

# 元坝高研磨性地层提速提效集成钻井技术

代 锋, 曾桂元, 李 林, 黄贵生, 康 力, 王 瀚

(中石化西南石油工程有限公司钻井工程研究院, 四川 德阳 618000)

**摘要:**四川元坝地区陆相下沙溪庙组—须家河组地层岩性复杂、可钻性差、研磨性强、地层压力高,使用牙轮钻头、PDC 钻头 etc 常规钻井技术钻速慢、周期长、效率低,引进扭力冲击器+PDC 钻头、孕镶金刚石钻头+涡轮等进口提速工具费用昂贵,提速效果明显,但经济效益差。为降低钻井成本,结合地层地质特性,开展了个性化钻头及配套提速工具的研制及优选,形成了元坝高研磨性地层提速提效集成钻井技术,即自流井组珍珠冲段以上地层采用研制的 KS1362ADGR 型 PDC 钻头+国产大扭矩螺杆马达;珍珠冲及须家河组地层优选国产 NR826M 型孕镶金刚石钻头+高转速螺杆马达。通过 3 口井现场试验表明:同比 2012—2013 年完钻井指标,平均机械钻速提高 64.7%;在井段长度增加 8.7% 的情况下,平均钻井周期缩短 36.3%。该技术将对川东北、川西须家河组等高研磨性地层钻井具有指导作用。

**关键词:**钻井技术;高研磨性地层;须家河组;提速提效;元坝地区

**中图分类号:**TE242;P634.5 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2018)04-0027-04

**Efficient Drilling Technology for High Abrasive Formation in Yuanba Region/DAI Feng, ZENG Gui-yuan, LI Lin, HUANG Gui-sheng, KANG Li, WANG Han** (Drilling Engineering Institute of Southwest Oilfield Service Co., SINOPEC, Deyang Sichuan 618000, China)

**Abstract:** Due to the complex lithology, poor drillability, tough abrasiveness and high formation pressure of continental facies Lower Shaximiao formation to Xujiahe formation, poor ROP, long drilling cycle and low efficiency are encountered by using conventional drilling cone bit and PDC bit, while by introducing the expensive imported torsion impactor + PDC or impregnated diamond bit + turbodrill, ROP can be obviously improved, but economic benefits is bad. In order to reduce the drilling cost, according to the geological characteristics of the tough abrasive formation, the development and optimization of personalized bits and supporting efficient tools are carried out, the efficient integrated drilling technology system is formed for tough abrasive formation in Yuanba region, that is, the developed KS1362ADGR type PDC bit + domestic high-torque screw motor in the formation upside Zhenzhuchong section of Ziliujing formation and domestic NR826M type impregnated diamond bit + high-speed screw motor in Zhenzhuchong section and Xujiahe formation. The field application of 3 wells showed that the average ROP increased by 64.7% compared with well completion indicators in 2012—2013; the average drilling cycle shortened by 36.3% even in the situation of well section length increased by 8.7%. This technology will have a guiding function in high abrasive formations drilling in Xujiahe formations in the Northeast and Western Sichuan.

**Key words:** drilling technology; high abrasive formation; Xujiahe formation; effect raising; Yuanba region

元坝地区陆相下沙溪庙组—须家河组地层,地质构造复杂,可钻性差、研磨性高、多压力系统,该段地层段长约占全井的 23%,钻井周期却占全井的 42%,钻井效率低,钻井周期长,严重制约了元坝气田的勘探开发进程。2009 年以来,部分井采用进口孕镶金刚石钻头+涡轮、高效 PDC 钻头+扭力冲击器等钻井提速技术<sup>[1-4]</sup>,但综合考虑提速效果和钻井成本,未形成集成配套技术进行规模化应用。基

于此,紧密围绕陆相深部地层地质特性,本着主要采用国产替代技术、降低钻井成本的目的,开展了钻头、配套工具、关键技术等攻关研究,以期实现元坝高研磨性地层钻井提速提效的目标。

