

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2014.06.029

# 面向油田注采设备的手持式状态监测 与故障诊断系统\*

王次年<sup>1</sup>, 谭大鹏<sup>2\*</sup>

(1. 枣庄职业学院 机电工程系, 山东 枣庄 277800;

2. 浙江工业大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310014)

**摘要:** 针对目前油田注采设备的维修存在着故障类型多、设备分散、连续工作要求高,传统的基于PC机模式故障诊断技术灵活性差等问题,对油田注采设备的使用现状、运行特点进行了详细分析,确定了以振动为主要检测指标的技术路线;提出了一种基于嵌入式技术的手持式状态监测与故障诊断系统的研究方案。通过采用多通道数据采集技术,实现了手持巡检式实时数据采集,并结合多种信号分析方法,搭建了可配置、占用空间小的信号处理构件库与图形用户界面构件库,完成了对信号特征的提取、在线分析与诊断;设计、实现了具备低功耗设计的上下位机双CPU结构的监测系统。研究表明,该系统能够实现对油田注采设备的准确监测,且运行稳定,具有良好的应用前景。

**关键词:** 注采设备; 手持; 嵌入式; 故障诊断; 信号处理

中图分类号: TH39; TP277 文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2014)06-0809-05

## Hand-held state monitoring and fault diagnosis system for oil fields pouring and pick equipment

WANG Ci-nian<sup>1</sup>, TAN Da-peng<sup>2</sup>

(1. Department of Mechanical & Electrical Engineering, Zaozhuang Vocational College, Zaozhuang 277800, China;

2. College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

**Abstract:** Aiming at various problems existing in repairing of pouring and picking equipments(PPE), detailed analysis on situations and working features of PPE was carried out. These problems including complicated fault types, dispersive equipments and strict standard for continuous work can not be solved by the traditional fault diagnosis technology(FDT)based on PC, because the FDT is lack of flexibility. Based on analysis, the solution which adopts vibration as main index was confirmed. Besides, a new kind of hand-held state monitoring and fault diagnosis system(SM-FDS)based on embedded technology was put forward. With the help of multi-channel data collection technology, hand-held circuit check real-time data collection and signal analysis component(SAC), signal analysis component(SAC) library and the graphical user interface(GUI)component library which was configurable and space-saving were established. A monitoring system with upper-lower dual-CPU which has low power consumption was constructed. The results indicate that this system which monitors pouring and picking equipments(PPE) accurately and stably is promising.

**Key words:** pouring and pick equipment; hand-held; embedded system; fault diagnosis; signal analysis

收稿日期: 2014-01-20

基金项目: 浙江省科技计划资助项目(2011C21012)

作者简介: 王次年(1978-),男,山东枣庄人,主要从事电子技术应用方面的研究. E-mail:wcn781208@163.com

通信联系人: 谭大鹏,男,博士,副教授,硕士生导师. E-mail:tandapeng@zjut.edu.cn

## 0 引言

注采设备(如抽油机、注聚泵等)是油田应用最为广泛的设备之一,具有型号繁多、设备分散、连续工作要求高、工作环境恶劣等特点。多年来,对于注采设备的维修与监测一般采用定期巡检制度,无法做到运行状态的实时监控,设备预知维修能力差。随着计算机技术的发展,有部分油田推行了基于PC机模式在线故障诊断系统,可实现对设备状态的实时监控和故障预测,但其灵活性差,对工况环境要求高,适用范围窄,且结构复杂,操作繁琐,费用较高<sup>[1]</sup>。

嵌入式技术的突飞猛进促使监测仪器向结构轻巧、性能优越、成本低、操作简便的方向发展<sup>[2]</sup>。因此,本研究提出一种面向油田注采设备的手持式状态监测与故障诊断系统实现方案,该系统集数据采集和管理、状态监测、故障诊断于一体,具有低功耗、体积小、易于操作、实时性好且抗干扰性强等优点,适用于测点分散、对安全性要求高且工作环境恶劣的油田注采设备的监测和诊断,能够较好地解决当前油田注采设备监测中存在的一些问题。

