

文章编号:1673-5005(2011)01-0068-04

减速涡轮深部防斜打快技术

蒋金宝^{1,2}, 孙 雪¹, 赵国顺³, 董伟哲⁴, 王甲昌¹, 王慧文¹

(1. 中原石油勘探局 钻井工程技术研究院, 河南 濮阳 457001; 2. 中国石油大学 石油天然气工程学院, 北京 102249;
3. 中原石油勘探局 钻井三公司, 河南 濮阳 457001; 4. 中原石油勘探局 塔里木钻井公司, 新疆 库尔勒 841000)

摘要:超深小井眼机械钻速低和井斜控制难度大等问题制约了西部地区深层油气藏的开发。在分析国内外防斜打快技术的研究及应用现状基础上, 提出减速涡轮防斜打快技术, 并研制小尺寸减速涡轮钻具。现场试验表明: 减速涡轮复合钻井技术提速效果明显, 与试验井 TH12509 上下邻井段转盘钻井相比, 机械钻速提高 90% ~ 150%; 与邻井同井段转盘钻井相比, 机械钻速提高 1.2 ~ 1.7 倍, 井斜角从入井时的 2.66° (5.89 km) 降至 0.33° (6.225 km), 为西部超深小井眼防斜打快提供了一种新的技术途径。

关键词:钻井; 超深小井眼; 防斜打快; 减速涡轮

中图分类号: TE 21 文献标志码: A doi:10.3969/j.issn.1673-5005.2011.01.013

Technology of deviation control and drilling fast by decelerating turbine in super-deep wells

JIANG Jin-bao^{1,2}, SUN Xue¹, ZHAO Guo-shun³, DONG Wei-zhe⁴, WANG Jia-chang¹, WANG Hui-wen¹

(1. Drilling Engineering & Technology Institute, Zhongyuan Petroleum Exploration Bureau, Puyang 457001, China;
2. College of Petroleum Engineering in China University of Petroleum, Beijing 102249, China;
3. The Third Drilling Company, Zhongyuan Petroleum Exploration Bureau, Puyang 457001, China;
4. Tarim Drilling Company, Zhongyuan Petroleum Exploration Bureau, Korla 841000, China)

Abstract: The problems of low penetration rate of super-deep slim hole drilling and difficulty of deviation control seriously restrict the development of deep reservoirs in Western China. By analyzing the domestic research and application of deviation control and drilling fast technology, the decelerating turbine drilling technology to control deviation and increase drilling speed was introduced. And then, small size decelerating turbine tools were developed. The results of field testing show that the decelerating turbine compound drilling technology has obvious effect on increasing drilling speed. The experimental well TH12509 was drilled by decelerating turbine compound drilling tools, whose drilling rate is increased by 90% ~ 150% compared to rotary drilling of adjacent section, and by 1.2 ~ 1.7 times compared to adjacent well. The deviation angle decreases from 2.66° (5.89 km) to 0.33° (6.225 km). This technology provides a new way to deviation control and drilling fast in super-deep slim hole wells in Western China.

Key words: oil well drilling; super-deep slim hole well; deviation control and drilling fast; decelerating turbine

西部地区深层钻井过程中遇到了许多难题, 尤其是超深小井眼机械钻速低、井斜控制难度大等钻井难题表现最为突出(尤其在产层, 一般要求井斜角不能超过 3°)。顺 6 井在储层层位 (6.1 ~ 6.7 km) 发生井斜, 井斜角为 6.5°; 于奇 6 井在 7.021 km 井斜角达到 15.98°, 被迫填井侧钻, 损失 915 h; 塔深 1 井在 6.93 ~ 7.55 km 井斜角达到 13°, 机械钻

速仅为 0.86 m/h。目前, 常用的防斜打快技术有钟摆钻具组合、偏心钻具组合、螺杆复合钻井技术和垂直钻井系统。钟摆钻具和偏轴钻具防斜打快效果不明显且使用范围小^[1-2]; PDC+螺杆钻具防斜打快效果明显, 但其受高温限制且成本较高^[3]; 垂直钻井系统防斜打快效果最好, 但成本高且适合超深小井眼的工具少^[4-6]。因此, 研究适合深部小井眼的防斜

