

苏里格气田优化三开水平井三开“一趟钻”可行性研究

杨碧学¹, 宁金生¹, 黄旭平¹, 陶 鹏²

¹中国石油集团川庆钻探工程有限公司长庆钻井总公司, 陕西 西安

²西安石油大学油气田化学陕西省高校工程研究中心, 陕西 西安

收稿日期: 2023年2月14日; 录用日期: 2023年6月20日; 发布日期: 2023年6月29日

摘 要

近年来,随着长庆油田苏里格气田井身结构的调整,优化三开结构水平井已成为天然气各区块重要井型,并为控降故障复杂、钻井提速提效作出积极贡献。水平井“一趟钻”技术是某一开次井段使用一只钻头单趟钻完成的进尺和井眼轨迹控制技术,这是一项系统工程,不仅是钻井工程和钻井工具的全面升级,也是水平井整体技术水平的集中体现,是水平井钻井提速提效的有效途径。本文针对优化三开水平井三开“斜+水”井段,对致密气区域施工的18口井及历年数据分析,通过钻井工具优选、剖面轨迹优化、地质优势助力等各种措施,论证了三开“一趟钻”技术的可行性,通过完井资料分析“一趟钻”制约因素,研究“一趟钻”实施条件,为优化三开水平井三开“一趟钻”的实施提供理论依据。

关键词

一趟钻, 钻井工具, 旋转导向, 储层钻遇率

Study on the Feasibility of Optimizing the “One-Trip Drilling” of Triple-Opening Horizontal Wells of Sulige Gas Field

Bixue Yang¹, Jinsheng Ning¹, Xuping Huang¹, Peng Tao²

¹Changqing Drilling Corporation, CNPC Chuanqing Drilling Engineering Co., Ltd., Xi'an Shaanxi

²Shaanxi University Engineering Research Center of Oil and Gas Field Chemistry, Xi'an Petroleum University, Xi'an Shaanxi

Received: Feb. 14th, 2023; accepted: Jun. 20th, 2023; published: Jun. 29th, 2023

文章引用: 杨碧学, 宁金生, 黄旭平, 陶鹏. 苏里格气田优化三开水平井三开“一趟钻”可行性研究[J]. 石油天然气学报, 2023, 45(2): 205-213. DOI: 10.12677/jogt.2023.452026

Abstract

In recent years, with the adjustment of the well structure, the optimization of three open structure horizontal wells has become an important well type in various natural gas blocks, and has made positive contributions to the control and reduction of fault complexity and speed up and efficiency of drilling. Horizontal well “one-trip drilling” technology is a single trip drilling technology using a single drill bit to complete a certain open section of the well in terms of footage and borehole trajectory control, which is a systematic project that is not only a comprehensive upgrade of drilling engineering and drilling tools, but also a concentrated expression of the overall technical level of horizontal wells, and an effective way to speed up and improve the efficiency of horizontal well drilling. In this paper, we analyze the 18 wells constructed in the tight gas area and the data of the past years to optimize the “slant + water” section of the horizontal wells, and demonstrate the feasibility of the “one-trip drilling” technology through various measures such as the selection of drilling tools, optimization of the profile trajectory and geological advantages. The feasibility of the “one-trip drilling” technique was demonstrated, the constraints of “one-trip drilling” were analyzed through completion data, and the conditions of “one-trip drilling” were studied to provide a theoretical basis for optimizing the implementation of “one-trip drilling” in the three-drive horizontal wells theoretical basis.

Keywords

One-Trip Drilling, Drilling Tools, Rotary Guidance, Reservoir Drilling Encounter Rate

