

基于涡流磁感原理的交通安全设施无损检测影响因素及方法研究

孙裔发

南京交通工程检测有限责任公司

摘要：为实现对公路交通安全设施的无损检测，研究了一种基于涡流磁感原理的交通安全设施无损检测仪。该仪器采用了具有优良磁性能和高灵敏度的磁芯材料，并运用单片机技术进行了信息处理，实现了交通安全设施的无损检测。实验结果表明：该仪器可以实现对公路交通安全设施的精确定位和检测，并可实现公路交通安全设施信息的数字化和网络化处理。该仪器具有较高的使用价值，可以作为公路交通安全设施检测设备使用。研究成果为实现公路交通安全设施无损检测奠定了基础，对于提升公路交通安全设施管理水平和保证行车安全具有重要意义。

关键词：涡流磁感原理；交通安全设施；无损检测方法

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.02.015

交通安全设施是保障行车安全、防止交通事故的重要设施，对于保证交通安全具有重要作用，为了提高道路交通安全性能，需对道路交通设施进行检测。目前常用的检测方法主要有：目视检测、射线检测、超声检测、磁粉检测、涡流检测和漏磁检测等。由于这些方法无法对交通设施进行无损检测，容易导致安全事故发生，因此急需一种新型的无损检测方法来解决这一问题。涡流磁感原理是一种基于电磁感应原理的无损检测方法，其基本原理是利用被测物体表面附近磁场分布不均匀或分布很不均匀的特点，通过检测物体表面附近的感应涡流场来实现对被测物体表面损伤的无损检测。在交通安全设施无损检测领域，目前研究的主要是基于磁芯技术的无损检测，对检测对象的结构和尺寸变化并不敏感，其灵敏度较低，难以应用于交通安全设施的无损检测中，因此研制一种具有更高灵敏度和更小体积的交通安全设施无损检测仪器十分必要。

一、涡流磁感原理概述

涡流无损检测是一种对被测物体没有损伤，且具有很高的测量精度的金属无损检测方法。涡流无损检测是一种以电磁感应为基础的测量方法，它是利用被测物体在一个均匀的交流磁场中，在其表面产生一个闭合的环形电流。涡流传感器可根据物体的形状和磁场分布而变化，当被测试物体表面出现微小裂纹或缺陷时，其特性也会发生变化，进而产生涡流，进而导致阻抗变化。涡流磁感无损检测原理示意图如图1所示：

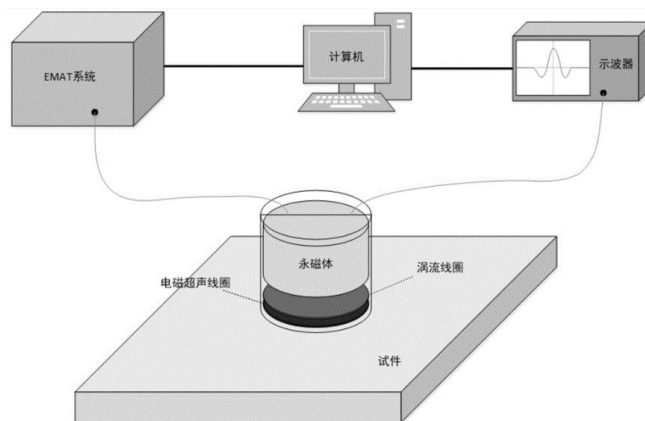


图1 涡流磁感无损检测原理示意图

二、交通安全设施无损检测仪的灵敏度影响因素

(一) 线圈参数

线圈的磁通密度和电感是影响交通安全设施无损检测仪灵敏度的主要参数，线圈的磁通密度与线圈的匝数、长度、宽度以及匝数的平方成正比，电感与磁通密度和线圈的长度成正比。线圈中磁场强度与线圈的长度、宽度以及匝数成反比，电感与磁通密度和线圈的长度成正比。由此可见，影响交通安全设施无损检测仪灵敏度的因素有两个：磁通密度和电感，即交通安全设施无损检测仪在检测过程中，磁场强度会随交通安全设施无损检测仪线圈长度和宽度的变化而变化，而电感则会随磁场强度的变化而变化，因此会影响交通安全设施无损检测仪的灵敏度。

