

# 机械系统的微机控制

陈 强            解 云 龙  
廖 宝 剑        郭 建 政

清 华 大 学 出 版 社

(京)新登字 158 号

## 内 容 提 要

本书旨在通过介绍微机在机械系统中的控制技术,使读者能对机电一体化这一特点有较多了解。首先结合机械系统中常见的控制对象,引出控制分类、结构、环节及信号输入输出接口等基本概念和结构。然后围绕流行的单片微机、工业总线、PLC 程序控制器,介绍它们各自的特点,器件的规格参数技术指标,基本指令系统及编程方式。除了原理组成,还讨论接口电路、软件技巧;从基本单元出发,着重解剖各种机械系统计算机控制的特殊之处,最后总结普遍的设计原则与步骤。

本书用作机械工程类学科的本科生教材,也可作为从事相关科研的技术人员的参考书籍。

### 图书在版编目(CIP)数据

机械系统的微机控制/陈强等编著. - 北京:清华大学出版社,1998

ISBN 7-302-02834-6

. 机... . 陈... . 机械系统-计算机控制 . TP271

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 02020 号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学校内,邮编 100084)

因特网地址: [www.tup.tsinghua.edu.cn](http://www.tup.tsinghua.edu.cn)

印刷者:北京丰台丰华印刷厂

发行者:新华书店总店北京科技发行所

开 本: 787× 1092 1/16 印张: 16.75 字数: 396 千字

版 次: 1998 年 2 月第 1 版 1998 年 2 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-302-02834-6/TH·77

印 数: 0001~4000

定 价: 16.00 元

# 序

随着工业技术的进步以及学科间的相互渗透,机械的内涵正日渐演变更新,机电一体化已成共识。然而描述机械运动的参量终究还是不可避免的主要控制参量,故仍为机械学科的基本内容与特征。例如弧焊过程的控制无非是电弧参数的控制与焊炬运动轨迹及姿态的控制两个方面,尽管二者从焊接工艺上说是互相关联的。总之,高新技术促使机械发展而并非是取代它。

犹如数学一般,对使用者来说微机控制也是一种工具。正如机械力学问题固然要使用数学处理,但不能指望完全由数学家来研究开拓一样,机械系统的微机控制也只能是机械学科的题中应有之义,些许含糊就会导致对其他学科的奢求而延误本学科的发展。有鉴于此,本书的出版实在是非常之及时。

本书编著者从事机械工程研究及加工过程智能控制有年,对微机控制的应用十分娴熟。适值当前调整学科专业设置,拓宽培养方向,开设此新课,故依其科研教学历年心得集成书以应课程之需,而于学科建设亦有重要意义。

本书涉及的内容原本十分庞杂,资料浩繁。今乃创设格局、去芜存菁、深入浅出,定能令后学者收益不尽;且读者亦将从中体察本学科生机盎然的发展势态。

张人豪

于清华大学机械工程系

# 前 言

电子技术和计算机的高速发展是当今时代的一大特征,由此也给社会的各行各业带来了深刻的影响。尤其在机械工程和加工过程中,传统的继电器式或电子顺序式控制已逐渐为单片微机、可编程控制器(PLC)以及工业控制计算机所取代,形成了高度体现信息化、集成化、柔性化的机电一体化趋势。

本书的宗旨是为了使从事机械工程的科技人员或机械学科的学生适应机械系统向机电一体化系统发展的形势,熟悉了解现代机械系统和控制技术的重要联接桥梁——计算机控制技术的基本知识与主要构成,初步掌握机械系统计算机控制的设计思想与调试方法,为从事机电一体化科研或开发打下基础,培养技能。

考虑到本书读者不一定都学习过系统的控制理论,所以书中首先结合机械系统中常见的控制对象,对控制系统中的主要分类、结构、环节及信息输入输出接口等进行概要性的介绍。然后以流行的单片微机、工业总线(工业 PC)、PLC 程序控制器为中心,介绍它们的共同特点、现有的商品化器件的规格参数技术指标、基本指令系统及编程方式,重点放在讲解实际机械系统中,计算机如何检测信号、进行运算处理、驱动执行部件,以达到预定的控制目标。除了原理组成,还讨论接口电路,软件技巧,使读者融会贯通,达到灵活应用、举一反三的效果。

若将本书作为教材使用,可安排适当的授课学时讲解主要内容;结合最后章节的有关控制系统设计原则和步骤的内容,配合相应的实验操作或课程设计,则可使学生加深感性认识、学会实际应用。书中与微机基础相重复的部分也可安排自学,以便有更多的时间分析系统,理解掌握。

书中所用到的例子多为实用机械系统,如果读者欲对这些例子的工业背景和具体功能有较好的认识,可参考有关的教科书和技术资料,如电工学、电子学、机械原理以及微机原理等。若具备一定的自动控制知识或对机电一体化系统有一定的基础,则更有助于理解和提高。

