

NUANTONG
ZIDONGHUA KONGZHI

暖通

自动化控制

● 李炎锋 主编

北京工业大学出版社

暖通自动化控制

李炎锋 主编

北京工业大学出版社

内 容 提 要

本书全面系统地介绍了自动控制理论的基本概念、原理及分析方法,并结合暖通空调以及相关领域的热工参数控制,讲述了制冷空调以及供暖自动调节的原理、调节对象、调节器特性以及工程整定、过程控制等方面的内容。全书注重自动控制理论与工程实际应用相结合,并力图反映当代建筑自动化领域的一些新技术、新成果,使学生通过学习达到初步掌握自动控制的基本原理,准确提出本专业对自动控制的要求,并配合自控技术人员进行调试的教学目的。

本书可作为高等院校建筑环境与设备工程专业、制冷专业及相关专业的教材,还可以作为从事建筑设备运行控制以及楼宇自动化系统设计的科技人员的参考书,同时可作为注册公用设备工程师(暖通空调)执业资格考试课程《自动控制原理》的复习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

暖通自动化控制/李炎锋主编. —北京:北京工业大学出版社, 2006.7

ISBN 7-5639-1671-7

I. 暖... II. 李... III. ①采暖设备-自动控制系统-高等学校-教材②通风设备-自动控制系统-高等学校-教材③空气调节设备-自动控制系统-高等学校-教材 IV. TU83

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 062652 号

暖通自动化控制

李炎锋 主编

*

北京工业大学出版社出版发行

邮编:100022 电话:(010) 67392308

各地新华书店经销

徐水宏远印刷厂印刷

*

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷

787mm × 1 092mm 16 开 16.75 印张 412 千字

ISBN 7-5639-1671-7/G·831

定价:25.00 元

前 言

在科学技术发展的进程中，自动控制技术一直起着极其重要的作用。自动控制理论作为一门涉及多学科的科学，已经广泛应用到电气、机械、航空航天、冶金等工程领域。随着科学技术的发展，人类利用自动控制技术已经逐步把梦想变为现实。

空气调节的自动控制技术是近代自动控制技术的一种应用，是热力过程自动控制的一个重要分支。由于空调技术应用面广，从工业环境、楼房、机房到家用空调均有迅速的发展，因此它的控制问题显得很有活力和特色。目前智能建筑技术得到飞速发展，空调系统（包括冷热源系统、通风系统即通常所称 HVAC 系统）及其计算机控制是智能建筑中楼宇自动化系统（BAS）必不可少的重要组成部分。在智能建筑中，为 HVAC 各系统服务的监控点的数量常常占整个建筑物监控点总数的一半以上，HVAC 各系统的耗电量占整个建筑物耗电量的一半以上。因此空调和空调的控制设备不仅对整个建筑物的一次投资形成可观的比例，而且对建筑物建成后的运行费用有重要的影响。

自动控制原理是自动控制技术的基础理论，是一门理论性较强的工程科学。随着现代科学的日新月异，自动控制理论已经成为应用最广泛的学科之一，其理论也在实际应用中与其他相关学科交叉渗透中日臻完善，并不断发展创新。

自动控制技术在暖通空调工程方面的发展应用要求暖通空调工程师必须具备一定的自动控制知识。在《注册公用设备工程师（暖通空调）执业资格考试基础考试大纲》中已经将《自动控制原理》列入考试课程范围。大纲中明确要求熟悉空调自动控制方法及运行调节。本书的内容安排主要依据大纲中所列出内容要求编写。在自动控制方面应达到初步掌握自动控制的基本原理，能够准确提出本专业对自控的要求，正确绘制自动控制原理图，并能配合自控技术人员进行调试。

与自控专业本科教学不同，作为建筑环境与设备工程专业、制冷空调专业以及其他相关专业本科生学习自动控制没有专门的推荐教材。据了解，各校讲授的内容体系、深度、广度各不相同。很多《自动控制原理》教材对于建筑环境与设备工程专业、制冷空调专业本科生学习难度大，况且这些专业学生没有必要学习自动控制理论的全部内容。由自动控制专业教师讲解该课程则难以将自动控制技术与暖通空调领域的专业知识结合，难以做到讲深讲透。

本书主要是为工科院校建筑环境与设备工程以及制冷空调专业自动控制理论教学而编写的教材,适合少学时的自动控制原理的教学需要,其他相关专业可以根据实际情况选择部分内容进行教学,结合自己的实际授课的情况进行补充。

编者所在院校的建筑环境与设备工程系在空调自控、智能建筑技术教学、工程设计、科学研究方面积累了比较丰富的实践经验。编写过程中,本书既注意总结多年教学过程中的实践经验,又注意吸取当代一些新技术、新成果,力求反映出建筑自动化领域的现代水平。

