

# 智能型金属探测器的设计

## 摘要

本文介绍了一种基于 AT89S52 单片机控制的智能型金属探测器，重点研究了它的硬件组成、软件设计、工作原理及主要功能。该金属探测器以 AT89S52 单片机为核心，涡流线圈感应金属物体，从而产生涡流效应使线圈周围的磁场强度发生变化；采用线性霍尔元件 UGN3503 作为传感器，来感应金属涡流效应引起的通电线圈磁场的变化，并将磁场变化转化为电压的变化；ADC0809 将模拟信号转换为数字电压信号；单片机测得电压值，并与设定的电压基准值相比较后，判断是否探测到金属，决定是否声光报警。系统软件采用汇编语言编写。在软件设计中，采用了数字滤波技术消除干扰，提高了探测器的抗干扰能力，确保了系统的准确性。

**关键词：**单片机；金属探测器；线性霍尔元件；电磁感应

## ABSTRACT

This paper describes the composition of hardware and software, working principles and the functions of an intelligent metal detector which mainly consists of AT89S52 Single Chip Microcontroller and linear Hall-Effect Sensor. The equipment adopts UGN3503U linear hall-effect sensor as probe to detect the field change of the centre of a search coil resulted from eddy current effect and turn this magnetic field change into voltage change. The SCM measures the peak value of voltage and compares it with reference voltage. Then determine whether detect metal or not. In case of detection of a metallic mass, the Metal Detector provides an acoustical and optical alarm. The systems software adopts the assembler language to be written. Inside the software, the digital filter technology is utilized to eliminate the jamming. So the stability of system and the measuring veracity are improved.

**KEYWORDS:** SCM; metal detector; linear Hall element; electromagnetic induction

# 目录

摘要.....	I
ABSTRACT .....	II
1 绪论.....	1
1.1 引言.....	1
1.2 探测器的发展状况及应用.....	1
1.3 本文研究的主要内容.....	3
2 传感器.....	4
2.1 传统传感器.....	4
2.1.1 传感器的定义.....	4
2.1.2 传感器的结构.....	4
2.1.3 传统传感器的发展趋势.....	4
2.2 智能传感器.....	5
2.2.1 智能传感器的概念.....	5
2.2.2 智能传感器的基本功能.....	5
2.2.3 智能传感器的特点.....	6
2.2.4 智能传感器的分类.....	7
2.2.5 智能传感器系统的基本组成.....	7
2.3 电涡流式传感器.....	8
2.3.1 电涡流式传感器概述.....	8
2.3.2 电涡流式传感器的基本原理.....	8
3 硬件设计.....	11
3.1 系统设计的理论依据.....	11
3.1.1 线圈介质条件的变化.....	11
3.1.2 涡流效应.....	12
3.2 系统组成.....	12

3.3 系统工作原理.....13

---

3.4 电路具体介绍.....	14
3.4.1.线圈振荡电路.....	14
3.4.2 数据采集电路.....	17
3.4.3 系统控制单元(AT89S52 简介.....	22
3.4.4.电源电路.....	25
4 软件设计.....	26
4.1 软件算法.....	26
4.2 软件流程.....	27
4.2.1 主程序流程图.....	27
4.2.2 数字滤波程序设计.....	28
结论.....	30
致 谢.....	31
参考文献.....	32
附录.....	33

# 1 绪论

## 1.1 引言

金属探测器作为一种最重要的安全检查设备，已被广泛地应用于社会生活和工业生产的诸多领域。比如在机场、大型运动会(如奥运会)、展览会等都用金属探测器来对过往人员进行安全检测，以排查行李、包裹及人体夹带的刀具、枪支、弹药等伤害性违禁金属物品;工业部门(包括手表、眼镜、金银首饰、电子等生产含有金属产品的工厂)也使用金属探测器对出入人员进行检测，以防止贵重金属材料的丢失;目前，就连考试也开始启用金属探测器来防止考生利用手机等工具进行作弊。

由此可见，金属探测器对工业生产及人身安全起着重要的作用。而为了能够准确判定金属物品藏匿的位置，就需要金属探测器具有较高的灵敏度。目前，国外虽然已有较为完善的系列产品，但价格及其昂贵;国内传统的金属探测器则是利用模拟电路进行检测和控制的，其电路复杂，探测灵敏度低，且整个系统易受外界干扰。

