

● 高职高专机电类规划教材 ●

微型计算机测控技术

李贵山 主编



高职高专机电类规划教材

微型计算机测控技术

主编 李贵山

参编 杨建平 周征 黄晓峰



机械工业出版社

本书从实用角度出发,以 MCS—51 系列单片机为控制工具,全面系统地讲述了微机在工业过程测试和控制中的软、硬件技术。主要内容有:测控系统的组成、分类及发展;检测技术的基本知识与误差理论;常用传感器与应用技术;基本 I/O 接口技术;输入/输出通道接口技术;常用检测程序的设计与实现;PID 控制;直接数字控制;干扰及抑制技术;微机测控系统的工程设计方法及实例等。

本书在总结教学改革经验的基础上,将传感器原理和计算机控制技术两门课程合二为一,并针对该课程实践性很强的特点,在选材上力求保证基础、突出重点、注重应用、培养能力,具有系统性、先进性和应用性等特点。

本书可作为高职高专院校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校工业电气自动化、测控技术与仪器、机电一体化、计算机应用等专业的教材,也适合从事工业测控及自动化工作的工程技术人员学习与参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

微型计算机测控技术/李贵山主编. —北京:机械工业出版社, 2002. 2
高职高专机电类规划教材
ISBN 7-111-09764-5

I. 微... II. 李... III. ①过程控制: 计算机控制—高等学校: 技术学校—教材②计算机辅助测试—高等学校: 技术学校—教材 IV. ①TP273
②TP391. 7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 097314 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 周 娟 王保家 版式设计: 霍永明 责任校对: 张 媛

封面设计: 鞠 杨 责任印制: 路 琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2002 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm^{1/16}·18.5 印张·459 千字

0 001—5 000 册

定价: 25.00 元



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

前 言

微机测控技术是微型计算机的一个重要应用领域,它主要研究如何将现代传感器技术、计算机技术和自动控制理论应用于工业生产过程,它是我国高等工科院校各类自动化、测控技术与仪器、机电一体化等专业的主干专业课程之一。

目前,这些专业微机测控技术的教学均采用《传感器原理》和《计算机控制技术》两本教材,对高职高专层次来讲,普遍存在以下问题:教学时数太多;传感器原理部分,大多数都以传感器内部结构和工作原理的讲述为主,淡化了各类传感器的外特性、工程应用和后期调理技术,且对新型传感技术讲述较少;计算机控制技术部分,基本上都是以 Z80 作为控制工具,采用从芯片到系统的传统模式,有些内容比较陈旧,过分强调了理论知识,缺乏实际应用技术,造成了前后课程内容和结构搭配不太合理现象。因此,编写一本能将微型计算机原理及接口技术、检测与转换技术、传感器技术、自动控制理论与工业测控紧密结合在一起的《微型计算机测控技术》已迫在眉睫。检测技术与计算机技术的发展实在是太快了,很难在一本书里包罗万象,为了讲述和学习方便并考虑到高职高专层次,本书以目前应用最为广泛的 MCS—51 系列单片机为控制工具。本书可作为高职高专院校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办高校工业电气自动化、测控技术与仪器、机电一体化、计算机应用等专业的教材,也适合从事工业测控及自动化等方面工作的工程技术人员学习与参考。

全书由绪论和八章内容组成。教学时数约 80 学时。

绪论介绍微机测控系统的一般概念,微机测控系统的组成、特点、类型和发展历程。

第一章介绍检测与转换技术的基本概念、误差理论及传感器的一般特性。

第二章介绍了十一类传感器的基本原理、外特性及其应用技术。

第三章介绍键盘、显示器、标准总线与串行通信等微机系统基本 I/O 接口的构成、工作原理、设计技术和典型电路。

第四章介绍模拟量输入输出通道、数字量输入输出通道的构成、常用器件、接口技术和设计方法。

第五章首先简要介绍了程序设计中的常用数据结构及应用技术,重点介绍数据查找、线性化处理与非线性补偿、标度变换、报警程序、软件抗干扰等常用控制程序的设计与实现技术。

第六章介绍采用离散化方法进行 PID 控制器及其改进算法设计的原理、参数整定、程序实现与设计举例。

第七章介绍数字控制器直接设计法、最少拍有纹波数字控制器、最少拍无纹波数字控制器以及大林算法的原理和设计方法。

第八章介绍微机测控系统的设计方法与步骤、微机测控系统的硬件抗干扰技术和微机测控系统的设计实例。

本书的指导思想是立足工程实际应用,重点介绍微机计算机在工业过程测试和控制应用中的各种技术,尽量反映微机测控领域的最高、最新水平。书中所给电路及程序都来源于生产实际或科研课题,以使读者在最短的时间内取得最好的收益,总之,本书的取材注意了内

444 B07 / 0.5

容的系统性、完整性、应用性和先进性。

本书的第一、二章由杨建平编写；第三章、第四章第一节～第四节、第四章第六节由周征编写；第四章第五节、第五章第三节～第六节、第六、七章由黄晓峰编写；绪论、第五章第一节～第二节、第七节、第八章由李贵山编写；全书由李贵山副教授统稿。

