

## 基于小波包遗传算法的冲压模具故障识别研究

骆志高, 王 祥, 李 举, 范彬彬, 郭啸栋

(江苏大学机械工程学院 镇江 212013)

**摘要:** 根据冲压模具失效机理分析及相应声发射信号的特点, 讨论冲压模具的特征参数。基于小波包分析技术, 提取各频带内的能量与总能量之比并确定为初始特征参数, 并应用遗传算法对初始特征参数进行优化, 生成新的特征参数。通过实验对冲压模具实时采集信号的特征参数与正常状态和失效状态两种情况下特征参数的隶属度比较, 有效识别了模具的工作状态, 验证了小波包遗传算法应用于冲压模具故障识别的可行性。

**关键词:** 小波包; 遗传算法; 冲压模具; 故障

## STUDY ON PUNCHING DIE FAULT IDENTIFICATION BASED ON WAVELET ANALYSIS AND GENETIC ALGORITHM

LUO Zhigao WANG Xiang LI Ju FAN Binin GUO Xiaodong

(College of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013)

**Abstract:** According to the failure analysis of punching die and the characteristics of acoustic emission signals, the parameters of punching die are discussed. extracting the comparison between the different frequency bands energy and total energy based on wavelet analysis technology, and take them as the initial characteristic parameters. Optimizing them by genetic algorithm to generate a new parameter. The punching die signal parameters were collected by experiment, then compare the collected signal parameters with normal state characteristic parameters and failure state characteristic parameters, which can identify the work station of the die effectively. Results show that application is feasible.

**Keywords:** wavelet package analysis; genetic algorithm; punching die; fault

冲压模具的工作环境恶劣, 不仅表现在承受高接触压力和剧烈的摩擦, 还有循环加载引起的应力、应变和温度的周期性变化而使模具产生疲劳失效。它所造成的被迫停车维修, 给企业带来了巨大的经济损失。对冲压模具的状态判别是解决其可靠性、安全性的关键途径之一。

由于模具声发射信号背景噪声复杂, 很难提取到能反映实际物理状态的信号参数, 状态与征兆之间表现出的也是一种非常复杂的非线性关系, 这对模具状态进行判定带来了极大的困难。本文针对声发射信号的特点, 把声发射信号进行小波包分解, 频带内的能量与总能量之比为初始特征参数; 再通过对各频带的特征参数进行遗传算法生成新的优化特征参数, 以模糊诊断理论, 辨别模具的工作状态。

## 1 声发射信号特征参数的提取

## 1.1 冲压模具断裂力学分析

通过材料变形、破坏的声发射实验, 可以证明在均匀塑性变形时, 大多数金属与合金的声发射特性是在屈服时出现声发射高峰, 在加工硬化时减小, 最后断裂时对于脆性材料出现的声发射信号具有很高的能量。冲压模具的断裂也遵循这一规律, 因此通过监测断裂时产生的高能量声发射信号就可以发

现模具是否存在损坏情况。

根据线弹性断裂力学在弹性裂纹尖端附近的应力是由单一的参数应力强度因子  $K$  控制。由于裂纹通常在裂纹尖端处被称为范性区的小区域内开裂, 因此, 声发射特性与存在损伤时的应力强度因子  $K$  密切相关。

一般可把应力强度因子写成下列形式:

$$k = \sigma \sqrt{aY} \left( \frac{a}{W} \right) = \frac{P}{BW} \sqrt{aY} \left( \frac{a}{W} \right) \quad (1)$$

式中:  $\sigma$  是特征应力;  $P$  是特征载荷;  $a$  是特征裂纹长度;  $W$  是特征尺寸。

声发射波形峰值幅度与应力强度因子  $K$  的关系可表示为:

$$V_p \approx \frac{2.5mKW^2\Delta A}{YBL} \quad (2)$$

式中:  $W$  为试样宽度;  $B$  为试样厚度;  $L$  为试样的夹持距离;  $\Delta A = B \cdot \Delta a$  为裂纹所扫过的面积,  $\Delta a$  为裂纹伸长量;  $m$  为比例常数。

## 1.2 声发射信号特征参数的确定

当模具出现故障时, 会对各频带内信号的能量

有较大的影响,因此,可以以能量为元素构造一个特征向量。因能量值作为有量纲参数,易受测定条件和工况的影响,所以本文采用各频段的能量百分比作为特征参数。为了能快速有效的对模具状态进行判别,需对各频带的能量百分比进行参数的优化,最终生成一个特征参数,而这个特征参数是由各频带的能量百分比所决定的。

