

微波法油井含水在线监测技术研究与应用

张金焕

(中国石化华东油气分公司泰州采油厂,江苏 泰州 225300)

摘要:信息化油田建设已成为大趋势,作为油藏开发关键参数之一的油井含水率,仍有依靠人工取样化验的情况,成为全面建成信息化油田的瓶颈。研究微波法油井含水在线监测技术,设计了一种油井含水监测装置,实时在线监测传输含水率数据,测量范围0~100%,绝对精确度在5%以内,在SD、ZC、NH、CX区块68口井成功应用。该技术清洁、安全、高效,对于油田开发具有重大意义,具有广阔的应用前景。

关键词:油井含水率;微波法;在线监测;含水仪;实时传输

中图分类号:TE973 **文献标志码:**A

Research and application of online monitoring technology of oil well's water-cut by microwave method

ZHANG Jinhuan

(Taizhou Oil Production Plant, East China Oil and Gas Company, SINOPEC, Taizhou 225300, China)

Abstract: The construction of informationized oilfields has become a big trend, as one of the key parameters of reservoir development, the water content of oil wells still relies on manual sampling and testing, which has become a bottleneck for the full completion of informationized oilfields. Researching the online monitoring technology of water content in oil wells by microwave method, it is designed a monitoring device for water content in oil wells, which can monitor and transmit water content data online in real-time. The measuring range is from 0% to 100%, and the absolute accuracy is less than 5%. This technology has been successfully applied to 68 wells in SD, ZC, NH, and CX blocks. The technology is clean, safe, and efficient, which is of great significance for oilfield development and has a broad application prospect.

Key words: water-cut of oil well; microwave method; online monitoring; water meter; real-time transmission

引用格式:张金焕. 微波法油井含水在线监测技术研究与应用[J]. 复杂油气藏, 2023, 16(3):363-366.

ZHANG Jinhuan. Research and application of online monitoring technology of oil well's water-cut by microwave method[J]. Complex Hydrocarbon Reservoirs, 2023, 16(3):363-366.

中国石化HD油气分公司TZ采油厂已基本建成信息化采油厂,正探索智能化油田建设。当前油井功图、压力、电参数、井场视频等数据已经实现自动化录入库,而油藏开发关键参数油井含水率仍采用人工取样化验,成为全面建成信息化油田的瓶颈^[1]。人工取样化验含水率很难对油井或整个区域的油藏含水情况进行全面了解,同时劳动强度大,存在环境污染和安全风险。水驱油藏是采油厂储量、产量主力区,SD戴南组等油藏进入含水快速上升期,对含水率检测的频次和精确度要求提高。

国内外很多研究机构致力于用各种手段解决原油含水率在线检测的技术难题,但技术依旧不成熟。原油含水率在线检测方法有微波投射法^[2]、 γ

射线法、射频法、密度法、电容法等。国外的研究成果主要针对含水率较低的油井,且仪器价格昂贵,结构复杂,难以满足国内的实际需要,也难以保证现场维护等售后服务^[1]。2018年国内大庆油田对电阻法、电容法、放射法、射频衰减法、微波法的油井含水在线监测仪器做试验评价,评价了测量范围、测量精度、油水形态、结垢影响、腐蚀影响、矿化度影响、安全性、成本8个技术指标,微波法的综合评价较好,但仍然存在不少问题。因此针对油田实

收稿日期:2022-02-13;**改回日期:**2023-07-11。

作者简介:张金焕(1987—),女,高级工程师。从事井下作业、采油工艺研究及生产管理。E-mail:903438776@qq.com。

际,有必要研究一种测量范围大、准确性高、经济实用且具有在线自动测量功能的原油含水率检测系统。

1 微波法含水率检测原理

微波是频率在0.3~300 GHz的一种电磁波(见图1),具有一定的穿透能力,在电介质中传播时,会损耗能量和速度,介质的介电常数和损耗因子决定其速度和能量损耗的大小。微波在介质中的传播速度随介质的介电常数增大而减小,损耗的能量随损耗因子的增大而增大^[3]。常温下油与水的损耗因子差异和介电常数的差异均很大,损耗因子分别为0.004和29,介电常数分别为2和80左右^[1]。也就是说,原油含水率越高,微波在混合液中传播速率越低,消耗的能量越高^[4],从而接收端检测到的电流信号也变弱。根据电流变化,实现对原油含水率的快速测量。

