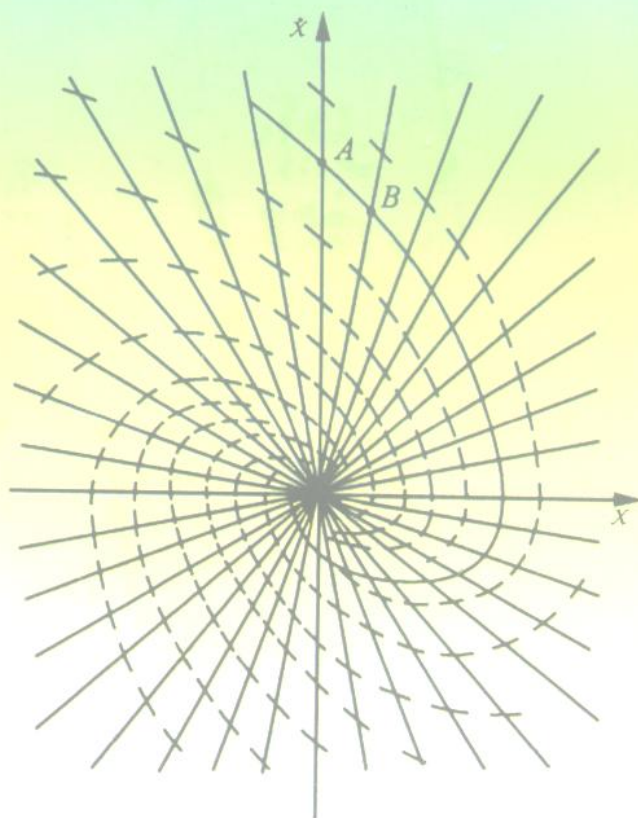


普通高等教育
兵工类规划教材

化工过程控制原理

黄聪明 陈祥光 何恩智 编著



北京理工大学出版社

化工过程控制原理

黄聪明 陈祥光 何恩智 编著

北京理工大学出版社

DUL32/33-10

内 容 简 介

本书以工程应用为背景,较全面地阐述了自动控制的基本理论,重点介绍经典控制理论和现代控制理论基础,全书共分十章。第一章结合实例介绍自动控制的基本概念;第二章讨论线性控制系统的数学模型;第三章介绍控制系统时域分析法;第四章介绍控制系统根轨迹分析法;第五章介绍控制系统频率特性分析法;第六章介绍控制系统状态空间分析法;第七章介绍控制系统的结构特性;第八章介绍离散控制系统;第九章介绍非线性控制系统;第十章介绍控制系统的状态空间设计法。全书结构有以下特点:即在集中介绍线性连续单变量定常系统理论之后,体现经典的连续多变量系统、离散系统和非线性系统理论与现代控制理论的结合。本书结合实际应用,工程性、适用性强。书中精选一些工程实例和例题,对读者掌握控制理论很有帮助。本书可作为过程控制及相关专业高等学校教材,也可供有关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工过程控制原理/黄聪明等编著. —北京:北京理工大学出版社,2000.8

ISBN 7-81045-697-0

I. 化... II. 黄... III. 化工过程 - 过程控制 IV. TQ063

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 26116 号

责任印制:李绍英 责任校对:郑兴玉

北京理工大学出版社出版发行

(北京市海淀区白石桥路7号)

邮政编码 100081 电话(010)68912824

各地新华书店经售

北京国马印刷厂印刷

*

787×1092 毫米 16 开本 32.75 印张 789 千字

2000 年 8 月第 1 版 2000 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—2000 册 定价:42.50 元

※图书印装有误,可随时与我社退换※

出版说明

在 21 世纪即将来临之际,根据兵器工业科技与经济发展对于人才素质和质的要求,兵器工业总公司教育局组织兵工专业教学指导委员会制定了《兵器工业总公司“九五”教材编写与出版规划》。在制定规划的过程中,我们力求贯彻国家教委关于“抓重点,出精品”的教材建设方针,根据面向 21 世纪军工专业课程体系和教学内容改革的总体思路,本着“提高质量,保证重点”的原则,精心遴选了在学校使用两遍以上,教学效果良好的部分讲义列入教材规划,兵工专业教学指导委员会的有关专家对于这些规划教材的编写大纲都进行了严格的审定。可以预计,这批“九五”规划教材的出版将促进兵工类专业教育质量的提高、教学改革的深化和兵器科学与技术的发展。

