



石油化工仪表自动化培训教材



自动控制基础理论

《石油化工仪表自动化培训教材》编写组 编



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

石油化工仪表自动化培训教材

自动控制基础理论

《石油化工仪表自动化培训教材》编写组

中国石化出版社

内 容 提 要

本书是《石油化工仪表自动化培训教材》的分册。书中主要介绍了过程控制基础,内容包括简单控制系统和复杂控制系统理论知识、结构和应用范围。同时,结合典型化工单元控制重点介绍了流体设备控制、传热设备控制、锅炉设备控制、精馏塔控制实际应用案例。

本书由企业从事自动化操作与管理的技术人员执笔,实用性强,通俗易懂,可作为企业自动化专业的培训教材,亦可供自动化设备与装置技术人员和操作人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

自动控制基础理论 / 《石油化工仪表自动化培训教材》
编写组编著. —北京:中国石化出版社, 2009
石油化工仪表自动化培训教材
ISBN 978-7-5114-0000-0

I. 自… II. 石… III. 石油化工-化工仪表-自动控制
系统-技术培训-教材 IV. TE967

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 122457 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何
形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com.cn

河北天普润印刷厂印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 11.75 印张 294 千字

2009 年 7 月第 1 版 2009 年 7 月第 1 次印刷

定价:26.00 元

圣才学习网图书目录

(说明:详细书目参见圣才图书网 www.1000book.com)

国外经典教材习题详解系列

【经济类】

1. 高鸿业《西方经济学(微观部分)》(第4版)笔记和习题详解
2. 高鸿业《西方经济学(宏观部分)》(第4版)笔记和习题详解
3. 逢锦聚《政治经济学》(第3版)笔记和习题详解
4. 黎诣远《西方经济学》(第2版)笔记和习题详解(附厉以宁《西方经济学》课后习题答案)
5. 宋承先《现代西方经济学》(第3版)笔记和课后习题详解
6. 开伯成《西方经济学简明教程》(第5版)笔记和课后习题详解
7. 《政治经济学》(程恩富版、蒋学模版)课后习题详解
8. 《政治经济学》(于良春版、宋涛版)课后习题详解
9. 曼昆《经济学原理》(第2、3和4版)笔记和课后习题详解
10. 萨缪尔森《经济学》(第18版)笔记和课后习题详解
11. 斯蒂格利茨《经济学》(第3版)笔记和课后习题详解
12. 范里安《微观经济学:现代观点》(第6版)笔记和课后习题详解
13. 平狄克《微观经济学》(第6版)笔记和课后习题详解
14. 范里安《微观经济学(高级教程)》(第3版)课后习题和强化习题详解
15. 平新乔《微观经济学十八讲》课后习题和强化习题详解
16. 尼克尔森《微观经济理论-基本原理与扩展》(第9版)笔记和课后习题详解
17. 曼昆《宏观经济学》(第4和5版)笔记和课后习题详解
18. 多恩布什《宏观经济学》(第6、7和8版)笔记和课后习题详解
19. 布兰查德《宏观经济学》(第2版)笔记和课后习题详解
20. 萨克斯《全球视角的宏观经济学》笔记和课后习题详解
21. 罗默《高级宏观经济学》(第1和2版)课后习题详解
22. 巴罗《宏观经济学》(第5版)笔记和课后习题详解
23. 帕金《经济学》(第8版)笔记和课后习题详解

【金融类】

1. 黄达《金融学》笔记和习题详解
2. 博迪《金融学》笔记和课后习题详解
3. 博迪《投资学》(第6版)笔记和课后习题详解
4. 米什金《货币金融学》(第7版)笔记和课后习题详解
5. 赫尔《期权、期货和其他衍生品》(第5版)笔记和课后习题详解
6. 罗斯《公司理财》(第7版)笔记和课后习题详解
7. 罗森《财政学》(第7版)笔记和课后习题详解
8. 《金融学(货币银行学)》课后习题详解

9. 《国际金融学》课后习题详解

【管理类】

1. 周三多《管理学》笔记和习题详解
2. 罗宾斯《管理学》(第7版)笔记和课后习题详解
3. 罗宾斯《组织行为学》(第10版)笔记和课后习题详解
4. 德斯勒《人力资源管理》(第9版)笔记和课后习题详解
5. 科特勒《营销管理》(第11版)笔记和课后习题详解
6. 科特勒《市场营销原理》(第11版)笔记和课后习题详解

【公共管理类】

1. 张国庆《公共行政学》(第3版)笔记和课后习题详解
2. 《公共管理学》经典教材课后习题详解

【贸易类】

1. 《国际贸易》经典教材课后习题详解
2. 《国际经济学》经典教材课后习题详解
3. 克鲁格曼《国际经济学》(第6版)笔记和课后习题详解

【心理类】

●心理学公共课(师范类院校的必修课,通常为考查)

1. 《心理学(修订本)》(人教版)笔记和习题详解
配套教材:《心理学(修订本)》高等学校文科教材,人民教育出版社师范教材中心,人民教育出版社
2. 《心理学(第三版)》(人教版)笔记和习题详解
配套教材:《心理学(第三版)》全国高等师范院校公共课教材,人民教育出版社
3. 《心理学基础(第2版)》(科教版)笔记和习题详解
配套教材:《心理学基础(第2版)》十一五教材、高等师范院校公共课心理学教材,全国十二所重点师范大学联合编写,科学教育出版社

