



普通高等教育“十三五”应用型人才培养规划教材

# 传感器原理与 应用技术

CHUANGANQI YUANLI YU YINGYONG JISHU

主 编 / 宋 强 张 焯 王 瑞



西南交通大学出版社



普通高等教育“十三五”应用型人才培养规划教材

# 传感器原理与 应用技术

CHUANGANQI YUANLI YU YINGYONG JISHU

主 编 / 宋 强 张 焯 王 瑞  
副主编 / 韩玉坤 吴贵军 王立新 吴耀春  
参 编 / 师会超 陈 晓

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

## 内 容 简 介

本书按照传感器和检测技术两大模块组织编写,详细介绍了各种经典传感器和新型传感器的工作原理、结构、特性及应用等,系统阐述了新式传感器和多传感器数据融合技术等一些比较新颖的理论。本书系统性强,内容上注重现代与经典相结合,目标上强调工程实践应用与创新能力的培养,具有良好的教学适应性和可读性。本书可作为自动化、机械电子工程、机电一体化系统设计、机械工程、检测技术、自动化和仪器仪表等行业工程技术人员的参考书,也可作为上述领域相关专业的大中专高等院校参考教材。

---

### 图书在版编目(CIP)数据

传感器原理与应用技术 / 宋强, 张焯, 王瑞主编.  
—成都: 西南交通大学出版社, 2016.2  
普通高等教育“十三五”应用型人才培养规划教材  
ISBN 978-7-5643-4507-5

I. ①传… II. ①宋… ②张… ③王… 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(2016)第008673号

---

普通高等教育“十三五”应用型人才  
培养规划教材

**传感器原理与应用技术**

主编 宋强 张焯 王瑞

责任编辑 李芳芳  
特邀编辑 李娟 王晓刚  
封面设计 墨创文化

印张 20.5 字数 510千

成品尺寸 185 mm × 260 mm

版本 2016年2月第1版

印次 2016年2月第1次

印刷 成都中铁二局永经堂印务有限责任公司

书号: ISBN 978-7-5643-4507-5

出版发行 西南交通大学出版社

网址 <http://www.xnjdcbs.com>

地址 四川省成都市二环路北一段111号  
西南交通大学创新大厦21楼

邮政编码 610031

发行部电话 028-87600564 028-87600533

定价: 46.00元

课件咨询电话: 028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

# 前 言

传感器技术是利用各种功能材料实现信息检测的一种综合技术，是当代科学技术领域中，实现信息化的基础技术之一。现代测量和自动化控制技术的飞速发展，尤其是信息科学、微电子技术、计算机技术与通信技术的发展，极大地促进了现代传感器技术的发展。加强传感器技术的开发和利用已成为时代发展的必然要求。

编者从事传感器原理及应用、自动化仪表专业的设计、非电量电测技术的教学和科研等实践中深深体会到，仅仅让读者了解到传感器的基本原理是远远不够的，更应该将传感器的相关知识运用到科学研究生产实践中。因此，有必要将传感器与检测技术的知识结合起来，给读者一个系统又完整的传感器检测技术的应用知识。出于此想法，参考了国内外许多这方面的优秀教材，编写了这本《传感器原理与应用技术》教材。

本书是作为普通高等教育应用型本科教材编写的，在取材和体系编排上注重理论和应用技术相结合，突出应用性和针对性，以有限的篇幅尽量拓宽知识领域，书中有面向工程实践的详细举例。本教材除了介绍传统的传感器外，还介绍了现代传感新技术和新方法。

本书内容新颖、丰富、全面，具有一定的深度和广度；叙述简明，深入浅出。可作为高等学校的检测技术、仪器与仪表、自动控制技术、机械设计制造及其自动化、机电一体化等专业教材，也可供企事业专业技术人员使用和参考。