本教材由沈承林教授主审。

殷切地希望广大读者和有关单位对本教材编审和出版中的缺点与不足给予批评指正。

2000 年 8 月

前 言

本书是根据教学大纲的要求,在汲取国内、外同类教材的优点,结合编者多年的教学实践基础上编写的。

全书包括经典控制理论和现代控制理论基础两个部分。经典控制理论以线性定常连续系统理论为主线,在阐述反馈控制基本概念的基础上,结合化工过程,着重介绍物理系统数学模型的建立方法,系统介绍瞬态分析法、根轨迹法和频率特性法这三个基本分析方法。现代控制理论基础部分是在阐述状态空间模型的物理概念及各种建立方法的基础上,重点介绍系统稳定性、能控性和能观性等结构特性,接着着重介绍离散系统和非线性系统理论,最后扼要介绍控制系统的状态空间设计法。

本书在编写中致力于以下两方面:在结构安排上,既考虑控制理论发展形成的体系,又反映理论与工程结合的实际,首先集中介绍线性连续单变量定常系统理论,在此基础上,体现经典的连续多变量系统、离散系统和非线性系统理论与现代控制理论的结合。在内容处理上,基本概念阐述力求深入浅出、清晰易懂,突出基本理论方法的工程应用背景,注重理论与实践的结合,精选和补充典型例题,以便于自学。

本书由黄聪明、陈祥光、何恩智编写。其中陈祥光、何恩智合作编写第一、二、三、四、五章,黄聪明编写第六、七、八、九、十章。全书由北京化工大学沈承林教授审阅。

本书在编写过程中,化工过程控制教研室、校教材科及校出版社有关老师给予大力支持和帮助,特在此深表谢意。

限于作者水平,书中疏漏和错误在所难免,恳请读者批评指正。

作 者

2000 年 1 月于北京理工大学

目 录

第一章 自动控制的基本概念	(1)
1.1 概述	(1)
1.2 控制系统工作原理	(1)
1.3 自动控制系统的类型	(4)
1.3.1 开环控制系统和闭环控制系统	(4)
1.3.2 定值调节系统、随动系统、程序控制系统	(5)
1.3.3 连续控制系统和离散控制系统	(8)
1.3.4 线性控制系统和非线性控制系统	(9)
1.3.5 单变量控制系统和多变量控制系统	(9)
1.3.6 集中参数系统和分布参数系统	(10)
1.3.7 确定性系统和不确定性系统	(10)
习题	(11)
第二章 线性控制系统的数学模型	(13)
2.1 一阶对象或环节的动态特性	(13)
2.1.1 对象或环节微分方程式的列写方法	(14)
2.1.2 非线性特性的线性化及增量方程式	(15)
2.1.3 一阶对象或环节微分方程式的列写示例	(19)
2.1.4 一阶对象或环节的特性	(23)
2.1.5 无量纲化运动方程式	(24)
2.2 二阶对象或环节的动态特性	(25)
2.2.1 二阶对象或环节微分方程式的列写方法	(25)
2.2.2 二阶对象或环节的特性	(27)
2.3 纯滞后环节	(29)
2.4 其他特性	(31)
2.4.1 比例特性	(32)
2.4.2 积分特性	(32)
2.4.3 高阶特性	(33)
2.5 典型化工对象(或环节)数学模型的建立	(34)
2.5.1 连续搅拌槽式(CSTR)反应器	(35)
2.5.2 带套管热电偶	(37)
2.5.3 气动薄膜调节阀	(38)
2.6 拉普拉斯变换和传递函数	(39)
2.6.1 拉氏变换	(39)
2.6.2 传递函数	(49)
2.7 方块图	(53)

2.7.1	方块图的基本符号和联接	(53)
2.7.2	方块图的变换和简化	(56)
2.7.3	利用方块图推演对象动态特性示例	(61)
2.8	信号流图	(62)
2.8.1	信号流图常用术语	(62)
2.8.2	方块图及相应的信号流图	(64)
2.8.3	梅逊增益公式	(65)
	习题	(68)
第三章	控制系统的时域分析法	(70)
3.1	典型输入信号	(70)
3.1.1	阶跃函数	(71)
3.1.2	脉冲函数	(71)
3.1.3	斜坡函数	(72)
3.1.4	正弦函数	(72)
3.2	控制系统的瞬态响应	(72)
3.2.1	一阶系统的瞬态响应	(72)
3.2.2	二阶系统的瞬态响应	(74)
3.2.3	二阶系统的单位脉冲响应	(79)
3.2.4	三阶系统的单位阶跃响应	(79)
3.2.5	高阶系统瞬态响应近似分析	(80)
3.2.6	主导极点	(81)
3.2.7	系统稳定的基本条件	(82)
3.3	劳斯稳定判据	(82)
3.3.1	系统稳定性的初步判别	(83)
3.3.2	劳斯判据	(83)
3.3.3	劳斯判据的特殊情况	(86)
3.3.4	劳斯判据的应用	(88)
3.4	控制系统的稳态误差	(90)
3.4.1	稳态误差和误差传递函数	(90)
3.4.2	控制系统的结构类型	(92)
3.4.3	给定输入(参考输入)下的稳态误差	(92)
3.4.4	扰动输入下的稳态误差	(94)
3.5	控制系统瞬态响应性能指标	(95)
3.5.1	瞬态响应性能指标	(95)
3.5.2	二阶系统瞬态响应性能指标	(97)
3.5.3	瞬态响应性能指标在 s 平面上的表示	(101)
3.5.4	误差性能指标	(103)
3.6	常规调节规律及其对系统控制性能的影响	(103)
3.6.1	常规调节器的调节规律	(104)

