

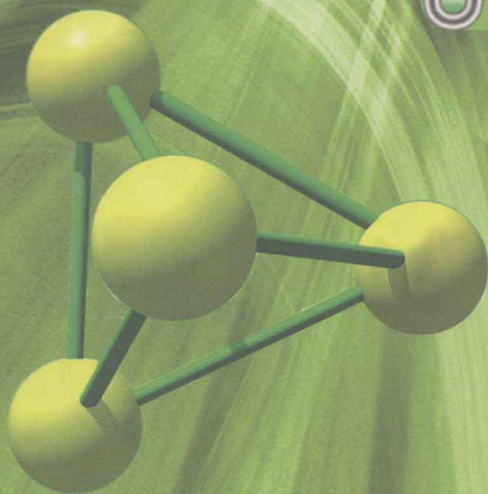


材料科学与工程综合实验教学系列教材

检测与控制技术 综合实验



华中科技大学 修吉平 毛有武 编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

材料科学与工程综合实验教学系列教材

检测与控制技术综合实验

修吉平 毛有武 编



机械工业出版社

本书内容主要分为两部分：第一部分为检测与控制技术基础部分，该部分简述了计算机测控系统的基本结构，主要传感器的工作原理，输入接口技术，组成计算机测控系统的常用外围部件及基本术语和应用方法；第二部分为检测与控制技术实验部分，其中介绍了本书主要实验仪器原理和共计 22 个教学实验项目。

本书是为高等院校材料科学与工程相关专业开设检测与控制实验课程而编写的综合实验教程，也可供其他专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

检测与控制技术综合实验/修吉平等编. —北京: 机械工业出版社, 2011.5

材料科学与工程综合实验教学系列教材

ISBN 978 - 7 - 111 - 33221 - 3

I. ①检… II. ①修… III. ①自动检测—实验—高等学校—教材
②自动控制—实验—高等学校—教材 IV. ①TP274-33 ②TP273-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第013941号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑 冯春生 责任编辑: 冯春生 王小东

版式设计: 霍永明 责任校对: 陈延翔

封面设计: 张 静 责任印制: 杨 曦

北京蓝海印刷有限公司印刷

2011年5月第1版第1次印刷

184mm×260mm · 9.5印张 · 206千字

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 33221 - 3

定价: 19.50元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心 : (010)88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部 : (010)68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部 : (010)88379649

封面无防伪标均为盗版

读者购书热线: (010)88379203

序

材料是重要的。材料的进步是科学技术进步的先导。可以说，没有材料就没有世界。材料的研究、制备与加工是影响国家竞争力的关键领域，许多关系到国计民生的重大工程和核心装备的限制性环节往往归结到材料及材料加工上。然而，从本质上讲，这些问题能否科学合理地解决，取决于从事该领域人才的水平与能力。因此，如何培养合格的材料学科人才，特别是培养具有创新精神、实践能力、高素质的材料学科人才是高等学校面临的一个重要课题。

近些年来，华中科技大学材料科学与工程学院在实践教学方面进行了有益的探索，先后承担了教育部“人才培养模式创新实验区”、湖北省“材料学科综合性、开放性实验平台建设的研究与实践”等教学改革项目，目的是研究建立适合新形势下的材料学科创新性、综合性实践教学体系，探索行之有效的实施办法，提高人才培养质量。而提高教学质量是高等学校面对的主要课题。

改革的主要措施之一是在本科实验教学中，建立专门的本科实验教学中心，科学合理地整合本科课程的教学实验，形成了10门独立的综合性实验课程，独立考核、单独记学分。这些独立设课的实验课程涵盖了数门理论课程，使传统依附在理论教学的演示性实验转变为以培养学生动手能力、分析能力及创新能力的综合性实验，显著地提升了实验教学的地位，体现了实验教学在人才培养中的重要作用。

在上述背景下，华中科技大学材料科学与工程学院与机械工业出版社合作，编写出版了本套材料科学与工程综合实验教学系列教材，目的是更好地服务于实验教学，不断提高实践教学质量。该系列教材最大的特点就是将材料学科的某一领域（如材料连接、塑料注射成型、金属塑性成形等）的相关实验项目进行提炼，形成各自独立又彼此相关的综合性实验。在编写过程中，还特别注意基础性实验与创新性实验相结合，在切实保障学生达到基本要求的前提下，尽量为培养学生的创新精神与锻炼学生的动手能力提供条件。

