

基于Web的煤矿井下水泵机组远程故障诊断系统设计

煤矿井下水泵机组是煤矿井下排水系统的重要设备，承担着将井下积水排出的重要任务，对矿井安全生产起到保障作用。针对其常见故障及特征，采用了改进的BP神经网络算法进行故障诊断，构造了基于Web和OPC技术的远程故障诊断系统的总体设计框架并给出了实现步骤，借助Intouch开发诊断中心前面板、Matlab与C#混合编程开发OPC客户端和Web服务器，最终设计出高可靠性的水泵机组远程故障诊断系统。

苗长新 樊露丹 马晓伟 鹿峪宁 张廷忠/中国矿业大学信息与电气工程学院



苗长新/副教授

煤炭在未来很长一段时间依然扮演着中国主体能源的角色，但是在煤矿井下开采的过程中，地层渗水以及煤矿采煤用水等大量的水都会汇集于泵房集水井内，若不及时排至地面，势必影响井下的生产和安全^[1]。现阶段仍不能从监测的数据中分析判断出潜在的不稳定因素和故障，并且监测各种参数的设备也没有统一到整体的系统中。

针对煤矿企业这种情况，远程故障诊断系统应运而生，在这种方式下可以实现诊断资源共享和节约成本，提高企业生产安全和效益^[2]。将某矿的泵房自动化诊断系统项目作为研究背景，结合理论研究和工程实践经验，最终设计了基于Web的煤矿井下水泵机组的远程故障诊断系统，这完全符合煤矿企业追求建设现代化矿井的战略目标^[3]。

系统的整体结构设计

针对煤矿企业当前状态监测和故障诊断资源，结合网络化发展现状，提出在调度中心设立企业级故障诊断中心，

并设计基于Web的远程故障诊断客户端。整体结构大致划分为井下现场监控网络与信号采集、煤矿企业内部网络监控与诊断以及Internet广域网监测与诊断三大部分^[4]，系统的总体结构如图1所示。

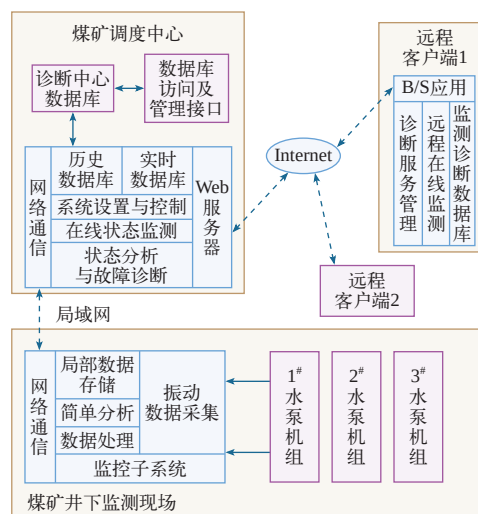


图1 状态监测与远程诊断系统整体结构

系统的关键技术

1. 改进的BP算法故障诊断

针对传统BP神经网络算法易于陷入局部极小点、学习收敛速度慢的缺陷，采用自适应Ir动量梯度下降法，并且应用三层的神经网络，选取 $(<0.4f)$ 、 $(0.40 \sim 0.49)f$ 、 $0.5f$ 、 $(0.51 \sim 0.99)f$ 、 $1.0f$ 、 $2.0f$ 、 $(3.0 \sim 5.0)f$ 、 $(>5.0f)$ 以及奇数倍 f 共9种具有代表性的频率成分作为特征频率，即选择输入层为9，结合常见的8种水泵机组特征故障，选择输出层为8。根据经验公式选择一层隐含层，该隐

关键词/Keywords

矿井水泵机组 ·
改进BP神经网络 ·
远程故障诊断 ·
Web开发 ·

含层中的神经元个数最终确定为16。将输入层节点的传递函数设为 $f(x)=x$ ；为了使输出值的范围在0~1之间，隐含层和输出层节点的传递函数采用Sigmoid函数，即 $f(x)=1/(1+\exp(-x))$ ；方均误差性能函数采用mse()函数，对样本数据设定的误差为0.000 1，初始学习速率为0.05，学习速率增加比率为1.05，减少比率为0.68，动量因子为0.9，选取转子不平衡的频率征兆进行训练。

