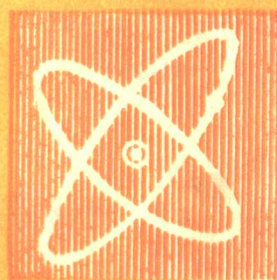
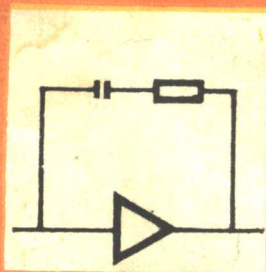
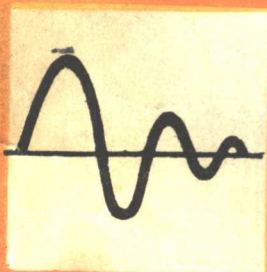
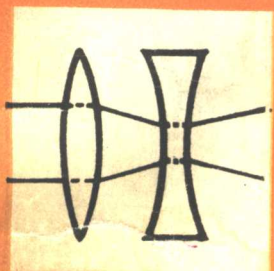


高等学校试用教材



过程控制系统

重庆大学 涂植英 主编



机械工业出版社

高等学校试用教材

过程控制系统

重庆大学 涂植英 主编

机械工业出版社

过程控制系统

重庆大学 涂植英 主编

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

轻工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ ·印张 $28\frac{1}{2}$ ·字数696千字

1983年5月北京第一版·1983年5月北京第一次印刷

印数 0,001—9,300·定价2.90元

*

统一书号:15033·5140

前 言

本书是根据 1978 年 4 月在天津召开的高等学校一机部对口专业座谈会上所确定的精神, 和同年 10 月在上海召开的工业自动化仪表专业教材大纲审定会所确定的编写大纲编写的。它是工业自动化仪表专业的一门专业课教材, 也可供石油、化工、冶金、电站等从事过程控制的技术人员参考。

本书主要分常规过程控制系统和计算机过程控制系统两篇, 而以后者为主。全书从过程控制角度着重于系统的分析和使用, 力求做到理论与实际相结合。第一篇重点放在第一章被控对象的动态特性, 第二章单回路反馈控制系统和第三章串级控制系统; 第二篇重点放在第五章直接数字控制系统和第六章最优控制和自适应控制系统。最后第八章介绍了系统的模拟(仿真)技术。两篇内容具有相对独立性, 以便各校根据具体情况有所选择或侧重。

本书取材力求反映七十年代以来在过程控制系统方面的新技术, 以及近年来出现的多级(递阶)控制系统, 分散型综合控制系统等。

1980 年 7 月在一机部教编室主持下召开了审稿会。参加会议的有太原工学院、西安交通大学、华中工学院、上海业余工大、上海机械学院、无锡轻工业学院。会上各院校代表对书稿进行了认真审议, 提出了许多宝贵意见; 会前天津大学李光泉同志认真审阅了全部书稿; 全书由王汝范同志审核。在本书编写过程中, 得到了许多单位的支持和帮助, 在此一并致以谢意。

本书由重庆大学涂植英同志主编, 负责编写绪言、第五、六、七章和附录, 闻庆东同志负责编写第二、三、八章, 徐盛仪同志负责编写第一、四章。

由于编者水平有限, 书中有不妥和谬误之处, 恳切希望读者批评指正。

主要符号表

符号	名称		
A	动态偏差; 放大倍数	e_f	干扰作用产生的偏差
A_0		e_c	经 <i>Smith</i> 预估器修正后的偏差
A_1	滤波器算式的加权系数	e	参考模型与对象状态向量之差
A_2		F	干扰系数; 燃料信号
A_3		F	解耦补偿矩阵; 离散形式的控制矩阵
A/D	模-数转换器	f	频率; 流量
A	系数矩阵; 常数矩阵	$f(\cdot)$	向量函数
A_m	参考模型的常数矩阵	$G(s)$	控制通道的传递函数
a	伪随机序列幅值; 系数; 元素	$G_c(s)$	调节器的传递函数
B_1	控制过程第一个波峰值	$G_d(s)$	干扰通道的传递函数
B_2	控制过程相邻第二个波峰值	$G_F(s)$	低通滤波器的传递函数
$BIAS$	偏置系数	$G_M(s)$	前馈控制器的传递函数
B	控制矩阵; 反馈控制矩阵	$G_o(s)$	开环传递函数
B_m	参考模型的常数矩阵	$G_p(s)$	对象不包括纯时滞部分的传递函数
C	电容; 静态偏差; 浓度; 容量系数; 弹性系数; 截面积	$G_r(s)$	闭环传递函数
C_0	偏差系数; 协调器	$G_v(s)$	调节阀的传递函数
C_1	偏差系数	$G_{r\psi}(Z)$	脉冲传递函数
C_2		$G_{r\psi}(Z)$	
C_3		$G_{h\psi}(Z)$	
CRT	阴极射线管屏幕显示器	$G_{f\psi}(Z)$	脉冲传递函数
C	输出矩阵	$G_{p\psi}(Z)$	
D	调节器的微分作用	$G_{r\psi}(Z)$	
D_t	(行列式) 主子式	$GAIN$	增益
D/A	数-模转换器	$G(s)$	传递矩阵
DMA	直接存储器地址	$G_a(s)$	对象传递矩阵
DEV	偏差	$G(Z)$	脉冲传递矩阵
$D(s)$	干扰变量的拉氏变换	$g(t)$	脉冲响应函数
D	干扰向量; 传递矩阵	$g(\cdot)$	阶段评价函数
d	加于对象的干扰	$g(\cdot)$	约束向量函数
E	电压; 修正系数	H	哈密尔顿函数; 液位; 氢
$E(s)$	中间变量的拉氏变换; 偏差的拉氏变换	ΔH	汽化热
E	偏差矩阵; 离散形式的系数矩阵	$H_m(s)$	变送器的传递函数
e	偏差 ($e = r - y$)	H_{b0}	燃油发热量
e'	负的偏差 ($e' = -e$)	HI	上限
e_f	输入电压	h	液位
e_o	输出电压	h_0	液位稳态值
		Δh	液位对其稳态值的微小变化
		I	调节器的积分作用; 直流电流信号; 积

