



北京市高等教育精品教材立项项目

21世纪高等教育建筑环境与设备工程系列规划教材

建筑设备 自动控制原理

李炎锋 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

免费电子课件

北京市高等教育精品教材立项项目
21 世纪高等教育建筑环境与设备工程系列规划教材

建筑设备自动控制原理

主 编 李炎锋
副主编 李俊梅 田沛哲 谢静超
参 编 王雪梅 王雪竹 孙育英
主 审 刘春蕾

机械工业出版社

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、航空航天和冶金等工程领域。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，建筑智能化技术得到了飞速发展。暖通空调系统（包括冷热源系统、通风系统，英文名称为 Heating, Ventilation and Air Conditioning，简称 HVAC 系统）及其计算机控制是智能建筑中楼宇自动化系统（Building Automation System, BAS）必不可少的重要组成部分。在建筑智能化系统中，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，暖通空调和相应的控制设备不仅在建筑物的一次投资中占有可观的比例，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，它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中的应用要求暖通空调工程师必须具备一定的自动控制方面的知识。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。本书主要依据大纲中所列出的内容要求编写。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，并能配合自动控制技术人员进行调试。

与自动控制专业的本科教学不同，目前没有专门作为建筑环境与设备工程专业、制冷空调专业、热能动力工程以及其他相关专业本科生学习自动控制原理的推荐教材。据了解，各校讲授课程的内容体系、深度、广度各不相同。很多的《自动控制原理》教材对于建筑环境与设备工程专业、制冷空调专业的本

科生学习难度较大,况且根据暖通空调行业的应用情况,这些专业学生没有必要学习自动控制理论的全部内容。另外,由自动控制专业教师讲解该课程则难以将自动控制技术理论与暖通空调领域的专业实践应用充分结合,不能很好地实现设置自动控制原理课程的目标。

本书主要是为工科院校建筑环境与设备工程专业、建筑电气与智能化专业、制冷空调专业、热能与动力工程专业设置的“自动控制原理”课程的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情况进行补充。

主编所在的北京工业大学建筑环境与设备工程专业是教育部特色专业建设点,在暖通空调自控、建筑智能化相关领域的教学、工程设计、科学研究方面积累了丰富的经验。在编写本书的过程中,编者既注意总结多年教学过程中的实践经验,又注意结合当前暖通空调自控方面的新技术、新成果,力求完善暖通空调自动控制领域所需的知识理论体系。

结合注册公用设备工程师考试大纲的要求,本书主要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入的了解。本书共分6章,主要依据自动控制系统四个模块(调节对象、测量装置、调节器、执行器)的原理、特性以及应用进行划分。第1章给出了自动控制理论以及控制系统一些基本概念;第2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,并对测量装置的特性进行讲解;第3章讲述了不同形式调节器的特性以及调节器参数工程整定,同时对复杂系统包括串级调节以及前馈调节进行了介绍;第4章主要介绍执行器(调节阀)的流量特性以及选型;第5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6章主要介绍计算机过程控制系统,包括系统类型和脉冲信号采集等,并简要介绍了计算机控制系统在暖通空调领域的应用。该章的内容可以为今后进行建筑智能化系统空调控制系统的设计、运行奠定基础。

本书适用于32~64学时的教学要求。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4~6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。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预备知识。

本书由北京工业大学李炎锋教授主编,李俊梅老师、孙育英老师、谢静超老师、王雪竹老师、辽宁科技大学王雪梅老师以及北京联合大学田沛哲老师参编。其中,第1章由王雪竹、谢静超编写,第3、4章由李炎锋编写,第5章由

李俊梅编写，第2、6章由孙育英、王雪梅、田沛哲编写。李炎锋教授负责全书的统稿工作。

在编写过程中，南京工业大学建筑环境与设备工程专业的程建杰老师提出了宝贵的指导意见。北京工业大学建筑工程学院的研究生林欣欣、刘闪闪、孙晓龙、邢雪飞、王超、赵明星、隋婧、张宁、刘绚和刘晓阳等参加了部分内容的编写和校正工作。本书的出版得到2009北京市高等教育精品教材立项的资助，在此对大家给予的支持和帮助表示衷心的感谢！

