

大型火电厂生产技术人员培训系列教材

火电厂自动控制理论基础

华北电力大学 于希宁 刘红军 编著

中国电力出版社
www.cepp.com.cn

大型火电厂生产技术人员培训系列教材

火电厂自动控制理论基础

华北电力大学 于希宁 刘红军 孙建平 编著

中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书是根据作者多年对热工技术人员的培训经验，从电厂对人才的培养目标出发，以控制理论与工程应用相结合的角度，研究了古典控制理论的基本概念、基本原理和基本方法。并结合电厂实际，重点讨论了控制理论在热工控制系统的分析、设计、改造与调试过程中的理论指导作用。全书共分为六章，第一、二章讲述基础知识，第三章针对热工过程的特点讲述了系统的建模方法，第四、五章和第六章分别讲述了时域分析法、根轨迹分析法和频域分析法，通过常见热工被控对象的动态特性和热工控制系统的设计方法，研究了系统结构与参数变化对系统性能影响的本质特征。

本书可作为大型火电厂生产技术人员培训的首选基础理论教材，也可作为职工大学、函授大学“热工过程自动化”和“热工自动化仪表”专业的教学用书，并可供自动化专业师生以及从事自动化方面工作的工程技术人员参考。

图书在版编目（CIP）数据

火电厂自动控制理论基础/于希宁等编著.
北京：中国电力出版社，2001
大型火电厂生产技术人员培训系列教材
ISBN 978-7-5083-0599-8

Ⅰ.火... Ⅱ.①于...②刘... Ⅲ.火电厂—自动控制理论—技术培训—教材 Ⅳ.TM621

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2001）第 021845 号

中国电力出版社出版、发行
（北京三里河路 6 号 100044 http://www.cepp.com.cn）
汇鑫印务有限公司印刷
各地新华书店经售
*
2001 年 6 月第一版 2007 年 4 月北京第四次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 11.75 印张 266 千字
印数 9001—11000 册 定价 24.00 元

敬 告 读 者
本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换
版 权 专 有 翻 印 必 究

序言

随着科学技术的迅速发展，新技术、新材料、新工艺不断涌现并得到应用。电力生产是技术高度密集型产业，伴随科学技术及电力工业的发展，现代化电力生产也朝着“大容量、高参数、高自动化”的方向快速发展。快速发展的电力技术对电力生产技术人员和管理人员提出了更高的要求，迅速提高生产技术人员素质及观念，更新知识，已经成为当前电力生产的重要任务。

在职教育是提高劳动者素质的重要途径，高等学校发挥自身的人才优势，开展在职教育是现代高等教育发展的一大趋势。华北电力大学动力工程系统经过 10 多年的努力与探索，在开展在职教育、为电力生产企业培训高层次技术人才方面，取得了一定成绩，积累了丰富的实践经验。为满足电力生产企业培训及电力生产技术人员学习新技术、新知识的需要，华北电力大学动力工程系组织具有 10 多年为电力生产企业培训技术人员经验的教师，编写了这套《大型火电厂生产技术人员培训系列教材》。本套教材首批共 8 种：《火电厂锅炉设备及运行》、《火电厂汽机设备及运行》、《火电厂电气设备及运行》、《火电厂过程控制》、《火电厂开关量控制技术及应用》、《汽轮机控制、监视和保护》、《计算机控制系统及其在电厂中的应用》、《火电厂自动控制理论基础》。

本套培训教材的特点：

一、力求反映当前电力生产的新知识、新技术。

二、力求理论结合实际，明确理论在生产过程、生产设备及系统中的作用。

三、注重解决生产过程中的实际问题。

本套教材可供电力生产企业培训生产技术人员使用，也可供其他相关工程技术人员学习、参考。

这套教材的出版是编著者多年教学培训实践积累的结果，但不可避免地会存在一些问题和不足，热切地希望广大读者给予批评指正。

《大型火电厂生产技术人员培训系列教材》编委会

2000 年 7 月

前言

在现代科学技术高度发达的今天，自动控制技术不仅在工农业、国防、航空航天等事业中得到广泛应用，而且已渗透到非工程性领域，如生物学、社会经济学等领域中，并起着愈来愈重要的作用。因此，作为研究自动控制规律的一门科学——自动控制理论，已成为各类工程技术人员必须掌握的技术基础知识。尤其是在火电厂中，随着机组朝着大容量、高参数方向发展，对电厂安全、可靠、经济运行的要求愈来愈高，从而对自动控制的要求也日益提高。为了适应电厂工业发展的需要，从事热工专业的技术人员就更有必要加强自动控制的基础理论知识的学习。古典控制理论是自动控制技术最基本且又被广泛使用的基础理论知识。因此，全面掌握这一基础理论知识，是灵活应用控制理论的概念解决工程实际问题的必要工具，也是为进一步学习现代控制理论以及工程应用奠定基础。

