



高等院校“十二五”规划教材

电涡流技术与应用

吴桔生 吴承燕 张荣刚 编著

DIANWOLIU JISHU
YU YINGYONG



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

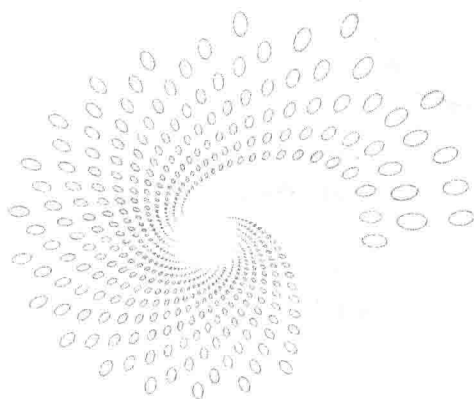


高等院校“十二五”规划教材

电涡流技术 与应用

吴桔生 吴承燕 张荣刚 编著

DIANWOLIU JISHU
YU YINGYONG



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

内容简介

本书较为详细地介绍了电涡流技术与运用方面的知识,内容上主要分为三个部分:第一部分是介绍电涡流技术,主要包括电磁场、电涡流激励线圈的感抗、导体内的电涡流纵向和径向分布;第二部分和第三部分是介绍电涡流的应用,其中第二部分主要介绍电磁感应加热方面内容,包括电磁感应加热理论知识、电磁感应加热电源和电磁感应加热的应用;第三部分主要是介绍电涡流传感器方面的知识,包括电涡流传感器概念、测量电流电路、校准和应用。

本书适合于机电、自动化控制、仪器仪表、电子信息、电气自动化等专业作为本(专)科教材和参考书使用,也可作为工程技术人员及相关人员的参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

电涡流技术与应用/吴桔生,吴承燕,张荣刚编著.

—长沙:中南大学出版社,2014.8

ISBN 978-7-5487-1178-0

I. 电... II. ①吴...②吴...③张... III. 电涡流
IV. TM930.12

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第194409号

电涡流技术与应用

吴桔生 吴承燕 张荣刚 编著

□责任编辑 韩 雪

□责任印制 易红卫

□出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

□印 装 长沙印通印刷有限公司

□开 本 730×960 1/16 □印张 24.75 □字数 428 千字

□版 次 2014年8月第1版 □2014年8月第1次印刷

□书 号 ISBN 978-7-5487-1178-0

□定 价 50.00 元

序 言

吴桔生老师是我中学同学也是我的同事，我对他颇为了解。1977 年恢复高考后，他以较好的成绩，被厦门大学物理系半导体专业录取，随后一直在北京京东方科技股份有限公司工作。为进一步提高他自身学术水平，他报考西安交通大学微电子学专业被顺利录取，并以优异成绩获得研究生学历和工学硕士学位。

他来我们学校工作之前是北京京东方科技股份有限公司教授级高级工程师，主持和参加过许多科研项目。其中他主持的“真空玻璃研究”项目通过北京科委专家组鉴定，性能达到国际先进水平，主持的 2 个研究课题：“第五代 TFT-LCD 关键技术彩色滤光膜材料研究”和“锂离子电池及钴酸锂正极材料研发及产业化”被列入“北京市科技计划”重大项目。2005 年作为福建省高级人才引进到我校工作，多年来一直坚持在教学与科研工作岗位上，被评为“福建省师德标兵”。

他在教学过程中，能将工厂实践与课堂教学紧密联系在一起。前一段时间，听他说准备和几位同事编写一本关于电涡流技术方面的书籍，作为同学和同事，我们都很支持他，现在书稿终于顺利完成，马上将付印，我怀着欣喜的心情通读该书，感到该书与现有的一些教材有很大的不同，更注重于理论与实践相结合。我殷切期望该书会受到广大教师和学生的欢迎，相信该书将对我校的教材建设起到积极的促进作用。

