 DOI: https://doi.org/10.12349/iser.v6i10.7903

Application of China-made 675 type Point-the-Bit Rotary Steering in the Bohai Oilfield

Genchao Qin Yulin Zhang Weihong Zhu Zhijun Jian Jianbo Jia

China Oilfield Service Limited, Beijing, 101149, China

Abstract

Through a brief description of the external structure, internal composition and working principle of the 675 type (adapted toφ215.900mm wellbore) Point-the-Bit rotary steering drilling system developed by China Oilfield Services Co., LTD., the characteristics and advantages of the directional rotary steering drilling system are introduced. Finally, through the application of the 675 type Point-the-Bit rotary steering in the Bohai Oilfield, the Point-the-Bit rotary steering drilling system was analyzed in terms of well trajectory control, continuous well deviation measurement near the drill bit, and geological steering control. The results show that the trajectory control of this set of 675 type Point-the-Bit rotary steering drilling system meets the trajectory requirements of directional Wells. The trajectory control tasks such as increasing inclination, reducing inclination, twisting orientation, and stabilizing inclination and orientation were successfully completed, and the system application achieved good results.

Keywords

Point-the-Bit Rotary Steering;Well trajectory control;Offshore oil fields

国产 675 型指向式旋转导向在渤海油田的应用

秦根朝 张玉霖 朱伟红 菅志军 贾建波

中海油田服务股份有限公司，中国 · 北京 101149

摘 要

通过对中海油田服务股份有限公司研制的675型（适应ϕ215.900 mm井眼）指向式旋转导向钻井系统外部结构、内部组成以及工作原理的简要说明，介绍了指向式旋转导向钻井系统的特点与优势。最后通过675型指向式旋转导向在渤海油田的应用，进行了指向式旋转导向钻井系统在井眼轨迹控制、近钻头连续井斜测量以及地质导向控制等方面的分析，结果表明该套675型指向式旋转导向钻井系统轨迹控制满足定向井轨迹要求，成功完成了增斜、降斜、扭方位、稳斜稳方位等轨迹控制任务，系统应用取得了良好效果。

关键词

指向式旋转导向；井眼轨迹控制；海上油田

1 引言

在油气钻井尤其是水平井、大位移井作业中，传统导向技术难以兼顾 “钻井效率”与“轨迹精度”，而旋转导向技术（Rotary Steerable System，简称 RSS）作为新一代精准导向技术，通过实时动态调整井眼轨迹，实现了“边旋转、边导向”，成为提高储层钻遇率、降低钻井成本的核心技术之一[1-3]。

长期以来旋转导向钻井工具主要掌握在哈里伯顿、贝克休斯、斯伦贝谢国外石油公司中。为顺应科技强国、在关键领域突破卡脖子技术目标，国内公司近些年加快旋转导向工具的研发力度，以中海油研发的旋转导向为例，2015 年 Welleader 推靠式旋转导向钻井工具开始在海上油田小规模应用，打破国际垄断，成为国际上第四家掌握这项技术的公司，2024 年 675 型指向式旋转导向开始在渤海油田实际应用，第一批几口井的成功应用，为后续作业开了一个好头，也为该工具的全国推广普及打响了第一枪，提升了自研工具的信赖度，为油田增储上产、降本增效提供更多措施。

【基金项目】中国海洋石油集团有限公司重大科技项目“旋转导向谱系化技术与产业化研究”（KJGG-2022-1402）。

【作者简介】秦根朝（1993-），男，中国河北邢台人，硕士，工程师，从事旋转导向钻井研究。

2 675 型指向式旋转导向钻井系统简介

指向式旋转导向系统是一种全旋转、不推靠井壁和适用于复杂地质环境的定向钻井工具。指向式旋转导向系统具有不依赖井壁和地质环境的造斜机制、具有高速全旋转捷联式控制系统和系统快速响应等优点。

2.1 系统组成和功能

指向式旋转导向系统的结构组成如图 1 所示，主要由钻铤、发电机总成、姿态测量模块、测量控制单元、偏转总成和导向轴六部分组成。钻铤是整个系统主体，是系统的承载部件，负责传递钻压、扭矩、拉力等，其余部件安装在钻铤内部。

