

机电控制系统

李勇 编著



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

机电控制系统

李 勇 编著

上海交通大学出版社

内 容 提 要

本书稿主要内容有机电控制系统概述、电力电子简介、通用变频器原理及功能、现场总线通信、PLC 和变频器的控制系统设计,既可以反映现代工业控制技术,又能满足工科学生的本科教学要求,能使学生学到应用于生产第一线的先进知识,为毕业后进入社会打下扎实的基础。

图书在版编目(CIP)数据

机电控制系统/李勇编著. —上海:上海交通大学出版社,2012

ISBN 978-7-313-07729-5

I. 机... II. 李... III. 机电一体化—控制系统—高等学校—教材 IV. TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 188772 号

机电控制系统

李 勇 编著

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:韩建民

上海交大印务有限公司 印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:15.25 字数:375 千字

2012 年 1 月第 1 版 2012 年 1 月第 1 次印刷

印数:1~2 030

ISBN 978-7-313-07729-5/TH 定价:30.00 元

版权所有 侵权必究

告读者:如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系
联系电话:021-54742979

前 言

“机电控制系统”课程是本人多年来一直在讲授的一门课,这本书是根据自己的教学经验在原先自编教材的基础上修改、整理,并添加了一些内容后完成的。

从名称上看,该课程涉及面非常广泛,如果面面俱到,将所有的科目内容都罗列在内,作为一门课程显然是不恰当的。以现代港口、物流机电设备控制技术为背景,是编写这本教材的基本思路。现代起重设备,如众人熟知的岸边集装箱起重机控制系统中,包含了可编程序控制器、通用变频器、现场总线等现代应用技术。当然这些技术在其他行业同样也得到了日新月异的发展,具有广泛的应用领域。围绕着这些现代技术,分别从理论和应用设计层面进行叙述,强调实用性,是本教材的基本内容。本教材既可以反映现代工业控制技术,又能满足工科学生的本科教学要求,能使学生学到应用于生产第一线的先进知识,为毕业后进入社会打下坚实的基础。

本书共 7 章,内容主要包括:机电控制系统概述,电力电子简介,通用变频器原理及功能,现场总线通信,PLC 和变频器的控制系统设计。

由于编者水平有限,在章节结构和内容上,书中定将存在不少问题和缺点,恳请读者批评指正。

编 者

2011 年 5 月

目 录

第 1 章 机电控制系统与机电控制技术概论	1
1.1 机电控制系统的基本概念及发展概况	1
1.1.1 机电控制系统	1
1.1.2 控制的基本概念	1
1.1.3 机电控制基本理论	2
1.1.4 机电控制系统的发展概况	3
1.2 机电控制系统的一般构成	4
1.2.1 机电控制系统的构成	4
1.2.2 控制装置	4
1.2.3 执行装置	5
1.2.4 传感器	6
1.2.5 机械部分	7
1.3 机电控制系统的基本控制方式	7
1.3.1 开环控制方式	8
1.3.2 按偏差调节的闭环控制方式	9
1.3.3 复合控制方式	10
1.4 机电系统关键技术	10
1.4.1 机械技术与精密机械技术	11
1.4.2 计算机与信息处理技术	11
1.4.3 自动控制技术	11
1.4.4 传感与检测技术	12
1.4.5 执行与驱动技术	12
1.4.6 系统总体技术	12
1.5 岸边集装箱起重机控制系统	13
1.5.1 岸桥的总体结构及其功能	14
1.5.2 岸桥电气控制系统的组成	15
本章习题	18
第 2 章 电力电子器件	19
2.1 电力电子器件简介	20
2.1.1 电力电子器件的发展过程	20
2.1.2 电力电子器件的分类	21

2 机电控制系统

2.2 常用的电力电子器件	24
2.2.1 不可控器件——电力二极管	24
2.2.2 电流半控双极型器件——晶闸管(SCR)	27
2.2.3 电压全控单极型器件——功率场效应晶体管(Power MOSFET)	33
2.2.4 电压全控复合型器件——绝缘栅双极型晶体管 IGBT	35
2.2.5 电压全控混合型器件——智能功率模块 IPM	38
本章习题	41

第3章 通用变频器原理及功能 42

3.1 交—直—交变频调速基本原理	42
3.1.1 异步电动机交流调速方法	42
3.1.2 变频交流调速相关技术	44
3.1.3 交—直—交变频器的基本电路	46
3.1.4 三相电压型逆变器基本工作原理	49
3.1.5 变频器的调压——脉宽调制(PWM)控制技术	52
3.2 不同控制方式的交—直—交变频调速系统	57
3.2.1 恒压频比控制的变压变频调速系统	57
3.2.2 矢量控制的调速系统	60
3.2.3 直接转矩控制的调速系统概述	67
3.3 通用变频器的外部接口电路	70
3.3.1 变频器主电路端子连接	70
3.3.2 变频器控制端子	71
3.4 通用变频器的主要控制功能	73
3.4.1 变频器频率设定功能	73
3.4.2 变频器运转控制功能	76
3.4.3 变频器的升速和启动功能	78
3.4.4 变频器的降速与制动功能	81
3.4.5 通用变频器的 V/f 控制功能	85
3.4.6 通用变频器的矢量控制功能	86
3.4.7 变频器的 PID 控制功能	89
3.4.8 变频器的保护功能	93
本章习题	93

