维普资讯 http://www.cqvip.com

关角特长铁路隧道工程地质概述

李金城
(铁道第一勘察设计院,陕西西安 710043)

A Summary for Engineering Geology in Guanjiao Super Long Railway Tunnel

Li Jincheng

摘 要 关角隧道位于青藏铁路西格段,线路长 32.605 km,是我国目前最长的铁路隧道。介绍了关角隧道的地形地貌,详细分析了地层岩性、地质构造和水文地质特征,在此基础上提出了主要工程地质问题及其处理措施。

关键词 关角特长铁路隧道 工程地质 水文地质

1 概况

关角隧道位于青藏铁路西格段。增建二线线路跨布哈河、鲁茫曲于青海南山山前新设天峻站后,以 32.605 km 的隧道穿越青海南山(DK280 + 570 ~ DK313 + 175,隧道进口高程为3 378.72 m,出口高程为3 324.10 m),沿肯德隆沟接入察汗诺。线路在此段一次取直,区间长度为 39.084 km,并废弃既有关角隧道。新建隧道为两座平行的单线隧道,位于直线段上,线间距为 40 m。隧道进口段为8‰的上坡,在岭脊设坡度代数差后,以 9.5‰的坡度连续下坡。图 1 为关角隧道线路平面示意图。

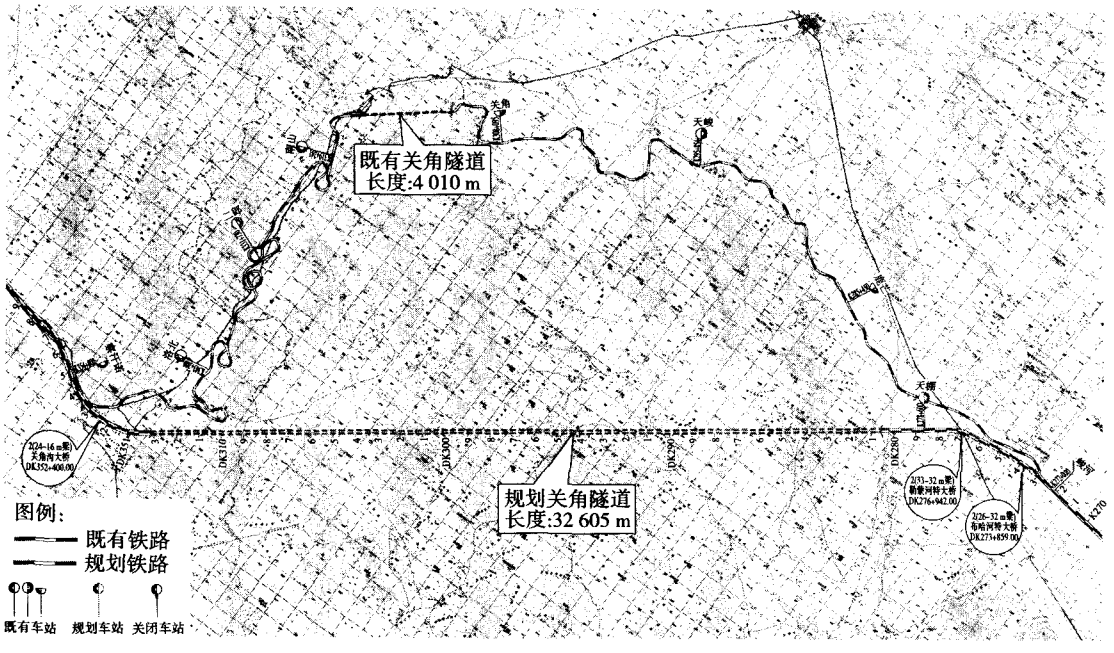


图 1 关角隧道线路平面示意

收稿日期:2007 - 11 - 10
作者简介:李金城(1963—),男,1984 年毕业于上海铁道学院铁道工程专业,教授级高级工程师。

2 地形地貌

关角隧道呈东西走向,是西格增建二线的重点控

维普资讯 http://www.cqvip.com

制工程,也是全线最大的工程建设项目。地理位置在北纬 37°00′~37°11′,东经 98°52′~99°11′。隧道位于青海省天峻县境内,是青海湖盆地与柴达木盆地的分水岭。隧道地区海拔高程为为3 200~4 400 m。地势较高,人烟稀少。

本区属祁连山系中段南缘支脉青海南山。青海南山呈 NW—SE 向横亘于本区中部,总体地势是中部高、北东和南西低。隧道通过区属青海南山高山区的关角日吉山。隧道进口位于布哈河冲积平原后缘,以北为宽阔、平坦的布哈河冲积平原;出口位于肯德隆沟沟谷中。根据山体的相对高差,又进一步划分为关角日吉山北坡低高山区、关角日吉山中高山区、关角日吉山南坡低高山区 3 个次级地貌单元。

