



塔深5井超深层钻井关键技术

王建云 韩涛 赵宽心 张立军 席宝滨 叶翔

Key Drilling Technologies for the Ultra-Deep Well Tashen 5

WANG Jianyun, HAN Tao, ZHAO Kuanxin, ZHANG Lijun, XI Baobin, YE Xiang

在线阅读 View online: <http://doi.org/10.11911/syztjs.2022074>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

塔里木克深9气田复杂超深井钻井关键技术

Key Drilling Technologies for Complex Ultra-Deep Wells in the Tarim Keshen 9 Gas Field

石油钻探技术. 2020, 48(1): 15-20 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2020028>

川深1井超深井钻井提速关键技术

Key Techniques of Drilling Penetration Rate Improvement in Ultra-Deep Well Chuanshen-1

石油钻探技术. 2019, 47(3): 121-126 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2019056>

顺北油气田火成岩侵入体覆盖区超深井优快钻井技术

Ultra-Deep Well Drilling Technology in the Igneous Invasion Coverage Area of the Shunbei Oil and Gas Field

石油钻探技术. 2020, 48(2): 1-5 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2020004>

塔河油田超深超稠油油藏人工举升技术

Artificial Lifting Technology Applied in Ultra-Deep Super-Heavy Oil Reservoirs of the Tahe Oilfield

石油钻探技术. 2018, 46(4): 84-90 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2018094>

顺北油田超深井优快钻井技术

Optimization of Fast Drilling Technology for Ultra-Deep Wells in the Shunbei Oilfield

石油钻探技术. 2017, 45(6): 8-13 <http://doi.org/10.11911/syztjs.201706002>

克拉苏构造带博孜1区块复杂超深井钻井完井关键技术

Key Technologies for Drilling and Completing Ultra-deep Wells in the Bozi 1 Block of Kelasu Structure

石油钻探技术. 2021, 49(1): 16-21 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2020130>



扫码关注公众号，获取更多信息！

◀钻井完井▶

doi:10.11911/syztjs.2022074

引用格式: 王建云, 韩涛, 赵宽心, 等. 塔深 5 井超深层钻井关键技术 [J]. 石油钻探技术, 2022, 50(5): 27-33.

WANG Jianyun, HAN Tao, ZHAO Kuanxin, et al. Key drilling technologies for the ultra-deep well Tashen 5 [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2022, 50(5): 27-33.

塔深 5 井超深层钻井关键技术

王建云¹, 韩 涛², 赵宽心², 张立军², 席宝滨², 叶 翔²

(1. 中国石化西北油田分公司, 新疆乌鲁木齐 830011; 2. 中石化中原石油工程有限公司塔里木分公司, 新疆库尔勒 841000)

摘 要: 为探明塔河油田寒武系沙依里克组、肖尔布拉克组及震旦系奇格布拉克组储层的发育特征及含油气情况, 部署了预探井塔深 5 井, 相关资料表明, 该井超深层存在缝洞发育易井漏、地层倾角大易井斜、硅质白云岩压实程度高导致机械钻速慢等钻井技术难点。针对井漏问题, 优选了抗温堵漏材料, 优化了堵漏材料的配比和粒径, 辅以随钻堵漏和渐进式堵漏方法, 以逐步提高地层的承压能力; 为解决井身质量控制和提速的矛盾, 应用了垂直钻井工具+大扭矩螺杆的防斜钻井提速技术, 能够兼顾防斜和提速; 为解决白云岩地层可钻性差、研磨性强的问题, 优选了减振耐磨的 PDC 钻头和扭力冲击器配合等壁厚大扭矩螺杆钻进。采用上述钻井关键技术后, 塔深 5 井顺利施工并成功完钻, 为后续塔河油田下部寒武系和震旦系钻井提供了技术途径、积累了技术经验。

关键词: 塔深 5 井; 超深井; 机械钻速; 堵漏; 防斜; 塔河油田

中图分类号: TE245

文献标志码: A

文章编号: 1001-0890(2022)05-0027-07

Key Drilling Technologies for the Ultra-Deep Well Tashen 5

WANG Jianyun¹, HAN Tao², ZHAO Kuanxin², ZHANG Lijun², XI Baobin², YE Xiang²

(1. Sinopec Northwest Oilfield Company, Urumuqi, Xinjiang, 830011, China; 2. Tarim Drilling Company, Sinopec Zhongyuan Oilfield Service Corporation, Korla, Xinjiang, 841000, China)

