

# 机电控制工程基础

主 编 杨新春  
副 主 编 潘理平 李金热  
参编人员 杨海波 甄久军  
王 红 金永奎

东南大学出版社  
·南京·

## 内 容 提 要

本书内容丰富,将课程内容的组织与实际技能的训练有机融合在一起,与工程实际结合紧密,由机电控制系统概述, MATLAB 与机电控制系统仿真基础,控制系统的数学模型,机电控制系统的时域性能指标,机电控制系统的设计与综合校正,机电控制系统的分析、调试与故障的排除,典型机电控制系统,机电控制系统中常用 PLC 的原理及应用,机电控制系统中常用单片机的原理及应用九个部分组成。本书可以作为高职高专和实践型本科的机电类专业教材,也可以作为相关专业技术人员的参考资料。

### 图书在版编目(CIP)数据

机电控制工程基础/杨新春主编. —南京:东南大学出版社,2010.1

ISBN 978-7-5641-2051-1

I. 机… II. 杨… 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(2010)第 016098 号

### 机电控制工程基础

---

出版发行 东南大学出版社  
出版人 江汉  
社 址 南京市四牌楼 2 号(邮编:210096)  
电 话 025-83793191(发行) 025-57711295(传真)  
网 址 <http://press.seu.edu.cn>  
印 刷 南京玉河印刷厂  
制 版 南京理工大学资产经营有限公司  
开 本 787mm×1092mm 1/16  
印 张 13.75  
字 数 335 千  
版 次 2010 年 1 月第 1 版 2010 年 1 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978-7-5641-2051-1  
定 价 29.90 元

---

(本社图书若有印装质量问题,请直接与读者服务部联系。电话(传真):025-83792328)

# 前 言

本书是根据高职高专人才培养目标的基本要求及课程的教学大纲组织编写的,可以满足教学计划 65 学时以内的教学要求。编写总原则是:从高职高专教育培养应用型人才的总目标出发,遵循“以应用为目的、以必需、够用为度”,适应机电一体化专业群方向的教学,以能力为中心进行了重新整合,较多地删节了理论性阐述及重复内容;遵循以“掌握概念、强化应用、培养技能”为重点,与工程实际紧密结合,将课程内容的组织与实际技能的训练有机融合在一起,培养学生建立工程概念、掌握机电控制技术的基本知识及分析工程问题的基本方法,为学习后续机电一体化专业群方向课程和今后从事相关岗位的技术工作奠定必要的基础。

参加本书编写人员有南京工业职业技术学院杨新春、李金热、杨海波、甄久军,南京机电职业技术学院潘理平,南京世维自动控制工程有限公司王红,农业部南京农业机械化研究所金永奎等。具体为:第 1 章、第 2 章、第 4 章(李金热和杨新春),第 3 章、第 5 章、第 6 章(杨海波和潘理平),第 7 章(甄久军和金永奎),第 8 章、第 9 章(甄久军和王红),夏燕兰副教授任主审。

在本书编写过程中,得到南京工业职业技术学院滕宏春教授、郑晨升教授、丁加军副教授的大力帮助和友情支持。同时参考了大量资料和文献,在此对提供帮助的各位和原作者一并表示诚挚的谢意!

由于编写时间过于仓促,加上编者水平所限,书中难免存在缺点及不当之处,敬请使用者批评指正。

编 者  
2009 年 12 月

# 目 录

<b>第 1 章 机电控制系统概述</b> .....	1
1.1 机电控制系统的基本概念 .....	1
1.2 机电控制系统的分类 .....	2
1.3 机电控制系统的组成及功能 .....	5
1.4 机电控制系统的性能要求和指标.....	12
<b>第 2 章 MATLAB 与机电控制系统仿真基础</b> .....	16
2.1 MATLAB 基础知识 .....	16
2.2 仿真集成环境 Simulink .....	31
2.3 计算机仿真基础.....	49
<b>第 3 章 控制系统的数学模型</b> .....	57
3.1 引言.....	57
3.2 系统微分方程的建立.....	57
3.3 非线性数学模型线性化.....	62
3.4 线性系统的传递函数.....	63
3.5 典型环节及其传递函数.....	67
3.6 系统的动态结构图.....	69
3.7 数学模型的 MATLAB 描述.....	74
3.8 控制系统建模.....	77
<b>第 4 章 机电控制系统的时域性能指标</b> .....	79
4.1 典型输入信号.....	79
4.2 控制系统的稳定性.....	81
4.3 控制系统的稳态误差.....	88
4.4 瞬态响应.....	94
<b>第 5 章 机电控制系统的设计与综合校正</b> .....	102
5.1 机电控制系统的设计 .....	102
5.2 常用的 PID 调节器 .....	103
5.3 改善机电控制系统性能的途径 .....	109

