

新编传感器技术手册



李科杰 主编

国防工业出版社

新编传感器技术手册

李科杰 主编

国防工业出版社

·北京·

内 容 提 要

本手册全面、系统地介绍了光机电一体化、自动控制、测试、计量、计算机应用、生物工程等领域各类传感器的基础、原理与应用方面的知识。较深入地阐明传感器的原理与特性,设计、制造、校准和使用技术。

新编传感器技术手册,取材广泛、内容丰富、技术实用,反映了传感器技术领域的新发展和新成果,可供各相关领域从事传感器教学、设计、制造、使用的工程技术人员阅读,也可供有关专业的师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

新编传感器技术手册/李科杰主编. —北京:国防工业出版社,2002.1

ISBN 7-118-02505-4

I. 新... II. 李... III. 传感器—技术手册
IV. TP212-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 12835 号

国防工业出版社出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

北京奥隆印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 83 2034 千字

2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:130.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

《新编传感器技术手册》编委会

主 编 李科杰

副主编 吴三灵 安 钢 石庚辰

编 委

(按姓氏笔划为序)

王文襄	王宝莲	王树山	石永龄	石庚辰
刘广玉	刘义荣	刘正绣	刘明杰	孙良彦
孙德辉	朱明武	安 钢	任 恕	宋文敏
宋 萍	吴三灵	吴家琨	李科杰	张福学
周世勤	金皖田	赵家贵	柳继昌	贾云得
袁希光	商继红	梁嘉甫	傅尤章	彭华良

前 言

传感器技术、通信技术、计算机技术是信息产业的三大支柱,它们分别是智能系统的“感官”、“神经”和“大脑”。传感器对于机械电子工程、控制、测试、计量等领域,都是必不可少的获取信息的关键部件。如果没有传感器检测各种信息,那么支撑现代文明的科学技术就不能发展,惟有模仿人脑的计算机和作为“电五官”的传感器的协调发展才能促进科学技术的飞跃。

本手册的作者多是国防工业出版社 1986 年版《传感器技术手册》的编著者。编著者们根据多年来在教学、科研、生产中的丰富实践经验,在总结国内外研制、使用传感器的大量文献的基础上,理论联系实际,历时数年,完成了《新编传感器技术手册》的编写工作。手册内容安排上采取“抓住典型、解剖麻雀”的方法,取材上也尽可能反映先进技术和最新进展,并以工具书的形式,方便、系统地呈现给读者使用。

《新编传感器技术手册》由北京理工大学首席教授李科杰主编,手册各章编写者分别是:第一章,李科杰;第二章,周世勤、彭华良;第三章,吴三灵;第四章,朱明武、孙德辉;第五章,李科杰;第六章,张福学;第七章,刘广玉;第八章,贾云得;第九章,李科杰、宋萍;第十章,柳继昌;第十一章,刘义荣;第十二章,吴三灵;第十三章,吴三灵、袁希光;第十四章,宋文敏、王宝莲;第十五章,李科杰;第十六章,王文襄、金皖田;第十七章,李科杰、石永龄;第十八章、第十九章、第二十章,李科杰;第二十一章,王树山;第二十二章,刘广玉;第二十三章,张福学;第二十四章、第二十五章,吴三灵;第二十六章,安钢;第二十七章,石庚辰、王树山;第二十八章,安钢;第二十九章,傅允章;第三十章,李科杰;第三十一章,孙良彦、吴家琨;第三十二章,孙良彦、刘正绣;第三十三章、第三十四章,任恕;第三十五章,吴三灵;第三十六章,赵家贵;第三十七章,刘明杰、商继红;第三十八章,吴三灵;第三十九章,石庚辰;第四十章,石庚辰、梁嘉甫。

华北工学院院长、博士生导师张文栋教授,复旦大学博士生导师鲍敏杭教授,主审了部分主要章节。李科杰、吴三灵、安钢、石庚辰、宋萍参加了全书的统校工作。

在手册编写过程中得到国防基础试验和测试技术领域专家组、中国兵器科学研究院、全国高校传感技术研究会、中国兵工学会测试技术分会、北京高校检测技术研究会、《传感器世界》期刊、《测控技术》期刊以及各位编著者所在单位的大力支持,在此一并表示衷心的感谢!

