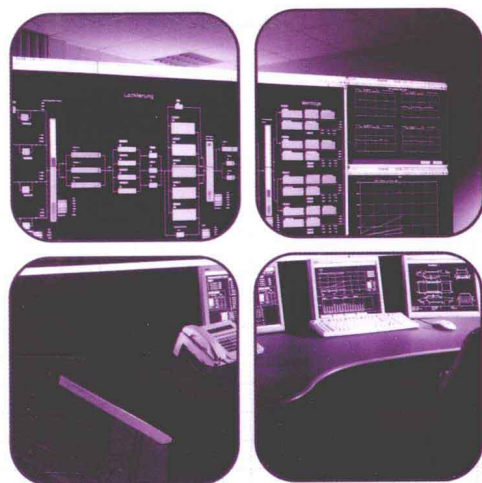
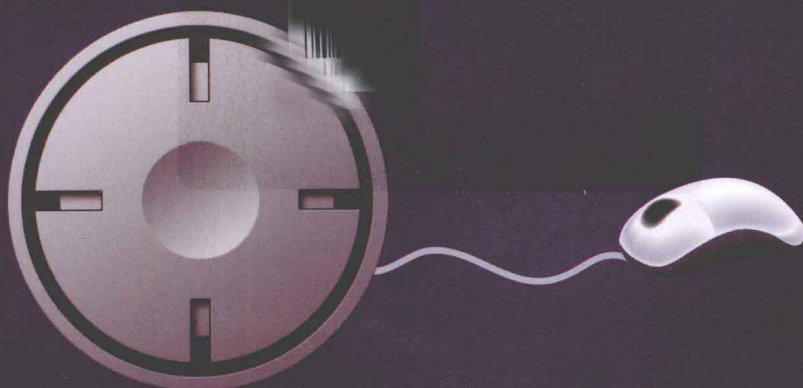


过程控制系统

牛培峰 张秀玲 编著
罗小元 彭 策



Process Control System



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

过程控制系统

牛培峰 张秀玲 罗小元 彭 策 编 著



電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书以过程控制系统为研究对象,全面地介绍了相关过程的动态特性、建模方法、控制器原理、计算机过程控制系统、集散控制系统等内容。既介绍简单控制系统,又阐述复杂控制系统与先进控制技术以及聚类融合控制,并分析控制系统方案,对控制器参数进行整定,对典型流程工业生产过程进行案例分析,并介绍应用现状和发展前景。

全书内容丰富,系统性和先进性都比较突出,强调理论联系实际,有很多工业过程控制的案例,便于学生学习与理解。

本书可作为高等学校自动化专业的过程控制系统教材,也可供流程工业工程技术人员和管理人员自学,或作为高校相关专业师生的教学参考书。

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

过程控制系统/牛培峰等编著. —北京:电子工业出版社, 2011.6

高等学校“十二五”电气自动化类规划教材

ISBN 978-7-121-13607-8

I. ①过… II. ①牛… III. ①过程控制—自动控制系统—高等学校—教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 091938 号

策划编辑:陈韦凯

责任编辑:侯丽平

印 刷:北京市顺义兴华印刷厂

装 订:三河市双峰印刷装订有限公司

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:20 字数:510 千字

印 次:2011 年 6 月第 1 次印刷

册 数:4 000 册 定价:38.00 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

过程控制系统是现代工业自动化的一个重要组成部分,它是控制理论与生产工艺、工业过程、设备,以及计算机技术和仪器仪表等知识相结合的一门综合性工程应用学科。它的理论性、综合性和实践性都很强。

本课程是自动化专业最主要的一门专业课,它是在自动控制理论的基础上发展起来的专业应用课程,既有理论,又有工程实践。为了适应当前工科院校的教学和科研工作的需要,本书将当前在工业生产过程中广泛应用或应用较为成熟的常规控制系统和控制方案,作为重点进行了全面系统的阐述,而对于计算机过程控制系统和先进控制方法,在本书中仅对其进行了简单介绍,关于聚类融合控制的一些基础内容写在了附录 A 中。因为,随着过程控制技术的迅速发展,大多数的高等院校也已就计算机控制系统和先进控制理论等内容开设了相应的课程。

全书共分 8 章,分别介绍了过程控制系统的发展、应用现状和相关知识。具体内容有:

(1) 过程控制系统的要求、组成、性能指标和发展。

(2) 被控工业过程的数学模型及其获取方法,包括对象数学模型动态特性的基本描述形式及获取方法。

(3) 执行器的种类、选型和计算。

(4) PID 控制器控制规律的原理、分析与选型,包括模拟 PID 控制器和数字 PID 控制器的选型和参数整定。

(5) 简单控制系统的基本概念、分析和设计,包括被控变量与控制变量的选择、控制器和测量变送器的选型,以及控制器参数整定的常用方法与控制系统的投运。

(6) 串级控制系统的结构组成、工作原理和方案设计,包括主、副被控变量和操作变量的选择,主回路和副回路的设计及主控制器和副控制器的选择,常用的串级控制系统的参数整定方法。

