

过程控制



教育部高等学校自动化专业
教学指导分委员会规划
工程应用型自动化专业系列教材

薛安克 孔亚广 主编

薛安克 孔亚广 陈雪亭 张日东 左燕 吕强 编著



教育部高等学校自动化专业
教学指导分委员会规划
工程应用型自动化专业系列教材

过程控制

Guocheng Kongzhi

薛安克 孔亚广 主 编
薛安克 孔亚广 陈雪亭
张日东 左 燕 吕 强 编 著



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

图书在版编目(CIP)数据

过程控制/薛安克,孔亚广主编;薛安克等编著.
--北京:高等教育出版社,2013.7
ISBN 978-7-04-037393-6

I. ①过… II. ①薛… ②孔… 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(2013)第 100052 号

策划编辑 王耀锋	责任编辑 王耀锋	封面设计 张雨薇	版式设计 杜微言
插图绘制 尹莉	责任校对 胡美萍	责任印制 刘思涵	

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 北京明月印务有限责任公司
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 14.75
字 数 330 千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
版 次 2013 年 7 月第 1 版
印 次 2013 年 7 月第 1 次印刷
定 价 23.50 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 37393-00

工程应用型自动化专业 课程体系研究与教材建设委员会

主任委员：吴 澄(清华大学)

副主任委员：韩九强(西安交通大学)

萧德云(清华大学)

薛安克(杭州电子科技大学)

专 家 委 员(按姓氏笔画)：

王 普(北京工业大学)

刘小河(北京信息科技大学)

吴晓蓓(南京理工大学)

赵光宙(浙江大学)

彭 瑜(上海工业自动化仪表研究院)

韩力群(北京工商大学)

任德祥(上海宝钢集团)

吴重光(北京化工大学)

张德江(长春工业大学)

凌志浩(华东理工大学)

谢克明(太原理工大学)

戴先中(东南大学)

委 员(按姓氏笔画)：

于微波(长春工业大学)

王 俊(合肥学院)

王再英(西安科技大学)

王建华(上海应用技术学院)

艾 红(北京信息科技大学)

张丽香(山西大学工程学院)

李现明(山东大学)

陈在平(天津理工大学)

周亚军(杭州电子科技大学)

胡向东(重庆邮电大学)

聂诗良(西南科技大学)

黄 坚(南京工程学院)

韩 颖(高等教育出版社)

孔亚广(杭州电子科技大学)

王万良(浙江工业大学)

王存旭(沈阳工程学院)

白 晶(北华大学)

许晓峰(沈阳工程学院)

李全利(哈尔滨理工大学)

汪贵平(长安大学)

陈桂友(山东大学)

罗 敏(湖北汽车工业学院)

徐昱琳(上海大学)

崔桂梅(内蒙古科技大学)

黄江平(华东交通大学)

薛为民(北京联合大学)

秘 书：韩 颖(兼)(高等教育出版社)

出版说明

为了适应高等工程教育改革,满足社会对工程应用型自动化专业人才的需要,在“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”主任委员吴澄院士的领导下,设立了“工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设”专项研究课题,从全国高等院校遴选了既有工程研究实践背景、又有教材编写经验的专家教授,以及企业界知名特邀代表共40余人,对工程应用型自动化专业的课程体系、教学内容进行系统深入的调查、分析和研究,提出了工程应用型自动化专业课程体系结构和系列教材的三级目录。采用个人报名、专家推荐、“工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设委员会”匿名评审相结合的方式,组织编写出版一套工程应用特点明显、国内一流的工程应用型自动化专业系列教材。

工程应用型自动化专业系列教材力求达到理论与应用相统一、教学与实际相结合、工程应用特点明显、国内一流。通过对人才市场需求、专业培养定位、自动化技术发展动态的分析研究,提出从实际工程应用自动化系统出发,结合系统中涉及的单元技术与理论方法,聚类归纳工程应用型自动化专业的课程体系结构,凝练解决自动化应用系统问题的每门课程的内容与知识点,使学生能够学以致用,能够解决工程实际应用问题。经过40多位专家教授的辛勤劳作,第一批19本工程应用型自动化专业系列教材于2010年陆续出版。为了满足不同应用背景、不同应用层次的工程需要,部分应用面广的同类教材有两种版本可供选用。

