

# 基于双处理器的磁记忆/漏磁检测系统<sup>①</sup>

## MMM/ MFL Detector Based on Dual Processors

易 方 李著信 苏 毅 (后勤工程学院 军事供油工程系 重庆 400016)

**摘 要:** 为了弥补磁记忆和漏磁无损检测机理的局限性, 提出漏磁辅助磁记忆检测的构想, 设计了一种基于 DSP 和 PC104 双处理器架构的新型检测系统。硬件设计主要分析了传感器、信号调理、AD 采样和双处理器架构; 软件设计以上位机操作系统和下位机信号通信传输模块开发为主。通过硬件设计与软件开发, 将磁记忆与漏磁检测技术基于同一操作平台组合在一起, 从而实现了金属磁记忆和漏磁检测技术在管道检测工程中的完整应用。实验结果表明, 相对单一检测技术, 新型检测系统具有更强的缺陷识别能力和识别有效性。

**关键词:** DSP PC104 金属磁记忆(MMM) 漏磁(MFL) 无损检测

### 1 引言

磁记忆检测是管道缺陷早期诊断和预报方面唯一可行的无损检测方法。根据磁记忆检测机理<sup>[1]</sup>可知, 铁磁性材料缺陷处的应力场强度与其漏磁场强度并不成正比比例关系。所以, 对于管道中超过一定深度和一定长度的裂纹缺陷, 磁记忆检测仪器无法对其进行准确的报警定位, 而过长或过深的裂纹缺陷处往往是管道中应力集中程度较高的区域, 则有可能形成“漏测”, 这是其自身无法改善和避免的局限性。漏磁检测是传统无损检测领域中应用最为普遍的检测技术, 对于管道中的宏观裂纹缺陷有着较强的无损检测能力, 漏磁场信号强度与裂纹缺陷的深度、长度以及宽度等几何形状因素都成简单的线性比例关系<sup>[2]</sup>, 完全可以弥补磁记忆检测技术“漏测”事故的局限性。因此, 磁记忆检测技术对于应力集中程度较高的宏观缺陷检测效果较差的状况能够借助漏磁检测技术实现弥补, 而磁记忆检测又可以针对漏磁检测无法发现应力集中区域的不足, 实现危险区域的准确预报。

新型综合检测系统需要采集大量的数据进行分析运算, 实时性要求高, 数据采集与处理任务繁重, 同

时要求系统具有友好的人机交互功能。为了实现磁记忆和漏磁检测的完整应用, 通过传感探头实时检测管道缺陷情况, 选用 DSP 和 PC104 双处理器为下位机控制信号的模数转换与数据传输, 利用 PC 机或笔记本电脑作为上位机完成采集数据的显示、存储以及信号分析功能。

### 2 系统总体方案

本系统功能为采集 16 路磁记忆或者 32 路漏磁检测信号, 经过 DSP 和处理器总线传送至上位机, 并在 LCD 中实时显示, 指令信号通过 ISA 总线传输以调整参数设置。如图 1 所示, 检测系统主要包括: 信号采集模块、信号处理模块、解算传输模块、输出模块。

根据性能指标要求, 系统主体部分采用高性能 DSP 和 PC104 双处理器架构方案。DSP 利用其数据处理的优势, 对采集到的数据进行实时滤波、处理<sup>[3]</sup>; PC104 作为整个仪器的运作平台, 板上内嵌 486 微处理器并内置 DOS 操作系统, 相当于一台功能完备的微型工业计算机, 负责各个模块间的数据调度。

<sup>①</sup> 基金项目:中国人民解放军总后勤部科研基金(油 20040207)