全书是在编著者授课讲义的基础上编写而成,第二、四章的部分由郭建政执笔,第五、六章由解云龙编写,廖宝剑参加了第三章的部分编写,其余部分和最后统稿由陈强完成。清华大学张人豪教授对本书作了全面的审阅并提出了许多宝贵意见,清华大学机械工程系和出版社对此书的编写和出版给予很大的支持和帮助,在此表示深切的谢意。因为本书作者水平有限,内容之中的不确切甚至错误在所难免,敬请读者予以鉴谅。

作 者

1997 年 6 月

# 目 录

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 第 1 章 绪论.....                 | 1  |
| 1.1 现代机械系统的概念 .....           | 1  |
| 1.2 机械系统中计算机控制的作用 .....       | 2  |
| 第 2 章 机械系统的控制.....            | 3  |
| 2.1 机械系统的控制分类 .....           | 3  |
| 2.1.1 温度的控制 .....             | 3  |
| 2.1.2 位移、速度和加速度的控制.....       | 4  |
| 2.1.3 力的控制 .....              | 4  |
| 2.1.4 流量的控制 .....             | 4  |
| 2.1.5 液面控制 .....              | 4  |
| 2.2 机械系统的控制结构 .....           | 4  |
| 2.2.1 传感器 .....               | 4  |
| 2.2.2 运算单元 .....              | 7  |
| 2.2.3 执行机构 .....              | 8  |
| 2.3 机械系统计算机控制环节.....          | 10 |
| 2.3.1 计算机控制单元.....            | 10 |
| 2.3.2 输入输出接口与过程通道.....        | 11 |
| 2.4 几种常见的机械系统控制微机.....        | 13 |
| 2.4.1 可编程序控制器(PLC) .....      | 14 |
| 2.4.2 STD 总线工业控制计算机 .....     | 15 |
| 2.4.3 工业 PC(IPC) .....        | 15 |
| 2.4.4 单片微控制器.....             | 16 |
| 习题 .....                      | 17 |
| 参考文献 .....                    | 17 |
| 第 3 章 机械系统单片机控制 .....         | 18 |
| 3.1 机械系统控制需求与单片机的发展.....      | 18 |
| 3.1.1 单片机特点与作用.....           | 18 |
| 3.1.2 常见通用单片机概况.....          | 19 |
| 3.2 MCS-51 系列单片机 .....        | 22 |
| 3.2.1 MCS-51 系列单片机特点与结构 ..... | 22 |
| 3.2.2 MCS-51 CPU .....        | 25 |

|                               |                                |     |
|-------------------------------|--------------------------------|-----|
| 3.2.3                         | 存储器空间.....                     | 26  |
| 3.2.4                         | 特殊功能寄存器及 I/O .....             | 29  |
| 3.2.5                         | 定时器与计数器.....                   | 31  |
| 3.2.6                         | 中断系统.....                      | 32  |
| 3.2.7                         | MCS-51 的串行通信接口 .....           | 34  |
| 3.2.8                         | MCS-51 指令系统 .....              | 36  |
| 3.2.9                         | 指令详论.....                      | 39  |
| 3.3                           | MCS-96 系列单片机 .....             | 48  |
| 3.3.1                         | MCS-96 单片机特点与管脚功能 .....        | 48  |
| 3.3.2                         | MCS-96 单片机结构和存储空间 .....        | 51  |
| 3.3.3                         | 程序状态字和中断.....                  | 58  |
| 3.3.4                         | 片内 I/O 口等资源的使用 .....           | 60  |
| 3.3.5                         | MCS-96 指令系统简介 .....            | 70  |
| 3.4                           | 单片机系统扩展.....                   | 84  |
| 3.4.1                         | MCS-96 的芯片配置寄存器 .....          | 84  |
| 3.4.2                         | 单片机的基本系统.....                  | 87  |
| 3.5                           | 机械系统单片机控制器设计.....              | 89  |
| 3.5.1                         | 自动焊接系统结构原理及对控制器的要求.....        | 89  |
| 3.5.2                         | 数据采集与处理.....                   | 93  |
| 3.5.3                         | 单路闭环系统的控制 .....                | 100 |
| 3.5.4                         | 模拟信号输出的单片机闭环控制系统 .....         | 103 |
| 3.5.5                         | 多自由度焊接小车的整体控制 .....            | 108 |
| 3.6                           | 机械系统单片机控制器开发与调试简介 .....        | 110 |
| 3.6.1                         | 系统的研制与开发过程 .....               | 110 |
| 3.6.2                         | 单片机的仿真调试 .....                 | 111 |
| 3.6.3                         | 单片机语言及 MCS-96 汇编语言程序编写格式 ..... | 113 |
|                               | 习题.....                        | 115 |
|                               | 参考文献.....                      | 117 |
| <br>第 4 章 机械系统中的 PLC 控制 ..... |                                | 118 |
| 4.1                           | PLC 的基本结构和主要功能 .....           | 119 |
| 4.1.1                         | PLC 的基本结构 .....                | 119 |
| 4.1.2                         | PLC 的主要功能与特点 .....             | 119 |
| 4.2                           | PLC 的工作原理 .....                | 120 |
| 4.3                           | 立石 C200H 可编程逻辑控制器 .....        | 121 |
| 4.3.1                         | C200H 的基本结构和性能 .....           | 121 |
| 4.3.2                         | C200H 存储器的分配与寻址 .....          | 122 |
| 4.4                           | C200H PLC 指令系统 .....           | 126 |