第4章 工业控制现场总线 95

4.1 数据通信基础	95
4.1.1 数字数据传输方式	95
4.1.2 数据串行通信方式	98
4.1.3 OSI 参考模型及网络通信协议	99
4.1.4 通信传输介质	112

4.1.5	网络拓扑结构	115
4.1.6	介质访问控制	117
4.2	工业网络常用标准串行通信接口	119
4.2.1	RS232C 串行通信接口	120
4.2.2	RS422 串行通信接口	122
4.2.3	RS485 串行通信接口	123
4.2.4	USB 总线接口	124
4.2.5	蓝牙技术简介	126
4.3	工业控制现场总线	127
4.3.1	工业自动化的发展及现场总线的产生	127
4.3.2	现场总线技术特点	130
4.3.3	主流现场总线简介	134
	本章习题	137
第 5 章	Modbus 通信协议	139
5.1	Modbus 通信协议概述	139
5.1.1	Modbus 通信协议特点	139
5.1.2	Modbus 的传输网络	140
5.1.3	Modbus 的查询—回应周期	141
5.1.4	Modbus 的两种传输模式	141
5.2	Modbus 消息帧格式(Modbus Message Framing)	143
5.2.1	消息帧包含的信息	143
5.2.2	差错校验方法(奇偶校验、LRC 校验、CRC 校验)	145
5.2.3	消息帧格式	146
	本章习题	151
第 6 章	基于 PLC 的控制系统设计	152
6.1	PLC 控制系统设计原则与步骤	152
6.1.1	PLC 控制系统设计原则	152
6.1.2	PLC 控制系统设计的内容与步骤	153
6.2	PLC 应用系统程序设计	155
6.2.1	PLC 应用系统程序设计过程	156
6.2.2	PLC 应用系统程序设计方法	156
6.3	系统的安全性可靠性设计	164
6.3.1	可靠性概念	164
6.3.2	抗干扰设计	166
6.3.3	环境技术条件设计	169
6.3.4	冗余系统设计	170
6.3.5	供电系统设计	171

4 机电控制系统

6.3.6 安全电路设计 173

6.3.7 系统故障自我诊断 178

6.3.8 PLC 程序可靠性设计 180

本章习题..... 183

第 7 章 PLC 和变频器在起重机控制系统设计中的应用 184

7.1 起重机起升机构组成与控制要求 184

7.1.1 起重机的起升机构和控制结构 184

7.1.2 起重机控制要求 186

7.1.3 起升控制系统的主要器件 187

7.2 起重机控制系统设计—变频器端子控制方式 199

7.2.1 控制系统技术设计 199

7.2.2 控制系统 PLC 控制程序设计 205

7.3 起重机控制系统设计—变频器其他控制方式 220

7.3.1 起重机控制系统设计—变频器模拟量控制方式 220

7.3.2 起重机控制系统设计—USS 通讯控制方式 222

本章习题..... 229

参考文献..... 232

附录..... 233

附录 1 233

附录 2 236

第 1 章 机电控制系统与机电控制技术概论

1.1 机电控制系统的基本概念及发展概况

1.1.1 机电控制系统

机械技术是一门古老的学科,从机械的发展史可见,机械代替人类从事各种有益的工作,弥补了人类体力和能力的不足。特别是作为工业革命象征的蒸汽机的发明,使机械技术得到了快速的发展,为人类社会的进步与发展做出了卓越的贡献。

随着社会的进步,特别是生产工艺的发展,人们对机械系统的要求越来越高,如一些精密机床的加工精度要求达到百分之几毫米,甚至几微米,人们认识到有些问题单从机械角度进行解决越来越难了。20 世纪 60 年代以来,一系列高新技术,如微电子技术、信息技术、自动化技术、生物技术、传感技术、光纤通信技术等,都以空前的速度向前发展。由于新材料、新能源的运用,也使得高新技术逐渐向传统产业渗透,并引起传统产业的深刻变革。

为了实现各种复杂的任务,机械系统已不再是单纯的机械结构了,机械技术更多的是与电子技术、信息技术、自动控制技术等技术结合在一起,组成一个有机体,并逐渐形成以控制技术为支柱的机电系统,即机电控制系统。

