

乍得潜山油藏裸眼试油技术

孙云鹏,罗淮东,曲兆峰,王福庆

中油国际(乍得)上游项目公司 北京 100034

通讯作者:Email:sunyunpeng@cnpcint.com

引用:孙云鹏,罗淮东,曲兆峰,等.乍得潜山油藏裸眼试油技术[J].油气井测试,2019,28(2):27-32.

Cite: SUN Yunpeng, LUO Huaidong, QU Zhao Feng, et al. Oil testing technology for open hole in buried hill reservoir, Chad [J]. Well Testing, 2019, 28(2):27-32.

摘要 乍得潜山裸眼段漏失严重,致使打水泥塞时灰面高度难以控制,封层成功率低,MFE等常规测试工具和抽汲排液测试技术难以满足长裸眼段分层测试和稠油井排液测试。根据乍得潜山油藏裸眼段储层特征及井身结构,形成了潜山裸眼常规试油工艺、长裸眼段试油工艺、裸眼桥塞联合注灰封层上返试油工艺、潜山裸眼稠油试油工艺和潜山裸眼测试工作制度。经BC2-1井应用表明,坐套测裸的NAVI泵+APR工具排液测试求得的流动压力和产量均比较稳定,NAVI泵累计运转1 475 min,产液96.746 m³,产油90.243 m³,试油效果显著。该裸眼试油系列技术为乍得潜山油藏评价和开发方案编制提供了有力依据。

关键词 潜山油藏;裸眼测试;稠油井;试油;APR工具;NAVI泵;裸眼桥塞;工作制度

中图分类号:TE353 **文献标识码**:B **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2019.02.005

Oil testing technology for open hole in buried hill reservoir, Chad

SUN Yunpeng, LUO Huaidong, QU Zhao Feng, WANG Fuqing

CNPC International (Chad) Upstream Project Company, Beijing 100034, China

Abstract: The serious mud loss in the open hole interval of Chad buried hill reservoir lead to the difficulty of controlling the gray surface height when the cement plug was used, and the success rate of the sealing layer was low. Therefore, the conventional test tools such as MFE and the pumping and draining test technology were difficult to meet the need of stratified testing and drainage test of heavy oil well in long open hole interval. According to the characteristics of the reservoir and the wellbore structure of the open hole in the Chad buried hill reservoir, some testing techniques for the open hole of the buried hill reservoir have been formed, such as the conventional oil testing technology, the long open-hole oil test technology, oil test technology after cementing the down layer by combination of open hole bridge plug and cementing, buried-hill heavy oil testing technology and buried -hill open-hole testing. The application result of Well BC2-1 shows that the stable flow pressure and productivity can be obtained by the drain testing with NAVI pump and APR tool. The NAVI pump has a total operation of 1 475 min, the production liquid was 96.746 m³, and the oil production was 90.243 m³. The testing effect was remarkable. This series of oil testing technology for open hole provided a strong basis for buried hill reservoir evaluation and development planning in Chad.

Keywords: buried hill reservoir; open-hole testing; heavy oil well; oil test; APR tool; NAVI pump; open-hole bridge plug; working system

中石油乍得上游项目H区块位于非洲乍得共和国境内南部,其潜山油藏主要集中在邦戈尔盆地北部斜坡带,岩性以花岗岩为主,储集空间主要为构造裂缝、构造-溶解缝、破碎粒间孔及溶孔,发育中高角度裂缝。试井解释有效渗透率在118~3 410 mD之间,为高渗储层,且渗透率变化较大。

