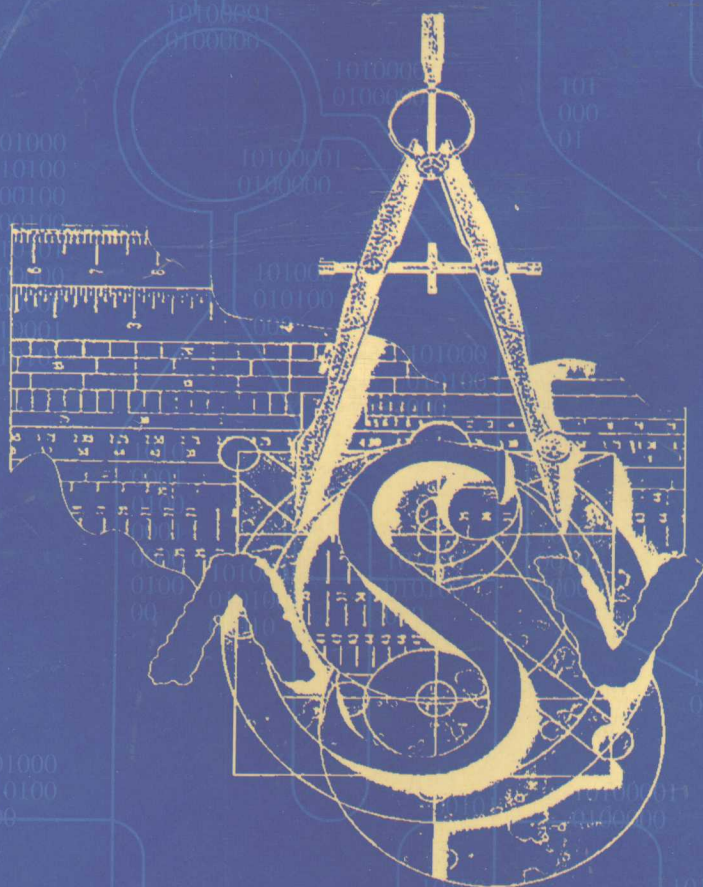


高职高专机电类系列教材

机电设备 控制基础

GAOZHIGAOZHUANJIDIANLEI
XILIEJIAOCAI

张筱琪 主编



中国
人民
大学
出版
社

高职高专机电类系列教材

机申设备控制基础

张筱琪 主编

中国人民大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

机电设备控制基础/张筱琪主编.

北京: 中国人民大学出版社, 2000.

高职高专机电类系列教材

ISBN 7-300-03447-0 / F.1034

I. 机…

II. 张…

III. 机电设备—控制—高等学校: 技术学校—教材

IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 37949 号

高职高专机电类系列教材

机电设备控制基础

张筱琪 主编

出版发行: 中国人民大学出版社

(北京海淀路 157 号 邮编 100080)

发行部: 62514146 门市部: 62511369

总编室: 62511242 出版部: 62511239

E-mail: rendafx@public3. bta. net. cn

经 销: 新华书店

印 刷: 北京市丰台区印刷厂

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 14

2000 年 11 月第 1 版 2000 年 11 月第 1 次印刷

字数: 319 000

定价: 18.00 元

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

内 容 提 要

本书以突出高职教育特色为前提,根据高职教育机电类专业的培养,既顾及理论的完整性和适当的深度又避免了冗长和烦琐的叙述与推导。既顾及专业所需知识点和面,又考虑技术的发展和新知识新技术的应用。

全书从内容上可分两大部分。第一部分:电力拖动的自动控制技术,包括自动控制基础、直流拖动和调速系统、随动系统、交流调速系统;第二部分:继电器控制和可编程控制,包括继电器—接触器控制系统、可编程序控制器、可编程序控制器改造普通机床。

本书在内容编排上考虑到机电设备控制技术涉及的范围很广,很多内容不可能面面俱到,以够用为原则,增加了部分应用方面的内容,如可编程改造普通机床。考虑到专业技术的发展和要求,增加了随动和交流调速的内容。在教材内容上力求做到基础理论与应用实践相结合、新技术新知识 with 专业要求的结合。

