

钻井工艺

# VertiTrak 垂直钻井技术在高陡构造 天东 004 - X3 井的应用

刘文忠<sup>1</sup>, 易炳刚<sup>1</sup>, 范 宇<sup>1</sup>, 濮 强<sup>1</sup>, 肖金裕<sup>2</sup>

(1 西南油气田分公司 2 川庆钻探工程公司川东钻探公司)

刘文忠等. VertiTrak 垂直钻井技术在高陡构造天东 004 - X3 井的应用. 钻采工艺, 2010, 33(6): 36 - 39

**摘 要:** 天东 004 - X3 井属川东地区山前典型高陡构造井, 地表实测地层倾角高达 80 度, 相邻沙坪场构造井, 在采取 8 ~ 12 kN 钻压吊打情况下, 井斜仍达到了 6.3° ~ 10.3°, 且平均机械钻速仅 1.15 m/h。天东 004 - X3 井在采用美国贝克休斯的 VertiTrak 垂直钻井技术后, 取得了平均机械钻速 3.63 m/h、全试验井段井斜角控制在 1° 以内的“防斜与提速”双重效果。文中重点介绍垂直钻井系统在天东 004 - X3 井的应用情况, 并对比分析所取得的综合经济效果和应用前景。

**关键词:** VTK 垂直钻井技术; 高陡构造; 应用; 井斜控制

中图分类号: TE 249 文献标识码: A DOI:10.3969/j.issn.1006-768X.2010.06.000

在川东地区的钻井中, 如何有效实现高陡地层的防斜打快, 一直是一个普遍存在、亟待解决的技术难题。目前大多采用了牺牲钻压, 以降低机械钻速为代价, 但获得的控斜效果仍然很差, 如沙坪场构造井, 其地层倾角 50° ~ 80°, 在采取 8 ~ 12 kN 钻压吊打措施下, 井斜仍达到了 6.3° ~ 10.3°, 且平均机械钻速仅为 1.15 m/h, 且给后续钻完井带来了诸多事故复杂并造成极大损失。这些因素严重制约了川东地区高陡构造的安全快速钻井, 为此, 西南油气田公司与川庆钻探工程有限公司在 2010 年 3 月的《川东地区大斜度水平井钻井研讨会》上, 联合确定了引进垂直钻井系统在川东地区选井进行试验, 重庆气矿根据会议要求精选了属高陡构造高倾角的天东 004 - X3 井, 开展 VertiTrak 垂直钻井系统试验(简称 VTK 工具), 取得平均机械钻速 3.63 m/h、全试验井段井斜角控制在 1° 以内的“防斜与提速”双重效果, 为钻完井及固井质量的提高创造好的条件。

TRAK(闭环旋转导向系统)、高性能 X - TREME 马达、可靠的 MWD 三种技术开发出来的一种闭环自动垂直钻井系统(图 1)。其工作模式有两种: 钻进工作模式(滑动钻井模式), 有 1 个或 2 个肋板在液压的作用下伸出; 划眼工作模式(复合钻进模式): 3 个肋板全部收回。两种工作模式可以很方便地通过开、停泵后的排量控制来进行设定。钻进时当 MWD 检测到有井斜趋势时, 即可启动液压部件, 通过 1 ~ 2 个肋板向井壁施加的反向作用力实现纠斜, 同时 MWD 实时传送井斜角数据到地面系统以便跟踪和监测。当井眼完全垂直时, 三个肋板全部收回, 将钻头始终保持居中, 使井眼按垂直方向钻进, 这一过程自动完成, 不需要人为干预, 其最大降斜能力可以达到 1.5°/30 m, 也可通过选择欠尺寸扶正器安装在钻具组合中不同位置, 预置降斜率的大小(1.5° ~ 0.8°)/30 m, 在钻进时通过调整钻压、排量等技术参数也可以对降斜率做适当的微调。