|       |                            |     |
|-------|----------------------------|-----|
| 4.4.1 | C200H 基本指令 .....           | 127 |
| 4.4.2 | 特殊指令 .....                 | 127 |
| 4.4.3 | 专用指令 .....                 | 139 |
| 4.5   | PLC 与上位机的通信 .....          | 141 |
| 4.6   | 机械系统 PLC 控制实例 .....        | 144 |
| 4.6.1 | PLC 在砂处理生产线上的应用 .....      | 144 |
| 4.6.2 | PLC 在搅拌机上的应用 .....         | 145 |
| 4.6.3 | 电梯的自动控制 .....              | 147 |
|       | 习题 .....                   | 158 |
|       | 参考文献 .....                 | 161 |
| <br>  |                            |     |
| 第 5 章 | 机械系统中工业总线的应用 .....         | 162 |
| 5.1   | 总线结构与典型微机总线简介 .....        | 162 |
| 5.1.1 | 总线结构 .....                 | 162 |
| 5.1.2 | 总线控制计算机的构成 .....           | 163 |
| 5.1.3 | 总线控制计算机的特点 .....           | 164 |
| 5.1.4 | 常用总线结构 .....               | 165 |
| 5.2   | STD 总线标准 .....             | 166 |
| 5.2.1 | STD 总线引脚定义与说明 .....        | 166 |
| 5.2.2 | STD 总线时序规范 .....           | 171 |
| 5.2.3 | STD 总线机械特性 .....           | 172 |
| 5.3   | STD 工业总线的系统配置 .....        | 173 |
| 5.3.1 | STD 总线工业控制机的基本系统 .....     | 174 |
| 5.3.2 | STD 总线工业控制机的 I/O 子系统 ..... | 180 |
| 5.3.3 | STD 总线工业控制机的智能模板 .....     | 188 |
| 5.4   | 工业 PC 简介 .....             | 189 |
| 5.5   | STD 总线控制机在机械行业的应用 .....    | 194 |
| 5.5.1 | 控制任务 .....                 | 194 |
| 5.5.2 | 控制要求 .....                 | 194 |
| 5.5.3 | 控制任务分析、调研 .....            | 195 |
| 5.5.4 | 计算机选择、配置及有关硬件电路的设计 .....   | 196 |
| 5.5.5 | 快锻压机控制软件设计 .....           | 199 |
|       | 参考文献 .....                 | 204 |
| <br>  |                            |     |
| 第 6 章 | 计算机控制机械系统设计 .....          | 205 |
| 6.1   | 计算机控制机械系统的设计过程 .....       | 205 |
| 6.1.1 | 控制任务调研 .....               | 205 |
| 6.1.2 | 计算机选型、硬件电路的设计 .....        | 206 |

|       |                          |     |
|-------|--------------------------|-----|
| 6.1.3 | 控制系统软件设计 .....           | 208 |
| 6.1.4 | 硬件、软件的联调及仿真.....         | 209 |
| 6.1.5 | 现场调试 .....               | 210 |
| 6.2   | 大型液压机计算机控制系统的设计 .....    | 210 |
| 6.2.1 | 调研 .....                 | 211 |
| 6.2.2 | 计算机选型, 硬件电路设计、调试 .....   | 214 |
| 6.2.3 | 控制软件设计 .....             | 222 |
|       | 参考文献.....                | 230 |
| 附录 A  | MCS-51 系列单片机的指令表 .....   | 231 |
| 附录 B  | MCS-96 指令执行对标志位的影响 ..... | 235 |
| 附录 C  | C200H 编程器操作表 .....       | 236 |
| 附录 D  | C200H 编程指令 .....         | 240 |

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 现代机械系统的概念

很难找到“机械系统”一词的确切定义,也许是在机械和系统本身的发展过程中,人们自然而然地将两个词联系到了一起。即便是最早使用这个词的人,也未必能指出其真实含义。根据辞海的解释:机械乃是机器、机构的泛称;故一切能够转换机械能的部件或它们的组合均可称之为机器和机构。系统则为自成体系的组织亦即相同或相类似的事物按一定的秩序和内部联系组合而成的整体。由此推论,能够自成体系或按一定秩序工作的机器及机构都可称之为机械系统。如此涉及面实在太广了一些;在本书中为讨论叙述方便,特指机械系统为“不需外界干预、不受环境干扰,能自动稳定地按某种要求完成特定动作或任务的机械体系”。于是不难推知:一把剪刀,一部水车,一对齿轮及一副连杆等都不是机械系统,因为它们不能自动完成特定任务,并且还受到外界因素支配。当然就广义系统而言,在人类作为媒介起调整作用时,通常的机器或机构都构成一个系统。但它们不具有真正的“自动”意义,不在本书讨论之列。

