

哈萨克斯坦科扎萨伊油田优快钻井技术

翁行芳

(中国石化国际石油勘探开发公司,北京 100100)

摘要: 哈萨克斯坦科扎萨伊油田钻井地质环境复杂,储层位于盐下,钻遇的地层层系多,地层性质差异大,具多套压力系统。钻井过程中发生地层漏失、坍塌、掉块及盐膏层蠕变等复杂情况,严重影响了钻井时效和钻井安全。针对这些技术难题,开展了油田井身结构、井身质量、提速潜力、高效钻头分析与优化,提出了预弯曲钻头高倾角地层井斜控制技术、混合钻头减震提速技术,以及PDC-孕镶块复合钻头高研磨性地层提速技术。现场应用取得了较好的效果,平均机械钻速提高50%以上,钻井周期缩短28%。

关键词: 科扎萨伊油田;优快钻井;井斜控制;钻头选型;钻井液

中图分类号: TE242;P634 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2021)09-0047-08

Optimal and fast drilling technology for KOA Oilfield in Kazakhstan

WENG Xingfang

(Sinopec International Petroleum Exploration and Production Corporation, Beijing 100100, China)

Abstract: The drilling geological environment of Kozasay Oilfield in Kazakhstan is complicated, where the reservoir is located under the salt, multiple formation groups are to be drilled and the stratigraphic properties vary greatly, and there are multiple pressure systems. As a result, complex conditions such as formation leakage, collapse, block loss, creeping of the salt paste layer occurred during the drilling process, which seriously affected drilling efficiency and drilling safety. In response to the above technical problems, analysis and optimization have been carried out on well structure, well quality, speed-up potential, and high-efficiency drill bits with presentation of the pre-bent drill tool high-dip formation well deviation control technology, hybrid bit vibration reduction and speed-up technology, and PDC-impregnated block hybrid drill bit high abrasive formation speed-up technology. The field application has achieved good results with average ROP increased by more than 50%, and the drilling duration shortened by 28%.

Key words: Kozhasai Oilfield; optimal and fast drilling; deviation control; hybrid bit; drilling fluid

0 引言

科扎萨伊油田位于哈萨克斯坦滨里海油区,地质储量丰富,上部地层属古生代二叠系,下部储层为石炭系浅海碳酸盐岩,含油层系主要是石炭系KT-II,岩性为灰岩,少量泥岩。主力储层埋深2900~3500 m,非均质性强,属低孔、中低渗碳酸盐岩底水油藏,主要开发井型为直井和定向井。

地层岩性复杂。上二叠系地层岩性混杂,泥岩、砂岩、灰质泥岩、砾岩、石膏等频繁交替,部分井段夹层多,蹿跳钻严重,严重影响钻头使用寿命,造

成频繁起下钻,断钻具及钻头故障时有发生,采用降转速、降钻压的方法来减轻蹿跳钻,影响钻井速度,如K油田某口井在上二叠系地层钻遇多夹层,导致钻头损坏严重,单只钻头平均进尺仅为24 m,平均机械钻速仅为1.4 m/h。上部地层易斜,上二叠系地层部分井段存在地层软硬交错、地层倾角大、易产生井斜,采用降低钻压吊打的方式,机械钻速低,如A油田某井在上二叠系地层钻遇井斜控制难度大的问题,多次起钻换钻具组合并调整钻井参数,定向钻井比例达40%,平均机械钻速低至1.1 m/h,

收稿日期:2021-03-15; 修回日期:2021-06-17 DOI:10.12143/j.ztgc.2021.09.005

作者简介:翁行芳,男,汉族,1966年生,高级工程师,钻井工程专业,硕士,从事钻井技术管理工作,北京市朝阳区惠新东街甲6号,xfweng.sipc@sinopec.com。

引用格式:翁行芳. 哈萨克斯坦科扎萨伊油田优快钻井技术[J]. 钻探工程, 2021, 48(9):47-54.

WENG Xingfang. Optimal and fast drilling technology for KOA Oilfield in Kazakhstan[J]. Drilling Engineering, 2021, 48(9):47-54.

