

宁夏中卫市深井勘查区松散破碎地层冲洗液护壁技术方法

何玉云, 李园, 谢丰, 薛山江
(宁夏回族自治区核地质调查院, 宁夏银川 750021)

摘要:在宁夏中卫市深井勘查区煤炭资源勘探项目钻探施工初期,由于地层条件复杂,岩石松散破碎、漏失,钻孔护壁难度大,导致岩心采取率不达标,施工效率低、成本高,钻机台月效率仅为353 m/台月。通过分析勘查区岩土工程地质特征和岩石物理力学性质,调整了施工工艺和钻进参数,优化了冲洗液配方,采用了低固相聚合物成膜护壁冲洗液体系,改善了冲洗液护壁效果和护心效果,冲洗液滤失量由25 mL/30 min降为9 mL/30 min,降低64%;平均岩心采取率由53%提高至84.41%,提高31.41%;平均台月效率提高至757.87 m/台月,提高115%。后续施工的9个钻孔施工顺利,累计完成钻探进尺4774.6 m,对类似地区钻探施工提供了借鉴。

关键词:岩心钻探;松散破碎地层;成膜护壁冲洗液;孔壁保护

中图分类号:P634.6 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2026)03-0139-08

Drilling fluid wall protection technology for loose and fractured strata in the Shenjing exploration area in Zhongwei City, Ningxia

HE Yuyun, LI Yuan, XIE Feng, XUE Shanjiang
(Ningxia Nuclear Geological Survey Institute, Yinchuan Ningxia 750021, China)

Abstract: At the initial stage of drilling in the coal resource exploration project of the Shenjing exploration area in Zhongwei City, Ningxia, the complexity of the geological conditions, characterized by loose, fractured, and loss-prone strata, presented significant challenges in borehole wall stabilization. This led to substandard core recovery rates, reduced construction efficiency, and increased costs, with the drilling rig's monthly efficiency reaching only 353 m. By analyzing the geotechnical engineering characteristics and rock physical-mechanical properties of the exploration area, adjustments were made to the construction techniques and drilling parameters. The drilling fluid formula was optimized, and a low-solid-phase polymer film-forming wall stabilization drilling fluid system was adopted. These measures improved both the wall stabilization and core protection effectiveness of the drilling fluid. The filtration loss of the drilling fluid decreased from 25 mL/30 min to 9 mL/30 min, a reduction of 64%. The average core recovery rate increased from 53% to 84.41%, an improvement of 31.41%. The average monthly rig efficiency increased to 757.87 m, an increase of 115%. Subsequent construction of 9 boreholes proceeded smoothly, achieving a cumulative drilling footage of 4774.6 m. This experience provides a valuable reference for drilling in similar regions.

Key words: core drilling; loose and fractured strata; film-forming wall-protection drilling fluid; borehole wall protection

0 引言

孔壁不稳定和地层破碎问题相互交织,是钻探

施工中的常见难题。孔壁不稳定包括力学不稳定和水敏不稳定^[1]。力学不稳定地层具有胶结差或不

收稿日期:2025-09-16;修回日期:2026-02-04 DOI:10.12143/j.ztgc.2026.03.017

基金项目:2024年度宁夏回族自治区新一轮找矿突破战略行动项目(编号:SSGDZTB2024067)

第一作者:何玉云,男,回族,1985年生,高级工程师,地质工程专业,硕士,主要从事地质岩心钻探及冲洗液等方面的研究及管理工作,宁夏银川市西夏区贺兰山西路718号,heyuyun2010@126.com。

引用格式:何玉云,李园,谢丰,等.宁夏中卫市深井勘查区松散破碎地层冲洗液护壁技术方法[J].钻探工程,2026,53(3):139-146.

HE Yuyun, LI Yuan, XIE Feng, et al. Drilling fluid wall protection technology for loose and fractured strata in the Shenjing exploration area in Zhongwei City, Ningxia[J]. Drilling Engineering, 2026, 53(3):139-146.

