

基于 BP 神经网络的炼钢转炉轴承故障诊断系统^①

Fault Diagnosis System Based on BP Neural Network for Steel Converter Roller Bearing

周洪煜 王照阳 徐春霞 (重庆大学 动力工程学院 重庆 400030)

摘要: 轴承故障的及时诊断非常重要,鉴于传统的故障诊断方法对多征兆故障的情况难以准确定位,提出了基于 BP 神经网络的故障诊断方法。该方法利用 BP 神经网络对炼钢转炉耳轴轴承运转时的典型故障和信号进行学习与分析,设计了一个具有多征兆故障分析和数据管理等功能的故障诊断系统。该系统经过一年多的现场实际运行,效果良好,证实此方法可靠,易于推广。

关键词: 故障诊断 BP 算法 神经网络 多征兆故障 耳轴轴承

提钒炼钢转炉耳轴轴承是炼钢生产的基本设备,该轴承由于转速低、载荷大属于低速重载滚动轴承,它的运行状态是否正常往往直接影响整套炼钢设备的性能^[1,2]。传统的维护检查和排除故障一般依靠人工经验,花费时间长,维护效率低,而且对于多征兆故障难以准确定位。本文就神经网络对轴承故障的知识表达,联想记忆能力以及网络结构进行研究^[3,4],利用 BP 神经网络对提钒炼钢转炉耳轴轴承的典型故障进行学习,取得了良好的故障识别效果。

1 基于 BP 神经网络的故障诊断技术

BP 神经网络除输入、输出层节点外,还有一层或多层隐含节点^[5]。根据攀枝花提钒炼钢厂转炉耳轴轴承的故障类型和征兆特点以及运行工况,本文在此模型中将隐含层确定为一层,设计一个三层的 BP 网络,以减少计算量及避免网络结构复杂化,将隐含层的阈值函数确定为连续可微的 Sigmoid 函数,其第 j 个输出单元的输

$$y_j = f\left[\sum_i \omega_{ij}x_i - \theta_j\right] = \frac{1}{1 + e^{-\sum_i \omega_{ij}x_i + \theta_j}}$$

式中 x_i ——前层各节点对的输入;

ω_{ij} ——前层单元与后层单元间的连接权值;

θ_j ——第 j 个神经元的当前阈值(偏置值)。

在此轴承故障诊断模型中, BP 算法的基本原理是把相似故障模式的特征值提取出来,并映射到连接权值上,使学习后的网络在遇到一个新故障模式时,通过将该模式与已存在的各种故障模式的特征值相比较,从而判断出其类别。

在此模型中,输入节点数与所测轴承故障的征兆有关,输出节点数与轴承故障类别有关。本文把待测轴承运转时的故障征兆集作为网络输入,进行学习训练后,根据网络输出确定轴承的故障类型。本文设计的 BP 网络轴承诊断模型如图 1 所示:

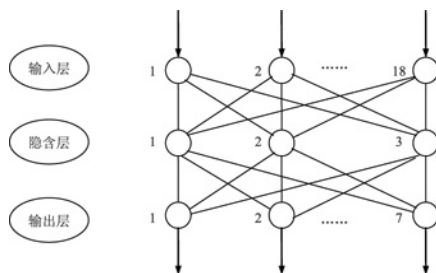


图 1 采用的 BP 网络结构图

① 基金项目 横向项目《攀枝花提钒转炉炼钢轴承故障的在线监测》,项目合同编号 2005 钢钒外协 05

根据攀枝花提钒炼钢厂设备科提供的耳轴轴承的运行资料,耳轴轴承运转时有 18 种故障征兆,7 种典型的故障,所以在此网络中,输入层和输出层的节点数分别是 18、7,进而根据 BP 神经网络的特点以及输入、输出节点数确定隐含层的节点数为 3。表 1 中内容是耳轴轴承运转时的 18 种故障征兆集和 7 种典型故障,在征兆集中,“1”表示征兆存在,“0”表示征兆不存在。BP 网络的目标输出对应各故障的隶属函数,即为:

为了说明起见,本文采用攀枝花提钒炼钢厂设备科所提供耳轴轴承的运行资料中给出的故障征兆来对网络进行训练。

表 1 轴承典型故障征兆表

故障类型	故障征兆号																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
F ₁	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
F ₂	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0
F ₃	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0
F ₄	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0
F ₅	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
F ₆	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
F ₇	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1

注:表中 F₁ - F₇ 分别表示:轴承温度过高;轴承声音不正常;轴承寿命短常需要更换轴承;轴承发生振动;主机工作不合要求;轴承在轴上太松;轴旋转不灵活。表中 1 - 18 分别表示:润滑实效;油位太低;油或脂通过密封圈漏损;漏油或温度过高;温升过高;内圈膨胀过度;轴承振动;轴承游隙过大;机器振动或负荷不平衡;轴承噪音过大;振动加强;轴承中混入砂粒和碳粒;轴承中混入水分、酸类或油漆等污物;轴承座孔内原来就残留有切屑、尘粒等杂物;轴承在轴上松动;回油孔堵塞不通;密封圈的“油泵作用”时油流失;内圈膨胀游隙变小;温升过高;温升过高;外圈受压游隙变小;座孔直

径太大;外圈打滑;温升过高;有色金属的座孔被撑大;热膨胀变大;外圈打滑;轴承座底面的垫铁不平;振动加强;轴的热伸长过大;轴承游隙变的过小

整个系统实现的功能有上述 18 种信号的采集和放大滤波,同时还有温度信号的补偿,键盘输入,工控机数据采集和数字化处理,点检组上位监控机的显示。

2 系统总体方案介绍

2.1 系统硬件实现

整个系统应用于攀枝花提钒厂 3 号转炉,由于炼钢转炉的工作性质及工作环境的特殊性,为了提高测试系统的准确性,减少干扰,简化系统的构成,本系统采用了“现场信号数字化,信号传输光纤化”的基本构成方式进行在线检测。其硬件系统组成如图 2 所示:

