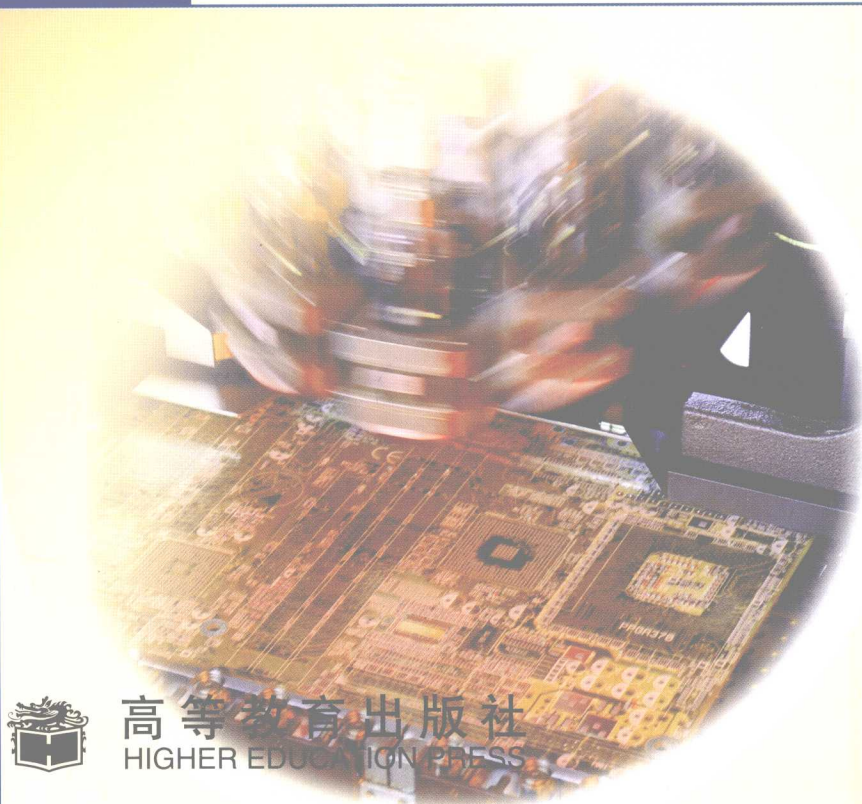


职业院校电气运用与维修专业教学用书

# 传感器及PLC应用

高 勤 主编



高等教育出版社  
HIGHER EDUCATION PRESS

内容简介

职业院校电气运用与维修专业教学用书

# 传感器及 PLC 应用

高 勤 主编

高等教育出版社

## 内容简介

本书是职业院校电气运用与维修专业教学用书。本书贯彻落实“以服务为宗旨,以就业为导向,以能力为本位”的职业教育办学指导思想,并参考有关行业的职业技能鉴定规范编写而成。

本书内容分为三部分。第一部分为基本知识及基本操作训练,介绍传感器及 PLC 应用的基本知识和基本操作训练。第二部分为传感器的应用、研发及实训项目,介绍传感器测量电路的调试方法和步骤。第三部分为 PLC 的应用及实训项目,介绍 PLC 控制系统硬件电路原理图及接线图的设计、控制程序的设计及调试、PLC 控制系统整机连调的方法及步骤。

本书为适应目前职业院校教学改革的需要,加强实践环节的要求,采用项目式教学,注重培养学生的综合职业能力。

本书附学习卡/防伪标,按照书末“郑重声明”下方的使用说明进行操作,可查询图书真伪并有机会赢取大奖,也可登录 <http://sve.hep.com.cn>,上网学习,下载资源。

本书可作为职业院校电气技术应用、电气自动化、生产过程自动化、机电一体化及相关专业教材,可供不同学制、不同地区的学校灵活选用,也可作为岗位培训用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

传感器及 PLC 应用/高勤主编. —北京:高等教育出版社,2009.7

ISBN 978-7-04-025915-5

I. 传… II. 高… III. ①传感器-高等学校:技术学校-教材②可编程序控制器-高等学校:技术学校-教材  
IV. TP212 TP332.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 073734 号

策划编辑 李宇峰 责任编辑 许海平 封面设计 于涛 责任绘图 尹莉  
版式设计 张岚 责任校对 胡晓琪 责任印制 韩刚

---

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	咨询电话	400-810-0598
邮政编码	100120	网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>
总 机	010-58581000		<a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	<a href="http://www.landaco.com">http://www.landaco.com</a>
印 刷	北京宏信印刷厂		<a href="http://www.landaco.com.cn">http://www.landaco.com.cn</a>
		畅想教育	<a href="http://www.widedu.com">http://www.widedu.com</a>
开 本	787×1092 1/16	版 次	2009 年 7 月第 1 版
印 张	14	印 次	2009 年 7 月第 1 次印刷
字 数	330 000	定 价	19.80 元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 25915-00

