

层内精准找堵水增产技术实践

马建国^{1,3}, 柴慧强², 周创飞², 路向伟², 冯松林², 马泳³

- 1. 西安石油大学石油工程学院 陕西西安 710065
- 2. 中国石油长庆油田分公司第六采油厂 陕西高陵 710201
- 3. 西安精实信石油科技开发有限公司 陕西西安 710065

通讯作者: Email: majianguo213@126.com
项目支持: “十五”国家 863 计划课题“钻井中途油气层测试技术”子课题“套管井双封隔器单元研制”(2001 AA60201707)

引用: 马建国, 柴慧强, 周创飞, 等. 层内精准找堵水增产技术实践[J]. 油气井测试, 2020, 29(1): 60-66.

Cite: MA Jianguo, CHAI Huiqiang, ZHOU Chuangfei, et al. Practice of accurately finding water blocking and increasing production in the layer [J]. Well Testing, 2020, 29(1): 60-66.

摘要 为使高含水油井精准找堵水, 实现增产增效目的, 使用套管井地层动态测试器, 在油井射孔段内部进行分段动态特性测试, 完成精细找水, 并实施精准封堵突进水。在长庆油田×××井两个射孔段共测试 6 个地层测试点, 分别获得五种动态特性参数数据, 取得真实样品, 且在第二射孔段下部测试到高渗透率层段, 找到水的突进位置, 确定了该井高含水率的源头。按照两个射孔段进行局部精准机械封堵, 对下射孔段局部封堵后, 年增产原油 255 t, 平均日增油 0.70 t, 达到精准找堵水目的。套管井地层动态测试器全射孔段精细动态测试及堵水作业的试验成功, 对同类井具有一定的借鉴作用。

关键词 套管井; 地层动态测试器; 射孔段; 封隔器; 有效渗透率; 机械封堵; 增产措施

中图分类号: TE357 **文献标识码**: B **DOI**: 10.19680/j.cnki.1004-4388.2020.01.011

Practice of accurately finding water blocking and increasing production in the layer

MA Jianguo^{1,3}, CHAI Huiqiang², ZHOU Chuangfei², LU Xiangwei², FENG Songlin², MA Yong³

- 1. School of Petroleum Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an, Shaanxi 710065, China
- 2. No.6 Oil Production Plant of PetroChina Changqing Oilfield Company, Gaoling, Shaanxi 710201, China
- 3. Xi'an Jingshixin Petroleum Technology Development Company, Xi'an, Shaanxi 710065, China

Abstract: Using the casing well dynamic tester, the segmental dynamic characteristics test is carried out inside the oil well perforation section to find and block water in high water-containing oil well for production and efficiency increasing. The fine water finding and accurately sealing the water breaking through are completed. 6 formation test points have been tested in two perforation sections of ××× Well in Changqing Oilfield. Five kinds of dynamic characteristic parameter data and real samples have been obtained. The location of water rushing is located between the lower part of the second perforation section and the high permeability layer. It is the source of the high water content in the well. According to the two perforating sections, local precision mechanical sealing is carried out. The annual increased output of crude oil is 255 t, the average daily increased oil is 0.70 t. The accurate water blocking effect has been achieved. The well dynamic test of the perforated section with the casing well dynamic tester and the successful test of water shutoff operation have certain reference effects for similar wells.

Keywords: casing well; formation dynamic tester; perforation section; packer; effective permeability; mechanical plugging; stimulation measures

让高含水率油井大大降低含水率, 提高原油产量是国内外一大技术难题, 而最大难点在于准确找出油井主要出水点。为此, 国内研究出很多找水技术^[1-4]。例如: 井组动态分析方法、井温梯度测井方法、气举产液剖面找水测井方法、高精度碳氧比测井、中子寿命测井、找堵水一体化管柱测试技术、