●普通心理学

1. 《普通心理学》笔记和习题详解
配套教材有:彭聃龄主编的《普通心理学》(修订版),北京师范大学出版社
2. 《普通心理学》(华东师大版)笔记和习题详解
配套教材:《普通心理学(第三版)》,梁宁建,华东师范大学出版社
3. 《心理学导论》(人教版)笔记和习题详解
配套教材:《心理学导论(第二版)》,黄希庭,人民教育出版社,国家级精品课程
4. 《心理学与生活》笔记和习题详解
配套教材:《心理学与生活》(第16版),【美】理查德·格里格著,王垒、王甦等译,人民邮电出版社

●教育心理学

1. 《发展与教育心理学》笔记和习题详解
配套教材有:林崇德主编的《教育心理学》(冯忠良等著,人民教育出版社)、陈琦和刘儒德主编的《当代教育心理学》(北京师范大学出版社)

● 实验心理学

1. 《实验心理学》笔记和习题详解

配套教材有:《实验心理学》(朱滢,北京大学出版社)、《实验心理学》(张春兴主编,杨治良著,浙江教育出版社)、《实验心理学》(孟庆茂、常建华编著,北京师范大学出版社)、《实验心理学纲要》(张学民、舒华编著,北京师范大学出版社)

● 心理测量与统计

1. 《心理与教育测量学》笔记和习题详解

配套教材有:戴海琦主编的《心理与教育测量(修订本)》(暨南大学出版社)、金瑜主编的《心理测量》(华东师范大学出版社)

2. 《心理与教育统计学》笔记和习题详解

配套教材有:《现代心理与教育统计学》,张厚粲、徐建平著,北京师范大学出版社

【教育类】

● 教育学

1. 《教育学原理》笔记和习题详解

配套教材有:王道俊、王汉澜主编《教育学(新编本)》(人民教育出版社)、全国12所重点师范大学联合编写的《教育学基础》(教育科学出版社)、孙喜亭著的《教育原理》(北京师范大学出版社)

2. 《教育学基础》笔记和习题详解

配套教材:全国十二所重点师范大学联合编写《教育学基础》,教育科学出版社

3. 《教育学》笔记和习题详解

配套教材:王汉澜、王道俊《教育学(新编本)》,人民教育出版社

4. 《当代教育学》笔记和习题详解

配套教材:袁振国《当代教育学(2004年修订版)》,教育科学出版社

● 中外教育史

1. 《中国教育史》笔记和习题详解

配套教材:以考研大纲为蓝本,参考多种《中国教育史》的经典教材

2. 《中国教育史》笔记和习题详解

配套教材:孙培青《中国教育史》,华东师范大学出版社

3. 《简明中国教育史》笔记和习题详解

配套教材:王炳照《简明中国教育史(第四版)》,北京师范大学出版社

4. 《外国教育史》笔记和习题详解

配套教材:以考研大纲为蓝本,参考多种《外国教育史》的经典教材

5. 《外国教育史教程》(人教版)笔记和习题详解

配套教材:吴式颖《外国教育史》,人民教育出版社

6. 《外国教育史》(北师版)笔记和习题详解

配套教材:王天一、夏之莲、宋美玉《外国教育史(修订本 上、下册)》,北京师范大学出版社

● 教育心理学

1. 《教育心理学》笔记和习题详解

配套教材有:林崇德主编的《教育心理学》(冯忠良等著,人民教育出版社)、陈琦和刘儒德主编的《当代教育心理学》(北京师范大学出版社)、皮连生主编的《教育心理学(第三版)》(上海教育出版社)

● 教育研究方法

1. 《教育研究方法》笔记和习题详解

配套教材有:《心理与教育研究方法》(董奇著,北京师范大学出版社)、《教育科学研究方法》(李秉德主编,人民教育出版社)、《教育研究方法》(杨小微主编,人民教育出版社)等

【新闻传播类】(6本)

☞ 考硕考博辅导大系列

● 考研专业课辅导系列(43本)

● 全国名校考研专业课真题题库系列(10本)

● 考研数学辅导系列(6本)

● 教育硕士考试辅导系列(2本)

● 考博英语辅导系列

1. 考博英语全国名校真题详解
2. 考博英语词汇突破
3. 考博英语词汇重难点20天冲刺
4. 题解考博英语词汇核心词汇8000
5. 考博英语阅读理解150篇详解
6. 考博英语翻译及写作真题解析与强化练习
7. 考博英语全真模拟试题详解
8. 考博英语听力真题解析与强化练习
9. 考博英语历年词汇试题解析
10. 考博英语阅读理解试题分类解析
11. 北京大学考博英语真题解析与专项练习
12. 清华大学考博英语真题解析与专项练习
13. 中国人民大学考博英语真题解析与专项练习
14. 复旦大学考博英语真题解析与专项练习
15. 武汉大学考博英语真题解析与专项练习
16. 中国科学院考博英语真题解析与专项练习
17. 全国医学考博英语历年真题及模拟题详解
18. 题解医学考博英语过关必备3000词

● 考博专业课辅导系列(7本)

● 同等学力考试辅导系列(11本)

☞ 外语类考试辅导大系列

● 全国大学生英语竞赛辅导系列

1. 全国大学生英语竞赛A类(研究生)真题及模拟试题详解
2. 全国大学生英语竞赛B类(英语专业)真题及模拟试题详解

3. 全国大学生英语竞赛 C 类(本科生)真题及模拟试题详解
4. 全国大学生英语竞赛 D 类(专科生)真题及模拟试题详解
5. 题解全国大学生英语竞赛过关必备 3000 词