1.1.2 控制的基本概念

所谓控制(control),即“为达到某种目的,对某一对象施加所需的操作”,如温度控制、压力控制、人口控制等。

在机电系统中,“控制”更是无处不在,任何技术设备、机器和生产过程都必须按照预定的要求运行。例如,数控机床要加工出高精度的零件,就必须保证其刀架的位置准确地跟随指令进给;发电机要正常供电,就必须维持其输出电压恒定,尽量不受负荷变化和原动机转速波动的影响;热处理炉要提供合格的产品,就必须严格控制炉温等。其中发电机、机床、烘炉就是用于工作的机器设备;电压、刀架位置、炉温是表征这些机器设备工作状态的物理量;而额定电压、进给的指令、规定的炉温,就是对以上物理量在运行过程中的要求。

通常,把这些工作的机器设备称为被控对象或被控量,对于要实现控制的目标量,如电压、刀架位置、炉温等称为控制量,而把所希望的额定电压、规定的炉温、电机的转速等称为目标值或希望值(或参考输入)。因此,控制的基本任务可概括为:使被控对象的控制量等于目标值。

为了实现各种复杂的控制任务,首先要将被控对象和控制装置按照一定的方式连接起来,组成一个有机体,称为机电控制系统。在机电控制系统中,主要采取自动控制技术。所谓自动控制,是指在没有人直接参与的情况下,利用外加的设备或装置(称为控制装置或控制器)操纵被控对象,使机器、设备或生产过程的某个工作状态或参数自动地按照预定的规律运行。

2 机电控制系统

自动控制技术不仅在机电控制领域得到广泛的应用,而且在现代科学技术的许多领域中起着越来越重要的作用。例如,人造卫星准确地进入预定轨道运行并顺利回收;钢铁冶炼炉的温度维持恒定;通信领域的程控交换机对电话进行自动转接和信息交换;火炮的自动瞄准系统将敌方目标自动锁定;汽车的无人驾驶系统等。这一切都是以高水平的自动控制技术为前提。

自动控制是相对人工控制概念而言的,指的是在没人参与的情况下,利用按照控制理论设计出的控制装置,使被控对象或过程自动地按预定的规律运行。

机电控制系统就是应用自动控制工程学的研究成果,把机械作为控制对象,研究怎样通过采用一定的控制方法来适应对象特性变化,从而达到期望的性能指标。

1.1.3 机电控制基本理论

控制在各个领域广泛深入的应用促进了控制理论的产生和发展,并逐渐形成系统的自动控制理论。其发展初期,是以反馈理论为基础的自动调节原理,主要用于工业控制。第二次世界大战期间,为了设计和制造飞机及船用自动驾驶仪、火炮定位系统、雷达跟踪系统以及其他基于反馈原理的军用装备,从而在客观上促进并完善了自动控制理论的发展。20世纪50年代中期,经典控制系统理论已经发展成熟并趋于完备,已形成完整的自动控制理论体系,这就是以传递函数为基础的经典控制理论,它主要研究单输入—单输出、线性定常系统的分析和设计问题,并在不少工程技术领域中得到成功的应用。经典控制系统理论的数学基础是拉普拉斯变换,系统的基本数学模型为传递函数,主要的分析和综合方法是频率响应法。经典频率响应法对于单输入—单输出线性定常系统的分析和综合很有成效。但是,经典线性系统理论也具有明显的局限性,较突出的是难以有效地处理多输入—多输出系统,并且难以揭示系统更深层次的特性。

20世纪60年代初,在蓬勃发展的航天技术的推动下,系统控制理论在1960年前后开始了从经典阶段到现代阶段的过渡,其重要标志之一是卡尔曼(R. E. Kalman)系统地把状态空间法引入到系统与控制理论中来。状态空间法的一个基本特点是,采用状态空间这种内部描述取代先前的传递函数那种外部输入—输出描述,并直接在时间域内对系统进行分析和综合。状态空间法可同时适用于单输入—单输出系统和多输入—多输出系统、线性定常系统和线性时变系统,这大大扩充了其所能处理问题的领域。在状态空间法的基础上,卡尔曼进一步提出了能控性和能观测性这两个表征系统结构特性的重要概念,这是线性系统理论中两个已经被证明为最基本的概念。能控性和能观测性的引入,导致了线性系统的分析和综合在指导原则上的一种根本性的变化,它集中表现为使用系统的“内部研究”代替传统的“外部研究”,并使分析和综合过程建立在严格的理论基础上。建立在状态空间法基础上的线性系统的分析和综合方法,主要研究具有高性能、高精度的多变量、变参数系统的控制问题,采用的方法是以状态方程为基础的时域法,通常称为现代线性系统理论。