AFT 钻杆地层测试器测试技术等。但皆因测不出准确的主要出水点位置, 只能采取大井段堵水的办法来封堵无效循环的注入水, 自然效果不能令人满意。

2017 年 10 月 24 日, 在长庆油田×××井使用套管井地层动态测试器(Cased Hole Formation Dyn-

amic Tester-CHFD T)进行了分层动态测试。目的是试验高含水油井进行射孔段油层内部分层动态特性精细测试,测出动态特性最好的段点,也就是全井水突进最严重的位置,而完成精准找水。再使用专用技术实施突进水的封堵,以实现高含水井油井含水率下降,产油量提高,原油采收率提高,油井生产效益提高。经过不到两年的验证,试验获得成功。该井下射孔段实施电缆桥塞局部封堵后,一年共增产原油 255 t,平均日增油 0.70 t。而测试前该井日产油只有 0.61 t,平均日产油量是测试前的 2.15 倍。通过射孔段油层内部的分层动态特性精细测试,准确地找出了该井主要水突进点,并且精准地对下射孔段水突进位置局部实施了封堵,既解除了底水水锥,也堵死了主要的无功循环不驱油的注入水,还不影响下射孔段原油的产出,甚至启动了下射孔段油层的死油区、块,至少是改善了下射孔段水驱油效果。再对该井上射孔段实施燃气动力套管补贴技术,进行局部精准封堵后,该井在增油降水提效方面会有更为突出的效果。

套管井地层动态测试器是地层压力成像的新一代电缆地层测试器^[5-6],是带双封隔器的地层测试综合性测井仪器,可直接精细测量射孔段内部(或称油层内部)地层压力及动态特性参数,用于套管井试油,或用于油气生产井的地层测试。

在拥有全储层取样测试器^[7]、一种用于套管井射孔段的测井双封隔器^[8]的基础上,经过大量调研^[9-10],研制出套管井地层动态测试器^[11]。它是针对美国天然气研究院的专利——穿套管地层测试器(U.S.P 5,692,565,1997)^[12]做出的符合中国国情的专利技术。

国际三大测井服务公司都曾经拥有聚能射孔弹型的套管井地层测试器^[13]。从 1970 年到 1978 年,国内仿制斯伦贝谢的地层流体取样器完成的 DC75 套管井地层测试器^[14]共 6 套,分到几个油田;1978 年,我国引进阿特拉斯公司 10 套大型测井仪器 3600 系列时,也包含 4 套套管井地层测试器^[15];大庆油田在上世纪 80 年代末引进 2 套吉哈特公司选择性套管井地层测试器(SFT)。这些仪器都用于试油工艺,但是使用次数很少,皆因所射之孔无法堵塞而被弃用。上世纪 90 年代初,斯伦贝谢公司和美国天然气研究院联合开发了 CHDT-穿套管地层测试器^[16],其井下仪器携带钻床,可以在目标层点

钻穿套管、水泥环,钻入地层岩石,将地层流体引入预测试室,得出流动压力曲线,完成分层动态测试。它是斯伦贝谢公司重要测井仪器组装式地层动态测试器(MDT)的有力助手,主要用于疑难地层的试油工艺,在国内有一定量的应用,但在减少。它一次下井只能钻 6 个孔,堵塞 6 次,最大缺点是不能用于射孔后的生产井。

赵爱军等^[17]的 MDT 地层测试技术在大港油田滩海区的应用,将斯伦贝谢组装式地层动态测试器 MDT 用到了 177.8 mm 套管井,完成了多个油层试油工作,包括泵抽排取真样。而套管井地层测试仪器品种却不多,投入不够,仅有一种 CHDT-穿套管地层测试器,近十年来也未见新进展的报导。米岩杰等^[18]介绍了一种套管井地层测试仪在江苏油田的应用,但只是整油层封隔,测整层的平均参数。黄亮等^[19]论述的电缆传输分层测试是电缆传输钻杆地层测试器。凌龙等^[20]介绍了电缆传输钻杆地层测试器的结构功能用途,论述的分层测压取样技术是一种逐层测压、取样、测动态的技术。

根据有限的资料调研及搜索,可以初步判断,似乎套管井地层动态测试器是目前国内外唯一一种可以进行射孔段油层内部各深度点静止压力及动态特性测试的生产测井仪器。伴随射孔段内精细动态特性测试工具的产生和不断推广应用,油田管理者将对油井、对油藏会有更为精细的认知,也必将产生更为优化的精细管理。

1 仪器简介

套管井地层动态测试器包含地面仪器、井下仪器,由机械结构、液压系统、电气系统、信号数字传输显示系统、软件系统构成。

1.1 仪器构成

双封隔器段由上、下封隔段和进液段组成,如图 1 所示。上封隔段的上方和下方各有两组胶筒,下封隔段也一样,得到坐封指令后,电机驱动柱塞泵运转,液压系统产生高压,活塞压迫 4 组 8 个胶筒膨胀,坐封在射孔段套管内壁上,上、下密封区域各 1 m 长,中间留出 50 cm 的进液段,测试时地层流体驱动进液段环空井液一同进入仪器测试室,装满 240 mL 的测试室,在流体流入测试室的流入压力曲线上走一个流动过程,然后压力恢复,最后达到地层静压。

