

环境科学

废弃木质材料中金属连接件检测系统设计

陈明阔 阚江明 郝志斌

(北京林业大学工学院,北京 100083)

摘 要 针对废弃木质材料中金属连接件检测问题,利用电磁感应原理设计了废弃木质材料中金属连接件的高精度检测传感器。该传感器包括多谐振荡电路、检测线圈、霍尔原件、差分放大电路和峰值检波电路。利用 STC89C52 单片机为核心设计了一个具有 8 路检测功能的废弃木质材料金属连接件检测系统,该系统还具有显示报警和通过标准 RS232 接口与 PC 机通信功能。通过对废弃木质材料中 4 种不同型号的铁钉进行检测实验,规格为 $0.8\text{ mm} \times 11\text{ mm}$ 的铁钉检测距离为 0.5 cm ;规格为 $3.5\text{ mm} \times 25\text{ mm}$ 的铁钉检测距离为 2 cm 。实验结果表明:所设计的高精度检测传感器可以检测直径大于 0.8 mm 的金属连接件,系统除了检测废弃木质材料中有无金属连接件外还可以通过高精度检测传感器的位置初步确定金属连接件的位置,为废弃木质材料的重新回收利用奠定了基础。

关键词 废弃木质材料 金属连接件 差分放大电路 峰值检波电路

中图法分类号 X72; **文献标志码** A

重新回收和利用废弃木质材料再加工对节约木质资源和实现人造板工业可持续发展有重要意义。废弃木质材料再加工首先是要取出废弃木质材料中的杂质。在废弃木质材料中存在大量的金属连接件,这些连接件不仅存在于木质材料的表面,还存在其内部,通过肉眼难以发现,从而对废弃木质材料的重新分割和整合增加了难度。所以如何快速检测和定位这些连接件成为首先要解决的问题。基于 X 射线的废弃木质材料连接件的检测方法可以非常准确地检测废弃木质材料中的连接件和确定其在废弃木质材料中的位置,但是基于 X 射线的方法成本较高,同时使用 X 射线需要有专业的安全防护措施。本研究尝试根据电磁感应原理研制废弃木质材料中铁磁性金属连接件的传感器和检测系统。当废弃木质材料中铁磁性金属连接

件进入金属连接件检测传感器检测范围时,传感器就会输出 $0\text{—}5\text{ V}$ 的电压信号;检测系统可以同时连接 8 路金属连接件检测传感器,具有显示报警和通过 RS232 接口与 PC 机实时通信功能。该系统还可以通过 8 路金属传感器的位置初步确定金属连接件在废弃木质材料中的位置。

1 金属连接件检测传感器设计

1.1 金属连接件检测原理

金属连接件检测传感器是根据电磁感应原理来检测金属的。根据法拉第电磁感应定律,当金属物体置于变化的磁场中或在磁场中做切割磁感线运动,导体内将产生呈漩涡状的感应电流,此电流叫电涡流。电涡流又产生新的交变磁场,新的交变磁场与原磁场方向相反,因而抵消部分原磁场。根据此定律,将交流电压信号通入线圈中使线圈周围产生交变磁场,当线圈靠近金属物时,可使通电线圈的磁感应强度 B 发生变化^[1,2]。

另一方面如图 1 所示,导体圆环半径为 R ,电流为 I , P 点到圆环中心的距离为 s 。根据毕奥-萨伐尔定律,可计算导体圆环中心轴线上一点 P 的磁感

2010 年 7 月 23 日收到 北京市共建项目林业工程重点学科研究项目(2009)资助

第一作者简介:陈明阔,研究方向:自动检测系统设计,E-mail:mingkuo2010@sina.cn。

*通信作者简介:阚江明,博士,副教授,研究方向:森林工程装备及其自动化,E-mail:kanjm@bjfu.edu.cn。

应强度 B 如式(1)所示。

$$B = \int dB_z = \frac{\mu I \sin \alpha}{4\pi r^2} \int_0^{2\pi R} dl = \frac{\mu R^2 I}{2(R^2 + s^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (1)$$

式(1)中 $\mu = \mu_0 \mu_r$, μ 为介质的磁导率, μ_r 为相对磁导率, μ_0 为真空磁导率。由公式(1)可知,当线圈在有效的检测范围内无金属时, $\mu_r = 1$, 线圈中心磁感应强度 B 保持不变;当线圈有效检测范围内出现铁磁性金属物时,由于铁磁性金属的相对磁导率 $\mu_r > 1$, μ_r 发生变化,此时磁感应强度 B 也会随 μ_r 的改变而发生变化^[3]。

