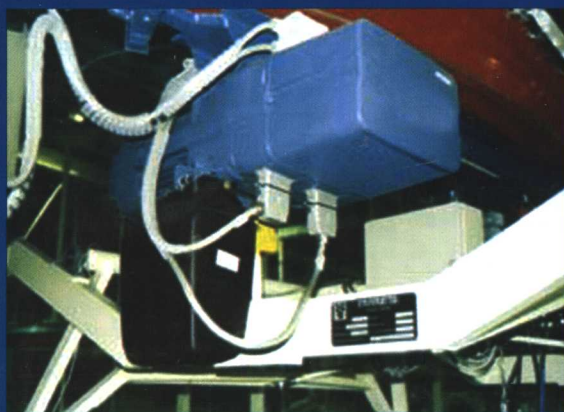


高等学校通用教材

传感技术与应用



周继明 江世明 编著
彭解华 主 审

 中 南 大 学 出 版 社

高等学校通用教材

传感技术与应用

周继明 江世明 编著
彭解华 主审

中南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

传感技术与应用/周继明,江世明编著. —长沙:中南大学出版社,2005.3

ISBN 7-81105-050-1

I. 传... II. ①周... ②江... III. 传感器 IV. TP212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 025440 号

传感技术与应用

周继明 江世明 编著

彭解华 主审

☐责任编辑 邓立荣

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路 邮编:410083

发行科电话:0731-8876770

传真:0731-8710482

☐印 装 中南大学印刷厂

☐开 本 787 × 1092 1/16 ☐印张 26.25 ☐字数 652 千字

☐版 次 2005 年 3 月第 1 版 ☐2005 年 3 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 7-81105-050-1/TP · 005

☐定 价 35.00 元

图书出现印装问题,请与出版社调换

前 言

21 世纪的社会是信息社会。现代信息技术包括三大组成部分,即信息采集——传感技术,信息传递——通信技术,信息处理——计算机技术。可见,传感技术位于信息技术之首。事实上,在瞬息万变的当今社会里,传感器为人类采集各种各样的有用信息,充当电子计算机、智能机器人、自动控制设备的“五官”。随着工业、农业、国防和科学技术的发展,以传感器为核心的传感技术将获得迅速发展,新材料、新原理、新器件、新技术、新工艺不断涌现,应用领域不断扩大。传感技术的研究与应用有着极其广阔的发展前景。

在当今信息社会中,传感技术是高新技术之一。欧美工业发达国家十分重视传感技术的研究,已将传感技术列为优先发展的重要课题,传感器生产速度异常迅猛。据有关资料介绍,1998 年全世界的传感器市场销售总额为 325 亿美元,2003 年增至 422 亿美元,这 5 年的年均增长率为 5.3%;到 2008 年,将达到 506 亿美元,后 5 年的年增长率约为 5%。可见,传感技术发展甚为迅速,并且渗透到机械制造、汽车工业、工业过程控制、国防及民用等各个领域。为了适应传感技术迅速发展的需要,国内几乎所有的理工院校都开设了传感技术及应用的相关课程,传感技术方面的专著及教材也不少。笔者从事传感技术教学 30 余年,身边的传感技术教材已有几十种。在这些教材中,其原理性与应用性各有侧重,传统性与新颖性各有所长。有的教材浅显易懂,便于自学,但理论深度不够;有的教材对于专业研究人员很适用,但又不利于自学;有的教材试图将这两方面兼顾,但又限于篇幅,结果成了“压缩饼干”;有的教材由于多人合编,前后衔接不好。为此,作者广取各种教材之长,结合自己多年教学、科研实践的体会,编著此书,力求做到使学生便于自学、教师便于教学、专业人员便于参考。

由于传感技术高速发展,本书所选内容既要有现在还在广泛应用的传统传感器,也要包括一些刚刚问世或正在研制之中的新型传感器。在原理叙述方面力求严谨精练,言简意赅,通俗易懂;在应用方面力求精选一些最新科技成果,适应面宽。本书不仅适合于机电一体化、自动控制、仪器仪表、信息工程、无线通信、电气自动化、计算机技术等电类专业,而且还适合于航天航空、化工、轻工、环境保护、铁道运输、公路交通、机械制造、石油、冶金等各专业作为本(专)科教材使用,也可供中等专业教师、工程技术人员及相关人员参考。

