

文章编号: 1008-2336 (2024) 01-0046-05

## 超深大位移井高效井筒清洁与预校深一体化提效工艺

葛俊瑞, 李三喜, 李艳飞, 蔡 斌  
(中海石油(中国)有限公司上海分公司, 上海 200335)

**摘要:** 超深大位移井的井眼轨迹复杂、井斜大、稳斜段长, 常规套管程序为  $\phi 244.5$  mm 套管与  $\phi 177.8$  mm 尾管复合, 且刮管洗井阶段存在随钻预校深为射孔备用的需求, 常规采用两趟管柱分别实现井筒清洁、随钻预校深的功能, 造成井筒清洁效率低、作业周期长。通过集成优化组合多功能清洁工具、可变速刮管器、随钻测井工具和分流转向阀工具, 设计形成了高效井筒清洁与预校深一体化管柱结构, 重点开展了水力学模拟、管柱安全评价、工艺流程优化, 实现复合井筒一趟式高效清洁和随钻预校深一体化功能, 相比常规两趟式方案提效 30%。该技术在东海 3 口超深大位移井中成功应用, 井下工具工作正常, 相比同类井型常规工艺单井平均缩短 43.6 h, 具有显著的提速提效作用。

**关键词:** 超深井; 大位移井; 井筒清洁; 预校深; 分流转向; 提速提效

中图分类号: TE257

文献标识码: A

DOI:10.3969/j.issn.1008-2336.2024.01.046

## Integrated Technology of Efficient Wellbore Cleaning and Pre-calibration for Ultra-deep and Large Displacement Wells

GE Junrui, LI Sanxi, LI Yanfei, CAI Bin  
(Shanghai Branch of CNOOC (China) Ltd., Shanghai 200335, China)

**Abstract:** Ultra-deep and large displacement wells have complex wellbore trajectory, large well deviation and long stable deviation section. The conventional casing program is a combination of  $\phi 244.5$  mm casing and  $\phi 177.8$  mm liner, and there is a need to pre-calibrate the depth while drilling for perforation during the scraping and washing stage. Normally, two trips of string are used to achieve the functions of wellbore cleaning and pre-calibrating while drilling, resulting in low wellbore cleaning efficiency and long operation cycle. Through the integration and optimization of multi-functional cleaning tools, variable gauge casing scratcher, logging tools while drilling and diverter valve tools, the integrated string structure of efficient wellbore cleaning and pre-calibrating depth is designed. Hydraulic simulation, string safety evaluation and process flow optimization were carried out to realize the integrated function of one-trip high-efficiency cleaning of composite wellbore and pre-calibration while drilling. Compared with the conventional two-trip scheme, the efficiency was increased by 30%. The technology has been successfully applied in three ultra-deep and large displacement wells in East China Sea, and the downhole tools work normally. Compared with the conventional technology of the same well type, the single well is shortened by 43.6 hours on average, which has a significant effect on speed-up and efficiency improvement.

**Keywords:** ultra-deep well; large displacement well; wellbore cleaning; pre-calibration depth; split flow; speed-up and efficiency improvement

近年来, 随着东海海域深层油气藏勘探开发的逐步深入, 依托已有生产平台对周边断块油气田、边际油气田进行调整挖潜日趋增加, 出现了越来越多的超深大位移井。其通常采用  $\phi 244.5$  mm 套管+ $\phi 177.8$  mm 尾管的套管程序, 井斜大、稳斜段长等复杂的井眼轨迹和井身结构, 尤其是  $\phi 177.8$  mm 尾管段长且需使用  $\phi 101.6$  mm 的小尺寸钻具, 造成循环压力损耗大, 进一步影响循环排量, 引起  $\phi 244.5$  mm 套管内环空返

