



普通高等教育 电气工程 自动化 系列规划教材

rocess Control Engineering

过程控制工程

© 叶小岭 叶彦斐 林屹 邵裕森 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等

教材

过程控制工程

叶小岭 叶彦斐 林 屹 邵裕森 编著

机械工业出版社

本书根据当前自动化专业课程开设少而精的特点,把自动化仪表与装置和传统过程控制系统的分析、设计及应用进行了有机结合;把电子技术、计算机技术在自动化仪表和装置中的应用进行了有机融合。针对计算机技术、网络通信技术在自动化领域应用越来越广的特点,本书在系统介绍传统控制的基础上,重点介绍了计算机控制技术、网络控制技术(DCS、FCS、工业以太网等)及其系统设计。智能控制理论是当前控制理论的最高形式,以此为基础的智能控制也得到了广泛的应用,本着实用和精简的原则,本书也对此进行了系统介绍。本书理论联系实际,既注重自动控制理论知识在实际工业过程控制系统的运用,又注重在实际应用中需要具体考虑的工程实际问题,在理论与工程实践之间架起了一座桥梁。

本书可作为普通高等院校自动化类专业的教材,也可作为继续教育的教材,还可供从事过程控制工程的技术人员作为参考书。

本书配有电子课件,欢迎选用本书作教材的老师登录 www.cmpedu.com 注册下载,或发邮件至 jinaicmp@163.com 索取。

图书在版编目(CIP)数据

过程控制工程/叶小岭等编著. —北京:机械工业出版社, 2017. 7
普通高等教育电气工程自动化系列规划教材
ISBN 978-7-111-56784-4

I. ①过… II. ①叶… III. ①过程控制-高等学校-教材
IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 099846 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑: 吉 玲 责任编辑: 吉 玲 王 荣 刘丽敏
责任校对: 肖 琳 封面设计: 张 静
责任印制: 李 昂

三河市宏达印刷有限公司印刷

2017 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·21.75 印张·530 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-56784-4

定价: 49.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88379833 机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-88379649 机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金 书 网: www.golden-book.com

前言

本书根据当前自动化专业课程开设少而精的特点,把自动化仪表与装置和传统过程控制系统的分析、设计及应用进行了有机结合;把电子技术、计算机技术在自动化仪表和装置中的应用进行了有机融合。针对计算机技术、网络通信技术在自动化领域应用越来越广的特点,本书在系统介绍传统控制的基础上,重点介绍了计算机控制技术、网络控制技术及其系统设计。直接数字控制(DDC)是计算机控制的基础,本书给予了重点介绍,并以工程实例详细介绍了其工程设计。集散控制系统(DCS)是当前实现工业过程控制的主要形式,从早期的PC(PLC)控制到传统的DCS,再到融合现场总线技术的新型DCS,集散控制系统经过了从低级到高级逐步完善,再到技术成熟的过程。本书结合其发展历程进行了系统的介绍,并特别介绍了几种典型的DCS。网络控制技术是过程控制技术的一个重要发展方向,本书从现场总线技术及工业以太网技术两方面对其进行了阐述。智能控制理论是当前控制理论的最高形式,以此为基础的智能控制也得到了广泛的应用,本着实用和精简的原则,本书也对此进行了系统介绍。本书理论联系实际,既注重自动控制理论知识在实际工业过程控制系统的运用,又注重在实际应用中需要具体考虑的工程实际问题,在理论与工程实践之间架起了一座桥梁。

本书共由11章组成。第1章“绪论”介绍过程控制的组成、特点及发展;第2章“过程建模”为用经典控制理论和现代控制理论分析设计系统的基础;第3章是作为系统眼睛的“过程参数的检测与变送”;第4章是作为常规过程控制系统基本环节的“过程控制仪表”;第5章是工程应用最常见且为控制系统学习基础的“简单控制系统”;第6章是作为计算机控制基础的“直接数字控制系统”;第7章是“改善控制品质的复杂控制”;第8章是“满足某种特殊要求的复杂控制”;第9章是主要用于解决传统控制方法难以解决的复杂系统控制问题的“智能控制”;第10章是控制功能分散、显示操作和管理功能集中、兼顾分而自治和综合协调原则设计的“集散控制系统”;第11章“工业控制网络技术”介绍计算机技术、通信技术和控制技术发展融合的产物现场总线技术和目前代表着工业现场总线发展趋势的工业以太网技术。

本书内容按照工业过程控制系统的体系结构和发展脉络组织编排,在加强基本概念、基本理论和基本方法的基础上,注重理论联系实际,突出理论方法的实用性、可操作性与有效性,注重跟踪近年来工业过程控制实践中涌现出来的新技术、新理论和新方法,注重培养学生理论联系实际的创新意识与创新思维能力。

本书由南京信息工程大学叶小岭教授、河海大学叶彦斐副教授、南京信息工程大学林屹博士及东南大学邵裕森教授共同编著,邵裕森教授对全书进行了审读,南京信息工程大学张颖超教授也协助审阅了全书,南京信息工程大学孙宁博士、熊雄博士等为本书的编写做了许多有益的工作。本书的出版得到了南京信息工程大学教材基金的支持,这里对此特别表示感谢!

