



## 渤海油田变质岩潜山油藏钻井关键技术

徐鲲 陶林 李文龙 李林波 汤柏松 邸毅峰 王旭

### Key Drilling Technologies for Metamorphic Buried Hill Reservoirs in Bohai Oilfield

XU Kun, TAO Lin, LI Wenlong, LI Linbo, TANG Baisong, DI Yifeng, WANG Xu

在线阅读 View online: <http://doi.org/10.11911/syztjs.2023070>

## 您可能感兴趣的其他文章

### Articles you may be interested in

#### 杨税务潜山油气藏大位移井钻井完井关键技术

Drilling and Completion Technologies of Extended–Reach Wells in the Yangshuiwu Buried Hill Reservoir

石油钻探技术. 2021, 49(2): 14–19 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2021010>

#### 渤海油田分层注水井电缆永置智能测调关键技术

Cable Implanted Intelligent Injection Technology for Separate Injection Wells in Bohai Oilfield

石油钻探技术. 2019, 47(3): 133–139 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2019044>

#### 渤海油田注水井延效酸化技术研究与应用

Research and Application of Prolonged–Effect Acidizing Technology for Water Injection Wells in the Bohai Oilfield

石油钻探技术. 2021, 49(2): 90–95 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2021029>

#### 潜山裂缝性油藏见水规律及裂缝分布规律分析方法

An Analytical Method for Fracture Distribution and Water Production Regularity in a Buried–Hill Reservoir

石油钻探技术. 2018, 46(1): 117–121 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2018033>

#### 南堡2号构造深层潜山水平井钻井完井技术

Drilling and Completion Techniques for Horizontal Wells in the Deep Buried Hills of the Nanpu No.2 Structure

石油钻探技术. 2018, 46(2): 10–16 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2018045>

#### 渤海油田稠油水平井防砂筛管耐温能力的确定

Determination of the Temperature Resistance Capacity of Sand Control Screen Liner in Horizontal Heavy Oil Wells in the Bohai Oilfield

石油钻探技术. 2018, 46(6): 65–70 <http://doi.org/10.11911/syztjs.2018010>



扫码关注公众号，获取更多信息！

◀ 钻井完井 ▶

doi:10.11911/syztjs.2023070

引用格式: 徐鲲, 陶林, 李文龙, 等. 渤海油田变质岩潜山油藏钻井关键技术 [J]. 石油钻探技术, 2023, 51(3): 16-21.

XU Kun, TAO Lin, LI Wenlong, et al. Key drilling technologies for metamorphic buried hill reservoirs in Bohai Oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2023, 51(3): 16-21.

## 渤海油田变质岩潜山油藏钻井关键技术

徐 鲲<sup>1</sup>, 陶 林<sup>1</sup>, 李文龙<sup>1</sup>, 李林波<sup>1</sup>, 汤柏松<sup>1</sup>, 邸毅峰<sup>1</sup>, 王 旭<sup>2</sup>

(1. 中海石油(中国)有限公司天津分公司, 天津 300459; 2. 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:** 渤海油田某潜山构造的深部变质岩潜山具有巨大的成藏潜力, 但该构造地质条件复杂, 目的层较深, 钻井面临机械钻速低、储层保护难度大、井壁失稳和漏失风险高等技术难点, 为此, 进行了钻头及提速工具优化设计、井壁稳定技术、储层保护技术、螺杆钻具优化、防漏堵漏技术等方面的研究, 形成了渤海油田变质岩潜山油藏钻井关键技术。该构造的 7 口探井应用了该技术, 克服了该构造存在的技术难点, 机械钻速得到提高, 其中 3 口探井获得高产油气流。研究和现场应用结果表明, 渤海油田变质岩潜山油藏钻井关键技术可为渤海油田深层变质岩潜山油气藏的勘探开发提供技术支持。

**关键词:** 变质岩; 潜山油藏; 钻井; PDC 钻头; 螺杆钻具; 防漏堵漏; 渤海油田

中图分类号: TE245

文献标志码: A

文章编号: 1001-0890(2023)03-0016-06

## Key Drilling Technologies for Metamorphic Buried Hill Reservoirs in Bohai Oilfield

XU Kun<sup>1</sup>, TAO Lin<sup>1</sup>, LI Wenlong<sup>1</sup>, LI Linbo<sup>1</sup>, TANG Baisong<sup>1</sup>, DI Yifeng<sup>1</sup>, WANG Xu<sup>2</sup>

(1. Tianjin Branch of CNOOC Ltd., Tianjin, 300459, China; 2. CNOOC EnerTech-Drilling & Production Co., Tianjin, 300452, China)

