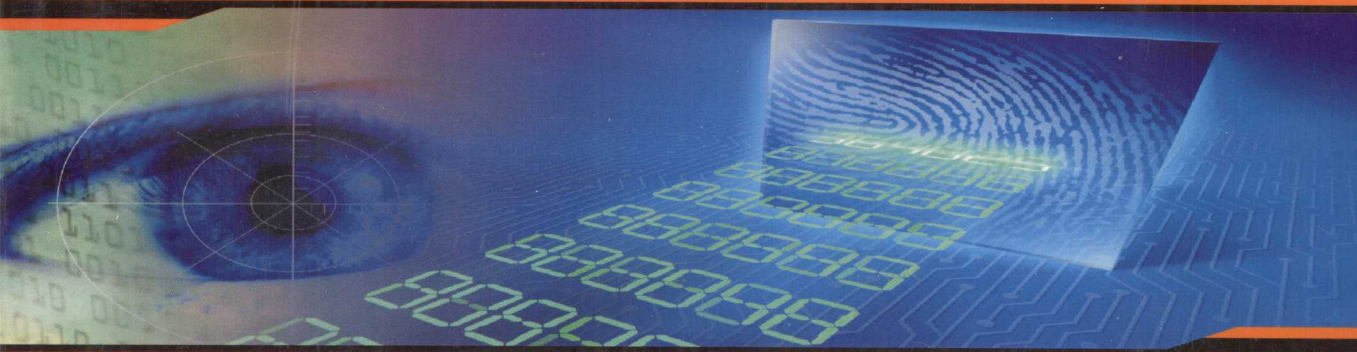




高等学校规划教材·电子、通信与自动控制技术

PROGRAMMING TEXTBOOKS FOR HIGHER EDUCATION



测 控 技 术

张 歆 张小蓓 编著

西北工业大学出版社

00300010 ..

【内容简介】 本书比较全面地阐述了测控技术的基本理论与应用。全书共分 12 章, 主要内容包括绪论, 电子测量与测量误差理论, 测试信号发生器, 时频测量与电压测量, 信号的显示与时域测量, 信号与系统的频域分析与测量, 数据域的分析与测量, 自动测试系统, 智能仪器与虚拟仪器, 自动控制原理, 计算机控制系统以及网络化测控系统与现场总线。全书内容简练, 阐述深入浅出, 注重理论联系实际。每章还列举了一定数量的例题、练习题与思考题, 并在书后给出参考文献, 以便于读者深入学习和研究。

本书可作为测控技术专业高年级本科生的教材, 也可供相关专业的研究生或从事测控技术工作的人员参考。

木 友 空 测

张 歆 张 小 蓿 编 著

图书在版编目 (CIP) 数据

测控技术/张歆, 张小蓿编著. —西安: 西北工业大学出版社, 2013. 9
高等学校规划教材. 电子、通信与自动控制技术
ISBN 978 - 7 - 5612 - 3740 - 3

I. ①测… II. ①张…②张… III. ①测量系统—控制系统—高等学校—教材 IV. TM93

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 175406 号



出版发行: 西北工业大学出版社
通信地址: 西安市友谊西路 127 号 邮编: 710072
电 话: (029)88493844 88491757
网 址: <http://www.nwpup.com>
印 刷 者: 兴平市博闻印务有限公司
开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16
印 张: 18.25
字 数: 442 千字
版 次: 2013 年 9 月第 1 版 2013 年 9 月第 1 次印刷
定 价: 40.00 元

博 闻 出 版 社 西 北 工 大

前 言

当今世界已进入信息时代,测控技术、计算机技术和通信技术形成信息科学技术的三大支柱。测控技术是信息科学的重要组成部分,它伴随着信息技术的发展而发展,同时又在信息技术的发展中发挥着不可替代的作用。

测控技术是研究信息的获取、处理、存储、传输,以及对相关要素进行控制的理论与技术,它应用现代物理学、电子信息科学和控制学科的基本理论、方法和实验手段,研究对各种物理量进行检测、计量、监测和控制的基本理论、方法和新技术,探讨新的测量方法,并设计新的测控仪器和系统。本书在重点论述测控系统基本理论与技术的基础上,力求充分反映当前国内外测控技术的最新研究成果及其发展趋势。

本书阐述了测控技术的基本理论与应用。全书共分 12 章,第 1 章绪论,阐述测控系统的基本概念及其应用。第 2 章电子测量与测量误差理论,阐述电子测量的内容及技术,讨论测量误差及其处理方法。第 3 章测试信号发生器,重点介绍合成信号发生器、任意函数发生器等的工作原理与实现方法。第 4 章时频测量与电压测量,讨论时间与频率的计数测量法和交流、直流电压的测量。第 5 章信号的显示与时域测量,介绍信号显示的原理、模拟和数字示波器的组成、基本原理以及信号的时域测量技术。第 6 章信号与系统的频域分析与测量,阐述信号频谱分析的基本原理以及频谱仪的实现方法、系统频率特性测量的原理与扫频仪的实现。第 7 章数据域的分析与测量,重点介绍逻辑分析仪的工作原理及对数据域信号的测量方法。第 8 章自动测试系统,概述自动测试系统的概念和组成,重点阐述通用接口总线 GPIB 及 CAMAC, VXI 和 PXI 等测试系统中的总线。第 9 章智能仪器与虚拟仪器,讨论智能仪器与虚拟仪器的定义与组成。第 10 章自动控制原理,阐述自动控制系统的基本特性、组成、数学模型与方框图,讨论自动控制系统的时域分析方法与状态空间分析法。第 11 章计算机控制系统,介绍计算机控制系统的特点与分类,重点讨论计算机控制系统的 PID 控制算法及其改进算法,以及其他控制规律。第 12 章网络化测控系统与现场总线,概述测控网络与现场总线。

