

小倾角钻探工艺技术在绿色勘查中的应用

易亚东

(黑龙江省第五地质勘查院, 黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要:以钻代槽是覆盖区解决矿产勘查与生态环境保护间矛盾的有效技术手段,针对目前浅层取样技术在覆盖区应用过程中存在的问题,综合国内外先进的地表勘查用便携式取样钻探设备和工艺技术方法,结合生态文明建设和绿色勘查的要求,开展小倾角($\leq 30^\circ$)钻探工艺技术研究,采用全液压便携钻机、铝合金底枕、锚管固定、泵送内管总成和打捞器取心、跟管护壁、全倾角测斜等相结合的钻探工艺技术方法,并取得成功应用。

关键词:以钻代槽;覆盖区;绿色勘查;便携式钻机;浅层取样;小倾角钻孔;钻探取心

中图分类号:P634 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2020)12-0049-06

Application of small angle drilling technology in green exploration

YI Yadong

(Heilongjiang Fifth Geological Exploration Institute, Harbin Heilongjiang 150090, China)

Abstract: Replacement of trenching with drilling is effective technical means to solve the conflict between mineral exploration and ecological environment protection in the overburden zone. In view of the problems with shallow sampling technology in the overburden zone, with review of the advanced portable sampling drilling equipment and technology for surface exploration at home and abroad, and taking into account of the requirements of ecological civilization construction and green exploration, small angle ($\leq 30^\circ$) drilling technology has been researched and applied successfully.

Key words: replacement of trenching with drilling; overburden zone; green exploration; portable drills; shallow sampling technology; small angle drilling; core drilling

0 引言

槽探工程是地质找矿的重要手段之一,近年受林业占地手续审批困难、补偿费用高、生态环境保护的制约及绿色勘查的要求,已很难大规模开展。虽已开展绿色槽探工程,但其破坏力极强,完工回填后很难恢复到原来的生态状态;当探槽布设在农田、沼泽、地势低洼、森林茂密、残坡积层较厚地区,施工更是困难,甚至无法揭露到基岩,达不到地质目的,对生态环境的破坏和影响更大;钻探工程与槽探工程相比,其占地面积小,可大幅度减少土地使用费、林地耕地占用费、树木青苗补偿费及林地耕地恢复费等,可降低施工难度与风险系数,环境效益明显,因此,以钻代槽^[1-2]是当前尤其是森林覆盖区解决矿产勘查^[3-7]与生态环境保护间矛盾的有效技术手段。

段。

目前便携式浅层取样钻机具及其配套工艺技术^[8-14]已在覆盖区得到广泛应用,主要集中在覆盖层较浅或基岩出露较多的地区垂直、密集布设浅孔,其应用存在如下问题:

- (1)在覆盖层较厚、基岩风化严重的黑龙江省森林浅覆盖层地区的应用效果不理想;
- (2)无法进行地表水平方向连续取样,同时高密度(钻孔间距 1~5 m)取样时效率低下、费用成倍增加;
- (3)地表、浅部坍塌破碎地层钻进时,普通浅层取样钻机及配套工艺往往无法保证正常钻进和岩心采取质量;
- (4)在倾角 $0^\circ \sim 45^\circ$ 钻孔的取心钻进工艺上还不

收稿日期:2020-03-06;修回日期:2020-09-02 DOI:10.12143/j.tkgc.2020.12.008

作者简介:易亚东,男,汉族,1971年生,高级工程师,注册安全工程师,探矿工程专业,一直从事探矿工程施工与管理工作,黑龙江省哈尔滨市南岗区嵩山路39号,316683288@qq.com。

引用格式: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.

