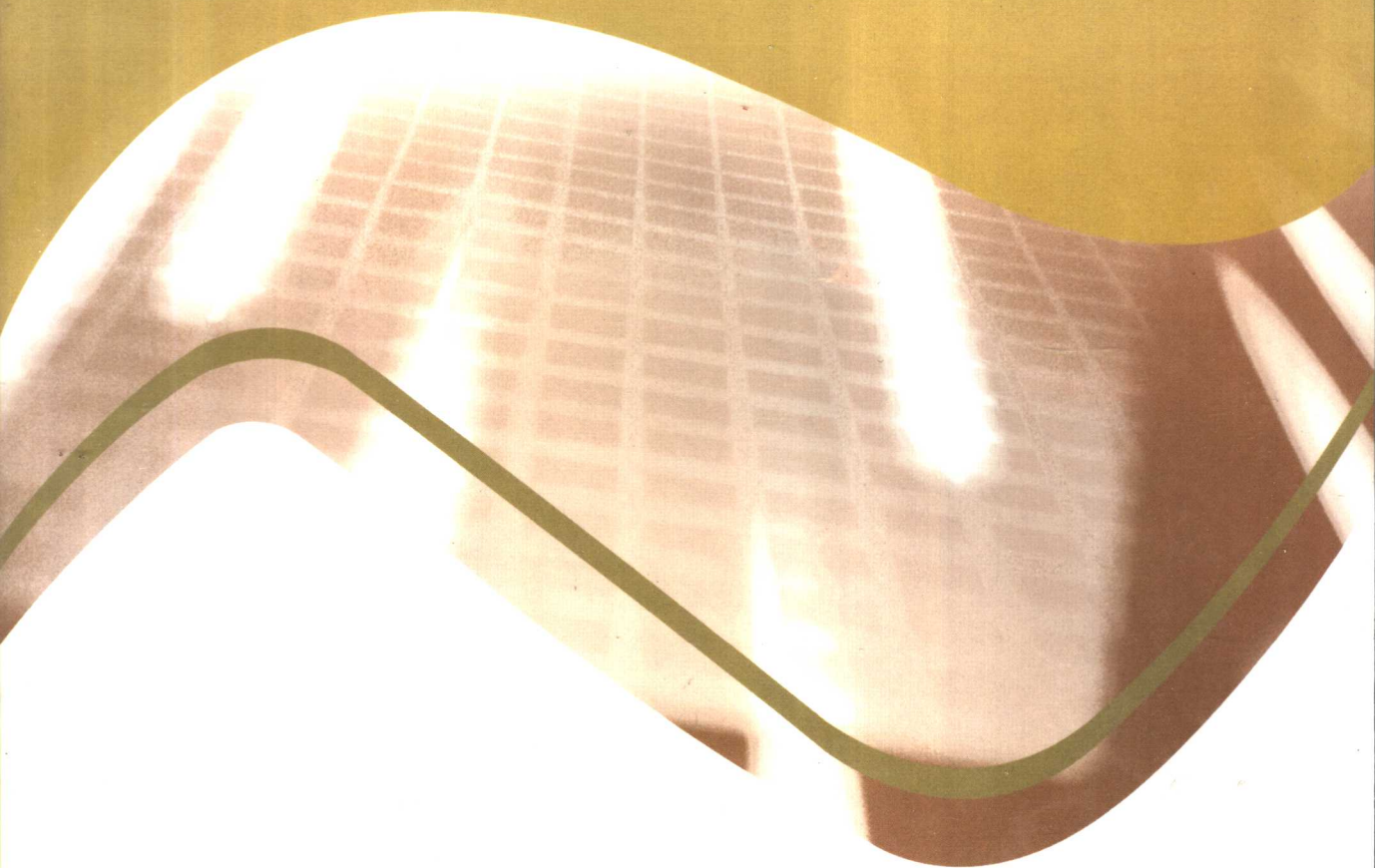




普通高等教育规划教材



过程控制

徐 兵 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



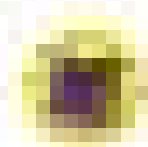
第2版 全国高等工科院校教材



过程控制

第二版

化学工业出版社



普通高等教育规划教材

过 程 控 制

主 编 徐 兵
副主编 王书林
参 编 陈积玉
主 审 王锡淮



机 械 工 业 出 版 社

本书是自动化专业的一门必修课教材。本课程是在学生学完电子技术基础、自动控制理论等课程以后所开设的自动化类专业课程。通过本书的教学或自修可以了解和掌握典型的过程控制系统和控制方案的工作原理和设计方法。

