

# 直井段偏移对后期定向钻井作业的影响分析

张瑞平, 万教育, 李彬, 付仕, 马静, 刘冬

(中国石油西部钻探定向井技术服务公司, 新疆乌鲁木齐 830026)

**摘要:**在定向井、水平井钻井过程中,直井段井身质量的控制对后期定向造斜与轨迹控制的影响往往被忽视,国内对定向井、水平井直井段井身质量要求基本是以常规直井的标准为依据,没有重视到直井段位移、井斜和方位对定向施工的影响。对于定向井、水平井来说,直井段偏移不仅对后期轨迹控制、定向施工和完井作业带来危害,同时给油田后续开发中井位的部署带来不利影响,对于平台丛式井直井段偏移可能造成井眼相碰,因此,定向井、水平井直井段控制的好与坏,将会给定向井、水平井的钻(完)井带来很大影响。本文统计分析近年完成的定向井、水平井直井段偏移情况和影响,简述直井段偏移的形成原因,对直井段不同类型偏移造成的影响进行了分析并提出了应对方案。

**关键词:**定向钻井;水平钻井;直井段;偏移;“狗腿”度

**中图分类号:**P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2019)07-0028-06

## Analysis of influence of deviation in vertical section on directional control drilling

ZHANG Ruiping, WAN Jiaoyu, LI Bin, FU Shi, MA Jing, LIU Dong

(Directional Drilling Technology Services Company of XDEC, Urumqi Xinjiang 830026, China)

**Abstract:** During drilling directional and horizontal wells, the effect of trajectory control quality of the vertical section on the trajectory control of the following directional section is usually neglected. In domestic requirements on the quality of trajectory control, the effect of displacement, inclination and azimuth on the following trajectory control of the directional section is not given necessary attention. For directional and horizontal wells, the deviation in the vertical section not only jeopardizes the trajectory control and completion operations, but also bring negative effect on the well deployment in the oilfield; meanwhile, it may lead to well collision in the vertical section of wells from the same platform. This paper analyzes the deviation results of directional and horizontal wells completed in recent years, and describes the reasons why these deviations were formed. Based on that, this paper further analyzes the effect of the deviation and gives the proposal to deal with it.

**Key words:** directional drilling; horizontal drilling; vertical section; deviation; dogleg severity

## 0 引言

由于定向井、水平井直井段的偏移问题,已经对后期轨迹控制施工作业和完井施工带来了较大的影响,出现了定向施工井段和作业时间较大增加,由于“狗腿”度的增大需要更换造斜工具来满足调整轨道设计的要求,轨迹由二维转化为三维空间轨道<sup>[1]</sup>等诸多问题。

随着近年油田勘探开发的深入,国际油价低迷,

采用高效开发模式越来越引起各油田重视,定向井、水平井技术作为一种提高油田开发综合效益的手段,在各油田开发中得到了广泛的应用,因此提高定向作业井段轨迹控制质量和钻井速度,越来越受到油田公司和工程技术公司的重视。影响定向作业轨迹控制的因素除了轨迹设计、地层因素、选择钻具组合和轨迹控制工艺外,还应考虑定向施工前期的初始井眼状况<sup>[2]</sup>,及直井段偏移情况和造斜点的初始

收稿日期:2018-09-08;修回日期:2019-06-14 DOI:10.12143/j.tkgc.2019.07.005

作者简介:张瑞平,男,汉族,1983年生,高级工程师,从事定向井钻井技术研究、设计和技术服务工作,新疆克拉玛依市鸿雁路80号定向井公司,zhrp22@163.com。

引用格式:张瑞平,万教育,李彬,等.直井段偏移对后期定向钻井作业的影响分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(7):28-33.

ZHANG Ruiping, WAN Jiaoyu, LI Bin, et al. Analysis of influence of deviation in vertical section on directional control drilling[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(7):28-33.