前 言

《机电设备控制基础》是根据 1999 年在武汉召开的全国高等职业院校机电类专业教材研讨会上确定的大纲而编写的。

目前高等职业技术教育这一新型教学领域,教材十分匮乏,而很多院校都开设有机电类专业;与此同时机电控制技术迅速发展,尤其是交流调速和可编程序控制器等在机电设备中广泛应用,且技术日臻完善;另外,数控机床等典型机电一体化产品的发展和应用已独成体系,因此编写此教材是十分必要的。

全书共分六章,主要内容有自动控制基础、直流调速系统和随动系统、交流调速系统、常用继电—接触式控制电路、可编程序控制器和用可编程序控制器改造普通机床。每章后附有思考题与练习题,供教师和学生作为参考练习之用,使学生对所学内容能进一步理解和掌握。本教材中所有术语、图形及文字符号均采用最新国家标准。

本教材既注意反映目前机电设备的现状,也注意机电设备控制新技术的发展,以便为学生后续课程的学习和今后从事工程技术工作打下必要的基础。在不失系统性的同时,注重理论联系实际。根据高职教育的特色,本教材深浅适度,叙述深入浅出,按 60~70 学时组织教学,其中实践性教学环节应不少于 30%。通过本课程理论和实践性环节的学习,学生可以掌握必要的基本理论、基本方法和基本技能。

本书由包头职业技术学院的朱宁老师编写第一章,湖南工业职业技术学院的张筱琪老师编写第二章和第三章,曹霞老师编写第四章,胡汉辉老师编写第五章,九江职业技术学院的陈定明老师编写第六章。本教材在编写过程中,湖南工业职业技术学院电气教研室的苏苛云老师和数控专业教研室的邵建华老师提出了许多指导性意见,在此表示衷心的感谢。

因为成书时间仓促,受学识水平所限,疏漏之处在所难免,恳请使用本教材的师生和其他读者批评指正。

目 录

第一章 自动控制基础	(1)
第一节 自动控制理论基本概念和发展	(1)
一、自动控制的任务	(1)
二、自动控制系统的分析、研究方法	(1)
第二节 自动控制系统的组成	(2)
第三节 自动控制系统的类型	(3)
一、开式控制	(3)
二、闭式控制	(3)
三、半闭式控制	(4)
四、复式控制	(4)
第四节 自动控制的性能指标	(5)
一、稳	(5)
二、快	(6)
三、准	(6)
思考题与练习题	(7)
第二章 直流调速系统和随动系统	(8)
第一节 电力拖动基础	(8)
一、生产机械的机械特性和电动机的机械特性	(8)
二、他励直流电动机的机械特性	(11)
第二节 生产机械的速度调节与技术指标	(15)
一、调速方法	(16)
二、调速指标	(17)
三、调速方法与负载的配合	(20)
第三节 具有反馈环节的直流调速系统的组成与工作原理	(22)
一、晶闸管直流调速系统的组成与工作原理	(23)
二、速度负反馈自动调节过程和机械特性	(27)
三、系统的电压负反馈与电流正反馈自动调速	(30)
四、具有电流截止负反馈的自动调速系统	(32)
五、双闭环调速系统应用实例	(33)
第四节 可逆直流调速系统	(38)
一、用接触器控制的电动机正反转电路	(38)

二、两组晶闸管反并联的可逆系统	(39)
第五节 随动系统的组成及原理	(43)
一、位置随动系统概述	(43)
二、位置随动系统的主要组成部件和工作原理	(43)
三、随动系统实例分析	(53)
思考题与练习题	(57)
第三章 交流调速系统	(58)
第一节 串级调速系统	(59)
一、串级调速的原理	(59)
二、串级调速的主要类型	(61)
三、晶闸管串级调速的闭环控制系统	(62)
四、串级调速应用实例	(64)
第二节 变频调速系统	(68)
一、变频器的基本类型	(68)
二、变频调速的条件	(69)
三、交—直—交变频器	(70)
四、交—交变频器	(74)
五、脉宽调制型 (PWM) 变频器	(76)
六、转速开环的变频调速系统	(80)
思考题与练习题	(82)
第四章 常用继电—接触式控制电路	(83)
第一节 常用控制元件	(83)
一、手控电器及主令电器	(83)
二、接触器	(90)
三、继电器	(91)
四、熔断器	(99)
五、自动开关	(102)
第二节 异步电动机基本控制电路	(104)
一、点动与长动控制	(104)
二、多地点与多条件控制	(111)
三、顺序 (条件) 控制	(113)
四、联锁控制	(114)
五、自动循环控制	(117)
六、电液控制	(118)
七、双速电动机控制电路	(123)
第三节 异步电动机的制动控制电路	(124)
一、能耗制动控制电路	(124)
二、反接制动控制电路	(127)

