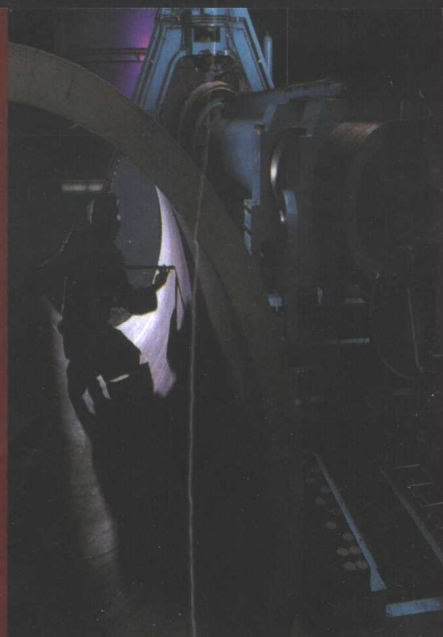


WUTP

普通高等学校机械设计制造
及其自动化专业新编系列教材



主 编 王益群 钟毓宁

机械控制工程基础

Jixie Kongzhi Gongcheng Jichu

武汉理工大学出版社

普通高等学校机械设计制造及其自动化专业新编系列教材

机械控制工程基础

王益群 主编
钟毓宁

武汉理工大学出版社

内容提要

本书着重介绍了工程上广泛应用的经典控制论原理及其应用,包括控制系统的数学模型建立、时域分析、频域分析、误差分析、综合与校正,同时介绍了采样控制系统的初步知识。且书末附录还有 Laplace 变换、Z 变换、MATLAB 简介等内容。

本书以高性能的数值计算和可视化软件 MATLAB 为工具,阐述机械工程控制基础知识,对于课程学习起到事半功倍的效果。

本书可供全国普通高等院校机械工程类专业、测控技术及仪器专业作为教材,也可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械控制工程基础/王益群、钟毓宁主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2001.7

ISBN 7-5629-1731-0

I. 机… II. ①王… ②钟… III. 机械-控制工程 IV. TH42

出版者:武汉理工大学出版社(武汉市:武昌珞狮路 122 号)

印刷者:武汉理工大学出版社印刷厂(邮政编码:430070)

发行者:各地新华书店

开 本:880×1230 1/16

印 张:9.25

字 数:310 千字

版 次:2001 年 7 月第 1 版

印 次:2001 年 7 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-5629-1731-0/TH·53

印 数:1—5000 册

定 价:15.00 元

(本书如有印装质量问题,请向承印厂调换)

普 通 高 等 学 校
机械设计制造及其自动化专业新编系列教材
编 审 委 员 会

顾 问:陈心昭 王益群 蔡 兰 束鹏程 孙宗禹
洪迈生

名誉主任:杨叔子

主 任:张福润 高鸣涵

副 主 任:杨海成 李永堂 周彦伟 杨明忠

委 员:(按姓氏笔画顺序排列)

王建中	王贵成	王益群	司徒忠	刘玉明
吕 明	许明恒	孙宗禹	孙树栋	朱喜林
陈心昭	李永堂	李 言	李杞仪	陈作柄
杨叔子	杨明忠	陈奎生	陈统坚	严拱标
杨海成	张福润	束鹏程	罗迎社	周彦伟
洪迈生	钟志华	赵 韩	钟毓宁	陶文铨
夏 季	高鸣涵	殷国富	董怀武	曾志新
韩荣德	傅祥志	谭援强	蔡 兰	魏生民

总责任编辑:刘永坚 田道全

秘 书 长:蔡德明

出版说明

高等学校的教材建设向来是学科建设和教学改革的重要内容,其对教学过程和教学效果的重要影响是教育界所公认的。但教材建设与教学需要之间的矛盾永远存在也是一个客观的事实。正因为如此,教材建设才具有永恒的意义。特别是在这世纪交替的时期,中国的高等教育所面临的两个重大变革——高等学校本科专业目录调整和高等学校管理体制及布局结构调整,都对高校的教材建设提出了更高的要求。随着专业的合并,新专业的专业面拓宽,原有老专业的教材明显不能适应新专业的教学要求;调整后高校规模扩大,招生人数增加,对教材的需求也随之激增。在新的专业目录中,机械设计制造及其自动化专业与原有专业目录有了较大的变化,涵盖了原有的9个专业。相应的专业业务培养目标、教学要求、课程设置、学时数要求、主要实践性教学环节等都有了不同程度的变化。为适应新专业的培养目标和教学要求,武汉理工大学出版社在经过全面、细致和深入调研的基础上,组织编写了这套面向全国普通高等学校的新的系列教材。

