

新出版



# 微计算机 检测技术及应用

王俊省 主编

电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY



# 微计算机检测技术及应用

|    |     |     |
|----|-----|-----|
| 主编 | 王俊省 |     |
| 编者 | 王俊省 | 万振凯 |
|    | 孙玉虎 | 宋桂云 |
|    | 赵可萍 | 孙桂芳 |
|    | 李 玮 |     |

电子工业出版社

## 内 容 简 介

随着微型计算机和单片机在工业控制中的广泛应用,对工业过程参数测量及信号的处理技术受到了重视。

本书主要介绍检测信号的处理技术,传感器及微机在工程中的应用,并力求将检测技术和微机技术结合在一起进行分析。

本书可用作大专院校自动化专业、计算机应用专业的教学参考书。

## 微计算机检测技术及应用

王俊省 主编

责任编辑:王惠民

★

电子工业出版社出版(北京万寿路)

电子工业出版社发行 各地新华书店经销

电子工业出版社广州科技公司排版

北京市顺义县李史山印刷厂印刷

★

开本 787×1092 1/16 印张 16.5 字数:400千字

1996年1月第1版 1996年1月第1次印刷

印数:1—5000册 定价 22.00元

ISBN 7-5053-3099-3/TP·1086

# 前 言

近年来,微型计算机在工业控制中的应用越来越广泛,并已成为评价自动化程度的重要标志之一。相应的,对工业过程参数测量信号的处理技术提出了更高的要求,促使传感器技术向着集成化、多功能化、智能化的方向发展,检测信号处理电路日趋于集成化、规范化及多样化,更适宜与微型计算机和单片机接口。

本书主要介绍检测信号的处理技术、传感器及微机在工程中的应用,力求将检测技术和微机接口技术融合在一起。本书中的检测信号处理电路和应用实例,大多数取自工程实际,收入一些国内外最新实用的器件和电路。各电路均给出了详细电路图和元件参数值,同时进行了扼要分析,以供读者在实际工作设计中参考和选用。

全书共分十一章。第一章至五章叙述了检测信号在模拟通道中的处理技术,内容包括检测信号的获取、小信号放大、信号变换电路及变送器、多路开关和采样—保持器。第六章、七章介绍了各种新型集成 A/D、D/A、V/F、F/V 转换器,第八章介绍微机接口技术,第九章为线性化处理技术,第十章介绍传感器与微机在工程中应用实例,第十一章介绍系统抗干扰技术。全书深入浅出,重在实际应用。

全书由王俊省主编并定稿,参加编写的有万振凯、孙玉虎、宋桂云、赵可萍、孙桂芳、李玮等。

全书由李兰友教授审阅。同时,在编写过程中得到了陈振翼教授和杨公源教授的指导与帮助,特致谢忱。

本书可作为大专院校自动化专业、计算机应用专业的教学参考书,也可作为工程技术人员继续教育教材。由于编者水平有限,不妥之处请读者指正。

编 者

1994. 7

# 目 录

|                          |      |
|--------------------------|------|
| 第一章 信息检测与传感器             | (1)  |
| 第一节 传感器与检测系统             | (1)  |
| 一、传感器发展趋势                | (1)  |
| 二、传感器和自动检测、监控系统          | (3)  |
| 第二节 温度检测                 | (4)  |
| 一、热电偶传感器                 | (4)  |
| 二、热电阻传感器                 | (5)  |
| 三、热敏电阻传感器                | (5)  |
| 四、集成温度传感器                | (6)  |
| 第三节 湿度传感器                | (10) |
| 一、电阻式湿度传感器               | (11) |
| 二、陶瓷湿度传感器                | (11) |
| 三、新型湿度传感器                | (11) |
| 第四节 霍尔传感器                | (12) |
| 一、UGN3019T 工作原理          | (13) |
| 二、UGN3019T 构成            | (13) |
| 三、UGN3019T 应用            | (14) |
| 四、霍尔传感器的工作方式             | (15) |
| 五、线性集成霍尔传感器              | (16) |
| 第五节 光纤传感器                | (16) |
| 一、光导纤维和传输原理              | (17) |
| 二、光纤传感器                  | (18) |
| 三、光纤传感器的应用               | (18) |
| 第六节 电荷耦合器件图象传感器          | (19) |
| 一、CCD 图象传感器原理            | (19) |
| 二、CCD 图象传感器 $\mu$ PD779D | (21) |
| 三、隔行扫描型 CCD ICX018CL 传感器 | (22) |
| 第二章 检测信号放大               | (25) |
| 第一节 小信号放大器               | (25) |
| 一、运算放大器                  | (25) |
| 二、直流 mV 级放大器             | (27) |
| 三、直流 nA 级放大器             | (28) |
| 四、低噪声放大器                 | (30) |
| 五、宽带放大器                  | (32) |
| 第二节 仪器用放大器               | (34) |
| 一、AD521                  | (35) |
| 二、AD522                  | (36) |

