

内管超前绳索取心技术在松散沉积物调查中的应用

谭春亮, 岳永东, 渠洪杰, 林广利, 祝强, 苏兴涛

(北京探矿工程研究所, 北京 100083)

摘要: 松散沉积物是覆盖层的主要物质存在形式, 是推动绿色发展、建设生态文明的主要研究对象。随着研究内容的不断丰富, 对覆盖层调查的深度与精度不断提高, 能否实现对松散沉积物的精准、原位无污染取样是制约后续研究的关键要素之一。本文基于锡林郭勒盟—通辽地区钻探调查实践, 将绳索取心钻进工艺、超前取心技术与成膜护壁冲洗液技术相结合, 提高孔壁稳定性和松散岩心完整性, 解决制约厚覆盖层调查钻探取样技术难点, 可为相关领域松散沉积物调查提供技术借鉴。

关键词: 松散沉积物; 覆盖层; 绳索取心技术; 成膜护壁冲洗液技术; 固控循环系统

中图分类号: P634 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2021)08-0047-06

Application of wire-line inner-tube advance coring technology in loose sediment investigation

TAN Chunliang, YUE Yongdong, QU Hongjie, LIN Guangli, ZHU Qiang, SU Xingtao

(Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

Abstract: Loose sediment is the main material form of overburden, which is the main research object to promote green development and build ecological civilization. With the continuous enrichment of research content, the depth and accuracy in overburden survey are constantly increasing. Whether the accurate and in-situ pollution-free sampling of loose sediments can be realized is one of the key factors restricting the follow-up research. Based on the drilling survey practice in the Xilin Gol League-Tongliao area, this paper combines wire-line coring drilling technology and advance coring technology with film-forming wall protection drilling fluid technology to improve the stability of hole wall and the integrity of loose core so as to solve the technical difficulties restricting the drilling sampling of thick overburden, and provide technical support for loose sediment survey in related fields.

Key words: loose sediment; overburden; wire-line coring technology; film forming wall protection drilling fluid technology; solid control circulation system

0 引言

松散层是指岩石经过风化、侵蚀、搬运和沉积等地质作用后, 尚未固结硬化成岩而形成的疏松沉积物。主要有风成沉积、河湖相沉积、冲积、洪积、生物堆积、火山堆积和海相沉积等成因类型。物质成份一般由粘土、流砂、卵石、砾石等。不同地质背景、不同成因类型, 岩性组成不同^[1]。随着生态文明

建设向纵深发展, 对覆盖层地质调查的深度与精度不断提高, 松散沉积物是覆盖层的主要存在形式, 是推动绿色发展, 建设生态文明的主要研究对象, 能否实现对松散沉积物精准、原位无污染取样, 对后续开展环境、气候、生物、水等新时代地质调查关键内容研究至关重要^[2]。

松散层主要结构形状为碎屑状和颗粒状, 结构

收稿日期: 2021-02-12; 修回日期: 2021-04-20 DOI: 10.12143/j.ztgc.2021.08.007

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“地质矿产勘查钻探技术升级与应用示范”(编号: DD20211345)

作者简介: 谭春亮, 男, 汉族, 1979年生, 高级工程师, 探矿工程专业, 从事钻探设备的研发、钻探技术的研究与应用推广工作, 北京市海淀区学院路29号探工楼206室, bjtan1979@163.com。

引用格式: 谭春亮, 岳永东, 渠洪杰, 等. 内管超前绳索取心技术在松散沉积物调查中的应用[J]. 钻探工程, 2021, 48(8): 47-52.

TAN Chunliang, YUE Yongdong, QU Hongjie, et al. Application of wire-line inner-tube advance coring technology in loose sediment investigation[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(8): 47-52.

