

古浪 ZK301 孔工作区废弃钻井液无害化处理 技术研究与应用

刘昕伟¹, 张 军¹, 姚 尧¹, 李晓东^{2,3}, 彭博一^{2,3*}

(1. 甘肃煤田地质局一四五队, 甘肃 张掖 734000; 2. 北京探矿工程研究所, 北京 100083; 3. 中国地质调查局绿色钻探技术创新中心, 北京 100083)

摘要:废弃钻井液是地质钻探过程中产生的核心污染物,成分复杂且含钻屑、难降解有机物、各种化学处理剂等污染物,随意处置易引发土壤、水体及地下水生态污染。针对钻进过程中产生的各类废弃物无法有效处理而产生环境污染的问题,对废弃钻井液进行污染特性分析,采用“破胶+絮凝+脱色+固液分离”技术进行环保无害化处理,使得处理后的液相达到直接排放要求,分离出的泥饼固化处理达到建筑用材要求。并在古浪 ZK301 孔现场进行废浆无害化处理应用,验证该技术的可行性。为废弃钻井液无害化处理技术的升级迭代与规模化应用提供理论支撑和工程参考。

关键词:废弃钻井液;无害化处理;污染特性分析;破胶脱稳;絮凝沉降;吸附脱色;固液分离

中图分类号:P634.6 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2026)S1-0285-05

Research and application of harmless treatment technology for waste drilling fluid in the working area of Gulang ZK301 hole

LIU Xinwei¹, ZHANG Jun¹, YAO Yao¹, LI Xiaodong^{2,3}, PENG Boyi^{2,3*}

(1. 145 Brigade, Gansu Bureau of Coal Geology, Zhangye Gansu 734000, China; 2. Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China; 3. Technology Innovation Center of Green Drilling, China Geological Survey, Beijing 100083, China)

Abstract: Waste drilling fluid is a primary pollutant generated during geological drilling. It features complex compositions containing drill cuttings, refractory organic matter, various chemical additives and other contaminants. Improper disposal will easily cause ecological pollution to soil, surface water and groundwater. To address environmental pollution arising from inadequate treatment of diverse wastes produced in drilling operations, this paper analyzes the pollution characteristics of waste drilling fluid. A harmless environmental treatment process combining "gel breaking, flocculation, decolorization and solid-liquid separation" is adopted. After treatment, the liquid phase meets direct discharge standards, while the separated mud cake can be solidified to satisfy the specifications for construction materials. The harmless treatment technology for waste drilling fluid was applied on-site in Gulang ZK301 hole to verify its technical feasibility. This study provides theoretical support and engineering references for the upgrading, iteration and large-scale application of harmless treatment technologies for waste drilling fluid.

Key words: waste drilling fluid; harmless treatment; pollution characteristic analysis; gel breaking and destabilization; flocculation sedimentation; adsorption decolorization; solid-liquid separation

收稿日期:2026-06-30; 修回日期:2026-08-04 DOI:10.12143/j.ztgc.2026.S1.036

第一作者:刘昕伟,男,汉族,1986年生,高级工程师,探矿工程专业,主要从事钻探施工技术及管理工,甘肃省张掖市甘州区张火公路1公里处,851773779@qq.com。

通信作者:彭博一,男,布依族,1997年生,助理工程师,地质工程专业,硕士,从事钻井液技术研究与应用工作,北京市海淀区学院路29号,1520669660@qq.com。

引用格式:刘昕伟,张军,姚尧,等.古浪 ZK301 孔工作区废弃钻井液无害化处理技术研究与应用[J].钻探工程,2026,53(S1):285-289.

LIU Xinwei, ZHANG Jun, YAO Yao, et al. Research and application of harmless treatment technology for waste drilling fluid in the working area of Gulang ZK301 hole[J]. Drilling Engineering, 2026, 53(S1):285-289.