## 1.2 探测器的发展状况及应用

金属探测器因其功能和市场应用领域不同，分为以下几种：通道式金属探测器（又称：金属探测门；简称：安检门）、手持式金属探测器、便携式金属探测器、台式金属探测器、工业用金属探测器和水下金属探测器。

全球第一台金属探测器诞生于 1960 年，步入工业时代最初的金属探测器也主要用于工矿业，是检查矿产纯度、提高效益的得力帮手。随着社会的发展，犯罪案件的上升，1970 年金属探测器被引入一个新的应用领域——安全检查，也就是今天我们所使用的金属探测门雏形，它的出现意味着人类对安全的认知已步入一个新纪元。

一个产品的出现带动了一个行业的发展，于是安检这个既陌生又熟悉的行业开始进入市场。40 多年过去了，金属探测器经历了几代探测技术的变革，从最初的信号模拟技术到连续波技术直到今天所使用的数字脉冲技术，金属探测器简单的磁场切割原理被引入多种科技成果。无论是灵敏度、分辨率、探测精确度还是工作性能上都有了质的飞跃。应用领域也随着产品质量的提高延伸到了多个行业。

70 年代随着航空业迅速发展,劫机和危险事件的发生使航空及机场安全逐渐受到重视,于是在机场众多设备中金属探测门扮演着排查违禁物品的重要角色。同样在 70 年代,由于金属探测门在机场安检中的崭露头角,大型运动会(如奥运会)展览会及政府重要部门的安全保卫工作中开始启用金属探测门作为必不可少的安检仪器。

发展到 80 年代,监狱暴力案件呈直线上升趋势,如何及早有效预防并阻止暴力案件发生成了监狱管理工作中的重中之重,在依靠警员对囚犯加强管理的同时,金属探测门再次成为了美国、英国、比利时等发达国家监狱管理机构必备的安检设备,形成平均每 300 个囚犯便使用一台金属探测门用于安检;与此同时西方兴起的“寻宝热”,也使手持式、便携式金属探测器得到长足的发展。

进入 90 年代,迅速升温的电子制造业成了这个时代的宠儿,大型的电子公司为了减少产品流失、结束员工与公司之间的尴尬局面,陆续采用金属探测门和手持式金属探测器作为管理员工行为、减少产品流失的利刃。于是金属探测器又有了它新的角色——产品防盗。

9.11 事件以后,反恐成为国际社会一个重要议题。爆炸案、恐怖活动的猖獗使恐怖分子成了各国安全部门誓要打击的对象。此时国际社会对“安全防范”的认知也被提到一个新的高度。受 9.11 事件影响,各行各业都加强了保安工作的部署,正是受此影响金属探测器的应用领域也成功地渗透到其他行业。如:娱乐场所。公共娱乐场所的治安问题历来是社会各界关注的焦点,也是治安管理工作中的难点。据统计,每年娱乐场所恶性打架斗殴事件和刑事案件发案率占 60%以上,其作案凶器均是消费者随身带入娱乐场所。然而,此时简单的通道式金属探测门已不能完全满足安检的要求,安保人员需要的是一种能准确判定金属物品藏匿位置的安检产品。于是多区位金属探测技术孕育而生,它的诞生是金属探测器发展历史上的又一次变革,原来单一的磁场分布变成了现在相互叠和而又相对独立的多个磁场,再根据人体工程学原理把门体分为多个区段使之与人体相对应,相应的区段在金属探测门上形成相对的区域,这样金属探测门便拥有了报警定位功能。

### 1.3 本文研究的主要内容

本文介绍的基于单片机的智能型金属探测器,采用灵敏度极高的线性霍尔元件作为传感器,感应由于金属出现引起的探测线圈周围磁场的变化,提高了检测精度:

---

处理部件则采用 AT89S52 单片机作为检测和控制核心，对检测结果进行分析判断，有效地保证了检测原理的实施；此外，利用软件滤波的方法代替了传统探测器复杂的模拟电路器件，大大提高了系统的可靠性、灵敏度和抗干扰性。适用于对邮件、行李、包裹及人体夹带的伤害性金属物品（如：刀具、枪械、武器部件、弹药和金属包装的炸药等）的检测，可用于海关、机场、车站、码头的安全检查。也可用于探测隐藏于墙内、护墙板内侧、空洞和土壤的上述物品和金属物。

