地质钻探废浆无害化处理技术研究及应用

蒋 睿[1]，冯美贵[1*]，刘昕伟[2*]，刘维平[3]，姚 尧[2]，
于富安[3]，孙健越[3]，金 博[1]，李晓东[1]，彭博一[1]

（1.北京探矿工程研究所，北京 100083；2.甘肃煤田地质局一四五队，甘肃 张掖 734000；3.中国地质调查局烟台海岸带地质调查中心，山东 烟台 264000）

摘要：地质钻探废浆（废弃冲洗液）含有有机添加剂、重金属离子等污染物，是钻探作业主要的环境污染源之一。针对现有处理方法周期长、成本高、易导致二次污染等问题，以及地质钻探废浆处理量小、固相含量低且颗粒细、胶体稳定性强等特征，本文开展了基于化学强化-物理固液分离联合方法的废浆无害化处理技术研究。研制了新型XMYG5-500-U2型隔膜压滤装置，通过滤板点状圆锥凸台及贯通孔设计、TPE复合隔膜材质优化及丙纶滤布筛选，提升了固液分离效率，并集成了PLC全自动控制系统。以甘肃省古浪县石碑湾煤炭普查现场ZK301孔废浆为对象，通过室内试验分析废浆污染特征，优选确定了“2% GPJ-1破胶剂＋1% GAC脱色剂”的化学处理方案，并确定了装置的最优运行参数（过滤压力0.6 MPa、压榨压力1.2 MPa）。现场示范应用结果表明，经化学预处理-物理固液分离联合工艺处理后，滤液色度由18000倍降至2倍以下、COD由＞10000 mg/L降至4 mg/L、悬浮物由＞50000 mg/L降至32 mg/L，各项污染指标均达到《污水综合排放标准》二级标准，滤饼平均含水率降至18.42%，实现了废浆的减量化与无害化处置。该技术有效提升了地质钻探现场废浆的处理效率和处置水平，可为同类地质条件下钻探废浆无害化处理提供借鉴。

关键词：地质钻探；废浆处理；低固相废浆；无害化处理；隔膜压滤；固液分离；化学破胶；绿色勘查

中图分类号：P634.6；X741 **文献标识码**：A **文章编号**：2096-9686(2026)06-0068-09

Research and application of harmless treatment for waste slurry from geological drilling

JIANG Rui[1], FENG Meigui[1*], LIU Xinwei[2*], LIU Weiping[3], YAO Yao[2],
YU Fu'an[3], SUN Jianyue[3], JIN Bo[1], LI Xiaodong[1], PENG Boyi[1]

(1. *Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing* 100083, *China*; 2. *Gansu Bureau of Coal Geology One Four Five Brigade, Zhangye Gansu* 734000, *China*; 3. *Yantai Center of Coastal Zone Geological Survey, China Geological Survey, Yantai Shandong* 264000, *China*)

Abstract: Geological drilling waste slurry (waste flushing fluid) contains pollutants such as organic additives and heavy metal ions, making it one of the major environmental pollution sources in drilling operations. To address the problems of long treatment cycles, high costs, and susceptibility to secondary pollution associated with existing treatment methods, as well as the characteristics of geological drilling waste slurry-including small treatment volume, low solid

收稿日期：2026-03-17；**修回日期**：2026-05-07 **DOI**：10.12143/j.ztgc.2026.06.008

基金项目：深地国家科技重大专项课题（编号：2024ZD1003105）；自然资源部新一轮找矿突破战略行动科技支撑项目（编号：ZKKJ202423）；中国地质调查局地质调查项目（编号：DD20243154、DD202602210404）

第一作者：蒋睿，男，汉族，1988年生，高级工程师，注册岩土工程师，一级注册建造师，探矿工程专业，硕士，从事钻探技术、钻井液固相控制与废浆处理研究与应用工作，北京市海淀区学院路29号，731666593@qq.com。

通信作者：冯美贵，女，汉族，1981年生，正高级工程师，探矿工程专业，从事地质钻探工艺研究、钻井液循环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。

刘昕伟，男，汉族，1986年生，高级工程师，一级注册建造师，探矿工程专业，从事钻探施工和技术管理工作，甘肃省张掖市甘州区张火公路1公里处，851773779@qq.com。

引用格式：蒋睿，冯美贵，刘昕伟，等.地质钻探废浆无害化处理技术研究及应用[J].钻探工程，2026，53(6)：68-76.

JIANG Rui, FENG Meigui, LIU Xinwei, et al. Research and application of harmless treatment for waste slurry from geological drilling [J]. Drilling Engineering, 2026, 53(6): 68-76.

