

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.10.013

船用机械设备故障诊断系统研究与开发*

许 伟¹, 冯武卫¹, 袁跃峰¹, 赵晓栋^{1*}, 陈正寿²

(1. 浙江海洋学院 船舶与海洋工程学院, 浙江 舟山 316022;

2. 浙江欧华造船股份有限公司, 浙江 舟山 316101)

摘要: 为了解决船用设备运行的可靠性这一问题,在工控机等硬件设备上开发了基于C#平台的船用机械故障诊断系统。首先,构建了工控机、信号调理器等硬件组成部分;在此基础上,采用C#编制了采集卡接口、信号处理方法、图形绘制等程序;最后进行了调试并应用于船用现场试验。结合齿轮故障设备模拟试验台,运用故障诊断系统采集信号,利用信号处理软件分析了正常齿轮与磨损齿轮的时域波形和频谱波形,分析了断裂齿轮的细化频谱的边频带,以此识别出了各类齿轮失效所在位置和原因。研究表明,船用机械设备故障诊断系统对于故障齿轮的检测具有有效性和可行性,同时该结果为利用故障诊断系统对轴承、柴油机等其他故障设备的诊断开发过程奠定了基础。

关键词: 故障诊断; C#平台; 船用齿轮; 信号处理; 工控机

中图分类号: TH39; TH207 **文献标志码:** A

文章编号: 1001-4551(2014)10-1291-06

Study and development signal conditioner for marine machinery equipment based on C# platform

XV Wei¹, FENG Wu-wei¹, YUAN Yue-feng¹, ZHAO Xiao-dong¹, CHEN Zheng-shou²

(1. School of Naval Architecture And Ocean Engineering, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China)

2. Zhejiang Ouhua Shipbuilding Co., Ltd., Zhoushan 316101, China)

Abstract: Aiming at improving the reliability of marine equipment, the mechanical fault diagnosis system which based on C# platform was developed in the industrial personal computer(IPC). The hardware components include IPC, signal conditioner that were built at first. Then the interface of sampling card interface, signal processing method and graphics plotting were programmed by C#. Finally, they were debugged and experimented in marine field. Combined with marine gear fault equipment, the fault diagnosis system was used to collect signal, and signal processing software was used to analyze the time domain waveform and spectrum waveform about normal gear and wearing gear, analyze sideband of fine frequency spectrogram of fractured gear, to identify all kinds of reasons and places about gear failure. The results indicate that the diagnosis system for marine machinery equipment is effective and validated for marine failure equipment, at the same time, the results lay the foundation for the diagnosis of development process by using fault diagnosis system to diagnose bearing, diesel and other equipment with fault.

Key words: fault diagnosis; C# platform; marine gear; signal processing; industrial personal computer(IPC)

0 引 言

随着机械行业的快速发展和科技进步,智能化及复杂化设备的产量不断增加,且机械设备承担的劳动

强度日益增大,人们对机械设备带来经济效益倍加关注。机械设备,甚至某一微小部件一旦发生损坏,可能带来的经济损失和人员伤亡不可估量^[1-2]。为了能及时、准确地识别机械故障的萌生和演变,确保机械

收稿日期: 2014-06-30

基金项目: 浙江省重大科技专项重点资助项目(2013C03031); 浙江海洋学院中青年骨干教师资助项目(11182101112)

作者简介: 许 伟(1989-),男,江苏徐州人,主要从事机械故障诊断方面的研究。E-mail: jiexren@163.com

通信联系人: 赵晓栋,男,副教授,硕士生导师。E-mail: 78516405@qq.com

稳定、可靠地工作^[3],提前或者快速解决机械故障问题成为当前机械行业的热点话题。

目前,旋转机械在线监测技术应用最为广泛,离线的故障监测与产品诊断也差强人意,然而,用户最为关心的是设备当前的损害程度、剩余使用寿命等问题是否能及时、有效地得到预测,这方面还显得较为欠缺。基于知识的智能故障诊断系统已经广泛应用于机械故障诊断领域,该系统诊断思路清晰且结果易于解释,但其针对性非常强,使用范围较小,推理效率低。基于神经网络的智能故障诊断是当今社会机械故障诊断发展趋势,理论知识先进、智能性强,受到机械行业诊断领域专业人员的一致好评。但由于发展的短暂性,系统收集的样本不够完善,其自我调整性较差。根据船用机械设备参数的变化,本研究开发基于C#船用机械设备故障诊断系统,该系统开发了集成软件,软件内含数据采集、数据分析、数据监测、数据识别于一体,易于做成一个系统,整体系统应用于常用渔船设备,弥补了国内船用设备实时监测故障诊断的不足。此外,该系统还具有基于知识的智能诊断系统的简单易行、诊断效率高、思路清晰等众多特点。