Abstract: Well Tashen 5 was deployed to explore the development characteristics and hydrocarbon contents of the Cambrian Shayilike Formation, Xiaerbulake Formation and the Sinian Qigebrak Formation. Related data indicates that the ultra-deep Well Tashen 5 have several technical difficulties in drilling, such as lost circulation due to fractures and cavities, well deviation due to large formation inclination, and low rate of penetration (ROP) caused by the highly compacted siliceous dolomite. For the lost circulation problem, temperature resistant plugging materials were selected. The ratio and particle size of the plugging materials were optimized to gradually increase the pressure-bearing capacity of the formations while employing the plugging-while-drilling method and progressive plugging methods. In order to solve the conflict between the wellbore quality control and ROP enhancement, the vertical drilling tools and high-torque positive displacement motor (PDM) were applied for deviation prevention and ROP enhancement. In order to solve the problems of low drillability and high abrasiveness of the dolomite formation, the damping and wear-resistant PDC bit and torsion impactor were selected to match with high-torque PDM with iso-wall thickness for compound drilling. Well Tashen 5 was successfully completed after applying above key drilling technologies and provided technical methods and experiences for subsequent drilling in the Cambrian and Sinian of Tahe Oilfield.

Key words: Well Tashen 5; ultra-deep well; rate of penetration; lost circulation control; deviation prevention; Tahe Oilfield

塔深 5 井是部署在塔河油田主体老区的一口预探井, 位于塔里木盆地塔北隆起阿克库勒凸起。该井所在区块奥陶系油藏开发经验较为成熟^[1], 但对

寒武系沙依里克组、肖尔布拉克组及震旦系奇格布拉克组的储层发育特征及含油气性还不甚了解, 需要钻探、分析^[2]。根据相关资料, 塔深 5 井存在寒武

收稿日期: 2022-01-10; 改回日期: 2022-06-27。

作者简介: 王建云 (1974—), 男, 湖北浠水人, 1997 年毕业于西南石油学院石油工程专业, 高级工程师, 主要从事钻井完井工程技术与相关管理工作。E-mail: wjianyun.xbsj@sinopec.com。

系下丘里塔格组被走滑断层贯穿易井漏, 鹰山组下部、蓬莱坝组和下丘里塔格组局部地层倾角大易井斜, 奥陶系蓬莱坝组中下部、寒武系下丘里塔格组中上部含大段白云岩、硅质云岩导致可钻性差等钻井技术难点。因此, 为应对井漏问题, 笔者研究了渐进式承压堵漏技术和高温超深层断裂带堵漏技术; 为应对地层倾角大的问题, 研究了垂直钻井工具配合大扭矩直螺杆防斜提速技术; 为应对硅质云岩、巨厚白云岩可钻性差的问题, 优选了六刀翼、七刀翼、八刀翼 PDC 钻头, 配合使用扭力冲击器与等壁厚大扭矩螺杆, PDC 钻头抗研磨效果好, 等壁厚大扭矩螺杆输出功率大, 扭力冲击器能减少粘滑振动。采用上述钻井关键技术后, 塔深 5 井顺利钻至完钻井深 9 017 m, 刷新了中国石化直井最深纪录, 也成为亚洲陆上最深直井。该井成功完钻, 对国内外超深井安全钻井和提速提效具有借鉴意义。

1 塔深 5 井概况及钻井技术难点

1.1 塔深 5 井概况

塔深 5 井目的层为寒武系沙依里克组、肖尔布拉克组及震旦系奇格布拉克组, 根据地层情况, 设计为五开制直井, 设计井深 8 890 m, 其钻遇地层和各层的厚度见表 1。根据设计的井身结构, 该井一开、二开主要封隔奥陶系鹰山组以上地层, 三开主要封隔奥陶系及寒武系下丘里塔格组等易漏、易垮地层, 四开封隔寒武系地层, 为完井和分层评价创造条件, 五开钻进震旦系奇格布拉克组 45 m 完钻 (见图 1)。

1.2 钻井技术难点

塔深 5 井钻遇的鹰山组以上地层已经过多年开发, 对其认识已较为深入, 钻井方面的问题不多; 鹰山组以下地层存在钻井技术难点较多。在分析塔深 5 井地质特征和岩性的基础上^[3-5], 结合井身结构设计结果、邻井调研情况, 认为该井主要存在以下钻井技术难点:

1) 井漏概率大。塔深 5 井附近存在断层, 地质资料显示下丘里塔格组被走滑断层贯穿, 地层破碎且破碎程度极不均匀, 断层裂缝体系的封闭性、充填程度及强度不均匀。如邻井塔深 2 井采用密度 1.45~1.52 kg/L 的钻井液钻进 6 747~6 930 m 井段 (下丘里塔格组), 发生 7 次井漏, 累计漏失钻井液 1 036.04 m³, 漏层埋藏深, 井下温度高 (140~160 ℃), 常用的植物果壳类堵漏材料易碳化失效; 初始漏速

表 1 塔深 5 井设计的钻遇地层及各层厚度

Table 1 Formations encountered and corresponding thickness for the designed drilling of Well Tashen 5