## 1 系统实现方案与架构设计

### 1.1 实现方案

注采设备运行过程中诸多工作参数(如压力、流量、温度、振动等)都可以作为监测信号,实现对其监控与维护的目的。其中振动信号包含了丰富的运行状态信息,易于拾取,相关信号处理理论较为成熟,且可以进行免拆装监测。因此,该系统将测量振动作为设备监测的主要实现手段。

系统总体可分为嵌入式手持端和PC端两部分,其中手持端为系统核心,采用上、下位机双CPU结构,由实时数据采集系统(下位机, MSP430)和数据处理分析系统(上位机, ARM)组成。该系统对监测任务进行了合理地分解:将模拟信号采集、A/D转换及数据预处理放在下位机实现,控制系统硬件规模及耗电量,充分利用MCU的事务控制能力;将数据的处理、分析、显示以及简单的故障判断等功能放在上位机上实现,以充分利用ARM的处理能力和交互能力;将复杂的历史数据对比分析、设备性能趋势预测以及完整的专家系统放在分析中心的PC机上实现。

### 1.2 架构设计

系统构架如图1所示。下位机CPU是完成数据采集和发送的载体,承担着多路实时数据的采集和预处理,对体积和功耗等要求比较严格。结合当前比较流

行的嵌入式控制器及其技术支持,本研究选择了TI公司的MSP430F149作为下位机CPU。在该系统中,需要处理大量的数据,故需要单片机处理能力强、运行速度快、性价比高,且具备优越的低功耗性能,而430单片机正好满足了上述要求,尤其适合手持仪器的设计与开发<sup>[3]</sup>。

上位机通过USB口接收下位机上传的数据,承担实时数据的处理、动态分析及精简的专家系统故障诊断等工作,具备友好的LCD人机接口;同时可以通过USB或者以太网通信将数据传输至PC机,进行深入的离线数据处理与分析。综合考虑当前流行的嵌入式微处理器的性能、成本等因素,本研究选择了三星S3C2410A-20作为上位机CPU。2410使用ARM920T内核,内部带有全性能的MMU(内存管理单元),具有高性能、低功耗、接口丰富和体积小等优良特性,适合该系统的设计要求。

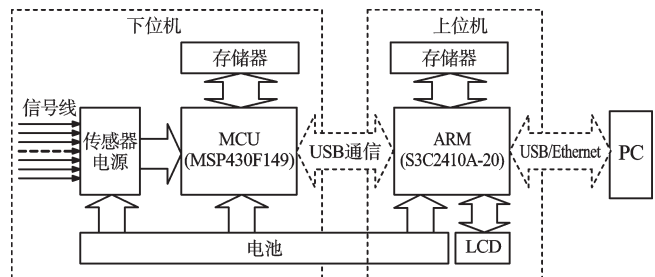


图1 系统整体架构

该系统的传感器采用ZLDS/N-100,是因为该传感器广泛应用于机械系统的故障诊断、噪声消除、构件的动态特性分析及振动的有限元计算结果验证等方面。同时,针对手持系统的低功耗要求,本研究设计了特定的电源管理模块,利用电池统一实现对上、下位机CPU以及其他外围器件的供电。

## 2 下位机实时数据采集系统

### 2.1 下位机硬件设计

#### 2.1.1 电路组成结构

硬件电路的物理结构采用了多层板以及多板组合设计,以满足手持系统的小体积要求。本研究利用430的5种超低功耗模式,实现系统功耗需求<sup>[4]</sup>。该芯片具备RISC指令集、片内A/D、多通道串行接口以及硬件乘法器,适用于高集成度、强处理能力的移动数据采集系统设计。芯片时钟有多种工作模式,外部的32.768 kHz低速晶振在系统省电模式启用,内部的8 MHz高速晶振在系统全速运行的时候启动。

