

普通高等院校“十一五”规划教材
普通高等院校机械类精品教材



顾问 杨叔子 李培根

机械工程控制基础

JIXIE GONGCHENG KONGZHI JICHU

主编 杨前明 吴炳胜 金晓宏

主审 吴 波



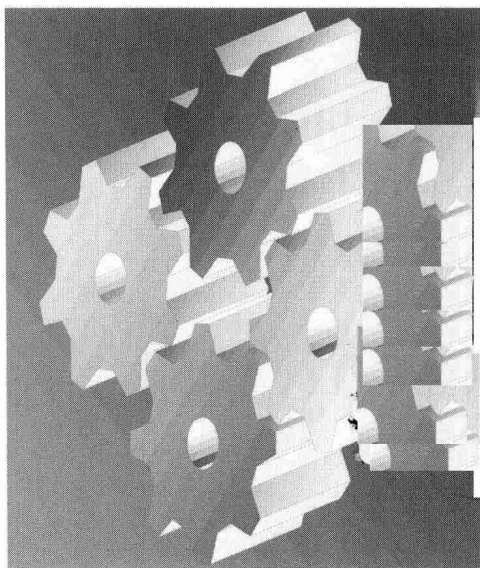
华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>



普通高等院校“十一五”规划教材
普通高等院校机械类精品教材

顾问 杨叔子 李培根

机械工程控制基础



主 编 杨前明 吴炳胜 金晓宏
副主编 宋志安 陈 玉 曹冲振



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

中国·武汉

图书在版编目(CIP)数据

机械工程控制基础/杨前明 吴炳胜 金晓宏 主编. —武汉: 华中科技大学出版社, 2010. 8

ISBN 978-7-5609-6332-7

I. 机… II. ①杨… ②吴… ③金… III. 机械工程-控制系统-高等学校-教材
IV. TH-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 113493 号

机械工程控制基础

杨前明 吴炳胜 金晓宏 主编

策划编辑: 刘 锦

责任编辑: 刘 飞

封面设计: 潘 群

责任校对: 张 琳

责任监印: 熊庆玉

出版发行: 华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编: 430074 电话: (027)87557437

录 排: 武汉楚海文化传播有限公司

印 刷: 武汉科利德印务有限公司

开 本: 787mm×960mm 1/16

印 张: 13 插页: 2

字 数: 300 千字

版 次: 2010 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

定 价: 22.80 元



本书若有印装质量问题, 请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线: 400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

普通高等院校“十一五”规划教材

普通高等院校机械类精品教材

编审委员会

顾问: 杨叔子 华中科技大学

李培根 华中科技大学

总主编: 吴昌林 华中科技大学

委员: (按姓氏拼音顺序排列)

崔洪斌 河北科技大学

冯 浩 景德镇陶瓷学院

高为国 湖南工程学院

郭钟宁 广东工业大学

韩建海 河南科技大学

孔建益 武汉科技大学

李光布 上海师范大学

李 军 重庆交通大学

黎秋萍 华中科技大学出版社

刘成俊 重庆科技学院

柳舟通 黄石理工学院

卢道华 江苏科技大学

鲁屏宇 江南大学

梅顺齐 武汉科技学院

孟 遼 河南工业大学

芮执元 兰州理工大学

汪建新 内蒙古科技大学

王生泽 东华大学

闫占辉 长春工程学院

杨振中 华北水利水电学院

尹明富 天津工业大学

张 华 南昌大学

张建钢 武汉科技学院

赵大兴 湖北工业大学

赵天婵 江汉大学

赵雪松 安徽工程科技学院

郑青春 天津理工大学

周广林 黑龙江科技学院

内 容 提 要

本书主要介绍工程上广为应用的经典控制论中信息处理和系统分析与综合的基本方法,包括控制系统的数学模型、控制系统的时间响应与误差分析、控制系统的频率特性分析、控制系统的稳定性、控制系统的性能分析与校正、非线性控制系统、MATLAB 在控制系统中的应用等内容。在论述上注意深入浅出、精讲多练、简洁实用。每章附有例题与习题,书后配有部分习题参考答案,供解题时参考。本书附录中的拉普拉斯变换、Z 变换内容可供阅读时查阅。