本书较详细系统地介绍了电阻式、电感式、电容式、磁电式、压电式、热电式、光电式、光栅式、光纤式、辐射式、化学式和生物传感器以及数字式传感器的工作原理、测量电

路和应用,概要介绍了有关传感器的控制测试技术。全书共15章,除了绪论和第1、2章外,其余各章均具有相对独立性,以便不同层次、不同专业、不同学时的学生选用。参考教学课时为60~90课时。

本书由周继明副教授编写绪论、第1章至第14章,江世明副教授编写第15章,彭解华教授主审。并请唐维新教授和罗邵萍高级工程师进行修改。在教材编写过程中,大部分图由刘柳英同志绘制,并得到唐志辉、刘先任两位老师的帮助。在此一并表示感谢。

另本书作者备有多媒体学习光盘,可供教师和读者参考,详情请与编者联系。

传感器技术涉及的学科众多,因笔者学识有限,书中错漏难免,恳请读者批评指正。

编 者

2004年12月

目 录

绪 论	(1)
0.1 传感技术的地位	(1)
0.2 传感技术的作用	(2)
0.3 传感技术的特点	(3)
0.4 传感技术的发展趋势	(4)
第1章 电测的基本知识	(7)
1.1 电子测量	(7)
1.2 测量方法	(8)
1.3 测量误差	(9)
1.3.1 有关误差的基本知识	(9)
1.3.2 误差的表示方法	(9)
1.3.3 误差的分类	(10)
1.3.4 误差的来源	(11)
1.4 电测技术中的干扰及抑制措施	(11)
1.4.1 干扰的类型及防护	(11)
1.4.2 噪声源与噪声的耦合方式	(13)
1.4.3 抑制干扰的措施	(17)
复习思考题	(20)
第2章 传感技术的基本概念与特性	(21)
2.1 传感技术的定义	(21)
2.2 传感器的组成	(22)
2.3 传感器的分类与要求	(22)
2.4 传感技术的基本定律	(24)
2.5 新型敏感材料	(25)
2.6 传感器的静态特性	(26)
2.7 传感器的动态特性	(29)
2.7.1 传感器的阶跃响应特性	(29)
2.7.2 传感器的频率响应特性	(30)
2.7.3 传感器典型环节的动态响应	(31)
2.8 传感器无失真测试条件	(34)
复习思考题	(35)

第3章 电阻传感器	(36)
3.1 电位器式传感器	(36)
3.1.1 线绕电位器的结构和工作原理	(36)
3.1.2 线绕电位器式传感器的阶梯特性、阶梯误差及分辨率	(37)
3.1.3 电位器的负载特性与负载误差	(39)
3.1.4 非线性绕电位器式传感器	(41)
3.2 金属应变式传感器	(42)
3.2.1 应变效应	(42)
3.2.2 金属电阻应变片的结构与工作原理	(42)
3.2.3 金属电阻应变片的静态特性	(45)
3.2.4 金属电阻应变片的动态特性	(47)
3.2.5 金属电阻应变片的测量电路	(49)
3.2.6 金属电阻应变片的温度误差及其补偿	(55)
3.3 压阻式传感器	(58)
3.3.1 压阻效应	(59)
3.3.2 半导体应变片的工作原理	(59)
3.3.3 半导体应变片的主要特性	(60)
3.3.4 半导体应变片的温度补偿方法	(61)
3.4 电阻式传感器的应用	(62)
3.4.1 电阻应变仪	(62)
3.4.2 电位器式压力传感器	(63)
3.4.3 金属电阻应变式传感器	(63)
复习思考题	(69)
第4章 电容传感器	(71)
4.1 电容传感器的工作原理、类型和特点	(71)
4.1.1 电容传感器的工作原理和特点	(71)
4.1.2 变极距型电容传感器	(72)
4.1.3 变面积型电容传感器	(75)
4.1.4 变介质型电容传感器	(77)
4.2 电容传感器的等效电路	(81)
4.3 电容传感器的测量电路	(82)
4.3.1 调频电路	(82)
4.3.2 谐振电路	(83)
4.3.3 脉冲电路	(83)
4.3.4 运算放大器电路	(84)
4.3.5 一般交流电桥电路	(84)
4.3.6 紧耦合电桥电路	(85)
4.3.7 变压器电桥电路	(86)