content, fine solid particles, and strong colloidal stability, this paper presents a study on the harmless treatment technology based on a combined method of chemical enhancement and physical solid-liquid separation. A novel XMYG5-500-U2 diaphragm filter press was developed. Solid-liquid separation efficiency was improved through the design of dot-shaped conical bosses and through-holes on filter plates, the optimization of TPE composite diaphragm material, and the selection of polypropylene filter cloth; a PLC-based fully automatic control system was integrated. Taking the waste slurry from borehole ZK301 at the Shibeiwan coal general survey site in Gulang County, Gansu Province as the research object, laboratory tests were conducted to analyze its pollution characteristics. The chemical treatment scheme of "2% GPJ-1 gel breaker + 1% GAC decolorizer" was optimized, and the optimal operating parameters of the device were determined as filtration pressure of 0.6 MPa and squeezing pressure of 1.2 MPa. Field demonstration results show that after treatment by the combined process of chemical pretreatment and physical solid-liquid separation, the filtrate chromaticity decreased from 18000 times to below 2 times, COD decreased from > 10000 mg/L to 4 mg/L, and suspended solids decreased from >50000 mg/L to 32 mg/L. All pollution indicators met the Class II standard of the Integrated Wastewater Discharge Standard, and the average moisture content of the filter cake was reduced to 18.42%, achieving volume reduction and harmless disposal of the waste slurry. This technology effectively improves the treatment efficiency and disposal level at geological drilling sites, and can serve as a reference for the harmless treatment of drilling waste slurry under similar geological conditions.

Key words: geological drilling; waste slurry treatment; low-solid waste slurry; harmless treatment; diaphragm filter press; solid-liquid separation; chemical gel breaking; green exploration

0　引言

地质钻探作业结束后,大部分冲洗液将成为废浆,因其含有各种有机、无机添加剂和无机盐及重金属离子等污染物[1],成为钻探作业中数量最多、环境影响最大的污染源[2]。大量未经无害化处理的废浆堆放于钻场,即便采用掩埋等处置方式,其污染物仍可通过渗透等方式进入农田、河流等区域,造成周边环境污染,威胁饮用水源安全,影响土壤理化性质及动植物生长,严重时可通过食物链直接或间接威胁人类健康与生命安全。因此,如何有效去除废浆中的有毒有害成分,实现其达标排放或循环利用,推动地质钻探行业绿色勘查发展,已成为当前亟待解决的关键技术难题[3-9]。

目前,国内外常用的废浆处理方法主要包括固化法、焚烧法、回注法、热解析法及微生物处理法等[10-11]。然而,上述方法普遍存在处理周期长、成本较高、工艺流程复杂、适用对象局限性强、易导致二次污染等问题,难以满足地质钻探行业的废浆处理需求。与石油钻井行业相比,地质钻探冲洗液多为无固相或低固相体系,废浆处理量较小,同时钻探场景多样化、作业工期短、固相含量低且颗粒细、胶体稳定性强等特征显著[12-18]。基于此,开展针对地质钻探行业废浆的专项高效无害化处理技术研究及现场示范应用,具有重要的理论价值与工程实践意义。

本文以化学强化物理固液分离联合方法为技术基础,以隔膜压滤装置和甘肃省古浪县石碑湾煤炭普查现场ZK301孔的废浆样品为研究载体,对设备结构进行优化设计,同时通过室内试验系统分析废浆污染特征,针对该废浆特性优化新型隔膜压滤装置运行参数,并在该现场开展废浆无害化处理技术示范应用,取得了预期效果。

1　新型隔膜压滤装置

1.1　设备结构

新型隔膜压滤装置主要由机械连接部分、过滤部件、液压系统及电控系统四部分构成,各部分协同工作实现废浆固液分离,如图1所示。

机械连接部分主要由机架、主梁、固定压板及活动压板等组成。机械连接部分是设备各部件装配载体,在原有基础上优化了尺寸结构及装配精度,进一步保障了设备运行的同轴度与稳定性。

过滤部分由滤板、隔膜板及滤布组成,形成滤室。主要优化改进:(1)滤板采用增强聚丙烯板,新增型腔内点状圆锥凸台及贯通孔设计,可形成流畅流道,解决了原有滤板物料流通不畅的问题;(2)隔膜板采用改性聚丙烯芯板与TPE膜板复合制成,提升了隔膜的弹性、密封性及机械强度,适配野外长期稳定运行;(3)筛选确定丙纶材质滤布,兼顾耐酸碱腐蚀、低成本与易维护特性,降低后续运行成本。

