

青海高原绿色勘查用废弃泥浆处理装置设计与应用

刘海声^{1,2,3}, 胡咏琪^{1,2,3}, 李增梁^{2,3*}, 窦斌¹, 赵青云^{2,3}, 马婉婷^{2,3},
穆元红^{2,3}, 杨永春^{2,3}, 时盛德^{2,3}, 赵博楠^{2,3}

(1. 中国地质大学(武汉), 湖北 武汉 430074; 2. 青海省第二地质勘查院, 青海 西宁 810028; 3. 青海省岩心钻探工程技术研究中心, 青海 西宁 810028)

摘要:针对青海高原地质勘查钻孔施工中,存在废弃泥浆与尾浆体体积量大、处理成本高,且高原生态环境脆弱、环保要求严苛,现有处理技术与装备难以适配现场需求的现实问题,本文开展了适配青海高原环境的绿色勘查废弃泥浆处理装置研发工作。梳理了当前废弃泥浆常用的物理、化学处理技术,通过现场调研明确高原勘查施工对泥浆处理的实际需求,完成了处理装置的结构设计、论证与加工,并开展现场应用试验,对处理后产出物的各项环保指标进行检测分析。试验结果表明,本文研发的废弃泥浆处理装置可有效实现青海高原勘查钻孔废浆的减量化、无害化处理,在满足当地环保要求的同时降低泥浆处理综合成本,适配高原野外分散施工的作业特点。本研究可为青海高原绿色勘查施工提供装备技术支撑。

关键词:青海高原;绿色勘查;钻探施工;废弃泥浆;泥浆处理装置;环境保护

中图分类号:P634.3 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2026)S1-0161-07

Design and application of waste drilling fluid treatment device for green exploration on the Qinghai Plateau

LIU Haisheng^{1,2,3}, HU Yongqi^{1,2,3}, LI Zengliang^{2,3*}, DOU Bin¹, ZHAO Qingyun^{2,3}, MA Wanting^{2,3},
MU Yuanhong^{2,3}, YANG Yongchun^{2,3}, SHI Shengde^{2,3}, ZHAO Bonan^{2,3}

(1. China University of Geosciences, Wuhan Hubei 430074, China; 2. Qinghai Provincial Second Geological Exploration Institute, Xining Qinghai 810028, China; 3. Core Drilling Engineering Technology Research Center of Qinghai Province, Xining Qinghai 810028, China)

Abstract: Aiming at the prominent problems encountered in borehole construction for geological exploration on the Qinghai Plateau, including large volumes of waste and residual drilling fluid, high treatment costs, fragile plateau ecological environment and stringent environmental protection requirements, as well as the poor adaptability of existing treatment technologies and equipment to field operation demands, this paper carries out research and development of a green exploration drilling fluid treatment device suitable for the Qinghai Plateau environment. Conventional physical and chemical treatment technologies for waste drilling fluid are sorted out, the practical requirements for waste drilling fluid treatment in plateau exploration construction through field investigations are identified, the structural design, feasibility study and manufacturing of the treatment device are completed, field application tests are conducted and various environmental indicators of treated products are tested and analyzed. The test results show that the self-developed waste drilling fluid treatment device can effectively realize the reduction and harmless treatment of waste

收稿日期:2026-06-29; 修回日期:2026-09-01 DOI:10.12143/j.ztgc.2026.S1.018

基金项目:青海省地质矿产勘查开发局2023年度局地质勘查项目(第一批)(编号:青地矿科[2023]33号);中共青海省委人才工作领导小组2022年度青海省“昆仑英才·高端创新创业人才”计划项目(编号:青人才字[2023]1号)

第一作者:刘海声,男,汉族,1990年生,高级工程师,硕士,从事地质工程工作,青海省西宁市胜利路24号,249897642@qq.com。

通信作者:李增梁,男,汉族,1992年生,工程师,勘查技术与工程专业,主要从事钻探工艺技术、钻探施工管理研究工作,青海省西宁市胜利路24号,50273548@163.com。

引用格式:刘海声,胡咏琪,李增梁,等.青海高原绿色勘查用废弃泥浆处理装置设计与应用[J].钻探工程,2026,53(S1):161-167.

