

海上探井测试交互式试井技术

王雪飞¹, 谭忠健², 翟洪君³, 王野⁴, 胡金成⁴, 杜连龙¹

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勘探部 天津 300452
3. 中国石油集团渤海钻探工程有限公司油气井测试分公司 河北廊坊 065007
4. 廊坊开发区近海油田服务有限公司 河北廊坊 065007

通讯作者: Email: wangxf3@cnooc.com.cn

项目支持: 中海油有限公司天津分公司科技专项“‘细分’构造带的录井油气水解释模型及评价方法研究”(ZZK-2016-TJ-01)

引用: 王雪飞, 谭忠健, 翟洪君, 等. 海上探井测试交互式试井技术[J]. 油气井测试, 2019, 28(1): 32-37.

Cite: WANG Xuefei, TAN Zhongjian, ZHAI Hongjun, et al. Interactive well test technology for offshore exploration wells [J]. Well Testing, 2019, 28(1): 32-37.

摘要 存储式试井在测试过程中无法掌控压力计入井后的工作状态和判断存储的数据是否满足地质解释的需要, 只有在测试管柱起出后回放数据才能确认, 影响测试成本、测试进度和测试时效。交互式井下无线传输试井系统将井下信号发射装置直接与测试阀相连, 随测试管柱下入井内, 通过电缆将带有接收器的直读工具串下入井内固定位置, 阀下压力计录取数据后通过发射器以无线方式发出, 接收器接收后通过电缆传送到地面, 实现井下关井状态下压力计数据的地面直读。2013年以来, 应用交互式试井技术完成海上探井测试 31 层, 实现了井下关井条件下的实时压力监测, 提高了资料录取和储层解释评价的时效性, 累计节约作业费用 4 689.8 万元。该技术对海上探井测试工作制度的决策和测试作业成本的降低具有重要意义。

关键词 交互式试井; 测试管柱; 地面直读; 无线传输; 井下存储; 数据回放; 时效性

中图分类号: TE353 文献标识码: B DOI: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2019.01.006

Interactive well test technology for offshore exploration wells

WANG Xuefei¹, TAN Zhongjian², ZHAI Hongjun³, WANG Ye⁴, HU Jincheng⁴, DU Lianlong¹

1. CNOOC EnerTech-Drilling & Production Company, Tianjin 300452, China
2. Exploration Department of Tianjin Branch of CNOOC (China) Limited, Tianjin 300459, China
3. Well Testing Branch of CNPC Bohai Drilling Engineering Company Limited, Langfang, Hebei 065007, China
4. Langfang Development Zone Offshore Oilfield Service Co., Ltd., Langfang, Hebei 065007, China

Abstract: During the process of storage type well testing, the working state of the pressure gauge in borehole cannot be recognized, and the applicability of data stored to geological interpretation cannot be diagnosed, but these aspects can only be confirmed by data playback when the testing string is tripped out. This process affects the test cost, progress and efficiency. The interactive downhole wireless transmission well test system connects the downhole signal transmitter directly with the testing valve and it is run in hole with the testing string. The direct-reading tool string with the receiver is landed via cable to the fixed position in hole. The data acquired by the pressure gauge below the valve is sent wirelessly through the transmitter to the receiver which then transmits the data to the surface through the cable. In this way, the data recorded by the pressure gauge downhole under the condition of shut-in can be read on surface. Since 2013, the interactive well test system has been applied in 31 layers of offshore exploration wells. While real-time pressure monitoring under the condition of shut-in, the system has facilitated the timeliness of data acquisition and reservoir interpretation and evaluation, and helped reduce the operating expenses up to RMB 46.898 million cumulatively. This technology is of great significance to deciding the test system for offshore exploration wells and reducing the test cost.