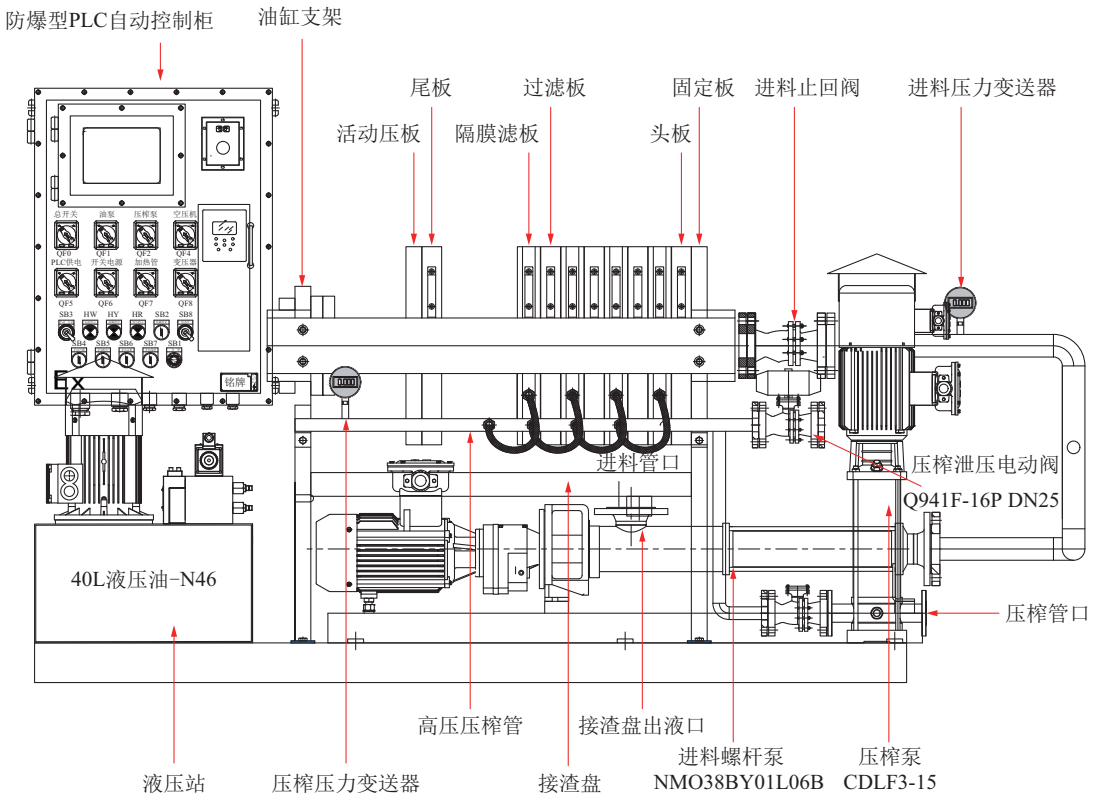


图1 隔膜压滤装置结构示意

Fig.1 General structure diagram of the new diaphragm filter press device

滤室容积可通过式(1)、式(2)计算。

$$V_{单}=A_{单}h \tag{1}$$

$$V_{总}=NV_{单} \tag{2}$$

式中：$V_{单}$——单滤室容积；$A_{单}$——单块滤板过滤面积；h——滤室厚度；$V_{总}$——总滤室容积；N——滤板数量。

总过滤面积$A_{总}$：

$$A_{总}=2NA_{单} \tag{3}$$

总压榨力$F_{压榨}$：

$$F_{压榨}=P_{压榨}A_{总} \tag{4}$$

式中：$P_{压榨}$——压榨压力。

过滤后滤饼质量$m_{滤饼}$：

$$m_{滤饼}=\rho_{滤饼}V_2 \tag{5}$$

$$V_2=(\delta_1/\delta_2)V_1 \tag{6}$$

式中：V_2——产生的滤饼体积，即总滤室容积；$\rho_{滤饼}$——滤饼密度；V_1——进料体积；δ_1——进料含固率；δ_2——目标滤饼含固率。

全自动液压系统主要由电机、液压泵、液压缸、压力传感器等部件组成，优化了部件配置与功能集成，新增换向阀、溢流阀等部件，完善了液压回路保护；强化与PLC控制系统的协同工作性，集成了压力实时监测、故障报警、多段保压等功能。各阶段工作原理：压紧阶段供油压紧滤板至预设压力后停机保压；保压阶段通过液控单向阀维持压力，泄漏时自动补压；松开阶段切换油路使滤板松开，为卸饼做准备。

油缸设计推力F：

$$F=\pi D^2P/4 \tag{7}$$

式中：D——油缸缸径；P——系统油压。

电控系统以PLC、人机界面(图2)为核心，在原有基础上优化了自动控制精度与功能适配性，可实现全过程自动循环控制，具备压力与时间双重控制、故障诊断报警、数据记录通信及全自动/半自动/手动多模式操作功能，支持与上位机数据交互，优化后更适配无人值守、高效运行、智能监控的需求，提升了设备操作灵活性与远程管控能力。

1.2 技术参数

新型XMYG5-500-U2型隔膜压滤装置在保留原有结构设计小型化、轻便化及模块化等优势基础上，重点增大了滤板和板框的过滤面积，由原有1 m^2提升至5 m^2，显著提高了废浆处理效率。设备尺寸

