

全国普通高校自动化类专业规划教材



PROCESS CONTROL TECHNOLOGY & ITS APPLICATIONS

过程控制技术及其应用

徐湘元 ◎编 著

Xiangyuan Xu

清华大学出版社

全国普通高校自动化类专业规划教材

PROCESS CONTROL TECHNOLOGY & ITS APPLICATIONS

过程控制技术及其应用



徐湘元 ©编 著

Xiangyuan Xu

清华大学出版社

内 容 简 介

本书是本科专业课程“过程控制”的教材,包括了过程控制系统的相关概念、检测仪表、基本控制算法与仪表、执行器与安全栅、过程建模、不同类型的过程控制系统以及相关设计等内容,为学生后续学习过程控制系统的分析与设计提供理论基础和应用模式。本书举例结合实际工业过程,或用 MATLAB 软件进行仿真,既展示了设计理念与技巧,又具有一定的指导和示范作用。

本书取材典型、内容实用、技术先进,教学资源丰富。每章首有内容提示,章尾有小结与习题,附录有考试模拟题,并在网上提供了思考题、习题和试题的参考答案。本书可用作自动化、电气工程及其自动化、过程装备与控制工程等专业的本科教材或教学参考书,也可作为流程工业相关技术人员维护、改造和设计过程控制系统的自学读本。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

过程控制技术及其应用/徐湘元编著. —北京:清华大学出版社,2015

全国普通高校自动化类专业规划教材

ISBN 978-7-302-37268-4

I. ①过… II. ①徐… 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(2014)第 153433 号

责任编辑:曾 珊 李 鹏

封面设计:傅瑞学

责任校对:梁 毅

责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:18

字 数:453 千字

版 次:2015 年 1 月第 1 版

印 次:2015 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:39.00 元

产品编号:049398-01

就自动化学科来说,主要包括调速系统和过程控制两大块。前者以电动机为执行机构,通过对电动机速度的检测与调节,满足工艺对转速的要求,进而实现预期的生产与制造。后者以调节阀为执行器,通过对流量、温度、压力和物位等物理参数的测量与调整,实现对生产流程的掌握与控制。

过程控制技术是通过采用自动化仪表、电子装置和计算机等工具,对化工、石油、轻工、冶金、建材、电力等工业生产中连续的或按一定周期进行生产的有关物理参数进行自动检测和控制,以达到预期技术指标和良好经济效益的一项专门技术。随着科学技术的进步,过程控制技术在提高产品质量、产品数量、节约能源和保护环境等方面发挥着越来越大的作用。它已经成为流程工业的一项关键技术。

本书是过程控制技术的基础教程,全书共分10章。第1章介绍过程控制的基本情况,包括过程控制产生的背景,过程控制的作用、地位以及发展等一般性知识,讲述了过程控制系统的基本组成以及各部分的功能,提出了对过程控制系统的评价标准及质量指标。第2章讨论过程控制中常见物理量的检测,主要有温度、压力、流量和物位等量的测量,内容包括转换单元和变送单元。检测仪表在控制系统中起着“眼观六路,耳听八方”的作用,为控制决策提供外部信息。第3章讨论基本控制算法与仪表,PID控制算法是基本的控制规律,它的两种产品形式——模拟控制仪表和数字控制仪表,是不同过程控制系统设计中经常需选择和配置的,它们在控制系统中起着类似大脑的作用。第4章讨论执行器与安全栅,常用的气动调节阀和电动调节阀是两类主要执行器形式,变频器是一种新生的执行模式,它们在控制系统中发挥着像手脚一样的功能;安全栅在控制中起着安全保护的作用。第5章讨论过程建模,包括机理法和测试法两种,它是了解被控制对象的常用方法,是制定控制方案的依据。第6~8章讨论多种过程控制系统的组建、性能和用途,其中第6章是基本的过程控制系统。第7章是有特定要求的控制系统。第8章涉及复杂过程控制系统。第9章讨论计算机与网络过程控制系统,其形式主要是现场总线控制和工业以太网控制,属于新近的控制模式、学科前沿技术。第10章讨论过程控制系统的设计方法,并列举了工业锅炉设备控制的设计实例,为毕业设计和今后的实际工作提供实际指导和学习训练。

