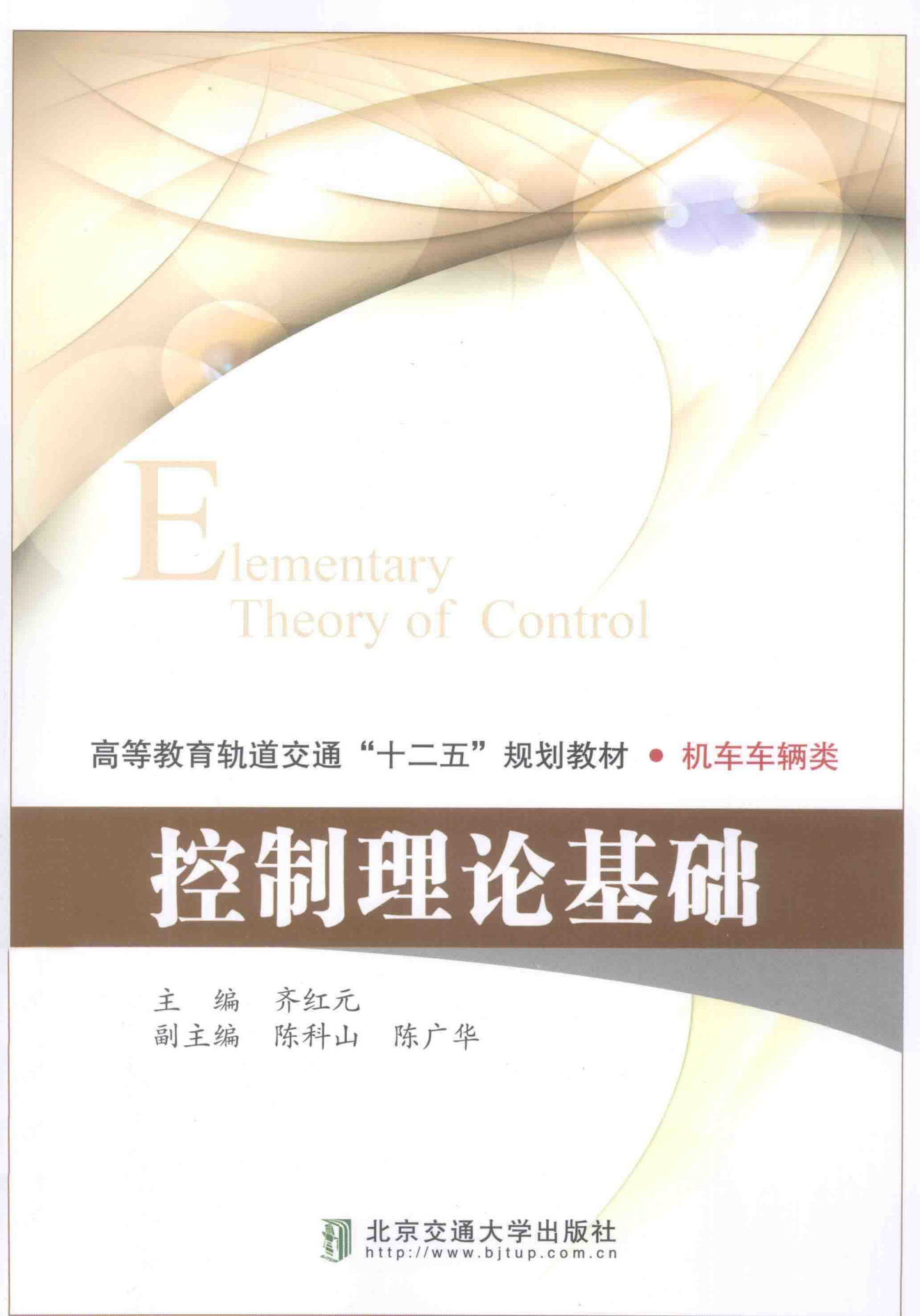




Elementary Theory of Control

高等教育轨道交通“十二五”规划教材 • 机车车辆类

控制理论基础

主 编 齐红元
副主编 陈科山 陈广华



北京交通大学出版社
<http://www.bjtup.com.cn>

高等教育轨道交通“十二五”规划教材·机车车辆类

控制理论基础

主 编 齐红元

副主编 陈科山 陈广华

北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书阐述了古典控制理论基础的基本概念、原理与分类、控制系统基本要求及拉普拉斯变换理论；介绍连续线性系统的时域与频域理论及其各种分析方法。为了克服以往控制系统分析的数学复杂问题，本书结合 MATLAB 软件编程，介绍系统的动态、静态性能与稳定性、系统建模与时频域等分析的仿真实现方法。本书针对“机械设计制造及其自动化（机车车辆方向）”网络课程要求配有课程电子课件。

本书适合用作高等学校机械、化工、航天航空、自动化、仪表等相关专业的教材，也可作为从事控制工程应用和研究的工程技术人员的参考书。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

控制理论基础/齐红元主编. —北京：北京交通大学出版社，2013.8

（高等教育轨道交通“十二五”规划教材）

ISBN 978-7-5121-1545-3

I. ①控… II. ①齐… III. ①控制论-高等学校-教材 IV. ①O231

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 172257 号

责任编辑：陈跃琴

特邀编辑：范跃琼

出版发行：北京交通大学出版社

电话：010-51686414

北京市海淀区高粱桥斜街 44 号

邮编：100044

印刷者：北京市德美印刷厂

经 销：全国新华书店

开 本：185×260 印张：14 字数：350 千字

版 次：2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

书 号：ISBN 978-7-5121-1545-3/O·121