由于编者水平有限，书中难免存在一些缺点错误，很难满足广大读者的需要，恳请读者不吝指教。

编者

目 录

前言	
绪论	1
第一章 检测与转换技术的基本知识	7
第一节 检测与转换技术的基本概念	7
第二节 测量误差	8
第三节 传感器的一般特性	20
小结	28
思考题与习题	29
第二章 传感器	30
第一节 电阻式传感器	30
第二节 电容式传感器	39
第三节 电感式传感器	44
第四节 压电式传感器	48
第五节 磁电式传感器	50
第六节 热电偶传感器	51
第七节 光电传感器	56
第八节 霍尔传感器	61
第九节 数字式传感器	64
第十节 其它传感器	69
第十一节 新型传感技术	73
小结	79
思考题与习题	80
第三章 微机系统基本输入/输出接口	81
第一节 输入/输出数据的管理方式	81
第二节 键盘及其与单片机的接口	83
第三节 显示器及其与单片机的接口	89
第四节 标准总线介绍	101
第五节 串行通信接口	106
小结	116
思考题与习题	117
第四章 输入/输出通道接口技术	118
第一节 数据采集与处理技术基础	118
第二节 模拟量输入通道	133
第三节 模拟量输出通道	145
第四节 开关量输入/输出通道	150
第五节 电动机、步进电动机接口技术	155
第六节 数据采集系统举例	163
小结	167
思考题与习题	167
第五章 常用控制程序设计 with 实现技术	169
第一节 数据结构与控制程序设计技术	169
第二节 数据查找技术	177
第三节 线性化处理与非线性补偿	182
第四节 标度变换技术	186
第五节 报警程序设计	188
第六节 系统的运算字长选择	194
第七节 软件抗干扰技术	197
小结	203
思考题与习题	204
第六章 数字 PID 及其改进算法	205
第一节 PID 控制及作用	205
第二节 离散化的方法	207
第三节 数字 PID 控制算法	210
第四节 标准 PID 算法的改进	212
第五节 PID 调节器参数的整定	217
第六节 纯滞后补偿控制技术	221
第七节 串级控制技术	222
第八节 其它常用的控制方法	225
小结	228
思考题与习题	229
第七章 数字控制器的直接设计	230
第一节 最少拍控制系统的设计	230
第二节 最少拍无纹波数字控制器的设计	238
第三节 达林算法	239
第四节 数字控制器的计算机实现方法	243
小结	244
思考题与习题	244
第八章 微机测控系统的设计与实现	246

第一节	微机测控系统设计的原则及步骤	247	第四节	退火炉温度测控系统的设计	279
第二节	微机测控系统的设计方法	251	小结	288	
第三节	微机测控系统的抗干扰技术	264	思考题与习题	289	
			参考文献	290	

绪 论

随着科学技术的迅速发展,微机测控技术的应用领域日益广泛,如在冶金、化工、电力、建材、自动化机床、工业机器人控制、柔性制造系统和计算机集成制造系统等工业测控方面,已取得了令人瞩目的研究与应用成果,并在国民经济中发挥着越来越大的作用。工业测控一般是指对工业生产过程及其机电设备进行测量与控制的自动化技术,目前已惯称为“微机测控技术”,是计算机技术与自动控制技术结合的产物。微机测控技术主要研究如何将检测与传感技术、计算机技术和自动控制理论应用于工业生产过程并设计出所需要的微机测控系统。

在绪论中,主要介绍微机测控系统的一般概念、组成、特点、类型和发展历程。

一、微机测控系统的组成与特点

(一) 微机测控系统的一般概念

微机测控系统就是利用微型计算机来实现生产过程的自动测试与控制的系统。它包含两部分技术内容:计算机控制的理论基础;通道接口与系统的实现技术。

图 0-1 所示为微机测控系统的典型结构框图。由于生产过程的各种物理量一般都是模拟量,而计算机的输入和输出均采用数字量,因此,二者之间必须用 A/D 转换器和 D/A 转换器实现相互转换。可以看出,在微机测控系统中计算机根据给定输入信号、反馈信号与系统的数学模型进行信号处理,实现控制策略,通过执行机构控制被控对象,达到预期的控制目标。

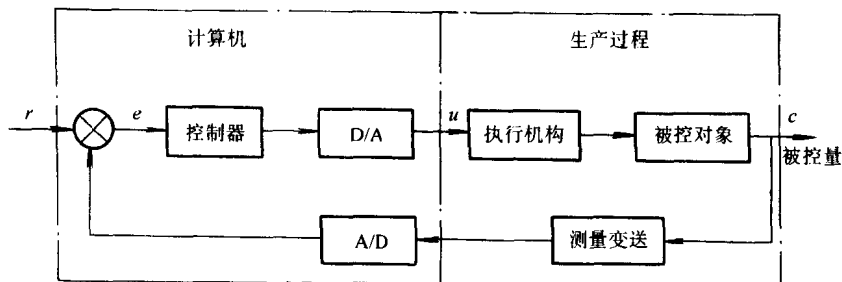


图 0-1 微机测控系统典型结构图

从本质上讲,微机测控系统的工作原理可归纳为以下三步:

- 1) 实时数据采集:通过测量变送装置完成被控量的瞬时值的检测和输入。
- 2) 实时控制决策:对采集的数据进行分析和处理,按预定的控制策略决定采取何种控制行为。
- 3) 实时控制输出:根据控制决策,向执行机构发出实时控制信号,完成系统控制任务。

上面提到的实时的含义是指信号的输入、计算、输出都要在一定的时间间隔内完成,也就是说,计算机对输入信号能以足够快的速度进行控制,超出了这个时间,就失去了控制的时机,控制也就失去了意义。实时的概念不能脱离具体过程,一个在线的系统不一定是实时系统,但一个实时系统必定是在线系统。

所谓在线是指:在微机测控系统中,生产过程与计算机直接连接并受计算机的控制,有时也称为联机方式;反之,生产过程未与计算机连接,不受计算机的控制,而是依靠人工联

系并控制的方式称为离线方式或脱机方式。

（二）微机测控系统的组成

微机测控系统主要由被控对象、过程输入输出通道及计算机系统三部分组成，如图 0-2 所示。过程输入输出通道也叫生产过程，包括模拟量输入输出通道、数字量输入输出通道、测量变送、执行机构、电气开关等装置。计算机系统包括硬件和软件两部分。

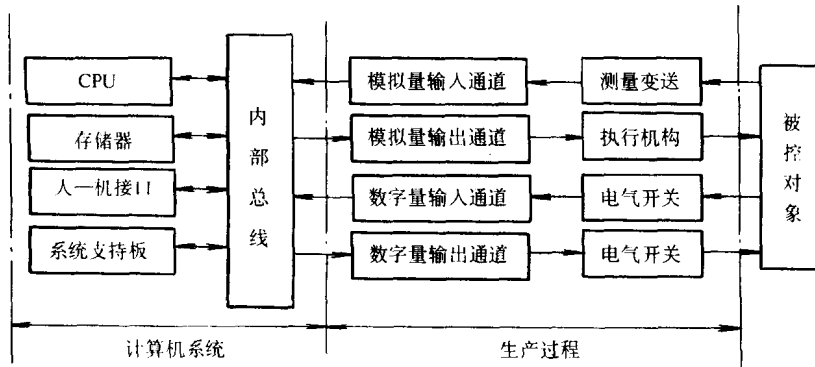


图 0-2 微机测控系统组成结构框图

由图 0-2 可以看出，计算机系统由中央处理器（CPU）、存储器、人-机接口、各种系统支持板卡等组成，是微机测控系统的核心。其主要任务是根据过程输入通道送来的实时生产过程工作状况的各种信息和预定的控制算法，自动地完成信息处理，并实时地通过过程输出通道向生产过程发送控制命令。

常用的人-机接口有键盘、显示器、打印机、绘图机、指示灯等等。

过程输入输出通道是计算机与工业现场连接的桥梁，有模拟量输入输出通道和数字量输入输出通道两类。模拟量输入输出通道的作用有两个方面：其一是将测量变送装置得到的被控对象的生产过程参数变成二进制代码送给计算机；其二是将计算机输出的数字控制量转换成控制执行机构的模拟信号，以实现对生产过程的控制。数字量输入输出通道的作用是：完成编码数字的输入输出；将工业现场各种继电器、电气开关等的状态信号传送给计算机；将计算机发出的开关动作信号传送给工业现场。

测量变送装置的功能是将被检测的各种物理量转变成电信号，并变换为计算机能够接受的标准信号。

执行结构用来驱动被控对象，完成相应的动作。常用的执行结构有电动机、调节阀、电液伺服阀、各种开关等。

微机测控系统的种类繁多，系统的复杂程度不一样，其硬件组成也不尽相同，设计者应根据实际情况进行合理的选择。

（三）微机测控系统的软件组成

微机测控系统的软件是指微机测控系统中具有各种功能的计算机程序的总称。从功能上可分为系统软件和应用软件两大类。

1. 系统软件

一般情况下，系统软件是由计算机制造商或一些专业供应商提供的，用来管理计算机资源的软件，如汇编语言、高级算法语言、操作系统、数据库系统、各种开发系统等。

2. 应用软件

应用软件是微机测控系统设计人员针对某一具体生产过程而编制的控制及管理程序，如数字滤波程序、输入程序、输出程序、人机接口程序等。应用软件的好坏将直接影响测控系统的功能、精度与效率，因此，设计者应给予足够的重视。

值得注意的是，在微机测控系统中，硬件和软件是不能独立存在的，在系统设计时，必须注意二者的相互配合与协调。

（四）微机测控系统的特点

在微机测控系统中，被控量通常是模拟量，但计算机的输入输出量均为数字量，所以微机测控系统大都属于数字-模拟混合结构。微机测控系统中信号的变换与传输过程如图0-3所示。