由于传感器技术知识面广,而编著者水平有限,谬误之处在所难免,望读者不吝赐教。

《新编传感器技术手册》编委会

2000 年 10 月

目 录

基础篇

第1章 概 论

1.1 传感器的地位和作用	1	1.4 传感器技术动向	6
1.2 传感器的应用和需求	1	1.4.1 集成化、智能化	6
1.2.1 应用领域	1	1.4.2 微机械化和系统化	6
1.2.2 市场需求	2	1.5 传感器的定义与分类	7
1.3 传感器的发展动向	2	1.5.1 定义	7
1.3.1 力学量传感器	2	1.5.2 分类	7
1.3.2 热学量传感器	3	1.6 传感器命名法及代号	7
1.3.3 光学量传感器	4	1.6.1 传感器命名方法	7
1.3.4 磁学量传感器	5	1.6.2 传感器代号标记方法	10
1.3.5 声学量传感器	5	1.6.3 传感器代号	11

第2章 传感器的名词术语

2.1 被测量名词术语	15	2.2 传感器分类术语	22
2.1.1 力学量名词术语	15	2.2.1 一般分类术语	22
2.1.2 光学量名词术语	18	2.2.2 物理量传感器分类术语	24
2.1.3 热学量名词术语	19	2.2.3 化学量传感器分类术语	28
2.1.4 磁学量名词术语	20	2.2.4 生物量传感器分类术语	29
2.1.5 声学量名词术语	20	2.3 传感器性能术语	31
2.1.6 电学量名词术语	21	2.3.1 通用性能术语	31
2.1.7 辐射名词术语	21	2.3.2 常用物理量传感器性能术语	36

第3章 双向传感器统一理论

3.1 机电模拟	41	3.2.1 双向传感器统一理论概述	47
3.1.1 变量分类及机电理论基本公式	41	3.2.2 理想传感器	48
3.1.2 两种机电模拟	44	3.2.3 实际传感器	49
3.1.3 机电网络	45	3.2.4 双向传感器的频响函数	50
3.2 双向机电传感器理论分析	47	3.2.5 常用的双向传感器的特征传递矩阵和频响函数	52

第4章 传感器的特性

4.1 传感器静态特性的一般知识	56	4.2.9 总精度	71
4.1.1 静特性的表示方法	56	4.2.10 总精度计算示例	74
4.1.2 静特性的求法	59	4.3 传感器的动态响应特性	77
4.2 传感器的主要静态性能指标	59	4.3.1 传感器动态响应的基本特点	78
4.2.1 测量范围和量程	59	4.3.2 传递函数与频响特性	80
4.2.2 分辨力和阈值	59	4.3.3 一阶系统的动态响应	83
4.2.3 灵敏度	61	4.3.4 二阶系统的动态响应	86
4.2.4 迟滞	61	4.3.5 高阶系统的动态响应	91
4.2.5 重复性	62	4.3.6 传感器动态响应特性的指标	91
4.2.6 线性度	63	4.3.7 实验确定传递函数的方法	93
4.2.7 符合度	67		
4.2.8 零漂及温漂	70		

第5章 传感器的基础效应

5.1 传感器功能、材料和效应	97	5.8 压电效应	104
5.2 光电效应	98	5.8.1 正压电效应	104
5.2.1 外光电效应	98	5.8.2 逆压电效应	104
5.2.2 内光电效应	98	5.8.3 电致伸缩效应	104
5.3 电光效应	99	5.9 压阻效应	105
5.3.1 泡克尔斯(Pockels)效应	100	5.10 磁致伸缩效应和压磁效应	105
5.3.2 电光克尔(Kerr)效应	100	5.10.1 磁致伸缩效应	105
5.3.3 光弹性效应	100	5.10.2 压磁效应	105
5.3.4 电致发光效应	100	5.10.3 威德曼(Wiedeman)效应	105
5.4 磁光效应	100	5.11 约瑟夫逊(Josephson)效应与核磁共振	106
5.4.1 法拉第效应	100	5.11.1 隧道效应	106
5.4.2 磁光克尔效应	101	5.11.2 直流约瑟夫逊效应	106
5.4.3 科顿-蒙顿效应	101	5.11.3 交流约瑟夫逊效应	107
5.5 磁电效应	101	5.11.4 核磁共振	108
5.5.1 霍耳效应	101	5.12 与光有关的效应	108
5.5.2 磁阻效应	101	5.12.1 光的多普勒(Doppler)效应	108
5.6 热电效应和热释电效应	102	5.12.2 萨古纳克(Sagnac)效应	108
5.6.1 热电效应	102	5.12.3 喇曼(Raman)效应	109
5.6.2 热释电效应	102	5.12.4 派生喇曼效应	110
5.7 热磁效应	103	5.12.5 布里渊(Brillouin)效应	110
5.7.1 横向能斯脱效应	103	5.12.6 派生布里渊效应	110
5.7.2 纵向能斯脱效应	103	5.13 与声波有关的效应	110
5.7.3 里纪-勒杜克效应	103		
5.7.4 热磁纵向效应	103		

