

文献标识码: B 文章编号: 1003-0492 (2024) 10-080-04 中图分类号: TP29

超声波探伤技术在矿山设备检验中的应用

Application of Ultrasonic Flaw Detection Technology in Mine Equipment Inspection

★ 廖家新 (安徽煤矿安全监察局安全技术中心, 安徽 合肥 230088)

摘要: 超声波探伤技术在矿山设备检验中的应用是矿山安全管理领域的重要课题。本文首先介绍了超声波探伤技术的基本原理和检测方法, 然后重点讨论了其在矿山设备检验中的具体应用; 其次提出了基于BP神经网络的矿山设备检验算法; 最后, 通过在实际矿山工作环境中进行多次试验验证了其有效性和可靠性。结果表明, 超声波探伤技术能够有效地检测出矿山设备的内部缺陷和裂纹, 为矿山设备的安全运行提供了有力保障。

关键词: 超声波探伤技术; 矿山设备检验; BP神经网络

Abstract: The application of ultrasonic flaw detection technology in mine equipment inspection is an crucial subject in the field of mine safety management. This paper discusses the practical application of ultrasonic flaw detection technology in mine equipment inspection, and verifies its effectiveness and reliability. First of all, the basic principle and detection method of ultrasonic flaw detection technology are introduced, and then its specific application in mining equipment inspection is discussed. It also proposes a mining equipment inspection algorithm based on BP neural network is proposed. Finally, multiple tests were conducted in the actual mine working environment. The results show that the ultrasonic flaw detection technology can effectively identify the internal defects and cracks of mining equipment, providing strong support for the safe operation of mining equipment.

Key words: Ultrasonic flaw detection technology; Mining equipment inspection; BP neural network

1 引言

综合机械化工作面简称为综采工作面, 是煤矿井下采煤作业的一线工作面, 在综采工作面运行的设备称为综采设备, 主要包括采煤机、刮板输送机、液压支架、破碎机等^[1]。综采设备能否稳定运行工作, 关系着

煤炭企业的生产效益。智能化开采是在煤矿自动化开采的基础上进行的提升, 它通过设备和技术的升级, 减少了人员参与, 同时提高了自动化程度, 从而确保了综采工作面的安全和效率^[2]。然而, 由于井下环境恶劣, 综采设备布置分散, 不能进行统一管理, 这导致需要工作人员巡查操作, 增加了工人工作量。在矿山设备检验中, 超声波探伤技术通过其高灵敏度和高分辨率的特点, 能够对设备的各种材料和结构进行全方位、非破坏性的检测, 为设备的安全提供了重要的依据^[3]。

2 超声波探伤技术分析

2.1 超声波探伤技术原理

超声波探伤技术是一种利用超声波在材料中传播、衍射、反射和折射特性来检测材料内部缺陷的无损检测技术。其基本原理是利用超声波在不同介质中传播速度不同的特性, 通过探头发出超声波, 当超声波遇到材料中的缺陷或界面时, 一部分能量将被反射或衍射回来。这些反射或衍射的能量被探测器接收并转化为电信号, 通过信号处理系统得到相关信息, 从而确定材料内部的缺陷位置、尺寸和性质^[4]。超声波探伤技术的应用领域非常广泛, 包括金属材料、塑料、陶瓷、混凝土等各种材料的缺陷检测和性能评估, 以及焊接接头、螺栓连接、表面质量、疲劳损伤等问题的检测和分析。