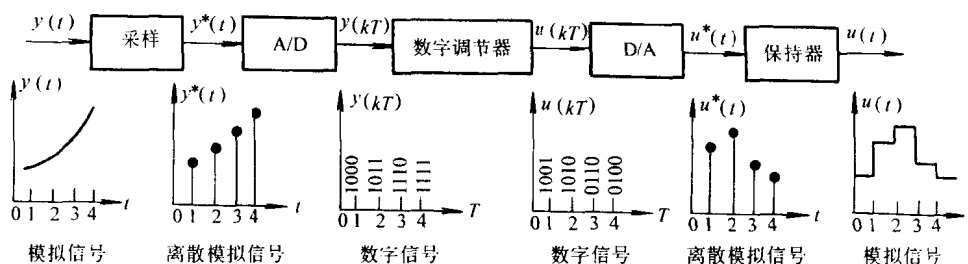


图 0-3 微机测控系统中的信号变换与传输

图 0-3 中各信号名称的定义如下：

模拟信号——时间上、幅值上都连续的信号；

离散模拟信号——时间上离散而幅值上连续的信号；

数字信号——时间上、幅值上都离散的信号，在计算机中常用二进制数表示。

由图 0-3 我们可以清楚地看出，计算机获得信号的过程，是由 A/D 转换器来完成的。在此过程中，将模拟信号变换成离散模拟信号，这就是采样，采样周期为 T 。从离散模拟信号到数字信号的变换过程就叫量化。

由于微型计算机的速度快、精度高、存储容量大、功能强及可编程性等特点，将其引入测控系统后，不仅可以完成常规的 PID 控制算法，而且可以完成模拟系统难以实现的许多复杂控制算法，同时也能够实现控制方案和控制规律的在线修改，使整个系统具有很大的灵活性与适应性。因此，在当今完全可以这样说，没有微处理器的仪器就不能称为仪器，没有微型计算机的测控系统就更不能称其为现代工业测控系统。作为从事现代工业测控与智能化仪器仪表的研究、开发和使用人员来讲，如果不懂计算机，要想在工业控制领域里遨游，那简直是寸步难行。

二、微机测控系统的典型形式

微机测控系统采用何种结构形式与它所控制的生产过程的复杂程度密切相关。根据应用特点、控制方案、控制目的与系统构成，微机测控系统大体上可分为以下几种典型形式。

（一）操作指导控制系统

其结构如图 0-4 所示。此形式的系统具有数据采集与处理能力，可以为现场操作人员提供反映生产过程工况的各种实时参数，并给出相应的操作指导信息，供操作人员参考。

这种形式的系统属于开环系统，计算机按照一定的时间间隔对生产现场的参数进行采样、处理、显示、打印或报警，操作人员根据这些结果进行设定值的修改或必要的操作。

该形式系统的优点是结构简单，安全可靠；缺点是需要人工操作，速度慢，不能同时控

制多个对象。

(二) 直接数字控制系统

直接数字控制 (Direct Digital Control, 简称 DDC) 系统的基本思想是: 利用微型计算机对多个被控参数进行巡回检测, 并与给定值比较, 然后按照预定的控制规律进行计算, 最后发出控制信息完成对生产过程的控制, 使被控参数稳定在给定值上。其原理框图如图 0-5 所示。

这类系统属于闭环控制系统, 计算机的运算和处理结果直接输出并作用于生产过程, 所以实

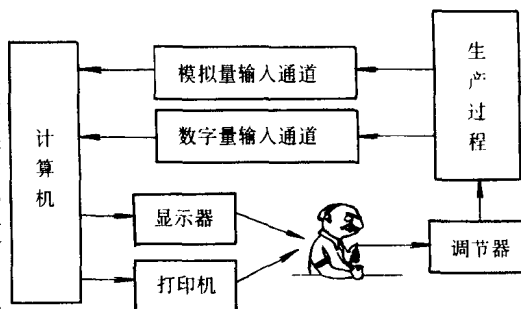


图 0-4 操作指导控制系统原理图

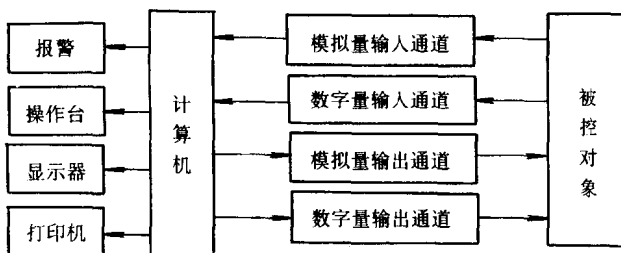


图 0-5 直接数字控制系统原理框图

时性好、可靠性高。一台微型计算机可代替多个模拟调节器完成多回路控制, 而且只要改变程序即可实现诸如串级控制、前馈控制、纯滞后控制、自适应控制等比较复杂的控制规律。因此, DDC 系统是工业测控中应用最为普遍的一种形式。

(三) 监督计算机控制系统

监督计算机控制 (Supervisory Computer Control, 简称 SCC) 系统的基本思想是: 微型计算机根据原始工艺信息和其它参数, 按照描述生产过程的数学模型, 自动改变模拟调节器或 DDC 微型计算机的给定值, 从而使生产过程始终处于最优工况。它有 SCC+模拟调节器和 SCC+DDC 两种不同的结构形式, 如图 0-6 所示。