胶结、松散、孔隙度大、稳定性差且透水性强的特点,钻进时孔壁极易坍塌。水敏不稳定地层含有大量亲水的黏土矿物,黏土矿物(如蒙脱石等)具有较强的吸水性,遇水后会发晶格扩张,导致地层体积膨胀,岩石强度因水的作用而降低,容易在地应力的作用下发生变形和破裂。另外,钻机的机械振动、冲击等作用会对地层产生扰动,使地层中的岩石产生微裂缝,增加岩石的破碎程度。对于水敏不稳定地层,岩石强度因水的作用而降低,施工扰动进一步破坏了岩石的完整性,从而促使掉块现象发生^[2-5]。

在宁夏中卫市深井勘查区煤炭资源勘探项目钻探施工初期,由于地层条件复杂,岩石松散破碎、漏失,钻孔护壁难度大,导致岩心采取率不达标,施工效率低、成本高,施工质量不能满足地质设计要求。

1 勘查区地层情况及施工难点

宁夏中卫市深井勘查区内大部分被第四系地

层覆盖,地表零星基岩出露。勘查区断裂构造发育,共分布22条不同类型的断层,地层松散破碎、胶结差,给保持孔壁稳定带来了一定的挑战。在S302钻孔施工过程中,因地层不稳定面临多重复杂情况。施工中钻遇冲洗液漏失、地层破碎、钻机回转阻力大、掉块卡钻、钻具断裂等问题,导致岩心采取率低、回次进尺短、钻探进度慢、成本高,严重影响施工质量与地质找矿效果。具体施工中,50~600 m孔段冲洗液漏失严重,最大漏失量达12 m³/h,多次出现失返现象;744~819 m段存在涌水,提钻时大量地下水涌出破坏冲洗液性能,孔壁养护困难。钻进至771 m处因上部地层掉块严重致钻具断裂,扫孔时拧管机损坏,检修后扫孔下钻,仍然在780 m处遇阻。经过79天反复处理,最终终孔孔深931.6 m,平均台月效率353 m/台月。具体地层特点及复杂情况见表1,岩心松散破碎情况如图1所示。

表1 S302钻孔地层特点及复杂情况

Table 1 Stratum characteristics and complexity of the Borehole S302

孔深/m	地 层 特 点	钻遇复杂情况	处 理 措 施	处 理 效 果
50~600	破碎、胶结差、裂隙发育	漏失、岩心采取率低	锯末堵漏	效果不佳、进度慢
744~819	地层水压力高	涌水、冲洗液维护困难	重晶石粉平衡地层压力	效果不佳、进度慢
819~931.6	破碎、易坍塌	掉块、卡钻、进度缓慢	增加冲洗液黏度	效果不佳、进度慢



(a)松散破碎的岩心



(b)未胶结岩心

图1 松散破碎的岩心

Fig.1 Loose and fragmented cores

从图1中可以看出,勘查区地层松散破碎,胶结差,地层非常容易受到冲洗液的冲刷,如果冲洗液使用不当,容易造成岩心因冲刷而丢失,导致岩心采取率很难达到设计要求,进而影响钻探施工质量。另一方面,如果钻开的地层孔壁得不到及时保护,在冲洗液的冲刷作用下,孔壁容易形成“大肚子”,甚至发生掉块坍塌,如果提钻速度控制不合理,容易产生抽吸作用,造成孔内地层压力变化,导致埋钻等孔内事故的发生。

2 勘查区岩土工程性质分析

为了解决上述技术难题,根据邻孔资料,对勘查区岩土工程地质特征和煤层顶底板岩石物理力学性质进行了分析研究,根据分析结果对钻探工艺参数和冲洗液配方进行了优化调整。

2.1 勘查区岩土工程地质特征

依据工程地质特征,勘查区岩(土)体可划分为3大岩类7个岩(层)组,见表2。

表 2 岩土工程地质分类

Table 2 Engineering geological classification of the rock and soils

工程地质分类	岩 层 组	主 要 分 布 空 间	岩体结构
松散岩类	松散砂层组	分布于地表,以风积砂为主	散体结构
	土层组	分布于全勘查区,包括粉土、砂土及黏土	
	砾石、半胶结砂岩组	新近系底部全部分布	碎裂结构
	风化岩组	直罗组地层,基岩顶部 60 m 左右	
软弱岩类	煤层组	煤层及其顶底板的泥岩及炭质泥岩	层状结构
	粉砂岩、泥岩互层岩组	延安组的非煤层顶底板的砂泥岩	
中硬岩类	砂岩及灰岩组	侏罗系延安组的砂岩	块状结构

