

普通高等教育土木类“十三五”规划教材

自动控制原理

朱永甫 宋丽琴 主 编

黄绳正 副主编

王凤华 严俐婉 参 编

电子工业出版社版权所有
盗版必究

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书是依据应用型本科院校自动控制原理课程教学要求编写的。本书覆盖了经典控制理论的基本内容，重点对线性定常系统的时域分析法、根轨迹法和频域分析法作了全面的阐述，结合工程实际引入了 MATLAB 运行环境及其编程内容。本书内容包括自动控制系统的基本概念、控制系统的数学模型、控制系统的时域分析法、控制系统的根轨迹法、控制系统的频域分析法、控制系统的分析与校正、MATLAB 语言及其应用、控制系统的实例分析等。本书精选了大量有关建筑环境、建筑设备、建筑电气、建筑给排水等控制系统的实例，自成体系，内容精练，重点突出，适用性强，充分结合工程案例进行理论讲解、分析。书中大量例子都使用 MATLAB 实现，实用性强。书后还附有常用函数的拉普拉斯变换对照表、常用函数的 Z 变换表、控制系统中英文对照表和控制系统 MATLAB 常用函数。

本书可作为工科院校土木工程类、建筑环境与能源应用工程类、给排水科学与工程类、电气工程类、自动化设计类各专业的本科和非控制类硕士研究生的教材，也可作为机电类、机械工程类、计算机应用工程等相近专业的本科生学习控制系统原理的教材和参考书，还可供有关从事控制工程应用的技术人员参考。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

自动控制原理/朱永甫, 宋丽琴主编. —北京: 电子工业出版社, 2018.2
普通高等教育土木类“十三五”规划教材
ISBN 978-7-121-32755-1

I. ①自… II. ①朱…②宋… III. ①自动控制理论—高等学校—教材 IV. ①TP13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 232219 号

责任编辑: 郭穗娟

印 刷:

装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 15.75 字数: 375 千字

版 次: 2018 年 2 月第 1 版

印 次: 2018 年 2 月第 1 次印刷

定 价: 49.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式: (010) 88254502, guosj@phei.com.cn。

前 言

根据教育部、国家发展改革委、财政部《关于引导部分地方普通本科高校向应用型转变的指导意见》(教发【2015】7号)、教育部《关于进一步加强高等学校本科教学工作的若干意见》和《教育部关于以就业为导向深化高等职业教育改革的若干意见》的精神,按照普通本科高校向应用型转变的人才培养目标及教育特点,结合编者多年从事教学的经验编写而成。其编写特点是以必要和够用为准则,强化应用为重点。书中简化了对一些理论的推导与证明,对实际控制工程设计较实用的内容列举了较多的例题,系统讲述了自动控制原理中经典控制理论部分的基本知识和基本设计技能,把 MATLAB 编程适时引入并穿插到各个章节,从而避免学习控制理论过程中的抽象空洞。

全书共 8 章,主要内容包括自动控制系统的基本概念、控制系统的数学模型、控制系统的时域分析法、控制系统的根轨迹法、控制系统的频域分析法、控制系统的分析与校正、离散控制系统、MATLAB 语言及其仿真实验。本书自成体系,内容精练,重点突出,适用性强,重在基础理论的内容讲解、案例分析与计算。

本书的特点是结合建筑环境与能源应用工程、建筑给排水工程与科学、建筑电气与智能化等专业特征,结合具体工程设计案例进行全面、系统的介绍,尽量简化理论推导,注重实用性和可操作性。每章开头提炼了学习要求和重点掌握的内容,章后附有总结和注意事项;书中例子都使用 MATLAB 进行解题、分析,实用性、应用性强。

全书由朱永甫、宋丽琴担任主编,黄绳正担任副主编,王凤华、严俐婉参编。集美大学李栋、闽南理工学院李伙穆教授担任主审,他们在审核过程中提出了很多宝贵的建设性意见,主编在统稿时均予以采纳。本书第 1、3、4 章由闽南理工学院宋丽琴助理研究员编写,第 2 章和附录由闽南理工学院黄绳正助理研究员编写,第 5~8 章由闽南理工学院朱永甫副教授编写,全书图表由朱永甫、宋丽琴绘制,全书源程序由朱永甫副教授编制,闽南理工学院王凤华、严俐婉、王利、王伟参与了全书的校对。