我相信，该套综合实验教学系列教材的出版，有助于有效地提高学生的创新、实践能力，对深化材料学科的教学改革、提升人才培养质量具有重要的意义。当然，任何一事物，不可能完美无缺，我也和作者一样，希望读者能对本系列教材的不足之处提出批评与建议。

谨为之序。

中国科学院院士

杨叔子

前 言

在材料科学与工程的研究和工业生产中，经常使用传感器和计算机数据采集控制设备，利用计算机来采集、处理和分析数据，控制科学研究和工业生产对象。了解不同传感器和数据采集设备的特性及其可能产生的误差，对于合理的选用传感器和数据采集设备，正确地处理、分析科学实验和工业生产数据，都显得十分重要。

电子技术和计算机技术的发展，使得各种传感器和数据采集部件向智能化、模块化方向发展，越来越易于使用。设计计算机测控系统，已经不限于某一个专业，而逐渐成为一种基本工具。很多情况下，由于各自专业人员对本专业测控对象的理解更加深入，在各自专业设计相应的测控系统更具优势。

检测与控制技术具有很强的实践性，理论教学很难让学生建立起牢固而明晰的知识主线。本实验教程的主要目的在于：帮助学生建立、掌握计算机测控系统的构成、软件、硬件的设计方法。熟悉常用检测手段与传感器、数字滤波、常用控制算法、常用计算机控制方式。特别着重于对学生能力的培养，包括自学能力、动手能力、组织能力、数据分析能力、运用理论解决实际问题的能力和设计创新能力。

作为一门独立的综合实验教学课程，实验内容涉及多门理论教学课程。由于开放性实验的要求，实验开设时间可能在相关理论教学之后，也可能与相关理论教学同步甚至在理论教学之前，为使学生明晰实验原理，本书在第一部分力图在实用和简洁的基础上，介绍与实验相关的技术基础知识。

由于本教程实验内容的基础性和通用性，所以本教程也适合于其他非电类专业使用。

限于我们的水平和经验，加上实验教学技术近年来发展很快，书中难免存在缺点和不妥之处，敬请读者批评指正。

编 者

目 录

序 前言

第一部分 检测与控制技术基础

第一章 检测与控制系统结构	1	六、温度传感器的选用	14
第一节 检测与控制系统概述	1	第四节 压力测量	15
第二节 检测与控制系统基本组成	2	一、压力的单位	15
一、工业控制计算机的特点	3	二、压力测量方式	15
二、计算机检测与控制系统的组成	4	三、压力传感器	16
第二章 传感器基础	6	第五节 流量测量	18
第一节 概述	6	一、差压式流量传感器	19
一、按被测物理量划分	6	二、容积式流量计	19
二、按工作原理划分	7	三、热导式流量计	20
第二节 传感器的基本性能	7	四、超声波流量计	20
一、线性度	7	五、流量传感器的选择	21
二、重复性（随机误差、精密度）	7	第六节 机械量测量	22
三、准确度	7	一、位移传感器	22
四、精度等级	8	二、角度测量	24
五、分辨力	8	第七节 其他传感器	25
六、时间稳定性	8	一、光电传感器	25
七、温度漂移	8	二、霍尔传感器	26
八、灵敏度	8	三、红外传感器	27
九、迟滞	8	四、气敏传感器	28
十、动态特性	9	五、湿度传感器	29
十一、精度（静态误差）	9	第三章 输入接口技术	31
十二、输出阻抗	9	第一节 绪论	31
十三、输入阻抗	9	第二节 信号调理	31
第三节 温度测量	9	一、电源电路	31
一、热电偶温度传感器	10	二、放大器	33
二、热电阻温度传感器	12	第三节 A/D 转换	35
三、热敏电阻	13	一、A/D 转换器的主要性能指标	35
四、集成温度传感器	14	二、A/D 转换基本原理与类型	36
五、温度变送器	14	三、A/D 转换器的选型	37