井斜最大达到6°。下二叠系孔谷阶、阿尔琴阶、阿舍利阶和石炭系的KT-1、KT-2为灰泥岩地层,泥板岩盖层致密坚硬,为粉砂岩和含钙质泥岩、泥板岩,地层可钻性差,应用PDC钻头磨损严重,平均单只钻头进尺仅为18 m,钻头起出后几近完全报废。部分地层水敏性强,钻井液润滑、抑制性不足,产生缩径等复杂情况,平均井径扩大率达到60%。

为进一步促进该地区钻井提速提效,在借鉴邻区成熟经验的基础上,通过深入分析钻井中的技术难题,进行了井身结构优化、井斜控制技术、提速潜力分析、个性化高效钻头及提速工具优选和钻井液体系优化等方面的技术研究,形成了适合于科扎萨伊油田的优快钻井技术。该技术在K-306井进行了应用,平均机械钻速6.42 m/h,较邻井提高90%以上,钻井周期61.54 d,较邻井平均钻井周期缩短24.73 d^[1-3]。

1 井身结构优化

盐下储层3600 m左右,钻井过程中钻遇地层性质差异大。中上地层普遍存在漏失,地层坍塌、掉块等复杂情况,下部地层盐膏层发育,地层易发生蠕变。油田前期采用的井身结构无法有效应对上述地质复杂,导致钻井过程中与井身结构设计有关的漏、塌同存,盐膏层井段缩径卡钻及套管挤毁等复杂频发,严重影响油气田开发效果,其中K68井因相关复杂导致非生产时间占比高达40%,因此在井身结构设计上需要考虑工程、地质必封点,盐膏层采用专打专封及复合套管方案以保障安全。

井身结构优化主要依据地层压力基础数据如图1所示,同时确定设计参数(抽吸压力系数、激动压力系数、井涌允值等),根据地质条件和钻遇复杂确定必封点位置(垮塌层位和漏失层位),以压力平衡原理确定套管下深^[4-7]。

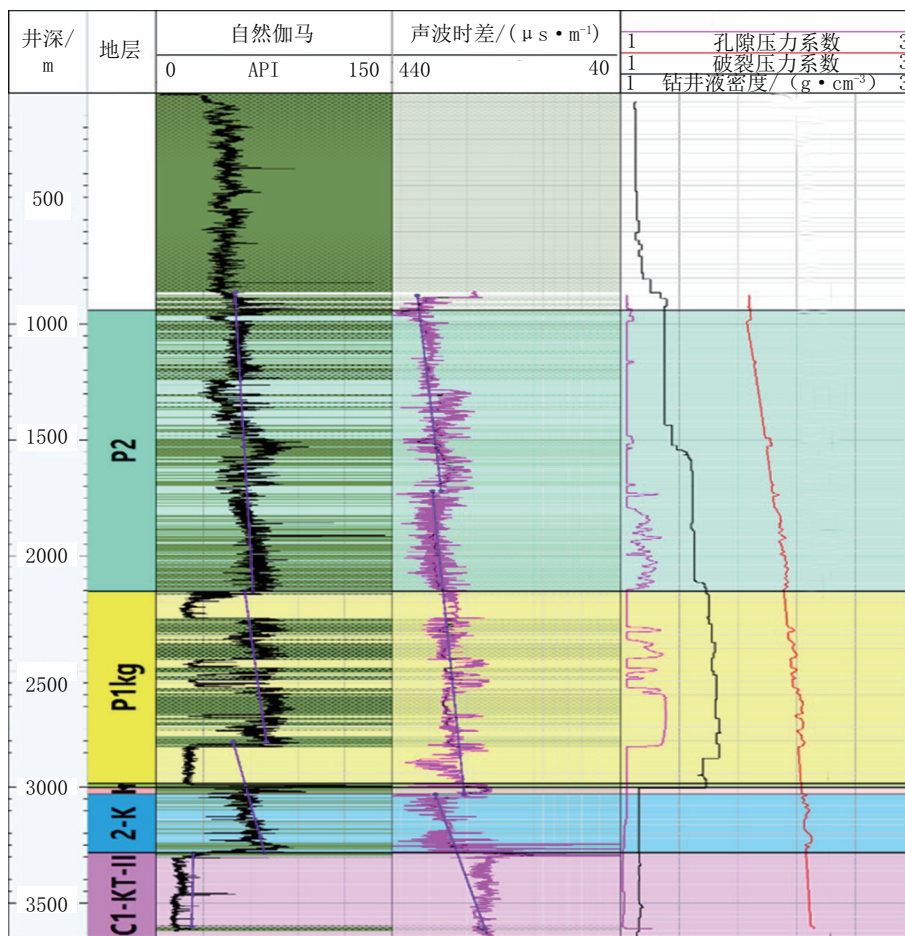


图1 KOA油田典型地层压力剖面

Fig.1 Typical formation pressure profile of KOA Oilfield

综合分析后,井身结构优化设计方案如下:

导管:地表松散粘土封隔,维护井口区域的地层稳定,下入一定深度的导管(30~40 m左右),封隔地表附近的地层,保持井口稳定。

一开: $\text{O}444.5$ mm 钻头 + $\text{O}339.7$ mm 表层套管,下深由原来的 1500 m 改为 800~1000 m,套管鞋设置在中生代稳定地层,封隔浅部地层、水层,安装井口设备,在封隔复杂层位的同时节省了套管费用。

二开: $\text{O}311.15$ mm 钻头 + $\text{O}244.5$ mm 技术套管,钻穿并封隔盐膏层等不稳定地层,由原来下入单一套管柱优化为复合套管柱(盐膏层段套管由 N80 优化为 P110 钢级),以实现盐膏层的专打专封。

三开: $\text{O}212.7$ mm 钻头 + $\text{O}177.8$ mm 生产套管,下至完钻井深。

2 高倾角地层井斜控制技术

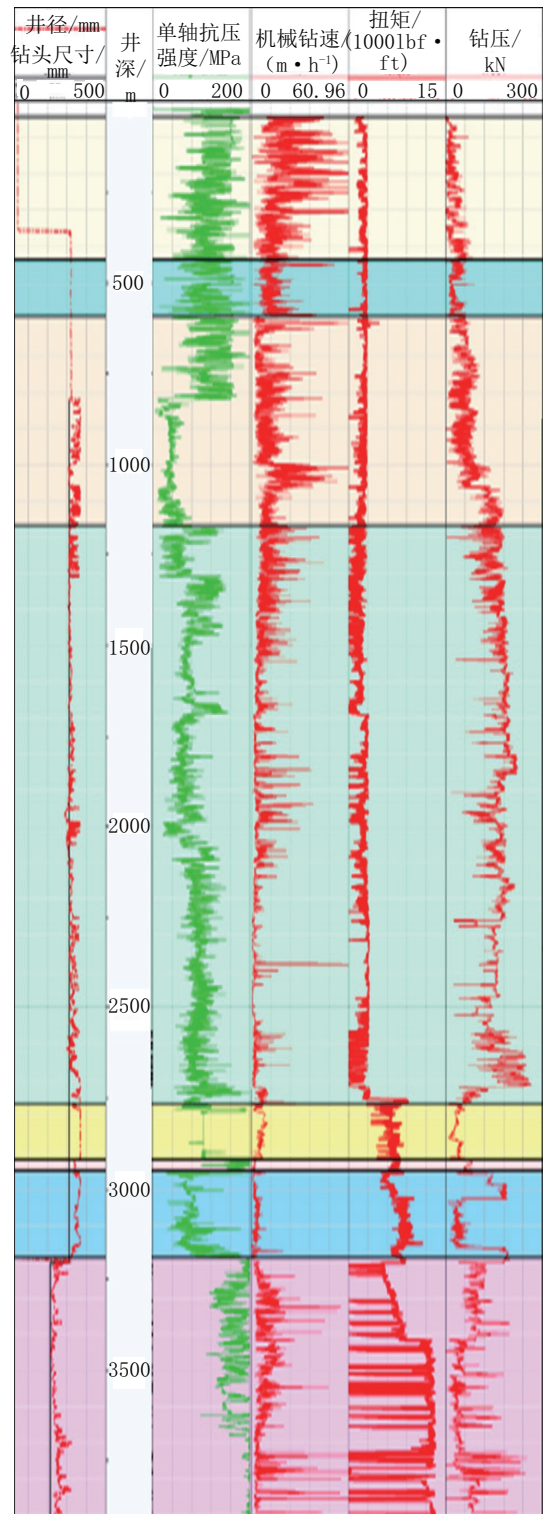
上部存在软硬交互地层和高倾角地层,需要采用合理钻具组合与钻井参数,以控制井斜并提高钻井速度。

