



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

过程装备与控制工程专业精品教材

# 过程装备控制 技术及应用

## 第3版

张早校 王毅 主编



化学工业出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

过程装备与控制工程专业精品教材

# 过程装备控制 技术及应用

## 第3版

张早校 王毅 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

《过程装备控制技术及应用》(第3版)突出过程装备与控制工程专业的特点,既力求介绍自动控制理论的一些基础知识要点,又高度重视实践与应用性,同时强调其先进性。从过程装备自动控制的应用角度出发,主要介绍了过程控制系统的基本概念、组成、原理及其应用;重点介绍了压力、温度、流量、液位、物质成分等常见参数的测量方法,以及测量变送器、控制器、执行器等仪器、仪表的结构、原理和应用;针对工业自动化发展趋势介绍了计算机控制系统的基本组成原理。最后简要介绍了几种目前比较先进的过程控制系统。

第3版在第2版的基础上进一步增加了过程控制基础知识内容。在第1章和第2章详细描述过程控制基本概念;第4章、第5章、第6章进一步增加了例题量;增设第3章,对复杂控制系统进行专门介绍。在附录里增加了常用标准热电阻分度表、常用标准热电偶分度表、常用管道仪表流程图设计符号等,方便学生参考使用。

本书可供过程装备与控制工程专业本科和研究生使用,也可作为有关院校的石油、化工、能源、动力、食品、环境工程等专业的学生使用,同时还可供从事过程设备与控制行业的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

过程装备控制技术及应用/张早校,王毅主编. —3版.

北京:化学工业出版社,2018.9

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-122-32507-5

I. ①过… II. ①张…②王… 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(2018)第138333号

---

责任编辑:程树珍 丁文璇

装帧设计:张辉

责任校对:王素芹

---

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)

印装:中煤(北京)印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张21 字数513千字 2018年10月北京第3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: 58.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

当前,随着“中国制造 2025”战略的实施和“互联网+”的飞速发展,对过程装备与控制工程专业人才培养提出了新的、更高的要求。本专业围绕“过程”→“装备”→“控制”的核心内涵进行教材建设,显得尤为重要。《过程装备控制技术的应用》作为专业核心课程教材,在普及过程装备控制基础知识方面担当了重要角色。

在本教材第 1 版、第 2 版使用的基础上,第 3 版主要做了以下内容修订:首先将章节做了调整,把复杂控制系统单独扩展成章放到了第 3 章。在内容方面,加强了过程装备控制基础知识的介绍,进一步强调了反馈控制的基本概念,在数学模型部分增加了方框图及简化要点,以及控制理论常用的传递函数的基础知识。对过程装备控制的任务、要求和设计步骤作了明确阐述。全书增加了大量例题和习题,以加深对课程知识要点的理解。在附录部分,增加了拉普拉斯变换表,常用热电阻、热电偶分度表,常用管道仪表流程图设计符号和课外项目设计参考题目。

本教材是按照 64 学时计划编写的。考虑到不同学校对本课程学时的设置要求不一,在使用本教材时可以根据需要选择部分章节讲授学习。

参加第 3 版修订工作的有张早校、王毅、余云松、侯雄坡、吴震、马登龙、何阳、冯鹏辉、程彦铭、唐凯、王磊、冀丰偲、董会晶、樊琛、王笛和李宇声。

在本教材的修订过程中,于 2016 年 12 月在西安交通大学化工学院召开了《过程装备控制技术的应用》的修订及人才培养研讨会。来自全国 19 所高校 40 余名资深专家及一线教师代表对教材的修订提出了大量宝贵的意见和建议,对于本教材的修订大有裨益。过程装备与控制工程专业教学指导分委员会以及多所学校的教师、学生对本教材的修订也提出了很多建设性意见,在此一并表示衷心感谢。

由于时间仓促,书中难免有不妥之处,恳请各位专家和读者及时批评指正。

编者  
2018 年 5 月



# 第一版序

按照国际标准化组织的认定 (ISO/DIS 9000: 2000), 社会经济过程中的全部产品通常分为四类, 即硬件产品 (hardware)、软件产品 (software)、流程性材料产品 (processed material) 和服务型产品 (service)。在新世纪初, 世界上各主要发达国家和我国都已把“先进制造技术”列为优先发展的战略性高技术之一。先进制造技术主要是指硬件产品的先进制造技术和流程性材料产品的先进制造技术。所谓“流程性材料”是指以流体 (气、液、粉粒体等) 形态为主的材料。