3.6.2 调节器参数对控制过程的影响	(107)
习题	(110)
第四章 控制系统根轨迹分析法	(111)
4.1 根轨迹法的基本概念	(111)
4.2 绘制根轨迹图的基本条件和基本规则	(113)
4.2.1 绘制根轨迹的相角条件和幅值条件	(113)
4.2.2 绘制根轨迹的基本规则	(115)
4.3 根轨迹绘制方法举例	(125)
4.4 系统具有纯滞后环节时的根轨迹	(133)
4.4.1 绘制纯滞后系统根轨迹的基本条件	(133)
4.4.2 纯滞后系统根轨迹的绘制方法	(134)
4.4.3 纯滞后系统根轨迹绘制示例	(135)
4.4.4 纯滞后环节的近似表示	(139)
4.5 根轨迹法在控制系统分析和设计中的应用	(141)
4.5.1 增加开环零点对控制系统的影响——比例微分调节	(141)
4.5.2 增加开环极点对控制系统的影响	(146)
4.5.3 比例积分调节	(147)
4.5.4 控制系统的根轨迹校正方法	(150)
习题	(159)
第五章 控制系统频率特性分析法	(161)
5.1 频率特性及其与传递函数的关系	(161)
5.1.1 频率特性的基本概念	(161)
5.1.2 频率特性与传递函数的关系	(163)
5.2 频率特性的图示方法	(165)
5.2.1 幅相频率特性(奈魁斯特图)	(165)
5.2.2 对数频率特性(伯德图)	(177)
5.2.3 对数幅相频率特性(尼柯尔斯图)	(196)
5.3 奈魁斯特稳定判据	(197)
5.3.1 映射定理	(198)
5.3.2 奈魁斯特稳定判据	(201)
5.3.3 开环极点或零点位于 $j\omega$ 轴上时的奈魁斯特判据	(206)
5.3.4 纯滞后系统的稳定性	(211)
5.3.5 多回路系统的稳定性分析	(212)
5.4 控制系统的稳定裕量	(212)
5.4.1 增益裕量和相角裕量	(213)
5.4.2 相角裕量与过渡过程性能指标的关系	(216)
5.4.3 调节器调节规律对稳定裕量的影响	(220)
5.5 闭环频率特性	(224)
5.5.1 由开环频率特性求取闭环频率特性	(224)

5.5.2 闭环频率特性与时域性能指标的关系	(231)
5.6 频率法在校正装置设计中的应用	(234)
5.6.1 串联超前(微分)校正	(234)
5.6.2 串联滞后(积分)校正	(237)
5.7 计算机辅助频域与时域分析	(242)
5.7.1 控制系统根轨迹图的绘制	(242)
5.7.2 控制系统伯德图的绘制	(244)
5.7.3 控制系统奈魁斯特图的绘制	(245)
习题	(245)
第六章 控制系统的状态空间分析法	(247)
6.1 引言	(247)
6.1.1 状态空间分析法的提出	(247)
6.1.2 状态空间分析法的基本概念	(248)
6.2 动态系统的状态空间描述	(250)
6.2.1 状态空间表达式	(250)
6.2.2 由系统的物理、化学机理建立状态空间表达式	(255)
6.2.3 由系统的输入输出关系建立状态空间表达式	(260)
6.2.4 由系统方块图导出状态空间表达式	(273)
6.2.5 状态空间表达式的线性变换与规范化	(274)
6.3 动态系统的状态空间分析	(282)
6.3.1 线性定常系统齐次状态方程的解	(282)
6.3.2 状态转移矩阵	(284)
6.3.3 线性定常系统非齐次状态方程的解	(287)
习题	(290)
第七章 控制系统的结构特性	(292)
7.1 李雅普诺夫稳定性分析	(292)
7.1.1 李雅普诺夫稳定性	(292)
7.1.2 李雅普诺夫第二方法	(295)
7.1.3 线性定常连续系统的李雅普诺夫稳定性分析	(302)
7.2 线性系统的能控性和能观性	(305)
7.2.1 能控性与能观性概念的提出	(305)
7.2.2 线性定常连续系统能控性定义及其判据	(306)
7.2.3 线性定常连续系统能观性定义及其判据	(315)
7.2.4 能控性与能观性的对偶原理	(322)
7.2.5 能控性、能观性和传递函数(阵)的关系	(324)
习题	(328)
第八章 离散控制系统	(330)
8.1 引言	(330)
8.1.1 连续信号与离散信号	(330)

