

传感检测技术

实验教程

何金田 主编
张全法 李伟锋 刘照红 副主编

哈尔滨工业大学出版社

传感检测技术实验教程

何金田 主 编
张全法 李伟锋 刘照红 副主编

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本书内容共分3章。第1章传感检测技术实验基础,简单介绍常用传感器的基本原理、基本测量电路、实验数据处理;第2章传感检测技术基础实验,包括利用目前国内常用的传感器实验仪器开出的15个基本实验;第3章综合设计实验,介绍如何应用所学的知识去解决一个实际问题,或者建立一个能够实际应用的小型装置或系统。

本书具有内容丰富、结构严谨、条理清晰等特点。本书可作为高等学校测控技术及仪器、工业自动化、化工等专业或相近专业的实验教材,也可供有关专业的本科生和研究生选用,还可作为有关工程技术人员学习传感器原理及应用的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

传感检测技术实验教程/何金田主编. —哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2005.12

ISBN 7-5603-2236-0

I. 传… II. 何… III. 传感器-检测-实验-高等学校-教材 IV. TP212.06-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 126983 号

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451-86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张 10.25 字数 236 千字

版 次 2005 年 12 月第 1 版 2005 年 12 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-5603-2236-0/TP·220

印 数 1~4 000

定 价 15.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

主 审 意 见

目前,国内各高等学校理工科很多专业都开设了传感器原理及其应用课程和相应的实验课,并出版了许多传感器原理及其应用方面的教材,但有关传感器实验方面的教材几乎没有出版。由郑州大学、郑州轻工业学院、中原工学院等院校联合编著的《传感检测技术实验教程》在这方面做了很好的尝试。

全书共分为3章。第1章为传感检测技术实验基础,简单介绍常用传感器的基本原理、基本测量电路、实验数据处理等方面的知识。第2章为传感检测技术基础实验,包括利用目前国内常用的传感器实验仪器开出的15个基本实验。第3章为综合设计实验。本书既可以作为传感器原理及其应用的实验教程,也可以作为学习传感器原理及应用的参考书。

本书具有自己的一些特色。首先,本书是由几所高校根据各自的特点和需要编写的,内容比较丰富,每个学校都可经适当取舍之后应用,因而适用面较广。其次,是以目前国内使用最多的CSY型传感器实验仪为基础编写的,能适应更多院校的需要。其三,作者结合他们的教学和科研实践,编写了不同方面的综合实验,对培养学生分析与综合解决问题的能力是十分有益的。

希望读者在使用本书的过程中,不断提出宝贵意见,同时也希望作者能够不断将更新的传感检测技术实验充实本书,使读者通过本书可以获得更多的知识。

郑州大学

赵书俊

2005年7月

前 言

目前,国内各高等学校理工科很多专业都开设了传感器原理及其应用课程和相应的实验课,并且出版了许多传感器原理及其应用方面的教材,但有关传感器实验方面的教材几乎没见出版。编者总结了长期教学和科研的经验,参考了国内外有关文献,结合目前国内传感器原理及其应用实验课的现状和国内有关实验仪器的生产情况,编写了这本《传感检测技术实验教程》。

本书的内容共分为3章。第1章传感检测技术实验基础,简单介绍常用传感器的基本原理、基本测量电路、实验数据处理等知识;第2章传感检测技术基础实验,包括利用目前国内常用的传感器实验仪器开出的,如电阻应变片、电容、差动变压器、霍尔元件、压电元件、热敏、湿敏、气敏、光纤等15个基本实验,通过这些基础实验,在提高学生实验技能的同时加深对传感器原理的理解;第3章综合设计实验,通过传感器在流量、压力、振动、红外、湿度、温度等9个方面的应用,介绍如何应用所学的知识去解决一个实际问题,或者建立一个能够实际应用的小型装置或系统,以培养学生分析问题和综合解决问题的能力。因此,本书既可以作为传感器原理及其应用的实验教材,也可以作为学习传感器原理及其应用的参考书。

本书由郑州大学何金田(第1章第1节)、郑州大学张全法(第1章第3节,基础实验13、15,综合设计实验6、8、9)、中原工学院李伟锋(第1章第2节,基础实验3、6、11、附录2,综合设计实验3)、郑州轻工业学院刘照红(基础实验1、4,综合设计实验1、2、5)、中原工学院范福玲(基础实验5、8,综合设计实验4)、郑州轻工业学院徐甲强(基础实验12,综合设计实验7)、河南工业大学成连庆(基础实验7、9、10、14)、郑州大学陈渝仁(基础实验2,附录1)等编写,全书由何金田教授统稿,由郑州大学赵书俊教授主审。