随着科学技术的发展,尤其是信息技术的进步,过程控制技术发展进一步加快。就目前的情况看,传感变送器日益数字化、精准化,变频器的出现丰富了执行器的内容,虽然传统的PID控制仍在过程控制领域占有较大的份额,但以预测控制为代表的一类先进而实用算法备受瞩目,智能控制方兴未艾,传统的单一控制正被组态灵活、构建方便、资源共享、信息互通的网络控制逐渐替代。本书与时俱进,力求将新技术、新方法反映出来。

本着“强调基础、突出重点、更新技术、注重应用”的原则,本书在选材、组织、表述等方面,力求基础性和先进性的结合,理论和实际的结合。摒弃了面面俱到的做法,抓住重点、举一反三,强调掌握理论与方法,为学生将来从事相关工作提供技术基础。本书根据多年教学与实验中积累的经验和体会而写,同时参考了有关资料和文献,对于这些参考材料的作者,

II 过程控制技术及其应用

在此表示诚挚的谢意。

过程控制技术涉及检测与仪表、自动控制、计算机和网络等多个学科领域,要求学生先期修过“自动控制原理”、“检测技术”、“微型计算机原理与应用”、“信息网络与通信”等课程,并具备一定的工业过程实践的经历(如实习或实验)。

由于作者在相关领域研究和实践有限,加上对有关资料和信息掌握不足,书中难免存在缺陷或错误,欢迎读者或同行提出批评意见或建议,以便有机会再版时加以改进,进一步提高本书的质量。

徐湘元

2014年5月

第 1 章 绪论	1
1.1 过程控制发展简介	1
1.1.1 仪表控制阶段	1
1.1.2 计算机控制阶段	2
1.1.3 网络过程自动化阶段	2
1.2 过程控制系统的特点与分类	3
1.2.1 过程控制系统的特点	3
1.2.2 过程控制系统的分类	4
1.3 过程控制系统及其基本组成	5
1.3.1 被控过程	5
1.3.2 检测器	6
1.3.3 控制器	6
1.3.4 执行器	6
1.4 过程控制系统的评价与质量指标	7
1.4.1 阶跃响应型单项性能指标	7
1.4.2 偏差积分型综合性能指标	9
本章小结	9
思考题与习题	10
第 2 章 检测仪表	11
2.1 检测仪表与测量误差	11
2.1.1 检测仪表	11
2.1.2 测量误差与分类	12
2.2 温度检测与变送	14
2.2.1 温度检测	14
2.2.2 热电偶	15
2.2.3 热电阻	19
2.2.4 温度变送器	20
2.2.5 温度检测仪表的选择	26
2.3 压力检测与变送	27
2.3.1 压力的定义、单位和仪表类型	27
2.3.2 弹性式压力检测仪表	28
2.3.3 电气式压力检测仪表	29
2.3.4 压力检测仪表的选用	32
2.4 流量检测与变送	32

IV 过程控制技术及其应用

2.4.1 流量的概念与流量计的分类	33
2.4.2 几种常用的流量计	33
2.5 物位检测与变送	39
2.5.1 差压式液位计	39
2.5.2 电容式物位计	41
2.5.3 雷达式物位计	42
本章小结	43
思考题与习题	43
第3章 基本控制算法与仪表	45
3.1 基本控制算法及其特点	46
3.1.1 比例控制	46
3.1.2 比例积分控制	47
3.1.3 比例微分控制	48
3.1.4 比例积分微分控制	50
3.1.5 基本控制算法的选择要点	51
3.1.6 PID控制器的工程应用	51
3.2 模拟控制仪表	53
3.2.1 概况	53
3.2.2 输入电路	55
3.2.3 PID电路	56
3.2.4 输出电路	59
3.2.5 手动操作电路及无扰切换	60
3.2.6 指示电路	62
3.3 数字控制仪表	63
3.3.1 数字式控制器的基本构成	64
3.3.2 数字式控制器实例	65
本章小结	75
思考题与习题	75
第4章 执行器与安全栅	76
4.1 概述	76
4.2 气动调节阀	77
4.2.1 气动调节阀的基本结构	77
4.2.2 调节阀的类型	78
4.2.3 调节阀的流量特性	80
4.2.4 调节阀的辅助机构	85
4.2.5 调节阀的选择	86
4.3 电动调节阀	88

