

矿用主通风机故障预警及其软件开发

付 胜, 李海涛, 朱 全

(北京工业大学 机械工程与应用电子技术学院, 北京 100022)

摘 要: 为准确确定通风机的故障、实现故障预警, 提出了矿用主通风机的故障预警原理, 并运用 VC++6.0 与 Matcom4.5 联合编程的方法, 开发出了基于信息融合技术的通风机故障预警软件。该软件采用了 BP 神经网络与 D-S 证据理论相结合的信息融合技术, 由 BP 神经网络完成特征频率到故障类型的非线性映射, 根据 D-S 证据理论对多路信号进行融合分析; 以 OPC 通讯方式与组态王运行系统进行通讯, 实现了数据的采集与结论的返回。

关键词: 故障诊断; 信息融合; 神经网络; D-S 证据理论

中图分类号: TD 441; TP 183

文献标识码: A

文章编号: 0254-0037(2007)08-0809-04

矿用主通风机作为大型煤矿固定设备, 承担着为矿井通风的重要任务, 被称为矿井的“肺”, 其运转是否正常直接影响着煤矿企业的安全生产^[1], 因此, 对其进行故障预警是煤矿企业生产必不可少的环节。矿用主通风机故障预警技术的发展经历了基于幅值超限的传统预警与基于模式识别技术的智能预警 2 个阶段。目前, 我国在旋转机械的监测诊断方面已有研究, 如西安交通大学的“大型旋转机械计算机状态监测和故障诊断系统”、哈尔滨工业大学的“机组振动微机监测和故障诊断系统”和东北大学的“风机状态监测诊断系统”^[2]。但是, 上述方法的故障诊断仅局限于单一信号的分析, 并且无法实现故障预警。

现代信息融合技术的发展为多路信号融合分析的故障预警方法提供了可能。本文基于信息融合技术, 确定了矿用主通风机的故障预警原理, 并运用 VC++6.0 与 Matcom4.5 联合编程的方法, 开发出了矿用主通风机故障预警软件。

1 矿用主通风机故障预警原理

矿用主通风机故障预警原理包括故障诊断和预警 2 部分。预警软件采用了故障征兆的诊断方法, 利用该方法来分析故障是最成熟的方法。振动的频谱特征征兆最能反映风机的故障特点。矿用主通风机的基本故障类型包括转子不平衡、转子不对中、油膜涡动、基础松动、转子摩擦、推力轴承损坏、轴承座松动和不等轴承刚度 8 种, 这 8 种故障类型对应于 8 种不同的特征频率^[3], 如表 1 所示。可以看出, 故障的特征频率有重叠, 即故障与特征频率是一种非线性的映射关系。为此, 选择了神经网络这种学习型的非线性映射模型来完成特征频率到故障类型的映射。

神经网络的输出确定为通风机的 8 种故障相应的概率值, 输入为 8 种故障对应的特征频率。例如, 当输入为不平衡故障的特征频率时, 理想输出为 10000000; 当输入为不对中故障的特征频率时, 理想输出为 01000000。为将特征频率量化表示, 根据特征频率的分布情况, 将整个信号的频谱划分为 8 个频率段, 如表 2 所示。经过频段划分, 特征频率分布于各个频率段, 即可通过频率段的组合来反映特征频率; 通过计算各个频率段的最大幅值并进行正交运算, 确定了各个频率段的相对概率, 即通过隶属度值来反映特征频率的大小。例如, 对于不对中故障, 特征频率的量化表示为第 5 频段和第 6 频段, 相比其他频段具有较大的隶属度值。特征频率与频率段对应关系如表 3 所示。通过上述分析, 最终确定了神经网络模型的输入,

收稿日期: 2007-02-26。

作者简介: 付胜(1961-), 男, 山西大同人, 副教授。

即 8 个频率段的隶属度值. 同时, 表 3 也给出了神经网络的标准训练样本, 作者根据表 3 的内容开发出了随机样本获取软件. 通过输入样本数据对神经网络进行训练, 即可完成神经网络的学习过程, 这样神经网络就可用于通风机的故障诊断.

通过对振动信号进行采集和预处理, 提取各个频率段内的最大幅值, 计算其隶属度值, 送入训练好的神经网络进行分析, 输出以概率形式给出的诊断结果, 最大概率值对应的故障类型即为风机可能存在的故障隐患.