### 1.3 小波包分析技术

声发射信号是一种非线性和非平稳信号或时变信号,其统计特性随时间而变化,采用传统的傅里叶分析方法并不能获得满意的结果。而小波分析优于傅里叶分析的地方是可以在时域和频域同时具有良好的局化性质,它的基本思想是把信号投影到一组相互正交的小波函数构成的子空间上,形了信号在不同尺度上的展开,从而提取到信号在不同频带的特征,同时保留了信号在各个尺度上的时域特征。虽然小波分析是一种有效的时频分析方法,但它的最大缺是:时-频分辨率在低频处频率分辨率高,在高频处时间分辨率高,频率分辨率却降低。而小波包分析方法能根据信号本身的特点,自适应地确定信号在不同频段的分辨率。

假设小波包对信号作j层分解,则它在第j层所形成的频域剖分是把  $0 \sim f_{\max}$  均分  $0 \sim \frac{1}{2^j} f_{\max}$ ,

$$\frac{1}{2^j} f_{\max} \sim \frac{2}{2^j} f_{\max}, \dots, \frac{2^j - 1}{2^j} f_{\max} \sim f_{\max} \text{ 为共 } 2^j$$

份。如是一个3层的分解,其小波包分解树如图1所示。其中,A表示低频,D表示高频,末尾的序号数表示小波包分解的层数(也即尺度数)。

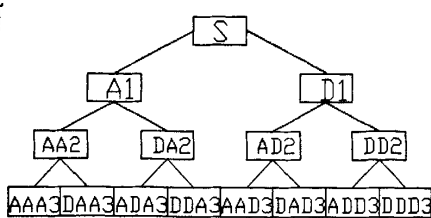


图1 小波包分解树

分解具有关系:

$$S = AAA3 + DAA3 + ADA3 + DDA3 + AAD3 + DAD3 + ADD3 + DDD3$$

设  $\{u_n(t)\}_{n \in \mathbb{Z}}$  是关于  $h_k$  的小波包族, 设

$$g_j^n(t) \in U_j^n, \text{ 则 } g_j^n(t) \text{ 可表示为:}$$

$$g_j^n(t) = \sum_l d_l^{j,n} u_n(2^l t - 1) \quad (3)$$

式中,  $d_l^{j,n}$  为函数  $g_j^n(t)$  在空间  $U_j^n$  的投影系数。由

$$U_{j+1}^n = U_j^{2n} \oplus U_j^{2n+1} \text{ 可知, 小波包分解即是将}$$

$g_{j+1}^n(t)$  分解为  $g_j^{2n}(t)$  与  $g_j^{2n+1}(t)$ , 从而得到小波包分解算法

$$\left\{ \begin{aligned} d_l^{j,2n} &= \sum_k a_{k-2^l} d_k^{j+1,n} \\ d_l^{j,2n+1} &= \sum_k b_{k-2^l} d_k^{j+1,n} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式中,  $a_k = \frac{1}{2} \bar{h}_0(k)$ ;  $b_k = \frac{1}{2} \bar{h}_1(k)$ ,  $\bar{h}$  为  $h$  的对偶算子。

### 1.4 信号特征参数的提取

设  $S_{j,k}$  对应的能量为  $E_{j,k}$ , 则有:

$$E_{j,k} = \int |S_{j,k}(t)|^2 dt = \sum_{k=1}^n |x_{k,m}|^2 \quad (5)$$

式中:

$x_{k,m} (k = 0, 1, 2, \dots, 2^j - 1; m = 1, 2, \dots, n, n$  为

信号的理想采样点数) 为重构信号  $S_{j,k}$  的离散点的

幅值。设被分析信号的总能量  $E_0$ , 则有:

$$E_0 = \sum_{k=0}^{2^j} E_{j,k} \quad (6)$$

各频带的能量占被分析信号总能量的比例(即信号的特征参数)为:

$$E_k = \frac{E_{j,k}}{E_0} \times 100\% \quad (7)$$

式中:  $k = 0, 1, 2, \dots, 2^j - 1$ 。

## 2 遗传算法的参数优化

为灵敏地识别冲压模具的工作状态, 需对小波包分解所获得的特征参数(各频带的能量百分比)进行重组优化, 以获得最优特征参数。

2.1 适应度函数的建立

特征参数用于识别两种状态时（两种状态的概率密度分布曲线如图 2 所示）， $x_1$  和  $x_2$  分别是根据测量状态 1 和状态 2 的信号计算得到的某一特征参数的值，并且  $x_1$  和  $x_2$  分别服从正态分布  $N(\mu_1, \sigma_1^2)$  和  $N(\mu_2, \sigma_2^2)$ 。 $|x_2 - x_1|$  的值越大，该特征参数辨别两种状态的灵敏度就越大。 $z = x_2 - x_1$  也服从  $N(\mu_2 - \mu_1, \sigma_2^2 + \sigma_1^2)$  正态分布， $z$  的密度函数：

$$f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}} \exp\left[-\frac{[z - (\mu_2 - \mu_1)]^2}{2(\sigma_1^2 + \sigma_2^2)}\right] \quad (8)$$

