

# 基于磁平衡原理与小波分析处理方法的钢丝绳缺陷程度评价模型

## 摘要

本文通过对六条钢丝绳的安全检测传感器数据的分析，选取降噪算法并设计缺陷检索算法，实现自动化信号降噪和钢丝绳缺陷定位。在此基础上，本文进一步通过对钢丝绳力学模型建模，结合相关力学安全标准，制定钢丝绳量化的安全性评估准则，对钢丝绳的安全状况进行客观的评估。

针对**问题一**，本文基于钢丝绳运行中产生的噪声的频域特点，选取了小波阈值降噪算法，来降低运行过程中产生的高频起伏噪音。为了保留钢丝绳缺陷部位产生的幅值剧变的特征信号，本文选用硬阈值函数作为阈值处理函数，通过反复调整参数，实现滤去高频信号的同时保留缺陷部位特征信号。本文基于降噪后的信号设计了缺陷检索模型，制定了降噪后电压相对误差与缺陷类型的关系，编程实现自动化钢丝绳缺陷定位。

针对**问题二**，本文结合前人研究成果，基于《矿井提升用钢丝绳》国家标准，建立了基于钢丝绳承载力损失的安全性能量化评价方法。通过对钢丝绳进行力学建模，将缺陷检索算法中提取的缺陷与钢丝绳的承载能力建立对应关系，并依据缺陷部位与非缺陷部位的承载能力比较关系制定安全性量化评估标准。

本文结论为，安全情况为一号钢丝绳的安全系数为良，二号钢丝绳的安全系数为差，其余四个钢缆的安全系数为优。

本文的优点是所采用的算法简单易行，可以集成到低功耗设备中，实现钢丝绳的全天候低成本自动化安全检测。

**关键字：**矿井钢丝绳、小波分析、工程力学

# 目录

<b>1</b>	<b>问题背景与重述</b>	<b>3</b>
1.1	问题背景 . . . . .	3
1.2	问题重述 . . . . .	3
<b>2</b>	<b>模型假设</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>符号说明</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>问题分析</b>	<b>4</b>
4.1	问题一分析 . . . . .	4
4.2	问题二分析 . . . . .	4
4.3	问题三分析 . . . . .	5
<b>5</b>	<b>模型建立</b>	<b>5</b>
5.1	模型一：小波分析降噪模型 . . . . .	5
5.2	模型二：缺陷检索模型 . . . . .	6
5.3	模型三：钢丝绳缺陷评价模型 . . . . .	6
<b>6</b>	<b>模型求解与结论</b>	<b>8</b>
<b>7</b>	<b>模型评价</b>	<b>11</b>
<b>8</b>	<b>附录</b>	<b>12</b>

# 1 问题背景与重述

## 1.1 问题背景

矿井提升机是一种大型提升机械设备。由电机带动机械设备，以带动钢丝绳从而带动容器在井筒中升降，完成输送任务。本题主要分析六绳提升机的钢丝绳缺陷情况。钢丝绳是由多根优质钢丝捻制成绳股，再由绳股围绕绳芯捻制成空间螺旋的棒性结构，它具有承重能力强、弯曲性能好、高速运行状况下无噪声、自重轻、整根不会骤然折断等优点。钢丝绳在矿井提升机中得到了广泛的使用，钢丝绳是设备组成的关键部件，它的安全与否直接影响着设备是否能够正常运行，若发生意外事故，后果不堪设想<sup>[1]</sup>。因此，对监测使用中的钢丝绳进行安全性能和状态具有意义重大。

基于国家标准与实际生产应用，殷勇辉等人提出了基于磁平衡原理的钢丝绳动态探伤方法<sup>[2]</sup>。该方法选用断丝断面积为特征参数，其计算方法采用测量传感器输出电压变化，得到断丝根数除以总钢丝根数，反应出断丝断面积与钢丝总断面积绝对之比。在传感器测量电压的过程中，环境中的温度变化、测量设备的晃动等因素，给测量系统造成了一定程度的扰动，使得输出信号存在一定的起伏噪声。为精确获得钢丝绳损伤情况，需要去除噪声还原信号的真实数据。