2. 系统的通信设计

(1) Matlab与Intouch的数据交换

本文采用Intouch 组态软件进行水泵机组状态监测的设计，利用Matlab强大的工具箱对振动信号进行采集、降噪、分析以及诊断。其中实现Matlab与Intouch应用程序之间的通信是关键，本文采用OPC技术实现多个程序之间的通信，采用OPC连接编程十分简单，简化了开发系统的复杂性，而且不需要建立中间服务器。无论现场下位机设备采用何种形式，上位机都可以用统一的方式进行访问，因此可以认为OPC即是硬件与应用软件之间的公用接口，从而实现系统的开放性^[5]。

对于Intouch而言，FactorySuite (FS) Gateway是封装在SMC里面的一个控件，可以作为OPC服务器来使用；而Matlab提供了集成的OPC工具箱 (OPC Toolbox)，有GUI和命令行两种方式，并需要分布式的COM环境配置，它可以作为OPC客户端对服务器进行读写操作。

(2) 基于Web和OPC的远程故障诊断方案

OPC技术已经广泛应用在工业监控系统中，Web浏览器是基于B/S结构的网络客户端，可以无须维护，且可跨平台应用，可靠性高，开发成本低，网络开销少^[6]。

在此提出一种基于Web和OPC技术的B/S模式远程故障诊断数据传输方案，如图2所示。

最下层为监测子系统和振动数据采集系统，通信硬件上都是通过以太环网将数据传输到地面调度中心。井下采用Matlab GUI开发一套简单的振动数据采集系统，主要利用OPC ToolBox读取水泵机组起动信号后，使用DAQ工具箱采集振动信号，并进行小波降噪及时频域分析，同时将振动数据写

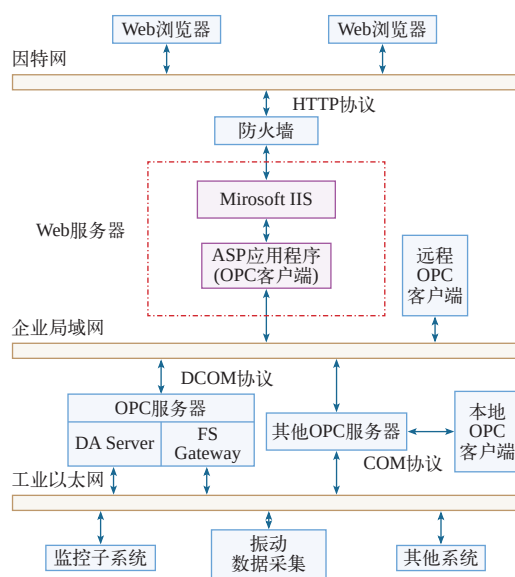


图2 基于Web和OPC技术的远程故障诊断

入OPC服务器，供地面调度中心进行故障诊断。

中间为数据服务层，将水泵机组监测数据与振动数据进行存储，主要有Intouch通过DA Server获取监测子系统实时数据，或者通过FS Gateway将不同通信协议转换成OPC标准接口向本地和局域网客户端提供服务，并将数据存入Intouch的InSQL数据库。

最上面一层为Web服务器，主要包括对下的OPC客户端，读取OPC服务器的各种数据，即监测状态数据、振动数据以及分析数据；对上可以通过ASP.NET编程和Microsoft IIS为远程浏览器提供Web服务。

3. 系统的软件设计

软件部分主要以OPC为通信方式，Matlab进行信号采集与处理，以Intouch开发的监测与故障诊断中心界面为前台，以C#语言开发的OPC客户端和Web服务器为后台，Web提供水泵机组的远程故障诊断服务。

(1) Matlab程序的设计

Matlab程序主要包括井下振动信号数据采集与通信，此外，还需要Matlab创建COM组件，利用混合编程思想实现神经网络智能诊断。由于水泵机组位于煤矿井下，所以采用一种分类传输方法，水泵机组起动后，将数据量较小、分析好的

诊断数据和振动特征向量实时传送到地面故障诊断中心,对采集来的大量诊断信号进行局部数据存储,当诊断中心下发数据传输命令时,将存储的数据传送到调度中心并进行详细诊断,流程如图3所示。然后利用Matlab Compiler工具进行混合编程,它可以借助外部编译器生成和Microsoft兼容的COM组件。