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

截至 2022 年,我国陆上最大的致密气田长庆苏里格气田已完钻水平井 1836 口,获得 228 口无阻流量超百万立方米高产井。其中,投产水平井 1677 口,累计增气达 495 亿立方米,标志着苏里格气田水平井驶入规模高效开发的快车道。长庆苏里格气田属于典型的“低压、低渗、低丰度”致密气藏,依靠传统的常规技术无法实现效益开发。自 2006 年开发以来,攻关团队通过水平井的早期探索、攻关试验、规模应用和优化提升 4 个阶段的不断突破,形成了适用于苏里格致密气田开发的 12 项特色技术和“5+1”合作开发模式,逐步攻克了“三低”致密气藏有效开发难题[1]-[10]。2010 年开始,攻关团队经过不懈努力,水平井开发技术突飞猛进,产量迅速攀升,目前已建成 300 亿立方米生产规模。在开发建设中,长庆苏里格气田针对致密气藏复杂地质特征和开发难点,总结吸取国内外水平井有效开发的成功经验,在持续深化储层地质综合研究的基础上,通过开展水平井开发地质条件分析、优化开发井网井型、差异化轨迹设计、精细化地质导向、开发指标论证等系统研究,逐步形成“水平井开发储层预测及精细描述技术、水平井部署及优化设计技术、水平井快速钻井技术、水平井地质导向技术、水平井多段压裂和密切割体积压裂改造技术、水平井产能评价及指标优化技术”六项配套技术,并不断取得致密气水平井规模有效开发技术突破,连续刷新亚洲陆上水平井最长水平段纪录,创造了长庆油田天然气水平井深度最深、砂岩段最长、有效储层最长、日平均进尺最快的水平井纪录,成为我国陆上非常规油气资源超长水平井开发的特色技术[11][12][13]。长庆油田苏里格气田常规水平井开发层位为石盒子组或山西组,二开斜井

段存在延长组、刘家沟组、石千峰组等漏失地层，石盒子组泥岩易坍塌，需要提高钻井液密度来平衡地层坍塌压力，钻井液密度过高导致上部地层存在漏失风险[14]。优化三开水平井结构通过技术套管封堵斜井段易漏地层，实现了水平井塌漏分治，钻井周期大幅缩短，为进一步提高产建效率，实现规模上产，引领气田提质增效提供可靠保障；同时在斜井段下入旋转导向系统，取消常规螺杆钻具滑动模式，提高斜井段施工效率；实现入窗后不起钻更换钻具组合继续水平段作业，为实现优化三开水平井三开一趟钻施工提供了可行性[15]。

2. 施工现状

长庆油田苏里格气田目前实施的水平井以优化三开结构为主，据 2022 年水平井完井资料统计(如图 1 所示)，优化三开水平井在致密气区域完成 18 口，平均三开井段长 1850.55 米，平均斜井段长 608.11 米，平均水平段长 1242.44 米，最长水平段 2000 米，平均钻趟数 3.5 趟。

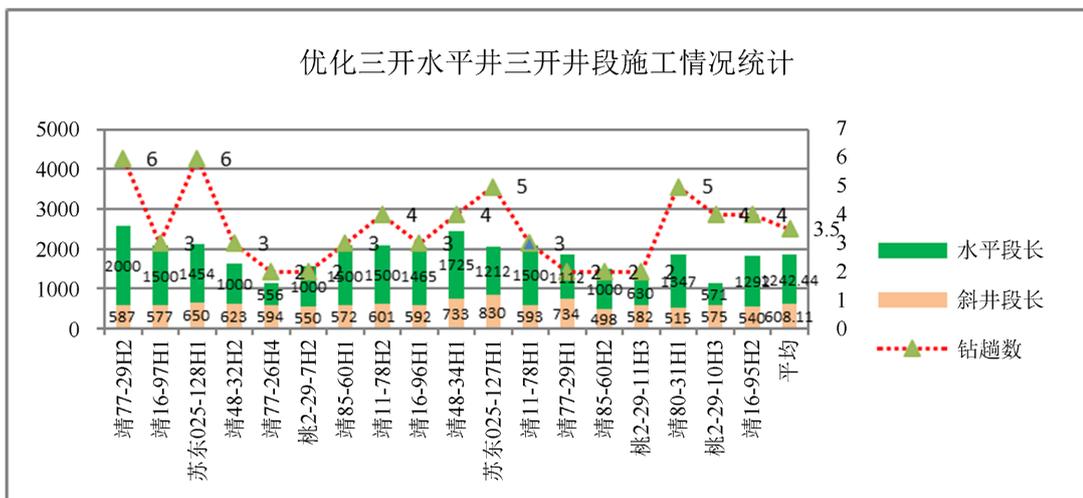


Figure 1. Statistics on the length of three open slant sections, horizontal sections and the number of drilling trips of optimized three-opening horizontal wells

图 1. 优化三开水平井三开斜井段、水平段长及钻趟数统计

通过对致密气区域施工的 18 口优化三开水平井三开井段钻趟数统计(如图 2 所示)，三开实施 2 趟钻施工 5 井次、3 趟钻 5 井次、4 趟钻 4 井次、5 趟及以上钻 4 井次，截止目前，未能实现三开“一趟钻”施工井。

