



普通高等教育“十二五”机电类规划教材

精品推荐



MACHINERY



机械控制工程基础

玄兆燕 朱洪俊 杨秀萍 等编著

- 精品课程配套教材
- 采用最新国家标准
- 配套习题、答案、课件等丰富资源
- 教学资源请登录华信教育资源网 (www.hxedu.com.cn) 免费获取



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十二五”机电类规划教材

机械控制工程基础

玄兆燕 朱洪俊 杨秀萍 等编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书主要讲述机械控制工程的基本原理和基本知识,内容包括系统数学模型的建立,系统的时域和频域分析,系统稳定性分析,系统校正,线性离散系统以及 MATLAB 在控制工程中的应用。

本书强调基本概念和基本方法,注重方法论述的逻辑性和严谨性,同时在论述过程中根据工科学生的具体情况尽量避免高深的数学论证,紧密结合控制工程与机械工程实际,用机械与电气实例解释基本理论和基本方法,使其能很好地在数理知识和专业知识之间起到桥梁的作用。

本书可作为高等学校机械设计制造及自动化、机电一体化等专业本科生和专科生的教材,也可供相关教师与工程技术人员作为参考书。

为了更好地配合课堂教学,本书配有多媒体教学课件,请登录华信教育资源网(www.hxedu.com.cn)免费下载使用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

机械控制工程基础 / 玄兆燕等编著. —北京: 电子工业出版社, 2011.5

普通高等教育“十二五”机电类规划教材

ISBN 978-7-121-13493-7

I. ①机… II. ①玄… III. ①机械工程—控制系统—高等学校—教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 084536 号

责任编辑: 朱清江 特约编辑: 钟永刚

印 刷: 北京丰源印刷厂

装 订: 三河市鹏成印业有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×980 1/16 印张: 18.5 字数: 485 千字

印 次: 2011 年 5 月第 1 次印刷

定 价: 35.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

随着现代科学技术的发展,机械与控制已被融为一体,控制工程在机械工程领域起着越来越重要的作用,“机械控制工程”作为机械工程类专业一门重要的专业基础课,其内容需要不断地更新调整和扩充新的知识。本教材针对目前高等院校学生的具体情况,试图将教材内容从深度的扩展转向广度的扩展。主要内容包括绪论,拉普拉斯变换,系统数学模型的建立,系统的时域和频域分析,系统稳定性分析,系统校正,线性离散系统, MATLAB 在控制工程中的应用等内容。

机械控制工程理论不仅仅是一门很重要的学科,同时,其形成、发展及对该理论的论述过程本身也体现了科学的方法论。为了培养学生客观、理性和实证的科学精神,本书作为机械工程类专业技术基础课教材,强调基本概念和基本方法,注重一些方法论述的逻辑性和严谨性。同时在论述过程中根据工科学生的具体情况,尽量避免高深的数学论证,紧密结合控制工程与机械工程实际,用机械与电气实例解释一些基本理论和基本方法,使其能很好地在数理知识和专业知识之间起到桥梁的作用。

本书主要介绍经典控制理论的基本内容,重点是其中的线性控制理论及其在控制系统分析中的应用,以及在机械动力系统动态性能分析中的应用。本书的编写试图从控制理论的发展史入手,介绍控制理论的基本概念和基本知识,然后阐述时间函数的拉普拉斯变换。在此基础上介绍系统的数学模型并导出传递函数的模型,然后是一阶、二阶系统的时间响应分析和频域分析,系统稳定性分析及系统的校正(包括 PID 校正)。考虑到目前计算机技术广泛应用于控制系统中,本书介绍了线性离散系统的相关内容,最后介绍了 MATLAB 在控制工程中的应用。

本书由河北联合大学玄兆燕、西南科技大学朱洪俊、天津理工大学杨秀萍等编著,由天津理工大学王收军主审。编写分工为:第1章、第9章由玄兆燕编写;第2章、第3章、第7章由朱洪俊编写;第4章、第6章由杨秀萍编写;第5章由河北联合大学吴丽娟编写;第8章由河北联合大学冯茜编写,同时冯茜负责了多媒体课件制作;最后由玄兆燕统稿、定稿。

感谢天津理工大学王收军老师在审稿过程中提出了许多宝贵的意见,感谢河北联合大学的杨文生老师对本教材提出了宝贵的编写建议。

由于作者水平所限,书中难免存在疏漏和不足之处,希望读者批评指正,我们表示衷心的感谢!