但是,经过这两种对应的控制理论的发展和变化,控制理论于20世纪80年代开始走向将古典控制与现代控制相融合的道路,并且在创建包含两种形态的理论体系方面,从本质上实现了重大的规范性(paradigm)的变化。其演变结果,导致近年来创建了作为鲁棒控制理论体系的反馈控制理论。基于上述原理的反馈控制理论,不仅在数学上更为严密,而且还转变成一种适合于应用的理论。当今存在于古典控制与现代控制之间的“篱笆”,也正在逐渐地拆除。

在这种情况下,作为支撑控制工程的两大支柱,古典控制与现代控制这两种控制理论依然

占据着重要位置。特别是在古典控制理论中发展起来的频域设计方法,以及在现代控制理论中引进的适合于设计计算的系统表示方法(状态空间法),都在鲁棒控制理论中原封不动地被继承了下来,其重要性非但没有消失,反而变得比以前更为重要。尤其是近年来在计算机计算能力迅速提高的背景下,以计算机应用为前提的数字控制理论,就变得更加重要了。

目前,现代控制理论还在继续发展,并且已经跨越学科界限,系统与控制理论的其他分支,如最优控制理论、最优估计理论、随机控制理论、非线性系统理论、大系统理论等,都有着不同程度的发展,正在向着以控制论、信息论、仿生学为基础的智能控制理论深入发展。

1.1.4 机电控制系统的发展概况

原始的机械设备由工作机构、传动机构和原动机组成,其控制方式由工作机构和传动机构的机械配合实现。随着机电控制系统的发展,机电控制元件也从最初的继电器—接触器逐渐过渡到可编程序控制器、单片机等智能控制系统,使系统的性能不断提高,使工作机构、传动机构的结构大为简化。机电控制系统的发展从其所用控制器件来看,主要经历了以下几个阶段:

1. 断续控制方式

最早的机电控制系统出现在 20 世纪初,它主要由继电器、接触器、按钮、开关等元器件组成,主要控制对象是三相交流异步电动机,即对电动机的起动、制动、反转、有级调速等进行控制。从控制性质上看,这种控制是断续的,所以这种以继电器—接触器为控制元件的控制方式属于断续控制或开关量控制,其控制速度慢,控制精度也较差,但也有着简单、易掌握、价格低、易维修等优点,因此许多通用机械设备至今仍采用这种控制系统。

2. 连续控制方式

连续控制也经历了直流发电机—电动机调速系统、晶闸管控制和晶体管控制等控制方式。连续控制系统可随时检查控制对象的工作状态,并根据输出量与给定量的偏差对被控对象自动进行调整,它的快速性及控制精度都大大超过了最初的断续控制,并简化了控制系统,减少了电路中的触点,提高了可靠性,使生产效率大为提高,如龙门刨床、轧钢机和造纸机等采用了直流发电机—电动机的连续控制方式。由于晶闸管、晶体管具有控制特性好、反应快、效率高、可靠性高、维护容易等特点,在连续控制方式中得到大量而广泛地应用。

3. 顺序控制方式

所谓顺序控制,就是对机械设备的动作和生产过程按预先规定的逻辑顺序自动进行的一种控制。20 世纪 60 年代末发展起来的顺序控制器(也称程序控制器),具有逻辑运算、顺序操作、程序分支和程序循环等功能。其主要特点是,编制程序和改变程序方便,通用性和灵活性强,原理简单易懂,工作比较稳定可靠,使用维修方便,装置体积小,设计和制造周期短,可用于代替大量继电器。近年来,可编程序控制器(PLC)在工业过程自动化系统中的应用日益广泛。可编程序控制器是以微处理器为核心的数字运算操作的电子系统装置,专门为在工业环境下应用而设计,它采用可编程序的存储器,用以在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时/计数和算术运算等面向用户的操作指令,并通过数字式或模拟式的输入、输出接口,控制各种类型的机械或生产过程。PLC 应用广泛,有广阔的发展前景。

20 世纪 80 年代以来,机电一体化技术(mechatronics)的快速发展,使机电一体化产品(或系统)得以实现、使用和发展。如出现了计算机数控(CNC 控制)、柔性生产系统(FMS)、计算

4 机电控制系统

机集成制造系统(CIMS)、虚拟制造系统(VMS)和现代制造技术和系统,其中柔性生产系统即是由数控机床、工业机器人、自动搬运车等组成的统一由中心计算机控制的机械加工自动线,它是实现自动化车间和自动化工厂的重要组成部分。机械制造自动化的高级阶段是走向设计和制造一体化,即利用计算机辅助设计(CAD)与计算机辅助制造(CAM)形成产品设计与制造过程的完整系统,对产品构思和设计直至装配、试验和质量管理这一全过程实现自动化,以实现制造过程的高效率、高柔性、高质量,实现计算机集成制造系统(CIMS)。