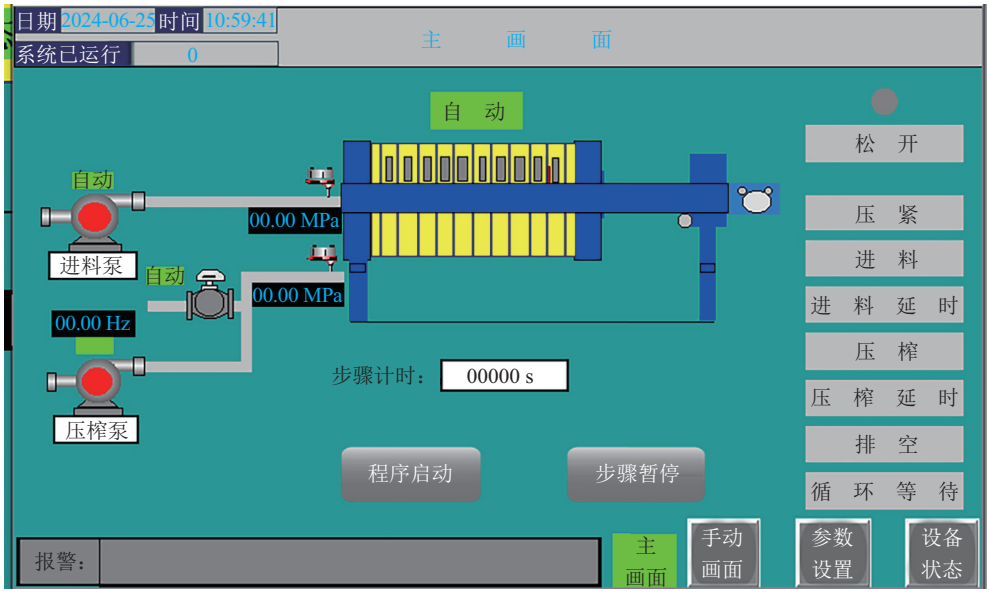


图 2　电控系统操作界面

Fig.2　Operation interface diagram of the electronic control system

为 2150 mm×1150 mm×1280 mm,总质量 780 kg,其中最大单体模块质量不超过 260 kg,便于现场搬迁、安装与调试,适配地质钻探现场多样化的作业环境。设备主要技术参数见表 1。

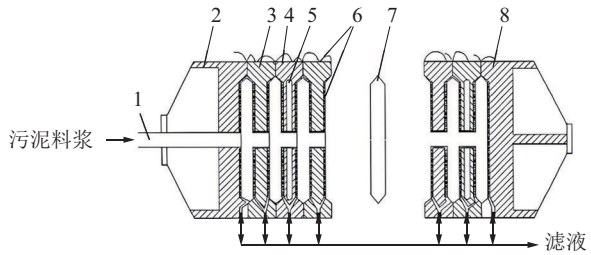
表 1　设备技术参数

Table 1　Equipment technical parameters

参　数	参数值
油缸直径/mm	150
过滤面积/m^2	5
滤板数量/块	4
滤框数量/块	3
滤室容积/L	35.28
滤饼厚度/mm	30
过滤压力 MPa	≤0.8
压榨压力 MPa	≤1.6

1.3　工作原理

隔膜压滤装置的工作原理如图 3 所示。一定数量的滤板在油缸液压压力的作用下紧密排列成一列,其中普通滤板与隔膜滤板交替排列,共同构成滤室;随后,输料泵将待处理废浆由入口输送至滤室,废浆中的固相被滤板上的滤布截留并逐渐挤压形成滤饼,而液相则透过过滤介质排出滤室,实现初步固液分离;常规过滤完成后,压缩空气或清水等介质通入隔膜滤板压榨腔,通过隔膜鼓胀双向挤压滤饼实现深度脱水,从而降低滤饼含水率,实现二次固液分离,提升固液分离效果。



1—废浆入口;2—固定压板;3—普通滤板;4—隔膜滤板;5—压榨腔;6—滤布;7—滤饼;8—活动压板

图 3　隔膜压滤原理示意

Fig.3　Schematic diagram of the principle of membrane pressing

2　废浆室内试验研究

为研发适配现场的废浆无害化处理技术,采集石碑湾煤炭普查钻探现场 ZK301 孔废弃无固相冲洗液样品,通过室内试验系统分析其废浆污染特征,开展化学与物理联合处理的技术研究,最终形成一套适合该现场废弃低固相冲洗液无害化处理的技术体系。

2.1　废浆无害化化学处理

2.1.1　废浆污染特征室内分析

该现场冲洗液主要成分包括黏土粉、纤维素、火碱、护壁剂、腐植酸钾及改性沥青等,废弃冲洗液

整体呈黑色，组分复杂且胶体稳定性较高。为明确废浆污染程度，对其污染特性进行系统检测分析，污染指标见表2。由表2可知，该废弃冲洗液多项指标超过《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)二级标准，其中色度、悬浮物(SS)、化学需氧量(COD)、五日生化需氧量(BOD_5)等指标超标尤为严重。经分析发现，废浆中的主要污染物来源于配制冲洗液所用的沥青等冲洗液材料、钻井设备运行过程中泄漏的润滑油及井场清洗废水等，若直接将其排放，将对周边土壤、水体环境造成严重污染，因此必须进行无害化处理后才可排放。

表2 废浆污染特征分析表

Table 2 Analysis table of waste slurry pollution characteristics

测试项目	污染情况	二级标准
外观形态	黑色不透明液体	无色透明
pH	8	6～9
色度/倍	18000	≤80
悬浮物/(mg·L^{-1})	＞50000	≤150
COD值/(mg·L^{-1})	＞10000	≤150
BOD_5/(mg·L^{-1})	7700	≤30
总汞/(mg·L^{-1})	0.03	≤0.05
总砷/(mg·L^{-1})	0.14	≤0.5
总镉/(mg·L^{-1})	0.033	≤0.1
总铅/(mg·L^{-1})	0.87	≤1.0