分准则指标		ΔQ_t	流入量对其稳态值的微小变化
i_c	栅极电流	Q_m	阀全开时的流量
i_0	输出电流	Q_0	流出量的稳态值
J	目标函数; 误差平方和; 转动惯量	ΔQ_0	流出量对其稳态值的微小变化
j	虚轴	Q_r	回流流量
K	对象放大倍数; 流量系数	Q_s	蒸汽流量
K_A	辅助变换系数	ΔQ_s	蒸汽流量的变化量
K_C	调节器放大系数	Q_w	给水流量
K_D	微分系数	Q	正定 (或半正定) 实对称矩阵
K_d	干扰通道放大系数	q	调节介质
K_f	静态前馈系数	R	理想气体常数; 比率; 电阻; 阀的可调范围
K_I	积分系数	R_{xx}	x 的自相关函数
K_i	裂解炉的修正系数	R_{xy}	x 与 y 的互相关函数
K_o	开环放大系数	RV	远方给定值
K_r	闭环放大系数	$R(s)$	给定值的拉氏变换
K_t	时间比例尺	RAT10	比率系数
K_v	阀门放大系数	ROM	只读存储器
K_u	阀门的流量系数	RAM	随机存取存储器
K_v	幅值比例尺	R	正定实对称矩阵
K	控制矩阵	r	给定值; 实际微分环节的微分增益; 相关系数
k	采样序号; 递推项数; 系数	S	步长; 容器的横截面积
L	电感	S_{xx}	功率密度谱
LO	下限	SP	给定值
LSP	本地给定值	$Sign(\cdot)$	$(\cdot)$ 的符号函数
M	力矩	T	时间常数; 伪随机码周期; 对象控制通道的的时间常数; 绝对温度; 循环气温度; 温度; 状态转移函数
MCS	微型计算机系统	T_a	飞升时间
MPU	微中央处理机	T_b	塔底温度
m	质量; 流量信号	T_c	调节器的时间常数
N	控制回路数; 牛顿; 氮	T_D	微分时间; 数字滤波时间常数
n	衰减比; 分流系数; 转速; 回路序号	T_2	微分时间
OUT	输出信号	T_d	干扰通道时间常数
P	调节器的比例作用	T_F	滤波器时间常数
P	常压塔塔顶压力; 被控对象	T_f	常压塔进料温度
PV	(过程变量) 测量值	T_i	积分时间
PROM	可编程序只读存储器	T_0	开环时间常数; 控制过程的上升时间
P	伴随变量 (向量)	T_K	临界周期
p	压力; 气压信号; 死区环节的输出	T_s	4:1 衰减波动周期; 闭环系统时间常数
p_r	气压给定值	t	时间
Q	阀在某一开度下的流量	t_0	初始时间
Q_a	气体流量	t_1	终端时间
Q_b	塔底产品流量; 燃油流量		
Q_f	进料流量		
Q_h	冷凝器带走的热量; 中段回流移去热量		
Q_i	流入量的稳态值		

t_s	完成一次模-数转换占用时间
U	回归平方和
$U(s)$	调节器输出信号的拉氏变换
u	调节器输出信号; 对象输入信号
u	控制向量
V	输出控制速度; 容积
VAL	输出信号
X	过程变量 (PV)
x_i	随机信号
$\bar{x}$	样本平均值
x	状态向量
$Y(s)$	被控参数的拉氏变换
Y_R	氢氮比决策系数
y	输出向量
y	被控参数
$\hat{y}$	估计值
$\bar{y}$	样本平均值; 递推平均值
Z	阻抗
z	变送器的输出值
α	比例系数; 微分放大系数
β	滤波器系数; 可变偏置

δ	比例度
δ^2	方差
δ_K	临界比例度
δ_s	4:1 衰减比例度
$\delta(\tau)$	脉冲函数
e	飞升速度; 误差
ζ	阻力系数
θ	采样周期; 角位移; 角度
λ	拉格朗日待定常数向量
v	时间变量
τ	滞后时间
τ_c	容量滞后时间
τ_0	纯滞后时间
φ	摆角
ψ	比重
ω	角频率
ω_0	系统自然角频率
ω_s	采样角频率
ω_{max}	过渡过程频谱中的高频分量频率
Δ	不灵敏区 (死区), 增量符号