松散,无胶结或胶结性差,渗透性强,一直是钻探调查取样的技术难点。

1 传统取心技术存在的问题

浅表层松散沉积物调查取样常以静压、冲击、高频振动等无循环液钻进工艺为主,国内现有技术装备只能满足百米之内的取样需求^[3-6],解决地质问题能力有限;对孔深>100 m的深厚松散沉积地层调查取样采用“回转钻进+冲洗液护壁”传统技术,生产中存在的主要问题如下。

(1)钻进效率低:一般采用单(双)管提钻取心钻进工艺,钻进效率随着钻孔深度的增加而降低,劳动强度大,施工成本高。

(2)取心质量差:一是由于冲洗液的冲蚀作用,部分松散层岩心在进入取心内筒前被破坏,无法进入取心管;二是传统卡簧无法卡住松散岩心,少量进入取心内筒的岩心易丢失;三是提钻过程中,振动易使岩心脱落,提不到地表,造成丢心等。

(3)孔内事故多:松散层孔壁机械强度低、稳定性差,在钻具回转扰动、上提钻具的抽汲和下钻产生的压力等作用下,极易发生孔壁坍塌,且地层渗透性强,易形成虚厚泥皮导致钻孔缩径、卡钻、埋钻等事故^[7-8]。

本文结合锡林郭勒盟一通辽地区基础地质调查钻探应用示范,开展了松散层钻探技术方法研究与试验,解决制约厚松散层取样的技术难点,提高覆盖区地质调查精度与效率。

2 取心技术研究

2.1 取样要求

覆盖区调查钻探的主要目的是建立一个地区地层的划分对比标准,用以进行地层、岩(土)层、水文单元层等划分、对比、地质时代和沉积环境等研究^[9]。有2个基本要求:(1)要求覆盖层全孔取心,利用钻孔建立覆盖层地层序列,调查不同地层物质组成、厚度变化及空间分布,支撑研究第四系三维地层结构^[10];(2)穿透覆盖层至基岩顶面,采集隐伏基岩样品,验证物探解释成果,支撑覆盖区找矿突破行动,因此,岩心采取的数量和品质直接影响后续地质判断。

2.2 取心技术方法

根据地质需求和地层特点,选择钻进方法,取心

工具,确定合理的钻进工艺参数和操作方法,隔水、降阻、护壁、护心是提高松散层岩心采取率的关键。

2.2.1 超前取心技术

超前取心技术是采用内管管靴(钻头)超前设计,在内管不回转的情况下,内管管靴(钻头)压入松散沉积层,保证地层岩心的原位吃入(见图1);同时,钻头采用底喷或侧喷隔水设计,冲洗液由内外管之间流经孔底时,只有少量冲洗液流经管靴(钻头)起润滑作用,大部分冲洗液经钻头底喷眼由环状间隙直接上返至地表,不冲蚀岩心,保证岩心的完整性与纯洁性(见图2)。

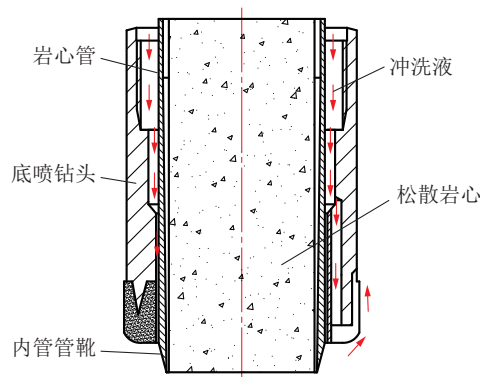


图1 内管超前技术原理

Fig.1 Principle of inner tube advance technology

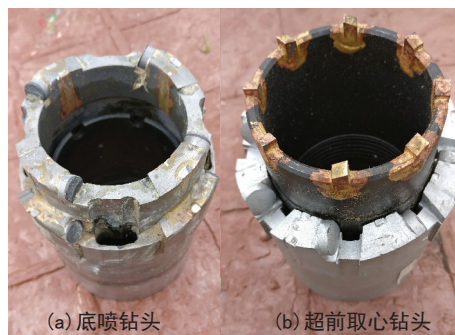


图2 内管超前取心钻头

Fig.2 Inner tube advance coring bit

2.2.2 内管超前绳索取心钻进技术

内管超前绳索取心钻具钻头部位结构示意图见图3。绳索取心钻进工艺是一种不提钻取心的方法,具有钻进效率高、劳动强度低,施工成本低等优势,在地质矿产勘探中应用广泛。将绳索取心钻进工艺与超前取心技术相结合应用于松散沉积地层取样,一是可保护孔壁的稳定性,每钻进一个回次之后,停

