竖井位置以及隧道开挖工作面位置之间的变化规律及内在联系。通过研究,认为在合理的通风下,瓦斯隧道中的瓦斯可以控制在标准值一下,为实施无轨运输提供了可靠的条件。

(三)瓦斯隧道内燃设备防爆改装技术

针对瓦斯隧道内燃设备防爆改装从改装设备的管理要求、改装设备操作规程进行系统的介绍,明确了改装操作的禁止事项。在技术层面上,对内燃设备的改装进行具体的方案介绍,将可能对瓦斯隧道造成安全隐患的设备进行具体的改装分析。并对尾气系统、电气系统、监控系统以及瓦斯闭锁系统的改装组成以及工作原理进行介绍。

(四)瓦斯隧道超前地质预报技术

首先根据《铁路隧道超前地质预报技术指南》对本隧道的地质情况进行分级,接着分析了超前地质预报的目的及主要内容,其主要内容包括地层岩性、地质构造、不良地质以及地下水的预测预报。然后介绍了超前地质预报的方法有地震波反射法、地质雷达法、红外探测法、超前钻探法、加深炮孔探测法以及地质调查法,并结合本隧道的具了体情况制定超前地质预报的总体方案。然后对地质预报的工作流程进行介绍并提出地质预报质量要求和安全措施。最后通过实际地质情况对预报结果进行验证并总结超前地质预报的要求。

(五)隧道智能门禁系统设计技术

根据地层瓦斯分布特点与工程的实际条件,需要对隧道瓦斯进行及时有效的处理,将灾害预防、事故救助、信息化管理等先进的管理手段运用于隧道安全建设。隧道智能门禁系统设计包括必然选择系统组成及工作原理、系统功能特点、软件功能、主要设备介绍、工程注意事项。将大大改善目前隧道施工过程安全监管落后的管理模式,实现管理的现代化、信息化、智能化。

(六)瓦斯隧道瓦斯监测及检测技术

根据地层瓦斯分布特点与工程的实际条件,需要对隧道瓦斯进行及时有效的监测。运用瓦斯隧道瓦斯监测及检测技术包括瓦斯监测及检测方案、高瓦斯隧道瓦斯监控管理制度、瓦斯监控安全管理措施、瓦斯防爆措施、瓦斯监测浓度异常处理程序、瓦斯燃烧和爆炸、隧道应急预案。防止施工过程中,有害气体浓度超限造成伤害,确保施工安全和施工正常进行,正确指导隧道施工,为科学组织施工提供依据。

(七)瓦斯隧道用电施工技术

高瓦斯隧道施工过程中的安全防控尤为重要,其中洞内用电管理技术是安全防控中的关键项目。根据地层瓦斯分布特点与工程的实际条件,需要采用不同的施工部署、施工用电负荷及用电量计算、临时用电安装规定、机械用电要求、安全用电技术及组织措施、电气防火措施等用电管理技术。确保工程在施工以及运营过程中长期安全可靠。

(八) 瓦斯隧道信息化技术

由于含瓦斯地层的地质情况复杂,瓦斯隧道发生瓦斯事故的危险性大,瓦斯隧道施工风险的研究缺乏系统的理论分析体系和计算方法,使得瓦斯隧道施工风险管理与控制的难度变得非常大。为降低瓦斯隧道施工安全风险,根据瓦斯隧道施工的特点,本文针对瓦斯隧道施工组织机构,信息化施作流程,监控量测的具体方法,围岩稳定性的综合判别及管理等级要求等信息化管理与信息化监控量测信息反馈及工程对策展开研究。

第二章 高瓦斯长大隧道 施工围岩力学行为特性

一、工程概况

新建铁路成都至贵阳线乐山至贵阳段站前工程 CGZQSG-7 标兴隆坪隧道,进口里程 D2K185+090,出口里程 DK187+893,中心里程 D2K186+491.5,隧道全长 2 803 m,为单洞双线隧道。隧道围岩类别为:Ⅲ级围岩 1 340 m、Ⅳ级围岩 590 m、Ⅴ级围岩 755 m。隧道洞身最大埋深约 60 m,线间距 4.6 m,设计速度 250 km/h。DK185+090~DK186+379.631 段位于半径为 9 000 m 的曲线上,其余段位于直线段上。隧道内纵坡采用单面上坡,坡度为 14.5‰。