<b>第 6 章 自动控制系统的分析、调试与故障的排除</b> .....	117
6.1 自动控制系统的分析步骤 .....	117
6.2 自动控制系统的调试方法 .....	120
6.3 自动控制系统的维护、使用和故障的排除 .....	124
<b>第 7 章 典型机电控制系统</b> .....	129
7.1 定长剪切控制系统 .....	129
7.2 交流伺服控制 .....	142
<b>第 8 章 机电控制系统中常用 PLC 的原理及应用</b> .....	161
8.1 PLC 概述 .....	161
8.2 PLC 的组成与工作原理 .....	164
8.3 PLC 的指令系统 .....	168
8.4 PLC 控制系统的设计与应用 .....	193
<b>第 9 章 机电控制系统中常用单片机的原理及应用</b> .....	201
9.1 概述 .....	201
9.2 MCS-51 单片微机的硬件结构 .....	202
9.3 定时/计数器和中断系统 .....	207
9.4 单片机应用举例 .....	209

# 第 1 章 机电控制系统概述

## 1.1 机电控制系统的基本概念

当今的机电控制技术是微电子、电力电子、计算机、信息处理、通信、检测、过程控制、伺服传动、精密机械及自动控制等多种技术相互交叉、相互渗透、有机结合而成的一种综合性技术。

机电系统的核心是控制,因此,常将机电系统称为机电控制系统。机电系统强调机械技术与电子技术的有机结合,强调系统各个环节之间的协调与匹配,以便达到系统整体最佳的目标。

就机电控制技术所应用的制造工业而言,已由最初的离散型制造工业,拓宽到连续型流程工业和混合型制造工业。应用机电控制技术就会开发出各式各样的机电系统,机电系统遍及各个领域。

### 1.1.1 控制的基本概念

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、人口控制、压力控制等。

系统,是由相互制约的各个部分组成的具有一定功能的整体。

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。

### 1.1.2 机电控制系统

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。

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。

显然,自动控制是以一般系统为对象,广泛地使用控制方法进行控制系统的理论设计;而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。

## 1.2 机电控制系统的分类

根据不同的划分依据,控制系统有不同的分类。

### 1.2.1 按信号流分类

#### 1) 开环控制系统

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的。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。

例如图 1-1 所示的由步进电动机驱动的数控加工机床,是一个没有反向联系的开环控制系统。

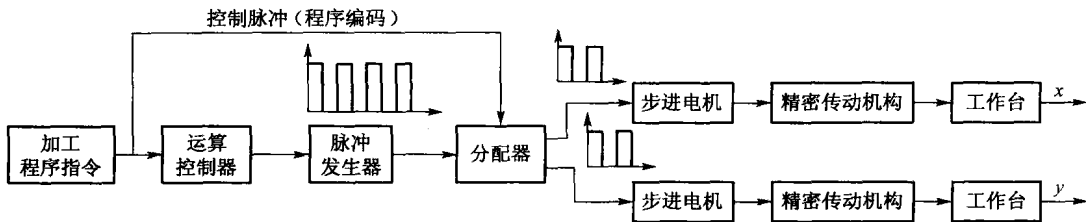


图 1-1 数控加工机床示意图

它由预先设定的加工程序指令,通过运算控制器(可为微机或单片机),去控制脉冲的产生和分配,发出相应的脉冲,由它(通常还要经过功率放大)驱动步进电机,通过精密传动机构,再带动工作台(或刀具)进行加工。

图 1-2 为数控加工机床开环控制图。此系统的输入量为加工指令,输出量为机床工作台的位置,系统的控制对象为工作台,执行机构为步进电机和传动机构。由图可见,系统无反馈环节,输出量并不返回来影响控制部分,因此是开环控制。