第四节 常用机床控制电路分析	(129)
一、识图	(129)
二、卧式车床电气控制	(132)
三、镗床的电气控制	(134)
四、自动生产线电气控制电路	(138)
思考题与练习题	(143)
第五章 可编程序控制器	(145)
第一节 概述	(145)
一、可编程序控制器的特点、应用及发展	(145)
二、可编程序控制器的基本结构与工作原理	(147)
第二节 PLC 程序的表达方式与技术性能指标	(153)
一、PLC 程序的表达方式	(153)
二、PLC 的技术性能指标	(155)
三、PLC 的分类	(156)
第三节 松下可编程序控制器	(158)
一、FP1 的内部寄存器及 I/O 配置	(159)
二、编程工具	(160)
第四节 编程指导	(161)
一、FP1 的指令系统	(161)
二、PLC 的编程方法	(175)
第五节 FP1 应用程序实例	(179)
一、十字路口交通灯控制	(179)
二、PLC 实现广告彩灯闪烁控制	(180)
思考题与练习题	(183)
第六章 PLC 改造普通机床	(184)
第一节 PLC 改造普通机床	(184)
一、PLC 与继电器—接触器控制的比较	(184)
二、PLC 改造普通机床的方法	(186)
三、PLC 的选型及硬件配置	(187)
第二节 PLC 改造普通机床实例	(188)
一、C650 普通车床的控制要求	(188)
二、控制电路的控制逻辑表达式	(189)
三、I/O 分配及分配表、机型选择、输出输入端接线图	(190)
四、控制电路对应 PLC 的控制逻辑表达式	(192)
五、PLC 梯形图	(192)
六、PLC 指令程序	(195)
第三节 PLC 系统的抗干扰性及发展方向	(196)
一、PLC 系统的抗干扰性	(198)

二、其他注意问题	(198)
三、PLC 的发展方向	(200)
思考题与练习题	(201)
附表	(203)
附表 1 电气常用新旧图形符号对照表	(203)
附表 2 表示种类的单字母符号	(211)
附表 3 常用辅助文字符号	(212)
参考文献	(215)

第一章 自动控制基础

在科学技术发展过程中，自动控制技术起着非常重要的作用。除了在宇宙飞船、导弹制导、飞机驾驶等控制系统中，自动控制系统具有的特别重要的作用外，它已成为现代工业、现代农业、军事、社会管理乃至人类生活等几乎一切领域中必不可少的技术手段。本章将从自动控制理论的一般概念、自动控制系统的组成、系统的类型及性能指标等方面介绍自动控制系统的基本特点，从而给本书研究的具体问题提供一个基础知识。

第一节 自动控制理论基本概念和发展

一、自动控制的任務

自动控制作为一种重要的技术手段，能够承担什么样的技术任务？任何生产设备都必须按照预定的要求运行。例如：要想使发电机正常供电，就必须保持其输出电压恒定，尽量不受负荷变化和原动机转速波动的影响；要想使烤箱做出香喷喷的食品，就必须按照预定的规律来控制烤箱的烘烤温度；要想使数控机床加工出高精度零件，就必须使其工作台或刀架严格按照预定的运动轨迹来运动，等等。因此生产设备中的控制装置起着关键的作用。

自动控制装置的共同点是：不需要人的直接参与，而能控制某些物理量按照指定的规律变化。这也是自动控制的任務。

二、自动控制系统的分析、研究方法

分析、研究和设计自动控制系统非常重要的一步是建立系统的数学模型。数学模型可以有許多不同的形式。随着具体系统和条件不同，一种数学表达式可能比另一种更合适。例如，在古典控制理论的单输入—单输出系统中，一般采用频率响应分析法和根轨迹分析法；而在现代控制理论的多输入—多输出系统中，一般采用状态空间分析法。

