



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



机械设计制造及其自动化

专业系列教材

控制工程基础

第三版

主编 王积伟 吴振顺

高等教育出版社

“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

机械设计制造及其自动化专业系列教材

控制工程基础

Kongzhi Gongcheng Jichu

第三版

主 编 王积伟 吴振顺

参 编 (以姓氏笔画为序)

王树新 王振波

吕卫阳 许飞云

张健成

高等教育出版社·北京

内容简介

本书是“十五”、“十一五”和“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,2011年度普通高等教育精品教材,机械设计制造及其自动化专业系列教材之一,也是教育部新世纪网络课程的主要参考书。

全书共分9章:第1章控制系统的基本概念,第2章数学模型,第3章时域分析法,第4章根轨迹分析法,第5章频域分析法,第6章控制系统的设计和校正,第7章线性离散系统与 z 变换,第8章状态空间分析法,第9章控制系统的应用和分析。书末附有5个附录。每章附有习题,附录E有部分习题参考答案。

本书的特点是:淡化经典控制与现代控制的界限,突出方法论;重点阐述共性问题,适应拓宽专业口径的需要;不苛求严格的数学推证,从直观的物理概念出发分析问题、解决问题;特别重视工程应用,除每章附有较多机、电、液、气方面的例题外,还专辟一章介绍控制理论在工程中应用的成功实例;取材新颖,采用MATLAB与SIMULINK等先进软件分析和设计系统;编写体系符合教学规律,好教易学;传授科学与培养创新能力并重。

本书可作为高等学校机械类专业控制工程基础课程的教材,也可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

控制工程基础/王积伟,吴振顺主编.--3版.--
北京:高等教育出版社,2019.2
ISBN 978-7-04-051147-5
I. ①控… II. ①王… ②吴… 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(2019)第010254号

策划编辑	卢广	责任编辑	卢广	封面设计	李卫青	版式设计	童丹
插图绘制	于博	责任校对	张薇	责任印制	赵义民		
出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn				
社 址	北京市西城区德外大街4号		http://www.hep.com.cn				
邮政编码	100120	网上订购	http://www.hepmall.com.cn				
印 刷	大厂益利印刷有限公司		http://www.hepmall.com				
开 本	787mm×1092mm 1/16	版 次	2000年8月第1版				
印 张	27.75		2019年2月第3版				
字 数	690千字	印 次	2019年2月第1次印刷				
购书热线	010-58581118	定 价	58.00元				
咨询电话	400-810-0598						

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 51147-00

控制工程 基础

第三版

王积伟 吴振顺

- 1 计算机访问<http://abook.hep.com.cn/12273464>, 或手机扫描二维码、下载并安装Abook应用。
- 2 注册并登录, 进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号(20位密码, 刮开涂层可见), 或通过Abook应用扫描封底数字课程账号二维码, 完成课程绑定。
- 4 单击“进入课程”按钮, 开始本数字课程的学习。



课程绑定后一年为数字课程使用有效期。受硬件限制, 部分内容无法在手机端显示, 请按提示通过计算机访问学习。

如有使用问题, 请发邮件至abook@hep.com.cn。



扫描二维码
下载Abook应用

<http://abook.hep.com.cn/12273464>

第三版前言

本书是“十五”、“十一五”和“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,2011年度普通高等教育精品教材,机械设计制造及其自动化专业系列教材之一,也是教育部新世纪网络课程的主要参考书。

本书第二版自2010年出版以来,受到广大读者的普遍欢迎,先后重印11次,被众多高校选为教材,并用作考研主要参考书。

进入新时代,为加快建设制造强国,加快发展先进制造业,推动互联网、大数据、人工智能和实体经济深度融合,需要培养造就一大批具有国际水平的战略科技人才、科技领军人才、青年科技人才,并要求科技人员瞄准世界科技前沿,强化基础研究,实现引领性原创成果重大突破。近五年来,互联网+、大数据、云计算、人工智能等新科技不断涌现和广泛应用,控制理论和控制工程也有了相应的长足发展。教育的不断深入,对控制工程基础这门课程的教材提出了更高的要求。因此,为适应科技高速发展的新形势以及教学的需要,对本书进行再次修订是完全必要的。

本次修订工作是在广泛听取一线授课教师和广大读者的意见和建议的基础上,并借鉴国内、外同类优秀教材的长处而展开的。

修订工作侧重以下几方面:

1) 因考虑多数高校对控制工程基础课程的教学安排一般在48学时左右,为节省篇幅,前两版没有编入“根轨迹分析法”的内容。本次修订补充了“根轨迹分析法”,并将其列为第4章,以使本书的体系更为完整。