设计钻遇地层				井深/m	厚度/m
界	系	统	组		
新生界	第四系			85	
	新近系	上新统	库车组	1 815	1 730
		中新统	康村组	2 879	1 064
			吉迪克组	3 449	570
	古近系	渐-古新统	苏维依组	3 484	35
				3 549	65
中生界	白垩系	下统	巴什基奇克组	4 198	649
			巴西盖组	4 253	55
			舒善河组	4 541	288
			亚格列木组	4 576	35
	侏罗系	下统		4 636	60
	三叠系	上统	哈拉哈塘组	4 840	204
		中统	阿克库勒组	4 985	145
		下统	柯吐尔组	5 050	65
古生界	石炭系	下统	卡拉沙依组	5 427	377
			巴楚组	5 465	38
	奥陶系	中-下统	鹰山组	6 455	990
			蓬莱坝组	6 765	310
			上统	下丘里塔格组	7 725
	寒武系	中统	阿瓦塔格组	8 015	290
			沙依里克组	8 105	90
		下统	吾松格尔组	8 275	170
			肖尔布拉克组	8 785	510
玉尔吐斯组			8 845	60	
元古界	震旦系	上统	奇格布拉克组	8 890	45

快, 堵漏后漏速明显降低, 堵漏成功后有时复漏; 漏速不均匀, 随着揭开新地层, 漏速时大时小, 时漏时不漏; 井漏受控于继承发育的断裂强烈情况及岩性, 所有井漏段岩性均为白云岩, 漏点多, 且无规律。

2) 井斜难控制。奥陶系鹰山组底部、蓬莱坝组和寒武系下丘里塔格组中下部地层倾角约 7°, 局部发育倾角大于 80°的高角度裂缝, 易发生井斜。如轮探 1 井使用常规钻具组合钻进鹰山组下部和下丘里塔格组下部时井斜角难以控制, 井斜角最大达到 7.0°; 塔深 1 井使用常规钻具组合钻进蓬莱坝组时井斜角持续增大, 后期井斜角最大达 26.47°; 塔深 2 井使用常规钻具组合钻至蓬莱坝与鹰山组交界处井斜角突然增大, 井斜角最大达到 12.41°。

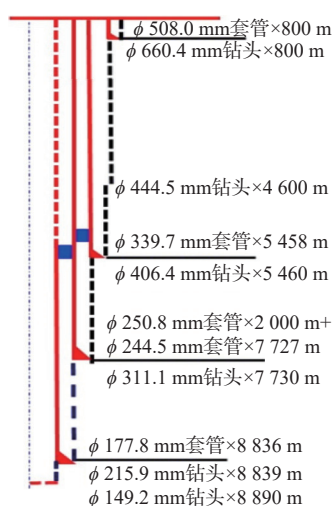


图 1 塔深 5 井设计井身结构

Fig.1 Designed casing program of Well Tashen 5

3) 机械钻速低。白云岩抗压强度大(250 MPa 以上)、地层厚,蓬莱坝组和下丘里塔格组发育硅质结核,研磨性高,可钻性差,机械钻速低。如邻井轮探 1 井三开该井段应用双摆提速工具后,平均机械钻速只有 1.38 m/h。

4) 卡钻风险高。断层贯穿下丘里塔格组-玉尔吐斯组,地层破碎且破碎程度极为不均匀,断层裂缝体系的封闭性和充填程度及强度不均匀,掉块多且大,形成不规则井眼。例如,邻井轮探 1 井 7 500~8 870 m 井段的平均井径扩大率为 10.26%,最大井径扩大率为 50.93%。

2 钻井关键技术研究

为解决超深层高温堵漏困难的问题,优选抗温堵漏材料,优化材料配比和粒径,辅以随钻堵漏和渐进式堵漏方法逐步提高地层的承压能力;为解决井身质量控制和提速的矛盾,应用了垂直钻井工具+大扭矩螺杆的防斜提速技术,兼顾防斜和提速;为解决白云岩地层可钻性差、研磨性强的问题,选用减振耐磨 PDC 钻头,配合扭力冲击器与大扭矩螺杆进行钻进。

2.1 高温超深层断裂带堵漏技术

1) 优选云母、蛭石及矿物纤维 GT-MF、GT-1 等矿物类堵漏材料,提高堵漏材料的抗温性。纤维类材料在堵漏浆中占比达到约 30%,确保堵漏浆进入孔隙后能够形成团聚滞留效果,达到快速封堵目的。刚性颗粒类堵漏材料粒径配比为粗:中粗:细=1:1:2,达到大颗粒架桥,中、细颗粒递进封堵形成

致密桥塞隔绝漏层的效果^[6]。

2) 由于钻具组合中带有螺杆和随钻监测仪器(MWD),现场不断探索堵漏材料粒径配比,可适当加入中粗云母(5%~6%)和粗云母(2%~5%),堵漏材料的质量分数最高可达到 31%~37%;顶替过程中堵漏浆要全部替出钻头,避免滞留在钻具内部间隙较小的位置,造成堵塞水眼的严重后果,给下部施工带来风险。