2.1 关角日吉山北坡低高山区(隧道进口~DK285+500)

该区海拔高程为3 500~4 000 m,相对高差为 200~400 m,山坡自然坡度为 25~35°。表层多为土层覆盖,植被发育,沟谷发育。沟谷中大多常年流水,水量随季节变化而变化。

2.2 关角日吉山中高山区(DK285+500~DK303+000)

该区海拔高程为4 000~4 500 m,相对高差大于 500 m,山坡自然坡度为 25~45°,地势陡峻,局部近于直立。地表大多基岩裸露,局部植被发育,沟谷发育。沟谷大多常年流水。

2.3 关角日吉山南坡低高山区(DK303+000~隧道出口)

该区海拔高程为3 400~4 000 m,相对高差为 200~400 m,山坡自然坡度为 25~45°,地势陡峻。地表大多基岩裸露,局部植被发育,横向沟谷发育,仅在雨季有少量流水。肯德隆沟是南坡规模较大的沟谷。

3 工程地质

3.1 地层岩性

隧道区地层岩性复杂,沉积岩、岩浆岩、变质岩三大岩类均有出露。出露的地层主要有第四系、三叠系、二叠系、石炭系、志留系、下元古界,并伴有华力西期侵入岩。地层岩性特征分述如下。

(1)第四系全新统(Q_4)

主要为现代河床冲积、洪积层和山坡坡积层,由砂质黄土、粉质黏土、细砂、圆砾土、卵石土和碎石土组成。

(2)三叠系(T)

三叠系有两个截然不同的沉积类型,以关角日吉山一带出露的石炭系为界,分为南北两带。北带为三叠系中统及中下统,是浅海相陆台盖层碳酸盐、碎屑岩沉积,和下伏二叠系地层呈平行不整合接触,岩性主要以灰岩、砂岩为主。南带为三叠系下统,属于南祁连褶皱带地槽型沉积的范围,有规模不大的地质体零星分布,以砾岩、砂岩为主,覆盖在石炭系地层上。

(3)二叠系(P)

以碳酸盐为主的陆台型浅海相沉积,岩性以灰岩为主,局部夹少量砂岩,和下伏石炭系地层呈角度不整合接触,接触带附近岩体破碎。

(4)石炭系(C)

由变质、变形强烈的岩类组成,呈北西向带状展布于本区中部。这是一套变质的浅海相碎屑岩构造,以变质砂岩、片岩为主,夹少量大理岩、板岩,和下元古界地层呈断层接触。

(5)志留系(S)

为变质的海相类复理石碎屑沉积,以变质砂岩为主,局部夹板岩、片岩。大部分岩石中均或多或少含有一些凝灰质成分。岩体受构造影响严重,受强烈的韧性变形和动态重结晶作用,原岩结构遭到破坏,因而具有糜棱结构和流动构造,主要分布在隧道进口段。

(6)下元古界(Pt)

由混合岩化作用形成的混合岩,主要由混合片麻岩、眼球状混合岩组成,局部为少量角闪岩和大理岩,主要分布在隧道出口段。

(7)侵入岩

根据其岩性特征,分为华力西早期片状闪长岩、华力西晚期闪长岩和花岗岩。华力西早期片状闪长岩呈北北西向长条带状展布于二郎洞—巴彦哈尔一带。华力西晚期闪长岩,分布于本区南部,呈不同规模的岩株状产出,分布于石炭系、下元古界地层中。三叠系下统角度不整合其上,侵入体多呈不规则椭圆状,长轴方向以北西向为主。花岗岩(γ_4):呈灰白色,成分以石英、长石、黑云石为主,似斑状结构,块状构造,岩体节理、裂隙较发育,岩体较完整,以块状为主,岩质坚硬。

(8)构造岩类

分布于隧道各断层破碎带,主要由碎裂岩、断层角砾组成,局部夹少量断层泥砾,岩体破碎,岩质软弱,局部含地下水。

3.2 地质构造

(1)褶皱构造

区内褶皱发育,总体上呈北北西向展布,主要发育华力西期和印支期褶皱带。褶皱构造在区内主要表现

维普资讯 http://www.cqvip.com

为三种类型:一是以下古元界、石炭系中的褶皱为代表,以近于线状的紧密褶皱为主,属基底褶皱性质;二是以二叠系、三叠系中的褶皱为代表,以开阔的正常褶皱为主,属盖层褶皱性质;三是上第三系中的褶皱,以波状起伏的缓倾斜正常褶曲为主,是新构造运动造成的。

