

## 机械工程

## 顺北区块碳酸盐岩破碎性地层卡钻案例探讨

张嘉懿<sup>1\*</sup> 熊博<sup>2</sup> 沈东皞<sup>3</sup>

中石化西北油田分公司石油工程监督中心

DOI: 10.12238/jpm.v5i8.7138

**[摘要]** 顺北区块奥陶系碳酸盐岩缝洞型储层平均井深超过 8000m, 随着储层不断开发, 破碎性地层和低压储层在钻井过程中出现井眼坍塌剥落, 井壁掉块多的现象。一方面受井眼轨迹控制要求, 在增斜、稳斜过程中, 岩屑床掉块清理携带困难, 另一方面, 裂缝-孔洞型储集层井漏多发, 漏失量大, 堵漏效果差, 出现卡钻故障风险高, 钻井困难。通过总结近期顺北各条带施工井目的层的钻井施工情况, 细化完善低压储层、破碎性地层钻井措施, 从而提出具有顺北区块主干断裂的针对性的钻井液、工程技术措施, 为顺北主干断裂奥陶系目的层安全钻井, 提供钻井技术支持。

**[关键词]** 破碎性地层; 碳酸盐岩; 超深井安全钻井

## Study of broken drilling of carbonate rock in ShunDistrict

Zhang Jiayi 1\* Xiong Bo<sup>2</sup> Shen Donghao<sup>3</sup>

Petroleum Engineering Supervision Center of Northwest Oilfield Company, Sinopec

**[Abstract]** The average well depth of ordovician carbonate seam hole reservoir in shunbei block is more than 8000m. With the continuous development of the reservoir, the broken formation and low pressure reservoir collapsed and peeled during drilling, and the well wall fell more blocks. On the one hand, due to the requirements of well track control, it is difficult to clear and carry the falling block in the process of increasing and stabilizing the slope. On the other hand, crack-hole reservoir Wells have multiple leakage, large leakage, poor plugging effect, high risk of stuck drilling fault, and difficult drilling. By summarizing the recent drilling construction situation of the construction layer of the belt, refining the drilling measures of the low pressure reservoir and crushing formation, it puts forward the targeted drilling fluid and engineering technical measures of the main block of the fault, and provides safe drilling technical support for the ordovician layer of the main fault.

**[Key words]** broken formation, carbonate rock, ultra-deep well safe drilling.

## 1. 引言

顺北区块内主要发育顺北 4 号断裂带、6 号断裂带、8 号断裂带北东向主干走滑断裂带, 部署在主干断裂和其之间的超深井井深超过 8000m, 目的层开次钻进尺超过 1000m, 目的层位于奥陶系中-下统鹰山组, 岩性多为泥晶灰岩、含硅质灰岩、云质灰岩。顺北地区储层为凝析气藏, 随着开采时间增加, 在钻进过程中伴随着油气显示常有破碎性地层出现, 钻进过程中易剥落掉块。裂缝沟通的缝、洞发育, 漏失概率极大, 测算地层当量降低钻井液密度后, 破碎性地层垮塌风险高, 剥落的掉块造成钻进期间扭矩波动大, 正划眼、上提倒划眼易造成泵压升高、憋停顶驱的情况。随着井深增加, 井斜增大, 携砂更加困难, 卡钻风险较高。随着井深增加, 工程参数受到一定限制, 部分参数变化反映不明显, 操作上随着不断摸索, 整理出上提防憋泵, 低转速划眼等防卡操作方法。钻井液通过提高粘切, 提高坂含提升携砂携带能力, 定期使用稠浆推带、强化封堵防塌等措施提高钻井安全质量。

## 2. 作业施工情况

## 2.1 顺北区块破碎性地层施工简介

顺北工区主干断裂整体为低压储层, 根据实钻钻井液密度统计结果表明, 卡钻主要集中在井底岩性白云化程度较高, 油气发育活跃, 微裂缝发育增强的井段。

## 2.2 各井施工故障情况

## (一) X6-5X 井

目的层定向钻进至 8346.49m 上提钻具, 上提 3.33m 后, 悬重 2336 ↓ 2561 ↑ 2488.63KN, 活动钻具泵压由 28.99 ↑ 32.30MPa, 降排量至 6.5L/s, 泵压 30.23MPa 偏高 20MPa, 返浆正常, 期间尝试开顶驱最高憋至 12.7KN.m 憋停, 停泵后活动钻具, 重新开泵最高 2L/s、泵压最高 10.34MPa, 不返浆, 发生卡钻。