本书可作为机械设计制造及其自动化、材料成形及控制和其他非电类专业学生的教材,也可供有关科技人员参考。

序

“爆竹一声除旧，桃符万户更新。”在新年伊始，春节伊始，“十一五规划”伊始，来为“普通高等院校机械类精品教材”这套丛书写这个“序”，我感到很有意义。

近十年来，我国高等教育取得了历史性的突破，实现了跨越式的发展，毛入学率由低于10%达到了高于20%，高等教育由精英教育而跨入了大众化教育。显然，教育观念必须与时俱进而更新，教育质量观也必须与时俱进而改变，从而教育模式也必须与时俱进而多样化。

以国家需求与社会发展为导向，走多样化人才培养之路是今后高等教育教学改革的一项重要任务。在前几年，教育部高等学校机械学科教学指导委员会对全国高校机械专业提出了机械专业人才培养模式的多样化原则，各有关高校的机械专业都在积极探索适应国家需求与社会发展的办学途径，有的已制定了新的人才培养计划，有的正在考虑深刻变革的培养方案，人才培养模式已呈现百花齐放、各得其所的繁荣局面。精英教育时代规划教材、一致模式、雷同要求的一统天下的局面，显然无法适应大众化教育形势的发展。事实上，多年来许多普通院校采用规划教材就十分勉强，而又苦于无合适教材可用。

“百年大计，教育为本；教育大计，教师为本；教师大计，教学为本；教学大计，教材为本。”有好的教材，就有章可循、有规可依、有鉴可借、有道可走。师资、设备、资料（首先是教材）是高校的三大教学基本建设。

“山不在高，有仙则名。水不在深，有龙则灵。”教材不在厚薄，内容不在深浅，能切合学生培养目标，能抓住学生应掌握的要言，能做

到彼此呼应、相互配套,就行,此即教材要精、课程要精,能精则名、能精则灵、能精则行。

华中科技大学出版社主动邀请了一大批专家,联合了全国几十个应用型机械专业,在全国高校机械学科教学指导委员会的指导下,保证了当前形势下机械学科教学改革的发展方向,交流了各校的教改经验与教材建设计划,确定了一批面向普通高等院校机械学科精品课程的教材编写计划。特别要提出的,教育质量观、教材质量观必须随高等教育大众化而更新。大众化、多样化决不是降低质量,而是要面向、适应与满足人才市场的多样化需求,面向、符合、激活学生个性与能力的多样化特点。“和而不同”,才能生动活泼地繁荣与发展。脱离市场实际的、脱离学生实际的一刀切的质量不仅不是“万应灵丹”,而是“千篇一律”的桎梏。正因为如此,为了真正确保高等教育大众化时代的教学质量,教育主管部门正在对高校进行教学质量评估,各高校正在积极进行教材建设,特别是精品课程、精品教材建设。也因为如此,华中科技大学出版社组织出版普通高等院校应用型机械学科的精品教材,可谓正得其时。

我感谢参与这批精品教材编写的专家们!我感谢出版这批精品教材的华中科技大学出版社的有关同志!我感谢关心、支持与帮助这批精品教材编写与出版的单位与同志们!我深信编写者与出版者一定会同使用者沟通,听取他们的意见与建议,不断提高教材的水平!

