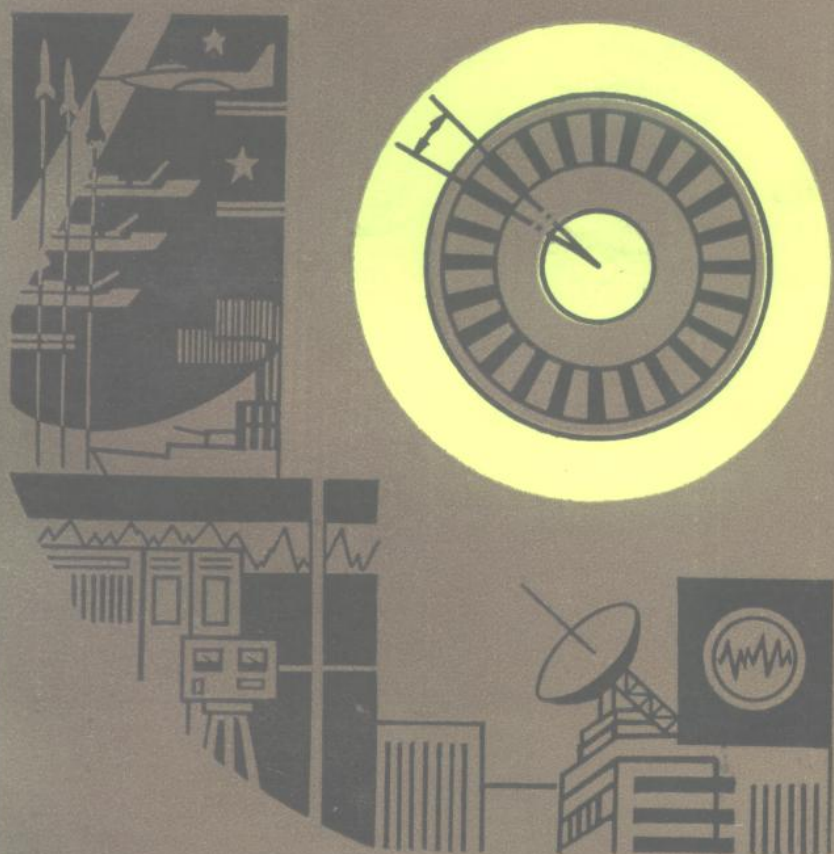


计量中专试用教材

几何量传感器及其应用

吴嘉祥 编



中国计量出版社

计量中专试用教材

几何量传感器及其应用

吴嘉祥 编

中国计量出版社

内 容 提 要

本书系统地阐述了几何量测量用传感器的工作原理,基本结构,分类方法,并结合实际介绍了传感器在几何量测试中的应用技术。

全书共分六章,分别介绍了电感式传感器、电容式传感器、电阻式传感器、压电式传感器、光电式传感器及光栅编码器等内容。每章均附有内容小节和习题。

本书有较强的参考价值,可供从事几何量测量的技术人员阅读,并适合作教材。

0035/70

计量中专试用教材 几何量传感器及其应用

吴嘉祥 编著
责任编辑 孙维民

—18—

中国计量出版社出版
北京和平里西街甲2号
中国计量出版社印刷厂印刷
新华书店北京发行所发行

—19—

开本 787×1092/16 印张 10.5 字数 249 千字
1991年4月第1版 1991年4月第1次印刷
印数 1—5000
ISBN 7-5026-0393-X/TB·317
定价 6.00 元

出版前言

国家技术监督局是国务院统一管理和组织协调全国技术监督工作的职能部门。负责管理全国标准化、计量、质量监督工作，并对质量管理进行宏观指导。

随着技术监督事业的迅速发展，当前迫切需要大量的各级、各类计量专门人才，举办各种形式的计量中等教育，对于提高在职计量人员的素质、改善计量队伍的结构，培养一批计量队伍的新生力量，都具有重要意义，并将对计量事业的发展产生深远的影响。