本书由张歆编著了第 1,2,5,6,8,10,11 章,张小蓓编著了第 3,4,7,9,12 章,全书由张歆修改定稿。

本书在编写过程中还得到了西北工业大学航海学院的支持和其他同事的帮助,得到了西北工业大学教务处和出版社的大力支持,特别是本书的责任编辑为此书的出版付出了辛勤的劳动,在此一并表示感谢。

由于经验与水平有限,本书在内容选材及论述中难免有不妥之处,恳请读者批评指正。

编著者
2013 年 4 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 测控技术与测控系统的概念	1
1.2 测控技术的应用	8
习题与思考题	12
第 2 章 电子测量与测量误差理论	13
2.1 电子测量的基本概念	13
2.2 测量误差的基本概念	16
2.3 随机误差的统计处理	21
2.4 系统误差的分析与处理	28
2.5 测量误差的合成与分配	30
2.6 非等精度测量	36
2.7 测量数据处理	38
2.8 最小二乘法	40
习题与思考题	42
第 3 章 测试信号发生器	45
3.1 信号发生器的基本概念	45
3.2 合成信号发生器	50
3.3 直接数字合成法	54
3.4 任意函数发生器	58
3.5 扫频信号发生器	61
习题与思考题	66
第 4 章 时频测量与电压测量	68
4.1 时频测量	68
4.2 相位差的数字测量	76
4.3 电压测量	78
习题与思考题	94

第 5 章 信号的显示与时域测量	95
5.1 引言	95
5.2 信号显示的基本原理	98
5.3 示波器的组成与工作原理	104
5.4 示波器的测量与应用方法	122
习题与思考题	126
第 6 章 信号与系统的频域分析与测量	128
6.1 信号与系统的频域分析概述	128
6.2 信号的频谱分析	129
6.3 系统的频率特性测量	142
习题与思考题	145
第 7 章 数据域的分析与测量	146
7.1 引言	146
7.2 逻辑分析仪的基本概念	149
习题与思考题	159
第 8 章 自动测试系统	160
8.1 概述	160
8.2 自动测试系统的组成	163
8.3 通用接口总线 GPIB	168
8.4 计算机自动测量和控制系统	172
8.5 VXI 总线系统	173
8.6 测试系统中的其他总线	177
习题与思考题	185
第 9 章 智能仪器与虚拟仪器	186
9.1 智能仪器	186
9.2 虚拟仪器	191
习题与思考题	200
第 10 章 自动控制原理	201
10.1 自动控制的基本概念	201
10.2 自动控制系统的基本特性	207

10.3 自动控制系统的数学模型·····	209
10.4 传递函数与方框图·····	212
10.5 时域分析法·····	220
10.6 状态空间分析法·····	230
习题与思考题·····	239
第 11 章 计算机控制系统 ·····	241
11.1 计算机控制系统的概念·····	241
11.2 计算机控制系统的分类·····	244
11.3 控制算法·····	249
11.4 控制规律·····	256
11.5 数字 PID 控制的工程实现·····	262
习题与思考题·····	263
第 12 章 网络化测控系统与现场总线 ·····	264
12.1 测控网络概述·····	264
12.2 现场总线概述·····	272
习题与思考题·····	278
附录 ·····	279
附录 1 标准正态分布积分表·····	279
附录 2 t 分布积分表·····	280
附录 3 格拉布斯系数 k_g 表·····	281
参考文献 ·····	282

第1章 绪论

1.1 测控技术与测控系统的基本概念

测控技术(Measurement and Control Technology)是指对各种自然界物理量的测量与控制技术,通常把能进行测量、数据处理、输出测试结果和控制的系统称为测控系统。

一方面,人们在认识客观事物的过程中需要了解其信息,而测量就是人们对客观事物或过程取得数量概念的一种认识过程;测量技术就是准确地获取被测事物或过程的数量信息的方法和手段;实现测量的工具或载体称为测量仪器。

另一方面,人们也要采用各种方法支配或约束某一客观事物的进程和结果,这种对客观事物或过程进行支配或约束的操纵过程称为控制;实现这一过程的方法和手段称为控制技术;实现控制的工具或载体称为控制仪器。

测控技术是研究信息的获取、处理、存储、传输,以及对相关要素进行控制的理论与技术,它应用现代物理学、电子信息科学和控制学科的基本理论、方法和实验手段,研究对各种物理量进行检测、计量、监测和控制的基本理论、方法和新技术,探讨新的测量方法,并设计新的测控仪器和系统。