由于自动控制理论比较抽象，学生不易接受，主要是不知自动控制理论用于何处和怎样应用。因此本书将自动控制理论和自动控制系统结合起来，以自动控制理论作为系统分析的工具，以实际系统分析作为理论的应用实例，来处理内容的安排。实践表明，这样的安排，有利于教学，也有利于理论联系实际。

全书以工程技术应用能力的培养为主线组织教学内容。注重物理概念，强化工程应用；突出重点，精简繁琐的数学推导过程；加强理论联系实际的工程应用意识；叙述过程深入浅出，条理清晰。全书有较多的习题和工程实例，每章末附有小结、思考题和习题，有助于对基本概念的理解与基本分析方法的应用，有利于巩固基础知识和训练提高分析与解决实际工程问题的能力。

本书由于希宁教授、刘红军副教授、孙建平副教授编著。于希宁负责全书的统稿。硕士研究生刘鑫屏参加了本书部分编写工作。本书的编写得到华北电力大学教改基金项目的资助，另外在本书的整个编写过程中，韩璞教授和许多同行曾给予大力的支持和帮助，并提出许多宝贵的意见，在此一并致以衷心感谢。

由于作者水平有限，书中错误与不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编　者

2001 年 1 月

目录

序　言

前　言

第一章　绪论 …… 1

第一节　自动控制理论概述 …… 1
第二节　自动控制的基本概念 …… 1
第三节　自动控制系统的性能指标 …… 6
第四节　自动控制系统分类 …… 8
单元小结 …… 10
思考题 …… 11

第二章　基础知识补充 …… 12

第一节　Laplace 变换 …… 12
第二节　线性微分方程求解 …… 17
单元小结 …… 22
思考题 …… 23
习题 …… 23

第三章　线性控制系统的数学模型 …… 24

第一节　数学模型的基本概念 …… 24
第二节　常用系统数学模型的几种形式 …… 27
第三节　被控对象的数学模型 …… 28
第四节　控制设备的数学模型（只考虑线性模型） …… 33
第五节　构成控制系统的典型环节传递函数形式 …… 35
第六节　系统方框图及其等效变换 …… 36
第七节　控制系统数学模型的求取 …… 41
第八节　梅逊公式及其在求传递函数中的应用 …… 53
单元小结 …… 55
思考题 …… 56

习题 …… 56

第四章　控制系统的时域分析法 …… 60

第一节　控制系统的稳定性 …… 60
第二节　控制系统的稳态性能 …… 73
第三节　控制系统的动态性能 …… 80
第四节　时域分析法在控制系统性能分析中的应用举例 …… 97
单元小结 …… 104
思考题 …… 105
习题 …… 105

第五章　控制系统的根轨迹分析法 …… 108

第一节　根轨迹的基本概念 …… 108
第二节　一般根轨迹（180°）的绘制法则 …… 113
第三节　零度根轨迹的绘制法则 …… 121
第四节　参量根轨迹 …… 124
第五节　用根轨迹分析控制系统性能 …… 126
第六节　控制系统结构变化对根轨迹的影响 …… 127
第七节　根轨迹分析法在控制系统性能分析中的应用举例 …… 131
单元小结 …… 134
思考题 …… 135
习题 …… 135

第六章　控制系统的频域分析法 …… 138

第一节　基本概念 …… 138
第二节　典型环节的频率特性曲线的绘制 …… 143
第三节　控制系统开环频率特性曲线的绘制 …… 154
第四节　控制系统稳定性分析 …… 160
第五节　频域分析法中的系统性能指标 …… 168
第六节　控制系统结构变化对开环频率特性曲线的影响 …… 170
第七节　频率特性分析法在控制系统性能分析中的应用举例 …… 175
单元小结 …… 177
思考题 …… 178
习题 …… 178