本套教材面向全国普通高等学校,在保证内容要反映国内外机械学科最新发展的基础上,以满足一般院校的本科专业教学要求,实现专业的业务培养目标为基本原则。遵照全国高校机械工程类专业教学指导委员会制订的专业培养方案和教学计划设置课程体系,突出“系列”的特色,首批编写、出版的21种教材可基本满足一般院校本科教学需要。编写中强调各门课程之间的联系和衔接,强调教材整体风格的统一和协调,力求在加强基础、协调内容、适当降低难度、努力拓宽知识面向、适应科技发展、更新内容并大力引入多媒体教学手段等方面取得进展,以形成特色,更好地满足不同学校的教学需求。

本套教材集中了全国30多所著名大学的专家、教授和中青年教学骨干,分别担任系列教材的主编、主审和参编,组成了一个阵容强大、结构合理的编审委员会。特别是第二届全国高校机械工程类专业教学指导委员会主任委员杨叔子院士欣然出任编审委员会名誉主任,更增加了编审委员会的权威性。正是由于编委会成员务实、高效的工作,全体编审人员高度的责任心和严谨的治学精神,本套教材才能有这样短的时间内完成编写、出版的任务。杨叔子院士亲自为系列教材作序,更使全套教材光彩倍增!但我们深知,院士为一套教材作序,在国内是十分少见的,这充分体现了杨院士对教学改革及教材建设的热切关注和积极支持。这既是杨院士对编委会此前工作的鼓励和肯定,同时也是对编委会今后工作的指导和鞭策。我们一定不会辜负杨院士以及全国众多院校师生的期望。本套教材首期21种出齐后,一方面我们将在使用教材的广大师生提出意见和建议的基础上不断修订和完善,同时还将根据学校教学改革和课程设置的需要及时增补新的教材,使这套教材真正成为既能满足学校当前教学需要,又能起到推动专业教学内容和课程体系改革作用的一套精品教材。

武汉理工大学出版社

2001.6

序

20 世纪,人类文明达到了前所未有的高度。由于相对论、量子论、基因论、信息论等科学技术成就的取得,现在人类在物质领域已深入到基本粒子世界,在生命科学领域已深入到分子水平,在思维科学领域则主要是数学和脑科学的巨大进步。科学技术的迅猛发展,促使科学技术综合化、整体化以及人文和科技相互渗透、相互融合的趋势加速。

近 20 年来,我们在经济战线上坚持市场取向的改革,实行以公有制为主体、多种所有制经济共同发展的基本经济制度,进行经济结构的战略性调整,推动两个根本性转变以及全方位、多层次、宽领域的对外开放,致使我国的经济体制也发生了巨大的变革。随着社会主义市场经济体制的建立和不断完善,社会对人才需求的多样性、适应性要求不断增强。

在人类即将跨入 21 世纪的时候,我国高等教育战线在教育要“面向现代化,面向世界,面向未来”的思想指引下,开展了起点高、立意新、系统性强、有组织、有计划、有步骤的教学改革工程。伴随着教学改革的不深入,素质教育的观念、大工程的观念、终身教育以及回归工程的观念日益深入人心,人们对拓宽本科教育口径、加强和扩展本科教育共同基础的要求日益强烈。

1998 年 8 月,教育部正式颁布了新的普通高等学校本科专业目录,专业总数由原来的 500 多种减少至 249 种。新专业目录的颁布,突破了传统的、狭隘的专业教育观念,拓宽了人才培养工作的视野,为人才培养能较好地适应科学技术和社会进步的需要创造了条件。许多学校也都以专业调整、改造和重组为契机,大力调整人才知识、能力和素质结构,拓宽基础,整合课程,构建新的专业平台,柔性设置专业方向,不断深化人才培养模式的改革。

教材建设是学校的最基本建设之一。教学改革的深入发展必然要求有相适应的教材。为适应新的专业培养目标和教学要求,组织编写出版供“机械设计制造及其自动化”新专业的教学用书,特别是系列教材就显得十分迫切和重要了。武汉理工大学出版社的领导和编辑们为改变目前国内已出版的机械类专业教材普遍存在的内容偏深、知识面偏窄的倾向,决定面向全国普通高等学校机械工程类专业的学生出版一套系列教材,这是一个非常好的决策。他们的这一决定也得到了全国几十所院校机械工程系的领导和众多专家、教授的积极响应和大力支持,并提出了许多建设性的意见,其中一些教授如合肥工业大学校长陈心昭教授、燕山大学校长王益群教授、江苏理工大学校长蔡兰教授、西安交通大学副校长束鹏程教授、西北工业大学常务副校长杨海成教授等还非常乐意地承担了该系列教材的主编、主审及编审委员会工作。

编写教材除了应该具有针对性外,还应努力编出特色。根据武汉理工大学出版社和教材编审委员会的决定,该系列教材将完全按照第二届全国高校机械工程类专业教学指导委员会提出的机械设计制造及其自动化宽口径专业培养方案中所设置的课程来编写,这就保证了该套教材可以具有课程体系新、专业口径宽、改革力度大的特点,并可以满足不同院校办出各自专业特色的需要。