下位机硬件体系结构如图2所示,由信号调理放大电路、高频滤波电路、430及其调试接口电路、外扩

快速SRAM电路、串口驱动电路、端口切换电路、外围器件供电电路、核心器件供电电路、A/D外部电压基准电路等模块组成。模拟信号调理电路与标准电压式加速度传感器相连接,430实现多路现场实时数据的采集及预处理,并根据既定的数据传输协议进行打包,通过USB口传给上位机。

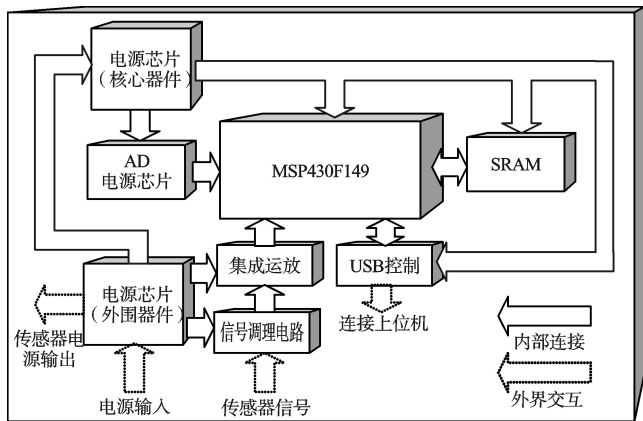


图2 下位机硬件体系结构

### 2.1.2 复位与存储电路

复位电路是影响系统稳定工作的重要因素,对于实时性、稳定性要求较高的嵌入式仪器来讲,这一点更加重要。为了保证数据采集系统可靠地复位和正常地工作,需要提供一定周期的充电时间和放电时间,并且也要保证电源的质量。本研究采用的是一个简单实用的RC电路,实现在程序发生“跑飞”或死锁现象时的手动复位<sup>[5]</sup>。

由于振动信号的数据量大,只要2个通道同时以最高采样频率采集,就将产生远大于2 KB(430的片内RAM容量)的数据,加上数据接收和发送缓冲区需要同时容纳多个包,必须外扩SRAM。本研究采用了多片高速低功耗32 KB的CMOS静态随机存储器HY62WT08081E,与430的访问速度兼容,最多可以支持12通道的数据采集。

### 2.1.3 电源管理

电源管理模块是系统能够进行工作的前提,主要分为两个单元,利用可充电纽扣电池组分别负责核心器件与外围器件的供电(包括上位机)。下位机使用两套隔离电源系统:5 V提供给模拟电路部分;3.3 V提供给数字电路部分。这种设计一方面使得模数电路的隔离,防止互相干扰,另一方面由于核心部分电压较低,降低了整个系统的整体功耗。模拟电路电源采用MAX751转换芯片,该芯片可以将1.2 V~5.25 V的输入电压稳压成5 V电压输出,非常适合电池供电的系统使用。数字电路电源采用AAT3221转换芯片将5 V电压变为3.3 V提供给430、存储器和USB控制

芯片。由于系统采用电池供电,电压会在一个范围内浮动,430的A/D转换基准电压由外部芯片TVL431提供,以保证A/D的转换精度<sup>[6]</sup>。

### 2.2 下位机软件设计

下位机软件的设计开发是在理解硬件原理的基础上设置一系列寄存器后,用软件去读/写430的相关寄存器来控制其有关引脚或功能模块的输入和输出。该软件利用定时器配合ADC12模/数转换模块来完成采样、转换和数据存储;利用硬件UART模块来完成串口的初始化,实现USB通讯。按照功能可将下位机软件分为A/D采样模块、数据存储模块、USB通讯模块和数据打包发送模块。为增加系统的抗干扰性能,系统自检程序的设计将根据自身的特点进行编制,采用了一种软件“看门狗”的技术,即利用中断程序监视另一中断程序以及主程序的运行状况,而完成监视功能的中断程序则由硬件“看门狗”来监控<sup>[7]</sup>。下位机数据采集系统软件的主要流程如图3所示。

