

自动控制原理

杨友良 主 编

马翠红 田 晴
屈 滨 张瑞成

副主编



Automatic Control Principle



NLIC 2970668309



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

高等学校“十二五”电气自动化类规划教材

自动控制原理

杨友良 主 编

马翠红 田晴 屈滨 张瑞成 副主编

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是根据全国高等工科院校自动化类专业“自动控制原理”课程教学大纲的要求编写的。全书介绍了经典控制理论的基本概念、基本原理和基本方法,着重加强对基本理论及其应用的阐述。按照数学模型、系统分析、系统综合的主线,系统地揭示了控制理论的理论体系。全书共8章,前6章讲述线性连续系统的时域分析、根轨迹分析和频域分析,以及系统的综合校正;第7章介绍线性离散系统的基本理论、分析与综合方法;第8章介绍非线性系统的相关理论,包括描述函数法和相平面法。大部分章节都包含了MATLAB辅助控制系统分析和设计的方法。每章均有小结、示例及习题,有助于对基本概念的理解与基本方法的运用。

本书可作为高等工科院校自动化、电气工程与自动化、测控技术与仪器、电子信息工程、机械工程及自动化、计算机科学与技术等专业的本科教材或参考书,也可供自动化工程技术人员学习参考。

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/杨友良主编. —北京:电子工业出版社, 2011.3
高等学校“十二五”电气自动化类规划教材
ISBN 978-7-121-12970-4

I. ①自… II. ①杨… 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(2011)第026331号

策划编辑:陈韦凯

责任编辑:韩玲玲

印 刷:北京丰源印刷厂

装 订:三河市鹏成印业有限公司

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:787×1092 1/16 印张:24.25 字数:620千字

印 次:2011年3月第1次印刷

印 数:4000册 定价:39.00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。

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。

服务热线:(010)88258888。

高等学校“十二五”电气自动化类规划教材 丛书编委会

(按拼音排序, 排名不分先后)

编委会主任: 关新平

编委会副主任:

毕卫红 韩 璞 娄国焕 吴学礼 杨 鹏

专家组成员:

何 谓 高 蒙 李国洪 李建华

王培光 姚福来 赵书强

编委会委员:

常丹华 曹晓华 杜立强 顾和荣 侯培国

韩兵欣 郝 成 李书杰 李珍国 马翠红

牛培峰 孙孝峰 唐瑞尹 吴忠强 王建民

王海群 王静波 王立乔 杨友良 殷桂梁

岳树盛 张宝荣 张秀玲 张燕君 张晓晖

前 言

自动控制原理又称为经典控制理论,是研究自动控制系统共同规律的技术科学。它主要研究单输入-单输出线性定常系统的建模、分析与设计问题。主要包括:线性系统的数学模型、时域分析、根轨迹分析、频域分析、控制系统的设计与校正,线性离散控制系统的分析与设计,以及典型非线性系统的分析。

自动控制原理是自动化及相关专业的专业基础课。随着我国工业化、信息化的迅猛发展和日益融合,自动化技术在国民经济各行业得到了广泛应用,并成为开发新工艺、新设备、新材料、新能源,推动传统产业转型提升的关键技术。自动化技术与新型工业的深度融合,拓展了自动化专业的发展空间,也促使自动控制理论成为高等学校众多学科的专业基础。

河北联合大学(原河北理工大学)电气工程学院“自动控制原理”课程组一直承担着全校各相关专业的“自动控制原理”课的教学与实验工作,并完成了数十项相关科研课题。2008年“自动控制原理”课被评为河北省精品课程。本书是该课程组全体教师共同编写的,是各位参编教师数十年教学和科研工作经验的结晶。

本书是高等工科院校相关专业的本、专科教材,授课学时为50~90学时,也可供相关专业的研究生或从事自动化技术工作的人员参考。

本书具有以下特点。

- (1) 本书紧密结合教学大纲的要求,以理论为基础,重视工程应用,强化经验总结。
- (2) 丰富典型例题,突出工程应用,结合现代计算机辅助分析与设计手段(MATLAB)编写。
- (3) 每章均附适量的示例、习题,并配有相应的解题过程,与各章内容紧密结合。
- (4) 为方便教师使用本教材,配有PPT课件、习题解答及试题库,免费赠送,可登录 www.hxedu.com.cn 下载。

