



全国高等职业教育规划教材

传感器技术及实训

主 编 陈东群



电子课件下载网址 www.cmpedu.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

全国高等职业教育规划教材

传感器技术及实训

陈东群 主 编
周冀馨 张 洋 参 编



机械工业出版社

本书综述了传感器技术的基本理论,详细介绍了各类传感器的工作原理、基本结构、相应的测量电路,并给出了应用实例,结合高职机电、电子类各专业的教学特点,在第10章增加了典型综合应用实例,列举了传感器在家用电器、机器人中的应用。本书重点强调了技能训练,全书共分11章,除了前8章中每章后面的综合技能实训外,最后一章还介绍了成套通用传感器实训系统的构造特点、配置,精选了12个实训指导。

本书可作为高职高专院校电气自动化、机电一体化、数控技术、应用电子、电子信息等专业的教材,也可供其他相关专业学生使用,同时还可作为广大工程、维修技术人员学习、参考用书。

本书配套授课电子教案,需要的教师可登录 www.cmpedu.com 免费注册、审核通过后下载,或联系编辑索取(QQ: 1239258369, 电话: 010-88379739)。

图书在版编目(CIP)数据

传感器技术及实训/陈东群主编. —北京:机械工业出版社, 2012. 2
全国高等职业教育规划教材
ISBN 978-7-111-36247-0

I. ①传… II. ①陈… III. ①传感器—高等职业教育—教材 IV. ①TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 218033 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:王颖 版式设计:张世琴

责任校对:张晓蓉 责任印制:乔宇

三河市宏达印刷有限公司印刷

2012 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 13.5 印张 · 329 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-36247-0

定价: 28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

销售一部:(010)68326294

销售二部:(010)88379649

读者购书热线:(010)88379203

门户网:<http://www.cmpbook.com>

教材网:<http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版

全国高等职业教育规划教材 电子类专业编委会成员名单

主 任 曹建林

副 主 任 张中洲 张福强 董维佳 俞 宁 杨元挺 任德齐
华永平 吴元凯 蒋蒙安 祖 炬 梁永生

委 员 (按姓氏笔画排序)

尹立贤 王用伦 王树忠 王新新 邓 红 任艳君
刘 松 刘 勇 华天京 吉雪峰 孙学耕 孙津平
朱咏梅 朱晓红 齐 虹 张静之 李菊芳 杨打生
杨国华 汪赵强 陈子聪 陈必群 陈晓文 季顺宁
罗厚军 姚建永 钮文良 聂开俊 袁 勇 袁启昌
郭 勇 郭 兵 郭雄艺 高 健 崔金辉 曹 毅
章大钧 黄永定 曾晓宏 蔡建军 谭克清

秘 书 长 胡毓坚

副秘书长 戴红霞

出版说明

根据《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》中提出的高等职业院校必须把培养学生动手能力、实践能力和可持续发展能力放在突出的地位,促进学生技能的培养,以及教材内容要紧密结合生产实际,并注意及时跟踪先进技术的发展等指导精神,机械工业出版社组织全国近60所高等职业院校的骨干教师对在2001年出版的“面向21世纪高职高专系列教材”进行了全面的修订和增补,并更名为“全国高等职业教育规划教材”。

本系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会分别会同各高职高专院校的一线骨干教师,针对相关专业的课程设置,融合教学中的实践经验,同时吸收高等职业教育改革的成果而编写完成的,具有“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。在几年的教学实践中,本系列教材获得了较高的评价,并有多个品种被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。在修订和增补过程中,除了保持原有特色外,针对课程的不同性质采取了不同的优化措施。其中,核心基础课的教材在保持扎实的理论基础的同时,增加实训和习题;实践性较强的课程强调理论与实训紧密结合;涉及实用技术的课程则在教材中引入了最新的知识、技术、工艺和方法。同时,根据实际教学的需要对部分课程进行了整合。

归纳起来,本系列教材具有以下特点:

- 1) 围绕培养学生的职业技能这条主线来设计教材的结构、内容和形式。
- 2) 合理安排基础知识和实践知识的比例。基础知识以“必需、够用”为度,强调专业技术应用能力的训练,适当增加实训环节。
- 3) 符合高职学生的学习特点和认知规律。对基本理论和方法的论述要容易理解、清晰简洁,多用图表来表达信息;增加相关技术在生产中的应用实例,引导学生主动学习。
- 4) 教材内容紧随技术和经济的发展而更新,及时将新知识、新技术、新工艺和新案例等引入教材。同时注意吸收最新的教学理念,并积极支持新专业的教材建设。
- 5) 注重立体化教材建设。通过主教材、电子教案、配套素材光盘、实训指导和习题及解答等教学资源的有机结合,提高教学服务水平,为高素质技能型人才的培养创造良好的条件。

