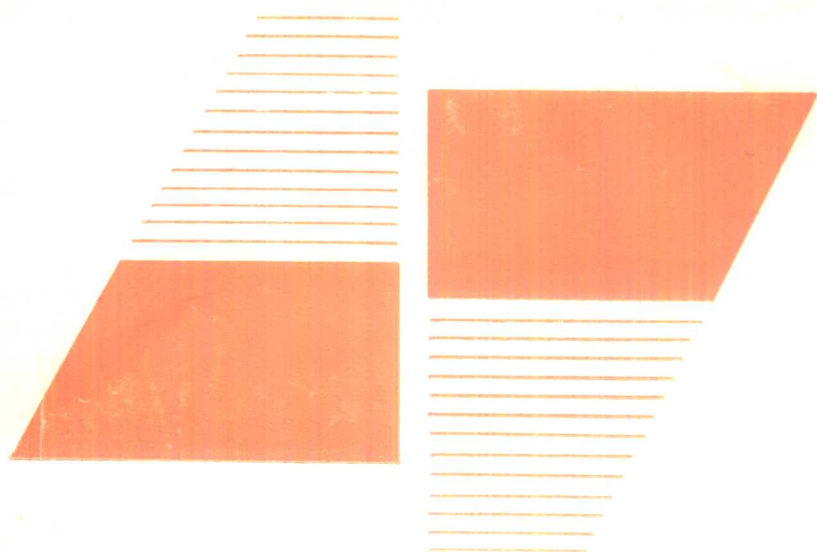


刘迎春 叶湘滨 编著



新型传感器及其应用

国防科技大学出版社

内 容 提 要

本书比较全面系统地论述了现代新型传感器以及它们在机械量、热工量、生物量和气体成份等非电量测量中的应用。

全书共分八章，分别介绍了智能式传感器、光纤传感器、固态图象传感器、生物传感器、机器人传感器、气体传感器、温度传感器及红外探测技术的基本原理、输出特性和应用实例。

本书可作为检测技术和仪器仪表专业本科生和研究生教材，亦可供有关专业工程技术人员参考。

新 型 传 感 器 及 其 应 用

刘迎春 叶湘滨 编著

责任编辑 谢小伟

*

国防科技大学出版社出版

湖南省新华书店发行

国防科技大学印刷厂印装

*

开本：850×1168 1/32 印张：9.75 字数：236千

1991年5月第1版第1次印刷

印数：1—3000册

ISBN 7-81024-161-3

TH·3 定价：3.55元

前 言

随着科学技术的飞速发展，在各学科领域中，需要获取的信息量（物理量、化学量、生物量、等等）越来越多，对其测量准确度要求越来越高。从而对传感器技术提出了更高更新的要求，传统的传感器已经不能完全满足新形势的需求。

近年来我国开发了一批新型功能材料和新型传感器，传感器技术取得了可喜的进步。在此情况下，不少高等院校增设了新型传感器课程，社会上也有了解新型传感器的呼声。但是，目前比较系统全面地介绍新型传感器的图书不多。为此，我们收集了大量国内外有关资料，编写了《新型传感器及其应用》一书，奉献给广大读者，以满足教学与科学研究的需要。

本书可以看成是刘迎春副教授编著的《传感器原理、设计与应用》一书的姊妹篇，作者初衷在于使它们成为一套完整地介绍传感器技术的教材。

全书共八章，分别讨论了智能式传感器、光纤传感器、固态图象传感器、生物传感器、机器人传感器、气体传感器、湿度传感器及红外探测技术的基本原理、输出特性和应用实例。本书简明实用、概念清晰、深入浅出。它可作为高等院校检测技术和仪器仪表专业本科生和研究生的教材，亦可供有关专业的工程技术人员参考。

国防科技大学刘迎春副教授为本书主编，并编写了第一、二、三、四、六、八章，叶湘滨讲师编写了第五、七章。

本书编写中参考了兄弟院校、厂所的教材及文献资料，在此表示衷心感谢。

由于水平所限，书中疏漏不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

编著者

1990年10月于国防科技大学

ISBN 7-81024-161-3

TH·3 定价：3.55元

目 录

第一章 智能式传感器

1.1 概述	1
1.2 智能式传感器的构成	2
1.3 压阻式压力传感器智能化	3
1.3.1 智能式压阻压力传感器硬件结构	3
1.3.2 智能式压阻压力传感器的软件设计	4
1.3.3 非线性与温度误差的修正	4
1.3.4 实验结果与结论	7
1.4 智能式传感器的发展方向与途径	8
1.4.1 集成智能传感器	8
1.4.2 我国研究与开发智能式传感器的途径	10