特为之序。

中国科学院院士
教育部高等学校机械学科指导委员会主任

杨红子

2006.1

前 言

本书为高等院校机械类本科及其相关专业的教材,教材章节内容以国家教指委 2008 年 8 月发布的“中国机械工程学科教程”为依据,参照“控制理论子知识领域的知识单元和知识点”选定。在编写过程中总结了多年的教学经验,参考了国内有关同类教材,注意教材内容系统性的同时,全书贯彻“少而精”的原则,注重理论联系实际,融入工程背景。在叙述方法上,力求深入浅出,突出重点。

本书主要对经典控制理论的基本概念与方法进行了阐述。全书共分八章,其中第 1 至 5 章是重点。

第 6 章介绍了控制系统串联校正、反馈校正与 PID 校正的基本方法,目的是让读者了解校正的基本思想,熟悉最常见的工程校正方法。

第 7 章介绍了控制系统中的典型非线性环节,如摩擦、间隙等对系统性能的严重影响及其描述函数法,通过对典型非线性环节的举例分析力图给学生建立非线性特性的基本概念及其分析方法。

第 8 章介绍了 MATLAB 仿真软件的基本概念及其在控制系统时域、频域分析中的基本应用方法。

考虑到部分读者对于拉普拉斯变换及 Z 变换不熟悉或需要回顾,为方便阅读,本书在附录中简要地介绍了这部分内容。

本书由山东科技大学杨前明教授编写第 1、2、7 章与附录部分的内容,山东科技大学曹冲振副教授编写第 3 章,河北工程大学吴炳胜教授编写第 4 章,武汉科技大学金晓宏教授编写第 5 章,安徽工程大学陈玉讲师编写第 6 章,山东科技大学宋志安副教授编写第 8 章,全书由杨前明教授统稿,华中科技大学吴波教授主审。山东科技大学陈毕胜、陈广庆、姜雪、薛凤先讲师分别参编了第 1、2、6、7 章,河北工程大学荀杰参编了第 3 章,重庆科技学院李良讲师参编了第 5 章内容。

本书在编写过程中,吸取了许多兄弟院校同类教材的优点,得到了许多同仁的帮助,在此一并表示感谢。

限于编者水平,书中难免存在错误与不妥之处,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

2010 年 5 月于青岛

目 录

第 1 章 绪论	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 自动控制系统的基本概念	(2)
1.3 本课程的特点与学习方法	(7)
习题	(7)
第 2 章 控制系统的数学模型	(9)
2.1 物理系统动态描述	(9)
2.2 非线性系统及其数学模型的线性化	(12)
2.3 传递函数的概念与典型环节的传递函数	(14)
2.4 系统框图及其简化	(20)
2.5* 系统信号流图与梅菴公式	(25)
习题	(27)
第 3 章 控制系统的时间响应与误差分析	(30)
3.1 时间响应和典型输入信号	(30)
3.2 一阶系统的时间响应	(33)
3.3 二阶系统的时间响应	(36)
3.4* 高阶系统的时间响应	(47)
3.5 误差与稳态误差	(48)
习题	(54)
第 4 章 控制系统的频率特性分析	(55)
4.1 频率特性概述	(55)
4.2 频率特性的极坐标(Nyquist)图	(59)
4.3 频率特性的对数坐标(Bode)图	(64)
4.4 控制系统闭环频率特性的 Bode 图	(72)
习题	(75)
第 5 章 控制系统的稳定性	(78)
5.1 系统稳定性概念及其条件	(78)
5.2 控制系统的稳定判据	(81)
5.3 控制系统的稳定性储备	(94)
5.4 频域性能指标与时域性能指标关系	(97)
习题	(104)

第 6 章 控制系统的性能分析与校正	(107)
6.1 系统的性能指标与校正方法	(107)
6.2 串联校正	(109)
6.3 反馈校正	(117)
6.4 PID 校正	(120)
习题	(127)
第 7 章 非线性控制系统	(129)
7.1 控制系统的典型非线性特征	(129)
7.2 描述函数法	(133)
7.3 机电控制系统中的非线性环节分析举例	(142)
7.4 利用非线性特性改善系统的性能	(147)
习题	(148)
第 8 章 MATLAB 在控制系统中的应用	(150)
8.1 MATLAB 仿真软件简介	(150)
8.2 基于 MATLAB 控制系统的时域分析	(159)
8.3 控制系统的频域分析	(171)
附录 A 拉普拉斯(Laplace)变换	(179)
附录 B Z 变换	(188)
部分习题参考答案	(194)
参考文献	(200)