**Abstract:** A deep metamorphic buried hill in Bohai Oilfield has a great potential for hydrocarbon discoveries. However, complicated geological tectonic conditions and deeply buried target zone create a series of drilling challenges such as low rate of penetration (ROP), difficult reservoir protection, and high risk of wellbore instability and leakage. To solve the problems, a study was created to evaluate the optimization of drill bits and ROP improvement tools, wellbore stability technologies, reservoir protection technologies, positive displacement motor(PDM) optimization, and leakage prevention and plugging technologies. As a result, key drilling technologies for metamorphic buried hill reservoirs in Bohai Oilfield were developed, which were then successfully applied in seven exploration wells in this buried hill structure. As a result, the technical difficulties of the structure were overcome, i.e., the ROP was increased, and three exploration wells obtained high oil flow. The research and field applications indicate that the key drilling technologies can provide technical support for the exploration and development of deep metamorphic buried hill reservoirs in Bohai Oilfield.

**Key words:** metamorphic rock; buried hill reservoir; drilling; PDC bit; screw drill tool; leakage prevention and plugging; Bohai Oilfield

我国油气资源不断向深层迈进, 已经在塔里木盆地、四川盆地、松辽盆地和准噶尔盆地获得了重大的油气资源发现, 且形成了一系列较大规模的储

量区。因此, 深层已经成为中国陆上油气勘探开发突破与规模增储的重要区域<sup>[1-6]</sup>。近年来, 渤海油田在渤海湾深层的勘探也屡获发现, 尤其在渤中凹陷

收稿日期: 2023-03-07; 改回日期: 2023-05-20。

作者简介: 徐鲲 (1981—), 男, 天津人, 2004 年毕业于中国地质大学 (武汉) 石油工程专业, 高级工程师, 主要从事钻井技术研究及相关管理工作。E-mail: xukun@cnooc.com.cn。

通信作者: 李文龙, liwl38@cnooc.com.cn。

基金项目: 国家科技重大专项“大型油气田及煤层气”子课题“渤海油田高效开发示范工程”(编号: 2016ZX05058)、中海石油(中国)有限公司科技项目“渤海油田 3000 万吨持续稳产关键技术研究”子课题“渤海边际油田高效开发钻完井配套技术”(编号: CNOOC-KJ135 ZDXM 36 TJ06TJ) 资助。

西南部深层太古界变质岩潜山的勘探获得了重大突破,发现了渤中 19-6 大气田<sup>[7-8]</sup>,展现了环渤海凹陷深层的巨大潜力。

渤海油田某潜山构造位于渤海南部,南北夹持于两个富烃凹陷。近年来,对该潜山构造进行了系统研究,结果表明,该构造太古界潜山油气运聚背景优越,且潜山遭受长期剥蚀,具备良好的储层条件,成藏条件极为有利。2020 年,在该构造内钻探了第一口预探井,实钻结果表明,该构造具有较大的成藏潜力。为进一步扩大该构造的储量规模、探索油气成藏模式,在该构造部署了 7 口探井,平均井深超过 4 300 m。然而,由于目的层较深,地层复杂,第一口预探井实钻中显示存在地层可钻性差、机械钻速低、钻具失效风险高、储层保护难度大、井壁失稳和漏失风险高等钻井技术难点。针对这些技术难点进行了科技攻关,形成了渤海油田变质岩潜山油藏钻井关键技术。该构造内后续 7 口探井应用了变质岩潜山油藏钻井关键技术,顺利完钻,机械钻速得到提高,其中 3 口探井测试获得高产油气流。

## 1 地层特点与钻井技术难点

### 1.1 地层特点

渤海油田某潜山构造内潜山上覆地层自上而下分别为新近系明化镇组、馆陶组,古近系东营组和沙河街组,太古界变质岩潜山是主要目的层段。明化镇组为厚层泥岩夹粉砂岩及细砂岩,局部见薄层泥质粉砂岩。馆陶组上部为泥岩与粉砂岩、细砂岩呈不等厚互层,局部见泥质粉砂岩及灰质粉砂岩;下部为厚层细砂岩夹泥岩,局部见薄层灰质粉砂岩,底部见厚层含砾细砂岩。东营组一段上部为泥岩与粉砂岩及细砂岩呈不等厚互层,下部为大套细砂岩及含砾细砂岩夹泥岩,局部见薄层灰质粉砂岩;东二上段为泥岩与泥质粉砂岩、粉砂岩及细砂岩呈不等厚互层,局部见薄层灰质粉砂岩;东二下段上部为厚层泥岩夹薄层泥质粉砂岩及灰质粉砂岩,下部为厚层灰质泥岩;东三段主要发育厚层泥岩夹灰质粉砂岩、粉砂岩及细砂岩。沙河街组一段和二段主要为厚层泥岩夹泥质粉砂岩、灰质粉砂岩及粉砂岩;沙三段为厚层泥岩夹灰质粉砂岩,局部见灰质泥岩。太古界为厚层花岗片麻岩,局部夹辉绿岩。