|                               |      |
|-------------------------------|------|
| 三、HG6101 .....                | (37) |
| 第三节 可编程增益放大器 .....            | (39) |
| 一、使用 D/A 转换器的程控增益放大器 .....    | (39) |
| 二、使用电阻网络模拟开关的可编程增益放大器 .....   | (40) |
| 三、脉冲调宽型可编程增益放大器 .....         | (41) |
| 四、集成程控增益放大器 AM542/AM543 ..... | (41) |
| 五、可编程增益控制放大器 3606 .....       | (44) |
| 第四节 隔离放大器 .....               | (48) |
| 一、AD202/AD204 隔离放大器 .....     | (49) |
| 二、AD210 三端隔离放大器 .....         | (50) |
| 三、AD290 三端隔离放大器 .....         | (51) |
| 第三章 前置信号处理电路 .....            | (55) |
| 第一节 信号转换电路 .....              | (55) |
| 一、电压—电流转换电路 .....             | (55) |
| 二、电流—电压转换电路 .....             | (57) |
| 三、电阻—电压转换器 .....              | (59) |
| 第二节 信号变送器 .....               | (61) |
| 一、集成信号变送器 F693 .....          | (61) |
| 二、XTR100 电压—电流变送器 .....       | (63) |
| 三、2B30/2B31 型电压—电流变送器 .....   | (67) |
| 第三节 温、湿度转换电路 .....            | (70) |
| 一、温度—频率转换电路 .....             | (70) |
| 二、线性温度—频率转换电路 .....           | (71) |
| 三、湿度—电压变换电路 .....             | (73) |
| 四、开关电容型湿度—频率转换器 .....         | (74) |
| 第四章 测量信号的滤波 .....             | (76) |
| 第一节 有源 RC 滤波器 .....           | (76) |
| 一、单电源低电压带通滤波器 .....           | (76) |
| 二、带阻滤波器 .....                 | (77) |
| 三、多端负反馈带通滤波器 .....            | (77) |
| 四、可变带宽有源滤波器 .....             | (78) |
| 五、多功能有源滤波器 .....              | (78) |
| 六、带宽为 0.1~10Hz 的滤波器 .....     | (78) |
| 七、甚低频有源滤波器 .....              | (79) |
| 八、有源窄带滤波器 .....               | (79) |
| 九、高 Q 值带通滤波器 .....            | (80) |
| 第二节 单片集成电路滤波器 .....           | (80) |
| 一、开关电容型集成电路滤波器 .....          | (80) |
| 二、其它集成电路滤波器 .....             | (90) |
| 第三节 数字滤波器 .....               | (93) |

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| 一、程序判断滤波 .....                  | (94)  |
| 二、中值滤波 .....                    | (95)  |
| 三、滑动平均值滤波 .....                 | (96)  |
| 四、防脉冲干扰平均值滤波 .....              | (98)  |
| 五、一阶滞后滤波 .....                  | (100) |
| 第五章 多路器及采样保持器 .....             | (102) |
| 第一节 多路开关 .....                  | (102) |
| 一、CD4051/CD4052/CD4053 .....    | (102) |
| 二、AD7501/AD7503 .....           | (104) |
| 三、AD7506 .....                  | (105) |
| 四、飞点电容式多路开关 .....               | (106) |
| 五、光继电器式多路开关 .....               | (108) |
| 六、LF11508/LF13508 .....         | (108) |
| 七、LF11509/LF13509 .....         | (110) |
| 八、模拟多路开关 4066B .....            | (112) |
| 第二节 采样/保持器 .....                | (113) |
| 一、由运算放大器组成的采样/保持器 .....         | (113) |
| 二、集成电路采样/保持器 .....              | (115) |
| 第六章 集成 A/D、D/A 转换器 .....        | (124) |
| 第一节 D/A 转换器 .....               | (124) |
| 一、D/A 转换器工作原理 .....             | (124) |
| 二、D/A 转换器 DAC0832 .....         | (126) |
| 三、10 位 D/A 转换器 AD7520 .....     | (127) |
| 四、DAC1208 系列转换器 .....           | (128) |
| 五、DAC1231 转换器 .....             | (131) |
| 六、M62352 多通道 D/A 转换器 .....      | (132) |
| 第二节 A/D 转换器 .....               | (135) |
| 一、逐次逼近型 A/D 转换器工作原理 .....       | (136) |
| 二、A/D 转换器 CC14433 .....         | (138) |
| 三、A/D 转换器 ICL7109 .....         | (140) |
| 四、16 位 A/D 转换器 ADC1143 .....    | (144) |
| 五、高速 A/D 转换器 TDC1019 及其应用 ..... | (145) |
| 六、新型 8 位 A/D 转换器 AD670 .....    | (148) |
| 第七章 V/F、F/V 和 F/D 转换器 .....     | (153) |
| 第一节 VFC32 .....                 | (153) |
| 一、VFC32 性能及工作原理 .....           | (153) |
| 二、VFC32 的应用 .....               | (156) |
| 第二节 V/F 转换器 AD651 .....         | (157) |
| 一、AD651 性能及特点 .....             | (157) |
| 二、AD651 工作原理 .....              | (157) |