作 者

主要符号说明

一、时域符号

时域输入	$x_i(t)$	单位脉冲函数	$\delta(t)$
时域干扰信号	$n(t)$	单位阶跃函数	$u(t)$
时域输出	$x_o(t)$	单位斜坡函数	$r(t)$
时域偏差	$\varepsilon(t)$	阻尼比	ξ
时域误差	$e(t)$	超调量	M_p

二、频域符号

相对谐振峰值	M_r	频域偏差	$E(s)$
无阻尼固有频率	ω_n	频域误差	$E_1(s)$
有阻尼固有频率	ω_d	前向通道传递函数	$G(s)$
谐振频率	ω_r	反馈通道传递函数	$H(s)$
各环节之间的转角频率	ω_T	开环传递函数	$G_K(s)$
剪切频率	ω_C	闭环传递函数	$G_B(s)$
相位交界频率	ω_g	频率特性	$G(j\omega)$
相位裕度	$\gamma(\omega)$	频率特性幅值	$ G(j\omega) $
幅值裕度	$K_g(\omega)$	频率特性相角	$\angle G(j\omega)$
频域输出	$X_o(s)$	反馈通道频率特性	$H(j\omega)$
频域干扰信号	$N(s)$		

三、其他

其他物理量按统一标准符号执行。

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为，歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 引言	(1)
1.1.1 控制工程发展史	(1)
1.1.2 机械控制工程的研究对象与任务	(2)
1.2 控制系统简介	(2)
1.2.1 控制系统的分类	(2)
1.2.2 闭环控制系统的组成	(6)
1.2.3 对控制系统的基本要求	(7)
本章小结	(7)
习题 1.....	(7)
第 2 章 拉普拉斯变换	(8)
2.1 拉氏变换的概念	(8)
2.1.1 问题的提出	(8)
2.1.2 拉氏变换的存在定理	(9)
2.2 拉氏变换的性质	(16)
2.2.1 线性性质	(16)
2.2.2 微分性质	(17)
2.2.3 积分性质	(19)
2.2.4 位移性质	(20)
2.2.5 延迟性质	(21)
2.2.6 尺度变换	(22)
2.2.7 初值定理、终值定理	(23)
2.3 拉氏逆变换	(24)
2.4 卷积	(30)
2.4.1 卷积的概念	(30)
2.4.2 卷积定理	(31)
本章小结	(34)
习题 2.....	(35)
第 3 章 系统的数学模型	(37)
3.1 系统的微分方程	(38)
3.1.1 建立微分方程的基本步骤	(38)
3.1.2 机械系统的微分方程	(38)
3.1.3 电气系统的微分方程	(42)
3.1.4 机电系统的微分方程	(44)
3.2 系统的传递函数	(48)
3.2.1 传递函数的基本概念	(48)

3.2.2	传递函数的零点、极点和放大系数	(50)
3.2.3	典型环节的传递函数	(51)
3.3	系统方框图及其简化	(65)
3.3.1	系统传递函数的方框图表示	(66)
3.3.2	传递函数方框图的化简	(71)
3.4	输入和干扰同时作用下的系统传递函数	(78)
	本章小结	(81)
	习题 3	(81)
第 4 章	时间响应分析	(86)
4.1	概述	(86)
4.1.1	时间响应及其组成	(86)
4.1.2	典型试验信号	(87)
4.2	一阶系统的时间响应	(89)
4.2.1	一阶系统的单位脉冲响应	(89)
4.2.2	一阶系统的单位阶跃响应	(90)
4.2.3	单位脉冲响应和单位阶跃响应的关系	(91)
4.3	二阶系统的时间响应	(91)
4.3.1	二阶系统的单位脉冲响应	(92)
4.3.2	二阶系统的单位阶跃响应	(93)
4.3.3	二阶系统响应的性能指标	(96)
4.4	系统稳态误差分析	(101)
4.4.1	系统误差与偏差的关系	(101)
4.4.2	系统的稳态误差	(102)
4.4.3	静态误差系数	(105)
	本章小结	(108)
	习题 4	(108)
第 5 章	系统频率响应分析	(110)
5.1	频率特性概述	(110)
5.1.1	频率特性的概念	(110)
5.1.2	频率特性的特点和作用	(113)
5.2	频率特性的极坐标图 (Nyquist 图)	(115)
5.2.1	典型环节的 Nyquist 图	(115)
5.2.2	Nyquist 图的一般绘制方法	(120)
5.3	频率特性的对数坐标图 (Bode 图)	(124)
5.3.1	概述	(124)
5.3.2	典型环节的 Bode 图	(125)
5.3.3	Bode 图的一般绘制方法	(131)
5.4	闭环频率特性	(137)