由于我国高等职业教育改革和发展的速度很快,加之我们的水平和经验有限,因此在教材的编写和出版过程中难免出现问题和错误。我们恳请使用这套教材的师生及时向我们反馈质量信息,以利于我们今后不断提高教材的出版质量,为广大师生提供更多、更适用的教材。

机械工业出版社

前 言

传感器技术作为信息科学的一个重要分支与计算机技术、自动控制技术和通信技术等一起构成了信息技术的完整科学。在人类进入信息时代的今天，人们的一切社会活动都是以信息获取与信息转换为中心，传感器作为信息获取与信息转换的重要手段，是实现信息化的基础技术之一。以传感器为核心的检测系统就像神经和感官一样，源源不断地向人类提供宏观与微观世界的种种信息，成为人们认识自然、改造自然的有力工具，广泛地应用于工业、农业、国防和人们日常生活等领域。

本书在编写中有以下特点：

1. 注重实用性

本书精选教学内容，内容的选取基本上从我国当前工业生产应用的实际出发，以淡化理论、注重实用为尺度，在教材的编写中结合多年在教学改革及教材建设所积累的经验，做到重点突出，应用性强。

2. 注重系统性

本书在前9章中，结合电气自动化专业、机电一体化专业和电子信息专业的学习，配有相应的应用举例，在第10章中还增加了典型综合应用实例，列举了传感器在家用电器、机器人中的应用，加强了专业课之间学习的系统性，以满足不同专业、不同学生学习和发展的需要。

3. 注重实践性

本着“培养技能、重在运用”的指导思想，针对各学校实训条件不同，书中除了前8章后面的综合技能实训外，在全书的最后一章还增加了目前通用的成套综合实训设备的使用，介绍了传感器实训系统的构造性能、配置，并精选了12个实训指导，用于提高学生的动手能力。

4. 注重适用性

考虑到高职高专教育对象的实际基础水平，为了帮助提高学生自学能力，并针对一些工程技术人员及自学人员的学习，在每一章开始都配有学习要点，每一章结束有小结，各章附有习题。

本书可作为高职高专电气自动化、机电一体化和电子信息等专业的专业课教材，也可作为其他相关专业的参考教材，教学时数建议为70学时。

本书由珠海城市职业技术学院陈东群担任主编，并编写了第3、8、9、10、11章，由天津电子信息职业技术学院周冀馨编写了第4、5、6章，由福建信息职业技术学院张洋编写了第1、2、7章。在本书编写过程中，得到了许多同志热情关心与帮助，并提出了许多宝贵意见，在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限，再加上传感器技术日新月异的发展，本书在内容上难免有疏漏之处，恳请业内专家和广大读者批评指正。

