

注：国家自然科学基金（No. 51974250）；国家自然科学基金（No. 41874158）；陕西省自然科学基金基础研究计划（No. 2018JQ5133）；陕西省教育厅重点实验室项目（No. 17JS106）

摘要：针对现有的油气井出砂监测系统数据采集的噪声过多、效率较低等问题，设计了油气井出砂监测系统超声信号调理集采集方法。首先，砂粒撞击管壁的超声信号通过传感器采集；然后，采集后的信号经过驱动放大后先通过一个带通滤波器，确保进入 ADC 的信号频率为砂粒撞击主要存在的频率段；最后，信号进入 ADC 后再进行数字滤波，进一步滤除处于砂粒撞击频段的噪声。实验结果表明，经过二级滤噪后，系统采集信号的信噪比提高，且系统的工作效率显著提高。

关键词：出砂；信号采集；二次滤波

中图分类号：TN914.3

文献标识码：A

文章编号：1006-883X(2020)02-0025-04

收稿日期：2019-12-05

# 油气井出砂监测系统超声信号采集及调理

胡军 赵建平 王炳友 安岑 党博

西安石油大学，陕西西安 710065

## 一、引言

在石油采集过程中，油气井出砂会对石油采集的产量产生影响严重，甚至会破坏石油采集的仪器造成重大的生产事故<sup>[1]</sup>。出砂监测仪器的主要作用就是对油井管道进行实时监测、估计油气井的出砂量从而指导采油现场的安全生产<sup>[2]</sup>。但现有的出砂监测仪器在采集信号时往往无法准确地捕捉到包含砂粒撞击信号的超声信号，采集到的信号中包含过多的噪声而只有少量的砂砾撞击信号，采集信号的整体信噪比过低，加大了数据处理的难度，同时过多的噪声信号导致对油气井出砂情况的错误估计。

针对出砂信号过多、数据处理时间长的问题，本文提出了一种对出砂信号的进行调理及采集方法。在仪器进行出砂监测时结合模拟滤波和数字滤波，在采集信号阶段减少无用信号，提高信号的信噪比，减少信号的采集量，最终达到提高仪器的监测效率的目的。

## 二、分析噪声和砂粒撞击信号的特点

出砂采集系统如图 1 所示，油气井出砂砂粒主要撞击的位置是在油井管道弯处，超声传感器安装在砂粒撞击点的对应的外管壁处。

### 1、采油现场的噪声分析

出砂监测仪器为了保证能够尽可能采集到砂粒撞击的超声信号，一般会选用灵敏性较高的传感器，而采油现场的情况复杂，现场充斥着各种各样的噪声。现场的噪声主要包含采油机运作时产生的噪声和抽油杆摩擦产生的噪声，抽油

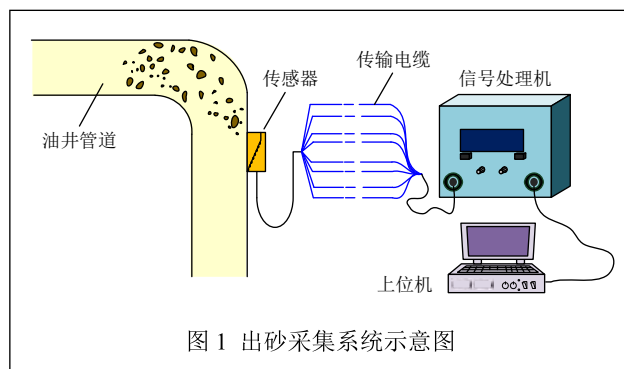


图 1 出砂采集系统示意图

机运作产生的噪声频率较低幅值较高，抽油杆摩擦产生的噪声频率较高，且噪声恒定，周期性明显。在监测过程中，在没有对信号做预处理的情况下这些噪声都会被当作出砂信号采集，并且用于估计油气井的出砂量。

### 2、砂粒撞击的信号特性

油气井出砂砂粒撞击管壁产生的信号和砂粒的形状和大小以及砂粒撞击的速度有关，砂粒的速度越快撞击力量越大撞击产生的频率越高，砂粒的形状越不规则，撞击产生的频率越高<sup>[3]</sup>。通过分析采油现场的超声信号，可以确定油气井砂粒撞击产生的信号范围

大概在 20kHz~150kHz。在时域方面砂粒撞击管壁产生的信号幅值普遍高于油水混合物撞击管壁产生的信号幅值。

## 三、信号处理

### 1、信号驱动电路

本系统的超声传感器体积较小，通过压电效应产生的电信号驱动能力差，信号无法通过 ADC 直接采集。为了使信号能够被采集，本系统在信号进入 ADC 前增加了一个前置电路，用于增加信号的驱动能力，电路如图 2 所示。本电路使用两级驱动，首先使用