## 2 传感器

### 2.1 传统传感器

#### 2.1.1 传感器的定义

根据中华人民共和国国家标准（GB7665--87），传感器（Transducer/Sensor）的定义：“能感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置，通常由敏感原件和转换器件组成。”

这一定义包含了以下几个方面的含义：

- (1)能感受（或响应）表示传感器要对被测量敏感，能灵敏的反映被测量量的变化；
- (2)传感器的输入、输出之间满足一定的规律，且具有一定的精度；
- (3)可用输出信号通常是指便于处理、转换、传输、显示和存储的信号。目前主要是电信号，电信号有很多种形式，如电压、电流、电阻、电容、频率等，输出信号的形式由传感器的原理确定。随着科学的发展，输出信号将来也可能是光信号或其他信号；
- (4)被测量可以是物理信号，也可以是化学量、生物量。

#### 2.1.2 传感器的结构

传感器一般由敏感元件、转换元件、信号调理电路和其他辅助元件组成。传感器的组成如图所示。

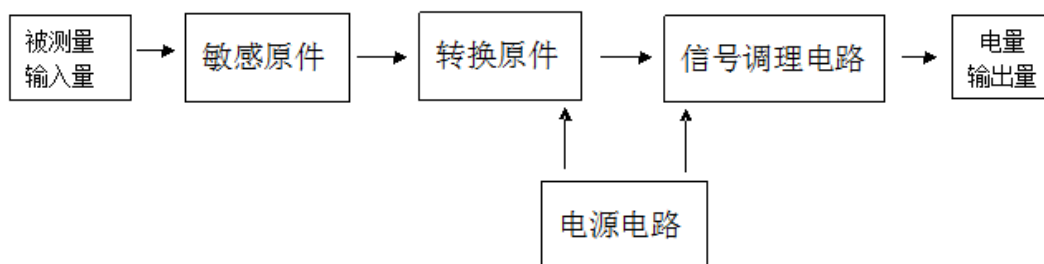


图 2.1 传感器组成框图

#### 2.1.3 传统传感器的发展趋势

为了区分智能传感器，本文把通常用的传感器成为传统传感器。传统传感器技术未来的发展方向主要有两个方面：一是传感器本身的研究，二是和电子技术，计算机技术以及通信技术组合在一起的传感器系统的研究。前者是研究新型传感器，后者是研究新

材料、新工艺及将检测功能与此信号处理技术相结合，向集成化、

智能化及网络化方向发展

## 2.2 智能传感器

### 2.2.1 智能传感器的概念

智能传感器这一概念，最初是在美国宇航局开发宇宙飞船过程中提出的，因为人们不仅需要知道宇宙飞船在太空中飞行的速度、位置、姿态等数据，而且为使宇航员在宇宙飞船内能够正常工作、生活，还需要控制舱内的温度、湿度、气压、空气成分等，因而需要安装各式各样的传感器。而宇航员在太空中进行各种实验也需要大量的传感器。这样一来，需要处理众多传感器获得的信息，即便使用一台大型计算机也很难处理如此庞大的数据，而且这在宇宙飞船上显然是行不通的。因此，宇航局的专家们就希望传感器本身就有信息处理的功能，于是把传感器和微处理器结合在一起，这样在 20 世纪 70 年代末就出现了智能传感器。

智能传感器可以对信号进行检测、分析、处理、存储和通信，具备了人类的记忆、分析、思考和交流能力，即具备了人类的智能，所以称之为智能传感器。智能传感器是一种带有微处理器，兼有信息检测、信号处理、信息记忆、逻辑思维与判断等智能化功能，是传感器、计算机和通信技术相结合的产物。

关于智能传感器目前尚无统一的定义，早起人们简单的认为智能传感器就是将传统传感器和微处理器集成在同一块芯片上，随着智能传感器技术的发展，比较多的学者认为智能传感器是将传统传感器和微处理器结合并赋予智能化功能的系统即智能传感器系统。

关于传感器的中、英文称谓，目前也尚未统一。“intelligent sensor”是英国人对智能传感器的称谓，而“Smart Sensor”是美国人对智能传感器的俗称。