4.3.8 二极管双T交流电桥电路	(87)
4.3.9 脉冲调宽电路	(88)
4.4 引起电容传感器测量误差的因素及改进措施	(90)
4.4.1 温度对电容器结构尺寸的影响	(90)
4.4.2 电容电场边缘效应的影响	(91)
4.4.3 寄生电容与分布电容的影响	(92)
4.4.4 外界干扰的影响	(93)
4.4.5 温度对介质的介电常数的影响	(94)
4.4.6 漏电阻的影响	(94)
4.5 电容传感器的应用	(94)
4.5.1 电容法测泥料水分	(94)
4.5.2 电容测厚传感器在板材轧制中的应用	(95)
4.5.3 电容式液位计	(95)
4.5.4 电容式料位计	(97)
4.5.5 电容式压力传感器	(98)
4.5.6 电容式振动、位移测量仪	(99)
4.5.7 电容式荷重传感器	(99)
4.6 容栅式传感器	(100)
4.6.1 开环调幅式容栅传感器工作原理	(100)
4.6.2 闭环调幅式容栅传感器工作原理	(100)
4.6.3 调相式容栅传感器工作原理	(101)
复习思考题	(102)
第5章 电感传感器	(104)
5.1 自感式传感器	(104)
5.1.1 自感式传感器的结构与工作原理	(104)
5.1.2 等效电路及其有关电气参数分析	(105)
5.1.3 变气隙厚度式自感传感器	(109)
5.1.4 差动式变气隙厚度自感传感器	(110)
5.1.5 变气隙面积式自感传感器	(110)
5.1.6 螺管式自感传感器	(112)
5.1.7 自感式传感器的测量电路	(114)
5.1.8 影响自感传感器精度的因素及改进措施	(117)
5.2 互感式传感器	(119)
5.2.1 互感式传感器的结构与工作原理	(119)
5.2.2 互感式传感器等效电路	(120)
5.2.3 互感式传感器测量电路	(122)
5.3 电涡流式传感器	(125)
5.3.1 电涡流传感器的基本结构与工作原理	(125)
5.3.2 电涡流的形成范围	(126)

5.3.3	被测导体材料、形状、大小和安装对传感器灵敏度的影响	(127)
5.3.4	电涡流传感器的等效电路与阻抗特性	(127)
5.3.5	电涡流传感器的测量电路	(131)
5.3.6	低频透射式电涡流传感器	(132)
5.4	压磁式传感器	(133)
5.4.1	压磁效应	(133)
5.4.2	压磁传感器的工作原理	(133)
5.4.3	压磁式测力传感器的结构	(134)
5.4.4	压磁传感器的特性	(135)
5.4.5	压磁传感器的测量电路	(136)
5.5	电感式传感器的应用	(137)
5.5.1	自感式传感器的应用	(137)
5.5.2	差动变压器的应用	(137)
5.5.3	电涡流传感器的应用	(139)
5.5.4	压磁传感器的应用	(142)
	复习思考题	(143)
第6章	压电传感器	(145)
6.1	压电效应与压电材料	(145)
6.1.1	压电效应	(145)
6.1.2	压电材料	(146)
6.1.3	石英晶体的压电特性	(148)
6.1.4	压电陶瓷的压电特性	(150)
6.2	压电传感器的等效电路和测量电路	(151)
6.2.1	压电晶片的连接方式	(151)
6.2.2	压电传感器的等效电路	(152)
6.2.3	压电传感器的测量电路	(153)
6.3	压电传感器的应用	(156)
6.3.1	压电式测力传感器	(156)
6.3.2	测表面粗糙度	(157)
6.3.3	压电引爆	(157)
6.3.4	煤气灶电子点火装置	(157)
6.3.5	汽轮发电机工况检测系统	(158)
6.3.6	压电式料位测量系统	(159)
	复习思考题	(159)
第7章	磁电传感器	(160)
7.1	磁电感应式传感器	(160)
7.1.1	磁电感应式传感器的工作原理	(160)
7.1.2	磁电感应式传感器的结构及要求	(161)

