

- 2 Motorola. LONWORKS technology device data. Q2/97 DL159 REW3
 3 诸静, 等著, 模糊控制原理与应用, 北京: 机械工业出版社, 1995
 4 李洪兴. Fuzzy 控制的本质与一类高精度 Fuzzy 控制器的设计. 控

制理论与应用, 1997, 14(6): 868~872

收稿日期: 2001-05-12.

基于声发射技术的管道泄漏检测系统

The Pipeline Leakage Detection System Based on Sonic Transmission Technology

李光海¹ 王勇² 刘时风²

(广州市锅炉压力容器监察检验所¹, 广州 510080; 清华大学工程系², 北京 100084)

摘要 根据管道泄漏时产生声发射信号的现象, 构建了一种管道泄漏与泄漏点定位的检测系统。重点介绍系统软、硬件设计中的关键问题及其解决方法。现场测试表明, 该系统在泄漏的识别和定位上有着良好的效果。

关键词 泄漏检测 管道泄漏 声发射

Abstract According to the phenomenon of sonic transmission caused by pipeline leakage a detecting system of pipeline leakage and the location of the leakage point is structured. The keypoints and the solutions in design of hardware and software are emphasized. The field test shows that the excellent results on leakage detection and location are provided by the system.

Key words Leakage detection Pipeline leakage Sonic transmission

0 引言

管道输送是与铁路、公路、水运、航运并列的五大运输行业之一, 它作为一种特殊设备越来越广泛用于石油、化工、冶金、电力行业及城市燃气和供热系统中。随着经济的发展, 管道数量在不断增加, 据统计, 我国现有长输管道 300 多条, 约 2 万 km, 集输管道约 20 万 km, 城市内燃气管道分别为 35 000km、5 700km, 工厂的工业管道就更多了。因此大力发展和普及管道检测技术十分必要, 国内外都致力于采取补救措施, 研究灵敏而可靠的管道检测方法, 以求及时发现问题, 进行抢修处理, 从而减少事故带来的损失。当前国际上通行的, 对运行中的管道检测和评定技术大致可分为三个方面, 即: ①管道壁厚及其内部状态的检测技术; ②管道壁厚或流体污物含量监测技术; ③泄漏检测技术。其中对于管道而言, 因为泄漏产生的损失和危害最大, 所以研究一种快速灵敏的管道泄漏检测技术和仪器显得越来越重要。对管道是否泄漏进行判断和漏点定位是管道泄漏检测中两项关键技术, 只有快速准确地判断泄漏与否并能确定漏点位置, 才能及时采取措施, 减少损失。现有泄漏检测方法, 如负压波法^[1]等都难以对已经存在的微量泄漏进行快速准确地判断和对泄漏源的准确定位。

1 声发射泄漏检测的原理

管道泄漏产生的声发射信号是广义的声发射现象, 与传统意义上的声发射研究不同, 因此建立一个合适的管道泄漏检测的模型是解决管道泄漏检测的核心。管道产生泄漏是因为管道因材料腐蚀老化或其它外力作用产生裂纹或者腐蚀孔, 管道内外存在压力差而使管道中的流体向外泄漏的现象。其中流体通过裂纹或者腐蚀孔向外喷射形成声源, 然后通过和管道相互作用, 声源向外幅射能量形成声波, 这就是管道泄漏声发射现象。通过仪器对这些因泄漏引起的声发射信号进行采集和分析处理, 就可以对泄漏及其位置进行判断。通过对管道泄漏的判断和对泄漏点定位的方法和原理的探讨, 笔者设计了一个基于新的方法和理论判断和定位系统以提高判断的准确性和泄漏定位的精度。由于工程现场背景噪声非常复杂, 其包含复杂分布的噪声, 而且系统本身中的电子器件也将引入噪声, 如电磁噪声、热噪声等, 所以需要先进的数字信号处理技术, 降低系统的虚警率, 提高系统对泄漏的识别率。课题的关键在于: ①设计合适的声发射系统对泄漏 AE 信号进行可靠和稳定的捕捉; ②采用合理的信号处理方法和泄漏源的定位算法。

2 系统的硬件构成

2.1 系统的硬件设计

系统的设计应满足能最大限度的提取泄漏信息, 根据对泄漏的基础理论分析并从实验上证明泄漏声发射宽带特性, 其能量主要分布在 15 ~ 50kHz 的频段上, 或者认为在这个频率段上携带的泄漏有效信息是相当丰富的。