本书在编写过程中参阅了大量的书籍、文献,在此向其作者致谢。同时也感谢为本书提出过建议的兄弟院校的相关任课老师。

由于时间仓促,编者水平有限,对于书中存在的缺点和错误,恳请读者批评指正。

编者

主要符号说明

A	面积	p	压力
A_m	最大偏差	Q	流量
B	幅值	q	操纵变量
C	静态偏差, 流通能力	R	液阻, 控制阀可调比
D	比热容	r	设定值
D	控制器微分作用	S	串联管道降压分配比
d	干扰	T	时间常数
e	偏差	T_{cr}	临界周期
f	频率	T_D	控制器微分时间
$G(s)$	传递函数	T_d	系统工作周期
$G(j\omega)$	频率特性	T_g	广义过程时间常数
H	液位	T_I	控制器积分时间
I	控制器积分作用	T_I	控制器执行机构惯性时间常数
J	偏差积分函数	T_m	测量变送环节惯性时间常数
K	静态增益, 物料流量比	T_p	受控过程惯性时间常数
K_C	控制器比例增益	T_s	4 : 1 衰减响应曲线周期, 采样周期
K_{cr}	系统临界稳定状态的开环增益	t_s	过渡过程回复时间
K_D	控制器微分增益	T_v	控制阀惯性时间常数
K_d	干扰通道静态增益	t	时间
K_{ff}	前馈控制器静态增益	t_p	峰值时间
K_g	广义过程静态增益	u	控制器输出
K_I	控制器积分增益	v	流速
K_I	控制阀执行机构增益	y	输出量、受控变量
K_m	测量变送器静态增益	$Y(s)$	输出量、受控变量的拉普拉斯变换
K_p	控制通道静态增益	$y_d(s)$	干扰通道输出
K_v	控制阀静态增益	$Z(s)$	测量值的拉普拉斯变换
K	仪表信号比	α	角度, 实部, 流量系数, 时域可控性系数
k	采样序号	β	角度, 时域可控度
L	控制阀阀杆最大位移量	δ	比例带
l	位移量	δ_{cr}	临界比例带
N	运算放大器	δ_s	4 : 1 衰减比例带
n	衰减比	ξ	阻尼比

(续)

P	控制器比例作用	ϕ	角度
ψ	衰减率	$\phi(\omega)$	相频特性
τ_0	纯滞后时间	σ	超调量
τ_C	容积滞后	μ	阀门开度
τ_d	受控过程干扰通道纯滞后	ω	角频率
τ_g	广义过程纯滞后	ω_d	系统工作频率
τ_p	受控过程控制通道纯滞后	ω_{cr}	临界频率
θ	温度	Δ	不灵敏区、误差带、增量
		ρ	自平衡率

常用下标的定义

c	控制器	k	开环
cr	临界状态	l	控制阀执行机构
D	微分	m	测量变送
d	干扰	o	输出
ff	前馈	p	控制通道、比例
g	广义过程	r	给定
I	积分	s	标准状态、蒸汽
i	输入	v	控制阀