第一章

绪　论

第一节　自动控制理论概述

一、自动控制理论在研究生产过程自动化中的作用

（1）自动控制理论是研究自动控制共同规律的科学,也是研究生产过程自动化的基础知识；

（2）掌握自动控制理论的基本内容，可以分析自动控制系统的性能；可以找出不满足性能指标要求的系统所存在的问题；可以设计和改造自动控制系统。

二、自动控制理论的基本内容

（1）自动控制系统的基本概念；

（2）自动控制系统的数学模型；

（3）自动控制系统的性能分析；

（4）自动控制系统的设计与改造。

三、学习自动控制理论需要使用的数学工具及相关知识

（1）线性微分方程的求解；

（2）Laplace 变换的基本方法；

（3）简单电路分析的基本方法。

第二节　自动控制的基本概念

一、定义

1. 自动控制的定义

自动控制就是利用控制装置自动地操纵机器设备或生产过程，使其具有希望的状态或功能。

2. 自动控制系统的定义及组成

能够实现某种生产过程自动化的所有设备的集合即为自动控制系统，它主要由控制装置和被控对象两大部分组成。

二、自动控制系统的工程实例分析及基本构成形式

1. 水箱水位控制系统

（1）控制系统的任务。要保证用户正常用水，保证设备安全经济运行，则要保证水箱水位始终为一设定值或维持在设定值附近。

（2）人工调节过程。水箱水位控制系统构成原理结构示意图如图 1-1 所示。对构成系统的基本部件及信号作以下说明：被控对象——水箱；被调量（测量值、实际值、检测值）——水箱水位 $h(t)$；对被调量的希望值（给定值、设定值）h_0；调节量（控制手段）——入水流量 $q_1(t)$；扰动量（干扰输入）——用户用水流量 $q_2(t)$；控制设备为：

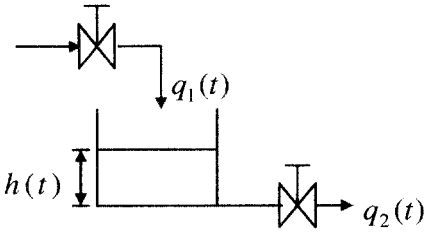


图 1-1　水位手动控制系统结构示意图

控制设备（人工调节）
- 检测变送部件(眼睛)
- 执行部件(手)
- 逻辑判断及数学运算部件(脑)

控制过程分析：当供水系统在入水流量 $q_1(t)$ 与用户用水流量 $q_2(t)$ 相同时，被调量水箱水位 $h(t)$ 将保持在希望值 h_0 上。当 $q_2(t)$ 增加时，破坏了系统原有的平衡状态，使水位 $h(t)$ 下降。运行人员观察到水位 $h(t)$ 下降时，则需开大入水阀门，使入水流量 $q_1(t)$ 增加，以使水位上升至希望值。当 $q_1(t)$ 重新等于 $q_2(t)$ 时，水位又达到新的平衡状态。

原则性方框图：为了解系统的工作过程及各变量之间的传递关系，可以用如图 1-2 所示的原则性方框图来表示系统的控制过程。

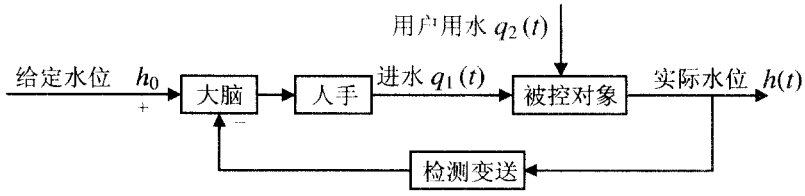


图 1-2　水箱水位手动控制系统原则性方框图

（3）自动调节（机械调节系统）过程。由人工调节过渡到自动调节，即用自动化装置代替人工操作。水箱水位简单机械自动控制系统原理结构示意图如图 1-3 所示。对系统所用控制设备作以下说明：

控制设备
- 检测变送部件—浮子
- 执行部件—闸阀
- 逻辑判断及数学运算部件—杠杆、支点

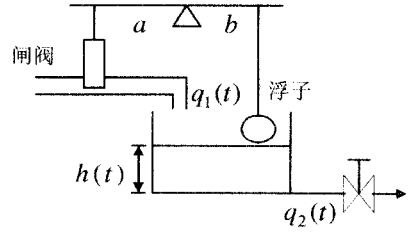


图 1-3　水箱机械控制系统结构示意图

控制过程分析：当$q_2(t)$增加时，水位$h(t)$下降，浮子下移，通过杠杆传递使入水阀门开大，水位$h(t)$上升。当$q_1(t)=q_2(t)$时，水位达到新的平衡状态。

原则性方框图：如图 1-4 所示。

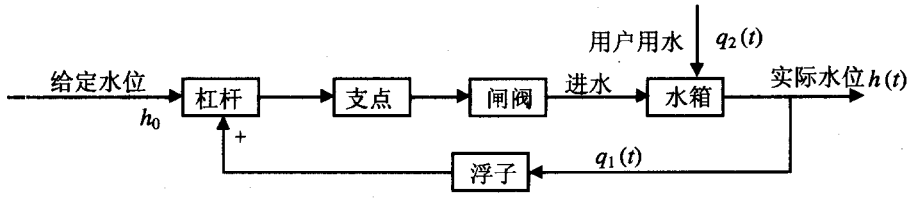


图 1-4　水箱水位手动控制系统原则性方框图

2. 简单主汽温度自动调节系统

（1）控制系统的任务。为保证机组的安全经济运行，要求主蒸汽温度为设定值。

（2）控制系统构成。系统构成如图 1-5 所示。主要由被控对象——过热器管道，执行机构——电动喷水阀门（执行器），检测变送组件——热电偶和温度变送器，控制系统核心部件——电动控制器（调节器）组成。其中，被调量（测量值）——主汽温度，调节量（控制信号）——喷水流量，干扰信号——炉膛燃烧工况等多种因素。