(二) 磁芯材料

磁芯的选择是影响无损检测仪灵敏度的重要因素之一，因此在交通安全设施无损检测仪设计中应充分考虑磁芯的选择，这里选用磁性较强的镍铬合金，因为镍铬合金具有较好的热稳定性和抗氧化能力，在热处理后得到较高的磁导率和饱和磁感应强度。

当涡流检测线圈磁芯材料为镍铬合金时，由于镍铬合金在软磁材料中具有最高的磁导率，因此在进行交通安全设施无损检测时，当检测线圈通过磁芯时，线圈产生的感应电压将大大增加，且与激励电流成正比关系。此时，由于磁芯的饱和效应，在一定频率下，线圈产生的感应电压将变得很小。

三、基于涡流磁感原理的交通安全设施无损检测仪硬件设计

(一) 函数发生器模块

在交通安全设施无损检测中，应用最多的函数发生器模块是低通滤波器，它可用于产生低频信号，以滤除噪声和干扰。设计中使用的是美国ADI公司生产的一款DDS高精度可编程数字信号发生器芯片AD9857。该芯片的最大特点是提供了多种函数波形（可调参数），能在宽范围内产生线性或非线性函数。AD9857内部集成了D/A转换器，以提供精确的正弦波和三角波，也可用于产生其他任意波形。同时该芯片还具有时钟发生器、电压电流采样、电平转换等多种功能，可以满足对不同频率和不同幅值的信号进行精确控制的需求。

AD9857提供了两种不同的DDS工作模式：单稳态模式（SESTAT）和双稳态模式（DRESTAT）。单稳态模式下，DDS工作在SESTAT工作方式，由于AD9857内部集成了D/A转换器和时钟发生器，因此其输出波形质量非常高，而且也有一定的抗噪声能力。双稳态模式下，AD9857工作在DRESTAT工作方式，由于AD9857的输出波形质量较差，因此在本文的设计中不采用此种工作方式。另外，AD9857支持8位并行数据输出、最高24位量化分辨率、12位数字增益以及1~60KHz的频率调节范围。

（二）信息放大模块

信息放大模块由放大电路、滤波电路和模数转换电路三部分组成。

（1）放大电路的作用是将输入信号转换为与被测物相适应的频率信号，提高测量精度和系统稳定性。本设计中，选择采用ADA4657作为本设计中的放大电路，ADA4657是一款比较成熟的带反馈的放大器，具有较高的增益和较宽的带宽，并且具有很高的稳定性和线性度。

（2）滤波电路将输入信号中的各种干扰信号进行滤波处理，同时还可对被测物进行滤波，以便更好地提取信息。在本设计中采用了LM358芯片作为本设计中滤波器电路。

（3）模数转换电路将输入信号转换成数字量。在本设计中，选用ADS1276作为模数转换芯片，它具有低功耗、高分辨率、高精度和低成本等特点，可以对输入信号进行模数转换。其转换精度可达10⁻⁶量级，通过外部电阻可实现数据的采集和处理。

（三）人机界面模块

交通安全设施无损检测设备需要进行多任务处理，在操作过程中，用户可以通过键盘对数据进行保存，并通过串口与上位机进行通信。该系统设计中，选用了JTAG接口，并且使用了串行外围设备接口（SPI），该接口具有高速、串行通信的优点，同时还可以避免外部干扰。在实际应用中，JTAG接口实现了与单片机的串口通信，采用了TLC2543作为单片机的SPI接口芯片。串行外围设备接口（SPI）是一种异步串行通信接口标准，使用其可减少硬件电路的设计。采用串行外围设备接口（SPI）通信是因为这种方式具有通信速率快、成本

低、便于软硬件集成等优点。

串口通信的速度主要取决于所采用的通信协议，该系统使用的是一种以字节为单位的异步通信协议。串口通信系统一般由主机和从机组成，主机主要完成从数据帧的接收与发送，以及对数据帧的读写控制；从机主要完成从数据帧的接收和发送，以及对数据帧进行解析和存储。在实际应用中，为了方便用户进行操作，系统采用了键盘控制器作为串口通信的控制器。

