

# 绿色勘查技术在河北省古马铁矿钻探工程中的应用

赵志杰, 丁宁宁, 孔令玺, 张博, 曲国宇, 赵兴达

(河北省地矿局第二地质大队, 河北唐山 063000)

**摘要:**随着矿产资源勘查工作量的加大, 勘查与环境矛盾不断出现。深孔钻探施工周期长, 对施工场地地表土壤及植被污染严重; 机械设备修理、废弃油料、存放油类的临时仓库、废弃泥浆、岩粉如处置不当也会对地表土壤产生污染; 钻孔冲洗液漏失会污染地下水等。因此, 采取针对性的技术措施防止破坏、污染生态环境, 在当前矿产勘查钻探施工中至关重要。本文针对河北省滦州市古马铁矿深部钻探工程项目, 在施工前、施工中、施工结束采取了铁质循环槽、铁质水箱、防渗布和面包砖硬化地面等一系列绿色勘查技术措施, 确保了钻探施工场地未受污染, 施工结束后恢复原地貌情况良好, 为以后岩心钻探工程中深孔绿色施工提供了可借鉴的经验。

**关键词:**深部钻探; 绿色勘查; 铁质循环槽; 铁质水箱; 防渗布; 面包砖硬化地面

**中图分类号:** P634    **文献标识码:** B    **文章编号:** 2096-9686(2021)12-0026-06

## Application of green deep exploration drilling in Guma Iron Mine in Hebei province

ZHAO Zhijie, DING Ningning, KONG Lingxi, ZHANG Bo, QU Guoyu, ZHAO Xingda

(Second Geological Brigade, Hebei Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, Tangshan Hebei 063000, China)

**Abstract:** With the increase of exploration drilling works, the conflict between exploration drilling and conservancy deepens, such as pollution of topsoil and vegetation due to long drilling periods of deep holes, improper disposal of drilling mud and cuttings, etc. On the deep drilling project of Guma Iron Mine in Luanzhou city, Hebei province, a series of green exploration technical measures, such as iron circulating tank, iron water tank, impervious cloth, bread brick hardened ground, were taken before and during drilling operations, so as to ensure that the drilling site is not polluted and the original appearance is reinstated after drilling. The experience can be used for reference for green drilling of deep core holes in the future.

**Key words:** deep hole drilling; green exploration; iron circulation tank; iron water tank; impervious cloth; bread brick

## 0 引言

矿产勘查是矿业开发的前端和基础, 绿色勘查是矿产勘查中生态文明建设的重要体现。所谓绿色勘查, 就是运用绿色理念指导地质勘查工作<sup>[1]</sup>。随着矿产资源勘查工作量的加大, 勘查与环境矛盾不断出现, 如槽探、钻探施工的大型设备搬迁过程中进场便道、施工场地对植被造成的影响, 施工场地机械设备漏油及废弃油料、废弃泥浆、岩粉和生

活生产垃圾等都会造成对环境的污染<sup>[2-4]</sup>。深孔钻探施工周期长, 对施工场地地表土壤污染严重, 机械设备修理过程中, 废弃油料的处置不当污染地表土壤, 存放油类的临时仓库、废弃泥浆、岩粉如处理不当也会污染地表土壤, 钻孔冲洗液漏失会污染地下水等。因此, 采取针对性的技术措施防止破坏、污染生态环境, 在当前矿产勘查钻探施工中是至关重要的<sup>[5-7]</sup>。

收稿日期: 2021-08-16; 修回日期: 2021-11-22    DOI: 10.12143/j.ztgc.2021.12.005

作者简介: 赵志杰, 男, 汉族, 1963年生, 工程师, 探矿工程专业, 长期从事探矿工程、地质工程施工和技术管理工作, 河北省唐山市北新西道157号, 945594305@qq.com。

引用格式: 赵志杰, 丁宁宁, 孔令玺, 等. 绿色勘查技术在河北省古马铁矿钻探工程中的应用[J]. 钻探工程, 2021, 48(12): 26-31.

ZHAO Zhijie, DING Ningning, KONG Lingxi, et al. Application of green deep exploration drilling in Guma Iron Mine in Hebei province[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(12): 26-31.

