

斜度井倒划眼起钻憋泵憋扭矩机理与预防对策研究

余英乐

广东南油服务有限公司 广东 湛江 524000

【摘要】：斜度井倒划眼起钻阶段的泵压抬升和扭矩升高，常由低边岩屑床再悬浮、环空压耗增加、钻具侧向接触和上提节奏失配共同触发，异常表现会在清洁不足、轨迹摩阻放大和携砂能力不足之间转换。本文以泵压先升、扭矩先升和同步突跳的类型辨识为起点，分析按表现与工况分类后的岩屑床受扰、局部压耗抬升、摩阻接触增强等运行机理及影响因素，梳理排量、转速、上提速度、钻井液携砂能力和井段轨迹等控制因素，提出通井循环、趋势预警、参数分级处置和短起下验证措施。斜度井起钻应把开泵、旋转和上提放入同一作业窗口，先确认井眼清洁和扭矩余量，再逐级恢复起钻速度。

【关键词】：斜度井；倒划眼；憋泵憋扭矩；井眼清洁；预防对策

DOI:10.12417/2811-0722.26.09.016

引言

斜度井起钻时，钻柱低边接触增强，岩屑更容易在井眼低边形成床层。倒划眼可修整井眼并破坏沉砂，但排量、转速和上提速度失配时，钻头或稳定器会把岩屑推挤到窄通道，泵压和扭矩随之升高。近五年油气钻井井阻卡治理已把轨迹摩阻、井眼清洁和参数匹配作为复杂井段安全起钻的共同约束。本文从异常类型、控制因素和预防流程三方面分析斜度井倒划眼起钻憋泵憋扭矩问题。

1 斜度井倒划眼起钻憋泵憋扭矩类型与运行机理

1.1 按憋泵憋扭矩表现与工况分类

斜度井倒划眼起钻的憋泵憋扭矩，可按泵压和扭矩响应顺序划分。泵压先升、扭矩后升，多见于低边岩屑床被钻具扰动后进入环空窄通道，返流受限使压耗先增加；扭矩先升、泵压后升，往往与狗腿段、稳定器接触或钻具组合刚性突变有关，机械摩阻先改变旋转状态，再削弱岩屑迁移；泵压与扭矩同步突跳，则说明沉砂、缩径、台阶或工具肩部楔入已经叠加，应立即降级处置。从工况看，异常可归入清洁不足型、倒划眼扰动型、轨迹摩阻放大型和携砂能力不足型^[1]。清洁不足型在起钻前已有低边沉砂；扰动型在提高上提速度或排量后显性化；轨迹摩阻放大型表现为扭矩平台上移；携砂不足型常伴随返砂不连续和再开泵尖峰。分类的目的在于确定先循环、先降转速、先降上提速度，还是先下放释放接触。实际识别时还要看异常持续时间和恢复条件，短时波动经循环后回落，可视为清洁扰动；同一井段重复出现，则应按井眼结构或工具接触问题处理。

1.2 憋泵憋扭矩运行机理与影响因素分析

倒划眼起钻时，环空流动阻力先改变泵压平台，钻具机械阻力再改变扭矩平台，两者在沉砂井段容易互相放大。斜井段岩屑受重力沉向低边，常规循环可带走悬浮颗粒，却未必能清除贴壁床层。倒划眼起钻时，近钻头组合沿井眼上行，低边岩屑被切削、挤压和卷吸，颗粒浓度在局部窄通道中升高，过流面积下降后泵压抬升；若返速不足，增强排量只会把床层表面

颗粒推向邻近窄部，压耗继续增加。扭矩升高则来自侧向力、接触面积和颗粒楔入^[2]。斜度井中钻柱自重沿低边分解，扶正器、接头和大外径工具更容易贴靠井壁，上提旋转又可能把颗粒夹在工具肩部与井壁之间。这种耦合关系可用井筒低边岩屑床和局部接触区展开。大斜度井工具串外径和摩阻释放方式会改变解卡难度，预防阶段也必须提前控制工具接触位置。当泵压先恢复而扭矩仍高时，说明流道清洁改善但接触摩阻仍未释放；当扭矩先恢复而泵压仍高时，则应继续清砂并检查流道限制。憋泵憋扭矩运行机理见图1。