2) 为保持全书章节的平衡协调,对原第7章状态空间分析法进行适当“瘦身”,删除部分繁杂内容。

3) 更新了书中一些陈旧内容,补充了若干新的应用实例和习题。

本次修订工作由东南大学王积伟全面主持完成,东南大学许飞云也参加了部分修订(第4章)。

由于作者水平所限,书中仍难免存在错误和疏漏之处,恳请广大读者指正。

作者

2018年10月于北京

第二版前言

本书第二版是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,机械设计制造及其自动化专业系列教材之一,也是教育部新世纪网络课程的主要参考书。

本书第一版自2000年出版以来,受到读者普遍欢迎,先后重印14次,被众多高等院校选为教材,并用作考研主要参考书。近几年来,控制理论的工程应用越来越广泛,教育改革越来越深入,对控制工程基础课程教材的要求越来越高,而且MATLAB与SIMULINK软件的使用越来越普及。因此,在这种背景下对本书进行一次全面修订是适时和必要的。

本次教材修订工作是在总结作者和一线授课教师多年来教学经验的基础上,结合使用本书读者的意见与建议,借鉴同类优秀教材的长处而展开的。

修订工作的思路和做法如下:

1) 考虑到教材的连贯性和读者的使用习惯,本次修订尽可能保持原有特色和风格。全书的编排体系、章节和习题基本不变,仅根据教学要求作些微调。

2) 按照由浅入深、循序渐进的教学规律,根据不同学时的教学要求,采取标注“*”的办法,分40和60两种不同讲课学时安排教学内容,使教材更加好教易学(标注“*”的章节供60讲课学时专业或学生自学使用)。但是仍保持各自教学的系统性和完整性。

3) 对教材进行全面梳理,删除一些陈旧的内容和提法。在相应章节中增加了MATLAB与SIMULINK软件在控制工程中应用的实例,使控制系统的分析和设计更直观、更简便、更精确。

4) 对书中的插图进行全面审查和清理,更正了第一版中的错误,并使其更加规范化。

本次教材修订工作由王积伟和吴振顺完成。由于作者水平和时间所限,书中仍难免存在错误和不妥之处,恳请广大读者不吝指正。

作者

2009年5月于南京

第一版前言

本书是机械设计制造及其自动化专业系列教材之一,也是教育部新世纪网络课程的主要参考书。

本书是在编者几十年教学和科研工作的基础上,总结编写同类教材的经验并吸取国内外有关本课程领域内最新的教学和科研成就,精心组织编写而成的。具体内容包括:控制系统的基本概念,数学模型,时域、频域和状态空间分析法,系统设计和校正,线性离散系统,控制系统的应用和分析以及附录等。

本书在编写过程中,始终贯彻少而精、系统性和学以致用原则,着重考虑了以下几个方面:

(1) 淡化经典控制与现代控制的界限,把两者有机地结合起来;主要介绍基本概念、基本原理和基本方法,突出方法论。

(2) 重点阐述共性问题,符合拓宽专业口径和增强培养人才适应性的需要;采用启发式编写方法,以培养学生的创新能力。

(3) 不苛求严格的数学推证,从比较直观的物理概念出发提出问题、分析问题和解决问题。

(4) 特别重视工程应用。书中除每章附有较多机、电、液、气方面的例题外,还专门辟出一章介绍和分析控制理论在工程中应用的成功实例。

(5) 全书取材新颖,舍弃陈旧的内容。尽量采用 MATLAB 等先进的分析和计算软件,使工程应用真正落到实处。

(6) 编写体系符合教学规律,好教易学。论述深入浅出,层次分明,推理清楚,简单明了。每章配备经过精选的习题,书末附有参考答案。

本书适用于普通工科院校机械类各专业,也适用于其他各类成人高校、职业技术学院、电大、自学考试有关专业,并可供从事自动控制和控制工程的科技工作者参考。

本书由王积伟、吴振顺任主编。参加本书编写的有:东南大学王积伟(第1、2章,附录A和E),北京科技大学吕卫阳(第3章),天津大学王树新(第4章),哈尔滨理工大学王振波(第5章),哈尔滨工业大学吴振顺(第6、7章,附录B、C、D),东北大学张健成(第8章)。全书由王积伟修改定稿。

本书由西安交通大学博士生导师何钺教授主审。参加审稿的还有清华大学腾云鹤教授、北京工业大学薛文贤教授等。他们对本书提出了许多宝贵意见和建议。哈尔滨工业大学李松晶博士提供了第6、7章的习题和参考答案。在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中难免有不少缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