大型轮船逐渐向高效率、高可靠性和良好的性能方向发展^[4],采用齿轮传动装置作为机械推动系统成为当前的趋势。然而,齿轮在传动过程中也有明显的缺点,一是齿轮啮合过程中受到较大的冲击;二是加工处理过程中未达到理想状态,常发生机械故障。针对上述问题,首先,笔者研究和开发船舶常用设备故障检测系统,该系统包括信号采集、信号处理与信号识别部分,可以对柴油机、齿轮、轴承等设备进行故障检测和识别^[5-12];然后针对齿轮设备具体实例,采用该系统的时域分析、频域分析、细划频谱与边频分析进行诊断,提取故障特征频率,从而实现了对齿轮设备的故障诊断^[13-14]。

1 检测系统组成

软件和硬件是该检测系统的主要组成部分,硬件主要元件为工控机、传感器、信号调理器、PCI采集卡、端子板等;软件则是在.Net环境下开发。系统图如图1所示。

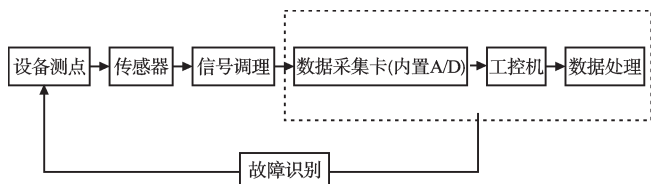


图1 系统图

该系统主要工作模式如下:传感器从设备测点采集信号,经信号调理器放大信号及滤除杂波,通过RS232串口把数传输到数据采集卡,数据采集卡内置A/D转换器,把诊断特征信号从模拟量转换为数字量上传到工控机,工控机中内含信号分析与特征提取方法,数字信号经过分析与处理后以波形图的方式显示出来。最后,系统通过识别处理好的波形来判别机械设备的故障。

1.1 硬件选择

由于工控机的现场工作环境恶劣,最常见的问题是灰尘颗粒污染、辐射、噪声干扰、潮湿腐蚀扰等问题。本研究选用凌华科技有限公司生产RK-690型航空拉杆箱工控机,它具有电源可靠性较高、制冷风扇功率较大、减震效果较好、抗干扰能力较强、适应各种恶劣的现场环境特点。本研究中的工控机主要实现的任务是发送指令以及模拟运算。

PCI-9114DG主要指标:32位通道、16位高分辨率A/D转换器;该卡可存储1 KB数据FIFO;可编程增益:1、2、4、8(PCI-9114DG);最高100 kHz采样频率;16路差动模拟输入范围 $\pm 10\text{ V}$ 、 $\pm 5\text{ V}$ 、 $\pm 2.5\text{ V}$ 或 $\pm 1.25\text{ V}$ 可编程。

ACLD-9188通用型接线端子板,带两个可选连接器:2×20针接头或1×37针连接器。该板含有可选连接器:2×20连接器或1×37针D-Sub插座;尺寸为222 mm×114 mm。该端子板为工业现场信号接线提供了便捷的方法。

目前,传感器广泛的运用于工业、农业等领域,密切地融入人们的日常生活中,因此传感器优劣尤为重要。本研究主要是对机械故障信号的诊断,且振动信号是诊断故障信号的最重要来源,故障以振动信号的形式表现出来非常明显。因此,该系统选定的传感器需对振动等动态参数响应灵敏且性能可靠,综合考虑,该系统使用冠标科技有限公司的7703A-50型压电式加速度传感器。

信号调理器一般具有滤波、信号放大、抑制干扰并提高信噪比的作用。该系统中使用的信号调理器主要参数指标:3档放大X1、X10、X100;八档位低通滤波;−140 dB/oct衰减速率;失真度<1%。

1.2 软件开发

接口软件的开发是本研究研究的重点。本研究利用PCI-Dask.DLL动态库获取采集卡参数,通过匹配采集卡驱动执行采集命令。然后用多种方法分析采集到的信号,最终识别出故障类型。软件开发重点包含两部分:数据采集程序和信号处理程序。

