

国产旋转导向及随钻测井系统在渤海某油田的应用

陈虎, 和鹏飞, 万圣良

(中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司, 天津 300452)

摘要: 旋转导向和随钻测井系统可在精确、高效控制井眼轨迹和快速识别地层性质的同时大幅度提高作业效率, 降低作业成本。尤其在海上油气开发过程中具有较好的提效效果, 但是长期以来该领域均被国外石油公司垄断且租赁价格高昂。中海油国产化研制的 Welleader 旋转导向系统、Drilog 随钻测井系统经过多次试验达到了入井应用要求, 在渤海某平台调整井钻井作业中进行了应用, 结果表明该套系统旋转导向系统轨迹控制满足定向井轨迹要求、测斜数据准确、测井质量符合标准要求, 能够实现钻井过程中的轨迹控制和测井要求。

关键词: 旋转导向; 随钻测井; 井眼轨迹; 定向井; 渤海油田

中图分类号: P634; TE243 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672 - 7428 (2017) 03 - 0035 - 04

Application of China-made Rotary Steering and Logging while Drilling Systems in Adjustment Well of Bohai/
CHEN Hu, HE Peng-fei, WAN Sheng-liang (CNOOC EnerTech-Drilling & Production Co., China, Tianjin 300452, China)

Abstract: The rotary steering and the logging while drilling systems can effectively control the well trajectory and quickly identify the formation property, which can greatly improve the operation efficiency and reduce the operation cost, especially in offshore oil and gas development; but this field has been monopolized by foreign oil companies with high rental prices for a long time. Welleader rotary steering system and Drilog logging while drilling system developed by CNOOC have been tested for times and up to application requirements. These systems were used in an adjustment well drilling on a platform in Bohai, the application results prove that the trajectory control of rotary steering system can satisfy the directional well trajectory requirements; the accuracy of the measured data and the quality of the well logging are in line with the standard requirements, by which the trajectory control and logging are realized in drilling process.

Key words: rotary steering system; logging while drilling; well track; directional well; offshore oilfield

旋转导向钻井技术, 是 20 世纪 90 年代逐步发展起来的新一代智能钻井系统。通过整个钻具管柱的全旋转模式, 既能高效控制井眼轨迹, 又能避免传统井下动力钻具滑动定向带来的粘卡、效率低等问题, 有效地提高了钻井效率和井眼轨迹质量^[1-3]。2013 年渤海油田共完成钻井 273 口, 其中 37% 为常规定向井, 7% 为大斜度井, 45% 为水平井, 11% 为直井^[4]。在渤海油田钻井作业中, 一般水平井与大位移井、部分大斜度井上部井段采用螺杆马达钻具、下部井段旋转导向及随钻测井钻具的组合模式完成^[5]。

1 渤海油田作业现状

1.1 旋转导向系统在渤海油田的应用现状

旋转导向系统是在钻具旋转钻进条件下实现定向井轨迹控制的技术, 能够有效传递钻压扭矩, 实现

井眼轨迹高精度控制, 井眼轨迹平滑, 井身质量高, 返砂效果好, 提高钻井时效, 缩短整体建井周期, 降低开发成本的同时有效控制井下粘卡风险。目前旋转导向技术已在常规定向井、三维定向井、水平井作业中获得广泛应用, 特别在海上油气勘探开发中已呈现替代马达工具的趋势, 在复杂油气藏开发和降低成本等方面起到了不可或缺的作用。

1.2 随钻测井技术在渤海油田的应用现状

随钻测井是在钻井的同时进行测井作业的技术。在地层被打开的初期进行测量, 有效地减小了钻井液滤液侵入对测量结果的影响, 能够更真实地反映原状地层的地质特征, 有利于提高地层评价的准确性。在大斜度井、水平井或某些特殊地质环境(如膨胀粘土或高压地层)钻井时, 电缆测井作业的困难和风险过大, 使得随钻测井成为唯一可用的测井技术。

收稿日期: 2016 - 03 - 14; 修回日期: 2016 - 11 - 11

作者简介: 陈虎, 男, 汉族, 1982 年生, 工程师, 从事海洋石油钻井技术监督与管理, 天津市塘沽区海油大厦 B 座 A306, chenhu@cnooc.com.cn。