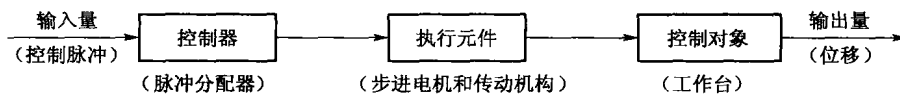


图 1-2 数控加工机床开环控制图

开环控制方式的特点是控制较简单、没有纠偏能力、控制精度难以保证、抗扰动性较差。因为无论系统是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。但由于其结构简单、调整方便、成本低,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。

## 2) 闭环控制系统

闭环控制系统,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。控制装置与被控对象之间的联系如图 1-3 所示。

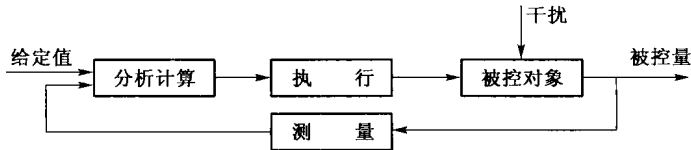


图 1-3 闭环控制系统的原理框图

由于被控量要返回来与给定值进行比较,所以控制信号必须沿前向通道和反馈通道往复循环地进行闭路传送,形成闭合回路,故称之为闭环控制或反馈控制。反馈回来的信号与给定值相减(相加),即根据偏差进行控制,称为负(正)反馈。

反馈控制就是采用负反馈并利用偏差进行控制的过程,其特点是不论什么原因使被控量偏离期望值而出现偏差时,必定会产生一个相应的控制作用去减小或消除这个偏差,逐渐使被控量与期望值趋于一致。

为了完成自动控制的任务,按偏差调节的闭环控制按负反馈原理组成,所以负反馈闭合回路是按偏差调节的自动控制系统在结构联系和信号传递上的重要标志。这种控制方式的控制精度较高,因为无论是干扰的作用,还是系统结构参数的变化,只要被控量偏离给定值,系统就会自行纠偏。可以说,按反馈控制方式组成的反馈控制系统,具有抑制任何内、外扰动对被控量产生影响的能力,具有较高的控制精度。但这种系统使用的元器件多,线路复杂,特别是系统的性能分析和设计较麻烦,如果参数匹配不好,会造成被控量有较大的摆动,系统甚至无法正常工作。尽管如此,闭环控制仍是机电控制系统中一种重要的基本控制方式,在工程中获得了广泛的应用。

下面以电炉箱恒温控制系统为例进行分析,以便加深对闭环控制方式的认识。

电炉箱恒温控制系统如图 1-4 所示。

系统工作原理:如果要消除或减少扰动的的影响,实现无论是否出现扰动,都能使炉温保持恒定的目标,常采用如图 1-4 所示系统。图中热电偶将检测到的温度信号  $T$  转变成电压信号  $U_{FT}$  并以负反馈形式返回输入端与给定信号  $U_{sT}$  相比较,得到偏差电压  $\Delta U$ ,此偏差电压  $\Delta U$  经过电压、功率放大后,改变电动机的转速和方向,并通过减速器带动调压器,实现对炉温的闭环控制。输出量直接(或间接)地反馈到输入端形成闭环,使输出量参与系统的控制,