因编者水平有限,文中不足之处敬请指正。

编 者
2017 年 10 月

目 录

第 1 章 自动控制系统的基本概念	1	2.4 典型环节的传递函数	22
1.1 控制系统的基本形式	2	2.4.1 比例环节	22
1.1.1 人工控制	2	2.4.2 积分环节	23
1.1.2 自动控制	2	2.4.3 微分环节	24
1.2 自动控制系统的组成	3	2.4.4 惯性环节	25
1.2.1 系统框图	3	2.4.5 振荡环节	25
1.2.2 典型反馈控制系统	4	2.4.6 延迟环节	25
1.3 自动控制系统的分类	5	2.5 控制系统的结构图	26
1.3.1 按控制系统的结构分类	5	2.5.1 结构图组成要素及绘制方法	27
1.3.2 按给定信号的类型分类	6	2.5.2 结构图的等效变换	28
1.3.3 按系统参数是否随时间 变化分类	6	2.6 信号流程图与梅逊公式	34
1.3.4 按控制系统的动态特性分类	6	2.6.1 常用术语及其定义	35
1.3.5 按信号传递的连续性分类	7	2.6.2 信号流程图绘制方法	35
1.4 控制系统的基本要求	7	2.6.3 梅逊增益公式	37
1.4.1 稳定性	8	2.6.4 用梅逊公式求传递函数	38
1.4.2 动态特性	8	2.7 控制系统的传递函数	38
1.4.3 稳态特性	8	2.7.1 前向通路传递函数	39
习题	9	2.7.2 开环传递函数	39
第 2 章 控制系统的数学模型	10	2.7.3 闭环传递函数	39
2.1 拉普拉斯变换	11	2.8 传递函数的 MATLAB 描述	42
2.1.1 拉普拉斯变换定义	11	2.8.1 有理函数模型	42
2.1.2 拉普拉斯变换基本性质	12	2.8.2 零极点模型	42
2.1.3 拉普拉斯反变换	15	2.8.3 系统模型的连接和简化	43
2.2 控制系统的微分方程	17	2.8.4 有理分式模型与零极点模型的 转换	44
2.2.1 机械系统	17	习题	45
2.2.2 电路系统	19	第 3 章 控制系统的时域分析法	50
2.2.3 机电系统	19	3.1 典型输入信号及时域性能指标	51
2.3 传递函数	20	3.1.1 典型输入信号	51
2.3.1 传递函数定义	20	3.1.2 时域性能指标	53
2.3.2 传递函数性质	21	3.2 一阶系统的时域分析	54
		3.2.1 一阶系统的单位阶跃响应	55

3.2.2	一阶系统的单位斜坡响应	56			
3.2.3	一阶系统的单位脉冲响应	58			
3.2.4	一阶系统的单位加速度响应	59			
3.3	二阶系统的时域分析	60			
3.3.1	典型的二阶系统模型	60			
3.3.2	二阶系统的单位阶跃响应	60			
3.3.3	二阶系统的瞬态响应指标	63			
3.3.4	高阶系统的瞬态响应	67			
3.4	控制系统的稳定性分析	67			
3.4.1	稳定性的基本概念	67			
3.4.2	线性系统稳定的充要条件	68			
3.4.3	劳斯稳定性判据	69			
3.4.4	MATLAB 稳定性判断方法	71			
3.5	稳态误差分析及计算	72			
3.5.1	误差及稳态误差的定义	72			
3.5.2	给定输入作用下的稳态误差 计算	73			
3.5.3	扰动作用下的稳态误差计算	77			
3.5.4	给定输入、扰动共同作用下的 稳态误差计算	78			
3.5.5	减小稳态误差的方法及 复合控制	81			
	习题	83			
第 4 章	控制系统的根轨迹法	86			
4.1	根轨迹的基本概念	87			
4.1.1	系统的根轨迹	87			
4.1.2	根轨迹的幅值条件和相角 条件	88			
4.2	绘制根轨迹的基本规则	89			
4.2.1	基本规则	89			
4.2.2	根轨迹绘制举例	95			
4.3	参量根轨迹及系统性能的 根轨迹分析	100			
4.3.1	参量根轨迹	100			
4.3.2	系统性能的根轨迹分析	101			
	习题	104			
第 5 章	控制系统的频域分析法	106			
5.1	频率特性的基本知识	107			
5.1.1	频率特性的物理概念	107			
5.1.2	频率特性的定义	107			
5.2	频率特性的图示	110			
5.2.1	奈奎斯特图	110			
5.2.2	伯德图	111			
5.2.3	尼柯尔斯图	112			
5.3	典型环节的频率特性	112			
5.3.1	比例环节的频率特性	113			
5.3.2	积分环节的频率特性	114			
5.3.3	惯性环节的频率特性	115			
5.3.4	振荡环节的频率特性	117			
5.3.5	微分环节的频率特性	119			
5.3.6	延迟环节的频率特性	120			
5.4	开环系统频率特性图绘制	122			
5.4.1	开环系统伯德图的绘制	122			
5.4.2	最小相位系统和非最小 相位系统	126			
5.5	频率域稳定性分析	127			
5.5.1	奈奎斯特稳定性判据	128			
5.5.2	控制系统的稳定裕量	138			
5.6	开环频域指标与时域指标 之间的关系	141			
5.6.1	控制系统的主要性能指标	141			
5.6.2	开环频域指标与时域指标 之间的关系	141			
5.7	MATLAB 频域分析	145			
5.7.1	线性系统的频域分析	145			
5.7.2	频域分析性能指标	146			
	习题	150			
第 6 章	控制系统的分析与校正	152			
6.1	控制系统校正	153			
6.1.1	校正的基本概念	153			
6.1.2	校正的基本方式	153			