本书可作为高等学校测控技术及仪器、工业自动化、化工等专业或相近专业的实验课教材,也可供有关专业的本科生和研究生选用,同时还可作为相关专业工程技术人员的参考书。

本书在编写过程中吸收了许多专家提出的宝贵意见,参考了有关教材和文献,同时对杨光、李赞、张伟征等所作出的辅助工作,在此一并表示感谢。

本书涉及的学科众多,由于作者学识水平有限,书中存在的疏漏及不足之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

何金田

2005年6月

目 录

第 1 章 传感检测技术实验基础	(1)
第 1 节 常用传感器原理简介	(1)
1.1 传感器的概念	(1)
1.2 传感器的一般特性	(2)
1.3 电阻应变式传感器	(3)
1.4 电感式传感器	(5)
1.5 电容式传感器	(8)
1.6 磁电式传感器	(8)
1.7 压电式传感器	(11)
1.8 光电式传感器	(12)
1.9 光纤式传感器	(13)
1.10 谐振式传感器	(14)
1.11 热电式传感器	(15)
1.12 波式和核辐射式传感器	(17)
1.13 气体传感器	(18)
1.14 湿度传感器	(18)
1.15 离子敏传感器与生物传感器	(19)
1.16 新型传感器	(19)
1.17 传感器的标定	(20)
第 2 节 传感检测技术实验中的基本测量电路	(21)
2.1 电桥电路	(21)
2.2 其他电路	(24)
第 3 节 传感检测实验技术与数据处理	(30)
3.1 改善传感器性能的方法	(30)
3.2 非线性特性的线性化处理	(34)
3.3 温度补偿	(44)
3.4 实验数据处理方法	(51)
第 2 章 传感检测技术基础实验	(59)
实验 1 金属箔式应变片单臂、半桥、全桥比较实验	(59)
实验 2 半导体应变片的工作特性	(63)
实验 3 差动螺管式电感传感器的工作特性	(66)

实验 4	差动变面积式电容传感器	(69)
实验 5	压电传感器的工作特性	(72)
实验 6	差动变压器传感器	(75)
实验 7	磁电式传感器	(80)
实验 8	电涡流传感器的工作特性及应用	(82)
实验 9	霍尔传感器及应用	(86)
实验 10	热电偶测温性能实验	(90)
实验 11	光纤式传感器及其应用	(93)
实验 12	半导体气体传感器的敏感特性	(96)
实验 13	磁敏传感器	(98)
实验 14	超声波测距实验	(102)
实验 15	湿敏传感器	(104)
第 3 章	综合设计实验	(108)
实验 1	集成温度传感器特性测试及应用	(108)
实验 2	动圈表的校验	(113)
实验 3	流量测量与控制	(115)
实验 4	振动测量与控制	(119)
实验 5	压力测量	(123)
实验 6	自动门设计	(127)
实验 7	气敏元件的制备及特性研究	(132)
实验 8	湿度自动测量与控制系统	(135)
实验 9	CCD 电荷耦合器件应用	(140)
附录 1	CSY 型传感器系统实验仪使用说明及注意事项	(145)
附录 2	热电偶分度表	(151)
参考文献		(154)

第 1 章 传感检测技术实验基础

第 1 节 常用传感器原理简介

1.1 传感器的概念

1.1.1 传感器的定义

在 GB7665-87《传感器通用术语》中对传感器的定义是：“能感受规定的被测量并按照一定规律转换成可用输出信号的器件或装置,通常由敏感元件和转换元件组成。”

1.1.2 传感器的组成

传感器一般由敏感元件、转换元件、转换电路和其他辅助元件组成。图 1.1 示出了传感器组成的框图。敏感元件是直接感受规定的被测量(一般为非电量)并按照一定的规律转换成与被测量有确定关系的其他量(一般仍为非电量)的元件。转换元件是将敏感元件的输出量转换成可用信号(通常为电信号)的元件,又称变换器。转换电路是将转换元件输出的可用信号作为输入,将其进行放大、显示和记录的电路。

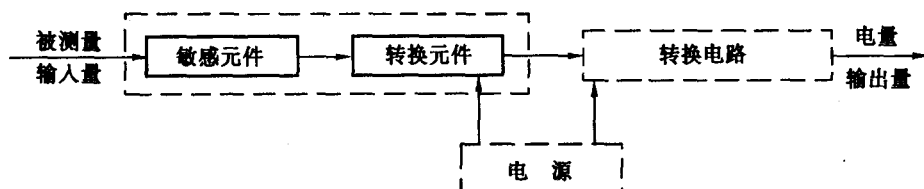


图 1.1 传感器组成的框图

1.1.3 传感器的分类

传感器种类繁多,目前尚无统一的分类方法,这里给出传感器常见的几种分类方法,如表 1.1 所示。

表 1.1 传感器的分类

分类方法	传感器的种类	说 明
按输入量分类	位移传感器、温度传感器、压力传感器等	传感器以被测物理量命名
按工作原理分类	应变式、电容式、电感式、压电式、热电式等	传感器以工作原理命名