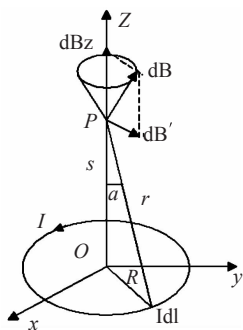


图1 圆电流轴线磁感应强度

由此可见,如给线圈加载交流电压,线圈周围产生变化磁场,当废弃木质材料中的金属连接件靠近通电线圈时,金属涡流效应和介质磁导率的变化,均可使磁感应强度 B 发生变化,为此可以检测线圈中磁场的变化来判断是否有金属连接件存在。根据此原理,所设计的金属连接件检测传感器包括多谐振荡电路、检测线圈、霍尔元件、差分放大电路和峰值检波电路,原理框图如图2所示。多谐振荡电路产生一个固定频率的交变信号,检测线圈在交变信号的作用下产生一个固定的磁场,霍尔元件用于探测检测线圈中磁场的变化量,差分放大电路和峰值检波电路将霍尔元件输出的微弱信号进行放大并检测出磁场变化的峰值,保证金属连接件检测传感器的输出电压范围是0—5 V。



图2 金属连接件检测传感器原理框图

1.2 检测线圈设计

由公式(1)及参考文献[4,5]可知,线圈中心磁感应强度 B 越低,检测线圈中磁感应强度 B 的变化越小,检测系统的灵敏度越低^[4,5]。为了提高检测系统的灵敏度,线圈尺寸不宜做得太大,线圈尺寸可以根据需求适当选小一些。在本研究中采用0.4 mm的漆包线,绕成直径约为5 cm的线圈,线圈的电感量约为2 mH,将霍尔元件分别置于线圈中心。

1.3 多谐振荡电路设计

根据参考文献[1]可知电涡流贯穿深度 h 满足式(2)。式中 ρ 为被测金属电阻率, μ_0 为真空磁导率, μ_r 为相对磁导率, f 为线圈激励电流频率。

$$电涡流的贯穿深度 h = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \mu_0 \mu_r f}} \quad (2)$$

由式(2)可知,频率 f 越大,贯穿深度 h 越小,反射效果越好,对原磁场的削弱作用越强,检测系统的灵敏度越高,但是频率过大,系统的稳定性降低,在本研究中多谐振荡电路的频率折中选择为 $f = 80 \text{ kHz}$ 。

本研究采用555定时器构成的多谐振荡电路^[6],如图3所示,产生周期性矩形脉冲信号,振荡频率 $f = \frac{1}{T} \approx \frac{1.44}{(R_1 + 2R_2)C_1}$,通过调节滑动变阻器 R_1 和 R_2 改变电路的振荡频率;输出信号 $V_0 = (1 + \frac{R_5}{R_3})V_i$,通过调节滑动变阻器 R_5 改变放大器放大倍数,实现多谐振荡电路的频率和输出信号的幅值都可以调节。

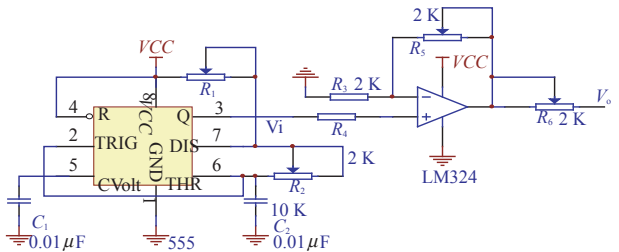


图3 多谐振荡电路

1.4 差分放大和峰值检波电路设计

本研究中采用 UGN3503 线性输出霍尔元件来

检测通电线圈磁场的变化,UGN3503 线性输出霍尔元灵敏度典型值为 1.3 mV/G,静态输出电压 2.45 V,工作电压为(4.5—6) V^[7]。该霍尔元件能够精确地检测磁感应强度微小的变化,由于霍尔元件输出电压非常小,属于毫伏级。考虑到噪声的影

响,本研究先采用了差分放大电路,抑制噪声和零点漂移,提供足够大的放大倍数^[8],之后通过峰值检波电路检测磁感应强度变化的峰值,最后通过第三级放大,保证金属连接件检测传感器的电压输出在 0—5 V 之间,具体的电路原理图如图 4 所示。