☞ 证券金融类资格考试辅导大系列

● 证券从业人员资格考试辅导系列

1. 证券市场基础知识过关必做 2000 题
2. 证券市场基础知识过关冲刺八套题
3. 证券交易过关必做 2000 题
4. 证券交易过关冲刺八套题
5. 证券发行与承销过关必做 2000 题
6. 证券发行与承销过关冲刺八套题
7. 证券投资基金过关必做 2000 题
8. 证券投资基金过关冲刺八套题
9. 证券投资分析过关必做 2000 题
10. 证券投资分析过关冲刺八套题

● 期货从业人员资格考试辅导系列

1. 期货基础知识过关必做 2000 题
2. 期货基础知识过关冲刺八套题
3. 期货法律法规过关必做 1500 题
4. 期货法律法规过关冲刺八套题

● 保荐代表人胜任能力考试辅导系列

1. 证券综合知识辅导教材
2. 证券综合知识过关必做 2000 题
3. 证券综合知识过关冲刺八套题
4. 投资银行业务能力辅导教材
5. 投资银行业务能力过关必做 2000 题
6. 投资银行业务能力过关冲刺八套题

● 基金销售人员从业考试辅导系列

1. 证券投资基金销售基础知识过关必做 2000 题
2. 证券投资基金销售基础知识过关冲刺八套题

● 证券经纪人专项考试辅导系列

1. 证券市场基础过关必做 2000 题
2. 证券经纪业务营销过关必做 2000 题
3. 证券市场基础过关冲刺八套题
4. 证券经纪业务营销过关冲刺八套题

● 金融理财师 (AFP/CFP) 考试辅导系列

1. 金融理财原理过关必做 2000 题
2. 投资规划过关必做 2000 题
3. 个人风险管理与保险规划过关必做 2000 题
4. 员工福利与退休计划过关必做 1500 题
5. 个人税务与遗产筹划过关必做 1500 题
6. 综合案例分析过关必做 1000 题
7. 金融理财管理 (EFP) 考试辅导教材
8. 金融理财管理 (EFP) 过关必做 2000 题
9. 金融理财管理 (EFP) 过关冲刺八套题

● 国家理财规划师 (ChFP) 认证考试辅导系列

1. 理财规划师基础知识过关必做 2000 题
2. 助理理财规划师专业能力过关必做 1500 题
3. 理财规划师专业能力过关必做 1500 题

● 中国银行业从业人员资格认证考试辅导系列

1. 公共基础过关必做 2000 题
2. 公共基础过关冲刺八套题
3. 个人理财过关必做 2000 题
4. 个人理财过关冲刺八套题
5. 风险管理过关必做 2000 题
6. 风险管理过关冲刺八套题
7. 公司信贷过关必做 1000 题
8. 个人贷款过关必做 1000 题

● 金融英语证书考试 (FECT) 辅导系列 (3 本)

● CFA 考试辅导系列 (13 本)

☞ 保险类资格考试辅导大系列

● 保险代理人/保险经纪人/保险公估人资格考试辅导系列

1. 保险代理从业人员资格考试过关必做 1500 题
2. 保险经纪相关知识与法规过关必做 1000 题
3. 保险公估相关知识与法规过关必做 1000 题
4. 保险原理与实务过关必做 1500 题
5. 保险代理从业人员资格考试过关冲刺八套题
6. 保险公估从业人员资格考试过关冲刺八套题
7. 保险经纪从业人员资格考试过关冲刺八套题

☞ 精算师资格考试辅导大系列

● 中国精算师考试辅导系列 (8 本)

☞ 管理类资格考试辅导大系列

● 企业人力资源管理师考试辅导系列

1. 企业人力资源管理师 (二级) 过关必做习题集
2. 企业人力资源管理师 (三级) 过关必做习题集
3. 企业人力资源管理师 (四级) 过关必做习题集

● 物流师职业资格认证考试辅导系列

1. 现代物流概论过关必做习题集 [初级、中级、高级通用]
2. 物流实务过关必做习题集 [初级]
3. 物流管理过关必做习题集 [中级]
4. 物流系统工程过习题集 [高级]

● 质量专业技术人员职业资格考试辅导系列

1. 质量专业基础知识与实务 (初级) 过关必做 1500 题 (含历年真题)
2. 质量专业综合知识 (中级) 过关必做 1500 题 (含历年真题)
3. 质量专业理论与实务 (中级) 过关必做 1500 题 (含历年真题)

