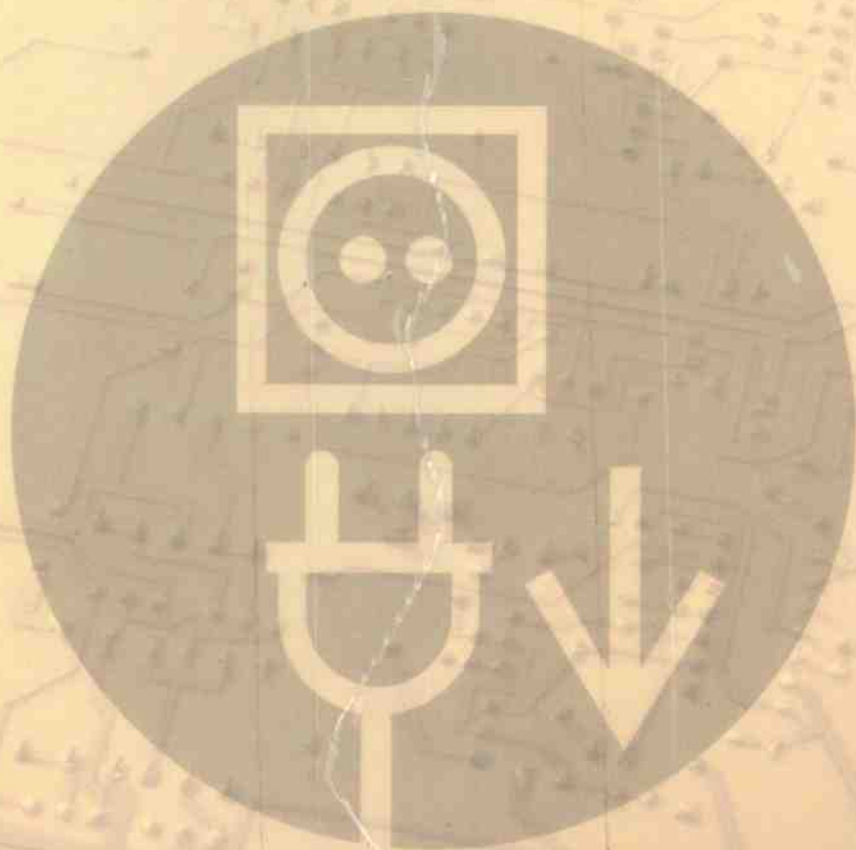


全国高等职业院校电工类专业教材

QUANGUO GAODENG ZHIYE JISHU YUANXIAO DIANGONGLEI ZHUANYE JIAOCAI

自动控制技术

ZIDONG KONGZHI JISHU



中国劳动社会保障出版社

全国高等职业技术院校电工类专业教材

自动控制技术

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

自动控制技术/肖建章主编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2004

全国高等职业技术学院电工类专业教材

ISBN 7 - 5045 - 4260 - 1

I. 自… II. 肖… III. 自动控制 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 009778 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街1号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

*

北京兴达印刷有限公司印刷装订 新华书店经销
787 毫米×1092 毫米 16 开本 5.5 印张 134 千字

2004 年 4 月第 1 版 2004 年 4 月第 1 次印刷

印数: 3200 册

定价: 10.00 元

读者服务部电话: 010 - 64929211

发行部电话: 010 - 64911190

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010 - 64911344

前言

为贯彻落实《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》，推进高等职业技术教育更好地适应经济结构调整、科技进步和劳动力市场的需要，推动高等职业技术学院实施职业资格证书制度，加快高技能人才的培养，劳动和社会保障部教材办公室在充分调研和论证的基础上，组织编写了高等职业技术学院系列教材。从2004年起，陆续推出数控类、电工类、模具设计与制造、电子商务、电子类、烹饪类专业教材，并将根据需要不断开发新的教材，逐步建立起覆盖高等职业技术学院主要专业的教材体系。

在高等职业技术学院系列教材的编写过程中，我们始终坚持了以下几个原则：一是坚持高技能人才的培养方向，从职业（岗位）分析入手，强调教材的实用性；二是紧密结合高职院校、技师学院、高级技校的教学实际情况，同时，坚持以国家职业资格标准为依据，力求使教材内容覆盖职业技能鉴定的各项要求；三是突出教材的时代感，力求较多地引进新知识、新技术、新工艺、新方法等方面的内容，较全面地反映行业的技术发展趋势；四是打破传统的教材编写模式，树立以学生为主体的教学理念，力求教材编写有所创新，使教材易教易学，为师生所乐用。