本章将概述测控技术的基本概念,包括测量技术和控制技术的基本概念、测量系统和控制系统的组成、任务和发展趋势等。

1.1.1 测量技术与系统的基本概念

测量是借助于专门的技术和仪器,采用实验的方法取得客观事物数量信息的一种认识过程。

随着测量领域的不断扩大,测量内容也逐渐复杂多样,测量结果的获得不是直接读数就能满足要求的,往往需要将测量信号经过转换、处理,变成易于显示和传输的物理量,甚至还需要对信号进行分析、处理与判断,这样的过程称为检测。因此,检测是指将测量信号经过转换、处理后,变成易于显示和传输的物理量进行显示和输出。

在更复杂的测量任务中,一般的检测方法有时还不能满足要求。测量不单是数值的测量,还结合了试验、判断、推理等功能,这种具有试验性质的测量称为测试。测试是测量和试验的综合,往往需要外加激励信号,把未知的被测参数转化为可以观察的信号,并获取有用的信息。

一般来说,测量技术主要是对与被测量有关的测量原理、测量方法、测量系统和数据处理等四方面进行研究。

1. 测量原理

测量原理是指采用什么原理和依据什么效应去测量被测量,不同性质的被测量用不同的原理去测量,同一性质的被测量也可用不同的原理去测量。由于被测量的种类繁多,性质千差

万别,所以不同的测量原理得到的测量数据可能存在不同的偏差。因此,测量原理非常多。

2. 测量方法

测量方法是指测量原理确定后,用什么方法去测量被测量,或者说获得被测量的方法。常用的方法有直接测量和间接测量。直接测量是指将被测量与标准量直接对比,或经过检测转换后就能得到测量结果的测量方式。而某些物理量不能通过直接测量的方法得到结果,只能借助于与被测量有一定函数关系的其他参量进行测量,通过计算得到所需要的结果,这种测量称为间接测量。

3. 测量系统

在确定了测量原理和测量方法后,就需要设计组成系统。根据系统中被处理信号类型的不同可以分为模拟和数字两种测量系统。模拟测量系统如图 1-1 所示。

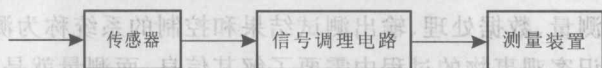


图 1-1 模拟测量系统原理图

在图 1-1 中,传感器在系统中感应到被测量(如位移、压力、温度等),并将其转换成与被测量有一定函数关系的、易于测量的物理量(如电量)。信号调理电路将传感器输入信号进行放大、变换、滤波、解调、线性化等处理后转换成便于传输、显示、记录和输出的信号。测量装置用来显示、记录被测量的大小,输出与被测量有关的控制信号,以供本系统或其他系统使用。

模拟测量系统处理、传输和输入的都是模拟信号。如图 1-2 所示为多路输入数字测量系统,即多参数数字测量系统的原理框图。

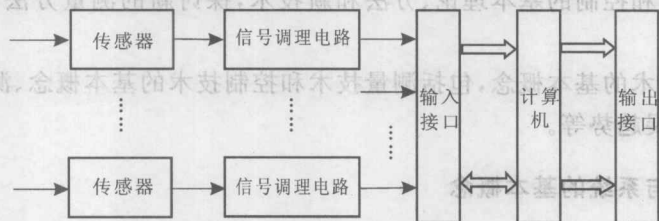


图 1-2 数字测量系统的原理图

在数字测量系统中,传感器和信号调理电路部分与模拟测量系统相同,一般情况下,输入输出信号为模拟信号。输入接口和输出接口之间的信号为数字信号。除此之外,信号调理电路还需要增加两种功能:一是将信号放大,以满足输入接口中,模/数(A/D)转换的输入电平要求;二是进行预滤波,压缩采样信号频带宽度,抑制噪声或干扰,在满足采样定理的条件下降低采样频率,并避免“频谱混叠”现象。

输入接口一般为数据采集电路或采集板,用来将模拟信号转换为数字信号。计算机按设定的程序自动进行信号的采集与存储,数据的运算、分析与处理,并以友好的界面输出、显示测量结果。输出接口主要将信号转换成外设所需的信号供显示、记录或使用。

数字测量系统中传输的信号为数字信号,具有抗干扰能力强,测量速度快,精度高,实现功能多等特点。

测量系统的发展趋势是采用标准化的模块设计,用多路复用技术同时传输测量数据、图像和语音信息,向着多功能、大信息量、高度综合化、智能化和自动化的方向发展。

4. 数据处理

测量中得到的数据必须经过科学的信号处理,才能得到正确的测量结果,实现对被测参数真值的最佳估计。信号处理一般指对信号进行滤波变换、调制/解调、识别、估值等加工处理,以便提取需要的特征,比较全面、准确地获取有用信息。

若信号是数字的,可直接通过计算机进行分析处理;对模拟信号进行分析处理所采用的设备通常有模拟滤波器、频谱分析仪、相关分析仪等,也可以通过 A/D 转换器转换成数字信号,由计算机处理。

随着新的参数测量原理的出现,激光、红外等新型检测元件及大规模集成电路、微型计算机、微米、纳米等新技术的迅速发展,测试技术也在不断完善,目前正朝着高速、实时、遥测、总线、多信息、直接精确地显示被测系统的动态外观和动态特征方向发展。