发生故障后, 尝试活动钻具, 尝试开泵间断开泵尝试顶通, 保持 1L/s 排量, 泵压稳定在 29-31MPa 之间, 在 341KN-3013KN 活动钻具尝试解卡, 震击器累计工作 59 次, 未解卡, 后正转至顶驱限扭 21KNm, 憋扭下放钻具至 628KN, 上提释放反扭距无回转, 开顶驱提排量, 泵压恢复正常, 成功解卡。倒划眼起钻故障解除。

井底返出掉块为云质灰岩和灰质白云岩, 通过实钻岩屑对

比发现, 8250m 以后白云质含量由 16% 上升至 57%。该井定向钻进后未消磨钻压、未充分循环即上提钻具, 上提钻具时仍采用钻进期间排量导致环空憋堵。遇阻卡降排量后尝试开启顶驱未果, 判断为环空发生憋卡, 采用停泵上下活动钻具, 导致井筒内岩屑回落, 在上提钻具过程中钻泵压瞬间憋高 28.86 ↑ 32.30MPa, 可能诱导破碎地层发生失稳, 环空掉块进一步堆积。

#### (二) X411 斜井

定向钻进至井深 8209.02m, 上提钻具 4.04m 后, 悬重由 2158.9 ↑ 2477.3kN, 立压由 31.7 ↑ 36.3MPa, 自动停泵装置启动, 立即下放钻具至原悬重, 重新开泵, 排量 9.5L/S, 泵压 25.3MPa, 开启顶驱 12KN·m 整停, 逐步增加顶驱限扭至 18KN·m 后, 钻具恢复转动, 上提下放活动钻具未解卡, 发生卡钻故障。

采取泡酸方式尝试解卡, 泵入粘度 147s 前置液 4m<sup>3</sup>, 酸液 10m<sup>3</sup>, 后置液 2m<sup>3</sup>, 替酸环空酸液 3m<sup>3</sup>, 水眼预留 7m<sup>3</sup>, 每 30min 顶替井浆 0.5m<sup>3</sup>, 同时间断活动钻具, 共计泡酸 7h, 未解卡。再次采取相同措施泡酸 10m<sup>3</sup>。排酸后, 上提限扭 22KN·m, 转动顶驱后整停释放发现无反扭矩, 活动钻具后转顶驱扭矩趋于平稳, 井底螺杆恢复正常转动, 开高转速循环 (70r/min) 循环, 悬重、扭矩恢复正常, 钻具解卡。出井检查钻头螺杆外观完好。

对本井岩屑进行元素分析, 地层硅元素含量 1.93%, 次生方解石含量 1%, 井段 8206-8209m 白云质明显增加至 30%, 因卡钻期间钻具能够转动, 判断卡钻为不规则网格状 (或蜂窝状) 的灰岩地层, 硬掉块至钻头发生卡钻。解卡原因分析为泡酸后转顶驱整扭过程中堆积胶皮分散, 顶驱不再受螺杆限制恢复正常转动, 使卡在钻头上的掉块松动, 成功解卡。

出井后螺杆钻具在车间进行拆解, 主轴轴头有严重划痕, 拆解后发现球式万向轴传动轴接头端胶套和金属扎带消失、转子接头端金属扎带消失、转子镀层全部腐蚀、马达橡胶消失。

#### (三) X4-11CX 井

该井起钻至井深 8060.26m 遇阻 5t, 下放钻具放开至原悬重, 接顶驱冲划, 倒划 40m 后停泵顶驱试起钻, 上提钻具至井深 8005.6m 遇阻, 下放钻具开泵正常, 开顶驱扭矩由 0 ↑ 14.94KN·m 整停, 释放扭矩后活动钻具未开, 发生卡钻。