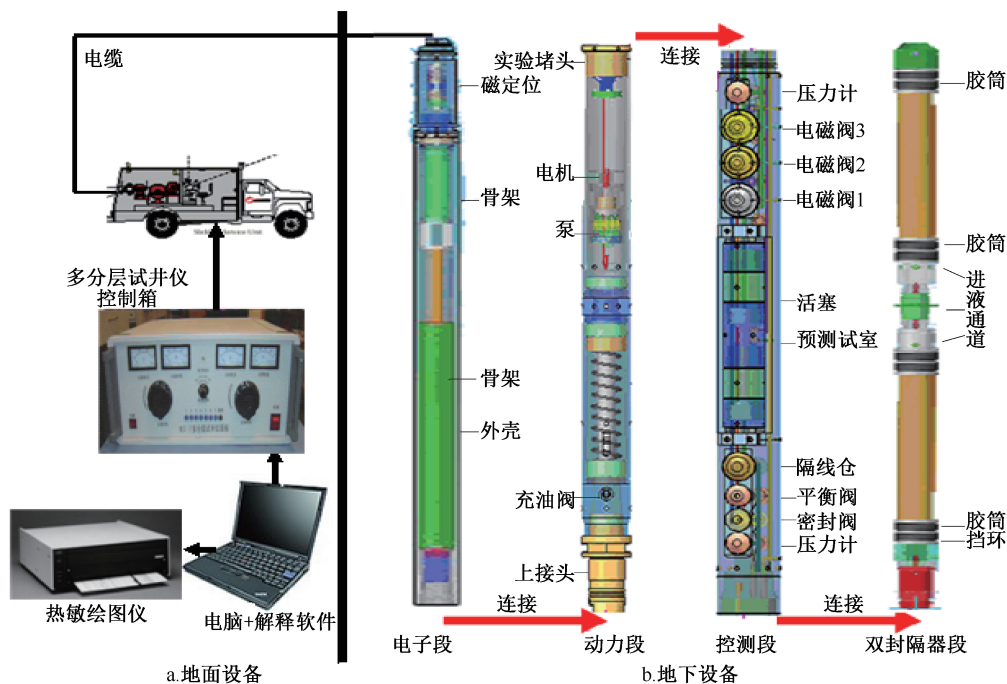


图1 套管井地层动态测试器结构示意图

Fig.1 Structure diagram of casing well formation dynamic tester

1.2 套管井地层动态测试器测试原理

套管井地层动态测试器下井过程中,可测套管接箍磁定位(CCL)曲线,用于仪器定深;可以测地层自然伽玛(GR)曲线;还可以测井筒压力梯度曲线和温度梯度曲线。使用后面两种曲线,可以确定井筒气油界面(即静液面)和油水界面。

套管井地层动态测试器用电缆传输控制信号和测量信号,井下仪器的液压系统可以使上、下封隔器坐封和解封。坐封时,封隔段环形空间井液和封隔段地层流体进入仪器测试室,而后装满测试室,这中间测试室的压力随时间变化的关系曲线由压力传感器记录下来,并即时传到地面笔记本电脑直读。由于流量给定,利用地层渗流理论即可直接测量出该层段各种动态特性参数:地层静止压力、地层温度、地层有效渗透率、地层表皮系数、地层采液指数,完成分层段各个测点的动态特性测试。所以它是层内精细测压。

层内精细测压是指在油层内逐段点测压。即将此段点以外地层全部封闭,只让测试段点地层生产地层流体,模拟生产环境,测出地层流体流动压力变化曲线,进而得到该段点地层静止压力以及各种动态特性参数。

按此方式以一定步长,逐段点进行,最后得到所有射孔段内的各段点的地层静止压力和各种动态特性参数。

所以,层内精细测压也可以称作层内精细动态特性测试。对于厚油层,可以测出压力梯度分布曲线,准确测定气油、气水、油水界面位置,判断各分层地层流体是油、气还是水。

全井动态参数测量完成后,确定最需要摄取真样的位置点。将仪器坐封,重复泵抽排18次以上,最后一次操作测试动作,待充分进液后,直接操作解封动作,上提仪器到井口再进行转样,即可获取到地层真实流体样品。

