

川藏铁路勘察工程的孔内试验及钻孔质量控制方案 ——以 DZ-S-04-1 号钻孔为例

徐 铮¹, 张化民², 于好善², 岳 洲¹, 胡孝荣¹

(1. 四川省地质工程勘察院集团有限公司, 四川 成都 610072;
2. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要:川藏铁路是铁路工程史上最具挑战性的工程。沿途地质条件非常复杂, 内外动力地质灾害极其发育。针对可能发生的岩爆、涌水和岩体放射性等工程危害, 川藏铁路勘察工程需进行大量的孔内试验, 包括地应力测试、水文试验、地温测试和综合测井等。本文以 DZ-S-04-1 号钻孔为例, 详细介绍了川藏铁路勘察孔进行的孔内试验项目和钻孔质量控制方案。通过精心的设计和施工, DZ-S-04-1 号钻孔已顺利完工, 各项孔内试验圆满完成, 为后续的工程建设和提供了宝贵的数据基础。

关键词:工程勘察; 孔内试验; 钻孔质量控制; 川藏铁路

中图分类号: P634; U212.2 文献标识码: B 文章编号: 2096-9686(2021)05-0032-06

In-hole test and borehole quality control plan for the Sichuan-Tibet Railway investigation project—Taking Borehole DZ-S-04-1 as an example

XU Zheng¹, ZHANG Huamin², YU Haoshan², YUE Zhou¹, HU Xiaorong¹

(1. Sichuan Geological Engineering Survey Institute Group Co., Ltd., Chengdu Sichuan 610072, China;
2. Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: Sichuan-Tibet Railway is a most challenging project in the history of railway construction. The geological conditions along the railway are complex, and the internal and external dynamic geological disasters are extremely developed. In view of the possible engineering hazards such as rock burst, water gushing, and rock radioactivity, a large number of in-hole tests should be carried out for the Sichuan Tibet Railway investigation project, including in-situ stress test, hydrological test, ground temperature test, comprehensive logging. Taking Borehole DZ-S-04-1 as an example, this paper introduces in detail the in-hole test items and borehole quality control plan for the investigation hole for Sichuan-Tibet Railway. With careful design and construction, Borehole DZ-S-04-1 has been successfully completed together with the in-hole tests, which provides valuable data basis for subsequent construction.

Key words: engineering investigation; in-hole test; borehole quality control; Sichuan-Tibet Railway

1 川藏铁路工程概况

川藏铁路是中国境内一条连接四川省与西藏自治区的快速铁路, 呈东西走向, 为中国国内第二条进藏铁路, 也是中国西南地区的干线铁路之一。

川藏铁路东起四川省成都市、西至西藏自治区拉萨市, 线路全长 1838 km, 设计速度 160~200 km/h。

川藏铁路采用兴建新线与合并旧线的方式修筑, 分期分段建设运营。从东往西, 可以分为成都

收稿日期: 2020-08-27; 修回日期: 2020-10-26 DOI: 10.12143/j.ztgc.2021.05.005

作者简介: 徐铮, 男, 汉族, 1987年生, 工程师, 硕士, 从事水文地质、工程地质和环境地质勘查方面的工作, 四川省成都市金牛区西青路119号, 330864949@qq.com。

引用格式: 徐铮, 张化民, 于好善, 等. 川藏铁路勘察工程的孔内试验及钻孔质量控制方案——以 DZ-S-04-1 号钻孔为例[J]. 钻探工程, 2021, 48(5): 32-37.

XU Zheng, ZHANG Huamin, YU Haoshan, et al. In-hole test and borehole quality control plan for the Sichuan-Tibet Railway investigation project—Taking Borehole DZ-S-04-1 as an example[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(5): 32-37.