本书第1章、第4章由杨友良编写,第6章、第8章由马翠红编写,第3章、第5章由田晴编写,第2章由屈滨编写,第7章由张瑞成编写。全书由杨友良统稿。

在本书的编写过程中,参考了许多优秀教材和著作。在此向收录于参考文献中的各位作者表示真诚的谢意。

由于时间仓促,加之编者水平有限,书中不当之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2011年1月

目 录

第 1 章 自动控制系统概述	1
1.1 引言	1
1.2 自动控制系统的基本概念	1
1.3 控制系统的基本结构形式	3
1.3.1 开环控制系统	3
1.3.2 闭环控制系统	4
1.3.3 复合控制系统	7
1.4 闭环控制系统的组成和基本环节	7
1.5 自动控制系统分类	9
1.5.1 按控制系统元件特性分类	9
1.5.2 按控制系统信号形式分类	11
1.5.3 按输入量的变化形式分类	12
1.6 对自动控制系统的基本要求	13
1.6.1 稳定性	13
1.6.2 准确性	14
1.6.3 快速性	14
小结	17
习题	17
第 2 章 自动控制系统的数学模型	19
2.1 动态微分方程的建立	19
2.1.1 系统微分方程的描述	19
2.1.2 系统微分方程的建立	20
2.2 非线性数学模型的线性化	24
2.3 传递函数	26
2.3.1 传递函数的定义	26
2.3.2 典型环节的传递函数及暂态特性	29
2.4 系统动态结构图	37
2.5 系统传递函数和结构图的等效变换	41
2.5.1 典型连接的等效传递函数	41
2.5.2 相加点及分支点的变位运算	43
2.5.3 系统开环传递函数	46
2.5.4 系统闭环传递函数	49
2.5.5 系统对给定作用和扰动作用的传递函数	51
2.6 信号流图	52

2.6.1 信号流图中的术语	53
2.6.2 信号流图的绘制	53
2.6.3 信号流图的性质	54
2.6.4 信号流图的基本简化法则	54
2.6.5 梅逊公式	55
2.7 用 MATLAB 求解线性微分方程和化简系统方框图	58
2.7.1 MATLAB 中数学模型的表示	59
2.7.2 用 MATLAB 求解线性微分方程	61
2.7.3 MATLAB 在系统方框图化简中的应用	63
小结	65
习题	66
第 3 章 自动控制系统的时域分析法	71
3.1 系统的典型输入信号	71
3.1.1 阶跃信号(位置信号)	71
3.1.2 斜坡信号(速度信号)	72
3.1.3 抛物线信号(加速度信号)	72
3.1.4 脉冲信号	73
3.1.5 正弦信号	73
3.2 一阶系统的动态响应	74
3.2.1 一阶系统的数学模型	74
3.2.2 一阶系统的单位阶跃响应	74
3.3 二阶系统的阶跃响应	76
3.3.1 二阶系统的数学模型	76
3.3.2 二阶系统的阶跃响应	77
3.3.3 二阶系统暂态特性指标	80
3.3.4 二阶工程最佳参数	84
3.3.5 二阶系统性能的改善	86
3.4 高阶系统的时域分析	88
3.4.1 高阶系统单位阶跃响应特性	88
3.4.2 高阶系统的几个重要概念	89
3.5 控制系统的稳定性及代数稳定判据	93
3.5.1 稳定性的基本概念	93
3.5.2 线性定常系统稳定的充分必要条件	94
3.5.3 劳斯(Routh)稳定性判据	94
3.5.4 劳斯判据的应用	98
3.6 控制系统的稳态特性——稳态误差分析	100
3.6.1 稳态误差和控制系统类型	100
3.6.2 稳态误差系数和稳态误差的计算	101

