

文章编号:1671-251X(2013)09-0016-05

DOI:10.7526/j.issn.1671-251X.2013.09.005

王维琴,李晓明,田慕琴,等.岩巷掘进机截割机构动载荷识别装置设计[J].工矿自动化,2013,39(9):16-20.

岩巷掘进机截割机构动载荷识别装置设计

王维琴, 李晓明, 田慕琴, 宋建成, 王伟, 闫琳

(太原理工大学 煤矿装备与安全控制山西省重点实验室, 山西 太原 030024)

摘要:针对现有超重型岩巷掘进机自动截割能力差、稳定性差以及截割动载荷实时识别难度大等问题,结合巷道开采的特点,设计了一种基于RBF神经网络的岩巷掘进机截割机构动载荷识别装置,详细介绍了该识别装置的硬件和软件设计。该装置以工控机为分析中心,通过对截割电动机电流和截割头振动的实时监测,利用多传感器融合技术和RBF神经网络方法进行信号处理和智能分析,实现截割岩石动载荷特征提取及识别,以达到对不同硬度岩石的有效区别。

关键词:岩巷掘进机;截割机构;动载荷识别;RBF神经网络;传感器

中图分类号:TD632 文献标志码:A 网络出版时间:

网络出版地址:

Design of dynamic load identification device for cutting mechanism of rock roadheader

WANG Wei-qin, LI Xiao-ming, TIAN Mu-qin, SONG Jian-cheng, WANG Wei, YAN Lin

(Shanxi Key Laboratory of Coal Mining Equipment and Safety Control,

Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract:In view of problems of poor ability of automation cutting, bad stability and difficult real-time identification of dynamic load of cutting of extra-heavy type rock roadheader, a kind of dynamic load identification device for cutting mechanism of rock roadheader based on RBF neural network was designed according to characteristics of mining roadway, and designs of hardware and software of the identification device were introduced in details. To take industrial computer as analysis center, the device can real-timely monitor signals of cutting motor current and cutting head vibration, and uses multi-sensor fusion technology and RBF neural network to realize signal processing and intelligent analysis, so as to realize feature extraction and recognition of dynamic load of cutting rock and achieve effective distinction of rocks with different hardness.

Key words:rock roadheader; cutting mechanism; identification of dynamic load; RBP neural network; sensor

0 引言

目前,岩巷掘进机在我国煤矿巷道开采上的应用越来越多,但掘进技术仍处于起步阶段^[1]。煤矿井下环境复杂恶劣,掘进机的操作仍以主副司机密切配合为主,截割头转速和悬臂进给速度难以根据岩石硬度自动调节^[2]。可靠的动载荷识别技术是

实现截割头转速和截割臂摆速自动调节和无人自动操作的关键技术之一,是截割机构稳定工作的必要条件^[3],是智能化岩巷掘进机研制的原始依据^[4]。

近年来,对掘进机截割机构动载荷分析的研究很多,由于掘进机机型庞大,工作环境特殊,试验困难,现场测试数据极其匮乏,大多数仍处于理论、仿真研究阶段^[2,5]。截割状态下,截割机构存在极强

收稿日期:2013-02-25。

基金项目:国家高技术研究发展计划(863计划)资源环境技术领域重大项目(2012AA06A405)。

作者简介:王维琴(1986—),女,河北保定人,硕士研究生,研究方向为电力电子与电力传动,E-mail:sunnyqinyin@sina.cn。

的干扰,非线性度高,不确定性强,与动载荷状态信息之间不存在明确的函数关系,截割岩石动载荷识别由此变得困难复杂^[6]。RBF (Radial Basis Function) 神经网络具有并行分布高速处理、强容错性、自组织和自学习的特点,适合于分析不确定性强且较为复杂的非线性系统。为了更加全面可靠地反映掘进机截割负载的真实状态,本文提出了一种基于 RBF 网络的掘进机截割机构动载荷识别装置的设计方案,实现了截割岩石动载荷的实时监测及识别,对截割机构的截割自动控制调节具有非常重要的现实意义。

