

基于熵权法的矿井提升机钢丝绳的安全性能评价模型

摘 要

钢丝绳是很多生产过程和作业环境中必不可少的重要设备，尤其在矿井提升机构和系统中，钢丝绳更是发挥着至关重要的作用，其能否安全有效的发挥性能，对整个提升系统能否正常工作具有决定性的影响。本文基于小波变换理论和熵权法，对去噪后的缺陷信号建立指标分析，构建了一套对“磁平衡”传感信号处理并评价的安全性能模型。该模型能够及时察觉钢丝绳的内部重大隐患、随时监测钢丝绳的安全状态、科学降低用绳成本，在可靠预防矿井断绳事故、有效保障工作人员的生命安全方面具有重大意义。

针对问题一，主要解决两个问题：一是需要对数据信号进行去噪，二是需要确定六根钢丝绳经过 10 次往返运行后所有缺陷的数量、位置及程度。我们首先运用小波变换方法对信号进行去噪，由于软阈值量化方法令小波系数幅值明显削减，因此我们加入因子，采用改进后的小波阈值降噪方法，得到更加有效的数据。再进一步根据缺陷的量化定义，构建模型对各个绳子的缺陷进行量化计算，按照百分比值归类并且定位其缺陷位置，计算其缺陷数量，确定其各个的缺陷长度。得到前两根钢丝绳各个缺陷的状况位置和大小，而其他四根钢丝绳显示正常。

针对问题二，我们根据问题一的分析所得结果，参考 GB/T 5972—2006《起重机机械用钢丝绳检验和报废实用规范》以及五种缺陷类别的危险程度和发生次数，确定每种缺陷对降低安全系数的贡献，以及量化断丝、变形发生的位置对安全性能的影响，综合评价了钢丝绳在使用过程中的风险情况进而对其安全性能进行评估。依次建立缺陷性质指标、程度指标、数量指标、位置指标以及缺陷集中指标五个指标。并进一步利用熵权法，对缺陷程度因素、缺陷数量因素、缺陷位置因素、缺陷集中因素四个因素赋予权重，建立安全性能综合评价模型。最终得到第一根钢丝绳、第二根钢丝绳和后四根钢丝绳的安全性能综合评价得分为：0.217334、0.148606 和 0.811157。

最后，本文对模型进行了优缺点分析以及模型推广，在其他领域诸如带式传送机的传送带风险实时监测系统、客运缆车索道运输监测系统以及老旧载人电梯井绳的风险评估任务中也具有一定的参考意义和现实意义。

关键词：钢丝绳 小波变换 熵权法 安全性能评价

目录

一、问题重述	3
二、问题分析	3
2.1 问题一的分析	3
2.2 问题二的分析	3
2.3 总体思路图	4
三、模型假设	4
四、符号说明	5
五、模型的建立与求解	5
5.1 问题一模型的建立与求解	5
5.1.1 基于小波变换的去噪方法。	5
5.1.2 搜索钢丝绳的缺陷	7
5.2 问题二模型的建立与求解	9
5.2.1 熵权法的原理	9
5.2.2 熵权法的步骤	10
5.2.3 计算得分	13
六、模型的评价、改进与推广	13
6.1 模型的优点	13
6.2 模型的缺点	13
6.3 模型的推广	14
七、参考文献	15

一、问题重述

1.1 问题背景

矿井提升机是一种由电机间接带动钢丝绳从而带动提升容器，完成输送任务的大型机械设备。其中钢丝绳是矿井提升机和提升容器的的重要连接部分，其强度高低及其寿命长短直接关系着整个矿工系统能否正常运转、影响着矿井工作人员的生命安全。因此对钢丝绳进行及时有效的检测至关重要。由于人工观测钢丝绳的缺陷往往无法察觉出绳内部的断丝、锈蚀、磨损等重大隐患，因此运用传感器“磁平衡”检测技术全面监控钢丝绳极具优势。

“磁平衡”技术能在不影响钢丝绳性能和正常使用的前提下，通过信号传感器获取数据电压进行分析，实时监测钢丝绳是否出现内部缺陷，并及时报告发生缺陷的数量、各个缺陷的大小、性质以及位置，从而提出相关的预防措施，提高钢丝绳的维护效率，避免不可预知的潜在危险。

1.2 问题提出

矿井提升机按钢丝绳的数量可分为二绳、四绳和六绳提升机。某一六绳矿井提升机每根钢丝绳的长度均为 960 米，现要在井筒中往返升降 10 次，传感器实时对钢丝绳进行监测。现需根据提供的监测数据以及 5 种缺陷对应的波形图和量化定义，通过建立数学模型，解决以下问题：

(1) 去除由于钢丝绳存在某种程度的晃动或者出现断丝、变形、磨损、锈蚀等缺陷导致数据产生不同程度的波动的噪音，并寻找六根钢丝绳经过 10 次往返运行后所有缺陷的数量、位置及程度。

(2) 对于钢丝绳的安全性能设计一种合适的的量化评价方法，计算本提升机六根钢丝绳经过 10 次往返后的安全性能评价得分。

二、问题分析

2.1 问题一的分析

问题一要求对六根钢丝绳十次升降所监测出的所有数据进行降噪，并找出全部缺陷以及缺陷的程度。

在分析降噪时，由于已有的数据量庞大且考虑到每根钢丝绳每次升降的外部情况均一致，因此我们先取第一根钢丝绳第一次的下降情况进行降噪。运用小波去噪的方法，将含噪信号进行小波变换，并对变换后的小波系数进行处理，最后对小波系数进行小波逆变换得到去噪后的新信号。再对整个信号的波形图进行异常值检验，定位到异常值（即缺陷）的位置。针对检验出的异常值进行量化定义百分比计算，按照百分比将不同程度的缺陷进行归类。通过观测模型对第一根绳子第一次下降的处理效果，对模型进行优化，并进一步将方法运用到所有绳子的所有升降中，得到所有六根钢丝绳经过 10 次往返运行后缺陷的数量、程度及位置。

2.2 问题二的分析

问题二要求寻找与钢丝绳的安全性能有关的指标，并设计一种量化评价的方法。

在确立指标时，我们首先从第一问的数据结果出发，分析缺陷数量、性质以及长度（大小）。根据分析所得的结论，以及参考 GB/T 5972—2006《起重机械用钢丝绳检验和报废实用规范》^[5]建立性质指标、程度指标、数量指标、位置危险系数指标以及缺陷集中指标五个判断依据。通过对这些指标进行正向化、归一化处理，同时考虑指