电工类专业教材主要包括《电工基础》《电子技术》《工程制图》《电气测量》《电气管理知识》《数控技术》《单片机原理与接口技术》《可编程控制技术》《工厂电气控制技术》《自动控制技术》《工厂变配电技术》《电机原理与维修》《变频技术》《高级维修电工基本技能训练》《高级维修电工专业技能训练》《高级维修电工综合技能训练》《高级电工技能训练》《电气设备安装技术》《高电压技术（2005年出版）》等，可供高职院校、技师学院、高级技校电气维修、企业供电等专业使用。教材的编写参照了《维修电工》以及其他相关的国家职业标准，有些教材还配套出版了习题册。

在上述教材编写过程中，我们得到有关省市劳动和社会保障部门、教育部门，以及高等职业院校、技师学院、高级技校的大力支持，在此表示衷心的感谢。同时，我们恳切希望广大读者对教材提出宝贵的意见和建议，以便修订时加以完善。

劳动和社会保障部教材办公室

2004年2月

简介

本书为全国高等职业技术学院电气维修专业教材，供各类高职院校、技师学院、高级技校相关专业使用。主要内容有：自动控制技术的基本概念、原理、组成和分类，恒值、随动、程序控制类的自动控制系统应用实例分析，直流调速系统的调速原理、系统特征以及系统分析，直流可逆调速系统的原理及其系统分析，异步电动机调速系统及变频调速方法。

本书也可用于高级技术人才培养。

本书由肖建章主编，李永忠参加编写；李敬梅审稿。

目录

绪论	(1)
第一章 自动控制的基本概念	(2)
§ 1—1 人工控制与自动控制	(2)
§ 1—2 开环控制	(4)
§ 1—3 闭环控制	(5)
§ 1—4 自动控制系统的组成	(7)
§ 1—5 自动控制系统的分类	(8)
习题	(9)
第二章 自动控制系统的实例	(10)
§ 2—1 恒值系统的应用实例	(10)
§ 2—2 随动系统的应用实例	(11)
§ 2—3 程序控制系统的应用实例	(14)
习题	(17)
第三章 直流调速系统	(18)
§ 3—1 直流电动机的调速原理	(18)
§ 3—2 直流调速系统的可控直流电源	(20)
§ 3—3 晶闸管—直流电动机调速系统的特征	(24)
§ 3—4 反馈控制闭环调速系统的稳态分析	(27)
§ 3—5 电压反馈电流补偿控制的调速系统分析	(34)
习题	(38)
第四章 直流可逆调速系统	(39)
§ 4—1 电枢反接可逆线路	(39)
§ 4—2 励磁反接可逆线路	(43)
§ 4—3 电枢可逆逻辑无环流调速系统的分析	(44)
习题	(53)
第五章 异步电动机的调速系统	(54)
§ 5—1 变频调速的基础知识	(54)

§5—2 变频器的分类及工作原理.....	(56)
§5—3 转速开环变频调速系统.....	(63)
§5—4 异步电动机转差频率控制系统.....	(73)
§5—5 异步电动机矢量控制变频调速系统.....	(77)
习题.....	(80)

古代人类在长期的生产和生活中，为了减轻自己的劳动，逐渐学习利用自然界的动力（如风力、水力等）代替人力、畜力，以及用自动装置代替人的部分繁重的脑力活动和对自然界动力的控制。公元前 14 世纪至公元前 11 世纪，中国和巴比伦出现了自动计时装置——刻漏，为人类研制和使用自动装置之始。公元 1788 年英国机械师瓦特发明离心式调速器，并把它与蒸汽机的阀门连接起来，构成蒸汽机转速的闭环自动调速系统。这项发明对第一次工业革命和控制理论的发展有着重要的影响。

近几十年来，自动控制技术正在迅猛发展，并在工农业生产、交通运输、国防建设和航空、航天事业等领域中获得广泛的应用。随着生产和科学技术的发展，自动控制技术至今已渗透到各个学科领域，成为促进当代生产发展和科学进步的重要因素。

所谓自动控制，是指在没有人直接参与的情况下，利用自动控制装置（简称控制器）使整个生产或工作机械（称为被控对象）自动地按预先规定的规律运行，或使它的某些物理量（称为被控量）按预定的要求变化。