得到全井所有射孔段内各段点的地层静止压力和各种动态特性参数,即精细测试,加上特定段点的地层真实流体样品,就可进行精准找水分析。

1.3 分层段点测试工序

- (1) 确定仪器进液段中点处于设计深度;
- (2) 双封隔器坐封;
- (3) 测地层流体和环空流体进入测试室的压力曲线(图2);
- (4) 双封隔器解封,仪器自由悬垂于井筒。

1.4 分层段点测试压力曲线形式

如图2所示,压力曲线测出的数据:a为井筒液柱静压力,b为坐封压力,c为地层静止压力,d为进液流动压力,e为进液流动停止后开始恢复压力数据组, Δp 为流动压力差,地层静止温度由测井曲线直接提供(图3)。

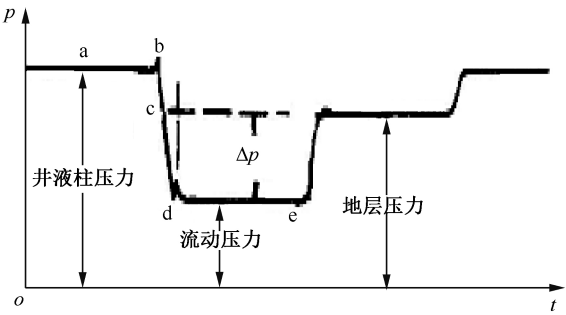


图 2 室内测试压力曲线
Fig.2 Testing pressure curve indoor

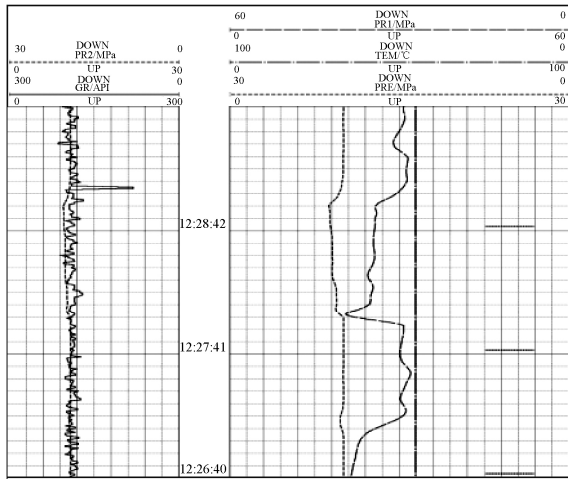


图 3 地层流体流动压力曲线
Fig.3 Flow pressure curve of formation fluid

1.5 测试资料的解释理论

使用地层流体渗流力学的圆柱形径向流渗流理论,由类似图 2 的实测地层流体流动压力曲线,直接测到地层静止压力、地层静止温度;使用解释软件进行解释^[21],可以得到地层有效渗透率、地层表皮系数、地层采液指数等这些地层动态特性参数。

1.6 精准找堵水油井增产测井技术概念

目前,找水技术只做到整层段综合压力及综

合温度等数据的测试,而射孔段内(或油层内)各段点的动态参数无法知道。所以,不能称作精细测试。

层内精准找堵水增产技术就是层内精细动态测试精准找堵水油井增产技术。该技术突出“套管井地层动态测试器”对油井所有射孔段,各段点的精细测压及精细动态参数测试的功能,利用该井历史资料和本次测井测试数据的综合解释技术,精准寻找该井底水及注入水的爆出位置,并按出水量排出顺序,以便利用配套堵水工艺设计使用。

油井实施了配套堵水施工后,产出液中,主要无功不驱油的循环注入水被堵住,不再产出,层内流体渗流形态发生改变,替代它的就是未动用的剩余油的产出。因此,它是一种新型增产技术,此技术绝不会堵塞或影响原油的产出;相反,它将大大提高原油采收率。含水率的下降,就是对环保的贡献,就是节能,也是对油井效率的提升。因此,层内精准找堵水增产技术有较高的综合性效益。

2 测试实例

下面以长庆油田×××井为例,对封堵及其效果进行介绍。

2.1 ×××井井况

×××井位于长庆油田××作业区,2013 年 5 月射孔、水力压裂,6 月试油后投产,2017 年 10 月日产油 0.61 t,综合含水 85.4%。

2.2 两个射孔段地层动态特性测试情况

第一射孔段(1 498.5~1 500.0 m)测试了 4 个地层测试点;第二射孔段(1 505.5~1 506.5 m)测试了两个地层测试点。六个测点的测试成果见表 1,同时获取到油层条件下地层流体样品 65 mL 水。