### 1.2 钻井技术难点

1) 地层硬度高,可钻性差,机械钻速低。渤中

凹陷潜山地层主要岩性为花岗片麻岩,其成分主要为石英及长石,少量黑云母及暗色矿物,显晶质结构,致密,风化壳长石的风化程度不同<sup>[9-10]</sup>。花岗岩岩石抗压强度高,表层风化壳 70~140 MPa,下部 140~310 MPa,地层可钻性差,钻头崩齿风险高,单只钻头进尺短。2020 年在该构造部署的 1 井,钻进潜山地层时第一趟钻的机械钻速仅 3.2 m/h,远低于其他区块钻进潜山地层时的机械钻速,且单只钻头进尺只有 60 m;第二趟钻的机械钻速 4.2 m/h,钻头磨损严重,磨损程度达到 7 级。

2) 钻具失效风险高。大尺寸井眼钻至深部地层时,钻具振动严重,扭矩波动剧烈。相邻区块仅 2020 年就发生了 4 起钻具失效故障,主要集中于螺杆失效及钻柱断裂,严重影响了钻井速度。

3) 储层保护难度大。潜山含裂缝地层钻井液易侵入,堵塞油气运移通道<sup>[11-12]</sup>。深部高温环境导致钻井液中的聚合物添加剂分解变性,导致其性能下降。加之潜山油气藏具有低孔低渗的特点,储层极易受钻井液伤害,造成表皮系数升高,邻区块某井实测表皮系数高达 21.5。

4) 井壁失稳风险高。该构造东营组发育稳定的厚层湖相泥岩,泥岩盖层平均厚度超过 350 m。由于泥岩具有易水化和吸水膨胀的特性<sup>[13-14]</sup>,添加传统封堵剂/降滤失剂的钻井液在井壁上不能形成滤饼,不能有效封堵孔喉,无法阻止钻井液滤液侵入,井壁易失稳。1 井在钻进东营组泥岩段时,返出掉块较大,起钻多次遇卡,划眼困难,影响了钻井时效。

5) 漏失风险高。根据该构造钻前预测的三压力剖面,东二段上亚段疑似存在薄弱层。地震资料解释结果表明,断层多、断距长。钻入太古界后,将钻遇太古界变质花岗片麻岩地层,而渤中 19-6 气田钻井实践表明,花岗片麻岩漏失风险较大<sup>[15-16]</sup>。邻井资料显示在东营组、沙二段、太古界均发生严重漏失,漏失量大,处理时间长。综合分析钻前预测及邻井钻井资料发现,该构造钻井存在较大漏失风险。

## 2 钻井关键技术

针对上述钻井技术难点,开展了钻头及提速工具优化设计、井壁稳定、储层保护、钻具安全、井漏防治等技术攻关,形成了渤海油田变质岩潜山油藏钻井关键技术。

### 2.1 PDC 钻头及复合冲击器优化设计

为提高 PDC 钻头在花岗岩地层的耐磨性和攻

击性, 对钻头结构及切削齿齿形进行优化, 主要目的是在保证钻头攻击性的同时提高钻头的抗研磨性, 延长钻头在花岗岩地层的使用寿命。花岗岩地层抗压强度一般在 140~280 MPa, 通过优化 PDC 钻头切削结构, 改进 PDC 切削齿对地层的吃入方式, 降低扭矩波动, 同时与复合冲击器配合可降低钻头粘滑现象的影响; 钻头采用 6 刀翼(见图 1), 同时在每个刀翼肩部位置布置后排齿。切削齿采用抗冲击性和抗研磨性强的进口斧形齿, 其采用屋脊式几何结构, 首先是复合片层厚度增加, 使切削齿抗冲击和抗研磨的能力提升; 其次是在高频冲击下屋脊式结构更容易吃入硬地层, 将常规切削齿的面式接触改变为线性接触, 从而提高破岩效率。

