

ZIDONGHUA YU YIBIAO
GONGCHENGSHI SHOUC

自动化与仪表 工程师手册

王树青 乐嘉谦 主编



化学工业出版社

TH86-62
W355

**ZIDONGHUA YU YIBIAO
GONGCHENGSHI SHOUC**

| 自动化与仪表 | 工程师手册

王树青 乐嘉谦 主编

TH86-62

W355



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

自动化与仪表工程师手册/王树青, 乐嘉谦主编. —北京:
化学工业出版社, 2010. 1
ISBN 978-7-122-03950-7

I. 自… II. ①王…②乐… III. 自动化仪表-技术手册
IV. TH86-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 165717 号

责任编辑: 刘 哲 宋 辉 陈逢阳
责任校对: 凌亚男

文字编辑: 徐卿华
装帧设计: 周 遥

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 57 $\frac{3}{4}$ 插页 1 字数 1549 千字 2010 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

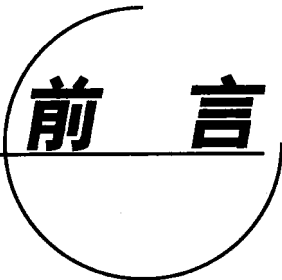
网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 148.00 元

版权所有 违者必究

京化广临字 2009—19 号



前言

在迅速变化的全球环境中，过程制造企业和公司面临激烈的市场竞争与挑战。为了使企业能在竞争中取得成功，必须做好节能减排与安全生产、努力降低产品制造成本、延长设备使用寿命、更好地为客户提供服务等工作。大量的实践表明，采用工业过程自动化技术对于提高企业的效益和性能更为有效。

工业自动化是一门多科学的技术，包括测量仪表、执行器和过程控制系统等内容。它的基础知识包括微电子技术、计算机技术、通信技术和工业生产过程的工艺、设备、流程的基本知识。通过自动化技术的应用，使工业生产过程仪表化、操作自动化、管理科学化。真正实现生产过程安全、稳定、长期、满负荷和优化地运行。因此，自动化仪表和自动控制系统的知识已成为现代技术人员必备的知识。为适应现代科学技术的迅速发展和工程技术人员的需要，特编写本手册。

关于自动控制和仪表已有许多教材和参考书。然而，结合工业实际和应用的手册比较少。本手册从工业生产过程实际出发，着重从应用角度进行介绍，尽量避免过多的数学描述与理论证明。本手册的特点是：①介绍一般工业生产过程控制对象的基本知识和模型建立方法；②从应用角度出发介绍检测仪表、计算机控制系统、现场总线及网络；③以实例介绍控制系统、先进控制系统和优化控制方法；④介绍工业自动化控制系统设计、规范和设计文件。

本手册共分6篇，32章。第1篇是自动控制系统知识，由乐嘉谦负责组织编写。在这一篇中除了介绍自动控制系统基本知识以外，还着重介绍了工业生产过程的工艺、设备、安全以及环境工程方面的基本知识，为测量和控制系统设计提供大量

被控过程和对象的工艺机理知识。第2篇是测量仪表与执行器，由蒋爱萍负责组织编写，分别介绍了各种测量仪表、在线分析仪表、显示仪表、特殊测量仪表以及执行器。第3篇是计算机控制系统，由张永德、黄文君、冯冬芹组织编写，分别介绍国内外主要的集散型(DCS)控制系统、可编程逻辑控制器(PLC)、现场总线控制系统以及工业计算机技术。第4篇是先进控制与企业综合自动化，由王树青、金晓明、刘金琨组织编写，常用的复杂控制系统、过程建模方法、软测量技术、先进控制系统、过程监督控制、企业综合自动化技术及示例。第5篇是工业生产过程自动控制应用示例，由潘立登、白瑞祥、马竹梧组织编写，介绍化工单元过程控制、炼油工业生产过程控制、火力发电过程控制、钢铁工业生产过程以及轻工造纸生产的控制。第6篇是仪表、控制系统工程设计基础，由沈世昭组织编写，介绍了仪表控制系统设计条件、资料、标准及规范，流程工业常用控制系统的工程设计，仪表控制系统和测量方法的选择、仪表控制系统设计内容及文件。

参加本手册编写的人员众多，有来自高等院校的教授，也有来自设计、研究等单位具有实践经验的高级工程技术人员。因此，手册中不但有基础理论和方法，而且有大量的实际应用示例，使手册更具参考作用。