1.1.2 控制技术与系统的基本概念

随着科学技术的发展,控制技术在促进和发展现代生产力方面起着越来越重要的作用。事实上,在日常的生产实践和生活中的每个方面都会遇到某些采用控制技术的自动控制系统。例如,温度和湿度自动调节系统、产品质量控制系统、自动装配线、数控机床、飞行器和船舶控制、电力系统自动控制、机器人和办公室自动化系统等。

控制一般是指通过采用各种检测、调节仪表、控制装置及计算机等自动化工具,对整个生产过程或被控对象进行自动检测、监督和调节。一个简单的控制系统是由控制对象和检测控制器(包括测量元件、变送器、调节器和调节阀)两部分组成的。如图 1-3 所示为一个基本的带有反馈的控制系统的原理框图。它在简单控制系统的基础上增加了反馈回路,通过测量元件将输出量回送到输入端,用输入与输出的偏差对控制过程进行修正。

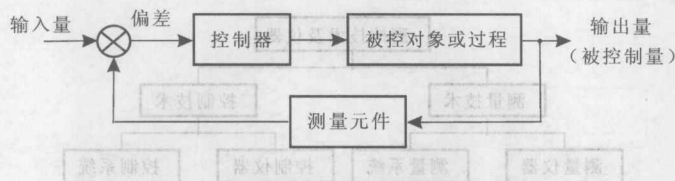


图 1-3 基本的反馈控制系统原理图

在现代生产过程不断发展、控制要求不断提高的新情况下,只用简单控制系统已不能完全解决实际问题,往往需要更高一级的控制结构和控制规律,这极大地促进了现代控制理论的发展,以及其在控制过程中的应用。

近年来,数字控制系统在工业控制中得到了愈来愈多的应用,这一方面是由于计算机技术的迅速发展,另一方面是由于采用数字信号具有许多优越性。数字控制系统是以计算机作为数字控制器,实现对被控对象(或过程)的闭环控制,因此也称为计算机控制系统。

数字控制系统由硬件与软件两部分组成。硬件主要由工作于数字状态下的计算机、工作于连续状态下的被控对象(或过程)、连接这两部分的模拟输入、输出通道及实时时钟所组成,如图 1-4 所示为数字控制系统原理图。

模拟输入通道由采样开关和模/数转换两个环节组成,其功能是把模拟信号转换为计算机能接受的数字信号;模拟输出通道由数/模(D/A)转换和信号保持两个环节组成,其功能是把数字信号转换为对象能接受的模拟信号;实时时钟产生脉冲序列,用作采样时钟。

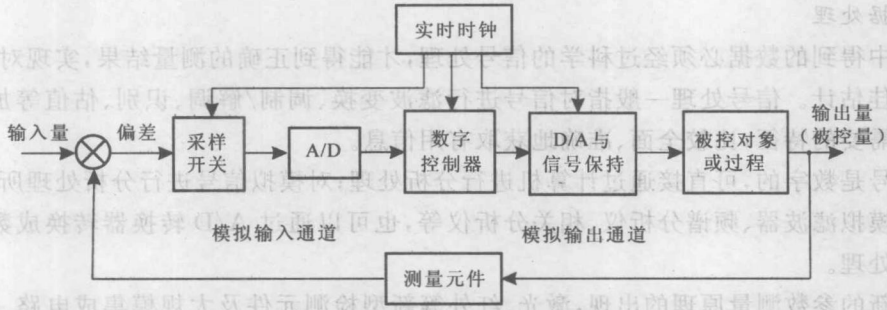


图 1-4 数字控制系统原理图

计算机通过软件实现所设计的控制规律。软件主要由主程序(计算机管理程序)和控制子程序(控制算法程序)两部分组成。

在计算机控制下,每经过一定的时间间隔 T (即采样周期),对模拟偏差信号进行采样,由模拟输入通道转换成数字量送入计算机中,计算机根据这些数字信息按预定的控制规律进行运算后求得控制量输出,由系统输出通道转换成模拟量去控制被控对象或过程,使系统的特性达到预定的指标。

1.1.3 测控技术与系统的基本概念

1. 测控技术的内涵

测控技术包含测量技术、控制技术和实现这些技术的仪器、仪表及系统,是研究信息的获取、处理、存储、传输和控制的理论与技术,其核心是信息、控制与系统,如图 1-5 所示为测控技术及仪器的内涵。

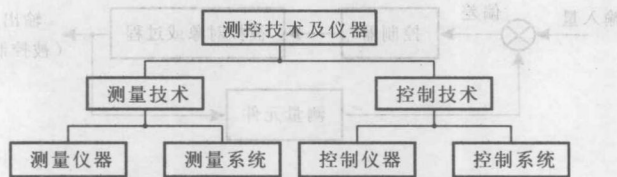


图 1-5 测控技术及仪器的内涵

在测控系统中,测量是控制的基础,因为控制不仅必须以测量的信息为依据,而且为了保证控制的效果,也必须随时测量控制的状态。测控技术的理论研究是通过对信息的获取、监控和处理,以实现操纵机械、控制参数、提高效率、安全防护等目的。

