

智能高效小型一体化泥浆不落地系统的研究与应用

温得全¹, 冯美贵^{*2}, 李斌¹, 蒋睿², 翁炜², 周伟¹, 赵志杰³

(1.核工业二〇三研究所,陕西西安710086; 2.北京探矿工程研究所,北京100083;

3.河北省地质矿产勘查开发局第二地质大队(河北省矿山环境修复治理技术中心),河北唐山063000)

摘要:针对固体矿产勘查钻探工程泥浆性能维护和固控装备自动化的需求,开展小型一体化泥浆不落地循环处理工艺研究和自动化智能化控制装备研制。装备主要由循环系统、净化系统、控制系统及循环管汇组成。系统引入PID控制和物联网技术,实现过渡泵的自我反馈控制和远程可视化控制。现场应用结果表明,装备运行安全、可靠、平稳,净化效率高、自动化程度高,在技术、成本和环保等方面都取得了良好的效果,符合绿色勘查需求。通过自动化智能化控制技术,减少现场作业人员,降低工人劳动强度,一定程度上提升了岩心钻探设备自动化智能化水平,为实现岩心钻探设备自动化、智能化目标提供技术支撑。

关键词:固体矿产勘查钻探;泥浆不落地系统;小型一体化;自动化智能化;远程可视化控制

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2022)04-0049-06

Research and application of the intelligent and efficient small-size integrated mud non-landing system

WEN Dequan¹, FENG Meigui^{*2}, LI Bin¹, JIANG Rui², WENG Wei², ZHOU Wei¹, ZHAO Zhijie³

(1.No. 203 Research Institute of Nuclear Industry, Xi'an Shaanxi 710086, China;

2.Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China;

3.Second Geological Brigade, Hebei Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources (Hebei Provincial Mine Environment Restoration and Treatment Technology Center), Tangshan Hebei 063000, China)

Abstract: In view of the demand for mud performance maintenance and solid control processing equipment automation in solid mineral exploration drilling, research on the small integrated mud non-landing system that has the cyclic treatment process and the development of control equipment have been carried out. The equipment is mainly composed of the transition system, the purification system, the control system and the circulation pipe sink. In order to realize the reflexive control and remote visual control of the transition pump, PID control and internet of things technology are incorporated into the system. Field trial uses show that the operation of the equipment is safe, reliable and stable; the system has high purification efficiency and high degree of automation; what's more, good results have been achieved in the aspects of technical cost and environmental protection, meeting the requirements of green exploration. The use of automatic intelligent control technology which reduces the site operation personnel and their labor intensity has improved the automation and intelligence of core drilling equipment to some extent, and provides technical support to achieve the goal of core drilling equipment automation and intelligence.

Key words: solid mineral exploration drilling; mud non-landing system; small-size integration; automation and intelligence; remote visual control

收稿日期:2022-05-01; 修回日期:2022-06-04 DOI:10.12143/j.ztgc.2022.04.007

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)

第一作者:温得全,男,汉族,1990年生,工程师,勘察技术与工程专业,从事轴矿绿色勘查装备研究工作,陕西省西安市沣东新城沣东大道4号,973953287@qq.com。

通信作者:冯美贵,女,汉族,1981年生,高级工程师,机械工程专业,从事钻井液固相控制与废浆处理技术装备研发工作,北京市海淀区学院路29号,rosy03250186@126.com。

引用格式:温得全,冯美贵,李斌,等.智能高效小型一体化泥浆不落地系统的研究与应用[J].钻探工程,2022,49(4):49-54.

WEN Dequan, FENG Meigui, LI Bin, et al. Research and application of the intelligent and efficient small-size integrated mud non-landing system[J]. Drilling Engineering, 2022,49(4):49-54.

