

# 川西南柳家场向斜构造井壁失稳过程及处理对策 ——以荣1井遂宁组、沙溪庙组为例

周明

中国石化重庆钻井分公司

DOI: 10.12238/jpm.v5i10.7264

**[摘要]** 四川盆地川西南平缓构造带铁山威远构造带柳家场向斜构造观音镇区域，位于四川省宜宾市叙州区观音镇，2024年6月8日完钻的荣1井为该区域提供了详实的地质资料及实钻数据，该井一开在700–1995m（遂宁组、沙溪庙组）发生井壁失稳，起钻期间返出大量掉块，阻卡、埋钻风险极高，通过多次循环注重稠浆携砂、强化泥浆性能、倒划眼起钻修整井壁、简化组合钻进，提密度至 $1.59\text{g}/\text{cm}^3$ 后，井壁失稳逐步得到控制，通过总结分析为后期该区域该地层安全高效钻井提供了实钻数据支撑。

**[关键词]** 预探井；荣1井；钻井液；井壁失稳；

## The process and treatment measures of wellbore instability in the Liujiachang syncline structure in southwestern Sichuan ——Taking Rong 1 Well Suining Formation and Shaximiao Formation as examples

Zhou Ming

Sinopec Chongqing Drilling Branch

**[Abstract]** The Guanyin Town area of the Liujiachang syncline structure in the Tieshan Weiyuan structural belt of the southwestern Sichuan Basin is located in Guanyin Town, Xuzhou District, Yibin City, Sichuan Province. The Rong 1 well, which was completed on June 8, 2024, provided detailed geological data and actual drilling data for the area. When the well was first drilled at 700–1995m (Suining Formation, Shaximiao Formation), the wellbore instability occurred, and a large number of blocks were returned during the drilling period, which posed a high risk of blockage and buried drilling. Through multiple cycles, attention was paid to the sand carrying of thick slurry, the mud performance was strengthened, the drilling hole was cut back to repair the wellbore, and the combination drilling was simplified. After increasing the density to  $1.59\text{g}/\text{cm}^3$ , the wellbore instability was gradually controlled. Through summary and analysis, it can be concluded that... In the later stage, the safe and efficient drilling of this formation in the area provided actual drilling data support.

**[Key words]** pre exploration well; Rong 1 well; Drilling fluid; Wellbore instability;

### 引言

通过川西南平缓构造带铁山威远构造带柳家场向斜构造观音镇区块的实钻勘探，详细的了解了本区域的地质构造特点，以荣1井的施工为例，一开遂宁组、沙溪庙组地层实钻情况对比同区域直线距离10.19km的宜页1井，本井实钻地层侧向应力更高，通过对井壁失稳、掉块阻卡的处理，为二开开钻上调钻井液密度保证二开井段安全钻进提供了可靠的依据，极大的降低了二开陆相须家河组页岩井塌及掉块阻卡风险，也探索出了本区域后续施工可靠的钻井液密度值选取和防塌性能

维护，后期同区域部署井本井段的主要风险防控点，以及发生类似异常的防控措施和处理方法，对提速提效、确保安全钻进具有重要意义[1]。

### 一、基本情况

#### (1) 井身结构

导管： $\Phi 444.5\text{mm} \times 201\text{m} / \Phi 346.1\text{mm} \times 198.89\text{m}$

一开： $\Phi 320.6\text{mm} \times 2201\text{m}$

#### (2) 地层压力预测

层位	地层孔隙压力梯度 (MPa/100m)		地层破裂压力梯度 (MPa/100m)		地层坍塌压力梯度 (MPa/100m)	
	下限	上限	下限	上限	下限	上限
白垩系-自流井组	1	1.10	1.77	2.20	0.50	1

(3) 邻井相应地层密度使用

层位	地层垂深 (m)	页岩 1	
		下限 (g/cm <sup>3</sup> )	上限 (g/cm <sup>3</sup> )
遂宁组	2053	1.26	1.32
上沙溪庙组	2621	1.32	1.35
下沙溪庙组	2757	1.34	1.35