ADA4077 组成放大电路对信号进行 2 倍放大，然后使用 AD811 组成信号跟随电路进一步增加信号的驱动能力。若使用单芯片进行信号驱动，由于传感器产生的电流信号过于微弱，若想达到增加信号驱动能力的目的必须使电路的输入电阻和反馈电阻增加到 MΩ 级。但经过实验发现，由此组成的电路会造成信号的零点漂移。为了避免这种情况，保证信号的真实性，本系统采用两级驱动电路。

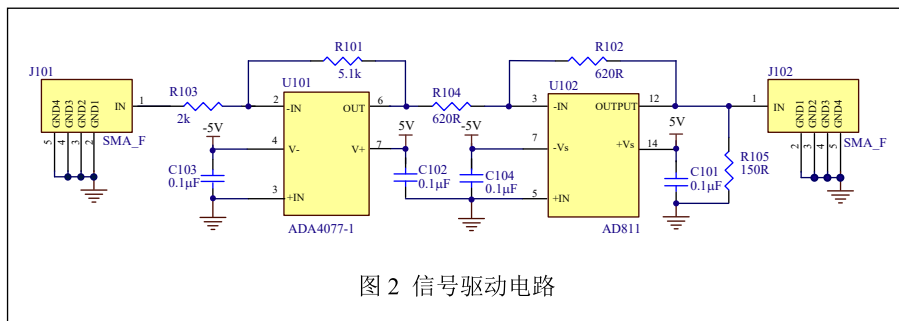


图 2 信号驱动电路

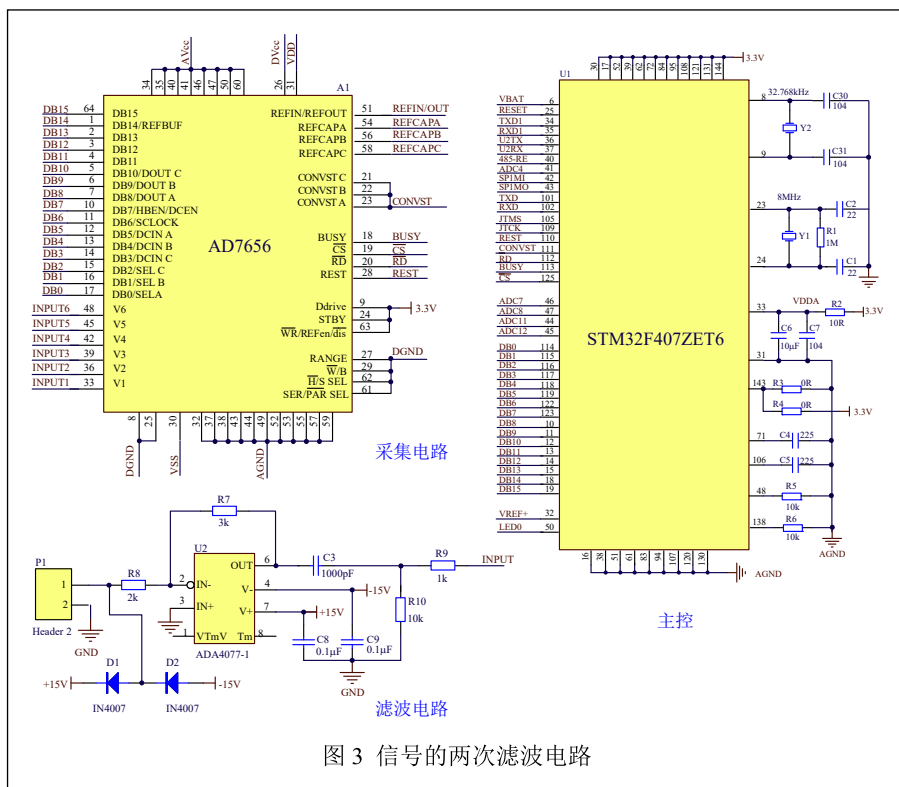


图 3 信号的两次滤波电路

### 2、信号的滤波

为了减少噪声对监测系统的影响，在信号进入 ADC 采集电路前增加一个带通滤波电路，从频域上减少噪声的影响，确保进入采集系统的信号频率主要集中在 20kHz~150kHz。信号通过带通滤波电路后由模数转换芯片 AD7656 采集传输至 STM32f407 中进

行存储，但是实际采集过程中发现通过带通滤波器后的信号还是包含和砂砾撞击频率特性接近的噪声，所以需要进一步对信号进行数字滤波。从砂粒撞击的信号特性可知，砂粒撞击管壁的信号幅值普遍较高，而出砂监测过程中的高频噪声的幅值一般较低，和砂砾撞击信号的幅值有较大的差别，所以通过带通滤波器后的信号在被 AD7656 采集后，会通过 STM32F407 设定阈值并且在其中设计一定的缓存。采集到的信号先被存在缓存区，若其中存在超过阈值的信号值则整个信号都会被保存并上传上位机显示，经过数字滤波后监测系统的信号采集效率明显提高。电路图如图 3 所示。