编 者

目 录

出版说明

前言

第1章 传感器技术概论 1

1.1 传感器概述 1

1.1.1 传感器的定义与组成 1

1.1.2 传感器分类 2

1.1.3 传感器技术的发展趋势 3

1.2 传感器的一般特性 3

1.2.1 传感器的静态特性 3

1.2.2 传感器的动态特性 5

1.3 传感器的标定和选择原则 6

1.3.1 传感器的标定 6

1.3.2 传感器的选择原则 7

1.4 综合技能实训 9

1.4.1 实训1 数字万用表测量电阻、 二极管、电容实训 9

1.4.2 实训2 数字万用表判断电源相线 和断芯位置实训 11

1.5 小结 12

1.6 习题 13

第2章 电阻、电感、电容传感技术 14

2.1 电阻式传感器 14

2.1.1 电位器式传感器 14

2.1.2 电阻应变式传感器 16

2.2 电感式传感器 22

2.2.1 自感式传感器 22

2.2.2 差动变压器式传感器 26

2.2.3 电涡流式传感器 29

2.3 电容式传感器 32

2.3.1 电容式传感器工作原理和类型 32

2.3.2 电容式传感器的测量转换电路 34

2.3.3 电容式传感器的应用 35

2.4 综合技能实训 接近开关实训 36

2.5 小结 37

2.6 习题 38

第3章 压电、磁敏传感技术 39

3.1 压电传感器 39

3.1.1 压电式传感器的工作原理 39

3.1.2 压电材料 41

3.1.3 压电式传感器的测量电路 42

3.1.4 压电传感器的应用举例 44

3.2 霍尔传感器 45

3.2.1 霍尔效应及霍尔元器件 45

3.2.2 霍尔元器件的测量误差及补偿方法 47

3.2.3 霍尔集成电路 49

3.2.4 霍尔传感器应用举例 50

3.3 综合技能实训 52

3.3.1 实训1 压电陶瓷片好坏检测实训 52

3.3.2 实训2 霍尔传感器检测实训 52

3.3.3 实训3 霍尔钳形电流表测量电流 的原理及使用 53

3.4 小结 54

3.5 习题 55

第4章 热电传感技术 56

4.1 热电阻传感器 56

4.1.1 铂电阻 56

4.1.2 铜电阻 57

4.1.3 热电阻的应用——数字温度计 58

4.2 热敏电阻传感器 58

4.2.1 热敏电阻的结构形式 58

4.2.2 热敏电阻的温度特性 58

4.2.3 热敏电阻输出特性的线性化处理 60

4.2.4 热敏电阻的应用 61

4.3 热电偶传感器 63

4.3.1 热电偶的工作原理 63

4.3.2 热电偶的结构形式及材料 65

4.3.3 热电偶的基本定律 68

4.3.4 热电偶冷端的温度补偿 69

4.3.5 热电偶的应用 71

4.4 集成温度传感器 71

4.4.1 测温原理 72

4.4.2 电压输出型温度传感器 73

4.4.3 电流输出型温度传感器 74

4.4.4 集成温度传感器的应用 75

4.5 综合技能实训	76	第7章 数字传感技术	128
4.5.1 实训1 热电偶温度测控系统	76	7.1 光栅传感器	128
4.5.2 实训2 热电阻温度测控系统	78	7.1.1 光栅的结构与类型	128
4.6 小结	79	7.1.2 光栅传感器的基本工作原理	129
4.7 习题	80	7.1.3 光栅传感器的数显装置	130
第5章 光电传感技术	81	7.1.4 光栅传感器的应用	131
5.1 光电效应及光电器件	81	7.2 磁栅传感器	132
5.1.1 外光电效应及器件	82	7.2.1 磁栅的结构与类型	132
5.1.2 内光电效应及器件	84	7.2.2 磁栅传感器的基本工作原理	133
5.1.3 光电器件的应用	89	7.2.3 磁栅传感器的特点与误差分析	134
5.2 红外光传感器	90	7.2.4 磁栅传感器的应用	135
5.2.1 红外辐射基础	90	7.3 码盘式传感器	135
5.2.2 红外光传感器的工作原理与结构	91	7.3.1 增量式光电编码器	136
5.2.3 红外光传感器的应用	92	7.3.2 绝对式光电编码器	136
5.3 光固体图像传感器	93	7.3.3 光电式编码器的应用	137
5.3.1 电荷耦合器件	94	7.4 感应同步器	138
5.3.2 CMOS 图像传感器	96	7.4.1 感应同步器的结构	138
5.3.3 图像传感器应用	97	7.4.2 感应同步器的工作原理	140
5.4 光纤传感器	98	7.4.3 感应同步器的信号处理	141
5.4.1 概述	98	7.4.4 感应同步器的应用	142
5.4.2 光纤传感器	99	7.5 综合技能实训 参观校内或校外	
5.4.3 光纤传感器的应用	101	数控加工实训基地	143
5.5 综合技能实训	102	7.6 小结	146
5.5.1 实训1 红外遥控器	102	7.7 习题	146
5.5.2 实训2 电动机转速测量	104	第8章 超声波、智能传感技术	147
5.6 小结	104	8.1 超声波传感器	147
5.7 习题	105	8.1.1 超声波的物理性质	147
第6章 气、湿敏传感技术	106	8.1.2 超声波传感器的原理和结构	149
6.1 气敏传感器	106	8.1.3 超声波传感器应用举例	150
6.1.1 半导体气敏传感器	106	8.2 智能传感器	152
6.1.2 红外吸收式气敏传感器	111	8.2.1 智能传感器的定义及其功能	153
6.1.3 气敏传感器的应用举例	113	8.2.2 智能传感器的基本组成及特点	153
6.2 湿敏传感器	116	8.2.3 智能传感器的智能化途径及	
6.2.1 氯化锂湿敏传感器	119	发展前景	154
6.2.2 半导体陶瓷湿敏传感器	120	8.2.4 智能传感器应用举例	156
6.2.3 湿敏传感器的应用举例	122	8.3 综合技能实训	158
6.3 综合技能实训	123	8.3.1 实训1 制作超声波遥控开关	158
6.3.1 实训1 气敏电阻的应用——酒精		8.3.2 实训2 识读智能饮水机电路实训	159
探测仪	123	8.4 小结	161
6.3.2 实训2 湿敏电阻的应用——湿度		8.5 习题	161
检测器	125	第9章 传感器接口电路及信号	
6.4 小结	126	转换处理	162
6.5 习题	127	9.1 传感器接口电路	162

