

传感器原理

(第二版)

余瑞芬

主编

航空工业出版社



3.8621
257

传 感 器 原 理

(第二版)

余瑞芬 主编

航空工业出版社

1995

内 容 提 要

本书详细阐述各类传感器的基本概念、基本原理和基本分析方法,还择要介绍了主要传感器的设计原则和方法。全书共有16章,分别讲述传感器的特性、各类结构型传感器、物性传感器、光纤传感器、智能传感器等以及有关的测试电路,具有科学性、先进性、理论性和实用性。

本书用作仪表与测试、自动控制、计算机应用、精密仪器、机电一体化等专业的教科书,也可供其他专业师生和有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

传感器原理/余瑞芬主编. —2版(修订本). —北京:
航空工业出版社,1995.8

ISBN 7-80046-901-8

I. 传… II. 余… III. 传感器-基本知识 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 03876 号

2025/18

航空工业出版社出版发行

(北京市安定门外小关东里14号 100029)

北京地质印刷厂印刷 全国各地新华书店经售

1995年8月第2版

1995年8月第2次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:22.25 字数:554千字

印数:6101—9800

定价:19.50元

7100128

前 言

传感器技术在信息时代的重要地位已越来越被人们所关注。传感器的发展正处在方兴未艾的热潮中,国内外已将传感器技术列入重点发展的高科技领域之中。近年来,传感器技术方面的教材和专著陆续问世,这反映了人们对信息资源的需要日益增长。为了适应对传感器的开发、应用和专业知识的拓宽的需要,我们集原教材《传感器原理》(第一版)的特色,继承其精髓,又在第一次修改的基础上重新整理和改编,各章节的内容均有所增删,并新编了第2、10、13、14等章。

本书内容丰富、新颖,具有一定深度和广度,集合了南航、北航、西工大三个航空院校从事传感器教学和科研的教师们数十年的实践经验。在叙述方法上力求做到由浅入深、简明扼要、理论联系实际,因此,本书既是一本教科书,又是一本可供从事传感器与测试技术的工程技术人员阅读的参考书。

本书共分16章,除绪论外还附有国际单位制换算表,全书均采用国家法定计量单位。参加本书编写的同志有:北京航空航天大学孙德辉教授(第1、2、3、5章),西北工业大学孙希任教授(第13章),王墨君副教授(第10、12、15章),南京航空航天大学吴志鹤教授(第7、8、11、14章及附录),余瑞芬教授(第4、6、9、16章)。余瑞芬教授任主编。

本书由东南大学黄维一教授主审。

《传感器原理》教材第一版问世以来,在广大读者和全国兄弟院校同行教师的支持下,荣幸地获得了国务院颁发的优秀教材奖。在本书重新编写前,他们又给予了许多具体的建议、热情的帮助和宝贵的素材,南航赵敏副教授无私提供了智能传感器和测试电路方面许多有用的图文资料,编者在此一并致以诚挚谢意。

传感器技术涉及学科众多,编者的水平有限,书中疏漏不妥之处在所难免,恳请广大读者指正。

编 者

1994年8月

目 录

绪 论	(1)
第1章 传感器的一般特性	(4)
1.1 传感器静态特性的一般知识	(4)
1.1.1 静特性的表示方法	(4)
1.1.2 静特性的求法	(7)
1.2 传感器的主要静态性能指标	(7)
1.2.1 测量范围和量程	(7)
1.2.2 分辨力和阈值	(7)
1.2.3 灵敏度	(8)
1.2.4 迟滞	(9)
1.2.5 重复性	(9)
1.2.6 线性度	(11)
1.2.7 符合度	(17)
1.2.8 零漂及温漂	(17)
1.2.9 总精度	(18)
1.2.10 总精度计算实例	(21)
1.3 传感器的动态特性	(25)
1.3.1 动态特性的一般数学模型	(25)
1.3.2 传递函数	(26)
1.3.3 动态响应	(27)
1.3.4 动态性能指标	(34)
第2章 传感器的弹性敏感元件	(36)
2.1 引言	(36)
2.2 弹性敏感元件的基本特性	(36)
2.2.1 弹性特性	(36)
2.2.2 弹性滞后	(37)
2.2.3 弹性后效与蠕变	(37)
2.2.4 固有振动频率	(37)
2.3 弹性敏感元件所用的材料	(37)
2.4 常用弹性敏感元件特性参数的计算	(38)
2.4.1 弹性圆柱(实心或空心)	(38)
2.4.2 悬臂梁	(40)
2.4.3 扭转圆柱	(41)
2.4.4 圆形平膜片	(41)
2.4.5 弹簧管	(42)