2013年1月,对La E-2井834.0~1 190.0 m潜山裸眼段进行试油,获得工业油流,突破了乍得邦

戈尔盆地潜山出油关。随着其他区块潜山探井部署,累计发现了五个潜山含油构造带,展示了邦戈尔盆地潜山勘探的巨大潜力。

在潜山裸眼试油过程中遇到了诸如长裸眼段分层测试、稠油排液测试难等问题,通过调研、引进新工艺和开发新产品,逐一得到了解决。

乍得项目现有的测试工具很难实现长裸眼段分层测试,主要是受支撑尾管长度和跨隔距离的限

制。以往遇到这种情况采取过打悬空水泥塞工艺或填砂抬高井底,以减少支撑尾管长度。但由于潜山裸眼段裂缝发育,打悬空水泥塞工艺易出现水泥浆漏失、水泥塞面位置难以控制等现象^[1]。赵普春、宋正聪、于长录等总结了塔河油田碳酸盐缝洞型油藏在裸眼井中打水泥塞常见问题及解决办法,认为在裸眼井段打水泥塞应优选填砂打水泥塞工艺^[2-4]。但在乍得项目试油填砂时发现填砂抬高井底方式速度较慢,增加了试油周期,在日费井上增加了作业成本,不适用。为此,采取的技术对策原则上应该能实现潜山长裸眼段多层、分层试油,且能减少或防止水泥浆漏失。考虑到潜山花岗岩油藏岩性致密、坚硬、井壁规则,认为铸铁材质的桥塞卡瓦可以锚定在裸眼井壁,研制开发出新型裸眼可钻桥塞,应用裸眼桥塞联合注灰作业工艺进行封层上返试油,灰面也可作为 MFE 井底支撑裸眼测试新的支撑点。

目前,非自喷井基本采用抽汲排液,排液手段单一。张荣文等总结了我国试油排液工艺技术现状,认为抽汲排液效率较低,增加了排液时间,也容易发生地面环境污染;对于原油黏度较大或含气量较大的油井,抽汲时分别会出现抽子在井内下放困难和顶抽子的危险^[5]。采取的技术对策应是实现稠油井连续排液测试,求准产能,且能保护环境。为此,研究应用了地面驱动螺杆泵、NAVI 泵等排液方式^[6-8]。

1 潜山油藏裸眼测试工艺

乍得项目形成的潜山裸眼测试工艺包括:常规裸眼测试工艺、长裸眼段分层测试工艺、裸眼可钻桥塞+注灰联作封层工艺和潜山裸眼稠油试油技术。

1.1 常规裸眼测试工艺

常规裸眼测试工艺主要有 APR 坐套测裸测试工艺和 MFE 井底支撑式裸眼测试工艺。

1.1.1 APR 坐套测裸测试工艺

APR 测试工艺采用环空加压操作测试阀开关井,具有全通径、流体流动阻力小、适合于高压、含硫气、高产井测试,可在不动管柱的情况下通过环空加压与泄压实现井下测试阀多次开关井操作^[9]。若裸眼段比较短,地质和工程条件允许,单层裸眼测试首选坐套测裸测试工艺^[10-13]。

1.1.2 MFE 井底支撑式裸眼测试工艺

乍得裸眼井井筒有两种尺寸:155.575 mm 和

215.9 mm。在 155.575 mm 裸眼中测试采用 95.25 mm 钻铤做支撑,使用 95.25 mm 规格裸眼封隔器和 127.0 mm MFE 进行井底支撑测试;在 215.9 mm 井筒中采用 165.1 mm 或 168.275 mm 钻铤作为支撑进行测试。根据潜山裸眼测试目的和要求,井底支撑测试一般分为两种情况:一是单封隔器封上测下;二是双封隔器跨隔测试^[10,12-14]。

1.2 长裸眼段分层测试工艺

潜山油藏部分井钻井过程中发生过严重漏失,有的井未来可能进行分层改造,部分井含水上升很快,具有边底水特征,管外封隔器+套管射孔完井(不固井)就成为了较佳的完井方式选择^[15]。它可兼顾裸眼完井和常规套管射孔完井的优点,在不使用水泥浆固井的情况下,可选择性地射开不同压力、不同物性的油层进行逐层试油及作业控制,对后期分层开采及注水开发尤为重要^[16]。

BC02 井裸眼段长 1 668.23 m,需分层测试 5 段,无法正常使用 MFE 测试工具。该井先用水力扩张式管外封隔器将裸眼段分隔成 5 段(管外封隔器由 139.7 mm 套管送入井内),然后在套管内用 APR+TCP 联作测试工艺进行测试,上返试油时采用打电缆桥塞和倒灰工艺封层。

1.3 裸眼可钻桥塞+注灰联作封层工艺

前文谈到在潜山裸眼段封层上返试油时曾采用打悬空水泥塞工艺,但因裸眼段裂缝发育,导致灰面难以控制,打塞成功率低。通过对潜山花岗岩油藏的分析,认为潜山花岗岩地层是硬脆性、高抗压强度的中硬地层;裸眼井壁不光滑,利于铸铁卡瓦锚定。借鉴常规套管桥塞经验,研制出适用于潜山花岗岩地层的新型裸眼可钻桥塞(该裸眼桥塞已获中华人民共和国国家知识产权局实用新型专利(专利号:ZL 2015 2 0876614.6))。通过室内试验及现场应用,证明该工具完全能够满足裸眼封层上返试油要求,达到预期效果。裸眼桥塞联合注灰工艺已在乍得项目 BC1-5、BC2-1、RaSW02、LaE-3、LaE-4 和 Ph1-B2 井裸眼测试时成功应用。