## 1 矿区地质概况及钻探工程

古马铁矿矿区位于河北省滦州市城区西南15 km,行政区划隶属古马镇管辖。普查区处于滦河冲洪积扇顶部,地形平缓,地面标高一般36~44.1 m。

矿区构造属于中朝准地台(I<sub>2</sub>)燕山台褶带(II<sub>2</sub>)马兰峪复式背斜(III<sub>2</sub>)开滦台凹(VI<sub>2</sub>)东部,冀东司(家营)马(城)长(凝)铁矿成矿带的西部。

区域上主要以第四系覆盖层为主,周边出露零星残山,出露基岩岩性为盖层的长城系、蓟县系石英砂岩和白云岩及基底的太古宙变质岩。

基底地层属太古宇单塔子群,为一套绿帘角闪岩相的中等变质程度变质岩。该层曾是冀东地区铁矿的主要赋矿层之一。

基底构造以北西向的断裂构造为主,褶皱构造不明显,总体地层产状西倾。

本区域混合岩化作用强烈,混合花岗岩、混合岩大面积分布,成为太古宙基底的主体。

早在20世纪70年代就开展了地质勘查工作。本次主要是对1000 m以深进行勘查,设计钻孔1个,设计深度1500 m,倾角85°,方位60°。

## 2 传统钻探工程对环境的影响

### 2.1 钻前的影响

岩心钻探施工进场便道的修复会损坏耕地青苗和树木,对原地形、地貌进行了改变;泥浆池、沉淀池的挖建需要损坏原地貌。钻探机械设备进场需要汽车拉运和吊车(装载机)装卸,运输车辆的进、出对耕地进行碾压。拉运装卸过程中产生的垃圾处理不当而造成的环境污染<sup>[8-10]</sup>。

### 2.2 钻进施工过程中的影响

钻进施工过程中钻机、泥浆泵、绳索取心绞车及其动力机、发电机等机械设备产生的尾气、废油、噪声、冲洗液循环系统对地表土壤的污染;绳索取心绞车钢丝绳飞溅的冲洗液对机台地板及表层土壤的污染;修理机械设备时更换零件废油、废件处理不当对环境的污染;冲洗液处理剂保存不当、使用不当,废弃岩粉、废弃冲洗液处理不当对地表土壤的污染;机械设备的突然故障造成油料泄露,冷却液泄漏污染场地,对地表土壤的污染<sup>[11]</sup>;钻遇严重漏失地层,冲洗液漏失对地下水的污染;村庄附近施工,噪声对村民的影响等。

生活、居住区,日常生活产生的废弃物影响环

境,例如生活垃圾、厨余垃圾等;临时构筑物,如帐篷、临时厕所等,撤场时产生废弃物影响环境<sup>[12-13]</sup>。

### 2.3 钻后的影响

钻孔终孔停钻后,封孔不当造成地下水贯通,甚至影响地下水开采,对地下水的污染,甚至影响居民生活用水质量;钻塔拆卸施工中,塔件随意抛弃对树木的破坏或对地面庄稼(青苗)的损坏。

钻机施工场地恢复过程中,泥浆池、沉淀池、蓄水池、循环槽中废弃冲洗液、岩粉处理不当,造成地表土壤污染,甚至发生沉陷事故,影响耕地种植农作物。

## 3 绿色勘查技术的应用

岩心钻探施工,首先施工场地(机台)、进场便道的修造,都是影响环境的主要因素。河北省滦州市古马铁矿区为平原区,布置的钻孔在农作物耕田内(见图1)。钻探工程在施工组织设计阶段就要求有绿色勘查的工作计划和措施,在钻探施工过程中尽量少占施工场地,尽可能利用田间便道,施工结束后,严格按照绿色勘查设计要求做好环境保护和生态恢复工作<sup>[14]</sup>。



图1 施工现场为花生种植区

Fig.1 Drilling site located in a peanut planting area

### 3.1 开钻前的准备工作

由于钻孔位置处于村庄附近,所以直接选取租用居民住房,统一安排生活区域,避免生活垃圾影响环境。在满足施工要求的条件下,尽量少占用施工场地,载重量允许的情况下,选用小型运输车辆,利用田间便道,少修道路,少占用耕地;在满足施工设备、管材、岩心摆放的情况下,施工场地15 m×15 m。对于钻塔底梁下部(6 m×6 m)和泥浆池(2 m×2 m×1 m)、沉淀池(1 m×1 m×0.5 m)范围内,将开挖的地表耕作土壤集中堆放,便于回填恢复耕地。钻塔底梁范围内将表层土壤(深50 cm)开挖