本书系统性强，内容上注重现代与经典相结合，目标上强调工程实践应用与创新能力的培养，具有良好的教学适宜性和可读性。本书的内容体系优化，基于长期的教学实践和精品课程建设的经验积累，并得益于很多教材的实践应用和相关教研成果的指导。

本书由安阳工学院宋强副教授任主编并负责全书的统稿和组织编写工作。宋强、张焯、王瑞任主编，韩玉坤、吴贵军、王立新、吴耀春任副主编；师会超、陈晓任参编，其中安阳工学院宋强副教授编写了第3章；新乡学院张焯编写了第6章；新乡学院王瑞编写了第5章；安阳工学院王立新教授编写了第2章和附录，陈晓老师编写了第10章；安阳工学院韩玉坤副教授编写了第1章、第4章、第7章；安阳工学院吴耀春老师编写了第12章、第13章，师会超老师编写了第8章、第11章；安阳工学院吴贵军老师编写了第9章。

在这里要特别感谢参考文献中所列各位作者，包括众多未能在参考文献中一一列出的作者，正是因为他们各自领域的独到见解和特别的贡献为作者提供了宝贵的参考资料，使作者能够在总结现有成果的基础上，汲取各家之长，形成一套具有自身特色的传感器原理与应用技术精品教材。

由于传感器与检测技术内容丰富，应用广泛，技术本身处于不断的发展进步之中，而且传感器与检测技术种类繁多，涉及的学科众多、发展迅速，而作者的水平有限，加之时间仓促，书中难免存在不足之处，诚望读者不吝赐教，以利修正，让更多的读者获益。

编者  
2016年1月

# 目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 传感器的定义、组成和分类	1
1.2 传感器与人们的生活	3
1.3 传感器的地位和作用	4
1.4 传感器的发展现状	5
1.5 传感器的发展趋势	6
1.6 传感器的选用原则	7
1.7 改善传感器性能的途径	9
第 2 章 传感器的特性和检测技术基础	11
2.1 传感器的静态特性	11
2.2 传感器的动态特性	16
2.3 检测技术基础	26
第 3 章 电阻应变式传感器	35
3.1 电阻式传感器	35
3.2 电阻应变片式传感器	42
3.3 测量电路	53
3.4 温度误差及其补偿	57
3.5 电阻应变片传感器的计算	59
3.6 电阻应变片传感器的典型应用举例	61
3.7 电阻应变片的发展趋势	73
3.8 传感器选用原则	75
第 4 章 电容式传感器	79
4.1 电容式传感器工作原理和结构类型	79
4.2 转换电路	84
4.3 电容式传感器的特点	91
4.4 电容式传感器的应用	92
第 5 章 电感式传感器	98
5.1 自感式传感器	98
5.2 差动变压器式传感器	107

5.3	电涡流式传感器	114
5.4	压磁式传感器	126
5.5	感应同步器	128
<b>第 6 章</b>	<b>压电式传感器</b>	<b>133</b>
6.1	压电效应	133
6.2	压电材料	137
6.3	石英晶体的压电方程	140
6.4	压电传感器的等效电路和测量电路	143
6.5	压电式传感器的应用	148
6.6	影响压电式传感器精度的主要因素	151
<b>第 7 章</b>	<b>热电式传感器</b>	<b>154</b>
7.1	热电偶温度传感器	155
7.2	热电阻温度传感器	166
7.3	热敏电阻温度传感器	170
<b>第 8 章</b>	<b>磁电式传感器</b>	<b>175</b>
8.1	概 述	175
8.2	磁电感应式传感器	176
8.3	霍尔式传感器	180
<b>第 9 章</b>	<b>光电传感器</b>	<b>190</b>
9.1	光电基础知识	190
9.2	光电效应	193
9.3	光电式传感器的类型	203
9.4	光纤传感器	205
9.5	光栅传感器	212
9.6	光纤光栅传感器	217
9.7	光电编码器	222
9.8	固态图像传感器 ( CCD )	224
<b>第 10 章</b>	<b>流量检测传感器</b>	<b>230</b>
10.1	概 述	230
10.2	差压式流量计	232
10.3	电磁流量计	235
10.4	涡街流量计	240
10.5	其他流量计	245
<b>第 11 章</b>	<b>新型传感器原理及应用</b>	<b>254</b>
11.1	激光传感器	254

