

◀ 现场交流 ▶

doi:10.3969/j.issn.1001-0890.2012.05.027

## 阿北1井垂直钻井工具应用分析

陈涛<sup>1</sup>, 蒋西平<sup>1</sup>, 魏强<sup>1</sup>, 冉照辉<sup>2</sup>, 帕提古丽·亚尔买买提<sup>3</sup>

(1. 中国石油西部钻探工程有限公司钻井工程技术研究院, 新疆克拉玛依 834000; 2. 中国石油西部钻探工程有限公司苏里格气田开发第一项目经理部, 内蒙古乌审旗 017300; 3. 中国石油新疆油田分公司采油一厂, 新疆克拉玛依 834000)

**摘要:**为解决塔里木盆地两北地区二叠系地层底部—志留系地层采用常规钻具组合钻井时井斜严重及防斜与打快矛盾突出的难题, 阿北1井进行了VTK垂直钻井系统防斜打快试验。VTK垂直钻井系统为一种闭环自动垂直钻井系统, 在工作中可主动启动液压部件, 通过1~2个肋板向井壁施加一定的作用力以对抗井斜趋势, 以保持井眼按垂直方向钻进。现场试验结果表明: 阿北1井应用VTK垂直钻井系统钻进深部易斜地层时, 井斜角控制在 $0.14^{\circ} \sim 2.09^{\circ}$ , 大部分井段的井斜角小于 $1.00^{\circ}$ ; 大部分试验井段(5 331.00~5 532.00和5 698.8~5 965.15 m)机械钻速可达2.34~1.17 m/h, 与常规钟摆钻具组合相比, 机械钻速提高17%~21%。这表明利用VTK垂直钻井系统基本可以解决塔里木盆地两北地区井斜控制困难及防斜与打快突出的难题, 但为充分发挥VTK垂直钻井系统防斜打快的优势, 需在钻头选型、钻井液性能优化及应对井下故障能力等方面进行进一步研究。

**关键词:** 垂直钻井 井斜控制 机械钻速 阿北1井

**中图分类号:** TE921<sup>+</sup>.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0890(2012)05-0123-04

## Analysis on Application of Vertical Drilling Tools in Well 1 of Abei Oilfield

Chen Tao<sup>1</sup>, Jiang Xiping<sup>1</sup>, Wei Qiang<sup>1</sup>, Ran Zhaohui<sup>2</sup>, Patiguli · Jarl Maimaiti<sup>3</sup>

(1. Drilling Engineering Institute, Xibu Drilling Company Limited, CNPC, Karamay, Xinjiang, 834000, China; 2. No. 1 Development Department of Sulige Gas Field, Xibu Drilling Company Limited, CNPC, Wushenqi, Inner Mongolia, 017300, China; 3. No. 1 Oil Production Plant, PetroChina Xinjiang Oilfield Company, Karamay, Xinjiang, 834000, China)

**Abstract:** In the Two North exploration wildcats of the Tarim Basin, serious wellhole deviation and fierce conflict between anti-deviation and fast drilling occurred during the drilling from the bottom of the Permian to Silurian strata with conventional BHA. To resolve this problem, special VTK (VertiTrak) drilling system was tested in Well 1 of Abei Oilfield. As a closed loop automatic vertical drilling system, it can automatically activate the hydraulic parts, countering deviation by exerting a certain force against the borehole wall through one to two floor plates, and keeping the well vertical. The test results showed that, using the VTK vertical drilling system in the drilling of deep inclination prone strata in Well 1 of Abei Oilfield, the deviation angle of the well was controlled between  $0.14^{\circ}$  and  $2.09^{\circ}$ , for the majority of borehole, less than  $1.00^{\circ}$ ; at the same time, the ROP increased up to 2.34~1.17 m/h for most of the well section (5 331.00~5 532.00 m, 5 698.82~5 965.15 m), which was 17%~21% higher than that of conventional pendulum drill assembly. This suggested that the VTK vertical drilling system could solve the problem mentioned above, but in order to give full play to anti-deviation and fast drilling speed of the VTK vertical drilling system, bit selection, drilling fluid performance optimization and dealing with the complex downhole conditions need to be studied further for the system.