井斜角、方位角。

定向井、水平井施工可分为 3 个阶段实施,即直井段控制、定向轨迹控制和完井施工。定向轨迹控制井段的起始点为造斜点,造斜过程就是从造斜点开始强制钻头偏离原来方向向设计方位增斜钻进的过程,直井段的井身质量和偏移情况是后期定向作业的基础,是影响定向待钻轨迹设计和控制的关键因素,将会对后续定向轨迹控制施工和井下安全产生重要的影响。通过对近年完成的水平井、定向井直井段偏移情况总结统计,直井段偏移情况较为普遍,有必要对直井段偏移对后期作业影响进行分析研究。

## 1 直井段偏移分析

钻井工程设计中直井段设计轨道为一条铅垂线,而实际钻井施工中直井段轨迹存在井斜、方位的变化,与设计轨道有偏差,势必会出现直井段的偏移。

### 1.1 直井段偏移影响

直井段实际施工中必然会出现井斜产生水平位移,当直井段较短或水平位移较小时,影响不明显。但当直井段较长或水平位移较大时,将有很大的影响,实际轨迹控制过程中以设计轨道作为参考,制定“待钻轨迹”并不按照设计轨道去钻进,若造斜点处有一定量的井斜角,且偏移较大时必然给后期轨迹控制带来更大的难度<sup>[3-4]</sup>。定向井、水平井直井段偏移对后期作业影响主要表现在以下几个方面:(1)定向施工井段的增加,增加了定向作业时间,增加斜井段定向钻井周期和钻井成本;(2)实钻过程中为了满足设计轨道要求,势必会出现部分井段的“狗腿”度高于设计值,选择大角度导向工具组合,增大钻具入井风险;(3)影响后续井段的通井、完井施工和完井管柱的下入;(4)增大了造斜段、水平段提速、着陆、中靶和安全钻进的风险,对整体钻井提速造成了不利。

### 1.2 直井段偏移情况分类

由于定向井、水平井造斜点位置的偏差,根据偏移方向和设计方位之间的关系(参见图 1),将直井段偏移分为两类,分别为:正位移、负位移。即如果造斜点在水平投影图上的投影方向与设计方向一致时为正位移,如果相反即为负位移。直井段偏移情况与设计轨道方位  $\varphi$ 、造斜点位置的关系如表 1 所

示,造斜点位置是以网格北(Y轴)为参考,造斜点闭合方位所在的象限位置。

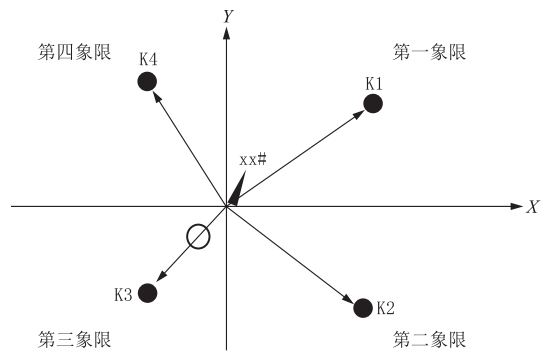


图 1 造斜点位置分布水平投影图

Fig.1 Horizontal projection of kick off positions

表 1 直井段偏移分类

Table 1 Classification of deviations in vertical sections

| 造斜点位置 | 设计轨道方位 $\varphi/(^{\circ})$ |        |         |         |
|-------|-----------------------------|--------|---------|---------|
|       | 0~90                        | 90~180 | 180~270 | 270~360 |
| 第一象限  | 正位移                         | 正、负位移  | 负位移     | 正、负位移   |
| 第二象限  | 正、负位移                       | 正位移    | 正、负位移   | 负位移     |
| 第三象限  | 负位移                         | 正、负位移  | 正位移     | 正、负位移   |
| 第四象限  | 正、负位移                       | 负位移    | 正、负位移   | 正位移     |