印 数：1~3000 册 定价：32.00 元

本书如有质量问题，请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评，我们表示欢迎和感谢。

投诉电话：010-51686043，51686008；传真：010-62225406；E-mail：press@bjtu.edu.cn。

高等教育轨道交通“十二五”规划教材·机车车辆类

编 委 会

顾 问：施仲衡

主 任：司银涛

副 主 任：李建勇 陈 庚

委 员：（按姓氏笔画排序）

王文静 史红梅 刘 伟

刘志明 齐红元 宋永增

宋雷鸣 张励忠 张欣欣

周明连

编委会办公室

主 任：赵晓波

副 主 任：孙秀翠

成 员：（按姓氏笔画排序）

吴嫦娥 郝建英 徐 琤

总 序

我国是一个内陆深广、人口众多的国家。随着改革开放的进一步深化和经济产业结构的调整,大规模的人口流动和货物流通使交通行业承载着越来越大的压力,同时也给交通运输带来了巨大的发展机遇。作为运输行业历史最悠久、规模最大的龙头企业,铁路已成为国民经济的大动脉。铁路运输有成本低、运能高、节省能源、安全性好等优势,是最快捷、最可靠的运输方式,是发展国民经济不可或缺的运输工具。改革开放以来,中国铁路积极适应社会的改革和发展,狠抓制度改革,着力技术创新,抓住了历史发展机遇,铁路改革和发展取得了跨越式的发展。

国家对铁路的发展始终予以高度重视,根据国家《中长期铁路网规划》(2005—2020年):到2020年,中国铁路网规模达到12万千米以上。其中,时速200千米及以上的客运专线将达到1.8万千米。加上既有线提速,中国铁路快速客运网将达到5万千米以上,运输能力满足国民经济和社会发展的需要,主要技术装备达到或接近国际先进水平。铁路是个远程重轨运输工具,但随着城市建设和经济的繁荣,城市人口大幅增加,近年来城市轨道交通也正处于高速发展时期。

城市的繁荣相应带来了交通拥挤、事故频发、大气污染等一系列问题。在一些大城市和一些经济发达的中等城市,仅仅靠路面车辆运输远远不能满足客运交通的需要。城市轨道交通节约空间、耗能低、污染小、便捷可靠,是解决城市交通的最好方式。未来我国城市将形成地铁、轻轨、市域铁路构成的城市轨道交通网络,轨道交通将在我国城市建设中起着举足轻重的作用。