第四节 基于 PC 总线的数据采集设备.....	37	第四章 低通滤波与 PID 算法	51
一、数据采集卡的主要技术参数.....	37	第一节 低通数字滤波	51
二、数据采集卡	42	一、限幅滤波	51
第五节 USB 总线的采集器	45	二、中位值滤波	51
第六节 基于 RS-485 的数据采集模块	45	三、算术平均值滤波	52
一、RS-485 的特点	45	四、移动平均值滤波	52
二、RS-485 总线数据采集模块	46	第二节 数字 PID 控制器	53
第七节 数据采集卡和数据采集模块的比较	49	一、模拟 PID 调节器	53
一、数据采集卡	49	二、数字 PID 控制器	54
二、数据采集模块	50	三、数字 PID 控制算法实现方式比较	55
		四、数字 PID 控制器的改进	56
		五、数字 PID 控制器的参数整定	57
第二部分 检测与控制技术实验			
第五章 概述	59	四、实验步骤	70
第一节 实验目的和基本思路	59	五、思考题	71
一、实验课程的必要性	59	实验四 温度对应变片的影响	72
二、实验目的	59	一、实验目的	72
三、基本思路	59	二、基本原理	72
第二节 实验设备及部件简介	60	三、实验器材	72
一、CSY—2000D 型传感器检测技术实验台简介	60	四、实验步骤	73
二、PC-Based Control 技术及部件简介	62	五、思考题	74
第六章 实验	66	实验五 温度源的温度控制调节	74
实验一 单臂电桥性能	66	一、实验目的	74
一、实验目的	66	二、基本原理	74
二、基本原理	66	三、实验仪器	74
三、实验设备	67	四、实验步骤	75
四、实验步骤	67	五、思考题	78
五、思考题	68	实验六 Pt100 铂电阻测温特性	78
实验二 半桥特性	68	一、实验目的	78
一、实验目的	68	二、基本原理	78
二、基本原理	68	三、实验仪器	78
三、实验器材	69	四、实验步骤	79
四、实验步骤	69	实验七 铜热电阻测温特性	80
实验三 全桥性能	70	一、实验目的	80
一、实验目的	70	二、基本原理	80
二、基本原理	70	三、实验仪器	80
三、实验器材	70	四、实验步骤	80
		实验八 K 分度热电偶测温性能	81



一、实验目的·····	81	一、实验目的·····	96
二、基本原理·····	81	二、基本原理·····	96
三、实验仪器·····	82	三、实验仪器·····	96
四、实验步骤·····	83	四、实验步骤·····	96
实验九 K 分度热电偶冷端温度		五、思考题·····	97
自动补偿·····	84	实验十六 霍尔测速·····	97
一、实验目的·····	84	一、实验目的·····	97
二、基本原理·····	84	二、基本原理·····	97
三、实验仪器·····	85	三、实验仪器·····	97
四、实验步骤·····	85	四、实验步骤·····	97
五、思考题·····	86	五、思考题·····	98
实验十 E 分度热电偶测温性能·····	86	实验十七 光纤传感器的位移特性·····	98
一、实验目的·····	86	一、实验目的·····	98
二、基本原理·····	86	二、基本原理·····	98
三、实验仪器·····	87	三、实验仪器·····	99
四、实验步骤·····	87	四、实验步骤·····	99
五、思考题·····	88	五、思考题·····	99
实验十一 集成温度传感器 (AD590)		实验十八 光电转速传感器测速·····	100
温度特性·····	88	一、实验目的·····	100
一、实验目的·····	88	二、基本原理·····	100
二、基本原理·····	89	三、实验仪器·····	100
三、实验仪器·····	89	四、实验步骤·····	100
四、实验步骤·····	89	五、思考题·····	101
实验十二 压阻式压力传感器的压力		实验十九 基于 PC 数据采集卡实现	
测量·····	90	数据采集·····	101
一、实验目的·····	90	一、实验目的·····	101
二、基本原理·····	90	二、基本原理·····	101
三、实验仪器·····	91	三、实验仪器·····	101
四、实验步骤·····	91	四、实验步骤·····	101
实验十三 电容式位移传感器·····	92	五、思考题·····	102
一、实验目的·····	92	实验二十 基于 PC 数据采集、布式	
二、基本原理·····	92	模块数据采集·····	103
三、实验仪器·····	92	一、实验目的·····	103
四、实验步骤·····	93	二、基本原理·····	103
实验十四 压电式传感器测振动·····	94	三、实验仪器·····	103
一、实验目的·····	94	四、实验步骤·····	103
二、基本原理·····	94	五、思考题·····	104
三、实验仪器·····	95	实验二十一 计算机数据处理·····	104
四、实验步骤·····	95	一、实验目的·····	104
实验十五 电涡流传感器位移·····	96	二、实验内容·····	104