5.13.1 声音的多普勒效应·····	110	5.15 击波动态效应·····	115
5.13.2 声电效应·····	111	5.15.1 动态电学效应·····	115
5.13.3 声光效应·····	111	5.15.2 动态光学效应·····	115
5.13.4 声磁效应·····	111	5.15.3 动态磁学效应·····	115
5.13.5 德·哈斯-板·阿尔芬(De Haass-Van Alphen)效应 ···	111	5.16 吸附效应及表面场效应·····	115
5.13.6 碰撞-阻尼效应 ·····	111	5.16.1 吸附效应·····	115
5.13.7 ΔE 效应 ·····	112	5.16.2 半导体表面场效应·····	116
5.13.8 遮掩效应·····	112	5.17 与化学有关的效应·····	116
5.13.9 衍射效应·····	113	5.17.1 科顿(Cotton)效应 ·····	116
5.14 放射线效应·····	113	5.17.2 中性盐效应·····	116
5.14.1 γ 射线的光电效应 ·····	113	5.17.3 饱和效应·····	117
5.14.2 吸收效应及原子序号 效应·····	114	5.17.4 电泳效应·····	117
5.14.3 俄歇效应·····	114	5.17.5 贝克·纳赞(Baker-Nathan) 效应·····	117
5.14.4 康普顿效应·····	114	5.17.6 彼得(Budde)效应 ·····	117
5.14.5 纬度效应·····	114	5.17.7 努森(Knudsen)效应 ·····	117

第6章 传感器材料

6.1 金属和合金 ·····	118	6.4 有机传感器材料 ·····	134
6.1.1 金属 ·····	118	6.5 半导体传感器材料 ·····	136
6.1.2 合金 ·····	119	6.5.1 半导体的电子特征 ·····	136
6.2 磁性材料 ·····	120	6.5.2 电导、载流子密度和迁移率 的机理 ·····	137
6.2.1 磁性材料的分类 ·····	120	6.5.3 涉及半导体物性的外场效应 ·····	140
6.2.2 磁致伸缩材料 ·····	121	6.5.4 电性能的热特性 ·····	141
6.2.3 永磁铁氧体 ·····	121	6.6 光纤传感器材料 ·····	141
6.3 陶瓷传感器材料 ·····	122	6.6.1 光导纤维的分类及特性 ·····	141
6.3.1 传感器用陶瓷材料的物理 性质 ·····	122	6.6.2 光纤参数测试 ·····	143
6.3.2 各种传感器用陶瓷材料 ·····	127		

第7章 弹性敏感元件

7.1 弹性敏感元件的基本特性 ·····	145	7.4.1 等截面梁 ·····	154
7.1.1 概述 ·····	145	7.4.2 等强度梁 ·····	154
7.1.2 弹性元件的工作特性 ·····	145	7.4.3 两端固定梁 ·····	156
7.1.3 非弹性效应 ·····	147	7.4.4 环式弹性元件 ·····	156
7.2 弹性敏感元件的材料 ·····	149	7.4.5 平膜片在均布压力作用下 的挠度和应力 ·····	158
7.3 弹性敏感元件的形式及其力学 特性 ·····	150	7.4.6 在均布压力作用下的薄膜 ···	160
7.4 常用弹性元件的设计与计算 ·····	154	7.4.7 平膜片大挠度问题 ·····	161

7.4.8 平膜片的非线性	161	7.4.12 矩形膜片	166
7.4.9 有硬中心的平膜片在均布 压力作用下的挠度和应力	163	7.4.13 波纹膜片和膜盒	167
7.4.10 平膜片在集中力作用下的 位移和应力	164	7.4.14 波纹管	171
7.4.11 平膜片的有效面积	165	7.4.15 波登管(弹簧管)	173
		7.4.16 筒式应变弹性元件	175
		7.4.17 弹性谐振元件	176

第8章 多传感器信息融合技术

8.1 引言	178	8.3.3 D-S 证据推理法	181
8.2 信息融合的特点和模式	179	8.3.4 基于人工神经网络方法	184
8.2.1 信息融合的特点	179	8.4 信息融合在机器人中的应用	185
8.2.2 信息融合层次	179	8.4.1 手爪多传感器信息融合	185
8.3 多传感器信息融合方法	180	8.4.2 移动机器人多传感器信息 融合系统	188
8.3.1 概述	180		
8.3.2 统计决策法	181		