按照教材编审委员会的规划,该套教材首批将推出 21 种,包括机械工程概论、画法几何及机械制图、画法几何及机械制图习题集、机械原理、机械设计、理论力学、材料力学、工程热力学、工程材料、机械制造技术基础、材料成型基础、工程测试、数控技术、机械工程控制基础、液压与气压传动、机械 CAD/CAM、机械工程项目管理、机电系统设计、现代设计方法、精密与特

种加工、机械工程专业英语等,涵盖了机械设计制造及其自动化专业的主要专业基础课和部分专业选修课而形成系列,因而可以较好地满足该专业的教学需要。也正是由于是系列教材,各门课程之间的联系和衔接在教材的策划、组织和编写过程中,都可开展充分的讨论和进行仔细的协调,因此有利于保证整套教材风格统一,内容分配合理,既相互呼应,又避免不必要的重复。

我殷切地希望,这套教材在加强基础、协调内容、适当降低难度、努力拓宽知识面向、适应科技发展、更新内容和大力引入多媒体等现代教育技术手段上取得进展,真正成为能满足普通高等学校本科生需要的优秀教学用书,在众多的机械类专业教材中,争芳斗艳,别具特色。

按照武汉理工大学出版社的计划,这套系列教材首批将在2001年秋季全部出齐。金无足赤,人无完人,书无完书。我相信,在读者的关心与帮助下,随着这套教材的不断发行、应用与改进,必将促进机械设计制造及其自动化专业教学用书质量的进一步提高,推动机械类专业教学内容和课程体系改革的进一步深入。

只木独秀难成林,千紫万红才是春!

面向21世纪,希望无限,谨为之序。

中国科学院院士、华中科技大学教授 **杨叔子**
全国高校机械工程类专业教学指导委员会主任委员

2000年11月18日

前 言

本书是普通高等学校机械设计制造及其自动化专业新编系列教材之一,全书以介绍工程上广泛应用的经典控制论为主,并简要介绍采样控制系统初步和计算机辅助分析的基本概念。全书共分七章,包括绪论、控制系统的数学模型、控制系统的时域分析、控制系统的频域分析、控制系统的误差分析、控制系统的综合与校正、采样控制系统初步。

编写本书时,力求做到以下三点:

(1)在阐述上力求内容精简,重点突出,浅显易懂,并有所创新。

(2)理论结合工程实践,注重反映培养机械工程师所需具备的基础知识与基本业务技能。本书以典型机械的控制系统为研究对象,阐述控制理论的基本原理的同时,编入了一些控制系统分析与设计的实例。

(3)为便于教师讲授和学生学习,充分利用现代计算机工具,突出教材特色。本书以高性能的数值计算和可视化软件 MATLAB 为工具,阐述了基于 MATLAB 进行控制系统的计算机辅助建模、计算机辅助时域分析与频域分析、计算机辅助设计的方法,并列举了较多的实例。这些内容使得讲授和学习控制论知识容易得多,对于课程学习可起到事半功倍的效果。

本书由王益群教授、钟毓宁教授主编,参加编写工作的有王益群(第一章)、廉自生(第二章、第六章)、谭跃刚(第四章、第五章)、张业鹏(第三章)、彭源(第七章)、钟毓宁(附录)。全书由王益群、钟毓宁统稿。

为便于学习,每章后均附有习题。本书适于机械工程类本科大学生使用,也适于工程技术人员参考。因编者水平有限,恳请读者批评指正。

编者

2001 年 1 月 20 日

目 录

1 绪 论	(1)
1.1 机械控制工程概述.....	(1)
1.2 机械系统中信息传递、反馈以及反馈控制	(1)
1.3 反馈控制系统.....	(3)
1.3.1 开环控制与闭环控制.....	(3)
1.3.2 闭环控制系统的构成.....	(3)
1.4 对控制系统性能的基本要求.....	(4)
本章小结	(4)
习题	(5)
2 控制系统的数学模型	(6)
2.1 控制系统的微分方程.....	(6)
2.1.1 线性系统与非线性系统.....	(6)
2.1.2 线性系统微分方程的列写.....	(7)
2.1.3 系统非线性微分方程的线性化.....	(8)
2.2 传递函数.....	(9)
2.2.1 传递函数的定义.....	(9)
2.2.2 传递函数的常见形式.....	(10)
2.3 传递函数方块图.....	(10)
2.3.1 控制系统的基本联接方式.....	(11)
2.3.2 扰动作用下的闭环控制系统.....	(12)
2.3.3 方块图的绘制.....	(13)
2.3.4 方块图的变换.....	(13)
2.3.5 方块图的简化.....	(14)
2.4 典型环节的传递函数.....	(15)
2.4.1 比例环节.....	(15)
2.4.2 惯性环节.....	(16)
2.4.3 微分环节.....	(17)
2.4.4 积分环节.....	(18)
2.4.5 振荡环节.....	(19)
2.4.6 延时环节.....	(20)
本章小结	(21)
习题	(21)
3 控制系统的时域分析	(24)
3.1 时间响应与典型输入信号.....	(24)
3.1.1 时间响应及其组成.....	(24)
3.1.2 典型输入信号.....	(25)
3.2 一阶系统的时间响应.....	(26)
3.2.1 一阶系统的数学模型.....	(26)
3.2.2 一阶系统的单位阶跃响应.....	(27)
3.2.3 一阶系统的单位脉冲响应.....	(28)