表 1 动态特性测试全井数据解释结果

Table 1 Interpretation results of whole well data of dynamic characteristic test

测试深度/ m	地层层 序编号	井筒液柱压力/ MPa	地层静止压力/ MPa	有效渗透率/ mD	表皮系数	温度/ ℃	采液(油)指数/ (cm ³ ·(s·MPa) ⁻¹)
1 498.8	延 10	10.067	10.061	9.856	2.376	54.805	0.767
1 499.2	延 10	10.073	10.056	10.278	1.534	55.077	0.957
1 499.6	延 10	10.056	10.059	9.892	1.474	55.359	1.002
1 499.9	延 10	10.068	10.066	17.261	1.453	55.613	1.618
1 505.8	延 10	10.132	10.127	8.726	2.078	55.411	0.789
1 506.4	延 10	10.135	10.133	43.398	-0.192	55.732	10.411

2.3 数据处理

以第一个测试点为例,说明测试的压力曲线样式、数据处理及结果。

2.3.1 第一个点 1 498.8 m 处测试压力测试曲线
第一个射孔段的第一个测试点在 1 498.8 m 处。共测了 3 段地层流体流动压力(PRE)曲线,每段曲线

上都有地层流体流动-压力恢复的完整压力变化过程,优选 12:27-12:28 的一段地层流体流动压力曲线段,进行数据采集和处理。10 月 24 日所测 1 498.8 m 处地层流体流动压力曲线如图 3 所示。

图 3 中,左边区间有电机转速曲线(ROLL)、模拟样品压力曲线(PR2);右边区间有仪器模拟液压压力曲线(PR1)、数字温度曲线(TEM)、数字样品压力曲线(PRE)(与模拟样品压力曲线(PR2)测点相同,使用两种压力传感器);两组曲线之间是时间指示。解释软件主要使用数字样品压力曲线(PRE)来完成。由 PR1 曲线和 PRE 曲线可以判断液压系统是否正常,仪器坐封、解封是否可靠,由 PRE 曲线,可以判断压力测试曲线是否正常,流体样品流入测试室的压力记录是否正常,使用流体样品流入测试室的压力记录曲线可以解释地层动态特性参数。

2.3.2 动态特性参数测试和解释结果

由地层流体流动压力曲线采集到的数据及使用解释软件计算结果由图 4 给出。其中地层静止压力、压力恢复有效渗透率、温度等文字的单位,见

表 1 所述。

计算结果显示

地层编号10

测试深度1498.8

序号1

井筒液柱压力10.067

地层静止压力10.061

压降Kd

压复Ku9.85561

表皮系数2.37557

温度54.8053

采液指数0.766673

是否优选否

请您将以上信息补充完整后,再确定。

确定取消

图 4 计算机解释结果界面
Fig.4 Computer interpretation result interface

2.3.3 获取到地层流体真实样品

为了获取真样,仪器坐封、解封 8 次,泵抽排 5 次时取到了真样。但是,只能称作准真样,共计水 65 mL,其中还含有较大比例的井液。

样品体积量太小,使用瑞士仪器分析,结果见表 2。2013 年该井投产后不久井口取样化验分析结果也列于表 2 中。

表 2 ×××井水分析成果表(部分)
Table 2 Results of ××× Well water analysis (Partly)

层位	射孔井段/m	取样日期	取真样处/ m	分析日期	pH 值	水型	总矿化度/ (mg·L ⁻¹)
延 10	1 498.5~1 500.0	2013.06.04	井口	2013.06.12	5.50	Na ₂ SO ₄	13 217
	1 505.5~1 506.5						
延 10	1 505.5~1 506.5	2017.10.24	1 506.4	2017.11.12	8.74	NaHCO ₃	10 203