勘查区岩土层组可分为 6 大类。包括稳定性差的松散砂层组,浸水易失稳的土层组,半胶结稳定性差的砂砾石层,力学强度低的风化岩组,遇水易泥化、崩解的煤、泥岩、薄层粉砂岩互层岩组及易碎裂、崩塌的砂岩组。整体上,不同岩层都不同程度的存在不利于孔壁稳定的因素,在钻探施工过程中需要加以防范。

2.2 煤层顶底板岩石物理力学性质

根据测试结果,可采煤层顶底板的岩石物理力学性质如下。

2.2.1 岩石真密度、视密度

测试成果见表 3。勘查区煤层顶底板岩石的真密度为 2.64~2.69 g/cm³,平均为 2.67 g/cm³;视密度为 2.18~2.50 g/cm³,平均为 2.4 g/cm³。真、视密度值存在一定差别,说明岩石的孔隙、裂隙较发育,不利于孔壁稳定。

表 3 煤层顶底板岩石真密度、视密度测试结果

Table 3 Test results of true density and apparent density of rocks in the coal seam roof and floor

岩 性	平均真密度/ (g·cm ⁻³)	平均视密度/ (g·cm ⁻³)
泥质岩	2.67	2.50
泥质粉砂岩	2.68	2.49
细粒砂岩	2.69	2.47
中粒砂岩	2.66	2.18
粗粒砂岩	2.64	2.36

2.2.2 岩石孔隙率

勘查区主要可采煤层顶底板岩石孔隙率测试结果见表 4。勘查区内中粒砂岩岩石孔隙率平均值最大,为 14.26%,其次为粗粒砂岩、细粒砂岩、泥质粉砂岩,泥岩孔隙率最小,为 6.62%,泥岩中的黏土

遇水膨胀易缩径。整体上,高孔隙率岩石易被流体渗透冲刷,低孔隙率泥质岩易水化膨胀,均会破坏孔壁稳定,需优化冲洗液、调整钻进工艺应对。

表 4 可采煤层顶底板各种岩石孔隙率

Table 4 Porosity of various rocks in the roof and floor of mined-out coal seams

岩 性	孔隙率平均值/%
泥质岩	6.62
泥质粉砂岩	8.41
细粒砂岩	8.87
中粒砂岩	14.26
粗粒砂岩	12.11

2.2.3 岩石软化系数

软化系数反映岩石遇水强度衰减程度,勘查区岩石软化系数 0.13~0.66(均<0.75),表明遇水易软化。中、粗粒砂岩软化系数略高,遇水强度衰减相对较慢;粉砂岩及泥岩软化系数低,遇水后抗压强度大幅下降,软化性强。流体渗入孔壁使岩石饱和,强度按软化系数比例降低,尤其泥岩类易因软化膨胀导致孔壁缩径,砂岩则因强度衰减易发生剪切破坏或坍塌,显著降低孔壁稳定性。

2.2.4 岩石的吸水率和孔隙率

勘查区顶底板岩石吸水率 0.93%~3.23%(平均 2.14%),泥岩和粗粒砂岩吸水性强,粗粒砂岩孔隙率达 7.0%~14.0%(平均 9.40%),孔裂隙多且开放。泥岩因强吸水性和黏土成分遇水膨胀,引发孔壁坍塌或缩径,需注意防渗透与抑制膨胀^[6-9]。