(4) 失稳地层及岩性

组	设计井深 (m)	设计垂厚 (m)	实钻井深 (m)	实钻厚度 (m)	垂深 (m)	垂厚 (m)	主要岩性特征简述
遂宁组	1180	480	1158	436	1157.91	435.95	棕红色泥岩、粉砂质泥岩与褐灰色细粒岩屑砂岩、粉砂岩略等厚互层。与下伏地层呈整合接触。
上沙溪庙组	1730	550	1628	470	1627.7	469.79	浅绿灰色细粒、褐灰色粉砂岩、泥质粉砂岩与棕褐色泥岩等厚~略等厚互层。与下伏下沙溪庙组地层呈整合接触。
下沙溪庙组	1995	265	1980	352	1979.65	351.95	棕褐色泥岩、粉砂质泥岩与浅绿灰色细粒岩屑砂岩、粉砂岩略等厚互层。与下伏地层呈整合接触。

起下钻异常地层：沙溪庙组、遂宁组。

(5) 泥浆性能

①井壁失稳时钻井液性能，钾基聚合物钻井液： $\rho$ ：1.36g/cm<sup>3</sup>，FV：56s，六速：94/58/38/23/3/2，塑粘：36mpa.s，动切力：11pa，初/终：1.0/6.0Pa，API 失水：2.8mL，泥饼：0.5mm，pH 值：9.0，含砂：0.2%，固含 Cv：13%，坂含 Cb：20g/L，钾离子 21600mg/L。

②正常后钻井液性能，钾基聚合物钻井液： $\rho$ ：1.56g/cm<sup>3</sup>，FV：68s，六速：117/73/56/35/6/5，塑粘：44mpa.s，动切力：14.5pa，初/终：2.5/14Pa，API 失水：3.2mL，泥饼：0.5mm，pH 值：9.0，含砂：0.2%，固含 Cv：26%，坂含 Cb：28g/L，钾离子 31200 mg/L。

(6) 钻具组合

$\phi$  320.6mmPDC 钻头+7LZ244 $\times$ 7.0-1 $^\circ$  单弯螺杆 ( $\phi$  312mm 扶正器)+回压阀+ $\phi$  203.2mm 短钻铤+ $\phi$  318mm 扶正器+ $\phi$  203.2mm 无磁钻铤 1 根+无磁悬挂短接+ $\phi$  203.2mm 螺旋钻铤 $\times$ 15 根+631 $\times$ 520+旁通阀+ $\phi$  139.7mm 加重钻杆 $\times$ 3 根+ $\phi$  139.7mm 钻杆。

## 二、井壁失稳发生经过

从理论上讲井壁失稳主要原因是因为井眼形成后，一定时间内钻井液密度偏低，钻井液液柱压力未能克服地层产生的侧向应力，导致井壁岩屑产生形变、断裂向井眼中心滑移，同时钻井液失水对泥岩的毛细管、水化膨胀影响，泥岩在地层中排列的倾角、倾向都是影响因素。

荣 1 井一开钻进至井深 2146m 因钻时持续变慢，钻进效率低，决定起钻更换钻具组合，做起钻准备期间注入密度 1.70g/cm<sup>3</sup> 粘度 110s 重稠浆 10m<sup>3</sup> 携带岩屑，返出岩屑以细小颗粒为主含少量掉块，井内基本正常；起钻至 2070m 有遇阻现象，接顶驱带泵上提通过；自 1995m 开始遇阻严重，其中 1995-700m

井段起钻期间每柱上提均存在遇阻现象，1995-1767m 井段为沙溪庙与自流井组交界段至下沙溪庙中上部，遇阻严重，通过倒划循环携砂处理，因细小岩屑较多，划眼后循环注入密度 1.75g/cm<sup>3</sup> 粘度 110s 重稠浆 12m<sup>3</sup> 携带岩屑，返出少量 3cm $\times$ 2cm $\times$ 1cm 掉块及大量细小岩屑。1767-1322m 井段起钻间断遇阻，带泵通过，起钻至 1322m 再次遇阻严重，地层位于上沙溪庙中部，1322-1296m 井段倒划期间振动筛持续返出大量掉块，根据划眼携砂情况混重浆提井浆密度至 1.48g/cm<sup>3</sup>，振动筛返出大量 6cm $\times$ 3cm $\times$ 0.5cm 掉块约 3m<sup>3</sup>。带泵起钻井深 1180m 遇阻，地层位于上沙溪庙组与遂宁组交接处附近，倒划通过后循环，振动筛返出 4cm $\times$ 2cm $\times$ 1cm 掉块约 7m<sup>3</sup>；井深 891m、700m、663m 遂宁组、遂宁组与蓬莱镇交界处倒划起钻顶驱憋卡严重，采取寸提方式缓慢倒划通畅，振动筛返出 5-6cm $\times$ 3-4cm $\times$ 1-1.5cm 掉块约 9m<sup>3</sup>。