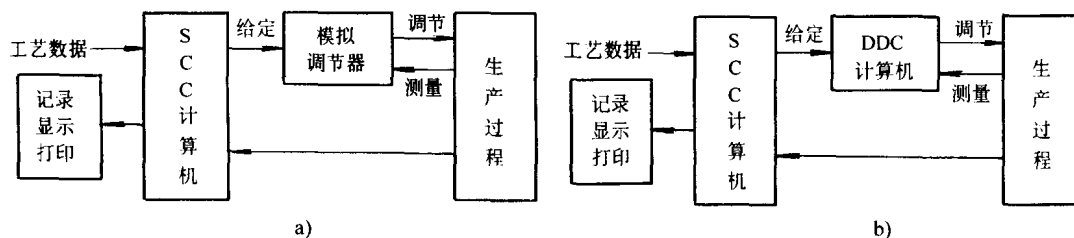


图 0-6 监督计算机控制系统原理框图
a) SCC+模拟调节器系统 b) SCC+DDC 系统

(四) 分散控制系统

分散控制系统 (Distributed Control System, 简称 DCS) 的基本思想是: 利用分散控制、集中操作、分而自制、综合协调的原则, 将测控系统分为分散过程控制级、集中操作监控级和综合信息管理级, 构成一级分布式控制系统, 其原理框图如图 0-7 所示。

(五) 现场总线控制系统

现场总线控制系统 (Fieldbus Control System, 简称 FCS) 是发展于 20 世纪 70 年代, 成熟

于 20 世纪 80 年代的新一代分布式控制结构。其结构模式为“工作站—现场总线智能仪表”二层结构，成本低，可靠性高，可实现真正的开放式互联系统结构。其控制层结构如图 0-8 所示。

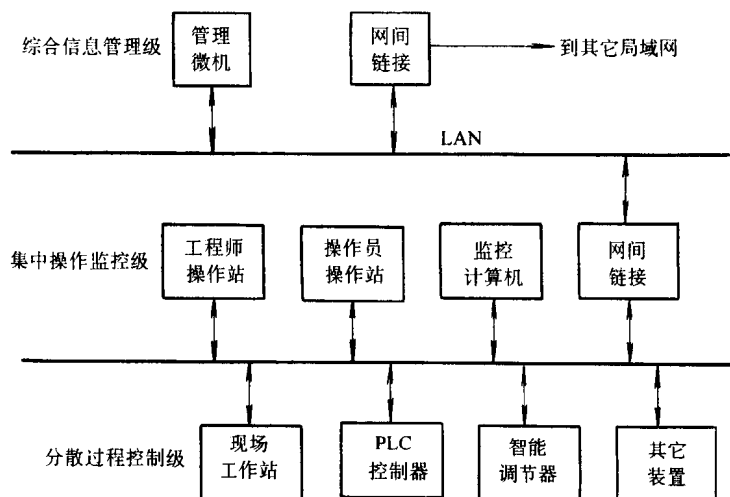


图 0-7 分散控制系统原理框图

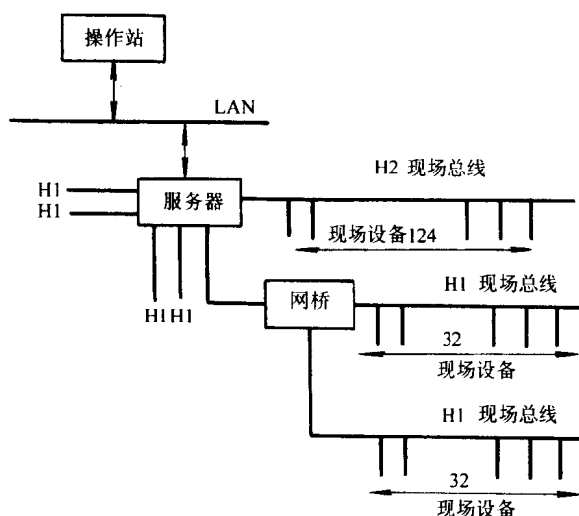


图 0-8 新一代 FCS 控制层原理图

根据 FF (Fieldbus Foundation) 定义，现场总线是连接智能现场设备和自动化系统的数字式、双向传输、多分支结构的通信网络，是计算机技术、通信技术和自动控制技术高度结合与集成的产物，是 FCS 的核心。

三、微机测控系统的发展概况及趋势

计算机的出现使科学技术产生了一场深刻的革命，同时也将自动测控推向了一个新水平，综观工业测控的发展，可将其归结为过程控制技术、自动检测技术、自动化仪表技术与计算机网络技术的交叉发展和相互渗透。

