

# 塔里木盆地顺北区块二叠系井漏复杂的分析及对策

董小虎<sup>1</sup>, 李银婷<sup>2</sup>

(1. 中国石化西北油田分公司石油工程监督中心, 新疆 轮台 841600;  
2. 中国石化西北油田分公司石油工程技术研究院, 新疆 轮台 841600)

**摘要:** 顺北区块钻井项目施工中, 二叠系的井漏复杂情况较多, 漏失量大, 易发生再次或多次漏失, 严重时导致井壁垮塌掉块卡钻, 致使井下复杂情况高发, 给钻井工程带来损失, 影响了该区块的勘探开发速度。二叠系火成岩发育, 地层裂缝发育, 地层破裂, 钻井时井下复杂主要表现为漏失。针对此问题开展了顺北地区二叠系井漏复杂分析, 结合顺北区块施工项目的实际情况以及二叠系地层特点, 分析了该区块的二叠系钻进难点, 总结了随钻堵漏技术具体的施工措施和不同漏速下的堵漏方案。经过实践验证, 该综合防漏堵漏对策能有效减少井漏复杂, 提高堵漏效率。

**关键词:** 顺北区块; 二叠系; 井漏复杂; 随钻堵漏; 塔里木盆地

**中图分类号:** P634; TE242 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2020)02-0059-04

## Analysis and countermeasures for complex Permian well leakage in the Shunbei block of Tarim Basin

DONG Xiaohu<sup>1</sup>, LI Yinting<sup>2</sup>

(1. Petroleum Engineering Supervision Centre, SINOPEC Northwest Oilfield Branch, Luntai Xinjiang 841600, China;

2. Engineering Technology Institute, SINOPEC Northwest Oilfield Branch, Luntai Xinjiang 841600, China)

**Abstract:** In the Shunbei block drilling work, there are many wells with complicate circulation loss in the Permian formation, such as large amount of leakage, second or multiple leakage. In some worse cases, it leads to collapse of the borehole and bit sticking, causing frequent down hole difficulties, bringing losses to the drilling project, and inhibiting the speed of exploration and development of the block. The down hole complex conditions exhibit mainly in the manner of leakage due to development of Permian igneous rock and strata fracture. In order to solve this problem, analysis of the complex Permian well leakage in the Shunbei area was carried out, and the Permian drilling difficulty in the area was analyzed in the light of the actual drilling situation in the Shunbei block and the characteristics of the Permian strata. This paper summarizes the concrete plugging-while-drilling measures and plugging schemes for leakage at different rates. Field results have proven that this comprehensive leak plugging strategy can effectively reduce complex leakage and improve the leak plugging efficiency.

**Key words:** Shunbei block; Permian; complicated wells; plug-while-drill; Tarim Basin

塔里木盆地顺北区块地处新疆维吾尔自治区沙雅县境内, 属顺托果勒构造低隆北缘。顺北区块面临的技术难题之一是二叠系严重的反复恶性漏失, 这对顺北油田高效开发产生了不可忽视的影响。钻井实践统计, 二叠系漏失概率高达 68%, 失返性漏失引发的阻卡复杂严重阻碍了顺北区块的安全生产<sup>[1]</sup>。三叠系、二叠系压力系统不一致, 另外火成岩

井段存在严重的高地应力、径向应力失衡引起的井漏问题。三叠系阿克库勒组和柯吐尔组地层以泥岩为主, 夹砂砾岩, 钻进时易水化膨胀, 井眼失稳问题突出。二叠系发育巨厚英安岩及玄武岩等火成岩, 地层裂缝孔隙发育, 有井塌和井漏双重风险<sup>[2-7]</sup>。在部分情况下会出现漏失复发的现象, 这主要是由于堵漏技术与地层不相适应所致。本文通过对顺北

收稿日期: 2019-04-11 DOI: 10.12143/j.tkgc.2020.02.009

作者简介: 董小虎, 男, 汉族, 1988 年生, 工程师, 钻井工程专业, 长期从事石油钻井工程技术、生产与监督管理工作, 新疆轮台西北油田分公司石油工程监督中心, 405159856@qq.com。

引用格式: 董小虎, 李银婷. 塔里木盆地顺北区块二叠系井漏复杂的分析及对策[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(2): 59-62.

DONG Xiaohu, LI Yinting. Analysis and countermeasures for complex Permian well leakage in the Shunbei block of Tarim Basin[J].

Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(2): 59-62.

区块二叠系防漏、堵漏技术措施进行分析,对发生的复杂情况进行梳理总结,以期为顺北区块的现场钻井工作提供一定的参考。

## 1 区块特点

顺北区块油藏埋深超过 7500 m,为了满足勘探开发需要,井身结构设计中设计为四开制或者五开制<sup>[1]</sup>,二开作为重点施工阶段存在诸多复杂情况,二开确认钻穿二叠系,进入石炭系地层即可中完,中完井深 5100 m 左右,其中二叠系火成岩平均厚度超过 450 m,岩性以硬脆性英安岩、凝灰岩为主,通过分析顺北 3 井二叠系地层成像测井资料和顺北 5-5 井二叠系地层岩心可知,该区块二叠系英安岩、凝灰岩内部微裂缝发育,纵向分布以溶蚀孔洞为主,裂缝宽度 0.5~3.0 mm 内部裂缝发育,极易漏失<sup>[7-9]</sup>。统计部分已施工的顺北钻井项目的二叠系井漏复杂情况见表 1。

表 1 二叠系井漏复杂情况统计  
Table 1 Complex Permian well leakage

井号	井漏井深/m	层位	漏失量/m <sup>3</sup>
顺北 1-15	4459	二叠系	438.58
顺北 1-16	4583	二叠系	290.28
顺北 51X	4683	二叠系	202.00
顺北 53X	4481	二叠系	352.72
顺北 501	4833	二叠系	333.92
顺北 5-3	4821	二叠系	92.77
顺北鹰 1	4975	二叠系	107.22

## 2 井漏复杂分析

顺北地区二叠系的钻井难点主要表现为以下几点<sup>[7]</sup>。

(1)二叠系安全密度窗口较小,为满足上部井壁稳定和二叠系的井漏,二叠系钻进时钻井液的密度需要控制在 1.24 g/cm<sup>3</sup> 左右。

(2)二叠系英安岩和凝灰岩发育,英安岩和凝灰岩存在较多微裂缝,易发生漏失,且堵漏完存在周期性复漏的风险。

(3)二开井段中侏罗系和三叠系易塌、二叠系地层易井漏易塌,工程施工有井塌和井漏的双重风险,对钻井液的抑制和携岩能力有较高的要求,发生井漏后井筒围岩受力发生较大变化,因液柱压力降低导致井壁失稳垮塌风险急剧增大。

(4)钻进过程中为长裸眼,裸眼段长达 3600 m,

下钻时压力“激动”大容易压漏地层。

## 3 井漏复杂及对策

二叠系坚持“防漏为主、防堵结合的原则”,采取“控制钻井液合适密度、保持钻井液良好流动性、强化随钻封堵、优化不同漏速的堵漏浆浓度”并配合工程技术措施,降低二叠系井漏风险。具体施工措施有以下几个方面。

(1)为防止液柱压漏地层,密度控制在 1.24 g/cm<sup>3</sup> 左右,钻进排量控制在 25~28 L/s,作业期间维持钻井液性能稳定,保持粘度 48~52 s,塑性粘度 20~22 mPa·s,动切力 4~6 Pa,提前封堵和随钻堵漏,在进入二叠系前 50 m,按照井浆量一次性追加 2%~3%超细碳酸钙(500~800 目)、1%聚合物凝胶 PSD、1%~3%竹纤维和 3%高软化点沥青,提高钻井液的封堵性能。

(2)针对二叠系易漏易塌复杂,起钻前对二叠系进行封堵,提高井壁的稳定性和防止压力“激动”引起的井漏。起钻前配封闭浆 20~30 m<sup>3</sup>,泵入二叠系井段对地层进行封堵,封闭浆(浓度 10%)配方:井浆+1%聚合物凝胶 PSD+3%~4%竹纤维+1%~2%单封+3%高软化点沥青。

(3)二叠系井段控制起下钻的速度,每柱钻杆起下时间控制在 65~70 s,以减小起下钻时产生抽汲和“激动”压力,防止诱发井漏。

(4)下钻时进行分段循环,防止一次性下钻到底开泵困难或开泵循环发生井漏,循环排量最大不超过正常排量 1/2,循环点选择在井眼稳定井段,下钻到底顶通时缓慢开泵,先小排量循环,待井口返浆并且泵压正常后再逐渐提高排量,尽可能减小开泵产生的“激动”压力,防止诱发井漏。