## 1 高研磨性地层地质特性

根据元坝海相超深井井身结构设计<sup>[5]</sup>,三开陆相地层包括侏罗系中、下统和三叠系上统,自上而下

收稿日期:2017-11-17; 修回日期:2018-03-19

基金项目:中石化重点科技项目“元坝高研磨性地层提速提效工具研制及新技术工程应用”(编号:SG1301)

作者简介:代锋,男,汉族,1984 年生,油气井工程专业,硕士,从事石油钻井技术相关研究工作,四川省德阳市旌阳区金沙江西路 699 号,sw-pu\_dai@163.com。

地层依次为下沙溪庙组、千佛崖组、自流井组和须家河组,段长 1600~1900 m,地质特性主要有:

(1)岩性致密,可钻性差可钻性级值 7~8,部分层段达 8.5~9.1。

(2)地层孔隙压力纵向上分带明显,下沙溪庙组—千佛崖组地层压力系数 1.2~1.5,自流井组地层压力系数 1.5~1.9,须家河组地层压力系数 1.9~2.1。

(3)岩性复杂,如表 1 所示,主要以砂岩、泥岩为主,其中下沙溪庙组、千佛崖组地层泥质含量较高(57%~66%),自流井组大安寨段—东岳庙段非均质性较强、硬夹层较多,珍珠冲段和须四段分布有厚层块状砾岩、砂砾岩、含砾砂岩,整个须家河组地层石英砂岩含量较高(30%~50%),须二段甚至高达 65%以上。

表 1 元坝地区陆相下沙溪庙组—须家河组地层地质特性

系		地层名称		层厚/m	主要岩性特点	可钻性级值	研磨性	
系	统	组	段					
侏罗系	中统	下沙溪庙组	下沙溪庙组	250~520	以砂、泥岩为主,泥质含量高,少量砾石分布,不常含石英且含量不高	7~8	中高	
			千佛崖组	140~350		7.5~8.5		
	下统	自流井组	大安寨段	50~200	地层非均质性变强、杂层多	7~9.1		
			马鞍山段	50~250				
			东岳庙段	20~230				
			珍珠冲段	120~300				
三叠系	上统	须家河组	五段	70~260	须五、须三、须一石英砂岩含量 30%~50%,须二段石英砂岩含量超过 65%,须四段砾石含量 60%以上	7~9	高	
			四段	30~120			极高	
			三段	10~150			高	
			二段	100~260			极高	
			一段	20~110			高	

(4)根据岩心实验测定,下沙溪庙组—须家河组地层内摩擦角<sup>[6]</sup>26.65°~56°(平均 37.44°),其中珍珠冲砂砾岩段高于 40°(最高 52°),须家河组石英砂岩地层平均 45°(最高 56°)。研究表明<sup>[7]</sup>,岩石研磨性与内摩擦角有较强的关联性。岩石内摩擦角 < 40°,则认为地层研磨性不太强,可以选用一般的 PDC 钻头钻进;岩石内摩擦角 > 40°,则认为地层研磨性比较强,宜选用耐磨性好、特殊加工的 PDC 钻头或金刚石钻头。

## 2 钻井难点及提速对策

### 2.1 下沙溪庙组—自流井组东岳庙段

(1)千佛崖组及以上地层:段长约 600 m,地层软硬交错,憋跳钻严重,PDC 复合片易崩片、脱层,甚至出现基体环磨;泥质含量高时,PDC 钻头极易泥包;前期引进进口扭力冲击器配合高效 PDC 钻头,提速效果较好,但由于技术垄断,技术服务费用较高。因此,PDC 钻头设计主要考虑防泥包,同时提高钻头的攻击性(冠部结构和布齿),配合大扭矩螺杆和顶驱(转盘)复合钻进,以提高机械钻速。

