

JINDAI WULI JIANCE YUANLI YU JISHU

近代物理检测 原理与技术

编著 李大心 沈 博



中国地质大学出版社

近代物理检测原理与技术

李大心 沈 博 编

中国地质大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

近代物理检测原理与技术/李大心,沈博编. —武汉:中国地质大学出版社,2007.3

ISBN 978-7-5625-2161-7

I. 近…

II. ①李…②沈…

III. 物理学-原理-应用-检测-高等学校-教材

IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 022209 号

近代物理检测原理与技术

李大心 沈博 编

责任编辑:王安顺

责任校对:林 泉

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)

邮政编码:430074

电话:(027)67883511

传真:67883580

E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

<http://www.cugp.cn>

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16

字数:403 千字 印张:15.75

版次:2007 年 3 月第 1 版

印次:2007 年 3 月第 1 次印刷

印刷:武汉市教文印刷厂

印数:1—500 册

ISBN 978-7-5625-2161-7

定价:38.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前言

由于计算机、电子技术、近代物理技术与信号处理技术的快速发展,以微波、红外、激光与声发射技术为特征的新型检测技术得到了长足进步,使传统以工程量(如温度、压力、流量、流速、液压、料位等)为主的检测技术,逐渐过渡到热工量、电学量、力学量和光学量等多种物理量的近代物理检测技术。

进入 21 世纪,随着信息时代的来临,科学技术的发展更加迅速,测试技术作为人们认识客观世界的一个重要手段也显得更加现代化。不但工业过程要依靠各种先进的测量方法来实现自动控制,各种工业产品质量要通过先进的在线检测来保证,工业生产设备的运行要通过在线检测来实现;而且各种更为复杂的科学实验要通过测量提供可靠的数据,农作物的产量、气象灾害预报以及导弹、卫星等飞行器的监测、预警等也要通过先进的遥测、遥感技术来实现。

近代物理检测技术的发展呈现以下特点:

1. 传统的测温、测速方法都是接触式的,而近代的激光测速、激光测温都是非接触式的,这种非接触式的测量方法,避免了传感器对被测物理量场的干扰,代表了当今测量技术的发展方向。

2. 在测量的时间域上,由物理量的静态测量发展为物理量的动态测量。

3. 在测量的空间域上,由被测物理量个别点的测量发展到整个热物理量场的测量。

4. 在数据处理上,由被测数据的手工采集或仪表记录发展到计算机采集、储存与处理。

5. 在测量的功能上,由单纯的测量发展到测量与控制相结合,又进一步发展为测量、控制、诊断及图像显示相结合。

编者多年来从事物理检测技术的教学工作,深感现代物理检测技术虽然已进入工业与科研领域,但缺乏相应的教材。受到华中科技大学唐超群教授的《现代物理检测技术》启示,编写了本教材。

本教材对电磁检测技术、微波测量与检测技术、红外检测技术、光学检测技

术、空间对地观测基础、射线检测技术与声检测技术的物理基础与检测原理进行了重点阐述,适当介绍了检测技术的实施方法,力求反映国内外测试技术的新成就、新发展与新动向,兼顾无损检测技术现状。教材全面贯彻多学科、新技术、少而精原则,以利于读者开阔思路、提高解决实际问题的能力。本书既可作为“测控技术与仪器”专业课本科生教材,也可供从事相关研究的科技工作者参考。

本书由李大心完成了主要部分的编写工作,沈博参与编写了第一章和第四章部分章节。华中科技大学夏仕智教授和中国科学院岩土力学研究所刘明贵教授分别对全书进行了审阅;中国地质大学董浩斌教授和鲁永康教授对本书的编写提出了许多宝贵的意见;在此表示感谢。