为了把机器和机械组合成为机械系统,一般都要加入各种特殊的装置和部件,才能使之不受各种因素干扰。所以从某种意义上讲本书所指的机械系统是具有自动控制或自动调节功能的体系。传说中孔明制造的木牛流马因无法考证,故最早的机械系统大约应首推为瓦特所发明的蒸汽机。究竟是谁首先注意到水蒸气有推动力这个事实,目前世界上仍在争执不休,但瓦特的蒸汽机才是真正被应用于实际,并由此带动了人类文明史上意义深刻的工业革命则是举世公认的。其关键的理由是瓦特发明了能在蒸汽机上使用的能自动调整转速的控制阀和压力表,使得这种原动机能够无需外界干预而稳定地工作于某个转速,即构成了具有自动调节能力的机械系统。

随着历史的前进,机械系统也在不断发展,今天无论是一部车床、一台压机、一座高炉、甚至是一个钟表,由于对它们的功能要求是如此之高,使得系统的复杂程度,或者说是控制功能已远非当初简单的转速控制阀所能解决的了。再如,一台工业机器人至少要有 5 个以上的关节(自由度)组成:其手指、手腕、手臂、腰肢甚至还可能加上腿、眼、耳等都要相当精确地配合协调,才能完成高效的任务(诸如搬运、安装,焊接等等)。上述的例子中大多数情况下,整体是机械系统,部分也是机械系统(称为子系统),各子系统要求完成的任务不同,形式也不尽相同,可以是液压系统、气动系统、数控系统、连续系统或离散系统,也可以是电力拖动系统等。当这些系统组合成整体之时,有时已很难说清整体上是何种系统了。由于电子技术的高速发展,在自动控制中的作用和地位日益突出,以至于绝大部分现代机械系统都已离不开电气控制设备,于是就出现了机电一体化的系统。本书的主要内容就是围绕机电一体化系统的自动控制问题,尤其是当代最先进的计算机在机械系统中的控制应用主题来展开的。

## 1.2 机械系统中计算机控制的作用

机械系统由简到繁,功能越来越强,精度越来越高,体现了生产力发展的进步和趋势。与此同时,对机械系统的控制要求也在不断增长。固然,自动控制作为一个专门的科学也在不断发展着,从经典的线性控制,到现代的非线性控制,甚至模糊控制、人工智能专家系统控制等等,确实也在现代机械系统中起到了很大的作用。但是对有些机械系统的控制问题,虽然可以在理论上进行分析求解,可真正实现起来则是非常不易的,其中一个重要的原因是传统方法和控制电路难以直接解出微分方程。更何况有不少系统还不存在方程的连续解,需要用数值的方法来求解,在计算机出现之前,根本就无法做到实时控制。这些原因在一定程度上制约了机械系统的发展速度。

本世纪中后期飞速发展的计算机技术为各种日益复杂精密的机械系统提供了前所未有的条件,除了其惊人的快速计算能力之外,还具有各种逻辑运算功能,甚至还可实现某种程度上的智能学习适应功能,当然前提是要靠人精巧地设计安排软件程序。同时,为了与控制对象打交道,合理地设计通信硬件接口也是必不可少的条件之一。因此,为了让计算机在机械系统中充分地发挥其控制作用,开发研制出更高级更完善的机械系统得以造福于人类,就要求人们既要掌握好机械系统的知识,又要掌握好计算机控制技术,并将两者有机地结合起来,才能起到应有的作用。因而本书的宗旨既不是单纯地讨论机械系统,也不是抽象地介绍计算机技术,而是力图通过相对比较成熟的计算机在机械系统中的控制技术,结合典型的实例,引出基础概念和结构。从基本单元出发,解剖各种机械系统计算机控制的特殊之处,最后总结成普遍的设计原则与步骤,使读者能够了解较完整的系统全貌。