原 理 篇

第9章 光 传 感 器

9.1 光电效应	191	9.3.5 光电位置敏感器件	202
9.2 光电器件的基本特性	191	9.3.6 光电管	207
9.2.1 光谱灵敏度 $S(\lambda)$	191	9.3.7 光电倍增管	211
9.2.2 相对光谱灵敏度 $S_r(\lambda)$	191	9.4 固体图像传感器	214
9.2.3 积分灵敏度 S	192	9.4.1 固体图像传感器种类和 特点	214
9.2.4 通量阈 ϕ_H	192	9.4.2 CCD 图像传感器的工作 原理	215
9.2.5 转换特性 $S_z(t)$ 和时间 常数 τ	192	9.4.3 自扫描光电二极管阵列 工作原理	217
9.2.6 光电器件的频率特性 $S_r(f)$	193	9.4.4 固体图像传感器的应用	219
9.2.7 光照特性 $U(E_e)$	193	9.5 红外传感器	221
9.2.8 光谱特性 $S_r(\lambda)$	193	9.5.1 红外基础知识	222
9.2.9 温度特性	193	9.5.2 红外探测器	223
9.2.10 伏安特性 $I(U)$	193	9.5.3 红外探测器的应用	228
9.3 光电器件	193	9.6 激光传感器	231
9.3.1 光敏电阻	193	9.6.1 激光概述	231
9.3.2 光敏二极管和光敏三极管	197	9.6.2 激光器	232
9.3.3 光电池	199	9.6.3 激光的检测应用	233
9.3.4 半导体色敏元件	200		

第10章 热传感器

10.1 热学基本知识	236	10.4.3 热敏电阻器的应用	277
10.1.1 温标.....	236	10.4.4 热敏铁氧体温度传感器	279
10.1.2 国际实用温标.....	237	10.5 晶体管温度传感器	281
10.1.3 用于温度计量进行量值传递 的一些主要基准器和标准器	238	10.5.1 PN结温度传感器	281
10.2 热电偶传感器	238	10.5.2 晶体管温度传感器.....	281
10.2.1 热电偶传感器的物理 基础.....	239	10.5.3 集成温度传感器.....	284
10.2.2 热电偶的结构及材料.....	242	10.6 热膨胀型温度传感器	289
10.2.3 热电偶的类型.....	246	10.6.1 双金属片式温度传感器.....	289
10.2.4 热电偶的分度法和主要 特性.....	251	10.6.2 压力式温度计.....	290
10.2.5 热电偶实用测温线路.....	253	10.7 示温涂料型液晶型传感器	291
10.2.6 热电偶参考端温度.....	255	10.7.1 示温涂料.....	291
10.2.7 热电偶的测量误差.....	259	10.7.2 液晶型示温传感器.....	292
10.3 热电阻型温度传感器	264	10.8 热噪声型温度传感器	293
10.3.1 工作原理.....	264	10.8.1 热噪声测温原理.....	293
10.3.2 热电阻材料和结构.....	265	10.8.2 噪声测温的主要方法.....	293
10.3.3 热电阻使用误差.....	267	10.9 NQR 温度传感器	297
10.4 热敏电阻	271	10.9.1 NQR 原理(Cl^{35} 的 NQR)	297
10.4.1 热敏电阻的基本参数.....	272	10.9.2 谐振频率 ν_T 的检测方法与 温度计的结构.....	298
10.4.2 热敏电阻器主要特性.....	273	10.10 电容型温度传感器	298
		10.11 光纤温度传感器	299

第11章 磁传感器

11.1 霍耳器件	303	11.2.2 磁敏三极管的工作原理和 主要特性	318
11.1.1 霍耳效应.....	303	11.2.3 磁敏二极管和磁敏三极管 的应用	321
11.1.2 霍耳器件的结构和测量 电路.....	304	11.3 CMOS 磁敏器件	322
11.1.3 霍耳器件的主要特性 参数.....	305	11.4 半导体磁敏电阻	323
11.1.4 不等位电势和温度误差 的补偿.....	306	11.4.1 物理磁阻效应和几何磁阻 效应.....	323
11.1.5 霍耳集成电路.....	309	11.4.2 磁阻元件.....	325
11.1.6 霍耳器件的应用简介.....	311	11.5 强磁性金属薄膜磁敏电阻	326
11.2 磁敏二极管和磁敏三极管	314	11.6 韦根德磁敏器件	328
11.2.1 磁敏二极管的工作原理和 主要特性.....	314	11.7 磁通门传感器	329
		11.8 超导量子干涉器件	332

11.8.1 约瑟夫逊效应·····	332	11.9.2 半导体三维磁敏晶体管·····	337
11.8.2 直流超导量子干涉器件·····	333	11.10 Z-元件·····	338
11.8.3 射频超导量子干涉器件·····	335	11.10.1 Z-元件的基本特性·····	339
11.9 半导体三维磁矢量器件·····	335	11.10.2 Z-元件的半导体生产	
11.9.1 三维霍尔器件·····	336	工艺·····	340

第12章 磁电式传感器

12.1 工作原理·····	342	12.4 磁电式传感器的设计·····	353
12.2 典型结构·····	344	12.4.1 一般设计原则·····	353
12.2.1 动钢型磁电式传感器·····	344	12.4.2 磁路设计·····	353
12.2.2 动圈型磁电式传感器·····	345	12.4.3 线圈设计·····	364
12.3 动态特性·····	346	12.4.4 传感器动态参数的计算·····	365
12.3.1 机械阻抗的概念·····	346	12.5 磁电式传感器的测量电路·····	366
12.3.2 基本元件的机械阻抗·····	347	12.5.1 积分测量电路·····	366
12.3.3 磁电式传感器的机械		12.5.2 微分测量电路·····	368
阻抗·····	348	12.6 磁电式传感器的误差分析·····	369
12.3.4 网络分析理论及其传递		12.6.1 温度误差分析·····	369
矩阵·····	349	12.6.2 永久磁铁的稳定性分析·····	370
12.3.5 磁电式传感器的传递		12.6.3 非线性误差分析·····	371
函数·····	352		