3.3	二阶系统的时间响应	(28)
3.3.1	二阶系统的数学模型	(28)
3.3.2	二阶系统的单位阶跃响应	(29)
3.3.3	二阶系统的单位脉冲响应	(30)
3.4	高阶系统的时间响应	(31)
3.4.1	高阶系统的时间响应分析	(31)
3.4.2	高阶系统的简化	(32)
3.5	控制系统的动态性能指标	(32)
3.5.1	瞬态响应的性能指标	(32)
3.5.2	时间响应的实验方法	(36)
3.6	控制系统的稳定性	(36)
3.6.1	稳定性的基本概念	(36)
3.6.2	线性系统稳定的充要条件	(37)
3.6.3	Routh-Hurwitz 稳定判据	(38)
3.7	计算机辅助时域分析	(42)
	本章小结	(44)
	习题	(45)
4	控制系统的频域分析	(46)
4.1	频率特性的基本概念	(46)
4.1.1	频率响应	(46)
4.1.2	频率特性	(47)
4.1.3	频率特性的求取方法	(47)
4.1.4	频率特性分析法的特点	(49)
4.2	频率特性的图形表示方法	(50)
4.2.1	极坐标图(Nyquist 图)	(50)
4.2.2	对数频率特性图(Bode 图)	(51)
4.2.3	典型环节的频率特性图	(52)
4.3	控制系统的频率特性图	(55)
4.3.1	系统的开环频率特性图	(55)
4.3.2	闭环系统的频率特性图	(59)
4.3.3	闭环频率特性图与开环频率特性图的对应关系	(61)
4.4	控制系统稳定性的频域判据	(62)
4.4.1	幅角原理	(62)
4.4.2	基于极坐标图的奈魁斯特判据	(63)
4.4.3	基于 Bode 图的奈魁斯特判据	(66)
4.5	控制系统的相对稳定性	(68)
4.5.1	相位裕量	(68)
4.5.2	增益裕量	(68)
4.6	闭环系统性能的频域分析	(70)
4.6.1	系统动态性能的频域指标	(70)
4.6.2	系统的频域指标与时域指标之间的关系	(71)
4.6.3	根据频率特性图分析系统的时域动态性能	(73)
4.7	计算机辅助频域分析	(73)
4.7.1	频率特性的极坐标图	(73)
4.7.2	频率特性的 Bode 图	(74)

本章小结	(75)
习题	(76)
5 控制系统的误差分析	(79)
5.1 误差的概念	(79)
5.2 系统的类型	(81)
5.3 静态误差	(82)
5.3.1 静态误差系数和静态误差的计算	(82)
5.3.2 干扰输入作用下的静态误差	(84)
5.3.3 复合控制系统的误差分析	(86)
5.4 动态误差	(87)
本章小结	(89)
习题	(90)
6 控制系统的综合与校正	(91)
6.1 系统校正概述	(91)
6.1.1 校正的概念	(91)
6.1.2 校正的分类	(91)
6.2 控制系统的串联校正	(92)
6.2.1 相位超前校正	(92)
6.2.2 相位滞后校正	(94)
6.2.3 滞后-超前校正	(97)
6.2.4 PID 校正器	(98)
6.2.5 三种串联校正的比较	(100)
6.3 控制系统的并联校正	(100)
6.3.1 反馈校正	(100)
6.3.2 顺馈校正	(102)
本章小结	(102)
习题	(103)
7 采样控制系统初步	(104)
7.1 概述	(104)
7.2 信号的采样与复原	(105)
7.2.1 信号的采样	(105)
7.2.2 信号的复原	(106)
7.2.3 保持器	(106)
7.3 z 变换	(107)
7.3.1 z 变换的定义	(107)
7.3.2 z 变换的性质	(108)
7.3.3 z 反变换	(110)
7.4 差分方程	(110)
7.5 脉冲传递函数	(111)
7.5.1 脉冲传递函数的定义	(111)
7.5.2 脉冲传递函数 $G(z)$ 的求法	(111)
7.5.3 串联环节的脉冲传递函数	(112)
7.5.4 并联环节的脉冲传递函数	(113)
7.5.5 闭环系统的脉冲传递函数	(113)
7.6 采样控制系统的分析	(115)