河北建筑工程学院的刘春蕾教授在本书的审稿过程中提出了宝贵的意见和建议，对于提高教材的水平大有裨益。作者已进行了认真的修改，在此对刘春蕾教授表示感谢。

由于编者水平有限，加上编写时间仓促，书中疏漏与错误之处在所难免，恳请广大读者和专家予以批评和指正，以臻完善。

编者

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 自动控制的基本概念	1
1.2 自动控制理论的发展	7
1.3 自动控制系统的分类	8
1.4 典型外界干扰作用	11
1.5 对控制系统的基本要求及其评价指标	13
本章小结	17
习题	17
第 2 章 调节对象及测量装置的特性	19
2.1 基本概念	19
2.2 时域模型——调节对象的微分方程	25
2.3 高阶线性调节对象（系统）微分方程	30
2.4 非线性微分方程的线性化	32
2.5 调节对象微分方程式的讨论	36
2.6 线性系统（环节）的传递函数	39
2.7 调节对象动态特性的实验测定	41
2.8 测量装置及变送器的特性	45
本章小结	49
习题	49
第 3 章 调节器和调节系统的调节过程	52
3.1 引言	52
3.2 双位调节器及其调节过程	54
3.3 比例调节器及其调节过程	62
3.4 积分调节器及微分调节器	69
3.5 比例、积分以及微分的组合调节器	74
3.6 调节器参数的工程整定	81
3.7 串级调节与复合控制系统	92
本章小结	100
习题	100
第 4 章 执行器及其特性	102
4.1 引言	102
4.2 执行器	102
4.3 常见调节阀的结构类型	106
4.4 调节阀的流量特性	109
4.5 调节阀的流通能力及阀门口径的选择	116
4.6 调节阀流量特性的选择	123

本章小结	128
习题	129
第 5 章 控制系统的数学模型	130
5.1 引言	130
5.2 典型环节的传递函数	131
5.3 系统框图及其转换	132
5.4 控制系统的微分方程和传递函数	144
5.5 控制系统的时域响应	152
5.6 控制系统的稳定性分析	159
5.7 控制系统频域分析	165
5.8 控制系统的校正	180
本章小结	182
习题	183
第 6 章 计算机过程控制系统	187
6.1 过程控制系统的构成及其性能指标	187
6.2 计算机控制系统	189
6.3 计算机控制系统的类型	194
6.4 计算机控制系统信号的采样与复现	200
6.5 脉冲传递函数	206
6.6 采样系统的稳定性分析	210
6.7 计算机控制过程算式	213
6.8 计算机控制系统在暖通空调系统中的应用	220
本章小结	224
习题	224
附录	226
附录 A 拉普拉斯变换及其重要性质	226
附录 B 差分方程与 Z 变换	234
参考文献	238

第 1 章

绪论

1.1 自动控制的基本概念

在现代科学技术的众多领域中，自动控制技术起着越来越重要的作用。所谓自动控制，就是在没有人直接参与的情况下，利用外加的设备或装置（控制装置）使机器、设备或生产过程（控制对象）的某个工作状态或参数（被控量）自动地按照预定的规律运行，如数控车床按预定程序自动切削，人造卫星准确进入预定轨道并回收，雷达自动跟踪空中的飞行体等，所有这些都离不开自动控制技术。

随着计算机技术的发展和运用，自动控制理论和技术在宇航、机器人控制、导弹制导及核动力等高新技术领域中的应用也越来越深入广泛。不仅如此，自动控制技术的应用范围已扩展到生物、医学、环境、经济管理和其他许多社会生活领域中，成为现代社会生活中不可缺少的一部分。现代制冷空调技术向自动化、机组化、成套化发展；计算机控制的冷库和冷藏船，集中控制的高层建筑群的空调系统，高精度恒温恒湿装置不断对自动控制技术提出新的要求，也为制冷空调自动调节技术提供了新的内容。随着社会文明程度的高度发展，自动控制理论和技术必将进一步发挥更加重要的作用。作为一个工程技术人员，了解和掌握自动控制的有关知识是十分必要的。