常规的直井钻井防斜及纠斜技术主要包括静力学防斜技术和动力学防斜技术 2 种类型,石油钻井常用防斜钻具组合,包括 PowerV 钻具组合、常规塔式钻具组合和预弯曲钻具组合。PowerV 钻具组合使用效果良好,直井段最大井斜 1° ,机械钻速高,但费用昂贵。常规塔式钻具组合(包括动力钻具 + 钟摆钻具组合和水力加压器 + 钟摆钻具组合)在高陡构造地层不能有效地施加钻压,采用吊打方式,机械钻速低。预弯曲钻具组合通过钻具结构参数和钻井参数的调整,用一趟钻可实现直井段钻进、造斜、稳斜等施工,可实现防斜,同时预弯曲钻具组合能够解放钻压,提高机械钻速。推荐并采用的预弯曲钻具组合为: $\text{O}311$ mm 钻头 + $\text{O}230$ mm 单弯螺杆 + $\text{O}307.9$ mm 扶正器 + $\text{O}240$ mm 无磁钻铤 + $\text{O}203$ mm 钻铤 1 根 + $\text{O}204$ mm 减震器 + $\text{O}203$ mm 钻铤 8 根 + $\text{O}203$ mm 液压震击器 + $\text{O}203$ mm 钻铤 2 根 + $\text{O}127$ mm 加重钻杆 14 根 + $\text{O}127$ mm 钻杆。

3 二叠系地层减震提速技术

二叠系地层岩性混杂,泥岩、砂岩、灰质泥岩、砾岩、石等频繁交替,部分井段夹层多,蹩跳钻严重,严重影响机械钻速和钻头使用寿命,造成频繁起下钻,断钻具及钻头故障时有发生。利用测井资料建立了

上二叠系地层的岩石力学参数剖面,如图 2 所示。



(注: 1 lbf·ft=1.355 N·m, 下同)

图2 KOA油田典型井岩石力学参数曲线

Fig.2 Rock mechanics parameters of a typical well in KOA Oilfield

二叠系地层单轴抗压强度在50~110 MPa,属于中硬、硬地层,由于地层软硬交错,易出现钻柱粘滑振动。粘滑振动是一种强烈的低频振动,在振动过程中钻头的瞬时转速很高,相关研究表明最大转速甚至超过了转盘转速的几倍,易造成PDC钻头早期冲击损坏。为了抑制粘滑振动,通过优化钻头设计、调整钻井参数、优化底部钻具组合设计等方法可以减小粘滑振动。

依据区域地层特点,设计并采用混合钻头提高破岩效率,如图3所示。该钻头融合了PDC钻头和牙轮钻头技术特性,以PDC刮切破岩为主,牙轮冲压破岩为辅,适应砾石层和泥岩交互地层。在硬度大且研磨性高的地层钻进时,由于牙轮钻头的冲击破岩作用,有效降低混合钻头PDC切削齿的热磨损,在软、塑性较强的地层钻进时,PDC部分能有效破碎被牙轮剥离或部分剥离井底的大块岩屑,弥补牙轮钻头破岩效率低的缺陷,从而保证混合钻头在软地层的机械钻速。在地层由软变硬时,牙轮切削齿能有效限制PDC切削齿的吃入深度,使钻头受到的冲击载荷和交变应力等更低,扭矩低且波动范围小,降低了PDC切削齿崩齿的概率,避免钻头先期

破坏,延长钻头使用寿命^[8-10]。



图3 牙轮-PDC混合钻头

Fig.3 Cone-PDC hybrid bit

4 高研磨性地层提速技术研究

石炭系为海相地层,分为上部、中部和下部。上部(KT-I)地层岩性为灰色灰岩、白云岩,有溶解孔洞和裂缝,灰色的泥质板岩、粉砂岩,含有黄铁矿、石灰石;中部(MKT)地层岩性为灰色泥质板岩、粉砂岩、灰色灰质砂岩;下部(KT-II)地层岩性为灰色白云质灰岩,含有机碎屑、鱼卵石的灰色泥质板岩。石炭系地层研磨性强,可钻性差,如图4所示。

