

# 葡 48X 区块微波持水率测试方法

郝龙图

中国石油大庆油田有限责任公司测试技术服务分公司 黑龙江大庆 163000

通讯作者:Email:286560595@qq.com

引用:郝龙图. 葡 48X 区块微波持水率测试方法[J]. 油气井测试,2021,30(6):57-60.

Cite: HAO Longtu. Microwave water holding rate test method for Pu48X block [J]. Well Testing, 2021,30(6):57-60.

**摘要** 葡 48X 区块油层为特低渗透储层、致密油开采,纵向较分散,平面连续性差,具有油质密度高、含水低的特点,开发动态监测难。采用微波持水率计产出剖面测井仪进行分层流量测试,利用微波在油、水中传播速度,以及衰减差异性计算介质含水率,得到分层油水产量。应用微波持水率计对葡扶 1X 井进行多点测试,现场试验分析确定 1 565.4 m 测点处为主产层。对该井进行超声多普勒测井,对比井温数据结果表明,微波持水率计产出剖面测井结果更准确。该方法可对葡 48X 区块致密油开采进行有效动态监测,提高低含水率致密油分层产出测试精度,为油田精细开发提供新的技术手段。

**关键词** 产出剖面;微波持水率;动态监测;数据分析;低渗透储层;低流量测试;液性特征;原油黏度

**中图分类号:**TE355 **文献标识码:**B **DOI:**10.19680/j.cnki.1004-4388.2021.06.010

## Microwave water holding rate test method for Pu48X block

HAO Longtu

Testing Technology Service Company, PetroChina Daqing Oilfield Company, Daqing, Heilongjiang 163000, China

**Abstract:** Pu48x block oil layer is a tight oil reservoir with ultra-low permeability, and its vertical dispersion is scattered and plane continuity is poor. It has the characteristics of high oil density and low water cut, which makes it difficult to monitor the development performance. The microwave water holdup meter and production profile logging tool are used for layered flow test. The principle is to calculate the water content of the medium by using the propagation velocity of microwave in oil and water and the attenuation difference to obtain the layered oil-water production. The microwave water holdup meter is used to conduct multi-point test in Well Pufu1X. Through field test analysis, the measured point - 1 565.4 m is determined as the main production layer. Compared with the well temperature data, the profile logging result of the microwave water holdup meter is more accurate than ultrasonic Doppler logging method. This method can effectively monitor the tight oil production in Pu48x block, improve the layered production test accuracy of tight oil with low water cut, and provide a new technical means for fine development of the oilfield.

**Keywords:** output profile; microwave water holding capacity; dynamic monitoring; data analysis; low permeability reservoir; low flow test; liquid characteristics; crude oil viscosity

葡 48X 区块采用致密油弹性开采,油层为特低渗透储层,储层物性差,具有纵向较分散,平面连续性差的特点,油质密度高、含水低,单井产量低,注水开发效果不好,有效开发难度大。区块储层特性导致常规仪器测量录取数据不准确,应用传统的产出剖面测井方法如电容法、探针法、阻抗法、同轴相位法等<sup>[1-4]</sup>进行分层产出动态测试,测试结果差异大,测井解释符合率低,无法满足储层动态分析评价需求。传统产出剖面针对含水大于 50% 的流量测量,不能满足葡 48X 区块产液量低、含水低的测量条件<sup>[5-7]</sup>。为进一步认识葡 48X 区块分层液性产

量及特征,进行了多种持水率测量方法的对比评价,优选出微波持水率计产出剖面测井仪进行测量。

根据麦克斯韦电磁波理论,微波在传输过程中,会在周围产生一个交变的电磁场。因此,微波传输的速度和信号强度取决于传输过程中介质的特性。油和水是两种完全不同的传输介质,介电常数差别较大,微波在油中传输速度快,衰减小,而在水中传输速度慢,衰减大。该仪器是利用微波传播特性,通过检测微波传输天线两端的信号,测出微波在传输范围内受介质影响的程度,从而计算出介质的持水率,有效的解决油质密度高、含水低所带