收稿时间:2008-12-19

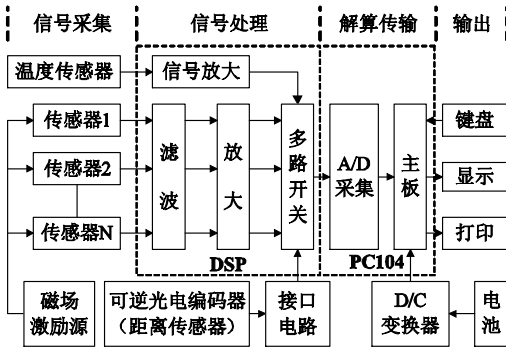


图 1 基于双处理器检测系统结构图

### 3 硬件设计

根据检测功能的要求，硬件系统主要包括磁记忆信号和漏磁传感器、双处理器、信号的调理、信号转换与处理等功能块。检测系统以 DSP 处理器和单片机为核心，传感器检测漏磁场的法向分量和切向分量，经过信号调理，送单片机的 A/D 转换通道，获得的数据经计算得到响应，送上位机 LCD 显示以及后处理。

#### 3.1 双探头传感器设计

本系统是一种通用磁记忆/漏磁探伤仪，在进行磁记忆和漏磁检测时分别配置图 2 所示相应的专用探头。



图 2 磁记忆(左)和漏磁(右)传感器

磁记忆检测传感器由霍尔元件、探头转接板、15 芯插座等部件构成。由于大地磁场激发在被检部件处的磁场比较微弱，所以选择灵敏度较高的霍尔元件<sup>[4]</sup>。为了满足对铁磁性管道的高灵敏检测要求，最大限度地适应圆柱形管道内的检测环境，将磁记忆探头通道数设置为 16 个，沿周向等间距的分布在莲花状高耐磨弹性支架上。

漏磁传感器采用了霍尔元件阵列的形式，32 个漏磁传感器以环状霍尔阵列的排列方式等间距分布在两块强磁铁中间。磁化装置选用稀土永磁铁，衔铁材料选用 Q235 低碳钢。为便捷其在管道中的检测行进，

分别在两侧加装高强度耐磨塑料轮毂和支撑结构。在实际的管道检测中，在探头外侧包裹一层绝磁材料，以防止强磁铁吸附在管道内。

#### 3.2 双处理器部分

双处理器部分由 DSP 处理器、PC104 核心板、数据缓冲单元和通讯控制逻辑单元组成，四者之间的接口电路如图 3 所示。DSP 采用 TI 公司生产的浮点型产品 TMS320VC33，其最高工作频率为 75MHz，能满足接受高速 AD 转换器送来数据的速度要求<sup>[5]</sup>；PC104 核心板采用深圳盛博科技嵌入式计算机有限公司生产的 SysTinyModule/6548，板上具有高性能的嵌入式 486 处理器，工作频率 50~133MHz，具有 16~48M 字节 RAM 以及完整的 EMS 支持，VGA 支持 TFT LCD 显示等性能指标能很好地提供系统级支持；数据缓冲单元采用 IDT 公司的双端口 RAM70V24，为 DSP 和 PC104 双处理器提供数据交换的场所；由于整个系统依据同一节拍工作，因此通讯逻辑单元选用小规模可编程逻辑阵列 GAL20V8B 器件，为双处理器间数据存取提供请求和应答，控制传输数据的节拍。

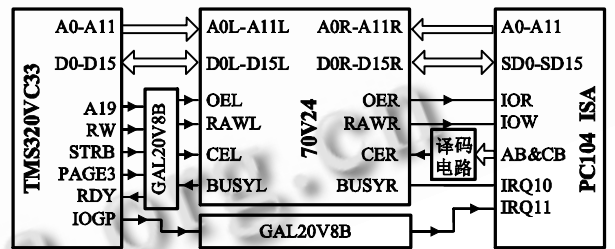


图 3 双处理器电路连接示意图

#### 3.3 信号调理电路

由于传感器检测的磁记忆和漏磁信号在频率、大小和信号形式上差异很大，因此系统需要采用单独调理的物理通道。可调增益放大电路由高速运放和 DAC 组成，高速运放采用差动放大接法，其放大倍数由 DAC 控制，DAC 采用 12 位电流型，信号的最大放大倍数可达 72dB。

高频放大电路设计成可以动态控制增益值的程控放大电路，通过 PC104 板来控制，采用 3 级压控增益放大器 AD603 实现 120dB 的增益控制。AD603 主要有三种连接方式，在本装置中信号放大采用 AD603 的工作模式 1，即将 VOUT 与 FDBK 短路，

