



中国地质大学(武汉)实验教学系列教材
中国地质大学(武汉)实验技术研究项目资助

传感器技术及实验

CHUANGANQI JISHU JI SHIYAN

王广君 王 巍 梁庆忠
王永涛 赵 娟 ◎等编



中国地质大学出版社有限责任公司
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE YOUXIAN ZEREN GONGSI

中国地质大学(武汉)实验教学系列教材
中国地质大学(武汉)实验技术研究项目资助

传感器技术及实验

CHUANGANQI JISHU JI SHIYAN

王广君 王 巍 梁庆忠
王永涛 赵 娟 等编



中国地质大学出版社有限责任公司

ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE YOUXIAN ZEREN GONGSI

图书在版编目(CIP)数据

传感器技术及实验/王广君,王巍,梁庆忠,王永涛,赵娟等编. —武汉:中国地质大学出版社
有限责任公司,2013. 6

ISBN 978-7-5625-3012-1

I. ①传…

II. ①王…②王…③梁…④王…⑤赵…

III. ①传感器-高等学校-教材

IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 015870 号

传感器技术及实验

王广君 王巍 梁庆忠 等编
王永涛 赵娟

责任编辑:徐润英

责任校对:戴莹

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×1 092 毫米 1/16

字数:280 千字 印张:10.75

版次:2013 年 6 月第 1 版

印次:2013 年 6 月第 1 次印刷

印刷:荆州鸿盛印务有限公司

印数:1—1 000 册

ISBN 978-7-5625-3012-1

定价:32.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

中国地质大学(武汉)实验教学系列教材

编委会名单

主 任：唐辉明

副主任：徐四平 殷坤龙

编委会委员：(以姓氏笔画顺序)

马 腾 王 莉 牛瑞卿 石万忠 毕克成

李鹏飞 吴 立 何明中 杨明星 杨坤光

卓成刚 罗忠文 罗新建 饶建华 程永进

董元兴 曾健友 蓝 翔 戴光明

前 言

传感器是一种能感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置,它广泛应用于工业控制、环境检测、家庭生活等各个方面。本书主要是为高等学校传感器技术及相关课程而编写的传感器实验教材,目的是通过传感器实验,了解传感器原理以及相关数据采集和信号处理技术。

本书是中国地质大学(武汉)与绿扬电子仪器集团公司合作研制的 CGQ-1000 传感器实验台相配套的实验教材,全书分为四章。第 1 章至第 3 章分别对传感器基本原理、传感器信号数据采集与处理和传感器实验台进行了具体介绍。第 4 章是传感器实验的主要内容,也是本书的核心部分。实验内容包括温度源传感器实验、转动源传感器实验、震动源传感器实验和其他传感器实验。由于 CGQ-1000 型传感器实验台采用的是开放式的设计方式,除了本书介绍的实验内容外,还可根据实际情况选用不同的传感器设计不同的传感器实验。

本书的内容除了第 3 章是基于我们本身研制的实验平台和虚拟仪器外,其他内容参考了大量生产传感器实验台厂家的资料、书籍、论文以及网上一些对传感器及传感器实验内容的介绍,在此一并表示感谢!

本书涉及的传感器实验平台研制由王永涛老师、王巍老师具体完成,虚拟仪器的软件编写和操作使用说明由梁庆忠老师具体完成,赵娟老师帮助查阅了数据采集部分的内容,超声波流量传感器一节由李勇波老师编写。童永娇同学编写了实验平台操作软件和使用说明,其他同学帮助查阅各种资料并绘制了部分插图。本书完稿后,李志华副教授阅读了全书,并提出了修改意见。在此对所有参加本书工作的老师和同学表示感谢。