来的测量难题<sup>[8]</sup>。微波持水率计产出剖面测井仪主要用于产出剖面测井,该仪器与遥传三参数测井仪 WTC28C 组合使用,一次入井可同时录取温度、压力、磁定位、流量和含水五条测井曲线进行综合解释评价,较常规测试方法测井解释符合率提高 15%,为葡 48X 区块环空测井提供了动态监测方法,为储层综合治理评价提供测试依据。

## 1 微波持水率测试方法

微波式持水率计的测量原理是利用高频电磁波的谐振状态来测量原油中的水分。当高频电磁波在含水原油中传播时,其波长随含水率的变化而变化,并引起谐振回路频率的变化,从而改变谐振回路和晶振电路之间的谐振状态,根据这种改变可测量原油中的含水率。

### 1.1 微波传感器结构

微波传感器由外筒、涡轮叶片、顶尖、宝石、磁钢和霍尔元件组成,如图 1 所示。在启动排量以上的涡轮转数与标准流量存在线性关系,当涡轮旋转

时,在霍尔元件中产生一个类似正弦的交变信号,该信号的电动势频率是涡轮的转数,通过标准流量和对应的记录涡轮转数,建立流量和涡轮转数关系曲线,从而完成流量测量<sup>[9]</sup>。

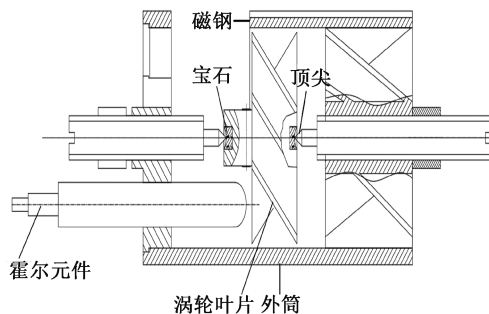


图 1 微波传感器结构示意图

Fig. 1 Structure diagram of microwave sensor

### 1.2 仪器结构

仪器采用全封闭的设计结构,超声传感器被封装在仪器内部(图 2)。传感器发出的超声波穿透仪器壁,在套管内离散的油泡和气泡表面发生反射,部分反射波可以回到超声探头并被接收,完成测量过程。

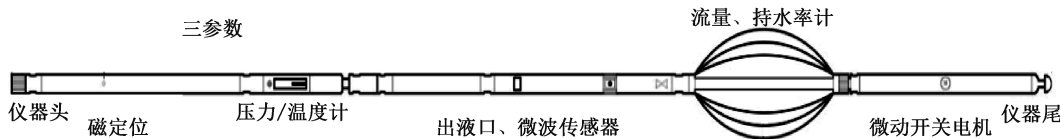


图 2 微波持水率计结构示意图

Fig. 2 Structure diagram of microwave water holdup meter

### 1.3 技术指标

仪器外径 28 mm,长度 65 cm,最高工作温度 125 ℃,最高工作压力 40 MPa;气流量范围 0 ~ 15 m<sup>3</sup>/d,油流量范围 0.2 ~ 40.0 m<sup>3</sup>/d,总液量范围 0 ~ 60 m<sup>3</sup>/d;解释误差油流量小于 10%,气流量小于 10%,水流量小于 15%,适用于注水驱动的生产井。

### 1.4 技术特点

(1) 仪器能够与超越地面录取系统配接进行测试,操作界面直观。

(2) 含水测量区间大,准确度高、重复性好。

(3) 测试开始时首先下到静水区,点测静水区的持水率作为计算基准,无需常规仪器测试中需要关伞测全水的步骤,省时高效;几乎不受井下矿化度(0 ~ 5 000 ppm)影响。

## 2 葡 48X 区块储层及液性特征

葡 48X 区块扶余油层渗透率 1.6 mD,纵向上砂岩发育层数多、规模小,横向连续性差,不同井区的储层分布差异大。原油黏度大,凝固点高,易

出现蜡卡,平均单井蜡卡 1.2 井次/mon,平均化清周期 15 d 左右。该区块投产初期单井平均日产液 20.3 t,日产油 8.4 t;目前单井平均日产液 7.5 t,日产油 4.6 t,单井产量较低。