小波阈值去噪算法是一种经典的振动信号去噪算法，但仍有一定局限性。为了更好地消除噪声对被测振动信号的干扰，提取信号的有用成分，小波自适应阈值函数振动信号去噪算法引入改进的阈值函数，使得该方法可以更好的消除幅值突变对于信号造成的干扰<sup>[3]</sup>。

## 1.2 问题重述

- (1) 建立去噪声模型，减弱原始信号中的起伏噪声，保留原始信号中的有效信息，减小系统噪声造成的误差。
- (2) 建立缺陷位置查找、缺陷程度评定模型，充分利用 10 组重复实验数据，综合评定六根钢丝绳的缺陷状态。
- (3) 建立基于磁平衡探伤的安全性能评价模型，评定六根钢丝绳的安全性，并对实际生产工程做出指导。并论述该模型的合理性。

# 2 模型假设

为了对传感器信号进行降噪和缺陷提取，本文假设：

- (1) 假设在同一脉冲数值下，每两帧之间的距离是相同的。即每一帧所对应的距离等于 0.4 米除以帧数。

- (2) 矿井钢丝绳提升过程中的机械震荡及电磁干扰等噪声均简化为起伏噪声
- (3) 依据“磁平衡”检测原理，假设钢丝绳损伤必然引起传感器信号峰值变化。为了对钢丝绳进行力学建模以进行安全性评估，本文假设：
- (4) 钢丝绳的总承载力为每根钢丝的承载力之和。
- (5) 钢丝绳中的每跟钢丝的承载力服从正态分布。
- (6) 钢丝绳不计自重。
- (7) 钢丝绳和钢丝在一定负载下会先在承载力较低处断裂。

### 3 符号说明

符号	意义
$\lambda$	分解系数阈值
$FLS$	承载力损失
$F_m$	损伤点承载力
$F_{mnew}$	未损伤承载力
$n$	钢丝数

### 4 问题分析

#### 4.1 问题一分析

问题一中要求利用数学模型消除信号噪声，结合钢丝绳在运行中产生的起伏噪声具有高频的特点和动态探伤方法的传感器信号的真实信号具有非平稳的特点，我们选择了小波阈值法去噪声。小波阈值去噪算法是一种经典的振动信号去噪算法，通过阈值的合理设定，可以滤去这些高频噪声，具有去相关性、多分辨率，自适应等特性，在非平稳信号的去噪应用中独具优势<sup>[4]</sup>。在实践过程中，人们通常通过软阈值函数或硬阈值函数来对现场信号进行降噪处理。在本题中，由于需要保留较大幅值变化的探伤信号，所以我们选择了硬阈值函数作为阈值处理函数，极值阈值作为阈值估计准则进行信号去噪声。

#### 4.2 问题二分析

问题二中要求查找缺陷位置，评定缺陷程度。首先，根据相关文献制定测量相对电压与缺陷程度的对应关系。其次利用 Matlab 软件，对于去噪声后的信号进行求平均值、求每帧相对电压误差的处理，得到每一根钢丝绳每一次完整测量的缺陷情况。并利用

SPSS 软件对于同一根钢丝绳不同次测量进行对比，综合判断缺陷情况。

### 4.3 问题三分析

问题三中需要提出基于磁平衡探伤的安全性能评价模型，我们结合前人研究成果，依据 GB/T 33955-2017 中的相关标准，提出承载力损失  $FLS$  作为安全性评估指标。建立断丝断面积与钢丝总断面积绝之比与强度之间的关系。将传感器输出电压值拟合为钢丝绳安全系数。并对六根钢丝绳进行评估。

## 5 模型建立

### 5.1 模型一：小波分析降噪模型

含噪的一维信号模型可以表示为方程(1)，

$$s(k) = f(k) + \epsilon \cdot e(k) \quad k = 0, 1, \dots, n-1 \quad (1)$$

式中  $s(k)$  为含噪信号， $f(k)$  为有用信号， $e(k)$  为噪声信号。这里假设  $e(k)$  是一个高斯白噪声，通常表现为高频信号，而实际工程中  $f(k)$  通常为低频信号或者是一些比较平稳的信号。经过我们的分析，在矿井钢丝绳运行过程中因机械晃动等原因产生的噪声具有在频域上分布相对平均的特点。因此选用小波分解法进行降噪。