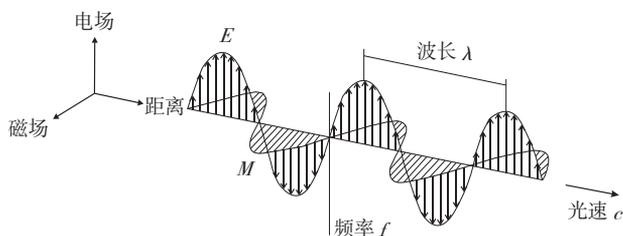


图1 微波传播示意图

根据麦克斯韦方程,可以得到微波的传输速度为:
$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}$$

式中: V 为微波在介质中的传播速度,m/s; c 为光在真空中的传播速度,m/s; ϵ 为介电常数,F/m; μ 为磁导率,H/m。

从公式可以看出,微波的速度取决于介质的介电常数和磁导率。自然界中,一般非磁性物质的磁导率为1,可以忽略不计,微波的速度跟磁导率无关。

当不同比例的油水混合时,混合物质的介电常数取决于油的介电常数和水的介电常数以及他们的比例,因此通过测量微波在固定长度上的传输速度,就可以得到该介质的混合介电常数,再结合已知的油介电常数以及水的介电常数,就可以得到油水混合物的介电常数,从而得出原油含水率^[5]。

2 微波法油井含水在线监测技术

2.1 性能要求

在线式原油含水率检测仪主要技术指标:工作

温度为-30~85℃;液量范围10~350 m³/d(短时间最大500 m³/d);矿化度范围在0~40 000 mg/L;含水测量范围是0~100%;含水测量绝对精确度为5%;通信协议为Modbus RTU。

2.2 结构设计

在线式原油含水率检测仪由传感器部分、过液腔体和数据处理部分组成。传感器部分为微波传感器,数据处理部分包括电路部分的数据处理单元和信号发生单元(见图2)。结构设计要求见表1。

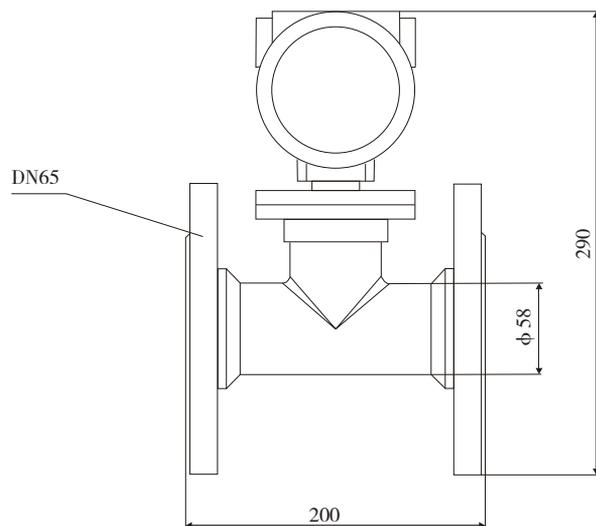


图2 在线式原油含水率检测仪

表1 结构设计要求

序号	项目	要求或功能
1	过液腔体	316L 不锈钢
2	法兰	304 钢
3	显示	OLED 中文界面
4	耐压	4 MPa
5	电源	DC 12~24 V
5	防护等级	IP66
6	防爆等级	Ex d ib [ia Ga] IIC T3—T6 Gb

2.3 数据传输设计

针对TZ采油厂油田生产井现状,本设备采用RS485总线方式与井场已有RTU设备进行通信,设备码元传输速率串口设置为:波特率9 600;数据位8;停止位1;无奇偶校验。每次修改码元传输速率后需要重新启动仪表。主芯片选用目前仪表上常用MAX485芯片,管脚较少,面积小,电路实现简单。电路原理见图3。