4.3.1	伺服放大器与伺服电动机	89
4.3.2	减速器的作用	90
4.3.3	位置发送器	90
4.4	变频器	90
4.4.1	变频器的结构与原理	91
4.4.2	变频器在过程控制中的应用	92
4.5	安全栅	93
4.5.1	安全火花防爆概念	93
4.5.2	安全栅的基本类型与原理	94
4.5.3	输入式 / 输出式安全栅	95
	本章小结	98
	思考题与习题	98
第 5 章	过程建模	99
5.1	被控过程的数学模型与建立	99
5.1.1	过程的数学模型	99
5.1.2	过程建模的目的与要求	100
5.1.3	过程建模的方法	101
5.2	机理法建模	102
5.2.1	机理法建模的基本思路	102
5.2.2	有自平衡能力过程建模	103
5.2.3	无自平衡能力过程建模	110
5.3	测试法建模	111
5.3.1	测试法建模的方法	111
5.3.2	时域响应曲线法	112
5.4	基于最小二乘法的过程辨识	117
5.4.1	离散时间系统模型	117
5.4.2	批处理最小二乘法	119
5.4.3	递推最小二乘法	123
5.4.4	具有遗忘因子的递推最小二乘法	125
5.4.5	递推增广最小二乘法	125
5.4.6	模型阶次的确定	128
	本章小结	129
	思考题与习题	129
第 6 章	常用过程控制系统	132
6.1	单回路控制系统设计	132
6.1.1	单回路控制系统的基本结构与原理	132
6.1.2	被控量的选择	133

VI 过程控制技术及其应用

6.1.3	操纵量及控制通道的选择	134
6.1.4	执行器的选择	138
6.1.5	控制规律与作用方式的选择	139
6.1.6	检测器的选择与布置	140
6.2	系统投运与参数整定	140
6.2.1	系统投运	140
6.2.2	控制器参数整定及其方法	141
6.2.3	工程整定法	141
6.3	单回路控制系统设计举例	145
6.3.1	生产过程与任务要求	145
6.3.2	控制方案的选择	146
6.4	串级控制系统	148
6.4.1	问题的出现	148
6.4.2	串级控制系统的提出	149
6.4.3	基本结构、工作特点与应用场合	150
6.5	串级控制系统的设计、整定与举例	153
6.5.1	串级控制系统的设计	153
6.5.2	控制器参数整定	155
6.5.3	设计举例	156
	本章小结	159
	思考题与习题	159
第7章	满足特定要求的过程控制系统	161
7.1	比值控制系统	161
7.1.1	基本概念	161
7.1.2	比值控制系统的类型	161
7.1.3	比值控制系统设计	164
7.1.4	比值控制系统的实施与参数整定	166
7.1.5	比值控制的应用举例	166
7.2	均匀控制系统	167
7.2.1	均匀控制的提出及其概念	167
7.2.2	均匀控制系统的常见类型	169
7.2.3	均匀控制器参数整定	170
7.3	分程控制系统	171
7.3.1	分程控制	171
7.3.2	值得关注的问题及其解决方法	173
7.3.3	应用举例	175
7.4	选择性控制系统	176
7.4.1	选择性控制的产生与概念	176

7.4.2	选择控制系统的类型、结构与原理	177
7.4.3	选择性控制系统的设计	179
7.4.4	选择性控制系统的应用	180
	本章小结	181
	思考题与习题	182
第8章	复杂过程控制系统	183
8.1	前馈控制系统	183
8.1.1	前馈控制的概念与特点	183
8.1.2	前馈控制的几种形式	185
8.1.3	前馈控制的选用与前馈控制器	188
8.1.4	前馈控制系统的应用	189
8.2	时延控制系统	191
8.2.1	时延问题	191
8.2.2	预估补偿控制	192
8.2.3	预估补偿控制的改进	194
8.3	解耦控制系统	196
8.3.1	解耦控制系统	196
8.3.2	耦合程度与性质	197
8.3.3	变量配对与控制器参数整定	201
8.3.4	解耦控制系统的设计	202
8.3.5	两个相关的问题	206
8.4	模型预测控制系统	207
8.4.1	概述	207
8.4.2	模型算法控制	208
8.4.3	多步动态矩阵控制	214
8.4.4	几个参数的讨论	216
	本章小结	218
	思考题与习题	219
第9章	过程计算机控制系统	220
9.1	概述	220
9.1.1	计算机集中式控制系统	220
9.1.2	集散控制系统	220
9.1.3	现场总线控制系统	222
9.1.4	工业以太网控制系统	223
9.2	直接数字控制系统	226
9.2.1	数字控制系统的组成与工作原理	226
9.2.2	信号采集、数字滤波与数据处理	227

