

网络化水轮机组状态监测与故障诊断系统设计

李明¹, 孙涛²

(1. 武汉纺织大学计算机科学学院, 武汉 430073; 2. 武汉大学电子信息学院, 武汉 430072)

摘要: 大中型水轮机组的安全运行对于水电站以及电网的运行有重要影响。在分析水轮机组状态监测与故障诊断原理的基础上, 设计了一种新颖的网络化水轮机组状态实时监测与故障诊断系统。该系统有过程层、监测层和站控层 3 个层次, 通过 RS-485 总线和以太网相互连接; 现场节点以 AVR 单片机 ATmega8515 为核心; 监测站是一台高性能的工业计算机, 能实时监测水轮机组的运行状态, 并采用小波分析和神经网络相结合的方法对机组的故障进行诊断; 系统通过 Web 服务器实现基于 Internet 的远程状态监测与故障诊断。试验结果显示该系统能准确采集水轮机组的振动信号, 并能实现 2 种常见故障类型的识别。

关键词: 水轮机组, 状态监测, 故障诊断, AVR, 小波变换, 神经网络

doi: 10.3969/j.issn.1002-6819.2011.05.038

中图分类号: S212, TP277

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2011)-05-0213-06

李明, 孙涛. 网络化水轮机组状态监测与故障诊断系统设计[J]. 农业工程学报, 2011, 27(5): 213-218.

Li Ming, Sun Tao. Networked condition monitoring and fault diagnosis system for hydraulic turbine set[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(5): 213-218. (in Chinese with English abstract)

0 引言

水力发电是一种环保、可重复开发利用的绿色能源。在国家大力提倡节能减排, 发展低碳经济, 实现经济可持续发展的背景下, 为解决我国电力供应紧缺紧张的局面, 发展水力发电显得尤为重要。随着水力发电机组单机容量的不断增大, 其安全性和经济性日显重要, 水力发电机组一旦发生事故, 轻则影响机组的正常运行, 重则机组设备损坏, 甚至影响电网的安全和稳定, 因而提高水电站运行的智能化以及发电质量具有重要意义^[1]。

电气设备的维修方式可以分为 3 种: 故障维修、定期维修和状态检修。故障维修是保持设备一直运行直到发生故障才进行维修的一种方式; 定期维修是按照预定的时间间隔或检修周期进行计划维修的一种方式; 而状态检修是一种以设备运行状态为基础、以预测设备状态发展趋势为依据的检修方式。状态检修方式能及时地、有针对性地对设备进行检修, 不仅可以提高设备的可用率, 还能有效降低检修费用, 代表着电气设备维修的发展方向^[2-4]。国内有些学者研究并设计了基于水轮机的状态监测与故障诊断系统; 如周立华等使用 NI 公司的数据采集模板对压力脉动、振动与摆度、空蚀、效率等参数进行采集, 使用 LabView 和 SQL Server 等设计监测软件系统, 但实质还是一个单机工作的状态监测与故障诊断系统^[5]。刘昌玉等设计的水轮机状态监测系统以 32 位的 DSP 组成数据采集与分析模块, 通过 TCP/IP 协议将数据传输给上位机的监控软件, 监控软件用 C++ Builder 和

SQL Server 设计, 但整个系统只有 2 个层次, 没有实现与 Internet 的连接^[6]。吴道虎研究基于声学的水轮机状态监测技术, 只对水轮机在不同工况下进行了噪声测试试验^[2]。盛旺、瞿翌等人利用 LabView、PXI、MXI-3 和 DataSocket 技术, 采用 C/S 结构模式来实现水电机组状态监测与故障诊断系统的网络化, 但这种方案需要购置大量的 PXI 总线仪器模块、MXI-3 模块, 以及图形化软件开发工具, 开发费用较高^[7-8]。国外大量研究风轮机的状态监测与故障诊断技术, 认为用小波变换对振动信号进行分析是一个关键技术, 并认为声发射技术正受到越来越多的关注, 但国外对水轮机组的状态监测与故障诊断的研究偏少^[9]。

本文提出一种具有过程层、监测层和站控层 3 个层次、RS-485 总线和以太网 2 种数据传输方式的大中型水轮机组状态监测与故障诊断系统的设计方案。采用 AVR 单片机自行设计过程层数据采集节点, 采用 Visual C++ 和 SQL Server 设计监测站的监测软件系统, 基于 TCP/IP 协议将现场数据上传至站控层的服务器。该系统克服了以往水轮机组状态监测与故障诊断系统开发费用高、设计复杂等问题, 便于实现基于 Internet 的远程状态监测与故障诊断, 可显著提高水电站运行的经济效益及促进国家智能电网的建设。