本书可作为高等学校传感器实验课的实验教材,也可以供相关科技人员参考。由于编者水平有限,时间仓促,书中肯定有不少错误之处,敬请批评指正。

编者

2012 年 11 月

目 录

第 1 章 传感器基本原理	(1)
§ 1.1 传感器的定义、组成和分类	(1)
1.1.1 传感器的定义	(1)
1.1.2 传感器的组成	(1)
1.1.3 传感器的分类	(2)
§ 1.2 传感器的基本特性	(4)
1.2.1 传感器的静态特性	(4)
1.2.2 传感器的动态特性	(7)
§ 1.3 常用传感器器件	(7)
1.3.1 电阻式传感器	(7)
1.3.2 电感式传感器	(8)
1.3.3 电容式传感器	(8)
1.3.4 压电式传感器	(8)
1.3.5 磁电式传感器	(8)
1.3.6 热电式传感器	(9)
1.3.7 光电式传感器	(9)
1.3.8 超声波传感器	(9)
1.3.9 光纤传感器	(11)
1.3.10 智能传感器	(11)
1.3.11 常用传感器选用	(11)
第 2 章 传感器信号数据采集与处理	(13)
§ 2.1 基础知识	(13)
2.1.1 传感器信号的采样原理	(13)
2.1.2 传感器数据采集系统的组成	(21)
§ 2.2 传感器信号调理	(23)
2.2.1 仪表放大器基本概念	(23)

2.2.2	各类仪表放大器简介及应用电路举例	(26)
2.2.3	滤波电路基本概念及电路设计	(34)
§ 2.3	传感器信号采集	(39)
2.3.1	多路模拟开关	(39)
2.3.2	采样/保持器电路	(41)
2.3.3	A/D 转换电路	(44)
2.3.4	数据采集的典型应用	(50)
§ 2.4	基于 PSoC 的传感器数据采集系统	(51)
2.4.1	前端数据调理——放大部分	(52)
2.4.2	前端数据调理——滤波部分	(54)
2.4.3	数组采集-模拟复用器	(55)
2.4.4	数组采集-A/D 转换电路	(56)
§ 2.5	数据传输接口	(57)
2.5.1	串行接口	(57)
2.5.2	并行接口	(62)
2.5.3	USB 接口	(64)
2.5.4	CAN 总线接口	(68)
§ 2.6	基本信号处理方法	(73)
2.6.1	数字滤波技术	(73)
2.6.2	非线性校正	(77)
2.6.3	传感器误差处理	(80)
第 3 章	CGQ-1000 型传感器检测实验平台	(86)
§ 3.1	传感器检测技术实验仪系统介绍	(86)
§ 3.2	系统硬件部分介绍	(87)
3.2.1	主控实验台介绍	(87)
3.2.2	温度源传感器操作介绍	(87)
3.2.3	转动源传感器操作介绍	(87)
3.2.4	无线传感器操作介绍	(89)
3.2.5	其他传感器操作介绍	(90)
§ 3.3	系统软件部分操作介绍	(92)
3.3.1	温度传感器实验操作介绍	(92)
3.3.2	光电传感器或霍尔传感器实验操作介绍	(100)

3.3.3	无线传感器实验操作介绍	(102)
3.3.4	其他传感器实验操作介绍	(103)
3.3.5	实验结束退出	(106)
§ 3.4	多功能虚拟仪器操作介绍	(107)
3.4.1	软件启动	(107)
3.4.2	数字示波器的使用	(107)
3.4.3	频谱分析的使用	(109)
3.4.4	相位差计	(111)
3.4.5	传感器探测	(112)
3.4.6	高频信号发生	(114)
3.4.7	任意波形发生	(115)
3.4.8	频率/计数器	(116)
3.4.9	扫频仪使用	(118)
§ 3.5	实验台操作步骤及常见问题处理	(119)
3.5.1	仪器基本操作步骤	(119)
3.5.2	常见问题处理	(120)
第 4 章	传感器实验	(121)
§ 4.1	温度源传感器实验	(121)
4.1.1	温度源	(121)
4.1.2	温度传感器	(121)
4.1.3	电桥电路及差分放大电路	(122)
4.1.4	单片机数据采集	(123)
4.1.5	显示	(124)
实验一	温度传感器控制系统以及温度源温度控制调节实验	(124)
实验二	PT100 铂电阻温度特性实验	(126)
实验三	集成温度传感器(AD590)温度特性实验	(127)
实验四	K 型热电偶温度特性实验	(128)
实验五	E 型热电偶温度特性实验	(131)
§ 4.2	转动源传感器实验	(132)
实验六	转动传感器控制系统及转动源实验	(133)
实验七	光电传感器控制转速实验	(136)
实验八	开关式霍尔传感器测转速实验	(139)

