

FCM 新型环保成膜冲洗液在西藏依拉山地区 强分散易剥落地层的应用

孙昌伟^{1,2}, 廖麟祥^{1*}, 曹灶开¹, 涂晓彬¹, 汪 强¹

(1. 中国地质调查局军民融合地质调查中心, 四川 成都 610036; 2. 成都理工大学地球科学学院, 四川 成都 610059)

摘要: 西藏依拉山地区地质条件复杂, 存在大量强分散易剥落的水敏性地层。地层主要为蛇纹石化、水镁石化和磁铁矿化的蚀变超基性岩, 其中蛇纹石含量高达63%~84.4%、水镁石含量达13.7%~36.3%, 蚀变带反复出现, 其厚度达上百米, 钻探施工中频繁遇到孔壁坍塌、钻孔缩径、卡钻埋钻、成孔率低等问题, 导致孔内事故频发, 严重影响钻进效率。本文在岩石矿物成分分析的基础上, 分析总结此类强分散易剥落地层对钻探施工的影响原因; 通过对比分析传统PHP冲洗液、低固相防塌冲洗液和FCM环保成膜冲洗液的性能及现场使用效果, 优选出适合该地层施工的环保成膜冲洗液体系, 并在4个钻孔成功应用, 有效提升了钻探效率, 取得了良好的应用效果。同时结合工程实践, 总结了针对该强分散易剥落地层的跟管扩孔、冲洗液固相控制等钻探施工技术, 为此类地层施工提供参考。

关键词: 水敏性地层; 分散剥落; 成膜冲洗液; 固相控制; 跟管扩孔

中图分类号: P634.6 **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2026)S1-0302-09

Application of FCM new environmentally friendly film-forming drilling fluid in highly dispersive and easily sloughing strata in the Yila Mountain area of Xizang

SUN Changwei^{1,2}, LIAO Linxiang^{1*}, CAO Zaokai¹, TU Xiaobin¹, WANG Qiang¹

(1. Civil-Military Integration Geological Survey Center, China Geological Survey, Chengdu Sichuan 610036, China; 2. School of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China)

Abstract: The Yila Mountain area in Xizang has complex geological conditions with extensive water-sensitive formations characterized by strong dispersion and sloughing. The strata primarily consist of altered ultramafic rocks with serpentinization, hydrotalcitization, and magnetitization, among which the serpentine content ranges from 63% to 84.4%, while the hydrotalcite content varies between 13.7% and 36.3%. The alteration zones occur repeatedly with thicknesses reaching hundreds of meters. During drilling operations, frequent issues happen such as borehole wall collapse, borehole shrinkage, sticking and burial of drilling strings, and low borehole completion rates, leading to frequent downhole accidents and severely affecting the drilling efficiency. Based on the analysis of rock and mineral composition, this paper examines and summarizes the impact of such highly dispersible and easily sloughing strata on drilling operations. Through comparative analysis of the performance and on-site application effects of traditional PHP drilling fluid, low-solid anti-collapse drilling fluid, and the FCM environmentally friendly film-forming drilling fluid, an optimal environmentally friendly film-forming

收稿日期: 2026-01-04; 修回日期: 2026-03-30; DOI: 10.12143/j.ztgc.2026.S1.039

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目(编号: DD20240207203)

第一作者: 孙昌伟, 男, 汉族, 1990年生, 工程师, 勘查技术与工程专业, 主要从事钻探施工管理及技术研究工作, 四川省成都市金牛区茶店子路399号, 707354930@qq.com。

通信作者: 廖麟祥, 男, 汉族, 1982年生, 工程师, 探矿工程专业, 主要从事钻探技术研究与管理工作, 四川省成都市金牛区茶店子路399号, 2135240640@qq.com。

引用格式: 孙昌伟, 廖麟祥, 曹灶开, 等. FCM 新型环保成膜冲洗液在西藏依拉山地区强分散易剥落地层的应用[J]. 钻探工程, 2026, 53(S1): 302-310.

SUN Changwei, LIAO Linxiang, CAO Zaokai, et al. Application of FCM new environmentally friendly film-forming drilling fluid in highly dispersive and easily sloughing strata in the Yila Mountain area of Xizang[J]. Drilling Engineering, 2026, 53(S1): 302-310.

drilling fluid system suitable for such strata was selected and successfully applied in four boreholes. This effectively improved drilling efficiency and yielded favorable application results. Additionally, combined with engineering practice, drilling techniques such as casing while drilling for reaming and drilling fluid solid-phase control tailored to such highly dispersible and easily sloughing strata were summarized, providing references for similar strata construction.

