

碎屑岩系型石盐矿床软泥岩夹层对钻井的影响与工程对策

王鹏^{1,2}, 詹云¹, 黄鉴¹, 刘加杰^{1,2}, 李勇^{1,2*}

(1. 四川省非金属(盐业)地质调查研究所, 四川自贡 643000; 2. 四川省井矿盐开采工程技术研究中心, 四川自贡 643000)

摘要: 本文针对江汉盆地江陵凹陷沙市盐矿典型的碎屑岩系型石盐矿床中的软泥岩地层钻井难题进行深入研究。通过对研究区含盐系地层特征及盐井实钻资料分析, 系统总结了软泥岩地层对钻井工程安全、效率和质量的影响。在此基础上, 提出了一系列针对性的钻井工程技术对策, 包括采用高密度欠饱和盐水钻井液平衡地层压力、牙轮钻头+螺杆+倒划眼工具钻具组合以及“以退为进”的试钻钻进方式等。这些对策在实际钻井过程中得到了应用, 为后续施工提供了安全和质量保障, 有效减少了缩径卡钻等井下复杂情况发生概率, 也为其他类似地质条件下的钻井工程提供了重要参考。

关键词: 碎屑岩系型石盐矿床; 含盐系地层; 软泥岩; 钻井复杂; 缩径卡钻; 欠饱和盐水钻井液

中图分类号: P634.5; TD871^{+.1} **文献标识码:** B **文章编号:** 2096-9686(2025)05-0121-06

Influence of soft mudstone interlayer in clastic halite deposits on drilling and the engineering countermeasures

WANG Peng^{1,2}, ZHAN Yun¹, HUANG Jian¹, LIU Jiajie^{1,2}, LI Yong^{1,2*}

(1. Sichuan Institute of Non-metallic (Salt) Geological Survey, Zigong Sichuan 643000, China; 2. Sichuan Engineering Research Center for Well and Rock Salt Mining, Zigong Sichuan 643000, China)

Abstract: This paper conducts an in-depth study on the drilling problems of soft mudstone strata in typical clastic halite deposits in Shashi salt deposits in Jiangling Sag of Jiangnan Basin. Through the analysis of the characteristics of the salt-bearing strata in and the actual drilling data of salt wells, the influence of soft mudstone on the safety, efficiency and quality of drilling engineering was systematically summarized. Based on this, a series of targeted drilling engineering technical countermeasures are proposed, such as the use of high-density undersaturated brine drilling fluid to balance the formation pressure, cone bit+screw+back reaming tool combination, and the testing drilling method of “retreat as advance”. These countermeasures have been applied in the actual drilling process, providing safety and quality assurance for subsequent construction, effectively reducing the probability of downhole complex conditions, and also providing important references for other drilling projects under similar geological conditions.

Key words: clastic halite deposits; salt-bearing strata; soft mudstone; drilling complex; hole reducing and sticking; undersaturated brine drilling fluid

收稿日期: 2024-12-19; 修回日期: 2025-04-17 DOI: 10.12143/j.ztgc.2025.05.016

基金项目: 四川大学-自贡市校地科技合作项目(编号: 2022CD-ZG-8); 四川省地勘基金项目(编号: DZ202313); 四川省科技计划项目(编号: 2022YFS0447)

第一作者: 王鹏, 男, 汉族, 1983年生, 高级工程师, 地质调查与矿产勘查专业, 硕士, 研究方向为盐矿勘查与综合利用, 四川省自贡市大安区盐都大道8号, 281906151@qq.com。

通信作者: 李勇, 男, 汉族, 1986年生, 高级工程师, 探矿工程专业, 研究方向为岩土钻掘工程与安全, 四川省自贡市大安区盐都大道8号, 527882265@qq.com。

引用格式: 王鹏, 詹云, 黄鉴, 等. 碎屑岩系型石盐矿床软泥岩夹层对钻井的影响与工程对策[J]. 钻探工程, 2025, 52(5): 121-126.