目 录

主要符号表

绪言

- § 0-1 生产过程自动化的发展概况 1
- § 0-2 过程控制系统的组成及其分类 4
- § 0-3 过程控制系统的过渡过程和
质量指标 8

第一篇 常规过程控制系统

第一章 被控对象的动态特性 12

- § 1-1 概述 12
- § 1-2 被控对象的一般特性 15
- § 1-3 测定对象动态特性的时间域
方法 25
- § 1-4 试验结果的数据处理——由阶跃
响应曲线求对象的传递函数的
方法 29
- § 1-5 测定对象动态特性的频率法和统
计相关法 43
- § 1-6 小结 59

思考问题与习题 59

第二章 单回路反馈控制系统 61

- § 2-1 单回路反馈控制系统的组成 61
- § 2-2 对象特性对控制质量的影响 62
- § 2-3 控制规律对控制质量的影响及调
节器的选型 66
- § 2-4 单回路控制系统的整定 72
- § 2-5 小结 90

思考问题与习题 91

第三章 串级控制系统 92

- § 3-1 串级控制系统的组成 92
- § 3-2 串级控制系统的特点 94
- § 3-3 串级控制系统的应用范围 100
- § 3-4 串级控制系统的设计原则 102
- § 3-5 串级控制系统主、副调节器的
选型 104
- § 3-6 串级控制系统的整定 106
- § 3-7 小结 112

思考问题与习题 113

第四章 其他控制系统 114

- § 4-1 均匀控制系统 114
- § 4-2 比值控制系统 118
- § 4-3 分程控制系统 128
- § 4-4 自动选择性控制系统 134
- § 4-5 前馈控制系统 141
- § 4-6 全程控制系统 160
- § 4-7 小结 167

思考问题 168

第二篇 计算机过程控制系统

第五章 直接数字控制 (DDC) 系统 170

- § 5-1 概述 170
- § 5-2 DDC 系统的组成、功能及其应用
场合 177
- § 5-3 DDC 系统的信号采样和数字滤波 180
- § 5-4 DDC 的基本算式和参数整定 185
- § 5-5 典型 DDC 系统 197
- § 5-6 大纯滞后补偿控制系统 206
- § 5-7 多变量解耦控制系统 215
- § 5-8 多变量前馈控制系统 234
- § 5-9 小结 250

思考问题 251

第六章 最优控制和自适应控制系统 252

- § 6-1 最优控制的概念 252
- § 6-2 数学模型及其辨识 254
- § 6-3 静态最优控制系统 276
- § 6-4 动态最优控制系统 315
- § 6-5 自适应控制系统 332
- § 6-6 分级控制系统 337
- § 6-7 小结 343

思考问题与习题 344

第七章 分散型综合控制系统 345

- § 7-1 概述 345
- § 7-2 TDCS-2000 系统的组成和主要
部件 352

§ 7-3 基本控制器的结构、功能和算法·····	357	§ 8-2 模拟计算机的工作原理·····	390
§ 7-4 数据输入板和基本控制器的组态·····	364	§ 8-3 模拟计算机的线性运算部件·····	396
§ 7-5 过程输入输出装置·····	373	§ 8-4 模拟计算机的非线性运算部件·····	403
§ 7-6 中心操作系统·····	376	§ 8-5 系统的模拟计算机模拟·····	407
§ 7-7 带上位机的分散型综合控制系统·····	381	§ 8-6 系统的数字计算机模拟·····	421
§ 7-8 分散型综合控制系统的应用实例—— 蒸馏塔最优化控制系统·····	382	§ 8-7 系统的混合计算机模拟简介·····	433
§ 7-9 小结·····	387	§ 8-8 小结·····	438
思考问题·····	388	思考问题与习题·····	439
第八章 系统的计算机模拟·····	389	附录 TDCS-2000 基本控制器的 算式·····	440
§ 8-1 概述·····	389	参考文献·····	445

绪 言

§ 0-1 生产过程自动化的发展概况

在工程和科学发展的过程中, 自动化起着极为重要的作用。除在宇宙飞船、导弹制导、船舶导航和飞机驾驶系统等领域中, 自动化系统有着特别重要的作用外, 在其它领域如现代机器制造业、仪表制造业和工业生产过程中它已成为重要而不可缺少的组成部分。在工业企业中自动化是保证生产稳产、高产、低耗、安全、改善劳动条件、提高劳动生产率的重要手段, 它也是工业企业现代化的重要标志之一。

生产过程自动化的发展过程, 大体经历了这样三个阶段:

第一阶段 三十年代到四十年代, 采用大尺寸的基地式仪表, 实现单体设备就地分散的局部自动化, 各单体设备之间互不联系或联系很少。当时, 过程控制(Process control)的目的主要是维持温度、压力、液位、流量等参数一定, 以保证产品的产量和质量稳定。

第二阶段 四十年代到五十年代, 相继采用气动单元组合仪表、电动单元组合仪表和巡回检测装置, 实现了集中监视、集中操作和集中控制, 强化了生产, 提高了设备效率, 适应了工艺设备向大型化和连续化发展的需要。