3.6.3 动态误差系数	104
3.6.4 扰动稳态误差	106
3.6.5 减小稳态误差的方法	108
3.7 线性系统时域分析的 MATLAB 仿真方法	111
小结	115
习题	116
第 4 章 根轨迹法	120
4.1 根轨迹法的基本概念	120
4.1.1 根轨迹的定义	120
4.1.2 根轨迹的幅值和辐角条件	121
4.2 根轨迹的绘制	122
4.2.1 绘制根轨迹的基本法则	122
4.2.2 常规 180° 根轨迹绘制举例	131
4.3 非典型形式系统根轨迹的绘制	135
4.3.1 零度根轨迹	135
4.3.2 广义根轨迹	138
4.4 基于根轨迹法的系统性能分析	139
4.4.1 开环零、极点对根轨迹的影响	140
4.4.2 在根轨迹上确定闭环特征根	141
4.4.3 用根轨迹确定系统的性能	143
4.4.4 用根轨迹确定系统的参数	145
4.5 用 MATLAB 绘制根轨迹	148
4.5.1 绘制根轨迹	148
4.5.2 确定根轨迹上闭环极点相对应的根轨迹放大系数	150
4.5.3 零度根轨迹的绘制	151
小结	153
习题	153
第 5 章 自动控制系统的频域分析法	157
5.1 频率特性	157
5.1.1 频率特性的基本概念	157
5.1.2 频率特性的性质	159
5.2 幅相频率特性	160
5.2.1 幅相频率特性的表示	160
5.2.2 典型环节的幅相频率特性	161
5.2.3 开环系统的幅相频率特性	165
5.3 对数频率特性	170
5.3.1 对数频率特性的表示	170
5.3.2 基本环节的伯德图	171

5.3.3	开环控制系统的伯德图	177
5.3.4	最小相位系统	180
5.3.5	传递函数的频域实验确定	181
5.4	频域中的稳定性判据	184
5.4.1	辐角定理	184
5.4.2	奈氏稳定性判据	185
5.4.3	对数频率稳定判据	188
5.4.4	奈氏判据应用举例	189
5.4.5	系统的稳定裕量	193
5.5	开环频率特性分析	195
5.5.1	基于伯德图的系统稳态性能分析	195
5.5.2	频率特性的两个基本关系	196
5.5.3	低频段和高频段特性斜率的影响	198
5.5.4	α_c (或开环放大系数 K) 对相位裕量的影响	199
5.5.5	开环频率特性与时域性能指标的关系	203
5.6	闭环系统频率特性	205
5.6.1	闭环频率特性与开环频率特性的关系	205
5.6.2	闭环系统频率特性及其与暂态特性指标的关系	206
5.6.3	闭环系统等 M 图、等 ϕ 图及尼氏图	208
5.6.4	非单位反馈系统的闭环频率特性	212
5.7	线性系统频域分析的 MATLAB 方法	212
	小结	218
	习题	219
第 6 章	控制系统的校正及综合	222
6.1	控制系统校正的一般概念	222
6.1.1	校正的概念	222
6.1.2	校正的基本方式	222
6.2	串联校正	224
6.2.1	串联超前校正	224
6.2.2	串联滞后校正	229
6.2.3	串联滞后-超前校正	234
6.2.4	按期望特性的串联校正	237
6.3	PID 控制器	242
6.3.1	比例 (P) 控制器	242
6.3.2	比例微分 (PD) 控制器	243
6.3.3	积分 (I) 控制器	244
6.3.4	比例积分 (PI) 控制器	245
6.3.5	比例积分微分 (PID) 控制器	246