# 前 言

可编程控制器(简称 PLC)是一种基于微机技术的通用工业自动化电子控制设备。可编程控制器已经历了 40 余年的发展,目前广泛应用于机械制造、石化、冶金、电力、交通、轻纺等行业中,已成为一种重要的自动化控制装备。在各种自动化控制系统中传感器是必不可少的检测器件,传感器为自动化控制提供原始数据及信息,在自动化控制系统中具有重要的地位。

传感器和可编程控制器是实践性很强的专业课程,必须要通过各种实训环节来巩固理论知识、建立工程应用概念、提高应用能力。本书为传感器及 PLC 的实践教学而编写,其主要内容包括:

1. 传感器及 PLC 应用的基本训练及相关知识:传感器的校验方法,电子电路调试的方法和步骤,调试故障的诊断及处理方法,电子电路调试训练的内容,PLC I/O 单元的实际接线方式。

2. 温度、压力、湿度和气体传感器典型应用电路的设计、调试示例及相关传感器应用的实训项目。

3. PLC 控制系统的设计和调试:电气控制主电路图及接线图设计,PLC I/O 器件接线图的设计,系统控制面板图的设计,控制电路元器件的选择及参数计算,控制程序的设计及调试,PLC 整机控制系统的调试方法及步骤。

为提高学生的自学能力及独立动手操作的能力,本书中的每个实训项目都编写有详细的设计、调试示例。在讲解示例的基础上,每个项目均编写有选做项目,可作为学生自主设计性的实训内容。为满足不同类型及不同层次的实习、实训的教学要求,本书的内容安排由易到难,并有一定的广度和深度。

采用本书进行实训教学时,可根据实际教学要求及学校设备情况来确定实训的具体内容,也可以将强电电路的内容作为理论设计进行。本书以 FX2N 型 PLC 为蓝本编写,但是其他机型的 PLC 同样可以借鉴本书的内容。

本书由高勤主编。全书共设置 15 个实训项目,武付香编写项目 1、2;宁红英编写项目 3、4;卢秀编写项目 9、10;高勤编写项目 5~8 和项目 11~15。

本书经中国职业教育学会电工电子专业教学研究会审定,由高等教育出版社章浩平编审审稿。

鉴于编者的水平,书中难免存在错误和疏漏,恳请广大读者批评指正。对本书的意见和建议请发邮件至 [gaogaoqin@163.com](mailto:gaogaoqin@163.com)。

本书采用出版物短信防伪系统,用封底下方的防伪码,按照本书最后一页“郑重声明”下方的使用说明进行操作,可查询图书真伪并有机会赢取大奖。

本书同时配套学习卡资源,按照本书最后一页“郑重声明”下方的学习卡使用说明,登录 <http://sve.hep.com.cn>,上网学习,下载资源。

编 者  
2009 年 1 月

# 目 录

## 第一部分 基本知识及基本操作训练

### 项目 1 传感器应用的基本知识及操作训练

1.1 检测技术的基本知识	3
1.1.1 传感器的基本特性	3
1.1.2 传感器的主要性能指标	5
1.1.3 传感器测量的基本概念	6
1.1.4 测量误差	6
1.1.5 传感器的标定与校验	7
1.1.6 热电阻传感器的校验	8
1.2 电子电路的调试技术	9
1.2.1 电子电路的调试内容及步骤	9
1.2.2 调试电子电路的注意事项	11
1.2.3 调试故障诊断的一般方法	12
1.2.4 温度控制电路调试举例	13

### 项目 2 PLC 应用的基本知识

2.1 PLC 输入/输出接口电路	16
2.1.1 开关量的输入接口电路	16
2.1.2 开关量的输出接口电路	17
2.1.3 开关量输入/输出端口的接线说明	18
2.2 PLC 控制系统设计	20
2.2.1 PLC 控制系统的设计内容及步骤	20
2.2.2 控制程序的设计方法	20
2.3 PLC 控制系统的调试及运行	21
2.4 PLC 控制系统设计举例	21

## 第二部分 传感器的应用

### 项目 3 集成温度传感器的应用

3.1 LM35D 温度传感器的应用	29
3.1.1 温度测量及信号转换电路的设计	29
3.1.2 温度测量及数字显示电路的调试	33
3.2 选做项目	35
3.2.1 电加热干燥箱的温度控制系统	35
3.2.2 AD590 温度传感器的应用	37
3.3 实训报告的内容及要求	38
3.4 项目的相关知识	38
3.4.1 集成温度传感器 LM35	38
3.4.2 集成温度传感器 AD590	41