5.5	最小相位系统与非最小相位系统	(138)
5.6	根据频率特性曲线估计系统传递函数	(139)
5.6.1	确定放大倍数 K	(139)
5.6.2	各环节传递函数确定	(141)
	本章小结	(142)
	习题 5	(142)
第 6 章	系统稳定性分析	(145)
6.1	系统稳定的概念和条件	(145)
6.2	劳斯 (Routh) 稳定判据	(146)
6.2.1	系统稳定的必要条件	(147)
6.2.2	系统稳定的充要条件	(147)
6.2.3	劳斯判据的特殊情况	(149)
6.3	Nyquist 稳定判据	(151)
6.3.1	米哈伊洛夫定理	(151)
6.3.2	Nyquist 稳定判据的证明	(153)
6.3.3	开环含有积分环节的 Nyquist 图	(155)
6.3.4	具有延时环节的系统的稳定性分析	(157)
6.3.5	Nyquist 稳定判据应用举例	(159)
6.4	Bode 稳定判据	(161)
6.5	系统的相对稳定性	(164)
6.5.1	相位裕度 γ	(165)
6.5.2	幅值裕度 K_g	(165)
	本章小结	(168)
	习题 6	(168)
第 7 章	系统校正	(170)
7.1	概述	(170)
7.1.1	校正的概念	(170)
7.1.2	系统的性能指标	(170)
7.1.3	校正方式	(175)
7.2	串联校正	(176)
7.2.1	增益校正	(176)
7.2.2	相位超前校正	(178)
7.2.3	相位滞后校正	(182)
7.2.4	相位滞后-超前校正	(186)
7.3	PID 校正	(190)
7.3.1	PID 控制规律及其实现	(190)
7.3.2	PID 调节器的设计	(195)
7.4	反馈校正	(198)
	本章小结	(204)

习题 7	(204)
第 8 章 线性离散系统	(208)
8.1 计算机控制系统概述	(208)
8.1.1 计算机控制系统组成	(208)
8.1.2 信号的采样与采样定理	(210)
8.2 Z 变换	(214)
8.2.1 Z 变换的定义	(214)
8.2.2 Z 变换的性质	(216)
8.2.3 Z 反变换	(218)
8.3 线性离散系统的数学模型	(221)
8.3.1 线性离散系统的差分方程	(221)
8.3.2 脉冲传递函数	(224)
8.4 线性离散系统的稳定性分析	(230)
8.4.1 线性离散系统稳定的充分必要条件	(230)
8.4.2 线性离散系统的稳定性判据	(232)
8.4.3 线性离散系统的稳态误差分析	(234)
8.5 线性离散系统的校正与设计	(237)
8.5.1 对数频率特性法校正	(237)
8.5.2 有限拍设计	(241)
8.5.3 数字 PID 控制	(247)
本章小结	(254)
习题 8	(255)
第 9 章 MATLAB 在控制工程中的应用	(257)
9.1 MATLAB 简介	(257)
9.2 用 MATLAB 进行瞬态响应分析	(258)
9.2.1 线性系统的 MATLAB 表示	(258)
9.2.2 系统单位阶跃响应的求法	(258)
9.2.3 系统单位脉冲响应的求法	(259)
9.3 用 MATLAB 进行频率响应分析	(260)
9.3.1 用 MATLAB 作 Bode 图	(260)
9.3.2 用 MATLAB 作 Nyquist 图	(262)
9.4 SIMULINK 应用	(263)
9.4.1 SIMULINK 概述	(263)
9.4.2 启动 SIMULINK 工具包	(264)
9.4.3 用 SIMULINK 创建系统模型	(265)
9.4.4 用 SIMULINK 进行系统仿真	(269)
本章小结	(271)
习题参考答案	(272)
参考文献	(285)