1 水轮机状态监测与故障诊断原理

水轮机的状态监测与故障诊断技术的实质是了解和掌握水轮机在运行过程中的状态, 评价、预测水轮机的可靠性, 早期发现故障, 并对其故障原因、部位、危险程度等进行识别, 预报故障的发展趋势, 针对具体情况作出检修决策。因此水轮机状态监测与故障诊断技术实际上包含水轮机状态识别及其发展趋势的预测 2 个方面

收稿日期: 2010-08-17 修订日期: 2010-10-22

作者简介: 李明 (1975-), 男, 湖北汉川人, 讲师, 武汉大学博士, 主要从事网络化检测与控制、现场总线技术及应用等方面的研究。武汉 武汉纺织大学计算机科学学院, 430073。Email: lettermail.lm@gmail.com

的内容，具体过程分为：信号测取、特征提取、状态识别和状态分析，见图 1 所示^[2]。

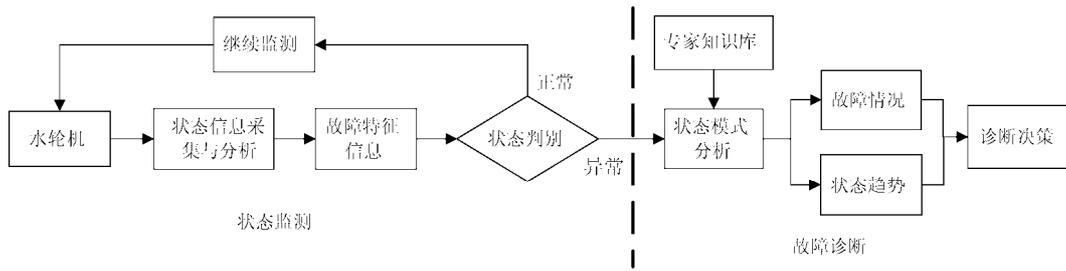


图 1 水轮机状态监测与故障诊断过程

Fig.1 Procedure of condition monitoring and fault diagnosis for hydraulic turbine

在设备诊断技术领域，振动诊断是普遍采用的最基本的方法之一。电气设备故障中，60%~70%的故障可通过振动和振动辐射出的噪声反映出来。水轮机在运行过程中的各种状态量，皆蕴含着大量可利用的信息，如水轮机组下机架的振动参数表征着转动部分质量的平衡情况，其振动的基频分量说明水轮机电磁振动情况。通过对这些数据的采集和分析，可以对水轮机进行实时故障分析和诊断，极大提高其运行状态的可预测性^[3-4]。特征提取直接关系到故障诊断的确诊率和故障早期预报的可靠性，为保证特征值准确提取，可借助于对非平稳、非高斯信号的现代信号处理研究理论，在对信号的深度加工中获取更多的特征信息。非平稳信号处理的主要方法是时频分析，包含线性和非线性两种形式。线性时频分析主要包括小波变换、短时 Fourier 变换、Gabor 展开等，是目前机电设备状态监测与故障诊断分析技术的研究热点；而非线性时频分析应用最广泛的是二次双线性时频分布，包括 Cohen 分布、Wigner-Ville 分布、谱图、尺度图等^[2-4]。