福建师范大学福清分校 徐鲁雄教授

2014 年 7 月 1 日

前 言

21 世纪的社会是一个信息化的社会。传感器技术是现代信息技术的重要组成部分，市面上有很多关于传感器方面的书籍，在这些书籍中，非常全面地介绍了各种类型的传感器，但是传感器种类非常多，要在一本书里面将所有传感器都完整地描述清楚，基本上是不可能的事情。例如电涡流技术方面的介绍，在这些书籍中，通常只有短短的几页篇幅，这样我们在使用和设计时还得查阅众多的其他参考书籍，这就带来很大的不便。

我们编著小组的老师有多年的传感器实践和教学经验，根据现有教材的状况，希望能编著一本关于电涡流技术专门的书籍。本书通过以点带面的方式较为详细地介绍电涡流原理和一些与其相关的基本知识，通过该书的学习，能较好地掌握电涡流方面的知识，掌握电涡流方面的简单设计方法。对于其他的传感器也是能掌握。在该书中，把电涡流分为大功率和小电流两个部分，该书的第二部分主要介绍电涡流大功率在感应加热方面的应用。例如电磁炉、注塑机、熔炼炉，区熔炉，通过这些设备的学习，我们能够了解到工业化生产以及民用方面的电磁感应加热技术，而不仅仅局限在电涡流传感器上面。该书的第三部分是关于小电流的电涡流传感器方面的运用和基本知识的介绍。

由于编者水平有限，书中难免有不足之处，恳请广大读者批评指正。

福建师范大学福清分校 编者

目 录

第1章 概 述	(1)
1.1 内容简介	(1)
1.2 电涡流现象	(1)
1.3 电涡流应用	(2)
1.3.1 电涡流加热技术	(3)
1.3.2 电涡流检测技术	(4)
1.4 电涡流技术发展趋势	(4)
1.4.1 感应加热	(4)
1.4.2 电涡流检测	(5)

第一部分 电涡流理论知识

第2章 电磁场基础理论知识	(9)
2.1 静电场基本理论	(9)
2.1.1 电荷守恒定律	(9)
2.1.2 库仑定律	(9)
2.1.3 电场强度	(10)
2.1.4 静电场的高斯定理	(10)
2.1.5 静电场的环路定理	(10)
2.1.6 静电场与物质的相互作用	(11)
2.1.7 边界条件	(11)
2.1.8 稳恒电流的连续方程与欧姆定律	(11)
2.2 稳恒电磁场基本理论	(12)
2.2.1 磁场	(12)
2.2.2 毕奥 - 萨伐尔定律	(14)
2.2.3 磁场的高斯定理	(15)
2.2.4 稳恒磁场的安培环路定律	(15)

2.2.5	磁感应强度的散度和旋度	(16)
2.2.6	磁场与物质的相互作用	(17)
2.2.7	边界条件	(18)
2.2.8	电磁感应与法拉第定理	(19)
2.2.9	几个磁感应强度例子	(20)
2.3	时变电磁场	(25)
2.3.1	变化电磁场的规律	(25)
2.3.2	法拉第电磁感应定律	(26)
2.3.3	位移电流定律	(28)
2.3.4	麦克斯韦方程组	(29)
2.4	磁场的能量	(31)
2.4.1	磁能	(31)
2.4.2	坡印廷定理和坡印廷矢量	(33)
2.5	椭圆积分函数	(35)
2.5.1	均匀圆环电荷的电势	(35)
2.5.2	椭圆环电流中心的磁感应强度	(36)
2.5.3	椭圆积分的种类	(37)
第3章	电涡流效应	(40)
3.1	互感	(40)
3.1.1	互感现象	(40)
3.1.2	互感系数	(40)
3.1.3	证明 $M_{21} = M_{12}$	(41)
3.2	自感	(44)
3.2.1	自感现象	(44)
3.2.2	自感系数与自感电动势	(45)
3.3	圆柱导体高频趋肤效应	(54)
3.3.1	高频趋肤现象	(54)
3.3.2	圆柱导体趋肤效应	(55)
3.3.3	三类媒质	(57)
3.3.4	降低趋肤效应的方法	(59)
3.4	平面导体内的电流纵向分布	(61)
3.5	平面导体内的电流径向分布	(64)
3.6	电涡流损耗功率	(68)