8.1.2 离散系统的基本类型——采样系统和数字系统	(330)
8.1.3 离散系统的研究方法	(331)
8.2 离散系统的信号转换特性	(333)
8.2.1 信号的采样——采样过程及其数学描述	(333)
8.2.2 信号复现——采样定理和保持器	(335)
8.3 z 变换及改进 z 变换	(341)
8.3.1 z 变换的定义	(341)
8.3.2 z 变换的求法	(342)
8.3.3 z 变换的基本原理	(344)
8.3.4 z 反变换	(352)
8.3.5 改进 z 变换	(355)
8.4 离散系统的经典数学描述	(358)
8.4.1 差分方程与微分方程的差分化	(358)
8.4.2 脉冲传递函数	(362)
8.5 离散系统的经典分析法	(375)
8.5.1 离散系统的过渡过程分析	(376)
8.5.2 离散系统的稳定性分析	(383)
8.5.3 离散系统的根轨迹分析	(391)
8.5.4 数字调节器的设计	(399)
8.6 离散系统的状态空间分析法	(406)
8.6.1 离散系统状态空间表达式	(407)
8.6.2 线性定常离散系统状态方程的求解	(415)
8.7 离散系统的结构特性	(418)
8.7.1 线性定常离散系统的李雅普诺夫稳定性分析	(418)
8.7.2 线性定常离散系统的能控性和能观性	(420)
习题	(425)
第九章 非线性控制系统	(428)
9.1 引言	(428)
9.1.1 线性系统与非线性系统	(428)
9.1.2 典型的非线性特性	(428)
9.1.3 非线性控制系统的特殊现象	(430)
9.1.4 非线性控制系统的研究方法	(431)
9.2 描述函数法	(432)
9.2.1 描述函数法的基本思路	(432)
9.2.2 非线性特性的描述函数	(434)
9.2.3 非线性系统的描述函数分析	(440)
9.3 相平面法	(450)
9.3.1 相平面法的基本概念	(450)
9.3.2 相平面图的特性	(451)

9.3.3 相平面图的绘制	(461)
9.3.4 非线性系统的相平面分析	(468)
9.3.5 由相平面图求系统的时间响应	(478)
9.4 非线性系统的李雅普诺夫稳定性分析	(480)
9.4.1 克拉索夫斯基法	(480)
9.4.2 变量梯度法	(482)
习题	(486)
第十章 控制系统的状态空间设计法	(488)
10.1 线性系统的状态反馈控制	(488)
10.1.1 状态反馈和输出反馈的构成特点	(488)
10.1.2 状态反馈系统和输出反馈系统的能控性和能观性	(490)
10.1.3 状态反馈系统的极点配置法	(491)
10.2 状态观测器的设计	(497)
10.2.1 状态观测器的提出	(497)
10.2.2 状态观测器的构造	(498)
10.2.3 状态观测器的极点配置法	(499)
10.2.4 带状态观测器的状态反馈系统设计	(501)
10.3 解耦器的设计	(505)
10.3.1 系统解耦控制问题	(505)
10.3.2 前馈补偿器解耦	(506)
10.3.3 状态反馈解耦	(507)
习题	(511)
参考文献	(512)

第一章 自动控制的基本概念

1.1 概 述

自动控制在工业、农业、国防和科学技术现代化中起着十分重要的作用,它们是衡量科学技术先进与否的重要标志之一。近几十年来,自动控制在工农业生产、交通运输、国防建设、航天工程等诸多领域获得了越来越广泛的应用。在化工生产中,采用自动控制技术可以对压力、温度、流量、液位和成分进行控制,使生产过程实现自动化操作、稳定产品质量、提高劳动生产率、降低能源和原材料消耗、改善操作人员劳动条件、保证安全生产、减少对环境的影响,从而取得明显的经济效益和社会效益。尤其是对于准确性要求高、变化迅速或可能有人身伤害危险的那些化工生产操作,离开自动控制技术根本无法正常运行。