#### 四、试验

搭建室内实验平台验证数据采集效率的提高，信号通过喷砂机一秒喷射一次砂粒撞击管道产生，采用出砂监测仪器采集信号，数据上传上位机显示。为了能够直观地显示数据采集的起始点，上位机显示的波

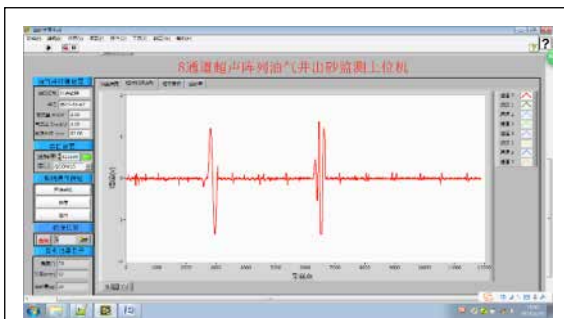


图 4 频域滤波后直接采集

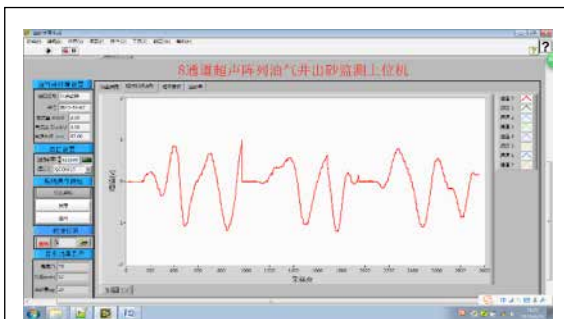


图 5 频域滤波后高于 500mV 采集

形为设定阈值的前后各 512 个点组成。

图 4 是未设定阈值采集到的超声信号，喷砂机以 1 次/s 的固定频率喷射砂粒上位机显示采集系统共采集 10 次数据，其中只有两次捕捉到了砂粒撞击管壁的超声信号，采集系统采集过多的数据，错过了大多数有效数据的采集。

图 5 是阈值设定为 500mV 时采集的信号波形，由于 10 组数据过于密集，图中放大采集的其中 3 组数据，从图中可以看出，当设定了采集阈值后，出砂监测系统能够准确地捕获砂粒撞击信号，无效的数据不会被采集，减少阈值外部分的噪声影响，出砂监测系统的采集效率显著提高。

#### 五、总结

由以上论述可知，本系统能够成功采集并处理砂粒撞击产生的超声信号。并且可以明显地看出，经过二次滤波后，监测系统采集到的噪声明显减少，数据处理量大大减少，出砂监测系统的监测效率显著提高，且出砂监测精度提高。

#### 参考文献

- [1] 李岩翔. 油井出砂成因分析及防砂技术研究 [J]. 化工管理, 2016, (26): 207.
- [2] 宋汐瑾, 张丽娟, 党博. 油气井出砂监测模拟实验方法研究 [J]. 管带技术与设备, 2018, (1): 4-6.
- [3] PARSİ M, NAJMI K, NAJAFIFARD F, et al. A comprehensive review of solid particle erosion modeling for oil and gas wells and pipelines applications[J]. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2014, (21): 850-873.
- [4] 冯旭东, 高国旺, 王攀. 油井出砂实时监测技术研究 [J]. 电子制作, 2014, (17): 25-27.

#### Acquisition and Conditioning of Ultrasonic Signals in Sand Production Monitoring Systems for Oil and Gas Wells

HU Jun, ZHAO Jian-ping, WANG Bing-you, AN Cen, DANG Bo

(Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China)

**Abstract:** Aiming at the problems of too much noise and low efficiency of existing sand production monitoring systems for oil and gas wells, a ultrasonic signal conditioning and acquisition method for the sand production monitoring systems in oil and gas wells is proposed. Firstly, the ultrasonic signals from the sand particles hitting the pipe walls are collected by sensors. Then, the collected signals are amplified and band-pass filtered to ensure the frequencies of the signals entering the ADC within the frequency band where the sand particles hit the pipes. Finally, the signals entered into the ADC need to be digitally filtered again to further filter out noise. The experimental results show that the secondary noise filtering makes the signal-to-noise ratio of the collected signals and the working efficiency of system improved significantly.

**Key words:** sanding; signal acquisition; secondary filtering

### 作者简介

胡军：西安石油大学，硕士研究生，研究方向为仪器仪表计量技术。

通信地址：陕西省西安市雁塔区西安石油大学

邮编：710000

邮箱：527701036@qq.com

赵建平：西安石油大学，硕士研究生，研究方向为测试计量技术及仪器。

王炳友：西安石油大学，硕士研究生，研究方向为测试计量技术及仪器。

安岑：西安石油大学，硕士研究生，研究方向为仪器仪表计量技术。

党博：西安石油大学，副教授，研究方向为地球物理测井。