表 1 故障特征频率
Table 1 The character frequency of the fault

不平衡	不对中	油膜涡动	基础松动	转子磨擦	轴承损坏	轴承座松	不等轴承
f	$f, 2f$	$0.5f$	$kf(k < 5)$	$< f$	$0.5f, f$	$(0.01 \sim 0.39)f$	$2f$

表 2 特征频率段
Table 2 The sect of the character frequency

段号	1	2	3	4	5	6	7	8
频率段	$(0.01 \sim 0.39)f$	$(0.4 \sim 0.48)f$	$0.5f$	$(0.51 \sim 0.99)f$	f	$2f$	$(3 \sim 5)f$	$> 5f$

表 3 特征频率与频率段的关系
Table 3 The relation between the frequency and the sect of frequency

特征频率	f	$f, 2f$	$0.5f$	$kf(k < 5)$	$< f$	$0.5f, f$	$(0.01 \sim 0.39)f$	$2f$
段号	5	5, 6	3	5, 6, 7	1, 3, 5	3, 5	1	6

风机的 3 号、4 号轴瓦上共安装 4 台振动传感器. 为了准确地实现对矿用主通风机的故障诊断, 分别选择 4 路振动信号按照上述的原理进行分析^[4-5], 由于测点的位置不同, 频谱会有所不同, 得到的故障概率也不同; 最后利用 D-S 证据理论对各组分析结果进行融合. D-S 融合运算的实质是根据各组神经网络的结果计算相应的确定性概率和不确定性概率, 然后对该结果进行正交和运算, 实现多组信号的融合. 最终结论的给出要满足 D-S 证据理论的决策规则, 即决定于 2 个给定的参数: 最小确定性概率和最大不确定性概率. 只有最终结论性故障的确定性概率大于最小确定性概率、不确定性概率小于最大不确定性概率, 结论才是可靠的^[6]. 与单一传感器分析相比, D-S 融合预警结果具有容错性、互补性等优点. D-S 融合技术的应用极大地提高了矿用主通风机故障诊断的准确性.

由于频域特征的出现超前于时域特征, 即在风机出现严重故障前, 特征频率就会出现. 因此, 通过定时对矿用主通风机进行分析, 出现异常就及时报警, 就可实现预警功能.

2 矿用主通风机故障预警软件开发

矿用主通风机故障预警软件运行于组态王运行系统之上, 通过实时获取数据、分析故障、实时返回结论来实现对矿用主通风机的故障预警. 数据的获取与结论的返回通过 OPC 的通讯方式来实现. 对于频谱分析, 采集频率需要满足采样定理的要求. 例如, 对于 1 台转速为 1 200 r/min 的风机, 基频为 20 Hz, 最高故障频率为 10 倍基频左右, 即 200 Hz 左右, 根据采样定理的要求, 采集频率至少是被采集信号频率的 5 倍, 即采集频率应满足 1 kHz 左右. 所以, 需要通过组态王安装高速采集卡驱动, 由高速采集卡来实现对原始信号的采集, 再通过 OPC 的通讯方式为本软件发送数据^[7].

矿用主通风机故障预警软件的界面由控制面板、数据/图形显示、信号分析、BP 分析、DS 分析和结果输出 6 部分组成. 软件的界面如图 3 所示.

矿用主通风机故障预警软件由三大功能模块组成, 即信号采集与预处理模块、BP 网络分析模块和 D-S 融合诊断模块. 信号采集与预处理模块的功能是从组态王运行系统实时获取振动传感器信号, 对信号进

行显示、保存、FFT 运算, 绘制时域曲线与频谱曲线, 计算特征峰值和隶属度值; BP 网络分析模块的功能是对 BP 网络进行训练, 绘制误差曲线, 结合信号采集与预处理模块给出的隶属度值, 在数值输出区给出各个故障可能的概率值, 同时在图形输出区以柱状图显示, 并按序号保存结果; D-S 融合诊断模块的功能是对 BP 网络分析模块的结果进行融合分析, 结合给定的参数给出最终的预警结果, 并将该结果返回给组态王运行系统。

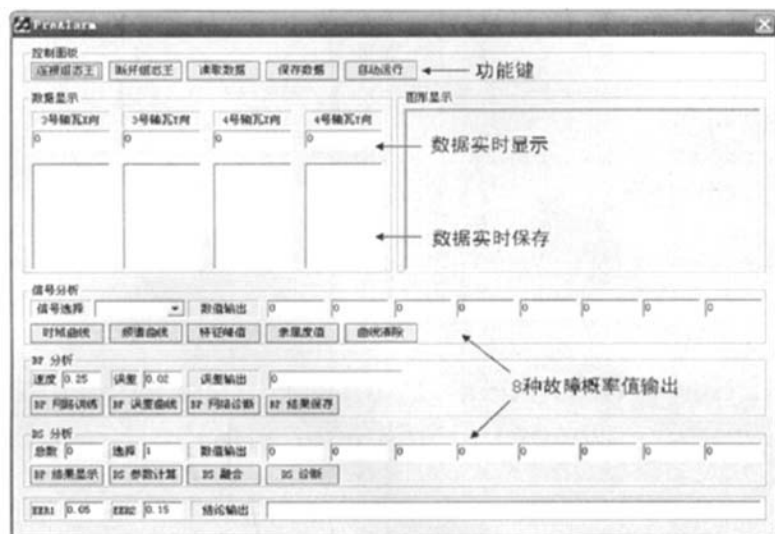


图 3 矿用主通风机故障预警软件界面

Fig.3 The interface of fault early warning software of the main ventilator in mine