2.1.2 废浆无害化室内试验

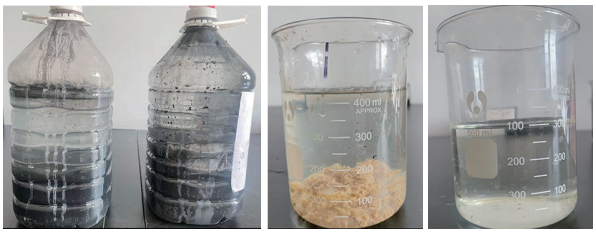
室内试验检测结果显示，现场采集的原始废浆苏式漏斗黏度23.68 s，密度1.05 g/cm^3。为确保试验的代表性与可靠性，室内试验前，参照现场冲洗液配比，复配制备模拟低固相水基废浆，其配方为清水＋0.1%片碱＋10%膨润土＋2%改性沥青＋1%广谱护壁剂＋0.5% GTQ＋5%碳酸钙，主要性能参数见表3。

表3 模拟废浆性能参数

Table 3 Performance parameters of simulated waste slurry

参 数	参数值
表观黏度/(mPa·s)	23.68
塑性黏度/(mPa·s)	16
动切力/Pa	5
滤失量/mL	5.8

针对低固相废浆的胶体稳定性强、污染物含量高的特性，通过室内钻井化学试验，系统调整化学试剂种类及用量，开展多组横向对比试验与优化筛选，最终确定采用“2%GPJ-1破胶剂＋1% GAC脱色剂”作为该废浆无害化化学处理最终方案。其中，GPJ-1破胶剂的作用机理是通过破坏低固相废浆中胶体颗粒的双电层结构，打破胶体稳定性，使胶体颗粒发生絮凝沉降，便于后续固液分离；GAC脱色剂的作用机理是利用其多孔结构的吸附特性，高效吸附废浆中导致颜色异常的有机污染物、色素等杂质，降低废浆污染物含量，实现脱色无害化。废浆经该方案处理后，不同阶段的处理效果如图4所示。



(a)现场废浆 (b)破胶絮凝处理后 (c)脱色处理后

图4 室内试验-废浆处理后各阶段效果

Fig.4 Effect of waste slurry at various stages after treatment in laboratory tests

2.2 废浆无害化物理处理

室内物理处理设备选用北京探矿工程研究所自主研制的新型隔膜压滤装置，配备BSK不锈钢气动隔膜泵搭配气动阀门，可实现0～1.2 MPa连续压力调节；配备猎豹B-8系列空气压缩机通过空气介质实现1.0～2.0 MPa压榨压力调节；同时配备DSH卤素水分含量测定仪、外接管道、量杯、量筒等辅助试验器具。试验装置如图5所示。

试验过程中，首先按照上述优化确定的化学处理方案，向模拟废浆中先后加入破胶絮凝剂和脱色剂，搅拌均匀至废浆出现明显破胶絮凝现象后，采用新型隔膜压滤装置进行物理固液分离处理。在保持模拟废浆配比和化学处理试剂用量不变的前提下，通过电控设备调整过滤压力和压榨压力，分别测量不同压力条件下的单位时间处理量和滤饼含水率，开展废浆无害化处理工艺参数优化试验，为现场应用提供理论依据。

2.2.1 过滤压力优化试验

新型隔膜压滤装置按照“油缸压紧—进料—渗



图5　废浆无害化物理处理测试

Fig.5　Physical treatment test of waste slurry for harmless disposal

透过滤—过滤延时—压榨过滤—压榨延时—排空泄压—油缸松开”的预设工艺流程处理模拟废浆,在保持过滤介质参数和废浆特性参数不变的条件下,通过电控柜设置0.4、0.6、0.8、1.0、1.2 MPa等不同过滤压力梯度,记录各压力条件下对应的处理量和处理时间,每组试验重复3次,取平均值以减少试验误差,总结最优过滤压力参数,试验结果如图6所示。

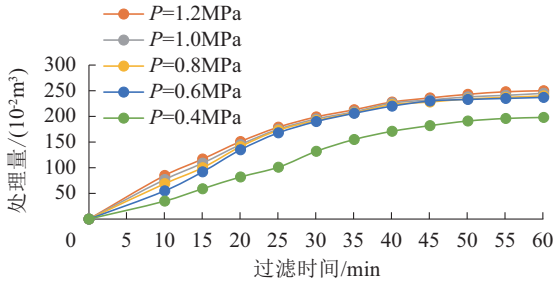


图6　处理量随过滤压力分布规律

Fig.6　Variation of treatment capacity with filtration pressure distribution

由图6分析可知,在同一过滤压力条件下,废浆处理量随过滤时间的延长而逐渐增大,但过滤前期处理量增速衰减较快,后期增速趋于平缓。其主要原因在于:过滤前期,滤室内废浆中的固相颗粒迅速聚集在滤布表面,导致过滤阻力快速增大,进而使处理量增速大幅下降;过滤后期,滤室内已形成稳定的滤饼层,过滤阻力趋于稳定,因此处理量增速缓慢降低。此外,废浆处理量随过滤压力的增大而呈上升趋势,但当过滤压力达到0.6 MPa后,继续增大过滤压力,处理量的提升幅度显著减小。综合考虑单位过滤周期生产能力、设备能耗及废浆处理成本,确定该现场废浆物理处理的最优过滤压力为0.6 MPa。