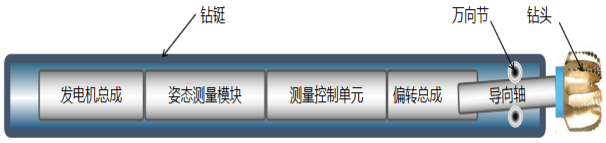


图 1 指向式旋转导向系统结构组成

发电机总成由导轮、涡轮、转子线圈、定子线圈和励磁线圈五部分组成，负责为整个系统供电。

姿态测量模块由三轴加速度计、三轴磁通门和 MEMS 陀螺仪组成，负责测量近钻头井斜、方位、工具面、钻铤转速等参数，为轨迹控制和电机控制提供参考。

测量控制单元主要由电源模块、传感器信号处理模块、电机驱动控制等电路模块组成，负责电源系统管理、轨迹控制参数计算、电机驱动控制等。

偏转总成主要由导向执行机构、电机、偏心轴、轴承组和压力平衡单元组成。

万向节可以实现等速传递，导向轴通过万向节，与钻铤运动耦合。

2.2 系统工作原理

发电机是整个仪器的电力来源，选用的是泥浆涡轮发电机，其中的涡轮在钻井液的驱动下，带动转子切割磁力线来发电，通过整流稳压后为系统提供稳定电源。姿态测量模块位于探管部分，可对井斜、方位、工具面及钻铤转速等参数进行实时测量。测量控制单元位于测控电子舱，可对传感器测量的姿态数据进行处理并对电机进行驱动控制以达到调整工具角面的作用，偏转总成中电机的输出轴与偏心轴相连，偏心轴使导向轴与钻铤轴线之间形成固定的导向夹角 θ，使钻头偏向井眼一侧。指向式旋转导向系统可以在连续旋转钻柱的同时保持所需的方向，完成钻头偏置，实现定向钻井功能。

3 技术应用

3.1 现场应用

在完成实验井实钻试验后，2024 年，675 型指向式旋转导向钻井系统在渤海油田累计完成 4 口定向井及水平井生产作业。生产作业累计进尺 1617 m，最大井斜 92.4°，最大造斜率 5°/30m，最大井深 2779 m，累计循环时间 64.8h，平均钻遇率 95.8%，应用效果良好。675 型指向式旋转导向钻井系统在渤海油田生产作业数据如表 1 。

表 1 作业数据统计

井名	循环时间（h）	最大井斜（°）	造斜率（°/30m）	进尺 (m)	井段 (m)
A1	18.36	92.40	5.0	249	2037~2286
A2	13.23	91.25	4.3	368	2411~2779
A3	17.74	90.86	2.5	456	2031~2487
A4	15.47	91.68	2.5	544	1982~2526

3.2 钻具组合及钻井参数

以 A 1 井为例，钻具组合为：ϕ215.900 mm PDC 钻头 + ϕ171.450 mm 指向式旋转导向 + ϕ171.450 mm 电阻率伽马测井仪 + ϕ171.450 mm（随钻测量仪 + 工程参数测量仪）+ ϕ171.450 mm 高速泥浆脉冲器 + ϕ165.100 mm 滤网 + ϕ165.100 mm 浮阀 + ϕ171.450 mm 无磁钻铤 + ϕ165.100 mm 震击器 + ϕ127.000 mm 加重钻杆 *14 根 + ϕ127.000 mm 钻杆。使用 BEST 的 TS616 型号钻头，水眼采用 7×16。

钻井参数：转速为 80~120 r/min，排量为 1800~2200 L/min，钻压为 40~80kN。

3.3 井眼轨迹控制效果

在 A1 井作业中，作业井段井斜角变化 88.94~92.40°，方位角变化 298.88~303.53°，定向钻井轨迹控制良好，满足设计要求。作业过程中，675 型指向式旋转导向钻井系统表现稳定，成功完成了增斜、降斜、扭方位、稳斜稳方位等轨迹控制任务，最终，指向式旋转导向成功命中预定靶点，实现了对井眼轨迹的高精度控制。在东营组砂泥岩交互地层使用 70% 导向率即可实现 5°/30 米的稳定造斜率，表现出了优异的造斜性能。钻进过程中仪器全程高速旋转，平均钻速 36.9 米 / 小时，较邻井提速 10% 以上，提高作业时效的同时取得了储层钻遇率 100% 的优秀成绩。指向式旋转导向近钻头动态连续井斜测量数据与随钻测量仪静态井斜测量数据一致性很好，如图 2 所示。

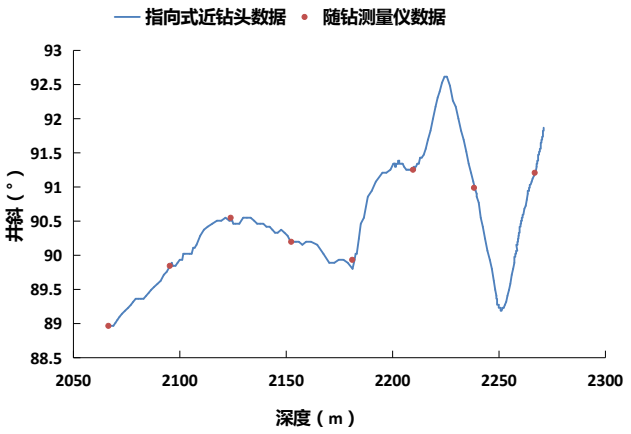


图 2 A1 井近钻头动态测量与随钻测量仪静态测量数据对比

A2 井作业过程中，在水平井段的砂岩段，2430-2460m 井段，按照设计增至 89.5° 左右；2460-2520m 井段，地质

要求稳斜；2520-2580m 井段，地质要求井斜增至 91° 左右；2580-2660m 井段，地质要求井斜降至 88° 左右；2660-2779m 井段，地质要求井斜增至 89° 左右；钻进至 2779m，油藏通知完钻，本井结束。作业过程中，指向式旋转导向仪器能够很好地按照指令实现井眼轨迹的调整，满足地质导向和钻井施工的控制需求，如图 3 所示。