2.2 超声波探伤信号预处理

在实际系统中通过信号预处理可以去除信号中的噪声和干扰, 进而提高信号的质量和可靠性。而预处理的目的是扩大样本集空间, 降低外界因素的影响。如果

原始信号不能满足后续的处理和分析,还可以对信号进行重构,以便更好地适应后续处理的需要。因此,对原始信号进行预处理是算法设计中非常重要的一个步骤,本节将对原始数据进行小波包分解重构,以满足后续处理。在信号处理方法中,小波分解和小波包分解是两种重要的时域局部特征分析方法。小波分解在低频信号上具有较高的频域分辨率,而在高频信号上具有较高的时间分辨率。这一特性使得小波分解能够在一定程度上满足电机故障信号处理的需求。然而,其在时间和频率分辨率上的差异也限制了其应用范围。相较于小波分解,小波包分解能够提供更高的时域分辨率^[5]。通过将信号分解到不同的频带,小波包分解可以更精确地计算各频带内的能量值,即熵。这一特性使得小波包分析在处理电机故障信号时具有更广泛的适用性。小波包变换与普通的线性变换本质相同,在能量守恒方面也有相似的特点,则有:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |f(t)|^2 dt = \sum \sum |k_{\alpha,\beta}|^2 f \quad (1)$$

式(1)中: $f(t)$ 为原始信号, $k_{\alpha,\beta}$ 为小波包分解系数。由此可知,小波包分解系数与能量量纲有关。因此,可使用 $k_{\alpha,\beta}$ 系数来比较不同频率段的信号能量大小。电机故障信号特征提取步骤如下:

(1) 选择基小波。选择db1~db4中的基波对信号进行小波包分解,每个节点代表着不同的故障特征。得到第三层小波包分解后各个节点所代表的频带范围,如表1所示。

表1 频带分解示意图

节点号	(3,0)	(3,1)	(3,2)	(3,3)	(3,4)	(3,5)	(3,6)	(3,7)
频段(Hz)	0~62.5	62.5~125	125~187.5	187.5~250	250~312.5	312.5~375	375~437.5	437.5~500

(2) 计算每个故障特征频带内的能量。信号经过小波分解后,开始计算每个频带内的能量占比,从而通过频带对故障特征进行描述。例如第3层的第 v 个频段信号用 $S_{3,v}$ 表示,则对应的能量值用 $E_{3,v}$ 表示,存在:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |S_{3,v}|^2 dt = \sum_{k=1}^7 |x_{k,v}|^2 \quad (2)$$

式(2)中: $x_{k,v}$ 作为重构信号 $S_{3,v}$ 离散点的幅值; n 为采样点的总数目。各频带能量总和 E_3 即式(3):

$$E_3 = \sum_{v=0}^7 E_{3,v} \quad (3)$$

(3) 归一化处理。对各故障特征的频带所占能量进行归一化处理,最后得到一个8维的特征向量即式(4):

$$E'_{3,v} = (E'_{3,0}, E'_{3,1}, E'_{3,2}, E'_{3,3}, E'_{3,4}, E'_{3,5}, E'_{3,6}, E'_{3,7}) \quad (4)$$

3 基于BP神经网络的矿山设备检验算法

3.1 BP神经网络

神经网络模型的主要特点是具有非线性映射能力,可以对非线性关系进行建模,并且可以处理大量的输入和输出数据。另外,神经网络模型还具有容错性和适应性,即当部分神经元损坏或失效时,神经网络模型仍然能够正常工作,同时可以根据不同的任务和数据自适应地调整其结构和参数。目前其在模式识别、自动控制、图像处理、数据预测等方面得到了广泛应用。BP神经网络是一种最具代表性的人工神经网络,在数据模型预测中应用广泛,它是根据误差反向传播算法训练的多层前馈神经网络。神经网络算法模型将每次根据训练得到的结果与预想结果进行误差分析,进而修改权值和阈值,一步步得到输出与预想一致的模型。