7.2 霍尔传感器	(162)
7.2.1 霍尔效应和工作原理	(162)
7.2.2 霍尔元件的主要技术参数及类型	(164)
7.2.3 霍尔元件的连接方式和输出电路	(166)
7.2.4 霍尔元件误差分析及补偿方法	(167)
7.3 磁敏电阻器	(170)
7.3.1 磁阻效应	(170)
7.3.2 磁敏电阻器的分类、结构及工作原理	(170)
7.4 磁敏二极管和磁敏三极管	(172)
7.4.1 磁敏二极管	(172)
7.4.2 磁敏三极管	(174)
7.5 磁电传感器的应用	(176)
7.5.1 霍尔传感器的应用	(176)
7.5.2 磁敏电阻的应用	(179)
7.5.3 磁敏二极管漏磁探伤仪	(180)
7.5.4 磁敏三极管电位器	(181)
复习思考题	(181)
第8章 热电传感器	(182)
8.1 热电偶传感器	(182)
8.1.1 热电效应	(182)
8.1.2 热电偶的工作原理	(184)
8.1.3 热电势性质与热电偶的基本定律	(186)
8.1.4 热电偶的结构、种类和特点	(188)
8.1.5 热电偶测温原理	(192)
8.1.6 热电偶实用测量电路	(192)
8.1.7 热电偶冷端温度误差及其补偿	(195)
8.2 热电阻传感器	(198)
8.2.1 热电阻材料的特点	(198)
8.2.2 电阻与温度的关系	(198)
8.2.3 常用热电阻	(199)
8.2.4 热电阻的测温电路	(201)
8.2.5 使用热电阻时应注意的事项	(202)
8.3 热敏电阻传感器	(202)
8.3.1 热敏电阻的工作原理	(202)
8.3.2 热敏电阻的结构形式与基本类型	(203)
8.3.3 热敏电阻的主要参数与特性	(205)
8.3.4 热敏电阻输出特性的线性化处理	(207)
8.4 PN 结温度传感器	(209)

8.4.1 温敏二极管	(209)
8.4.2 温敏三极管	(211)
8.4.3 温控晶闸管	(212)
8.5 集成温度传感器	(213)
8.5.1 基本原理与核心电路	(213)
8.5.2 电压输出型集成电路温度传感器	(215)
8.5.3 电流输出型集成电路温度传感器	(216)
8.6 热释电红外传感器	(218)
8.6.1 热释电效应	(218)
8.6.2 热释电红外传感器	(218)
8.6.3 热释电红外探测模块	(220)
8.7 热电传感器的应用	(221)
复习思考题	(224)
第9章 光电传感器	(225)
9.1 光源	(225)
9.1.1 光的特性	(225)
9.1.2 常用光源及特性	(226)
9.2 光电效应	(229)
9.2.1 外光电效应	(229)
9.2.2 内光电效应	(230)
9.3 外光电效应器件	(231)
9.3.1 光电管	(231)
9.3.2 光电倍增管	(233)
9.4 内光电效应器件	(235)
9.4.1 光敏电阻	(235)
9.4.2 光电池	(237)
9.4.3 光敏二极管	(239)
9.4.4 光敏三极管	(240)
9.4.5 光敏晶闸管	(243)
9.4.6 光敏集成器件	(243)
9.5 新型光电传感器	(244)
9.5.1 PIN 结光电二极管	(244)
9.5.2 雪崩式光电二极管(APD)	(244)
9.5.3 色敏光电传感器	(245)
9.5.4 光电位置传感器	(246)
9.6 光图像传感器	(249)
9.6.1 电荷耦合器件(CCD)	(249)
9.6.2 CCD 图像传感器	(251)