---

11.2 智能传感器 .....	258
11.3 MEMS 传感器 .....	265
<b>第 12 章 多传感器数据融合技术 .....</b>	<b>268</b>
12.1 数据融合技术概述 .....	268
12.2 数据融合系统的结构 .....	275
12.3 数据融合的关键问题 .....	277
12.4 数据融合的应用 .....	279
<b>第 13 章 传感器在工业中的应用 .....</b>	<b>281</b>
13.1 传感器在工业机器人中的应用 .....	281
13.2 传感器在 CNC 机床与加工中心中的应用 .....	285
13.3 传感器在三坐标测量机中的应用 .....	289
13.4 传感器在汽车机电一体化中的应用 .....	293
13.5 传感器在炼钢转炉监测中的应用 .....	304
<b>附录 A 热电偶-热电阻分度表 .....</b>	<b>307</b>
<b>附录 B 热电偶分度表 .....</b>	<b>314</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>317</b>



# 第1章 绪论

## 【本章学习导读】

本章主要介绍传感器的定义、组成和分类，以及传感器在生活中的应用，传感器的发展趋势及选用原则。

## 1.1 传感器的定义、组成和分类

### 1.1.1 传感器的定义

广义地说，传感器（Transducer 或 Sensor）是一种能把物理量或化学量转换成便于的电信号的器件或装置。在有些国家或科学领域，也将传感器称为变换器、检测器或探测器等。

国际电工委员会（International Electrotechnical Committee, IEC）将其定义为：“传感器是测量系统中的一种前置部件，它将输入变量转换成可供测量的信号。”国家标准将传感器定义为：能感受规定的被测量并按照一定的规律将其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。此处的可用输出信号是指便于加工处理、便于传输利用的信号。当今电信号是最容易处理和传输的信号，因此，可以把传感器狭义地定义为：将非电信号转换为电信号的器件。

综上，传感器是一种以一定的精确度把被测量（非电量）转换为与之有确定对应关系的、便于应用的另一种量（一般为电量）的测量装置。传感器的定义包括以下四个方面的内容：

- （1）传感器是测量装置，能完成检测任务。
- （2）它的输入量是某一被测量，可能是物理量，也可能是化学量、生物量等。
- （3）它的输出是某种物理量，这种量要便于传输、转换、处理、显示等，可以是气量、光量、电量，目前主要是电量。
- （4）输出和输入有对应关系，且具有一定的精确度。

### 1.1.2 传感器的组成

传感器的种类繁多，其工作原理、性能特点和应用领域各不相同。因此，其结构、组成差异很大。但总的来说，传感器通常由敏感元件、转换元件及转换电路组成，有时还加上辅助电源，如图 1-1 所示。

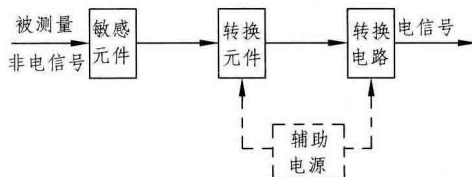


图 1-1 传感器组成框图

## 1. 敏感元件

敏感元件是能够直接感受被测量,并输出与被测量成确定关系的某一种量的元件。图 1-2 是一种气体压力传感器的示意图。膜盒 2 的下半部与壳体 1 固定连接,上半部通过连杆与磁芯 4 相连,磁芯 4 置于两个电感线圈 3 中,电感线圈接入转换电路 5。这里的膜盒就是敏感元件,其外部与大气压力  $p_a$  相通,内部与被测压力  $p$  相通;当  $p$  变化时,引起膜盒上半部移动,即输出相应的位移量。

