

基于电导法的持水率测量系统设计与研究

冯亚男¹, 魏勇^{1*}, 甘如飴¹, 吴鹏涛¹, 陈强², 刘国权²

(1. 长江大学电子信息与电气工程学院 湖北荆州 434023;

2. 中国石油集团测井有限公司, 陕西西安, 710077)

E-mail: bsff423@163.com E-mail: weiyong@yangtzeu.edu.cn (通讯)

摘要: 针对传统电导法测持水率存在测量电路复杂的问题, 设计了一种精简可靠的油水两相流持水率测量系统。该系统使用分压电路检测电导传感器的电压信号, 并通过精密全波整流电路将该信号转换成与持水率相关的直流信号, 简化了测量电路。实验结果表明, 该系统的输出电压与持水率之间展现出良好的相关性, 当持水率为 50%~90% 时, 灵敏度至少可达 0.021V/%。特别当持水率为 90%~100% 时, 灵敏度达到最大值 0.131V/%, 表明其在高含水状态下持水率检测具有较好的适用性。

关键词: 电导法; 持水率; 油水两相流; 电导传感器

Design and Research of a Water Holdup Measurement System for Based on Conductivity Method

FENG Yanan¹, WEI Yong¹, GAN Ruyi¹, WU Pengtao¹, CHEN Qiang², LIU Guoquan²

(1. School of Electronic Information and Electrical Engineering, Yangtze University, Jingzhou 434023, China; 2. China Petroleum Logging Co. Ltd., Xi'an 710077, China)

Abstract: A simplified and reliable oil-water two-phase flow water holdup measurement system was designed to address the issues of complex measurement circuits in traditional conductivity methods. The system employs a voltage divider circuit to detect voltage signals from the conductance sensor, and converts the signal into a DC signal related to the water holdup via a precision full-wave rectifier circuit, which simplifies the measurement circuit. The experimental results show that the output voltage of the system shows a good correlation with the water holdup. When the water holdup is 50%~90%, the sensitivity can reach at least 0.021V/%. Especially when the water holdup is 90%~100%, the sensitivity reaches the maximum value of 0.131V/%, highlighting its excellent suitability for water holdup detection in high-water-content environments.

Keywords: Conductivity method; water holdup; Oil-water two-phase flow; Conductance sensor

1、研究背景

目前，国内大多数油田处于低渗透、低产液状态，日均流量较小且含水率较高。因此，对高含水状态下持水率的精确测量是当前亟待解决的难点问题，且对监测油井生产状态具有重要的工程意义^[1]。基于油相与水相电导率差异的电导法适用于高含水状态下持水率的实时测量，并能达到较高的测量精度，因而在诸多油田测井中获得了应用^[2]。

常用的电导检测方法中双极性脉冲法以其双极性激励易实现，硬件电路可操作性强的特点，得到了广泛应用。然而目前双极性脉冲法应用于持水率测量时，数据采集较为复杂且分压信号占空比难以维持在 50%，从而导致持水率检测结果受到影响^[3]。针对上述问题，本文优化了双极性脉冲法测持水率的检测电路，并设计了一种油水两相流持水率测量系统。

2、研究内容

2.1 信号特性分析及调理电路设计

由于分布电容的存在，在交流信号的激励下会产生电容充放电现象，从而对持水率检测造成影响。在本测量系统中，双极性激励源产生幅度为 $\pm 5V$ 、频率为 10KHz 的双极性脉冲信号，其脉冲占空比维持在 50%。当传感器置于油中，分压信号波形如图 5 中 (a) 曲线所示，其峰值最终稳定于 $\pm 5V$ ；当传感器置于含有矿化度的水中，分压信号波形如图 5 中 (b) 和 (c) 曲线所示，由于电容充放电效应较为明显，其幅度随时间变化而变化，导致信号幅值检测困难。为此，需要设计一种可靠的信号调理电路来对分压信号进行处理。