第二章 光导纤维传感器

2.1 概论	11
2.1.1 光纤传感技术的形成及其特点	11
2.1.2 光纤传感器的光源	11
2.1.3 光纤传感器用光探测器	12
2.1.4 光纤传感器的分类	12
2.2 光导纤维以及光在其中的传输	14
2.2.1 光导纤维及其传光原理	14
2.2.2 光在普通光导纤维内的传输	16
2.2.3 光在特殊光导纤维内的传输	20
2.3 光调制技术	21
2.3.1 相位调制与干涉测量	21
2.3.2 光纤中的相位调制	25
2.3.3 频率调制	27
2.4 光纤位移传感器	29

2.4.1	光纤开关与定位装置	30
2.4.2	传光型光纤位移传感器	36
2.4.3	受抑全内反射光纤位移传感器	39
2.4.4	光纤微弯位移传感器	43
2.4.5	光纤干涉型位移传感器	47
2.5	光纤速度、加速度传感器	49
2.5.1	光纤激光渡越速度计	49
2.5.2	利用马赫—泽德干涉仪的光纤加速度计	50
2.5.3	倾斜镜式光纤加速度计	53
2.6	光纤振动传感器	57
2.6.1	相位调制光纤振动传感器	57
2.6.2	利用光弹效应的光纤振动传感器	63
2.7	光纤温度传感器	66
2.7.1	相位调制型光纤温度传感器	66
2.7.2	热辐射光纤温度传感器	71
2.7.3	传光型光纤温度传感器	75
2.8	光纤流量、流速传感器	79
2.8.1	光纤旋涡流量计	79
2.8.2	光纤激光多普勒测速计	83
2.9	光纤压力传感器	85
2.9.1	利用马赫—泽德干涉仪制作的光纤压力传感器	85
2.9.2	偏振型光纤压力传感器	88
2.9.3	差分外差法光纤压力传感器	94
2.9.4	利用纵向应力作用的光纤压力传感器	96
2.10	医用光纤传感器	99
2.10.1	光纤测氧计	99
2.10.2	光纤血流计	103
2.10.3	光纤体温计	105
2.10.4	光纤医用pH计	106
2.10.5	光纤体压计	107

第三章 固态图象传感器

3.1 引言	109
3.2 固态图象传感器的敏感器件	111
3.2.1 电荷耦合器件(CCD)	111
3.2.2 电荷注入器件(CID)	119
3.2.3 庠链式器件(BBD)	120
3.2.4 MOS式光电变换器件	120
3.3 固态图象传感器	121
3.3.1 固态图象传感器的分类	121
3.3.2 线型固态图象传感器	121
3.3.3 面型固态图象传感器	126
3.3.4 固态图象传感器的主要特性	137
3.3.5 固态图象传感器的应用	145
3.4 红外线固态图象传感器	155
3.4.1 集成红外固态图象传感器	155
3.4.2 混合式红外固态图象传感器	156

第四章 生物传感器

4.1 生物传感器的基本原理和分类	158
4.2 生物活性物质固定化技术	159
4.3 酶传感器	160
4.4 微生物传感器	163
4.5 免疫传感器	167
4.6 生物传感器的应用与发展方向	169
4.6.1 生物传感器的应用	169
4.6.2 生物传感器的发展方向	170

第五章 机器人传感器

5.1 引言	171
5.2 触觉传感器	172
5.2.1 触觉	173
5.2.2 压觉	177
5.2.3 力觉	178
5.2.4 滑觉	187

5.3 视觉传感器	189
第六章 气体传感器	
6.1 概述	192
6.1.1 气体传感器及气体检测方法	192
6.1.2 气体传感器的分类	193
6.2 半导体气体传感器	196
6.2.1 半导体气体传感器及其分类	196
6.2.2 气敏机理	198
6.2.3 主要特性及其改善	201
6.2.4 表面控制型电阻式传感器	205
6.2.5 体控制型电阻式传感器	212
6.2.6 非电阻式半导体气体传感器	214
6.2.7 半导体气体传感器的应用	218
6.3 红外线吸收式气敏传感器	222
6.4 接触燃烧式气体传感器	224
6.5 热导率变化式气体传感器	227
6.6 湿式气敏传感器	228
第七章 湿度传感器	
7.1 引言	230
7.1.1 湿敏元件的特性参数	231
7.1.2 湿度传感器的分类	234
7.2 电解质系湿度传感器	234
7.2.1 无机电解质湿度传感器	234
7.2.2 高分子电解质湿度传感器	238
7.2.3 有机季铵盐高分子电解质湿敏元件	241
7.2.4 聚苯乙烯磺酸铵湿敏元件	242
7.3 半导体及陶瓷湿度传感器	242
7.3.1 涂覆膜型	242
7.3.2 烧结体型	244
7.3.3 薄膜型	247
7.4 有机物及高分子聚合物湿度传感器	248