续表 1.1

分类方法	传感器的种类	说 明
按构成原理分类	结构型传感器	传感器依赖其结构参数变化实现信息转换
	物性型传感器	传感器依赖其敏感元件物理特性的变化实现信息转换
按能量关系分类	能量转换型传感器	主要由能量变换元件构成,不需要外界供给能量
	能量控制型传感器	由外部供给传感器能量,而由被测量来控制输出的能量
按输出信号分类	模拟式传感器	输出为模拟量
	数字式传感器	输出为数字量

1.2 传感器的一般特性

传感器的特性主要是指其输出与输入之间的关系,一般分为静态特性和动态特性。

1.2.1 传感器的静态特性

传感器的静态特性是指输入量为静态量时,其输出与输入的关系。通常用几个指标来描述。衡量传感器静态特性优劣的主要指标有:线性度、灵敏度、迟滞、重复性、阈值、分辨力、稳定性、漂移和静态误差等。

(1) 线性度

在静态标准条件下,利用一定精度等级的校准设备,测得的特性曲线称为传感器的静态校准曲线。传感器的校准曲线与选定的拟合直线的偏离程度称为传感器的线性度,又称非线性误差。

(2) 灵敏度

灵敏度是指传感器在稳态工作情况下,输出改变量与引起此变化的输入改变量之比。

(3) 迟滞(迟环)

描述传感器在正反行程期间特性曲线不重合的程度。

(4) 重复性

重复性是指在相同工作条件下,输入量按同一方向做全程多次测试时,所得传感器特性曲线不一致性的程度。

1.2.2 传感器的动态特性

传感器的动态特性是指输入量随时间动态变化时,其输出与输入的关系。描述传感器动态特性的主要指标分为时域内和频域内描述。时域内常用的四个动态性能指标如下。

(1) 时间常数 τ

时间常数 τ 是指输出值由零上升到稳态值 y_w 的 63% 时所需的时间。

(2) 上升时间 t_r

上升时间 t_r 是指输出值从稳态值的 10% 上升到 90% (或从 5% ~ 95%) 所需的时间。

(3) 响应时间 t_s

响应时间 t_s 是指输出值进入并稳定在稳态值的允许误差带 (通常为稳态值的 - 5% ~ + 5% 或 - 2% ~ + 2%) 内所需的时间。

(4) 过调量 σ

过调量 σ 是指输出值超出稳态值的最大量, 常用相对于稳态值的百分比表示。

频域内常用的三个动态性能指标如下。

(1) 通频带 ω_b

通频带 ω_b 是指在对数幅频特性曲线上幅值衰减 3 dB 时所对应的频率范围。

(2) 工作频带 ω_{g1} 或 ω_{g2}

工作频带 ω_{g1} 或 ω_{g2} 是指幅值误差在 $\pm 5\%$ 或 $\pm 10\%$ 之间时所对应的频率范围。

(3) 相位误差

相位误差是指在工作频带内, 传感器的实际输出与理想的无失真输出之间的相位差。

1.3 电阻应变式传感器

电阻应变式传感器是利用金属的电阻应变效应将被测量转换成电阻值变化的器件或装置, 常用于测量力、压力、位移、加速度、温度等参数, 在自动检测和自动控制中应用十分广泛。

1.3.1 电阻应变式传感器

电阻应变式传感器由电阻应变片、弹性元件和测量电路三部分组成。

1. 金属的电阻应变效应

若导线沿着轴线方向受到力的作用而产生变形, 则其电阻值也随之发生变化, 这一现象称为金属的电阻应变效应。一导线 (如金属丝) 长度为 L , 截面积为 A , 电阻率为 ρ , 当导线受到轴向力时, 其电阻 R 的相对变化为

$$\begin{aligned}\frac{dR}{R} &= \frac{dL}{L} - \frac{dA}{A} + \frac{d\rho}{\rho} = (1 + 2\mu)\epsilon + \frac{d\rho}{\rho} = \\ &\left[(1 + 2\mu) + \frac{1}{\epsilon} \frac{d\rho}{\rho} \right] \epsilon = K_S \epsilon\end{aligned}\quad (1.1)$$

式中 $\epsilon = dL/L$ ——导线的轴向应变, 简称应变;

μ ——泊松比;

