

JIDIAN KONGZHI JI ZIDONGHUA

中国矿业大学新世纪教材建设工程资助教材

# 机电控制及自动化

主编 肖兴明

副主编 丁保华 陈 军

中国矿业大学出版社

中国矿业大学新世纪教材建设工程资助教材

# 机电控制及自动化

主 编 肖兴明  
副主编 丁保华 陈 军

中国矿业大学出版社

## 内 容 摘 要

本书对机电控制及自动化所涉及的电机控制、电液控制和气动控制的主要控制元件做了比较详细的叙述,着重分析了控制元件的结构原理、性能特点;介绍了信号运算、放大和抗干扰技术;对计算机控制系统的设计进行了介绍;此外对控制系统的静态设计也做了简要介绍。本书可作为机械工程及自动化、测控技术及仪器、工业自动化等专业的工程技术人员、大专院校师生的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

机电控制及自动化/肖兴明主编. —徐州:中国矿业大学出版社, 2003. 10

ISBN 7 - 81070 - 792 - 2

I. 机… II. 肖… III. ①机电一体化—控制系统—控制元件②自动控制系统—控制元件 IV. TP214

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 088331 号

书 名 机电控制及自动化

主 编 肖兴明

责任编辑 何 戈

责任校对 崔永春

出版发行 中国矿业大学出版社

(江苏省徐州市中国矿业大学内 邮编 221008)

排 版 中国矿业大学出版社排版中心

印 刷 中国矿业大学印刷厂

经 销 新华书店

开 本 787×1092 1/16 印张 19.5 字数 486 千字

版次印次 2003 年 10 月第 1 版 2003 年 10 月第 1 次印刷

定 价 25.00 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

# 前言

随着科学技术交叉、综合,以及微电子技术和信息技术的发展,机械装备已与电子、计算机、控制工程、检测等技术日益紧密结合而成为机电一体化的设备(国外称之为Mechatronics)。为了培养机械和电子技术兼备的人才,满足机械类学生拓宽专业范围的需要,特写此书,用于本科生的一门必修专业课程的教材。本课程的前修课程是控制理论、电子技术、流体力学和液压传动等。

本书由肖兴明主编,丁保华、陈军任副主编。第一、七章及第三章的第四、五、六、七节由肖兴明编写,第二章及第三章的第一、二、三节由陈军编写,第四章由洪晓华编写,第五、六章由丁保华编写,习题及思考题由肖兴明、丁保华、陈军编写。全书由肖兴明统稿。

由于本书编写较仓促,编者水平和条件有限,书中难免有疏误和缺点,恳请读者批评指正。

编者

2003年6月

解决堵转时,使电动机停下:

① 过电流保护 ② 温度传感器 ③ 定时器 ✓

## 目 录

|                  |    |
|------------------|----|
| 第一章 概论           | 1  |
| 第一节 机电控制系统的组成    | 1  |
| 一、机电控制系统的组成      | 1  |
| 二、机电控制系统的分类      | 2  |
| 第二节 机电控制系统简介     | 3  |
| 一、电动机控制系统        | 3  |
| 二、电液(或气动)控制系统    | 5  |
| 三、机电控制系统实例       | 6  |
| 第三节 控制机构的适用范围    | 8  |
| 习题与思考题           | 9  |
| 第二章 控制用微电机及其应用   | 10 |
| 第一节 直流伺服电动机      | 10 |
| 一、工作原理           | 11 |
| 二、分类             | 11 |
| 三、调速方式           | 12 |
| 四、静态工作特性         | 13 |
| 五、动态特性           | 14 |
| 六、直流电动机的功率损耗     | 17 |
| 七、其他形式直流伺服电动机    | 19 |
| 八、直流伺服电动机的应用和选择  | 22 |
| 第二节 电—机械转换器      | 28 |
| 一、动圈式电—机械转换器     | 29 |
| 二、动铁式电—机械转换器     | 31 |
| 第三节 交流伺服电动机      | 38 |
| 一、结构特点           | 38 |
| 二、工作原理           | 39 |
| 三、主要工作特性         | 43 |
| 四、交、直流伺服电动机的性能比较 | 45 |
| 五、交流伺服电动机的应用     | 46 |
| 第四节 同步电动机        | 48 |
| 一、永磁式同步电动机       | 49 |
| 二、反应式同步电动机       | 50 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 三、磁滞式同步电动机 .....         | 52  |
| 第五节 步进电动机 .....          | 56  |
| 一、反应式步进电动机 .....         | 57  |
| 二、永磁式步进电动机 .....         | 58  |
| 三、混合式步进电动机 .....         | 59  |
| 四、直线和平面步进电动机 .....       | 60  |
| 五、步进电动机主要性能指标和技术数据 ..... | 61  |
| 六、产品的选择 .....            | 62  |
| 习题与思考题 .....             | 63  |
| 第三章 电液控制机构 .....         | 65  |
| 第一节 概述 .....             | 65  |
| 一、电液控制系统的组成 .....        | 65  |
| 二、电液控制系统的分类 .....        | 67  |
| 三、电液控制系统的发展和选择 .....     | 68  |
| 第二节 液压控制阀 .....          | 69  |
| 一、液压控制阀的结构及分类 .....      | 69  |
| 二、滑阀静态特性的分析 .....        | 71  |
| 三、喷嘴挡板阀的特性 .....         | 79  |
| 第三节 液压动力元件 .....         | 83  |
| 一、四通阀控制双出杆液压缸 .....      | 83  |
| 二、四通阀控制液压马达 .....        | 90  |
| 三、三通阀控制单出杆液压缸 .....      | 91  |
| 四、四通阀控制单出杆液压缸 .....      | 92  |
| 第四节 电液伺服阀 .....          | 93  |
| 一、结构及工作原理 .....          | 93  |
| 二、性能特性 .....             | 97  |
| 三、选择和使用 .....            | 101 |
| 第五节 电液比例阀 .....          | 102 |
| 一、比例换向阀 .....            | 102 |
| 二、比例压力阀 .....            | 103 |
| 三、比例流量阀 .....            | 105 |
| 四、电液比例阀的性能 .....         | 106 |
| 五、电液比例阀在系统中的应用 .....     | 107 |
| 第六节 电液数字阀 .....          | 108 |
| 一、数字阀控制系统的工作原理和组成 .....  | 108 |
| 二、数字阀结构原理 .....          | 110 |
| 第七节 阀控缸(或马达)组件 .....     | 112 |
| 一、数控步进液压缸 .....          | 112 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 二、数控步进液压马达 .....          | 113 |
| 习题与思考题 .....              | 114 |
| <b>第四章 气动控制</b> .....     | 116 |
| 第一节 概述 .....              | 116 |
| 一、气动控制的发展及其优缺点 .....      | 116 |
| 二、气动控制系统的组成和分类 .....      | 117 |
| 第二节 气体流动的基本方程 .....       | 118 |
| 一、可压缩气体绝热流动伯努利方程 .....    | 118 |
| 二、有机械功的压缩性气体能量方程 .....    | 118 |
| 第三节 气动控制阀的压力流量特性 .....    | 119 |
| 一、气体通过节流孔的压力流量特性 .....    | 119 |
| 二、两个可变节流孔串联的稳定流动 .....    | 123 |
| 三、三通阀的压力流量特性 .....        | 124 |
| 四、四通阀的压力流量特性 .....        | 125 |
| 第四节 气压伺服阀 .....           | 129 |
| 一、气压伺服阀的结构原理 .....        | 129 |
| 二、喷嘴挡板阀的静特性分析 .....       | 129 |
| 三、喷嘴挡板阀的动特性 .....         | 132 |
| 第五节 气动伺服机构 .....          | 133 |
| 一、阀控气缸的分析 .....           | 133 |
| 二、气动伺服机构举例 .....          | 135 |
| 习题与思考题 .....              | 138 |
| <b>第五章 信号处理电路</b> .....   | 139 |
| 第一节 集成运算放大器及其主要特性参数 ..... | 139 |
| 一、理想运算放大器 .....           | 139 |
| 二、集成运算放大器的主要直流参数 .....    | 140 |
| 三、集成运算放大器的主要交流参数 .....    | 142 |
| 第二节 信号放大电路 .....          | 143 |
| 一、反相放大器 .....             | 143 |
| 二、同相放大器 .....             | 144 |
| 三、基本差动放大电路 .....          | 145 |
| 四、高输入阻抗放大电路 .....         | 147 |
| 五、放大器的增益调节电路 .....        | 149 |
| 第三节 信号运算电路 .....          | 153 |
| 一、加法、减法运算电路 .....         | 153 |
| 二、对数、指数运算电路 .....         | 154 |
| 三、积分、微分运算电路 .....         | 157 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 四、PID 调节电路 .....           | 159 |
| 第四节 信号控制电路 .....           | 161 |
| 一、电位器给定的控制电压信号 .....       | 161 |
| 二、信号产生电路 .....             | 163 |
| 第五节 功率放大电路 .....           | 166 |
| 一、步进电机的功率放大电路 .....        | 166 |
| 二、直流伺服电机的 PWM 功率放大电路 ..... | 180 |
| 第六节 电路中的抗干扰技术 .....        | 188 |
| 一、电磁干扰 .....               | 188 |
| 二、抗干扰技术 .....              | 190 |
| 三、电源干扰的抑制 .....            | 194 |
| 习题与思考题 .....               | 197 |
| 第六章 计算机控制系统概述 .....        | 198 |
| 第一节 计算机控制系统概论 .....        | 198 |
| 一、计算机控制系统的组成及特点 .....      | 198 |
| 二、计算机控制系统的分类 .....         | 200 |
| 三、计算机控制技术的发展方向 .....       | 203 |
| 第二节 计算机控制系统的接口技术 .....     | 205 |
| 一、计算机接口技术概述 .....          | 205 |
| 二、模拟量接口 .....              | 205 |
| 三、开关量接口 .....              | 221 |
| 第三节 信号的采样与保持 .....         | 227 |
| 一、采样过程的数学描述 .....          | 227 |
| 二、采样定理 .....               | 229 |
| 三、数据保持原理 .....             | 233 |
| 四、零阶保持器 .....              | 234 |
| 五、一阶保持器 .....              | 236 |
| 第四节 计算机控制系统的模拟化设计 .....    | 238 |
| 一、数字 PID 控制器设计 .....       | 239 |
| 二、数字 PID 控制的改进算法 .....     | 244 |
| 三、数字 PID 控制器的参数整定 .....    | 250 |
| 四、模拟控制器的离散化方法 .....        | 254 |
| 第五节 计算机控制系统的离散化设计 .....    | 262 |
| 一、离散设计的设计原则 .....          | 262 |
| 二、最小拍无差控制系统设计 .....        | 263 |
| 三、无波纹最小拍无差控制系统设计 .....     | 270 |
| 习题与思考题 .....               | 273 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 第七章 机电控制系统的设计和应用..... | 275 |
| 第一节 静态设计.....         | 275 |
| 一、电液控制系统的静态设计.....    | 275 |
| 二、电动机控制系统的静态设计.....   | 280 |
| 第二节 控制系统的动态设计.....    | 282 |
| 一、电液控制系统.....         | 282 |
| 二、伺服电动机控制系统.....      | 298 |
| 参考文献.....             | 302 |

