

热德拜油田水平井优快钻井配套技术

柯学¹, 王吉文², 朱杨², 胡新兴¹, 周红敏¹

(1. 中国石油西部钻探钻井工程技术研究院, 新疆克拉玛依 834000; 2. 中国石油西部钻探阿克套项目部, 新疆乌鲁木齐 830000)

摘要:为加快热德拜油田水平井钻井开发步伐,通过对岩石力学特性、岩石理化特性、井眼轨道、钻具组合、钻头选型等方面的研究,形成了以PDC钻头复合钻井技术、井眼轨迹控制技术、防漏堵漏钻井液技术、筛管顶部双级注水泥固井技术等为主的科学、合理的配套工艺技术,并应用于现场施工,加快了热德拜水平井开发步伐,节约了开发成本。2012年水平井平均钻井周期为42.96天,完井周期53.38天;2013年水平井平均钻井缩短至19.58天;完井周期37天,同比钻井周期缩短54.4%,完井周期缩短41.1%。

关键词:水平井;井身结构;井下动力钻具;PDC钻头;顶部双级固井;热德拜油田

中图分类号:TE242;P634.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2014)10-0026-06

Matching Technology of High Quality and High Speed Drilling for Horizontal Well in Redebye Oilfield/KE Xue¹, WANG Ji-wen², ZHU Yang², HU Xin-xing¹, ZHOU Hong-min¹ (1. China Petroleum Western Drilling Engineering Institute, Karamay Xinjiang 834000, China; 2. Aktau Project Manager Department of China Petroleum Western Drilling, Urumqi Xinjiang 830000, China)

Abstract: In order to speed up the development of horizontal well drilling in Redebye oilfield, by the study on rock mechanical properties, rock physical and chemical properties, wellbore trajectory, BHA and bit selection, a science is formed of mainly by PDC bit combined drilling, well trajectory control, plugging drilling fluid and two-stage cementing at screen top technologies, and a rational matching processing technology is also developed. These are applied in the field construction to speed up the horizontal well drilling in Redebye and save the development cost. In 2012, the average cycle of horizontal well drilling was 42.96 days and well completion period 53.38 days; in 2013, those were 19.58 days and 37 days, being shortened by 54.4% and 41.1% respectively.

Key words: horizontal well; casing program; downhole motor; PDC bit; two-stage cementing at screen top; Redebye oilfield

1 概述

2012年热德拜油田初步进入水平井钻井开发阶段,因对地层岩石特性认识不清楚,钻头选型、钻具组合、钻井参数的不合理以及井眼轨迹控制、钻井液性能维护、固井工艺等配套技术的不完善制约了钻井速度的提高。2013年为加快水平井钻井开发步伐,通过研究该地区岩石力学特性、岩石理化特性,结合水平井钻井特点,从井身结构、钻头选型、钻具组合、固完井工艺等方面开展技术攻关和现场试验,取得了显著效果,形成了一套成熟的钻井技术路线和优快钻井配套技术。

2 热德拜油田简况

2.1 钻遇地质分层及岩性描述

油田自下而上分为石炭系、三叠系、侏罗系、白垩系、老第三系和新第三系。主要产层集中在中侏

罗统沉积岩里,岩性为颗粒大小不等的砂岩,含少量砾岩和粉砂状泥岩夹层。地层分层及岩性见表1。

2.2 地层压力情况

根据热德拜已钻井直井测井资料,通过反演计算地层的坍塌压力和破裂压力。整体上地层坍塌压力随井深增加呈减小趋势,白垩系上部地层坍塌压力系数0.9~1.15,中部最低0.25~0.8,下部0.6~0.9;侏罗系上部0.5~1.15,中部0.7~0.9,下部0.6~0.8。破裂压力随着井深增加缓慢减小,白垩系地层1.6~1.8,侏罗系地层1.5~1.7,井越深地层破裂压力越低(参见图1)。

2.3 主要钻井技术难点

- (1) 1300~1400 m 存在致密灰岩段,可钻性较差;
- (2) 砂岩、泥岩频繁互层,存在硬夹层;

收稿日期:2014-03-12; 修回日期:2014-07-15

作者简介:柯学(1982-),男(汉族),新疆人,中国石油西部钻探钻井工程技术研究院,石油工程专业,从事钻井设计及研究工作,新疆克拉玛依市鸿雁路80号,gsldsngy@163.com。