成熟,目前绳索取心总成靠自重投放内管,用绳索绞车通过钢丝绳和打捞器取出内管和岩心,钻孔角度一般要求应大于 45° 才能使用,而在 $0^\circ \sim 45^\circ$ 小倾角孔钻进时绳索取心内管和打捞器无法依靠重力投放,如果另外通过接管来推进和提出内管,在一定程度上失去绳索取心钻进的意义;

(5)小倾角($\leq 30^\circ$)钻孔空间轨迹测量困难,普通仪器难以完成,无法准确定位矿体空间位置,影响储量计算。

因此,综合国内外先进的地表勘查用便携式取样钻探设备及其配套工艺、大顶角或水平定向钻探代替槽探技术^[15]等,紧密结合生态文明建设和绿色勘查的要求,开展了小倾角($\leq 30^\circ$)钻探工艺研究及其现场应用。

1 小倾角钻探工艺技术

1.1 小倾角钻孔的布设

小倾角钻孔的布设不同于地表基岩浅钻孔垂直密集的布设工艺,其是在接近地表一定范围内(5~50 m 垂深),并与地表小倾角($\leq 30^\circ$)相交的取心钻孔,以实现以钻代槽的目的。小倾角钻孔的布设如图 1、图 2 所示。

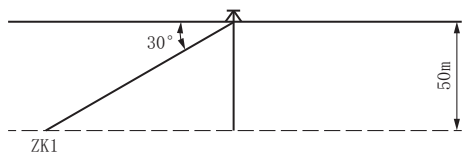


图 1 小倾角钻孔布设示意图

Fig.1 Layout of small angle drilling

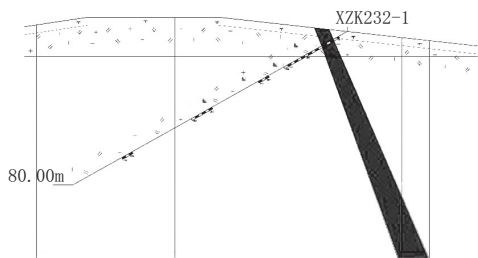


图 2 小倾角钻孔实际示意图

Fig.2 Actual schematic of small angle drilling

1.2 小倾角钻探的工作原理

根据小倾角钻孔布设,小倾角($0^\circ \sim 30^\circ$)钻探施工的工作原理是地表底座上的全液压取样钻机驱动钻杆与带钻头的绳索钻具回转,同时沿小倾角方向钻进,钻孔深度一般控制在 200 m 范围以内。小倾

角钻孔施工如图 3 所示。

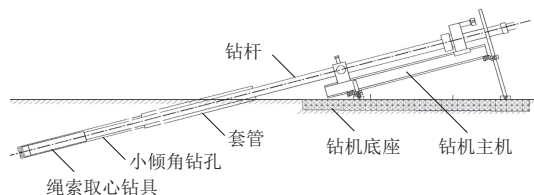


图 3 小倾角钻孔施工结构示意图

Fig.3 Small angle drilling borehole structure

1.3 小倾角钻探的关键技术方案

小倾角以钻代槽的钻探工艺,涉及钻孔定位、钻机固定、取心方式、钻孔轨迹测量、护壁堵漏、复杂地层处理等钻探技术,与普通直孔、小顶角斜孔施工不同;小倾角钻孔施工技术是在本院现有的英格尔全液压便携式钻机、配套设备与绳索取心工艺基础上进行改造,同时增加钻机锚固、内管投捞取心、钻孔井眼轨迹测量,并综合考虑地表、残坡积、破碎带的护壁堵漏与取心。具体解决方案如下:

1.3.1 设备改造及适配机具

1.3.1.1 钻探主机设备及其附属机具

钻探设备优选占地面积小、质量轻、拆装方便、高效、绿色环保的英格尔 EP600PLUS 型全液压便携式钻机及配套设备,并对桅杆、支撑杆进行改造,同时增设铝合金型材底枕、底座、支架、扶正器,以实现倾角 $90^\circ \sim 0^\circ$ 范围内的钻探施工。

该钻机具有模块化可拆卸特点,最大模块质量为 180 kg,可实现微型履带运输车及人力搬运。钻探场地占地面积约 50 m^2 ,钻机可在 $4 \text{ m} \times 4 \text{ m}$ 工作平面内完成布置及施工。

1.3.1.2 配套运移设备

矿区内运移设备优选 NH400 型手扶履带运输车,其规格为 $2 \text{ m} \times 0.6 \text{ m} \times 1.1 \text{ m}$,最大载重质量 350 kg。橡胶履带和牢固的摇摆辊确保运移平稳、不费力,并将对地损害降到最小;同时其结构小巧、载重能力强,可在复杂地形或狭窄空间内,轻松运输全液压便携式钻机及配套设备,因此不用专门修筑运输道路。

