

# Drilling Technology of Horizontal Section of 7 Large Inclination Reservoir in Longdong Shale Oil

Huiqiang Jiang Xiaoning Zhao Weirong Liu

Chuanqing Drilling Engineering Co., Ltd. Changqing Drilling Corporation, Xi'an, Shaanxi, 710016, China

## Abstract

Longdong shale oil horizontal well construction in the design and actual reservoir structure gap, frequent oil, drilling in long mudstone, trajectory S type, long geological cycle time, construction cycle, drilling fluid soaking time increased, prone to well wall collapse, drilling, landfill instruments, scrap footage and other complex. Based on the geological and engineering characteristics, analyzes the shale oil horizontal well length 7 dip reservoir drilling operation of the main technical problems, studied the safe drilling, smooth into the key technology of casing, and the field application, for the proven reservoir structure change, for the subsequent well and efficient development demand provides a good technical support.

## Keywords

shale oil; large inclination; horizontal section; safety

## 陇东页岩油长7大倾角储层水平段钻井技术

姜慧强 赵小宁 柳伟荣

川庆钻探工程有限公司长庆钻井总公司, 中国·陕西 西安 710016

## 摘要

陇东页岩油水平井施工中普遍存在设计与实际储层构造差距大、找油频繁、钻遇长段泥岩、轨迹呈S型、地质循环时间长等问题, 施工周期长钻井液浸泡时间增加, 容易出现井壁垮塌、断钻具、填埋仪器、报废进尺等井下复杂。基于地质、工程特点, 分析了页岩油水平井长7大倾角储层钻井作业面临的主要技术难题, 研究了安全钻井、顺利下入套管的关键技术方法, 并进行了现场应用, 为探明储层构造变化, 为后续布井及高效开发需求提供了良好的技术支持。

## 关键词

页岩油; 大倾角; 水平段; 安全

## 1 引言

鄂尔多斯盆地三叠系延长组7段是晚三叠世湖盆发育鼎盛时期所形成的一套以泥页岩类为主的烃源岩层系, 多年的综合地质研究和勘探实践, 取得了重要地质认识, 长7主力油层主要为夹持于厚层碳质泥岩和深灰、黑色泥岩的薄层砂质岩, 砂体空间上主要发育长 $7_1$ 和长 $7_2$ 小层, 受沉积相控制, 河道发育不稳定, 砂体厚度变化较大, 连片性差<sup>[1]</sup>。地层倾角约 $0.5^\circ\sim 0.7^\circ$ , 平均砂体厚度14.6m, 纵横向延伸范围有限。目前陇东页岩油已经大面积开发, 施工中经常出现设计与实际储层构造差距大、找油频繁、地层倾角 $1.6^\circ$ 以上等问题, 轨迹呈S型, 钻遇长段泥岩, 摩阻扭矩大<sup>[2]</sup>, 井下风险极高。

## 2 地质特征及钻井难点分析

### 2.1 大倾角地层存在难点

#### 2.1.1 设计与实际储层构造差距大, 地质导向困难

长7主力油层主要为夹持于厚层碳质泥岩和深灰、黑色泥岩的薄层砂质岩, 储层发育不稳定, 砂体厚度、地层倾角变化较大, 常由于油层厚度的不稳定和地层产状的微小变化导致重新钻井。特别是由于邻井资料失真、不可靠, 直接造成微构造产生变化, 加大薄油层水平段钻进中的井眼轨迹控制难度。

以华H81-3井为例, 油井水平井, 目的层长 $7_1$ , 设计井深3641m, 水平段长1400m, 为下行靶体, 设计入窗-井底垂深差4.4m。钻进至井深3022m/水平段长798m, 钻遇泥岩324m, 地质填井侧钻。井深2205~2794m, 对应垂深下调共计17.41m。钻遇泥岩后又上探找油钻至井深3210m, 对应垂深上调共计8.62m。钻遇泥岩后再次下探找油钻至井深3550m, 对应垂深下调12.5m; 设计与实钻差距大。

#### 2.1.2 钻遇长段碳质泥岩, 坍塌风险高

泥岩、页岩地层坍塌机理主要由于沉积环境影响, 岩

【作者简介】姜慧强(1980-), 男, 中国浙江江山人, 本科, 工程师, 从事钻井、勘探研究。

体抗强度很弱、强度低、结构差，脆性大、弹性模量小、裂缝发育等。区块长 7 地层泥岩主要为深灰、灰黑色泥岩和炭质泥岩，其中炭质泥岩含少量黏土矿物，为含有炭质成分的泥岩，水化能力低，水化敏感性差，易发生垮塌；在其他外力（如钻具碰撞、起钻抽吸、液柱压力降低等）作用下失去稳定性，而大倾角轨迹呈 S 型的情况下，更易发生垮塌；同时在水平段，井筒高边的井壁在没有下部支撑作用时，由于受到重力及上覆压力的作用，更易失去力学稳定性。