## 一、VTK 垂直钻井技术防斜打直的基本原理

VertiTrak 垂直钻井系统主要由 MWD 系统、高性能马达以及肋板三部分组成, 它综合了 AUTO

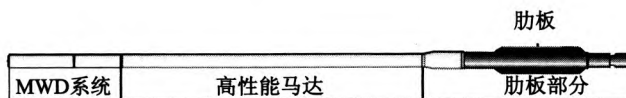


图1 VertiTrak垂直钻井工具示意图

收稿日期: 2010 - 09 - 02

**作者简介:** 刘文忠(1963 - )高级工程师, 硕士, 1990年毕业于西南石油学院油气井工程专业, 长期从事钻井与科研管理工作, 现任西南油气田分公司重庆气矿副总工程师。地址: (400021) 重庆市江北区南桥寺龙山路 542 号西南油气田分公司重庆气矿, 电话: 023 - 67312146, E - mail: liuwenzhong@petrochina.com.cn

## 二、VTK 垂直钻井技术在天东 004 - X3 应用情况

天东 004 - X3 是四川盆地大天池气田龙门区块的一口开发井,地处重庆梁平县明达镇长久村镇 5 组,井口附近测得地层产状及倾角为  $135^{\circ} \angle 80^{\circ}$ ,地表出露为侏罗系统沙溪庙组地层,属典型的山前高陡构造,地层极易发生井斜、垮塌和井漏。该井于 2010 年 7 月 18 日用  $\varnothing 444.5\text{mm}$  钻头开钻,采取吊打的方式钻进(钻压不超过 12 kN)至井深 400 m 一开完钻,在井深 116.57 m、235.6 m、351.5 m 测得井斜分别为  $1.4^{\circ}$ 、 $2.7^{\circ}$ 、 $3.0^{\circ}$ 。根据设计从二开开始于 8 月 3 日实施垂直钻井技术试验,按设计打完珍珠冲后于 8 月 27 日结束垂直钻井技术试验。垂直钻井作业井段 415 ~ 1 672.66 m,累计进尺 1 257.66 m,共 8 趟起下钻,累计作业时间 559.5 h,其中纯钻时间 343.5 h,占作业时间的 61.4%,主要原因为该井设备较旧,维修时间较多,辅助时间占 13.5%。

VTK 垂直钻井系统入井钻具组合: $\varnothing 311.2\text{mm}$  HA537G + VTK 工具 +  $\varnothing 240\text{mm}$  单向阀 +  $\varnothing 240\text{mm}$  滤网短节 +  $\varnothing 305\text{mm}$  扶正器 +  $\varnothing 228.6\text{mm}$  减震器 +  $\varnothing 228.6\text{mm}$  钻铤 +  $\varnothing 202.3\text{mm}$  钻铤 +  $\varnothing 202.3\text{mm}$  随钻震击器 +  $\varnothing 177.8\text{mm}$  钻铤 +  $\varnothing 127\text{mm}$  加重钻杆 +  $\varnothing 127\text{mm}$  钻杆。主要钻井参数:钻压 200 ~ 250 kN,转速 30 r/min(复合钻进模式),泵压 12 ~ 18 MPa,排量 45 ~ 48 L/s。第 1 趟钻在 446.61 m 处将井斜降为  $0.98^{\circ}$ ,后续钻井过程中井斜均控制在  $1^{\circ}$  内,前 5 趟钻井液密度  $1.15 \sim 1.25\text{g/cm}^3$ ,平均机械钻速 5.3 m/h。在进入珍珠冲后由于井壁有轻微掉块出现,及时将钻井液密度  $1.30\text{g/cm}^3$  提高至  $1.36\text{g/cm}^3$  恢复正常,提密度后 3 趟机械钻速降至 2.1 m/h。该井平均机械钻速 3.63 m/h。其中,同比 400 ~ 415 m、1440.38 ~ 1442.78 m 常规钻具方式钻进,机械钻速分别提高了 4.32 倍和 2.79 倍。并保持井斜在  $1^{\circ}$  以内,垂直钻进井段统计对比情况见表 1。