作 者

2000年4月

目 录

第 1 章 控制系统的基本概念	1
1.1 控制系统的工作原理及其组成	1
1.1.1 工作原理	1
1.1.2 开环控制和闭环控制	3
1.1.3 闭环控制系统的组成	3
1.2 控制系统的基本类型	5
1.2.1 按输入量的特征分类	5
1.2.2 按系统中传递信号的性质分类	6
1.3 对控制系统的基本要求	7
1.4 控制工程发展概况	7
习题	8
第 2 章 数学模型	12
2.1 控制系统的运动微分方程	12
2.1.1 建立数学模型的一般步骤	12
2.1.2 控制系统微分方程的列写	13
2.2 拉氏变换和反变换	17
2.2.1 拉氏变换的定义	17
2.2.2 几种典型函数的拉氏变换	17
2.2.3 拉氏变换的主要定理	20
2.2.4 拉氏反变换	23
2.2.5 应用拉氏变换求解线性微分方程	31
2.3 传递函数	33
2.3.1 传递函数的概念和定义	33
2.3.2 特征方程、零点和极点	35
2.3.3 关于传递函数的几点说明	35
2.3.4 典型环节及其传递函数	36
2.4 系统框图和信号流图	45
2.4.1 系统框图	45
2.4.2 系统框图的简化	50
2.4.3 系统信号流图和梅森公式	54
2.4.4 控制系统的传递函数	57
*2.5 非线性数学模型的线性化	59
2.5.1 线性化问题的提出	59
2.5.2 非线性数学模型的线性化	60
2.5.3 系统线性化微分方程的建立	61
2.6 控制系统传递函数推导举例	63
2.6.1 机械系统	63
2.6.2 液压系统	69
2.6.3 液位系统	70
2.6.4 机电系统	73
2.6.5 热力系统	75
习题	76
第 3 章 时域分析法	83
3.1 典型输入信号	83
3.2 一阶系统的时间响应	84
3.2.1 一阶惯性环节的单位阶跃响应	85
3.2.2 一阶惯性环节的单位速度响应	86
3.2.3 一阶惯性环节的单位脉冲响应	86
3.2.4 线性定常系统时间响应的性质	87
3.3 二阶系统的时间响应	87
3.3.1 二阶系统的单位阶跃响应	88
3.3.2 二阶系统的性能指标	93
3.4 高阶系统的时间响应	99
3.5 误差分析和计算	101

标有“*”的章节供多学时专业或学生自学使用。

3.5.1 稳态误差的基本概念	101	分析函数	161
3.5.2 稳态误差的计算	102	4.4.2 基于 MATLAB 根轨迹 分析举例	161
3.5.3 稳态误差系数	103	4.4.3 MATLAB 根轨迹簇的 绘制	164
3.5.4 扰动引起的稳态误差和 系统总误差	109	习题	165
3.6 稳定性分析	110	第 5 章 频域分析法	168
3.6.1 稳定的概念	111	5.1 频率特性的基本概念	168
3.6.2 稳定的条件	112	5.1.1 频率响应和频率特性	168
3.6.3 劳思稳定判据	113	5.1.2 频率特性的求取方法	170
3.7 基于 MATLAB 与 SIMULINK 的 时域特性分析	119	5.1.3 频率特性的图示方法	170
3.7.1 基于 MATLAB 的时域特性 分析	119	5.2 典型环节的频率特性	172
3.7.2 基于 SIMULINK 的时域 特性分析	125	5.2.1 比例环节	172
习题	131	5.2.2 惯性环节	172
第 4 章 根轨迹分析法	134	5.2.3 积分环节	175
4.1 基本概念	134	5.2.4 理想微分环节	176
4.1.1 根轨迹	134	5.2.5 振荡环节	177
4.1.2 系统开、闭环零、极点 之间的关系	136	5.2.6 一阶微分环节	179
4.1.3 根轨迹方程	137	5.2.7 二阶微分环节	180
4.1.4 广义根轨迹	138	5.2.8 延迟环节	181
4.2 根轨迹绘制的一般步骤及其 基本规则	138	5.3 系统开环频率特性	183
4.2.1 预备步骤	139	5.3.1 最小相位系统	183
4.2.2 根轨迹绘制	140	5.3.2 系统开环奈氏图的绘制	184
4.3 控制系统的根轨迹分析	153	5.3.3 系统开环伯德图的绘制	187
4.3.1 系统闭环极点的期望 位置	153	5.3.4 传递函数实验确定法	190
4.3.2 增加开环零、极点对 根轨迹的影响	154	5.4 频域稳定性判据	192
4.3.3 单参数可变系统的 根轨迹分析举例	157	5.4.1 奈奎斯特稳定性判据	192
4.3.4 多参数可变系统的 根轨迹分析举例	158	5.4.2 对数频率特性的稳定性 判据	200
4.4 基于 MATLAB 的根轨迹 分析	161	5.4.3 稳定性裕量	202
4.4.1 MATLAB 根轨迹		5.5 闭环控制系统的频率特性	204
		5.5.1 闭环系统频率特性的 求取	204
		5.5.2 闭环系统的频域指标	207
		5.6 频域指标与时域性能 指标间的关系	209
		5.6.1 闭环频域指标与时域性能 指标之间的关系	209
		5.6.2 开环频域指标与时域性能	