钻,自孔口从钻杆中下入打捞器,锁紧机构卡住取样内管,钢丝绳将内管提到地面,取出内管的岩心后,重新将内管下放到孔底,继续下回次钻进,减少了起下钻次数,降低了冲洗液压力激动,绳索钻杆可以起到护壁作用,减少孔壁坍塌掉块等事故发生;二是可提高钻探效率,采用绳索取心工艺代替提钻取心工

艺,减少了起下钻的辅助时间,增加了纯钻进时间,减轻了工人劳动强度,钻孔越深经济效益越显著;三是可提高松散层取心质量,超前取心技术避免了冲洗液对松散层岩心的直接冲蚀,起到护心的作用,根据松散岩层的松软程度,可调节内管超前尺寸,实现最佳吃入深度。

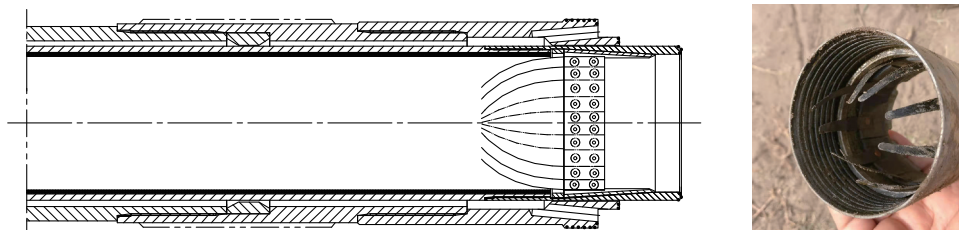


图3 超前绳索取心钻具结构

Fig.3 Structure of the wire line advance coring tool

根据取样需求,在绳索取心双层管钻具内管中增设一层岩心容纳管,采用爪簧替代卡簧,可对岩心形成二次抱卡,保证不丢心,提高岩心采取率。

2.2.3 成膜护壁低固相冲洗液技术

松散层具有怕冲蚀、易塌、遇水易蚀变的特征,要求冲洗液既要有较高的护壁和携带岩屑能力,又要有较大静切力和较小的动切力,尽可能小的滤失量,同时,绳索取心工艺还要求冲洗液保持较低的固相含量和良好的流变性能。经过野外试验与探索,采用成膜护壁低固相冲洗液可提高松散颗粒之间的胶结性,降低滤失量,具有隔水及强抑制性^[11-12],起到护壁又护心的作用;良好的润滑性可降低钻杆、孔壁和岩心管之间的摩擦阻力,减少了岩心进入内管的阻力,提高取心质量。成膜护壁低固相冲洗液体系配方见表1。

冲洗液配制方法:在1 m³冲洗液配浆罐中放入清水1000 L,首先加入1~2 kg 氢氧化钠,搅拌5 min,后加入30~50 kg 成膜护壁体系B剂,并搅拌5 min;再按照配方顺序依次加入10~30 kg 膨润土、10~20 kg GPC 及5~10 kg GPNA,搅拌5~10 min;最后,再加入5~10 kg GTQ,搅拌20~30 min后使用。

冲洗液性能:密度1.06~1.15 g/cm³,漏斗粘度30~40 s,滤失量6~9 mL/30 min,含砂量3%~4%。

表1 成膜护壁低固相冲洗液体系用材料、用量及作用

Table 1 Composition, dosage and function of low solid drilling fluid for film forming and wall protection

材料名称	加量/%	作用
氢氧化钠(NaOH)	0.1~0.2	调节配浆水的pH值
膨润土	1~3	造浆材料,降低滤失量及提高冲洗液粘度
成膜体系B剂(GCM-B)	3~5	提高体系抑制性能、隔水护心
防塌型随钻堵漏剂(GPC)	1~2	封堵裂隙,防止大量冲洗液进入地层,保护孔壁
降滤失剂(GPNA)	0.5~1.0	降低冲洗液滤失量
增粘剂(GTQ)	0.5~1.0	提高粘度和切力,降低滤失量
重晶石	按需	提高冲洗液密度,防止地层坍塌