—雅安、雅安—昌都、昌都—林芝、林芝—拉萨4段。成都—雅安段已于2018年11月26日开通。林芝—拉萨段已进入铺轨阶段,预计2021年通车。雅安—林芝段正在进行勘察设计。

川藏铁路工程需要面对崇山峻岭、地形高差、地震频发、复杂地质、季节冻土、山地灾害、高原缺氧以及生态环保等建设难题。川藏铁路集合了山岭重丘、高原高寒、风沙荒漠、雷雨雪霜等多种极端地理环境和气候特征,跨14条大江大河、21座4000 m以上的雪山,被称为“最难建的铁路”^[1]。

2 川藏铁路勘察工程的孔内试验项目

川藏铁路行走于印度洋板块与欧亚板块碰撞而隆升的青藏高原地带;穿越横断山、唐古拉山、喜马拉雅山三大山脉,跨越雅砻江、金沙江、澜沧江、怒江、雅鲁藏布江五大水系。沿线山高谷深,新构造运动活跃,地层岩性混杂,地震频繁,气候恶劣多变,内外动力地质作用强烈,崩滑、泥石流等重力地质灾害和高温热水、高地应力等内动力地质灾害极其发育。川藏铁路将是迄今为止人类历史上最具挑战性的铁路建设工程,工程地质灾害将成为全线的关键控制性节点,关乎川藏铁路建设及后期运营的成败^[2]。所以川藏铁路沿线地质勘察工程的关键点在于查明地应力、地温、水文等地质信息,为规避和处治内外动力地质灾害提供可靠依据。

DZ-S-04-1号钻孔位于巴塘县德达乡境内,德达寺庙修行点南西侧约8.4 km处,地势陡峭,孔位海拔约4756 m,为雪线以上,坡面为冻融岩屑坡。钻孔所处位置表层出露为全新世冰川堆积物,下伏基岩为燕山期细粒斑状黑云二长花岗岩,冰川堆积物及基岩的强风化层厚度有待于钻探查明。钻孔下部有Ⅳ类电(物探)异常,推测有节理密集带通过。线路以隧道形式经过,隧道埋深约590 m,可能的主要工程地质问题:涌水、轻微岩爆、花岗岩放射性等。

DZ-S-04-1号勘察孔除了传统的查明钻孔揭露地段地层岩性、地质构造、岩体完整性、物探低值异常原因等工作内容,还需要进行以下孔内试验项目:

(1)地应力和地温测试:通过孔内地温与地应力测试,查明隧道洞身段地温、地应力特征。通过分析孔内地温梯度变化情况及高地温对隧道的影响程度,通过地应力测试了解隧道高地应力环境下的岩

爆特征。

(2)水文测试:查明孔位附近水文地质条件;各含水层发育分布特征及水力联系;确定各含水层涌水量预测有关的水文地质参数;分析地下水水质及其侵蚀性。

(3)岩性测试:通过现场深孔综合测井和室内岩石试验,查明岩层的物理力学性质、力学分层,岩体和岩块的弹性纵波波速(V_p)、完整性系数、围岩放射性等。

该孔需要进行综合测井、放射性测试、有害气体测试、地应力测试和水文测试,施工流程见图1。

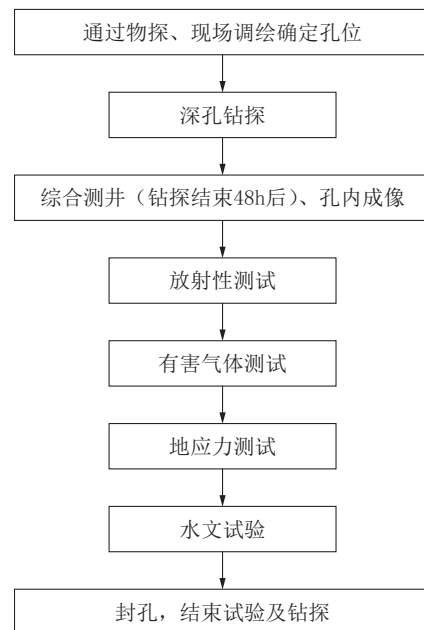


图1 DZ-S-04-1号钻孔施工流程

Fig.1 Construction process of Borehole DZ-S-04-1

3 DZ-S-04-1号钻孔成孔质量控制方案

良好的成孔质量是保证孔内试验顺利进行的前提,所以在前期施工中要精心设计和施工,严格把控钻探中各个环节的工程质量,为后续的孔内试验打下良好的基础^[3]。

3.1 孔身结构设计

钻孔结构严格按照技术要求中成孔结构要求进行设计,结合区域地质情况及相关测试要求,该孔采用 $\varnothing 150$ mm开孔并下 $\varnothing 146$ mm套管作孔口管;然后采用 $\varnothing 130$ mm口径揭穿覆盖层后下 $\varnothing 127$ mm套管作止水处理; $\varnothing 110$ mm口径施工进入较完整基岩后下 $\varnothing 108$ mm套管护壁; $\varnothing 95$ mm口径穿过上部裂