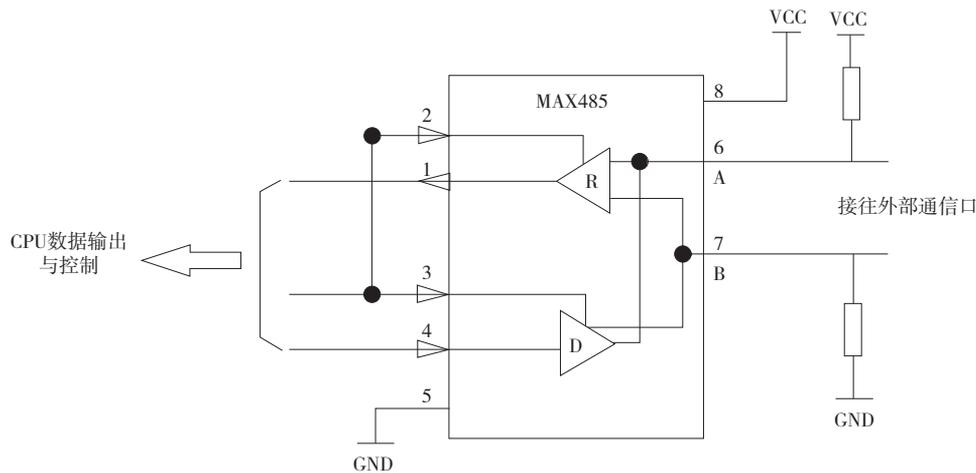


图3 RS485通信原理

采用标准的 MODBUS RTU 协议,使用 04 功能码,数据分配地址见表 2。

表2 数据分配地址

寄存器地址	类型	含义	单位
0	UINT16	瞬时含水率	0.1%
1	UINT16	分钟平均含水率	0.1%
2	UINT16	小时平均含水率	0.1%
3	INT16	温度	0.1 °C
4	UINT16	日均含水率(最近 24 小时)	0.1%
5	UINT16	压力	0.01 MPa

3 微波法油井含水率检测传感器设计

考虑到安装方便,传感器形状设计为弧形,第一代传感器本体材料为抗腐蚀的 316L 不锈钢。在现场试验中发现探头容易被高黏度油包裹,分析原因为本体无疏油涂层,探头天线较高,当出现油水分离时,黏度高的油成团堆积,逐渐覆盖探头,导致测量值偏低。

针对第一代仪器传感器覆油严重的问题,将传感器形状改进为贴壁式,采用特殊疏油涂层,探头加装耐高温、耐腐蚀的聚四氟固定垫片,传感器性能有所改善,在此基础上进行二次改进,仪器探头加装恒温装置,改进后含水率测量数据稳定性较好,满足油田生产需求。

4 现场试验应用及评价

4.1 试验选区

选择不同产出液性质、不同含水阶段的油井开展针对性的试验,客观评价含水仪的适应性。含水

阶段分为低含水阶段,含水率 < 20%; 中含水阶段, 20% ≤ 含水率 < 60%; 高含水阶段 60% < 含水率 < 90%; 特高含水阶段,含水率 ≥ 90%。

SD 区块平均单井日产油 3.07 t, 平均单井日产液 7.87 t, 综合含水 61%, 已进入含水快速上升阶段。地面原油密度 0.976 8 g/cm³, 地面原油黏度 12 000 mPa·s, 凝固点 45 ~ 50 °C。原油性质较差, 凝固点高, 含蜡量较高, 胶质沥青质含量高。

ZC 区块平均单井日产油 2 t, 平均单井日产液 42 t, 综合含水 94.7%, 已进入特高含水开发阶段, 含水率相对稳定。地面原油密度 0.905 8 g/cm³, 地面原油黏度 131.2 mPa·s, 凝固点 24 ~ 36 °C, 原油性质居中。

NH、CX 区块平均单井日产油 4.8 t, 平均单井日产液 5.62 t, 综合含水 14.6%, 属于低含水开发阶段。地面原油密度 0.853 g/cm³, 地面原油黏度 12.23 mPa·s, 凝固点 32 °C, 初馏点 108.8 °C, 原油性质较好。