事实上，任何技术设备、工作机械或生产过程都必须按某种要求运行。例如，要想发电机正常供电，其输出的电压和频率就必须基本保持恒定，尽量不受用电负荷变化的影响；要使电动机转速恒定，就得根据电压和负载转矩的变化及时控制电动机，使其转速尽量不受干扰；要使烘烤炉提供优质产品，就必须严格地控制炉温，使温度保持恒定或按某种规律变化；要使火炮能自动跟踪并命中飞行目标，炮身就必须按照指挥仪的命令而做相应的方位角和俯仰角的变动；要把数吨重的人造卫星送入数百公里高空轨道，使其所携带的各种仪器能长期、准确地工作，就必须保持卫星的正确姿态，使它的太阳能电池一直朝向太阳，无线电发射天线一直指向地球。所有的这一切都是以高水平的自动控制技术为前提的。

随着科学技术的发展，自动控制技术和理论已经广泛地应用于机械、冶金、石油、化工、电子、电力、航海、航空、航天、核反应堆等各个学科领域。近年来，控制技术的应用范围还扩展到生物、医学、环境、经济管理和其他许多社会生活领域，并为各学科之间的相互渗透起了促进作用。可以毫不夸张地说，自动控制技术的应用，不仅使生产过程实现自动化，提高了劳动生产率和产品质量、降低生产成本、提高经济效益、改善劳动条件，而且在人类征服大自然、探索新能源、发展空间技术和创造人类文明等方面都具有十分重要的意义。作为现代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理论知识。

第一章

自动控制的基本概念

§ 1—1 人工控制与自动控制

在工业生产过程或生产设备运行中，为了维持正常的工作条件，往往需要对某些物理量（如温度、压力、流量、液位、电压、位移、转速等）进行控制，使其尽量维持在某个数值附近或使其按一定规律变化。要满足这种需要，就得对生产机械或设备进行及时的操作和控制，以抵消外界的扰动和影响。这种操作和控制，既可用人工操作来完成，又可用自动装置的操作来实现，前者称为人工控制或手动控制，后者称为自动控制。

一、人工控制

图 1—1 所示为一个人工控制水位保持恒定的供水系统。其中水池中的水不断地经出水管流出，以供用户使用。随着用水量的增多水池中的水位必然下降。这时若要保持水位高度不变，就得开大进水阀门，增加进水量以作补充。在本例中，进水阀门的开启程度（简称开度）并非是一成不变的，而是根据实际水位的多少（它反映出用水量大小）进行操纵的。

上述过程可用人工操作加以实现，正确的操作步骤是：

- (1) 将水位的要求值（期望水位值）牢记在操作者的大脑中。
- (2) 通过眼睛和测量工具测量出水池的实际水位。
- (3) 将期望水位与实际水位进行比较、计算，从而得出误差值。
- (4) 按照误差的大小和正负性质由大脑指挥手去正确地调节进水阀门。所谓正确调节，是要按减小误差的方向来调节进水阀门的开度。

由于图 1—1 中有人直接参与控制，故称为人工控制。在本例中水池中的水位是被控制的物理量，简称被控量。水池这个设备是控制的对象，简称对象。

人工控制的过程是测量、求误差、控制、再测量、再求误差、再控制这样一种不断循环的过程。其控制目的是要尽量减小误差，使被控量尽可能地保持在期望值附近。

二、自动控制

如果找到某种装置可以完全代替图 1—1 中人所完成的全部职能，人就可以不直接参与控制，这样的控制方案就称为自动控制。图 1—2 所示是水池水位自动控制系统的一种简单形式。

图中用浮子代替人的眼睛，作为测量水位高低之用；另用一套杠杆机构代替人的大脑和手，作为计算误差和执行控制操作之用。杠杆的一端由浮子通过连杆带动，另一端则连向进水阀门。当用水量增大时，水位开始下降，浮子也随之降低，通过杠杆的作用，使进水阀门往上提，开度增大，进水量增加，致使水位能回至期望值附近。反之，若用水量变小，水位