后,采取人工平整、夯实,然后铺设防渗布,防渗布上方摆放枕木,再安装钻塔底梁,避免钻机废油、废弃泥浆污染地表土壤;机台施工现场四周采用彩钢瓦围挡(高2.0 m),施工场地铺设面包砖进行硬化,避免钻杆、套管直接堆放在原地表(见图2、图3);按照铁箱规格开挖泥浆池、沉淀池,分别将铁箱放置泥浆池、沉淀池内,防止泥浆污染地表土壤,人工开挖泥浆循环槽,将铁质循环槽(300 mm×300 mm)(见图4)置于开挖的循环槽内,防止循环泥浆污染地表土壤。施工现场钻杆、套管、岩心摆放整齐。施工现场摆放垃圾箱,生产垃圾集中存放和处置,生产工具有序摆放,严禁乱丢乱放,油料桶存放处底部铺垫防渗布,以防污染场地。

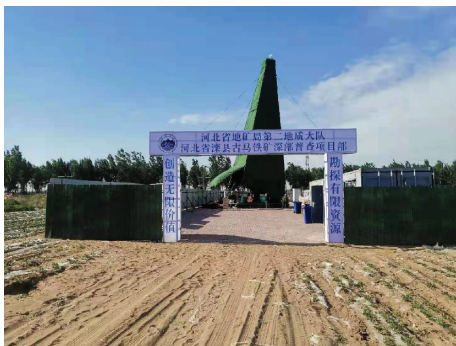


图2 施工现场彩钢围挡

Fig.2 Color steel closure at the drilling site



图3 施工现场铺设面包砖

Fig.3 Laying of bread bricks at the drilling site

### 3.2 钻探施工过程控制

#### 3.2.1 合理选择孔身结构

为防止钻进时冲洗液的漏失,在冲洗液内添加少量的“随钻堵漏剂”,确保冲洗液无渗漏。并将 $\text{O}89$  mm套管下入基岩5~8 m深度,换用 $\text{O}75$  mm绳索取心钻进至终孔(见图5)。

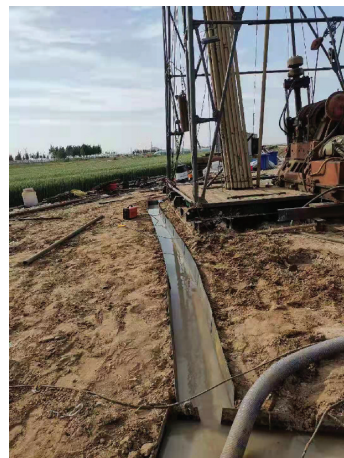


图4 埋入地下的铁质循环槽、水箱

Fig.4 Iron circulating tank and water tank buried underground

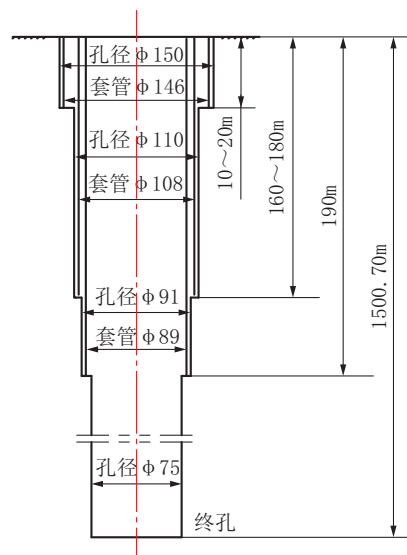


图5 孔身结构示意图

Fig.5 Borehole structure

#### 3.2.2 第四系覆盖层施工

采用优质粘土配制泥浆,防止孔壁坍塌及漏失。泥浆配方:每立方米水加钠土50 kg,腐殖酸钾25 kg,磺化沥青粉6 kg,火碱0.5~1 kg,纯碱2 kg,羧甲基纤维素钠(CMC)25 kg,聚丙烯酰胺6 kg。羧甲基纤维素钠和聚丙烯酰胺分别提前用水浸泡、搅拌溶解,并将羧甲基纤维素钠和聚丙烯酰胺水溶液按照体积比1:5比例加入搅拌好的泥浆中。泥浆性能参数:苏式漏斗粘度19 s, pH值9~10,密度1.03~1.05 g/cm<sup>3</sup>,失水量7.5 mL/30 min。采用此泥浆材料配方,有利于钻孔护壁,防止泥浆渗漏,同时,有利