本书主要结合注册设备工程师考试大纲的要求,介绍自动控制理论的一些基本概念、原理以及分析方法。在讲解各个部分时注意结合暖通空调以及相关领域内的热工参数控制,力求在讲解理论过程中使学生对专业知识有较深了解。本书共分7章,主要依据自动控制系统四个模块(调节对象、发信器、调节器、执行器)的原理、特性以及应用进行划分。第一章给出了自动控制理论以及控制系统一些基本概念;第二章主要讲解线性调节对象特性参数、数学模型以及反应曲线等,对测量装置(发信器)的特性进行讲解;第三章讲述各种形式调节器的特性以及工程应用中调节器参数整定,同时对复杂系统包括串级调节以及前馈调节的应用进行介绍;第四章主要介绍调节阀(执行器)的流量特性以及选型;第五章主要讲解控制系统的结构图、时域响应、频域响应以及稳定性判断,同时对控制系统的校正进行简单介绍;第六章主要介绍计算机控制技术在暖通空调领域内的应用;第七章则主要讲解空调系统参数的自动调节过程,使读者能够更好地了解自动控制在空气调节过程中实际应用,为将来进行空调工程的设计、运行奠定基础。

对于教学学时较少、理论深度要求稍浅的院校,讲解时可以将第二、三、四、五章的若干章节降低要求或者做部分精简,也可以根据实际情况选择部分内容进行教学。本书适用于32~64学时的教学要求。在学习本课程之前要求学生具备高等数学、电工学、工程热力学、传热学以及空调制冷等方面的预备知识。本书也可供从事楼宇自动化、建筑设备管理、建筑设备控制设计工作的工程技术人员学习参考。

本书由北京工业大学李炎锋教授、贾衡教授、李俊梅副教授、孙育英讲师,北京联合大学田沛哲讲师、李春旺讲师,烟台大学孙津丽讲师、周秋淑副教授参加编写,其中,第一、四、五章由李炎锋、贾衡、李俊梅编写,第三、六章由李俊梅、孙育英、田沛哲、李春旺编写,第七章由孙津丽、周秋淑、田沛哲负责编写。由李炎锋教授担任主编,负责全书的统稿工作。

在编写过程中,北京工业大学建筑工程学院的研究生王雪竹、武海琴、杨英霞、朱滨、廖晓渝、郑姗姗、牛满坡、王鲁鹏、黄槐荣、王雪梅等参加了部

分内容编写和审稿工作，在此表示感谢！

本书内容涉及面较广，由于编者的水平有限，加上编写时间仓促，选材与撰写如有不足之处，恳请广大读者和专家予以批评和指正，以便进一步修订和完善。

编 者
2006 年 5 月

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 自动控制的基本概念	(1)
第二节 自动控制理论的发展	(5)
第三节 自动控制系统的分类	(7)
第四节 对控制系统的基本要求及其评价指标	(12)
本章小结	(15)
习题	(15)
第二章 调节对象及测量装置的特性与数学描述	(17)
第一节 基本概念	(17)
第二节 时域模型——调节对象的微分方程	(23)
第三节 高阶线性调节对象(系统)微分方程	(28)
第四节 非线性微分方程的线性化	(32)
第五节 调节对象微分方程式的讨论	(36)
第六节 线性系统(环节)的传递函数	(39)
第七节 调节对象动态特性的实验测定	(41)
第八节 测量装置(发信器)的特性及数学描述	(45)
本章小结	(49)
习题	(49)
第三章 调节器和调节系统的调节过程	(51)
第一节 引言	(51)
第二节 双位调节器及其调节过程	(53)
第三节 比例调节器及其调节过程	(60)
第四节 积分调节器及微分调节器	(67)
第五节 比例、积分以及微分的组合调节器	(72)
第六节 复合调节系统	(80)
第七节 自动调节系统的调试及调节器参数的工程整定	(87)
本章小结	(99)
习题	(99)
第四章 执行器	(101)
第一节 引言	(101)
第二节 电动执行器	(101)
第三节 气动执行器	(107)
第四节 调节阀的流量特性	(108)
第五节 调节阀的流通能力及阀门口径的选择	(116)