由于时间有限，疏漏之处在所难免，恳请读者不吝赐教。

编者

目 录

第 1 篇 基础知识

第 1 章 自动控制系统	2
1.1 自动控制基本原理与组成	2
1.1.1 自动控制系统的组成	2
1.1.2 传递函数与方框图	4
1.1.3 频率特性与单位阶跃	7
1.1.4 影响自动控制系统的因素	13
1.2 自动控制的分类	13
1.3 自动控制系统性能指标	16
1.3.1 自动控制系统的状态	16
1.3.2 自动控制系统的过渡过程	17
1.3.3 控制过程的性能指标	18
1.4 自动控制系统各环节特性分析	20
1.4.1 典型被控对象特性	21
1.4.2 广义对象各环节特性对控制品质的影响	22
1.5 常用 PID 控制算法特性	24
1.5.1 比例控制算法	24
1.5.2 比例积分控制算法	25
1.5.3 比例微分控制算法	27
1.5.4 比例积分微分控制算法 PID	28
1.6 PID 控制参数整定方法	30
1.7 单回路控制系统投用	33
第 2 章 流程工业常用工艺知识	36
2.1 流程工业物流、能源流平衡关系计算方法	36
2.1.1 物料衡算算式	36

2.1.2	物料衡算方法	37
2.1.3	物料衡算步骤	38
2.1.4	物料衡算种类	38
2.1.5	能量衡算基本方法与步骤	41
2.2	流程工业中的传热原理及示例	43
2.2.1	热传导	43
2.2.2	对流传热	44
2.2.3	辐射传热	45
2.2.4	蒸发	45
2.3	流程工业分离原理、方法及示例	47
2.3.1	气固分离	48
2.3.2	液固分离	49
2.3.3	吸收	49
2.3.4	萃取	52
2.3.5	精馏	55
2.4	流程工业化学反应原理及示例	61
2.4.1	化学反应过程分类	61
2.4.2	化学反应过程主要技术指标	61
2.4.3	化学反应过程中的催化剂	64
第3章	流程工业常用设备	66
3.1	流体输送设备及特性	66
3.1.1	流体输送设备分类	66
3.1.2	流体输送设备主要性能参数	68
3.1.3	离心泵	70
3.1.4	往复泵	73
3.1.5	旋涡泵	74
3.1.6	轴流泵	75
3.1.7	流程工业常用泵比较	76
3.1.8	离心式通风机	77
3.1.9	罗茨鼓风机	77
3.1.10	往复式压缩机	78
3.1.11	离心式压缩机	79
3.1.12	真空泵	81
3.2	换热设备及特性	82
3.2.1	换热器分类	82
3.2.2	换热器主要参数	83
3.2.3	蒸发器	85
3.3	分离设备及特性	87
3.3.1	概述	87
3.3.2	板式塔	87
3.3.3	填料塔	92
3.3.4	萃取设备	95
3.3.5	结晶设备	97

3.3.6 气固分离设备	98
3.4 化学反应设备及特性	99
3.4.1 化学反应器的分类	99
3.4.2 化学反应器的形式与特点	100
3.4.3 烃类热裂解——管式裂解炉	101
3.4.4 氨合成塔	106
3.4.5 均相反应器	109
3.4.6 气液相反应器	110
3.4.7 气固相固定床反应器	110
3.4.8 流化床反应器	112
第4章 流程工业安全与保护系统	114
4.1 流程工业安全与保护基本知识	114
4.1.1 爆炸	114
4.1.2 燃烧	122
4.1.3 静电	123
4.2 危险性划分及安全措施	125
4.2.1 爆炸性物质及危险场所划分	125
4.2.2 石油、化工企业火灾危险性 & 危险场所分类	127
4.2.3 化学反应危险性评价	131
4.2.4 常见危险性 & 安全措施	133
4.2.5 储罐安全	135
4.3 压力容器和电气设备安全	136
4.3.1 压力容器分类	136
4.3.2 压力容器事故危害	137
4.3.3 防爆电器分类 & 通用要求	141
4.3.4 防爆电气设备防爆类型 & 原理	144
4.4 工业防腐	147
4.4.1 腐蚀机理	147
4.4.2 金属腐蚀分类	147
4.4.3 防腐方法	148
4.4.4 耐腐蚀材料性能	150
4.5 流程工业安全保护方法及示例	159
4.5.1 安全仪表系统	159
4.5.2 TRICON 三重化冗余控制	166
第5章 环境工程	170
5.1 流程工业对环境污染 & 防治概述	170
5.1.1 流程工业固体废弃物来源 & 污染特征	170
5.1.2 大气排放标准	171
5.1.3 污水排放标准	171
5.1.4 流程工业过程污染排放 & 控制实例	177
5.2 废水检测 & 处理	177
5.2.1 表示水质的名词术语	177
5.2.2 水体污染的危害	177