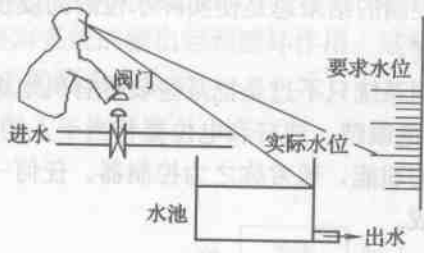


图 1-1 人工控制的水位系统

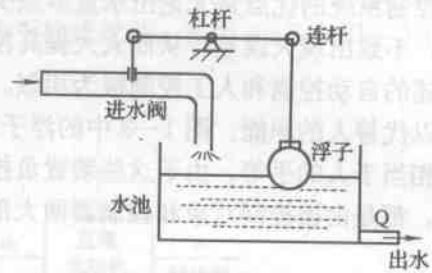


图 1-2 简单的水位自动控制系统

及浮子上升，进水阀关小，减少进水量，使水位自动下降至期望值附近。上述整个过程是在无人直接参与下进行的，故为自动控制过程。自动控制的工作步骤可归纳为：

- (1) 用连杆的长度标定好水位的期望值。
- (2) 当水位超过或低于期望值时，其水位误差被浮子检测出来，并通过杠杆作用于进水阀，从而产生控制作用。
- (3) 按减小误差的方向控制进水阀门的开度。

图 1-2 所示的系统虽然可实现自动控制，但由于结构简单而存在较大的缺点，主要表现在被控制的水位高度将随着出水量的变化而变化。出水量越多，水位就越低，偏离期望值就越远，即误差越大。也就是说，控制的结果，总存在着一定范围的误差值。产生这种现象的原因可解释如下：当出水量增加时，为了使水位基本保持恒定不变，就得开大进水阀门，使较多的水流进水池以作补充。要开大进水阀，唯一的途径是浮子要下降得更多，这就意味着控制的结果是水位要偏离期望值而降低了。于是整个系统将在较低的水位建立起新的平衡状态。

为克服上述的缺点，可在原系统中增加一些设备而组成较完善的自动控制系统，如图 1-3 所示。这里浮子仍是测量元件，连杆起着比较作用，它将期望水位与实际水位两者进行比较，得出误差，并以运动的形式推动电位器的滑块做上下移动。电位器输出电压的高低和极性充分反映出误差的性质（大小和方向）。电位器输出的微弱电压经放大器放大后，用以控制直流伺服电动机，其转轴经减速器降速后拖动进水阀门，作为施加于系统的控制作用。在正常情况下，实际水位等于期望值，此时，电位器的滑块居中， $u_e=0$ 。当出水量增大，浮子下降（如图 1-3 所示），它带动电位器滑块向上移动，输出电压（ $u_e>0$ ）经放大成 u_a 后控制电动机作正向旋转，以增大进水阀门的开度，促使水位回升。只有当实际水位恢复到期望值时，才能使 $u_e=0$ ，控制作用结束。

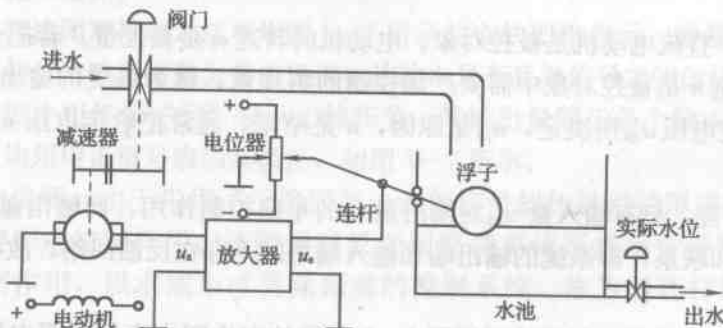


图 1-3 较完善的水位自动控制系统

本控制系统的优点是无论出水量多或少，自动控制的结果总是使实际水位的高度接近于期望值，不致出现大误差，从而大大提高控制的精度。

上述的自动控制和人工控制极为相似。自动控制系统只不过是把某些装置有机地组合在一起，以代替人的职能。图 1—3 中的浮子相当于人的眼睛，连杆和电位器相当于人的大脑，电动机相当于人的手等。由于这些装置负担着控制的职能，通常称之为控制器。任何一个控制系统，都是由被控制对象和控制器两大部分所组成。