表 1 垂直钻进井段统计对比情况表

钻进方式	开始井段 /m	结束井段 /m	地层	进尺 /m	机械钻速 /m·h <sup>-1</sup>	钻井参数				井斜 /( $^{\circ}$ )
						钻压 /kN	转速 /r·min <sup>-1</sup>	泵压 /MPa	排量 /L·s <sup>-1</sup>	
常规	400.00	415.00	沙溪庙	15.00	0.84	100	65	10	45	2.5 ~ 2.7
	415.00	572.61	沙溪庙	157.61	6.15	200 ~ 250	螺杆	11 ~ 12	46	2.5 ~ 0.2
VTK	572.61	767.48	~	194.87	5.57	200 ~ 250	螺杆	12 ~ 13	46	0.5 ~ 0.3
	767.48	971.40	珍珠冲	203.91	5.10	200 ~ 250	螺杆	13 ~ 14	46	0.5 ~ 0.2
	971.40	1207.29		235.89	4.81	200 ~ 250	螺杆	14 ~ 15	46	0.3 ~ 0.2
	1207.29	1440.38		233.09	4.95	200 ~ 250	螺杆	15 ~ 16	46	0.6 ~ 0.2
常规	1440.38	1442.78	珍珠冲	2.40	1.30	250	60	17	46	0.5 ~ 0.4
	1442.78	1533.35	珍珠冲	90.57	2.06	200 ~ 250	螺杆	16 ~ 17	46	0.5 ~ 0.3
VTK	1533.35	1615.7	~	82.35	1.61	200 ~ 250	螺杆	16 ~ 18	46	0.5 ~ 0.2
	1615.70	1672.66	须家河	56.96	1.07	200 ~ 250	螺杆	16 ~ 18	46	0.3 ~ 0.1

## 三、VTK 垂直钻井技术试验中的 配套保障技术

### 1. 高陡构造高倾角防塌技术

为了更好地抑制井壁应力和水化膨胀垮塌,该井在使用 VTK 垂直钻井技术井段使用了强包被、强封堵、强抑制、超低渗透钾钙沥青质聚合物钻井液,并对流变性做了特殊要求。该体系钻井液通过引入  $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$  等无机阳离子,提高体系滤液矿化度和抑制能力,增强体系抗黏土水化分散的能力。加入降滤失剂,降低钻井液滤失量,减少钻井液由于压差作用而导致的大量滤液进入易塌地层,引起黏土矿物水化膨胀、分散、剥落等,减少井塌的可能性。加入

大分子主聚物,以增强体系的包被、絮凝、防塌能力。加入沥青类处理剂,利用其变形和胶结特性,提高体系的封堵和胶结能力,实现封堵泥页岩等易塌地层中微裂缝、胶结破碎岩石的目的,达到减少体系中滤液渗透入地层中、提高易塌地层坍塌压力的目的,从而提高体系防止应力垮塌的能力。

### 2. 防 MWD 仪器堵塞技术措施

由于 MWD 系统由重力传感器、控制电路、涡轮发电机、脉冲发生器等组成,要求保持钻井液清洁,预防堵塞仪器。因此,该井下钻前,一是对有钻具、接头水眼进行了检查清洗,二是安装钻杆滤子。每次接单根,记得取、放钻杆滤子,并及时清洁。遇到井漏需要添加堵漏材料时,需视漏速大小及时与贝

克现场工程师协商后添加。必要时,将 VTK 起出地面,下光钻杆堵漏。

### 3. 防 VTK 工具托压技术措施

由于 VTK 垂直钻进时转盘不转动,是滑动钻进。上返岩屑易在扶正器处堆积,造成钻压加不到钻头上的现象,这不仅影响钻速,也给井下的判断带来难度。为此,在钻进过程中,如地层无明显变化,钻头不在使用后期,发现钻时变慢,可判断为托压。此时可采取上下活动钻具,加大排量或转换为复合钻进模式。在天东 004 - X3 井垂直钻井技术试验中,托压现象在每钻进 2 ~ 3 根单根偶尔会出现,转为复合钻进模式后立即就解除、钻速明显提高。

### 4. 及时调整密度加大排量确保井下工具安全

自流井组是川东地区上部极易垮塌地层,主要分为大安寨、马鞍山、东岳庙、珍珠冲。尤其是东岳庙、珍珠冲段最易垮塌,东岳庙段以灰黑色页岩为主,夹薄层灰岩及灰质砂岩;珍珠冲段岩性为浅灰带绿色、深灰带绿色粉砂质泥岩及泥质粉砂岩为主,夹杂色泥岩及灰白色、灰绿色粉砂岩。为了更好的防止井下出现垮塌,在揭开该地层之前,及时采取调整密度、加大排量以及高黏携砂等措施,虽该井井壁在应力失稳期内,出现了一些小的掉块和憋转盘现象,