指标之间的关系	210	6.6.2 基于 SIMULINK 的控制 系统设计与校正	268
5.7 用系统开环频率特性分析 闭环系统性能	211	习题	276
5.7.1 低频段	211	* 第 7 章 线性离散系统与 \mathcal{Z} 变换 ..	279
5.7.2 中频段	212	7.1 概述	279
5.7.3 结论	214	7.2 采样过程与采样定理	280
5.8 基于 MATLAB 与 SIMULINK 的 频域特性分析	215	7.2.1 采样过程	280
5.8.1 基于 MATLAB 的频域特性 分析	215	7.2.2 采样定理	282
5.8.2 基于 SIMULINK 的频域 特性分析	220	7.2.3 信号恢复	282
习题	224	7.3 \mathcal{Z} 变换与 \mathcal{Z} 反变换	285
第 6 章 控制系统的设计和校正	230	7.3.1 \mathcal{Z} 变换	285
6.1 概述	230	7.3.2 \mathcal{Z} 反变换	289
6.2 PID 控制规律	231	7.3.3 连续系统的离散化方程—— 差分方程	294
6.2.1 P 控制(比例控制)	232	7.3.4 用 \mathcal{Z} 变换法求解差分 方程	296
6.2.2 PI 控制(比例加积分 控制)	232	7.4 脉冲传递函数	297
6.2.3 PD 控制(比例加微分 控制)	234	7.4.1 脉冲传递函数	297
6.2.4 PID 控制(比例加积分 加微分控制)	235	7.4.2 离散系统的开环脉冲 传递函数	300
6.3 PID 控制规律的实现	237	7.4.3 离散系统的闭环脉冲 传递函数	301
6.3.1 PD 控制规律的实现	237	7.4.4 闭环离散系统的过渡 过程	303
6.3.2 PI 控制规律的实现	240	7.5 离散系统的稳定性分析	305
6.3.3 PID 控制规律的实现	242	7.5.1 $[s]$ 平面到 $[z]$ 平面之间的 映射	305
6.3.4 小结	245	7.5.2 线性离散系统稳定的 充要条件	306
6.4 频率法设计和校正	246	7.5.3 线性离散系统稳定性的 判别方法	307
6.4.1 PID 校正网络参数的确定 ..	246	7.6 数字控制器与离散 PID 控制	308
6.4.2 近似 PID 校正网络的参数 确定	250	7.6.1 数字控制器的脉冲 传递函数	308
6.5 并联校正和复合控制	258	7.6.2 离散 PID 控制器及其 校正	309
6.5.1 并联校正(反馈校正)	258	7.7 基于 SIMULINK 的离散系统 时域特性分析	315
6.5.2 复合控制	261		
6.6 基于 MATLAB 与 SIMULINK 的 控制系统设计与校正	264		
6.6.1 基于 MATLAB 的控制系统 设计与校正	264		

习题	317	9.1.1 概述	370
*第8章 状态空间分析法	319	9.1.2 控制系统的组成和 工作原理	371
8.1 状态变量与状态空间	319	9.1.3 控制系统性能分析	372
8.2 连续系统的状态方程及 输出方程	320	9.2 电压-转角机电伺服控制 系统	379
8.2.1 由系统微分方程列写状态 方程及输出方程	320	9.2.1 概述	379
8.2.2 由系统状态变量图列写 状态方程及输出方程	329	9.2.2 控制系统的组成和 工作原理	379
8.2.3 由系统框图直接列写状态 方程及输出方程	333	9.2.3 控制系统性能分析	380
8.3 离散系统的状态方程及 输出方程	337	*9.3 仿形刀架机液伺服控制 系统	385
8.3.1 作用函数不含未来值	337	9.3.1 概述	385
8.3.2 作用函数含未来值	339	9.3.2 控制系统的组成和 工作原理	385
8.4 控制系统状态方程的解	342	9.3.3 控制系统性能分析	386
8.4.1 连续系统状态方程的解	342	*9.4 定量浇注气动调节控制 系统	392
8.4.2 离散系统状态方程的解	354	9.4.1 概述	392
8.5 基于 MATLAB 与 SIMULINK 的 系统状态空间分析	360	9.4.2 控制系统的组成和 工作原理	392
8.5.1 基于 MATLAB 的系统状态 空间分析	360	9.4.3 控制系统性能分析	394
8.5.2 基于 SIMULINK 的系统 状态空间分析	362	附录	399
8.6 基于 MATLAB 的系统数学 模型转换	365	附录 A 常用函数的拉氏变换和 \mathcal{L} 变换表	399
习题	368	附录 B \mathcal{L} 变换基本定理	402
第9章 控制系统的应用和分析	370	附录 C 矩阵运算	403
9.1 带钢卷取电液伺服控制 系统	370	附录 D 基本的数值解法	405
		附录 E 部分习题参考答案	408
		参考文献	429