小波分解法的过程如下所示：

- (1) 信号的小波分解：选取一个合适的小波基和分解层数对含噪信号进行的小波分解。经过多次调整我们发现六层分解层数， $db3$  小波尺度函数效果最好。其中 Daubechies 小波是正交、连续且紧支撑的。
- (2) 小波分解系数的阈值量化：通过选取合适的变化函数来计算出相应的小波系数；为了保留信号中的幅值变化较大的缺陷部分，我们选择极值阈值作为阈值估计准则，如方程(2)，

$$\lambda = \begin{cases} 0.3936 + 0.1829(\frac{\ln N}{\ln 2}), & N > 32 \\ 0, & N \leq 32 \end{cases} \quad (2)$$

其中  $N$  为信号长度， $\omega$  为阈值。我们选择硬阈值函数作为阈值处理函数，如方程(3)，

$$\eta_H(\omega, \lambda) = \begin{cases} \omega, & |\omega| > \lambda \\ 0, & |\omega| < \lambda \end{cases} \quad (3)$$

其中  $\omega$  为自变量， $\lambda$  为阈值。并规定阈值处理不随噪声水平变化。

- (3) 小波重构：对处理后的的小波系数进行反变换，重构出去噪后的信号。

## 5.2 模型二：缺陷检索模型

首先需要确定缺陷程度确定标准，在题目中我们可以得到断丝断面积与钢丝绳总面积之比与缺陷种类的对应关系，也可以大致获得输出电压相对误差与缺陷类型的相对关系。但是，在小波降噪模型中，降噪过程对于原始信号的幅值造成了影响，所以我们分析了幅值变化的特点，制定了降噪后电压相对误差与缺陷类型的关系，如表 2 所示。

计算每一根每一次历程的每一帧的电压相对误差，并按照缺陷评定标准记录结论。综合分析 10 次历程相同位置的缺陷情况，若在误差范围 1mm 内有超过 8 次在同一位置存在相同缺陷则以第一次测量帧数为准判定该位置存在缺陷。

表 2: 缺陷程度评定标准

类别（断丝量）	相对误差
微小断丝 1%	25%
变形 1.6%	40%
轻度断丝 2.5%	60%
中度断丝 5%	80%
内部断股 14%	100%

## 5.3 模型三：钢丝绳缺陷评价模型

在前人的研究中，通常使用钢丝绳最小破断拉力  $LBS$  为钢丝绳安全评估量化标准。然而，想要测定  $LBS$  就必须测定破断强度  $S_b$ 。破断强度是一根钢丝所能承受的最大的破断载荷，不可能使用无损检测的方式精确测量。本文中使用的基于磁平衡方法的检测属于无损检测的一种，同样无法精确测量  $LBS$ 。

因此，本文选定承载力损失  $FLS$  作为代替  $LBS$  的指标

$$FLS = (1 - \frac{F_m}{F_{mnew}}) \times 100\%$$

式中，承载力  $F_m$  是指当前钢丝绳静拉伸条件下的最大承载能力， $F_{mnew}$  则是一个全新的钢丝绳的最大承载能力。

这样选取指标的原因是，一根钢丝绳的承载力  $F_m$  越低， $FLS$  值越高，其最小破断拉力也就越小，两者之间存在对应关系，因此可以用来评价钢丝绳的安全系数。同时，根据《矿井提升用钢丝绳》国家标准 GB/T 33955—2017 的 6.10.2.2 节中的规定<sup>[6]</sup>，钢丝绳抗拉强度  $R_m$  不得低于该公称直径钢丝平均实测抗拉强度的 92%，由于  $F_m = R_m S / C$ ，其中  $S$  为截面积， $C$  为选取的安全工作系数。因此选取 8% 为  $FLS$  的阈值， $FLS$  超过 8% 的钢丝绳视为不安全。