2.4.6 波纹管	(43)
第3章 电位器式传感器	(46)
3.1 基本构造及工作原理	(46)
3.2 线性电位器	(47)
3.2.1 理想特性、灵敏度	(47)
3.2.2 阶梯特性、阶梯误差、分辨力	(48)
3.3 非线性电位器	(49)
3.3.1 功用及分类	(49)
3.3.2 灵敏度及其与结构参数的关系	(50)
3.4 电位器的负载特性及负载误差	(52)
3.5 结构与材料	(55)
3.5.1 电阻丝	(55)
3.5.2 电刷	(56)
3.5.3 骨架	(57)
3.6 非线性绕式电位器	(58)
第4章 应变式传感器	(60)
4.1 电阻应变片(计)的工作原理	(60)
4.1.1 金属的电阻应变效应	(60)
4.1.2 电阻应变片的结构和工作原理	(60)
4.1.3 横向效应及横向灵敏度	(62)
4.2 电阻应变片的种类、材料和参数	(64)
4.2.1 电阻应变片的种类	(64)
4.2.2 电阻应变片材料	(66)
4.2.3 应变片的主要参数	(69)
4.3 电阻应变片的动态响应特性	(70)
4.3.1 应变波的传播过程	(71)
4.3.2 应变片可测频率的估算	(71)
4.4 电阻应变片的温度误差及其补偿方法	(73)
4.4.1 温度误差及其产生原因	(73)
4.4.2 温度补偿方法	(75)
4.5 电桥原理及电阻应变片桥路	(77)
4.5.1 电桥原理	(77)
4.5.2 电桥的非线性误差及其补偿	(79)
4.5.3 电阻应变仪	(80)
4.6 应变式传感器	(82)
4.6.1 应变式力传感器	(82)
4.6.2 应变式压力传感器	(84)
4.6.3 应变式位移传感器	(86)
第5章 电容式传感器	(89)

5.1	工作原理、分类及应用	(89)
5.2	主要特性	(91)
5.2.1	特性曲线、灵敏度、非线性	(91)
5.2.2	等效电路	(95)
5.2.3	高阻抗、小功率	(95)
5.2.4	静电吸力	(95)
5.3	测量线路	(95)
5.3.1	电桥线路	(95)
5.3.2	二极管式线路	(97)
5.3.3	差动脉冲宽度调制线路	(99)
5.3.4	运算放大器式线路	(100)
5.4	电容式传感器的结构、结构稳定性及抗干扰问题	(101)
5.4.1	结构实例	(101)
5.4.2	温度变化对结构稳定性的影响	(102)
5.4.3	温度变化对介质介电常数的影响	(103)
5.4.4	绝缘问题	(103)
5.4.5	寄生电容的干扰及防止	(104)
第6章	变磁阻式传感器	(106)
6.1	电感式传感器	(107)
6.1.1	简单电感传感器	(107)
6.1.2	差动式电感传感器	(113)
6.1.3	螺管式电感传感器	(115)
6.1.4	主要误差分析	(118)
6.2	差动变压器式传感器	(120)
6.2.1	工作原理	(120)
6.2.2	螺管型差动变压器	(121)
6.3	电涡流传感器	(129)
6.3.1	工作原理	(129)
6.3.2	等效电路分析	(130)
6.3.3	结构特点	(131)
6.3.4	测量电路	(132)
6.3.5	电涡流式传感器的应用	(133)
6.4	电感传感器和差动变压器的工程设计方法	(135)
6.4.1	设计步骤	(136)
6.4.2	设计举例	(138)
第7章	磁电式传感器	(141)
7.1	概述	(141)
7.2	磁电式振动传感器	(142)
7.2.1	工作原理和动态特性	(142)