过程工业是加工制造流程性材料产品的现代国民经济的支柱产业之一。成套过程装置则是组成过程工业的工作母机群, 它通常是由一系列的过程机器和过程设备, 按一定的流程方式用管道、阀门等连接起来的一个独立的密闭连续系统, 再配以必要的控制仪表和设备, 即能平稳连续地把以流体为主的各种流程性材料, 让其在装置内部经历必要的物理化学过程, 制造出人们需要的新的流程性材料产品。单元过程设备 (如塔、换热器、反应器与储罐等) 与单元过程机器 (如压缩机、泵与分离机等) 二者的统称为过程装备。为此, 有关涉及流程性材料产品先进制造技术的主要研究发展领域应该包括以下几个方面: ①过程原理与技术的创新; ②成套装置流程技术的创新; ③过程设备与过程机器——过程装备技术的创新; ④过程控制技术的创新。于是把过程工业需要实现的最佳技术经济指标: 高效、节能、清洁和安全不断推向新的技术水平, 确保该产业在国际上的竞争力。

过程装备技术的创新, 其关键首先应着重于装备内件技术的创新, 而其内件技术的创新又与过程原理和技术的创新以及成套装置工艺流程技术的创新密不可分, 它们互为依托, 相辅相成。这一切也是流程性产品先进制造技术与一般硬件产品的先进制造技术的重大区别所在。另外, 这两类不同的先进制造技术的理论基础也有着重大的区别, 前者的理论基础主要是化学、固体力学、流体力学、热力学、机械学、化学工程与工艺学、电工电子学和信息科学技术科学等, 而后者则主要侧重于固体力学、材料与加工学、机械机构学、电工电子学和信息科学技术科学等。

“过程装备与控制工程”本科专业在新世纪的根本任务是为国民经济培养大批优秀的能够掌握流程性材料产品先进制造技术的高级专业人才。

四年多来, 教学指导委员会以邓小平同志提出的“教育要面向现代化, 面向世界, 面向未来”的思想为指针, 在广泛调研研讨的基础上, 分析了国内外化工类与机械类高等教育的现状、存在的问题和未来的发展, 向教育部提出了把原“化工设备与机械”本科专业改造建设为“过程装备与控制工程”本科专业的总体设想和专业发展规划建议书, 于1998年3月获得教育部的正式批准, 设立了“过程装备与控制工程”本科专业。以此为契机, 教学指导委员会制订了“高等教育面向21世纪‘过程装备与控制工程’本科专业建设与人才培养的总体思路”, 要求各院校从转变传统教育思想出发, 拓宽专业范围, 以培养学生的素质、知识与能力为目标, 以发展先进制造技术作为本专业改革发展的出发点, 重组课程体系, 在加强通用基础理论与实践环节教学的同时, 强化专业技术基础理论的教学, 削减专业课程的分量, 淡化专业技术教学, 从而较大幅度地减少总的授课时数, 以加强学生自学、自由探讨和

发展的空间，以有利于逐步树立本科学生勇于思考与创新的精神。

高质量的教材是培养高素质人才的重要基础，因此组织编写面向 21 世纪的 6 种迫切需要的核心课程教材，是专业建设的重要内容。同时，还编写了 6 种选修课程教材。教学指导委员会明确要求教材作者以“教改”精神为指导，力求新教材从认知规律出发，阐明本课程的基本理论与应用及其现代进展，做到新体系、厚基础、重实践、易自学、引思考。新教材的编写实施主编负责制，主编都经过了投标竞聘，专家择优选定的过程，核心课程教材在完成主审程序后，还增设了审定制度。为确保教材编写质量，在开始编写时，主编、教学指导委员会和化学工业出版社三方面签订了正式出版合同，明确了各自的责、权、利。

“过程装备与控制工程”本科专业的建设将是一项长期的任务，以上所列工作只是一个开端。尽管我们在这套教材中，力求在内容和体系上能够体现创新，注重拓宽基础，强调能力培养，但是由于我们目前对教学改革的研究深度和认识水平所限，必然会有许多不妥之处。为此，恳请广大读者予以批评和指正。