(一) 微机测控技术的发展历程

以史为鉴，可明兴替。下面就微机测控系统在我国的发展作简要的回顾与分析。

(1) 过程控制技术由分立设备发展到共享设备经历了四个阶段 首先是 20 世纪 40 年代

至 50 年代初的人工控制（基地式仪表控制）阶段，在这个阶段，工业规模小，设备陈旧，必要的调节主要依靠最简单的测量仪表并由人工操作；其次是 20 世纪 50 年代的模拟仪表控制系统（电动单元组合式仪表控制系统），1956 年，国家制定了 12 年科技发展规划，使得自动化仪表与装置产业从此产生、发展并成熟。到 20 世纪 50 年代末，研制生产的传感器、变送器、记录仪、调节器、执行器等基本上可以显示过程状态并完成对工艺流程的调节；第三个阶段是 20 世纪 60 年代的计算机集中控制系统，这时可利用一台计算机控制数十以至上百个回路，部分取代了传统的控制室仪表，但是因当时电子器件与计算机本身的可靠性较差，计算机的参与使得控制集中了，“危险”也随之被集中；第四个阶段是 20 世纪 70 年代中期的分散式控制系统，由一个 CPU 控制多个回路，控制功能相对分散，组态比较方便，能够解决一些复杂的控制，但在系统的开放性、系统向上与企业管理信息系统的连接、系统与现场仪表的通信等方面存在一些问题。

(2) 自动化仪表工业技术由模拟仪表发展到智能仪表 20 世纪 70 年代中期以前，自动化仪表都是模拟仪表，信号的传输均采用 4~20 mA 模拟信号；20 世纪 70 年代后期，在控制仪表上应用了微处理器，可使仪表通过串行通信方式与计算机接口，但仪表间的接口仍然为模拟信号；进入 20 世纪 80 年代，出现了智能化现场仪表，能适应被测参数的变化和多参数的测量，但需要提供一个有效的双向数据通信链路以实现它们之间以及与控制室设备的多种数据交换。

(3) 计算机控制理论方面先后出现了采样定理、差分方程、Z 变换法、状态空间理论、最优控制与随机控制、代数系统理论、系统辨识与自适应控制等理论，并逐步应用于微机测控系统中，且取得了重要成果。

(4) 计算机网络技术由管理与控制信息网络技术发展到现场级网络技术 目前，已有将企业中分散或独立的部门、机构、各种设备连接在一起的现场级网络，它分为工厂级网络、车间级网络和底层网络三层。

综上所述，工业测控系统之所以发展迅速，归根结底是需求牵引、技术推动的结果，这也是科学技术发展的规律。

(二) 微机测控技术的发展趋势

根据目前微机测控技术的发展状况，展望未来，前景诱人。今后的工业测控系统向开放型体系结构发展是大势所趋。由现场总线构成的分散型控制系统将会改变控制系统的结构，DCS 向 FCS 发展并最终代替 DCS，实现现场通信网络与控制系统的集成。概括起来，微机测控技术的发展趋势有以下几个方面：

- 1) 推广应用成熟的先进技术，如可编程序控制器（PLC）、智能调节器等的应用。
- 2) FCS 呼之欲出，一统天下。
- 3) 系统集成。21 世纪的工业测控系统将不仅实现控制功能，而且必须考虑与设计、管理决策等系统的互联，实现信息的双向共享与自动化系统的集成。
- 4) 标准化。将产品的可互换性扩展为可移植性、可重用性与可互操作性。
- 5) 测控软件的规范化。
- 6) 测控系统产品的多样化。
- 7) 各种智能测控系统的发展，如分级递阶智能控制系统、模糊控制系统、专家控制系统等。

第一章 检测与转换技术的基本知识

检测与转换技术研究的内容是信息的提取与处理的理论、方法和技术。本章重点研究检测系统的误差理论和检测元件的基本特性，并对检测与转换技术的基本概念作简单阐述。

第一节 检测与转换技术的基本概念

一、检测与转换技术

检测与转换技术是自动检测技术和自动转换技术的总称，它是以研究自动检测系统中信息的提取与转换以及信号处理的理论和技术为主要内容的一门应用技术学科。

信息提取是指从自然界各种被检查与测量量（物理量、化学量、生物量与社会量）中提取出有用的信息（一般都是电信号），以便组成自动检测系统。

信息转换是将所提取出的有用信息进行电量形式、幅值、功率等的转换，并对信息提取及转换过程中引入的干扰进行补偿，以满足下一单元和精度的需要。

信息处理的任务就是根据输出环节的需要，对变换后的电信号进行相关运算（求均值、极值等）及模拟量/数字量变换。

信息传输的任务是在排除干扰的情况下经济地、准确无误地把信息进行远、近距离的传递。

二、自动检测系统

自动检测系统是自动测量、自动计量、自动保护、自动诊断、自动信号等系统的总称，它的组成框图如图 1-1 所示。在这些系统中，都包含被检测量、敏感元件和电子测量电路，它们之间的区别仅在于输出单元。如果输出单元是显示器和记录器，则该系统叫作自动测量系统；如果输出单元是计数器或累加器，则该系统叫作自动计量系统；如果输出单元是报警器，则该系统是自动保护系统或自动诊断系统；如果输出单元是处理电路，则该系统是数据分析系统、自动管理系统或自动控制系统。