Key words: water-sensitive formation; dispersion and sloughing; film-forming drilling fluid; solid-phase control; casing while drilling for reaming

0 引言

依拉山地区位于西藏自治区藏北高原,区域矿产资源丰富,主要类型有铁、铬、铅、锌、铜、金、镍及与铬铁矿伴生的铂族元素等金属矿产,其广泛分布的超基性岩体是极为有利的重点矿产找矿突破潜力区,随着新一轮找矿突破战略行动实施,近年来投入的钻探工作量逐步增加。然而区域内的超基性岩体蚀变极为强烈,普遍蛇纹石化,并发育较多裂隙和节理,属于易分散剥落的严重水敏性地层,钻探施工中极易造成孔壁坍塌、卡钻埋钻、钻孔缩径等问题,导致事故频发,甚至钻孔报废。2025年在该地区钻探实践中,采取套管护壁、水解聚丙烯酰胺(PHP)冲洗液护壁、低固相防塌冲洗液护壁和跟管钻进等措施,仍无法有效解决孔壁坍塌问题,严重影响施工效率。针对该地区钻探施工遇到的难题,本文通过开展岩心矿物成分分析,研究孔壁坍塌的原因,并对比优选环保成膜冲洗液加以应用,有效解决了该水敏性地层钻探施工效率低的问题。

1 工程地质概况

项目组2025年在依拉山地区开展靶区查证工作,设计6个钻孔共1200 m,单孔设计孔深200 m。考虑钻机施工能力、搬迁安装效率和施工成本,主要采用XZCR-N18A型履带式模块化钻机(钻进能力为:NTW 800 m、HTW 600 m),配备HTW、NTW绳索取心钻具、钻杆,以及HW套管等主要机具,施工现场见图1。

依拉山地区位于北部羌塘-三江复合板片与南部冈底斯-念青唐古拉板片两个构造单元之间的班公湖-怒江缝合带中段,区域构造活动强烈,地层裂隙和节理发育。区域出露地层主要为侏罗系木嘎岗日岩群板岩、页岩、细砂岩,上侏罗统沙木罗组碎屑岩、碳酸盐岩,古近系牛堡组碎屑岩、砂岩、细砾岩;超基性岩出露较为广泛,岩性主要有斜辉辉橄岩、斜辉橄榄岩、单辉橄榄岩、橄榄辉长岩及少量纯橄岩。施工区



图1 施工现场

块主要涉及超基性岩体,蚀变极为强烈,普遍蛇纹石化,地表岩石与钻孔岩心均见强烈蚀变(图2);受缝合带的断裂活动影响,地表出露的岩石较破碎。



(a)地表出露的蚀变岩石



(b)钻孔采取的蚀变岩心

图2 蚀变岩石

在项目实施初期,采用传统的膨润土+聚丙烯酰胺冲洗液施工,因工作区存在数层大厚度蛇纹石化、水镁石化的强烈蚀变地层,导致孔壁岩石吸水

后分散剥落,频繁发生孔壁坍塌与卡钻事故,形成“大肚子”现象,造成憋泵、负荷增大、起下钻遇阻、钻具不到底、钻具卡死、泥皮较厚以及内管投送与打捞困难等一系列问题,尤其是使用这种小型模块化钻机,在扭矩、提升力、泵量及动力等能力较弱的情况下,处理事故的难度明显增加。施工的第一个钻孔(原ZK2101)从8 m处开始,出现负荷增大、憋钻等现象,遇到起钻遇卡、下钻遇阻、泵压升高与憋泵,同时发生3次卡钻事故,经过多次扫孔后钻具才到位,判断发生缩径卡钻和坍塌;钻进至66.77 m处,孔内出现严重坍塌,采取单管钻头扩孔下套管的方法处理,但扩孔过程中依然出现扭矩负荷较大、憋钻严重甚至卡死的现象,起钻与下管困难,套管不能到底,达不到隔离坍塌层的效果,最终导致钻孔报废。在后续的ZK001、ZK201钻孔施工中,采取防塌冲洗液护壁+跟管钻进与下套管的措施处理,虽然能够勉强下入套管隔离,保障施工至终孔,但是依然频繁出现坍塌、卡钻事故,加之跟管施工导

致进尺缓慢、施工效率较低,问题未得到有效解决。

2 存在的主要问题与原因

在本工程施工中,主要面临着孔壁失稳坍塌、卡钻、缩径等问题,通过岩石矿物成分分析,可剖析蛇纹石化蚀变地层对钻探施工的影响及原因。

2.1 岩样矿物成分及结构分析

XRD衍射分析方法是冲洗液研究中常用的岩石矿物组分分析方法^[1-2]。从现场不同钻孔中采集4件蚀变强烈的岩心样品(样品编号:ZK2101-Y01、ZK2101-Y02、ZK101-Y03、ZK401-Y04),送至成都南达微构质检技术服务有限公司,利用X射线衍射仪设备按照标准SY/T 5163—2018,进行岩心矿物成分分析,测试分析结果见表1。可以看出,岩心样品的主要矿物成分及含量为:蛇纹石63%~84.4%、水镁石13.7%~36.3%和磁铁矿0.2%~1.9%。蛇纹石是由橄榄石、辉石等镁铁质矿物在热液作用下蚀变而来,水镁石是蛇纹石进一步蚀变的产物,二者经常共生^[3],都具有较强的水化分散特征。

表1 岩心样品矿物成分分析结果

检测序号	样品编号	取样深度/m	矿物质量分数/%		
			蛇纹石	水镁石	磁铁矿
R250348-ZK2101-Y01	ZK2101-Y01	52.26~53.86	84.4	13.7	1.9
R250348-ZK2101-Y02	ZK2101-Y02	25.26~28.26	74.7	24.8	0.4
R250348-ZK101-Y03	ZK101-Y03	42.56~42.66	81.1	18.6	0.2
R250348-ZK401-Y04	ZK401-Y04	79.26~80.76	63.0	36.3	0.7