数据采集界面主要包括:采集卡设置、文件存储

和动作按钮。信号处理界面包括:时域波形分析、时频分析、相关性分析、频谱分析、倒频谱分析和趋势预测等。

2 数据采集与信号处理

2.1 窗口界面的设计

本研究以.Net作为开发环境,开发了机械故障诊断数据采集系统C#程序。该界面主要由C#窗口及控件构成。数据采集参数的设计界面如图2所示。

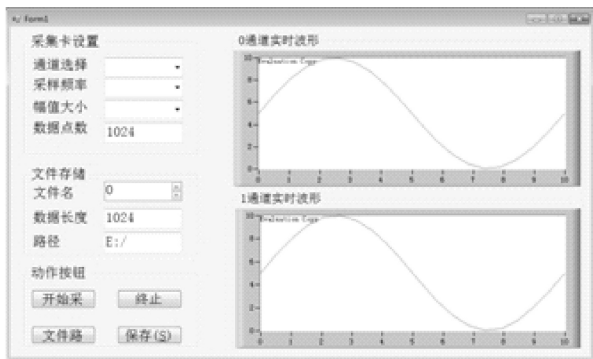


图2 参数设置界面

2.1.1 采集卡设置

(1) 通道选择:PCI-9114DG共有32个通道,结合本系统使用的信号调理器,故通道设置为单通道、双通道、三通道、四通道采集。对应C#界面中程序为:CH-0、CH-1+CH-0、CH-1+CH-0+CH-2、CH-ALL。

(2) 采样频率:PCI-9114DG采集卡最高的采集频率为100 kHz,根据系统实际需求,采样频率为100 Hz、200 Hz、300 Hz、400 Hz、500 Hz、1 kHz、10 kHz、20 kHz、30 kHz、40 kHz、50 kHz、100 kHz。

(3) 幅值大小:幅值的设置与PCI-9114DG采集卡模拟输入范围一致。根据模拟输入设置幅值,振幅为 ± 10 V、 ± 5 V、 ± 2.5 V、 ± 1.25 V。

2.1.2 文件存储

文件存储部分比较简单,主要进行文件名称、路径、数据长度的设置,这里不再一一论述。

2.1.3 动作按钮

“开始采集”、“终止”按钮是该界面设计的核心。这两个按钮链接到采集卡PCI-9114DG的Dask.cs库,完成采集卡注册、配置、采集等命令,最后终止按钮,结束采集卡信号采集。

“文件路径设置”、“保存”按钮则对文件存储位置,文件路径进行设置。

2.1.4 绘图软件

该界面所使用的绘图软件是NI公司所开发的ax-CWGraph控件,可以实时显示时域、频域数据图形,为

后续参数处理提供直观的视觉效果。

2.2 控件编程

数据采集界面由所需的控件组合而成,而实现数据采集界面的功能,则需要对控件进行编程,数据读取与转换的程序如下。

(1) PCI-9114采集卡读取数据:

Dask.AI_ContScanChannels (card_num, channel, DASK.AD_B_5_V, ai_buf, data_size, sample_rate, DASK.ASYNCH_OP);

AI_ContScanChannels 函数功能是读取信号,参数意义如下:card_num—采集卡PCI-9114DG的卡号;channel是通道号;Dask.AD_B_5_V—设置双极性电压值为 ± 5 V;ai_buf—卡的缓冲内存;data_size—缓冲点数;sample_rate是采样率;ASYNCH_OP—采用异步方式采样。

(2) 数据转换:

Dask.AI_ContVScale (card_num, DASK.AD_B_5_V, ai_buf, ai_buf1, (int)ReadCnt);

AI_ContVScale—数据转换函数,其中参数意义如下所示:ai_buf1—把卡的缓冲内存的数据放入到ai_buf1中,得到采集的数据;ReadCnt—读取数据。

数据采集卡PCI-9114DG采集信号过程所涉及的主要参数,集成于上述动作按钮“开始采集”按钮下,用户通过点击“开始采集”按钮,机械故障信号采集界面开始采集信号,最终把采集来的信号以图形的形式在绘图控件中显示出来。