7.4.1 胀缩性有机物湿敏元件·····	248
7.4.2 高分子聚合物薄膜湿敏元件·····	251
7.5 湿度传感器的标定及其设备·····	253
7.5.1 湿敏元件定量标定的原则·····	253
7.5.2 相对湿度的标定方法及设备·····	254
7.5.3 绝对湿度的标定方法及设备·····	259
7.6 湿度传感器的应用及发展动向·····	263

第八章 红外探测技术

8.1 红外辐射的基本知识·····	265
8.1.1 红外辐射·····	265
8.1.2 红外辐射术语·····	267
8.1.3 红外辐射源·····	269
8.2 红外探测器·····	271
8.2.1 常见红外探测器·····	271
8.2.2 红外探测器的性能参数·····	275
8.2.3 红外探测器使用中应注意的问题·····	280
8.3 红外测温·····	282
8.3.1 红外测温的特点·····	282
8.3.2 红外测温原理·····	283
8.4 红外成像·····	288
8.4.1 红外成像原理·····	288
8.4.2 红外成像仪·····	290
8.5 红外分析仪·····	292
8.6 红外无损检测·····	294
8.6.1 焊接缺陷的无损检测·····	294
8.6.2 铸件内部缺陷探测·····	296
8.6.3 疲劳裂纹探测·····	296
8.7 红外探测技术在军事上的应用·····	297
8.7.1 红外侦察·····	298
8.7.2 红外雷达·····	298

参考文献

第一章 智能式传感器

1.1 概 述

随着现代科学技术飞速发展，对传感器的要求越来越高，从精度、品种、体积等方面都提出了更新更高的要求。传统的传感器已经不能满足现代科学技术发展的需要。例如，由于传感器自身的原因（非线性特性、零漂）和环境（温度、压力等）对它的影响，传统传感器的精度难以提高。因此，加速新型传感器的研究与开发已迫在眉睫。

近年来微处理机得到迅猛发展和广泛应用，它在传感器技术中的应用，促使传感器技术产生一个飞跃。智能化传感器就是微型计算机与传感器相结合的成果。国外已经出现了商品化的智能传感器。国内一些高等院校和研究单位也正在研究与开发智能传感器。

所谓智能式传感器就是一种带有微处理机的、兼有检测、判断与信息处理功能的传感器，简单地讲就是传感器加微处理机。智能式传感器与传统的传感器相比有很多特点：

- (1) 它具有判断和信息处理功能，可对测量值进行各种修正和误差补偿，因此提高了测量准确度；
- (2) 可实现多传感器多参数复合测量，扩大了测量与使用范围；
- (3) 它具有自诊断、自校准功能，提高了可靠性；
- (4) 测量数据可以存取，使用方便；

(5) 具有数字通信接口，能与计算机直接联机。

1.2 智能式传感器的构成

图1-1为DTP型智能式压力传感器的方框图。DTP型传感器的基本构成如下：

- 主传感器（压力传感器） • 异步发送/接收器(UART)
- 微处理器及存储器 • 地址/数据总线 • 放大器(PFA)
- A/D转换器 • 可调节激励源 • 电源

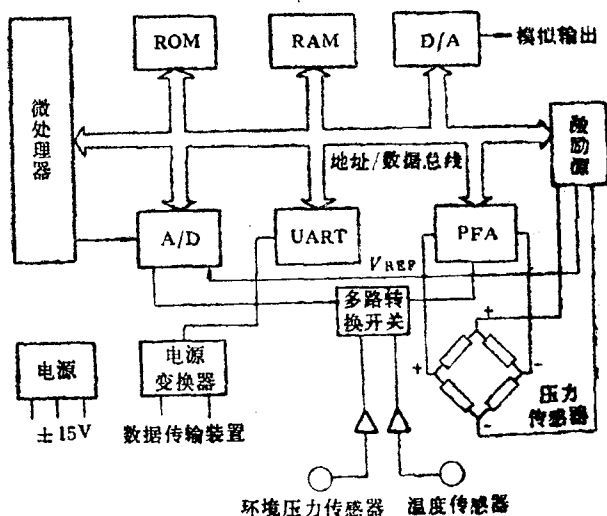


图 1-1 DTP 型智能式传感器框图

其它选用部分有：环境气压传感器、温度传感器、D/A转换器。

压力传感器以惠斯顿电桥形式组成，可输出与压力成正比

的低电平毫伏级信号，然后由PFA进行放大。

压力传感器内有一个固态温度传感器，它测量压力传感器的敏感元件的温度变化，以便修正与补偿由于温度变化对测量带来的误差影响。DTP内还有一个气压传感器，用来测量环境气压变化，以便修正气压变化对测量的影响。可见，智能式传感器具有很强的自适应功能，它用一个或数个辅助传感器来检测影响测量准确度的温度、湿度、压力等环境条件变化，并运用微处理器的判断、计算功能，对主传感器测量值作出相应修正，以得到精确的测量结果。