三、实验仪器	105	附录	124
四、实验步骤	106	附录 A 调节仪简介	124
五、思考题	108	附录 B Cu50 铜电阻分度表 (ITS-90) ...	133
实验二十二 计算机温度控制	108	附录 C Pt100 铂电阻分度表 (ITS-90)	134
一、实验目的	108	附录 D K 分度热电偶分度表	137
二、实验内容	108	附录 E E 分度热电偶分度表	138
三、实验原理	108	附录 F J 分度热电偶分度表	139
四、实验步骤	110	参考文献	141
五、思考题	111		
参考程序	111		

第一部分

检测与控制技术基础

科学与技术的交互发展，各学科领域的交叉渗透，特别是检测与控制技术对各个领域的渗透，造就了 20 世纪技术进步的辉煌。进入 21 世纪，这种交叉与渗透仍在加速，材料科学与工程产业在不断地被计算机检测与控制技术所武装，而新材料及加工方法也在不断地支撑着电子和计算机技术的发展，这种趋势也正在推动人才知识结构的交叉。新世纪里，电子和计算机技术已经成为各个领域的学生必不可少的基本知识。

在检测与控制领域里，集成电路和 MEMS 技术的发展使小型化、智能化的各种传感器模块化发展迅速，检测与控制技术变得更加简单和容易，高度模块化的产业生产将原来复杂的检测与控制系统设计变成了搭积木的过程。在检测与控制技术中，其控制与计算核心越来越多的使用 PC 或基于 PC 总线的工业控制计算机，使其成为各个领域的工程技术人员必须拥有且十分有用的辅助工具。

第一章 检测与控制系统结构

第一节 检测与控制系统概述

检测与控制领域有很多专有的设备或系统，覆盖的行业也很广泛。在本章节中我们重点介绍 PC 总线计算机为控制核心构成的检测与控制系统。

检测与控制技术在许多领域里获得了广泛的应用。现代意义上的检测系统，是指被检测对象转换为电量，经处理电路后送入计算机，进行各种数据的处理、分析和记录。为形象地描述检测系统的构成，我们给出检测系统的原理图。在图 1-1 中，传感器将被测对象的物理量转换为电量，再经过处理电路将电信号转变为计算机能够识别的数字量进入计算机，计算机可以在采集到数据以后进行数据的处理、分析、存储和打印，以得到我们需要的结果。

例如，在做材料拉伸实验时，需要测试应力和应变的关系，我们在拉伸机中安装拉力传感器和位移传感器，电动机转动带动丝杠旋转，从而

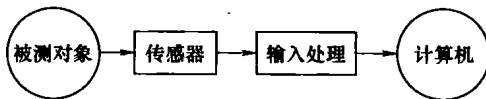


图 1-1 检测系统原理图





带动横梁上行,对试棒进行拉伸,拉力传感器将施加给试棒的拉力变成电信号,位移传感器将试棒的变形量转换为电信号,两个电信号经过放大电路变为适合 A/D 分辨率的电压值,经 A/D 转换后变为数字量,再经接口电路进入计算机,计算机将接收到的数字量换算成等效的物理量,绘制出应力-应变曲线来。在这个过程中,被测对象是试棒的应力和应变,传感器是拉力传感器和位移传感器,输入处理包括放大电路、A/D 转换和接口电路。