0 引言

目前,国内固体矿产勘查钻探工程现场普遍采用粗放型地表开挖泥浆循环系统和沉淀池自然沉降与人工捞砂相结合的泥浆净化方法^[1],不仅耗时耗力,而且泥浆净化效率和效果不理想,需要不断替换泥浆,严重浪费材料和污染环境,增加钻探成本,也不符合绿色勘查的要求^[2]。少量钻探现场已开始重视采用机械分离法维护泥浆性能,虽配备振动筛、除砂器或除泥器等机械净化设备,但工艺匹配性差、设备存在泥浆“跑冒滴漏”现象^[3]。泥浆净化循环处理过程主要依靠人工控制,设备启停频繁,存在劳动强度大与自动化智能化程度低等缺点^[4],很难推广应用。

绿色勘查是一种全新的勘查模式,核心是理念、根本是要技术创新,关键在工艺,重点在技术和装备,泥浆不落地工艺作为绿色勘查的重要手段,重点是在装备研制^[5]。针对目前固体矿产勘查泥浆净化工艺和装备上存在的问题,笔者提出一种适用于地质固体矿产勘查的智能高效小型一体化泥浆不落地处理工艺,研制了一套小体积、模块化和自动化程度高的岩心钻探泥浆处理装备,及其配套的远程在线监测与控制系统,实现泥浆不落地闭环净化处理,可有效清除有害固相、维护泥浆性能,实现安全、高效和绿色勘查的施工目标^[6],提升岩心钻探设备自动化、智能化水平^[7]。

1 小型一体化泥浆不落地循环处理工艺

针对固体矿产钻探施工泥浆处理量小、单孔施工周期短、搬迁频繁、交通不便和钻机底座低的特点^[8],提出固体矿产勘查小型一体化泥浆不落地闭环处理工艺,其工艺流程如图1所示。

(1)地表孔口返出的泥浆通过循环槽流入与地表平齐的过渡罐中,根据罐内液位监测与自反馈控制系统,过渡泵自动抽取泥浆至循环罐的净化仓。

(2)供液泵抽取净化仓的泥浆至变频离心机,根据砂岩地层或泥岩地层调整变频离心机转速,进行有害固相分离,处理后的液相排至循环罐的循环仓中。当泥浆性能符合施工需求时,泥浆不需要经过固控设备,直接经过净化罐上部溢流口溢流至循环仓。分离后的固相集中回收处理。

(3)泥浆泵通过罐外管线抽取循环仓及净化仓的泥浆,实现泥浆循环利用。

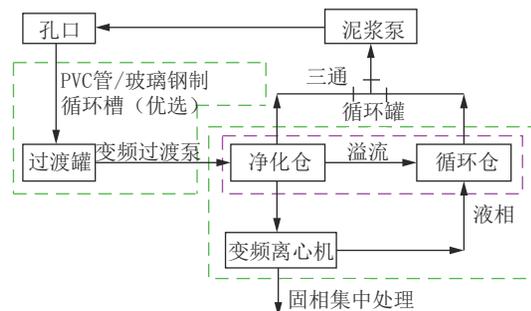


图1 小型一体化泥浆不落地闭环处理工艺流程

Fig.1 Small integrated closed loop mud non-landing treatment process

2 小型化装备及自动智能化控制系统研制

根据固体矿产勘查钻探设备、施工工艺和地层特性等,提升钻探技术装备自动化智能化水平,减轻现场工人劳动强度,维护孔壁稳定性,提高生产效率和泥浆利用率,减少废浆排放,同时便于快速安装、拆卸与搬迁等,以满足钻探工程智能、高效、安全、绿色勘查发展为需求,开展模块化、小型一体化和自动化智能化泥浆净化装备研制。笔者结合北方砂岩型铀矿勘查钻孔深度1000 m以浅、钻孔口径 $\Phi 113$ mm、无套管裸眼钻进、一径到底^[9]的提钻取心钻进工艺,采用XY-5型立轴钻机、3NBB260/7型泥浆泵、18A36T型钻塔、150 kW发电机组等落地式钻探机组设备为例,进行智能高效一体化泥浆净化装备研发。