自动控制装置中的关键概念是反馈。自然界中有许多反馈的系统,如:人体温度和调节过程、人体运行过程中的光学反馈控制等。除了这些人体生理的一些例子外,古代人类对反馈的抽象概念早就有了认识,并利用它制造了一些著名的装置,如我国古代的铜壶滴漏装置、指南车、水运仪象台,古希腊人制做的滴水时钟等。在 1770 年,瓦特发明了蒸汽发动机离心式调速机构。在 1868 年,马克斯威尔(J. C. Maxwell)解释了蒸汽机调速机构存在不稳定现象,并提出了避免这种现象的调速器的设计原则。马克斯威尔还研究了如何直接从对象的微分方程式来推导该增长指数函数的存在,而不必首先求解方程式。由此他提出了一个适用于低阶微分方程式的代数判据。在 1895 年,劳斯(Routh)及赫尔维茨(Hurwitz),把这种思想扩展到用高阶微分方程描述的更为复杂的系统,他们独立地发现了两种著名的代数判据,以用于判断由任意阶线性定常微分方程所描述的系统稳定性。在 1932 年,奈魁斯特(H. Nyquist)提出一种基于系统开环频率特性判别系统稳定与否的判据,它能够给出一个稳定系统趋于不稳定的程度的一种简单度量方法。在 1948 年,伊文思(W. R. Evans)根据反馈系统开环、闭环传递函数之间的内在联系,提出了直接由开环传递函数寻求闭环特征根(即闭环极点)的根轨迹法。

目前,在有些教科书中,把在第二次世界大战前后形成的、以系统的传递函数作为数学模型,以频率响应和根轨迹作为设计方法的控制理论,称为经典控制理论。而把在 1960 年前后形成的、以系统的状态变量描述作为数学模型,以最优控制和卡尔曼滤波作为设计方法的控制理论,称为现代控制理论。近年来,控制理论的应用范围已经扩展到生物、医学、环境、经济管理和其他许多领域,自动控制技术已经成为现代化社会不可缺少的组成部分。随着微处理器、单片机及微型计算机的应用和发展,大大促进了自动控制理论的发展进程。

1.2 控制系统工作原理

所谓自动控制,就是利用各种自动控制装置和仪表(包括控制计算机)代替人的操作,使生产过程或机器设备自动地按预定的规律运行,或使它的某些参数(如温度、压力、流量、液位、成分、电流、电压、转数等)按预定要求变化或在一定的精度范围内保持恒定,自动控制可以说是人工操作的模仿和发展。下面以一个温度控制系统为例,说明自动控制系统的构成和一些基

本概念。

图 1-1 所示为一个热力系统的例子,在该系统中人起了控制器的作用。他希望使加热器的温度保持在给定的温度上。为了测量热水的实际温度在热水的输出管道内安装了一支温度计。温度计测得温度就是系统的输出量。操作者始终监视着温度计,当发现温度高于希望值时,就减少输到系统中的蒸汽量,以降低其温度;当发现温度低于希望值时,操纵者就反向操作蒸汽阀门,使进入系统的蒸汽量增大,以提高这一温度。在这个例子中。输出量的反馈(水温)与参考输入量的比较,以及控制作用,都是通过人工来实现的,这就是一种基于人工的反馈控制系统(或叫做人工闭环控制系统)。