但是,在我国轨道交通进入快速发展的同时,解决各种管理和技术人才匮乏的问题已迫在眉睫。随着高速铁路和城市轨道新线路的不断增加以及新技术的开发与引进,管理和技术人员的队伍需要不断壮大。企业不仅要对新员工进行培训,对原有的职工也要进行知识更新。企业急需培养出一支能符合企业要求、业务精通、综合素质高的队伍。

北京交通大学是一所以运输管理为特色的学校,拥有该学科一流的师资和科研队伍,为我国的铁路运输和高速铁路的建设作出了重大贡献。近年来,学校非常重视轨道交通的研究和发展,建有“轨道交通控制与安全”国家级重点实验室、“城市交通复杂系统理论与技术”教育部重点实验室,“基于通信的列车运行控制系统(CBTC)”取得了关键技术研究的突破,并用于亦庄城轨线。为解决轨道交通发展中人才需求问题,北京交通大学组织了学校有关院系的专家和教授编写了这套“高等教育轨道交通‘十二五’规划教材”,以供高等学校

学生教学和企业技术与管理人员培训使用。

本套教材分为交通运输、机车车辆、电气牵引和土木工程四个系列，涵盖了交通规划、运营管理、信号与控制、机车与车辆制造、土木工程等领域，每本教材都是由该领域的专家执笔，教材覆盖面广，内容丰富实用。在教材的组织过程中，我们进行了充分调研，精心策划和大量论证，并听取了教学一线的教师和学科专家们的意见，经过作者们的辛勤耕耘以及编辑人员的辛勤努力，这套丛书得以成功出版。在此，我们向他们表示衷心的感谢。

希望这套系列教材的出版能为我国轨道交通人才的培养贡献绵薄之力。由于轨道交通是一个快速发展的领域，知识和技术更新很快，教材中难免会有诸多的不足之处，在此诚请各位同仁、专家不吝批评指正，同时也方便以后教材的修订工作。

编委会

2012年12月

出版说明

为促进高等轨道交通专业机车车辆类教材体系的建设,满足目前轨道交通类专业人才培养的需要,北京交通大学机械与电子控制工程学院、远程与继续教育学院和北京交通大学出版社组织以北京交通大学从事轨道交通研究教学的一线教师为主体、联合其他交通院校教师,并在有关单位领导和专家的大力支持下,编写了本套“高等教育轨道交通‘十二五’规划教材·机车车辆类”。

本套教材的编写突出实用性。本着“理论部分通俗易懂,实操部分图文并茂”的原则,侧重实际工作岗位操作技能的培养。为方便读者,本系列教材采用“立体化”教学资源建设方式,配套有教学课件、习题库、自学指导书,并将陆续配备教学光盘。本系列教材可供相关专业的全日制或在职学习的本专科学生使用,也可供从事相关工作的工程技术人员参考。

本系列教材得到从事轨道交通研究的众多专家、学者的帮助和具体指导,在此表示深深的敬意和感谢。

本系列教材从2012年1月起陆续推出,首批包括:《互换性与测量技术》、《可靠性工程基础》、《液压与气动技术》、《测试技术》、《单片机原理与接口技术》、《计算机辅助机械设计》、《控制理论基础》、《机械振动基础》、《动车组网络控制》、《动车组运行控制》、《机车车辆设计与装备》、《列车传动与控制》、《机车车辆运用与维修》。

希望本套教材的出版对轨道交通的发展、轨道交通专业人才的培养,特别是轨道交通机车车辆专业课程的课堂教学有所贡献。

编委会

2012年1月

前 言

以控制理论为基础的自动控制技术已经广泛应用于工业生产、交通运输和国防建设的各个工程领域，并解决了一系列高科技难题，诸如高速机车、宇宙航行、航空航天工程、导弹制导与防御体系等领域的一些高精度控制问题。控制理论基础是工科各专业的一门重要的技术基础理论课程，已成为高等教育多学科共同的专业基础课程。

在本教材的结构设计中，为了克服以往在时域与频域等分析中难以理解的数学问题，将课程基础理论与工程数学、系统网络课件构建、MATLAB 软件控制工具箱相结合，进而实现增强学生对控制理论理解认识能力的目的。