在生产中,它按人们预先规定的程序自动地运行,并输出功率,因此,机电控制设备已成为现代工业、军事技术和交通运输不可缺少的一部分,它的应用范围从计算机、雷达、打印机的控制到农业、林业、从大型机械设备的控制、冶金、化工、机械、航空、航海、船舶、航天航天技术、海洋技术等各个方面,非常广泛。

机电控制设备主要介绍自动控制的机电设备,它的各种执行元件、控制元件及其所组成的系统,同时介绍计算机控制技术。

## 第一节 机电控制系统的组成

### 一、机电控制系统的组成

机电控制系统最基本的组成如图1-1所示。



图1-1 机电控制系统的组成

当给定元件发出指令,经比较元件放大后,使执行元件按指令的要求运动,执行元件输出的位移或速度,经反馈元件反馈到比较元件,形成负反馈系统。

在要求控制精度较高的场合,往往采用伺服控制,伺服系统由伺服电动机、伺服放大器、伺服电动机等组成,其工作原理如图1-2所示。

在计算机日益普及的情况下,许多控制任务采用计算机进行控制,如图1-3所示。它可实现对生产过程的控制,并能实现自动控制。

本章主要介绍机电控制系统的组成、控制元件、执行元件、控制元件及计算机控制。

## 第一章 概 论

科学技术的进步,特别是电子技术的发展,极大地推动了学科之间的交叉和渗透。学科的纵向分化和横向综合是当今学科的发展趋势,机械工程领域发展的标志便是机械装备的自动化程度不断提高,并逐步发展为机电一体化的综合体。机电控制及自动化可以解决机械装备的自动控制问题。这种自动控制的机电装备能提高产品的质量、降低生产成本、提高劳动生产率,它使人们从繁重的体力劳动和重复的手工操作中解放出来,因此,机电控制装备已成为现代工业、科学技术和军事工程等不可缺少的部分。它的应用范围从计算机存储器、打印机的控制到绘图仪、记录仪,从大型科学实验设备到轻工、冶金、土建、机械、船舶、武器控制、航空航天技术、海洋技术等诸方面,非常广泛。

机电控制课程主要介绍自动控制的机电装备,它的各种执行元件、控制元件及其所组成的系统,同时介绍计算机控制技术。

### 第一节 机电控制系统的组成

#### 一、机电控制系统的组成

机电控制系统最基本的组成如图 1-1 所示。

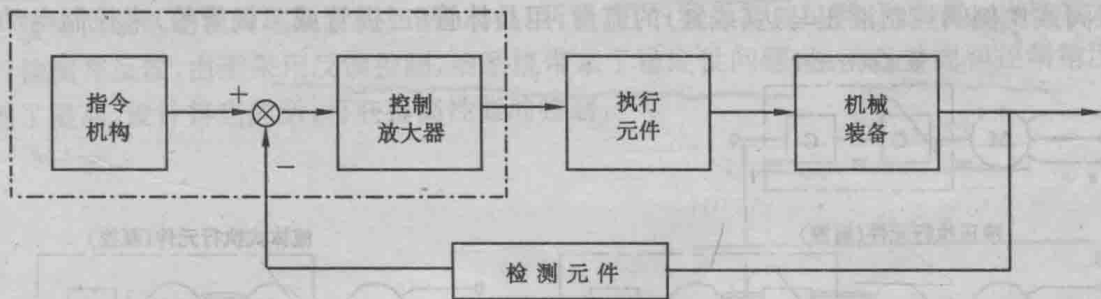


图 1-1 机电控制系统方框图

由指令机构发出指令,通过控制放大器放大该信号,使执行元件按指令的要求运动,而执行元件往往和机械装备相连接,使机械装备的被控量如位移、速度、力等等按要求的规律运动。

在要求控制精度较高的场合,往往采用闭环控制,需要用检测元件对被控量进行检测,将该检测量转换成电量后反馈到输入端与指令信号相比较,再由差值进行控制。

在计算机日益普及的情况下,自动控制往往采用计算机进行控制和数据处理。如图 1-1 中点画线所示,它可以取代指令机构及控制放大器的部分功能,并使控制更灵活。

本课程叙述控制系统中的控制执行元件、控制放大器和计算机控制。尤其对控制执行元

件予以详细的介绍。检测元件和机械装备各不相同,另有课程专门叙述,本书仅在介绍控制系统时对其略加叙述。

二、机电控制系统的分类

机电控制主要以系统的执行元件进行分类。

执行元件可分为机械式、电气式和流体式(包括液压和气动)三大类别。

三种执行元件可根据其构造、能量变换元件和功率变换控制器进行对比,如表 1-1 所列。

表 1-1 各种执行元件和结构因素的比较

| 工作能量    | 功率源           | 能量变换元件       | 功率变换控制器     |          |
|---------|---------------|--------------|-------------|----------|
|         |               |              | 阀式控制        | 功率源控制    |
| 机械式(动力) | 原动机、飞轮        | 无            | 离合器、飞轮      | 无        |
| 流体式(压力) | 液压(气)泵、蓄能器    | 液压(气动)马达或缸   | 伺服阀、比例阀等    | 变量泵      |
| 电气式(电力) | 商用电源(发电机)、蓄电池 | 电动机、动铁或动圈式元件 | 开关、晶体管、可控硅等 | 可变电电压发电机 |