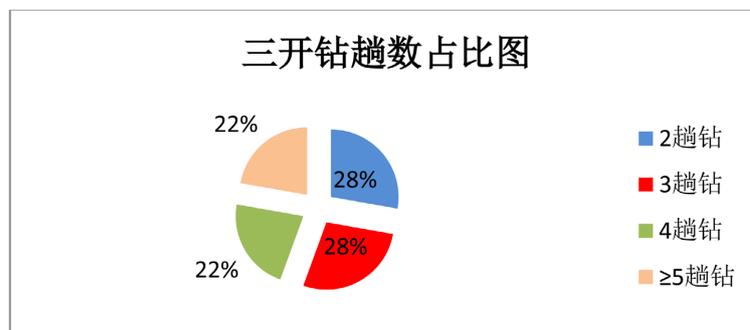


Figure 2. Optimization of the number of trips of triple-opening horizontal wells

图 2. 优化三开水平井三开钻趟数占比图

3. 影响三开“一趟钻”因素

3.1. 同一组合难以满足两种井段轨迹控制

优化三开水平井三开井段包括斜井段(含扭方位段)、水平段。斜井段以强增斜为主,考虑轨迹需要,三开选用强增斜钻具组合,完成扭方位、增斜入窗井段的施工;水平段按照地质要求,主要以稳斜为主,适时微调。因此,同一套钻具组合很难同时满足增斜又稳斜的轨迹控制,通常在入窗后需要更换钻具组合,成为三开“一趟钻”的“卡脖子”难题。

3.2. 钻井工具的不稳定性和局限性影响

PDC 钻头、井下动力钻具(螺杆)作为钻井施工所用的主要工具,其使用寿命和稳定性是决定三开“一趟钻”实施的关键因素。优化三开水平井通常设计水平段长 1000 米以上,考虑到斜井段,三开累计井段最少进尺达 1600 米,已达到 152.4 mm 井眼钻井工具的施工极限。因此,钻头、螺杆等主要井下工具的施工能力也是影响三开“一趟钻”实施的一大因素。

3.3. 其他影响因素分析

钻具、MWD 仪器等作为钻井重要保障工具仪器,施工中因各种原因会发生不可预见性的故障,如钻具刺漏、MWD 仪器故障等,被迫起钻检查,从而影响了“一趟钻”的实施。钻遇泥岩等复杂地层,频繁调整,低效施工,增加了钻井工具的损坏程度,消耗了钻井工具的使用寿命,如低效施工增加了螺杆的使用时间、造成了钻头前期损坏等,甚至因钻遇泥岩导地质侧钻,这些都是造成了“一趟钻”实施的影响因素。

4. “一趟钻”可行性分析

根据近年来优化三开水平井三开井段施工情况分析,最主要以及最多的起钻原因无非两个,一是钻时慢,起钻更换螺杆钻头;二是入窗后水平段钻进复合增斜率高,频繁调整,起钻倒换钻具组合。因此,重点着手解决以上两个方面的问题和矛盾,是完成优化三开水平井三开“一趟钻”施工的重要保障。

4.1. 强化工具质量提升

通常情况下,钻时慢起钻更换螺杆钻头是所有井段起钻的主要原因,因此,提升钻头、螺杆的综合质量是三开“一趟钻”实施的基本保证。

为强化 PDC 钻头“钻速快、寿命长、进尺多,导向性强”的性能,首先从钻头设计入手,重点解决攻击性与耐磨性矛盾问题。PDC 钻头设计时综合考虑良好的力平衡与稳定性,防止在施工中因震动等造成非正常损坏,同时确保在定向作业时的稳定性和施工效率。作为关键核心部件、发挥主要切削作用的 PDC 钻头复合片,优先选择高性能抗研磨抗冲击进口材料,通过材料配比、加工工艺与设计的优化,减小碳化物基座与金刚石复合片界面处的残余应力,提高复合片整体性能,从而提升钻头在不同地层的抗冲击抗研磨性能。PDC 钻头在布齿设计方面,应综合复合片切削角度和布齿密度,达到攻击性和耐磨性的平衡点,同时设计双排齿,以实现限位、辅助、平衡的效果。