LIU Haisheng, HU Yongqi, LI Zengliang, et al. Design and application of waste drilling fluid treatment device for green exploration on the Qinghai Plateau[J]. Drilling Engineering, 2026, 53(S1):161-167.

drilling fluid generated from the exploration boreholes on the Qinghai Plateau. It can reduce the comprehensive cost of waste drilling fluid treatment while complying with the local environmental protection standards, and fits the operation characteristics of scattered field construction on the plateau. This research can provide equipment and technical support for green exploration construction on the Qinghai Plateau.

Key words: the Qinghai Plateau; green exploration; drilling construction; waste drilling fluid; drilling fluid treatment device; environmental protection

0 引言

青海省被称为三江之源、中华水塔,同时是我国的矿产资源大省,也是我国重要的矿产资源战略储备基地,矿产资源采选业及其后续加工业总产值占青海省工业产值的50%以上,矿产资源开发对青海省经济发展的支撑作用短期内难以被取代^[1],但在维护生态方面是欠发达省份。因此,在青海高原地区开展钻探施工,面临环境保护与资源开发之间的严峻挑战。泥浆作为钻探的“血液”,直接影响钻探施工效率、孔壁稳定与施工安全。传统粗放的泥浆处理方式一般采用就地掩埋或排放,这种处理方式不仅占地范围大,还极易造成废泥浆渗入土壤、污染区域地下水,对青海高原脆弱的原生生态系统造成难以逆转的破坏^[2-4]。现有的废弃泥浆处理技术与装备难以适配现场需求,为此,设计、加工了一套适配高原工况的专用废弃泥浆处理装置,并对其实际应用试验效果进行总结分析,以期青海高原同类绿色勘查项目提供可借鉴的技术方案。

1 青海高原泥浆处理装置使用现状

近年在青海高原参与施工、管理、调研的钻探项目中,有关泥浆处理装置仅在马海矿区调研时见到一台振动筛,且一直处于停用状态,其他钻探项目均未见到使用泥浆处理装置。目前青海高原废弃泥浆处理面临以下四个问题:

(1) 钻孔施工结束后废浆和尾浆处理体积大。

以一口N口径终孔,设计孔深800 m的钻孔施工为例,不考虑漏失的理想情况下,施工过程中所需的泥浆循环体积在10 m³以上。

(2) 泥浆处理费用高。以2017年青海省第二地质勘查院和某固体废物综合处置有限公司签订的钻井尾浆委托处置合同为例,处理单价为1500元/t,一个孔的处理费用超过1万元^[5]。

(3) 环保要求高。在青藏高原实施地质岩心钻探,以青海省为例,青海既是我国矿产资源重要储备基地,又地处三江之源,要在《青海省生态环境保护条例》等规章制度的要求下开展地质工作,要把生态环境保护放在突出位置来抓。如果在施工过程中发生环保事故将会付出惨痛代价^[6]。

(4) 泥浆固相含量过高会严重影响钻探施工效益。悬浮大量固体颗粒会持续磨损钻头切削结构,大幅缩短钻头使用寿命,频繁起钻更换钻头会增加大量辅助时间。高固相泥浆流动阻力大,提升泥浆泵负荷,设备损耗、燃油消耗同步上涨,各类耗材投入增加。固相杂质极易造成管路堵塞、孔内摩擦阻力增大,诱发卡钻等故障,频繁停工处理故障直接拉长整体施工周期。多重损耗叠加下,人工、配件、运输成本持续升高^[7-9]。

