

# Removing Baseline Drifting in Mud Pulse Signals Based on Morphological Filtering

Chaoyang Xu, Xianghui Ren, Qiang Xue, Qianhong Cao

Directional Drilling Service Company, CNPC Bohai Drilling Engineering Company Limited, Tianjin  
Email: 04011xzy@sina.com

Received: Mar. 20<sup>th</sup>, 2019; accepted: Apr. 18<sup>th</sup>, 2019; published: Aug. 15<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

A morphological filter for removing mud pulse baseline drifting was established. The baseline drifting of simulated PPM encoding signal of mud pulse was processed by least-square polynomial fitting, median filtering and morphological filtering methods, respectively. The results were quantitatively analyzed by using signal to noise ratio ( $S_{NR}$ ), root mean square error ( $E_{rms}$ ) and normalized correlation coefficient ( $C_{ncc}$ ). The analysis result shows that the morphological filtering method proposed is the best for removing the baseline drift of mud pulse signal.

## Keywords

MWD, Mud Pulse Signal, Baseline Drift, Morphological Filtering

---

# 基于形态学的滤波消除泥浆脉冲信号基线漂移

徐朝阳, 任祥辉, 穴 强, 曹乾洪

中国石油集团渤海钻探工程有限公司定向井技术服务分公司, 天津

作者简介: 徐朝阳(1985-), 男, 博士, 工程师, 主要从事定向井仪器研发方面的工作。

Email: 04011xzy@sina.com

收稿日期: 2019年3月20日; 录用日期: 2019年4月18日; 发布日期: 2019年8月15日

## 摘 要

建立了用于消除泥浆脉冲信号基线漂移的形态学滤波器。采用最小二乘多项式拟合法、中值滤波法和形态学滤波法等3种方法处理泥浆脉冲PPM编码信号的基线漂移, 并利用信噪比、均方根误差、归一化相关系数定量分析计算结果。对比结果表明, 形态学滤波法消除泥浆脉冲信号基线漂移效果最佳。