(2)自流井组大安寨段—东岳庙段:段长约 300 m,针对该段地层非均质性变强、杂层多等特点,在

钻头使用上要适当降低其攻击性,提高钻头抵抗冲击、崩齿的能力,延长钻头寿命和行程进尺,同时配合大扭矩螺杆和顶驱(转盘)复合钻进,提高钻井综合效率。

### 2.2 自流井组珍珠冲段

段长约 200 m,砾石分布广,砂岩石英含量高,常规 PDC、牙轮钻头在该段地层使用效果差,行程进尺少、机械钻速低,因此只能使用高速旋转研磨破岩的钻井方式。基于进口涡轮井眼准备时间长、卡钻风险大、成本高等问题,推荐优选国产孕镶金刚石钻头+高转速螺杆马达。

### 2.3 须家河组

总厚度约 620 m,针对该段高研磨性地层,原则上均可使用国产孕镶金刚石钻头+高转速螺杆马达,加上顶驱(转盘)复合钻井方式,能够取得比 PDC 钻头钻速稍低但行程进尺高得多的技术指标。建议须五、须三井段使用 PDC 钻头+大扭矩螺杆马达钻井工艺技术,以获得更高的机械钻速。

## 3 提速提效集成钻井技术

3.1 研制的个性化 PDC 钻头+国产大扭矩螺杆马达

### 3.1.1 PDC 钻头

结合地层特性和前期井 PDC 钻头应用现状,自主研发出一种针对硬夹层、防崩齿、防泥包的 PDC 钻头<sup>[8]</sup>(图 1),采用的特色技术如下。

(1)防崩齿技术。优化内锥及肩部切削结构,减少钻头轴向及径向震动,实现软硬交错地层平稳切削;采用力平衡设计,配合  $\text{O}13.44 \text{ mm}$  直切削齿,不仅能有效缓解崩齿,同时能有效避免因齿间挤压带来的破碎困难,提高机械钻速。

(2)防泥包技术。开展井底流场模拟分析,优化喷嘴数量及喷射角度,从设计上尽可能避免井底产生涡流,避免岩屑重复破碎、携带不干净而产生泥包;在 PDC 钻头上电镀一层合金,有效缓解粘土对钻头表面的粘附能力,减低泥包发生的可能。

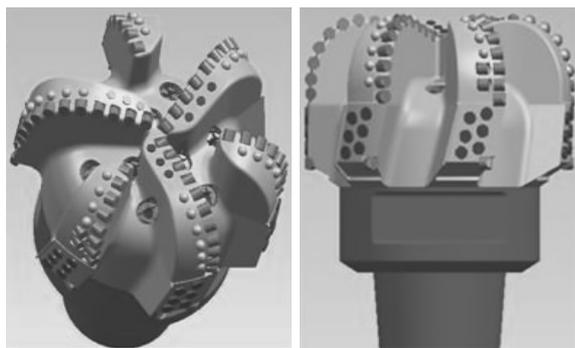


图 1 研制的  $\text{O}314.1 \text{ mm}$  KS1362ADGR 型 PDC 钻头

### 3.1.2 螺杆马达选型

PDC 钻头以剪切方式破岩,选择螺杆应具备扭矩大、转速中等、在高密度钻井液条件下性能稳定、寿命长等特性。综合考虑经济因素,优选等壁厚螺杆,相比普通螺杆能获得较高的机械钻速和行程进尺。如表 2 所示,优选国产大扭矩等壁厚螺杆 A,在压降相对较高的情况下,工作扭矩相当于进口螺杆 C,远高于国产常规螺杆 B。随着井深增加,钻井液密度变高,压耗和泵压变大,为了减少机泵负荷,选用压降和工作扭矩稍低的国产常规螺杆 B。