2 废浆处理装置研发思路

整体研发思路如图1所示。

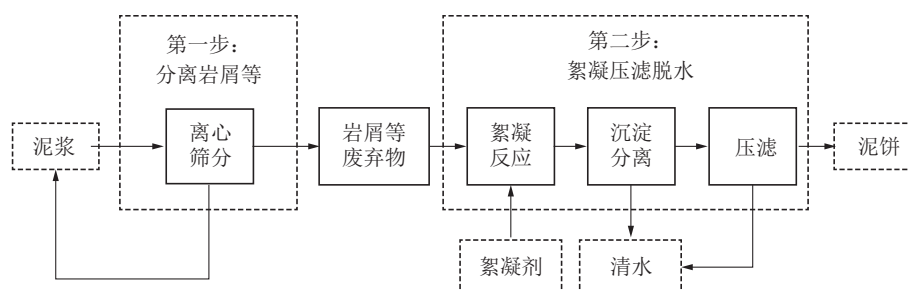


图1 废浆处理装置研发思路

第一步,将泥浆中的岩屑等废弃物从泥浆中分离出来,净化后的泥浆继续参与循环,岩屑等废弃物暂时回收。

第二步,通过加入试剂,将回收的岩屑等废弃物做固液分离,液体在达到排放标准(比如《污水综合排放标准》(GB 8978—1996))后就地排放,固体定期送到固废处理机构集中处理。此次研究主要聚焦在第一步,尝试将岩屑等废弃物从泥浆中分离出来。

3 废浆处理装置研发

3.1 常用废浆固控处理方法

目前常用的钻探废弃泥浆固控处理方法主要分为物理、化学和综合处理三大类,每种方法通过不同的技术手段实现泥浆的固液分离、减量化和无害化^[10-11]。

(1)物理处理方法:通过机械或物理作用分离泥浆中的固体和液体,是应用最广泛的基础处理方式^[12]。主要包括自然沉淀法、筛分过滤法、离心法,具体如表 1 所示。

表 1 物理处理法

类 别	原 理	适用场景	优 点	缺 点
自然沉淀法	利用重力使泥浆中的固体颗粒自然沉降	低浓度、低黏度泥浆	成本低、操作简单	处理周期长(数天至数周),占地面积大,对细颗粒效果差
筛分过滤法	通过振动筛网分离大颗粒固体(如石子、砂砾)	钻井泥浆的初级处理	操作简单、成本低、无化学污染、连续作业能力强	占地面积大、分离精度有限、筛网易堵塞、脱水效率低
离心法	利用高速旋转产生的离心力,使固液快速分离	钻井泥浆的初级处理	脱水效果好、分离效率高、处理速度快	噪声与振动大、能耗高、设备成本高

(2)化学处理方法:通过添加药剂改变泥浆的物理化学性质,加速固液分离或去除有害物质^[13]。主要包括:絮凝与混凝、pH 调节、氧化还原法。具体如表 2 所示。

表 2 化学处理法

类 别	原 理
絮凝与混凝	添加絮凝剂(如聚丙烯酰胺 PAM)使微小颗粒聚集成大絮体,再通过沉淀或机械脱水分离
pH 调节	通过添加酸(如硫酸)或碱(如石灰)调节泥浆 pH 值,破坏胶体稳定性或中和酸性/碱性物质
氧化还原法	利用氧化剂(如臭氧、次氯酸钠)或还原剂(如亚硫酸氢钠)分解有机物或还原重金属离子

(3)综合处理方法:结合物理和化学方法,或引入生物技术,实现高效、低成本处理^[14-15]。主要包括:“化学絮凝+机械脱水”、“生物-化学联合处理”、热处理法。具体如表 3 所示。

目前,青海高原地质钻探施工固控大量采用自然沉淀法,石油、水文水井、干热岩、盐湖钻探部分引进振动筛、旋流除砂器等设备。

3.2 自然沉淀法处理效果分析

为全面了解自然沉淀法的处理效果,在青海省大柴旦镇某钻探施工项目现场共采集泥浆样品 37 件,同步送到青海省第二地质勘查院岩心钻探工程技术研究中心泥浆检测实验室(具备中国合格评定国家认可委员会 CNAS 检测资质)检测,主要检验了含砂量、密度、表观黏度、塑性黏度、初切力、终切力、动切力^[16]。根据现场采集情况,将样品分为对应的 18 组,采用统一公式(出口数值-进口数值)/出口数值,计算仅在自然沉淀的条件下性能变化率,结果表明:含砂量、密度、表观黏度、塑性黏度、初切力、终切力、动切力分别平均降低了 13.81%、0.13%、13.93%、16.53%、3.24%、20.55% 和 5.89%。可见,在传统自然沉淀条件下,可小幅降低

