

自动控制基础

重 庆 大 学

任威烈 何文渊 程立雅 编

国防工业出版社



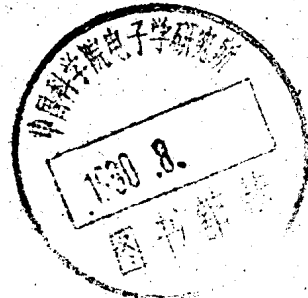
73. 822
216

自动控制基础

重 庆 大 学

任威烈 何文渊 程立雅 编

1108494



国防工业出版社

自动控制基础

重庆大学

任威烈 何文渊 程立雅 编

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

解放军七二二六厂印刷 内部发行

787×1092_{1/16} 印张 23 569 千字

1980年8月第一版 1980年8月第一次印 印数：1—5,000册

统一书号 N15034 (四教38) 定价：2.35 元

DS79/27
前言

本书系高等学校工科电子类计算机等专业统编（试用）教材之一。

根据教材编写大纲的要求，本课程讲授时数约需八十学时左右。

由于本书是计算机等专业学习自动控制原理课程的基本教材，所以一方面需要对自动控制原理主要内容均有所介绍，另一方面也要求对自控原理的几个重点问题进行较多的讨论。由此，本书是以经典控制理论为主，以基本概念、基本原理、基本的分析方法为主而选编的有关内容。

全书共分九章。第一、三、四、五、六、七章介绍经典控制理论内容，其中分别着重讨论：自动控制系统的组成原理；线性系统运动方程的建立和传递函数，系统方框图的变换、系统的模拟分析、稳定的基本概念、二种稳定判据、稳定贮备、系统主要的品质指标、稳态误差的计算、二阶系统的过渡过程，改善系统品质的方法；用计算机分析系统的稳定性和品质；非线性系统的基本概念和相平面分析；离散系统的基本概念， z 变换解差分方程，脉冲传递函数，用脉冲传递函数求离散系统的响应特性。第八、九两章为现代控制理论基础，着重介绍控制系统状态空间表达式的建立和解法，最佳控制系统的基本概念、可控性和可观性，用动态规划和最大值原理解最佳控制。根据专业要求，第二章专门介绍控制用电机。分别讨论了测速发电机、伺服电动机、自整角机、步进电动机等几种常用控制电机和元件的原理、特性及应用。

我们在编写时，将全书分为经典控制理论，现代控制理论基础和控制用电机这三个互相有所联系，内容又相对独立的部分。这样便于选用本书的院校根据各自具体情况灵活安排。

本书由华南工学院韩宇忠、余文然、黄敬文三同志主审。在今年六月初召开的审稿会上，西安交通大学，成都电讯工程学院、合肥工业大学、北京工业大学等到会代表对教材初稿提出了许多宝贵的意见。在本书的编写、抄稿、绘图过程中，还得到校、系教研室有关领导的关心、指导以及教研室许多同志的大力支持帮助。在此，编者一并表示衷心的感谢。

本书第四、五、六、八章由任威烈编写，第一、三、七、九章由何文渊编写，第二章由程立雅编写。最后由任威烈、何文渊共同完成全书的文字修改工作。由于编写者学识浅陋，编写时间又较仓促，因此，书中缺点错误在所难免，恳请读者不吝指正。

编者

一九七九年八月

目 录

第一章 自动控制系统的基本概念	(1)
1-1 自动控制系统原理	(1)
1-2 自动控制系统的分类	(8)
1-3 自动控制系统举例	(11)
习 题	(15)
第二章 自动控制常用电机	(16)
2-1 概述	(16)
2-2 直流测速发电机	(17)
2-3 直流电动机	(31)
2-4 直流伺服电动机	(41)
2-5 步进电动机	(48)
2-6 自整角机	(61)
2-7 旋转变压器	(70)
2-8 感应同步器	(79)
习 题	(84)
第三章 自动控制系统的运动方程和传递函数	(85)
3-1 电气元件的运动方程和传递函数	(85)
3-2 自动控制系统的运动方程和传递函数	(96)
3-3 控制系统方框图及其变换	(103)
3-4 控制元件及系统的模拟	(112)
习 题	(123)
第四章 自动控制系统的稳定性	(126)
4-1 稳定的基本概念	(126)
4-2 劳斯——赫维茨稳定判据	(129)
4-3 自动控制系统的频率特性	(132)
4-4 奈魁斯特稳定判据	(145)
4-5 稳定贮备	(154)
4-6 计算机分析控制系统的稳定性	(156)
习 题	(165)
第五章 自动控制系统的品质分析	(168)
5-1 品质的基本概念	(168)
5-2 控制系统的典型品质指标	(169)
5-3 稳态误差	(174)
5-4 二阶系统的过渡过程	(180)
5-5 利用开环对数频率特性分析系统品质	(187)
5-6 改善系统品质的方法	(192)
5-7 计算机分析系统的品质	(204)