第13章 磁弹性传感器

13.1 磁弹性效应及传感器工作		效应传感器·····	380
原理·····	372	13.3 磁弹性元件的形状与制造·····	381
13.1.1 磁致伸缩效应及其逆		13.3.1 磁弹性元件的冲片形状·····	381
效应·····	372	13.3.2 磁弹性元件的制造工艺·····	383
13.1.2 威德曼效应及其逆效应·····	373	13.3.3 磁弹性铁氧体材料·····	384
13.1.3 巴克豪森效应·····	374	13.4 磁弹性传感器的测量电路·····	388
13.2 磁弹性传感器的典型结构·····	374	13.5 磁弹性传感器的特性·····	390
13.2.1 阻流圈式·····	374	13.5.1 激磁绕组的安匝特性·····	390
13.2.2 变压器式·····	376	13.5.2 输出特性·····	391
13.2.3 桥式·····	378	13.5.3 频响特性·····	391
13.2.4 磁弹性应变计·····	379	13.5.4 误差分析·····	392
13.2.5 威德曼效应传感器·····	380	13.6 磁弹性传感器的基本计算	
13.2.6 逆威德曼效应及渥赛姆		方法·····	395

第14章 应变式传感器

14.1 电阻应变计原理·····	397	14.2 电阻应变计·····	399
14.1.1 应变效应·····	397	14.2.1 应变计的结构和材料·····	399
14.1.2 变形的传递·····	398	14.2.2 应变计的分类·····	402

14.2.3 应变计的主要参数和工作特性·····	414	14.4 应变式传感器的结构与设计·····	442
14.2.4 应变计的标定·····	420	14.4.1 应变式传感器设计研究的新动向·····	442
14.2.5 应变计的使用技术·····	424	14.4.2 测力与称重传感器·····	443
14.3 应变式传感器的测量电路·····	427	14.4.3 应变式压力传感器·····	454
14.3.1 电桥电路的发展动向·····	427	14.4.4 扭矩传感器·····	462
14.3.2 电桥电路·····	428	14.4.5 位移传感器·····	464
14.3.3 几种实用直流电桥模块电路·····	430	14.4.6 应变式加速度传感器·····	466
14.3.4 应变式传感器的线路补偿·····	434	14.5 薄膜应变传感器·····	468
14.3.5 多个传感器的组合方式及误差计算·····	440	14.5.1 薄膜应变传感器的特点·····	468
		14.5.2 溅射薄膜应变传感器·····	468
		14.6 厚膜应变传感器·····	468

第 15 章 电位器式传感器

15.1 线性电位器·····	470	15.4.1 导线·····	478
15.1.1 空载特性·····	470	15.4.2 电刷·····	479
15.1.2 阶梯特性、阶梯误差和分辨率·····	471	15.4.3 骨架·····	480
15.2 非线性电位器·····	473	15.4.4 主要参数计算·····	480
15.2.1 变骨架式非线性线绕电位器·····	473	15.5 非线性绕电位器·····	482
15.2.2 变节距式非线性线绕电位器·····	474	15.5.1 合成膜电位器·····	482
15.2.3 分路电阻式非线性电位器·····	475	15.5.2 金属膜电位器·····	482
15.2.4 电位给定式非线性电位器·····	476	15.5.3 导电塑料电位器·····	482
15.3 负载特性与负载误差·····	477	15.5.4 导电玻璃釉电位器·····	482
15.4 结构与设计·····	478	15.5.5 光电电位器·····	483
		15.6 电位器式传感器·····	483
		15.6.1 电位器式位移传感器·····	483
		15.6.2 电位器式压力传感器·····	484
		15.6.3 电位器式加速度传感器·····	484

第 16 章 压阻式传感器

16.1 概述·····	486	16.4 压阻式传感器的信号调理与接口电路·····	520
16.2 压阻效应与力敏电阻全桥·····	488	16.4.1 信号调理与补偿·····	520
16.2.1 压阻效应·····	488	16.4.2 常用接口电路·····	525
16.2.2 晶面与晶向·····	488	16.4.3 传感器的集成化·····	528
16.2.3 压阻系数·····	489	16.5 锰铜压阻传感器·····	535
16.3 压阻式传感器的设计与制造·····	495	16.5.1 锰铜压阻传感器的工作原理·····	536
16.3.1 压阻式压力传感器·····	495		
16.3.2 压阻式加速度传感器·····	513		