为宽频带模式,采用三个 AD603 级联构成 3 级程控放大器,其中第一级的输出接到第二级的输入,第二级输出到第三级的输入,中间通过电容连接。放大器的增益由二路 DAC 来控制,其中一路控制第一级增益,另一路控制第二级和第三级的增益。为了提高电路的抗干扰性,电路设计时为每块芯片的电源端都加上了 10V 和 0.1V 的滤波电容器,带通滤波电路对信号放大过程中引入的噪声进行控制。

### 3.4 高速 AD 采样

AD 转换器选用 ADI 公司生产的 12 位高性能 AD9236 和 AD8138。其中 AD8138 为 AD9236 提供缓冲,并且构成滤波器结构,限制输入信号的频带。在电路设计中采用输入信号以差分方式变压器藕和到 AD 的方法。采样频率可以达到 80M,输入电压范围 1VPP-2VPP,差分输入时具有 500M 的信号带宽,3V 供电电压以及 80M 工作时其功耗低至 366mW,与电池供电适配良好。

变压器采用 MAXIM 公司生产的变压器隔离放大器 MAX436,它具有 275MHz 的带宽和 850V/us 的转换速率,高差分输入阻抗,一方面可以起到干扰隔离,另一方面可以为 AD9236 提供缓冲。

## 4 软件设计

检测系统软件包括上位机(PC 机)和下位机软件。上位机软件主要完成检测系统的可视化操作及信号分析功能;下位机软件包括引导程序、数据处理模块和传输模块等。

### 4.1 上位机操作系统软件

上位机操作系统在 Turbo C2.0 平台上开发而成,为了避免安装 DOS 汉字操作系统,系统采用直接读取汉字点阵字库显示的模式,同时将汉字库存于 XMS 中以提高运行速度。上位机操作系统软件由检测系统、参数设置、显示设置、程序选择、报警设置、打印处理和文件服务等功能模块组成。

图 4 为操作系统软件基本结构,软件具备检测、设置(可选择进行漏磁或磁记忆检测,以及各自的参数设置、其它信息设置)、与 PC 机通信等主要功能。运行软件所需的硬件环境是:386 以上处理器,16MB 以上内存,不少于 20MB 的可用磁盘空间。

### 4.2 下位机数据处理模块

下位机软件实现采取 C 语言嵌入汇编语言的方式

实现了信号处理和数据传输功能。在进行模块调用时采用汇编语言,进行数据处理和传输的具体实现应用 C 语言。

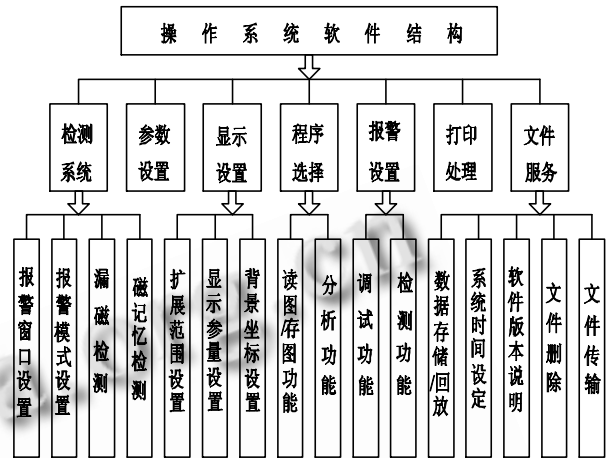


图 4 检测系统上位机软件结构框图

数据处理流程如图 5 所示。DSP 初始化之后,实时读取 CPLD 中的 16 位并行 A/D 转换结果,再通过数字滤波、温度补偿等算法对数据进行处理,最后送 RAM 供单片机访问。