|                                        |       |
|----------------------------------------|-------|
| 三、AD651 的连接 .....                      | (158) |
| 四、应用电路 .....                           | (159) |
| 第三节 V/F 转换器 AD652 .....                | (160) |
| 一、AD652 性能及特点 .....                    | (160) |
| 二、AD652 工作原理 .....                     | (160) |
| 第四节 通用 V/F 转换器 .....                   | (162) |
| 一、AD654 .....                          | (162) |
| 二、AD537 .....                          | (163) |
| 第五节 LM 31 系列 V/F 转换器 .....             | (164) |
| 一、工作原理 .....                           | (165) |
| 二、基本应用电路 .....                         | (167) |
| 三、F/V 转换器接口及电路 .....                   | (168) |
| 四、LM331 组成的温度/频率转换电路 .....             | (168) |
| 第六节 高精度 F/D 转换器 FDC9201 .....          | (169) |
| 一、FDC9201 性能特点及结构 .....                | (169) |
| 二、工作原理 .....                           | (171) |
| 三、功能控制 .....                           | (172) |
| 四、应用 .....                             | (173) |
| 第八章 接口技术 .....                         | (175) |
| 第一节 通用接口方法 .....                       | (175) |
| 一、AD0809 与 MCS—51 单片机接口 .....          | (175) |
| 二、AD574 与 8031 接口 .....                | (177) |
| 三、CC14433 与 8031 接口 .....              | (179) |
| 第二节 ICL7109 与微机接口 .....                | (180) |
| 一、ICL7109 的信息交换工作方式 .....              | (180) |
| 二、ICL7109A/D 转换器接口电路设计 .....           | (182) |
| 第三节 高速 A/D 转换器 TDC1019 与 8031 接口 ..... | (186) |
| 一、MCS—51 的 ALE 信号开发与利用 .....           | (186) |
| 二、CPU 访问外部数据存储器时序分析 .....              | (186) |
| 三、MCS—51 的 ALE 信号扩展 .....              | (187) |
| 四、TDC1019 与 8031 接口 .....              | (188) |
| 五、调试注意事项 .....                         | (188) |
| 第四节 ADC1143 与 80C31 接口 .....           | (189) |
| 一、ADC1143 的工作过程 .....                  | (189) |
| 二、ADC1143 与 80C31 接口 .....             | (190) |
| 第五节 DAC1231 与 8031 接口 .....            | (191) |
| 第六节 AD7520 与 MCS—51 单片机接口 .....        | (194) |
| 第七节 DAC1210 与 8031 接口 .....            | (196) |
| 第八节 V/F 转换电路与单片机接口 .....               | (197) |
| 一、V/F 转换器做为 A/D 与单片机接口 .....           | (198) |

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| 二、V/F 转换器 LM331 与 8031 接口 ..... | (201) |
| 第九节 CCD 传感器与微机接口 .....          | (204) |
| 一、CCD 输出信号快速采集方法 .....          | (204) |
| 二、TDC1001J 与 Z80 接口 .....       | (205) |
| 第九章 非线性处理方法 .....               | (207) |
| 第一节 传感器非线性硬件校正方法 .....          | (207) |
| 一、敏感元件特性的线性化 .....              | (208) |
| 二、敏感元件转换电路的线性化 .....            | (208) |
| 第二节 传感器非线性图解法 .....             | (210) |
| 一、应用实例 .....                    | (210) |
| 二、非线性校正电路 .....                 | (212) |
| 第三节 非线性数字域校正的新方法 .....          | (213) |
| 一、工作原理 .....                    | (213) |
| 二、实现电路 .....                    | (214) |
| 三、EPROM 数据编码的求法 .....           | (215) |
| 第四节 微机在非线性校正中的应用 .....          | (216) |
| 一、算法 .....                      | (216) |
| 二、查表法 .....                     | (216) |
| 三、插值法 .....                     | (216) |
| 第五节 实验曲线的自动拟合 .....             | (220) |
| 一、实验曲线的自动拟合 .....               | (221) |
| 二、自动拟合方法在测量中的应用 .....           | (221) |
| 第十章 传感器与微机实用系统 .....            | (223) |
| 第一节 IBM PC 实时纱线不匀信号处理系统 .....   | (223) |
| 一、数字信号处理理论基础 .....              | (223) |
| 二、系统的基本配置和功能 .....              | (225) |
| 三、程序设计 .....                    | (226) |
| 第二节 CCD 智能动态线径测量仪 .....         | (228) |
| 一、智能动态线径测量仪的结构及功能 .....         | (228) |
| 二、传感器工作的定时驱动电路 .....            | (228) |
| 三、控制电路及微机系统 .....               | (230) |
| 四、测量原理和工作过程 .....               | (231) |
| 第三节 CCD 在动态物体间距测量中的应用 .....     | (232) |
| 一、TF—B 型间隙测量仪的测量原量及功能 .....     | (232) |
| 二、TF—B 型间隙测量仪的基本结构 .....        | (233) |
| 三、信号处理与软件设计 .....               | (234) |
| 第四节 测量电动机转速、转差率、转差角的新方法 .....   | (235) |
| 一、测量原理 .....                    | (236) |
| 二、单片机控制原理 .....                 | (238) |
| 三、测量过程 .....                    | (239) |