第三阶段 六十年代至今, 从车间集中控制向综合自动化发展, 将军事工程和宇航方向发展起来的现代控制理论和电子计算机推广到民用工业, 实现了过程控制最优化与管理调度自动化相结合的分级计算机控制系统。一个典型的分级计算机过程控制系统如图 0-1 所示, 企业级负责生产计划的综合管理, 工厂级负责各车间之间的协调, 车间级负责装置之间的协调和监督控制, 装置级负责生产过程的模拟控制或直接数字控制。这种递阶的分级计算机过程控制系统是属于一种大规模工业自动化系统。它使工业自动化技术发展到一个新的阶段, 是目前自动化技术发展的一个重要方向。

我们知道, 电子数字计算机的出现, 在科学技术上引起了一场深刻的改革, 要发展现代化的工业、农业、国防、科学技术是离不开它的。计算机除了能高速自动地进行数学计算外, 还具有记忆、判断、比较等逻辑功能, 它能代替相当一部分人的劳动, 因此, 它在人类社会中的地位正在引起越来越深刻的变化。计算机不仅在数据处理、科学计算等方面应用极广, 而且在工业自动控制方面也得到了越来越广泛的应用, 特别是在石油、化工、电力、冶金等方面的过程控制和机械、轻工等方面的群控发展很快, 就是说, 它正成为科研、设计、管理和生产部门的有力工具, 在应用中一般把用于工业自动控制的电子计算机称为工业控制机(简称工控机或控制机)。

工业控制机的应用也是随着计算机技术的发展而发展起来的, 而且在计算机发展的初期就提出了在工业控制方面的应用问题。早在1952年化工生产部门就开始使用计算机作自动检测和数据处理, 两年后又进行开环指导, 1957年在一个石油蒸馏装置上采用计算机来调整模拟式调节器的给定值, 开始进行闭环的监督控制(Supervisory Computer Control

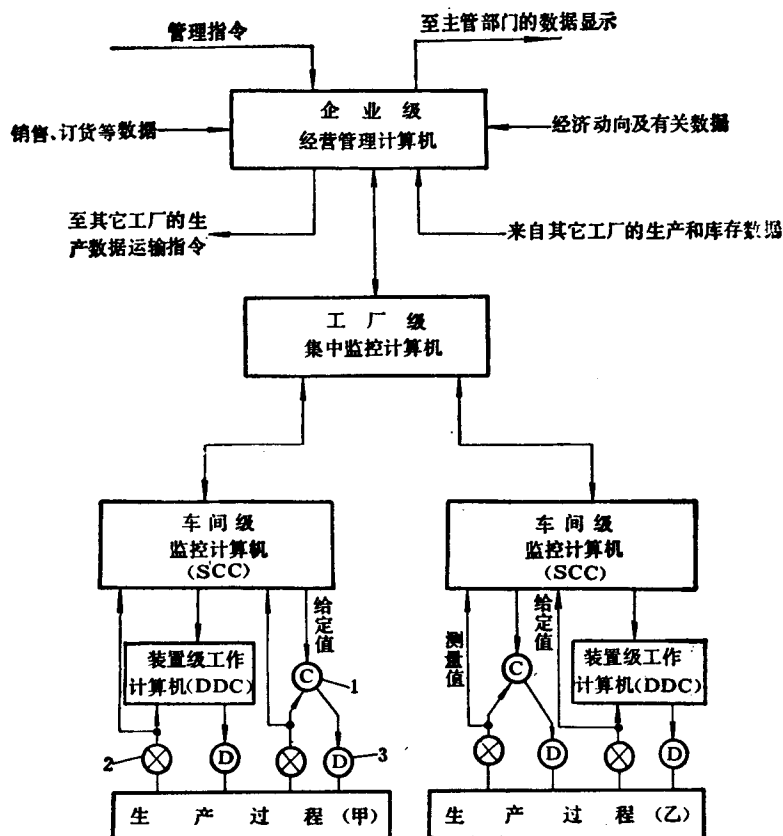


图0-1 分级计算机过程控制系统

1—调节器 2—变送器 3—执行器

缩写 SCC)。1958 年国外还在一个电站实现了电子计算机的闭环控制。1958 年以后英国和美国的一些大公司和研究机构开始研究用数字计算机来代替常规的调节器作为直接数字控制 (Direct Digital Control 缩写 DDC) 的问题, 并作了小规模的试验。到 1964 年直接数字控制技术才迅速发展起来。现在正向计算机最优化控制方向发展。我国在 1968 年第一台工业控制专用机 DDC 正式投入运行以后, 相继又有多台安装投运, 如上海炼油厂用 SKY-6901 机实现对常压蒸馏塔的 DDC 控制, 运行一直比较可靠; 北京有机化工厂用 JQ-1 型机实现了 DDC 控制, 运行较好; 上钢五厂用 JS-301 机实现了持久机的群控, 全国还有不少工厂、企业陆续将计算机用于控制生产过程, 估计计算机的总数已有几十台, 不仅实现 DDC 控制, 而且有不少工厂还实现了 SCC 控制, 如兰州炼油厂用 JS-10A 和 HOC-510 对常减压装置实现 SCC, 上海石油化工总厂一厂用 M-5 F 机对常规调节器实行 SCC 控制, 武钢对轧机实行 SCC 控制等。

这些都说明, 过程控制已跨入了计算机控制的年代。

在计算机控制的发展过程中, 提出了究竟计算机控制的发展前景如何的问题, 而问题的关键又是怎样实现计算机的在线控制? 对于一个大型企业是采用一台大型计算机按照数学模型实现全面的最优控制, 还是在一些生产过程中的关键场合采用小型计算机进行控制?