(7) 补偿控制系统的原理和前馈控制的几种结构形式,包括静态、动态前馈控制,复合前馈控制,各种前馈控制系统的设计,前馈补偿器的设计与实现,常用的工程整定方法,大时延生产过程的的概念,常规仪表控制方案的实现,补偿控制方案的设计与实现。

(8) 比值控制系统、均匀控制系统、分程控制系统、选择性控制系统的基本概念、系统设计与实现和参数整定。

(9) 解耦控制系统,包括多变量系统的分析、控制器参数整定和常用的解耦控制系统设计方法等。

(10) 计算机过程控制系统和集散控制系统的组成与类型,以及常用先进控制策略的简单介绍。

(11) 预测控制、模糊控制和聚类融合控制及其工业应用。

此书第 1 章、第 4 章的 4.1~4.6 节、第 6 章和附录 A 由燕山大学牛培峰教授编写;第 2 章、第 5 章的 5.3 节由张秀玲教授编写;第 3 章、第 4 章的 4.7 节、第 5 章的 5.1 节和 5.2 节由罗小元副教授编写;第 7 章、第 8 章由彭策博士编写。

由于编者水平有限,书中疏漏和不妥之处在所难免,敬请广大读者批评指正。

编著者

2011 年 4 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 过程控制发展概况	1
1.2 过程控制的特点	3
1.3 过程控制系统的组成及其分类	4
1.3.1 过程控制系统的组成	4
1.3.2 过程控制系统的分类	8
1.4 “过程控制”课程的性质和任务	9
思考题与习题	10
第 2 章 被控过程特性及其数学模型	11
2.1 被控过程的数学模型	11
2.2 工业过程数学模型建立	12
2.2.1 机理建模方法	12
2.2.2 系统辨识法(实验模型)	14
2.2.3 混合建模法	15
2.3 单容对象的动态特性	16
2.3.1 自平衡过程的动态特性	16
2.3.2 无自平衡过程的动态特性	18
2.4 多容对象的动态特性	19
2.4.1 具有自平衡能力的双容过程	19
2.4.2 不具有自平衡能力的双容过程	21
2.5 用响应曲线法辨识过程的数学模型	22
2.5.1 无滞后一阶惯性环节的参数确定	22
2.5.2 一阶纯滞后惯性环节的参数确定	23
2.5.3 二阶环节的参数确定	24
2.5.4 n 阶环节的参数确定	24
2.6 最小二乘法辨识过程的模型	25
思考题与习题	26
第 3 章 过程控制系统——单回路控制系统的工程设计	27
3.1 过程控制系统工程设计概述	27
3.1.1 对过程控制系统设计的一般要求	28
3.1.2 过程控制系统设计步骤	28
3.1.3 过程控制系统设计的主要内容	29
3.1.4 过程控制系统设计中的若干问题	29
3.2 控制方案设计	30

3.2.1	过程控制系统的性能指标	30
3.2.2	被控变量确定	31
3.2.3	控制变量确定	32
3.3	过程控制系统设备选择	39
3.3.1	测量仪表与传感器选型原则	39
3.3.2	执行器(调节阀)选择	42
3.3.3	控制器(调节器)选择	44
3.4	简单过程控制系统的投运和控制器参数整定	45
3.4.1	简单控制系统投运	45
3.4.2	控制器参数整定	46
3.5	单回路控制系统工程设计实例	51
3.5.1	喷雾式干燥设备控制系统设计	51
3.5.2	贮槽液位控制系统设计	53
	思考题与习题	54

第4章 复杂过程控制系统 57

4.1	串级控制	57
4.1.1	串级控制系统的结构与工作过程	57
4.1.2	串级控制系统的特点与分析	59
4.1.3	串级控制系统的设计	64
4.1.4	串级控制系统控制器参数整定	65
4.1.5	串级控制系统的工业应用	67
4.2	前馈控制	69
4.2.1	前馈控制系统的基本概念	69
4.2.2	前馈控制系统的结构	72
4.2.3	前馈控制的选用与稳定性	76
4.2.4	前馈控制系统的工程整定	76
4.2.5	前馈控制系统的工业应用	79
4.3	大滞后补偿控制	82
4.3.1	大滞后过程与常规控制方案	82
4.3.2	大滞后过程的预估补偿控制	85
4.3.3	大滞后过程的采样控制	87
4.3.4	大滞后控制系统工业应用举例	88
4.4	比值控制	92
4.4.1	常用的比值控制方案	93
4.4.2	比值控制系统的设计与整定	95
4.4.3	比值控制系统的工业应用	96
4.5	分程与选择性控制	97
4.5.1	分程控制系统原理与设计	97
4.5.2	分程控制系统的工业应用	99
4.5.3	选择性控制系统原理与设计	101