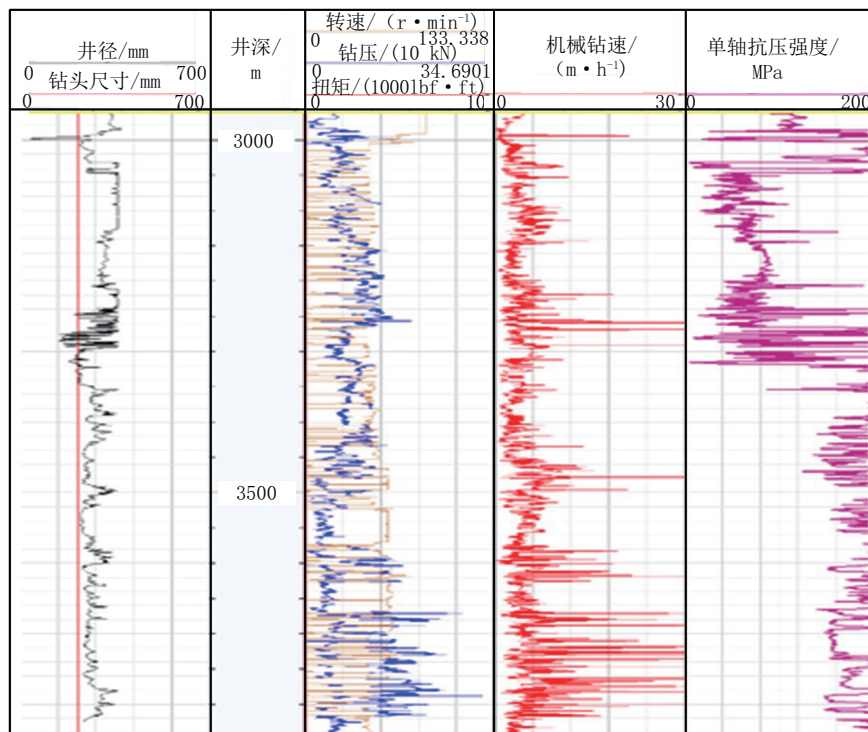


图4 KOA油田石炭系岩石力学参数曲线

Fig.4 Rock mechanics parameters of Carboniferous formation in KOA Oilfield

从图中可以看出,石炭系单轴抗压强度在150~190 MPa,属于非常坚硬研磨性地层。本文针对KOA石炭系地层特性进行了深入分析研究,为降低PDC钻头在强研磨性硬地层中的磨损速度,充分发挥其高效切削破岩作用,设计了一种PDC-孕镶块复合钻头,如图5所示。

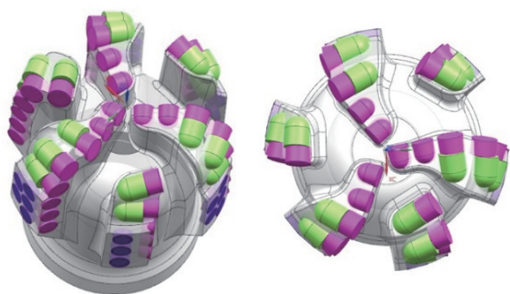


图5 PDC-孕镶块复合钻头设计

Fig.5 PDC-impregnated block composite bit design

在钻头工作初期,PDC切削齿的刃部锋锐,在钻压和扭矩的联合作用下,很容易吃入岩石并切削岩石,可充分发挥PDC切削齿切削破岩效率高的优势。在这一阶段,具有一定出露高差的金刚石孕镶块起到控制吃入深度的作用,可以避免PDC切削齿因瞬时吃入深度过大而遭受较大的冲击载荷,造成冲击损坏。与此同时,金刚石孕镶块在井底岩石的摩擦作用下,金刚石颗粒开始出露。当PDC切削齿磨损到一定程度后,吃入岩石难度变大,此时,金刚石孕镶块开始承受部分钻压,出露的金刚石颗粒则很容易吃入岩石,并犁削岩石,在井底形成“犁沟”。“犁沟”的形成,又为PDC齿的切削创造了良好的井底条件,有助于提高磨损PDC齿的切削破岩效率。新型PDC-孕镶块复合钻头配合等壁厚大扭矩螺杆,强化钻井和水力参数,形成KOA石炭系高研磨性地层提速技术,实现了KOA钻井提速提效^[11-13]。

5 钻井液优化技术

一开地层考虑携岩洗井、润滑防卡,钻井液应具高粘切,及时将钻屑从井内携带出来,并有较好的润滑性和失水造壁性。针对一开井段的阻卡问题,采用膨润土-PAC钻井液体系:淡水+0.2%Ca₂CO₃+6%膨润土+0.5%降失水剂+0.2%增粘剂+1%润滑剂。性能为:FV 50~60 s,密度1.12~1.18 g/cm³,API失水量4~6 mL,钻井液配方最大的改进