1.2 机电控制系统的一般构成

1.2.1 机电控制系统的构成

机电控制系统的构成可以与人体的构造进行对应,大致可以分为四个组成部分。

1. 控制部分

控制部分相当于人的大脑和神经系统,是机电控制系统的中枢部分,用于对机电系统的控制信息和来自传感器的反馈信息进行运算处理和判断,并向执行部分发出动作指令。

2. 执行部分

执行部分相当于人的手足,将来自控制部分的电信号转换为机械能,以驱动机械部分进行运动。

3. 检测部分

检测部分相当于人的五官,是用于检测系统运动和动作的传感装置,用以实现对输出端的机械运动结果的测量、监控和反馈。

4. 机械部分

机械部分相当于人的骨骼,是能够实现某种运动的机构。

1.2.2 控制装置

控制装置是机电控制系统的中枢部分和控制核心,用以实现对给定控制信息和检测的反馈信息的综合处理,并向执行机构发出命令。

随着微电子和计算机技术的发展,计算机技术在机电控制系统中起着越来越重要的作用。目前机电系统的控制装置广泛采用计算机技术。20世纪70年代以来,单片机(single-chip microcomputer)发展很快,由于单片机优越的控制性能,以及计算机强大的信息处理能力使得控制技术提高到一个新的水平,计算机的引入对控制系统的性能、结构及控制理论都产生了深远的影响。

单片机的种类繁多,常见的有 Intel 公司的 MCS-51 系列、Motorola 公司的 MC68 系列、TI(美国德州)公司的 MSP430 系列、Microchip 公司的 PIC 系列、华邦公司的 W77 和 W78 系列等。作为系统的控制器,单片机将来自各传感器的检测信号与外部输入命令进行集中、存储、分析、转换,并根据信息处理结果,按照一定的程序和节奏发出相应的指令,控制整个系统有目的地运行。由于单片机的结构和指令系统是针对工业控制的要求而设计,使用单片机实现常规的逻辑顺序控制、差补控制,可以简化机械设计,提高控制性能。同模拟控制器相比,单片机能够实现更加复杂的控制理论和算法,并具有更好的柔性和抗干扰能力,实现了机电的有

机结合。

同时单片机的成本低、集成度高,可灵活组成各种智能控制装置,能解决各种复杂的任务,而且单片机从设计制造开始,就考虑了工业控制环境的适应性,因而其抗干扰能力较强,特别适合于在机电控制系统中应用。

现代工业控制中应用较为普遍的可编程序控制器(Programmable Controller, PLC),其核心也是由一个单片机构成,自1969年第一台可编程序控制器面世以来,经过几十年的发展,可编程序控制器已经成为一种最重要、最普及、应用场合最多的工业控制计算机。可编程序控制器已进入过程控制、位置控制等场合的所有控制领域,在这些场合只需可编程序控制器即可构成包括逻辑控制、过程控制、数据采集及控制和图形工作站等经济合算、体积小巧、设计调试方便的综合控制系统。

随着大规模集成电路(LSI)和超大规模集成电路(VLSI)及微处理器等技术的快速发展,先进的数字信号处理(digital signal processing, DSP)技术也逐渐在机电控制系统中得到应用。

控制装置作为机电系统的控制核心,必须具备以下基本条件:

1. 实时的信息转换和控制功能

机电系统的控制部分应能提供各种数据实时采集和控制的功能,即稳定性好、反应速度快。

2. 人机交互功能

一般控制器都具有输入指令、显示工作状态的界面。较复杂的系统还有程序调用、编辑处理等功能,以利于操作者使用接近于自然语言的方式来控制机器,机器的功能也更加完善。

3. 机电部件接口的功能

这些机电部件主要是被控制对象的传感器和执行机构。接口包括机械和电气的物理连接。按信号的性质分为开关量、数字量和模拟量接口;按接口的功能分为主要完成信息联接传递的通信接口和能独立完成部分信息处理的智能接口;按通信方式又可分为串行接口和并行接口等。控制器必须具有足够的接口以满足与被控制机电设备的运动部件、检测部件连接的需要。

4. 对控制软件运行的支持功能

简单的控制器通常采用汇编语言实现控制功能,控制器的微处理器可以采用裸机形式,即全部运行程序均以汇编形式编写固化。对于较复杂的控制要求,需要有监控程序或操作系统支持,以利于完成复杂的控制任务。

1.2.3 执行装置

机电控制系统的执行装置亦称为执行元件,是各类工业机器人、CNC机床、各种自动机械、信息处理计算机外围设备、办公设备、各种光学装置等机电系统或产品必不可少的驱动部件。执行元件是机电控制系统中的能量转换元件,即在控制装置的指令下,将输入的各种形式的能量转换为机械能,并完成所要求的动作,如数控机床的主轴转动、工作台的进给运动,以及工业机器人手臂升降、回转和伸缩运动等都要用到驱动部件。