6.4 反馈校正	246
6.4.1 反馈的作用	246
6.4.2 反馈校正装置的设计	248
6.5 复合校正	252
6.5.1 按扰动补偿的复合校正	252
6.5.2 按输入补偿的复合校正	253
小结	254
习题	254
第7章 线性离散系统的理论基础	257
7.1 线性离散控制系统概述	257
7.2 采样过程和采样定理	262
7.2.1 采样过程及其数学描述	262
7.2.2 采样定理及采样周期的选择	267
7.2.3 信号的保持及保持器	268
7.3 Z变换法	271
7.3.1 Z变换的定义	271
7.3.2 Z变换的方法	272
7.3.3 Z变换的基本定理	275
7.3.4 Z反变换	280
7.4 采样控制系统的数学模型	284
7.4.1 线性常系数差分方程及其解法	284
7.4.2 脉冲传递函数	287
7.5 离散控制系统的性能分析	297
7.5.1 离散控制系统的稳定性分析	297
7.5.2 离散控制系统的暂态特性分析	302
7.5.3 离散控制系统的稳态误差分析	306
7.6 离散控制系统的设计	311
7.6.1 最少拍系统设计	312
7.6.2 数字PID算法	316
7.7 MATLAB在离散控制系统中的应用	318
7.7.1 应用于离散系统的MATLAB基本函数介绍	318
7.7.2 连续系统的离散化	319
7.7.3 求离散系统的时域响应	319
7.7.4 离散系统的稳定性分析	320
小结	321
习题	322
第8章 非线性系统分析	324
8.1 非线性系统概述	324

8.1.1 典型非线性特性	324
8.1.2 非线性系统的特点	326
8.2 描述函数法	327
8.2.1 描述函数的基本概念	327
8.2.2 典型非线性特性的描述函数	329
8.2.3 描述函数法分析非线性系统	336
8.3 相平面法	343
8.3.1 相轨迹的特征	344
8.3.2 相轨迹的绘制	351
8.3.3 非线性系统的相平面分析	354
8.3.4 利用 MATLAB 分析非线性控制系统	361
小结	368
习题	370
附录 A 常用时间函数的拉氏变换及 Z 变换对照表	374
参考文献	376

第 1 章 自动控制系统概述

1.1 引言

随着工程技术和科学技术的不断发展, 自动控制技术也在不断发展, 其应用越来越广泛, 也越来越重要。如在国防科技中, 导弹能准确命中目标, 人造卫星能按预定轨道运行, 宇宙飞船能在太空中遨游并能返回地面; 在工业生产过程中, 温度、湿度、压力、张力、流量、物位、成分等能被控制而保持在给定值或按一定规律变化。这些都离不开自动控制技术。而且自动控制技术正在逐渐渗透于社会、经济、环境等领域。

自动控制理论是自动控制技术的理论基础, 是一门理论性较强的工程科学。其发展可分为三个阶段: 经典控制理论、现代控制理论和智能控制理论。

经典控制理论主要以传递函数为基础, 讨论单输入-单输出类自动控制系统的分析和设计问题。其发展时间为 20 世纪 40~60 年代, 理论较为成熟。在工程中解决了大量的实际问题, 是研究自动控制系统的重要理论基础。

现代控制理论主要以状态空间法为基础, 讨论多输入-多输出类自动控制系统的分析和设计问题。其发展时间为 20 世纪 60~70 年代。

智能控制理论以非数学的语言描述模型为基础, 研究不确定性的复杂的高度非线性系统的分析和设计问题。其数学工具采用数值计算与符号处理的交叉与结合形式, 如神经网络、模糊集合论等。其发展时间为 20 世纪 70 年代至今。

本书主要讨论经典控制理论部分。同时, MATLAB 仿真软件的出现, 使自动控制系统的分析与设计由相当烦琐变得简单易行。所以本书在大部分章节中都简单介绍了 MATLAB 在自动控制系统的分析与设计中的应用。

1.2 自动控制系统的基本概念

“控制”一词在人们的日常生活中经常被提到, 如控制人的情绪、控制人的行为等。在自动控制原理中, “控制”是指为了克服各种扰动量的影响, 达到预期目标, 对生产设备或生产过程中的某个或某些物理量进行的操作。如日常生活中, 对房屋的室内温度、电冰箱的温度, 以及汽车的方向和速度的控制; 在工业生产过程中, 对电动机的转速、加热炉的温度及锅炉的压力的控制。在这里, 把被控制的设备或过程称为被控制对象, 如房屋、电冰箱、汽车、电动机、加热炉等。把被控制的物理量称为被控制量 (简称被控量, 也称为输出量), 如室内温度、电冰箱温度、汽车的方向和速度、电动机的转速、加热炉的温度及