习 题	(210)
第六章 非线性控制系统	(212)
6-1 概述	(212)
6-2 分段线性近似法	(217)
6-3 相平面的概念	(218)
6-4 非线性系统的相平面分析	(227)
6-5 非线性的模拟	(233)
习 题	(238)
第七章 离散系统	(239)
7-1 基本概念	(239)
7-2 Z -变换	(242)
7-3 Z -反变换	(248)
7-4 用 Z -变换解差分方程	(251)
7-5 脉冲传递函数	(255)
7-6 由系统的脉冲传递函数求离散系统的响应特性	(265)
7-7 离散系统在 Z 平面内的稳定性分析	(268)
习 题	(273)
第八章 控制系统的状态空间分析法	(275)
8-1 状态空间分析的基本概念	(275)
8-2 线性定常系统的状态空间表达式	(277)
8-3 线性定常系统状态方程的解法	(290)
8-4 离散-时间系统的状态空间表达式	(300)
8-5 离散-时间状态方程的解法	(305)
8-6 线性定常系统状态方程的离散化	(308)
8-7 状态空间分析法的应用	(312)
习 题	(317)
第九章 最佳控制系统原理	(319)
9-1 基本概念	(219)
9-2 系统的可控性	(323)
9-3 系统的可观测性	(331)
9-4 动态规划	(338)
9-5 最大值原理	(342)
9-6 最佳控制原理的应用	(344)
习 题	(350)
附 录	(352)
I 拉普拉斯变换	(352)
II 拉普拉斯变换 Z 变换对照表	(354)
III 矩阵	(356)
习题答案	(362)

第一章 自动控制系统的基本概念

在生产和科学的发展过程中，自动控制起着重要的作用。目前，自动控制广泛地应用于工农业生产、交通运输和国防建设。可以这样说，一个国家在自动控制方面的水平是衡量它的生产技术和科学水平先进与否的一项重要标志。因此，自动控制的发展是非常迅速的。

自动控制涉及的范围很广。除了在宇宙飞船、导弹制导、飞机驾驶系统等领域中，自动控制系统具有特别重要的作用之外，它在冶金、石油、电力、化工、机械以及一些对人体有危害的部门如原子能反应堆等领域，自动控制都占居十分重要的地位。随着自动控制理论和实践不断发展，给人们提供了获得动态系统最佳性能的方法，因而提高了产品质量，降低了生产成本，扩大了劳动生产率。所以，各个领域的工程技术人员和科学工作者，都必须具备一定的自动控制知识。

在本章中，我们重点介绍自动控制系统的工作原理和自动控制系统的分类，还对自动控制系统在一些生产领域中的应用实例，作原理性的介绍。

1-1 自动控制系统原理

一、一些物理量的控制过程

在生产过程中，为了维持正常的工作条件，常需要将设备中的某些参数，以一定的精度维持某一个数值，或使它们按一定的规律变化。下面介绍几个物理量的控制过程。

在一个气罐中进行的某一化学反应，必须将气罐中的压力维持在某一固定值上，才能使罐内的化学反应具备所需要的条件。要做到这一点，最简单的方法是在气罐上装一个压力计1，用来测量罐内压力的大小，在进气管上装一个调节阀2，如图1-1所示。若调节阀的位

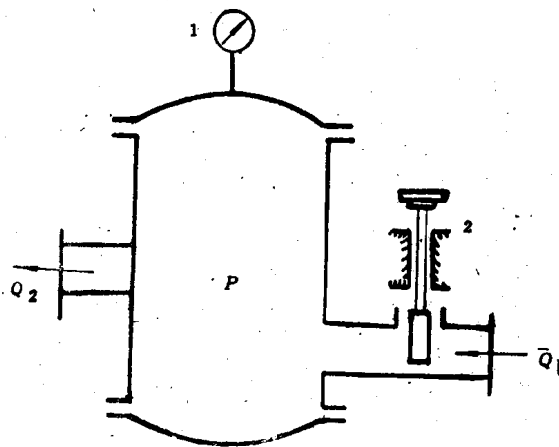


图 1-1 气罐压力控制

置不同, 则进气量 Q_1 不同, 因此气罐中压力值也不同。也就是说, 气罐中的压力值和调节阀的位置存在着依赖关系。如果我们希望气罐压力维持为某值, 只需将调节阀置于相应的位置即可。

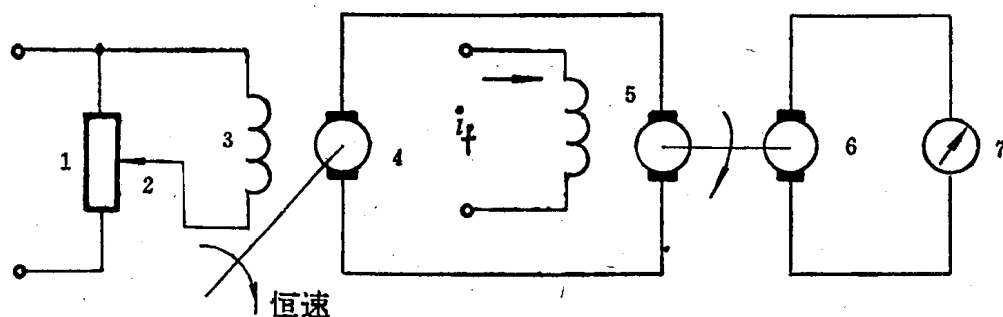


图 1-2 直流电动机转速控制

为了要控制直流电动机转速, 采用图 1-2 所示的电路。图中 1 是电位计, 2 是电位计的滑动端, 3 是发电机 4 的激磁绕组。移动电位计 1 的滑动端 2, 可以调节发电机 4 的激磁绕组 3 中的激磁电流, 发电机 4 的转子由原动机带动作恒速旋转。由于激磁电流的改变, 从而改变发电机所发出的电势, 这就使直流电动机 5 的电枢电压变化。由于直流电动机的激磁电流 i_f 保持不变, 直流电动机电枢电压的改变, 导致直流电动机转速变化, 直流电动机 5 和测速发电机 6 同轴联结, 测速发电机电枢输出电压和测速发电机转子转速成正比, 在测速发电机电枢输出端接有电压表 7 以显示测速发电机的输出电压。这样直流电动机 5 的转速就可以直接从电压表 7 上读出来。我们只要将电位计的滑动端 2 置于某一相应位置即可使电动机的转速为所需要的数值。