测控技术涉及的内容十分广泛,包括各种电子测量仪器和测量系统,数据采集和处理系统,自动测量系统,生产过程控制系统等,广泛用于科学研究和工业生产等人类活动的各个领域。测控技术涉及电子学、光学、精密机械、计算机、信息技术与控制技术等多个学科,是自动控制技术、计算机科学、微电子学和通信技术的有机结合、综合发展的产物。多学科交叉融合及多系统集成是测控技术的显著特点。信息论、控制论和系统论是测控技术的理论基础,信息技术、控制技术、系统网络技术是测控技术的基本技术。随着电子技术、计算机技术、通信技术和网络技术的发展,测控技术及仪器呈现微型化、集成化、智能化、虚拟化、网络化的发展趋势。

当今世界已进入信息时代,测控技术、计算机技术和通信技术形成信息科学技术的三大支

柱。测控技术是信息科学的重要组成部分,它伴随着信息技术的发展而发展,同时又在信息技术的发展中发挥着不可替代的作用。

2. 测控系统的组成
下面以计算机测控系统为例说明测控系统的组成和任务,它比较集中地体现了测控系统的各项功能。

计算机测控系统由硬件和软件两大部分组成。硬件部分一般由被控对象或生产过程、过程通道、计算机主机及人一机交互设备等组成,如图1-6所示。计算机的主要任务是进行数据采集、数据处理、逻辑判断、控制量计算、越限报警等。同时,计算机还通过接口电路向系统的各个组成部分发出各种控制命令,指挥整个系统协调工作。计算机还可以通过人一机接口为生产管理人员、工程师和操作人员提供所需要的信息。

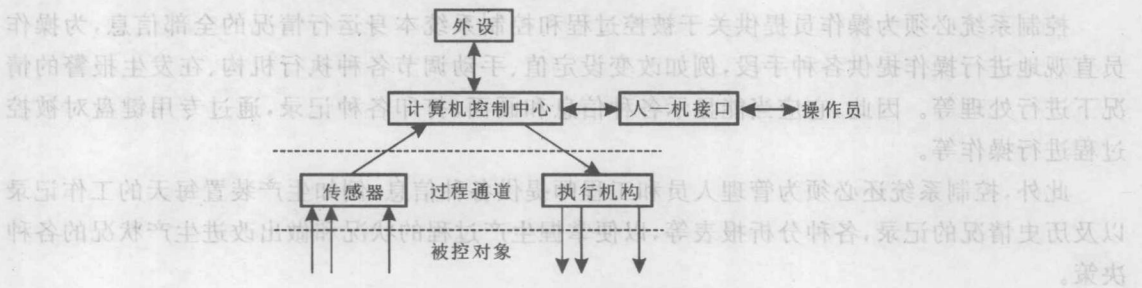


图 1-6 计算机测控系统的硬件组成

过程通道由模拟/数字输入通道、模拟/数字输出通道、传感器、变速器、多路采样器等组成,它们起着信息变换和传递的作用,使计算机和被控对象间能进行信息交换,从而实现对被控对象的控制。

人一机交互设备包括作用开关、操作键盘、显示器、打印机、记录仪等,用来使操作人员能与计算机系统“对话”,使操作人员及时了解生产、加工过程的状态,进行必要的人工干预,修改有关参数或处理紧急事件,打印和记录各种数据、参数和结果。

软件部分可分为系统软件和应用软件。系统软件包括操作系统和支持系统软件,应用软件一般是指由用户根据测控任务自己编制的测控程序、控制算法以及一些服务程序等。在测控系统中,应用程序的优劣对系统调试、运行的可靠性,控制的精度和效率有很大的影响。

测控系统应当完成如下任务。

(1) 测量

在生产过程中,被测参量分为非电量与电量。常见的非电量参数有位移、液位、压力、转速、扭矩、流量、温度等,常见的电量参数有电压、电流、功率、电阻、电容、电感等。非电量参数可以通过各种类型的传感器转换成电量输出。

测量过程通过传感器获取被测物理量的电信号或控制过程的状态信息,通过串行或并行接口接收数字信息。在测量过程中,计算机周期性地对被测信号进行采集,把电信号通过A/D转换成等效的数字量。有时,对输入信号还必须进行线性化处理、平方根处理等信号处理。如果在测量信号上叠加有噪声,还应当通过数字滤波进行平滑处理,以保证信号的正确性。

为了检查生产装置是否处于安全工作状态,对大多数测量值还必须检查是否超过上、下限值,如果超过,则应发出报警信号,超限报警是过程控制计算机的一项重要任务。

对生产装置的控制通常是通过执行机构进行调节、控制来达到目的。计算机可以直接产生信号去驱动执行机构达到所需要的位置,也可通过 A/D 产生一个正比于某设定值的电压或电流去驱动执行机构,执行机构在收到控制信号之后,通常还要反馈一个测量信号给计算机,以便检查控制命令是否已被执行。

(3) 控制 利用计算机控制系统可以方便地实现各种控制方案。在工业过程控制系统中常用的控制方案有三种类型:直接数字控制(DDC)、顺序控制和监督控制(SPC)。大多数生产过程的控制需要其中一种或几种控制方案的组合。

(4) 人一机交互 控制系统必须为操作人员提供关于被控过程和控制系统本身运行情况的全部信息,为操作人员直观地进行操作提供各种手段,例如改变设定值、手动调节各种执行机构、在发生报警的情况下进行处理等。因此,它应当能显示各种信息和画面,打印各种记录,通过专用键盘对被控过程进行操作等。