6.1.3 系统校正的方法	153	7.6.3 劳斯稳定判据	187
6.2 串联超前校正	154	7.7 线性离散系统的时域分析	188
6.2.1 相位超前校正装置	154	7.7.1 极点在 Z 平面的分布与瞬态响应	188
6.2.2 相位超前校正装置的作用	156	7.7.2 线性离散系统的时间响应	190
6.2.3 校正方法	158	7.7.3 线性离散系统的稳态误差	191
6.3 串联滞后校正	159	习题	192
6.3.1 相位滞后校正装置	159	第 8 章 MATLAB 语言及其仿真实验	195
6.3.2 相位滞后校正装置的作用	161	8.1 MATLAB 语言简介	196
6.3.3 校正方法	162	8.1.1 MATLAB 的应用基础	196
6.4 串联滞后-超前校正	163	8.1.2 MATLAB 函数	197
6.4.1 相位滞后-超前校正装置	163	8.1.3 绘制响应曲线	198
6.4.2 相位滞后-超前校正装置的作用	164	8.1.4 MATLAB 语言的联机帮助功能	200
6.4.3 校正方法	165	8.2 MATLAB 语言基础实验	200
6.5 PID 校正	166	实验一 MATLAB 语言平台	200
6.5.1 比例积分 (PI) 控制器	167	实验二 MATLAB 数值运算	203
6.5.2 比例微分 (PD) 控制器	168	实验三 MATLAB 绘图	207
6.5.3 比例积分微分 (PID) 控制器	169	实验四 MATLAB 句柄绘图	211
习题	169	8.3 控制理论仿真实验	213
第 7 章 离散控制系统	170	实验五 控制系统的建模	213
7.1 引言	171	实验六 控制系统的稳定性分析实验	218
7.2 采样系统	171	实验七 控制系统的时域分析实验	220
7.3 Z 变换	173	实验八 控制系统的根轨迹分析	221
7.3.1 Z 变换	173	实验九 控制系统的频域分析	221
7.3.2 Z 变换的基本定理	174	实验十 S 函数的编写及应用	222
7.3.3 Z 反变换	176	习题	227
7.4 脉冲传递函数	179	附录 A 常用函数的拉普拉斯变换对照表	229
7.4.1 脉冲传递函数定义	179	附录 B 常用函数的 Z 变换表	230
7.4.2 串联环节的脉冲传递函数	180	附录 C 控制系统中英文对照表	231
7.5 线性离散系统的脉冲传递函数	182	附录 D 控制系统 MATLAB 常用函数	236
7.6 线性离散系统的稳定性	185	参考文献	244
7.6.1 S 平面到 Z 平面的映射关系	185		
7.6.2 线性离散系统稳定的充要条件	186		

自动控制系统的基本概念

教学要求与学习目标

- (1) 掌握开环控制、闭环控制的基本概念。
- (2) 掌握自动控制系统的基本组成和分类。
- (3) 理解自动控制系统的基本要求。
- (4) 了解复合控制系统的基本概念。

知识要点

- (1) 自动控制系统的简单分类：开环控制、闭环控制和复合控制。
- (2) 自动控制系统的的基本组成：被控对象、测量装置、给定环节、放大环节、执行机构、校正装置。
- (3) 自动控制系统的的基本要求：稳定性、稳态精度、响应速度。

所谓自动控制，就是指在没有人直接参与的情况下，利用控制装置，对生产过程、工艺参数等进行自动调节与控制，使之按照预定方案达到预定的要求。

在科学和工程的发展中，自动控制技术起着极其重要的作用，而自动控制原理是自动控制技术的基础理论，是研究自动控制系统共同规律理论性较强的一门专业基础课程。根据自动控制技术发展的不同阶段，自动控制原理一般可分为经典控制理论与现代控制理论。经典控制理论以传递函数为基本数学工具，主要研究单输入、单输出线性定常系统的控制问题。现代控制理论是以状态方程为基本数学工具，主要研究具有高性能的多输入、多输出、变参数系统的控制问题。现代控制理论能解决经典控制理论难以解决的一些问题，随着计算机技术的发展，目前现代控制理论正向大系统和人工智能理论等方面深入发展。