表 1 地质分层及岩性

系	统	组	厚度 /m	井深 /m	主要岩性
N		N _{3g}	100 ~ 126	110	介壳石灰岩,带成层状灰岩的浅绿色泥岩,在剖面的下部为泥灰岩
Pg	Pg ₃		46 ~ 84	190	浅绿棕色碳酸盐岩层状泥岩,有少量含黄铜矿和菱铁矿固结物的粉砂岩夹层
	Pg ₁ + Pg ₂		101 ~ 136	290	浅灰色灰泥岩,褐色灰岩,浅灰色砂岩,碳酸盐岩,灰褐色灰质泥岩
Cr ₂	Cr _{2d}		10 ~ 23	325	浅灰色致密灰岩
	Cr _{2sn + t}		90 ~ 121	425	白垩岩,浅灰色灰岩,浅灰色致密灰泥岩,剖面下部为灰色灰质砂岩,夹磷灰岩砾石
	Cr _{2sm}		115 ~ 155	570	砂泥岩互层,砂岩,浅灰色,黄褐色,暗灰色粉砂岩,浅灰色层状泥岩,主要沉积了带有磷灰岩砾石的砂岩层
Cr	Cr _{1al}		547 ~ 581	1130	砂岩、粉砂岩、泥岩交互层。剖面顶部主要为灰色、浅绿~灰色砂岩和粉砂岩,细粒,多矿物,含有砂岩固结块和磷灰岩结核,底部主要是浅绿~灰色泥岩,含有砂岩固结封块,夹带大量动物化石、菊石、双扇腹足、乌蛤等
	Cr _{1ap}		80 ~ 100	1220	暗灰色泥岩,黑色致密层状泥岩,粉砂岩,含有固结物。主要沉积了磷灰岩砾石的砂岩
	Cr _{1br}		76 ~ 100	1300	浅绿~灰色,深红~红色的薄层泥岩,带有浅灰色~灰色、红色砂岩夹层和少量灰色泥质夹层
	Cr _{1g}		15 ~ 30	1320	灰质砂岩,灰岩、白云岩、灰泥岩,灰质泥岩
	Cr _{1v}		46 ~ 64	1380	浅绿~灰色细~中粒白云化岩,含有有机碎屑、带有动物(苔藓动物、珊瑚)腹足类、有孔虫类
J _{3t}	J _{3tt}		40 ~ 52	1425	灰岩、砾石和砂岩、粉砂岩互层
	J _{3tkm}		72 ~ 100	1500	暗灰色阴晶灰岩,夹带有动物碎屑,浅绿~灰色灰泥岩,带有灰质泥岩、砂质夹层。主要沉积灰色致密灰质粉砂岩。所有剖面均存在白云化和硅化
	J _{3tox}		198 ~ 230	1700	灰色、浅绿~灰色致密含云母的灰质泥岩,带有浅绿~灰色致密灰岩,砂岩和致密灰色灰泥岩夹层。浅绿~灰色,含少量云母致密的灰质灰泥岩、泥岩,含有唯一的灰质砂岩夹层,含黄铁矿
J	J _{2kl}		100 ~ 132	1840	浅绿~灰色灰质泥岩,带有细粒灰质砂岩和灰质砾石夹层。主要沉积了泥岩,其内部含有砂岩夹层,含少量粉砂岩
	J _{2bt}		199 ~ 231	2050	灰色细粒灰质砂岩和泥质砂岩互层(30~50 m),含有暗灰色致密粉砂岩和泥质夹层,薄的煤夹层。煤化的植物有机质。主要沉积灰色、中~细粒的砂岩,含有石英砾石
	J _{2bj}		317 ~ 510	2390	灰色粉砂岩、砂岩和泥岩互层。泥岩富含煤质。所有均有煤化植物残迹、陆上植物印痕,甚至含有淡水动物
J ₂	J _{2a}		215 ~ 250	2620	砾岩层,粉砂岩夹层和少量泥岩夹层。浅灰色多种粒径砂岩,含砾石和砾岩透晶体,主要在剖面底部。灰色、暗灰色泥岩,在剖面上部富含植物痕迹
	J _{1t}		100 ~ 128	2720	又似近灰褐色又似暗红色岩层,粉砂岩沉积,含有植物残迹和煤的黑色煤泥岩沉积。在剖面下部主要为细粒灰色砂岩,含有卵石和砾岩