由于本书涉及专业面宽、笔者水平有限,难免会有不妥或谬误之处,欢迎读者批评和指正。

编 者

2006.7

目 录

第一章 电磁检测	(1)
第一节 电磁检测物理基础	(1)
一、金属材料的导电性	(1)
二、金属材料的导磁性	(2)
第二节 涡流检测	(3)
一、涡流检测的原理、方法及应用范围	(3)
二、涡流传感器	(6)
第三节 磁粉检测	(10)
一、磁粉检测的基本原理和特点	(10)
二、磁化方法	(12)
三、磁痕识别	(18)
第四节 金属材料的磁材质的电磁测量方法	(21)
一、材质试验	(21)
二、金属材料厚度的电磁检测法	(26)
第五节 环形电容测厚技术	(28)
一、环形电容器检测厚度的基本原理	(28)
二、环形电容器电容值的计算	(28)
三、镜像法分析环形电容器的测厚技术	(29)
参考文献	(30)
第二章 微波测量与检测技术	(31)
第一节 电磁波传播理论	(31)
一、电磁波谱	(31)
二、电磁场波动方程	(31)
三、有耗媒质中的均匀平面波	(36)
四、电磁波在媒质分界面的传播特性	(39)
第二节 波导与谐振腔	(41)
一、均匀波导中的一般特性	(41)
二、矩形波导	(45)
第三节 微波检测	(51)
一、微波检测原理	(51)
二、微波检测方法与应用	(51)
第四节 微波测量	(54)

一、微波功率测量.....	(55)
二、微波数字频率计.....	(58)
三、微波与毫米波波长测量.....	(61)
四、波导法测量介质参数.....	(63)
参考文献	(65)
第三章 红外探测	(66)
第一节 热辐射的基本规律	(66)
一、热辐射的基本概念.....	(66)
二、热辐射的基本规律.....	(68)
第二节 红外辐射及红外辐射源	(71)
一、红外辐射的发射机理.....	(71)
二、红外辐射源.....	(72)
第三节 红外辐射的传输与探测	(76)
一、红外辐射在传输媒质中衰减的规律.....	(76)
二、红外辐射在大气中的传输.....	(77)
三、红外辐射的探测器.....	(81)
第四节 红外探测的应用	(87)
一、红外测温.....	(87)
二、红外成像.....	(87)
三、其他红外检测技术.....	(92)
参考文献	(93)
第四章 光学检测技术.....	(94)
第一节 光学检测的物理基础	(94)
一、光的性质.....	(94)
二、光的发射和吸收.....	(96)
三、激光.....	(98)
四、光纤基础知识	(102)
第二节 激光调制检测技术.....	(109)
一、激光调制的基本概念	(109)
二、电光调制	(109)
三、声光调制	(114)
第三节 干涉测量技术.....	(118)
一、干涉测量的光学基础	(119)
二、经典干涉测量技术	(122)
三、激光全息干涉测量技术	(129)
第四节 激光多普勒测速技术.....	(131)
一、激光多普勒测速的基本原理	(131)
二、激光多普勒测速的光学系统	(133)

三、激光多普勒测速的信号处理系统	(136)
四、激光多普勒测速技术的应用	(139)
第五节 光纤传感检测技术	(140)
一、光纤传感器的工作原理及其组成	(140)
二、光纤温度传感器	(142)
三、光纤声传感器	(144)
四、光纤位移传感器	(145)
第六节 光学位相检测技术	(145)
一、光学位相检测技术的发展和特点	(145)
二、光学位相测量轮廓术	(147)
参考文献	(149)
第五章 空间对地观测基础	(150)
第一节 概 述	(150)
一、空间对地观测的对象和意义	(150)
二、空间对地观测优点	(150)
三、遥感及其分类	(151)
第二节 微波遥感	(152)
一、微波遥感器的类型	(152)
二、微波遥感的特点	(157)
第三节 红外遥感	(158)
一、红外遥感器的类型	(158)
二、红外遥感的物理基础	(160)
第四节 激光雷达	(163)
一、激光雷达基本组成	(164)
二、激光雷达方程	(167)
三、Doppler 激光雷达	(169)
第五节 水下目标其他遥感技术	(173)
一、蓝绿光遥感探测技术概述	(173)
二、激光声遥感技术概述	(175)
第六节 空间监视技术基础	(178)
一、概述	(178)
二、弹道导弹预警系统	(178)
参考文献	(180)
第六章 射线检测技术	(181)
第一节 X射线与 γ 射线的性质	(181)
一、波粒两重性	(181)
二、射线与物质作用	(182)
三、射线的基本特性	(184)