(5)为提高机械钻速,现顺北区块二开多数采用 PDC 钻头+螺杆+扶正器钻具组合,此钻具组合在二叠系发生井漏后极易发生卡钻复杂,二叠系发生井漏后立即起钻简化钻具组合,甩掉螺杆和扶正器,为后续堵漏及钻进施工创造条件。

## 4 不同漏速下的堵漏技术

漏速不同,直接反应了钻遇地层的裂缝宽度存在差异,如何就不同的裂缝进行堵漏,结合其他区块的堵漏经验,寻找适合顺北区块二叠系的堵漏材料,进而提高堵漏效率<sup>[10-15]</sup>。

(1)二叠系钻进过程中,漏速 $<5\text{ m}^3/\text{h}$ ,做好随钻防漏工作,在井浆中加入浓度 $8\%\sim 12\%$ 堵漏材料,配方:井浆+ $1.5\%$ SQD-98(细粒微裂缝填充剂)+ $2\%\sim 3\%$ QS-2(500~800目细颗粒支撑剂,堵漏时起架桥作用)+ $1\%\sim 2\%$ 竹纤维(微裂缝填充剂)+ $1\%$ 云母(细)(片状支撑材料,堵漏时起架桥作用)。

(2)漏速在 $5\sim 10\text{ m}^3/\text{h}$ ,增加堵漏材料的浓度至 $12\%\sim 15\%$ ,配方:井浆+ $1\%\sim 2\%$ SQD-98(中粗微裂缝填充剂)+ $2\%\sim 3\%$ SQD-98(细粒微裂缝填充剂)+ $2\%\sim 3\%$ QS-2(500~800目细颗粒支撑剂)+ $2\%\sim 3\%$ 竹纤维(微裂缝填充剂)+ $2\%\sim 3\%$ 聚合物凝胶堵漏剂(胶状填充剂)+ $1\%$ 云母(片状支撑材料)。钻进期间配合使用目数较大的振动筛布,及时补充堵漏材料,保持堵漏剂的有效浓度。

(3)漏速在 $10\sim 20\text{ m}^3/\text{h}$ ,采用静止桥浆堵漏,提高堵漏材料浓度值 $18\%\sim 25\%$ ,配方:井浆+ $5\%\sim 8\%$ SQD-98(中粗粒微裂缝填充剂)+ $2\%\sim 3\%$ QS-2(500~800目细颗粒支撑剂)+ $2\%\sim 3\%$ 竹纤维(微裂缝填充剂)+ $2\%\sim 3\%$ 凝胶堵漏剂(胶状填充剂)+ $2\%$ 复合堵漏剂FHD-1(堵漏充填剂)+ $2\%\sim 3\%$ 承压堵漏剂(凝结型堵漏充填剂)。

(4)漏速在大于 $20\text{ m}^3/\text{h}$ 甚至失返性漏失,建议更换光钻杆进行专项堵漏,注入堵漏剂通过“高注高挤”方式进行,确保井下安全,堵漏浆浓度在 $25\%\sim 35\%$ 。配方:井浆+ $5\%$ SQD-98(中粗裂缝填充剂)+ $5\%$ SQD-98(细粒微裂缝填充剂)+ $2\%$ 云母(80目片状支撑材料)+ $1\%$ 云母(细)+ $3\%$ 核桃壳(细、不规则支撑材料)+ $3\%$ 核桃壳(中粗不规则支撑材料)+ $2\%$ QS-2(800目细颗粒支撑剂)+ $3\%$ 沥青粉(封堵稳定井壁)+ $2\%$ 复合堵漏剂FHD-1(堵漏充填剂)。

堵漏剂的主要性能参数:密度 $1.24\sim 1.25\text{ g}/\text{cm}^3$ ;粘度 $48\sim 52\text{ s}$ ;塑性粘度 $20\sim 22\text{ mPa}\cdot\text{s}$ ;动切力 $4\sim 6\text{ Pa}$ ;静切力 $2/6\text{ Pa}$ ;失水量 $3\sim 4\text{ mL}$ ;HTHP失水量 $9\sim 11\text{ mL}(110\text{ }^\circ\text{C})$ 。

## 5 实践应用

按照以上防漏堵漏的技术方案,配合细化钻井工程技术措施,在顺北区块二叠系井段多次应用,取得了一些效果,统计不同漏速的堵漏效果如表2所示。

表2 二叠系不同漏速情况的堵漏效果统计  
Table 2 Sealing results for different leakage rates in the Permian formation