# 第 2 章 机械系统的控制

本章将介绍机械系统控制的分类及其基本结构,并以计算机控制的机械系统为主简单介绍其特点,同时对几种常用的计算机控制方法进行比较。

## 2.1 机械系统的控制分类

机械系统的控制是一个非常大的概念,对其没有一个标准的分类方法,分类方式不同结果也不同。为方便、直观起见,这里以控制的物理量进行分类,表 2-1 是其分类结果。

表 2-1 机械系统中的控制物理量

| 分类 | 物 理 量   |
|----|---|
| 机械 | 长度、厚度、位移、液面、速度、加速度、旋转角、旋转数、质量、重量、力、压力、真空度、力距、旋转力、风速、流速、流量、振动    |
| 音响 | 声压、噪音   |
| 频率 | 频率、时间   |
| 电气 | 电流、电压、电位、功率、电荷、阻抗、电阻、电容、电感、电磁波                                  |
| 磁性 | 磁通、磁场   |
| 温度 | 温度、热量、比热容   |
| 光  | 照度、光度、色彩、紫外线、红外线、光位移  |
| 射线 | 辐射量、剂量  |
| 湿度 | 湿度、水分   |
| 化学 | 纯度、浓度、成分、pH 值、粘度、密度、比重、气液固体分析                                   |
| 生理 | 心音、血压、血流、脉电波、血流冲击、血液氧饱和度、血液气体分压、气流量、速度、体温、心电图、脑电波、肌肉电图、网膜电图、心磁图 |
| 信息 | 模拟、数字量、运算、传递、相关量  |

在这样众多的物理量或被测量中,究竟哪一种在机械系统中占主要地位呢?有关调查结果表明:在所有的机械系统的控制中较多的是对温度、位移、速度、力、时间、光、声、电等的控制,下面对几个应用较多的控制进行简单的介绍。

### 2.1.1 温度的控制

温度在机械系统中是个非常重要的物理量,在很多的控制中都需要用到对温度的控制。例如炉温的控制、热轧制中工件温度的控制,焊接中也需要对温度进行控制。温度控制不好就不能成功地控制各个系统,从而影响产品的质量。

在热处理过程中,为了得到一定的组织和性能,热处理的工艺是关键,其中温度又是热处理工艺中的主要工艺参数,所以温度的控制是非常重要的。

除此之外,在其它行业,如家用电器、环境保护等领域也均有温度控制的实例。

### 2.1.2 位移、速度和加速度的控制

位移、速度和加速度是三个相互关联的物理量,在机械系统中,往往要对其中的一个或全部进行控制。例如在数控车床上,刀具的移动速度和移动距离直接关系到产品的质量和劳动生产率,必须对位移和速度进行控制。对精度要求高时还必须对加速度进行控制。再比如在电梯的运行中,位移、速度和加速度的控制都非常严格,控制好才能保证电梯的安全、准确与舒适。

### 2.1.3 力的控制

力的控制分为许多种,在机械系统中均有应用。绝大多数过程控制系统均包含对液体或气体压力的测量和控制。如高炉冶炼中风压的控制,液压系统中油压的控制。还有对重力的测量、力矩的测量、功率的测量等等。在机械系统中要进行自动控制一般离不开力的控制。

### 2.1.4 流量的控制

在工业过程中,经常需要测量流体的绝对流量和各种流速。监测和控制流体(如气体和液体燃料)的流速,在必须传输一定热量的情况下,还需要监测和控制冷却剂的流速。

### 2.1.5 液面控制

在大多数工业过程中,必须对油和其它润滑剂的液面进行监测,并把它们保持在所要求的范围内,以保证机械装置有效地运转。除了上述液体液面需要控制外,一些准流体液面也需要控制。如在铸造的砂处理系统中,储砂斗中砂面就需要控制,如砂面不能得到很好的控制,就不会得到好的混砂效果,最终影响铸件的质量。

最简单的液面监测和控制方式就是“通/断”控制。还有一些液面传感器能够连续地监测和控制实际的液面。

在一个机械系统中往往不是只控制一个物理量,而是需要对多个物理量进行控制,以达到最好的控制效果。

## 2.2 机械系统的控制结构

机械系统的控制基本结构主要由三部分组成,即传感器、运算单元和执行机构。

### 2.2.1 传感器

传感器即测量元件,是控制机械系统的重要组成部分,它以被测参数作为输入信号,并把它们变换成便于后面使用的输出信号。测量元件工作时直接或间接地提取机械系统

的被测对象的有关信息,必须能在机械系统现场的各种恶劣环境条件下正常工作并满足静态(灵敏度、线性度、重复度等)和动态(响应速度)性能的要求。

由于被测参数种类繁多,测量范围宽以及检测原理与技术多种多样,因而测量元件的种类、规格十分繁杂。测量元件可以按输入量(被测参数)的种类、输出量的种类和测量原理等加以分类。

测量元件的输入信号有机械量(线位移、角位移、力、力矩、速度等)、过程量(温度、压力、流量、湿度、成分等)、电工量(电流、电压、电量、电阻、电容、电感)、光学量(光通量、光强度等)等。下面针对机械系统中常用的检测量所用的检测元件进行简单的介绍。