第二节 X射线与 γ 射线的产生	(184)
一、X射线	(184)
二、 γ 衰变与 γ 射线源	(186)
第三节 射线检测	(189)
一、射线检测探伤的适用范围	(190)
二、射线检测法原理	(190)
三、射线探伤设备	(191)
四、射线照相法探伤的应用	(197)
第四节 X射线CT	(198)
一、引言	(198)
二、CT机的结构、原理	(198)
三、X射线CT的应用	(199)
四、常用X射线图像工业检测仪	(200)
第五节 γ 射线检测技术在工业生产中的应用	(200)
一、厚度测量	(200)
二、液位、料位测量	(202)
三、浓度、密度测量	(203)
四、物料鉴别	(203)
参考文献	(204)
第七章 声波检测技术	(205)
第一节 声学理论	(205)
一、声波性质	(205)
二、简谐平面波	(209)
三、声波垂直入射时的反射与透射	(210)
四、声波倾斜入射时的反射与折射	(213)
五、声信号的转换与接收	(215)
第二节 被动声检测原理	(218)
一、概述	(218)
二、静声检测装置	(220)
三、动声检测装置	(220)
第三节 主动回声检测原理	(221)
一、概述	(221)
二、脉冲测距法的基本原理	(221)
三、振幅法定向	(222)
第四节 超声波检测	(224)
一、概述	(224)
二、超声发射与接收换能器	(224)
三、超声检测方法	(228)
第五节 声发射检测	(234)

一、声发射检测的特点及应用范围	(234)
二、声发射产生条件及其性质	(235)
三、声发射换能器	(238)
四、声发射信号的表征	(239)
五、应用	(240)
参考文献	(241)

第一章 电磁检测

第一节 电磁检测物理基础

电磁检测是利用材料在电磁作用下呈现出来的电学和磁学性质,从而来判断材料有关性能的试验方法。在材料的电磁特性中,电导率和磁导率是两个基本的物理量,与材料的其他性能往往有着对应关系,因而也是反映金属材料材质的敏感量。本节从介绍金属材料的导电性及磁性的物理本质入手,进而简略阐述影响金属材料导电性的主要因素和铁磁材料铁磁性的某些重要规律。

一、金属材料的导电性

(一)金属的导电性

欧姆定律告诉我们,如果一个导体 AB 两端的电位差为 U ,导体的电阻为 R ,通过导体的电流为 I ,则它们之间的关系可用式(1-1)表示

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-1)$$

式中, U 的单位为 V ; R 的单位为 Ω ; I 的单位为 A 。

电阻 R 与导体的长度 l 成正比,与导体的横截面积 S 成反比,因此可写为

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-2)$$

式中, ρ 为电阻率,它表示单位长度、单位横截面积的电阻。 ρ 的单位为 $\Omega \cdot m$,用于研究金属时的电阻率用 $\mu\Omega \cdot cm$ ($\Omega \cdot m \times 10^{-8}$) 为计量单位。在研究金属及合金的导电性能时,除用电阻率外,还常用电导率 σ , σ 和 ρ 互为倒数,即