2 状态监测与故障诊断系统结构

水轮机的运行时的各种参数，如振动量、电气量、上下游水位、功率损耗、压力、温度等，由分布于现场

的多个数据采集节点实时采集，然后通过 RS-485 总线传送到上位机监测与故障诊断系统，并保存在数据库规定的位置。振动传感器选用北京桑拓应用技术研究生产的 ST-DP 型地震低频振动传感器，摆度传感器选用 CWY-DO 系列电涡流传感器，压力传感器选用 AK-1 型应变式脉动压力传感器。对振动信号的采集与分析是水轮机组状态监测的重要内容。水轮机的振动与其他机械的振动相比有较大的差别，除了要考虑系统本身的机械特性之外，水轮机的过流部件以及电磁力也会使水轮机产生较大的振动。整个监测与故障诊断系统的结构如图 2 所示。系统从纵向上看分为 3 个层次，即过程层的现场数据采集节点、监测层的监测站和站控层的服务器、工程师站等。在过程层，为了提高数据传输的实时性，根据水轮机组的数量将 RS-485 总线分段，一台水轮机组组成一个网段，由现场节点采集水轮机运行时的各种状态参数，并将数据传送到监测层的监测站，一台监测站负责监视一台水轮机组的运行状态。然后通过交换式以太网将整个水电厂的所有水轮机组的运行状态全部传送到站控层的服务器，由位于站控层的 Web 服务器通过 Internet 向外部发布水轮机组的运行信息，并实现基于 Internet 的远程监测与故障诊断^[10]。

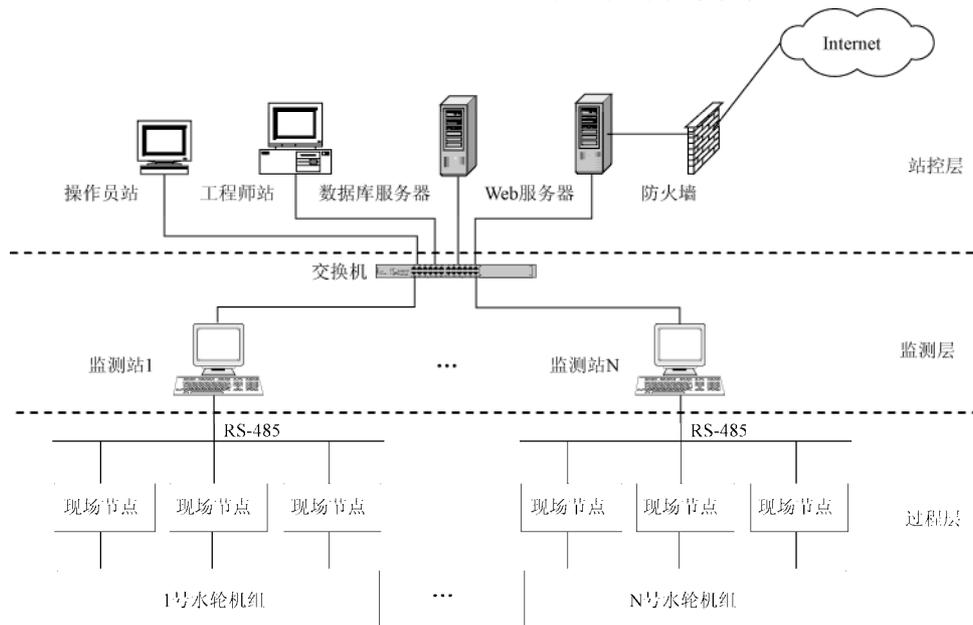


图 2 网络化水轮机组状态监测与故障诊断系统结构

Fig.2 Networked framework of condition monitoring and fault diagnosis system for hydraulic turbine set

3 现场节点设计

现场节点主要负责对水轮机组运行过程中的各种信号进行实时采集和传输，包括水轮机组振动摆度监测、机组转速监测、机组导叶开度监测、水轮机气蚀监测、尾水管真空监测、电气量监测、压力监测、温度监测、

水位及油位监测、水流量监测等。采集的信号包括模拟信号和开关信号。现场节点接收来自监测站的数据采集命令和其他一些组态命令，同时把采集到的数据通过 RS-485 总线上传到监测站。图 3 显示了一种采集 11 路模拟信号的现场节点的硬件电路图。