注:当造斜点闭合方位与设计轨道方位相差  $90^{\circ}$  时,视位移为 0,此时的偏移量是造斜点的闭合距。

### 1.3 偏移情况统计分析

通过对近年来新疆油田不同区块的 200 余口中深定向井、水平井进行统计,得出结果:直井段偏移在 40~60 m 之间的占比 15.2%;直井段偏移大于 60 m 的占 9.8%。其中,正位移情况占 52%,负位移情况占 48%。

### 1.4 定向井井眼轨迹控制分析

#### 1.4.1 定向井段计算

井眼中某一点的井斜角、方位角与设计值有偏差时,定向井段需要进行增斜扭方位施工,此时需要对定向井段和扭方位井段计算<sup>[5-6]</sup>。

工具造斜率为  $K$ ,定向井段“狗腿”度  $\gamma$ ,定向井段长度  $\Delta L$ ,前后井斜角变化  $\Delta\alpha$ ,前后方位角变化  $\Delta\varphi$ , $\alpha_c$  为该井段的平均井斜角, $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$  分别为初始井斜角和终点井斜角。行业标准推荐使用的计算公式为:

$$\gamma = \sqrt{\Delta\alpha^2 + \Delta\varphi^2 \sin^2 \alpha_c}$$

$$\alpha_c = (\alpha_1 + \alpha_2) / 2$$

$$\Delta L = \gamma / K \quad (1)$$

式中: $\gamma$ ——“狗腿”度, ( $^{\circ}$ );  $K$ ——造斜率, ( $^{\circ}$ )/30 m;  $\Delta L$ ——定向段长度, m。

由式(1)可以得到,当定向井段出现增井斜扭方位井段时,定向施工井段  $\Delta L$  与“狗腿”度为  $\gamma$  成正比关系。当二维轨迹变成三维轨迹时,需要增斜扭方位钻进,此时的“狗腿”度  $\gamma$  增大,即定向施工井段增长。

#### 1.4.2 造斜率与靶前位移的关系

靶前位移  $S$ , 曲率半径  $R$ , 定向井段长度  $\Delta L$ , 目标井斜角  $\alpha$ , 造斜率  $K$ , 如图 2 及靶前位移计算公式为:

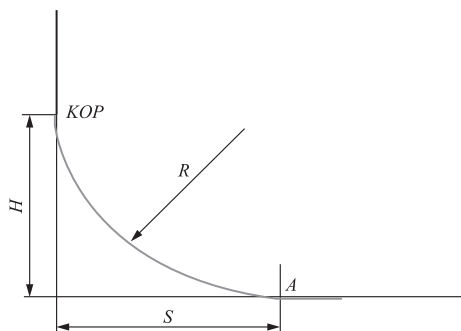


图 2 单增轨道几何图

Fig.2 Single build-up trajectory

$$S = R(1 - \cos\alpha)$$

其中:

$$R = 1/K$$

得到:

$$S = (1/K)(1 - \cos\alpha) \quad (2)$$

式中:  $S$ ——靶前位移, m;  $K$ ——造斜率,  $(^\circ)/30$  m;  $\alpha$ ——井斜角,  $(^\circ)$ 。

根据上式可以看出,在靶前位移  $S$  与造斜率  $K$  成反比关系。当靶前位移缩短时,需要更大的造斜率来达到设计要求。

## 2 直井段偏移分析

直井钻井过程中影响直井段井斜的因素可概括分为:地质因素、钻具因素和井眼扩大。地质因素是指由地层可钻性的各种不均匀性和地层倾斜引起的井斜;钻具原因导致井斜主要是钻具的弯曲和倾斜,使钻头在井底不对称切削和侧向切削;井眼扩大造成钻头轴线与井眼轴线不重合,导致井斜。由于地质因素为客观存在的,是无法改变的。所以直井段井斜主要从后两个影响因素进行控制,目前除了满眼钻具组合、钟摆钻具防斜办法,有很多新的防斜工具和工艺技术<sup>[7-8]</sup>,如垂钻、“螺杆+MWD”组合等防斜打快技术。