1 装置硬件设计

1.1 监测量的确定及装置组成

在截割工况下,岩石硬度发生变化时,较大的振动会作用于截割头上,同时截割电动机的电流也会发生相应的变化。因此,确定反映截割机构动载荷情况的物理参量为截割头的振动及截割电动机的电流信号。

截割过程中,截割头处的截割振动远大于悬臂上的振动,为能更加直接地反映截割时动载荷的大小,选择将加速度传感器安装在截割头上。掘进机处于截割状态时,截割头 360°无限制连续旋转,加速度传感器均匀安装在截割头体上,会跟随截割头一起旋转,传感器的信号输出线需要由旋转部件连接到非旋转部件上,直接连接会产生信号线缠绕问题。为解决这一问题,本文选择电旋转连接器——滑环作为信号线与动力线的旋转连接。滑环的内部结构及安装示意图如图 1 所示。

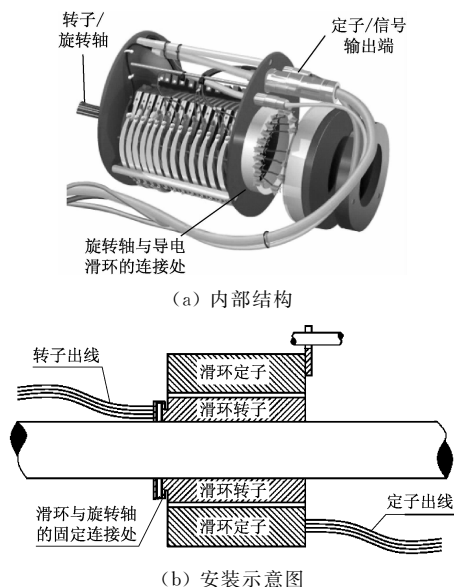


图 1 滑环内部结构及安装示意图

滑环由定子和转子 2 个部分构成。工作时,转子固定在转轴上跟随转轴一起转动,定子与外界固定,传感器的信号输出线与转子相连,经过滑环后的信号输出线和电源线由定子引出。滑环采用刷束和触点多点接触的方式,可保证在低摩擦力下完全可靠接触,将振动信号从转动位置传输到固定位置,且能避免动力和信号之间,信号与信号之间的干扰问题,防止外界对滑环内部的电磁干扰,具有较高的可靠性。

岩巷掘进机截割岩石动载荷识别装置由设备层、实时处理部分和智能识别部分构成,如图 2 所示。设备层主要由截割机构自身、安装在其上的监测传感器及信号传输装置构成。实时处理部分包括数据采集卡 and 控制器,可实现动载荷信号的放大、滤波等初步调理。智能识别部分以工控机为分析中心,通过对截割电动机电流和截割头振动的实时监测,利用多传感器信息融合技术和 RBF 神经网络方法进行信号处理和智能分析,实现截割岩石动载荷特征提取及识别,以达到对不同硬度岩石的有效区别。

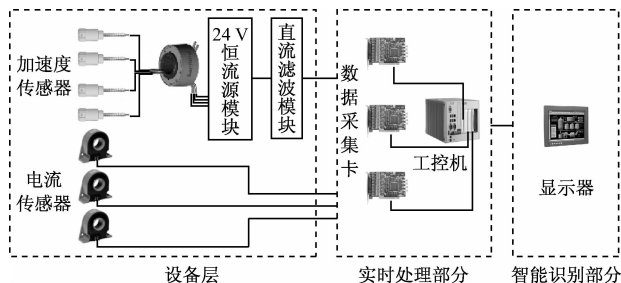


图 2 识别装置整体结构

1.2 传感器的选择及安装位置的确定

监测传感器是截割机构动载荷识别装置的感知部分,用来测量表征截割机构工作状态的各种参数。

振动信号是动载荷识别的重要参量之一。本文选择压电式加速度传感器作为测量工具。它集传统的压电式传感器和电荷放大器于一体,能直接与电旋转连接器相连。其特点:低阻抗电压输出型,采用二线输出方式,即一根地线,一根电源线和信号线的共用线;采用恒电流电压源供电,直流电部分在恒电流电源的输出端部分通过高通滤波器滤除。本安型加速度传感器型号为 AC901-3C,其谐振频率为 15 kHz,灵敏度为 10 mV/g,供电电压为 DC18~28 V,测量范围为 0~500 g,符合国家规定的防爆等级及煤矿安全使用的要求。

