

# The Application of High-Performance water-based drilling fluids in horizontal Wells of Shale oil

Gaofeng Zhang

Sinopec Shengli Petroleum Engineering Company Bohai Drilling Corporation, Dongying, Shandong, 257200, China

## Abstract

In recent years, Shengli shale oil has achieved significant breakthroughs and has become an important force for increasing reserves and production in the oilfield. At present, the construction of the horizontal section of shale oil Wells mainly adopts the synthetic-based drilling fluid system. Although it has better solved the problem of wellbore stability of large well inclined oil shale, it has also brought high environmental pollution and construction cost pressure. With the increasing emphasis on environmental protection by the state and the demand for low-cost drilling fluids, Shengli has made significant breakthroughs in the research of high-performance water-based drilling fluids for shale oil: the Cheye 1HF well was completed to a depth of 4,880 meters, with a completion displacement of 1,453 meters and a horizontal section length of 1,034 meters. Before construction, problems such as wellbore stability, lubrication, sand carrying and high temperature were fully considered. A high-performance water-based drilling fluid system was adopted to achieve the goals of high performance, strong inhibition, strong plugging and strong lubrication of the drilling fluid, and a successful application of water-based drilling fluid in the construction of deep and complex Wells in one go.

## Keywords

Shale oil High performance; Water-based drilling fluid Strong inhibition

## 高性能水基钻井液在页岩油水平井的应用

张高峰

中石化胜利石油工程公司渤海钻井总公司, 中国·山东 东营 257200

## 摘要

近年来胜利页岩油取得了重大的突破, 成为了油田增储上产的重要力量。目前页岩油井水平段施工主要采用合成基钻井液体系, 虽然较好的解决了大井斜油页岩井壁稳定问题, 但也带来了较高的环境污染和施工成本压力。随着国家对环保的愈加重视和钻井液低成本要求, 胜利在页岩油高性能水基钻井液研究方面取得了重大突破: 车页1HF井完钻井深4880m, 完井位移1453m, 水平段长达1034m。施工前充分考虑井壁稳定、润滑、携砂、高温等难题, 采用高性能水基钻井液体系, 达到钻井液高性能、强抑制、强封堵、强润滑的目的, 实现了水基钻井液在深井、复杂井施工中的一次成功。

## 关键词

页岩油; 高性能; 水基钻井液; 强抑制

## 1 概述

胜利页岩油气储层埋深一般为 3500m-4600m, 美国页岩油气储层埋深一般为 1500-2000m, 相对较浅; 而且页岩油气资源地质条件更为复杂, 对钻井液等相关技术提出了更高的要求。近两年来胜利掀起了页岩油勘探开发的热潮, 并且取得了突破性的发展, 但在配套高效钻井液技术方面还相对落后。胜利油田页岩油气水平井的水平段一般为 1000-2500m, 页岩微裂缝和层理发育严重、泥质含量高极易造成井壁失稳<sup>[1]</sup>。

常规水基钻井液不能很好地解决井壁失稳问题, 目前胜利页岩油施工主要采用合成基钻井液, 但较高的配制成本

和环保压力要求我们必须再回到研发高性能水基钻井液的道路上来。车页 1HF 井即为探索水基钻井液解决大井斜泥页岩井壁稳定问题、保证安全施工的一个成功案例。

## 2 车页 1HF 井地层特点

地质分析沿轨迹地震剖面无明显断层, 但通过导眼井的取心情况判断, 该井区处于强应力集中区域, 发育垂直裂缝, 具有井塌及井漏的风险。

## 3 车页 1HF 井施工难点分析

(1) 井壁稳定: 本井三开井段灰质成分较高, 硬脆性强, 微细裂缝、层理发育明显, 施工中一旦出现掉块, 存在硬卡的可能, 前期页岩油水平井施工均采用合成基钻井液, 本井创新使用水基钻井液, 存在诸多未知性, 施工风险较高。