## 2. 转换元件

敏感元件的输出量就是转换元件的输入量,转换元件把输入量转换成电路参量。在图 1-2 中,转换元件是电感线圈 3,它把输入的位移量转换成电感的变化。

## 3. 转换电路

将上述电路参数接入转换电路中,便可转换成电量输出。

实际上,有些传感器很简单,有些则较复杂;大多数是开环系统,也有些是带反馈的闭环系统。

最简单的传感器由一个敏感元件(兼转换元件)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件和转换元件组成,没有转换电路,如压电式加速度传感器,其中的质量块是敏感元件,压电片(块)是转换元件。有些传感器,转换元件不只一个,要经过若干次转换。

敏感元件与转换元件在结构上经常是装在一起的。为了减小外界的影响,也希望将转换电路和它们装在一起,但由于空间的限制或其他原因,转换电路常置于传感器外部。尽管如此,由于不少传感器在通过转换电路之后才能输出电量信号,因此,转换电路是传感器的组成环节之一。一般情况下,转换电路后面的后续电路,如信号放大、处理、显示等电路就不再包括在传感器范围之内了。

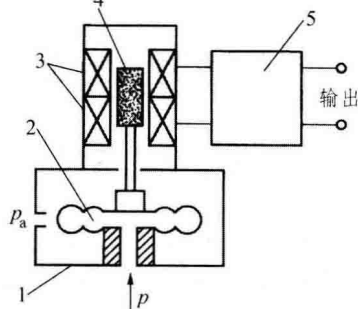


图 1-2 压力传感器

1—壳体; 2—膜盒; 3—电感线圈;  
4—磁芯; 5—转换电路

### 1.1.3 传感器的分类

传感器技术是一门知识密集型技术,它与许多学科有关。传感器的原理各种各样,其种类繁多,分类方法也有很多,下面将目前常用的分类方法做一个简单介绍。

(1) 按照传感器的工作机理,可将其分为物理型、化学型、生物型等。

(2) 按照传感器的构成原理,可将其分为结构型和物性型两大类。

结构型传感器是利用物理学中“场”的定律构成的,如力场的运动定律、电磁场的电磁定律等。这类传感器的特点是:传感器的性能与它的结构材料没有多大关系,如差动变压器。

物性型传感器是利用物质定律构成的,如欧姆定律等。物性型传感器的性能随材料的不同而不同,如光电管、半导体传感器等。

(3) 按照传感器的能量转换情况,可将其分为能量控制型传感器和能量转换型传感器。

能量控制型传感器在信息变换过程中,其能量需外电源供给。如电阻、电感、电容等电路参量传感器都属于这一类传感器。

能量转换型传感器,主要是由能量变换元件构成的,它不需要外电源供电。如基于压电效应、热电效应、光电效应、霍尔效应等原理构成的传感器均属于此类传感器。

(4) 按照传感器的物理原理,可分为电参量式传感器(包括电阻式、电感式、电容式等)、磁电式传感器(包括磁电感应式、霍尔式、磁栅式等)、压电式传感器、光电式传感器、气电式传感器、波式传感器(包括超声波式、微波式等)、射线式传感器、半导体式传感器、其他原理的传感器(如振弦式和振筒式传感器等)。