截割头旋转一周,只有半周的截齿时间参与截割,且随岩石硬度的不断变化,截割头的振动强度也

发生变化。合理地安装加速度传感器才能准确地反映不同工况下截割头的振动强度。截割头为球锥形体,将球锥面等分成 4 个曲面,在球锥形体内侧的每条分割线上齿座的下面沿锥面螺旋线安装 2 个振动传感器,即沿球锥面间隔 90°安装,并且每条螺旋线上间隔排列。每条截割线上的 2 个振动传感器为一组,保证掘进机处于不同截割工况时至少有 2 组传感器所在截齿处于截割区域,同时监测截割头各个部位的振动强度。

截割电动机电流的变化最能直接且准确地反映动载荷的变化,截割电动机的电流随动载荷的变化而变化^[2]。通过调节电液比例阀的开口阀度,调整悬臂的摆速和截割头的转速来适应岩石硬度的变化,保证恒功率截割,提高工作效率。本文选择电流传感器作为截割电动机电流信号的监测工具。在规定的工作频率下,电流传感器测量精度高,而且输入输出间有良好的电隔离,绝缘耐压高于 3 kV。采用无源霍尔电流传感器 CHG-5000G 可测量交流及脉冲电流,应用较方便。它的输入额定电流(AC)为 500 A,测量范围(AC)为 0~600 A,匝数比为 1:5 000,输出额定电流值(AC)为 100 mA,线性度小于 0.5%,反应时间小于 10 μs。将 3 个霍尔电流传感器分别安装在截割电动机三相进线端位置,实时监测截割电动机三相运行电流随负载变化情况。

2 识别软件系统设计

识别软件系统是岩巷掘进机动载荷识别的主要组成部分,也是实现系统功能不可或缺的部分,在很大程度上决定了动载荷识别装置的可靠性、实用性和实时性。

动载荷识别软件系统由 4 个模块组成,分别为数据采集模块、数据处理模块、数据存储模块和 HMI 人机交互界面。其中,数据处理模块包括动载荷信号数据的初步处理、特征量提取、基于 RBF 神经网络的多传感器信息融合识别。识别软件系统流程如图 3 所示。

2.1 数据采集卡及控制器的选择

数据采集卡可实现传感器信息的采集和初步调理。为满足实时性及信息融合诊断系统特征数据输入同步性的要求,数据采集卡选用同步模拟量输入采集卡 PCI8018,其技术参数如下:AD 精度为 14 bit,同步采样频率为 80 kHz/每通道,16 路模拟量输入,FIFO 存储器深度为 8 KB,并能实现软件自动校准。PCI8018 满足加速度传感器和电流传感器

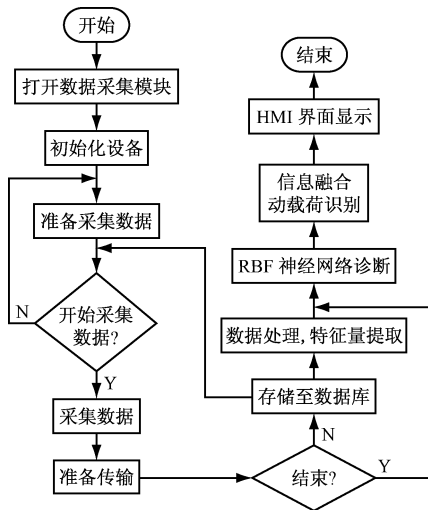


图 3 识别软件系统流程

的采样速率及 AD 转换精度等要求,故适用于多信号的同步采集。

岩巷掘进机在进行巷道的掘采时,动载荷识别装置需要对截割负载进行实时监测和识别,为增强数据处理能力和识别的准确性,本文设计的动载荷识别系统控制器采用 UNO-3074A 紧凑型工控机,它使用的是板上集成英特尔 D510、1.66 GHz 处理器,用户可根据需求安装熟悉的系统及开发软件,本系统采用 LabVIEW 进行开发。UNO-3074A 集成了 4 个 PCI 扩展槽,2 个 RS-232/422/485 串行口,2 个千兆以太网端口。