锅炉的压力等。把设定被控量的给定值的物理量称为给定量，把妨碍给定量对被控量进行正常控制的所有因素称为扰动量。

在对被控量进行控制的过程中，按照系统中是否有人参与，可分为人工控制和自动控制。如果由人来完成对被控量的控制则称为人工控制；如果由一些物理装置代替人来完成对被控量的控制则称为自动控制。下面以一个水池的水位控制为例说明人工控制和自动控制的过程。

图 1-1 所示是人工控制的水池水位系统，控制目标是使水池的水位保持在给定水位（期望水位）上。当排水量增大时，水池的水位会下降，低于给定水位，产生误差，要想保持水位不变，就得开大供水阀门，增加供水量。人工控制过程是：首先由人眼观测水池的实际水位，然后与期望水位比较，得到偏差量，再根据偏差的大小和正负，人工调节供水阀门的开度（增大或减小），使水池的水位尽可能保持在期望值上。

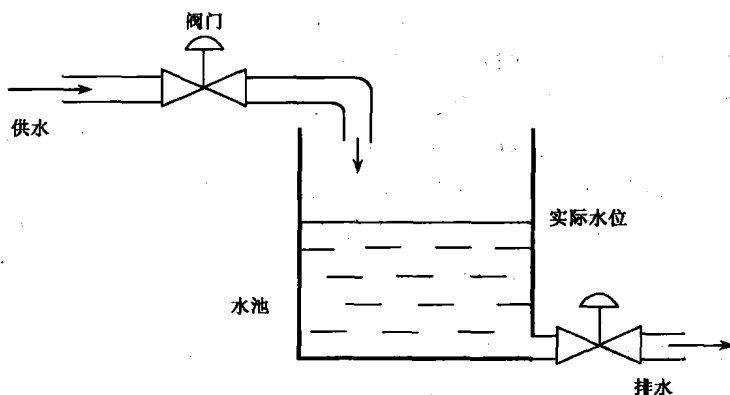


图 1-1 人工控制的水池水位系统

若用一些物理装置或机构来代替人工操作，就形成了自动控制，如图 1-2 所示。图中，用浮子代替人眼检测出实际水位的高低，用电动机伺服机构代替人脑和手计算误差大小和调节阀开度。自动控制过程如下：当排水量增大时，水池水位下降，浮子下移使电位器滑动端向上移动，由此引出的电压（即为偏差电压）为正，通过放大器放大加在电动机电枢上，使电动机转动，经过减速器使阀门开度增大，增加供水量，使水池水位回升至期望值上；反之，如果排水量减小，水池水位就会升高，浮子上移使电位器滑动端向下移动，由此引出的电压为负，通过放大使电动机反方向转动，经过减速器使阀门开度减小，从而供水量减小，使水池水位下降回到期望值上。其结果是，不论排水量增大还是减小，水池的水位总可以保持在期望值上。整个调节过程是不需要人干预的。

通过上述举例，可以总结出：自动控制是在没有人直接干预的情况下，利用物理装置对生产设备或工艺过程进行合理的控制，使被控制的物理量保持恒定，或者按照一定的规律变化的。自动控制系统是指为实现某一控制目标所需要的所有物理部件的有机组合体。自动控制的任務就是克服各种扰动量的影响，使系统按照给定量所设定的规律运行。扰动量按其来源可分为内部扰动和外部扰动。给定量和扰动量都是自动控制系统的输入量，通常把给定量称为系统的输入量。