为了计算  $FLS$  值，需要对钢丝绳的承载能力进行建模，本文的分析如下：首先，依据模型假设 (4)，钢丝绳的总承载力  $F_m$  为每根钢丝的承载力  $F$  之和。其次，依据贾社

民<sup>[5]</sup> 的研究，钢丝绳的运作存在长时间的稳定区，且磨合区的损坏值十分有限，该结果如图 1 所示，因此可以近似认为，在进入报废期前，每根钢丝的承载力几乎不变。

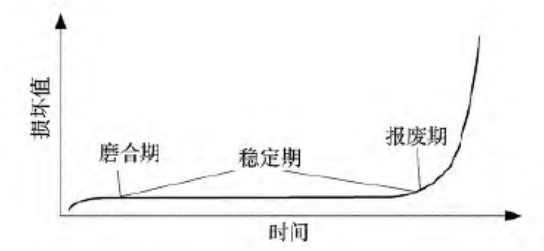


图 1: 损坏值-时间图<sup>[5]</sup>.

最后，依据模型假设 (5)，钢丝绳的每根钢丝在制作时虽然工艺相同，但却存在若干细微的随机差别，这些差别将影响他们的承载力，因此我们假定构成一根钢丝绳中的钢丝的承载力  $F$  服从正态分布  $N(\mu, \sigma^2)$ ，记其分布律为  $N(F)$  因此，有：

$$F_{mnew} = \int_{-\infty}^{\infty} nFN(F)dF \quad (4)$$

根据模型假设 (7)，钢丝绳中最先断裂的钢丝是承载力更小的，假设有  $\alpha$  的钢丝绳断裂，则

$$F_m = \int_{-Z_\alpha}^{\infty} nFN(F)dF$$

于是得到：

$$FLS = (1 - \frac{\int_{-Z_\alpha}^{\infty} nFN(F)dF}{\int_{-\infty}^{\infty} nFN(F)dF}) \times 100\% \quad (5)$$

以  $\varphi 30 - 6 * 36WS + IWR$  镀锌矿井提拉钢丝绳技术参数为例，其参数如表 3 所示：

表 3: 钢丝绳参数

类别	值
钢丝绳直径	26.5mm
钢丝直径	1.7mm
钢丝数	216 条
抗拉强度	1850Mpa
安全工作系数	8
钢丝承载力	524.87

因此，在式(5)中，选取  $\mu = 524.8$ ，根据 GB/T 33955—2017 中 8.2.2 节的规定，直径为 1.7mm 的钢丝抗拉强度低于下限值  $F_c = 50N/mm^2$  的钢丝不得高于 3%，则结合 3% 分位数，估算得到

$$\sigma = \frac{F_c \pi r^2}{Z_{0.03} \sqrt{n}} \approx 6.5$$

将上述参数带入式(4)，得  $F = 113kN$ ，约为其标准钢丝破断拉力总和的  $1/8$ ，符合安全工作系数为 8 的情况下，钢丝承载力的预期值，也就证明了该建模是可靠的。

于是，将上述参数代入式(5)计算钢丝破断程度与 FLS 值关系，得到下表：

表 4: 钢丝破断程度与 FLS 值关系

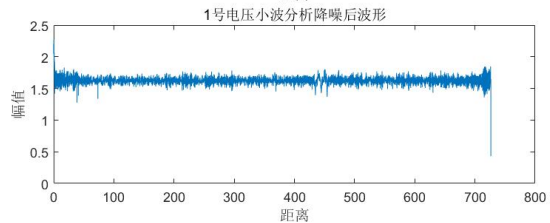
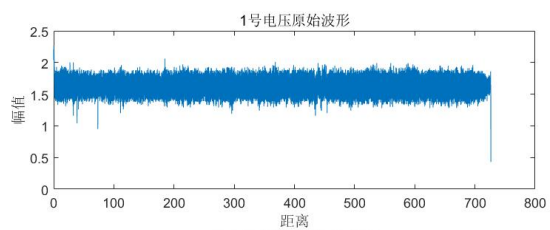
破断程度	FLS
14%	12.17%
5%	4.15%
2.5%	2.02%
1.6%	1.27%
1%	0.78%