本书只对经典自动控制理论部分进行阐述，主要从工程应用的角度介绍自动控制原理的基本概念、基本理论及控制系统的分析和设计的基本方法。利用 MATLAB 现代仿真技术对控制系统的设计、校正等进行了详细的介绍。

1.1 控制系统的基本形式

1.1.1 人工控制

如图 1-1 所示是一个简单的水箱液面人工控制系统。因生产和生活需要，希望液面高度 H 维持恒定（在一定的偏差范围内）。当水位偏离期望值即给定值时，人通过眼睛对液面高度的观测，及时作出决定，操作进水阀门对进水量进行相应的修正，使液面恢复到期望的高度。这种人为强制性地改变进水量而使液面高度维持恒定的过程，即人工控制过程。人工控制只适合于简单的控制，在复杂、快速及需要精确控制的系统中无法满足控制要求，因此需要设计无人参与的自动控制系统。

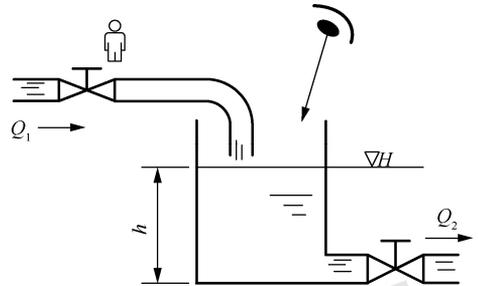


图 1-1 水箱液面人工控制
 Q_1 : 流量 1; Q_2 : 流量 2

1.1.2 自动控制

1. 自动控制的定义

自动控制就是在无人直接参与的情况下，利用控制装置使某种设备、工作机械或生产过程的某些物理量或工作状态能自动地按照预定的规律或数值运行或变化。

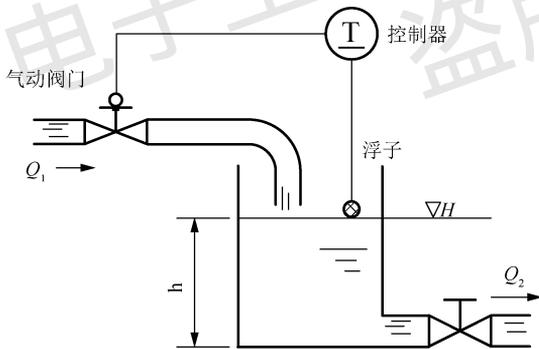


图 1-2 水箱液面自动控制

对于液面的自动控制，可以利用如图 1-2 所示的方式去实现。液面的期望高度由自动控制系统给定。当出水与进水的平衡破坏时，水箱液面下降或上升，出现偏差，这个偏差由浮子检测出来，自动控制器在偏差的作用下控制气动阀门使阀门开大或关小，对偏差进行修正，从而保持液面高度不变。

2. 自动控制的基本职能元件

从人工控制与自动控制的例子比较可以看出，自动控制实际上是由自动控制装置来替代人的基本功能，从而实现自动控制。如图 1-3 所示，将人工控制与自动控制进行比较，自动控制实现人工控制功能，存在必不可少的三种替代人职能的基本元件：

- (1) **测量元件**。代替人的眼睛，检测水位高低。
- (2) **检测偏差**。自动控制器代替人的大脑，检测偏差，发出指令。
- (3) **执行器**。代替人的手，操作阀门。