(5) 按照传感器的使用情况,可将其分为位移传感器、压力传感器、振动传感器、温度传感器等。

(6) 按照传感器的输出信号形式分类,如图 1-3 所示。

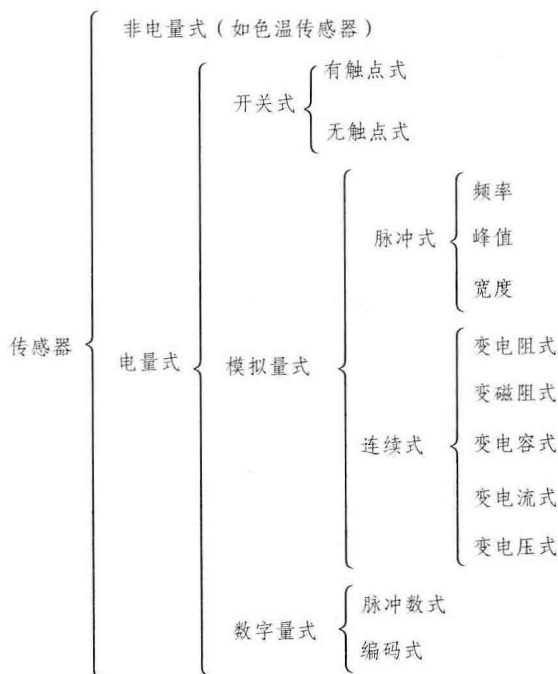


图 1-3 传感器按输出信号形式分类

## 1.2 传感器与人们的生活

### 1.2.1 人类的感官器官及其模拟器件

人类的五种感觉:视觉、听觉、嗅觉、味觉、触觉。对应的感觉器视为:视觉——眼睛,听觉——耳朵,嗅觉——鼻子,味觉——舌头,触觉——身体(皮肤)。

眼睛——人类第一重要的感觉器官。通过它,人们认识了所面临事物的 65%~75%,接收可见光范围内的信息。对应的模拟器件主要有:光电管、光敏二极管、电荷耦合器件(CCD)、摄像机、数码摄像机(DV)等。

耳朵——接收 20 ~ 20 000 Hz 的振动信息，即声波。对应的模拟器件有压力传感器、振动传感器等。

鼻子——感受外部世界的气味。对应的模拟器件有：气敏传感器、酒敏传感器、煤气传感器等。

### 1.2.2 日常生活中的传感器

传感器是一种检测装置，已广泛应用于工业、农业、交通运输、航空、航天、国防、医疗等诸多领域，这里只介绍一些日常生活中的传感器。

#### 1. 商场购物

红外传感器——自动门；

称重传感器——商品计量；

光电传感器——条形码识别；

磁传感器——防盗。

#### 2. 宾馆、影剧院等公共场所

烟雾传感器——自动消防系统；

温度传感器——中央空调系统、自动消防系统等。

#### 3. 汽车

液位传感器——油箱油量；

温度传感器——水箱温度；

速度传感器——车速；

高度传感器——汽车海拔。

#### 4. 居家生活

红外传感器——遥控器；

激光传感器——VCD、DVD 等；

温度传感器——冰箱、空调、洗衣机、饮水机等；

称重传感器——洗衣机

光电传感器——数码照相机、数码摄像机、洗衣机等；

湿度传感器——居室环境。

## 1.3 传感器的地位和作用

人类社会在发展过程中，需要不断地认识自然与改造自然，这种认识与改造必然伴随着对各种信号的感知和测量。

人们为了从外界获取信息，必须借助感觉器官。然而，单靠人们自身的感觉器官研究自然现象和规律以及生产活动中它们的功能是远远不够的。为适应这种情况，就需要传感器。因此可以说，传感器是人类五官的提升，又称之为“电五官”。

随着新技术革命的到来，世界开始进入信息时代。在利用信息的过程中，首先要解决的就是获取准确可靠的信息，而传感器是获取自然和生产领域中信息的主要途径与手段。

在现代工业生产，尤其是自动化生产过程中，需各种传感器来监视和控制生产过程中的各个参数，使设备工作在正常状态或最佳状态，并使产品达到最好的质量。因此可以说，没有众多优良的传感器，现代化生产也就失去了基础。