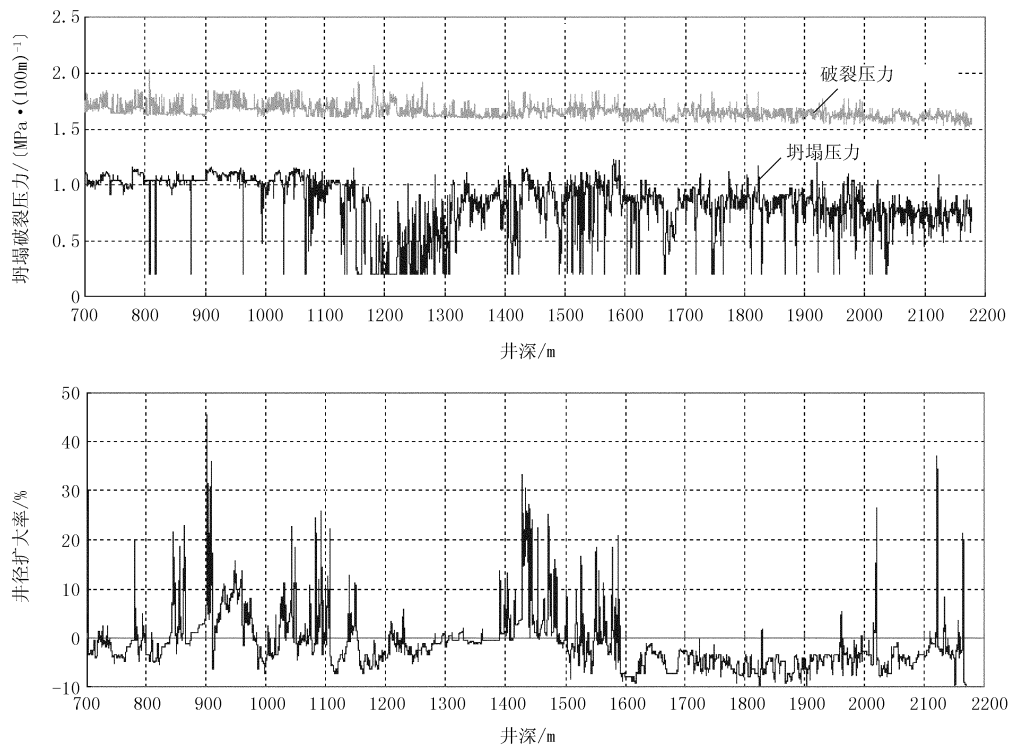


图 1 地层压力剖面图

(3)水平段(目的层)砂岩含量高,地层研磨性较强;

(4)油层段承压能力低,且发育多套煤线,易发生井漏;

(5)侏罗系上部地层泥岩含量较高,易吸水膨胀造成缩径或垮塌。

3 水平井优快钻井配套技术

3.1 井身结构优化(见图2)