本书内容丰富,图、表、文并茂,详略得当,章节安排合理。本书注重应用型本科的教学特点,在简要阐明基本概念的基础上,结合实例介绍实际应用技术,可作为工业自动化、检测技术及仪器仪表等专业本科、函授、夜大等学生的教材,也可作为其他与过程控制技术有关联的专业入门读物。

图书在版编目(CIP)数据

过程控制/徐兵主编. —北京:机械工业出版社, 2004.8

普通高等教育规划教材

ISBN 7-111-14867-3

I. 过... II. 徐... III. 过程控制—高等学校—教材 IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 066656 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:王保家 苏颖杰 责任编辑:苏颖杰 版式设计:冉晓华

责任校对:肖琳 封面设计:姚毅 责任印制:施红

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm $1/16$ ·11.25 印张·273 千字

定价:18.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

普通高等教育应用型人才培养规划教材

编 审 委 员 会

主 任：刘国荣 湖南工程学院
副主任：左健民 南京工程学院
陈力华 上海工程技术大学
鲍 泓 北京联合大学
王文斌 机械工业出版社

委 员：（按姓氏笔画排序）

刘向东 华北航天工业学院
任淑淳 上海应用技术学院
何一鸣 常州工学院
陈文哲 福建工程学院
陈 峻 扬州大学
苏 群 黑龙江工程学院
娄炳林 湖南工程学院
梁景凯 哈尔滨工业大学(威海)
童幸生 江汉大学

自动化专业分委员会

主任：刘国荣 湖南工程学院
副主任：汤天浩 上海海事大学
梁景凯 哈尔滨工业大学(威海)

委员：(按姓氏笔画排序)

刘启中 上海工程技术大学
刘国繁 湖南工程学院
陈虹 扬州大学
宋丽蓉 南京工程学院
钱同惠 江汉大学
黄家善 福建工程学院

序

工程科学技术在推动人类文明的进步中一直起着发动机的作用。随着知识经济时代的到来,科学技术突飞猛进,国际竞争日趋激烈。特别是随着经济全球化发展和我国加入 WTO,世界制造业将逐步向我国转移。有人认为,我国将成为世界的“制造中心”。有鉴于此,工程教育的发展也因此面临着新的机遇和挑战。

迄今为止,我国高等工程教育已为经济战线培养了数百万专门人才,为经济的发展作出了巨大的贡献。但据 IMD1998 年的调查,我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标排名世界第 36 位,与我国科技人员总数排名世界第一形成很大的反差。这说明符合企业需要的工程技术人员特别是工程应用型技术人才市场供给不足。在此形势下,国家教育部近年来批准组建了一批以培养工程应用型本科人才为主的高等院校,并于 2001、2002 年两次举办了“应用型本科人才培养模式研讨会”,对工程应用型本科教育的办学思想和发展定位作了初步探讨。本系列教材就是在这种形势下组织编写的,以适应经济、社会发展对工程教育的新要求,满足高素质、强能力的工程应用型本科人才培养的需要。