2.2.2　压榨压力优化试验

保持过滤压力为0.6 MPa,待过滤完成形成稳定滤饼后,通过电控柜控制气动隔膜泵,分别在0.4、0.6、0.8、1.0、1.2 MPa压力条件下对模拟废浆形成的滤饼进行压榨处理,压榨时间固定为20 min;采用卤素水分测定仪对不同压榨压力下取得的滤饼样品进行含水率测定,如图7所示。根据测定结果绘制的压榨压力与滤饼含水率关系曲线如图8所示。



图7　含水率测定

Fig.7　Moisture content measurement

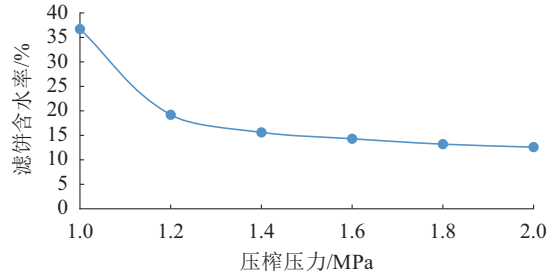


图8　压榨压力与滤饼含水率变化规律

Fig.8　The variation law of pressing pressure and water content of filter cake

由图8可知,在过滤压力为0.6 MPa、过滤时间相同的条件下,滤饼含水率随压榨压力的增大而逐渐降低;当压榨压力处于1.0～1.2 MPa区间时,滤饼含水率下降速率较快;当压榨压力超过1.2 MPa后,滤饼含水率的下降幅度显著减小,继续增大压榨压力对降低滤饼含水率的效果不明显,且会导致设备能耗大幅增加。

综上所述,过滤压力的选取需综合兼顾设备能耗与滤饼含水率控制效果,结合现场低固相废浆的特性,通过室内控制变量试验系统分析,最终确定

新型隔膜压滤装置的最优工艺参数为过滤压力0.6 MPa、压榨压力1.2 MPa。

3 现场示范应用

3.1 现场概况

3.1.1 钻孔设计情况

ZK301孔设计孔深500 m，终孔直径95 mm，全孔取心，岩心直径＞60 mm，全孔岩心采取率≥75%，其中羊虎沟组岩心采取率≥85%，矿层岩心采取率≥90%。

3.1.2 地层情况

工作区地处新堡子向斜北翼，区域地质构造整体呈近南北向倾伏的单斜构造。区内出露地层自下而上依次为：石炭系下统前黑山组(C_1q)、石炭系下统臭牛沟组(C_1c)、石炭系上统羊虎沟组(C_2y)、二叠系下统太原组(P_1t)、二叠系中统大黄沟组(P_2d)、二叠系上统窑沟群($P_{3y}g$)、三叠系中下统西大沟群($T_{1-2}xd$)、三叠系上统南营儿组(T_3n)、白垩系下统河口群(K_1hk)及全新统(Q_4)。

3.1.3 施工工艺及配套设备仪器

现场采用二开钻孔结构，松散层、黄土层采用“Ø115 mm三翼钻头＋Ø89 mm钻杆”钻进；其他层段采用“Ø95 mm金刚石取心钻头＋Ø89 mm钻杆”钻进。

现场主要配套设备仪器有HXY-6B钻机、BW-300/16泥浆泵、TGLW350变频离心机、漏斗黏度计、密度计、中压滤失仪等。

3.1.4 施工冲洗液体系

现场所用冲洗液为低固相冲洗液体系，因含有沥青等深色材料，整体呈黑色，根据不同地层钻进需求，现场采用两种冲洗液配方：配方1为清水＋4.35%～8.70%黏土粉＋0.43%～0.54%纤维素＋0.04%～0.09%火碱，配方2为清水＋2.17%～4.46%黏土粉＋0.04%～0.09%火碱＋0.35%～0.54%护壁剂、腐植酸钾、改性沥青＋0.17%～0.35%纤维素。

钻井过程中，严格控制冲洗液性能指标，确保钻进顺利进行，其性能指标：密度1.08～1.15 g/cm^3，苏式漏斗黏度20～30 s，滤失量20～30 mL，含砂量＜4%。

完钻后的废浆除含有膨润土及各种冲洗液处理剂外，还含有钻井过程中产生的大量泥岩、砂岩等地层岩屑，其中泥岩中的黏土矿物颗粒细小、胶体稳定性强，显著增加了废浆的处理难度，需通过针对性的无害化处理工艺才能实现达标排放。

3.2 示范应用

根据现场废弃冲洗液的配方及性能特征，结合室内试验优化结果，采用“2% GPJ-1破胶剂＋0%～0.5%絮凝剂＋1% GAC脱色剂”的化学处理方案对废浆进行预处理，现场废浆与隔膜压滤装置的布置如图9所示。



图9 现场废浆和隔膜压滤装置

Fig.9 On-site waste slurry and diaphragm filter press device

具体操作流程：在搅拌罐中注入1 m^{3}现场废浆，利用专用加药装置实现化学处理剂的精准投放与均匀调控，搅拌均匀后，废浆出现明显的破胶絮凝现象，为后续物理固液分离奠定基础。对化学预处理后的废浆进行压滤处理，隔膜压滤装置的过滤压力设定为0.6～0.75 MPa，压榨压力设定为1.0 MPa，通过PLC控制系统实现全流程自动化控制，完成过滤、压榨与脱水干化一体化作业。固液分离后的滤液呈无色透明状态，处理效果显著，如图10所示。