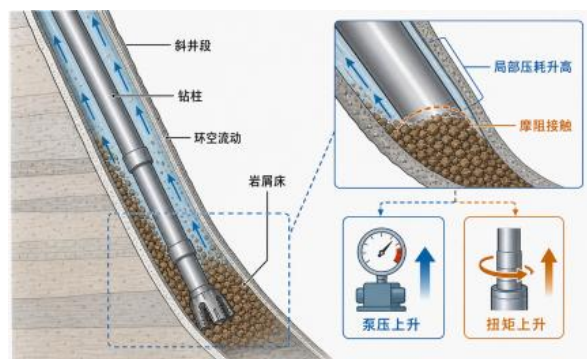


图1 斜度井倒划眼起钻憋泵憋扭矩运行机理示意

图1中，岩屑床集中在井眼低边，钻柱上提和旋转使颗粒进入局部压耗升高区；同一区域又形成摩阻接触，说明泵压和扭矩不是两个孤立信号，而是由环空流动受阻和工具接触增强共同触发。

2 倒划眼起钻憋泵憋扭矩的关键控制因素

2.1 钻具组合选择与井眼清洁准备

钻具组合选择应减少局部刚性突变和大外径工具集中接触。起钻前复核钻头、扶正器、稳定器、加重钻杆和随钻工具外径，找出可能在狗腿段、缩径段或沉砂段刮削托压的位置；刚性工具集中时，应把敏感段列为低速倒划眼井段。井眼清洁准备不能只看循环时间，还要看返砂由粗变细、由集中变分散，泵压在排量稳定后能否回到平台。若循环后返砂仍间歇出现，

或停泵后再开泵峰值明显抬高,说明低边沉砂仍未释放^[3]。卡钻事故处置强调先确认卡钻类型和受力状态;倒划眼起钻预防也应先确认井眼清洁和扭矩余量,再提高上提速度。对含大外径工具的组合,应提前规定敏感段的允许旋转方式和最大连续上提距离,把清洁判断前移到正式起钻前。若井段曾出现返砂集中或开泵尖峰,应把敏感段作为倒划眼前的重点复核对象,先确认工具通过姿态,再恢复常规起钻节奏。

2.2 排量调节、转速匹配与上提速度协同调节

排量、转速和上提速度必须按同一井段的清洁能力匹配。排量提高可增加返速,也可能增强颗粒卷吸;转速提高可破坏岩屑床,也会放大钻具低边摩擦;上提速度提高可缩短作业时间,却会把扰动区推向尚未清洁的井段。较稳妥的顺序是先以中等排量建立连续返流,再用低到中等转速破坏床层,最后逐级提高上提速度。现场参数宜按窗口调节:常规循环可用4000L/min左右观察返流,沉砂敏感井段倒划眼可短时提高到4200L/min;若返出下降或泵压持续上行,先降低上提速度,再评估是否降转速^[4]。带泵起钻可用2500L/min低扰动排量确认液面、返出和开泵尖峰;浅部冲洗则可在1000~5000L/min内分级试排量。复杂轨迹井段的处置应同步考虑摩阻、岩屑输送和工具受力。若同一参数调整后泵压下降而扭矩上升,说明清洁收益被机械接触抵消,应停止继续提速。排量、转速与上提速度协同关系见图2。

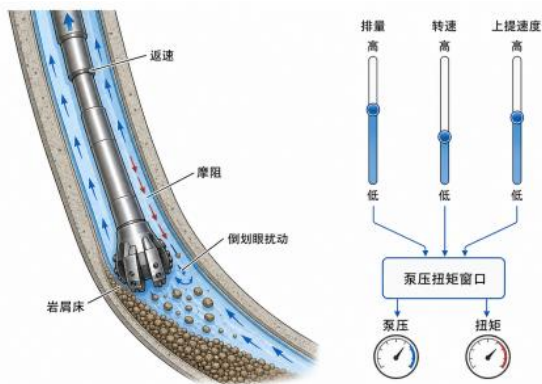


图2 排量转速上提速度协同调节关系

图2显示,排量、转速和上提速度并列进入同一个泵压扭矩窗口;当岩屑床被倒划眼扰动后,返速、摩阻、泵压和扭矩会同时变化,参数调整要按窗口联动,而不能单独追求高排量或高上提速度。

2.3 钻井液流变性与携砂能力及泵压窗口设定

钻井液流变性要同时服务携砂和压耗控制。低剪切能力不足时,停泵或低速循环后颗粒会快速沉降;黏切过高时,环空压耗又会抬高憋泵风险。泵压窗口可分为正常循环平台、倒划眼扰动平台和异常预警平台:前者要求排量稳定、返砂减少、扭矩波动小;中间平台允许短时升压但不允许扭矩持续上行;