井下动力钻具(螺杆)选择方面,坚持质量优先原则,优选质量可靠、性能稳定、效率高效的螺杆钻具,确保施工中滑动定向效果明显、具备单趟钻施工能力的持久性,且不发生螺杆失效等质量故障。根据施工井实际情况,结合区块特点,可与螺杆工具厂家沟通,开展针对性的工具定制,为三开“一趟钻”的实施提供高效稳定的专用螺杆钻具。

据资料统计,优化三开结构水平井三开 152.4 mm 井眼钻井工具在各种条件满足的情况下,具备可实

现“一趟钻”的能力(如表 1 所示)。靖 50-27H1 井使用常规“PDC + 螺杆……”组合,三开完成斜井段及入窗、水平段施工至 951 米因钻时慢起钻,起出钻头轻微磨损。靖 11-78H1 井三开使用旋转导向工具,施工至水平段 1118 米由于旋导工具 MWD 仪器故障起钻,起钻前钻时较快,起出钻头轻微磨损,具备可继续施工能力。

Table 1. Statistics of the higher drilling rate in a single trip for the three open sections of the optimized three open horizontal wells

表 1. 优化三开水平井三开井段单趟钻较高进尺情况统计

序号	井号	钻头型号	螺杆型号	组合	进尺 (m)	纯钻 (h)	机速 (m/h)	斜井段 (m)	水平段 (m)	起钻原因
1	靖 50-27H1	SD6527ZC	7LZ127*1.5°	常规	1736	169.00	10.27	785	951	钻时慢
2	靖 52-66H2	SFD55DS	7LZ127*1.25°	常规	1548	148.00	10.05	0	1548	钻时慢
3	靖 11-78H1	MDSi516	旋导专用螺杆	旋导	1700	107.40	15.83	582	1118	仪器故障
4	靖 77-29H1	MDSi516	旋导专用螺杆	旋导	1314	111.14	11.82	718	596	仪器故障

4.2. 运用旋转导向钻井系统

相比常规“MWD + 螺杆”定向工具,旋转导向系统(RSS)是在钻柱旋转钻进时,随钻实时完成导向功能的一种导向式钻井系统(如图 3 所示)。旋转导向系统能够实现地面与井下的双向通讯,实时测量近钻头地层信息和井眼轨迹参数,并根据井下实时工程、地质数据及时做出调整井眼轨迹的决定,极大地解放了轨迹控制局限性,为提高钻井速度、优化轨迹剖面、延伸水平段长度等奠定了坚实基础,同时其随钻测井系统(LWD)可精确测量地质信息,为地质导向提供指向性参考,有效提高储层钻遇率。

旋转导向系统基于独特的 IDEAS 综合钻井动态模拟平台,集成化地综合考虑钻具组合、钻头、轨迹剖面、钻井参数、泥浆性能等影响因素,全面评估与预测钻头与工具的匹配性,最大限度优化旋转导向定制钻头的使用性能,并且基于实钻信息不断反馈优化,使钻头能良好的匹配工具并实现预期的钻速和轨迹控制要求,延伸单趟钻施工能力,达到提速提效的目的,为“一趟钻”的实施提供保证。

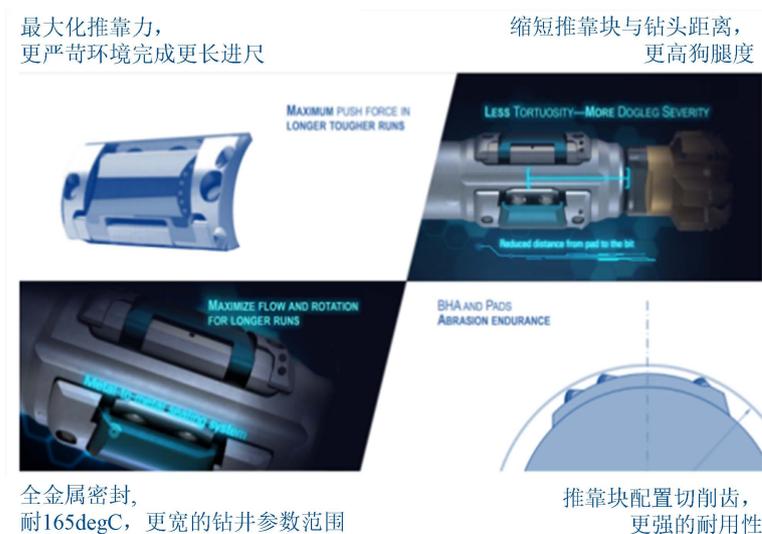


Figure 3. Introduction to the main functions of the Schlumberger rotary guidance system and Optimization and selection of the mating drill bit MDSi516UASBPX