WANG Peng, ZHAN Yun, HUANG Jian, et al. Influence of soft mudstone interlayer in clastic halite deposits on drilling and the engineering countermeasures[J]. Drilling Engineering, 2025, 52(5): 121-126.

0 引言

石盐矿是我国重要的矿产资源之一,其开发与利用对国家经济建设和社会发展具有重要意义。根据石盐矿的矿床成因、矿石品位、矿石成分、矿床地质构造特征等条件,我国石盐矿床工业类型可划分为4大类:碳酸盐岩系型石盐矿床、碎屑岩系型石盐矿床、次生及变形石盐矿床和盐湖型石盐矿床^[1]。其中碎屑岩系型石盐矿床在我国分布最广,通常具有巨厚多互层、单盐层厚度薄等特点。碎屑岩系型石盐矿床中的软泥岩夹层一直是极具挑战性的钻井难题。软泥岩属于层理裂隙不发育的岩石,多属于古近系和新近系地层,成岩程度低,易水化膨胀,分散性强。钻遇软泥岩时由于地层造浆性强,切力大,含砂量高,钻井过程中极易引起缩径、井塌、卡钻等井下复杂情况或事故,对钻井工程安全和钻井效率造成严重影响。

本文旨在通过对我国中东部地区典型碎屑岩系型石盐矿床中软泥岩夹层的特性分析,探讨其对钻井工程的具体影响,并在此基础上提出一系列针对性的钻井工程技术对策。通过本研究,以期能够为类似地质条件下的钻井工程施工提供有益的参考。

1 含盐系地层特征

江汉盆地江陵凹陷中部的沙市盐矿是我国中东部地区典型的碎屑岩系型石盐矿床。矿区内,从古近系古新统沙市组(E_{1s})到第四系全新统平原组(Q_4p),层位较齐全,总厚度在4000 m以上。第四系和新近系之间、新近系和古近系之间均为平行不整合(假整合)接触。古近系属内陆湖泊相沉积,其中沙市组二段含盐系地层是湖水咸化阶段的产物,沙一段沉积期盐湖湖水淡化,沉积以砂、泥岩为主,夹含膏泥岩、泥质白云岩。新沟咀组(E_{2x})以淡水沉积为主,仅中部偶夹膏泥岩,表明古新世晚期至早始新世湖水只有短暂的咸化过程(仅达到硫酸盐岩阶段)^[2]。

渐新世末期,沙市地区抬升,地层遭到剥蚀。盐卡地堑内地层保存齐全,厚度大,而地堑外除渐新统荆河镇组缺失外,上始新统潜江组也遭受强烈剥蚀:潜一段、潜二段全部剥蚀,并波及到潜三段^[3]。沙一段至荆沙组的展布在地堑内外显著不同。在地堑内,沙一段局部残留,新沟咀组、荆沙组及潜四段底部缺失。沙市组二段在地堑内隆升,顶部有部

分缺失。地堑外,上述地层完整。

石盐矿赋存于古近系沙市组二段,埋深 >2200 m。根据盐类与非盐类物质组成、组合关系以及与盐类共生矿物的组合关系,可将沙市组二段含盐系地层分为上、中、下3个亚段。上亚段盐层厚度较小,含盐率较低,以白云岩发育为特征。中亚段盐层单层厚度较大,剖面含盐率高,泥岩和白云岩较少,如图1所示。下亚段盐层厚度较小,含盐率较低,泥岩较多,硬石膏岩较发育。

根据钻井揭露含盐系地层情况,自北东往南西,受正断层控制,盐层逐渐变深,地层缺失越来越严重。表现为沿沙2井往沙3井方向,盐层埋深从2279.10 m逐渐加深至2398.10 m,地层层序上表现为沙2井仅缺失沙一段地层,沙3井缺失更多,包含沙一段和沙二段上部地层;沿沙2井往沙7井方向,盐层埋深和地层层序表象上亦是如此。矿区内不同盐井钻遇盐层层数和视厚度情况,沿沙2井往沙3井方向,盐层层数增多,盐层单层视厚度增加,沙市组二段含盐系地层盐层累计视厚度由140.20 m增至237.32 m。这种现象的产生与正断层形成后,断层附近的层间挤压应力的变化有关,上盘局部加载压薄,下盘局部卸荷增厚。