**Key words:** vertical drilling; deviation control; penetration rate; Well 1 of Abei Oilfield

阿北1井位于塔里木盆地两北探区阿瓦提断陷阿北1号构造, 是一口超深风险预探井, 目的层为奥陶系良里塔格组( $O_1l$ ), 采用五开次井身结构, 完钻井深7 070.98 m, 钻井周期346.56 d。该井四开井

收稿日期: 2012-03-05; 改回日期: 2012-08-21。

作者简介: 陈涛(1975—), 男, 湖北仙桃人, 1999年毕业于西安石油学院, 工程师, 主要从事钻井工程设计与钻井项目研究。

联系方式: 18699006889, magic0923@yahoo.cn。

段(4 991.72~6 997.00 m)依次钻遇二叠系( $P_2$ )、泥盆系(D)、志留系(S)及奥陶系桑塔木组( $O_3s$ )地层,其面临的主要钻井难题为:1)二叠系—志留系地层逆断裂发育及地层倾角大,其中二叠系地层构造倾角 $12^\circ\sim 14^\circ$ ,泥盆系地层构造倾角 $8^\circ\sim 11^\circ$ ,志留系地层构造倾角 $5^\circ\sim 9^\circ$ ;2)地层岩心反映出泥盆系—志留系地层存在大量地质激烈构造运动后的破碎带。上述地质因素造成在钻遇二叠系地层底部—志留系地层时防斜与打快矛盾突出。阿北1井在钻至二叠系地层底部时井斜角由 $1.50^\circ$ 迅速增大至 $3.88^\circ$ ,虽然调整为大钟摆纠斜钻具组合配合小钻压吊打的方式,但仍不能有效控制井斜角,井斜角由 $3.88^\circ$ 增大至 $7.82^\circ$ 。为控制井身质量,在注灰回填井斜角及狗腿度过大的井段后,扫灰至井深5 300.00 m(二叠系底部)开始采用VTK(VertiTrak)垂直钻井系统进行纠斜及防斜施工,且基本达到了防斜打快目的。

## 1 VTK 垂直钻井系统及工作原理

VTK(VertiTrak)是美国 Baker Hughes 公司开发的垂直钻井系统,属于典型的静止推靠式系统<sup>[1-3]</sup>。它是综合 Autotrak(闭环旋转导向系统)、高性能 X-Treme 马达、可靠的 MWD 开发出来的一种闭环自动垂直钻井系统(见图1)。VTK(VertiTrak)在井下工作过程中,转盘带动芯轴转动,外筒不转动,当 MWD 重力传感器检测到有井斜趋势时,即可启动液压部件,通过1~2个肋板向井壁施加15~30 kN的作用力以对抗这一趋势,同时 MWD 实时传输井斜数据到地面系统以方便跟踪和监测。当井眼完全垂直时,3个肋板全部伸出,并对井壁施加相同的力,将钻头居中,保持井眼按垂直方向钻进<sup>[1-2,4-5]</sup>。

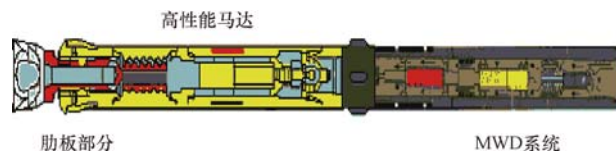


图1 VTK 垂直钻井工具结构示意图

Fig.1 Structure diagram of VTK vertical drilling system

VTK 系统最大降斜能力可以达到 $1.5^\circ/30\text{ m}$ ,通过选择欠尺寸稳定器在钻具组合中的位置及稳定器外径,可以对预期降斜率进行设定,设定范围 $(1.5^\circ\sim 0.8^\circ)/30\text{ m}$ 。在钻进时通过调整钻压、排量

等参数也可以对降斜率进行适当微调。

## 2 现场应用

### 2.1 应用情况

阿北1井自四开二叠系地层底部开始井斜角连续大幅超标(由 $1.50^\circ$ 升至 $7.82^\circ$ ),因此在注灰回填部分原井眼后,扫灰至井深5 300.00 m(二叠系地层底部)开始采用 $\phi 171.5\text{ mm}$  VTK 垂直钻井系统对下部井眼(二叠系地层底部—志留系地层)进行防斜打快试验。该井分别在5 300.00~5 532.00、5 698.82~5 965.15和5 971.76~5 977.35 m井段采用VTK 垂直钻井系统进行了防斜打快试验。

3个试验井段所用垂直钻井钻具组合均为 $\phi 215.9\text{ mm}$ 钻头+ $\phi 171.5\text{ mm}$  VTK 垂直钻井工具+ $\phi 158.8\text{ mm}$ 钻具止回阀+ $\phi 201.4\text{ mm}$ 螺旋稳定器+ $\phi 158.8\text{ mm}$ 钻铤+转换接头+ $\phi 127.0\text{ mm}$ 加重钻杆+ $\phi 127.0\text{ mm}$ 钻杆。

5 300.00~5 532.00 m井段滑动钻进控斜效果较好,井斜角由 $3.88^\circ$ 降至 $0.14^\circ$ ,5 330.00~5 532.00 m井段井斜角控制在 $0.50^\circ$ 以内,平均机械钻速为1.21 m/h。