4.5.4	选择性控制系统的工业应用	103
4.5.5	选择性控制系统中的积分饱和与防止	103
4.6	多变量解耦控制	105
4.6.1	概述	105
4.6.2	相对增益及其性质	106
4.6.3	复杂过程控制通道的选择	113
4.6.4	耦合过程控制器参数整定	116
4.6.5	解耦设计	117
4.6.6	解耦控制中的一些问题	120
4.7	计算机过程控制	122
4.7.1	计算机过程控制系统的组成与特点	123
4.7.2	数字控制器的模拟化设计	126
4.7.3	计算机过程控制系统的设计	135
	思考题与习题	139
第 5 章	先进过程控制	146
5.1	预测控制	146
5.1.1	概述	146
5.1.2	预测控制的基本原理	147
5.1.3	预测控制的实现	153
5.1.4	预测控制的工业应用	153
5.2	模糊控制	158
5.2.1	模糊数学基础	158
5.2.2	模糊控制器工作原理	163
5.2.3	模糊控制器的设计	166
5.2.4	模糊控制器的改进	172
5.2.5	模糊控制系统的工业应用	174
5.3	神经网络控制	178
5.3.1	神经网络的基本原理与结构	178
5.3.2	神经网络的模型	182
5.3.3	模糊神经网络	186
5.3.4	神经网络控制系统结构	189
5.3.5	基于神经网络的控制系统设计	191
	思考题与习题	198
第 6 章	聚类融合控制	200
6.1	聚类融合控制的基本概念	200
6.1.1	问题的提出	200
6.1.2	聚类融合控制的基本思想	200
6.2	聚类融合控制系统的结构	201
6.3	模式窗口及时间序列融合	202

6.3.1	模式窗口的概念	202
6.3.2	融合窗口及其选择	203
6.4	聚类融合控制系统的设计	204
6.4.1	输入信息空间	204
6.4.2	聚类融合空间	206
6.4.3	类别空间	207
6.4.4	控制输出空间	208
6.5	类别空间的特性	209
6.5.1	类别空间坐标系统	209
6.5.2	定性类别空间	210
6.5.3	过程行为的基本类别	211
6.5.4	行为空间和行为轨迹	212
6.6	ART 在聚类融合控制中的应用	213
6.6.1	ART 神经网络的特点	213
6.6.2	ART-2 的参数设计	213
6.7	ART-2 应用中的几个实际问题	218
6.7.1	小幅值分量特征的判别	218
6.7.2	幅值大小的问题	219
6.8	时间序列信息融合的结构	220
6.8.1	集中式和分布式融合	220
6.8.2	用二进制编码进行二次融合	222
6.9	模糊聚类融合控制	224
6.9.1	模糊控制存在的问题	224
6.9.2	模糊聚类融合控制的基本思想	226
6.9.3	模糊聚类融合控制系统的结构	227
6.9.4	模糊聚类融合控制的设计	228
6.10	聚类融合控制系统的工业应用	229
6.10.1	概述	229
6.10.2	循环流化床锅炉简介	229
6.10.3	循环流化床锅炉燃烧过程聚类融合控制	230
	思考题与习题	239

第 7 章 计算机集散控制系统 240

7.1	概述	240
7.1.1	集散控制系统的组成	240
7.1.2	集散控制系统的特点	242
7.1.3	集散控制系统的发展	242
7.2	集散控制系统的现场控制站	243
7.2.1	参数控制	245
7.2.2	逻辑和顺序控制	251
7.2.3	数据监测	254

7.3 集散控制系统的操作员站和工程师站	255
7.3.1 操作员站和工程师站的功能	255
7.3.2 操作员站和工程师站的硬设备	256
7.3.3 操作员站和工程师站的软件	257
其中包含的信息可归纳成几类:	258
7.4 集散控制系统的网络与通信	261
7.4.1 概述	261
7.4.2 网络技术初步	261
7.4.3 信息传输技术初步	263
7.4.4 典型系统的通信网络	265
7.5 集散控制系统的工程化设计	267
7.5.1 工程化设计的特点	267
7.5.2 集散控制系统的方案论证	268
7.5.3 集散控制系统的评估	268
7.5.4 集散控制系统的工程设计	270
思考题与习题	271
第 8 章 过程控制工程应用实例	272
8.1 化肥厂 H_2/N_2 比例控制	272
8.2 氯乙烯精馏过程控制	275
8.3 TDC-3000 在聚苯乙烯装置上的应用	277
8.4 CENTUM 系统在合成氨装置中的应用	282
思考题与习题	284
附录 A 信息融合基础知识	285
A.1 自适应谐振神经网络	285
A.1.1 自适应谐振理论	285
A.1.2 ART-2 神经网络	289
A.2 模式识别和聚类分析基础	295
A.2.1 模式和模式空间	295
A.2.2 模式类和类别空间	295
A.2.3 模式识别	296
A.2.4 聚类分析	296
A.3 多传感器信息融合	297
A.3.1 多传感器系统	297
A.3.2 多传感器的信息融合	298
A.3.3 多传感器信息融合的方法	301
参考文献	305