3) 根据“随钻封堵和渐进式承压堵漏”的理念逐步提高钻井液密度,全裸眼强化钻井液随钻封堵,以优质护胶膨润土浆、微裂缝随钻封堵剂 MFP-1、高软化点沥青和超微细超细碳酸钙(800 目、1 250 目、2 500 目)提高井浆屏蔽暂堵能力。井深 5 876, 5 876 和 6 419 m 处起钻前泵入 10%~16% 堵漏浆,起至套管内适度憋压 1.0~2.5 MPa,使封堵材料进入地层微裂缝孔喉,渐进式提高地层承压能力。

4) 不同漏速的处理措施。针对钻进期间漏速 8 m³/h 以下的渗漏,可更换低目数筛布(20 目),全井补充细颗粒堵漏材料,其含量保持在 6%~8%,以达到随漏随堵的目的;漏速为 8~16 m³/h 的漏层,连续多次泵入 10~15 m³ 堵漏浆,待堵漏浆出钻头后,漏速会明显降低,能达到强钻井并揭开大段漏层的目的;针对漏速大于 16 m³/h 的连通性好的漏层,一次性泵入长 400~500 m 井筒容积的高浓度堵漏浆,然后起钻至堵漏浆上部,静置一段时间,再循环逐步提高排量,让堵漏浆充分进入漏层,形成稳定的桥塞,提高承压能力,下钻验漏,如堵漏成功,则恢复钻进。

2.2 垂直钻井工具+大扭矩螺杆防斜提速技术

邻井轮探 1 井在 6 386~6 552 m 井段采用垂直钻井工具+双摆钻具组合纠斜,未带螺杆,机械钻速仅 1.17 m/h;邻井塔深 1 井钻进奥陶系蓬莱坝组时发生井斜,使用弯螺杆+MWD 纠斜,受施工工艺限制,效果不理想,后期采用常规钻具组合钻进,井斜角最大达 26.47°,未达到纠斜目的。

结合上述 2 口邻井的施工经验,为兼顾防斜和提速^[7-10],在监测到井斜角有增大趋势后,随即起钻并采用垂直钻井工具+大扭矩直螺杆钻进,钻具组合为 $\phi 311.1$ mm PDC 钻头+垂直钻井工具+双公接头+ $\phi 244.5$ mm 大扭矩直螺杆(螺杆上部带 $\phi 310.0$ mm 螺旋稳定器)+ $\phi 228.6$ mm 浮阀+ $\phi 228.6$ mm 无磁钻铤+ $\phi 228.6$ mm 无磁悬挂器+ $\phi 228.6$ mm 配合接头+ $\phi 308.0$ mm 稳定器+ $\phi 228.6$ mm 螺旋钻铤+ $\phi 203.2$ mm 螺旋钻铤+ $\phi 203.2$ mm 随钻震击器+ $\phi 139.7$ mm 无磁

加重钻杆+ $\phi 139.7$ mm 钻杆+ $\phi 152.4$ mm 钻杆。主要钻井参数: 钻压 100~120 kN, 转速 40 r/min, 排量 51 L/s, 泵压 31 MPa, 扭矩 13.5~17.0 kN·m。

2.3 白云岩地层减振提速技术

寒武系巨厚白云岩使用常规 PDC 钻头+螺杆钻具组合复合钻进时, 易出现跳钻、蹩钻和粘滑振动等问题, 加之硅质结核造成岩层不均质, 极易损坏钻头, 钻头重复切削、粘滑, 造成机械钻速较低。在调研邻井资料和国内钻井减振提速工具的基础上^[11-18], 为减轻恶性振动(横向、纵向和扭向)、提高钻头切削效率和破岩效率, 选用了强化减振耐磨

PDC 钻头, 配合 DeepDrill 扭力冲击器与大扭矩螺杆钻具进行钻进。

根据调研结果选择史密斯钻头, 并针对性优化设计了减振构型, 在主切削齿后布置了尖锥齿。不同岩性选用不同数量刀翼的 PDC 钻头: 在泥质灰岩、灰质云岩、泥质云岩等地层, 选用 Z616 型六刀翼 PDC 钻头; 在较纯的白云岩地层, 选用 Z716 型七刀翼 PDC 钻头; 在含硅云岩(蓝灰色不透明硅质岩块为主)地层, 选用减振抗研磨效果最好的 XZ816 型八刀翼 PDC 钻头。Z616 型六刀翼、Z716 型七刀翼和 XZ816 型八刀翼 PDC 钻头的形貌如图 2 所示。