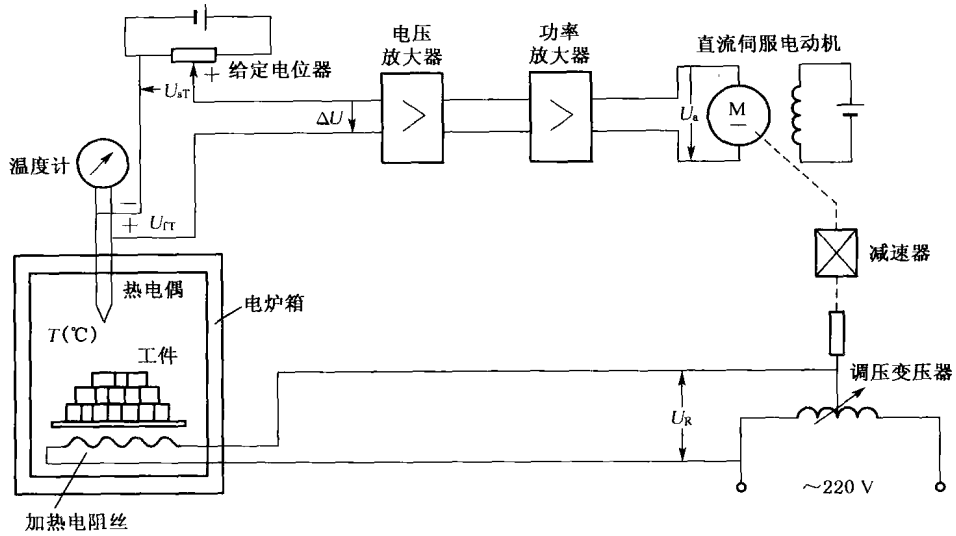


图 1-4 电炉箱恒温控制系统

这样的系统称为反馈控制系统,又称为闭环控制系统。在这里,控制装置和被控对象不仅有顺向作用,而且输出端和输入端之间存在反馈关系。图 1-5 表示控制系统组成框图。

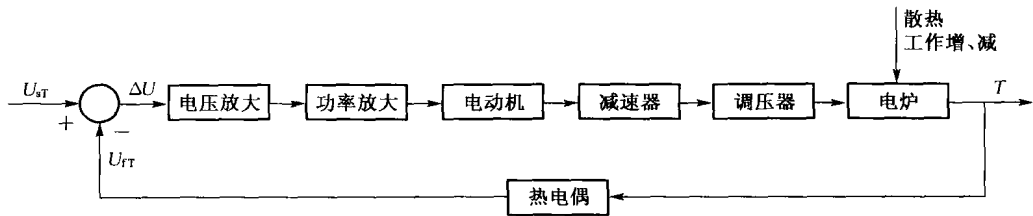


图 1-5 电炉箱控制系统框图

电炉箱温度降低,热电偶测得的电压  $U_{FT}$  降低,  $U_{FT} < U_{ST}$ , 偏差电压  $\Delta U = (U_{ST} - U_{FT}) > 0$ , 直流伺服电机两端的电压升高,且为正电压,电机正转,使得调压变压器的输出电压  $U_R$  升高,电阻丝功率增大,电炉箱温度上升,直至达到设定温度。

电炉箱温度升高,热电偶测得的电压  $U_{FT}$  升高,  $U_{FT} > U_{ST}$ , 偏差电压  $\Delta U = (U_{ST} - U_{FT}) < 0$ , 直流伺服电机两端的电压降低,且为负电压,电机反转,使得调压变压器的输出电压  $U_R$  降低,电阻丝功率减小,电炉箱温度下降,直至达到设定温度。

其自动调节过程如图 1-6 所示。

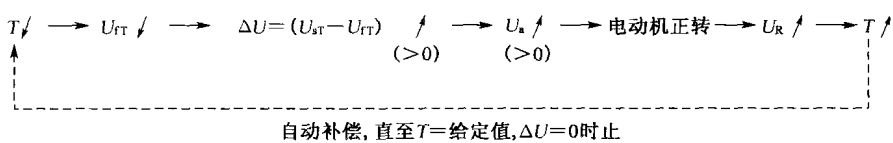


图 1-6 炉温自动调节过程

### 1.2.2 按输出量分类

#### 1) 恒值控制系统

系统的输入量与输出量在控制过程中不调节变化,系统在外界干扰时输出基本保持恒定值。工业生产中有很多系统的控制量和被控量一旦调整后就不再改变,如温度、压力、流量、液面等,这就是恒值控制系统。这种系统不能抵抗大的干扰。

#### 2) 随动控制系统

系统的输入量的变化规律不能预先确定,但要求系统的输出跟随输入的变化而变化,排除干扰,准确地复现控制信号的变化,如导弹跟踪系统、电液伺服马达、液压仿形机床等。

#### 3) 程序控制系统

控制系统中的输入装置将指令转化为控制信号,被控对象按控制信号运动,系统输出能保持很高的精度,如计算机绘图仪、针式打字机、数控机床等。

### 1.2.3 按系统特性分类

#### 1) 线性定常系统

系统的数学模型是线性常系数微分方程,系统的输入与输出都有确定的变化规律。

#### 2) 非线性系统

系统的数学模型是非线性方程,系统的输出可能是确定的,也可能是不确定的变化规律。非线性系统是比较复杂的系统,很多问题目前还不能求解。为了能获得问题的解答,常常对那些非线性不太强的问题进行线性化近似。