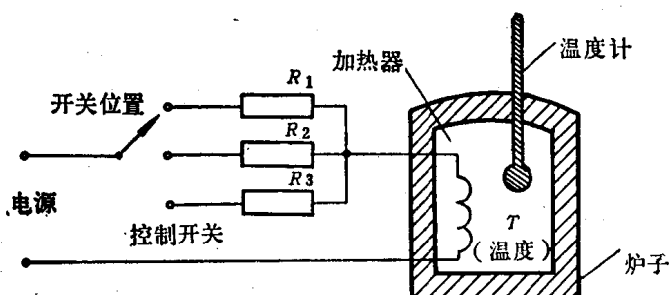


图 1-3 炉温控制

在生产过程中, 常需要控制加热炉的炉温, 如图 1-3 所示。由图中可以看出, 炉子通过电加热器加热而达到所要求的温度。加热器由电源供电。电源经过一个控制开关控制流过加热器中的电流。如果控制开关的位置确定了, 那么与此相应的炉子的温度也就确定, 控制开关的不同位置对应炉子的不同温度。如果我们希望炉子的温度为某一数值, 只要将控制开关置于某一特定位置就可以了。

应该看到, 用上述方法来对压力、转速、温度等物理量进行控制是很不理想的, 因为在任何具体物理系统中, 都存在着所谓“扰动”作用, 它破坏了压力、转速、温度等物理量的

实际值和希望值之间的对应关系，而且扰动的出现是无法预计的。例如，若气罐出口处气体流量 Q_2 发生变化，直流电动机负载力矩变化，被加热工件放入加热炉等都使压力、转速、温度等的希望值和实际值的对应关系遭到破坏。我们把气罐出口处气体流量 Q_2 的变化，电动机负载力矩的变化，被加热工件放入炉内等就称为扰动作用。因此，系统中存在扰动，就会使压力、转速、温度等的希望值和实际值之间产生误差，甚至完全破坏它们之间的依赖关系，这是我们所不希望的。因此这一类控制系统的最大不足之处就是在扰动的影响下，无法纠正由扰动作用而产生的误差。

二、人工控制系统

解决上述问题的一种办法是用人工来对压力、转速、温度等物理量进行控制。例如，操作工可以用眼注视着气压表，如果气压表所指示的气罐压力值由于扰动作用而偏离了希望值，于是操作工根据气罐压力偏离希望值的大小和方向操纵进气阀，使压力重新维持在希望值上。这个过程表明，操作工首先将气罐内压力的实际值和所希望的压力值进行比较，决定压力的实际值比希望值是大了呢还是小了，大多少或小多少，根据这种比较的结果，决定操纵进气阀的方向和位置，最后达到罐内压力值和希望值相符合的目的。可见人工控制过程的实质就是“检测偏差，纠正偏差”的过程。对于电动机转速的控制以及炉温的控制，我们可用类似的方法进行，以保证转速和温度为希望值。

由此可以看出，在没有人参与的情况下，无法克服扰动的影响，被控制的物理量偏离了希望值就不可能回到希望值。而在有人参与的情况下，由于人的作用，对被控制的物理量的实际值和希望值进行了比较，从而发现偏差，纠正偏差。可见，因为人的直接参与，控制过程在原理上发生了很大的变化。通常将有人直接参与对一些物理量进行控制的系统称为人工控制系统。

三、自动控制系统

虽然人工控制系统有时能够克服扰动的影响，但是人工控制系统有许多缺点，甚至有时也是不可能实现的。首先，人工控制系统的控制精度仍然不高，或者说控制精度完全取决于操作者的经验，其次，由于有些控制过程动作极快，人的反应不能适应，第三，有些场合如高温，放射性等对人体有危害，宇航等领域人无法直接参与控制。因此，为了进一步改善控制系统的性能，必须应用机械的、电气的、液压的等自动化装置来代替人对一些物理量自动地进行控制，这样人工控制系统就发展成为自动控制系统。

图 1-4 所示为一个简单的压力自动控制系统。气罐压力变化通过导管 5 反映到膜片 3 上。膜片上压力变化产生一个作用力和弹簧 4 的反作用力相比较。当气罐中压力增大，膜片向下的作用力大于原始位置上弹簧的反作用力，使阀门关小，减小进气量 Q_1 ，于是罐内压力不再增大。反之，就使阀门开大，增加进气量 Q_1 ，从而使罐内压力不再下降，维持恒定。

从图 1-4 可见，要自动控制生产过程中某一参数，首先要用测量仪表把该参数测量出来。然后将所测信号实际值送到比较元件中去和予定的希望值相比较。若二者之间有误差，则将此误差信号经过某些变换和放大，使它具有一定的动作规律和一定的功率，再送入执行机构产生相应的控制作用去消除偏差，使该物理量满足生产的要求。

为了说明自动控制系统的作用原理，常常用若干方框来表示系统中的每一个元部件。方框的输入信号表示输入该元部件的各种物理量或化学量，方框的输出信号表示该元部件受到输入作用后所引起的反应。于是图1-4的系统可用图1-5的方框图来表示。我们把这种表示系统结构的方框图称为系统结构方框图。