0 引言

钻井液作为钻探工程作业的“血液”,承担着冷却钻头、携带岩屑、稳定井壁、平衡地层压力等关键功能,废弃钻井液成分受钻井工艺、地层条件、处理剂类型影响显著,主要包含岩屑、黏土颗粒、化学处理剂、重金属离子、石油类化合物及难生化降解有机物^[1-3]。传统处置方式如露天晾晒、就地填埋等,易导致污染物渗漏扩散,破坏土壤结构、污染地表水与地下水,威胁生态环境安全。国内外学者针对废弃钻井液无害化处理开展了大量研究,形成了物理、化学、生物及组合集成四大技术体系^[4-5]。国外以热解析、回注地层等资源化技术为主,设备自动化程度高,但成本偏高;国内侧重固化稳定化、化学破胶等低成本技术的研发与应用,适配地质钻探规模化废浆处理需求^[6-8]。

随着绿色勘查理念在地质钻探技术领域的深入贯彻,“减量化、无害化、资源化”已成为废弃钻井液处置的硬性要求,研发高效、经济、适配性强的无害化处理技术成为行业迫切需求^[9-10]。随着绿色发展理念的提出以及生态文明建设的深入开展,行业对废弃钻井液的处理技术提出了更为严格的要求。废弃钻井液的排放涉及到地下水污染的风险评估、人类健康考量以及废弃物化学组分的环境风险研判^[11-12]。

1 废弃钻井液特性及组成

采取甘肃省古浪县 ZK301 孔双聚防塌钻井液

废浆(见图1),后续处理实验均以该样品为研究对象,针对该废弃钻井液开展破胶脱稳、絮凝沉降、吸附脱色和固化处理的技术研究,钻井液主要成分包括土粉、火碱、广谱护壁剂、高黏羧甲基纤维素、腐殖酸钾和改性沥青类等材料,废弃钻井液整体呈黑色,钻进过程中的钻井液性能为:密度 1.08~1.15 g/cm³,苏氏漏斗黏度 20~30 s,表观黏度 48 mPa·s,滤失量 20~30 mL,含砂量<4%。

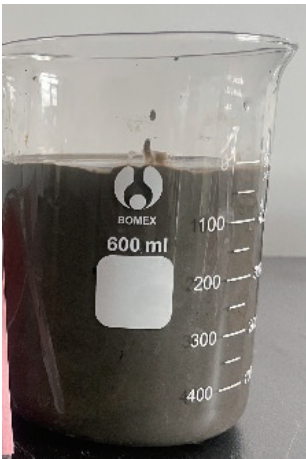


图1 未处理的双聚防塌钻井液废浆

完钻后的废弃钻井液中除含有膨润土及各种处理剂外,还有钻进过程中产生的大量泥岩和砂岩等岩屑,尤其泥岩中的黏土矿物颗粒细、胶体稳定性较高。对废弃钻井液进行污染特性分析,污染指标见表1。

表1 现场采取的废弃钻井液污染特性

指 标	测 试 项 目										
	外观形态	pH值	色度/ 倍	悬浮物/ (mg·L ⁻¹)	COD/ (mg·L ⁻¹)	BOD ₅ / (mg·L ⁻¹)	总汞/ (mg·L ⁻¹)	总镉/ (mg·L ⁻¹)	总铬/ (mg·L ⁻¹)	总砷/ (mg·L ⁻¹)	总铅/ (mg·L ⁻¹)
废弃钻井液	黑褐色不透	8	12000	24885	9721	1808	0.001	0.0011	0.181	0.0158	0.095
污染指标	明液体										
污水排放二	无色透明液	6~9	≤80	≤150	≤150	≤30	≤0.05	≤0.1	≤1.5	≤0.5	≤1.0
级标准	体										

从表1可以看出,废弃钻井液多项指标超过污水排放二级标准,由于ZK301孔位于村庄附近,废弃钻井液若直接填埋,不仅对周围环境造成污染,还会对人和牲畜的活动造成危险。其重金属含量低于排放标准,后续对其进行无害化处理。

2 室内研究

本次钻井液无害化处理的核心工艺是通过“破胶-絮凝-脱色-固液分离”流程实现污染物去除。首先投加破胶剂(铝盐、铁盐、过硫酸盐等),破坏钻井液中聚合物的胶体稳定性,使胶体颗粒脱稳;随后投加絮凝剂(聚丙烯酰胺PAM、硫酸铝等),使脱