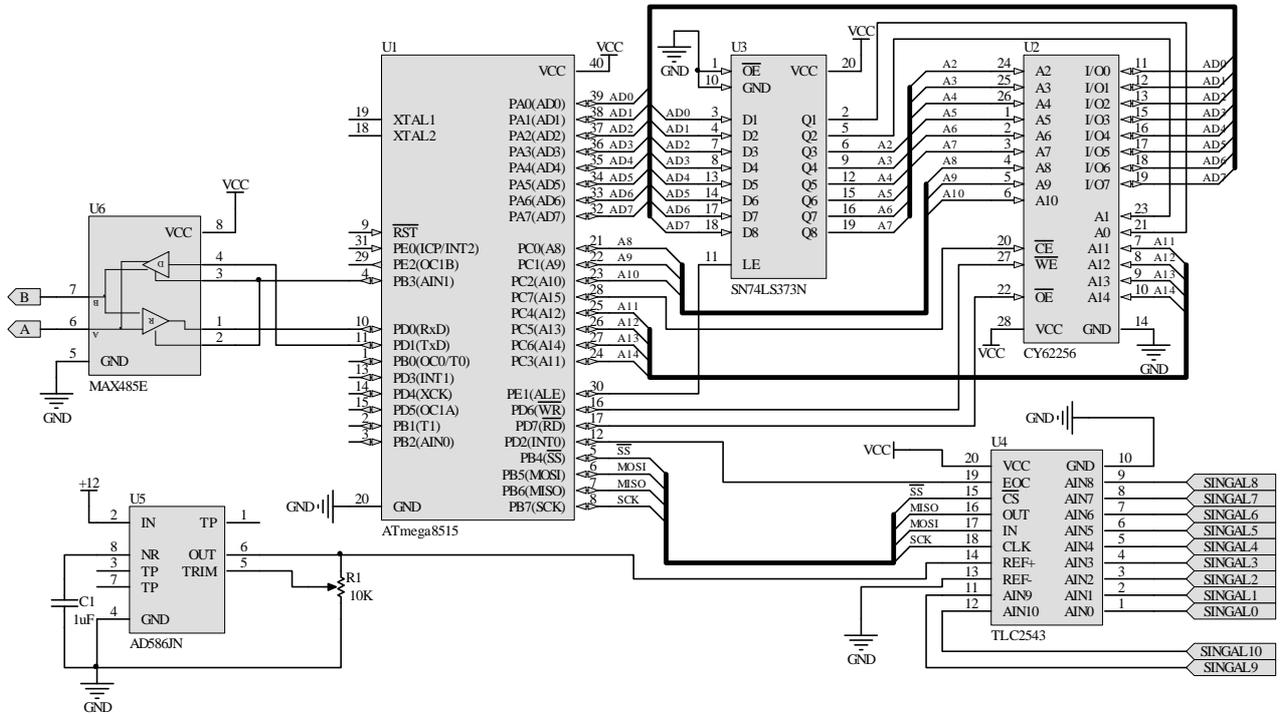


图 3 现场节点硬件电路
Fig.3 Hardware circuit of field node

现场节点以 AVR 单片机 ATmega8515 为核心。ATmega8515 是一种基于 AVR 增强型 RISC 架构的低功耗 CMOS 的 8 位微控制器，吞吐量在 1MHz 内可达 1MIPS，速度大大超过传统 51 单片机。且具有 8K 字节的可在线编程 ISP 的 Flash ROM，512 字节的 EEPROM 和 512 字节的静态 RAM，另外还有扩展存储器接口，可将数据存储器最大化到 64K 字节。有 35 个通用 I/O 线，32 个通用工作寄存器，2 个有比较模式的灵活定时/计数器，1 个 SPI 串口，1 个可编程串行同步/异步 USART，1 个可编程看门狗定时器等，硬件资源十分丰富。由于现场节点需要采集大量的数据，ATmega8515 芯片内部的 512 字节 SRAM 容量不足，使用芯片 62256 将数据存储器增加了 32K 字节。使用串行 AD 转换芯片 TLC2543 将模拟信号转换成数字信号，并通过 SPI 方式送入 ATmega8515。现场节点通过 MAX485 芯片将数据送上 RS-485 总线^[11-12]。

4 监测站的监测软件设计

位于监测层的监测站是一台高性能的工控机 IPC，向下通过 RS-485 总线连接分布在各处的现场节点，向上通过交换式以太网与 Web 服务器、数据库服务器等相连。

监测站的开发工具为 Visual C++和 SQL Server。上位机的监测软件在整个网络化状态监测与故障诊断系统中起着核心作用，完成的功能包括：

- 1) 采集水轮机运行时的各种参数，包括状态量、电气量等。
 - 2) 设置现场节点的工作方式。如采集的通道数、采样周期等。
 - 3) 以数字、图形等方式显示水轮机组的全局和局部状态。画出实时曲线图、历史曲线图、频率曲线图等。能以声音、颜色的形式显示报警信息。
 - 4) 数据存储和管理。为了便于对数据进行分析，将现场节点采集到的大量数据存入数据库，并设置访问控制。数据分为实时数据和历史数据，这些数据既可作为事故或故障分析用，也可为水轮机组优化运行提供依据。
 - 5) 数据分析和故障诊断。利用监测系统采集到的各种数据，采用各种智能技术，提取数据中的各种特征信息，从而获取与故障相关的征兆，利用征兆进行故障诊断。
 - 6) 将水轮机组的运行参数上传到站控层的服务器，并接收来自站控层的各种组态命令。
- 监测软件的结构框图如图 4 所示。