3 结束语

本文通过对矿用主通风机故障预警原理的研究, 确定了 BP 神经网络与 D-S 证据理论相结合的故障预警模型, 利用 VC+ + 6.0 与 Matcom 4.5 联合编程的方法编制了基于信息融合技术的矿用主通风机故障预警软件^[8]。软件的 BP 神经网络可以设定训练速度和误差、绘制误差曲线, 并可以在很短的时间内达到满意的收敛; D-S 证据理论不仅可以实现不同测点信号的融合分析, 而且可以实现相同测点信号在不同时间的融合分析。软件的自动运行功能实现了软件在无人参与的情况下, 定时对风机进行分析诊断, 出现异常及时返回组态王运行系统进行报警。通过对通风机加入激励信号构造特征频率的方法验证了故障预警软件的实用性和可靠性。

参考文献:

- [1] 贺秋冬. 对旋轴流式主通风机的在线监测与故障诊断系统[J]. 煤矿机电, 2004(2): 25-27.
HE Qiu-dong. On-line monitoring and fault diagnosis system of opposite-rotary axial primary fan[J]. Colliery Mechanical & Electrical Technology, 2004(2): 25-27. (in Chinese)
- [2] 何学文, 刘晓辉. 一种风机状态在线监测系统的开发[J]. 风机技术, 2002(2): 41-43.
HE Xue-wen, LIU Xiao-hui. Development of on-line monitoring system for air blower[J]. Compressor Blower & Fan Technology, 2002(2): 41-43. (in Chinese)
- [3] 李海涛, 付胜, 刘丽丽. 信息融合技术在矿用主通风机故障预警中的应用[J]. 振动测试与诊断, 2006, 26(增刊): 170-173.
LI Hai-tao, FU Sheng, LIU Li-li. A fault early warning method of the main ventilator in mine based on information fusion technology[J]. Journal of Vibration, Measurement & Diagnosis, 2006, 26(Supp.): 170-173. (in Chinese)
- [4] 王海涛. RBF 神经网络与证据理论相结合的特征级信息融合方法的研究[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2004(1): 26-55.

- WANG Hai-tao. Research on information fusion method combined neural network with evidence theory on characteristic level[J]. Journal of Harbin Engineering College, 2004(1): 26-55. (in Chinese)
- [5] 何学文, 卜英勇, 赵海鸣. 分布式在线监测与故障诊断网络系统等设计与实现[J]. 流体机械, 2003, 31(8): 21-24.
HE Xue-wen, BU Ying-yong, ZHAO Hai-ming. Design and implementation of distributed on-line condition monitoring and fault diagnosis system[J]. Fluid Machinery, 2003, 31(8): 21-24. (in Chinese)
- [6] 李光海, 刘正义. 声发射源的多传感器数据融合识别技术研究[J]. 无损检测, 2003, 25(4): 171-174.
LI Guang-hai, LIU Zheng-yi. Multi-Sensor data fusion technique for acoustic emission source recognition[J]. Nondestructive Testing, 2003, 25(4): 171-174. (in Chinese)
- [7] 彭瑞勇, 刘晓文, 张丽. 基于 OPC 技术的电厂煤流控制系统[J]. 煤炭工程, 2007(1): 103-105.
PENG Rui-yong, LIU Xiao-wen, ZHANG Li. Coal flow control system in baodian coal-fired power plant base on OPC technology[J]. Coal Engineering, 2007(1): 103-105. (in Chinese)
- [8] 酆丹芸. 基于 MATCOM 的 Visual C++ 与 Matlab 混合编程方法[J]. 阜阳师范学院学报(自然科学版), 2003(1): 58-60.
LI Dan-yun. Hybrid programming method Visual C++ and Matlab base on MATCOM[J]. Journal of Fuyang Teachers College (Natural Sciences), 2003(1): 58-60. (in Chinese)

A Fault Early Warning and Software Development of the Main Ventilator in Mine

FU Sheng, LI Hai-tao, ZHU Quan

(College of Mechanical Engineering and Applied Electronics Technology, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

Abstract: In order to exactly determine the fault of the ventilator and realize the early warning of it, the warning principle of the ventilator failure is proposed. The fault early warning software based on the information fusion technology is developed using VC++ 6.0 combined with Matcom 4.5. Information fusion technology and BP neural networks and evidence theory are adopted in the software, in which non-linearity mapping between the fault style and the diagnostic frequency is accomplished by the BP neural network and multi-channels signal fusing and analyzing is carried out using the theory of evidence. Data acquisition and conclusion return are realized by using the OPC mode communication between the King View running system and the developed software.

Key words: fault diagnosis; information fusion; neural network; D-S evidence theory