Keywords: interactive well test; testing string; surface direct reading; wireless transmission; downhole storage; data playback; timeliness

目前在测试领域, 井下电子压力计分为直读式和存储式^[1-3], 井下存储技术是测试作业中最常用的方式。测试作业时, 将存储电子压力计随测试管

柱下入, 测试作业结束后, 起出测试工具, 通过地面回放井下存储压力计的温度、压力数据, 为后续评价解释工作提供资料。该方法工艺简单, 施工作业

难度低,只要保证井下存储压力计在井下能够正常工作即可。这种存储方式能够进行井下关井,得到的数据更加完整与准确^[4-6]。由于测试期间井下工况复杂,压力计入井后工作状态是否正常,以及所存储的数据是否满足地质解释的需要,只能等到测试管柱起出后回放数据才能确认。因此,无法及时发现和处理问题,存在很大盲目性。数据不合格需要重新组下测试管柱、开关井测试作业,严重影响测试成本、测试进度和测试时效。高庆春^[7]认为,目前我国油气田试井压力恢复测试现状是:试井关井时间只能够满足基本解释,只要双对数曲线平面径向流出现便结束测试,关井压力恢复测试时间过短是影响试井压力恢复解释质量的最主要因素^[8]。汪宏伟等^[9]分析水井进行压降试井时,由于井口一直处于高压,如果井口闸门泄漏关不严或配水间分水闸门窜,会造成部分井测试失败,但是存储式压力计在起出前并不能提前判断测试失败的原因。曹运兴等^[10]提出低压、低渗煤储层由于压力扩散慢,在进行注入/压降测试时,合理地延长测试时间是提高测试结果可靠性的有效措施,但存储式压力计无法预知测试时间到底应该延长多久。

电缆地面直读技术在测试过程中通过绞车用电缆将电子压力计下入井中,再通过电缆将测试期间采集的井下压力、温度信号传到地面系统^[11],在计算机上实时显示并可进行及时解释、分析和处理,发现压力计有问题,可以立即起出更换。殷世江等^[12]提出在高压高产井电子压力计直读试井中,推荐选用石英作为压力传感器的压力计,附加适量的加重杆,保证压力计顺利入井。何银达等^[13]报道了电缆直读试井工艺技术在塔里木油田迪那地区高温高压凝析气井迪那202井的应用情况。该方法具有较高的传输速率和较好的实时性,缺点是无法进行井底关井作业,只能采用井口关井的方式以获得井底的静态压力和温度资料,受井筒储集效应影响,往往所测资料并不准确,特别是对于低压低渗井,井筒储集效应更加严重,往往需要延长关井时间,才能满足试井解释的要求,因此增加了作业成本^[14-16]。针对海上油气井测试中的上述问题,交互式试井技术较好的克服了两种试井工艺的缺陷^[17-18],不但能够在井下关井状态进行工作,而且还能在地面实时监测测试阀下的压力和温度,很好地避免了井筒储集效应的影响,通过现场解释,及时发现径向流的出现,缩短了关井时间^[19-21],使一

些难以取全取准资料的低压低渗井、探边井能够高效准确的得到所需的地质资料。

1 工艺原理

试井是了解和认识油藏中流体渗流特征和地质参数的重要手段,通过试井可以确定供油半径,估算油气藏的储量和面积;确定油气藏边界的性质、距离、形状,同时可以确定油气藏的渗流特征、参数,以及地层压力与评价井的完善程度^[22-25]。

交互式试井技术常称之为电缆有线地面直读技术,该技术由井下部分和地面部分组成。井下部分由工具载体、高精度电子压力计、电池筒、发射器、井下无线传输装置、接收器组成;地面部分由电缆绞车、单芯铠装电缆^[26]、地面控制装置、计算机组成。其工作示意图如图1、图2所示。