图1-5中，气罐的压力是我们要控制的物理量，我们把气罐称为调节对象，而气罐压力 P 称为被调量，它是系统的输出量。而气罐的出气量 Q_2 的变化就是该系统的扰动作用，它能使压力 P 偏离希望值，而进气量 Q_1 的变化就用来补偿系统的扰动作用。图1-5中符号。⊗表示比较元件。在这种元件上往

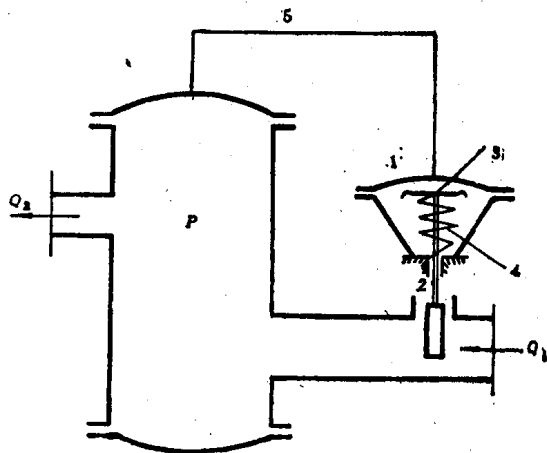


图1-4 压力自动控制系统

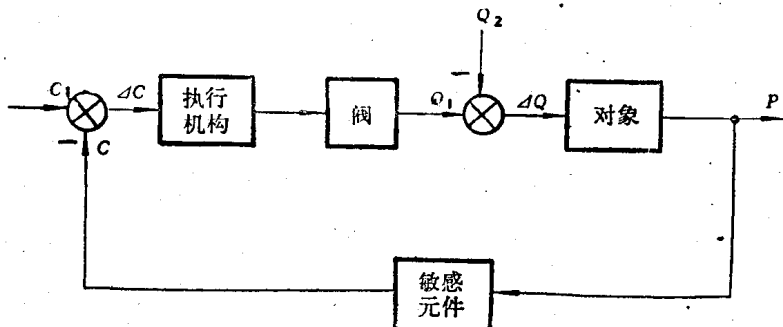


图1-5 气罐压力控制系统结构方框图

往有好几个输入量和一个输出量，输出量等于各输入量之和或差，由输入信号线路上的正负号表明。压力 P 输入敏感元件的膜片，使膜片产生一个向下的作用力 C ，这个力和弹簧上给定的力 C_1 相比较后的差值 $\Delta C = C - C_1$ 去推动执行机构，执行机构受力作用就使阀门开大或关小，以此调节进气量 Q_1 。弹簧上给定的力反映了气罐中压力 P 的希望值，它是系统的输入量，我们称为给定输入或给定值。

从这里我们可以看到，被控制参数和给定值相减，产生误差信号，误差信号经过变换和放大，再去消除这种误差，我们把这种反馈方式称为负反馈。在系统的被调量和输入端之间存在着反馈回路的系统称为闭环控制系统，而被调量并未以任何形式反馈到输入端的则称为开环控制系统。于是我们可以说，自动控制系统就是应用负反馈原理构成的闭环控制系统。

图1-6为直流电动机转速自动控制系统。图中，直流电动机5的转速由测速发电机6测量，电压表7显示。与电动机转速对应的测速发电机电压 u_n 经反馈线回送到系统的输入端和给定电压 u_0 相比较，其差值 e 经放大器3、直流发电机4放大后为 u_a ，这个电压施加在电动机两端使电动机按预定的转速旋转。当转速偏离给定值时， u_n 与 u_0 之差将为 $e \pm \Delta e$ ，这变化后的误差电压经放大器、发电机放大后的 u_a 就相应升高或降低，从而用电动机转速恢

复到给定的数值。

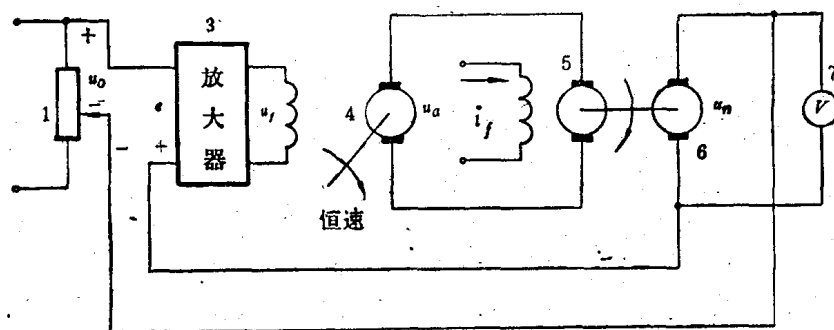


图 1-6 直流电动机转速自动控制系统

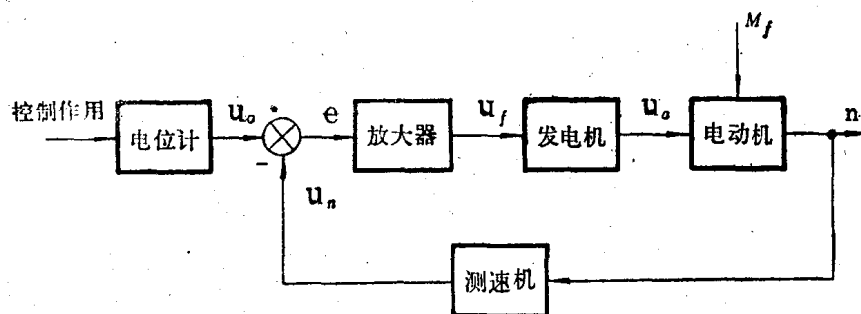


图 1-7 图 1-6 系统的结构方框图

这个系统的结构方框图如图 1-7 所示。图中各个方框与图 1-6 所示系统的各个元部件相对应。电动机转速为系统的被调量，包含此被调量的电动机则是被控制对象，测量电动机转速的测速发电机为敏感元件，电位计为系统的给定元件， u_n 和 u_0 相比较的部分为比较元件，放大器为放大元件，发电机则为执行元件。电动机转速除了受给定电压 u_0 控制以外，还受到负载力矩 M_f 的影响，它是该系统主要的扰动作用。如果 M_f 变化，将引起电动机转速变化，这种变化对系统是不利的，它会破坏给定电压 u_0 和转速 n 之间的函数关系。系统可以补偿这种扰动的影响，其调整过程与上面所述相同。