## 关键词

随钻测量, 泥浆脉冲信号, 基线漂移, 形态学滤波

Copyright © 2019 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



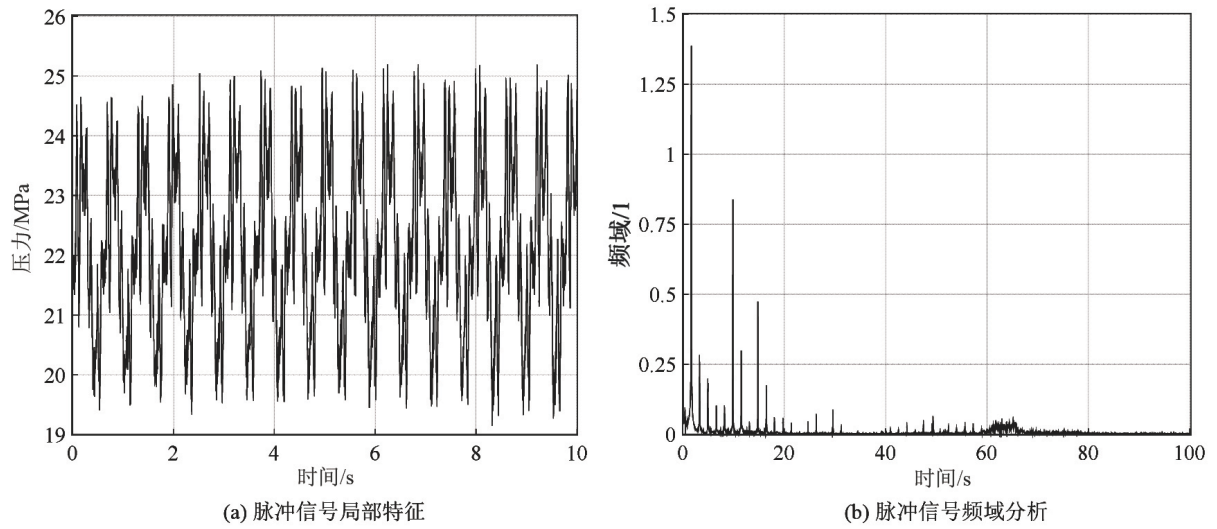
Open Access

## 1. 引言

目前, 无线随钻测量数据传输时, 地面接收的泥浆脉冲信号常常存在基线漂移现象。随钻泥浆脉冲信号解码中, 消除信号的基线漂移是重要的预处理工作, 直接关系到后期解码的正确率, 是泥浆脉冲信号解码技术的关键环节[1] [2] [3]。形态学滤波消除信号基线漂移的研究多见于医学中的心电信号去噪, 其效果好、适应性强、计算量较小[4] [5] [6] [7]。医学心电信号和脉搏信号均具有规律性强的特征。但泥浆脉冲信号 PPM 编码信号占空比变化较大, 同时还需考虑泥浆脉冲信号噪声干扰的随机性以及信号处理的实时性要求。因此, 针对泥浆脉冲信号 PPM 编码信号的这一特征还需要进一步研究以消除其基线漂移。

## 2. 泥浆脉冲信号噪声干扰

泥浆脉冲信号以泥浆压力波的形式通过钻柱内从井底传输至地面, 能量耗散不可避免, 且压力波与其反射波叠加, 会产生波形畸变。另外, 由于钻头的活动、钻柱的自转公转、钻柱与井壁的撞击、井下工具和泥浆泵的泵冲等干扰因素, 接收信号会混叠很强的噪声, 为后续信号处理带来困难。图 1 为现场采集的压力脉冲信号局部特征, 采样频率为 200 Hz。分析信号的频域特征(图 1(b)), 噪声分布频域较广, 幅度无明显规律, 高强度噪声主要集中在 0~20 Hz 之内, 低频噪声中的泵噪信号基值频率接近于 0。



**Figure 1.** The field acquisition of mud pressure pulse signal and frequency domain analysis of pulse signal  
**图 1.** 现场采集泥浆压力脉冲信号及脉冲信号频域分析

### 3. 形态学滤波

#### 3.1. 形态学运算

地面接收泥浆脉冲信号是一维离散信号，信号序列  $f(n)$  定义为  $F = \{0, 1, \dots, N\}$ ，一维结构元素  $g(m)$  定义为  $G = \{0, 1, \dots, M\}$ ，且  $M < N$ 。形态学基本运算包括腐蚀和膨胀。

$f(n)$  关于  $g(m)$  腐蚀的关系式如下：

$$(f \ominus g)(n) = \min \{ f(n+m) - g(m) \}, \quad n = 0, 1, \dots, N - M \quad (1)$$

$f(n)$  关于  $g(m)$  膨胀的关系式如下：

$$(f \oplus g)(n) = \max \{ f(n-m) + g(m) \}, \quad n = 0, 1, \dots, N + M - 2 \quad (2)$$

将腐蚀和膨胀进行级联可以组成开运算和闭运算。开运算是指信号先被结构元素腐蚀再膨胀，记为“ $\circ$ ”，其关系式为：

$$(f \circ g)(n) = (f \ominus g \oplus g)(n) \quad (3)$$

闭运算是指信号先被结构元素膨胀再腐蚀，记为“ $\bullet$ ”，其关系式为：

$$(f \bullet g)(n) = (f \oplus g \ominus g)(n) \quad (4)$$

形态学开运算可以抑制信号正脉冲，闭运算可以抑制信号负脉冲，是基本的形态滤波器。

#### 3.2. 形态学滤波器设计

笔者采用 2 级滤波消除泥浆脉冲信号的基线漂移。第 1 级形态学滤波器直接处理原始泥浆脉冲信号  $f_0$ ，分别进行先“开”再“闭”运算和先“闭”再“开”运算，并取二者的算术平均，获得信号  $f_1$ 。第 1 级运算消除高频噪声，保留脉冲信号，选择的结构元素应与脉冲信号特征近似，且结构元素宽度小于脉冲信号宽度。其运算关系式如下：

$$f_1 = \frac{1}{2} (f_0 \circ g_1 \bullet g_1 + f_0 \bullet g_1 \circ g_1) \quad (5)$$

第 2 级形态学滤波器处理第 1 级运算获得的信号  $f_1$ , 分别进行先“开”再“闭”运算和先“闭”再“开”运算, 并取二者的算术平均, 获得基线漂移相关分量信号  $f_2$ 。第 2 级运算需要消除脉冲信号, 且保留基线的特征, 结构元素宽度应大于脉冲信号的宽度。其运算关系式如下:

$$f_2 = \frac{1}{2}(f_1 \circ g_2 \bullet g_2 + f_1 \bullet g_2 \circ g_2) \quad (5)$$

