

渤海某油田延长测试技术创新与实践

陈光峰¹, 张兴华¹, 卢中原¹, 马英文², 杨歧年², 高科超²

1. 中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司 天津 300452

2. 中海石油(中国)有限公司天津分公司工程技术作业中心 天津 300452

通讯作者: Email: chengf2@ cnooc.com.cn

引用: 陈光峰, 张兴华, 卢中原, 等. 渤海某油田延长测试技术创新与实践[J]. 油气井测试, 2019, 28(1): 46-51.

Cite: CHEN Guangfeng, ZHANG Xinghua, LU Zhongyuan, et al. Innovation and application of extended testing technology in an oilfield in Bohai Sea [J]. Well Testing, 2019, 28(1): 46-51.

摘要 为降低渤海某边际油田开发与投资风险, 确定油田的生产能力并掌握生产变化规律, 采用延长测试技术对该油田进行了动态勘探评价。在施工过程中, 分别从油气处理系统、油轮系泊系统、原油外输系统、资料录取系统等方面进行创新实践, 实现了地层流体的三相分离和外输, 处理后原油含水不高于 1wt%。作业期间通过随输随靠的原油外输模式, 顺利完成 48 次原油外输, 每 6 h 提取一次井下压力数据, 对压力资料进行实时解释, 并结合储层的动、静态资料及时调整生产制度。应用表明, 延长测试新技术可取全取准测试地质资料, 对比沙河街组 and 潜山储层的静态和动态特征, 证实沙河街储层的连通性和潜山的储量规模。渤海油田的延长测试作业模式为边际小油田的开发提供了可借鉴的技术和经验。

关键词 延长测试; 油气处理; 试采平台; 应急解脱; 油轮系泊; 原油外输; 资料录取; 连通性

中图分类号: TE353 **文献标识码**: B **DOI**: 10. 19680/j.cnki.1004-4388. 2019. 01.008

Innovation and application of extended testing technology in an oilfield in Bohai Sea

CHEN Guangfeng¹, ZHANG Xinghua¹, LU Zhongyuan¹, MA Yinwen², YANG Qinian², GAO Kechao²

1. CNOOC EnerTech-Drilling & Production Co., Tianjin 300459, China

2. Engineering Technology Operating Center, Tianjin Branch of CNOOC (China) Limited, Tianjin 300459, China

Abstract: In order to reduce the development and investment risk, determine the production capacity and understand the production change law of a marginal oilfield in the Bohai Sea, the extended testing technology was used to evaluate dynamic exploration in this oilfield. During the operations, through innovation of oil and gas treatment system, tanker mooring system, crude oil transportation system and data acquisition system, the three-phase separation and transportation of formation fluids were realized, and the water content of crude oil after treatment was not higher than 1wt%. Based on the mooring upon crude oil transportation mode, 48 times of crude oil transportation were successfully completed. Downhole pressure data was acquired every 6 h; the pressure data was interpreted in real time, and the production system was adjusted timely depending on the dynamic and static data of the reservoir. The application shows that the new extended test technology can obtain the geological data completely and accurately. By comparing the static and dynamic characteristics of Shahejie Formation and buried-hill reservoirs, the connectivity of Shahejie Formation and the reserves scale of buried-hill reservoir were confirmed. The extended test in the Bohai oilfield provides the technical and practical reference for the development of small marginal oilfields.

Keywords: extended test; oil and gas treatment; production test platform; emergency relief; tanker mooring; crude oil transportation; data acquisition; connectivity

前人针对边际油田开发进行了研究, 并明确指出, 若所落实的储量、关键资料、关键认识能基本满足油田开发认识的需求, 就可以直接进入开发方案研究阶段^[1-2]。但是, 由于地理环境、地质条件、储量规模和评价程度等因素制约, 很多边际油田难以直接开发, 需要采用比常规测试周期更长的延长测

试来获得进一步的地质油藏信息。

渤海某边际油田含油构造较小, 该油田潜山生屑云岩储层空间分布的稳定性及连通性等方面存在较多的不确定性, 共同制约着油藏的开发。为降低开发风险, 确定油田的生产能力并掌握生产变化规律, 对该油田进行了延长测试, 并在项目运行过