第 1 章 绪 论

1.1 概 述

以“三论”(系统论、信息论、控制论)为代表的科学方法论,是一门新兴的理论,它为人认识世界和改造世界提供了新的有力武器,是 20 世纪以来最伟大的成果。作为“三论”之一的“控制论”中的“控制”的概念,人们并不陌生。自人类文明开始,人类就有“控制”的尝试。“人猿相揖别,只几个石头磨过,小儿时节。”这里面,人是控制者,“石头”(石器)是被控制的对象。控制是反映人和工具关系的一个概念,控制工程是一门研究“控制论”在工程中应用的科学。“控制工程基础”主要阐述自动控制技术的基础理论及其分析问题与解决问题的基本方法。

控制论的产生有其自身的实践基础和理论基础。中国古代的指南车、风磨漏斗、木牛流马、地动仪、水运仪象台等,18 世纪英国的蒸汽机的调节器,20 世纪以来出现的以电信号控制为主的机械,如数控机床等,都是人类生产过程中自动控制的实践明证。控制理论随着生产的机械化及电气技术的发展得到了不断丰富与完善。第二次世界大战期间,控制论创始人维纳(N. Wiener)在对火炮自动控制的研究中发现了极为重要的反馈(feed-back)概念,他总结了包括生理学、信息论等诸多学科在内的前人成果,于 1948 年出版了著名的《控制论——关于在动物和机器中控制和通信的科学》一书,奠定了控制论这门学科的基础。维纳发现,机器系统、生命系统甚至社会经济系统有一个共同的特点,即通过信息的传递、加工处理和反馈来进行控制,亦即具备控制论的信息、反馈与控制三个要素,这就是控制论的中心思想。在控制论建立后的不长时间,其中心思想便迅速渗透到其他许多学科领域,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。此后又出现了生物控制论、经济控制论、社会控制论。随着科技进步,特别是计算机科学技术的发展,控制论无论是在其三要素的内涵上,还是在其深度与广度上,均处于动态发展状态,对促进社会生产力的发展与社会进步有着深远的影响。控制论的发展过程大体可分为三个阶段。

第一阶段:20 世纪 40—50 年代为经典控制理论发展时期。经典控制论以传递函数为基础,主要用于单输入、单输出控制系统的分析和设计,实现的是单机、局部的自动化,如自动调节器、伺服系统等。对于线性定常系统,这种方法是有效的。

第二阶段:20 世纪 60—70 年代为现代控制理论发展时期。这期间随着计算机技术

的发展和空间技术的进步,产生了把经典控制论中的高阶常微分方程转化为一阶微分方程组来描述系统的方法,即所谓状态空间法。采用这种方法可以解决多输入、多输出问题,实现的是多变量控制、最优控制,还可以考虑多种变化因素。状态空间法对非线性、时变系统(如航天系统、导弹系统等)也同样有效。

第三阶段:20世纪70年代末至今,控制论向着“大系统”理论和智能控制论方向发展。“大系统”理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的理论;智能控制论是研究与模拟人类活动的机理的理论。这个阶段的控制论可实现规模庞大、结构复杂、变量参数多、多目标控制系统(如智能机器人技术、生物系统、社会系统等)的控制。

控制论发展的历程反映了人类社会由机械化步入电气化,继而走向自动化、信息化和智能化的发展特征。控制论的基本概念和研究方法是人类认识史上的一个飞跃,开辟了人类认识世界的新途径。从控制论的发展中可以看出,经典控制论是基础,现代控制论、智能控制论等都是在此基础上发展起来的。本书将主要介绍经典控制论。