表 3 综合处理法

类 别	流 程	优 缺 点
化学絮凝+机械脱水	泥浆→添加絮凝剂→沉淀池→机械脱水→泥饼处置	处理效率高,泥饼体积减少 70%~90%
生物-化学联合处理	泥浆→生物降解(好氧/厌氧)→化学絮凝→脱水	降低化学药剂用量,减少污泥产量
热处理法	高温焚烧泥浆	能耗高,可能产生二噁英等污染物

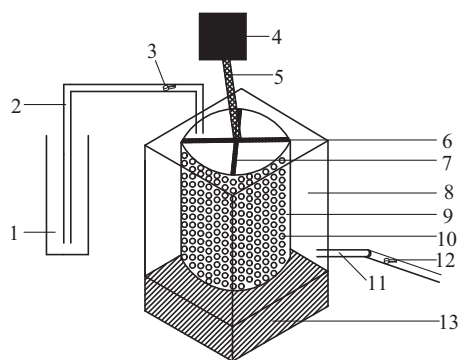
泥浆含砂量和密度,流变性指标改善微弱,整体处理效果一般。

自然沉淀法不但处理速度慢、效果差,在现场应用过程中需要开挖多级沉淀池和通道,占地面积大,破坏地表生态;旋流器单项机械净化虽然可以实现不停机连续工作,但是在地质岩心钻探中实用性不强,因为在现场应用中需要面临多种不同组分、不同密度的泥浆,而旋流器难以解决上述问题。目前亟需开发一种适用于地质岩心钻探的易于搬运运输、成本可控、不停机工作、处理效果好的泥浆处理装置。

3.3 结构设计

结合青海高原钻探生产实际,共设计了4套方案。

(1)滚筒泥浆处理装置:结构如图2所示,泥浆通过进水管由钻孔内流入旋转滚筒,通过处理后的泥浆流出泥浆处理箱体,流入钻孔内继续参与循环。

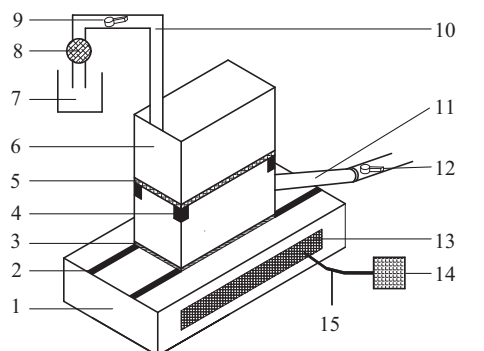


1—钻孔;2—进水管;3—进水阀门;4—电动机;5—传动轴;6—横向联结杆;7—纵向联结杆;8—泥浆处理箱体;9—旋转滚筒;10—筛孔;11—回水管;12—回水阀门;13—配重底座

图2 滚筒泥浆处理装置示意

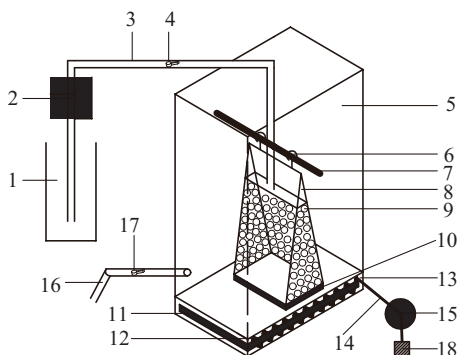
(2)往复式移动泥浆处理装置:结构如图3所示,泥浆借助泥浆泵从钻孔中抽出,流经入口管进入泥浆箱体,泥浆箱体在往复式运动机构的带动下沿着轨道做往复式移动,加速泥浆净化,净化后的泥浆通过出口管,进入钻孔后继续循环使用。

(3)电磁驱动摆动泥浆处理装置:结构如图4所示,泥浆通过水泵从钻孔中抽出,通过进水管进入泥浆处理箱体,通过摆动进行净化,净化后的泥浆通过出水管流出,流入钻孔循环使用。