常规直井的井身质量要求包括井斜角、井眼曲率、水平位移 3 个方面,如都满足设计要求即为合格,但也存在一种情况,就是定向井、水平井的直井段井身质量合格,但直井段偏移较大给定向井带来造斜和轨迹控制无法按原设计执行。所以对于定向井、水平井的直井段井身质量不仅要满足直井井身质量要求,同时要考虑对后期斜井段井眼轨迹控制的影响<sup>[9]</sup>。定向井、水平井的直井段井身质量一直按现行的直井行业标准执行,对定向井、水平井来说,要求过于宽松,影响造斜与轨迹控制;其次,定向井、水平井直井井身质量对后期作业影响不被油田管理、钻井方重视,只考虑直井段的钻井速度,忽视直井段井身质量对造斜后斜井段控制和机械钻速有影响。

## 3 直井段偏移对后期施工的影响

### 3.1 负位移情况

从近年新疆油田所钻井来看<sup>[10-12]</sup>,直井段偏移为负位移的情况占比达到 48%。直井段负位移出现相当于增大了造斜点至 A 靶的位移(见图 3),定向施工井段比设计增加,延长作业井段和作业时间。其中玛湖区块某水平井直井段负位移达到 95 m,风南区某水平井直井段最大井斜  $7.2^\circ$ ,负位移达到了 62 m。

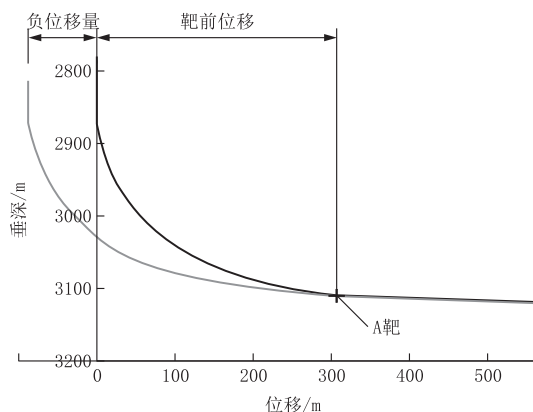


图 3 直井段负位移示意

Fig.3 Negative displacement diagram

负位移对后期施工的影响和风险:

(1)造斜井段的影响:在造斜点和靶前位移不变的情况下,造斜点至 A 靶点的井段增长。

(2)对井眼曲率的影响:为了达到设计要求,施工中需要选用比设计值更大的“狗腿”度;或者造斜点上移,延长造斜段的长度,降低“狗腿”度。

(3)对 LWD 等入井工具的影响:对地质导向井,过高的井眼曲率如果超过 LWD 工具的使用极限(见表 2),将导致无法下入 LWD 工具或存在工具裂扣的风险。

表 2 不同电阻率 LWD 仪器对“狗腿”度要求统计

Table 2 Summary of requirements of LWD with different resistivity on wellbore curvature

| 井眼尺寸/mm | 造斜段 LWD 钻具组合                    | 最大井眼曲率/<br>[(°)·(30 m) <sup>-1</sup> ] |
|---------|---------------------------------|--|
| 215.9   | SlimPulse675(斯伦贝谢)              | 9                                      |
| 215.9   | PeriScope675/TeleScope675(斯伦贝谢) | 7                                      |
| 165.1   | PeriScope/IMPulse(斯伦贝谢)         | 8                                      |
| 215.9   | FEWD650-LWD(哈里伯顿)               | 滑动 16/复合 7.5                           |
| 165.1   | FEWD350-LWD(哈里伯顿)               | 滑动 22.5/复合 10.5                        |