本系列教材主要内容覆盖自动化应用系统涉及的实用技术、理论与方法、器件与工具等内容。第一批教材包括针对自动化系统数据获取部分的机器视觉技术及应用、现代检测技术及应用等;系统驱动部分的电机与拖动、电力电子技术、电力拖动自动控制系统等;系统控制方法部分的自动控制原理、过程控制、运动控制等;控制器硬件设计部分的单片机原理、嵌入式系统、DSP原理、可编程控制器等;自动化系统部分的计算机控制、自动化系统集成、自动控制工程设计、自动化专业实践初步等;数据处理部分的控制工程数据库技术等。

本系列教材的主要特色在于注重课程体系的应用系统性和技术先进性,注重培养学生的自动化系统的集成组态设计能力和前瞻意识。课程体系按系统单元划分,教材章节按解决问题所需的知识安排,培养学生解决工程实际应用问题的针对性和有效性。在教材章节上尽可能引入相关新技术、新理论、新方法和新器件,培养学生利用新知识解决问题的思维方式和实际应用创新能力。

如何培养适应信息时代要求的工程师是我国高等工程教育改革的核心,也是本系列教材编写的主导思想。通过本系列教材的学习,使学生能够具备一个工程师进行自动化系统或相应系统设计开发以及选型集成的基本创新能力。本系列教材主要面向工程应用型自动化及相关专业的大学生和研究生。我们希望本套工程应用型系列教材的出版,能够有力促进我国高等院校工

程应用型自动化专业人才培养质量的提高,也能为广大科技工作者和工程技术人员提供参考和帮助。

感谢使用本系列教材的广大教师、学生和科技工作者的热情支持。欢迎提出宝贵批评意见和建议,请将您的建议反馈至 hanying@hep.com.cn。

工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设委员会

2009 年 12 月

序 一

自动化技术在我国现代化建设进程中具有重要地位。五十多年来,自动化技术对我国社会主义现代化建设的众多领域发挥了重要作用,产生了深远影响。最具代表性的两弹一星的成功发射、载人飞船的顺利返回、嫦娥探月的环绕飞行等充分体现了自动化技术在国家重大工程应用中的示范作用。自动化技术也有力地推动着我国整体工业的发展和改变着人们的生活方式,如集成制造系统的普及推广使机械加工制造自动化程度达到了更高的水平,服务机器人代替家政进入了家庭,改善了人们的生活环境,如此等等。

我国正在全面建设小康社会,走新型工业化道路,促进信息化与工业化的“两化”融合,实现工业、农业、国防和科学技术现代化。在此进程中,自动化技术起着不可替代的桥梁作用。这就迫切需要高等学校自动化专业办学机构和广大教师进行深入研究和探索,如何能够为各行各业输送大量具有工程实践能力和应用创新能力的工程应用型自动化专业高级技术人才。在“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”主任委员吴澄院士领导下,针对我国高等教育发展快、规模大、社会各行各业对工程应用型自动化专业人才需求量大的特点,按照大众化高等教育阶段分类指导的思想和原则,抓住有利时机,成立了“工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设委员会”,对工程应用型自动化专业的知识体系、课程体系、能力培养等进行了有益的探索,为工程应用型自动化专业人才培养、教材建设奠定了基础。

工程应用型自动化专业涉及面广、行业多,其人才培养模式与课程体系涉及的因素众多复杂,包括如何结合通识教育,拓宽应用口径、突出专业重心、强化实践教学、理论联系实际、提高应用创新能力等,其中构建既不照搬研究型、也不雷同技能训练型的工程应用型自动化专业课程体系,编写一套有利于促进面向不同行业、应对不同层次问题的工程应用型学生个性发展的一流教材尤为重要,着力培养学生由解决工程实际问题到提出新问题的探索思维方式,即运用知识的创新能力。“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”在对工程应用型自动化专业课程体系研究的基础上,从全国遴选有工程应用背景、有教材编写经验的教授与专家,组织编写了这套工程应用型自动化专业系列教材,这对工程应用型自动化专业人才的创新能力培养具有重要意义。作为长期从事自动化专业高等教育和研究队伍中的一员,在本系列教材即将付印之际,我谨向参与本系列教材规划、组织、编写工作的各位老师致以崇高的敬意!