第 1 章 控制系统的基本概念

1.1 控制系统的工作原理及其组成

1.1.1 工作原理

下面以恒温控制系统为例,分析其控制过程。实现恒温控制有人工控制和自动控制两种办法。图 1.1 为人工控制的恒温箱简图。人工控制的任务是克服外界干扰(如电源电压波动、环境温度变化等),保持箱内温度恒定,以满足物体对温度的要求。操作者可以移动调压器触头改变通过加热电阻丝的电流,以达到控制温度的目的。箱内温度由温度计测量。人工调节过程可归结如下:

(1) 观察由测量元件(温度计)测出的恒温箱内的温度(被控制量)。

(2) 与要求的温度值(给定值)进行比较,得出偏差的大小和方向。

(3) 根据偏差的大小和方向再进行控制。当恒温箱内温度高于所要求的给定温度值时,调整调压器将电流减小,使温度降到正常范围内。若温度低于给定的值,则调整调压器,将电流增加,使温度升到正常范围。

因此,人工控制的过程就是测量、求偏差、再控制以纠正偏差的过程,简单地说就是“检测偏差再纠正偏差”的过程。

这种人工控制要求操作者随时观察箱内温度的变化情况,随时进行调节。对于这样简单的控制形式,当然可以用一个控制器来代替人的职能,把人工控制变成一个自动控制系统。

图 1.2 是一个自动控制系统。其中,恒温箱的所需温度由电压信号 u_1 给定。当外界因素引起箱内温度变化时,作为测量元件的热电偶,把温度转换成对应的电压信号 u_2 ,并反馈回去与给定信号 u_1 相比较,所得结果即为温度的偏差信号 $\Delta u = u_1 - u_2$ 。经过电压、功率放大后,用以控制执行电动机的转速和方向,并通过传动装置移动调压器触头。当温度偏高时,触头向着减小电流的方向运动,反之加大电流,直到温度达到给定值为止。即只有在偏差信号 $\Delta u = 0$ 时,电动机才停转。这样就完成了所要求的控制任务。上述这些元件便组成了一个自动控制系统。

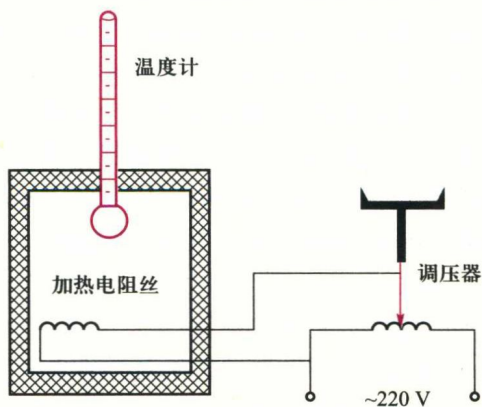


图 1.1 人工控制的恒温箱

分析上述恒温箱的两种工作过程可以看出,自动控制系统和人工控制系统非常相似。自动控制系统中,测量装置相当于人的眼睛,控制器类似于人脑,执行机构好比人手。它们的共同特点都是要检测偏差,并用检测到的偏差去纠正偏差。因此,可以说没有偏差就不会有控制调节过程。

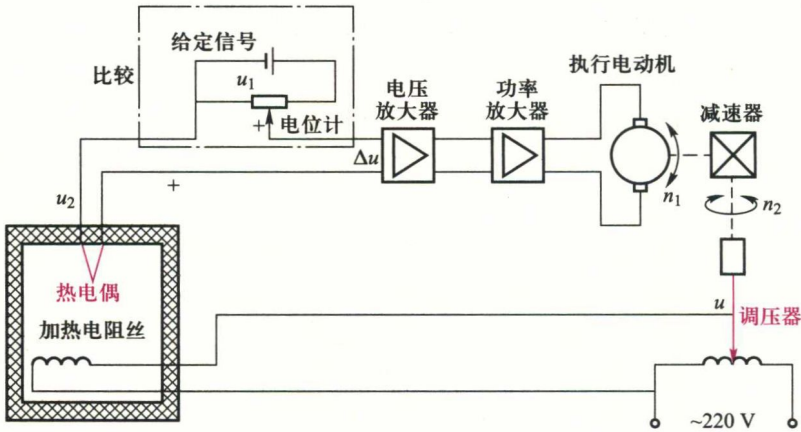


图 1.2 恒温箱的自动控制系统

在控制系统中,给定量又称为系统的输入量,被控制量又称为系统的输出量。输出量的返回过程称为反馈,它表示输出量通过测量装置将信号的全部或部分返回输入端,使之与输入量进行比较。比较产生的结果称为偏差。在人工控制中,这一偏差是通过人眼观测后,由人脑判断、决策得出的;而在自动控制中,偏差则是通过反馈,由控制器进行比较、计算产生的。