### 项目 4 热电偶及热电阻温度传感器的应用

4.1 铂热电阻传感器的应用	44
4.1.1 铂热电阻温度测量及显示电路的设计	44
4.1.2 温度测量及数字显示电路的调试	45
4.2 选做项目	47
4.2.1 热敏电阻传感器的应用	47
4.2.2 铂热电阻线性化的温度测量	49
4.2.3 铂热电阻恒压驱动温度检测应用	50
4.2.4 热电偶温度传感器的应用	52

4.2.5	热电偶线性化的温度测量	54
4.3	实训报告的内容及要求	55
4.4	项目的相关知识	55
<b>项目 5</b>	<b>压力传感器的应用</b>	<b>63</b>
5.1	WPX2100 型扩散硅压力传感器的应用	63
5.1.1	压力测量及数字显示电路的设计	63
5.1.2	压力测量及转换电路的调试	65
5.2	选做项目	67
5.2.1	压力-频率转换电路的设计及调试	67
5.2.2	SP20C-G501 压力传感器的应用	68
5.3	实训报告的内容及要求	69
5.4	项目的相关知识	69
<b>项目 6</b>	<b>湿敏电阻传感器的应用</b>	<b>72</b>
6.1	环境湿度的检测及控制	72
6.1.1	湿敏电阻传感器检测及控制电路的设计	72
6.1.2	湿敏电阻传感器检测及控制电路的调试	73

6.2	选做项目	74
6.2.1	湿度测量电路的设计及调试	74
6.2.2	带温度补偿作用的湿度测量电路	75
6.3	实训报告的内容及要求	77
6.4	项目的相关知识	77
<b>项目 7</b>	<b>气敏传感器的应用</b>	<b>81</b>
7.1	气敏传感器酒精浓度检测仪	81
7.1.1	酒精浓度检测及显示电路的设计	81
7.1.2	酒精浓度检测及显示电路的调试	83
7.2	选做项目	85
7.3	实训报告的内容及要求	86
7.4	项目的相关知识	86
<b>项目 8</b>	<b>霍尔传感器的应用</b>	<b>90</b>
8.1	功率计电路的设计及调试	90
8.1.1	功率计电路的设计	90
8.1.2	功率计电路的调试	92
8.2	实训报告的内容及要求	93
8.3	项目的相关知识	93

## 第三部分 PLC应用

<b>项目 9</b>	<b>电动机的起动控制</b>	<b>101</b>
9.1	两台电动机顺序延时起动的控制	101
9.1.1	电动机顺序起动的继电器控制	101
9.1.2	PLC 控制系统的硬件电路设计	102
9.1.3	PLC 的控制程序设计及调试	104
9.1.4	PLC 控制系统的调试	106
9.2	电动机星形-三角形(Y-Δ)减压起动控制	106
9.2.1	电动机 Y-Δ 减压起动的继电器控制	106
9.2.2	PLC 控制系统的硬件电路	

	设计	107
9.2.3	PLC 的控制程序设计	109
9.2.4	PLC 控制系统的调试	110
9.3	选做项目	110
9.3.1	电动机 Y-Δ 减压起动控制(功能指令编程)	110
9.3.2	电动机 Y-Δ 减压起动控制(步进指令编程)	111
9.3.3	三相异步电动机能耗制动控制	113
9.3.4	两台电动机的运行控制	114
9.3.5	3 台电动机的运行控制	114
9.4	实训报告的内容及要求	115
<b>项目 10</b>	<b>电动机的运行控制</b>	<b>116</b>
10.1	电动机正、反转的控制	116