第1章 绪 论

学习要点

了解控制工程的发展史,熟悉控制工程的研究对象与任务,掌握控制系统的基本概念及闭环控制与开环控制原理,掌握控制系统的基本分类方法及对控制系统的基本要求。

1948年,美国数学家N·维纳所著的《控制论》一书出版,标志着控制论的正式建立。控制论与系统论、信息论的发展紧密结合,使控制论的基本概念和方法被应用于各个具体科学领域,其研究的对象从人和机器扩展到环境、生态、社会、军事、经济等许多方面,并将控制论向应用科学方面迅速发展。其分支科学主要有:工程控制论、生物控制论、社会控制论和经济控制论、大系统理论、人工智能等。

机械控制工程是工程控制论在机械工程中的应用。

1.1 引言

1.1.1 控制工程发展史

18世纪,詹姆斯·瓦特为控制蒸汽机速度而设计的离心调节器,是自动控制领域的第一项重大成果。1922年,迈纳斯基研制出船舶操纵自动控制器,并证明了如何从描述系统的微分方程中确定系统的稳定性。1932年,奈魁斯特提出了一种相当简便的方法,根据对稳态正弦输入的开环响应,确定闭环系统的稳定性。1948年,美国数学家N·维纳所著的《控制论》一书的出版标志着控制论的正式建立。1954年我国科学家钱学森发表《工程控制论》,将控制论推广到工程技术领域,奠定了工程控制论这一技术科学的基础。

在这期间,频率响应法的诞生,为工程技术人员设计满足性能要求的线性闭环控制系统提供了一种可行的方法,频率响应法和20世纪50年代初提出并完善的根轨迹法共同组成了古典控制论的核心。利用以上两种方法设计出的系统基本上可以满足要求,但不是某种意义上的最佳系统。从20世纪50年代末开始,人们将控制系统设计问题的研究重点转移到系统的最佳控制上。

另外,古典控制论主要研究单输入、单输出线性系统,随着现代设备变得越来越复杂,出现了多输入、多输出的复杂系统,这样的系统需要大量的方程来描述,计算机的发展为复杂系统的时域分析提供了可能性。因此,1960年,利用状态变量基于时域分析的现代控制理论应运而生,它主要分析和研究多输入、多输出、时变、非线性等系统的最佳控制问题。随着计算机技术和现代应用数学的发展,现代控制理论在最佳滤波、系统辨识、自适应、自学习、智能

控制等方面又都有了重要进展,从而满足了军事、空间技术和工业应用领域对精确度、重量、成本等的严格要求。

1.1.2 机械控制工程的研究对象与任务

1. 机械控制工程的研究对象

控制论研究的对象是一个控制系统,这个系统可以是一些部件的组合,这些部件组合在一起完成一定的任务。同时这个系统也可以是一个比较抽象的动态现象(如经济学中遇到的现象),所以这个系统可以是物理学、生物学、经济学、社会学等各个方面的系统。机械控制工程研究的对象特指机械工程领域的系统(如数控机床、机器人等)。