速低, 影响井筒清洁<sup>[1-3]</sup>; 同时电缆测井仪器无法下入指定深度, 泵送校深风险高、时间长, 射孔需采用 LWD 随钻测井工具校深<sup>[4-6]</sup>。为防止射孔管柱下入后随钻测井工具失效风险, 提出在刮管洗井管柱中进行预校深, 作为射孔校深的备用方案, 但是目前适用  $\phi 177.8$  mm 套管的随钻测井工具上限排量在  $1 \text{ m}^3/\text{min}$  左右, 导致环空返速小, 洗井效率低, 效果差。常规是采用两趟管柱进行井筒清洁和预校深作业, 第一趟

收稿日期: 2021-10-08; 改回日期: 2022-03-07

第一作者简介: 葛俊瑞, 男, 1990 年生, 硕士, 高级工程师, 2015 年毕业于中国石油大学(北京)石油与天然气工程专业, 从事海上油气勘探开发完井工程技术研究工作。E-mail: gejr@cnooc.com.cn。

管柱进行上部  $\phi 244.5\text{ mm}$  套管刮削清洁, 实现大排量循环冲洗, 第二趟管柱进行  $\phi 177.8\text{ mm}$  尾管的套管清洁和随钻预校深, 两趟管柱的方式叠加实施效果良好, 但作业周期长。

为弥补现有工艺技术的不足, 提高作业时效, 提出了高效井筒清洁与预校深一体化工艺(简称为“一体化工艺”), 一趟管柱实现“套管刮削、多功能清洁、随钻预校深、分流转向”4 种功能集成且可自由切换, 为超深大位移井提速提效提供了重要技术支撑。

## 1 一体化管柱

### 1.1 管柱结构

高效井筒清洁与预校深一体化管柱自下而上为: 钻头+真空吸附器+可变径刮管器+ $\phi 101.6\text{ mm}$  钻杆+强磁清洁器+LWD 随钻测井工具+分流转向阀+井筒过滤器+钻杆。该管柱创新性地将多种清洁器、校深工具和分流转向工具进行集成应用, 相互配合, 互不干扰, 使得一趟管柱实现井筒清洁和预校深。

### 1.2 工作原理

#### 1.2.1 套管刮削

针对  $\phi 244.5\text{ mm}$  套管+ $\phi 177.8\text{ mm}$  尾管的套管程序, 采用可变径刮管器在管柱下入过程中对套管内壁进行刮削, 清除水泥、毛刺、铁锈等杂质, 在刮削完  $\phi 244.5\text{ mm}$  套管后, 施加压力使可变径刮刀片收缩至紧贴  $\phi 177.8\text{ mm}$  尾管内壁继续刮削, 达到一趟管柱刮削两层套管的目标。

#### 1.2.2 多功能清洁

集成真空吸附器、强磁清洁器、井筒过滤器的复合高效清洁功能, 利用“抽吸-吸附-过滤”提升清洁效率和效果, 其中真空吸附器收集井底碎屑, 强磁清洁器的超强磁铁吸附井筒中的铁屑等体积较大的杂质, 井筒过滤器实现起下钻过程中的套管清洁和工作液过滤, 协同配合克服环空返速低、工作液携带性能差的不利因素, 实现井筒清洁和收集碎屑的功能。

#### 1.2.3 随钻预校深

管柱中携带 LWD 随钻测井工具, 到达预定位置后, 开泵循环并控制排量在 LWD 的工作范围内, 监测数据信号正常后, 保持缓慢匀速上提, 实现对特征井段伽马值、套管同位素的测量, 通过标志性的伽马值位置定位工具, 并在预定位置的地面钻杆上做标记。实际射孔管柱与随钻预校深保持射孔枪以上的管柱结构一致, 同时结合射孔枪最顶部的第一发射孔弹到 LWD 随钻测井工具的距离, 精确定位射孔枪的位置, 使其对准射孔段位置, 为射孔校深提供备用方式。

### 1.2.4 分流转向

为了消除随钻测井工具循环排量受限对井筒清洁的不利影响, 在完成随钻预校深后, 投球打开分流转向阀滑套, 从而隔离下部管柱并屏蔽随钻测井工具, 从而增大循环排量、增加环空返速, 有利于改善清洁质量和提升作业效率。