第六节 调节风门的流量特性及其选择	(124)
本章小结	(126)
习题	(126)
第五章 控制系统的数学模型	(127)
第一节 引言	(127)
第二节 典型环节的传递函数	(128)
第三节 系统方框图及其转换	(131)
第四节 调节系统的微分方程和传递函数	(144)
第五节 控制系统的瞬态响应	(153)
第六节 调节系统的稳定性分析	(161)
第七节 调节系统频域分析	(167)
第八节 控制系统的校正	(183)
本章小结	(185)
习题	(187)
第六章 过程控制系统	(192)
第一节 过程控制系统的构成及其性能指标	(192)
第二节 过程对象的特性	(193)
第三节 常规过程控制系统	(193)
第四节 计算机过程控制系统	(197)
第五节 直接数字控制(DDC)系统及应用	(205)
第六节 计算机控制过程算式	(211)
第七节 集散控制系统(DCS)	(216)
第八节 典型过程控制系统的应用	(218)
本章小结	(221)
习题	(221)
第七章 空调系统调节简介	(222)
第一节 引言	(222)
第二节 空调系统及其控制任务	(226)
第三节 简单调节系统	(232)
第四节 复杂调节系统	(239)
本章小结	(246)
习题	(246)
附录 拉氏变换及其重要性质	(247)
参考文献	(257)

第一章 绪 论

本章将介绍自动控制的基本概念，自动控制理论的发展、控制系统的分类以及对控制系统设计的基本内容。

第一节 自动控制的基本概念

在现代科学技术的众多领域中，自动控制技术的作用越来越重要。作为一名工程技术人员，了解和掌握自动控制的有关知识是十分必要的。

一、基本概念

1. 自动控制

自动控制是指在没有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）的一个或数个物理量（如电压、电流、速度、位置、温度、流量、化学成分等）自动地按照预定的规律运行（或变化）。

2. 自动控制系统

自动控制系统是指能够对被控对象的工作状态进行自动控制的系统，一般由控制装置和被控对象组成。被控对象是指那些要求实现自动控制的机器、设备或生产过程；控制装置是指对被控对象起控制作用的设备总体。自动控制系统的功能和组成是多种多样的，其结构有简单的也有复杂的。它可以只控制一个物理量，也可以控制多个物理量，甚至控制一个企业机构的全部生产和管理过程；它可以是一个具体的工程系统，也可以是一个比较抽象的社会系统、生态系统或经济系统。

3. 方框图

常用方框图来表示一个控制系统的结构及信号在系统中的传递路径，如图 1-1 所示。方框图通常由以下几部分组成。

(1) 方框：控制装置和被控对象分别用方框表示。

(2) 信号线：方框的输入和输出以及它们之间的连接用带箭头的信号线表示。

(3) 输入信号：进入方框的信号。

(4) 输出信号：离开方框的信号。

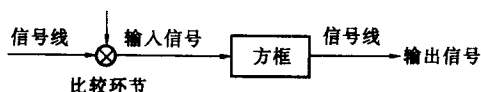


图 1-1 方框图的组成

(5) 比较环节：表示两个或两个以上的信号的叠加，常用符号 $\otimes$ 表示。

4. 开环控制

开环控制是指控制装置与被控对象之间只有顺向作用而没有反向联系的控制过程。因此，开环控制系统的输出信号不对系统的控制作用发生影响。

5. 反馈

指将系统或者元件的输出信号直接（或经过变换后）引回到其输入端与输入信号进行比较（即相加或者相减）。当反馈信号与输入信号符号相反时，称为负反馈；符号相同时，称为正反馈。反馈在自动控制理论中是一个很重要的概念，经典控制理论又称反馈控制理论。

6. 闭环控制

闭环控制是指系统的被控制量（输出量）与控制作用之间存在着负反馈的控制方式，采用闭环控制的系统称为闭环控制系统或反馈控制系统。

7. 复合控制

复合控制就是将开环控制和闭环控制相结合的一种控制方式，有时也称为补偿调节。实质上，它是在闭环控制回路的基础上，附加一个对输入信号或对扰动作用进行补偿的反馈通路，来提高系统的控制精度。反馈通路通常对输入信号补偿的装置提供一个输入信号的微分作用，并以此作为反馈控制信号，与原输入信号一起对被控对象进行控制，以提高系统的跟踪精度。按扰动作用补偿的补偿装置，能够在可测量的扰动对系统的不利影响产生之前，提供一个控制作用以抵消扰动对系统输出的影响。补偿装置按照不变性原理设计，即在任何输入下，都保证系统输出与作用在系统上的扰动完全无关或部分无关，从而使系统的输出能完全复现。