2 软泥岩夹层对钻井工程的影响

在矿区内的钻井作业中,当钻至含盐系地层下亚段的软泥岩时均有不同程度的异常显示。以沙11井为例,该井在钻至井深2582 m时,正常钻进过程中,钻压突然增加,扭矩增加,泵压上升,上提显卡,下行畅通,多次提放解卡。起钻检查钻头,有泥包现象,钻井液密度微增,黏度微降,其他无异常。下钻至2579 m遇阻,扫孔至原井深恢复钻进,钻至2584.5 m,正常钻进过程中,亦出现钻压突然增加,扭矩增加,泵压上升,上提显卡,下行畅通的异常情况,多次提放解卡。据此,结合地层特征及钻井显示推断,应是钻遇石盐与软泥岩交互地层,井壁出现了严重的缩径和局部垮塌所致。在钻井过程中,钻头频繁阻卡,钻井液循环不畅,起下钻趟次增多,单趟钻井进尺明显下降,导致钻井速度大幅降低,严重影响了钻井安全和效率,具体情况如表1所示。

含盐系地层软泥岩夹层对钻井工程的影响主要表现在以下几个方面。

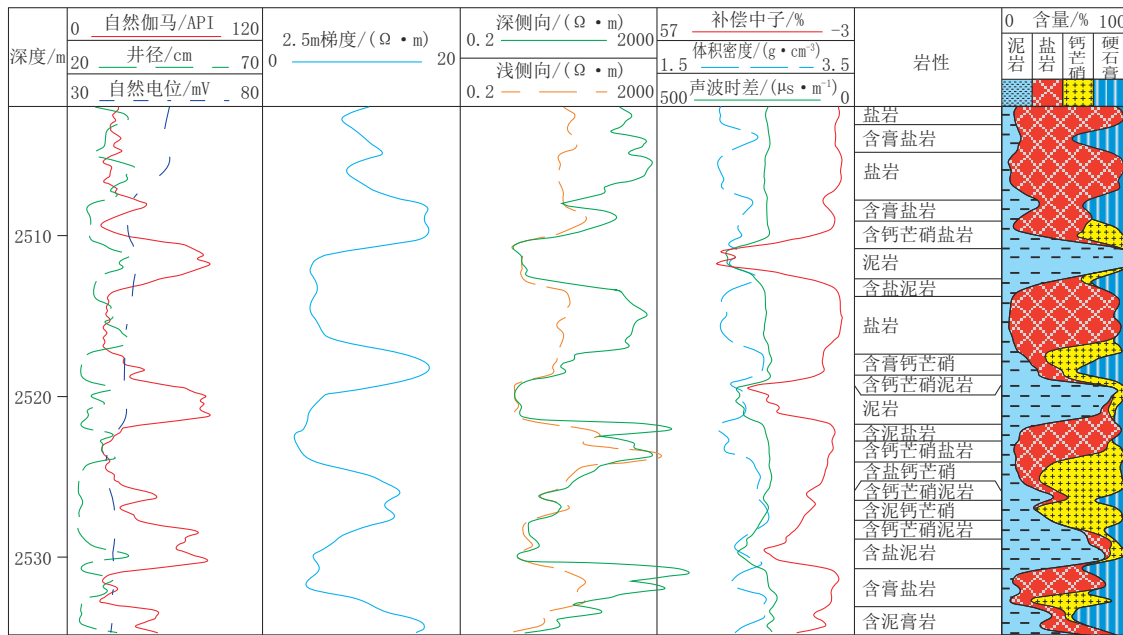


图1 沙市组二段含盐系地层剖面

Fig.1 Stratigraphic section of the second member of the Shashi Formation

表1 沙11井日生产情况记录

Table 1 Daily production record of the Well Sha 11

日期	累计井深/m	本日进尺/m	地层	技术措施		钻井方式	钻井液性能				备注
				转速/(r·min ⁻¹)	泵量/(L·s ⁻¹)		密度/(g·cm ⁻³)	黏度/s	滤失量/mL	泥饼/mm	
2014.01.01	1155	108.87	Eq ¹	75	25	旋转	1.24	70	5.2	0.5	钻进
2014.01.02	1268.8	113.8	Eq ²	75	24	旋转	1.22	62	6	0.5	钻进
2014.01.03	1446	177.2	Eq ³	74	24	旋转	1.26	50	6.8	1.0	钻进
2014.01.04	1627.3	181.3	Eq ³	72	24	旋转	1.24	66	5.8	0.5	钻进
2014.01.05	1805.2	177.9	Eq ⁴	75	24	旋转	1.24	86	5.2	0.5	钻进
2014.01.06	1931.39	126.19	Eq ⁴	75	24	旋转	1.23	65	4.4	0.5	钻进