10.1.1	电动机正、反转的继电器控制	116	11.1.4	PLC 控制系统的调试	143
10.1.2	PLC 控制系统的硬件电路设计	116	11.2	送料车的定点呼叫控制	143
10.1.3	PLC 的控制程序设计及调试	119	11.2.1	PLC 控制系统的硬件电路设计	144
10.1.4	PLC 控制系统的调试	120	11.2.2	PLC 的控制程序设计及调试	146
10.2	电动机间歇运行的控制	120	11.2.3	PLC 控制系统的调试	148
10.2.1	电动机间歇运行的继电器控制	120	11.3	选做项目	149
10.2.2	PLC 控制系统的硬件电路设计	120	11.3.1	送料车的自动循环运行控制	149
10.2.3	PLC 的控制程序设计及调试	122	11.3.2	两台送料车的自动循环运行控制	149
10.2.4	PLC 控制系统的调试	123	11.3.3	皮带运输机的控制	150
10.3	电动机的选择运行控制	124	11.4	实训报告的内容及要求	151
10.3.1	PLC 控制系统的硬件电路设计	124	<b>项目 12</b>	<b>交通自动控制</b>	152
10.3.2	PLC 的控制程序设计及调试	126	12.1	按钮式交通灯的控制	152
10.3.3	PLC 控制系统的调试	128	12.1.1	PLC 控制系统的硬件电路设计	153
10.4	选做项目	129	12.1.2	PLC 的控制程序设计及调试	153
10.4.1	用 PLC 实现 4 台电动机的运行控制	129	12.1.3	PLC 控制系统的调试	157
10.4.2	PLC 控制电动机的间歇运行	131	12.2	自动门的控制	158
10.4.3	用功能指令编程控制电动机顺序起动	132	12.2.1	PLC 控制系统的硬件电路设计	159
10.4.4	3 台电动机间隔起动自动停止的控制	134	12.2.2	PLC 的控制程序设计及调试	160
10.4.5	3 台电动机的单按钮顺序间隔起动控制	134	12.3	选做项目	161
10.5	实训报告的内容及要求	135	12.3.1	十字路口交通灯控制	161
<b>项目 11</b>	<b>自动生产线的控制</b>	136	12.3.2	双门通道的自动门控制	164
11.1	送料车选择运行的控制	136	12.3.3	隧道交通灯控制	165
11.1.1	送料车往返运行的继电器控制	137	12.4	实训报告的内容及要求	166
11.1.2	PLC 控制系统的硬件电路设计	137	<b>项目 13</b>	<b>组合机床的 PLC 控制</b>	167
11.1.3	PLC 的控制程序设计及调试	140	13.1	组合机床的继电器控制	167
			13.2	组合机床的 PLC 控制系统设计	168
			13.2.1	组合机床的工作循环	168
			13.2.2	硬件控制电路的设计	169
			13.3	控制程序的设计及调试	172
			13.3.1	PLC 控制程序的设计	172
			13.3.2	PLC 控制程序的调试	175

13.4	PLC 控制系统的调试	177	14.5	实训报告的内容及要求	194
13.5	选做项目	177	14.6	项目的相关知识	195
13.5.1	普通机床的 PLC 控制	177	14.6.1	N : N 型网络通信的相关 知识	195
13.5.2	由继电器控制电路改建 PLC 控制	178	14.6.2	双机并行通信的相关知识	197
13.5.3	反接制动继电器控制改建 PLC 控制	178	<b>项目 15 模拟量 I/O 模块的应用</b>	198	
13.6	实训报告的内容及要求	179	15.1	PLC 的温度检测系统	198
<b>项目 14 通信控制</b>		180	15.1.1	PLC 控制系统的硬件电路 设计	198
14.1	N : N 型通信网络控制	180	15.1.2	PLC 的控制程序设计及 调试	199
14.1.1	通信控制系统的硬件电路 设计	181	15.1.3	PLC 控制系统的调试	201
14.1.2	通信控制程序的设计	183	15.2	选做项目	202
14.1.3	通信联网系统的调试及 运行	184	15.3	实训报告的内容及要求	202
14.2	选做项目	184	15.4	项目的相关知识	203
14.2.1	N : N 型网络通信应用(1)	184	15.4.1	PLC 温度控制系统的组成	203
14.2.2	N : N 型网络通信应用(2)	186	15.4.2	模拟量 I/O 模块的选择与 使用	204
14.3	双机 PLC 并行通信网络	190	<b>附录 1 FX2N 系列 PLC 输入/输出 端子排列图</b>	209	
14.3.1	通信控制系统的硬件电路 设计	190	<b>附录 2 FX 系列 PLC 输出接口电路 技术指标</b>	211	
14.3.2	通信控制程序的设计	191			
14.3.3	通信联网的调试及运行	192			
14.4	选做项目	193			
	<b>参考文献</b>	213			

## 第一部分

# 基本知识及基本操作训练



# 项目 1

## 1 传感器应用的基本知识及操作训练

项目知识点及操作训练内容:

- ① 传感器的基本特性,测量误差的基本概念。
- ② 传感器的校验方法。
- ③ 电子电路的调试方法及步骤,电子电路故障的诊断方法。
- ④ 电子电路的调试及传感器的校验。

### 1.1 检测技术的基本知识

#### 1.1.1 传感器的基本特性

传感器的基本特性一般是指传感器的输入、输出间的特性。基本特性可分为静态特性和动态特性。当被测量不随时间变化或者变化很缓慢时,传感器输入、输出间的特性就称为静态特性。传感器的静态特性曲线如图 1-1 所示。表征传感器静态特性的参数有线性度、灵敏度、分辨率、准确度、复现性和迟滞等。