第十一章 抗干扰技术..... (241)

第一节 干扰信号源和侵入途径..... (241)

一、干扰信号源分类 ..... (241)

二、传感器噪声产生和分析 ..... (242)

三、噪声的耦合方式 ..... (244)

第二节 消除干扰的方法..... (247)

一、抗干扰的常用对策 ..... (247)

二、抗干扰的特殊对策 ..... (251)

三、抗干扰的技术展望 ..... (253)

参考文献..... (253)

# 第一章 信息检测与传感器

在自动监控系统或测量仪器中,使用传感器将各种物理参数转换成相应的电信号,再由微计算机进行处理、控制或显示。本章介绍几种常用信息检测方式及其新型集成电路传感器。

## 第一节 传感器及检测系统

### 一、传感器发展趋势

利用某种转换功能,将种种外界信号变成可以直接测量信号的器件或装置称为传感器。

自然界的信息,并非一律都可以简单地进行测量。例如,用弹簧秤测重量,是将重量变换成位移后才可以目测出读数。这里,弹簧是传感器;商店里的电子称,则是用应变片或差动变压器将重量变换成电量(电阻、电压)进行测量,这里应变片、差动变压器是传感器。

由于电信号容易进行放大、滤波、存储和远距离传送,而且容易变成数字信号由计算机进行处理,处理后的数字信号又可转换成模拟信号去驱动伺服机构,速度快而精度高,因而大多数传感器是将自然界的非电量信号转换为电信号,因此从狭义上讲,传感器也是一种将外界信号转换成电气信号的器件。

在工业过程检测和控制系统中,常使用的传感器是将物理量转换成电信号的传感器,如热电偶、热敏电阻、光敏电阻、霍尔器件、CCD 图象传感器、光纤传感器等,另外,也使用一些由光、电、温度、位移等物理量之间相互转换的传感器。但是,在由计算机进行处理的系统中,由传感器输出的信号,需要变换成计算机可处理的信号。

近年来,随着新材料、新工艺、新技术的开发,特别是大规模集成电路技术和计算机技术的发展,传感器技术发展很快,就其发展趋势而言,大体上有如下四个方面:

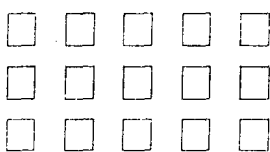
#### 1. 集成化和功能化

传感器的集成化和功能化是随着大规模集成电路技术发展而发展起来的。传感器集成化有两个方面的含义:一是将同一类型的单个传感器在同一平面上排列起来。排成一行的为线性传感器,排成二维阵列的称为面型传感器。例如,近年来发展很快的新型传感器 CCD 图象传感器,它以电荷耦合器件(CCD)为核心,可构成线性传感器和面型传感器,示意图如图 1-1 所示。每一个单个传感器称为像素,其像素尺寸为  $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$ ,响应时间为  $10^{-9}$  秒。现在,市场上已商品化有 2048 个像素的线型图象传感器,例如 TDC102C-1 型 CCD 线性图象传感器,其感光面像素为 2048 个,感光面为  $14\mu\text{m} \times 14\mu\text{m}$ ,感光像素单行排列,光敏元件为光电二极管。面型图象传感器已做成达  $492 \times 660$  像素。利用这种传感器,可进行传真通讯及高分辨率动态摄像。



(a) 单个传感器

(b) 线性传感器



(c)面型传感器

图 1-1 传感器集成化示意图

集成化的第二个含意是把传感器与信号放大、运算和温度补偿等环节一体化,从而组装成一个器件,图 1-2 为单晶硅各向异性腐蚀形成膜片的压力传感器芯片示意图。膜片居于芯片的中央,由压电电阻构成桥式检测电路。在中央膜片的周围,由 CMOS 工艺在同一芯片上集成补偿电路、放大器、稳压电路及振荡器等各种功能电路。

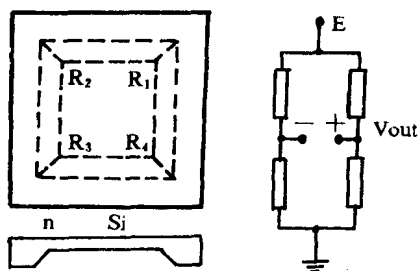


图 1-2 压力传感器芯片示意图

目前,已经开发了带有微处理器、A/D、D/A 转换器、接口电路及频率输出电路的压力传感器。

## 2. 立体集成化传感器

近年来,立体集成化智能传感器的研制开发很快,它将传感器和信号处理电路集成在一起,使传感器智能化。

例如,日本 90 年代开发的一种立体智能传感器(图 1-3),它的最上层是象传感器,第二层是 A/D、D/A 变换器,第三层是移位寄存器和运算器。芯片尺寸为  $8 \times 8\text{mm}$ ,象元尺寸为  $1.05 \times 1.05\text{mm}$ ,集成有 10700 个 MOS 场效应管。由于采用并行处理,大大提高了处理速度。

