

# Application of Rotary Geological Steering Technique in the NP-8 Three-Dimensional Horizontal Well

Wanqing Wang, Guang Yang, Fengjun Tian

Changqing Drilling Corporation, Chuanqing Drilling& Exploration Co. Ltd., Xi'an Shaanxi  
Email: wwq1964yc@163.com

Received: Mar. 20<sup>th</sup>, 2020; accepted: Apr. 15<sup>th</sup>, 2020; published: Apr. 22<sup>nd</sup>, 2020

---

## Abstract

Rotary geological steering technique is the tip automatic drilling technology with the combination of geosteering technology and rotary steering technology. In the drilling of 3D evaluation horizontal well NP-8, rotary geological steering technique is applied to lithology identification while drilling, oil and gas properties recognition technology, geological modeling and real-time tracking, real-time adjustment. It effectively controlled the accurate landing and targeting of 3D well trajectory, extended 1835 m in the thin layer and provided data support for the effective governance of downhole accidents. It provides a reference for the application of rotary geosteering technique in 3d horizontal drilling in tight reservoir.

## Keywords

Geosteering Technology, Rotary Steering, Logging While Drilling, Hole Trajectory Controlled

---

# 旋转地质导向技术在NP-8三维水平井钻井中的应用

王万庆, 杨光, 田逢军

川庆钻探工程有限公司长庆钻井总公司, 陕西 西安  
Email: wwq1964yc@163.com

收稿日期: 2020年3月20日; 录用日期: 2020年4月15日; 发布日期: 2020年4月22日

---

## 摘要

旋转地质导向技术是旋转导向技术与地质导向技术的有机结合形成的尖端自动化钻井技术。在三维评价

水平井NP-8井钻井中成功应用随钻岩性识别、随钻油气特性识别技术以及地质建模、实时跟踪、实时调整导向工具姿态的旋转地质导向技术,有效地控制三维井眼轨迹准确着陆、精确入靶,并在薄主力油层中延伸1835米。并为有效治理井下复杂事况提供数据支持。为后继旋转地质导向技术在致密油藏三维水平井钻井中的应用提供了借鉴作用。

## 关键词

地质导向技术, 旋转导向, 随钻测井, 井眼轨迹控制

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

旋转地质导向技术主要将旋转导向钻井技术与随钻测井技术及油藏工程技术三者有机合为一体形成的一项尖端自动化钻井新技术[1]。该技术采用先进的旋转导向钻井技术,配以随钻测井仪器,地面软件系统和工程技术专家团队。在使用旋转导向技术进行钻井过程中,通过对传输的随钻测井仪器测量的地质/工程参数[2] [3]等数据,应用随钻岩性识别技术、随钻油气特性识别技术等,及时更新地质构造模型、实时解释,控制和调整待钻井眼轨道设计,使井眼轨迹以最佳路线在油藏内钻进。以达到优化水平井轨迹在储集层中位置,降低钻井风险、提高钻井效率、实现单井产量和投资收益的最大化和以钻井方法提高采收率的目的[4]。

## 2. NP-8 井基本设计情况

NP-8 井位于甘肃省宁县界内,是长庆油田公司部署在伊陕斜坡构造上的一口三维评价水平井。NP-8 井设计井深 3580 米,水平段长 1800 米,靶前位移 300 米,偏移距 127 米,入窗垂深 1572 米,完钻垂深 1596 米,目的层为三叠系上统延安组长 7 地层。预计地层压力系数在 0.58~0.97 之间(图 1 和表 1)。