同样的道理,我们给出了计算机闭环控制系统的原理图,如图 1-2 所示。我们可以看出,控制系统只是比检测系统多了两个环节,即输出处理和执行机构。

例如,要控制一个电炉的温度,使之恒定在 800°C ,假设控制周期为 5s ,即每 5s 完成一次控制过程。首先,热电

偶将温度信号转换为电压信号,经放大、A/D 转换和接口电路后进入计算机;然后,计算机对采集到的温度量进行计算(比如 PID 计算),计算出电炉通电时间(例如 3s);最后,经过光电隔离器控制一个继电器导通 3s ,然后关断,等待下一个控制周期的到来。上述过程本质上是按照如下三个过程反复循环的:

(1) 实时数据采集 传感器将被控对象的物理量转换为电量,再经过处理电路将电信号转为计算机能够识别的数字量进入计算机。

(2) 实时控制决策 计算机对采集到的被控量进行分析和处理,并按已定的控制规律,决定将要采取的控制行为。

(3) 实时控制输出 计算机根据控制决策,适时地对执行机构发出控制信号,完成控制任务。

上述过程不断重复,使整个系统按照一定的品质指标进行工作,并对被控量和设备本身的异常现象及时作出处理。在上述过程中,被测对象被改变,改变后的被测量再次进入计算机,计算机经决策处理后通过输出处理给执行机构,再次改变被测对象,如此反复循环,故称闭环控制。

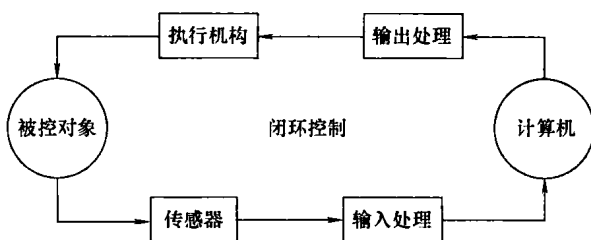


图 1-2 控制系统原理图

第二节 检测与控制系统基本组成

由于个人计算机的迅速发展和普及,计算机的价格越来越低,熟悉计算机软件平台的人群数量迅速增加,这为计算机在检测与控制系统中的应用提供了一个良好的应用环境,因而也使得计算机在检测与控制中的应用迅速普及。

在计算机检测与控制系统中,计算机分普通计算机和工业控制计算机。所谓普通计算机,就是我们大家熟悉的个人计算机,工业控制的软件平台与普通计算机完全兼容,大多



使用 Windows 操作系统。工业计算机在硬件组成上，总线结构与个人计算机完全兼容，在机械机构和电气性能上采取了一系列措施，增强计算机的功能和可靠性，以适应工业检测与控制的需要。

一、工业控制计算机的特点

由于个人计算机与工业控制计算机总线完全兼容，理论上个人计算机同样可以作为工业检测与控制的控制核心，但个人计算机在机械和电气上的一些设计并不是按照工业要求进行，在很多场合还必须使用工业控制计算机。

典型工业控制计算机的外形如图 1-3a 所示，内部结构见图 1-3b。普通个人计算机一般是一块主板安装在计算机中，上面插入显卡等各种应用板卡，由于个人计算机使用目的大多固定，因此现在的计算机很多相关的外部接口都已经集成在主板上，如键盘、鼠标接口、USB、打印口、串行通信口等，这些接口满足了大多数个人计算机应用的需要。工业控制计算机要满足更多的需求和在更恶劣的条件下工作，因而在机械结构和电气性能上与个人计算机有较大的区别。