7.2.2	结构特点	(144)
7.3	设计基础	(146)
7.3.1	磁路计算	(146)
7.3.2	工作气隙设计	(147)
7.3.3	线圈组件设计	(148)
7.3.4	固有频率的确定和弹簧刚度的计算	(148)
7.3.5	阻尼系数计算	(149)
7.4	应用	(150)
7.4.1	振动测量	(150)
7.4.2	扭矩测量	(151)
7.4.3	流量测量	(152)
第8章	压电式传感器	(153)
8.1	压电效应	(153)
8.1.1	石英晶体的压电效应	(153)
8.1.2	压电陶瓷的压电效应	(154)
8.1.3	压电常数和表面电荷的计算	(155)
8.2	压电材料	(158)
8.2.1	压电晶体	(158)
8.2.2	压电陶瓷	(160)
8.2.3	聚偏二氟乙烯(PVF ₂)	(160)
8.3	压电式传感器的等效电路	(161)
8.4	压电式传感器的测量线路	(162)
8.4.1	电压放大器	(162)
8.4.2	电荷放大器	(164)
8.5	压电式加速度传感器	(165)
8.5.1	工作原理	(165)
8.5.2	频响特性	(165)
8.5.3	结构	(168)
8.6	压电式力和压力传感器	(170)
8.6.1	压电式力传感器	(170)
8.6.2	压电式压力传感器	(171)
8.6.3	压电式压力传感器的加速度补偿	(172)
8.7	压电式超声波传感器	(173)
8.7.1	压电元件的振动形式	(173)
8.7.2	超声波传感器	(174)
8.8	压电式传感器的误差	(175)
8.8.1	环境温度的影响	(175)
8.8.2	环境湿度的影响	(176)
8.8.3	横向灵敏度	(177)

8.8.4	基座应变的影响	(177)
8.8.5	声噪声	(177)
8.8.6	电缆噪声	(178)
8.8.7	接地回路噪声	(178)
第9章	谐振式传感器	(179)
9.1	基本知识	(179)
9.1.1	谐振现象的实质和力矢量图	(179)
9.1.2	品质因数 Q	(180)
9.1.3	谐振元件的刚度与谐振频率关系	(181)
9.2	振动筒式传感器	(181)
9.2.1	结构特点与工作原理	(181)
9.2.2	振动频率与压力的关系	(184)
9.2.3	测量线路及线性化处理	(185)
9.2.4	误差分析与补偿方法	(189)
9.3	石英谐振式传感器	(191)
9.3.1	概述	(191)
9.3.2	石英谐振压力传感器	(192)
9.4	振动梁式传感器	(194)
9.4.1	工作原理	(195)
9.4.2	输出特性	(196)
第10章	光电式传感器	(197)
10.1	光电效应及光电器件	(197)
10.1.1	外光电效应	(197)
10.1.2	光电管器件	(198)
10.2	光电导型光电传感器	(199)
10.2.1	光电导效应	(199)
10.2.2	光敏电阻	(199)
10.3	光伏型光电传感器	(203)
10.3.1	光伏特效应	(203)
10.3.2	光电池	(204)
10.3.3	光敏二极管和光敏三极管	(205)
10.3.4	光电传感器的应用	(211)
10.4	电荷耦合器件(CCD)	(214)
10.4.1	CCD 基本结构和工作原理	(214)
10.4.2	CCD 图像传感器	(217)
10.4.3	CCD 图像传感器的应用	(219)
10.5	热释电探测器	(221)
第11章	光纤传感器	(225)
11.1	光纤	(225)

11.1.1	结构和种类	(225)
11.1.2	传光原理	(226)
11.1.3	光纤的集光能力	(227)
11.1.4	传光损耗	(228)
11.2	光纤传感器的分类	(230)
11.3	功能型光纤传感器	(231)
11.3.1	相应调制型光纤传感器	(231)
11.3.2	光强调制型光纤传感器	(237)
11.3.3	偏振态调制型光纤传感器	(238)
11.4	非功能型光纤传感器	(239)
11.4.1	光强调制型光纤传感器	(239)
11.4.2	频率调制型光纤传感器	(249)
第 12 章	热电式传感器	(250)
12.1	热电势式测温传感器	(250)
12.1.1	热电偶测温原理	(250)
12.1.2	热电偶的基本定律	(253)
12.1.3	热电偶的误差及补偿措施	(254)
12.1.4	常用热电偶结构及特性	(257)
12.1.5	热电偶测温线路	(259)
12.2	热电阻式传感器	(260)
12.2.1	热电阻测温原理	(260)
12.2.2	金属测温电阻器	(261)
12.2.3	半导体热敏电阻器	(263)
12.3	其他测温传感器	(266)
12.3.1	磁式温度传感器	(266)
12.3.2	电容式温度传感器	(266)
12.3.3	利用晶体管特性的测温传感器	(266)
12.3.4	薄膜热敏传感器	(268)
第 13 章	气湿敏传感器	(270)
13.1	气敏传感器	(270)
13.1.1	半导体气敏传感器	(270)
13.1.2	非电阻式半导体气敏传感器	(273)
13.1.3	固体电解质气敏传感器	(274)
13.1.4	气敏传感器应用举例	(274)
13.2	湿敏传感器	(275)
13.2.1	湿敏传感器的主要性能参数和一般技术要求	(276)
13.2.2	烧结型半导体陶瓷湿敏传感器	(277)
13.2.3	多孔氧化物湿敏传感器	(280)
13.2.4	结型和 MOS 型湿敏传感器	(284)