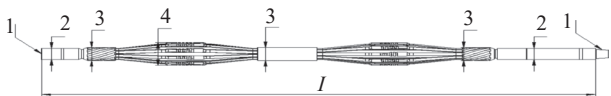
### 1.3 工艺特点

高效井筒清洁与预校深一体化提效工艺具有全面的功能集成, 依据井筒刮削清洁和校深位置需求, 合理设计配套工具位置, 在管柱下入过程中对不同尺寸套管进行同时刮削, 并不断吸附井筒内杂质, 管柱到达预定位置后先进行循环测试、预校深、标记位置, 再利用真空吸附器对井底进行抽吸, 同时进行  $\phi 177.8\text{ mm}$  尾管的清洁并替入干净的工作液, 再起管柱进入  $\phi 244.5\text{ mm}$  套管内, 投球打开分流转向阀, 进行大排量循环清洁并替入干净的工作液, 最后起出管柱并过滤工作液, 吸附杂质, 达到良好的井筒清洁环境和预校深目标。

## 2 配套工具及主要参数

### 2.1 可变径刮管器

可变径刮管器是利用板簧的压缩实现刮刀片收回, 改变自身形态适应套管尺寸, 采用 2 组刀片, 每组 10 片的环形分布实现全周向覆盖<sup>[7]</sup>, 主要结构见图 1。



1-螺纹; 2-短节; 3-扶正套; 4-刮刀。

图 1 可变径刮管器结构示意图

Fig. 1 Structure of variable diameter scraper

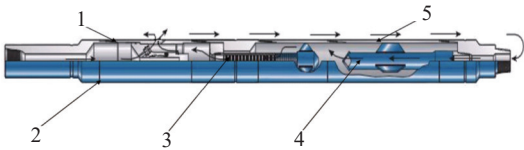
可变径刮管器特点:

- (1) 一趟管柱同时刮削两层套管, 适应  $\phi 177.8\sim 244.5\text{ mm}$  套管;
- (2) API 标准, 常用尺寸, 易于加工, 与其他工具连接方便;
- (3) 扶正器凹槽设置, 易于大尺寸碎屑通过;
- (4) 刮刀  $360^\circ$  覆盖, 可变径, 可旋转, 清洁效果佳;
- (5) 内通径达到  $40\text{ mm}$ , 大通径增加流通面积, 提高清洗效果;
- (6) 工具总长  $4\,147\text{ mm}$  且为一体式结构, 无需现场组装, 时效高;
- (7) 芯轴抗拉强度  $965\text{ MPa}$ , 工具材质强度大, 操作能力强。

2.2 井筒高效清洁工具

(1) 真空吸附器

由顶部驱动头、2~3 节岩屑收集筒、过滤筛管和单向分流管组成(图 2)。依靠顶部驱动头将管柱内的部分工作液从环空导流至管柱底端,形成局部的反循环,工作液携带井底碎屑进入单向分流管,在分流管顶部的岩屑阻滞沉降帽的导向下,工作液中的杂质依靠自重收集筒中沉积。



1-真空喷射短节; 2-顶部驱动头; 3-过滤筛管; 4-单向分流盲管; 5-碎屑回收筒。

图 2 真空吸附器结构示意图

Fig. 2 Structure of the vacuum adsorber

(2) 强磁清洁器

通过携带超强磁铁,具备强劲的金属碎屑吸附能力,清除井筒中的铁屑类杂质。适用于金属碎屑多,且难以达到高返速携带碎屑的井。

(3) 井筒过滤器

由上部流道、毛刷总成、旁通孔、破裂盘、碎屑回收腔、筛缝过滤器、观察孔和扶正器组成<sup>[8]</sup>。井筒过滤器在下入和起出井筒时,分别有两种工作状态:下入时毛刷总成在套管壁摩擦力的作用下上行,下方的旁通口露出大的流通通道,可以避免压活塞情况出现,方便快速下入;起出时毛刷总成在套管壁摩擦力

作用下下行,旁通孔关闭,毛刷基本将环空封隔,环空只有唯一的通道可以供井内流体通过,并且必须经由筛缝过滤器,可以有效回收井筒中的碎屑,达到一趟刮管、同时回收的效果,工作状态示意图见图 3。