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (1-3)$$

显然, ρ 值愈小, σ 值愈大,材料的导电性能就愈好。 σ 的单位是 S/m 。

(二)影响金属导电性的因素

金属导电性具有组织结构敏感的性质,而且与外界温度、应力状态等条件有关。

1. 温度的影响

电阻和温度的关系如前所述,温度升高导致离子振动加剧,使电阻增大。电阻和温度的关系常用经验公式来表示, t 温度下电阻率 ρ_t 为

$$\rho_t = \rho_0 [(1 + \bar{\alpha})(t - 20)] \quad (1-4)$$

式中, $\bar{\alpha}$ 为平均电阻温度系数; ρ_0 是 $20^\circ C$ 下的电阻率; t 为金属所处的温度, $^\circ C$ 。

某温度下的电阻温度系数 α_t 则用式(1-5)表示

$$\alpha_t = \frac{1}{\rho_t} \cdot \frac{d\rho}{dt} \quad (1-5)$$

对于纯金属来说,除过渡族元素,它们的 α_t 都近似等于 4×10^{-3} 。

由于金属在熔化时点阵的规律性被破坏了,原子之间的键也有所变化,所以熔化金属的电阻比固态时大两倍,而且液态金属的电阻还随温度的升高而增大。

2. 应力的影响

在弹性范围内单向拉伸或者扭转应力能提高金属的电阻率 ρ ,并存在如下关系

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha_t \sigma_t) \quad (1-6)$$

式中, ρ_0 为无负荷时金属的电阻率; α_t 为应力系数; σ_t 为拉应力, Pa。

很明显,应力使电阻率增加是由于在拉伸时应力使原子的间距增大而造成的。

但在单向压应力作用下,对于大多数金属来说电阻率降低。若这时电阻率为 ρ_p ,则它和压应力间存在如下关系

$$\rho_p = \rho_0(1 + \varphi p) \quad (1-7)$$

式中, ρ_0 为真空下的电阻率; p 为压力, Pa; 压力系数 φ 为负值。在压应力下电阻率降低可用原子的振幅减小来解释。

3. 形变的影响

范性形变可以使金属的电阻率增加。金属经过范性形变电阻率增加的原因是由于冷加工使晶体点阵发生了畸变和缺陷,造成了电场的不均匀性,从而导致电子被散射的几率增加的缘故。此外,冷加工引起原子间结合键的变化,并导致原子间的距离增大也对电阻有一定的影响。如以 ρ_0 代表未加工金属的电阻率, ρ' 代表加工对电阻率的影响,则加工后金属的总电阻应当是 $\rho = \rho_0 + \rho'$ 。如果把温度降低于 0K,未加工金属的 ρ_0 应趋近于零。而经过加工的金属 ρ 同样也降低,但无论在任何温度下, ρ 都比未加工金属的 ρ 大一个 ρ' 值。在 0K 时仍然保留 ρ' , ρ' 只是加工的影响,与温度无关,故称之为残留电阻率。

二、金属材料的导磁性

如果在磁场中放入一种物质,就会发现,不管什么物质都会使物质所占空间的磁场发生变化。这就是说,物质在磁场中由于受磁场的作用表现出一定的磁性,这种现象就称为磁化。通常把能磁化的物质称为磁介质,实际上包括空气在内所有的物质都能被磁化,因而都是磁介质。

根据物质磁化后对磁场的影响,可以把物质分为三类:使磁场减弱的物质称为抗磁性物质,使磁场略有增强的物质称为顺磁性物质,使磁场强烈增加的物质称为铁磁性物质。

众所周知,物质是由原子组成的,而原子则是由原子核和电子所构成的。近代物理证明,每个电子都在作循轨和自旋运动,物质的磁性就是由于电子的这些运动而产生的。

电子的循轨运动可看作是一个闭合电流,由此将产生一个磁矩,称为轨道磁矩 m_0 ,其大小可用式(1-8)表示

$$m_0 = l \cdot \frac{eh}{4\pi mc} = l\mu_B \quad (1-8)$$

式中, e 为电子的电荷; h 为普朗克常数; m 为电子的质量; c 为光速; l 是以 $\frac{h}{2\pi}$ 为单位的轨道角

动量。

电子的自旋运动是电子的一个特性,由于自旋运动产生一个自旋磁矩 m_s ,其大小为

$$m_s = s \cdot \frac{eh}{2\pi mc} = 2s\mu_B \quad (1-9)$$

式中, s 为自旋角动量,也是以 $\frac{h}{2\pi}$ 为单位的。

上两式中, μ_B 为玻尔磁子, $\mu_B = \frac{eh}{4\pi mc} = 0.927 \times 10^{-23} \text{ J/T}$ 。