近几年来，由于一批计量中专学校的创办，各种形式的计量中等教育如委托或联合办计量中专班、计量函授中专、计量职业高中、计量中专的专业证书培训等，也在各地陆续开展起来，但是缺少教材已成为计量中等教育迫切需要解决的重大问题。因此我们根据国家技术监督局的决定，组织编写了一套计量中专教材，其中包括：几何量、热工、力学、电磁学计量四个专业的部分专业基础课和专业课试用教材，争取在1988至1991年内出版齐。

本书是委托河北省标准计量中等专业学校组织编写的几何量专业的专业基础课教材。

计量事业教育基础十分薄弱。组织编写行业性教材还是第一次，基本条件和经验都不足。因此，这套教材的编写工作是在时间紧、难度大的情况下进行的，虽然经过多方面努力，但仍然存在很多不足之处，甚至于错误，我们拟在试用过程中听取各方面意见，于适当时机再次组织修改。

另外，这套教材主要是根据三年制全脱产的计量中等专业教育的需要编写的。在目前情况下，要对各种形式的计量中等教育都编出相应的教材难以做到，因此，在编写过程中，也一定程度地考虑了适用的多样性，其他形式的计量中等教育可参考本套教材的基本内容，适当调整使用。

在教材的编写、审议过程中，得到了中国计量出版社、中国计量科学研究院、中国测试技术研究院、中国计量学院、中国计量测试学会，河北、四川、山东、吉林省标准计量局及有关的高等院校、省市计量部门、科研单位、大中型企业的大力支持，在此，谨表示衷心感谢！

国家技术监督局宣传教育司

1988.8

编 者 的 话

本教材是根据原国家计量局教育处审定的《几何量传感器及其应用》中专试用教材教学大纲编写的。

全书较系统地阐述了几何量测量用传感器的基本原理、基本概念类型、典型结构及应用概况，内容比较丰富。由于传感器的种类较多，并涉及到较多的科学技术及基础性知识，为易于接受，在叙述方法上，力求做到由浅入深，简明扼要。由于传感器是技术开发中的有力工具。职工中专的教学目的是学以致用，所以在内容的选取中也保留了一定的知识面。因此，本书既是一本计量中专的教科书，又可供有关的计量工程技术人员阅读参考。

本书由天津大学金萑芷副教授主审。中国计量出版社汤永厚社长、徐孝思副主编、中国计量科学研究院陈耀煌研究员、清华大学徐端颐教授、航天工业部第一计量测试研究所孙方金研究员、哈尔滨工业大学于汶副教授、山东省标准计量学校李学琪校长、中国人民解放军军械工程学院刘源基讲师、中国计量出版社王晓莹编辑和原国家计量局教育处安国处长，章学峰同志对本书进行了审议。

原国家计量局、河北省标准计量学校负责本书编写的领导和具体组织工作；河北省标准计量局、河北省计量测试学会给予了很大支持；河北省计量测试研究所等单位和个人为本书的编写提供了宝贵的技术资料；河北省计量测试研究所王淑琴工程师参加了部分工作。在此，表示衷心地感谢。

由于编写时间仓促，调查研究不够深入，加之本人水平有限，书中不可避免地会存在不少缺点和错误。恳切希望教师、学生和读者对本书内容编排、材料取舍、深浅程度以及书中的错误、欠妥之处提出批评、指正和修改意见。

吴嘉祥

1990年5月

目 录

绪论	(1)
第一章 电感式传感器	(7)
第一节 自感型电感式传感器	(7)
一、工作原理	(7)
二、自感型电感式传感器的类型	(8)
三、结构举例	(13)
四、转换电路	(19)
五、灵敏度	(21)
第二节 互感型电感式传感器	(22)
一、管型互感传感器	(22)
※二、具有分布参数型互感传感器	(25)
第三节 电感式传感器的应用	(26)
一、电感式传感器的广泛应用	(26)
二、电感测微仪	(27)
本章小结	(33)
习题	(33)
第二章 电容式传感器和容栅式传感器	(34)
第一节 工作原理及类型	(34)
一、电容式传感器	(34)
二、容栅式传感器	(36)
第二节 结构举例	(41)
第三节 转换电路	(43)
一、电桥电路	(43)
二、差分脉宽调制电路	(44)
三、频率调制电路	(45)
四、运算放大器式电路	(45)
第四节 电容式传感器的应用	(46)
本章小结	(48)
习题	(49)
第三章 电触传感器和电阻式传感器	(50)
第一节 电触传感器	(50)
一、工作原理	(50)
二、电触传感器的应用	(51)