最后, 将原始泥浆脉冲信号  $f_0$  减去基线漂移相关分量信号  $f_2$ , 即可消除原始泥浆脉冲信号的基线漂移。

$$f_3 = f_0 - f_2 \quad (6)$$

## 4. 试验分析

试验研究采用含强非线性基线漂移的模拟泥浆脉冲信号作为样本, 分别采用最小二乘多项式拟合法、中值滤波法和形态学滤波法消除该信号的基线漂移, 并对计算结果进行定量分析。

### 4.1. 试验样本

将基线信号从噪声信号中排除, 并单独考虑, 作为重要分析对象。图 2 为理想泥浆脉冲信号和各信号分量。

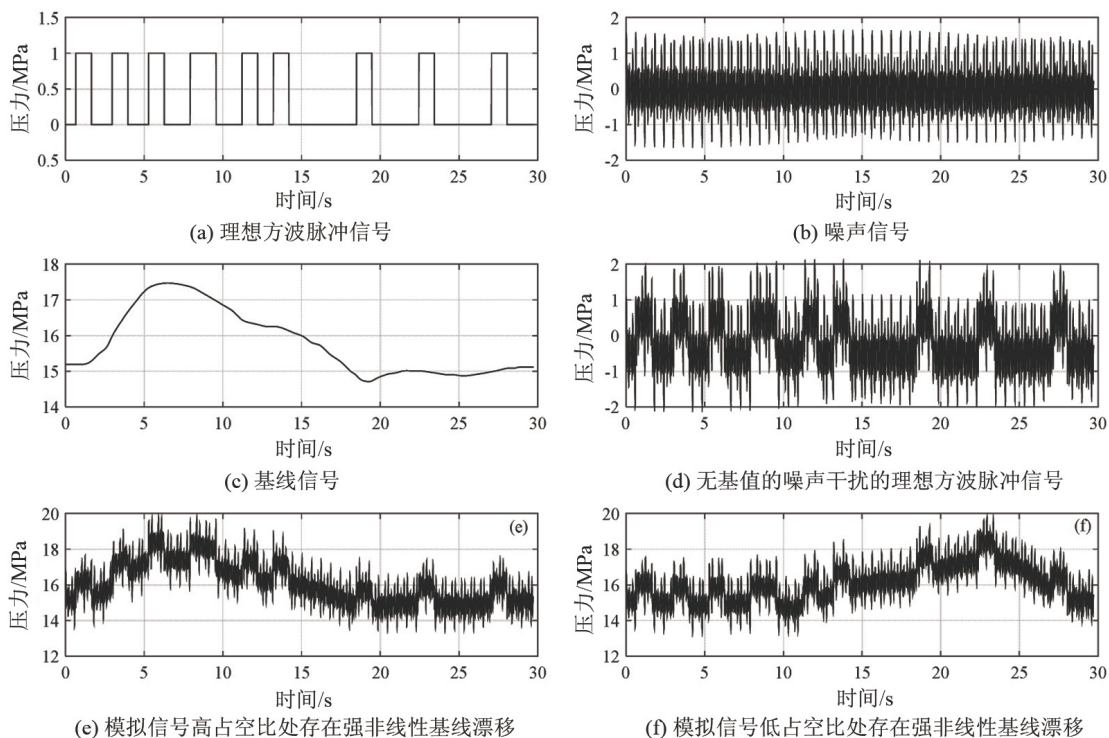


Figure 2. The signals of test samples

图 2. 试验样本信号

### 4.2. 结果分析

#### 4.2.1. 定性分析

采用最小二乘多项式拟合法、中值滤波法和形态学滤波法, 分别处理图 2 中的模拟信号  $e$  和  $f$  (结果

如图 3、图 4 所示)。图 3(a)中左端仍可见比较明显的基线波动, 图 3(b)中左端的基线波动轻微, 图 3(c)中左端基线波动极小。图 4(a)中右端仍存明显的基线波动, 图 4(b)和图 4(c)右端基线波动轻微。因此, 可以初步判断形态学滤波消除基线漂移的效果最佳, 中值滤波法的效果次之, 最小二乘多项式拟合法的的效果最差。