1.1.1 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、设备或生产过程等）的一个或数个物理量（如电压、电流、速度、位置、温度、流量和化学成分等）自动地按照预定的规律运行（或变化）。

事实上，任何技术设备、工作机械或生产过程都必须按要求进行。例如，要想使发电机正常供电，其输出的电压和功率必须保持恒定，尽量不受负荷变化的干扰。导弹能够准确命中目标、人造卫星能够按照预定轨道运行并返回地面，以及工业生产过程中的，诸如温度、压力、流量、液位、频率等方面的控制，所有这一切都是以高水平的自动控制技术为前提的。

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。它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，也可以是比较抽象的社会系统、生态系统或经济系统。

图 1-1 所示的是蒸汽加热器温度控制系统，其中 TT 为温度变送器，TC 为温度控制器。该系统中用蒸汽加热冷流体，工艺要求热流体出口温度保持一定。若忽略热损失，当蒸汽带进的热量与热流体带出的热量相等时，热流体出口温度保持在规定的数值上。由于冷流体流量、冷流体入口温度和蒸汽阀前压力等因素的波动，将会使出口温度下降或上升。为此，设置一个温度控制系统来控制蒸汽加热器的出口温度。温度检测元件安装在蒸汽加热器热流体的出口处。检测出口温度高低，检测信号经过温度变送器送至控制器。当出口温度与规定温度之间出现偏差时，控制器就立刻根据偏差数值和特性进行控制——开大或关小蒸汽阀门，使出口温度保持规定数值。

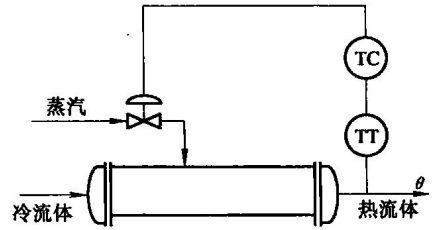


图 1-1 蒸汽加热器温度控制系统

上述蒸汽加热器温度控制系统的控制过程为：加热器的温度通过温度计测量出来经温度变送器 TT 送至温度控制器 TC，与给定值比较，按比较的结果（偏差）进行一定的计算，然后带动控制阀移动，改变蒸汽量，以消除干扰，使加热器的温度保持在给定值。

3. 框图

常用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 1-2 所示，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，包括进入方框的输入信号和离开方框的输出信号。
- ③ 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 引出点：表示在该位置同一信号传输到几个地方。

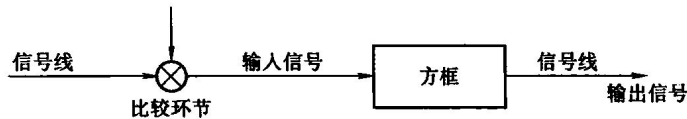


图 1-2 框图的组成

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

反馈是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的符号相反时，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，因此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

复合控制是将开环控制和闭环控制相结合的一种控制方式，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的补偿通路（见图 1-3）来提高系统的控制精度。补偿装置增加了干扰信号的补偿控制作用，可以在干扰对被控量产生不利影响的同时及时提供控制作用以抵消此不利影响，因此又称为前馈控制。纯闭环控制则要等待该不利影响反映到被控信号之后才引起控制作用，对干扰的反应较慢；但是，如果没有反馈信号回路，只按干扰进行补偿控制时，则只有前馈控制作用，控制方式相当于开环控制，被控量不能得到精确控制。两者的结合既能得到高精度控制，又能提高抗干扰能力，因此获得了广泛的应用。当然，采用这种复合控制的前提是干扰信号可以被测量到。