在机械工程问题上,机械、电气、液压和计算机被广泛采用,而且常常互相渗透、相互配合,这就需要结合机电液系统阐述工程上共同遵循的基本控制规律。例如,电梯可以不受乘员多少的影响,按照人的要求准确地停在任一楼层,机床的数字控制可以实现工件的自动加工,导弹能够击中正在运动的目标,这些都离不开自动控制技术。

1.2 自动控制系统的基本概念

所谓自动控制,是指在无人直接参与的情况下,利用控制装置使被控对象(如机器、设备或生产过程等)的某些物理量(如温度、压力、速度等)或工作状态(如位置等)准确地按照预期规律变化。如空调系统的温度控制问题、机械零件在数控机床上的加工成形问题及射击目标的自动瞄准与击中等问题,都属于自动控制方面的问题。一般地说,使被控制量按照给定量的变化规律而变化,就是控制系统所要完成的基本任务。学习“机械工程控制基础”课程要学会解决两个问题: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;二是如何根据实际需要来进行控制系统的设计,并用机、电、液、光等设备来实现这一设计系统。前者主要是要分析系统,后者是要对控制系统设计与综合。无论解决哪类问题,都必须具有丰富的控制理论知识,并以系统的而不是孤立的、动态的而不是静态的观点和方法来处理问题,这样才能实现预期的控制目的。

1.2.1 自动控制系统工作原理

以水箱液位控制系统为例,讨论实现液位控制的两种办法(即人工控制和自动控制)。图1.1所示为人工控制的水箱水位控制系统,人工调节过程可归结如下。

- (1) 观测水箱的液位(被控制量)。
- (2) 与要求的液位(给定值)进行比较,得出偏差的大小和方向。

(3) 根据偏差的大小和方向再进行控制:当水箱液位高于所要求的给定液位值时,就减小放水阀门开度使液位降低;当水箱液位低于给定的值时,则增大进水阀门开度,使液位增高。

因此,人工控制水箱液位的过程就是测量液位,获取预定液位与实际液位之间的偏差、再控制调节以纠正偏差的过程。简单地讲就是“检测偏差用以纠正偏差”的过程。

对于这种水箱液位简单的控制形式,如果能设计一个控制器代替人工简单的调节职能,就能将人工调节系统转换成自动控制系统了。图 1.2 所示为水箱液位自动控制系统。当外界因素引起箱内水位变化时,作为测量反馈元件的浮球,把液位偏差信号反馈给控制器,并通过其控制气动阀门打开,直到液位达到给定值为止,当偏差信号为 0 时,气动阀门关闭,这样就完成了所要求的控制任务。

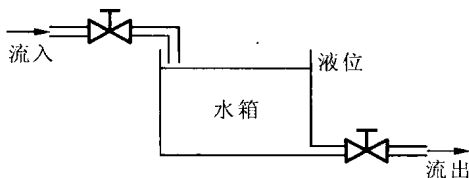


图 1.1 水箱液位控制系统

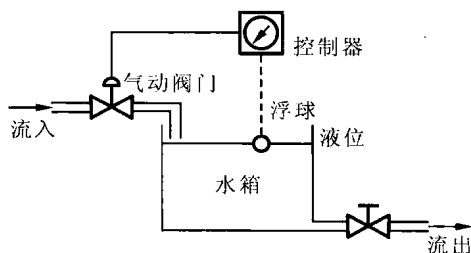


图 1.2 水箱液位自动控制系统

上述人工控制系统和自动控制系统是极其相似的:执行机构类似于人手,测量装置相当于人的眼睛,控制器类似于人脑。另外,它们还有一个共同的特点,就是都要检测偏差,并根据检测到的偏差去纠正偏差,可见,没有偏差便没有调节过程。在自动控制系统中,这一偏差是通过反馈建立起来的。给定信号也称为激励,给定量也称为控制系统的输入量;被控制量称为系统的输出量,输出信号也称为响应。反馈就是指输出量通过适当的测量装置将信号全部或部分返回输入端,并与之同时作用于系统的过程。反馈量与输入量的比较结果称为偏差。因此,基于反馈基础上的“检测偏差,用以纠正偏差”的原理又称为反馈控制原理。利用反馈控制原理组成的系统称为反馈控制系统。实现自动控制的装置可各不相同,但反馈控制的原理却是相同的,可以说,反馈控制是实现自动控制最基本的方法。