原子核也是有磁矩的,不过它的磁矩很小,约为电子磁矩的 $1/2000$,故通常不予以考虑。

既然电子是有磁矩的,那么原子有没有磁矩呢? 理论证明,当原子中的一个电子层排满时,这个层电子磁矩的总和就等于零,若一个原子的电子层未排满,这时电子磁矩的总和就不为零,该原子就有磁矩了。当原子结合成分子时,其外层电子磁矩要发生变化,所以分子磁矩不是各单个原子磁矩的总和。

由于不同的原子具有不同的磁矩,故当由这些原子组成不同的物质时,物质表现出不同的磁性。

第二节 涡流检测

一、涡流检测的原理、方法及应用范围

涡流现象的发现及利用已有一百多年的历史。早在 1824 年,加贝就发现了铜板对摆动着的磁铁有阻尼现象,提出了涡流存在的实验。几年以后付舛指出:在非均匀强磁场中运动的铜盘有电流存在。1831 年,法拉第发现了电磁感应现象,并在实验的基础上提出了电磁感应定律。在这以后的一百多年里,电磁理论及其试验不断完善,电子元器件不断更新换代:从电子管、晶体管到集成电路,直到计算机的出现,大大推进了涡流检测技术的发展。麦克斯韦继承和发展了法拉第的思想,于 1873 年将法拉第的概念用完整的数学方程式表示出来,建立了系统严密的电磁场理论。1879 年,休斯首先将涡流检测应用于实际——判断不同的金属和合金。1926 年,涡流测厚仪问世。但真正在理论和实践上完善涡流检测技术的是德国的福斯特博士。

早在 20 世纪 50 年代,福斯特就在基础试验和理论推导的基础上发表了大量有关涡流检测的论文,并创办了福斯特研究所。他的涡流检测技术与设备推动了全世界涡流检测技术的发展。除前西德以外,美国、前苏联、法国、英国、日本也先后做了大量的开发性工作,发表了大量论文,今天也都能生产高水平的涡流检测设备。

我国从 20 世纪 60 年代始开展涡流检测的研究工作,并先后研制成功了一系列检测系统。从初期的 YY-11 型管材探伤仪,到后来相继研制成功的 YY-17、YS-1、WTS-100、TC-1000、TC-2000、ED-251、T-5、NE-30 和现在用途极为广泛的 EEC-96 数字涡流检测设备。这些设备在我国的航空航天、冶金、机械、电力、化工、核能等领域中正在发挥着愈来愈重要的作用。

(一) 涡流检测的原理与方法

涡流检测是建立在电磁感应原理基础上的一种无损检测方法,它适用于导电材料。如果

我们把一块导体置于交变磁场之中,在导体中就有感应电流存在,即产生涡流。由于导体自身各种因素(如电导率、磁导率、形状、尺寸和缺陷等)的变化,会导致感应电流的变化,利用这种现象而判知导体性质、状态的检测方法,叫做涡流检测方法。

涡流检测是把导体接近通有交流电的线圈,由线圈建立交变磁场,该交变磁场通过导体,并与之发生电磁感应作用,在导体内建立涡流。导体中的涡流也会产生自己的磁场,涡流磁场的作用改变了原磁场的强弱,进而导致线圈电压和阻抗的改变。图 1-1 为涡流检测原理示意图,该原理图可用图 1-2 的等效电路表示,由等效电路与基尔霍夫定律解方程得

$$L = L_1 - \frac{\omega^2 M^2}{R_2^2 + (\omega L_2)^2} L_2$$

$$R = R_1 + \frac{\omega^2 M^2}{R_2^2 + (\omega L_2)^2} R_2$$

由公式可见,有导体影响后,线圈阻抗的有效电阻增加,而等效电阻减小。电涡流传感器的工作原理,实质上是由于受到交变磁场作用的导体中产生的电涡流起到调制线圈原来阻抗作用的结果。