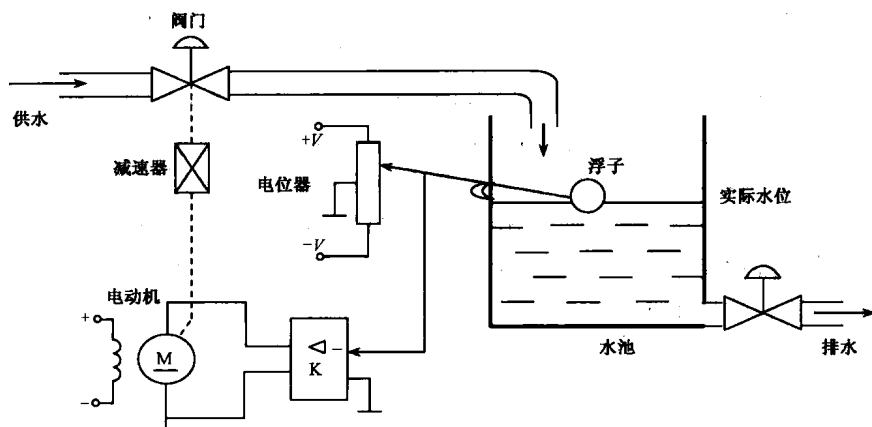


图 1-2 水位自动控制系统

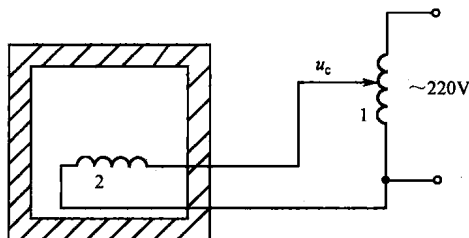
1.3 控制系统的基本结构形式

在实际应用中控制系统的种类繁多，根据环境情况不同所使用的物理部件有所不同，如电子的、液压的、机械的、电气的等，其功能复杂程度也各不相同。但就控制系统的基本结构形式而言，可分为开环控制系统、闭环控制系统和复合控制系统三种形式。

1.3.1 开环控制系统

如果控制系统的输出量（被控量）对系统没有控制作用（即没有返回影响），则称为开环控制系统。

如图 1-3 所示是一个电加热系统，即炉温开环控制系统，该系统的控制目标是通过调整自耦变压器滑动端的位置，来改变电阻炉的温度，并使其恒定不变。这里，被控制的设备是电阻炉，即被控对象，被控量（输出量）是电阻炉的温度 T_c ，该系统可称为温度控制系统。自耦变压器滑动端的位置对应一个电压值 u_c （其大小由生产工艺要求而定），也就有一个电阻炉的温度 T_c 相对应，改变 u_c 也就改变了 T_c ，从而达到控制电阻炉温度 T_c 的目的。



1—自耦变压器；2—电加热器

图 1-3 炉温开环控制系统

当系统出现扰动时,如外部扰动(加热物件的改变、炉门开关频度的变化等)或内部扰动(电源电压的波动等),炉温 T_c 将偏离 u_c 对应的数值,产生偏差。如果没有人工干预,这个偏差是不会自动纠正的。也就是说给定量与输出量的对应关系将被改变。

开环控制系统的输出、输入及扰动的关系可用结构图(或称方框图、方块图)更清楚地表达出来,如图 1-4 所示。这里,控制器是自耦变压器,被控对象是电阻炉体。可以看出,开环控制系统中,只有输入量对输出量产生控制作用,输出量是不参与控制的。因此,它不能实现保持炉温恒定不变的控制目标(除非有人工干预),不具备抗干扰的能力。开环控制只应用在控制精度要求不高的场合,如自动洗衣机、自动售货机等。

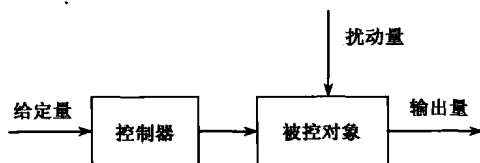


图 1-4 开环控制系统结构图

要想保持温度恒定不变,需要人工干预,下面来看一下人工干预的过程。首先人工测量炉子的温度,然后将读数与生产工艺要求的给定值作比较,再根据二者的偏差适当调整自耦变压器滑动端的位置,改变 u_c 的值,从而减小甚至消除温度的偏差。人工干预的顺序是:测量输出量→物理量转换→反馈、比较→根据偏差调整滑动端的位置。其关键性的作用是输出量参与了控制。