2.3 系统信号处理方法

2.3.1 信号处理界面设计

信号处理方法种类繁多,该系统包括时域分析、频域分析、细化频谱分析、倒频谱分析、功率谱分析、时频分析和趋势预测等方法。本研究结合齿轮故障检测实例着重介绍时域相关分析、实时频谱分析、细化频谱分析,有效帮助课题项目组完成故障检测的目的。信号处理界面如图3所示。

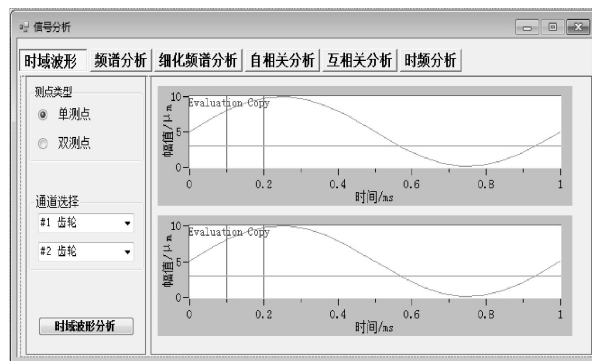


图3 信号处理方法

2.3.2 时域相关分析

时域相关分析可以分析两个信号的相似程度,快速判别机械故障信号与正常信号之间的差别。两个随机变量 x 和 y 的线性相关系数 ρ_{xy} 为:

$$\rho_{xy} = \frac{C_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{E[(x - \mu_x)(y - \mu_y)]}{\{E[(x - \mu_x)^2]E[(y - \mu_y)^2]\}^{1/2}} \quad (1)$$

式中: C_{xy} —两个随机变量 x 和 y 波动量之积的数学期望,表示协方差; σ_x, σ_y —随机变量 x 和 y 的均方差。

该系统采用自相关分析法,分析随机信号中所含的周期信号,滤除杂波,保留具有机械故障特性的周期信号,便于本研究的随机故障信号的识别。

2.3.3 实时频谱分析

实时频谱分析在该系统中的作用是把传感器采集到的复杂的随机信号进行实时傅里叶变换:

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \quad (2)$$

从而得到相对于频率的参量—幅值、相位、幅值密度,以此确定故障类型以及故障类型。

2.3.4 细化频谱分析

细化频谱法即所谓的“局部频率扩展”法,该方法通过频率细化技术提高频谱图中某段频率的分辨率,实现局部信号的分析。针对齿轮和轴承的故障诊断,细化频谱分析结合边频分析是十分有效的信号处理方法。

3 系统应用实例及分析

机械故障诊断系统实例图如图4所示。整个系统应用于渔船设备,针对柴油机、齿轮、轴承等设备进行故障诊断,弥补了国内船用设备实时监测故障诊断的不足。

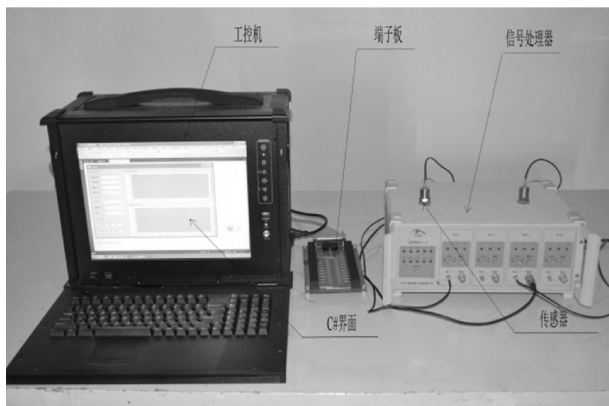


图4 机械故障诊断系统

为了验证系统工作的准确性以及稳定性,本研究采用江苏千鹏诊断工程有限公司故障模拟试验台(该试验台为船用传动装置模拟装置)。试验台如图5所

示,测点如图5黑点标记所示。试验台被测齿轮箱、轴承座内部可更换成有缺陷的轴承、齿轮。本研究针对磨损齿轮,利用频域分析和时域分析方法来识别分布的齿轮故障信息;针对断裂齿轮,利用细化频谱分析的方法来识别分布的齿轮故障信息。根据电机转速 22 Hz,设计 PCI 采集卡采集频率为 250 Hz,信号放大 100 倍,低通滤波器采用 1 kHz。