图 3. 斯伦贝谢旋转导向系统主要功能介绍及配套钻头 MDSi516UASBPX 的优化与选型

鉴于钻井提速提效和“一趟钻”的需求,首次在靖中北区域推广使用旋转导向系统(如表 2 所示),使用 Slimpuse 和 Impuse 两种工具先后施工 5 口井,因各种因素,均未实现三开“一趟钻”目标。

Table 2. Optimization of the use of rotary guidance system in the three-opening section of a three-opening horizontal well
表 2. 优化三开水平井三开井段使用旋转导向系统情况

序号	井号	仪器工具型号	井眼尺寸 (井段)	进尺 (m)	机速 (m/h)	斜井 段(m)	水平 段(m)	起钻 原因
1	靖 77-29H2	Archer + CLPS + Slimpuse + motor	152.4 mm	687	12.27	587	100	钻时慢
2	靖 27-79H1	Archer + CLPS + Slimpuse + motor	152.4 mm	552	13.11	552	0	起钻堵漏
3	靖 11-78H1	PD475orbitG2 + 柔性短节 + clps + Slimpluse + 深远 Motor	152.4 mm	1700	15.83	582	1118	仪器故障
4	靖 77-29H1	PD475orbitG2 + 柔性短节 + clps + Slimpluse + 深远 Motor	152.4 mm	1314	11.82	718	596	仪器故障
5	靖 85-59H2	PD475orbitG2 + 柔性短节 + clps + Slimpluse + 深远 Motor	152.4 mm	675	6.58	567	108	钻时慢

细化分析每口井具体施工情况,优化三开水平井三开 152.4 mm 井眼应用 475 mm 旋转导向系统,完全具备三开“一趟钻”施工能力和潜力,其中,靖 11-78H1 井已无限接近“一趟钻”的目标(如图 4 所示)。

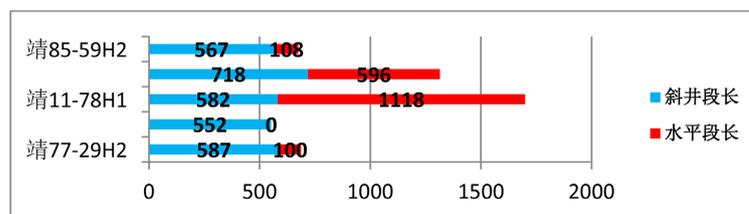


Figure 4. Construction of rotary guidance system

图 4. 旋转导向系统施工情况

靖 11-78H1 井三开使用 PowerDrive Orbit G2 配合其定制钻头,全力度(100%增斜)条件下可达到 7°/30 米的狗腿能力,造斜段可以保证 4°~5°/30 米的狗腿输出,进入水平段稳斜、稳方位效果较好,从而彻底释放参数并达到最优的机速(如图 5 所示)。该井由于旋导系统 MWD 仪器发生故障而起钻,起钻前仍然保持 20~25 m/h 的机械钻速,起出钻头轻微磨损,仍处于良好的施工状态。



Figure 5. Before and after photos of the triple-opening 152.4 mm MDS1516 bit in Jing11-78H1 well

图 5. 靖 11-78H1 井三开 152.4 mm MDS1516 钻头入井前后照片

4.3. 细化措施, 强化执行

细节决定成败, 钻井技术更是如此。为实现优化三开水平井三开 152.4 mm 井眼“一趟钻”工程, 必须将方方面面的影响因素考虑在内, 并进行改进和优化, 为“一趟钻”工程消除一切“障碍”并保驾护航。

1) 强化剖面优化, 轨迹设计有利于三开“一趟钻”实施。在轨迹设计与控制方面强化全局意识, 二开直井段或纠偏井段施工时, 有意识地调整和控制视平移大小, 确保有效靶前距满足工具造斜能力并有利于斜井段轨迹控制和快速钻进。对于三开使用旋导工具施工井, 考虑到工具串长度以及三开初始井段旋导工具的局限性, 二开完钻之前, 调整轨迹超前量, 为三开预留出 20~30 米复合钻进井段, 确保轨迹控制主动性。斜井段施工过程中, 做好全井段预算工作, 在保障井身质量的前提下, 尽量减少旋导工具发指令次数, 进一步提高施工效率。