最后，由于 8% 为  $FLS$  的阈值， $FLS$  超过 8% 的钢丝绳视为不安全，且一根钢丝绳的断裂必将先从  $FLS$  较大的地方开始。因此选取一根绳中磨损最严重的地方对其进行安全性评估，按均匀划分  $FLS$  的方式进行评级， $FLS$  值在 2% 以下安全系数为优，2%-4% 为良，4%-6% 为中，4%-6% 为差，8% 以上为危险。如果一根钢丝绳  $FLS$  值最高的缺陷点超过 10 个，则其安全等级降级处理。

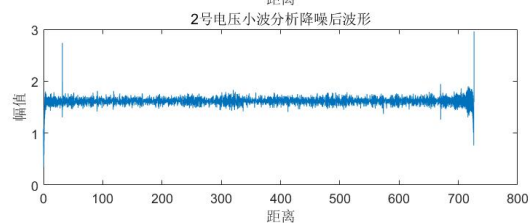
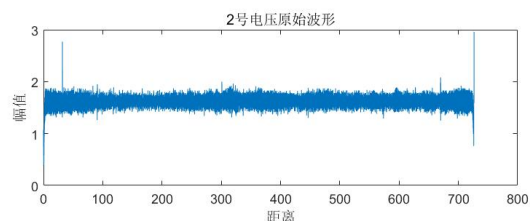
## 6 模型求解与结论

按照 5.1 选取的参数，我们对原始信号进行了降噪处理，钢丝绳 1-6 第一次测量的原始波形与降噪后波形如图 2，局部图如 3。从图 2 中我们可以看出，该模型消除了起伏噪声，降噪效果良好。

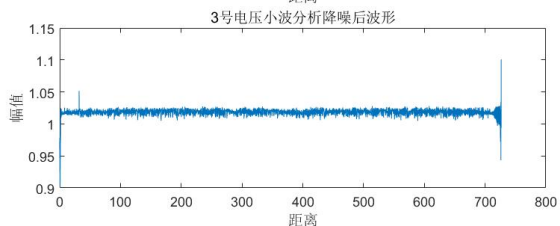
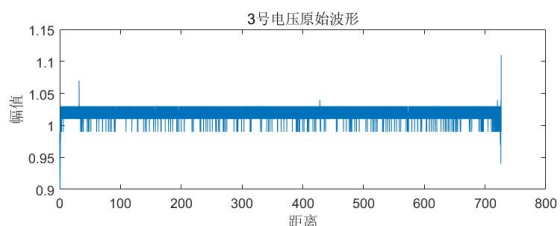




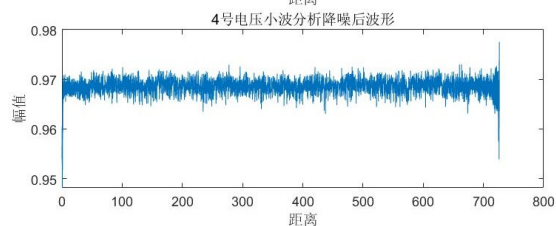
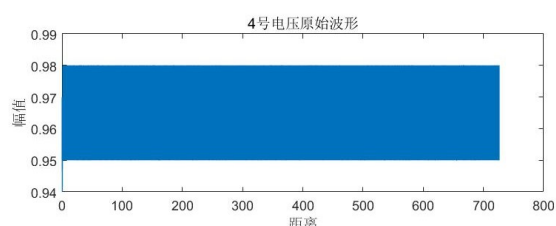
(a) 一号钢丝绳