(4)对摩阻的影响:定向井段增长将会增加斜井段的钻柱摩阻,影响后期水平段钻进钻压传递和完井管柱的下入。

(5)钻井周期的影响:造斜施工井段的增加,延长了定向施工周期、增加了钻井成本。

### 3.2 正位移情况

从新疆油田近年所钻井来看,直井段偏移为正位移情况占比达 52%。在设计靶点不变的情况下,出现正位移减少了靶前位移,对后期定向“狗腿”度影响较大,实际定向作业过程中需要更换造斜工具来满足设计造斜率要求。

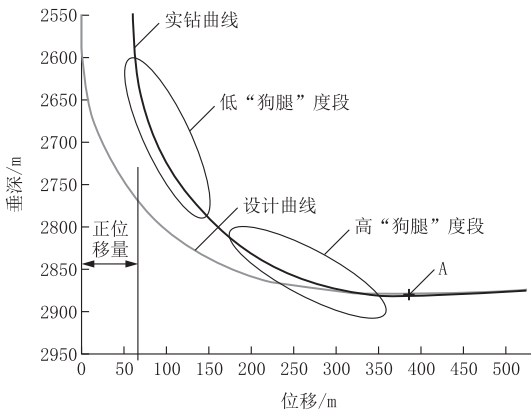


图 4 直井段正位移示意图

Fig.4 Positive displacement diagram

正位移对后期施工影响和风险:

(1)造斜施工井段影响:造斜施工井段比设计减小。

(2)对井眼曲率的影响:由式(2)可以得出,正位移情况下为满足设计要求,上部井段需较低的造斜率,下部井段需超设计的高造斜率。

(3)对入井工具的影响:下部井段“狗腿”度高,可能超过 LWD 等特殊工具的使用极限。

(4)增大后期通井、下完井管柱的施工风险。

(5)若目的层提前,存在穿出靶窗的风险。

### 3.3 靶前位移不变,偏移距较大的情况

除了正负位移情况,还有一种可能是直井段视位移很小或者为 0,靶前位移未受影响,而闭合距较大的情况。此类情况与一般的正负位移有所不同。从近年完成井来看,直井段偏移出现此类情况较多,并且对轨迹控制难度和完井施工影响较大。此类情况轨迹控制中增加了扭方位,为空间圆弧轨迹<sup>[13]</sup>,由式(1)知,“狗腿”度增大,在工具造斜率不变的情况下必然导致扭方位井段增加,加大了定向施工周期及施工难度<sup>[14-15]</sup>。

靶前位移不变、偏移距较大对后期施工的影响和风险:

(1)造斜施工井段:由式(1)得出,造斜段轨迹由二维变为三维,定向施工井段增长,并且扭方位井段长度由方位差值的大小决定,当需要扭方位的角度越大,需要定向的井段就越长。

(2)对“狗腿”度的影响:在满足设计造斜率的情况下,造斜井段需要扭方位增斜作业,需要更大的“狗腿”度。

(3)对摩阻、钻柱受力的影响:造斜段扭方位作业,增大下部井段定向过程的摩阻和扭矩,同时影响通井作业和完井管柱的下入。

(4)井身质量的影响:扭方位作业对井身质量和轨迹圆滑影响较大。

(5)钻井周期的影响:造斜施工井段的增加,延长了定向钻进时间,增加了定向施工周期。

## 4 实例分析

### 4.1 负位移

统计新疆油田完成的水平井直井段的负位移情况,增加了定向作业井段和施工的周期,以玛湖区块已完成的 3 口水平井为例(见表 3),实际造斜井段纯钻时间比计划值增加 15%~20%,由于昂贵的旋转导向(RSS)服务费用,增加的施工周期大大提高了定向作业成本。