表现在钻井液膨润土和润滑剂使用方面,提高了两者的含量,且不使用无机盐,改进后的钻井液性能更有利于携岩洗井和润滑防卡。

二开盐上井段的地层岩性以泥岩、砂岩、灰岩为主,钻井过程中缩径和井塌严重。在用的氯化钾聚合物钻井液中没有防塌剂,防塌能力差,导致起下钻阻卡严重,并且大量NaCl的加入也提高了钻井成本。建议使用钾铵聚合物不分散钻井液体系,该体系具有较强的抑制能力和防塌封堵能力,适合上部地层快速钻进。

推荐钻井液配方为:淡水+0.15%Ca₂CO₃+0.1%NaOH+3%~4%膨润土+5%KCl+0.3%钾基聚合物+1%铵基聚合物+0.6%聚合物降失水剂+2%防塌剂+3%润滑剂。性能为:FV40~60 s,密度1.35 g/cm³,API失水量3~5 mL^[14-16],如表1所示。

表1 优化前后盐上井段钻井液配方对比

Table 1 Comparison of drilling fluid formulations for the well section above salt before and after optimization

井段/ m	优化前KCl聚合物 钻井液		优化后钾铵聚合物 钻井液	
	成分 名称	含量/ (kg·m ⁻³)	成分 名称	含量/ (kg·m ⁻³)
	水	965	水	886.5
	NaOH	1.42	NaOH	1.00
	Na ₂ CO ₃	0.71	Na ₂ CO ₃	1.50
	KCl	50.00	KCl	50.00
900	EZMUD-DP	3.00	膨润土	40.00
~	Q-BROXIN II	10.00	降失水剂	6.00
1845	PAC R/L	4.00	增粘剂	2.00
	BARA-DEFOAM	0.14	润滑剂	30.00
			防塌剂	20.00
			钾基聚合物	3.00
			铵基聚合物	10.00

在二开下部的盐膏层井段,采用饱和盐水聚合物钻井液具有较好的效果,钻井顺利,起下钻、下套管固井均顺利。在盐膏层井段钻进时,优化后的钻井液密度提高,推荐钻井液密度提到1.72 g/cm³左右,防止盐层流动缩径导致卡钻,钻井液配方如表2所示。

表2 优化前后盐膏层井段钻井液配方对比

Table 2 Performance comparison of drilling fluid formulations for the salt-gypsum layers before and after optimization

井段/ m	成分 名称	成分含量/(kg·m ⁻³)	
		优化前KCl饱和 和盐水钻井液	优化后饱和 盐水钻井液
	水	683.00	683.00
	NaCl	245.00	245.00
	NaOH	2.00	2.00
	Na ₂ CO ₃	0.71	0.71
	KCl	50.00	50.00
1845	PAC R/L	5.00	5.00
~	DEXTRID	12.00	12.00
3325	GEM-GP	31.00	31.00
	BARAZAND	1.42	1.42
	TORQ TRIM II	10.00	10.00
	ALDACIDE-G	0.02	0.02
	BARA-DEFOAM	0.14	0.14
	Barite	588.00	588.00

三开井段以孔隙性灰岩地层为主,钻井过程中易缩径阻卡和卡钻,泥板岩井段坍塌严重、渗透性灰岩段缩径严重,易出现大段的“糖葫芦”井眼。

分析该井段阻卡的原因是在用的钻井液抗温能力差、防塌封堵能力差,导致在井底高温下在渗透性灰岩地层出现厚泥饼、泥岩段出现坍塌现象。在用的钻井液是盐水聚合物钻井液,所用的聚阴离子纤维素、黄原胶均不适用于高温深井钻进,特别是高温性能和防塌封堵能力很差,不适合该地层钻进。

设计使用具有强封堵能力和抗高温能力的KCl聚磺钻井液体系来解决本井段出现的井眼坍塌、缩径导致的起下钻阻卡、卡钻等复杂情况。钻井液配方为:淡水+0.15%Ca₂CO₃+0.1%NaOH+3%~4%膨润土+0.3%钾基聚合物+1%铵基聚合物+2%磺化降失水剂+2%防塌剂+3%润滑剂。性能为:FV40~60 s,密度1.12 g/cm³,API失水量3~5 mL,如表3所示。配方的主要变化是使用了防塌剂,防止泥板岩地层坍塌掉块,并使用了磺化处理剂提高钻井液在井底长时间高温老化的稳定性,防止在渗透性灰岩地层形成厚泥饼导致井眼缩径,预防钻井过程中可能出现的“糖葫芦”井眼而导致的起下钻严重阻卡,甚至卡钻。