5.2.3 水质检测与分析	179
5.2.4 废水处理	182
5.3 废气控制与处理	184
5.3.1 气体监测中常用的术语和定义	184
5.3.2 废气监测	185
5.3.3 废气处理	186
5.4 废渣处理	189
5.4.1 化工废渣分类	189
5.4.2 化工废渣常用处理方法	189
5.4.3 铬渣处理	190
5.5 清洁生产与自动化	193
5.5.1 清洁生产的定义	193
5.5.2 清洁生产的主要内容	193
5.5.3 清洁生产与自动化	198
参考文献	200

第2篇 测量仪表与执行器

第6章 测量技术基础	202
6.1 测量的基本概念	202
6.1.1 概述	202
6.1.2 测量方法	202
6.2 误差分析及测量不确定度	203
6.2.1 误差的定义及分类	203
6.2.2 测量不确定度	204
6.2.3 测量不确定度与测量误差的联系与区别	204
第7章 测量仪表	205
7.1 温度测量	205
7.1.1 概述	205
7.1.2 膨胀式温度计	206
7.1.3 压力式温度计	208
7.1.4 热电偶温度计	210
7.1.5 热电阻温度计	218
7.1.6 新型测温方式	221
7.1.7 测温元件及保护套管的选择	222
7.2 压力测量	222
7.2.1 概述	222
7.2.2 液柱式压力表	223
7.2.3 弹性式压力表	224
7.2.4 物性式压力表(固态测压仪表)	226
7.2.5 压力信号的电测法	227
7.3 流量测量	227
7.3.1 概述	227
7.3.2 节流式流量计	230

7.3.3	转子流量计 (又称浮子流量计)	232
7.3.4	动压式流量计	232
7.3.5	容积式流量计	233
7.3.6	电磁流量计	234
7.3.7	流体振动式流量计 (又称旋涡式流量计)	235
7.3.8	涡轮流量计	235
7.3.9	超声波流量计	236
7.3.10	质量流量计	236
7.4	物位测量	237
7.4.1	概述	237
7.4.2	浮力式液位计	237
7.4.3	差压式液位计	238
7.4.4	电容式物位计	239
7.4.5	超声波物位计	239
7.4.6	现代物位检测技术	239
第8章	在线分析仪表	240
8.1	概述	240
8.1.1	特点及应用场合	240
8.1.2	分类	240
8.1.3	仪表的组成	241
8.1.4	主要性能指标	241
8.2	气体分析仪	241
8.2.1	热导式气体分析仪	241
8.2.2	红外气体分析仪	245
8.2.3	流程分析仪	247
8.3	氧分析仪	247
8.3.1	热磁式氧分析仪	247
8.3.2	氧化锆氧分析仪	249
8.4	气相色谱分析仪	250
8.4.1	测量原理	250
8.4.2	气相色谱仪的分类	251
8.4.3	检测器	252
8.4.4	气相色谱仪的结构	253
8.5	工业质谱仪及色谱-质谱联用仪	253
8.5.1	质谱仪的测量原理	254
8.5.2	质谱仪的组成	255
8.5.3	色谱-质谱联用仪	255
8.6	石油物性分析仪表	256
8.6.1	馏程在线分析仪	256
8.6.2	在线闪点分析仪	257
8.6.3	在线倾点 (浊点) 分析仪	257
8.6.4	在线辛烷值分析仪	258
8.7	工业电导仪	259