1.2.2 开环控制与闭环控制

工业上用的控制系统,根据有无反馈作用又可分为两类:开环控制系统与闭环控制系统。

1. 开环控制系统

如果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,这样的系统称为开环控制系统。图 1.3 表示了开环控制系统输入量与输出量之间的关系。

2. 闭环控制系统

反馈控制系统也称为闭环控制系统。这种系统的特点是系统的输出端和输入端之间存在反馈回路,即输出量对控制作用有直接影响。闭环的作用就是应用反馈来减少偏差。闭环控制突出的优点是精度高,不管出现什么干扰,只要被控制量的实际值偏离给定值,闭环控制就会产生控制作用来减小这一偏差。图 1.4 表示了闭环控制系统输入量、输出量和反馈量之间的关系。

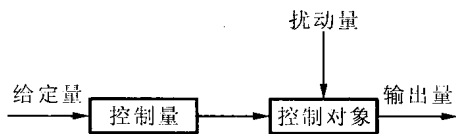


图 1.3 开环控制系统示意图

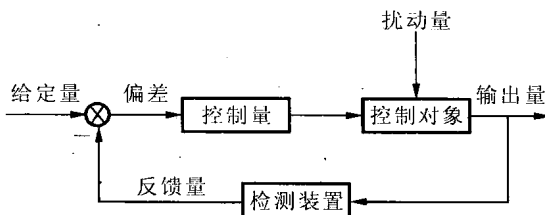


图 1.4 闭环控制系统示意图

闭环系统也有它的缺点:这类系统是通过检测偏差来纠正偏差,或者说是靠偏差进行控制。在工作过程中系统总会存在着偏差,由于元件的惯性(如负载的惯性等),很容易引起振荡,使系统不稳定。因此,精度和稳定性是在闭环系统中存在的一对矛盾。从稳定性的角度看,开环系统比较容易构造,结构也比较简单,因为开环系统一般不存在稳定性问题。

需要说明的是,有些机械动力学系统也可以画成具有反馈的方块图,但这个形式上的反馈若不是实际存在的输出量反馈,就不能称为反馈控制系统,但它可用反馈控制理论来分析。

1.2.3 反馈控制系统的基本组成

图 1.5 是一个典型反馈控制系统的示意图,该图表示了各元件在系统中的位置及其相互间的关系。由图 1.5 可以看出,一个典型的反馈控制系统主要包括反馈元件、给定元件、比较元件、放大元件、执行元件、控制对象及校正元件等。

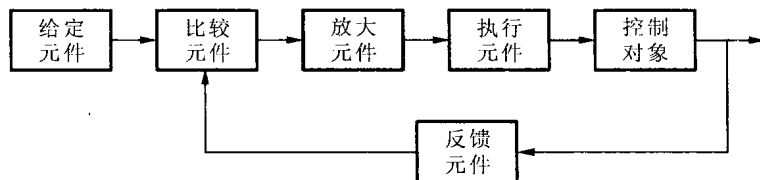


图 1.5 反馈控制系统组成

(1) 给定元件 它根据期望的输出量来进行输入信号规律的给定,即产生给定信号或输入信号。

(2) 反馈元件 它测量被控制量或输出量,产生反馈信号,该信号与输出量之间存在着确定的函数关系(通常为比例关系)。

(3) 比较元件 它用来比较输入信号和反馈信号之间的偏差,一般由差动连接电路实现。它往往不是一个专门的物理元件,有时也称为比较环节。而自整角机、旋转变压器、机械式差动装置都是物理意义上的比较元件。