### 3.1.3 试验效果

研制的  $\text{O}314.1 \text{ mm}$  KS1362ADGR 型 PDC 钻头,配套国产大扭矩螺杆,在 YB204-2、YB205-3 等 3 口井开展了 4 井次现场试验,应用层位:上沙溪庙组—千佛崖组,平均进尺 414.29 m,平均机械钻速 2.98 m/h。与进口扭力冲击器+U513S PDC 钻头在 YB29-2、YB101-1H 等 4 口井平均进尺 249.1 m、平均机械钻速 3.01 m/h 相比,机械钻速相当,但平均单只钻头进尺提高 66.3%。按单只钻头进尺 400 m 计算,同比进口扭力冲击器+PDC 钻头,研制的 PDC 钻头+国产大扭矩螺杆的钻头及工具成本降低 60%(注:工具、钻头一般占钻井成本的权重为 30%~40%,此处成本降低幅度较大,一方面

表 2 优选螺杆钻具性能比较

名称	螺杆型号	马达头数	马达级数	排量/ ( $\text{L} \cdot \text{s}^{-1}$ )	转速/ ( $\text{r} \cdot \text{min}^{-1}$ )	工作扭矩/ ( $\text{N} \cdot \text{m}$ )	最大扭矩/ ( $\text{N} \cdot \text{m}$ )	工作压降/ MPa
国产螺杆 A	H5LZ216 $\times$ 7.0-3.5DW	5:6	3.5	20.5~41	79~157	11096	14795	5.25
国产螺杆 B	5LZ216 $\times$ 7.0-5	5:6	5.0	20.45~41	72~145	7631	10607	4.00
进口螺杆 C	8 in-6/7-5	6:7	5.0	19~56	75~185	9530	31300	4.50

是因为单只钻头进尺提高了,节省了起下钻等辅助时间,另一方面是因为进口扭冲+与其配套的进口 PDC 钻头服务费用太高,自主研发的 PDC 钻头成本降低较多。这里比较是同种情况比较,只比较钻头和工具的费用,不涉及其他)。

## 3.2 国产孕镶金刚石钻头+高转速螺杆

### 3.2.1 孕镶金刚石钻头优选

针对不同强度研磨性地层,钻头设计必须在其自锐性、耐磨性上进行平衡,以实现其技术指标最佳。金刚石孕镶体应该优化设计成多种外形和相应的不同配方,以实现自锐性好、耐磨性高、整体强度高、钎焊强度高,计算机优化设计为中抛物线冠部、十刀翼孕镶体加密布置、多水眼水力结构、防掏

心混镶结构、天然金刚石钻头加强保径、倒划眼结构<sup>[9]</sup>。基于提速指标、单只钻头进尺和经济成本等综合考虑,优选国产 NR826M 孕镶金刚石钻头。

### 3.2.2 螺杆马达选型

孕镶金刚石钻头使用较低钻压,通过高速旋转磨削地层,要求动力钻具转速较高。基于此,孕镶金刚石钻头+涡轮是最佳选择。但考虑到使用涡轮时井眼准备时间长、井下风险大,加上经济因素,所以推荐使用高转速螺杆(转速比涡轮低 50%),要求螺杆工作扭矩  $>3500 \text{ N} \cdot \text{m}$ ,转速  $>450 \text{ r/min}$ 。优选国产 CLZ216 $\times$ 7.0 型高转速螺杆,主要性能参数为:钻具直径 215.9 mm,马达头数 1/2,输出转速 330~535 r/min,额定扭矩 3500  $\text{N} \cdot \text{m}$ ,推荐钻压

150 kN,功率 148.5~241 kW,马达流量 28~45 L/s,马达压降 6.5 MPa,最大扭矩 8600 N·m,最大钻压 300 kN。

### 3.2.3 试验效果

应用 NR826M 型孕镶金刚石钻头,配合国产高转速螺杆,在 YB12-1H 井自流井组珍珠冲段—须家河组五段开展了现场试验,试验井段:4066.73~4258.03 m,单只钻头进尺 191.30 m,平均机械钻速 0.92 m/h。同比外国国民油井及史密斯孕镶金刚石钻头+涡轮在元坝地区应用平均钻速 1.34 m/h、平均单只钻头进尺 195.53 m,尽管机械钻速降低了 31%,但单只钻头进尺相当,钻头及工具成本降低了 57%(注:与前面解释相同,因为进口孕镶金刚石钻头服务费用相当高,所以达到相同进尺钻井成本就可以下降很多。这里也是同比钻头和配套钻具,不涉及其他),同时降低了井下卡钻风险。