复合控制系统有两种典型的结构形式，即按照输入补偿的复合控制和按照干扰补偿的复合控制，如图 1-2 所示。

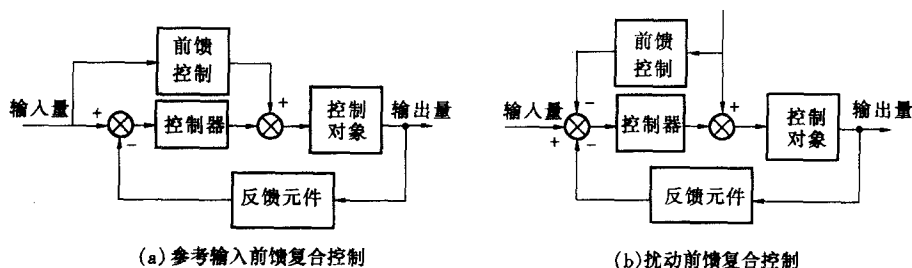


图 1-2 复合控制系统原理方框图

复合控制的突出优点是能在不影响闭环控制系统稳定性的条件下，有效地提高控制系统的精度，或者说，前馈控制有效地解决了系统的控制精度与稳定性之间的矛盾。

二、开环控制与闭环控制的实例

1. 炉温开环控制系统

如图 1-3 所示为炉温开环控制系统，电炉是控制对象，炉温是要求进行自动控制的物理量，称为被控量。控制装置是电阻丝和开关，电阻丝接通电源受时间继电器触点开关 S 的

控制，开关 S 闭合与断开的時間按照在正常情况下炉温可达到的希望值的经验数据预先设定。实际炉温虽然可能高于或低于希望值，但基本能保持恒温。如果工作条件发生变化，例如，炉门开关次数增加，由于没有对被控制量炉温进行测量，也没有根据实际炉温与希望值的偏差来改变开关 S 接通和断开时间，实际炉温就会低于希望值。因此，系统的控制精度较低。从本例可以看出，开环控制的特点是控制装置只按照给定的输入信号对被控制量进行单项控制，而不对被控制量进行测量并反向影响控制作用。因此，开环控制不具有修正由于扰动（使被控制量偏离希望值的因素）而出现的被控制量与希望值之间的偏差的能力，即开环系统的抗干扰能力较差。

2. 炉温闭环控制系统

如果在如图 1-3 所示的炉温开环控制系统中加入一个接触式汞温度计测量炉温，就可由将其开环系统转换成闭环系统。如图 1-4 所示，汞温度计的两个触点 A 和 B 接在常闭继电器的线圈电路中，它们随着汞柱的升降接通或断开电源，使触点 S 开启或闭合。例如，当温度升至希望值时（对应汞柱 A 点位置），A、B 两点接通，此时继电器线圈回路电源接通，常闭触点 S 断开，电阻丝没有电流流过，炉温开始下降；当温度低于设定值时，汞柱下降，继电器线圈无电流通过，常闭触点 S 闭合，电阻丝与电源接通，使温度上升。调整汞温度计触点 A 的位置，就可改变炉温的希望值。图 1-5 所示为闭环炉温控制系统的方框图。

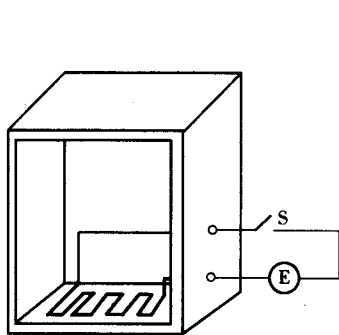


图 1-3 炉温开环控制系统

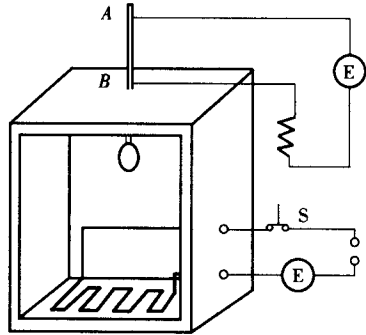


图 1-4 炉温闭环控制系统

在闭环控制系统中，被控制量一般由测量装置反馈到输入端，然后由比较装置将反馈量与输入信号加以比较，得到实际值与希望值之间的偏差，再对控制量进行调整。有时测量与比较由同一个装置完成，如炉温控制系统中的温度计。

3. 房间温度调节系统

图 1-6 所示为房间温度调节系统。室外冷空气与回风混合，由风机送（吸）入空调器内，经热水加热盘管的加热，温度升高，最后被送至房间内，使房间的温度保持采暖工况的要求。在这个系统中，必须使热水的加热量 Q_A 与房间散失的热量 $Q_{\text{出}}$ 保持协调，否则会引起房间温度的波动。