希望广大教师、学生和科技人员积极使用这套教材,并提出宝贵意见。



2009年12月于北京

序 二

工程应用型自动化专业系列教材是“教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会”在组织实施全国高等学校自动化专业系列教材之后,按照《自动化学科专业发展战略研究报告》分层次、多模式、多规格培养的指导思想 and 原则,结合《高等学校本科自动化指导性专业规范》实施的又一套工程应用特点明显、国内一流的自动化专业系列教材。该系列教材力求达到教学与实际相结合、理论与应用相统一、案例教学与知识传授并举,培养学生解决实际问题的能力和运用新知识的集成创新能力,使工程应用型自动化专业的学生能够真正成为解决实际工程应用问题的工程师。

我国工程应用型自动化专业以往的课程体系与知识体系基本照搬研究型自动化专业课程体系,带有浓厚的“理论的应用、应用的理论”内容,工程应用特点不明显。这也正是规划工程应用型自动化专业系列教材所面临的主要问题。为此,设立了“工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设”的专项研究课题,成立了以西安交通大学韩九强教授、杭州电子科技大学薛安克教授、清华大学萧德云教授负责的联合研究小组,介入的高校达 40 多所,从全国遴选出 40 多名有工程实际背景和教材编写经验的教授和企业界知名代表。通过对工程应用型自动化专业的课程体系的深入研究,提出从实际工程应用自动化系统涉及的技术与理论方法出发,按自动化系统的组成,归纳分类工程应用型自动化专业的课程体系结构;分应用层次和对象功能凝练解决自动化应用系统中工程问题的知识内容与教材体系,建立知识传授与创新能力培养相结合的课程体系结构。以此为基础,组织规划了涵盖自动化应用系统涉及的数据获取、系统驱动、控制方法、数据处理、控制器设计、系统集成等 20 多门课程内容的系列教材。从数据获取到数据处理,从控制方法到控制器设计,从系统集成到组态工具,从课程体系到三级目录起草,先后经过了 6 次全国会议的认真研讨,凝聚着 40 多位专家教授的辛劳。教材主编采取个人申请,“工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设委员会”匿名评审确定,至此,第一批审定通过的 19 本工程应用型自动化专业系列教材于 2010 年陆续出版问世。

工程应用型自动化专业系列教材的出版,对工程应用型自动化专业知识体系的更新、教学方式的改变、工程实践的强化将起到积极的推动作用。但本系列教材从体系结构到每本教材的三级目录组成,以至每本教材的具体内容都可能存在许多不当之处,恳请使用本系列教材的老师、学生及各界人士不吝批评指正。

教育部高等学校自动化专业教学指导分委员会主任委员



2009 年 12 月于清华大学

前 言

过程控制是控制理论、生产工艺、计算机技术和仪器仪表知识等相结合的一门综合性应用课程,该课程的主要任务是在了解、熟悉、掌握生产工艺流程与生产过程的静态和动态特性的基础上,根据工艺要求,应用控制理论、现代控制技术,分析、设计和优化过程控制系统,并能联系生产实际,初步掌握系统工程设计的思想与方法。

针对我国高等教育发展快、规模大、社会各行各业对工程应用型人才需求量大的特点,在“工程应用型自动化专业课程体系研究与教材建设委员会”的指导下,我们对“过程控制”教材的内容安排、教材结构安排、选材和教学思想等进行了探索。

