

国家机械工业委员会统编

# 机床电气控制设备

(高级维修电工适用)

机械工人技术理论培训教材

JIXIEGONGREN JISHULILUNPEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

本书主要内容：介绍自动控制理论的基本概念，对B2012A型龙门刨床控制系统、顺序控制器、可编程序控制器、数显装置、晶闸管一直流电动机双闭环调速系统及数控机床等电气控制设备，以及装置的基本构成和工作原理作了较为详尽的分析，并对安装、调试和维修方法等作了较为完善的论述。

书中的名词术语、图形符号和计量单位均采用了新的国家标准。内容的阐述力求避免繁琐的数学推导，文字通俗易懂，适合高级维修电工培训之用，并可供有关专业技术人员及工人学习和参考。

本书由南京机床厂方锺祚、毕仙大编写，由南京自动化技术研究所孟志先和南京电瓷总厂吴富南两同志审稿。

## 机床电气控制设备

(高级维修电工适用)

国家机械工业委员会统编

\*

责任编辑：边萌      责任校对：申春香

封面设计：林胜利 方芬    版式设计：霍永明

责任印制：卢子祥

\*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南路一号)

(北京市书刊出版业营业许可出字第117号)

煤炭工业出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

\*

开本 787×1092<sup>1</sup>/<sub>32</sub> · 印张9<sup>3</sup>/<sub>8</sub> · 插页2 · 字数 218千字

1988年10月北京第一版 · 1988年10月北京第一次印刷

印数 00,001—23,700 · 定价：3.60元

\*

ISBN 7-111-00844-8/TM·115



## 前 言

1981年，原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》，确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此，组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲（试行）》，编写了相应的教材，有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作，初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况，取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准（通用部分）》进行了全面修订，原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求，而且缺少高级部分；编写的教材，由于时间仓促、经验不足，在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此，原机械工业部根据新《标准》，重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》（初、中、高级），于1987年3月由国家机械工业委员会颁发，并根据培训计划、大纲的要求，编写了配套教材149种。

这套新教材的编写，体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神，坚持了文化课为技术基础课服务，技术基础课为专业课服务，专业课为提高操作技能和分析解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上，力求以

---

基本概念和原理为主，突出针对性和实用性，着重讲授基本知识，注重能力培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂、长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易；教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会  
技工培训教材编审组

1987年11月

# 目 录

## 前 言

## 第一章 自动控制原理的基本概念 ..... 1

### 第一节 概述 ..... 1

### 第二节 开环及闭环控制系统 ..... 2

### 第三节 自动控制系统的类型 ..... 6

### 第四节 自动控制系统的稳定性 ..... 11

### 复习题 ..... 16

## 第二章 B2012A型龙门刨床 ..... 17

### 第一节 B2012A型龙门刨床主电路分析 ..... 17

### 第二节 B2012A型龙门刨床的控制线路 ..... 35

### 第三节 B2012A型龙门刨床的安装与调试 ..... 48

### 第四节 常见故障的分析与排除 ..... 57

### 复习题 ..... 72

## 第三章 程序控制器 ..... 73

### 第一节 概述 ..... 73

### 第二节 基本逻辑型顺序控制器 ..... 74

### 第三节 条件步进型顺序控制器 ..... 96

### 第四节 可编程程序控制器概述 ..... 119

### 复习题 ..... 148

## 第四章 晶闸管直流调速系统 ..... 149

### 第一节 晶闸管一直流电动机系统 ..... 150

### 第二节 单闭环有差调速系统 ..... 160

### 第三节 无静差调速系统 ..... 175

### 第四节 速度与电流双闭环调速系统 ..... 189

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 复习题 .....                | 190 |
| 第五章 位置的数字显示 .....        | 191 |
| 第一节 检测元件 .....           | 191 |
| 第二节 SF13型感应同步器数显装置 ..... | 207 |
| 第三节 感应同步器的安装与调整 .....    | 248 |
| 第四节 数显表的调试与维修 .....      | 258 |
| 复习题 .....                | 262 |
| 第六章 数控机床概述 .....         | 264 |
| 第一节 数控机床发展概况 .....       | 264 |
| 第二节 数控机床的工作原理 .....      | 265 |
| 第三节 程序编制 .....           | 271 |
| 第四节 输入装置 .....           | 282 |
| 第五节 插补原理、控制器、运算器 .....   | 283 |
| 第六节 伺服装置 .....           | 287 |
| 第七节 数控机床的主传动 .....       | 297 |
| 第八节 数控机床维修要领 .....       | 300 |
| 复习题 .....                | 302 |