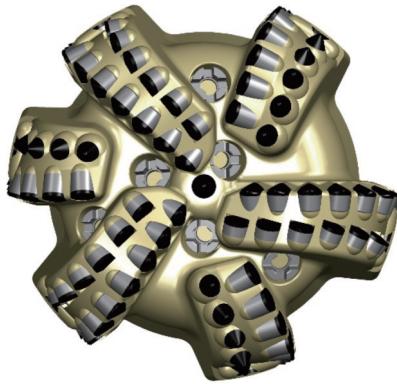


图 1 优化后的 PDC 钻头

Fig.1 Optimized PDC bit

由动静耦合破岩规律可知, 高能量、高频率和小间距的冲击对于破碎脆性硬岩有较好的效果<sup>[17]</sup>。钻井时, 在排量一定的情况下, 冲击类提速工具的提速效果取决于冲击扭矩和冲击频率。于是, 据此对复合冲击器的结构进行改进, 采用双冲击锤结构, 同等排量下冲击扭矩提高一倍, 冲击频率由 17~25 Hz 提高至 23~36 Hz, 冲击能量为原来的 2 倍以上; 复合冲击器本体采用超高强度钢, 以确保其在井下长时间工作时的安全性和可靠性; 采用 CNC 五轴复合切削、激光增材一体加工及精密电加工等技术加工, 以提高复合冲击器的精密程度, 确保其安全可靠性。

## 2.2 井壁稳定技术

井筒内钻井液在压差作用下渗入地层, 泥页岩吸水后, 黏土晶层之间的双电层作用及作用力发生变化, 此时如果没有外力束缚, 泥页岩的水化将会以膨胀的形式表现出来, 这是导致东营组地层井壁坍塌的主要因素<sup>[18~19]</sup>。针对泥页岩易水化的特点, 为有效封堵泥页岩地层的微孔隙, 以水、单体、少量

乳化剂为原料, 通过乳液聚合技术制得一种核壳型聚合物胶乳 NSEAL, NSEAL 具有纳米级粒径、抗温耐盐性好、起泡低、安全环保的特点。由于 NSEAL 具有纳米级的粒径, 其可封堵泥页岩地层的微裂缝, 有效降低孔隙压力传递速率, 最大限度地降低压差卡钻概率。采用泥页岩岩心进行 NSEAL 与现有封堵材料 NanoShield 的孔隙压力传递试验, 结果如图 2 所示。

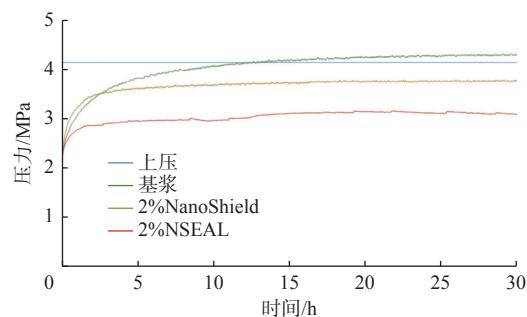


图 2 孔隙压力传递试验结果

Fig.2 Pore pressure transfer experiment results

从图 2 可以看出, 基浆中加入 NanoShield 和 NSEAL 后均能降低孔隙压力传递速率, 但加入 NSEAL 后的效果更好。

## 2.3 储层保护技术

渤海潜山变质岩地层宏观裂缝、基质微裂缝、基质溶蚀孔隙发育, 具有双孔介质特征。裂缝处于半充填状态, 以高导缝、高阻缝和诱导缝为主, 具有平、直、宽的特点, 流体通过能力强, 常规钻井液中的固相颗粒易侵入储层较深部位, 而侵入的钻井液则在裂缝壁上形成滤饼, 使孔喉明显缩小。而其主要伤害是液相侵入后水化膜增厚, 使侵入区内岩石的含水饱和度升高, 形成水锁。

针对潜山裂缝性储层易受伤害的特点, 选用抗高温无固相钻井液, 与近平衡钻井方法配合, 从而实现潜山裂缝性油气藏的储层保护。

抗高温无固相钻井液具有热稳定性好、抗盐污染性强、与地层流体配伍性好的特点。该钻井液采用抗高温添加剂增强其热稳定性, 其在 180 °C 下热滚 72 h 后性能基本不变, 并且经过多次老化, 性能仍能基本不变; 该钻井液可以利用不同的可溶性盐进行加重, 密度最高可达到 1.52 kg/L。为了防止水锁效应, 加入了抗温抗盐性能优异的聚胺 UHIB, 以降低钻井液的油水界面张力, 改变岩石表面润湿性, 增大岩石表面与液相的润湿角, 从而降低毛细管阻力, 起到降压助排、防水锁作用。在 30 °C 条件

