

基于绿色勘查的浅钻技术在浅覆盖区 填图中的应用研究

岳永东, 谭春亮, 宋殿兰, 林广利, 苏兴涛

(北京探矿工程研究所, 北京 100083)

摘要:绿色勘查是实现资源保障与生态保护并举的唯一选择。本文结合浅钻技术在内蒙古中东部荒漠草原浅覆盖区填图项目中的施工实践,初步总结了一套基于绿色勘查的浅覆盖区填图钻探技术方法体系,包括机动轻便钻机具、环保冲洗液、钻探与测井技术综合应用、以钻代槽及钻探施工组织管理等技术方法,并对存在的不足进行了探讨,为绿色勘查技术的发展提供了支撑。

关键词:绿色勘查;浅层钻探;轻便钻机;环保冲洗液;浅覆盖区;地质填图;测井

中图分类号:P634.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)12-0005-07

Application of Shallow Drilling Technology Based on Green Exploration to Geological Mapping in Thin Overburden/
YUE Yong-dong, TAN Chun-liang, SONG Dian-lan, LIN Guang-li, SU Xing-tao (Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

Abstract: Green exploration is the only choice to achieve both resource and ecological protection. With the application of shallow drilling technology to geological mapping in thin overburden of the desert steppe in Middle-East Inner Mongolia, a shallow drilling technical system based on green exploration has been preliminarily summarized in this paper, including combination of portable drilling equipment and tools, environment-friendly drilling fluid, drilling and well logging together; replacing trenching with drilling; construction organization and management. Meanwhile, some insufficiencies with the system has also been discussed. The system will contribute to the development of green exploration technology.

Key words: green exploration; shallow drilling; portable drilling rig; environment-friendly drilling fluid; thin overburden; geological mapping; well logging

0 引言

党的“十九大”报告提出了必须树立和践行绿水青山就是金山银山的理念,坚持节约资源和保护环境的基本国策。绿色勘查作为一种科学的发展理念和先进的发展方式,是在地质勘查领域贯彻落实中央生态文明战略的重要举措。绿色勘查,即以绿色发展为目的,通过科学理念、技术手段创新,以地质勘查全过程的“绿色化”、“生态化”为主要内容和途径,最大限度地减少勘查工作对生态环境的扰动和影响,实现保护生态和保障资源供给的双赢^[1]。

内蒙古中东部荒漠草原浅覆盖区填图试点项目工作区行政隶属于内蒙古赤峰市翁牛特旗、敖汉旗及锡林郭勒盟阿巴嘎旗,地处农业文明与牧业文明

交汇、蒙汉民族结合带。当地自然类型复杂多样,生态环境脆弱,水资源匮乏,荒漠沙化严重,是北京主要的沙源地,作为北京乃至全国重要的生态安全屏障,生态环境保护治理工作任重道远。因此在填图工作中,应该积极实践绿色勘查,最大限度地减少各项工作对生态环境的破坏,把生态文明建设放在突出的战略位置。项目工作区范围如图 1 所示。

1 绿色勘查现状

1.1 地质勘查对生态环境的影响

地质勘查对生态环境的影响形式主要有以下 3 个方面。

1.1.1 地表植被的破坏

收稿日期:2018-07-31

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“内蒙古中东部荒漠草原浅覆盖区 1:5 万填图试点”(编号:DD20160062)