§ 1—2 开环控制

控制系统可分为开环控制系统和闭环控制系统两大类。本书将以直流电动机的转速控制系统为例，分别介绍开环控制系统和闭环控制系统的构成及其运行特点。

图 1—4 所示的他励直流电动机转速控制系统就是一种开环控制系统。它的任务是控制电动机使其以恒定的转速带动负载工作。

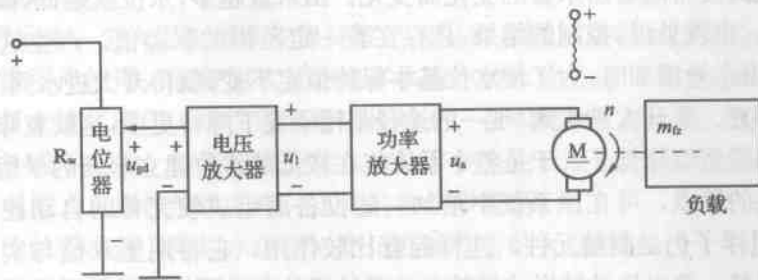


图 1—4 直流电动机转速开环控制系统

该系统的工作原理是：调节电位器 R_w 的滑臂，使其给出某个给定电压 u_{gd} 。该电压经电压放大和功率放大后成为 u_a ，再送往电动机的电枢，作为控制电动机转速之用。由于他励直流电动机的转速 n 与电枢电压 u_a 成正比（对同一负载而言），因此，当负载转矩 m_L 不变时，只要改变给定电压 u_{gd} ，便可得到不同的电动机转速 n 。换言之， u_{gd} 与 n 具有一一对应的函数关系。

在本系统中，直流电动机是被控对象，电动机的转速 n 是被控量。若把全系统作为整体来看，电动机转速 n 是被控对象中需要严加控制的物理量，称为系统的输出量或输出信号。 n 值的大小由给定电压 u_{gd} 所决定， u_{gd} 是原因， n 是结果，通常把给定电压 u_{gd} 称为系统的输入量或输入信号。

就图 1—4 而言，只有输入量 u_{gd} 对输出量 n 的单向控制作用，而输出量 n 对输入量 u_{gd} 却没有任何影响和联系，即系统的输出端和输入端之间不存在反馈回路，故称这种系统为开环控制系统。

开环直流电动机转速控制系统可用图 1—5 所示的方块图来表示。图中用方块代表系统中具有相应职能的元件；用箭头表示元件之间信号的传递方向。电动机负载转矩 m_L 的任何

变动，均会构成对输出量 n 的影响。换言之对恒速控制系统来说，作用于电动机轴上的阻力矩 m_L 将对系统的输出起到破坏作用，这种作用称为干扰或扰动，在图 1—5 中用一个作用在电动机上的箭头来表示。



图 1—5 开环直流电动机转速控制系统方块图

开环控制系统的精度，主要取决于 u_{gd} 的标定精度以及控制装置参数的稳定程度，系统没有抵抗外部干扰的能力，故控制精度较低。但由于系统的结构简单、造价较低，故在系统结构参数稳定、没有干扰作用或所受干扰较小的场合下，仍会大量使用。

§ 1—3 闭环控制

如前所述，开环控制系统的缺点是精度不高和适应性较差，造成这种缺点的主要原因是缺乏从系统输出端至输入端的反馈回路。要克服这些缺点，就必须引入反馈环节，测出输出量，并经物理量的转换后再反馈到输入端，使输出量对控制作用有直接影响。引入反馈回路的目的是要实现自动控制，提高控制质量。

在图 1—4 所示的直流电动机转速开环控制系统中，加入一台测速发电机，并对电路稍作改变，便构成图 1—6 所示的直流电动机转速闭环控制系统。

在图 1—6 中，测速发电机由电动机同轴带动，它用于测量电动机的实际转速 n （即系统的输出量），然后转换成电压 u_f ，再反送到系统的输入端，与给定值（即系统的输入量）进行比较，从而得出电压 $u_e = u_{gd} - u_f$ 。由于该电压能间接地反映出误差的性质（即大小和正负方向），通常称之为偏差信号，简称为偏差。偏差 u_e 经放大器放大成 u_a 后，作为电枢电压控制电动机转速 n 之用。

直流电动机转速闭环控制系统可用图 1—7 所示的方块图来表示。通常将从系统输入量至输出量之间的信号传输通道称为前向通道；从输出量至反馈信号之间的信号传输通道称为反馈通道。方块图中用符号“⊗”表示比较环节，其输出量等于各个输入量的代数和。因此，各个输入量均须用正负号表明其极性，如图 1—7 所示。