下,测试了抗高温无固相钻井液添加聚胺UHIB前后经老化后滤液与煤油的界面张力,结果显示,抗高温无固相钻井液添加聚胺UHIB前老化后滤液的界面张力与煤油的界面张力相同(26.84 mN/m),添加聚胺UHIB后老化后滤液的界面张力为2.61 mN/m,说明其具有很好的防水锁能力。

进入潜山层,尽可能降低钻井液密度,以实现近平衡钻井,达到储层保护的目的。在精确预测地层三压力剖面的基础上,结合实钻过程中接单根气、后效气的变化情况,合理调整钻井液密度及钻井参数,在保持井控安全的前提下将钻井液密度维持在较低水平。其中,5井 $\phi 215.9\text{ mm}$ 井段在实钻过程中钻井液密度最高仅 $1.31\text{ kg/L}$ ,远低于设计密度 $1.36\text{ kg/L}$ (见图3),在保证钻井安全的同时将储层伤害降至最低。

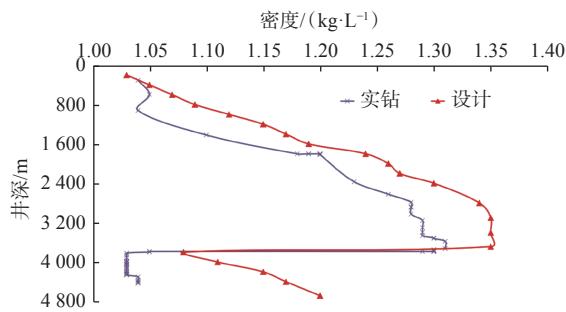


图3 5井实钻与设计钻井液密度对比

Fig.3 Comparison of actual and design drilling fluid densities in Well 5

#### 2.4 螺杆钻具优化

井径大于 $311.1\text{ mm}$ 的井眼为大尺寸井眼<sup>[20]</sup>。常规探井钻进浅部地层时采用大尺寸井眼,但对于该构造的深层探井,为了给后续钻进深部地层预留一层套管, $\phi 406.4\text{ mm}$ 井眼设计钻至井深 $800\text{ m}$ 以深,其中3井 $\phi 406.4\text{ mm}$ 井眼设计钻至井深 $2 400\text{ m}$ ,大大缩短了后续井段的长度,也为钻进深部复杂地层奠定了基础。

针对大尺寸井眼钻进深部地层时螺杆易失效的问题,对螺杆进行优化。采用有限元法模拟螺杆应力云图发现:螺杆转子应力集中点位于齿端与两齿间内凹陷处,定子应力集中点位于与转子接触处(见图4);当定子橡胶衬套材料参数 $C_{10}$ 逐渐增大,定子橡胶衬套最大von Mises应力总体呈现增大趋势。据此提出了螺杆钻具改进措施:改进螺杆外壳体挂胶,采用质量好的橡胶与粘结剂,从而提高螺杆定子橡胶衬套的质量,以防止螺杆脱胶。在使用

螺杆钻具过程中按照规定施加施工参数,减少定子橡胶衬套的损坏。另外,井底温度过高的井采用抗高温的定子橡胶衬套,以防止橡胶氧化而发生脱胶。

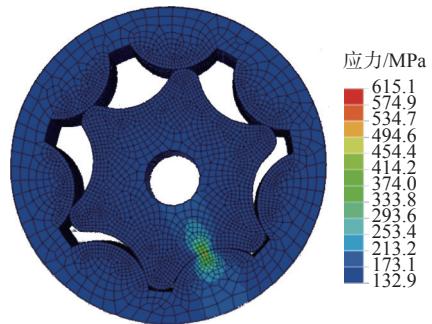


图4 螺杆定转子应力云图  
Fig.4 Stress cloud of PDM stator and rotor

#### 2.5 防漏堵漏技术

通过技术攻关,形成了“钻前避漏-钻中防漏-高效堵漏”的漏失风险预测及防治技术。在前期设计阶段,通过精准预测地层三压力剖面、评估钻前地质风险、优化设计井身结构和钻井液密度,以避免发生漏失;在钻井阶段,通过调整钻井液性能和合理控制井底当量循环密度,以预防井漏,降低井漏风险。