加热量 Q_A 通过改变热水调节阀的开度 ΔL 来实现。若由人工来完成，则需先观察房间内温度，再根据它和给定值的偏差，来调节热水阀的

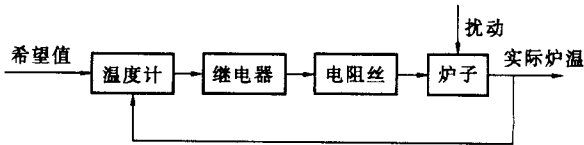


图 1-5 闭环炉温控制系统方框图

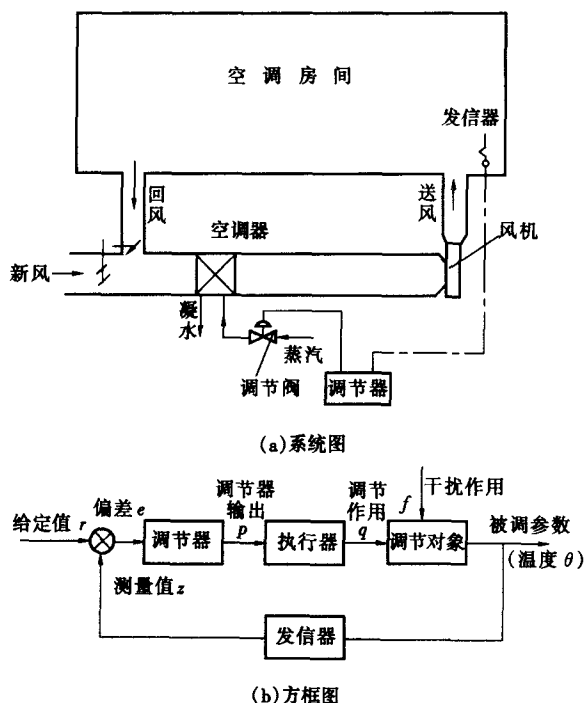


图 1-6 房间温度调节系统原理图

4. 水箱液位控制系统

在人们的生活中经常见到水箱这种装置。传统的水箱的示意图如图 1-7 所示，水箱由进水阀 Q_1 、出水阀 Q_2 、浮子 F 和杠杆 A 组成，是一个恒定水位输出的自动控制装置。它通过调整杠杆和浮子之间的位置关系，可以调整水箱的水位。

当打开出水阀放出水箱中的水并关闭出水阀后，浮子的位置下降，通过杠杆的传递，进水阀被开启；开启进水阀后，通过进水管道向水箱注水；随着水位的升高，浮子在浮力的作用下不断升高，当水位达到设定的高度后，浮子将达到设定的高度，通过杠杆的传递作用，进水阀被关闭。这时，水箱中就注入了设定水位高度的水量。

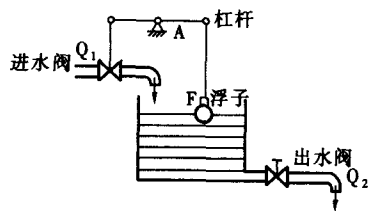


图 1-7 水箱液位调节示意图

三、开环控制与闭环控制的比较

一般来说，开环控制结构简单、成本低廉、工作稳定。因此，当系统的输入信号及扰动作用能预先知道，且要求精度不高时，可以采用开环控制。但由于开环控制不能自动修正被控制量的偏离，所以，系统元件参数变化以及外来的未知扰动对控制精度的影响较大。

闭环控制具有自动修正被控制量出现偏离的能力，因此可以修正元件参数变化以及外界扰动引起的误差，其控制精度较高。但是由于闭环控制存在反馈，闭环控制也有其不足之处，这就使被控制量可能出现振荡，严重时会使系统无法工作。具体过程是当被控制量出现

开度。这将十分费事，且很难使房间内温度保持稳定。如果装上一台温度调节器，其发信器可感知房间内的温度，根据调节器的调节规律，操纵热水调节阀的开度，调节热水流量以改变加热量 Q_A ，使被调参数保持在给定值范围内，这一工作就叫自动调节。若自动调节系统设计得当，系统将准确而稳定地工作。在自动调节系统中，发信器将测到的房间温度送到调节器并和给定的温度值进行比较，按偏差的大小，调节器发出信号指挥执行器（执行机构与调节阀）动作，调节热水流量，以改变送风温度使房间温度保持恒定。

在本例中，被调参数是房间温度，调节对象是空调器及房间（包括送风管），调节对象、发信器、温度调节器、执行器组成一个闭环系统。

偏离之后，经过反馈形成一个修正偏离的控制作用。这个控制作用和它所产生的修正偏离的效果之间，一般是有时间延迟的，使被控制量的偏离不能立即得到修正，从而有可能使被控制量处于振荡状态。因此，如果系统参数选择不当，不仅不能修正偏离，反而会使偏离越来越大，最终导致系统无法工作。自动控制系统设计的重要课题之一，就是要解决闭环控制中的这个振荡或发散问题。