全国高等学校化工类及相关专业教学指导委员会

副主任委员兼化工装备教学指导组组长

大连理工大学 博士生导师

丁信伟教授

2001 年 3 月于大连

# 第一版前言

根据“化工设备与机械”本科专业调整更名为“过程装备与控制工程”专业的精神，为适应新专业人才培养目标的需要，全国高等学校化工类及相关专业教学指导委员会化工装备教学指导组多次召开会议，决定编写“过程装备与控制工程”专业的核心课教材。《过程装备控制技术及应用》确定为新编写的核心课教材之一。

新的专业要求学生掌握原专业的基本内容的同时，还能够掌握控制工程方面的知识。《过程装备控制技术及应用》课程的设置，充分体现了本科专业的一个重大特色，可以使本专业的学生能够将过程机械、计算机自动测试、控制、自动化等方面的知识有机地结合在一起，培养学生成为掌握多学科知识与技能的复合型人才。

本书的编写尚属首次，难度主要表现在如何使机械类专业的学生，在不增加更多的基础知识的情况下，比较好地掌握过程控制方面的内容。本书的内容涉及过程控制的基本理论、计算机自动测控技术、化工过程控制技术及典型应用等，最后介绍一些先进的控制系统。

本书尽可能做到重点突出、内容新颖、难易合适、切合实际。参考学时数 64 学时。

全书共分 7 章：第 1 章介绍过程控制系统的基本概念，内容包括系统的组成、结构、分类及其过渡过程和性能指标。第 2 章介绍过程控制的基础理论知识，内容包括被控对象特性、简单控制系统和复杂控制系统。第 3 章介绍过程设备的测试技术，内容包括过程测量的基本概念和误差基本知识；压力、温度、流量、液位、物质成分等参数的测量原理、方法及应用；新型传感器的介绍以及计算机辅助测试系统。第 4 章介绍过程控制装置，内容包括变送器、调节器和执行器三大部分。第 5 章介绍计算机控制系统，内容包括计算机控制系统的组成及分类，A/D、D/A 转换器，直接数字控制系统，计算机控制系统的设计与实现以及提高计算机控制系统可靠性的措施。第 6 章介绍典型过程控制系统应用方案，内容包括单回路控制、流体输送设备的控制、计算机数字控制以及典型实例。第 7 章介绍先进过程控制系统简介，内容包括自适应控制、推理控制、预测控制、模糊控制和人工神经网络控制。

本书内容丰富，涉及面广。在各章中选编了一些实例，并附有习题与思考题，有利于对过程控制基础理论学习较少的读者掌握与应用。

参加该书编写的有西安交通大学王毅教授（第 3 章、第 5 章第 3 节、第 7 章），张早校教授（第 4~6 章），四川大学胡涛副教授（第 1 章、第 2 章、第 6 章第 5 节）。

全书由王毅、张早校修改、统稿，负责全书的整理。

本书由王毅主编，施仁主审，丁信伟审定。

在编写过程中，何玉樵、王小丽老师给予大力支持，曹银强、陈春刚、胡海军、侯雄坡等做了大量工作，同时教学指导委员会的各位委员提出了宝贵的意见，在此特表谢意。

限于作者的水平，加之时间仓促，书中难免出现不妥之处，敬请读者予以批评指正。

编者

2001.3

## 第二版前言

本教材为过程装备与控制工程专业核心课程教材之一。本教材第一版获得了陕西省优秀教材一等奖，第二版为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本版在修订的过程中，在内容上适当增加了过程控制方面的基本内容，对检测方面的有关基础知识的介绍适当减少，尽可能的体现教材的系统性和先进性。为便于广大读者的阅读，在各章里增加了相关的例题，同时对部分内容进行了必要的整合。如在第1、第2章除详细描述过程控制基本概念外，增加了与内容相关的例题；第3章的第1、第2节合并为一节，增加了过程检测技术的新进展，调整了部分内容；第4章的内容作了适当的增减；第5章在结构上进行了较大的调整，同时增加了DCS和FCS的内容；第6章增加了应用实例。