与常规套管桥塞相比,该裸眼桥塞具有以下特点:适用于中硬裸眼地层分层试油、压裂、堵水、注水泥等工艺中,采用液压坐封;可暂时或永久封堵下部高压油、气和喷、漏等层位,操作方便,安全可靠,承压能力高;裸眼桥塞坐封后,可直接用原管柱及坐封工具在桥塞上注灰;可实现裸眼段定位封堵。若封堵层段上部夹层长度小,裸眼桥塞的定位

封堵作用将更加明显;卡瓦及胶筒的尺寸优化,保证了桥塞在裸眼井中仍具有较强的锚定力和密封性能;棘轮锁环保持坐封载荷,保证泄压后仍能可靠密封;坐封力设计适中,保证裸眼井壁不会受到过大坐封应力影响;铸铁结构容易钻除。

- 裸眼桥塞规格如下(在 215.9 mm 裸眼井使用):
- 型号:KZQS-208; 总长度:1 207 mm;
 - 最大外径:Φ208 mm;胶筒长度 300 mm;
 - 适用裸眼:216~227 mm;
 - 坐封压力:12~15 MPa;
 - 丢手压力:17~22 MPa;
 - 工作压差:35 MPa; 工作温度:120 ℃;
 - 承重载荷:200 kN; 连接螺纹:M28×3。

1.4 潜山裸眼稠油试油技术

潜山裸眼稠油试油技术主要采用 NAVI 泵进行排液和测试。NAVI 泵是一种由钻杆驱动转子的螺杆泵,它是通过转盘带动管柱转动来驱动的,操作简便,属于容积式正排出泵,泵出口的液量与泵的转速成正比^[17]。转子不转时,泵成密封状态,实现了井下关井。所以,NAVI 泵起到了排液泵和测试阀的双重作用。

NAVI 泵应用于:(1)自喷能力较低的低压高产地层^[18];(2)泵送液体包括各种流体,如原油、水、泥浆或密度较大、黏度较高、带有固体性质的液体;(3)用于低压高产水层的排液;(4)用于稠油井的排液^[19];(5)能承受含砂量较高的液体泵送作业;(6)不能用测试工具测试的井,如地热水和水文水井,可用 NAVI 泵测试。

1.5 潜山裸眼测试工作制度

潜山裸眼测试工作制度主要通过控制测试压差,优化开关井制度,从而达到保护储层、清洁油流通道、取准取全地质资料的目的。

1.5.1 裸眼测试压差控制

乍得潜山主要为裂缝性油藏,岩性为变质岩或花岗岩,井壁稳定,物性较好,汽油比低,加上油藏埋藏较浅(地层压力一般在 25 MPa 以内),不会超过测试管柱及工具的承压能力。因此,测试压差在结合渗透率、声波时差等物性参数后可以大点^[13,20]。

1.5.2 潜山裸眼测试工作制度

从安全性考虑,乍得潜山裸眼测试首先以求取流体性质为主要目的,兼顾对地层压力、产能和地层参数的获取。要实现在有限的时间内获得最好

的测试效果,工作制度选择至关重要。乍得潜山基岩油藏岩性为花岗岩,测试总时间控制在 16 h 内。开井时,测试工具以下存在着一定的“井底口袋”,使得开井时最先出来的流体从“井底口袋”出来,而不是从地层中出来。这一阶段的测试数据称为井筒储集数据,开井时间必须大于井筒储集期结束时间。因此,终流动的时间必须大于井筒储集期结束时间。

乍得潜山裸眼 MFE 井底支撑测试总测试时间一般在 16 h 之内,工作制度二开二关,具体见表 1。

表 1 乍得项目裸眼井工作制度		
Table 1 Open hole working system of Chad project		
工作制度	时间/min	目的
一次开井	10	消除液柱压力对地层的影响,并有诱喷和一定解堵作用,同时可观察有无油气显示
一次关井	120	取得产层原始地层压力
二次开井	360~600	扩大泄油半径,求准产层产量、地层压力和温度数据等,取得代表性样品
二次关井	240	测取压力恢复曲线,计算油层参数