全书共分十二章。第一章为绪论,介绍过程控制系统的组成及相关技术指标。第二章为过程建模与过程特性描述,主要介绍典型过程特性及其数学描述,并介绍过程特性参数的获取方法。第三章为简单控制系统,主要包括简单控制系统的设计及参数整定技术,该章为全书的基础。第四章为复杂控制系统,包括串级、前馈、大迟延、比值、均匀、分程、选择等,该章为全书的重点。第五章为过程计算机控制系统介绍,包括计算机控制系统的典型结构以及主要计算机控制产品介绍,如和利时 MACS 系统和 Honeywell PKS 系统。第六章至第九章针对典型单元设备的控制进行了介绍。其中第六章为流体输送设备控制,介绍离心泵及离心压缩机的控制。第七章为反应器控制,介绍典型反应器的基本控制方案。第八章为传热设备控制,介绍了换热器传热过程的动态特性及基本控制方案。第九章为精馏塔控制,介绍了精馏塔的原理及基本控制方案。第十章至第十二章,针对典型行业的控制进行了介绍。其中第十章为火力发电厂大型单元机组的自动控制,介绍了单元机组控制系统、锅炉燃烧系统、锅炉给水系统及蒸汽温度控制系统。第十一章为冶金工业过程控制,简要介绍了氧气转化炉炼钢控制和初轧生产过程的控制。第十二章为间歇过程控制,介绍了间歇生产过程的特点及间歇过程控制方案。

本书由薛安克教授和孔亚广副教授担任主编,陈雪亭、张日东、左燕、吕强参加了本书的编著。

在编写过程中参阅了许多教授编写的同类教材,在此表示感谢。由于我们水平有限,错误和不当之处在所难免,殷切期望读者批评指正。编者邮箱为 ygkong@139.com。

编者

2013 年 3 月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010) 58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010) 82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

第1章 绪论	1	第3章 简单控制系统	29
1.1 概述	1	3.1 简单控制系统结构组成	29
1.2 过程控制系统	2	3.1.1 储液罐液位控制系统	29
1.2.1 过程控制系统的组成	2	3.1.2 蒸汽加热器温度控制系统	32
1.2.2 过程控制系统的分类	3	3.1.3 简单控制系统组成	34
1.2.3 过程控制系统结构及方框图	6	3.2 简单控制系统的设计	36
1.2.4 控制工艺图的组成及符号 解释	7	3.2.1 简单控制系统设计举例	36
1.3 过渡过程及品质指标	9	3.2.2 系统设计原则与步骤	38
1.3.1 稳态性能指标	9	3.2.3 对象特性对控制质量的影响	38
1.3.2 动态性能指标	10	3.2.4 被控变量的选择	39
1.4 小结	13	3.2.5 操纵变量的选择	40
习题	13	3.2.6 控制系统的调试与投运	40
第2章 过程建模与过程特性	14	3.3 控制器及其参数整定	41
2.1 典型受控过程	14	3.3.1 三种常规的控制规律	41
2.1.1 过程的数学描述	14	3.3.2 控制器的选型	46
2.1.2 纯滞后过程	15	3.3.3 控制器参数的工程整定	47
2.1.3 单容过程	15	3.4 调节阀	51
2.1.4 多容过程	16	3.4.1 气动调节阀的结构	51
2.1.5 具备反向特性的过程	16	3.4.2 调节阀流量特性	52
2.1.6 不稳定过程	18	3.4.3 气动调节阀选型	53
2.1.7 过程特性参数	18	3.5 小结	56
2.2 过程数学模型建立	19	习题	56
2.2.1 机理建模方法	19	第4章 复杂控制系统	58
2.2.2 实验建模方法	22	4.1 串级控制系统	58
2.3 小结	27	4.1.1 工作原理及分析	58
习题	28	4.1.2 系统设计	64
		4.1.3 调节器选型及参数整定	67
		4.2 前馈控制系统	68