井号	二叠系段长/ m	施工密度/ ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	钻进漏失量/ $\text{m}^3$	最大漏速/ ( $\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ )	堵漏成功率/%
顺北1-9	423	1.25	0.00	0	0
顺北1-11	641	1.24	44.84	18	100
顺北1-15	660	1.24	438.58	失返性	30

二叠系地层的非均质性强,裂缝发育不均衡,存在不同的钻井项目二叠系的漏失速度不一样,即可通过不同漏速下的堵漏配方进行施工。其中顺北1-9井预防堵漏效果较好,二叠系井段无漏失情况。顺北1-11井在钻进至井深4534.36m,发生漏失漏速 $18\text{ m}^3/\text{h}$ ,钻具组合: $269.9\text{ mm}$ PDC钻头+ $\text{O}197\text{ mm}$ 螺杆( $0.5^\circ$ )+定向短节+无磁钻铤+扶正器+ $\text{O}190.5\text{ mm}$ 钻铤 $\times 12$ 根+ $\text{O}139.7\text{ mm}$ 钻杆。为保证堵漏安全,简化钻具组合: $\text{O}269.9\text{ mm}$ PDC钻头+ $\text{O}190.5\text{ mm}$ 钻铤 $\times 10$ 根+ $\text{O}177.8\text{ mm}$ 柔性短节+ $\text{O}177.8\text{ mm}$ 随钻震击器+ $\text{O}190.5\text{ mm}$ DC $\times 2$ 根+ $\text{O}139.7\text{ mm}$ 钻杆。采用相应的堵漏配方完成堵漏后,井内稳定无漏失,安全完成二开施工。顺北1-15井在钻进至井深4459.07m发生失返性漏失,专项堵漏钻具组合:铣齿接头+ $\text{O}139.7\text{ mm}$ 钻杆。在后续堵漏成功后发生6次复漏,每次按照堵漏技术方案进行堵漏,复漏原因为地层裂缝大,漏速大,堵漏材料停留支撑力不足,造成多次复漏,经过反复堵漏提高了地层承压能力。