8.7.1	测量原理	259
8.7.2	电导法的使用条件	260
8.7.3	溶液电导的测量	260
8.8	pH计	261
8.8.1	测量原理	261
8.8.2	参比电极和指示电极	261
第9章	显示仪表	263
9.1	概述	263
9.2	自动平衡式显示仪表	264
9.2.1	自动电子电位差计记录仪	264
9.2.2	自动平衡电桥记录仪	266
9.3	数字式显示仪表	267
9.3.1	普通数字式显示仪表	268
9.3.2	智能式数字显示仪表	271
9.4	数字模拟混合记录仪	271
9.5	无纸记录仪	272
9.5.1	仪表结构	272
9.5.2	主要的功能特点	273
第10章	特殊测量及仪表	275
10.1	微小流量的测量	275
10.1.1	热式质量流量计	275
10.1.2	微小流量变送器	277
10.1.3	浮子流量计	278
10.1.4	容积流量计	278
10.2	大流量的测量	279
10.2.1	明渠的流量测量	279
10.2.2	大口径管道的液体流量测量	280
10.2.3	大口径管道的气体流量测量	282
10.3	多相流体的流量测量	284
10.3.1	固液两相流量的测量	284
10.3.2	气液两相流量的测量	285
10.3.3	固气两相流量的测量	286
10.4	腐蚀性介质的流量测量	288
10.5	脉动流量的测量	289
10.6	介质含水量的测量	292
10.7	溶液浓度的测量	295
10.7.1	光学式浓度计	295
10.7.2	电磁式浓度计	296
10.8	其他的物性测量	296
10.8.1	自动密度计	296
10.8.2	浊度计	297
第11章	执行器	300
11.1	概述	300

11.2 电动执行机构	300
11.2.1 工作原理	301
11.2.2 伺服放大器	301
11.2.3 伺服电动机	302
11.3 气动执行机构	302
11.3.1 薄膜式执行机构的工作原理	302
11.3.2 薄膜式执行机构的输出力	303
11.3.3 阀门定位器	304
11.3.4 活塞式执行机构	305
11.4 调节阀	306
11.4.1 工作原理	306
11.4.2 调节阀的流量特性	307
11.4.3 调节阀的可调比	308
11.4.4 调节阀的分类	308
11.5 执行器的选型原则	312
11.5.1 执行器的结构形式	312
11.5.2 调节阀阀芯的选择	313
11.5.3 调节阀材料的选择	313
11.5.4 流体对阀芯的流向选择	314
参考文献	315

第 3 篇 计算机控制系统

第 12 章 计算机控制系统概述	317
12.1 计算机控制系统的概念和分类	317
12.1.1 概念	317
12.1.2 分类	320
12.2 计算机控制系统的设计与实施	323
12.2.1 设计	323
12.2.2 实施	324
第 13 章 集散控制系统	325
13.1 概述	325
13.1.1 集散控制系统的构成	325
13.1.2 集散控制系统的厂商	325
13.2 国内集散控制系统产品	326
13.2.1 HOLLIAS-MACS 集散控制系统 (北京和利时)	326
13.2.2 ECS-100X 控制系统	333
13.2.3 系统性能指标	334
13.2.4 系统特点	335
13.2.5 系统技术	336
13.2.6 ECS-100X 系统应用	339
13.3 国外集散控制系统产品	341
13.3.1 CS3000 集散控制系统 (日本横河)	341
13.3.2 TPS 集散控制系统 (美国霍尼威尔)	363

13.3.3 SIMATIC PCS7 集散控制系统 (德国西门子)	372
第 14 章 可编程控制器 (PLC)	376
14.1 国内可编程控制器产品	376
14.1.1 HOLLIAS-LEC G3 可编程控制器 (杭州和利时)	376
14.1.2 RD200 系列可编程控制器 (兰州全志电子有限公司)	379
14.1.3 FC 系列可编程控制器 (无锡信捷科技电子有限公司)	380
14.2 国外可编程控制器产品	382
14.2.1 SIMATIC S7-400 可编程控制器 (德国西门子)	382
14.2.2 Modicon TSX Quantum 可编程控制器 (美国施耐德)	387
14.2.3 SYSMAC CP1H 系列可编程控制器 (日本欧姆龙)	390
第 15 章 现场总线控制技术	393
15.1 现场总线的构成	393
15.2 国内现场总线产品	394
15.2.1 NCS3000 现场总线 (沈阳中科博威)	394
15.2.2 ie-FCST TM FB6000 现场总线 (北京华控技术)	396
15.2.3 STI-VC2100MA 系列控制插件 (上海船舶运输科学研究所)	400
15.2.4 EPA 分布式网络控制系统	402
15.3 国外现场总线产品	408
15.3.1 FF 基金会现场总线 (美国埃默生)	408
15.3.2 PROFIBUS 过程总线 (德国西门子)	416
15.3.3 LonWorks 现场总线 (美国埃施朗公司)	420
第 16 章 工业计算机 (IPC) 技术	425
16.1 概述	425
16.1.1 工业计算机的构成	425
16.1.2 工业计算机的厂商	425
16.2 国内工业计算机	425
16.2.1 IPC800 系列工业计算机 (北京联想)	425
16.2.2 NORCO 工业计算机 (深圳华北工控)	426
16.2.3 PCI 总线工业计算机 (北京康拓)	428
16.2.4 IPC 系列工业计算机 (台湾研华)	430
16.3 国外工业计算机	432
16.3.1 IPC-H 系列 P4 工业计算机 (日本康泰克)	432
16.3.2 APRE-4200 工业计算机 (美国 APPRO 国际公司)	433
参考文献	434