因此,可以归纳出上述控制系统的工作原理如下:

- (1) 检测输出量的实际值。
- (2) 将实际值与给定值(输入量)进行比较得出偏差值。
- (3) 用偏差值产生控制调节作用去消除偏差。

这种基于反馈原理,通过“检测偏差再纠正偏差”的系统称为反馈控制系统。可见,作为反馈控制系统至少应具备检测、比较(或计算)和执行三个基本功能。

控制系统的控制过程可以用系统框图清晰而形象地表示。图 1.3 所示为恒温箱温度自动控制系统的框图。⊗代表比较元件,箭头代表作用方向,每个方框代表一个环节,各环节的作用是单向的,其输出受输入控制。从图中可以清楚地看到反馈控制的基本原理。各种不同的控制系统实现自动控制的元件可以不尽相同,但反馈控制的原理却是相同的,可以说,反馈控制是实现自动控制最基本的方法。

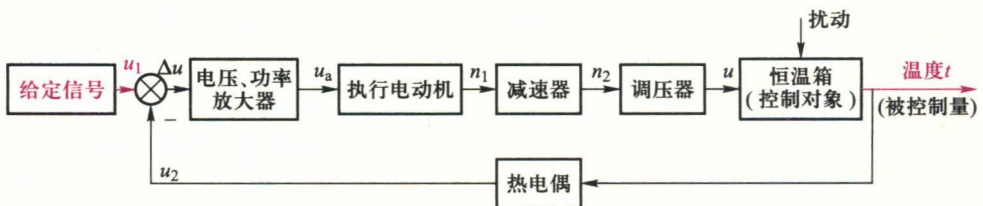


图 1.3 恒温箱温度自动控制系统框图

1.1.2 开环控制和闭环控制

实际的控制系统,根据有无反馈作用和如何反馈可以分为开环控制系统、闭环控制系统和半闭环控制系统三类。

1. 开环控制系统

如果系统只是根据输入量和干扰量进行控制,而输出端和输入端之间不存在反馈回路,输出量在整个控制过程中对系统的控制不产生任何影响,这样的系统称为开环控制系统。图 1.4 所示的数控机床进给系统,由于没有反馈通道,所以是一个开环控制系统。系统的输出量仅受输入量的控制。

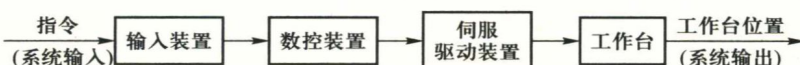


图 1.4 数控机床的开环控制系统

开环控制系统用一定输入量产生一定的输出量,如果由于某种干扰作用使输出量偏离原始值,它没有自动纠偏的能力。要进行补偿,必须再借助人工改变输入量。所以开环系统的控制精度较低。但是如果组成系统的元件特性和参数值比较稳定,而且外界的干扰也比较小,则这种控制系统也可以保证一定的精度。开环控制系统的最大优点是系统简单,一般都能稳定可靠地工作,因此对于要求不高的系统可以采用。

2. 闭环控制系统

如果系统的输出端和输入端之间存在反馈回路,输出量对控制过程产生直接影响,这种系统称为闭环控制系统。这里,闭环的作用就是应用反馈来减少偏差。因此,反馈控制系统必是闭环控制系统。例如,前述的恒温箱温度自动控制系统就是一个闭环控制系统。

闭环控制系统的突出优点是控制精度高,不管遇到什么干扰,只要被控制量的实际值偏离给定值,闭环控制就会产生控制作用来减小这一偏差。因此,高精度数控机床都采用闭环控制。

闭环控制系统也有它的缺点,这类系统是靠偏差进行控制的,因此,在整个控制过程中始终存在着偏差,由于元件的惯性(如负载的惯性),若参数配置不当,很容易引起振荡,使系统不稳定,而无法工作。所以,在闭环控制系统中精度和稳定性之间总存在着矛盾,必须合理地解决。

3. 半闭环控制系统

如果控制系统的反馈信号不是直接从系统的输出端引出,而是间接地取自中间的测量元件,例如在数控机床的进给伺服系统中,若将位置检测装置安装在传动丝杠的端部,间接测量工作台的实际位移,则这种系统称为半闭环控制系统。

半闭环控制系统可以获得比开环系统更高的控制精度,但比闭环系统要低;与闭环系统相比,它易于实现系统的稳定。目前大多数一般精度的数控机床都采用这种半闭环控制进给伺服系统,以降低制造成本。