9.1.1 阻抗匹配器	162	11.1.3 实训电路	185
9.1.2 放大电路	163	11.1.4 实训仪器仪表	186
9.1.3 电荷放大器	164	11.1.5 仪器维护及故障排除	186
9.1.4 电桥电路	164	11.1.6 传感器实训报告书写要点	187
9.1.5 线性化电路	165	11.2 成套通用传感器实训仪及实训配置	187
9.1.6 噪声及其抑制	165	11.2.1 成套通用传感器实训仪简介	187
9.2 传感器信号转换电路	167	11.2.2 传感器实训项目简介	188
9.2.1 模/数转换电路	167	11.3 综合技能实训	189
9.2.2 数/模转换电路	170	11.3.1 实训1 金属箔式应变片性能— 单臂电桥型	189
9.3 传感器接口电路及信号转换处理应用 举例	171	11.3.2 实训2 金属箔式应变片— 交流全桥	190
9.4 小结	172	11.3.3 实训3 差动变压器性能	191
9.5 习题	172	11.3.4 实训4 电涡流式传感器的应用— 振幅测量	192
第10章 传感器技术的典型综合应用 实例	173	11.3.5 实训5 霍尔式传感器的应用— 振幅测量	193
10.1 家用电器中的传感器	173	11.3.6 实训6 相敏检波器实训	194
10.1.1 洗衣机中所用传感器	173	11.3.7 实训7 压电传感器的引线电容对 电压放大器、电荷放大器的影响	196
10.1.2 电冰箱中所用传感器	174	11.3.8 实训8 PN结温度传感器测温 实训	197
10.1.3 小型家用电器中的传感器	176	11.3.9 实训9 光电转速传感器测速 实训	198
10.2 机器人传感器	177	11.3.10 实训10 光纤传感器的位移特性 实训	199
10.2.1 机器人视觉传感器	178	11.3.11 实训11 可燃气体检测实训	201
10.2.2 机器人触觉传感器	179	11.3.12 实训12 温度源的温度控制调节 实训	201
10.2.3 机器人接近觉传感器	182		
10.2.4 机器人听觉、嗅觉、味觉传感器	183		
10.3 小结	184		
10.4 习题	184		
第11章 传感器实训指导	185	参考文献	205
11.1 传感器实训要求	185		
11.1.1 实训预习	185		
11.1.2 实训电源	185		

第 1 章 传感器技术概论

学习要点

- ① 理解传感器的概念。
- ② 掌握传感器的组成、主要特性。
- ③ 了解传感器的标定方法及选择原则。

1.1 传感器概述

传感器是新技术革命和信息社会的重要技术基础，是当今世界极其重要的高科技，一切现代化仪器、设备几乎都离不开传感器。

信息处理技术取得的进展以及微处理器和计算机技术的高速发展，都需要在传感器的开发方面有相应的进展。微处理器现在已经在测量和控制系统中得到了广泛的应用。随着这些系统能力的增强，作为信息采集系统的前端单元，传感器的作用越来越重要。传感器已成为自动化系统和机器人技术中的关键部件，作为系统中的一个结构组成，其重要性变得越来越明显。

1.1.1 传感器的定义与组成

传感器是接收信号或刺激并反应的器件，以测量为目的，以一定精度把被测量转换为与之有确定关系的、易于处理的电量信号输出的装置。如果传感器进一步对此输出信号进行处理，转换成标准统一信号（例如：4 ~ 20mA 或 1 ~ 5V；0 ~ 10mA 或 0 ~ 5V 等）时，此时的传感器一般称为变送器。

国家标准是这样定义传感器的：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。通常由敏感元器件和转换元器件组成。

传感器一般由敏感元器件、转换元器件、转换电路 3 部分组成，如图 1-1 所示。

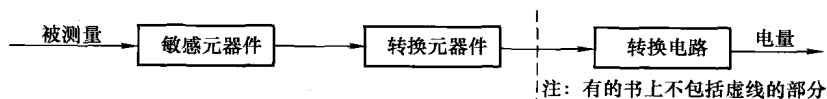


图 1-1 传感器的组成框图

- 1) 敏感元器件：直接感受被测量，并输出与被测量成确定关系的某一物理量的元器件。
- 2) 转换元器件：以敏感元器件的输出为输入，把输入转换成电路参数。
- 3) 转换电路：上述电路参数接入转换电路，便可转换成电量输出。

实际上,有些传感器很简单,仅由一个敏感元器件(兼作转换元器件)组成,它感受被测量时直接输出电量,如热电偶。

有些传感器由敏感元器件和转换元器件组成,没有转换电路;有些传感器,转换元器件不止一个,要经过若干次转换。

1.1.2 传感器分类

传感器的种类繁多,原理各异,检测对象几乎涉及各种参数,通常一种传感器可以检测多种参数,一种参数又可以用多种传感器测量,所以传感器的分类方法至今尚无统一规定,主要按工作原理、输入信息和应用范围来分类。

1. 按工作原理分类

根据传感器工作原理,可分为物理传感器、化学传感器和生物传感器3大类。

(1) 物理传感器

物理传感器是利用某些变换元器件的物理性质以及某些功能材料的特殊物理性能制成的传感器,它又可以分为物性型传感器和结构型传感器。

物性型传感器是利用某些功能材料本身所具有的内在特性及效应将被测量直接转换为电量的传感器。例如,热电偶制成的温度传感器,就是利用金属导体材料的温差电动势效应和不同金属导体间的接触电动势效应实现对温度的测量;而利用压电晶体制成的压力传感器则是利用压电材料本身所具有的正压电效应而实现对压力的测量。这类传感器的“敏感体”就是材料本身,无所谓“结构变化”,因而,通常具有响应速度快的特点,而且易于实现小型化、集成化和智能化。