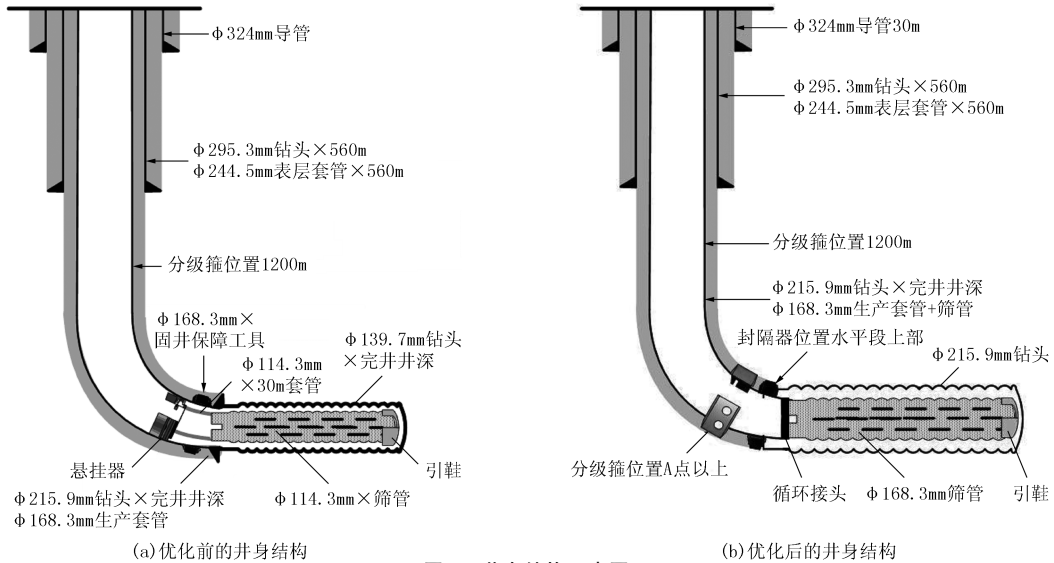


图2 井身结构示意图

表2 水平井钻具组合及钻进参数

钻进井段 /m	钻具组合	钻压 /kN	转速/(r· min ⁻¹)
直井段	Ø215.9 mm 钻头 + Ø158.8 mm 钻铤 × 2 根 + Ø214 mm 扶正器 + Ø158.8 mm 钻铤 × 10 根 + Ø127 mm 加重钻杆 × 12 根 + Ø127 mm 钻杆	40 ~ 60	180
斜井段	Ø216 mm 钻头 + Ø172 mm 螺杆(1.5°) + Ø165 mm 定向接头 + Ø159 mm 无磁钻铤 × 1 根 + Ø127 mm 钻杆 × 24 根 + Ø127 mm 加重钻杆 × 24 根 + Ø165 mm 随钻震击器 + Ø127 mm 加重钻杆 × 6 根 + Ø127 mm 钻杆	80 ~ 120	180
水平段	Ø140 mm 钻头 + Ø120 mm 螺杆(1.25°) + Ø120 mm 定向接头 + Ø89 mm 无磁承压钻杆 × 1 根 + Ø89 mm 钻杆 × 45 根 + Ø89 mm 加重钻杆 × 24 根 + Ø120 mm 随钻震击器 + Ø89 mm 加重钻杆 × 6 根 + Ø89 mm 钻杆	60 ~ 80	180

直井段地层岩性主要以泥岩、砂岩为主,优选PDC + 螺杆钻具复合钻进技术,增加钻头动力,增强PDC钻头的破岩效率,在提高机械钻速的前提下减少起下钻的次数,从而提高水平井的钻井效率。

3.2.2 轨迹控制技术

(1)直井段防斜打快是重点,钻井过程中保证直井段井身质量,为定向造斜提供良好的条件。每200 ~ 250 m 测单点一次,当井斜有增大的趋势时,加密测量单点(100 ~ 80 m 一测),根据井斜的趋势及时调整钻井参数,将井斜尽量控制在1.5°以内,保证井底水平位移在20 m内。

(2)采用MWD + 伽马进行随钻伽马测量,实时

优化后的井身结构,将原来的三开井身结构直接简化为二开井身结构,Ø215.9 mm 井眼直接完钻,大尺寸井眼有利于钻井速度的提高;减少中完测井、固井、倒换钻具等作业时间;Ø168.3 mm 大尺寸筛管完井,增大了油层泄流面积,有利于提高单井产量。

3.2 井眼轨道控制技术

3.2.1 钻具组合(见表2)

跟踪监测井眼轨迹,依据井眼测量数据,做好数据的计算分析和待钻轨迹的预测,判断实际地层变化情况并及时调整井眼轨迹。

(3)采用“直 - 增 - 稳 - 增 - 平”五段制剖面,造斜段滑动钻进井斜增值设计初始井斜角后,采用40 ~ 60 kN 钻压复合钻进,以滑动钻进和复合钻进相结合的方式控制井眼轨迹。

(4)在大斜度井段容易形成岩屑床,钻井施工中在井壁稳定、井下正常的前提下,适当增大排量和增加短提次数,钻井液要保持良好的流变性和悬浮性,以及时携带出钻屑。

(5)水平段采用1.25°螺杆钻具,主要以复合钻

进为主,尽可能保证井眼平滑,减少摩阻。

3.3 PDC 钻头优选

由岩石力学特性剖面(见图 3、表 3)可以看出,总体上该区域地层岩性相对单一,自上而下主要以细砂岩和砂质泥岩为主,且岩石硬度不高,属于软~

中硬地层,可钻性较强。直井段优选四刀翼、Ø19 mm 复合片、双排齿 PDC 钻头,优化切削齿的角度、调整切削齿的径向分布,增加后排切削齿,提高切削效率、增强稳定性、耐磨性和抗冲击性,同时提高钻头的使用寿命。