目 录

前 言

主要符号说明

常用下标的定义

第1章 绪论 1

1.1 过程控制介绍 1

1.2 过程控制系统的组成及其分类 2

1.2.1 过程控制系统的组成 2

1.2.2 过程控制系统的分类 3

1.3 过程控制系统的发展 5

1.4 “过程控制工程”课程的性质和

任务 8

本章小结 9

思考题与习题 9

第2章 过程建模 10

2.1 数学模型 10

2.2 机理建模 11

2.2.1 单容过程的数学模型 11

2.2.2 有纯滞后过程的数学模型 14

2.2.3 多容过程的数学模型 15

2.3 实验建模 17

2.3.1 实验建模的一般程序 17

2.3.2 阶跃响应法 18

2.3.3 脉冲响应法 22

2.3.4 最小二乘法 24

本章小结 28

思考题与习题 29

第3章 过程参数的检测与变送 31

3.1 概述 31

3.1.1 测量误差 31

3.1.2 自动化仪表的性能指标 32

3.1.3 自动化仪表的选用 34

3.2 温度检测与变送 35

3.2.1 概述 35

3.2.2 热电偶温度计 36

3.2.3 常用热电偶的结构形式 39

3.2.4 热电阻温度计 40

3.2.5 温度检测仪表的选用原则 42

3.2.6 DDZ-Ⅲ型温度变送器 44

3.3 压力检测与变送 48

3.3.1 概述 48

3.3.2 弹性式压力表 50

3.3.3 电气式压力表 51

3.3.4 压力检测仪表的选用与安装 51

3.4 流量检测与变送 52

3.4.1 概述 52

3.4.2 差压流量计 53

3.4.3 椭圆齿轮流量计 56

3.5 液位检测与变送 57

3.5.1 静压式液位计 57

3.5.2 电容式液位计 58

3.5.3 液位检测仪表的选用原则 59

3.6 变送器 60

3.6.1 矢量机构力平衡式差压变送器 60

3.6.2 电容式差压变送器 63

3.6.3 ST3000 智能变送器 65

3.7 成分分析仪表 66

3.7.1 红外线气体分析仪 67

3.7.2 氧化锆氧量分析仪 68

本章小结 71

思考题与习题 71

第4章 过程控制仪表 73

4.1 概述 73

4.2 DDZ-Ⅲ型控制器 73

4.2.1 输入电路 74

4.2.2 比例微分电路 77

4.2.3 比例积分电路 77

4.2.4 Ⅲ型控制器的传递函数 78

4.2.5 输出电路 80

4.2.6 手动操作电路 80

4.2.7 指示电路 81

4.3 运算器(运算单元) 82

4.3.1 加减器 82

4.3.2 乘除器 83

4.4 可编程调节器 85

4.4.1 概述 85

4.4.2 KMM 可编程调节器的体系结构 86

4.4.3 KMM 可编程调节器的主要功能及 应用	92	6.3 信号采集、数字滤波及数据处理	167
4.4.4 KMM 可编程调节器的软件 设计	104	6.3.1 香农采样定理及采样频率的 选择	167
4.5 执行器	106	6.3.2 数字滤波	169
4.5.1 概述	106	6.3.3 数据处理	173
4.5.2 执行机构	106	6.4 DDC 系统的 PID 算式	175
4.5.3 调节机构	109	6.4.1 基本 PID 控制算式	175
4.5.4 阀门定位器	112	6.4.2 对基本 PID 控制算式的改进	176
4.6 变频器	116	6.5 DDC 系统在工业过程控制中的应用	180
4.6.1 概述	116	6.5.1 计算机控制系统的设计过程	180
4.6.2 变频器原理	116	6.5.2 DDC 系统设计举例——全自动 电镀电源的设计	182
4.6.3 变频器功能	117	本章小结	187
本章小结	117	思考题与习题	187
思考题与习题	118	第 7 章 改善控制品质的复杂控制	189
第 5 章 简单控制系统	119	7.1 串级控制系统	189
5.1 控制系统的品质指标	119	7.1.1 概述	189
5.1.1 以阶跃响应曲线定义的单项 指标	119	7.1.2 串级控制系统的特点与分析	194
5.1.2 偏差积分综合指标	120	7.1.3 串级控制系统的工业应用	201
5.1.3 准品质指标 (过程可控度)	121	7.1.4 串级控制系统的设计	204
5.1.4 三类指标之间的关系	123	7.1.5 串级控制系统的投运与参数 整定	209
5.2 简单控制系统的方案设计	125	7.2 前馈控制	210
5.2.1 受控变量的选择	125	7.2.1 前馈与反馈	210
5.2.2 操纵变量的选择	128	7.2.2 前馈-反馈复合控制系统	215
5.2.3 执行器的选择	136	7.2.3 前馈-串级控制系统	216
5.2.4 测量变送环节在系统设计中的 考虑	139	7.2.4 前馈控制的工业应用	218
5.2.5 控制器的选型及应用	140	7.2.5 数字前馈控制系统	223
5.2.6 简单控制系统的设计原则及应用 实例	146	7.3 大滞后补偿控制	224
5.3 简单控制系统的参数整定	148	7.3.1 Smith 预估补偿控制	225
5.3.1 概述	148	7.3.2 改进型 Smith 预估补偿控制	227
5.3.2 工程整定法	149	7.4 多变量解耦控制	227
5.3.3 控制系统参数整定实例	154	7.4.1 多变量耦合	227
本章小结	157	7.4.2 相对增益	229
思考题与习题	158	7.4.3 多变量解耦系统设计	231
第 6 章 直接数字控制系统	160	7.4.4 解耦控制系统实例	235
6.1 从常规控制到计算机控制	160	本章小结	237
6.1.1 常规控制	160	思考题与习题	238
6.1.2 计算机控制	161	第 8 章 满足某种特殊要求的复杂 控制	241
6.2 过程通道	162	8.1 比值控制	241
6.2.1 模拟量输入/输出通道	163	8.1.1 比值控制的提出	241
6.2.2 数字量 I/O 通道	165	8.1.2 比值控制的常用结构	241
		8.1.3 从物料流量比到仪表信号比	245

8.1.4 比值控制的工业应用	247	10.1.4 工程师站	309
8.2 分程控制	250	10.2 集散控制系统的特点与发展趋势	309
8.2.1 概述	250	10.2.1 DCS 的主要特点	309
8.2.2 分程控制的目的	251	10.2.2 DCS 的发展趋势	310
8.2.3 分程控制的设计及生产方面的应用	252	10.3 典型 DCS	311
8.3 选择性控制	255	10.3.1 Honeywell 公司的 TDC3000 系统	311
8.3.1 概述	255	10.3.2 Foxboro 公司的 I/A Series 系统	312
8.3.2 选择性控制的类型	256	10.3.3 YOKOGAWA 公司的 CENTUM 系统	314
8.3.3 选择性控制在工业中的应用	257	10.3.4 中控集团的 CS2000	315
本章小结	261	10.4 监督控制与数据采集系统	317
思考题与习题	261	10.4.1 概述	317
第 9 章 智能控制	263	10.4.2 SCADA 系统与 DCS 的比较	318
9.1 模糊控制	263	10.4.3 组态软件	318
9.1.1 概述	263	本章小结	319
9.1.2 模糊控制系统的组成	264	思考题与习题	319
9.1.3 模糊控制系统的原理与特点	265	第 11 章 工业控制网络技术	320
9.1.4 模糊控制器	266	11.1 现场总线	320
9.1.5 工程实例	272	11.1.1 概述	320
9.2 预测控制	276	11.1.2 现场总线系统结构	320
9.2.1 概述	276	11.1.3 现场总线的特点与优点	321
9.2.2 预测控制的特点	277	11.1.4 主流现场总线	322
9.2.3 预测控制算法	277	11.2 工业以太网及基于 Web 的监控系统	323
9.2.4 预测控制的工业应用实例	281	11.2.1 控制系统中以太网的引入	323
9.3 神经网络控制	284	11.2.2 工业以太网的特点	324
9.3.1 概述	284	11.2.3 基于 Web 的远程监控	325
9.3.2 神经网络控制的结构与问题	285	本章小结	327
9.3.3 神经网络 PID 控制	288	思考题与习题	328
9.4 专家控制	290	附录	329
9.4.1 概述	291	附录 A 分程控制中控制阀的部分组成状态与对应形式	329
9.4.2 专家控制系统	293	附录 B 过程控制系统的设计标准与识图简介	330
9.4.3 专家控制器示例	295	B.1 过程控制的文字标准	330
9.5 推理控制与软测量技术	297	B.2 过程控制的图形符号标准	331
9.5.1 推理控制	297	B.3 过程控制的文字代号标准	336
9.5.2 软测量技术	300	B.4 仪表位的编制方法实例	338
本章小结	305	参考文献	339
思考题与习题	305		
第 10 章 集散控制系统	306		
10.1 集散控制系统的基本组成	306		
10.1.1 DCS 网络	306		
10.1.2 控制站	307		
10.1.3 操作员站	308		