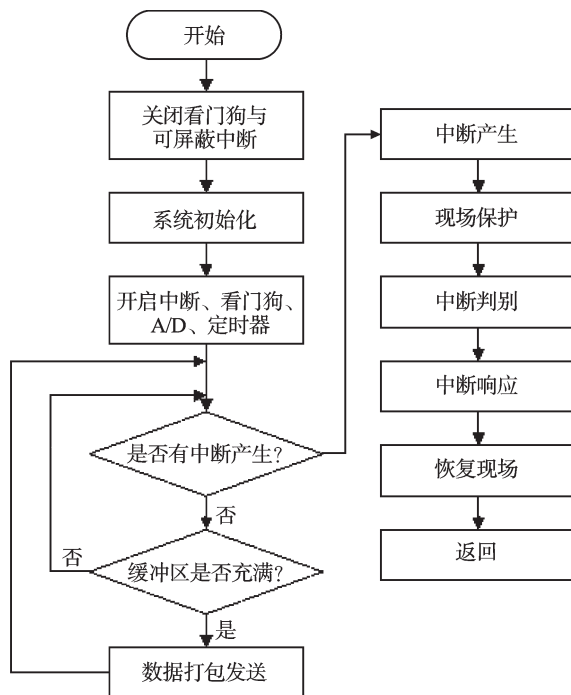


图3 下位机软件的主程序和中断程序主要流程

## 3 上位机数据处理分析系统

### 3.1 上位机系统硬件

上位机硬件系统的主处理器为2410,它采用了ARM920T内核,最高工作频率为203 MHz,具备Harvard高速缓存以及全性能的MMU,支持Windows CE、Linux等操作系统,有很强的信息处理能力;同时它集成了完整的系统外围设备,消除了为系统配置额外



器件的需要,大大减少了整个系统的成本,为设计与开发性价比较高的手持设备提供了很好的解决方案。

上位机系统硬件主要由 2410 主芯片及其外围电路构成,上位机硬件系统构架如图 4 所示。外围电路主要包括:串口通讯接口、存储模块、USB 通讯模块、Ethernet 通讯模块、LCD 显示模块以及电源管理模块等部分。

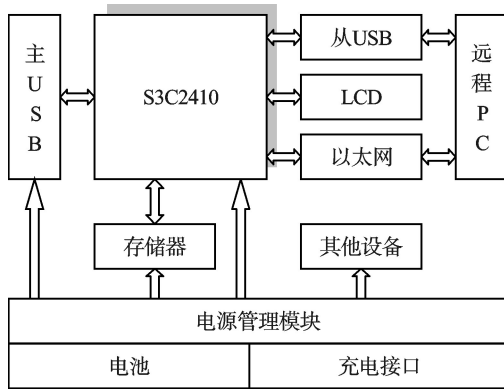


图 4 上位机硬件系统构架

### 3.2 上位机软件平台

上位机软件平台是整个手持系统中最为关键的部分,承担着现场数据管理、分析、显示、传输等基本任务。其基本的设计实现思想是搭建一个面向油田注采设备监测仪器开发特点的、具有自主知识产权的嵌入式系统开发平台<sup>[8]</sup>。该平台包括基于 Linux 的可裁剪的嵌入式实时操作系统、嵌入式数据库平台、灵活的数据采集、通信与处理系统、故障诊断专家系统,具体说明如下:①可裁剪的实时嵌入式操作系统。其占用硬件与软件资源少,具有精巧可裁剪、实时多任务、良好的兼容性等特点;②嵌入式数据库系统。其核心精巧,具备面向注采设备状态监测与故障诊断对数据管理的基本要求;③设备状态的数据采集、处理和通信构件库。其能够满足不同功能硬件配套需求,支持多种图形接口模块与数据处理模块,提供可裁减、配置的通信协议栈;④故障诊断的专家系统及开发环境。其具备丰富、灵活的设备故障诊断知识库,智能监测与诊断推理系统;开发环境可供进行构件化定制或二次开发,可为嵌入式设备状态监测与故障诊断提供 API 接口支持,满足嵌入式智能化仪器的共性需求。