第二节 电阻式传感器	(56)
一、变阻器式传感器	(56)
二、电阻应变式传感器	(58)
本章小结	(62)
习题	(62)
第四章 压电式传感器	(63)
第一节 压电式传感器的物理基础	(63)
一、压电单晶体	(63)
二、多晶压电陶瓷	(64)
第二节 压电式传感器及其等效电路	(65)
第三节 测量电路	(67)
一、电压放大器	(67)
二、电荷放大器	(68)
第四节 压电式传感器及电致伸缩效应的应用与结构举例	(70)
本章小结	(74)
习题	(74)
第五章 半导体敏感元件及光电式传感器	(75)
第一节 光电转换元件	(75)
一、光敏二极管和光敏三极管	(75)
二、光电池	(77)
三、光敏电阻	(78)
四、光电管	(79)
五、光电倍增管	(80)
※六、CCD 敏感元件	(81)
第二节 光电式传电器的工作原理与类型	(86)
一、透射式光电传感器	(86)
二、反射式光电传感器	(87)
三、利用光电变换发出分组信号的光电传感器	(87)
四、光电自准直传感器	(87)
五、光电灵敏杠杆型瞄准传感器	(89)
六、线纹瞄准用光电传感器	(90)
七、干涉信号的光电传感器	(92)
第三节 光电转换电路	(95)
一、光电继电器电路	(95)
二、交变光照的光电转换电路	(95)
三、直流光照的光电转换电路	(95)
本章小结	(96)
习题	(96)
第六章 光栅与编码器	(97)
第一节 计量光栅的类型	(97)
第二节 莫尔条纹形成的基本原理及特点	(99)
一、长光栅莫尔条纹	(100)

二、圆光栅莫尔条纹·····	(102)
第三节 光栅传感器·····	(104)
一、透射式光栅传感器·····	(104)
二、反射式光栅传感器·····	(106)
第四节 提高光栅传感器精度的主要措施·····	(107)
第五节 光栅传感器在几何量测量中的应用·····	(108)
一、光栅传感器应用举例·····	(108)
二、光栅式万能测长仪·····	(109)
第六节 编码器及其应用·····	(116)
本章小结·····	(120)
习题·····	(120)
第七章 感应同步器与磁栅式传感器·····	(121)
第一节 感应同步器·····	(121)
一、感应同步器的主要性能特点·····	(121)
二、结构与类型·····	(122)
三、基本工作原理·····	(126)
四、信号处理方式(感应同步器的工作方式)·····	(127)
五、关于定尺接长·····	(128)
第二节 磁栅式传感器·····	(129)
一、磁栅·····	(130)
二、磁头·····	(131)
三、录磁·····	(133)
四、信号读出与电信号处理·····	(134)
本章小结·····	(135)
习题·····	(135)
第八章 其它检测传感器·····	(136)
第一节 光导纤维传感器·····	(136)
一、光纤微位移传感器·····	(136)
二、光纤传感器在表面粗糙度测量中的应用·····	(137)
第二节 核辐射检测传感器·····	(138)
一、放射源·····	(138)
二、接收器·····	(139)
三、在几何量测量中的应用与防护·····	(140)
第三节 超声波传感器·····	(140)
一、超声波换能器·····	(141)
二、超声波检测的基本原理及应用举例·····	(143)
第四节 气动式传感器·····	(144)
一、工作原理和类型·····	(144)
二、非接触式气动传感器·····	(146)
三、接触式气动传感器·····	(150)
四、气动传感器的应用及结构举例·····	(150)
第五节 霍尔元件·····	(152)

第六节 多维传感器	(153)
一、钢球式多维传感器	(154)
二、片簧式多维电感传感器	(155)
三、组合式三维传感器	(157)
本章小结	(158)
习题	(159)
参考文献	(160)