4.2.1 前馈控制系统的几种结构形式	70	5.2 分布式计算机控制系统	105
4.2.2 前馈控制规律的实施	73	5.2.1 概述	105
4.3 大迟延过程系统	75	5.2.2 DCS 的网络结构及功能	106
4.3.1 常规控制方案的设计与实现 ...	75	5.2.3 DCS 的硬件结构及功能	106
4.3.2 预估补偿控制方案的设计与实现	75	5.2.4 DCS 的软件结构及功能	108
4.4 比值控制系统	76	5.2.5 DCS 的工程化设计	112
4.4.1 比值控制系统的类型	78	5.3 典型 DCS 控制系统	116
4.4.2 比值系数的计算	81	5.3.1 和利时 DCS 控制系统	116
4.4.3 比值控制方案的实施	81	5.3.2 HoneyWell PKS 控制系统	120
4.4.4 比值控制系统的投运和整定 ...	84	5.4 小结	123
4.5 均匀控制系统	84	习题	123
4.5.1 均匀控制系统的由来和目的 ...	84	第 6 章 流体输送设备控制	124
4.5.2 均匀控制的特点	85	6.1 泵和压缩机的基本控制	124
4.5.3 均匀控制方案	86	6.1.1 离心泵的工作原理	125
4.6 分程控制系统	89	6.1.2 离心泵的工作特性	126
4.6.1 分程控制系统的基本概念	89	6.1.3 离心泵的控制方案	128
4.6.2 分程控制系统的方案实施	92	6.2 离心压缩机防喘振控制	130
4.7 选择性控制系统	93	6.2.1 离心压缩机的喘振	130
4.7.1 概述	93	6.2.2 离心压缩机防喘振控制系 统的设计	132
4.7.2 选择控制设计应用	93	6.2.3 测量出口流量的可变极限 流量防喘振控制	135
4.7.3 其他选择控制系统	95	6.2.4 离心压缩机串并联时的防 喘振控制	135
4.8 阀位控制系统	97	6.3 小结	137
4.8.1 概述	97	习题	137
4.8.2 阀位控制系统的工作原理	98	第 7 章 反应器控制	139
4.9 非线性控制系统	98	7.1 概述	139
4.10 小结	101	7.1.1 化学反应的基本规律	139
习题	101	7.1.2 反应器温度数学模型	139
第 5 章 过程计算机控制系统	103	7.2 反应器的基本控制方案	141
5.1 计算机控制系统的组成及 分类	103	7.2.1 反应器的出料压力控制	141
5.1.1 计算机控制系统的组成	103	7.2.2 反应器的串级控制与分段	
5.1.2 计算机控制系统的分类	103		

温度控制	141	9.4 精馏塔的基本控制	169
7.3 典型反应器的控制方案	142	9.4.1 产品质量的开环控制	169
7.3.1 绝热反应器的控制方案	142	9.4.2 按精馏段指标的控制	170
7.3.2 聚合反应器的控制方案	143	9.4.3 按提馏段指标的控制	172
7.3.3 连续反应器的控制方案	144	9.4.4 精馏塔的塔压控制	173
7.4 小结	146	9.5 小结	175
习题	146	习题	175
第8章 传热设备控制	147	第10章 火力发电厂大型单元机组的	
8.1 概述	147	自动控制	176
8.1.1 热量传递的三种方式	147	10.1 大型单元机组的生产过程及	
8.1.2 换热设备的结构类型	148	其对控制的要求	176
8.1.3 换热设备的特性	150	10.2 单元机组控制系统	178
8.2 换热器控制	152	10.2.1 锅炉跟踪方式	178
8.2.1 控制方案的确定	152	10.2.2 汽机跟踪方式	178
8.2.2 传热设备简单控制方案的		10.2.3 机炉协调方式	179
实现	152	10.3 锅炉燃烧系统的控制	180
8.2.3 传热设备复杂控制方案的		10.3.1 燃烧过程自动控制任务	180
实现	156	10.3.2 蒸汽压力控制和燃料与空	
8.3 加热炉控制	159	气比值控制系统	181
8.3.1 加热炉的单回路控制方案 ..	159	10.3.3 燃烧过程中烟气氧含量闭	
8.3.2 加热炉的串级控制方案	160	环控制	181
8.4 小结	161	10.3.4 双交叉燃烧控制	184
习题	161	10.3.5 炉膛负压控制与安全保护	
第9章 精馏塔控制系统	162	系统	185
9.1 概述	162	10.4 锅炉给水控制系统	186
9.1.1 精馏原理	162	10.4.1 锅炉汽包水位的动态特性 ..	187
9.1.2 连续精馏装置和流程	162	10.4.2 锅炉汽包水位的控制	188
9.2 精馏塔的控制要求	163	10.5 蒸汽温度控制系统	193
9.3 影响精馏过程的因素	164	10.5.1 汽温调节对象动态特性	193
9.3.1 精馏塔的扰动分析	164	10.5.2 蒸汽温度控制系统	196
9.3.2 精馏塔的静态特性	164	10.5.3 1000 MW 超超临界机组	
9.3.3 精馏塔的动态特性	165	过热蒸汽温度控制实例	197
9.3.4 精馏塔被控变量的选择	167	10.6 小结	199
		习题	200