第二部分 电涡流热效应

第4章 电磁感应加热	(73)
4.1 电磁感应加热	(73)
4.1.1 电磁感应加热简介	(73)
4.1.2 电磁感应加热的发展历史	(73)
4.1.3 电磁感应加热的工作原理	(75)
4.1.4 电磁感应加热技术发展趋势	(77)
4.2 电磁感应加热频率、功率	(78)
4.2.1 电阻率和相对磁导率	(78)
4.2.2 电磁感应加热频率	(80)
4.2.3 电磁感应加热功率	(83)
4.3 电磁感应线圈的设计与制作	(84)
4.3.1 线圈设计的基本原理	(85)
4.3.2 基本线圈的设计	(86)
4.3.3 常用线圈的变形设计	(87)
4.3.4 电磁感应线圈的截面对电磁感应加热的影响	(88)
4.3.5 电磁感应线圈截面尺寸的选择	(90)
4.3.6 电磁感应线圈的制作	(91)
4.3.7 输出电源线	(95)
4.4 温度测量	(96)
4.4.1 接触式测温	(96)
4.4.2 非接触式测温	(109)
第5章 电磁感应加热电源	(115)
5.1 电磁感应加热	(115)
5.1.1 感应加热电源发展历程	(115)
5.1.2 负载电路及其特性	(116)
5.1.3 电磁感应加热系统槽路	(117)
5.2 电磁感应加热系统	(118)
5.2.1 系统整体结构框图	(118)
5.2.2 EMI 滤波器电路	(119)

5.2.3	整流滤波电路	(120)
5.2.4	主谐振回路	(122)
5.2.5	控制电路	(126)
5.2.6	驱动电路	(127)
5.2.7	隔离电路	(129)
5.2.8	工作电源电路	(130)
5.3	串并联电磁感应加热电源逆变电路	(131)
5.3.1	串联谐振逆变电路	(131)
5.3.2	串联谐振逆变器的常用功率调节方法	(136)
5.3.3	并联谐振电路	(138)
5.3.4	调节电容器	(141)
5.3.5	串并联谐振电路的比较	(142)
第6章	电磁感应加热应用	(144)
6.1	电磁炉	(144)
6.1.1	电磁加热原理	(144)
6.1.2	电磁炉组成	(145)
6.1.3	特殊零件简介	(146)
6.1.4	电磁炉电路框图	(148)
6.1.5	单元电路	(150)
6.2	电磁感应熔炼炉	(157)
6.2.1	电磁感应熔炼炉发展历程	(157)
6.2.2	电磁感应熔炼炉的特点	(158)
6.2.3	中频电磁感应熔炼炉加热的原理	(160)
6.2.4	中频电磁感应熔炼炉的结构	(161)
6.2.5	中频电磁感应熔炼炉节能途径	(165)
6.2.6	温度测量	(167)
6.2.7	真空感应熔炼炉放电的危害	(168)
6.3	半导体区熔	(168)
6.3.1	区熔简介	(168)
6.3.2	区熔法制备单晶硅原理	(169)
6.3.3	悬浮区熔法	(173)
6.3.4	悬浮区熔单晶炉	(175)
6.3.5	晶体生长炉电气控制柜和中频加热电源	(182)