16.5.2 锰铜丝式与箔式压阻 传感器·····	537	16.5.4 锰铜压阻传感器的供电 系统·····	538 539
16.5.3 锰铜线圈压阻式传			

第 17 章 电容式传感器

17.1 概述·····	541	17.4.3 变压器式电桥电路·····	555
17.2 基本工作原理·····	542	17.4.4 调频电路·····	556
17.3 结构、类型及主要特性 ·····	543	17.4.5 差动脉冲调宽电路·····	558
17.3.1 变间隙型·····	543	17.4.6 运算放大器式电路·····	559
17.3.2 变面积型·····	547	17.5 硅电容式集成传感器·····	560
17.3.3 变介电常数型·····	548	17.5.1 硅电容式集成压力传 感器·····	560
17.3.4 差动电容式传感器·····	549	17.5.2 硅电容式集成压力传感 器的接口电路·····	563
17.4 测量电路·····	550	17.5.3 硅电容式加速度传感器·····	569
17.4.1 紧耦合电感比例臂电桥·····	550		
17.4.2 二极管式电路·····	553		

第 18 章 电感式传感器

18.1 工作原理和等效电路·····	571	18.3.1 带相敏整流的交流电桥·····	581
18.1.1 电感·····	571	18.3.2 变压器式电桥电路·····	582
18.1.2 铜损电阻·····	572	18.3.3 紧耦合电感比例臂电桥·····	583
18.1.3 电涡流损耗电阻·····	572	18.4 电感式传感器的结构与设 计·····	586
18.1.4 磁滞损耗·····	573	18.4.1 电感式传感器的典型 结构·····	586
18.1.5 总耗散因数 D 和品质 因数 Q ·····	573	18.4.2 带小气隙的铁心线圈的参数 设计·····	587
18.1.6 考虑分布电容的电感式 传感器·····	574	18.4.3 螺管插铁型电感传感器 的设计·····	587
18.2 类型和主要特性·····	574	18.5 测试误差分析·····	588
18.2.1 变间隙型电感式传感器·····	575	18.5.1 输出特性的非线性·····	588
18.2.2 变面积型电感式传感器·····	576	18.5.2 零位误差·····	588
18.2.3 螺管插铁型电感传感器·····	576	18.5.3 温度影响·····	589
18.2.4 差动电感传感器·····	577	18.5.4 电源电压和频率的影响·····	589
18.2.5 齿形电感式传感器·····	580		
18.3 电感式传感器的测量电路·····	581		

第 19 章 变压器式传感器

19.1 工作原理和等效电路·····	590	19.2.1 螺管型差动变压器·····	592
19.1.1 工作原理·····	590	19.2.2 Π 型差动变压器·····	601
19.1.2 等效电路·····	591	19.2.3 旋转变压器式传感器·····	603
19.2 变压器式传感器的结构类型 和主要特性·····	592	19.3 差动变压器式传感器的测量 电路·····	606

19.3.1 相敏检波电路·····	606	19.4 差动变压器结构与设计中·····	611
19.3.2 差动整流电路·····	609	19.4.1 典型结构·····	611
19.3.3 直流差动变压器电路·····	610	19.4.2 差动变压器设计中·····	612

第 20 章 电涡流式传感器

20.1 电涡流传感器的工作原理·····	617	20.3.1 调幅式测量电路·····	629
20.1.1 电涡流效应和传感器等效 电路·····	617	20.3.2 调频调幅式测量电路·····	631
20.1.2 电涡流的形成范围·····	619	20.3.3 调频式测量电路·····	632
20.2 结构类型·····	620	20.3.4 电桥电路·····	633
20.2.1 变间隙型电涡流传感器·····	620	20.4 电涡流传感器的设计中·····	634
20.2.2 变面积型电涡流传感器·····	620	20.4.1 量程的设计·····	634
20.2.3 螺管型电涡流传感器·····	622	20.4.2 提高灵敏度的措施·····	634
20.2.4 其他型式电涡流传感器·····	624	20.4.3 传感器的动特性·····	635
20.3 测量电路·····	629	20.4.4 传感器材料的选择·····	635
		20.5 电涡流传感器的使用技术·····	635

第 21 章 压电式传感器

21.1 压电效应·····	638	21.4.3 横向效应·····	646
21.2 压电方程和压电常数·····	639	21.4.4 精度·····	648
21.3 压电式传感器的测量电路·····	639	21.4.5 绝缘电阻·····	648
21.3.1 压电式传感器的等效 电路·····	639	21.4.6 环境特性·····	648
21.3.2 电压放大器·····	640	21.4.7 电缆噪声·····	650
21.3.3 电荷放大器·····	641	21.4.8 压电式传感器的零漂·····	650
21.4 压电式传感器的主要特性 及参数·····	643	21.5 压电式传感器的结构与设计中·····	650
21.4.1 灵敏度·····	644	21.5.1 压电式力传感器·····	650
21.4.2 频率特性·····	644	21.5.2 压电式加速度传感器·····	654
		21.5.3 压电式压力传感器·····	660
		21.5.4 集成化压电传感器·····	671