9.2.3	数字控制算法	231
9.2.4	数据输出	232
9.3	ControlNet 现场总线控制系统	232
9.3.1	ControlNet 概况与体系结构	232
9.3.2	ControlNet 通信模式与信息交换	234
9.3.3	ControlNet 传输技术	236
9.3.4	ControlNet 总线产品	237
9.3.5	ControlNet 现场总线应用举例	239
9.4	工业以太网控制技术	241
9.4.1	工业以太网系统结构	241
9.4.2	工业以太网的关键技术	245
9.4.3	几种典型的工业以太网	249
9.4.4	工业以太网存在的问题	254
	本章小结	255
	思考题与习题	255
第 10 章	过程控制系统的设计及举例	256
10.1	过程控制设计概要	256
10.1.1	过程控制的设计要求	256
10.1.2	设计过程控制前要做的工作	257
10.1.3	过程控制系统设计的主要内容	257
10.2	锅炉设备的控制	259
10.2.1	锅炉设备	259
10.2.2	汽包水位控制系统	260
10.2.3	锅炉燃烧控制系统	264
10.2.4	蒸汽过热过程的控制	267
	本章小结	268
	思考题与习题	268
附录 A	过程控制试题	270
	过程控制试题一	270
	过程控制试题二	272
附录 B	镍铬-镍硅(镍铝)热电偶分度表(分度号 K)	276
	参考文献	277

【内容提示】 过程控制技术是流程工业的关键技术,在国民经济的工业生产中占有举足轻重的地位,其发展水平反映社会生产力水平。在过程控制的开篇里,将引导读者认识过程控制的基本概念、发展历程,并了解过程控制系统的基本结构、组成部分及其功能,以及描述和评价过程控制系统的专业术语与准则等基础性知识。无疑,这些对后续内容的展开与深入铺平了道路,也为初学者的入门提供了必要的基础。

过程(Process),这里是指生产或制造过程,是用物理或化学的方法将原料加工成产品所经历的程序或阶段,它涉及步骤操作和设备运行两个方面。根据生产过程特点,它可分为连续过程(Continuous Process)和间歇过程(Batch Process)。前者不间断地作业,后者按预定顺序有间断地实施。

借助模拟或数字控制技术对生产或制造阶段的某一或某些物理量进行检测与调节,使其符合预期要求,称这种行为方式为过程控制(Process Control)。具体来说,通过对产品生产中某一或某些参数(Parameters),如温度、压力、流量、物位和成分等进行测量与调整,实现工艺要求的运行状态或结果,并最终使产品达到预期的质量,同时满足安全、环保和经济的要求。

1.1 过程控制发展简介

自从英国人瓦特(James Watt, 1736—1819)在 18 世纪发明了蒸汽机之后,工厂和矿山有了新的动力,人类的生产能力也因此有了显著的进步,社会分工开始细化,工业生产开始走上机械化、电气化和自动化的道路,工业革命从此翻开了崭新的一页。

随着工业革命的兴起,工业生产也向行业化、专业化的方向发展。过程控制是随着流程工业生产的兴起而产生的,并且随着人们对其生产产品质量和性能要求的提高,以及相关技术(如仪表、控制、计算机和网络等)的进步而得到发展的。过程控制经历了基地式仪表、单元组合仪表、计算机直接数字控制、集散控制、现场总线和网络控制等几个时期,可将它们大致划分为 3 个阶段。

1.1.1 仪表控制阶段

这个阶段分为基地式仪表和单元组合仪表两个时间段。

20 世纪 40 年代前,过程工业生产处在初级阶段,许多作业流程靠手工、凭经验进行。20 世纪 50 年代前后,生产控制开始采用笨重的基地式仪表(Instruments on Base)随设备就地分散安装,一套生产设备与一套体积不小的检测与控制仪表伴随,不同系统之间没有什么联系,测量与控制内容大多是一些热工参量的定值控制,其目的是要保证产品质量和数量的稳定。