5 698.82~5 965.15 m井段总体控斜效果较好,平均机械钻速为1.17 m/h,但5 718.40~5 724.00 m井段井斜角有所增大,由 $1.72^\circ$ 增大至 $2.09^\circ$ ,5 904.30~5 965.15 m井段掉块较严重。

5 971.76~5 977.35 m井段平均机械钻速可达1.20 m/h,但后期因井下掉块严重及连续出现憋泵、卡钻等井下故障,且井斜角控制效果一般(井斜角达 $2.0^\circ$ ),结束VTK 垂直钻井试验。

### 2.2 应用效果

VTK 垂直钻井系统在阿北1井大部分井段的应用效果较好,防斜控斜效果明显,最大井斜角为 $2.09^\circ$ ,最小井斜角仅 $0.14^\circ$ ,其中5 330.00~5 532.00 m井段井斜角控制在 $0.50^\circ$ 以内,5 800.00~5 900.00 m井段井斜角控制在 $1.00^\circ$ 以内。

阿北1井应用VTK 垂直钻井系统解放了钻压,在防斜的同时提高了机械钻速,其中5 331.00~5 532.00 m井段平均机械钻速为2.34 m/h,5 698.82 m~5 965.15 m井段平均机械钻速为1.17 m/h,与采用钟摆钻具的5 532.00~5 698.82 m井段相比,平均机械钻速分别提高了21%和17%。

### 3 存在问题分析及解决措施

#### 3.1 存在问题分析

##### 3.1.1 部分井段控斜效果不佳

阿北1井在应用VTK垂直钻井系统的5 718.40~5 724.00 m(志留系 $S_2y$ )井段井斜角增大较快,井斜角由 $1.72^\circ$ 增至 $2.09^\circ$ ;5 971.76~5 977.35 m(志留系 $S_{1t}$ )井段控制井斜角效果一般(井斜角最高达 $2.00^\circ$ ),并因此提前结束VTK垂直钻井试验。分析其原因为:

1) 井下故障导致VTK钻井系统工作模式转换频繁。志留系部分地层坍塌掉块严重,连续出现憋泵、卡钻等井下故障。在处理井下故障时,VTK垂直钻井系统的工作模式多次转换,造成井斜角增大。

2) 扩径严重导致肋板难以有效支撑到井壁。志留系部分地层扩径十分严重,且严重扩径直接导致VTK垂直钻井系统驱动柱塞(肋板)沿井眼高边伸出后难以有效支撑到井壁,造成VTK垂直钻井系统的推靠力(给井下工具提供的降斜力)不足。

3) VTK垂直钻井系统在处理井下故障时存在局限性。由VTK垂直钻井系统工作原理可知,VTK垂直钻井工具在复合钻进工作模式下3个肋板全部收回,无法控制井斜角,仅在滑动钻进模式下该系统才能起到控斜、防斜效果。因此,VTK垂直钻井系统在处理井下故障(如掉块严重)时不能满足既要旋转钻具又要控制井斜的要求。

##### 3.1.2 部分井段提速效果不佳

阿北1井5 698.82~5 808.00 m井段采用VTK垂直钻井系统的平均机械钻速仅1.07 m/h,与常规钟摆钻具钻进井段的平均机械钻速(1.08 m/h)相比,机械钻速并没有提高,分析其原因为:

1) 钻具托压影响提速。由于该井段采用VTK钻进时滑动钻进时间长,钻具不转动,易与井壁泥饼形成粘附。同时,该井段钻井液密度较高( $1.63\sim 1.68\text{ kg/L}$ ),井底压差大,上返岩屑易在稳定器处堆积。上述2方面原因造成钻压加不到钻头上,严重影响了钻速,且随着井深加深,裸眼段增长,托压现象更易发生。

2) 与垂直钻井系统配合的PDC钻头结构设计针对性不强。该井钻遇的地层可钻性差、研磨性强,二叠系地层底部—志留系地层倾角大,除应根据钻

遇岩石特性选择与VTK垂直钻井系统配套使用的钻头型号,还需同时兼顾垂直钻井系统对PDC钻头的要求,而该井在实钻中PDC钻头结构设计针对性不强,导致提速效果受限。

#### 3.2 解决措施

##### 3.2.1 增强VTK垂直钻井系统控斜降斜效果

1) 尽量减少VTK垂直钻井系统工作模式的转换频次,以降低对控斜降斜效果的影响。在滑动钻进与复合钻进工作模式转换的过程中,应确认VTK垂直钻井系统的肋板完全收回后,才能转动转盘,防止误操作损坏肋板。