作者简介:岳永东,男,汉族,1990 年生,硕士,从事浅层钻探技术的研究与应用工作,北京市海淀区学院路 29 号探工楼,442710173@qq.com。

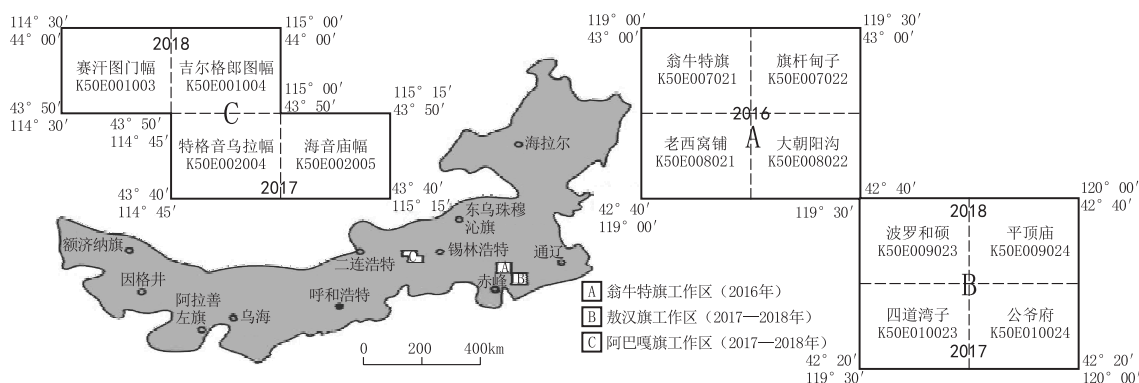


图1 内蒙古中东部荒漠草原浅覆盖区调查范围示意图



图2 槽探工程对环境的破坏

地质勘查过程中,槽探(图2)、钻探、坑探及浅井工程的施工都需要在地表进行一定规模的开挖,对地表植被产生直接破坏,此外物资搬运及交通道路的修建也会对地表植被产生影响。植被的破坏在生态环境脆弱的地区会进一步形成水土流失的隐患,同时也会对第四系中的微循环水系形成破坏。

1.1.2 污染物的排放

在勘查施工过程中,地表泥浆的排放、地下泥浆的漏失、生产生活垃圾的排放以及空气钻探的粉尘排放对环境的污染不可忽视,特别是钻探施工过程中产生的废水、废浆,会对地表及地下水环境带来污染隐患。

1.1.3 作业人员的不当行为

个别勘查施工作业人员环保意识薄弱,存在破坏植被、抓捕野生动物等不当行为,绿色勘查意识还需进一步加强。

1.2 绿色勘查发展现状

2016年5月10日,在中国地质矿产经济学会2016年地勘局长座谈会上,绿色勘查行动宣言诞生。自2015年起,国土资源部地勘司连续3年召开全国性的绿色勘查专题会议,总结推广绿色勘查经

验方法,在大力倡导和推动下,绿色勘查工作在全国逐步展开。

绿色勘查诞生于青海多彩,青海有色地勘局多彩地区的绿色勘查经验目前已在省地勘系统全面推广实施;贵州西南能矿集团有限公司制定了一系列绿色勘查工作制度,进一步规范了绿色勘查的工作程序;中国地质调查局探矿工艺研究所将多项有助于环保的技术方法集成为绿色勘查技术体系在四川省若尔盖铀矿田开展了示范研究,取得了良好的效果;河南、四川、新疆等地的地勘系统也积极探索绿色勘查,均开展了方法试验^[2-3]。

绿色勘查是一个系统工程,贯穿于整个勘查过程中,针对勘查施工中对生态环境造成影响的3个方面,当前绿色勘查的实施主要在如下3个方面开展工作:一是减少施工过程中对环境的扰动;二是减少施工过程中污染物对环境的影响;三是加强施工完成后对生态环境的恢复治理。绿色勘查的技术体系已初步形成^[4],如图3所示。