航天工程的先驱、美国加州理工学院的冯·卡门教授有句名言:“科学家研究已有的世界,工程师创造未有的世界。”科学在于探索客观世界中存在的客观规律,所以科学强调分析,强调结论的惟一性。工程是人们综合应用科学(包括自然科学、技术科学和社会科学)理论和技术手段去改造客观世界的实践活动,所以它强调综合,强调方案优缺点的比较并做出论证和判断。这就是科学与工程的主要不同之处。这也就要求我们对工程应用型人才的培养和对科学研究型人才的培养应实施不同的培养方案,采用不同的培养模式,采用具有不同特点的教材。然而,我国目前的工程教育没有注意到这一点,而是:①过分侧重工程科学(分析)方面,轻视了工程实际训练方面,重理论,轻实践,没有足够的工程实践训练,工程教育的“学术化”倾向形成了“课题训练”的偏软现象,导致学生动手能力差。②人才培养模式、规格比较单一,课程结构不合理,知识面过窄,导致知识结构单一,所学知识中有一些内容已陈旧,交叉学科、信息学科的内容知之甚少,人文社会科学知识薄弱,学生创新能力不强。③教材单一,注重工程的科学分析,轻视工程实践能力的培养;注重理论知识的传授,轻视学生个性特别是创新精神的培养;注重教材的系统性和完整性,造成课程方面的相互重复、脱节等现象;缺乏工程应用背景,存在内容陈旧的现象。④老师缺乏工程实践经验,自身缺乏“工程训练”。⑤工程教育在实践中与经济、产业的联系不密切。要使我国工程教育适应经济、社会的发展,培养更多优秀的工程技术人才,我们必须努力改革。

组织编写本套系列教材,目的在于改革传统的高等工程教育教材,建设一套富有特色、有利于应用型人才培养的本科教材,满足工程应用型人才培养的要求。

本套系列教材的建设原则是:

1. 保证基础,确保后劲

科技的发展,要求工程技术人员必须具备终生学习的能力。为此,从内容安排上,保证学生有较厚实的基础,满足本科教学的基本要求,使学生日后具有较强的发展后劲。

2. 突出特色, 强化应用

围绕培养目标, 以工程应用为背景, 通过理论与工程实际相结合, 构建工程应用型本科教育系列教材特色。本套系列教材的内容、结构遵循如下9字方针: 知识新、结构新、重应用。教材内容的要求概括为: “精”、“新”、“广”、“用”。“精”指在融会贯通教学内容的基础上, 挑选出最基本的内容、方法及典型应用; “新”指将本学科前沿的新进展和有关的技术进步新成果、新应用等纳入教学内容, 以适应科学技术发展的需要。妥善处理好传统内容的继承与现代内容的引进。用现代的思想、观点和方法重新认识基础内容和引入现代科技的新内容, 并将这些按新的教学系统重新组织; “广”指在保持本学科基本体系下, 处理好与相邻以及交叉学科的关系; “用”指注重理论与实际融会贯通, 特别是注入工程意识, 包括经济、质量、环境等诸多因素对工程的影响。

3. 抓住重点, 合理配套

工程应用型本科教育系列教材的重点是专业课(专业基础课、专业课)教材的建设, 并做好与理论课教材建设同步的实践教材的建设, 力争做好与之配套的电子教材的建设。

4. 精选编者, 确保质量

遴选一批既具有丰富的工程实践经验, 又具有丰富的教学实践经验的教师担任编写任务, 以确保教材质量。

我们相信, 本套系列教材的出版, 对我国工程应用型人才培养质量的提高, 必将产生积极作用, 会为我国经济建设和社会发展作出一定的贡献。

机械工业出版社颇具魄力和眼光, 高瞻远瞩, 及时提出并组织编写这套系列教材, 他们为编好这套系列教材做了认真细致的工作, 并为该套系列教材的出版提供了许多有利的条件, 在此深表衷心感谢!

编 委 会 主 任

湖南工程学院院长

刘国荣教授

前 言

本书是为了适应高等院校培养应用型专业人才目标的需要而编写的。

近年来生产过程控制技术发展异常迅速,随着生产过程连续化、大型化的不断强化,随着人们对生产过程内在规律的进一步了解,以及智能仪表、计算机技术的不断发展,它获得了更大的进展。因此,有关过程控制技术的论著、教材纷纷问世,人们从各种不同的应用角度,力图更为系统地对这门学科进行论述和探讨。可以说在自动控制领域中,过程控制已独树一帜。它不仅在传统工业改造中起到了提高质量、节约原材料和能源、减少环境污染等十分重要的作用,而且正在成为新建的规模大、结构复杂的工业生产过程中不可缺少的组成部分。

本书在写作上注意深入浅出,讲清基本概念,同时力求反映近年来过程控制的新发展,尽可能做到重点突出、内容新颖、难易合适、切合实际。考虑到本书涉及的是一门工程实践性很强的学科,许多知识只有通过亲自动手实践才能真正掌握,本书尽量把实验内容结合到各有关章节中。此外,在每章后都附有习题与思考题,以加深和巩固学习效果。本教材参考学时数为46~50学时。

