

管道漏磁在线检测系统的研究^{*}

杨理践 马凤铭 高松巍
(沈阳工业大学 沈阳 110023)

摘要 介绍了高精度管道漏磁在线检测系统的检测原理及基本结构,研究了基于单片控制系统的新型管道漏磁在线检测系统,提出了应用有限元技术、小波消噪、小波包变换、小波神经网络等对管道漏磁检测信号进行处理的方法。

关键词 漏 磁 FPGA 小 波 小波神经网络

Research of On-Line Inspecting Pipeline Magnetic Flux Leakage System

Yang Lijian Ma Fengming Gao Songwei
(Shenyang University of Technology Shenyang 110023, China)

Abstract The principles and basic structure of the high precision inspecting pipeline magnetic flux leakage on-line system are introduced. The new type pipeline magnetic flux leakage on-line system based on SCM control system is studied. Studying about The application of the finite element method, wavelet eliminating yawp, wavelet transform, wavelet neural network in processing pipeline MFL digital signal are also studied.

Key words Magnetic flux leakage FPGA Wavelet transform Wavelet neural network

1 引 言

铁磁性油气输送管道由于长时间的腐蚀、磨损或意外的机械损伤等原因会形成各种缺陷。如不及时发现修理,将最终导致管道泄漏事故。为防止事故造成的损失,必须利用管道检测装置定期进行管道检测,发现管道缺陷,并且获得其位置、类型、程度等精确信息,从而为管道的安全评价、寿命预测、检修维护等提供可靠依据。

管道检测是一个涉及多学科领域的研究项目,具有大量的理论研究问题和工程技术问题。其中漏磁检测技术是应用最广泛、技术最成熟的铁磁性管道缺陷检测技术,它适于多种传输介质,对铁损失等最常见的管道缺陷有非常好的检测效果。漏磁检测的基本原理是通过钢刷导磁磁化管壁,在管道缺陷处由于磁场畸变会形成漏磁场,通过磁敏探头探测漏磁场分布范围、强度大小并把检测数据实时存储在大容量的硬盘中。检测完成后,读出硬盘中的数据进行分析,就可以进行

判伤^[1,2]。

国内跟踪管道漏磁检测技术已有二十多年,并取得了一些成果。其中沈阳工业大学研制的高精度管道漏磁检测设备于 2001 年通过了国家自然科学基金项目(项目号:60041001)科技成果鉴定。该系统实现了管道缺陷、管壁变化、管道特征识别以及内外壁缺陷分辨的在线检测。给出了缺陷尺寸、程度、方位、位置等信息,能探测出 5mm × 5mm 和 0.1t(管壁厚度)以上的缺陷。定位精度 ≤ 0.1% (标记间距离),最大检测距离可达 150km。

2 高精度管道漏磁在线检测系统的基本结构及工作原理

高精度管道漏磁在线检测系统由高精度管道漏磁在线检测装置、里程标定装置和数据分析处理系统三部分组成。管道漏磁在线检测装置结构示意图如图 1。

高精度管道漏磁在线检测装置是在管道中运行的部分,它应用漏磁检测原理,以管道输送介质为行进动

^{*} 国家自然科学基金资助项目(60272015)

力,对管道进行在线直接无损检测。由动力节、测量节、记录节、电池节四部分构成。节间采用万向节软连接。

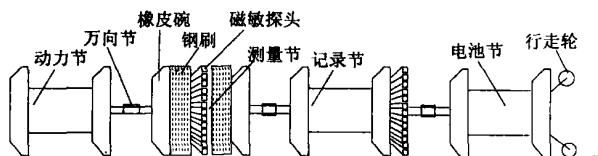


图1 管道漏磁检测装置结构图

测量节包括磁化装置和霍尔探头。磁化装置包括永磁铁、衬铁和钢刷。其功能主要是对被测管壁进行磁化,使管壁内产生磁通。霍尔探头内装有霍尔元件,前级放大电路由不导磁钢铸成,前部与霍尔元件及管壁相连处为高导磁耐磨材料,整个探头完全封闭。利用霍尔元件就可以测量漏磁通。

记录节完成对所有部件的控制和数据保存,为测量系统的核心部分。主要由一台PC104总线133MHz的586工控机组成,行走轮每行走1mm向工控机发一个脉冲,系统收到脉冲后就测量一次霍尔探头送来的信号。信号经多路模拟选通开关分别送到两路A/D采集卡,转换成数字量后,送入工控机,进行简单的初步处理,再存入硬盘中。系统除测量漏磁信号外,还测量管线沿途的油温和压力值,也存入硬盘中。

里程标定装置完成缺陷位置的确定,由管道外标记标定,管道内外时间同步标定和行走轮记录组成。

数据分析系统是由数据格式处理软件、初步分析软件、人工判读软件、数据管理软件组成,生成最终的检测结果。管道内的漏磁信号被绘成色图,可以很直观地从色图上察看缺陷及腐蚀程度。并能从里程的显示来判定缺陷及腐蚀所在的位置,作为检测或评估管道寿命的依据^[3]。

3 基于单片控制系统的新型管道漏磁在线检测系统的研究

漏磁场检测的数据量非常庞大。美国PII公司正在设计的新型漏磁检测器,要求每3mm采样1500次,数据流量达到6MB/S。沈阳工业大学工业测量控制中心研制的高精度管道漏磁在线检测系统一次检测也要产生数十GB的数据。要提高系统的探伤精度,需要进一步增加探头排列密度,减小采样时间间隔。然而,目前检测系统的数据存储速度和存储容量都已接近极限。传统的漏磁检测器都是采用嵌入式CPU作为检测器的主控制器,使用软件完成数据采集、处理、存储等