卡钻后间断活动钻具, 悬重活动范围 400KN-2700KN, 期间间断整扭 17.9KN·m 多次活动钻具, 无法解卡。采用泡酸解卡方式, 酸液顶替到位后环空预留 4m<sup>3</sup>, 每 30min 泵入井浆顶替酸液 0.5m<sup>3</sup>, 并以 400KN-2700KN 间断活动钻具尝试解卡, 整扭 17.9KN·m 下压钻具, 钻具转动, 成功解卡。

起钻过程中井况复杂, 在 8060-8022m 井段遇阻卡存在井下掉块, 划眼结束后接单根上提, 划眼期间掉块随钻头上行未完全携带出, 造成掉块卡钻。

#### (四) X5-21H 井

X5-21H 井是部署在顺北 5 号断裂带的一口开发井, 钻进至井深 8077.01m, 发生憋顶驱现象, 上提活动钻具时, 顶驱扭矩由 12.4 ↑ 14.1kN·m (顶驱整停), 立压由 26.9 ↑ 35.3MPa (排量不变), 停泵后立压不回压 (稳定在 35.01MPa), 现场泄压下放钻具, 上提下放活动钻具范围: 最大带扭 25 kN·m 上提至 2333.5kN, 最大带扭 25 kN·m 下放至 190.28kN (原悬重 2228kN), 活动钻具期间悬重突然下降至 1492kN, 立压回零, 起钻完发现钻具从第 44 根 88.9mm 钻杆公扣处断裂。

在处理卡钻过程钻杆螺纹频繁承受拉伸、压缩、弯曲、扭转复合载荷作用下加速螺纹疲劳开裂, 井队操作时下放吨位和扭矩参数范围较大, 造成螺纹疲劳沿螺纹周向开裂并延伸, 最终螺纹强度不足疲劳断裂。

使用公锥打捞出断公扣后组下常规钻具对扣成功, 开泵循环逐渐整压至 36.1MPa, 20min 泵压不降。卸压后重新打压至 31MPa, 间断活动钻具, 活动范围 1120KN-2270KN, 立压由 31MPa 缓降至 29.5MPa, 出口间断返浆, 整压活动钻具 50min 后, 立压快速下降至 1.3MPa 出口返浆, 开泵循环出口返浆正常, 尝试转动顶驱正常, 解卡成功。

在实钻从垂深 7738m 以深造斜率开始偏低, 7876m 开始地层失稳, 7993.00m 至 8077.01m 见 1-3% 不等次生方解石, 粒径大小 0.5-2mm, 含量约 3%。现场实验不含泥质、硅质、白云质成分。定向钻进期间泵压存在明显异常偏高, 划眼过程中出现明显泵压、扭矩均出现波动, 未分析井下情况, 盲目恢复钻进是本次卡钻故障主要原因。

### 3. 卡钻风险识别与应对措施

#### 3.1 破碎带的预测发现

断裂带附近地应力方法复杂, 水平最大/最小地应力差大; 天然多尺度裂缝发育, 地层破碎程度大, 岩体等效强度较低; 钻井液一裂缝面水岩作用造成缝面粗糙度及摩擦系数降低, 诱发地层沿裂缝面失稳, 是深部破碎性地层井壁失稳的主要机理。<sup>[2]</sup>通过对钻井统计, 导致卡钻的严重破碎地层与断裂面井深平均距离在 100m 左右。

(1) 地质方面, 油气显示层较多并裂缝发育、钻遇破碎性地层可能性更高。在 X5-21H 井、X6-5X 井、X411 斜井捞取返砂白云岩含量较邻井增加较多, 白云质含量平均高于邻井 20% 以上。

(2) 顺北区块为提高资源动用率多为大斜度井和水平井, X5-21H 井在定向钻进过程中, 并斜变化低于预期狗腿, 定向效果不理想, 造斜率偏低表明地层对钻具承托有限, 地层破碎可能性较高。