收稿日期: 2010-04-14

基金项目: 国家“863”计划项目 (2006AA06A109); 中原油田博士后基金项目 (2009301 博)

作者简介: 蒋金宝 (1981-), 男 (汉族), 山东曹县人, 中原油田博士后, 主要从事超深井钻井和油气井岩石力学应用研究。

打快技术对西部深层油气藏的勘探开发有重要意义。笔者在分析国内外防斜打快技术研究及应用基础上,提出减速涡轮防斜打快技术,研制小尺寸减速涡轮钻具,并进行现场试验。

1 减速涡轮钻具研制

超深小井眼地层的温度和压力较高,部分地层(如奥陶系)破碎,井斜角对钻压敏感,需要采用低钻压钻进以达到防斜打直的目的。要在低钻压防斜的基础上提高钻速,可采用井下动力钻具提高钻头转速的方法。目前,井下动力钻具主要有螺杆和涡轮。螺杆钻具由于抗温受限,不适合深部地层防斜打快^[7]。涡轮不含橡胶材料,可以耐高温高压,适合深部防斜打快,这项技术在国外应用较成功,如俄罗斯在鞑靼地区涡轮钻具钻井的机械钻速比转盘钻井提高 3~5 倍,并成功完钻了一口 12 km 的超深井^[8]。欧美各油田多采用 PDC 钻头+涡轮钻具钻进,与转盘钻井相比机械钻速可提高 2 倍左右。由于种种原因,国内还没形成完善的涡轮钻井技术^[9]。为了解决西部深层钻井机械钻速低、易井斜的问题,中原油田钻井院与中国石油大学(北京)合作研制出了适合深部地层小井眼的减速涡轮钻具,并初步形成了一套适合深部地层小井眼的减速涡轮防斜打快技术。

涡轮钻具是一种井底液动马达,涡轮壳体里面装有多级成对的涡轮定子^[10](图 1)。其工作原理是钻井液在泵的作用下首先进入涡轮定子,涡轮定子使钻井液具有一定的方向和速度进入涡轮转子,涡轮转子就使钻井液的水力能量转变为涡轮钻具输出轴驱动井底钻头的转动机械能。

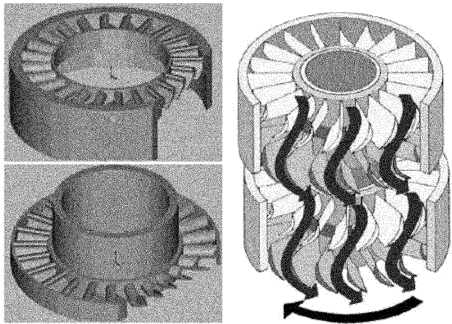


图 1 定子与转子示意图

Fig. 1 Schematic diagram of rotor and stator

涡轮钻具属叶片式机械,它具有在高速下稳定工作的特性。在相同外形尺寸条件下,速度越高的涡轮叶栅得到的扭矩越高,但压力降必然增高,这对目前泵送设备而言负担太重,而且较高的转速会造成钻头选型困难。若涡轮叶栅设计成低速、低压降,

则导致涡轮输出扭矩太低。要得到足够的扭矩,必须增加涡轮级数,即增加涡轮钻具的长度和质量,这样会导致其应用范围受限,尤其是小尺寸的涡轮钻具。为了利用涡轮钻具在高速下稳定工作的特性,同时压力降又不要太高,研制了行星齿轮涡轮减速器,其减速原理见图 2。高速涡轮节输出轴通过花键与中心轮相连接,其转速与扭矩经行星轮和内齿轮传递给行星架,行星架得到减速 i 倍后的转速与增加 i 倍后的扭矩(i 为减速比),行星架与减速器输出轴相连接,带动钻头旋转。