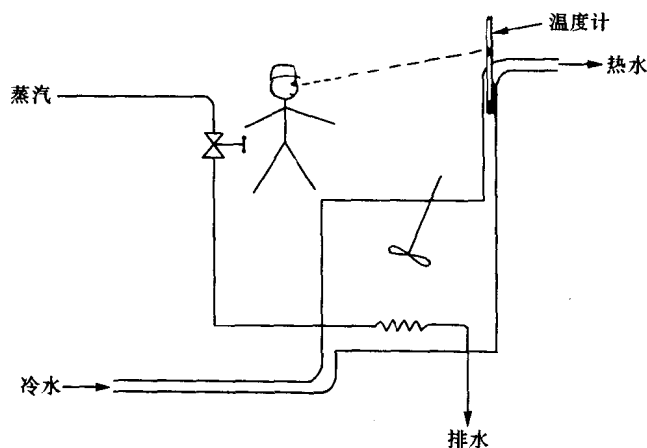


图 1-1 基于人工操作的温度控制系统

如果用自动控制器来取代人工操作,如图 1-2 所示,就变成自动控制系统,或叫反馈控制系统。自动控制器刻度盘上指针的位置,标定在希望的温度。系统的输出量,即热水的实际温度,由温度测量装置予以测定后,与希望的温度值进行比较,以产生误差信号。为此,在进行比较之前,需通过变送器将输出温度变成与输入量(即给定值)相同的物理量(变送器是将信号从一种物理量变换成另一种物理量的装置)。在自动控制器中,产生的误差信号经过一定处理后,作为控制器的输出量,加到控制阀上,从而改变控制阀的开度,使进入系统的蒸汽量产生相应变化,最后使实际的水温得到校正。如果没有误差信号,当然也就不必改变阀的开度了。在上述系统中,环境温度的变化,以及输入冷水温度的变化等,都可以看作是系统的外部扰动。

上述人工反馈和自动反馈控制系统的工作原理是相似的。操纵者的眼睛类似于误差测量装置;操纵者的头脑类似于自动控制器;而操纵者的手则类似于执行机构。

在复杂的控制系统中,由于系统中各变量之间存在着错综复杂的关系,所以就很难进行人工操纵。应当指出,即使在简单的系统中,采用自动控制器也有利于消除人工操纵造成的误差。所以,如果要求精确控制,就必须采用自动控制系统。

要实现对蒸汽加热器出口的温度自动控制,至少必须有检测元件和变送器、控制器(调节器)、控制阀(调节阀)、蒸汽加热器等四个部分,它们组成一个简单的自动控制系统。流量、压

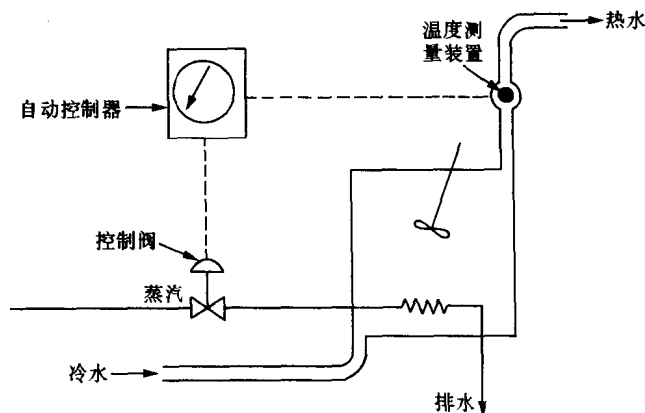


图 1-2 基于控制器的温度自动控制系统

力、液位、成分等过程参数的控制系统同样也是由这四部分组成。

下面结合图 1-2 温度控制系统的例子来说明控制系统中应用的几个术语。

被控对象或过程 也称调节对象，系指要求实现自动控制的设备或生产过程。在蒸汽加热器温度控制系统中，控制对象就是蒸汽加热器。

被控参数 在控制对象中要求按预定规律变化的物理量，即被控制的物理量，也称被调参数。在图 1-2 温度控制系统中，加热器出口温度就是被控参数。

控制量 也称调节量，是调节器的输出，它通过执行器（例如调节阀）改变进、出被控对象的物料量或能量（例如加热蒸汽量），从而对被控对象实现控制。

扰动（干扰） 在自动控制系统中，干扰又称扰动作用。除控制量以外引起被控参数变化的所有作用因素都可视为干扰。如温度控制例子中，冷水进口温度和流量的变化都是干扰因素（如图 1-2 中冷流体流量的变化、蒸汽压力的变化等）。

设定（给定）值 与被控参数工艺规定值相对应的信号值，也称控制目标值，是控制系统的输入变量。

偏差值 设定值 $r(t)$ 与被控参数测量值 $y(t)$ 之差，在自动控制系统中，一般规定偏差值 $e(t) = r(t) - y(t)$ ，但要注意，在仪表制造部门，习惯将偏差定为 $e'(t) = -e(t) = y(t) - r(t)$ 就是说在仪表校验时常把 $y(t) > r(t)$ 称为正偏， $y(t) < r(t)$ 称为负偏差。

任何一个自动控制系统，总是由过程和自动控制装置组成的，如图 1-3 所示。

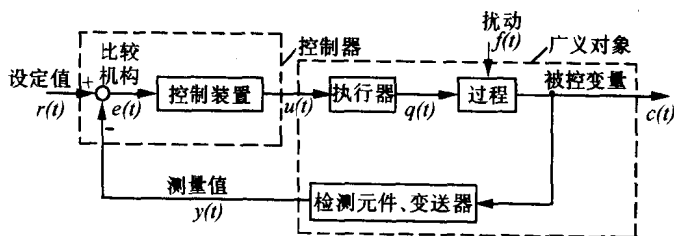


图 1-3 自动控制系统的组成

图中符号 $r(t)$ ——设定值;
 $y(t)$ ——测量值;
 $e(t)$ ——偏差, $e(t) = r(t) - y(t)$;
 $u(t)$ ——调节器输出(控制量);
 $c(t)$ ——被控参数;
 $q(t)$ ——控制量;
 $f(t)$ ——扰动。