四、闭环系统的基本组成

从上述闭环控制系统典型的实例看到，尽管控制系统由不同的元件组成，系统的功能也不一样，但都采用了负反馈原理。相同的工作原理决定了它们必然具有相同的结构，如都有测量装置、比较装置、放大装置和执行机构。一般来说，一个闭环控制系统可由以下基本元件组成。

- (1) 测量元件：对系统输出量进行测量的元件。
- (2) 比较元件：对系统输出量与输入信号进行加减运算，给出误差信号，控制信号的综合作用。
- (3) 放大元件：对微弱的误差信号进行放大，输出足够功率和要求的物理量。
- (4) 执行机构：根据放大后的误差信号，对被控对象执行控制，使控制量趋于希望值。
- (5) 被控对象：自动控制系统所控制的机器、设备或生产过程。
- (6) 校正对象：用于改善系统性能的元件。

一个典型的自动控制系统的基本组成，如图 1-8 所示。图中控制系统的基本元件和被控对象用方框表示；信号的传输方向用箭头表示，该传输方向是单向不可逆的，这是由元件的物理特性所决定的；“-”号表示输入信号与反馈信号相减，即负反馈（“+”号表示正反馈）。

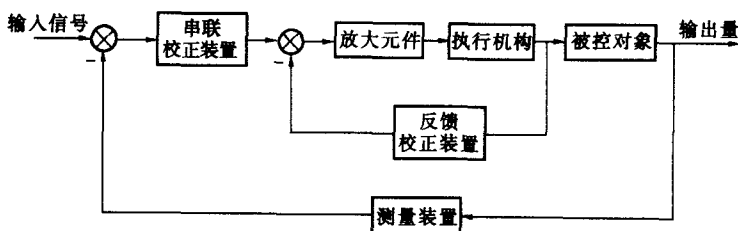


图 1-8 典型的自动控制系统方框图

第二节 自动控制理论的发展

自动控制理论是研究自动控制共同规律的技术科学，既是一门古老的、日臻成熟的学科，又是一门正在发展的、具有强大生命力的学科。从 1868 年，马克斯韦尔 (J.C. Maxwell) 提出低阶系统稳定性判据至今一百多年里，自动控制理论的发展可分为四个主要阶段。

- 第一阶段：经典控制理论（或古典控制理论）的产生、发展和成熟；
- 第二阶段：现代控制理论的兴起和发展；
- 第三阶段：大系统控制的兴起和发展；
- 第四阶段：智能控制发展阶段。

一、经典控制理论

控制理论的发展初期，是以反馈理论为基础的自动调节原理，主要用于工业控制。第二次世界大战期间，为了设计和制造飞机及船用自动驾驶仪、火炮定位系统、雷达跟踪系统等基于反馈原理的军用装备，而进一步促进和完善了自动控制理论的发展。

1895年，数学家劳斯（Routh）和赫尔威茨（Hurwitz）分别独立提出了高阶系统的稳定性判据，即 Routh 和 Hurwitz 判据。第二次世界大战期间奈奎斯特（H.Nyquist）提出了频率相应理论；1948年，伊万斯（W.R.Evans）提出了根轨迹法。至此，控制理论发展的第一阶段基本完成，形成了以频率法和根轨迹法为主要方法的经典控制理论。

经典控制理论的基本特征如下：

- (1) 主要用于线性定常系统的研究，即用于常系数微分方程描述的系统的分析与综合。
- (2) 只用于单输入、单输出的反馈控制系统。
- (3) 只讨论系统输入与输出之间的关系，而忽视系统内部的状态，是一种对系统外部的描述方法。

应该指出的是，反馈控制是一种最基本最重要的控制方式，引入反馈信号后，系统对来自内部和外部干扰的响应变得十分迟钝，从而提高了系统的抗干扰能力和控制精度。与此同时，反馈作用又带来了系统稳定性问题，正是这个曾一度困扰人们的问题激发了人们对反馈控制系统进行深入研究的热情，推动了自动控制理论的发展和完善。因此从某种意义上讲，经典控制理论是伴随着反馈控制技术的产生和发展而逐渐完善和成熟起来的。