固液分离作业完成后，打开滤板，取出压榨后的滤饼，为确保检测结果具有代表性，在滤饼的首层、中间层和末层分别取样进行含水率检测，处理后的滤饼形态如图11所示。

采用pH试纸检测废浆及滤液的酸碱度。处理前，现场废浆呈碱性，pH约为10；处理后，液相基本呈中性，pH介于6～7之间。处理前后pH对比情况如图12所示。

将现场废浆及处理后的滤液样品送至室内实验室，对其色度、悬浮物、COD及pH等关键污染指



图10　搅拌罐加入处理剂后的废浆状态和处理后的滤液

Fig.10　Waste slurry condition after adding treatment agent and the filtrate after treatment



图11　处理后的滤饼

Fig.11　Filter cake after treatment

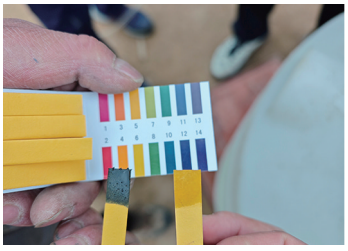


图12　处理前后pH对比

Fig.12　Comparison of pH before and after treatment

标进行系统测定,测定结果如表4所示。由表4可知,经“化学预处理-物理固液分离”联合工艺处理后,滤液各项污染指标均达到《污水综合排放标准》(GB 8978—1996)二级标准,处理效果符合预期。

通过采用DSH水分测定仪,分别在首仓、中间仓、末仓三个位置采取滤饼进行含水率检测(水分与滤饼重量比),其中首仓取样的含水率为17.12%,中间仓取样的含水率为18.73%,末仓取样的含水率为19.41%。综上,测定滤饼平均含水率18.42%。

试验表明,废浆经过破胶—絮凝—脱色—固液分离无害化处理后,分离出的液相外观形态、色度、悬浮物均能达到排放标准。

表4　废弃冲洗液处理前后污染指标对比

Table 4　Comparison of pollution indicators in waste drilling fluid before and after treatment

测试指标	处理前	一次压滤处理后	二次压榨处理后	二级标准
外观形态	黑色浆液	无色透明	无色透明	无色透明
色度/倍	18000	8	＜2	≤80
悬浮物/(mg·L^{-1})	＞50000	56	32	≤150
COD/(mg·L^{-1})	＞10000	35	4	≤150
BOD_5/(mg·L^{-1})	＞2000	8.2	3.1	≤30
pH	10	6.5	6.3	6～9

4　结论

(1) 新型隔膜压滤装置在已有撬装模块化结构设计基础上,增大滤板的处理面积,并通过PLC与变频器配合,实现对设备的恒压控制调节,提高了控制精度和效率,有效解决了地质钻探现场废浆处理效率低的问题。

(2) 通过对取回的现场废浆样品进行室内化学和物理处理试验研究,并在能耗成本和处理效果兼顾的情况下对处理该废浆的隔膜压滤装置的过滤压力和压榨压力进行对比试验,研发了一套适合地质钻探“化学破胶絮凝+物理分离”低固相废浆高效无害化处理技术与工艺,有效兼顾了能耗成本和处理效果。

(3) 该废弃冲洗液无害化处理技术在石碑湾煤炭普查ZK301孔钻探现场开展应用,取得良好处理效果。现场废弃冲洗液经该工艺处置后可达二级排放标准,表明地质钻探废浆无害化处理技术已趋于成熟,并实现专业化应用。该技术不仅可有效解决煤田地质钻探废弃冲洗液带来的环境污染问题,也可为同类地质条件下矿产资源勘查工程的钻探废浆无害化处理提供借鉴,具备广阔的推广应用前景。

参考文献(References):

[1] 杨双春,佟双鱼,李东胜,等.废弃钻井液无害化处理技术研究进展[J].应用化工,2019,48(12):3037-3041.
YANG Shuangchun, TONG Shuangyu, LI Dongsheng, et al. Research progress on harmless disposal technology of waste drill-

ing fluid[J]. Applied Chemical Industry, 2019,48(12):3037-3041.

[2] 张冬林,胡继强,李刚,等.废弃钻井液处理技术的应用现状[J].化工设计通讯,2023,49(1):35-37.
ZHANG Donglin, HU Jiqiang, LI Gang, et al. Discussion on treatment technology of obsolete drilling fluid[J]. Chemical Engineering Design Communications, 2023,49(1):35-37.

[3] 张羽臣,宋闯,李进,等.水基钻井液絮凝压滤无害化处理技术研究与应用[C]//2023国际石油石化技术会议论文集Ⅱ.北京:西安石油大学,2023:306-312.
ZHANG Yuchen, SONG Chuang, LI Jin, et al. Research and application of harmless treatment technology of water-based drill fluid flocculation press filtrate[C]//Proceedings of 2023 International Petroleum & Petrochemical Technology Conference Ⅱ. Beijing:Xi'an Shiyou University, 2023:306-312.