1—底座箱体;2—轨道;3—泥浆箱体底座;4—滤网卡座;5—滤网;6—泥浆箱体;7—钻孔;8—泥浆泵;9—入口阀门;10—入口管;11—出口管;12—出口阀门;13—往复式运动机构;14—外接电源;15—电源线

图3 往复式移动泥浆处理装置示意

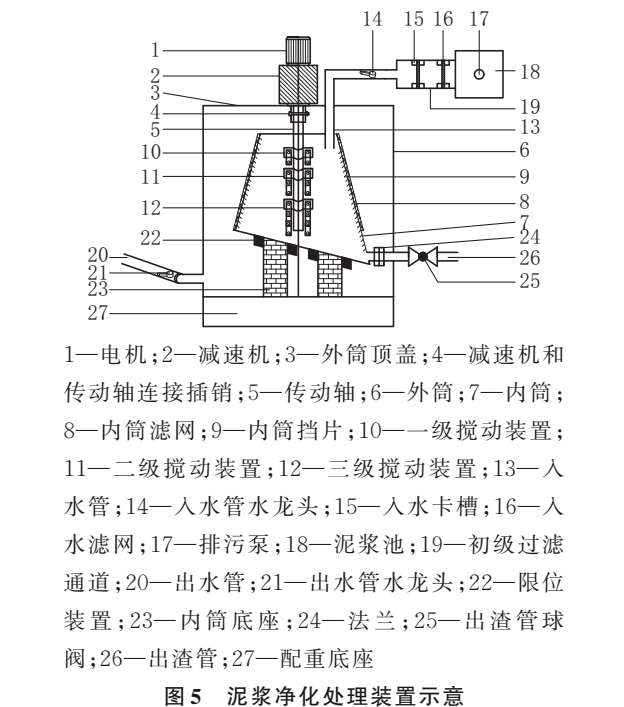


1—钻孔;2—水泵;3—进水管;4—进水阀门;5—泥浆处理箱体;6—带安全锁的挂钩;7—横梁;8—空心三棱柱体;9—过滤孔;10—永磁铁;11—铁芯;12—电磁线圈;13—底座;14—引线;15—直流电机;16—出水管;17—出水阀门;18—开关控制装置

图4 电磁驱动摆动泥浆处理装置示意

(4)泥浆净化处理装置:结构如图5所示,泥浆借助排污泵从泥浆池抽出,流入初级过滤通道,初级过滤后的泥浆流入内筒,在一级搅动装置、二级搅动装置、三级搅动装置的作用下加速泥浆净化,净化后的泥浆从出水管流出继续参与循环,废弃物从出渣管排出。

对比上述四套设计方案,前三套方案运行原理类似,依靠物体的滚动、移动、摆动,实现泥浆的运动,从而加速处理装置中泥浆的过滤速度。同理,前三套方案存在共同的缺点,就是固相在处理装置中累积工作一段时间后需要停机,打开处理装置清



理干净后才能再次工作,无法实现连续工作。对比前三套方案,方案(4)——泥浆净化处理装置的内筒底部为斜面,清理出来的固相在自重的作用下沉积到内筒底部斜面最低处,在最低处设计出渣管,装置运行一段时间后打开出渣管,固相排出,可以初步实现不停机工作。选用方案(4)为最终泥浆净化处理方案。

3.4 产品性能

泥浆净化处理装置型号定名为QDEK-LSKC-01,其具体参数如表4所示,加工后的装置如图6所示。

4 现场试验

4.1 样品采集与送检

2025年10月28日—11月3日,在青海省海西州某钻探项目对装置在实际钻探工况下的泥浆净化效果、连续运行稳定性及对高原低温环境的适应性开展现场验证。现场共采集泥浆样品12件。将样品送到青海省第二地质勘查院岩心钻探工程技