第1章 绪 论

1.1 过程控制发展概况

过程控制通常是指石油、化工、电力、冶金、轻工、纺织、建材、原子能等工业部门生产过程的自动化。

自进入 20 世纪 90 年代以来,自动化技术发展很快,并获得了惊人的成就,已成为国家高科技的重要分支。过程控制技术是自动化技术的重要组成部分。在现代工业生产过程自动化中,过程控制技术在实现各种最优技术经济指标、提高经济效益和社会效益、提高劳动生产率、节约能源、改善劳动条件、保护环境卫生、提高市场竞争力等方面起着越来越重要的作用。

在 20 世纪 40 年代前后,工业生产非常落后,大多数工业生产过程均处于手工操作状态,人们主要是凭经验、用手工方式去控制生产过程。例如,生产过程中的关键参数靠人工观察,生产过程中的操作也靠人工去执行,当时的劳动生产率是很低的。40 年代以后,工业生产过程自动化技术发展很快。尤其是近些年来,过程控制技术发展更为迅猛。纵观过程控制的发展历史,大致经历了如下几个阶段。

20 世纪 50 年代前后,一些工厂企业的生产过程实现了仪表化和局部自动化。这是过程控制发展的第一个阶段。这个阶段的主要特点是:过程检测控制仪表普遍采用基地式仪表和部分单元组合式仪表(多数是气动仪表);过程控制系统结构大多数是单输入、单输出系统;被控参数主要是温度、压力、流量和液位四个参数;控制的目的是保持这些过程参数的稳定,消除或减小主要扰动对生产过程的影响;过程控制理论是以频率法和根轨迹法为主体的经典控制理论,主要解决单输入、单输出的定值控制系统的分析和综合问题。

自 20 世纪 60 年代来,随着工业生产的不断发展,对过程控制提出了新的要求;随着电子技术的迅速发展,也为自动化技术工具的完善创造了条件,从此开始了过程控制的第二个阶段。在仪表方面,开始大量采用气动和电动单元组合仪表。为了满足定型、灵活、多功能的要求,又开发了组装仪表,它将各个单元划分为更小的功能块,以适应比较复杂的模拟和逻辑规律相结合的控制系统的需要。与此同时,计算机控制系统开始应用于过程控制领域,实现了直接数字控制(DDC)与设定值控制(SPC)。在过程控制系统方面,为了提高控制质量和实现一些特殊的工艺要求,相继开发和应用了各种复杂的过程控制系统,诸如串级控制、比值控制和均匀控制。尤其是前馈控制和选择性控制的开发和工业应用,使复杂控制系统达到了一个新的水平。前馈控制是按扰动量来控制的,在扰动可测的条件下,可以显著地提高控制质量。选择性控制是当生产过程遇到不正常工况、被控量达到安全极限时,能自动实现保护性控制,而不必被迫连锁停车,从而扩大了自动化的范畴。在过程控制理论方面,除了仍然采用经典控制理论解决实际工业生产过程中遇到的问题外,现代控制理论得到应用,为

实现高水平的过程控制奠定了理论基础,从而过程控制由单变量系统转向多变量系统。但是,由于过程机理复杂,过程建模困难等原因,现代控制理论一时还难以应用于实际工业生产过程。在此期间,工厂企业实现了车间或大型装置的集中控制。

20 世纪 70 年代以来,过程控制得到了很大发展。随着现代工业生产的迅猛发展,随着大规模集成电路制造成功与微处理器的相继问世,使功能丰富的计算机的可靠性大大提高,而性能价格比大大提高,尤其是工业控制机采用了冗余技术和软硬件的自诊断措施,使其满足了工业控制的应用要求。随着微型计算机(以下简称微机)的开发、应用和普及,使生产过程自动化的发展达到了一个新的水平。过程控制发展到现代过程控制的新阶段——计算机时代。这是过程控制发展的第三个阶段。这一阶段的主要特点是:对全工厂或整个工艺流程的集中控制,应用计算机系统进行多参数综合控制,或者由多台计算机对生产过程进行控制和经营管理。在自动化技术工具方面有了新的发展,诸如以微处理器为核心的智能单元组合仪表(包括可编程调节器和 DDZ-S 系列智能仪表)的开发和广泛应用;在线成分检测与数据处理的测量变送器的应用;在 DDZ-III 型仪表方面,不仅产品品种增加,而且可靠性有了很大提高,适应了各种复杂控制系统的要求。

由于生产过程是一个分散系统,因此,过程控制的方式最好是分散进行(使故障分散、危险分散),而监视、操作与现代化管理,则应以集中为好。随着现代工业的迅速发展,生产规模不断扩大,控制要求越来越高,过程参数日益增多,控制回路更加复杂。为了满足工业生产过程自动化新的更高的要求,20 世纪 70 年代中期,集散控制系统,也称为分布式控制系统开发问世了。它一出现就受到了工业控制界的青睐。

集散控制系统(DCS)是把自动化技术、计算机技术、通信技术、故障诊断技术、冗余技术和图形显示技术融为一体的装置。这种系统在结构上是分散的,就是将计算机分装到工段或装置,这不仅使系统危险分散,消除了全局性的故障点,提高了系统的可靠性,同时能方便灵活地实现各种新型的控制规律与算法。这种系统由于是分级的,因此便于实现现代化的最佳管理,并使工业生产过程自动化开始进入控制管理一体化的新模式。