稳颗粒聚集成大絮体;再经过深度吸附脱色处理,最后通过压滤机或离心机等设备实现固液分离,滤饼经固化处理后处置,滤液回收利用或达标排放。

2.1 破胶处理

钻井液胶体稳定性强,为了实现对废弃钻井液的无害化处理,加入合适的破胶处理剂。破胶剂用于破坏钻井液的胶体稳定性,便于固液分离,针对

ZK301 孔双聚防塌钻井液,室内选取了 5 种破胶剂 GPJ-1、GPJ-2、GPJ-3、GPJ-4、GPJ-5 进行破胶处理,具体方法是:量取 5 杯 400 mL 钻井液,分别以 50 r/min 的速率搅拌加入 2% 不同破胶剂,搅拌 5 min 后,静置观察浆液破胶情况,取破胶后分离的清液进行污染指标测试,见表 2。

表 2 不同破胶剂处理后废弃钻井液污染指标

破胶剂	外观形态	pH 值	色度/倍	悬浮物/(mg·L ⁻¹)	COD/(mg·L ⁻¹)	BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)
处理前	黑色废浆	8	12000	24885	9721	1808
GPJ-1	黑褐色浆液	6	2000	5541	4276	1588
GPJ-2	黑褐色浆液	6	2400	6140	5015	1642
GPJ-3	黑色浆液	6	3200	7080	5990	1651
GPJ-4	黑色浆液	6	3200	6311	4845	1633
GPJ-5	黑色浆液	7	3200	5980	5132	1599

实验结果表明,五种破胶剂中 GPJ-1 处理效果最佳,废浆的色度、悬浮物及 COD 均有明显的改善,因此优选破胶剂为 2% GPJ-1,以下实验中以该加量为最佳加量,开展后续絮凝实验。

2.2 絮凝处理

废弃钻井液中不仅有较细的岩屑等固相颗粒,还有活性固相颗粒,破胶清除污泥之后的钻井液污水中仍然悬浮着少量微小的胶态和固相颗粒、性质稳定的聚合长链大分子有机污染物等,具有较强的稳定胶体作用,即使经过破胶处理后依然无法实现自然沉淀。加入合适的高效破胶剂并搅拌,破胶剂

使胶体迅速脱稳,并使极小的固体颗粒和油类各自结合变大,而絮凝剂使固体颗粒进一步絮凝成絮状物再进行固液分离。

根据前期研究成果,本次絮凝剂的优选主要从材料的普适性、经济性等方面选取了三种有机高分子絮凝剂和无机高分子絮凝剂,分别为 GXN-1、GXN-2 和 PEO,在经过 2%GPJ-1 破胶处理后的双聚防塌钻井液废浆中加入 1% 的不同絮凝剂进行絮凝实验,观察絮凝状况以及分层后的液相状态,同时对絮凝处理后的浆液进行污染指标测试,见表 3。

表 3 不同絮凝剂处理后废弃钻井液污染指标

絮凝剂	外观形态	pH 值	色度/倍	悬浮物/(mg·L ⁻¹)	COD/(mg·L ⁻¹)	BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)
GXN-1	红色浆液	6	400	964	1750	315
GXN-2	红褐色浆液	6	800	1740	2011	519
PEO	褐色浆液	6	960	2080	2435	614

经过破胶-絮凝处理后,双聚防塌钻井液废浆污染指标有明显降低,处理效果良好,三种絮凝剂中 GXN-1 处理效果最佳,但色度、COD 及悬浮物等指标仍然严重超过国家相关污水排放标准,需要进行脱色处理。

2.3 脱色处理

经过破胶絮凝处理后,污染指标大幅度下降,后续进一步加入脱色剂进行脱色处理,降低各项污染指

标以达标排放。脱色剂经过前期调研选取 GAC 和 GAB,针对双聚防塌钻井液废浆,加入优选的 2% 破胶剂及 1% 絮凝剂进行破胶絮凝处理后,分别加入 1% 吸附脱色剂 GAB、GAC 进一步去除液相中的有色物质,经过脱色处理后的浆液再经过固液分离,对分离出的液相进行污染指标测试,结果见表 4。