2.2.5 岩石的强度特征

岩石强度特征是指岩石承受各种压力而不被破坏的能力特性。根据分析测试结果,勘查区可采

煤层顶底板岩性强度差异显著。天然、干燥、饱和状态下均以细粒砂岩抗压强度最高,饱和状态强度普遍降低,总体属软弱一半坚硬岩类。抗拉强度细粒砂岩最优,粗粒砂岩最低,后者易掉块。抗剪强度0.28~3.65 MPa,泥岩类易剪切滑移坍塌,强度突变处易应力集中失稳。

3 钻探施工技术措施

勘查区松散、胶结差的地质状况,在钻进过程中易引发孔壁坍塌、钻具卡阻等问题,对于取心作业,难以获取完整岩心,极大增加了取心难度与成本,给正常钻进及取心工作带来了严峻挑战^[10-12]。为了解决上述难题,主要采取了以下技术措施。

3.1 控制抽吸压力,减少机械扰动

提钻速度与抽吸压力之间存在着密切的关系。提钻时,钻杆内的冲洗液会随着钻杆向上运动,由于冲洗液具有一定的黏滞性和惯性,以及孔壁对冲洗液的吸附作用等,使得冲洗液不能及时填补钻杆提升后留下的空间,从而在钻杆内和环空中形成局部的低压区,即产生抽吸压力^[13-15]。

抽吸压力可以通过以下经验公式进行估算:

$$P_s = \frac{\rho \nu^2}{2g} \left(\frac{A_p}{A_a} \right)^2$$

式中: P_s ——抽吸压力,Pa; ρ ——冲洗液密度,kg/m³; ν ——钻杆提升速度,m/s; g ——重力加速度,9.8 m/s²; A_p ——钻杆横截面积,m²; A_a ——钻杆和孔壁之间环空横截面积,m²。

较小的环空意味着冲洗液在环空中的流动空

间有限,提钻时更容易形成堵塞和压力波动,从而产生较大的抽吸压力。而较大的环空则相对有利于冲洗液的流动,可在一定程度上减小抽吸压力^[16-17]。在保证孔壁稳定和防止地层流体侵入的前提下,尽量采用较低密度的冲洗液^[18-19]。钻孔缩径会导致环空变小,冲洗液流动阻力增大,从而增加抽吸压力^[20],因此,在保证孔壁安全的前提下,提钻速度一般控制在0.3~0.5 m/s较为合适。

为避免孔内掉块和形成的孔眼不规则,需要合理控制钻进参数,建议钻压控制在5~10 kN,且保持均匀。转速宜低,控制在100~300 r/min,泵量控制在200~250 L/min,并保持稳定。

3.2 改进冲洗液配方,减少水敏作用

施工初期采用普通低固相冲洗液,冲洗液滤失量>25 mL/30 min,加之孔内漏失,冲洗液维护困难,导致孔壁失稳,多次出现孔内复杂情况。为了解决上述问题,引进了北京探矿工程研究所研制的低固相聚合物成膜护壁冲洗液体系,该体系在室内实验的基础上,通过分析研究勘查区地层特点,筛选出2组适合该勘查区施工需求的低固相聚合物成膜护壁冲洗液配方。

配方1:淡水+2% 钠膨润土+0.5% 降失水剂(GPNH)+0.8% 接枝淀粉(GSTP)+0.4% 增黏剂GTQ+0.2% 包被剂GBBJ。

配方2:淡水+4% 钠膨润土+1% 降失水剂(GPNH)+0.5% 接枝淀粉(GSTP)+0.2% 增黏剂GTQ+0.1% 包被剂GBBJ。

冲洗液具体性能参数见表5。

表5 低固相聚合物成膜护壁冲洗液性能参数

Table 5 Performance parameters of the low-solid-phase polymer film-forming drilling fluid

冲洗液配方		密度/(g·cm ⁻³)	漏斗黏度/s	滤失量/(mL·30 min ⁻¹)	pH	相对膨胀降低率/%	泥皮厚度/mm
配方1	陈化前	1.01	25.88	9.5	8	84.50	0.8
	陈化后	1.01	23.25	10	8		0.8
配方2	陈化前	1.03	29.63	10.5	8	83.10	1
	陈化后	1.03	22.34	13	8		1