表3 优化前后三开井段钻井液配方对比

Table 3 Performance comparison of drilling fluid formulations for third section before and after optimization

井段/ m	优化前KCl聚合物 钻井液		优化后KCl聚磺 钻井液	
	成分 名称	含量/(kg· m ⁻³)	成分 名称	含量/ (kg·m ⁻³)
	水	893.00	水	865.00
	NaOH	1.42	NaOH	1.00
	Na ₂ CO ₃	0.71	Na ₂ CO ₃	1.50
	KCl	50.00	KCl	40.00
	PAC R/L	5.00	膨润土	6.00
3325	DEXTRID	12.00	降失水剂	2.00
~	ALDACIDE-G	0.02	增粘剂	30.00
3863	TORQ TRIM II	10.00	润滑剂	20.00
	BARASCAVD	1.42	防塌剂	3.00
	BARACOR-44	2.85	钾基聚合物	10.00
	BARAZAND	2.00	铵基聚合物	20.00
	BARACARB	145.00	磺化降失水剂	

6 现场应用

通过以上研究分析形成的科扎萨伊油田的优快钻井技术系列在K-306井进行了应用,完钻井深3800 m,除去导管深度,钻井进尺3758 m,井眼缩径、坍塌问题得到缓解,平均机械钻速6.42 m/h,较使用优化前技术的K-022井机械钻速2.84 m/h提高了125.90%,较使用优化前技术的K-021井机械钻速3.23 m/h提高了99.05%。本井钻井周期61.54 d,较2口邻井(K-021、K-022井)平均钻井周期86.27 d缩短24.73 d(缩短28.67%)。完钻最大井斜2.37°/3040.33 m,井底水平位移17.94 m(测深3774.29 m),井身质量合格,全井安全生产无事故,取得了良好的应用效果,如表4所示。

7 结论

基于地层压力和设计基础数据,充分借鉴已钻井井身结构的设计优点和钻遇复杂,优化形成了科扎萨伊油田井身结构优化设计方法,具有良好的适应性。

高倾角地层易井斜,优选出低成本预弯曲防斜钻具组合,采用合理钻井参数等,有效控制了井斜。

软硬交互,粘滑、憋跳严重,下部地层岩石可钻

表4 K-306井与邻井分段机械钻速对比

Table 4 Comparison of mechanical penetration between K-306 and the well nearby for each well section

井号	钻头尺寸/ in	起下钻趟数	完钻井深/ m	进尺/ m	纯钻时间/ h	机械钻速/ (m·h ⁻¹)	K-306井较邻井钻速 提高幅度/%
K-021	17½	2	898	851.00	104.00	8.18	22.62
	12¼	13	3185	2287.00	854.80	2.68	110.07
	8¾	1	3717	532.00	178.80	2.98	125.34
K-022	17½	2	898	838.00	150.50	5.57	84.92
	12¼	14	3200	2306.00	746.50	3.09	82.20
	8¾	2	3731	531.00	229.00	2.32	188.74
邻井平均	17½					6.64	
	12¼					2.87	
	8¾					2.61	
K-306	17½	1	895	853.00	85.01	10.03	51.05
	12¼	3	3230	2335.00	414.69	5.63	96.17
	8¾	2	3800	570.00	85.51	6.67	155.56

注:1 in=25.4 mm

性差,研磨性强等钻井提速难题,通过岩石力学参数分析,优选混合钻头。

钻井液体系和配方优化改进,大幅度减少井下复杂。该技术在K-306井进行了应用,取得了良好的提速提效应用效果,平均机械钻速6.42 m/h,较邻井提高90%以上,钻井周期61.54 d,较邻井缩短24.73 d。

参考文献(References):

- [1] 王金龙,边培明,陶兴华,等.超短高能涡轮钻具研制及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(12):16-22.
WANG Jinlong, BIAN Peiming, TAO Xinghua, et al. Development and application of an ultra short high energy turbodrill [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(12):16-22.
- [2] 李永耀,李国荣,罗红芳,等.延长陆相页岩气水平井提速技术研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(3):9-15.
LI Yongyao, LI Guorong, LUO Hongfang, et al. Study on the technology of improving the mechanical drilling speed of horizontal wells for terrestrial shale gas [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(3):9-15.
- [3] 窦玉玲,唐志军,徐云龙,等.涪陵江东区块三维水平井优快钻井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(2):55-59.
DOU Yuling, TANG Zhijun, XU Yunlong, et al. Fast drilling technology of three dimensional horizontal wells in Fuling Jiangdong block [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(2):55-59.
- [4] 王建艳,韩福斌,陈琳琳,等.古城601井井身结构优化设计[J].