进入 20 世纪 60 年代,随着电工、电子、仪表和控制技术的发展,相继出现了气动和电动单元组合仪表(Unit Aggregated Instrument)和巡回检测装置(Data-logging Equipment),将这些仪表与装置用于过程控制,实现了集中操作与管理。这对于提高生产效率、满足工业

2 过程控制技术及其应用

生产日益大型化和连续化的需要起到了较好的促进作用。

该期间的单元组合仪表之间的连接采用统一标准信号,它们组合灵活、通用性强,具体单元有测量变送单元、转换单元、运算单元、控制单元、执行单元和显示单元等;使用的仪表主要是 DDZ-II 型,气动仪表控制信号为 $0.02\sim 0.1\text{MPa}$ 气压信号,电动仪表控制信号为 $0\sim 5\text{V}$ 直流电压或者 $0\sim 10\text{mA}$ 直流电流,后来又出现了 DDZ-III 型仪表;控制方面以 PID 为主要控制规律,以单输入—单输出的单回路为主要结构形式。这一时期的特点是控制质量有较大提高,系统的稳定性也得到了加强。但是,各控制回路之间不关联,或者关联很少。

1.1.2 计算机控制阶段

这个阶段的过程控制包括计算机直接数字控制和集散控制两种,时间上它们是连续的,技术上有较大的跨越。

20 世纪 60 年代后期和 70 年代初期,计算机技术开始在过程控制领域使用,出现了以计算机为核心的直接数字控制系统(Direct Digit Control Systems,DDC)。具体为用计算机代替常规控制仪表,利用计算机强大的计算功能实现控制算法和程序控制。由于当时计算机在过程工业生产上的应用处在初期,计算机在硬件和软件方面不完善,再加上过程控制的复杂性,计算机直接数字控制的效果并不好,甚至出现过因计算机的故障而导致整个控制系统瘫痪的事例。

20 世纪 70 年代中后期开始,控制系统工程师分析了计算机集中控制失败的原因,提出了分散控制系统的概念,即集散控制系统(Distributed Control Systems,DCS)。它在控制理念和方式有了本质的进步。集散控制系统集控制(Control)技术、计算机(Computer)技术、通信(Communication)技术和显示(Display)技术于一身,按照纵向分层、横向分散的原则,将分布在生产范围内的各种控制装置、数据处理单元和操作管理设备连接在一起,实现各环节独立分布与运作、系统间协调工作、信息共享的功能,共同完成控制、决策和管理的任务。它具有组态方便、扩展容易、人机交互、可靠性和性价比高特点。霍尼韦尔公司(Honeywell Inc.)的 TDCS-2000、横河公司(Yokogawa)的 Centum 和西门子公司(Siemens)的 Teleperm 等都是其典型代表。

另外,可编程逻辑控制器(Programmable Logic Controller,PLC)也开始进入过程控制领域。在控制方式和算法方面不仅有特殊而复杂的专门控制,如串级控制(Cascade Control)、比值控制(Ratio Control)、均匀控制(Equal Control)、前馈—反馈控制(Feedforward-feedback Control)、选择控制(Alternative/Selection Control)和解耦控制(Decoupling Control)等,而且一些先进的控制策略也陆续被引入过程控制,如自适应控制(Adaptive Control)、推理控制(Inference Control)和预测控制(Predictive Control)等。这对于提高产品质量和生产能力起到了积极的促进作用。

1.1.3 网络过程自动化阶段

进入 20 世纪 80 年代以后,集散控制系统进一步发展,同时出现了具有一定智能的仪表和执行机构。到 20 世纪 80 年代末、90 年代初期,现场总线控制系统(Field-bus Control Systems,FCS)问世。它突破了集散控制系统采用通信专用网络的局限,采用公开化、标准化的网络协议,实现不同网络的互联互通。它保留集散控制系统的分散布置特点,将集

中控制功能彻底下放到现场,同时加强现场信息采集、数据计算和故障诊断等自治能力。它的基层网络不仅连接现场检测与控制设备,而且沟通与上层网络的联系,进一步增强了生产现场的控制能力,提高了系统的灵活性和可靠性。它主要由三部分组成:现场智能仪表、控制器和总线监督与组态计算机。典型的现场总线产品有:Profibus、基金会现场总线(FOUNDATION Fieldbus, FF)、LonWorks 总线、CAN 总线(Control Area Network)和 HART 总线(Highway Addressable Remote Transducer)。