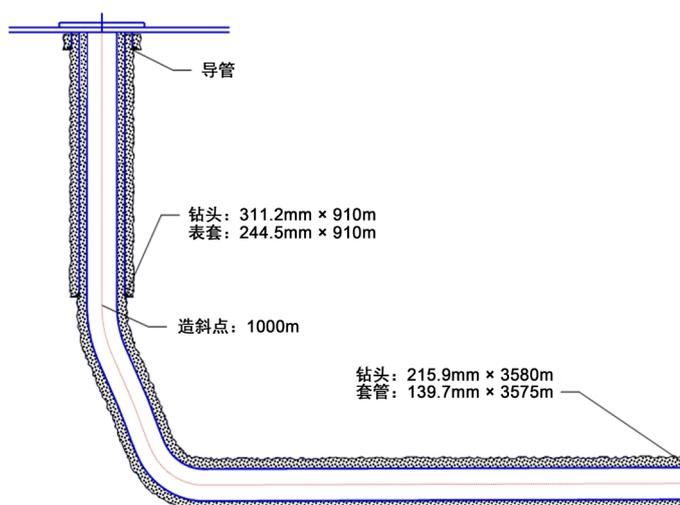


Figure 1. Design borehole structure diagram

图 1. 设计井身结构示意图

**Table 1.** Horizontal well profile design sheet  
**表 1.** 水平井剖面设计数据表

测深(m)	段长(m)	井斜变化率 (deg/30m)	方位变化率 (deg/30m)	井斜(deg)	网格方位 (deg)	视平移(m)	垂深(m)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1000.00	1000.00	0.00	0.00	0.00	124.95	0.00	1000.00
1136.40	136.40	4.50	0.00	20.46	124.95	-17.61	1133.52
1162.40	26.00	0.00	0.00	20.46	124.95	-24.25	1157.88
1540.00	377.60	3.34	-6.65	50.27	349.99	80.54	1490.28
1780.30	240.30	4.86	0.25	89.24	348.01	300.28	1572.11
3579.76	1799.46	0.00	0.00	89.24	348.00	2099.58	1596.01

## 2. 旋转地质导向技术应用

NP-8 井从 915 米下入由  $\Phi 215.9$  mm PDC 钻头 +  $\Phi 172$  mm 旋转导向工具 +  $\Phi 172$  mm 螺杆钻具 +  $\Phi 172$  mm 随钻测井仪器 +  $\Phi 212.7$  mm 无磁稳定器 +  $\Phi 127$  mm 无磁钻杆  $\times 1$  根 +  $\Phi 127$  mm 加重钻杆  $\times 15$  根 +  $\Phi 127$  mm 钻杆组成的钻具组合。

旋转地质导向工具主要由 AutoTrak 旋转导向工具 + 高动力模块马达 + 电磁波电阻率/方位伽马成像/压力随钻测井传感器模块-OnTrak + MWD 随钻测量脉冲器/发电机 + 中子孔隙度/密度随钻测井仪器组成。如下图 2 和表 2 所示：



**Figure 2.** Rotate the geosteering tool  
**图 2.** 旋转地质导向工具

**Table 2.** Rotate the geosteering drilling logging system measurement parameter list  
**表 2.** 旋转地质导向随钻测井系统测量参数表

测量项目	数据类型	测量项目	数据类型
井斜、近钻头井斜	工程数据	伽马成像	测井数据
方位、旋转方位		电磁波电阻率(8 条)	
工具面		补偿中子	
井温	密度成像		
井下轴向、纵向、沾滑震动	安全数据	超声井径成像	
环空压力、当量循环密度	常规数据		
泵压、大勾载荷			

## 2.1. 造斜、纠偏井段轨迹控制

造斜段是水平井井眼轨迹控制的基础井段,只有把斜井段的井眼轨迹控制好,才能使水平段顺利完成[5] [6]。NP-8 井从 970 米开始定向造斜进行纠偏井段施工,控制井眼方位角  $122^{\circ}\sim 125^{\circ}$ ,造斜率在  $4.5^{\circ}/30\text{m}$  以内进行稳方位增斜钻进。当井斜角达到  $21^{\circ}$ 时,进行稳斜稳方位纠偏钻进。钻至井深 1159 米时开始进行增斜降方位井段施工,该段井眼轨迹控制控制造斜率在  $3.4^{\circ}/30\text{m}$ 、方位变化率在  $-6.7^{\circ}/30\text{m}$  左右,钻进时严格控制全角变化率在  $5.10^{\circ}/30\text{m}$  以内,保证井眼轨迹的平滑,钻至井深 1540 米时完成增斜降方位井段施工。施工全程实时拟合模拟曲线和邻井垂深曲线,修正地质模型,为准确钻入油气层创造条件。