6.3.6	硅太阳能电池的制造	(184)
6.4	注塑	(185)
6.4.1	注塑机能耗	(185)
6.4.2	电磁感应加热系统工作原理	(188)
6.4.3	电磁感应加热器电路	(190)
6.4.4	节能效果	(194)
6.4.5	注塑机设计	(194)
6.5	钢件表面淬火	(198)
6.5.1	工件材料	(198)
6.5.2	金属材料的原始组织状态	(199)
6.5.3	奥氏体化温度	(200)
6.5.4	特征要求	(202)
6.5.5	设备的频率和功率密度选择	(203)
6.5.6	双频感应加热淬火	(204)
6.5.7	感应渗碳技术	(205)
6.5.8	高频脉冲感应加热表面淬火	(206)
6.6	变压器铁芯	(206)
6.6.1	变压器的构造	(207)
6.6.2	变压器的参数	(208)
6.6.3	变压器的损耗分类	(208)
6.6.4	电涡流损耗计算	(209)
6.7	电磁缓速制动器	(216)
6.7.1	辅助制动系统	(216)
6.7.2	电涡流缓速器优缺点	(216)
6.7.3	电涡流缓速器结构	(217)
6.7.4	电涡流缓速器工作原理	(219)
6.7.5	电涡流缓速器参数计算	(219)

第三部分 电涡流传感器

第7章	电涡流传感器概念	(229)
7.1	电涡流传感器简介	(229)
7.1.1	传感器概念	(229)

7.1.2	传感器定义	(230)
7.1.3	电涡流传感器	(231)
7.1.4	电涡流传感器发展趋势	(232)
7.2	测量的基本知识	(233)
7.2.1	电子测量定义	(233)
7.2.2	测量方法	(234)
7.2.3	测量误差	(235)
7.2.4	电测技术中的干扰及抑制措施	(236)
7.3	传感器特性	(237)
7.3.1	传感器的静态特性	(238)
7.3.2	传感器的动态特性	(245)
7.4	电涡流传感器的工作原理和结构形式	(254)
7.4.1	电涡流传感器的工作原理	(254)
7.4.2	电涡流传感器的结构形式	(255)
7.4.3	延伸电缆	(258)
7.4.4	前置器	(258)
7.5	电涡流传感器线圈的形状和大小	(260)
7.6	电涡流传感器线圈的交流电阻	(263)
7.7	电涡流传感器的阻抗特性	(266)
7.7.1	电涡流传感器空载时的阻抗特性	(266)
7.7.2	电涡流传感器一次阻抗特性	(267)
7.7.3	电涡流传感器二次阻抗特性	(270)
7.8	电涡流阻抗分析	(272)
7.8.1	阻抗平面图	(272)
7.8.2	阻抗归一化	(273)
7.8.3	有效磁导率	(273)
7.8.4	特征频率	(274)
7.8.5	电涡流检测相似律	(275)
7.8.6	穿过式线圈阻抗分析	(275)
7.8.7	影响线圈阻抗的因素	(276)
7.9	电涡流检测新技术	(279)
7.9.1	多频检测技术	(279)
7.9.2	远场电涡流检测技术	(279)
7.9.3	阵列涡流传感器技术	(281)

7.9.4	脉冲电涡流检测技术	(284)
7.9.5	磁光/涡流成像检测技术	(287)
7.9.6	深层电涡流技术	(287)
第8章	测量电路	(289)
8.1	恒定频率调幅电路	(289)
8.2	变频调幅电路	(294)
8.3	调频电路	(298)
8.4	电桥电路	(302)
8.5	反馈放大电路	(306)
8.6	显示仪表	(307)
第9章	电涡流传感器的使用	(319)
9.1	电涡流传感器的校准	(319)
9.1.1	校准的意义	(319)
9.1.2	校准设备	(320)
9.1.3	静态校准	(320)
9.1.4	校验步骤	(323)
9.2	电涡流传感器实验	(324)
9.2.1	电涡流传感器实验介绍	(324)
9.2.2	电涡流传感器实验项目	(327)
9.3	电涡流传感器温度漂移	(329)
9.3.1	电涡流传感器温度漂移的主要原因	(329)
9.3.2	温漂补偿	(329)
9.4	常规电涡流传感器设计	(331)
9.4.1	总体设计方案	(332)
9.4.2	电涡流传感器测量电路	(332)
9.4.3	电涡流传感器线圈尺寸	(340)
9.5	超薄平面结构电涡流传感器设计	(342)
9.5.1	超薄电涡流传感器介绍	(342)
9.5.2	超薄电涡流传感器一些参数	(343)
9.5.3	探头制作	(345)
9.6	传感器的使用	(346)
9.6.1	被测体形状的影响	(346)