当导体表面或近表面出现缺陷时,将影响到涡流的强度和分布,涡流的变化又引起了检测线圈电压和阻抗的变化,根据这一变化,就可以间接地知道导体内缺陷的存在。

由于试件形状的不同、检测部位的不同,所以检验线圈的形状与接近试件的方式也不尽相同。为了适应各种检测需要,人们设计了各种各样的检测线圈和涡流检测仪器。

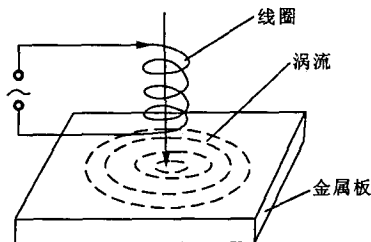


图 1-1 涡流检测原理

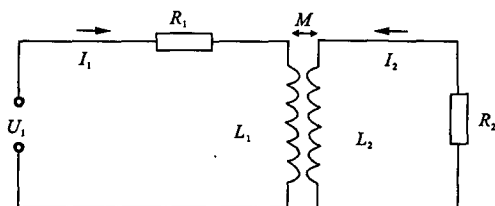


图 1-2 涡流检测等效电路

(二) 涡流检测的应用范围

因为涡流检测方法是电磁感应为基础的检测方法,所以原则上说,所有与电磁感应有关的影响因素,都可以作为涡流检测方法的检测对象。下面我们列出的就是影响电磁感应的因素及可能作为涡流检测的应用对象。

- (1) 不连续性缺陷: 裂纹、夹杂物、材质不均匀等。
- (2) 电导率: 化学成分、硬度、应力、温度、热处理状态等。
- (3) 磁导率: 铁磁性材料的热处理、化学成分、应力、温度等。
- (4) 试件几何尺寸: 形状、大小、膜厚等。
- (5) 被检件与检测线圈间的距离(提离间隙)、覆盖层厚度等。

除了上述应用之外,涡流法还可以在特定的条件下进行特定的开发。表 1-1 给出了涡流检测应用范围的分类情况。

表 1-1 涡流检测的应用范围

分 类		目 的
在线检测	工艺检查	在制造工艺过程中进行检测,可在生产中间阶段剔除不合格产品,或进行工艺管理
	产品检查	在产品最后工序检测,判断产品好与不好
在役检测		对机械零部件及热交换器管等设施的保养、管理进行检测。在大多数情况下为定期检验
加工工艺的监督		主要指对某个加工工艺的质量进行检查,如点焊、滚焊质量的监督与检查
其他应用		薄金属及涂层厚度的尺寸测量;材质分选;电导率测量;金属液面检测;非金属材料中的金属搜索

(三)涡流检测的优缺点

1. 涡流检测的优点

(1)对于金属管、棒、线材的检测,不需要接触,也无需耦合介质,所以检测速度快,易于实现自动化检测,特别适合在线普检。

(2)对于表面缺陷的探测灵敏度很高,且在一定范围内具有良好的线性指示,可对大小不同缺陷进行评价,所以可以用作质量管理与控制。

(3)影响涡流的因素很多,如裂纹、材质、尺寸、形状及电导率和磁导率等。采用特定的电路进行处理,可筛选出某一因素而抑制其他因素,由此有可能对上述某一单独影响因素进行有效的检测。

(4)由于检查时不需接触工件又不用耦合介质,所以可进行高温下的检测。由于探头可伸入到远处作业,所以可对工件的狭窄区域及深孔壁(包括管壁)等进行检测。

(5)由于是采用电信号显示,所以可存储、再现及进行数据比较和处理。

2. 涡流检测的缺点

(1)涡流探伤的对象必须是导电材料,且由于电磁感应的原因,只适用于检测金属表面缺陷,不适用于检测金属材料深层的内部缺陷。

(2)金属表面感应涡流的渗透深度随频率而异,激励频率高时金属表面涡流密度大,随着激励频率的降低,涡流渗透深度增加,但表面涡流密度下降,所以探伤深度与表面伤检测灵敏度是相互矛盾的,很难两全。当对一种材料进行涡流探伤时,须根据材质、表面状态、检验标准作综合考虑,然后再确定检测方案与技术参数。