K_S ——金属材料的灵敏系数, 且

$$K_S = (1 + 2\mu) + \frac{1}{\epsilon} \frac{d\rho}{\rho}$$

单根导线的灵敏系数 K_S 的大小是由两个因素引起的, 一是由导线几何尺寸的改变引起的, 即 $(1 + 2\mu)$ 项; 另一个是材料的因素 (导线受力后, 其电阻率 ρ 发生变化) 而引起的。

对金属材料而言, K_s 的值主要决定于第一项; 对半导体材料来说, K_s 的值主要决定于第二项。

2. 电阻应变片的结构

金属电阻应变片种类繁多, 其基本结构大致相同。现以金属丝式应变片的结构为例加以说明, 其结构如图 1.2 所示。它们是由金属丝、基片、覆盖层及引线四部分构成的。为获得高的电阻值, 金属丝排列成栅网形式称为敏感栅, 粘贴在绝缘的基片上。基片的作用有两个: 一是将试件表面的应变传递到敏感栅上; 二是起到金属丝与试件之间的绝缘作用。金属丝的两端焊接有引出导线, 用来连接测量电路, 敏感栅上面粘贴有覆盖层, 起到保护金属丝的作用。金属电阻应变片的结构形式是根据敏感栅的形式来分, 除了金属丝式外, 还有箔式、薄膜式等。

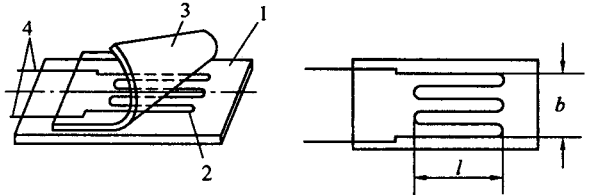


图 1.2 金属丝式应变片基本结构
1—基片; 2—金属丝; 3—覆盖层; 4—引线

敏感栅, 粘贴在绝缘的基片上。基片的作用有两个: 一是将试件表面的应变传递到敏感栅上; 二是起到金属丝与试件之间的绝缘作用。金属丝的两端焊接有引出导线, 用来连接测量电路, 敏感栅上面粘贴有覆盖层, 起到保护金属丝的作用。金属电阻应变片的结构形式是根据敏感栅的形式来分, 除了金属丝式外, 还有箔式、薄膜式等。

3. 电阻应变片的工作原理

用应变片测量应变或应力时, 首先将应变片用粘合剂牢固地粘贴在弹性元件或待测试件表面上, 当试件受到外力作用时, 将产生机械变形, 应变片的敏感栅也随之变形。同时, 应变片电阻也发生相应的变化, 测得应变片电阻变化量 ΔR 后, 根据 $\Delta R/R = K\varepsilon$ 便可得到被测试件的应变值, 这里 K 是应变片的灵敏系数。根据应变和应力的关系 $\sigma = E\varepsilon$, 若已知材料的弹性模量 E , 即可得到应力值 σ 。这就是利用应变片测量应变、应力的基本原理。电阻应变片将被测试件上的应变变化转换成电阻变化, 测量电路则将该电阻的变化转换成电压或电流的变化, 以便显示或记录被测非电量的大小。通过弹性敏感元件, 将位移、力、力矩、加速度、压力等物理量转换成应变, 就可以用应变片测量上述各量, 从而制成各种应变式传感器。

1.3.2 压阻式传感器

固体受到作用力后, 电阻率就发生变化, 这种现象称为压阻效应。半导体材料的压阻效应特别强, 常用硅通过掺杂制成压阻式传感器。利用半导体材料制成的压阻式传感器有两种类型: 一种是利用半导体材料制成的粘贴式应变片; 另一类是在半导体材料的基片上用集成电路工艺制成扩散电阻, 称扩散型压阻传感器。

式(1.1) 中的 $\Delta\rho/\rho$ 项, 对于金属材料, 其值很小, 可以忽略不计; 对于半导体材料, $\Delta\rho/\rho$ 项很大, 不能忽略。半导体电阻率的变化为

$$\Delta\rho/\rho = \pi_1\sigma = \pi_1E\varepsilon \quad (1.2)$$

式中 π_1 ——材料的压阻系数;
 E ——材料的弹性模量;
 σ ——应力。

对于半导体材料, $\frac{\Delta\rho}{\rho\varepsilon} \approx K_s = 50 \sim 100$, 表明半导体材料的灵敏系数比金属应变片的

灵敏系数 $(1 + 2\mu)$ 大很多,可近似认为 $\Delta R/R = \Delta\rho/\rho$ 。当扩散电阻膜比较薄时,可以略去沿膜厚度方向的应力,半导体材料在应力作用下膜上电阻的相对变化可简化为

$$\frac{\Delta R}{R} = \pi_{//} \sigma_{//} + \pi_{\perp} \sigma_{\perp} \quad (1.3)$$