自动控制技术还在不断发展的过程中，由于电子计算机的迅速发展极大地推动了控制理论的发展，出现了許多新的学科分支和边缘学科，使自动控制技术的应用领域大大

扩展。是计算机技术将生产的自动化和管理有机地联系在一起，也是计算机技术大大减少了对自动控制系统的自控装置的分析、研制开发的时间。

第二节 自动控制系统的组成

在各种不同类型的自动控制系统中，反馈控制是最基本的控制方式。一个典型的反馈控制系统总是由一些职能元件组成的。

由于控制装置是取代人的一部分工作的，因此剖析一下，人在完成一项有目的的工作中所经历的主要过程和所需要具备的基本职能，对寻求自动控制的原则方法是有所裨益的。

为了有效地进行某项工作，人们总是要经常了解工作的动态，观察实际的结果，观察干扰工作正常进行的各种因素和条件。这个步骤称之为观察或调查。

然后将获得的各方面的情况进行分析、对比，看看实际结果和预期的目标相差多少，并统观全局而作出新的工作安排。这个关键步骤称之为分析、比较和决策。

接下来应该是根据新的安排去执行。执行的效果如何，需要再观察、再分析，循环往复直至工作结束。

工作中，各职能部门的作用及其相互联系，可用图 1-2-1 表明。图中职能机构和工作对象均以方框表示，箭头方向指示了各部分的联系。

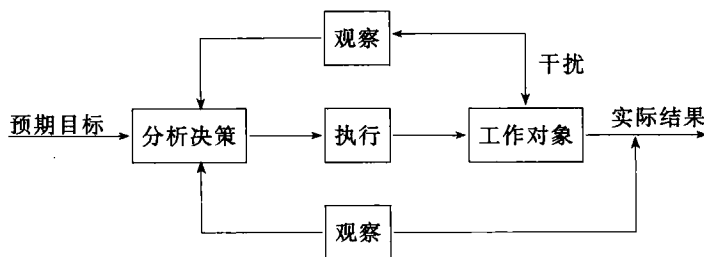


图 1-2-1 人工职能图

如果用技术装置和工程语言代换图 1-2-1，则

工作对象——即受控对象；

实际结果——被控量；

预期目标——给定值或参考输入；

观察机构——测量元件或传感器；

分析、决策——比较、计算控制器；

得到的自动控制的原理方框如图 1-2-2 所示。

(1) 测量元件：它的职能通常是把被控制的物理量或干扰的物理量检测出来。如果这个物理量属于非电量，那么要把它转换成为电量，以便处理。

(2) 比较计算元件：它的职能是测量的物理量与给定量的比较。

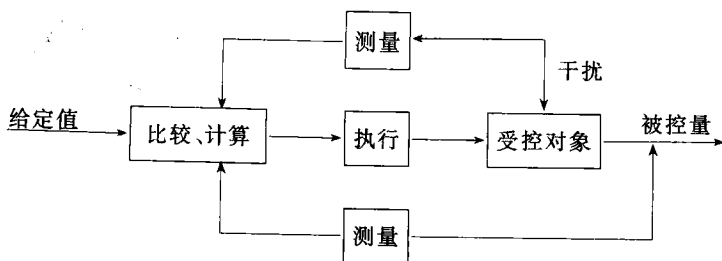


图 1-2-2 自动控制方框图

(3) 执行元件：它的职能是直接推动被控制对象，以改变被控制对象的物理量。

(4) 校正元件：它的职能是使控制系统达到一定的稳态和动态性能。该元件是进行放大、计算及对系统的校正控制，是控制系统的关键环节。

第三节 自动控制系统的类型

自动控制系统可以从不同角度来分类。从控制方式来分类可以分为：开式控制，闭式控制，半闭式控制，复式控制。

一、开式控制

这种控制方式的原理是，信号由给定值至被控制量单向传递，故也常称开环控制。

这种控制较简单，但有较大的缺陷。当控制装置受到干扰或被控对象受到干扰时，会直接波及到被控量，而无法得到补偿。系统的稳态性能指标和动态性能指标得不到保证，因此，只有在要求不高的场合使用。