参加本书修订工作的有西安交通大学的王毅、张早校、侯雄坡、杨斌、张属馨和杨丽杰。

在本教材修订的过程中，得到了浙江大学曾胜、石油大学王娟、西北大学余力军、湘潭大学闭业宾、浙江工业大学邓鸿英老师的大力帮助，并提出宝贵意见，在此表示深切谢意。同时对过程装备与控制工程专业教学指导分委员会以及多位热心读者、教师和学生的大力支持，编者对此表示衷心感谢。

由于时间仓促，书中难免有不妥之处，恳请各位专家和读者批评指正。

编者

2007年5月



# 目 录

<b>1 控制系统的基本概念</b> .....	1
1.1 概述 .....	1
1.1.1 生产过程自动化系统所包含的内容 .....	1
1.1.2 过程装备控制的任务和要求 .....	2
1.2 控制系统的组成 .....	2
1.2.1 过程装备控制的基本概念 .....	2
1.2.2 系统组成 .....	3
1.3 控制系统的方框图 .....	4
1.4 控制系统的分类 .....	6
1.4.1 按给定值的变化规律划分 .....	6
1.4.2 按系统输出信号对操纵变量影响的方式划分 .....	6
1.4.3 按系统的复杂程度划分 .....	7
1.4.4 按系统克服干扰的方法划分 .....	8
1.4.5 按控制作用的形式划分 .....	8
1.4.6 按控制系统的特性划分 .....	9
1.5 控制系统的过渡过程及其性能指标 .....	9
1.5.1 控制系统的过渡过程 .....	9
1.5.2 控制系统的性能指标 .....	10
1.5.3 自动控制系统性能的基本要求 .....	12
思考题与习题 .....	13
<b>2 过程控制系统设计基础</b> .....	15
2.1 数学模型 .....	15
2.1.1 微分方程 .....	15
2.1.2 传递函数 .....	16
2.1.3 方框图的简化 .....	18
2.2 被控对象的动态特性 .....	23
2.2.1 被控对象的数学描述 .....	23
2.2.2 被控对象的特性参数 .....	26
2.2.3 对象特性的实验测定 .....	28
2.3 控制器的动态特性 .....	33
2.3.1 控制器的基本控制规律 .....	33
2.3.2 控制规律的选取 .....	41
2.4 单回路控制系统 .....	42
2.4.1 单回路控制系统的设计 .....	42
2.4.2 控制器参数的工程整定 .....	46
思考题与习题 .....	49

<b>3 复杂控制系统</b>	52
3.1 串级控制系统	52
3.1.1 基本原理	52
3.1.2 主要特点及其应用场合	55
3.1.3 控制器参数工程整定	56
3.2 前馈控制系统	57
3.2.1 基本原理	57
3.2.2 主要结构形式	59
3.2.3 参数整定	62
3.3 比值控制系统	63
3.3.1 定比值控制系统	64
3.3.2 变比值控制系统	65
3.3.3 比值控制系统的实施	66
3.3.4 比值控制系统的参数整定	68
3.4 选择性控制系统	69
3.4.1 基本原理	69
3.4.2 选择性控制的类型	70
3.4.3 选择性控制中选择器性质的确定	71
3.4.4 积分饱和防止措施	71
3.5 均匀控制系统	71
3.5.1 基本原理及特点	71
3.5.2 均匀控制的类型	72
3.5.3 控制器的参数整定	73
3.6 分程控制系统	73
思考题与习题	75
<b>4 过程检测技术</b>	77
4.1 测量与误差的基本知识	77
4.1.1 测量的基本概念	77
4.1.2 误差的基本概念	79
4.1.3 仪器仪表的主要性能指标	83
4.2 传感器概述	86
4.2.1 传感器基本概念及组成	87
4.2.2 传感器分类	88
4.2.3 传感器特性及标定	89
4.2.4 新型传感器介绍	90
4.2.5 传感器选用	94
4.2.6 传感器发展动向	95
4.3 压力测量	96
4.3.1 概述	96
4.3.2 液柱式压力计	97
4.3.3 弹性式压力计	100