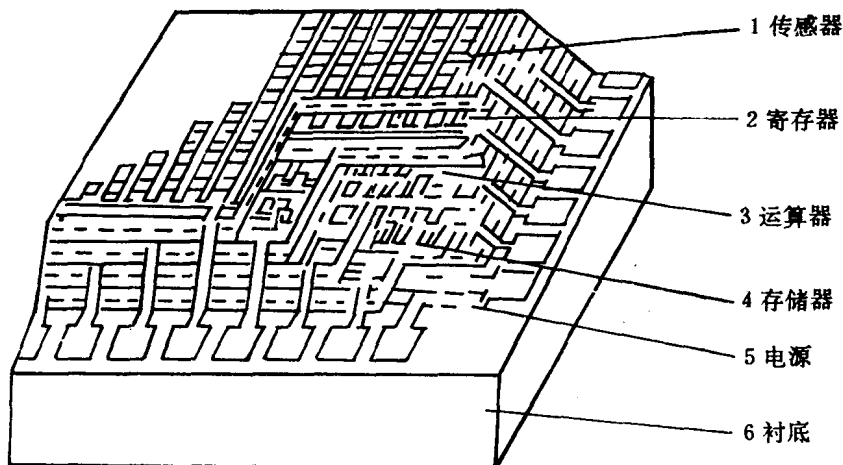


图 1-3 立体智能传感器

### 3. 具有自学习、自诊断功能的传感器

随着具有自我学习功能的人工神经网络技术的发展,在传感器系统中引入神经网络,使传感器高度智能化。

目前,在试制的带神经网络的传感器中,神经网络采用分层形网络模型。通过神经网络的自学习功能,提高传感器的辨识能力。

### 4. 功能智能化传感器

智能传感器的新发展是传感器和调节器一体化、即传感器功能和调节器功能集成化,通过传感器能动的信息采集而减轻信号处理电路部分的负担,使得用同等程度的硬件规模可实现更灵活的功能。这种称为传感机器人的智能传感器是 90 年代传感器智能化的方向。

智能传感器进一步发展,则是使传感器具有自恢复功能和自组织化功能,同时具有固有知识库,向着更接近于生物传感系统的方向发展。

## 二、传感器和自动检测、监控系统

随着单片机的普及,传感器做为一个重要的、不可缺少的部件,与单片机一起组成各种不同用途的检测监控系统。下面介绍纺织厂浆纱机微机监控系统。浆纱机微机监控系统可实现对纱线的上浆率、回潮率、伸长率、蒸气压、浆液浓度和浆液温度等进行监测,并对回潮率、浆槽温度等实行自动控制。系统构成方框图如图 1-4。