这里  $\mu_2 \geq \mu_1$  ( $\mu_1 \geq \mu_2$  时结论相同)。

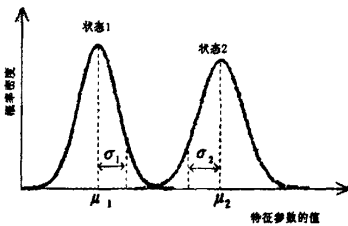


图 2 识别指数的定义

$x_2 < x_1$  的概率可以用下式计算：

$$P_0 = \int_{-\infty}^0 f(z) dz \quad (9)$$

用式  $\mu = \frac{z - (\mu_2 - \mu_1)}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}$  代入公式(7)和 (8)，可

以得到  $P_0$

$$P_0 = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{DI} \exp\left(-\frac{\mu^2}{2}\right) d\mu \quad (10)$$

$DI$  (分辨指数)表示在 2 状态下得出的特征参数概率密度分布的指标，它的值越大，2 个分布的距离越宽。此外， $DI$  的值在 1.65 以上时，可以得到 95% 以上的识别率。

其由下式计算得到：

$$DI = \frac{|\mu_2 - \mu_1|}{\sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}}$$

很明显  $DI$  值越大，状态特征参数也越好。因此， $DI$  可以被用来评估遗传因子的适应度。

2.2 遗传算法的操作步骤

1) 初始化基因型种群

为了开始遗传算法操作，需随机产生初始化基因型种群。

2) 交叉与变异

在本文中，变异的概率为 1%~0.5%。

3) 终止条件

GA 操作满足以下其中一个条件就会终止：

(1) 最大的分辨指数(DI)经过一定的代数没有发生变化(如：60 代)。

(2)  $DI$  如果大于一个给定的值(如 3)，因为如果  $DI > 3$ ，那么辨别率  $P_0 \approx 100\%$ 。

3 应用实例

3.1 实验装置

实验在冲压金刚石锯片基体的复合模具平台上进行，基体材料为 50 号钢，模具材料为 GCr15。液冲压床的型号为 YF-315A，冲压次数为 20 次/分钟。图 3 为实验装置简图。

采用北京鹏翔公司生产的四通道声发射信号采集系统采集信号，其组成部分为：1、使用 1045S 宽带声发射传感器，通过耦合剂固定在模具的侧面；2、2/4/6 前置放大器型号为：PXPA II，放大倍数设置为 40 dB；3、AE 信号采集卡型号为：PXDAQ12204。

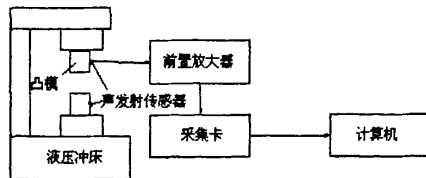


图 3 实验装置简图

3.2 信号采集与处理

在金属中，声发射波的频率可达 100 kHz 以上。为尽量保留声发射信号信息，声发射信号采样频率设定为 2 MHz，采样频带设置为 20 k~1 MHz。

本试验声发射信号的采样频率为 2MHz，则其奈奎斯特频率为 1MHz，小波包分解尺度过少，不能有效提取故障特征；分解尺度过多，特征向量的维数偏大，会影响诊断速度。根据大量的研究经验，采用 db3 小波将信号的采样频率分解到 3 层，则每层每节点的所对应的频率带宽为 125KHz。由式 (5) 和

(7) 可以得到冲压模具声发射信号经小波包分解后各个不同频带的能量和能量百分比。在凸模处测得的信号用于制作特征参数的自动生成。在凹模处测得的信号用于验证小波包遗传算法的可行性。

在凸模处测得的信号提取得到初始特征参数时的  $DI$  值分别为:  $E_0(0.06)$ ;  $E_1(0.56)$ ;  $E_2(1.06)$ ;

$E_3(1.93)$ ;  $E_4(1.61)$ ;  $E_5(1.08)$ ;  $E_6(0.15)$ ;  $E_7(0.03)$ .