2.1 装备组成

小型一体化泥浆不落地系统主要由储存系统、净化系统、循环管汇及自动化智能化控制系统等组成。系统结构如图2所示。

2.2 泥浆循环系统设计

固体矿产勘查目前常用钻机为便携式全液压、立轴式、车载式(拖车式、履带式)等岩心钻机^[10],钻机底座较低,孔口返出的泥浆一般采用地表开挖泥浆坑进行循环使用,循环槽长度一般为10~15 m甚至更长,内宽220~250 mm,泥浆池体积一般为钻孔体积的2~3倍^[11]。为避免孔口返出泥浆与地表直接接触,渗漏造成环境污染,本文采用可重复利用的可移动循环槽和过渡罐。结合北方砂岩型铀矿钻探工程,设计过渡罐体积1 m³,沉降后与地表平齐,配有与泥浆泵排量相匹配的变频过渡泵、超声波液位计及自反馈智能控制模块;设计一体化撬装循环罐,

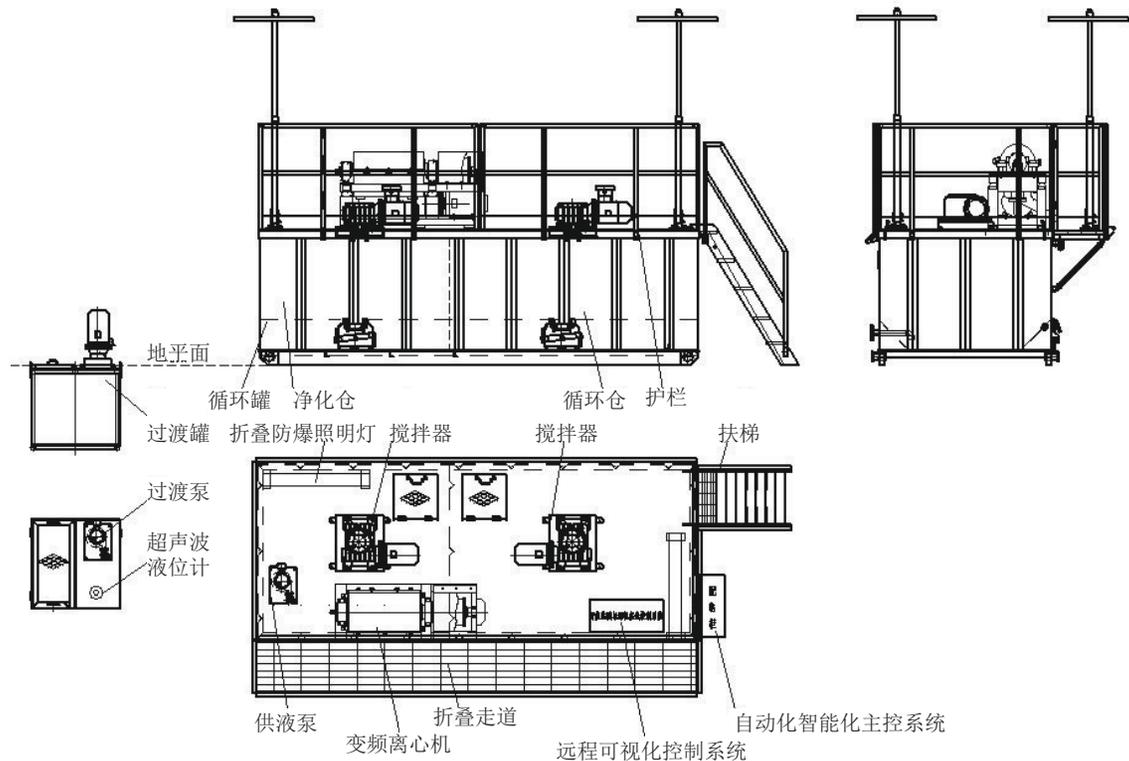


图2 小型一体化泥浆不落地系统结构示意图

Fig.2 Structure of the small integrated mud non-landing system

分净化仓与循环仓,隔仓间设有溢流口,罐体长度一侧设有清水管路,用于清洗罐内与罐面设备,泥浆净化仓和循环仓体积 10 m^3 ,泥浆循环系统总有效容积 10 m^3 ,满足深度 1000 m 以内取心 $\text{O}113\text{ mm}$ 钻探施工需求;设计不落地闭环循环系统,现场不需挖设循环槽、泥浆池和废浆坑,既保护环境,又减少附属工程;设计可移动循环槽上设有活页式盖板,既可观察孔内返回泥浆的流动状态,也可防止因雨水等进入造成泥浆溢流与污染。循环槽材质可选用轻质铝合金,便于根据场地空间进行布置,循环槽由 2 m 长的3段组成,每段中间每隔 2 m 交错设置一个挡板,进行自然沉降初级处理,减少进入循环系统的固相含量。

2.3 固控设备选择