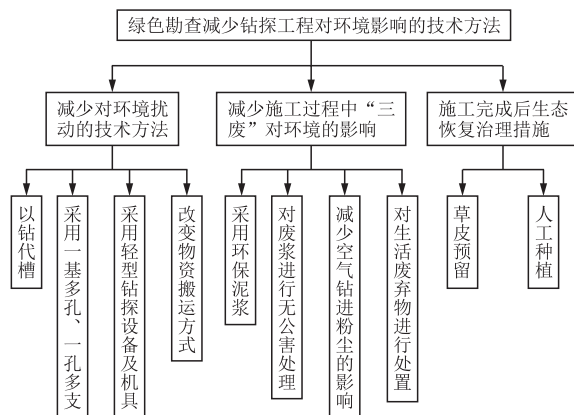


图3 绿色勘查技术体系初步框图

2 工作区地质概况

本项目工作区位于华北板块北缘和兴蒙构造带的南部,经历古亚洲洋构造域和滨太平洋构造域的叠加,地质演化历史复杂。翁牛特旗及敖汉旗工作区与阿巴嘎旗工作区,分属于天山—内蒙古—兴安岭地层区锡林浩特分区的温都尔庙与西乌珠穆沁两个地层小区。下面以翁牛特旗及敖汉旗工作区为例,介绍基于绿色勘查的钻探技术在浅覆盖区填图工作中的应用。

翁牛特旗及敖汉旗工作区位于西拉木伦河断裂

以南,工作区内地形呈不规则的缓坡形,主要为低山丘陵及河谷平原,区内主要河流包括少郎河、老哈河等。工作区内覆盖严重,覆盖层面积广、厚度大且不均匀、覆盖物类型较复杂,基岩出露仅占总面积约 15%~20%,其余均为第四系覆盖,河谷部位覆盖厚度可达 200 m。区内保存的地层时代集中在古生代和晚中生代,且两个不同时代的岩性组合均以酸性火山岩、火山碎屑岩为主,不同的是古生代地层一般经历了变质作用。工作区覆盖层地层单元如表 1 所示,工作区地貌如图 4、5 所示。

表 1 工作区覆盖层地层单元

界	系	统	组	代号	主 要 岩 性	厚度/m	沉积环境
新生界	第四系	全新统		Qh ^{col}	粉砂、细砂	0.3~0.5	风积相
				Qh ^{a12}	砂、砾石、亚砂土及淤泥	>30	河流相
				Qh ^{al1}	淤泥质粉砂、亚粘土	>10	河漫滩相
				Qh ^{pl}	含碎石亚砂土、亚粘土	>10	洪积相
		上更新统	乌尔吉组	Qp ₃ ^{2w}	浅黄色亚砂土,主要由长石及石英颗粒组成,柱状节理发育,中下部见灰白色钙质结核,形态各异	>30	风积相
		中更新统	赤峰黄土	Qp ₂ ^c	浅棕红色赤峰黄土,成分以亚粘土为主	>22	风积相
		下更新统	大塔卜乌苏组	Qp ₁ ^d	棕红色黄土,成分以红色粘土为主,含砂、砾石等碎屑物	>19	风积相
	新近系	下中新统	汉诺坝组	N ₁ ^h	黑色致密块状、气孔状玄武岩和橄榄玄武岩	>97.5	大陆裂谷



图 4 翁牛特旗工作区地貌



图 5 敖汉旗工作区地貌

3 浅覆盖区填图中钻探施工的作用及特点

3.1 钻探技术在浅覆盖区填图中的作用

浅覆盖区通常指第四系堆积物连续分布、且覆盖面积占图幅面积 50%以上、覆盖层厚度<200 m 的地区。传统的覆盖区填图由于覆盖多、露头少,填图精度及准确性较差,而且覆盖区填图常采用槽探等揭露手段,开挖面积大,对植被破坏严重,且只能解决 3 m 以浅覆盖区的地质问题,自身存在局限性,已无法满足浅覆盖区填图绿色勘查的发展需求。

随着浅层钻探机具研发系列化与配套工艺方法的成熟,以及浅钻地球化学测量、以钻代槽技术方法的应用研究取得了一系列显著成果,使用浅层钻探技术进行覆盖区“揭盖”填图成为可能^[5-6]。浅层钻探技术作为最直观的定量分析研究的技术手段,不仅可以有效控制基岩地质情况,拓展隐伏地质体勘查深度,查明矿体形态,解决覆盖区地质勘查面临的工程揭露困难,还能大量减少对植被的破坏,降低对环境的影响,是填图工作中贯彻绿色勘查理念的直接体现^[7]。