经过 GAC 和 GAB 脱色处理后,污染指标均有改善,从实验结果可知 GAC 处理效果更优,且污染

表4 不同脱色剂处理后废弃钻井液污染指标

脱色剂	外观形态	pH值	色度/倍	悬浮物/(mg·L ⁻¹)	COD/(mg·L ⁻¹)	BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)
GAC	无色透明	6	32	60	139	17.3
GAB	无色透明	6	64	102	147	24

指标均达到排放标准。构建最终无害化处理配方为:2%破胶剂GPJ-1+1%絮凝剂GXN-1+1%脱色剂GAC。

废弃双聚钻井液经过破胶、絮凝、脱色处理后,各处理阶段的状态效果见图2。将各个阶段处理后浆液的各项污染指标测试结果汇总,见表5。

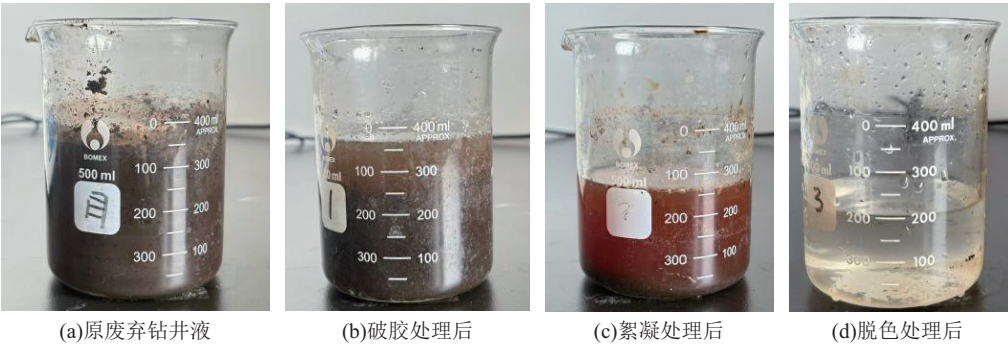


图2 各阶段处理后浆液效果

表5 废弃钻井液经无害化处理后各阶段污染指标

阶段	外观形态	色度/倍	悬浮物/(mg·L ⁻¹)	COD/(mg·L ⁻¹)	BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	pH值
处理前	黑褐色不透明	12000	24885	9721	1808	8
破胶处理	黄色液体	2000	5541	4276	1588	6
絮凝处理	黄色透明	400	964	1750	315	6
脱色处理	无色透明	32	60	139	17.3	6
排放标准	无色透明	≤80	≤150	≤150	≤30	6

由图2和表5可见,废弃钻井液经过破胶、絮凝、脱色处理后的污染指标均达到污水排放二级标准,构建废弃钻井液无害化处理体系配方:2%破胶剂GPJ-1+1%絮凝剂GXN-1+1%脱色剂GAC。

3 现场应用

ZK301孔工作区地处新堡子向斜北翼,整体呈近南北向倾伏的单斜构造。设计孔深500 m,终孔直径95 mm,岩心直径>60 mm,全孔取心,全孔岩心采取率≥75%,矿层岩心采取率≥90%。

ZK301现场所用钻井液含有沥青等深色材料,钻井液整体颜色为黑色,具体成分有黏土粉、纤维素、火碱、护壁剂、腐钾、改性沥青等。钻进过程中的钻井液性能为:密度1.08~1.15 g/cm³,苏氏漏斗黏度20~30 s,滤失量20~30 mL,含砂量<4%。完钻后的废弃钻井液中除含有膨润土及各种处理剂