如果用一系列的物理部件来取代人工操作的过程,就实现了炉温的闭环控制。

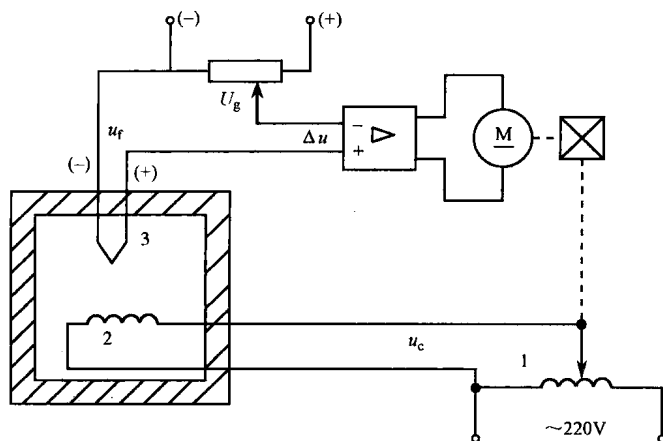
1.3.2 闭环控制系统

闭环控制系统就是把输出量检测出来,并转换成与输入量相同的物理量与之相比较(相减),用所得到的偏差信号经过控制器对被控对象进行控制,以抑制内部扰动或外部扰动对输出量的影响,减小输出量的误差。

例如,炉温闭环控制系统如图 1-5 所示。系统的给定量(输入量)为给定电压 U_g ,输出量为电阻炉的温度 T_c 。热电偶作为检测元件,把炉温测量出来并转换成电压 u_f 反馈到输入端与给定量 U_g 作比较(二者极性相反),得到偏差信号 Δu ,再经过放大器控制可逆伺服电动机转动,经过变换装置带动自耦变压器的滑动端移动,使电加热器的电压 u_c 变化,从而达到控制炉温 T_c 的目的。当电位器的滑动端在某一位置时,有一个给定电压 U_g ,对应有一个炉温 T_c 。

当出现内部扰动或外部扰动(如加热部件突然增加)时,炉温降低,偏离原来的给定值而产生误差,这一温度的变化由热电偶检测出来,并经物理量的转换变成电压形式,即反馈电压 u_f 减小,与给定电压 U_g 比较后得到的偏差电压 Δu 增大,再经过电压放大加在电动机电枢两端,电动机转动,带动自耦变压器的滑动端向右移动,使 u_c 升高,炉温回升,以减小甚至消除炉温的误差。这个调节过程是自动进行的,不需要人的干预,系统能够保

持炉温恒定不变。所以，自动控制系统在结构上必须构成闭环控制。



1—自耦变压器；2—电加热器；3—热电偶

图 1-5 炉温闭环控制系统

同样，闭环控制系统的输出量与输入量及扰动量之间的关系可用结构图清晰表达，如图 1-6 所示。

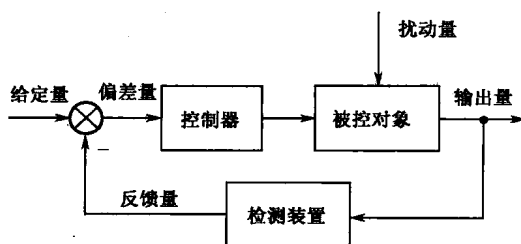


图 1-6 闭环控制系统结构图

可看出，这种系统把输出量直接或间接地反馈到输入端，即输出量参与了控制，从信号流通来看形成了一个闭环，所以称为闭环控制系统。又由于系统是根据负反馈原理按照偏差进行控制的，所以又称为反馈控制系统或偏差控制系统。

下面来看一个闭环控制系统的应用实例——锅炉液位自动控制系统。

锅炉是发电厂和化工厂里常见的生产蒸汽的设备。为了保证锅炉安全正常运行，需要使锅炉液位保持在给定值上。因为锅炉液位过低，容易烧干锅而发生严重事故；锅炉液位过高，则易使蒸汽带水并有溢出危险。因此，必须通过调节器严格控制锅炉液位的高低，以保证锅炉正常安全地运行。常见的锅炉液位自动控制系统示意图如图 1-7 所示。