随着流程工业生产规模的扩大,对控制的要求越来越高,控制与管理的关系日益密切,管理与控制一体化的概念被提出,于是计算机集成过程系统(Computer Integrated Process Systems, CIPS)应运而生。计算机集成过程系统以计算机和网络为主要手段,对企业的计划、经营、管理和生产进行全面综合,实现从原材料进库到产品出厂的全面自动化、生产管理的最优化,达到适应生产环境不确定、市场需求多样性和变化性的目的。它由生产过程控制分系统、综合管理分系统和集成支持分系统等组成,从网络角度来说,它由信息网和控制网组成。结构上从上到下可分为广域网、局域网和控制网,通过网桥、路由器和网关互联形成。

如果要集集散控制系统、现场总线控制系统和计算机集成过程系统关联起来的话,可以这样说:现场总线控制系统可看作是集散控制系统向下开放的结果,而计算机集成过程系统可视为集散控制系统向上扩展的产物。

近年来,以太网(Ethernet)及 TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol)在自动化领域得到了应用,并逐渐发展为一种技术潮流——工业以太网。该技术针对生产制造业控制网络的数据传输,提供了以太网标准,具有较好的可操作性、实时性和安全性,较好地满足了工业过程现场对各种流程控制的需要。以太网对介质的访问采用载波监听多路访问/冲突检测(Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection, CSMA/CD)协议,无须依靠控制中心就可进行数据发送,提高了响应速度和吞吐量、降低了冲突率。目前,Modbus/IP、Ethernet/IP、FF HSE 和 ProfiNet 工业以太网是自动化领域通常采用的几种产品。

在控制策略方面,随着一些高级控制算法相继问世,人们开始尝试性地将其用到过程控制中来,并获得了较好的效果,主要包括预测控制(Predictive Control)、模糊逻辑控制(Fuzzy Logic Control)、人工神经网络控制(Artificial Neural Network Control)和专家系统(Expert System)等。其中的预测控制对于工业过程模型要求不高,可以实时在线滚动计算,对环境不确定有适应能力,基于知识的智能处理方法可以有效地解决那些用传统控制手段难以解决的复杂问题,获得较好的控制品质 and 经济效益。

1.2 过程控制系统的特点与分类

作为社会生产中的一类重要技术,过程控制对发展经济、丰富市场、满足人们日益增长的物质需要起着重要的作用。过程控制是自动化技术的重要组成部分,它在流程工业(Process Industry)生产中占有极其重要的地位。它的主要任务是使整个生产过程安全、有序、节能、高效,确保产品性能稳定、质量可靠、数量丰富。

1.2.1 过程控制系统的特点

过程控制是一种在流程工业生产过程中,由人通过机器、设备或系统来主导的加工制造

行为,其控制系统除了具有一般自动化技术所具有的共性之外,还有与流程工艺息息相关的个性之处。由于它涉及的行业众多(如轻工、纺织、建材、核能、石油、化工、制药、冶金等),生产设备千差万别,作业现场错综复杂,要对其特点作出详尽的表述,并不容易,这里仅就主要方面作些提纲挈领性的归纳。

1. 被控对象比较复杂、控制难度大

加工流程、生产过程复杂多变。因为生产过程大多伴随有物理反应、化学反应和生化反应,并且一般都有物质能量的转换和传递,所以生产过程一般比较复杂,往往伴随有高温、高压、易燃、易爆、易泄漏等过程风险。从控制的角度来说,这些都是比较复杂的系统,存在非线性、时变性、滞后性、不确定性和强耦合等现象。若采用传统的控制方式,控制难度大;若采用非传统的控制方式,控制代价大。

2. 被控过程的异性和控制方式的多样性

由于各工业部门生产的产品不同,对其质量和数量要求不一,加上使用的设备和生产工艺过程迥异,所以生产过程是多样的。生产过程的多样性决定了控制方式的相异性。根据生产条件和对产品质量要求的不同,采用的过程控制在结构上,可以从仪表控制系统到工业网络控制系统;在控制算法上,可以从简单的PID到复杂的智能控制,形式多样、方法不一。另外,可行性、可靠性、经济性和方便性都是设计方案时需要考虑的问题。