蛇纹石化过程会产生大量的微裂缝和网状裂隙,对蚀变岩石的结构进行观察,由图3可见岩石内部节理和裂隙发育,蛇纹石呈块状或纤维状、水镁石呈光泽滑腻的薄片状,裂隙为冲洗液中的水分进入岩心内部提供了通道。

2.2 存在问题与原因分析

根据岩样矿物成分、岩石结构及地质背景,结合钻进过程,分析该地区钻探中面临的主要问题及原因如下:

(1)孔壁失稳坍塌。在该地层钻探施工中的最主要问题是孔壁坍塌,分析其原因:①地区蚀变地层含有大量蛇纹石、水镁石。蛇纹石发育的大量节理和微裂缝将其切割成各种大小的块体,遇水分散成各种大小块体和颗粒(图4a、b),在扰动下极易发生掉块和坍塌;水镁石具有极完全解理,具典型的

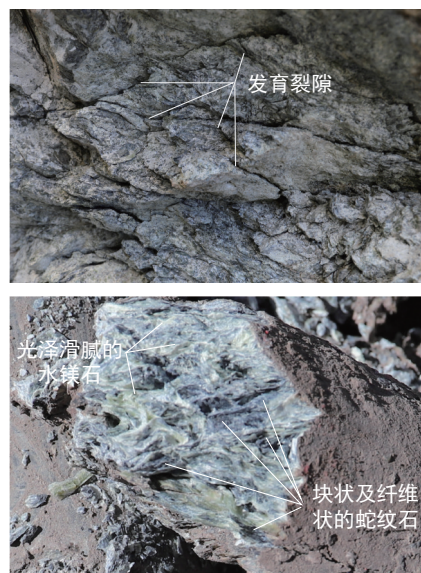


图3 岩石结构现场观察

层状晶体结构,层与层之间结合力很弱,遇水极易剥成薄片(图4a),在冲洗液和钻具的扰动下容易发生片状剥落,加剧孔壁失稳。这是造成钻进中孔壁失稳的主要原因。②工作区位于班公湖-怒江缝合带中段,区域构造活动强烈,导致地层裂隙发育;岩石内蛇纹石的纤维状解理、水镁石的片状解理特

征,又共同促进岩石内部裂隙的发育,加速冲洗液中的水分进入孔壁岩石,最终导致孔壁岩石快速分散剥落。③在钻探施工中,钻具的振动、频繁起下钻的抽吸作用以及冲洗液的冲刷作用使得该地层的孔壁稳定性更加容易遭到破坏^[4-5],导致孔壁进一步失稳。