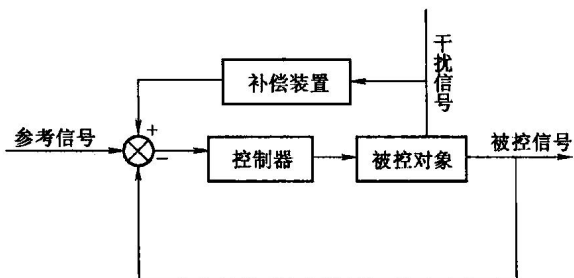


图 1-3 复合控制系统的原理框图

复合控制的突出优点是：该方式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。

1.1.2 开环控制与闭环控制的实例

1. 炉温开环控制系统

图 1-4a 所示为一炉温开环控制系统，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 K 的控制，开关 K 闭合与断开的时间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。但是，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，并根据实际炉温与希望值的偏差来改变开关 K 接通和断开的时间，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，而不对控制量进行测量并反馈影响控制作用。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

如果在图 1-4a 所示炉温开环控制系统中加入一个接触式水银温度计测量炉温，就可由开环系统转换成闭环系统，如图 1-4b 所示，水银温度计的两个触点 A 和 B 接在常闭继电器的线圈电路中，它们随着水银柱的升降接通或断开电源，使触点 K 开启或闭合。例如，当温度升至希望值时（对应水银柱 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 K 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，水银

柱下降，继电器线圈无电流通过，常闭触点 K 闭合，电阻丝与电源接通，使温度上升。调整水银温度计触点 A 的位置，就可改变炉温的希望值。图 1-5 所示是炉温闭环控制系统的框图。

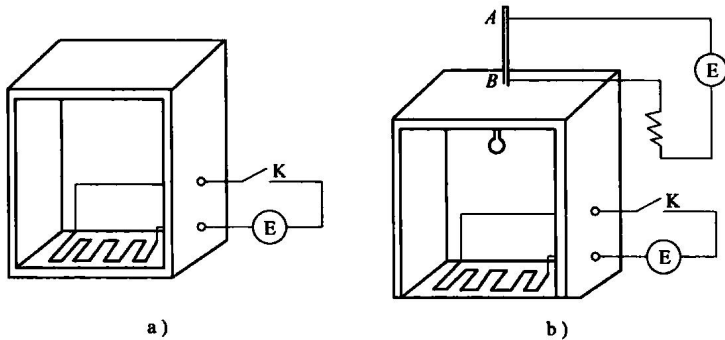


图 1-4 炉温控制系统

a) 炉温开环控制系统 b) 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等。

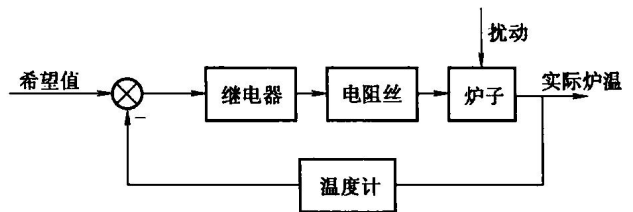


图 1-5 炉温闭环控制系统的框图

3. 房间温度控制系统

图 1-6 所示为房间温度控制系统。室外冷空气与一部分回风混合，由风机送（吸）入空调器，经热水加热盘管加热，使空气温度升高，送至房间，使房间的温度保持采暖工况要求。在这个系统中，必须使热水的加热量 $Q_{\text{入}}$ 与房间散失的热量 $Q_{\text{出}}$ 随时相协调，否则会引起房间温度的波动。

加热量 $Q_{\text{入}}$ 通过改变热水调节阀的开度 ΔL 来实现。若由人工完成，需先观察房间内的温度，再根据它和给定值的偏差人工调节热水阀的开度，这将十分费事，但仍很难使房间内的温度稳定。如果装上一台温度调节器，它的测温装置感受房间内的温度，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 $Q_{\text{入}}$ ，使被调参数保持在给定值范围内，完成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。在调节系统中，测温装置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），它和测温装置、温度调节器共同组成一个闭环系统。