2.2 动载荷信号的特征量提取

动载荷信号特征量的准确提取是动载荷识别的基础。在截割过程中,截齿与矿岩的作用力及能量分布不连续,截割岩石动载荷信号为随机信号,其变化过程难以直接用确切的时间函数来描述,从信号本身难以直接判断出岩巷掘进机的截割状态。因此,需要对拾取到的数据进行分析 and 处理。

井下环境恶劣,动载荷信号包含很多具有高频特性的噪声信号,因此,需要先对动载荷信号进行消噪处理,然后提取出最能反映动载荷的特征量。经过小波包消噪的信号波形更贴近实际波形,本文选择采用小波包分析作为信号消噪及特征量提取的工具。在 Matlab 中,小波包消噪的实现语句如下:

$s = \text{wpdencmp}(x, \text{sorh}, 4, 'db4', \text{crit}, \text{thr}, \text{keepapp});$

其中, x 为原始信号; s 为消噪后的信号。

岩石硬度的变化使得输入信号的强度发生改变,相同频带内的能量差别较大,由此可确定出信号变化敏感的频段。在 Matlab 中,小波包能量提取的实现语句如下:

$t = \text{wpdec}(s, 3, 'db3'); \% \text{一维小波包分解}$

$e=wenergy(t); \%小波包能量$

其中, t 为一维小波包分解后的信号; e 为提取的各频段空间的特征能量。

本文采用 Daubechies 小波函数, 分别对电流和振动信号进行 4 层和 3 层小波包分解, 并进行特征能量的提取。电流信号的特征向量为 4 维; 振动信号 x 、 y 、 z 三个方向的特征向量分别为 7 维、8 维、8 维。

2.3 RBF 融合识别网络设计

应用神经网络辨识和分析不确定性较强的非线性系统, 无需对系统进行结构建模, 它的基础是通过

对系统输入和输出数据的训练, 运用实时逼近理想输入-输出特性的方法来实现对系统的识别。

2.3.1 输入层设计

RBF 神经网络输入层由信号源节点构成, 在特定的截割状态下动载荷参量信号所包含的特征量的种类相当于输入层的节点数^[6]。根据岩巷掘进机进行截割作业时截割参数的变化, 选择了动载荷监测信号为电流和振动, 以提取的这 2 种参量的特征量组成向量作为 RBF 网络的输入, 判断截割岩石的动载荷^[7]。网络输入层的节点数与特征量的种类数目相等, 即输入节点数 $N=2$ 。

2.3.2 隐含层设计

隐含层对输入信号进行非线性变换, 其变换函数是一种以径向中心为对称轴的衰减非线性非负函数, 本文选取高斯函数, 如式(1)所示。

$$\varphi_n = \varphi(\|X - T_i\|) = \exp\left(-\frac{\|X - T_i\|^2}{2\sigma_i^2}\right) \quad (1)$$

式中: X 为输入矢量; T_i 为第 i 个节点的中心向量; σ_i 为方差, 决定基函数的宽度。

2.3.3 输出层设计

岩巷掘进机面对的截割对象是岩石, 亦即岩石的硬度可以直接反映截割动载荷的大小。本文将岩石划分为 5 种硬度等级: I、II、III、IV 和 V。设定以二进制数 0 与 1 的不同组合表示, 三位二进制数即可表示 5 种硬度等级, 亦即网络输出层的节点数 $M=3$ 。设定从 I 级到 V 级岩石的硬度逐渐增大, 动载荷参量信号大小随之增大, 截割头转速和悬臂摆速逐渐减小。各参量对照见表 1。

依据动载荷参量的特性及岩石的硬度等级, 构建 RBF 神经网络对截割岩石动载荷的大小进行识别。RBF 神经网络融合识别模型及拓扑结构分别如图 4 和图 5 所示。

表 1 各参量对照表				
硬度等级	岩石硬度/MPa	RBF 识别结果	悬臂摆速	截割转速
I	<60	001	高速	高速
II	60~80	010	中高速	中高速
III	80~100	011	中速	中速
IV	100~120	100	中低速	中低速
V	>120	101	低速	低速