操作。当采用较低频率的CPU时,能耗小,但处理能力差,很难实时完成大量的数据处理操作。采用更高主频的CPU,能耗大,而且主板几何尺寸增大,由于管道漏磁检测器是在管道内工作,受限于检测器的直径和长度,系统的设计非常困难。因此一方面必须研究合适的漏磁检测数据压缩方法,降低系统对数据存储速度和存储容量的要求,另一方面必须对现有设备进行改进。

在对管道漏磁检测数据的各种压缩方法进行详细探讨的基础上,我们对基于小波变换的管道漏磁检测数据压缩方法进行了较深入的研究。由于小波变换具有良好的时频局部特性和多分辨率分析特性,因而在现代信号处理,特别是在图像数据压缩和处理中得到了广泛的应用。研究表明,基于小波变换的管道漏磁检测数据压缩方法得到了较令人满意的压缩比^[4]。

FPGA(Field-Programmable Gate Array 现场可编程门阵列)是近年来广泛应用的超大规模、超高速的可编程逻辑器件,由于其具有高集成度、高速、在系统可编程等优点,为解决系统级设计问题提供了新的平台。我们利用基于FPGA的单片系统设计技术,设计了新型管道漏磁在线检测系统。该系统使用单片FPGA作为控制核心,可以并行地进行数据采集、压缩和存储工作,较好地解决了系统体积、功耗和处理能力的矛盾。

基于FPGA的管道漏磁检测单片控制系统的设计结构图如图2。该单片系统由多通道采样控制单元、数据处理单元、存储控制单元三部分构成。其中多通道采样控制单元产生A/D采样时序和通道选择信号,检测数据通过多路模拟开关经A/D转换后,进入数据处理单元。数据处理单元对采样数据进行小波变换,变换后的数据经编码器编码,编码后的数据被存储控制单元存入硬盘。该设计较好地解决了系统体积、功耗和处

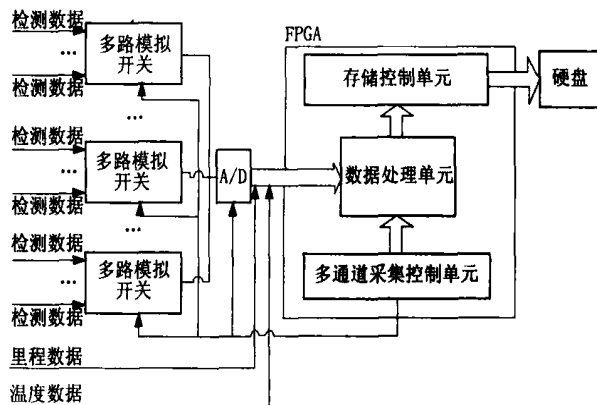


图2 管道漏磁检测单片控制系统结构图

理能力的矛盾。

4 管道漏磁检测信号处理的研究

管道漏磁检测数据的处理一直是管道检测领域的难点与热点。由于实际管道缺陷的形状是千变万化的,且同一形状的缺陷在不同的测量条件下其漏磁检测信号也大不相同,这就给缺陷的鉴别带来了很大困难。我们主要在以下几个方面作了一些研究。

4.1 有限元技术在管道漏磁检测中的应用

利用有限元分析软件 ANSYS,建立了管道漏磁检测装置的有限元模型,研究了不同位置、不同形状、不同尺寸的管道缺陷漏磁场特点及其与漏磁检测信号的关系,研究了各种因素对漏磁检测信号的影响,为缺陷的准确识别提供了依据。

利用有限元模型对漏磁检测装置进行了优化设计,实现了检测装置的小型化。

4.2 小波消噪

根据管道漏磁检测信号和噪声在小波变换中其奇异性及模极大值与尺度的关系,以及它们在各子带中表现的不同特征,根据噪声的估计方差,设计适当的阈值,消除噪声,保留了管道漏磁检测信号的本质信息。

4.3 小波包变换在管道漏磁检测信号时-频分析中的应用

漏磁信号经小波包分解后能提供时-频联合信息且具有局部性。漏磁信号的小波包分解结果表现出一定的规律性,根据这些规律可以得到是否出现缺陷的

信息,如果出现缺陷信号还可以得到缺陷信号出现的具体时刻。这又为我们进行管道漏磁信号的检测提供了一种新的手段。

4.4 基于小波神经网络的管道缺陷的智能识别

对基于小波神经网络的管道漏磁检测信号处理进行了研究,实现了缺陷断面的二维重建,可较为精确地识别缺陷的深度和宽度。

5 结束语

研制的高精度管道漏磁在线检测系统经几年的实践检验证明,具有良好地探伤和判伤性能,检测效果受到用户的好评。

管道在线检测技术是一个不断发展的技术,在进一步提高检测精度、对检测信号进行更为精确的智能化处理等方面我们正在进行深入的研究,这些研究将进一步提高我们的检测水平,实现缺陷检测的智能化。

参考文献

- 1 丁中平,等.无损检测中的漏磁检测法原理与实践 电测与仪表,1995,32(6):15~18
- 2 余浩然,等.漏磁通法油气管道在役检测技术 实用测试技术,1997,23(5):1~9
- 3 杨理践,等.智能化管道漏磁检测装置的研究 无损检测,2002,24(3):100~102
- 4 杨理践,等.基于双正交样条小波的管道漏磁信号数据压缩技术 沈阳工业大学学报,2001,6