## 2.2. 探油顶和着陆段井眼轨迹控制

从井深 1540 米进入稳方位增斜探油顶井段施工。在钻进中及时分析和对比实时检测到的实钻轨迹的随钻测井的数据,不断修正地质模型。并根据修正后的地质模型改变待钻井眼设计,及改变导向钻具的增斜率来有效控制井眼轨迹。钻至井深 1768 米,垂深 1572.01 米,井斜达到  $84.01^{\circ}$ 时,未钻遇储层,及时采取稳斜方式进行探顶钻进。钻至井深 1790 米、垂深 1574.97 米,井斜角  $84.45^{\circ}$ 准确着陆。在实际入窗垂深比设计入窗垂深下降 3 米的情况下保障了井眼轨迹精确进窗入靶(图 3)。

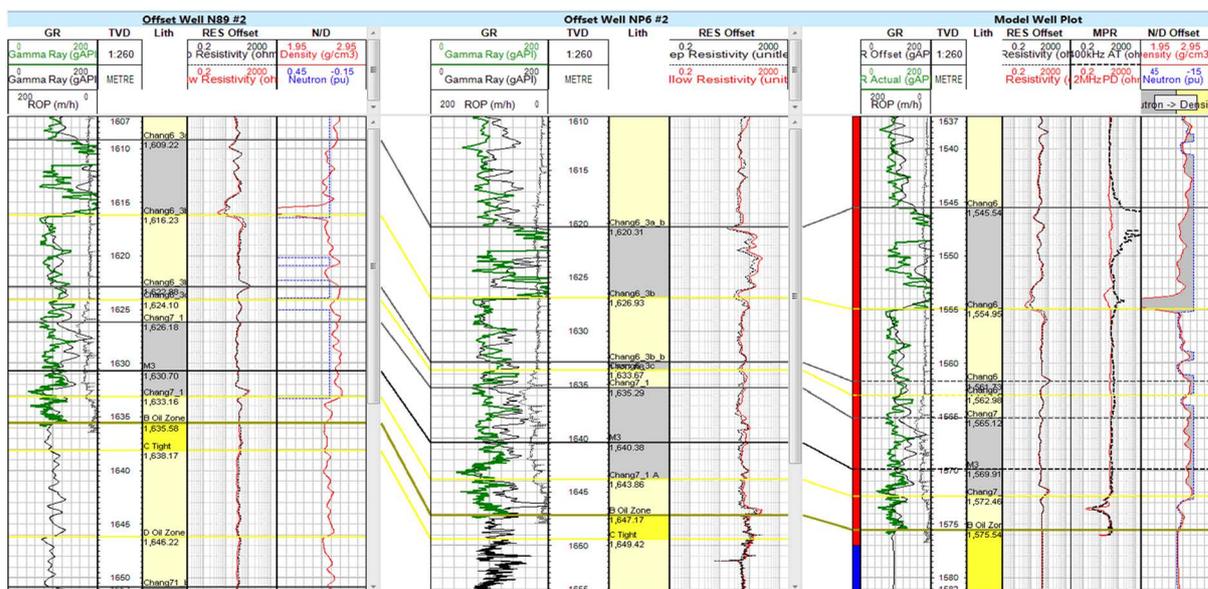


Figure 3. Logging while drilling data tables

图 3. 随钻测井数据表

## 2.3. 水平井段井眼轨迹控制

水平段轨迹控制主要通过自然伽马成像、深探测电阻率等随钻测井数据配合综合录井显示(岩屑、气测)实时计算地层倾角,准确轨迹控制追踪油层,保证井眼轨迹穿过油层最佳位置。从井深 1790 米(井斜  $84.45^{\circ}$ )精确入窗进靶后通过精确的轨迹控制,控制增斜率  $2.7^{\circ}/30\text{m}$  穿过差油层,钻至井深 1797 米(井斜  $85.06^{\circ}$ )钻遇好油层顶部后,提高导向工具造斜率为  $6.08^{\circ}/30\text{m}$ ,钻至井深 1815 米,井斜达到  $88.71^{\circ}$ (垂深 1576.59 米)后,控制导向工具增斜率  $0.53^{\circ}/30\text{m}$  保障井眼轨迹平滑的在油层延伸。钻至井深 3625 米、井斜角  $88.6^{\circ}$ 、垂深 1601.05 米完钻,水平井完井闭合方位角  $351.4^{\circ}$ ,水平位移 2152.17 米。