隙发育等地层,利用 $\phi 91$ mm 绳索取心钻杆作套管护壁;最后用 $\phi 75$ mm 口径钻进至终孔。钻孔结构见图2。

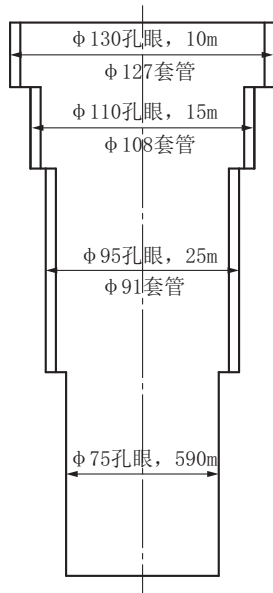


图2 DZ-S-04-1号钻孔结构

Fig.2 Structure of Borehole DZ-S-04-1

3.2 冲洗液与护壁堵漏技术方案

该钻孔采用套管和冲洗液综合护壁;若遇漏失可用堵漏剂进行堵漏,必要时用水泥封堵;孔内负荷大可加高效润滑剂减阻^[4-5]。

3.2.1 不同地层选用的冲洗液类型及性能

3.2.1.1 覆盖层

一般采用高粘度细分散冲洗液。配方:清水+纯碱(0.1%~0.5%)+钠基膨润土(4%~6%)+Na-CMC(0.2%)。

基本性能要求:粘度 25~30 s,密度 1.05~1.08 kg/L,胶体率>96%,失水量<6.5 mL/30 min,含砂量<4%。

3.2.1.2 孔壁较稳定地层

采用无固相冲洗液,孔深较大时应及时加入润滑减阻剂。配方:清水+聚丙烯酰胺(0.05%)+润滑剂(0.25%)。

基本性能要求:粘度 20~22 s,密度 1.01~1.03 kg/L,胶体率>96%,含砂量<3%。

3.2.1.3 破碎带及易坍塌地层

主要选用不分散低固相泥浆。配法如下:

钠膨润土 40 kg(相当于4%),加入水中搅拌时

间<30 min;

纯碱 1.0 kg(相当于0.1%),搅拌时间<20 min;

Na-CMC 1.5 kg(相当于0.15%),搅拌时间<30 min;

PHP 0.5 kg(相当于0.05%),分子量>1800万,搅拌时间<30min。

基本性能要求:粘度 17~22 s,密度 1.05~1.07 kg/L,胶体率>96%,失水量<10 mL/30 min,含砂量<3%。

3.2.2 护壁堵漏

3.2.2.1 中小以下的漏失或压力型漏失堵漏方法^[6]

(1)惰性材料堵漏:在基浆中加入3%左右的惰性堵漏材料随钻循环,或在漏失位置架桥封堵。

(2)交联封堵:部分水解聚丙烯酰胺(PHP)中加入CaCl₂、石灰或水泥做交联剂。

(3)压差引发的漏失:主要采用降低冲洗液密度的方法止漏。即钻进中,若循环液的液柱压力过大压裂(漏)地层,可以采用逐步稀释冲洗液、降低冲洗液密度,使之与低孔隙压力的地层平衡止漏。

3.2.2.2 中等漏失

(1)惰性材料堵漏:在12%~17%的稠泥浆中加入3%左右的惰性堵漏材料。

(2)水泥护壁堵漏:选择速凝、早期强度高、密度低的硫铝酸盐水泥,也可用普通硅酸盐水泥加入速凝剂、早强剂。现场施工前应检测水泥的性能指标,包括水灰比、浆液密度、初凝和终凝时间、流动度、可泵期,然后用平衡法灌水泥浆。

3.2.2.3 大裂隙漏失

充填与堵漏液复合封堵:从孔口投入碎石粗砂水泥球至孔底,之后灌注堵漏浆液。

3.3 钻进方法与措施

根据施工区的岩石类型、物理机械性质和可钻性及钻孔深度、钻孔倾角等情况,确定以硬质合金钻进和金刚石钻进为主。

3.3.1 钻头的选择与使用

3.3.1.1 硬质合金钻头的选择和钻进参数

应根据钻孔直径、岩石性质和所钻岩层最高的生产指标(机械钻速、回次进尺、钻头进尺)和经济指标(钻头成本、使用次数)选择钻头上切削具的数量、出刃大小、镶焊角度及刃尖角。钻头的内、外、底出刃应对称、平整,镶焊要牢固,不合格者不准使用。相邻回次的硬质合金钻头内外径不得相差过大,钻