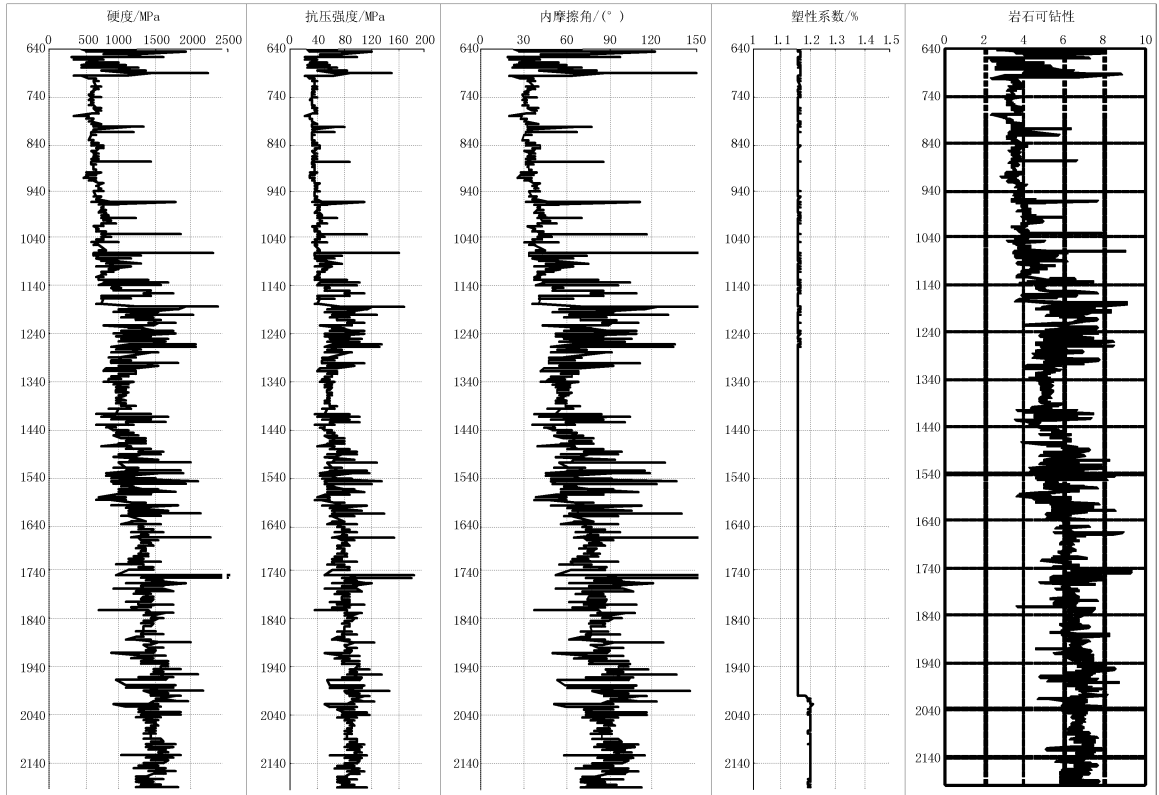


图 3 岩石力学特性剖面

针对可钻性较好的中软地层,PDC 钻头采用低钻压、高转速,钻压控制在 40 ~ 60 kN,转盘转速 60 ~ 80 r/min,排量 30 L/s,充分清洗井底,快速携带岩屑,减少重复破碎对钻头的磨损。钻遇可钻性较差的致密灰岩过程中,适当降低转速、钻压以防止冲击造成 PDC 钻头切削齿的破坏。

3.4 防漏堵漏钻井液技术

3.4.1 钻井液体系

钻井液体系:水 + 4% ~ 6% 膨润土 + 0.2% ~ 0.4% Na₂CO₃ + 0.2% ~ 0.4% NaOH + 0.5% ~ 0.7% FA - 367 + 0.1% ~ 0.3% XY - 27 + 0.5% ~ 1% NH₄HPAN + 0.3% ~ 0.5% PAC - LV + 3% ~ 5% SD - 505 + 1% ~ 2% ZD - 1 + 1% DF - 1。

二开采用聚磺钻井液体系,在钻遇泥岩井段加大聚合物处理剂的用量,提高抑制、絮凝能力,保证井壁稳定,减少阻卡,在斜井段配伍无荧光液体润滑剂,保持良好的流变性和润滑性能,水平段采用屏蔽暂堵技术,以保护油气层,提高防漏能力,尽可能减