这些基本元件与被控对象（水箱）相连接，共同构成一个自动控制系统。典型的自动控制系统框图如图 1-4 所示。

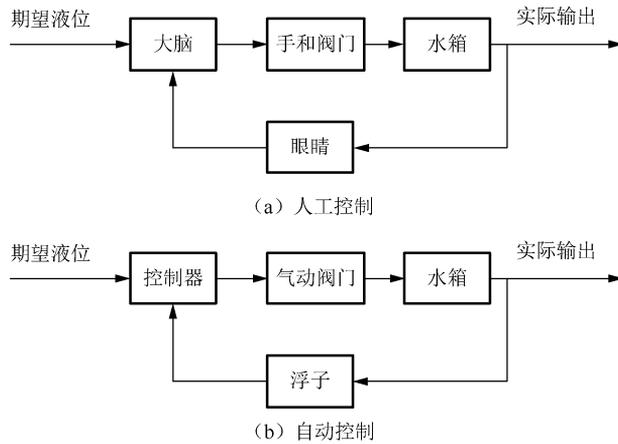


图 1-3 控制系统功能图

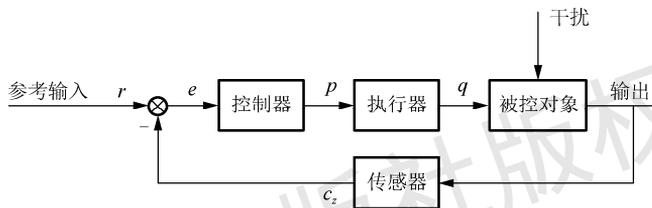


图 1-4 典型的自动控制系统框图

1.2 典型反馈控制系统

1.2.1 系统框图

控制系统框图又称为动态结构图，它是用图形形式表示的数学模型。框图是系统各部分用方框表示并标注文字或代号，根据各方框之间的信号传递关系，用有向线段把它们依次连接起来，并标明相应的信息。框图能够非常清晰地表示输入信号在系统各元件之间的传递过程，利用框图还可以方便地求出复杂系统的传递函数。框图是分析控制系统的—个简明而有效的工具。图 1-3 和图 1-4 就是一个简单的阐述系统各元件功能和相互关系的框图。图 1-5 为水位控制系统示意图，而图 1-6 是典型的水位控制系统框图。

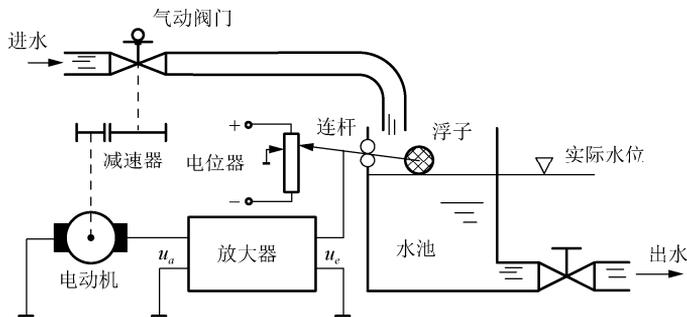


图 1-5 水位控制系统示意

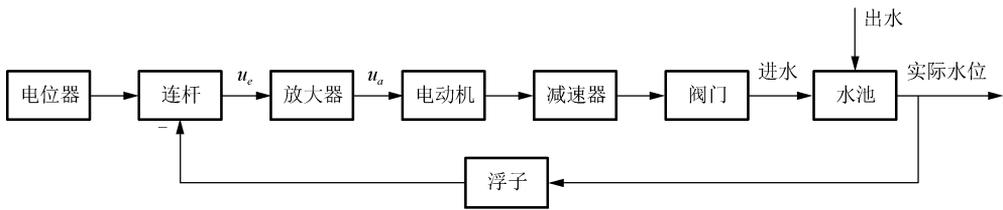


图 1-6 水位控制系统框图

图 1-7 为室温控制系统示意图，而图 1-8 为室温控制系统框图。

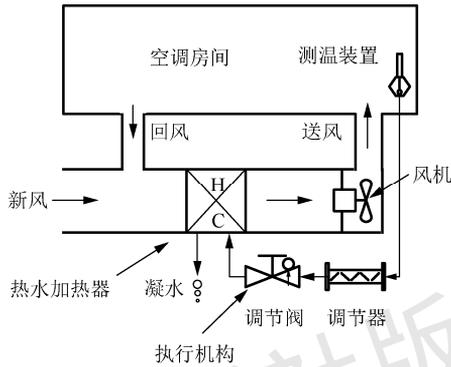


图 1-7 室温控制系统示意

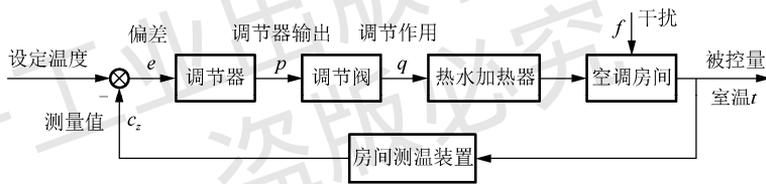


图 1-8 室温控制系统框图

1.2.2 自动控制系统的组成

任何一个自动控制系统都是由被控对象和控制装置有机组合而成的。自动控制系统根据被控对象和具体任务不同，可以有各种不同的结构形式。图 1-9 所示是一个典型反馈控制系统框图，图中的每一个方框代表一个具有特定功能的元件。除被控对象外，控制装置通常是由测量元件、比较元件、放大元件、执行机构、校正元件及给定元件组成的。这些功能元件分别承担相应的功能，共同完成控制任务。