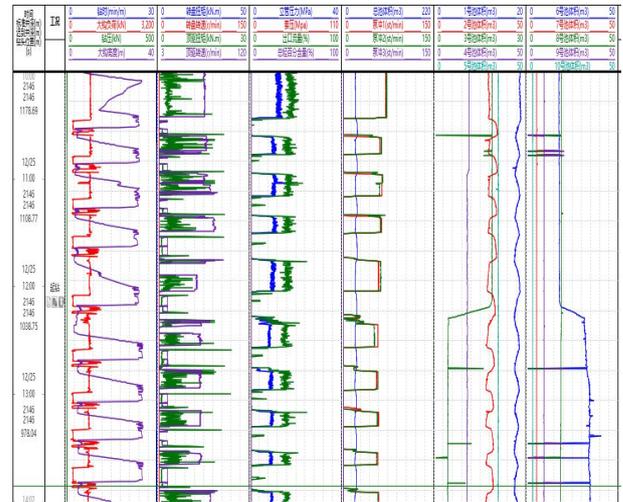




图1 起钻划眼曲线截图及返出掉块情况

结合 1995-663m 井段倒划起钻情况, 倒划期间累计返出掉块 19m<sup>3</sup>, 岩性主要为棕红色泥岩、浅灰色细粒砂岩, 地质归位井段为沙溪庙及遂宁组层段, 判断为井壁严重失稳; 经对比设计本井一开地层多数地层提前设计 15-20m, 使用简化组合下钻处理井壁失稳情况, 根据下钻受阻划眼及出口返屑情况择机注重稠浆携砂清洁井眼, 到底确认井眼正常后恢复钻进直到中完。

### 三、处理过程

#### (1) 简化组合通井、钻进:

①钻具组合:  $\phi 320.6\text{mm}$  PDC 钻头+双母浮阀+ $\phi 203.2\text{mm}$  无磁钻铤 1 根+ $\phi 203.2\text{mm}$  无磁悬挂短接+ $\phi 203.2\text{mm}$  螺旋钻铤 $\times 15$  根+ $631 \times 520$ +旁通阀+ $\phi 139.7\text{mm}$  加重钻杆 $\times 3$  根+ $\phi 139.7\text{mm}$  钻杆。

②下钻划眼参数: 转速: 40-70rpm, 排量: 50-60L/s, 泵压: 12-18MPa, 设定扭矩: 18KN.m, 扭矩: 2-18KN.m。

下钻至井深 732m 受阻接顶驱划眼处理, 期间除 983-1163m 井段下钻正常, 其余均采用划眼处理, 主要井段下钻及划眼情况如下:

730-830m、830-983m 井段划眼期间有憋停顶驱现象, 振动筛返出 2-8cm $\times$ 2-7cm $\times$ 1.5-4cm 掉块约 5.8m<sup>3</sup>; 1163-1185m 划眼过程中有环空憋泵及憋停顶驱现象, 振动筛返出 1-3cm $\times$ 1-2cm $\times$ 0.5-1cm 掉块约 2m<sup>3</sup>;

鉴于下钻划眼困难, 井下掉块多, 1400-1420m 划眼正常后注密度 1.90g/cm<sup>3</sup> 粘度 160s 重稠浆 21m<sup>3</sup> 清洁井筒, 振动筛返出 1-4cm $\times$ 2-3cm $\times$ 0.5-1cm 掉块约 2m<sup>3</sup>; 1800-2120m 划眼有憋停顶驱现象, 振动筛返出掉块增多, 返出 1-3cm $\times$ 1-2cm $\times$ 0.5-1cm 掉块约 2.5m<sup>3</sup>。

#### ②调整钻井液密度

结合 730-1420m 下钻划眼及组稠浆携砂掉块返出情况, 井壁失稳情况未得到抑制, 将钻井液密度上调 1.36 $\uparrow$ 1.50g/cm<sup>3</sup>, 同时加入 KCL, 超细碳酸钙, FT-1, 增强对井壁的物理支撑及抑制和封堵性, 提高粘切增强携带和悬浮能力。