标之间是否具有多重共线性，构建钢丝绳量化指标矩阵，利用熵权法客观确定每项指标的权重，构建综合评价体系以及综合评价模型。随后利用该模型计算六根钢丝绳在10次往返运行后的安全性能评价得分。

2.3 总体思路图

文章的总体思路图如下：

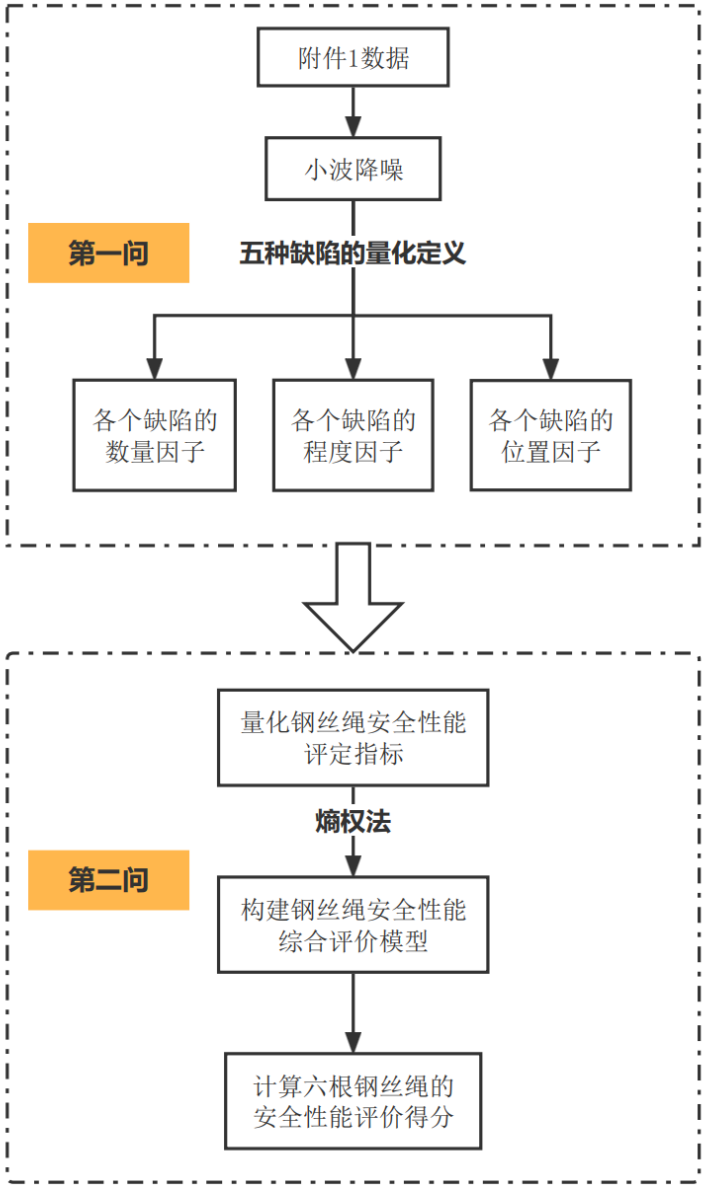


图1 总体思路图

三、模型假设

本文进行如下假定：

- 1.假设六根钢丝绳的生产产家、生产型号等初始状态都是相同的，在运输过程中也没有发生任何意外情况。
- 2.假设在每个脉冲里钢丝绳的移动是匀速的。
- 3.假设每根绳每次的升降中所有的帧都是连续的。
- 4.假设钢丝绳每次升降的外部受力都是相同的。

四、符号说明

表 1 符号说明

符号	说明	单位
i	脉冲	HZ
σ^2	噪声的方差	/
N	离散采样信号的长度	/
vol	电压值	$volt$
vol_mean	电压的平均值	$volt$
$de_percent$	缺陷的量化定义	/
$level$	程度指标	/
$count$	数量指标	/
$quality$	性质指标	/
loc_{danger}	位置危险系数指标	/
$focus$	缺陷集中指标	/
Y	安全性能评价值	/

五、模型的建立与求解

5.1 问题一模型的建立与求解

5.1.1 基于小波变换的去噪方法。

(1) 确定公式。

针对附件中的数据，选择一种对信号去噪的合理方式。由于小波去噪方法可以有效地将信号的高频部分和由噪声引起的高频干扰区分开^[1]，所以选择小波去噪方法。首先进行小波变换，对于任意的函数 $f(t) = L^2(R)$ 的连续小波变换为：

$$W_f(a, b) = \langle f, \varphi_{a,b} \rangle = |a|^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \varphi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, a, b \in R; a \neq 0 \quad (1)$$

其中， a 为伸缩因子， b 为平移因子。选取适当的小波函数对信号进行分解，对分解出的参数进行阈值处理，设定随尺度变化的阈值

$$\lambda(j) = \sigma j + \sqrt{2 \log(N)} / \log(j+1) \quad (2)$$

其中 σ^2 为噪声的方差， N 为离散采样的长度， j 为分解尺度，其中硬阈值量化方法定义为：

$$cd(j) = \begin{cases} cd(j), & |cd(j)| \geq \lambda(j) \\ 0, & |cd(j)| < \lambda(j) \end{cases} \quad (3)$$

软阈值量化方法定义为：

$$cd(j) = \begin{cases} sign(cd(j)) * (|cd(j)| - \lambda(j)), & |cd(j)| \geq \lambda(j) \\ 0, & |cd(j)| < \lambda(j) \end{cases} \quad (4)$$