方块图清楚表明：由于采用了反馈回路，致使信号的传送路径形成闭合环路，使输出量反过来直接影响控制作用。这种通过反馈回路使系统形成闭合环路，并按偏差 u_e 的性质产生控制作用，以求减小或消除偏差的控制系统，称为闭环控制系统，或称为反馈控制系统。

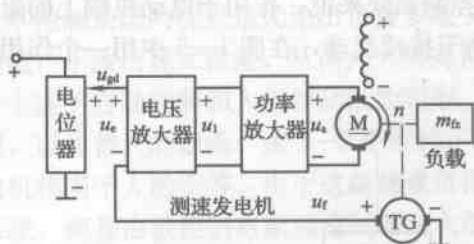
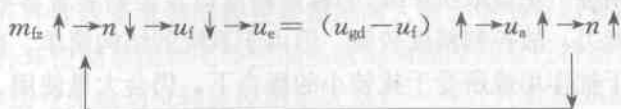


图 1—6 直流电动机转速闭环控制系统



图 1—7 直流电动机转速闭环控制系统方块图

闭环控制系统具有很强的纠偏能力，对干扰作用具有良好的适应性。就图 1—6 而论，设系统原已处在某个给定电压 u_{gd} 相对应的转速 n 状态下运行，若一旦受到某些干扰（如负载转矩突然增大）而引起转速下降时，系统就自动地产生以下的调整过程：



控制的结果就是电动机的转速降落得到自动补偿，使被控量 n 基本保持恒定。

由于闭环控制系统采用了负反馈回路，故系统对来自外部的干扰（如电源电压波动或变化）有自动补偿作用，而对来自内部的干扰（如元件本身的参数变动）的影响不甚敏感。这样就可以选用不太精密的元件去构成较为精密的控制系统。但是，闭环控制系统也有它的缺点：由于采用反馈装置，导致设备增多，线路复杂。此外，对于一些惯性较大的系统，若参数配合不当，控制过程可能变得很差，甚至出现发散或等幅振荡等不稳定的情况。

必须指出，对主反馈而言，只有按负反馈原理组成的闭环控制系统，才能实现自动控制的功能。若采用正反馈（ $u_e = u_{gd} + u_f$ ），不但无法纠正偏差，反而使偏差越来越大，最终导致系统无法工作。

由于闭环控制系统具有很强的自动纠偏能力，且控制精度较高，因而在工程中获得广泛的应用。通常所说的自动调节（控制）系统，就是指带有反馈装置的闭环控制系统。这种按偏差控制的闭环系统种类繁多，尽管它们所要完成的任务不同（如液位控制、转速控制、温度控制、压力控制等），具体结构千差万别，但是，从检出偏差到利用偏差进行控制，从而减小或消除偏差这个控制过程都是相同的。归纳起来，自动控制系统的特征有：

(1) 在结构上，系统必须具有反馈装置，并按负反馈的原则组成系统。采用反馈，就可不断检测被控制量，并将其变换成与输入量相同的物理量，再反馈到输入端，以便与输入量进行比较。采用负反馈的目的是要求得偏差信号。

(2) 由偏差产生控制作用。具体而言，系统必须按照偏差的性质（大小、方向）进行正确的控制，故系统中必须具有执行纠偏任务的执行机构。控制系统正是靠放大的偏差信号来推动执行机构，以便对被控对象进行控制的。于是，无论什么原因引起被控量偏离期望值而出现误差时，相应的偏差信号便随之出现，系统必然产生相应的控制作用，以便纠正偏差。

(3) 控制的目的是力图减小或消除偏差，使被控量尽量接近期望值。

根据上述自动控制系统的三个特征，可以对自动控制系统作出一个较为准确的定义，即

所谓自动控制系统，是一个带有反馈装置的动力学系统，系统能自动而连续地测量被控制量，并求出偏差，进而根据偏差的大小和正负极性进行控制，而控制的目的是力图减小或消除所存在的偏差。

§ 1—4 自动控制系统的组成

一、自动控制系统的基本组成部分

自动控制系统按其被控对象和具体用途的不同，可以有各式各样的结构形式。但是，从工作原理来看，自动控制系统通常是由一些具有不同职能的基本元部件所组成。图 1—8 所示是一个典型自动控制系统的职能框图，简称方块图。图中的每一个方块，代表着一个具有特定功能的元件。可见，一个完善的自动控制系统通常是由测量反馈元件、比较元件、放大元件、校正元件、执行元件以及被控对象等基本环节组成。通常还把图中除被控对象外的所有元件合并在一起，称为控制器。