少对油气层的损害。

3.4.2 防漏、堵漏技术

为了提高该区地层的承压能力,保证后期固井质量,在钻进过程中加入随钻堵漏剂 ZD - 1 和细目随钻堵漏剂 DF - 1。上部第三系地层疏松、孔隙度较大易发生井漏,钻进过程中适当降低钻井液密度,提高膨润土含量。

(1)调整钻井液性能,确保钻井液具有良好的触变性和足够的粘切,便于岩屑的携带和井眼清洁,降低钻井液对井壁的冲蚀作用,同时适当提高防漏能力。

(2)钻遇侏罗系易漏井段适当降低钻井液密度和排量,提高钻井液粘度,同时钻进过程中开泵平稳,控制起下钻速度,避免因压力“激动”压漏地层。

(3)加入 ZD - 1 和 DF - 1 随钻堵漏剂、沥青等化工材料增强钻井液的造壁能力和封堵能力,以保证井壁的稳定,防止井塌和井漏的发生,同时提高地层的承压能力。

表3 岩石物理-力学特性

地层划分标示	岩石简称	密度 / (g·cm ⁻³)	硬度 / (kgf·mm ⁻²)	研磨性	岩石的塑性	泊松比	IO _{HR} 摩 / (kg·mm ⁻³)	岩石膨胀性
沙质粘土								
N	沙	1.72	10	1	软	-	-	-
	粘土							
Pg	石灰岩	2.45		3	软	0.25	1200	0.16
	泥灰岩	2.45	10~30	3	中等	0.36	1100	0.21
	粘土	1.97		2		0.5	200	0.8
	粘土	1.98	10~30	3	软	0.5	200	0.8
Pg ₁ + Pg ₂	泥灰岩	2.46		3	中等	0.36	1100	0.21
	粘土	1.99	-	3		0.5	200	0.8
	泥灰岩	2.46		3	中等	0.36	1100	0.21
	石灰岩	2.46	-	3	中等	0.25	1200	0.16
Cr ₂ d	粘土	1.99		3		0.5	200	0.8
	石灰岩	2.46		2.5	中等	0.25	1200	0.16
	泥灰岩	2.46	-	3		0.36	1100	0.21
Cr ₂ su + t	白垩	2.46		1	软	0.3	400	0.75
	泥灰岩	2.46	10~30	2.5	中等	0.36	1100	0.21
Cr ₂ sm	石灰岩	1.81		6.5		0.27	500	0.16
	砂岩	1.82		6.5	软	0.27	500	0.16
	粉砂岩	1.89	10~30	6	中等	0.3	400	0.21
Cr ₁ al	粘土	2.04		4		0.5	200	0.75
	砂岩	1.86		6.5	软	0.27	500	0.16
	粉砂岩	1.96	10~30	6	中等	0.3	400	0.21
Cr ₁ ap	粘土	2.12		1.5		0.5	200	0.75
	粘土	2.15		1.5	软	0.5	200	0.75
	砂岩	1.97	20~30	6.5	中等	0.27	500	0.16
Cr ₁ br	粉砂岩	2.07		6		0.3	400	0.21
	砂岩	1.98		6.5		0.27	500	0.16
	粘土	2.18	30~35	3	中等	0.3	200	0.75
Cr ₁ g	粉红砂岩	2.09		6		0.3	400	0.21
	石灰岩	2.49		3		0.25	1200	0.16
	砂岩	2	30~35	6.5	中等	0.27	500	0.16
Cr ₁ v	粘土	2.18		3		0.5	200	0.75
	砂岩	2		6.5	中等	0.27	500	0.16
	石灰岩	2.49	30~35	3		0.25	1200	0.16
J ₃ t	石灰岩	2.49		4		0.25	1200	0.16
	泥灰岩	2.49	150~160	2.5	硬	0.36	1100	0.21
	粘土	2.21		4		0.5	200	0.75
J ₂ kl	石灰岩	2.49		4		0.25	1200	0.16
	粘土	2.23	40~55	4	中等	0.5	200	0.75
	泥灰岩	2.5		4		0.36	1100	0.21
J ₂ kl	粘土	2.26		4		0.5	200	0.75
	砂岩	2.1	30~60	6	中等	0.27	500	0.16
	粉砂岩	2.21		6		0.3	400	0.21
J ₂ bt	砂岩	2.11		6		0.27	500	0.16
	粘土	2.29	35~40	3	中等	0.5	200	0.75
	粉砂岩	2.25		6		0.3	400	0.21
J ₂ bj	砂岩	2.15		6		0.27	500	0.16
	粘土	2.33	44~55	6	中等	0.3	400	0.21
	粉砂岩	2.31		1.5		0.5	200	0.75