依据固体矿产回转取心钻进工艺,泥浆中有害固相基本为微小颗粒和细目颗粒。一般传统的泥浆固控设备主要包括振动筛、除砂器、除泥器和离心机等,四级固控系统工艺复杂、体积大、能耗高^[12],与岩心钻探泥浆处理需求特性不匹配,并且振动筛、除砂器、除泥器存在严重“跑冒滴漏”现象,无法满足绿色勘查要求。因固体矿产勘查泥浆粘度大,固相微

小颗粒一般为泥质含量,需采用更大的离心力才能分离,优选变频离心机作为固控设备。变频离心机可实现一机多用,可根据地层条件和泥浆中固相含量,调整其转速,可清除 $5\text{ }\mu\text{m}$ 以上粒径固相^[13],适应性广,满足不同口径、孔深和全面钻进、普通提钻取心与绳索取心工艺的需求。

2.4 自动化智能化控制系统

自动化智能化控制系统主要由自反馈双变频控制和远程可视化在线数字化控制系统组成(图3)。自反馈双变频控制系统主要由超声波液位计、高性能矢量PID变频器^[14]、自反馈智能控制模块和变频电机等组成。远程可视化在线控制主要由数据采集模块、变频控制模块、远程数据监测与控制模块等组成。系统集智能变频PID控制、在线远程可视化监测与控制技术于一体,通过数据采集与实时处理,实现过渡泵的自反馈智能控制与离心机的远程可视化变频控制。系统具有数据云存储和设备故障报警、保护等功能。

数据采集模块优选智能型非接触式液位测量仪表,根据过渡罐高度等参数匹配量程,超声波液位计在距离罐体表面 20 cm 处安装,减小罐体中测量盲

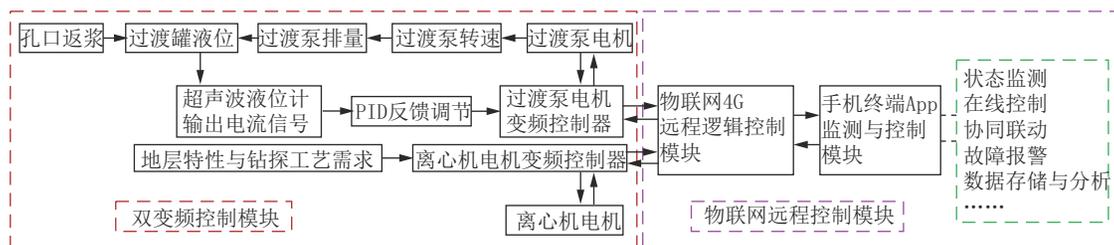


图3 现场与远程可视化控制系统示意

Fig.3 Schematic diagram of the site and remote visual control system

区和测量误差^[15],供电电压DC24 V、信号模拟输出4~20 mA。

变频控制模块可实现过渡泵闭环PID变频自反馈智能控制和离心机开环VFD变频控制。根据现场实际工况,结合室内正交试验建立的数学模型与工程经验对系统PID参数进行整定与自适应智能反