1.3.2 钻机锚固与内管投放打捞取心

在增设的 4 根铝合金底枕上,钻地锚或冲击钻打孔下锚管,固定全液压便携式钻机。

普通绳索取心钻具内管主要靠自重到达孔底,在小倾角和水平钻孔施工时,靠自重无法实现正常

投放、打捞钻具,因此选用泵送水冲技术,即泥浆泵输出的高压泥浆把阀片式专用取心钻具输送到孔底,钻进回次结束后,泵送入阀片式打捞器捞取钻具获取岩矿心,即采用水压内管钻具总成、水压打捞器及钻杆密封接头的技术,完成内管投放、打捞及取心。

1.3.3 钻孔轨迹测量

选用 KXP-4QZT 全姿态数字罗盘测斜仪,配套无磁钻杆与接头等,实现顶角 $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ 、方位角 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 范围内测量,满足了小倾角钻孔测量需求。

1.3.4 冲洗液与护壁堵漏

钻探施工全孔采用润滑性能良好的低固相、无固相的冲洗液;漏失地层采用顶漏钻进,不稳定地层采用跟套管、浓浆、速凝水泥护壁。

其中 S96 金刚石绳索取心开孔钻进的冲洗液配方为:1 m³ 清水+10~15 kg 钠土+0.5~1 kg CMC,基本满足施工要求。冲洗液的性能为:密度 1.03~1.05 g/cm³,粘度 20~25 s,pH 值 9~10,滤失量 15~20 mL/30 min,泥皮厚 0.5 mm;S76 金刚石绳索取心钻进的冲洗液配方为:1 m³ 清水+1~2 kg 聚丙烯酰胺(PAM)+2~3 kg 特效润滑剂+0.5~1 kg CMC,基本满足了施工要求。冲洗液的性能为:密度 1.01~1.03 g/cm³,粘度 16~20 s,pH 值 7~8,滤失量 15~20 mL/30 min,泥皮厚 0.5 mm。

1.3.5 复杂地层取心技术

近地表残破积、风化、砂砾层等复杂地层取心,采用干钻取心、小泵量取心、薄壁金刚石绳索取心、半合管加底喷钻头取心及三合管钻进取心技术。

首先采用 S96 薄壁金刚石绳索取心钻探技术开孔,钻进 3~6 m 后下入带套管鞋的 $\varnothing 89$ mm 直连套管护壁,地层不稳定时采用跟管钻进护壁堵漏;然后换 S76 薄壁金刚石绳索取心钻探技术及新增加的水力打捞取心技术钻进至终孔的工艺方法。

S96 薄壁金刚石绳索取心开孔钻进第四系、残坡积等地层技术参数为:钻压 5~10 kN、转速 200~500 r/min、泵量 40~60 L/min;S76 薄壁金刚石绳索取心钻进技术参数为:钻压 4~8 kN、转速 300~600 r/min、泵量 30~40 L/min,并根据孔内实际情况适时调整。

2 现场应用效果

现场应用工作区属大兴安岭漠河森林浅覆盖

区,坡积层较厚,且转石较多,人工挖掘探槽很难见基岩,找矿效果差。

采用小倾角钻探工艺技术,穿过第四系对基岩体进行控制,施工完成 30° 小倾角钻孔 9 个,其中 2 个小倾角钻孔见工业品位金矿体,2 个小倾角钻孔见矿化体,9 个钻孔中的 4 个钻孔见矿体和矿化体;找矿成果显著,对全矿区及深部找矿具有重要指导意义,验证了便携式取样钻机升级改造和小倾角钻探工艺技术创新可行性。升级改造后钻机及野外施工现场见图 4 和图 5。