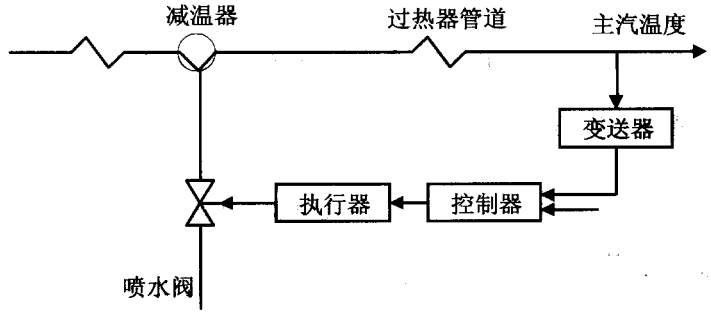


图 1-5　简单主汽温度控制系统结构示意图

（3）控制系统原则性方框图如图 1-6 所示。

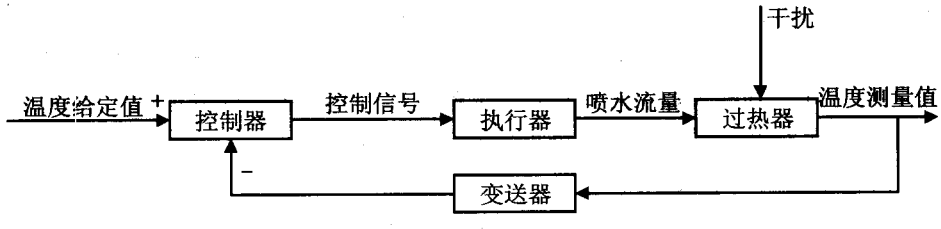


图 1-6　简单主汽温控制系统原则性方框图

（4）控制过程分析。当主汽温度的测量值等于设定值时，喷水阀门不动，系统处在动态平衡状态。此时，若炉膛燃烧工况发生变化，使汽温上升，造成给定值和测量值产生偏差，则偏差信号经过控制器的方向性判断及数学运算后，产生控制信号使喷水阀门以适当形式打开，喷水流量增加。测量值最终回到设定值，系统重新回到平衡状态。

3．简单炉膛负压自动调节系统

（1）为保证锅炉的安全经济运行，要求炉膛负压为设定值。

（2）控制系统构成，如图 1-7 所示。主要由被控对象——锅炉炉膛，执行机构——引风挡板，检测变送组件——差压计及差压变送器和控制系统核心部件——电动控制器组成。其中，被调量——炉膛负压，调节量——引风量，干扰信号——送风量变化。