对于这个问题国外发表过不少评论。例如, 1971年有人提到, “过去10~15年的经验说明, 对于一个大工厂采用大型的计算机, 全面的测试全厂的情况并进行全面的最佳控制是一而再地失败了。近年来, 计算机应用在关键的地方, 解决关键的问题很有成效(投资小, 收效大), 例如一个精馏塔的前馈控制。”这里所说的大型计算机的全面控制也就是通常所谓的集中型计算机控制。

经验说明, 集中型计算机控制存在着不少问题, 首先是对计算机硬件的可靠性要求很高, 因为机器发生故障将对全厂或整个装置带来严重的影响。国外对工业控制机的连续运转率提出了99.95%的高指标, 也即一年时间中停机不超过4小时。现阶段, 这样的可靠性依靠一台计算机往往难以达到。因此, 目前不少地方都采用双机并用的方法来实现集中型的计算机控制。这样就导致自动化投资高昂, 难以为用户接受。

其次, 是在实现集中型计算机控制的过程中, 建立相应的数学模型, 是一个十分困难的问题。控制系统所包含范围越大, 相应的数学模型也就越复杂。国外在这方面虽然进行过不少研究工作, 但是至今还不能认为得到了满意的结果。

而实践证明, 把计算机分散到生产装置中去, 实现小范围的局部控制, 例如实现某些特殊的控制规律, 物料与能量平衡控制等等, 已经在生产上显示了显著的效果。这种计算机控制通常称为“分散型计算机控制”。

分散型计算机控制的形成, 大大推进了过程控制的发展。特别是近几年来以微处理机(Microprocessor)为核心的微型计算机(Microcomputer)的诞生, 为实现分散型计算机控制创造了良好的条件, 开始了过程控制的新时代。分散型计算机控制的最大优点是系统可靠性高, 价廉, 实现特殊控制规律方便、灵活; 而且由于控制范围的缩小, 对建立数学模型也带来了方便。

但是, 事物的发展总是螺旋式上升的。现代工业企业的特点是高度连续化与大型化。装置与装置, 设备与设备之间的联系日趋密切, 特别是为了降低能量消耗, 提高产品产量和质量, 仅仅实现局部范围的孤立的控制是难以获得显著效果的。因此, 如何在分散型计算机的控制系统的基础上, 考虑它们之间的协调与联系已成为七十年代非常迫切而重要的问题。通过理论和实践表明, 解决这个问题的有效途径, 就是实现计算机的分级控制。计算机的分级控制兼顾了“集中型”和“分散型”的优点, 并把两者有机的结合起来, 使计算机控制进入了一个崭新的阶段。这种以计算机为中心的分级大系统已成为当前发展的一个重要方向。

一般来说, 生产过程采用计算机控制的一个最大特点是它能使过程控制系统处于人们所拟定的“最优工作状态”, 从而使生产中的各种经济指标得到相当的改善。这种控制方法得到了很快的发展, 是当前控制科学所研究的主要内容。

正是由于这个原因, 在近代的大规模生产系统的建设中, 用于生产控制设备的投资, 由过去的30%增加到50~60%。这就是说, 生产设备投资的重点越来越多地放到过程控制的自动化设备上了。虽然如此, 但由于采用计算机控制所带来的经济效益显著, 使计算机的投资费用在一年左右就可全部收回。根据国外十多个国家四十个乙烯厂和十一个国家二十多个氨厂的统计, 产量提高2~5%, 操作费用降低2~3%, 电子计算机的费用不到一年时间就可全部收回。

生产过程采用计算机、微型机控制虽然是目前发展的必然趋势和主流，但常规仪表控制在中小型企业，甚至大型企业还仍然保持着它的生命力。

§ 0-2 过程控制系统的组成及其分类

把工业生产过程中的温度、流量、压力、液位、浓度等状态参数作为被控参数的控制系统叫过程控制系统。我们先讲过程控制系统的组成及术语，然后再讲过程控制系统的分类。

一、过程控制系统的组成及术语

我们知道，自动控制是在人工控制的基础上发展起来的。为了讲清楚过程控制系统的组成，我们先举一个例子进行分析解剖，看看自动控制系统是由那些部分组成的。

图 0-2 是电厂、化工厂里常见的生产蒸汽的锅炉设备。要保证锅炉正常运行，维持锅炉液位为正常标准值是很重要的条件。锅炉液位过低易烧干锅而发生严重事故；液位过高则又易使蒸汽带水并有溢出的危险，因此就必须通过调节器（在数字控制中叫控制器）严格控制锅炉液位的高低，以保证其正常运行。