在基础学科研究中，传感器更具有突出的地位。现代科学技术的发展进入了许多新领域，例如：在宏观上要观察上万光年的茫茫宇宙，微观上要观察小到无限渺小的粒子世界，纵向上要观察长达数十万年的天体演化、短到秒级的瞬间反应。此外，还出现了对深化物质认识、开拓新能源、新材料等具有重要作用的各种极端技术研究，如超高温、超低温、超高压、超高真空、超强磁场、超弱磁场等。显然，要获取大量人类感官无法直接获取的信息，没有相应的传感器是不可能的。许多基础科学研究的障碍，首先就在于对对象信息的获取存在困难，而一些新机理和高灵敏度的检测传感器的出现，往往会导致该领域内的突破。一些传感器的发展，往往是一些边缘学科开发的先驱。

传感器早已渗透到诸如工业生产、宇宙开发、海洋探测、环境保护、资源调查、医学诊断、生物工程、文物保护等极其广泛的领域。可以毫不夸张地说，从茫茫的太空到浩瀚的海洋，以及各种复杂的工程系统，几乎每一个现代化项目，都离不开各种各样的传感器。

## 1.4 传感器的发展现状

科技越发达，自动化程度越高，对传感器的依赖也就越强。

现在，测量科学已成为现代化生产的五大支柱之一，是整个科学技术和国民经济的一项重要技术基础，它对促进生产力发展与社会进步起到重要作用。

传感器技术是测量技术、半导体技术、计算机技术、信息处理技术、微电子学、光学、声学、精密机械、仿生学和材料科学等众多学科相互交叉的综合性和高新技术密集型前沿技术之一，是现代新技术革命和信息社会的重要基础，是自动检测和自动控制技术不可缺少的重要组成部分。目前，传感器技术已成为我国国民经济不可或缺的支柱产业的一部分。传感器在工业部门的应用普及率已被国际社会作为衡量一个国家智能化、数字化、网络化的重要标志。

从20世纪80年代起，在世界范围内逐步掀起了一股“传感器热”。美国早在20世纪80年代就声称世界已进入传感器时代，日本则把传感器技术列为十大技术之一。日本工商界人士声称“能支配传感器技术就能够支配新时代”。世界技术发达国家对开发传感器技术都十分重视。美、日、英、法、德等国家都把传感器技术列为国家重点开发的关键技术之一。美国国家长期安全和经济繁荣至关重要的22项技术中就有6项与传感器信息处理技术直接相关。关于保护美国武器系统质量优势至关重要的关键技术中有8项为无源传感器。美国空军2000年列举出15项有助于提高21世纪空军实力的关键技术，传感器技术名列第二。日本对开发和利用传感器技术相当重视，将其并列为国家重点发展6大核心技术之一。日本科学技术厅

制定的 20 世纪 90 年代重点科研项目中有 70 个重点课题, 其中有 18 项与传感器技术密切相关。美国早在 20 世纪 80 年代初就成立了国家技术小组 (BTG), 帮助政府组织和领导各大公司与国家企事业单位的传感器技术研发工作。

正是由于世界各国普遍重视和投入开发传感器, 它才发展十分迅速, 在近十几年其产量及市场需求年增长率均在 10% 以上。目前, 世界上从事传感器研制生产单位已增到 5000 余家。美国、欧洲、俄罗斯各自从事传感器研究和生产的厂家有 1 000 余家, 日本有 800 余家。

虽然我国早在 20 世纪 60 年代就开始涉足传感器制造业, 当时在上海、四川等地成立的一些企业现在仍然存在。但是今天活跃在国际市场上的仍然是德国、日本、美国、俄罗斯等老牌工业国家。在这些国家传感器的应用范围很广, 许多厂家的生产都实现了规模化, 有些企业的年生产产能达到几千万只甚至几亿只。相比之下, 我国传感器的应用范围较窄, 更多的仍然停留在航天航空以及工业测量与控制上。高、精、尖传感器和新型传感器的市场, 几乎全被国外品牌或合资企业垄断了。