图 1-1 检测系统组成框图

三、传感器

从被检测参量中提取出有用信息（它往往是电量）的器件称之为传感器。传感器是由敏感元件本身（有时包括一次或二次转换元件）或者和部分测量电路构成的，它有如图 1-2 所示的几种结构。

图 1-2a 所示的 A 型结构，一般叫作电量传感器，例如热电偶、磁电传感器、光电池和压电传感器等；图 1-2b 所示的 B 型结构，一般是电参数传感器，例如热敏电阻传感器、电容传感器、感应同步器、角度编码器等；图 1-2c 所示的 C 型结构，有电位器传感器、电阻应变传感器、压磁传感器等，它们也属于电参数传感器。

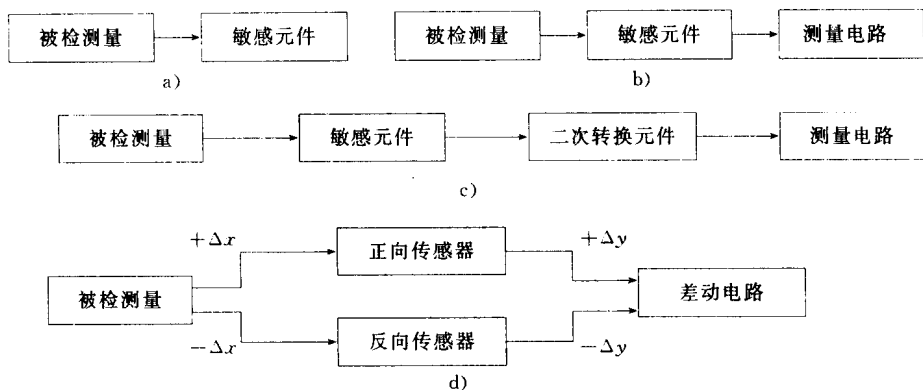


图 1-2 传感器结构类型框图

a) A 型 b) B 型 c) C 型 d) D 型

A 型、B 型及 C 型结构统称为简单结构型，与它们相对应的是 D 型结构，它由两个简单结构型（正向传感器和反向传感器）构成，如图 1-2d 所示。正向与反向传感器在结构尺寸和参数上完全相同，不同的仅是接受被检测量的作用方向。当被检测量变化时，一个接受的是正向增量（ $+\Delta x$ ），另一个接受的是反向增量（ $-\Delta x$ ），它们的输出（ $+\Delta y$ 和 $-\Delta y$ ）作用到差动电路上，得到一个输出量 z ， z 就是 D 型结构传感器的输出。因为这种结构型传感器的输出是由差动电路形成的，所以也称为差动结构型。由于在差动结构型传感器中应用了两个简单结构型传感器，因此，这种结构型传感器具有灵敏度高、抗干扰能力强、线性度好等优点。

虽然 D 型结构具有良好的输出特性，但不是对所有被检测量都能组成差动结构型传感器。从对现有传感器的原理分析可以看出：只有应用在检测力（压力）或位移等少数几个物理量的电参数传感器才能组成 D 型结构。

第二节 测量误差

一、误差的基本概念

（一）有关测量技术中的部分名词

（1）等精度测量 在同一条件下所进行的一系列重复测量称为等精度测量。

（2）非等精度测量 在多次测量中，对测量结果精确度有影响的一切条件不能完全维持不变，称为非等精度测量。

（3）真值 被测量本身所具有的真正值称之为真值。量的真值是一个理想的概念，一般是不知道的。但在某些特定的情况下，真值又是可知的，例如一个整圆周角为 360° 等。

（4）实际值 误差理论指出，在排除了系统误差的前提下，对于精度测量，当测量次数为无限多时，测量结果的算术平均值极接近于真值，因而可将它视为被测量的真值。但是测量次数往往是有限的，而按有限测量次数得到的算术平均值只是统计平均值的近似值，况且系统误差不可能完全被排除掉，所以通常只能把精度更高一级的标准器具所测得的值作为“真值”。为了强调它并非是真的“真值”，就把它称为实际值。

（5）标称值 测量器具上所标出来的数值。

（6）示值 由测量器具读数装置所指示出来的被测量的数值。

（7）测量误差 用器具进行测量时，所测量出来的数值与被测量的实际值之间的差值。

任何自动检测系统的测量结果都有一定的误差，即精度。一般来说，不存在没有误差的测量结果，也不存在没有精度要求的自动检测系统。精度（误差）是一项重要的技术指标。

（二）误差的分类

在测量中由不同因素产生的误差是混合在一起同时出现的。为了便于分析研究误差的性质、特点和消除方法，下面将对各种误差进行分类讨论。

1. 按表示方法分类

（1）绝对误差 绝对误差是示值与被测量真值之间的差值。设被测量的真值为 A_0 ，器具的标称值或示值为 x ，则绝对误差 Δx 为

$$\Delta x = x - A_0$$

由于一般无法求得真值 A_0 ，在实际使用时常用精度高一级的标准器具的示值（作为实际值） A 代替真值 A_0 。必须指出， A 并不等于 A_0 ，一般来说， A 总比 x 更接近于 A_0 。

