

# 掌上型智能涡流探伤仪研制的关键技术分析

孙金立,张海兵

(海军航空工程学院 青岛分院,青岛 266041)

**摘要:**为了解决航空维修中原位涡流探伤的难题,研制了一款掌上型智能涡流探伤仪。对该款探伤仪在设计和研制过程中所采用的关键技术从人体工学设计、模块化设计以及抗干扰设计三方面进行了深入介绍。对于深入开展原位涡流探伤工作具有一定的理论指导和实践参考价值。

**关键词:**涡流探伤;关键技术;仪器设计

中图分类号: TG115.28

文献标志码:A

文章编号:1000-6656(2011)04-0059-02

## Key Technologies Analysis of a Handheld Smart Eddy Current Flaw Detector

SUN Jin-Li, ZHANG Hai-Bing

(Naval Aeronautical Engineering Institute Qingdao Branch, Qingdao 266041, China)

**Abstract:** In order to solve the in-situ eddy current inspection of aircraft maintenance problems, the author developed a handheld smart eddy current flaw detector. In this paper, in depth descriptions were given to the key technologies in the design and development of the flaw detector, including the ergonomic, modular design and anti-jamming design. Present work might have some theoretical and practical reference guide for the work of in-situ eddy current inspection.

**Keywords:** Eddy current testing; Key technology; Equipment design

涡流检测法是检测飞机、发动机结构件缺陷的主要方法。由于它对疲劳裂纹和多层结构内腐蚀缺陷敏感,在飞机原位检测中,常作为“第一”检测方法应用。由于飞机、发动机的许多结构件探伤空间较小,如发动机叶片、起落架仓内结构件以及机翼结合螺栓孔等,而现有的涡流探伤仪体积大、质量重、携带不方便,而且探伤精度不高,稳定性差,给探伤工作带来了困难。为解决上述难题,笔者研制了一款智能掌上型涡流探伤仪MET-1。以下重点从人体工学设计、模块化设计以及抗干扰设计三方面介绍该探伤仪研制过程中所采用的关键技术。

### 1 人体工学设计

MET-1掌上型智能涡流探伤仪外形设计依据人体工程学中方便、舒适的原则科学设计。仪器尺

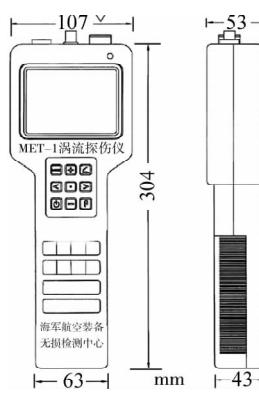


图1 MET-1掌上型智能涡流探伤仪

寸为 304 mm(高)×107 mm(宽)×53 mm(厚),外形如图1所示。

该仪器可以单手掌握,用拇指操作仪器所有功能键,而另外一只手可以腾出,用于移动探头检测工件。仪器的中心集中于手掌部位,可以减轻腕关节所受的压力。

### 2 模块化设计

MET-1掌上型智能涡流探伤仪硬件系统全部采用模块化设计,硬件系统如图2所示。

直流电源电路为其它模块提供稳定的直流电压,并控制电压波动在毫伏以下,以避免电源噪声对检测信号的干扰。激励及参考信号发生模块需要产生两路正交的正弦交流信号,作为检测探头的激励

收稿日期:2010-03-25

作者简介:孙金立(1961—),男,教授,主要从事无损检测的教学、培训、科研与开发工作。

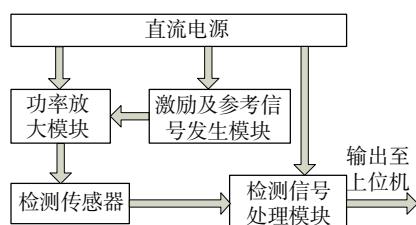


图 2 系统结构简化图

信号和相敏检测电路的参考信号,产生的信号频率在10 Hz~10 MHz连续可调,正交信号的相位误差在0.2°以内。功率放大模块为检测探头提供激励电流,同时避免产生自激。检测探头使用线圈激励的方式在被检材料中产生电涡流。检测信号处理模块包含探头平衡电路、程控放大电路、锁定放大及相敏检测电路、调零电路、单片机及其外围电路。探头平衡电路将取出检测探头中的直流信号和静态时交流信号,这样可以充分利用放大电路的动态范围,充分放大从而提高信噪比。程控放大电路将毫伏范围内的检测探头输出信号放大到-10~10 V内,要求信号放大过程中没有相位误差及自激。锁定放大及相敏检测电路使用两路正交的参考信号将放大后的检测信号分解,得到阻抗分解信号,并消除非激励频率的干扰。调零电路将信号电平调整到采集卡的工作范围之内,充分利用采集卡的工作范围。单片机外围电路完成仪器的管理、控制、计算和图形显示。