20 世纪 80 年代以后,工业过程控制得到了一个飞跃的发展。一方面现代控制理论(与主要解决单回路系统控制的经典控制理论相比较)从本质上解决了一般多变量系统的控制问题,包括线性系统、时变系统、非线性系统、微分-差分系统等,从而大大促进了过程控制的发展。另一方面,过程控制的结构已从包括许多手动控制的分散局部控制站改变为具有高度自动化的集中、运动控制中心。使得过程控制的概念有了很大的发展,它不仅包括数据采集与管理,基本过程控制,而且包括先进的管理系统、调度和优化等。柔性化、分散化和集成化的综合自动化系统,也被应用于实际工业过程。专家系统、神经网络、模糊控制、过程监督 and 在线诊断等理论已经大大地促进了过程控制的发展。

目前,世界各工业发达国家,正集中全力进行工厂综合自动化技术的研究。所谓综合自动化,就是在自动化技术、信息技术、计算机控制和各种生产加工技术的基础上,从生产过程的全局出发,通过生产活动所需的各种信息的集成,把控制、优化、调度、管理、经营、决策融为一体,形成一个能适应各种生产环境和市场需求的、多变性的、总体最优的管理生产系统,此管理生产系统具有高质量、高效益、高柔性的特点。

在我国以最大的社会效益和经济效益为目标,研究和开发综合自动化技术是国民经济快速发展的需要,是参加国际市场剧烈竞争的需要。新技术的研究和开发将大大推动工业过程自动化的发展,并带来巨大的社会效益和经济效益。

1.2 过程控制的特点

过程控制与其他自动控制系统相比较有所区别, 因此有其固有的特点。

1. 连续生产过程的自动控制

过程控制一般是指连续生产过程的自动控制, 其被控量需要定量地控制, 而且应是连续可调的。若控制动作在时间上是离散的(如采样控制系统等), 但是其被控量需定量控制, 也归入过程控制。

2. 过程控制系统由过程检测及控制仪表组成

过程控制是通过各种检测仪表、控制仪表(包括电动仪表和气动仪表, 模拟仪表和智能仪表)和电子计算机(看做一台仪表)等自动化技术工具, 对整个生产过程进行自动检测、自动监督和自动控制。一个过程控制系统是由被控过程和过程检测控制仪表两部分组成的。过程检测控制仪表包括检测元件、变送器、调节器(包括计算机)、调节阀等。过程控制系统的设计是根据工业过程的特性和工艺要求, 通过选用过程检测控制仪表构成系统, 再通过 PID 参数的整定, 实现对生产过程的最佳控制。

3. 被控过程是多种多样的、非电量的

在现代工业生产过程中, 工业过程很复杂。由于生产规模大小不同, 工艺要求各异, 产品品种多样, 因此过程控制中的被控过程是多种多样的。诸如石油化工过程中的精馏塔、化学反应器、流体传输设备; 热工过程中的锅炉、热交换器; 冶金过程中的转炉、平炉; 机械工业中的热处理炉等。它们的动态特性多数具有大惯性、大滞后、非线性特性。有些机理复杂(如发酵、生化过程等)的过程至今尚未被人们所认识, 所以很难用目前过程辨识方法建立其精确的数学模型, 因此设计能适应各种过程的控制系统并非易事。

4. 过程控制的控制过程多属慢过程, 而且多半为参量控制

由于被控过程具有大惯性、大滞后(大时延)等特性, 因此决定了过程控制的控制过程多属慢过程。另外, 在石油、化工、电力、冶金、轻工、建材、制药等工业生产过程中, 往往采用一些物理量和化学量(如温度、压力、流量、液位、成分、pH 等)来表征其生产过程是否正常, 因此需要对上述过程参数进行自动检测和自动控制, 故过程控制多半为参量控制。

5. 过程控制方案十分丰富

随着现代工业生产的迅速发展, 工艺条件越来越复杂, 对过程控制的要求越来越高。过程控制系统的设计是以被控过程的特性为依据的。由于工业过程的复杂、多变, 因此其特性多半属多变量、分布参数、大惯性、大滞后和非线性等。为了满足上述特点与工艺要求, 过程控制中的控制方案是十分丰富的。通常有单变量控制系统, 也有多变量控制系统; 有仪表过程控制系统, 也有计算机集散控制系统, 有复杂控制系统, 也有满足特定要求的控制系统。本书将要介绍单回路控制、串级控制、前馈-反馈控制、比值控制、分程控制、选择性控制、

多变量解耦控制，还要介绍高级新型过程控制系统，如模糊控制，以及正将成为过程控制主流的集散控制系统（DCS）。

6. 定值控制是过程控制的一种常用形式

在石油、化工、电力、冶金、轻工、环保和原子能等现代工业生产过程中，过程控制的主要目的在于消除或减小外界干扰对被控量的影响，使被控量能稳定控制在给定值上，使工业生产能实现优质、高产和低能耗的目标。定值控制仍是目前过程控制的一种常用形式。