本项目最大的特色是勘查施工中不包含槽探等对生态环境破坏较大的手段,而以钻探作为揭露地表覆盖层的主要方式。浅钻技术对填图工作的支撑

主要体现在:

(1)利用钻探技术实现“揭露”,确定浅覆盖区基岩顶面埋深及隐伏基岩岩性,服务于填制基岩地质图。

(2)验证地质推断、物探推断及化探异常的隐伏地质体,追踪和圈定出重要的地质边界,服务于覆盖区填图与矿产异常查证。

(3)通过钻探取心(样),建立新生代地层序列,再结合钻孔取样的年代学研究建立第四系充填序列的年代格架,服务于新生代地质调查。

3.2 浅覆盖区填图中钻探施工的特点

区别于固体矿产钻探,服务于浅覆盖区填图的钻探施工具有以下特点:

(1)钻探施工以松散覆盖层钻进取心为主。覆盖层结构复杂,包括腐殖土、黄土、砂层、卵砾石层、风化基岩、第四系玄武岩与松散堆积物复合覆盖等多种覆盖类型,松散破碎、软硬交错、遇水易膨胀或分散剥落,钻探施工的主要难点是解决松散覆盖层的防塌堵漏、护壁取样问题。

(2)浅覆盖区填图钻探施工工区面积大,钻孔数量多,孔位分散且孔深较浅,单孔作业时间短,搬迁转场频繁。

4 基于绿色勘查的浅钻技术方法应用研究

浅层钻探技术作为浅覆盖区填图中工程揭露的主要手段,通过科学合理的实施,可在满足填图需求的同时支撑绿色勘查的发展。项目组在填图勘查施工中坚持贯彻绿色勘查理念,规范钻探施工组织管理程序,以优质高效、安全环保为目标,积极探索技术、设备、工艺、材料的集成创新,通过实践,取得了绿色勘查的一些有益经验。

4.1 机动轻便钻探机具的应用

钻探施工过程中,设备搬迁、道路、机场及其相关辅助工程的修建是环境扰动的主要因素。为了减轻对环境的影响,同时满足浅覆盖填图钻探施工频繁搬迁的需求,项目组确定采用机动、轻便的浅层取样钻机进行钻探施工。

自 2016 年起,累计投入了车装式钻机、履带式钻机及轻便浅层取样钻机 3 类、共计 6 种型号的机动轻便钻机,均具有搬迁轻便高效、机台占地面积小的优点,根据地质需求、施工条件、钻孔深度及钻进工艺要求,具体选择。钻机详情如表 2 所示,其形貌如图 6~8 所示。

表 2 项目应用的机动轻便钻机

钻机型号	设备类型	钻孔深度(H 口径)/m	最大转速/ (r·min ⁻¹)	钻进工艺	适用范围
TGQ-500CZ	车装式钻机	≤500	1180	绳索取心/全面钻进	六驱底盘装载,整装性好,全液压控制,动力集中,机动性强,适用于车辆可通行的景观区
TGQ-100CZ	车装式钻机	≤100	160	空气正/反循环	六驱底盘装载,整装性好,全液压控制,动力集中,机动性强,适用于车辆可通行的景观区
TGQ-30/50	轻便型钻机	≤30/50	800	绳索取心/提钻取心	模块化分体式结构,液压驱动,单体最大质量 105 kg,可人力搬迁,现场快速拆装,适用于车辆难进入的景观区
DPP100	车装式钻机	≤150	169	提钻取心/全面钻进	机动性强,适用于车辆可通行的景观区
GJ200-1S	履带式钻机	≤200	493	提钻取心/全面钻进	履带装载,通过性强,适用于车辆难进入的景观区