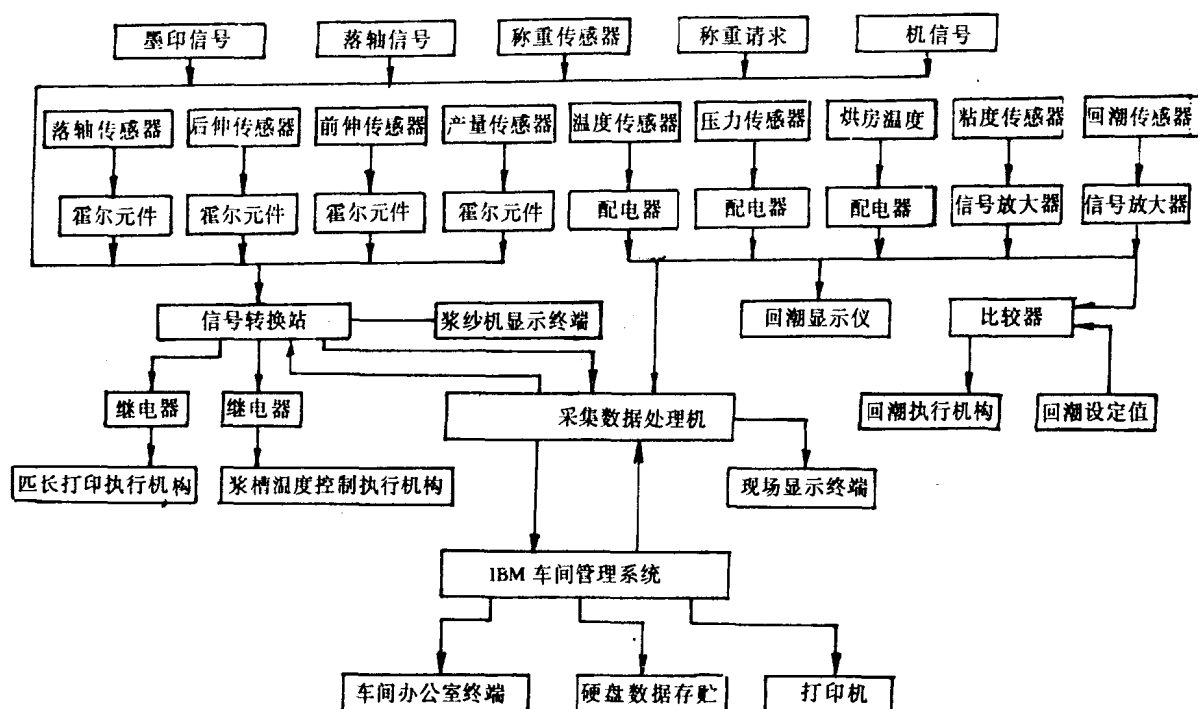


图 1-4 浆纱机微机监控系统框图

在浆纱机自动监控系统中,利用霍尔传感器采集现场的开关量信号,如落轴、后伸、前伸、产量、匹长等;用压力传感器检测称重请求;用温度传感器检测浆槽温度、烘房温度;用回潮率传感器检测湿度;用粘度传感器检测浆液浓度。这些检测信号经微计算机处理后,一路送机房

终端进行显示,一路送信号转换站进行自动控制,另一路送车间管理系统。

## 第二节 温度检测

在产品的工艺加工过程中,温度对产品质量影响很大,温度检测和控制是十分重要的。例如,在浆纱工艺中,使浆液的温度保持恒定值,对保持浆液粘度和浓度不变,进行均匀上浆是十分重要的,这就需要对加热介质的温度进行连续测量和控制;另外,由于浆纱机中蒸气压力和卷绕速度的变化使烘干温度变化很大,因此测量和控制烘筒的温度非常重要。

在印染工艺中,染缸中染液的温度直接影响染色质量,必须进行准确测量和控制;在织物的染前和染后的整理工艺中,如热定型、热风拉幅、漂白、蒸煮等,往往是在布运动的情况下对整理液或布的温度进行测量和控制。

在温度测量中,常用的温度检测器件有热电偶、热电阻、热敏电阻及半导体集成温度传感器。本节介绍几种常用温度传感器。

### 一、热电偶传感器

热电偶是温度测量中应用最广泛的一种传感器,它是利用热电势原理来工作的。输出灵敏度一般为  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ,室温下的典型输出电压为毫伏数量级。

热电偶优点是:

- (1)测量精度高。热电偶与被测对象直接接触,不受中间介质的影响。
- (2)测量范围广。一般通用热电偶,可从  $-50^\circ\text{C}$ ~ $1600^\circ\text{C}$  进行连续测量。
- (3)结构简单,使用方便。

国产标准化热电偶技术参数如表 1-1 所示。

表 1-1 标准化热电偶的技术参数

| 热电偶名称                | 分度号<br>(注 1) | 代号         | 热电极材料 |     |                            | 电阻率<br>( $20^\circ\text{C}$ )<br>$\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ | $E(100,0)$<br>(mV) | 测温范围( $^\circ\text{C}$ ) |               | 允许误差( $^\circ\text{C}$ ) |                                                 |
|----------------------|--------------|------------|-------|-----|----------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------|---------------|--------------------------|-------------------------------------------------|
|                      |              |            | 极性    | 识别  | 化学成分                       |                                                               |                    | 长期<br>(注 2)              | 短期            | 温度 $^\circ\text{C}$      | 允许误差 $^\circ\text{C}$                           |
| 铂铑 <sub>10</sub> -铂  | S<br>(LB-3)  | S<br>(WRP) | 正     | 较硬  | 90%Pt<br>10%Rh             | 0.24                                                          | 0.645              | 0~1300                   | 0~1600        | $\leq 600$<br>$> 600$    | $\pm 1.5$ (Ⅰ级)<br>( $\pm 3.0$ )<br>$\pm 0.5\%t$ |
|                      |              |            | 负     | 较软  | 100%Pt                     | 0.16                                                          |                    |                          |               |                          |                                                 |
| 铂铑 <sub>30</sub> -铂铑 | B<br>(LL-2)  | B<br>(WRR) | 正     | 较硬  | 70%Pt<br>30%Rh             | 0.245                                                         | 0.033              | 0~1600                   | 0~1800        | $\leq 800$<br>$> 800$    | $\pm 4$ (Ⅱ级)<br>$\pm 0.5\%t$                    |
|                      |              |            | 负     | 稍软  | 94%Pt<br>6%Rh              | 0.215                                                         |                    |                          |               |                          |                                                 |
| 镍铬-镍硅                | K<br>(EU-2)  | K<br>(WRN) | 正     | 不亲磁 | 9~10%Cr0.4%Si<br>其余 Ni     | 0.68                                                          | 4.10               | -200<br>~1000            | -200<br>~1300 | $\leq 400$<br>$> 400$    | $\pm 3.0$ (Ⅱ级)<br>$\pm 0.75\%t$                 |
|                      |              |            | 负     | 稍亲磁 | 2.5~3%Si, Cr<0.6%<br>其余 Ni | 0.25<br>~0.33                                                 |                    |                          |               |                          |                                                 |
| 镍铬-考铜                | EA-2         | WRK        | 正     | 色较暗 | 9~10%Cr0.4%Si<br>其余 Ni     | 0.68                                                          | 6.95               | -50<br>~600              | -50<br>~800   | $\leq 300$<br>$> 300$    | $\pm 3.0$<br>$\pm 1\%t$                         |
|                      |              |            | 负     | 银白色 | 56%Cu44%Ni                 | 0.47                                                          |                    |                          |               |                          |                                                 |