3 应用试验

3.1 地质概况

试验区地处浑善达克沙地东南缘与科尔沁沙地西南缘,地层岩性以中、细砂为主,夹有少量粘土、砾石等,地层松散堆积,砂层基本无胶结,部分地层含水丰富,根据以往资料推断覆盖层厚度>200 m。该项目利用钻孔支撑,调查研究该地区晚新生代地表作用及系统演变过程的地质记录,确定调查区内我国地势第二、三级阶梯的形成过程、构造气候制约、形成时代及动力学背景,调查研究晚新生代不同

时期的火山喷发对地表环境的影响、基底断裂对浅部构造的影响;重建晚新生代不同地质时期源—汇系统变化过程,探讨地表过程对水系格局、生态环境的影响,以及人类文明兴衰与生态环境变化的关系等内容^[13-15]。

3.2 钻探设备

采用轮式底盘装载的TGQ-500C型全液压钻机,搬迁方便,适用于面积性钻探地质调查。钻机能够实现无级调速,满足不同钻进工艺参数需求。采用BW160型卧式三缸往复式单作用活塞泵,多档变速变量,可根据钻进地层情况调节泵量。根据“低压力、中转速、小泵量”的基本原则,针对 $\varnothing 96$ mm钻具规格,确定钻进参数为:转速80~150 r/min,钻压5~8 kN,采用成膜护壁低固相冲洗液体系,泵量50~70 L/min。

3.3 试验效果

前期工作,采用 $\varnothing 91$ mm单管钻具提钻取心工艺与 $\varnothing 96$ mm常规绳索取心工艺,钻进效率低,取心

质量差,松散层岩心采取率 $<60\%$,未达到覆盖区区域地质调查钻探取样要求。试验采用 $\varnothing 96$ mm超前绳索取心工艺+成膜护壁冲洗液技术实施了BZK01、BZK02、BZK03三个钻孔,累计进尺729.8 m,均取得了松散层及基岩的样品,满足了覆盖区地质填图工作要求,主要技术指标见表2。

表2 试验孔主要技术指标

Table 2 Technical data of the test hole

钻孔编号	钻孔深度/m	岩心长度/m	岩心采取率/%
BZK01	225.1	193.34	85.9
BZK02	199.7	156.20	78.2
BZK03	305.0	252.60	82.8

完成的3个钻孔的松散沉积层以砂质沉积和湖相沉积为主,地质推断是浅层湖泊与气候控制下的风成沉积物,以风力搬运作用为主,物质成分由泥、细砂、中粗砂和砾石等构成(见图4~8)。