检测元件和变送器(统称为测量装置)的作用是把被控变量 $c(t)$ 转化为测量值 $y(t)$ 。例如,用热电阻或热电偶测量温度,并用温度变送器将其转换为标准直流信号(0~10 mA 或 4~20 mA)。

比较机构的作用是比较设定值 $r(t)$ 与测量值 $y(t)$ 并输出其差值。

控制装置的作用是根据偏差的正负、大小及变化情况,按某种预定的控制规律给出控制作用 $u(t)$ 。

比较机构和控制装置组合在一起,称为控制器(或称调节器)。目前在工业中应用的控制器有气动或电动控制器、智能型控制器或计算机。执行器的作用是接受控制器输出的 $u(t)$ 相应地去改变控制变量 $q(t)$ 。

系统中控制器以外的各部分组合在一起,即过程、执行器、检测元件与变送器的组合称为广义对象。

1.3 自动控制系统的类型

为了对自动控制系统的应用范围和不同系统的主要特点有个概括的了解,本节讨论自动控制系统的分类。由于自动控制技术广泛应用于各个部门和领域以及自动控制理论的发展,自动控制系统的种类是很多的,在此只讨论和本教材内容有关的分类。

1.3.1 开环控制系统和闭环控制系统

开环控制是比较简单的控制方式,其特点是系统的输出量对系统的控制作用没有影响,即没有反馈控制作用。如果系统的输出量对系统没有控制作用,这种系统称为开环控制系统。

图 1-4 所示直流电动机速度控制系统,它是一个开环控制系统,其输入量是给定电压 U_g , 输出量是电动机转速 n 。当改变电位器滑动端位置时,就相应地改变了给定电压 U_g 和可控硅整流装置的输出电压 U_d 。这样电动机的转速也就随着改变了。对应电位器滑动端的一个位置,电动机就运行在一个对应的转速上,从而达到了控制的目的。当系统中出现扰动(如电动机的负载变化、可控硅的电源电压变化或可控硅的移相特性变化)时,电动机转速将偏离给定值。此时要维持给定的转速不变,必须人工重新调整电位器滑动端的位置。例如负载突然增加,电动机的转速相应地降低,偏离了给定值。操作人员检测到实际转速并与给定值进行比较,判断出转速低于给定值时,可相应调整电位器的滑动端子,增加给定电压 U_g 使电动机转速恢复到给定值。图 1-5 所示结构图,可以表示这种系统的输入量与输出量之间的关系。这里,输入量直接经过控制器作用于控制对象,不需要将输出量反馈到输入端去与输入量进行比较,所以,只有输入量影响输出量。当出现外部扰动和内部扰动时,没有人的干预,输出量将不

能按照给定量所期望的状态去工作。这种开环控制系统多用于轧钢厂的许多辅助传动。在这些传动中,有的只需要控制其起动、制动过程,或者有的转速率需要精确地加以控制。

闭环控制系统是把输出量检测出来,经过物理量的转换,再反馈到输入端去与输入量进行比较(相减),并利用比较后的偏差信号,经过控制器或调节器对控制对象进行控制,抑制内部或外部扰动对输出量的影响,减小输出量的误差。