第 1 章

绪 论

随着科学技术的不断发展,自动控制起着越来越重要的作用。宇宙飞船、导弹离不开自动控制,大型生产过程若离开了自动控制就无法正常运行,自动控制也进入了平常百姓的家庭,遍布人们生活的每一个角落。例如电冰箱的恒温控制、全自动洗衣机的运转等都是自动控制应用的常见实例。通过实施自动化,可以极大地提高劳动生产效率、大大地减轻劳动强度、有效地改善劳动条件,对保证产品质量、提高安全生产水平、节约能源、减少原材料的消耗和实现绿色生产、健康生活都具有极为重要的作用,它是当前社会发展与进步的重要动力。在社会发展的历程中,不论是已经经过的阶段还是不断努力的方向,无不是追求更高水平、更加全面和更为智能的自动化。过程控制是自动控制的一个重要分支。它涉及许多工业部门,诸如石油、化工、电力、冶金、轻工、纺织等,因而过程控制在国民经济中占有极其重要的地位。为了系统地学好“过程控制工程”课程,学习掌握有关的基本概念、系统组成,了解过程控制的任务、特点及发展是非常必要的。

1.1 过程控制介绍

自动控制:在没有人的直接参与下,利用控制装置操纵生产机器、设备或生产过程,使表征其工作状态的物理变量(状态变量)尽可能接近人们所期望值(即设定值)的过程,称为自动控制。

过程控制:当上述物理变量为温度、压力、流量、液位、pH 值(氢离子浓度)、成分、湿度、厚度等的自动控制,称为过程控制。

过程控制系统:为了实现过程控制,以控制理论和生产要求为依据,采用模拟仪表、数字仪表或计算机等构成的总体,称为过程控制系统。

过程控制的任务和要求:过程控制中的基本问题就是使表征生产设备或过程工作状态的关键变量(过程变量即过程的输出,如图 1-1 所示)能在尽可能长的时间内维持其在期望值附近。所谓关键的过程变量是指那些决定着生产的原始目标的变量。这些目标是:

- 1) 希望的产量和质量。
- 2) 能接受的产品价格。
- 3) 能接受的原材料消耗。

在以安全的方式生产,给环境造成最小危害的条件下达到上述目标就是过程控制的任务和要求。

关键变量是不断变化的。为了完成上述任务,当其偏离期望值后必须能让它尽快回复,

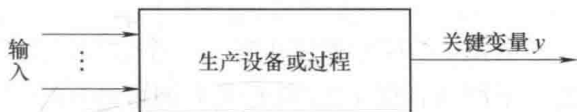


图 1-1 典型生产过程框图

为此应寻找一个能引起关键变量变化的量（即过程的输入，如图 1-1 所示），然后再配以合适的控制器，通过对它的操纵使关键变量保持在期望值附近，就可实现上述目的。

下面通过图 1-2 所示的锅炉锅筒水位控制系统对上述问题做进一步说明。

锅炉是冶金、机械、石油、化工等许多工业生产过程中不可缺少的动力设备，其产品是蒸汽。为了保证产品的质量，使蒸汽含水量不至于过高，必须使锅筒水位不高于某一值；为了锅筒的安全运行，其水位又不能低于某一值，以防锅筒中的水被烧干而发生严重事故，所以维持锅炉锅筒水位为规定数值是十分重要的。显然锅筒水位就是锅炉设备的关键变量之一，而给水量变化可以引起锅筒水位的变化，构成的过程控制系统如图 1-2a 所示。

在生产过程中，当蒸汽用量与给水量相等，其水位在规定数值上时，系统处于稳定状态，控制器输出保持不变，控制阀开度保持不变，当蒸汽用量或给水量发生变化时，其锅筒水位也将发生变化，液位测量变送器将其变化信号传送给控制器，控制器将该信号与预先设定的期望水位信号进行比较，按其偏差的大小和方向经一定规律运算后向控制阀（执行器）发出控制命令，去改变控制阀的开度，从而改变给水量以使水位重新回到期望值附近。

可见，图 1-2a 所示过程控制系统是有可能完成使水位长期维持在期望值附近的。根据上述工作过程，则可由控制系统示意图画出系统框图，如图 1-2b 所示。

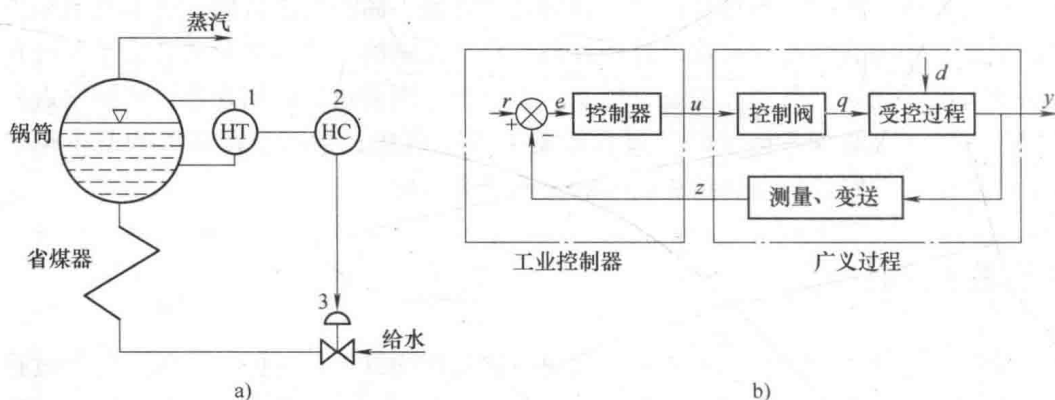


图 1-2 锅炉锅筒水位控制系统

a) 控制系统流程图 b) 控制系统框图

1—测位测量变送器 2—液位控制器 3—控制阀（执行器）

r —设定值 z —测量值 e —偏差 u —控制变量 q —操纵变量 y —受控变量 d —干扰

1.2 过程控制系统的组成及其分类

1.2.1 过程控制系统的组成

由图 1-2 所示系统可见，一个过程控制系统是由工业自动化仪表和受控过程两部分组成的。下面结合图 1-2b 就有关名词术语进行讨论：

系统输出：当要保持在期望值的关键变量被实施控制时，该过程变量就为该系统的输出，即受控变量，如图 1-2 所示系统中的锅筒液位。

受控过程的输入：凡是能引起系统输出变化的变量均称为该受控过程的输入。如图 1-2 所示系统中的给水量压力的变化、给水流量的变化、蒸汽流量的变化等。这些输入又可进一步分为控制输入和扰动输入，即操纵变量和干扰变量。