由此可见, 用这些初始特征参数难以对模具的状态进行识别。

用遗传算法进行特征参数自动生成的结果如下:

$$P_n = \frac{(E_2 + E_6)^{2.1} (\sqrt{E_3 + E_7} - E_1^{0.33})}{(E_0 + E_5) \cdot (E_6 - E_3)} \quad (11)$$

$$P_u = (E_2 \cdot E_6 + E_3 + E_7 - \frac{1}{E_0 E_6}) \times [E_5 \cdot E_3 (E_5 - E_1)] \quad (12)$$

上述生成的特征参数是用遗传算法迭代300次得出的。由此计算出的  $DI$  为4.63远远大于1.65。故完全可以对模具的状态进行识别。

在凹模处测得的信号, 进行小波包分解得到各频带的能量百分比, 再由式(11)和式(12)求得此冲压模具的状态特征参数。再通过模糊诊断理论得出模具的状态识别, 如图4所示。由模糊诊断得出此模具的状态为故障状态, 与之前的状态设置一致。

由此结果可见小波包可能性理论状态判别的结论是精确的。

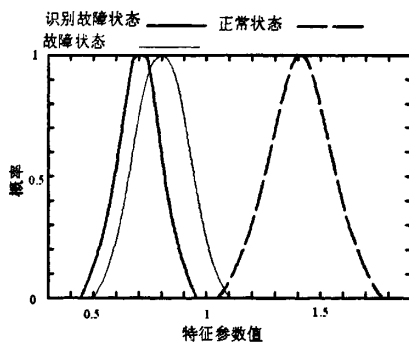


图4 模具的状态识别

## 4 结 论

本文将用小波包可能性理论应用到冲压模具的故障识别中, 得到以下结论:

(1) 压模具声发射信号含有丰富的信息, 小波包分解能根据信号特性和分析要求自适应地选择相应频带也信号频谱相匹配, 是一种比小波分解更为精细的分解方法。

(2) 当使用常规能量百分比参数而难以灵敏地识别故障时, 就可以通过遗传算法的寻优功能把各频段的特征参数进行重组优化, 生成新的特征参数。而该特征参数对于冲压模具的故障识别可被用做高灵敏度的特征参数。

## 参 考 文 献

- [1] Kaewkongka. T, Au. Y.H.J. Application of acoustic emission to condition monitoring of rolling element bearings Source: Measurement and Control[J]. October, 2001, 34(8): 245-247
- [2] 何正嘉, 赵纪元. 机械设备非平稳信号的故障诊断原理及应用[M]. 北京: 高等教育出版社. 2000: 50~55
- [3] Yu, Dejie Cheng, Junsheng, Yang, Yu. Application of EMD method and Hilbert spectrum to the fault diagnosis of roller bearings. Mechanical Systems and Signal Processing[J], 2005, 19(2): 259-270
- [4] Holroyd, Trevor J. The application of AE in condition monitoring. Non-Destructive Testing and Condition Monitoring[J]. August, 2005, 47(8): 481-484
- [5] 骆志高, 陈鹏等. 用于机械诊断的最佳特征参数自动生成法[J]. 农业机械学报, 2000, (6): 85-88.
- [6] 陈鹏, 丰田利夫. 征兆参数的逐次自动再生(重组)方法及模糊诊断隶属函数的认知方法(中)[J]. 中国设备管理, 1999, (5): 31-32.
- [7] Zhang. Xinming, He. Yongyong, Hao. Rujiang, Chu. Fulei. Parameters optimization of continuous wavelet transform and its application in acoustic emission signal analysis of rolling bearing. Chinese Journal of Mechanical Engineering (English Edition)[J]. April, 2007, 20(2): 104-108

# 基于小波包遗传算法的冲压模具故障识别研究

作者: [骆志高](#), [王祥](#), [李举](#), [范彬彬](#), [郭啸栋](#)  
 作者单位: [江苏大学机械工程学院 镇江 212013](#)

## 相似文献(10条)

### 1. 期刊论文 [冯有前](#), [FENG You-qian](#) [小波包基的一种选择方法](#) - [空军工程大学学报\(自然科学版\)](#) 2005, 6(1)

小波包库包含了很多小波包基,这些基能够处理信号的不同分量。因此,选择合适的小波包基,就可以提取信号的特征。在遗传算法和散度分类准则的基础上,提出了小波包基的选择方法,并且给出了实例。通过实例验证,本文提出的方法是可行的。

### 2. 期刊论文 [张亚楠](#), [魏武](#), [武林林](#), [ZHANG Yanan](#), [WEI Wu](#), [WU Linlin](#) [基于小波包Shannon熵SVM和遗传算法的电机机械故障诊断](#) - [电力自动化设备](#) 2010, 30(1)