3 测试结果

×××井的这次地层测试测井全面获取到了仪器能提供的全部测井资料,而且积累了经验。

3.1 通井和刮削一次完成

第一次使用标准的 139.7 mm 套管刮削器,将油井射孔段及严重结垢区彻底刮削干净,第一次将专用通井规和标准刮削器联结成一个管柱完成了两项作业。

3.2 找到了本井高含水源头

由表 1 发现,在 1 506.4 m 处,测到了高渗透率地层段,它的有效渗透率是本油层其它测点的 4 倍,它的采液指数也大大高于其他测试段点。此高渗透率地层段的发现,找到了×××井投产仅 4 年,而含水率却高达 85%的真正原因,是由于在此处发生了高渗透率地层段水的突进,含水率达到 100%。此段点的测试结果对于该井准确找水,意义重大。

3.3 准真实流体样品佐证

由表 2 样品 pH 值看,从 5.50 升到了 8.74,这必然是井筒注入水的影响。

由样品总矿化度看,这次的样品比新井投产时的样品下降了 3 000 mg/L。这说明,已经有大量注入水进入井筒。注入水来自两个射孔段,由各个测点有效渗透率值看,可能主要来自第六个测试段。

由样品总矿化度 10 203 mg/L 看,进入井筒的水中必然有地层水,系底水侵入,却尚未水淹,有可能是主要来源。准真样是纯水,佐证含水率为 100%。

由准真实流体样品佐证突进水是注入水加油层底水,是一个技术突破。

3.4 仪器测压数值准确

2016 年 5 月 2 日该井进行了压力恢复试井测压,在 1 508.45 m 处井筒中,置放压力计,实测地层静压 10.313 9 MPa;而这次在延 10 油层 1 506.40 m

处,测出地层静压为 10.133 MPa,井筒液柱压力为 10.135 MPa。使用井筒液柱压力 10.135 MPa 做对比,按 10 m 水柱压力为 0.1 MPa 计,外推到 1 508.45 m 处,井筒液柱压力应为 10.155 MPa。此次所测值比 2016 年 5 月 2 日压力测试值低 0.16 MPa,说明仪器测压数值准确。

3.5 油层状态良好

表 1 数据说明,各测试点地层有效渗透率约为 10 mD 左右,略高于 2013 年 6 月完井时,油层综合数据表所列的有效渗透率值 7.24 mD 及 8.39 mD,也高于 2016 年 5 月 2 日完成的压力恢复测试的解释值 2.73 mD 及 2.99 mD;

表 1 各测试点地层表皮系数为 $-0.192 \sim 2.376$,高于 2016 年 5 月 2 日完成的压力恢复测试的解释值 -4.53 ;

数据说明,地层温度为 $55.732\text{ }^{\circ}\text{C}$,与 $55.590\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持平;

总之,由套管井地层动态测试器测井所得到的两个射孔段的分层动态特性参数值说明,测试值是可信的,而且目前油层状态良好。

4 合理化建议

测试结果说明,注采井网设计、射孔部位设计值得肯定,注水保压效果好。为此,提出合理化建议。

4.1 机械封堵高渗透率层段

本次测井在 1 506.4 m 处,测到了高渗透率层段,它的有效渗透率为 43.398 mD,是本油层其它测点的 4 倍,它的采液指数为 $10.411\text{ cm}^3/(\text{s}\cdot\text{MPa})$,也大大高于其他段点。这是由于在此处发生了高渗透率层段水的突进。而且极有可能是底水上窜外加注入水突进。建议将 1 505.8 m 以下的下射孔段全部机械封堵,使 1 m 长的射孔段只留出最上方 $1/3$ 的段长,继续产油;建议实行下电缆桥塞工艺^[22]措施来达到目的。这口井的射孔段已经彻底刮削,桥塞胶筒密封在射孔孔眼上不会伤害胶筒。

1.5 m 上射孔段的第 4 个测点,有效渗透率比上面三个测点都要高,而且处于下部,有可能是 1.5 m 射孔段的主要产水区。建议将上射孔段的最下方 30 cm 使用最新的燃气动力套管补贴技术^[23]封堵掉,保留上射孔段 1 498.5~1 499.7 m 继续生产。

4.2 局部封堵下射孔段

2018 年 1 月 13 日,采用管柱封隔器将 1 505.5~

1 506.5 m 的下射孔段全部封堵掉后,该井含水率下降,产油量略有增加。

2018 年 6 月 6 日,将 139.7 mm 电缆式复合桥塞下至 1 505.9 m 处,将下射孔段以下 60 cm 的射孔段封堵,同时保证了 1 505.5~1 505.9 m 的射孔段继续生产。封堵后油井油产量慢慢上升,一段时间比较高,日产油最高达到 1.80 t,一段时间又降下来,跌到 0.7 t。含水率始终在下降,保持在 80% 以下。一整年共增产原油 255 t,平均日增油 0.70 t,而测试前该井日产油只有 0.61 t,平均日产油量是测试前的 2.15 倍。截止 2019 年 8 月 27 日,累计增油 304 t,平均日增油 0.68 t。而当日日产油 1.95 t。趋势是剩余油产出的越来越多,处于稳定生产期,见到了增油降水、提高油井生产效率、提高原油采收率的良好效果。如果及时将上射孔段出水集中段局部封堵住,效果会更理想。