# 第一章 自动控制原理的基本概念

## 第一节 概 述

自动控制是现代技术中不可缺少的一部分，机械、化工、电力、空间技术等工业部门都要依靠自动控制来满足生产过程中高性能的需要。应用自动控制，不仅能使现代技术得以飞快发展，生产效率得以大幅度提高，还能使人们从繁重的体力劳动、手工操作和高温、高压、有害、有毒的工作条件下解放出来。因此，自动控制正在起着越来越大的作用。

所谓自动控制，就是在没有人直接参加的情况下，应用控制装置使控制对象（如机器、设备或生产过程等）自动地按照预定的规律运行或变化。能够对被控对象的工作状态进行自动控制的整个系统称为自动控制系统。它一般由被控对象和控制装置组成。

自动控制理论就是研究自动控制共同规律的技术科学。自动控制理论研究始于1868年对飞球调节器稳定性的研究。它的初期是以反馈理论为基础的自动调节原理。随着工业生产和科学技术的发展，现已发展成为一门独立的科学——控制论。二次世界大战期间，自动控制技术开始迅速地发展起来。到50年代末期，自动控制理论已经形成比较完整的理论体系，以这种理论为基础的自动控制方法已在实践中得到证实，并已获得广泛的应用。通常把这个时期以前应用的自动控制理论称为经典控制理论，它主要研究单输入-单输出系统的输出控制。它的数学工具是传递函数，它的主要方法是

频率法和根轨迹法。进入50年以来,由于船舶、飞机以及雷达天线系统需要精密而快速的控制。经典理论已不能满足上述高性能、高精度的复杂控制系统的要求,加上半导体器件和电子计算机的发展,提供了可以提高精确性、可靠性及经济性的控制设备和测试仪器。特别是计算机时代的出现对控制系统具有显著的影响。在工业过程控制系统中,数字计算机能对许多变量同时进行测量和控制,以获得最佳控制。这就使得自动控制理论又发展到了一个新的阶段——现代控制理论。现代控制理论研究多输入-多输出控制系统的状态控制。目前,这种控制理论已成功地应用在航天、航空、航海及工业生产中。

本章着重介绍自动控制原理的一些基本概念,对研究方法不作详细说明。通过本章的学习要求学员对开环、闭环系统有所认识;了解自动控制系统的类型及对自动控制系统的要求,特别是对系统稳定性的要求;知道提高系统稳定性的方法和措施;了解PI和PID调节器在自动控制系统中的作用。

## 第二节 开环及闭环控制系统

自动控制系统有各种各样具体形式,但是总的说来可归纳为两种,即开环控制系统和闭环控制系统。

### 一、开环控制系统

图1-1表示了一台直流电动机转速的开环控制系统。当要改变电动机的转速时,只要转动电位器,改变功率放大器的输入电压,经过放大,改变电动机的电枢电压,从而改变电动机转速;不同的电位器位置,就有相应的电动机转速。所以,若能自动改变电位器位置,就可自动控制转速,以满足

机械加工等的需要。这种转速自动控制系统有下列特点。

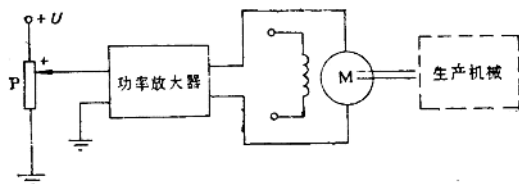


图 1-1 直流电动机转速开环控制

- (1) 电动机的转速受电位器控制；
- (2) 转速对电位器的控制作用没有影响，即没有反作用。

这种输出量对输入量（控制作用）没有影响的系统，就叫开环控制系统。

为了清楚地表明控制系统中各单元间的作用关系（或者说，信号传递关系），常用方框图来表示系统。方框图中的方框不一定都表示一个完整的装置，有时只代表在系统中出现的某个功能。图1-1系统的方框图如图1-2所示。每个方框的输入，就是输入到该单元的作用量；方框的输出，则为该单元受到输入信号作用后的响应。由图 1-2 也可以看出，作用信号是单方向传递的，形成开环，这是所有开环控制系统的特征。