绪 论

一、传感器概述

传感器是将被测物理量转换为与之相对应的、容易检测、传输或处理的信号的装置。

传感器一般由敏感元件与其他辅助元件组成。敏感元件是传感器的核心，它直接感受被测量并完成信号转换。

由传感器构成的测量系统主要有三大部分组成：传感器、中间变换与信号处理、显示或执行机构。其基本环节如图0.1所示。传感器是测量系统的一个重要组成部分。

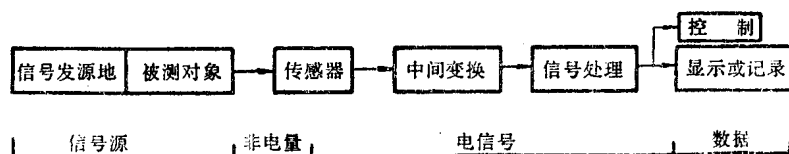


图 0.1 测量系统框图

传感器的种类繁多，应用极广，有多种分类方法。按被测量可分为位移传感器、力传感器、温度传感器等；按传感器原理可分为电感式、电容式、压电式、光栅式、感应同步式传感器等；按敏感元件与被测对象之间的物理效应可分为能量控制型与能量转换型传感器；按信号变换特性概括地分为物性型传感器与结构型传感器；按测量坐标的方向数分为一维、二维、三维传感器等等。

物性型传感器依靠敏感元件自身物理性质的变化来实现信号的变换，结构型传感器是依靠传感器结构参数的变化来实现信号的变换。

现代科学技术和现代化管理是提高经济效益的决定性因素，是使经济走向新的发展阶段的支柱。其中机电、机光电一体化是发展方向之一，而传感器则是信息技术的关键。随着微电脑应用的深入广泛，传感器被称为电脑和人类之间的“媒介”。这是因为客观世界并不能直接反映到电脑中去，而是要通过一个“媒介”，这就是传感器。有人把微机比作大脑，把传感器比作感官，形象地比喻目前出现的“头脑发达”、“感官迟钝”的不平衡状态。这成了科学技术不能尽快发展的重要矛盾，所以一些国家把传感器的研究与开发摆在了应用技术的第一位。日本把传感器列为八十年代应大力发展的五大应用技术的第一位。从高等院校到研究部门，从各大公司到工厂企业，都十分注重开发研究、推广应用传感器技术；美国科学家们预测传感器是九十年代四大发展技术之一；西欧各国逐年成倍增加传感器开发投资；苏联也不断调整自己的科学技术发展战略，加强传感器的开发研究；中国科学院已把传感器列为

“七五”期间的重点开拓领域。专家们认为人才培养具有战略意义，建议有关院校设立传感器专业，对现有技术人员进行传感器技术培训。

从发展情况看，几何量计量测试仪器正逐步从机械式、光学式、光学机械式、单纯电测式，发展成机电、机光电相结合的新型计量仪器。电动轮廓仪、圆度仪、光电光波比长仪、激光量块干涉仪、光电自准直仪、三坐标测量仪、电动式自动分选机、光栅式传动链测量仪、电影经纬仪、光栅式齿轮单面啮合检查仪、电动式丝杠测量仪、长光栅检查仪、圆光栅与码盘检查仪、磁盘检查仪、数字式大工显等计量测试仪器都采用了几何量测量用传感器。学习掌握传感器技术对正确地掌握、使用、维护、修理现代计量测试仪器设备是必须的，对更新改造原有计量仪器设备、对解决自动检测、在线测量，对技术开发、技术引进等都是必须的。