1.1.3 闭环控制系统的组成

图 1.5 所示为一个较完整的闭环控制系统。由图可见,闭环控制系统一般应该包括给定元件、反馈元件、比较元件、放大元件、执行元件及校正元件等。

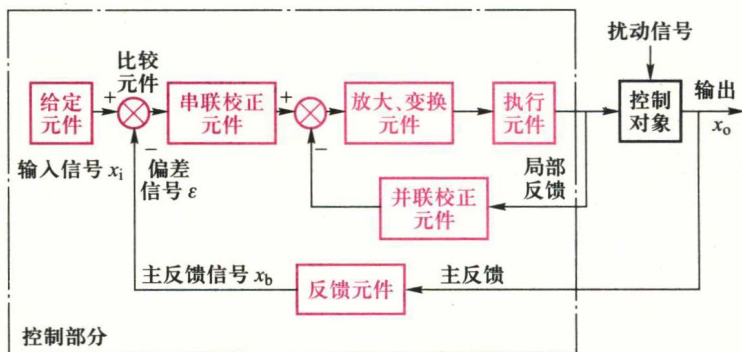


图 1.5 闭环控制系统的组成

1. 给定元件

主要用于产生给定信号或输入信号,例如图 1.2 中电位计里的可变电阻。

2. 反馈元件

它检测被控制量或输出量,产生主反馈信号。一般来说,为了便于传输,主反馈信号多为电信号。因此,反馈元件通常是一些用电量来测量非电量的元件。例如,用电位器或旋转变压器将机械转角变换为电压信号;用测速发电机将转速变换为电压信号;用热电偶将温度变换为电压信号和用光栅测量装置将直线位移变换为数字电信号等。

必须指出,在机械、液压、气动、机电、电机等系统中存在着内在反馈。这是一种没有专设反馈元件的信息反馈,是系统内部各参数相互作用而产生的反馈信息流,如作用力与反作用力之间形成的直接反馈。内在反馈回路由系统动力学特性确定,它所构成的闭环系统是一个动力学系统。例如,机床工作台低速爬行等自激振荡现象,都是由具有内在反馈的闭环系统产生的。

3. 比较元件

用来接收输入信号和反馈信号并进行比较,产生反映两者差值的偏差信号,例如图 1.2 中的电位计。

4. 放大元件

对偏差信号进行放大的元件,例如电压放大器、功率放大器等。有些放大元件还兼有能量形式变换的功能,如电液伺服阀、电气比例/伺服阀等。放大元件的输出一定要有足够的能量,才能驱动执行元件,实现控制功能。

5. 执行元件

直接对控制对象进行操纵的元件,例如伺服电动机、液压(气)马达、伺服液压(气)缸等。

6. 校正元件

为保证控制质量,使系统获得良好的动、静态性能而加入系统的元件。校正元件又称校正装置。串接在系统前向通路上的称为串联校正元件,并接在反馈回路上的称为并联校正元件。

尽管一个控制系统是由许多起着不同作用的元件所组成,但从总体来看,比较元件、放大元件、执行元件和反馈元件等共同起着控制作用,而剩余部分就是控制对象。因此,任何控制系统也可以说仅由控制部分和控制对象两部分组成。图 1.5 中点画线所包含的内容就是控制部分。扰动信号不是由元件产生的,而是由系统的外部环境或内部因素造成的,它集中地表现在控制量

与被控制量之间的偏差上。而闭环控制系统就是按偏差进行自动调节的,所以采用图 1.5 所示的这种表示方式是合适的。

1.2 控制系统的基本类型

控制系统的种类很多,在实际工程中,可以从不同的角度对控制系统进行分类。

1.2.1 按输入量的特征分类

1. 恒值控制系统

这种控制系统的输入量是一个恒定值,一经给定,在运行过程中就不再改变(但可定期校准或更改输入量)。恒值控制系统的任务是保证在任何扰动作用下系统的输出量为恒值。因此,它又称为自动调节系统。

工业生产中的温度、压力、流量、液面等参数的控制,有些原动机的速度控制,液压工作台的位置控制,电力系统的电网电压、频率控制等,均属此类。

2. 程序控制系统

这种系统的输入量不为常值,但其变化规律是预先知道和确定的。可以预先将输入量的变化规律编成程序,由该程序发出控制指令,在输入装置中再将控制指令转换为控制信号,经过系统的作用,使控制对象按指令的要求而运动。计算机绘图仪就是典型的程序控制系统。

工业生产中的过程控制系统按生产工艺的要求编制成特定的程序,由计算机来实现其控制。这就是近年来迅速发展起来的数字程序控制系统和计算机控制系统。微处理机控制将程序控制系统推向更普遍的应用领域。

