

一种基于远程监测方式的空压机故障诊断系统*

马幸宾 马德康 许剑民 毛松成
(浙江山海机械有限公司 衢州 324000)

DOI:10.12238/jpm.v3i3.4746

[摘要] 本文介绍了一种空压机的远程监测系统, 通过物联网的智能感知技术, 获取设备工作时的实时状态数据, 通过 Internet 网络将监控信息准确发送至远程端, 远程端采用了 BP 神经网络构建诊断系统, 对网络进行训练后应用于故障诊断, 结果表明该网络具有较高的诊断准确度, 可以用于空压机的故障诊断。

[关键词] 远程监测; 空压机; 故障诊断; BP 神经网络
中图分类号: TP277; TH45

The Fault Diagnosis System of Air Compressor Based on Remote Monitoring
(Zhejiang Shanhai Machinery Co., Ltd, Quzhou324000, China)

Abstract: This paper introduces a remote monitoring system of air compressor. Through the intelligent sensing technology of the Internet of things, the real-time status data of the equipment is obtained, and the monitoring information is accurately sent to the remote end through the Internet. The remote end uses BP neural network to construct the diagnosis system, and then applies it to fault diagnosis after training the network. The results show that the network has high diagnostic accuracy and can be used for the fault diagnosis of air compressor.

Keywords: remote monitoring; Air compressor; Fault diagnosis; BP neural network

1. 前言

随着工业规模不断扩大和科学技术的迅速发展, 空压机正朝着大型化和智能化方向发展, 同时空压机也对工业生产的影响也越来越大, 需要确保空压机的工作稳定可靠, 需要对其开展监测, 预防事故的发生。否则容易导致生产过程受严重的影响, 使企业面临重大的经济损失。因此实施空压机的远程监测与诊断技术是非常重要的。

许多学者开展了空压机的远程监测与诊断技术的研究, 李泽瑜利用 PLC 对煤矿空气压缩机实现了自动保护和停机控制, 应用人工智能理论实现了空压机常见故障的判断^[1]; 顾洁通过 CAN 总线将空压机的参数传至上位机实现了远程监测与报警^[2]; 龙诺春等利用微处理器、GPRS 模块、模数转换器件等设计了一个远程检测运行系统^[3]; 杨笑等利用 SM32 单片机、ASP.NET 技术、Socket 技术实现了压缩机运行状态的远程实时监测^[4]。

本项目研发了一种空压机的远程监测系统, 通过物联网的智能感知技术, 获取空压机设备工作时的实时状态数据, 通过 Internet 网络将数据发送至远程端或者云端, 实现异地的监控, 对监控数据进行分析处理后可以发现故障并及时处理。

2. 系统构成

本系统整体拓扑结构如图 1 所示。首先利用传感器采集压力、温度、电流、总管压缩空气压力及流量等工况信息, 然后基于 ZigBee 无线方式将这些状态数据传输至汇聚节点, 汇聚节点利用 MQTT 协议将信息传递到云端或远程, 继而实现了信息的远程传输。

系统包括状态监测和故障诊断系统两个部分。状态监测主要完成空压机参数的特征参数的采集并将采集的数据与规定的正常值进行比较, 以判断设备当前的工作状态是否正常。状态监测主要由空压机工作温度采集模块、工作电流电压采集模块、工作压力监控模块和 CPU 系统组成。

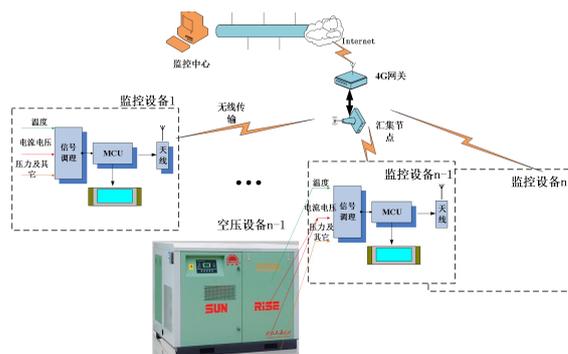


图 1 系统整体拓扑结构图

针对空压机工作温度采集, 本系统采用了单总线的数字式温度传感器 DS18B20, 能够有效地节约系统的硬件资源, 该传感器具有体积小, 抗干扰能力强, 精度高的特点。针对工作电流电压的信号采集, 本系统采用了 EDA9033A 模块, 其输入为 0~500V 三相电压、0~1000A 的三相电流, 能方便地实现与 232 串口相接, 对三相三线制或三相四线制交流电路的真有效值、有功功率、无功功率、功率因数、有功电度可以实现精确测量。

压力采用了采用了 ARK-14017, 该模块为一个 8 通道的模拟输入模块, 易于编程、安装和布线, 可以有效减少系统开发工作量, 振动测量采用了数字型加速度传感器。CPU 系统选用基于 raspberry 系统, 便于实现数据采集与测量数据的远程传输。

3. BP 神经网络的诊断系统

故障诊断是对故障内容作出判断。空压机运行工况环境的恶劣导致空压机会出现不同程度和不同类型的故障。主要故障类型有: 排气温度故障、排气压力故障、温度控制阀门故障、空滤器阻塞故障、油分阻塞故障和进气阀故障。

本系统采用了 BP 神经网络来实现, BP 是一种多层前馈神经网络, 由输入层、隐含层和输出层组成, 三者之间由权值相互连接^[5]。输入信号经输入神经元逐层分担传递到隐藏层再到输出层, 输出结果与期望输出比较, 若误差较大则开始反向传播误差分摊到各层各权值来调整整个网络的输出, 这个过程称

为训练过程。训练过程采用梯度下降法对权值参数进行迭代更新直至输出层的均方误差小于设定的值，则训练完成。网络模型结构拓扑如图 2 所示，其中输入向量是 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ ，输出向量是 $Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)^T$ 。