键盘控制器选用了STC12C5A60S2芯片，它具有8个并行输入/输出引脚、8个串行输入/输出引脚、4个串行输出引脚、2个时钟输入引脚。

四、基于涡流磁感原理的交通安全设施无损检测仪软件设计

（一）软件系统总体设计

1. 检测系统总体框架

检测系统软件设计的主要任务是对交通安全设施进行实时监测，将采集到的数据通过串口发送至上位机进行存储与显示。检测系统软件包括软件需求分析、系统总体设计和系统模块设计三个部分。

（1）软件需求分析：在完成对交通安全设施无损检测方法的理论研究和分析后，根据系统要求对软件进行需求分析，确定功能模块。

（2）系统总体设计：在进行需求分析后，制定相应的功能模块，并对各模块进行合理的划分。检测系统分为上位机软件、下位机软件和检测设备3个部分。

（3）系统模块设计：根据检测任务的特点，将各子模块划分为若干个功能模块，系统模块设计如图2所示：

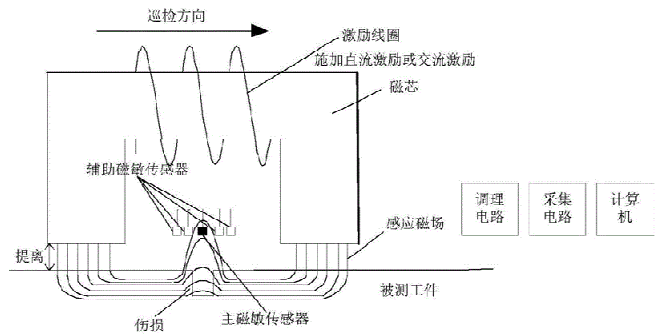


图2 系统模块设计

2. 软件开发流程

软件开发流程包括系统初始化、系统工作状态监控、信号采集、数据处理、数据输出等主要功能。通过对交通安全设施检测系统的分析，在软件设计中采用了模块化设计，各模块之间通过调用函数实现数据的采集、传输和处理等功能。

交通安全设施无损检测仪检测软件系统采用模块化设计，主要分为主程序模块、检测模块、通信模块三个部分，其中主程序主要实现对各个功能模块的控制。检测模块为检测系统提供检测信号，是系统的核心，同时也是与上位机通信的主要部分。通信模块主要负责接收

上位机发来的命令，并将其发送给检测模块，同时也将接收到的检测数据进行处理、传输、显示等。

检测模块包括检测信号的采集和显示；通信模块包括与上位机的通信；数据处理模块包括数据处理、结果输出等；检测软件系统采用了多线程技术，主要采用多线程任务，即同时对多个任务进行处理。该系统在数据处理过程中，信号采集和信号处理模块与通信模块之间存在着通信调度和数据传输的关系。

（二）主程序模块

主程序模块包括：主程序初始化、检测信号采集、数据处理、数据显示和存储等。系统启动后，首先初始化系统的主程序模块，包括A/D转换、模数转换以及显示功能，等待检测信号的到来。

在检测信号采集时，将AD转换器输入的A/D转换结果通过串行通讯传送给主程序模块，首先根据检测信号的类型判断是读取AD转换结果还是读取I/O端口的数据，若读取到的数据大于系统设置的阈值则读取AD转换结果，若数据小于阈值则读取I/O端口的数据。

当检测到对应位置的信号时，首先进行A/D转换，将AD转换结果通过串行通讯传送给主程序模块。若AD转换器的输入信号为数字量，则先对其进行模数转换，将转换后的数据通过串行通讯传送给主程序模块。主程序模块根据AD转换器输入的数字量，对检测信号进行滤波、傅里叶变换以及加窗等处理，并计算出信号的频率和幅值，然后根据检测位置与频率的对应关系确定出对应的位置，同时根据检测位置与幅值的对应关系确定出该位置对应的交通设施类型。