从图2对信号进行去噪的效果图可以看出,硬阈值去噪的波形存在较多的振荡点,去噪效果不理想。

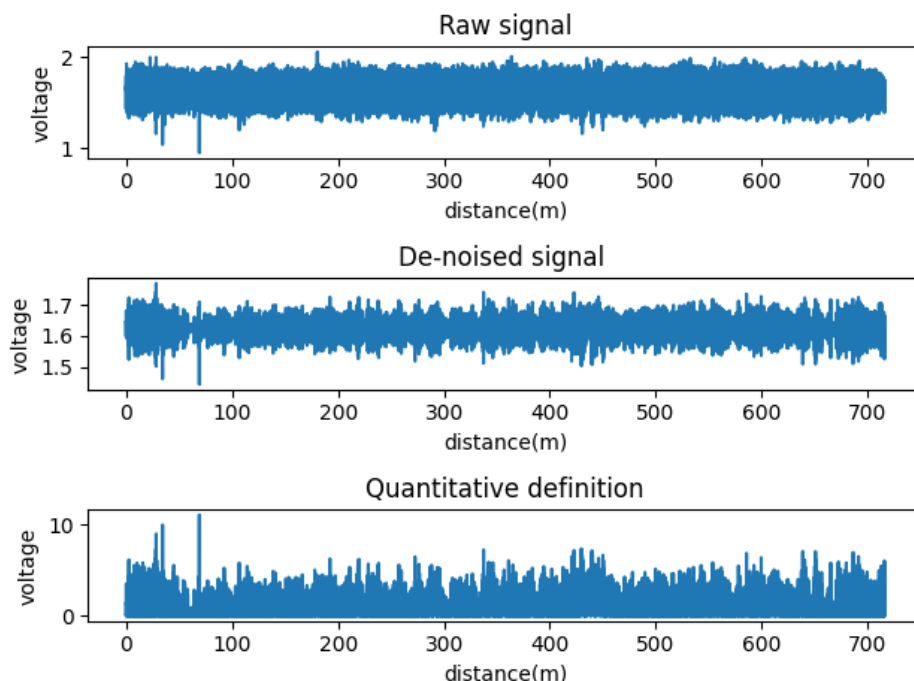


图2 硬阈值去噪效果图

(2) 采用改进的小波阈值降噪方法

由于噪声信号具有影响,使用完全的软阈值方法会令小波系数的幅值明显削减。因此我们在阈值函数里加入 α 因子,在0与1之间适当调整 α 的大小^[2],使得去噪的波形较光滑,去噪精度较高。如图3所示。

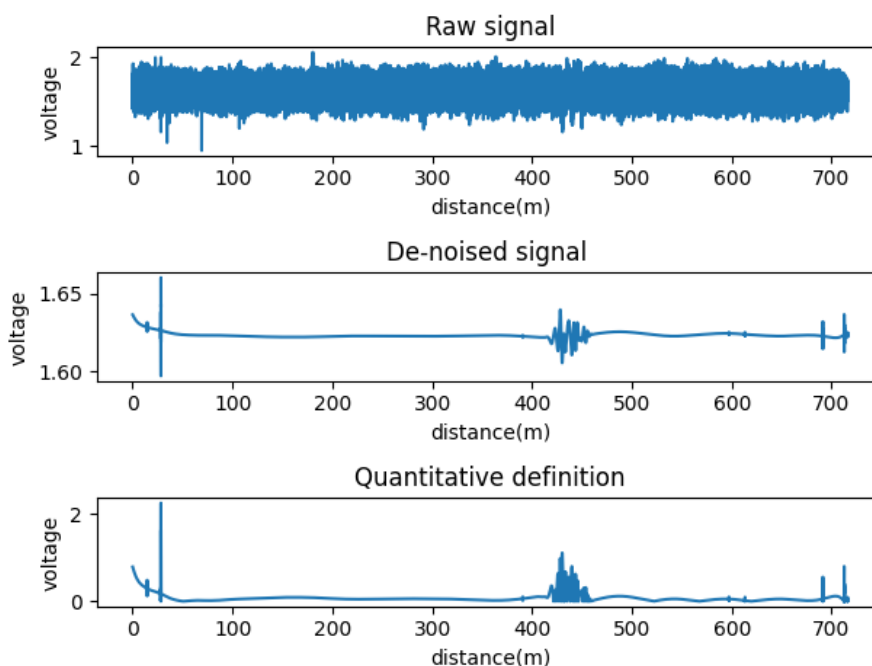


图3 软阈值去噪效果图

(3) 采用 python 编写小波变换去噪方法程序并保存在扩展名为.py 文件中（详见附录），对全部数据进行异常值处理。

5.1.2 搜索钢丝绳的缺陷

(1) 建立钢丝绳的量化定义指标

以一根绳子为例，通过传感器得到的每帧电压值，计算绳子缺陷的量化指标 $de_percent$ ，公式如下：

$$de_percent = \frac{|vol - vol_mean|}{vol_mean} \times 100\% \quad (5)$$

(2) 遍历钢丝绳，寻找缺陷并统计数量。

通过计算钢丝绳每帧的 $de_percent$ 并按照数值将其进行归类。

表 2 缺陷程度分类

程度	$de_percent$ (百分比)
内部断股	>14%
中度断丝	5%-14%
轻度断丝	2.5%-5%
变形	1.6%-2.5%
微小断丝	1%-1.6%
正常	<1%

在进行搜索时，如果 $de_percent$ 值不在正常范围内，即对该处帧的位置进行记录，类别进行归档，逐个计数统计。由于考虑到一帧的距离很小，缺陷往往不仅仅是点缺陷，更多情况下是小范围的缺陷，因此在搜索到一处缺陷后，对其后面的缺陷也进行遍历比较，在判断它们都属于同一类别缺陷的情况下，将其归为同一个缺陷。



图 4 第一根钢丝绳缺陷程度比例图

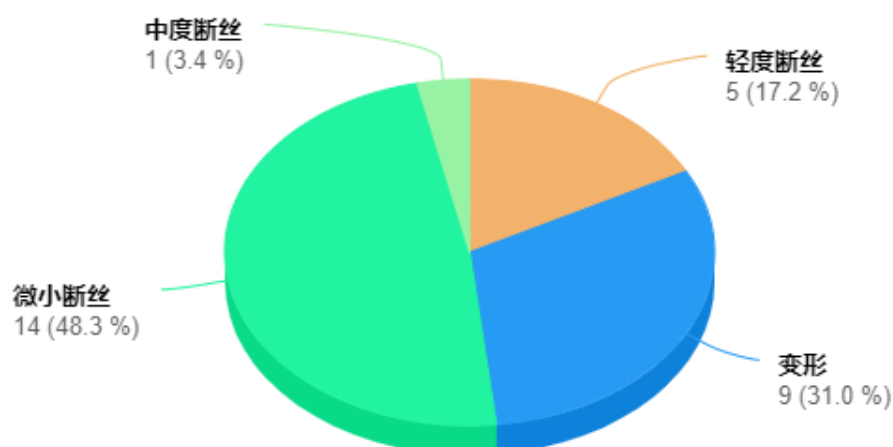


图 5 第二根钢丝绳缺陷程度比例图

（3）采用 python 编写程序，并保存在扩展名为.py 的文件中（详见附录），求取全部六根绳子的缺陷数量，序号 1-0 代表钢丝绳第一次下行，1-1 代表钢丝绳第一次上行， de_1 代表第一根绳子的缺陷数量， de_2 代表第二根绳子的缺陷数量，以此类推。

