

# 渤海 35 油田非均质储层钻井应对技术

袁则名, 和鹏飞, 丁 胜, 边 杰, 马志忠  
(中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司, 天津 300452)

**摘要:**渤海 35 油田沙河街组水平井穿层较多, 整体水平段砂泥岩比例不稳定、交互较多, 若处理措施不当, 易发生井壁失稳, 也易造成防砂管柱下入困难、盲管配管较多以及投产后筛管堵塞严重的问题。通过钻进过程中使用随钻工具及时跟踪, 调整井眼轨迹, 对钻井液体系、钻井工艺技术等方面进行调整, 有效提高了渤中深部地层强非均质水平井油层钻遇率, 得出了一些实际操作的方法和经验, 对深部地层强非均质水平井现场实施具有较高的参考价值。

**关键词:**水平井; 钻井; 强非均质; 钻遇率; 渤海油田

**中图分类号:** TE242      **文献标识码:** B      **文章编号:** 1672 - 7428(2017)11 - 0042 - 04

**Countermeasures for Heterogeneous Reservoir Drilling in Bohai 35 Oilfield/YUAN Ze-ming, HE Peng-fei, DING Sheng, BIAN Jie, MA Zhi-zhong** (CNOOC EnerTech-Drilling & Production Co., Tianjin 300452, China)

**Abstract:** The horizontal well drilling passes through different strata in Shahejie formation of Bohai 35 oilfield, sandstone-mudstone ratio is unstable in the whole horizontal section with lots of interbedding, which is easy to lead to wall instability, difficulty of sand control pipe running, many blind pipes setting and serious screen pipe blockage in production. By the use of while-drilling tools, timely tracking and adjustments of borehole trajectory, drilling fluid system, drilling technology and some other aspects, the oil reservoir encountering rate in severe heterogeneous reservoir of deep strata in middle Bohai Sea has been effectively improved. Some operation methods and experiences can be reference to the field construction of severe heterogeneous reservoir horizontal well in deep strata.

**Key words:** horizontal well; drilling; severe heterogeneity; oil reservoir encountering rate; Bohai oilfield

渤海油田开发初期各油田开发层位主要以中浅层为主, 如东营组以上储层。随着开发深入, 逐步转向深层构造, 以沙河街组及以下地层为代表。但由于深层地质条件复杂, 受沉积情况和断块影响, 地层变化差异较大、地应力强, 并且对区块构造、储层分布及油水界面认识不够深入, 导致深层开发中工程不可预见的风险增大。同时在油田开发初期, 往往采用工艺相对简单的定向井开发模式, 取得较好的效果, 而在开发深入后, 以水平井为代表的复杂井型逐步占据开发的主要工艺, 由于受到沉积环境的影响, 水平段钻进时, 经常钻遇大段泥岩, 而该泥岩地

层微裂隙发育, 容易缩径、坍塌, 给该区块水平井钻完井带来诸多安全问题。文章对渤中地区沙河街组水平井泥岩钻进技术难题进行了深入分析和探讨, 并提出了相应的解决措施, 为保障该地区钻井作业具有积极意义。

## 1 地层分层及主要岩性

渤中 35 油田从已钻井情况来看, 地层自上而下为平原组、明化镇组、馆陶组和东营组、沙河街组和中生界潜山地层, 如表 1 所示。

油田的含油层系发育于东营组下段和沙河街组。

表 1 渤中 35 油田地层情况

地层名称	底垂深/m	岩 性 描 述
明化镇组上段	975.98	泥岩与粉砂岩不等厚互层, 夹少量细砂岩, 泥岩以黄褐色、灰绿色泥岩为主, 少量为紫红色
明化镇组下段	1743.97	泥岩与粉砂岩互层, 下部少量细砂岩。泥岩以绿灰色、红褐色泥岩为主, 局部为黄褐色、紫色泥岩
馆陶组	2229.94	含砾细砂岩、细砂岩与泥岩互层, 下部少量含砾中砂岩, 泥岩以红褐色、绿灰色泥岩为主, 少量灰褐色、黄褐色泥岩
东营组	2810.87	上部泥岩与含砾细砂岩、细砂岩互层, 下部厚层泥岩夹细砂岩、粉砂岩, 泥岩以绿灰色泥岩为主, 部分灰褐色、红褐色泥岩
沙一段	2879.87	油页岩、粉砂岩、泥岩互层
沙二段、沙三段	3234.82	上部主要为粉砂岩、泥岩、油页岩互层; 下部主要为大套褐灰色泥岩、油页岩