软件平台构件组成如图 5 所示,其中:设备驱动提供了数据处理系统与其他外设(包括实时数据采集系统)的通讯接口;中文输入法提供了中文交互接口;数据处理与管理构件实现数据的接收、分类、存储和分发等功能,为用户提供统一的数据读写访问接口;故

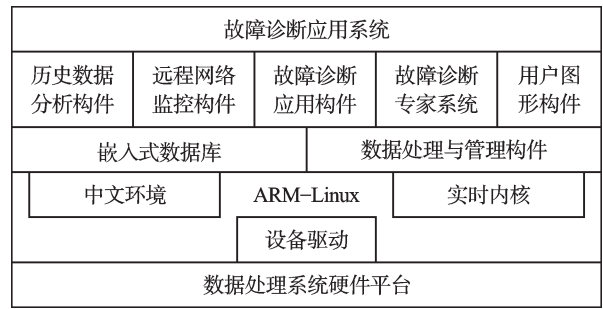


图 5 上位机软件平台构件组成

障诊断应用构件库提供了设备运行时的时域图、频域图、轴心轨迹图、缓变数据和静态数据的趋势图、棒状图等的实时显示支持,构件库通过数据处理与管理构件的 API 接口从底层得到需要显示的数据,同时也提供与用户界面进行交互的程序调用接口,达到用户对图形显示的灵活控制;历史数据分析构件读取缓存中的数据进行数据回放和比较;故障诊断专家系统具有开放的诊断知识库,可对简单振动问题进行自我诊断,给出故障的可能原因和置信度,对复杂振动问题提供人工对话诊断并给出诊断结果的解释及特定故障处理意见;远程网络监控构件内嵌专家系统,可以根据设备的异常表现找出其故障原因,并可以对数据进行时域、频域及非线性分析,为前端现场提供技术支持<sup>[9]</sup>。

## 4 实验及结果分析

### 4.1 实验结果

笔者根据以上研究成果,结合油田注采设备的具体运行特点,设计实现了相应的手持式状态监测仪。本研究利用波形发生器和示波器等仪器进行了多次测试与反复验证,系统运行结果正确、反应迅速。系统组装成型后,先后在胜利油田的多家单位进行了多次现场实验,证明系统运行稳定,测量结果正确,能够对注采设备的监测与维护提供强有力的支持。

### 4.2 现场实验与结果分析

手持监测仪提供了较为有力的现场监测手段,并且能够对一些简单的故障进行判断,但由于其资源有限,不能满足进行深层次数据分析的要求,需要实验人员对设备各个测点的信号进行采集,并将保存了一定数量的数据记录导入 PC 机数据处理分析系统,进行进一步的判断。

现场技术人员在实验人员不知情的情况下,将所测量往复泵 1 号进出口阀垂直方向弹簧剪断,即模拟弹簧断裂故障(该故障不易判断,且损害较大)。实验人员对相应测点采集振动信号,发现振动幅度均有增

加;由于受到嵌入式环境下算法难度以及显示分辨率的限制,从频域图形也难以作出判断。技术人员将数据导入到PC数据分析系统进行数据分析,结果发现该泵的7号测点位置(对应1号阀)的振动信号幅频图在故障发生前后有明显变化。

正常情况下,幅频图中有明显的主频,其余频率分量的振幅较小,频率结构简单;而异常情况下,幅频图的频率结构较复杂,所含频率成分增多,频率分量的振幅较大,主频不明显。从而,可以推断1号进出口阀垂直方向出现故障。同时该测点振动信号的峭度值也由原来的9.157 84骤变为1.028 97,而对比2号、3号进出口阀垂直方向的振动信号峭度值在正常情况下均保持在8~12。而将1号进出口阀的弹簧换到3号进出口阀,测出其峭度值也迅速降至1~1.5之间<sup>[10-11]</sup>。由此,结合幅频图和峭度值,可以准确判断出往复泵弹簧出现故障的位置。