第 22 章 谐振式传感器

22.1 谐振式传感器的基本概念·····	673	22.4.2 压电激振谐振筒压力 传感器·····	681
22.1.1 引言·····	673	22.5 谐振筒密度传感器·····	684
22.1.2 基本概念·····	673	22.6 谐振膜式压力传感器·····	685
22.2 谐振弦式传感器·····	674	22.6.1 工作原理·····	685
22.2.1 谐振弦压力传感器·····	674	22.6.2 自激振荡电路·····	686
22.2.2 谐振弦力传感器·····	677	22.7 压电石英谐振式传感器·····	687
22.3 金属谐振梁压力传感器·····	678	22.7.1 概述·····	687
22.4 谐振筒压力传感器·····	679	22.7.2 压电石英谐振器·····	687
22.4.1 电磁激振和拾振的谐振筒 压力传感器·····	679	22.7.3 压电石英谐振式压力	

传感器	692	22.9.1 概述	702
22.7.4 压电石英谐振式温度传感器	694	22.9.2 声表面波器件及特性	702
22.7.5 压电石英谐振式湿度传感器	696	22.9.3 声表面波振荡器	703
22.8 微结构硅谐振式传感器	698	22.9.4 结论	705
22.8.1 引言	698	22.10 敏感相位/幅值的谐振传感器	705
22.8.2 热激励硅谐振压力传感器	698	22.10.1 引言	705
22.8.3 光纤激励	701	22.10.2 敏感相位/幅值谐振传感器的特点	705
22.8.4 压电薄膜激励	702	22.10.3 谐振式质量流量传感器	706
22.9 声表面波谐振传感器	702	22.10.4 谐振式角速度/位置传感器(谐振陀螺)	707

第 23 章 陀螺

23.1 框架式陀螺	711	23.7 振梁式压电陀螺	721
23.1.1 单轴框架陀螺	711	23.7.1 原理	722
23.1.2 双轴框架陀螺	712	23.7.2 性能	723
23.2 挠性陀螺	712	23.8 压电射流陀螺	724
23.3 动力调谐式挠性陀螺	713	23.8.1 原理	724
23.4 静电陀螺	714	23.8.2 性能	725
23.4.1 静电悬浮的基本原理	714	23.8.3 可靠性	726
23.4.2 静电陀螺的工作原理	715	23.8.4 在汽车惯导系统中应用	727
23.4.3 静电陀螺的特点与用途	716	23.8.5 在飞机和舰船中的应用	727
23.5 激光陀螺	716	23.8.6 在智能机器人惯导系统中的应用	727
23.5.1 无源塞格涅格(Sagnac)干涉仪	716	23.9 半球谐振式陀螺	728
23.5.2 激光陀螺的工作原理	717	23.9.1 工作原理	728
23.6 光纤陀螺	720	23.9.2 结构原理	729
23.6.1 工作原理	720	23.9.3 性能与应用	729
23.6.2 全光纤陀螺和集成光学光纤陀螺	720	23.10 微机械振动陀螺	730

第 24 章 流量传感器

24.1 结构类型和工作原理	731	24.1.7 旋转活塞式流量传感器	742
24.1.1 差压式流量传感器	731	24.1.8 冲击板式流量传感器	742
24.1.2 涡轮式流量传感器	735	24.1.9 分流旋翼式流量传感器	743
24.1.3 电磁式流量传感器	736	24.1.10 热动式流量传感器	744
24.1.4 流体振动式流量传感器	738	24.1.11 超声波式流量传感器	745
24.1.5 转子式流量传感器	740	24.1.12 推导式质量流量传感器	746
24.1.6 往复活塞式流量传感器	740	24.2 流量传感器的标定	747

24.3 主要技术参数及使用技术····· 749

第 25 章 伺服式传感器

25.1 力平衡原理·····	751	25.5.2 由于各测量环节输入输出端 干扰所造成的误差·····	761
25.2 几种典型伺服传感器·····	752	25.5.3 由于各测量环节传递系数改 变所引起的误差·····	762
25.3 组成部分的特性方程·····	754	25.5.4 由于各测量环节输入输出端 干扰所引起的误差·····	763
25.3.1 敏感质量活动系统·····	754	25.6 石英挠性伺服加速度传感器·····	764
25.3.2 信号检测器·····	755	25.6.1 一般结构·····	764
25.3.3 放大器·····	756	25.6.2 工作原理·····	765
25.3.4 力(力矩)发生器·····	756	25.6.3 灵敏度自校准·····	767
25.3.5 输出环节·····	757	25.6.4 性能指标·····	768
25.4 系统的特征方程·····	758		
25.5 误差分析·····	759		
25.5.1 由于各环节传递系数改变所 引起的误差·····	760		