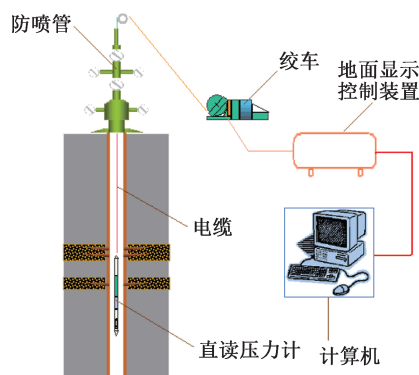


图1 交互式试井地面流程图

Fig.1 Surface process of interactive well testing

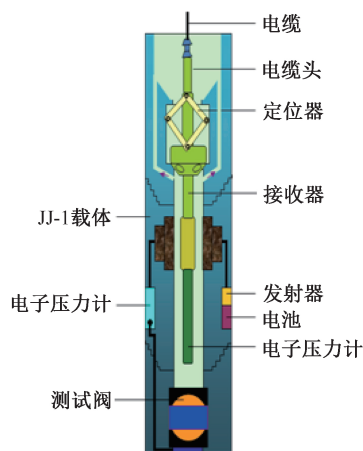


图2 交互式试井井下工具示意图

Fig.2 Downhole tools for interactive well testing

井下信号发射装置直接与LPR-N测试阀相连,随着测试管柱下入井内。通过LPR-N测试阀管壁内的通道与压力计传压口相连,实现井下关井压力计监测地层压力温度变化。工作时,通过电缆将带

有接收器的直读工具串下入井内固定位置,阀下压力计所录取的温度和压力数据通过发射器以无线的方式发送出去,电缆所带的接收器接收后,再经信号处理通过电缆传送到地面^[27-28]。

交互式试井工具与全通径井下测试工具配合,通过独特的井下无线信号传输,实现全通径井下阀开关井、地面直读试井的作业方式。该工具保留了以往全通径测试工具可进行酸化、压裂、射孔等多工种联合作业的功能,地面直读试井工具可进行地面对井下数据采集实时监测和控制,而且该工具可实现以往工具所不能或不易实现的非自喷井地面直读试井、低压低渗透井、高压油气井、井况条件较差裸眼井的地面直读试井。

2 技术对比

交互式试井技术既可以以直读的方式获取井下温度压力数据,又可以以交互式方式获取井下温度压力数据。两种数据获取方式的特点分别为:

直读式技术是用电缆将电子压力计下入被测井中测试地层压力和温度的。这种试井方式存在的不足是:试井时不能读取测试阀以下深度的温度压力数据;其优点是在交互式技术出现意外故障时,可以继续测得井内的温度、压力数据,为放喷求产选择合适的油嘴提供指导。

交互式试井技术与直读技术可以实现功能上的相互补充,它既可以克服以上缺点,又可以避免在交互式技术出现意外故障时无法继续获取井内温度压力数据的情况发生。

3 应用实例

渤海湾某预探井,作业水深 26.6 m,采用自升式钻井平台进行测试作业。该井第二层测试层位 2850.0~2865.0 m,测井解释该层位孔隙度 22.0%,泥质含量 5.5%,含水饱和度 43.8%,渗透率 175.6 mD,解释结论为油层,测试层位岩性为含砾细砂岩。由此可知,该测试层的地层物性较好。

该层 DST 测试采用四开四关的测试程序,二开井、三开井和四开井各求取了一个工作制度下的产能,总开井时间 32.28 h,总关井时间 18.29 h,累计产原油 322.41 m³。

3.1 求产工作制度的选择

海上油气井测试求产工作制度的选择要满足以下条件:

(1)在当前工作制度下,井底流动要达到稳定状态,要求求产稳定时间在 4 h 以上;对油层而言,压力变化 1 h 内波动不超过 0.10 MPa,产量变化 1 h 内波动不超过 10%;对气层而言,压力变化 1 h 内波动不超过 0.07 MPa,产量变化 1 h 内波动不超过 5%。

(2)在当前工作制度下,控制好生产压差和压降,以不引起地层出水出砂为最佳。

(3)在满足上述两条的前提下,尽可能调大油嘴进行放喷求产,以获得地层的最大供给能力。

开井期间,利用交互式试井系统,可以实时获知井底的流温流压,结合井口压力、地面实时产量变化、含水含砂监测情况,以及计算得到的压差压降,可以指导现场选择合适的工作制度进行求产。

该层测试二开井时,下入交互式试井工具,实时监测井底流温流压变化。井口出原油后,结合井口压力、地面实时产量变化、含水含砂监测情况,井口油嘴从小往大调节。当调节油嘴尺寸到 11.11 mm 时,井下和地面产出都达到了稳定。经计算得知,当前的压降处于 6.2%~6.5% 的变化区间且压降偏小,于是在该工作制度下进行求产,得到了日产油 331 m³、日产气 52 543 m³ 的产能。