### 2.2.2 智能传感器的基本功能

智能传感器有以下几个基本功能。

(1)具有自校准和故障自诊断的功能。智能传感器不仅能自动检测各种被测参数，还能进行自动调零、自动标定校准，某些智能传感器还可进行故障的自动诊断和修复。

(2)

具有数据存储、逻辑判断和信息处理的功能。智能传感器能对被测量进行信号调理或信号处理（包括对信号进行预处理、线性化，或对温度、静压力等参数进行自动补偿等）。例如，在带有温度补偿和静压力补偿的智能差压传感器中，当被测量的介质温度和静压力发生变化时，智能传感器中的补偿软件自动按照一定算法进行补偿，以保证测量精度。

(3)具有组态功能，使用灵活。在智能传感器系统中可设置多种模块的硬件和软件，用户可通过微处理器发出指令，改变智能传感器的硬件模块和软件模块的组合状态，完成不同的测量功能，实现多传感、多参数的符合测量。

(4)具有双向通信和数字化输出功能。智能传感器系统具有数字标准化数据通信接口，通过 RS-232、RS-485、USB、I<sup>2</sup>C 等标准总线接口，能与计算机总线接口相连，相互交换信息。

(5)人—机对话功能。智能传感器和仪表组合在一起，配合各种显示装置和输入键盘，使系统具有灵活的人—机对话功能。

### 2.2.3 智能传感器的特点

与传统传感器相比，智能传感器具有如下特点。

(1)灵敏度和测量精度高。智能传感器有多项功能来保证它的精度。例如，通过自校准去除零点；与标准参考基准实时对比以自动进行整体系统标定；自动进行整体系统的非线性等系统误差的校正；通过对采集的大量数据的同济处理以消除偶然误差的影响等。

(2)宽量程。智能传感器的测量范围很宽，具有很强的过载能力。例如，没过 ADI 公司推出的 ADXRS300 型单片偏航角速度陀螺仪，能精确测量转动物体的偏航角速度，测量范围是  $\pm 300^\circ/\text{s}$ 。用户只需并联一只合适的设定电阻，即可将测量转动物体测量范围扩张到  $\pm 1200^\circ/\text{s}$ 。

(3)可靠性与稳定性高。智能传感器能自动补偿因工作条件与环境参数发生变化后引起系统特性的飘移，如温度变化而产生的零点和灵敏度的漂移；当被测参数变化后能自动改变量程；能实时进行系统的自我检测，分析、判断所采集的数据的合理性，并给出异常情况的应急处理（报警或故障提示）。

(4)信噪比与分辨力高。由于智能传感器具有数据存储、记忆与信息处理功能，通过软件进行数字滤波、相关分析等处理，可以去除相关数据中的噪声将有用信号图区出来。

(5)自适应性强。智能传感器具有很强的自适应能力，美国 Microsemi 公司相继推

出能实现人眼仿真的集成化可见光亮度传感器,能代替人眼去感受环境亮度的明暗程度,自动控制 LCD 显示器背光源的亮度。

(6)

性价比高。智能传感器所具有的上述高性能, 不是传统传感器技术追求传感器获得, 而是通过与微处理器/微计算机相结合, 采用廉价的集成电路工艺和芯片及强大的软件来实现的, 所以具有高的性价比。

## 2.2.4 智能传感器的分类

智能传感器有以下较常用的几种分类形式。

(1) 按被测物理量的类型来分, 有温度、压力、湿度、角速度、液位、磁场、生物、化学等智能传感器。

(2) 按智能化程度来分, 有初级形式、中级形式和高级形式三种。

(3) 按其结构可分为模块式智能传感器、混合式智能传感器和集成式智能传感器 3 种。

## 2.2.5 智能传感器系统的基本组成

智能传感器系统主要由传感器、微处理器 (或计算机) 及相关电路组成, 其原理框图如图 2-5 所示。传感器将被测的物理量、化学量转换成相应的电信号, 经放大后送到信号调理电路中, 进行滤波、放大、模数转换后送到数据采集电路中, 经数据采集电路处理后再送到微处理器中。微处理器是智能传感器的核心, 它不但可以对传感器测量数据进行计算、存储、数据处理, 还可以通过反馈回路对传感器进行调节。由于微处理器充分发挥各种软件的功能, 赋予传感器智能化, 大大提高了传感器性能。