#### ③到底后注重稠浆携砂

下钻、划眼到底; 循环正常后注密度 1.90g/cm<sup>3</sup> 粘度 168s 重稠浆 20m<sup>3</sup> 携带岩屑, 振动筛返出 2-3cm $\times$ 2cm $\times$ 0.5cm 掉块约 2m<sup>3</sup>, 未见有大掉快返出后恢复钻进。

#### ④再次钻井液密度

因钻进期间仍有掉块憋顶驱现象, 再次上提井浆密度至 1.56g/cm<sup>3</sup>, 同时进一步增强钻井液封堵抑制性能。

#### ⑤短程起下钻验证井眼稳定情况

上提井浆密度至 1.56g/cm<sup>3</sup> 循环正常后, 短起划眼至井深 1932m, 倒划期间憋顶驱转速, 振动筛无明显掉块返出, 判断井内仍有少量掉块, 决定配重稠浆携砂; 下钻划眼到底, 开泵划眼下放扭矩波动平稳, 停泵顶驱下放阻力较大, 不能正常通过, 判断为井壁失稳后, 井下部分大掉块仍未返出。

#### ⑥到底注重稠浆携砂进一步提高抑制性

开泵顶通后逐渐提排量至 65l/s 排量循环, 循环期间维持 6-8% 封堵剂, 增强封堵防塌能力, 氯化钾含量 7%, 钾离子 $\geq 30000\text{mg/l}$ , 氯离子 50000-60000, 循环正常后注密度 2.10g/cm<sup>3</sup> 粘度 380s 重稠浆 28m<sup>3</sup> 携砂, 期间振动筛返出 4-7cm $\times$ 4-6cm $\times$ 1-2.5cm 掉块约 1m<sup>3</sup>; 重浆携砂后裸眼段上提摩阻 40-80KN, 起钻正常, 实测钻井液密度 1.59g/cm<sup>3</sup>。

钻井液性能数据: 体系钾基聚合物钻井液:  $\rho$ : 1.59g/cm<sup>3</sup>, FV: 70s, 六速: 120/75/56/35/6/5, 塑粘: 45mpa.s, 动切力: 15pa, 初/终: 3.5/15Pa, API 失水: 3.2mL, 泥饼: 0.5mm, pH 值: 9.0, 含砂: 0.2%, 固含 Cv: 27%, 坂含 Cb: 28g/L, 钾离子 32400mg/L。

#### ⑦测井前组下扶通井钻具验证井眼稳定情况

通井组合:  $\phi 320.6\text{mm}$  牙轮钻头+双母浮阀+ $\phi 203.2\text{mm}$  无磁钻铤 1 根+ $\phi 316\text{mm}$  扶正器+ $\phi 203.2\text{mm}$  螺旋钻铤 $\times 12$  根+ $631 \times 520$ +旁通阀+ $\phi 139.7\text{mm}$  加重钻杆 $\times 3$  根+ $\phi 139.7\text{mm}$  钻杆。

测井前组下通井钻具组合下钻下放摩阻 40-80KN, 返浆正常(期间井深 658m、1479m 受阻, 接顶驱划眼通过, 带泵下放探底在井深 2194-2199m 时有沉砂憋停顶驱现象)。

下钻到底循环正常后, 注密度 2.05g/cm<sup>3</sup> 粘度 350s 重稠浆 20m<sup>3</sup> 清洁井筒, 振动筛返出 2-3cm $\times$ 1-2cm $\times$ 0.2-0.6cm 掉块约 0.5m<sup>3</sup>。