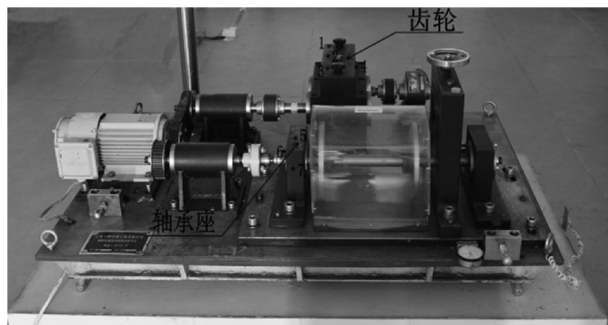


图5 故障模拟试验台

3.1 磨损齿轮的时域与频域分析

正常齿轮振动时所发出的信号如图6所示。随着齿轮的啮合,电压值在 2.8 s 以及 5.2 s 前后发生变化。磨损齿轮信号的时域波形如图7所示。图7相比较图6而言,在相同的时间内除了齿轮啮合处电压值发生了改变,另有多处电压值发生了突变。故可判别齿轮可能发生了故障。

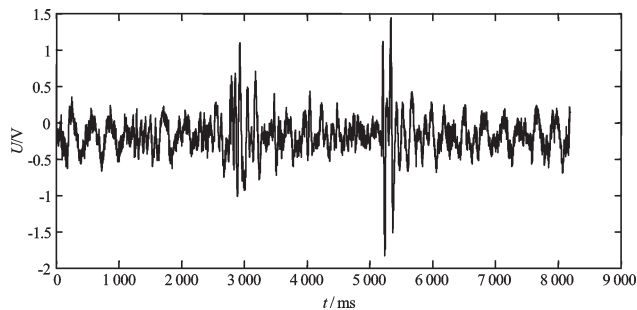


图6 正常齿轮信号的时域波形

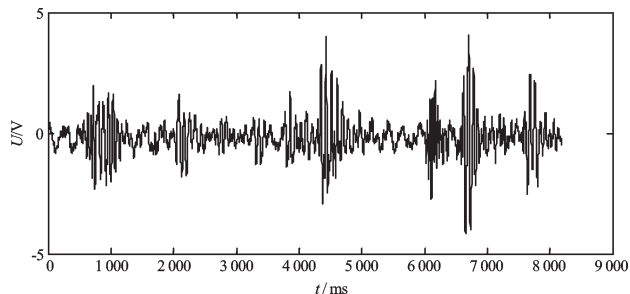


图7 磨损齿轮信号的时域波形

由于图6与图7的时域波形对比没有明显异常区别,本研究对齿轮采用频谱分析,可以更清楚、更直观地看出正常齿轮与磨损齿轮之间的差异。齿轮正常信

号和磨损信号的频谱分析如图8、图9所示。正常齿轮和磨损齿轮在幅值谱上的主要区别集中于低频分段,图8与图9的主要区别在于:图9在102 Hz以及189 Hz处幅值发生明显的变化,故障信息表现得非常明显。