图 6 TGQ-500CZ 型车装式全液压钻机



图 7 TGQ 系列轻便浅层取样钻机

钻孔施工前,做好勘路工作,规划最佳行车路线,优先选择已有道路或小路,减少车辆行走造成的植被破坏及土壤压实等影响,针对车辆难进入的景观区,



图 8 GJ200-1S 型履带式钻机

根据现场地貌景观及钻孔设计要求,选用通过性强的履带式钻机或可人力搬迁的轻便浅层取样钻机。

4.2 环保冲洗液体系的应用研究

浅覆盖区填图钻探施工主要面对的是第四系松散层的钻进取心问题,钻进过程中不可避免地要使

用泥浆以实现保护孔壁、清洁孔底及携带岩屑等目的。

作为钻探施工过程中的主要污染源,项目组贯彻的冲洗液选用原则为:冲洗液尽可能采用清水,空气循环钻进或硬质合金单管干钻浸润法钻进取心可以不使用或使用少量清水^[8];如需使用泥浆,必须采用无固相或者低固相优质环保泥浆;泥浆材料及处理剂必须具备无毒、无害、可自然降解性能,符合环保要求;严禁添加含有重金属离子、油类、有机污染物(如烃类、醛类、酚类、有机硫化物等)及高相对分子质量的盐类等处理剂。

松散层主要特征是胶结性差、水敏性强、易坍塌漏失、泥砂质成分易被冲蚀。通过野外探索实践,项目组建立了适用于工作区钻探施工的环保冲洗液体系,主要使用可自然降解的天然植物胶配制无固相、低固相冲洗液,针对强水敏性分散剥落地层,则选用成膜防塌无固相冲洗液^[9-10]。冲洗液配方及性能如表 3 所示。环保冲洗液体系的护壁取心效果好,可以有效地提高钻进效率和取心质量,满足覆盖区填图钻探技术要求。典型地层取心效果如图 9 所示。

表 3 环保冲洗液体系

序号	冲洗液类型	配方(1 m ³ 清水)	密度/(g·cm ⁻³)	漏斗粘度/s	滤失量/[mL·(30 min) ⁻¹]	适用地层
1	植物胶无固相冲洗液	1.5%~2%植物胶+0.1%~0.3%NaOH+0.2%PHP+0~0.2%HV-CMC	1.02~1.10	18~28	15~20	粘土、砂土、基岩地层
2	植物胶低固相冲洗液	4%~5%膨润土+1.5%~3%植物胶+0.1%~0.3%NaOH+0.2%~0.3%HV-CMC+1%~2%KPAM+0.3%~0.5%防塌剂	1.10~1.20	22~40	6~10	砂砾石、破碎地层
3	成膜防塌无固相冲洗液	5%成膜体系 A+0~3%成膜体系 B+0.1%~0.2%NaOH+1%~3%封堵剂+0.3%~0.6%增粘剂+0.1%~0.2%包被剂	1.05~1.10	20~30	5~10	强水敏性分散剥落地层



图 9 松散层典型地层取心效果

4.3 钻探+测井综合研究及应用

支撑覆盖区填图的钻孔按取心情况可以分为两类,全孔取心孔与非全孔取心孔(覆盖层不取心),两类钻孔的对比如表 4 所示。

覆盖层与基岩一样,不同岩性地层在物探测井曲线上有其明显的反映特征^[11]。因此,可以通过部分全孔取心孔“取心+测井”建立起相应区域的测井综合标准柱状图,部分非全孔取心孔根据地质需求,通过测井曲线与该区域的测井综合标准柱状图对比,实现岩性识别与地层划分,确定钻孔中地层的岩性、深度、厚度等。

本项目 2017 年度实施了 34 个钻孔共计 4093 m 的地球物理测井,通过测井曲线与钻探岩心的详细

表 4 浅覆盖区填图钻孔分类对比

钻孔类型	地质目的	钻探要求	钻进工艺	其他配套手段
全孔取心孔	三维地质结构调查、隐伏地质体采样、建立标准地层沉积序列及年代格架等	岩心采取率尽可能高,准确全面地提取地层沉积序列信息	绳索取心、提钻取心等	测井(视电阻率、自然电位、自然伽马、视密度等)
非全孔取心孔	确定基岩顶面埋深、验证推断、验证异常、圈定重要地质边界	钻进效率尽可能高,提取残积层与基岩顶面的岩性信息	全面钻进、空气循环钻进等	测井(视电阻率、自然电位、自然伽马、视密度等)