针对电机机械多故障同时诊断问题,基于小波包、Shannon熵、支持向量机(SVM)和遗传算法,提出了一种电机机械故障诊断新方法,称之为WFSSG法或多模型融合法。该方法选择容错性强的Shannon熵作为特征参数,通过对振动信号进行基于DMeyer小波的小波包分解,提取振动信号的小波包Shannon熵为特征向量,将特征向量作为多类别SVM的输入,具有较高的去噪能力;在训练SVM时,与传统方法多采用试凑法选择参数不同,该方法采用遗传算法对SVM的参数进行全局寻优,使SVM获得最佳的分类型性能,具有更高的识别准确率。采用凯斯西储大学提供的电机机械故障数据进行实验,结果证明该方法具有很好的可靠性和准确性。

### 3. 学位论文 [黄可坤](#) [小波包在人脸识别中的应用](#) 2004

人脸识别是模式识别领域的一个重要研究课题,但人脸图像是一种非平稳信号,用于分类的特征往往包含在局部的时频信息中,用一般的变换方法提取有效特征比较困难。小波变换是近年来发展起来的一种分析非平稳信号的有效方法,而且可以获得与人的视觉特性更为接近的多尺度的提取特征的效果,于是小波被人们应用于人脸识别中。而小波包变换具有任意的多尺度分解特性,可以提供更丰富的基以供分类选择。本文把原始的基于小波包进行特征提取的方法(Local Discriminant Basis, LDB)应用于人脸识别之中,并主要做了以下三方面的工作:(1)原始的LDB以类能量的差异为判据选择最优基及其小波包系数特征,这个判据并不是模式分类问题中的最佳判据,针对这个问题本文系统研究了各种可分性判据,并提出了在LDB中更有效的判据。(2)因为前d个单独最有效的特征并不一定是最有效的(数量为d)的特征组合,对不满足线性可加的判据,本文引入遗传算法寻找最优特征组合,去掉一些对分类无用或者有害的特征。(3)用LDB所选取的特征仍然比较大,而且受光照姿势的影响仍然比较大,本文用基于Fisher准则的方法把LDB所提取的特征再进行线性重组,进一步降维,并且在尽量保持类间差异的同时压制了类内的差异,在ORL数据库上随机选取每人5幅人脸图像做训练,剩余的用来识别,进行50次实验取平均识别率,特征提取方法是93.14%,Fisher脸方法是91.20%,原始的LDB方法是96.14%,而本文提出的新的LDB的方法达到了97.77%。在Ferret数据库中,特征提取方法的平均识别率是79.17%,Fisher脸方法是92.31%,原始的LDB方法是68.43%,而本文的方法达到了93.71%。

### 4. 期刊论文 [陈伟根](#), [邓帮飞](#), [CHEN Wei-gen](#), [DENG Bang-fei](#) [小波包能谱熵与神经网络在断路器故障诊断中的应用](#) - [重庆大学学报\(自然科学版\)](#) 2008, 31(7)

提出了一种以振动信号小波包能谱熵为特征量的断路器故障神经网络诊断方法。利用小波包分解原理将高压断路器振动信号分解到不同频段中,计算各频段的能谱熵值,以此构造小波包能谱熵向量作为神经网络的输入向量,并利用遗传算法对网络的连接权重进行了优化。引入置信度的概念,对改进神经网络输出的故障模式识别结果进行评价。通过试验分析结果表明了该方法的有效性,改进后的神经网络具有新故障模式的识别功能。