第 11 章 冶金工业过程控制	201	第 12 章 间歇过程控制	208
11.1 氧化转炉炼钢控制	201	12.1 间歇生产过程及控制	208
11.1.1 顶吹供氧控制系统	201	12.1.1 间歇生产过程特点	208
11.1.2 底吹供气控制系统	202	12.1.2 间歇生产过程控制系统	209
11.1.3 炉口微差压及煤气回收控制 制系统	203	12.2 间歇生产过程中的控制	211
11.2 初轧生产过程的控制	205	12.2.1 间歇生产过程的特殊控制 方法	211
11.2.1 均热炉的控制	205	12.2.2 间歇反应器的控制	212
11.2.2 轧制规程自动控制	206	12.3 小结	215
11.3 烧成预测控制	207	习题	215
11.4 小结	207	参考文献	217
习题	207		

第 1 章 绪 论

1.1 概 述

过程控制系统是以表征生产过程的参数(如温度、压力、流量、液位、成分、浓度等)为被控制量使之接近给定值或保持在给定范围内的自动控制系统。这里“过程”是指在生产装置或设备中进行的物质和能量的相互作用和转换过程。

在过程控制发展的历程中,生产过程的需求、控制理论的开拓和控制技术的进展三者相互影响、相互促进,推动了过程控制不断地向前发展。纵观过程控制的发展历史,大致经历了以下几个阶段。

20 世纪 40 年代:手工操作状态,只有少量的检测仪表用于生产过程,操作人员主要根据观测到的反映生产过程的关键参数来人工改变操作条件,凭经验去控制生产过程。

20 世纪 40 年代末—50 年代:过程控制系统多为单输入、单输出简单控制系统;参数检测采用基地式仪表或单元组合仪表(气动Ⅰ型或电动Ⅰ型);控制理论为以反馈为中心的经典控制理论。

20 世纪 60 年代:单元组合仪表(气动Ⅱ型和电动Ⅱ型)成为主流产品,随着计算机技术的发展,直接数字控制系统和监督计算机控制系统开始应用于过程控制领域。针对工业控制需求,出现了串级、比值、均匀、前馈和选择性等多种复杂控制系统。传统的单输入单输出系统发展到多输入多输出系统领域,出现了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基本特征的现代控制理论。

20 世纪 70—80 年代:自动化仪表出现了气动Ⅲ型、电动Ⅲ型。以微处理器为主要构成单元的智能控制装置,如集散控制系统(DCS)、可编程逻辑控制器(PLC)、工业 PC 机和数字控制器等,已成为控制装置的主流。微电子技术和计算机技术的发展,促进了控制系统的发展,使得最优控制、非线性分布式参数控制、解耦控制、模糊控制等先进控制得以成功应用。控制理论方面形成了大系统理论和智能控制理论。

20 世纪 90 年代至今:信息技术的飞速发展使得管控一体化、综合自动化成为生产过程控制的发展方向。总线控制系统的出现,引起过程控制系统体系结构和功能结构的重大变革。现场仪表的数字化和智能化,形成了真正意义上的全数字过程控制系统。各种智能仪表、变送器、无纸记录仪也相继出现。控制理论则重点研究人工智能、神经网络控制等智能控制。

1.2 过程控制系统

1.2.1 过程控制系统的组成

1. 过程控制系统实例

在锅炉正常运行中,汽包水位是一个重要的参数,它的高低直接影响着蒸汽的品质及锅炉的安全。水位过低,当负荷(蒸汽流量)很大时,汽化速度很快,汽包内的液体将全部汽化,导致锅炉烧干甚至会引起爆炸;水位过高会影响汽包的汽水分离,产生蒸汽带液现象,降低了蒸汽的质量和产量,严重时损坏后续设备。