2014.01.07	1964.5	33.11	Eq ⁴	72	24	旋转	1.26	68	4.4	0.5	起下钻
2014.01.08	2096	131.5	Eq ⁴	75	24	旋转	1.23	114	4.4	0.5	钻进
2014.01.09	2257	161	Eq ⁴	75	24	旋转	1.22	48	4.4	0.5	钻进
2014.01.10	2446.18	189.18	Es ²	74	24	旋转	1.30	96	10	1.5	钻进
2014.01.11	2569.6	123.42	Es ²	75	24	旋转	1.40	75	5.6	1.0	钻进
2014.01.12	2582	12.4	Es ²	75	24	旋转	1.41	61	6	1.0	起下钻
2014.01.13	2584.5	2.5	Es ²	75	23	旋转	1.40	39	5.6	0.5	起下钻

2.1 钻井安全问题

软泥岩夹层的物理力学性质与上、下盐层之间存在显著差异。软泥岩的强度较低,塑性较高,容易在钻井液的冲刷和地层压力的作用下发生变形和破坏,从而导致井壁稳定性问题^[4-6]。此外,软泥岩的高吸水性可导致其在接触钻井液后膨胀,进一步破坏井壁结构,增加井下复杂情况的风险。这些

因素共同影响钻井效率和安全。在沙11井的案例中,井壁的缩径和垮塌正是软泥岩夹层弱化井壁支撑能力的直接表现。

2.2 钻井效率问题

钻遇软泥岩地层时,对钻井液性能的要求变得尤为重要。软泥岩的可塑性和吸水性特点要求钻井液具备高稳定性和适当的流变性,以防止井壁缩

径和垮塌。不适宜的钻井液性能可能导致软泥岩及其所含泥质、盐质、流体等侵入进一步恶化钻井液性能,特别是对钻井液的密度和流变性能造成严重影响,致钻时变慢,易泥包钻头,机械钻速降低,增加起下钻趟数,增加包括整个含盐系地层及其上覆泥岩地层的井壁稳定性风险,影响钻井作业的钻进效率和连续性^[7-13]。

2.3 钻井质量问题

同样受软泥岩地层高可塑性和吸水性致井壁缩径和垮塌的影响,含盐系地层受钻井液反复冲刷,加速软泥岩上下盐层的溶蚀作用,致局部井径扩大,甚至连同软泥岩地层共同形成“大肚子”,不利于井身质量的控制^[14-15]。含盐系地层因为缩径或垮塌形成的台阶,不利于起下钻和套管的下入,可能造成在台阶处开出新井眼、钻具阻卡、套管安装不到位等复杂情况或钻井质量问题。同时,由于软泥岩地层特性影响水泥浆的稳定性和封隔效果,可能导致井壁与水泥环、水泥环与套管之间的不良接触,增加漏失通道,进而影响固井的整体质量。