操纵变量：由控制器发出控制信号通过执行器改变的变量，也常称为内部扰动或基本扰动。该变量的改变将使受控变量趋向并维持在设定值附近，如图 1-2 所示系统中的给水流量。

外部扰动：外部扰动简称扰动或干扰。相对于操纵量而言，所有以其他任何形式影响受控变量的变量均称为干扰。如图 1-2 系统中的给水压力的变化，蒸汽流量的变化等。干扰将使受控变量偏离期望值。可见过程控制的基本任务也可描述为：在控制器控制下，通过操纵变量的改变，克服干扰的影响，使受控变量能在尽可能长的时间内维持在期望值附近。

受控过程：受控过程也叫受控对象或被控对象，简称过程或对象。笼统地讲，受控过程即受控制的生产设备或机器。例如热工过程中的加热炉、换热器、锅炉；化工过程中的精馏塔、化学反应器；冶金过程中的高炉、回转炉；机械工业中的热处理炉等。但是，一个生产设备可能有若干套控制系统，而各自的受控过程并不相同，各个过程既含有该生产设备或机器的不同部分，也可能含有相同部分，就某个系统的过程而言，也许这样定义会更好些，即所谓受控过程就是指影响操纵变量、干扰（即对象输入）与受控变量（即系统输出）之间关系的硬件和软件的集合（这里的软件是指影响这种关系的内在变化机理）。

广义过程：按照受控过程的定义，广义过程可定义为影响控制变量与测量值（ z ）之间关系的硬件和软件的集合。在图 1-2 所示的系统中就是执行器、受控过程、测量、变送四个环节的串联。这样，过程控制系统又可描述为由控制器和广义过程两部分组成。

控制器：图 1-2b 所示的点画线框内表示的是一个实际的工业控制器，给定值与测量值的比较是在其输入电路中完成的，因此，比较环节是控制器的一部分。在画框图时，控制器是为了使系统结构更加明确而单独画出的。

1.2.2 过程控制系统的分类

过程控制系统的分类方法很多，若按被控参数的名称来分，有温度、压力、流量、液位、成分、pH 值等控制系统；按控制系统完成的功能来分，有比值、均匀、分程和选择性控制系统；按控制器的控制规律来分，有比例、比例积分、比例微分、比例积分微分控制系统；按被控量的多少来分，有单变量和多变量控制系统；按采用常规仪表和计算机来分，有仪表过程控制系统和计算机过程控制系统等。但是最基本的分类方法有以下几种：

1. 按过程控制系统的结构特点来分类

(1) 反馈控制系统 它是过程控制系统中的一种最基本的控制结构形式。反馈控制系统是根据系统被控量的偏差进行工作的，偏差值是控制的依据，最后达到消除或减小偏差的目的。图 1-3

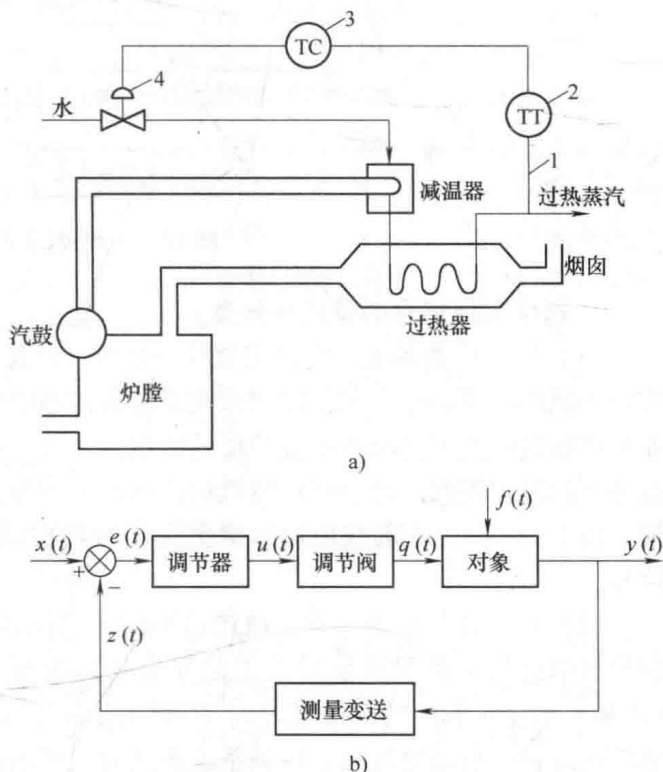


图 1-3 过热蒸汽温度控制系统

a) 控制流程图 b) 框图

1—热电阻 2—温度变送器 3—温度控制器 4—调节阀

所示的过热蒸汽温度控制系统就是一个反馈控制系统。另外,反馈信号也可能有多个,从而可以构成多个闭合回路,称为多回路控制系统。

(2) 前馈控制系统 它在原理上完全不同于反馈控制系统。前馈控制是以不变性原理为理论基础的。前馈控制系统直接根据扰动量的大小进行工作,扰动是控制的依据。由于它没有被控量的反馈,所以也称为开环控制系统。

图 1-4 所示为前馈控制框图。扰动 $f(t)$ 是引起被控量 $y(t)$ 变化的原因,前馈控制器(FFC)是根据扰动 $f(t)$ 进行工作的,可能及时克服扰动对被控量 $y(t)$ 的影响。但是,由于前馈控制是一种开环控制,最终不能检查控制的精度,因此,在实际工业生产过程自动化中是不能单独应用的。