### 1.2.4 按控制模式分类

#### 1) 连续控制系统

连续控制系统又称为模拟系统,系统中各部分传递的信号是时间的连续函数。

#### 2) 数字控制系统

数字控制系统又称为离散系统,系统中各部分传递的信号是数字脉冲信号,数字控制系统是由计算机实现的。

## 1.3 机电控制系统的组成及功能

### 1.3.1 控制系统的组成和基本环节

为了表明自动控制系统的组成和信号的传递情况,通常把系统各个环节用框图表示,并用箭头标明各作用量的传递情况。框图可以把系统的组成简单明了地表达出来,而不必画出具体线路。图 1-7 便是图 1-4 所示系统的框图。

现以图 1-4 和图 1-5 所示的电炉箱恒温控制系统来说明自动控制系统的组成。

由图 1-7 可以看出,一般自控系统都由如下基本环节组成:

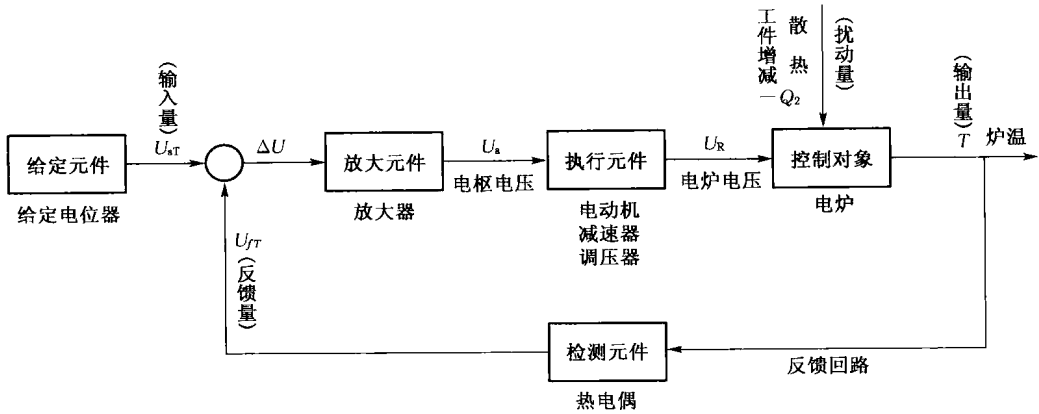


图 1-7 自动控制系统的框图

1) 被控对象

被控对象指自控系统需要进行控制的机器设备或生产过程。被控对象内要求实现自动控制的物理量称为被控量或系统的输出量。如前面所述转速控制系统中的电动机即为被控对象,电动机的转速即为系统的输出量。闭环控制系统的任务就是控制系统的输出量的变化规律以满足生产实际的要求。

2) 给定环节

给定环节是设定被控制量的参考输入或给定值的环节,可以是电位器等模拟装置,也可以是计算机等高精度数字给定装置。

3) 检测装置

检测装置又称传感器,用于检测受控对象的输出量并将其转换为与给定量相同的物理量。例如用测速发电机回路检测电动机的转速并将其转换为相应的电信号作为反馈量送到控制器。检测装置的精度直接影响控制系统的控制精度,它是构成自动控制系统的关键元件。

4) 比较环节

将所检测到的被控量的反馈量与给定值进行代数运算,从而确定偏差信号,起信号的综合作用。

5) 放大环节

将微弱的偏差信号进行电压放大和功率放大。

6) 执行机构

根据放大后的偏差信号直接对被控对象执行控制作用,使被控量达到所要求的数值。

7) 校正环节

参数或结构便于调整的附加装置,用以改善系统的性能,有串联校正和并联校正等形式。

上述各环节构成图 1-7 的典型闭环控制系统,它们各司其职,共同完成闭环控制任务。各环节信号传递是有方向的,总是前一环节影响后一环节。

在闭环控制系统中,系统输出量的反馈称为主反馈。为改善系统中某些环节的特性而

在部分环节之间附加的中间量的反馈称为局部反馈。

### 1.3.2 机电控制系统的组成及功能

机电控制系统存在于各个领域,可以说是无处不在,而且种类繁多、千差万别,但归纳起来,它们都是由五大要素组成的,即由机械部分、控制装置、动力装置、传感检测部分和执行装置组成。

#### 1) 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、具有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3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化要求,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化要求也越来越高。