## 6 结论及建议

(1)顺北二叠系火成岩具有非均质性强、裂缝发育及裂缝易扩展的特点,钻井过程中不同漏速在二叠系常有发生,细化不同漏速的堵漏技术很有必要。

(2)防漏堵漏工作从做好随钻堵漏的钻井液配方入手,同时细化工程技术方案对于预防井漏有着重大作用,特别是简化钻具组合可减少堵漏期间的复杂情况。

(3)钻井液封闭浆的配置使用作为强化井壁稳定、减少掉块有着重大作用,极大减轻了下钻期间的阻卡问题,可作为较小压力“激动”、预防井漏的一种特效技术。

(4)竹纤维+凝胶堵漏材料的复配使用,对预防和封堵二叠系裂缝型漏失有较好的效果,在失返性

漏失方面仍需要寻找更好的材料配方,提高失返性漏失的一次堵漏成功率。

### 参考文献(References):

- [1] 赵志国,白彬珍,何世明,等.顺北油田超深井优快钻井技术[J].石油钻探技术,2017,45(6):8-13.  
ZHAO Zhiguo, BAI Binzhen, HE Shiming, et al. Optimization of fast drilling technology for ultra-deep wells in the Shunbei Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2017,45(6):8-13.
- [2] 李锦峰.恶性漏失地层堵漏技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(5):19-27.  
LI Jinfeng. The status and development diction of plugging technology for severe circulation loss formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(5):19-27.
- [3] 王伟志,刘庆来,郭新健,等.塔河油田防漏堵漏技术综述[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(3):42-46.  
WANG Weizhi, LIU Qinglai, GUO Xinjian, et al. Review of lost circulation prevention and plugging techniques in Tate Oilfield[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(3):42-46.
- [4] 刘景涛,张文,于洋,等.二叠系火成岩地层井壁稳定性分析[J].中国生产安全科学技术,2019,15(1):75-80.  
LIU Jingtao, ZHANG Wen, YU Yang, et al. Analysis on wellbore stability in Permian igneous rock formation[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2019,15(1):75-80.
- [5] 赵巍,李波,高云文,等.诱导性裂缝防漏堵漏钻井液研究[J].油田化学,2013,30(1):1-4.  
ZHAO Wei, LI Bo, GAO Yunwen, et al. Study of lost circulation protection and control drilling fluid for induced cracks[J]. Oilfield Chemistry, 2013,30(1):1-4.
- [6] 牛晓,潘丽娟,甄玉辉,等.SHB1-6H井长裸眼钻井液技术[J].钻井液与完井液,2016,33(5):30-34.  
NIU Xiao, PAN Lijuan, ZHEN Yuhui, et al. Drilling fluid technology for long open hole section of Well SHB1-6H[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2016,33(5):30-34.
- [7] 肖绪玉,史东军,李国楠,等.塔里木盆地顺北地区二叠系随钻堵漏技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2017,44(10):37-41.  
XIAO Xuyu, SHI Dongjun, LI Guonan, et al. Plugging while drilling technology for permian in Shunbei Area of Tarim Basin[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017,44(10):37-41.
- [8] 金军斌.塔里木盆地顺北区块超深井火成岩钻井液技术[J].石油钻探技术,2016,44(6):17-23.  
JIN Junbin. Drilling fluid technology for igneous rocks in ultra-deep wells in the Shunbei Area, Tarim Basin[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2016,44(6):17-23.
- [9] 张希文,李爽,张洁,等.钻井液堵漏材料及防漏堵漏技术研究进展[J].钻井液与完井液,2009(6):74-76.  
ZHANG Xiwen, LI Shuang, ZHANG Jie, et al. Research progress on lost circulation materials and lost circulation control technology[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2009(6):74-76.
- [10] 宋明全,王悦坚,江山红.塔河油田深井超深井钻井液技术难点与对策[J].石油钻探技术,2005,33(5):80-82.  
SONG Mingquan, WANG Yuejian, JIANG Shanhong. Technical challenges and solutions of drilling fluid techniques in deep and ultra-deep well in Tahe Oilfield[J]. Petroleum Drilling Technology, 2005,33(5):80-82.
- [11] 陈军,王先兵,刘松,等.恶性井漏治理现状及展望[J].石油化工应用,2017,36(6):12-15.  
CHEN Jun, WANG Xianbing, LIU Song, et al. Serious lost circulation current situation and disposing prospects[J]. Petrochemical Industry Application, 2017,36(6):12-15.
- [12] 邹和均,余丽彬,汪志强,等.塔河油田托普区块二叠系高承压堵漏技术[J].钻井液与完井液,2011,28(4):78-80.  
ZOU Hejun, YU Libin, WANG Zhiqiang, et al. Research on technology of sealing under high pressure in Permian Tuofu Block of Tahe Oilfield[J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2011,28(4):78-80.
- [13] 徐孝思,李坤,敬祖佑,等.MTC复合堵漏技术在塔里木和田河气田MA4-H1井中的应用[J].钻采工艺,2003,26(3):82-83.  
XU Xiaosi, LI Kun, JING Zuyou, et al. Application of MTC compound plugging technology in well MA4-H1 in Hetianhe Gas Field of Tarim Basin[J]. Drilling & Production Technology, 2003,26(3):82-83.
- [14] 万云祥.金跃地区超深、长裸眼井漏特点及技术对策[J].石油化工,2014,6(31):34-35.  
WAN Yunxiang. Characteristics and technical countermeasures of ultra-deep and long open hole leakage in Jinyue Area[J]. Petrochemical Technology, 2014,6(31):34-35.
- [15] 陈星星.涪陵页岩气田防漏堵漏技术应用研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(3):11-14.  
CHEN Xingxing. Application research on lost circulation prevention and plugging in Fuling Shale Gas Field[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(3):11-14.
- [16] 李金锁,王宗培.塔河油田玄武岩地层垮塌、漏失机理与对策[J].西部探矿工程,2006,18(5):137-139.  
LI Jinsuo, WANG Zongpei. Mechanism of and countermeasures for basalt formation collapse and leakage in Tahe Oilfield[J]. West-China Exploration Engineering, 2006,18(5):137-139.
- [17] 刘仕银,孙荣,毛鑫.顺北油田钻井提速浅析与探讨[J].西部探矿工程,2018,18(1):66-68.  
LIU Shiyin, SUN Rong, MAO Xin. Increasing of drilling rates in Shunbei Oilfield[J]. West-China Exploration Engineering, 2018,18(1):66-68.

(编辑 韩丽丽)