4.3 扩大效果建议

(1) 使用最新燃气动力套管补贴技术,封堵上部射孔段局部(1 499.7~1 500.0 m)。局部封堵后,封堵管内径为 108 mm,下射孔段原油畅通无阻。待油层渗流关系稳定,本井日产油量将达到 1.83 t 以上,含水率有望为 70% 以下,并且产量持续稳定。

(2) 本井继续生产一两年后,可考虑将下射孔段的 0.6 m 可钻桥塞划钻取消,代之以燃气动力套管补贴封堵,只补贴下方 0.4 m 的射孔段,以解放 10.5 m 厚油层内的大量剩余油。

(3) 油井含水率超过 75%,油量下降较多时,可考虑对下方未射孔的含油水层进行补孔作业,使用复合射孔器,只射开层顶以下 0.5 m,让 2.2 m 厚含油水层储集的原油能够生产出来,极大提高本井原油采收率。

5 结论

(1) 在×××井使用套管井地层动态测试器进行的全射孔段精细动态测试找水及精准堵水作业,是一次精准找堵水的成功试验,使该井日产油量及含水率有了较大幅度的改善,节能环保,油井原油采收率及油井生产效率显著提高。

(2) 仪器应该进一步改进升级,适应 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的环境温度,提高可靠性。