### 4.2 正位移

新疆油田某水平井设计“狗腿”度为 5°/30 m,直井段正位移达到 61 m,占设计靶前位移的 15%



表3 玛湖部分水平井负位移情况对钻井工期影响统计  
Table 3 Summary of effect of negative displacement of Mahu horizontal wells on drilling periods

| 井号     | 造斜点闭合距/m | 实际造斜段比设计增加/m | 造斜段平均机械钻速/(m·h <sup>-1</sup> ) | 计划造斜段纯钻时间/h | 增加纯钻时间/h | 增加纯钻占计划比/% | 导向工具 |
|--------|----------|--------------|--------------------------------|-------------|----------|------------|------|
| MaHWxx | -68.46   | 60           | 2.58                           | 113.53      | 23       | 20.25      | RSS  |
| AhHWxx | -74.47   | 71           | 5.92                           | 120         | 18       | 15         | RSS  |
| FNHWxx | -62.19   | 74           | 5.32                           | 70          | 14       | 20         | RSS  |

以上,减少靶前位移情况下定向段后期实钻“狗腿”度比设计值高出20%~40%,并且施工进入造斜段后期需要更换造斜工具来满足设计造斜率要求。

通过摩阻、扭矩分析计算:与设计相比,滑动钻进时实钻摩阻增大了84 kN,增幅45.50%;旋转钻进时,实钻扭矩增大了9.21 kN·m,增幅51.45%。局部“狗腿”度大将对后期完井套管的下入造成不利影响。

#### 4.3 靶前位移不变,偏移距较大的情况

实际造斜段施工中由于方位与设计方位的差值大,并且造斜点井斜较高,增加了定向扭方位作业,造成定向施工周期增加。使用常规导向钻具大段扭方位定向作业,严重制约了机械钻速的提高,对提速提效造成不利影响,增加了钻井成本。以新疆油田已完成2口水平井为例(见表4),其中1口井直井段偏移91 m,且造斜点处井斜6°,闭合方位与设计方位相差近90°,视位移为-1.35 m。

表4 新疆油田水平井钻井工期影响统计  
Table 4 Summary of drilling periods of horizontal wells in Xinjiang Oilfield

| 井号     | 造斜点偏移/m | 实际造斜段比设计增加/m | 造斜段平均机械钻速/(m·h <sup>-1</sup> ) | 造斜段增加纯钻时间/h | 计划造斜段纯钻时间/h | 增加纯钻占计划比/% | 导向方法 |
|--------|---------|--------------|--------------------------------|-------------|-------------|------------|------|
| JLHWxx | 56.61   | 31           | 1.44                           | 21.5        | 221.3       | 9.8        | 常规   |
| JLHWxx | 91      | 79           | 1.93                           | 41          | 255.3       | 19.5       | 常规   |

通过对该井进行摩阻、扭矩计算分析:实钻摩阻、扭矩均比设计有所增大,增幅达40%~50%。主要原因是实钻在造斜点之后开始大段增斜扭方位作业,导致了钻具与井壁接触的侧向力的增大,影响了滑动定向钻进钻压的传递。