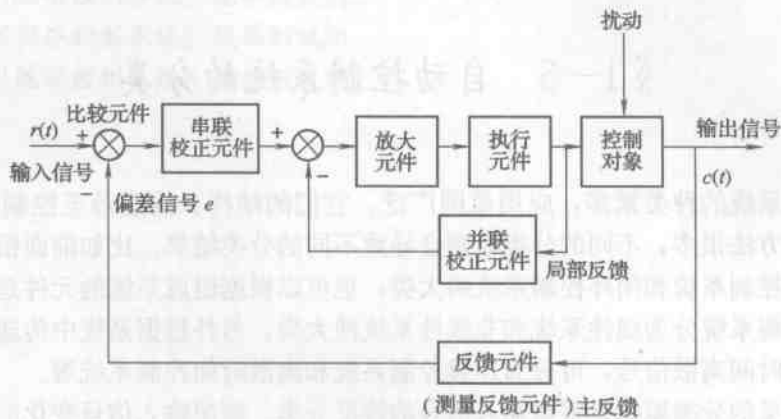


图 1—8 典型自动控制系统的方块图

图 1—8 所示方块图中主要元件的职能如下：

测量反馈元件——用以测量被控制量，并将其转换成与输入量同类物理量后，再反馈至输入端以作比较。

比较元件——用来比较输入信号与反馈信号，并产生反映两者差值的偏差信号。

放大元件——将微弱的信号作线性放大。

校正元件——按某种函数规律变换控制信号，以利于改善系统的动态品质或静态性能。

执行元件——根据偏差信号的性质执行相应的控制作用，以便使被控量按期望值变化。

控制对象——又称被控对象或受控对象，通常是指生产过程中需要进行控制的工作机械或生产过程。出现在被控对象中需要控制的物理量称为被控量。

图中串联校正元件和并联校正元件是为了改善系统的控制性能而引入的校正环节。

二、自动控制系统中常用的名词术语

系统：自动控制系统是由被控对象和自动控制装置按一定方式组合而成，以完成某种自

动控制任务的有机整体。

输入信号：系统的输入信号又称为参考输入，通常是指给定值，它是控制着输出量变化规律的指令信号。

输出信号：系统的输出信号是指被控对象中要求按某种规律变化的物理量，又称被控量，它与输入量之间保持一定的函数关系。

反馈信号：取自系统（或元件）输出端并反向送回系统（或元件）输入端的信号称为反馈信号。反馈有主反馈和局部反馈之分。

偏差信号：它是指参考输入与主反馈信号之差。偏差信号简称偏差，其实质是从输入端定义的误差信号。

误差信号：它是指系统输出量的实际值与期望值之差，简称误差，其实质是从输出端定义的误差信号。显然，在单位反馈（反馈信号不经放大直接送入比较元件）的情况下误差值也就是偏差值，二者是相等的。

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、能破坏系统输出规律的不利因素。扰动信号既可来自系统内部，又可来自系统外部，前者称内部扰动，后者称外部扰动。

§ 1—5 自动控制系统的分类

自动控制系统的种类繁多，应用范围广泛，它们的结构、性能乃至控制任务也各不相同。因而分类方法很多，不同的分类原则会导致不同的分类结果。比如前面根据有无反馈装置可分为开环控制系统和闭环控制系统两大类；也可以根据组成系统的元件是线性元件还是非线性元件，将系统分为线性系统和非线性系统两大类。另外根据系统中传递的信号是时间连续信号还是时间离散信号，可分为连续控制系统和离散时间控制系统等。

一种最常见的分类原则是根据输入信号的特征分类。按照输入信号变化的规律，可将控制系统分为三类，即恒值控制系统、程序控制系统和随动系统。

一、恒值控制系统

恒值控制系统又称为自动调整系统。系统的特点是输入信号为某个常数，故称为恒值。由于扰动的出现，将使被控量偏离期望值而出现偏差，恒值系统能根据偏差的性质产生控制作用，使被控量以一定的精度回复到期望值附近。前面介绍过的水位控制系统及转速闭环控制系统均属恒值控制系统。此外生产过程中广泛应用的温度、压力、流量等参数的控制，多半是采用恒值控制系统来实现的。