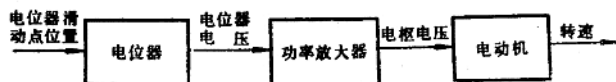


图 1-2 电动机转速开环控制系统方框图

从开环系统的方框图可以清楚地看到，只要给定一个输入，便可得到一个输出，控制系统较为简单。但是这样的系统，其输出量不可能有准确的数值。特别是当系统受到外界干扰时，变化就更大（在图1-1系统中，如果电动机负载转速发生变化，或功率放大器的电源电压有波动，即使电位器位置不变，也会使电动机转速产生变化）。因此，开环控制系统虽简单，但系统精度不高，仅适用于一般要求的场合。

## 二、闭环控制系统

开环控制精度不高的重要原因是：没有根据实际的输出量来随时修正输入量，输出量就受干扰的影响而变化。如果有一种手段，能够根据输出量的变化来及时修正输入量，这就形成闭环控制系统，可大大提高系统的精度。这种手段可以是人工的，如图1-1的系统，只要设法装一只转速表，由人来监视和操作，就可构成一个人工的闭环系统。当发现转速表上的指示高于实际所需的转速值时，人为地将电位器的活动点向着降低给定电压的方向移动，即可降低功率放大器的输入电压，从而使电动机的转速下降，反之亦然。根据输出信号的变化来影响输入信号，这就是反馈。所以闭环控制系统就是反馈控制系统。

采用人工的闭环系统，在复杂、快速、精确的控制中是不能满足要求的。所以，常用一些自动控制元件来代替人的操作。

图1-3表示直流电动机转速闭环控制系统，系统的给定电压仍由电位器来调节，用测速发电机代替转速表作为转速检测元件。工作中测速发电机两端的电压与转速成正比，并将此电压送至输入端，随时与电位器电压进行比较，以其差值来控制放大器，从而达到控制电动机转速的目的，这就构

成了电动机转速闭环控制系统。

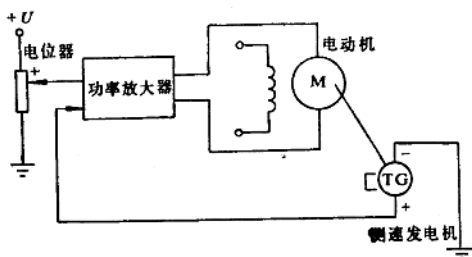


图 1-3 直流电动机转速闭环控制系统

该系统的工作过程是这样的，当电位器调到一定位置时，电动机就以一定的转速旋转。当系统受到外界干扰时（如：电源电压波动；电动机负载转矩发生变化），电动机的转速就会发生变化，这时作为反馈元件的测速发电机的电压也随电动机转速的变化而变化，并将这个变化以负反馈的形式反馈到输入端，经过与给定电压比较以后，将其差值输入放大器，将电动机转速的变化限制在最小的范围内。

图1-4是图1-3闭环系统的方框图。图中“⊗”表示比较器（或称比较环节），它将输入信号与反馈信号进行比较，其差值即为误差信号，它是控制器的输入。可以明显看出，作用信号按闭环传递，系统的输出对控制作用有直接影响（即有负反馈）。这些就是闭环控制系统的特征。在复杂系统中，反馈回路有可能不止一个，第四章中的晶闸管双闭环调速系统就是一个例子。

反馈的概念是自动控制系统中一个很重要的概念。自动控制系统中采用负反馈，除了降低系统误差提高控制精度

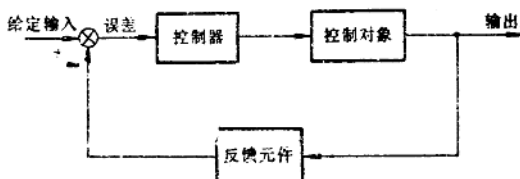


图 1-4 闭环控制系统的方框图

外，还能加速系统的过渡过程。这是系统中加入负反馈以后带来的好处。但实际运用中的系统一般都具有惯性或延滞。因此，对于一定的输入，其输出有时会不稳定而产生振荡。如果系统采用了反馈，有时能抑制振荡，而有时却可能使振荡加剧，甚至不能工作。所以对系统加反馈时一定要适当，否则会事与愿违。有关反馈的概念，在第二章中将结合具体的实例再作分析。

### 第三节 自动控制系统的类型

前面所述的开环控制系统和闭环控制系统，是根据信号传递路径来分类的，除此以外，自动控制系统还有以下的分类方法。

#### 一、按系统输入信号的特征分类

1. 自动镇定系统 这类系统的输入即给定值，是常值或随时间缓慢变化的。系统的基本任务是在系统受到干扰的作用时，使输出保持所需的恒定值。所以，这类系统有时也叫做定值控制系统。上述的直流电动机转速控制系统就属于自动镇定系统。此外，还有恒温、恒压、恒流等自动控制系统都属这一类。