程中进行了技术创新。常规试采平台地面测试系统主要包括:油气节流系统、分离系统、计量系统和油气处理系统,每一个系统环节都直接影响到测试资料求取的准确性。但是,受限于常规油气水处理工艺设备,平台工艺区预留空间通常无法满足试采作业要求^[3-6]。该油田原油凝固点高达 36 ℃,在低温环境下易凝固,影响流动和计量。吕新才等针对原油流动性差的问题,考虑冬季作业气温低,原油在地面流程中流动困难,推广了地面加热技术^[7]。于昊对于地面流程安全特征提出了在井场关键位置应安装可燃气体监测仪,实现施工中实时监测气体浓度并做好记录,提高地面流程的安全性^[8]。在原油外输方面,传统两点系泊延长测试技术存在以下三个缺点:①仅有 2 个受力方向,没有单点的“风向标”作用;②抗船侧倾的能力低;③可系泊船舶的吨位小^[9-10]。现场技术升级后,形成“单锚双缆”系泊系统,外输油轮实现随输随靠、输完即离。油藏范围较小,更要兼顾评价潜山水体大小和储量规模。戴卫华等针对延长测试和试生产阶段的特征和暴露出的矛盾深入分析,认为在油藏开发中追求高产的同时,必须防止潜山底水过快锥进^[11]。在延长测试生产的过程中,需要选择合理的工作制度和生产压差^[12-13],地层压力的变化反映了油田开发过程中油田分层系统的动态变化,下入井下电子压力计是实现地层压力监测和实时调整生产压差的主要手段^[14-17]。目前常用钢丝作业手段,实现对井下电子压力计的投捞,操作简便快捷^[18-19]。近年来国内学者对井下油藏资料的处理进行了大量的研究,通过地层动态、静态测试资料进行精细试井解释,有效识别储层非均质性,分析封闭、边水驱动油藏对压力恢复曲线的影响及边界反映特征,进一步分析油藏边界、储层状态等信息^[20-21]。

本次延长测试在传统技术的基础上对延长测试系统进行了再升级,采用具有原油存储功能的可移动式试采平台作业,依靠随输随靠的外输方式,保障了原油从试采平台向穿梭油轮的输送;同时,升级后的资料录取系统准确落实了油藏地质资料,为边际及小型油田经济性的开发评价提供了新的思路。

1 延长测试技术难点

该边际油田油藏埋深 3 300.0~3 500.0 m,距离断层最近约 240.0 m。从构造上看,构造的高部位

80.0 m 厚度油层可能会减薄至 20.0 m,储量存在不确定性;另外,平均渗透率 2.4 mD 的低渗储层分布稳定性和连通性也存在极大的不确定性。经油藏研究表明,该区块原油密度 0.854~0.876 g/cm³,原油黏度 18.14~21.80 mPa·s,凝固点 34~36 ℃。

根据原油性质特点和海上作业环境综合分析,在该区块进行延长测试存在以下技术难点:①冬季气象恶劣,在作业中如何确保高凝固点的原油在测试流程及外输过程中的流动性;②在两口井同时进行延长测试生产的情况下,如何改进地面生产工艺以确保对地层流体中油气完全的分离,同时实现两口井油气的精准计量;③在延长测试生产过程中,如何在不影响生产的情况下随时监测井下压力情况,有效的录取压力恢复资料;④海上原油外输作为试采平台延长测试作业至关重要的一环,在保证经济性和安全性的前提下如何实现安全、高效。

2 延长测试系统创新

本次延长测试通过升级油气处理系统、油轮系泊系统、外输系统,结合资料录取系统证实了沙河街组储量规模、沙河街组储层连通性,落实了油藏开发所需的前期资料。

2.1 油气处理系统

延长测试作业对地面工艺设施的要求较高,对地层产出的油气要进行分类处理,对平台固有油气处理流程进行升级,配合外加地面测试流程完成油气水的处理。产出原油经脱水、稳定处理达到合格指标后进入储油舱内储存,经计量橇计量后,由外输泵增压外输;生产水不做处理直接进入污水水舱,由环保船运至陆地进行处理;天然气经燃料气系统处理后供燃气用户使用,剩余燃气至火炬燃烧。现场工艺处理要求:原油含水率不大于 1wt%;燃料气颗粒直径小于 5 μm。