实验九 磁电式传感器测转速实验.....	(141)
实验十 利用光电传感器控制电机转速实验.....	(142)
§ 4.3 振动源以及应变传感器实验	(143)
实验十一 单臂电桥性能实验(金属箔式应变片).....	(144)
实验十二 半桥性能实验(金属箔式应变片).....	(146)
实验十三 全桥性能实验(金属箔式应变片).....	(147)
实验十四 单臂、半桥、全桥性能比较实验(金属箔式应变片).....	(148)
实验十五 电子秤实验.....	(149)
§ 4.4 其他类型传感器实验	(150)
实验十六 电容传感器实验.....	(150)
实验十七 超声波流量测量实验(开放型自助实验).....	(153)
实验十八 超声波测距实验(开放型自助实验).....	(153)
实验十九 数据采集系统实验.....	(155)
参考文献.....	(158)
附录.....	(159)
附录 1 PT100 铂电阻分度表	(159)
附录 2 K 型热电偶分度表	(160)
附录 3 E 型热电偶分度表	(161)

第1章 传感器基本原理

§ 1.1 传感器的定义、组成和分类

1.1.1 传感器的定义

传感器技术与现代通信技术、计算机技术并列为现代信息技术的三大支柱。计算机相当于人的大脑,通信相当于人的神经,而传感器就相当于人的感觉器官。视觉传感器相当于人的眼睛,如X射线传感器、紫外线传感器、红外线传感器、可见光传感器等;听觉传感器相当于人的耳朵,如超声波传感器、声波传感器等;嗅觉传感器相当于人的鼻子,如气敏传感器;味觉传感器相当于人的舌头,如离子敏传感器;触觉传感器相当于人的皮肤,如压力传感器、温度传感器、湿度传感器等。

根据中华人民共和国国家标准 GB/T 7665—2005《传感器通用术语》,传感器(Transducer/Sensor)的定义是:“能感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用输出信号的器件或装置。”这一定义表明:传感器是测量装置,能感受被测量的变化,完成检测任务;被测量的可以是物理量,也可以是化学量、生物量等;输出信号是某种便于传输、转换、处理、显示的可用信号,如电参量、电信号、光信号、频率信号等,输出信号的形式由传感器的原理确定。

由于各行业的现代测控系统中的信号种类繁多,为了对各种信号进行检测、控制,传感器就必须尽量将被测信号转变为简单且易于处理、传输的信号。电信号满足这些特点,因此传感器又可狭义地定义为:“将被测量转换成电信号输出的测量装置”。

传感器作为测量与控制系统的首要环节,要实现快速、准确、可靠、经济的信息转换,必须具有以下必要条件:

- (1)输出信号与被测量之间具有唯一确定的因果关系,是被测量的单值函数;
- (2)输出信号能够与电子系统、信号处理系统、光学系统匹配,适于传输、转换、处理、显示;
- (3)具有尽可能宽的动态范围、良好的响应特性、足够高的分辨率和信噪比;
- (4)对被测量的干扰尽可能小,尽可能不消耗被测系统的能量,不改变被测系统原有的状态;
- (5)性能可靠稳定,不受被测量参数因素的影响,抗外界干扰能力强等。