三开井,同二开井的操作。当油嘴尺寸调节到 12.70 mm 时,计算得到当前的压降处于 7.8%~8.3% 的变化区间且压降偏小。于是,在该工作制度下进行求产,得到了日产油 423 m³、日产气 60 419 m³ 的产能。

四开井,鉴于二开井三开井压降都偏小,继续调大油嘴,同时严格监测出水出砂情况。为了不激动地层,选择了 15.88 mm 的油嘴进行放喷求产,计算得到当前的压降处于 10.4%~11.7% 的变化区间。于是,在该工作制度下进行求产,得到了日产油 562 m³、日产气 88 028 m³ 的产能。

3.2 关井时间的控制

依照测试手册,若关井期间观察不到井底压力的变化,则关井时间应为开井流动时间的两倍以上。利用交互式试井工具,在关井一开始,马上下入工具串接收井下压力计数据,并且对得到的压力计数据进行现场解释。通过试井解释软件,以双对数曲线的形式反映出当前关井恢复所处的阶段,有助于现场监督判断关井恢复是否到位,为下步决策提供了依据。

该层测试,二开井时间 7.5 h。依照测试手册,二关井时间应不少于 15.0 h,关井 5 h 后,导出井下的关井恢复压力数据,绘制双对数曲线如图 3 所示。

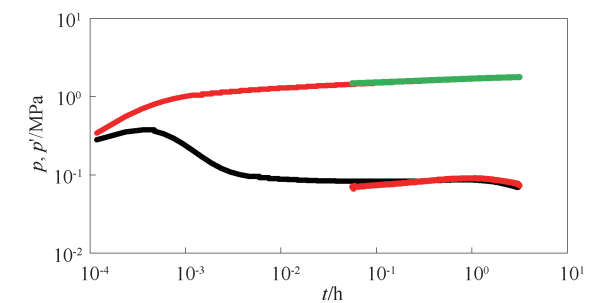


图 3 LD 某 1 井二关 5 h 双对数曲线图
Fig.3 Log-log curve of Well LD-1 after the second shut-in for 5 h

为确保地层压力恢复到位,决定再关井 4 h,继续观察双对数曲线变化。通过分析双对数曲线可知,解释得到了径向流直线段,满足了测试关井恢复的要求^[23-24],于是结束关井作业,比测试手册理论关井时间节约 6 h。

3.3 求产期间压降对比

通过回放存储压力计数据,可以获得求产时最终的压降数值。与通过交互式试井技术求得的压降数据对比见表 1。

表 1 交互式直读数据与存储数据求产压降对比表

Table 1 Pressure drop based on interactive direct reading data and storage data

工作制度	油嘴/ mm	求产压降/MPa		误差/ %
		交互式	存储式	
二开井	11. 11	6. 40	6. 60	3. 03
三开井	12. 70	8. 09	8. 48	4. 60
四开井	15. 88	11. 15	11. 78	5. 35

表 2 交互式试井解释与存储压力计回放解释情况对比

Table 2 Results of interactive well testing interpretation and storage pressure gauge playback interpretation

方法	解释模型	渗透率/ mD	表皮系数	原始地层 压力/MPa	解释结论
交互式试井	均质油藏+一条断层(定压边界)	148	3. 17	27. 937	井筒存在一定污染,后期有变好的趋势
存储压力计回放	均质油藏+一条断层(定压边界)	157	4. 28	28. 071	井筒存在一定污染,后期物性变好

由表 2 可以看出,交互式试井技术解释参数与存储压力计解释参数在地层渗透率和原始地层压力的解释结果趋于一致。但由于解释时数据的完整性不一致,导致表皮系数差别较大,致使对于地层污染情况的判断有一定的出入。

3.5 经济效益分析

交互式试井技术的应用缩短了测试周期,减少了测试作业期间钻井船的占用时间,提高了经济效益。选取 2013-2015 年 6 口使用交互式试井技术的自喷井,对开关井时间进行统计(表 3)。通过对比应用交互式试井技术后二关井的实际与理论时间,每一层测试作业在关井时间上平均可节约 20. 3 h。