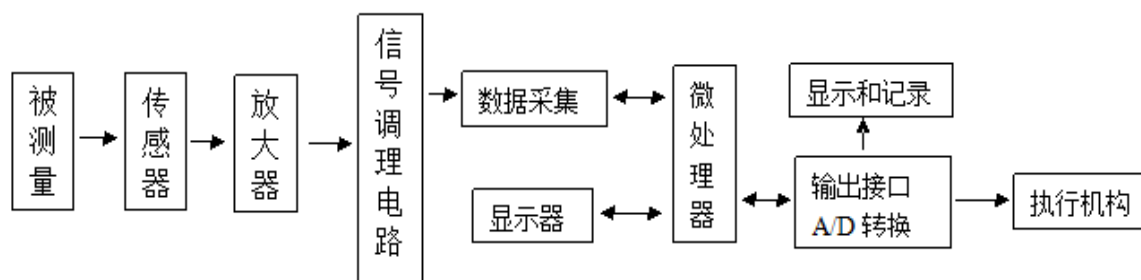


图 2.2 智能传感器原理框图

## 2.3 电涡流式传感器

### 2.3.1 电涡流式传感器概述

电涡流式传感器是利用电涡流效应进行工作的，它实质上也是通过改变电磁场强度来感受被测量的。由于结构简单、灵敏度高、频响范围宽、不受油污等介质的影响，并能进行非接触测量，适用范围广。目前，这种传感器已广泛用来测量位移、振动、厚度、转速、温度、硬度等参数，以及用于无损探伤领域。

### 2.3.2 电涡流式传感器的基本原理

金属导体置于变化的磁场中，导体内就会有感应电流产生，这种电流的流线在金属体内自行闭，合通常称电涡流。电涡流的产生必然要消耗一部分磁场能量，从而使激励线圈的阻抗发生变化。电涡流式传感器是基于这种涡流效应制成的。

电涡流式传感器的基本原理示意图如图 3-1 所示。有一通以交变电流  $I_1$  的存在，线圈周围就产生一个交变磁场  $H_1$ 。若被测导体置于该磁场范围内，到体内便产生电=涡  $I_2$ ， $I_2$  也将产生一个新磁场  $H_2$  与  $H_1$  方向相反，力图削弱原磁场  $H_1$ ，从而导致线圈的电感、阻抗和品质因数发生变化。这些参数变化与导体的几何形状、电导率、磁导率、线圈的几何参数、电流的频率以及线圈到被测导体间得距离有关。如果控制上述参数中一个参数改变其余参数不变，就能构成测量该参数的传感器。