本课程是几何量计量专业的专业技术课，它的任务是培养学生具有一定程度的几何量转换方面的知识，为正确地选择、使用几何量测量用传感器，为自动测量奠定初步的基础。

书中用※号标出的为选教内容。

二、传感器的基本特性

概括地讲测量问题就是处理输入量 $x(t)$ 、系统的传输或转换特性和输出量 $y(t)$ 之间的关系。即：

1. 如果输入、输出是可以观察的量（已知），那末通过输入、输出就可以推断系统的传输或转换特性（系统标定就是利用这样的过程）；

2. 如果系统特性已知，输出可测，那末通过该特性和输出可以推断导致该输出的相应输入量（检测就是利用这样的过程）；

3. 如果输入和系统特性已知，则可以推断和估计系统的输出量（干扰的查找就是利用这样的过程）。

研究测量装置，研究传感器，就要研究它的特性。研究传感器的基本特性，主要是研究输出与输入间的关系。

灵敏度、线性度、回程误差、频率特性等是表征传感器特性的基本参数。

（一）灵敏度（K）

它表明传感器在稳态工作时输出增量 Δy 对输入增量 Δx 之比值。即

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (0.1)$$

对于特性呈线性的传感器，灵敏度 K 等于输出量 y 与相应的输入量 x 之比。即

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y}{x} = \text{常量}$$

对于非线性传感器，灵敏度随输入量而变化，对应于某输入量的灵敏度等于该点特性曲线的斜率。当测量系统的输出和输入的量纲相同时，该测量系统的灵敏度即是它的放大倍数。

很显然传感器的灵敏度高，在同样输入量的情况下，输出信号大。这给信号处理、读出、控制等带来很多益处。但是，一般说来，灵敏度越高，测量范围往往愈窄、稳定性也往往愈差。所以灵敏度的选择应由实际需要来决定。应当注意合理性。

（二）线性度

用参数方程和作图曲线都能比较清楚地表示出传感器的输出和输入间的特性关系。

一般称输入和输出是基本不随时间变化（或变化缓慢，在所观察的时间间隔内可忽略其变化）的测量为静态测量。在静态测量中，通常用实验的办法求取传感器的输入-输出关系曲线，并称其为“校准曲线”或“定度曲线”。

“线性度”又称“非线性误差”。它指的是“校准曲线”与其理论拟合直线之间的偏差。如图0.2所示。其量值用在传感器的标称输出范围（全程程） A 内，校准曲线与其理论拟合直线的最大偏差 Δ_{max} 与 A 的比值来表示。

即

$$\text{非线性误差} = \frac{\Delta_{max}}{A} \times 100\%$$

(0.2)

目前国内外尚无确定拟合直线的统一标准。常用的拟合直线是通过原点（ $x=0, y=0$ ），与校准曲线间的偏差 Δ_i 的均方和（即 $\sum \Delta_i^2$ ）为最小的直线。

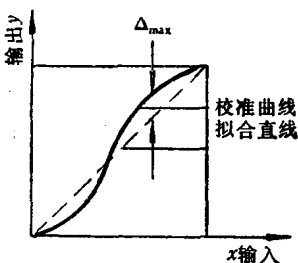


图0.2 校准曲线与线性度

一般的参数方程式能比较确切地表示传感器的输出-输入关系。参数方程由具体的类型和结构确立。为了总括地说明传感器的静态特性，人们常以多项式表示：

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_nx^n \quad (0.3)$$

式中： x ——输入物理量；

y ——输出量；

a_0 ——零位输出；

a_1 ——传感器的灵敏度，常用 K 表示；

$a_2, a_3, \dots, a_n$ ——非线性常数。

在理想情况下

$$a_0 = a_2 = a_3 = \dots = a_n = 0$$

$$y = a_1x$$

在 $a_2, a_3, \dots, a_n$ 不为零的情况下，当传感器以 $y = a_1x$ 方式应用时，则带来非线性误差，它的量值为：

$$\Delta = a_2x^2 + a_3x^3 + \dots + a_nx^n \quad (0.4)$$

由于在传感器的应用中多采用线性读出，而传感器的质量在整个系统中往往占主导地位，所以在传感器的选择中对非线性误差非常重视。用于高精度测量的传感器，非线性误差要小，考虑成本，在满足要求的情况下，对线性度的要求应适中。

(三) 回程误差

回程误差又称“滞后误差”、“变差”或“迟滞”。指在相同条件下，传感器正（输入量增大）反（输入量减小）行程（图0.3所示），对同一输入量所得到的两个数值不同的输出量之间差值的最大者为回程误差。数值用相对误差表示，即以满量程输出 A 的百分数表示，即