2. 机械控制工程的研究任务

工程控制论主要研究控制系统与其输入、输出之间的动态关系。其研究内容大致可归纳为如下五个方面。

① 系统分析:当系统已定、输入已知时,求出系统的输出(响应),并通过输出来研究系统本身的有关问题。

② 最优控制:当系统已定、输出已知时,确定输入使得输出尽可能符合给定的最佳要求。

③ 最优设计:当输入已知、输出已知时,确定系统使其输出尽可能符合给定的最佳要求。

④ 滤波与预测:当系统已定、输出已知时,要识别输入或输入中的有关信息。

⑤ 系统辨识:当输入与输出均已知时,求出系统的结构与参数,即建立系统的数学模型。

机械控制工程以古典控制论为核心,主要研究线性控制系统的分析问题,即上面的第①部分内容。

1.2 控制系统简介

1.2.1 控制系统的分类

1. 按系统的结构分类

(1) 开环控制系统

开环控制系统是指系统的输出量对控制作用没有影响的系统,在开环控制系统中既不需要对输出量进行测量,也不需要将输出量反馈到输入端与输入量进行比较。所以对应于每一个参考输入量,有一个固定的工作状态与之对应,此时,若有扰动信号出现,系统将无法在规定的状态下工作,所以只有在没有扰动或对系统精度要求不高的情况下才用开环系统。如我们熟悉的自动洗衣机就是一个开环控制系统的实例。在洗衣机中,浸湿、洗涤和漂洗过程是按照事先编排好的时序进行的,洗衣机不必对输出信号(衣服清洁程度)进行测量。

如图 1.1 所示为开环控制系统的又一实例。这是一种简单的数控机床工作台驱动系统,根据待加工工件的图纸要求,编制成控制指令,输入装置将控制指令转换为控制信号输入给驱动电路,驱动步进电机按加工指令要求,控制工作台的运动,从而加工出图纸所要求的工件。

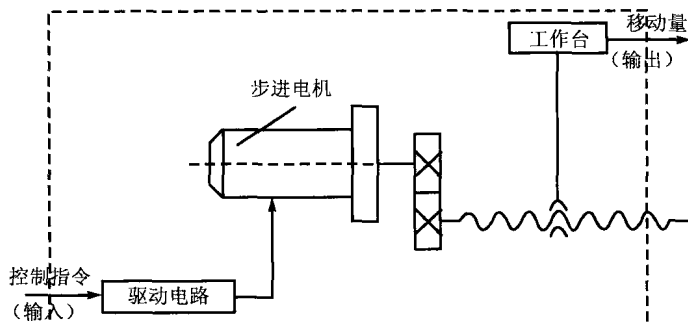


图 1.1 开环控制的数控机床驱动系统

(2) 闭环控制系统

闭环控制系统通常也称反馈控制系统。此种系统是指将输出信号部分或全部通过反馈装置（通常为检测装置）传送到输入端，与输入信号进行比较，将比较的差值送入系统中的控制器，产生控制信号控制系统的输出达到希望的输出值。大部分控制系统都是闭环控制系统。

如图 1.2 所示为闭环控制的数控机床驱动系统，该系统和图 1.1 相比多了比较装置和检测装置，将检测信号反馈到输入端经过比较装置与输入信号进行比较。它的工作原理是检测装置随时测定工作台的实际位置并反馈到输入端的比较器上，将实际位置与输入（控制指令）所给定的位置相比较，若实际位置与给定的希望位置有误差，则将两者之间的差值作为控制信号，驱动伺服电机，使之拖动工作台运动以消除该误差，从而加工出所希望的工件形状。

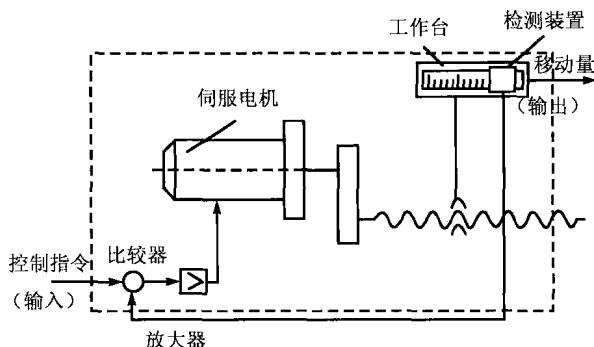


图 1.2 闭环控制的数控机床驱动系统

闭环控制系统不仅仅限于工程系统，在其他非工程领域也存在着闭环控制，如我们人体本身就是一种非常高级的闭环控制系统。人体的体温和血压等都是通过生理反馈的方式保持正常值的，正是人体中的各种反馈作用，使得人类可以在变化的环境中正常的生活。

