

# Optimization and Application of PDM for Shale Gas Development in Deep Well

Guobin Yang Haochen Han Wanjun Li Huifeng Liu Guobin Zhang

CNPC Engineering and Technology R&D Company Limited, Beijing, 102206, China

## Abstract

The development of shale gas in North America is dominated by ultra-long horizontal wells, highly abrasive hard formations, abnormal high pressure, the use of conventional screw drilling tools, weak deflection ability, low penetration rate, small torque, and frequent tripping and tripping, which restrict development benefits. In view of the above problems, the high performance equal-wall thickness screw drilling tool suitable for this area is selected, and the operation efficiency is greatly improved, the drilling cycle is shortened, and the operation cost is reduced. The research results were applied to 8 Wells, of which 4 Wells successfully ran "one trip" each. After optimization design, the average drilling cycle was reduced by 42.6% and the average ROP was increased by 38.5%, showing significant application effects.

## Keywords

high performance motor; shale gas; deep well; engineering parameter

# 深井页岩气开发螺杆钻具优选与应用

杨国彬 韩昊辰 李万军 刘会峰 张国斌

中国石油集团工程技术研究院有限公司, 中国 · 北京 102206

## 摘要

北美深层页岩气开发以超长水平井为主, 高研磨硬质地层, 存在异常高压, 使用常规螺杆钻具, 造斜能力弱、机械钻速低、扭矩小、起下钻频繁, 制约的开发效益。针对以上问题, 优选出适合该地区的高性能等壁厚螺杆钻具, 并配合钻井参数优化, 大幅提高了作业效率, 缩短了钻井周期, 降低了作业成本。研究成果应用了 8 口井, 其中 4 口井实现各开次“一趟钻”, 经过优化设计, 实现钻井周期平均下降 42.6%, 平均机械钻速提高 38.5%, 应用效果显著。

## 关键词

螺杆马达; 页岩气; 深井; 工程参数

## 1 引言

近年来, 深层页岩气开发已取得了长足发展, 但工程上仍存在一些技术问题, 钻头和螺杆钻具使用寿命短, 起下钻频繁, 严重影响了作业效率, 尤其在造斜段钻遇易破碎性地层, 狗腿度大, 造斜能力低。根据已完钻的 91 口水平井统计结果, 二开高研磨硬质地层使用螺杆根 3~4 根, 三开需用 2~3 根螺杆。通过有针对性的分析研究, 开展螺杆钻具优选及参数优化设计, 为高效钻井提供技术支撑, 并取得了较好的现场应用效果。

【基金项目】中国石油天然气集团“十四五”重大科技项目“海外高温高压深井钻井提速技术研究与应用”(项目编号: 2021DJ3403)。

【作者简介】杨国彬(1971-), 男, 本科, 中国北京人, 高级工程师, 从事海外钻井技术研究和支撑工作。

## 2 地质及工程特点

深井钻井地质条件复杂, 表层地层松软、存在砾石, 40m 左右普遍发生漏失, 盲打至 70m 易发生钻井液失返。二开地层以页岩和砂岩为主, 间杂石灰岩和白云岩, 地层均质性较差, 硬度为中硬~硬。三开储层段地层研磨性强、可钻性级别高, 且属于异常高压。

## 3 螺杆钻具优选

页岩气开发中, 通常采用螺杆钻具, 在直井段具有显著的提速作用, 单弯螺杆钻具则常用于井段造斜, 纠斜以及扭方位施工, 这使得螺杆钻具在页岩气井使用能极大地增加单钻头进尺, 提高机械钻速, 减少钻井时间。螺杆钻具已基本成为北美页岩气钻井中的标配<sup>[1]</sup>, 螺杆钻具的选型对工程提速差别很大。

### 3.1 等壁厚螺杆钻具情况

与常规螺杆钻具定子不同, 等壁厚螺杆钻具定子实现

了橡胶层的均匀厚度，改善了螺杆工作时散热性能，不会产生热积聚效应，减缓了橡胶的热老化，提高工具使用寿命；薄且壁厚均匀的橡胶层在运动过程中抗变形的能力强，因而单级承压高；等壁厚定子橡胶衬套溶胀、温胀均匀，能较好地保证钻具的型线，提高密封性能<sup>[2]</sup>，增强转子/定子共轭副密封性，提升马达单位长度输出扭矩<sup>[3]</sup>。

### 3.2 等壁厚螺杆对比

为应对常规螺杆寿命低、起钻频繁的问题，众多油服企业及螺杆供应商都研发了定子等壁厚螺杆。

#### 3.2.1 斯伦贝谢 DynaForce DTX 系列

斯伦贝谢 DynaForce DTX 系列基于一种创新型高扭矩传输驱动轴设计，可大幅提升恶劣地层条件下的钻进效果。其薄壁设计可通过增加输出功率来获取最大的机械钻速，减小螺杆失速同时还可提升导向效率<sup>[4]</sup>。此外，动力单元和底部功能单元一体化设计，可以有效提升工具的可靠性，尤其是对硬地层和多夹层地层有着很好的应用。

DynaForce DTX 系列主要技术参数见表 1。

表 1 DynaForce DTX 系列主要技术参数

配置	7/8 头, 3~4 级
外径	6 3/4 inch
转速	80~175 rpm
流量	1135~2460 L/min
最大扭矩	18660 N.m
失速扭矩	24540 N.m
最大功率	360kW
长度	8m