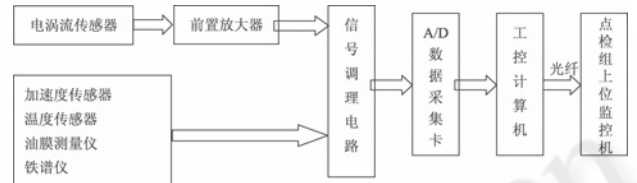


图 2 系统硬件组成框图

本系统选用了位移、振动、温度传感器以及油膜测量仪和铁谱仪实时采集轴承运转时的各项数据,在炼钢转炉的耳轴轴承座上安装加速度传感器,耳轴上安装电涡流传感器,进行轴承振动信号和轴心位移信号的测取;在耳轴轴承座和游隙处及内外圈安装温度传感器,在轴承内外圈需润滑处安装油膜测量仪和铁谱仪,实现轴承温度信号、油膜厚度信号以及润滑油中是否混入铁屑等杂物信号的测取,除了轴心位移信号要先通过前置放大器,其余信号均直接由信号调理电路进行数据预处理,并在 3 号炉中控室进行数据采集和数字化处理,然后通过光纤传输至点检组,实现对 3 号炼钢转炉耳轴轴承的在线监测,故障分析和数据管理等功能。

2.2 系统软件实现

本文用 C 语言编写的 BP 网络的运行程序,在 Visual C++ 7.0 编译环境下能通过,其程序流程图如下:

3 运行效果分析

本故障诊断系统已经在攀枝花提钒炼钢厂实际运行一年多,现场运行结果表明本文所介绍的故障判别方法准确率超过 90%。转炉耳轴轴承在某次运行过程中表现出的故障征兆号为 (111000100000010011), 将其对应的电信号输入各个位移、振动温度传感器以及油膜测量仪和铁谱仪,经过采集滤波,进入上述已训练好的 BP 网络中,网络即输出该组征兆相对于各故障的隶属度,如表 2 所示:

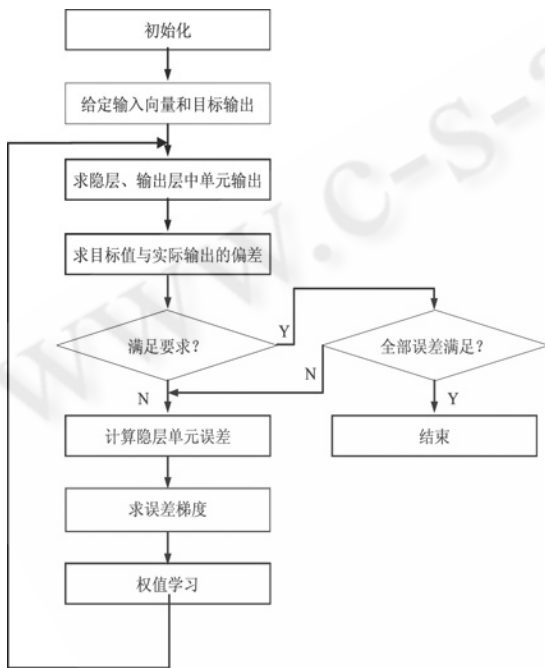


图 3 BP 算法程序流程图

表 2 轴承故障诊断结果

故障序号	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7
诊断结果	0.5280	0.0895	0.1562	0.0035	0.0951	0.0001	0.3268

从表 2 中可以看出,在门限值为 0.1 时,根据 BP

网络输出值判断故障为 F_1 、 F_3 、 F_7 号,也就是表 1 中所表示的轴承温度过高、轴承寿命短常需换轴承、轴承旋转不灵活三种故障,在现场检修人员详细检查轴承后确认的故障也是这三种,上述内容即为本系统的一次故障诊断过程。本系统在攀枝花提钒炼钢厂运行已超过一年,由于此故障判别方法准确率高并具有预报性能,在很大程度上减少了炼钢厂的损失。

4 结论

提钒炼钢转炉耳轴轴承故障诊断是一个非常复杂的问题,轴承受安装位置、运行工况等因素的影响,其故障和征兆间是非线性映射关系。BP 神经网络在攀枝花提钒炼钢转炉耳轴轴承故障诊断的实际运行结果表明,BP 神经网络在设备故障诊断中具有联想记忆、模式匹配和非线性模式识别等能力,并且适用于多征兆、多故障的炼钢转炉耳轴轴承故障诊断系统;作为一种有效的模式识别技术,BP 神经网络在一定程度上模拟了专家凭直觉和实例经验处理不完全或不确定知识的能力,能处理多故障模式匹配的问题,在设备故障诊断领域显示出极大的应用潜力。

参考文献

- 高泽峰. 转炉耳轴轴承的损坏与保护. 山西冶金, 2005, (1): 39 - 41.
- 吴友南, 刘双发. 新编滚动轴承应用技术手册. 上海科学技术出版社, 1995.
- Li B, Chow M Y, Tipsuwan Y, Hung J C. Neural - network - based motor rolling bearing fault diagnosis. IEEE Transaction on Industrial Electronics, 2000, 47 (5): 1060 - 1069
- 郭代仪, 廖小云. 神经网络及其在机械工程中的应用. 重庆大学出版社, 2003.
- 骆志明, 冯庚斌. 机车车辆滚动轴承故障 BP 网络诊断方法. 中国铁道科学, 1998, 19(4): 26 - 31.