(3) 闭环控制系统与开环控制系统的比较

从开环控制系统和闭环控制系统的实例中可以看出，开环控制系统结构简单、容易维护、相应的成本也较低，因为没有反馈，所以稳定性也不是主要问题，另外也正是因为没有反馈，使得开环系统无法抑制扰动信号对输出的影响。因此，当输出量难以测量、或测量成本太高、或者没有必要测量（如前面洗衣机的例子），又不存在扰动信号或扰动可以忽略时，才可采用开环控制系统。

闭环控制系统也称反馈控制系统，因输出信号被反馈到输入端，所以使系统的外部干扰和内部参数的变化最终都可以通过输出反馈到输入端，利用差值对系统的输出进行调解，从而抑制干扰对输出的影响。如图 1.3 所示，这是一个汽车客舱温度控制工作原理图，要求的温度被转换成电压信号作为系统的输入，客舱的实际温度由传感器检测并转换成电压信号反馈到输入端通过控制器中的比较器与输入进行比较。汽车在行驶的过程中，周围的环境温度和太阳的辐射热量均为干扰信号，假设因干扰信号的作用使得客舱内的温度高于要求的温度，传感器将实际温度转换成电压信号送到控制器与输入比较产生差值。该差值作为控制信号，控制空调器产生冷风，使客舱的温度降到所要求的温度值，反之若外部环境使客舱内的温度低于所要求的温度。同样的过程，会产生一个反向的差值，去控制空调产生热风，使其温度升高到所要求的温度值。若系统内部元器件参数发生了变化，反馈的作用同样可以将温度调节到要求值。由此可见，闭环控制系统可以抑制外部的扰动和内部参数变化对系统输出的影响。

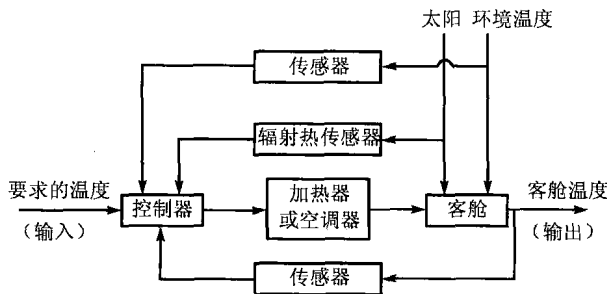


图 1.3 汽车客舱温度控制系统原理图

因为闭环控制系统引入了反馈，在调节的过程中，可能引起系统的等幅振荡或发散振荡，所以系统稳定性问题在闭环控制中成为非常重要的问题。另外，与开环系统相比闭环系统控制要复杂一些，所使用的元器件数量要多一些，因此成本要比开环系统高。

2. 按输入量的变化规律分类

(1) 恒值控制系统

恒值控制系统的输入量是一个恒定值，该系统的任务是保证在任何扰动信号的作用下，系统的输出量恒定不变。图 1.3 所示的汽车客舱温度控制系统，就是一个恒值控制系统，它的输入是一个恒定的温度值，其任务是保证在任何环境下输出（客舱温度）恒定不变。

(2) 程序控制系统

程序控制系统的输入量是按已知的规律变化的，将输入量按其变化规律编制成程序，由程序发出控制指令，系统按照控制指令的要求运动。图 1.2 所示的闭环控制的数控机床驱动系统就是一个程序控制系统，它的输入是按已知的图纸要求，编制的加工指令，系统按照该指令控制工作台运动，以加工出图纸所要求的工件形状。

(3) 随动系统

随动系统又称伺服系统。该系统输入量的变化规律是未知的，要求输出量能迅速、平稳、准确的复现控制信号的变化规律。

如图 1.4 所示的伺服位置控制系统就是一个随动系统的实例。该系统的任务是控制机械负

载的位置与输入的参考位置相协调。系统的工作原理是，用一对电位计作为系统的误差检测装置，它们可以将输入输出的位置转变成与位置成比例的电信号，图中输入电位计电刷臂的角位置 r 由输入位置确定，电位计的电位与电刷臂的角位置成比例，输出电位计的角位置 c 由负载输出轴的位置确定，输出位置与输入位置之间的误差就被转换成了电压信号 e_v 。该电压信号被放大倍数为 K_1 的放大器放大，作用在直流伺服电机的电枢电路上，使伺服电机产生力矩拖动负载旋转，控制输出负载的轴位置与输入的参考位置相对应。