3 工程对策与应用

3.1 工程对策

针对研究区含盐系地层软泥岩夹层给钻井工程带来的挑战,提出以下工程对策。

3.1.1 高密度欠饱和盐水钻井液体系

常规钻井液易受到盐膏层的污染,导致钻井液性能恶化,流变性能和滤失性能难以控制。沙11井钻遇盐层和软泥岩时,钻井液密度从 1.41 g/cm^3 降至 1.40 g/cm^3 ,黏度从 61 s 降至 39 s ,滤失量从 6 mL 降至 5.6 mL ,泥饼厚度从 1.0 mm 降至 0.5 mm 。充分说明此段地层确有盐及盐水侵入钻井液,使之性能恶化,加之钻井液密度不足以平衡含盐系地层蠕变,软泥岩极易吸水膨胀造成井眼缩径甚至井壁垮塌。为更好抑制钻井液盐侵和平衡盐层及其所夹软泥岩地层压力,同时为避免饱和盐水钻井液在巨厚盐层中钻井时可能因为盐水过饱和造成盐重结晶引起的卡钻事故,采用高密度欠饱和盐水钻井液是一种有效的钻井措施。钻井实践表明钻井液密度越大越能抑制盐层及软泥岩蠕变,同时考虑到钻井液密度过大会对钻进速度造成影响,故控制在 $1.55\sim 1.60\text{ g/cm}^3$ 为宜;另外,钻井液中氯离子含量控制在 $1.4\times 10^5\sim 1.6\times 10^5\text{ ppm (mg/L)}$,既能有效

抑制食盐溶蚀,又不至于让氯离子达到过饱和状态,有利于保持井壁的稳定和井眼轨迹的规则。

3.1.2 牙轮钻头+螺杆+倒划眼工具钻具组合优快钻进

矿区内,古近系沙市组二段含盐系地层的岩性特征为含盐质泥岩、含膏质泥岩与含泥质石盐、含膏质石盐不等厚互层,为软一中硬岩,岩石可钻性强,且鉴于沙11井钻遇软泥岩时有缩径或井壁垮塌致卡阻的现象,钻头选型方面还需考虑划眼和倒划眼的工况。一般来说,牙轮钻头较PDC钻头钻开的井径更大,应对蠕变的缓冲区也就越宽。在整个含盐系地层中,特别是软泥岩与上覆和下伏地层之间由于地层压力变化较大,并非钻速越快越好,需要给地层有一个逐渐卸压的调整空间,故优选牙轮钻头。钻井实践表明,重点考虑滑动轴承,金属密封,特别保径和掌背强化结构,适宜软一中硬岩地层钻进,如江汉牙轮钻头HJT517G等。考虑到沙11井钻遇软泥岩时发生上提显卡,下行畅通的现象,在钻具组合中,增加螺杆和双切削刃结构倒划眼工具,以利于强化钻头动力,在划眼与倒划眼时提高切削破岩效率,更利于修整井壁。

3.1.3 “以退为进”的钻进方式

矿区内,古近系沙市组二段含盐系地层累计厚度 $700\sim 1300\text{ m}$,埋深较深,地温梯度较高,盐层及软泥岩蠕变性强。在含盐系地层钻进过程中,由于机械钻速较高以及盐侵使钻井液性能恶化等问题,软泥岩地层在释压后易垮塌,大量泥沙涌入井筒,在钻头上部堆积淤塞,出现钻压突增,泵压突升的现象,进而引发钻头卡阻等复杂情况^[16-19]。盐膏层卡钻事故处理难度大,解卡成功率低,易导致回填料侧钻,造成巨大损失。为减少或避免因盐层及软泥岩蠕变而引发此类卡钻事故,钻井过程中可采取“以退为进”的钻进方式,即钻 1 m 退 3 m ,适当控制钻进速度,循序渐进,逐渐揭露软泥岩地层缓慢释压。此方式可试探钻遇未知地层的反映,也可对已钻地层井壁进行反复修整,还可有效降低岩屑产生速率,抑制了岩屑的堆积,为钻井液携砂护壁创造条件。另外,在钻遇软泥岩时,接单根勤划眼也是修整井壁的有效措施,还可每钻进 1 根立柱进行 1 次短起下钻,判断地层的蠕变情况,以便及时采取必要的应对措施,不至于故障积少成多,酿成卡钻事故。