以4井为例,通过分析地震资料发现有4处分层差异常,结合地质资料综合判断分别为断层破碎带、断层、薄弱带、巨砾岩发育段,且潜山顶面存在风化壳,漏失风险高。于是,将该井 $\phi 406.4\text{ mm}$ 井段加深至明化镇组底,下入 $\phi 339.7\text{ mm}$ 套管封固断层1; $\phi 311.1\text{ mm}$ 井段钻至井深 $3 600\text{ m}$ 左右,封固断层2、断层3和断层4。在钻进过程中, $\phi 311.1\text{ mm}$ 井段计划进入东营组前将钻井液密度控制在 $1.26\text{ kg/L}$ ,中完时钻井液密度为 $1.32\text{ kg/L}$ ; $\phi 215.9\text{ mm}$ 井段需钻穿2个薄弱层,提前加入1%随钻堵漏材料,采用密度 $1.32\text{ kg/L}$ 的钻井液开钻,设计将钻井液密度控制在 $1.34\text{ kg/L}$ ,如无法满足井壁稳定要求,则将钻井液密度提至 $1.36\text{ kg/L}$ 。此外,在 $\phi 311.1$ 及 $\phi 215.9\text{ mm}$ 井段钻具组合中加入随钻监测ECD工具,并采用控压钻井技术调整钻井参数,以控制井底ECD。

针对高风险段可能使用高浓度大颗粒随钻堵漏材料,堵漏材料无法通过传统MWD工具,只能起钻下入简易钻具组合堵漏的难题,引入了随钻堵漏短节+直井测斜仪钻具组合。该钻具组合最大允许排量 $5 000\text{ L/min}$ ,可通过粒径 $8.0\text{ mm}$ 的堵漏材料,允许堵漏材料质量浓度 $99.75\text{ kg/m}^3$ ,可以实现免起下钻快速堵漏,发生恶性漏失时可快速加入高浓度随

钻堵漏材料进行堵漏,能有效提高易漏地层的堵漏效率。

### 3 现场应用效果

2022 年,渤海油田应用上述钻井关键技术在某潜山构造东高点钻成了 7 口探井(2 井、3 井、4 井、5 井、6 井、7 井和 8 井),实现了该构造内深层探井的安全高效钻进,钻井周期共缩短 13.27 d,经济效益显著。

7 口探井  $\phi 215.9$  mm 井段应用优化后的 PDC 钻头与低密度钻井液钻进潜山地层,各探井潜山井段均实现高效钻进,无钻头泥包现象,且出井钻头磨损轻微(见图 5)。7 口探井  $\phi 215.9$  mm 井段平均机械钻速为 4.48 m/h,相较于未应用钻井关键技术的 1 井,有明显提高(见图 6)。



图 5 出井钻头磨损情况

Fig.5 Wear of drilling bit during drilling

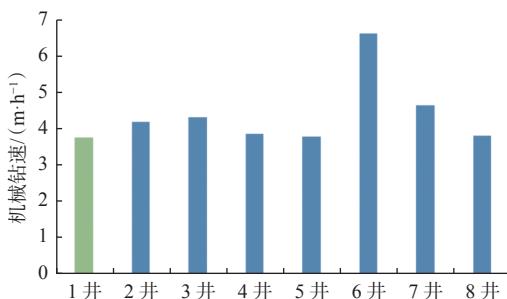


图 6 各井  $\phi 215.9$  mm 井段机械钻速

Fig.6 ROP in  $\phi 215.9$  mm section of each well

7 口探井应用井壁稳定技术后,各井各层套管均实现高效下入(见图 7),其中  $\phi 339.7$  mm 套管平均下入速度达到 20.01 根/h,  $\phi 244.5$  mm 套管平均下入速度达到 21.97 根/h,  $\phi 339.7$  mm 套管平均下入速度达到 20.83 根/h,且起下套管无明显遇阻,充分说

明井壁稳定性良好。

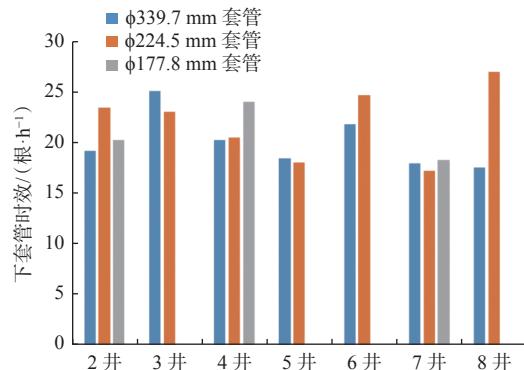


图 7 各井各层套管下入时效

Fig.7 Casing running time in each section of each well

钻井作业安全高效实施,钻遇主体区太古界油层 99.1~321.3 m,其中 3 口探井测试获高产,最高日产原油  $324.6 m^3$ 、天然气  $32.4 \times 10^4 m^3$ 。7 口探井最终探明石油储量  $1.3 \times 10^8 t$  油当量,证实潜山带成藏条件优越。

