

工程硕士专业规划教材

俞金寿  主编

GONGYE GUOCHENG
XIANJIN KONGZHI JISHU

工业过程先进控制技术

工业过程

先进控制技术

主 编 俞金寿

图书在版编目(CIP)数据

工业过程先进控制技术 / 俞金寿主编. —上海: 华东理工大学出版社, 2008. 8

(工程硕士专业规划教材)

ISBN 978-7-5628-2314-8

I. 工... II. 俞... III. 工业—过程控制—研究生—教材
IV. TB114.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 078820 号

工程硕士专业规划教材

工业过程先进控制技术

主 编 / 俞金寿

责任编辑 / 周永斌 纪冬梅

责任校对 / 李 晔

封面设计 / 赵 军

出版发行 / 华东理工大学出版社

地 址: 上海市梅陇路 130 号, 200237

电 话: (021)64250306(营销部)

传 真: (021)64252707

网 址: www.hdlgpress.com.cn

印 刷 / 常熟华顺印刷有限公司

开 本 / 787 mm × 1092 mm 1/16

印 张 / 21.5

字 数 / 520 千字

版 次 / 2008 年 8 月第 1 版

印 次 / 2008 年 8 月第 1 次

印 数 / 1 - 4050 册

书 号 / ISBN 978-7-5628-2314-8/TP·157

定 价 / 39.00 元

(本书如有印装质量问题, 请到出版社营销部调换。)

内 容 提 要

本书讨论了目前比较成熟且在工业过程控制中比较行之有效的先进控制系统的基本原理、系统设计及工业应用等问题。主要介绍了推断控制、软测量技术、基于模型的预测控制、纯滞后补偿控制系统、解耦控制系统、自适应控制和鲁棒控制、状态反馈控制、智能控制、网络控制、故障诊断检测及容错控制等先进控制技术及其在工业过程中的应用。本书特点是理论联系实际,内容切合信息时代的需要,反映当前最新科研成果,并力求深入浅出,着重物理概念。

本书可作为自动控制专业和相关专业的研究生教材,亦可供从事过程控制的工程技术人员和高校师生参考。

前 言

在工业生产过程中,一个好的控制系统不但要保证系统的稳定性和整个生产的安全,满足一定的约束条件,而且应该能带来一定的经济效益和社会效益。然而设计这样的控制系统会遇到许多困难,特别是复杂工业过程往往具有不确定性(环境结构和参数的未知性、时变性、随机性及突变性)、非线性、变量间的关联性以及信息的不完全性和大纯滞后性等,要想获得精确的数学模型是十分困难的。因此,对于过程系统的设计,已不能采用单一基于定量的数学模型的传统控制理论和控制技术,必须进一步开发高级的过程控制系统,研究先进的过程控制规律,以及将现有的控制理论和方法向过程控制领域移植和改造,这些都越来越受到控制界的关注。

目前在控制领域中,虽然已逐步采用了电子计算机这个先进技术工具,特别是石油化工企业普遍采用了分散控制系统(DCS)。但就其控制策略而言,占统治地位的仍然是常规的PID控制。国外应用先进控制较广泛,而我们尚处于试验、试点阶段,与国外先进企业差距较大。DCS提供了高级功能开发应用的优越环境,该环境通过先进控制、优化控制等开发方法,充分挖掘DCS设备的潜能,提高过程控制水平,给企业带来明显经济效益。

为了克服控制理论和实际工业应用之间的脱节现象,尽快地将现代控制理论移植到过程控制领域,充分发挥计算机的功能,世界各国在加强建模理论、辨识技术、优化控制、最优控制、高级过程控制等方面进行研究。推出了从实际工业过程特点出发,寻求对模型要求不高、在线计算方便、对过程和环境的不确定性有一定适应能力的控制策略和方法。例如,自适应控制系统、预测控制系统、鲁棒控制系统、智能控制系统(专家系统、模糊控制……)等先进控制系统。由于变量间的关联,使系统不能正常平稳运行,出现各类解耦控制系统。解耦控制在工业生产中应用逐渐增加,有从国外引进技术,亦有