4.3.4	压阻式压力计 .....	101
4.3.5	压电式压力计 .....	103
4.3.6	压力计的选用 .....	104
4.4	温度测量 .....	105
4.4.1	概论 .....	105
4.4.2	热膨胀式温度计 .....	106
4.4.3	热电偶测温仪表 .....	107
4.4.4	热电阻测温仪表 .....	111
4.4.5	测温仪表的选用 .....	114
4.5	流量测量 .....	114
4.5.1	概述 .....	114
4.5.2	压差式流量计 .....	114
4.5.3	转子式流量计 .....	118
4.5.4	涡街流量计 .....	119
4.5.5	电磁式流量计 .....	120
4.5.6	热式气体质量流量计 .....	121
4.5.7	流量测量仪表的选用 .....	123
4.6	液位测量 .....	123
4.6.1	概述 .....	123
4.6.2	浮力式液位计 .....	123
4.6.3	静压式液位计 .....	125
4.6.4	电容式液位计 .....	127
4.6.5	光纤液位计 .....	128
4.6.6	液位计的选用 .....	129
4.7	物质成分分析 .....	130
4.7.1	红外线气体分析仪 .....	130
4.7.2	氧化锆氧气分析仪 .....	133
4.7.3	工业电导仪 .....	135
4.7.4	气相色谱仪 .....	139
4.8	过程检测技术的新进展 .....	142
4.8.1	智能传感器 .....	142
4.8.2	软测量技术 .....	143
4.8.3	多传感器信息融合 .....	144
4.8.4	虚拟仪器 .....	145
4.8.5	过程监测系统应用实例 .....	147
	思考题与习题 .....	148
<b>5</b>	<b>过程控制装置</b> .....	<b>151</b>
5.1	变送器 .....	151
5.1.1	差压变送器 .....	152
5.1.2	防爆安全栅 .....	163
5.1.3	温度变送器 .....	167

5.1.4	标准仪表的信号标准以及与电源连接的方式	171
5.1.5	典型系统的变送器选择	172
5.2	控制器	172
5.2.1	控制器控制规律的实现方法	173
5.2.2	PID控制器的硬件结构	176
5.2.3	典型系统的控制器选择	187
5.3	执行器	188
5.3.1	气动执行器	188
5.3.2	电动执行器	199
5.3.3	电-气转换器及电-气阀门定位器	201
5.3.4	典型系统执行器的选择	203
	思考题与习题	204
<b>6</b>	<b>计算机控制系统</b>	<b>206</b>
6.1	概述	206
6.2	计算机控制系统的组成及分类	207
6.2.1	计算机控制系统的组成	207
6.2.2	计算机控制系统的分类	209
6.3	A/D与D/A转换器	213
6.3.1	A/D转换器	213
6.3.2	A/D选择原则	214
6.3.3	D/A转换器	215
6.3.4	D/A选择原则	216
6.3.5	A/D、D/A接口板介绍	217
6.4	计算机测试系统	218
6.4.1	计算机在测试技术中的作用	218
6.4.2	计算机测试系统的基本结构	218
6.4.3	数据采集	220
6.4.4	计算机测试系统的设计	222
6.5	直接数字控制系统	223
6.5.1	DDC系统概述	223
6.5.2	DDC的基本算法	226
6.5.3	改进的PID算法	230
6.5.4	DDC的PID算法中参数的整定	234
6.5.5	采样周期的选择	235
6.6	可编程序控制器及其应用	236
6.6.1	概述	236
6.6.2	可编程序控制器的基本组成与工作原理	237
6.6.3	可编程序控制器的编程指令	239
6.6.4	可编程序控制器的应用举例	241
6.7	集散控制系统与现场总线控制系统	243
6.7.1	集散控制系统	243