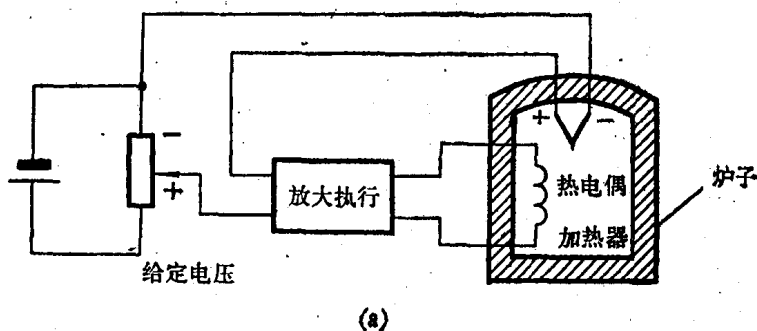
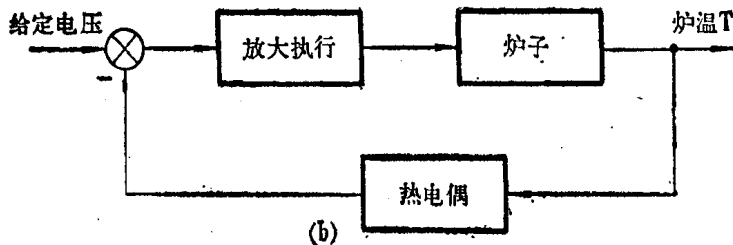


图 1-8 (a) 炉温自动控制系统原理图



(b) 方框图

对于炉温控制系统,如图 1-8 (a) 所示,我们可在炉子里安装一个热电偶,它将被测温度转变为与之相应的电压信号,如果我们将热电偶的温度电压信号和电位计上给定的电压相比较,假设温度偏离了规定值,热电偶电势就发生变化,热电偶电势和给定电压之差即为误差信号,误差信号经电子放大器放大,通过执行机构去改变流经加热器的电流,使炉温恢复到规定值,其结构方框图如图 1-8 (b) 所示。

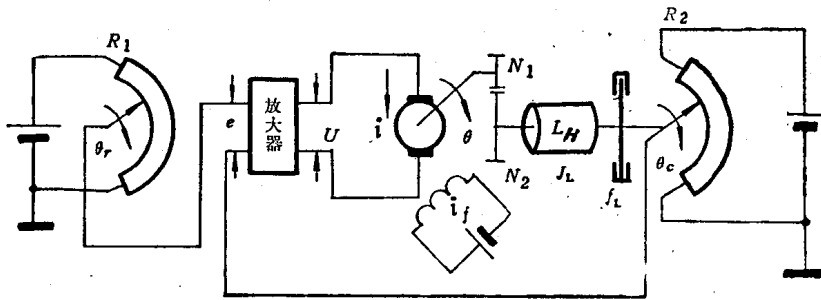


图 1-9 位置控制系统

对于位置控制系统,如图 1-9 所示。该系统由电位计 R_1 、 R_2 , 放大器, 直流电动机 D , 减速器, 负载 L_H , 电源等组成, 系统的作用是控制负载 L_H 的位置。输入角位置是系统的给定值, 系统可以通过给定不同的输入角位置 θ_r 来确定所需之负载 L_H 的角位置 θ_c 。当给定的角位置 θ_r 和负载 L_H 的实际角位置 θ_c 不相等时, 则从电位计 R_1 和 R_2 的滑动端取出的电压不相等。在线路上取这两电压之差加到放大器输入端, 这里, 电位计 R_1 和 R_2 起着测量元件和比较元件的作用。误差电压 e 被放大器 (放大元件) 加以放大到一定的功率, 放大后的电压 U_a 加在直流电动机 (执行元件) 的电枢上。设直流电动机的激磁电流 i_f 恒定。电动机电枢加上电压后, 电动机旋转, 经与电枢轴相联的减速器减速 (减速比 N_1/N_2), 再驱动负载 L_H 和电位计 R_2 的滑动端朝着减小误差的方向转动。这样, 负载 L_H (控制对象) 的位置就和给定位置逐渐相适应, 一旦给定位置 θ_r 和负载位置 θ_c 完全相等, 则误差电压信号 $e=0$, 因而 $U_a=0$, 电动机停止旋转。这时负载 L_H 的位置就是我们所希望的位置。负载位置可以通过改变给定值进行控制, 故称位置控制系统。

上述几例表明, 尽管控制系统不同, 复杂程度各异, 它总可以由下列一些元件所构成, 如图 1-10 所示。

(1) 测量元件 1 (或称敏感元件), 用来测量被调量的实际值。如膜片, 测速发电机, 热电偶等;