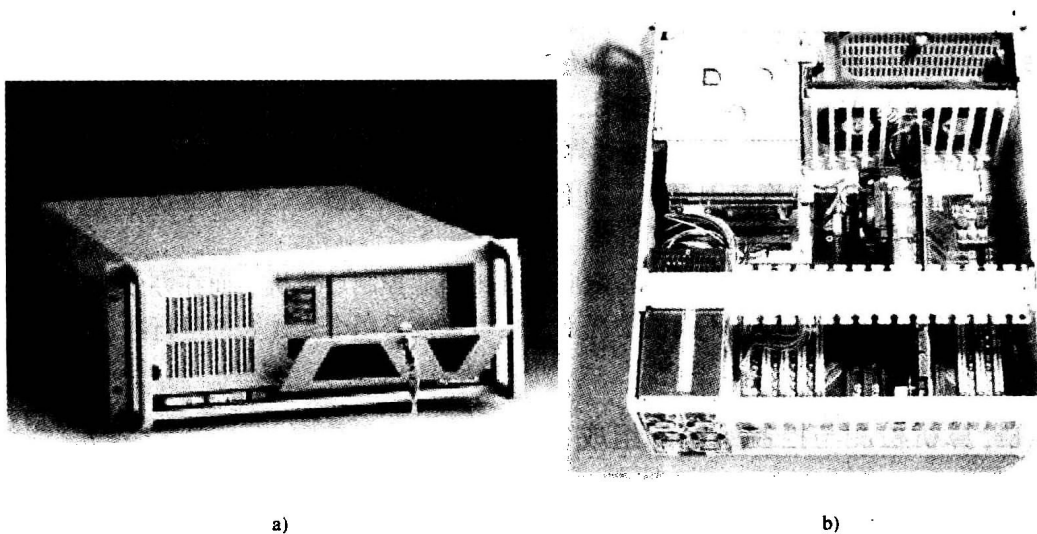


图 1-3 典型工业控制计算机

a) 外形 b) 内部结构

1) 底板采用无源母版，留出更多的插槽，以满足更大检测与控制系统的需要。

在图 1-3b 中，工业控制计算机的底板是无源母版，木板上有 14 个插槽，CPU 作为其中一个板卡插入在母版的插槽中，其他插槽可以插入更多的应用板卡，这样节约了工业控制计算机的空间。

2) 采用压条结构，使板卡固定更加牢固，提高计算机的抗振动能力和接触可靠性。

3) 机箱采用机内气体正压方式，有效防止灰尘入侵。



由于计算机在使用过程中发热较大,计算机需要在机箱内外部实施气体交换,以带走热量,减少机箱内部温度的升高。普通计算机在电源中装有风扇,对机箱外鼓风,将热量带出机箱外,达到散热目的。电源风扇将机箱内的空气向外流动,机内产生负压,必然在机箱的其他缝隙和孔洞有相同质量的空气进入机箱,空气中灰尘就会以这种方式进入计算机机箱内部,长时间的运行导致在计算机内部的各种部件上累积尘埃,这些尘埃在潮湿的天气下可能变成具有一定阻值的导体,影响计算机的可靠运行,甚至损坏计算机。

工业控制计算机采用机内正压方式结构,可大大降低灰尘的入侵。在图 1-3b 中,机箱面板处安装有两个向机箱内部鼓风的风扇,其功率远大于电源风扇,风扇前段装有防尘的过滤板,进入机箱内的空气是经过防尘过滤板的相对洁净的空气,由于进风风扇功率大于电源风扇的出风风扇功率,在机箱内形成比大气压力稍高的正压,机箱内空气通过机箱的缝隙和孔洞排出机箱,即机箱所有的缝隙和孔洞的气体流向是从机箱内部往机箱外部流动,有效地防止了灰尘的入侵,提高了计算机在恶劣环境下的可靠性。

4) 工业控制计算机的元器件选择要求比个人计算机更高,具有更高的平均无故障使用时间和更大的使用温度范围。

很多半导体器件分军用级工业级和商业级三种,其主要差别是使用温度范围的不同。军用级的使用环境温度范围在 $-40 \sim 125^{\circ}\text{C}$,工业级的使用环境温度范围 $-20 \sim 85^{\circ}\text{C}$,商业级的使用环境温度范围 $0 \sim 70^{\circ}\text{C}$ 。个人计算机的器件均使用商业级芯片,工业控制计算机使用工业级芯片,使用温度范围更宽。加上其他一些设计考虑,一般工业控制计算机的平均无故障使用时间为 50000h。

因此,在环境比较恶劣的情况下,一般应该选用工业控制计算机。而在办公室内,环境很好的实验场合,在板卡要求不高的情况下,也可直接采用个人计算机进行数据采集的各种应用。