(4) 放大元件 它是对偏差信号进行放大和功率放大的元件,如伺服功率放大器、液压伺服阀等。

(5) 执行元件 它是直接对控制对象进行操作的元件,如执行电动机、液压马达等。

(6) 控制对象 它是控制系统所要操纵的对象,如水箱、机床工作台等。控制对象的输出量即为系统的被控制量,如液位、工作台位移等。

此外,有的控制系统还含有校正元件,或称为校正装置,用以稳定、提高控制系统性能。

1.2.4 自动控制系统的分类

自动控制系统的类型很多,它们的结构类型和所需完成的任务也各不相同。

1. 按数学模型分

(1) 线性控制系统 组成控制系统的元件都具有线性特性的系统称为线性控制系统。这种系统的输入与输出的关系是线性的,符合叠加原理,一般可以用微分(差分)方程、传递函数、状态方程来描述其运动过程。线性系统的主要特点是满足叠加原理。

(2) 非线性控制系统 只要系统中含有一个元件具有非线性特性,系统不能用线性微分方程来描述,则该系统就称为非线性控制系统。非线性系统一般不具备叠加性。

2. 按时间概念分

(1) 定常系统 控制系统中所有的参数都不随时间而变化,这样的系统称为定常系统,其输入与输出关系可以用常系数的数学模型描述。若该定常系统为线性系统,则称为线性定常系统。

(2) 时变系统 若控制系统中的参数随时间的变化而变化,则这种系统称为时变系统。

实际中遇到的系统多少都有一些非线性和时变性,但多数都可以在一定的条件下合理地近似按线性定常系统处理。在经典控制论中研究的对象主要是单输入、单输出的线性定常控制系统。

3. 按信号的性质分

(1) 连续系统 若控制系统中各个参量的变化都是连续进行的,即系统中各处信号均为时间的连续函数,则该系统称为连续系统。

(2) 离散系统 若控制系统的给定量、反馈量、偏差量都是数字量,数值上不连续,时间上也是离散的,则该系统称为离散系统。这种系统一般有采样控制系统和数字控制系统两种,其测量、放大、比较、给定等信号的处理均由微处理器实现,主要特征是系统中含有采样开关或 D/A、A/D 转换装置。现在这种系统已随着微处理器的发展而日益增多。

4. 按给定量的运动规律分

(1) 恒值调节系统 这类系统的输入是不随时间而变化的常数。当系统在扰动作用下,被控制量偏离期望值时,其主要的控制任务是克服各种扰动的影响,使被控制量始终与给定输入要求值保持一致。例如,稳压电源、恒温系统、压力、流量等过程控制系统等都属于恒值调节系统。对于这类系统,分析重点在于克服扰动对输出量的影响。

(2) 程序控制系统 当系统输入量为给定的时间函数时,该系统称为程序控制系统。这种系统控制的主要目的是保证被控制量能够按给定的时间函数变化。如:对于热处理的升温过程,根据材料特性的要求,温度的升高必须按要求的时间函数进行;对于汽轮机启动时的升速过程,速度变化需按时间函数进行;等等。近年来,由于微处理机的应用,大量的数字程序控制系统投入了运行。

(3) 随动系统 若系统的给定量是时间的未知函数,即给定量的变化规律事先无法确定,要求输出量能够准确、快速地复现给定量,这样的系统称为随动系统,也称为伺服系统,如火炮自动瞄准系统、液压仿形刀架随动系统等。

除此以外,自动控制系统还可按系统参数特征分为集中参数系统和分布参数系统,按系统组成元件的物理性质分为电气控制系统、液压控制系统,按系统的被控量分为液位控制系统、转速控制系统、流量控制系统等。

1.2.5 对控制系统的基本要求

自动控制系统根据其控制目标的不同,要求也往往不一样。但自动控制技术是研究各类控制系统共同规律的一门技术,对控制系统有一些共同的要求,一般可归结为稳定性、准确性与快速性三个方面的要求。

(1) 系统的稳定性 由于系统存在着惯性,当系统的各个参数匹配不妥时,将会引起系统的振荡而使其失去正常工作的能力。稳定性就是指动态过程的振荡倾向和系统恢复平衡状态的能力。稳定性是保证系统正常工作的首要条件。