收稿日期: 2017 - 05 - 11; 修回日期: 2017 - 10 - 18

**作者简介:**袁则名, 男, 汉族, 1980 年生, 油气井工程专业, 硕士, 从事海洋石油钻完井技术监督工作, 天津市塘沽区渤海石油路 688 号工程技术公司办公楼, hepf2@qq.com。

该区块常采用 $12\frac{1}{4}$  in ( $1\text{ in} = 25.4\text{ mm}$ ,下同)井眼着陆储层,然后采用水平井开发方式。典型的井身结构为: $17\frac{1}{2}$  in 井眼 $\times 13\frac{3}{8}$  in 套管 $+ 12\frac{1}{4}$  in 井眼 $\times 9\frac{5}{8}$  in 套管 $+ 8\frac{1}{2}$  in 井眼 $\times$ 筛管。

## 2 油田水平井开发的特点与难点

油田沙河街组水平井段储层预测单砂体横向展布精度低,钻遇泥岩的可能性较大,泥岩井壁容易失稳,钻井风险较高;泥岩段的不稳定性会增加防砂管柱的下入风险,同时在生产阶段筛管易因泥岩堵塞而影响产能。

### 2.1 沙河街储层面积较小,零散分布,储层预测精度低

采用水平井开发的基础一般是对目标砂体在空间布置的预测较为精准。渤中35油田主要油藏类型为复杂断块油藏,储层发育程度低,以河流相砂体为主要储层类型,单个砂体的厚度较薄,储层横向变化快,砂体叠合程度差,纵向上油气关系复杂。

### 2.2 井眼轨迹控制难度大

例如B5H井钻前设计目的为评价砂体西侧储层发育情况,着陆过程中钻遇油层垂厚 $1.7\text{ m}$ ,属于薄层范围,水平段钻进井眼轨迹控制难度较大。

### 2.3 井眼易缩径,井壁稳定性差

本区块沙河街组泥岩地层坍塌压力较大且坍塌周期短,井壁容易失稳,钻井风险较高。对于储层段砂泥岩互层严重的水平裸眼井,泥岩段不稳定性会增加防砂管柱的下入风险。

## 3 水平井钻井技术对策

### 3.1 钻前优化设计方案及时调整井型

设计方案主要由地质设计、钻完井工程设计两部分组成<sup>[3-6]</sup>。其中地质设计主要是落实部署区目的层的构造、沉积相、储层物性、电性、油气层显示特征。钻完井工程设计是在地质设计的基础上为满足地质要求而提供可行性工程技术方案。

对强非均质水平井,如果在水平井段钻遇大套泥岩后,根据钻进情况调整井眼轨迹,并以此及时调整井型,可变更水平井为大斜度井或者其他井型。及时变更完井方式,可较大幅度地提高薄互层油藏的单井产能和生产有效期,为提高该类油藏的开发找到了一条可行的经济开发技术路线。

主体方案:B5H井按照水平井设计,如果水平

段储层钻遇情况较好,则采用裸眼筛管完井方式。

备用方案:如水平段钻井过程中钻遇较长的泥岩段,则钻穿该套砂层,留足完井口袋,下入尾管,采用射孔完井方式。

### 3.2 优选地质导向工具等钻井工具

目前对薄油层水平井开发,主要使用LWD地质导向和近钻头地质导向工具。水平井水平段储层钻遇率受到构造不确定性、储层非均质性及钻进时钻井工程因素的影响。因此,现场水平段钻进时,应用录井岩屑、随钻测井资料以及已开发的邻井标志层等技术措施,进一步了解水平井水平段岩性、目的层构造及油气变化,根据以上资料信息为依据调整水平井水平段井眼轨迹,确保强非均质储层钻遇率。