1.3 过程控制系统的组成及其分类

1.3.1 过程控制系统的组成

过程控制系统通常是指工业生产过程中自动控制系统的被控量是温度、压力、流量、液位、成分、黏度、湿度和 pH（酸碱度或氢离子浓度）等这样一些过程变量的系统。

下面以几个典型的工业控制系统为例，来介绍过程控制系统的组成。

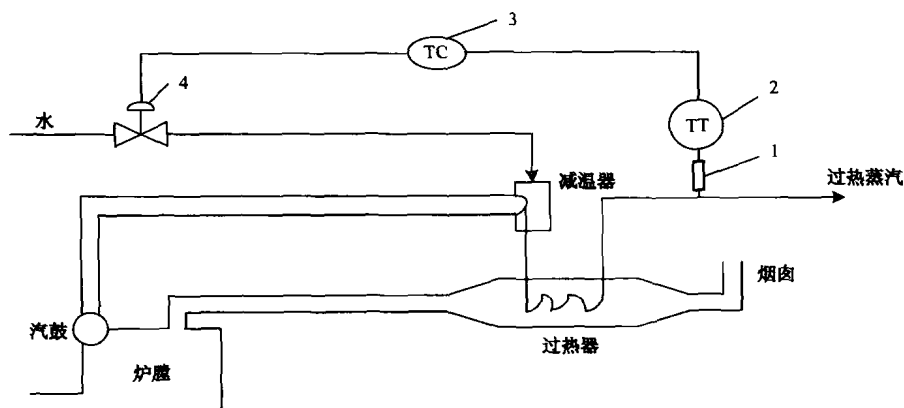
1. 发电厂锅炉过热蒸汽温度控制系统

锅炉是电力、冶金、石油、化工等工业部门不可缺少的动力设备，其产品是蒸汽。发电厂从锅炉汽鼓（汽包）中出来的饱和蒸汽经过过热器继续加热成为过热蒸汽。过热蒸汽的温度是火力发电厂（含其他厂矿企业的余热发电）生产工艺的重要参数。过热蒸汽温度控制是保证汽轮机组（发电设备）正常运行的一个重要条件。通常过热蒸汽的温度应达到 460℃ 左右，再去推动汽轮机做功。每种锅炉与汽轮机组都有一个规定的运行温度，在这个温度下运行，机组的效率最高。如果过热蒸汽的温度过高，会使蒸汽机的寿命大大缩短；如果温度过低，当过热蒸汽带动汽轮机做功时，会使部分过热蒸汽变成小水滴，小水滴冲击汽轮机叶片，会造成生产事故。所以必须对过热蒸汽的温度进行控制。通常在如图 1-1（a）所示的过热器之前或中间部分串接一个减温器。通过控制减温水流量的大小来控制过热蒸汽的温度，所以设计如图 1-1（a）所示的温度控制系统。本系统采用 DDZ-III 型电动单元组合仪表。系统中过热蒸汽温度采用热电阻温度计 1 来测量，并经温度变送器 2（TT）将测量信号送至温度调节器（TC）3 的输入端，与过热蒸汽温度的给定值进行比较得到其偏差，温度调节器按此输入偏差以某种控制规律进行运算后输出控制信号，以控制调节阀 4 的开度，从而改变减温水流量的大小，达到控制过热蒸汽温度的目的。图 1-1（b）为该系统的框图。

2. 转炉供氧量控制系统

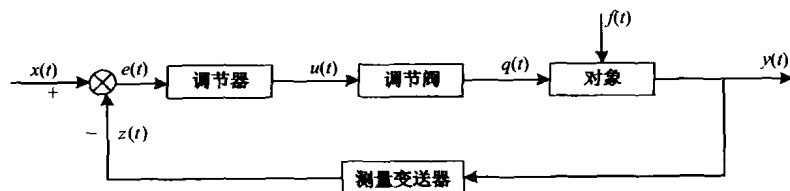
转炉是炼钢工业生产过程中的一种重要设备。熔融的铁水装入转炉后，可以通过氧枪供给转炉一定的氧气量，在氧气的作用下，铁水中的碳逐渐氧化燃烧，从而使铁水中的含碳量不断地降低，控制吹氧量和吹氧时间就可以控制冶炼钢水的含碳量，于是就可以获得不同品种的钢。为了冶炼各种不同品种的钢材，设计了如图 1-2（a）所示的转炉供氧量控制系统，本系统采用 DDZ-III 型仪表。采用节流装置 1 来测量氧气流量，并送至流量变送器（FT）2，在经开方器 3 后作为流量调节器（FC）4 的测量值，其测量值与供氧量的给定值进行比较得到偏差，调节器按此偏差输入信号以 PID 某种控制规律进行运算并输出控制信号去控制调节阀 5 的开度，从而改变