1.1.3 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

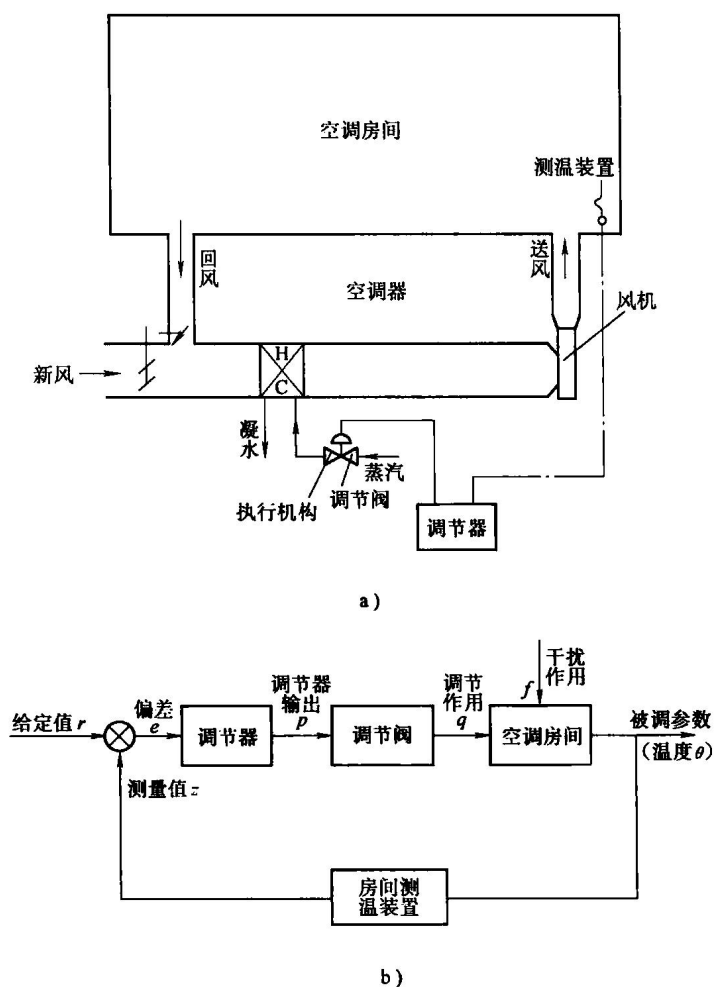


图 1-6 房间温度控制系统

a) 系统图 b) 框图

作用能预先知道、且要求精度不高时，可以采用开环控制。但是由于开环控制不能自动修正被控制量与给定值的偏差，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给定值的能力，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。但是由于存在反馈，闭环控制也有其不足之处，所以被控制量可能出现振荡，严重时会使系统无法工作。这是由于被控制量出现偏离之后，经过反馈便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一定时间延迟的，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，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振荡或发散问题。

1.1.4 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，但它们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，如它们都有测量装置、比较装置、放大装置和执行机构。基本自动控制系统框图如图 1-7 所示。一般来说，一个简单控制系统由两大部分、四个环节组成：