二、计算机检测与控制系统的组成

用计算机组成检测与控制系统,由于检测与控制的对象千变万化,根据不同的被控对象,利用计算机进行检测与控制的方式很多,分类方法也很多。从图 1-1 和图 1-2 我们可以看出,计算机主要与输入、输出电路连接,而输入、输出电路基本上已经模块化和商品化。这些负责信号输入、输出的电路可以是插入计算机插槽中的板卡,也可以是设置在计算机外部的模块,在第三章中我们将对此进行专门的介绍。与被控对象连接的是传感器和执行机构,有关这方面的内容我们将在第二章予以介绍。

计算机检测与控制系统的组成几乎没有固定的模式,根据检测与控制对象的要求可以设计各种针对要求的计算机检测与控制系统,大量常用的检测与控制设计基本上是选型和组合,并不需要我们自己做很多的电路硬件设计。这一特点使了解测控对象和输入、输出电路部件的特性成为计算机检测与控制系统设计的关键,因而使得非电类专业人员设计常





用计算机检测与控制系统变得越来越容易。

由于输入/输出硬件产品的商品化已经十分普及，因此在现代计算机检测与控制系统设计中，软件设计占整个系统设计工作量较大的一部分，正因为如此，很多公司开发了适合于不同领域应用的通用组态软件和适合于具体领域应用的专用检测与控制软件工具，这些工具在很多场合得到广泛应用。

在一些要求特殊的应用领域中，为了提高精度、满足特殊的计算、操作的方便性以及成本的考虑，从硬件到软件可能部分或全部仍然需要进行大量的设计，但这类应用不是很多。

第二章 传感器基础

第一节 概 述

各种非电量的测量，主要是通过传感器来实现的。

传感器是指能感受规定的被测量并按照一定的规律转换成可用信号的器件或装置，通常由敏感元件和转换元件组成。

传感器是一种检测装置，能感受到被测量的信息，并能将检测感受到的信息按一定规律变换成为电信号或其他所需形式的信息输出，以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求，它是实现检测与控制的必要条件。比如我们需要控制热处理炉的温度，我们首先要知道当前热处理炉的温度，同时对热处理炉供给能量，然后根据在当前供给能量的条件下温度变化的规律，来调节供给热处理能量的大小，最终实现热处理炉温度的自动控制。在这一过程中，我们始终需要知道当前温度的大小和变化趋势，也就是说我们需要实时测量电阻炉的温度值。

在很多情况下，检测的目的并不限于控制的需要，而在于对检测对象的特性研究。例如材料力学性能实验中，材料应力-应变曲线是描述材料力学性能特征的一个基本参数。要测量材料的应力和应变，我们就需要应力传感器和应变传感器，应力测量我们通常使用拉压传感器来实现，应变测量通常使用位移传感器来实现。

传感器的种类繁多，要满足我们在工程和研究实验中的要求，需要正确地选用适合的传感器，这不仅决定整个研究过程的成本、费用和效率，有时候甚至决定一项工作的成败，因此，传感器的选择具有十分重要的作用。很多时候，如果清楚传感器的工作原理和输入/输出特性，我们就能正确和高效地选择和应用传感器。

全球有近 4000 种传感器，产品型号及种类最为繁杂。传感器的分类方法很多，也不存在一种权威的分类方法，下列分类只做一个参考。

一、按被测物理量划分

(1) 位移传感器 又可细分为直线位移传感器和角位移传感器，用于长度、厚度、应变、振动及偏转角等参数的测量。

(2) 速度传感器 又可细分为线速度传感器和角加速度传感器，用于线速度、振动、流量、动量、转速、角速度及角动量等参数的测量。

(3) 加速度传感器 又可细分为线加速度传感器和角加速度传感器，用于线速度、振动、冲击、质量、应力、角加速度、角振动、角冲击及力矩等参数的测量。



(4) 力、压力传感器 用于力、压力、质量、力矩及应力等参数的测量。

二、按工作原理划分

(1) 电阻式传感器 利用移动电位器触点改变电阻值或电阻丝（片）的几何尺寸的原理制成，主要用于位移、力、压力、应变、力矩、气流流速和液体流量等参数的测量。

(2) 电感式传感器 利用改变磁路几何尺寸、磁体位置来改变电感和互感的电感量或压磁效应原理制成，主要用于位移、压力、力、振动和加速度等参数的测量。

(3) 电容式传感器 利用改变电容的几何尺寸或改变电容介质的性质和含量，从而改变电容量的原理制成，用于位移、压力、液位、厚度和含水量等参数的测量。

(4) 谐振式传感器 利用改变机械的或电的固有参数来改变谐振频率的原理制成，主要用于测量压力。

不管使用什么分类方法，都很难清楚的分类传感器，相同被测物理量可采用不同工作原理的传感器，相同工作原理的传感器可用于不同物理量的测量。本书主要介绍几种常用物理量的基本测量方法并简单介绍该领域的最新发展。