它们的结构情况如图 1-2 所示。表及图表明了各种执行元件能量的转换和功率的控制情况。由图可见,机械式没有能量转换元件,控制元件只能用离合器、飞轮等很难进行控制的器件,目前已被淘汰。在机电控制中使用的主要是流体式和电气式,本课程也只叙述这两种形式的控制。

图 1-2 中的左半部分是阀式控制的结构,用不同形式来控制进入执行元件的功率,如用伺服阀或比例阀控制液压马达(或缸)的流量,用晶体管(三极管或二极管等)来控制电动机

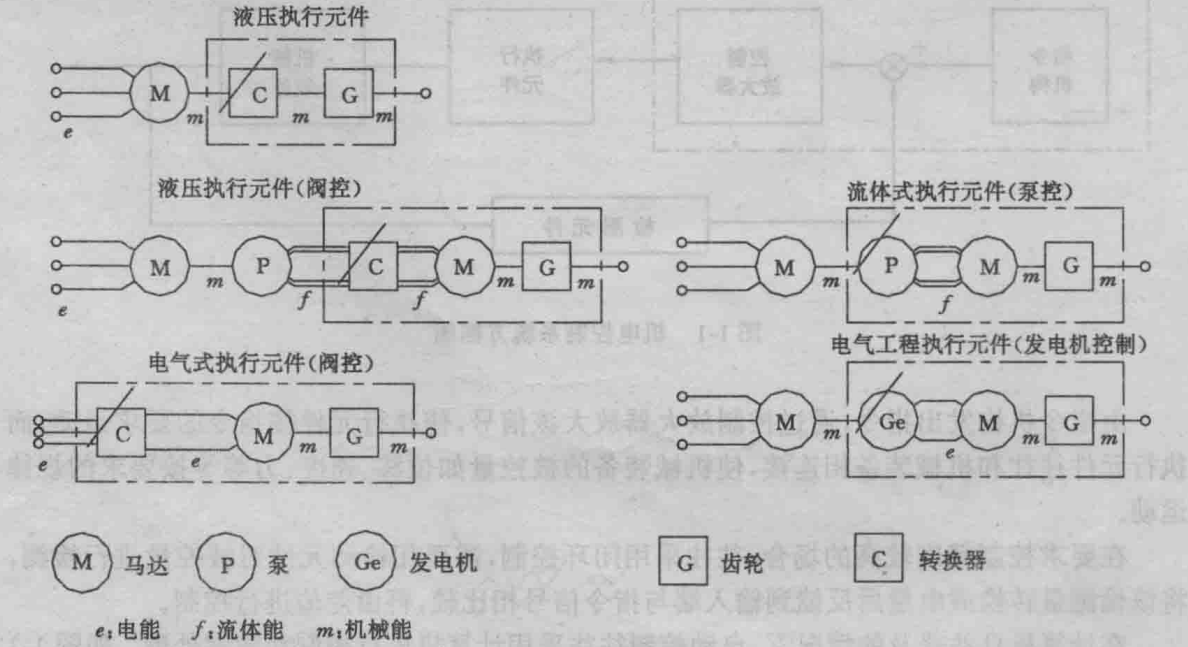


图 1-2 执行元件的结构图

的转速或力矩,等等。这种结构的操纵功率小、响应快,但系统的效率低、能耗大。右半部分是改变功率源的输出以达到控制的目的,如用变量泵改变输入液压马达中的流量以改变转速,用可变电电压的发电机改变电压以达到使用电动机变速的目的,等等。这种结构控制的功率大、响应慢,但能达到节能的效果,一般只在动态要求不高时采用。实际使用时还需有另一套控制系统来控制泵的流量和发电机电压的变化。

由图 1-2 左半部分可见,阀控流体式执行元件中能量之间的变换比电气的多,这必然带来功率损失,使控制系统效率低。但这种结构可用于高速、大功率的场合。电气式的执行元件虽然能量转换较少,但功率也小,虽然目前控制电机也在不断发展,在快速性和功率容量上都有所提高,但总的容量及响应性能还是不能代替液压式执行元件的。

## 第二节 机电控制系统简介

机电控制系统一般可由控制电机、电液控制机构及电—气动机构三种控制及执行元件组成,现分述如下。

### 一、电动机控制系统

电动机控制系统的执行元件是控制电动机,包括直流伺服电动机、交流伺服电动机及步进电动机等,都有着广泛的应用,在此先作简介。

#### (一) 直流伺服电动机

直流伺服电动机近来不断在结构上进行改进,使性能得到了提高。控制用的直流伺服电动机的特征是惯性小、启动力矩大、启动时能迅速达到要求的速度,能承受频繁的加、减速,设计得当不存在散热、退磁等问题,因而在机械手、数控机床等方面得到了较为广泛的应用。