于岩粉沉淀,便于收集岩粉。穿过第四系覆盖层后,下入 $\Phi 108$  mm套管,封堵第四系覆盖层,下入 $\Phi 108$  mm套管前向孔内投掷适量粘土球,封堵套管底端,防止清水钻进时,冲洗液渗入套管外围第四系地层内,避免污染第四系地层水体现象发生。下好 $\Phi 108$  mm套管后,将泥浆池内泥浆采用吸污车将废弃泥浆运至当地政府指定的垃圾场,再采用清水补满泥浆池,继续钻进。

### 3.2.3 基岩钻探施工

该矿区基岩为:混合花岗岩、磁铁石英岩,岩石结构完整。石英岩较硬,研磨性弱,采用合理的钻进工艺参数能够提高钻探施工效率,选用金刚石钻头胎体硬度是关键。采用环保型冲洗液:清水+切削膏(皂化油)+聚丙烯酰胺冲洗液即可达到清理孔底岩粉、冷却钻头、润滑钻杆的作用,又能达到不污染地下水的效果。钻进过程中的岩粉经过沉淀池沉淀后,定期采用吸污车将掺有大量岩粉的冲洗液运至当地政府指定的垃圾场地,并及时补给冲洗液。

### 3.2.4 施工机械设备管理

加强机械设备“班维护保养”,防止油料漏失影响环境。对于钻机、泥浆泵、绳索取心绞车、搅拌机 etc 机械设备实行每班定人保养,对于钻机部分的立轴、滑道、锁紧装置及定位轴、下降偏心、提升偏心,对于泥浆泵的各部件之间的连接,机架在基础上的固定,皮带的松紧,泵体内润滑油的部位,进排水软管的紧固及滤水器是否堵塞必须每班进行润滑和检查。减少机械设备故障及修理时间,避免机械设备故障的发生,防止油料漏失污染环境事故发生。

### 3.2.5 雨天施工

沿机台四周开挖排水槽,雨天时将机台渗水集中排至储水池,防止机台内的油污、废浆通过雨水流至场地外的其他区域。施工设备漏油及时修复,不凑合使用,冲洗液供给系统,如:水泵、高压管、水龙头等漏浆时,立即停钻修复<sup>[15]</sup>。

### 3.2.6 地下水的保护

预防钻孔施工中造成地下水污染或破坏,做好钻孔护壁堵漏工作,对于钻孔漏失孔段,采用随钻堵漏剂及聚丙烯酰胺水溶液加锯末进行封堵,封堵无效时采取速凝水泥封孔后扫孔隔离漏失层等方法,减少和控制冲洗液对地下水污染破坏。施工开始前,结束后依据《中华人民共和国生活饮用水卫生标准》(GB 5749—2006)对地下水进行了检测,检测结果满

足规范标准,施工过程对地下水无污染(见表1)。

表1 施工前后地下水检测结果

Table 1 Groundwater test results before and after drilling

分析项目	检测结果		限值
	施工前	施工后	
pH值	7.1	7.42	6.5~8.5
色度/度	<5	<5	15
浑浊度/NTU	<1	<1	1
臭和味	无	无	无异臭、异味
肉眼可见物	无	无	无
总硬度(以碳酸钙计)/(mg·L <sup>-1</sup> )	143.6	170.2	450
硝酸盐氮/(mg·L <sup>-1</sup> )	10	11.8	10(地下水限值时为20)
氯化物/(mg·L <sup>-1</sup> )	20	24.4	250
氟化物/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.2	0.3	1
铁/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.010	0.010	0.3
锰/(mg·L <sup>-1</sup> )	<0.0002	<0.0005	0.1
铜/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.002	0.002	1
铝/(mg·L <sup>-1</sup> )	<0.02	<0.04	0.2
锌/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.010	0.016	1
镍/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.001	0.003	0.02
镉/(mg·L <sup>-1</sup> )	<0.0001	<0.0004	0.005
铬(六价)/(mg·L <sup>-1</sup> )	<0.002	<0.004	0.05
铅/(mg·L <sup>-1</sup> )	<0.001	<0.002	0.01
砷/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.001	0.001	0.01
汞/(mg·L <sup>-1</sup> )	<0.0001	<0.0001	0.001