国内传感器发展水平与国外相差甚远的原因, 主要是技术基础薄弱、研究水平不高、缺乏自主知识产权。我国从事敏感元件与传感器研制生产的企业、单位有 1 688 家, 但研制、生产综合实力较强的骨干企业较少, 仅占总数的 10% 左右。我国目前有很多企业都是引用国外的芯片加工, 自主研发的产品少之又少, 自主创新能力非常薄弱。甚至许多企业仅停留在代理国外产品的水平上, 发展空间捉襟见肘。国产传感器企业按照长期依赖国外技术的惯性发展至今, 在技术上形成了“外强中干”的局面, 不仅失去了中高档产品市场, 而且也直接导致自己能生产的产品品种单一, 同质化十分严重。甚至有相当一部分国产产品只能模仿别人的外形, 即使这样, 由于技术水平低、模仿产品的灵敏度、精度和可靠性也差强人意。

除此以外, 我国传感器行业在分布上还不均衡, 第十届中国国际传感器、测试测量展览会上, 中国传感器协会副理事长谷荣祥提供了以下情况: 国内传感器企业主要集中在陕西省以及东部、沿海地区, 西部其他地区以及内陆地区相对较少。在这些企业中, 95% 以上均属小型企业。一位不愿透露姓名的专家对记者讲到, 可能是因为“传感器制造早期的投入无需很多, 所以有很多民营等小资本介入。”大量小企业的存在使得在低端传感器领域国产传感器的价格竞争进入了惨烈状态, 而另一面却是在高、精、尖领域国产传感器生存惨淡。但是随着传感器向产业化更积极地迈进, 包括通用传感器在内的传感器应用领域和范围的进一步扩大, 随着市场化程度的深入和客户采购制度的完善, 谷荣祥先生说“未来国内传感器厂商的数量会先增后减”, 从而使中国传感器产业走向规范化发展的轨道。

## 1.5 传感器的发展趋势

当前信息时代对于传感器的需求量日益增多, 同时对其性能的要求也越来越高。随着计算机辅助设计技术 (CAD)、微机电系统 (MEMS) 技术、光纤技术、信息理论以及数据分析算法不断迈上新的台阶, 传感器系统正朝着微型化、智能化和多功能化的方向发展。

### 1. 微型传感器 (Micro Sensor)

信息时代的信息量激增, 要求捕获和处理信息的能力日益增强。时代对于传感器性能指标

(包括精确性、可靠性、灵敏性等)的要求越来越严格,同时还要求传感器必须配有标准的输出模式。传统的大体积弱功能传感器往往很难满足上述要求,它们已逐步被各种不同类型的高性能微型传感器所取代。微型传感器是以 MEMS (Microelectro-mechanical System) 技术为基础的,目前的制作技术,可达到光的波长级 ( $0.5\ \mu\text{m}$ )。微型传感器具有体积小、重量轻、反应快、灵敏度高以及成本低等优点。比较成熟的微型传感器有压力传感器、加速度传感器等。

## 2. 智能化传感器 (Smart Sensor)

智能化传感器是一种涉及多学科的新型传感器系统。此类传感器系统在 20 世纪 80 年代末一经问世即受到科研界的普遍重视,尤其在探测应用领域,如在分布式实时探测、网络探测和多信号探测方面深受欢迎。

## 3. 多功能传感器 (Multifunction Sensor)

传统的传感器只能用来探测一种物理量,但在许多应用领域中,为了能够完美而准确地反映客观事物和环境,往往需要同时测量大量的参变量。因此,由若干种敏感元件组成的多功能传感器应运而生,它是一种体积小兼备多种功能的新一代探测系统,借助于敏感元件中不同的物理结构或化学物质及其各不相同的表征方式,多种功能集成于一个传感器系统中。