兴隆坪隧道位于老翁场大型气田核心区,为高瓦斯隧道。线路右侧 1 200 m 位置为老翁场六号气井,埋深浅。为缓解施工通风压力,分别在 D2K185+930 线路右侧 16 m 设置深约 39 m 的竖井,在 DK186+910 线路右侧 16 m 设置深约 67 m 的竖井,在 DK187+400 线路右侧 16 m 设置深约 22 m 的竖井。

隧道进、出口表土及风化层厚度约 0~6 m,洞身最大埋深约 60 m,围岩为砂岩夹泥岩,岩性较软弱,遇水易软化。岩层层理产状较平缓,节理裂隙发育,开挖后拱顶围岩稳定性差,易发生掉块、坍塌现象。DK185+340~DK185+540 为隧道浅埋段,埋深 1~18 m,DK187+390~DK187+440 为隧道浅埋段,埋深 8~20 m,且沟槽内多为水田,岩体裂隙发育,隧道涌水量较大。高瓦斯隧道,Ⅶ度地震区。

总体来说,兴隆坪隧道工程地质条件较差,施工过程中存在较大的安全风险。

二、隧道所处地区自然特征

(一)气象特征

兴隆坪隧道所处区域属于中亚带湿润季风气候区的四川“盆南”气候类型,并有南亚热带气候属性,气候温暖,热量丰足,雨量充沛,无霜期长,平均年总降雨量在 1 100 mm 以上。该地区为气象灾害多发频发地区,春季倒春寒,梅雨期洪涝,盛夏高温,伏秋干旱,冬季冻害与大雪、冰雹、大风等灾害性天气出现比较频繁。兴隆坪隧道工程难点及对策见表 2-1。

表 2-1 兴隆坪隧道工程难点及对策表

隧道名称	工程难点	工程措施
兴隆坪隧道	进出口及洞身明洞段仰坡顺层,隧区沟槽内软粉质黏土厚 0~6 m,围岩砂岩夹泥岩较软弱,岩层产状较平缓,节理裂隙发育,易滑塌	<ol style="list-style-type: none">1. 先做好洞口的改移道路和防排水设施,再进行洞口开挖,并及时做好洞口边仰坡防护,尽早修建洞门及洞口衬砌段,以确保洞口稳定和安全施工。2. 洞口开挖尽量采用机械开挖,如需要爆破开挖,采用控制爆破然后机械开挖

续上表

隧道名称	工程难点	工程措施
兴隆坪隧道	岩性为砂岩夹泥岩,岩体软软弱,埋深较浅,岩层层理产状较平缓,节理裂隙发育。易发生坍塌	<ol style="list-style-type: none"> 1. 加强超前地质预报工作。 2. 加强现场施工管理,保证开挖及支护措施安全有效。 3. 必要时加强初期支护措施
	隧道为高瓦斯隧道,通风是施工必须采取的重要安全措施,由于隧道距离较长,施工通风难度较大	<ol style="list-style-type: none"> 1. 选取满足施工需求的通风设备。 2. 加强通风设备的电力保障,设置备用设备及电力,保证隧道内 24 h 通风。 3. 加强通风管理措施,保障洞内通风需求
	高瓦斯隧道,普通用电设备难以满足要求,均为电力机械作业,出口反坡排水,电力需求大,施工用电难度大	<ol style="list-style-type: none"> 1. 进出口均设置双回路电源,保障洞内施工用电。 2. 洞内所有机电设备必须经过防爆改装后方可使用。 3. 加强施工用电管理,确保用电安全
	地表水水量较大,地下水发育。平时涌水量为 $5\ 619\ \text{m}^3/\text{d}$,雨季最大量为 $8\ 705\ \text{m}^3/\text{d}$,且出口工区为反坡排水,纵坡 $i=+14.5\%$	<ol style="list-style-type: none"> 1. 加强洞口排水系统的设置,并合理安排场地、材料、设备、房屋等布置。 2. 对隧道内可能发生的地质灾害予以充分估计,并于施工前备好足够的抽水设备及抢险物资,有效保证施工安全
	隧道位于老翁场大型气田核心区,瓦斯涌出量为 $0.5\ \text{m}^3/\text{min}$,为高瓦斯隧道,安全风险较大	<ol style="list-style-type: none"> 1. 隧道穿越天然气地层,局部有瓦斯聚集的可能,施工中加深炮眼并加强瓦斯探测、监测和施工通风,洞内工作人员必须配备瓦检仪。 2. 隧道内人员必须经过瓦斯隧道安全施工技术培训,经考核合格后方可允许上岗,爆破、电工、瓦检等特种作业人员必须持证上岗。 3. 施工期间加强天然气检测,移动检测设备与固定检测设备检测结果相互验证。 4. 施工期间随时检测洞内天然气浓度,主要是洞室、坍方点、拱顶,发现局部点浓度超限,采用局扇稀释。高瓦斯段施工时采用不间断通风,设置双回路电源,一旦一路电源断电,能马上接驳至另一路电源,以保证通风不间断。 5. 本隧道所有机电及通风设备均采用防爆型。 6. 施工中加强超前地质预报和施工地质核对,开展施工期瓦斯(石油天然气)、煤与瓦斯突出危险评估,及时提出处理意见,必要时应及时采取应急措施。 7. 加强火源管理,建立洞口安检制度,严禁将火柴、打火机及其他易燃易爆物品带入洞内,严禁穿着化纤衣物进洞