3. 被控过程变化慢、控制算法具有针对性

过程控制中的被控过程往往容积大、惯性大、耦合强、滞后久,所需调节时间长,系统响应缓慢。因此,所选的控制方案有较强的针对性。例如,对滞后时间较长的被控对象,一般选用Smith控制,而对参量多、相互之间牵制的被控过程,则首选解耦控制。

4. 定值控制是一种常用形式

很多生产过程的控制并无特别要求,控制的目的是使被控量达到预期的某一值,并且能够抵御任何可能发生的干扰。此时采用定值控制,选用PID算法即可。据统计,过程控制中大约有70%的控制算法选用简单的PID定值控制。

1.2.2 过程控制系统的分类

由于过程控制对象各种各样,控制手段也是形形色色,想要对过程控制系统进行分类并不是件容易的事情。因为不同的划分标准,过程控制系统类别的划分自然就不同。例如,按是否采用计算机来分,过程控制系统可分为常规仪表控制系统和计算机控制系统,其中计算机控制系统还可以细分为直接数字控制系统(DDC)、集散控制系统(DCS)、现场总线控制系统(FCS)、计算机集成过程系统(CIPS)和工业以太网系统等;按被控参数来分,可分为压力控制系统、流量控制系统、温度控制系统、液位控制系统等;按过程控制的结构特点来分,可分为反馈控制系统、前馈—反馈复合控制系统等。

不过,按设定的不同划分过程控制系统类别,认同度比较高。

1. 定值控制系统

定值控制系统是最常见的一种控制系统。它要求系统的被控量按照固定不变的给定值运行,或者在给定值附近小范围波动,例如温度、压力、流量、温度等。系统启动时,被控量向给定的期望值接近,稳定后,被控量与给定量一致,或者在给定值附近(有偏差);被控量受扰动时,系统试图抵御这种扰动,使被控量恢复到原来的给定值,或者给定值附近。

2. 随动控制系统

在过程控制中,给定值不一定总是一成不变的,有时会随着工艺的要求,或者外部环境的变化而发生变化,因而被控量也随之发生变化。被控量及时而准确地随设定量的变化而变化的控制系统称为随动控制系统。例如在比值控制中,从动量(可视为一种被控量)会随着主动量(可视为一种设定量,由检测器获得)的变化而变化,从而维持主从量的比例不变,达到预期的工艺要求。

3. 程序控制系统

在过程控制中,有些产品的生产需要一定数量的加工工序、作业流程,分阶段来实施完成,这时就用到程序控制了。它是根据产品的加工工艺要求,对生产过程进行有先后次序的、有条件的作业。程序控制不同于定值控制和随动控制,但又可能包括它们,其中的步骤和流程可能更多、更复杂。它在某个时间段或作业段内是一种控制,而在另一段内可能是另一种控制,在整个产品生产周期内,按不同阶段或方法来实施完成。例如,冶金加工中,材料的淬火(也叫蘸火),是将金属工件加热到一定温度,然后突然浸在水或油中使其冷却,以增加硬度,其生产过程对升温、降温 and 保温都有具体的技术要求。

1.3 过程控制系统及其基本组成

一个过程控制系统的基本结构如图 1-1 所示。图中, $r(t)$ 为设定值(Setting Value/Set Point), $y(t)$ 为被控量(Controlled Variable), $f(t)$ 为干扰量(Disturbance Variable), $z(t)$ 为检测值(为电信号,反映 $y(t)$ 大小), $e(t)$ 为偏差值。系统由控制器、检测器、执行器和被控对象组成。控制器提供控制规律,即通过一定的控制算法获得操纵量(也称控制量)(Manipulating Variable),输出至执行器,执行器实施后,检测器对其中关键的参变量进行测量,即对过程中的被控量进行检测,获取控制效果或状态,同时将此信息反馈给控制器,控制器比较预期的 $r(t)$ 和反馈的 $z(t)$,通过运算,决定下一步的控制量。这样周而复始地进行下去,直至被控量与预期设定的值一致或达到某种要求。