(3)采用穿过式线圈进行涡流探伤时,线圈覆盖的是管、棒或线材上一段长度的圆周,获得的信息是整个圆环上影响因素的累积结果,对缺陷所处圆周上的具体位置无法判定。

(4)旋转探头式涡流探伤方法可准确探出缺陷位置,灵敏度和分辨率也很高,但检测区域狭小,在检测材料需作全面扫查时,检验速度较慢。

(5)涡流探伤至今还是处于当量比较检测阶段,对缺陷作出准确的定性定量判断尚待开发。

尽管涡流检测目前还存在许多不足之处,但它独特的专长是其他无损检测方法所无法取代的。因此它在无损检测技术领域具有重要的地位。

二、涡流传感器

涡流传感器又称探头。在涡流检测中,工件的情况是通过涡流传感器的变化反映出来的。只要对磁场变化敏感的元件,如霍尔元件、磁敏二极管等都可被用来作为涡流检测的传感器,但目前用得最多的是检测线圈。根据涡流检测原理,传感器首先需要一个激励线圈,以便交变电流通过并在其周围和受检工件内激励形成电磁场;同时,为了把在电磁场作用下反映工件各种特征的信号检测出来,还需要一个检测线圈。因为涡流传感器的激励线圈和检测线圈可以是功能不同的两个线圈,也可以是同一线圈具有激励和检测两种功能。因此在不需区分线圈的功能时,通常把激励线圈和检测线圈统称为检测线圈,或称为涡流传感器。一般地说,涡流传感器具有下列基本结构和功能。

(1)基本结构 涡流传感器根据其用途和检测对象的不同,其外观和内部结构各不相同,种类繁多。但是,不管什么类型的传感器其结构总是由激励绕组、检测绕组及其支架和外壳组成,有些还有磁芯、磁饱和器等。

(2)功能 涡流传感器的功能有下列三个。其一,激励形成涡流的功能,即能在被检工件中建立一个交变电磁场,使工件产生涡流的功能;其二,检取所需信号的功能,即检测获取工件质量情况的信号并把信号送给仪器分析评价;其三,抗干扰的功能,即要求涡流传感器具有抑制各种不需要信号的能力,如探伤时要抑制直径、壁厚变化引起的信号,而测量壁厚时,要求抑制伤痕的信号等。

(一)涡流传感器的分类

涡流传感器的类型多种多样,分类方法也很多,常见的分类方法有以下几种。

1. 按检测线圈输出信号的不同分类

按检测线圈输出信号的不同分类,有参量式和变压器式两种,见图 1-3。参量式线圈输出的信号是线圈阻抗的变化,一般情况下,它既是产生激励磁场的线圈,又是拾取工件涡流信号的线圈,所以又叫自感式线圈。变压器式线圈,输出的是线圈上的感应电压信号,一般由两组线圈构成,一个专用于产生交变磁场的激励线圈(或称初级线圈),另一个用于拾取涡流信号的线圈(或称次级线圈),又叫互感式线圈。