(二)地形地貌

隧道位于宜宾市老翁镇百香坡村至学堂湾,为川南红层丘陵地貌,地形有一定起伏,丘包与槽谷相间分布,残丘底矮浑圆;进口纵坡坡度为 $10^{\circ}\sim 25^{\circ}$;出口纵坡坡度为 $15^{\circ}\sim 35^{\circ}$;地面高程为 $340\sim 450\ \text{m}$,最大高差 $110\ \text{m}$ 。隧区地表多为旱地、水田、树林,基岩零星出露,隧区进、出口及洞身均有乡村公路通过,交通条件好。线路走向由西北向东南,最大埋深约 $60\ \text{m}$ 。

(三)地震动参数

沿线场地土类型为中硬土,场地类型为 II 类,设计地震分组为第二组,地震动峰值加速度等于 $0.10g$,地震反应谱特征周期均为 $0.4\ \text{s}$ 。

(四)地质构造

老翁场背斜核部位于 D2K186+570。地表卸荷节理发育,砂岩中节理间距一般 0.2~0.5 m,多为张开型,延伸性较好,部分有黏性土填充;泥岩呈散粒状风化剥落。

(五)地质岩性

隧道上覆第四系全新统坡洪积软质黏土、粉质黏土;坡残积粉质黏土。下伏侏罗系中统沙溪庙组砂岩夹泥岩。砂岩节理发育,节理间距一般在 0.2~0.5 m,多为张开型,延伸性较好,部分有黏性土填充;泥岩呈散粒状风化剥落,泥岩局部有弱膨胀性,且暴露于空气中易风化崩解、遇水易软化。

(六)水文地质特征

地表水主要为池塘水、水田水,水量较大,靠大气降水补给,蒸发并向地下排泄。

隧区地下水:第四系孔隙潜水、基岩裂隙水,水量较大。

第四系孔隙潜水主要赋存于第四系松散土层中,主要受大气降水补给,向低洼处排泄。基岩裂隙水主要分布于基岩及风化层裂隙中,受孔隙水及大气降水补给,向低洼处排泄。预测平时涌水量为 5 619 m³/d,雨季最大量为 8 705 m³/d。上岩层具有岩性分布不均匀,节理裂隙发育程度不同的特点,加之本隧道洞身地表多处沟槽浅埋段埋深小于 10 m,洞顶分布水塘、水田,这些段落渗水更容易。

(七)不良地质及特殊岩土

1. 有害气体(瓦斯)

兴隆坪隧道整体穿越老翁场气田,隧区是油气运移和聚集的有利区。隧道段地层岩性主要为砂岩,岩石物性较好,属于油气有利聚集层,有利于油气储集。判定兴隆坪隧道为高瓦斯隧道,瓦斯溶出量为 0.5 m³/min。