据 Shamon 采样定理, 确定数据采集卡的采样频率 f_s 大于 100kHz 即可, 实际一般应选择大于 150kHz 以避免频谱的混叠。在进行数据采集前还应使用一截止频率小于 $f_s/2$ 的低通滤波器。此外要求探头和放大器在 15 ~ 50kHz 频段有平坦的幅频响应、探头的灵敏度和稳定性能满足工程环境的要求。上述即为管道泄漏声发射检测系统的设计基本要求。

2.2 整个系统硬件的构成及特点

设计要求的检测系统首先是一个数字化的仪器系统, 并充分利用了计算机强大的处理功能。另外对由于工业化和标准化的高速数据总线的出现, 如 GPIB、488、PCI、PXI、VXI 等, 使仪器技术跨入了一个崭新的阶段, 这就是虚拟仪器技术。虚拟仪器的概念就是认为分析处理功能应由软件来实现, 硬件只负责采集数据。因此我们选择系统硬件设计的思路与传统声发射仪器不同, 这可以大大节省整个硬件的设计和调试的时间, 同时硬件设计和实现可利用成熟的技术和板卡, 所以系统的硬件实现的周期非常短。这体现了虚拟仪器设计和实现的优点, 整个系统设计的重点将是系统的软件模块的设计和调整。只要满足上节的硬件基本要求, 就可以构成整个硬件系统, 其框图如图 1 所示。

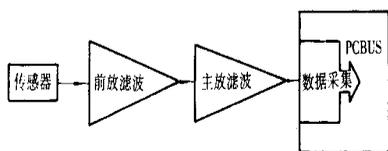


图 1 系统硬件的构成图

与传统的声发射仪器比较, 本仪器减少了主放大器与 PC 间的传统声发射参数(上升时间、振铃计数)的专用电路, 这主要得益于: ①高速 PC 总线采集保证了数据的通过率; ②计算机的处理速度飞速提高; ③采用 DSP 或其它可编程器件的多功能高速数据采集卡的应用; ④成熟高效率的数据分析软件的开发。系统虽省去了前面的专用电路, 但传统参数的提取成为一个简单的辅助手段仍然是容易通过软件实现。不仅如此, 通过计算机本身扩展和装配各种数据分析和处理的软硬件模块使上端处理成为一个通用的虚拟仪器, 在这

个平台上更换前面的探头放大器和滤波器就构成了其它系统, 如图像采集分析系统等。现在和将来的虚拟仪器技术将向其它高速工业总线和网络上发展, 使虚拟仪器成为一个大系统, 而这个系统的一个关键就是强大的软件功能模块的支撑使其成为一个整体。

3 系统的软件设计

3.1 软件系统的设计

软件系统主要完成如下功能: ①数据采集卡的控制; ②人机动态交互; ③数据的存储、删除、分析和处理, 包括泄漏的判断和泄漏源的定位。此外为了加强数据的统计分析功能和网络功能还可能引入数据库管理技术, 这将使系统向更加通用的方向发展。

对于整个系统而言是一个虚拟仪器系统, 软件部分完成系统的主要功能, 系统设计的主要工作就是软件模块的设计和调整。对于软件系统的设计, 首先是根据需要构建系统的框架, 对于一些预留的功能可以作为一个提供接口的模块来处理, 只要系统建立这样的扩展接口即可。这就是虚拟仪器可扩展性的由来, 也是区别于传统仪器的一个重要的特点。

系统的设计选择了虚拟仪器的主流开发工具 LabVIEW, 同时为了更好地利用各种成熟的手段也使用了一些其它的工具, 如 MATLAB 等。因为 LabVIEW 本身是一个开放的系统, 所以使我们在一定程度上能充分利用一些通用工具。系统的设计思想是将计算机的屏幕作为仪器的控制面板, 键盘和鼠标等作为人机交互的手段, 计算机技术的发展使仪器技术领域进入一个更加人性化的时代。仪器系统运行的操作系统选择通用的图形操作系统 32 位的 Windows 系统, 它提供了丰富的图形功能和网络功能使整个系统建立在数据可视化的基础上。

软件系统的需求如下: 控制数据采集卡采集波形数据, 将波形显示在屏幕, 同时对波形数据进行有效的分析并做出判断, 波形数据由人工控制或自动判断完成存储和删除, 数据文件自动命名, 一次连续的采集建立一个工作目录用于波形数据的备份, 对泄漏检测系统还应完成管道的泄漏判断与定位功能。系统的流程图如图 2 所示。