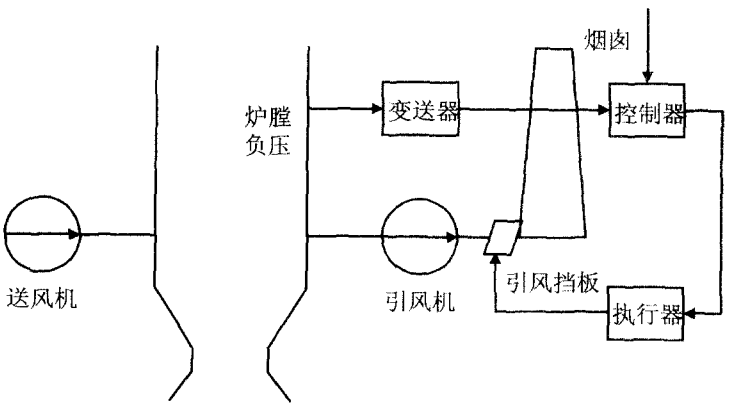


图 1-7　锅炉炉膛负压自动控制系统结构示意图

（3）控制系统原则性方框图如图 1-8 所示。

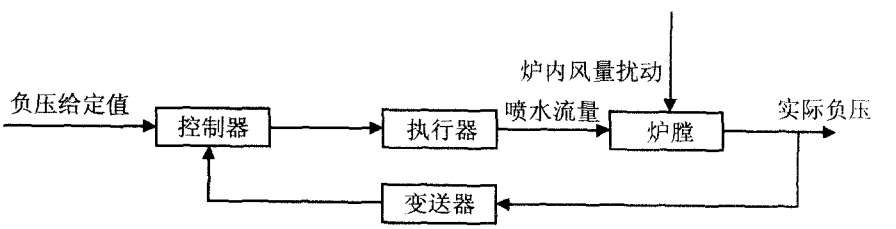


图 1-8　锅炉炉膛负压自动控制系统原则性方框图

（4）控制过程分析。炉膛负压是靠送风量和引风量的平衡来保证的。当炉膛负压的测量值等于设定值时，引风挡板的开度不动，系统处在动态平衡状态。此时，若机组要求增加负荷，则要求增加送风量，这样会使炉膛负压上升，造成给定值和测量值产生偏差，则偏差信号经过控制器的方向性判断及数学运算后，产生控制信号使引风挡板以适当形式打开，增加引风量，使测量值最终回到设定值，系统重新回到平衡状态。

4．简单汽包水位自动调节系统

（1）为保证机组的安全经济运行，要求汽包里的出汽量和进水量平衡，则要求汽包水位为设定值。

（2）系统结构原理图如图 1-9 所示。主要由被控对象——汽包，执行机构——给水阀门，检测变送组件——差压计及差压变送器和控制系统核心部件——电动控制器组成。其中被调量——汽包水位，调节量——给水流量，干扰信号——蒸汽流量等多种因素。

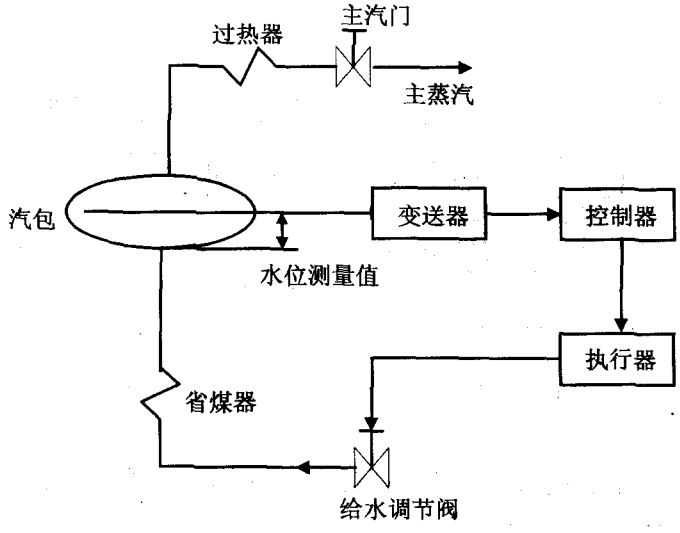


图 1-9　汽包水位简单调节系统结构原理图

（3）控制系统原则性方框图如图 1-10 所示。

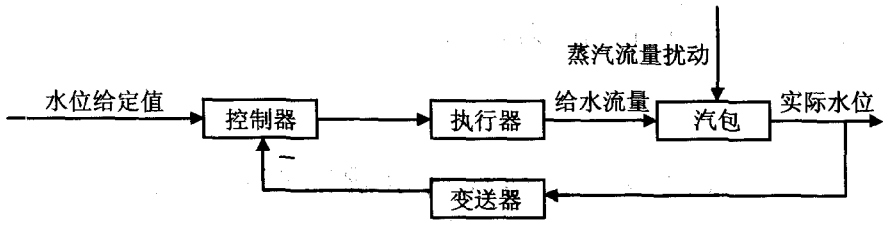


图 1-10　汽包水位自动控制系统原则性方框图

（4）控制过程分析。当汽包水位的测量值等于设定值时，给水阀门的开度不动，系统处在动态平衡状态。此时，蒸汽流量增加会使水位下降，造成给定值和测量值产生偏差，则偏差信号经过控制器的方向性判断及数学运算后，产生控制信号使给水阀门以适当形式打开，增加给水量，使测量值最终回到设定值，系统重新回到平衡状态。

三、简单自动控制系统的组成及调节机理

通过上述工程实例，我们对自动控制系统的基本构成形式以及控制系统的自动调节机理有了一定的了解。为了寻求自动控制系统统一的规范模式，对自动控制系统的组成及调节机理作以下描述。

1. 组成

简单自动控制系统可以分为被控制对象和自动控制装置（包括测量变送组件、控制器和执行机构）两大部分，或者分为广义被控对象（包括被控对象、执行机构、检测变送组件）和控制器（衡流给定器、比较器和运算器）两大部分。反馈控制系统构成形式的原则性框图如图 1-11 所示。