二、现代控制理论

由于经典控制理论只适用于单输入、单输出的线性定常系统，只注重系统的外部描述而忽视系统的内部状态，因而在实际应用中有很大的局限性。

随着航天事业和计算机技术的发展，20世纪60年代初，在经典控制理论的基础上，以线性代数理论和状态空间分析法为基础的现代控制理论迅速发展起来。1954年贝尔曼（R.Belman）提出动态规划理论；1956年庞特里雅金（L.S.Pontryagin）提出极大值原理；1960年卡尔曼（R.K.Kalman）提出多变量最优控制和最优滤波理论。

在数学工具、理论基础和研究方法上，现代控制理论不仅能提供系统外部信息（输出量和输入量），而且还能提供系统内部状态变量的信息。它无论对线性系统或非线性系统，定常系统或时变系统，单变量系统或多变量系统，都是十分重要的。

三、大系统理论

从 20 世纪 70 年代开始,现代控制理论继续向深度和广度发展,出现了一些新的控制方法和理论。例如,①现代频域方法,以传递函数矩阵为数学模型,研究线性定常多变量系统;②自适应控制理论和方法,以系统辨别和参数估计为基础,在实时辨识基础上在线确定最优控制规律;③鲁棒控制方法,在保证系统稳定性和其他性能基础上,设计不变的鲁棒控制器,以处理数学模型的不确定性问题。

控制理论的应用范围不断扩大,从个别小系统的控制,发展到对由若干个相互关联的子系统组成的大系统进行整体控制,从传统的工程控制领域推广到包括经济管理、生物工程、能源、运输、环境等大型系统以及社会科学领域。

大系统理论是过程控制与信息处理相结合的系统工程理论,具有规模庞大、结构复杂、功能综合、目标多样、因素众多等特点,目前仍处于开创和发展阶段。

四、智能控制理论

人工智能的出现和发展,促进自动控制向着更高层次——智能控制发展。从人工智能的角度来看,智能控制是智能科学的一个新的应用领域。从控制的角度看,智能控制是控制科学发展的一个新的阶段,是无需人的干预就能够独立驱动智能机器实现预定目标的自动控制。智能控制的概念和原理主要是针对被控对象、环境控制目标或任务的复杂性提出来的,其指导思想是依据人的思维方式和处理问题的技巧,解决那些目前需要人的智能才能解决的复杂控制问题。被控对象的复杂性体现为:模型的不确定性,高度非线性,分布式的传感器和执行器,动态突变,多时间标度,复杂的信息模式,庞大的数据量以及严格的特性指标等。

智能控制的任务在于对实际环境或过程进行组织、规划和决策,实现广义问题的求解。这些问题的求解过程与人脑的思维过程具有一定的相似性,即具有不同程度的智能。一般认为,智能控制的方法包括学习控制、模糊控制、神经网络控制和专家控制等。

长期以来,自动控制科学以对整个科学技术的理论和实践作出的重要贡献,为人类社会带来了巨大利益。随着社会进步和科学技术的发展,必将对控制科学提出更高的要求,自动控制既面临严峻的挑战又存在良好的发展机遇。为解决这一问题,一方面需要推进硬件、软件 and 智能技术的结合,实现控制系统的智能化;另一方面需要实现自动控制科学与计算机科学、信息科学、系统科学以及人工智能的结合,为自动控制提供新思想、新方法和新技术,创立边缘学科,推动自动控制的发展。

第三节 自动控制系统的分类

自动控制系统有很多分类的方法,如按照系统的控制方法分类,可将系统分为开环控制系统与闭环控制系统;按照信号的连接特点分类,可分为反馈控制系统、前馈控制系统以及

含有反馈和前馈的复合控制系统；按系统功用可分为温度控制系统、压力控制系统、位置控制系统等；按系统的性能可分为线性系统和非线性系统、连续系统和离散系统、定常系统和时变系统、确定系统和不确定系统等。

一、按输入信号特征分类

1. 恒值控制系统

如果控制系统的输入量是常数，并要求在干扰作用下，其输出量在某一希望值附近做微小变化，则这类控制系统称为恒值控制系统。如生产过程中的温度、压力、流量、液位高度等自动控制系统都属于这一类。其任务是消除或减少扰动信号对控制系统输出的影响，使被控制量（即控制系统的输出量）保持在给定或希望的数值上。如工业控制中的电动机调速系统、温度控制系统和位置控制系统等。

2. 程序控制系统

如果控制系统的输入量是已知给定值的时间函数时，则这类系统称为程序控制系统。如热处理炉温度控制系统的升温、保温、降温过程等都是按照预先设定的规律进行控制的，所以该控制系统属于成熟控制系统。

3. 随动控制系统

如果系统的输入量是时间的未知函数，即给定量的变化规律是事先不能确定的，并要求输出量精确地跟踪输入量变化，则这类系统称为随动控制系统。如天线跟踪系统，当被跟踪目标位置未知时属于这类系统。其任务是要求输出量以一定的精度和速度跟踪参考输入量，跟踪的速度和精度是随动控制系统的两项主要性能指标。