### 3. 旋转地质导向技术应用效果

1) NP-8 井首次应用旋转地质导向随钻成像测井技术, 安全优质完成该井二开至完钻的导向、定向、测井及解释评价一体化随钻测控服务, 实现了“一趟钻”完成了定向井段、纠斜井段、增斜扭方位井段、探油顶入窗进靶井段和水平井段的钻进作业, 共完成钻井进尺 2715 米, 平均机械钻速高达 17.51 m/h, 创造了该油田机械钻速最高纪录。

#### 2) 水平段拟合模型, 成像伽马、深探测电阻率追踪油层

在水平段钻进时依据随钻测井数据不断拟合地质模型[7], 确定钻头在地层中的位置。利用方位成像伽马判断地层上下切关系, 确定钻进方向。在 2.2 米主力薄油层中实现精确轨迹控制, 优质完成 1835 米水平段施工, 砂体钻遇率 94.29%, 油层钻遇率达 92.7% (图 4)。

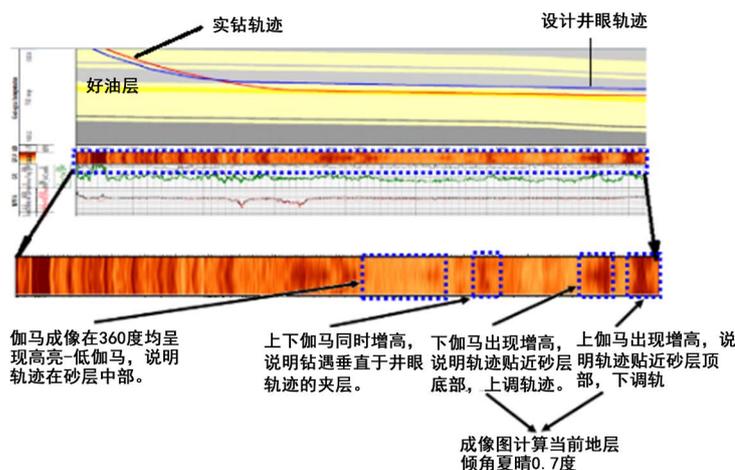


Figure 4. NP-8 while drilling azimuth gamma imaging figure sketch  
图 4. NP-8 随钻方位伽马成像图示意图

#### 3) 实时调整钻进方向, 精确控制轨迹, 实现水平段安全延伸

依据随钻实时测量近钻头井斜、旋转方位, 实时修正待钻井眼轨迹, 及时发送指令, 实时调整导向工具工作状态改变钻进方向, 大幅提高控制轨迹的精准性。由于旋转钻进改变井眼轨迹, 减小摩阻, 降低施工风险, 井眼轨迹平滑, 最大限度延长水平位移。

#### 4) 为有效治理溢流、井漏等复杂情况下提供多种数据支持

NP-8 井钻至井深 1777.68 米(垂深 1573 米)发生漏失, 瞬时漏失量达 60 方, 泥浆密度 1.25 g/cm<sup>3</sup>。粘度 48 秒。发现漏失后, 立即使用堵漏浆循环堵漏, 漏失速度 150 m<sup>3</sup>/h。在堵漏过程中井口发生溢流, 立即关井, 关井立压 0.1 MPa, 套压 2.4 MPa, 泥浆密度 1.24 g/cm<sup>3</sup>。依据关井前随钻测量井底环空压力 24.83 MPa, 计算出压井需要的泥浆密度为 1.46 g/cm<sup>3</sup>。为及时有效治理溢流提供数据支持。在压井过程中实时监测压井情况。ECD [8]在压井时出现台阶形上升至 1.5 g/cm<sup>3</sup>, 说明压井泥浆已循环至井底, 且基本与环空压力计算泥浆密度一致, 有利地指导了压井作业, 降低了钻井风险(图 5)。