外,还有钻进过程中产生的大量泥岩和砂岩等岩屑,尤其泥岩中的黏土矿物颗粒细、胶体稳定性强。

钻孔完工后剩余4~5 m³废弃钻井液。结合室内实验研究成果,对其进行无害化处理。

根据废弃钻井液配方及性能,采用配方2%破胶剂(GPJ-1)+1%絮凝剂(GXN-1)+1%脱色剂(GAC)对废浆进行化学处理。

通过在搅拌罐中注入1 m³废浆,利用加药装置实现化学处理剂的精准调控,并搅拌均匀。加入破胶剂、絮凝剂及脱色剂后,废浆出现明显破胶絮凝状态。对化学处理后的废浆进行压滤处理,隔膜压榨装置过滤压力参数设定为0.6~0.75 MPa,压滤压力参数设置为1.0 MPa,通过PLC实现自动化控制,实现过滤压滤与脱水干化全流程自动化,固液分离后的滤液为无色透明液体。固液分离后,打开滤板,取出压滤后的滤饼,并采集首层、中间层和末层

的滤饼样品。

为检测固液分离后的滤液环保指标,对现场一次压滤和二次压滤的滤液进行 pH 值对比分析,废浆处理前废浆呈现碱性,pH 值在 8 左右;处理后液相基本呈现中性,pH 值 6~7。对现场处理后的滤液样品进行色度、悬浮物、COD 及 pH 值室内测定,结果见表 6,均达到污水排放二级标准。使用水分分析仪对现场采取的滤饼进行分析,测定滤饼含水率,平均含水率 10.08%。

表 6 废弃钻井液处理前后污染指标对比

阶 段	外观形态	色度/倍	悬浮物/(mg·L ⁻¹)	COD/(mg·L ⁻¹)	BOD ₅ /(mg·L ⁻¹)	pH 值
处理前	黑色不透明	12000	24885	9721	1808	8
一次压滤处理后	无色透明	32	56	35	12	6
二次压滤处理后	无色透明	16	32	14	4	6
污水排放二级标准	无色透明	≤80	≤150	≤150	≤30	6~9

4 结 论

(1)地质钻探废弃钻井液因固相粒径微小、胶体结构稳定,常规处理难度较大。为此优选可协同发挥破胶、絮凝、脱色的复合药剂,研制适配现场工况的无害化处理技术,核心采用“化学破胶絮凝脱色-物理分离”的组合处理路线。

(2)针对古浪 ZK301 孔区双聚防塌钻井液开展无害化处理室内实验,采用处理配方为:2% 破胶剂 GPJ-1+1% 絮凝剂 GXN-1+1% 脱色剂 GAC,经过无害化技术处理,废弃钻井液分离出液相的 pH 值、色度、悬浮物、COD、BOD₅等污染指标均大幅降低,达到污水排放二级标准。

(3)将上述废弃钻井液无害化处理工艺投入现场工程应用后,处理成效显著。钻探废浆经此无害化处理工艺后各项指标均可满足污染物排放标准,实现现场废弃钻井液实时、高效处理,解决地质钻探废弃钻井液带来的生态环境污染问题。

参考文献:

[1] 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.

[2] 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.

[3] 徐安国,张忠亮,李小江,等.油田钻井废弃物处理研究概述[J].资源节约与环保,2020(10):91-93.

[4] 唐国旺,杨勇,邓强,等.微生物诱导碳酸镁沉淀固化钻屑试验研究[J].钻探工程,2024,51(3):76-83.

[5] 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.

[6] 王志宏,石昀,孙凤萍,等.钻井废弃物环保处理技术的研究与应用[J].当代化工,2022,51(11):2574-2578.

[7] 邵斌,兰军,赵双,等.水基钻井泥浆不落地技术改进及应用[J].化工管理,2023(23):147-150.

[8] 熊盼盼.油田钻井废弃物处理方法及再利用[J].资源节约与环保,2020(7):94.

[9] 渠洪杰,谭春亮,冉灵杰,等.面向新一轮找矿突破战略行动绿色勘查的钻探技术研发与应用建议[J].中国矿业,2024,33(10):246-256.

[10] 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.

[11] 王鹏,刘伟,张果.钻井液性能自动监测装置的现状 & 改进建议[J].钻采工艺,2022,45(3):42-47.

[12] 徐力,董怀荣.废弃钻井液深度净化技术研究[J].西部探矿工程,2014,26(2):64-68.

(编辑 王文)