表 3 六根钢丝绳缺陷数量图

序号	de_1	de_2	de_3	de_4	de_5	de_6
1-0	9	44	0	0	0	0
1-1	25	18	0	0	0	0
2-0	9	42	0	0	0	0
2-1	77	2	0	0	0	0
3-0	9	51	0	0	0	0
3-1	106	42	0	0	0	0
4-0	18	25	0	0	0	0
4-1	58	58	0	0	0	0
5-0	23	43	0	0	0	0
5-1	71	29	0	0	0	0

（4）得到六根钢丝绳经过 10 次往返运行后所有缺陷的数量、程度及位置。（详见附录 1、附录 2）。其中由于钢丝绳的两端会有部分段连接机器，导致传感器测量出的实际长度为 726.4 米。通过对上行、下行分别进行分析，并对五次数据进行比对、校准，比如在第三次上行出现的缺陷在第四次上行并没有出现，我们认为这可能是由于异常值处理或噪声处理的局限性造成的，因此将该种类型缺陷进行搜索以及剔除。最终我们通过得到的信息，对位置进行简单分析，发现缺陷更多的分布在钢丝绳两端，对于后续指标确定具有关键性意义。

表 4 两根绳子的缺陷位置大小状况图（部分）

第一根绳子第五次上行			第二根绳子第五次上行		
缺陷位置 (m)	缺陷大小 (m)	缺陷状况	缺陷位置 (m)	缺陷大小 (m)	缺陷状况
0.00084	2.45184	轻度断丝	0.00084	1.6956	轻度断丝
2.45268	2.55144	变形	1.69644	2.13721	变形
5.00412	2.74339	微小断丝	3.83365	2.06891	微小断丝
7.74751	578.56228	正常	5.90256	681.95915	正常
586.30979	1.69756	微小断丝	687.86171	0.78683	微小断丝
588.00735	2.42601	正常	688.64854	0.20901	正常
590.43336	0.86504	微小断丝	688.85755	0.05364	微小断丝
591.2984	43.32763	正常	688.91119	0.23601	变形
634.62603	0.61011	微小断丝	689.1472	0.03679	微小断丝
635.23614	2.54888	正常	689.18399	0.10643	正常
637.78502	0.65244	微小断丝	689.29042	0.0417	微小断丝
638.43746	1.04624	变形	689.33212	0.11428	变形
639.4837	0.58193	微小断丝	689.4464	0.0278	微小断丝
640.06563	1.1755	正常	689.4742	0.06178	正常
641.24113	0.01151	微小断丝	689.53598	0.01544	微小断丝
641.25264	0.01151	变形	689.55142	0.02626	变形
641.26415	0.00864	微小断丝	689.57768	0.1165	轻度断丝
641.27279	0.02877	正常	689.69418	0.01926	变形
641.30156	0.00288	微小断丝	689.71344	0.01037	微小断丝
641.30444	0.00288	变形	689.72381	0.03555	正常
641.30732	0.01439	轻度断丝	689.75936	0.01037	微小断丝
641.32171	0.00287	变形	689.76973	0.01482	变形
641.32458	0.00288	微小断丝	689.78455	0.06518	轻度断丝
641.32746	0.01151	正常	689.84973	0.02519	中度断丝
641.33897	0.01439	微小断丝	689.87492	0.06815	轻度断丝
641.35336	0.02015	正常	689.94307	0.02222	变形
641.37351	0.00287	微小断丝	689.96529	0.01926	微小断丝
641.37638	0.00576	变形	689.98455	0.16023	正常
641.38214	0.0259	轻度断丝	690.14478	0.03182	微小断丝
641.40804	0.00288	变形	690.1766	0.10909	变形
641.41092	0.00287	微小断丝	690.28569	0.04394	微小断丝
641.41379	0.00288	正常	690.32963	20.63371	正常
641.41667	0.00288	微小断丝	710.96334	0.93626	微小断丝

5.2 问题二模型的建立与求解

5.2.1 熵权法的原理

熵最初来源于物理学中的热力学概念，主要用于反应系统的混乱程度^[3]。在信息论中，信息熵是系统的无序程度或不确定性的度量，信息是系统有序程度的度量，二者绝对值相等，但符号相反。熵权的计算公式为^[4]：

$$H(M) = -k \sum_{i=1}^n P(M_i) \times \ln P(M_i) \quad (6)$$

式中， k 为大于0的系数； $0 < P(M_i) < 1$ 且 $\sum_{i=1}^n P(M_i) = 1$ 。

一般在综合评价中，某项指标的变异程度越大，信息熵越小，该指标提供的信息量越大，该指标的权重也应越大；反之，该指标的权重也应越小。因此，可以根据各项指标值的变异程度，利用熵计算出各指标的权重——熵权^[4]。用信息熵理论评价各指标的有序性及其效用，即由评价指标值构成的判断矩阵确定各评价指标权重。设有 m 个评价指标、 n 个评价对象，则形成原始数据矩阵：

$$R = (r_{ij})_{m \times n} \quad (7)$$

对第 i 个指标的熵定义为^[3]：

$$H_i = -k \sum_{j=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \quad (8)$$

($i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, n$)

式中： $f_{ij} = r_{ij} / \sum_{j=1}^n r_{ij}$ ， $k = 1 / \ln n$ ，当 $f_{ij} = 0$ 时，令 $f_{ij} \ln f_{ij} = 0$ ， f_{ij} 为第 i 个指标下第 j 个评价对象占该指标的比重； n 为评价对象的个数； H_i 为第 i 个指标的熵。定义第 i 个指标的熵之后，第 i 个指标的熵权定义为^[3]：

$$\omega_{2i} = \frac{1 - H_i}{n - \sum_{i=1}^m H_i} \quad (9)$$

式中： $0 \leq \omega_{2i} \leq 1$ ， $\sum_{i=1}^m \omega_{2i} = 1$ ， H_i 为第 i 个指标的熵； m 为评价指标的个数； ω_{2i} 为第 i 个指标的熵权^[3]。