图 2 史密斯钻头公司的减振 PDC 钻头

Fig.2 Smith damping PDC bit

针对塔深 5 井随钻堵漏和间断进行承压堵漏的技术需求, 经调研对比后选用了扭力冲击器。扭力冲击器结构简单, 无涡轮、螺杆和叶轮等复杂零件, 可靠性高, 水眼通过性高。扭力冲击器的工作原理是, 利用液力驱动, 使内部摆锤在圆周方向上产生高频率(800~1 800 次/min)的冲击扭矩, 将原来的“剪切”破岩转变为“剪切+高频冲击”破岩, 增加了破岩能量, 能够缓解钻头剪切不均质岩屑时蹩卡带来的不规则振动, 稳定钻头工作面。实践表明, 扭力冲击器可以很好地应对硬地层, 钻井提速效果显著^[19-23]。

3 塔深 5 井实钻效果

3.1 钻井施工简况

塔深 5 井采用 ZJ90D 型钻机进行全井钻井作业, 钻井过程较为顺利, 完钻井深 9 017 m(比设计井深多 127 m), 实际钻井周期 299.81 d(比设计钻井周期缩短 19.19 d), 提速提效明显。塔深 5 井实钻地层及各层厚度见表 2, 实钻井身结构如图 3 所示。

3.2 钻井关键技术应用效果

塔深 5 井应用前述钻井关键技术后, 总体较为顺利, 但也发生了井漏、锁紧座下部套管脱扣等井下故障。因此, 三开中完后采取了 $\phi 244.5$ mm 套管开窗侧钻、将设计的四开和五开合并等措施。

3.2.1 高温超深层断裂带堵漏技术

塔深 5 井钻井过程中, 下丘里塔格组共发生 8 次井漏。

第 1 次(井深 6 773.08 m)、第 2 次(井深 6 869.69 m)井漏, 裂缝较小, 漏失量不大。采用配方为 7.5% SQD-98(中粗)+5.0%SQD-98(细)+5.0%微裂缝封堵剂+2.5%超细碳酸钙(400 目)的堵漏浆, 通过降低井浆密度、降低漏层液柱压力和使用粒径小于 1 mm 的颗粒堵漏材料, 有效封堵了漏层。

第 3 次(井深 7 225.15 m)井漏, 因井浆密度提高至 1.30 kg/L 而漏失, 降至 1.28 kg/L 后正常。

第 4 次(井深 7 259.04 m)井漏, 钻遇裂缝较大, 采用配方为 6%SQD-98(细)+7%SQD-98(中粗)+3%云母(细)+6%微裂缝封堵剂+4%超细碳酸钙(400 目)+3%云母(中粗)的堵漏浆进行堵漏, 实

表 2 塔深 5 井实钻地层及各层厚度
Table 2 Formations encountered and corresponding thickness during the drilling of Well Tashen 5

实际钻遇地层				井深/m	厚度/m	
界	系	统	组			
新生界	第四系			85	85	
	新近系	上新统	库车组	1 915	1 830	
			康村组	2 834	919	
		中新统	吉迪克组	3 386	552	
			古近系	渐-古新统	苏维依组	3 478
		3 556			78	
	中生界	白垩系	下统	巴什基奇克组	4 206	650
				巴西盖组	4 276	70
舒善河组				4 552	276	
亚格列木组				4 582	30	
侏罗系		下统		4 644	62	
三叠系		上统	哈拉哈塘组	4 774	130	
		中统	阿克库勒组	4 994	220	
		下统	柯吐尔组	5 006	12	
古生界	石炭系	下统	卡拉沙依组	5 411	405	
			巴楚组	5 446	35	
	奥陶系	中-下统	鹰山组	6 330	884	
			蓬莱坝组	6 707	377	
	寒武系	上统	下丘里塔格组	7 615	908	
			阿瓦塔格组	7 995	380	
		中统	沙依里克组	8 029	34	
			吾松格尔组	8 230	201	
下统		肖尔布拉克组	8 704	474		
		玉尔吐斯组	8 784	80		
元古界	震旦系	上统	奇格布拉克组	8 943	159	
			苏盖特布拉克组	9 017	74(未穿)	

际堵漏效果较好。

第 5 次(井深 7 271.09 m)井漏, 先期漏层暴露较少, 采取静止堵漏方法, 漏速降低; 逐步揭开漏层, 漏速明显增大, 采用配方为 3%SQD-98(细)+5% SQD-98(中粗)+5%SQD-98(粗)+3% 云母(细)+3% 云母(中粗)+5% 云母(粗)+5% 微裂缝封堵剂+5% 超细碳酸钙(400 目)的堵漏浆进行堵漏, 有效封堵了裂缝性漏失。