1.1.2 传感器的组成

传感器一般由敏感元件、转换元件和测量电路三部分组成,有的还有辅助电源,组成框图如图1-1所示。

敏感元件是直接感受或响应被测量,并按一定的规律转换成与被测量有确定关系的其他

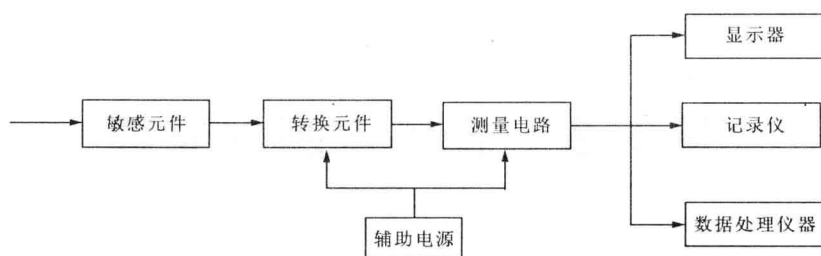


图 1-1 传感器结构图

量(如位移、应变、压力、光强等)的元件。转换元件是将敏感元件输出的非电量转换成适于传输或测量的可用信号,这种可用信号可以是电量(电流、电压、电路参数量等),如热电偶和热敏电阻,也可以是与被测量成确定关系的其他非电量。如差动变压器式压力传感器,将被测压力转化成确定关系的衔铁位移量,然后输出电量。传感器的转换元件可以不止一个,有的要经过若干次转换才能输出信号。敏感元件与转换元件之间并没有严格的界限,有些简单的传感器只有一个敏感元件(也是转换元件),它直接感受被测量并输出可用信号。如热电偶传感器直接将温度转换成热电势输出,电容式位移传感器直接将位移转换成电容的变化。其中的热电偶和电容器既是敏感元件,又是转换元件。测量电路是能把转换元件输出的电信号转换为便于显示、记录、控制和处理的有用信号的电路。由于传感器的输出信号一般都很微弱,常需要有信号调整与转换电路对其进行放大、运算、调制、滤波等。测量电路的类型视传感器的工作原理和转换元件的类型而定,如电桥电路、高阻输入电路等。辅助电源是为测量电路和传感器提供工作的电源。

1.1.3 传感器的分类

传感器用途广泛,原理各异,形式多样,种类繁多。对同一个被测量可以用不同类型的传感器来测量,利用同一原理设计的传感器又可以测量多种被测量。因此传感器的分类方法也不尽相同,常用的分类方法有以下几种。

1.1.3.1 按工作原理分类

传感器按其工作原理划分,将物理、化学和生物等学科的某些机理、规律、效应作为分类依据,一般可分为物理型传感器、化学型传感器、生物型传感器三大类。其中物理型传感器又可分为结构型传感器和物性型传感器,这种分类方法的特点是对传感器的工作原理分析得比较清楚,有利于从原理、设计及应用上进行归纳。

(1)物理型传感器是利用某些敏感元件的物理结构和某些功能材料的物理特性及效应制成的传感器。例如,利用金属电阻丝在被测力的作用下发生机械变形,从而引起电阻量变化而制作的应变式传感器;利用半导体材料在被测力作用下电阻率发生变化,从而引起电阻量变化而制作的压阻式传感器;利用电容器在被测力作用下其极板产生位移,从而引起电容量变化而制作的电容式传感器;利用线圈在磁场中作直线运动或转动时产生感应电势输出而制作的磁电式传感器等。

1)结构型传感器是基于某种敏感元件的结构形状或几何尺寸(如厚度、角度、位置等)的变

化来感受被测量,并转换成可用信号的传感器,如电容式压力传感器。

(2)物性型传感器是利用某些功能材料本身具有的内在特性及效应来感受被测量,并转换成可用信号的传感器,如利用压电特性的石英晶体材料制成的压电式压力传感器,它利用石英晶体的正压电效应实现对压力的测量。

(2)化学型传感器是利用电化学反应原理,将各种化学物质(如电解质、化合物、分子、离子)的状态、成分、浓度等转换成可用信号的传感器,如离子敏传感器。这类传感器具有携带方便、选择性好、灵敏度高、易微型化等特点,广泛应用于化学分析、化学工业的在线检测及环境保护中。

(3)生物型传感器是利用生物反应(酶反应、微生物反应、免疫学反应等)原理,将生物体内的葡萄糖、酶等转换成可用信号的传感器,如葡萄糖酶传感器。这类传感器以生物体活性物质(酶、抗体、抗原等)作为敏感元件,以选择性电极(氧电极、氢电极等)作为转换元件,具有选择性强、分析速度快、操作简单等特点,在生化、医药、环境、食品及军事等领域有着广泛的应用前景。

1.1.3.2 按能量转换关系分类

传感器按被测量与输出量的能量转换关系可分为能量控制型传感器和能量转换型传感器。

(1)能量控制型传感器先将被测量转化成电参量(电阻、电容、电感等)的变化,再依靠外部辅助电源将电参量的变化转换成电能输出,并且由被测量控制输出电能的变化,如电阻式传感器、电容式传感器、电感式传感器等。电阻应变式传感器先将被测应力应变转换成应变片的电阻量变化,应变片作为电阻元件接入电桥电路,电桥工作电源由外部供给,应变片电阻量的变化控制电桥的失衡程度,从而导致测量电桥输出的电压或电流发生变化。这类传感器在进行信号转换时需要外部提供电源,故也称为无源传感器。

(2)能量转换型传感器直接将被测量转换成电能输出,如压电式传感器、磁电式传感器、热电偶传感器、太阳能电池传感器等。磁电式传感器直接将速度或转速转换成感应电势输出,压电式传感器将冲击力转换成电荷输出等。这类传感器在进行信号转换时不需要另外提供电源,也称为有源传感器。