但均保证了正常的起下钻,确保 VTK 垂直钻井技术试验成功和工具安全。

## 四、VTK 垂直钻井技术应用的 经济技术效果评估

天东 004 - X3 井首次引进垂直钻井技术进行试验,取得了较好的防斜打快的效果,选取与同均属于大天池气田、相邻的沙坪场高陡构造、地表倾角在 50° ~ 80° 的天东 80 井、天东 81 井、天东 82 井、天东 87 井及天东 88 井进行对比分析。见表 2。

### 1. 大幅度提高机械钻速

天东 004 - X3 井在沙溪庙 ~ 珍珠冲井段使用 VTK 垂直钻井后,总进尺 1257.66 m,纯钻 346.5 h,取得了平均机械钻速 3.63 m/h,行程钻速 49.08 m/d。而沙坪场高陡构造的天东 80 井等 5 口在此井段平均机械钻速只有 1.15 m/h,行程钻速只有 19.06 m/d,最高的天东 81 井机械钻速也只有 2.05 m/h,行程钻速只有 33.77 m/d (见表 3),对比得出,其机械钻速提高了 1.75 ~ 4.56 倍,平均机械钻速提高 2.1 倍;行程钻速提高了 1.45 ~ 3.6 倍,以此进行计算可节约钻井周期 14 ~ 97 d,平均节约钻井周期 53.6 d。

表 2 机械钻速与行程钻速对比表

井号	层位	地层倾角 /(°)	井段 /m	进尺 /m	纯钻时间 /h	钻井周期 /d	机械钻速 /m·h <sup>-1</sup>	行程钻速 /m·d <sup>-1</sup>
天东 004 - X3 井		80	415 ~ 1672.66	1227	340.5	25	3.60	49.08
天东 81 井	沙溪庙 ~ 珍珠冲	73	300 ~ 1617	1317	640.6	39	2.05	33.77
天东 80 井		80	260 ~ 1452	1192	721.4	45	1.65	26.49
天东 82 井		50	194 ~ 2050	1856	1366.2	78	1.35	23.79
天东 87 井		73	237 ~ 1860	1623	1877.5	122	0.86	13.30
天东 88 井		80	292 ~ 1794	1502	1896.9	109	0.79	13.77

表 3 高陡构造井沙溪庙 ~ 珍珠冲井段井斜统计对比

井号	井段 /m	地表倾角 /(°)	最大井斜 /(°)	同比节约 进尺/m
天东 004 - X3	415 ~ 1672.66	80	0.6	-
天东 81	300 ~ 1617	73	8.5	8
天东 80	260 ~ 1452	80	8.5	12
天东 82	194 ~ 2050	50	10.3	14
天东 87	237 ~ 1860	73	6.3	9
天东 88	292 ~ 1794	80	8.9	11

2. 不仅井斜得到有效控制,而且也起到了减少钻井进尺的作用

天东 004 - X3 井在使用 VTK 垂直钻井技术之前,井斜角一度在井深 351.5 m 逐渐增大至 3°,而在使用垂直钻进的 415 ~ 1 672.66 井段,其井斜角降低到 1° 以内,且得到了有效控制 (图 2)。而相邻构造沙坪场高陡构造的天东 80 井等 5 口,在采用低压吊打的情况下,井斜仍然较大,最大井斜天东 82 井达到了 10.3°,最小井斜天东 87 井也有 6.3° (表 4)。以此井斜进行测算,天东 004 - X3 井可节约钻井进尺 8 ~ 14 m。

### 3. 提高井身质量为钻完井创造条件

虽然减少井斜、提高井身轨迹质量,对后续的钻完井控制、甚至减少事故复杂没有直接的因果关系,

但有一点是可以肯定的,它将为后续钻完井创造了较好的条件,也对事故复杂的减少起到了不可忽视的作用。这里仅以天东 004 - X3 使用 VTK 垂直钻井技术的井段与邻构造沙坪场的天东 80 井等 5 口井同井段(表 4)比较,天东 80 井等 5 口均出现了复杂情况,而天东 004 - X3 在使用 VTK 垂直钻井技术的井段未造成遇阻划眼复杂损失。