按工程测试要求, 系统还将具备事后分析和处理的能力, 因此数据文件的存储不仅要保存波形数据还应保存当时系统的工作状态的一些信息。

3.2 软件系统的功能

根据程序流程图, 我们将系统划分为一些基本的功能模块, 它们的调用层次关系, 如图 3 所示。这里只

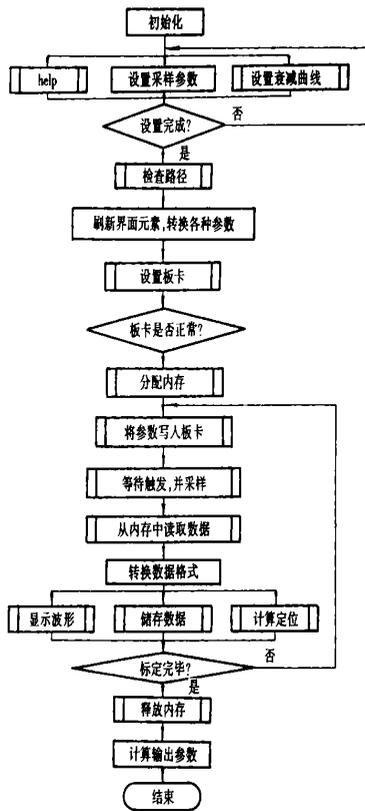


图 2 系统软件的流程图

简单说明其中的几个主要模块。

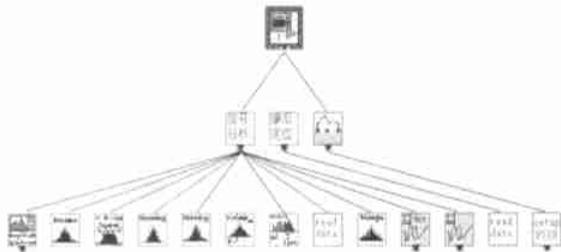


图 3 系统的模块层次简图

数据采集卡参数设置模块。用于确定数据采集卡的工作频率、量程、触发方式、采样长度、通道选择和触发方式,对数据采集卡自检并初始化。返回采集卡正常标志和设置成功的参数。

工作目录建立模块。在系统进行一组数据采集之前建立一个存储数据文件的工作目录,目录名由用户指定,如果目录已经存在将给出警告,可选择取消重新输入新的目录名,也可继续使用已存在目录,此时原目录中的文件将被覆盖。返回目录建立成功标志和全路径工作目录名。

数据采集模块。输入合理的配置参数,板卡初始化成功标志和目录建立成功标志。按所设置的参数进行循环数据采集。输出采集得到的波形数据。

数据分析模块。输入采集得到的波形数据。对波

形进行谱估计和相关分析,得到能量分布相关的统计分形维数,并估计时差信息,即根据声发射管道泄漏检测的实际特点计算、分析和波形相关的各种特征。输出每次采集得到的波形的特征组。

泄漏判断模块。输入波形特征组。根据两个通道采集得到波形的特征组,按照采集前校准仪器时所得到的判据条件,进行模式识别判断是否泄漏。输出泄漏判断的结果。关于泄漏判断的算法和理论可参考文献[5]。

泄漏定位模块。输入补偿系数、能量分布特征(或时差信息),泄漏判断的结果。若判断泄漏为真,则按照能量衰减算法(或时差算法)估计泄漏点的位置。输出泄漏点的相对位置。

补偿系数测定模块。在相同激励的条件下,测定因通道不一致所需的增益补偿(或相位补偿)系数。可能的情况下计算因两测点间背景噪声空间分布不一致而所需的背景噪声补偿系数。

其它的功能模块还有与事后分析处理相关的文件存储读取删除和管理等模块。同时数据分析模块包含许多分析子模块,通过其调整装配扩充和组合,可以完成完整和强大的数据功能,而其中主要部分是谱估计以及去噪处理。

4 现场测试

在某工程现场我们进行了仪器的性能测试,用阀门开启的大小来模拟泄漏量的多少。试验采用的介质为水。试验对泄漏的判断和定位的准确率检测结果列于表 1。

表 1 泄漏识别率与定位的准确率

距离 m	数据组的 样本数	正确识别的 样本数	样本的平均 定位误差
20	30	25(83%)	10.1%
33	30	27(90%)	5.9%
46	30	30(100%)	7.8%
86	30	30(100%)	9.2%