式中 $\pi_{//}$ —— 纵向压阻系数;
 $\sigma_{//}$ —— 纵向应力;
 $\pi_{\perp}$ —— 横向压阻系数;
 $\sigma_{\perp}$ —— 横向应力。

1.4 电感式传感器

电感式传感器是建立在电磁感应基础上,利用线圈自感或互感的改变来实现测量的一种装置。它可以对直线位移或角位移进行直接测量,也可以通过一定的敏感元件把振动、压力、应变、流量等转换成位移量进行测量。

1.4.1 自感式传感器

自感式传感器实质上是一个带气隙的铁心和线圈。按磁路几何参数变化形式的不同,目前常用的自感式传感器有变气隙型、变面积型与螺管型三种;按磁路的结构形式又有 π 型、E型或槽型等;按组成方式有单一式与差动式两种。自感式传感器结构原理如图1.3所示,它由线圈、铁心和衔铁组成。

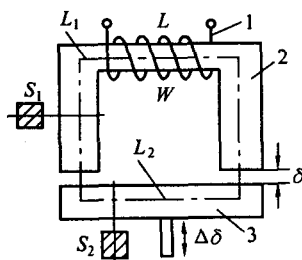


图 1.3 自感式传感器原理图
 1—线圈;2—铁心;3—衔铁

当衔铁移动时,磁路中气隙的磁阻发生变化,从而引起线圈自感的变化,这种变化与气隙大小相对应。只要能测出自感量的变化,就能判定位移量的大小。

对于图1.3所示的系统,若设自感传感器的线圈匝数为 N ,该磁路的总磁阻为铁心、衔铁及气隙磁阻之和近似等于气隙磁阻,则有

$$L = \frac{N^2}{R_M} = \frac{N^2}{\frac{L_1}{\mu_1 S_1} + \frac{L_2}{\mu_2 S_2} + \frac{2\delta}{\mu_0 S}} \approx \frac{N^2 \mu_0 S}{2\delta} \quad (1.4)$$

式中 μ_1, μ_2, μ_0 —— 铁心、衔铁和空气的导磁率;
 L_1, L_2 —— 磁通过铁心和衔铁的长度;
 S_1, S_2, S —— 铁心、衔铁和空气隙的截面积。

上式为自感式传感器的基本特性公式。显然,线圈匝数 N 确定后,只要气隙长度 δ 和气隙截面积 S 二者之一发生变化, L 即发生变化。因此,又有变气隙长度型自感传感器和变气隙截面积型自感传感器之分,前者多用于测量直线位移,后者多用于测量角位移。自感式传感器还有螺管型自感式传感器。

1.4.2 差动变压器式传感器

差动变压器式传感器是一种常用的互感式传感器,其初、次级线圈的互感随衔铁位移变化而变化。差动变压器和一般变压器不同的是:一般变压器为闭合磁路,而差动变压器多为开磁路;后者初、次级间的互感为常数,前者初、次级间的互感随衔铁移动而变,且两个次级绕组按差动方式工作,所以称为差动变压器。差动变压器也有变气隙型、变面积型与螺管型三种类型,如图 1.4 所示。其中图(a)、(b)为变气隙型,灵敏度较高,但测量范围小,一般用于测量几微米到几百微米的位移;图(c)、(d)为变面积型,常用来测量角位移;图(e)、(f)为螺管型,可测量几微米到 1 m 的位移,但灵敏度稍低。

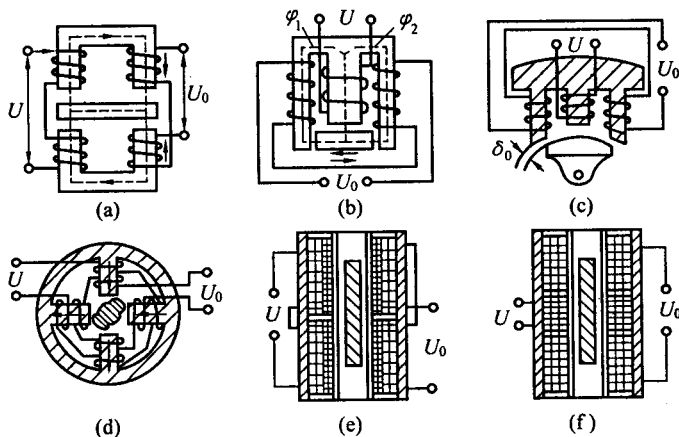


图 1.4 各种差动变压器的结构示意图

1.4.3 电涡流式传感器

电涡流式传感器主要分为高频反射式和低频透射式两种。

1. 高频反射式电涡流传感器

高频反射式电涡流传感器的基本原理如图 1.5 所示。当通有高频交变电流 I_1 (频率为 f) 的电感线圈 L 靠近金属导体时,在金属导体周围产生高频交变磁场 H_1 ,由于电磁感应,在金属导体内产生电涡流 I_2 ,电涡流 I_2 也将产生交变磁场 H_2 , H_2 与原磁场 H_1 方向相反,力图削弱原磁场,