2) 减少扩径以确保肋板有效支撑到井壁。提高所用聚磺钻井液的防塌性能,并控制好滤失量,以保持井眼稳定、保证井底清洁,以利于VTK垂直钻井工具驱动柱塞(肋板)沿井眼高边伸出后能有效支撑到井壁,充分发挥垂直钻井系统的降斜作用。

##### 3.2.2 提高VTK垂直钻井系统的提速效果

1) 减少托压现象。可在初期钻进中,采用1~2根单根滑动钻进及1~2根单根复合钻进的交替钻进方式,并在后期钻进中,尽量多采用复合钻进,少采用滑动钻进,从而在基本控制井斜情况下,尽量避免出现托压现象。同时,应提高钻井液的润滑性,改善其流变性,减少粘附机会,避免出现托压现象。在钻进过程中加强对钻具托压现象的判断(即地层无明显变化,钻头不在使用后期,发现钻时变慢,可初步判断为托压),当确认托压后可采取上下活动钻具、加大排量或转换为复合钻进模式等措施,消除托压以提高机械钻速。

2) 优化PDC钻头结构以配合垂直钻井工具。VTK垂直钻井系统通过井下机电液一体化,驱动柱塞沿井眼高边伸出,使钻头产生一个垂直于井眼低边的侧向力,在钻头向前钻进的同时也切削井眼的下井壁。因此对于可钻性差、研磨性强、地层倾角大的地层(二叠系地层底部—志留系地层),可在PDC钻头保径段设计侧向切削齿(见图2),以确保钻头在具有动态侧向力的情况下,对井眼的低边同样具有攻击能力。同时,可选择短接头设计及短保径设计的PDC钻头与VTK垂直钻井系统配合降斜;短接头设计(见图3)可缩短钻头工作面以及钻头下体距离垂直钻井系统推靠部分的距离,有利于推靠起

作用时,钻头能够很快形成降斜率;短保径设计(见图4)可降低保径支撑阻力,提高转向和受到动力钻具侧向推动时的敏感性。



图2 保径段侧向切削齿设计

Fig. 2 Lateral cutting teeth design of gauge protecting section



图3 短接头设计

Fig. 3 Design of short connector



图4 短保径设计

Fig. 4 Design of short gauge protection

## 4 结论与建议

1) 阿北1井井斜角控制难度大的原因为:二叠系—志留系地层存在较大地层倾角,志留系地层各组间构造角度和倾向变化较大;二叠系—志留系地层存在大量地质激烈构造运动后的破碎带。

2) 阿北1井利用VTK垂直钻井系统基本能将井斜角控制在要求之内,但有些井段的控制效果由于井径扩大严重和VTK垂直钻井系统工作模式转换频繁不是十分理想。

3) 阿北1井应用VTK垂直钻井系统钻进过程中,由于滑动钻进时出现托压现象和与之配合的PDC钻头针对性不强,与常规钟摆钻具组合相比,提速效果不是十分明显。

4) 为增强VTK垂直钻井系统在类似地层的井斜控制效果和发挥其提速能力,应减少VTK垂直钻井系统工作模式转换频次,提高钻井液的防塌性能以减小扩径,增强钻井液的润滑性能以减少钻具粘附及避免托压现象,采用针对性强的PDC钻头与之配合。

## 参考文献

### References

- [1] 薄和秋,赵永强. Verti Trak 垂直钻井系统在川科1井中的应用[J]. 石油钻探技术, 2008, 36(2): 18-21.  
Bo Heqiu, Zhao Yongqiang. Application of Verti Trak in Chuanke 1 Well [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(2): 18-21.
- [2] 郑锋辉,韩来聚,杨利,等. 国内外新兴钻井技术发展现状[J]. 石油钻探技术, 2008, 36(4): 5-11.  
Zheng Fenghui, Han Laiju, Yang Li, et al. Development of novel drilling technology [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2008, 36(4): 5-11.
- [3] 蒋祖军,肖国益,李群生. 川西深井提高钻井速度配套技术[J]. 石油钻探技术, 2010, 38(4): 30-34.  
Jiang Zujun, Xiao Guoyi, Li Qunsheng. Technology to increase deep well drilling speed in western Sichuan [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(4): 30-34.
- [4] 艾才云,许树谦,穆总结,等.  $\phi 311$  自动垂直钻井系统技术探讨[J]. 新疆石油天然气, 2011, 7(1): 27-30, 38.  
Ai Caiyun, Xu Shuqian, Mu Zongjie. Research on  $\phi 311$  automatic vertical drilling system [J]. Xinjiang Oil & Gas, 2011, 7(1): 27-30, 38.
- [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 Chunsheng, Wei Shanguo, Yin Zexin. Application of Power V technology in the development wells of Kela-2 Gas Field [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2004, 26(6): 4-8.