第 4 篇 先进控制与综合自动化

第 17 章 过程动态特性与系统建模	436
17.1 系统建模一般原则	436
17.2 典型过程特性	437
17.3 机理建模方法及举例	439
17.3.1 化工过程机理建模例子	440
17.3.2 生物反应器建模	447
17.3.3 机电系统建模例子	450

17.4 基于过程数据的实验建模	453
17.4.1 系统辨识建模方法概述	453
17.4.2 基于线性或非线性回归方法的建模	453
17.4.3 由阶跃响应曲线辨识模型	456
第18章 复杂控制系统	460
18.1 串级控制系统	460
18.1.1 串级控制基本原理和结构	460
18.1.2 串级控制系统设计	461
18.1.3 串级控制系统举例	462
18.2 前馈及比值控制	463
18.2.1 前馈控制系统的原理和特点	463
18.2.2 前馈控制系统的几种结构形式	465
18.2.3 比值控制系统	470
18.3 特殊控制系统	473
18.3.1 均匀控制系统	473
18.3.2 选择性控制系统	474
18.3.3 分程控制系统	476
18.3.4 阀位控制 (VPC) 系统	477
18.4 系统关联与解耦控制	477
18.4.1 系统关联	478
18.4.2 相对增益	478
18.4.3 解耦控制设计方法	482
第19章 软测量技术及应用	486
19.1 软测量概述	486
19.2 软仪表构建方法	487
19.3 机理建模软测量方法及应用	489
19.3.1 催化裂化反应再生系统的软测量模型	489
19.3.2 汽油饱和蒸气压软测量	492
19.3.3 气力输送固相流量的软测量	494
19.3.4 生物反应中生物参数软测量模型	497
19.4 基于回归分析的软测量方法及应用	501
19.4.1 回归分析方法	502
19.4.2 喷射塔中 SO_2 吸收传质系数的软测量	504
19.4.3 轻柴油 365℃ 含量软测量模型	506
19.4.4 筛板精馏塔板效率的软测量	508
19.5 基于神经网络软测量模型及应用	509
19.5.1 神经网络模型简介	509
19.5.2 粗汽油干点和轻柴油倾点软测量建模	512
19.5.3 维生素 C 发酵过程软测量模型	514
第20章 先进控制技术	516
20.1 先进 PID 控制	516
20.1.1 数字 PID 控制	516
20.1.2 专家 PID 控制和模糊 PID 控制	520

20.1.3	模型 PID 控制	523
20.2	纯滞后补偿控制	526
20.3	内模控制	528
20.4	推断控制	532
20.5	模型预测控制	534
20.6	自适应控制	541
20.7	非线性过程控制	545
20.8	智能控制	551
20.8.1	引言	551
20.8.2	专家控制	551
20.8.3	模糊控制	553
20.8.4	神经网络控制	555
第 21 章	监督控制	558
21.1	实时优化	558
21.1.1	最优化概念	559
21.1.2	实时优化的基本要求	560
21.1.3	最优操作条件分析	561
21.2	实时优化控制的实施技术	563
21.2.1	实时优化控制建模	563
21.2.2	在计算机控制中实施实时优化控制	566
21.3	最优化算法	567
21.3.1	优化中的约束问题	567
21.3.2	线性规划	568
21.3.3	二次规划和非线性规划	569
21.4	统计过程控制	570
21.4.1	统计过程控制的基本原理	571
21.4.2	过程变量限值检查法	571
21.4.3	一般过程监控方法	572
21.5	统计过程控制技术	578
21.5.1	过程能力指数	578
21.5.2	6-Sigma 方法	578
21.5.3	多元统计技术	579
21.5.4	过程控制和统计过程控制的关系	581
第 22 章	企业综合自动化	582
22.1	计算机综合集成控制概述	582
22.1.1	流程工业生产过程运作特点	582
22.1.2	计算机综合集成控制	583
22.2	信息源与信息集成系统	584
22.2.1	企业信息和数据来源	584
22.2.2	信息分类与编码	585
22.2.3	企业信息系统综合集成技术	586
22.3	数据校正技术	587
22.3.1	概述	587