(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。

#### 2) 控制装置

机电控制系统的核心是控制,机电控制系统的各个部分必须以控制论为指导,由控制器(即计算机)实现协调与匹配,使整体处于最优工况,实现相应的功能。目前机电系统中控制

部分的成本已占总成本的 50% 或超过 50%。

目前,几乎所有的控制器都是由具有微处理器的计算机、输入/输出接口、通信接口及周边装置等组成。归纳起来,主要有以下几种模式。

(1) 专用单片机

为了实现控制器与其他要素之间的协调与匹配,机电控制系统中的单片机通常是针对系统专门研制的,如变频调速用单片机 80C196MC,与 MCS-96 相比较,80C196MC 中增加了波形生成器和信号处理阵列。波形生成器具有正弦脉冲宽度调制 (SPWM) 的功能。采用这种专用单片机,片外只需要连接光电耦合器和功率驱动模块,就可构成 SPWM 变频调速系统,从而使机电系统的软、硬件大为简化。

(2) 嵌入式控制器

嵌入式控制器的特点在于其独特的层叠栈接结构,该结构无需底板和机箱,可直接叠装。以 PC/104 系列为例,某公司 PCM 系列模板 90 mm×96 mm。用于机动抗争系统的模板有 PCM-10410 高速数据采集板、PCM-10411 模拟量/数字量转换板、PCM-10416 数字量/模拟量转换板等。

(3) 智能 I/O 模块

(4) 可编程控制器 (PLC)

(5) 可编程计算机控制器 (Programmable Computer Controller, PCC)

(6) 可编程多轴控制器 (Programmable Multi-Axis Controller, PMAC)

对于数控机床一类的机电控制系统,经过多年的实践,人们逐渐认识到各种专用 CNC 系统之间的自成一体所带来的互不兼容的弊病,迫切需求具有配置灵活、功能扩展简便、基于统一的规范和易于实现统一管理开放式系统。

美国 Delta Tau 数字系统公司推出的 PMAC 可编程多轴控制器(也称为 PMAC 运动控制器)就是一种优秀的开放式数控系统。PMAC 基于 Motorola DSP 56002 的运动控制卡,具有以下特点:

① 每个卡可控制 8 个伺服轴。

② 20/40/60/80 MHz 数字信号处理器。

③ 单轴伺服更新时间为 55  $\mu$ s。

④ 18 位 DAC 输出分辨率。

⑤ 具有多种轨迹插补模式。轨迹算法具有强大的功能和灵活性,用户可以进行高级别的控制。轨迹生成有直线 (LINE)、圆弧 (ARC)、样条 (SPLINE) 及位置速度时间 (PVT) 等模式。

⑥ 多种类型的位置反馈装置,如增量编码器,绝对编码器,旋转变压器,直线电压位移传感器,激光干涉仪和磁致伸缩位移传感器等。编码器反馈频率为 10/15 MHz。

⑦ 可控制多种类型的电动机,如直流电动机(包括有刷和无刷)、交流电动机和步进电动机等。

⑧ 链接可达 16 块板 (128 轴)。

⑨ 提供多种伺服算法。常规 PID,阶式滤波器 (5~500 Hz),双重反馈 (电动机编码器和负载编码器),速度、加速度前馈,可选的 7 阶极点配置伺服,35 个可自动调整项。还允许嵌入用户设计的伺服算法。

⑩ 编程语言。优越的高级运动控制编程语言,可进行在线系统控制、程序缓冲存储、标志、伺服参数初始化和诊断。卡内可以同时容纳 256 个运动程序和 32 个内装软 PLC 程序。使用类似 BASIC 的程序。还为 CNC 机床提供 RS274(G-代码)。

⑪ 通信。RS232/422, PC、VME、STD32、PCI 及 PCI04 总线,双口 RAM 方式,采用双口 RAM 方式可使 PMAC 与 IPC 进行高速通信。

⑫ 安全性。

A. 越程极限。硬件具有光电隔离的带上拉电阻的专用限位开关输入。也可在程序中设置软限位,越程时可以触发程序进行减速。

B. 速度和加速度极限。当进行复合运动时,PMAC 运动控制器将每个轴与用户定义的极限值相比较,如果命令值超过了程序的设定值,整个坐标系的运动将会减速,或者加速度值将被减小以保持在极限以内。

C. 跟踪误差极限。其一是致命极限:如果实际位置对命令位置的滞后超出预设值,就按照程序设定关断出电动机或其他电动机。这种情况发生在位置反馈消失或者电动机发生故障时刻。其二是警告极限:PMAC 运动控制器和主机(或二者)发送一条消息,警告发生了一个非致命跟踪误差。