该油田 A 井、B 井均采用升级后的高效油气处理系统。其中 A 井在延长测试生产期间产出的油气通过加热炉加热至 70 ℃后进入三相分离器进行油、气的分离和计量,分离出的气体去往火炬放空系统、原油进入平台气液分离器;B 井产出的油气则通过地面测试管汇传输到试采平台的生产管汇,通过生产管汇经原油换热器加热至 75 ℃后进入测试分离器进行油气的计量,而后与 A 井原油共同进入气液分离器进行气液分离。分离出的气体去往燃料气系统作为燃料气,多余部分气体

进入火炬放空系统;其余含水原油进入高效分离器进行油气水三相分离。高效分离器内置加热盘管保持罐内操作温度为 96 ℃,分离出的气体去往火炬放空系统;分离出的生产水经生产水冷却器降温至 60 ℃后进入污水水舱。高效分离器出口含水小于 25%的原油,经过电脱增压泵增压后,电脱加热器加热至 120 ℃后进入电脱水器。经过电脱水器分离处理后的稳定原油(含水不大于 1wt%;储存温度下,饱和蒸汽压不大于 70 kPa),经原油换热器及冷却器将合格原油温度降至60 ℃后进入原油舱储存,经电脱水器脱出的含油污水返回高效分离器。高效分离器脱出的生产污水经生产水冷却器冷却至 60 ℃后进入污水舱储存,详细流程如图 1 所示。

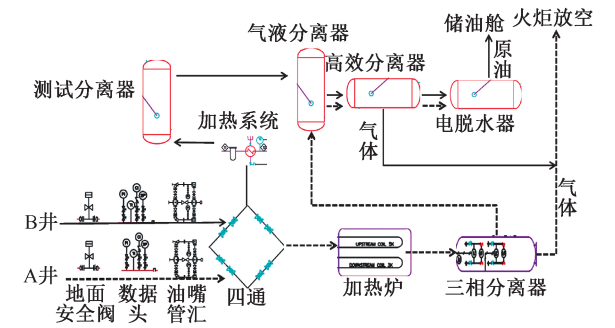


图 1 A/B 井延长测试双井油气处理系统
Fig.1 Dual-well oil and gas treatment system for extended test in Wells A and B

2.2 油轮系泊系统

油轮系泊系统采用一个大抓力锚固定油轮船部,油轮艏部用双缆系泊于试采平台上,从而将油轮船艏系泊,形成单锚双缆系泊。

2.2.1 系统概述

目前渤海油田现有的外输系泊方法常用栈桥靠泊码头辅助靠泊、“两点系泊”,以及“单点系泊”来辅助原油外输。但是,栈桥靠泊码头辅助靠泊,以及“单点系泊”系统造价费用高^[22]。综合考虑费用成本及实用性等因素,传统外输系泊方案对于延长测试具有极大的局限性。经过大量调研和综合论证,现场采用大力锚配合两条系泊缆绳,即“单锚双缆”的方式辅助外输,随输随靠,输完即离。该方式极大的提高了外输操作的灵活性,对海况的适应性更高、更加安全,满足延长测试期间外输频率高的要求,而且简便易操作、节约成本。“单锚双缆”系泊系统能够为储油轮提供足够的锚定力,保障油轮输油的安全性。该系统采用一个大抓力锚固定油轮船部,油轮艏部用双缆系泊于试采平台上,从

而将油轮船艏系泊,形成单锚双缆系泊。

图 2 中所示的系泊浮体是本次延长测试作业所用的穿梭储油轮,该油轮通过大力锚固定于海底,由钢缆连接,再经摩擦链、尼龙缆环连接于油轮船部。

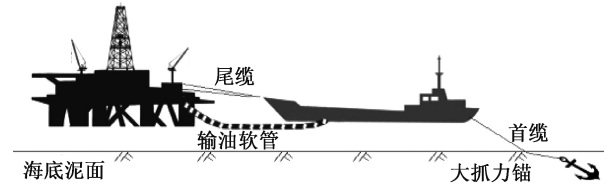


图 2 单锚双缆系泊示意图
Fig.2 Schematic diagram of single-anchor double-cable mooring system

2.2.2 主要构成部件

- (1)船端尼龙缆环,连接于油轮船艏与摩擦链之间;
- (2)船端摩擦链,连接于钢缆与尼龙缆环之间;
- (3)卸扣,连接于钢缆与摩擦链之间和摩擦链与尼龙缆环之间;
- (4)水下钢缆连接于摩擦链与大力锚之间;
- (5)大力锚将系统固定于海底(技术规格见表 1)。