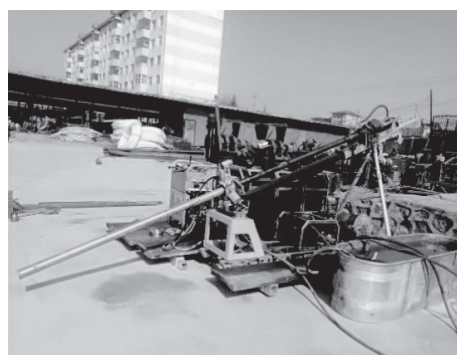


图 4 改造后钻机

Fig.4 Modified rig

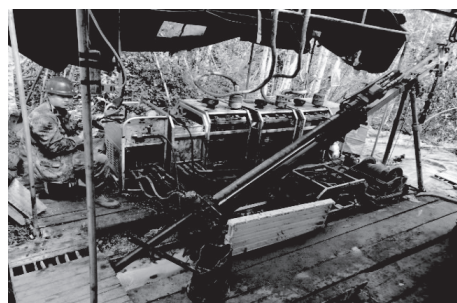


图 5 野外施工现场

Fig.5 Drilling site

2.1 钻孔质量评价

严格按照《地质岩心钻探规程》(DZ/T 0227—2010)及《固体矿产勘查原始地质编录规程》(DZ/T 0078—2015)的要求进行 9 个小倾角钻孔施工,钻探工程质量见表 1。

(1)施工的 9 个小倾角钻孔,岩矿心采取率达到 96.79%,质量优秀。

(2)钻孔倾角偏斜 $\nless 1^{\circ}/100$ m,方位角偏斜 $\nless 2^{\circ}/100$ m。

(3)终孔孔深误差 $\nless 0.1$ m,并进行校正。

(4)班报表及简易水文观测按要求填报和观测,

表 1 钻探工程质量情况统计
Table 1 Drilling quality evaluation results

孔号	孔深/ m	原始班报表			岩矿心采取率/%		简易水文观测			弯曲度测量			孔深校正			封孔 情况	钻孔 质量
		应计/ 次	实计/ 次	合格 率/%	岩心	矿层及 顶底板	应测/ 次	实测/ 次	合格 率/%	应测/ 次	实测/ 次	超 差	应测/ 次	实测/ 次	超 差		
XZK248-1	117.90	84	84	100	99.49		84	84	100	3	3	无	2	3	无	全孔	优
XZK248-2	41.70	31	31	100	98.80	100	31	29	94	1	1	无	1	1	无	全孔	优
XZK240-1	101.50	71	71	100	99.70		71	66	93	2	2	无	2	2	无	全孔	优
XZK256-1	60.15	44	44	100	98.17		44	43	98	2	2	无	1	1	无	全孔	优
XZK232-1	80.00	56	56	100	100.00	100	56	56	100	2	2	无	1	1	无	全孔	优
XZK240-2	56.00	39	39	100	96.79	100	39	38	97	2	2	无	1	2	无	全孔	优
XZK272-1	90.00	62	62	100	97.89	100	62	62	100	2	2	无	1	1	无	全孔	优
XZK12-1	100.00	36	36	100	100.00		36	36	100	2	2	无	1	1	无	全孔	优
XZK12-2	83.00	33	33	100	100.00		33	33	100	2	2	无	2	2	无	全孔	优

符合规范要求。

野外钻探生产累计 2 个钻月,施工小倾角钻孔

(5)终孔后按要求灌注了水泥,并进行孔口造
标。

9 个,完成钻探工作量 730.25 m,主要技术指标见
表 2。

2.2 主要技术指标

表 2 主要技术指标统计
Table 2 Summary of main technical indicators

孔号	孔深/ m	施工日期	总台 时/h	钻月效 率/m	计入台 时/h	台月效 率/m	纯钻时 间/h	纯钻效率/ (m·h ⁻¹)	辅助时 间/h	事故停 待/h	回次/ 次	回次进 尺/m
XZK248-1	117.90	7月27日—8月9日	338	250.851	309	274.186	108.83	1.084	104.17	96.00	84	1.404
XZK240-1	101.50	8月13日—8月17日	176	414.286	96	757.463	51.50	1.971	41.50	3.00	71	1.430
XZK248-2	41.70	8月20日—8月21日	100	300.000	28	1069.231	14.83	2.812	13.17		31	1.346
XZK256-1	60.15	8月25日—8月26日	139	311.658	43	1002.500	27.33	2.201	13.67	2.00	44	1.367
XZK232-1	80.00	8月31日—9月2日	144	400.000	48	1194.030	29.83	2.682	15.33	2.83	56	1.429
XZK240-2	56.00	9月6日—9月7日	125	321.839	29	1365.854	16.00	3.500	13.00		39	1.436
XZK272-1	90.00	10月22日—10月24日	102	633.803	53	1216.217	39.50	2.279	13.50		62	1.452
XZK12-1	100.00	10月25日—10月31日	162	444.445	114	628.931	40.17	2.490	69.83	4.00	36	2.778
XZK12-2	83.00	11月4日—11月8日	144	415.000	96	619.403	22.67	3.662	70.00	3.33	33	2.515
累计	730.25		1430	367.514	816	643.960	352.67	2.071	352.17	111.17	456	1.602