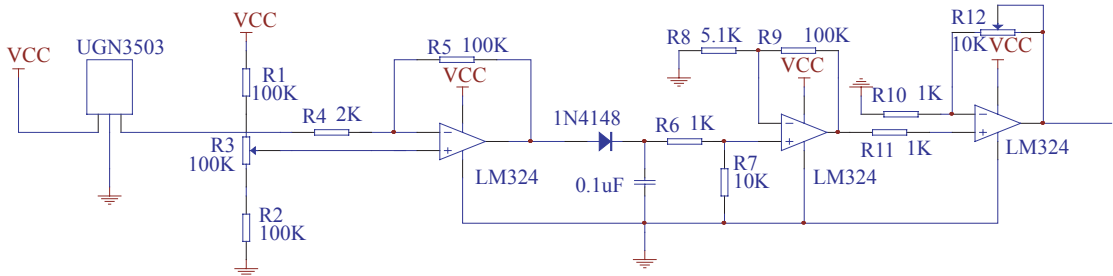


图 4 放大与峰值检波电路

2 检测系统硬件设计

检测系统应具有多路检测、报警显示和与 PC 机进行通信功能。在本研究中采用 STC89C52 单片机作为主控芯片,通过 ADC0809 A/D 转换器与 8 路金属连接件检测传感器将 0—5 V 的模拟电压信号转化为数字信号送给单片机下进行处理,处理结果通过 LED 进行显示和改变发光二极管的频率进行报警,检测系统通过 RS232 接口与 PC 进行通信,检测系统结构框图如图 5 所示。

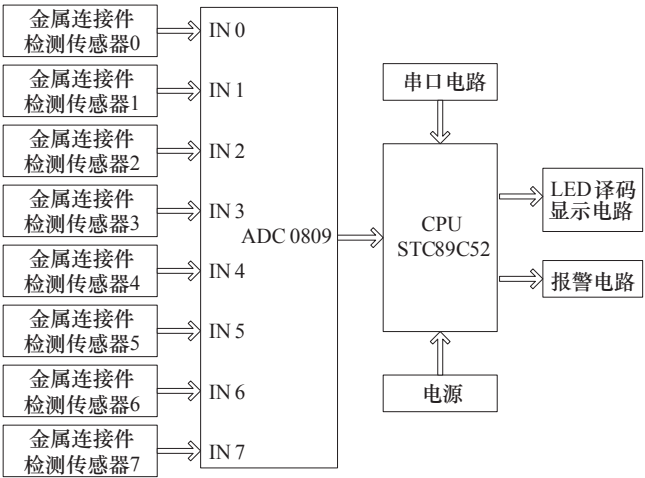


图 5 检测系统结构框图

STC89C52 单片机是一种低功耗、低价位、高速、高可靠的 8 位单片机,它兼容 MCS—51 指令系统及 80C51 引脚结构,内部 Flash 擦写次数为 100 000 次以上,用户程序是用 ISP/IAP 机制写入,一边校验一边写,无读出命令,彻底无法解密。显示电路由 8 个 LED 数码管和 74LS138 译码器组成。单片机 P0 口分别接 8 个数码管的段选,单片机输出的信号由 74LS138 译码器译码输出分别控制 8 个数码管位选信号,显示检测位置^[9]。报警电路由发光二极管和有源蜂鸣器组成,当有 1 个传感器检测到金属时,发光二极管闪烁,蜂鸣器发出滴滴响声。当有 2 个或 2 个以上传感器检测到金属时,发光二极管的闪烁频率增加,蜂鸣器响声更加急促。具体的电路原理图如图 6 所示。

3 检测系统软件设计

3.1 检测系统软件功能分析

检测系统软件包括下位机底层软件和 PC 机实时数据接收软件,PC 机实时数据接收软件主要是通过对 RS232 串口进行读写控制,并将接收的数据进行处理和存储,在此不进行详细的介绍。下位机底层软件是指单片机中运行的软件,具体包括系统初始化,系统校准、数据采集、中值滤波、显示报警处

理和 RS232 通信几个程序模块,具体的程序流程图如图 7 所示。系统初始化主要是对单片机各端口进行配置和主控芯片的初始化;系统校准是在没有金属连接件时采集各金属连接件检测传感器的输出电压值,将其作为基准值;中值滤波模块主要是消

除所采集数据中的随机噪声;显示报警处理模块主要是将各通道数据采集的结果与其基准值进行比较,判断废弃木质材料中是否有金属连接件,并将判断结果用 LED 显示,同时用发光二极管和蜂鸣器进行报警。