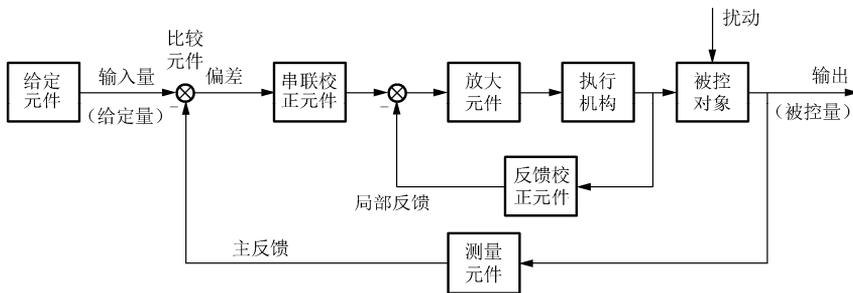


图 1-9 典型反馈控制系统框图

(1) **被控对象**: 与被控量相关的被控设备、工作机械或者生产系统。描述被控对象工作状态的、需要进行控制的物理量就是被控量。

(2) **给定元件**: 用于产生给定信号或控制系统输入信号的元件。

(3) **测量元件**: 用于检测被控量或输出量, 产生反馈信号的元件。如果测量的物理量属于非电量, 一般要转换成电量以便处理。

(4) **比较元件**: 用来比较输入信号和反馈信号之间偏差的元件。可以是一个差动电路, 也可以是一个物理元件, 如电桥等。

(5) **放大元件**: 用来放大偏差信号的幅值或功率, 使之能够推动执行机构调节被控对象的元件, 如功率放大器、电液伺服阀等。

(6) **执行机构**: 用于直接对被控对象进行操作, 调节被控量的元件, 如阀门、步进电机等。

(7) **校正元件**: 用来改善或提高系统性能的元件, 常用串联或反馈方式连接到系统中, 如 RC 网络、测速发动机等。

1.3 自动控制系统的分类

自动控制系统的形式多种多样, 对于某一个具体系统, 采取何种控制形式, 要视具体情况和目的、用途而定。

1.3.1 按控制系统的结构分类

1. 开环控制系统

系统的输出量对系统调节作用没有影响的系统。如图 1-10 所示为新风温度开环控制系统框图。从图中可看出, 控制量与被控量之间只有前向通路而没有反馈通路, 输出量对输入量产生的控制没有影响。

2. 闭环控制系统

系统输出量对系统调节作用有直接影响的系统, 闭环控制系统必定是反馈控制系统。如图 1-11 所示为室内温度自动控制系统框图, 控制系统的作用是保持室内温度达到期望值。当室内温度降低时, 室内温度传感器将检测到的温度信号送到控制器, 控制器发出控制指令, 执行器改变阀门开度, 改变操作量使室内温度逼近期望值。

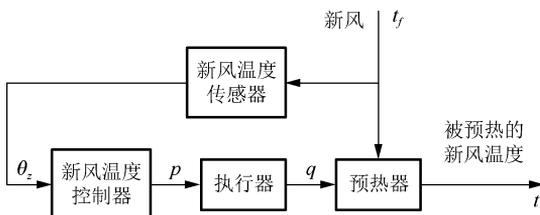


图 1-10 新风温度开环控制系统框图

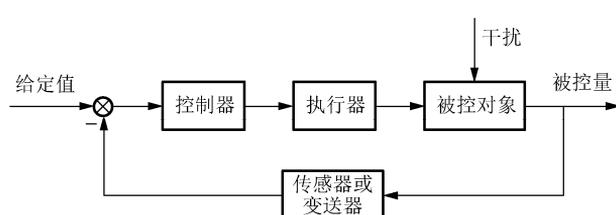


图 1-11 室内温度自动控制系统框图

3. 复合控制系统

开环控制和闭环控制相互配合使用的控制系统。当外界扰动作用于控制系统而被控量没有反应之前，系统按照开环调节进行粗调，控制作用在一开始就能抵消扰动的大部分影响，使被控量不发生变化或变化很小。如果不能起到完全补偿作用，被控量存在一些偏差，则可以通过闭环回路进行细调。这种控制系统对于特定的扰动作用来说，能获得比一般闭环控制系统更好的控制效果。如图 1-12 所示为具有新风补偿的室温控制系统框图，补偿装置提供一个新风扰动信号，以减少室外空气干扰信号对室内温度的影响。

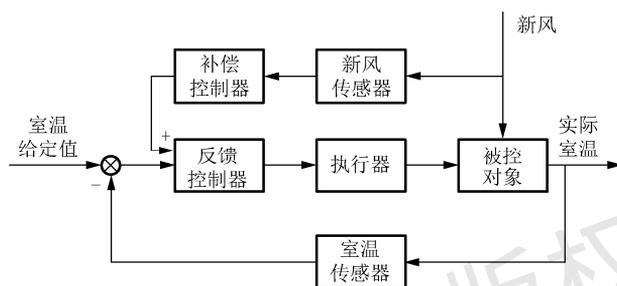


图 1-12 具有新风补偿的室温控制系统框图

1.3.2 按给定信号的类型分类

恒值系统：指给定输入一经设定就维持不变，希望输出量维持在某一特定值上。显然，要想使系统输出维持恒值，克服扰动影响是系统设计中要解决的主要问题。

随动控制系统：指给定信号的变化规律事先不能确定或按预定规律变化的信号，这类控制系统任务是使输出快速、准确地跟随给定值变化而变化。显然，由于输入在不断地变化，设计这类系统要解决的主要问题是跟随性，要求被控量能迅速、准确地跟踪参考输入。