7.6.1 采样控制系统稳定性	(115)
7.6.2 采样系统的动态性能	(117)
7.6.3 采样控制系统的稳态性能	(118)
本章小结	(119)
习题	(121)
附录 A 拉普拉斯变换	(122)
附录 B z 变换	(124)
附录 C MATLAB 语言及控制系统分析工具简介	(126)
C.1 MATLAB 语言简介	(126)
C.1.1 MATLAB 语言的基本使用方法	(126)
C.1.2 MATLAB 语言程序设计	(127)
C.2 控制系统工具箱简介	(129)
C.2.1 工具箱函数简介	(129)
C.2.2 控制系统模型	(129)
C.2.3 控制系统的时域分析	(130)
C.2.4 控制系统的频域分析	(130)
C.2.5 控制系统的稳定性分析	(131)
C.3 SIMULINK 简介	(131)
C.3.1 连接与建模	(131)
C.3.2 仿真与分析	(132)
参考文献	(134)

1 绪 论

1.1 机械控制工程概述

机械控制工程是研究“控制论”在机械工程中应用的科学。

控制论是在第二次世界大战中电子技术、武器火力技术、航空自动驾驶等科学技术的发展,以及大战后在生产自动化、电子计算机的实践基础上,总结有关科学的成果形成和发展的。控制论创始人维纳(N. Wiener)1948年发表《控制论——关于动物和机器中控制和通讯的科学》一文奠定了控制论的基础,维纳发现,机器系统、生命系统甚至社会和经济系统都有一个共同的特点,即通过信息的传递、加工处理和反馈来进行控制,亦即控制论所具有的信息、反馈与控制三要素,这就是控制论的中心思想。控制论建立之后迅速渗透到许多科学领域,大大推动了近代科学技术的发展并派生出许多新的边缘学科。1954年我国学者钱学森运用控制论的思想和方法,首创了“工程控制论”。把控制论推广到其他领域,继而出现了“生物控制论”——运用控制论研究生命系统的控制与信息处理;“经济控制论”——运用控制论研究经济运行与发展问题;“社会控制论”——运用控制论研究社会管理与社会服务问题。随着科学技术的进步,特别是计算机科学的发展,控制论无论在三要素的内涵上,还是在其深度与广度上,都在迅速发展着,变化着,实践证明,它不仅具有重大的理论意义,而且对生产的发展,尖端技术的研究以及社会管理的进步都产生了重大影响。在人类社会逐步进入信息社会的今天,亦要注意一个基本的事实,即社会的生产资料与生活资料主要还是要靠制造业来完成,而机械控制工程是制造技术的支撑学科之一。现代工业生产,趋于实现最佳控制,即要求利用最少的能源、材料、成本取得最高的生产效率和产品质量,此一目标的实现,其基础是机械系统、电气系统、计算机系统的相互配合与协调工作,为此,这就要结合机械系统来阐述工程上共同遵循的基本控制规律,即“机械控制工程基础”。

控制论按其发展的进程和研究方法,可分三个阶段:第一阶段是20世纪40~50年代,该时期为经典控制论发展时期。经典控制论以传递函数为基础,研究单输入、单输出一类控制系统的分析与设计问题。对线性定常系统,这种方法是成熟有效的。

第二阶段是20世纪60~70年代,该时期为现代控制论发展时期,现代控制论以状态空间法为基础,研究多输入、多输出一类控制系统的分析与设计问题。

第三阶段是20世纪末至今,控制论向着“大系统论”和“智能控制论”发展。“大系统论”是用控制和信息的观点研究大系统的结构方案、总体设计中的分析方法和协调问题;“智能控制论”是研究与模拟人类活动的机理,以使控制系统具有仿人智能的工程控制和信息处理功能,实现具有高度复杂性、高度不确定性的系统满足人们对其越来越高的要求。

必须指出经典控制论是基础,现代控制论、智能控制论都是在此基础上发展起来的,时至今日,经典控制论在大多数实际工程中仍然是极为重要的。相当多的工程问题用它解决还是非常有效的,经典控制论仍不失为解决工程实际问题的基本方法,因此本书将主要结合机械系统介绍经典控制理论。

学习机械控制工程基础要解决两个问题,一是如何分析某个给定控制系统的工作原理、稳定性和过渡过程品质;二是如何根据工程需要进行控制系统的设计。前者是系统分析,后者是综合与设计。无论解决哪类问题,都必须具有控制论知识,同时要以系统的而不是孤立的,动态的而非静态的观点来处理问题,才能达到预期的效果。