x 与 A 之差常称为器具的示值误差，记为

$$\Delta x = x - A$$

通常即以此值来代表绝对误差。

绝对误差一般只适用于标准器具的校准。其绝对值是与 Δx 相等但符号刚好相反的值，称为修正值，通常用 c 表示，即

$$c = -\Delta x = A - x$$

通过检定，可以由上一级标准（或基准）给出受检测系统的修正值。利用修正值便可求出检测系统的实际值

$$A = x - c$$

修正值给出的方式不一定是具体的数值，也可以是一条曲线、公式或数表。在某些自动测试系统中，为了提高它的测量精度，减少它的测量误差，将修正值预先储存于仪器中，由软件根据测量结果，自动对误差进行修正。

（2）相对误差 相对误差是绝对误差 Δx 与被测量的约定值之比，用它较绝对误差更能确切地说明测量质量。

在实际测量中，相对误差有下列表示形式：

1) 实际相对误差：实际相对误差 γ_A 是用绝对误差 Δx 与被测量实际值 A 的百分比来表示的相对误差，记为

$$\gamma_A = \frac{\Delta x}{A} \times 100\% \quad (1-1)$$

2) 示值相对误差：示值相对误差 γ_x 是用绝对误差 Δx 与器具示值 x 的百分比来表示的相对误差，记为

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (1-2)$$

3) 满度（或引用）相对误差：满度相对误差 γ_m 又称满度误差，是用绝对误差 Δx 与器具的满度值 x_m 百分比来表示的相对误差，记为

$$\gamma_m = \frac{\Delta x}{x_m} \times 100\% \quad (1-3)$$

这是应用最多的表示方法。

电工仪表就是按照 γ_m 之值进行分级的。例如 1.5 级的电表, 就表明其 $\gamma_m \leq 1.5\%$, 并在其面板上标以 1.5 的符号。

(3) 容许误差 容许误差是根据技术条件的要求, 规定某一类器具误差不应超过的最大范围。

2. 按照误差出现的规律分类

(1) 系统误差 系统误差 (简称系差) 是指服从某一确定规律 (如定值、线性、周期性等函数规律) 的误差。系差又可分为:

- 1) 恒定系差。该系差是指在一定的条件下, 误差的数值及符号都保持不变的系统误差。
- 2) 变值系差。该系差是指在一定的条件下, 误差按某一确切规律变化的系统误差。根据其变化规律又可分为以下几种情况:

① 累进性系差。是指在整个测量过程中, 误差的数值在逐渐增加或逐渐减小的系统误差。

② 周期性系差。是指在测量过程中, 误差的数值发生周期性变化的系统误差。

③ 按照复杂规律变化的系差。这类系差的变化规律十分复杂, 一般用曲线、表格或经验公式来表示。

系统误差主要由以下几个方面的因素引起: 材料、零部件及工艺的缺陷; 环境温度、湿度、压力的变化以及其它外界干扰等。

系统误差表明了一个测量结果偏离真值或实际值的程度。系统误差愈小, 测量就越准确, 所以还经常用准确度一词来表征系统误差的大小。我们必须掌握系统误差具有规律性这个特点, 找出产生系统误差的原因, 掌握其规律性, 通过引入修正值加以消除。但还应指出, 系统误差不是容易发现和容易确定的, 由于测试条件的复杂性使得系统误差的确定往往是很困难的, 因此在设计制造与使用时应认真对待。

(2) 随机误差 随机误差 (简称随差) 又称偶然误差, 它是由未知变化规律产生的误差。

随机误差是由很多复杂因素的微小变化综合引起的, 因此分析比较困难, 但是, 随机误差具有随机变量的一切特点, 在一定的条件下服从统计规律, 所以, 通过多次测量后, 可以用统计规律来描述, 从而在理论上估计其对测量结果的影响。

随机误差表现了测量结果的分散性。在误差理论中, 经常用精密度一词来表征随机误差的大小。随机误差愈小, 精密度愈高。如果一个测量结果的随机误差和系统误差均很小, 则表明测量既精密又准确, 简称精确。

(3) 粗大误差 粗大误差是指在一定的条件下, 测量结果显著地偏离其实际值时所对应的误差, 简称粗差。从性质上来看, 粗差并不是单独的类别, 它本身既可能具有系统误差的性质, 也可能具有随机误差的性质, 只不过在一定测量条件下其绝对值特别大而已。

粗大误差是由于测量方法不妥当, 各种随机因素的影响以及测量人员粗心 (又称这类误差为疏失误差) 所造成的。在测量及数据处理中, 当发现某次测量结果所对应的误差特别大时, 应认真判断该误差是否属于粗大误差, 如果属于粗差, 该值应舍弃不用。

3. 按误差来源分类

(1) 工具误差 工具误差是指测量工具本身不完善引起的误差, 主要包括:

- 1) 读数误差。读数误差通常是指检测系统在定标时, 用标准器具对其指定的某些定标点进行定标时所产生的校准误差, 以及检测系统分辨率不高所致的误差。