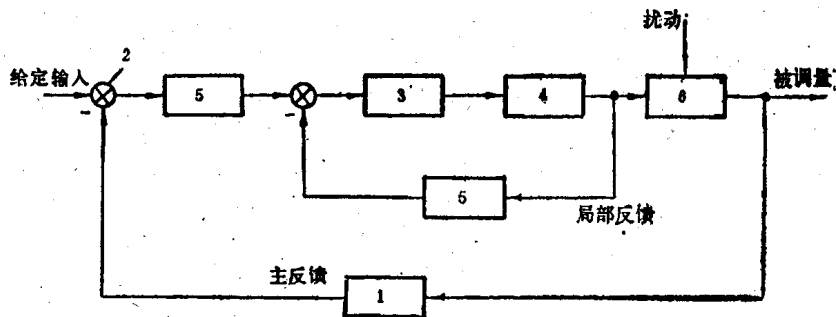


图 1-10 自动控制系统的基本元件

- (2) 比较元件 2，用来比较被调量的给定值和实际值，如弹簧—膜片，电位计等；
- (3) 放大元件 3，用来放大被调量的给定值和实际值之间的偏差，使误差信号具有一定功率，如直流发电机，电子放大器等；
- (4) 执行元件 4，根据误差信号产生调整作用，对被调量进行控制；
- (5) 校正元件 5，用来改善系统的性能；
- (6) 控制对象 6，如气罐，直流电动机，加热炉等。

通常，我们把自动控制系统中的比较元件，放大元件，执行元件，校正元件等合称调节器。这样，一个自动控制系统可以看成由调节器和控制对象所组成。

附带指出一点，对于一个具体控制系统来说，并不一定都具备上面所说的一些元件，例如气罐压力控制系统中就没有放大元件。另外，一个具体的物理元件有时也可以起到上述几个元件的作用，它们之间并无简单的对应关系。

最后还应该指出自动控制系统的一个特点，这就是它作用的单向性。在系统的结构方框图中，每个方框的输出是输入作用所引起的反应，而输出不能反过来直接影响输入，从整个系统来看，信号只能沿箭头方向传递，而不能反向传递。这种信号单向传递的特性我们称为自动控制系统作用的单向性。

四、开环系统和闭环系统的比较

开环控制系统和闭环控制系统各有其特点，要解决不同的任务可以分别选用开环系统或闭环系统，有时需要将两者结合起来使用。

对于开环系统来说，通常它比较容易实现，一般都能稳定工作（关于稳定的概念，将在第四章中介绍），但是开环系统对应于每一个给定值，便要求有一个相应的固定工作状态与之对应，开环系统不需要对被调量的实际值进行测量并送回输入端和被调量的希望值进行比较。这样，系统的精度便决定于“校准”的精度。通常，开环系统都必须精确地予以校准，并保证在系统工作过程中这种校准值不发生变化。因此一旦出现事先不能预计的扰动时，开环系统就不能完成既定的任务了。很明显，开环系统不是反馈系统。

闭环系统的优点是采用了反馈，其作用原理是对误差进行测量，不管误差是什么原因产生的都可利用测量的结果对被调量进行控制，以减少或消除误差，因此闭环系统能在很大范

围内保持它的精度。另一方面, 由于采用了反馈, 闭环系统也有可能不稳定, 造成系统输出量作等幅振荡或增幅振荡, 这样闭环控制系统就不能完成既定任务, 这是我们不希望的, 所以闭环控制系统的稳定性问题就成为一个很重要的问题。今后我们将专门研究这个问题。

对于同样一个被控制量而言, 一般说来开环控制系统结构简单, 易于维修, 成本低, 试制周期短, 控制精度可以作到较高。闭环控制系统则结构较复杂, 维修较困难, 成本较高, 试制周期较长, 系统性能可以作得更好。

在实际工程中常将开环控制和闭环控制适当结合在一起, 发挥各自的特点, 以获得较好的经济和技术效果。

1-2 自动控制系统的分类

自动控制系统有许多分类方法。根据系统元件特性是否线性, 参数是否随时间变化而分为线性系统和非线性系统, 时变系统和定常系统, 根据系统内信号传递方式的不同而分为连续系统和断续系统, 同样, 根据系统所使用的元件的不同而有机电控制系统, 液压控制系统, 气动控制系统和生物控制系统等, 根据被调量所遵循的运动规律自动控制系统又可分为恒值系统, 随动系统和程序系统等。此外, 根据被调量是否存在稳态误差还能分为有差系统 and 无差系统。

一、恒值系统

输出量以一定精度等于给定值, 而给定值一般不变或变化很缓慢, 扰动可随时变化的系统称为恒值系统。在生产过程中, 这类系统非常多。例如, 在冶金部门, 要保持退火炉温度为某一个恒定值, 在石油化工中, 为保证反应正常进行, 需保持一定的压力不变。我们在第一节中研究过的气罐压力控制系统和炉温控制系统就属于恒值系统。一般象温度、压力、流量、湿度、粘度等一类热工参量的控制多用到恒值系统。恒值系统基本要求就是在存在扰动的情况下, 使系统输出的被调量的运动大致如图 1-11 所示。图中扰动 $f(t)$ 称为阶跃扰动。这时被调量对希望值的偏离 $C_1(t)$ 或 $C_2(t)$ 如图所示。

二、随动系统

输出量能以一定精度跟随给定值变化的系统称为随动系统。这类系统的特点是系统的给定值变化规律完全取决于事先不能确定的系统以外所进行着的过程。这类系统在机械、造船、冶金、军工等部门得到广泛应用。图 1-9 所示的位置控制系统, 不论输入电位计的滑动端如何运动, 输出电位计总是作相应的跟随运动, 所以是一个位置随动系统。我们若给随动系统一个阶跃给定信号 $r(t)$, 则随动系统的输出量