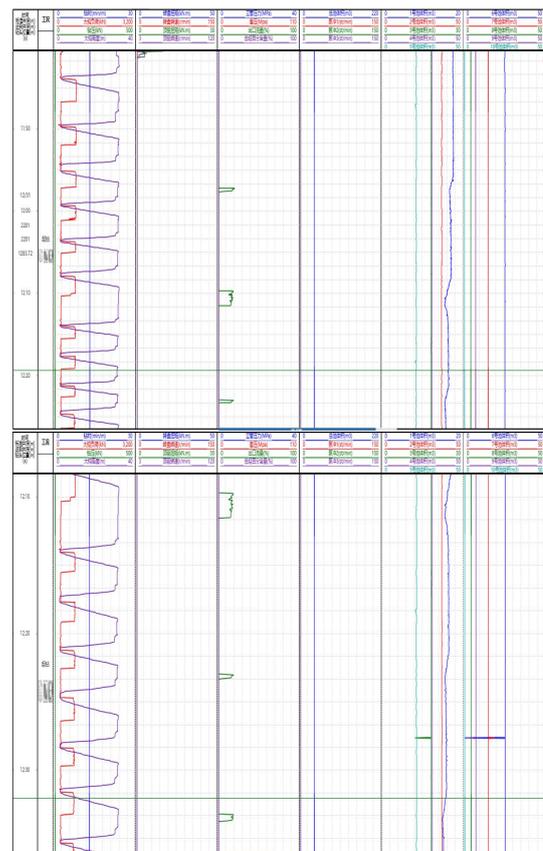


图2 起钻曲线截图

#### ⑧测井前通井起钻前短起下再次验证井眼稳定情况

注密度 2.05g/cm<sup>3</sup> 粘度 350s 重稠浆 20m<sup>3</sup> 携砂后, 短起至井深 1788m 验证, 上提摩阻 30-40KN, 短起下钻到底, 下放 30-50KN, 返浆正常(期间井深 2033m 受阻, 上下活动后正常

下转第 40 页

溯。

#### 4.2 建立科学、规范的检测标准

检测标准应明确规定各检测项目的操作流程和具体方法,对检测过程中的取样、制样、试验、数据处理等环节进行详细说明,确保检测人员能够按照标准要求进行操作。随着混凝土材料和技术的不断发展,检测标准也应随之更新和完善,行业应定期对现有标准进行评估和修订,以适应新的发展趋势和要求。制定标准的目的是确保其得到有效执行,相关部门应加强对混凝土建筑材料试验检测机构的监督和管理,确保其按照标准要求进行操作,对不符合标准的机构应进行整改或取缔。此外,对实验室和检测过程进行定期的监督检查,包括现场检查、数据审查和质量管理体系评估等,有助于确保实验室的操作符合标准要求,并提供可靠的测试结果。

#### 4.3 使用先进技术与设备

使用先进的技术和设备可以有效降低混凝土建筑材料试验检测的误差,提高质量控制水平。采用自动化测试设备可以减少人为操作的误差,并提高测试的准确性和重复性。例如,自动测定坍落度的设备和自动压力机等。采用高精度的测试仪器可以提高测量的准确性和精度。例如,使用精确的称重设备、温度计、湿度计等来测量混凝土材料的重量、温度和湿度等参数。或者积极引入相关的非破坏性测试技术,非破坏性测试技术可通过使用超声波、射线或电磁波等方法,对混凝土材料进

行评估,而无需对试样进行破坏性的测试,这种技术可以提供更准确的材料性能评估,同时避免了试样损坏和浪费。

#### 结束语

总而言之,混凝土建筑材料试验检测及质量控制对保障建筑安全具有重要意义。通过科学的检测标准和方法,实现对混凝土材料性能的准确评估,为工程设计提供可靠依据。同时有效的检测过程管理确保了检测结果的准确性和可靠性,提高了混凝土建筑的质量水平,经过一系列的质量控制措施,混凝土材料的质量得到了有效保障,显著降低了建筑物的安全隐患,不仅提升了建筑行业的整体水平,也为社会经济发展提供了有力支持。

#### [参考文献]

- [1]林新升.浅析混凝土建筑材料试验检测及质量控制[J].中国科技期刊数据库工业A, 2023(4): 80-83.
- [2]刘小翠.混凝土建筑材料试验检测及相关质量控制[J].砖瓦世界, 2021(6): 104-106.
- [3]白会玲.建筑工程水泥混凝土原材料的试验检测及质量控制[J].大众标准化, 2022(13): 12-14.
- [4]牛文桂.探讨混凝土建筑材料试验检测及相关质量控制[J].工程与管理科学, 2023, 5(1): 79-81.
- [5]于江鹏.建筑工程水泥混凝土原材料试验检测及质量控制分析[J].信息产业报道, 2023(6): 100-102.