致谢:感谢长庆油田采油六厂各相关部门大力协助,合作完成了本井的测井及包括本论文撰写在内的后续工作。

参考文献

[1] 张洪,邱金权,王青川,等. 涩北气田找水测井技术研究

- 与应用[J]. 石油仪器, 2014, 28(5): 52-54, 62.
- ZHANG Hong, QIU Jinquan, WANG Qingchuan, et al. Logging technology for water exploration in Sebei gasfield [J]. Petroleum Instruments, 2014, 28(5): 52-54, 62.
- [2] 白田增, 吴德, 武宗刚, 等. 连续油管水平段测井找水技术研究应用[J]. 油气井测试, 2016, 25(5): 41-42, 46.
- BAI Tianzeng, WU De, WU Zonggang, et al. Research and application of tracing water technology at horizontal section with coiled tubing [J]. Well Testing, 2016, 25(5): 41-42, 46.
- [3] 崔文昊, 高榕, 陈柯, 等. 低渗透油田水平井快速找水技术研究与应用[J]. 长江大学学报(自科版), 2015, 12(5): 76-78.
- CUI Wenhao, GAO Rong, CHEN Ke, et al. Research of fast water detection technology in horizontal wells of low permeability oilfields and its application [J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2015, 12(5): 76-78.
- [4] 甄宝生. 井下智能找水、堵水技术在渤海油田水平井中的应用[J]. 油气井测试, 2016, 25(4): 56-57.
- ZHEN Baosheng. Application of intelligent water zone identification and water shut-off in horizontal wells in Bohai Offshore Oilfield [J]. Well Testing, 2016, 25(4): 56-57.
- [5] 马建国. 多分层试井技术的研究[J]. 油气井测试, 1999, 8(4): 32-35.
- MA Jianguo. A study of multizone well testing technique [J]. Well Testing, 1999, 8(4): 32-35.
- [6] 马建国. 油气井地层测试[M]. 第1版. 北京: 石油工业出版社, 2006: 127-129.
- [7] 马建国, 乔汝椿, 胡贤江, 等. 全储层取样测试器[P]. 中国发明专利, 专利号 01115287.7, 中国专利公报, 2002年5期(1月30日)公告.
- [8] 马建国, 秦彦斌, 胡长岭, 等. 一种用于套管井射孔段的测井双封隔器[P]. 专利号: ZL 2010 2 0564300.X. 授权公告日: 2011年04月27日.
- [9] 马建国, 郭辽原, 任国富. 套管井电缆地层测试新技术[J]. 测井技术, 2003, 27(2): 95-98.
- MA Jianguo, GUO Liaoyuan, REN Guofu. Two new methods for cased hole wireline formation test [J]. Well Logging Technology, 2003, 27(2): 95-98.
- [10] 马建国. 美国电缆地层测试器技术对比[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 1986, 1(1): 8-12.
- MA Jianguo. Technical comparison of cable formation testers in the United States [J]. Journal of Xi'an Shiyu University (Natural Science Edition), 1986, 1(1): 8-12.
- [11] 马建国, 马峻. 套管井地层动态测试器[P]. 中国实用新型, 专利号 98233153.3 (2000年5月4日授权).
- [12] MACDOUGALL T D, KURKJIAN A L, JAROSKA M, et al. Apparatus and method for sampling an earth formation through a cased borehole [P]. U.S.P 5, 692, 565, 1997.
- [13] 马建国. 电缆地层测试新技术[M]. 第1版. 北京: 石油工业出版社, 2006: 1-50.
- [14] 马建国. 电缆式地层测试器[J]. 测井技术, 1984(4): 70-80.
- MA Jianguo. Wireline formation tester [J]. Well Logging Technology, 1984(4): 70-80.
- [15] 马建国, 符仲金. 电缆地层测试器原理及其应用[M]. 第1版. 北京: 石油工业出版社, 1995: 1-8, 15-24, 72-105.
- [16] TOMMACDOUGALL K B G G, BRIANRITCHIE R R, ROBERTSIEGFRIED R R. 过套管地层测试和采样[J]. 国外测井技术, 2003, 18(3): 40-49.
- TOMMACDOUGALL K B G G, BRIANRITCHIE R R, ROBERTSIEGFRIED R R. Casing formation testing and sampling [J]. World Well Logging Technology, 2003, 18(3): 40-49.
- [17] 赵爱军, 方华, 杨宏飞. MDT地层测试技术在大港油田滩海区的应用[J]. 油气井测试, 2012, 21(6): 42-45.
- ZHAO Aijun, FANG Hua, YANG Hongfei. Application of MDT test technology on offshore area of Dagang Oilfield [J]. Well Testing, 2012, 21(6): 42-45.
- [18] 米岩杰, 唐振欢, 臧诗清, 等. 套管井地层测试仪在江苏油田的应用[J]. 石油和化工设备, 2010, 13(11): 30-32.
- MI Yanjie, TANG Zhenhuan, ZANG Shiqing, et al. Application of casing well formation tester in Jiangsu Oilfield [J]. Petro & Chemical Equipment, 2010, 13(11): 30-32.
- [19] 黄亮, 张洪亮, 刘波, 等. 电缆传输分层测试研究与应用[J]. 油气井测试, 2017, 26(2): 73-74.
- HUANG Liang, ZHANG Hongliang, LIU Bo, et al. Research of cable transmission separating layer test and its application [J]. Well Testing, 2017, 26(2): 73-74.
- [20] 凌龙, 任永宏, 于波涛, 等. 分层测压取样技术在油田监测中的应用[J]. 油气井测试, 2017, 26(3): 60-62.
- LING Long, REN Yonghong, YU Botao, et al. Application of separated layer pressure and sampling technique in dynamic monitoring of oilfield [J]. Well Testing, 2017, 26(3): 60-62.
- [21] 马晓丽. 多分层试井仪测试资料的解释与应用[D]. 西安: 西安石油大学, 2010.
- MA Xiaoli. Interpretation and application of the test data of multi-sublayer test instrument [D]. Xi'an: Xi'an Shiyu University, 2010.
- [22] 张晓鹏, 岳志强, 李宝珠, 等. 连续多层可钻封堵器[P]. 专利号: ZL 2014 2 0495317.2.
- [23] 门艳萍. 燃气动力套管补贴技术的现场应用[J]. 石油钻采工艺, 2007, 29(1): 107-108.
- MEN Yanping. Field application of gas power casing patch technology [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2007, 29(1): 107-108.

编辑: 王 军

第一作者简介: 马建国, 男, 1941年出生, 硕士生导师, 教授, 1964年毕业于北京石油学院采油专业, 主要从事油气井增产新技术、套管井地层测试技术的研究工作。电话: 029-88383265, 13636701089; Email: majianguo213@126.com。通信地址: 陕西省西安市电子二路18号西安石油学院21-213, 邮政编码: 710065。