表 1 大力锚系统技术规格
Table 1 Technical specifications of high holding power anchor system

名称	规格型号	单位	数量
大力锚	AC-17;H.H.P ANCHOR	个	1
有档焊接锚链	1Φ95 mm×4.9 m, 三级:ANCHOR CHAIN	节	1
6 级螺栓销轴式弓型卸扣	SWL= 120 t;SHACKLE	个	1
	SWL= 85 t;SHACKLE	个	3
浮标圆球	Φ200,泡沫:BUOY BALL	个	1
钢丝绳	Φ60 mm×400 000 mm, ZBB,6×37(a)+IWR-1960, 两端为压制软环: STEEL WARE ROPE SLING	根	2

2.2.3 系泊系统的优点

- (1)工程造价低,可重复利用;
- (2)有效利用现有油轮资源,不需要对被系泊油轮进行较大的改装;
- (3)系泊方式方便快捷,由辅助拖轮协助外输拖轮连接好艏缆和艉缆后,即可连接外输软管进行原油外输。

2.3 原油外输系统

升级后的原油外输系统主要包括:储油舱、原油外输泵、外输滚筒、外输软管、203.2 mm 破断阀、

应急脱钩装置等。在原油外输作业前,提前采用高压氮气对外输软管进行试压,试验压力不少于 0.6 MPa,维持压力稳定时间不少于 10 min,试压合格后方可进行原油外输作业。

2.3.1 原油的存储保温

地层产出流体中原油含蜡高、凝固点高,且冬季作业环境温度低,原油到达地面后易凝固,影响其流动性能。平台储油舱容量可达 $3\,055.0\text{ m}^3$,其存储的合格原油需要定期使用原油外输系统输送至穿梭油轮,确保原油的流动性至关重要。通过对油气处理流程进行加热和保温,储油舱内也设置加热盘管,降低冬季作业环境温度过低对原油温度降的影响,效果显著。油舱顶部装配有惰性气体保护系统进行氧气隔离,同时舱室外部装有可燃气体探头实时监测保证油舱的安全。

2.3.2 外输泵及外输软管

原油外输泵设在试采平台上,它把试采平台上生产的原油通过海底管线或者外输软管输送至穿梭油轮。本次作业考虑原油的黏度和凝固点选用外输泵为螺杆泵,并设置可燃气体探头。两台原油外输泵电机功率均为 220 kW,扬程 100 m,单台额定流量可达 $400\text{ m}^3/\text{h}$ 。外输软管的选取主要是其直径和长度的选取,直径的大小取决于外输泵的流速,软管长度则取决于油轮和自升式平台的相对位置及油轮在设计海况下的运动幅值。在外输作业现场采用 203.2 mm 外输软管实现原油的外输,外输结束后利用平台氮气对软管进行吹扫后,将外输软管快速接头拆开,利用穿梭油轮的吊机将外输软管吊至拖轮上,再由拖轮缓慢送回平台,过程中外输滚筒以适当的速度回收软管。

2.3.3 外输应急解脱

为满足平台系泊油轮时系泊缆能够快速解脱,在外输油轮就位侧主甲板处设有两个平台应急脱钩装置,用于绞缆的气动绞车绞揽力可达 3 t。外输作业期间,对整个外输系统采用“两端三点”控制,保障外输安全。“两端三点”即将外输油轮前端及外输软管前端定义为两端,配合平台应急脱钩装置构成三点,当拉力达到 22 t 时应急脱钩装置将自动释放。当外输期间气象恶劣等应急状态下,实现外输油轮与试采平台以及大力锚三者之间的即时脱离。

2.4 资料录取系统

根据该区块原有油藏认识,沙河街组与潜山

储层在空间分布的稳定性及储层的连通性上存在较大的争议,必须要取得储层压力、温度的动静态资料综合分析才能完成油藏测试目的。通过调研国内试井方法^[23-24],摒弃传统的电缆传输压力资料模式,改进资料录取系统,采用钢丝投捞压力计的方式进行实时监测井下压力和温度变化。地面油气处理流程则采用外接测试流程配合平台固有生产流程的方案,解决了双井同时测试油气处理设备不足的难题,分别实现了 A、B 两口井的资料录取。