2. 顺层

隧道进口岩层层理产状为 N50°E/15°NW,岩层走向与线路成 59°相交,视倾角 12.9°,进口仰坡顺层,对工程有一定影响。

3. 粉质黏土

灰黑色、黑色,软塑状。土质不均匀,含少许砂岩质角砾碎石。分布于隧区沟槽内,厚 0~7 m,对工程有一定影响。

三、隧道围岩稳定性理论分析

(一)隧道围岩稳定性分析方法

1. 力学分析法

从 19 世纪人类对松散地层主要是土层围岩稳定和围岩压力理论进行研究开始到现在,围岩压力理论主要经历了古典压力理论、散体压力理论及现在广泛应用的弹性力学理论、塑性力学理论。实际工程中,隧道开挖后由于卸荷作用使围岩应力进行重分布,并出现应力集中。如

果围岩应力处小于岩体弹性极限强度,这时围岩处于弹性状态。反之,围岩将部分进入塑性状态,但局部区域进入塑性状态并不意味着围岩将发生坍塌或失稳,因而研究围岩稳定就不能不考虑塑性问题。芬纳—塔罗勃和卡斯特奈等给出了围岩的弹塑性应力图形。随着半解析元法以有限厚条法的形式提出,林银飞、郑颖人将有限厚条法和弹塑性分析结合在一起,提出了弹塑性有限厚条法,采用大单元内划分小网格的方法判断塑性区范围,在弹性区及塑性区内采用统一的解析函数级数,以修正常刚度增量法为迭代方法,推导出了塑性系数矩阵及塑性刚度矩阵。并将其应用于地下工程三维弹塑性围岩稳定性分析中。

对于深埋隧道,因其埋深大,围岩大都表现出强烈的流变特性,而软弱围,其本身就具有明显的流变特性。因此,流变理论逐渐被引用到围岩稳定性分析的研究中朱素平等川提出了以对数函数描述岩石蠕变的黏弹性模型进行围岩稳定性的力学分析。日本学者西原在岩石流变试验资料的基础上,建立了能反映岩石弹—黏弹—黏塑性特性的西原模型。在此基础上,同济大学孙钧通过对围岩—支护系统受力机理的充分阐述,得出了西原模型在隧道围岩—支护系统中的有限元解并对层状节理围岩、含软弱断层、破碎带的围岩分别提出了两个 Bingham 串联模型和四元件的黏弹塑性模型。

2. 围岩分类法

在实际工程的计算与设计,因围岩分类法简单、明了而被广泛使用围岩稳定性分类方法,主要有 Stini 法、Franklin 法、bieniewski 的 RMR 法和 Barton 等人的 Q 法,以及 Arild, Palmstrom 于 1995 年提出的 RMI(Rock Mass Index)法。但此分类方法中包含参数较多,而有些参数难以准确测定,加之岩体工程力学行为及其变形、破坏机理的不确定性和不确定性。对此情况,不少学者采用模糊数学的方法加以处理,加以解决。

3. 反分析法

自奥地利地质学家拉布西维兹提出以充分发挥围岩自承能力为基本原理,以锚喷支护及复合柔性衬砌为主要特征的新奥法以来,改变了过去设计与施工的一些传统思路。它依据现场监控量测结果和信息反馈来指导施工和设计。因此,以现场监控信息为依据,通过反演计算围岩物理力学参数来评价隧道围岩稳定性的反演分析方法日趋完善。

(二)隧道围岩力学特征

1. 初始地应力场

隧道的地质环境从理论上说是指由初始地应力场、渗流场和温度场组成的一个复合场,但从实用角度讲主要指初始地应力场。

隧道工程一个重要的力学特征就是隧道是修筑在具有一定应力履历和一定应力场的围岩中的结构物。并且这种初始地应力在隧道开挖之前是客观存在的。它的形成与围岩构造、性质、埋藏条件以及构造运动的历史有密切关系。需要指出的是,围岩的初始地应力状态与施工引起的附加应力状态是不同的,它对隧道开挖后围岩应力分布、变形和破坏有着重要的影响。

围岩的初始应力状态一般受到两类因素的影响:

第一类因素有重力、温度、围岩的物理力学性质及构造地形等经常性的因素。

第二类因素有地壳运动、地下水活动、人类的长期活动等暂时性的或局部性的因素。

因此,初始地应力由两种力系构成,即

$$\sigma = \sigma_y + \sigma_T \quad (2-1)$$

式中 σ_y ——自重应力分量；
 σ_T ——构造应力分量。

在上述的因素中，目前主要研究的是由围岩的体力或重力形成的应力场，其他因素只认为是改变了由重力造成的初始地应力场。一般说来，重力应力场的估计可以采用连续介质力学的方法，它的可靠性则决定对岩石的物理力学性质及围岩的构造——力学性质的研究，其误差比较大。而其他的因素造成的初始地应力场，主要是用试验（现场测试）方法完成的。

2. 重力应力场

假设围岩地层是一个地面平坦、水平成层的线性变形介质。如图 2-1 所示，在 xy 面内是均质的，沿 y 轴方向是非均质的。

设 E, μ 分别为沿垂直方向的围岩弹性模量和泊松比， E_1, μ_1 为沿水平方向的围岩弹性模量和泊松比，则因为围岩的变形性质沿深度而变，故有

$$E = E(y), \mu = \mu(y), E_1 = E_1(y), \mu_1 = \mu_1(y) \quad (2-2)$$

同时，单位体积重也认为是沿深度而变，即 $\gamma = \gamma(y)$ 。这样，距表面深 h 处某一点的应力状态为

$$\begin{aligned} \sigma_y &= \int_0^h \gamma(y) dy \\ \sigma_x &= \sigma_x(y) \\ \sigma_z &= \sigma_z(y) \\ \tau_{xy} &= \tau_{xz} = \tau_{yz} \end{aligned} \quad (2-3)$$

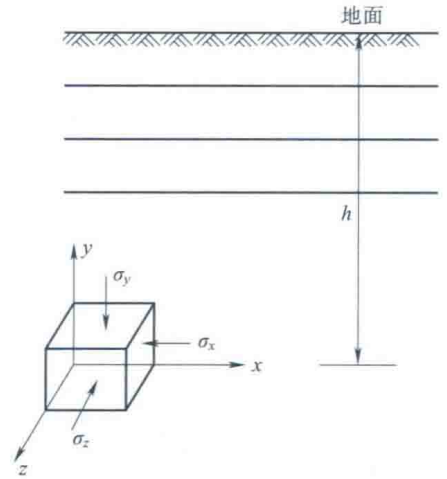


图 2-1 地表水平时的自重应力场

但是处于静力平衡状态的围岩内，沿水平方向的变形等于零，故

$$\sigma_x = \sigma_z = \frac{E}{E_1} \times \frac{\mu_1}{1 - \mu_1} \sigma_y \quad (2-4)$$

假设围岩为一个连续匀质介质，则 $E = E_1 = \text{常数}$ ， $\mu = \mu_1 = \text{常数}$ ，就得到公式

$$\sigma_x = \sigma_z = \frac{\mu}{1 - \mu} \sigma_y \quad (2-5)$$

设 $\lambda = \mu / (1 - \mu)$ ，则式(2-5)可以改写为

$$\sigma_x = \sigma_z = \lambda \sigma_y \quad (2-6)$$

λ 被称为侧压力系数。显然，当垂直应力已知时，水平应力的大小决定于围岩的泊松比。

深度对初始地应力有着重大的影响。随着深度的增加， σ_y 和 σ_x (σ_z)。增加到一定值后，各向受力的围岩处于隐塑性状态。在这种状态下，围岩物理性质指标 (E 和 μ) 是变化的，值也是变化的，并随着深度的增加， λ 值趋于 1，即与静水压力相似，此时围岩接近流动状态。

由此可见，围岩的初始地应力场是随深度而变的，其应力状态可视围岩的不同，分别处于弹性、隐塑性及流动三种状态。围岩的隐塑性状态在坚硬围岩中约在距地面 10 km 以下，也有可能浅处产生，如在岩石临界强度低（如泥岩）的地段。

当然，上述的应力场是理论的。实际上，由于地壳运动，岩层会产生各种变态，如变成各种倾斜状、弯曲的等等，这种情况下，围岩的初始地应力会有变化。比如在背斜的情况下，由于岩层成拱状分布，使上覆岩层重量向两翼传递，而直接处在背斜轴下面的岩层则受到较小的应力，如图 2-2 所示。大量的实测资料表明，地质构造形态改变了重力应力场的初始状态。