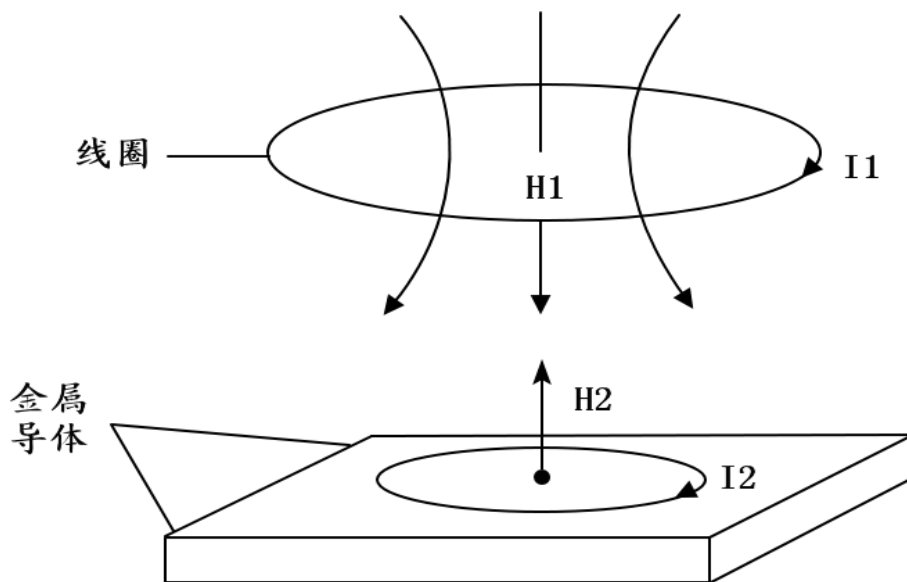


图 2.3 电涡流式传感器基本原理示意图

将被测导体上形成的电涡流等效成一个短路环中的电流。这样，线圈与被测导体变

等效为相互耦合的两个线圈，如图 2.4 所示。

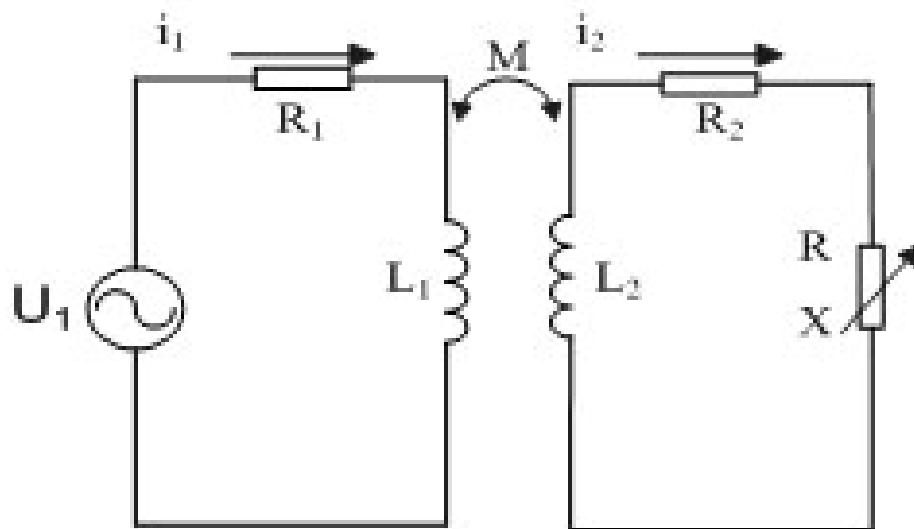


图 2.4 电涡流式传感器等效电路图

设线圈的电阻为  $R_1$ , 电感为  $L_1$ , 阻抗为  $Z_1=R_1+j\omega L_1$ ; 短路环的电阻为  $R_2$ , 电感为  $L_2$ ; 线圈与短路环之间的互感系数为  $M$ ,  $M$  随它们之间的距离  $X$  减小而增大。经推导, 电涡流线圈受被测金属导体影响后的等效阻抗可表示为 (式 2.1):

$$Z = \frac{U_1}{I_1} + \frac{R_2 \omega^2 M^2}{R_2^2 + (\omega L_2)^2} + j \left[ \omega L_1 - \frac{\omega^3 L_2 M^2}{R_2^2 + \omega^2 L_2^2} \right] = R + j\omega L \quad (\text{式 2.1})$$

式中:  $R$ —电涡流线圈工作时的等效电阻;

$L$ —电涡流线圈工作时的等效电感。

从公式 2.1 中可知, 等效电阻、等效电感都是此系统互感系数的平方的函数, 因此只有当测距范围较小时, 才能保证一定的线性度。

### 2.3.3 电涡流式传感器的特点

电涡流式传感器由于结构简单、灵敏度高、频响范围宽、不受油污等介质的影响, 并能进行非接触测量, 使用范围比较广。

### 2.3.4 电涡流式传感器的应用

(1) 电涡流式传感器由于结构简单, 又可实现非接触测量, 因此得到广泛的应用, 可用来测量位移动、厚度、转速、温度、硬度等参数, 以及用于无损探伤领域。

(2) 电涡流式传感器测量位移。电涡流式传感器可以用来测量各种形状试件的位移量。如汽轮机主轴的轴向位移、磨床换向阀及先导阀的轴位移和金属试件的膨胀系数等, 测量位移范围可以从 0-1mm 到 0-30mm, 分辨率为满量程的 0.1%。

---

(3) 电涡流式接近开关。电涡流式接近开关属于一种有开关量输出的位置传感器，他有 LC 高频振荡器和放大处理电路组成，利用金属物体在接近这个能产生电磁场的震荡感应头时，使物体内部差生涡流。这个涡流反作用于接近开关，是接近开关振荡能力衰减，内部电路的参数发生变化，由此识别出有无金属物体接近，进而控制开关的通断。这种接近开关能检测的物体必须是金属物体。