馈调节,液位闭环高性能矢量PID变频控制调节如图4所示。针对不同钻探工艺和地层特性对泥浆性能要求的不同^[1],采用开环VFD变频控制离心机转速。

物联网远程数据监测与控制模块可实现设备的远程可视化控制。

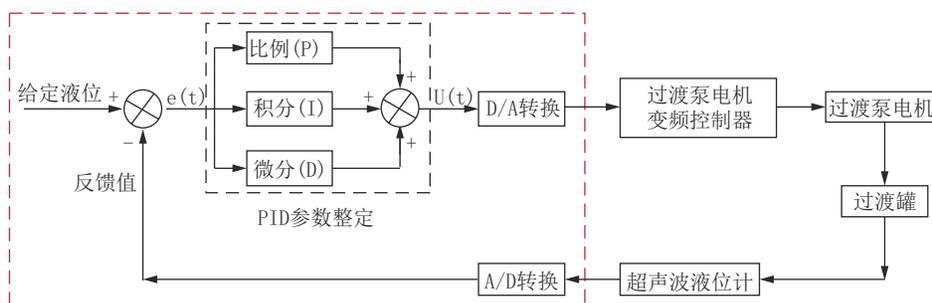


图4 PID自反馈控制示意

Fig.4 PID self feedback control diagram

3 现场应用效果

研制的小型一体化泥浆不落地系统在鄂尔多斯盆地砂岩型铀矿矿产资源调查评价与勘查项目中成功应用。钻进工艺为泥浆正循环回转提钻取心钻进,孔深600~900 m,不取心地层使用 $\varnothing 133$ mm复合片钻头全面钻进,取心地层使用 $\varnothing 113$ mm复合片

钻头钻进至终孔。使用的钻探设备为XY-5型落地式钻机、3NBB260/7型泥浆泵和150 kW发电机组。配套TGLW350-BP型变频离心机,其有效处理量为 $6 \text{ m}^3/\text{h}$,转鼓转速0~2400 r/min,分离粒度 $5 \mu\text{m}$ 及以上。钻具组合为: $\varnothing 89$ mm岩心管+ $\varnothing 68$ mm钻铤+ $\varnothing 60$ mm钻杆。现场应用见图5。图6为现场自动化智能控制系统界面。