- 两大部分：控制装置（控制器、调节阀、测量元件及变送器）、被控对象。
- 四个环节：被控对象、控制器、调节阀、测量元件及变送器。

典型的自动控制系统框图如图 1-8 所示。图中，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）。

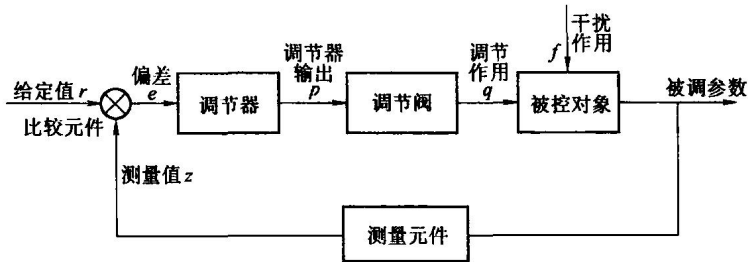


图 1-7 基本自动控制系统框图

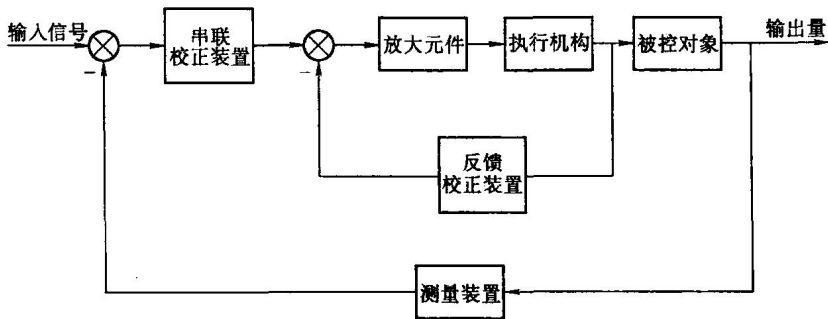


图 1-8 典型的自动控制系统框图

闭环控制系统基本组成元件的定义如下：

- 测量元件：对系统输出量进行测量的元件。
- 比较元件：对系统输出量与输入信号进行加减运算，给出偏差信号、控制信号的综合作用。
- 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。
- 执行器：根据放大后的误差信号对被控对象执行控制，使控制参数趋于希望值的装置。执行器包括调节机构和执行机构。
- 被控对象：自动控制系统所控制的机器、设备或生产过程。
- 被控变量：被控对象内要求实现自动控制的物理量，如空调房间的温度等。
- 扰动信号：简称扰动或干扰，它与控制作用相反，是一种不希望的、影响系统输出的不利因素。扰动信号既可来自系统内部，又可来自系统外部。前者称为内部扰动，后者称为外部扰动。
- 校正装置：用于改善系统性能的元件。

实践证明，按反馈原理组成的控制系统往往不能完成任务，因为系统内部存在着不利于

控制的因素。由于非线性惯性的存在会破坏系统的正常工作，因此要加校正装置，如图 1-8 所示。

1.2 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、已臻成熟的学科，又是一门正在发展的、具有强大生命力的新兴学科。从 1868 年马克斯威尔 (J. C. Maxwell) 提出低阶系统稳定性判据至今 100 多年里，自动控制理论的发展可分为四个主要阶段。

1.2.1 经典控制理论阶段

控制理论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、火炮定位系统和雷达跟踪系统等基于反馈原理的军用装备，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。二战期间 (1938 ~ 1945 年)，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，忽视系统的内部状态，是一种对系统外部描述的方法。

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系统稳定性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。

1.2.2 现代控制理论阶段

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的外部信息（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。

1.2.3 大系统理论阶段

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, 如①现代频域方法: 它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: 它以系统辨识和参数估计为基础, 在实时辨识的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的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。

随着控制理论应用范围的扩大, 从个别小系统的控制发展到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、运输和环境等大型系统以及社会科学领域, 如人体就可以被看做为大系统, 其中有体温的控制、化学成分的控制和情感的控制等。

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、目标多样和因素众多等特点, 目前仍处于发展和开创性阶段。

1.2.4 智能控制理论阶段

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, 它无需人的干预就能够独立驱动智能机器实现其目标的自动控制。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, 它的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的控制问题, 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, 即决策和规划, 实现广义问题的求解。这些问题的求解过程与人脑的思维程度具有一定的相似性, 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, 自动控制科学已对整个科学技术的理论和实践做出了重要贡献, 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、软件和智能的结合, 实现控制系统的智能化; 另一方面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, 创立边缘新学科, 推动自动控制的发展。

1.3 自动控制系统的分类

自动控制系统有很多分类方法, 如按照系统的控制方法分类, 可分为开环控制与闭环控制; 按照信号的连接特点分类, 可分为反馈控制、前馈控制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、压力控制系统和位置控制系统等; 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。

定系统等。几种常见的分类描述如下。

1.3.1 按输入信号特征分类

1. 恒值控制系统

如果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，则这类系统称为恒值控制系统，如空调房间的温度、湿度控制，生产过程中的温度、压力、流量、液位高度等自动控制系统就属于这一类。其任务是消除或减少扰动信号对系统输出的影响，使被控制量（即系统的输出量）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