为解决渤海海上油田开发过程中存在的层间矛盾和定向井开采底水油藏效果差的问题,近年来渤海油田多采用水平井、大斜度井进行油田开发。而每年有90%以上的水平井随钻测井作业采用斯伦贝谢、贝壳休斯的旋转导向系统及配套测井工具完成,此类工具租赁费用极高,严重影响成本控制^[6-10]。随着国际原油价格一路走低,这对国内石油行业产生重大影响。国产旋转导向及随钻测井系统正好迎合了渤海油田“降本增效”主题,为油田稳

产、可持续发展提供了新举措。

2 Welleader 旋转导向及 Drilog 随钻测井系统简介

2.1 结构组成

该系统构架主要包括嵌入式地面系统、地面系统软件、地面仪器工作间、MWD 子系统、井下仪器控制器短节、电阻率伽玛测井仪、涡轮发电机、有线柔性短节、导向力控制单元等,如图1所示。

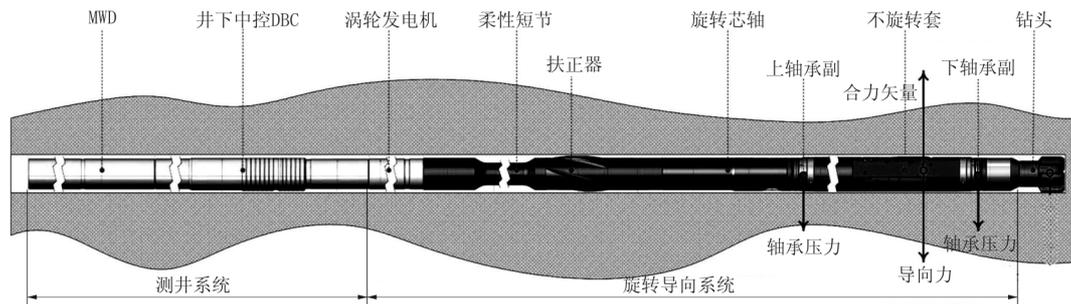


图1 Welleader 旋转导向和 Drilog 随钻测井系统组成示意图

2.2 工作原理和特点

(1) Welleader 旋转导向系统采用推靠式导向工作原理,3个独立推靠翼肋产生合成导向力矢量,具备井下涡轮发电机供电、非接触能量信号电磁耦合、近钻头连续测量、程控分流指令下传等一系列关键技术特征,导向力可以实现32级强度和240级方向控制。Welleader 旋转导向系统测量精度高,井斜角(量程 $0 \sim 180.0^\circ$,精度 $\pm 0.2^\circ$)、方位角(量程 $0 \sim 360.0^\circ$,精度 $\pm 0.50^\circ$)、工具面角(量程 $0 \sim 360.0^\circ$,精度 $\pm 2.0^\circ$),1.5 m近钻头井斜连续测量精度 $\pm 0.2^\circ$ 。理论最大造斜率 $10^\circ/30$ m(旋转)、 $21^\circ/30$ m(滑动),最大转速180 r/min,工具耐温达 150°C 。

(2) Drilog 随钻测井系统具备定向井轨迹测量、随钻电磁波电阻率和自然伽马测井功能,可选超声井径/环空压力/振动冲击测量。同时,Drilog 实现了自主的随钻系统平台技术,钻井液脉冲遥传速率最高可达3 bit/s,可实现旋转导向系统和其他高端随钻测井仪器的挂接。Drilog 内部的MWD系统由液压推动式脉冲器和控制器组成:脉冲器通过“蘑菇头”和限流环配合,产生泥浆脉冲,实现LWD数据接收、编码和脉冲器驱动等功能;其定向测量的定向探管通过3轴磁通门+3轴加速度计测量,解算获得井斜、方位、工具面。

3 应用背景

3.1 油田及作业概况

渤海某油田W2H1、W7H1和W8P1/W8H1等3口井及1口领眼井作业利用平台修井机改造后承担调整井的钻完井任务,通过对老井弃井、套管开窗侧钻实现在东营组剩余油富集区以及井网不完善区域部署调整井,改善其开发效果。采用钻修机设备、引入国产旋转导向及随钻测井系统,在保证能够实现作业的情况下,充分降低作业成本。