注:施工时间为 2019 年。

2.2.1 钻探效率分析

钻探施工平均台月效率为 643.96 m,平均钻月效率为 367.514 m,5 个小倾角钻孔单孔台月效率超过千米,最高台月效率为 1365.854 m。作为基岩浅层水平方向小倾角钻孔的第一年施工,由于设备、工艺、技术等都需要磨合,加之经验不足;在坍塌、掉块、漏失地层施工,为保证岩心采取率,严格控制了回次进尺。

2.2.2 时间利用效果分析

钻机搬迁、安装、拆卸时间占钻月时间的 43%。如何缩短搬迁时间,将是提高钻月效率的关键,也是下一步需要研究解决的问题。

停待时间占台月时间的 13.7%,主要是为解决施工用水,尤其进入 10 月下旬,供水管道被冻,供水

困难,影响施工效率。

钻探台月中纯钻时间占 43.3%,辅助时间占 43%,纯钻时间较高,进一步证明了升级改造后全液压便携钻机及其配套钻探工艺技术在 小倾角钻孔施工中应用效率比较高。

2.3 主要经济指标

2.3.1 单位成本

根据野外机台生产费用统计,小倾角钻探施工单位成本为 600~700 元/m,优化施工管理情况下可达到 500 元/m 左右,槽探施工单位成本为 300~350 元/m³。

2.3.2 占地成本

一般林业占地费用为 60 元/m²,全液压便携钻机施工小倾角钻孔现场占地面积约 50 m²,相当于

10 m 长槽探占地面积,但槽探需要回填恢复费,生态环境恢复费用也较高。钻孔一般长度 >50 m,相比较而言,钻探占地费用更低,经济环保成果更好。钻探现场占地面积见图 6。



图 6 钻探现场占地面积

Fig.6 Area of the drilling site

2.4 环保效益评价

槽探工作对林地的破坏较大,不仅直接破坏地表植被及地表层序,对一些植被土壤环境薄弱地区会造成土壤流失,同时破坏第四系中微循环水系、冻层涵养水。相比槽探对林地的破坏,小角度钻探占用林地面积较小,仅需对机台部分用地进行平整,无需对地表进行大规模挖掘,对林地破坏较小,在生态环境自我恢复过程中,易恢复到原有生态,环保成果巨大。钻探结束场地恢复见图 7。



图 7 钻探结束场地恢复

Fig.7 Site restoration after drilling

3 结论与建议

(1)在小倾角钻孔替代槽探施工中,采用全液压便携钻机、铝合金底枕、锚管固定、泵送内管总成和打捞器取心、跟管护壁、全倾角测斜等相结合的钻探工艺技术方法,并取得成功应用,填补国内全液压便携钻机地表小倾角钻探取心技术领域的空白。

(2)升级改造后的全液压便携钻机体积小、占地面积少,质量轻、拆装运输方便;长短可调式铝合金底枕,使钻机可在 $3\text{ m}\times 4\text{ m}$ 面积内施工,而常规 $4\text{ m}\times 4\text{ m}$,减少占地面积 $1/4$;铝合金底枕质量比木质底枕减轻一半,降低搬运劳动强度,最大限度避免对森林、植被、农田、道路破坏,保护生态环境,满足绿色勘查要求。

(3)引进的全姿态数字测斜仪,可在倾角 $0^\circ\sim 90^\circ$ 范围、方位角 $0^\circ\sim 360^\circ$ 范围内测量,准确定位钻孔空间轨迹,保证矿体空间位置。

(4)首次在森林覆盖区开展 30° 小倾角钻探施工,完成钻孔 9 个、钻探工作量 730.25 m,找矿效果显著,积累了以钻代槽的丰富经验,并为小倾角钻探开拓了发展空间。