☞ 统计类资格考试辅导大系列

● 统计从业资格考试辅导系列

1. 统计基础知识与统计实务历年真题与过关必做 600 题

详解

2. 统计法基础知识历年真题与过关必做 300 题详解

● 全国统计专业技术资格考试辅导系列

初级：助理统计师

1. 统计学和统计法基础知识(初级)历年真题与过关必做 600 题详解

2. 统计专业知识和实务(初级)历年真题与过关必做 300 题详解

中级：统计师

1. 统计基础理论及相关知识(中级)历年真题与过关必做 600 题详解

2. 统计工作实务(中级)历年真题与过关必做 600 题详解

☞ 外贸类资格考试辅导大系列

● 全国国际商务单证员考试辅导系列

1. 国际商务单证基础理论与知识过关必做习题集

2. 国际商务单证缮制与操作过关必做习题集

3. 全国国际商务单证员考试历年真题详解

● 全国国际货运代理从业人员岗位专业证书考试辅导系列

1. 国际货运代理理论与实务过关必做习题集

2. 国际货运代理专业英语(含英文单证)过关必做习题集

3. 全国国际货运代理从业人员岗位专业证书考试历年真题详解

☞ 全国经济专业技术资格考试辅导系列

● 全国经济专业技术资格初级考试辅导系列

1. 《经济基础知识(初级)过关必做 1500 题》

2. 《工商管理专业知识与实务(初级)过关必做 1000 题》

3. 《财政税收专业知识与实务(初级)过关必做 1000 题》

4. 《金融专业知识与实务(初级)过关必做 1000 题》

5. 《人力资源管理专业知识与实务(初级)过关必做 1000 题》

● 全国经济专业技术资格中级考试辅导系列

1. 《经济基础知识(中级)过关必做 1500 题》

2. 《工商管理专业知识与实务(中级)过关必做 1000 题》

3. 《农业经济专业知识与实务(中级)过关必做 1000 题》

4. 《商业经济专业知识与实务(中级)过关必做 1000 题》

5. 《财政税收专业知识与实务(中级)过关必做 1000 题》

6. 《金融专业知识与实务(中级)过关必做 1000 题》

7. 《保险专业知识与实务(中级)过关必做 1000 题》

8. 《运输经济(公路)专业知识与实务(中级)过关必做 1000 题》

9. 《人力资源管理专业知识与实务(中级)过关必做 1000 题》

10. 《邮电经济专业知识与实务(中级)过关必做 1000 题》

11. 《房地产经济专业知识与实务(中级)过关必做 1000 题》

12. 《旅游专业知识与实务(中级)过关必做 1000 题》

13. 《建筑经济专业知识与实务(中级)过关必做 1000 题》

☞ 国家职业资格全国统一鉴定考试辅导大系列

● 公共课

1. 职业道德过关必做 2000 题

● 全国社会工作者职业水平考试辅导系列

1. 社会工作综合能力(初级)过关必做 1000 题

2. 社会工作实务(初级)过关必做 1000 题

3. 社会工作综合能力(中级)过关必做 1000 题

4. 社会工作实务(中级)过关必做习题集

5. 社会工作法规与政策过关必做 1000 题

☞ 医学类资格考试辅导大系列

● 国家执业医师资格考试辅导系列(10 本)

● 国家执业药师资格考试辅导系列(2 本)

● 全国卫生专业技术资格考试辅导系列(16 本)

☞ 心理咨询师考试辅导系列

1. 心理咨询师理论知识过关必做 2000 题

2. 心理咨询师(三级)真题详解及强化习题

3. 心理咨询师(二级)真题详解及强化习题

☞ 教师资格考试辅导系列(8 本)

☞ 工程类资格考试辅导大系列

● 全国注册建造师考试辅导大系列(7 本)

● 全国注册土木工程师(岩土)考试辅导系列(3 本)

● 全国注册结构工程师考试辅导大系列(3 本)

● 全国造价工程师考试辅导系列(6 本)

● 全国注册安全工程师考试辅导系列(4 本)

购买图书请联系

中国石化出版社读者服务部

地址：北京安定门外大街 58 号

电话：010-84289974(兼传真)

前 言

随着石油化工生产装置的日趋大型化、连续化，企业对生产过程参数自动检测和控制的要求越来越高。在计算机技术广泛应用到检测仪表和自动控制系统后，检测仪表日趋智能化，控制系统向着冗余容错技术发展，现场总线技术已经在大型石油化工装置上得到成功应用。石化企业为炼油改造、乙烯二轮改造、资源优化等项目的实施，新增了一大批新型的检测仪表和控制系统，急需提高仪表专业技术人员和检维修人员的技术素质，以适应生产装置自动化程度不断提高的需求，现有的教材已经不能适应现实需求。

为提高仪表工程技术人员先进控制系统的应用能力，提高仪表维护人员的维护水平和故障处理能力，我们组织了《石油化工仪表培训系列教材》的编写工作。该系列教材共分九册：《自动控制基础理论》、《测量仪表》、《调节阀与阀门定位器》、《可编程控制器》、《集散控制系统及现场总线》、《安全仪表控制系统(SIS)》、《旋转机械状态监测及控制系统》、《在线分析仪表》和《仪表及控制系统故障案例》。在教材中，除简要介绍了自动检测、自动控制基础知识外，重点讲述了常用检测仪表、在线分析仪表、控制系统(DCS、SIS、PLC、ITCC)的原理、使用方法和日常维护知识，并收集了近年来发生的仪表及控制系统故障案例与技术分析。该教材既可作为各炼化企业仪表专业人员培训教材，亦可供仪表专业工程技术人员和现场维护人员参考使用。

本教材编写组由齐鲁公司设备管理部、人力资源部、培训中心和各生产厂的管理人员、教师和工程技术人员组成，参与策划及审定的人员有王玉岗、潘慧、张会国、张道强、赵业文、王昌德、慕晓红、孙庆玉、卞洪良、苏耀东、赵林、生显林、张慧、徐磊、徐纪恩、张景春等，另有齐鲁公司各单位共计30余人也参加了编写工作。同时，还得到了各单位和车间的大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

《自动控制基础理论》共分两篇：第一篇介绍过程控制基础，内容包括简单控制系统和复杂控制系统理论基础知识、结构和应用范围；第二篇介绍了典型化工单元控制应用案例，内容包括流体设备控制、传热设备控制、锅炉设备控制、精馏塔控制实际应用案例等。