(2) 摩阻扭矩控制: 本井完钻水平位移 1453m, 水平

【作者简介】张高峰(1977-), 男, 中国陕西咸阳人, 硕士, 高级工程师, 从事钻井工程钻井液研究。

段长 1034 米，水基钻井液易形成岩屑床，不利于摩阻扭矩控制，本井完钻扭矩 15-20KN.m，停泵上提摩阻 20-25 吨。

(3) 携岩：井斜大于 45° 后井段大井斜不利于携岩，且水基泥浆岩屑易粘附形成岩屑床，注意钻具防粘及防沉砂卡钻。

(4) 施工温度较高：本井井底温度 128℃，钻井液处理剂长期在高温下稳定性差，易造成性能不稳定，对钻井液抗高温性能提出了更大的挑战。

(5) 油气显示活跃：油气显示活跃：地层压力系数 1.6-1.7 较高，邻井车 151 井实钻最高密度 1.87g/cm<sup>3</sup>，本井钻进至 3934 米开始油气显示非常活跃，钻井液密度最高提至 1.85g/cm<sup>3</sup>，钻进期间立柱停泵井底后效返出即需点火排气，存在较高的井控风险。

(6) 井漏风险高：目的层沙三下裂缝发育，邻井车 151 井密度窗口窄钻进过程中渗漏现象明显，本井密度高于 1.85g/cm<sup>3</sup> 即漏。

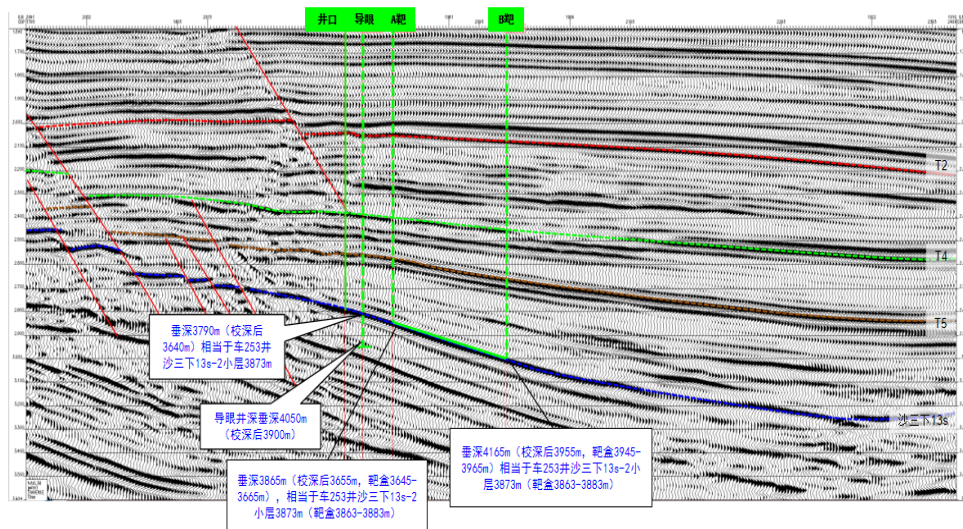


图 1 车页 1HF 井轨迹剖面示意图

#### 4 车页 1HF 井钻井液技术思路及处理剂优选

本井采用高性能强抑制钻井液体系，主要采用复合盐、聚合醇、胺基抑制剂、铝盐等作为主处理剂，配伍多种封堵材料封堵及润滑剂使用，达到钻井液高性能、强抑制、强封堵、强润滑的目的。

(1) 高性能：优选降失水处理剂，主要复配使用 II 型磺酸盐共聚物和 II 型磺甲基酚醛树脂，压低钻井液失水，控制 API 失水 <1ml，HTHP 失水 <8ml (150° C)。