3.2 优化钻井工艺后的效果评价

在实施了上述工程对策后,研究区内的后续钻井作业取得了显著成效。特别是在接下来的4口井施工过程中,针对同套含盐系地层软泥岩夹层的钻进挑战,采用高密度欠饱和盐水钻井液有效平衡了地层压力,显著减少了盐侵对钻井液性能的恶化影响;采用牙轮钻头+螺杆+倒划眼工具的钻具组合大大提高了钻头在软泥岩地层中的破岩效率和井壁修整能力;“以退为进”的钻进方式在实践中得到了验证,有效降低了因盐层及软泥岩蠕变而引发的卡钻风险。通过循序渐进地揭露地层并适当控制钻进速度,钻进过程中能够更及时地应对地层变化,确保了钻井作业的安全进行。通过5口井(施工设备均采用ZJ40型钻机,完钻层位均为沙市组二段)的钻井时效分析可知,钻井揭露含盐系地层厚度平均386.67 m,其中沙11井钻遇含盐系地层厚度324.88 m,受软泥岩夹层影响,未钻穿目的层底板,详见表2、图2。

表2 5口井钻井基本信息

Table 2 Basic information of the 5 drilling wells

井名	井型	完钻井深/m	备注
沙11井	直井	2601.48	了解E _s ² 含盐系地层特征
沙12井	水平对接井	2687.85	与沙11井连通组成生产井组
沙13井	直井	2607.45	了解E _s ² 含盐系地层特征
沙14井	水平对接井	2865	与沙13井连通组成生产井组
沙15井	直井	2764	了解E _s ² 含盐系地层特征

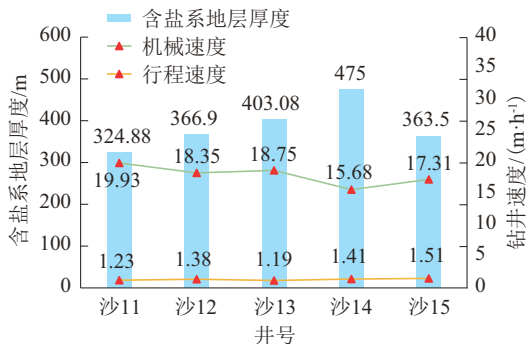


图2 钻井时效分析

Fig.2 Drilling efficiency analysis

相较于沙11井,沙12井、沙13井、沙14井和沙15井通过针对性地优化钻井工艺,在钻遇含盐系地层厚度平均增加约20%的情况下,钻井机械速度虽

略有下降,但钻井行程速度有明显提升,主要表现为有效保障了钻井作业的安全性和连续性,缩短了处理缩径、垮塌、阻卡、非正常起下钻等复杂情况的非生产时间,总体钻井效率提高了11.7%。

4 结论

(1)江汉盆地江陵凹陷中部的沙市盐矿是我国中东部地区典型的碎屑岩系型石盐矿床,矿床赋存于古近系沙市组二段。含盐系地层厚达千米,岩性特征为含盐质泥岩、含膏质泥岩与含泥质石盐、含膏质石盐不等厚互层,在含盐系地层下亚段夹不等厚的软泥岩地层,蠕变性强,易水化膨胀。

(2)钻井实践表明研究区含盐系地层中软泥岩夹层对钻井工程有严重影响,主要表现为盐侵及泥质水化使钻井液性能恶化,井壁稳定性差易垮塌致钻头阻卡,以及处理井下频发的复杂情况降低钻井速度等问题,严重威胁钻井作业的安全、效率和质量。