参加本册编写的有孙庆玉、庄寿臣、刘法钦、高燕、王昌德等。

由于水平有限，不足及错误之处在所难免，欢迎读者批评指正。

目 录

绪论	(1)
----------	-------

第一篇 过程控制

第一章 控制系统基础知识	(6)
第一节 自动控制系统组成及分类	(6)
第二节 系统运行的基本要求	(12)
第三节 控制系统的过渡过程及控制指标	(14)
第四节 过程动态特性与建模	(18)
第五节 常规控制规律及对系统控制质量的影响	(27)
第二章 简单控制系统	(36)
第一节 系统组成原理	(36)
第二节 被控变量的选择	(39)
第三节 过程特性对控制质量的影响及操纵变量的选择	(42)
第四节 执行器(气动薄膜控制阀)的选择	(47)
第五节 测量变送环节的选取及对控制质量的影响	(56)
第六节 控制器的选择	(60)
第七节 简单控制系统的投运和整定	(64)
第八节 简单控制系统的故障与处理	(73)
第三章 串级控制系统	(75)
第一节 基本原理和结构	(75)
第二节 串级控制系统的特点	(79)
第三节 串级控制系统的应用范围	(81)
第四节 串级控制系统的设计	(84)
第五节 串级控制系统的投运和整定	(89)
第四章 前馈控制系统	(92)
第一节 前馈控制原理	(92)
第二节 前馈控制系统的特点及局限性	(93)
第三节 前馈控制系统的几种主要结构形式	(94)
第四节 前馈控制系统的实施及应用	(96)
第五章 比值控制系统	(100)
第一节 比值控制原理	(100)
第二节 比值控制系统的类型	(100)
第三节 比值系数的计算	(104)
第四节 比值控制方案的实施	(107)

第五节 比值控制系统的投运与整定	(108)
第六章 其他控制系统	(110)
第一节 均匀控制系统	(110)
第二节 选择性控制系统	(113)
第三节 分程控制系统	(117)
第四节 自动保护系统	(122)

第二篇 典型化工单元控制

第一章 流体输送设备控制	(128)
第一节 泵的控制	(129)
第二节 压缩机的控制	(133)
第三节 离心式压缩机的防喘振控制系统	(135)
第二章 传热设备的控制	(140)
第一节 传热设备的静态数学模型	(140)
第二节 一般传热设备的控制	(141)
第三节 管式加热炉的控制	(145)
第三章 锅炉设备的控制	(148)
第一节 锅炉汽包水位的控制	(149)
第二节 锅炉燃烧系统的控制	(153)
第三节 蒸汽过热系统的控制	(155)
第四章 精馏塔的控制	(157)
第一节 精馏塔的工艺要求和扰动分析	(157)
第二节 精馏塔被控变量的选择	(159)
第三节 精馏塔的基本控制方案	(161)
第四节 精馏塔的复杂控制及应用实例	(165)
第五节 精馏塔的新型控制方案	(169)
第五章 化学反应器的控制	(173)
第一节 化学反应器控制要求及被控变量选择	(174)
第二节 化学反应器的基本控制策略	(174)
第三节 化学反应器控制方案	(175)
参考文献	(182)

绪 论

生产过程自动化,一般是指石油、化工、冶金、炼焦、造纸、建材、陶瓷及电力发电等工业生产中连续的或按一定程序周期进行的生产过程的自动控制。凡是采用模拟或数字控制方式对生产过程的某一或某些物理参数进行的自动控制通称为过程控制。过程控制是自动控制学科的一个重要分支。

一、过程控制的定义和任务

1. 过程控制的基本概念

(1) 自动控制。在没有人的直接参与下,利用控制装置操纵生产机器、设备或生产过程,使表征其工作状态的物理参数(状态变量)尽可能接近人们的期望值(即设定值)的过程,称为自动控制。

(2) 过程控制。对生产过程所进行的自动控制,称为过程控制。或者说,凡是采用模拟或数字控制方式对生产过程的某一或某些物理参数进行的自动控制通称为过程控制。

(3) 过程控制系统。为了实现过程控制,以控制理论和生产要求为依据,采用模拟仪表、数字仪表或微型计算机等构成的控制总体,称为过程控制系统。

2. 过程控制的研究对象与任务

过程控制是自动化的一门分支学科,是对过程控制系统进行分析与综合。综合是指方案设计。

3. 过程控制的目的

生产过程中,对各个工艺过程的物理量或称工艺变量有着一定的控制要求。有些工艺变量直接表征生产过程,对产品的产量与质量起着决定性的作用。例如,精馏塔的塔顶或塔釜温度,一般在操作压力不变的情况下必须保持一定,才能得到合格的产品;加热炉出口温度的波动不能超出允许范围,否则将影响后一工段的效果;化学反应器的反应温度必须保持平稳,才能使效率达到指标。有些工艺变量虽不直接影响产品的质量和产量,然而保持其平稳却是使生产获得良好控制的前提。例如,用蒸汽加热反应器或再沸器,如果在蒸汽总压波动剧烈的情况下,要把反应温度或塔釜温度控制好将极为困难;中间储槽的液位高度与气柜压力,必须维持在允许的范围之内,才能使物料平衡,保持连续的均衡生产。有些工艺变量是决定安全生产的因素。例如,锅炉汽包的水位、受压容器的压力等,不允许超出规定的限度,否则将威胁生产安全。还有一些工艺变量直接鉴定产品的质量。例如,某些混合气体的组成、溶液的酸碱度等。近二十几年来,工业生产规模的迅猛发展,加剧了对人类生存环境的污染,因此,减小工业生产对环境的影响也已纳入了过程控制的目标范围。综上所述,过程控制的主要目标应包括以下几个方面:

- (1) 保障生产过程的安全和平稳;
- (2) 达到预期的产量和质量;
- (3) 尽可能地减少原材料和能源损耗;
- (4) 把生产对环境的危害降低到最小程度。