### 1. 温度测量元件

温度测量元件是利用物体的某些物理量(如几何尺寸、压力、电阻、热电势、辐射强度等)随温度的变化而变化的特性来测量温度的。常用的温度测量元件见表 2-2。

表 2-2 常用的温度测量元件

| 种类     | 原理               | 特点                               | 适用范围         |
|--------|------------------|----------------------------------|--------------|
| 热电阻    | 物质的电阻随环境温度变化而变化  | 精度高                              |              |
| 热电偶    | 利用热电效应           | 结构简单,测量范围宽,不需测量电路,但稳定性差          | 中高温区         |
| 热敏电阻   | 半导体材料电阻率随温度变化而变化 | 灵敏度高,响应速度快,分辨率高,形小体轻,但互换性差,测量范围小 | 远距离测量        |
| 辐射式高温计 | 将辐射能转换成电信号       | 测温上限高,响应迅速,但精度低                  | 腐蚀性高纯物体及运动物体 |

### 2. 压力测量元件

在机械系统的控制中压力测量元件多数是由弹性元件和电感或电容组合成电气式压力变换器。弹性元件首先将压力信号转换成位移等机械量,然后经过各种电气元件构成电气式压力变换器将其转换成电信号。表 2-3 是机械系统的控制中常用的压力测量元件。

表 2-3 机械系统的控制中常用的压力测量元件

| 种类    | 原理                       | 优点                     | 缺点             | 适用范围            |
|-------|--------------------------|------------------------|----------------|-----------------|
| 电阻应变式 | 将应变变换成电阻                 | 量程范围宽,分辨率高,尺寸小,价格低     | 应变大时有非线性,输出信号小 | 静动态测量,温度低于 1000 |
| 压电式   | 利用压电效应                   | 分辨率高,结构简单              | 对温度敏感          | 动态测量            |
| 电容式   | 电容两极板距离或面积发生变化,电容量对应发生变化 | 结构简单,灵敏,动态响应快          | 屏蔽性能要求高        | 测量系统中分布电容少的场合   |
| 电感式   | 利用线圈的自感和互感的变换            | 分辨率高,输出信号强,重复性好,结构简单可靠 | 存在交流零位信号       | 不宜高频动态测量        |
| 压阻式   | 元件电阻率与压力之间的关系            | 灵敏,精确,体积小,工作可靠,寿命长     |                |                 |

### 3. 流量测量元件

流量是指单位时间通过管道横截面的流体数量。按工作原理分为速度式、容积式、压差式、电磁式、超声波式等。它们的基本情况见表 2-4。

表 2-4 流量测量元件

| 种类   | 原理                | 特点                            | 适用范围                   |
|------|-------------------|-------------------------------|------------------------|
| 速度式  | 流体使涡轮转动并将转速变成电信号  | 精度高, 但易被流体中的颗粒及污物堵塞           | 清洁流体                   |
| 容积式  | 椭圆齿轮或腰轮在流体的作用下而转动 | 流体粘度大则误差小, 流体粘度小则误差大          | 粘度大的流体                 |
| 电磁式  | 导电液体通过磁场产生电动势     | 测量范围宽, 反应速度快                  | 可测各种粘度的导电液体, 但不能测油类及气体 |
| 超声波式 | 超声波在流体中的传播时间随流速变化 | 测量面广, 不影响流速, 维修方便, 但电路复杂, 成本高 | 能传播超声波的各种流体            |

### 4. 厚度测量元件

在机械系统中经常要用到对厚度的测量, 常用厚度测量元件见表 2-5。

表 2-5 常用厚度测量元件

| 种类   | 原理                 | 特点                | 适用范围            |
|------|--------------------|-------------------|-----------------|
| 电容式  | 电容值随电容间被测物的厚度变化    | 要求被测物均匀, 温度对结果有影响 | 均匀物质且有一定介电常数    |
| 超声波式 | 超声波经过被测物两面反射的时间差   | 精度 0.25mm         | 测量范围 4mm ~ 26mm |
| 射线式  | 射线经过物体后的衰减与物体的厚度有关 |                   | 用于测量板材          |

### 5. 数字测量元件

为适应数字技术和电子计算机应用发展的要求, 各种数字式检测元件得到了迅速的发展。数字技术在机械系统的控制中的应用, 不仅提高了测量精度, 而且也增强了信号抗干扰能力和便于进行数据处理的自动化。

数字式测量元件主要有编码器、光电码盘、光栅、感应同步器和磁尺等。不同形式元件的原理和特点是不同的。

编码器是一种直接编码式测量元件, 它可以直接将被测转角或位移转换成相应的代码, 指示其绝对位置。其优点是没有累积误差且断电时位置信息不丢失。但它的通道数多、结构复杂、几何尺寸大、精度有限、价格贵。

光电码盘是一种光电式转角或位移的测量元件。在圆盘上刻有节距相等的辐射状窄缝, 通过对两组检测窄缝的信号进行逻辑处理即可辨别出轴的转动方向。它的优点是精度高、寿命长、速度高、方便。