### 5. 学位论文 [祝诗平](#) [近红外光谱品质检测方法研究](#) 2003

在中国加入WTO后,利用近红外光谱技术进行快速、准确的农产品品质检测技术与方法研究非常迫切。该文在这种背景下,研究了近红外光谱品质检测技术与方法。主要研究内容如下:1.针对剔除异常样品常采用的ODO方法具有将非异常样品错误地当作异常样品的局限性,提出了“二审”剔除法(ODT),采用一次“回收”算子(CAD),使最终模型保留了更多的样品。2.“二审”剔除法(ODT)权给予了一次申诉,该文又提出了基于遗传算法的样品选择方法(SSGA)。遗传算法能够在每一代迭代中以某种概率(变异率),将已鉴定为异常的样品,重新标记为正常样品,给予了异常样品多次申诉的机会,保证了最后选出的校正集样品组合是最佳的。3.针对L00-CV的计算时间很长,该文对使用拟合残差计算L00-CV预测残差的PR/FR方法,进行了改进,提出以原始光谱 $A \cdot nxp$ 的主成分得分矩阵 $S \cdot nxr$ 代替原始光谱估算L00-CV预测残差的PR/FR-PCA方法,大大缩短计算时间,也避免了 $A'$ 矩阵不满秩无法求逆的问题。4.针对以每个波长一个染色体基因的WSGA方法在波长数目较大时搜索空间太大的问题,该文提出了基于遗传算法的近红外光谱波长区间选择方法(RSGA),将全谱区间的预选子区间数作为染色体的位数,以 $IR/(1-RMSPCV)$ 作为优化目标函数,经SSGA优化选择谱区后,不仅波长点数减少,而且L00-CV预测值与标准值的相关系数得以提高,RMSPCV得以减少。5.系统研究和比较了小波及小波包与经典的PLS-NIR相结合的四种不同方法:WVTR-PLS-NIR、WPTDR-PLS-NIR、WVAC-PLS-NIR、WVAC-PLS-NIR。相对于经典的PLS-NIR定量模型,该四种方法均有消除原始光谱噪声的作用,所建立模型均具有更好的预测能力。其中WVAC-PLS-NIR方法,算法最简单,进行PLS-L00-CV和建立最终模型的时间最短。6.提出了以小波包分解低频系数矩阵代替原始光谱矩阵进行近红外光谱样品选择的思想,对ODO、ODT及SSGA进行了改进,形成三种新方法:WVAC-ODO、WVAC-ODT、WVAC-SSGA,大大减少了算法运算时间,提高了算法效率。7.提出了小波及小波包与经典的MBP-NIR神经网络定量分析方法相结合的四种不同方法:WVAC-MBP-NIR、WVAC-PCA-MBP-NIR、WVAC-PCA-MBP-NIR、WVTR-PCA-MBP-NIR、WPTDR-PCA-MBP-NIR,并给出了它们的算法原理。8.分别应用五种PLS-NIR定量分析方法和六种MBP-NIR神经网络定量分析方法,对原始光谱和加噪光谱进行了实例比较分析。表明:十一种方法均可用作近红外光谱定量分析;对于含噪声光谱,经典PLS-NIR的预测效果最差;小波及小波包与PLS-NIR和MBP-NIR相结合,均有消除原始光谱中噪声的作用;用小波包能谱熵法进行特征提取,完成了从模式空间到特征空间的转换,为数据融合提供了可靠而准确的特征级数据。数据融合作为一门跨学科的综合信息处理技术,显示了进行煤岩界面状态识别的强大优势。本文针对BP网络容易陷入局部极小的缺点,用遗传算法对神经网络进行优化,建立了遗传神经网络模型,针对煤岩界面识别的具体问题,确定了遗传神经网络的具体结构和训练算法:

### 6. 学位论文 [于凤英](#) [基于遗传神经网络的煤岩界面识别方法的研究](#) 2007

煤岩界面识别系统能使采煤机具有自动追踪煤岩界面的能力,可靠的识别系统在经济效益和安全作业两方面都具有突出的优点,它能提高煤层的回采率;降低煤中的研石、灰份和硫的含量;提高采煤作业效率;减轻设备磨损;是实现采煤自动化的关键设备之一。目前各研究方法所使用的都是用单类型传感器进行识别,由于每个传感器都有其特定的工作精度与适用范围,因此用单传感器采集信号有一定的局限性,传感器本身的故障与失灵等都会造成误判。因此为了使煤岩界面识别更具有可靠性、可行性,研制开发多传感器识别系统成为必要。因此本课题采用了多类型传感器拾取采煤机响应信号并进行多信号特征提取与数据融合的煤岩界面识别方法,提高了识别率。

本文在采煤机煤岩界面识别物理模拟系统的基础上,做了大量试验,通过试验采集了大量试验数据,为数据处理准备了充分的数据信息。

鉴于小波分析方法的诸多优点,本文采用小波包技术对信号进行特征提取。通过基于小波包分解的能量分布提取方法能够确定各传感器信号的敏感频段,提取出各特征值。用小波包能谱熵法进行特征提取,完成了从模式空间到特征空间的转换,为数据融合提供了可靠而准确的特征级数据。

数据融合作为一门跨学科的综合信息处理技术,显示了进行煤岩界面状态识别的强大优势。本文针对BP网络容易陷入局部极小的缺点,用遗传算法对神经网络进行优化,建立了遗传神经网络模型,针对煤岩界面识别的具体问题,确定了遗传神经网络的具体结构和训练算法:

- 1、选择实数编码方式,缩短个体编码的长度,将网络的权值及阈值同时进行编码。
- 2、设计能正确表现神经网络性能的适应度函数,同时考虑网络结构对神经网络泛化性能的影响。
- 3、设计并改进了适用于实数编码遗传算法的进化算子,避免早熟收敛现象的发生。

结果表明可用试验数据对神经网络、遗传神经网络进行训练和仿真。基于遗传神经网络的数据融合能够进行状态识别并具有较高的识别精度,基于遗传神经网络的多传感器数据融合技术在煤岩界面识别中是可行的。