### 4 结论与建议

1)针对渤海油田某潜山构造钻井技术难点,进行了钻头优化设计、井壁稳定技术、储层保护技术、螺杆钻具优化、防漏堵漏技术等方面的研究,形成了渤海油田变质岩潜山油藏钻井关键技术。

2)现场应用表明,变质岩潜山油藏钻井关键技术可以克服渤海油田某潜山构造的钻井技术难点,为渤海油田变质岩潜山油藏的勘探开发提供技术支持。

3)随着渤海深层油气藏勘探领域的拓展,必将呈现出新的特点和挑战,钻井作业难度更大,安全环保风险更高。需要持续进行科技攻关,完善升级钻井技术,研发高性能材料、设备和新技术新工艺,从而保障渤海深层钻井作业安全。

### 参 考 文 献

#### References

- [1] 李涛,苏强,杨哲,等.川西地区超深井钻井完井技术现状及攻关方向[J].石油钻探技术,2023,51(2):7-15.  
LI Tao, SU Qiang, YANG Zhe, et al. Current practices and research directions for drilling and completion technologies for ultra-deep wells in western Sichuan[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2023, 51(2): 7-15.
- [2] 袁国栋,王鸿远,陈宗琦,等.塔里木盆地满深 1 井超深井钻井关键技术[J].石油钻探技术,2020,48(4):21-27.  
YUAN Guodong, WANG Hongyuan, CHEN Zongqi, et al. Key technologies for ultra-deep well drilling in the Tazhou Basin[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2020, 48(4): 21-27.