### 3 抗干扰设计

#### 3.1 干扰来源分析

在涡流探伤中,飞机零部件的电导率、磁导率、探伤频率、缺陷类型的变化,以及提离效应都会引起阻抗的变化。

电子线路本身的干扰也是重要的干扰因素,可

分为内部干扰和外部干扰。来自系统内部的干扰有:器件的物理噪声,如元件的热噪声、散粒噪声、晶体管内部的动态噪声、分布噪声等,这些噪声比较小,但在测量小信号和高频信号时,这些噪声会对被测信号造成很大的干扰。线路板上的走线、传输线以及电路之间也会产生干扰,如数字信号和模拟信号之间的干扰,走线和元件位置安放不当会造成相互间的静电感应、磁感应等。

#### 3.2 抗干扰措施

针对不同来源的干扰和不同的干扰性质,该仪器采用了相应的抗干扰措施。

为消除第一种干扰因素,在传感器的设计,以及电路设计中采取了一些相应的措施。如设计了传感器平衡电路,以利于消除电导率、磁导率、温度变化和探头抖动所引起的干扰。另外在电路设计中实现了对阻抗二维信号的提取,由于电导率等干扰因素引起阻抗的变化方向与缺陷引起阻抗的变化方向各不相同,可以采用相位分离法将需要检测的因素与干扰因素分离,达到检测的目的。

对于来自系统内部的干扰,采用了性能优良的芯片。在每一个元件的电源输入端与地之间都接一去耦电容以滤去干扰。另外,在制作电路板时,尽量使每个滤波电容及电感靠近各自所要的滤波的器件。使电源线、地线与数据线传递的方向一致,用地线把数字区和模拟区隔离,数字地和模拟地要分离,最后接于电源地。

该仪器设计思路充分考虑了航空维修中涡流检测的特点,其独特的人体工程学设计,模块化设计以及抗干扰设计,使得其性能大大提升。配合相应的操作软件,仪器完全满足航空维修中涡流原位检测的需要。

(下转第74页)

(上接第41页)

定依据,得出正确的测试结果<sup>[7]</sup>,有较广的适用性。

#### 参考文献:

- [1] DL/T 5154—2002 架空输电线路杆塔结构设计技术规定[S].
- [2] 杨叔子,康宜华.钢丝绳断丝定量监测原理与技术[M].北京:国防工业出版社,1995.
- [3] Wieschedel H R, Ramsey R P. Electromagnetic testing: a reliable method for the inspection of wire ropes in service[J]. NDT International, 1989, 22(3): 155—161.
- [4] 张涛,赵学桦.石油套管射孔检测传感器的研制[J].吉林大学学报(理学版),2006,44(5):790—793.
- [5] 左建勇,颜国正,丁国清,等.漏磁法测量导磁材料的厚度及缺陷[J].上海交通大学学报,2004,38(7):1048—1051.
- [6] 陈厚桂,武新军,康宜华.异型钢丝裂纹漏磁在线监测系统的研制[J].无损检测,2004,26(8):399—401.
- [7] 张全旭,郝东妮.钢筋检测的可视化时代[C].第十届全国建设工程无损检测技术学术会议论文集.贵阳:2008:150—153.

产生的波形幅值越大,可以检测到更细小的缺陷,从而提高探测精度。

## 2.4 缺陷的影响

(1) 缺陷方向的影响 当缺陷方向与磁感应线垂直时,产生的漏磁场最强;缺陷方向与磁感应线的夹角越小,漏磁场越弱。当缺陷方向与磁感应线平行时,漏磁场为零。

(2) 缺陷尺寸的影响 缺陷处于棒材表面时,形成的漏磁场最大,检测的灵敏度最高。当缺陷的埋藏深度逐渐增大时,形成的漏磁场将逐渐变小,两者呈近似线性关系<sup>[2]</sup>。当埋藏深度到一定值时,漏磁场接近为零,缺陷将无法被检测到。