此外,控制系统还必须为管理人员和工程师提供各种信息,例如生产装置每天的工作记录以及历史情况的记录,各种分析报表等,以便掌握生产过程的情况和做出改进生产状况的各种决策。

(5) 通信 现今的工业过程控制系统一般都采用分组分散式结构,即由多台计算机组成计算机网络,共同完成上述的各种任务。因此,各级计算机之间必须能实时地交换信息。此外,有时生产过程控制系统还需要与其他计算机系统(例如,全单位的综合信息管理系统)之间进行数据通信。

3. 测控系统的分类 按照担负任务的不同,测控系统可分为三大类:

1) 测量系统:单纯以测试或检测为目的的测试仪器和系统,主要实现数据采集与分析处理;

2) 控制系统:单纯以控制为目的的系统,用来控制被控对象达到预期的性能要求;

3) 测控系统:测控一体化的系统,能同时完成测试与控制任务。

按照组成原理,测控系统分为基本型测控系统、集散型测控系统和网络化测控系统。

(1) 基本型测控系统 基本型测控系统是一种单机测试系统,通常用来对多点传感器的信号进行实时快速采集,再送入计算机进行信号分析与处理,最后由显示器显示测量结果或绘制测试数据变化趋势曲线。数据保存在计算机的硬盘中,并可结果打印输出。这种系统主要完成数据采集任务,并可根据系统的控制要求发出控制信号。

(2) 集散型测控系统 早期小型的测控系统大多采用分散型的形式,即测量与控制装置被安置在被控对象附近,由传感器测量被控对象的参数,根据测量值与设定值的误差,按照一定的控制规律去控制执行机构的动作,从而控制被控对象。随着生产规模的增大和复杂程度的增加,分散型测控系统中相互独立的单元之间会产生互相影响和制约,因而要求对测控过程集中管理和控制。

在集中控制的模式中,测控装置仍然被放置在被控对象的附近,各个被控装置或单元通过

通信接口与中央控制器相连,构成集散型测控系统。集散型测控系统由中央控制器发出测量命令,读取数据,进行数据分析,管理控制过程。

(3) 网络化测控系统 在工业、农业、航空、航天、环境监测等领域,随着科学技术的发展,要求测控和处理的信息量越来越大,速度越来越快,测控对象的位置越来越分散,需要测控的单元数越来越多,系统日益复杂,传统的测控系统已远远不能满足现代测控系统的要求。

随着计算机技术和信息技术的发展,出现了计算机控制和通信技术结合的产物——现场总线(fieldbus)。现场总线控制系统既是一个开放通信网络,也是一种全分布控制系统,是一项以智能传感器、控制、计算机、数字通信、网络为主要内容的综合技术。它以单个分散、数字化、智能化的测量和控制设备作为网络节点,用总线连接,实现信息互换,共同完成自动控制功能的网络系统与控制系统,是新一代全数字、全分散和全开放的现场控制系统。人们把基于这项技术的自动化系统称为基于现场总线的控制系统(FCS, Fieldbus Control System)。

随着网络技术的发展,出现了将测控技术、计算机技术与网络技术相结合的网络化测控系统。网络化测控系统将地域分散的基本功能单元(测控仪器、智能传感器、计算机等)通过网络互联起来,构成一个分布式测控系统,实现远程数据采集、测量、监控与故障诊断,通过网络实现数据传输与资源共享,协调工作。这种网络化测控系统将是现代测控技术的发展方向。

4. 测控系统的发展

早期的测控系统主要由测量和控制电路组成,所具备的测控功能较少,测控性能也有限。随着科学技术的不断发展,尤其是微电子技术和计算机技术的飞速发展,测控系统在组成和设计上有了突飞猛进的发展。

20世纪三四十年代,当时的工业生产规模很小,工业产品主要是单机生产,批量也小;测控仪表主要采用基地式仪表,即采用安装在设备上的单体仪表,仪表与仪表之间不能进行信息传输。

20世纪五六十年代,随着社会化工业生产规模的不断扩大,生产设备越来越多,生产结构也越来越复杂,需要掌握的运行参数和信息也越来越多,往往还要求对多点信息同时进行操作与控制。这就对测控系统提出了更高的要求,于是单元组合式仪表与检测装置应运而生。生产过程中的各种参数经分布式传感器转换后输出模拟信号,统一送往中心控制室,再由各类仪表计算、测量并显示,从而实现集中监测、集中操作与控制。

20世纪70年代,生产过程逐步向自动化方向发展,特别是随着计算机的出现,使得工业自动化进入到一个崭新的阶段,出现了以计算机为核心的测控系统。计算机测控系统可以将工业现场的各种物理参数进行采集、传输、集中分析与处理,完成过程控制。

20世纪70年代后,随着微处理器与嵌入式技术的不断发展和应用,测控系统逐步向小型化、智能化、便携式、系统化方向发展,出现了 GPIB 仪器、智能仪器、智能传感器、VXI 仪器等,大大增强了系统的通用性与可扩展性。