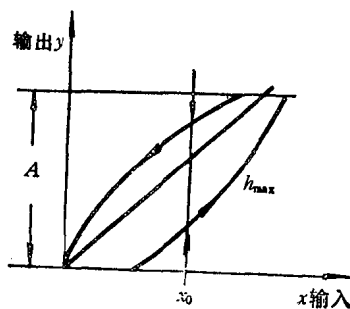


图0.3 回程误差

$$\frac{h_{\max}}{A} \times 100\% \quad (0.5)$$

回程误差一般由实验测得。由于在实际操作中很难控制单向工作，一般需往返找准，因此回程误差大测得值的散发也大。

(四) 频率特性

在动态测量中，当被测工件尺寸作周期性变化时，传感器的输出值随着作周期性变化，其频率与前者相同，但输出幅值和相位随频率的变化而改变，这种关系称为频率特性。

幅值随频率变化而改变的特性称为幅频特性；输出信号的相位随频率的变化而改变的特性称为相频特性。幅值下降到稳定幅值的 0.707 倍时所对应的频率称为截止频率。

由于输出幅值、相位的变化可能给信号处理（如细分）带来困难及带来测量误差，所以在动态测量中选用传感器应与工作频率相适应，在高精度的测量中对传动系统所用电机以及造成频率变化的不利因素应加以限制，以确保测量精度。一般允许频率按允许的畸变误差与允许的相位误差来确定。

三 传感器的主要性能指标

传感器的质量好坏，一般通过若干个主要品质指标来表示。除前面介绍的灵敏度、线性度、回程误差及频率特性参数指标外，还有：

(一) 量程

是指测量上限和下限的代数差。

例如一个位移传感器的测量下限是 -5 mm ，测量上限是 $+5 \text{ mm}$ ，这个传感器的量程为 $5 - (-5) = 10 \text{ mm}$ 。

(二) 测量范围

是指测量上限和下限之间的区间。

上例中传感器的测量范围为 $-5 \sim +5 \text{ mm}$ 。

(三) 分辨力

分辨力在计量仪器名词术语中称灵敏阈也称灵敏限。

传感器的分辨力是指传感器可能检测出的被测信号的最小增量。

(四) 重复性

重复性表示在相同的条件下，传感器按同一方向输入量，在全量程内连续多次实验所得特性曲线的不一致程度。重复性通常用随机不确定度来估计。

(五) 不确定度

传感器的不确定度表征的是由于非线性误差、回程误差、不重复性误差、不稳定性误差等误差的存在，而对被测量不能肯定的程度。一般用“标准偏差”表示，如 $\pm\sigma$ 、 $\pm 2\sigma$ 、 $\pm 3\sigma$ ，它们分别表示在不同概率下的误差范围。在非正态分布的特殊情况下还应考虑置信因子。

(六) 稳定度

传感器的稳定度是指在规定工作条件内，传感器某些性能随时间保持不变的能力

(七) 频率响应（频响）

从传感器的频率特性可以看到在动态测量中输出幅值和相位随输入频率的变化而变化。在传感器的实际应用中，根据测量系统允许的总误差及传感器输出幅值、相位变化带来的影

响对传感器的性能指标作出相应规定,所谓频率响应指的是保证传感器能够在规定的性能指标下工作的最高频率。

手册中给出的相应值是保证在规定的性能指标下工作的最高频率。截止频率指的是幅值下降到稳定幅值的 0.707 倍时所对应的频率值。

(八) 稳定时间

工件突然送入测位进行测量(即输入量为阶跃值),传感器输出值有一个过渡过程,经过一定的时间输出值才稳定下来。根据传感器运动系统的阻尼情况,输出值可能有振荡或没有振荡,如图 0.4 所示。从工件进入测位到输出基本稳定(即处于允许误差 Δy 范围内)的时间称为稳定时间。