结构型传感器是以结构(如形状、尺寸等)为基础,在待测量作用下,其结构发生变化,利用某些物理规律,获得比例于待测非电量的电信号输出的传感器。例如石油天然气地震勘探中的检波器,属于磁电式传感器。当地面存在地震波机械振动时,线圈相对于磁铁运动而切割磁力线,根据电磁感应定律,线圈中产生感应电动势,且感应电动势的大小与线圈和磁铁间相对运动速度成比例,线圈输出的电信号与地面机械振动的速度变化规律是一致的。这类传感器性能与其结构材料关系不大,仅与其“结构变化”有关。

(2) 化学传感器

化学传感器是利用敏感材料与物质间的电化学反应原理,把无机和有机化学成分、浓度等转换成电信号的传感器,如气体传感器、湿度传感器等。

(3) 生物传感器

生物传感器是利用材料的生物效应构成的传感器,如酶传感器、微生物传感器、组织传感器、免疫传感器等,以输入量(被测量)命名。这种分类对传感器的应用很方便。

2. 按输入信息分类

传感器按输入量分类有位移传感器、速度传感器、加速度传感器、温度传感器、压力传感器、力传感器、色传感器、磁传感器等。

3. 按应用范围分类

根据传感器应用范围不同,通常可分为工业用、农业用、民用、科研用、医用、军用、环保用和家用电器用传感器等。若按具体使用场合,还可以分为汽车用、舰艇用、飞机用、

宇宙飞船用、防灾用传感器等。如果根据使用目的的不同，又可分为计测用、监视用、检查用、诊断用、控制用和分析用传感器等。

1.1.3 传感器技术的发展趋势

随着科学技术的发展，传感器技术发展的趋势将是开发新材料与传感器智能化发展相结合。

1. 新材料开发

传感器材料是传感器技术的重要基础，是传感器技术升级的重要支撑。随着材料科学的进步，传感器技术日臻成熟，其种类越来越多，除了早期使用的半导体材料、陶瓷材料以外，光导纤维以及超导材料的开发，为传感器的发展提供了物质基础。

2. 智能化发展

20 世纪 80 年代发展起来的智能化传感器是微电子技术、微型电子计算机技术与检测技术相结合的产物，具有测量、存储、通信、控制等特点。

智能化传感器一般主要由主传感器、辅助传感器及微型计算机硬件系统 3 大部分构成，也就是说，智能化传感器是一种带有微处理器的传感器，它兼有检测判断和信息处理功能。

几十年来，智能化传感器有了很大的发展。近年来，智能化传感器开始同人工智能相结合，创造出各种基于模糊推理、人工神经网络、专家系统等人工智能技术的高度智能传感器，称为软传感器技术。它已经在家用电器方面得到应用，相信未来将会更加成熟。智能化传感器是传感器技术未来发展的主要方向。

1.2 传感器的一般特性

传感器的特性是指传感器的输入量和输出量之间的对应关系。通常把传感器的特性分为两种：静态特性和动态特性。

1.2.1 传感器的静态特性

静态特性是指输入不随时间而变化的特性，它表示传感器在被测量各个值处于稳定状态下输入输出的关系。因为传感器本身存在着迟滞、蠕变、摩擦等各种因素，以及受外界条件的各种影响，输入输出不会完全符合用户的要求。传感器静态特性的主要指标有以下几种。

1. 灵敏度

灵敏度是指仪表、传感器等装置或系统的输出量增量与输入量增量之比。

$$S = \frac{dy}{dx} \approx \frac{\Delta y}{\Delta x} \quad (1-1)$$

对线性传感器而言，灵敏度为一常数；对非线性传感器而言，灵敏度随输入量的变化而变化。

怎样从输出曲线看灵敏度：曲线越陡，灵敏度越高。可以通过作该曲线的切线的方法

(作图法) 来求得曲线上任一点的灵敏度, 用作图法求取传感器的灵敏度如图 1-2 所示。由切线的斜率可以看出, x_2 点的灵敏度比 x_1 点高。

2. 分辨力

分辨力是指传感器能检出被测信号的最小变化量, 是有量纲的数。当被测量的变化小于分辨力时, 传感器对输入量的变化无任何反应。

对数字仪表而言, 如果没有其他附加说明, 一般可以认为该表的最后一位所表示的数值就是它的分辨力。一般情况下, 不能把仪表的分辨力当做仪表的最大绝对误差。

例如, 数字式温度计的分辨力为 0.1°C , 若该仪表的准确度为 1.0 级, 则最大绝对误差将达到 $\pm 2.0^{\circ}\text{C}$, 比分辨力大得多。