5.2.2 熵权法的步骤

(1) 确定指标体系。

a. 性质指标。

根据 GB/T 5972—2006^[5] 标准中的安全程度判定项目 e：“钢丝绳如果发生断股必须立即报废”。因此我们确立了 0/1 变量来代表钢丝绳的去留，即是否立即报废。一旦钢丝绳发生断股，安全性直接降为 0，并且不进行后续安全性评价。

定义性质指标 *quality*：

$$quality = \begin{cases} 0, & \text{断股} \\ 1, & \text{断丝} \end{cases} \quad (10)$$

b. 程度指标。

根据第一问的结果，我们能得出内部断股、中度断丝、轻度断丝等缺陷的危险程度和发生次数。其中缺陷种类是影响一个缺陷对降低钢丝绳安全性能贡献度的主要因

素，每种程度的缺陷对钢丝绳安全性能和寿命影响不同，且会受到缺陷数量和大小的权重影响。因此结合每根绳上的缺陷程度和每种缺陷的数量，利用加权平均法综合评价每根绳上的缺陷指数。将六种缺陷种类设为变量 A_i , ($i = 1, 2, \dots, 6$)，六种缺陷数量设为变量 C_i , ($i = 1, 2, \dots, 6$)，六种缺陷大小设为变量 W_i , ($i = 1, 2, \dots, 6$)

表 5 缺陷程度变量表

程度	种类变量	数量变量	大小变量
内部断股	A_1	C_1	W_1
中度断丝	A_2	C_2	W_2
轻度断丝	A_3	C_3	W_3
变形	A_4	C_4	W_4
微小断丝	A_5	C_5	W_5
正常	A_6	C_6	W_6

定义程度指标 $level$ 的计算式为：

$$level = \frac{\sum_{i=2}^5 A_i \times C_i \times W_i}{\sum_{i=2}^5 C_i} \quad (11)$$

c.数量指标。

根据 GB/T 5972—2006^[5]标准，一根钢丝绳中总的缺陷数量也是检验和判定其报废标准的重要指标。通过总缺陷数量能够衡量一根钢丝绳的剩余强度和寿命，因此在评价安全性能时我们也将其确立为一个安全性指标。

定义一根钢丝绳上的所有缺陷数量为 $count$ ，公式为：

$$count = \sum_{i=2}^5 C_i \quad (12)$$

d.位置危险系数指标。

根据 GB/T 5972—2006^[5]标准中的安全程度判定项目 b，绳端断丝相较于其他位置的断丝对钢丝绳安全性能影响更大，因此我们设立了位置危险系数指标，如果缺陷发生位置越靠近绳端，钢丝绳安全系数越低。

定义位置危险系数指标 loc_{danger} ：

$$loc_{danger} = \sum_{i=1}^{count} \frac{|L_i - 363.2|}{363.2 \times count} \quad (13)$$

e.缺陷集中程度指标。

根据 GB/T 5972—2006^[5]标准中的安全程度判定项目 c，断丝的局部聚集会进一步增加钢丝绳的不安全度，因此我们考虑使用每根绳上缺陷位置信息的标准差来量化该钢丝绳上的缺陷集中程度。将每根绳子上每个缺陷的位置记为 L_i 。

定义缺陷集中指标 $focus$ ：

$$focus = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L}_0)^2}{n-1}}, (i = 1, 2, \dots, n) \quad (14)$$

(2) 正向化归一化处理

定义 x_1, x_2, x_3, x_4 分别对应缺陷程度因素、缺陷数量因素、缺陷位置因素、缺陷集中因素四个指标，将它们进行正向化处理，使得所有指标都是极大性指标，将需要转换的极小性指标 $x_i (i = 1, 2, \dots, 4)$ 取倒数处理：

$$x_i = \frac{1}{x_i} \quad (15)$$

由于指标之间具有差异，运用归一化平衡量纲带来的误差，方法如公式 16、17 所示：

$$\widehat{x}_{ij} = \frac{x_{ij} - \min [x_j]}{\max [x_j] - \min [x_j]} \quad (16)$$

$$\widehat{x}_{ij} = \frac{\max [x_j] - x_{ij}}{\max [x_j] - \min [x_j]} \quad (17)$$

式中， x_{ij} 表示第 i 项指标的第 j 个参数， $\max [x_j]$ 是该指标序列的最大值， $\min [x_j]$ 是该指标序列的最小值， \widehat{x}_{ij} 为指标化结果。

(3) 计算指标的熵与权

运用公式 8、9 计算各指标信息熵为 P_{ij} 以及权重 ω_{2i} 。

表 6 各指标信息熵

钢丝绳序号	程度指标	数量指标	位置指标	集中指标
1	1.38592	71	0.820975	1316
2	1.58276	29	0.917769	1305
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0

表 7 各指标权重表

指标	权重
<i>level</i>	0.115097
<i>count</i>	0.073746
<i>loc_{danger}</i>	0.405863
<i>focus</i>	0.405294

5.2.3 计算得分

(1) 指标加权计算。

利用前面所得到的数据得到评价公式为：

$$S_{ij} = \omega_{2i} \times P_{ij} \quad (18)$$

(2) 设计安全性能评价模型。

定义安全性能评价值为 Y ，设计安全性能评价模型为：

$$Y = 1 - (0.115097 \times x_1 + 0.073746 \times x_2 + 0.405863 \times x_3 + 0.405294 \times x_4) \quad (19)$$

由于六根绳子每根都是独立互不相关的，因此分别计算每一根的安全性能评价得分，如表 8：

表 8 钢丝绳安全性能评价得分

钢丝绳序号	安全性能评价得分
1	0.217334
2	0.148606
3	0.811157
4	0.811157
5	0.811157
6	0.811157

六、模型的评价、改进与推广

6.1 模型的优点

本文的主要内容阐述了钢丝绳安全性能的研究背景，指标体系的选择及综合评价模型的构建，找出了六根钢丝绳经过运行后所有缺陷的数量、程度及位置，计算了安全性能评价得分。通过数据预处理将传感器得到的干扰信号去除，利用更加真实有效的数据进行分析，综合考虑各部分因素，构建出五个量化评价指标。实验结果证实，本模型能够实际帮助相关人员对钢丝绳的监测数据进行解读，更加及时地发现缺陷隐患，保证钢丝绳的使用可靠性，保障矿井工作人员的生命安全。