如果系统的输入量是已知给定值的函数，则这类系统称为程序控制系统，如化工中反应的压力、温度和流量控制。一类是按时间给定的程序系统，给定值直接给出确定时间的函数，如有发条的玩具、电唱机和磁带录音机等；一类是按空间坐标规定的程序系统，执行机构的行动按空间给定的轨迹进行，其轨迹的运行规律与时间无关，如仿形机床等。

3. 随动控制系统

如果系统的输入量随时间任意变化，即给定量的变化规律是不确定的，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系统。如雷达天线跟踪系统，当被跟踪目标位置未知时就属于这类系统。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系统的两项主要性能指标。典型随动系统如飞行器的距离、方向、速度自动跟踪，无线定位系统，舰船操舵系统、火炮自动跟踪系统等。

在制冷空调的自动调节系统中，普遍应用的是定值调节系统。

1.3.2 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，它的运动规律通常可以用微分方程或者差分方程来描述。当系统的运动规律可用线性微分方程或者线性差分方程描述时，则这类系统称为线性系统。线性系统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的和。如果用函数关系式表示输入量 x 和输出量 y 的对应关系，上述性质可表示如下：

例如：设有线性系统的微分方程式为 $\frac{d^2y(t)}{dt^2} + \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = x(t)$

若 $x(t) = x_1(t)$ 时，方程式的解为 $y_1(t)$ ； $x(t) = x_2(t)$ 时，方程式的解为 $y_2(t)$ ，则有

$$\frac{d^2y_1(t)}{dt^2} + \frac{dy_1(t)}{dt} + y_1(t) = x_1(t)$$

$$\frac{d^2y_2(t)}{dt^2} + \frac{dy_2(t)}{dt} + y_2(t) = x_2(t)$$

当输入 $x(t) = x_1(t) + x_2(t)$ 时，容易验证原方程式的解为 $y(t) = y_1(t) + y_2(t)$ ，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 $x(t) = ax_1(t)$ 时，(a 为常数)，方程式的解为 $y(t) = ay_1(t)$ ，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，则可将它们进行分别处理，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。

(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。实际中，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，则可将它们进行线性化处理，这类系统或元件的特性称为非本质非线性特性。反之，称为本质非线性特性，只能用非线性理论进行分析研究。图 1-9 所示为几种常见的非线性特性。

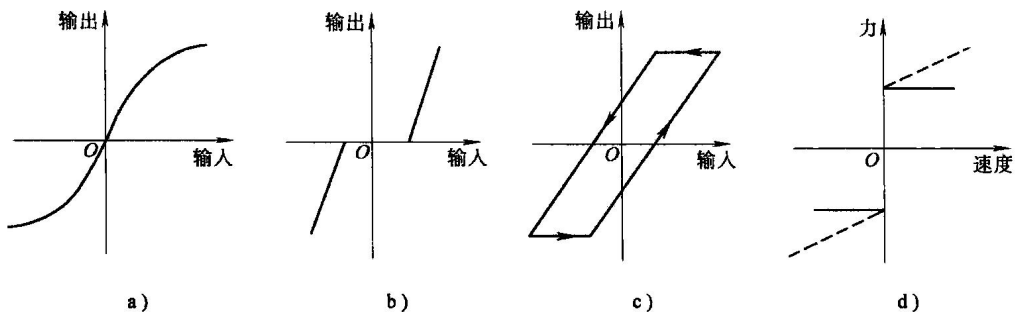


图 1-9 常见的非线性特性

a) 饱和 b) 死区 (不灵敏区) c) 间隙 d) 干摩擦和粘性摩擦

2. 定常系统和时变系统

(1) 定常系统 如果系统中的参数不随时间变化，则这类系统称为定常系统。实践中遇到的系统大多数都属于这一类。如果一个线性系统微分方程的系数为常数，那么该系统就称为线性定常系统。例如：

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

(2) 时变系统 如果系统中的参数是时间 t 的函数，则这类系统称为时变系统。如果一个线性系统微分方程的系数为时间的函数，那么该系统就称为线性时变系统。例如

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

1.3.3 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数。连续系统的运动规律可以用微分方程来描述。