13.2.5 其他湿敏传感器	(285)
第14章 磁敏传感器	(288)
14.1 霍尔传感器	(288)
14.1.1 霍尔效应和霍尔元件	(288)
14.1.2 霍尔传感器	(290)
14.2 磁阻传感器	(291)
14.2.1 磁阻效应和磁阻元件	(291)
14.2.2 磁阻传感器	(293)
14.3 磁敏二极管和磁敏三极管	(293)
14.3.1 磁敏二极管	(293)
14.3.2 磁敏三极管(晶体管)	(294)
14.3.3 利用磁敏二极管和三极管的传感器	(295)
第15章 压阻式传感器	(298)
15.1 概述	(298)
15.2 晶向的表示方法	(299)
15.3 压阻系数	(301)
15.3.1 单晶硅的压阻系数	(301)
15.3.2 影响压阻系数大小的因素	(306)
15.4 压阻式传感器	(307)
15.4.1 压阻式压力传感器	(307)
15.4.2 压阻式加速度传感器	(311)
15.4.3 压阻式传感器的输出	(312)
15.5 扩散电阻的阻值与几何尺寸的确定	(313)
15.6 温度漂移的补偿	(315)
15.7 一种解算的输出电路	(317)
第16章 智能传感器	(318)
16.1 概述	(318)
16.1.1 智能传感器的概念	(318)
16.1.2 智能传感器和普通传感器的区别	(319)
16.2 智能传感器输出信号的预处理	(320)
16.2.1 传感器输出信号的分类	(320)
16.2.2 开关信号的预处理	(320)
16.2.3 模拟信号预处理	(320)
16.3 数据采集	(322)
16.3.1 数据采集的配置	(322)
16.3.2 采样周期的选择	(323)
16.3.3 A/D转换器的选择	(323)
16.4 智能传感器的数据处理技术	(323)
16.4.1 数据处理包含的内容	(324)

16.4.2	标度变换技术·····	(324)
16.4.3	非线性补偿技术·····	(326)
16.4.4	传感器的温度误差补偿·····	(328)
16.4.5	数字滤波技术·····	(330)
16.5	智能传感器的硬件设计·····	(331)
16.5.1	正确选择微处理机·····	(331)
16.5.2	智能传感器的输入输出技术·····	(332)
16.5.3	智能传感器实例·····	(336)
附 录	国际单位制(SI)的主要单位及换算表·····	(338)
参考文献	·····	(343)

绪 论

一、传感器的定义及其重要性

传感器是一种测量装置,它能感受或响应规定的被测量,并按照一定规律转换成可用输出,以满足信息的转换、处理、存储、记录、显示和控制等要求。

在被称为信息化社会的今天,人们对科学技术方面的要求更加严格。若将信息化社会与人体相比拟,电子计算机便相当于人的大脑。大脑是要通过人的五种感觉器官(视觉、听觉、嗅觉、味觉和触觉)感受外界刺激并做出反响的。“感官”这种受刺激的元件就是传感器,故传感器又称为“电五官”。传感器能把各种物理量、化学量、生物量和状态量变换成有用信号,便于远距离传输、处理、存储和控制。