本模型紧密结合数据所得结果，并细致考虑了生活中的现实条件，具有一定的有效性和合理性。主要优点如下：

1)模型易于理解，符合现实实际，应用到监测过程中的实用性必要性较强。

2)在去噪过程中，本文对比了应用硬阈值量化方法和应用软阈值量化方法的小波变换，并在软阈值量化方法的基础上对模型进行改进，采用一种新的小波阈值降噪方法。

3)本文利用处理后的数据，结合 GB/T 5972—2006^[5]标准，建立评价指标，使用熵权法客观对确立指标进行赋权，构建综合评价体系。

6.2 模型的缺点

(1)模型不够智能，缺少考虑指标与指标之间的影响，如：相关性、多重共线性、层级关系等。

(2) 缺少业务经验指导，权重可能失真或准确性较低。

6.3 模型的推广

本模型从缺陷数量因素、缺陷程度因素、缺陷位置因素、缺陷集中因素四个指标方面综合评价了矿井提升机的钢绳在使用过程中的风险情况进而对其安全性能进行评估，基于此，在其他领域诸如带式传送机的传送带风险实时监测系统、客运缆车运输系统、老旧载人电梯的电梯井绳的风险评估任务中也可以采用类似且相关的一些指标进入评价系统参与风险或安全性能评估。

七、参考文献

- [1]司祯祯. 傅里叶变换与小波变换在信号去噪中的应用[J]. 电子设计工程,2011,19(4):155-157. DOI:10.3969/j.issn.1674-6236.2011.04.045.
- [2]王亚,吕新华,王海峰. 一种改进的小波阈值降噪方法及 Matlab 实现[J]. 微计算机信息,2006,22(6):259-261. DOI:10.3969/j.issn.1008-0570.2006.06.093.
- [3]李帅,魏虹,倪细炉,等. 基于层次分析法和熵权法的宁夏城市人居环境质量评价[J]. 应用生态学报,2014,25(9):2700-2708.
- [4]曹贤忠,曾刚. 基于熵权 TOPSIS 法的经济技术开发区产业转型升级模式选择研究——以芜湖市为例[J]. 经济地理,2014,34(4):13-18.
- [5]GB/T5972-2006 起重机械用钢丝绳检验和报废实用规范
- [6]刘立军. 矿井提升钢丝绳的使用与研究现状[J]. 煤矿机械,2009,30(8):197-199. DOI:10.3969/j.issn.1003-0794.2009.08.092.
- [7]王大刚. 钢丝的微动损伤行为及其微动疲劳寿命预测研究[D]. 江苏:中国矿业大学,2012.
- [8]张德坤,葛世荣,熊党生. 矿井提升机用提升钢丝绳的微动磨损行为研究[J]. 摩擦学学报,2001,21(5):362-365. DOI:10.3321/j.issn:1004-0595.2001.05.010.
- [9]鲁青,徐文尚,刘志海,等. 基于 FTA 的矿井提升机钢丝绳断绳故障分析[J]. 煤矿机械,2006,27(2):356-358. DOI:10.3969/j.issn.1003-0794.2006.02.080.
- [10]谭继文,战卫侠,田志勇,等. 提升钢丝绳安全检测与评价[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2003,22(4):503-505. DOI:10.3969/j.issn.1008-0562.2003.04.026.
- [11]常向东. 钢丝绳摩擦磨损特性及其剩余强度研究[D]. 中国矿业大学,2019.
- [12]王振. 钢丝绳强度检测原理与系统研究[D]. 山东:青岛理工大学,2007. DOI:10.7666/d.y1218850.
- [13]司守奎. 数学建模算法与应用[M]. 国防工业出版社,2012.

附录

附录 1

第一根钢丝绳缺陷的位置以及程度总表

第一根绳子第五次上行		
缺陷位置 (m)	缺陷大小 (m)	缺陷状况
0.00084	2.45184	轻度断丝
2.45268	2.55144	变形
5.00412	2.74339	微小断丝
7.74751	578.56228	正常
586.30979	1.69756	微小断丝
588.00735	2.42601	正常
590.43336	0.86504	微小断丝
591.2984	43.32763	正常
634.62603	0.61011	微小断丝
635.23614	2.54888	正常
637.78502	0.65244	微小断丝
638.43746	1.04624	变形
639.4837	0.58193	微小断丝
640.06563	1.1755	正常
641.24113	0.01151	微小断丝
641.25264	0.01151	变形
641.26415	0.00864	微小断丝
641.27279	0.02877	正常
641.30156	0.00288	微小断丝
641.30444	0.00288	变形
641.30732	0.01439	轻度断丝
641.32171	0.00287	变形
641.32458	0.00288	微小断丝
641.32746	0.01151	正常
641.33897	0.01439	微小断丝
641.35336	0.02015	正常
641.37351	0.00287	微小断丝
641.37638	0.00576	变形
641.38214	0.0259	轻度断丝
641.40804	0.00288	变形
641.41092	0.00287	微小断丝
641.41379	0.00288	正常
641.41667	0.00288	微小断丝
641.41955	0.01727	轻度断丝
641.43682	0.00287	微小断丝
641.43969	0.00288	正常
641.44257	0.00288	变形
641.44545	0.00288	轻度断丝

641.44833	0.00863	中度断丝
641.45696	0.00863	轻度断丝
641.46559	0.00288	微小断丝
641.46847	0.00288	正常
641.47135	0.00288	微小断丝
641.47423	0.00575	变形
641.47998	0.00288	微小断丝
641.48286	0.00863	正常
641.49149	0.00288	微小断丝
641.49437	0.01151	变形
641.50588	0.00576	微小断丝
641.51164	0.02014	正常
641.53178	1.4024	微小断丝
642.93418	16.00969	正常
658.94387	0.31481	微小断丝
659.25868	0.9242	变形
660.18288	0.18443	微小断丝
660.36731	0.40703	正常
660.77434	0.10555	微小断丝
660.87989	0.16287	变形
661.04276	0.8922	轻度断丝
661.93496	0.14207	变形
662.07703	0.0881	微小断丝
662.16513	0.28629	正常
662.45142	0.10575	微小断丝
662.55717	0.54888	变形
663.10605	0.13137	微小断丝
663.23742	0.39331	正常
663.63073	0.15402	微小断丝
663.78475	0.4014	变形
664.18615	0.17176	微小断丝
664.35791	0.61372	正常
664.97163	0.63368	微小断丝
665.60531	0.90161	正常
666.50692	0.90479	微小断丝
667.41171	1.38481	正常
668.79652	0.42135	微小断丝
669.21787	0.95624	变形
670.17411	0.36075	微小断丝
670.53486	0.9265	正常
671.46136	0.60071	微小断丝
672.06207	0.00612	变形
672.06819	0.63624	微小断丝
672.70443	30.42159	正常