图5 泥浆不落地设备现场应用

Fig.5 Mud non-landing equipment field application

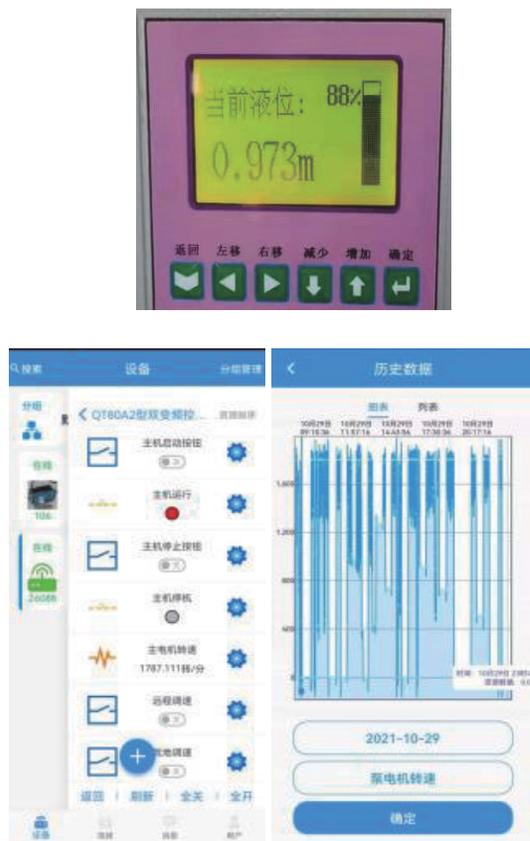


图6 自动化智能化控制系统界面

Fig.6 Automatic and intelligent control system interfaces

现场应用4个钻孔累计2853 m钻探工作量,使用泥浆不落地设备后从根本上改变了原有粗放型的泥浆处理工艺,取得了良好的成果。

(1)智能高效方面:整套系统已累计运行超过75 d,运行过程设备安全平稳可靠。过渡罐液位自反馈控制系统实现了过渡泵自动智能运行,避免了因过渡泵电机干烧、罐内泥浆溢流等需要停钻等问题,减少了停待等辅助作业时间,提高了施工效率;融合物联网技术,实现了变频过渡泵和变频离心机远程可视化控制,包括开启关闭、运行数值实时在线显示与无级调速等功能;设备运行状态在线可视化监测系统可为项目管理人员和技术人员实时掌握现场情况、进行远程控制与技术指导提供在线化依据,为钻探工程安全高效管理赋能,一定程度上提升了泥浆不落地技术装备自动化、智能化、信息化水平。

(2)环保方面:施工过程中泥浆不接触地表,循环闭环净化处理,实现了泥浆不落地,解决了泥浆就地掩埋环境污染隐患大、地貌恢复难度大和占用土地面积大的难题,满足绿色勘查要求。

(3)技术方面:根据不同地层特性,无级调节变频离心机转速,有效维护泥浆性能^[16]。泥浆中有害固相经变频离心机高效分离后,有害固相含量明显降低,流变性变好,滤失量降低,泥饼质量变好,预防了粘附、卡钻和埋钻等孔内事故的发生,保障了钻孔质量。

(4)经济方面:现场不需挖设循环槽、泥浆池和废浆坑,减少了修建、填埋泥浆坑等附属工程。泥浆循环使用,大幅节约了泥浆材料、施工用水和长途运输水的成本;不需要配备专门人员负责过渡泵及处理溢出泥浆,减轻了现场工人的劳动强度,节约了施工人力成本。

通过现场应用验证,该工艺提高了钻探施工效率,降低了钻探施工成本,可实现岩心钻探绿色、高效、安全施工。

4 结语

(1)一体化小型泥浆不落地系统满足地质矿产勘查不同地层特性和钻探工艺泥浆净化需求,符合绿色勘查要求,提高钻进效率、降低施工成本。

(2)智能高效变频控制与远程可视化控制,实现无人值守自动化智能化运行,减少现场钻探作业人数,提升钻探设备运行信息化和自动化智能化水平,为钻探智能、安全、高效实施提供有力技术支撑。

(3)一体化泥浆不落地循环处理工艺可拓展应用于便携式全液压钻机、立轴钻机和车载钻机(拖车式、履带式)等底座低的岩心钻机,建议加快推广应用。

参考文献(References):

- [1] 乌效鸣,胡郁乐,贺冰心,等.钻井液与岩土工程浆液[M].武汉:中国地质大学出版社,2002:9-38.
WU Xiaoming, HU Yule, HE Bingxin, et al. Drilling Fluid and Geotechnical Slurry[M]. WuHan: China University of Geosciences Press, 2002:9-38.
- [2] 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 & Solid Drilling and Tunneling), 2016,43(10):112-116.
- [3] 张飞,熊虎林,吕方,等.GK-15型地质岩心钻探泥浆固控装置研究应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(12):64-68.