对比,研究岩性和物性的内在联系,初步掌握了工区内覆盖层不同岩性地层在测井曲线上的反映特征。具体表现为:视电阻率曲线上粘土层电阻率最低,砂层有明显高异常,其幅值随着粒度的增大而增加,砾石层最高,粉细砂层最低;自然伽马曲线与视电阻率曲线相反,粘土层幅值最高,幅值随着粒度的增大而降低;自然电位曲线上粘土层异常不明显,一般为曲线的基值,砂层砾石层有明显的异常,幅值一般随粒度的增大而升高;视密度曲线上粘土层幅值较高,随粒度的增大而降低;玄武岩层与松散堆积物相比,视电阻率与密度幅值明显升高,自然电位异常不明显,自然伽马幅值较低。工作区典型覆盖层岩性对应的测井曲线特征如表 5 所示。

表 5 工作区典型覆盖层岩性对应的测井曲线特征

岩性	视电阻率	自然电位	自然伽马	视密度
粘土层	低值	偏正基线	高值	高值
砂层	低—中等值	负异常	低—中等值	低—中等值
砾石层	高值	负异常	低值	低值
玄武岩	明显高值	偏负异常	低至中等值	高值

结合测井曲线形态,工作区覆盖层地层单元测井曲线特征为:全新统冲洪积物测井曲线呈震荡特征,反映该沉积物粒度变化频繁,粗细混合;赤峰黄土与大塔卜乌苏组测井曲线呈渐变特征,反映该组黄土颗粒变化比较平稳;乌尔吉组测井曲线呈突变特征,反映该覆盖物沉积环境发生急剧变化,与下部湖积跟上部风积有关;汉诺坝组测井曲线呈稳定块状特征,反映该组岩石特征稳定,与稳定的玄武岩有关。

非全孔取心孔采用全面钻进或空气循环钻进等工艺,通过本项目钻探施工实践计算得出,其钻进效率是全孔取心孔的 2~3 倍,成本为全孔取心孔的 1/3~1/2,且不取心钻进冲洗液用量较少甚至无需冲洗液,最大限度地减少了冲洗液对环境的影响。在满足填图需求的情况下,钻探与物探测井技术的综合应用,可以指导两类钻孔的布设方案,通过合理设计尽量减少全孔取心孔的数量,从而实现降低成

本、提高效率、低碳环保的绿色勘查目的。

4.4 以钻代槽技术方法研究应用

以钻代槽技术就是采用浅钻代替槽探揭露覆盖区基岩及上部覆盖层,获取相应地质信息的勘查技术方法。以钻代槽技术方法的研究应用,重点是通过合理布孔,利用尽可能少的工作量来完成对地质体的揭露,分析隐伏基岩岩性、构造及地质体相互关系,准确地控制地质体的层面及产状^[12],推进解决覆盖区覆盖层下基岩填图的问题。

采用试探孔—探索孔—追索孔循序渐进的布孔方法,能在勘查过程中主动、灵活、准确地对层状、面状地质构造进行控制,从而达到掌握层状、面状地质构造产状的目的;对于形态不规则、复杂多变的地质体,采用十字形布孔(梅花孔)可以有效地控制其产出形态、空间形态。

在填图勘查施工中,项目组开展了以钻探设备及工艺+钻孔布设+三维地质建模为主要特征的以钻代槽勘查技术方法试验。例如,翁牛特旗工作区内八当山组褶皱构造较发育,但基岩露头仅出露于测区南缘,根据目前隐伏基岩调查成果,其分布面积较大,因此覆盖层之下隐伏基岩的产状及褶皱特征,是覆盖区填图隐伏基岩调查的难点之一。为解决这一问题,项目组在靠近八当山组基岩出露区的边缘布置了 3 个追索试验孔。三者平面呈等边三角形,间距 20 m。施工现场如图 10 所示。