1.2 机械系统中信息传递、反馈以及反馈控制

控制论的三要素就是信息、反馈以及利用反馈进行的控制。任何工程系统中都存在信息的传递与反馈,

并可利用反馈进行控制,以使系统按给定的目标进行运动。在科学史上,控制论和信息论第一次把能表达一定含义的信号、密码、情报和消息概括为信息的概念,其重要性等同于能量与质量。

所谓信息的反馈,就是把一个系统的输出信号不断地直接或经过中间变换传递后全部或部分地返回,再输入到系统中去。如果反馈信号与原系统输入信号的方向相反,则称为“负反馈”;如果方向相同,则称为“正反馈”。

人们早就知道利用反馈控制原理制造仪表、机器或其他工程系统,我国早在北宋时代(约在 1086~1089 年)就发明了具有反馈控制原理的自动调节系统——水运仪象台。1765 年英国人瓦特发明了蒸汽机,采用离心式飞锤调速器控制蒸汽机转速,这是反馈控制原理的一次成功实践。我们日常使用的贮水槽液面控制器[见图 1.1(a)]就是一个简单的反馈控制系统。浮子测出实际液面高度 h 和所要求的液面高度 H_0 差,并通过杠杆推动进水阀门放水,直至实际液面高度 h 和所要求的液面高度 H_0 相等时,关闭进水阀,反之亦然。其中信息的传递关系可用图 1.1(b)表示,这里反馈信息是实际水面高度 h ,它与期望的液面高度 H_0 相比较构成控制信号来实现液面高度自动控制。

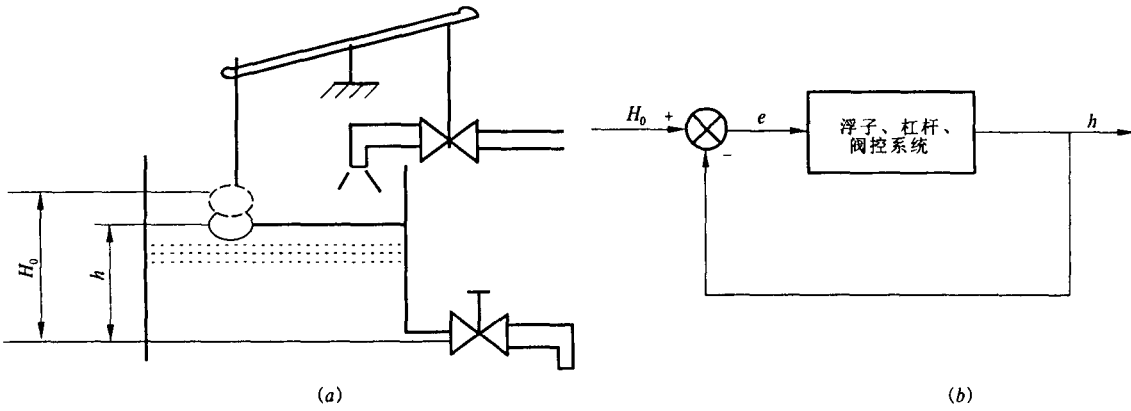


图 1.1 贮水槽液面控制器

直接取自输出端的反馈叫做主反馈。有些系统还存在局部反馈,这往往是为了对系统进行补偿而设计的。在此应当指出,有些反馈信号并非人为的,而是元件或系统中存在着相互耦合作用而形成的固有反馈,即内在反馈,例如在机械系统中,作用与反作用相互耦合形成内在反馈。金属切削机床在加工过程中发生自激振动时,必定存在内在反馈,使能量内部循环,使振动持续进行。

为说明内在反馈的意义,观察图 1.2(a)所示具有两个自由度的机械系统,表面上看,并未加入任何人为反馈信号,但当我们列出它的动态微分方程后,可知它存在着内在反馈。当给予质量 m_2 一个小位移 x_2 后,质

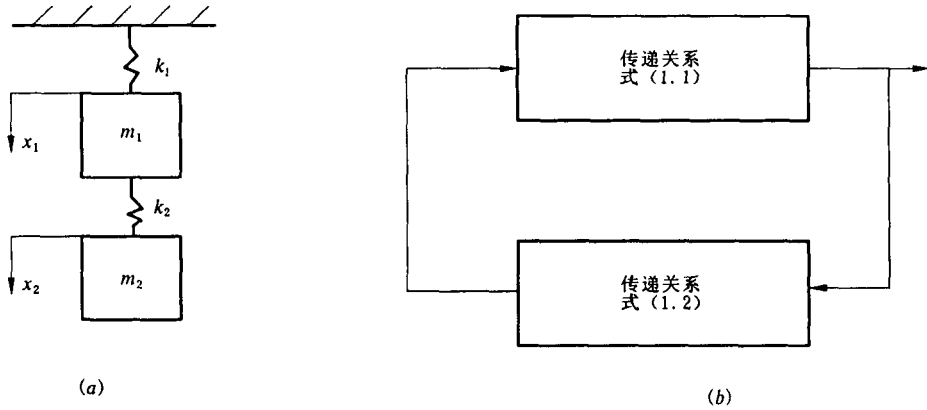


图 1.2 两个自由度的机械系统

量 m_1 也产生一个小位移 x_1 , 质量 m_1 的动力学方程为:

$$m_1 \ddot{x}_1 + (k_1 + k_2)x_1 = k_2 x_2 \tag{1.1}$$

质量 m_2 受到 x_1 的反作用, 它的动力学方程为

$$m_2 \ddot{x}_2 + k_2 x_2 = k_2 x_1 \quad (1.2)$$

信息量 x_1 和 x_2 的传递关系式(1.1)和式(1.2)可表示为图 1.2(b)所示的方块图。由图可见系统内存在着反馈作用。

综上可见反馈可以构成自动控制系统,以期达到人们的预期目的,但另一方面也孕育着不稳定的因素,即在一定条件下会使工作系统发生振动,机械控制工程的一个重要任务就是运用控制论中有关系统稳定的理论,研究机械控制系统的运动稳定问题。

1.3 反馈控制系统

利用反馈控制原理构成的自动控制系统,称之为反馈控制系统,在工程中,根据有无人为的反馈作用,可将控制系统分为开环控制与闭环控制。而机械动力学系统中的内在反馈作用,如图 1.2 所示的机械系统,虽然也可用反馈原理来分析,但其反馈作用是机械系统固有的,在工程上一般来说就不叫反馈控制系统。

1.3.1 开环控制与闭环控制

所谓开环控制系统,是指系统的输出端和输入端之间不存在反馈回路,输出量对系统的控制作用没有影响的控制系统。

所谓闭环控制系统,是指系统的输出端和输入端之间存在反馈回路,即输出量对输入有直接影响的控制系统。

闭环控制的优点是它利用反馈检测出实际控制量和目标量之间的偏差,以此作用于控制系统来减小偏差,因此控制精度高。但又因该系统是靠检测偏差来纠正偏差,靠偏差进行控制,而实际工作过程总会存在偏差,再加上控制元件或负载的惯性,很容易引起振荡,使系统丧失稳定,所以控制精度和系统稳定始终是闭环控制存在的一对矛盾,而开环控制系统,因无反馈控制故控制精度低,一般也不存在稳定问题。

1.3.2 闭环控制系统的构成

图 1.3(a)所示为一速度闭环控制系统。控制信号经放大器作用于伺服阀进而驱动液压马达,液压马达

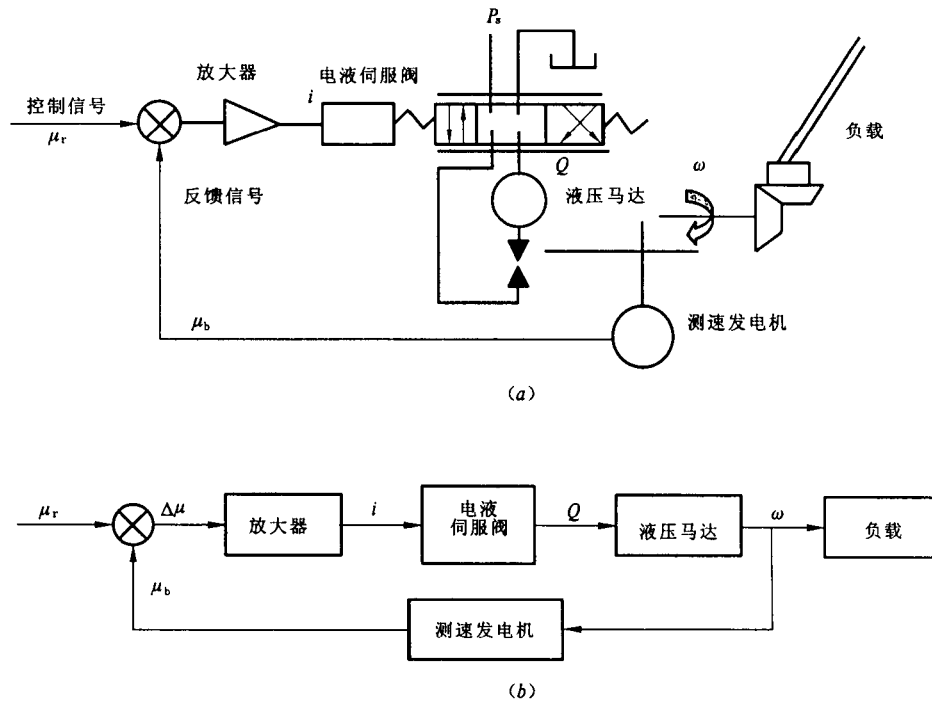


图 1.3 速度控制系统

驱动负载(炮塔)转动,用测速发电机测出负载转速,并转换成反馈信号和给定的控制信号相比较,得出偏差信号,以此偏差信号再驱动伺服阀,使马达加速或减速,从而达到驱动负载依输入指令的规律运动。该系统的控制方块图如图 1.3(b)所示。