针对葡 48X 区块储层及液性特征,采用集流式微波持水率计产出剖面测井仪进行分层流量测试。图 3 为分层测得的产量、含水及动液面结果。

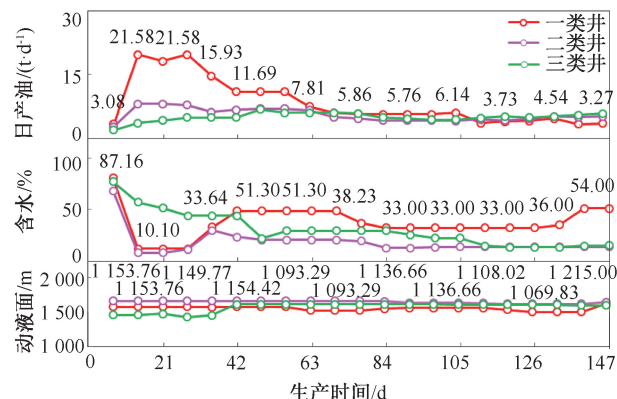


图 3 葡 48X 区块三类井生产曲线对比

Fig. 3 Comparison of production curves of three types of wells in Pu48x block

根据产量变化特征可以分为三类井: (1) 井半年递减率大于 50%, 递减快, 含水较平稳; (2) 井半年递减率约 33%, 初期产量不高, 递减较平稳, 含水较平稳, 其中 6 口井递减较快, 5 口井递减缓慢; (3) 井整体表现为产量稳定上升趋势, 初期含水高, 随着产量的上升含水逐渐下降。

3 现场试验情况

在葡 48X 区块的葡扶 1X 井位于区块中部位, 是该区块一口典型的低产液高油质生产井。应用微波持水率仪分别在测点 A (1 518.3 m)、测点 B (1 565.4 m)、测点 C (1 591.5 m)、测点 D (1 612.5 m) 取得良好的含水数据资料, 如图 4 所示。

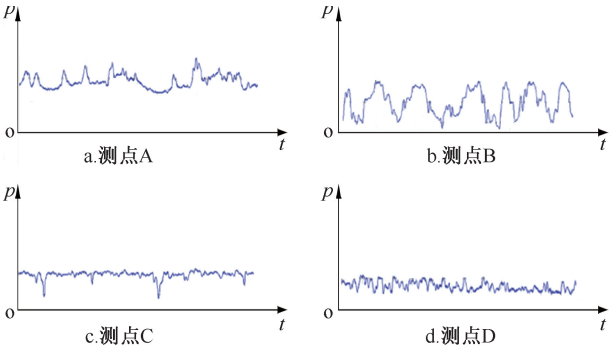


图 4 葡扶 1X 井不同深度点测曲线图  
Fig. 4 Point survey curves in different depths of Well Pufu1X

现场测井录取的资料可以看到, 测点 A 中出现较多的水泡或者气泡; 测点 B 中扰动较大, 通过几个测点对比, 可以确定是主产层; 测点 C 中偶尔出现大油泡; 测点 D 中, 流体的流速很小, 已经低于启动排量, 有很少的小油珠。图中曲线显示可以直观反映, 在含水低于 60% 的情况下仪器响应良好。资料综合测井解释分层产出量和含水率结果见表 1。

表 1 葡扶 1X 井分层产出解释成果表  
Table 1 Interpretation results of layered production of Well Pufu1X

测点深度/ m	分层相对 产出/%	分层绝对产 出/(m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	分层含水/ %	分层产水/ (m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )
1 518.30	33.86	1.71	0.54	0.01
1 565.40	42.97	2.17	30.15	0.65
1 591.50	23.17	1.17	55.85	0.65
1 612.50	0.00	0.00	0.00	0.00

为了验证微波持水率计对含水小于 60% 井的测量效果, 该井同时进行了超声多普勒测井。超声多普勒测井对 A 点响应的不够精确, 从而影响第一测点数据。先后两种不同仪器下井所录取曲线中, 井温曲线反应基本一致, 且通过井温认识各小层的产液状况与产液层位基本吻合, 但超声多普勒测井