由表 1 可以看出,通过交互式直读技术计算得出的求产压降与存储压力计计算得到的压降数据相差很小,证明了交互式试井技术的可靠性强,准确度高。

3.4 关井恢复解释对比

通过解释存储压力计记录的关井数据,得到二关井的双对数曲线如图 4 所示。

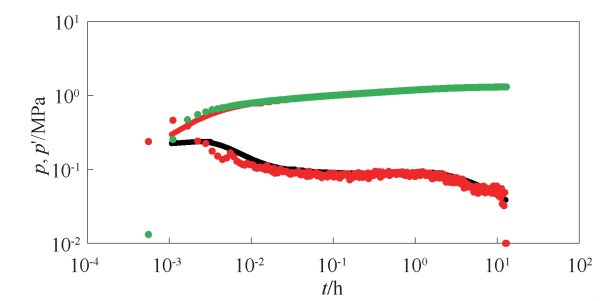


图 4 存储压力计二关井解释双对数曲线
Fig.4 Log-log curves of wells based on interpretation of data acquired by storage pressure gauge after the second shut-in

对比图 3 和图 4 可以看出,通过交互式试井技术解释出的双对数曲线图与存储压力计解释出的双对数曲线图均可见明显的径向流段出现,且出现的时间一致,反映了交互式试井技术的准确性。两种压力计的解释结果见表 2。

表 3 自喷井开关井时间表

Table 3 Opening/shut-in schedule of flowing wells

井号	测试 年份	层号	二开井 时间/h	二关井 时间/h	理论二关 井时间/h	节省时 间/h
KL10-4-1	2013	NO.1	12. 25	5. 50	24. 50	19. 00
		NO.2	17. 50	4. 75	35. 00	30. 25
BZ8-4-7	2014	NO.1	14. 50	7. 75	29. 00	21. 25
		NO.2	16. 50	6. 00	33. 00	27. 00
BZ34-9-3	2014	NO.1	10. 75	4. 00	21. 50	17. 50
		NO.2	15. 75	4. 50	31. 50	27. 00
BZ8-4-15D	2014	NO.1	12. 25	5. 00	24. 50	19. 50
CFD6-4-1	2014	NO.1	10. 50	7. 50	21. 00	13. 50
		NO.2	10. 00	6. 75	20. 00	13. 25
PL7-6-1	2015	NO.2	10. 50	6. 25	21. 00	14. 75
平均			13. 05	5. 80	26. 10	20. 30

2013–2015 年累计自喷井测试 31 层,三年累计节约时间约 629.3 h,折合节约钻井船占用时间 26.2 d。2013–2015 三年的平均测试日费为 179 万元。取其作为统计标准,应用交互式试井技术三年累计节约作业费用 4 689.8 万元,平均每年节约 1 563.3 万元,很大程度上降低了海上探井测试作业的成本。

4 结论

(1)交互式试井技术可以在开井期间实时获取井底温度、压力数据,为选择合适的工作制度提供了数据支持。

(2)交互式试井技术实现了井下关井条件下的实时压力监测,提高资料录取时效性,实现储层快速解释和评价。

(3)交互式试井技术与存储压力计相互校验,提高了测试资料的准确率,避免了重复施工造成的经济损失。

(4)应用交互式试井技术缩短了探井试油时间,节约试油成本,具有很好的经济效益,符合海洋石油集团公司提出的降本增效的发展方针。

致谢:感谢中海油有限公司天津分公司科技项目“细分构造带的录井油气水解释模型及评价方法研究”的资助。

参 考 文 献

- [1] 刘飞,贺秋云,肖军,等. 井下测试数据地面直读技术发展现状[J]. 钻采工艺,2013,36(4):48–51.
LIU Fei, HE Qiuyun, XIAO Jun, et al. Development situation of surface read-out technology of down-hole test date [J]. Drilling & Production Technology, 2013,36(4): 48–51.
- [2] 刘梦园,周元劲. 井下电子压力计的发展及主要性能指标分析[J]. 油气井测试,2001,10(5):51–52,55.
LIU Mengyuan, ZHOU Yuanjin. Development of underground electronic pressure gauge and analysis of main performance indexes [J]. Well Testing, 2001,10(5):51–52,55.
- [3] 唐雪清. 使用存储式电子压力计的点滴经验[J]. 油气井测试,1996,5(2):54–55.
TANG Xueqing. A drop of experience using a stored electronic pressure gauge [J]. Well Testing, 1996,5(2):54–55.
- [4] 张洋. 浅论试油测试技术的应用和发展趋势[J]. 中国石油和化工标准与质量,2013,33(13):84.
ZHANG Yang. Application and development trend of oil test technology [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2013,33(13):84.
- [5] 谢丛姣,张太斌. 试油测试新技术及其发展趋势[J]. 油气井测试,2002,11(4):37–39.
XIE Congjiao, ZHANG Taibin. The new technology and its