(2) 响应的准确性 这是指在调整过程结束后,实际输出量与希望输出量之间的误差,又称为稳态误差或稳态精度,这也是衡量系统工作性能的重要指标。例如,数控机床精度愈高,则加工精度也越高。一般恒温 and 恒速系统的控制精度都可在给定值的1%以内。

(3) 响应的快速性 这是在系统稳定的前提下提出的。快速性是指当系统输出量与给定量之间产生偏差时,消除这种偏差过程的快速程度。

综上所述,对控制系统的要求是稳、准、快。由于受控对象的具体情况不同,各种系统对稳、准、快的要求各有侧重。例如,随动系统对快速性要求较高,而调速系统则对稳定性有较严格的要求。同一系统的稳、准、快性能是相互制约的。快速性好,可能会有强烈振荡;改善了稳定性,控制过程可能又过于迟缓,精度也可能变差。如何分析并解决这些矛盾,也是本学科讨论的重要内容。对于机械动力学系统,首要的要求也是稳定性,因为过大的振荡将会使部件过载而损坏,此外还要降低噪声、增加刚度等,这些都是控制理论研究的主要内容。

1.3 本课程的特点与学习方法

本课程是一门技术基础课,以数学、物理及有关学科理论为基础,以机械工程中有关系统的动力学为研究对象,运用信息论、系统论和控制论的方法,建立起数理基础与专业课程之间的联系。本课程比较抽象,与理论力学、机械原理、电工电子学等技术基础课相比,概括性更强、涉及的范围更为广泛。

本课程几乎涉及机械工程类专业在学习本课程前所学的全部数学知识,特别是工程数学中的复变函数和积分变换知识,还要用到有关动力学的知识。因此学习本课程要求有良好的数学、力学、电学的基础,有一定的机械工程(包括机械制造)方面的专业知识,还要有一定的其他学科领域的知识。

在学习本课程时,既要重视抽象思维,了解一般规律,又要充分注意与实际相结合,联系专业,努力实践;既要重视理论基础,善于从个性中概括出共性,又要注意工程实践,善于从共性出发深刻分析了解个性,学习用控制论的方法去解决实际问题的思路。在学习的过程中,要重视实验、重视习题,尤其是要独立完成作业,要重视 MATLAB 的实践,这些都有助于对基本概念的理解与基本方法的运用。

控制理论不仅是一门重要的学科,还是一门卓越的方法论。它提出、思考、分析与解决问题的思想方法符合唯物辩证法,符合现代物理学前沿领域中的成就。“他山之石,可以攻玉”,应将控制论与机械工程结合起来,运用控制论的理论与方法来考察、提出、分析与解决机械工程中的问题。这门学科毕竟还有不完善之处,因此在学习本课程时,更应该大胆地思考问题、提出问题、研究问题,运用学习中获得的信息来总结经验,指导学习,不为教材所束缚。

习 题

- 1-1 控制论的中心思想是什么?简述其发展过程。
- 1-2 试述控制系统的工作原理。
- 1-3 何谓开环控制与闭环控制?试比较它们的优缺点。
- 1-4 在下列这些持续运动的过程中,都存在信息的传输与反馈,试选两个加以分析,要求给出被控制量、反馈的传递路径、执行环节、给定信号等。
 - (1) 人骑自行车转弯;
 - (2) 人驾驶汽车保持速度不变;
 - (3) 行驶中的帆船。
- 1-5 反馈控制原理是什么?试用框图表示反馈控制系统的组成及各部分之间的连接关系。
- 1-6 试述自动控制系统的基本类型。
- 1-7 试述对控制系统的基本要求。
- 1-8 试说明如题 1-8 图所示液面控制系统的工作原理,画出系统原理图。
- 1-9 题 1-9 图所示为一恒温箱自动控制系统图。试分析该系统的工作原理,确定该