(3) 钻井参数变化方面, 各井均出现定向钻进后上提摩擦阻偏大或遇阻情况, 较正常摩擦阻增加 2-4t, 同时伴随明显整泵现象, X6-5X、X411 斜井、X5-21H 井在卡钻发生前均出现带泵上提钻具过程中排量不变, 泵压升高现象, 平均升高 3-5MPa (部分井已使用自动停泵装置), 一方面原因可能是掉块憋住钻头导致井下螺杆钻具制动影响, 另一方面因环空岩屑堆积导致环空不畅。

#### 3.2 破碎地层的应对

破碎性地层提早发现采取措施可以一定程度上避免破碎性地层的危害, 减少卡钻风险。总结钻井的解卡过程后续施工措施, 总结出行之有效的破碎性地层预防及处理手段。

##### (1) 工程技术手段方面

分析钻井的故障发生过程, 钻井均发生整泵现象, 泵压的异常升高会导致地层破碎加剧进而埋钻增加卡钻概率, 避免整泵是预防破碎卡钻的重要手段。

上提钻具前, 钻进排量循环消磨钻压不低于 5min; 上提前将排量降至原排量 80% 后分段上提可有效减少整泵过高环空垮塌现象。

分段上提操作: 上提钻具至正常悬重, 寸提 (钩速 ≤

0.01m/s) 不超过 0.5m 观察悬重正常后再分段上提 (钩速 $\leq$ 0.05m/s), 每次上提后刹住刹把观察悬重、泵压无异常, 方能继续上提。上提过程中应密切关注悬重、泵压变化。悬重、泵压上升, 第一时间刹住刹把, 下放钻具至原悬重, 立即降泵冲至上提排量 50%, 泵压上升达到 2MPa, 立即降排量至 3-5 冲 (尽量避免停泵), 上提整泵时应避免立即活动钻具, 防止环空憋堵加剧发生卡钻。在解卡操作时首先保证正常返浆和顶驱转活。

### (2) 钻井液技术方面

根据 X6-5X 井、X411 斜井复杂处理情况, 提高钻井液粘切增强悬浮能力, 有利于悬浮岩屑和加重剂, 提高携带比, 防止环空整泵, 有效改善起下钻过程中井眼不畅需大段划眼情况。密度 1.30 至 1.40g/cm<sup>3</sup> 钻井液, 各项性能控制在粘度: 60-70s, 动切力: 12-18Pa, 静切力: 5-10pa/12-18pa, 坩含 $\geq$ 35g/l 为宜, 钻井液维护时应持续补充高软化点沥青粉, 复配超细碳酸钙, 及磺化剂和磺酸盐共聚物, 提高井浆封堵性能并维持性能稳定。配合定期使用稠浆段塞携砂, 稠浆返出时应做好性能监测, 保证入井稠塞在高温高压情况下性能稳定, 提升稠塞携带效果。

### 3.3 破碎性地层的处置

#### (1) 掉块卡钻

X4-11CX 井与 X411 斜井根据井下参数判断和解卡方式判断掉块卡钻特征较为明显, 均采用泡酸配合活动钻具方式解卡。活动钻具过程时可配合转动顶驱传递扭矩增加解卡概率。钻进过程中减少钻头刀翼, 并在钻具组合中加入抗扭强度高的液压震击器可降低故障复杂处理难度。处理复杂过程中应根据钻具抗扭系数合理设置扭矩限制, 避免出现钻具故障增加复杂

处理难度。

#### (2) 破碎性地层垮塌埋钻

X5-21H 井及 X6-5X 井卡钻前均发生泵压异常升高及出口流量减小迹象, 是环空垮塌埋钻的重要特征。泵压升高时立即降排量, 通过返浆情况判断排量和泵压设置合适度。在连续返浆正常情况下, 尝试活动钻具疏通井眼, 同时配合重稠浆携带减少环空堆积, 待泵压恢复正常后再增加活动吨位。