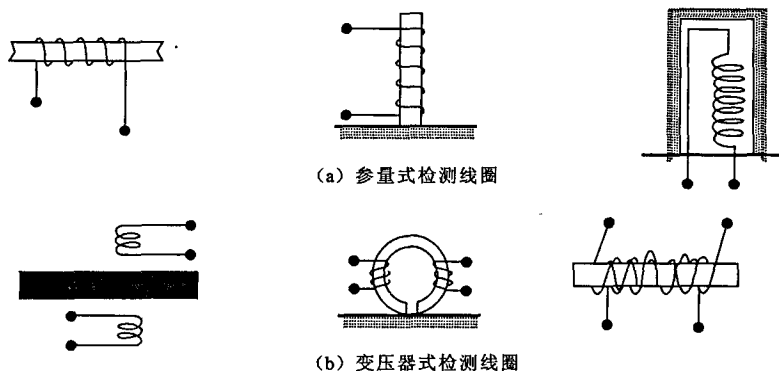


图 1-3 检测线圈的基本形式

2. 按检测线圈和工件的相对位置分类

按检测线圈和工件的相对位置分类,有外穿过式线圈、内通过式线圈和放置式线圈三类。

(1)外穿过式线圈 这种线圈是将工件插入并通过线圈内部进行检测(图 1-4)。它能检测管材、棒材、线材等,可以从线圈内部通过导电试件。由于采用穿过式线圈,容易实现涡流探伤的批量、高速检验,且易实现自动化检测,因此,广泛地应用于小直径的管材、棒材、线材试件的表面质量检测。

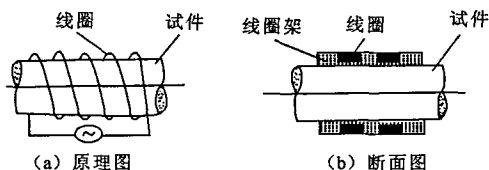


图 1-4 外穿过式线圈结构示意图

(2)内通过式线圈 在对管件进行检验中,有时必须把探头放入管子的内部,这种插入试件内部进行检测的探头称为内通过式探头(图 1-5),也叫内穿过式线圈,它适用于冷凝器管道(如钛管、铜管等)的在役检测。

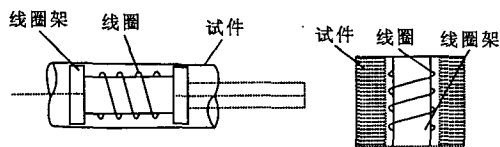


图 1-5 内通过式线圈结构示意图

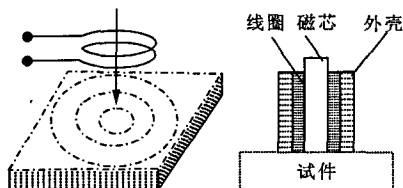


图 1-6 放置式线圈结构示意图

(3)放置式线圈 又称点式线圈或探头,如图 1-6 所示。在探伤时,把线圈放置于被检测工件表面进行检验。这种线圈体积小,线圈内部一般带有磁芯,因此具有磁场聚焦的性质,灵敏度高。它适用于各种板材、带材和大直径管材、棒材的表面检测,还能对形状复杂的工件某一区域作局部检测。

3. 按线圈的绕制方式分类

按线圈的绕制方式分类,有绝对式、标准比较式和自比较式三种。只有一个检测线圈工作的方式称绝对式,使用两个线圈进行反接的方式称差动式。差动式按试件的放置形式不同又有标准比较式和自比较式两种。

(1)绝对式 如图 1-7(a)所示,直接测量线圈阻抗的变化,在检测时可用标准试件放入线圈,调整仪器,使信号输出为零,再将被试工件放入线圈,这时,若仍无输出,表示试件和标准试件的有关参数相同。若有输出,则依据检测目的不同,分别判断引起线圈阻抗变化的原因是裂纹还是其他因素。这种工作方式可用于材质的分选和测厚,又可进行探伤。

(2)标准比较式 典型的差动式涡流检测,采用两个检测线圈反向连接成为差动形式。如图 1-7(b)所示,一个线圈中放置被检试件(与被测试件具有相同材质、形状、尺寸,且质量完好),而另一个线圈中放置被检试件。由于这两个线圈连接成差动形式,当被检试件质量不同于标准试件(如存在裂纹)时,检测线圈就有信号输出,因而实现对试件的检测目的。

(3)自比较式 是标准比较式的特例。采用同一检测试件的不同部分作为比较标准,故称为自比较式。如图 1-7(c)所示,两个相邻安置的线圈,同时对同一试件相邻部位进行检测