#### 3.2.2 NOV Vector50 DTX 系列

NOV Vector50 DTX 系列螺杆钻具采用万向节设计，特点是扭矩传递面和传动轴直径比传统的轴径大 25%。更大的传动轴使电机能提供特殊的扭矩能力和可靠性。与 100% 过流技术相结合，可实现最大的钻井效率<sup>[5]</sup>。

NOV Vector50 DTX 系列主要技术参数见表 2。

表 2 NOV Vector50 DTX 系列主要技术参数

配置	7/8 头, 3~4 级
外径	5~7/8, 7~1/8 inch
钻头距定子距离	2.6m
100 转时钻压	56000lbs
300 转时钻压	41000lbs
接头	REG

#### 3.2.3 哈里伯顿的 GeoForce XL 系列

HLB 的 GeoForce XL 系列<sup>[6]</sup>可提供更大的扭矩输出，设计有坚固的泥浆润滑或密封轴承总成。与常规螺杆钻具相

比，可多提供 80% 的功率，增加 65% 扭矩及负载增加 50% 的工作压差。该产品应用会减少起钻次数、增大进尺并有助于提速。

GeoForce XL EvenWall 定子和整机示意图见图 1。



图 1 GeoForce XL EvenWall 定子和整机示意图

### 3.3 等壁厚螺杆优选结果

通过对比，优选 HALLIBURTON 的 GeoForceXL 马达<sup>[7]</sup>，并将常规橡胶定子优化为 EvenWall 等壁厚定子，增强了在高温高压环境下的稳定性，减少了震动，延长了钻头 and 马达的寿命。对比传统马达勉强在 580psi 的压差下工作，GeoForceXL 可在 940psi 压差下保持稳定，最高可达 1160psi，扭矩增加 70%，钻压增加 100%，能够在破碎地层中保持较高的造斜率，实现造斜段和水平段一起钻进。

## 4 钻具组合及参数优化

### 4.1 钻具组合

通过不断总结和优选，基本形成了成熟的各井段钻具组合提速定向配套工具。

表层：349.3mm PDC 钻头 +241.3mm 马达 +NMDC+ MWD+NMDC+ 减震器 +X/O+165mm 钻铤 + 震击器 + 165mm 钻铤 +X/O++114mmHWDP。

中间段：222mmPDC 钻头 +194mm 马达 +NMDC+ MWD+NMDC+ 过滤短节 +X/O+114mm HWDP+ 震击器 + 114mmHWDP+101.6mm 钻杆 +114mmHWDP。

造斜段 + 水平段：171.5mmPDC 钻头 +123mm 马达 + 无磁 PONY+NMDC+MWD+ 无磁 DC+ 过滤短节 + 114mmHWDP+ 震击器 +114mmHWDP+101.6mm 钻杆 + 114mmHWDP+101.6mm 钻杆。

### 4.2 工程参数优化

优选钻具组合后，根据现场设备的作业能力、工况及大量历史数据，对水力参数进行优化。将排量由 0.9 m<sup>3</sup>/min 提升至 1.1m<sup>3</sup>/min，泵压由 27MPa 优化到 41MPa，提高循环能力，确保水平段井眼清洁，减少岩屑床的形成；钻压由 8~9 吨提高至 13~14t，转速由 50rpm 提升至 100rpm，有效提升钻头的破岩能力以及钻进效率。通过钻井参数的优化，

水平段机械钻速由 15m/h 提升至 49m/h, 效果明显。

表 3 钻井参数优化对比

参数	优化前	优化后
钻杆尺寸	102mm	114mm
排量	0.9 m <sup>3</sup> /min	1.1m <sup>3</sup> /min
立压	27MPa	41MPa
钻压	8~9t	13~14t
转速	50rpm	100rpm
密度	1.85g/cm <sup>3</sup>	1.60-1.85g/cm <sup>3</sup>
导向工具	马达	旋转导向+马达
钻头	MSi513UPX	SK413M-A1D
水平段长	1590m	>3140m
水平段钻速及进尺	15m/h, 578m	49m/h,3500m

## 5 结语

通过优化研究和实践, 形成了适合北美页岩气高效开发的“高性能螺杆 GeoForce XL 马达+高效 PDC”配套系列工具, 效果显著: 北部区块表层钻速 76m/h, 直井段 9~45.7m/h, 水平段达到 16.8m/h; 南部区块表层钻速 39.6m/h,

直井段 9~35.4m/h, 水平段达到 13.4m/h, 2020 年全井平均机械钻速达到 25m/h。单井钻井周期从 49 天缩减到 28 天, 工程提速 42.9%, 其取得的良好经济效益可以为国内的非常规油气的开发提供了借鉴。

## 参考文献

- [1] 陈思,郭东涛,孙玉龙.螺杆钻具的研究进展及变化趋势[J].长江大学学报(自然科学版)理工卷,2010,7(3):317-319+749.
- [2] 习玉阳.等壁厚螺杆钻具的研制与现场应用[J].石油和化工设备,2018,21(4):14-15+18.
- [3] 李萌,于兴胜,罗西超,等.螺杆钻具的前沿技术[J].石油机械,2011,39(9):19-22+46.
- [4] Dyna, Force DTX Thin-wall Motor[M].Schlumberger,2018.
- [5] Vector Series 50 Drilling Motor Tool specification[M].NOV,2019.
- [6] GeoForce, Motor Saves Operator 7.5 Drilling Days with Fewest Number of Bit Runs in History of Field [M].Halliburton,2017.
- [7] NitroForce™ High-Torque, High-Flow Motor Reliably drill faster wells to reduce well time [M].Halliburton,2020.