仪产出数据资料解释结果反映储层液性产出量与井温曲线差异较大。对比结果进一步说明微波持水率测井仪对葡 48X 区块的产液状况更加适应。

结合该区块的特性, 通过阻抗含水率计、阵列持水率计、双探针电导法<sup>[12-14]</sup>等几种技术的施工及验证对比分析, 判断测井解释符合率与储层产出产生矛盾的可能原因有:

- (1) 油井生产状态、泵状况及技术状况导致结果偏差;
- (2) 弹性开采过程中地层压力的变化, 导致流体状态更加复杂, 影响了仪器的数据录取精度;
- (3) 目前采用的产出剖面监测仪器性能指标在该区块应用存在的局限性, 测量精度受到影响;
- (4) 各层产液量较小, 仪器受精度及启动排量的影响, 导致产液的合层解释或解释为零产液<sup>[15]</sup>;
- (5) 井下地质条件的影响; 产气及间歇产液等情况;
- (6) 压裂投产效果对后续开发的影响。

由于该区块的油质稠密, 常规测井方法无法满足测试要求<sup>[16-17]</sup>, 伴随着产气影响, 超声等仪器也受到很大的局限性; 而微波仪器响应良好, 精度高, 通过微波的传输特性计算稠油中的持水率, 很大程度上降低了低含水情况对数据录取的影响。

对于采油井死油淤堵、井况复杂、临时洗井等情况影响, 经过不同仪器多次下井, 不同测试技术对比分析, 采用微波持水率计能够得到较准确的录取数据; 同时, 仪器下井死水区测量一次即可取得该区域的持水, 免去其他测点的关伞测全水的步骤, 省时高效。

4 结论

(1) 针对葡 48X 区块采用不同测试仪器对比分析, 微波持水率计反应良好, 曲线直观反映分层液性, 解决了低产量、低含水时液性测量精度低的技术难题。

(2) 在葡 48X 区块含水率低于 50%、粘稠度较高的生产井中测量, 应用微波测井仪与集流伞测井仪相结合测试, 符合率高于常规测试方法, 该项技术更适用于低含水井分层产出测试。

(3) 通过现场测试, 该方法测量准确度高、重复性好、成功率高, 能够为葡 48X 区块致密油开采动态监测、效果评价、措施挖潜提供新的技术手段, 具有应用前景和现实意义。