### 3.3 优选钻井液体系和细化性能要求

在钻井液设计方面,提出如果渤海35油田在水平段钻进过程中,首选弱凝胶钻井液体系,如果在水平井段钻遇大套泥岩后(泥岩超过2柱),则转换为低水活度的强封堵型无固相钻井液体系。该泥浆体系主要技术:提高泥浆体系的抑制性,降低储层泥页岩水化膨胀性;降低其泥浆体系中的水活度与储层泥页岩活度较接近;提高钻井液密度、控制失水;增强对泥岩的抑制、封堵及防塌能力,以提高泥岩地层稳定性,优化后钻井液性能参数:密度 $1.18 \sim 1.32\text{ g/cm}^3$ ,失水量 $3.4 \sim 4.6\text{ mL}$ , $\theta_3/\theta_6$ 为 $9 \sim 10/11 \sim 12$ ,膨润土含量 $28.6 \sim 35\text{ kg/m}^3$ , $\text{Ca}^{2+}$ 含量 $240\text{ mg/L}$ ,漏斗粘度 $45 \sim 56\text{ s/qt}$ ,动切力 $11 \sim 14\text{ Pa}$ ,pH值 $9 \sim 9.5$ , $\text{K}^+$ 含量 $38000 \sim 53000\text{ mg/L}$ ,含砂量 $0.2\%$ 。通过在该油田的其他井应用,整个钻进过程中井壁稳定,没有泥页岩掉块,钻井作业非常顺利,效果达到了预期效果。

### 3.4 备用采用钻后扩眼技术

在石油天然气的开发钻井过程中,由于井壁不稳和受地层挤压等原因,经常会遇到井眼直径缩小导致钻井过程难以继续以及水平井眼缩小等问题,一般使用扩眼器来进行扩眼作业。

渤中35油田深部地层强非均质水平井钻井设计中要求,如果在水平井段钻遇大套泥岩,则在完钻后,采用钻后扩眼方式。

### 3.5 细化工程操作方式

对强非均质水平井,如果在水平井段钻遇大套泥岩后,应及时调整钻井参数,并采取增加泥岩段倒划眼次数、修整井壁等措施,预防事故或复杂情况的发生。

## 4 工程应用与效果分析

### 4.1 实际井眼轨迹情况

B5H 设计三开水平段 430 m, 在钻进过程中钻遇到 300 多米大套泥岩, 而发现储层段只有 55 m,

不能满足开发的需要, 因此迅速将该井从井斜 88.48° 调整成 70.16°, 并由设计 3448 m 加深钻进至 3600 m, 如表 2 所示。最终钻遇到 100 m 砂岩段, 储层显示较好, 满足了开发的需要。

表 2 B5H 井轨迹设计与实际情况对比

轨迹参数	第一造斜点/m	造斜结束点/m	井斜角/(°)	方位角/(°)	第二造斜点/m	造斜结束点/m	井斜角/(°)	方位角/(°)	着陆点/m	最大井斜角/(°)	井底斜深/m	井底垂深/m	井底井斜角/(°)
设计井眼轨迹	300	500	18.0	235.00	2050	3000	90.00	248.00	2928	90.00	3453	2449.00	90.00
实际井眼轨迹	256	457	17.8	233.67	2100	2928	86.42	246.96	2923	88.48	3600	2533.84	70.16

### 4.2 实际井身结构情况

根据储层和轨迹变化, 及时调整井型, 由水平井改为套管井, 继续开发下部未开发的储层。并改变完井方式, 由裸眼完井变更为生产井射孔完井生产。

钻前设计井身结构: 17 1/2 in 井眼(设计深度 400 m) × 13 3/8 in 套管(设计深度 395 m) + 12 1/4 in 井眼(设计深度 2823 m) × 9 5/8 in 套管(设计深度 2818 m) + 8 1/2 in 井眼(设计深度 3453 m) × 5 1/2 in 筛管(设计深度 3448 m)。

钻后实际井身结构: 17 1/2 in 井眼(实际深度 400 m) × 13 3/8 in 套管(实际深度 395 m) + 12 1/4 in 井眼(实际深度 2823 m) × 9 5/8 in 套管(实际深度 2821 m) + 8 1/2 in 井眼(实际深度 3600 m) × 7 in 尾管(实际深度 2650 ~ 3590.5 m)。