仪表或传感器中, 还经常用到“分辨率”的概念。将分辨力除以仪表的满量程就是仪表的分辨率, 分辨率常以百分比或几分之一表示, 是量纲为 1 的数。

3. 线性度

人们总是希望传感器的输入与输出的关系成正比, 即线性关系。这样可使显示仪表的刻度均匀, 在整个测量范围内具有相同的灵敏度, 并且不必采用线性化措施。但大多数传感器的输入输出特性总是具有不同程度的非线性, 可以用下列多项式代数方程表示:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + a_3x^3 + \cdots + a_nx^n \quad (1-2)$$

式中 y ——输出量;

x ——输入量;

a_0 ——零点输出;

a_1 ——理论灵敏度;

$a_2, a_3, \cdots, a_n$ ——非线性项系数, 各项系数决定了传感器的线性度的大小, 如果 $a_2 = a_3 = \cdots = a_n = 0$, 则该系统为线性系统。

线性度又称非线性误差, 是指传感器实际特性曲线与拟合直线 (有时也称理论直线) 之间的最大偏差与传感器满量程范围内的输出之百分比, 如图 1-3 所示, 它可用下式表示, 且多取其正值:

$$\gamma_L = \frac{\Delta L_{\max}}{y_{\max} - y_{\min}} \times 100\% \quad (1-3)$$

4. 迟滞

迟滞是指传感器正向特性和反向特性的不一致程度, 如图 1-4 所示, 可用下式表示:

$$\gamma_H = \frac{1}{2} \times \frac{\Delta H_{\max}}{y_{\max}} \times 100\% \quad (1-4)$$

5. 稳定性

稳定性包含稳定度和环境影响量两个方面。稳定度是指仪表在所有条件都恒定不变的情况下, 在规定的时间内能维持其示值不变的能力。稳定度一般以仪表的示值变化量和时间的长短之比来表示。

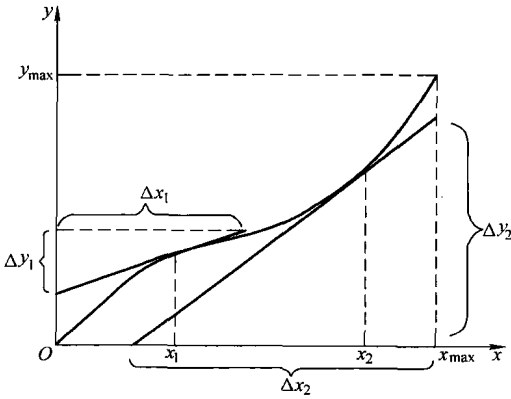


图 1-2 用作图法求取传感器的灵敏度

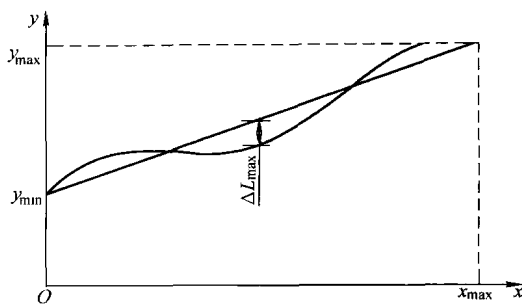


图 1-3 传感器线性度示意图

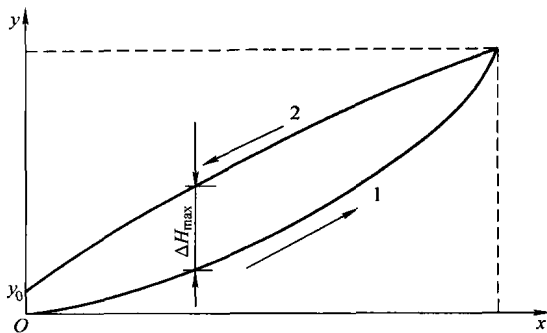


图 1-4 传感器迟滞示意图

例如，某仪表输出电压值在 8h 内的最大变化量为 1.2mV，则稳定度表示为 1.2mV/(8h)。

环境影响量是指由于外界环境变化而引起的示值变化量。示值变化由两个因素组成：零点漂移和灵敏度漂移。零点漂移是指在受外界环境影响后，已调零的仪表的输出不再为零，而有一定漂移的现象，这在测量前是可以发现的，应重新调零，但在不间断测量过程中，零点漂移是附加在读数上的，因而很难发现。带微型计算机的智能化仪表可以定时地自动暂时切断输入信号，测出此时的零点漂移值，恢复测量后从测量值中减去漂移值，相当于重新调零。灵敏度漂移使仪表的输入输出的特性曲线斜率发生变化。造成环境影响量变化的因素很多，要予以重视，使传感器对外界各种干扰有抵抗能力。

1.2.2 传感器的动态特性

动态特性是指输入随时间而变化的特性，它表示传感器对随时间变化的输入量的响应特性。动态特性是传感器性能的一个重要方面，它取决于传感器本身，另一方面也与被测量的形式有关。