第 6 次(井深 7 366.10 m)井漏, 因揭开了新地层而漏失, 出口流量持续下降直至失返, 漏速明显增

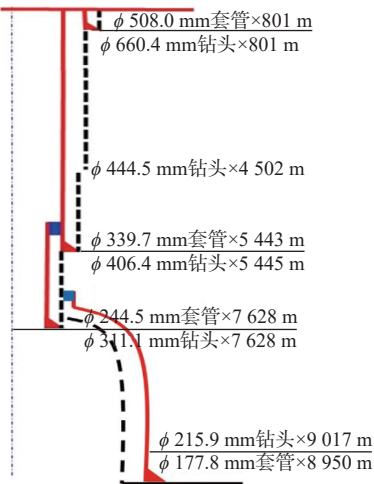


图 3 塔深 5 井实钻井身结构
Fig.3 Drilled casing program of Well Tashen 5

大, 表明钻遇新断裂带, 其附近发育裂缝性漏层, 采用配方为 4% SQD-98(细)+5% SQD-98(中粗)+5% 云母(细)+5% 云母(中粗)+2% 云母(粗)+5% 微裂缝封堵剂+2% GT-MF +3% GT-1 的堵漏浆进行堵漏。该堵漏浆中加大了中粗、粗云母的加量, 堵漏浆进入裂缝过程中可以快速架桥, 堵塞漏失通道, 形成更为稳定的封堵塞, 提高漏层承压能力。

第 7 次(井深 7 439.34~7 478.00 m)井漏, 漏速极不均匀, 随着揭开新地层, 漏速时大时小, 时漏时不漏, 说明该段地层破碎且破碎程度极为不均匀, 断层裂缝体系的封闭性和充填程度及强度亦不均匀, 为此, 采用配方为 4% SQD-98(细)+5% SQD-98(中粗)+4% 云母(细)+5% 云母(中粗)+4% 云母(粗)+5% 微裂缝封堵剂+2%GT-MF+2% GT-1+3%NTBASE 的堵漏浆进行堵漏。

第 8 次(井深 7 521.89 m)井漏, 因新揭开漏层而漏失, 注入堵漏浆后漏速降低。堵漏浆配方为 4% SQD-98(细)+5% SQD-98(中粗)+5% 云母(细)+6% 云母(中粗)+5% 云母(粗)+5% 微裂缝封堵剂+2% GT-MF +2% GT-1 +3%NTBASE。

3.2.2 垂直钻井工具+大扭矩螺杆防斜提速技术

塔深 5 井 5 876~6 114 m 井段使用 PDC 钻头+垂直钻井工具+ ϕ 244.5 mm 等壁厚大扭矩螺杆, 进尺 238 m, 平均机械钻速 6.25 m/h, 井斜角由 1.74°减小至 0.40°。对比轮探 1 井同井段, 提速约 29%, 井身质量达到优质。应用表明, 垂直钻井工具+大扭矩螺杆防斜提速技术一方面可解放钻压, 另一方面因使用了螺杆钻具可兼顾防斜和提速要求。对比分析认为, 垂直钻井工具+大扭矩直螺杆钻具组合适合

该地层特性,较单纯使用垂直钻井工具或使用单弯螺杆在纠斜方面有一定优势。

3.2.3 减振提速技术

塔深 5 井 6 738.00~7 144.00 和 7 257.00~7 628.00 m

井段钻进白云岩地层时,应用了减振提速技术,使用 4 只 PDC 钻头顺利钻至三开中完,累计进尺 777 m,纯钻时间 375.4 h,平均机械钻速 2.07 m/h;与邻井轮探 1 井相比,机械钻速提高约 35%(见表 3)。

表 3 塔深 5 井与轮探 1 井在不同工艺下的机械钻速对比

Table 3 Comparison of the ROP between Well Tashen 5 and Well Luntan 1 with different drilling technologies

井号	钻头型号	钻头外径/mm	钻头生产厂家	钻进井段/m	机械钻速/(m·h ⁻¹)	提速工艺
塔深5	XZ816	311.1	史密斯	6 738.00~6 977.00	1.74	扭冲
	Z716	311.1	史密斯	6 977.00~7 144.00	2.00	扭冲
	XZ816	311.1	史密斯	7 257.00~7 520.00	2.36	扭冲
	Z716	311.1	史密斯	7 520.00~7 628.00	2.44	扭冲
轮探1	KPM1333DST	311.1	江汉	6 716.77~6 790.00	1.09	
	KPM1333DST	311.1	江汉	6 790.00~6 953.00	1.57	双摆
	KPM1333DST	311.1	江汉	6 953.00~7 102.00	1.49	双摆
	X616	311.1	史密斯	7 102.00~7 424.00	1.40	双摆
	X616	311.1	史密斯	7 424.00~7 475.67	1.64	双摆

4 结论与建议

1)高温超深层断裂带堵漏技术现场应用效果较好,能够解决井壁物理支撑需求与断裂带实际存在的矛盾,能实现原有钻具迅速堵漏、承压何恢复钻进,缩短处理井下故障的时间。

2)垂直钻井工具+大扭矩螺杆防斜提速技术在一定程度上达到了易斜井段的防斜提速目的,但传动轴下部增加了垂直钻井工具,对螺杆的寿命和可靠性有一定影响,可考虑应用大扭矩金属螺杆,也建议螺杆钻具生产厂家强化螺杆轴承和进一步提高螺杆的输出功率。

3)减振提速技术是超硬地层提高钻头切削效率的理想选择,该技术也可减少钻头无序的弹跳、蹩钻和粘滑振动。

4)制约塔河油田超深层进一步提速的因素包括地层高温、高压和地层压实程度高等,应用的提速工具需满足井下复杂环境的要求,国内成熟的仪器、工具较少,建议进一步提高大扭矩螺杆钻具的输出功率、寿命和可靠性。

参 考 文 献

References

[1] 张伟,海刚,张莹.塔河油田碳酸盐岩缝洞型油藏气水复合驱技术[J].石油钻探技术,2020,48(1):61-65.