9.7 光电码盘	(252)
9.8 光电传感器的应用	(254)
9.8.1 光电传感器应用的几种基本形式	(254)
9.8.2 烟尘浊度监测仪	(255)
9.8.3 光电转速传感器	(256)
9.8.4 光电池在路灯控制器中的应用	(257)
9.8.5 光电传感器在输液监测中的应用	(257)
9.8.6 声控光敏延时开关电路	(259)
9.8.7 条形码扫描笔	(259)
复习思考题	(260)
第10章 光栅传感器	(261)
10.1 光栅基础知识	(261)
10.1.1 光栅分类及结构	(261)
10.1.2 莫尔条纹原理与特点	(262)
10.2 光栅传感器的工作原理	(263)
10.2.1 光电转换原理	(263)
10.2.2 莫尔条纹测量位移原理	(264)
10.2.3 辨向原理	(264)
10.3 莫尔条纹细分技术	(265)
10.3.1 细分方法	(265)
10.3.2 直接细分	(265)
10.3.3 电位器桥细分	(266)
10.4 光栅传感器的误差	(268)
10.5 常见光学系统	(269)
10.5.1 直接接收式光学系统	(269)
10.5.2 分光式光学系统	(270)
10.6 光栅传感器的设计要点	(272)
10.6.1 照明系统	(272)
10.6.2 光栅副	(273)
10.6.3 光电接收元件	(274)
复习思考题	(274)
第11章 光纤传感器	(275)
11.1 光纤的基本知识	(275)
11.1.1 什么是光纤	(275)
11.1.2 光纤的结构	(275)
11.1.3 光纤的种类	(276)
11.1.4 光纤的传光原理	(277)

11.1.5 光纤的主要参数	(279)
11.2 光纤传感器的基本原理、分类及结构	(281)
11.2.1 光纤传感器的基本原理	(281)
11.2.2 光纤传感器分类	(281)
11.2.3 光纤传感器的特点	(285)
11.2.4 光纤传感器的结构	(286)
11.3 光纤传感器的应用	(288)
11.3.1 光纤传感器的应用特点	(288)
11.3.2 光纤传感器的构成、工作原理与检测方法	(289)
11.4 功能型光纤传感器举例	(290)
11.4.1 相位调制型光纤传感器	(290)
11.4.2 光强调制型光纤传感器	(293)
11.4.3 偏振态调制型光纤传感器	(293)
11.4.4 光纤磁场传感器	(294)
11.5 非功能型光纤传感器	(295)
11.5.1 传输光强调制型光纤传感器	(295)
11.5.2 反射光强调制型光纤传感器	(296)
11.5.3 频率调制型光纤传感器	(297)
11.5.4 光纤液位传感器	(299)
11.5.5 光纤位移传感器	(299)
11.5.6 光纤温度传感器	(300)
复习思考题	(300)
第12章 辐射传感器	(301)
12.1 红外线光电传感器	(301)
12.1.1 红外光的特点	(301)
12.1.2 光电红外传感器	(301)
12.1.3 红外检测的物理基础	(302)
12.1.4 红外辐射检测技术的应用	(303)
12.2 紫外线光电传感器	(306)
12.3 激光传感器	(307)
12.3.1 激光的形成	(307)
12.3.2 激光的特性	(308)
12.3.3 常用激光器及其特点	(308)
12.3.4 激光检测技术的应用	(308)
12.4 超声波传感器	(310)
12.4.1 超声波的传播速度	(310)
12.4.2 超声波的物理性质	(312)
12.4.3 超声波传感器	(313)

12.4.4 超声波检测技术的应用	(314)
12.5 微波传感器	(323)
12.5.1 微波的基础知识	(323)
12.5.2 微波传感器	(323)
12.5.3 微波传感器的应用	(324)
12.6 核辐射传感器	(328)
12.6.1 核辐射传感器的物理基础	(328)
12.6.2 核辐射的物理特性	(329)
12.6.3 核辐射传感器	(330)
12.6.4 核辐射传感器的应用	(332)
复习思考题	(333)
第13章 化学传感器	(334)
13.1 离子敏传感器	(334)
13.1.1 MOSFET 场效应管的结构与特性	(334)
13.1.2 离子敏传感器的结构与工作原理	(335)
13.1.3 ISFET 的特点和参数	(337)
13.1.4 ISFET 的应用	(338)
13.2 半导体气敏传感器	(339)
13.2.1 半导体气敏传感器的分类	(339)
13.2.2 半导体气敏传感器的工作原理	(340)
13.2.3 半导体气敏传感器的结构及特性	(341)
13.2.4 接触燃烧式气敏传感器	(344)
13.2.5 电化学式气敏传感器	(344)
13.2.6 红外线气敏传感器	(345)
13.2.7 固体电解质氧气传感器	(346)
13.2.8 电阻式气敏传感器	(346)
13.2.9 氨敏 MOS 场效应管	(347)
13.2.10 气敏二极管	(350)
13.2.11 气敏传感器的应用	(350)
13.3 湿敏传感器	(353)
13.3.1 湿度与湿敏传感器的分类	(353)
13.3.2 水分子亲和型湿敏传感器	(354)
13.3.3 非水分子亲和型湿敏传感器	(362)
13.3.4 湿敏传感器的应用	(365)
13.4 电化学传感器	(369)
复习思考题	(370)