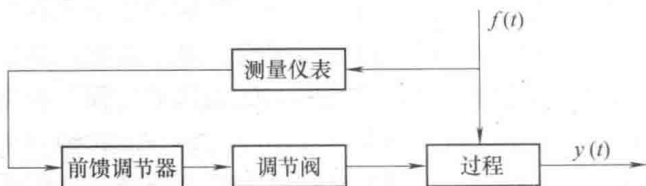


图 1-4 前馈控制系统框图

(3) 前馈-反馈控制系统(复合控制系统) 在工业生产过程中,引起被控参数变化的扰动是多种多样的。开环前馈控制的最主要的优点是能针对主要扰动及时、迅速地克服其对被控参数的影响;对于其余次要扰动,则利用反馈控制予以克服,使控制系统在稳态时能准确地使被控量控制在给定值上。在实际生产过程中,将两者结合起来使用,充分利用开环前馈与反馈控制两者的优点,在反馈控制系统中引入前馈控制,从而构成图 1-5 所示的前馈-反馈控制系统,它可以大大提高控制质量。

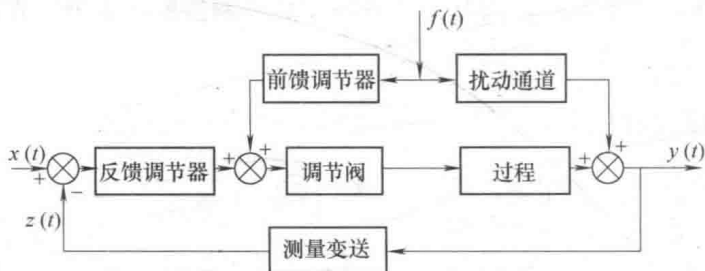


图 1-5 前馈-反馈控制系统

2. 按给定值信号的特点来分类

(1) 定值控制系统 所谓定值控制系统,就是系统被控量的给定值保持在规定值不变,或在小范围附近不变。定值控制系统是过程控制中应用最多的一种控制系统,这是因为在工业生产过程中大多要求系统被控量的给定值保持在某一定值,或在某很小范围内不变。例如过热蒸汽温度控制系统、转炉供氧量控制系统均为一个定值控制系统。对于定值控制系统来说,由于 $\Delta x = 0$,引起被控量给定值变化的是扰动信号,所以定值系统的输入信号是扰动信号。

(2) 程序控制系统 它是被控量的给定值按预定的时间程序变化工作的控制系统。控制的目的是使系统被控量按工艺要求规定的程序自动变化。例如同期作业的加热设备(机械、冶金工业中的热处理炉),一般工艺要求加热升温、保温和逐次降温等程序,给定值就按此程序自动地变化,控制系统按此给定程序自动工作,达到程序控制的目的。

(3) 随动控制系统 它是一种被控量的给定值随时间任意变化的控制系统。其主要作用是克服一切扰动,使被控量快速跟随给定值而变化。例如在加热炉燃烧过程的自动控制

中,生产工艺要求空气量跟随燃料量的变化而成比例地变化,而燃料量是随生产负荷而变化的,其变化规律是任意的。随动控制系统就要使空气量跟随燃料量的变化自动控制空气量的大小,达到加热炉的最佳燃烧。

1.3 过程控制系统的发展

过程控制系统由自动化仪表和受控过程两部分组成,那么生产过程自动化的发展自然与自动化仪表的发展和受控过程自身的发展密不可分。一方面,自动化仪表的发展推动了生产水平的提高;另一方面,生产过程的发展反过来对仪表和控制系统提出更高的要求。控制理论是系统形成的依据和基础。古典控制理论的发展、现代控制理论的形成,使人们对控制技术在认识上产生了质的飞跃,从对过程外部现象的了解到揭示系统内在的规律,从局部控制进入到在一定意义下的全局最优;而在结构上已从单环扩展到适应环、学习环等。但是这种认识真正应用到生产过程的控制是伴随着计算机的问世和发展逐步变为现实的。因此说,计算机的发展为自动控制的发展和应用提供了广阔的前景,使自动化水平大大提高,同时又为控制理论的进一步发展提供了条件。

综上所述,我们可以看出生产过程自动化的发展是与控制手段的提高、控制理论的发展以及生产过程自身的发展密切相关的,这三者相互促进,共同提高,使控制从简单到复杂,从局部自动化到全局自动化,从低级智能到高级智能。综观整个发展过程,我们可以把它划分为四个发展阶段。

1. 生产过程自动化的初级阶段

自20世纪30年代以来,自动化技术获得了惊人的成就,已在工业生产和科学发展中起着关键的作用。在开始的20年里,生产过程自动化主要是凭生产实践经验,局限于一般的控制元件及机电式控制仪表;在设计过程中,一般是将复杂的生产过程人为地分解成若干个简单过程,采用将记录、指示、控制等环节装在一个表壳里的比较笨重的基地式仪表实现就地控制,系统与系统间没有或很少有联系,过程控制的目的是通过对几个热工参数(温度、压力、流量、液位)的定值控制来达到生产的平稳和安全,因此过程控制也被称作四大参数的控制。其系统结构如图1-6所示。这个阶段只有频率法和根轨迹法的经典控制理论,解决单输入单输出的定值控制系统的分析和综合问题。



图 1-6 基地式仪表构成的系统

2. 单元组合仪表自动化阶段

20世纪五六十年代,先后出现了气动和电动单元组合仪表,从而使系统构成有了更大的灵活性,为实现集中监控与集中操纵创造了条件。控制系统的结构也在单回路的基础上出现了一些行之有效的复杂控制系统,如串级、前馈等,使控制品质有了较大的提高,但是从总体而言仍处于局部自动化的范畴。这个阶段的系统结构如图1-2b所示。