##### 1. 线性度

传感器理想的特性是线性特性。实际应用中很多传感器输入和输出间都是非线性的关系。非线性特性给测量刻度及数字转换带来不便。图 1-1 中曲线①表示传感器的实际特性曲线,为了便于分析处理测量结果,常画出一条拟合实际曲线的直线来代替实际的特性曲线,如图 1-1 中曲线②所示。线性度是反映传感器非线性特性和拟合直线间的性能指标。线性度的计算公式为:

$$\gamma_L = \frac{\Delta L_{\max}}{Y_{\max} - Y_{\min}} \times 100\%$$

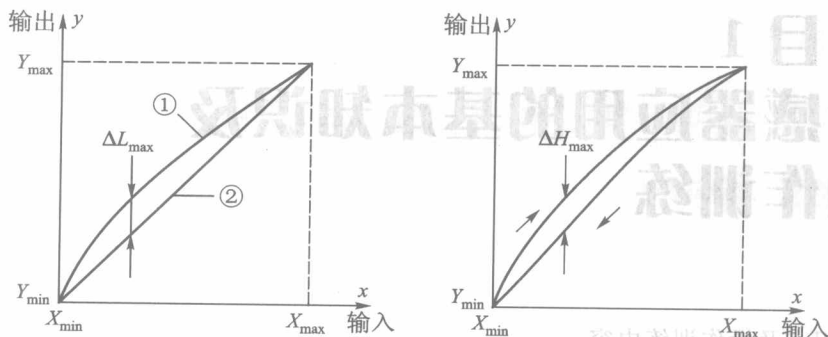
式中, $\Delta L_{\max}$ ——最大的偏差;

$Y_{\max} - Y_{\min}$ ——输出量程。

图 1-1 中  $X_{\min} \sim X_{\max}$  为传感器的输入范围(被测的范围), $Y_{\min} \sim Y_{\max}$  为输出范围。要保证传感器的检测精度,对非线性特性要进行补偿,通常可以采用线性化电路和微机编程进行补偿。

##### 2. 迟滞

在传感器的输入量由小到大(正行程)及由大到小(反行程)变化期间,传感器静态特性曲线出现不重合的现象称为迟滞。由于传感器的特性存在迟滞现象,所以传感器在正行程和反行程测量时,对同一被测量其输出信号不相等,存在误差,此误差称为迟滞误差,如图 1-1(b)所示。



(a) 传感器的静态特性曲线

(b) 传感器的迟滞特性

图 1-1 传感器的静态特性曲线

迟滞误差产生的主要原因是传感器存在间隙、摩擦等。迟滞误差的计算公式为：

$$\gamma_H = \frac{\Delta H_{\max}}{Y_{\max} - Y_{\min}} \times 100\%$$

式中， $\Delta H_{\max}$ ——正、反行程的最大差值；

$Y_{\max} - Y_{\min}$ ——输出量程。

### 3. 重复性

重复性指标用于表示当传感器在相同的工作条件下，输入量按照同一方向变化，在测量范围内连续多次测试时，所得到的特性曲线不一致的程度，如图 1-2(a) 所示。多次重复测试的曲线越重合，说明重复性越好，误差越小。在图 1-2(a) 中，正行程的最大重复性偏差为  $\Delta R_{\max_1}$ ，反行程的最大重复性偏差为  $\Delta R_{\max_2}$ ，定义两者中数值大的为  $\Delta R_{\max}$ ，用  $\Delta R_{\max}$  计算重复性误差。重复性误差的计算公式为：

$$\gamma_R = \frac{\Delta R_{\max}}{Y_{\max} - Y_{\min}} \times 100\%$$

式中， $\Delta R_{\max}$ ——最大重复性偏差；

$Y_{\max} - Y_{\min}$ ——输出量程。

### 4. 灵敏度

灵敏度是指传感器在稳态工作情况下，输出变化量与输入变化量的比值。一般用  $S$  表示，即：

$$S = dy/dx \approx \Delta Y / \Delta X$$

对于线性特性的传感器其灵敏度系数为常数，而非线性特性的传感器在测量范围内，各点的灵敏度大小不同， $S$  是一个变量，如图 1-2(b) 所示。灵敏度和放大倍数的物理意义有所不同，放大倍数一般是一个无量纲的量，而灵敏度是一个有量纲的量。例如一个压力传感器的灵敏度为  $0.4 \text{ mV}/10 \text{ kPa}$ ，表示被测压力值变化  $10 \text{ kPa}$  时，传感器的输出电压变化  $0.4 \text{ mV}$ ，其灵敏度的单位为  $[\text{mV}/\text{kPa}]$ 。传感器的灵敏度高，表示传感器对被测值的变化敏感且输出信号大，因此有利于检测。但是单纯提高传感器的灵敏度，会造成传感器的抗干扰能力变差，稳定性降低，测量精度也会变差，所以传感器的各项性能指标要综合考虑。