《控制理论基础》能够较全面系统地介绍控制理论的基本内容，并注重基本理论、基本概念和基本分析方法的阐述。全书共分 5 章，阐述经典控制基本理论与分析方法，主要内容包括：控制系统的数学模型、时域分析法、根轨迹分析法与频率响应法等。

第 1 章是绪论，介绍了控制理论基础的基本概念，在分析诸多控制对象的基础上，提出了控制系统的概念、技术术语及分类，同时简述了控制理论及其工业应用的发展过程。

第 2 章是控制理论的数学建模方法，主要介绍连续线性系统建模的数学基础——拉普拉斯变换（简称拉氏变换）及其反变换的方法，基于拉氏变换的线性微分方程的求解方法；传递函数概念与性质、系统框图、流程图及其等效转换、梅逊增益公式及 MATLAB 工具软件的分析方法。

第 3 章是控制系统时域分析，以输入为典型信号示例，讲解代数稳定判据、稳态误差分析计算、扰动误差及减小稳态误差的方法，同时将详细介绍运用 MATLAB 软件时域分析与仿真的方法。

第 4 章是根轨迹分析法，介绍闭环特征根轨迹绘图方法，并简述采用 MATLAB 软件实现根轨迹仿真的编程方法。

第 5 章是频率响应法，频率响应法是在工程中广泛应用的方法之一，本章主要介绍频率响应、频率特性概念、频率特性绘制、频率特性系统性能分析方法与设计控制系统方法，并简述 MATLAB 软件绘制的编程方法。

本书由齐红元、陈科山、陈广华编写，具体分工如下：第 1 章和各章 MATLAB 部分由齐红元执笔；第 2、3 章由陈科山、齐红元执笔；第 4、5 章由陈广华、齐红元执笔。此外，研究生戚兴刚、杜叶挺、任尚杰、赵龙、何喆、张增杰、李超然等同学参与了本书程序运行、打字、绘图、排版工作，对于他们给予的大力帮助表示诚挚的谢意。

由于编者们水平有限，时间仓促，书中错误和不妥之处在所难免，敬请广大读者批评与指正，将不胜感激。

编者

2013 年 6 月 20 日

目 录

第 1 章 控制系统的基本概念	1	1.7 习题 1	25
1.1 控制理论概述	1	第 2 章 控制理论的数学建模方法	27
1.1.1 控制理论发展历史	1	2.1 控制理论的数学基础	27
1.1.2 控制理论常用术语与应用实例	2	2.1.1 拉氏变换	27
1.1.3 控制系统面临的问题	3	2.1.2 典型输入信号的拉氏变换	28
1.1.4 控制理论基础的特点	4	2.1.3 拉氏变换的性质	30
1.2 控制理论基础的基本概念	5	2.1.4 拉氏反变换	33
1.2.1 控制理论的基本原理	5	2.2 数学模型的建立	38
1.2.2 控制系统的控制方式	9	2.2.1 动态微分方程的编写	38
1.2.3 控制系统的组成	11	2.2.2 非线性数学模型线性化	41
1.2.4 控制系统实例分析	12	2.2.3 传递函数的编写	42
1.3 控制系统的分类	15	2.2.4 控制系统的动态结构图	48
1.3.1 按输入信号变化的规律分类	15	2.2.5 动态结构图的等效变换和简化	50
1.3.2 按系统传输信号对时间的关系分类	16	2.2.6 信号流图	58
1.3.3 按系统的输出量和输入量间的关系分类	17	2.3 本章小结	63
1.3.4 按系统中的参数对时间的变化情况分类	18	2.4 习题 2	63
1.3.5 按系统中输入输出量个数情况分类	18	第 3 章 控制系统时域分析	67
1.4 控制系统的基本要求	19	3.1 典型输入信号	67
1.4.1 系统的稳定性	19	3.2 一阶系统的时域分析	68
1.4.2 系统的稳态性能指标	19	3.2.1 一阶系统的数学模型	68
1.4.3 系统的动态性能指标	20	3.2.2 一阶系统的单位阶跃响应	69
1.5 控制系统实例分析	22	3.2.3 一阶系统的冲激响应	70
1.6 本章小结	25	3.2.4 一阶系统的单位速度响应	72
		3.3 二阶系统的阶跃响应	73
		3.3.1 典型二阶系统暂态响应	73