A2 井水平段平均钻速 67.98 米 / 小时，水平段钻遇率：钻进井段 368m，其中砂岩 352m，钻遇率 95.65%；造斜率分析：砂岩段 50% 导向率造斜率在 3.8-4.3°/30m；10% 导向率造斜率约 1.3°/30m；20% 导向率造斜率约 2°/30m。

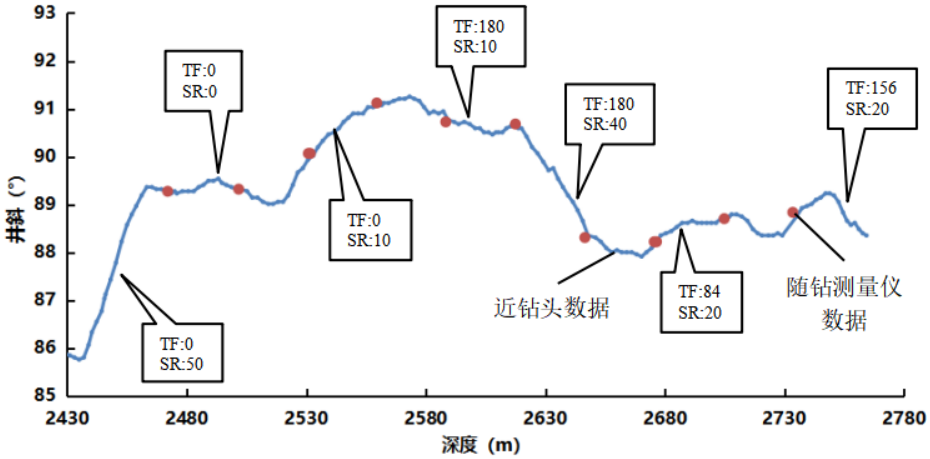


图 3 A2 井水平段井眼轨迹调整

3.4 地质导向控制效果

以 A3 井为例，目的层为明化镇组下段Ⅲ油组 2 小层 11-1644 砂体，累计进尺 456m，钻遇砂岩 369m，砂岩钻遇率 81%。根据探边指导轨迹距离顶界面 2 米左右钻进，轨迹前部储层顶界面剧烈下倾导致轨迹蹭顶，降斜后重回储层；轨迹后部储层顶界面下倾，但由于要维持 7m 的避水线，井斜调整受限，导致钻遇顶部泥岩，经商议后降斜追回储层，且钻遇砂岩长度达 369m，已满足油藏需求，决定完钻。

A3 井钻至测深 2031m，井斜 87.5° ，垂深 1665.45m，钻过水泥塞，要求按设计尽力增斜至 90° ，待探边有显示再做进一步调整。

测深 2130m，井斜 88.86deg，垂深 1666.80m。电阻率升高至 13ohmm 左右。探边结果显示钻头已进入储层中，且距离储层顶 2m 左右，为保证至少 7m 的避水高度，决定增斜至 90.5° ，边钻进边观察地层情况。

测深 2310m，井斜 89.87° ，垂深 1665.82m。电阻率在 6ohmm 左右。探边结果显示轨迹位于储层顶部边界，结合地震剖面判断该段储层物性变差，决定向西扭方位 2° ，同时降斜至 89° 钻进。

测深 2390m，井斜 88.7° ，垂深 1666.75m。电阻率在 15ohmm 左右。探边反演结果显示井轨迹重回储层，为上探储层顶部构造，决定增斜至 90° 钻进。

测深 2487m，井斜 90.5° ，垂深 1666.91m。根据探边结果判断钻头已从储层顶部钻出，由于水平段已满足油藏需求，该井着陆完钻，地质导向控制效果良好。

4 结语

中海油服自研 675 型指向式旋转导向钻井系统在渤海油田 4 口井作业过程中，仪器工作稳定，指向式旋转导向工具能够按照地面发送的指令进行钻井工作，可以满足地质油藏指令要求。

测量数据准确可靠，能够满足井眼轨迹在油层中位置判断的需要，在造斜率范围内，实时控制井斜角，有效保证钻头在油层最佳位置钻进，近钻头动态连续井斜测量数据与随钻测量仪静态井斜测量数据一致性好。

随着井眼结构和井下环境越来越复杂，常规钻井技术受限，指向式旋转导向钻井系统的成功应用，展现了其可靠性及高效性，大大拓展商业化应用，具有较大的应用前景。

参考文献

[1] 冯定,王鹏,张红等.旋转导向工具研究现状及发展趋势[J].石油机械,2021, 49(07):8-15

[2] 王敏生,光新军.定向钻井技术新进展及发展趋势[J].石油机械,2015, 43(07):12-18.

[3] 薛启龙,丁青山,黄蕾蕾.旋转导向钻井技术最新进展及发展趋势[J].石油机械,2013, 41(07):1-6.