图 1.6 表示一个用于机床切削加工的程序控制系统。

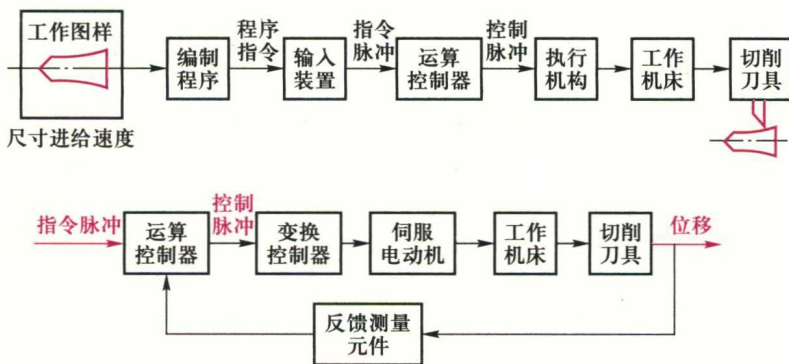


图 1.6 程序控制系统

3. 随动系统

随动系统在工业部门又称伺服系统。这种系统的输入量的变化规律是不能预先确定的。当输入量发生变化时,则要求输出量迅速而平稳地跟随着变化,且能排除各种干扰因素的影响,准确地复现控制信号的变化规律(此即伺服的含义)。控制指令可以由操作者根据需要随时发出,也可以由目标物或相应的测量装置发出。

机械加工中的仿形机床和武器装备中的火炮自动瞄准系统以及导弹目标自动跟踪系统等均属随动系统。

图 1.7 所示为液压仿形车床工作原理图。当与触销 8 相连的阀芯处于图示中间位置时,没有压力油进入液压缸前后两腔,液压缸不动。当阀芯偏离中位,例如向前伸出时,节流口 2、4 保持关闭,节流口 1、3 打开,压力油经节流口 3 进入液压缸前腔,而其后的油液经节流口 1 流回油箱 9,缸体带动刀具向前运动;同样,当阀芯偏离中位向后收缩时,节流口 1、3 关闭,2、4 打开,压力油经节流口 2 进入液压缸后腔,而缸前腔的油液则经节流口 4 流回油箱,缸体带动刀具向后运动。图中,液压缸缸体和控制阀阀体连成一体,形成液压缸运动的负反馈,使液压缸缸体与阀芯的运动距离和方向始终保持一致,所以液压缸缸体(刀具)完全跟随阀芯(触销 8)运动。因此,这是一个随动(伺服)系统。

另外,多自由度控制器、机器人等也都是随动系统。

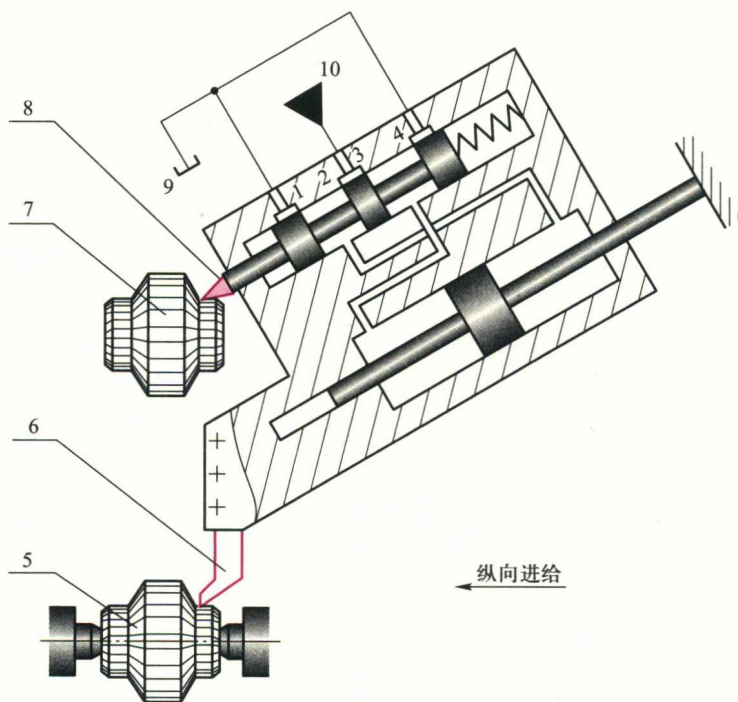


图 1.7 液压仿形车床工作原理图

1、2、3、4—节流口;5—工件;6—刀具;7—样件;8—触销;9—油箱;10—油源

1.2.2 按系统中传递信号的性质分类

1. 连续控制系统

系统中各部分传递的信号都是连续时间变量的系统称为连续控制系统。连续控制系统又有线性系统和非线性系统之分。用线性微分方程描述的系统称为线性系统,不能用线性微分方程描述、存在着非线性部件的系统称为非线性系统。