### 3.2.7 废料、废液、垃圾的处理

施工过程中,机械设备更换的液压油、废机油应及时回收,采用废桶存放,便于涂抹钻杆外壁或套管外壁;废机油可用于涂抹钻杆丝扣,密封钻杆柱。

严禁在施工现场明火焚烧废弃塑料布、废弃油类及产生的垃圾,防止引燃现场施工设备或器具,避免造成空气污染。

施工现场一旦发生油类污染场地现象,要及时将被污染的场地土壤挖运至当地政府指定的垃圾场地,然后拉运新土进行换填。

### 3.3 钻后控制

钻孔封孔施工,严格执行地质技术人员下达的“封孔设计书”,制定切实可行的“封孔施工方案”,该矿区采取全孔灌注水灰比0.5的水泥浆进行封孔。

因此,封孔实施前先将 $\text{O}89\text{ mm}$ 套管起拔出来,然后下钻杆至孔底,将搅拌好的水泥浆液用泥浆泵送入孔内,边泵送边提拉钻杆,确保钻杆下头插入水泥浆深度 $10\sim 15\text{ m}$ ,防止埋钻事故发生。泵送水泥浆液至 $\text{O}108\text{ mm}$ 套管底端时,将 $\text{O}108\text{ mm}$ 套管全部起出后,重新下钻杆泵送水泥浆液至溢出孔口。再起拔 $\text{O}146\text{ mm}$ 套管,确保水泥浆液全孔封闭,防止第四系水流入下部基岩内。

对施工现场垃圾,如:防渗布、塑料布等进行清理并运至指定位置,对于油类污染场地进行换填土处理。

利用机械设备如挖掘机或装载机对泥浆池、沉淀池进行有序掩埋、平整;对于钻塔底梁安装部分进行人工回填、平整;人工配合机械对场地硬化部分进行拆除;利用机械对施工现场及施工便道进行复垦,符合当地耕地标准(见图6)。



(a) 施工前现场地貌

(b) 施工现场便道恢复

(c) 施工结束后场地恢复

图6 施工前后现场地貌

Fig.6 Site landscape before and after drilling

### 3.4 施工前后现场土壤检测

依据《中华人民共和国土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 15618—2018)对

施工前、后现场土壤进行检测对比,满足当地耕地标准,施工过程对场地土壤无污染(见表2)。

表2 施工前后现场土壤检测结果

Table 2 Site soil test results before and after drilling

施工时间	样品编号	取样地点	检测项目									
			镍	镉	铅	砷	铜	锌	铬	汞	硒	pH值
施工前	T210975	古马镇港北村01	8	ND	12	4.5	4.0	10	15	0.015	0.18	7.5
	T210976	古马镇港北村02	10	ND	13	3.4	4.0	12	19	0.010	0.20	6.0
施工后	T210977	古马镇港北村01	9	ND	12	4.5	3.9	10	17	0.008	0.08	6.1
	T210978	古马镇港北村02	9	ND	13	4.3	3.9	10	15	0.008	0.12	5.7

注:“ND”表示未检出或低于检出限

## 4 结论与建议

针对立轴式岩心钻机和四角钻塔施工的岩心钻探工程,通过对钻塔底盘和泥浆泵底座铺设防渗布、对泥浆循环槽铺设铁质循环槽、泥浆坑及沉淀池埋设铁质水箱及场区面包砖硬化,有效保护了钻探施工场地环境,防止了泥浆循环对土壤的污染,更有效地防止了升降钻具施工飞溅泥浆对场地的污染;同

时,在机台周围挖设排水槽,防止下雨时机台泥浆及油污流入场地以外,有效保护当地生态环境。

保护生态环境是保持矿业可持续发展中不可或缺的关键因素,岩心钻探工程是勘查矿产资源的重要、关键手段,实施绿色勘查,岩心钻探工程是关键,在保护生态环境下实施钻探工程有如下建议:

(1)加强绿色勘查方面的立法和行业标准规范建设,各地勘单位和施工队伍严格执行行业标准。

(2)在钻探设备方面进行创新,如开发全液压模块式岩心钻机,开发大功率可充电式电动钻机,缩小施工场地占用范围,有效保护生态环境。

(3)在钻探工艺方面进行改进,对冲洗液固相进行机械分离,施工现场取消泥浆循环槽,既能缩小施工现场占地面积,又能确保冲洗液性能。

(4)采用环保型、无毒、无害冲洗液处理剂,减少冲洗液循环对地下水体污染、地表土壤污染程度,甚至达到无污染、不影响环境的目的;对于深覆盖层及破碎复杂地层及时下入套管隔离,防止冲洗液浸入地层裂隙污染地下水体。