3.3.2 二阶系统暂态响应的性能指标	根轨迹	141
78		
3.4 高阶系统的暂态响应	4.7 本章小结	146
82	4.8 习题 4	147
3.5 系统的代数稳定判据	第 5 章 频率响应法	149
83	5.1 频率响应的概念	149
3.5.1 稳定性及其充分必要条件	5.2 频率特性的图形表示方法	152
83	5.2.1 频率特性曲线	152
3.5.2 劳斯稳定判据	5.2.2 幅相频率特性曲线	152
83	5.2.3 对数频率特性曲线	153
3.5.3 胡尔维茨判据	5.3 典型环节的频率特性	154
87	5.3.1 比例环节的频率特性	154
3.6 稳态误差	5.3.2 惯性环节的频率特性	155
89	5.3.3 积分环节的频率特性	158
3.6.1 给定稳态误差与误差系数	5.3.4 微分环节的频率特性	160
89	5.3.5 振荡环节的频率特性	161
3.6.2 扰动稳态误差	5.3.6 时滞环节的频率特性	165
95	5.3.7 最小相位环节和非最小相位	165
3.6.3 减小稳态误差的方法	环节	165
96	5.4 系统的开环频率特性	166
3.7 本章小结	5.4.1 系统的开环频率特性的图形	166
99	表示方法	166
3.8 习题 3	5.4.2 系统的开环幅相特性曲线的	168
99	绘制	168
第 4 章 根轨迹分析法	5.4.3 系统的开环对数特性曲线的	173
103	绘制	173
4.1 根轨迹法的基本概念	5.5 奈奎斯特稳定判据	176
103	5.5.1 辅助函数	176
4.1.1 根轨迹概念	5.5.2 映射定理	177
103	5.5.3 奈奎斯特稳定判据	178
4.1.2 闭环零点、极点与开环零点、	5.5.4 奈奎斯特稳定判据的应用	181
极点的关系		181
105	5.5.5 对数稳定判据	182
4.1.3 根轨迹方程	5.5.6 稳定裕度	184
106	5.6 利用开环频率特性分析系统的	188
4.2 根轨迹法的一般步骤	性能	188
108		
4.3 绘制根轨迹的基本法则		
109		
4.4 控制系统根轨迹的绘制		
119		
4.5 广义根轨迹		
124		
4.5.1 参数根轨迹		
125		
4.5.2 零度根轨迹		
128		
4.6 线性系统的根轨迹分析方法		
131		
4.6.1 主导极点的概念		
132		
4.6.2 控制系统的稳定性分析		
135		
4.6.3 控制系统的暂态性能分析		
136		
4.6.4 控制系统的稳态性能分析		
138		
4.6.5 开环零点、极点分布对系统		
性能的影响		
138		
4.6.6 利用 MATLAB 绘制系统的		

5.6.1 低频渐近线与系统稳态误差的关系	188	5.7.3 等幅值轨迹	197
5.6.2 中频的斜率与系统稳定性的关系	190	5.7.4 等相角轨迹	199
5.6.3 开环频率特性和系统动态性能的关系	191	5.7.5 闭环系统的频域性能指标	200
5.7 闭环频率特性	194	5.8 本章小结	202
5.7.1 利用向量法求闭环频率特性	194	5.8 习题 5	203
5.7.2 尼柯尔斯图线	195	附录 A 模拟试题	208
		A1 模拟试题 1	208
		A2 模拟试题 2	210
		参考文献	211

第 1 章

控制系统的基本概念

【本章内容概要】

本章介绍了控制理论基础的基本概念，通过分析诸多示例的研究对象与实现目标，介绍了控制系统的概念、技术术语及分类、控制系统稳定性与动态性能参数描述。此外，简述了控制理论及其工业应用的发展过程。

【本章学习重点与难点】

- (1) 理解自动控制系统开环控制和闭环控制两种基本方式与特点；
- (2) 控制系统基本要求，即稳（系统能否正常工作）、快（快速响应能力）、准（控制精度）3 个方面；
- (3) 描述控制系统稳定性与动态性能的各参数物理意义。