## 2.2 钻井技术难点

①大倾角储层，地质导向大幅度调整，轨迹呈 S 型，钻进过程摩阻扭矩大，钻进负荷大，下放及工具面的摆放困难<sup>[3]</sup>。

轨迹呈 S 型，拐点多，钻具的摩阻扭矩增大，钻具下放摩阻达到 400~600kN，扭矩达到 25000~30000N·m，停转盘倒转 8~10 圈。易发生钻具胀扣和疲劳损坏。滑动钻进时工具面无法及时调整到位，钻进效率低。

2022 年完井 7 口，平均水平段长 1446m，每口井水平段平均下地质调整指令达 45.67 次。

②钻遇长段非均质泥页岩，易发生坍塌造成划眼困难、起下钻阻卡、填埋仪器等井下复杂。里 H2-2 井，处理水平段泥岩坍塌复杂 15.5 天，提前完钻；里 H2-6 井，水平段泥岩坍塌填埋仪器一套、报废进尺。故非均质泥页岩井段的防塌及其工艺措施是该区域页岩油水平井钻井成败的关键。

## 2.3 油层套管下入摩阻大，难以保证一次顺利下到位

S 型井眼，水平段套管紧贴井壁易发生压差卡钻，经过泥岩段时易遇阻，后期套管下放摩阻最大达到 400~500kN。

## 3 水平段钻井关键技术

### 3.1 导向工具应用及钻具组合优化

#### 3.1.1 应用近钻头及旋转导向技术

推广应用随钻测井地质导向，2022 全年开钻的 9 口水平井，其中 6 口井使用随钻测井，占 2/3；因为伽马测点近钻头，井眼轨迹调整方便，有效解决了陇东页岩油水平井地质情况复杂，薄互层、非均质性强等地质特点而导致的水平井钻井钻遇率差问题，达到快速判识油层、及时进行井眼轨迹调整。

旋导钻具组合：

215.9PDC×0.2m+旋转导向×4.04m+座键接头×0.92m+信号传输短节×4.41m+随钻测量仪×6.74m+螺杆×9.6m+411×410×0.49m 回压凡尔+127HWDP6 根+……

近钻头钻具组合：

215.9PDC×0.37m+近钻头方位伽玛 430×431×0.87m+7LZ172×7.45m+回压阀×461×460×0.5m+210Stab×0.98m+461×410×0.47m+MWD×0.7m+Φ165 短无磁×2.09m+绝缘短节 411×410×0.7m+无磁钻铤 411×410×9.55m+Φ127DP+……

#### 3.1.2 钻具组合优化

螺杆或者旋转导向工具局部外径较大，与井壁的间隙

小，扶正器会直接紧靠在下井壁上，钻具的滑动托压严重；柔性钻具，使得倒装钻具不能实现加压的作用，钻具屈曲，使摩擦阻力变大，出现托压情况；S 型井眼轨迹，摩阻扭矩大，需要提高钻具本身的抗扭抗拉能力。

对策：①井口~1500m 增加 S135 钻杆来提高钻具本身的抗扭抗拉能力；②拐点段使用厚壁钻杆来提高钻具抗扭能力，减少钻具屈曲；③无磁钻杆代替无磁钻铤，降低井底钻具的刚性。

## 3.2 钻进及定向关键技术

### 3.2.1 及时调整钻井参数

在水平段钻进中，钻具紧贴下井壁，钻时明显升高，传至钻头上的钻压明显减少，同时为满足定向施工、井眼清洁的需要，要进行转盘转数、排量和钻压等钻井参数的调整，钻时与地层的可钻性关系失真，见图 1。

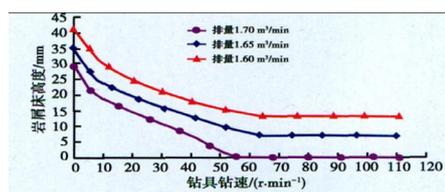


图 1 转盘转速 ( r/min )、排量对井眼净化的影响

### 3.2.2 充分活动钻具，释放钻具的扭矩

配备有顶驱扭摆系统的，可以调节使用扭摆系统提高滑动效率；在工具面摆到位后，上提下放长距离活动钻具，充分地释放钻具的扭矩；如果仍无法解决问题，在摆放工具面前，先活动钻具，开启转盘转动一段时间，再重新摆工具面。在摆放过程中，每次小幅度转动钻具、多次活动，再充分活动钻具，工具面到位后再继续调整，这样逐渐几次将工具面摆放到要求的位置，达到手动扭摆的目的。

### 3.2.3 保持井眼清洁、提高钻井液携岩能力

在强化钻井液携砂性能的同时，根据摩阻增加情况，每钻进 300m 进尺，进行一次短程起下钻，修整井壁、破坏岩屑床；每钻进 500~1000m 后，要进行一次倒划眼起钻作业，大排量循环携砂，剥离下井壁沉积的岩屑，清洁井眼，减少滑动托压现象。