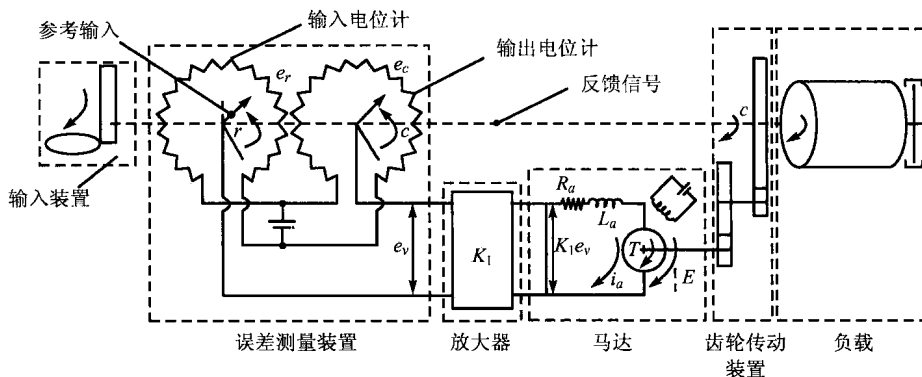


图 1.4 伺服位置控制系统原理图

3. 按系统中传递信号的性质分类

(1) 连续控制系统

连续控制系统是指系统中传递的信号都是模拟信号，控制规律是用硬件组成的控制器实现的。描述此种系统的数学工具是微分方程和拉氏变换。前面所举的实例均为连续控制系统，其原理方框图如图 1.5 所示。

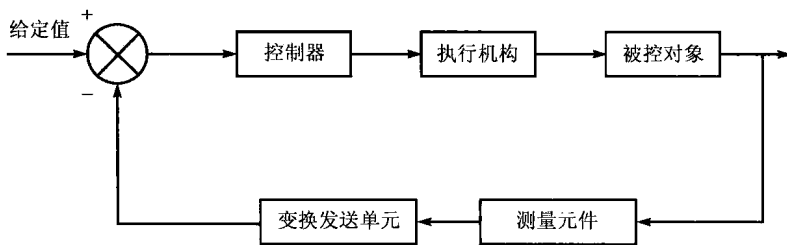


图 1.5 连续控制系统的原理方框图

(2) 离散控制系统

离散控制系统是指系统中传递的信号有数字信号，控制规律是用软件实现的，计算机作为系统的控制器。描述此种系统的数学工具是差分方程和 Z 变换。图 1.2 中的控制器如果用计算机实现，输入及反馈信号均被 A/D 转换器转换成数字信号后送入计算机，计算机的输出信号为数字信号，再被 D/A 转换器转换成模拟信号去驱动伺服电机，此时的系统即为离散控制系统。离散控制系统的原理方框图如图 1.6 所示。

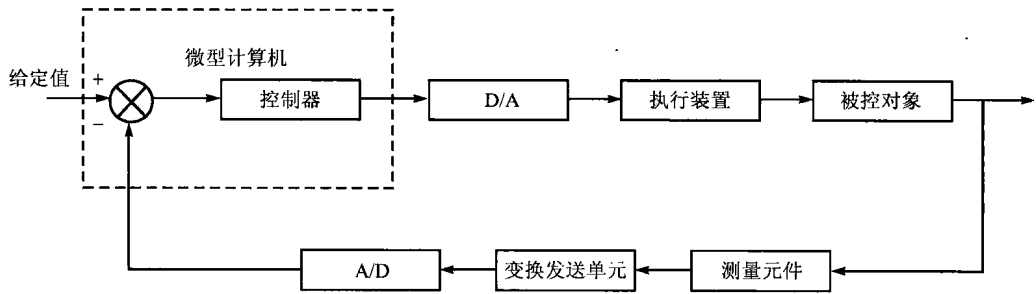


图 1.6 离散控制系统的原理方框图

4. 按描述系统的数学模型分类

(1) 线性控制系统

线性控制系统是指可用线性微分方程来描述的系统。上面介绍的系统均为线性系统。

(2) 非线性控制系统

非线性控制系统是指不能用线性微分方程来描述的系统,此种系统包含着变量中具有非线性关系的元器件,实际上真实的物理系统大都是非线性系统,但因非线性系统的数学描述和求解是非常复杂的,所以在工程允许的情况下大部分非线性系统可线性化为线性系统,古典控制论主要研究线性控制系统。