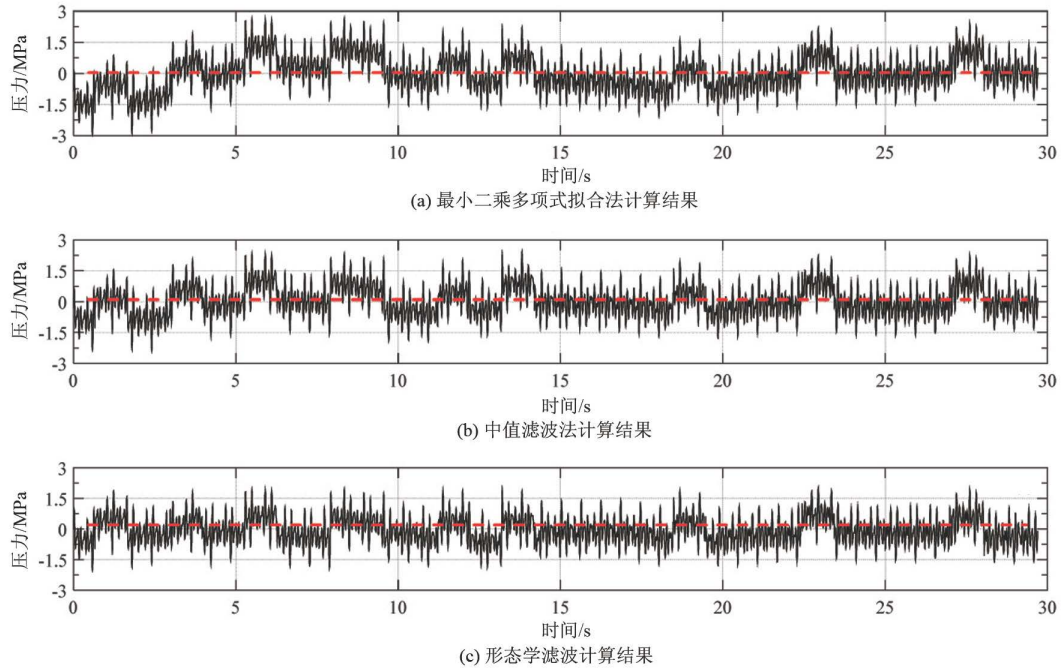


Figure 3. The modified results of strong nonlinear baseline drift at high duty cycle of analog signals

图 3. 模拟信号高占空比处存在强非线性基线漂移的修正结果

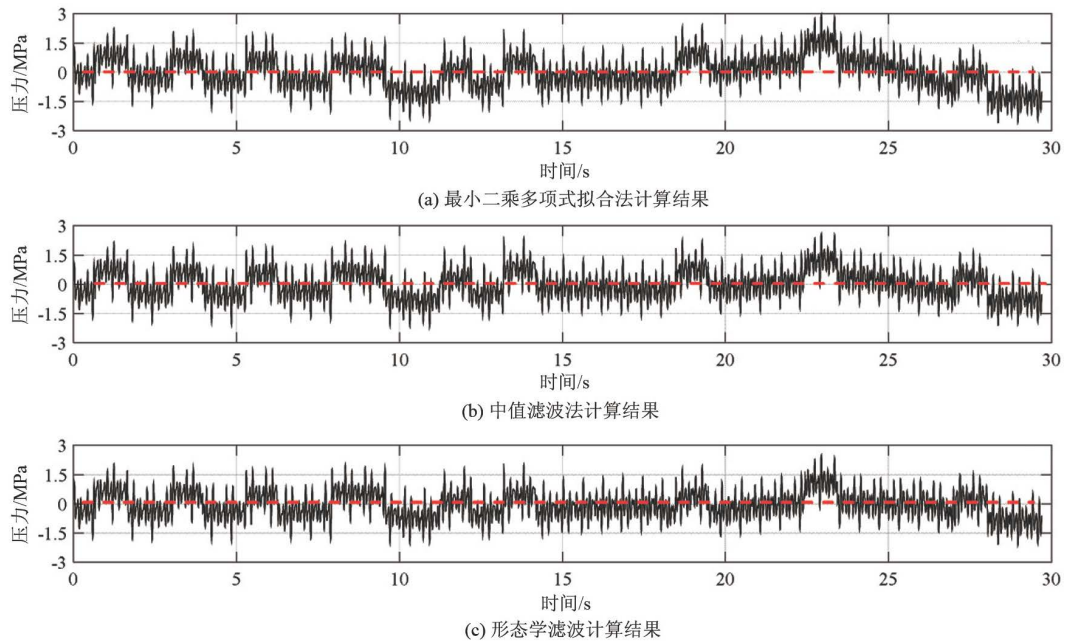


Figure 4. The modified results of strong nonlinear baseline drift at low duty cycle of analog signals