井下管柱中下入两组压力计,一组用来长期监测井底压力、温度变化;另一组则在生产过程中,通过钢丝作业定期捞出回放压力数据,及时调整生产制度。关井则通过向管柱内投入关井工具进而取得压力恢复数据。对测试管柱采用钢丝投井下关井工具(图 3),可以随时提取产层压力、温度资料进行分析。

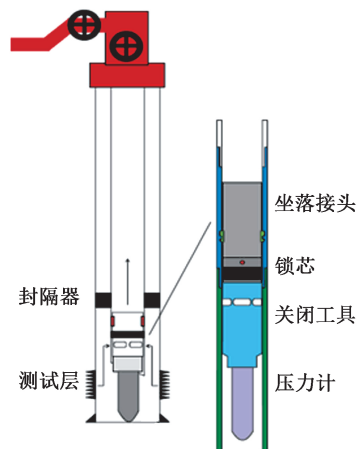


图3 井下关井工具结构示意图
Fig.3 Structure of downhole shut-in tool

3 现场应用实践

延长测试技术创新在渤海某边际油田 A、B 井中进行了有效实践。升级后的高效油气处理系统成功对地层流体进行了处理,外输及系泊系统保障了外输原油的质量和安

全,资料录取系统在试采过程中分别对井下压力、温度资料等油藏参数进行有效提取,证明了本创新型应用的适用性。

(1)在现场同时采用同心加热管及平台固有加热流程对两口井管线中的原油加热。原油到达储油舱后,舱室内置加热盘管有效提高舱室内原油温度,当油舱温度降至 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 即开始加热,加热终了温度为 $65\text{ }^{\circ}\text{C}$,油舱的加热负荷为 996 kW。原油外输期间,配合隔热外输软管将原油的温度降控制在

10 ℃ 以内,确保了原油的流动性。具体加热、保温效果统计见表 2。

表 2 原油外输期间温降统计

Table 2 Temperature drop during crude oil transportation

编号	平台油舱原油 温度/℃	储油轮接收 温度/℃	温度降 /℃
1	68	61	7
2	68	63	5
3	68	63	5
4	68	62	6
5	68	63	5
6	68	62	6
7	69	62	7
8	68	60	8

(2)在延长测试作业期间,采用“单锚双揽”系泊方式,共外输原油 48 次,表 3 中分别对不同风速、流向条件下的油轮靠泊力进行了 7 次实际测量统计。其中,在七级风的条件下,外输缆绳最大拉力 13.5 t,安全系数在 1.6 以上。现场实践表明,新系泊方法完全能够满足在渤海七级风气象下的外输作业。

表 3 不同海况下外输缆绳的拉力统计

Table 3 Tensile force of transportation cables under the different sea conditions

环境风力/级	浪高/m	拉力范围/t
3	1.0	1.2~4.5
4	1.2	3.2~5.2
5	1.3	2.5~5.8
6	1.6	4.2~8.5
7	2.0	8.5~13.5

(3)A 井、B 井生产期间,每 30 min 读取分离器压力、温度及各个液体流量计数据,计算油水流量一次;每 30 min 读取气体流量计的气流温度、压差、静压数据,计算天然气流量一次。在关井恢复地层压力期间,测得地层静态压力 32.485 MPa,静态温度 128.5 ℃。电缆下入直读压力计对井下流压实时监测,压力的采样频率为 1 点/10 s,测取井下动态数据。其中流动压力 29.218 MPa、流动温度 134.5 ℃。通过对比井下动静态压力数据,可计算出压降在 10%左右,进而确定此生产制度下的储层产能。现场每 6 h 提取一次井下压力数据,对压力资料进行实时分析,证实了 A 井和 B 井沙河街存在连通性,判断出沙河街储层存在高部位减薄的情况,落实了该油田储量情况。

在延长测试项目运行期间,原油累计生产已超过 60 000 m³,天然气近 600×10⁴ m³,以原油抵消成

本超过 1 亿元,经济效益显著。

4 结论

(1)本次延长测试解决了油气处理、双井同采、流程保温、资料即时处理等多项技术难题,通过新技术应用准确取得了该油田的第一手资料。

(2)延长测试技术的创新实践从生产安全和资料录取等方面进行技术改造,确立了一套较为完善的延长测试技术体系。实践表明,该技术在渤海海域边际油田的勘探评价中应用效果较好,拓宽了边际油田的勘探评价思路,对我国海上“袖珍”型油田的高效开发具有极大的推广价值。