D. 伺服输出极限。可以为电流环放大器的力矩和速度环放大器的速度设定一个极限使伺服输出值在放大器的允许范围以内。

E. 计时器极限。在板的“看门狗”计时器,可以提供对来自 PMAC 板本身的故障进行反应的功能,通常是关断 PMAC 板。供电电压不足,就可触发这种关断。

#### (7) 数字调节器、智能调节器、可编程调节器

数字调节器是内部含有微处理器的微机化控制仪表,人们常将微机化控制仪表称为数字调节器。数字调节器是针对过程控制提出来的,主要用于温度、压力、液位、流量及成分等过程控制系统。目前,国外、国内各个公司生产的数字调节器大都具有某种智能控制算法,如模糊控制、专家控制及神经网络控制等,人们将这种数字调节器称为智能调节器。

有些智能调节器具有可编程序的功能,用户利用厂家提供的控制软件包可以实现各种控制功能和控制策略。以日本山武·霍尼韦尔公司的 SDC 系列智能调节器为例,该调节器具有神经网络控制、模糊控制及智能整定等先进控制策略,具有四则运算、超前、滞后、前馈、串级、逻辑等八十余种运算模块,用户进行控制方案组态时,只需在计算机显示器屏幕上将所需的运算模块用线条连接起来,即可轻松地完成调节器的编程。组态后的控制方案在与现场设备连接前可进行仿真实验,以验证控制方案的正确性。

可编程控制器是针对离散型制造工业提出来的,智能调节器是针对连续型流程工业提出来的,对于大量存在的混合型工业,其中既有运动控制又有过程控制。为了满足混合型工业的需要,可编程控制器和智能调节器都在向对方靠拢,如可编程控制器中增加了温度控制模块、PID 控制模块;智能调节器中增加了顺序控制功能。

#### (8) 新型结构体系工业控制计算机

工业控制计算机(IPC)是脱胎于 IBMPC 而发展起来的用于工业领域的 PC。需要指出的是,目前市场上销售的 IPC 实际上是加固型 PC,它取消了原 PC 中的大母板,采用 PC 插件,开发了各种工业 I/O 板卡,采用工业电源,机箱密封并加正压送风散热。

IPC 的特点是具有丰富的通用板卡和专业板卡,以研华公司的系列板卡为例,包括开关

量输入/输出板、脉冲量接口板、模拟量输入/输出板、信号调理板、多功能 I/O 板、通信板、网络板、3 轴步进电动机控制板、3 轴伺服电动机控制板及 3 轴编码计数板等 88 种板卡,能满足各种控制任务,IPC 还具有多种工业控制组态软件包,故可快速完成系统集成。

但是,一般的 IPC 是加固型 PC,尽管有丰富的板卡,但采用一台 IPC 既显示工艺流程画面又进行 I/O 循环(在线控制),属于集中控制,存在以下问题:

### ① 实时性

在许多情况下,现场测控循环周期有很严格的限制,否则会丢失采集数据或现场出现失控。因此 CPU 时间需尽可能分配在 I/O 循环上。

在集中控制方式下,实时显示将严重地与 I/O 循环争用 CPU。要想使显示画面完美又逼真,把 CPU 时间全部分配在显示上,有时也倍感困难。

### ② 可靠性

在集中控制方式下,I/O 循环、实时显示、系统操作、打印、管理等诸多功能均由单一 CPU 完成,不仅 CPU 负载过重,更重要的是,软件实现困难,且隐患难以完全排除。特别是在 Windows 环境下运行各种组态软件时,在运行失控的情况下(如电源掉电、死机等),难以通过硬件自动复位来恢复到失控前的状态。现场的条件往往是非常恶劣的,没有硬件自动复位的系统是非常危险的。另一方面,在集中控制方式下,系统操作、打印、管理都有可能对 I/O 循环带来意想不到的干扰。一旦出现故障,整个系统将会完全瘫痪。

为了解决上述矛盾,一些公司推出了新型 IPC,以 CONTEC 公司的 IPC—90 为例,其主要特点是“Windows 监视画面与实时性相结合”。

为了利用 Windows 的友好人机界面,同时又改善实时性,IPC—90 采用了多处理器并行结构,挂接在 PC 总线上。主处理器运行 Windows 系统,用于给出人机操作界面,由多个从处理器分别执行实时数据采集、顺序控制功能。IPC—90 可支持 6 个从处理器并行工作,从而极大地提高了整机的实时性。