1.3.3 按系统参数是否随时间变化分类

定常系统：控制系统参数在系统运行过程中不随时间变化。

时变系统：控制系统参数在系统运行过程中随时间变化。

实际系统中的零漂、温度变化、元件老化等影响均属于时变因素，严格的定常系统是不存在的，在所考察的时间范围内，若系统参数变化相对于系统的运动缓慢很多，则可近似视作定常系统。

1.3.4 按控制系统的动态特性分类

线性控制系统：指组成控制系统的元件都具有线性特性，因此系统具有齐次性并满足叠加原理。

非线性控制系统：指控制系统中，至少有一个元件具有非线性特性，则此系统不满足叠加原理。

1.3.5 按信号传递的连续性分类

连续系统：指系统中各元件的输入信号和输出信号都是时间的连续函数。因此系统的运动方程可以用微分方程来描述，连续系统中各元件传输的信号在工程上称为模拟量，多数实际物理系统都属于这类。其输入用 $r(t)$ 表示，输出用 $c(t)$ 表示，如图 1-13 所示。

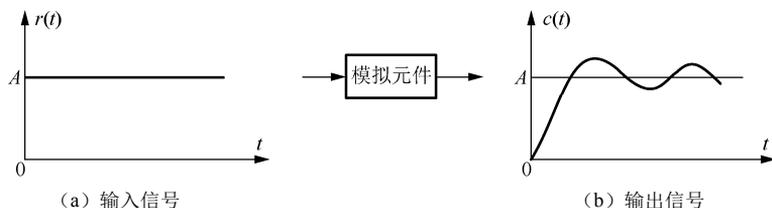


图 1-13 模拟量的输入和输出

离散系统：系统内某处或数字处理信号是以脉冲序列或数码形式传递的系统。如图 1-14 所示，其运动方程只能用差分方程描述。

在离散系统中，脉冲信号可由脉冲信号发生器或振荡器产生，也可由采样开关将连续信号变成脉冲信号序列，这类控制系统又称为采样控制系统或脉冲控制系统。而用数字计算机或数字控制器控制的系统又称为数字控制系统或计算机控制系统。如图 1-15 和图 1-16 所示分别为脉冲控制系统和计算机采样数字控制系统框图。

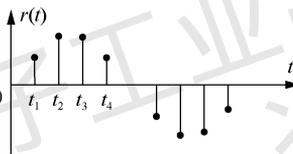


图 1-14 离散信号



图 1-15 脉冲控制系统框图

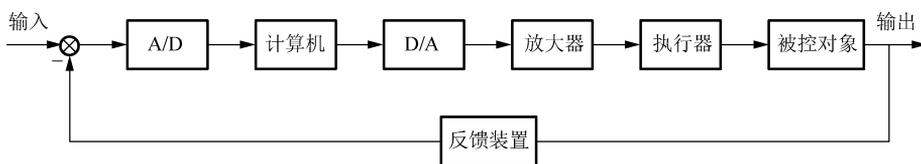


图 1-16 计算机采样数字控制系统框图

1.4 控制系统的基本要求

在分析和设计控制系统时，必须有评价系统的标准，这个标准通常用性能指标来表示。不同被控对象、不同控制任务对性能要求往往是不同的，但是总体上来说，对任何控制系统的基本要求，集中体现在控制系统的“稳定性”、“动态特性”和“稳态特性”三个方面，或简称为“稳”、“快”、“准”。

1.4.1 稳定性

控制系统的稳定性通常定义如下：一个处于静止或某一平衡工作状态的系统，在受到任何输入（给定信号或扰动）作用时，系统输出会离开静止状态或偏离原来的平衡位置；当作用消除后，若系统能回到原来的静止状态或平衡位置，则系统是稳定的；否则，系统是不稳定的。

对于线性定常系统，也可表达如下：在阶跃信号（突变）作用下，若系统输出有一个确定值与之相对应，则称系统是稳定的；若系统输出值越来越大，则称系统是不稳定的。如图 1-17 所示。