国内自己开发的。对于大纯滞后系统自 1957 年史密斯提出 Smith 预估补偿器以来,由于 Smith 预估补偿器对参数变化灵敏度极高,又相继出现了各种改进 Smith 预估补偿方法。例如观测补偿器控制方案,纯滞后对象采样控制等,但均尚未完全真正解决,人们还在继续努力想方设法寻求解决办法。针对信息不完全性出现了推断控制系统和软测量技术。利用容易可测变量,例如温度、压力、流量等来推断不可测变量,以解决信息的不完全性。目前已有不少工业应用实例。本书就推断控制、软测量技术、基于模型的预测控制、纯滞后补偿控制、解耦控制、自适应控制和鲁棒控制、状态反馈控制、智能控制、网络控制、故障诊断检测及容错控制等先进控制技术及其在工业过程中应用作一些介绍,以推动先进控制技术的应用。考虑到部分读者缺少自动化专业基础知识,特增加了工业过程数学模型、常用复杂控制系统等两章内容。

本书是在原工业过程先进控制基础知识上,总结国内外研究成果及大量工业应用实例,并参考有关著作编写而成的。本书由俞金寿教授主编,刘爱伦、罗健旭、汤贤铭等参加了编写。由于作者的水平有限,不当和不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

衷心感谢何衍庆教授、刘士荣教授、贾立博士、李尔国博士、夏圈世博士和为本书编写付出辛勤劳动的研究生!

编者

2008 年 4 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 控制理论与工程的发展	1
1.2 工业过程常用控制装置和现场总线	5
1.2.1 工业过程常用控制装置	6
1.2.2 现场总线	6
1.3 控制系统的性能指标	10
1.3.1 稳态与动态	10
1.3.2 控制系统的过渡过程	11
1.3.3 控制系统的性能指标	11
第 2 章 工业过程数学模型	14
2.1 工业过程稳态数学模型	14
2.1.1 机理建模	14
2.1.2 经验建模	16
2.1.3 机理与经验的组合建模	17
2.2 工业过程动态数学模型概论	18
2.2.1 动态数学模型的作用和要求	18
2.2.2 动态数学模型的类型	19
2.2.3 典型过程动态特性	20
2.2.4 建立动态数学模型的途径	22
2.3 工业过程动态机理模型	24
2.3.1 动态数学模型的一般列写方法	24
2.3.2 串接液位贮槽的数学模型	24
2.3.3 换热器的数学模型	26
2.3.4 二元物系精馏塔的数学模型	27
2.3.5 连续搅拌槽式反应器的数学模型	32
2.4 过程辨识与参数估计	34
2.4.1 阶跃响应法	34
2.4.2 脉冲响应法	35
第 3 章 常用复杂控制系统	36
3.1 串级控制系统	36
3.1.1 串级控制系统的基本原理和结构	36

3.1.2	串级控制系统的特点	38
3.1.3	串级控制系统的设计	40
3.1.4	串级控制系统控制器参数整定及投运	41
3.1.5	串级控制系统应用实例	42
3.2	比值控制系统	42
3.2.1	基本原理和结构	42
3.2.2	比值系数的计算	44
3.2.3	比值控制系统设计和工程应用中的问题	46
3.2.4	比值控制系统的参数整定和投运	46
3.2.5	比值控制系统应用实例	46
3.3	均匀控制系统	48
3.3.1	均匀控制系统的基本原理和结构	48
3.3.2	均匀控制系统的控制规律的选择及参数整定	49
3.4	前馈控制系统	50
3.4.1	基本原理	50
3.4.2	前馈-反馈控制系统	51
3.4.3	前馈控制系统的设计及工程实施中的若干问题	52
3.4.4	前馈控制系统的投运和参数整定	53
3.4.5	前馈控制系统的应用实例	53
3.5	选择性控制系统	54
3.5.1	基本原理和结构	54
3.5.2	选择性控制系统设计和工程应用中的问题	56
3.6	分程控制系统	57
3.6.1	不同工况需要不同的控制手段	58
3.6.2	扩大控制阀的可调范围	59
3.7	双重控制系统	59
3.7.1	基本原理和结构	59
3.7.2	双重控制系统设计和工程应用中的问题	60
3.7.3	双重控制系统应用实例	61
3.8	差拍控制系统	61
3.8.1	差拍控制系统	61
3.8.2	达林控制算法	62
3.8.3	V. E. 控制算法	63
第4章	推断控制	65
4.1	简单推断控制	65
4.1.1	内回流控制	65
4.1.2	热焓控制	66
4.1.3	流化床干燥器湿含量推断控制	67

4.2	推断控制系统	68
4.2.1	推断控制系统	68
4.2.2	推断反馈控制系统	70
4.3	输出可测条件下的推断控制	71
4.3.1	系统组成	71
4.3.2	模型误差对系统性能的影响	72
4.4	应用实例	73
4.4.1	脱丁烷塔的推断控制	73
4.4.2	丙烯精馏塔的非线性推断控制系统	75
第5章	软测量技术	77
5.1	软测量技术概论	78
5.1.1	机理分析与辅助变量的选择	78
5.1.2	数据采集和处理	78
5.1.3	软测量模型的建立	79
5.1.4	软测量模型的在线校正	79
5.2	软测量建模方法——回归分析	80
5.2.1	多元线性和逐步回归	80
5.2.2	主元分析和主元回归(PCA、PCR)	82
5.2.3	部分最小二乘法(PLS)	83
5.2.4	小结	84
5.3	软测量建模方法——人工神经网络	85
5.3.1	BP网络	85
5.3.2	RBF网络	88
5.4	软测量建模方法——基于核函数方法	93
5.4.1	支持向量机软测量建模	93
5.4.2	Kernel PCR软测量建模	94
5.4.3	Kernel PLS软测量建模	95
5.4.4	混合核函数方法及其在软测量建模中的应用	96
5.5	软测量工程设计	98
5.5.1	软测量的设计步骤	98
5.5.2	过程数据预处理	99
5.5.3	数据校正	101
5.5.4	模型校正	103
5.6	工业应用实例	103
第6章	基于模型的预测控制	106
6.1	预测控制的发展	106
6.2	预测控制的基本原理	107

6.3	模型算法控制(MAC)	110
6.3.1	预测模型	110
6.3.2	反馈校正	111
6.3.3	设定值与参考轨迹	112
6.3.4	最优控制作用	112
6.3.5	MAC在实施中应注意的若干问题	113
6.4	动态矩阵控制(DMC)	114
6.4.1	预测模型	114
6.4.2	反馈校正	116
6.4.3	滚动优化	116
6.5	预测函数控制	117
6.6	预测控制软件包	120
6.6.1	预测控制软件包的发展	121
6.6.2	IDCOM-M控制器	122
6.6.3	先进控制软件SMCA	123
6.6.4	Honeywell先进控制技术	126
6.6.5	DMCplus先进控制软件	129
6.7	预测控制应用	135
6.7.1	先进控制软件包应用	135
6.7.2	延迟焦化装置先进控制	136
6.7.3	模型预测控制在空分装置上的应用	141
第7章	解耦控制系统	146
7.1	系统的关联分析	146
7.1.1	系统的关联分析	146
7.1.2	相对增益	147
7.1.3	动态相对增益	149
7.2	减少与解除耦合途径	151
7.2.1	被控变量与操纵变量间正确匹配	151
7.2.2	控制器的参数整定	152
7.2.3	减少控制回路	152
7.2.4	串接的解耦控制	153
7.2.5	模式控制	154
7.3	串接解耦控制	155
7.3.1	对角线矩阵法	155
7.3.2	单位矩阵法	155
7.3.3	前馈补偿法	156
7.3.4	设计中的有关问题	156
7.4	工业应用实例	157

第 8 章 纯滞后补偿控制系统	161
8.1 纯滞后对控制质量的影响	161
8.2 史密斯预估补偿控制方案	162
8.2.1 基本原理和结构	162
8.2.2 史密斯预估补偿控制实施中若干问题	163
8.2.3 应用示例	164
8.3 改进史密斯预估补偿控制	165
8.3.1 增益自适应补偿控制	166
8.3.2 大纯滞后过程的双控制器方案	166
8.4 观测补偿器控制方案	169
8.4.1 观测补偿控制方案一	169
8.4.2 观测补偿控制方案二	170
8.4.3 观测补偿控制方案三	172
8.4.4 实施中的几个问题	173
8.4.5 应用实例	173
8.5 内部模型控制(IMC)	174
8.5.1 内部模型控制的基本结构	174
8.5.2 内部模型控制器的设计	175
8.5.3 带滤波器的内模控制系统的设计	176
8.5.4 内部模型控制的一般结构	178
第 9 章 自适应控制和鲁棒控制	179
9.1 简单自适应控制系统	179
9.1.1 依据偏差来自动调整控制算法	179
9.1.2 依据扰动来自动调整控制算法	180
9.1.3 自整定调节器	180
9.2 模型参考型自适应控制系统	183
9.2.1 参数最优化方法	183
9.2.2 基于李雅普诺夫稳定性理论的方法	185
9.3 自校正控制系统	186
9.3.1 自校正控制器	187
9.3.2 炼油厂蒸馏塔的自校正控制系统	190
9.3.3 结束语	191
9.4 鲁棒控制	191
9.4.1 引言	191
9.4.2 鲁棒调节器设计方法	192
9.4.3 H^∞ 控制	194

第 10 章 状态反馈控制	199
10.1 状态空间分析基础	199
10.2 状态反馈和极点配置	202
10.2.1 状态反馈的概念	202
10.2.2 状态反馈控制的极点任意配置设计方法	203
10.3 PID 控制与状态反馈控制	206
10.4 状态反馈控制系统的频率域设计方法	209
10.5 工业应用实例	211
第 11 章 网络控制系统	214
11.1 网络控制系统结构	214
11.1.1 引言	214
11.1.2 网络控制系统结构类型	215
11.2 网络控制系统中的基本问题	216
11.2.1 时延	216
11.2.2 包传输(丢包、单包与多包)	217
11.2.3 通信带宽限制	217
11.2.4 控制质量(Quality-of-Control, QoC)	218
11.2.5 实时调度	218
11.3 网络控制系统设计	220
11.3.1 概述	220
11.3.2 系统组成	220
11.3.3 数据采集系统	221
11.3.4 速压控制系统及位置控制系统	222
11.4 网络控制系统的主要研究方向	224
11.4.1 网络控制系统建模与稳定性分析	224
11.4.2 基于模型的网络控制设计	224
11.4.3 网络控制系统协同设计方法	225
11.4.4 交换式以太网	226
11.4.5 无线网络控制系统	227
11.4.6 网络控制系统仿真(TrueTime、NS)	227
11.4.7 周期性控制与基于事件的控制	228
11.5 网络控制系统应用实例	228
第 12 章 智能控制	232
12.1 模糊控制	232
12.1.1 模糊控制系统的基本结构	233
12.1.2 模糊控制的数学基础	234
12.1.3 模糊控制器的设计	239

12.1.4	模糊 PID 控制器	244
12.2	神经网络控制	246
12.2.1	人工神经元和人工神经网络	247
12.2.2	典型神经网络	248
12.2.3	神经网络建模	250
12.2.4	神经网络控制	252
12.3	专家系统	253
12.3.1	专家系统	254
12.3.2	专家控制	256
12.3.3	专家控制系统应用示例	259
第 13 章	故障检测诊断和容错控制	262
13.1	故障检测和诊断的基本概念	262
13.2	故障检测和诊断的主要方法	263
13.2.1	基于解析模型的故障诊断方法	264
13.2.2	基于信号的故障诊断方法	265
13.2.3	基于知识的故障诊断方法	266
13.2.4	基于 SVM 技术的故障检测与诊断	270
13.3	极具潜力的研究问题	271
13.4	故障检测与诊断的应用	273
13.4.1	酮苯脱蜡过程中滤机的状态	273
13.4.2	酮苯脱蜡过程滤机的状态切换	274
13.4.3	滤机运行异常工况的诊断	275
13.4.4	酮苯脱蜡滤机异常工况诊断系统的实现	278
13.5	容错控制及应用	279
13.5.1	容错控制设计的主要方法	280
13.5.2	容错控制的应用	285
第 14 章	典型工业生产过程的先进控制	290
14.1	合成氨过程先进控制	290
14.1.1	变换炉的控制	290
14.1.2	转化炉水/碳比控制	291
14.1.3	合成塔的控制	292
14.1.4	合成氨优化控制	294
14.2	常减压过程先进控制	296
14.2.1	加热炉的广义预测控制	296
14.2.2	常压蒸馏塔多变量预测控制	297
14.2.3	减压精馏塔智能多变量控制系统	301
14.3	催化裂化过程先进控制	303

14.3.1	催化裂化装置多变量预测控制	303
14.3.2	反再系统专家控制系统	305
14.3.3	催化裂化装置故障诊断系统	307
14.4	乙烯生产过程先进控制	312
14.4.1	裂解过程的控制	312
14.4.2	乙烯精馏塔控制	315
14.4.3	乙炔加氢反应器控制	319
14.5	生化过程先进控制	321
14.5.1	生化过程参数的软测量	322
14.5.2	青霉素发酵过程控制	323
14.5.3	啤酒发酵过程控制	324
14.5.4	典型生化过程的计算机控制	325

第 1 章 绪 论

1.1 控制理论与工程的发展

20 世纪 40 年代开始形成的控制理论被称为“20 世纪上半叶三大伟绩之一”，在人类社会的各个方面有着深远的影响。控制理论与其他任何学科一样，源于社会实践和科学实践。在自动化理论及技术的发展中，有两个明显的特点：第一，任务的需要、理论的开拓与技术手段的进展三者相互推动、相互促进，显示了一幅交错复杂但又轮廓分明的画卷，三者间表现出清晰的同步性；第二，自动化技术是一门综合性的技术，控制更是一门广义的学科，在自动化的各个领域，移植和借鉴起了交流汇合的作用。

自动化技术的历史可以追溯到我国古代，如指南车的出现。至于在工业上的应用，一般以瓦特的蒸汽机调速器作为正式起点。工业自动化的萌芽是与工业革命同时开始的。这时候的自动化装置是机械式的，而且是自力型的。随着电动、液动和气动这些动力源的应用，电动、液动和气动的控制装置开创了新的控制手段。

到第二次世界大战前后，控制理论有了很大发展。电信事业的发展导致了 Nyquist (1932) 频率域分析技术和稳定判据的产生。Bode 的进一步研究开发了易于实际应用的 Bode 图(1945)。1948 年, Evans 提出了一种易于工程应用的求解闭环特征方程根的简单图解方法——根轨迹分析方法。至此，自动控制技术开始形成一套完整的，以传递函数为基础，在频率域对单输入单输出(SISO)控制系统进行分析与设计的理论，这就是今天所谓的经典控制理论。经典控制理论最辉煌的成果之一要首推 PID 控制规律。PID 控制原理简单，易于实现，对无时间延迟的单回路控制系统极为有效，直到目前为止，在工业过程控制中有 80%~90% 的系统还使用 PID 控制规律。经典控制理论最主要的特点是：线性定常对象，单输入单输出，完成整定任务。即便对这些极简单对象的描述及控制任务，经典控制理论上也尚不完整，从而促使现代控制理论的发展。

20 世纪 60 年代，现代控制理论迅猛发展，这是以状态空间方法为基础，以极小值原理(Pontryagin, 1962)和动态规划方法(Bellman, 1963)等最优控制理论为特征的，而以采用 Kalman 滤波器的随机干扰下的线性二次型系统(LQG)(Kalman, 1960)宣告了时域方法的完成。现代控制理论在航天、航空、制导等领域取得了辉煌的成果。现代控制理论中首先得到透彻研究的是多输入多输出系统，其中特别重要的是对描述控制系统本质的基本理论的建立，如可控性、可观性、实现理论、典范性、分解理论等，使控制由一类工程设计方法提高成为一门新的科学。为了扩大现代控制理论的适用范围，相继产生和发展了系统辨识与参数估计、随机控制、自适应控制以及鲁棒控制等各种理论分支，使控制理论的内容愈来愈丰富。现代控制理论虽然在航天、航空、制导等领域取得了辉煌的成果，但对于复杂的工业过程却显得无能为力。

从 20 世纪 70 年代开始，为了解决大规模复杂系统的优化与控制问题，现代控制理论和

系统理论相结合,逐步发展形成了大系统理论(Mohammad,1983)。其核心思想是系统的分解与协调,多级递阶优化与控制(Mesarovic,1970)正是应用大系统理论的典范,实际上,大系统理论仍未突破现代控制理论的基本思想与框架,除了高维线性系统之外,它对其他复杂系统仍然束手无策。

20世纪80年代发展了智能控制,对于含有大量不确定性和难于建模的复杂系统,基于知识的专家系统、模糊控制、人工神经网络控制、学习控制和基于信息论的智能控制等应运而生,它们在许多领域都得到了广泛的应用,成为自动控制的前沿学科之一。

智能控制(Intelligent Control, IC)人们关注的一个领域。学术界有不少人认为智能控制将成为继经典控制理论方法和现代控制理论方法之后的新一代控制理论方法。关于它的理论和应用研究很多,在国内外都是受人瞩目的热点。加上近年来在洗衣机、空调器、摄像机等家电产品中采用模糊控制,而像智能仪表、智能大厦等术语在一般报刊上常会出现,智能控制已走进千家万户。

在国际上,1985年美国召开了智能控制学术会议,1987年首届智能控制国际会议在美国召开。在我国的北京,1993年召开了全球华人智能控制与智能自动化大会;2000年正式更名为第三届全球智能控制与自动化大会;2004年召开第五届全球智能控制与自动化大会,收录论文1200余篇;2006年召开了第六届全球智能控制与自动化大会,收到论文6000多篇。智能控制作为一门新的学科分支,得到了普遍的承认。

人工智能的内容很广泛,如知识表示、问题求解、语言理解、机器学习、模式识别、定理证明、机器视觉、逻辑推理、人工神经网络、专家系统、智能控制、智能调度和决策、自动程序设计、机器人学等都是人工智能的研究和应用领域。人工智能是指智能机器所执行的通常与人类智能有关的功能,如判断、推理、证明、识别、感知、理解、设计、思考、规划、学习和问题求解等思维活动。

人工智能中有不少内容可用于控制,当前最主要的是三种形式:(1)专家系统;(2)模糊控制;(3)人工神经网络控制。它们可以单独应用,也可以与其他形式结合起来;可以用于基层控制,也可用于过程建模、操作优化、故障检测、计划调度和经营决策等不同层次。

从控制系统结构来看,已经经历了4个阶段。20世纪50年代是以基地式控制器等组成的控制系统,像自力式温度控制器、就地式液位控制器等,它们的功能往往限于单回路控制,时至今日,这类控制系统仍没有被淘汰,而且有了新的发展,但所占的比重大为减少。

60年代出现了单元组合仪表组成的控制系统,单元组合仪表有电动和气动两大类,已延续三十多年,目前国内还广泛应用。由单元组合仪表组成的控制系统,控制策略主要采用PID控制和常用的复杂控制系统,如串级、均匀、比值、前馈、分程和选择性控制等。

70年代出现了计算机控制系统,最初是采用直接数字控制(DDC)实现集中控制,代替常规控制仪表。由于集中控制的固有缺陷,未能普及和推广就被集散控制系统(DCS)所替代。DCS在硬件上将控制回路分散化,数据显示、实时监督等功能集中化,有利于安全平稳生产。就控制策略而言,DCS仍以简单PID控制为主,再加上一些复杂控制算法,并没有充分发挥计算机的功能和控制水平。

80年代以后出现了二级优化控制,在DCS的基础上实现先进控制和优化控制。在硬件上采用上位机和DCS或电动单元组合仪表相结合,构成二级计算机优化控制。随着计算机及网络技术的发展,DCS出现了开放式系统,实现多层次计算机网络构成的管控一体化系统

(CIPS)。同时,以现场总线为标准,实现以微处理器为基础的现场仪表与控制系统之间进行全数字化、双向和多站通信的现场总线网络控制系统(FCS),它给控制系统结构带来革命性变革,开辟控制系统的新纪元。

当前过程控制系统发展的一些主要特点是:

1. 生产装置实施先进控制成为发展主流

早期的简单控制由于受到经典控制理论和常规仪表的限制,难以处理工业过程中存在的耦合性、非线性和时变性等。尽管在 20 世纪 70 年代以后,许多生产装置采用了 DCS 系统,但由于当时的理论和技术原因,控制水平仍停留在单回路 PID 控制、连锁保护控制等。随着企业提出的高柔性、高效益的要求,上述控制方案已经不能适应。以多变量预测控制为代表的先进控制策略的提出并成功应用以后,先进控制受到了过程工业界的普遍关注。先进过程控制(Advanced Process Control, APC)是指一类在动态环境中,基于模型、借助充分计算能力,为工厂获得最大利润而实施的运行和技术策略。这种新的控制策略实施后,系统运行在最佳工况,实现所谓“卡边生产”。据资料报道,一个乙烯装置投资 163 万美元实施先进控制,应用后预期每年可获得效益 600 万美元。目前,国内许多大企业纷纷投资,在装置自动化系统中实施先进控制。国外许多控制软件公司和 DCS 生产商都在竞相开发先进控制和优化控制的商品化工程软件包,主要有:美国 DMC 公司的 DMC, Setpoint 公司的 IDC0M - M、SMCA, Honeywell Profimatics 公司的 RMPCT, Aspen 公司的 DMCPLUS, 法国 Adersa 公司的 PFC, 加拿大 Treiber Controls 公司的 OPC 等。这些 APC 软件包成功应用于石油化工中的催化裂化、常减压、连续重整、延迟焦化、加氢裂化等许多重要装置,取得了明显的经济效益。全世界应用 APC 有数千项,APC 软件应用年增长率达到 30% 左右,先进控制策略主要有多变量预测控制、推理控制及软测量技术、自适应控制、鲁棒控制、智能控制(专家控制、模糊控制和神经网络控制)等,其中智能控制已成为开发和应用的热点。

2. 过程优化得到迅速发展

在过程控制中,过程优化已得到迅速发展。在连续流程工业中,往往上游装置的部分产品是下游装置的原料,整个生产过程存在装置间的物流分配、物料平衡和能量平衡等一系列的问题。借助过程优化可使整个生产过程获得很大的经济效益和社会效益。在过程优化中,主要寻找最佳的工艺参数设定值以获得最大的经济效益,这称之为稳态优化。稳态优化采用静态模型进行离线或在线优化计算。离线优化是指利用各种建模优化方法在约束条件下,求解最优的工艺参数,提供操作指导。在线优化是周期性完成模型计算、模型修正和参数寻优,并将最优的工艺参数值直接送到控制器作为设定值。为获得稳态最优,要求系统工作在一种特定的、保守程度较小的工况之下,但一旦偏离了这种工况,各项指标会明显变差,操作难度增加,有时会导致生产的不安全。随着稳态优化的深入研究,直接影响过程动态品质的最优动态控制也显示出其重要性。

生产过程的优化是在各种优化条件下,求取目标函数的最优值,通常是复杂的非线性优化问题。应用传统优化理论往往会遇到困难。在过程优化中,由于系统的复杂性,求全局最优值十分困难,然而实际过程并不一定要求最优值,而只要求得“优化区域”或“满意解”就可满足要求。在过程优化中,有许多是受工艺限制的。最近有人提出把工艺设计与控制整体考虑,在工艺设计的同时考虑到控制的实施方案及效果,就可以在工艺设计阶段消除那些可能导致控制困难的因素,这种方法正在受到人们的关注。