直流伺服电动机的控制系统如图 1-3(a)所示,它的输出量是位移、速度等。用检测元件进行检测并反馈,由于采用反馈控制,给系统带来了稳定性问题,但动态性能和控制精度都得到了提高,设计得当的话,可获得高性能的控制。

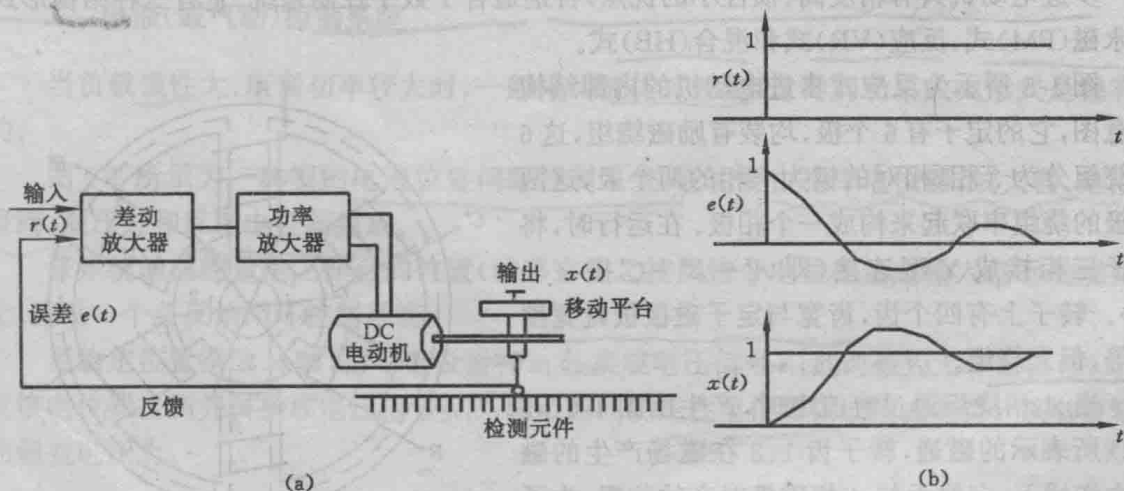


图 1-3 直流伺服电动机反馈控制系统及其响应曲线

## (二) 交流伺服电动机

交流伺服电动机就是两相异步电动机。它的定子上装有两个绕组，一个是励磁绕组，另一个是控制绕组，两者在空间相隔 $90^\circ$ 。交流伺服电动机目前有两种，一种为笼形转子，另一种为杯形转子。笼形转子的制作与三相笼形异步电动机转子相似。但从结构上，为了减少转动惯量常做成细长形，并且转子导体采用高导电率的铝或黄铜制成。杯形转子通常用铝合金或铜合金制成空心薄壁圆筒，以降低转动惯量。此外空心杯形转子内放置固定的内定子，目的是减少磁路的磁阻。两相异步电动机定子和转子如图 1-4(a) 所示。杯形转子交流伺服电动机的结构如图 1-4(b) 所示，绕组、内外定子和转子已经在图中标出。这种电动机的应用范围十分广泛。

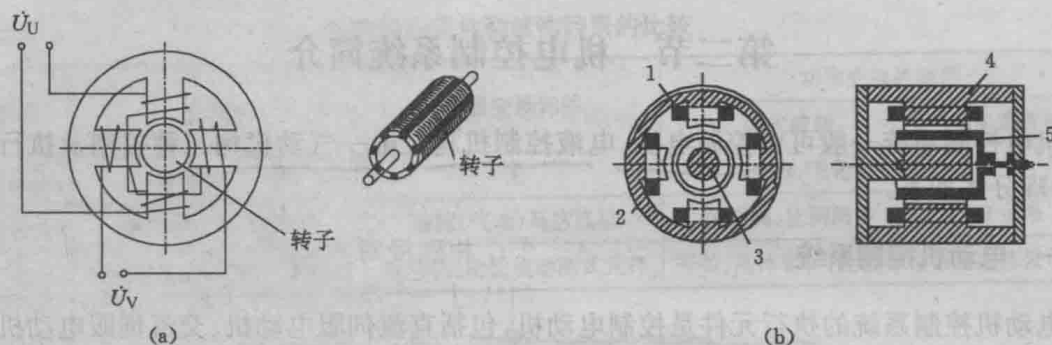


图 1-4 交流伺服电动机

(a) 两相异步电动机的定子与转子；(b) 杯形转子伺服电动机的结构

1——控制绕组；2——励磁绕组；3——内定子；4——外定子；5——转子

## (三) 步进电动机

步进电动机是将输入的脉冲信号转变成角位移或直线位移的电动机，即给一个脉冲信号，电动机移动一步。

步进电动机具有精度高、惯性小的优点，特别适合于数字控制系统。它有三种结构形式，即永磁(PM)式、反应(VR)式和混合(HB)式。

图 1-5 所示为反应式步进电动机的内部结构示意图，它的定子有 6 个极，均装有励磁绕组，这 6 个绕组分为 3 相，相对的极为一相的两个极，这两个极的绕组串联起来构成一个相极。在运行时，将定子三相接成 Y 型连接（即  $A'-B'-C'$  接在一起）。转子上有四个齿，齿宽与定子磁极极靴宽度相等，但无绕组。