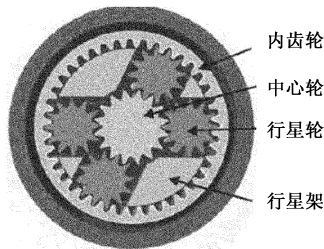


图 2 涡轮钻具行星减速齿轮减速原理示意图

Fig. 2 Principle diagram of planetary reducer of turbine drilling tool

2 现场试验

为了验证减速涡轮钻井技术的防斜打快效果,2009 年 6 月和 7 月在中国石化西北油田分公司塔河油田 TH12509 井进行了 $\Phi 127.0$ mm 耐高温减速涡轮防斜打快技术现场试验,该井设计井深 6.57 km,本次试验选在四开井段,井径为 165.1 mm,试验井深 5.946 km。

2.1 钻具组合

试验井段为超深小井眼,循环压耗较大。TH12509 井三开井段为盐膏层专打专封,盐膏层以上井段(5.785 km 以上)套管尺寸为 244.5 mm,因此可采用复合钻具组合以降低环空压耗,即下部采用小尺寸钻具,上部采用大尺寸钻具($\Phi 139.7$ mm 钻杆)。利用自主编制的软件计算发现,采用 3 km 的 $\Phi 139.7$ mm 钻杆比 $\Phi 127.0$ mm 钻杆的压耗降低 3 MPa,因此在本试验中上部井段采用了大约 3 km 的 $\Phi 139.7$ mm 钻具。所用钻具组合为 $\Phi 165.1$ mm PDC 钻头+ $\Phi 127.0$ mm 减速器涡轮钻具+331×310 接头+ $\Phi 120.7$ mm 钻铤 15 根+ $\Phi 88.9$ mm 加重钻杆 9 根+ $\Phi 88.9$ mm 钻杆 80 根+311×4A10 接头+ $\Phi 127.0$ mm 钻杆 282 根+4A11×520 接头+ $\Phi 139.7$ mm 钻杆。

2.2 排量的确定

减速涡轮复合钻井与普通钻井不同,在排量的

设计中要尽可能发挥涡轮钻具的功率。涡轮的功率计算式为

$$N_0 = \frac{(p_r - \Delta p_g - \Delta p_b) Q \eta}{7.5} = \frac{(p_r - KQ^s - K_b Q^2) Q \eta}{7.5}.$$

式中, p_r 为总压耗, MPa; Δp_g 为钻具循环压耗, MPa; Δp_b 为钻头压耗, MPa; η 为涡轮钻具效率; N_0 为涡轮功率, kW; Q 为排量, L/s; K 为钻具循环压耗修正系数; K_b 为钻头压耗修正系数; s 为钻具循环压耗指数, 一般取 1.75。

结合涡轮的特性参数, 计算得到减速涡轮钻具排量与功率的定量关系(图3)。由图3可得最优排量为 14~15 L/s。

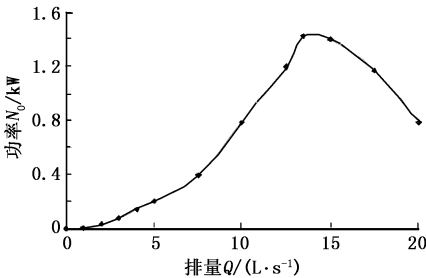


图3 排量与功率的关系

Fig.3 Relation of displacement and power

2.3 其他参数的确定

考虑到井斜要求和复合钻井特点, 钻压确定为 30~50 kN, 转盘转速为 30~50 r/min。为了监测减速涡轮钻具防斜效果, 利用 9 km 绞车对减速涡轮钻井井段进行了单点和多点测斜。

3 试验结果分析

试验使用了 2 套 $\Phi 127.0$ mm 减速涡轮钻具, 其中一套型号为 TDR1-127, 由中原钻井工程技术研究院国家“863”项目组提供(全新), 另一套型号为 TRO-127, 由中国石化西北油田分公司提供(旧涡轮

钻具, 2006 年 7 月 5 日至 9 日曾在塔深 1 井五开 $\Phi 165.1$ mm 井眼 8.321 30~8.405 km 井段使用)。试验井段为 5.946~6.314 km, 所钻地层为石炭系巴楚组(下泥岩段)、泥盆系东河塘组、志留系柯坪塔格组, 岩性为泥岩和砂岩。