由此可见,生产过程自动化是保持生产稳定、降低消耗、降低成本、改善劳动条件、促

进文明生产、保证生产安全和提高劳动生产率的重要手段，是 20 世纪科学与技术进步的特征，是工业现代化的标记之一。

4. 过程控制的特点

生产过程的自动控制，一般是要求保持过程进行中的有关参数为一定值或按一定规律变化。显然，过程参数的变化，不但受外界条件的影响，它们之间往往也相互影响，这就增加了某些参数自动控制的复杂性和难度。过程控制有如下特点：

(1) 被控对象的多样性

工业生产各不相同，生产过程本身大多比较复杂，生产规模也可能差异很大，这就给对被控对象的认识带来困难。不同生产过程要求控制的参数各异，且被控参数一般不止一个，这些参数的变化规律不同，引起参数变化的因素也不止一个，并且往往互相影响，所以要正确描绘这样复杂多样的对象特性还不完全可能，至今也只能对简单的对象特性有明确的认识，对那些复杂多样的对象特性，还只能采用简化的方法来近似处理。虽然理论上适应不同情况的控制方法，但由于对象特性辨识的困难，要设计出适应不同对象的控制系统至今仍非易事。

(2) 对象存在滞后

由于生产过程大多在比较庞大的设备内进行，对象的储存能力大，惯性也较大，内部介质的流动与热量转移都存在一定的阻力，并且往往具有自动转向平衡的趋势，因此当流入或流出对象的物质或能量发生变化时，由于存在容量、惯性和阻力，被控参数不可能立即反映出来。滞后的大小决定于生产设备结构与规模，并同其流入量与流出量的特性有关。显然，生产设备的规模愈大，物质传递的距离愈长，热量传递的阻力愈大，造成的滞后就愈大。一般来说，过程中大多是具有较大滞后的对象，对自动控制十分不利。

(3) 对象特性的非线性

对象特性往往是随负荷而变的。当负荷不同时，其动态特性有明显的差别，即具有非线性特性。如果只以较理想的线性对象的动态特性作为控制系统的设计依据，则难以达到控制目的。

(4) 控制系统比较复杂

由于生产安全上的考虑，生产设备的设计制造都力求使各种参数稳定，不会产生振荡，所以作为被控对象就具有非振荡环节的特性。对象往往具有自动趋向平衡的能力，即被控量发生变化后，对象本身能使被控量逐渐稳定下来，这种对象就具有惯性环节的特性。也有无自动趋向平衡能力的对象，被控量会一直变化而不能稳定下来，这种对象就具有积分特性。

由于对象的特性不同，其输入与输出量可能不止一个，控制系统的设计在于适应这些不同的特点，以确定控制方案和控制器的设计或选型，以及控制器特性参数的计算与设定。这些都要以对象的特性为依据，而对象的特性正如上述那样复杂且难以充分认识，所以要完全通过理论计算进行系统设计与整定至今仍不可能。目前已设计出的各种各样的控制系统（如简单的位式控制系统、单回路及多回路控制系统，以及前馈控制系统、计算机控制系统等），都是通过必要的理论计算，采用现场调整的方法达到过程控制的目的。

二、过程控制的发展与趋势

1. 自动控制理论的发展历程

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。与其他任何学科一样，控制理论源于社会实践和科学实践。

在自动化的发展中,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,三者间显出清晰的同性;第二,自动化技术是一门综合性的技术,控制论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。

自动化技术的前驱,可以追溯到我国古代,如指南车的出现。至于工业上的应用,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。

直到 20 世纪 30 年代末这段时期的控制理论称为第一代控制理论。第一代控制理论分析的主要问题是稳定性,主要的数学方法是微分方程解析方法。这时的系统(包括过程控制系统)是简单控制系统,仪表是基地式、大尺寸的,满足当时的需要。

到第二次世界大战前后,控制理论有了很大发展。Nyquist(1932)和 Bode(1945)频率域法分析技术及稳定判据、Evans 根轨迹分析方法的建立,使经典控制理论发展到了成熟阶段,这是第二代控制理论。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,这就是今天所谓的古典控制理论。古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。目前,工业过程控制中 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,完成定值控制任务。

从 20 世纪 50 年代开始,随着工业的发展、控制需求的提高,除了简单控制系统以外,各种复杂控制系统也发展起来了,而且取得了显著的功效。为适应多种结构系统的需要,在控制器方面,单元组合仪表应运而生。在 20 世纪 60~70 年代,气动单元组合仪表(QDZ)和电动单元组合仪表(DDZ)是控制仪表的主流。

20 世纪 60 年代,现代控制理论迅猛发展,它是以状态空间方法为基础、以极小值原理和动态规划等最优控制理论为特征,在随机干扰下采用 Kalman 滤波器的线性二次型系统(LQG)设计方法宣告了时域方法的完成,这是第三代控制理论。第三代控制理论在航天、航空、制导等领域取得了辉煌的成果,在过程控制领域也有所移植。

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,将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。其核心思想是系统的分解与协调。多级递阶优化与控制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思想与框架,除了高维线性系统之外,它对其他复杂控制系统仍然束手无策。对于含有大量不确定性和难以建模的复杂系统,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,在许多领域都得到了广泛的应用。

2. 过程控制系统结构的发展历程

从系统结构来看,过程控制经历了以下四个阶段:

(1) 基地式控制阶段(初级阶段)

20 世纪 50 年代,生产过程自动化主要是凭生产实践经验,局限于一般的控制元件及机电式控制仪器,采用比较笨重的基地式仪表(如自力式温度控制器、就地式液位控制器等),实现生产设备就地分散的局部自动控制。在设备与设备之间或同一设备中的不同控制系统之间,没有或很少有联系,其功能往往限于单回路控制。过程控制的目的是热工参数(如