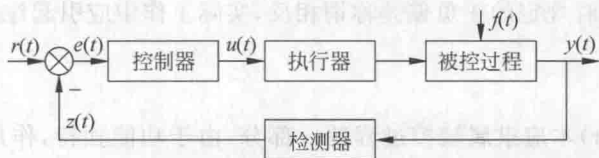


图 1-1 基本过程控制系统结构图

1.3.1 被控过程

在过程控制中,一般称被控对象为被控过程(Controlled Process),简称过程。它是指生产过程中被控制的工艺设备、装置或流程,通常包括执行器(调节阀)以及相关设备和装置,如锅炉、加热炉、分馏塔、反应釜等,储物的窑、炉、罐以及相应的传输物料管道等。另外,广义被控过程除了前述的内容之外,还包括检测器。

被控过程往往是被控变量(简称被控量)的产生地,而被控量又是我们关心的物理变量,它表征或反映了部分或者全部被控过程的状态,关系到产品的质量和数量。

1.3.2 检测器

检测器(Sensor and Transducer)用来测量被控过程中需要被掌握和控制的变量,通常为被控量。它由两部分组成,一是传感器(Sensor),二是变送器(Transducer)。实践中生产厂家往往将这两部分合并在一起,通称为检测器。传感器的功能是实现被测非电物理量到电量的转变,变送器的作用是将被转变的电信号进行加工调理,并调制为标准信号,如 $0\sim 10\text{mA}$ (Ⅱ型仪表)或 $4\sim 20\text{mA}$ (Ⅲ型仪表),供输出之用。图 1-1 中被控量 $y(t)$ 经检测器后转变为电量 $z(t)$ 。

在一个生产过程中,或者一个被控对象中,检测器用来测量被控量,通常直接测量。但是有些场合,由于技术或者其他原因,被控量不便直接测量获得,此时不得不通过测量与其有直接联系、单值关系的其他物理量来间接反映被控量,即间接测量。

实际中,有的被控对象仅含一个我们感兴趣的物理变量,即单变量;而有的却包含 2 个及 2 个以上的物理变量,即多变量。它们之间有的互相关联,有的关联不多,有的甚至没有关联。例如,管道中液体的温度、压力与流量之间,在口径不变的前提下,压力与流量关系紧密,而温度(尤其是变化范围不大时)与压力或流量的关联就不是那么紧密。

1.3.3 控制器

从图 1-1 可以看出,控制器(Controller)的输入量是偏差值,即设定值与被控量的反馈值之差 $e=r-z$ 。该差值经预先确定的算法,计算出需要输出的操作量,供执行器实施,使被控过程中的被控量按期望的方向和大小变化。这里的设定值就是被控量最终要达到的稳态值。

控制器有正反作用方式之别:当被控量(或者测量量)增大时,控制器的输出也增大,称为控制器的正作用;相反,当被控量增大时,控制器输出减小,称其为反作用。设计时到底选正作用,还是选反作用,需视实际情况定。关于这一点,后面将具体介绍。

值得一提的是,偏差值 $e<0$ 时,通常称其为负偏差,而 $e>0$ 时,称其为正偏差。这正好与仪表厂校验控制器时规定的正负偏差称谓相反,实际工作中应引起注意。

1.3.4 执行器

执行器(Actuator)本应隶属被控过程的一部分,由于功能独特,作用重大,故将其单独列出。过程控制中的执行器包括两部分:一是执行机构,二是调节阀体。执行器有气动薄膜调节阀和电动调节阀两种。前者收到控制器发来的操作量(电信号)之后,需经电/气转换器变换后,才能驱使阀门开闭;后者需经伺服放大器放大电信号后,方能驱动阀体启闭。

调节阀的输出特性决定于阀门本身的结构,有的与输入信号呈线性关系,有的则呈对数或其他曲线关系。另外,气动阀门还有气开式和气闭式之分。前者是当控制器输出增大时,阀门开度也增大,后者则相反。选择时需考虑生产过程的安全性和经济性。例如,锅炉水位控制应选气关式给水调节阀,当气源增大时,阀门应关小,气源减小时,阀门开大,气源切断时,阀门全开,保证锅炉筒内供水充足,避免烧干发生事故。

另外,近年来,变频器的出现,在功能上可部分替代调节阀,同样可实现流量调节的目的,并且还有节省电能的特点。变频器正逐渐被广泛使用在过程控制的泵类和风机负载中。