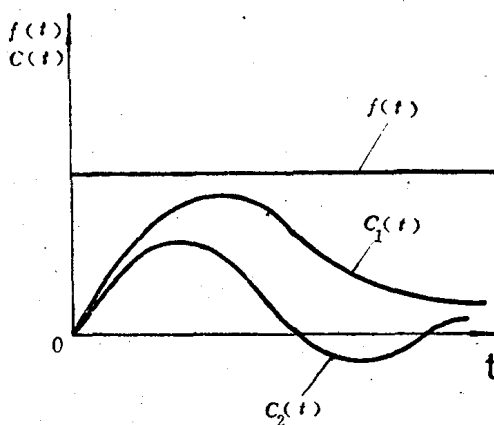


图 1-11 扰动对恒值系统的作用

$C_1(t)$ 或 $C_2(t)$ 的运动如图 1-12 所示。

三、程序控制系统

自动控制系统的被调量如果是根据预先制定的程序进行控制的，叫做程序控制系统。在对化工、石油、冶金、造纸等生产过程进行控制时，常用到程序控制系统。例如加热炉的温度控制，预先制定的炉温控制程序可以是：在一定时间间隔内炉温上升到某一给定温度，然后在另一段时间间隔内再下降到另一给定温度等。在这类程序控制系统中，给定值是按预先确定的规律变化的，而程序控制系统则一直保持被调量（如炉温）和给定值的变化相适应。

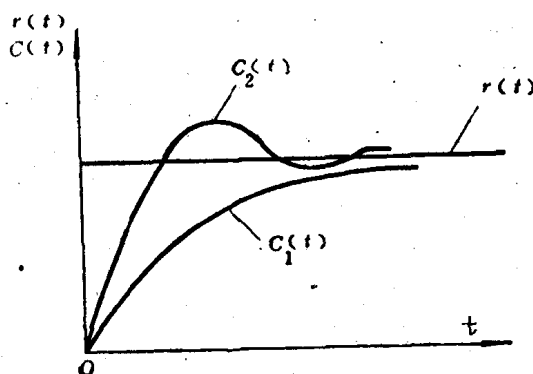


图 1-12 随动系统在阶跃给定下的运动

四、定常系统和时变系统

控制系统的参数如果在工作过程中一直恒定不随时间而变化，那么，这类系统称为定常系统。严格地说大多数系统的参数在不同程度上都随时间而变化，不过这种变化对系统影响很小，可以忽略，所以仍然属于定常系统。如果系统工作期间其参数随时间的变化显得很重要，不能忽略它对系统工作的影响，则这种系统称为时变系统。不包括非线性的时变系统称为线性时变系统，但其分析要比线性定常系统复杂得多。在本书以后的章节中将主要研究线性定常系统。

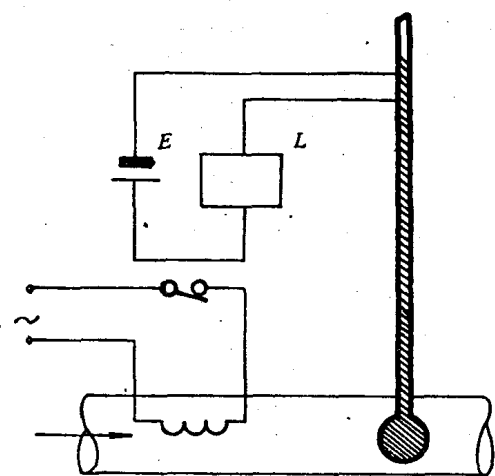


图 1-13 继电式温度控制系统

五、连续系统和断续系统

第一节介绍过的各种自动控制系统的变量都是连续变化的，称为连续控制系统。反之，如果系统中有一个以上的断续变量，这种系统叫做断续控制系统。例如图 1-13 所示的继电式温度控制系统。介质在导管中被加热，当介质温度过高，水银温度计中水银柱升高，电路接通而使继电器线包 L 通电，继电器动作，其常闭接点断开，切断加热电流，使介质温度不再升高。反之，当介质温度降低，水银柱下降，切断继电器线包供电电路，继电器释放，加热电路接通，继续向介质供热，使其温度回升。

可见，这种控制系统的作用是在被调节参数超出或低于某一给定值时，不停地开关能量供给装置，使被调节参数在给定值上下允许范围内波动。

还有一类断续控制系统称为采样控制系统或离散系统。这种系统的特点是被调节量是用一系列脉冲去控制的。如图 1-14 所示的炉温控制系统即是一例。图中加热器电流由继电器常闭接点控制，炉温测量由水银温度计来完成。水银温度计接点由偏心轮带动作上下往复运动，当偏心轮驱动马达恒速转动时，由于温度不同（水银温度计高度不同），水银温度计接通的时间不同，因而继电器线包通电时间不同，常闭接点断开时间不同。炉温越高，继电器常闭接点断开时间越长，加热器切断电流时间越长，因此通过加热器的电流是一系列的脉冲电流。目前离散系统则主要出现在计算机控制系统中。