1.1

控制理论概述

1.1.1 控制理论发展历史

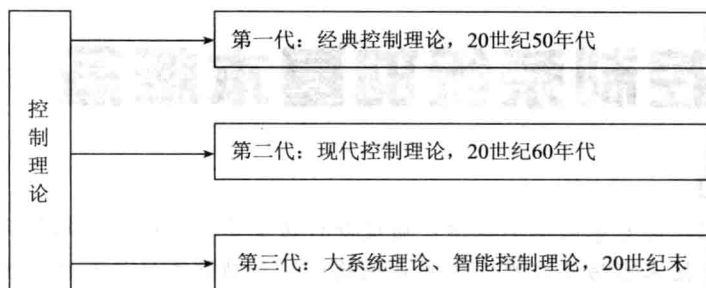
控制理论是一门多学科性的技术科学，它的任务是：对各类系统中的信息传递与转换关系进行定量分析，然后根据这些定量关系预见控制系统的运动规律。自动控制理论的发展可追溯到 1788 年，瓦特在发明蒸汽机的同时，发明了离心式调速器，使蒸汽机转速保持恒定，这是最早用于工业的自动控制装置。在第二次世界大战期间，对于军用装备，如飞机及船用自动驾驶仪、火炮定位系统、雷达跟踪系统及其他基于反馈原理的军用装备等设计与制造的强烈需求，进一步促进并完善了自动控制理论。20 世纪 50 年代，完整的自动控制理论体系（即所谓的经典控制理论）已基本形成，它以传递函数为数学工具，以频域法为主要的研究方法，解决的是单输入—单输出的线性定常系统分析与设计问题，如在工程中恒值控制系统与随动控制系统的设计与实践问题。

20 世纪 60 年代，为了满足当时宇航、国防等尖端科学技术和复杂系统发展的需要，自动控制理论跨入了一个新阶段——现代控制理论。它主要研究具有高性能、高精度、多输入—多输出、线性或非线性、定常或时变系统的分析与设计问题，如最优控制、最佳滤波、自适应控制、系统辨识和随机控制等。

随后又出现智能控制理论和大系统理论，它们是在 20 世纪末，随着计算机技术和人工

智能理论取得重大进展而发展起来的新型控制理论，主要研究具有人工智能的工程控制及多信息处理特点的复杂控制技术问题，试图模仿具有高度自主、自适应和自调节能力的人类生命机理，以使具有高度复杂性、高度不确定性的系统达到更高的要求。

综上所述，自动控制理论的发展过程如图 1-1 所示。



控制理论不断发展，反映了人类社会由机械化步入电气化、自动化，进而走向信息化、智能化的时代特征。面对深奥的自动控制理论和众多的控制系统，本书只能起到入门的作用。通过本书的学习，可以对控制系统的工作原理、数学模型、系统分析和调试等方面有一个较为完整的认识，掌握控制系统的一般分析方法，为从事自动控制技术工作建立初步的但非常重要的理论基础。

自动控制的主要功能是：在没有人的直接参与下，通过控制装置使受控对象的被控量按照预定的规律变化。

1.1.2 控制理论常用术语与应用实例

为了便于研究自动控制技术问题，下面介绍几个常用术语及自动控制应用实例。

1. 常用术语

- (1) 被控量。表征设备、生产过程运行情况或状态并需要加以控制的物理量。
- (2) 给定量。按生产和管理的要求，被控量必须维持的希望值。该值也叫参考输入或设定值。
- (3) 扰动。引起被控量变化的各种原因。
- (4) 控制量。由控制机构改变的用以控制被控量变化的物理量。
- (5) 被控对象。被控制的物理量相应的生产过程或者进行生产的设备、机器等。

2. 实用实例

1) 雷达高射炮的自动控制

为准确地打击来犯的敌机，要求雷达天线具有随时跟踪飞机运动的功能，检测出敌机的方位及仰角，并将这些数据经过计算机加工运算与处理后发出指令，控制高射炮的转动装置，使高射炮位置参数随时对准敌机目标，并给予毁灭性打击。瞄准的精度要求很高，其角