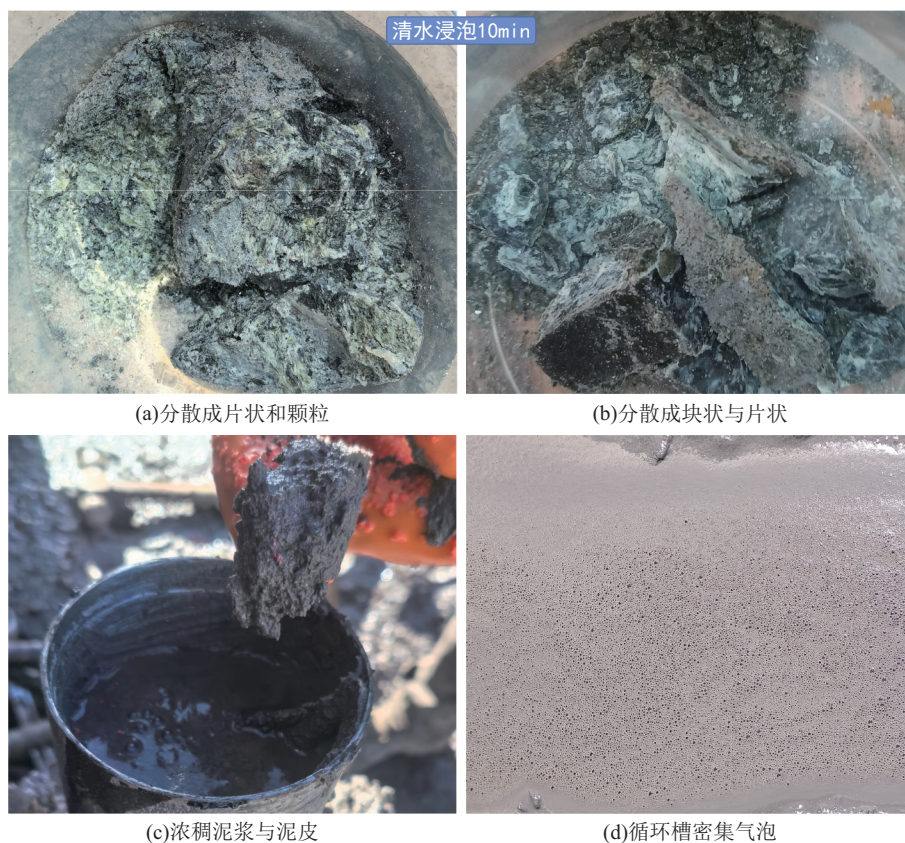


图4 施工典型问题的直观表现

(2)卡钻事故频发。频繁卡钻是该地区钻探施工面临的最常见问题,存在掉块卡钻、缩径卡钻和黏附卡钻。①掉块卡钻:因地层岩石中的蛇纹石、水镁石具有较强的水化分散特征,在钻探施工中易吸收冲洗液中水分子而分散剥落,受钻具和冲洗液扰动后极易引起孔壁失稳,导致坍塌掉块卡钻。②缩径卡钻:蚀变地层中的叶蛇纹石和水镁石遇冲洗液会发生水化作用,导致岩石体积膨胀,进而引起钻孔缩径,发生缩径卡钻。③黏附卡钻:地层中的水镁石莫氏硬度仅为2.5、非常软,经钻头切削后产生非常细的塑性岩屑,具有滑腻感,易黏附在钻具、钻头以及孔壁上形成较厚泥皮;且这些细小、扁平、密度低的岩屑,难以被有效携带出,导致钻具摩阻

力和扭矩增大,出现下钻或下套管遇阻、泵压升高等现象,甚至引起黏附卡钻。

(3)冲洗液易受污染。在钻进中冲洗液迅速变黏稠,性能下降。这是因为水镁石是氢氧化镁 $Mg(OH)_2$,具有水化性,在冲洗液中会持续水化、分散,变得极细,极大地增加冲洗液中的固相含量,导致冲洗液变得黏稠、流变性差(图4c);细屑侵入孔壁已形成的泥饼,使其变得厚而虚、质量变差,滤失量增大,导致冲洗液滤失量的控制难度增加。

(4)钻具脆断。在高温高压条件下,蛇纹石与冲洗液发生反应,释放 H_2S 和 CO_2 等酸性气体,尤其是 H_2S 极具腐蚀性,水镁石中的 OH^- 离子与冲洗液中的酸发生反应释放出 CO_2 而产生气泡(图4d),易

引起钻具腐蚀和氢脆断钻,增加钻杆、钻具等脆性断裂的风险。

2.3 地层类型判断

梳理文献资料及前人报道的施工案例,水敏性地层主要指泥页岩或炭质页岩地层,主要以绿泥石、蒙脱石、高岭石、伊利石等较多黏土矿物组成^[6-9],若含蒙脱石或伊蒙混层,吸水则会膨胀导致钻孔缩径;若含伊利石、高岭石等非膨胀性黏土,以及变质岩千枚岩化或糜棱岩化地层,遇水则会分散剥落掉块^[10-11],使钻探施工存在孔壁坍塌问题。综合前人的分析认为,该蛇纹石化、水镁石化蚀变地层虽然矿物成分与传统水敏性地层矿物组分有所不同,但从岩石水化分散特征及对钻探施工的影响情况分析,认为其同样属于水敏性分散剥落地层。

3 冲洗液体系优选

查阅类似水敏性地层钻探施工案例,水敏性地层重点通过优化调整冲洗液进行处理,有的采用以KPAM、KPAN、NH4HPAN为主的低固相聚合物冲洗液,也有的采用聚乙烯醇PVA无固相冲洗液,或PAB无固相聚合物冲洗液^[12-13];随着近年来冲洗液材料的发展,已有较多案例采用成膜防塌无固相冲洗液解决此类问题^[14-17]。因此针对此类蛇纹石化、水镁石化的超基性岩地层施工存在的主要问题,选择FCM新型环保成膜冲洗液与传统的PHP冲洗液、低固相高黏防塌冲洗液进行性能及浸泡实验对比优选,以达到稳定孔壁、加强护心的效果。

3.1 冲洗液体系选择

参照类似水敏性分散剥落地层的处理措施,结合该地层特点,在选择冲洗液时主要考虑三个方面:(1)提高冲洗液的降失水性和抑制性,通过降低滤失量、

增加黏度来降低滤液与地层的水化分散反应,以强化护壁防塌能力;(2)通过适当添加堵漏材料或处理剂,强化冲洗液对微裂隙(水分子通道)的封堵胶结作用;(3)提高冲洗液的携砂能力,及时排除岩屑。

PHP冲洗液配方为:1 m³清水+25 kg膨润土+12.5 kgPHP+2 kg纯碱,主要是通过包被抑制作用,紧密包裹在岩屑和井壁岩石表面,形成一层高分子半透膜,并强化膨润土形成的泥饼质量,阻止水化分散;同时提高冲洗液的黏度和切力,增加携带岩屑能力。

低固相高黏防塌冲洗液配方为1 m³清水+1~2 kg纯碱+15~20 kg膨润土+10~15 kg高黏纤维素(CMC-HV)+5~10 kg植物胶+3~5 kg高黏堵漏剂+15~20 kg破碎地层防塌配方,主要是提高冲洗液的黏度和切力,形成薄而致密的泥饼,降低滤失量,同时增强微裂隙堵漏和护壁防塌效果。