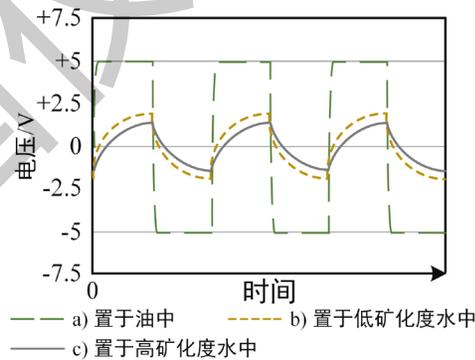


图 1 传感器处于不同介质中的分压信号波形

为将双极性分压信号转换为易于量化的直流信号，设计了如图 2 所示的信号调理电路。利用 ADA4000-1 运算放大器构建的电压跟随器，以其高输入阻抗和低输出阻抗，实现信号的高效采集与隔离。此外，结合 ADA4077-2 运算放大器和整流二极管的全波整流电路，精准补偿管压降，最大限度减少信号损失和干扰，确保整流过程的高精度。

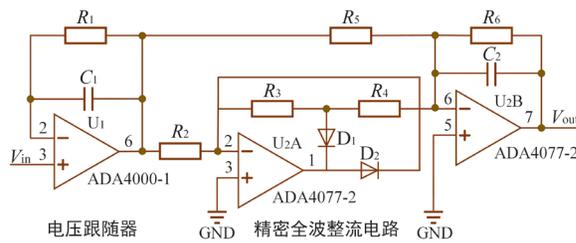


图2 信号调理电路

当传感器分别接触油、水时，其调理效果如图7所示。持水率反映的是油水两相流中的水含量，结合图3可知，输出电压越大，持水率越低；输出电压越小，持水率越高，因此可根据本系统输出电压的大小测量油水混合介质的持水率。

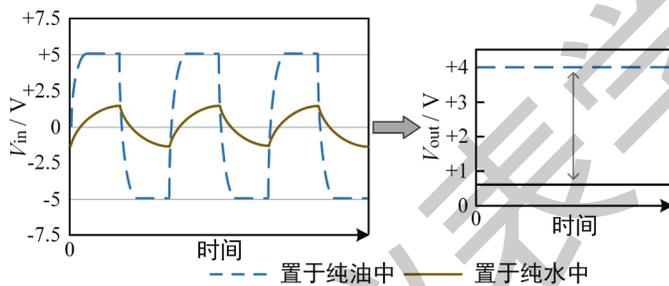


图3 信号调理电路调理效果示意图

2.2 实验验证

为验证本文设计的持水率测量系统的有效性，进一步开展了持水率实验，实验装置如图4所示。实验时设置流量为 $30\text{m}^3/\text{d}$ ，温度保持为 25°C 。按持水率 $0\% \sim 100\%$ ，间隔 10% 配置油水样品 11 份。同时，每个持水率下的电压值记录三次，然后取平均值，并计算数据误差，根据实验数据绘制出的误差棒曲线如图5所示。



图4 持水率实验装置

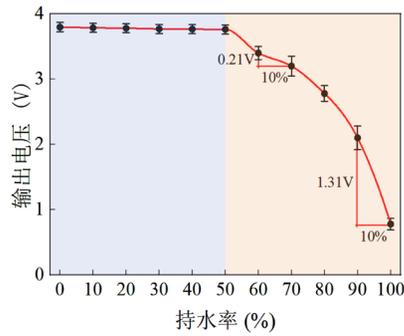


图5 误差棒曲线

由图5可知，本测量系统在持水率50%~100%时输出电压变化显著，输出电压与持水率之间呈现良好的单调递减关系。具体表现为：（1）当持水率为50%~90%时，灵敏度至少可达0.021V/%（“%”指持水率变化量）；（2）当持水率为90%~100%时，灵敏度达到最大值0.131V/%。

3、结论

本文设计的测量系统主要创新点在于：为了降低双极性脉冲波形幅值识别引入的误差，系统采用精密全波整流电路，将双极性分压脉冲信号转换为直流信号，提高了电导传感器的测量精度。实验结果表明：在持水率为50%~100%时，本测量系统输出电压变化显著，其与持水率间呈良好的单调递减关系。上述研究为高含水条件下持水率的精确测量提供了解决方案。

参考文献

- [1] WEI Y, YU H Q, CHEN Q, et al. A Novel Conical Spiral Transmission Line Sensor-Array Water Holdup Detection Tool Achieving Full Scale and Low Error Measurement[J]. SENSORS, 2019, 19(19): 4140.
- [2] 孙金辉, 谢丽蓉. 原油含水率测量传感器性能优化实验研究 [J]. 电子测量与仪器学报, 2022, 36(08): 97-104.
- [3] 冯蒙, 余厚全, 文荣辉, 等. 基于电阻法的持水率测量方案 [J]. 测井技术, 2018, 42(01): 1-7.