二、程序控制系统

这类系统的输入信号不是常数，而是按照一种预先知道的时间函数进行变化。如热处理炉温度控制系统中的升温、保温、降温等过程，都是按照某种预先设定的规律（程序）进行控制的。又如机械加工中的程序控制机床，如仿型车床、仿型铣床、数控车床、数控铣床、加工中心等，均属典型的例子。

三、随动系统

随动系统又称伺服系统，这类系统的输入信号是预先不知道的随时间任意变化的函数。控制系统能使被控量以尽可能高的精度跟踪给定值的变化。随动系统也能克服扰动的影响。但一般说来，扰动的影响是次要的。许多自动化武器是由随动系统装备起来的，如鱼雷的飞行、炮瞄雷达的自动跟踪、火炮的自动瞄准、导弹的制导、卫星的发射和回收等。民用工业中的船舶随动舵、数控切割机、轧钢车间的飞剪机以及仪表工业中的多种自动记录仪表等，均属随动系统之列。

习题

1. 学习自动控制技术有何作用？
2. 什么是人工控制？什么是自动控制？
3. 人工控制和自动控制各有何优点及缺点。
4. 试列举几个日常生活中所遇到的开环控制和闭环控制的例子。
5. 自动控制系统的的主要特征是什么？
6. 自动控制系统由哪些环节组成？它们在控制过程中担负着什么功能？
7. 什么叫恒值控制系统？试举例说明。
8. 什么叫程序控制系统？试举例说明。
9. 什么叫随动控制系统？试举例说明。

第二章

自动控制系统的应⽤实例

§ 2—1 恒值系统的应⽤实例

一、蒸汽机转速自动控制系统

采⽤由瓦特发明的离心调速器的蒸汽机转速自动控制系统如图 2—1 所示。

系统的工作原理是：当蒸汽机带动负载转动的同时，通过伞形齿轮带动一对飞锤作水平旋转。飞锤通过铰链可以带动套筒上下滑动，套筒内装有平衡弹簧，套筒上下滑动时可拨动杠杆，杠杆另一端通过连杆调节供气阀门的开度。在蒸汽机正常运行时，飞锤旋转所产生的离心力与弹簧的反弹力相平衡，套筒保持某个高度，使阀门处于一个平衡位置（开度）。如果由于负载增大导致蒸汽机转速 n 下降，则飞锤因离心力减小而使套筒向下滑动，并通过杠杆增大供气阀门的开度，使更多的蒸汽进入蒸汽机，促使其转速 n 回升。

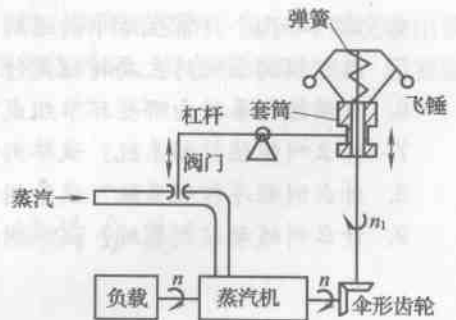


图 2—1 蒸汽机转速自动控制系统

同理，若蒸汽机因负载减小而引起转速 n 增大时，则飞锤因离心力增大而使套筒上滑，并通过杠杆减小供气阀门的开度，蒸汽流量减少，迫使蒸汽机转速自动回落。这样离心调速器就能自动地消除负载变化对转速的影响，使蒸汽机的转速 n 基本保持在某个期望值附近。

在本系统中，蒸汽机是控制对象，蒸汽机的转速 n 是被控量。转速 n 经离心调速器测出并转换成套筒的位移量后，再经杠杆传送至供气阀门，以控制蒸汽机的转速，从而构成一个闭环控制系统。

离心调速器除了应用在蒸汽机上作调速之⽤以外，也常见于水力发电站中，作为控制水力透平机的转速之⽤。

二、炉温自动控制系统

图 2—2 所示为工业炉温自动控制系统的原理图。

图中的加热炉采⽤电加热的方式运行，加热器所产生的热量与施加的电压 u_c 的平方成正比， u_c 增高，炉温就上升。在本系统中， u_c 的高低由调压器滑动触点的位置所控制，该触点由可逆转的直流电动机驱动。炉子的实际温度采⽤热电偶测出，并转换成毫伏级的电压信号，记为 u_f 。 u_f 作为系统的反馈电压送往输⼊端与给定电压 u_{gd} 进⾏比较，得出偏差电压