致谢:感谢中海石油(中国)有限公司天津分公司工程技术作业中心资深测试总监许兵为该文提供技术把关。

参考文献

[1] 李茂. 南海西部海域边际油田开发浅谈[J]. 石油钻采工艺,2007,29(6):61-64.
LI Mao. Brief talk about development of marginal oilfield in the western South China Sea [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2007,29(6):61-64.

[2] 王海波. 延长测试在丁家屋子复杂断块非自喷井中的应用[J]. 油气井测试,2011,20(3):66-67,69.
WANG Haibo. Application of extend testing in non-flowing wells in completed faulted block of Dingjiawuzi [J]. Well Testing, 2011,20(3):66-67,69.

[3] 许营. 地面测试系统中的常见问题及解决方法[J]. 油气井测试,2014,23(6):60-62.
XU Ying. Common problem and solution to surface well test system [J]. Well Testing, 2014,23(6):60-62.

[4] 陈卫,吕国森. 渤海海域边际油田试采外输方案比选[J]. 船海工程,2016,45(5):46-48.
CHEN Wei, LYU Guosen. Oil offloading proposals comparison for marginal oilfield pre-production in Bohai Bay [J]. Ship & Ocean Engineering, 2016,45(5):46-48.

[5] 张玉双,吴思. 用于渤海油田的延长测试设施[J]. 中国海上油气(工程),1998,10(1):44-47.
ZHANG Yushuang, WU Si. Extended well testing facilities in Bohai Oil Fields [J]. China Offshore Oil and Gas (Engineering), 1998,10(1):44-47.

[6] 李勇,谷伟,李顺,等. 延长测试平台高效原油处理系统分析[J]. 天津科技,2015,42(9):55-59.
LI Yong, GU Wei, LI Shun, et al. Analysis of an extended test platform's high efficient crude oil processing system [J]. Tianjin Science & Technology, 2015,42(9):55-59.

[7] 吕新才,王世华. 蒸汽加温同心管及其冬季在稠油地层测试中的应用[J]. 油气井测试,1999,8(4):46-47.
LYU Xincai, WANG Shihua. The steam heated concentric pipe and its application in viscous oil DST operations in