虽然传感器的种类和形式很多，但它们一般可以简化为一阶或二阶系统（高阶可以分解成若干个低阶环节），因此一阶和二阶传感器是最基本的。传感器的输入量随时间变化的规律是各种各样的，在对传感器动态特性进行分析时，为了便于比较和评价，通常采用最典型、最简单、易实现的正弦信号和阶跃信号作为标准输入信号。对于正弦输入信号，传感器的响应称为频率响应或稳态响应；对于阶跃输入信号，则称为传感器的阶跃响应或瞬态响应。

在采用阶跃输入信号研究传感器时域动态特性时，用其输出信号 $y(t)$ 的变化曲线来表示，如图 1-5 所示。根据此图可得出阶跃响应时，表征动态特性的主要参数有上升时间 t_r ，响应时间 t_s ，超调量 y_m （或 σ_p ），衰减度 ψ 等。

(1) 上升时间 t_r

上升时间 t_r 是指传感器输出示值从最终稳定值的 5%（或 10%）变化到最终稳定值的 95%（或

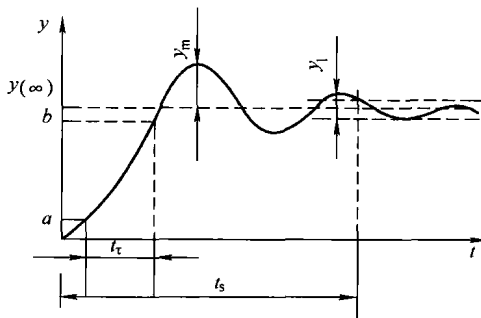


图 1-5 阶跃响应特性

90%) 所需要的时间。

(2) 超调量 y_m

超调量 y_m 是指输出第一次达到稳定值后又超出稳定值 $y(\infty)$ 而出现的最大偏差, 常用相对于最终稳定值的百分比 σ_p 来表示, 即:

$$\sigma_p = \frac{y_m - y(\infty)}{y(\infty)} \times 100\% \quad (1-5)$$

(3) 衰减度 ψ

衰减度 ψ 是用来描述瞬态过程中振荡幅值衰减的速度, 定义为:

$$\psi = \frac{y_m - y_1}{y_m} \quad (1-6)$$

式中, y_1 为出现 y_m 一个周期后的 $y(t)$ 值。如果 $y_1 \ll y_m$, 则 $\psi \approx 1$, 表示衰减很快, 该系统很稳定, 振荡很快停止。

在采用正弦输入信号研究传感器频域动态特性时, 常用幅频特性和相频特性来描述传感器的动态特性, 其重要指标是频带宽度, 简称带宽。带宽是指增益变化不超过某一规定分贝值的频率范围。

1.3 传感器的标定和选择原则

1.3.1 传感器的标定

与传感器特性有关的是传感器系统性能的综合评价与标定。传感器的标定就是通过试验确定传感器的输入与输出量之间的关系和不同使用条件下的误差关系。

1. 传感器的标定种类

传感器的标定分为静态标定和动态标定两种。

所谓静态标定是指没有加速度、振动、冲击 (除非这些参数本身就是被测物理量) 及环境温度一般为室温 ($20 \pm 5^\circ\text{C}$)、相对湿度不大于 85%, 大气压力为标准大气压的情况。静态标定的目的是确定传感器静态特性指标, 如线性度、灵敏度、滞后和稳定性等。

传感器的动态标定主要是研究传感器的动态响应。而与动态响应有关的参数, 一阶传感器只有一个时间常数 τ 、二阶传感器则有固有频率 ω_n 和阻尼比 ζ 两个参数。

动态标定的目的是确定传感器的动态特性参数, 如频率响应、时间常数、固有频率和阻尼比等。有时, 根据需要也要对横向灵敏度、温度响应、环境影响等进行标定。

2. 传感器的标定方法

利用已知的标准值输入到待标定的传感器中, 传感器得到相应的输出量, 将输出量与输入的标准量绘制成曲线即得标定曲线。按传感器的种类和使用情况不同, 其标定方法也不同。荷重、应力、压力传感器等的静标定方法是利用压力试验机进行标定, 它们更精确的标定则是在压力试验机上用专门的荷载标定器标定; 位移传感器的标定则是采用标准量块或位

移标定器。

3. 传感器的标定要求

- 1) 标定应该在与其使用条件相似的状态下进行。
- 2) 增加重复标定的次数，以提高测试精度。
- 3) 传感器需定期标定，一般以一年为期。
- 4) 对重要的试验，需在试验前后标定误差，使误差在允许的范围內。

1.3.2 传感器的选择原则

现代传感器在原理与结构上千差万别，如何根据具体的测量目的、测量对象以及测量环境合理地选用传感器，是在进行某个量的测量时首先要解决的问题。当传感器确定之后，与之相配套的测量方法和测量设备也就可以确定了。测量结果的准确度，在很大程度上取决于传感器的选用是否合理。