根据使用能量的不同,可以将执行装置分为电气式、液压式和气动式三大类。

6 机电控制系统

1. 电气式执行装置

电气式执行装置是将电能转变成电磁力,并利用电磁力驱动运行机构运动。常用的电气式执行元件包括控制用电动机(步进电动机、直流和交流伺服电动机)、静电电动机、超声波电动机及电磁铁等。对控制用电动机的性能除了要求稳速运转性能之外,还要求具有良好的加速、减速性能和伺服性能等动态性能,以及频繁使用时的适应性能和便于维修性能。

2. 液压式执行装置

液压式执行装置是先将电能变换为液压能并用电磁阀改变压力油的流向,从而使液压执行元件驱动运行机构运动。液压执行机构的功率—重量比和扭矩—惯量比大,加速性能好,结构紧凑尺寸小,在同样的输出功率下,液压驱动装置具有重量轻、惯量小、快速性好等优点。液压式执行元件主要包括往复运动的油缸、回转油缸、液压马达等,其中油缸占绝大多数。目前,世界上已开发各种数字式液压式执行元件,如电—液伺服马达和电—液步进马达。电—液式马达的最大优点是具有比电动机更大的转矩,可以直接驱动运行机构,过载能力强,适合于重载的高加减速驱动,而且使用方便。

液压系统也有其固有的一些缺点,如液压元件易漏油,会污染环境,也可能引起火灾,液压系统易受环境温度变化的影响。因此对液压系统管道的安装、调整,以及整个油路防止污染及维护等性能都要求较高;另外,液压能源的获得、存储和输送不如电能方便。因此,在中、小规模机电系统中更多地使用电动驱动装置。

3. 气动式执行装置

气动式与液压式的原理相同,只是将介质由油改为气体而已。由于气动控制系统的工作介质是空气,来源方便,不需回气管道,不污染环境,因此在近些年得到大量地应用。气动执行装置的主要特点是动作迅速、反应快、维护简单、成本低,同时由于空气粘度很小,压力损失小,节能高效,适用于远距离输送;工作环境适应性好,特别在易燃、易爆、多尘、强振、辐射等恶劣环境中工作更为安全可靠。但气动式执行装置由于空气可压缩性较大,负载变化时系统的动作稳定性较差,也不易获得较大输出力或力矩,同时需要对气源中的杂质和水分进行处理,排气时噪声较大。

由于现代控制技术、电子、计算机技术与液压、气动技术的结合,使液压、气动控制也在不断发展,并大大提高了其综合技术指标。液压、气动执行装置和电气执行装置一样,根据其各自的特点,在不同的行业和技术领域得到相应的应用。

1.2.4 传感器

传感器是将机电控制系统中被检测对象的状态、性质等信息转换为相应的物理量或者化学量的装置,传感器的作用类似于人的感觉器官,它将被测物理量,如位置、位移、速度、压力、流量、温度等信息进行采集和处理,以供控制系统分析处理之用。如果没有传感器对原始信息进行准确、可靠地捕获和转换,一切准确的测试与过程控制将无法实现。

从信号的获取、变换、加工、传输、显示和控制等方面来看,以电量形式表示的电信号最为方便。对计算机控制系统来说,也就是将待测物理量通过传感器转换成电压或电流信号,传送到控制计算机的输入接口,再由计算机进行分析处理,因此,机电控制系统中的传感器一般将被测信号转换为电信号。传感器的种类繁多,按被测对象的不同可分为位移传感器、位置传感器、速度传感器、力传感器、转矩传感器等。

1.2.5 机械部分

对于绝大多数的机电系统及机电产品来说,机械部分在质量、体积等方面都占绝大部分,因此机械部分是机电系统的基本支撑,它主要包括机械传动部件、机身、框架、连接件等,如原动机、工作机和传动装置一般都采用机械结构。这些机械结构的设计和制造问题都属于机械技术的范畴,机电产品技术性能、水平和功能的提高,要求机械本体在机械结构、材料、加工工艺及几何尺寸等方面适应产品高效、多功能、可靠、节能、小型、轻量、美观等要求,在这方面除了要充分利用传统的机械技术外,还要大力发展精密加工技术、结构优化设计方法等;要研究开发新型复合材料,以便使机械结构减轻质量,缩小体积,以改善在控制方面的快速响应特性;要研究高精度导轨、高精度滚珠丝杠、高精密度的齿轮和轴承,以提高关键零部件的精度和可靠性;并通过使零部件标准化、系列化、模块化来提高其设计、制造和维修的水平。