6.7.2	现场总线控制系统 .....	248
6.7.3	工业系统计算机控制新技术 .....	252
6.8	计算机控制系统的设计与实现 .....	254
6.8.1	计算机控制系统的设计原则 .....	254
6.8.2	计算机控制系统设计的一般步骤 .....	255
6.8.3	计算机控制系统设计实例 .....	256
6.9	提高计算机控制系统可靠性的措施 .....	261
6.9.1	提高元器件的可靠性 .....	261
6.9.2	冗余技术 .....	261
6.9.3	采取抗干扰措施 .....	262
	思考题与习题 .....	265
<b>7</b>	<b>典型过程控制系统应用方案 .....</b>	<b>267</b>
7.1	热交换器温度反馈——静态前馈控制系统 .....	267
7.1.1	生产过程对系统设计的要求 .....	267
7.1.2	系统组成 .....	267
7.1.3	仪表静态参数的设置 .....	268
7.2	单回路控制系统的应用 .....	269
7.2.1	生产工艺简况 .....	270
7.2.2	系统设计 .....	270
7.3	流体输送设备的控制 .....	272
7.3.1	概述 .....	272
7.3.2	泵及压缩机的典型控制方案 .....	273
7.4	反应器的控制 .....	277
7.4.1	化学反应的特点与基本规律 .....	277
7.4.2	化学反应器的控制要求和手段 .....	279
7.4.3	反应器温度被控变量的选择 .....	280
7.4.4	以温度作为控制指标的控制方案 .....	282
7.5	精馏塔的控制 .....	284
7.5.1	概述 .....	284
7.5.2	精馏塔的基本关系 .....	285
7.5.3	精馏塔的控制要求及干扰因素 .....	285
7.5.4	被控变量的选择 .....	286
7.5.5	精馏塔的控制 .....	287
7.6	计算机数字控制的典型实例——炉温控制系统的计算机控制 .....	288
7.6.1	控制方案设计 .....	288
7.6.2	硬件线路 .....	289
7.6.3	控制算法的确定 .....	290
7.6.4	程序流程框图 .....	291
7.6.5	控制系统的调试 .....	291
	思考题与习题 .....	293



<b>8 先进过程控制系统简介</b> .....	294
8.1 概述 .....	294
8.2 自适应控制系统 .....	294
8.2.1 基本概念 .....	294
8.2.2 自适应控制系统的基本类型 .....	295
8.3 推断控制系统 .....	295
8.4 预测控制系统 .....	296
8.5 模糊控制系统 .....	298
8.6 神经网络控制系统 .....	300
8.6.1 神经网络的数学模型 .....	300
8.6.2 神经网络拓扑结构及学习算法 .....	301
8.6.3 常用神经网络简介 .....	302
8.6.4 神经网络与自动控制 .....	304
<b>附录 1 拉普拉斯变换对照表</b> .....	307
<b>附录 2 常用标准热电阻分度表</b> .....	309
F2.1 Pt100 型铂热电阻分度表 .....	309
F2.2 Cu50 型热电阻分度表 .....	310
<b>附录 3 常用标准热电偶分度表</b> .....	311
F3.1 铂铑 10-铂热电偶分度表 (S 型) .....	311
F3.2 铂铑 13-铂热电偶分度表 (R 型) .....	312
F3.3 铂铑 30-铂铑 6 热电偶分度表 (B 型) .....	313
F3.4 铜-铜镍 (康铜) 热电偶分度表 (T 型) .....	314
F3.5 镍铬-铜镍 (康铜) 热电偶分度表 (E 型) .....	315
<b>附录 4 常用管道仪表流程图设计符号</b> .....	316
<b>附录 5 课外项目设计参考题目</b> .....	319
<b>参考文献</b> .....	320

# 1 控制系统的基本概念

## 1.1 概 述

过程装备控制是指在过程设备上,配上一些自动化装置以及合适的自动控制系统来代替操作人员的部分或全部直接劳动,使设计、制造、装配、安装等在不同程度上自动地进行。这种利用自动化装置来管理生产过程的方法就是生产过程自动化。因此,过程装备控制是生产过程自动化最重要的一个分支。

生产过程自动化是提高社会生产力的有力工具之一。它在确保生产正常运行、提高产品质量、降低能耗、降低生产成本、改善劳动条件、减轻劳动强度、保护环境等方面具有巨大的作用。

自20世纪30年代以来,随着自动控制理论的不断发展和电子计算机的出现,自动化技术已取得了惊人的成就,在工业生产和科学发展中起到关键的作用。当前,自动化装置已成为大型装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,大型生产过程是根本无法运行的。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。随着“中国制造2025”和“互联网+”的深入发展,生产过程自动化将发挥越来越突出的作用。