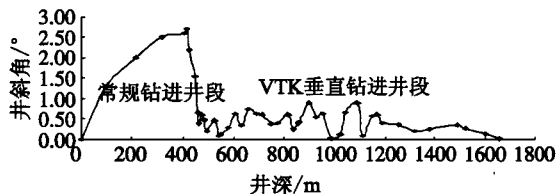


图2 天东004-X3井常规方式钻进与VTK垂直钻进井斜对比

## 五、结论及建议

(1)在川东地区高陡构造的高倾角井,使用 VTK 垂直钻井技术,能有效地实现防斜打快,取得“防斜与提速”双重效果,其综合经济效果突出,在高陡构造的高倾角井具有很大推广应用价值,也能给后续钻井创造较好井身质量。

(2)该井采用的钾钙沥青质聚合物防塌钻井液体系;及时调整密度、加大排量以及高黏携砂措施以及防 VTK 工具托压措施等确保了井下安全,达到 VTK 垂直钻井技术试验不卡钻、不埋试验工具的目的。

表 4 与邻构造高倾角井复杂情况统计对比表

井号	层位	井段 /m	钻井液类型	最高钻井液密度 /g·cm <sup>-3</sup>	复杂损失时间 /h	复杂时率
天东 004 - X3 井	沙溪庙~珍珠冲	415 ~ 1672.66	钾钙沥青质	1.36	0	0%
天东 81		300 ~ 1617	聚合物	1.32	104.11	12.10%
天东 80 井		260 ~ 1470	钾钙沥青质	1.70	189.09	15.15%
天东 82 井		194 ~ 2050	钾钙沥青质	1.60	100.96	5.39%
天东 87 井		237 ~ 1860	钾钙沥青质	1.75	428.58	14.63%
天东 88 井		292 ~ 1794	钾钙沥青质	1.64	9.38	0.35%

(3)恰当的钻头选型和正确判断钻头磨损情况,对充分发挥垂直钻井技术的提速效果非常重要。不仅有利于提高机械钻速,也可以延长钻头钻进时间,减少起下钻,提高钻井时效。本井前三只钻头因担心钻头严重磨损后牙轮掉井,均未使用到位,取出来的新度均有 70%,从后续使用 HAT537G 钻头在自流井以及须家河顶部钻进情况看,钻头使用时间在 45 h 以上,起出钻头效果非常理想,该井若前 3 只钻头均使用到位,还会进一步提高提速效果。

(4)建议应用 VTK 垂直钻井技术时,考虑使用顶驱,可以节约接单跟和转换钻井模式时间,另外在钻井设备的配套安排上,应尽考虑设备状况较好的队伍,以利于充分发挥 VTK 垂直钻井技术提速效果,减少组停时间。

### 参考文献

[1] 丁红,陈杰,陈志学,等. 垂直钻井技术在青探 1 井的

应用[J]. 石油钻探技术,2007,35(3):30-32.

[2] 杨春旭,韩来聚,步玉环,等. 现代垂直钻井技术的新发展及发展方向[J]. 石油钻探技术,2007,35(1):16-19.

[3] 张绍槐. 深井、超深井和复杂井结构井垂直钻井技术[J]. 石油钻采技术,2005,33(5):11-15.

[4] 王希勇,熊继有. 川东北钻井新工艺应用与效果[J]. 钻采工艺,2008,31(1):125-128.

[5] 刘以明,蔡文军,王平,等. Power V 和机械式随钻测斜仪在黑池 1 井的应用[J]. 石油钻探技术,2006,34(1):71-73.

[6] 刘磊,刘志坤,高晓荣. 垂直钻井系统在塔里木油田应用效果及对比分析[J]. 西安石油大学学报(自然科学版),2007,22(1):79-81.

[7] 刘以明,瞿建明,邓榜枢,等. Power V 垂直钻井技术在黑池 1 井的应用[J]. 南方油气,2005,18(2):51-53.

(编辑:黄晓川)