本批次的调整井井身结构基本一致,都属于修井机作业的低效井侧钻井。以W8H1井为例,从老井 $13\frac{3}{8}$ in(1 in = 25.4 mm,下同)套管160 m处开窗侧钻, $12\frac{1}{4}$ in井眼钻进至1602 m下入 $9\frac{5}{8}$ in套管; $8\frac{1}{2}$ in井眼采用Welleader旋转导向及随钻测井系统钻进至着陆井深2450 m,下入7 in尾管;水平段6 in井眼钻进至2671 m完钻,裸眼完井。

3.2 地层特征

该批调整井作业的目的层位为东营组,选用旋转导向工具主要用于领眼钻进及水平井着陆作业,主要钻遇馆陶组和东营组地层。馆陶组地层为辫状河沉积,砂体平面上连通性好,具有高孔高渗储集特征,岩性以厚层中砂岩、粗砂岩为主,部分细砂岩,夹绿灰色泥岩薄层。东营组地层上部为深绿灰色、绿

灰色泥岩,下部为细、粗石英砂岩,微含钙。

进时造斜困难。

3.3 作业难点

(1)地层可钻性好,机械钻速快,岩屑产生量大,井眼清洁困难,容易产生泥团,堵塞环空。

(2)下部井眼段马达滑动困难,粘卡风险大。

(3)地层非均质性强,造斜率变化大,轨迹控制难度大。

(4)油层段砂岩疏松,水平井着陆及水平段钻

4 现场应用

Welleader 旋转导向及随钻测井系统在水平井关键的着陆井段使用,实现了轨迹的精确控制及随钻调整,在1口领眼井、3口水平井着陆作业中,总进尺3311 m,共计入井时间447 h,达到了油藏开发及钻井作业的要求,如表1统计。

表1 Welleader 在某平台应用情况统计

井名	井段/m	井斜变化量/(°)	方位变化量/(°)	最大全角变化率/[(°)·30 m ⁻¹]	机械钻速/(m·h ⁻¹)	入井时间/h
W8P1	1471~2459	35.60~84.18~70.33	13.11~35.18	4.53	22	125
W8H1	1538~2284	39.08~87.76	24.85~58.18	4.78	10.8	104.25
W2H1	1602~2450	33.19~88.09	171.97~98.07	4.69	36.8	128.75
W7H1	1353~2056	23.5~90.00	85.5~54.00	4.46	17.7	89.25

4.1 轨迹控制

钻具组合:Ø215.9 mm PDC 钻头 + Ø177.8 mm Welleader + Ø171.4 mm Drilog + Ø171.4 mm MWD + Ø171.4 mm NMDC + Ø165.1 mm 浮阀接头 + Ø165.1 mm 随钻震击器 + Ø127.0 mm 加重钻杆 14 根。

钻进过程中,在馆陶组地层使用 30%~40% 导向力,在东营组使用 30%~60% 导向力,即达到了设计造斜率(3.0°~3.5°)/30 m 的要求,工具造斜率表现稳定,如表2统计。

表2 Welleader 旋转导向造斜率分析 %

地层	对比内容	W8P1	W8H1	W2H1	W7H1
馆陶组	平均导向力	32.48	30.84	35.19	44.81
	平均造斜率	2.64	2.80	2.97	3.02
东营组	平均导向力	7.5/25.5	29.40	60.81	57.79
	平均造斜率	1.45/-1.77	2.20	3.45	3

采用旁通机构的指令发送方式,工作期间受外界环境干扰较小,易于操作,出于井下安全考虑,调整指令时控制机械钻速,现场作业过程中,指令发送成功率高。为保护导向单元肋板,每柱钻进结束倒划眼前需要发送指令将导向单元肋板收回。

本批作业采用的脉冲器使用 0.5 bit/s 传输速率,信号良好,解码成功率 95% 以上,一次测斜成功

率 100%,测斜数据与上部井段斯伦贝谢仪器测斜数据衔接良好,一致性高,测斜数据准确。近钻头测斜数据与 MWD 静止测量数据一致性高(偏差 0.2° 以内),能准确地反应工具实时造斜率的情况。高成功率的指令发送和稳定的造斜率确保了井眼轨迹的精确控制。

4.2 随钻测井

随钻测井工具 Drilog 稳定性良好,入井工具作业成功率 100%。随钻测井实时数据能较好地划分储层、非储层,判断油水性质,在保证数据量的情况下可以进行地质导向,测井质量满足油藏及钻井作业要求。工具内存数据可靠有效,可以对储层进行定性及定量分析,测井资料质量达到甚至超过了中海油服 FEWD 的 GR/电阻率。