3. 计算机控制的初级阶段

20世纪60年代,由于集成电路及计算机技术的发展,计算机开始走进工业生产的控制

领域，为解决由于过程迅速向大型化、复杂化的方向发展所产生的向自动控制的挑战带来了一线生机。虽然还存在许多不尽人意的地方，但毕竟为计算机引入工业过程控制创造了一个良好的开端，做了许多有益的尝试。对已进入计算机控制的今天来说，这个阶段是十分可贵的，所以我们应该把它作为过程控制发展的一个阶段来看待。

在开始，计算机系统主要用来完成过程中的数据处理、安全监视和监督控制。典型的计算机监督控制（Supervisory Computer Control, SCC）系统如图 1-7 所示，实施控制的仍然是模拟控制器。1962 年 3 月，美国 Monsanto 公司的乙烯生产厂实现了第一个由计算机取代模拟控制器的直接数字控制（Direct Digital Control, DDC）系统。典型的 DDC 系统框图如图 1-8 所示。

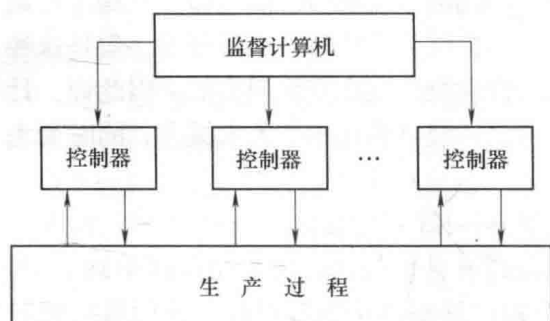


图 1-7 计算机监督控制系统

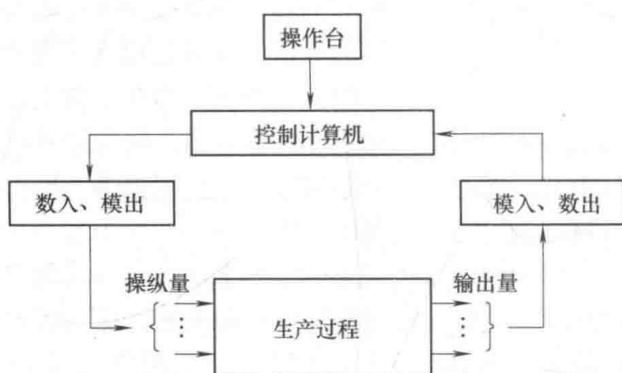


图 1-8 计算机直接数字控制系统

后来人们曾试图用一台计算机代替全部模拟仪表，进行监视和控制全厂的生产过程，即“全盘计算机控制”。但是由于当时计算机硬件的可靠性还不够高，对计算机要求太苛刻，一旦计算机发生故障，将引起整个生产的瘫痪，造成危险的高度集中。为了提高控制系统的可靠性，常常要另外设置一套备用系统。这就造成了系统的投资过高，因此严重限制了它的应用和发展。

这个阶段采用单元组合仪表（气动、电动）和组装仪表，实现了直接数字控制（DDC）和设定值控制（Set Point Control, SPC）；出现了如串级、比值、均匀控制、前馈、选择性控制等多种复杂控制系统以提高控制质量或满足特殊要求；系统除涉及经典控制理论，现代控制理论开始初步应用。

4. 综合自动化阶段

20 世纪 70 年代以来，由于大规模集成电路制造成功和微处理器的问世，新型仪表、智能化仪表不断产生，计算机也被广泛应用于过程控制；系统的控制结构由单变量向多变量、控制规律由 PID 控制转向特殊控制规律；由设定值控制改进为最优控制、自适应控制；实现形式由仪表控制系统演变为智能化计算机分布式控制系统；诸如状态空间分析、系统辨识、模糊控制、神经网络控制等现代控制方法广泛应用与过程控制领域。

计算机功能增强，可靠性提高，而价格却大幅度下降。原来集中由一台计算机完成的任务可分配给多台微处理机去完成，减小了计算机故障对整个系统的影响。同时，计算机网络通信技术的发展又使这些分散的微型计算机控制系统能够相互交换信号，或者与更高一级的计算机系统连接起来，从而组成一个能适应各种不同过程的积木式分级计算机控制系统，也叫“分散-集中型”多微机综合过程控制系统，简称“集散控制系统”，又叫分布式计算机

控制系统或计算机多级控制系统,如图1-9所示。这种系统结构提高了系统的可靠性,能方便、灵活地实现各种新型的控制规律与算法,实现最佳管理。而进入20世纪90年代,随着智能仪表技术及网络技术的进一步发展,现场总线技术开始实用化,使得过程控制功能更加分散,系统构成将更加灵活、可靠性更高、互操作性更好,形成了新一代分布式控制系统结构如图1-10所示,即现场总线控制系统。它继承了DCS的分布式特点,在各功能子系统之间,特别是现场仪表和设备之间的连接上,采用了开放式的现场网络,从而使系统设备的连接形式上发生了根本性地改变,使其具有自己所特有的性能和特征。