[4] 李凤娟,张存社,李小龙,等.废弃水基泥浆处理技术研究进展[J].精细与专用化学品,2023,31(11):26-28.
LI Fengjuan, ZHANG Cunshe, LI Xiaolong, et al. Research progress of waste water base mud treatment technology[J]. Fine and Specialty Chemicals, 2023,31(11):26-28.

[5] 周佰刚,马孟磊,杨暕暕,等.废弃水基钻井液不落地高效处理技术研究[J].钻采工艺,2021,44(3):108-111,115.
ZHOU Baigang, MA Menglei, YANG Jianjian, et al. Study on high efficiency treatment technology of waste water-based drilling fluid without landing[J]. Drilling & Production Technology, 2021,44(3):108-111,115.

[6] 蒋睿,李柏军,王康,等.新型隔膜压滤装置在地质钻探废浆无害化处理中的研究与应用[J].地质装备,2024,25(S1):176-182.
JIANG Rui, LI Baijun, WANG Kang, et al. Research and application of a new type of diaphragm filter press in harmless treatment of waste pulp from geological drilling[J]. Equipment for Geotechnical Engineering, 2024,25(S1):176-182.

[7] 彭博一,李晓东,王康,等.废弃无固相钻井液无害化处理技术研究与应用[J].钻探工程,2025,52(2):45-50.
PENG Boyi, LI Xiaodong, WANG Kang, et al. Research and application of harmless treatment technology for waste non-solid phase drilling fluid [J]. Drilling Engineering, 2025, 52(2): 45-50.

[8] 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.
YU Fuan, LIU Weiping, FENG Meigui, et al. Application of diaphragm pressing waste slurry treatment device in geological drilling[J]. Drilling Engineering, 2025,52(6):116-121.

[9] 蒋炳,张统得,严君凤.地质钻探废弃冲洗液固化处理技术研究及应用[J].钻探工程,2021,48(11):8-14.
JIANG Bing, ZHANG Tongde, YAN Junfeng. Research and application of solidification treatment technology for waste drilling fluid in geological drilling[J]. Drilling Engineering, 2021,48(11):8-14.

[10] 朱明明,孙欢,贺会锋,等.水基钻井液废弃固液处置及配套技术[J].石油化工应用,2024,43(4):38-42.
ZHU Mingming, SUN Huan, HE Huifeng, et al. Disposal and supporting technology of waste solid liquid from water-based drilling fluid[J]. Petrochemical Industry Application, 2024,43(4):38-42.

[11] 汤凤林,赵荣欣,周欣,等.俄罗斯油气钻采废弃物处理及其利用研究[J].钻探工程,2022,49(5):202-207.
TANG Fenglin, ZHAO Rongxin, ZHOU Xin, et al. Research on processing and use of wastes in oil and gas drilling and production in Russia [J]. Drilling Engineering, 2022, 49(5): 202-207.

[12] 吕剑虎.水基钻井废浆不落地处理技术研究[J].中国煤炭地质,2022,34(S1):196-198.
LV Jianhu. Study on non-falling treatment technology of waste water-based drilling fluid[J]. Coal Geology of China, 2022,34(S1):196-198.

[13] 王丹丹,董晨曦,杨添麒.废弃钻井泥浆无害化处理技术发展方向探讨[J].石化技术,2023,30(2):118-120.
WANG Dandan, DONG Chenxi, YANG Tianqi. Discussion on development direction of harmless treatment technology of waste drilling mud [J]. Petrochemical Industry Technology, 2023,30(2):118-120.

[14] 涂亚楠,王辉锋,徐志强,等.压滤机脱水效果的理论分析与实践研究[J].煤炭工程,2013,45(5):114-117.
TU Yanan, WANG Huifeng, XU Zhiqiang, et al. Theoretical analysis and practical research on dewatering effect of filter-press[J]. Coal Engineering, 2013,45(5):114-117.

[15] 谢雄.压滤机控制系统和过滤机构的研究[D].呼和浩特:内蒙古工业大学,2007.
XIE Xiong. Study on control system and filter mechanism of filter press[D]. Hohhot: Inner Mongolia University of Technology, 2007.

[16] 朱桂华,王万斌,张丽欣,等.厢式隔膜压滤机深度脱水最优过滤压力[J].环境工程学报,2015,9(10):5045-5048.
ZHU Guihua, WANG Wanbin, ZHANG Lixin, et al. Optimization of filtration pressure on deep dehydration of sludge in van membrane filter press [J]. Chinese Journal of Environmental Engineering, 2015,9(10):5045-5048.

[17] 杨士林.隔膜式板框压滤机对污泥深度脱水的应用效果研究[J].环境与发展,2018,30(8):76,78.
YANG Shilin. Study on application effect of diaphragm plate and frame filter press for deep dewatering of sludge[J]. Inner Mongolia Environmental Sciences, 2018,30(8):76,78.

[18] 赵宏波,李新宝,王冲,等.废弃钻井液固液分离-化学处理技术在长北气田的应用[J].石油钻探技术,2017,45(3):48-56.
ZHAO Hongbo, LI Xinbao, WANG Chong, et al. The application of solid liquid separation-chemistry processing technology for waste drilling fluid in the changbei gas field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2017,45(3):48-56.

(编辑 王跃伟)