(5)下一步建议加大资金投入,利用升级改造后的全液压便携配套钻机具,开展水平钻孔、定向钻孔、一基多孔、一孔多枝等适合地质找矿和绿色勘查的技术攻关与创新,探索总结和推广应用绿色勘查的新理论、新技术、新方法、新工艺,最大程度避免或降低生态环境影响。

(6)现场应用过程中循环水用量很大,建议进一步改进完善泵送钻具取心技术,减少水资源消耗,提高钻进效率,降低钻探成本。

参考文献(References):

- [1] 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.
- [2] 赵洪波,何远信,宋殿兰,等.海南戈枕成矿带峨麻岭矿区以钻代槽勘查技术[J].地质与勘探,2015,51(3):573-578.
ZHAO Hongbo, HE Yuanxin, SONG Dianlan, et al. A new technique with drilling to replace trenching and its application in the emaling gold deposit of the Gezhen gold ore belt in Hainan[J]. Geology and Exploration, 2015,51(3):573-578.
- [3] 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.
- [4] 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,2017,26(1):1-7.

- ZHANG Xinhui, LIU Jianhong, HUANG Wantang, et al. Green exploration: cognition, explore and practice[J]. Gansu Geology, 2017,26(1):1-7.
- [5] 刘海声,穆元红,刘鹏,等.绿色勘查技术在青海格尔木铜金山矿区钻探施工的应用分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程), 2017,44(3):27-30.
- LIU Haisheng, MU Yuanhong, LIU Peng, et al. Application analysis on green exploration technology in drilling construction in tongjinshan mining area of Qinghai Province[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(3):27-30.
- [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] 赵元艺,李小赛,乔东海,等.西藏多龙矿集区绿色勘查与绿色矿山建议[J].地质论评,2016,62(S1):287-288.
- ZHAO Yuanyi, LI Xiaosai, QIAO Donghai, et al. Suggestions of green exploration and green mining of Duolong ore concentration area, Xizang (Tibet)[J]. Geological Review, 2016,62(S1):287-288.
- [8] 朱文鉴,张培丰,张建元.TGQ系列勘察取样钻机(具)的研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2004,31(2):33-36.
- ZHU Wenjian, ZHANG Peifeng, ZHANG Jianyuan. Research on TGQ series of sampling drilling rigs[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2004,31(2):33-36.
- [9] 杨培智,郑明珠.EP600便携式全液压钻机在广西良结新寨矿区钻探中的应用[J].科技经济导刊,2016(7):87-88.
- YANG Peizhi, ZHENG Mingzhu. Application of EP600 portable fully hydraulic drill in drilling in Liangjie - Xinzhai mining area of Guangxi Province [J]. Technology and Economic Guide, 2016(7):87-88.
- [10] 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.
- [11] 谭春亮,宋殿兰,岳永东,等.钻探技术在敖汉旗浅覆盖区1:5万地质填图中的应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程), 2017,44(12):43-47.
- TAN Chunliang, SONG Dianlan, YUE Yongdong, et al. Application research on drilling technology for 1:50000 geological mapping in shallow overburden area of Aohan[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 44(12):43-47.
- [12] 冉灵杰,何远信,宋殿兰.浅钻技术在宁夏青铜峡地区地质填图中的应用研究[J].地质与勘探,2019,55(1):187-193.
- RAN Lingjie, HE Yuanxin, SONG Dianlan. Application of shallow sampling drilling technology to geological mapping in the Qingtongxia area of Ningxia[J]. Geology and Exploration, 2019,55(1):187-193.
- [13] 尹飞,陈天红,徐恒.内蒙古草原半干旱浅覆盖区地质调查钻探取样工艺[J].现代矿业,2017,33(3):26-34.
- YIN Fei, CHEN Tianhong, XU Heng. Drilling sampling process of geological investigation of the semi-arid shallow coverage of inner Mongolia grassland[J]. Modern Mining, 2017,33(3):26-34.
- [14] 卢猛,何远信,宋殿兰,等.草原浅覆盖区浅钻取样技术的研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(11):1-6.
- LU Meng, HE Yuanxin, SONG Dianlan, et al. Research and application of shallow sampling technology in shallow overburden area of grassland[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(11):1-6.
- [15] 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]. Helongjiang Science, 2019,10(4):30-31.

(编辑 韩丽丽)