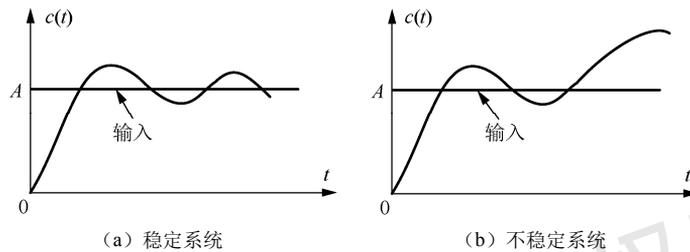


图 1-17 线性定常系统输出的收敛和发散

1.4.2 动态特性

稳定的控制系统，当受到阶跃（突变）信号作用后，由于系统内部机械部件质量和惯性的作用，内部电路中存在的电容、电感等储能元件的原因，使系统输出要经历一个过程才能达到某一稳定值。系统输出随时间 t 变化的这一过程称为系统的响应过程。响应过程常常又以调节时间 t_s （或称为过渡过程时间）为界，分为动态过程（又称为暂态过程或瞬态过程）和稳态过程（又称为静态过程），如图 1-18 所示。动态过程就是反映系统在动态过程中，跟踪输入或抑制干扰的能力。动态特性好的系统，表现为动态过程具有良好的平稳性、调节时间短且振荡次数少。

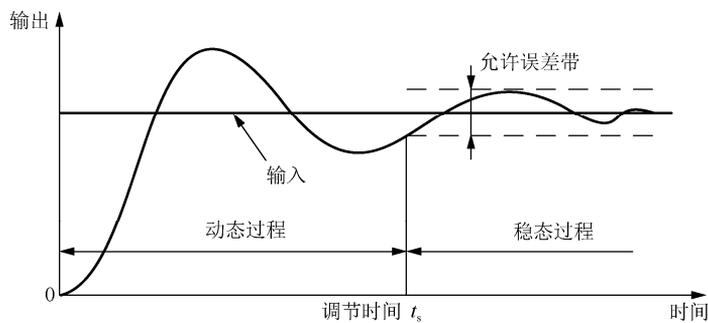


图 1-18 稳定系统的典型阶跃响应

1.4.3 稳态特性

系统在过渡过程结束后，其输出量的状态值，一般用稳态误差来描述。稳态误差的大小反映了控制系统的精确程度。稳态误差值越小的系统，说明系统的控制精度越高，稳态特性越好。



【注意】

- ① 对于一个控制系统，体现稳定性、动态特性和稳态特性的稳、快、准这三个指标要求是相互制约的。提高响应的快速性，可能会引起系统的强烈振荡。
- ② 改善控制系统的相对稳定性，则又可能会使控制过程时间延长，反应迟缓以及精度变差。
- ③ 提高控制系统的稳态精度，则可能会引起动态特性（平稳性及过渡过程时间）变坏。

习 题

1-1 试列举建筑电气中的开环控制系统和闭环控制系统，说明其工作原理并画出相应的原理示意图。

1-2 试说明开环控制系统和闭环控制系统的特点。

1-3 如图 1-19 所示的液位自动控制系统原理图。在任意情况下，希望液面高度 h 维持不变。试说明系统工作原理并绘制出系统框图。

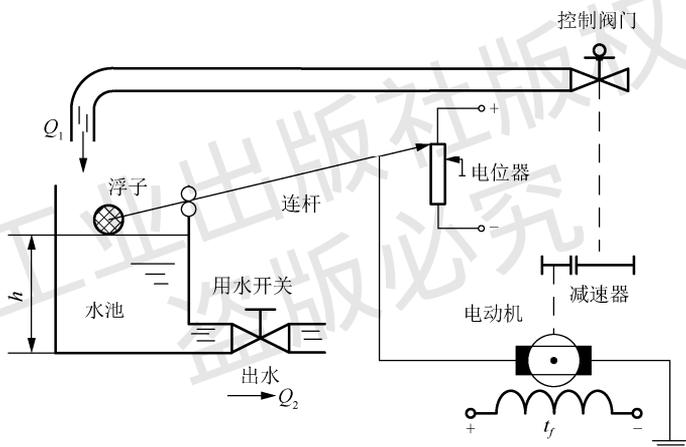


图 1-19 液位自动控制系统原理图

1-4 电冰箱制冷系统工作原理图如图 1-20 所示。试简述系统的工作原理，指出系统的被控对象、被控量和给定值，画出系统框图。

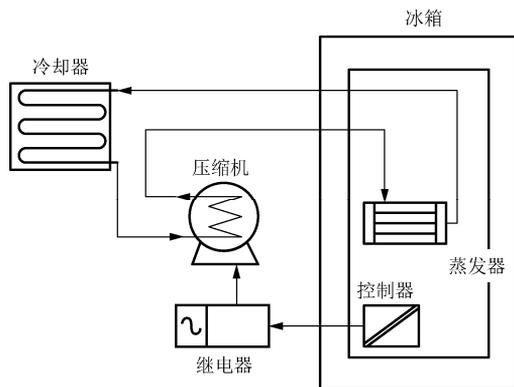


图 1-20 电冰箱制冷系统工作原理示意