703.12602	0.05564	微小断丝
703.18166	7.89591	正常
711.07757	0.0237	微小断丝
711.10127	0.04828	正常
711.14955	0.0194	微小断丝
711.16895	2.37521	正常
713.54416	0.01124	微小断丝
713.5554	0.02597	正常
713.58137	0.00799	微小断丝
713.58936	0.00799	变形
713.59735	0.00692	微小断丝
713.60427	0.01506	正常
713.61933	0.01414	微小断丝
713.63347	0.82154	正常
714.45501	0.54394	微小断丝
714.99895	0.63544	变形
715.63439		轻度断丝

附录 2		
第二根钢丝绳缺陷的位置以及程度总表		
第二根绳子第五次上行		
缺陷位置 (m)	缺陷大小 (m)	缺陷状况
0.00084	1.6956	轻度断丝
1.69644	2.13721	变形
3.83365	2.06891	微小断丝
5.90256	681.95915	正常
687.86171	0.78683	微小断丝
688.64854	0.20901	正常
688.85755	0.05364	微小断丝
688.91119	0.23601	变形
689.1472	0.03679	微小断丝
689.18399	0.10643	正常
689.29042	0.0417	微小断丝
689.33212	0.11428	变形
689.4464	0.0278	微小断丝
689.4742	0.06178	正常
689.53598	0.01544	微小断丝
689.55142	0.02626	变形
689.57768	0.1165	轻度断丝
689.69418	0.01926	变形
689.71344	0.01037	微小断丝
689.72381	0.03555	正常
689.75936	0.01037	微小断丝

689.76973	0.01482	变形
689.78455	0.06518	轻度断丝
689.84973	0.02519	中度断丝
689.87492	0.06815	轻度断丝
689.94307	0.02222	变形
689.96529	0.01926	微小断丝
689.98455	0.16023	正常
690.14478	0.03182	微小断丝
690.1766	0.10909	变形
690.28569	0.04394	微小断丝
690.32963	20.63371	正常
710.96334	0.93626	微小断丝
711.8996	2.46817	正常
714.36777	0.35788	微小断丝
714.72565	0.55387	变形
715.27952		轻度断丝

附录 3

该代码是 python 语言编写的，作用是去除噪声并搜索钢丝绳缺陷

Quanxianfenxi.py

```
import pandas as pd
from statistics import mean
import matplotlib.pyplot as plt
import pywt

#读取文件 1 中的一号绳子
path = 'C:/Users/30496/Desktop/数据 1/5-1.csv'
# 使用 pandas 读入
data = pd.read_csv(path) #读取文件中所有数据
# 按列分离数据
dianya_1_0 = data[['dianya2']]#读取某一列*59
maichong_1_0 = data[['maichong']]#读取某一列*9
from nltk import flatten
#处理成列表
dianya_1_0 = flatten(dianya_1_0.values.tolist())
maichong_1_0 = flatten(maichong_1_0.values.tolist())

def xiaobo(maichong_1_0,dianya_1_0):
    res = max(maichong_1_0)
```

```

count = 12
a = 0
list1 = [] # 位置记录在 list1 当中，具体位置在[ list1[a-1] , list1[a] ]
list2 = [] # 存放每个脉冲每帧对应的长度

# 按脉冲数将数据分组，每个脉冲一组，位置记录在 list1 当中，具体位置
在[ list1[a-1] , list1[a] ]
while count <= res:
    if maichong_1_0[a] == count:
        a = a + 1
    elif maichong_1_0[a] > count:
        list1.append(a)
        count = count + 1
    if a == len(maichong_1_0):
        list1.append(a)
        break

for i in range(res-11):
    if i == 0:
        a1 = 0
        a2 = list1[i]
    else:
        a1 = list1[i - 1] # 数据的头
        a2 = list1[i] # 数据的尾
    #rint(a2-a1)
    list2.append(0.4 / (a2 - a1))

# data=dianya1[a1:a2]

# Get data:
ecg = dianya_1_0 # 导入全部电压数据

a = 0
index = []
data = []
bizhi = []

X = 0
for i in range(max(list1)):
    if i > list1[a]:
        a = a + 1
    X = X + float(list2[a])
    Y = float(ecg[i])

```

```

        index.append(X)
        data.append(Y)

# Create wavelet object and define parameters
w = pywt.Wavelet('db8') # 选用 Daubechies8 小波
maxlev = pywt.dwt_max_level(len(data), w.dec_len)
print("maximum level is " + str(maxlev))
threshold = 1 # Threshold for filtering

# Decompose into wavelet components, to the level selected:
coeffs = pywt.wavedec(data, 'db8', level=maxlev) # 将信号进行小波分解

for i in range(1, len(coeffs)):
    coeffs[i] = pywt.threshold(coeffs[i], threshold * max(coeffs[i])) # 将噪
声滤波

datarec = pywt.waverec(coeffs, 'db8') # 将信号进行小波重构

mintime = 0
maxtime = mintime + len(data) + 1

a = mean(datarec)
# 计算比值
for i in range(max(list1)):
    Z = float(abs(datarec[i] - a) / a * 100)
    bizhi.append(Z)

return index,data,datarec,bizhi,mintime,maxtime

def draw(index,data,datarec,bizhi,mintime,maxtime):

    plt.figure()
    plt.subplot(3, 1, 1)
    plt.plot(index[mintime:maxtime], data[mintime:maxtime - 1])
    plt.xlabel('time (s)')
    plt.ylabel('voltage')
    plt.title("Raw signal")
    plt.subplot(3, 1, 2)
    plt.plot(index[mintime:maxtime], datarec[mintime:maxtime - 1])
    plt.xlabel('time (s)')

```

```

plt.ylabel('voltage')
plt.title("De-noised signal using wavelet techniques")
plt.subplot(3, 1, 3)
plt.plot(index[mintime:maxtime], bizhi[mintime:maxtime - 1])
plt.xlabel('time (s)')
plt.ylabel('voltage')
plt.title("bizhi tu")
plt.tight_layout()
plt.show()