- winter time [J]. Well Testing, 1999, 8(4): 46-47.
- [8] 于昊. 大庆外围凝析油气地面测试配套技术及应用[J]. 油气井测试, 2016, 25(3): 69-70.
- YU Hao. Supporting technology and its application of oil & gas surface testing in Daqing Oilfield [J]. Well Testing, 2016, 25(3): 69-70.
- [9] 刘晓光. 两点系泊延长测试新技术[J]. 油气井测试, 2000, 9(4): 36-39.
- LIU Xiaoguang. A new technology of the two point mooring extend test [J]. Well Testing, 2000, 9(4): 36-39.
- [10] 范模. 两点系泊系统的研究[J]. 中国海上油气(工程), 2003, 15(6): 13-15.
- FAN Mo. Research and discussion for two points mooring system [J]. China Offshore Oil and Gas (Engineering), 2003, 15(6): 13-15.
- [11] 戴卫华, 杨东东, 邱婷, 等. 渤海 A 油田潜山油藏开发总结及思考[J]. 油气井测试, 2012, 21(2): 69-70, 74.
- DAI Weihua, YANG Dongdong, QIU Ting, et al. Summing-up and consideration of buried hill reservoir development in Oilfield A in Bohai [J]. Well Testing, 2012, 21(2): 69-70, 74.
- [12] 吴洪彪, 王美珍, 刘淑芬. 分层压力测试工艺及解释方法[J]. 油气井测试, 2001, 10(3): 25-27.
- WU Hongbiao, WANG Meizhen, LIU Shufen. Technology and its interpretation of separate layer's pressure test [J]. Well Testing, 2001, 10(3): 25-27.
- [13] 邢晓光, 许泽君, 戴南燕, 等. 冀东油田地层测试工艺研究与优化[J]. 油气井测试, 2014, 23(6): 40-42.
- XING Xiaoguang, XU Zejun, DAI Nanyan, et al. Research and optimization to well test technology in Jidong Oilfield [J]. Well Testing, 2014, 23(6): 40-42.
- [14] 李青峰. 电子压力计在水井压降测试中的应用[J]. 油气井测试, 2004, 13(5): 90-92.
- LI Qingfeng. Application of pressure drawdown test with electronic gauges in water well [J]. Well Testing, 2004, 13(5): 90-92.
- [15] 卓红, 何秀玲, 王新海, 等. 井下关井测压技术改进研究[J]. 油气井测试, 2013, 22(5): 38-40.
- ZHUO Hong, HE Xiuling, WANG Xinhai, et al. The improved research of down hole shut-in pressure measurement technology [J]. Well Testing, 2013, 22(5): 38-40.
- [16] 张宏友, 王月杰, 马奎前, 等. 应用永久式井下压力计压降曲线计算油藏动态储量[J]. 油气井测试, 2010, 19(3): 31-32.
- ZHANG Hongyou, WANG Yuejie, MA Kuiqian, et al. Calculating dynamic reserves of reservoirs with pressure drawdown curve measured by permanent downhole pressure gauge [J]. Well Testing, 2010, 19(3): 31-32.
- [17] 张海燕, 熊国荣, 方伟, 等. 井下永置式测试技术在普光气田的应用[J]. 天然气工业, 2011, 31(5): 64-66.
- ZHANG Haiyan, XIONG Guorong, FANG Wei, et al. Application of downhole implanted gauge testing technology in the Puguang Gas Field [J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(5): 64-66.
- [18] 沈雪明. 完井作业中的钢丝打捞操作[J]. 中国海上油气(工程), 1996, 8(5): 32-37.
- SHEN Xueming. Wireline fishing operation in completion practice [J]. China Offshore Oil and Gas (Engineering), 1996, 8(5): 32-37.
- [19] 何博, 潘登, 赵益秋. 新型钢丝投捞井下电子压力计技术[J]. 钻采工艺, 2015, 38(4): 74-76.
- HE Bo, PAN Deng, ZHAO Yiqiu. A new type of slickline running and pulling downhole electronic pressure gauges technology [J]. Drilling & Production Technology, 2015, 38(4): 74-76.
- [20] 张利军, 刘新光, 梁斌. 精细试井解释识别储层非均质性特征[J]. 油气井测试, 2017, 26(1): 27-29.
- ZHANG Lijun, LIU Xinguang, LIANG Bin. Detailed well testing interpretation to discern heterogeneous characterization of reservoir [J]. Well Testing, 2017, 26(1): 27-29.
- [21] 陈伟, 王永清, 朱礼斌, 等. 探边测试设计方法研究[J]. 油气井测试, 2008, 17(6): 13-15.
- CHEN Wei, WANG Yongqing, ZHU Libin, et al. Study on method of delineation drilling test design [J]. Well Testing, 2008, 17(6): 13-15.
- [22] 冯胜. 两点系泊外输系统在海洋石油开发运用中关键因素研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2012(12): 138-139.
- FENG Sheng. Study on key factors of two-point mooring outward transportation system in offshore oil development and application [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2012(12): 138-139.
- [23] 田向东, 康露, 杨志, 等. 海上油气井快速诱喷测试技术[J]. 油气井测试, 2018, 27(2): 41-46.
- TIAN Xiangdong, KANG Lu, YANG Zhi, et al. Fast testing of induced flows in offshore oil/gas wells [J]. Well Testing, 2018, 27(2): 41-46.
- [24] 陈艳芳, 赵宏军. 低渗气藏变井储试井分析研究[J]. 油气井测试, 2017, 26(3): 33-35.
- CHEN Yanfang, ZHAO Hongjun. Well testing analysis and research on variable wellbore storage in low permeability gas reservoir [J]. Well Testing, 2017, 26(3): 33-35.

编辑 刘振庆

第一作者简介:陈光峰,男,1985年出生,工程师,2008年毕业于中国石油大学(华东)资源勘查工程专业,现从事海上油田油气井测试施工管理及监督工作。电话:022-66502137;15822843024;Email:chengf2@cnooc.com.cn。通信地址:天津市滨海新区海川路2121号渤海石油管理局大厦C座0618室,邮政编码:300452。