头下入钻孔后,应慢速、轻压扫孔到底,再逐渐加足所需压力。钻进硬岩层时,严禁在压力不足的情况下单纯加快钻速,合理掌握回次提钻长度,要根据钻头的磨损情况,改变下一个回次的钻进技术参数。

(1)硬质合金钻头钻进主要为开孔0~20 m左右第四系地层及50 m前有可能有较大漏失的孔段。

(2)选择钨钴类硬质合金,镶嵌在肋骨上,形成钻头外径150、130、110、95 mm。内、外出刃2~3 mm,底出刃2~3 mm。

(3)钻进技术参数:钻头压力700~1200 N/粒,转速80~300 r/min,泵量150~250 L/min。

3.3.1.2 金刚石钻头、扩孔器的选择和钻进参数^[7-8]

应根据岩石的可钻性、研磨性和完整程度来选择金刚石钻头、扩孔器的类型,金刚石粒度、浓度,以及胎体硬度,对研磨性较大的岩层和节理、裂隙、构造发育、破碎岩层,应选择胎体硬度大、金刚石浓度高、粒度大的孕镶金刚石钻头,本区的可钻性一般为6~8级,故可选择尖齿金刚石钻头或聚晶复合片钻头,金刚石胎体硬度HRC35~45,金刚石粒度60~80目,金刚石浓度75%~85%。选用螺旋式人造聚晶扩孔器,扩孔器胎体硬度HRC>40,粒度 ϕ 2 mm \times 4 mm,浓度100%。新金刚石钻头初次下入钻孔时,先对钻头进行初磨,以保证每颗金刚石上有足够的压力克取岩石。

钻头使用原则:先用外径大、内径小的,后用外径小、内径大的,以外径为主,大小排队编号,并有次序地轮换进行使用,以后每回次提上钻头都要重新卡量尺寸,按尺寸排队,以免发生夹钻事故和岩心堵塞。

3.3.2 金刚石取心钻进操作注意事项

(1)注意进尺速度,返水大小,返水颜色变化,钻机运转是否蹩劲,泵压变化及柴油机声响,发现异状应立即查明原因,及时处理,甚至停止钻进。

(2)开车要轻合离合器,并减轻钻头压力,使钻头和钻具在较轻的负荷下缓慢起动,受力平稳。

(3)钻进过程中不得随意提动钻具,一个回次最好由一人操作,以便掌握孔内情况。

(4)在深孔减压钻进时,应用液压油缸减压,以防将全部钻具重力压在钻头上,压损钻头和压弯钻具。

(5)保证孔底清洁:

①孔底岩粉达到0.30~0.40 m时,不得继续钻

进,必须采取措施及时排除。

②孔内残留岩心过多或脱落岩心过长,须用硬质合金钻头专门捞取。

(6)防止岩矿心堵塞:

①钻进中,不得随意提动钻具;如遇水泵蹩水,泵压增高,尽快将钻具提离孔底,慢速转动1~2 min进行观察。

②钻进时给进要均匀,不要时快时慢,加压要平稳,转速不要忽高忽低。

③钻进中,由于水路不通或供水不良,易使钻头得不到冷却而将钻头烧坏,在钻进前,先开泵冲孔,待水路畅通之后再开始钻进。

(7)升降钻具及其他工序:

①下钻时应注意检查钻杆、接头、岩心管的弯曲和磨损情况,不合格者禁止下入孔内。钻头有裂纹,内外径和底唇严重磨损,金刚石脱落较多,卡簧和扩孔器不合要求,也不得下入孔内。