大黑山幅BZK01钻孔柱状图 黄芦塔拉幅BZK02钻孔柱状图 好鲁库幅BZK03钻孔柱状图

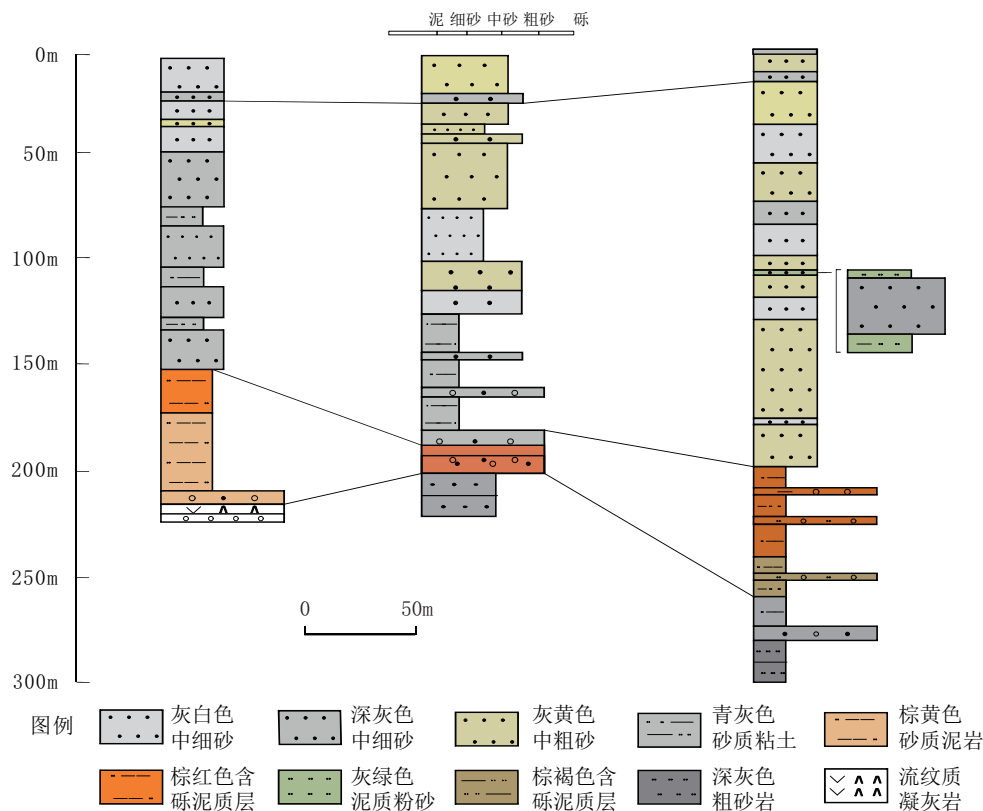


图4 钻孔柱状图

Fig.4 Borehole profile



图5 单回次细砂层取心效果

Fig.5 Cores taken from fine sand at a single run



图6 单回次粗砂层取心效果

Fig.6 Cores taken from coarse sand at a single run



图7 单回次卵砾石层取心效果

Fig.7 Cores taken from gravel at a single run



图8 单回次风化基岩取心效果

Fig.8 Cores taken from weathered bedrock at a single run

4 遇到的问题与改进方案

(1)采用爪簧替代常规卡簧,对于含砾层等泥质含量较高的地层,能够较好地保护岩心,防止脱落,但对于细砂层等泥质含量较低的地层,爪簧抓手对岩心产生切割和阻扰较大,取心效果不佳。后续根据地层情况及时调整爪簧抓手的长度与密度(见图9),提高了中细砂层岩心采取率。

(2)绳索取心过程中,遇到下部岩心脱落的问题。后续通过调整钻进参数,在停钻取心前,采用小



图9 调整后的爪簧抓手

Fig.9 Adjusted core catcher spring fingers

泵量或无泵钻进0.1~0.3 m,确保钻具底端形成盖层,防止岩心脱落,提高取心质量。

(3)厚砂层钻进中,冲洗液的技术指标不稳定,难控制。后续利用QJQ100型清洁器(见表3)及时清除冲洗液中的有害固相^[16],维护冲洗液性能,提高了钻进效率。

表3 QJQ100型清洁器主要技术参数

Table 3 Main technical parameters of QJQ 100 mud cleaner

型号	清洁器规格/mm	处理能力/($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	工作压力/MPa	分离粒度/ μm	振动筛功率/kW
QJQ100	$\varnothing 100$	5~12	0.1~0.2	20~74	0.12

5 结论

(1)将绳索取心工艺、爪簧和超前取心技术相结合,可较好地解决厚砂层等松散沉积地层取心效率低、取心质量差等问题,提高松散岩心采取率、岩心的纯洁度与完整度。

(2)成膜护壁低固相冲洗液具有强胶结性与润滑性,在松散层钻探调查中,能发挥稳壁护心的作用,提高取心质量,减少孔内事故发生。

(3)冲洗液性能直接影响松散层钻探效率与取心质量。研发并应用轻便型的冲洗液固控循环系统,一方面可控制有害固相,稳定冲洗液性能,提高取心率,另一方面可完善绿色勘查技术体系,促进绿色发展。

参考文献(References):

- [1] 刘嘉麒,刘强.中国第四纪地层[J].第四纪研究,2000(2):