ZHANG Wei, HAI Gang, ZHANG Ying. Gas-Water composite flooding technology for fractured and vuggy carbonate reservoirs in Tahe Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2020, 48(1): 61-65.

[2] 朱光有,曹颖辉,闫磊,等.塔里木盆地 8 000 m 以深超深层海相油气勘探潜力与方向[J].天然气地球科学,2018,29(6):755-772.

ZHU Guangyou, CAO Yinghui, YAN Lei, et al. Petroleum exploration potential and favorable areas of ultra-deep marine strata deeper than 8000 meters in Tarim Basin[J]. Natural Gas Geoscience, 2018, 29(6): 755-772.

[3] 刘永立,尤东华,李海英,等.超深层碳酸盐岩层系硅质岩储层表征与评价:以塔里木盆地塔深 6 井为例[J].石油与天然气地质,2021,42(3):547-556.

LIU Yongli, YOU Donghua, LI Haiying, et al. Characterization and evaluation of chert reservoirs in ultra-deep carbonate rock formations: a case study on Well TS 6 in the Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2021, 42(3): 547-556.

[4] 杨沛,刘洪涛,李宁,等.塔里木油田超深井设计及优化技术:以亚洲最深井轮探 1 井为例[J].中国石油勘探,2021,26(3):126-135.

YANG Pei, LIU Hongtao, LI Ning, et al. Drilling design and optimization technology of ultra-deep wells in the Tarim Oilfield: a case study of Well Luntan 1, the deepest well in Asia[J]. China Petroleum Exploration, 2021, 26(3): 126-135.

[5] 刘永立,尤东华,高利君,等.塔河油田塔深 6 井蓬莱坝组硅质岩成因及其地质意义[J].石油与天然气地质,2020,41(1):83-91.

LIU Yongli, YOU Donghua, GAO Lijun, et al. Genesis and geological significance of siliceous rock in Penglaiba Formation in Well Tashen 6, Tahe Oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2020, 41(1): 83-91.

[6] 王涛,刘锋报,罗威,等.塔里木油田防漏堵漏技术进展与发展建议[J].石油钻探技术,2021,49(1):28-33.