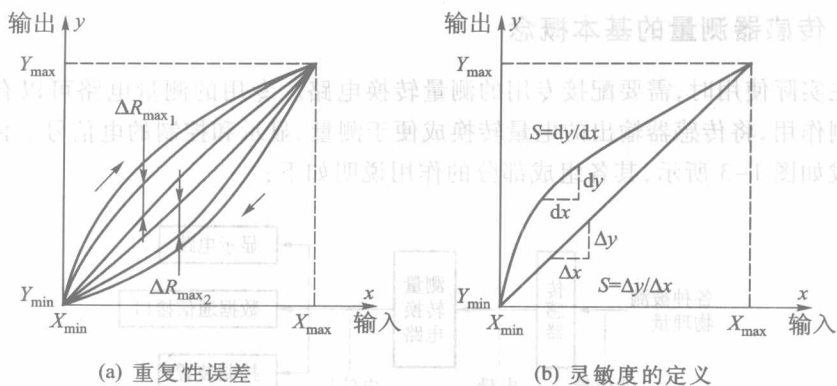


图 1-2 重复性误差和灵敏度

### 1.1.2 传感器的主要性能指标

#### 1. 分辨率

分辨率指传感器能检测出被测信号的最小变化量,也称为最小检测量,是有量纲的参数。当被测量的变化量小于分辨率时,传感器对输入量的变化无反应,其输出不变。分辨率是数字测量系统的一个性能指标,例如某数字温度显示表的测温范围为  $0 \sim 1\,200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,采用  $3\frac{1}{2}$  位数字显示,最低位数字改变 1 个字时表示  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,所以分辨率为  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。分辨率受测量精度的约束,单纯的高分辨率是没有意义的。选择数字显示的位数时,要根据系统测量的精度来决定,例如由测量的精度指标得知测量允许误差为  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,那么将分辨率定为  $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$  就没有任何意义了。

#### 2. 测量范围、量程和零位值

被测量的最大值和最小值分别称为测量的上限值和下限值。包括测量上、下限值在内的区间称为测量范围。上限值和下限值的代数差,称为测量的量程。例如测量范围为  $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,其测量的量程为  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。测量范围和测量量程是两个不同的概念,已知测量的范围就可以知道测量的量程值,但是只知道测量量程值是不能确定测量范围的。当输入为零时,其输出量不为零的数值称为零位值。零位值应从测量结果中设法去除。

#### 3. 精度

准确度指标用于表征测量值接近理想值的程度,但在工程上一般称为精度指标,精度也称为精确度,是表示传感器实际测得值接近约定值程度的性能指标。精度的计算公式为:

$$\delta = \frac{\Delta Y_{\max}}{Y_{\max} - Y_{\min}} \times 100\%$$

式中,  $\Delta Y_{\max}$  —— 测量范围内出现的最大绝对误差;

$Y_{\max} - Y_{\min}$  —— 输出量程。

将上式去掉百分号并取绝对值,定义为精度等级。

### 1.1.3 传感器测量的基本概念

传感器在实际使用时,需要配接专用的测量转换电路。专用的测量电路可以有效地发挥传感元件的检测作用,将传感器输出的电量转换成便于测量、显示和控制的电信号。传感器测控系统的基本组成如图 1-3 所示,其各组成部分的作用说明如下:

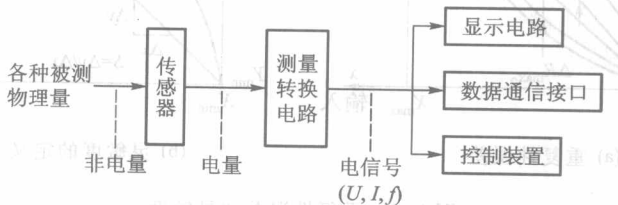


图 1-3 基本测控系统的组成

#### 1. 传感器

传感器感受各种非电量的物理量,并将各种非电量的变化转变为电量输出。例如被测物理量为压力信号,扩散硅压阻式传感器将压力信号转换成电阻的变化量输出,热电偶传感器用于将温度的变化转换成毫伏电压的变化量输出。

#### 2. 测量转换电路

传感器输出的各种形式的电量要经过专用测量转换电路,转换成便于后续显示、通信和控制电路工作的电信号,如电压、电流或频率信号。测量转换电路具有滤波、隔离、放大、变换及传输功能。

#### 3. 输出电路(显示、通信、控制装置)

基本检测系统将经过处理的电信号输出到显示电路、通信接口电路及控制装置,以实现对被测物理量的测量和控制。

### 1.1.4 测量误差

在测量中实际测得的结果往往和真实值不相等,存在的差值就是测量误差。真实值也称为真值,测量的最终目的是测得真值,但在实际测量过程中始终存在很多影响因素,使实际测得值与真值之间存在误差。比如测量原理、测量工具、测量的环境条件等,都会影响测量的结果,这些说明了测量误差存在的绝对性。真值实际上是不存在的,所以在讨论测量误差及确定测量精度时,引入约定真值及相对真值的概念。定义测量值与约定真值之间的误差为测量误差,测量误差的表示形式有绝对误差、相对误差和引用误差等。在对各种误差进行分析计算时所指的真值都是约定真值。