上述已经取得的测控技术的发展成果使得传统的测控系统发生了根本性的变化,计算机成为测控系统的主体和核心,形成了新一代的计算机自动测量和控制 CAMAC(Compute Automated Measurement and Control)系统,它是自动控制技术、计算机科学、微电子学和通信技术有机结合、综合发展的产物。

20世纪90年代以后,在北美和欧洲出现了面向工业测试现场的现场总线技术,并得到很

好的应用。这主要因为其本身就是服务于现场的专用总线,能够满足工业现场应用的特殊要求,如总线供电、安全防爆等,并提供有专用的软件开发工具。许多公司都推出了具有现场总线接口的传感器、执行器和各种智能仪表,极大地推动了现场总线控制系统的应用。

20世纪90年代中后期,国内外利用业已成熟的以太网技术,对基于以太网的工业测控系统进行了大量研究和实践,国外对现场级高速以太网的研究大约始于1997年。尽管对以太网测控系统有不同的看法,但一般认为这是一种较好的工业测控技术解决方案,并具有很好的发展前景,是未来现场总线发展的方向。

1.2 测控技术的应用

测控技术是一门应用型技术,广泛应用于工业、农业、交通、航海、航空、军事、电力和民用生活等各个领域。小到普通的生产过程控制,大到庞大的城市交通网络、供电网络、通信网络的控制等都有测控技术的身影。测控技术从最初的控制单个机器、设备,到控制整个过程(如化工过程、制药过程等),乃至控制整个系统(如交通系统、通信系统等)。特别是在现代科技领域的尖端技术中,测控技术起着至关重要的作用,许多重大成果的获得都与测控技术密不可分。在冶金工业、电力工业、煤炭工业、石油工业、化学工业、机械工业、航空、航天、农业、信息工业、医药医疗业、新材料领域等,测控技术都有着重要的应用。

1. 在机械工业中的应用

机械工业是制造机械设备和工具的行业,生产的特点是产品批量大、自动化程度高,主要生产过程包括热加工、冷加工、装配、调校等。生产中的很多参数信息需要通过检测来提供,生产中出现的各种故障要通过检测来发现和防止,没有可靠的检测手段就没有高效率和高质量的产品。目前,精密数控机床、自动生产线、工业机器人已是机械加工、装配的现代化生产模式。

在自动机械加工过程中,要求随时将位移、位置、速度、加速度、力、温度、湿度等各种参数检测出来,以辅助机械实现精确的操作加工。现代机械加工对检测有很高的要求,检测仪表要能自动检测产品质量,检测过程无需人工参与,对检测的质量数据能够自动进行评价、分析,并将结果反馈到加工控制系统。下面以数控机床为例来说明测控技术的应用。

在零件的加工过程中,机床的良好运行状态是保证零件质量的关键因素之一,其监控的状态主要包括环境参数及安全状态、刀库状态、机床振动状态、冷却与润滑系统状态、机床加工精度等。数字控制机床(简称数控机床)是一种装有计算机控制系统的自动化机床,该控制系统能够处理具有控制编码或其他指令规定的程序,从而使机床动作并加工零件。在加工过程中,各种加工操作数据和质量检测信息都送到数控单元进行逻辑判断和控制运算,数控机床的操作全部由数控单元控制。如图1-7所示是数控机床的原理图。



图1-7 数控机床原理图

在实际操作中,数控机床根据对工件的加工要求,事先编制出控制程序,作为系统的输入量送入计算机。与工具架连在一起的传感器,将刀具的位置信息变换为电压信息,再经过模数转换变成数字信号,并作为反馈信号送入计算机。计算机将输入信号与反馈信号比较,得到偏差信号,并根据偏差信号,按照设计的控制规律产生控制信号。控制信号经数模转换将数字信号变成模拟电压信号,经功率放大后驱动电动机,带动刀具按期望的规律运动。系统中的计算机还要完成指定的数学运算等,使系统有更高的工作质量。图1-7中的测速电机反馈支路就是用来改善控制性能的。

与普通机床相比,数控机床有以下特点:加工精度高、加工质量稳定;可进行多坐标的联动,能加工形状复杂的零件;当加工要求改变时,一般只需要更改数控程序,可节省生产准备时间;机床本身的精度高、刚性大,可选择有利的加工用量,生产效率高;机床自动化程度高,可以减轻劳动强度,但数控机床对操作及维修人员的素质及技术要求更高。

随着数控机床技术的发展和功能部件性能的提高,高速、精密、复合、智能将是数控机床技术发展的趋势。

2. 在电力工业中的应用

电力工业是能源转化的工业,它能把一次能源转化成通用性强、效率高的二次能源。无论是火力、水力、原子能、地热、风力还是太阳能,其发电过程都离不开测控技术。

例如,火力发电是利用煤炭、石油、天然气等燃料燃烧产生的热量来加热水,使水变成高温、高压水蒸气,推动发动机转换成电能的。火力发电的主要设备是锅炉、汽轮机、发电机及其他辅助设备。原煤经简单的处理后送入锅炉,燃烧产生的热量使炉膛内的水变成水蒸气,送入汽轮机;汽轮机在蒸汽的压力作用下高速旋转,带动发动机高速旋转,作切割磁力线运动,完成由机械能转化为电能的过程。发电过程的每一个环节都由自动控制系统控制。下面以汽轮机的速度控制为例说明测控系统的作用。