开式控制系统原理框图如图 1-3-1 所示。

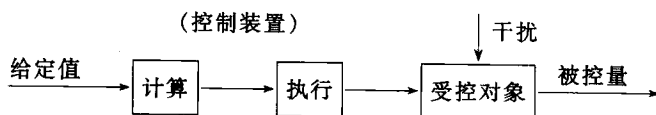


图 1-3-1 开式控制原理框图

二、闭式控制

这种控制方式的原理是，测量的是被控制量。无论是由于干扰造成的，还是由控制装置的结构参数的变化引起的，只要被控对象的被控量出现偏差，系统就会自行纠偏，故也常称这种控制为按偏差调节的反馈控制系统。

闭式控制系统原理框图如图 1-3-2 所示。

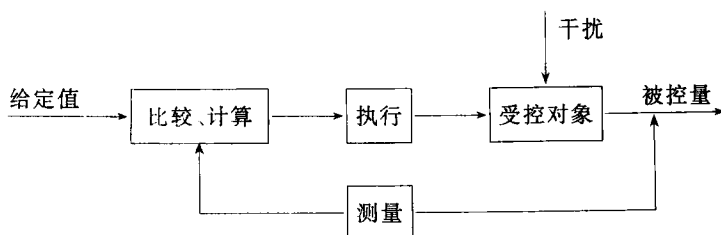


图 1-3-2 闭式控制原理框图

三、半闭式控制

这种控制方式的原理是，测量的是破坏系统正常运行的干扰。利用干扰信号产生的控制作用，来补偿干扰给控制量带来的影响。故也常称这种控制为按干扰补偿的控制系统。这种控制是以系统的干扰可测为条件，故只能对可测干扰进行补偿。不可测干扰以及控制装置的结构参数的变化给被控量带来的影响，系统将无法补偿。因此，系统的稳态性能指标和动态性能指标仍然无法保证，应用受到限制。

半闭式控制系统原理框图如图 1-3-3 所示。

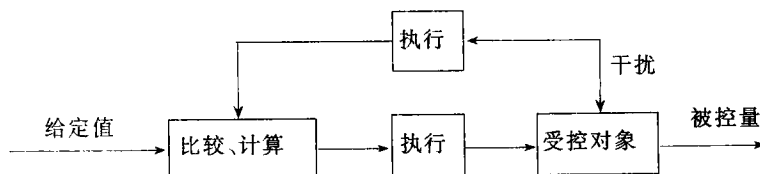


图 1-3-3 半闭式控制原理框图

四、复式控制

综合闭式控制系统和半闭式控制系统，比较合理的做法是把这两种控制结合起来。对于主要干扰，采用适当的控制装置进行按干扰补偿；另外用闭环负反馈进行按偏差调节，以消除其他各种干扰及控制装置的结构参数的变化给被控量带来的影响。这样做，由于主要干扰已被补偿或近似补偿，系统受到的干扰大大减轻，所以按偏差调节的部分就比较容易设计。系统的稳态性能指标和动态性能指标得到保证，可以达到更好的控制效果，这种控制在工程上获得广泛使用。