1.1.3.3 按被测量的性质分类

传感器按被测量的性质划分,可分为位移式传感器、速度传感器、加速度传感器、转速传感器、力矩传感器、压力传感器、流量传感器、温度传感器、湿度传感器等。由于这类分类方法按被测量命名,因而能够明确地指出传感器的用途,方便地表示传感器的功能,便于使用者选用。生产厂家和用户都习惯于这种分类方法。

除以上几种常用的分类方法外,还有其他分类方法:

(1)按传感器的工作原理分类,如应变式传感器、电压式传感器、电容式传感器、涡流式传感器、差动变压器式传感器等;

(2)按作用形式可分为主动型传感器和被动型传感器;

(3)按构成可分为基本型传感器、组合型传感器和应用型传感器;

(4)按材料组成可分为陶瓷传感器、半导体传感器、有机高分子材料传感器和气体传感器;

- (5) 根据转换过程可逆与否,可分为单向传感器和双向传感器;
- (6) 根据传感器输出信号,可分为模拟信号传感器和数字信号传感器。

§ 1.2 传感器的基本特性

传感器的基本特性是指其对输入信号进行敏感反应和转换的特征,通常由传感器的输出和输入的关系来反映。由于输出与输入通常是可供观测的量,因此传感器的基本特征是传感器的外部特性。传感器的基本特性反映的是输出与输入是否为具有唯一的对应关系。要考虑对应关系是否有差异及差异的大小,差异就是测量误差。产生测量误差的原因主要取决于传感器的内部物理结构和外部使用环境。

由于传感器所检测的信号主要有稳态信号(静态)和动态信号(周期与瞬变状态)两种形式,传感器对于这两种不同状态的输入信号,其基本特性也不相同,因此传感器的基本特性又有静态特性和动态特性。不同内部结构的传感器有不同的静态特性与动态特性,对测量结果的影响也不相同。

1.2.1 传感器的静态特性

传感器的静态特性是指当被测量 x 不随时间变化,或随时间的变化程度远缓慢于传感器固有的最低阶运动模式的变化程度时,传感器的输出量 y 与输入量 x 之间的函数关系。通常可将其描述为 $y = f(x) = \sum_{i=0}^n a_i x^i$, 其中 a_i 为传感器的标定系数,反映了传感器静态特征曲线的形态。当输入与输出关系为 $y = a_0 + a_1 x$ 时,静态特性为一条直线, a_0 为零位输出, a_1 为静态传递系数(也称为静态增益)。通常传感器的零位是可以补偿的,使静态特性变为 $y = a_1 x$, 这时称传感器为线性的。

传感器的静态特性是通过静态标定或静态校准的过程获得的。静态标定是在一定的标准条件下,利用一定等级的标准设备对传感器进行多次往复测试的过程。评价传感器的静态特性的重要指标有线性度、测量范围、量程、静态灵敏度、分辨力、阈值、漂移等。

1.2.1.1 线性度

传感器的线性度是指传感器的输出与输入之间数量关系的线性程度。输出与输入关系可分为线性特性和非线性特性。从传感器的性能看,希望具有线性关系,即理想输入输出关系。但实际遇到的传感器大多为非线性,如图 1-2 所示。

在实际使用中,为了标定和数据处理方便,希望得到线性关系,因此引入各种非线性补偿环节,如采用非线性补偿电路或计算机软件进行线性化处理,从而使传感器的输出与输入关系为线性或接近线性,但如果传感器非线性的幂次不高,输入量变化范围较小时,可用一条直线(切线或割线)近似地代表实际曲线的一段,使传感器输入输出特性线性化,此时所采用的直线称为拟合直线。

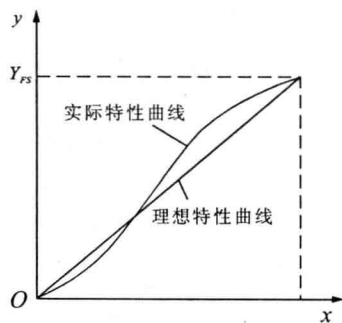


图 1-2 传感器的特性曲线

传感器的线性度可由全量程范围内实际特性曲线与拟合直线之间的最大偏差值 $\Delta L_{\max}$ 与满量程输出值 Y_{FS} 之比来表示。线性度也称为非线性误差,用 γ_L 表示,即 $\gamma_L = \pm \frac{\Delta L_{\max}}{Y_{FS}}$ 。