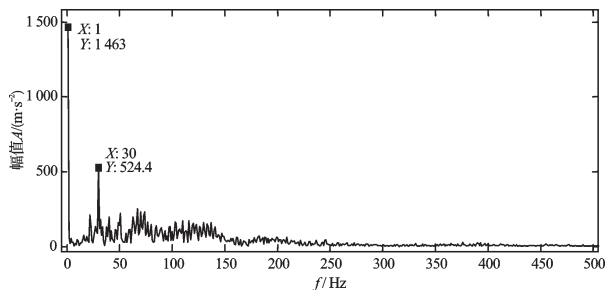


图8 正常齿轮信号的频谱分析

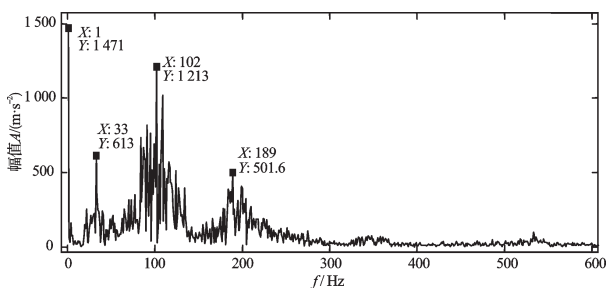


图9 磨损齿轮信号的频谱分析

3.2 断裂齿轮的细化频谱分析

断裂齿轮信号的时域波形如图10所示。断裂齿轮信号的频谱分析与细化频谱分析如图11、图12所示。

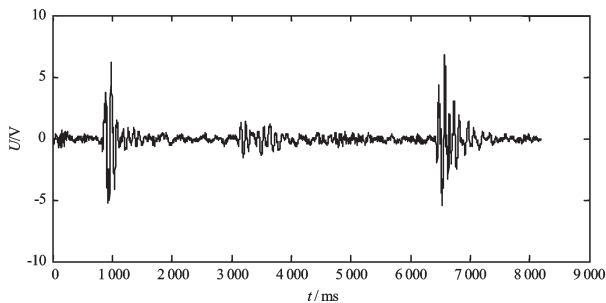


图10 断裂齿轮信号的时域波形

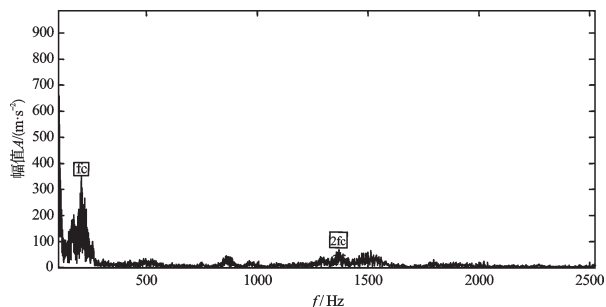


图11 断裂齿轮信号的频谱分析

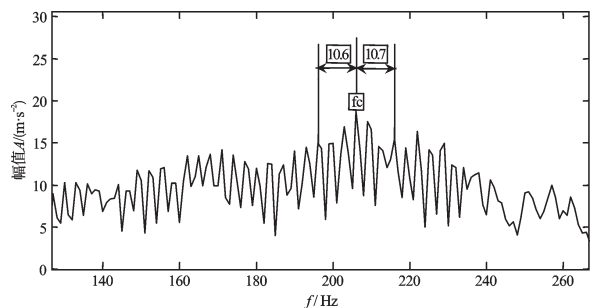


图12 断裂齿轮信号的细化频谱分析

图12是对图11中100 Hz~250 Hz的频率细化。从图12中可以看出,在转速650 r/min时,100 Hz~250 Hz细化谱中包含齿轮啮合率的谱线 $f_c=212.7$ Hz,而且其对应的幅值很大,这与48/20齿轮啮合频率为216.7 Hz相当近,误差最大1.8%;而且在它的两旁有10.7 Hz和10.6 Hz的边频,这与主轴的旋转频率10.8 Hz也很接近,最大误差1.8%。通过对该设备的平时的运转情况深入了解,并结合频谱分析得出,该齿轮个别齿出现断裂。

4 结束语

本研究采用C#开发平台大大简化了开发过程,降低了成本,缩短了开发时间;其用户界面人性化,诊断方法灵敏可靠。实践证明了该系统为渔船各个部件运行状态的可靠性提供了保障,且结合时域分析、频谱分析等信号处理方法,直观地识别出机械设备故障所在。该系统不仅可以应用于渔船监测,还可以应用于其他机械设备,在机械故障诊断领域具有较好的应用。

该系统目前主要集成了一些传统的信号处理和故障诊断方法,在后续研究中笔者将逐渐集成一些智能诊断方法,使系统更加完善和智能化。

参考文献(References):

- [1] 时献江,王贵荣,司俊山. 机械故障诊断及典型案例[M]. 北京:化学工业出版社,2013.
- [2] 简小刚,张艳伟,冯跃. 工程机械故障诊断技术的研究现状与发展趋势[J]. 中国工程机械,2005,3(4):445-449.
- [3] 王国彪,何正嘉,陈雪峰,等. 机械故障诊断基础研究“何去何从”[J]. 机械工程学报,2013,49(1):63-72.
- [4] 陈进. 机械设备振动监测与故障诊断[M]. 上海:上海交通大学出版社,1999.

(下转第1323页)

本文引用格式:

许伟,冯武卫,袁跃峰,等. 船用机械设备故障诊断系统研究与开发[J]. 机电工程,2014,31(10):1291-1295,1323.

XV Wei, FENG Wu-wei, YUAN Yue-feng, et al. Study and development signal conditioner for marine machinery equipment based on C# platform[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(10): 1291-1295, 1323.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>