当 A 相绕组通过直流电时，产生由图 1-6(a) 虚线所表示的磁通，转子齿 1、3 在磁场产生的磁力作用下，定位于与 A 相磁极对齐的位置。为了使转子产生“步进”动作，必须改变定子控制绕组的通电状态，此时若 A 相控制绕组断电，并接通 B

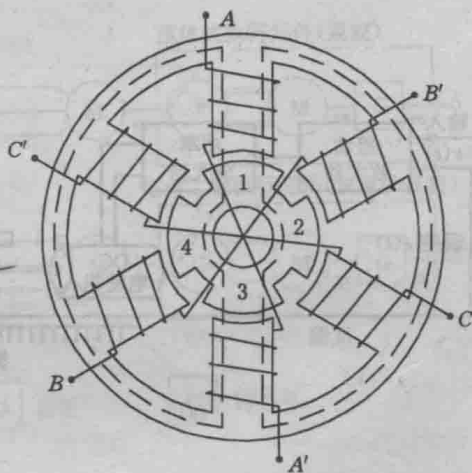


图 1-5 三相反应式步进电动机结构示意图

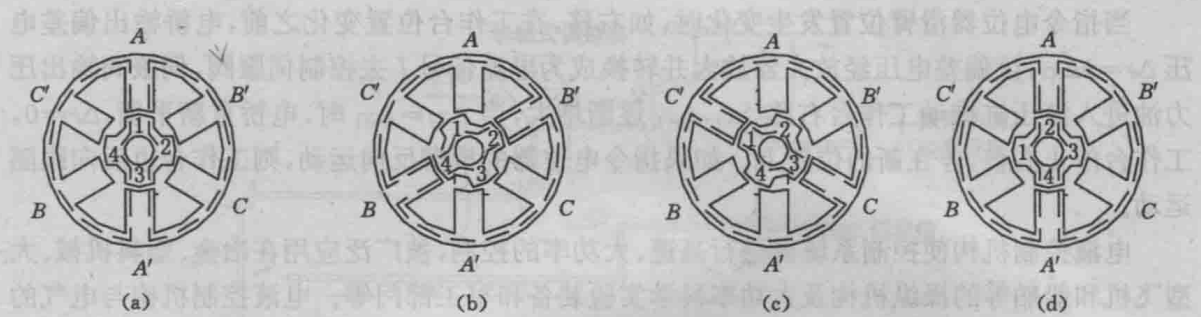


图 1-6 三相反应式步进电动机工作原理

相控制绕组,处于受  $B$  相绕组所建立的磁场影响最大的转子齿 2、4,在磁拉力的作用下,就会以反时针方向朝  $B$  相磁极转去,直到转子齿 2、4 与  $B$  相磁极对齐为止,见图 1-6(b),即在定子控制绕组通电状态改变之后,转子朝反时针主方向转过一个角度,此角度称为步进电机的步距角,以  $\theta_s$  表示。当  $B$  相控制绕组断电,  $C$  相绕组通电时,如上所述,转子又会以反时针方向转过一个步距角,此时,转子齿 1、3 和定子  $C$  相磁极对齐,见图 1-6(c)。同理,  $C$  相控制绕组断电,  $A$  相绕组通电时,转子以反时针方向转过一个步距角,转子齿 2、4 与  $A$  相磁极对齐,见图 1-6(d)。至此定子三相绕组完成一个通电循环( $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$ ),而转子便转过三个步距角,本例中走过  $90^\circ$ (这也就是一个转子齿距角)。由此可以推断,要完成转子转过一周,定子绕组就应完成三个上述通电循环。如果保持这个通电循环不断进行下去,那么转子就不停地旋转。

在要求不高的场合可采用开环控制,但在负载过大或速度过高时可能产生失步现象从而使系统存在误差。采用闭环控制可弥补此缺点,但将使系统复杂。

步进电动机还可以和液压元件结合,复合成集电气、液压于一体的电液步进液压缸(或马达)等。

## 二、电液(或气动)控制系统

当负载惯性大、所需功率较大时,一般采用流体式控制,这样的功率放大形式是很有利的。

图 1-7 所示为一典型的电液位置伺服控制系统,它主要由指令电位器、放大器、电液伺服阀、液压缸和反馈电位器组成。

该系统的被控量是工作台的位置(位移),使之按照指令电位器给定输入信号的规律变化,这是一个负反馈闭环控制系统。

当给定位置指令  $x_i$  时,指令电位器将  $x_i$  转换成电压信号  $e_i$ ,此时被控工作台位移( $x_f$ )由反馈电位器检测并转换成电压信号( $e_f$ ),两个相同的线性电位器接成桥式电路。该电桥输出的偏差电压为:

$$\Delta e = e_i - e_f = k(x_i - x_f)$$

式中  $k$ ——电位器增益。

当工作台位置( $x_f$ )与指令位置( $x_i$ )相一致时,电桥输出偏差电压  $\Delta e = 0$ ,此时放大器输出电流  $I = 0$ ,电液伺服阀处于零位,没有电流输出,工作台不动,系统处于平衡状态。

$$2 = \frac{360^\circ}{3 \cdot 4} = 30^\circ$$

当指令电位器滑臂位置发生变化时,如右移,在工作台位置变化之前,电桥输出偏差电压  $\Delta e = k\Delta x_i$ ,该偏差电压经放大器放大并转换为电流信号  $I$  去控制伺服阀,伺服阀输出压力油进入液压缸推动工作台右移  $\Delta x_f$ , $\Delta x_f$  逐渐增大,当  $\Delta x_f = \Delta x_i$  时,电桥重新平衡, $\Delta e = 0$ ,工作台停止右移,停在新的位置上。如果指令电位器的滑臂反向运动,则工作台也反向跟随运动。