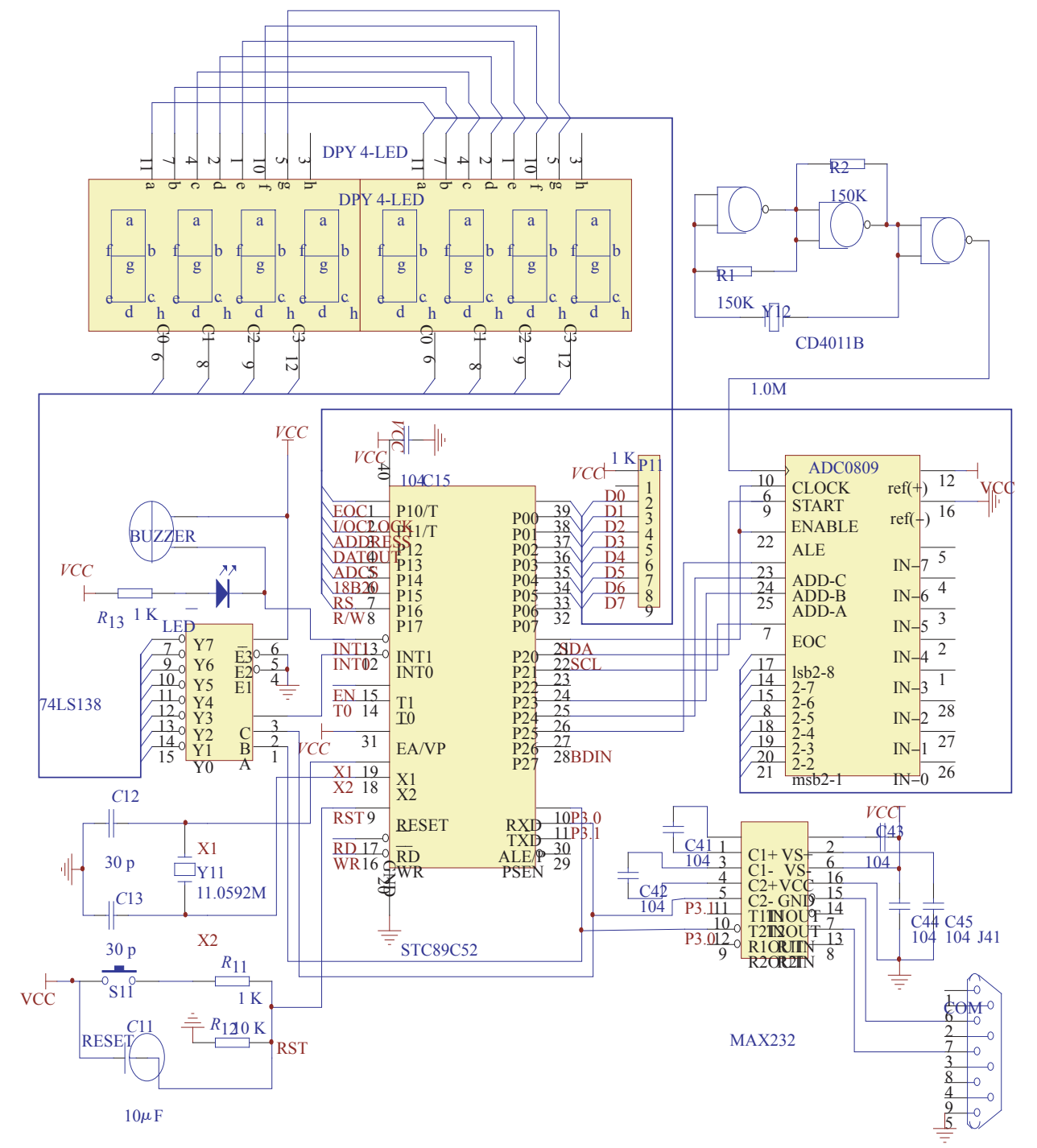


图 6 检测系统硬件电路

3.2 中值滤波程序

在软件程序中,采用了中值滤波,有效地提高了检测系统的抗干扰能力和灵敏度,确保了系统的稳定性。中值滤波是在系统中对某一参数连续采样 N 次(N 为奇数),然后采用冒泡排序法,将 N 次采样值从小到大排列,取中间值作为本次采样值。中值滤波程序如下:

```
for(i=0;i<N-1;i++) //数组 a[N] 中存放 N 次采样值,采用冒泡排序法排序
{
    for(k=0;k<N-i;k++)
    {
        if(a[k]>a[k+1])
        {
            temp=a[k]; a[k]=a[k+1]; a[k+1]=temp;
        }
    }
}
getdata=a[(N-1)/2]; //取中间值
```