随着传感器技术和微机技术的飞速发展,目前已经有基于同一种材料或集成在一块芯片上的一体化多功能传感器。超微粒热敏、湿敏、气敏多功能敏感器件以及集成温度传感器、集成压力传感器、集成磁阻传感器等就是综合多种物理、化学、生物效应并结合相应的测量电路的产物。传感器的多功能化不限于传统意义上的检测功能,还兼有信号处理、执行等其他功能。传感检测单元与制动器单元等复合产生出新的功能,是当前多功能化的一种重要趋势。从高科技发展的趋势来看,各种类型的仿生传感器将是最热门的发展动向,特别是在机器人技术向智能化高级机器人发展的今天,仿生传感器就是模拟人的感觉器官的传感器,即视觉传感器、听觉传感器、嗅觉传感器、味觉传感器、触觉传感器等。

# 1.6 传感器的选用原则

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。测量结果的成败,在很大程度上取决于传感器的选用是否合理。

## 1. 根据测量对象与测量环境确定传感器的类别

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。这是因为,即使是测量同一物理量,也有多种测量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一些具体问题: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。

## 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。因为只有当灵敏度高时，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时，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. 频率响应特性

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。实际传感器的响应总有一定的延迟，希望延迟时间越短越好。

传感器的频率响应高，可测的信号频率范围就宽，而由于受到结构特性的影响，机械系统的惯性较大，因此频率低的传感器可测信号的频率较低。

在动态测量中，应根据信号的特点（稳态、瞬态、随机等）及响应特性选择传感器，以免产生过大的误差。

## 4. 线性范围

传感器的线性范围是指输出与输入成正比的范围。从理论上讲，在此范围内灵敏度保持定值。传感器的线性范围越宽，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。

## 5. 稳定性

传感器使用一段时间后，其性能保持不变的能力称为稳定性。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，对所选用传感器的稳定性要求更严格，要能够经受住长时间的考验。



## 6. 精度

精度是传感器一个重要的性能指标，它关系到整个测量系统的测量精度。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即可，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。

如果测量目的是用来定性分析的，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，当无法选到合适的传感器时，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。

造成传感器性能不稳定的原因：随着时间的推移和环境条件的变化，构成传感器的各种材料与元器件性能将发生变化。

为了提高传感器性能的稳定性，应对材料、元器件或传感器整体进行必要的稳定性处理。例如：结构材料的时效处理、冰冷处理，永磁材料的时间老化、温度老化、机械老化及交流稳磁处理，电气元件的老化筛选等。

## 1.7 改善传感器性能的途径

纵观几十年来传感技术领域的发展，不外乎两个方面：一是改善传感器的技术性能；二是寻找新原理、新材料、新工艺及新功能等。为提高传感器的性能，可采用下列技术途径：

### 1. 差动技术

差动技术是传感器中普遍采用的技术。它的应用可显著地减小温度变化、电源波动、外界干扰等对传感器精度的影响，可抵消共模误差、减小非线性误差等。不少传感器由于采用了差动技术，还可使灵敏度增大。

### 2. 平均技术

在传感器中普遍采用平均技术以产生平均效应，其原理是利用若干个传感单元同时感受被测量，其输出则是这些单元输出的平均值。若将每个单元可能带来的误差看作随机误差且服从正态分布，根据误差理论，总的误差将减小为式中传感单元数量。

可见，在传感器中利用平均技术不仅可使传感器误差减小，还可以增大信号量，即增大传感器灵敏度。

光栅、磁栅、容栅、感应同步器等传感器，由于其本身的工作原理决定了它有多个传感单元参与工作，取得了明显的误差平均效应的效果。这也是这一类传感器固有的优点。另外，误差平均效应对某些工艺性缺陷造成的误差同样起到弥补作用。在了解这种道理之后，设计传感器时在结构允许的情况下，适当增加传感单元数，可收到很好的效果。例如：圆光栅传感器，若让全部栅线都同时参与工作，设计成“全接收”形式，误差平均效应就可较充分地发挥出来。