电液控制机构使控制系统能进行高速、大功率的控制,被广泛应用在冶金、塑料机械、大型飞机和船舶等的操纵机构及大功率科学实验装备和军工部门等。电液控制机构与电气的相比,缺点是需要液压源、价格较高,液压油的管理和使用也比较麻烦。

电—气动机构的结构原理图和图 1-7 相似,所不同的仅是以空气代替液压油作为介质,这种控制系统维护管理较容易,但由于空气的可压缩性而使动态特性恶化,此外运动副还需要加以润滑,它在机器人、机械手、机床的程序控制等容易维护的机构中得到广泛应用。

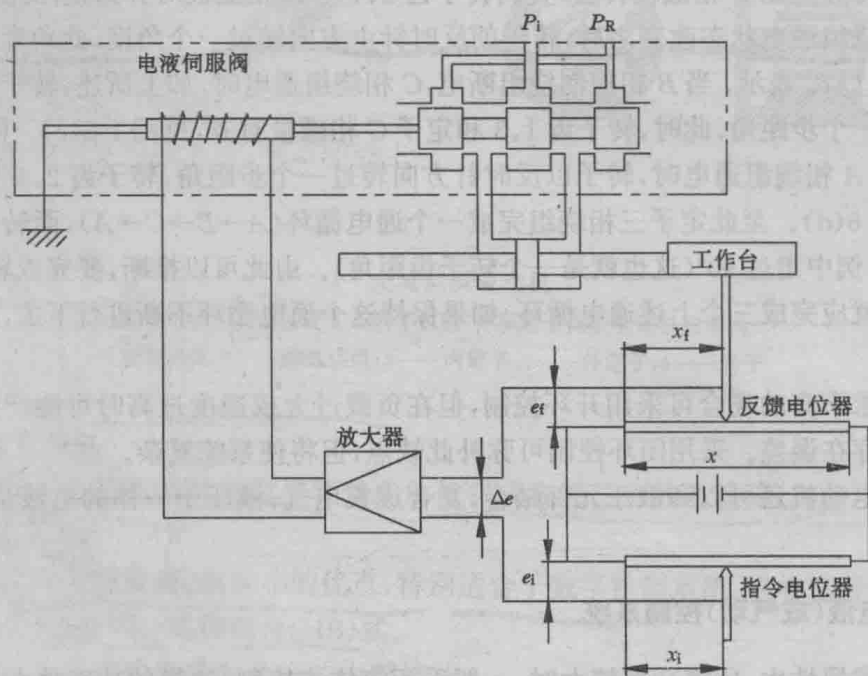


图 1-7 电液伺服控制系统

### 三、机电控制系统实例

要充分理解机电控制,最有效的方法是了解一些应用实例,由于实用机电系统较多,在此仅举几个简单例子。

图 1-8 所示是用于船舶推进器的离心调速器,它是利用离心力原理的机械式调速器。当受到外界干扰时,实际转速高于(或低于)设定的目标转速时,调速器的重锤向外侧张开(或向内侧收缩),带动滑块向上(或向下)移动,通过中间的连杆机构将燃料阀门关小(或开大)。这样,就能控制转速使之保持一定。由于这种调速器完全由机械零件构成,所以必须在准确得知各零件的重量和摩擦因数的基础上,通过选择和调整重锤及弹簧进行精确控制。

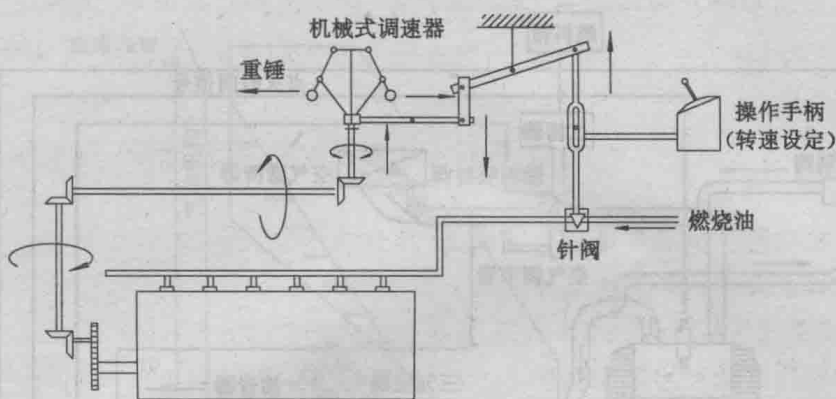


图 1-8 机械式调速器控制简图

图 1-9 所示是同样用于船舶推进器的电子调速器示意图,当受到外界干扰,使实际转速相对于设定转速发生变化时,在电路中通过将实际转速的反馈值与目标设定值进行比较,得到差值的电压信号,再经过 PID 控制计算,产生控制信号,由控制信号控制执行装置和传动装置,驱动燃料控制阀来增加或减少燃料。