## 5 结束语

本研究针对当前油田注采设备运行特点,设计实现了面向该类设备的嵌入式监测仪,实现手持巡检式实时数据采集,并结合多种信号分析方法,搭建了可配置、占用空间小的信号处理构件库与图形用户界面构件库,以完成对信号特征的提取、在线分析与诊断;

该系统具有便携轻巧、功能完善、能耗低、图形界面友好、操作简便等优点,具有较为广泛的应用前景。

## 参考文献(References):

- [1] 冷希波. 油田设备大修理与更新的探讨[J]. 油气田地面工程, 2004, 23(2): 1-4.
- [2] 沈晓军, 张慧慧, 郑刚, 等. 一种基于嵌入式Linux的控制设备系统的研究[J]. 制造业自动化, 2005, 27(3): 19-22.
- [3] 杨微, 秦华伟. 基于MPS430的深海低功耗数据采集系统[J]. 机电工程, 2009, 26(5): 16-19.
- [4] 沈建华, 杨艳琴. MPS430系列16位超低功耗单片机原理与应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2004.
- [5] 李立新, 李金波. 单片机上电复位特性对系统性能的影响[J]. 安阳师范学院学报, 2002, 12(2): 25-28.
- [6] 项逢胜, 吴哲夫, 林俊, 等. 基于Blankfin的动态电源管理技术[J]. 机电工程, 2010, 27(5): 64-66.
- [7] 周学义. 单片机应用系统中“看门狗”的应用软件设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2002, 10(1): 40-43.
- [8] 周耀坤, 蓝志洋. 基于RT-Linux的开放式数控系统软件平台的研究[J]. 机电工程技术, 2005, 34(4): 21-24.
- [9] 崔珂, 吴镇炜, 刘明哲, 等. 基于嵌入式实时Linux的远程监控系统[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(10): 95-98.
- [10] 张明键, 韦岗. 未知源信号峭度正负性的盲分离[J]. 电路与系统学报, 2005, 10(2): 18-21.
- [11] 陆雪梅, 尚群立. 动态控制系统的故障诊断方法综述[J]. 机电工程, 2008, 25(6): 103-106.

[编辑:李辉]

### 本文引用格式:

王次年, 谭大鹏. 面向油田注采设备的手持式状态监测与故障诊断系统[J]. 机电工程, 2014, 31(6): 809-813.

WANG Ci-nian, TAN Da-peng. Hand-held state monitoring and fault diagnosis system for oil fields pouring and pick equipment[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(6): 809-813. [《机电工程》杂志: http://www.meem.com.cn](http://www.meem.com.cn)

(上接第768页)

- [10] CASCELLA G, CUPERTINO F, TOPALOV A, et al. Adaptive control of electric drives using sliding-mode learning neural networks[C]//Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics. Dubrovnik: IEEE, 2005: 125-130.
- [11] CIGDEM O, KAYACAN E, KHANESAR M A, et al. A novel training method based on variable structure systems theory for fuzzy neural networks[C]// IEEE Symposium on Computational Intelligence in Control and Automation (CICA). Paris: IEEE, 2011: 44-51.
- [12] RUAN X, DING M, GONG D, et al. On-line adaptive control for inverted pendulum balancing based on feedback-error-learning[J]. Neurocomputing, 2007, 70(4): 770-776.
- [13] KHANESAR M A, KAYACAN E, TESHNEHLAB M. Extended kalman filter based learning algorithm for type-2 fuzzy logic systems and its experimental evaluation[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2012, 59(11): 4443-4455.
- [14] YU S, YU X, SHIRINZADEH B, et al. Continuous finite-time control for robotic manipulators with terminal sliding mode[J]. Automatica, 2005, 41(11): 1957-1964.
- [15] HONG Y, XU Y, HUANG J. Finite-time control for robot manipulators[J]. Systems & Control Letters, 2002, 46(4): 243-253.
- [16] YU S, YU X, MAN Z. A fuzzy neural network approximator with fast terminal sliding mode and its applications[J]. Fuzzy Sets and Systems, 2004, 148(3): 469-486.

[编辑:洪炜娜]