(2) 强抑制：复配无机盐、胺基等页岩抑制剂使用，具有良好的协同效应，进而达到强抑制目的。

(3) 强封堵：优选简化封堵材料，高酸溶磺化沥青、超微细碳酸钙的加量达 5%-7%，物理封堵与化学固壁相结合，封堵页岩微裂缝。

(4) 强润滑：加大润滑剂的加量，配合抗高温水包油高效乳化剂的使用，钻井液含油量达 20%，取得良好的润滑效果。

#### 5 钻井液配方

见表 2。

#### 6 钻井液现场应用

##### 6.1 套管内转型及侧钻过程 (3218-3233 米)

套管内体系转换钻井液必须调整到位，不合适不盲目

钻开新地层。转型前控制钻井液膨润土含量小于 30mg/l，为后期性能巩固、处理剂加入提供足够的容量。

表 2 各处理剂加量表

主要材料	加量
膨润土	1%
NaOH	PH: 10-11
SMP-2	5%
DSP	0.5%
NaCl	20%, [Cl <sup>-</sup> ] > 120000mg/L
KCl	10% [K <sup>+</sup> ] > 30000mg/L
钻井液用超微细碳酸钙	4%
钻井液用高酸溶磺化沥青	5%
白油润滑剂	20%
乳化剂	0.5%
SF-1	2%
SF-4	2%

(1) 设备运转：施工前全负荷运转各固控设备，振动筛使用 300 目筛布，除砂器、离心机、加重撬等设备运转良好。

(2) 材料储备：按设计要求现场储备 2.05g/cm<sup>3</sup> 重浆 80m<sup>3</sup> (性能与井浆相同)，储备 40m<sup>3</sup> 30% 预水化膨润土浆，储备重晶石粉 400 吨。

(3) 采用导眼高性能老浆作为基浆，套管内循环调整钻井液性能，补充 0.3% 磺酸盐、3% 树脂、3% 沥青、3% 超钙、

15%氯化钠、7%氯化钾、10%白油润滑剂。性能调整到位后,提高钻井液密度至 $1.75\text{g}/\text{cm}^3$ 。

(4)侧钻前钻井液性能:密度: $1.75\text{g}/\text{cm}^3$ ,粘度:56s,API滤失量:1ml,HTHP滤失量:10ml(150度),pH:9.5,切力:2/4Pa,PV:45mPa.s,YP:6Pa,[Cl]:125980 mg/l,[K<sup>+</sup>]:33952mg/L。

(5)钻进过程中,配置PAM胶液维护钻井液,使其在钻井液中的含量达到0.3%左右,提高综合抑制包被能力。

(6)本井侧钻时间较长,为维持钻井液性能稳定,补充树脂、沥青等处理剂,进一步增强钻井液抑制、封堵、润滑能力。

## 6.2 下入旋导钻进一趟钻完钻(3233-4880米)

该井段为侧钻成功后旋导下入全力定向增斜井段和水平段,随着井斜的增大,在防塌、携砂、润滑方面提出了更高的要求,该井段施工重点是进一步强化钻井液各性能,为旋导下入后提供安全保障。

(1)下钻到底恢复钻进后,为保证定向顺利,定性处理进一步补充各处理剂和润滑剂,强化钻井液性能,特别是封堵和润滑方面。

(2)钻进至3934米,钻遇快钻时,油气显示活跃,出口钻井液密度由 $1.75\text{g}/\text{cm}^3$ 降至 $1.65\text{g}/\text{cm}^3$ ,停钻循环,走液气分离器点火排气,火焰高度5-8米,同时提高入口钻井液密度 $1.80\text{g}/\text{cm}^3$ 至 $1.83\text{g}/\text{cm}^3$ ,恢复钻进后全烃50%左右,接立柱停泵井底返出需点火排气。

(3)沙三下地层微裂缝发育,地层承压能力较弱,为防止钻井液密度提高后发生渗漏等情况,增大了随钻、超钙等处理剂的加量,以提高地层承压能力。

(4)钻进施工过程中重点强化坐岗制度,加密监测好钻井液性能特别是出入口密度变化,监测缓冲罐和循环管液面变化,为井底后效返出点火排气提供参考依据。

(5)随着井斜的逐渐增大,井壁失稳风险越高,本井段施工钻井液维护处理在加大各封堵剂含量的同时,重点增强钻井液的抑制性。

(6)旋导钻进,加之水平段增加,更加突出钻井液润滑性能,补充白油润滑剂使之含量逐步达到20%,配合抗高温水包油高效乳化剂使用。

(7)钻进过程中做好Cl<sup>-</sup>和K<sup>+</sup>含量监测,补充氯化钠和氯化钾,确保[Cl<sup>-</sup>] $>120000\text{mg}/\text{l}$ , [K<sup>+</sup>] $>30000\text{mg}/\text{l}$ 。