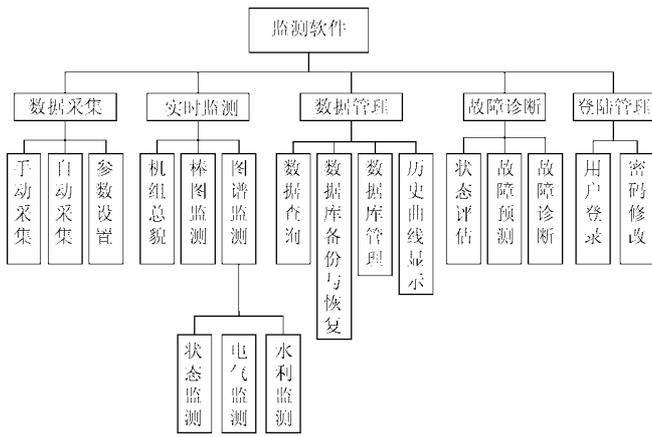


图 4 监测软件的结构框图

Fig.4 Framework of monitoring software

监测软件系统包括水轮机组数据采集、水轮机组实时监测、监测系统管理、水轮机组故障诊断、系统登录等几大模块。

4.1 监测站与现场节点的通信

监测站通过 RS-485 总线接收现场节点的数据，采用主从工作方式，监测站是主机，现场节点是从机^[13-14]。ATmega8515 单片机有一个 USART 同步异步串行接口，含有一个独立的高精度波特率发生器，无需占用一个定时/计数器。设置 USART 为异步工作方式。为了使 ATmega8518 单片机的串口 USART 适应多机通信的需要，在串口的控制与状态寄存器 UCSRA 中设置了多处理器通信模式 MPCM 位。若 MPCM=0，则接收器可以接收数据帧和地址帧；若 MPCM=1，则接收器能对接收到的字符帧进行过滤，只允许地址帧的接收。在多机通信系统中，串口 USART 的字符帧设置成具有 9 位数据位的帧格式。字符帧的第 9 位 RXB8/TXB8 用作区别是地址帧还是数据帧；对于地址帧，RXB8/TXB8=1，对于数据帧，RXB8/TXB8=0。串口 USART 多机通信的过程如下：

- 1) 所有从机设置成多机通信模式，即使 MPCM=1。
- 2) 主机发送地址帧，所有从机接收地址帧存入 UDR，并使从机 UCSRA 寄存器的接收标志位 RXC 为 1。
- 3) 所有从机从 UDR 中取出地址帧与本机地址比较，如相同则使本机 MPCM=0，如不同则保持 MPCM=1，以等待下一个地址帧的到来。
- 4) 被寻址从机接收来自主机的所有数据帧，其他从机则因 MPCM=1 而忽略这些数据帧。
- 5) 被寻址从机在接收到主机发送的最后一个数据帧后，使其 MPCM=1，以等待主机发送下一个新的地址帧。然后通信过程将从第 2 步重新开始。

监测站 IPC 的串口 COM 是基于 8250 芯片（或兼容芯片）的异步通信 UART 接口。其数据通信方式，尤其是多机通信方式与 AVR 单片机 ATmega8515 的串口有很大不同。IPC 的串口 UART 可设置为发送 11 位的字符帧，由 1 位起始位、8 位数据位、1 位奇偶校验位和 1 位停止位组成；但没有表示多机通信的控制位，也没有区别地址帧和数据帧的标志位。为了完成 IPC 的串口与

ATmega8515 之间的串行多机通信，必须使它们的数据格式和通信协议相同。对于监测站的 IPC，由于作为多机通信的主机，一直接收来自各从机的数据，所以其工作方式不需要在多机通信方式和点对点通信方式之间转换，也就是不需要类似 ATmega8515 的 MPCM 位。但主机 IPC 在发送字符帧时，必须区别是地址帧还是数据帧，这一点可以通过软件的方法改变字符帧格式，即控制 8250 的奇偶校验位，使得在发送地址时，用软件使奇偶校验位为“1”，而在发送数据时，用软件使奇偶校验位为“0”。Visual C++ 的 MSComm 控件很容易做到这一点。