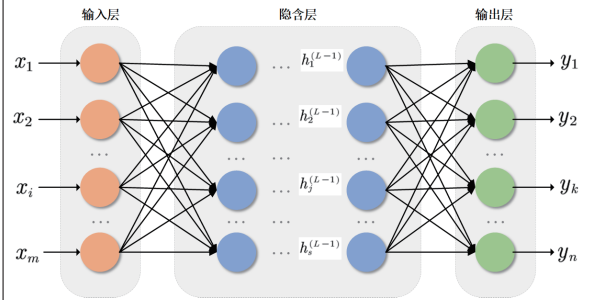


图1 BP网络拓扑结构

如图1所示,BP网络与感知器模型不同,传递函数必须是可微的,不能使用感知器网络中的二值函数。常用的传递函数包括Sigmoid型的对数、正切函数或线性函数,这些函数使BP网络的传递函数处处可微。这使得BP网络能够使用非线性超平面组成的区域进行分类,从而产生比线性划分更加精确的结果,容错性也更好。

为具体说明BP网络的学习过程,做如下约定:

(1) 输入层结点数为 I , 隐含层结点数为 J , 输出层结点数为 K ; 相应各层结点的编号 $i = 1, \dots, I$; $j = 1, \dots, J$; $k = 1, \dots, K$ 。

(2) $[W_{ji}]$ 表示输入层与隐含层各结点之间的连接权重矩阵, $[B_j]$ 表示隐含层各结点的阈值向量。

(3) $[X]$ 表示输入层的输入, $[T]$ 表示输出层的期望输出。

(4) 输入层的输出也是 $[X]$, 隐含层的输出为 $[H]$, 输出层的实际输出为 $[Y]$ 。

隐含层和输出层的激励函数采用Sigmoid函数:

$$F(z-b) = \frac{1}{1 + \exp[-(z-b)]} \quad (5)$$

式(5)中: z 为神经元收到的加权信号和; b 为神经元的阈值。

隐含层第 j 号结点的输入和阈值分别为 z_j 和 b_j , 且:

$$z_j = \sum_{i=1}^i w_{ji} x_i \quad (6)$$

3.2 BP神经网络训练步骤

训练一个BP神经网络主要包括以下步骤:

(1) 随机初始化相邻两层的连接权重及偏差 w_{ji} 、 v_{ji} 、阈值 θ_{i0} 与 γ_{i0} 。

(2) 将训练集作为输入信号输入神经网络, 设第 k 组信号为:

$$X^k = (x_1^k, x_2^k, \dots, x_m^k) \quad (7)$$

式(7)中, X^k 为第 i 组输入数据, m 为输入层节点的数量, 其节点数由实际需求决定。

(3) 计算中间层节点输出, 由于输入层只是将从数据中得到的信号原样输出, 故输入到隐藏层的信号为:

$$A^k = (a_1^k, a_2^k, \dots, a_p^k) \quad (8)$$

式(8)中, p 为隐藏层节点个数, $f1$ 为隐藏层的激活函数。

(4) 计算输出层节点的输出, 设输入到输出层的信号为:

$$C^k = (c_1^k, c_2^k, \dots, c_p^k) \quad (9)$$

式(9)中, n 代表输出层所具有的节点个数; $f2$ 为输出层的激活函数。2、3、4 这种信号按照输入层-隐藏层-输出层的传播为信号的正向传播。

(5) 利用实际输出的信号计算输出层节点误差, 再计算隐藏层节点误差。

(6) 调整隐藏层与输出层之间的权值以及输出层节点的偏差。

(7) 调整输入层-隐藏层的权值以及隐藏层节点所具有的偏差。5、6、7 这种权值及偏差的逆向传播为误差的反向传播。

(8) 判断训练集是否全部取完, 若全部取完进行步骤9, 否则返回步骤2。

(9) 判断误差是否达到上限, 若达到上限则直接结束训练。或者需要达到所设置的训练次数, 才能结束训练次数。

4 实验结果分析

4.1 探伤检测实验

为了验证超声波探伤的检测效果, 对超声波探伤进行焊缝检测实验。选择带有焊缝的钢制壁面, 对其喷洒上磁粉液, 然后使超声波探伤机构横跨在焊缝上, 接通电源让超声波探伤运动, 同时对检测磁轭通电进行检测, 在上位机使用摄像头对其检测结果进行观测, 同时对检测的焊缝进行循迹检测, 如图2所示。

