

顶驱扭摆系统研发与应用

肖伟鸿, 刘伟刚, 丁锐, 张海洋, 杨凯

中石化江汉石油工程有限公司工程技术服务中心顶驱技术服务中心, 湖北 潜江 433121

摘要 : 本文介绍了顶驱扭摆系统在钻柱减摩阻方面的原理及其研发应用, 并通过具体案例说明了其在定向井施工中的高效性和稳定性。顶驱扭摆系统通过旋转钻柱实现减摩阻, 降低钻柱轴向送进方向的阻力, 从而减少摩擦力。研发方案包括集成多种扭摆系统经验, 优化编程, 确保系统具有控制顶驱旋转和调整参数等功能。焦页33-Z4HF井应用表明, 扭摆系统能有效防止滑动钻并托压, 并可根据井深和钻具组合调整扭摆参数。

关键词 : 扭摆系统; 顶驱; 降摩阻

Research and Application Of Top Drive Torsion Pendulum System

Xiao Weihong, Liu Weigang, Ding Rui, Zhang Haiyang, Yang Kai

Sinopec Jiangnan Petroleum Engineering Co., Ltd. Engineering Technology Service Center Top Drive Technology Service Center, Qianjiang, Hubei 433121

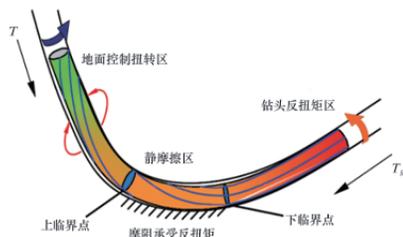
Abstract : This article introduces the principle and research and development application of the top drive torsion pendulum system in reducing friction in drill string, and illustrates its efficiency and stability in directional well construction through specific cases. The top drive torsion pendulum system reduces friction by rotating the drill string, lowering the resistance in the axial feed direction of the drill string and thus reducing friction. The research and development plan includes integrating multiple torsion pendulum systems, optimizing programming, and ensuring that the system has functions such as controlling top drive rotation and adjusting parameters. The application of Jiaoye 33-Z4HF well shows that the torsion pendulum system can effectively prevent sliding drilling pressure and adjust the torsion pendulum parameters according to the well depth and drilling tool combination.

Keywords : torsion pendulum system; top drive; friction reduction

一、顶驱扭摆钻柱减摩阻的原理

扭摆钻柱减摩阻技术一开始是由美国 Noble 公司的 Eric Maidla 和 March Haci 提出的。Maidla 等人指出, 该技术减摩阻依据的是摩擦力的分解原理^[1]。摩擦力始终与物体的运动方向或者运动趋势方向相反, 当钻柱被扭转起来时, 钻柱存在两个方向的运动: 一个是周向的旋转运动, 另一个是轴向的送进运动。显然, 前者的速度要远远高于后者, 所以摩擦力更多地以摩扭矩的形式体现, 轴向送进方向的阻力自然就变小了。当然, 除了摩擦力按速度方向分解之外, 钻柱转动起来后, 还存在从静摩擦到动摩擦的转变, 并且钻柱通过转动甩离井壁, 这也会降低摩擦系数^[2]。研究认为, 一般静摩擦系数比动摩擦系数大约打百分之25。

当前, 涪陵页岩气在水平井段及曲线井段, 由于钻具刚度、井眼轨迹摩阻大等要素的影响, 滑动托压现象频发, 这直接导致了定向钻井速度的提升受到制约。



二、顶驱扭摆系统研发方案

1. 国内外顶驱扭摆技术发展

斯伦贝谢公司的 Slider 系统是国际上具有代表性的顶驱扭摆系统之一。该系统自2004年实现商业化以来, 在中东地区及美国页岩气领域累计已应用超过800口水平井, 并取得了良好的应用成效。