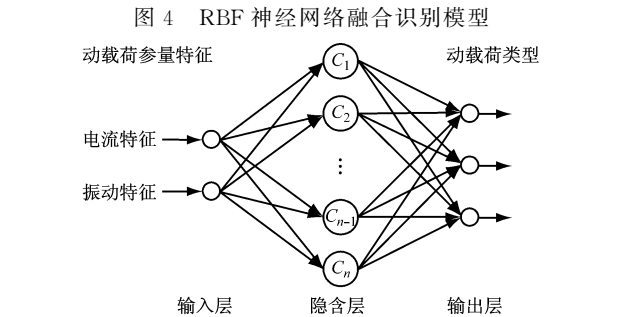
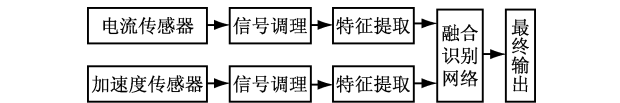


图 5 动载荷识别 RBF 神经网络拓扑结构

3 网络分析

截割机构的截割动载荷受外界环境的影响较大, 为增强识别网络的泛化能力, 将输入数据分为 2 组, 第 1 组作为训练数据, 第 2 组作为检验数据。先用第 1 组数据对识别网络进行训练, 确定网络的结构参数, 再用第 2 组数据检验网络的稳定性和可靠性。

为提高网络的训练速度, 在训练前将输入数据进行归一化处理, 即输入数据位于 $[0, 1]$ 区间内。归一化处理采用式(2)即可实现。

$$\bar{x}_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (2)$$

式中: x_i 为未处理数据; $\bar{x}_i$ 为归一化处理后的数据; $x_{\min}$ 为最小数据; $x_{\max}$ 为最大数据。

RBF 神经网络性能误差曲线如图 6 所示。将 RBF 神经网络的训练精度设定为 0.006, 从图 6 中可以看出, 经过 59 步, 性能误差指标达到 0.000 01, 满足预设的要求, 网络输出与目标输出一致。

4 结语

岩巷掘进机截割机构动载荷识别装置采用多传感器对动载荷信号进行实时采集, 并利用 RBF 神经网络对电流和加速度信号的特征值进行了融合处理, 可有效识别出动载荷的大小。测试结果表明, 该

装置可实现预期的效果,可以使不同截割工况下的截割岩石动载荷得到有效识别,为截割转速和进给速度的智能化调节提供了可靠的依据。

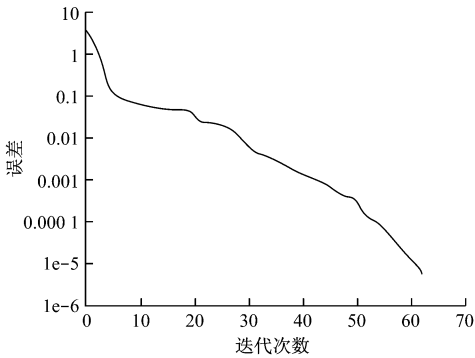


图 6 RBF 神经网络性能误差曲线

参考文献：

[1] 张兰胜,魏景生,杨阳,等. 大功率岩石掘进机的研制及应用[J]. 中国工程科学,2011,13(11):50-58.

[2] 魏景生,吴森,刘建功. 掘进机智能型自动成形恒功率截割控制系统的应用[J]. 工矿自动化,2009,35(7):118-121.

[3] 张翠平,孙志刚,霍俊杰,等. 新型煤岩识别技术在薄煤层无人综采工作面中的应用[J]. 煤矿安全,2012(1):93-96.

[4] 张鑫,杨梅. 掘进机截割头钻进工况载荷的计算机模拟[J]. 山东科技大学学报:自然科学版,2005,24(3):21-23.

[5] 王想,王清峰,谭正生. 纵轴式截割头截齿布置对破岩载荷规律的影响[J]. 工程设计学报,2012,19(1):39-42.

[6] 吴宏岐,周妮娜,王春英. 基于 RBF 神经网络的变压器故障诊断及 MATLAB 仿真研究[J]. 科学技术与工程,2010,10(5):1247-1251.