```

```
def lianghua(datarec, n):
```

```

"""
data: 表示时间序列，包括时间和数值两列；
n: 表示几倍的标准差
"""
bizhi=[]
ymean = mean(datarec)  ##求降噪后的数据的均值

for i in range(len(datarec)):
    bizhi.append(abs(datarec[i] - ymean) / ymean*100)
    # print(bizhi[i])
# ystd = np.std(datarec)  ##求时间序列标准差
# down = ymean - n * ystd  ##计算下界
# up = ymean + n * ystd  ##计算上界

```

```

outlier_x = []#每个异常值区间的开始位置的帧
overlier_x = []#每个异常值区间的结束位置的帧
outlier_n=0#记录连续的异常值区间数量
lsttype=[]#记录每个区间的缺陷类型

```

flag=-1#是否在异常区间内，0 表示为不在区间，所以记录开始位置，1 表示在区间，则记录结束位置

```

b=len(datarec)
for i in range(len(datarec)):
    if (bizhi[i]<=1)and flag != 0:#正常
        flag = 0
        outlier_n = outlier_n + 1
        lsttype.append("正常")

```

```

        outlier_x.append(i)
    elif (bizhi[i]>1) and (bizhi[i]<=1.6) and flag != 1:#微小断丝
        flag = 1
        outlier_n = outlier_n + 1
        lsttype.append("微小断丝")
        outlier_x.append(i)

    elif (bizhi[i] >1.6) and (bizhi[i] <= 2.5) and flag != 2:#变形
        flag = 2
        outlier_n = outlier_n + 1
        lsttype.append("变形")
        outlier_x.append(i)

    elif (bizhi[i] > 2.5) and (bizhi[i] <= 5)and flag != 3 :
        flag = 3
        outlier_n = outlier_n + 1
        lsttype.append("轻度断丝")
        outlier_x.append(i)

    elif (bizhi[i] > 5) and (bizhi[i] <= 14)and flag != 4 :
        flag = 4
        outlier_n = outlier_n + 1
        lsttype.append("中度断丝")
        outlier_x.append(i)

    elif (bizhi[i] > 14)and flag != 5:
        flag = 5
        lsttype.append("重度断丝")
        outlier_x.append(i)
    outlier_x.append(len(datarec))

```

return outlier_x,overlier_x,outlier_n,lsttype #outlier_x 表示每个异常值区间的结束位置，
 overlier_x 每个异常值区间的结束位置 outlier_n 记录连续的异常值区间数量

```

res = max(maichong_1_0)
count = 1

```

```

a = 0
list1 = [] # 位置记录在 list1 当中，具体位置在[ list1[a-1], list1[a] ]
list2 = [] # 存放每个脉冲每帧对应的长度

# 按脉冲数将数据分组，每个脉冲一组，位置记录在 list1 当中，具体位置在
[ list1[a-1], list1[a] ]
while count <= res:
    if maichong_1_0[a] == count:
        a = a + 1
    elif maichong_1_0[a] > count:
        list1.append(a)
        count = count + 1
    if a == len(maichong_1_0):
        list1.append(a)
        break

for i in range(res):
    if i == 0:
        a1 = 0
        a2 = list1[i]
    else:
        a1 = list1[i - 1] # 数据的头
        a2 = list1[i] # 数据的尾

    list2.append(0.4 / (a2 - a1))

#1 号文件的缺陷
maichong_1_0 = maichong_1_0[list1[10]:list1[1800]]
dianya_1_0 = dianya_1_0[list1[10]:list1[1800]]
# print(len(maichong_1_0))
# print(len(dianya_1_0))

index,data,datarec,bizhi,mintime,maxtime=xiaobo(maichong_1_0,dianya_1_0)

# 设置参数
n = 3 # n*sigma
print("*****:n=", n)

outlier_x, overlier_x, outlier_n,lsttype = lianghua(datarec, n) # 使用降噪处理后的
数据，调用 3sigma 函数找出异常区间

my_dict = {}

```



```

for i in lsttype:
    if i in my_dict:
        my_dict[i] += 1
    else:
        my_dict[i] = 1
print("1 号文件")
print("缺陷数量:",outlier_n-my_dict["正常"])
print(my_dict)
print("缺陷种类:",lsttype)
print("缺陷种类位置:",outlier_x)

alst1=[]
weizhi=[]
print(len(maichong_1_0))
for i in range(len(outlier_x)-1):
    alst1.append(maichong_1_0[outlier_x[i]])
    alst1.append(lsttype[i])
    a = ('%.5f' % index[outlier_x[i]])
    weizhi.append(a)

my_dict["内部断丝"]=0
print("1 号文件",alst1)

draw(index,data,datarec,bizhi,mintime,maxtime)

print(weizhi)
zhibiao_1=(my_dict["微小断丝"]*1+my_dict['变形']*1.6+my_dict["轻度断丝"]*2.5+my_dict["中度断丝"]*5+my_dict["内部断丝"]*14)/(outlier_n-my_dict["正常"])
zhibiao_1 = ('%.5f' % zhibiao_1)
print("指标 1 性质指标 0/1 (断股/断丝): ", "0 未断股")
print("指标 2 程度指标: ",zhibiao_1)
print("指标 3 缺陷数量指标: ",outlier_n-my_dict["正常"])
d=0
st=0
for i in range(len(weizhi)):
    if lsttype[i]!="正常":
        d=d+abs(float(weizhi[i])-363.2)/(363.2*(outlier_n-my_dict["正常"]))
        st=st+float(weizhi[i])
mean_st=st/(outlier_n-my_dict["正常"])
wt=0.0

```

```

for i in range(len(weizhi)):
    wt=wt+(float(weizhi[i])-float(mean_st))**2

std=float((wt)**0.5)
print("指标 4 位置危险系数指标: ",d)
print("指标 5 缺陷集中指标（标准差）: ",std)

# 导入 CSV 安装包
import csv

# 1. 创建文件对象
f = open('C:/Users/30496/Desktop/1111.csv','w',encoding='utf-8')

# 2. 基于文件对象构建 csv 写入对象
csv_writer = csv.writer(f)

# 3. 写入 csv 文件内容
csv_writer.writerow(weizhi)
csv_writer.writerow(lsttype)

# 5. 关闭文件
f.close()

```