复式控制系统原理框图如图 1-3-4 所示。

从研究自动控制系统的动态性能，运动规律和设计方法来分类，可分为恒值调节系统，随动系统两大类。

(1) 恒值调节系统：这类系统的任务是维持被控量为一定的常数。直、交流电机调速；温度、压力、流量、液面高度的控制等均属于这类控制。

(2) 随动系统：这类系统的任务是使被控量等于某个不可预知的变化着的量。例

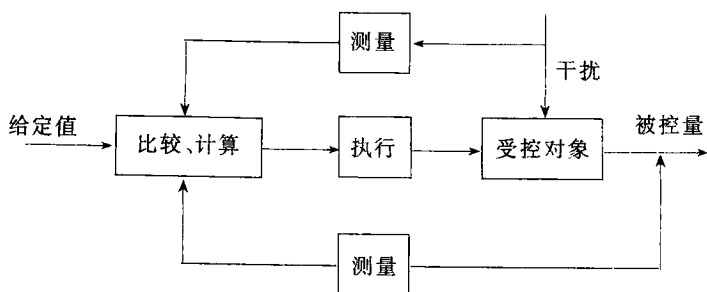


图 1-3-4 复式控制原理框图

如，雷达高射炮的角度控制系统必须保证炮身时刻跟踪敌机的飞行，而敌机的方位是时时刻刻在变化着的。

第四节 自动控制的性能指标

从控制系统稳态来说，当给定值一定时，当系统过渡到新的平衡工作状态以后，或系统受到干扰恢复平衡以后，理想情况下被控量等于给定值。这个等于是指被控量和给定值之间的对应关系。在平衡以后，被控量与给定值之间的偏差称为稳态误差。

对于控制系统动态，由于自动控制系统的各组成元件，包括受控对象的质量、惯量的存在，以及控制装置中测量元件、校正元件、执行元件等的惯性及能量元件（电容、电感）的存在，系统在过渡到新的平衡时，被控量不会瞬间变化，而是要经历一段时间，要有一个过程。通常把系统受到外加信号（给定值或干扰）作用后，被控量随时间 t 变化的全过程称为系统的动态过程（或过渡过程），以 $c(t)$ 表示。则系统控制性能的优劣，可以从动态过程 $c(t)$ 中较充分地显示出来。

工程上常常从稳、快、准三个方面来评价自控制系统的总体性能。稳、快是动态性能，准是稳态性能。

一、稳

这是指动态过程的振荡倾向和系统重新恢复平衡工作能力。

设输入为恒值阶跃函数（恒值调节系统往往如此），干扰 $n(t)$ 波形如图 1-4-1 所示。图 1-4-1(a) 中， $r(0) = c(0) = 0$ ，图 1-4-1(b) 中， $r(0) = c(0) = \text{常数}$ 。

在输入恒值阶跃函数后，控制装置无法使被控量等于给定值，而是随着时间的推移偏差越来越大，如图 1-4-1(a) 中的过程③所示；或在系统稳定运行时，在某种干扰信号 $n(t)$ 的作用下，控制装置无法使被控量恢复到原状态，而且越偏越远，如图 1-4-1 (b) 中的过程③所示。这样的系统称为不稳定系统，显然这是根本完不成控制任务的。

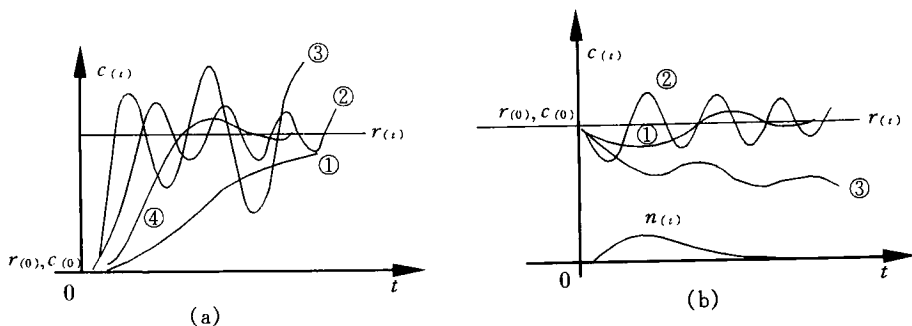


图 1-4-1 控制系统的动态响应过程和抗干扰过程

那么，在输入恒值阶跃函数后，被控量随着时间的推移逐渐等于给定值；或在系统稳定运行时，在某种干扰信号 $n(t)$ 的作用下，控制装置使被控量恢复到原状态，这样的系统称为稳定系统。在稳定系统的前提条件下，要求系统动态过程要小，对被控量的振幅和频率有所要求，过大的振幅和振动频率会导致运动部件的损坏。

稳的主要指标是超调量 M_p ，是指响应曲线第一次越过稳态值而达到峰点时，超过部分的幅度与稳态值之比，通常表示为百分数。

二、快

这是指系统动态过程进行的时间长短。动态过程持续很长，将使系统长久地出现大的偏差，同时也说明系统响应很迟钝，难以满足系统快速性的要求，如图 1-4-1 (a) 中的过程①所示。图 1-4-1 (a) 中的过程②和④便有很好的快速性。