传感器是实现自动检测和自动控制的首要环节,如果没有传感器对原始参数进行精确可靠的测量,那么无论是信号转换、信息处理、或者最佳数据的显示与控制,都将成为一句空话。可以说,没有精确可靠的传感器,就没有精确可靠的自动检测和控制系统。现代微电子技术和计算机为信息的转换与处理提供了极其完善的手段,近代检测与控制系统正经历着重大的变革,但是,如果没有各种传感器去检测大量原始数据并提供信息,那么,电子计算机也无法发挥其应有的作用。

在现代飞机上,装备着繁多的显示与控制系统,以保证各种飞行任务的完成。在这些系统中,传感器首先对反映飞行器的飞行参数和姿态、发动机工作状态的各个物理参数加以检测,并显示在各类显示器上,提供给驾驶员和领航员去控制和操纵飞行器。

近年来,传感器在生物医学和医疗器械工程方面也显露出广阔的前景。它将人体内各种生理信息转换成工程上容易测定的量(一般是电量),从而正确地显示出人体生理信息。传感器还渗透到人们的日常生活中,如用于家庭电器中温度和湿度的测控、煤气泄漏报警等。

可见,传感器在科学研究、工业自动化、非电量电测仪表、医用仪器、家用电器、航空航天、军事技术等方面起着极为重要的作用。

二、传感器的发展

传感器的使用,已有相当长的历史,过去人们把它叫做变换器或换能器,它既是技术产品中的老成员,又是科技发展中的新秀,其发展方兴未艾,前途无量。

早期以测量物理量为主的传感器,如电位器、应变式和电感式传感器等都是利用机械结构的位移或变形来完成非电量到电量的变换。由于新材料、新工艺、新原理的出现,机械结构型传感器在精度、稳定性方面有了很大提高。最近出现了谐振式、石英电容式这样一些稳定可靠的高精度结构型传感器。迄今为止,结构型传感器在国防、工业自动化、自动检测等许多领域中仍占有相当大的比重。

随着各种半导体材料和有机高分子功能材料的发展,传感器技术又获得了新的发展天地。利用材料的压阻、湿敏、热敏、光敏、磁敏及气敏等反应,可把温度、湿度、光量、气体成分等物理量变换成电量,由此研制出的传感器称为物性传感器。这种传感器具有结构简单、体积小、重量

轻、反应灵敏、易于集成化、微型化等优点,引起传感器学术科技界的重视。而大量的半导体材料、功能陶瓷和有机聚合物的新发展,则为物性传感器的发展提供了坚实的基础。更由于宽广的市场需求,刺激了各类廉价物性传感器的发展,促进了传感器的小型化。但是,在要求高可靠性高稳定性的使用场合以及恶劣环境条件下,物性传感器还有不少问题有待解决,但是这类传感器的发展前途很大。

近年来,微电子技术和微处理机技术进入传感器领域后,传感器技术出现了新的突破,测量不再仅仅是实时的处理,而是把测量从时间的限制中解放出来。传感器与微电脑的“硬件”和“软件”集合于一体,特别是与“软件”的有机结合,可以把获得的信息进行存储、数据处理、控制及打印,从而扩展了功能,提高了精度,而且在对环境条件的适应性,对信息的识别等方面大大优于传统的单功能传感器,此类传感器称之为智能传感器。目前在世界先进国家中,人们对传感器的智能化极为关注,正在花大力气进行研究和发

展。许多利用新原理制作的各种新型传感器正在不断涌现出来。如一种响应速度极快的红外探测器,就是根据超导体量子力学的隧道效应(即约瑟夫效应)制成的传感器,它对光通信的贡献非常大。又如图像装置中的电荷耦合器件(CCD)就是能把光学图像信号转换成电信号的一种功能传感器,十分引人注目。

综上所述,人们正竞相发展小型化、集成化、智能化的传感器,并且为不断满足测试技术的各种需要而努力开拓新型传感器。

三、传感器的分类

传感器的分类方法很多,国内外尚无统一的方法。本书按两种方法即按被测量和测量原理来分。

1. 按被测量分类

这种分类方法列于表 I,包括了输入的基本被测量和由此派生的其他量。

表 I 传感器输入被测量一览表

基本被测量	派生的被测量	基本被测量	派生的被测量
热 工 量	温度,热量,比热,压力,压差,真空度,流量,流速,风速	物 理 量	粘度,湿度,密度
		化 学 量	气体(液体)化学成分,浓度,盐度
机 械 量	位移,尺寸,形状,力,应力,力矩,振动,加速度,噪声,角度,表面粗糙度	生 物 量	心音,血压,体温,气流量,心电流,眼压,脑电波
		光 学 量	光强,光通量,辐射能量