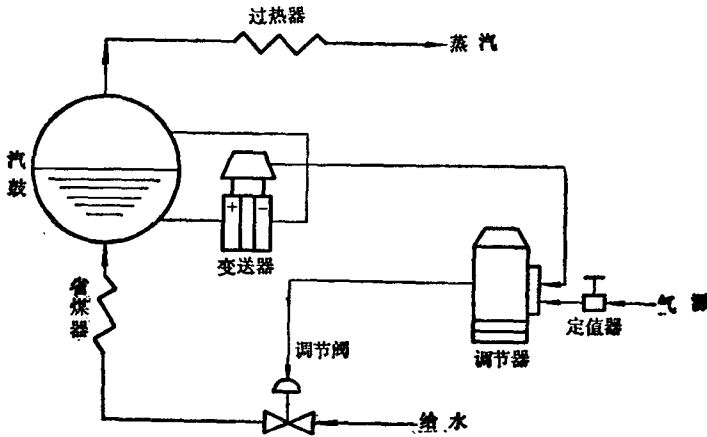


图0-2 锅炉液位自动控制示意图

当蒸汽的耗汽量与锅炉进水量相等时，液位保持在给定的正常标准值。当锅炉的给水量不变，若蒸汽负荷突然增加或减少时，液位就会下降或上升；或者，当蒸汽负荷不变而给水管道的水压发生变化时，也会影响到给水量的变化，从而引起锅炉的液位发生变化，就是说实际的液位高度与应该维持的正常液位值（即给定值）之间出现了偏差，这时调节器就要马上进行控制，去开大或关小给水阀门，使液位恢复到给定值。

要实现对锅炉液位的自动控制，至少必须要有检测元件与变送器、调节器、调节阀等三部分自动化装置与锅炉一起组成一个控制系统，其示意图见图 0-2。它的组成方框图如图 0-3 所示。

现在我们结合液位控制的例子及其方框图，来说明下列术语的意义：

1. 被控对象（简称对象或过程）

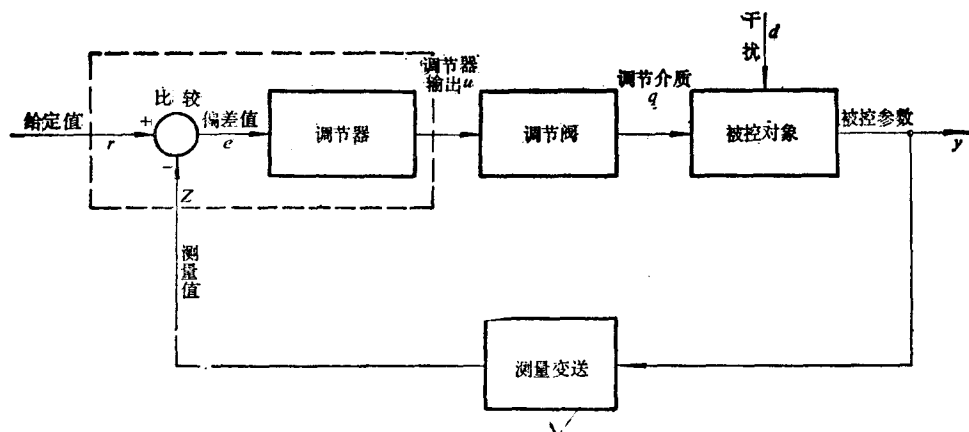


图0-3 自动控制系统的组成方框图

就是被控制的设备或机器。在锅炉液位控制的例子中，被控对象就是锅炉。

2. 被控参数（在不引起混淆时，亦称过程变量） y

按照生产过程的要求，某些参数应该维持在预定的变化范围之内，如对它们进行控制，它们就叫做被控参数。在液位控制例子中，液位就是被控参数。若一个控制系统只控制一个参数，则此自动控制系统称为单变量自动控制系统，控制两个以上参数的称为多变量自动控制系统。

3. 干扰（亦称扰动） d

在生产过程中，凡是影响被控参数的各种作用都叫干扰，或叫扰动。干扰又分内扰和外扰。所谓内扰是指调节阀（调节阀未动作）所在通道中的物质或能量的各种因素变化引起的干扰。如在液位控制例子中的给水压力变化而引起的干扰就是一种内扰。所谓外扰是指内扰以外的其它一切干扰，如在液位控制例子中蒸汽负荷的变化而引起的干扰就是一种外扰。有时为了用实验方法求取被控对象的动态特性，人为地用调节阀的开大或关小来引起被控参数发生变化。这种用调节阀开度变化来产生的干扰称为基本扰动。

4. 调节介质 q

为了克服干扰的影响，就需要利用控制作用去改变调节阀的开度，利用调节阀开度的改变去改变物料的进料量（设调节阀装在入口侧），从而达到调节的目的。这种调节所用的进料介质叫调节介质。如在锅炉液位控制的例子中，往锅炉中注入的水就是调节介质。

5. 测量元件、变送器

靠什么发现干扰的影响？这就要利用测量元件对被控参数进行测量，并转变为一定的信号输出。如在液位控制系统中用的是差压变送器。

6. 测量值 z

就是变送器的输出值。对于气动单元组合仪表， z 为输出气压 $1.96 \times 10^4 \sim 9.81 \times 10^4$ N/m²（即 $0.2 \sim 1$ kgf/cm²），对于电动单元组合仪表， z 为直流电流 $0 \sim 10$ mA或 $4 \sim 20$ mA。