developing trend of the oil production test [J]. Well Testing, 2002,11(4):37–39.

- [6] 郝静. 现代试井技术的实际应用[J]. 中国石油石化, 2016(S1):103.
HAO Jing. Practical application of modern well test technology [J]. China Petrochem, 2016(S1):103.
- [7] 高庆春. 影响试井资料解释因素及提高资料解释质量的建议[J]. 中国石油和化工标准与质量,2018,38(19): 29–30.
GAO Qingchun. Factors influencing interpretation of well test and suggestions for improving interpretation level [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2018,38(19):29–30.
- [8] 孙达. 油气井压力恢复试井解释关键技术[J]. 油气井测试, 2018, 27(6): 73–77.
SUN Da. Key technologies for oil and gas well pressure buildup test interpretation [J]. Well Testing, 2018, 27(6): 73–77.
- [9] 汪宏伟,何鹏举. 影响试井资料的因素及提高试井解释质量的建议[J]. 油气井测试, 2009, 18(4): 72–74.
WANG Hongwei, HE Pengju. Factors affecting well test data and proposal on improving the quality of well test interpretation [J]. Well Testing, 2009,18(4): 72–74.
- [10] 曹运兴,石玢,刘同吉,等. 煤层气套管井大时长大注入/压降试井技术及应用[J]. 煤炭科学技术,2018,46(10): 168–173.
CAO Yunxing, SHI Bin, LIU Tongji, et al. Technology and application of extending time injection falloff test in CBM casing wells [J]. Coal Science and Technology, 2018, 46(10): 168–173.
- [11] 苏秀珠,窦益华,许爱荣,等. 高温高压深井直读试井电缆断裂原因探讨[J]. 石油机械,2008,36(9):185–187.
SU Xiuzhu, DOU Yihua, XU Airong, et al. Discussion on reason of breakage of wireline in real time test for HTHP deep well [J]. China Petroleum Machinery, 2008,36(9): 185–187.
- [12] 殷世江,鞠漓,穆立婷. 高压高产井电子压力计直读试井应注意的几个问题[J]. 油气井测试,2003,12(1): 37–38.
YIN Shijiang, JU Li, MU Liting. Some problems should be paid attention to the real time test by electric gauge in the high pressure and high yield wells [J]. Well Testing, 2003,12(1): 37–38.
- [13] 何银达,马红英,秦世勇,等. 电缆地面直读试井工艺在迪那 202 井的应用浅析[J]. 钻采工艺,2006,29(3): 94–96.
HE Yinda, MA Hongying, QIN Shiyong, et al. Application of cable SRO test technology in gas Well Dina 202 [J]. Drilling and Production Technology, 2006, 29(3): 94–96.
- [14] 吴秋来,高硕,王军,等. 试井数据传输技术发展现状