(3)针对研究区含盐系地层软泥岩夹层给钻井工程带来的挑战,提出了包括采用高密度欠饱和盐水钻井液平衡地层压力、牙轮+螺杆+倒划眼工具钻具组合以及“以退为进”的钻进方式等工程对策。实践表明可有效保障钻井作业安全,降低井下复杂情况发生率,维持连续性钻进,提高钻井效率。

参考文献(References):

- [1] 王清明. 钻井水溶开采与设计[M]. 北京: 化学工业出版社, 2016.
WANG Qingming. Extraction and Design of Drilling Water Solutions[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2016.
- [2] 高楠安. 江汉盆地江陵凹陷盐构造类型及成因机制探讨[J]. 石油地质与工程, 2013, 27(2): 9-11.
GAO Nanan. Salt structural types and genetic mechanism of the Jiangling Sag in the Jianghan Basin[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2013, 27(2): 9-11.
- [3] 李梦璐, 尹太举. 江汉盆地潜江凹陷潭口地区潜江组盐构造类型及成因机制探讨[J]. 地质与资源, 2019, 28(6): 553-560.
LI Menglu, YIN Taiju. Discussion on the salt structure types and genetic mechanism of Qianjiang Formation in Qianjiang Depression, Jianghan Basin[J]. Geology and Resources, 2019, 28(6): 553-560.
- [4] 陈卓, 邓金根, 蔚宝华, 等. 深水低固结软泥岩蠕变特性及其工程应用[J]. 科学技术与工程, 2019(19): 95-100.
CHEN Zhuo, DENG Jingen, YU Baohua, et al. Creep characteristics of deep-water low-consolidation soft mudstone and its engineering applications[J]. Science Technology and Engineering, 2019(19): 95-100.