度误差只能以分计。特别是现代的军用飞机速度都很快,高射炮的炮身又很重,如果不用自动控制而用人工操作,根本就无法满足现代战争的需要。检测的敌机方位和仰角为控制系统的给定量;高射炮位置参数为被控量,转动装置为被控对象。

2) 空间飞行器飞行姿态的自动控制

空间飞行器是火箭、导弹和人造地球卫星的统称。它们的飞行控制是类似的,现以人造地球卫星为例。通常将人造地球卫星视为刚体,对它的控制包括两部分:人造地球卫星质心运动的轨道控制和人造地球卫星飞行姿态的姿态控制。对于大多数人造地球卫星而言,卫星的运动轨道是由运载火箭的制导系统来保证的,因而在卫星上应有姿态控制系统。所谓卫星的姿态控制就是对卫星绕质心的运动进行控制,以确保其飞行所要求的姿态。例如,卫星上的主要电源是太阳能电池,为了保证它能正常工作,必须保持卫星相对于太阳的姿态;通信卫星是电话和广播电视的中继站,它的窄波束天线的波束必须以 1° 左右的对地精度指向地球上预定的目标区域。可见人造地球卫星的姿态控制是以高水平的自动控制技术为前提的。高品质的自动控制系统已经成为空间飞行器的重要组成部分。在该控制系统中卫星姿态参数为给定量,卫星为被控对象,卫星转动的角度为转矩被控量。

1.1.3 控制系统面临的问题

使受控对象的被控量变化并不难,难的是使它高品质地按预定的规律变化。其面临的主要问题有下列两个方面。

1. 受控系统的性能要求

“系统”的概念已渗透到现代社会的各个领域,其含义也是非常广泛的。凡是若干部件相互作用而构成的并具有特定功能的整体,都可以称为系统。控制系统就是由受控对象和控制装置按照一定的方式连接而成的有机整体,而且系统的概念具有相对性:系统的每一组成部分均可视为一个系统,为了和整体的系统相区别,通常称其为子系统;一个系统又可以是更大系统的子系统。例如受控对象本身可视为一个系统,在控制系统中它又是一个子系统,称为受控子系统,简称受控系统。

系统一般可分为静态系统和动态系统两大类。从物理的角度看,它们的本质区别在于是否含有储能(或存储信息)的元器件。静态系统不含有储能元器件,因而描述静态系统各变量之间的关系只需用代数方程,如纯电阻网络和理想的比例运算放大器就属于这类系统。而含有储能(或储能信息)的元器件系统则称为动态系统。实际的控制系统均属于动态系统,而静态系统只是实际系统的一种理想化结果。

动态系统的特点是:由于其存在储能(或储存信息)元器件,如弹簧、电感器、电容器、存储器或寄存器等,因而描述系统各变量之间的关系必须用微分(差分)方程;系统的运动呈现惯性的特点,在外界输入信号作用下系统的响应不可能立即完成而需要有个过程(称为过渡过程),而过渡过程的特性取决于系统的结构和各元器件的特性。由于受产品结构、材料、生产工艺条件及科学技术发展水平的限制,通常受控系统元器件的特性很难完全

满足要求,甚至较差,若不采取措施加以校正,则系统的被控量就难以甚至无法按照预定的规律变化。

2. 存在扰动和不确定性因素制约控制系统性能的提高

作用于系统的输入信号可分为两大类:一类是有用的输入信号,它决定系统被控量的变化规律,通常称其为参考输入信号;另一类为扰动(或干扰信号)和不确定性因素,它们妨碍系统被控量按照预定的规律变化。

作用于系统的扰动包括两部分:由系统外部因素造成的扰动(例如电源电压的波动、电动机负载和环境温度的变化、飞行中气流的冲击等),称为外部扰动,简称外扰;由系统内部因素造成的扰动(例如所使用元器件的老化、磨损和特性的变化等),称为内部扰动,简称内扰。作用于系统的不确定性因素包括系统内部特性和参数因运行、环境条件和产品质量等而引起的不确定性变化,外界对系统的不确定性扰动及描述系统特性的数学模型的不精确性等。一般来说,扰动和不确定性因素是不可避免的,不同的系统只是其具体形式和严重程度不一样。现代控制系统的一个本质特征是:必须在扰动和不确定性因素作用下能够可靠和有效地工作。因此,无法回避的扰动和不确定性因素成为制约控制系统性能提高的重要因素之一。