(4)接单根、起下钻过程中控制下放速度,防止压力“激动”过大,造成井漏。下钻、下套管过程中需分段循环洗井,防止憋漏地层。

(5)完钻后、固井前通过加入桥塞堵漏剂来提高地层承压能力,防止固井过程中发生井漏。

3.5 筛管顶部双级固井技术

为防止水泥浆一次封固段过长造成固井井漏,提高封固段固井质量,采用筛管顶部双级固井技术。

管串结构:Ø168.3 mm 引鞋 + Ø168.3 mm 筛管串 + Ø168.3 mm 套管 + Ø168.3 mm 易钻式浮箍(碰压座) + Ø168.3 mm 短套管1根(安装刚性扶正器) + Ø168.3 mm 封隔器 + Ø168.3 mm 短套管1根(安装刚性扶正器) + Ø168.3 mm 分级箍 + Ø168.3 mm 套管串 + Ø168.3 mm 分级箍 + Ø168.3 mm 套管串。

主要施工工艺见表4。

表4 筛管顶部双级固井施工工艺内容

序号	工序	内容
1	释放一级胶塞	释放一级小胶塞,碰压,坐封管外封隔器,下分级箍开孔
2	固井	一级固井
3	释放二级胶塞	释放二级胶塞,顶替水泥浆,下分级箍关孔
4	投放重力塞	投放重力塞,上分级箍开孔
5	候凝	循环多余水泥浆,候凝
6	固井	二级固井
7	释放三级胶塞	释放关闭塞,顶替泥浆,上分级箍关孔

该工艺所需特殊工具如图4所示。

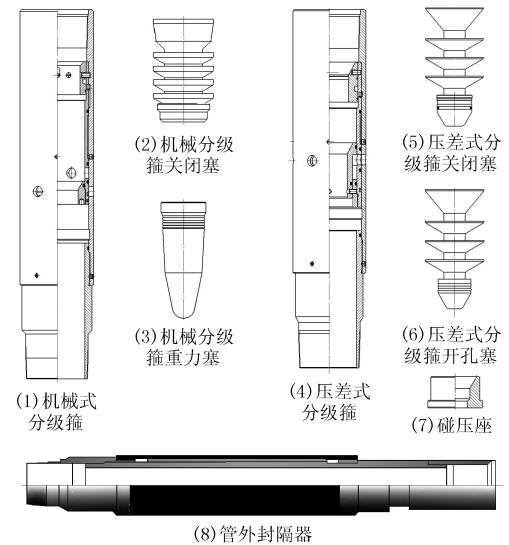


图4 筛管顶部双级固井特殊工具

4 水平井实施效果

4.1 机械钻速明显提高

2013年采用PDC + 螺杆钻具组合复合钻井技术,直井段机械钻速明显提高,由2012年的5.8 m/h提高到9.79 m/h,提高了68.79%(见图5、图6)。合理的PDC钻头选型配合螺杆钻具复合钻井技术