2. 按测量原理分类

这种分类方法列于表 II。

表 II 传感器变换原理一览表

变 换 原 理	传 感 器 举 例
变电阻	电位器式,应变式,压阻式,光敏,热敏
变磁阻	电感式,差动变压器式,涡流式
变电容	电容式,湿敏
变谐振频率	振动膜(筒、弦、梁)式
变电荷	压电式
变电势	霍尔式,感应式,热电偶

四、本课程的目的、内容及与其他课程的关系

本课程是仪表与测试技术类专业的专业课之一。要求学生掌握几种常用传感器的原理、输出特性、误差补偿方法以及工程设计方法。对于一些新型传感器,要求掌握其基本原理和误差分析方法。本书以结构型传感器为主,对有发展前途的新型传感器也作了较多介绍,如谐振式、智能式、光纤式、气湿敏式传感器等。传感器各章自成体系,便于讲授时删减。

由于传感器属交叉学科,涉及的知识面较广,其原理是基于各种物理、化学现象和物理、化学效应上的,而测量电路是以模拟—数字电路为基础的,智能传感器还需要微处理机和汇编程序设计知识。如果要进一步学习传感器的设计与制造,还应掌握仪表电器材料、工艺、误差理论等方面的知识。因此,要成为一个优秀的传感器工程技术人员,必须具有扎实的理论基础和多学科的综合知识。

第1章 传感器的一般特性

传感器所测量的量(物理量、化学量及生物量等)经常会发生各种各样的变化。例如,在测量某一液压系统的压力时,压力值在一段时间内可能很稳定,而在另一段时间内则可能有缓慢起伏,或者呈周期性的脉动变化,甚至出现突变的尖峰压力。传感器主要通过其两个基本特性——静态特性和动态特性来反映被测量的这种变动性。所谓静态特性是指当被测量处于稳定状态或缓慢变化时(即静态测量下),传感器的输出值与输入值之间关系的数学表达式、曲线或数表。借助实验方法确定传感器静态特性的过程称为静态校准,校准时获得的静态特性称为校准特性。当校准使用的仪器设备有足够高的精度时,工程上常将校准特性作为传感器的实际特性看待。在多数情况下,可根据校准数据来合理地选择理论特性。取线性特性作为理论特性的传感器称为线性传感器。

1.1 传感器静态特性的一般知识

传感器的静态特性系指传感器在静态工作状态下的输入输出特性。所谓静态工作状态是指传感器的输入量恒定或缓慢变化而输出量也达到相应的稳定值时的工作状态。这时,输出量为输入量的确定函数。

传感器的静态特性是通过各静态性能指标来表示的,它是衡量传感器静态性能优劣的重要依据。例如,传感器的总精度就是一个最重要的综合的静态性能指标。不过,本章主要讨论的是传感器的各种分项性能指标,并简要地研究它们的综合问题。静态特性是传感器使用的重要依据。传感器的出厂说明书中一般都列有其主要的静态性能指标的额定数值。

1.1.1 静特性的表示方法

一、静特性的方程表示方法

如果不考虑传感器特性中的迟滞及蠕变等性质时,或者传感器虽然有迟滞及蠕变等但仅考虑其理想的平均特性时,其静特性方程在多数情况下可以写成如下的代数多项式形式:

$$Y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \cdots + a_nx^n \quad (1-1)$$

式中: x ——传感器的输入量,即被测量;

Y ——传感器的输出量,即测量值。 Y 表示传感器的理论输出量,其某一实际输出量则用 y 表示;

$a_0, a_1, \cdots, a_n$ ——决定特性曲线形状和位置的系数,一般通过传感器的校准试验数据经曲线拟合求出,它们可正可负。

实际使用中的大多数传感器,其用代数多项式表示的特性方程的次数并不高,一般不超过五次。根据传感器的实际特性所呈现的特点和实际应用场合的具体需要,其静特性方程并非一定要表示成(1-1)式所确定的完整形式。比较常见的情况有:

1. 当 $a_2, a_3, \cdots, a_n = 0$ 时, $Y = a_0 + a_1x$,特性曲线是一条不过零的直线,如图1-1(a)所示。这

就是线性传感器的特性。

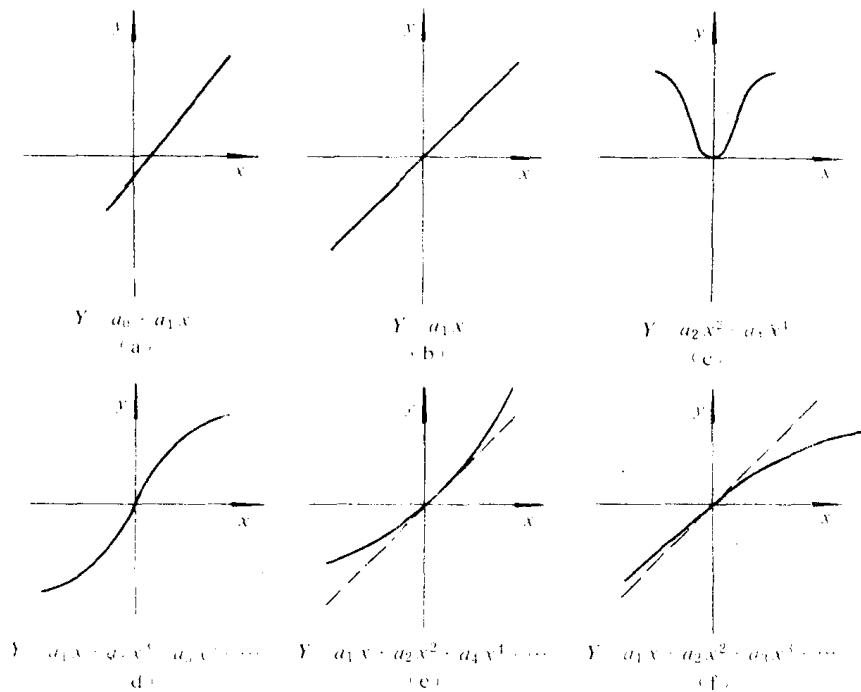


图 1-1 传感器的几种典型静态特性示意图

2. 当 $a_0, a_2, \dots, a_n = 0$ 时, $Y = a_1x$, 特性曲线是一条过零的直线, 如图 1-1(b) 所示。这是线性传感器比较理想的特性。
3. 当 $a_0, a_1, a_3, a_5, \dots = 0$ 时, 方程只包含偶次方项, 特性曲线对 Y 轴对称, $Y = a_2x^2 + a_4x^4 + \dots$, 如图 1-1(c) 所示。通常, 实际特性可能不过零 (当 $a_0 \neq 0$ 时)。
4. 当 $a_0, a_2, a_4, \dots = 0$ 时, 方程仅包含奇次方项, 特性曲线对原点对称。 $Y = a_1x + a_3x^3 + a_5x^5 + \dots$, 如图 1-1(d) 所示。不少差动式或推挽式传感器具有这种特性, 其在原点附近的线性段是比较有利的工作段。通常, 实际特性还可能不过零点。
5. 当 $a_0, a_3, a_5, \dots = 0$ 时, 方程仅包含一次方项和偶次方项, $Y = a_1x + a_2x^2 + a_4x^4 + \dots$, 特性曲线具有零点附近的较小线性段, 但不具对称性, 如图 1-1(e) 所示。通常, 实际特性也可能不过零。
6. 当 $a_0 = 0$ 时, 特性曲线通过零点, 不具对称性, 在一个方向可能有一定线性段, $Y = a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \dots$ 。通常实际特性也可能不过零。

传感器及其元部件的静态特性方程除在多数情况下可用代数多项式表示以外, 在一些情况下则以非多项式的函数形式来表示更为合适。图 1-2 所示为几种可选用的非多项式函数及其图线。

二、静特性的曲线表示法

要使传感器和计算机联机使用, 传感器的静特性用数学方程表示是必不可少的。但是, 为了直观地、一目了然地看出传感器的静特性曲线, 使用图线来表示静特性显然是较优越的方式。图线能表示出传感器特性的变化趋势以及何处有最大或最小的输出, 何处传感器灵敏度高, 何处低。当然, 也能通过其特性曲线, 粗略地判别出是线性或非线性传感器。