(2)断裂构造

区内断裂构造极为发育,根据断层规模及其构造可以分为两级:一级为区域性深大断裂(F),二级为区域断裂或次级断裂(f)。根据断层走向大体上可以分为三组:北西向断裂组、北东向断裂组、北北西向断裂组。其中以北西向断裂最为发育,一般规模较大,同时构成了区内的主构造线。从各断裂之间的交切关系,确定不同方向之间断裂生成次序是:北西向断裂最早,并具有多期活动的特点;次为北北西向断裂、北东向断裂。各期断裂相互交切,分枝现象多,使区内断裂系统显得十分杂乱。空间上断裂构造发育不均匀,以二郎洞—巴彦哈尔一带最发育,构成一条密集发育的断裂带。

(3)节理

关角隧道越岭区位于新构造活动强烈的青藏高原东北缘,褶皱、断裂发育,岩体受构造影响严重,岩体节理、裂隙较发育—发育,岩体较破碎—破碎。

4 水文地质

根据隧道通过区出露的地层岩性和地质构造特征,结合含水介质的不同,将本区地下水分为第四系松散岩类孔隙水、碳酸盐岩类岩溶裂隙水和基岩裂隙水三大类。关角隧道涌水量分析见表1。

表1 关角隧道Ⅰ、Ⅱ线同时施工总涌水量计算结果

分段里程	DK280+570~DK281+014	DK281+014~DK283+490	DK283+490~DK301+510	DK301+510~DK306+389	DK306+389~DK313+175
富水性分区	贫水区	弱富水区	中等富水区	弱富水区	贫水区
长度/m	444	2 476	17 760	5 139	6 786
影响宽度/m	600	800	1 000	800	600
径流模数 $M/(m^3/d\cdot km^2)$	77.42	563.72	2 424.22	563.72	77.42
隧道正常单位涌水量 $q/(m^3/d\cdot m)$	0.04	0.362	2.01	0.78	0.272
Ⅰ、Ⅱ线可能正常涌水量 $Q_{st}/(m^3/d)$	16.5	893.28	34 627.45	3 825.12	1 846.16
Ⅰ、Ⅱ线可能最大涌水量 $Q_{max}(m^3/d)$	33.0	1 786.56	83 105.88	7 650.24	3 692.32
Ⅰ、Ⅱ线可能正常总涌水量 $Q_{st}/(m^3/d)$	41 208.51				
Ⅰ、Ⅱ线可能最大总涌水量 $Q_{max}/(m^3/d)$	96 268.0				

注:可能正常总涌水量和可能最大总涌水量未扣除隧道影响范围内辅助坑道的正常总涌水量和最大总涌水量。

5 主要工程地质问题及其处理措施

由于隧道长、地质复杂,隧道施工中的不可预见性太大,不可避免地会发生一些对施工不利的事件。关角隧道主要工程地质问题及其处理措施如下。

5.1 高地应力

隧道区位于新构造活动强烈的青藏高原东北缘,跨越柴达木陆块北缘、宗务隆山裂陷槽、南祁连陆块三个大地构造单元,区内断裂及褶皱均发育,可以推断隧道区存在较高的地应力。根据水压致裂法实测结果分析,隧道岭脊埋深较大段存在较高的地应力。高地应力容易引起软弱围岩(主要指断层破碎带)的流变失稳及坚硬岩石(主要指花岗岩、闪长岩、混合岩)的岩爆。根据深孔地应力测试分析结果,施工中发生岩爆的可能性较小,但软弱围岩存在发生较大变形的风险。

结合以往工程中大变形后的工程处理措施以及变形处理技术总结,可以在发生变形时,根据变形的大小采取一种或多种处理措施:

(1)对不同的地层采用不同参数的台阶法施工技术来控制围岩变形。

(2)采用超前注浆围岩加固技术,提高围岩的物理力学参数和应力分布的均匀性。

(3)现场测试围岩松动圈的范围,根据围岩应力特征,在隧道施工中采用中长锚杆(管)围岩加固技术,以控制变形。

(4)通过加强隧道的初期支护参数,如喷混凝土的厚度、钢架的间距、型钢的型号、锚杆的长度以及二次衬砌的结构参数等来控制变形。

(5)发生挤压大变形时,可采用多重支护、分次施工支护技术来控制变形。

5.2 突涌水

根据区内水文地质调查及对既有关角隧道涌水情

维普资讯 http://www.cqvip.com

况的调查,区内地下水发育,特别是三叠系及二叠系砂岩、灰岩和石炭系变质砂岩,岩体节理、裂隙发育,并且灰岩中有古岩溶发育,富水性好。因此,隧道施工可能会产生突涌水。

尽管隧道正洞为"人"字坡,当顺坡排水时,突然的大涌水也会给施工造成巨大的损失。本隧道设计方案为钻爆法,采用 10 座斜井辅助正洞施工。因此,无论在斜井建井期间还是施工正洞期间,发生突涌水后会产生严重安全事故。针对突涌水和较大的围岩裂隙水,可采取以下措施:

(1)为了防止突涌水淹井的危险,施工中应配备足够的抽水设备。

(2)加强地质超前预报工作,采取超前探水措施,尽可能地预防突水突泥的发生。

(3)当涌水量较大时,根据具体的涌水量,可以采取超前注浆、帷幕注浆、径向注浆、局部注浆等多种措施进行堵水。

(4)当涌水或含水量大,影响隧道围岩的稳定时,应加强支护,保证隧道施工的安全。

5.3 岩溶

根据地表地质调绘,三叠系和二叠系灰岩节理、裂隙较发育。地下水往往沿其裂隙产生溶蚀作用,线状溶隙和溶洞较发育。其大小差异较大,一般为 1 m × 1.5 m × 0.8 m,小者为几十立方厘米,大者可见 3.5 m × 2.5 m × 1.5 m。根据 *DSZ*—7 孔钻探资料显示,3 605.2 ~ 3 606.5 m、3 559.8 ~ 3 660.7 m(高程)有溶洞发育,洞内有黏性土充填,并且岩芯有溶蚀现象,说明灰岩中有岩溶发育。根据物探资料(V8)分析,DK293 + 214 ~ DK293 + 514 段物探异常,推测为岩溶发育区。施工时可采取以下方法进行处理:

根据以往岩溶地区隧道施工的技术总结,分析溶洞的大小、位置、是否充填或连通、岩溶水的大小,采取不同的处理措施,如回填、注浆、泄水、设桥等。

5.4 围岩失稳

关角隧道位于地质构造活动强烈的青藏高原东北缘,区内断裂和褶皱均较发育,岩体节理、裂隙发育—较发育,岩体较破碎。尤其是 DK283 + 479 ~ DK284 + 889、DK301 + 000 ~ DK306 + 000 段,断层发育,岩体破碎,局部含水,施工中可能出现坍塌、变形等围岩失稳现象。施工中可采取以下措施:

(1)加强超前支护,对预防一般较小坍塌能起关键作用。

(2)当存在涌水时,应采取注浆措施。

(3)对地质条件差的地段,应加强监控量测,以便及时采取针对性强的措施,防止塌方。

(4)调整施工方法,采取"短开挖、管超前、强支护、勤量测、及时封闭"的施工程序。

6 建议

DK283 + 479 ~ DK284 + 889、DK301 + 000 ~ DK306 + 000 段,断层发育,地质条件复杂,是本隧道地质条件比较复杂的两段。在定测工作中采取了地质调绘、钻探、槽探与综合物探相结合的综合勘探的方法。建议进一步查明各断层产状、性质,断层破碎带的物质组成、宽度、破碎程度及富水情况等,分析预测施工中可能会出现的主要地质问题,并提出工程防治措施。

对隧道灰岩溶岩、高地应力和水压较高地段,应进一步加深地质勘察工作,逐一查清各种不良地质的特性参数,制定有针对性的工程措施。对二郎洞—巴彦哈尔断裂带或部分高地应力地段,应进一步加强隧道的初期支护,适当加大预留变形量,二次衬砌尽量采用近似圆形断面,以便改善隧道结构受力。

根据关角隧道的工程地质、水文地质特征,并结合国内其他特长隧道超前地质预报的经验,采用以洞内地质编录为主,并与物探超前地质预报(TSP202、TSP203、地震反射法等)、超前水平钻探相结合的综合地质超前预报的方法。关角隧道以Ⅱ线隧道部分段落先期施工为平导,贯通后辅助Ⅰ线施工,超前地质预报主要在Ⅱ线隧道和辅助坑道中进行,根据Ⅱ线施工地质资料对Ⅰ线进行预报。由于灰岩中局部有岩溶发育,考虑到岩溶发育的复杂性,在Ⅰ线隧道预测岩溶发育段也要进行必要的超前地质预报。为此,建议现场成立施工地质预报工作组,选派经验丰富的地质预报技术人员进行现场指导,提高地质预报的精度和效率。

要加强隧道的建设管理,配备具有经验的专业技术人员和管理人员,在施工图设计和建设过程中,开展必要的技术咨询。如实际开挖揭示的围岩地质情况和原设计变化较大时,应及时进行变更设计,及时调整支护措施,确保隧道施工安全。

参 考 文 献

[1] 铁道第一勘察设计院. 改建铁路青藏线西宁至格尔木段增建第二线补充初步设计 · 关角隧道[R]. 西安:铁道第一勘察设计院,2007

[2] TB10204—2002 铁路隧道施工规范[S]

[3] 铁道第一勘察设计院. 铁路工程地质手册[M]. 北京:中国铁道出版社,2002

[4] TB10012—2001 铁路工程地质勘察规范[S]

[5] TB10049—2004 铁路工程水文地质勘察规程[S]