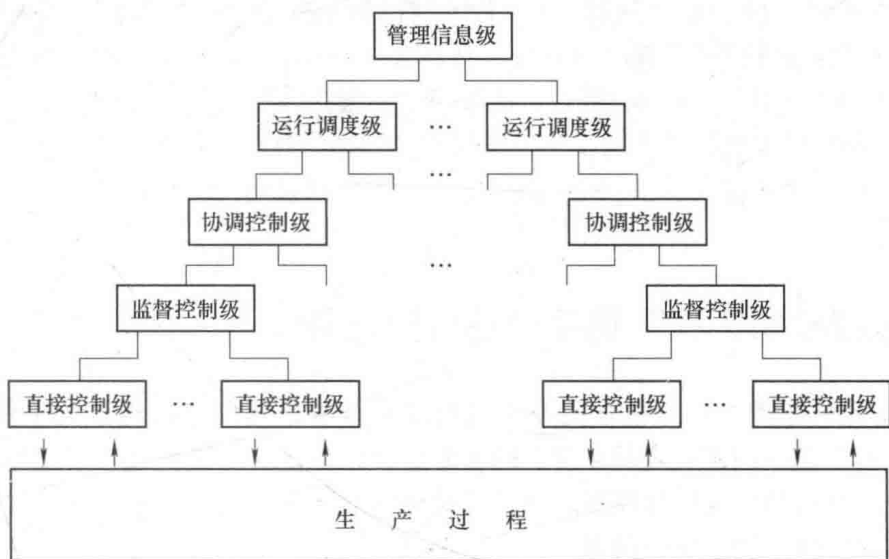


图 1-9 分布式计算机控制系统

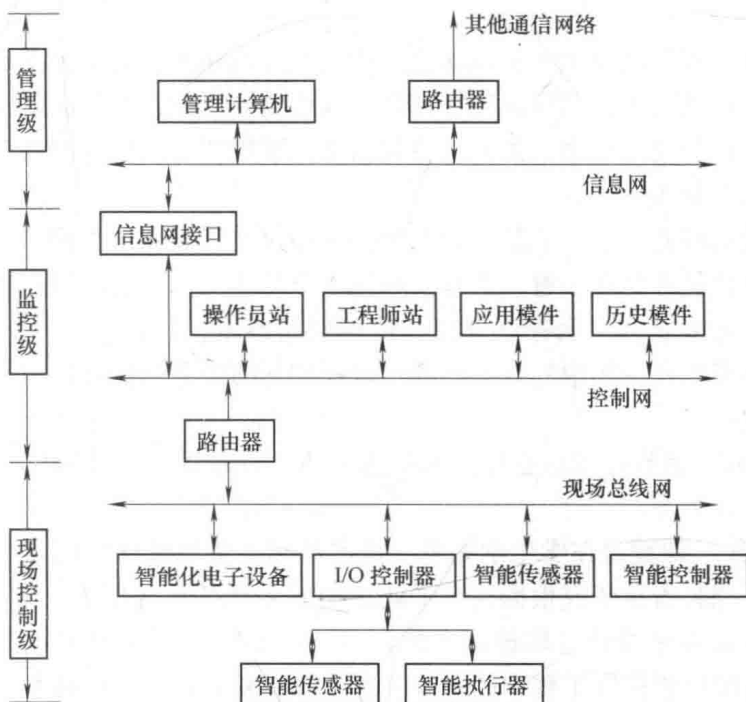


图 1-10 现场总线控制系统

当前,随着科学技术和市场竞争的需要,人们关心的不仅是单个生产装置的效益,而更加关心车间乃至企业的整体效益。综合自动化系统应用计算机技术、网络技术、信息技术和自动控制技术,引入实时数据库服务器和关系数据库服务器协同工作的概念,实现生产加工过程、计划调度、生产工艺操作优化、趋势分析、物资供应、产品质量、办公和财务等整个企业信息的平台集成和利用,实现全车间、全厂、甚至全企业无人或很少人参与操作管理,实现过程控制最优化与现代化的集中调度管理相结合的方式。

综观过程控制系统的发展过程,我们可以看到,它已经历了“点”(基地式控制)、“线”(单元组合仪表控制)、“面”(控制、管理连成一“片”)三个阶段,今天正朝着“多维空间”(融生产、经营、决策、管理、服务等于一体)方向发展。

控制系统硬件的发展是惊人的,但是如何充分发挥计算机的优势,开发出性能高、适用性强、便于推广应用的控制算法,使计算机控制再上一个新台阶,可能是今后过程控制的主要研究内容之一。

1.4 “过程控制工程”课程的性质和任务

工业自动化的范围很广,包含的专业内容非常丰富,是国家高科技的重要组成部分。“过程控制工程”是一门工业自动化专业的专业必修课。自动化仪表(包括模拟仪表、智能仪表)、微型计算机是构成过程控制的重要自动化技术工具,是实现工业生产过程自动化的重要装置,也是实现过程控制的前提。

现代工业生产过程往往是流程复杂、规模庞大,同时往往又具有高温、高压、易燃、易爆、有毒等特点。为了保证生产安全、稳定、可靠地进行,对过程参数的检测和自动控制提出了更严、更高的要求。

实现工业生产过程自动化,不仅能够把生产过程控制在最佳的工况下运行,减少原材料和劳动力的消耗,降低成本,实现优质、高产、低消耗的目标,而且能够保证安全生产,防止事故发生,延长设备使用寿命,提高设备利用率,减轻劳动强度,改善劳动条件,保护环境卫生,维护生态平衡等。

过程控制是控制理论、生产工艺、计算机技术和仪器仪表知识等相结合的一门综合性应用学科。过程控制的任务是在了解、熟悉、掌握生产工艺流程与生产过程的静态和动态特性的基础上,根据工艺要求,应用控制理论、现代控制技术,分析、设计、整定过程控制系统。同时,必须注意工程应用中的有关问题。过程控制的任务是由过程控制系统的工程设计与工程实现来完成的。

“过程控制工程”课程是以过程控制系统为主体,以过程检测控制仪表为工具,仪表与系统密切联系,相互依存。

“过程控制工程”课程是在学生学完电子技术基础、微型计算机原理与自动控制理论等课程之后开设的。课程着重研究根据连续工业过程的生产特点与要求,应用自动控制理论、控制技术和自动化仪表来设计过程控制系统,以及在实际工程应用中的有关问题。通过学习,不仅能达到解决过程控制工程中的一般问题,并具有分析和设计较复杂的过程控制系统的能力。