致谢: 感谢大庆油田测试技术服务分公司同意本文公开发表; 感谢致密油项目部在测试过程中的技术支持。



## 参考文献

- [1] 王立新,陈汉林,侯文静,等. 集流式流量含水率组合测井仪生产测井资料解释方法研究[J]. 江汉石油学院学报,2002,24(3):28-29.  
WANG Lixin, CHEN Hanlin, HOU Wenjing, et al. Production logging data interpretation method of affluxion flowrate water-cut combined logging unit [J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 2002,24(3):28-29.
- [2] 黄春辉,胡金海,刘兴斌,等. 阻抗式含水率计在多种驱替介质下的适应性分析[J]. 石油管材与仪器,2018,4(6):64-67.  
HUANG Chunhui, HU Jinhai, LIU Xingbin, et al. Adaptation analysis of impedance water cut meter under different displacement condition [J]. Petroleum Tubular Goods & Instruments, 2018,4(6):64-67.
- [3] 韩梅,沙作良,伍倩,等. 双探针电导探头测量气泡参数的信号质量[J]. 过程工程学报,2009,9(2):222-227.  
HAN Mei, SHA Zuoliang, WU Qian, et al. Signal quality of dual-tip electrical conductivity probe for measurement of bubble parameters [J]. The Chinese Journal of Process Engineering, 2009,9(2):222-227.
- [4] 王芸,张子英,吴信宝. 测量生产井高含水率的一种新方法—全空间测量法[J]. 测井技术,1995,19(3):168-171,177.  
WANG Yun, ZHANG Ziyang, WU Xinbao. A new method to measure high watercut in production well [J]. Well Logging Technology, 1995,19(3):168-171,177.
- [5] 秦昊,戴家才,秦民君,等. 低产水平井油水两相流阵列持水率计实验研究[J]. 测井技术,2017,41(6):637-641,647.  
QIN Hao, DAI Jiakai, QIN Minjun, et al. Experimental study on oil-water two-phase flow array water holdup tool in horizontal well [J]. Well Logging Technology, 2017,41(6):637-641,647.
- [6] 郭海敏,戴家才,方战杰,等. 低产液井产液剖面解释方法实验研究[J]. 江汉石油学院学报,1999,21(4):3-5.  
GUO Haimin, DAI Jiakai, FANG Zhanjie, et al. An experimental study on interpretation method for liquid production profile in low production well [J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 1999,21(4):3-5.
- [7] 张耀文,邹长春. PLT 测井在苏丹穆格莱德油田的应用[J]. 石油仪器,2008,22(5):53-55,58.  
ZHANG Yaowen, ZOU Changchun. Applications of PLT in Muglad oil field in Sudan [J]. Petroleum Instruments, 2008,22(5):53-55,58.
- [8] 王晓东,董守平. 石油多相流计量研究的现状和发展趋势[J]. 油气田地面工程,1999(2):4-7.  
WANG Xiaodong, DONG Shouping. Current status and development trend of petroleum multiphase flow metrology [J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 1999(2):4-7.
- [9] 刘兴斌. 井下油/水两相流测量[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,1996.
- LIU Xingbin. The measurement of oil/water two-phase flow in borehole[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 1996.
- [10] 王立新,陈汉林,侯文静,等. 集流式流量含水率组合测井仪生产测井资料解释方法研究[J]. 江汉石油学院学报,2002,24(3):28-29.  
WANG Lixin, CHEN Hanlin, HOU Wenjing, et al. Production logging data interpretation method of affluxion flowrate water-cut combined logging unit [J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 2002,24(3):28-29.
- [11] 顾根堂,王春阳,王志勇,等. 集流式流量持水组合仪[J]. 测井技术,2001,25(5):395-396,398.  
GU Gentang, WANG Chunyang, WANG Zhiyong, et al. A novel packer flow-water holdup tool [J]. Well Logging Technology, 2001,25(5):395-396,398.
- [12] 刘继承,李进旺,刘兴斌,等. 阻抗式含水率计油水两相漂流模型校正实验[J]. 大庆石油学院学报,2005,29(6):80-81,92.  
LIU Jicheng, LI Jinwang, LIU Xingbin, et al. Experiment on drift-model emendation of oil/water phase flow for impedance water-cut sensor [J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2005,29(6):80-81,92.
- [13] 汪中浩,吴锡令,张淑芝. 垂直井两相流动生产测井解释滑脱模型[J]. 石油物探,2003,42(2):276-278.  
WANG Zhonghao, WU Xiling, ZHANG Shuzhi. A diphasic flow slip model for production log interpretation in vertical wells [J]. Geophysical Prospecting For Petroleum, 2003,42(2):276-278.
- [14] 许福东,周思柱,王子荣,等. 稠油井井下流量测量面临的困难和可能的对策[J]. 石油矿场机械,2002,31(3):9-12.  
XU Fudong, ZHOU Sizhu, WANG Zirong, et al. Difficulties and measures for downhole flowrate metering in the heavy oil well [J]. Oil Field Equipment, 2002,31(3):9-12.
- [15] ZUBER N. Average volumetric concentration in two-phase flow systems [J]. Trans. ASME J. Heat Transfer, 1965(11):33-38.
- [16] HASAN A R, KABIR C S. A new model for two-phase oil/water flow: Production log interpretation and tubular calculations [J]. SPE Production Engineering, 1990,5(2):193-199.
- [17] 王敏. 基于分流法的高分辨率电导含水率计的设计及实验研究[J]. 石油仪器,2013,27(1):55-57.  
WANG Min. Experiment study of design for the high-resolution conductance water-cut meter based on split technology[J]. Petroleum Instruments, 2013,27(1):55-57.

编辑 苏璇

第一作者简介:郝龙图,男,1983年出生,工程师,2007年毕业于中国石油大学(华东)石油工程专业,现主要从事生产测试及相关技术管理工作。电话:0459-5295902,13836766853;Email:286560595@qq.com。通信地址:黑龙江省大庆市采油二厂测试技术服务分公司第二大队,邮政编码:163000。