温度、压力、流量及液位)的定值控制,以保证产品质量和产量的稳定。

(2) 单元组合仪表自动化阶段

20 世纪 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。所谓单元组合,就是把自动控制系统仪表按功能分成若干单元,依据实际控制系统结构的需要进行适当的组合。因此单元组合仪表使用方便、灵活。单元组合仪表之间用标准统一信号联系。气动仪表(QDZ 系列)为 20 ~ 100kPa 气压信号。电动仪表信号为 0 ~ 10mA 直流电流信号(DDZ - II 系列)和 4 ~ 20mA 直流电流信号(DDZ - III 系列)。由于电流信号便于远距离传送,因而实现了集中监控与集中操纵的控制系统,对提高设备效率和强化生产过程有所促进,适应了工业生产设备日益大型化与连续化发展的需要。由单元组合仪表组成的控制系统,其控制策略主要是 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)。

(3) 计算机控制的初级阶段

20 世纪 70 年代出现了计算机控制系统,最初是直接数字控制(DDC)实现集中控制,代替常规的控制仪表。但由于集中控制的固有缺陷,未能普及与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,再加上一些复杂的控制算法,并没有充分发挥计算机的功能和控制水平。

(4) 综合自动化阶段

20 世纪 80 年代以后出现二级优化控制,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)。FCS 将对控制系统结构带来革命性变革,开辟控制系统的新纪元。

当前自动控制系统发展的一些主要特点是:生产装置实施先进控制成为发展主流;过程优化受到普遍关注;传统的 DCS 正在走向国际统一标准的开放式系统;综合自动化系统(CIPS)是发展方向。

3. 综合自动化系统与现场总线控制系统

所谓综合自动化系统,就是包括生产计划和调度、操作优化、先进控制和基层控制等内容的递阶控制系统,亦称管理控制一体化系统(简称管控一体化系统)。这类自动化是靠计算机及其网络来实现的,因此也称为计算机集成过程系统(CIPS)。可以认为,综合自动化是当代工业自动化的主要潮流。它以整体优化为目标,以计算机为主要技术工具,以生产过程的管理和控制的自动化为主要内容,将各个自动化“孤岛”综合集成为一个整体的系统。

所谓现场总线控制系统,是适应综合自动化发展需要而诞生的,它是仪表控制系统的革命。

现场总线是一种计算机的网络通信总线,是位于现场的多个总线仪表与远端的监控计算机装置间的通信系统。因此,从结构看,现场总线是底层控制通信网;从通信报文的长度看,它是短帧通信;从传输速率看,它有低速和高速两类;从传输范围看,它是局部通信网。

现场总线技术特点如下:

(1) 开放性 现场总线是开放网络。符合现场总线通信协议的任何一个制造厂商的现场总线仪表产品都能方便地连接到现场总线通信网，符合通信标准的不同制造商的产品可以互换或替换，而不必考虑该产品是否是原制造商的产品。因此，用户可以购置不同制造商的现场总线产品，把它们集成在一个控制系统中，并进行信息的互相交换。

(2) 智能化 现场总线仪表把处理器引入仪表，使仪表本身成为网络的一个节点，并参与通信，这表明现场总线采用数字通信。在现场总线仪表中可完成原来需在分散过程控制装置或回路控制器中才能完成的各种运算和控制。因此，在现场就可以完成控制系统的各种基本功能要求，送控制室的数据全部是数字信号，保证了功能的自治性。

(3) 互操作性 互操作性包含设备的可互换性和可互操作性。可互换性指不同厂商的设备在功能上可以用同一功能的其他厂商同类设备互换。可互操作性指不同厂商的设备可互相通信，并能在各厂商的环境中完成其功能。

(4) 环境适应性 现场总线是专门为现场应用而设计的，因此，它能很好地适应现场的操作环境。表现为通信媒体可采用双绞线、同轴电缆和光缆等多种类型，对电磁干扰的抗扰性强，可实现本安回路、可总线供电等。

现场总线技术的发展也推动了现场总线仪表的发展。为满足现场总线通信的开放和互操作性的要求，现场总线仪表应是智能仪表。它具有互操作性、互换性、可靠性、混合性、采用数字通信、智能化、分散性等特点。

现场总线控制系统把控制功能彻底分散到现场总线仪表，真正实现分散控制的功能。现场总线控制系统需要有类似 Des 中分散过程控制装置的控制软件，一些要进行人机信息交换的现场总线仪表还需有类似操作管理装置的人机接口及管理软件。现场总线控制系统软件包括现场总线组态软件、维护软件、仿真软件、现场设备管理软件和监控软件等。

第一篇 过程控制

第一章 控制系统基础知识

第一节 自动控制系统组成及分类

一、人工控制与自动控制

自动控制是在人工控制的基础上发展起来的。下面通过一个实例，将人工控制与自动控制进行对比分析，从而进一步认识自动控制系统的特点及组成。

如图 1-1-1(a) 所示是工业生产中常见的生产蒸汽的锅炉设备。在生产过程中将锅炉汽包内的水位高度保持在规定的范围内是非常重要的。如果水位过低，则会影响产汽量，且锅炉易烧干而发生事故；若水位过高，将使生产的蒸汽附带水滴，会影响蒸汽质量，这些都是危险的。因此，对汽包液位严加控制是保证锅炉正常生产必不可少的重要条件。