3.1 提速效果

TDR1-127 型涡轮钻具井下工作时间 125 h, 纯钻时 84 h, 进尺 301 m, 平均机械钻速 3.59 m/h(试验后井口测试显示工具工作正常)。TRO-127 型井下工作时间 36 h, 纯钻时 18.68 h, 进尺 67 m, 平均机械钻速为 3.59 m/h(井口测试表明减速器损坏, 工作时间较短的原因是在塔深 1 井使用后没有维修保养)。图 4 为四开井段机械钻速随井深的变化曲线。从图 4 可以看出, 减速涡轮钻井的机械钻速明显高于上下邻井段转盘钻井的机械钻速。

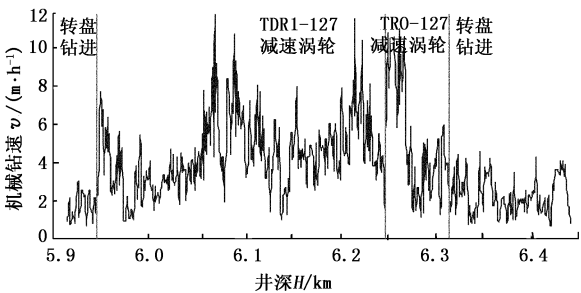


图4 四开井段机械钻速曲线

Fig.4 Penetration rate curve in re-drilling interval

表 1 中给出了减速涡轮复合钻井与转盘钻井机械钻速对比结果。TDR1-127 型涡轮钻具平均机械钻速为 3.59 m/h, 为上部邻井段转盘钻井机械钻速的 2.5 倍。TRO-127 型涡轮钻具平均机械钻速为 3.59 m/h, 为下部邻井段转盘钻井机械钻速的 1.9 倍。与邻井 TK1239 井同井段转盘钻进相比, 机械钻速提高了 1.23 倍, 与邻井 TK1225 井同井段转盘钻进相比, 机械钻速提高了 1.76 倍。

表 1 减速涡轮钻具复合钻井与转盘钻井机械钻速对比

Table 1 Penetration rate comparison between decelerating turbine drilling and rotary drilling

井名	井段 H/km	钻井方式	钻遇地层与岩性	平均钻速 $\bar{v}/(m \cdot h^{-1})$
TH12509	5.915~5.946	转盘钻进	巴楚组下泥岩段:棕褐色灰质泥岩	1.40
	5.946~6.247	涡轮复合钻进 (TDR1-127 涡轮)	巴楚组下泥岩段:棕褐色灰质泥岩(氧化泥岩)、灰色灰质泥岩与棕褐色泥岩呈略等厚互层 东河塘组:细粒石英砂岩夹粉砂岩,浅灰、细粒砂岩与泥岩略等厚互层 柯坪塔格组:粗粒砂岩与灰绿色泥岩呈略等厚互层	3.59
	6.247~6.314	涡轮复合钻进 (TRO-127 涡轮)	柯坪塔格组:粗粒砂岩与灰绿色泥岩呈略等厚互层 桑塔木组:泥岩、泥灰岩互层	3.59
	6.314~6.443	转盘钻进	柯坪塔格组:粗粒砂岩与灰绿色泥岩呈略等厚互层	1.88
	5.826~6.136	转盘钻进	巴楚组下泥岩段、东河塘组、柯坪塔格组、桑塔木组	1.61
TK1225	6.260~6.564	转盘钻进	柯坪塔格组、桑塔木组、良里塔格组 恰尔巴克组、一间房组	1.30

3.2 降斜效果

从单点测斜仪和多点测斜仪的数据(表 2)来看,使用减速涡轮之后,井斜角从 5.951 km 时的 2.66°降至 6.225 km 时的 0.33°,这说明该工具具有一定的降斜作用。

表 2 四开井段井斜数据

Table 2 Deviation data of re-drilling interval		
井深 H/km	测量方法	井斜角 $\theta/(\text{°})$
5.890	电测	2.66
6.022	单点	1.93
6.081	多点	1.37
6.109	多点	1.29
6.119	单点	1.25
6.138	多点	1.22
6.186	单点	1.21
6.225	多点	0.33