供氧量的大小,以满足生产工艺要求。图 1-2 (b) 为供氧量控制系统框图。为了便于应用控制理论分析过程控制系统,根据系统的工作过程,由控制流程图 1-1 (a) 和图 1-2 (a) 可以分别画出其框图 1-1 (b) 和图 1-2 (b)。现以图 1-1 (b) 为例介绍图中的各方框、连线等的定义。



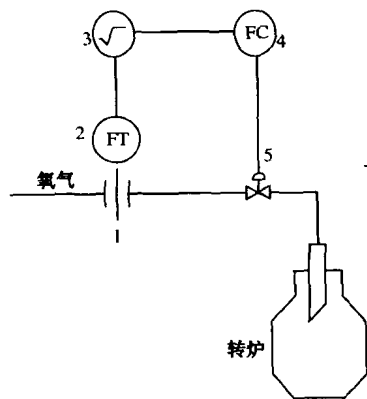
1—热电阻温度计; 2—温度变送器; 3—温度调节器; 4—调节阀

(a) 控制流程图

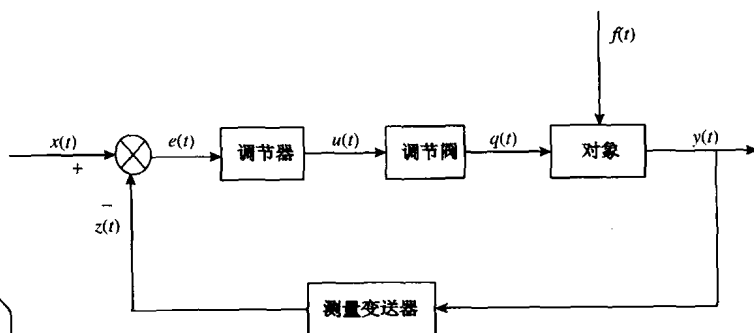


(b) 框图

图 1-1 过热蒸汽温度控制系统



(a) 控制流程图



(b) 框图

图 1-2 转炉供氧量控制系统

在图 1-1 (b) 中每个框表示组成该系统的一个 (设备或装置) 环节, 两个框之间的一条带有箭头的连线表示其相互关系和信号传递方向, 但是不表示方框之间的物料联系。在该图中的温度测量元件、变送器、调节器和调节阀等各环节是单向作用的, 即环节的输入信号会影响输出信号, 但是输出信号不会反过来影响输入信号。应该指出, 在过程控制中, 调节阀控制的介质流量可以是流入过程的, 也可以是从过程流出来的。如果被控的物料是流入过程

的,则正好与框图中的箭头方向一致。如果被控物料是从过程流出来的,则图中信号的传递方向与物料的流动方向就不一致了。

在图 1-1 (b) 中的“过程”(又称对象)方框指某些被控制的装置或设备,在本例中表示测量温度的热电阻温度计到调节阀之间的管道设备,即包括过热器、减温器及调节阀前的一段管道。 $y(t)$ 表示过热蒸汽的温度,是过热蒸汽温度控制系统的被控参数,是“过程”的输出信号。在本例中进入过热器的烟道气温度的高低以及环境温度的变化(如刮风、降温)情况都是会引起被控参数波动的外来因素,称其为扰动作用,可用 $f(t)$ 表示,它是“过程”的输入信号。减温水流量的改变是由于调节阀动作(开度改变)所致,它也是影响过热蒸汽温度变化的因素,作为调节器方框的输出信号,也是“过程”的输入信号,可用 $q(t)$ 表示,称其为操作变量,也叫控制参数,最终实现控制作用。调节器的输出 $u(t)$ 称为控制作用,它是调节阀的输入信号。测量变送器的作用是把被控变量 $y(t)$ 成比例地转换为测量信号 $z(t)$,它是调节器的输入信号。

应当指出,调节器是根据 $y(t)$ 测量值的变化与给定值 $x(t)$ 进行比较得出的偏差值对被控过程进行控制的。过程的输出信号,即温度控制系统的输出通过温度测量元件与变送器的作用,将输出信号反馈到输入端,构成一个闭环控制回路,称为闭环控制系统。

在生产过程中,由于扰动不断产生,控制作用也在不断进行。若因扰动(如冬天刮风降温)使过热蒸汽的温度下降时,测量元件(热电阻温度计)将温度的变化值测量出来,经变速器送至调节器的输入端,并与其给定值进行比较得到偏差,调节器按此偏差并以某种控制规律发出控制信号,去关小调节阀的开度,使减温水减少,从而使过热蒸汽的温度逐渐升高,并趋向于给定值。反之亦然。

从以上两个工业过程控制的实例可见,控制系统均由测量元件、变送器、调节器、调节阀和被控过程等环节构成。如果把测量元件、变送器和调节阀统称为过程检测控制仪表,则一个简单的过程控制系统是由被控过程和过程检测控制仪表两部分组成的。