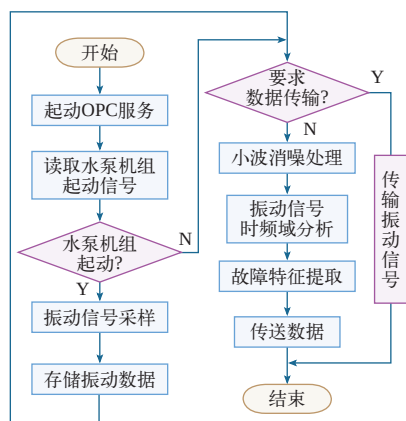


图3 Matlab程序设计流程

(2) Intouch程序的设计

首先根据PLC点表以及振动数据建立标记字典,每个标记名对应一个OPC项,然后设置通信参数以及建立InSQL数据库,InSQL支持基于C/S模式的远程数据传输,方便以后远程故障诊断系统的扩展,最终从DA Server和OPC中获得数据。

(3) OPC客户端开发

利用Visual Studio 2010作为C#应用程序的开发软件,采用自动化接口数据访问规范接口,并建立OPC连接、添加组、添加项、数据读取和断开连接等部分,其中数据读取有同步和异步两种。最后创建OPC项映射服务器端的数据标签,用来测试客户端与服务器之间的通信。

(4) Web开发

利用.NET框架开发Web服务,Web服务器选用IIS,数据库为InSQL,然后利用Codebehind技术使网页表现代码和程序代码分开,即网页文件在.aspx文件中编写,程序在.cs文件中处理。对于后台C#程序处理代码,需要调用之前Matlab生成的COM组件BPANN.dll实现神经网络算法,然后就可以直接定义类,使用的函数名字与Matlab定义的

函数名一样。

系统平台验证

以选择故障诊断1#水泵机组为例,单击“小波消噪”进入小波消噪页面,如图4所示。选择水泵前轴的垂直振动信号,设置小波函数、阈值处理函数、阈值作用方式以及小波分解层数参数。这里分析的采样点数为3 072,采样频率为20 kHz,故采样时间约为0.1 s。单击“确定”按钮后,右边可以看出消噪的结果,在此还可以导入历史数据进行小波消噪。

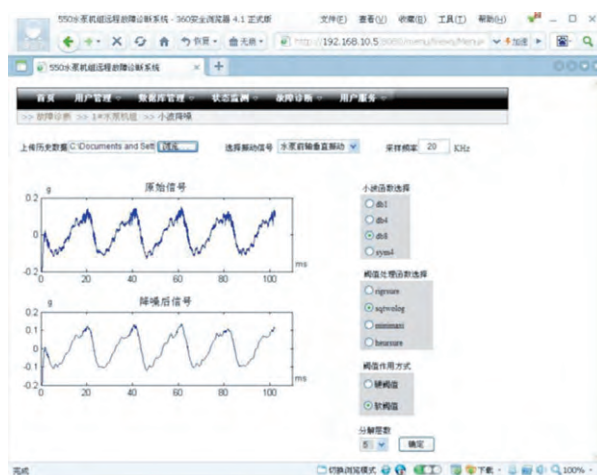


图4 小波消噪页面

继续选择故障诊断1#水泵机组,单击“信号分析”进入信号分析页面,如图5所示。根据消噪后的振动信号进行信号分析,单击“频谱图”

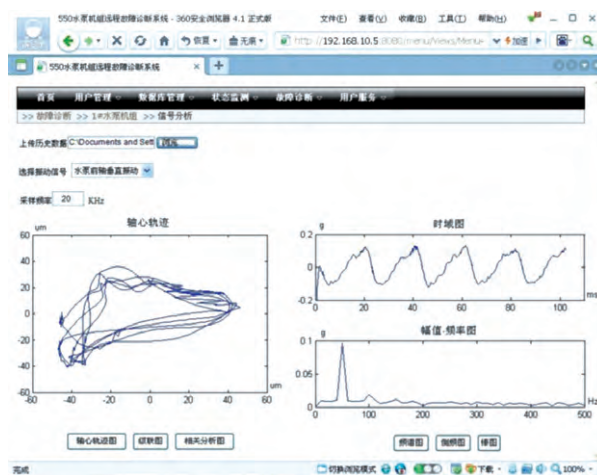


图5 远程故障诊断系统信号分析页面

(下转第138页)