4.3 性能参数对比

表3为国产 Welleader 工具旋转导向工具与目前全球主要的斯伦贝谢、哈里伯顿以及贝克休斯旋转导向工具的性能对比,可知国产 Welleader 工具控制精度、造斜能力等与基本达到了其他几大旋转导向工具的性能。

表3 旋转导向工具性能对比

项目	国产旋转导向	斯伦贝谢	哈里伯顿	贝克休斯
控制精度	工具面误差 < ±10°	优于 PowerDrive X6	优于 GeoPilot	等同 AutoTrak G3
造斜能力	6.5°/30 m	优于 PowerDrive X6	优于 GeoPilot	等同 AutoTrak G3
近钻头测量	动态井斜精度 ±0.2°	低于 PowerDrive Xceed	等同 GeoPilot	等同 AutoTrak G3
作业时效	ROP 最高记录 140 m	等同 PowerDrive Xceed	优于 GeoPilot	等同 AutoTrak G3
指令下传	程控分流系统	等同 PowerDrive Xceed	等同 GeoPilot	等同 AutoTrak G3

4.4 机械钻速对比

控制钻进参数,转速 100 ~ 120 r/min,排量 1600 ~ 1900 L/min,钻压 40 ~ 80 kN。对邻近已钻井进行对应层段、具有相同井眼轨迹特征,并使用斯伦贝谢旋转导向工具的井进行机械钻速统计(见表 4),可知使用国产旋转导向工具的机械钻速与邻井基本持平。

表 4 Welleader 旋转导向机械钻速对比

对比内容	W8P1	邻井 1	W2H1	邻井 2
馆陶组	30.40	29.01	30.51	33.33
东营组	20.64	25.44	25.94	20.35

5 结论

(1) Welleader 旋转导向及 Drilog 随钻测井系统在渤海某平台调整井的成功应用,达到了目前主流旋转导向的性能要求,测斜准确、测井质量满足油藏及钻井作业要求。作为在低油价下降本增效的新举措,具有较大的应用前景。

(2) Welleader 旋转导向及 Drilog 随钻测井系统仍处于初步应用阶段,虽然顺利完成作业任务,但在数据传输及近钻头测斜、作业提效、配套设备等方面还有很大的改进提效空间。

(3) Drilog 随钻测井系统功能需要进一步加强,

油田调整挖潜迫切需要高性能的地质导向、边界探测技术等先进技术。

参考文献:

- [1] 付天明. Geo-Pilot 旋转导向系统发展与应用研究[J]. 石油矿场机械, 2014, 43(5): 77-80.
- [2] 光新军, 王敏生. 新型旋转导向工具在页岩气开发中的应用[J]. 石油机械, 2014, 42(1): 27-31.
- [3] 李士斌, 王业强, 张立刚, 等. 静态推靠式旋转导向控制方案分析及优化[J]. 石油钻采工艺, 2015, 37(4): 12-15.
- [4] 和鹏飞, 孔志刚. Power Drive Xceed 指向式旋转导向系统在渤海某油田的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(11): 45-48.
- [5] 刘鹏飞, 和鹏飞, 李凡, 等. Power Drive Archer 型旋转导向系统在绥中油田应用[J]. 石油矿场机械, 2014, 43(6): 65-68.
- [6] 和鹏飞. 辽东湾某油田大斜度井清除岩屑床技术的探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(6): 35-37.
- [7] 刘鹏飞, 和鹏飞, 李凡, 等. 欠位移水平井 C33H 井裸眼悬空侧钻技术[J]. 石油钻采工艺, 2014, 36(1): 44-47.
- [8] 刘鹏飞, 刘小刚, 李凡, 等. 钻完井区域化管理模式在渤海油田的实践与应用[J]. 石油工业技术监督, 2014, 30(9): 18-20.
- [9] 侯冠中, 和鹏飞, 郑超, 等. 渤海 I27H 井饱 406.4mm 大尺寸井眼对扣打捞技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(10): 35-37.
- [10] 牟炯, 和鹏飞, 侯冠中, 等. 浅部大位移超长水平段 I38H 井轨迹控制技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2016, 43(2): 57-59.