### 4.3 具体工程操作

B5H 井在钻遇大套砂泥岩互层后, 主要采用了如下技术措施。

(1) “狗腿”度在 1.5° ~ 3.5° 的井段, 上下 2 柱倒划眼多拉几次。倒划眼参数: 排量 2000 L/min, 转速 120 r/min(也可根据现场情况第二次改变参数进行倒划眼, 修整井眼轨迹), 并控制倒划眼速度 > 0.05 m/s。

(2) 每倒划眼 300 m, 循环一次, 采用高转速、大排量。

(3) 在管鞋下一柱循环, 避免扶正器在管鞋处。本井通过调整钻井参数, 有效预防了复杂情况的发生。

### 4.4 钻后扩眼情况

在 B5H 井中钻后对 2931 ~ 3600 m 井段进行了扩眼。

扩眼通井钻具: 8 1/2 in 牙轮钻头 + 变扣接头 + 8 3/8 in 稳定器 + 8 in 扩眼器 + 6 1/2 in 浮阀接头 + 6 1/2 in 钻铤 1 根 + 8 3/8 in 稳定器 + 6 1/2 in 钻铤 5 根 + 6

1/2 in 随钻震击器 + 5 in 加重钻杆 14 根。该套扩眼钻具组合相对简单, 扩眼扭矩相对低且平稳; 对井眼轨迹几乎无影响; 采用钻后扩眼方式, 增大井眼尺寸, 减少钻井事故或复杂情况的发生。

扩眼参数: 钻压 20 ~ 50 kN, 排量 2000 ~ 2200 L/min, 泵压 20 ~ 21 MPa, 转速 90 r/min, 扭矩 10 ~ 35 kN·m。扩眼时间 18 h。在扩眼过程中, 参数正常, 适当控制扩眼速度, 扩眼完成一立柱后, 快速划眼一次。扩至设计井深后充分循环携砂, 直至井底干净。下尾管安全顺利, 尾管下入过程中未出现遇阻、遇卡现象。扩眼后井眼环空增大, 保证了后期固井质量, 保证了射孔完井完成。

### 4.5 钻后单井产量情况

B5H 井预测累计产油 4.1 万 m<sup>3</sup>, 生产年限 2 年。后由生产井改为水源井。截止目前为止, 油气田实际投产效果好, 已投产井单井产量均达到整体开发方案要求产量(如图 1), 目前生产情况良好, 投产初期日产原油 176.30 m<sup>3</sup>/d, 平均含水 40.85%, 远低于同期油田平均含水 46.76%, 如图 2。

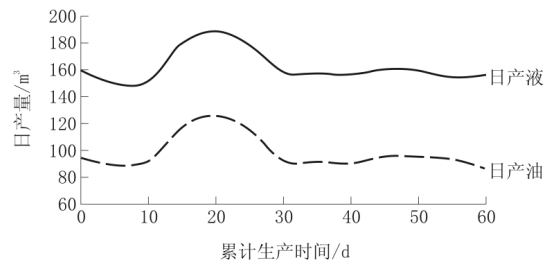


图 1 渤海油气田 B 平台投产 after 日产量数据

## 5 结语

受限于地质认识和预测精度, 钻完井工程需要根据实际钻井情况随时调整工程方案。以 B5H 井为例的非均质储层开发情况, 在钻前根据地质目的和认识深度, 开展了水平井裸眼开发方案和套管射孔完井方案的充分设计准备。同时通过地质导向工具

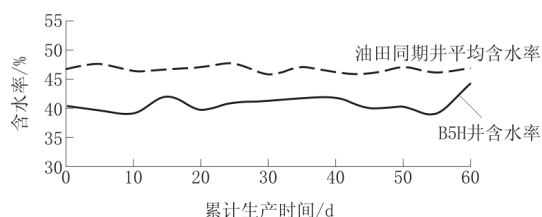


图2 B5H井投产后油井含水率

应用、钻后扩眼技术应用和工程操作细化,及时调整井眼轨迹、及时改变井身结构和启动备用方案,避免了设计水平段钻遇300多米大套泥岩而导致的钻井风险、地质储量落空等问题,通过实际作业情况看,整个方案切实可行,单井投产后的实际产量也远超油田整体开发方案的产量要求,效果较好。