预警平台则表现为泵压、扭矩同向连续升高。稠浆段塞可作为携砂观察手段,20m3或40m3级段塞适合短段清洁,60m3级段塞适合长斜井段或沉砂疑似段;若返出比例持续下降或液面异常,优先判断漏失、窜漏或浅部通道。卡钻事故预防和处置要求先分清井下真实状态,倒划眼起钻同样应把泵压、扭矩、返砂、漏失和上提阻力合并判断。钻井液调整后应重新观察开泵峰值和返砂粒径,确认黏切变化确实转化为携砂能力,而不是单纯抬高循环压耗。

2.4 井段轨迹与摩阻扭矩约束匹配

井段轨迹先限定钻具受力边界,再影响倒划眼动作能否稳定传递。井斜越大,钻柱低边接触越明显;狗腿度越高,侧向力越容易集中;井径不规则或井壁台阶明显时,倒划眼会把旋转摩阻转化为局部刮削。起钻前应把轨迹敏感段、沉砂敏感段和工具外径敏感段标注清楚,减少一次连续倒划眼距离,并在敏感段前后留出循环观察。若同一井段反复出现扭矩平台上升,不能只用加排量处理,而要复核钻具经由姿态、稳定器接触和井眼扩大或缩径痕迹。泡酸解卡等处置应厘清卡阻性质和作用位置,预防阶段也应先识别作用位置。轨迹复核还应结合前一趟钻的遇阻位置和扭矩记录,若异常深度与狗腿或井径变化位置吻合,应把异常处作为分段倒划眼边界。

3 斜度井倒划眼起钻异常的预防综合对策

3.1 完善起钻前通井循环与风险交底

起钻前通井循环要把井眼清洁、钻具通畅和风险交底合在一个节点完成。通井时观察下放、旋转、循环和上提过程中的泵压、扭矩、返砂和载荷变化;若通井已出现扭矩平台抬高或返砂集中,应把相应井段列为低速倒划眼控制段。交底内容要落到动作:返砂异常时增加循环,进入高斜段前低速确认扭矩平台,泵压连续抬升时先稳住上提速度,扭矩突跳时先释放接触^[5]。交底还要明确谁有权下达停提、降参和复核指令,避免司钻、泥浆工程师和监督使用不同判断标准。井下震击工具效果取决于参数匹配和受力状态,这一要求应前移到起钻预防。班前交底还应保存上一次循环平台值和返砂描述,便于异常发生时判断变化方向,而不是临时争论是否超限。

3.2 实施泵压扭矩动态监测与趋势预警

泵压扭矩动态监测应看连续变化,而不是孤立读数。可把0、5、10、15、20、25min作为观察窗口,在排量和转速基本稳定时记录泵压、扭矩和返砂状态。若泵压由11.20MPa逐步升至16.80MPa,扭矩由8.50kN·m升至14.60kN·m,且20min后两条曲线仍同向上行,应划入预警区^[6]。轻微上升时延长循环并降低上提速度;连续上升时降排量或降转速并循环清砂;突跳超限时停止上提、下放释放接触。下列泵压扭矩趋势预警曲线突出斜率和同步性,不把具体数值作为通用限值。若曲线进入预警区后又回落,仍应保留一个观察窗口,确认返砂减少

和扭矩平台回稳后再提速。泵压扭矩趋势预警曲线见图3。

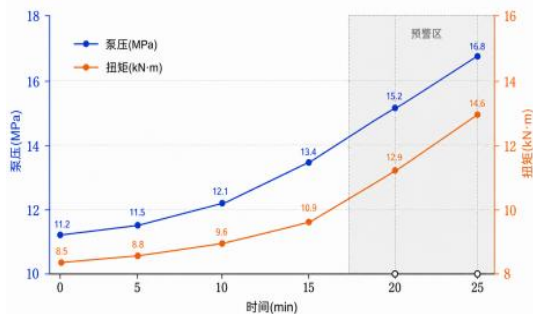


图3 泵压扭矩趋势预警曲线

图3中, 15min前泵压和扭矩缓慢升高, 20min后两条曲线共同进入预警区, 说明异常判断应看同向趋势和斜率变化; 若继续维持原上提速度, 岩屑堆积和摩阻接触可能进一步叠加。