从表 1 可以看出,该仪器对管道的液体介质的泄漏在 80 多 m 的范围内有着较高的识别能力,其定位误差也处于工程上可接受的范围。现场的补充试验还证明,对于气体或两相流体,仪器判断的准确性还要高一些。另外,从表 1 可以看到,对于泄漏的判据在探头距离泄漏点较近时,反而判断的结果不理想,这可以从两个方面来解释这个现象:①从探头的幅频响应曲线看,其对 50kHz 信号响应的灵敏度高于 20kHz 信号响应的灵敏度;②随泄漏声发射波形的衰

减和模式的转换, 低频段的功率随距离的衰减小于高一些的频率段。

5 结论

① 管道的压力范围为 0.2~1.0MPa, 对于小泄漏孔(直径在 1~2mm)所造成的液态流体泄漏, 基于功率分布的泄漏判据, 在测试探头距泄漏点远达 80m 处, 也能识别出泄漏的存在, 并且其识别正确率在 80% 以上, 通过采用特殊的信号处理方式(如噪声去除和信号多分辨率分析)后, 识别率将大大提高;

② 对于管道的泄漏定位, 笔者认为能量定位是实际可行且较为方便, 但需要进行信号的补偿算法。对于单点泄漏, 两探头系统采用改进能量补偿定位能达到精度为 10% 以内的准确定位; 基于时差的定位在一定程度上是可行的, 但需要作深入研究;

③ 对于管道泄漏检测和定位, 本文实现的声发射检测方法具有高效性和一定的准确性, 但同时存在一定的局限性, 需要辅助其它手段才能完成整个管道系

统的维护任务。

参考文献

- 1 唐家秀, 颜大椿. 基于神经网络的管道泄漏检测方法及其仪器. 北京大学学报(自然科学版), 1997, 33(3): 319~327
- 2 Dr Jun Zhang, Designing a cost-effective and reliable pipeline leak-detection system. Pipes & Pipelines Int. Jan. -Feb., 1997: 20~26
- 3 Vehara K, Tai H and Kinura K. Real-time monitoring of environmental methane and other gases with semiconductor lasers; a Review. Sensors and Actuators. B38~39 1997: 136~140
- 4 Rajtar J M, Muthiah R. Pipeline leak detection system for oil and gas flowlines. Journal of Manufacturing Science and Engineering 1997, 119 (2): 105~109
- 5 王勇. 管道泄漏监测方法的研究. 硕士学位论文. 北京: 清华大学, 2000

本项目由国家自然科学基金资助, 项目编号: 50005006.

收稿日期: 2001-12-22.

第一作者李光海, 男, 1970 年生, 1992 年毕业于南京化工学院, 1998 年毕业于华南理工大学获硕士学位, 现为华南理工大学在职博士研究生; 主要从事锅炉压力容器检测仪器的研制和信号处理工作。

智能打浆度测定仪及软件结构

Intelligent On Line Pulpiness Measuring Device and Its Software Structure

邱书波 綦星光 朱摩西

(山东轻工业学院自动化研究所, 济南 250100)

摘要 介绍一种制浆造纸过程中打浆度的在线检测方法, 提出用单片机对检测装置的检测过程进行逻辑控制, 对信号数据序列进行处理, 在线求得打浆度值。

关键词 打浆度 造纸 信号检测 数据处理

Abstract An on-line detecting method of pulpiness in paper & pulping process is introduced. The logic control of detecting process of the device and the processing of the data sequence of signals are accomplished by single chip computer, thus the pulpiness is obtained on line.

Key words Pulpiness Papemaking Signal detection Data processing

打浆度反映了纸浆在纸机网部的滤水性能, 并且与纸页强度等质量指标有密切关系^[1]。它不仅与打浆过程中纸浆纤维的切断和帚化程度有关, 而且受被打纸浆的浓度、温度、压力等因素的影响^[2]。在工艺上由于测量打浆度的直接方法非常困难, 因此肖伯氏法成为造纸厂测量打浆度的基本方法。肖伯氏法打浆度测量仪是离线式检测设备, 不能实时在线测量, 这直接影响到对打浆质量的控制效果, 因此对打浆度的连续在线自动检测装置对实现打浆过程自动控制是必要的。

1 打浆度测量装置

1.1 测量方法

肖伯氏法测量打浆度的基本原理是, 将一定浓度和体积的纸浆盛入底部安装有滤网的容器内, 纸浆中的水分会通过滤网渗透出容器, 不同的打浆度有不同的水分渗透速度, 打浆度高则水分渗透速度慢, 打浆度低则水分渗透速度快, 利用纸浆水分渗透速度与纸浆打浆度相互对应的原理, 通过对水分渗透速度的计