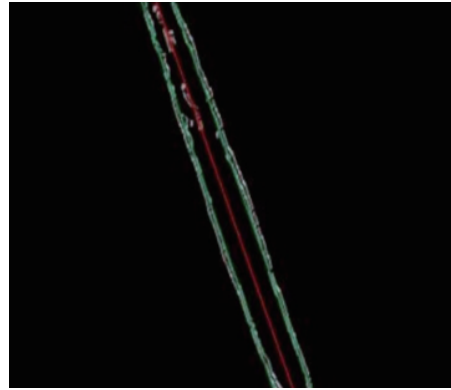


图2 超声波探伤循迹检测

通过实验可知, 通过超声波探伤可以对检测的焊缝状态进行实时的观测, 通过观看磁化后的磁粉是否具有连续性情况, 从而判断焊缝是否发生缺陷, 上位机同时还能实时地观察磁轭对焊缝的检测位置, 尽量保证焊缝在检测磁轭的中间位置, 从而保证超声波探伤的检测效果。

4.2 BP神经网络在矿山设备检测实验

在MATLAB中训练BP网络算法模型的过程如下:

(1) 载入数据。该数据经过小波包处理后, 将数据导入到网络输入变量P中, 然后输入与其维数相等的目标变量T。本次训练共有100组输入变量以及与其维数相等的目标变量。在目标变量中, 我们对三相电压不平

衡、转子偏心、转子断裂、电机正常四种信号进行编号。(2) 设置网络结构。在BP神经网络结构设置中, 将输入层节点数设置为2、隐含层节点数设置为5和输出层节点数设置为1。(3) 设置网络参数。将训练次数设置为1000、学习速率设置为0.01和训练目标最小误差设置为 0.001。(4) 开始训练。训练结束后查看本次训练状态, 发现本次训练在第24轮得到最佳状态。(5) 查看训练结果。本次训练取得预期效果, 训练结果如图3所示。

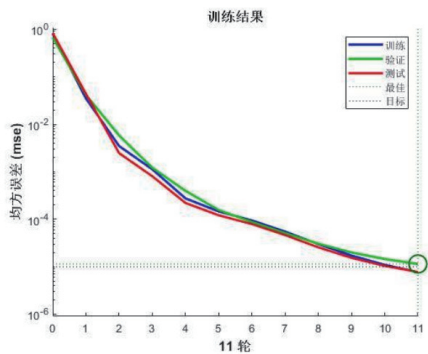


图3 训练结果图

5 结论

本研究通过对超声波探伤技术在矿山设备检验中的应用进行了深入探讨和研究, 揭示了其在该领域中的重要意义和潜在贡献。同时, 本文提出了相应的建议和展望, 为相关领域的研究和实际应用提供了新的思路和借鉴。**AP**

作者简介:

廖家新 (1984-), 男, 安徽六安人, 高级工程师, 硕士, 现就职于安徽煤矿安全监察局安全技术中心, 研究方向为矿山机电设备的检测检验技术及标准。

参考文献:

[1] 王洪潇, 王春生, 邱建财, 等. 基于超声波无损检测的电阻点焊质量及性能评估可视化技术研究[J]. 电焊机, 2023, 53 (10): 59 - 64.
[2] 郝烁. 超声波无损检测技术的发展与应用[J]. 石材, 2024 (4): 84 - 86.
[3] 李金淼, 杨四清. 钢轨超声波探伤损伤识别技术研究[J]. 无损探伤, 2024, 48 (1): 29 - 33.
[4] 王伟军. 超声波探伤技术的发展及在机械设备状态监测故障诊断中的应用[J]. 中国设备工程, 2023 (14): 186 - 188.
[5] 郝天宇. 超声波无损检测技术应用[J]. 冶金与材料, 2023, 43 (4): 91 - 93.