为了便于现场操作,可根据地层变化情况调整不同处理剂加量,具体加量范围:淡水+2%~4% 钠膨润土+0.5%~1% 降失水剂(GPNH)+0.5%~0.8% 接枝淀粉(GSTP)+0.2%~0.5% 增黏剂GTQ+0.1%~0.2% 包被剂GBBJ。改进前后冲洗

液性能对比见表6。

根据实验结果,优化后的低固相聚合物成膜护壁冲洗液可以形成厚度0.8~1 mm薄而致密的泥皮,滤失量9.5~10.5 mL/30 min,可以有效减少冲洗液中的水分向水敏地层(如延安组泥岩)的浸入。冲洗

表 6 改进前后冲洗液性能参数对比

Table 6 Comparison of the drilling fluid performance parameters before and after improvement

冲 洗 液 类 型	密度/(g·cm ⁻³)	漏斗黏度/s	滤失量/[mL·(30 min) ⁻¹]	pH	相对膨胀降低率/%	泥皮厚度/mm
普通低固相冲洗液	1.12	40.12	25	8	30.50	2.5
低固相聚合物成膜护壁冲洗液	1.01~1.03	25~30	9.5~10.5	8	83~85	0.8~1

液的相对膨胀降低率 83%~85%,可以大幅抑制含煤地层中泥岩、炭质泥岩的水化膨胀与剥落。

配制低固相聚合物成膜护壁冲洗液时,膨润土需充分预水化后再添加其他材料,确保性能达标。针对水敏性泥岩地层,增加降失水剂(GPNH)用量,加入包被剂抑制岩屑分散,为避免缩径和卡钻风险,漏斗黏度保持在 26 s 以上,滤失量控制在 10 mL/30 min 以下;砂岩地层需增配降失水与封堵材料,形成薄韧泥皮以增强封堵防漏效果。破碎裂隙地层应加随钻堵漏剂,强化胶结封堵性能;低强度煤层尤其是长段 6 煤地层,可提高增黏剂 GTQ 加量至 0.4%~0.5%,提高冲洗液黏度减少冲刷,黏度控制在 30~35 s 之间,必要时加重晶石提密度至 1.05~1.1 g/cm³,平衡坍塌压力保障孔壁稳定。

4 研究成果应用情况

通过调整施工工艺和冲洗液配方,改善了钻孔孔壁稳定性,对松散破碎、胶结差的地层和岩心起到了很好的保护效果。低固相聚合物成膜冲洗液体系护心护壁效果如图 2 所示。

由图 2 可见,采用低固相聚合物成膜护壁冲洗液后,岩心表面形成薄而致密的保护膜,滤失量可控,水分浸入岩心仅约 1 mm,避免了岩心水敏松散破碎;孔壁亦形成厚度合理的致密泥皮,无缩径现象,大幅提升了岩心采取质量及地质找矿效果。

4.1 岩心采取率

前期在 S302 孔施工过程中,由于地层松散破碎,孔壁失稳,岩心管堵塞等原因,导致岩心采取率偏低,通过优化钻进参数和调整冲洗液配方等,岩心采取率明显改善,后续完成的 9 个钻孔平均岩心采取率由 53% 提高至 84.41%,显著改善了施工质量和找矿效果。具体岩心采取率见表 7。

4.2 台月效率

通过优化冲洗液参数和性能,冲洗液护壁性能和携渣能力大幅提升,钻具与孔壁的摩擦显著降低,



(a)薄而致密的泥皮



(b)优化后取到的完整岩心

图 2 低固相聚合物成膜冲洗液体系护心护壁效果
Fig.2 Core and borehole wall protection effect of the low-solid-phase polymer film-forming drilling fluid system

排渣更为顺畅,单回次进尺由不足 1 m 提高到 3 m 以上。平均台月效率由 353 m/台月提升至 757.87 m/台月,施工效率明显提高,具体施工效率见表 8。