目前常用的拟合方法有:①理论拟合;②过零旋转拟合;③端点连线拟合;④端点连线平移拟合;⑤最小二乘拟合等。拟合方法①~④如图 1-3 所示。

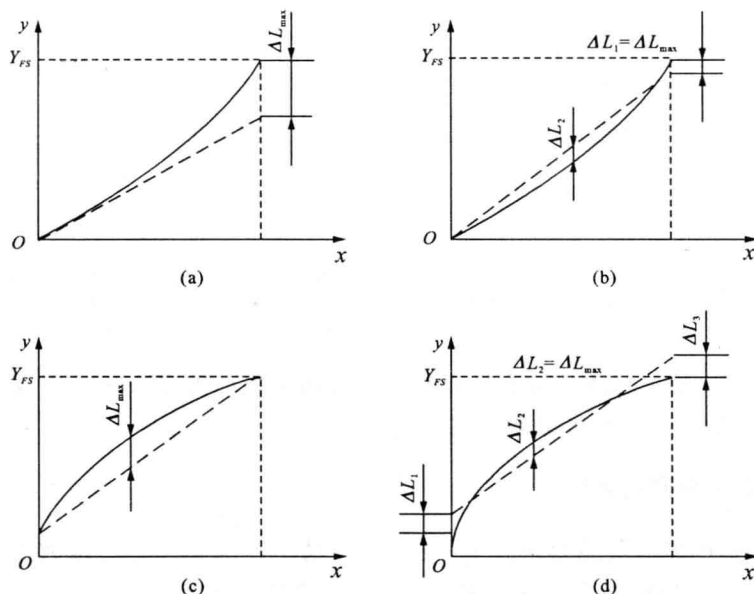


图 1-3 几种直线拟合方法

(a) 理论拟合; (b) 过零旋转拟合; (c) 端点连线拟合; (d) 端点连线平移拟合

(1)理论拟合,拟合直线为传感器的理论特性,与实际测试值无关。该方法十分简单,但一般情况下 $\Delta L_{\max}$ 较大[图 1-3(a)]。

(2)过零旋转拟合,常用于曲线过零的传感器。拟合时,使 $\Delta L_1 = |\Delta L_2| = \Delta L_{\max}$ 。这种方法也比较简单,非线性误差比理论拟合方法小很多[图 1-3(b)]。

(3)端点连线拟合,把输出曲线两端点的连线作为拟合直线。这种方法比较简便,但 $\Delta L_{\max}$ 也较大[图 1-3(c)]。

(4)端点连线平移拟合,在图 1-3(c)基础上使直线平移,移动距离为原 $\Delta L_{\max}$ 的 1/2,这样输出曲线分布于拟合直线的两侧, $\Delta L_2 = |\Delta L_1| = |\Delta L_3| = \Delta L_{\max}$,与图 1-3(c)相比,非线性误差减小 1/2,提高了精度[图 1-3(d)]。

(5)最小二乘拟合(图 1-4),这是最常用的拟合方法。设拟合直线方程为 $y = kx + b$,若实际校准测试点有 n 个,则第 i 个校准数据与拟合直线上响应值之差为 $\Delta_i = y_i - (kx_i + b)$,最小二乘法拟合直线的原理就是使 $\sum \Delta_i^2$ 为最小值,即 $\sum_{i=1}^n \Delta_i^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - (kx_i + b)]^2$ 为最小

值,也就是使 $\sum \Delta_i^2$ 对 k 和 b 一阶偏导数等于零,即
$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial k} \sum_{i=1}^n \Delta_i^2 = 2 \sum (y_i - kx_i - b)(-x_i) = 0 \\ \frac{\partial}{\partial b} \sum_{i=1}^n \Delta_i^2 = 2 \sum (y_i - kx_i - b)(-1) = 0 \end{cases},$$