环保成膜冲洗液配方为:1 m³清水+62.5 kg FCM新型环保成膜冲洗液。FCM新型环保成膜冲洗液是北京探矿工程研究所最新研发的包括成膜剂、降滤失剂、封堵材料等的一袋化成膜冲洗液材料,其抑制性及黏结性强,具有优异的成膜性和防塌护壁性能,对强水敏性分散剥落地层能够起到稳定的护壁作用^[10,15],其特点是在岩心和孔壁表面形成一层致密薄膜,阻止水分子进入地层与岩石内部,从而抑制水化分散与膨胀,维持孔壁稳定。

3.2 冲洗液体系性能对比

为评价各种冲洗液体系的抑制防塌性能,按照上述配方比例配制试验冲洗液,分别采用ZNS-2A型中压失水仪、ZMI-1型高标准漏斗黏度计和YM-1型液体密度计测试冲洗液的API滤失量、漏斗黏度和密度三项关键性能指标,试验结果见表2。

表2 不同冲洗液配方及性能对比

冲洗液类型	冲 洗 液 配 方	冲 洗 液 性 能			主要作用
		漏斗黏度/s	密度/(g·cm ³)	API滤失量/mL	
PHP冲洗液	1 m ³ 清水+25 kg膨润土+12.5 kg PHP+2 kg纯碱	38.1~40.36	1.01~1.04	18~20	抑制防塌,增黏及携砂
低固相高黏防塌冲洗液	1 m ³ 清水+1~2 kg纯碱+15~20 kg膨润土+10~15 kg高黏纤维素(CMC-HV)+5~10 kg植物胶+3~5 kg高黏堵漏剂+15~20 kg破碎地层防塌配方	29.65~31.52	1.03~1.05	10~12	增黏、降滤失,护壁防塌
FCM环保成膜冲洗液	厂家测试:1 m ³ 清水+62.5 kg FCM新型环保成膜冲洗液	26.63~27.68	1.02~1.05	12	抑制水化分散,护壁防塌
	现场测试:1 m ³ 清水+62.5 kg FCM新型环保成膜冲洗液	26.8~28.03	1.08~1.10	12~14	

由表2可以看出,普通的PHP冲洗液的黏度较高,容易使冲洗液过度絮凝、流变性变差,岩屑难以排除,而且滤失量也较高,对该地层的抑制防塌能力相对较弱。低固相高黏防塌冲洗液和FCM环保成膜冲洗液的黏度、滤失量比较接近,明显低于传统的PHP冲洗液,反映出这两种冲洗液具有良好的流变性和抑制水化分散能力。

3.3 岩心浸泡效果

对水敏性地层,维持孔壁稳定是关键,为验证和观察低固相高黏防塌冲洗液和FCM环保成膜冲洗液对蛇纹石化、水镁石化地层的使用效果,进行

现场岩心浸泡实验,以此确定适合的冲洗液体系与冲洗液对应的效果。

由图5可明显看出,蚀变强烈的岩心在清水中浸泡30 min后出现水化分散,到2 h完全分散在水中,变成非常细小的岩块或颗粒;在低固相高黏防塌冲洗液中浸泡30 min开始出现轻微掉块,在浸泡2~4 h后岩心块分散、变小;经FCM环保成膜冲洗液浸泡4 h乃至36 h后,岩心块依然保持完整的原始形态,且在岩心表面形成致密且薄的保护膜。这充分说明FCM环保成膜冲洗液能够很好地抑制蛇纹石化、水镁石化地层水化分散。

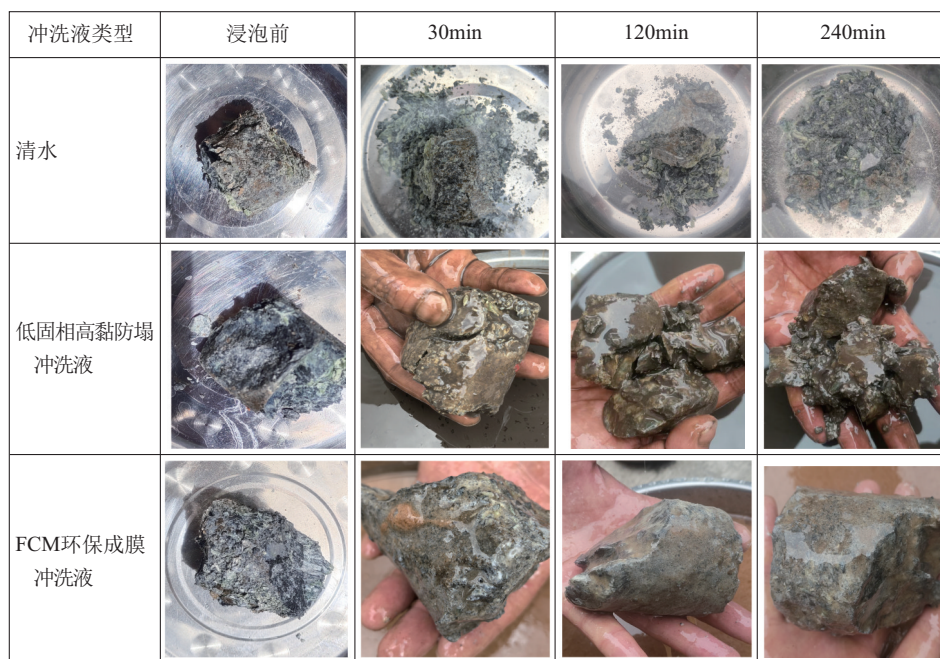


图5 低固相高黏防塌冲洗液和FCM环保成膜冲洗液浸泡实验效果

4 新型环保成膜冲洗液的应用

在前三个钻孔的钻探施工中,1个钻孔(原ZK2101)采用PHP冲洗液施工,最终钻孔报废;2个钻孔(ZK001、ZK201)采用低固相高黏防塌冲洗液施工,钻进效率低,施工周期较长。将优选后的FCM新型环保成膜冲洗液,应用于剩余钻孔施工(ZK101、ZK401、ZK002、ZK2101),4个钻孔设计800 m,实际完成814.18 m,依然采用小型履带式模块化钻机+金刚石绳索取心钻进工艺施工,钻进效率得到显著提升。