2 应用实例

潜山油藏裸眼试油技术在潜山分层试油、稠油试油中成功应用,为乍得项目潜山油藏评价和开发方案编制提供了有力依据。

2.1 BC2-1 井 NAVI 泵试油

BC2-1 井是邦戈尔盆地的一口潜山裸眼评价井,一开 339.725 mm 套管下深 252.55 m,二开 244.475 mm 技术套管下深 628.5 m,三开用 215.9 mm 钻头钻至 869.85 m,计划对 628.5~732.2 m(层厚 34 m/20 层)裸眼段排液测试,该段测井解释为油层。由于邻井测试产出为稠油,具有黏度高、流动性差,为取得更好的排液效果,决定在该井采用 NAVI 泵+APR 测试工具坐套测裸工艺,并用动力水龙头作为 NAVI 泵工作的动力源。

2.1.1 工具准备

(1)NAVI 泵一套:包括上短节、单螺杆泵、万向轴总成和传动轴总成。本次使用的 NAVI 泵主要技术参数:型号 SLB127×8,重量 500 kg,额定压差 8.0 MPa,最大压差 9.0 MPa,额定转速 30~120 r/min,工作扭矩 840 N·m,最大扭矩 1 100 N·m,每转排量 0.65 L,密封压力 10.0 MPa,适用井温小于 90 ℃,最大静拉伸载荷小于 630 kN。

(2)动力水龙头和动力源:包括动力水龙头一套及动力源、辅助设备。液压动力水龙头主要

是集机械、液压、气动于一体的装备,它由液压站、动力水龙头本体和辅助控制系统等三大部分组成。

(3)APR 测试工具:127 mmAPR 工具一套。

2.1.2 施工过程

管柱结构图如图 1 所示。工具入井,下到设计位置后调整方余,坐封 RTTS 封隔器。正转管柱,扭矩 3 kN 柱,NAVI 泵剪切销剪断,NAVI 泵进入工作状态。开泵并逐步将转速提高至 50 r/min,运转 60 min,计量出液量(液垫水)1.91 m³,泵效 97.9%;将转速提升至 60 r/min,运转 15 min,出液量(液垫水)0.48 m³;将转速提高到 80 r/min,运转 150 min,见纯油;将转速降至 60 r/min,继续运转 NAVI 泵 780 min,出油 48.33 m³,含水为 0;将转速依次提至 70 r/min、80 r/min,各工作 240 min,分别产纯油 18.26 m³、20.94 m³,此时关井。具体的排液数据见表 2。

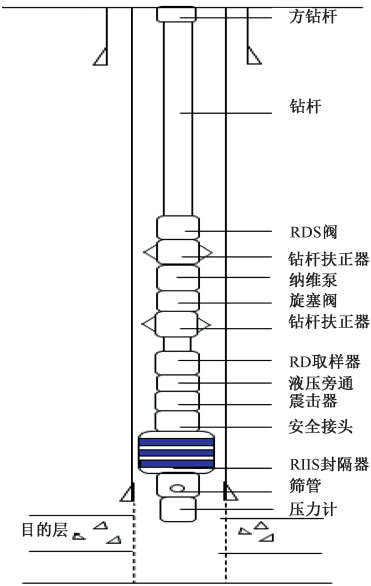


图 1 NAVI+APR 测试排液联作管柱示意图
Fig.1 Schematic diagram of the combination operation string for drainage testing by using NAVI and APR

表 2 BC2-1 井 NAVI 泵测试求产主要数据表
Table 5 Main data of NAVI pump testing for production in Well BC2-1

日期	起止时间	运行时间/ min	转速/ (r·min ⁻¹)	出液量/ m ³	产油/ m ³	含水/ %	API60	产水/ m ³	折算产量/ (m ³ ·d ⁻¹)
12. 15	18:30-19:45	45	20~50	1.910	/	100	/	1.910	45.84
12. 15	19:45-20:00	15	60	0.480	/	100	/	0.480	46.08
12. 15	20:00-22:30	150	80	6.830	2.7170	100↘3	17.02	4.137	53.07
12. 15~16	22:30-11:30	780	60	48.326	48.326	0	16.96	/	89.22
12. 16	11:30-15:35	245	70	18.260	18.260	0	17.36	/	103.12
12. 16	15:35-19:35	240	80	20.940	20.940	0	17.39	/	125.64
合计		1 475	/	96.746	90.243	/	/	6.527	/