第二节 传感器的基本性能

不同传感器依据各自的功能可以给出不同的技术指标，以下简单介绍传感器普遍涉及的一些技术指标，这些指标是我们选用传感器的重要依据。

一、线性度

线性度也称非线性误差，是指传感器输出曲线与标准输出直线之间的偏离程度。

在图 2-1 中 x 坐标为传感器的测量范围， y 为传感器的输出范围， B 处为实际输出与理想直线的最大偏差，则

$$\text{线性度} = \frac{\text{最大偏差}}{\text{输出范围}} \times 100\%$$

二、重复性（随机误差、精密度）

重复性是指在同一工作条件下，输入量按同一方向在全测量范围内连续重复多次所得到的特性曲线的重合程度。重复性反映的是测量结果的偶然误差的大小，不能用来表示测量结果与真值之间的偏离程度。

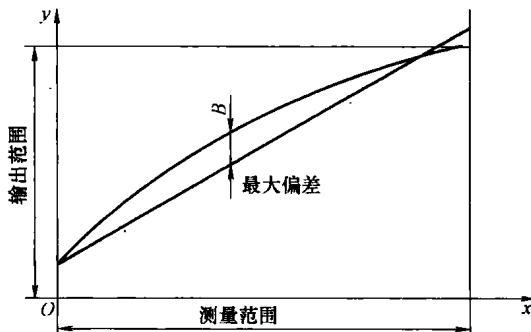


图 2-1 传感器的线性度

三、准确度

准确度是描述传感器实际输出与真值之间的误差。



四、精度等级

精度等级是指传感器在规定工作条件下,最大绝对允许误差值与相对仪表测量范围的百分数。其表达式为

$$A\% = \left(\frac{\Delta_{g\max}}{X_{\max} - X_{\min}} \right) \times 100\%$$

式中, $\Delta_{g\max}$ 为最大允许误差值; $X_{\max}$ 、 $X_{\min}$ 为测量范围的上、下限; A 为精度等级,以标准百分数分档,可分为 0.001, 0.005, 0.02, 0.05, ..., 1.5, 2.5, 4.0 和 6.0 等。

五、分辨力

某些传感器给出了分辨力的术语,它是指传感器有效分辨紧密相邻量值的能力,即传感器在规定测量范围内所能检测出的被测输入量的最小变化量。

六、时间稳定性

时间稳定性也称长期稳定性,或称时间漂移。时间稳定性一般指在室温环境下经过规定的时间间隔后,传感器的输出与之前相同输入条件和环境条件下传感器输出的差异。例如,传感器标定完毕出厂时的输出为 A , 在规定时间内相同条件下的输出为 B , 则

$$\text{稳定性} = \frac{A - B}{A} \times 100\%$$

七、温度漂移

温度漂移也称温漂、温度稳定性,是传感器在测量范围内输出变化受温度影响的大小。几乎所有传感器都会因为温度的变化而产生输出的变化,这种变化是我们不希望的(温度传感器除外)。

温度漂移可分为零点温漂和满程温漂。

八、灵敏度

灵敏度是指传感器到达稳定工作状态时,输出变化量与引起此变化的输入变化量之比,即 $K = dy/dx$ 。它是传感器静态特性曲线上各点的斜率。传感器的灵敏度是一个有单位的量。当讨论某一传感器的灵敏度时,必须确切地说明它的单位。例如,压力传感器的灵敏度用 K_p 表示,单位是 mV/Pa 。

九、迟滞

迟滞是指传感器的正向(上升)特性和反向(下降)特性不一致的程度,即对于同样大小的输入量,当所采用的行程方向不同时,其输出值之间的差值大小。