### 3 硬件设计

#### 3.1 系统设计的理论依据

金属探测器是采用线圈的电磁感应原理来探测金属的.根据电磁感应原理,当有金属靠近通电线圈平面附近时,将发生如下现象和效应:

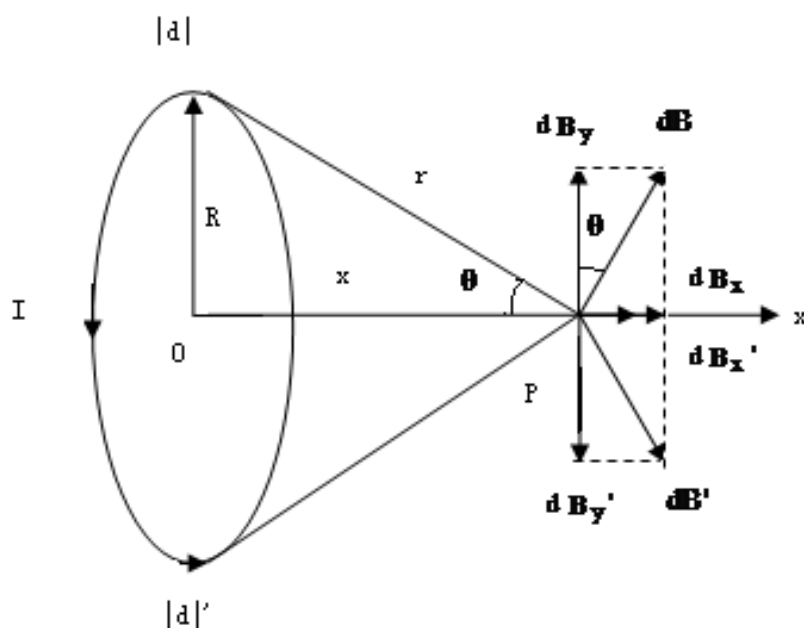


图 3.1 线圈介质条件的变化

##### 3.1.1 线圈介质条件的变化

当金属物接近通电线圈时,将使通电线圈周围的磁场发生变化如图 3.1,对于半径为 R 的单匝圆形电感线圈。当其中通过交变电流  $I = I_m \cos \omega t$  时,线圈周围空间产生交变磁场,根据毕奥-萨伐尔定律可计算出线圈中心轴线上一点的磁感应强度 B 为:

$$B = \int dB_x = \int dB \sin \theta = \int_0^{2\pi} \int_0^R \frac{\mu_0 I R}{4\pi r^2} dl = \frac{\mu_0 I R^2}{2r^3} = \frac{\mu_0 I R^2}{2(x^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}} = \frac{\mu_0 \mu_r R^2 I_m}{2(x^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}} \cos \omega t$$

(式 3.1)

其中,  $\mu = \mu_0 \mu_r$ ,  $\mu$  为介质的磁导率,  $\mu_r$  为相对磁导率,  $\mu_0$  为真空磁导率。对于紧密缠绕 N 匝的线圈,线圈中心轴线上一点的磁感应强度则为:

$$B = \frac{N\mu_0\mu_r R^2 I_m}{2(x^2 + R^2)^{\frac{3}{2}}} \cos \omega t \quad (\text{式 3.2})$$

由公式 (3.2) 可知, 当线圈有效探测范围内无金属物时,  $\mu_r = 1$  (非金属的相对磁导率), 线圈中心磁感应强度  $B$  保持不变, 当线圈有效探测范围内出现铁磁性金属物时,  $\mu_r$  会变大,  $B$  随  $\mu_r$  的变大而变大。

### 3.1.2 涡流效应

根据电磁理论, 我们知道, 当金属物体被置于变化的磁场中时, 金属导体内就会产生自行闭合的感应电流, 这就是金属的涡流效应。涡流要产生附加的磁场, 与外磁场方向相反, 削弱外磁场的变化。据此, 将一交流正弦信号接入绕在骨架上的空心线圈上, 流过线圈的电流会在周围产生交变磁场, 当将金属靠近线圈时, 金属产生的涡流磁场的去磁作用会削弱线圈磁场的变化。金属的电导率  $\sigma$  越大, 交变电流的频率越大, 则涡电流强度越大, 对原磁场的抑制作用越强。