对提高整体机械钻速有很好的效果。

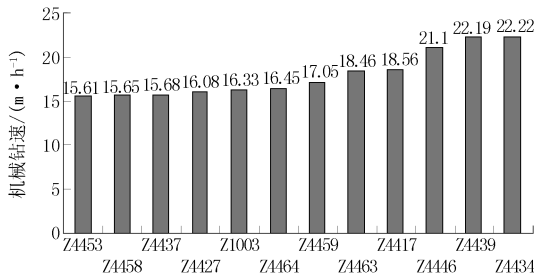


图 5 PDC 钻头使用效果

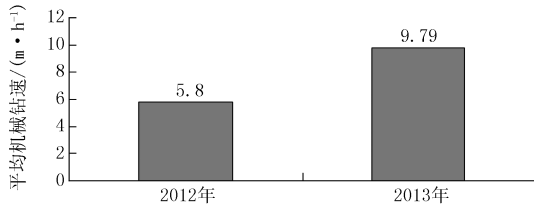


图 6 机械钻速对比

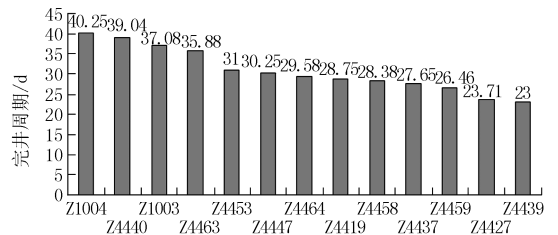


图 9 完井周期情况

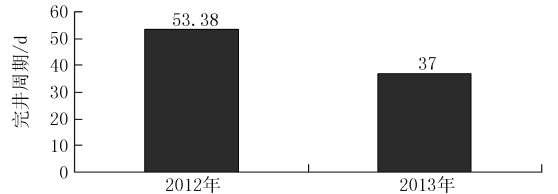


图 10 完井周期对比

4.2 固井质量大幅提高

通过采用筛管顶部双级固井技术结合防漏堵漏工艺,减少了固井井漏风险,固井质量优质率由原来的 70.59% 提高至 91.51%,确保了水泥长封固段的封固效果。

4.3 钻井周期明显缩短

2012 年水平井平均钻井周期为 42.96 天,完井周期 53.38 天,2013 年所钻水平井的钻井周期为 19.58 天,完井周期 37 天,同比钻井周期缩短 54.4%,完井周期缩短 41.1% (见图 7 ~ 10)。4453 水平井钻井周期最短为 14.71 天,完井周期最短 23 天。其中 Z4453 井钻井周期仅为 14.71 天,Z4439 井完井周期仅为 23 天,分别创造了热德拜油田水平井钻井的最短钻井周期和最短完井周期记录。

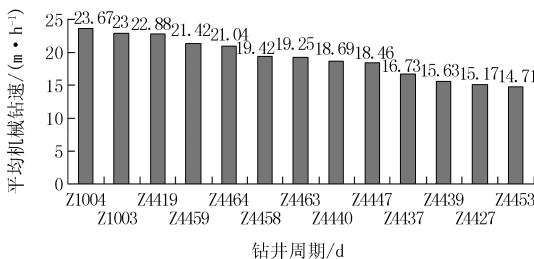


图 7 钻井周期情况

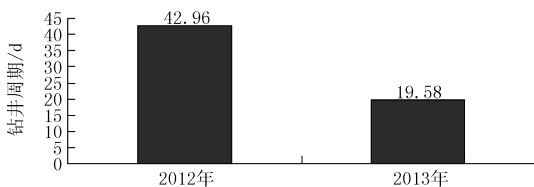


图 8 钻井周期对比

5 结论与认识

(1) 通过水平井优快钻井配套技术的研究与应用,热德拜油田水平井机械钻速明显提高,钻井周期明显缩短,加快了水平井开发步伐;

(2) 优化后的简单井身结构满足热德拜水平井开发的需求,该井身结构既缩短了钻井周期,同时 Ø168.3 mm 大尺寸完井增大了泄油面积,可以提高单井产量;

(3) PDC 钻头结合螺杆钻具复合钻井技术适合直井段提速,可减小提下钻趟数,可有效缩短钻井周期;

(4) 筛管顶部双级固井作为一种较为罕见的固完井方式,有效地解决了热德拜油区水平井长封固段已漏失的问题,提高了固井质量,同时可以供具有类似情况的油区借鉴。

参考文献:

- [1] 张晓文,任富鹏.大牛地气田水平井优快钻井技术探索[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(9):23-25.
- [2] 徐波.螺杆钻具和 PDC 钻头组合在鄂尔多斯工区定向井中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(10):16-17,35.
- [3] 王希勇,张艺瀚,熊继有. PDC 钻头与动力钻具的优化匹配和钻进特性研究[J].石油矿场机械,2005,34(1):27-29.
- [4] 林强,胡萍,仵伟,等. 低压易漏裸眼井段技术套管固井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(7):10-12.
- [5] 曾勇,郑双进,吴俊成,等. 井身结构优化设计研究[J].长江大学学报(自然科学版),2011,(9).
- [6] 杨晓峰,杜晶晶. 井眼轨迹连续控制钻井技术研究与应[J].石油钻采工艺,2012,(1).