监测站 IPC 的监测软件定时启动 IPC 的串口接收来自现场节点采集到的各个水轮机组的运行参数，程序流程图如图 5 所示。

4.2 故障诊断方法

采用小波分析和人工神经网络相结合的方法进行水轮机组的故障诊断。在小波包空间采用一种自适应软阈值方法消除白噪声，运用频带分割技术消除有色噪声，计算得到各小波包子空间的能量并提取故障特征矢量，作为人工神经网络的输入，从而实现水轮机组的故障诊断^[3]。其中以 Daub4 作为基函数构造小波包，并将变换后的故障信号在频域内进行 8 段分割；根据人工神经网络理论构造一个 BP 网络，其中输入层神经元个数为 7，隐含层神经元个数为 5，输出层神经元个数为 2。当 BP 神经网络输出为 (0,0) 时表示水轮机组运行正常，当输出为 (0,1) 时表示水轮机组的叶型气蚀故障，当输出为 (1,0) 时表示主轴滑动摩擦故障。故障诊断程序的流程图如图 6 所示。

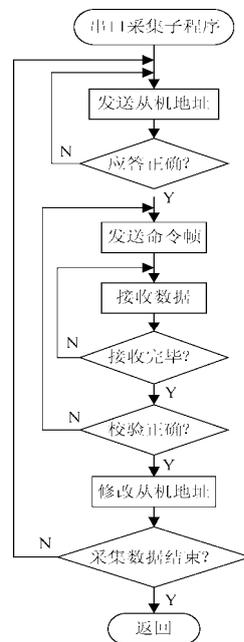


图 5 串口通信流程图
Fig.5 Flowchart of serial communication

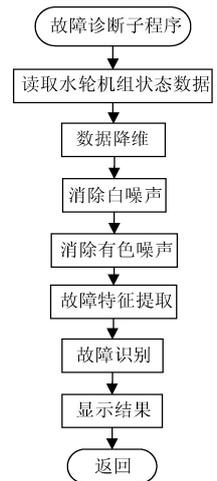


图 6 故障诊断流程图
Fig.6 Flowchart of fault diagnosis

5 试验结果分析

图 7 为该监测与故障诊断系统对一台水轮机组运行时的上机架水平振动信号进行的采样，其中横坐标为采

样点个数，纵坐标为振幅，采样频率为 341Hz。从图中可以看出水轮机组振动信号频率成分非常丰富，是非稳态信号，利用小波变换对振动信号进行多分辨率分析，可对各个频段的能量进行量化处理，得到该振动信号的能量分布图。通过分析振动信号高频部分和低频部分的能量分布情况，即可实现对水轮机组的故障诊断并能对故障点进行定位。

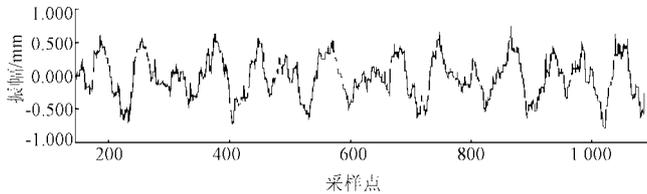


图 7 水轮机组的振动信号

Fig.7 Vibration signal of hydraulic turbine set

为进行故障诊断，将小波包的自适应阈值选择为 21，这样可以使约 80% 的小波包系数为零，同时保留信号 80% 的能量，从而实现以尽量少的小波系统描述尽量多的信息量，有利于小波包空间降维和提取信号的特征信息^[3]。选取 2 种不同的故障类型的信号样本做能量（经过归一化处理）分布对比，可以发现不同故障信号经过小波包变换和频带分割后形成的能量分布图是完全不同的，如图 8 所示，因而可以将能量分布作为水轮机组故障信号的特征矢量。