4.1 取心与护壁效果对比

由图6可看出,相比低固相防塌冲洗液而言,

采用FCM成膜冲洗液施工的岩心相对较完整,这说明FCM成膜冲洗液对该地层岩心具有较好的保护作用。由表3可以看出,采用FCM成膜冲洗液施工后,孔内坍塌次数由使用前的每孔5~7次,减少到每孔1~2次,其中ZK101坍塌2次主要原因在于维修动力头导致孔底停留时间过长,卡钻次数由使用前的3~5次下降到了基本未出现,扫孔次数也得到明显减少,各级套管的跟管扩孔次数相比使用低固相防塌冲洗液显著减少,均说明成膜冲洗液对蛇纹石化、水镁石化地层的护壁效果有显著提升。

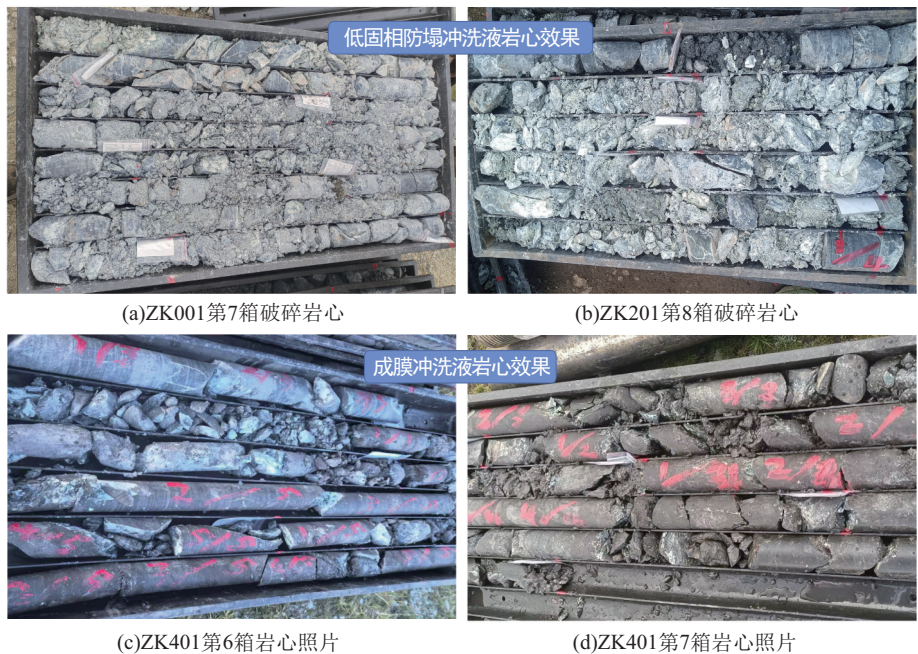


图6 低固相高黏防塌冲洗液与FCM环保成膜冲洗液护心效果对比

表3 孔内事故情况统计

类 型	钻孔编号	钻孔深度/m	事 故 情 况
PHP 冲洗液	原 ZK2101	66.77	坍塌 3 次, 卡钻 5 次, 钻孔报废
低固相高黏防塌冲洗液	ZK001	201.67	坍塌 7 次, 卡钻 4 次, 扫孔数次
	ZK201	200.25	坍塌 5 次, 卡钻 3 次, 扫孔数次
	ZK101	200.37	坍塌 2 次, 卡钻 0 次, 扫孔 3 次, 动力头维修 3 次
FCM 环保成膜冲洗液	ZK401	200.25	坍塌 1 次, 卡钻 1 次、扫孔 2 次
	ZK002	200.76	坍塌 1 次, 卡钻 0 次, 扫孔 3 次
	ZK2101	212.80	坍塌 1 次, 卡钻 0 次, 扫孔 3 次

4.2 施工效率分析

对三种冲洗液体系所施工钻孔进行统计,对比分析施工效率。如图7所示,传统的PHP冲洗液施工台月效率最低,仅为154.08 m/台月,因坍塌严重、卡钻频繁,最终钻孔报废。低固相防塌冲洗液的施工台月效率有所提高,但最高仅为375.69 m/台月,单孔施工周期较长。相对而言,FCM环保成膜冲洗液的单孔施工时间缩短约30%,台月效率提高约60%,台月效率最高达547.53 m/台月,施工效率明显提高,已达到高原地区正常钻进效率。