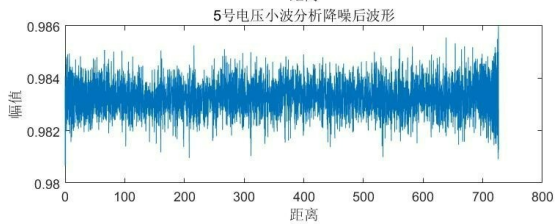
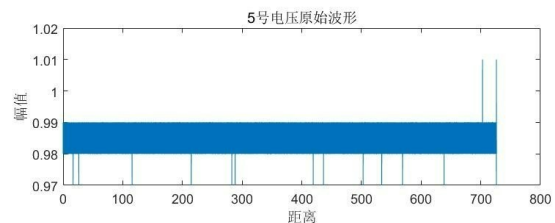
(b) 二号钢丝绳



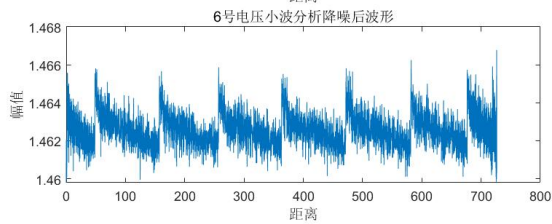
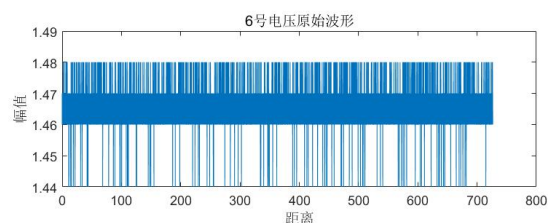
(c) 三号钢丝绳



(d) 四号钢丝绳



(e) 五号钢丝绳



(f) 六号钢丝绳

图 2: 小波分析降噪模型信号处理结果

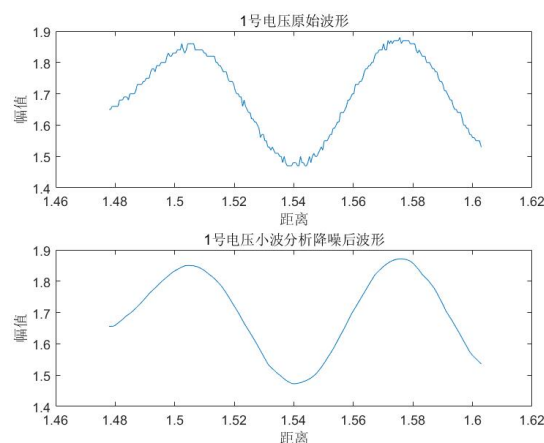


图 3: 小波分析降噪模型信号处理结果局部图

按照 5.2 的算法设计，我们对六条钢丝绳的缺陷部位进行定位，结果如表 5 所示，损伤位置的具体定位在附件一中展示。以第二号钢丝绳为例，我们可以得到其缺陷情况，如表 5，表中显示，一号和二号钢丝均存在严重缺陷，而三号、四号、五号、六号钢丝的运行状况良好。

由于多个信号的最后几组数据中，均出现了非常大的峰值波动，本文分析可能是由于在监测设备刚刚开始监测时存在不稳定的情况，所以造成数据的偏差过大。因此不认为这些过大的波动信号是由于钢丝绳的缺陷造成的。

表 5: 钢丝绳参数

钢缆	微小断丝个数	变形个数	轻度断丝个数	中度断丝个数	内部断股个数
一号钢丝绳	32	0	0	0	0
二号钢丝绳	47	29	18	11	0
三号钢丝绳	0	0	0	0	0
四号钢丝绳	0	0	0	0	0
五号钢丝绳	0	0	0	0	0
六号钢丝绳	0	0	0	0	0

最后，依据 5.3 中评价模型中的建模和划分，得到六根钢丝绳的安全情况为一号钢丝绳的安全系数为良，二号钢丝绳的安全系数为差，其余四个钢丝绳的安全系数为优。

## 7 模型评价

本文的降噪模型可以有效的消除原始信号中的噪声，对高频噪声不敏感，但同时能保留钢丝绳存在缺陷而引起信号的幅值短时间内迅速改变的部分。但缺点是对信号幅值略微降低，因此会使本文的安全评判结果更偏向于判断钢丝绳的运行状况为安全。这一点需要进一步讨论降噪后的信号幅值与缺陷类型的关系，期待本文能引起其它研究者对此的重视。