②下钻时,操作升降机人员对孔内情况要做到心中有数,下钻遇阻时不能猛墩强扭钻具,扩孔时不能用新钻头,若遇钻孔缩径造成钻具受阻则需扩孔。

③下钻扫脱落岩心,应用内径大的金刚石钻头。

④下钻时,操作升降机人员和孔口垫叉人员,注意力要集中,严防跑钻。

⑤操作升降机要稳,不能猛刹车,拧卸钻杆要平稳,以防振动过大,造成岩心脱落。

⑥钻头提至地面后,应仔细观察磨损情况,分析钻进时采用的规程参数是否恰当。

(8)硬质合金钻进换径金刚石钻进前,如果孔底有胎体碎块、硬质合金或其他金属异物,必须用专门工具打捞干净,并用磨孔钻头磨孔。

4 DZ-S-04-1号钻孔孔内试验质量保证措施

4.1 水文地质试验

(1)水文地质试验应严格遵循《铁路工程水文地质勘察规程》(TB 10049—2014)^[9]。在钻探工作完成后,根据钻孔实际揭露的含水层水文地质条件,设计水文地质试验实施方案,经报甲方现场代表确认以后开展试验工作。

(2)当孔内地下水量较丰富时,必须作抽水试验。若水量较小,无法作抽水试验时,按每含水层段进行三落程提水试验,要求与抽水试验相同。待综合测井、地应力测试等其它实验项目完成后进行抽

水试验。抽水试验时,应对地表水严密止水,防止地表水通过孔口或覆盖层进入钻孔中。取地下水样3组,抽水试验开始、过程中和试验结束时各取1组。抽水试验时应随时注意水温情况。

(3)当钻孔内无水、水量很小或地下水埋深过大时,可采用压水试验。根据其深度、地质构造、岩层裂隙发育情况、含水层特征,提出具体的压水试验实施方案和细则。每层段压水试验应按3个压力段进行。在钻孔的中部、深部各选取一试验段,各试验段长度10~20 m。针对各含水层采取地下水样(不能为循环水)。

4.2 物探测井

(1)使用套管及冲洗液护壁方案保证孔壁稳定,确保深孔测井能顺利进行。

(2)作业严格按照《铁路工程物理勘探规程》(TB 10013-2010)^[10]操作,并参照《煤田地球物理测井规程》执行。

(3)测井范围为全孔综合测井,点距0.5 m。

(4)测井内容包含地温、弹性纵波速度(V_p)、视电阻率、自然伽马、井斜、井径,并根据钻孔地下水情况作井中测流。

4.3 地应力测试

(1)采用水压致裂法进行地应力测试,每20 m一个测试点^[11]。

(2)保证孔壁稳定,确保深孔地应力测试设备能顺利下入孔内^[12]。

(3)确保地应力测试用水为清水。

4.4 气体成分分析

当孔内温度 $>28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时需对气体成分进行分析。主要测试项目如下:

溶解气体分析项目: O_2 、 CO_2 、 CO 、 H_2 、 N_2 的含量和总量;

逸出气体分析项目: H_2S 、 O_2 、 CO 、 H_2 、 N_2 的含量和总量;

气水混合比分析项目:单位体积热水的溶解气体和逸出气体总量之和。

4.5 有害气体测试

查明不整合侵入接触带中是否有有害气体分布,如发现钻孔冲洗液中有冒泡等气体逸出特征时,需测定有害气体含量、成分、压力,预测隧道有害气体涌出量。评价有害气体突出危险性。

4.6 样品采集

(1)样品采集需根据钻孔测温结果来分别考虑。

(2)孔内温度 $\leq 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时岩样采取按照不同岩性类别采取岩石试样,每种岩心采取9组,每组6节,节长 $>200\text{ mm}$ (切割后的高径比为2:1),试验项目包括:物性(天然密度、颗粒密度、含水率、天然吸水率),天然、饱和、烘干单轴抗压强度,弹性纵波波速,花岗岩岩块增加放射性测试。水样采取时不同含水层均应采集水样,试验项目包括水质简分析、同位素及有机质分析,共取水样2 kg,取好后赶出空气,并及时蜡封,并在钻探时及抽水试验时分别取样^[13]。

(3)孔内温度 $>28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时岩样需作常规物理力学参数试验以及比热,导热率,渗透率,铀、钍、钾放射性含量测试,如遇花岗岩增加放射性测试,各孔取岩样9组^[14]。需对地下热水进行水质全分析,分析项目包括 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 、 Fe^{3+} 、 NH_4^+ 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 NO_2^- 、 NO_3^- 、游离 CO_2 、侵蚀性 CO_2 、 $\Sigma\text{H}_2\text{S}$ 、 SiO_2 , pH值, Eh值,对硬度、碱度、矿化度进行测试。进行同位素及有机质分析,共取水样2 kg,取好后赶出空气,并及时蜡封,并在钻探时及抽水试验时分别取样^[15]。