滤波器实现流程<sup>[6-8]</sup>是:在 DSP 数据存储器中开辟一个数据缓冲区,在主程序中完成滤波系数构造、RAM 清零初始化工作;在中断服务程序中从 CPLD 内读取 A/D 实时转换样本并送该数据缓冲区,使该缓冲区存放最新的输入样本;然后将滤波系数与数据缓冲区结合起来进行 HR 算法中的乘和累加计算;最后实时输出滤波结果。

TMS320VC33 的数据线宽度为 32 位,而 RAM 70V24 的数据位宽为 16 位,因此采用将 DSP 数据总线的低 16 位与双口 RAM 的数据总线相连。RAM 写数据子程序流程为: GAL20V8B 发出读写命令,双口 RAM 先写低 16 位,再写高 16 位,最后复位。

### 4.3 下位机数据传输模块

DSP 通过双口 RAM 传输数据到 PC104,数据传输流程如图 6 所示。PC104 通过 ISA 总线来访问双端口 RAM,ISA 总线有 A0-A19 根地址线,本接口中只用到了 A0-A11。其译码电路译码得到的地址选择信号作为双口 RAM 的片选信号。ISA 读 RAM 的子程序流程为:TMS320VC33 向双端口 RAM 中写入数据后,将 GPIO 置为高电平;PC104 板读走数据后,将 GPIO 拉为低电平。反向传送数据与此类似。

表 1 管道预制裂纹加工参数

裂纹编号	长度(mm)	埋深(mm)	位置(mm)
1	20	1	100
2	20	3	200
3	20	5	300
4	20	5.5	400
5	20	贯穿	500
6	5	1	600
7	10	1	700
8	15	1	800
9	20	1	900
10	25	1	1000

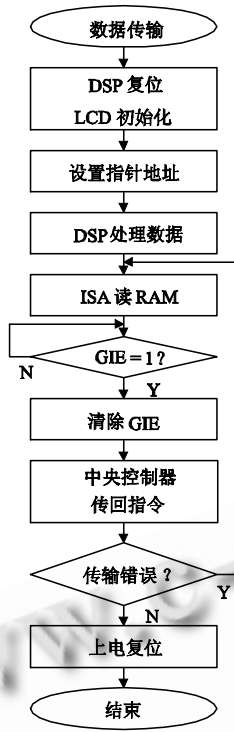
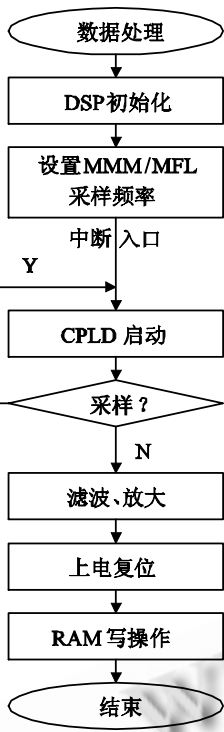


图 5 数据处理流程图

图 6 数据传输流程图

数据传输控制算法主要由 4 个中断服务程序构成，INT0 中断用于接收信号，INT1 中断用于接收 PC 机指令，INT2 中断用于发送数据。对于 TMS20VC33 DSP 来说，中断优先级从高到低依次为 INT0、INT1、INT2。由于不支持中断嵌套，因此 TMS320VC33 DSP 进入中断服务程序，就将 GIE 置 0 屏蔽全局中断，待中断完成全局允许中断。

### 5 检测实例

实验选用总长度 1100mm、壁厚 6mm 的 X60 材质螺旋埋弧焊钢管进行检测，采用线切割的方式在 100-1000mm 范围内每间隔 100mm 共加工出 10 处不同长度和埋深的宏观微裂纹缺陷，加工缺陷参数如表 1 所示。

实验使用基于双处理器的 MMM/MFL 检测系统，采用磁记忆和漏磁两种检测方法对预设裂纹缺陷的管道分别进行无损检测。为了通过信号曲线最大限度反映缺陷情况，从 32 组漏磁信号和 16 组磁记忆信号中分别选取最接近缺陷位置的传感器探头检测的两组信号，经过降噪处理<sup>[9]</sup>得到磁记忆和漏磁检测信号如图 6、7 所示。