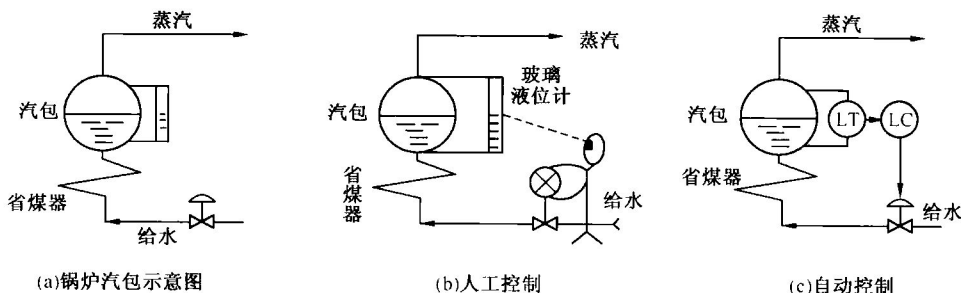


图 1-1-1 锅炉汽包水位控制示意图

如果一切条件(包括给水流量、蒸汽量等)都近乎恒定不变，只要将进水阀置于某一适当开度，则汽包液位就能保持在一定高度。但实际生产过程中这些条件是变化的，如进水阀前的压力变化、蒸汽流量的变化等。此时，若不进行控制(即不去改变阀门开度)，则液位将偏离规定高度。因此，为保持汽包液位恒定，操作人员应根据液位高度的变化情况，控制进水量。

在此，把工艺所要求的汽包液位高度称为设定值；把所要求控制的液位参数称为被控变量或输出变量；那些影响被控变量使之偏离设定值的因素统称为扰动作用，如给水量、蒸汽量的变化等(设定值和扰动作用都是系统的输入变量)；用以使被控变量保持在设定值范围内的作用称为控制作用。

如图 1-1-1(b) 所示为人工控制示意图。为保持汽包液位恒定，操作人员应根据液位高度的变化情况控制进水量。手工控制的过程主要分为三步：

- (1) 用眼睛观察玻璃液位计中的水位高低以获取测量值，并通过神经系统传送到大脑；
- (2) 大脑根据眼睛看到的水位高度，与设定值进行比较，得出偏差大小和方向，然后根

据操作经验发出控制命令；

(3) 根据大脑发出的命令，用双手去改变给水阀门的开度，使给水量与产汽量相等，最终使水位保持在工艺要求的高度上。

在整个手工控制过程中，操作人员的眼、脑、手三个器官，分别担负了检测、判断和运算、执行三个作用，来完成测量、求偏差、再施加控制操作以纠正偏差的工作过程，保持汽包水位的恒定。

如采用检测仪表和自动控制装置来代替人工控制，就成为自动控制系统。如图 1-1-1 (c) 所示为锅炉汽包液位自动控制系统示意图。这里以此为例来说明自动控制系统的工作原理。

当系统受到扰动作用后，被控变量(液位)发生变化，通过检测变送仪表得到其测量值；控制器接受液位测量变送器送来的测量信号，与设定值相比较得出偏差，按某种运算规律进行运算并输出控制信号；控制阀接受控制器的控制信号，按其大小改变阀门的开度，调整给水量，以克服扰动的影响，使被控变量回到设定值，最终达到控制汽包水位稳定的目的。这样就完成了所要求的控制任务。这些自动控制装置和被控工艺设备组成了一个没有人直接参与的自动控制系统。

通常，设定值是系统的输入变量，而被控变量是系统的输出变量。系统的输出变量通过适当的测量变送仪表又引回到系统输入端，并与输入变量相比较，这种做法称为“反馈”。当反馈信号与设定值相减时，称为负反馈；反馈信号取正值与设定值相加，称为正反馈。输出变量与输入变量相比较所得的结果叫做偏差，控制装置根据偏差的方向、大小或变化情况进行控制，使偏差减小或消除。发现偏差，然后去除偏差，这就是反馈控制的原理。利用这一原理组成的系统称为反馈控制系统，通常也称为自动控制系统。在一个自动控制系统中，实现自动控制的装置可以各不相同，但反馈控制的原理却是相同的。由此可见，有反馈存在、按偏差进行控制，是自动控制系统最主要的特点。

二、控制系统的基本形式

控制系统一般有两种基本控制方式。通常按照控制系统是否设有反馈环节来对其进行分类。不设反馈环节的，称为开环控制系统；设有反馈环节的，称为闭环控制系统。这里所说的“环”，是指由反馈环节构成的回路。下面介绍这两种控制系统的控制特点。

1. 开环控制系统

若系统的输出信号对控制作用没有影响，则称为开环控制系统，即系统的输出信号不反馈到输入端，不形成信号传递的闭合回路。

在开环控制系统中，控制装置与被控对象之间只有顺向作用而无反向联系。如图 1-1-2 所示的数控加工机床中广泛应用的精密定位控制系统，是一个没有反馈环节的开环控制系统。其工作流程是预先设定的加工程序指令，通过运算控制器(可为微机或单片机)去控制脉冲的产生和分配，发出相应的脉冲；再由这些脉冲(通常还要经过功率放大)驱动步进电机，通过精密传动机构带动工作台(或刀具)进行加工。此系统的被控对象是工作台；加工程序指令是输入量；工作台位移是被控变量，它只根据控制信号(控制脉冲)而变化。

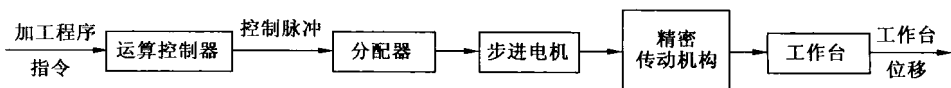


图 1-1-2 精密定位控制系统方框图