|      |           |           |   |     |            |       |      |              |              |                |          |
|------|-----------|-----------|---|-----|------------|-------|------|--------------|--------------|----------------|----------|
| 铜—康铜 | T<br>(CK) | T<br>(RC) | 正 | 红色  | 100%Cu     | 0.017 | 4.28 | -200<br>~200 | -200<br>~400 | (-200~<br>-50) | (±1.5%)  |
|      |           |           | 负 | 银白色 | 60%Cu40%Ni | 0.49  |      |              |              | (-50~<br>300)  | (±0.75%) |

## 二、热电阻传感器

热电阻温度传感器是利用导体或半导体的电阻率随温度变化而变化的原理制成的。这种现象称为热电阻效应。利用物质这一特性制成的温度传感器有金属热电阻温度传感器和热敏电阻温度传感器。金属热电阻温度传感器测温范围为 $-200^{\circ}\text{C}\sim+85^{\circ}\text{C}$ ，半导体热敏电阻温度传感器的测温范围为 $-270^{\circ}\text{C}\sim+1300^{\circ}\text{C}$ 。热电阻大都由纯金属材料制成，应用最多的是铂、铜等。

电阻的阻值与温度之间的关系接近于线性，在 $0\sim850^{\circ}\text{C}$ 范围内可用下式表示：

$$R(t) = R_{(0^{\circ}\text{C})}(1 + At + Bt^2)$$

在 $-200^{\circ}\text{C}\sim0^{\circ}\text{C}$ 范围内则用下式表示：

$$R(t) = R(0^{\circ}\text{C})[1 + At + Bt^2 + C(t - 100^{\circ}\text{C})t^3]$$

式中

- $R(t)$ ： 温度  $t$  时铂热电阻的电阻值， $\Omega$ 。  
 $t$ ： 温度， $^{\circ}\text{C}$ 。  
 $R_{(0^{\circ}\text{C})}$ ： 温度  $0^{\circ}\text{C}$  时铂热电阻阻值， $\Omega$ 。  
 $A$ ： 常数，值为  $3.90802 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$   
 $B$ ： 常数，值为  $-5.80195 \times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}^2$   
 $C$ ： 常数，值为  $-4.27350 \times 10^{-12}/^{\circ}\text{C}^4$

工业用标准铂热电阻有：

$$R_{100}： R_{(0^{\circ}\text{C})} \text{ 为 } 100\Omega。$$

$$R_{10}： R_{(0^{\circ}\text{C})} \text{ 为 } 10\Omega。$$

在测量精度要求不高，测温范围比较小( $-50^{\circ}\text{C}\sim150^{\circ}\text{C}$ )时，可选用铜热电阻。铜热电阻国家标准有的  $R_{(0^{\circ}\text{C})}$  为  $100\Omega$  和  $50\Omega$  两种。

## 三、热敏电阻传感器

热敏电阻温度传感器是近年新开发的半导体新型测温元件。热敏电阻具有负温度系数，温度增高时，阻值减少。

热敏电阻的特点是：

- (1) 电阻温度系数绝对值大，灵敏度高，测试线路简单，甚至不用放大器也可输出几伏电压；
- (2) 体积小，重量轻，热惯性小；
- (3) 本身电阻值大，适用于远距离测量；
- (4) 制作简单，寿命长；
- (5) 用微机进行非线性补偿，可得满意效果。

热敏电阻电阻值—温度关系为：

$$R_T = A \cdot e^{B/T}$$

式中：

$R_T$ : 温度为  $T$  时的电阻值。

$A, B$ : 常数。

$T$ : 绝对温度。

设温度  $T_0$  时电阻值为  $R_0$ , 则温度  $T$  时:

$$R_T = R_0 \cdot e^{B(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})}$$

式中:

$B$  为热敏电阻系数, 一般取  $B=2000 \sim 6000K$ , 高温时为  $B=6000 \sim 12000K$ 。

#### 四、集成温度传感器

实际集成温度传感器是通过控制晶体管几何尺寸的比例关系以得到精度较高、性能稳定的温度灵敏特性。下面介绍几种新型集成温度敏感器件。

##### 1. LM134

LM134 是一种新型硅集成温度传感器。其特点如下:

(1) 线性度好。在整个工作温度范围内 ( $-55^\circ C \sim +125^\circ C$ ), 输出电流几乎与被测温度呈线性关系, 可省去非线性校正网络, 使用简便。

(2) 起始电压低 (低于  $1.5V$ ), 而器件耐压高, 适用电源电压范围宽 ( $3 \sim 40V$ )。

(3) 灵敏度高 ( $1\mu A/K$ )。输出信号幅度大。一般不必增加中间放大即可驱动检测系统, 例如双积分型 AD 转换器 CC14433 或 ICL7106 等, 提高了检测精度。