此外,系统又涉及各类工程技术领域,遍布现代社会生活的各个方面,它们的物理属性又各不相同,例如有工业控制系统、军事系统、经济系统、生物系统、社会系统等。工业控制系统又包括电气系统、机械系统、液压系统、气动系统、电气传动系统、过程控制系统等。

1.1.4 控制理论基础的特点

控制理论基础及本课程具有以下两个特点。

1. 控制理论基础是研究控制系统运动的一般规律和分析、设计的基本方法

研究的对象是各类控制系统;研究的问题是如何根据被控对象和环境的特性,通过对系统运动信息的采集、加工和处理,形成适当的控制作用,使系统在扰动和不确定性因素的作用下能够可靠和有效地工作,并具有预定的功能;研究的基本方法是对各类物理属性迥异的控制系统加以抽象和概括,抓住其本质特征和影响系统特性的主要因素,略去次要因素,用数学方程或表达式对系统加以描述(该数学方程或表达式称为系统的数学模型),并总结出分析与设计控制系统的基本理论和基本方法,以指导工程实践。

因此本课程的特点是:从“共性”角度讨论控制系统运动的一般规律和普遍适用于各类系统的分析与综合的基本方法。这对于未接触过具体系统的读者来说会感到抽象,建议学习时应与具体的控制系统及例题、习题结合起来,以便通过具体系统或者实例来理解和掌握控制理论基础及系统分析和综合的基本方法。

2. 控制理论基础讨论的中心问题是控制系统的性能

控制理论基础讨论的内容,可简单地概括为关于控制系统的基本组成原理及控制系统的数学描述、分析和综合的基本方法,而核心在于后者。因此从本质上说,本课程是一门方法论的技术基础课。讨论的重点是分析与综合控制系统的基本理论和基本方法。讨论的出发点和归宿点始终围绕自动控制的功能(使系统的被控量按照预定的规律变化)这个中心。系统所具有的自动控制功能的优劣程度可用控制系统的性能来描述,它包括两个部分:定性性能和定量性能。

因此本课程讨论的中心问题是控制系统的性能。这就是说,在系统分析时,系统已经确定,讨论的中心问题是分析系统性能及其与系统结构和参数之间的关系,从而对系统的品质做出评判,并指出改善和提高系统性能的基本途径;在系统设计时,从对系统性能的要求出发,讨论中心问题是如何确定合适的系统结构、参数和控制算法,使系统在技术经济指标综合评价的意义下较好地满足对系统性能的要求。

1.2 控制理论基础的基本概念

1.2.1 控制理论的基本原理

控制作为重要的技术手段,主要用于解决各类工程和科学研究中的技术问题。实际上,在各种生产过程和生产设备中,常常需要使其中的某些物理量或保持恒定或按照某种规律变化,以满足系统运行的要求。

首先以水位控制系统为例,对其实现水位自动控制的基本原理加以研究,从中引出自动控制和控制系统的基本概念。实现水位控制有两种方法:人工控制和自动控制。如图1-2所示为人工控制的水箱水位控制系统。人可以通过控制阀门的开度达到控制水位的目的。

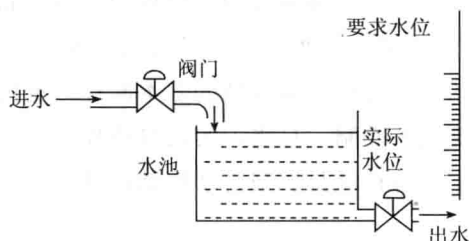


图 1-2 人工控制的水箱水位控制系统

这种人工调节过程可归纳为以下 3 个方面:

- (1) 通过测量元件(刻度标尺),观测出水箱中的实际水位(也称被控量);
- (2) 将实际水位与要求的水位值(也称给定值)相比较,得出两者偏差;