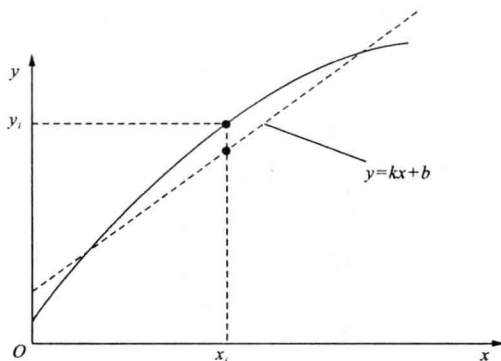


图 1-4 最小二乘拟合

从而求出 k 和 b 的表达式为 $k = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$, $b = \frac{\sum x_i^2 \sum y_i - \sum x_i \sum x_i y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$ 。

在获得 k 和 b 之值后代入拟合直线方程即可得到拟合直线, 然后按公式 $\Delta_i = y_i - (kx_i + b)$ 求出其最大值 $\Delta L_{\max}$, 即可求出非线性误差。

1.2.1.2 测量范围和量程

测量范围是指传感器所能测到的最小被测量(最小输入量) $x_{\min}$ 与最大被测量(最大输入量) $x_{\max}$ 之间的范围。量程是指传感器测量范围的上限值与下限值之差。

1.2.1.3 静态灵敏度

静态灵敏度是指被测量的单位变化量引起的输出变化量, 表达式为 $S = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta y}{\Delta x} \right) = \frac{dy}{dx}$ 。

某一测点表现出的静态灵敏度是其静态特性曲线的斜率。线性传感器的静态灵敏度为常数, 非线性传感器的静态灵敏度为变量。静态灵敏度是重要的性能指标, 它可以根据传感器的测量范围、抗干扰能力等进行选择。对于传感器中的敏感元件, 其灵敏度的选择很重要。一般敏感元件不仅受被测量的影响, 而且也受到其他干扰量的影响。在优选敏感元件的结构及其参数时, 要使敏感元件的输出对被测量的灵敏度尽可能大, 对于干扰量的灵敏度尽可能小。

1.2.1.4 分辨力和阈值

分辨力是指传感器能检测到的最小的输入增量, 用绝对值表示。分辨率是指传感器的最小的输入增量与满量程的百分比, 表达式为 $r_i = \frac{\Delta x_{i, \min}}{x_{\max} - x_{\min}} \times 100\%$, 其中 $\Delta x_{i, \min}$ 为实际标定过程的第 i 个观测点 x_i 处的分辨力。

阈值是指当一个传感器的输入从零开始极缓慢地增加, 只有在达到了某一最小值后, 才测得出输出的变化, 这个最小值就是阈值, 阈值就是传感器在零点附近的分辨力。

分辨力说明了传感器最小的可测出的输入增量, 阈值说明了传感器最小可测出的输入量。

1.2.1.5 漂移

当传感器的输入和环境温度不变时,输出量随时间变化的现象就是漂移,又称为时漂。它是因传感器内部各个环节性能不稳定或内部温度变化引起的,是反映传感器稳定性的指标。通常考察传感器漂移的时间范围可以是一小时、一天、一个月、半年、一年等。

由外界环境温度变化引起的输出量变化的现象称为温漂,温漂可以从两个方面来考察:一方面是零点漂移,即传感器零点处的温漂,反映了温度变化引起传感器特性曲线平移而斜率不变的漂移;另一方面是满量程漂移。

1.2.1.6 迟滞

传感器在输入量由小到大(正行程)及输入量由大到小(反行程)变化期间其输入输出特性曲线不重合的现象称为迟滞(图1-5)。即对于同一大小的输入信号,传感器的正反行程输出信号大小不相等,这个差值称为迟滞差值。传感器在全量程范围内最大的迟滞差值 $\Delta H_{\max}$ 与满量程输出值 Y_{FS} 之比称为迟滞误差,用 γ_H 表示,即 $\gamma_H =$

$$\frac{\Delta H_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\%。$$

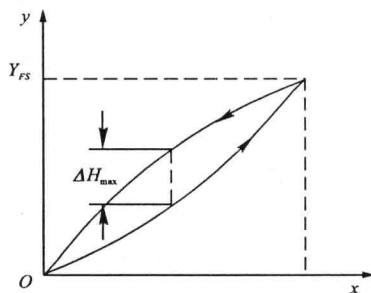


图1-5 迟滞差值示意图

产生这种现象的主要原因是由于传感器敏感元件材料的物理性质和机械零部件的缺陷所造成的,例如弹性敏感元件弹性滞后、运动部件摩擦、传动机构的间隙、紧固件松动等。迟滞误差又称为回差或变差。