### 1.1.1 生产过程自动化系统所包含的内容

生产过程自动化系统包含如下四个部分的内容。

① 自动检测系统 要控制不断进行着各种物理化学变化的生产过程,首先必须随时了解生产过程中各工艺参数的变化情况。为此,必须采用各种检测仪表(如热电偶、热电阻、压力传感器等)自动连续地对各种工艺变量(如温度、压力、流量、液位等)进行测量,并将测量结果用仪表(如动圈仪表、数显仪表、电子电位差计等)指示记录下来供操作人员观察、分析或将测量到的“信息”传送给控制系统,作为自动控制的依据。

② 信号连锁系统 信号连锁系统是一种安全装置。在生产过程中,有时由于一些偶然因素的影响会导致某些工艺变量超出允许的变化范围,使生产不能正常运行,严重时甚至会引起燃烧、爆炸等事故。为了确保安全生产,常对这些关键性变量设置信号报警或连锁保护装置。其作用是在事故发生前,自动地发出声光报警信号,引起操作员的注意以便及早采取措施。若工况已接近危险状态,信号连锁系统将启动:打开安全阀,切断某些通路或紧急停车或者开启某些设备,从而防止事故的发生或扩大。

③ 自动操纵系统 这是一种根据预先规定的程序,自动对生产设备进行某种周期性操作,极大地减轻操作人员繁重或重复性体力劳动的装置。例如,合成氨造气车间煤气发生炉的操作就是按照程序自动进行的,如自动进行吹风、上吹、下吹制气、吹净等步骤,周期性地接通空气与水蒸气实现自动操纵。

④ 自动控制系统 利用一些自动控制仪表及装置,对生产过程中某些重要的工艺变量

进行自动控制，使它们在受到外界干扰影响偏离正常状态后，能够自动地重新回复到规定的范围之内，从而保证生产的正常进行。

### 1.1.2 过程装备控制的任务和要求

过程装备控制是工业生产过程自动化的重要组成部分，它主要是针对过程装备涉及的主要工艺参数，即温度、压力、流量、液位（或物位）、成分和物性等进行控制。

工业生产对过程装备控制的要求是多方面的，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，这是最重要也是最基本的要求。通常是采用越限报警、事故报警和安全连锁保护等措施加以保证。随着控制技术和计算机技术的不断发展，在线故障预测和诊断、容错控制等技术可以进一步提高系统的安全性。经济性是指生产同样质量和数量产品所消耗的能量和原材料最少，也就是要求生产成本低而效率高。随着市场竞争加剧和能源的匮乏以及环境保护的要求越来越严格，经济性已越来越受到各方面的重视。稳定性是指系统应具有抵抗外部干扰，保持生产过程长期稳定运行的能力。在生产过程中，原材料成分变化、反应器内催化剂老化、换热器表面结垢等都会或多或少地影响生产过程稳定性。为了满足上述三项要求，在理论上和实践上都还有许多问题有待研究。

过程装备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，应用控制理论对控制系统进行分析和综合，最后采用合适的技术手段加以实现自动控制。因此可以说，过程装备控制是控制理论、过程装备及工艺知识、计算机技术和仪器仪表等相结合而构成的一门综合性应用科学。

## 1.2 控制系统的组成

### 1.2.1 过程装备控制的基本概念

过程装备所服务的工业生产过程都是在一定的温度、压力、浓度、物位等工艺条件下进行的。为此，必须对这些工艺变量进行控制，使其稳定在保证生产正常运行的范围之内。为了实现控制要求，通常有两种方式可以选择：人工控制和自动控制。下面以化工、炼油等生产过程中必不可少的动力设备锅炉的汽包水位控制为例，说明人工控制与自动控制的执行过程。

图 1-1 所示为锅炉汽包水位控制的示意图。锅炉产生的高压蒸汽，既可作为风机、压缩机、大型泵类的动力源，又可作为蒸馏、化学反应、干燥和蒸发等过程的热源。要保证锅炉的正常运行，将锅炉的汽包水位维持在一定的高度是非常重要的。如果汽包水位过低，由于汽包内的水量较少而蒸汽的需求量很大，加上水的汽化速度又快，使得汽包内的水量变化速度很快，如不及时控制，就会使汽包内的水全部汽化，导致锅炉烧干甚至爆炸；水位过高，则会影响汽包内的汽水分离，使蒸汽夹带水分，对后续生产设备造成影响和破坏。因此，要维持汽包水位在规定的数值范围，根据物料平衡原理，就必须保证锅炉的给水量和蒸汽的排出量（或称蒸汽负荷）相等。当蒸汽负荷发生变化而给水量不变时，锅炉水位将会发生变化；当给水压力发生变化而负荷不变时，锅炉水位也将会偏离规定的数值。