## 5 结论和建议

(1)直井段偏移对后期定向作业带来了不可忽

视的影响,因此,直井段井身质量的精细控制要比直井要求更高。

(2)直井段偏移将对定向作业井段的“狗腿”度、井身质量、轨迹控制难度、作业井段长度和施工周期造成不同程度的影响。

(3)直井段偏移正位移时,偏移量对实钻“狗腿”度和轨迹控制的影响显著,对后期作业带来非常不利的影响。

(4)造斜点位置的井斜角对后期轨迹控制带来更大难度,并且造斜点方位与设计方位的差值决定了定向扭方位井段的长度,对后期施工和完井管柱下入带来了较大的危害。

(5)建议针对定向井、水平井的直井段的井身质量控制,制定特殊的要求,同时通过优化井下钻具组合和钻井技术参数,解决直井段偏移带来的一系列问题。

## 参考文献(References):

- [1] 刘修善,郭钧.空间圆弧轨道的描述与计算[J].天然气工业,2000,20(5):44-46,47.  
LIU Xiushan, GUO Jun. Description and calculation of the well path with spatial arc model[J]. Natural Gas Industry, 2000,20(5):44-46,47.
- [2] 王清江,毛建华,曾明昌,等.定向井井眼轨迹预测与控制技术[J].钻采工艺,2008,31(4):150-152.  
WANG Qingjiang, MAO Jianhua, ZENG Mingchang, et al. Prediction and control technology of wellbore path of directional well[J]. Drilling & Production Technology, 2008,31(4):150-152.
- [3] 韩志勇.三维定向井轨道设计和轨迹控制的新技术[J].石油钻探技术,2003,31(5):1-3.  
HAN Zhiyong. The new techniques of well trajectory design and well path control fit for 3D-directional wells[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2003,31(5):1-3.
- [4] 白家祉,苏义脑.定向钻井过程中的三维井身随钻修正设计与计算[J].石油钻采工艺,1991,13(6):1-4.  
BAI Jiazhi, SU Yinao. Real time revision of design and calculation of 3D wellbore trajectories during directional drilling[J]. Oil Drilling & Production Technology, 1991,13(6):1-4.
- [5] 韩志勇.定向钻井设计与计算[M].东营:中国石油大学出版社,2007.  
HAN Zhiyong. Directional drilling design and calculation[M]. Dongying: China University of Petroleum Press, 2007.
- [6] 刘修善.井眼几何学[M].北京:石油工业出版社,2006.  
LIU Xiushan. The geometry of wellbore trajectory[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2006.
- [7] 张瑞平,张宏卓,徐广飞,等.易斜地层井斜预防与纠正技术的研究与应用[J].钻采工艺,2013,36(5):41-43.  
ZHANG Ruiping, ZHANG Hongfu, XU Guangfei, et al. Re-

- search and application of deviation control and well straightening technology in easy-to-deviation strata[J]. *Drilling & Production Technology*, 2013, 36(5):41-43.
- [8] 张瑞平,付仕,陈水新,等.螺杆带 MWD 防斜打快技术在八区的应用[J].*中国石油和化工标准与质量*, 2012, 33(10):164. ZHANG Ruiping, FU Shi, CHEN Shuixin, et al. Application of mud motors with MWD deviation prevention and quick drilling technology in No.8 Block in Xinjiang Oilfield[J]. *China Petroleum and Chemical Standard and Quality*, 2012, 33(10):164.
- [9] 丁红,宋朝晖,袁鑫伟,等.哈拉哈塘超深定向井钻井技术[J].*石油钻探技术*, 2018, 46(4):30-35. DING Hong, SONG Zhaohui, YUAN Xinwei, et al. Drilling technology for ultra-deep directional wells in the Halahatang Area[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2018, 46(4):30-35.
- [10] 李焱坤,宋朝晖,高飞,等.昌吉油田致密油长水平段水平井优快钻井技术[J].*西部探矿工程*, 2017, 29(7):89-91. LI Yankun, SONG Zhaohui, GAO Fei, et al. Optimal and fast drilling technology for horizontal wells with long horizontal sections in dense oil reservoirs in Changji Oilfield[J]. *West-China Exploration Engineering*, 2017, 29(7):89-91.
- [11] 张瑞平,徐广飞,张宏阜,等.旋转导向钻井技术在昌吉油田 JHW007 水平井中的应用[J].*石油地质与工程*, 2014, 28(6):96-97,100. ZHANG Ruiping, XU Guangfei, ZHANG Hongfu, et al. Application of rotary steering drilling technology in JHW007 horizontal well in Changji Oilfield[J]. *Petroleum Geology and Engineering*, 2014, 28(6):96-97,100.
- [12] 秦文政,党军.玛湖油田玛 18 井区“工厂化”水平井钻井技术[J].*石油钻探技术*, 2019, 47(2):15-20. QIN Wenzheng, DANG Jun. Drilling technology of factory horizontal well in Ma 18 Well Block, Mahu Oilfield[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2019, 47(2):15-20.
- [13] 刘修善,苏义脑.空间圆弧轨迹的井斜演化规律及控制模式[J].*石油勘探与开发*, 2014, 41(3):354-358. LIU Xiushan, SU Yinao. Evolution pattern and control mode of well deviation for circular-arc trajectories in space[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2014, 41(3):354-358.
- [14] 张瑞平,徐华冬,姚团军,等.合川地区丛式定向井钻井技术实践[J].*天然气技术*, 2010, 4(6):49-51,79. ZHANG Ruiping, XU Huadong. Drilling technology of cluster directional wells in Hechuan Area[J]. *Natural Gas Technology*, 2010, 4(6):49-51,79.
- [15] 刘永旺,吕杰,苗同勇,等.小井眼三维绕障定向井井眼轨迹控制技术与实践[J].*新疆石油天然气*, 2009, 5(3):61-64,7-8. LIU Yongwang, Lü Jie, MIAO Tongyong, et al. Technique and practice of controlling well-bore trajectory in three-dimensional bypass slim-hole directional well[J]. *Xinjiang Oil & Gas*, 2019, 5(3):61-64,7-8.