图6 QDEK-LSKC-01型泥浆净化处理装置

术研究中心泥浆检测实验室对低温低压滤失量、表观黏度、塑性黏度、初切力、终切力、动切力、密度、含砂量进行检测。

4.2 现场试验样品检测结果分析

检测结果如表5所示。从检测结果可以看出,第一组和第三组的进口和出水口含砂量一致,第二组含砂量出水口略低于进口,泥浆从出水口流出后直接参与循环,QDEK-LSKC-01型泥浆净化处理装置基本实现预期目标。具体对比进口和出水口数据,低温低压滤失量变化率 $-35.71\%\sim 5.26\%$;泥浆流变性参数中的表观黏度变化率 $0\sim 28.57\%$ 、塑性黏度变化率 $0\sim 33.33\%$ 、初切力不变、终切力变化率 $-100\%\sim 0$ 、动切力变化率 $0\sim 4.17\%$;密度变化率 $-2.78\%\sim 0$;含砂量变化率 $-16.67\%\sim 0$ 。

4.3 现场试验结果

针对高原高海拔、高寒低温、场地受限、泥浆细颗粒含量高、矿化度高、生态脆弱等问题开展应用验证。QDEK-LSKC-01型泥浆净化处理装置采用撬装轻量化结构,便于山区转运,现场使用一台皮卡车进行搬运,两个成年人就可以实现搬卸,净化后泥浆可回用于钻探,实现泥浆减量化与泥浆不落地处置。高海拔条件下设备运行稳定,无额外人员劳动强度。结合送检结果,对主要性能参数分析如下:

(1)低温低压滤失量平均降低 11.95% ,滤失量过大会引起地层岩石水化膨胀、剥落,造成钻孔孔

表4 QDEK-LSKC-01型泥浆净化处理装置参数

参数项	电机功率/kW	减速机速比	泥浆分离装置直径/m	外筒直径/m	入水滤网/目	内筒滤网/目
参数值	2	1:9	0.3	1	40~60	120~200

表5 现场试验样品测试结果分析

分组	样品位置	低温低压滤失量/mL	表观黏度/(mPa·s)	塑性黏度/(mPa·s)	初切力/Pa	终切力/Pa	动切力/Pa	密度/(g·cm ⁻³)	含砂量/%
第一组	出砂口	21.0	9.0	8.0	0.5	1.0	0.96	1.10	1.5
	出水口	19.0	6.5	6.0	0.5	0.5	0.48	1.13	1.0
	进口	18.0	6.5	6.0	0.5	1.0	0.48	1.14	1.0
	基浆	17.0	7.0	6.0	0.5	0.5	0.96	1.38	1.0
	变化率/%	5.26	0	0	0	—100	0	—0.88	0
第二组	出砂口	18.0	8.0	7.0	1.0	1.0	0.96	1.13	1.2
	出水口	14.0	7.5	7.0	0.5	1.0	0.48	1.08	0.6
	进口	19.0	6.5	6.0	0.5	1.0	0.48	1.11	0.7
	基浆	18.0	6.5	5.5	0.5	1.0	0.96	1.14	1.1
	变化率/%	—35.71	13.33	14.29	0	0	0	—2.78	—16.67
第三组	出砂口	16.0	7.0	5.0	1.0	1.0	1.92	1.04	2.0
	出水口	18.5	7.0	6.0	0.5	0.5	0.96	1.09	1.5
	进口	19.5	5.0	4.0	0.5	0.5	0.92	1.09	1.5
	基浆	10.5	16.0	12.0	2.0	2.0	3.84	1.02	2.0
	变化率/%	—5.41	28.57	33.33	0	0	4.17	0	0

注:变化率=(出水口数据—进口数据)/出水口数据×100%。

径缩小或扩大,此次验证滤失量降低对泥浆性能和钻孔稳定呈正相关。

(2)泥浆流变性参数中表观黏度平均上升13.97%、塑性黏度平均上升15.87%,说明粗固相可以被研发的固控设备筛除,但细固相仍留存在体系中,提高了黏度;初切力保持不变,说明泥浆的静置凝结强度基本稳定,瞬时开泵阻力小;终切力平均降低33.33%,说明泥浆网状结构变弱,凝结组分减少;动切力平均上升1.39%,说明泥浆网状结构在动态下黏土颗粒仍有一定联结,携砂能力略有上升。