全书共分为九章:第一章介绍过程控制技术的发展概况、特点和性能指标等基本概念;第二章介绍过程对象的数学模型建立方法;第三章介绍调节器的结构及其调节规律;第四章介绍常用过程控制仪表及系统;第五章介绍执行器的原理和应用方法;第六章介绍设计及分析单回路过程控制系统的方法;第七章介绍改善性能指标的过程控制系统;第八章介绍实现特定要求的过程控制系统;第九章介绍过程控制系统的典型应用实例。

参加该书编写的人员有:上海应用技术学院徐兵副教授(第一、三、五章,第九章第一、三节)、陈积玉副教授(第二、六、七章,第九章第二节),南京工程学院王书林副教授(第四、八章)。

全书由徐兵担任主编,负责全书的修改、统稿和整理工作。本书由上海海事大学王锡淮教授担任主审。

在编写过程中,上海应用技术学院的钱平、徐锡年老师给予了大力支持,李岩等同志完成了大量的文字录入和校对工作,在此表示衷心的感谢!

限于作者的水平,加之时间仓促,书中难免还存在缺点和错误,敬请读者予以批评指正。

作者的电子邮件地址: xubing@163.com

编 者

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
第一节 过程控制技术的发展概况	1
第二节 过程控制系统的特点及其分类	3
第三节 过程控制系统的性能指标	7
习题与思考题	10
第二章 建立过程数学模型	12
第一节 数学模型的形式和作用	12
第二节 建立数学模型的方法	13
习题与思考题	22
第三章 调节器及其调节规律	23
第一节 调节规律	23
第二节 调节器	34
习题与思考题	37
第四章 过程控制仪表及系统	39
第一节 概述	39
第二节 温度检测仪表	42
第三节 压力检测仪表	48
第四节 流量测量仪表	52
第五节 液位检测仪表	57
第六节 成分分析仪表	60
第七节 集散型过程控制系统	65
习题与思考题	73
第五章 执行器	74
第一节 气动调节阀	74
第二节 调节阀的流量系数	78
第三节 调节阀的流量特性	79
第四节 电动执行器	83
第五节 执行器的选型	86
习题与思考题	89
第六章 单回路过程控制系统	90
第一节 单回路控制系统的组成	90
第二节 单回路控制系统的设计	92
第三节 调节阀在单回路系统中的应用	99
第四节 调节器的投运和参数整定	101
习题与思考题	107
第七章 改善性能指标的过程控制系统	109
第一节 串级控制系统	109
第二节 前馈控制系统	118
第三节 大纯滞后补偿系统	125
习题与思考题	126
第八章 实现特殊要求的过程控制系统	128
第一节 比值控制系统	128
第二节 均匀控制系统	134
第三节 分程控制系统	137
第四节 选择性控制系统	141
习题与思考题	145
第九章 过程控制系统的工程应用	146
第一节 典型传热设备的过程控制	146
第二节 典型传质设备的过程控制	155
第三节 过程控制系统的工程设计	163
习题与思考题	167
参考文献	168

第一章 绪 论

本章重点介绍过程控制系统的组成、特点、分类及其性能指标，第一节介绍过程控制技术的发展概况；第二节介绍过程控制系统的特点及其分类；第三节介绍过程控制系统的性能指标，讨论了评判过程控制系统性能优劣等问题。

第一节 过程控制技术的发展概况

过程控制是指在生产过程中，运用合适的控制策略，采用自动化仪表及系统来代替操作人员的部分或全部直接劳动，使生产过程在不同程度上自动地进行，所以过程控制又被称为生产过程自动化，广泛应用于石油、化工、冶金、机械、电力、轻工、纺织、建材、原子能等领域。过程控制系统是指自动控制系统的被控量是温度、压力、流量、液位、成分、粘度、湿度以及 PH 值等这样一些过程变量的控制系统。过程控制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，减轻劳动强度等方面具有巨大的作用。