4.3 经济效益与生态环境保护效益

通过改进施工工艺和冲洗液配方,钻探施工效率大幅提升,一方面缩短了施工周期,另一方面减少了柴油、冲洗液助剂等材料的使用量,降低钻探成本的同时,减少了二氧化碳等有害气体的排放,减少了废弃冲洗液产生量,降低了对勘查区生态环境的污染和破坏。钻探施工成本统计分析见表 9。

改进冲洗液配方后,冲洗液参数合理,性能稳定,泥浆泵工作正常,孔壁稳定,平均冲洗液材料使用成本由 162.81 元/m 降为 81.35 元/m,降低 50%,综合钻探成本降低 48.66%。根据绿色勘查方案,对

表 7 优化后钻孔岩心采取率
Table 7 Core recovery rate of the boreholes after optimization

孔 号	松散岩层	非含煤地层		含煤地层		质量级别
	设计要求采取率/%	设计要求采取率/%	实际采取率/%	设计要求采取率/%	实际采取率/%	
KT101	不做要求	60 甲/50 乙		70 甲/60 乙	86.80	甲
KT203	不做要求	60 甲/50 乙		70 甲/60 乙	87.10	甲
KT204	不做要求	60 甲/50 乙		70 甲/60 乙	84.07	甲
KT205	不做要求	60 甲/50 乙		70 甲/60 乙	86.90	甲
KT302	不做要求	60 甲/50 乙		70 甲/60 乙	87.46	甲
KT303	不做要求	60 甲/50 乙		70 甲/60 乙	89.30	甲
KT402	不做要求	60 甲/50 乙		70 甲/60 乙	78.11	甲
KT502	不做要求	60 甲/50 乙		70 甲/60 乙	85.02	甲
110	不做要求	60 甲/50 乙		70 甲/60 乙	73.89	甲

表 8 优化后钻孔施工效率
Table 8 Construction efficiency of the boreholes after optimization

孔号	设计孔深/m	终孔孔深/m	施工天数/d	平均台月效率/(m·台月 ⁻¹)
KT101	520	538.87	26	621.77
KT203	470	505.10	22	688.77
KT204	532	537.12	24	671.40
KT205	608	620.81	23	809.75
KT302	476	493.89	21	705.56
KT303	560	561.77	20	842.66
KT402	525	454.85	17	802.68
KT502	670	649.88	17	1146.85
110	380	412.31	19	651.02
合计	4741	4774.6	189	757.87

表 9 钻探成本统计分析
Table 9 The drilling costs statistical analysis

孔号	孔深/m	施工天 数/d	柴油费/ 元	水费/元	人工费/元	冲洗液材 料费/元	钻头及钻 具费/元	其它材 料费/元	综合成 本/元	钻探单位成 本/(元·m ⁻¹)
S302	931.60	79	79200	69700	323000	151580	97528	23900	744908	800.12
KT101	538.87	26	23000	28500	10660	44320	37500	15650	156630	410.75
KT203	505.10	22	21350	24360	90200	41380	37150	14650	226090	
KT204	537.12	24	22300	27650	98400	44100	37850	13250	240550	
KT205	620.81	23	24560	28650	94300	48530	39750	14350	247140	
KT302	493.89	21	22650	27430	96100	39500	36200	13260	232140	
KT303	561.77	20	21450	25390	82000	41360	35500	13630	216330	
KT402	454.85	17	16580	24540	69700	40560	32300	14300	194980	
KT502	649.88	17	16590	27300	69700	46520	32300	15650	205060	
110	412.31	19	17260	21540	77900	35200	32850	8500	190250	