### 4. 总结与分析

(1) 碳酸盐岩地层井漏与卡钻故障发生具有一定相关性, 在预测断裂附近均有较大可能发生卡钻故障和井下复杂。造斜率异常和次生矿物增多均为地层破碎前兆。

(2) 目的层破碎带钻进或通划过程中易出现憋卡现象时, 表现为泵压异常上涨时, 可降低排量, 避免环空憋堵无法开泵导致增加解卡难度。

(3) 破碎带出现阻卡时, 可提高钻井液粘切, 增强钻井液携砂和悬浮能力, 根据井况采用稠浆、重稠浆、纤维段塞携带掉块有利于改善井下憋卡情况。

(4) 碳酸盐岩地层泡酸是解卡有效手段, 井漏情况下泡酸解卡作用有限, 多次注酸易对螺杆和定向仪器造成伤害, 应根据底部 BHA 组合谨慎选择注酸解卡方法。

#### [参考文献]

[1]寇春松. 顺北地区断裂带破碎性地层井壁稳定研究[D]. 中国石油大学(北京), 2021. DOI: 10.27643/d.cnki.gsybu.2021.000268.

[2]金军斌, 张杜杰, 李大奇, 等. 顺北油气田深部破碎性地层井壁失稳机理及对策研究[J]. 钻采工艺, 2023, 46(01): 42-49.

### 上接第 253 页

领着通信行业迈向智能化转型的新纪元。人工智能, 依托其强大的机器学习、深度学习及自然语言处理等技术, 不仅极大提升了通信数据处理的效率和精准度, 还为网络优化、客户行为分析、新业务开发等多个方面带来了前所未有的变革。在网络优化方面, 人工智能通过实时监控与分析通信数据, 能够精准预测并提前干预潜在的网络故障, 确保网络的稳定可靠运行; 它还能精准预测网络流量趋势, 为网络资源的优化配置提供科学依据。在客户行为分析上, 人工智能深入挖掘用户通信行为、位置信息及消费习惯等多维度数据, 构建详尽客户画像, 推动个性化服务与精准营销的发展, 显著增强用户满意度与忠诚度。人工智能还能够助力通信企业洞察市场趋势, 预测未来热点, 为新产品与新服务的开发提供有力支持, 不断推动业务创新与市场拓展。

### 3.4 数据分析

大数据在通信数据分析领域的运用, 深刻重塑了通信企业的运营模式和决策体系。它不仅高效处理着通信行业每日产生的海量数据, 确保数据的完整与准确, 还通过深度数据挖掘技术, 揭示了数据背后的隐藏规律和趋势。大数据技术不仅助力通信企业实时监控网络流量, 精准预测带宽需求, 快速预警并定位网络故障, 提升网络性能和可用性, 还构建了详尽的用户画像, 基于这些画像, 企业能更准确地预测用户需求, 推送个性化服务与产品推荐, 优化客户体验, 并精准评估客户价值以指导差异化营销策略。同时, 大数据分析也为市场趋势的洞察、

新业务的开发提供了强有力的支持, 帮助企业把握市场脉搏, 抢占先机。然而, 这一过程中也伴随着数据质量与隐私保护、算法选择与优化、技术与人才储备等挑战, 通信企业需要不断创新技术, 强化数据管理, 并加大人才培养力度, 以充分释放大数据在通信数据分析中的巨大潜力, 推动通信行业的智能化、精细化发展。

#### 结语

随着大数据技术的不断发展和完善, 其在通信系统集成与数据分析中的应用将更加广泛和深入。通信企业需要抓住这一机遇, 关注技术发展趋势和市场需求变化, 及时调整战略规划和业务布局, 才能确保在激烈的市场竞争中保持领先地位。

#### [参考文献]

[1]基于机器学习与大数据分析的无线通信系统安全态势感知预测[J]. 巢巍; 刘涛; 崔洋; 郑波; 陈彬; 杨真. 微型电脑应用, 2022(10)

[2]大数据技术在无线网络通信资源管理中的应用[J]. 王策. 无线互联科技, 2022(06)

[3]基于大数据分析的异常通信信号智能检测系统设计[J]. 林统喜; 钟福龙. 单片机与嵌入式系统应用, 2021(12)

[4]基于大数据环境的网络通信系统优化研究[J]. 王璐. 信息与电脑(理论版), 2020(18)

[5]基于无线通讯的煤矿井下人员定位系统设计应用[J]. 许峰. 机械研究与应用, 2022(01)