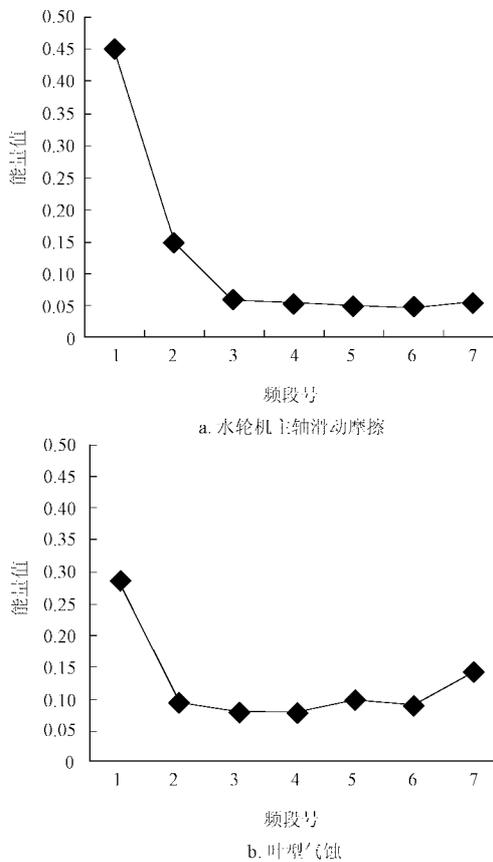


图 8 两种不同故障的能量分布图

Fig.8 Energy distribution of two different faults

通过大量故障信号样本的特征矢量对 BP 神经网络进行反复训练之后，选取另外 2 组样本数据作为 BP 神经网络的输入，以验证故障诊断方法的有效性，结果如表 1 所示。可以看出该故障诊断方法对 2 种常见的水轮机组故障类型能做出准确的识别。

表 1 水轮机组故障诊断结果

输入	实际输出	理想输出	故障类型
样本 1	(0.0012, 0.9985)	(0, 1)	叶型气蚀
样本 2	(0.9972, 0.0015)	(1, 0)	水轮机主轴滑动摩擦

6 结 论

大中型水轮机组的安全运行对于水电站的正常运行以及电网的安全都有重要影响。为提高水轮机组设备的可用率，降低机组检修费用，必须大力发展水轮机组的状态检修与故障诊断技术。本文设计了一种新颖的网络化分层分布式的水轮机组状态实时监测与故障诊断系统，该系统有过程层、监测层和站控层 3 个层次，RS-485 总线和交换式以太网 2 种数据传输方式。现场节点以 AVR 单片机为核心自行设计硬件和软件。监测站在硬件上是一台高性能的工业计算机 IPC，采用 Visual C++ 和 SQL Server 设计监测系统软件。将小波分析与神经网络相结合，采用小波包消噪和频带分割技术进行水轮机组的故障诊断。基于 TCP/IP 协议将现场数据上传至站控层的服务器。该系统实现容易，成本较低，易于推广，能准确采集水轮机组的运行参数，实现水轮机组常见故障的识别，可显著提高水电站运行的经济效益及促进国家智能电网的建设。

[参 考 文 献]

- [1] 肖世杰. 构建中国智能电网技术思考[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(9): 1-4.
Xiao Shijie. Consideration of technology for constructing Chinese smart grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33(9): 1-4. (in Chinese with English abstract)
- [2] 吴道虎. 基于声学的水轮机状态监测技术研究[D]. 华中科技大学, 2006.
Wu Daohu. Study on Acoustics Based Condition Monitoring Technique of Hydro Turbines[D]. Huazhong University of Science and Technology, 2006. (in Chinese with English abstract)
- [3] 孙涛, 黄天成, 阚黎明, 等. 小波包消噪提高小波网络故障识别性能[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2005, 37(4): 561-564.
Sun Tao, Huang Tianshu, Kan Liming, et al. Fault detection and isolation capability improvement of wavelet neural network basing on wavelet packet transform de-noising[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2005, 37(4): 561-564. (in Chinese with English abstract)
- [4] 杜巧连, 张克华. 基于自身振动信号的液压泵状态监测及故障诊断[J]. 农业工程学报, 2007, 23(4): 120-123.