(8)密切关注钻井液各性能特别是切力变化情况,维持动切力不低于15mPa.s,静切力不低于3/12。切力过低,复配膨润土+磺酸盐进行提切,以保证携砂。

(9)完钻前性能强化:考虑完井时间较长,为保证完井作业的安全与顺利,完钻前200米,本井钻进过程所用主处理剂均继续补充0.5-1%加量,补充氯化钠和氯化钾,使[Cl<sup>-</sup>] $>120000\text{mg}/\text{l}$ , [K<sup>+</sup>] $>30000\text{mg}/\text{l}$ 。

(10)完钻钻井液性能:密度:入口 $1.85\text{g}/\text{cm}^3$ ,出口

$1.82\text{g}/\text{cm}^3$ ,粘度:76s,API滤失量:1ml,HTHP滤失量:8ml(150度),pH:10.5,切力:3/15 Pa,PV:58 mPa.s,YP:16 Pa,[Cl<sup>-</sup>]:121371 mg/l,[K<sup>+</sup>]:35800mg/L。

## 6.3 完井作业

由于油气显示非常活跃,钻进至3834米之后钻进期间必须走液气分离器点火排气,火焰高度5-8米,钻进时全烃50-60%左右,接立柱、检修等短时间停泵井底返出需点火排气,面临很高的井控风险。本井完钻后未进行裸眼电测,循环两天排气后通井下油层套管。

(1)考虑起下钻、下套管时间较长,为保证井控安全,充分考虑完井期间井眼稳定、润滑防粘、油气侵等问题,优化封井措施,进而保证了电测的顺利施工。

(2)封井浆配方:井浆+膨润土+0.5%DSP-2+1.5%SMP-2+1.5%高酸溶磺化沥青+1.5%超微细碳酸钙+1.5%随钻堵漏剂+3%白油润滑剂+1.5%塑料小球,FV:150s,封水平段。

(3)本井钻进施工油气显示活跃,考虑起下钻、下套管时间长,结合前期通井后效情况,技套内以重塞方式控制安全的当量密度,经计算油气显示活跃井段循环当量密度 $2.02\text{g}/\text{cm}^3$ ,考虑防漏等因素,技套内垫重塞后当量密度 $2.0\text{g}/\text{cm}^3$ ,确保了起下钻、下套管期间的安全施工。

(4)地层裂缝发育,承压能力相对较低,漏失风险较高,通井及下套过程中严格落实“分段循环、缓慢提排量”技术措施,配合随钻堵漏剂和超微细碳酸钙的补充,有效的预防、减轻了漏失的发生。

## 7 总结与认识

(1)页岩油水平井对钻井液润滑性提出了较高的要求,较常规复合盐钻井液体系,其润滑剂含量达到20%左右,配合0.3%左右的抗高温水包油高效乳化剂加入,保证了钻井液在高含油及高温状态下的稳定性能。

(2)更高的氯离子及钾离子含量,使其接近欠饱和状态,确保[Cl<sup>-</sup>]:120000~130000 mg/l, [K<sup>+</sup>] $>30000\sim 40000\text{mg}/\text{l}$ 。

(3)高性能指标特别是极低的钻井液失水,控制API滤失量 $<1\text{ml}$ (30min),HTHP失水 $<8\text{ml}$ (150°C)。

(4)无水聚合醇复配胺基聚醇、铝盐等页岩抑制剂使用,形成良好的协同效应,进而达到强抑制目的。

(5)钻井液各性能指标均达到或接近合成基钻井液性能水平,对比合成基钻井液,性能相近。

## 参考文献

- [1] 鄢捷年.钻井液工艺学.东营:中国石油大学出版社,2001.05
- [2] 司西强,王中华,吴柏志.中国页岩油气水平井钻井液技术现状与发展趋势.精细石油化工进展,2022.02
- [3] 栾广涵,杨洋,董振华,等.水平井泥页岩段水基钻井液技术研究与应用[J].西部探矿工程,2025,37(04):44-47.