5 结语

(1)川藏铁路工程勘察工作的突出特点是孔内试验项目多,有综合测井、放射性测试、有害气体测试、地应力测试和水文测试等。

(2)良好的成孔质量是后续孔内试验顺利进行的基础,采用合理有效的孔身结构、冲洗液方案和钻进方法,精细管控钻孔施工的每个细节,保证成孔质量。

(3)DZ-S-04-1号钻孔已经完工,各项孔内试验顺利完成,为后续工程建设提供了宝贵的地质数据和资料。

参考文献(References):

- [1] 宋章,张广泽,蒋良文,等.川藏铁路工程地质特征及地质选线原则[J].铁道建筑,2017(2):142-145.
SONG Zhang, ZHANG Guangze, JIANG Liangwen, et al. Engineering geological features and geological route selection principle of Sichuan-Tibet Railway[J]. Railway Engineering, 2017(2):142-145.
- [2] 郭长宝,张永双,蒋良文,等.川藏铁路沿线及邻区环境工程地质问题概论[J].现代地质,2017,31(5):877-889.

- GUO Changbao, ZHANG Yongshuang, JIANG Liangwen, et al. Discussion on the environmental and engineering geological problems along the Sichuan-Tibet Railway and its adjacent area [J]. *Geoscience*, 2017, 31(5):877-889.
- [3] 张东方. 泉州聚龙小镇DZK1地热勘查孔钻探施工技术[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2018, 45(11):29-33.
ZHANG Dongfang. Drilling and construction technique of DZK1 geothermal exploration hole in Quanzhou [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2018, 45(11): 29-33.
- [4] 张所邦, 谭建国, 王爱军, 等. 宜昌磷矿北部整装勘查项目深孔复杂地层钻探技术[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2017, 44(4):23-27.
ZHANG Suobang, TAN Jianguo, WANG Aijun, et al. Complex formation drilling technology for deep hole of integrated exploration in northern Yichang Phosphate Rock [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2017, 44(4):23-27.
- [5] 张万河, 和新, 郝国利, 等. 涪源龙门金多金属矿普查绿色勘查实践[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2020, 47(7):73-77.
ZHANG Wanhe, HE Xin, HAO Guoli, et al. Field test of the green exploration concept in Laiyuan county Longmen gold polymetallic mine general survey [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2020, 47(7):73-77.
- [6] 付帆, 陶士先, 李晓东. 绿色勘查高温环保冲洗液研究[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2020, 47(4):129-133.
FU Fan, TAO Shixian, LI Xiaodong. Research on environment-friendly high-temperature drilling fluid for green exploration [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2020, 47(4):129-133.
- [7] 叶宏煜, 谭松成, 谢涛, 等. 工程勘察用非均质热压金刚石钻头试验研究[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2018, 45(12):32-35.
YE Hongyu, TAN Songcheng, XIE Tao, et al. Experiment on heterogeneous hot-pressing diamond bit for geo-technical investigation [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2018, 45(12):32-35.
- [8] 熊虎林, 徐龙生. 泉子街地区地层可钻性分析及钻头选型[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2019, 46(2):30-34.
XIONG Hulin, XU Longsheng. Formation drillability analysis and drill bit selection for the Quanzijie area [J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2019, 46(2): 30-34.
- [9] TB 10049—2014, 铁路工程水文地质勘察规程[S].
TB 10049—2014, Code for hydrogeological investigation of railway engineering[S].
- [10] TB 10013—2010, 铁路工程物理勘探规程[S].
TB 10013—2010, Code for geophysical prospecting of railway engineering[S].
- [11] TB 10012—2019, 铁路工程地质勘察规范[S].
TB 10012—2019, Code for geological investigation of railway engineering[S].
- [12] TB 10014—2012, 铁路工程地质钻探规程[S].
TB 10014—2012, Code for geological drilling of railway engineering[S].
- [13] TB 10018—2018, 铁路工程地质原位测试规程[S].
TB 10018—2018, Code for in-situ testing of railway engineering geology[S].
- [14] TB 10027—2012, 铁路工程不良地质勘察规程[S].
TB 10027—2012, Code for investigation of unfavorable geology of railway engineering[S].
- [15] TB 10038—2012, 铁路工程特殊岩土勘察规程[S].
TB 10038—2012, Code for special geotechnical investigation of railway engineering[S].

(编辑 周红军)