#### 参考文献:

- [1] 牟炯,和鹏飞,侯冠中,等.浅部大位移超长水平段I38H井轨迹控制技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(2):57

- 59.
- [2] 和鹏飞,孔志刚. Power Drive Xceed 指向式旋转导向系统在渤海某油田的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,41(11):45-48.
- [3] 和鹏飞,侯冠中,朱培,等.海上 $\varnothing 914.4$  mm井槽弃井再利用实现单筒双井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(3):45-48.
- [4] 徐荣强,邢洪宪,张仁勇,等.渤海湾边际油田水平井钻完井技术[J].石油钻采工艺,2008,30(2):53-56.
- [5] 李凡,王晓鹏,张海,等.渤海D油田WHPA平台大位移水平井钻修机钻井作业实践[J].中国海上油气,2012,24(2):50-53.
- [6] 朱培,和鹏飞,侯冠中,等.渤中某深井套管阻卡原因及应对措施分析[J].石油工业技术监督,2016,32(8):61-63.
- [7] 帅春岗,段永刚,冉林,等.水平井ICD控水方法研究[J].石油钻采工艺,2012,34(1):85-88.
- [8] 王超,张军杰,刘广燕.水平井分段控水完井试油技术[J].石油天然气学报,2010(6):446-449.
- [9] 李良川,肖国华,王金忠,等.冀东油田水平井分段控水配套技术[J].断块油气田,2010,17(6):655-658.

## 《探矿工程(岩土钻掘工程)》杂志征稿启事

### 征稿内容

- (1) 固体矿产、油气、盐田、煤层气、地热、水井、对接井等钻探与钻井技术;
- (2) 岩土钻掘设备与器具;
- (3) 桩墙基础,基坑(边坡)支护,软基加固,堤坝(江、河、海、水库)防渗加固,工程勘察钻探等施工技术;
- (4) 非开挖技术;
- (5) 地质灾害治理与环境保护工程中涉及到的钻掘技术;
- (6) 科学钻探技术;
- (7) 与岩土钻掘工程相关的金刚石与磨料磨具;
- (8) 隧道与爆破施工技术。

### 稿件要求

- (1) word 文档,通栏排版,全文(含图表)5000~10000字;
- (2) 题目20字以内,摘要200~300字,关键词5~10个。尽量提供英文题目、作者、单位、摘要、关键词;
- (3) 原则上作者人数不宜超过5人,必须征得本人同意后方可署名,署名作者必须是论文涉及课题或工程的参与者;
- (4) 文后必须附有不少于15条参考文献,并在文中标注出引用之处。

### 稿件上传

- (1) 本刊仅接受网络投稿,不接受电子邮件投稿和纸质

稿件;

- (2) 投稿请登录探矿工程在线([www.tkge.net](http://www.tkge.net))进入“稿件采编系统”按提示注册和上传稿件;

- (3) 注册和投稿时请登记真实的信息和联系方式,以确保能随时联系到作者沟通稿件事宜;

- (4) 投稿前请认真阅读“投稿须知”和本刊的“论文著作权转让协议”,确认同意有关条款后方可投稿;

- (5) 投稿后作者可随时登录网站,查询稿件的审理情况及有关稿件的其他信息。个人信息或通信方式有变化时,请及时更新。

### 稿件审核

编辑部将本着公正、客观的原则组织专家对来稿进行审核。本刊采用三审制,即编辑初审,专家评审,主编终审。稿件是否录用,将通过电子邮件和短信通知作者,作者也可随时登录投稿审稿系统查询。本刊的审稿周期为3个月内,刊登周期为6个月左右。

### 投稿网址

[www.tkge.net](http://www.tkge.net)

### 电子邮箱

[tkge@mail.cgs.gov.cn](mailto:tkge@mail.cgs.gov.cn) (仅作联系沟通之用,不接受电子邮件稿件)

### 编辑部联系地址:

- (1) 100037 北京市百万庄26号  
电话:010-68320471(兼传真)
- (2) 065000 河北省廊坊市金光道77号  
电话:0316-2096324(兼传真)