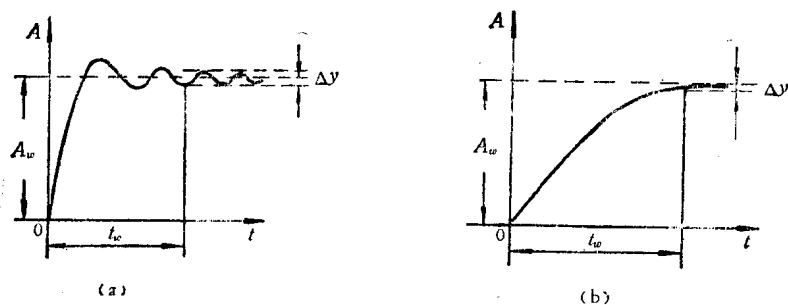


图 0.4 在阶跃信号输入时传感器的输出形式

A. 传感器输出 t_w 时间 A_w . 传感器稳定输出
 t_w . 稳定时间 Δy . 允许误差

(九) 可靠性

指在规定工作条件和工作时间内,传感器完成所要求功能的能力。它有一整套科学的、周密的衡量方法,衡量参数有寿命小时数、在 1000 小时工作中损坏的百分数等。

四 传感器的选用

选用传感器一般应根据计量测试的目的、使用环境、被测对象、允许的测量误差和信号处理等条件,在总观、全面、综合考虑的基础上兼顾经济因素,合理地选取传感器。

输出信号大,与输入信号成比例;回程误差与非线性误差小;内部噪声小,且不易受外界干扰的影响;反应速度快;动作能量小;对被测状态的影响小;使用寿命长;工作稳定可靠;成本低;容易使用、维修和校准等是保证较高的测量精度、较低的成本、较长时间的可靠工作等所要求的条件。由于有不少因素相互影响、相互制约,所以要全面考虑,提合理要求。例如,灵敏度高,传感器所能感知的变化量小,被测量有微小变化传感器就有较大的输出。这对保证测量精度有益。但还应注意到,要保证测量精度,传感器必须工作在非饱和区和线性段,而过高的灵敏度会影响其适用的测量范围,且灵敏度愈高,与测量信号无关的干扰信号也容易混入,也会被放大系统放大,影响测量精度。在通常情况下传感器的精确度愈高,价格愈昂贵,维护愈困难,所以在保证测量精度的前提下,不要随便选用高精度、高灵敏度的传感器。

在传感器的选用中还应对环境进行调查,以选择能适应其工作条件的传感器。如湿度过

大会使硒光电池很快变坏，会影响电器的绝缘性能，会使光学器件不能正常工作；温度变化可能给某些传感器带来零点漂移，温度影响机构尺寸变化，可能带来测量误差，过热能使某些传感器不能正常工作；磁场对磁电式传感器有影响；湿气会改变电容介质，影响电容传感器的正常工作等等。

测量方式也是选用传感器需要考虑的问题。一般物性型传感器，响应时间小，可工作频率范围宽。而结构型传感器（如电感、电容传感器等），受结构特点、机械惯性等影响，工作频率低。当被测量为单向量时，要求传感器在测量方向上的单向灵敏度愈高愈好，而横向灵敏度愈小愈好；如果被测量是二维或三维向量，在单向测量中传感器的交叉灵敏度愈小愈好。

第一章 电感式传感器

将被测尺寸的微小变化转换成电感量变化的传感器称为电感式传感器。

电感式传感器的种类繁多。根据电磁感应的形式，分为自感型（包括可变磁阻式与电涡流式）与互感型（差动变压器式）两类。根据作用原理与结构形式有Ⅱ型、E型、差动型、截面型、管型、齿型、分布参数型等多种。

第一节 自感型电感式传感器

一、工作原理

最简单的自感型电感式传感器的工作示意图如图 1.1 所示。在用导磁体做成的铁芯 2 上绕一个线圈 1，铁芯的下方放置一个用导磁体做成的衔铁 3，测杆 4 与其固接在一起。铁芯和活动衔铁用导磁材料如硅钢片、坡莫合金等制成。形式可以是整体的也可以是迭片的。衔铁和铁芯之间有空隙。在测杆下放入被测工件 5。测量时测杆随被测工件 5 的尺寸的变化带动衔铁 3 移动，随衔铁移动，气隙 δ 变化，磁路中的磁阻发生变化，引起线圈 1 的电感变化，此电感的变化量与衔铁位置的变化量（即气隙 δ 的变化量）相对应。因此，只要能测出此电感的变化量，就能确知衔铁位移量（即工件的变化量）的大小。