1.2.2 传感器的动态特性

传感器的动态特性是指传感器的输出对随时间变化的输入量的响应特性,通常可将其描述为 $y(t) = f[x(t)]$ 。反映输出值真实再现变化着的输入量的能力。对于理想传感器, $y(t)$ 与 $x(t)$ 的时间函数表达式相同;实际上,传感器 $y(t)$ 与 $x(t)$ 的时间函数在一定条件下基本保持一致。动态特性比较复杂,本实验台暂时不需要这方面的数据处理知识,故在此不作介绍。

§ 1.3 常用传感器器件

根据传感器工作原理,传感器通常可以分为电阻式、电感式、电容式、压电式、磁电式、热电式、光电式、光导纤维式、超声波式、微波式、光纤光栅式等。下面对常用的传感器元件进行介绍。

1.3.1 电阻式传感器

电阻式传感器是将被测量转换成材料的电阻变化,通过测量此电阻量达到测量被测量的目的。在物理学中已经阐明,导电材料的电阻不仅与材料的类型、几何尺寸有关,还与温度、湿度和形变等因素有关,不同导电材料,对同一被测量的敏感程度也不同,甚至差别很大。因而根据不同的物理原理就制成了各种各样的电阻式传感器,用于测量力、压力、位移、应变、加速

度、湿度等被测量。

电阻式传感器的特点是结构简单,使用方便,性能稳定、可靠;灵敏度高,频率响应特性好,适合于静态和动态测量;环境适应性好,应用领域广泛。

常用的电阻式传感器有应变式、压阻式和电位器式传感器。

1.3.2 电感式传感器

电感式传感器是利用线圈自感或互感的变化来实现测量的一种装置,常用来测量位移、振动、压力、流量、重量、力矩、应变等多种被测量。电感式传感器的核心是可变自感或互感,在被测量转换成线圈自感或互感时,一般要利用磁场作为媒介或利用铁磁体的某些现象。这类传感器的主要特征是具有线圈绕组。

电感式传感器具有结构简单可靠、输出功率大、抗干扰能力强、对工作环境要求不高、分辨率可达 $0.1\mu\text{m}$ 、示值误差为示值范围的 $0.1\%\sim 0.5\%$ 、稳定性好等优点。但其频率响应低,不适于快速动态测量。一般情况下,电感式传感器的分辨率和示值误差都与示值范围有关。示值范围越大,分辨率和示值精度将相应降低。

常用的电感式传感器有利用自感原理的自感式传感器,利用互感原理的差动变压器式传感器和感应同步器,利用涡流效应的涡流式传感器,利用压磁效应的压磁式传感器等。

1.3.3 电容式传感器

电容式传感器是将被测量的变化转换成电容量变化的一种装置。它具有结构简单、灵敏度高、动态特性好、可实现非接触测量等一系列优点,不仅能测量荷重、位移、振动、角度、加速度等机械量,还能测量压力、液位、湿度、温度、成分含量等其他参量。

电容式传感器与电感式传感器相比,有测量范围大、灵敏度高、动态响应时间短、结构简单、适应性强等优点。常用的电容式传感器有容栅位移传感器、差动电容传感器和集成电容式传感器等。

1.3.4 压电式传感器

压电式传感器是一种典型的有源传感器,它以某些电介质的压电效应为基础,在外力作用下,电介质表面产生电荷,从而实现外力与电荷量之间的转换,达到非电量的电测目的。

压电式传感器具有工作频率宽、灵敏度高、信噪比高、结构简单、工作可靠、体积小、重量轻等优点,广泛应用于工程力学、电声学、生物医学等领域的动态测量。常用的压电式传感器有压电式压力传感器、压电式超声波传感器和压电式加速度传感器等。

1.3.5 磁电式传感器

磁电式传感器是将磁信号转换成电信号或电参量的装置。利用磁场作为媒介可以检测很多物理量,如位移、振动、力、转速、加速度、流量、电流、电功率等。它不仅可实现非接触测量,而且不从磁场中获取能量。

磁电式传感器具有灵敏度高、体积小、功耗低、动态性能好、噪声小等优点。广泛应用于地面振动测量及机载振动监视系统中旋转设备转速测量等。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、磁敏电阻、磁敏二极管、磁敏三极管等。