22.3.2	数据校正原理	587
22.3.3	过失误差的侦破原理	588
22.3.4	过程数据校正技术的工程应用实施	588
22.3.5	炼油厂的物流数据校正工业应用实例	589
22.4	信息(数据)驱动下流程工业的运作	590
22.4.1	企业运行概述	591
22.4.2	企业决策功能	591
22.4.3	期望目标(运行)实施	593
22.4.4	数据驱动下的企业运行	594
22.5	炼油企业综合自动化应用示例	595
22.5.1	某炼油企业信息化概况	595
22.5.2	实时数据库系统	596
22.5.3	实验室信息管理(LIMS)系统	600
22.5.4	罐区自动化系统	601
22.5.5	无铅汽油管道自动调和系统	602
22.5.6	集中控制与先进控制	603
22.5.7	数据调理与整合	604
22.5.8	流程模拟软件的应用	605
参考文献		608

第5篇 工业生产过程自动控制应用示例

第23章	化工单元过程控制	610
23.1	流体输送过程控制	610
23.1.1	容积式泵的控制	610
23.1.2	离心泵的控制	610
23.1.3	离心式压缩机的控制	611
23.1.4	离心式压缩机的防喘振控制	611
23.1.5	离心式压缩机的三重冗余容错紧急停车系统	612
23.2	传热设备的控制	614
23.2.1	传热设备的类型	614
23.2.2	换热器的控制	614
23.2.3	蒸汽加热器的控制	615
23.2.4	冷凝冷却器的控制	616
23.2.5	加热炉的控制	616
23.3	精馏过程控制	617
23.3.1	精馏塔的控制目标	617
23.3.2	精馏塔的主要干扰因素	618
23.3.3	精馏塔被控变量的选取	618
23.3.4	精馏塔基本控制方案	618
23.3.5	精馏塔的先进控制方案	621
23.4	化学反应过程控制	624
23.4.1	化学反应器的类型和特性	624
23.4.2	化学反应器的基本控制方案	625

23.4.3	反应器的新型控制方案	626
23.4.4	乙烯裂解炉的先进控制方案	628
23.5	间歇生产过程控制	630
23.5.1	间歇生产过程特点	630
23.5.2	间歇生产过程的控制要求	631
23.5.3	间歇生产过程的自动控制	632
23.5.4	间歇生产过程操作和调度优化	634
23.5.5	间歇生产过程监控	635
第24章	炼油工业生产过程控制	639
24.1	炼油工业概述	639
24.2	常减压蒸馏生产过程控制	641
24.2.1	加热炉的控制	641
24.2.2	常压塔塔底液位非线性区域控制	642
24.2.3	支路平衡控制	643
24.2.4	常减压蒸馏装置的先进控制	644
24.3	催化裂化生产过程控制	648
24.3.1	反应-再生系统的控制	648
24.3.2	主分馏塔的控制	649
24.3.3	催化裂化先进控制实例	651
24.4	催化重整生产过程控制	654
24.4.1	原料预处理控制	654
24.4.2	重整反应器控制	655
24.4.3	重整反应器的先进控制	656
24.5	延迟焦化生产过程控制	659
24.5.1	延迟焦化装置的工艺特点	659
24.5.2	焦化炉控制	660
24.5.3	塔顶急冷温度控制	660
24.5.4	焦炭塔切换扰动前馈控制	661
24.5.5	延迟焦化装置的先进控制	661
24.6	油品调和	663
24.6.1	油品调和工艺	663
24.6.2	油品调和控制	664
第25章	火力发电过程控制	668
25.1	锅炉设备的控制	668
25.1.1	锅炉汽包水位控制	668
25.1.2	蒸汽过热系统的控制	668
25.1.3	锅炉燃烧过程的控制	669
25.2	汽轮机控制	670
25.3	汽轮机转速控制	671
25.3.1	汽轮机转速控制的概况	671
25.3.2	汽轮机转速控制	673
25.4	机炉协调控制	676
25.4.1	汽轮机控制系统对锅炉汽压对象动态特性的影响	676