机械部分中的传动装置,除要求具有较高的定位精度之外,还应具有良好的动态响应特性,即要求响应速度要快、稳定性要好。常用的机械传动部件主要包括齿轮传动、带传动、丝杠传动、挠性传动、间隙传动和支承与轴系等。其主要功能是传递转矩和转速。因此,它实质上是一种转矩、转速转换器,其目的是使执行元件与负载之间在转矩与转速方面得到最佳匹配。

机械传动部件对伺服系统的伺服特性有很大影响,特别是其传动类型、传动方式、传动刚性,以及传动的可靠性对机电一体化系统的精度、稳定性和快速响应性有很大影响。因此,在机电系统设计过程中应选择传动间隙小、精度高、体积小、重量轻、运动平稳、传递转矩大的传动部件,如带传动、蜗轮蜗杆传动及各类齿轮减速器(如谐波齿轮减速器),不但可以改变速度,也可改变转矩。随着机电一体化技术的发展,要求传动机构不断适应新技术的要求,具体内容有以下三个方面:

1. 精密化

对于某种特定的机电一体化产品来说,应根据其性能的要求提出适当的精密度要求,虽然不是越精密越好,但由于要适应产品高定位精度等性能要求,对机械传动机构的精密度要求也越来越高。

2. 高速化

产品工作效率的高低,直接与机械传动部分的运动速度相关,因此,机械传动机构应能适应高速运动的要求。

3. 小型化、轻量化

随着机电一体化系统(或产品)向精密化、高速化方向发展,必然要求其传动机构小型化、轻量化,以提高运动灵敏度(响应性)、减小冲击、降低能耗。为了与电子部件的微型化相适应,也要尽可能做到使机械传动部件短小、轻薄化。

1.3 机电控制系统的基本控制方式

下面以人练习击打高尔夫球的过程来类比分析机电控制系统在工作时的基本控制方式。

人在练习击打高尔夫球时,为了准确、有效地击中高尔夫球且尽可能地靠近目标位置,总是要对目标位置的距离、地势的走向等进行观察,同时还要判断出风向、风力的大小等各种干扰因素,然后决定挥杆的力度和方向并做出相应的挥杆动作。在练习的过程中,根据高尔夫球

的落点来修正挥杆的力度和方向,也就是需要再分析、再判断、再修正,循环往复地进行,直至高尔夫球的落点与预期的目标一致。这一练习过程如图 1.1 所示。

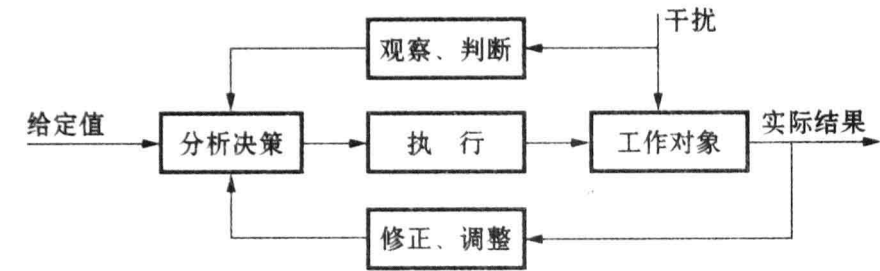


图 1.1 控制过程

机电控制系统的基本任务是,使被控对象的控制量等于目标值。在控制过程中,观察的任务由系统的传感装置来完成,比较分析的任务由系统的控制部分来完成,执行则由各类执行装置来完成,由此得出机电控制系统的控制过程如图 1.2 所示。

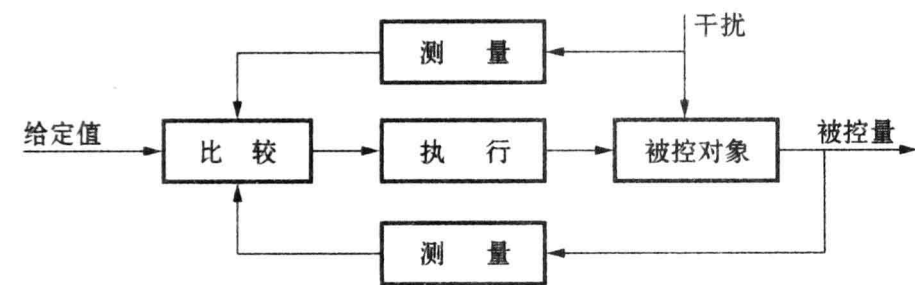


图 1.2 控制过程框图

从图 1.2 所示的机电控制系统的控制过程来看,参与控制的信号来自三条通道,即给定值、干扰量、被控量,这些信号是控制的主要依据。

下面根据不同的信号源来分析自动控制的几种基本控制方式。

1.3.1 开环控制方式

开环控制方式是指控制装置与被控对象之间只有顺向作用而没有反向联系的控制过程,信号由给定值至被控量是单向传递。按这种方式组成的系统称为开环控制系统,其特点是系统的输出量不会对系统的控制作用产生影响。开环控制系统可以按给定值操纵方式组成,也可以按干扰补偿控制方式组成。