9.6.2	被测体材料的影响	(347)
9.6.3	传感器在被测体中安装的影响	(348)
第 10 章	电涡流检测技术的应用	(351)
10.1	位移测量	(351)
10.1.1	位移测量在生产方面的应用	(351)
10.1.2	尺寸及形位测量	(354)
10.1.3	非铁磁金属被测物体材料	(355)
10.1.4	电涡流位移传感器技术指标	(355)
10.2	厚度测量	(356)
10.2.1	高频反射式涡流测厚仪	(356)
10.2.2	低频透射式涡流测厚仪	(357)
10.2.3	电涡流式膜厚检测电路	(359)
10.3	压力和力的测量	(362)
10.4	振动测量	(364)
10.4.1	振动测量简介	(364)
10.4.2	电涡流振动传感器	(365)
10.4.3	电涡流振动传感器测量时的安装要求	(366)
10.5	转速测量	(368)
10.5.1	转速测量方法	(368)
10.5.2	电涡流转速传感器技术指标	(368)
10.5.3	电涡流转速传感器特点	(369)
10.6	电导率测量	(370)
10.7	温度测量	(371)
10.8	硬度测量	(373)
10.9	电涡流探伤	(374)
10.9.1	电涡流探伤简介	(374)
10.9.2	金属管材探伤	(376)
10.9.3	金属棒材、线材和丝材探伤	(377)
10.9.4	结构件疲劳裂纹探伤	(377)
参考文献		(379)

第1章 概述

1.1 内容简介

这是一本专门介绍电涡流技术与应用的书。目前市面上有很多关于传感器方面的书籍,通常电涡流在其中只占很小篇幅,在实际使用时就会感到掌握的内容太少。而一本包含各种传感器方面的书要在里面把电涡流技术与应用介绍得很清楚,显然难度很大。同时关于电涡流加热方面的书籍就很少见,原因是这方面的技术发展很快。本书主要分为三个部分,第一部分是介绍电涡流技术方面的内容,主要包括电磁场、电涡流激励线圈的感抗、导体内的电涡流纵向和径向分布。第二部分和第三部分是电涡流的应用,其中第二部分主要介绍电磁感应加热方面内容,包括电磁感应加热理论知识、电磁感应加热电源和电磁感应加热的应用。第三部分是关于电涡流传感器方面的内容,包括电涡流传感器概念、测量电路、校准和应用。因为本书偏向应用型,因此一些过于复杂的理论推导内容就不包括在内。

1.2 电涡流现象

迈克尔·法拉第是自学成才的著名物理学家,1791年9月22日出生在英格兰东南部萨里郡纽因顿一个贫苦家庭。他的父亲是个铁匠,体弱多病,由于贫困,家里无法供他上学,只读了两年小学,但法拉第不放过任何一个学习的机会,特别是在一个书商兼订书匠的家里当学徒时,他利用业余时间阅读大量各类书籍,为以后一生的科学活动奠定了坚实基础。1831年8月,法拉第发现电磁感应现象,同年11月24日,在向皇家学会提交的一份报告中,把这种现象定名为“电磁感应现象”,它概括了可以产生感应电流的五种类型:变化的电流、变化的磁场、运动的恒定电流、运动的磁铁、在磁场中运动的导体。

块状金属在变化的磁场中或在磁场中运动时,在金属块内产生闭合回路

的感应电流,称为电涡流。电磁感应作用在导体内部感生的电流,又称为傅科电流,这是法国物理学家莱昂·傅科在1851年发现的。它是由一个移动的磁场与金属导体相切,或是由移动的金属导体与磁场垂直切割所产生是电磁感应效应产生在导体内循环的电流。实际上电涡流不但可以发生在块状金属中,也可以发生在导电的液体或等离子体内部。

电涡流有两个特点,一是电涡流的热效应,电涡流是自由电子的定向运动,与传导电流产生的热效应相同;二是电涡流的去磁效应,电涡流产生的磁场反抗原磁场的变化。

导体在磁场中运动,或者导体静止但是其空间有随时间变化的磁场,或者两种情况同时出现,只要磁力线与导体的相对切割,按照电磁感应理论在导体中就产生感应电动势,从而驱动电荷流动。这样引起的电流在导体中的分布随着导体的表面形状和磁通的分布的不同而不同,其路径有如水中的旋涡,因此称为电涡流。导体在非均匀磁场中移动或处在随时间变化的磁场中时,因电涡流而导致能量损耗称为涡流损耗。涡流损耗的大小与磁场的变化方式、导体的运动、导体的几何形状、导体的磁导率和电导率等因素有关。电涡流损耗的计算是根据导体中的电磁场的方程式,结合具体问题的各种因素进行。

电动机、变压器的线圈都绕在铁芯上,线圈中流过变化的电流,在铁芯产生的电涡流使铁芯发热,浪费了能量,还可能损坏电器。电涡流现象常被认为是有害的。为了尽可能地减小电涡流损耗而采取各种措施,例如用表面绝缘薄硅钢片作为铁芯,甚至采用铁氧体。然而,有不少场合情况恰好相反,人们要利用电涡流效应来为人类服务。在工业生产上利用电涡流对金属工件进行热处理,在生活上利用电涡流在锅底产生热量直接加热食物节约能源,还可以利用电涡流效应做检测。根据法拉第电磁感应定律,当传感器探头线圈通以正弦交变电流,线圈周围空间必然产生正弦交变磁场,它使置于此磁场中的被测金属导体表面产生感应电流,与此同时电涡流又产生新的交变磁场,它与线圈产生的磁场方向相反,并力图削弱它,导致探头线圈的等效电阻相应地发生变化,而为我们提供有用的信息来进行各种测量。

1.3 电涡流应用

电涡流在我们日常生活和工业生产上的应用是非常普遍的,并在潜移默化中改变我们的生活习惯,只是我们在平时很少会想起这就是在利用电涡流

技术。例如,我们经常用电磁炉来做饭,烧茶水,这是采用磁场感应电涡流加热原理,利用交变电流通过线圈产生交变磁场,当磁场内的磁力线穿过铁质锅底部时,产生强度很大的电涡流,使锅本身迅速发热,然后再加热锅内的食物。还有我们坐在汽车上,在红绿灯前平稳停下,这是利用电涡流与磁场相互作用产生一个动态阻尼,提供制动力矩。当然还有很多这样的例子,电涡流应用技术主要根据电涡流强度的大小分为两个部分,电涡流加热技术和电涡流检测技术。

1.3.1 电涡流加热技术

1. 电磁炉

传统炉具如电热炉、石油气炉、煤气炉及电饭锅的加热是先通过空气对流加热锅底,再加热锅内食物,热源与锅底有一定距离,对流的热空气有一部分直接扩散到不需要加热的位置,形成热损耗,热效率在40%~70%之间,这就造成热能损耗大、煮食速度慢。相比之下,电磁炉是电流通过线圈产生磁场,磁场的磁力线通过含铁物质如铁锅、不锈钢锅、搪瓷锅等的底部直接加热锅底,无须明火和对流加热,而让热直接产生在锅底,因此热效率普遍高于80%,更节能环保。当然由于温度可精确控制,烹调效果就更好。