4 实验与结果分析

本研究中将 4 种不同规格的铁磁性金属钉植入废弃木质材料中作为检测对象,对废弃木材金属连接件检测系统的检测距离和初步定位进行了实验。在对废弃木材金属连接件检测系统的检测距离测试实验中,不同的连接件在不同通道进行了 10 次重复实验,取其平均值作为最后的实验结果,废弃木质材料中 4 种不同规格金属连接件检测距离的实验数据如表 1 所示。金属连接件定位实验中,不同规格的金属连接件在不同的通道进行了定位实验,不同通道有金属连接件接近时会在 LED 上显示对应的通道编号,表 2 给出了对通道 1 和 2 进行实验的数据。

表 1 废弃木材中 4 种不同型号的铁钉进行检测距离比较

产品名称	规格	探测距离 h/cm
圆钉	0.8 × 11 mm	0.5
圆钉	1.4 mm × 25 mm	0.8
铰链专用螺丝(镀镍)	3.5 mm × 15 mm	1.0
高强度双线干壁钉	3.5 mm × 25 mm	2.0

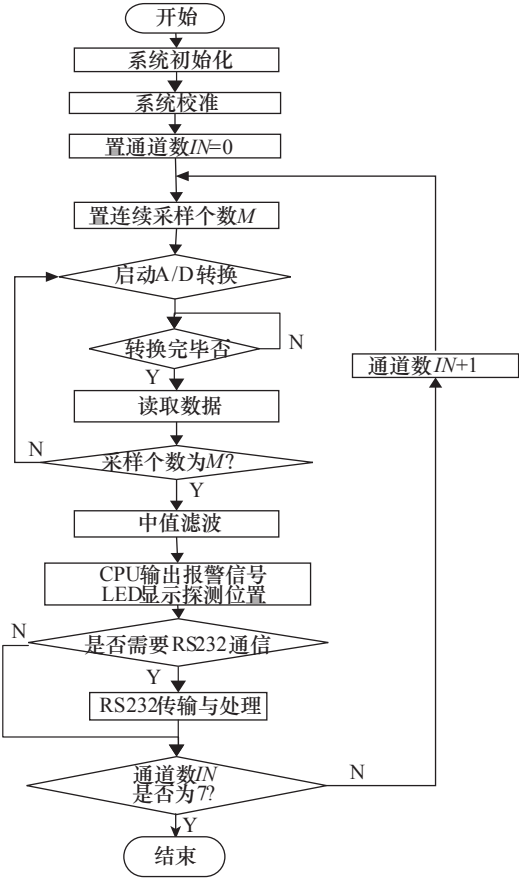


图 7 主程序流程图

从对废弃木材金属连接件检测系统的检测距离测试实验数据可以看出,规格是 0.8 mm × 11 mm 的圆钉已经是非常小的金属连接件了,检测距离在 0.5 cm,同时可以看出金属连接件越大,检测距离越大。

从对废弃木材金属连接件初步定位实验数据可以看出,对于只有一个金属连接件检测传感器有金属连接件接近时,能够准确定位;当紧邻的两个传感器都有金属连接件靠近,两个通道也能够正确地检测到金属连接件;但是当有金属连接件位于两个传感器之间时,两个通道也都显示检测到金属连接件,这种情况就不能区分是有两个金属连接件靠近两个传感器还是有一个金属连接件位于两个传感器中间,也是检测系统需要进行继续研究的情况。

表 2 金属连接件初步定位

金属连接件 检测传感器 1	金属连接件 检测传感器 2	数码管显示
有金属	无金属	1
无金属	有金属	2
有金属	有金属	12
金属介于 传感器 1 和 2 之间		12

5 结论

- (1) 根据电磁感应原理设计了废弃木质材料金属连接件检测传感器,包括多谐振荡电路、检测线圈、霍尔元件和差分放大与峰值检波电路,传感器输出信号为 0—5 V 电压信号;
- (2) 设计了一个具有 8 路检测功能的废弃木质材料金属连接件检测系统,包括 A/D 模数转换、显示报警和通过 RS232 与 PC 机实时通信功能,论文给出了详细的电路原理图和下位机软件流程图;
- (3) 废弃木质材料金属连接件检测系统能够可以检测直径大于 0.8 mm 的金属连接件,且检测距离达到了 0.5 cm;并且能够通过 8 路检测传感器的位置初步确定金属连接件在废弃木质材料中的位置,能够满足废弃木质材料综合再利用先期处理要求;
- (4) 对两通道都显示检测到金属连接件的情