2. 随动系统 这类系统的参考输入不是时间的解析函数, 如何变化事先并不知道 (随着时间任意变化)。这种控制系统的任务是在各种情况下保证输出以一定精度随着参考输入的变化而变化, 所以有时又叫做跟踪系统。随动系统应用极广, 如雷达自动跟踪系统, 火炮自动瞄准系统, 各种电信号记录仪等等。图1-5为火炮自动瞄准随动系统的结构方框图。其工作原理是: 指挥仪的同步传信仪把雷达测到的运动目标的参数 (方位角或仰角) 与火炮的实际位置不断地在受信仪中进行比较。当火炮没有对准目标时, 即产生一失调角  $\theta$ , 由受信仪输出一个与失调角  $\theta$  成比例的电压  $u_s$ , 经放大器放大后送给控制电机, 控制电机通过减速器带动液压放大器滑阀, 从而拖动液压泵的变量机构, 改变倾斜角的转动方向和角度, 使液压马达按一定方向和转速旋转。通过减速器, 一方面带动火炮实现自动瞄准跟踪, 另一方面带动受信仪轴转动, 消除与同步传信仪之间的失调角。当失调角等于零时, 火炮即处于瞄准好目标的状态。实际上指挥仪不断发出命令, 火炮就不停地跟踪。

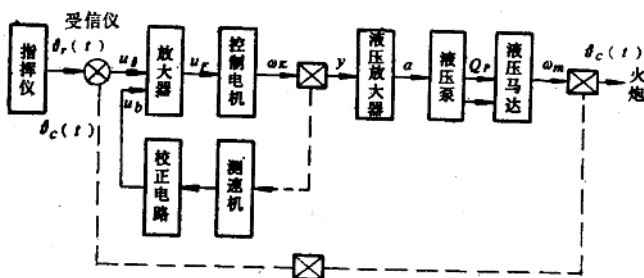


图 1-5 火炮自动瞄准随动系统

3. 程序控制系统 当控制作用按预先给定的规律(又称程序)变化时,也就是当输入量为已知给定值的时间函数时,称为程序控制系统。如数字程序控制机床就是程序控制系统的例子。图1-6是数字程序控制机床的框图。其各部分

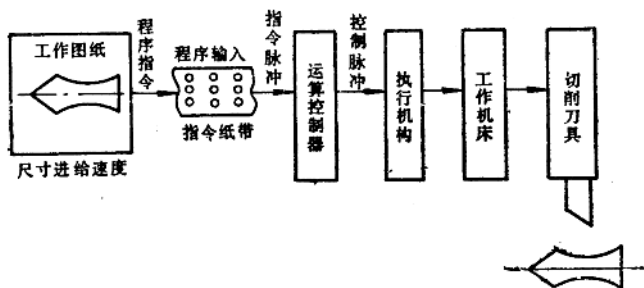


图 1-6 数字程序控制机床(开环系统)

的功能如下:程序输入是根据加工图纸的要求,确定加工工序,并编制程序指令(即要求机床实现加工的命令)。将该指令记录在穿孔纸带上,工作时由光电阅读机或其它输入设备,从纸带上读出程序指令并变成电脉冲(即指令脉冲)送入运算控制器。由运算控制器完成对脉冲的寄存、交换及计算,并输出控制脉冲给执行机构。执行机构根据接收到的电脉冲信号使机床运动,完成程序指令的要求。执行机构可以由步进电机组成的开环控制系统(如图1-6),也可以是由伺服电机加上位置检测元件组成的闭环系统。

## 二、常用的其它几种分类方法

1. 线性系统与非线性系统 在线性系统中,各元件的静特性必须是线性的,即它的特性曲线是一直线。只要系统

中有一个非线性元件，则该系统就称为非线性系统。严格地讲，实际上是不存在线性系统的，各种物理系统总是不同程度地具有非线性。如系统中应用的放大器和铁磁元件都有饱和特性，有时甚至为了获得良好的性能，特地加入非线性元件。但是除了有目的地加入非线性元件以外，当系统的信号或变量变化范围较小，或者非线性程度不严重时，有时为了研究方便，人为地把它简化成线性的。这样，不仅数学上简便，而且还有相当成熟的线性理论。系统的状态和性能可以用线性微分方程来描述。线性系统的特点是可以运用叠加原理。这就是说，当系统有几个输入时，系统的输出等于各自输入时系统输出之和。同时，当系统输入增大或缩小时，系统输出相应也增大或缩小。