通过以上分析可知, 当有金属物靠近通电线圈平面附近时, 无论是介质磁导率的变化, 还是金属的涡流效应均能引起磁感应强度  $B$  的变化。对于非铁磁性的金属[包括抗磁体(如:金、银、铜、铅、锌等)和顺磁体(如锰、铬、钦等)  $\mu_r \approx 1$ ,  $\sigma$  较大, 可以认为是导电不导磁的物质, 主要产生涡流效应, 磁效应可忽略不计; 对于铁磁性金属(如: 铁、钴、镍)  $\mu_r$  很大,  $\sigma$  也较大, 可认为是既可导电又导磁的物质, 主要产生磁效应, 同时又有涡流效应。

本设计正是基于这样的理论, 来寻找一种适合的传感器来感应线圈的磁场变化, 并把磁场信号的变化转变成电信号的变化, 从而实现单片机的控制。正是本着这样一个设计思路来构建系统的硬件电路。

## 3.2 系统组成

硬件控制电路包括两个部分, 一部分线圈振荡电路,包括:多谐振荡电路、放大电路和探测线圈;另一部分控制电路包括:UGN3503 型线性霍尔元件、可编程放大电路、峰值检波电路、模数转换器、AT89S52 单片机、LED 显示电路、声音报警电路及电源电路等。

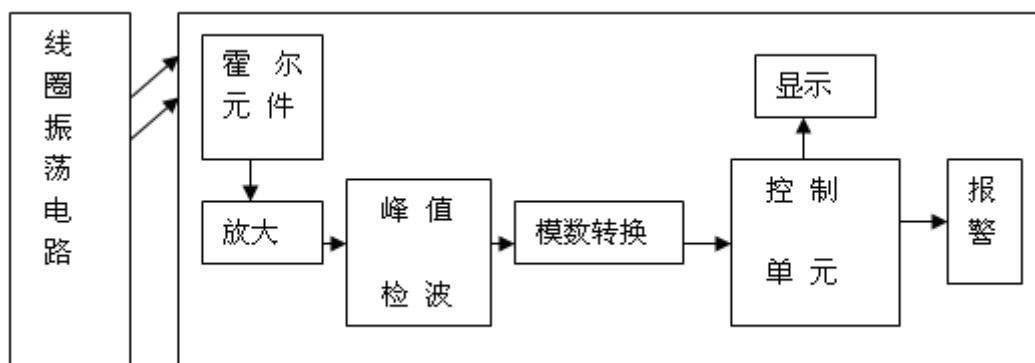


图 3.2 系统结构块图

### 3.3 系统工作原理

在工作过程中，由 555 定时器构成的多谐振荡器产生一个频率为 24KHz 的脉冲信号经过缓冲和放大之后，形成频率稳定度高、功率较大的脉冲信号输入到探测线圈中，通电的线圈周围就会产生磁场，此时，固定在线圈  $L_1$  中心的霍尔元件 UGN3503U 就会感应到线圈周围的磁场，并将磁场强度信号线性地转变成电压信号。

在无金属的情况下，假设霍尔输出电压为  $\mu_0$ ，该电压信号  $\mu_0$  很微弱，属 mV 即信号， $\mu_0$  经过放大电路放大，再通过峰值检波电路，得到响应的 0V~5V 的峰值输出电压  $U_0$ ，以满足 ADC0809 的量程，经 A/D 转换后，将  $U_0$  的数字量输入到单片机储存起来。此后，以该电压信号作为基准电压，与 A/D 转换器采集到的电压信号进行比较判断。

当探测线圈  $L_1$  靠近金属物体时，由于电磁感应现象，会使探测电感值发生变化，从而使其周围的磁场发生变化，霍尔元件感应到该变化的磁场，并将其线性地转变成电压信号  $\mu_x$ ，该变化的电压经过放大电路、峰值检波电路后，得到响应的 0V~5V 的峰值输出电压  $U_x$ ，然后经 A/D 转换后，输入到 CPU，由 CPU 完成  $U_x$  与基准电压  $U_0$  的比较，二者比较  $|U_x - U_0|$  得到一个差值，此差值与预设的灵敏度  $\Delta U$  再做比较。当然， $\Delta U$  大小的设定决定着系统精度的高低。若  $|U_x - U_0| > \Delta U$

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/658014137010006075>