当蒸汽的耗气量与锅炉进水量相等时，液位保持在给定值上。当发生扰动时，如蒸汽负荷突然增加或减小时，液位就会下降或上升；或者，当给水管道水压发生变化时，引起锅炉液位发生变化。不论出现哪种扰动，只要实际液位高度与给定值之间出现了偏差，调节器就会立即进行控制，开大或关小给水阀门，使液位恢复到给定值。

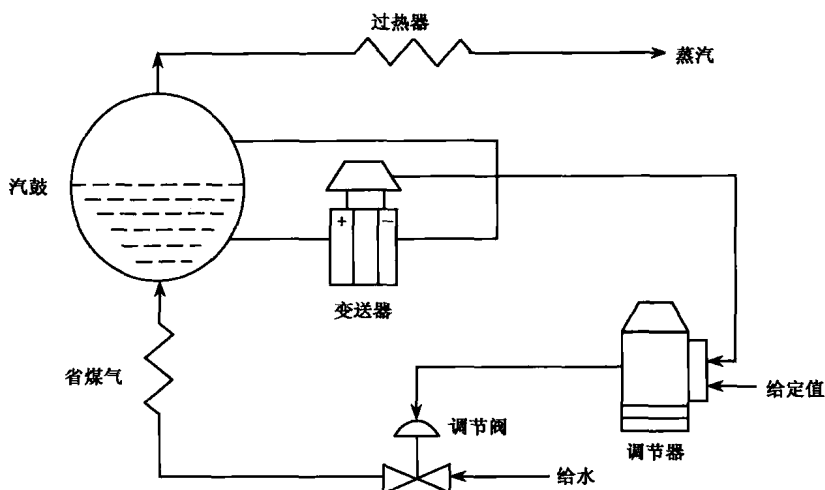


图 1-7 锅炉液位自动控制系统示意图

图 1-8 所示是锅炉液位自动控制系统结构图。图中，锅炉为被控对象，其输出为被控参数液位，作用于锅炉上的扰动是指给水压力变化或蒸汽负荷变化等产生的内外扰动；差压变送器为测量变送器，用来测量锅炉液位，并转变为一定的信号输至调节器；调节器是锅炉液位控制系统中的控制器，有电动、气动等形式，在调节器内将测量液位与给定液位进行比较，得出偏差值，然后根据偏差情况按一定的控制律（如比例（P）、比例-积分（PI）、比例-积分-微分（PID）等）发出相应的控制信号推动调节阀动作；调节阀为执行机构，根据控制信号对锅炉的进水量进行调节。大多数调节阀为气动薄膜调节阀，若采用电动调节器，则调节器与气动调节阀之间应有电-气转换器。气动调节阀的气动阀门分为气开与气关两种。气开阀指当调节器输出增加时，阀门开大；气关阀指当调节器输出增加时，阀门关小。为了保证安全生产，蒸汽锅炉的给水调节阀一般采用气关阀，一旦发生断气现象，阀门保持打开位置，以保证汽鼓不致烧干损坏。

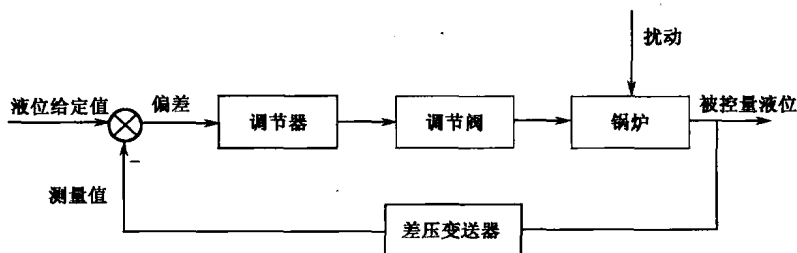


图 1-8 锅炉液位自动控制系统结构图

把开环控制系统和闭环控制系统作一比较，总结归纳如下。

- (1) 不论开环控制系统还是闭环控制系统，输入量和输出量之间都存在一一对应关系。
- (2) 对于开环控制系统，只有输入量对输出量产生控制作用，输出量不参与控制。从结构上看，只有从输入端到输出端的信号传递通道（称为正向通道或前向通道），不具备抗干扰能力。