#### 上接第37页

通过);确认活动钻具正常,井内无蹩卡,上提钻注密度 $1.59\text{g}/\text{cm}^3$ 粘度72s封闭浆70m<sup>3</sup>,顶替到位,封闭井段2201-1334m。

#### 四、施工中存在的问题

(1)本井为预探井,可对比资料少,邻井宣页1井相对应井深及地层钻井液密度最高 $1.36\text{g}/\text{cm}^3$ ,本井采用 $1.36\text{g}/\text{cm}^3$ 的钻井液密度仍不能有效平衡井壁岩石侧向应力。

(2)钻井液方对探井的风险认识不足,井深1237m短起至遂宁组期间,实钻密度 $1.36\text{g}/\text{cm}^3$ 遇阻循环,第二周已有明显掉块返出,泥浆方考虑防漏未及及时上提钻井液密度及加足封堵抑制材料,钻井液抑制性、护壁性较差,导致井壁失稳。

(3)钻井液悬浮携砂能力不足,起下钻重浆携砂期间出口返出大量陈旧性掉块,导致井下掉块阻挂。

(4)钻进期间接立柱位置相对固定,导致大多数遇阻点在钻具上提两米左右,相对固定位置,开泵或顶驱后阻挂消失。

(5)沙溪庙组以棕红色泥岩及浅灰色砂岩为主,地层软硬交错,胶结性差,遂宁组泥岩为主,地层易水化膨胀导致缩径,正常钻进期间返砂正常,起钻至该井段遇阻后开泵划眼时井壁出现失稳。

(6)沙溪庙组、遂宁组井壁失稳后,注重稠浆携砂时,井浆密度 $1.36\text{g}/\text{cm}^3$ 时,重稠浆密度 $1.75\text{g}/\text{cm}^3$ 密度和方量偏低,重稠浆密度应高于井浆 $0.4\text{g}/\text{cm}^3$ 以上,粘度180s以上,体积20m<sup>3</sup>以上,保证携砂效果[2]。

#### 五、认识与建议

(1)钻进期间应注意加强返屑观察,结合地质方分析实钻返出岩屑岩性及层位,尤其时岩屑形状及尺寸大小发生变化,且有增大的趋势后,应及时调整钻井液性能,控制失水,增强抑制性,若无效果应及时调整钻井液密度,增加物理支撑,本区域钻井液密度建议:打儿凶组密度不低于 $1.23\text{g}/\text{cm}^3$ ,窝头

山组上提至 $1.28\text{g}/\text{cm}^3$ ,天马山组密度 $1.36\text{g}/\text{cm}^3$ ,蓬莱镇组 $1.45\text{g}/\text{cm}^3$ ,遂宁组 $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ ,沙溪庙组 $1.59\text{g}/\text{cm}^3$ 。

(2)一开 $\phi 320.6\text{mm}$ 井眼中,钻进、循环期间注意保证排量65l/s以上携砂,钻井液动塑比控制在0.3-0.5之间,确保岩屑及掉块时带出。

(3)地层松软的泥岩井段及易产生虚后泥皮的砂岩井段,应及时优化参数“快打快封”,缩短钻井液浸泡周期。

(4)沙溪庙组、遂宁组井壁失稳,打儿凶、窝头山、天马山地层井壁稳定性差,大尺寸井眼注重稠浆携砂时,重稠浆密度应高于井浆 $0.4\text{g}/\text{cm}^3$ 以上,粘度180s以上,体积20m<sup>3</sup>以上,保证携砂效果。

(5)对于井壁稳定性差、垮塌严重的地层,采用牙轮+钻杆的组合通井,到底后注重稠浆大排量携砂,保证掉块有效返出。

(6)发生井壁失稳或井下憋钻时避免停泵或降排量上提,注意稳定循环排量,防止因排量降低导致沉砂卡钻、埋钻;施工期间将多台备用钻井泵处于并联待命状态,发生在使用钻井泵上水异常导致立压下降导致排量降低时,迅速启动备用泵上提至正常循环排量。

(7)细化操作措施,失稳井段井壁不规则、井壁台阶及井径扩大段易产生掉块堆积,起钻时严格控制上提速度和摩阻吨位,避免瞬时遇阻过大导致上提吨位过高导致阻卡,上提时注意判断遇阻方向,遇阻两到三次后及时反向活动钻具,如无效果及时接顶驱划眼处理。

#### [参考文献]

- [1]艾常明,莫康荣,黄飞宇.涪洲组井壁失稳的应对措施[J].化工设计通讯, 2024, 50(4): 57-59.
- [2]冯永超,李大雷.涪河油田页岩油储层井壁失稳机理研究[J].石油地质与工程, 2024, 38(1): 122-126.