### 7. 期刊论文 [肖成勇](#), [石博强](#), [王文莉](#), [李友荣](#), [XIAO Cheng-yong](#), [SHI Bo-qiang](#), [WANG Wen-li](#), [LI You-rong](#) [基于小波](#)

针对齿轮早期故障的特征不明显,提出了一种基于小波包和进化支持向量机的齿轮故障诊断方法,该方法既充分利用了小波包优良的时频局部化特性,又利用了支持向量机在小样本情况下出色的学习性能和良好的推广特性,以及遗传算法的全局优化能力。在齿轮试验台上的应用结果表明,经过特征提取和参数优化后,提高了支持向量机的分类能力。

## 8. 学位论文 杨帮华 自发电脑机接口技术及脑电信号识别方法研究 2006

脑机接口是指一种不依赖于人脑的正常输出通路的脑-机通讯系统,是一种新的人机接口方式。它的实质是通过脑电信号推断人的想法或目的,从而实现人机交流。脑机接口既是人类了解和提高脑功能的重要手段,又是一种全新的通讯和控制方式,有望提高人类的生活质量。它在残疾人康复、正常人辅助控制、娱乐、脑认知等领域有广泛的应用前景。

脑机接口包括两种类型:基于自发电脑的脑机接口和基于诱发脑电的脑机接口。其中,基于自发电脑的脑机接口依赖于自发电脑信号。首先,人进行特定思维活动,产生特定模式的自发电脑信号;其次,自发电脑信号借助高性能的生物电信号采集系统进行记录,经过设计的数据处理算法把脑电特征实时地提取出来,进而进行自动分类识别,从而实时判断出当前人所处的思维状态;最后,通过计算机将判断出来的思维状态翻译成预先设定的控制命令,实现人脑对计算机等外部设备的直接控制。本文对自发电脑机接口技术及脑电信号识别方法进行探讨,首先分析和探讨了其涉及的技术,在此基础上设计了脑机接口系统;接着对自发电脑的模式识别技术进行深入研究,提出和应用了若干模式识别方法,并用标准竞赛数据进行初步检验;最后依据建立的实验系统,设计基于运动想象的实验范例,用获取的实验数据对这些模式识别方法进行检验。

基于自发电脑的脑机接口主要涉及三项技术:信号产生与记录、信号模式识别、实际应用。脑机接口属于交叉研究,涉及多个学科:神经科学、生理学、心理学、计算机科学、康复医学等,目前对整个系统缺乏具体详细的描述,这些技术的分析和探讨为脑机接口系统的建立、设计与研究提供了指导。基于这些技术,设计了脑机接口系统。

在脑机接口涉及的三项技术中,信号模式识别最为重要,关系到能否将输入正确地转换为输出。考虑本学科的研究特点和模式识别在脑机接口研究中的重要性,本文主要对模式识别技术进行深入研究。模式识别主要包括三个环节:特征提取、特征选择和分类。本文的研究重点紧密围绕这三个环节,以期提高脑机接口系统的识别精度。目前,较低识别精度是限制脑机接口发展的一个重要因素。

特征提取是指从信号中提取有用信息,形成初始特征,为后续不同脑状态的区分提供基础。本文在分析现有特征提取方法存在问题的基础上,提出了基于小波变换系数及系数均值的特征提取、基于小波包分解系数及子带能量的特征提取、基于小波包最优基的自适应个性化特征提取,并将提出方法与现有的基于自回归模型系数的特征提取、基于传统时-频相结合的特征提取进行比较。脑电信号是典型的非平稳信号,小波及小波包分解可以更好地分析此类信号。此外,脑电信号具有个体差异性,提出的各种方法中,基于小波包最优基的自适应个性化特征提取可自动为每个使用者选择特定的最优表达,从而使每个实验者获取最佳特征,可以更加有效地提取自发电脑信号特征。

特征选择是从众多的特征中选择一个最佳的特征子集,以期改善分类器的识别性能。将基于自适应遗传算法的特征选择应用于脑机接口,并与现有的基于简单遗传算法的特征选择、基于Fisher距离的滤波特征选择进行比较。分类是依据输入的特征子集,输出特征应该归属的类别。将基于概率神经网络的分类、基于优化支持向量机模型参数的分类应用于脑机接口,并与现有的线性分类、基于经验支持向量机的分类进行比较。由于特征选择和分类密不可分,在特征选择与分类相结合的方法中提出了用自适应遗传算法对特征选择与支持向量机模型参数联合优化的识别方法,该方法可以有效进行特征选择和分类。