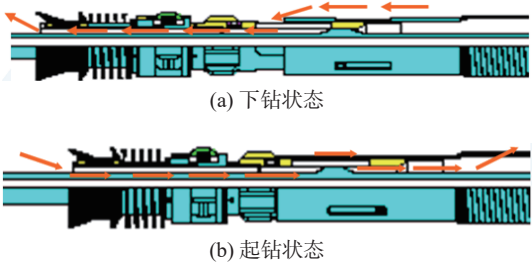
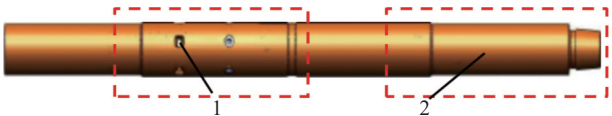


图 3 井筒过滤器工作状态示意图

Fig. 3 Working condition of the wellbore filter

2.3 分流转向阀

由投球打开滑套和捕球筒组成,投球打开滑套主要由外筒、内衬套、锁定弹簧等组成,内衬套上设计独特的球座,投入相同尺寸的功能球,可以打开或者关闭滑套,投入功能球打开分流阀滑套后,最高循环排量能达到  $3.18 \text{ m}^3/\text{min}$ ,实现高效循环洗井,捕球筒的容量是 18 个球,能够实现 9 个周期的工具开关。工具结构见图 4,参数见表 1。



1-投球打开滑套; 2-捕球筒。

图 4 分流转向阀结构图

Fig. 4 Structure of the diversion valve

表 1 适用于  $\phi 177.8 \text{ mm}$  套管的分流转向阀参数

Table 1 Parameters of the diversion valve for  $\phi 177.8 \text{ mm}$  casing

| 名称  | 最大外径/mm | 最小内径/mm | 最小通径/mm | 抗拉值/kN | 抗扭/(kN·m) | 抗内压/MPa | 抗外挤压力/MPa |
|-----|---------|---------|---------|--------|-----------|---------|-----------|
| 分流阀 | 127.00  | 41.78   | 38.10   | 3 879  | 104       | 239     | 276       |
| 补球筒 | 127.00  | 33.02   | 31.75   | 3 148  | 89        | 137     | 153       |

分流阀关闭状态下流体:泥浆泵→钻杆→多功能清洁工具→分流转向阀→随钻测井工具→可变径刮管器→钻头→ $\phi 177.8 \text{ mm}$  套管环空→ $\phi 244.5 \text{ mm}$  套管环空→地面。

分流阀打开状态下流体:泥浆泵→钻杆→多功能清洁工具→分流转向阀→套管环空→地面。

3 管柱模拟分析和评估

以东海海域 B8 井为例,井深  $6\,502.00 \text{ m}$ ,水平位移  $4\,158.51 \text{ m}$ ,垂深  $4\,288.58 \text{ m}$ ,最大井斜  $69.60^\circ$ ,井眼轨迹数据见表 2。井身结构为: $\phi 609.60 \text{ mm}$  隔水管× $215.0 \text{ m}$ + $\phi 339.70 \text{ mm}$  套管× $2\,395.0 \text{ m}$ + $\phi 244.50 \text{ mm}$

套管× $5\,566.70 \text{ m}$ + $\phi 177.80 \text{ mm}$  套管×( $5\,318.80 \sim 6\,500.50 \text{ m}$ )。采用  $\phi 177.80 \text{ mm}$  套管 TCP 射孔完井,射孔段为  $6\,222.00 \sim 6\,328.00 \text{ m}$ ,电测固井质量期间测井仪器最大下深至  $2\,806.00 \text{ m}$ ,采用常规电缆校深无法满足作业要求,需在井筒清洁期间进行随钻预校深。