DTP还有一个串行输出口，以RS-232 指令格式传输数据。

1.3 压阻式压力传感器智能化

压阻式压力传感器已经得到广泛应用，但是它的测量准确度受到非线性和温度的影响。经过对其进行智能化研究，利用单片微型计算机对其非线性和温度变化产生的误差进行修正。实验结果表明，温度变化和非线性引起的误差的95%得到修正，在10~60℃范围内，智能式压阻压力传感器的准确度几乎保持不变。

1.3.1 智能式压阻压力传感器硬件结构

智能式压阻压力传感器硬件结构如图 1-2 所示。其中压阻式压力传感器用于压力测量，温度传感器用来测量环境温度，以便进行温度误差修正，两个传感器的输出经前置放大器放大成 0~5 V 的电压信号送至多路转换器，多路转换器将根据单片机发出的命令选择一路信号送到A/D转换器，A/D将输入的模拟信号转换为数字信号送入单片机，单片机将根据已定程序进行工作。

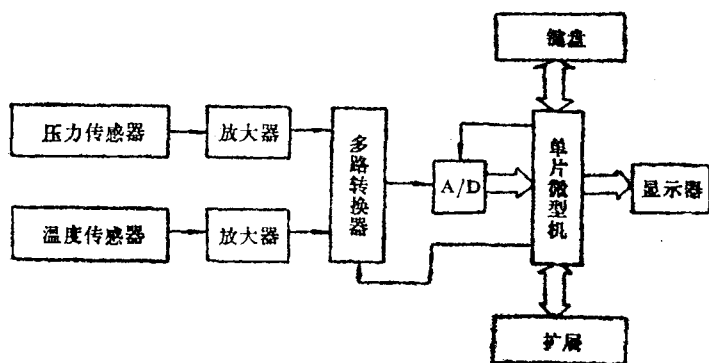


图 1-2 智能式压阻压力传感器硬件框图

1.3.2 智能式压阻压力传感器的软件设计

智能式压阻压力传感器系统是在软件支持下工作的，由软件来协调各种功能的实现。图 1-3 为智能式压阻压力传感器的源程序流程图。

1.3.3 非线性与温度误差的修正

非线性和温度误差的修正方法很多，要根据具体情况确定误差修正与补偿方案。这里采用二元线性-线性插值法，对传感器的非线性与温度误差进行综合修正与补偿。

一般可以将传感器的输出作为一个多变量函数来处理，即

$$Z = f(x, y_1, y_2, \dots, y_n) \quad (1-1)$$

式中：Z —— 传感器的输出；

x —— 传感器的输入；

$y_1, y_2, \dots, y_n$ —— 环境参量，如温度、湿度、……。

如果只考虑环境温度的影响，可以将传感器输出当作二元

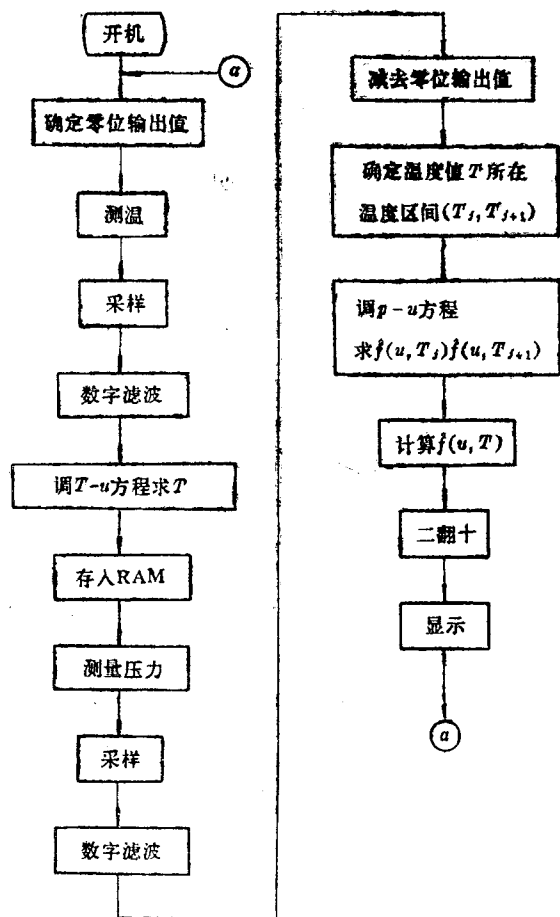


图 1-3 智能式压力传感器源程序流程图

函数来处理, 这时表达式为:

$$u = f(P, T)$$

或

$$P = f(u, T) \quad (1-2)$$

式中： P ——被测压力；
 u ——传感器输出；
 T ——环境温度。

设 $P=f(u, T)$ 为已知二元函数, 该函数在图形上呈曲面, 但为了推导公式更容易理解, 用图1-4(a) 所示的平面图形表示。若选定 n 个 u 的插值点, m 个 T 的插值点, 则可将函数 P

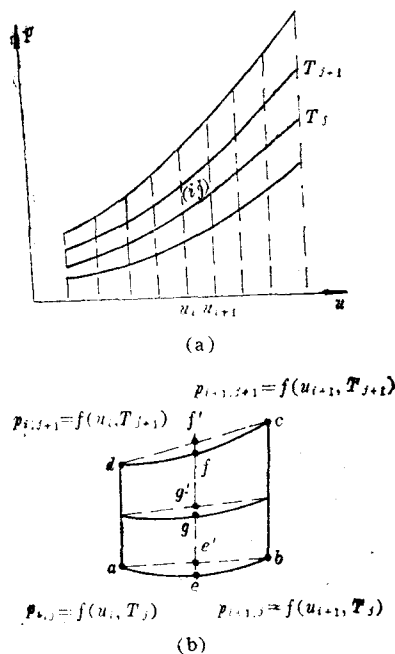


图 1-4 二元线性插值

划分为 $(n-1) \cdot (m-1)$ 个区域。其中 (ij) 区表示于图 1-4(b), 图中 a 、 b 、 c 、 d 点为选定的插值基点, 各点上的变量值和函数值都是已知的, 则该区内任何点上的函数值 P 都可用线性

插值法逼近，其步骤如下

(1) 先保持 T 不变，而对 u 进行插值，即先沿 ab 线和 cd 线进行插值，分别求得 u 所对应的函数值 $f(u, T_j)$ 和 $f(u, T_{j+1})$ 的逼近值 $\hat{f}(u, T_j)$ 和 $\hat{f}(u, T_{j+1})$ 。显然

$$\hat{f}(u, T_j) = f(u_i, T_j) + \frac{f(u_{i+1}, T_j) - f(u_i, T_j)}{u_{i+1} - u_i} (u - u_i) \quad (1-3)$$

$$\hat{f}(u, T_{j+1}) = f(u, T_{j+1}) + \frac{f(u_{i+1}, T_{j+1}) - f(u_i, T_{j+1})}{u_{i+1} - u_i} (u - u_i) \quad (1-4)$$

式(1-3)、(1-4)的等号右边除 u 外均为已知量，故对落于 (u_i, u_{i+1}) 区间内的任何值 u ，都可求得相应函数 $f(u, T_j)$ 和 $f(u, T_{j+1})$ 的逼近值 $\hat{f}(u, T_j)$ 和 $\hat{f}(u, T_{j+1})$ 。由图1-4(b)可知，前者为 e 、 f 点上的值，而后者为 e' 和 f' 点上的值。

(2) 基于上述结果，再固定 u 不变而对 T 进行插值，即沿 $e'f'$ 线插值，可得

$$\hat{f}(u, T) = \hat{f}(u, T_j) + \frac{\hat{f}(u, T_{j+1}) - \hat{f}(u, T_j)}{T_{j+1} - T_j} (T - T_j) \quad (1-5)$$

式(1-5)右边除 T 以外，其它都为已知量或已经算得的量。故对任何落在 (T_j, T_{j+1}) 区间的 T 都可根据式(1-5)求得函数 $f(u, T)$ 的逼近值 $\hat{f}(u, T)$ 。由图1-4看出， $f(u, T)$ 是点 g 所对应的值，而 $\hat{f}(u, T)$ 是点 g' 上的值。

1.3.4 实验结果与结论

对传感器进行温度实验，在 T 为10、20、30、40、50、60℃时，得到六组输出—输入关系实验数据(略)。通过数据处理得到六个直线回归方程 $P = a + bu$ ，因此 $\hat{f}(u, T_j)$ ， $\hat{f}(u, T_{j+1})$ 和 $\hat{f}(u, T)$ 可以得到，即可以采用线性插法对传感器的非线性