5 配套技术措施

5.1 套管隔离蚀变地层

针对此类地层,在改进冲洗液护壁效果的同时,还配合采取跟管扩孔的方法下入套管进行隔离

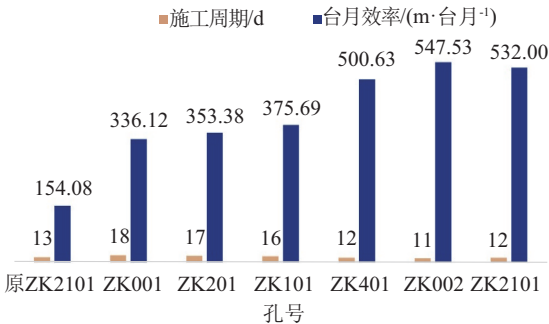


图7 不同冲洗液体系施工效率对比

处理,降低蚀变层段的坍塌风险。根据现场条件,采取两级套管三级口径进行施工,此类易坍塌地层套管常常难以顺利下入或下不到位,不能建立起有效隔离,因此主要采取分段跟管扩孔的方法跟进套管,即:当钻遇坍塌地层时,将钻杆作为本级技术套

管下入,换小一级口径钻具钻进3~5 m,再用本级套管扩孔跟进,以此反复直到穿过坍塌地层,待坍塌孔壁被完整隔离后用小一级口径正常钻进;期间根据孔内情况定期活动套管,防止套管被卡死。如图8所示,采用跟管扩孔的方法,能够有效下入套管进行隔离,相比ZK001钻孔,ZK401、ZK002钻孔在采用FCM成膜冲洗液护壁+跟管扩孔的措施下, $\Phi 108$ mm套管跟管扩孔1次便能下入到45 m深度,对表层蚀变强烈地层进行隔离;第二层套管最多跟管扩孔1次便能下入到孔深125 m之下,对中间段蚀变坍塌地层进行隔离后,最后钻进至终孔。套管应下至最大限度深度,为下一级口径预留级配空间,例如ZK002钻孔将HTW套管下入到184.5 m,保障了NTW口径顺利钻至终孔。

5.2 控制冲洗液固相含量

在实践过程中,虽然使用FCM新型环保成膜冲洗液后对抑制地层分散、护壁防塌有一定效果,但是冲洗液也容易变得黏稠,在使用4~5个回次(约6 h)后便出现钻具内结泥皮严重、泵压和负荷均增高的现象,导致内管投送、打捞非常困难。尽管采取低转速钻进,同时在井口返出冲洗液添加如烧碱、PHP等强化冲洗液沉淀除砂作用,但是仍然不能解决问题。经分析认为,该地层岩石遇水后易分散造浆,尤其是水镁石岩屑持续水化分散而变成细小颗粒,手感细腻润滑、类似泥质,致使在循环中的冲洗液固相含量迅速增加,以及地表沉淀效果较差;同时受高原低温的施工环境影响,冲洗液本身容易变得黏稠,加之小型履带式钻机配套的泵量小、薄壁钻具的环空间隙小,冲洗液循环能力有限,共同加剧了冲洗液固相含量始终较高。对此,将FCM新型环保成膜冲洗液的比例适当下调为5%以降低黏度,同时在降低转速、缩短回次进尺的基础上,采取延长循环槽、增加沉淀池数量和地面捞砂等措施以降低冲洗液固相含量,若出现冲洗液黏稠并影响内管投送时,及时更换新冲洗液。通过降低转速、减少回次进尺、强化固相控制和及时更换冲洗液等措施,能够维持正常钻进,问题得到有效控制。

5.3 重点注意事项

在该类地层施工,还需要重点注意以下四点:

(1)定期检查钻具、钢丝绳磨损情况,尤其是减少钻具断裂、内管拉不动、钢丝绳断裂、岩心掉块等问题的发生,减少不必要的提钻;控制起下钻速度,

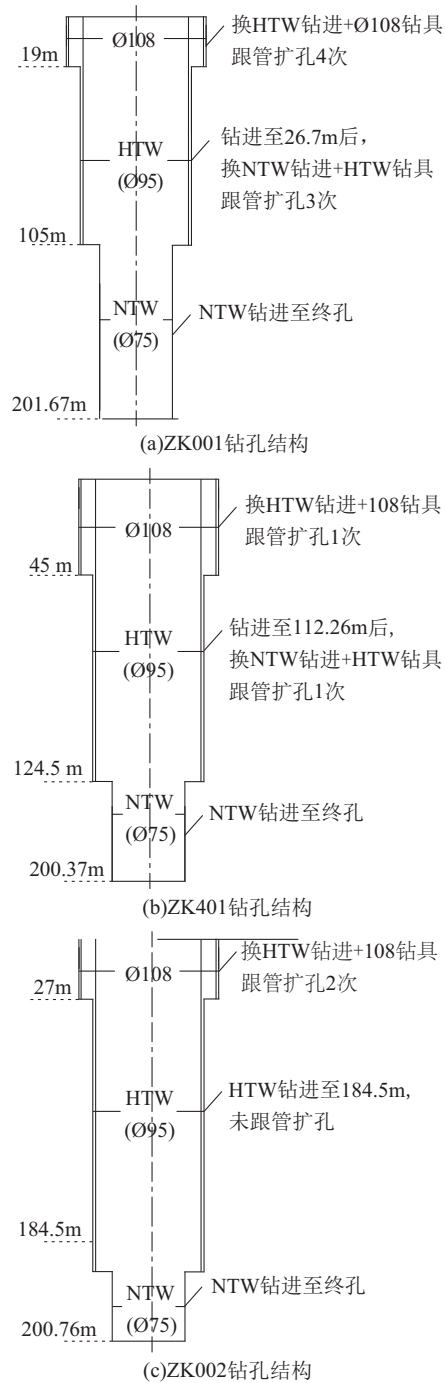


图8 典型钻孔套管施工情况

避免起下钻抽吸作用对孔壁稳定性造成破坏,尽可能地减少孔壁坍塌风险。

(2)控制转速和回次进尺。不能盲目赶进度,应控制回次进尺 ≥ 1 m,能够减缓孔底岩屑及冲洗液中的颗粒造浆速度,同时保持中低转速钻进,缓解钻具内结泥皮的现象。

(3)控制辅助时间,减少因停钻导致增加孔内

钻具停留时间,避免不必要的卡钻风险。

(4)及时维护冲洗液性能,加强现场冲洗液性能检测,维持冲洗液最佳性能,并及时更换冲洗液。

6 结语

通过在依拉山地区的钻探工程实践,获得以下几点认识:

(1)蛇纹石化、水镁石化地层具有强分散易剥落的特征,属于严重水敏性分散剥落地层,极易发生孔壁坍塌、钻孔缩径、卡钻埋钻、冲洗液易受污染等一系列问题,严重影响钻进效率。

(2)FCM新型环保成膜冲洗液对强分散易剥落地层具有较好的护壁护心效果,1 m³清水+50 kg FCM新型环保成膜冲洗液的冲洗液体系及配方,能够有效解决依拉山地区蛇纹石化、水镁石化蚀变地层的钻探施工难题。

(3)在此类强分散易剥落地层钻探施工,应当现场测试并及时调整冲洗液性能,严格控制冲洗液的滤失量,保持适当的黏度和切力,及时维护冲洗液护壁防塌能力。

(4)在易坍塌地层钻探施工,冲洗液护壁失效时可采取跟管扩孔的方式下入套管隔离。

参考文献:

- [1] 鄢捷年. 钻井液工艺学(修订版)[M]. 东营:中国石油大学出版社,2012:350-385.
- [2] 张席芝,杨亚平,寇永渊,等. 金川矿区复杂地层钻探孔壁失稳机理与对策研究[J]. 钻探工程,2023,50(6):69-76.
- [3] 张龙,刘子涵,曹宜陵,等. 蛇纹石化与相关氢气和甲烷的形成

- [J]. 岩石学报,2025,41(12):4149-4163.
- [4] 黄杨,孙绍平,蒋清燕,等. 复杂地层钻孔失稳原因分析及措施[J]. 四川地质学报,2022,42(S1):143-146.
- [5] 刘俊辉,李晓东. 广西苗儿山大厚度水敏性地层冲洗液技术研究及应用[J]. 钻探工程,2024,51(5):154-162.
- [6] 代万庆,薛艳,颜巧云. 水敏性地层钻探泥浆性能优化及配制[J]. 钻探工程,2021,48(11):23-29.
- [7] 刘志龙,陈磊,石岩,等. 内蒙古哈达门沟矿区复杂地层钻探技术研究—以ZK20312钻孔为例[J]. 钻探工程,2023,50(S1):246-250.
- [8] 李振风. 水敏性复杂地层深孔绳索取心钻进工艺研究与应用[J]. 地质装备,2024,25(1):43-48.
- [9] 蔡隽,王步清,王虎,等. 南方丘陵地区岩心钻探关键技术措施[J]. 钻探工程,2025,52(2):28-37.
- [10] 陶士先,李晓东,吴召明,等. 强成膜性护壁冲洗液体系的研究与应用[J]. 地质与勘探,2014,50(6):1147-1154.
- [11] 熊正强. 地质钻探复杂地层冲洗液护壁堵漏技术[R]. 北京:北京探矿工程研究所,2025.
- [12] 郑洪涛. 嵩县某金矿区复杂地层强抑制防塌泥浆技术[J]. 钻探工程,2022,49(4):81-86.
- [13] 台沐礼,钟兴吉,尹江. PAB无固相聚合物冲洗液在绿泥石化破碎蚀变带地层岩芯钻探中的应用[J]. 西部探矿工程,2010,22(12):85-86.
- [14] 陶士先,李晓东,纪卫军,等. 成膜防塌无固相冲洗液体系的研究与应用[C]//中国地质学会探矿工程专业委员会. 第十八届全国探矿工程(岩土钻掘工程)技术学术交流年会论文集. 北京:地质出版社,2015:436-442.
- [15] 熊正强,陶士先,李艳宁,等. 国内外冲洗液技术研究与进展[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(5):6-12.
- [16] 李田周,陶士先,熊正强. 磷石膏地层用钙基成膜环保冲洗液研究与应用[J]. 钻探工程,2023,50(1):49-54.
- [17] 刘俊辉. 成膜防塌无固相冲洗液在广西向阳坪地区复杂地层中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(12):36-41.

(编辑 王文)