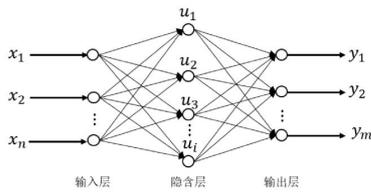


图 2BP 神经网络模型结构拓扑

如上图所示，输入层节点有 n 个节点，每一层节点将上一级的输入传递到下一层，设在隐层节点上，输出 O_i 与输入 X_i 之间的关系为：

$$I_j = \sum_{i=1}^n \omega_{ji} O_i + \theta_j \quad (1)$$

$$O_j = f(I_j) = 1 / [1 + \exp(-I_j)] \quad (2)$$

式中， ω_{ji} 为隐层节点 j 与输入层节点 i 之间的权值， θ_j 为偏置量， $f(x)$ 为 S 型生长曲线，其值为：

$$f(x) = 1 / [1 + \exp(-x)] \quad (3)$$

假设输出层节点为 $k (k = 1, 2, \dots, m)$ ，对应的输入为 I_k ，则输出与隐层存在以下的关系：

$$I_k = \sum_{j=1}^p \omega_{kj} O_j + \theta_k \quad (4)$$

$$y_k = f(I_k) = 1 / [1 + \exp(-I_k)] \quad (5)$$

式中， ω_{kj} 为权值，反映了隐层节点 j 与输入层节点 k 之间的关联程度， θ_k 为输出层的偏置量。

网络使用之前需要进行训练，设训练样本为 $(x_{p1}, x_{p2}, \dots, x_{pn})$ ， p 为样本数 ($p = 1, 2, \dots, P$)，训练过程中网络输出与训练目标之间存在一定的差异，可以用以下的期望值表示出来：

$$E = \frac{1}{P} \sum_{p=1}^P E_p \quad (6)$$

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_{l=1}^l (t_{pl} - y_{pl})^2 \quad (7)$$

其中 p 为样本数， t_{pl} 为第 p 个样本的第 l 个输出单元的目标输出结果， y_{pl} 为第 p 个样本的第 l 个输出单元的网络运算结果。BP 网络训练的目的就是令训练样本的期望输出向量与网络的实际输出向量之间的误差平方和最小。利用 BP 算法不断调整输入层与隐层、隐层与输出层之间连接权值的达到效果。

如图 3 所示，针对空压机首先从采集到监测数据，经过预处理后提取输入向量作为神经网络输入，从已知故障信号样本

集中提取数据开展 BP 神经网络的训练和网络自学习，得到 BP 神经网络的权值、阈值与已知的故障结果之间存在对应关系，并且满足一定的数学期望。神经网络训练完毕后，就可以利用训练成功的 BP 神经网络进行故障诊断。该网络经过训练后预测误差曲线、期望与预测对比曲线、预测百分比曲线、训练过程曲线分别见图 4、5、6、7 所示。

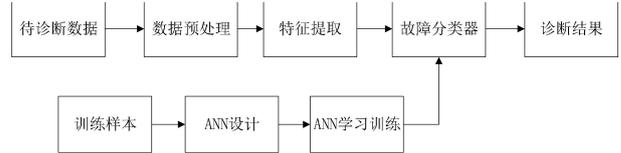


图 3 BP 神经网络训练与使用过程

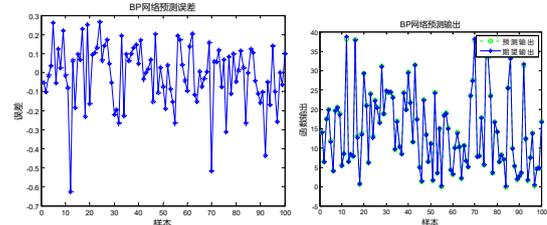


图 4 训练后预测误差曲线图 5 期望与预测对比曲线

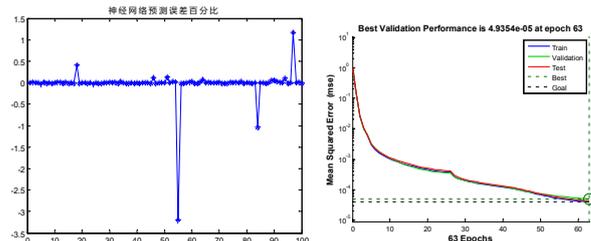


图 6 预测误差百分比曲线图 7 训练过程曲线

4. 结论

本文开发了一种基于物联网的空压机远程监测系统和故障诊断技术。从本地数据采集、数据传输、直至完成远程监测系统。利用 BP 神经网络作为模型开展了训练并应用该模型进行了故障诊断，结果表明该网络性能较好，用于空压机故障诊断是可行的。

参考文献

- [1]李泽瑜. 煤矿空压机远程监测与预警系统研究[D]. 辽宁工程技术大学, 2017.
- [2]顾洁. 煤矿螺杆式空压机远程监测系统方案研究[J]. 机械管理开发, 2018, 33(11):26-30.
- [3]龙诺春, 李进东, 邝晓伟. 远程检测特种压缩机控制系统的客户端设计[J]. 电子测试, 2017 (9): 28-30.
- [4]杨笑, 李慧敏, 高奎. 超市制冷压缩机远程实时监测系统的设计[J]. 自动化与仪表, 2017, 32(3): 60-64.
- [5]李静, 李方义, 周丽蓉, 等. 基于 BP 神经网络的产品生命周期评价敏感性分析[J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22(3):666-671.

*基金项目：衢州市科技计划项目 (2020K11) 资助

作者简介：马幸宾，男，1997 年生，本科毕业于印第安纳州立大学布卢明顿分校，研究方向：经济数学。