图 10 以钻代槽技术方法试验施工现场

通过钻进,根据所选标志层——片理化流纹岩的海拔高程,利用三点法计算确定了其片理产状,再

通过与基岩露头对比,进一步了解了八当山组的褶皱特征。

4.5 规范钻探施工组织管理程序

4.5.1 施工前,合理部署

设计阶段科学布孔,避让自然保护区、生态保护区、重要水源地等环境敏感区域;坚持钻孔最少化原则,合理匹配全孔取心孔与非全孔取心孔数量;依据地质目的,结合景观地层情况,优化钻探施工方案,推广机动轻便钻探机具、以钻代槽技术、定向钻进技术等环保的技术方法及工艺。

4.5.2 施工中,科学管理

施工过程中,尽量减少钻机搬迁及场地建设对环境的扰动,施工现场布置紧凑合理;设备齐全完好,无油料、化学处理剂等跑、冒、滴、漏等污染现象;尽量减少冲洗液用量,选用环保型冲洗液,冲洗液循环系统必须做防渗处理;施工现场废浆、废料、废油及生产生活垃圾集中处理,严禁乱排乱放;空气循环钻进控制粉尘,增设孔口除尘装置,避免扬尘;加强施工人员绿色勘查意识,严格管理施工人员行为,强化责任。

4.5.3 施工后,恢复治理

施工结束后,及时彻底地清除现场各类杂物、垃圾及污染物,按相关规定分类收集处理;及时平整恢复场地,并按相关标准及要求完成场地覆土、草地复绿、林地复绿、耕地复耕等生态恢复治理工作;绿色勘查资料及时记录、整理,环境恢复治理工作及时验收。

5 存在的不足及建议

现有的技术可以解决绿色勘查施工中的部分问题,但在全面性及成熟性方面仍有欠缺,还需进一步开展综合研究应用,集成创新。

(1)钻探施工采用的钻探机具及配套工艺还需进一步完善,特别是适用于车辆难进入景观区、钻深 50~200 m、同时兼顾人力搬运轻便性的浅层取样钻机,目前还缺乏合适的机型,有待进一步提高。

(2)环保冲洗液性能及适应性还处于试验阶段,不具备大范围大量推广使用的条件,迫切需要在冲洗液的功能性和环保性方面开展综合研究应用,实现覆盖区填图钻探施工护壁取心与绿色环保的双

赢。

(3)泥浆不落地循环及废弃泥浆回收处理技术在本项目钻探施工中还未开展相关研究应用,有待开展进一步研究。

(4)以钻代槽技术应用范围还比较有限,在确定层面及产状方面还需开展进一步的研究。

6 结语

在浅覆盖区填图勘查施工过程中,坚持绿色勘查理念,从地质需求出发,立足于浅层钻探技术,通过 3 年来的探索实践,初步形成了基于绿色勘查的浅覆盖区填图钻探技术方法体系,在满足填图工作需求的同时,在经济高效、绿色环保方面也取得了良好的效果,为绿色勘查技术的发展提供了支撑。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 林广利,谭春亮,岳永东,等.TGQ-50 型轻便钻机在浅覆盖区地质填图中的应用[J].西部探矿工程,2017,29(9):31-33.
- [7] 赵洪波,宋殿兰,卢猛,等.基于绿色勘查的浅钻技术及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(S1):52-56.
- [8] 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,(3):26-34.
- [9] 孙涛,陈礼仪,朱宗培.植物胶冲洗液的性能及新型植物胶 QM 的开发研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2004,31(4):44-46.
- [10] 陶士先,李晓东,纪卫军,等.成膜防塌无固相冲洗液体系的研究与应用[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会.第十八届全国探矿工程(岩土钻掘工程)学术交流年会论文集.北京:地质出版社,2015.
- [11] 赵莉.测井解释在淮北煤田第三、第四系地层中的应用[J].煤炭技术,2008,27(8):117-119.
- [12] 赵洪波,何远信,宋殿兰,等.以钻代槽勘查技术方法与应用研究[J].地质科技情报,2014,(5):204-207.