2. 中频炉

中频炉是一种电源转换设备,它把50 Hz工频交流电转变为300~1000 Hz的中频交流电,通常是把三相工频交流电,整流后变成直流电,再把直流电变为可调节的中频电流,由电容和电感构成串、并联谐振电路,在电感的感应线圈中产生高强度的磁力线,并切割感应线圈里金属材料,在金属材料中产生很强的涡流,这种涡流把要熔炼的有色金属材料如铝、铜、锌、不锈钢等金属材料加热到熔化。因为感应线圈与被感应线圈的金属材料没有直接接触,通电线圈温度不高,有时为了进一步降低通电线圈温度,还把线圈设计成空心,并在里头通上空气或循环水。电涡流感应加热的应用很广泛,如用高频感应炉冶炼金属、用高频塑料热压机过塑、电涡流热疗系统用于疾病治疗,金属材料学中常用于感应淬火、感应退火等方法来提高工件的表面硬度与耐磨性。

感应加热有如下几个方面优点:非接触式加热,热源和受热物件可以不直接接触;加热效率高,速度快,可以减少表面氧化现象;容易控制温度,提高加工精度;可实现局部加热;可实现自动化控制;可减少占地、热辐射、噪声和灰尘;安全可靠,寿命长;软启动软开关,无触点开关,无启动冲击电流。

3. 电涡流制动

目前由于道路条件的改善和车辆性能的改进, 汽车的行驶速度大幅度提高, 特别是城市公共汽车面对路口多、站点密的情况需要频繁的制动。而制动器长时间频繁地工作时导致制动蹄和制动鼓温度增高, 制动鼓和制动衬片磨损严重, 这些问题严重地威胁到车辆运行的安全。在车辆上安装电涡流缓速器后, 行车制动器较少使用, 制动器的寿命大大延长, 使汽车安全性和完好率显著提高。

电涡流缓速器的工作原理是利用钢盘在蹄形磁铁的磁场中转动, 在钢盘中激起电涡流, 电涡流与磁场相互作用产生动态阻尼力, 从而提供制动力矩使车辆缓速, 达到辅助制动的目的。

1.3.2 电涡流检测技术

如前面提到, 当金属导体置于变化的磁场中时, 导体内表面就会有感应电流产生, 电流在金属体内形成闭合回路, 这种由电磁感应原理产生的旋涡状感应电流称为电涡流, 这种现象称为电涡流效应。电涡流是一种物理现象, 随着近代电子技术的发展, 人们利用电涡流效应发展了一种新型的无接触检测方法, 电涡流传感器就是利用电涡流效应进行检测的。电涡流大小与导体电阻率 ρ 、磁导率 μ 以及产生交变磁场的线圈与被测体之间距离 x , 线圈激励电流的频率 f 有关。电涡流传感器具有结构简单、灵敏度高、测量的线性范围大、不受油污等介质影响、抗干扰能力强等优点, 在各个工业部门得到广泛的应用, 用来测量位移、厚度、尺寸、振动、转速、压力、电导率、温度、硬度等参数以及探测金属表面的裂纹和缺陷。

电涡流技术由于具有很多优点而被广泛应用, 它是非接触检测, 能穿透非导体的覆盖层, 这就使得在检测时不需要做特殊的表面处理, 因此缩短了检测周期, 降低了成本。同时, 电涡流检测的灵敏度非常高。

1.4 电涡流技术发展趋势

1.4.1 感应加热

感应加热技术重点是电源, 它随着电子技术及半导体器件的发展而发展。目前, 在 150 Hz 以下低频感应加热电源, 采用传统的工频感应炉, 其功率可达几百兆瓦, 主要用于几十吨的大型工件的透热或几百吨的钢水保温。