设计高效井筒清洁与预校深一体化管柱结构为: $\phi 149.22 \text{ mm}$  钻杆+变扣+ $\phi 244.50 \text{ mm}$  井筒过滤器+ $\phi 244.50 \text{ mm}$  强磁清洁器+变扣+ $\phi 101.60 \text{ mm}$  钻杆+变扣+分流转向阀+随钻测井工具+ $\phi 177.80 \text{ mm}$  强磁清洁器+可变径刮管器+真空吸附器+ $\phi 149.22 \text{ mm}$  钻头。

3.1 水力学分析

针对随钻测井工具工作排量限制的影响,重点开展分流转向阀开关前后状态对比分析,打开后循环,排

表 2 B8 井实钻井眼轨迹  
Table 2 Real borehole trajectory of Well B8

| 斜深/m     | 井斜/°  | 方位/°   | 垂深/m     | 水平位移/m   |
|----------|-------|--------|----------|----------|
| 0        | 0     | 0      | 0        | 0        |
| 190.00   | 1.32  | 166.88 | 189.99   | 1.29     |
| 275.52   | 4.41  | 119.46 | 275.40   | 4.72     |
| 447.70   | 5.72  | 72.21  | 446.92   | 18.35    |
| 1 083.77 | 24.55 | 34.28  | 1 056.12 | 178.86   |
| 1 689.11 | 24.61 | 31.03  | 1 605.73 | 430.33   |
| 3 017.41 | 69.60 | 32.58  | 2 600.71 | 1 253.68 |
| 5 037.72 | 69.48 | 33.13  | 3 308.33 | 3 145.57 |
| 6 502.00 | 28.30 | 34.00  | 4 288.58 | 4 158.51 |

量从 1 m<sup>3</sup>/min 提升至 3.18 m<sup>3</sup>/min, 循环泵压由 11.72 MPa 提高至 28.68 MPa,  $\phi 244.50$  mm 套管与  $\phi 149.22$  mm 钻杆环空返速由 48.34 m/min 提升至 153.70 m/min,  $\phi 244.50$  mm 套管与  $\phi 101.60$  mm 钻杆环空返速由 33.26 m/min 提升至 105.78 m/min,  $\phi 177.80$  mm 套管与  $\phi 101.60$  mm 钻杆环空返速由 88.78 m/min 提升至 282.31 m/min, 井筒完整循环一周的时间由 201.3 min 缩短至 63.3 min。研究表明, 为防止井筒中岩屑床和堆积物下滑, 环空返速一般不小于 45.72 m/min, 通过分流转向阀能够有效提高环空返速, 增加携带效率, 缩短作业时间。

3.2 管柱安全评价

由于超深大位移井的轨迹相对复杂、摩擦系数高, 一体化管柱工具类型多, 下至深部井段或弯曲井段时, 由于刚度的影响导致摩阻扭矩大, 同时入井管柱的长度较长导致管柱上提时大钩载荷大。为保证井筒高效清洁和预校深一体化管柱在施工过程中能够顺利实现起下钻, 对不同摩擦系数条件下的大钩载荷、轴向力、轴向力-失稳结果进行分析显得尤为重要<sup>[9]</sup>。

采用 Wellplan 模拟软件对管柱下入过程进行模拟, 即使套管内摩擦系数达到 0.4 的情况下, 管柱到达预定位置后, 管柱下放大钩载荷 891 kN、上提大钩载荷为 2 245 kN, 管柱入井及起吊过程中大钩载荷始终大于 0 并呈线性分布, 各工具在井下相应位置所受的载荷均在工具性能范围内, 下入过程中管柱无螺旋弯曲, 表明管柱起下过程中均处于安全范围内。

3.3 工艺设计优化

根据井下工具的特点和工程需求, 设计工具位置和实施工艺方法为:

- (1) 真空吸附器连接在钻头之上, 达到最佳的井底清洁效果;
- (2) 根据套管刮削位置的需求设计可变径刮管器的位置;
- (3) 强磁清洁器连接于可变径刮管器之上, 快