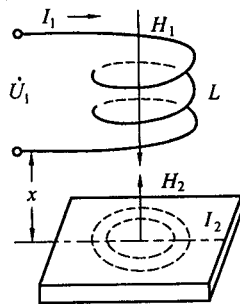


图 1.5 电涡流式传感器原理图

从而导致线圈的电感量、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、电源的频率,以及线圈到导体间的距离有关。如果控制上述参数中仅一个参数改变,余者皆不变,就能构成测量该参数的传感器。

2. 低频透射式电涡流传感器

如图 1.6 所示,发射线圈 L_1 和接收线圈 L_2 分别位于被测材料 M 的上、下方。低频信号

电压 U_1 加到 L_1 两端后,线圈中即流过一个同频的交变电流,并在其周围产生一交变磁场。如果两线圈间不存在被测材料 M ,由于电磁感应 L_2 的两端会产生一交变电势 E 。在 L_1 与 L_2 之间放置一金属板 M 后, L_1 产生的磁场在 M 中产生电涡流 I 。这个电涡流削弱了 L_1 的磁场,损耗了部分磁场能量,使达到 L_2 的磁力线减少,从而引起 E 的下降。 M 的厚度 t 越大,电涡流损耗也越大, E 就越小。由此可知, E 的大小间接反映了 M 的厚度 t ,这就是测厚的依据。

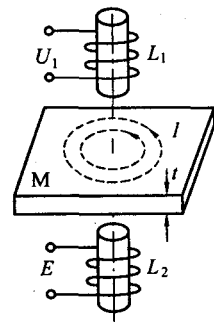


图 1.6 低频透射式电涡流传感器的工作原理

进一步的理论分析和实验结果证明, E 与 $e^{-t/h}$ 成正比,其中 t 为被测材料厚度, h 为电涡流渗透深度,所以接收线圈的电势 E 随被测材料厚度 t 的增大而按负指数规律减少。而 h 又与 $(\rho/\mu f)^{1/2}$ 成正比,其中 ρ 为被测材料的电阻率, μ 为被测材料的磁导率, f 为交变电磁场的频率。

1.4.4 压磁式传感器

压磁式传感器又称磁弹性式传感器,是利用铁磁材料的压磁效应工作的传感器。这种传感器具有输出功率大、抗干扰性能好、过载能力强、适宜在恶劣环境中长期可靠地运行等优点。但是测量精度一般(通常低于 $1\% F \cdot S$),频率响应较低(一般不高于 $1 \sim 2 \text{ kHz}$)。

1. 压磁效应

铁磁材料在外力作用下,引起内部变形产生应力,使各磁畴之间的界限发生移动,使磁畴磁化强度矢量转动,从而使材料的磁化强度发生相应的变化。这种应力使铁磁材料的磁性质发生变化的现象,称为压磁效应。

铁磁材料(正磁致伸缩材料)在压力作用下,在作用力方向的磁导率 μ 减小,而在与作用力相垂直的方向 μ 略有增大;作用力是拉力时,其效果相反。作用力取消后,磁导率复原。铁磁材料的压磁效应还与外磁场有关。为了使磁感应强度与应力间有单值的函数关系,必须使外磁场强度的数值恒定。

2. 压磁式测力传感器的工作原理

在压磁元件的中间部分有四个对称的小孔 1、2、3 和 4,在孔 1、2 间有激励绕组 N_{12} ,孔 3、4 有输出绕组 N_{34} 。当励磁绕组中通过交变电流时,铁心中产生磁场。若把孔间分成 A、B、C、D 四个区域,在无外力的情况下, A、B、C、D 四个区域的导磁率是相同的,这时合成磁场强度 H 平行于输出绕组的平面,磁力线不与输出绕组交链,不产生感应电动势,如图 1.7(b) 所示。

在压力 F 作用下,如图 1.7(c) 所示, A、B 区域将受到一定的应力 σ ,而 C、D 区域基本仍处于自由状态,于是 A、B 区域的磁导率下降,磁阻增大,而 C、D 区域的磁导率基本不变,这样激励绕组所产生的磁力线将重新分布,部分磁力线绕过 C、D 区域闭合,于是合成磁场 H 不再与 N_{34} 平面平行,一部分磁力线与 N_{34} 交链而产生感应电动势 e 。 F 值越大,与 N_{34} 交