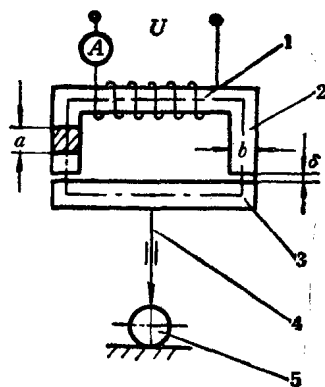


图 1.1 自感型电感式传感器工作示意图

下一节根据物理学与电工学导出的自感型电感传感器的基本特性的参量方程式 $L =$

$\frac{W^2 \mu_0 S_0}{2 \delta}$ ，以相互间的参量关系表征了自感型电感式传感器的基本工作原理。即电感式传

感器制好之后，线圈的匝数 W 一定，空气的磁导率为常量，则传感器的电感量 L 与气隙厚度 δ 成反比，与通磁气隙的截面积 S_0 成正比。用气隙型电感传感器测量工件尺寸 x ，气隙 δ 随工件尺寸 x 而改变，使电感量 L 改变。通过测试电感量 L 的变化量 ΔL ，而确知工件尺寸的变化量 Δx ；而用截面型电感传感器测量工件尺寸 x ，工件尺寸变化通过测杆改变通磁面积 S_0 ，造成电感量 L 变化，通过测量电感量 L 的变化量 ΔL ，而得知工件尺寸的变化量。

二、自感型电感式传感器的类型

(一) 类型

自感型电感式传感器种类繁多, 有气隙型、截面型、管型、齿型和电涡流式。其中电涡流式的作用原理与其它不同。

1. 气隙型电感式传感器

图 1.1 所示的传感器是通过气隙 δ 变化而使电感变化的, 因此称为气隙型电感传感器。

由物理学和电工学可知, 线圈的电感 L 与线圈的匝数 W 、磁路的总磁阻 R_m 之间的关系为:

$$L = \frac{W^2}{R_m} \quad (1.1)$$

磁阻表示物质对磁通呈现的阻力, 它的大小与磁路长度 l 成正比, 与磁路的截面积 S 成反比, 且与磁路材料性质有关, 可写成:

$$R_m = \frac{l}{\mu S} \quad (1.2)$$

式中: μ ——磁导率 (H/m)

磁导率也称磁导系数, 它表示磁路材料的导磁性能, 单位为亨利每米 (H/m)。不同的物质 μ 值不同, 导磁体对磁通阻力很小, 即 μ 值很大。

对图 1.1 所示情况, 若空气隙 δ 较小, 在不考虑磁路的铁损时, 总磁阻

$$R_m = \sum \frac{l_i}{\mu_i S_i} + \frac{2\delta}{\mu_0 S_0} \quad (1.3)$$

式中: l_i ——各段导磁体的长度 (m);

μ_i ——各段导磁体的磁导率 (H/m);

S_i ——各段导磁体的截面积 (m²);

μ_0 ——空气的磁导率, μ_0 接近 $4\pi \times 10^{-7}$ (H/m);

S_0 ——空气隙截面积 ($S_0 = a \times b$, m²)

因为导磁体磁阻与空气隙磁阻相比很小, 计算时可忽略, 故

$$R_m \approx \frac{2\delta}{\mu_0 S_0} \quad (1.4)$$

将式 (1.4) 代入式 (1.1), 电感值

$$L = \frac{W^2 \mu_0 S_0}{2\delta} \quad (1.5)$$

式 (1.5) 是表示气隙型与截面型电感式传感器基本特性的参量方程式。由式 (1.5) 可以看出, 电感 L 与气隙厚度 δ 成反比, 与通磁气隙的截面积 S_0 成正比。

在实际工作中电感式传感器多用于相对测量。如在原始气隙 δ_0 时电感量为 L_0 , 由于尺寸增加 Δx , 引起气隙减小 $\Delta \delta$, 则电感的增量 ΔL 为: