

普通高等院校电气自动化控制类专业应用型本科规划教材

丛书主编 刘平

过程控制系统

苏成利 黄越洋 李书臣 编著

清华大学出版社

普通高等院校电气自动化控制类专业应用型本科规划教材

过程控制系统

苏成利 黄越洋 李书臣 编著

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书从基本概念出发,深入浅出地阐述了过程控制系统的本质与特点。运用控制理论对常见的过程控制系统加以论证,进行必要的定量或定性分析。本书在基本的过程控制系统和基本控制方案的基础上,把目前在工业生产过程中应用比较成熟的控制系统和控制方案作为重点内容,进行较为系统地阐述,并用实例对控制方案的设计进行说明。除第 10 章外,每章后都配有思考题与习题。本书可作为高等院校自动化及相关专业高年级本科生或研究生的教材,也可供相关工程技术人员参考。

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

过程控制系统/苏成利,黄越洋,李书臣编著. --北京:清华大学出版社,2014

普通高等院校电气自动化控制类专业应用型本科规划教材

ISBN 978-7-302-34623-4

I. ①过… II. ①苏… ②黄… ③李… 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(2013)第 290846 号

责任编辑:孙 坚 洪 英

封面设计:常雪影

责任校对:刘玉霞

责任印制:沈 露

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

印 装 者:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:19

字 数:458 千字

版 次:2014 年 2 月第 1 版

印 次:2014 年 2 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:38.00 元

产品编号:048456-01

丛书序

目前,自动化控制类专业应用型本科教材还显匮乏。为此,在清华大学出版社的大力倡导和支持下,组建了普通高等院校电气自动化控制类专业应用型本科规划教材编委会,规划了这套实践与应用型特征明显的系列教材。

本系列教材根据应用型人才的培养目标和“应用为本、学以致用”的办学理念,贯彻“精、新、实”的编写原则,理论部分以“必需、够用”为度,精选必需的内容,其余内容引导学生根据兴趣和需要有目的、有针对性地自学;强化实践环节和动手能力,使学生在毕业时真正成为“懂专业、技能强、能合作、会做事”的可以直接上岗的高素质技术应用型人才。

虽然,近年来实践与应用型教材开始受到重视,但总体来说仍处于探索推广阶段,需要广大的教育工作者共同努力,勇于探索,积极交流。为此,我们热切欢迎广大读者提出宝贵的意见和建议,同时也欢迎有志于实践与应用型教材探索与推广的老师参与到系列教材的编写开发中来。

交流邮箱: liuping661005@126.com。

刘 平 教授

普通高等院校电气自动化控制类专业应用型本科规划教材丛书主编

沈阳理工大学应用技术学院信息与控制学院院长

2012年10月于李石开发区

前 言

过程控制系统是一门与工业生产过程密切相关的课程。随着工业生产过程控制技术的迅速发展,生产过程不断朝着连续化、大型化和不断强化的方向发展。过程控制系统已成为工业生产过程必不可少的设备,它是保证现代企业安全、优化、低消耗和高效益生产的主要技术手段。

“过程控制工程”是辽宁石油化工大学自动化专业几十年来为本科高年级学生开设的一门主干专业课,2012年被评为辽宁省资源共享课。本书正是为“过程控制工程”课程而编写的配套教材,可以说本书凝聚着编者多年来的教学经验。

本书以过程控制系统组成和结构为线索,共分为10章。第1章介绍了过程控制的基本概念、测量变送环节、执行器的原理和选择、控制器的设计和参数整定。第2、3章分别介绍了常用的复杂控制系统和特殊控制系统的控制方案和设计方法。第4章介绍了先进控制系统。第5章介绍了计算机控制系统。第6~9章分别介绍了工业中常用的流体输送设备、传热设备、精馏设备和各种反应器的工艺流程及典型的控制方案设计。第10章介绍了典型炼油工业生产过程的控制。

本书由辽宁石油化工大学,苏成利、黄越洋、李书臣编写。其中,苏成利编写了第1、6、7、8章,黄越洋编写了绪论、第2、3、4、5章,李书臣编写了第9章和第10章部分内容,吴云编写了第10章的部分内容。

本书在编写过程中得到了辽宁石油化工大学信息与控制工程学院自动化专业同仁们的关心和支持,也得到了信控学院部分研究生的大力帮助。特别要感谢辽宁石油化工大学李平教授对书中内容提出了许多宝贵的意见和建议,此外还要感谢计算机与通信工程学院石元博老师的技术支持。同时,我们还要感谢所有帮助此书编写和出版的朋友们!

另外,本书的电子教学课件可在清华大学出版社网站 www.tup.tsinghua.edu.cn 下载。

由于时间及作者水平有限,书中难免有不当之处,敬请广大读者批评指正。

编 者
2014年2月

目 录

绪论	1
第 1 章 单回路反馈控制系统	10
1.1 单回路的结构组成	10
1.1.1 单回路控制系统的组成	10
1.1.2 控制系统的框图	11
1.2 控制系统的过渡过程及其性能指标	12
1.2.1 控制系统的过渡过程及形式	13
1.2.2 控制系统的性能指标	14
1.3 被控过程的数学模型	17
1.3.1 被控对象的动态特性	17
1.3.2 过程数学模型的表达形式与对模型的要求	19
1.3.3 建立过程数学模型的基本方法	21
1.3.4 常用的辨识建模方法	22
1.4 被控变量和操纵变量的选择	29
1.4.1 被控变量的选择	29
1.4.2 对象特性对控制质量的影响	31
1.4.3 操纵变量的选择	38
1.5 测量变送环节的选择	39
1.5.1 测量变送环节的性能	39
1.5.2 测量误差	41
1.5.3 对测量变送信号的处理	42
1.6 控制阀的选择	43
1.6.1 控制阀结构形式的选择	44
1.6.2 控制阀口径的选择	44
1.6.3 控制阀气开、气关形式的选择	44
1.6.4 控制阀的流量特性	45
1.6.5 控制阀流量特性的选择	47
1.6.6 阀门定位器的选择	49
1.7 控制规律及控制器作用的确定	50
1.7.1 比例控制作用对控制品质的影响	50

1.7.2	比例积分控制作用对控制品质的影响	52
1.7.3	比例积分微分控制作用对控制品质的影响	53
1.7.4	控制规律及控制器正反作用的选择	56
1.7.5	控制器参数整定的方法	57
1.7.6	控制系统的投运	63
思考题与习题		63
第2章 常用复杂控制系统		66
2.1	串级控制系统	66
2.1.1	串级控制系统的基本原理	66
2.1.2	串级控制系统的分析	68
2.1.3	串级控制系统的设计	69
2.1.4	串级控制系统的投运及参数整定	71
2.2	前馈控制系统	72
2.2.1	前馈控制系统的基本原理和特点	73
2.2.2	前馈控制系统的主要结构形式	76
2.2.3	前馈控制规律的实施	79
2.2.4	前馈控制系统的参数整定	80
2.3	纯滞后补偿	83
2.3.1	史密斯预估控制	83
2.3.2	史密斯补偿的实现	84
2.4	内模控制	86
2.5	系统关联与解耦控制	89
2.5.1	系统关系分析	89
2.5.2	相对增益	89
2.5.3	解耦控制设计方法	93
思考题与习题		96
第3章 特殊控制系统		99
3.1	比值控制系统	99
3.1.1	比值控制的基本原理和主要结构形式	99
3.1.2	比值控制系统的类型	99
3.1.3	比值系数的计算	103
3.1.4	比值控制的实施方法	104
3.1.5	比值控制系统的设计、投运及参数整定	105
3.2	均匀控制系统	106
3.2.1	均匀控制系统的基本原理	106
3.2.2	均匀控制系统的主要结构形式	107
3.2.3	均匀控制系统控制规律的选择及参数整定	108

3.3	分程控制系统	109
3.3.1	概述	109
3.3.2	分程控制应用的场合	110
3.4	选择性控制系统	113
3.4.1	用于设备软保护的选择性控制	113
3.4.2	防积分饱和的措施	116
	思考题与习题	117
第4章	先进控制系统	119
4.1	模型预测控制	119
4.1.1	预测控制问题的提出	119
4.1.2	模型预测控制的主要特征	120
4.1.3	几种常见的模型预测控制算法	121
4.2	模糊控制	127
4.2.1	模糊逻辑基础	127
4.2.2	模糊控制系统	131
4.2.3	模糊控制器设计	133
4.3	神经网络控制	136
4.3.1	神经网络的概念	136
4.3.2	神经网络控制	139
4.4	专家控制	141
4.4.1	专家系统概述	141
4.4.2	专家控制系统	142
4.4.3	专家控制器	145
4.5	自适应控制	148
4.5.1	增益调度自适应控制	148
4.5.2	模型参考自适应控制	150
4.5.3	自校正控制	151
	思考题与习题	154
第5章	计算机控制系统	155
5.1	直接数字控制系统	157
5.1.1	直接数字控制系统的原理	158
5.1.2	直接数字控制系统的组成	158
5.1.3	DDC 中的 PID 算式	159
5.2	PID 控制算法	162
5.2.1	数字 PID 控制算式	162
5.2.2	数字 PID 改进算式	164
5.2.3	数字式 PID 调节参数的整定	166

5.3 集散控制系统	169
5.3.1 集散控制系统概述	169
5.3.2 集散控制系统的主要特点	170
5.3.3 集散控制系统的组成	170
5.3.4 集散控制系统的功能	172
5.4 现场总线控制系统	173
5.4.1 现场总线控制系统概述	174
5.4.2 现场总线控制系统的主要特点	174
5.4.3 几种典型的现场总线	175
5.4.4 现场总线控制系统的组成	177
5.4.5 现场总线控制系统的功能	179
5.4.6 发展中的现场总线系统	181
5.5 工业以太网技术	182
5.5.1 工业以太网概况	182
5.5.2 Ethernet 应用于工业现场的关键技术	182
5.5.3 工业以太网协议	184
5.5.4 工业以太网的优势	185
5.5.5 工业以太网在控制领域的应用现状	186
5.6 无线现场仪表与网络	187
思考题与习题	188
第6章 流体输送设备的控制	189
6.1 泵及压缩机的控制方案	189
6.1.1 泵和管路系统的静态特性及泵的控制方案	189
6.1.2 离心泵的控制方案	190
6.1.3 容积式泵的控制方案	192
6.2 离心式压缩机的防喘振控制	193
6.2.1 离心式压缩机的特性曲线与喘振	194
6.2.2 防喘振控制系统	195
思考题与习题	197
第7章 传热设备的控制	198
7.1 概述	198
7.1.1 传热设备的结构类型	198
7.1.2 传热设备的静态数学模型	198
7.2 换热设备的控制	201
7.2.1 换热器的控制	201
7.2.2 蒸汽加热器的控制	202
7.2.3 冷凝冷却器的控制	202

7.3	加热炉的控制	203
7.3.1	加热炉的简单控制	204
7.3.2	加热炉的串级控制	205
7.3.3	加热炉的安全联锁保护系统	207
7.3.4	加热炉的热效率控制	208
7.4	锅炉控制	210
7.4.1	汽包水位的控制	211
7.4.2	燃烧控制系统	218
7.4.3	过热蒸汽系统的控制	220
	思考题与习题	221
第8章	精馏塔的控制	223
8.1	精馏塔的控制目标	223
8.1.1	连续精馏装置和流程	223
8.1.2	精馏塔的基本形式	224
8.1.3	精馏塔的控制目标	226
8.2	精馏塔的特性	227
8.2.1	精馏塔的静态特性	227
8.2.2	精馏塔的动态特性	230
8.3	精馏塔质量指标的选取	232
8.3.1	灵敏板的温度控制	232
8.3.2	温差控制	232
8.3.3	双温差控制	233
8.4	精馏塔的基本控制方案	234
8.4.1	塔压控制	235
8.4.2	物料平衡控制	236
8.4.3	质量指标控制	237
8.4.4	内回流控制	242
	思考题与习题	243
第9章	化学反应器的控制	245
9.1	概述	245
9.1.1	化学反应的一些基本概念	245
9.1.2	反应器的类型	249
9.2	反应器的基本控制方案	250
9.2.1	温度被控变量的选择	251
9.2.2	以温度作为控制指标的控制系统	253
9.2.3	几种典型反应器的控制方案	256
	思考题与习题	258

第 10 章	炼油工业生产过程控制	259
10.1	炼油工业概述	259
10.2	常减压蒸馏生产过程控制	261
10.2.1	常减压蒸馏工艺概述	262
10.2.2	常减压蒸馏过程工艺流程概述	263
10.2.3	常减压蒸馏过程的常规控制	265
10.3	催化裂化生产过程控制	272
10.3.1	催化裂化装置的组成	273
10.3.2	催化裂化工艺流程概述	275
10.3.3	催化裂化的常规控制	277
10.4	催化重整生产过程控制	281
10.4.1	催化重整工艺概述	281
10.4.2	催化重整过程的常规控制方案	283
10.5	延迟焦化生产过程控制	286
10.5.1	延迟焦化装置的工艺概述	287
10.5.2	延迟焦化过程的常规控制方案	288
参考文献		291

绪 论

在现代工业生产过程中,随着生产规模的不断扩大、生产过程的强化、对产品质量的严格要求以及各公司之间的激烈竞争,人工操作与控制已远远不能满足现代化生产的要求。过程控制系统已成为工业生产过程必不可少的装备,为保证现代企业安全、优质、低消耗和高效益生产提供了有效的技术手段。本书将重点针对连续生产过程,介绍过程控制系统的设计目标,分析设计技术与工程实施等方面的内容。

作为绪论,本章将回顾生产过程自动化的发展历程,简要介绍过程控制的任务和要求,说明过程控制系统的分类。

1. 生产过程自动化的发展概况和趋势

自 20 世纪 30 年代以来,对自动化技术的应用获得了惊人的成就,自动化技术已在工业生产和科学发展中起着关键的作用。当前,自动化装置已成为大型设备不可分割的重要组成部分。可以说,如果不配置合适的自动控制系统,大型生产过程就根本无法运行。实际上,生产过程自动化的程度已成为衡量工业企业现代化水平的一个重要标志。

回顾自动化技术发展的历史,可以看到它与生产过程本身的发展有着密切的联系,是一个从简单形式到复杂形式、从局部自动化到全局自动化、从低级智能到高级智能的发展过程。自动化在工业生产中的作用,大致经历了 4 个发展阶段。

20 世纪 50 年代以前可以归结为自动化发展的第一阶段。在这一时期中,其理论基础是基于传递函数的数学描述,以根轨迹和频率法作为分析和综合系统基本方法的经典控制理论,因而带有明显的依靠手工和经验进行分析和综合的色彩。在设计过程中,一般将复杂的生产过程分解为若干个易于控制的简单过程,最终实现单输入单输出的控制系统。其控制目标也就是只能满足于保持生产的平稳和安全,属于局部自动化的范畴。当时,也出现了一些如串级、均匀等十分有效的多回路系统,相应的控制仪表也从基地式发展到单元组合式。但总的来说,自动化水平处于低级阶段。

如图 0-1 所示, $G_c(s)$ 为控制器传递函数; $G_v(s)$ 为执行器传递函数; $G_p(s)$ 为对象控制通道传递函数; $G_d(s)$ 为对象干扰通道传递函数; $G_m(s)$ 为测量变送器传递函数; r 为设定值; y 为被控变量,又称输出量; y_m 为被控变量的

测量信号; q 为执行器输出,被称为操纵变量; D 为干扰; u 为控制器输出; e 为偏差。

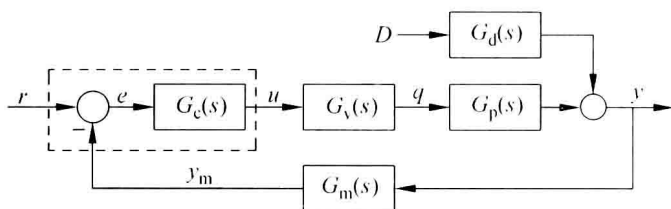


图 0-1 单回路控制系统

20 世纪 60 年代后的 10 年,可以认为是工业自动化发展的第二个阶段。20 世纪 50 年代末,由于生产过程迅速向着大型化、连续化的方向发展,工业过程的非线性、耦合性和时变性等特点十分突出,原有的简单控制系统已经不能满足要求,自动化控制面临着工业生产的严重挑战。幸运的是,为适应空间探索的需要而发展起来的现代控制理论已经逐渐成熟,并已在某些尖端技术领域,如航空、航天等工业,取得了惊人的成就。现代控制理论是以状态空间分析方法为出发点,内容包括了以最小二乘为基础的系统辨识,以极大值原理和动态规划为主要方法的最优控制和以卡尔曼滤波器理论为核心的最优估计等三部分。值得注意的是,现代控制理论在综合和分析系统时,已经从外部现象深入到揭示系统内在规律性,从局部控制进入到在一定意义下的全局控制,而且在结构上已从单环控制扩展到适应环、学习环等复杂控制。可以说,现代控制理论是人们对控制技术在认识上的一次质的飞跃,为实现高水平的自动化奠定了理论基础。与此同时,电子计算机的飞速发展和普及为现代控制理论的应用开辟了一条宽广的道路,为实现工业自动化提供了十分重要的技术手段和工具。在 20 世纪 60 年代中期,已出现了用计算机代替模拟控制器的直接数字控制(Direct Digital Control, DDC)和有计算机确定模拟控制器或 DDC 回路最优设定值的监控(Supervisory Computer Control, SCC),并有一些成功应用实例的报道。20 世纪 60 年代初,国外曾试图用一台计算机代替全部模拟仪表,实现“全盘计算机控制”。在我国,也曾曾在发电厂和炼油厂进行过计算机控制的试点研究。当时由于电子计算机不但体积大、价格昂贵,而且在可靠性和功能方面还存在不少问题,计算机控制始终停留在试验阶段。此外,现代控制理论与工程实际之间存在巨大的鸿沟。这主要是由于生产过程机理复杂,建模困难,性能指标不易确定,控制策略十分缺乏等原因,使得现代控制理论的移植应用,还有计算机在工业过程应用方面,都有了良好的开端和尝试。

20 世纪 70 年代后的 20 余年工业自动化的发展表现出两个明显的特点,它们正是第三个阶段的标志。第一个特点是,20 世纪 70 年代初已开始出现了适合工业自动化的控制计算机商品化产品系列。由于大规模集成电路制造的成功和微处理器的问世,使计算机的功能丰富多彩,可靠性大为提高,而价格却大幅度下降。尤其是工业用控制计算机,在采用了冗余技术,软硬件的自诊断功能等措施后,其可靠性已提高到基本上能够满足工业控制要求的程度。值得注意的是,从 20 世纪 70 年代中期开始,针对工业生产规模大、过程参数和控制回路众多的特点,为满足工业用计算机应具有高度可靠性和灵活性的要求,出现了一种分布式控制系统(Distributed Control Systems, DCS),又称集散控制系统。它是集计算机技术、控制技术、通信技术和图形显示技术于一体的计算机系统,一经问世,就受到工业界的青睐。目前世界上已有近百家公司先后推出各自开发的系统,我国目前也已生产出可用于

大型企业的集散系统。这种系统在结构上分散,即将计算机分布到车间或装置一级,不仅使系统危险分散,消除了全局性的故障节点,增加了系统的可靠性,而且可以灵活方便地实现各种新型控制规律和算法,便于系统的分批调试和投运。显然,这种分布式系统的出现,为实现高水平自动化提供了强有力的技术工具,给生产过程自动化的发展带来了深远的影响。可以说,从 20 世纪 70 年代开始,工业生产自动化已进入计算机时代。

第二个特点是控制理论与其他学科相互交叉,互相渗透,向着纵深方向发展,从而开始形成了所谓的大系统理论和智能控制理论。众所周知,一类复杂的工业过程,如反应过程、冶炼过程和生化过程等,本身机理就十分复杂,还没有被人们充分认识和掌握,而且这类过程往往还受到众多随机因素的干扰和影响,因而难以建立精确的数学模型来满足闭环最优控制的要求。同时,这类过程的控制策略也有待进一步研究。目前已有的策略或是过于复杂,难以实现在线控制,或是过于粗糙,不能满足高水平的控制要求。解决这类问题的重要途径之一就是將人工智能、控制理论和运筹学三者相结合进行智能控制。这一方向已受到国内外控制界的极大重视,并已有在化工、冶金和能源工业中成功应用的报导。在国内外,已出现了利用知识和推理的实时专家系统进行诊断、预报和控制的实例。另外,20 世纪 70 年代以来,由于能源危机、市场竞争和技术进步,工业生产规模更趋庞大,如火力发电站每套机组的功率已从 300MW 发展到 1000MW,石化工业中年产 1000 万吨级的甚至更大级的炼油装置,以及大型的乙烯、合成氨等工厂也大批建成。设备的更新换代,极大地提高了生产率,显然也相应地提出了对控制的更高要求。同时由于出现全球严重环境污染问题,大量的 CO_2 、 SO_2 等污染气体引发了气候变暖,而且我国生产中还存在着能源效率低下、原材料浪费惊人等问题。因而在要求达到提高产量的同时,必须加强节能降耗、减少污染物排放,这些要求无不与控制有关。为此,在分散控制的基础上,应进一步从全局最优的观点出发对整个大系统进行综合协调。20 世纪八九十年代国内外在这一方面的研究工作取得了长足的进步,并在石化、冶金和造纸等工业系统中获得了一些成功的应用。应该说,工业生产提出的以优质、高产、低消耗、低污染为目标的控制要求,从客观上促进了现代控制理论的完善和发展。尽管到目前为止,它还处在发展进程中,但已受到极大的重视和关注,并取得很大的进展。与此同时,在现代控制理论中,诸如非线性系统、分布参数系统、随机控制以及容错控制等也在理论上和实践中得到了发展。总之,在这个阶段中,工业自动化正在发生着巨大的变革,它已突破局部控制的模式,进入到全局控制,既包含若干子系统的闭环系统,又有最优化控制和大系统协调控制,以最终满足全局优质、高产、低消耗、低污染的控制要求。

21 世纪,人们称之为信息时代或知识时代,新的理论、知识与技术对自动化发展产生了更深远的影响,学科间的交叉和计算机、通信等各种技术的应用与集成使得自动化发生了质的飞跃,已完全突破了传统自动化的范畴,将控制论、信息论和系统论结合,并在计算机技术、通信技术和网络技术等的支持下,形成了更为广泛的综合自动化系统,表明此时的自动化已由制造过程的控制延伸到生产管理、经营管理和决策等过程,它标志着自动化进入了第四阶段,即综合自动化阶段。综合自动化涉及信息集成与共享、建模与控制、系统优化与协调、生产计划与调度、资源规划与调度、生产管理与营销决策管理等方面,已经从简单的参数控制扩展到包括多变量控制、优化控制、操作优化、计划与调度、资源优化、供应链协调、电子商务等功能。之所以把这些功能都归纳到广泛的综合自动化,其原因如下:一是这些功能的实现最终将依靠基础自动化,即要求依靠对生产过程的控制来进行柔性生产,才可能跟踪

与实现各类控制指令和管理的指令,这就需要在控制其他功能之间进行融合与协调;二是各种综合自动化功能往往需要控制论、信息论和系统论等理论的指导,这些正是自动化人员必须掌握的基本概念和知识。应该说实现综合自动化必须有自动化人员的参与和主持,才能保证其最终的实现和长期持续地运行。综合自动化,可以分为过程控制系统(Process Control System, PCS)、制造执行系统(Manufacturing Execution System, MES)和经营计划系统(Business Planning System, BPS)三层结构,其中过程控制系统主要包括过程的数据采集与处理、简单控制系统、复杂控制系统、基本数据的统计与分析等;经营计划系统含有包括资产管理、财务管理和人力资源在内的生产企业资源计划、产品和工艺设计、供应链管理、电子商务以及销售服务管理等涉及经营与生产管理的内容。其中间层制造执行系统主要完成:①全流程价值链分析,给出产量、质量、消耗、设备运行等有关综合生产指标的目标值;②生产计划与调度,在满足各种约束条件下编制产量、质量、成本、消耗、设备运行等生产计划,并提出不同时间尺度的生产计划分解以及相应的生产调度计划;③综合生产指标优化,根据全流程模型和约束条件,求解出最优工艺操作指标和工艺约束范围;④生产运作管理,给出生产质量、物耗等作业标准、操作权限等,指挥生产过程的进行和资源的供应和配送。同时还要对生产设备进行动态管理,包括设备的故障诊断与预报维修等;⑤先进控制与操作优化,通过先进的控制策略和对优化模型的求解,保证各项生产指标的实现,使生产运作在最优状态;⑥生产过程的实时监控,对整个生产过程进行检测,并不断与各种必须保证的标准和指标进行比较和分析,对异常工况进行监督、报警和提示。所以 MES 层既执行生产的实时控制与操作管理,又实现了与 BPS 和与 PCS 这两层的连接,起到了承上启下的作用。此层解决了具有生产与管理双重性质的信息等难以处理的问题,实现生产与管理的综合集成以及信息流、物质流和资金流的集成等,使得生产与管理不脱节,而能在一个环境中统一处理,即实现管理控制一体化的模式。可以说,PCS 层是实现以产品质量和工艺要求为指标的先进控制技术,MES 层是执行以生产综合指标为目标的生产过程优化运行、优化控制与优化管理技术,BPS 层则是实施以财务分析决策为核心的整体资源优化技术。这三层之间则是由基于知识链的具有 BPS、MES、PCS 三层结构的现代制造系统集成技术来加以综合集成,使之成为一个协调统一的整体。这种模式已经得到社会的认可,无论是国外著名的控制公司,还是我国各大集团公司都在向着这个方向迈进。我国有些企业已经部分地实现了这种模式并已获得十分显著的经济和社会效益。当然,要完全实现综合自动化还需时日,需要对理论、方法和技术做进一步研究,例如,长期有效运行具有很强鲁棒性的先进控制(如多变量控制、非线性控制、分布式控制等)、装置或装置群的在线操作优化(如大规模优化问题、建模问题、大系统信息反馈问题等)、生产计划的优化(如混合规划优化求解、核心装置产能与效能的预测与评价等)、动态调度的实现(如实时动态调度算法、在线柔性调度等)、故障诊断与预报维修(如设备故障诊断及自修复理论、可预测性维修技术、安全性评估技术等)、人力与资源的优化(如系统建模、约束条件的处理等)、供应链的协调与优化(如供应链系统的建模、大系统的分解与协调)等。同样,在实现的硬件环境方面也有很多技术需要研究开发,例如现场总线技术的标准化、以太网的实时性、工业网络的通信能力与安全性等。总之,要完全实现综合自动化还需要相当一段时间的艰苦努力,但其带来的产能提高、降耗节能、保护环境、优化生产等效果是毋庸置疑的。

从工业自动化发展的进程和发展趋势,可以得到如下结论。

(1) 工业自动化的发展与工业生产过程本身的发展有着极为密切的联系。工业生产自身的发展,诸如工艺流程的变革、设备的更新换代、生产规模的不断扩大等,都会对自动化提出越来越高的要求。这些正是自动化发展的催化剂和促进剂,起到加速推动自动化发展进程的作用。可以说发展到现阶段,如果说不熟悉、不掌握与工业过程本身的有关理论与知识,想要对之进行控制几乎是不可能的。同样,工业生产过程的发展更需要自动化技术的支持与保障。可以说,没有自动化系统的现代化生产是不可能实现的。当前,由于控制理论和技术工具方面层出不穷的新成就使得工业生产不仅能够安全平稳地运行,而且正在逐步达到“卡边”运行,也就是说,使生产设备在其最优状况下运行,使之充分发挥设备的潜力,趋近于最高的生产效率,并能最快地适应全球化市场的需求,在激烈竞争中获取最大的经济利益和社会效益。

(2) 工业自动化已进入信息化时代,信息时代的特点之一就是学科和技术的交叉和融合。实际问题的解决几乎没有不涉及多学科的理论与方法。例如,石化工业中反应器的控制问题,其解决就需要对工艺实质的透彻分析与掌握,需要对海量数据的处理与挖掘,需要现代控制理论和非线性理论的发展与运用,需要专家知识的总结提炼,需要计算机技术的支持等,因而它涉及各种工艺学、信息学、控制理论、人工智能以及计算机科学与通信技术等。但遗憾的是,无论是计算机网络等技术,还是各种先进理论,当前都难以满足实际的需求,缺乏行之有效的控制与管理方法。因此,加强控制理论与生产实际的密切结合,注意引入各种相关学科,逐步形成各种既简练又实用的控制与管理的理论和方法,是今后过程控制的主要研究内容。

2. 过程控制的任务和要求

工业自动化涉及的范围极广。过程控制是其中最重要的一个分支,它覆盖了许多工业部门,例如石油、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。在过程控制中,最简单的控制系统如前面图 0-1 所示。其中被控变量主要是针对所谓的六大参数,即温度、压力、流量、液位(或物位)、成分和物性等参数的控制问题。但进入 20 世纪 90 年代后,随着工业的发展和相关科学技术的前进,过程控制已经发展到多变量控制,控制的目标再也不局限在传统的六大参数,尤其是复杂工业控制系统,它们往往把生产中最关心的诸如产品质量、工艺要求、废物排放等作为控制指标来进行控制。工业生产对过程控制的要求是多方面的,但最终可以归纳为三项要求,即安全性、经济性和稳定性。安全性是指在整个生产过程中,确保人身和设备的安全,这是最重要的也是最基本的要求。通常是采用参数越限报警、事故报警和连锁保护等措施加以保证。现在由于工业企业发展到高度连续化和大型化,运行的约束条件增多,各种限制更为苛刻,因而其安全性被提到更高的高度。为此,提出了在线故障预测和诊断,以进一步提高运行的安全性。这里还应特别指出,随着环境污染日趋严重,生态平衡屡遭破坏,现代企业必须把符合国家制定的环境保护法视为生产安全性的重要组成部分,保证各种三废排放指标在允许范围内。经济性,指在生产同样质量和数量的产品所消耗的能量和原材料最少,需要花费的各项生产和管理的开支最少,也就是要求生产成本最低而生产效率最高。近年来,随着市场竞争加剧和世界能源的匮乏,经济性已受到前所未有的重视。生产过程局部或整体最优化问题已经提上议事日程,成为急需解决的迫切问题。最后一项稳定性的要求,是指系统具有抑制各种干扰,保持

生产过程长期稳定运行的能力。众所周知,工业生产环境不是固定不变的,例如原材料成分改变或供应量变化、反应器中催化剂活性的衰减、换热器传热面沾污还有市场需求量的起落等都是客观存在的,它们会或多或少地影响生产的稳定性。当然,简单控制系统稳定性的判断方法已很成熟,但对大型、复杂大系统稳定性的分析就困难得多。随着生产的发展,安全性、经济性和稳定性的具体内容也在不断改变,要求也越来越高。为了满足上述三项要求,在理论和实践上都还有许多课题有待研究。

过程控制的任务就是在了解、掌握工艺流程和生产过程的静态和动态特性的基础上,根据上述三项要求,应用相关理论对控制系统进行分析和综合,最后采用适宜的技术手段加以实现。值得指出的是,为适应当前工业生产对控制的要求越来越高的趋势,必须充分注意现代控制技术在过程控制中的应用,其中过程模型化的研究起着举足轻重的作用,因为现代控制技术的应用在很大程度上取决于对过程静态和动态特性认识和掌握的广度和深度。因此可以说,过程控制是控制理论、工艺知识、计算机技术和仪器仪表等知识相结合而构成的一门应用科学,其学科的结构如图 0-2 所示。生产工艺过程的工艺变量要求保持在所需工艺操作的指标上,为此需要检测元件和变送器获得这些被控变量的信号,在控制装置中与设定值比较后,按一定的控制规律输出信号到执行器,调整操纵变量,使被控变量达到和保持在设定值上,以及如何按工艺要求,选择被控变量、操纵变量、控制算法、执行器,设计简单合理的控制方案。总的来说,过程控制系统要解决如图 0-3 所示控制系统的方案设计、分析和应用问题。

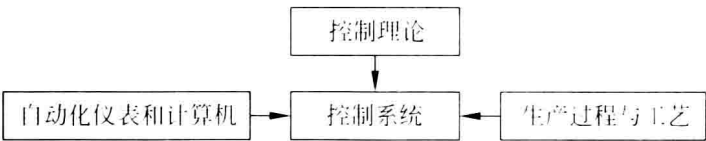


图 0-2 过程控制系统学科的结构

有人认为在研究探索的实践中,可能会形成一门更适合工业过程控制特点的新的控制理论,从而使过程控制迅速提高到一个新的水平,这不是没有道理的。

过程控制的任务是由控制系统的设计和实现来完成的。现在以一个较为简单的再沸油加热炉的控制实例加以说明。如图 0-4 所示,加热炉的设计和实现有如下步骤。

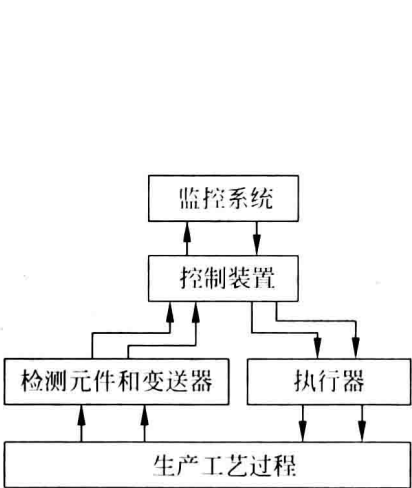


图 0-3 控制系统的控制结构

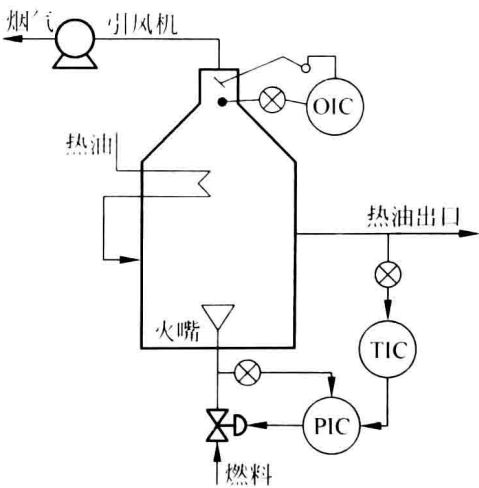


图 0-4 燃料加热炉控制概要图