第 14 章 生物传感器	(371)
14.1 生物传感器的基本结构与工作原理	(371)
14.2 酶传感器	(374)
14.2.1 酶传感器的结构	(374)
14.2.2 酶传感器的分类	(375)
14.2.3 酶传感器的应用	(375)
14.3 微生物传感器	(376)
14.3.1 微生物传感器的特点	(377)
14.3.2 微生物传感器的结构与分类	(378)
14.3.3 微生物传感器的基本工作原理	(378)
14.3.4 微生物传感器的应用	(379)
14.4 免疫传感器	(380)
14.4.1 免疫传感器的结构	(380)
14.4.2 免疫传感器的分类	(381)
14.4.3 免疫传感器的应用	(381)
14.5 生物电子学传感器	(382)
14.5.1 酶场效应管的结构与工作原理	(382)
14.5.2 免疫场效应晶体管的结构与工作原理	(383)
复习思考题	(383)
第 15 章 智能温度传感器	(384)
15.1 智能传感器	(384)
15.1.1 智能传感器	(384)
15.1.2 智能集成温度传感器简介	(384)
15.2 智能温度传感器(DS18B20)的工作原理	(385)
15.2.1 DS18B20 的性能特点	(386)
15.2.2 DS18B20 的内部结构	(386)
15.2.3 DS18B20 的工作原理	(387)
15.3 智能温度传感器(DS18B20)应用实例	(388)
15.3.1 DS18B20 与微处理器的接口技术	(388)
15.3.2 由 DS18B20 构成的智能温度测量装置	(391)
复习思考题	(394)
附 录	(395)
参考文献	(406)

绪 论

传感技术是一门综合性学科。它是以研究传感器的材料、设计、制作、应用为主要内容,以传感器敏感材料对力、热、声、光、磁等物理量产生“效应”和“现象”,对各种化学“反应”以及生物学中的各种“机理”作为理论基础,并与物理学、微电子学、化学、材料力学、生物工程、微细加工技术、精密仪器、试验测量等各方面的知识和技术密切相关的边缘学科。

0.1 传感技术的地位

随着测量、控制和自动化技术等现代科学技术的迅速发展,极大地推动了信息技术的进步。21 世纪人类社会进入了信息时代,信息技术必将产生新的革命,科学技术必将得到更大的发展。现代信息技术的三大基础是信息的拾取、信息的传输和信息的处理,即传感技术、通信技术和计算机技术,它们构成了信息技术系统的“感官”、“神经”、和“大脑”。而传感技术位于信息技术之首,是信息技术之源,是获取信息的前端基础。由于科学技术、经济发展及生态平衡的需要,传感技术在各个领域的作用日益显著。在工业生产自动控制、能源、交通、军事、航天以及灾害预报、安全防卫、环境保护、医疗卫生和农业等各个方面,不仅能代表人的五官功能,而且还能检测到人的五官所不能感受的各种参数。因此可以说,没有传感技术,就没有现代信息技术。如果传感技术不发达,即使通信技术和计算机技术再发达,也只能是一个头脑聪明、感官不灵敏的“残废人”。所以,传感技术的应用研究在许多工业发达国家中已经得到普遍重视。

据有关资料介绍,世界非军用传感器市场,1998 年的销售额为 325 亿美元,2003 年已达到 422 亿美元,2008 年预计将增加到 506 亿美元。在 1998 年的 325 亿美元的销售中,美国占 31%,其他美洲国家占 6.1%;日本占 14.4%,其他亚太国家占 8.8%;德国占 10.9%,其他西欧国家占 20.8%。而在 2008 年的 506 亿美元的销售中,预计美国占 29%,其他美洲国家占 6.5%;日本占 19.5%,其他亚太国家占 9.8%;德国占 11.3%,其他西欧国家占 21%。由此可见,传感技术的发展极为迅速,尤其是美国、日本和德国。美国早在 20 世纪就把 80 年代看做是传感器时代,把传感技术列为 90 年代 22 项关键技术之一。日本把传感技术列为十大技术之首。我国也把传感技术列为“八五”、“九五”重点发展项目。在当今社会,传感技术水平的高低,已成为衡量一个国家工业发达与否的重要标志。