(3) 缺陷宽/深比的影响 当缺陷的宽度相同时,漏磁场会随着缺陷深度的增加而增大,在一定范围内,两者呈线性关系。缺陷深度相同时,缺陷宽度对漏磁场的影响不呈线性关系。当缺陷的宽度很小时,随着宽度的增加,漏磁场有增大的趋势;当缺陷的宽度已经较大时,宽度增加,漏磁场反而会减小。

## 3 改进措施

### 3.1 待检棒材表面粗糙度的改进

漏磁探伤的棒材在进入探伤工序前,先对棒材表面进行喷丸清理。对棒材圆周 360° 进行全方位抛丸。为了获得更好的抛丸效果,抛丸介质应选择  $\phi 0.8$  mm 的钢珠,硬度在 HRC30 左右。棒材抛丸后的表面粗糙度可达  $R_a 12.5$ 。

### 3.2 轨道的加工精度和装配质量改进

轨道和前后传送轨道选用同一材质和同一槽型的 V 形轨道,轨道采用耐磨材料加工,热处理后表面硬度应大于 HRC58。

安装后轨道中心线的位置和标高要相同,所有的轨道均与待检钢材相接触,且保证被检棒材在 V 型轨道的同轴度公差  $< \phi 0.5$  mm。

### 3.3 速度匹配改进

(1) 传送速度一致 前后传送轨道的速度应与漏磁探伤机轨道保持同步,针对不同规格实施变频速度控制;对探伤平台轨道的传动皮带的张紧力应

(上接第 60 页)

### 参考文献:

- [1] 陶旺斌,周在杞. 电磁检测[M]. 北京:航空工业出版社,1995. 118.
- [2] 美国无损检测学会编,《美国无损检测手册》译审委员会译. 美国无损检测手册·电磁卷[M]. 上海:世界图

定期检查,防止打滑。

(2) 轨道速度与探头转速匹配 不同规格的棒材对应不同的探头转速,可以通过公式转化为计算线速度。检测线速度比计算线速度慢,会造成同一个缺陷重复检测;检测线速度比计算线速度快,则会造成漏检问题。为了提高棒材的检测灵敏度,保证探头扫描轨迹有一定的覆盖率,并防止漏检,常在设定时将检测线速度设置为计算线速度的 90%~95%,以保证检测结果的可靠性。

### 3.4 探伤仪设置的改进

(1) 磁场强度 磁场强度达到饱和值的 80% 时,漏磁场不仅幅度增大,而且随着磁场强度的增加会迅速增大。但单纯提高磁场强度会增大杂波的信号幅度,并且会增加探头扫描时的温度,对磁轭线圈的使用寿命产生影响。在实际应用中,磁场强度的设置值一般定在饱和值的 90% 左右,无特殊要求不能设置为 100%。

(2) 门槛值设置 根据被检棒材的表面质量,对漏磁探伤仪的门槛值进行调整,将门槛设置为噪声信号幅值的 3 倍以上,确保噪声信号不会被误判为缺陷信号。

(3) 增益调整 根据客户对棒材质量的需求,要求检测到微小缺陷时,在保证信噪比的前提下,通过增加增益值,可以将缺陷产生的信号放大到最大,从而提高检测灵敏度。

(4) 样棒校准 样棒上刻有固定尺寸的人工缺陷,为保证漏磁探伤的检测灵敏度,参照 GB/T 12606—1999 标准<sup>[3]</sup>要求,必须保证每 4 h 校准一次样棒。校准时,只有当每个探头检测样棒人工缺陷的灵敏度水平都相同,检测的结果才会准确可信。

### 参考文献:

- [1] 刘贵明,马丽丽. 无损检测技术[M]. 北京:国防工业出版社,2010.
- [2] 林俊明. 漏磁检测技术及发展现状研究[J]. 无损探伤,2006,30(1):1~5.
- [3] GB/T 12606—1999 钢管漏磁探伤方法[S].  
书出版公司,1999. 115.
- [3] 任吉林,林俊明,高春法. 电磁检测[M]. 北京:机械工业出版社,2000. 8:118.
- [4] Srinivas K, Siddiqui A O, Lahiri J. Thermographic inspection of composite materials [C]. Proc National Seminar on Non-Destructive Evaluation Hyderabad, 2006.