链的磁通越多, e 值越大, 从而把力变成电势信号输出。

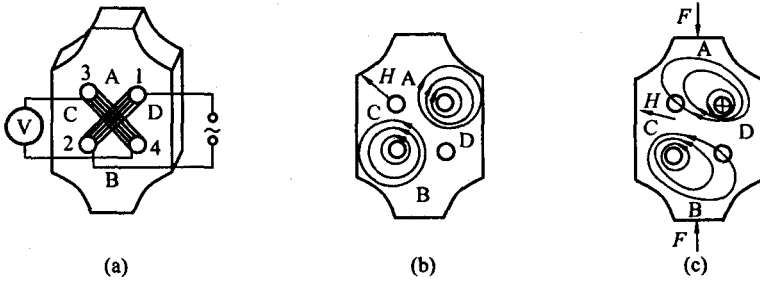


图 1.7 压磁式传感器的工作原理

1.5 电容式传感器

电容式传感器是把被测量的变化转换成电容量变化的一种传感器。电容式传感器不但广泛用于位移、振动、角度、加速度等机械量的精密测量, 而且还逐步扩大到用于压力、差压、液位、物位或成分含量等方面的测量。

下面介绍电容式传感器的工作原理。

电容式传感器的基本工作原理可以用图 1.8 所示的平板电容器来说明。当忽略边缘效应时, 平板电容器的电容为

$$C = \frac{\epsilon A}{d} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d} \quad (1.5)$$

式中 A ——极板面积;

d ——极板间距离(简称极距);

ϵ_r ——极板间介质的相对介电常数;

ϵ_0 ——真空介电常数, $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{Fm}^{-1}$;

ϵ ——极板间介质的介电常数。

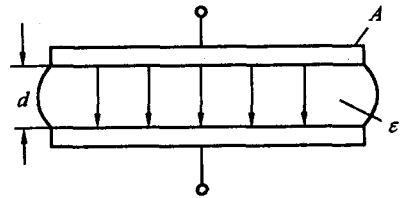


图 1.8 平板电容传感器原理图

由式(1.5)可知, 当 d 、 A 和 ϵ_r 中任意一个或某几个参数有变化时, 就改变了电容 C 。因此电容式传感器分为三种类型: ① 变极距型, 如图 1.9(a)、(b): 极板相对覆盖面积和介电常数不变, 改变极距, 可用于测量小位移。② 变面积型, 如图 1.9(c)、(d)、(e)、(f): 极距及介电常数不变, 改变极板相对覆盖面积(覆盖长度或宽度), 可用于测量较大线位移或角位移。③ 变介电常数 ϵ 型, 如图 1.9(g)、(h): 常用于测量液位、材料的浓度或成分等的变化。

1.6 磁电式传感器

磁电式传感器是一种通过磁电作用, 将被测量转换成电信号的传感器。常用的磁电式传感器有磁电感应式传感器、磁栅式传感器、霍尔式传感器及各种磁敏元件, 包括磁敏电阻、磁敏二极管、磁敏三极管等。

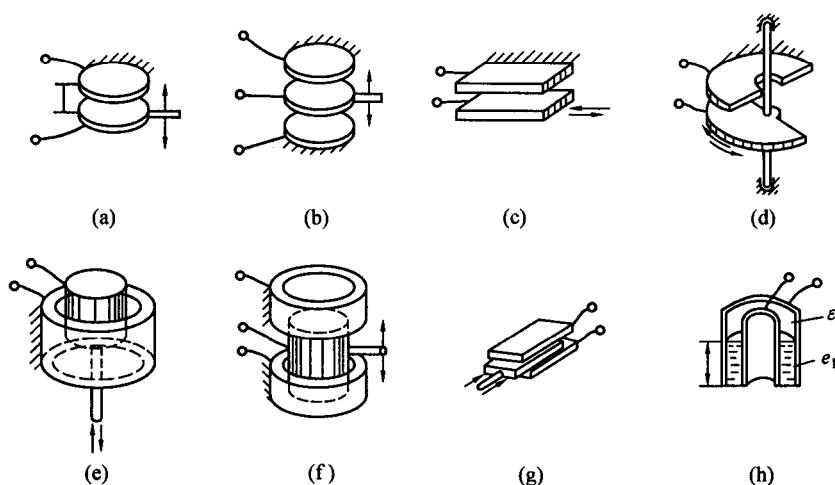


图 1.9 几种不同的电容式传感器的原理结构图

1.6.1 磁电感应式传感器的工作原理

根据法拉第电磁感应定律可知,当导体在磁场中运动而切割磁力线,或者通过闭合线圈的磁通发生变化时,在导体两端或线圈中将产生感应电势,这就是磁电感应式传感器的工作原理。根据这个原理,可设计成恒磁通式和变磁通式两种结构形式。