闭环控制系统的具体构成是多种多样的,但它们的基本构成可用图 1.4 所示的方块图来表示。

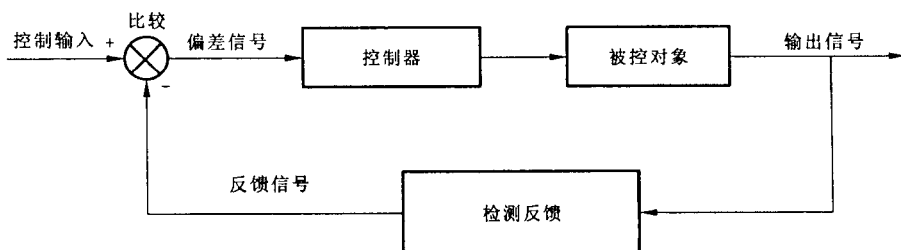


图 1.4 闭环系统构成方块图

由图可见,它包括:

- (1)给定元件。由它产生控制输入;
- (2)检测反馈元件。如图 1.3 中的测速发电机;
- (3)比较元件。用来比较输入信号与反馈信号的偏差,可以是一个差接的电路,也可以是机械差动机构等;
- (4)控制器,也叫控制装置,它包括放大元件,执行元件,通常还有校正元件。在图 1.3 中,电液伺服阀是个兼有能量转换和功率放大的零件。液压马达是执行元件;
- (5)被控对象。在图 1.3 中是负载炮塔。

1.4 对控制系统性能的基本要求

机械控制系统形式很多,但对控制系统有一个共同的要求,可归纳为稳、准、快三个方面。

稳定性:因闭环控制存在反馈,系统又存在惯性,当系统参数匹配不当时,则会引起振荡而丧失工作能力,故保持系统稳定,是系统工作的首要条件。

准确性:系指调节过程结束后输出量与给定量之间的偏差,亦称静态精度,例如数控机床的控制精度越高,则其加工的零件精度也越高。

快速性:系指在系统稳定的条件下,当系统的输出量和输入量之间产生偏差时,消除这种偏差过程的快速程度。

由于被控对象的具体情况不同,各种系统对稳、准、快的要求也各有侧重,则一系统的稳、准、快是相互制约的。快速性好,可能引起强烈振荡,而改善系统的稳定性又可能减小快速性,控制精度也可能变差。

综上所述,随着科学技术的飞速发展,人们对低投入、高产出、提高产品质量,改善劳动条件的要求越来越高,在这种形势下,要求大多数技术工作者需要具备机械控制工程方面的知识,以对生产过程中出现的问题能够以系统的动态的观点去分析问题的本质,找出解决的办法。机械控制工程这门科学也会随生产的发展、技术的进步而不断丰富。

本章小结

本章概述了机械控制工程的产生、发展、基本概念及控制要求:

(1)机械控制工程是研究“控制论”在机械工程中应用的科学,控制论的中心思想是机器系统,生命系统甚至社会与经济系统都有一个共同的特点,即通过信息的传递、加工处理和反馈来进行控制。信息、反馈与控制是控制论的三要素。

(2)控制论按其发展的进程和研究方法可分为三个阶段,第一阶段是 20 世纪 40~50 年代为经典控制论

发展阶段;第二阶段是20世纪60~70年代为现代控制论发展阶段;第三阶段是20世纪末至今是大系统论和智能控制论发展阶段。

必须指出经典控制论是基础。时至今日,经典控制论仍然是解决大多数工程实际问题的基本方法。

(3)任何工程系统都存在信息的传递与反馈,并可利用反馈进行控制。若反馈信号与原系统输入信号的方向相反,称之为负反馈,否则,称之为正反馈。

利用反馈可构成自动控制系统以提高控制精度,但同时也孕育着不稳定因素,在一定条件下引发振荡。

(4)控制系统按有无人造的反馈作用,分为开环控制与闭环控制,闭环控制的基本构成包括给定元件、检测反馈元件、比较元件、控制器和被控对象。

(5)对控制系统性能的基本要求是稳定、准确、快速。

习 题

- 1.1 试述控制论的中心思想。
- 1.2 试述控制论发展的历程。
- 1.3 学习机械控制工程基础这门课程的目的是什么?
- 1.4 阐述信息、反馈与反馈控制的基本概念,说明内在反馈的意义。
- 1.5 说明开环控制与闭环控制的特点及基本构成。
- 1.6 说明对控制系统性能的基本要求。