数据处理时，首先判断是读取AD转换器输入数据还是读取I/O端口的数据，若读取AD转换器输入数据则读取AD转换结果，若读取I/O端口的数据。若读取到的数据大于系统设置的阈值则读取AD转换结果，若数据小于阈值则读取I/O端口的数据。通过检测位置与幅值的对应关系确定出对应的交通设施类型，并通过显示模块将检测结果显示出来。

（三）信号采集处理模块

根据交通安全设施无损检测的信号采集处理模块的功能要求，采用C语言设计了数据采集和数据处理程序，其具体流程如下：

（1）根据主程序模块确定的各子程序执行顺序，读取A/D转换器中的A/D转换数据，对采集到的信号进行滤波、放大、A/D转换等处理。

（2）通过对A/D转换器的读写操作，将采集到的信号存入RAM中。①将采集到的信号存入RAM中，通过设置数据缓冲区，将采样数据与对应的参考数值进行比较，如果差值在预定的范围内，则将该信号存入RAM中。②如果差值在预定的范围外，则将该信号存入RAM中。③对RAM中的数据进行读取操作。

（3）根据采集到的信号类型，选择合适的算法对信号进行处理，得到其特征参数。①对采集到的信号进

行滤波、放大，得到合适的输入电压信号；②对采集到的信号进行A/D转换，将转换后的数字信号存入RAM中；③根据传感器输出端的电压和电流计算出信号的特征参数，包括幅值、频率等。

（4）根据特征参数判断交通安全设施是否发生损坏或疲劳损坏，如果是则用相应的标志或标牌对交通安全设施进行提示。

结束语

总而言之，本文在分析涡流磁感原理的基础上，结合交通安全设施无损检测的特点，提出了一种基于涡流磁感原理的交通安全设施无损检测仪器设计方案。该仪器主要由涡流磁芯检测探头、信号处理模块和人机界面模块组成。涡流磁芯检测探头可用于交通安全设施的无损检测，可以有效地将被测物体表面上的微小裂纹或缺陷进行准确地检测，并对其进行定位和定位精度进行分析；信号处理模块采用单片机技术对被测物体表面上的微小裂纹或缺陷进行精确地检测，实现对被测物体表面微小裂纹或缺陷的无损检测；人机界面模块通过计算机技术将被测物体的基本信息、结构信息以及状态信息等进行数字化处理。该仪器能有效地克服现有交通安全设施无损检测仪器检测范围小、检测精度低、抗干扰能力差等不足，其不仅能对交通安全设施表面裂纹或缺陷进行检测，而且还能对其结构进行无损检测，具有较高的应用价值和广阔的发展前景。

参考文献

- [1] 张乐. 基于德尔菲法的高速公路交通安全设施技术状况评定方法优化[J]. 公路与汽运, 2023(04): 41-44.
- [2] 蒋永奎, 王腾文. 交通安全设施质量检测工作思路[J]. 运输经理世界, 2023(09): 117-119.
- [3] 侯潇潇. 公路工程交通安全设施交工验收检测分析[J]. 运输经理世界, 2023(04): 134-136.
- [4] 宋栋栋, 王珂. 公路交通安全设施防腐技术研究[J]. 交通世界, 2023(Z1): 11-13.
- [5] 蔡娜娜. 探讨公路项目交通安全设施工程的交工检测[J]. 交通科技与管理, 2023, 4(01): 180-182.
- [6] 梅洋. 提升公路交通安全设施工程质量检测水平研究——以西南某段高速公路项目为例[J]. 运输经理世界, 2022(25): 140-142.
- [7] 臧亚因, 韩焯. 公路工程交通安全设施交工验收检测技术[J]. 山东交通科技, 2022(04): 127-129+133.
- [8] 何凯. 交通安全设施质量检测中存在的问题及解决策略研究[J]. 运输经理世界, 2021(34): 155-157.
- [9] 邢小军. 浅谈公路交通安全设施工程施工质量检测技术[J]. 交通企业管理, 2021, 36(05): 92-93.
- [10] 鲁婷, 孙文杰, 王立军等. 高速公路交通安全设施质量检测评价及养护建议[J]. 工程技术研究, 2021, 6(13): 143-144.