- Du Qiaolian, Zhang Kehua. Condition monitoring and fault diagnosis of hydraulic pump based on inherent vibration signals[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(4): 120—123. (in Chinese with English abstract)
- [5] 周立华, 邹淑云, 刘忠, 等. 基于 LabVIEW 的水轮机状态监测与故障诊断系统研究[J]. 水力发电, 2010, 36(3): 78—80.
Zhou Lihua, Zou Shuyun, Liu Zhong, et al. LabVIEW-based turbine condition monitoring and fault diagnosis system[J]. Water Power, 2010, 36(3): 78—80. (in Chinese with English abstract)
- [6] 刘昌玉, 杨翼. 基于以太网的水轮机状态实时监测系统[J]. 仪表技术与传感器, 2007(9): 33—35.
Liu Changyu, Yang Yi. Real-time monitoring system for hydro turbines based on Ethernet network[J]. Instrument Technique and Sensor, 2007(9): 33—35. (in Chinese with English abstract)
- [7] 盛旺, 赖旭, 瞿墨. 网络化水电机组振动监测和故障诊断系统[J]. 微计算机信息, 2008, 24(3/1): 113—115.
Sheng Wang, Lai Xu, Qu Zhao. A network system for hydroelectric generating set vibration monitoring and fault diagnosis[J]. Microcomputer Information, 2008, 24(3/1): 113—115. (in Chinese with English abstract)
- [8] 瞿墨, 赖旭, 朱建林. 网络化水电机组在线状态监测与故障诊断系统[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(1): 68—71.
Qu Zhao, Lai Xu, Zhu Jianlin. A network system of hydroelectric generating set on-line state monitoring and fault diagnosis[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2006, 27(1): 68—71. (in Chinese with English abstract)
- [9] Bin Lu, Yaoyu Li, Xin Wu, et al. A review of recent advances in wind turbine condition monitoring and fault diagnosis[C]//Proceedings of 2009 IEEE Power Electronics and Machines in Wind Applications, 2009: 109—115.
- [10] 滕飞, 王常虹, 王玉峰, 等. 利用 Java 和 Web 构建基于互联网的远程控制系统[J]. 计算机集成制造系统, 2004, 10(2): 195—199, 214.
Teng Fei, Wang Changhong, Wang Yufeng, et al. Remote control system based on Internet[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2004, 10(2): 195—199, 214. (in Chinese with English abstract)
- [11] 王红亮, 杨晓. AVR 单片机与串行 A/D 的 SPI 接口设计[J]. 电测与仪表, 2008, 45(9): 46—48.
Wang Hongliang, Yang Xiao. The design of SPI between AVR microcontroller and serial A/D converter[J]. Electrical Measurement and Instrumentation, 2008, 45(9): 46—48. (in Chinese with English abstract)
- [12] 夏伟, 郑诗程, 葛芦生. 基于 AVR 单片机的电网参数监控系统[J]. 自动化仪表, 2008, 29(8): 35—40.
Xia Wei, Zheng Shicheng, Ge Lusheng. AVR-based supervising system for parameters of electric power grid[J]. Process Automation Instrumentation, 2008, 29(8): 35—40. (in Chinese with English abstract)
- [13] 李明, 黄天成, 孙涛, 等. 基于 RS-485 总线的现场监测单元的设计与实现[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(30): 209—211.
Li Ming, Huang Tianshu, Sun Tao, et al. Design and implementation of local monitoring unit based on rs-485 bus[J]. Computer Engineering and Application, 2003, 39(30): 209—211. (in Chinese with English abstract)
- [14] 王飞, 吴茂. 基于 RS485 总线的智能型自动重合闸的设计[J]. 电力系统保护与控制, 2010, 38(1): 100—101, 106.
Wang Fei, Wu Mao. Design of intelligent automatic reclosing based on RS485[J]. Power System Protection and Control, 2010, 38(1): 100—101, 106. (in Chinese with English abstract)

Networked condition monitoring and fault diagnosis system for hydraulic turbine set

Li Ming¹, Sun Tao²

(1. College of Computer Science, Wuhan Textile University, Wuhan 430073, China)

2. School of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

Abstract: The safe operation of the large-medium hydraulic turbine set has great influence on the hydropower station and the grid. With analysis of the principle of the condition monitoring and fault diagnosis of hydraulic turbine, a monitoring and diagnosis system for hydraulic turbine set was developed based on novel networks. The system had three layers that were interconnected by the RS-485 bus and Ethernet. The field nodes were designed based on 8-bit AVR ATmega8515. The monitoring station used a high performance industry PC to monitor the status of the hydraulic turbine, and had the functions of fault diagnosis by wavelet analysis and neural network method. The internet based remote monitoring and diagnosis system for the turbine set was realized by the web server. The experiment results showed that the vibration signals were measured accurately, and the two common types of turbine faults could be recognized effectively.

Key words: hydraulic turbines, condition monitoring, fault diagnosis, AVR, wavelet, neural network