探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(6):30-36.

WANG Jianyan, HAN Fubin, CHEN Linlin, et al. Structure optimization of Well Gucheng-601 [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(6):30-36.

- [5] 朱忠喜,李思豪,关志刚,等.红153井区井身结构优化设计及应用[J].钻采工艺,2018,41(6):114-117.
ZHU Zhongxi, LI Sihao, GUAN Zhigang, et al. Optimization of casing program planning for H153 padand application [J]. Drilling & Production Technology, 2018, 41(6):114-117.
- [6] 秦天宝,李铭华.YB121井井身结构优化设计研究[J].内蒙古石油化工,2016(11):164-165.
QIN Tianbao, LI Minghua. Study on optimal design of well profile of Well YB121 [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2016(11):164-165.
- [7] 刘小康,田智生.页岩气井钻遇破碎地层的井身结构优化设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(7):89-91.
LIU Xiaokang, TIAN Zhisheng. Optimal design of casing program of shale gas drilling in broken formation [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(7):89-91.
- [8] 陈星星.混合钻头在涪陵页岩气田的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(10):34-39.
CHEN Xingxing. Application of hybrid drill bits in Fuling Shale Gas Field [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019, 46(10):34-39.
- [9] 苏建,袁则名,和鹏飞,等.HPG复合冲击钻井提速工具在渤海油田的应用[J].海洋工程装备与技术,2019,6(1):457-464.
SU Jian, YUAN Zeming, HE Pengfei, et al. Application of HPG composite impactor speed up tool in Bohai Oilfield [J]. Ocean Engineering Equipment and Technology, 2019, 6(1):

- 457-464.
- [10] 巢贵业. 松南地区火山岩水平井优快钻井技术[J]. 石油钻探技术, 2013, 41(6): 62-67.
CHAO Guiye. Optimized horizontal well drilling technologies for volcanic formations in Songnan area[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(6): 62-67.
- [11] 穆国臣, 陈晓峰, 王雪. 松南地区深井钻井提速难点与对策[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(6): 19-22.
MU Guochen, CHEN Xiaofeng, WANG Xue. Difficulties and applied technical strategy in deep well drilling in Songnan area [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(6): 19-22.
- [12] 宫华, 李国华, 邓胜聪, 等. 大庆油田火山岩砾岩水平井钻井技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(8): 19-22.
GONG Hua, LI Guohua, DENG Shengcong, et al. Horizontal well drilling technology in volcanic rock and conglomerate in Daqing Oilfield [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(8): 19-22.
- [13] 麻坦, 郝晓勇. 牛D1井复杂构造带绳索取心钻探工艺技术研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2017, 44(4): 19-22.
MA Tan, GAO Xiaoyong. Research on wireline core drilling technology for Niu D1 well in complex structural belt[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2017, 44(4): 19-22.
- [14] 王广财, 雍富华, 朱夫立, 等. 致密油藏长段水平井防漏堵漏技术[J]. 油田化学, 2018, 35(4): 587-591.
WANG Guangcai, YONG Fuhua, ZHU Fuli, et al. Leakage prevention and plugging technology of long section horizontal well intight oil reservoirs [J]. Oilfield Chemistry, 2018, 35(4): 587-591.
- [15] 董小虎, 李银婷. 塔里木盆地顺北地区二叠系井漏复杂的分析及对策[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2020, 47(2): 59-62.
DONG Xiaohu, LI Yinting. Analysis and countermeasures for complex Permian well leakage in the Shunbei block of Tarim Basin [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(2): 59-62.
- [16] 黎凌, 李巍, 欧阳伟. 遇水快速膨胀胶凝堵漏技术在长宁页岩气区块的应用[J]. 钻井液与完井液, 2019, 36(2): 181-188.
LI Ling, LI Wei, OUYANG Wei. Application of a fast-swelling gel lost circulation material in shale gas drilling in Block Changning [J]. Drilling Fluid & Completion Fluid, 2019, 36(2): 181-188.

(编辑 李艺)