- ZHANG Fei, XIONG Hulin, LV Fang, et al. Study and application on GK-15 mud solid-phase control device for geological core drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Solid Drilling and Tunneling), 2015, 42(12):64-68.
- [4] 熊正强,陶士先,李艳宁,等.国内外冲洗液技术研究与应用进展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(5):6-12.
- XIONG Zhengqiang, TAO Shixian, LI Yanning, et al. Progress in research and application of flushing fluid technology both in China and abroad[J]. Exploration Engineering (Rock & Solid Drilling and Tunneling), 2016, 43(5):6-12.
- [5] 刘蓓,杨可,张晨,等.固体矿产绿色勘查钻探技术方法探索与实践[J].钻探工程,2021,48(S1):39-46.
- LIU Bei, YANG Ke, ZHANG Chen, et al. Exploration and practice of green exploration drilling technology methods for solid minerals[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(S1):39-46.
- [6] 秦如雷,王林清,陈浩文,等.钻井液连续循环钻井技术及自动化装备设计[J].钻探工程,2021,48(6):63-67.
- QIN Rulei, WANG Linqing, CHEN Haowen, et al. Drilling fluid continuous circulation drilling technology and automatic equipment design[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(6):63-67.
- [7] 周方成,么秋菊,张新翌,等.智能钻井发展现状研究[J].石油矿场机械,2019,48(6):83-87.
- ZHOU Fangcheng, MO Qiuju, ZHANG Xinyi, et al. Research on the development status of intelligent drilling[J]. Oil Field Equipment, 2019, 48(6):83-87.
- [8] 张永勤.我国地质找矿取心(样)钻探设备现状及提高效能的分析研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(8):45-50.
- ZHANG Yongqin. The Present status of the geological mineral exploration coring (sampling) drilling equipment in china and analysis-research of increasing the drilling efficiency[J]. Exploration Engineering (Rock & Solid Drilling and Tunneling), 2006, 33(8):45-50.
- [9] 刘晓阳,李博.地浸砂岩型铀矿钻探现状及提高钻探效率的技术措施[J].钻探工程,2021,48(1):35-41.
- LIU Xiaoyang, LI Bo. Current status of in-situ leachable sandstone-type uranium drilling and technical measures of improving drilling efficiency[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(1):35-41.
- [10] 张伟.关于我国地质岩心钻机发展方向的分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(8):1-5.
- ZHANG Wei. Analysis on the development trend of geological core drill in China[J]. Exploration Engineering (Rock & Solid Drilling and Tunneling), 2008, 35(8):1-5.
- [11] 鄢泰宁.岩土钻掘工程学[M].武汉:中国地质大学出版社,2001:177-184.
- YAN Taining. Rock and Soil Drilling and Tunneling Engineering [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 2001:177-184.
- [12] 孙金柱.大牛地气田钻井泥浆不落地技术的应用研究[D].南京:南京大学,2016.
- SUN Jinzhu. Study on the application of waste drilling mud non-landing technology on Da Niu Di Gas Field[D]. Nanjing: Nanjing University, 2016.
- [13] 冯美贵,朱迪斯,翁炜,等.小口径地质钻探用TGLW220×660型冲洗液离心机的研制[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(12):40-43.
- FENG Meigui, ZHU Disi, WENG Wei, et al. Development of TGLW220×660 flushing fluid centrifuge for the small-diameter geological drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Solid Drilling and Tunneling), 2014, 41(12):40-43.
- [14] 唐志军,韩来聚,刘新华.自动化智能化钻井技术进展[J].石油地质与工程,2009,23(1):93-97.
- TANG Zhijun, HAN Laiju, LIU Xinhua. Advance of auto-maticin telligent drilling techniques[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2009, 23(1):93-97.
- [15] 任俊杰,李永霞,李媛,等.基于PLC的闭环控制系统PID控制器的实现[J].制造业自动化,2009,31(4):20-23.
- REN Junjie, LI Yongxia, LI Yuan, et al. The realization of PID controller in closed-loop control system based on PLC [J]. Manufacturing Automation, 2009, 31(4):20-23.
- [16] 温得全,王贵,邵盛元,等.铀矿绿色勘查泥浆随钻处理装备研究[J].钻探工程,2021,48(10):88-94.
- WEN Dequan, WANG Gui, SHAO Shengyuan, et al. Development of equipment for mud treatment while drilling in uranium green exploration[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(10):88-94.

(编辑 李艺)