1. 按给定值操纵的开环控制

按给定值操纵的开环控制方式,测量的是给定值,需要控制的是被控量,控制装置与被控对象之间的联系如图 1.3 所示。其控制作用直接由系统的输入量产生,给定一个输入量,就有一个输出量与之相对应,控制精度完全取决于所用的元件及校准的精度。

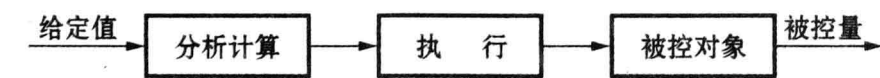


图 1.3 按给定值操纵的系统原理框图

这种开环控制方式的特点是控制较简单、成本低、调整方便,但没有纠偏能力、控制精度难以保证、抗扰动性较差,系统受到外部干扰或工作过程中特性参数发生变化,都会直接波及被控量,使被控量异于给定值,而系统无法自动修正偏差。

在精度要求不高或扰动影响较小的情况下,这种控制方式还有一定的实用价值,特别是如果系统的结构参数稳定,而外部干扰较弱时,常采用此类控制方式,如自动化流水线、自动售货机、自动洗衣机、数控车床及指挥交通的红绿灯转换等。

图 1.4 所示是经济型数控机床上一种常见的步进电动机开环伺服系统。该系统的工作原理是:步进电动机作为伺服系统的驱动元件,其实质是实现数字脉冲到角度位移的变换,它不用位置检测元件实现定位,而是由驱动装置本身实现。外部给定的指令脉冲送入步进电动机,步进电动机转轴转过的角度正比于指令脉冲的个数,运动角速度由送入脉冲的频率决定。很明显,外部输入的指令脉冲即为外部输入的给定值,步进电动机的转动角度和速度均由此给定值决定,因此它是一种按给定值操纵的开环控制系统,其控制精度和动态性能取决于步进控制器和步进电动机,一旦被控量出现差错,系统无法自行纠正。

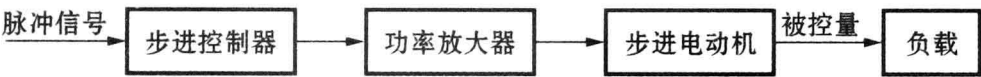


图 1.4 步进电动机开环伺服系统

2. 按干扰补偿的开环控制

按干扰控制的开环控制系统利用可测量的扰动量,产生一种补偿作用,以减小或抵消扰动对输出量的影响,控制的是被控量,测量的是破坏系统正常运行的干扰量,这种控制方式也称顺馈控制或前馈控制,即干扰量经测量、计算、执行至被控对象,信号也是单向传递的,控制装置与被控对象之间的结构联系如图 1.5 所示。

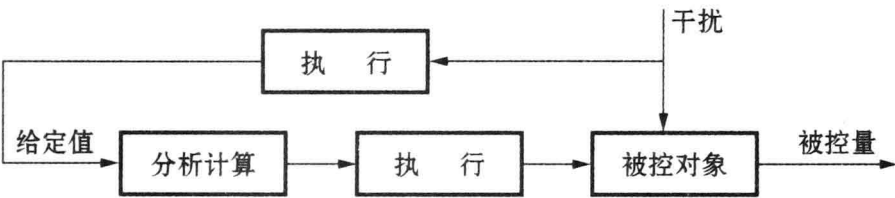


图 1.5 按干扰补偿的系统原理框图

这种控制方式因为是测量干扰,所以只能对可测干扰进行补偿,而对于不可测干扰及系统内部参数的变化对被控量造成的影响,系统自身无法控制。因此控制精度仍然受到原理上的限制。

例如,在一般的直流电机转速控制系统中,转速常随负载的增加而下降,且其转速的下降与电枢电流的变化有一定的关系。如果设法将负载引起的电流变化测量出来,并按其大小产生一个附加的控制作用,用以补偿由它引起的转速下降,就可以构成按干扰补偿控制的开环控制系统。这种按干扰补偿控制的开环控制方式是直接从扰动取得信息,并以此来改变被控量,其抗扰动性好,控制精度也较高,但它只适用于扰动可测量的场合,而且需对不同的干扰进行检测补偿。

1.3.2 按偏差调节的闭环控制方式

按偏差调节的闭环控制方式,是应用最为广泛的一种控制系统。在反馈控制系统中,需要控制的是被控量,而测量的是被控量对给定值的偏差。系统根据偏差进行控制,只要被控量偏离给定值,系统就会自行纠偏,不断修正被控量的偏差,故称这种控制方式为按偏差调节的闭环控制。从而实现对被控对象进行控制的任务,这就是反馈控制的原理。控制装置与被控对