在图 1-1 (a) 的人工控制系统中，首先用眼睛观察安装在锅炉汽包上的玻璃管液位计中

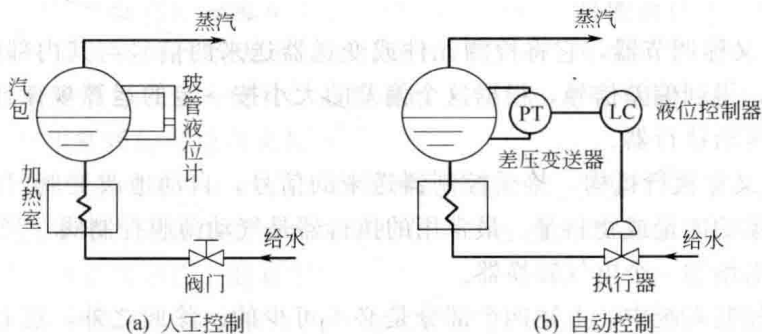


图 1-1 锅炉汽包水位控制示意图

的水位数值，经大脑思考，将观察到的数值与规定的数值进行比较，得到偏差，并根据此偏差的大小及变化趋势决定如何操作给水阀门，最后按思考的结果用手开大或关小给水阀门。不断地重复上述过程，直到汽包水位维持在规定的数值范围内。从这一过程可以看出，人工控制的劳动强度很大，而且要求操作人员必须具有一定的操作经验。当过程参数变化较快或操作条件要求较严格时，这种控制方法就很难满足控制精度要求。

与人工控制不同，图 1-1 (b) 的锅炉汽包水位自动控制系统中，采用过程测量仪表（本图为差压变送器的测量室）代替人眼的观察得到水位数据，通过信号转换及传输装置（本图为差压变送器）将该数据送到过程控制仪表（本图为液位控制器）。控制仪表（也称调节仪表）相当于人工控制中人的大脑，将变送器送来的信号与预先设定的水位信号进行比较得到两者的偏差，然后根据一定的控制算法（即控制器的控制规律）对该偏差加以计算得到相应的控制信号，将该信号传送给执行器（一般为自动控制阀），执行器根据控制信号的大小控制给水阀，改变给水量的大小。如此反复调节，直至水位回复到规定的高度范围，完成水位的自动控制。

比较自动控制与人工控制：在自动控制系统中，测量仪表、控制仪表、自动控制阀分别代替了人工控制中人的观察、思考和手动操作，因而大大降低了人的劳动强度；同时由于仪表的信号测量、运算、传输、动作速度远远高于人的观察、思考和操作速度，因此自动控制可以满足信号变化速度快、控制要求高的场合。

### 1.2.2 系统组成

从上面锅炉汽包水位的自动控制系统中可以看出，一个自动控制系统主要由两大部分组成：一部分是起控制作用的全套自动控制装置，它包括测量仪表、变送器、控制仪表以及执行器等；另一部分是自动控制装置控制下的生产设备，即被控对象，如锅炉、反应器、换热器等。图 1-1 (b) 中，锅炉、差压变送器、液位控制器、执行器等构成了一个完整的自动控制系统。系统各部分的作用如下。

① 被控对象 在自动控制系统中，工艺变量需要控制的生产设备或机器称为被控对象，简称对象。在化工生产中，各种塔器、反应器、泵、压缩机以及各种容器、储罐、储槽，甚至一段输送流体的管道或者复杂塔器（如精馏塔）的某一部分都可以是被控对象。图 1-1 中的锅炉即为锅炉汽包水位控制系统中的被控对象。

② 测量元件和变送器 测量需控制的工艺参数并将其转化为一种特定信号（电流信号或气压信号）的仪器，在自动控制系统中起着“眼睛”的作用，因此要求准确、及时、