况,目前系统还不能区分是两个传感器都有金属连接件靠近还是只有一个金属连接件位于两个检测传感器之间,同时本文设计的传感器只能检测铁磁性材料的连接件,不能检测所有连接件,也不能检测非铁磁性金属连接件,也是系统需要改进之处。

(5) 基于电磁感应原理的废弃木质材料金属连接件检测系统只需要价格低廉的电子元器件,研制成本很低,与基于 X 射线的废弃木质材料连接件相比性能价格比高。

参 考 文 献

1 郁有文,常健,程继红. 传感器原理及工程应用(第三版). 西安:西安电子科技大学出版社,2008:77—84

2 余晋岳,刘国亭. 金属探测器的原理与应用. 电子技术,1984;10(2):25—29

3 范丽珍,李树华. 基于单片机的智能型金属检测器的设计. 内蒙古大学学报(自然科学版),2006;37(2):185—189

4 王军平,王安,樊文侠. 电涡流传感器线圈参数对传感器性能的影响. 自动化仪表,2001;22(12):22—24

5 于亚婷,杜平安,廖雅琴. 线圈形状及几何参数对电涡流传感器性能的影响. 仪器仪表学报,2007;28(6):1045—1050

6 胡晓光. 数字电子技术基础. 北京:北京航空航天大学出版社,2007:126—128

7 刘畅生,寇宝明,钟龙. 霍尔传感器实用手册. 北京:中国电力出版社,2009:131—135

8 华成英. 模拟电子技术基本教程. 北京:清华大学出版社,2006:12—27

9 黄智伟. 全国大学生电子设计竞赛训练教程. 北京:电子工业出版社,2005:120—130

Design of Detection System for Metal Connectors in Wasted Wood Materials

CHEN Ming-kuo, KAN Jiang-ming*, HAO Zhi-bin
(School of Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, P. R. China)

[Abstract] How to detect the metal connectors in wasted wood materials is firstly concerned in recycling them. A kind of metal connector detecting sensor for waste wood materials have been designed, which is according to the electromagnetic induction principle. The sensor consists of the multivibrating circuit, detection coil, the HALL element, differential amplification circuit and peak detecting circuit. Detection system for metal connectors in wasted wood materials based on the STC89C52 MCU is introduced, which has the function of alarming and displaying and (下转第 6948 页)

75 谭若春,黎清婵,何丽平. 双歧杆菌三联活菌胶囊治疗妊娠期便秘的疗效观察. 现代医院. 2008;8(6):59—60

Ler35 in children with chronic constipation. Pediatr Int, 2007; 49(4):485—490

76 Bu L N, Chang M H, Ni Y H, *et al.* Lactobacillus casei rhamnosus

Research Progress of Probiotics in Preventing Dseases of Digestive System

LI Fei, LIU Jie^{*}, DANG Guang-zhen, CUI Yun-long¹

(Department of Biological Engineering and Technology, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266042, P. R. China;
Qingdao Eastern Sea Pharmaceutical Corporation Limited¹. Qingdao 266400, P. R. China)

[Abstract] Probiotics is a group of intestinal bacteria in human, which can benefit to human health by making up the quantity or type of normal microorganism ,adjusting and maintain intestinal micro-ecological balance. Recent studies show that probiotics have curative effect in treatment of digestive diseases, and its safety and effectiveness have been clinically verified. Some research progresses about probiotics in treatment of pancreatitis, jaundice, cirrhosis, intestinal inflammation and diarrhea were reviewed.

[Key words] probiotic therapy diseases of digestive system research progress

(上接第 6940 页)

also can communicate with PC via standard RS 232 interface. In the experiments, 4 types of nails in wasted wood materials were used. The detecting distance was 0.5 cm for the 0.8 mm × 11 mm nail, as well as 2.0 cm for the 3.5 mm × 25 mm nail. It is shown from the results of the experiments that the detection system can detect the metal connectors whose diameters are more than 0.8 mm and can preliminarily localize the metal connectors in waste wood materials by the position of the metal connector detecting sensor. The detection system for metal connectors in wasted wood materials bases the recycling of waste wood materials.

[Key words] waste wood materials metal connector differential amplification circuit peak detecting circuit