图 2 为 BC2-1 井 NAVI 泵+APR 测试压力曲线和抽汲压力曲线对比。从图 2 中可看出,采用 NAVI 泵+APR 工具排液测试求得的流动压力、产量均比较稳定;用抽汲排液方法求得的流动压力波动较大,产量也不稳定、连续。而 NAVI 泵排液与抽汲排液相比,能够连续不间断的排液,可在较短时间内求得地层稳定产量,大大缩短了测试周期,节约了成本。

2.2 RaSW-2 井潜山分层试油

RaSW-2 井是邦戈尔盆地的一口潜山裸眼探井,一开 244.475 mm 套管下深 275.11 m,二开 177.8 mm 技术套管下深 970.00 m,三开用 155.575 mm 钻头钻至 1 300 m。该井测试层段 969.00~1 038.80 m,层厚 57.22 m/13 层,测井解释为油层,1 064.10~1 152.64 m 测井解释为水层。设计要求在进行裸眼测试前需用裸眼桥塞封堵 1 038.0 m 以

下裸眼层段(水层),裸眼桥塞坐封于 1 045.0 m,并在裸眼桥塞上部倒 7 m 灰塞,达到封堵下部水层的目的。

进行裸眼桥塞封层作业,工具入井前检查液压坐封工具和桥塞完好,并将液压坐封工具和桥塞连接。下裸眼桥塞,109 根 88.9 mmEUE 油管+坐封工具+155.575 mm 裸眼桥塞;下裸眼桥塞前,裸眼段已彻底通井。正循环 6 m³ 清水,彻底清洁球座,防止杂物影响钢球入座,保证密封性。地面管线试压 21 MPa,15 min 压力未降,合格。投球,钢球落座。正挤打压 5 MPa、10 MPa、15 MPa,分别稳压 5 min,使裸眼桥塞胶筒充分膨胀,卡瓦撑开。继续打压至 17 MPa 后,并采取边上提管柱边打压的丢手方式。当打压至 20 MPa,压力突降至 0,释放螺栓被拉断,桥塞丢手成功。缓慢下放管柱,加压 30 kN,桥塞顶面位置不变(1 045.00 m),验证裸眼桥塞坐封成功。

而后,利用原管柱注0.60 m³水泥浆,反洗,候凝后,实探灰面位置1 037.52 m。至此,裸眼桥塞坐封成功。

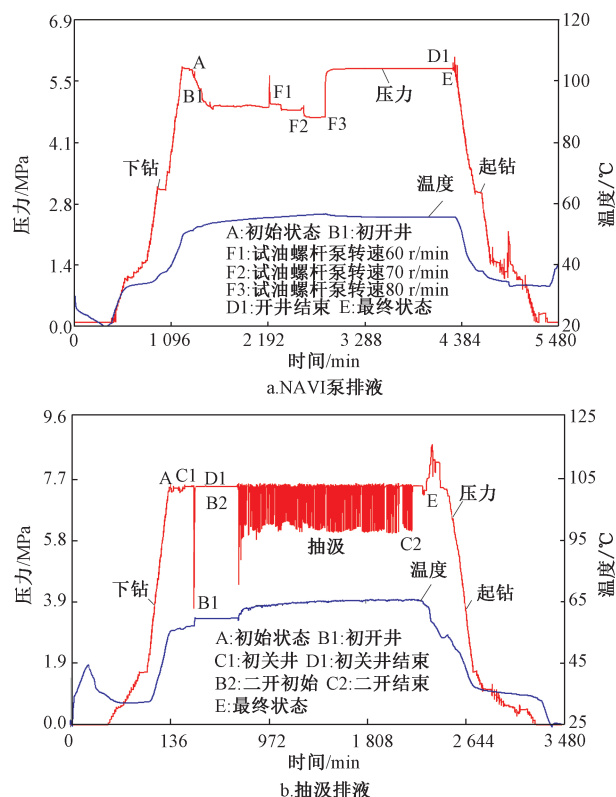


图2 NAVI泵+APR测试压力曲线和抽汲压力曲线对比
Fig.2 Comparison of test pressure curve and swabbing pressure curve using NAVI pump and APR tool