### (9) EIC(Electrical Instrumentation Computer)电控、仪控、计算机

EIC 常被称为电控、仪控、计算机一体化,也有人称它为“三电一体化”。EIC 是一种面对被控对象的紧凑、低成本自动控制系统。它通常是利用典型基础控制器,有针对性地进行系统设计和二次开发,二次开发的重点是系统组织、专用子系统或部件开发及应用软件开发等。

EIC 的思路是将运动控制和过程控制统一起来,这样可以减少投资和精简人员。

例如,EIC2000 系统可实现现场总线控制系统(FCS)、可变规模控制系统(SCS)和混合控制系统(HCS)。

### (10) 混合型控制器 HC900

HC900 是美国霍尼韦尔(Honeywell)公司推出的混合型控制器,它具有连续过程控制、逻辑控制和顺序控制的功能,具备全局的系统数据库,可满足用户在控制、操作、生产管理等方面的各种需求。HC900 采用自行开发的 Plant Scape Vista 监控与网络系统软件,能够大幅度降低生产成本,提高生产效率。其各种灵活使用的工具、丰富的控制算法和开放的系统工具软件能满足用户的所有生产控制与管理的需求。它采用 MODBUS/TCP 以太网实现高可靠性的实时控制通信,并通过 TCP/IP 以太网构成上层管理系统。HC900 接口全面支持 Modbus、ASCII、Modbus TCP/IP, Universal Modbus/ HC900,支持 RTU 控制

设备。

HC900 混合控制器有三种类型的控制机架,包括 4 槽、8 槽和 12 槽机架。每种控制机架均可满足各种现场应用要求。每个 HC900 可挂 4 个远程扩展机架(包括本地机架在内),现场安装使用灵活,可节省线缆成本和安装费用。

### 3) 动力装置

动力或能源是指驱动电动机的“电源”、驱动液压系统的液压源和驱动气压系统的气压源。驱动电动机常用的“电源”包括直流调速器、变频器、交流伺服驱动器及步进电动机驱动器等。液压源通常称为液压站,气压源通常称为空压站。

应注意动力与执行装置、机械部分的匹配。以日本松下公司的交流伺服系统为例,针对机械部分的转动惯量,可选择小惯量、中惯量和大惯量交流永磁同步电动机,并选用与之相匹配的交流伺服驱动器。

### 4) 传感检测部分

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。

### 5) 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,该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 3 大类。

#### (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,并利用该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、磁滞伸缩器件、压电元件、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—惯量比越大,加速性能越好,结构越紧凑,尺寸越小。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,也有可能引起火灾,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,不需要回气管道,不污染环境,因此在近些年得到大量的应用。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;同时由于空气黏度很小,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。

## 1.4 机电控制系统的性能要求和指标

### 1.4.1 机电控制系统的性能要求

为了实现机电控制系统的控制任务,就要求控制系统的被控量随给定值的变化而变化,希望被控量在任何时刻都等于给定值,两者之间不存在误差。然而,由于实际系统中总是包含具有惯性或储能的元件,同时由于能源功率的限制,使控制系统在受到外部作用时,其被控量不可能立即变化,而有一个跟踪过程。通常把系统受到外部作用后,被控量随时间变化的全过程,称为动态过程或称过渡过程。控制系统的性能,可以用动态过程的特性来衡量,尽管机电控制系统有不同的类型,而且每个系统也都有各自不同的特殊要求。但对于各类系统来说,在已知系统的结构和参数时,对每一类系统中被控量变化全过程提出的基本要求都一样,一般从稳定性、快速性和准确性 3 个方面来评价机电控制系统的总体精度。

#### 1) 稳定性

稳定性是保证控制系统正常工作的先决条件。稳定性是根据系统动态过程的振荡倾向和系统重新恢复平衡工作能力而言。

通常,系统的工作过程包括稳态和动态两种。系统在输入量和被控量均为固定值时的平衡状态称为稳态,也称静态。系统在受到外加信号(给定或干扰)作用后,被控量随时间,变化的全过程,称为系统的动态过程或过渡过程,动态过程常用  $c(t)$  来表示。

在外加信号的作用下,任何系统都会偏离原来的平衡状态,产生初始偏差。稳定性指系统在受到外部作用后,若控制装置能操纵被控对象,使其被控量随时间的增长而最终与希望