- 129-141.
- LIU Jiaqi, LIU Qiang. Quaternary stratigraphy in China [J]. Quaternary Sciences, 2000(2):129-141.
- [2] 何远信,夏柏如,赵尔信.环境科学钻探取样技术研究[J].现代地质,2005(3):471-474.
- HE Yuanxin, XIA Bairu, ZHAO Erxin. Research on the sampling technology of environmental and scientific drilling[J]. Geoscience, 2005(3):471-474.
- [3] 李炯,王瑜,周琴,等.环境取样钻机的关键技术及发展趋势研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(9):81-87.
- LI Jiong, WANG Yu, ZHOU Qin, et al. Research on key technology and development trend of environmental sampling rig[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(9):81-87.
- [4] 秦沛,李海明,刘春生.Geoprobe直推钻机在城市水土环境地质调查中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(3):1-8.
- QIN Pei, LI Haiming, LIU Chunsheng. Application of geoprobe drilling rig in investigation of the urban soil and water environment[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(3):1-8.
- [5] 周兢,吴浩.新型声频振动勘察钻机的研制与应用[J].施工技术,2018,47(S1):918-921.
- ZHOU Jing, WU Hao. Research and application of the new type sonic drilling investigation rig [J]. Construction Technology, 2018,47(S1):918-921.
- [6] 罗强,刘良平,谢士求,等.YGL-S100型声波钻机及其在深厚覆盖层成孔取样施工实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(6):9-13.
- LUO Qiang, LIU Liangping, XIE Shiqiu, et al. Introduction of YGL-S100 sonic drill and the sampling practice in deep overburden layer [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2013,40(6):9-13.
- [7] 陈云龙,阮海龙,朱慈广,等.松软泥砂地层取心钻具的设计及应用[J].地质装备,2018,19(6):26-28,25.
- CHEN Yunlong, RUAN Hailong, ZHU Ciguang, et al. Design and application of coring tools in soft mud sand formation [J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2018, 19 (6) : 26-28,25.
- [8] 刘晓阳.地浸砂岩型铀矿松散岩层取心钻进技术研究[D].武汉:中国地质大学,2006.
- LIU Xiaoyang. Research on core drilling in loose formation from in-situ leaching sand uranium deposit[D]. Wuhan: China University of Geosciences, 2016.
- [9] 中国地质调查局.1:5万覆盖区区域地质调查工作指南(试行)[Z].2017.
- China Geological Survey. Technical Method Guide for Regional Geological Survey in Covered Area (1:50000)[Z]. 2017
- [10] 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.
- [11] 陶士先,李晓东,吴召明,等.强成膜性护壁冲洗液体系的研究与应用[J].地质与勘探,2014,50(6):1147-1154.
- TAO Shixian, LI Xiaodong, WU Zhaoming, et al. Research and application of the strong-film-forming wall-protecting flushing fluid system for drilling [J]. Geology and Exploration, 2014,50(6):1147-1154.
- [12] 何玉云,王发民.宁夏灵武幅、磁窑堡幅综合地质调查LS01孔冲洗液护壁技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(1):31-35.
- HE Yuyun, WANG Famin. Drilling fluid wall protection for the comprehensive geological survey Borehole LS01 for the Lingwu and Ciyaobao map sheets in Ningxia [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(1):31-35.
- [13] 闫岩,陈英富,赵国春,等.内蒙古中东部浅覆盖区荒漠化的驱动因素及其演化的地质依据[J].地质与勘探,2019,55(2):630-640.
- YAN Yan, CHEN Yingfu, ZHAO Guochun, et al. Driving factors of desertification in thin-cover areas of Inner Mongolia and their geological evidence [J]. Geology and Exploration, 2019,55(2):630-640.
- [14] 张岳敏.浑善达克沙地新生代以来古气候环境变化研究[D].西安:陕西师范大学,2019.
- ZHANG Yumin. Study on paleoclimate and environment change in Hunshandake Sandy Land since Cenozoic [D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2019.
- [15] 覃陆缘.内蒙古克什克腾旗经棚古湖形成与演化[D].北京:中国地质大学(北京),2017.
- QIN Luyuan. The formation and evolution of Jingpeng Palaeo-lake, Hexigten, Inner Mongolia [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2017.
- [16] 冯美贵,朱迪斯,翁炜,等.地质岩心钻探冲洗液固控系统及配套工艺研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(5):67-70,75.
- FENG Meigui, ZHU Disi, WENG Wei, et al. Research on solid control system of flushing fluid circulation in geological core drilling and the matching technology [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(5):67-70,75.

(编辑 荐华)