充分发挥泥浆泵的功率，在起出泥岩段后，提高泥浆泵的排量，提高钻井液的上返速度，实现岩屑上返效率。

## 3.3 泥岩防塌技术

为满足水平段泥岩井壁稳定及快速钻进需求，钻井液应具有密度适当、固相含量低、抑制性与封堵性强以及润滑性良好的特性。

### 3.3.1 提高抑制性

一是控制合理的抑制剂含量，减少目的层砂岩胶结物和水平段泥岩水化分散，混入钻井液中形成的泥饼质量差，导致实际钻井液失水偏高；二是减少滤液由泥岩表面向深层

的水化侵蚀,导致的岩石强度减弱。

### 3.3.2 多级配复合封堵

由于泥页岩所含微裂缝宽幅度不同,通过加入水化膨润土+刚性粒子封堵剂(超细碳酸钙)+可变形粒子封堵剂(无渗透剂)等多级配复合封堵,提高钻井液对不同缝宽的封堵针对性,使得钻井液在微裂缝和不同孔隙表面形成一层薄而韧性的薄膜层,有效减少滤液侵入岩石深层,起到良好的随钻封堵防塌作用。

### 3.3.3 力学平衡

一是应使用合理的钻井液密度,在水平段钻遇泥岩前,优化钻井液性能,重点是逐渐提高泥浆密度至 $1.30\sim 1.40\text{g/cm}^3$ ,提高静液柱压力,降低泥岩层坍塌机率。二是防止冲刷作用导致井壁垮塌。水平段钻进,在满足携砂要求、保证环空返速的情况下,降低钻井泵排量,降低环空压耗。三是避免抽吸形成负压,起钻时严格控制速度,连续灌浆,减小抽吸作用,避免抽吸形成负压,导致井壁坍塌。

### 3.3.4 井壁稳定效果对比

应用强抑制多级配封堵钻井液技术,今年施工的9口井虽钻遇大段泥岩,但井壁稳定无坍塌,无一起因井塌造成的复杂。

华H81-3井正常钻进324m泥岩,因显示差填井侧钻。华H81-3(侧)井正常钻进442米泥页岩,其中炭质泥岩248m,伽玛显示最高360,起下钻顺利,下套管正常。华H151-3井水平段共钻遇283米泥岩,其中泥岩段连续段长162米,井壁稳定无坍塌。

## 3.4 套管安全下入的对策

由于井眼轨迹调整频繁且调整幅度较大,导致井筒摩擦阻系数较大,增大了下套管难度。为此,应用了漂浮下套管技术,并采取辅助技术措施,以保证将套管顺利下到位。

套管顺利通过弯曲段进入水平段,并不断向水平方向延伸是套管安全下入的目标。影响套管下入的三大因素:摩擦重量损失、力学重量损失、套管重量。有些井靠套管自身重量便能下入,如果不能则需要推力推动套管下行,所施加的推力就是摩擦重量损失。力学重量损失是由岩屑、井壁坍塌、台肩、压差黏卡、稳定器陷入地层等因素导致的重量损失。显然对长水平段水平井而言,减少力学重量损失是下套

管技术的关键。

①确保井眼通畅,下套管按要求通井,使用岩屑清除钻杆,水平段配置新的钻井液,并加入足够的润滑剂,确保井筒清洁。

②选择整体式扶正器,确定安装扶正器的最优间距。在安装扶正器时,应从井况和施工条件出发,选择最优间距,使扶正器所受的侧向合力尽可能地减小,扶正效果最好,套管居中程度最高;在靠近引鞋位置固定1~2个整体式扶正器,使引鞋翘起离开井壁,减小摩擦阻力。

③漂浮下套管技术。该技术是利用密封装置在管内密封一定的气体或轻质液体,以减轻整个管柱在钻井液中的重量。

以华H130-3井为例,水平段施工调整轨迹56次,轨迹呈S型,入窗后237m垂深下降2.13m,1276m垂深抬升26.08m,后又垂深下降1.41m提前完钻。接单根后下放困难,上提摩阻30~40t,下放摩阻40~60t;下套管使用长庆自研飘浮接箍,下放摩阻15~20t,效果明显。

## 4 建议

①在大倾角储层找油施工,导致水平段的井眼轨迹控制难、钻压施加难、钻井液携岩难、摩阻扭矩大、井壁稳定性差等问题。

②推广应用随钻测井地质导向,并结合现场实际进行钻具组合优化,灵活运用钻进及定向关键技术,漂浮下套管技术,实现大倾角、薄互层、非均质性强等地质特点储层的水平段找油井眼轨迹调整施工及套管的安全下入。

③长7泥页岩主要为灰黑色泥岩和炭质泥岩,非均质特征强,孔隙和微裂缝发育,极易受钻井液滤液的侵入而强度降低,失稳坍塌,强抑制多级配封堵钻井液技术可以实现区域内非均质泥页岩的安全钻井。

## 参考文献

- [1] 付金华,李士祥,牛小兵,等.鄂尔多斯盆地三叠系长7段页岩油地质特征与勘探实践[J].石油勘探与开发,2020,47(5):870-883.
- [2] 柳伟荣,倪华峰,王学枫,等.长庆油田陇东地区页岩油超长水平段水平井钻井技术[J].石油钻探技术,2020,48(1):9-14.
- [3] 郭元恒,何世明,刘忠飞,等.长水平段水平井钻井技术难点分析及对策[J].石油钻采工艺,2013,35(1):14-18.