国内代表是由胜利石油工程公司研发的滑动钻进钻柱双向扭转自动控制技术有效改善了滑动钻进过程中的托压难题, 实现了降阻提速的效果, 该技术已在中国石油渤海钻探和海洋工程公司安装配套12部钻机, 应用效果得到甲方认可, 显示了其广泛的应用前景和实际效益^[3]。

该技术具有可靠性高、可重复使用、维护成本低等特点, 为破解滑动钻进托压难题提供了一种优选解决方案。目前, 钻井轨迹控制领域主要采用旋转导向和滑动导向两种技术。旋转导向以其卓越的性能著称, 能够实现较高的钻速和更为精准的导向, 但其高昂的价格和对井下温度、地层条件等工况的高度依赖, 使得其综合性价比在某些情况下不尽如人意。与传统的旋转导向系统和井下降阻提速工具相比, 顶驱扭摆技术进行降阻更具有性价比。

2. 设计思路

为应对滑动钻井中的挑战, 准备研发一套扭摆控制系统。该

作者简介: 肖伟鸿 (2000.06-), 男, 汉族, 江西新余人, 大专学历, 研究方向: 防止钻井定向拖压相关专业领域。

系统依托顶驱装置,在确保安全扭矩的前提下,实现钻柱的自由往复摆动,将上部钻柱的滑动状态转换为往复的周向运动^[4]。这一突破性技术有效降低了钻柱在滑动钻进过程中的轴向摩擦阻力,提升了钻进效率,同时延长了水平井的水平段长度,并减少了钻头脱压的发生频率,实现了高效钻井。

该系统主要应用于定向钻井,通过正反向往复转动钻柱,减少钻柱与井壁的摩擦,确保钻头对底层的钻压更加稳定。系统配备人机交互界面,即触摸屏,操作人员可通过输入所需参数,轻松完成顶驱的正反向往复转动操作。

系统的核心在于通过编码器精确定位钻柱的转动角度。在主电机上安装编码器,并采用皮带式传动系统,以延长编码器的使用寿命。外挂式集成的扭摆系统,其控制箱上设有触摸屏,用于数据输入和反馈,同时增加了PLC输入模块,用以接收高精度绝对值编码器信号,提升定位精度。通过汇总市场上各家扭摆系统的应用经验,重新规划编程思路,并由顶驱中心人员进行程序验证、优化和参数标定^[5]。

系统采用独立控制箱设计,对顶驱的部分功能进行控制。扭摆系统具备必要的软硬件接口,可以通过旋钮释放或接管对顶驱的控制。硬件部分将人机交互界面与地面控制箱集成在一起,仅需通过电缆与顶驱控制箱连接,并将编码器信号通过电缆连接至扭摆控制箱,便可以通过人机界面进行参数设定,校准转速、扭矩及编码器精度,并通过角度扭摆界面进行调试。硬件接口采用总线通讯、数字信号、模拟信号等形式,包括转速手轮、钻井扭矩手轮、正转、反转旋钮、编码器信号等。软件部分通过触摸屏进行人机交互,输入顶驱转速、扭摆扭矩、正转反转角度、角度偏移等参数,并反馈当前角度、实际顶驱转速、实际钻井扭矩等信息。

该扭摆系统能够控制顶驱正向及反向旋转,并连续完成正反向旋转循环。在顶驱正反向旋转循环扭摆过程中,可以实时调整相对零点,有效调整工具面。系统运行时,能够实时调整旋转角度,正反向旋转角度可以分别设置,包括转速设定值、角度设定值、扭矩设定值、相对零点、保持时间等参数^[6]。

系统具备紧急停止功能,可在任意状态下通过关闭扭摆系统电源紧急停止顶驱并释放对顶驱的控制权。系统运行时,不会使工具面发生非预期的改变,通过编码器能够精准找到相对零点,避免了因长时间扭摆导致的角度偏移情况。