为此,建立一套自动控制系统来保证锅炉汽包水位在期望的范围内。锅炉汽包水位控制示意图如图1-1所示。

(1) 要想实现对汽包水位的控制,首先应随时掌握水位的变化情况。能够检测液位的元件称为检测元件或变送器。

(2) 当检测到实际液位后,需要将接收到的液位信号与预先规定的水位高度进行比较,然后根据一定的控制规律来驱动相应的阀门输出控制信号,改变给水流量,从而达到保证液位的目的。这里将能接收检测信号、进行控制规律运算并输出控制信号的元件称为控制器,而根据控制信号来改变阀门开度的设备称为执行器。

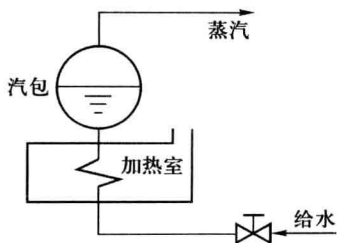


图 1-1 锅炉汽包水位控制示意图

2. 过程控制系统的组成

由上例可知,典型的过程控制系统一般由两部分组成:需要控制的工艺设备或机器以及一组自动控制装置。

下面介绍过程控制系统常用术语:

- (1) 被控对象——工艺参数需要控制的生产过程设备或机器等。如锅炉汽包。
- (2) 被控变量——被控对象中要求保持设定值的工艺参数。如汽包水位。
- (3) 操纵变量——受控制器操纵,用以克服扰动的影响使被控变量保持设定值的物料量或能量。如锅炉给水量。
- (4) 扰动量——除操纵变量外,作用于被控对象并引起被控变量变化的因素。如蒸汽负荷的变化、冷却水温度的变化等。
- (5) 给定值——被控变量的预定值。如汽包的期望水位。
- (6) 偏差——被控变量的给定值与实际值之差。在实际控制系统中,能够直接获取的信息是被控变量的测量值而不是实际值。因此,通常把给定值与测量值之差作为偏差。

1.2.2 过程控制系统的分类

1. 按系统的开环和闭环分类

(1) 开环控制系统

如图 1-2 所示,开环控制系统的特点是系统的被控量对系统的控制作用没有影响,没有任何闭合回路,其控制精度取决于系统各组成环节的精度。当系统存在干扰时,会直接影响被控量,而无法自动补偿,因而控制精度难以保证。所以这种系统只适用于输入和输出关系已知,且系统不存在干扰(或干扰很弱)的场合。

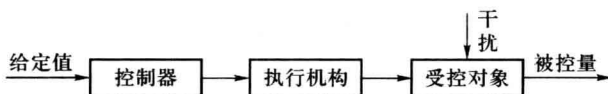


图 1-2 开环控制系统

如果存在破坏系统正常运行的干扰,而干扰又能被测量,则可利用干扰信号产生控制作用,以补偿干扰对被控量的影响,如图 1-3 所示。这种按开环补偿原理建立起来的系统称为“前馈控制”。前馈控制的具体实现将在第 4 章中加以介绍。

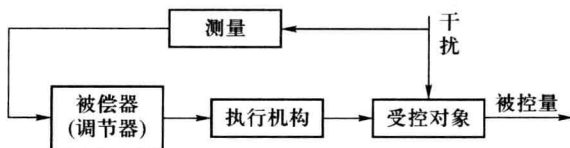


图 1-3 前馈控制系统

(2) 闭环控制系统

闭环控制系统的特点是系统的输出量(被控量)对控制作用有直接影响。图 1-4 所示的系统就是一个闭环控制系统。

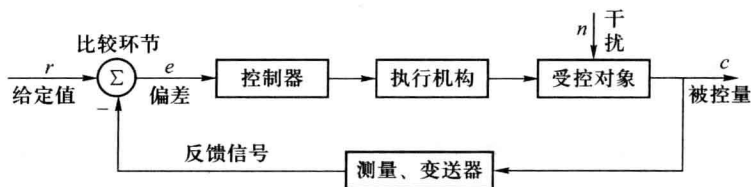


图 1-4 自动控制系统的方框图

由图 1-4 可知,系统的输出经测量、变送器后反送至系统的输入端形成所谓“反馈信号”。