- [5] 刘绘新,张鹏,盖峰.四川地区盐岩蠕变规律研究[J].岩石力学与工程学报,2002,21(9):1290-1294.
LIU Huixin, ZHANG Peng, GE Feng. Study on creep rule of salt rock in Sichuan region[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002,21(9):1290-1294.
- [6] 田雨,张兴阳,朱国维,等.阿姆河盆地右岸地区膏盐岩分布及其对盐下礁滩成藏的影响分析[J].科学技术与工程,2016,16(12):220-227.
TIAN Yu, ZHANG Xingyang, ZHU Guowei, et al. Distribution characteristics of saline deposits and influences on subsalt reef-beach hydrocarbon accumulations in the right rank area of Amu Darya Basin [J]. Science Technology and Engineering, 2016,16(12):220-227.
- [7] 龚美鑫,汪成勇,陈擎,等.柴达木盆地石圈滩地区铀矿钻探冲洗液研究与应用[J].钻探工程,2023,50(4):57-63.
GONG Meixin, WANG Chengyong, CHEN Qing, et al. Research and application of flushing fluid for uranium deposits drilling in Shiquantan area, Qaidam Basin[J]. Drilling Engineering, 2023,50(4):57-63.
- [8] 易强忠,熊正强,周兴华,等.景谷凹陷钾盐调查JG-2井饱和氯化镁盐水钻井液技术[J].钻探工程,2023,50(5):88-94.
YI Qiangzhong, XIONG Zhengqiang, ZHOU Xinghua, et al. Saturated magnesium chloride brine drilling fluid technology for the potassium salt survey Well JG-2 in Jinggu Sag[J]. Drilling Engineering, 2023,50(5):88-94.
- [9] 孙方龙,李子钰.复合欠饱和盐水钻井液体系在顺北志留系复杂地层的应用[J].钻探工程,2021,48(7):65-71.
SUN Fanglong, LI Ziyu. Application of the composite under-saturated brine drilling fluid system in drilling of Silurian complex formation in Shunbei [J]. Drilling Engineering, 2021, 48(7):65-71.
- [10] 虞海法,左凤江,耿东士,等.盐膏层有机盐钻井液技术研究与应用[J].钻井液与完井液,2004,21(5):8-11.
YU Haifa, ZUO Fengjiang, GENG Dongshi, et al. Organic salt drilling fluid for salt gypsum formation drilling[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2004,21(5):8-11.
- [11] 蔺文洁,黄志宇,张远德.高密度饱和盐水钻井液在盐膏层钻进中的维护技术[J].天然气勘探与开发,2011,34(1):64-67.
LIN Wenjie, HUANG Zhiyu, ZHANG Yuande. Maintenance technology of high-density saturated brine drilling fluid during drilling into salt-gypsum layer[J]. Natural Gas Exploration and Development, 2011,34(1):64-67.
- [12] 项明,李怀科,张向华,等.国内外盐膏层钻井液技术分析[J].当代化工,2024,53(8):1971-1974,2012.
XIANG Ming, LI Huaike, ZHANG Xianghua, et al. Analysis on salt gypsum drilling fluid technology at home and abroad[J]. Contemporary Chemical Industry, 2024, 53(8):1971-1974, 2012.
- [13] 郭春华,马玉芬.塔河油田盐下区块盐膏层钻井液技术[J].钻井液与完井液,2004,21(6):19-22.
GUO Chunhua, MA Yufen. Drilling fluid technology for salt-gypsum formation of Yanxia Block in Tahe Oilfield[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2004,21(6):19-22.
- [14] 艾贵成,梁志印,赵雷青,等.“软泥岩”钻井技术探讨[J].西部探矿工程,2009,21(4):110-112.
AI Guicheng, LIANG Zhiyin, ZHAO Leiqing, et al. Discussion on drilling technology for soft mudstone[J]. West-China Exploration Engineering, 2009,21(4):110-112.
- [15] 唐军,聂福贵,卢虎,等.抑制性抗钙盐岩盐与石膏侵污钻井液工艺技术试验研究[J].钻采工艺,2014,37(1):95-98.
TANG Jun, NIE Fugui, LU Hu, et al. Experimental research on drilling fluid process technology for inhibiting calcium salt rock salt and gypsum contamination[J]. Drilling & Production Technology, 2014,37(1):95-98.
- [16] 刘春来,杨永祥,赵晓竹,等.东巴格达油田盐膏层安全快速钻完井技术[J].石油石化节能,2022,12(12):31-35.
LIU Chunlai, YANG Yongxiang, ZHAO Xiaozhu, et al. Safe and fast drilling and completion technology for salt-gypsum stratum in East Baghdad Oilfield[J]. Energy Conservation in Petroleum & Petrochemical Industry, 2022,12(12):31-35.
- [17] 宗世玉,邹林兵,史方,等.塔里木盆地库车山前盐膏层钻井技术应用[J].石油工业技术监督,2021,37(10):14-16,29.
ZONG Shiyu, ZOU Linbing, SHI Fang, et al. Drilling technology for Kuqa Piedmont salt gypsum layer in Tarim Basin [J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2021, 37(10):14-16, 29.
- [18] 王学龙,何选蓬,刘先锋,等.塔里木克深9气田复杂超深井钻井关键技术[J].石油钻探技术,2020,48(1):15-20.
WANG Xuelong, HE Xuanpeng, LIU Xianfeng, et al. Key drilling technologies for complex ultra-deep wells in the Tarim Keshen 9 Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2020, 48(1):15-20.
- [19] 刘皓枫,黄文海,丁峰,等.楚探1井深部盐膏层钻井实践与分析[J].化工设计通讯,2018,44(9):231-232.
LIU Haofeng, HUANG Wenhai, DING Feng, et al. Drilling practice and analysis of deep salt paste layer in Chuyan 1 well [J]. Chemical Engineering Design Communications, 2018, 44(9):231-232.

(编辑 王文)