#### 1. 绝对误差

绝对误差  $\Delta$  是指测量值  $Y$  与约定真值  $Y_0$  之间的差值,即:

$$\Delta = Y - Y_0$$

#### 2. 相对误差

绝对误差不能反映测量值偏离真值程度的大小,所以引入相对误差。相对误差用百分比的形式表示。相对误差有示值相对误差和量程相对误差(也称为引用误差)等。

### (1) 示值相对误差

示值相对误差用绝对误差  $\Delta$  与测量值  $Y$  的百分比表示,即:

$$\gamma = (\Delta/Y) \times 100\%$$

### (2) 引用误差

由于测量系统或仪表通常都有一定的测量量程,而不同型号的仪表其测量量程也不完全相同,采用相对误差来评价整个测量量程内各点的测量精度,以及对不同测量量程的仪表进行精度高、低的比较都很不方便,所以采用引用误差表示测量精度,引用误差是和测量量程有关的误差表示形式,即:

$$\eta = \frac{\Delta_{\max}}{Y_L} \times 100\%$$

式中,  $Y_L$  ——测量量程值;

$\Delta_{\max}$  ——测量量程内的最大绝对误差值。

仪器、仪表用引用误差的形式表示测量的准确度,即工程所指的精度。将准确度指标去掉百分号后取绝对值,表示测量的准确度等级,即精度等级。由精度等级和测量量程,可以确定测量可能出现的最大绝对误差  $\Delta_{\max}$ 。因为  $\Delta_{\max}$  由精度指标确定,所以也将  $\Delta_{\max}$  称为测量的最大允许误差。

例 某压力测量电路的测量范围为  $0 \sim 1.5 \text{ MPa}$ ,要求通过调试达到 2.5 级精度等级。试分析计算:① 调试电路应达到的准确度;② 按照精度等级,可能出现的最大绝对误差  $\Delta_{\max}$  为多少 kPa?

解 ① 要求调试所达到的准确度(精度)为  $\pm 2.5\%$ 。

② 可能出现的最大绝对误差为  $\Delta_{\max} = \eta \times Y_L = 2.5\% \times 1.5 \text{ MPa} = 0.0375 \text{ MPa} = 37.5 \text{ kPa}$

## 1.1.5 传感器的标定与校验

### 1. 标定与校验

传感器在装配完成后都必须按照设计指标进行严格的性能鉴定。在生产实践中使用的传感器,按照产品使用说明书的要求,在使用一段时间后也必须对其主要的技术指标做校准试验,以确保传感器的主要技术指标满足使用的要求。

传感器标定是利用精度高一级的标准仪器、仪表,在技术条件规定的标准工况(如电源电压、环境温度、湿度等满足技术要求)下进行定度的过程。从而确认传感器输入和输出之间的对应关系,检验其各项性能指标。

工程上对各种传感器要定期进行标定,这种标定工作通常以传感器的使用为前提。标定时将传感器配用的输入信号电缆、滤波电路、输入放大器等,与传感器连接好,在与其使用条件相似的环境状态下,检验传感器的主要性能指标是否满足要求。如果出现问题,要进行检修,经过检修的传感器如果还是不能满足主要的技术指标,只能换掉或降级使用,这种标定工作主要用于检验传感器的测量精度及可靠性,称为传感器的校验。

### 2. 静态校验

在传感器的量程范围内,按照规定确定被测物理量的一些校验点,在各个校验点上,将已知的标准被测物理量接入被测传感器,并同时测量传感器的输出,同时记录数据并做出特性曲线、刻度方程、计算灵敏度、线性度及传感器的其他静态性能指标。

### 3. 动态校验

动态校验用于确定传感器的动态性能指标。通过确定其线性工作范围的频率响应函数、幅频特性和相频特性曲线确定性能指标或在阶跃信号的作用下,确定传感器的各项动态响应指标。传感器的种类繁多,动态校验的方法也不同。校验常用的动态激励设备有:非周期函数信号发生器、电磁振动台、低频回转台、机械振动台及激波管等。

### 4. 校验装置和标准仪器、仪表

根据传感器的检测物理量选用配套的校验装置和标准仪器、仪表。工程上采用精度高一级的标准仪器、仪表对传感器进行校验。传感器的校验系统一般由被测物理量的标准信号发生器,被测物理量的测试系统,标准测量仪器、仪表等组成。校验传感器常用的设备有:力标准设备(测力砝码、拉压式测力计)、压力标准设备(活塞式压力计、弹簧管压力计、麦式真空计、浮球式压力计等);位移标准设备(量块、直尺等);温度控制设备(恒温箱、油浴、燃气炉等)和标准温度计(标准水银温度计、铂电阻温度计、铂铑-铂热电偶和基准光学高温计等)。