(5)钻探工程项目概预算中增加绿色勘查施工费用,加大施工投入;在钻孔工程质量验收时,增加绿色勘查验收标准,增强绿色勘查意识。

#### 参考文献(References):

- [1] 李在文. 树立绿色理念, 倡导绿色勘查[J]. 贵州地质, 2012(3):162.  
LI Zaiwen. Setting up the green concept and advocating the green exploration[J]. Guizhou Geology, 2012(3):162.
- [2] 马映辉, 贾宏福. 绿色工程勘察钻探实施方案探索及应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(11):29-36.  
MA Yinghui, JIA Hongfu. Drilling solutions for green engineering investigation and application[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(11):29-36.
- [3] 畅立民, 黄明勇, 班金彭, 等. 绿色勘查在贵州正安旦坪铝土矿勘查钻探工程中的应用与分析[J]. 钻探工程, 2021, 48(3):67-72.  
CHANG Limin, HUANG Mingyong, BAN Jinpeng, et al. Application and analysis of green exploration in exploration drilling for Zheng'an Danping Bauxite Mine in Guizhou province[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(3):67-72.
- [4] 赵强. 绿色勘查新技术和新方法的探讨[J]. 世界有色金属, 2018(24):185-187.  
ZHAO Qiang. Discussion on new technologies and methods of green exploration[J]. World Nonferrous Metals, 2018(24):185-187.
- [5] 张波. 绿色地质勘查综合技术应用分析[J]. 世界有色金属, 2018(10):162-163.  
ZHANG Bo. Application analysis of green geological exploration comprehensive technology[J]. World Nonferrous Metals, 2018(10):162-163.
- [6] 贾占宏, 高元宏, 梁俭, 等. 绿色地质勘查综合技术应用分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(4):1-4.  
JIA Zhanhong, GAO Yuanhong, LIANG Jian, et al. Application and analysis on comprehensive technology of green geological prospecting[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(4):1-4.
- [7] 陈佰辉, 高元宏, 李玉胜, 等. 青海省绿色地勘技术及标准探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(10):131-134.  
CHEN Baihui, GAO Yuanhong, LI Yusheng, et al. Discussion

- on the green geological prospecting technique of Qinghai province and the standard[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(10):131-134.
- [8] 岳永东, 谭春亮, 宋殿兰, 等. 基于绿色勘查的浅钻技术在浅覆盖区填图中的应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(12):5-11.  
YUE Yongdong, TAN Chunliang, SONG Dianlan, et al. Application of shallow drilling technology based on green exploration to geological mapping in thin overburden[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(12):5-11.
- [9] 吴金生, 李子章, 李政昭, 等. 绿色勘查中减少探矿工程对环境影响的技术方法[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(10):112-116.  
WU Jinsheng, LI Zizhang, LI Zhengzhao, et al. Technological methods of reducing impact on environment by exploration engineering in green exploration[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(10):112-116.
- [10] 宋端正. HC600型全液压力头便携式钻机在陇东南山区生产应用效果及经济性分析[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(4):48-50.  
SONG Duanzheng. Application effects of HC600 full hydraulic dynamic head portable rig in mountain area of southeast Gansu and the economic analysis[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013, 40(4):48-50.
- [11] 易亚东. 小倾角钻探工艺技术在绿色勘查中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(12):49-54.  
YI Yadong. Application of small angle drilling technology in green exploration[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(12):49-54.
- [12] 赵洪波, 何远信, 祝强. 以钻代槽勘查方法研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(11):6-10.  
ZHAO Hongbo, HE Yuanxin, ZHU Qiang. Research and application of drilling instead of trenching technology[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(11):6-10.
- [13] 张新虎, 刘建宏, 黄万堂, 等. 绿色勘查理念; 认知、探索与实践[J]. 甘肃地质, 2017(1):1-7.  
ZHANG Xinhui, LIU Jianhong, HUANG Wantang, et al. Green exploration: Cognition, explore and practice[J]. Gansu Geology, 2017(1):1-7.
- [14] 易亚东. 大顶角或水平定向钻孔替代槽探方法分析[J]. 黑龙江科学, 2019, 10(4):30-31.  
YI Yadong. Analysis of substituting trench exploration method for large apex angle or horizontal directional drilling[J]. Heilongjiang Science, 2019, 10(4):30-31.
- [15] 杨汉水, 苏兴涛, 卢猛. 轻便浅层取样机具在大兴安岭森林植被覆盖区化探样品采集中的应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(8):81-84.  
YANG Hanshui, SU Xingtao, LU Meng. Application study on portable shallow sampling machine in geochemical sample collection work in forest vegetation coverage area in Daxing'anling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(8):81-84.