## 4 现场集成试验

基于单项技术试验效果,在 YB10-2H 井、YB102-3H 井、YB27-4 井 3 口井三开陆相高研磨性地层开展了现场集成试验。试验井段:上沙溪庙组底部—须家河组地层。如表 3 所示,试验井平均段长 1806.08 m,平均机械钻速 1.40 m/h,平均钻井周期 92.31 d。与 2012—2013 年完钻 11 口井平均进尺 1662.09 m、平均机械钻速 0.85 m/h、平均钻井周期 144.91 d 相比,在井段长度增加 8.7%的情况下,平均机械钻速提高 64.7%,平均钻井周期缩短 36.3%,提速提效效果明显。

## 5 结论与建议

(1)元坝地区自流井组珍珠冲段以上地层应用研制的个性化 PDC 钻头+国产大扭矩螺杆马达钻井技术,钻井综合指标超过进口扭力冲击器+专用 PDC 钻头钻井技术。

(2)采用国产孕镶金刚石钻头+高转速螺杆马达钻井技术,实现了自流井组珍珠冲段—须家河组地层提速提效,可替代进口孕镶金刚石钻头+涡轮钻井技术。建议下部钻具组合中加入随钻震击器,降低井下卡钻风险。

表 3 试验井与对比井在三开陆相高研磨性地层钻井指标对比

类型	井号	井段长/ m	机械钻速/ (m·h <sup>-1</sup> )	施工周期/ d
	YB1-1H	1776	0.75	158
	YB29-2	1783	0.84	154
	YB204-1H	1648	0.92	139
	YB205-1	1614	0.86	153
	YB29-1	1724	0.73	168
对比井	YB102-2H	1727	0.91	137
	YB221	1684	0.72	179
	YB222	1768	0.99	122
	YB223	1492	0.94	111
	YB273	1604	0.73	144
	YB161	1463	0.94	129
平均		1662.09	0.85	144.91
	YB10-2H	1830.73	1.26	95
试验井	YB102-3H	1915.50	1.54	83
	YB27-4	1672	1.41	98.92
平均		1806.08	1.40	92.31
提速指标		+8.7%	+64.7%	-36.3%

(3)形成的高研磨性地层提速提效集成钻井技术在元坝地区取得明显效果,今后可用于川东北、川西须家河组等复杂难钻地层,具有较好的推广应用前景。

## 参考文献:

- [1] 高航献,瞿佳,曾鹏琿.元坝地区钻井提速探索与实践[J].石油钻探技术,2010,38(4):26-29.
- [2] 龙刚,刘伟,管志川,等.元坝地区陆相地层钻井提速配套技术[J].天然气工业,2013,33(7):80-84.
- [3] 张克勤.元坝地区钻井难题分析与技术对策探讨[J].石油钻探技术,2010,38(3):27-31.
- [4] 智慧文.元坝陆相工程地质难点及钻井工艺对策[J].西部探矿工程,2014,26(11):93-95.
- [5] 杨玉坤,翟建明.四川盆地元坝气田超深水水平井井身结构优化与应用技术[J].天然气工业,2015,35(5):79-84.
- [6] 张立刚,孙鹏霄,李士斌,等.岩石力学基础与应用[M].黑龙江哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2012:148-157.
- [7] 谢仁海.构造地质学[M].江苏徐州:中国矿业大学出版社,2007:25-37.
- [8] 王兴忠,刘强,陆忠华,等.防泥包高效 PDC 钻头研制与应用[J].钻采工艺,2016,39(2):91-94.
- [9] 蔡家品,贾美玲,史强.元坝地区新型金刚石钻头的研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(11):70-72.