裸眼桥塞联合注灰作业后,对上部潜山段(969.00 ~ 1 038.80 m)进行测试,日产原油39.80 m³,不含水,说明封层成功。而本次在桥塞上部注灰7 m;若采用悬空水泥塞,则至少需注50 m水泥塞。由此,水泥塞长度大幅度降低,减少了储层污染和水泥用量,降低了作业成本。

3 结论

(1)潜山裸眼井试油时,尽可能选择常规测试工艺。因常规测试工艺成熟,且成功应用在大多数裸眼井。

(2)在水泥浆漏失严重的长裸眼段试油或者裸眼段以后需进行分层改造,推荐使用管外封隔器+套管射孔完井(不固井),然后在套管内进行分层测试。

(3)裸眼桥塞+倒灰封层工艺,解决了花岗岩裸眼井漏失严重井段打水泥塞封层施工难度大的问题,保证了施工成功率,降低了封层对夹层厚度的要求,实现定位封堵,可通过一趟钻实现裸眼桥塞

坐封和桥塞上注灰作业;通过6口井成功实践,裸眼桥塞适用于中硬花岗岩裸眼地层封堵作业。

(4)NAVI泵+APR测试工艺实现了稠油井连续排液、测试,对正确认识储层产能提供了保障。

(5)潜山花岗岩裸眼试油系列技术为其他类型油藏裸眼井试油提供了借鉴。在后续工作中应加强调研裸眼选层锚及膨胀式地层测试工具应用情况。

致谢:感谢中油国际(乍得)上游项目公司同意本论文的发表。

参考文献

- [1] 牟忠信. 新型注水泥塞工具的研究应用[J]. 钻采工艺, 2006, 29(1): 66-67
MOU Zhongxin. The study on new type cementing plug tool [J]. Drilling & Production Technology, 2006, 29(1): 66-67.
- [2] 赵普春, 娄京伟. 塔河碳酸盐岩缝洞油藏深井裸眼段打水水泥塞工艺技术[J]. 石油钻探技术, 2006, 34(6): 77-79.
ZHAO Puchun, LOU Jingwei. Drilling cementing plug in deep open-hole section located on carbonate crack reservoir in the Tahe Oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2006, 34(6): 77-79.
- [3] 宋正聪, 李青, 刘毅, 等. 塔河油田超深井裸眼段打水水泥塞事故原因分析及对策[J]. 钻采工艺, 2012, 35(6): 119-120.
SONG Zhengcong, LI Qing, LIU Yi, et al. Reason analysis and countermeasure for cementing plug failure in extradeep openhole well in Tahe Oilfield [J]. Drilling & Production Technology, 2012, 35(6): 119-120.
- [4] 于长录, 张康卫, 孟宪武, 等. 千米桥潜山油气藏试油及改造技术[J]. 油气井测试, 2002, 11(1): 43-45.
YU Changlu, ZHANG Kangwei, MENG Xianwu, et al. Testing and reform technology for Kilometer Bridge burial hill oil and gas reservoir [J]. Well Testing, 2002, 11(1): 43-45.
- [5] 张荣文, 朱铁, 左庆新, 等. 试谈我国试油排液工艺技术现状[J]. 西部矿探工程, 2005(3): 56-57.
ZHANG Rongwen, ZHU Tie, ZUO Qingxin, et al. Introduction to present status of China well testing clean up technology [J]. West-China Exploration Engineering, 2005 (3): 56-57.
- [6] 马金良, 刘泽宇, 李春宁, 等. 一趟管柱分层射孔与水力泵排液联作技术[J]. 油气井测试, 2018, 27(2): 22-26.
MA Jinliang, LIU Zeyu, LI Chunling, et al. Integration of layered perforation and flowback by hydraulic pump in one trip [J]. Well Testing, 2018, 27(2): 22-26.
- [7] 李楠. 高凝油井水力泵排液参数分析及优化[J]. 油气井测试, 2019, 28(1): 14-19.