本文的缺陷检索模型和安全性评价模型算法简单，易于实践，可以集成到单片机中不间断自动化运行，可以降低检测设备的成本，提升检测的频率，增加钢丝绳运行的安全性。

## 参考文献

- [1] 陈洁. 钢丝绳损伤定量识别与安全评估的研究 [D]. 北京邮电大学, 2013.
- [2] 殷勇辉, 冯永贵, 张海涛. 基于磁通平衡原理的钢丝绳动态探伤系统 [J]. 矿山机械, 2015(5):5.
- [3] 李红延, 周云龙, 田峰, 等. 一种新的小波自适应阈值函数振动信号去噪算法 [J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(10):7.
- [4] 苏立, 南海鹏, 余向阳, 等. 基于改进阈值函数的小波降噪分析在水电机组振动信号中的应用 [J]. 水力发电学报, 2012, 31(3):6.
- [5] 贾社民, 张平萍, 张德英, 陈敬伟. 钢丝绳使用寿命与安全评估 [J]. 煤矿安全, 2015, 46(S1):85-88+93. DOI:10.13347/j.cnki.mkaq.2015.S1.021.
- [6] 国家安全生产监督管理局. 《矿井提升用钢丝绳》GB/T 33955—2017. [EB/OL]. 2022.

## 8 附录

断点的位置在附件一中标注，本文使用的 matlab 代码如下所示：

```
1 %%
2 %读取文件与数据预处理
3 clear;clc
4 [data, txt, raw] = xlsread('Data', 1);
5
6 num = zeros(1, 2000);% num[i]表示第i次脉冲包含的扫描次数
7 posx = zeros(1, 2000);% 记录第i次脉冲相对于起点的举例。
   本来想记在data里的，但是后来想想还是别动原始数据了不然还得重新读
8 [r, c] = size(data);% r记录扫描次数
9 Len = data(r, 8) * 0.4;% 记录扫描总长度
10 for i = 1 : r
11     num(data(i, 8)) = num(data(i, 8)) + 1;
12 end
13 len = 0;% 一个临时变量
14 for i = 1 : r
15     len = len + 0.4 / num(data(i, 8));
16     posx(i) = len;
17 end
18 %% 小波分析并判断断点并保存
19 num_crevice = zeros(6, 5);% 第i级断点个数
20 pos_crevice = zeros(5, 1);% 第i级断点的位置
21
22 for No = 1 : 6
23     pos_crevice = zeros(5, 1);
24     res = wden(data(:, No), 'minimaxi', 's', 'one', 6, 'db3');
25     avr = sum(res) / r;
26     for i = 1000 : r - 1000
27         if res(i) > res(i - 1) && res(i) > res(i + 1)
28             Tmp = abs(avr - res(i)) / avr;
29             if Tmp > 1
30                 tmp2 = 5;
```

```

31         elseif Tmp > 0.8
32             tmp2 = 4;
33         elseif Tmp > 0.6
34             tmp2 = 3;
35         elseif Tmp > 0.4
36             tmp2 = 2;
37         elseif Tmp > 0.25
38             tmp2 = 1;
39         else
40             tmp2 = 0;
41         end
42         if tmp2
43             num_crevice(No, tmp2) = num_crevice(No,
44                 tmp2) + 1;
45             pos_crevice(tmp2, num_crevice(No, tmp2))
46                 = i * 0.4;
47         end
48     end
49     % xlswrite('Res.xlsx', num_crevice(No, :), sprintf('
50         sheet%d', No), 'A2');
51     xlswrite('Res.xlsx', pos_crevice, sprintf('sheet%d',
52         No), 'B4');
53 end
54
55 %%
56 %利用小波分析对含噪正弦波进行降噪 (Brand New)
57 % clear;clc
58 edgel = 1;
59 edger = r;
60 fig = gcf; % current figure handle
61 fig.Color = [1 1 1];
62 fig.ToolBar = 'none';
63 No = 5;