非线性系统是用非线性方程来描述的，数学上较难处理，尚无统一的方法来研究不同形式的非线性问题。

2. 连续系统与离散系统 当系统中各元件的输入信号是时间  $t$  的连续函数，各元件相应的输出信号也是时间  $t$  的连续函数，这种系统称为连续系统。连续系统的状态和性能一般用微分方程来描述。信号的时间函数允许有间断点（不连续点），或者在某一时间范围内为连续函数。如果系统是线性的而且又是连续的，它就是线性连续系统。图 1-3 的系统中，若功率放大器是连续工作的话，它就是连续控制系统。

离散系统是指其中只要有一个地方的信号是脉冲序列或数码时的系统。它的特点是，信号在特定的离散的瞬时  $t_1$ 、 $t_2$ ……上是时间的函数，在两瞬时点之间信号是不确定的，如图 1-7 所示。这种系统的性能和状态可用差分方程来描述。采用步进电机的计算机控制系统就是离散控制系统。

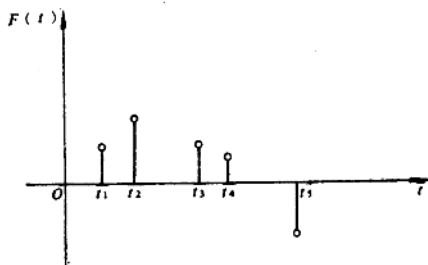


图 1-7 离散时间函数

3. 确定系统与不确定系统 确定系统是指系统的结构和参数是确定的，已知的。作用于系统的输入信号（包括扰动）也是确定的，可用解析式或图表来确切表示。例如信号为

$$F(t) = 20\sin(30t + 30^\circ) \quad (t \geq 0)$$

当  $t = 0$  时， $F(t) = 10$ ，而且当  $t > 0$  时也为定值，信号  $F(t)$  就是确定的。

不确定系统是当系统本身或作用于该系统的信号不确定或模糊时的系统。例如系统输入信号是随机的或者混有随机噪声时，便是最简单的不确定情况，它们不能事先用一定的时间函数来描述。若它们具有统计特性时，则可应用概率理论加以研究。

4. 单输入-单输出系统与多输入-多输出系统 单输入-单输出系统的输入输出信号各为一个，系统较简单。系统中主反馈（从系统输出至输入的反馈为主反馈）只有一个。有时为了改善系统质量，尚可加入局部反馈，所以单输入-单输出系统的反馈控制可以是单回环的，也可以是多回环的。

多输入-多输出系统,信号多,回路也多,而且相互之间有耦合,所以系统相当复杂。分析研究这种系统,工作量很大,往往要求用计算机来解决。工业生产中许多过程控制系统都属多输入-多输出系统,当前都可采用计算机来控制。

自动控制系统除上述介绍的分 类方法以外,还可按被控制量的稳态值来分,可分成有静差系统及无静差系统。倘若按组成系统的主要元件的物理性质来分,又有电气控制系统、液压控制系统、电气-液压控制系统之分。所以分类的方法很多,这里就不一一介绍了。

#### 第四节 自动控制系统的稳定性

对于自动控制系统来说,能否稳定地进行工作是非常重要的,而自动控制理论研究的主要问题之一就是 对自动控制系统的稳定性分析。自动控制的基本任务之一是保证系统能稳定地运行。关于稳定性的分析研究以及系统稳定性的判定,需涉及许多调节原理知识,本节不作深入的探讨。下面只重点介绍影响系统稳定性的原因和提高系统稳定性的措施,以及简单讨论PI(比例积分)和PID(比例积分微分)调节器在自动控制系统中的作用。

##### 一、影响系统稳定性和可靠性的原因

任何系统在外界扰动的作用下,都会偏离原来的平衡状态,产生初始偏差。所谓稳定性,就是指在外界扰动消失后,由初始偏差状态返回原来的平衡状态的性能。当系统在去掉扰动作用以后,能够以足够精确的程度恢复初始平衡状态,则该系统称为稳定的系统。若在扰动消失以后,不能恢复原来的平衡状态,甚至偏差越来越大,则系统是不稳定的。显然不稳定的系统是不能工作的。所以系统稳定性是判别系统