3. 使用前准备

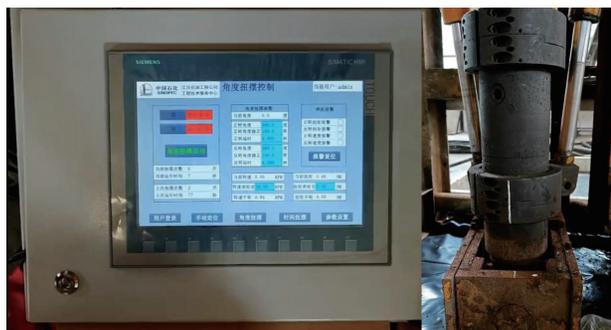
顶驱液压泵保持运行状态,保证制动器在扭摆过程中正常运行,避免出现制动失效,顶驱模式选择处于“钻井”位置,顶驱方向选择处于“停止”位置,顶驱刹车旋钮处于“自动”位置;顶驱钻井扭矩给定手轮处于零位;顶驱钻井速度给定手轮处于零位。

4. 操作使用

井队通过设定正反转角度、转速、扭矩,直接控制地面钻柱在给定的扭矩范围内按设计好的速度和模式顺时针、逆时针往复旋转钻柱,井队司钻通过软件调整地面钻柱旋转扭矩范围,使得在钻柱所受的摩擦阻力减小的同时确保井下动力钻具工具面稳

定。在摇摆过程中为修正工具面的角度,司钻可以通过角度偏移的功能对工具面进行修正。

5. 厂内调试



在厂内进行天意及景宏DQ50 III-A、DQ50BS-JH两种型号的顶驱进行调试,在未接钻具的情况下,顶驱运行平稳,在运行过程中未出现异常响动及震动,实际的转速、扭矩与触摸屏上设定值一致,实际扭摆角度与触摸屏上显示的当前角度一至,且经过60多次扭摆后零点未出现误差的情况,扭摆系统停止、运行时,顶驱保护机制不受影响如变频器急停、刹车制动等功能^[7]。

三、扭摆系统现场应用

1. 应用井情况

涪陵页岩气田焦石坝区块,三开时长水平段井普遍存在滑动钻井托压情况,这次选用焦页xx-xxHF井进行扭摆系统试验应用,井深5080m,水平段长2396m(2694m-5090m)。

表1 焦页xx-xxHF井井深结构设计数据

开次	钻头尺寸(mm)	井段(m)	套管外径(mm)	套管下深(m)
导管	609.6	30	406.4	30
一开	346.1	352	273.1	350
二开	250.8	2332	193.7	2330
三开	171.5	5090	114.3	5080

2. 应用情况

应用井段:3889-4863.4m。共使用扭摆系统进行21次定向,完成147.7m滑动钻进。

钻具组合:Φ171.5mmPDC钻头+φ135mm×1.5°螺杆+φ164mm扶正器+浮阀+φ101.6mm无磁承压钻杆×1根+定向悬挂+101.6mm无磁承压钻杆×1根+101.6mm加重钻杆×8根+171mm微扩孔器+φ101.6mm加重钻杆×4根+小101.6mm钻杆×258根+101.6mm加重钻杆×15根+WMT40×ST39+114.3mm钻杆+顶驱。

进行定向时前期干拉过程中就将扭摆系统打开,下压通过“角度偏移”功能来矫正工具面,该功能在扭摆过程中效果显示慢,需要一定时间等待,定向前两米需要低钻压钻进4-6T,后期等泵压差稳定后再加压至8-12T,定向过程中全程使用扭摆系统效果最好。定向过程中随时根据工具面摆动情况调整工具面,随着井深的增加,调整增加正反转角度,达到最佳摆动降低摩擦阻的效果^[8]。

3. 应用效果分析

在使用扭摆系统作业期间,定向效果显著,工具面维持了良好的稳定性。在一次扭摆过程中遇到了托压现象,但通过对参数的精细调整,该问题被迅速解决,且在后续操作中未再发生。随着井深的增加,为了提升钻井效率,我们适当提高了顶驱转速,从10转每分钟(r/min)增至25转每分钟,并且将正反扭转摆角度从500度扩展至900度。