- LI Nan. Analysis and optimization of discharge parameters of hydraulic pump in high pour point oil well [J]. Well Testing, 2019, 28(1):14-19.
- [8] 刘长, 张彦龙. 郑王庄油田稠油试油工艺技术[J]. 油气井测试, 2006, 15(3):41-43.
LIU Chang, ZHANG Yanlong. Testing tech in dense oil well in Zhengwangzhuang Oilfield [J]. Well Testing, 2006, 15(3):41-43.
- [9] 李加明. MFE 和 APR 地层测试器应用技术探讨[J]. 油气井测试, 2010, 19(4):34-35.
LI Jiaming. Discuss for applied technology of MFE and APR formation tester [J]. Well Testing, 2010, 19(4):34-35.
- [10] 庄明之. 国内外地层测试器的现状与发展[J]. 石油机械, 1994, 22(7):46-50.
ZHUANG Mingzhi. The status quo and development of the formation tester at home and abroad [J]. China Petroleum Machinery, 1994, 22(7):46-50.
- [11] 谭忠健, 项华, 刘富奎, 等. 渤海复杂油气藏测试技术研究及应用效果[J]. 中国海上油气, 2006, 18(4):223-228.
TAN Zhongjian, XIANG Hua, LIU Fukui, et al. Testing techniques for complex reservoirs and their application in Bohai sea [J]. China Offshore Oil and Gas, 2006, 18(4):223-228.
- [12] 李俊杰. 地层测试(试油)技术的发展及展望[J]. 油气井测试, 2016, 25(5):71-74.
LI Junjie. Development and prospect for well test (oil test) technology [J]. Well Testing, 2016, 25(5):71-74.
- [13] 陈波, 李旭华. 塔河油田深井裸眼中途测试技术[J]. 海洋石油, 2006, 26(2):88-92.
CHEN Bo, LI Xuhua. DST technology in deep open-hole well in Tahe Oilfield [J]. Offshore Oil, 2006, 26(2):88-92.
- [14] 刘文英, 王瑞娟, 胡效青. MFE 套管跨隔测试管柱的改进[J]. 油气井测试, 2000, 9(3):88-89.
LIU Wenying, WANG Ruijuan, HU Xiaoqing. The improvement of casing straddle MFE test string [J]. Well Testing, 2000, 9(3):88-89.
- [15] 高嫔, 陈波, 徐爱舫. 塔河油田超深井裸眼分段试油技术应用[J]. 油气井测试, 2007, 16(2):36-37.
GAO Ping, CHEN Bo, XU Aifang. Application of bore hole separated layer testing in deep well of Tahe Oilfield [J]. Well Testing, 2007, 16(2):36-37.
- [16] 李洪达, 许廷生, 张晓明, 等. 冀东油田古潜山油藏特征及完井工艺探索与实践[J]. 特种油气藏, 2010, 17(2):116-119.
LI Hongda, XU Tingsheng, ZHANG Xiaoming, et al. Reservoir characteristics and well completion technique of Jidong buried hill [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2010, 17(2):116-119.
- [17] 于跃, 李小明. NAVI 泵+APR 工具在非自喷井测试中的应用[J]. 油气井测试, 2003, 12(2):46-47.
YU Yue, LI Xiaoming. The application of Navi-pump & APR tools in non-gusher testing [J]. Well Testing, 2003, 12(2):46-47.
- [18] 孙万军, 刘永红, 李琳琳, 等. 非自喷井试油新工艺研究[J]. 油气井测试, 2004, 13(3):34-36.
SUN Wanjun, LIU Yonghong, LI Linlin, et al. New technology for no flowing wells [J]. Well Testing, 2004, 13(3):34-36.
- [19] 韩振华. 从稠油的流变性谈稠油试油系列工艺技术[J]. 油气井测试, 1995, 4(3):8-12.
HAN Zhenhua. Heavy oil well testing technology based on the rheological properties of heavy oil [J]. Well Testing, 1995, 4(3):8-12.
- [20] 彭志海, 李玉忠, 盖玉磊, 等. 胜利油田中途裸眼地层测试分析[J]. 油气井测试, 2006, 15(3):44-46.
PENG Zhihai, LI Yuzhong, GE Yulei, et al. Analysis for open hole well testing tech in Shengli Oilfield [J]. Well Testing, 2006, 15(3):44-46.

编辑 刘述忍

第一作者简介:孙云鹏,男,1983年出生,工程师,2007年毕业于西安石油大学石油工程专业,目前主要从事试油、完井和修井方面的技术工作。电话:18611836043; Email:sunyunpeng@cnpicnt.com。通信地址:中国北京市西城区阜成门北大街6号-1国际投资大厦D座,邮政编码:100034。