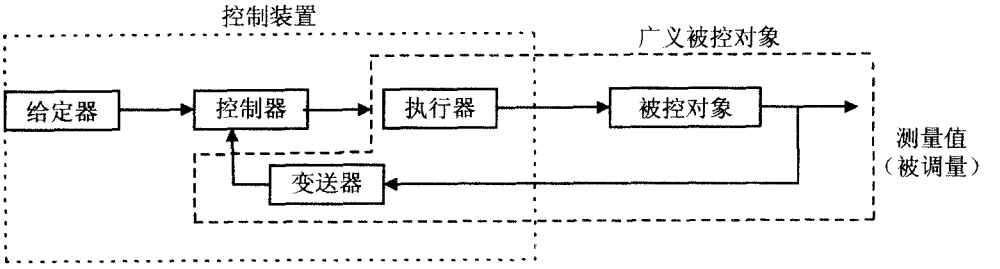


图 1-11　反馈控制系统构成形式的原则性方框图

2. 常用术语

（1）控制系统中的设备名称：广义被控对象、控制设备、被控对象、控制器（调节器）、检测变送器、执行器。

（2）控制系统中的信号名称：测量值（实际值、被调量）、希望值（给定值）、干扰信号、控制信号、调节量（控制量）。

3. 调节机理

依据给定值和测量值的偏差进行负反馈调节，调节的目的是最终减小或消除偏差。负反馈控制系统是实现生产过程自动化的基本结构形式。对于任何复杂的控制系统都不失负反馈的基本结构形式。

第三节　自动控制系统的性能指标

一、问题的提出

前面通过工程实例对自动控制系统的组成形式及调节机理做了定性的描述。至于一个自动控制系统的控制水平如何还应该做出定量的描述，这样才能确定该系统是否可以使用。例如：水箱水位控制系统，即便构成的是负反馈控制结构形式，但是，当杠杆的支点位置不同时，产生的控制效果就会截然不同。支点向左移动时，系统消除水位偏差的速度较慢，如果速度过慢，可能会影响用户用水；支点向右移动时，系统消除水位偏差的速度加快，但有可能引发水位的剧烈波动，甚至导致系统不再会回到平衡状态。怎样选择支点的位置才能既保证系统的调节速度又保证系统的稳定性呢？对其他系统的设计同样存在类似的问题，即如何确定控制器内部的算法，才能既保证系统的调节速度又保证系统的稳定性，还要保证系统的准确性？为解决这一问题，必须要对自动控制系统做出定量的描述。

通常为了保证生产设备的安全经济运行，在设计自动控制系统时，必须给出明确的系统性能指标，即控制系统的稳定性、准确性和快速性指标。通常用这三项技术指标来综合评价一个控制系统的整体控制水平。

二、性能指标的简单概念

已知反馈控制系统的原则性框图如图 1-11 所示。在系统处在动态平衡的前提条件下，要获取系统的性能指标，必须对系统产生激励作用，从而让测量值偏离给定值，此时，系统控制器将产生控制作用，才能观测出系统的控制水平。首先，系统必须具备能够抗拒扰动重新回到平衡状态的能力，这就是系统的稳定性概念。再从测量值与给定值动静态偏差的大小及消失速度给出具体的、定量的描述。

1. 激励信号的选择依据

（1）使系统性能指标的计算过程简单；

（2）能够代表系统实际扰动的形式；

（3）激励信号的强度应能足够激发系统的动态调节过程并且系统设备又能够承受。

2. 常用激励信号的形式

（1）阶跃信号；

（2）脉冲信号（理想）或方波信号（实际）；

（3）斜坡信号；

（4）加速度信号。

上述激励信号的数学表达式及其曲线形式如图 1-12 所示。

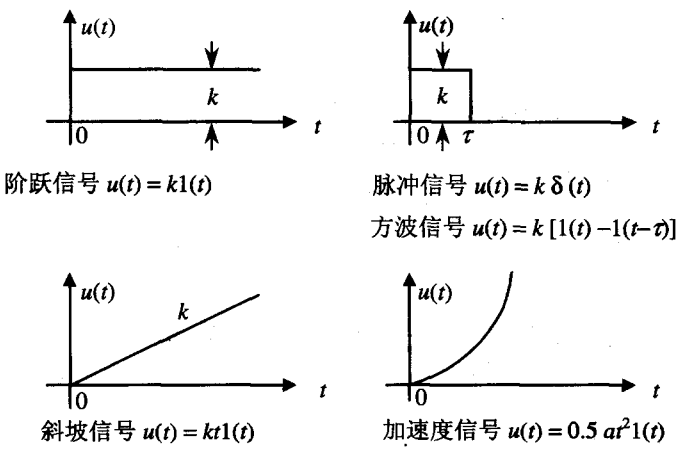


图 1-12　常用激励信号的数学表达式及其曲线形式

3. 衡量系统测量值跟踪给定值能力的技术指标

对于稳定的系统，在给定值为单位阶跃扰动情况下，获得输出值（测量值）随时间变化的响应曲线如图 1-13 所示。从系统三项性能指标的综合性考虑，一般情况下，响应曲线为衰减振荡过程的形式最佳。从响应曲线上可获取以下常用性能指标。