随着扭摆速度的提升,我们发现最大扭摆深度有所增加,这有助于改善载荷的传递效果。然而,为确保安全,我们需要注意避免扭摆深度过大,以免静摩擦区减小,从而干扰工具面^[9-10]。实践证明,过小的扭摆角度会导致钻压不稳定,不利于钻进作业;而适度增大扭摆角度不仅能使钻压更趋稳定,还能有效降低摩擦阻,对提高钻进效率极为有利。

四、结论

在该井进入水平段施工阶段后,由于井下地质条件复杂,轨迹调整变得频繁,导致定向施工过程中容易出现拖压现象,这对钻井进度和安全性构成了挑战。然而,随着扭摆系统的投入应用,这些问题得到了有效解决,确保了水平段定向施工的顺利进行。

扭摆系统的应用带来了一系列积极的变化。通过持续的正反旋转钻柱,该系统能够有效减轻由于钻柱静止不动而导致的滑动钻井“托压”现象。这种创新方法不仅提高了钻井速度,还显著提升了滑动钻井的效率,特别是在长水平段水平井或大位移井的施工中,这一优势尤为明显。

在滑动钻进过程中,扭摆系统利用顶驱装置控制上部钻柱进行精确的往复扭摆,巧妙地将静摩擦转变为动摩擦。这一转变不仅降低了滑动钻进中钻柱的轴向摩擦阻力,还成功消除了滑动钻进过程中的托压现象,从而提高了钻井效率。此外,这种扭摆动作有助于维持钻压的稳定性,减少了因摩擦引起的钻压波动,为钻井过程的平稳进行提供了有力保障。

扭摆系统的设计考虑了现场操作的便捷性,通过人机交互界面,操作人员可以轻松输入所需参数,实现对顶驱正反向往复转动的精确控制。这种智能化的操作方式,不仅提高了作业效率,还降低了操作难度,使得井队能够更加专注于钻井过程的其他关键环节。

综上所述,扭摆系统的引入不仅优化了定向钻井的施工效果,还提升了钻井作业的整体性能,特别是在处理复杂井段时,展现了其独特的技术优势,为石油工程的高效、安全施工提供了强有力的技术支持。

参考文献

- [1] 丁恒,易先中,周元华,等.地面钻柱扭摆导向钻井的理论建模及应用研究[J].石油机械,2024,52(10):37-46.
- [2] 刘伟,杨晓峰,张华.钻柱扭摆滑动钻井技术在四川油气田的应用[J].钻采工艺,2018,41(01):10-12+1.
- [3] 袁鑫伟.顶驱扭摆钻柱减阻技术研究[J/OL].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2018(12)[2018-01-01].https://www.cqvip.com/doc/journal/2435720866.
- [4] 李乾.滑动钻进中顶驱扭摆减阻控制技术[D].中国石油大学(北京),2016.
- [5] 袁鑫伟.顶驱扭摆钻柱减阻技术研究[J/OL].中文科技期刊数据库(文摘版)工程技术,2018(12)[2018-01-01].
- [6] 丁文军,王全勇,肖仰德,等.高31-平10井优快钻井技术[J].石油石化物资采购,2023,(03):97-99.
- [7] 卢建,李庆永,王建民.扭摆技术在渤海湾定向施工提速应用可行性分析[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(06):154-156.
- [8] 周余,石庆丽,金梦,等.浅谈钻机顶部驱动技术发展趋势[J/OL].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2022(07)[2022-01-01].
- [9] 韩烈祥.基于静摩擦扭矩释放的快速滑动定向钻井技术[J].天然气工业,2015,35(11):60-65.
- [10] 易先中,吉源强,盛拥军,等.自动滑动钻井控制系统的研究进展[J].石油机械,2013,41(9):12-15.