2) 强化沟通, 密切配合, 最大限度降低无效、低效施工。三开使用旋转导向系统施工的井, 现场各施工方互通信息、强化沟通, 保证钻井设备完好可用, 确保作业连续性。加强钻井泵的维保力度, 保证 RSS 工具正常工作, 提高测斜成功率和时效性。根据井下情况, 现场灵活、机动安排短起下、划眼等作业, 确保在安全的前提下提速提效。严格按照操作规程平稳操作, 特别是空负荷(零钻压、低扭矩)划眼作业时, 适当调整参数, 减小振动对工具仪器造成的损坏。

3) 强化 PHA 检测检查和质量把关, 预防井下故障, 确保井下安全。对于入井钻具工具, 扎实做好基础管理工作, 认真检查, 探伤检测, 仔细丈量, 绘制草图, 严格把好质量关, 杜绝钻具失效和故障。强化旋导工具及 MWD 仪器出库检测和入井检查, 进一步强化工具仪器抗振、耐冲蚀性能, 排除一切可能导致故障的因素, 确保工具仪器入井后正常工作。靖 77-29H1 井、靖 11-78H1 井均因为旋导系统 MWD 仪器故障而影响了单趟钻的继续施工, 最终导致了“一趟钻”实施的失败。

4.4. 客观因素满足“一趟钻”要求

万事俱备, 还须东风助力。要实现优化三开水平井三开“一趟钻”, 不仅在施工方面做好万全之策, 还须待施工井具备“一趟钻”的天然优势, 并为“一趟钻”提供“便利”。

1) 工程设计满足“一趟钻”需求。工程设计中剖面轨迹参数及设计数据必须满足“一趟钻”实施条件, 若设计水平段长超过 1500 米, 则三开“斜+水”井段进尺高达 2100 米以上, 单趟钻很难实现。轨迹参数设计中, 靶前距(视平移)太大, 对应的斜井段较长, 也增加了“一趟钻”实施难度。根据轨迹测算, 设计靶前距 380~430 米, 对应的斜井段长 600~670 米, 狗腿度 $4.0^{\circ}\sim 4.5^{\circ}/30$ 米, 常规组合和旋导工具均能满足轨迹控制需要, 而且有效控制了斜井段长度, 有利于“一趟钻”的实施。三维水平井可通过纠偏方位适时调整有效视平移大小, 可达到最有利于轨迹控制需要。若水平段长设计 1000 米及以下, 三开“斜+水”井段累计进尺不足 1600 米, “一趟钻”实施的成功率大幅提高。靖 11-78H1 井三开单趟钻施工至水平段 1118 米, 若设计水平段长 1000 米, 则已实现了三开“一趟钻”的施工。

2) 地质因素有利于“一趟钻”实施。石油钻井行业, 工程为地质服务, 工程施工必须满足地质需要。要实现三开“一趟钻”施工, 必须对邻井资料深入研究, 对施工井的地质地层有更深入的认识, 最大限度减少入窗过程中探储层的井段和时效。水平段施工中, 较高的储层钻遇率更有利于“一趟钻”的实施, 若钻遇大段泥岩, 轨迹频繁调整, 不仅影响施工效率, 还增加了井下风险隐患, 甚至可能出现地质侧钻, “一趟钻”的实施无从谈起。因此, 良好的储层钻遇率是实现优化三开水平井三开“一趟钻”的地质保障。J11-78H1 井三开单趟钻施工 1700 米, 水平段 1118 米均为砂岩, 轨迹基本以 90° 井斜平推为主, 不仅提高了施工效率, 也为“一趟钻”的实施奠定了基础。

5. 结论

1) 高效率、长寿命的钻头和动力钻具等重要钻井工具是完成“一趟钻”的基础保证。钻头、螺杆等工具不仅要高效完成斜井段增斜入窗,还要实现水平段快速钻进和延伸能力,才能保证“一趟钻”的实施。因此,钻头、螺杆的质量是保障“一趟钻”的关键。

2) 工程设计和地质条件是满足“一趟钻”实施的客观因素。设计靶前距大小、水平段长度等数据是钻井工具造斜能力和“有效寿命”的工具保障;高效准确的地质导向和良好的储层钻遇率是高质量钻井施工的地质保证。