- YUAN Guodong, WANG Hongyuan, CHEN Zongqi, et al. Key drilling technologies for the ultra-deep Well Manshen 1 in the Tarim Basin[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2020, 48(4): 21–27.
- [ 3 ] 胡大梁, 欧彪, 郭治良, 等. 川西二叠系超深风险井永胜 1 井钻井关键技术 [J]. 断块油气田, 2019, 26(4): 524–528.
- HU Daliang, OU Biao, GUO Zhiliang, et al. Key drilling technology of Permian ultra-deep risk exploration Well YS1 in western Sichuan[J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2019, 26(4): 524–528.
- [ 4 ] 陈安明, 张进双, 白彬珍, 等. 松辽盆地深井钻井技术难点与对策 [J]. 石油钻探技术, 2011, 39(4): 119–122.
- CHEN Anming, ZHANG Jinshuang, BAI Binzen, et al. The drilling problem and countermeasures of deep wells in Songliao Basin[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2011, 39(4): 119–122.
- [ 5 ] 贾开富, 王峰, 宋明星, 等. 准噶尔盆地中深层薄层叠置砂体储层预测 [J]. 特种油气藏, 2018, 25(4): 33–38.
- JIA Kaifu, WANG Feng, SONG Mingxing, et al. Prediction of medium-deep reservoir with thin-overlapping sandbody in Junggar Basin[J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2018, 25(4): 33–38.
- [ 6 ] 何立成, 唐波. 准噶尔盆地超深井钻井技术现状与发展建议 [J]. 石油钻探技术, 2022, 50(5): 1–8.
- HE Licheng, TANG Bo. The up to date technologies of ultra-deep well drilling in Junggar basin and suggestions for further improvements[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2022, 50(5): 1–8.
- [ 7 ] 施和生, 王清斌, 王军, 等. 渤中凹陷深层渤中 19-6 构造大型凝析气田的发现及勘探意义 [J]. 中国石油勘探, 2019, 24(1): 36–45.
- SHI Hesheng, WANG Qingbin, WANG Jun, et al. Discovery and exploration significance of large condensate gas fields in BZ19-6 Structure in deep Bohai Sag[J]. *China Petroleum Exploration*, 2019, 24(1): 36–45.
- [ 8 ] 邓建明, 马英文. 渤海中深层天然气田钻完井关键技术现状及展望 [J]. 石油钻采工艺, 2018, 40(6): 677–683.
- DENG Jianming, MA Yingwen. Status and prospect of key drilling and completion technologies used in middle-deep natural gas fields of the Bohai Sea[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2018, 40(6): 677–683.
- [ 9 ] 陈真, 罗鹏, 袁洪水, 等. 渤中 X 构造花岗片麻岩矿物特征录测关系研究与工程应用 [J]. 录井工程, 2019, 30(3): 73–76.
- CHEN Zhen, LUO Peng, YUAN Hongshui, et al. Study on the relation between mud logging and well logging of granite gneiss mineral characteristics in Bohai X Structure and its engineering application[J]. *Mud Logging Engineering*, 2019, 30(3): 73–76.
- [ 10 ] 薛懿伟, 陈立强, 徐鲲, 等. 渤中 19-6 大气田深部潜山硬地层钻井提速技术研究与应用 [J]. 中国海上油气, 2020, 32(4): 140–146.
- XUE Yiwei, CHEN Liqiang, XU Kun, et al. Research and application of ROP improvement technology in deep buried hill hard formations of BZ19-6 large gas field[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2020, 32(4): 140–146.
- [ 11 ] 马英文, 刘小刚. 抗高温无固相储层保护钻井液体系 [J]. 石油钻采工艺, 2018, 40(6): 726–729.
- MA Yingwen, LIU Xiaogang. A high-temperature & solid-free drilling fluid system with the property of reservoir protection[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2018, 40(6): 726–729.
- [ 12 ] 杨一凡, 邱正松, 李佳, 等. 渤中 19-6 深部潜山高温气层保护钻井液技术 [J]. 钻井液与完井液, 2020, 37(4): 476–481.
- YANG Yifan, QIU Zhengsong, LI Jia, et al. Technology drilling fluid for protecting high temperature deep buried hill gas reservoirs in Bozhong 19-6 Block[J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2020, 37(4): 476–481.
- [ 13 ] 许杰, 刘海龙, 张磊. 非均匀地应力条件下浅部泥岩井壁力化耦合作用分析 [J]. 非常规油气, 2021, 8(4): 99–105.
- XU Jie, LIU Hailong, ZHANG Lei. Analysis of the coupling action of borehole wall for the shallow mudstone under the condition of non-uniform in-situ stress[J]. *Unconventional Oil & Gas*, 2021, 8(4): 99–105.
- [ 14 ] 许杰, 窦蓬, 林海, 等. 渤中凹陷西南环深层探井钻井难点与技术对策 [J]. 石油钻采工艺, 2021, 43(2): 177–183.
- XU Jie, DOU Peng, LIN Hai, et al. Drilling difficulties of deep explorations wells in the southwest zone of Bozhong Sag and their technical countermeasures[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2021, 43(2): 177–183.
- [ 15 ] 韩耀图, 马英文, 谢涛, 等. 渤中 19-6 构造潜山花岗片麻岩地层漏失压力分析 [J]. 石油钻采工艺, 2018, 40(增刊 1): 136–138.
- HAN Yaotu, MA Yingwen, XIE Tao, et al. Analysis on leakage pressure of buried-hill granite gneiss in BZ19-6 structure[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2018, 40(supplement1): 136–138.
- [ 16 ] 张磊, 许杰, 谢涛, 等. 几种裂缝性漏失压力计算模型的比较分析 [J]. 石油机械, 2018, 46(9): 13–17.
- ZHANG Lei, XU Jie, XIE Tao, et al. Comparison of several calculation models for loss pressure of fractured formation[J]. *China Petroleum Machinery*, 2018, 46(9): 13–17.
- [ 17 ] 邹德永, 陈雅辉, 赵方圆, 等. 斧形 PDC 齿破岩规律数值模拟研究 [J]. 特种油气藏, 2021, 28(6): 137–143.
- ZOU Deyong, CHEN Yahui, ZHAO Fangyuan, et al. Study on rock breaking rules of axe-shaped PDC cutter with numerical simulation[J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2021, 28(6): 137–143.
- [ 18 ] 王倩, 王刚, 蒋宏伟, 等. 泥页岩井壁稳定耦合研究 [J]. 断块油气田, 2012, 19(4): 517–521.
- WANG Qian, WANG Gang, JIANG Hongwei, et al. Study on shale wellbore stability coupling[J]. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2012, 19(4): 517–521.
- [ 19 ] 毕博. 泥页岩渗透水化作用对井壁稳定的影响 [J]. 钻井液与完井液, 2011, 28(增刊1): 1–3.
- BI Bo. Research on borehole stability affected by shale penetration and hydration[J]. *Drilling Fluid & Completion Fluid*, 2011, 28(supplement1): 1–3.
- [ 20 ] 叶周明, 刘小刚, 崔治军, 等. 大尺寸井眼钻井工艺在渤海油田某探井中的应用和突破 [J]. 石油钻采工艺, 2014, 36(4): 18–21.
- YE Zhouming, LIU Xiaogang, CUI Zhijun, et al. Application and breakthrough of large-size hole drilling technology in some exploration well in Bohai Oilfield[J]. *Oil Drilling & Production Technology*, 2014, 36(4): 18–21.