传感技术是科学研究和工业技术的“耳目”。在基础学科和尖端技术的研究中,大到上千光年的茫茫宇宙,小到 10^{-13}cm 的微观粒子;长到数十亿年的天体演化,短到 10^{-24}s 的瞬间反应;高达 $5 \times 10^8\text{℃}$ 的超高温、 $3 \times 10^8\text{Pa}$ 的超高压,低到 0.01K 的超低温、 10^{-13}Pa 的

超真空；强到 25T 以上的超强磁场，弱到 10^{-11} T 的超弱磁场……要测量或检测如此极端的信息，人的感觉器官和一般的电子设备已无能为力，必须借助于配有相应传感器的高精度测控仪器或大型测控系统才能完成。传感器是人类五官的延伸，故人们形象地把传感器称为“电五官”。

0.2 传感技术的作用

传感技术早已渗透到工业生产、军事国防、宇宙探测、海洋开发、环境保护、资源调查、医学诊断、生物工程、文物保护、安全防范、家用电器等极其广泛的领域。因此，从茫茫太空到浩瀚海洋，从各种复杂工程系统到日常生活的衣食住行，几乎每一个领域都离不开各种各样的传感器。可以毫不夸张地说，21 世纪的社会，将是充满传感器的世界。

在电力工业中，检测发电机组各转动部分的轴承温度及转子的动平衡情况；测量和控制汽轮机进汽流量、速度、压力和温度，可调节发电机组的功率和频率等，保证供电质量。同时对锅炉水液位、粉煤仓物位以及锅炉温度自动检测与控制，实行自动加煤添水，保证安全生产。

在工业自动化过程中，检测、监视和控制温度、压力、流量、液位、pH 等参数，以便使设备工作在最佳状态，成本消耗最低，产品质量最高，同时，在生产过程中将各个环节的参数转为电信号，并与计算机接口，实现生产自动化。

在机械制造业中，利用传感技术对铸件内有无气泡、裂纹进行无损检测；在机械加工过程中，采用各种传感器，对刀架压力、工件被夹是否变形、自动进刀量等进行控制，对车床振动的检测，以及工件加工完毕后对加工精度、表面光洁度、平面度、同轴度、圆度、锥度等进行检测，有利于保证和提高工件加工质量。

冶金部门对液态金属温度的测量，大型钢厂需要 2 万多台传感器和自动化仪器对轧机的压力、转矩、转速以及对板材厚度的在线不停机自动检测和控制等；石油化工部门对温度、压力、流量、液位等参数的多点循环检测与控制，是保证产品质量的关键。

在航空航天技术中，传感器用得早且多。用来检测飞机及各种宇宙飞行器的飞行参数、运行状态和发动机推力、燃烧室液体燃料喷嘴的压力、温度，管道中液体燃料的流量、流速，空中各种卫星、宇宙飞行器的能源供给，侦察卫星对地面军事设施、重要建筑物的监视、拍照等都离不开传感器。美国阿波罗 10 号宇宙飞船使用大量传感器对 3295 个参数进行监测。我国“神州”号宇宙飞船，仅信息产业部第 49 所就提供了 400 余套 2000 余支各种传感器，对飞船中各种参数进行检测与控制。

造纸、纺织、烟草等轻工部门也离不开传感器。使用传感器对纸、纱的张力进行测量，检查布匹有无断纱次品，检测、控制空气中的温度和湿度，对保证纸张、棉纱、卷烟的质量有很大好处。

在交通运输部门，为研究飞机的强度，要在机翼上贴几百个应变片；在试验飞行时，还要利用传感器测量发动机的转速、转矩、振动等参数，以及飞机上各相关部位的应力、温度、燃油流量及液位等参数；汽车工业也要用 30 多种传感器检测车速、方位、转矩、振动、油压、油量、温度等参数。美国研制成功的无人驾驶飞机和正在试验的无人驾驶汽车，