4 结 论

(1)针对西部深层地质条件和现有防斜打快技术的不足,提出了减速涡轮防斜打快技术,研制的减速涡轮钻具使用寿命较长(TDR1-127 减速涡轮试验后井口测试工作正常)。

(2)减速涡轮钻井技术提速效果明显,与试验井上下邻井段转盘钻井相比,机械钻速提高 90%~150%,与邻井同井段转盘钻进相比,机械钻速提高 1.2~1.7 倍。

(3)减速涡轮钻井技术防斜效果明显,试验井井斜角从入井时 2.66°(5.89 km)降至 0.33°(6.225 km)。

参考文献:

[1] 史玉才,管志川. 偏轴钟摆钻具组合力学特性分析[J]. 石油大学学报:自然科学版,2004,28(2):42-48.
SHI Yu-cai, GUAN Zhi-chuan. Mechanics analysis of the offset-axes pendulum drill assembly[J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2004,28(2):42-48.

[2] 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 Hai-ge, SU Yi-nao. Progress of theoretical research on deviation control and drilling fast for vertical wells[J]. Acta Petrolei Sinica, 2004,25(3):86-90.

[3] 陈养龙,魏风勇,王宏杰,等. 螺杆加 PDC 钻头复合钻进技术[J]. 断块油气田,2002,9(4):57-60.
CHEN Yang-long, WEI Feng-yong, WANG Hong-jie, et al. Compound drilling technique[J]. Fault-Block Oil &

Gas Field, 2002,9(4):57-60.

[4] 杨春旭,韩来聚,步玉环,等. 现代垂直钻井技术的新进展及发展方向[J]. 石油钻探技术,2007,35(1):15-19.
YANG Chun-xu, HAN Lai-ju, BU Yu-huan, et al. New development and future direction of modern vertical drilling technology [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2007,35(1):15-19.

[5] 王春生,魏善国,殷泽新. Power V 垂直钻井技术在克拉 2 气田的应用[J]. 石油钻采工艺,2004,26(6):4-8.
WANG Chun-sheng, WEI Shan-guo, YIN Ze-xin. Application of Power V technology in the development wells of Kela-2 Gasfield[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2004,26(6):4-8.

[6] 张华卫,令文学. VertiTrak 垂直钻井技术在秋南 1 井的应用[J]. 内蒙古石油化工,2008(12):121-123.
ZHANG Hua-wei, LING Wen-xue. The application of VertiTrak technology in well Qiunan1 [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2008(12):121-123.

[7] 马立,付建红,王希勇,等. 防斜打快机理探讨[J]. 石油矿场机械,2008,37(8):70-73.
MA Li, FU Jian-hong, WANG Xi-yong, et al. Discussion of the coupled driven drilling technology of deviation control and fast drilling[J]. Oil Field Equipment, 2008, 37(8):70-73.

[8] 陈洪兵,周龙昌,张雷,等. 俄罗斯减速涡轮钻具驱动 PDC 钻头在西西伯利亚油田的成功应用[J]. 石油钻探技术,2005,33(2):48-50.
CHEN Hong-bing, ZHOU Long-chang, ZHANG Lei, et al. Successful applications of turbine tool driven PDC bits with reducers in the West Siberia oilfields[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2005,33(2):48-50.

[9] 杨世奇,薛敦松,蔡镜仑,等. 涡轮钻井技术的新进展[J]. 石油大学学报:自然科学版,2002,26(3):128-132.
YANG Shi-qi, XUE Dun-song, CAI Jing-lun, et al. Progress and new development of turbodrilling technology [J]. Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science), 2002,26(3):128-132.

[10] 冯定. 涡轮钻具防斜打快钻井理论与技术研究[J]. 石油钻探技术,2007,35(3):9-11.
FENG Ding. Theoretical and technical study of deviation control and fast drilling in turbo-drill [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2007,35(3):9-11.

(编辑 李志芬)