光栅是在透明玻璃片上面刻有一系列平行等间距的密集线纹的光学元件, 或者是在长条形金属镜面上刻成全反射或漫反射间距相等的密集线纹。

在数字测量元件中,各种开关也应属此列。它们有:光电开关、接近开关、微动开关、电平开关、电液开关、簧片开关等。这些开关在机械系统中有非常广泛的应用。

上面只是简单地介绍了几种机械系统中常用的测量元件,其它的测量元件还有湿度传感器、水分传感器、光传感器、磁性传感器、气体传感器、转速传感器、惯性加速度传感器、振动加速度传感器、表面缺陷孔径形状传感器、声敏传感器、色敏传感器等。这里不详细介绍。

## 2.2.2 运算单元

运算单元是控制系统的核心,运算单元不同,其控制系统的不同。运算单元主要分为以下几种:

### 1. 继电器组成的运算单元

继电器组成的运算单元主要由中间继电器、时间继电器和具有记忆功能的保持继电器等组成。一般规模的控制系统约使用 600 个 ~ 1000 个继电器,比较庞大;通常要占用 5 个 ~ 10 个配电柜。这种运算单元动作过渡时间长,不能用于频率较高的场合;加上有运动部件,系统中进入烟尘气体和基础振动都会使接点的接触不良,可靠性差。同时继电器的寿命较低,通常为 100 万次左右。

### 2. 液压元件组成的运算单元

液压元件组成的运算单元主要是各种控制阀,对方向、流量和压力等进行控制。液压运算能够完成非常精确的控制,但其控制一般比较简单,如果与电器结合起来就可实现复杂逻辑的控制。液压元件已经标准化、系列化和通用化,便于设计和应用。但是液压一般有泄漏现象,使容积效率降低,不易实现定比传动,而且会污染环境,解决不好对运动的平稳性有一定的影响。油液在流动中产生一定的阻力损失,在高压高速下会使油温升高,影响油的粘性和元件的寿命。液压元件制造精度要求高,应用维护比较严格。

### 3. 气压元件组成的运算单元

气压运算单元是气动控制阀,对流量和方向进行控制,完成比例、积分、比例积分、比例微分等调节。

气压控制是以各种类型的气动元件和配套装置组成断续或连续的、开环或闭环的控制回路,以实现一般工业机械化和自动化的要求。由于工作介质是空气,取之不尽用之不竭,既不花费成本,又不会污染环境,用后可直接或通过消音器使噪音减小到允许的范围之内之后排入大气中,同时由于空气的粘性很小,流动阻力小,在管道中流动的压力损失较小(一般只有油路的千分之一),所以空气介质能够集中供应和远距离传输。气动控制耐高温性能强,能在高温的情况下可靠地进行工作。液压一般允许的工作温度在 50 ~ 60 之间,电子元件一般在 70 以下工作,但气动可以在 200 或更高的温度下工作,所以设置环境和利用条件的自由度比较大,而不需要采用复杂的绝热保护措施。气动还具有结构简单、价格便宜、安全可靠、寿命长、维修方便等优点。能在强腐蚀、辐射、磁场、多灰尘、潮湿、冲击振动等恶劣的环境下安全地工作。

然而事情总是一分为二的。由于气动是应用压缩空气为介质,所以信号传递的速度比较慢,仅限于声速范围,故不宜用于传递速度要求高的复杂线路中,同时当外界负载变化

时,工作速度的稳定性较差。所以气动适于实现断续或连续的控制,特别适用于精度要求不太高、速度不太快的场合。

#### 4. 计算机

以计算机为运算单元的机械系统的控制是从本世纪 50 年代开始的。但那时的计算机体积庞大、价格昂贵、功能少、可靠性差,仅在钢铁、化工和飞机制造等少数大型生产过程中得到应用。直到 70 年代中期,随着微电子技术的飞速发展,计算机控制技术也发生了革命性变化。现代的高性能、高可靠性、低成本的微型计算机同现代控制理论、伺服技术等结合在一起,组成了强有力的计算机控制机械系统,几乎完全取代了传统的继电器和分立元件控制系统,极大地增加了系统功能,减小了系统的体积。

### 2.2.3 执行机构

机械系统的控制中带动被控制对象按输入信号规律运动的部件称机械系统控制的执行机构,它是系统中将电能或液压能转化成机械能的动力传动装置。常用的执行元件有直流伺服电机、交流伺服电机、直流力矩电动机、步进电动机(用于数字控制系统)、液压马达、液压缸、气压马达和气压缸等。