图 4. 模拟信号低占空比处存在强非线性基线漂移的修正结果



### 4.2.2. 定量分析

选取信噪比( $R_{SN}$ )、均方根误差( $E_{rms}$ )、归一化相关系数( $C_{ncc}$ ) 3 个指标进行定量分析。 $R_{SN}$  越大、 $E_{rms}$  越小、 $C_{ncc}$  越接近 1, 则表示信号消除基线漂移的效果越好。计算  $R_{SN}$ 、 $E_{rms}$ 、 $C_{ncc}$  所需的对比样本为图 2(c)为例, 结果见表 1、表 2, 可以看出, 在 PPM 编码信号占空比高、低两种情况下, 形态学滤波结果的  $R_{SN}$  最大、 $E_{rms}$  最小、 $C_{ncc}$  最接近 1, 所以形态学滤波的效果最好。3 种方法对比, 中值滤波的效果次之, 最小二乘多项式拟合最差。

**Table 1.** The comparison of modified results of strong nonlinear baseline drift at high duty cycle of analog signals  
**表 1.** 模拟信号高占空比处存在强非线性基线漂移的修正结果对比

方法	$R_{SN}$	$E_{rms}$	$C_{ncc}$
最小二乘多项式拟合法	3.0366	13.8243	0.8066
中值滤波法	6.6990	16.5151	0.9002
形态学滤波法	9.8388	10.3444	0.9513

**Table 2.** The evaluation of modified results of strong nonlinear baseline drift at low duty cycle of analog signals  
**表 2.** 模拟信号低占空比处存在强非线性基线漂移的修正结果评价

方法	$R_{SN}$	$E_{rms}$	$C_{ncc}$
最小二乘多项式拟合法	2.5687	13.8171	0.7835
中值滤波法	5.9797	14.8940	0.8853
形态学滤波法	7.3071	10.7396	0.9102

## 5. 结论

采用 2 级滤波消除泥浆脉冲信号的基线漂移, 分别采用最小二乘多项式拟合、中值滤波和形态学滤波处理含强非线性基线漂移的模拟泥浆脉冲信号。对比结果显示, 在 PPM 编码信号占空比高、低两种情况下, 形态学滤波的  $R_{SN}$  最大、 $E_{rms}$  最小、 $C_{ncc}$  最接近 1, 说明形态学滤波可以有效地消除泥浆脉冲信号的基线漂移, 效果最佳。

## 参考文献

- [1] 梁耀. 随钻泥浆脉冲信号的处理[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安石油大学, 2013: 21-37.
- [2] 邱彬, 周静, 高建邦, 等. 随钻测量信号中泵冲噪声对消[J]. 石油机械, 2014, 42(12): 22-27.
- [3] 陈伟, 李晓林, 江佩佩. 基于 2D-DCT 变换的 MWD 遥传信号泵冲干扰消除方法[J]. 测控技术, 2016, 35(10): 19-22.
- [4] 廖琪梅, 李安宗, 屈景辉, 等. 随钻测井钻井液脉冲信号基线漂移的矫正[J]. 石油钻采工艺, 2008, 30(4): 41-43.
- [5] 郭晓鑫, 刘立, 冯志鹏. 数学形态学在信号处理中的应用综述[J]. 仪器仪表学报, 2009, 30(10): 187-191.
- [6] 刘艳丽, 赵为松, 李海坤, 等. 基于形态滤波的脉搏波信号基线漂移消除方法研究[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2011, 34(4): 525-528.
- [7] 庞宇, 邓璐, 林金朝, 等. 基于形态滤波的心电信号去除基线漂移方法[J]. 物理学报, 2014, 63(9): 1-5.

[编辑] 帅群

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;  
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2471-7185, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [jogt@hanspub.org](mailto:jogt@hanspub.org)