7. 给定值 r

一个恒定的与正常的被控参数相对应的信号值。

8. 偏差值 e

在自动控制系统中，一般规定偏差值是给定值与测量值之差，即 $e = r - z$ 。但在仪表制造部门，习惯上是取偏差值 $e' = -e = z - r$ ，就是说在仪表校验时常把 $z > r$ 称为正偏差， $z < r$ 称为负偏差。在使用中两者正好相差一个“负号”，这是必须注意的。

我们在求偏差值 e 时可以看到，我们是把输出信号通过测量变送器又引回到输入端，这种做法称为反馈。反馈在自动控制中是一个很重要的概念。在图 0-3 中，给定值 r 旁有一个“正”号，反馈信号 z 旁有一个“负”号，到调节器的偏差信号为 $e = r - z$ ，所以叫做负反馈；如果反馈信号与给定值不是相减而是相加，则偏差值 $e = r + z$ ，经过调节器运算后，调节器的输出信号将增加，这时调节阀将使调节介质增加，从而被控参数增加，而被控参数增加又使测量信号 z 值增大，这时偏差值 $e = r + z$ 就更大，阀门就会越开越大，这种反馈过程叫做正反馈。正反馈在自动控制系统中是不允许的。

9. 调节阀

调节阀根据控制信号对锅炉的进水量进行调节。阀门运动取决于阀门的特性，有的阀门是与输入信号成正比变化，有些阀门的输出特性是与输入信号呈某种曲线关系。气动阀门还分为气开与气关两种。所谓气开阀是指当调节器的输出增加时，阀门开大。所谓气关阀是指当调节器的输出增加时，阀门反而关小。气开阀和气关阀的选择主要是从安全角度来考虑，即在一旦发生断气事故时，仍能保证安全生产。例如，蒸汽锅炉的给水调节阀一般就是用气关阀，气增加时阀门关小，气减小时开大，万一发生断气，则阀门是开着的，以保证汽鼓不致烧干。然而，在用来作为透平蒸汽源的锅炉时，蒸汽大量带水的危险更大，所以用气开阀。

10. 调节器输出（亦称控制作用） u

怎样根据被控参数的测量值来控制？在调节器内，将给定值与测量值进行比较，得出偏差值，然后依据偏差情况，按一定的控制规律（如 P、PI、PID 等），发出相应的输出信号 u 去推动执行器。现在大多数调节器是电动及气动的（从发展趋势看，今后更多的要用计算机、微型机来作控制装置或控制器），绝大多数的执行器是气动薄膜调节阀，在电动调节器与气动调节阀之间，必须有电-气转换器。在实际的调节器中，比较机构是它的一个组成部分，为了突出比较机构，我们在方框图中用圆圈单独划出来。由于调节阀有气开与气关两种形式，相应地调节器也应有正、反两种作用形式。所谓正作用，就是指偏差值 e' 增加时（如测量值 z 增加），调节器的输出信号 u 也增加。所谓反作用，就是指偏差值 e' 增加时（如测量值 z 增加），调节器的输出 u 反而下降。如在液位控制系统中，当采用气关阀时，则调节器应取正作用，只有这样才能达到控制的目的。反之，当调节阀采用气开时，则调节器应取反作用才能达到控制的目的。在实际工作中，一般都是先确定调节阀的气开或气关形式，然后才选择调节器的正作用或反作用。选择的原则是以达到控制目的为标准。在实际的调节器中正反作用是可切换的。

11. 闭环与开环

如在图 0-3 的自动控制系统中，就系统信号的传递路线来看，从被控对象的输出信号（即系统的输出信号）开始，经过一连串的自动化装置又回到被控对象，从信号的传递角度来看，就构成了一个闭合系统，一般称为闭环系统。闭环系统必然是一个反馈系统。如系统的输出信号不反馈到输入端，不形成信号传递的闭合环路，而系统输出信号对系统的控

制作用不产生任何影响，那么，这种系统则称为开环系统。开环系统的特点是不了解对象的运转情况，不能按对象的情况变化而随之变化的，这也是开环系统的最大缺点。而在闭环系统时就不同了，闭环系统的特点则是每时每刻地都在监视检查被控对象的运转情况。

从以上自动控制系统的方框图中，我们看到了各个环节之间的相互关系，也就是说我们从具体的事物中抓住了它的本质的和规律，抽出了各种控制系统的共性，各种控制系统都包含这样一些基本环节，各个环节之间都有这样的相互关系，对于每一个环节来说，输出和输入之间的关系反映了这个环节的特性，反映了这个环节自身的特点和规律性，这样就便于对各个环节提出要求以及对各个环节的特性作进一步的研究。

二、过程控制系统的分类

过程控制系统有多种分类方法，可以按生产过程工艺参数不同来分类，如流量控制、压力控制、温压控制等；可以按过程控制系统的任务不同来分类，如比值控制、均匀控制、前馈控制、自动选择性控制等；可以按自动化装置的不同来分类，可分为常规过程控制系统和计算机过程控制系统；也可以按自动控制系统是否形成闭合环路来分类，可分为开环控制系统和闭环控制系统等。每一种分类方法都只反映了自动控制系统的某一方面的特点。但是，在分析自动反馈控制系统特性时，给定值的形式不同，会涉及到不同的分析方法，所以宜将控制系统按给定值的不同情况来分类，这样可将自动控制系统分成如下三类：