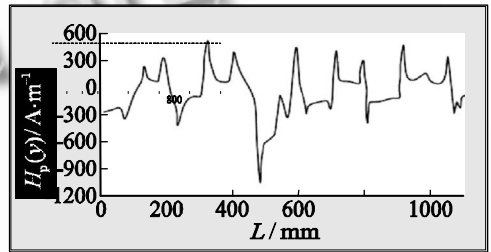


图 7 磁记忆检测信号

图 7 中存在过零点的位置分别位于 100、200、300、450、580、600、700、800、900 和 1060mm 处。依据俄罗斯动力诊断公司的“金属磁记忆检测缺陷判定准则”<sup>[1]</sup>，上述位置存在应力集中。而根据文献[10-11]的分析结果，400、500 和 1000mm 位置由于预制裂纹尺寸超出有效检测范围，从而出现“漏检”现象。

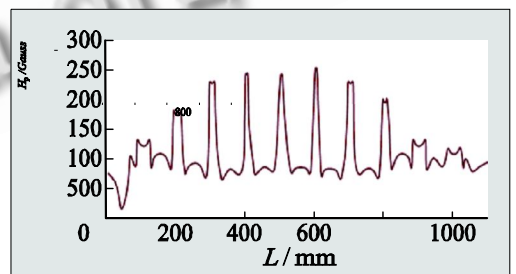


图 8 漏磁检测信号

如图 8 所示，漏磁检测信号在 100-1000mm 范围每间隔 100mm 均出现极值现象，避免了磁记忆在 400、500 和 1000mm 位置的“漏检”，说明预制裂纹缺陷位置均存在宏观微裂纹。同时，漏磁信号在 450、580 和 1060mm 处没有异常，结合磁记忆检测结果说明这 3 处位置存在应力集中区且未形成宏观缺陷，属于危险预警区域，实现了缺陷早期诊断和预报。

## 6 结论

(1) 本文首次提出新型的磁记忆/漏磁组合检测方式的设想,采用高性能 DSP 和 PC104 架构,通过双端口 RAM70V24 缓冲和 GAL20V8B 控制,实现了 32 通道漏磁探头和 16 通道磁记忆探头高速检测和信号的实时传输。

(2) 完成了上位机操作系统软件和下位机数据处理、传输模块设计,保证检测数据的实时 LCD 显示和离线分析。

(3) 与单一的无损检测方法相比,新型检测系统极大地提高了检测精度,为小口径油气管道在线检测和早期诊断提供了理论依据。

### 参考文献

- 1 Dubov A. Principle features of metal magnetic memory method and inspection tools as compared to known magnetic NDT methods. CINDE Journal, 2006, 27(3):16-20.
- 2 蒋奇.管道缺陷与外形量化研究.电子测量与仪器学报, 2005,19(4):64-67.

- 3 Connors Steve. Real-time DSP data acquisition system. Sound and Vibration, 2004,38(3):8-13.
- 4 汪安民. TMS320 C2000DSP 技术与应用开发.北京:清华大学出版社, 2007.
- 5 刘红光,张为民,袁俊杰,王朝霞.二维弱磁检测传感器及其应用.传感器与微系统, 2007,26(5):67-69.
- 6 邹彦,唐冬,宁志刚.DSP 原理及应用.北京:电子工业出版社, 2005.
- 7 崔旭涛,杨日杰,何友.基于 DSP+FPGA 的信号处理实验系统研制.仪器仪表学报, 2007,28(5):918-922.
- 8 杨胜,房建成.基于双 DSP 和 POS 数据采集与处理系统的设计与实现.仪器仪表学报, 2008,29(9):1822-1826.
- 9 易方,李著信,苏毅,王鹏飞,吴昊.基于改进型小波阈值的输油管道磁记忆信号降噪方法研究.石油学报, 2009,30(1):137-140.
- 10 王鹏飞.磁记忆检测油气管道裂纹缺陷的关键技术研究[博士学位论文].重庆:后勤工程学院, 2007:43-63.
- 11 梁志芳.焊接裂纹的金属磁记忆特征研究[博士学位