### 4. 认识与结论

1) 随钻测井是旋转地质导向钻井的关键技术, 自然伽马成像测井和电阻率测量结果是卡准标志层, 精确着陆、准确入窗进靶的关键。

2) 通过应用随钻测井的实时识别岩性、探测地层分界和流体界面技术, 准确控制钻头上行或下行, 有效监控井眼轨迹的延展方向, 保持井眼轨迹在储层最佳位置延伸。

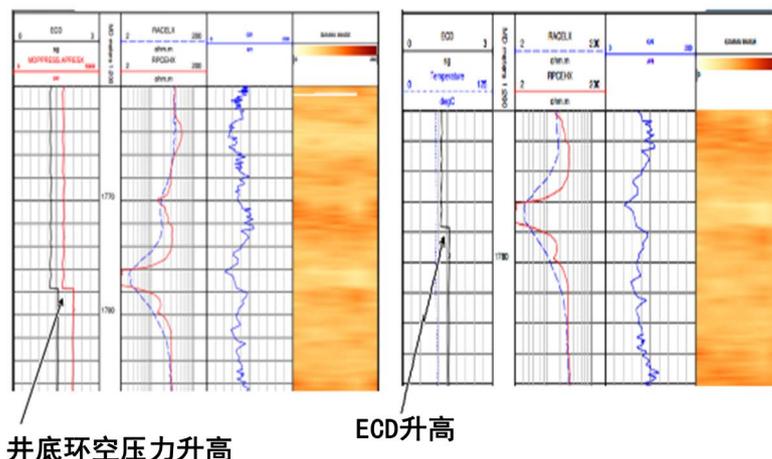


Figure 5. NP - 8 ECD measurement while drilling  
图 5. NP-8 随钻 ECD 测量示意

3) 旋转导向工具有效地将钻压传递到钻头, 提高了钻井效率, 增加了钻进速度。同时保持三维水平井井眼轨迹平滑[9], 降低了井眼摩阻与扭矩, 有利于降低钻井风险。

4) 旋转地质导向钻井应用随钻测井先进技术收集储层地质性能, 为该地区常规导向钻井中地质导向提供参考, 减少水平井段因导向问题的停等时间, 提高施工效率和油藏钻遇率[10]。

5) 随钻测井的环空压力实时监测技术能够及时预告井底压力异常, 为有效治理溢流和漏失提供技术支撑。

## 参考文献

- [1] 苏义脑. 地质导向钻井技术概况及其在我国的研究进展[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(1): 92-95.
- [2] 李一超, 王志战, 秦黎明, 等. 水平井地质导向录井关键技术[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(5): 620-625.
- [3] 荣海波, 贺昌华. 国内外地质导向钻井技术现状及发展[J]. 钻采工艺, 2006, 29(2): 7-9.
- [4] 吴奇. 地质导向与旋转导向技术应用及发展[M]. 北京: 石油工业出版社, 2012.
- [5] 岩松, 衡万全, 等. 水平井地质导向方法[J]. 石油钻采工艺, 2007, 7(29): 4-6.
- [6] 林广辉. 地质导向系统的研究与应用[J]. 中国海上油气(工程), 2000, 12(5): 39-47.
- [7] 郑雪梅. 谈水平井地质导向录井关键技术[J]. 中国科技投资, 2016(14): 161.
- [8] 张忠志, 丁红, 刘院涛. 夏 92-H 井复杂地层地质导向钻井技术[J]. 石油钻采工艺, 2014, 36(4): 6-9.
- [9] 赵景山. 胜利油田薄油层钻井技术[J]. 石油钻探技术, 2003, 31(5): 72-74.
- [10] 孙海芳, 贺赵顺, 杨成新. 超薄油藏水平井钻井技术[J]. 石油钻探技术, 2002, 30(1): 15-17.