4.2 效果评价

2020 年 7 月至今, 在 TZ 采油厂 SD 区块、ZC 区块、NH、CX 区块 68 口油井开展矿场试验, 4 个区块含水率绝对精确度均在 5% 以内, 具有明显的含水变化趋势, 数据传输稳定。含水仪维护周期与含水阶段有关, 其中中含水和高含水阶段仪器维护周期为 4 ~ 6 月, 低含水、特高含水阶段仪器维护周期均大于 10 月。

SD 区块安装微波法含水仪 45 口井, 蜡含量高, 含水率覆盖低、中、高、特高含水阶段。其中含水率低于 20% 的油井 7 口, 维护周期大于 10 个月; 中、高含水井 35 口, 含水率在 20% ~ 90% 之间, 维护周期 4 个月至 6 个月; 特高含水井 3 口, 含水率大于 90%, 维护周期大于 10 个月(见表 3)。

表3 SD区块微波法油井含水仪应用效果统计(不完全统计)

序号	井号	化验含水率/%	在线含水率/%	差值/%	安装日期	维护周期/d
1	S1-16	9.8	7	-2.8	2020/7/22	255
2	S1-26	8.3	8	-0.3	2020/7/24	300
3	S2-3	28	23	-5	2020/8/3	150
4	S1-24	43.7	39	-4.7	2020/7/24	150
5	S3	67	62	-5	2020/7/26	170
6	S1-23	80.02	82.02	2	2020/7/24	170
7	g3P1	94.8	95	0.2	2020/10/22	360
8	S1-20	94.2	95	0.8	2020/8/2	360

ZC区块选井为Z13井,该井地面原油密度0.906 g/cm³,地面原油黏度131.2 mPa·s,凝固点28℃,原油性质居中,含水率93%,属于特高含水阶段。2020年11月8日安装微波法油井含水仪,在线含水率测试值为94%,精确度1%,数据传输稳定,

维护周期360天。

NH、CX区块安装微波法含水仪21口井,油质较好,含水率低于20%,均处于低含水阶段。在线含水率精确度均在3%以内,数据传输稳定,维护周期360天(见表4)。

表4 NH、CX区块微波法油井含水仪应用效果统计(不完全统计)

序号	井号	化验含水率/%	在线含水率/%	差值/%	安装日期	维护周期/d
1	NH2-43	13.7	16.4	2.7	2020/11/7	360
2	NH2-18	8	5	-3	2020/11/1	360
3	NH2-36	15.3	15	-0.3	2020/11/1	360
4	CX3-33	8	6.3	-1.7	2020/11/1	360
5	CX3-34	6	3.1	-2.9	2020/11/1	360
6	CX3-35	8	5	-3	2020/11/1	360

5 结论

(1)研制了微波法油井含水实时监测仪,实现油井产出液含水率实时在线监测,能够满足油田对油井含水率数据录取的要求。

(2)该技术适应不同油藏产出液、不同含水阶段,精确度在5%以内。维护周期受含蜡、含水阶段影响:含水率低于20%,高于90%,维护周期长达8月以上,含水率范围在20%~90%区间的,含水率变化趋势明显,调试周期4~6月。

(3)该技术清洁、安全、高效,能够实时显示油井含水率的变化,缩短异常处置时间,及时部署动态调配方案,对于油田开发具有重大意义,是全面

建成信息化油田,探索智能化油田建设的基础。

参考文献:

- [1] 张国军,申龙涉,齐瑞,等.原油含水率测量技术现状与发展[J].当代化工,2012,41(1):59-62,72.
- [2] 孙妍,张琳.原油含水率测量方法的研究[J].计算机与数字工程,2013,41(7):1207-1209.
- [3] 成慧敏.油井在线含水率自动检测仪的研究[D].西安:西安石油大学,2019.
- [4] 于洋,孙香.微波法原油含水率测量[J].仪表技术与传感器,2011(12):93-95.
- [5] 张金焕.油井含水率检测技术综述与展望[J].石化技术,2021,28(8):164-165.

(编辑 韩 枫)