1. 恒磁通式

图 1.10 是恒磁通式磁电感应传感器的结构示意图。磁路系统产生恒定的直流磁场,工作气隙固定不变,气隙中的磁通也恒定不变。感应电势是由于线圈相对于永久磁铁运动时切割磁力线而产生的。运动部件可以是线圈或磁铁,因此结构上又分为动圈式和动铁式两种。

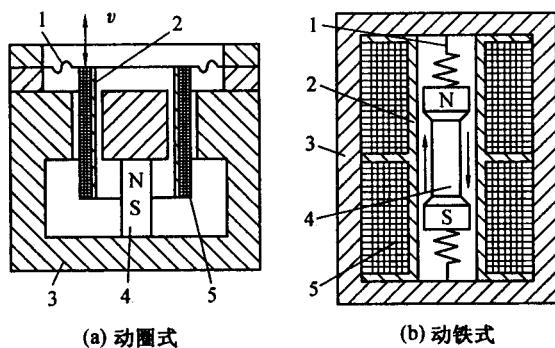


图 1.10 恒磁通式磁电感应传感器结构示意图

1—弹簧;2—线圈骨架;3—壳体;4—永久磁铁;5—线圈

在图 1.10(a) 中,永久磁铁和传感器壳体固定,线圈相对于传感器壳体运动,称为动圈式。在图 1.10(b) 中,线圈组件和壳体固定,永久磁铁相对于传感器壳体运动,称为动铁式。

式。

2. 变磁通式

这类传感器的线圈和磁铁都是静止的,感应电势由变化的磁通产生。如图 1.11 所示,被测物体或与被测物体联结部分用导磁材料制成,当它运动时,磁路的磁阻变化,使穿过线圈的磁通量变化,从而在线圈中产生感应电势,所以这种传感器也称变磁阻式。根据磁路的不同,又分为开磁路和闭磁路两种。

图 1.11(a) 是一种开磁路变磁通式转速传感器。齿轮安装在被测转轴上并与其一起旋转。齿轮旋转时,它与软铁的间隙随之变化,从而导致气隙磁阻和穿过气隙的磁通发生变化,结果在线圈中产生感应电势。感应电势的频率 f 取决于齿轮的齿数 z 和转速 n (单位为 r/min), 它们的关系为

$$n = 60f/z \quad (1.6)$$

若测得 f , 由已知的 z 即可求得转速 n 。

图 1.11(b) 是一种闭磁路变磁通式转速传感器,其内外齿轮的齿数相同。当转轴联结到被测轴上与被测轴一起转动时,外齿轮不动,内齿轮转动。由于内外齿轮相对运动使磁路气隙发生变化,从而在线圈中产生交变的感应电势。

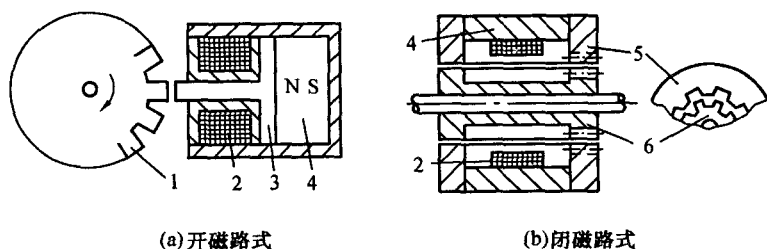


图 1.11 变磁通式磁电感应传感器的结构图

1—齿轮;2—线圈;3—软铁;4—永久磁铁;5—外齿轮;6—内齿轮

1.6.2 磁栅式传感器

磁栅式传感器主要由磁栅和磁头组成。磁栅是利用磁带录音的原理,将周期变化的电信号(正弦波或矩形波)转换成圆形或长条形磁栅上等间距的磁信号。装有磁栅式传感器的装置工作时,磁头把磁栅上的磁信号读出来,即可把磁头与磁栅之间的相对位置或相对运动速度转换成电信号。

1. 磁栅式传感器的类型

磁栅传感器的类型根据磁栅可分为长磁栅和圆磁栅两大类。按读取信号的方式,磁头有动态磁头和静态磁头之分。

2. 磁栅式传感器的工作原理

以动态磁头(如图 1.12)为例,它是非调制式磁头,又称速度响应式磁头,它只有一组线圈。其铁心由铁镍合金片叠成,前端夹着铜片,后端磨光靠紧。当磁头以速度 v 相对于磁