## 1.1.6 热电阻传感器的校验

### 1. 传感器校验的配套设备

热电阻校验系统示意图如图 1-4 所示。

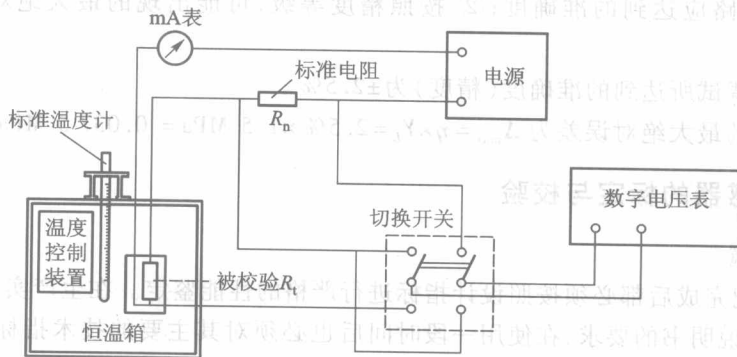


图 1-4 热电阻校验系统示意图

#### 校验方法说明:

① 将电阻体从保护套管中取出,放入恒温箱内,使恒温箱温度达到校验点的温度并保持恒温,调整电源使毫安表头的电流为 4 mA,将切换开关置于标准电阻  $R_n$  一边,由数字电压表测取读数  $U_n$  后,立即将切换开关置于被测热电阻  $R_t$  一边,测取读数  $U_t$ 。

② 按照公式  $R_t = (U_t / U_n) R_n$  求出  $R_t$  的数值。在同一校验点需要重复测 3~4 次,求出每次测量对应的  $R_t$  数值。然后取平均值与分度表中的数值比较,计算误差值。根据被校验热电阻的精度,确定该热电阻在这个校验点是否合格。

③ 按照热电阻校验的规定,在热电阻测温范围的 10%、50%、90% 三个点上,继续重复以上

的校验步骤,并计算各点的误差值,以确定热电阻在各个温度点是否满足精度要求。

## 2. 校验设备的要求

国家计量检定规程规定:四端转换开关的杂散电势不应大于 $0.4\ \mu\text{V}$ 。数字电压表可测量 $0.4\ \mu\text{V}$ 的电压。在放置热电阻的 $60\ \text{mm}$ 范围内,其垂直温度场的最大温差不能超过 $1\ ^\circ\text{C}$ 。对于工程上热电阻的校验,可参考上面的要求选取校验设备及仪表。

## 1.2 电子电路的调试技术

### 1.2.1 电子电路的调试内容及步骤

电子电路的调试工作可以分为测试和调整两个内容。测试是在电路通电后进行的测量,包括电路中各点的电位及电流;调整是通过电路中可调节的元件(如可调电阻,微调电容,可调磁芯等),改变电路的工作状态及参数,以满足电子电路的设计指标。

#### 1. 电子电路调试前的准备工作

在电子电路调试前要准备使用的文件和设备,包括调试用技术文件,被调试的电子电路板,调试用的工具及仪器仪表。

##### (1) 技术文件的准备

通常要准备的技术文件有电路原理图、电路元件接线图、技术说明书等。对于在校实训的学生,则需要学习拟订调试方案,即编写调试的方法和步骤。

##### (2) 工具及设备的准备

在拟订调试方法和步骤时,同时提出调试所需的工具及仪器仪表、设备(例如温度控制设备:水浴、油浴或电炉)。要熟悉调试仪器仪表及设备的使用,另外对于调试电路中的一些关键的或易损坏的元件,还需准备备件。

##### (3) 调试电路板的准备

将焊接好的电路板进行检查,确认元件线路焊接正确无误,并给电路板连接好电源线、接地线及输入/输出信号线等。

##### (4) 调试安全措施

使用强电设备或调试强电电路时,需要注意以下安全措施:

① 仪器设备的金属外壳接地,特别是带有MOS电路的仪器必须良好地接地,一般设备的外壳可通过三芯插头与交流电网的中性线连接。

② 对于强电电路的调试工作,不允许带电操作,对于在校的实训学生,不允许单独一人通电操作。

③ 因为调压器的输入/输出端并没有隔离,若要将调压器连接到电网上,其公共端必须接中性线,以确保后面所接的电路不带电。

④ 大容量的滤波电容器,在延时时会储存大量的电荷,因此在更换时,应先将电容储存的电荷放电后,再进行操作。

#### 2. 电子电路的一般调试方法

对于一个复杂的调试电路,若电路中包括有模拟电路、数字电路、电源电路及微机控制电路,