(编辑 韩丽丽)

## (上接第 13 页)

- [18] 罗健生,鄢捷年.页岩水化对其力学性质和井壁稳定性的影响[J].*石油钻采工艺*, 1999, 21(2):7-13. LUO Jiansheng, YAN Jienian. Impact of shale hydration on its mechanical property and borehole wall stability[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 1999, 21(2):7-13.
- [19] 郭红玉,苏现波,倪小明,等.煤层段钻井液密度窗口的确定及其意义[J].*煤炭工程*, 2009(7):70-72. GUO Hongyu, SU Xianbo, NI Xiaoming, et al. Definition and meaning of drilling liquid density window[J]. *Coal Engineering*, 2009(7):70-72.
- [20] 丁立钦,王志乔,王瑜,等.层理性地层钻井井稳定性分析模型[J].*探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2017, 44(3):1-9. DING Liqin, WANG Zhiqiao, WANG Yu, et al. Analysis model of borehole stability in bedding formations[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2017, 44(3):1-9.
- [21] 罗冠平.抑制性泥浆在新疆准毛湖煤田东部勘查区中的应用[J].*探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2018, 45(5):33-36. LUO Guanping. Application of inhibitive drilling fluid in the eastern exploration area of Naomaohu Coalfield in Xinjiang[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2018, 45(5):33-36.
- [22] 刘玉石.地层坍塌压力及井壁稳定对策研究[J].*岩石力学与工程学报*, 2004, 23(14):2421-2423. LIU Yushi. Collapse pressure and precautions for stability of wellbore wall[J]. *Chinese journal of rock mechanics and engineering*, 2004, 23(14):2421-2423.
- [23] 屈平,申瑞臣.煤层气钻井井壁稳定机理及钻井液密度窗口的确定[J].*天然气工业*, 2010, 30(10):64-68. QU Ping, SHEN Ruichen. Mechanism of wellbore stability and determination of drilling fluid density window in coalbed methane drilling[J]. *Nature Gas Industry*, 2010, 30(10):64-68.
- [24] 严俊涛,孟英峰,李辜,等.泥煤互层段井壁稳定分析新方法[J].*钻采工艺*, 2012, 35(4):19-21. YAN Juntao, MENG Yingfeng, LI Gao, et al. New method for borehole stability: Analysis of alternating layer of shale and coal[J]. *Drilling & Production Technology*, 2012, 35(4):19-21.
- [25] 孙孝刚,王聪,代敏兵,等.高瓦斯涌水超厚煤系复杂地层的钻进施工[J].*探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2014, 41(10):45-49. SUN Xiaogang, WANG Cong, DAI Minbing, et al. Drilling construction in complex formation of high gas ultra thick coal measure with water gushing[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2014, 41(10):45-49.

(编辑 韩丽丽)