以上介绍的是由模拟仪表构成的过程控制系统。如果由计算机代替模拟调节器,就构成了计算机过程控制系统,如图 1-3 所示。

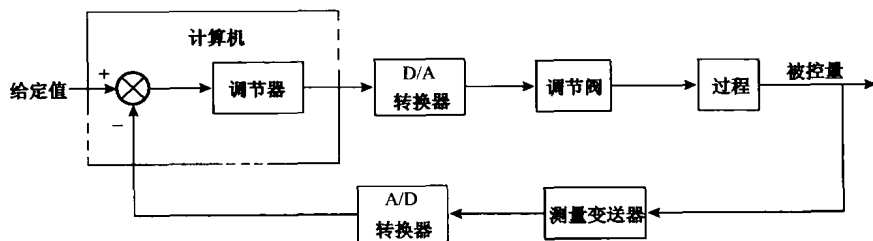


图 1-3 计算机过程控制系统框图

控制系统中引入微型计算机,则可以充分利用其具有的计算速度快、运算精度高、存储信息容量大、逻辑判断功能强、灵活通用等特点,同时运用微处理器提供的各种指令,设计生产工艺要求的控制程序、管理程序与微处理执行程序,就能实现对生产过程的控制和管理(如打印、显示等)。在仪表过程控制系统中控制规律是由硬件来实现的,而在计算机过程控制系统中改变控制规律,只要改变程序就可实现了,非常灵活方便。

在计算机过程控制系统中,计算机的输入与输出信号均是数字信号,所以系统中设有将模拟信号转换为数字信号的 A/D 转换器,以及将数字信号转化为模拟信号的 D/A 转换器。

在图 1-3 中,如果把计算机看做一台仪表,则该系统仍由过程检测控制仪表和被控过程两部分组成。

3. 集散控制系统 (DCS)

为了适应现代生产控制与管理的需要,采用了多层次分级结构形式的集散控制系统。其基本组成框图如图 1-4 所示。

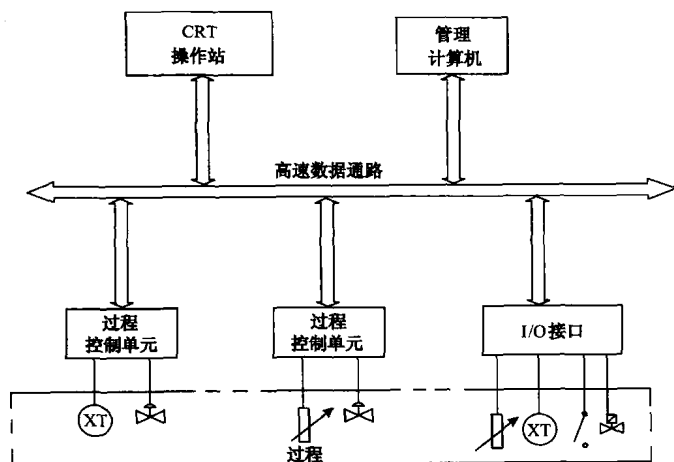


图 1-4 集散控制系统基本组成框图

由图 1-4 可见,集散控制系统由过程输入-输出接口、过程控制单元、数据高速通道、CRT 操作站、管理计算机五部分组成。下面就其各部分的简单作用原理做一介绍。

(1) 过程输入-输出接口。它是带有微处理器的智能装置,主要用于采集过程信息(模拟量和数字量),故又称其为数据采集站。它能完成数据采集与预处理,对实时数据做进一步的加工,提供 CRT 操作站的显示与打印。同时,在有管理计算机的情况下,它可以用模拟量与开关量的方式向过程终端输出计算机的控制指令。

(2) 过程控制单元(基本控制器,控制站)。它相当于若干台常规调节器,能完成常规调节器的全部运算与控制功能,通过软件组态能灵活地构成满足各种不同控制要求的复杂控制系统。它接受现场的各种信号,并进行转换,再通过内部微处理器进行各种运算处理,输出转换为 DC 4~20 mA 或接点信号,去操作各类执行器,实现自动控制。

过程控制单元是集散控制系统的核心。不同的 DCS 其差别较大。控制回路有 2~64 个,固有算法有 2~212 种,如 PID 控制、非线性增益、选择性控制和 Smith 预估等。

(3) 数据高速通路。它又称为数据通信总线。它是一条同轴电缆或光导纤维,高速率传送基本控制单元、过程输入-输出接口与显示操作站之间的数据。为了提高信息传输的可靠性,通常 DCS 除有主通信总线外,还配置有冗余通信总线。

(4) CRT 操作站。它是集散控制系统的人-机接口装置,主要用于操纵工艺生产过程,并监视工厂的运行状态及回路组态,调整回路参数(如 PID 值、极限报警值与设定值等),显示动态流程画面以及进行部分生产管理。通常它由 CRT 监视器、数据通信总线接口、操作键盘、打印机、磁带机与软盘驱动装置等组成。

(5) 管理计算机(上位机)。它通过数据通信总线和系统中各智能单元相连,采集各种数据信息,并综合下达诸如设定值(SPC)等各种高级命令。它可以进行集中控制与最优控制,