1. 普通传感器的选择

(1) 传感器的类型选择

传感器的类型选择是根据具体测量工作决定的，这需要针对多方面的因素进行分析后才能给出明确的答案。传感器测量的对象对传感器本身设计原理的选择具有一定的决定作用，此外量程的大小、测量的方式、信号的引出方法及传感器本身的质量和价格，也需要综合考虑。

(2) 灵敏度的选择

通常，在传感器的线性范围内，希望传感器的灵敏度越高越好。因为只有灵敏度高时，与被测量变化对应的输出信号的值才比较大，有利于信号处理。但要注意的是，传感器的灵敏度高，与被测量无关的外界噪声也容易混入，也会被放大系统放大，影响测量精度。因此，要求传感器本身应具有较高的信噪比，尽量减少从外界引入的干扰信号。传感器的灵敏度是有方向性的，当被测量是单向量，而且对其方向性要求较高，则应选择其他方向灵敏度小的传感器；如果被测量是多维向量，则要求传感器的交叉灵敏度越小越好。

(3) 根据测量对象与测量环境确定传感器的类型

要进行一个具体的测量工作，首先要考虑采用何种原理的传感器，这需要分析多方面的因素之后才能确定。因为，即使是测量同一物理量，也有多种原理的传感器可供选用，哪一种原理的传感器更为合适，则需要根据被测量的特点和传感器的使用条件考虑以下具体问题：量程的大小；被测位置对传感器体积的要求；测量方式为接触式还是非接触式；信号的引出方法，有线或是非接触测量；传感器的来源，国产还是进口，价格能否承受，还是自行研制。在考虑上述问题之后就能确定选用何种类型的传感器，然后再考虑传感器的具体性能指标。

(4) 频率响应特性的选择

传感器的频率响应特性决定了被测量的频率范围，必须在允许频率范围内保持不失真的测量条件，实际上传感器的响应总有一定延迟，希望延迟时间越短越好。

一般来讲,利用光电效应的光电型传感器响应较快,工作频率范围宽。而结构型传感器,如电感传感器、电容传感器、磁电式传感器等,往往由于结构中的机械系统惯性的限制,其固有频率低,工作频率也较低。

在动态测量中,传感器的响应特性对测试结果有直接影响,在选用时,应充分考虑到被测物理量的变化特点(如稳态、瞬变、随机等)。

(5) 线性范围的选择

传感器的线性范围是指输出与输入成正比的范围。理论上讲,在此范围内,灵敏度保持定值。传感器的线性范围越宽,则其量程越大,并且能保证一定的测量精度。在选择传感器时,当传感器的种类确定以后首先要看其量程是否满足要求。但实际上,任何传感器都不能保证绝对的线性,其线性度也是相对的。当所要求测量精度比较低时,在一定的范围内,可将非线性误差较小的传感器近似看作线性的,这会给测量带来极大的方便。

(6) 稳定性的选择

传感器使用一段时间后,其性能保持不变化的能力称为稳定性。影响传感器长期稳定性的因素除传感器本身结构外,主要是传感器的使用环境。因此,要使传感器具有良好的稳定性,传感器必须要有较强的环境适应能力。在选择传感器之前,应对其使用环境进行调查,并根据具体的使用环境选择合适的传感器,或采取适当的措施,减小环境的影响。传感器的稳定性有定量指标,在超过使用期后,在使用前应重新进行标定,以确定传感器的性能是否发生变化。在某些要求传感器能长期使用而又不能轻易更换或标定的场合,所选用的传感器稳定性要求更严格,要能够经受长时间的考验。

(7) 精度的选择

精度是传感器的一个重要性能指标,它是关系到整个测量系统测量精度的一个重要环节。传感器的精度越高,其价格越昂贵,因此,传感器的精度只要满足整个测量系统的精度要求就可以,不必选得过高。这样就可以在满足同一测量目的的诸多传感器中选择比较便宜和简单的传感器。如果测量目的是定性分析的,选用重复精度高的传感器即可,不宜选用绝对量值精度高的;如果是为了定量分析,必须获得精确的测量值,就需选用精度等级能满足要求的传感器。对某些特殊使用场合,无法选到合适的传感器,则需自行设计制造传感器。自制传感器的性能应满足使用要求。

在实际应用中选择传感器要把握住:

- 1) 根据实际需要,保证主要的参数。
- 2) 不必盲目追求单项指标的全面优异,主要关心其稳定性和变化规律性。

2. 工业传感器的选择

(1) 测量范围的选择

测量范围的选择要根据被测变量的大小和变化范围,留有充分的余地。测量稳定变量,最大测量值不应超过量程的 $2/3$; 测量脉动变量,最大测量值不应超过量程的 $1/2$; 一般被测变量最小值不应低于传感器量程的 $1/3$ 。

- 1) 根据被测变量的最大、最小值,求出传感器测量范围。
- 2) 在国家规定的标准系列中选取适合的测量范围。

所选的测量上限应大于(最接近)或至少等于计算求得的上限值,且满足最小测量值的规定要求。