（1）调节时间 t_S。系统动态调节过程所需要的时间。

（2）超调量 $\sigma\%=(C_{max}-1)\times100\%$：在动态调节过程中，测量值超过给定值的最大幅度的百分比。

（3）最大动态偏差 e_{max}。在动态调节过程中，测量值偏离给定值的最大幅度。

（4）静态偏差 e_{SS}。在动态调节过程结束后，测量值与给定值之差。

（5）振荡次数 x。动态调节过程中产生周期振荡的次数。

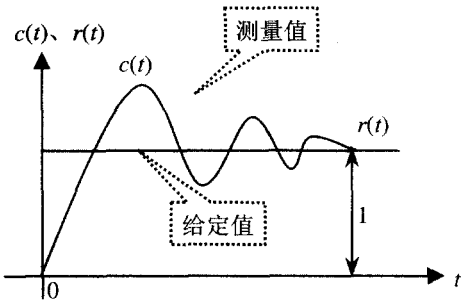


图 1-13　给定阶跃扰动下的响应

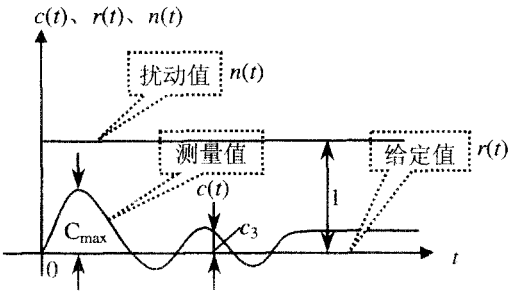


图 1-14　干扰阶跃扰动下的响应

4. 衡量系统测量值抗拒干扰信号能力的技术指标

对于稳定的系统，在干扰信号为单位阶跃扰动的情况下，获得输出值（测量值）随时间的响应曲线如图 1-14 所示。从响应曲线上可获取以下常用性能指标：

（1）调节时间 t_S。系统动态调节过程所需的时间。

（2）衰减率 $\psi\%=1-C_3/C_{max}$。表征系统动态调节过程的衰减程度。

（3）最大动态偏差 e_{max}。在动态调节过程中，测量值与给定值偏差的最大值。

（4）静态偏差 e_{SS}。在动态调节过程结束后，测量值与给定值之差。

（5）振荡次数 x。动态调节过程中产生周期振荡的次数。

怎样确定控制系统的性能指标是控制系统的分析问题；怎样使自动控制系统的性能指标满足设计要求是控制系统的设计与改造问题。这些问题将在本教材陆续介绍。

第四节　自动控制系统分类

由于各种被控对象的动态特性不尽相同，因此，设计满足性能指标要求的自动控制系统的结构形式也随之不同；考虑到所设计系统的性能价格比，在设计过程中设备的选型也会不同。考虑种种因素，对自动控制系统就其结构、执行机构的动力源形式、系统给定值形式以及所选择的控制器形式做以下分类：

一、按系统结构分类

1. 开环（前馈）控制系统

控制器与被控对象之间的信号传递只有顺向作用，而没有反馈联系的控制过程，即被调量的变化情况不参与系统的调节。开环控制的优点是调节作用直接而快速，它在扰动信号作用的同时即参与调节。但是，它调节作用的针对性极强。开环控制系统举例如图 1-15 所示。显然在用户用水发生变化的同时，入水流量立刻跟随作相应的变化，这样的调节作用使水位的波动减小。如果设计过程使两个阀门开度的配比合适，可以使扰动对水位的影响降到最小，这便是开环控制调节作用的直接和快速性。但是，当入水管路压头发生变化时，对水位信号所产生的影响，开环调节系统的调节作用却无能为力，这便是调节作用的针对性。