快的主要指标是上升时间 t_r 、峰值时间 t_p 、过渡过程时间 t_s 。

上升时间 t_r ：指响应曲线从稳态值 10% 上升到 90% 所需要的时间（有的取从 0% 上升到 100% 所需要的时间）。

峰值时间 t_p ：指响应曲线第一次越过稳态值而达到峰点的时间。

过渡过程时间 t_s ：指响应曲线最后一次进入偏离稳态值的误差为 $\pm 5\%$ （或 $\pm 2\%$ ）的范围（并且不再超出这个范围）的时间。

三、准

在系统平衡以后，最终保持的精度，反映了动态过程的后期的性能，即是系统的稳态性能，这时被控量与给定值之间的偏差（稳态误差）应该是很小的。一般恒速、恒温控制系统的稳态误差都在给定值的 1% 以内。

由于受控对象的具体情况不同，各种系统对稳、快、准的要求是有所侧重的。例如随动系统对快要求较高，而电机调速系统则对稳限制很严。

应当说明的是系统的稳、快、准是相互制约的。提高快速性，可能会引起系统强烈

的振动；改善了平稳性，控制过程又很慢。分析和解决这些矛盾，是自动控制理论的重要内容。系统的性能指标如图 1-4-2 所示。

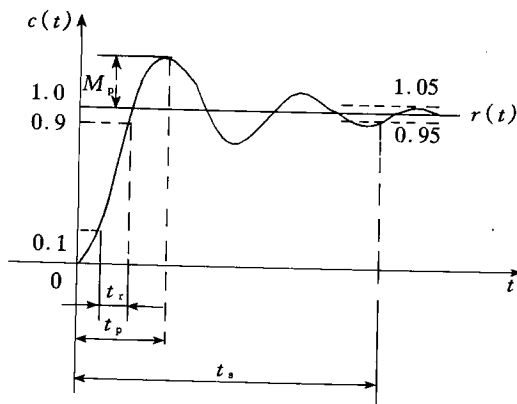


图 1-4-2 系统性能指标

思考题与练习题

- (1) 自动控制系统由哪些主要环节组成，各起什么作用。
- (2) 分析、比较开式控制与闭式控制、半闭式控制各有什么特点、应用场合。
- (3) 衡量一个自动控制系统的性能指标有哪些，是怎样定义的。

第二章 直流调速系统和随动系统

电力拖动的自动控制系统主要包括速度控制和位置控制等。而直流调速系统由于直流电动机具有良好的启、制动性能，以及广泛而平滑的调速性能，在要求高性能的控制系统中得到广泛的应用。近年来，交流调速技术由于电力电子技术的应用而发展很快，但是，直流调速系统由于其理论和应用技术上的成熟，以及基本反馈闭环控制是交流调速系统反馈控制的基础，因此首先掌握好直流调速系统是必要的。

随动系统是对生产机械产生的角位移或线位移进行控制。随着数控技术的发展，要求系统不仅能够快速平滑调节运动速度，而且能够精确地进行位置控制，此时必须采用位置随动系统才能满足控制要求。

本章在介绍电力拖动基础、生产机械的调速方法与技术指标的基础上主要介绍直流调速系统和随动系统。

第一节 电力拖动基础

电力拖动具有许多其他拖动方式所没有的优点，如：电能的生产、变换、传输经济，控制方便；电动机的种类多，能满足各种不同类型的生产机械要求；电力拖动效率高、能实现远距离控制和局部或整个过程的自动控制等。因此电力拖动在现代工业、农业、交通运输、国防的各个领域，对于实现工业自动化、改善工人劳动条件、提高劳动生产率、提高产品质量、减小能量损耗起着十分重要的作用。

一、生产机械的机械特性和电动机的机械特性

（一）生产机械的机械特性

作为电动机负载的生产机械，根据其负载转矩可分为两种类型，即恒转矩负载和变转矩负载。

1. 恒转矩负载

其负载转矩与速度无关，始终保持转矩为恒定值。例如起重机、卷扬机、皮带输送机、及各种机床的进给机构的机械的负载转矩，如图 2-1-1(a)所示。

2. 变转矩负载