#### 1. 直流伺服电动机

直流伺服电动机也称直流电马达,它在机械系统的控制中得到了广泛应用。

直流伺服电动机的基本结构与直流测速发电机相同,它的基本原理可用图 2-1 来说明:电磁铁(属于电动机的定子)产生恒定磁场,其磁通为  $\Phi$ 。控制电压  $V$  经过电刷与整流子(即换向器)加到电枢绕组(属于电动机的转子),使绕组中出现电流  $I$ ,载流导体在磁场中受到电磁力  $F$  的方向由左手定则来确定(左手定则:左手四指并拢伸直,拇指自然上翘与四指垂直,让磁通  $\Phi$  由掌心穿过掌背,四指指示电流方向,则拇指指示电磁力方向)。根据图 2-1 中电枢绕组中电流  $I$  的方向及磁通  $\Phi$  的方向,电枢在电磁力的作用下将要顺时针旋转,转动角速度为  $\omega$ 。当控制电压  $V$  的极性不变时,为了保证电枢转动时所受的电磁力矩方向不变,绕组中的电流必须在一定的位置改变方向,这个电流换向的任务是由整流子(或称换向器)和电刷来完成的,因为电机转动时,定子电磁铁与电刷保持静止,而整流子与电枢绕组一同转动。改变控制电压  $V$  的大小,即可改变电枢绕组电流  $I$  的大小,也就是改变电枢所受电磁力矩的大小,因而改变电枢的转速来加以平衡;改变控制电压的极性,则改变电枢绕组电流  $I$  的方向,也就是改变电枢所受电磁力矩的方向,因而改变电枢的转向。这就是直流伺服电动机的基本原理。

图 2-1 直流电动机原理图

当然,电动机实际结构要比图 2-1 复杂得多。实际的电枢绕组回路不是一个,而是许多个,与电枢绕组相连接的整流子的片数也有许多对,以便产生更均匀的电磁力矩,使得电枢匀速转动。磁极(即电磁铁)的极对数可以是一对或许多对,相邻磁极的极性呈 N 极和 S 极交替地排列,它的磁场一般不是靠永久磁铁,而是靠绕在磁极上的激磁绕组通以恒定激磁电流来建立。

需要指出的是,直流伺服电动机在低速运转时(如几转/分或几十转/分),其转速在一

周内会出现时快、时慢,甚至出现步进的现象。直流伺服电动机运转的不稳定将会使控制系统出现较大的误差。当要求控制系统有良好的低速平稳运行性能时,必须在控制系统线路中采取措施,或者用低速平稳性能好的直流力矩电动机来做系统的执行元件。直流伺服电动机的优点还有起动转矩较大,调速范围较广,机械性能的线性度好,便于控制等。

## 2. 直流力矩电动机

在机械系统的控制中,直流伺服电动机的转速较高,一般为  $1500\text{r}/\text{min} \sim 6000\text{r}/\text{min}$ ,而被控制对象的运动速度则很低,因此直流伺服电动机不能直接与被控制对象连接,而是需要通过减速器将速度降低以后,再去推动被控制对象运动。直流力矩电动机则不然,它的转速很低,转矩较大,它与被控对象之间不需要减速器,可以直接推动被控对象运动。

## 3. 交流伺服电动机

和直流电机相比,交流两相伺服电动机无整流子与电刷、摩擦力矩小、易维护、坚固耐用。加之近年来交流电机调速技术有了非常迅速的发展,因而在数控机床等各种机械系统的速度控制系统中有较广的应用。

## 4. 步进电机

步进电机和一般电机的区别是控制信号为幅值恒定的电脉冲,而不是幅值变化的连续信号。步进电动机的功能是每给一个电脉冲,电动机就前进一步,即转动一个角度。所以步进电机输出转角的大小与输入脉冲的个数成正比。由于输给步进电机的电脉冲的幅值是恒定的,按电脉冲的个数与电脉冲的频率来控制电机的转角和转速,所以步进电动机的输入-输出特性在规定的负载能力范围内不会因电源电压的波动和负载的变化而变化。

步进电机非常适合于计算机控制的机械系统。它是唯一采用开环位置控制的电机,因而在计算机控制的机械系统中的应用极为广泛。步进电机的控制系统不仅能作速度控制,而且更适合于位置控制。由于步进电机的效率低,因而主要适用于伺服系统或功率进给系统,而很少被用作主轴传动。

## 5. 液压执行装置

液压执行装置包括油缸和油马达,它们是将液压能转化成机械能的装置。液压执行装置在机械系统的控制中有较广泛的应用。油缸按结构形式分为活塞缸、柱塞缸和摆动缸三大类。活塞缸和柱塞缸实现往复直线运动,输出推力和速度,摆动缸实现往复摆动,输出转矩和角速度。

油马达输出扭矩和角速度。实现连续的回转运动,常见的油马达有叶片式和柱塞式油马达,还有齿轮式油马达,但比较少用。

## 6. 气动执行装置

气动执行元件是以压缩空气为工作介质,并将气体的压力能转化为机械能产生机械运动的装置。如作直线运动的气缸和作回转运动的摆动气缸或气马达。

气缸能产生直线运动,输出力或动能。气缸的结构简单,制造成本低,便于维修,允许有少许泄漏,污染小,运动速度较快,允许正常工作环境温度变化范围较大,有的甚至可以在  $200^\circ\text{C}$  左右的温度下正常工作。但由于其使用的压缩空气的压力较低,一般只有  $0.4\text{MPa} \sim 0.7\text{MPa}$ ,所以气缸的输出力小、尺寸大,其次是气体的可压缩性,使气缸在速度