对所研究的方法进行了理论分析之后,为检验这些方法的有效性,首先对2003年脑机接口国际竞赛的标准数据进行了分析处理来初步验证,然后依据建立的实验系统,设计实验范例,并对实验数据进行分析处理。本文设计了基于三种运动想象任务(想象左手拍篮球,想象右手拍篮球,想象右脚踩刹车)的实验范例。以识别精度为指标,将研究的模式识别方法与其它现有的识别方法进行比较,结果表明研究的方法能够取得更好的效果。

探讨的自发电脑机接口技术为其研究提供了指导。研究的模式识别方法为其实现提供了更好的解决思路。本文所做的研究将为下一步建立基于自发电脑的脑控机器人实用系统奠定了基础。由于实验数据的局限性,研究的模式识别方法的鲁棒性有待进一步验证,基于自发电脑的脑机接口离实际应用还有很大的距离。在论文的最后,对整个论文的工作和研究结果进行了总结,并提出了下一步研究内容。

## 9. 学位论文 李秋丹 数据挖掘相关算法的研究与平台实现 2004

该文以辽阳地区电力调度决策分析系统和青岛交通银行信用卡系统为实际应用背景,围绕着数据挖掘系统应当具备的特点,分别从交互式、多层次挖掘,复杂数据类型——时间序列相似挖掘,集成化挖掘,挖掘平台的构建及行业应用角度,对数据挖掘的相关方法进行探讨。在此基础上,设计并实现了一个基于数据仓库的联机分析挖掘平台。主要研究内容包括:一、研究挖掘空间定位问题。挖掘空间定位就是寻找反映所分析问题(分类/预测)的重要维度的过程,这一过程实质上是知识的约简过程。该文提出了一个解决挖掘空间定位问题的知识约简方法。该方法将粗集理论与并行遗传算法有机结合,具有良好的鲁棒性和全局寻优能力,可以快速、有效地帮助用户定位挖掘空间,提高挖掘效率和准确性。该问题的解决对于数据仓库中立方体的构建也有重要的指导意义。这同时也表明,并行思想的引入对于知识约简在解决大数据量问题时具有较大的实际意义,有广阔的应用前景。二、研究时间序列数据的相似匹配问题。该文提出了基于小波包变换的时间序列相似匹配新方法,并用于时序相似模式挖掘。该方法在原有小波变换方法的基础上,充分利用小波包可对信号进行更加精细分析的优点,同时考虑尺度信息和细节信息,使得约简后的特征向量包含更多的时间序列有效信息。用多维索引结构R树存储这些特征向量,使用欧几里德距离作为相似尺度,进行范围查询和k近邻查询。将该方法应用于电力负荷相似模式挖掘,得到了较好的效果,挖掘出的相似负荷模式对于调度计划安排、电力系统经济运行具有重要的实际意义。三、研究粗集和神经网络的集成化问题。为充分发挥粗集和神经网络的优势,提高挖掘精度,该文通过前面提出的并行遗传约简算法快速选取神经网络的输入空间和训练数据,采用神经网络对精简后的数据进行挖掘。此集成化方法充分发挥了二者的优势,即粗集的约简知识的能力和神经网络精度高的特点,应用于银行信用卡客户特征分析中,取得了很好的效果。并行约简算法的引入可以进一步提高粗集和神经网络集成化方法的整体挖掘效率。四、以上述研究内容为基础,论述基于数据仓库的联机分析挖掘平台SEI OLAM及其在地区电力调度决策分析和银行卡分析领域中的应用。该文首先给出了SEI OLAM的体系结构和主要功能;接着介绍了其各组成部分——数据仓库、联机分析及数据挖掘的设计与实现方法。根据行业应用特点,平台算法库中除包含常用挖掘算法外,还加入了该文上面提出的方法,在行业应用中取得了良好的效果。最后,给出了该平台在地区电力调度决策分析、银行卡分析领域的应用实例。作为该文主要研究内容的实际工程背景,这些项目最终能够开发成功使得该文所提方法和所开发平台的有效性和实用性得到了很好的验证。

## 10. 期刊论文 常松, 何建敏 小波包与神经网络相结合的股票价格预测模型 - 东南大学学报(自然科学版) 2001, 31 (5)

小波包较之于小波可以更为灵活地提取分散在不同尺度上的信号特征,结合神经网络也就可获得更好的预测精度。本文按此方式建立了一种混合杂交模型用于股票市场价格波动预测,并为获得最优预测精度,本文利用遗传算法进行小波包最优分解选择和神经网络参数选择。通过对上证综指的实证研究,表明这种混合杂交模型的性能优于同类神经网络模型和基于小波分解的神经网络模型。