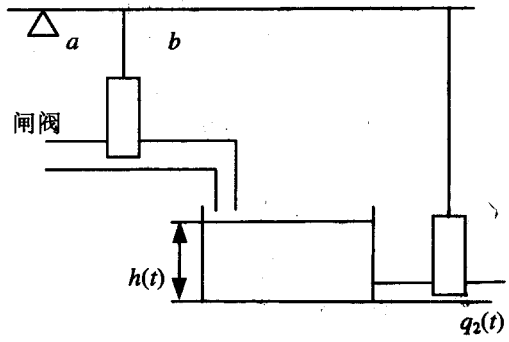


图 1-15　水箱水位前馈控制系统结构示意图

2. 闭环负反馈控制系统

闭环负反馈控制系统是控制系统最常见的形式。被调量信号的变化情况是系统调节作用的依据，即调节作用是根据被调量的测量值与给定值的偏差而形成的。前面所举工程实例均属这种结构形式。这种控制方式的优点是无论系统的扰动来自何方，只要被调量的测量值偏离给定值，则系统就会产生调节作用。不足之处则是调节速度较开环控制相比要慢些，因为它的调节作用是在被调量的测量值已经偏离给定值之后才开始的。

3. 复合控制系统

闭环控制与开环控制的有机结合，可以构成具有较好性能指标的自动控制系统。

4. 串级控制系统

由于被控对象的控制难度太大，一个控制器不能产生良好的控制效果时，可以选择两个控制器串行连接形成双回路串级反馈控制系统，以提高系统的控制水平。这种控制方式在热工控制系统的设计过程中是常见的。图 1-16 为串级主汽温控制系统结构示意图。这种结构形式所产生的调节效果将在系统性能分析中陈述。

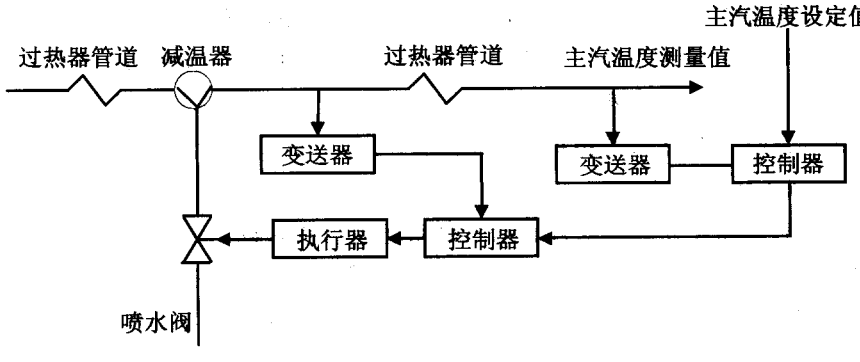


图 1-16　串级主汽温控制系统结构示意图

二、按执行机构动力源分类

（1）电动控制系统。执行机构是由电驱动的；

（2）液动控制系统。执行机构是由液体压力驱动的；

（3）气动控制系统。执行机构是由气体压力驱动的。

三、按给定值形式分类

（1）定值调节系统。给定值是一个确定的常数（如汽包水位控制系统）；

（2）随动调节系统。给定值是无法预知的变数（如单元机组负荷控制系统）；

（3）程序调节系统。给定值是已知变化规律的变数（如全程主汽温调节系统）。

四、按控制器形式分类

（1）常规控制系统。由常规控制器构成的自动调节系统；

（2）计算机控制系统。由专用计算机作为控制器构成的自动调节系统。

五、按数学描述分类

（1）线性系统。可以用线性微分方程描述的系统，具有齐次性和叠加性；

（2）非线性系统。只能用非线性微分方程描述的系统。

☆☆☆ 单元小结 ☆☆☆

1. 所谓自动控制系统就是在没有人直接参与的情况下，利用控制装置操纵受控对象，使被调量等于给定值。

2. 自动控制的基本方式分开环和闭环两种。开环控制实现起来简单，并且造价低，但抗干扰能力差，控制精度较低。自动控制原理中主要考虑的是闭环负反馈控制方式，因为这种控制方式的特点是抗干扰能力强，控制精度高，但是系统的设计难度较大，存在着是否能够正常工作的问题——即稳定性问题。另外，为提高系统的设计水平，可以在反馈控制的基础上增加前馈作用。

3. 反馈控制系统的基本组成为：被控对象、执行器、检测变送器、调节器（包括恒流给定器、比较、运算和放大功能）。

4. 单回路反馈系统的调节原理：依据偏差调节，目的是最终消除偏差。

5. 控制系统中的信号名称：被调量（检测值、测量值、实际值、输出量）、调节量（控制量）、输入量、扰动量、偏差量。

6. 对控制系统综合性性能指标的要求是：一稳、二准、三快。具体性能指标可根据实际工程情况，按不同形式给出。

7. 自动控制理论是分析和设计自动控制系统的理论基础，大致可以分为古典控制理论和现代控制理论两大组成部分，而古典控制理论又是现代控制理论的基础，本书主要介绍古典控制理论。随着生产技术的不断更新和发展，自动控制理论也在不断发展，但掌握这些最基本的知识，对学习和掌握各种新型的控制技术是必不可少的。