(4) 输出阻抗高。一般大于  $10M\Omega$ 。相当于一个受温度控制的恒流源, 有较强的抗干扰能力, 适用于长距离测温 and 控温, 并降低了对电源精度的要求。

LM134 是一个三端器件。工作时  $R$  和  $V_-$  端之间要接电阻  $R_{set}$ , 如图 1-5 所示。LM134 的内部结构如图 1-6 所示。图中  $T_3, T_4, T_5$  是具有共同发射极的多集电极横向 PNP 管。 $T_1$  和  $T_2$  是纵向 NPN 管, 但发射区面积不同, 两者之比  $A_{e2}/A_{e1}=12$ 。

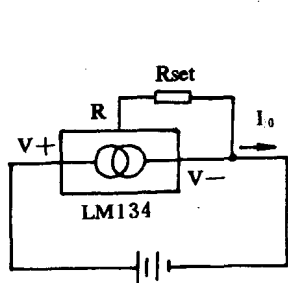


图 1-5 LM134 接线图

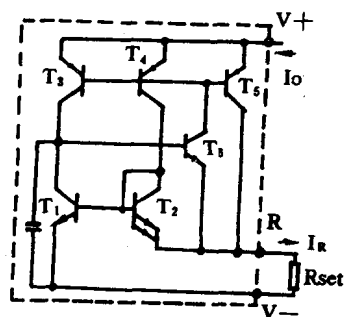


图 1-6 LM134 结构图

根据晶体管原理, 晶体管基-射结电压为:

$$V_{be} = \frac{KT}{q} \ln(I_e/I_{es})$$

式中,  $K$  为波尔兹曼常数,  $q$  为电子电荷,  $T$  为绝对温度,  $I_e$  为发射极电流。  $I_{es}$  为发射极反向饱和电流, 它与发射区面积成正比。这样, 图 1-6 中外接电阻  $R_{set}$  两端电势降为:

$$\begin{aligned} V_{Rset} &= V_{be1} - V_{be2} \\ &= \frac{KT}{q} \ln \frac{I_{e1}}{I_{e2}} \cdot \frac{I_{es2}}{I_{es1}} \end{aligned}$$

如果忽略各管基极电流,则有:

$$I_{c1} = I_{c3}, I_{c2} = I_{c4}$$

因

$$I_{c3} = I_{c4}$$

所以

$$I_{e1} = I_{e2}$$

又因

$$I_{e2}/I_{e1} = A_{e2}/A_{e1} = 12$$

代入  $V_{Rset}$  表达式,得

$$V_{Rset} = \frac{KT}{q} \ln 12$$

流过  $R_{set}$  的电流为

$$I_R = \frac{KT}{q R_{set}} \ln 12$$

显然,  $I_R$  与绝对温度  $T$  成正比。

在实际应用中,由 LM134 的  $V_+$  和  $V_-$  端输出的感温电流  $I_o$  (见图 1-6) 显然不完全为  $I_R$ , 而是  $I_o = I_R + I_{e1}$ 。但由于 LM134 内部版图决定  $T_5$  的集电极电流远大于  $T_3$ 、 $T_4$  管,  $I_R$  几乎完全由  $T_5$  供给。因此,  $I_o \approx I_R = \alpha T$

$$\alpha = \frac{K}{q R_{set}} \ln 12$$

当不考虑外接电阻  $R_{set}$  的温度系数时,  $\alpha$  是一个与温度无关的常数,因而输出电流  $I_o$  与  $T$  成正比。

图 1-7 给出了一个由 LM134 构成的内阻为零的电压型输出的温度传感器线路。此线路的输出电阻在  $5\Omega$  以下。

## 2. SLT-1

SLT-1 是电流型二端 PTAT 器件。它将环境温度变化转换为与之相应的电流变化信号输出,绝对零度时输出为 0。如图 1-8 所示。

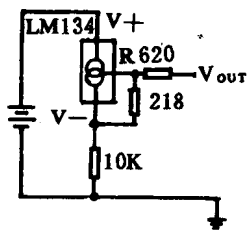


图 1-7 电压型输出线路

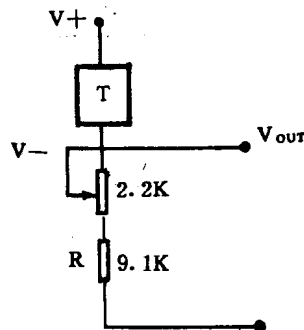


图 1-8 SLT-1 温度传感器

主要性能指标有:

精度与误差:  $1 \pm 0.05 \mu A/K$ ,  $\pm 0.3^\circ C$ 。

感温灵敏度: 探头从  $\pm 30^\circ C$  状态置入  $0^\circ C$  的冰水混合体中, 60 秒内达到  $0^\circ C$  对应的电流值。

工作电流: 小于  $350 \mu A$ 。

功耗: 小于  $5mW$

恒流特性: 工作电流对外加电压每伏变化率小于 2%。