3) 旋转导向系统是“一趟钻”实施的技术保障。只有旋转导向系统才能同时满足斜井段增斜和水平段稳斜两种不同井段轨迹控制和高效施工的需要。

4) 对于不稳定性地层的斜井段井眼轨迹控制,尤其在增、降斜没有明显规律时,旋转导向的应用可对轨迹控制做出迅速判断,有利于预测和控制狗腿度。

5) 旋导系统可有效解决减小滑动拖压的问题,提高机械钻速钻进的同时完成工具面等指令的调整,减少非生产时间。钻进过程中高速旋转保证井眼清洁,降低复杂风险,根据近钻头并斜方位数据,井眼轨迹易调控,轨迹平滑,井眼质量更优。

6. 建议

1) 良好的钻井设备、熟练的操作技能、密切的岗位配合等是保障“一趟钻”实施的助力因素。钻井设备不仅满足技术要求,还要保证作业的连续性;熟练高效的操作水平不仅能够有效保护钻井工具,还能进一步提高作业效率;各岗位之间强化沟通,密切配合,按章操作,最大限度减少无效低效施工,提高施工效率。

2) 强化系统观念、全局意识。自施工井工程设计到位后,综合研判,具备三开“一趟钻”潜力时,开始针对性准备。统筹剖面轨迹优化、钻井工具优选、设备维保到位、施工人员优配、旋导工具准备等一系列系统工程的筹划,为三开“一趟钻”实施做好充分准备。

3) 根据使用钻头情况分析,配合旋转导向钻头中心复合片容易造成较高的轴向载荷,导致中心复合片的崩齿损坏,需提高钻头中心部位的破岩效率。在保障研磨性的前提下,适当增加钻头攻击性,进一步提高单只钻头施工效率。

参考文献

- [1] 胡延霞, 冯荟锦, 韩成福. 苏里格风险合作区块二开结构水平井钻井技术[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 42(21): 188-190.
- [2] 韩士东. 三开结构水平井安全钻进液技术研究[J]. 石化技术, 2018, 25(9): 189.
- [3] 孙元伟, 时凤霞, 印树明, 等. 三开结构水平井安全钻进钻井液技术研究[J]. 内江科技, 2017, 38(7): 37+21.
- [4] 杨碧学, 宁金生, 王可仁. 苏里格二开结构水平井钻井技术[J]. 内蒙古石油化工, 2014, 40(20): 106-107.
- [5] 张晓勇, 丁玉玺, 李芳勇. 杭锦旗区块二开结构水平井钻井液技术[J]. 石化技术, 2016, 23(2): 232.
- [6] 鲍伟伟, 徐杨, 何滔, 等. 大港油田“一趟钻”轨迹控制技术[J]. 石化技术, 2022, 29(12): 76-78.
- [7] 董志辉, 杨泽宁. 车排子超浅水平井一趟钻螺杆钻具设计及应用[J]. 新疆石油天然气, 2022, 18(4): 33-37.
- [8] 乔磊, 刘奕杉, 车阳, 等. 松辽盆地难采储量钻完井技术现状及对策建议[J]. 中国石油勘探, 2022, 27(5): 130-137.
- [9] 季洪石. F198 区块“一趟钻”快捷钻井技术研究与应[J]. 西部探矿工程, 2022, 34(8): 54-56.
- [10] 薛宪波, 张诚成, 张保康, 等. 海上油田一趟钻套管开窗技术[J]. 石油钻探技术, 2022, 50(4): 64-68.
- [11] 冯斌, 高学金, 郭立勋, 等. 油砂山油田钻井提速及一趟钻关键技术[J]. 科技创新与应用, 2022, 12(2): 158-161.

-
- [12] 谢金, 田东彬, 田波, 等. 四川盆地威远区块“一趟钻”PDC 钻头设计及应用[J]. 设备管理与维修, 2021, 45(15): 161-162.
- [13] 丁胜, 王吉龙, 李耀琳. 石油钻井自动化关键技术的应用[J]. 化工管理, 2023, 12(3): 68-70.
- [14] 王昊. 随钻测井技术在我国石油勘探开发中的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 42(24): 175-177.
- [15] 余定泽. 深水钻井完井的挑战分析及对策[J]. 化工管理, 2022, 13(35): 162-164.