第 26 章 数字传感器

26.1 编码器·····	770	26.3.3 辨向原理·····	792
26.1.1 角度数字编码器·····	770	26.3.4 细分技术·····	793
26.1.2 线位移编码器·····	777	26.4 磁栅传感器·····	800
26.2 感应同步器·····	779	26.4.1 磁栅的结构·····	800
26.2.1 感应同步器种类·····	779	26.4.2 磁栅的工作原理·····	801
26.2.2 感应同步器的结构·····	780	26.4.3 信号处理·····	802
26.2.3 感应同步器的工作原理·····	782	26.4.4 影响磁栅传感器性能的有关 因素·····	803
26.2.4 感应同步器的信号处理 方式·····	783	26.5 容栅传感器·····	804
26.3 光栅传感器·····	784	26.5.1 容栅传感器的结构·····	804
26.3.1 计量光栅的类型·····	785	26.5.2 容栅传感器的原理·····	804
26.3.2 光栅传感器的结构和 原理·····	787	26.5.3 容栅传感器的信号处理·····	805

第 27 章 声传感器

27.1 声学基础知识·····	806	27.2.4 压电式声传感器·····	814
27.1.1 声波、声谱、声速·····	806	27.2.5 电磁式拾音器·····	815
27.1.2 波动方程·····	806	27.2.6 数字唱片再生用传感器·····	815
27.1.3 声波的一些性质·····	807	27.2.7 光纤声传感器·····	817
27.2 声传感器·····	807	27.3 超声波传感器·····	818
27.2.1 电动式话筒·····	808	27.3.1 压电换能器的结构·····	819
27.2.2 电容式话筒·····	809	27.3.2 超声传感器的工作原理·····	820
27.2.3 驻极体式话筒·····	814	27.4 声发射传感器·····	828

27.4.1 声发射基本概念·····	828	原理·····	829
27.4.2 声发射传感器的工作		27.4.3 声发射检测技术·····	830

第 28 章 核辐射传感器

28.1 核辐射基础知识·····	832	28.3.3 核辐射物位计·····	846
28.1.1 放射性同位素和核辐射·····	832	28.4 安全防护·····	846
28.1.2 放射线和物质的作用·····	833	28.4.1 辐射来源和对人体的	
28.2 核辐射接收器·····	837	效应·····	847
28.2.1 电离室·····	837	28.4.2 辐射防护·····	848
28.2.2 盖格(G-M)计数器·····	839	28.5 核辐射传感器的误差·····	849
28.2.3 闪烁计数器·····	840	28.5.1 核衰变的统计性质引起	
28.2.4 半导体接收器·····	841	的误差·····	849
28.3 常用核辐射传感器·····	844	28.5.2 辐射源强度衰减引起的	
28.3.1 核辐射厚度计·····	845	误差·····	849
28.3.2 核辐射密度计·····	846		

第 29 章 微波传感器

29.1 电磁波基础知识·····	851	29.3.2 反射式微波测温传感器·····	856
29.1.1 波段的划分·····	851	29.3.3 开槽波导式微波测湿	
29.1.2 介质的电磁特性·····	851	传感器·····	856
29.1.3 微波在两介质界面的反射		29.3.4 微波腔式测湿传感器·····	857
和折射·····	852	29.4 微波测厚传感器·····	859
29.2 微波传感器的特点和主要		29.5 微波测距传感器·····	860
用途·····	853	29.6 微波物位和液位传感器·····	861
29.3 微波测湿传感器·····	855	29.7 微波多普勒测速传感器·····	861
29.3.1 穿透式微波测湿传感器·····	856		

第 30 章 光纤传感器

30.1 概述·····	863	量法·····	880
30.2 光导纤维·····	865	30.4.3 偏振调制·····	881
30.2.1 光纤的结构和导波原理·····	865	30.4.4 频率调制·····	886
30.2.2 光导纤维的主要参数·····	870	30.4.5 颜色(光谱)调制·····	887
30.2.3 光导纤维的类型·····	873	30.5 典型的光纤传感器·····	887
30.3 光纤传感器元件之间耦合		30.5.1 光强调制光纤传感器·····	887
与连接·····	873	30.5.2 相位调制光纤传感器·····	892
30.3.1 光纤的激励·····	873	30.5.3 偏振调制光纤电压	
30.3.2 光纤元件的连接·····	875	传感器·····	893
30.4 光纤的光波调制技术·····	876	30.5.4 频率调制光纤血流	
30.4.1 光强度调制·····	876	传感器·····	894
30.4.2 光相位调制及干涉测		30.5.5 颜色调制光纤温度	