汽轮机是能将蒸汽热能转化为机械功的外燃回转式机械。来自锅炉的蒸汽进入汽轮机后,将蒸汽的热能转化为汽轮机转子旋转的机械能。汽轮机控制的主要任务是保证汽轮机的安全运行,保证汽轮机的转速不变。速度控制系统可根据汽轮机的期望转速与实际转速的差值自动地进行调整。其工作原理是根据期望转速,设置输入量(控制量)。如果实际转速降到希望的转速值以下,则调速器的离心力下降,从而使控制阀上升,进入汽轮机的蒸汽量增加,于是汽轮机的转速随之增加,直至上升到期望的转速值为止。反之,若汽轮机的转速增加到超过期望的转速值,调速器的离心力便会增加,造成控制阀向下移动。这样就减少了进入汽轮机的蒸汽量,蒸汽机的转速也就随之下降,直到下降到期望的转速时为止。

3. 在航空、航天业中的应用

航空、航天技术是近年来发展最迅速,对人类社会影响最大的科学技术领域之一,是衡量一个国家科学技术水平、国防力量和综合实力的重要标志。航空、航天技术是一门高度综合的现代科学技术,其中测控技术起着非常关键的作用。

航空飞行器有气球、飞艇、飞机等。飞机中的航空仪表用来测量、计算飞机的飞行参数,如飞行的高度和速度、飞行的状态和方向、飞机的载荷因数、发动机状态参数、飞机的加速度等,调整飞机的运行状态,对保障飞机的飞行安全、改善飞行性能起着重要的作用。

例如,在飞行器的仪表中,为了将陀螺(或其他测量元件)测得的姿态角数据传递到比较远的地方,如驾驶室的仪表板上,要进行转角的远距离传送。可以利用随动系统来实现上述要

求。该系统的任务就是保持输出轴始终紧紧跟随输入轴的变化。因为输入轴的位置是未知的函数,所以该系统是一个位置随动系统,其系统方框图如图 1-8 所示。



图 1-8 随动系统方框图

在这个位置随动系统中,利用电位器把输入轴和输出轴的转角变成相应的电压,将两电压相减,得到与角度偏差成比例的电压,该电压经放大器放大后加到电动机上,经传动装置使输出电位器移动,改变输出轴的转角,使角度偏差减小。最后,两者取得一致,误差电压为零,电机停止转动,系统进入平衡状态。这样就保证了输出角紧紧跟随输入角的变化。

航天技术(又称空间技术)是指将航天器送入太空,以探索开发和利用太空及地球以外天体的综合性工程技术,其组成主要包括航天运载器技术、航天器技术和航天测控技术。

测控技术是对运载器(如运载火箭)及航天器进行跟踪测量、监视和控制的技术。为了保证火箭的正常飞行和航天器在轨道上的正常工作,除了在火箭和航天器上装有测控设备外,还必须在地面建立测控(通信)系统。地面测控系统由分布在地球各地的测控站及测量船组成。

航天测控系统主要由光学跟踪测量系统、无线电跟踪测量系统、遥测系统、实时数据处理系统、遥控系统、通信系统等组成,它体现了一个国家测控技术的最高水平。

2011年11月3日,我国的“天宫一号”目标飞行器与“神舟八号”宇宙飞船成功进行了我国首次航天器交会对接。为保证对接成功,载人航天工程的很多系统都做了充分准备,尤其是运载火箭系统、测控通信系统进行了多项技术改进。两个航天器在发射、对接的时间和空间上的精确控制也进一步确保了交会对接的顺利完成。

交会对接包括交会和对接两部分。交会是指两个航天器利用测量设备按照预定的时间和位置停靠相会,对接是指两个航天器通过对接机构相互接触并连成一个整体。交会对接大致分为地面导引、自动寻找、最终逼近、对接合拢四个阶段。要实现对接,必须依靠精密的设备。其中,测量设备是航天器之间进行交会靠拢的“眼睛”,一般安装在航天器的“头部”,其测量范围从大到小分别为微波雷达(测量范围的相对距离为 100 km~100 m)、激光雷达(20 km~10 m)、光学成像敏感器(100 m~1 m)、对接敏感器(10 m~0 m),以及卫星导航定位系统。

空间交会对接的难点主要体现在四个方面。难点一,拟对接的两个航天器速度极高,时速达到 2.8×10^4 km,对接时如果控制不好,容易“追尾”。难点二,实现交会时要一边绕地球运行,一边缩短两个航天器的距离。两个航天器在各自绕地球的过程中经过几次调整,才能逐步在轨道上达到同一位置。难点三,两个航天器在对接时还要精确地控制它们的朝向,即姿态控制。对接时两个航天器的对接面中心轴要在同一条对接轴上,如果错位就无法对接了。难点四,须研制出复杂而精巧的对接机构。

如图 1-9 所示为“神舟八号”与“天宫一号”进行自动对接电脑图。

实现“天宫一号”与“神舟八号”在太空交会,精确的测试与定位是关键。为了完成这次任务,测控通信系统进行了大量改进,形成了陆基、海基、天基“三位一体”的测控网,而“天链一号”中继卫星系统中的两颗中继卫星使得我国载人航天测控通信网的覆盖率提升到 70%。