机械控制工程所研究的控制系统主要是线性、连续、闭环控制系统。

1.2.2 闭环控制系统的组成

闭环控制系统的组成如图 1.7 所示。闭环控制系统主要由给定环节、比较环节、放大环节、执行环节、被控对象、检测环节（反馈环节）组成。

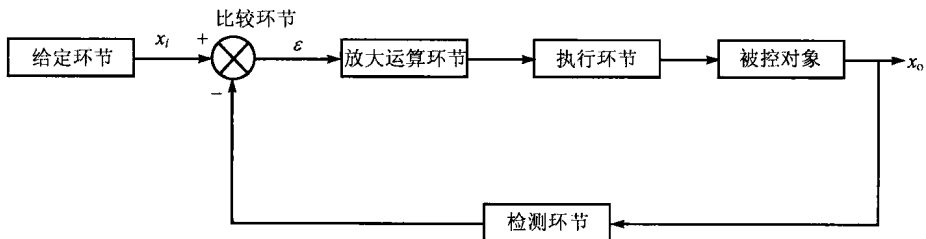


图 1.7 闭环控制系统的组成原理框图

① 给定环节：给出输入信号的环节。用来确定被控对象的输出值，图 1.2 所示的数控机床驱动系统中的输入装置就是给定环节。

② 比较环节：接收输入和反馈信号并进行比较，输出两者的偏差值。

③ 放大环节：将较弱的偏差信号放大，用以驱动执行装置。通常放大环节有电气装置，也有液压装置。

④ 执行环节：接收放大装置输出的信号，驱动被控对象按所要求的规律运动。一般该环节有各种电机、液压电动机等。

⑤ 被控对象：完成机械运动的装置。如数控机床中的工作台、图 1.4 所示的伺服位置控

制系统中的转动负载。

⑥ 检测环节(反馈环节):检测输出量(或被控制量),并转换成电信号反馈到比较环节。如各种传感器、测速发电机等。

1.2.3 对控制系统的基本要求

评价一个控制系统的指标有很多,但基本要求主要有三点。

1. 系统的稳定性

稳定性是指系统动态过程的振荡倾向及其恢复平衡状态的能力。稳定的系统当输出量偏离平衡状态时,其输出能随时间的增长收敛并回到初始平衡状态。稳定性是保证系统正常工作的前提。

2. 系统的准确性

准确性是指系统的控制精度,一般用稳态误差来衡量,具体指系统稳定后的实际输出与希望输出之间的差值。

3. 系统的快速性

快速性是指输出量和输入量产生偏差时,系统消除这种偏差的快慢程度。快速性表征系统的动态性能。

不同性质的控制系统,对稳定性、准确性和快速性要求各有侧重。系统的稳定性、准确性、快速性相互制约,应根据实际需求合理选择。



本章小结

- (1) 控制论分古典控制理论和现代控制理论,机械控制工程是古典控制理论在机械工程中的应用。
- (2) 机械控制工程主要研究单输入、单输出线性系统中系统与其输入、输出之间的动态关系。
- (3) 控制系统可分别按其结构、输入量的变化规律、系统中传递信号的性质以及描述系统的数学模型来分类。
- (4) 闭环控制系统主要由给定环节、比较环节、放大环节、执行环节、被控对象、检测环节(反馈环节)组成。
- (5) 评价一个控制系统的指标主要有系统的稳定性、准确性和快速性。



习题 1

- 1.1 简述机械控制工程的研究对象与任务。
- 1.2 简述控制系统的分类。
- 1.3 对控制系统的基本要求是什么?
- 1.4 试分析开环控制系统与闭环控制系统的优缺点。
- 1.5 试比较连续控制系统与离散控制系统的异同处,并分析各自的特点。
- 1.6 通过各种渠道了解目前我国机械工业领域的自动化程度,并举出两个控制系统实例。