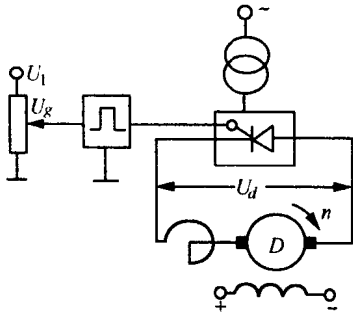


图 1-4 开环调速系统

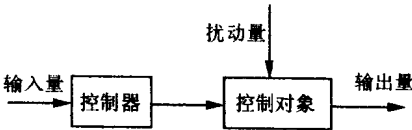


图 1-5 开环控制系统结构图

图 1-6 所示闭环调速系统是闭环控制系统的例子。这里用测速发电机 CF 将输出量检测出来,并转换成与给定电压物理量相同的反馈电压 U_f ,然后反馈到输入端,与给定电压 U_g 相比较,其偏差值经过放大器放大后,用来控制可控硅电压和电动机的转速。当电位器滑动端在某一位置时,电动机就以一个指定的转速运转。如果由于外部或内部扰动,例如由于负载突然增加,使电动机转速降低,那么,这一速度的变化,将由测速机检测出来。此时反馈电压 U_f 相应降低,与给定电压比较后,偏差电压增大,再经过放大器放大后,将使可控硅的移相角前移,整流电压升高,从而减小电动机的转速偏差。这样,不用人的干预,系统就可以自动保持给定速度近似不变。图 1-7 表示这种系统的输入量、输出量和反馈量之间的关系。这种系统把输出量直接或间接地反馈到输入端形成闭环,参与系统的控制,所以称为闭环控制系统。由于系统是根据负反馈原理按照偏差进行控制的,因此,也叫作反馈控制系统或偏差控制系统。

在工业生产中,按照偏差控制的闭环系统种类繁多,尽管它们所完成的控制任务不同,具体结构不一样,但是,从检出偏差、利用偏差信号对控制对象进行控制,以减小或纠正输出量的偏差这一控制过程却是相同的。

1.3.2 定值调节系统、随动系统、程序控制系统

定值调节系统

给定值为恒定值并要求被控参数保持恒定或基本上保持恒定的控制系统,称为定值调节系统。这类系统在工业生产过程中应用最为广泛。过程控制系统大多是定值调节系统,例如温度、压力、流量、液位和成分等各种参数的调节系统。图 1-1 所示的蒸汽加热器温度控制系统,其作用就是将加热器出口温度控制在一定的范围内。图 1-8(a)、图 1-8(b)给出了化工过程中经常遇到的一些典型的定值调节系统。

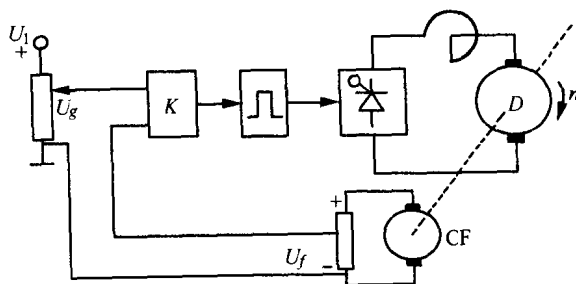


图 1-6 闭环调速系统

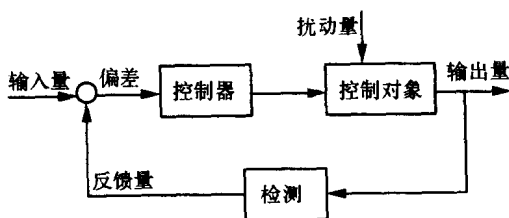


图 1-7 闭环控制系统结构图

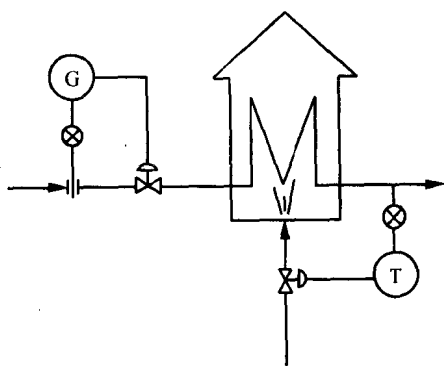


图 1-8 (a) 加热炉温度、流量定值调节系统

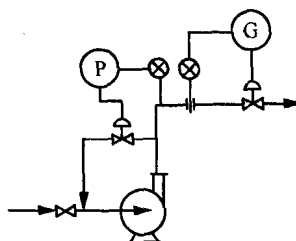


图 1-8 (b) 压力、流量定值调节系统

随动系统

给定值变化,要求被控参数以一定精度跟随给定值变化的控制系统称为随动系统。也称跟踪系统、伺服系统。随动系统的应用也很普遍,如雷达的搜索、武器的自动瞄准系统。工业自动化仪表中的各种变送器、显示器、记录仪等亦可看作随动系统。化工过程控制中的比值调节系统,实际上也是一种随动控制系统,如图 1-9 所示。

工艺生产过程要求将两种物料配成一定比例送至下一工序。 G_1 和 G_2 分别为主要物料和配比物料的参数。若 G_1 发生变化,要求 G_2 随之变化,保持比值 G_2/G_1 不变。为满足这个要求,构成了图 1-9 所示的比值调节系统。当 G_1 变化时,经测量变送,并乘以某一比例系数 K 后,作为配比物料调节器 FC 的给定值。由于给定值变化而产生偏差,调节器根据偏差发出控制信号,通过对 G_2 的调节,使之与 G_1 的比值保持不变。当 G_2 因某种干扰而变化时,由测