产生的废弃冲洗液进行了就地固化处理,固化后的
固体废弃物经专业固废企业回收处理,并委托专业

绿化企业对钻探施工场地进行了复垦复绿(图 3)。
节约钻探成本的同时,减少了对勘查区生态环境的

破坏与污染,提升了地质找矿效果,增加了经济效益与生态环境保护效益。



图3 钻探施工场地复垦复绿

Fig.3 Reclamation and revegetation of the drilling construction site

5 结论与建议

针对破碎地层施工难题,通过优化钻进参数、管控提下钻速度,减少抽吸与孔壁刮擦;同时改进冲洗液配方,降低滤失量、提升冲洗液相对膨胀降低率,强化护壁护心效果。孔壁稳定性显著改善,岩心采取率由53%提升至84.41%,钻机台月效率提高至757.87 m,降低了钻探成本,增加了经济效益与生态环境保护效益,为类似地层钻探施工提供了借鉴经验。

(1)钻探施工前,建议充分收集勘查区或邻孔地层资料,为冲洗液选型及使用提供依据,避免冲洗液选型不当影响施工质量。

(2)选择合理的冲洗液体系,可显著改善松散破碎地层孔壁稳定性,提高施工质量和找矿效果。

(3)现有钻探设备自动化、净化能力不足,易造成冲洗液浪费与成本增加,影响施工效率。建议依托国家找矿突破战略行动,升级冲洗液循环净化及无害化处理设备,提升钻探装备智能化水平,降低能耗与劳动强度。

参考文献(References):

- [1] 丁宁宁,马天捧,姚雷,等.粉煤地层绳索取心钻进孔壁坍塌分析及处理[J].钻探工程,2024,51(2):127-132.
DING Ningning, MA Tianpeng, YAO Lei, et al. Analysis and treatment of hole wall collapse of wire-line core drilling in pulverized coal strata[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(2): 127-132.
- [2] 袁青松,汪超,刘艳杰,等.中牟页岩气区块泥页岩井壁稳定影响因素分析及技术对策[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2018,45(11):12-18.
YUAN Qingsong, WANG Chao, LIU Yanjie, et al. Analysis on the influence factors to mud shale borehole stability in Zhongmu shale gas block and the technical countermeasures[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(11): 12-18.
- [3] 孔令镨,王瑜,刘宝林,等.易坍塌地层双管水平定向钻进工艺研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(2):9-16.
KONG Lingrong, WANG Yu, LIU Baolin, et al. Dual rod horizontal directional drilling technology in collapsible formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(2): 9-16.
- [4] 梁涛,杨甘生,雷静.中间主应力对垂直井壁坍塌压力的影响[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(4):11-15.
LIANG Tao, YANG Gansheng, LEI Jing. Effect of intermediate principal stress on the wall collapsing pressure of vertical wellbore[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(4): 11-15.
- [5] 丁立钦,王志乔,王瑜,等.层理性地层钻井稳定性分析模型[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(3):1-9.
DING Liqin, WANG Zhiqiao, WANG Yu, et al. Analysis model of borehole stability in bedding formations[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(3): 1-9.
- [6] 兰凯,刘明国,晁文学.横观各向同性水敏性地层斜井眼坍塌压力确定[J].吉林大学学报(地球科学版),2015(1):198-206.
LAN Kai, LIU Mingguo, CHAO Wenxue. Determination of collapse pressure for deviated wellbore in transversely isotropic water-sensitive formation[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2015(1): 198-206.
- [7] 李亮.平邑石膏矿坍塌事故救援成功后的几点思考[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(10):281-286.
LI Liang. Discussion of Pingyi Gypsum Mine collapse accident rescue[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(10): 281-286.
- [8] 宋世杰,陈师逊,杨芳.三山岛海上金矿勘查工程ZK3410孔坍塌原因与处理[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(2):26-28,32.
SONG Shijie, CHEN Shixun, YANG Fang. Analysis on the collapse causes of ZK3410 hole in Sanshandao offshore gold exploration project and the treatment[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(2): 26-28, 32.
- [9] 鄒捷年.钻井液工艺学[M].东营:石油大学出版社,2001.
YAN Jienian. Drilling Fluid Technology[M]. Dongying: Petroleum University Press, 2001.
- [10] 甘心,殷琨,殷其雷,等.空气反循环钻头井底流场分析及结构