- 速吸附刮削产生的铁质类碎屑;
- (4) 按照套管同位素标记位置设计随钻测井工具在对应位置, 确保管柱下至预定位置时, 随钻测井工具能够测量到套管同位素标记位置, 以实现管柱校深功能;
  - (5) 分流转向阀连接于随钻测井工具之上, 实现屏蔽和连通下部管柱的自由切换;
  - (6) 井筒过滤器最后连接, 实现管柱起出过程中工作液过滤和细小碎屑的收集;
  - (7) 施工过程中需考虑随钻测井工具的耐温能力, 在井筒温度超过工具耐温能力的条件下, 管柱下入过程中需在达到耐温能力 80% 的位置进行循环降温, 同时监测工具的实际温度, 然后进行阶段性下入、循环降温, 到达预定位置后第一时间进行预校深, 再进行循环洗井作业, 在投球打开分流转向阀前, 需将管柱起至合理位置, 使随钻测井工具位置温度处于耐温范围内, 保证工具的安全使用。

4 现场应用

4.1 应用概况

井筒高效清洁和预校深一体化工艺在东海 B8 井、H6 井、C7 井得到成功应用, 3 口超深大位移井井深分别为 6 502、6 550、6 436 m, 均属于  $\phi 244.5$  mm 套管+ $\phi 177.8$  mm 尾管的套管程序, 采用一体化管柱顺利实现多种功能, 建立了良好的井筒环境, 同时为射孔作业提供了备用校深结果, 大幅提升作业时效, 为射孔作业一次成功提供支撑。

4.2 施工过程

- 以 B8 井为例介绍整体施工过程。
- (1) 测试分流转向阀  
井口测试分流转向阀并做开关实验, 投  $\phi 44.45$  mm 功能球, 开泵逐级加压至 9.28 MPa, 泵压突降至 0.55 MPa, 检查分流转向阀完全打开; 重新投  $\phi 44.45$  mm 球, 开泵逐级加压至 9.31 MPa, 泵压突降至 0.48 MPa, 检查分流转向阀完全关闭, 拆甩工具取出 2 个功能球。
  - (2) 下入一体化管柱, 套管刮削  
按照设计管柱组合连接钻头、可变径刮管器、分流转向阀等工具, 管柱下至 500 m, 开泵对随钻测井工具进行测试, 监测信号正常, 继续下管柱到达预定位置, 期间对  $\phi 244.5$  mm 套管、 $\phi 177.8$  mm 尾管内壁进行刮削。
  - (3) 随钻预校深, 标记位置  
下管柱至预定位置, 进行随钻预校深, 开泵至校深工具工作排量, 根据钻具长度、GR 仪器零长, 同时对比地层特征点, 得到 GR 仪器深度为 6 117.47 m, 而射孔管柱中随钻测井工具的 GR 仪器设计位置为

6 115.34 m，因此上提管柱 2.13 m 的深度就是射孔管柱的射孔枪正对射孔段的位置，在管柱上做好标记。

(4) 打开分流转向阀，循环清洁，起钻

投功能球加压打开分流转向阀，提升排量至 3.18 m<sup>3</sup>/min，泵压 27.44~28.68 MPa，大排量循环 2 周后，测返出流体浊度连续半小时小于 30，最终达到 26。全井筒替入完井液、射孔液，起钻至 500 m，投功能球关闭分流转向阀，再次对随钻测井工具进行浅层测试，监测信号正常，为后续射孔作业做好工具测试和准备。

4.3 实施效果

超深大位移井应用井筒高效清洁和预校深一体化工艺，相比常规两趟管柱的工艺，在满足井筒清洁质量和预校深要求的前提下，在 6 500 m 当量井深条件下，平均单井节省 43.6 h 完井工期，提效 30% (表 3)，具有显著的提速效果。若在射孔作业过程中出现工具故障等原因造成无法校深的问题时，可以采用预校深结果予以替代，最大限度地减少意外因素对工程作业的影响。