- WANG Tao, LIU Fengbao, LUO Wei, et al. The technical advance and development suggestions for leakage prevention and plugging technologies in the Tarim Oilfield[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2021, 49(1): 28–33.
- [7] 张端瑞, 文涛, 蒲磊, 等. “垂直钻井工具+等壁厚螺杆”提速钻具组合先导性试验: 以库车山前高陡构造克深A井为例[J]. *石油钻采工艺*, 2020, 42(6): 684–690.
- ZHANG Duanrui, WEN Tao, PU Lei, et al. Pilot test on the ROP-improvement BHA of vertical drilling tool & screw rod with equal wall thickness: a case study on Well Keshen A in the high-steep structure of Kuqa Piedmont Area[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2020, 42(6): 684–690.
- [8] 汪海阁, 苏义脑. 直井防斜打快理论研究进展[J]. *石油学报*, 2004, 25(3): 86–90.
- WANG Haige, SU Yinao. Progress of theoretical research on deviation control and drilling fast for vertical wells[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2004, 25(3): 86–90.
- [9] 卓云, 张杰, 王天华, 等. VTK垂直钻井技术在川东地区的应用[J]. *天然气工业*, 2011, 31(5): 80–83.
- ZHUO Yun, ZHANG Jie, WANG Tianhua, et al. Application of the VertiTrak nonrotary drilling system in the eastern Sichuan Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2011, 31(5): 80–83.
- [10] 赵新瑞, 姜敬华, 奚艳红, 等. 井斜控制理论及防斜钻井技术综述[J]. *钻采工艺*, 2000, 23(1): 4–9.
- ZHAO Xinrui, JIANG Jinghua, XI Yanhong, et al. Summarization on deviation control theory and anti-deflection drilling technology[J]. *Drilling & Production Technology*, 2000, 23(1): 4–9.
- [11] 罗恒荣, 崔晓杰, 谭勇, 等. 液力扭转冲击器配合液力加压器的钻井提速技术与现场试验[J]. *石油钻探技术*, 2020, 48(3): 58–62.
- LUO Hengrong, CUI Xiaojie, TAN Yong, et al. Research and field test on drilling acceleration technology with hydraulic torsional impactor combined with hydraulic boosters[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2020, 48(3): 58–62.
- [12] 吕晓平, 李国兴, 王震宇, 等. 扭力冲击器在鸭深1井志留系地层的试验应用[J]. *石油钻采工艺*, 2012, 34(2): 99–101.
- LYU Xiaoping, LI Guoxing, WANG Zhenyu, et al. Experiment of torkbuster on Well YS1 in Silurian Formation[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2012, 34(2): 99–101.
- [13] 彭齐, 周英操, 周波, 等. 凸脊型非平面齿PDC钻头的研制与现场试验[J]. *石油钻探技术*, 2020, 48(2): 49–55.
- PENG Qi, ZHOU Yingcao, ZHOU Bo, et al. Development and field test of a non-planar cutter PDC bit with convex ridges[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2020, 48(2): 49–55.
- [14] 王滨, 李军, 邹德永, 等. 适合强研磨性硬地层PDC-金刚砂孕镶块混合钻头设计与应用[J]. *特种油气藏*, 2018, 25(1): 169–174.
- WANG Bin, LI Jun, ZOU Deyong, et al. Design and application of a PDC hybrid drill bit with impregnated diamond insert for the hard formation with strong abrasivity[J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2018, 25(1): 169–174.
- [15] 刘书斌, 倪红坚, 张恒. 轴扭复合冲击工具的研制与应用[J]. *石油钻探技术*, 2020, 48(5): 69–76.
- LIU Shubin, NI Hongjian, ZHANG Heng. Development and applications of a compound axial and torsional impact drilling tool[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2020, 48(5): 69–76.
- [16] 胡群爱, 孙连忠, 张进双, 等. 硬地层稳压稳扭钻井提速技术[J]. *石油钻探技术*, 2019, 47(3): 107–112.
- HU Qun'ai, SUN Lianzhong, ZHANG Jinshuang, et al. Technology for drilling speed increase using stable WOB/torque for hard formations[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2019, 47(3): 107–112.
- [17] 胡思成, 管志川, 路保平, 等. 锥形齿旋冲及扭冲的破岩过程与破岩效率分析[J]. *石油钻探技术*, 2021, 49(3): 87–93.
- HU Sicheng, GUAN Zhichuan, LU Baoping, et al. Rock breaking process and efficiency analysis of conical cutting teeth under rotary and torsional impact[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2021, 49(3): 87–93.
- [18] 殷召海, 李国强, 王海, 等. 克拉苏构造带博孜1区块复杂超深井钻井完井关键技术[J]. *石油钻探技术*, 2021, 49(1): 16–21.
- YIN Zhaohai, LI Guoqiang, WANG Hai, et al. Key technologies for drilling and completing ultra-deep wells in the Bozi 1 Block of Kelasu Structure[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2021, 49(1): 16–21.
- [19] 滕学清, 白登相, 杨成新, 等. 塔北地区深井钻井提速配套技术及其应用效果[J]. *天然气工业*, 2013, 33(7): 68–73.
- TENG Xueqing, BAI Dengxiang, YANG Chengxin, et al. ROP enhancing technologies and their application in deep wells in the northern Tarim Basin[J]. *Natural Gas Industry*, 2013, 33(7): 68–73.
- [20] 袁国栋, 王鸿远, 陈宗琦, 等. 塔里木盆地满深1井超深井钻井关键技术[J]. *石油钻探技术*, 2020, 48(4): 21–27.
- YUAN Guodong, WANG Hongyuan, CHEN Zongqi, et al. Key drilling technologies for the ultra-deep well Manshen 1 in the Tarim Basin[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2020, 48(4): 21–27.
- [21] 薛懿伟, 陈立强, 徐鲲, 等. 渤中19-6大气田深部潜山硬地层钻井提速技术研究与应用[J]. *中国海上油气*, 2020, 32(4): 140–146.
- XUE Yiwei, CHEN Liqiang, XU Kun, et al. Research and application of ROP improvement technology in deep buried hill hard formations of BZ19-6 large gas field[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2020, 32(4): 140–146.
- [22] 查春青, 柳贡慧, 李军, 等. 复合冲击钻具的研制及现场试验[J]. *石油钻探技术*, 2017, 45(1): 57–61.
- ZHA Chunqing, LIU Gonghui, LI Jun, et al. Development and field application of a compound percussive jet[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2017, 45(1): 57–61.
- [23] 兰凯, 张金成, 母亚军, 等. 高研磨性硬地层钻井提速技术[J]. *石油钻采工艺*, 2015, 37(6): 18–22.
- LAN Kai, ZHANG Jincheng, MU Yajun, et al. Technology for increasing drilling speed in high abrasive hard formation[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2015, 37(6): 18–22.