1. 定值控制系统

所谓定值就是恒定给定值的简称。工艺生产中要求控制系统的被控参数保持在一个正常标准值上不变，这个正常标准值就是给定值。

工业生产中大多数都属于定值控制系统，如图 0-2 的锅炉液位控制系统，由于给定值不变，故是一个定值控制系统。因定值控制系统给定值在控制过程中是不变化的，故其变化量 Δr 等于零，这样系统的输入就是干扰信号 d ，所以也把以干扰信号为输入的系统叫做定值控制系统。

2. 随动控制系统（也称跟踪控制系统）

这类系统的特点是给定值在不断变化。而这种变化往往是无规律的，是未知的时间函数。控制系统的目的是使被控参数尽快地、准确地跟着给定值变化。系统的输入主要是给定值。随动系统应用很普遍，如各种变送器均可视为一个随动控制系统，它的输出应严格地及时地跟着输入（即测量值）而变化。有的自动指示和记录仪表（如自动平衡电子仪表）也可看作是一个随动控制系统。

3. 程序控制系统

这类系统的给定值也是变化的，但它的变化规律是一个已知的时间函数。这类系统多用在工业炉、干燥设备和周期性工作的加热设备中。

上述的各种反馈控制系统，在其中流动的信号都是连续变化的，因而统称为连续控制系统。反之，如果系统中有一个以上的信号是断续的，则这类系统称为断续控制系统，采样控制系统和数字计算机控制系统都属于这一类系统。

在石油、化工、电力、冶金等生产过程中，定值控制系统占大多数，故本书的重点亦放在定值控制系统上。

§ 0-3 过程控制系统的过渡过程和质量指标

在自动控制系统中，我们把被控参数不随时间而变化的平衡状态称为静态（或稳态）。而把被控参数随时间而变化的不平衡状态称为动态。当系统处于平衡状态即静态时，干扰等于零，给定值不变，系统中调节器的输出和调节阀的输出都暂不改变，这时被控参数也就不变。一旦给定值有了改变或干扰进入系统，这时平衡状态将被破坏，被控参数开始偏离给定值，因此，调节器、调节阀相应动作，改变调节介质的大小使被控参数回到给定值，恢复平衡状态。从干扰的发生，经过控制，直到系统重新建立平衡，在这段时间中整个系统的各个环节和参数都处于变动状态之中，这种变动状态就是动态。动态比静态复杂。在生产过程中，了解系统的静态固然必要，但了解系统的动态更为重要。当自动控制系统在动态阶段中，被控参数是不断变化的，这一随时间而变化的过程称为自动控制系统的过渡过程或控制过程，也就是系统从一个平衡状态过渡到另一个平衡状态的过程。下面，我们来说明在阶跃干扰（即一种突然的从一个数值变化到另一个数值的干扰）作用下，被控参数在控制作用下，可能出现的各种控制过程。

当系统受到阶跃干扰作用时，系统的过渡过程有如图 0-4 至图 0-7 的四种典型情况。其中图 0-4 的被控参数的变化幅度越来越大，表现为发散振荡。说明了一旦干扰进入系统，经调节器的控制以后，被控参数的振幅逐渐增大，愈来愈偏离给定值，最后超出限度产生事故为止。这是一个不稳定的系统，显然是不能取的。图 0-5 的被控参数的变化为一等幅振荡的过程，是不衰减而又不发散，处于稳定与不稳定的边界，这种系统一般都被认为是一种不稳定状态而不采用。图 0-6 是一个衰减振荡过程，被控参数经二三个周期波动后就重新稳定下来。实践证明，这种过程被认为是比较满意的，而且一般情况下均希望出现这种曲线。图 0-7 是一个非振荡过程，被控参数偏离给定值以后，经过相当的时间慢慢的才接近给定值。按照工艺要求，这样的过渡过程是允许的，但是很不理想，只有当生产上不允许有大量波动的情況下才采用。

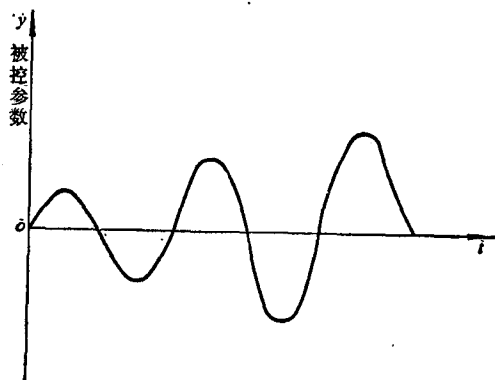


图0-4 发散振荡的不稳定的控制过程

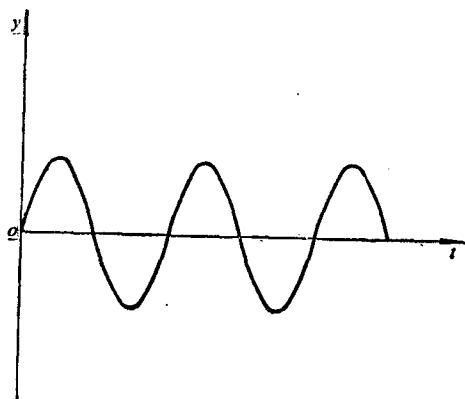


图0-5 等幅振荡的控制过程