利用这一特点，将分位数回归理论应用于负荷预测，得到了以下结论：

1) 基于线性回归模型，利用分位数技术计算模型参数，以日本作为典型国家地区，对分位点的选取在对电力需求预测中的特点作出分析，得到了在不同发展阶段各社会经济解释变量对电力需求的不同影响程度。

2) 在回归预测用电量时，以拟合值同实际值相对误差最小为目标，确定最优分位点，并对同年用电量增长率序列进行相关性分析，发现电力需求增长率与最优分位点选取变化的正相关性，且具有周期性波动的规律，并提出利用这一规律预测城市电力需求饱和规模的方法。

实践证明，本文的研究对于分析电力需求影响因素权重、确定回归分析时分位点的选取规律以及基于分位数回归的饱和负荷的预测提供了有益的借鉴。

参考文献

[1] 刘晨晖. 电力系统负荷预报理论与方法 [M]. 哈

尔滨：哈尔滨工业大学出版社，1987.

[2] 廖旋焕，胡智宏，马莹莹，等. 电力系统短期负荷预测方法综述 [J]. 电力系统保护与控制，2011，39 (1)：147-152.

[3] 杜莉，张建军. 神经网络在电力负荷预测中的应用研究 [J]. 计算机仿真，2011，28 (10)：297-300.

[4] 万昆，柳瑞禹. 区间时间序列向量自回归模型在短期电力负荷预测中的应用 [J]. 电网技术，2012，36 (11).

[5] 顾洁，薛季良，杨宗麟，等. 基于扩展索洛长期均衡模型的饱和电力需求预测 [J]. 中国电力，2014 (7)：62-66.

[6] 刘晓娟，方建安. 稳健回归方法在电力消费预测中的应用 [J]. 电力系统及其自动化学报，2013，25 (5)：22-25.

[7] 杨宗麟，程浩忠，顾洁，等. 华东电网四省一市未来饱和负荷水平研究 [R]. 上海：华东电网有限公司，上海交通大学，国家发改委能源研究所，2013.

(收稿日期：2015-12-15) EA

.....

(上接第124页)

和“轴心轨迹图”按钮，将会在页面下方显示结果，图5中右侧可以看出频谱分析，左侧可以看到轴心轨迹。根据前面所介绍的理论知识，特征频率为一倍频，并且幅值很大，根据轴心轨迹为椭圆形，可以判断是转子不平衡故障。

结束语

本文设计了基于Web和OPC技术的煤矿井下水泵机组远程故障诊断系统，详细介绍了系统通信的开发、软件的设计，并且从选取1#水泵机组的小波消噪、信号处理等界面对系统进行了验证，结果表明达到了预期的效果，实现了工作环境和操作环境的分离，有效地提高了煤矿井下水泵机组的运行效率，避免了不必要的事故，为煤矿的智能化夯实了基础，使煤矿井下安全水平迈上了一个新台阶。

参考文献

[1] 周晓峰，王结实，阚恒. 我国煤矿安全现状的思考 [J]. 中州煤炭，2009 (5)：110-112.

[2] 王坚，张浩，严隽蔚，等. 基于Internet/Intranet的数字化远程故障诊断系统 [J]. 计算机工程，2000 (10)：28-29.

[3] 蔡俊，朱成杰，郭来功. 矿业水泵房自动排水监控系统设计 [J]. 煤矿机械，2011，32 (4)：30-32.

[4] 李红. 基于B/S模式的机组远程振动监测与故障诊断系统研究 [D]. 北京：华北电力大学，2006.

[5] 杨晓冬. 水泵状态监测与故障诊断系统 [D]. 徐州：中国矿业大学，2008.

[6] 钱东海，李福军. 基于Web和OPC技术的远程监控系统的研究 [J]. 计算机应用与软件，2008 (2)：170-172.

(收稿日期：2015-03-18) EA