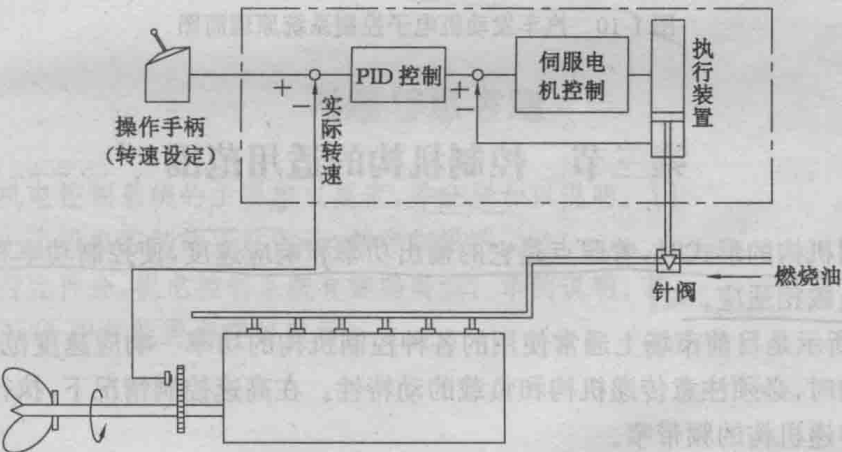


图 1-9 电子调速器控制简图

图 1-10 所示为汽车发动机电子控制系统,发动机控制单元(engine control unit, ECU)的核心是微处理器,从各个传感器得到的模拟电压信号和从发电机输出轴得到的脉冲信号都输入到 ECU,模拟信号通过模拟/数字(A/D)转换器转换为数字信号。以这些信息为基础,在 ECU 内对最佳空气燃料比、点火时间、排气再循环率(exhaust gas recirculating, EGR)等进行计算,将计算结果作为控制燃料喷射阀和点火装置等的驱动信号输出。

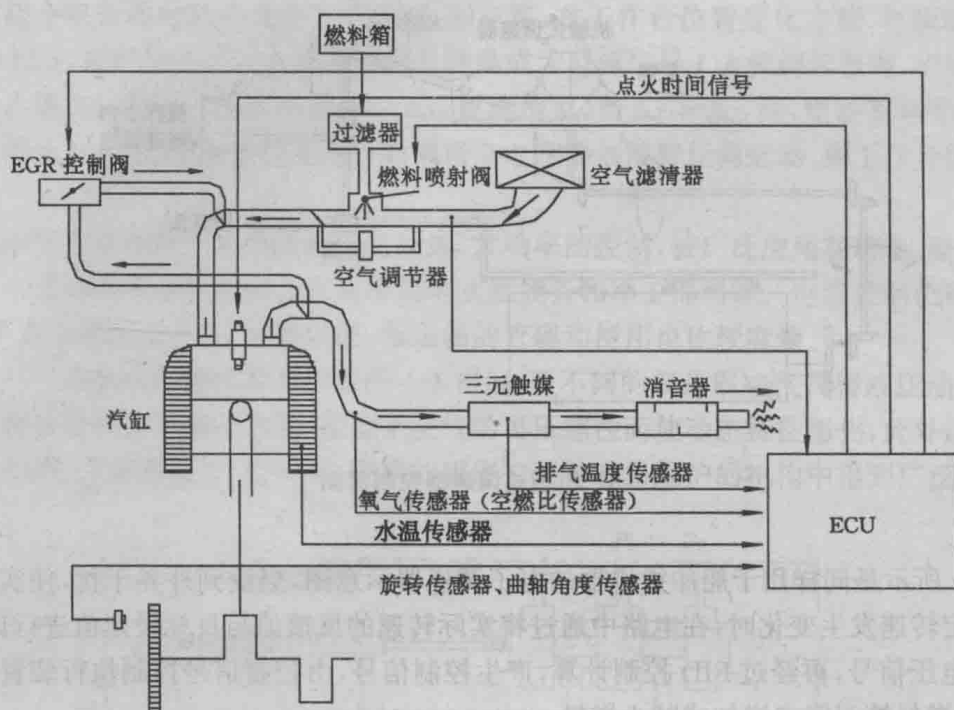


图 1-10 汽车发动机电子控制系统原理简图

### 第三节 控制机构的适用范围

选择控制机构的形式时，着眼点是它的输出功率和响应速度，使控制功率和驱动机器的输出特性与负载相适应。

图 1-11 所示是目前市场上通常使用的各种控制机构的功率—响应速度范围。在设计、选择控制机构时，必须注意传递机构和负载的动特性。在高速控制情况下，执行元件的频带有时可能比传递机构的频带宽。

在控制微小运动时，必须特别注意它的频带范围。在输入较大信号时，必须考虑放大器和伺服阀的饱和情况、电动机的最大电流、控制机构的力和速度的使用范围等。这些称为静态特性或操作性能，应与控制性能相区别。控制性能应注意它的响应能力，一般称为动态性能。

在直流电动机和电液控制机构使用范围相重合时，二者比较，直流电动机的传递函数近似于一阶滞后环节，分析较简单，而电液控制机构中，电液伺服（或比例）阀的传递函数要复杂得多，与液压缸一起考虑至少为三阶，而且内部情况很难了解。因此这两种控制机构各有利弊，选择条件和设计准则很难一概而论，需根据具体情况做出决定。