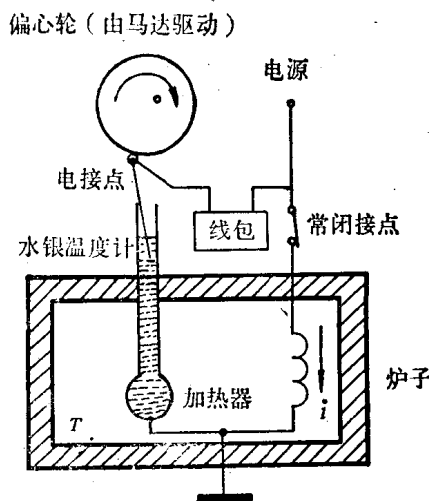


图 1-14 炉温采样控制系统

六、有差、无差系统

按系统在给定输入量或扰动输入量的作用下是否存在稳态误差而分为有差系统和无差系统。我们知道，恒值系统的主要任务是当存在扰动时保证输出量维持在希望值上。也就是说，要在存在扰动的情况下保持输出量不变。如果某个系统的扰动作用经过一段时间而趋于某一恒定的稳态值而被调量的实际值和希望值之差也逐渐趋于某一恒值，这个值取决于扰动作用的大小，那么这个系统称为对扰动有差的系统。如果一个系统的扰动作用经过一段时间而趋于某一恒定的稳态值，而被调量的实际值和希望值之差逐渐趋于另且与扰动作用的大小无关，那么这个系统就称为对扰动无差的系统。

在随动系统中，我们主要关心的是确定系统对给定输入有差还是无差。如果给定输入经过一段时间之后趋于某一稳态值，系统的误差也将趋于某一视给定的稳态值而定的常量，则此系统称为对给定输入有差的系统。反之，如果不论给定输入量的大小而误差恒趋于零，则这一系统称为对给定输入无差的系统。

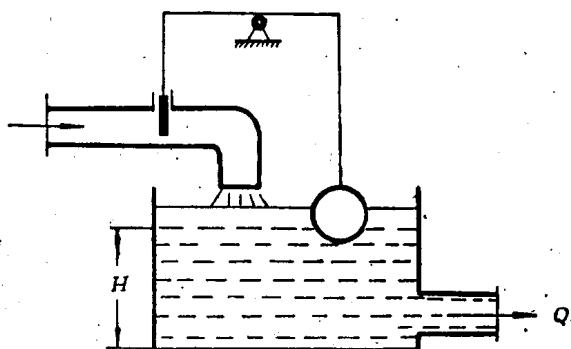


图 1-15 有差系统

图 1-15 是一个简单的液面自动控制系统，其中液面高度 H 为被调量，液体流出量 Q 为扰动作用。设在一定的流量 Q 下，水位是 H ，这时进水阀门有一定的开启程度，此时流入量和流出量相等。如果流出量 Q 增加，液面就降低，浮筒位置下降，通过杠杆作用而使阀

门动作，使进水阀门开口加大而增加流入量，以使液面回升。当流入量再次等于流出量时，就重新达到平衡。流出量愈大，阀门就必须开得愈大，因而稳态液面也就愈低。这种系统在不同的扰动作用下，被调量的值相应的也不同，所以这是一个有差系统。

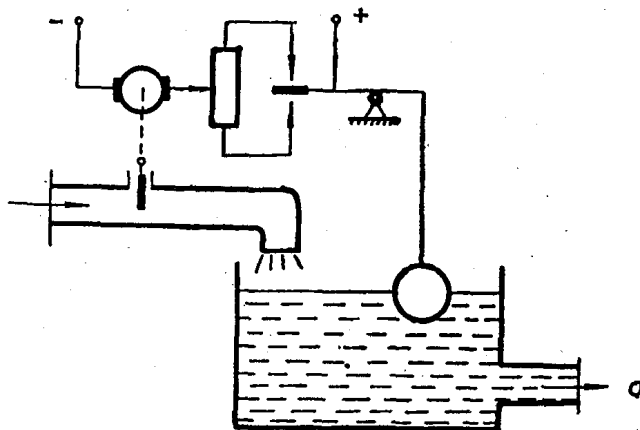


图 1-16 无差调节系统

另一液面系统，如图 1-16 所示。和图 1-15 不同的是，当流出量 Q 增加时，浮筒下降，通过杠杆使上接点闭合，这时电动机开始转动，升高阀门使流入量增加，促使液面回升。反之，当流出量 Q 减小时，浮筒上升，从而使下接点闭合，这时电动机反转，降低阀门使流入量减少，促使液面下降。只有当液面高度等于给定值时，接点不闭合，电动机不转。所以不论流出量 Q 的大小如何，被调量液面高度 H 的稳态值只可能发生在 H 的给定值上，即相应于图中接点的中性位置，这是一个无差系统。

应该强调指出，同一系统可能对扰动输入是有差的而对给定输入是无差的，或者相反。因此在研究一个自动控制系统是有差的还是无差的，必须指出是对扰动而言还是对给定输入而言。

1-3 自动控制系统举例

在这一节中我们将介绍几个闭环控制系统的具体例子。

一、瓦特蒸汽机调速系统

图 1-17 表示出瓦特蒸汽机调速器的基本原理。进入蒸汽缸中的蒸汽量，可根据蒸汽机的希望转速与实际转速的差值自动地进行调整。它的工作原理是：根据希望的转速，设置输入量（给定值）。如果实际转速降低到希望的转速值以下，则调速器的离心力下降，从而使控制阀上升，进入蒸汽机的蒸汽量增加，于是蒸汽机转速随之增大，直至上升到希望的转速值时为止。反之，若蒸汽机的转速增大到超过希望的转速值，调速器的离心力便会增大，造成控制阀向下移动。这样就减少了进入蒸汽机的蒸汽量，蒸汽机的转速也就随之下降，直到下降至希望的转速时为止。

1108494