在制冷空调的自动调节系统中，应用最普遍的是定值调节系统。

二、按所使用的数学方法分类

1. 线性系统和非线性系统

(1) 线性系统

自动控制系统是一个动态系统，其运动规律通常可以用线性微分方程或者线性差分方程来描述。当自动控制系统的运动规律用线性微分方程或者线性差分方程描述时，这类系统称为线性系统。线性系统也是指构成系统的所有元件都是线性元件的系统。线性系统有两个重要特性：叠加性和齐次性。

①叠加性。当系统同时存在几个输入量时，其输出量等于各输入量单独作用时所引起的输出量之和。如果用箭头表示输入量 x 和输出量 y 的对应关系，上述性质可表示为

若 $x_1(t) \rightarrow y_1(t), x_2(t) \rightarrow y_2(t)$
则 $x_1(t) + x_2(t) \rightarrow y_1(t) + y_2(t)$

例如，设有线性系统的微分方程式为

$$\frac{d^2 x(t)}{dt^2} + \frac{dx(t)}{dt} + x(t) = y(t)$$

若 $y(t) = y_1(t)$ 时，方程式的解为 $x_1(t)$ ；而 $y(t) = y_2(t)$ 时，方程式的解为 $x_2(t)$ ，即有

$$\frac{d^2 x_1(t)}{dt^2} + \frac{dx_1(t)}{dt} + x_2(t) = y_2(t)$$

$$\frac{d^2 x(t)}{dt^2} + \frac{dx(t)}{dt} + x(t) = y(t)$$

则当 $y(t) = y_1(t) + y_2(t)$ 时容易验证, 原方程式的解为 $x_1(t) + x_2(t) = x(t)$, 这就是叠加性。叠加性表明, 两个不同的外作用同时作用于系统所产生的总响应, 等于两个外作用单独作用时分别产生的响应之和。

②齐次性。当输入量增大或缩小 k (k 为实数) 倍时, 系统输出量也按同一倍数增大或缩小。即当 $y(t) = ay_1(t)$ 时, 式中 a 为常数, 则方程式的解为 $x(t) = ax_1(t)$, 这就是齐次性。齐次性表明, 当外作用的数值增大若干倍时, 其响应也相应增大同样的倍数。

在线性系统中, 根据叠加原理, 如果有几个不同的外作用同时作用于系统, 则可将它们分别处理, 求出在各个外作用单独作用时系统的响应, 然后将它们叠加。

如果一个线性系统微分方程的系数为常数, 那么系统称为线性定常系统。例如

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 2 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t)$$

如果一个线性系统微分方程的系数为时间的函数, 那么系统称为线性时变系统。例如

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 2t \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t)$$

(2) 非线性系统

非线性系统是指构成系统的元件中含有非线性元件的系统, 它只能用非线性微分方程描述, 不满足叠加原理。实际上, 理想的线性系统是不存在的, 构成系统的元件中总会或多或少含有非线性特性。如果系统的这种非线性特性在一定条件下, 或在一定范围内呈线性特性, 则可将他们进行线性化处理, 这类系统或元件的特性称为非本质非线性特性。反之, 称之为本质非线性, 只能用非线性理论进行分析研究。如图 1-9 所示为几种常见的非线性特性。

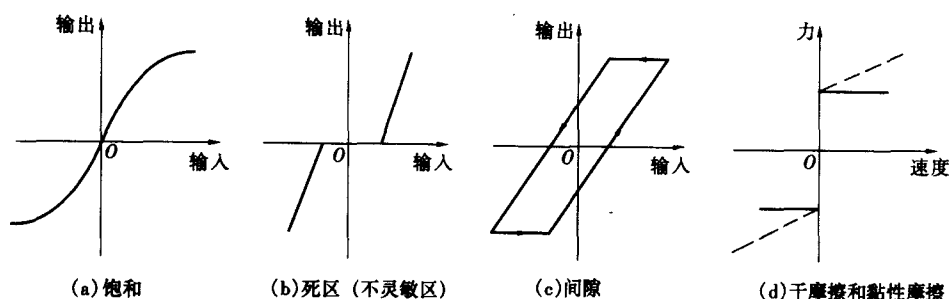


图 1-9 常见的非线性特性

2. 连续系统和离散系统

按系统中信号的特征可将系统分为连续系统和离散系统。连续系统是指系统内各处的信号都是以连续的模拟量传递的系统, 即系统中各元件的输入量和输出量均为时间的连续函