- 研究[J]. 油气井测试, 2015, 24(3): 72-74.
- WU Qiulai, GAO Shuo, WANG Jun, et al. Research on development status of well test data transmission technology [J]. Well Testing, 2015, 24(3): 72-74.
- [15] 姜洪丰, 陈鸣, 张涛, 等. DataLatch 地面直读技术在南海西部测试作业中的应用[J]. 油气井测试, 2017, 26(5): 56-59.
- JIANG Hongfeng, CHEN Ming, ZHANG Tao, et al. Application of DataLatch surface direct reading technology in well test operation of the South China Sea in the West [J]. Well Testing, 2017, 26(5): 56-59.
- [16] 许迪. JJ-1 试井系统在渤海油田的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2012(1): 132, 19.
- XU Di. Application of JJ-1 well test system in Bohai Oil-field [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2012(1): 132, 19.
- [17] 杨子, 冯卫华, 赵启彬, 等. 交互式试井系统在油气井测试工艺中的探讨研究[J]. 内蒙古石油化工, 2014, 40(4): 114-117.
- YANG Zi, FENG Weihua, ZHAO Qibin, et al. The discussion and research of interactive system in well testing technology [J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2014, 40(4): 114-117.
- [18] 赵启彬, 杨子, 冯卫华, 等. 交互式试井系统在油气井测试工艺中的探讨研究[J]. 辽宁化工, 2014, 43(5): 581-584.
- ZHAO Qibin, YANG Zi, FENG Weihua, et al. Discussion and research on interactive system in well testing process [J]. Liaoning Chemical Industry, 2014, 43(5): 581-584.
- [19] 田立强, 李纪智, 王亮, 等. 浅谈电缆地面直读工具在螺杆泵试油测试中的应用[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2013(15): 110.
- TIAN Liqiang, LI Jizhi, WANG Liang, et al. Application of cable ground direct reading tool in screw pump oil test [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2013(15): 110.
- [20] 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 draw-down curve measured by permanent downhole pressure gauge [J]. Well Testing, 2010, 19(3): 31-32.
- [21] 张麦云, 张智慧, 吴虎源, 等. 直读式电子压力计在煤层气测试中的应用[J]. 油气井测试, 2000, 9(4): 33-35.
- ZHANG Maiyun, ZHANG Zhihui, WU Huyuan, et al. Application of direct reading electronic gauge in coal seam test [J]. Well Testing, 2000, 9(4): 33-35.
- [22] 罗水发. 试井测试资料在油田开发生产中的应用[J]. 油气井测试, 1994, 3(2): 66-69.
- LUO Shuifa. Application of well test data in oilfield development and production [J]. Well Testing, 1994, 3(2): 66-69.
- [23] AMINE E, PALMA G, STEPHANE V, 等. 试井技术新进展[J]. 国外测井技术, 2015(6): 61-68.
- AMINE E, PALMA G, STEPHANE V, et al. New development of well test technology [J]. World Well Logging Technology, 2015(6): 61-68.
- [24] 李松雨. 低渗透气藏不稳定试井评价方法[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2014(5): 138.
- LI Songyu. An unstable well test evaluation method for low permeability gas reservoir [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2014(5): 138.
- [25] 马奎前, 张宏友, 王月杰, 等. 压力测试技术在海上深层湖相碳酸盐岩油藏中的应用[J]. 油气井测试, 2013, 22(5): 33-34, 37.
- MA Kuiqian, ZHANG Hongyou, WANG Yuejie, et al. Application of pressure testing technology in offshore deep lacustrine carbonate reservoir [J]. Well Testing, 2013, 22(5): 33-34, 37.
- [26] 吴秋来, 高硕, 刘勇, 等. 类“DTMF”井下远距离有缆数据传输方法研究[J]. 通信技术, 2015, 48(9): 1023-1026.
- WU Qiulai, GAO Shuo, LIU Yong, et al. The research of a long-distance data transmission method similar to “DTMF” [J]. Communications Technology, 2015, 48(9): 1023-1026.
- [27] 许国石, 赵新红, 王莉. SG-1 型试井工具介绍[J]. 油气井测试, 1996, 5(2): 62-66.
- XU Guoshi, ZHAO Xinhong, WANG Li. SG-1 well test tool [J]. Well Testing, 1996, 5(2): 62-66.
- [28] 李成, 丁天怀. 油气井测试的井下远程遥测方式分析[J]. 油气井测试, 2005, 14(6): 34-37.
- LI Cheng, DING Tianhuai. Analysis of down-hole remote telemetry methods in oil well testing [J]. Well Testing, 2005, 14(6): 34-37.

编辑 刘述忍

第一作者简介: 王雪飞, 男, 1984 年出生, 工程师, 2007 年毕业于长江大学资源勘查工程专业, 现主要从事海上油田试油技术研究及现场管理工作。电话: 022-66502127, 13502096041; Email: wangxf3@cnoc.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 C 座 606, 邮政编码: 300452。