(3)密度平均降低1.22%,说明粗固相被固控分离,重质固相减少,整体密度轻微回落。

(4)含砂量平均降低5.56%,说明整体对固相颗粒控制有效,结合表观黏度和塑性黏度上升来看,对粗固相的去除效果明显,但对细固相去除效果有限。

5 结论与下一步计划

5.1 结论

(1)采用传统的自然沉淀法可以去除泥浆循环过程中部分固相颗粒,可小幅降低泥浆含砂量和密度,流变性指标改善微弱,整体处理效果一般。该方法将缩短钻头寿命、加速钻具磨损、延长施工周

期、提高施工成本,且还需修建多级沉淀池,不仅占用大量土地资源、处理周期长,还存在废浆渗漏污染高原水土的生态风险,不符合青海高原环保要求下的绿色勘查需求。

(2)本次研发的QDEK-LSKC-01型青海高原绿色勘查专用泥浆净化处理装置,经现场试验验证,相比传统自然沉淀法,可较好去除泥浆中的粗固相颗粒、保持泥浆性能,减少了废浆排放体积,降低了泥浆处理的成本与环境压力,基本符合青海高原高海拔区域绿色勘查环保要求,整体达到了研发目标。但现场试验结果也暴露出该装置细固相颗粒去除能力不足的弱点,仍有需要完善优化的空间。

5.2 下一步计划

(1)从设备层面,加工的QDEK-LSKC-01型泥浆净化处理装置为第一代,在设计初期没有应用数值模拟对处理全流程进行模拟分析,缺少对装置尺寸、转速、内筒底部斜面坡度等参数的设计依据,后续需对这些因素加以考虑。

(2)从泥浆体系层面,为保持泥浆性能稳定,经过处理的泥浆在参与循环之前,可适度加入清水或降黏剂,同步补充抑制剂和护胶剂,既可以降低固相浓度,降低表观黏度和塑性黏度,又可以保证低

温低压滤失量的稳定。

(3)针对本次试验暴露的细固相去除能力不足的问题,需进一步优化装置的固液分离结构与作业参数,升级过滤模块,提升对细粒径固相颗粒的分离效果,进一步改善处理后泥浆的综合性能。

参考文献:

- [1] 刘海声,窦斌,赵维孝,等.青海高原绿色勘查地质钻探探索与示范[M].武汉:中国地质大学出版社,2025.
- [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] 陈伯辉,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.
- [5] 刘海声,窦斌,穆元红,等.地质岩芯钻探中绿色勘查技术的应用及成本分析[J].矿产勘查,2021,12(2):331-337.
- [6] 刘海声,穆元红,庞怀玮,等.绿色勘查钻探技术在青海省铜金山矿区的应用[J].化工矿产地质,2020,42(4):315-317.
- [7] 刘海声,穆元红,窦斌,等.西藏多才玛矿区钻井工艺技术及钻

头寿命研究[J].中国锰业,2020,38(3):86-90,97.

- [8] 刘海声,汪洪民,刘鹏,等.西藏安多县多才玛矿区强研磨性地层孕镶金刚石钻头使用效果分析[J].地质与勘探,2019,55(6):1473-1483.
- [9] 刘海声,高元宏,刘鹏,等.青海省五龙沟矿区坑道钻探硐室围岩稳定性分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(4):88-92.
- [10] 蒋炳,王猛,张之武,等.地质岩心钻探泥浆设备智能化研究现状及发展趋势[J].钻探工程,2025,52(S1):16-21.
- [11] 樊勇军,武恒,王士国.天津地区工程废弃泥浆物理压滤处置技术研究[J].钻探工程,2021,48(7):115-120.
- [12] 于富安,刘维平,冯美贵,等.隔膜压榨废浆处理装置在地质钻探中的应用[J].钻探工程,2025,52(6):116-121.
- [13] 杨玲,郑继天.废泥浆化学处理的室内试验研究[J].探矿工程,1990(5):6-9.
- [14] 蒋炳,张统得,罗显梁,等.FJS-1A型地质钻探废浆处理设备的研制[J].钻探工程,2023,50(S1):437-442.
- [15] 吴烁,冯美贵,翁炜,等.新型高效智能泥水分离系统的研制[J].钻探工程,2024,51(1):91-96.
- [16] 苑春洋.新型防漏水泥浆体系研制与性能评价[J].钻探工程,2026,53(1):73-78.

(编辑 王文)