3.3 强化倒划眼参数分级与异常处置控制

参数分级处置应将异常发展速度纳入控制。常规观察级可保持 2500L/min 带泵低速起钻、30r/min 低速旋转和 20min 观察窗口; 轻微上升时把排量控制在 3000~3500L/min、转速控制在 20~30r/min, 上提速度不超过 0.60m/min; 连续上升时可用 3500~4200L/min 循环清砂, 转速降至 15~25r/min, 上提速度不超过 0.30m/min; 突跳超限时停止上提, 并以 1000~2500L/min 低扰动排量确认流道。若趋势回落, 可用 2500~3000L/min、20~30r/min 进行短起下验证; 若趋势不回落, 维持停提并复核漏失、缩径、沉砂和工具位置。异常越明显, 越不能盲目强冲或强转^[7]。泵压升高后直接加排量, 可能把岩屑团推向更窄通道; 扭矩升高后直接加转速, 可能扩大刮削接触; 上提受阻后继续强提, 则可能把可恢复摩阻转化为卡阻。合理顺序是先停止风险动作, 再用低扰动参数恢复流道, 随后短起下验证。下列流程把趋势稳定作为分流节点, 稳定时分级上提, 不稳定时降参、循环清砂、验证或停作复核。分级处置的退出条件同样应数字化: 观察窗口内泵压和扭矩不再同向升高, 返砂由集中转为分散, 上提载荷不再阶跃, 才允许从低速验证转入正常起钻。倒划眼起钻异常分级处置流程见图4。

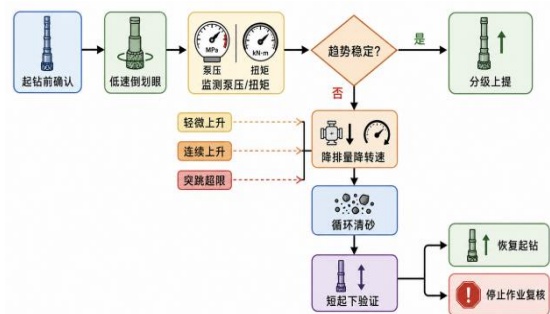


图4 倒划眼起钻异常分级处置流程

图4把“趋势稳定”作为分流节点: 稳定时进入分级上提, 不稳定时先降排量降转速, 再循环清砂和短起下验证; 若趋势仍不回落, 流程转入停止作业复核, 避免异常阶段继续强提。

3.4 优化井眼清洁设计与短起下验证措施

井眼清洁设计应从“起钻前集中处理”转为“钻进后期留余量”。长斜井段完钻后先在井底建立循环, 再上提到敏感段低速倒划眼, 返砂稳定后继续上提; 若短起下过程中泵压、扭矩均回到平台, 可进入正式起钻。若异常重复出现在同一井段, 应回到沉砂、缩径、轨迹摩阻或钻具外径原因, 不能只调整地面参数。短起下验证要有经由条件: 重复经由敏感段时扭矩平台不持续升高; 再开泵峰值逐次减弱或回到循环平台; 返砂由集中转为分散; 上提载荷不出现持续阶跃。司钻控制上提和停提, 泥浆工程师判断性能与返砂, 定向工程师提示轨迹敏感段, 现场监督确认恢复条件。清洁状态、参数窗口和异常分级明确后, 憋泵憋扭矩更容易被拦截在可恢复阶段。这些条件应写入起钻记录, 后续同平台井或相邻井可按井眼尺寸和轨迹差异修正, 而不是简单照搬某一次排量或速度。同类井复盘时, 可把每次异常深度、返砂状态和恢复参数归入井段级记录, 下一口井再按井眼尺寸和轨迹差异调整。

4 结语

斜度井倒划眼起钻憋泵憋扭矩, 本质上是岩屑床扰动、环空压耗增加、钻具低边接触和参数失配叠加后的作业响应。预防重点不在单独压低压泵或扭矩, 而在同一窗口内匹配排量、转速、上提速度、钻井液携砂能力和轨迹摩阻余量。起钻前完成通井循环、返砂观察和短起下验证, 起钻中记录泵压扭矩同向趋势, 异常后按轻微上升、连续上升和突跳超限分级降参、循环清砂和复核停作, 可减少短时异常发展为阻卡事故的概率。

参考文献:

- [1] 黄彦发, 敬婧, 唐晓明, 等. 川渝地区大斜度井长段低压采空区阻卡防控与安全钻井优化技术[J]. 天然气勘探与开发, 2025, 48(4): 98-106.
- [2] 王强, 李欣阳, 刘志祥, 等. 渤海油田大斜度井防砂管柱解卡方案优化研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2025, 45(10): 120-122.
- [3] 徐兴博. 油水井卡钻事故处理及解卡打捞技术优化研究[J]. 化工管理, 2025, (22): 162-164.
- [4] 曹东风, 王长新. 水平井卡钻事故处置技术方法及预防措施探究[J]. 能源技术与管理, 2023, 48(4): 179-183.