- 优化[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2016(1):187-194.
- GAN Xin, YIN Kun, YIN Qilei, et al. Analysis on the bottomhole flow field and structural optimization of air reverse circulation drill bit[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2016(1):187-194.
- [11] 吴纪修, 尚玉虎, 李鑫森, 等. 羌塘盆地岩石物理力学特性分析及孔壁泥浆稳定技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018, 45(3):9-13.
- WU Jixiu, SHANG Yuhu, LI Xinmiao, et al. Analysis on rock physical and mechanical properties and the mud stability technology for borehole wall in Qiangtang Basin[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018, 45(3):9-13.
- [12] 张培丰. 深孔岩心钻探问题探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(8):6-11.
- ZHANG Peifeng. Analysis on deep-hole geological core drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011, 38(8):6-11.
- [13] 孔二伟, 王利锋, 韩子辰, 等. 裂缝型漏失地层钻井液防漏堵漏数值模拟研究[J]. 钻探工程, 2025, 52(4):46-53.
- KONG Erwei, WANG Lifeng, HAN Zichen, et al. Numerical simulation study on leakage prevention and sealing of fractured formation drilling fluids[J]. Drilling Engineering, 2025, 52(4):46-53.
- [14] 杨斌, 许成元, 张浩, 等. 深部破碎地层井壁失稳机理研究进展与攻关对策[J]. 石油学报, 2024, 45(5):875-888.
- YANG Bin, XU Chengyuan, ZHANG Hao, et al. Research progress on mechanism of wellbore instability in deep fractured formations and related countermeasures[J]. Acta Petrolei Sinica, 2024, 45(5):875-888.
- [15] 叶成, 任涛, 尹泽斌, 等. 准噶尔南缘冲断带破碎地层井壁稳定性机理[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2023, 45(6):95-103.
- YE Cheng, REN Tao, YIN Zebin, et al. Wellbore stability mechanism of fractured formation in the thrust belt of southern margin of Junggar Basin[J]. Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2023, 45(6):95-103.
- [16] 侯贺晟, 王成善, 张交东, 等. 松辽盆地大陆深部科学钻探地球科学研究进展[J]. 中国地质, 2018, 45(4):641-657.
- HOU Hesheng, WANG Chengshan, ZHANG Jiaodong, et al. Deep Continental Scientific Drilling Engineering in Songliao Basin: Progress in earth science research[J]. Geology in China, 2018, 45(4):641-657.
- [17] 孙金声, 白英睿, 程荣超, 等. 裂缝性恶性井漏地层堵漏技术研究进展与展望[J]. 石油勘探与开发, 2021, 48(3):630-638.
- SUN Jinsheng, BAI Yingrui, CHENG Rongchao, et al. Research progress and prospect of plugging technologies for fractured formation with severe lost circulation[J]. Petroleum Exploration and Development, 2021, 48(3):630-638.
- [18] 杨现禹, 蔡记华, 蒋国盛, 等. 钻井液水活度对页岩井壁稳定性影响的实验研究——以秀山龙马溪组页岩为例[J]. 钻探工程, 2022, 49(3):1-12.
- YANG Xianyu, CAI Jihua, JIANG Guosheng, et al. Experimental study on the effect of water activity of drilling fluid on shale wellbore stability—Taking Xiushan Longmaxi Shale as an example[J]. Drilling Engineering, 2022, 49(3):1-12.
- [19] 胡继良, 陶士先, 纪卫军. 破碎地层孔壁稳定技术的探讨与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(9):30-32, 64.
- HU Jiliang, TAO Shixian, JI Weijun. Discussion of borehole wall stability technology in broken formation and the practice[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011, 38(9):30-32, 64.
- [20] 王方博. 川西海相破碎地层防塌钻井液技术研究及应用[J]. 钻探工程, 2021, 48(9):55-64.
- WANG Fangbo. Application of anti-collapse drilling fluid technology in marine broken formation in western Sichuan[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(9):55-64.

(编辑 王文)