表 3 一体化工艺与常规工艺效果对比  
Table 3 Comparison of integrated process and conventional process effect

| 井名 | 井深 /m | 井筒清洁及预校深方式 | 时间 /h | 6 500 m 当量井深时间/h | 平均时间 /h |
|----|-------|------------|-------|------------------|---------|
| P2 | 7 296 | 两趟管柱       | 158   | 140.76           | 145.75  |
| P5 | 6 641 |            | 154   | 150.73           |         |
| B8 | 6 502 | 一体化管柱      | 109   | 108.97           | 102.15  |
| H6 | 6 550 |            | 98    | 97.25            |         |
| C7 | 6 436 |            | 99.25 | 100.24           |         |



(上接第 24 页)

[4] 孟祥君, 张训华, 刘展, 等. 东海西湖凹陷北部基底构造特征 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2008, 28 (2): 61-64.

[5] 李昆, 周兴海, 吴嘉鹏, 等. 西湖凹陷中下始新统宝石组沉积相研究 [J]. 海洋石油, 2017, 37 (1): 16-20, 79.

[6] 李喆. 东海盆地西湖凹陷 G 构造储层特征研究 [J]. 海洋石油, 2015, 35 (2): 25-29.

[7] 印兴耀, 王慧欣, 曹丹平, 等. 利用三参数 AVO 近似方程的深层叠

5 结论与认识

(1) 超深大位移井高效井筒清洁与预校深一体化能够一趟管柱实现套管刮削、多功能清洁、随钻预校深、分流转向等功能，实现不同尺寸套管程序下的高效施工，提高了作业时效。

(2) 管柱中各工具功能集成且互不干扰，通过合理配置工具和优化工艺，实现工具功能的正常和一体化工艺的安全实施。

(3) 现场应用表明，井筒高效清洁和预校深一体化工艺提高了施工效率，节约了作业成本。

参考文献:

[1] 万仁溥. 现代完井工程 [M]. 2 版. 北京: 石油工业出版社, 2000.

[2] 王平双, 郭土生, 范白涛, 等. 海洋完井手册 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2019.

[3] 汪志明, 翟羽佳, 高清春. 大位移井井眼清洁监测技术在大港油田的应用 [J]. 石油钻采工艺, 2012, 34 (2): 17-19.

[4] 李艳飞, 葛俊瑞, 李三喜, 等. 海上超深大位移大斜度井射孔技术研究与应用 [J]. 海洋石油, 2018, 38 (2): 72-76.

[5] 蔡斌, 葛俊瑞, 李艳飞, 等. 东海超深大位移气井完井技术实践 [J]. 海洋石油, 2019, 39 (2): 96-101.

[6] 李舜水, 唐鹏磊, 吴健. 东海大位移井完井技术研究与应 [J]. 海洋工程装备与技术, 2020, 7 (1): 48-53.

[7] 葛俊瑞, 李三喜, 李舜水, 等. 可变径刮管器的评价及应用 [J]. 石油工业技术监督, 2018, 34 (12): 13-16.

[8] 亓彦铤. 多功能井筒清洁器在渤海油田分支水平井应用 [J]. 石油矿场机械, 2020, 49 (1): 68-71.

[9] 卢培华, 陈德飞, 潘昭才, 等. 超深双台阶水平井分注及酸化一体化管柱研究 [J]. 石油机械, 2019, 47 (2): 96-102.

前地震反演 [J]. 石油地球物理勘探, 2018, 53 (1): 129-135.

[8] 王慧欣, 张大海, 张纪, 等. 基于  $K_{\Gamma-\mu-\phi}$  近似方程的深层叠前地震反演研究 [J]. 海洋石油, 2020, 40 (2): 22-27.

[9] 刘婷婷, 蒋滢. 西湖凹陷平湖组深层岩性圈闭刻画方法研究——以孔南地区为例 [J]. 海洋石油, 2022, 42 (2): 7-13.

[10] Lamy P. 从地震资料到储层特征的地质统计学反演 [J]. 刘芳, 译. 国外油气勘探, 2000 (4): 418-426.

[11] 孙思敏, 彭仕宓. 地质统计学反演及其在薄层砂体预测中的应用 [J]. 西安石油大学学报 (自然科学版), 2007, 22 (1): 41-44, 48.