```

```

64     subplot(2, 1, 1);
65     plot(posx(edgel : edger), data(edgel : edger, No))
66     title('2号电压原始波形')
67     xlabel('距离');
68     ylabel('幅值');
69     res = wden(data(edgel : edger, No), 'minimaxi', 's', '
        one', 6, 'db3');
70     subplot(2, 1, 2);
71     plot(posx(edgel : edger), res)
72     title('2号电压小波分析降噪后波形')
73     xlabel('距离');
74     ylabel('幅值');
75     disp(posx(edgel));
76     disp(posx(edger));
77
78 %%
79 %利用小波分析对含噪正弦波进行降噪 (Ver.2)
80 % clear;clc
81 edge = r;
82 subplot(3, 1, 1);
83 title('电压1号原始波形')
84 plot(posx(1 : edge), data(1 : edge, 1))
85 xlabel('距离');
86 ylabel('幅值');
87 res1 = wden(data(1 : edge, 1), 'rigrsure', 's', 'one',
        6, 'db3');
88 subplot(3, 1, 2);
89 title('小波分析降噪后波形1')
90 plot(posx(1 : edge), res1)
91 xlabel('距离');
92 ylabel('幅值');
93 res2 = wden(data(1 : edge, 1), 'heursure', 's', 'one',
        6, 'db3');
94 subplot(3, 1, 3);
95 title('小波分析降噪后波形1')
96 plot(posx(1 : edge), res2)
97 xlabel('距离');

```

```

98     ylabel('幅值');
99
100
101     %%
102     %利用小波分析对含噪正弦波进行降噪 (Original)
103     clc;clear;
104     % 1、生成正弦信号
105     N=1000;
106     t=1:N;
107     x=sin(0.03*t);
108     % 2、加噪声
109     load noissin;% 这是一个含噪正弦波
110     ns=noissin;
111     % 3、显示波形
112     subplot(3,1,1);
113     title('含噪正弦波消噪结果');
114     plot(t,x);
115     xlabel('样本序号_n');
116     ylabel('(原始信号)幅值_A');
117     subplot(3,1,2);
118     plot(ns);
119     xlabel('样本序号n');
120     ylabel('(含噪信号)幅值A');
121     % 4、小波消噪
122     xd=wden(ns,'minimaxi','s','one',5,'db3');
123     % Wden函数：一维信号的小波消噪处理
124     % [xd, cxd, lxd]=wden(x, tptr, sorh, scal, n, 'wname'
        ' '); 返回经过小波消噪处理后的信号xd及其小波分解结
        构。
125     % 1、x = ns为含噪信号
126     % 2、tptr = rigrsure: stein无偏估计;  heursure: 启发式
        阈值;  sqtwolog: 固定式阈值;  minimaxi: 极大极小值阈
        值
127     % 3、sorh = s: 为软阈值;  h: 为硬阈值;
128     % 4、输入参数scal规定了阈值处理随噪声水平的变化:
129     %     Scal=one: 不随噪声水平变化。
130     %     Scal=sln: 根据第一层小波分解的噪声水平估计进行调

```

```

    整。
131    % Scal=mln: 根据每一层小波分解的噪声水平估计进行调
    整。
132    % 5、N 是小波变换的级别。
133    % 6、WNAME 是指定为字符串的小波。
134
135    subplot(3,1,3);
136    plot(xd);
137    xlabel('样本序号n');
138    ylabel('(消噪信号)幅值A');
139
140    %%
141    %正态分布无穷积分
142    clear , clc
143    %更改参数区
144    Break=0.01;
145    syms x;
146    sigma=6.577;
147    mu=524.87;
148    n=84;
149
150    N(x)=normpdf(x,mu,sigma^2);%正态分布
151    F=216*N*x%定义函数
152
153    Z=icdf('norm',Break,mu,sigma^2)
154    Fnew=int(F,-inf,inf);
155    Fn=int(F,Z,inf);
156    FLS=1-Fn/Fnew;
157
158    vpa(Fnew,4)
159    vpa(Fn,4)
160    vpa(FLS,4)

```