自 20 世纪 70 年代以来，随着自动控制理论不断发展以及电子计算机的出现，过程控制系统已成为大型生产装置不可分割的重要组成部分。可以说，如果不配置合适的过程控制系统，大型的生产过程是根本无法正常运行的。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。

工业生产过程由简单到复杂，由小规模到大规模，直至今日，现代化、大型化或多品种、精细化的工业，生产出各种各样的产品以满足人们的生活需要。对这些工业生产过程的操作系统做到正确化、自动化和高效化。由于工业生产过程中实际问题的不断提出，促使理论研究不断地发展，同时理论研究的结果变成相应的自动化工具产品，用来解决生产实际问题。这样，生产实际问题、控制理论研究和控制系统三者共同作用，推动着过程控制技术的发展。

过程控制技术作为自动控制理论在工业过程控制领域中的应用分支，与控制理论一样更新发展着。从某种意义上说，过程控制是从工业生产实际出发而开创的自动控制方法与技术，而对于每个发展阶段的出现，都是生产实际问题、控制理论研究和控制系统三者共同作用的结果，也是技术与需求这一矛盾对立统一、相互作用的结果，是社会生产力发展的必然。表 1-1 列出了在现代工业发展的各个阶段中过程控制系统的主要特点。

表 1-1 过程控制系统的发展

时 间	技术背景及应用领域	过程控制系统的主要特点
1950 ~ 1960 年	技术背景：自动化生产雏形 应用领域：化工、钢铁、纺织、造纸	1. 采用压缩空气作为仪表的动力源 2. 气动信号传输标准：20 ~ 100kPa 3. 少量电动仪表采用真空电子管 4. 采用自动平衡记录仪作为记录仪表

(续)

时 间	技术背景及应用领域	过程控制系统的主要特点
1960 ~ 1970 年	技术背景: 进入电子管时代, 应用 半导体和计算机技术 应用领域: 石油化工、电力	1. 电动信号传输标准: DC0 ~ 10mA 2. 集中检测与控制技术 3. 电子模拟流程技术 4. 计算机直接控制技术(DDC)
1970 ~ 1980 年	技术背景: 现代化工业过程规模大 型化; 集成电路和微处理器技术广泛 应用 应用领域: 工业生产各个领域	1. 电动信号传输标准: DC4 ~ 20mA 2. 计算机辅助设计 3. 自动机械工具 4. 机器人 5. 集散控制系统 DCS 6. 可编程序控制器 PLC
1980 ~ 1990 年	技术背景: 办公自动化、数字化技 术、通信和网络技术应用环境保护的 要求 应用领域: 工业生产各个领域	1. 数字化仪表 2. 智能化仪表 3. 先进控制软件
1990 年至今	技术背景: 智能化和优化控制 应用领域: 工业生产各个领域	1. 现场总线 2. 分析仪器的在线应用 3. 优化控制

综观过程控制的发展历史, 大致分为三个阶段: 局部自动化阶段、集中控制阶段和集散控制阶段。

1. 局部自动化阶段(20 世纪 50 ~ 60 年代)

在 20 世纪 50 年代, 过程控制开始得到发展这一阶段的过程控制主要用于生产过程中单输入、单输出的控制系统; 被控参数主要有温度、压力、流量和液位四种参数, 控制目的是保持这些参数的稳定, 消除或者减少对生产过程控制指标的影响。

过程控制系统在这一阶段大多采用以标准压缩空气作为动力和信号的气动基地式仪表和少量的气动单元组合型仪表, 这样构成的过程控制系统, 主要解决被控参数在生产过程较为正常的情况下、为满足工艺要求的参数控制指标而进行的定值控制问题。大多数的测量仪表分散在各生产单元工艺设备上, 操作人员绕着生产现场查看仪表及采取相应的操作。

在这一阶段, 用于系统设计和系统分析的自动控制理论主要是以频率法和根轨迹法为主体的经典控制理论。对于过程控制来说, 从数学理论上进行研究, 最早提出的是 1942 年关于比例积分微分(PID)控制回路的整定规则, 这一规则至今还被过程控制工程界广泛采用。本书第三章将详细讨论有关 PID 控制的技术问题。

2. 集中控制阶段(20 世纪 60 ~ 70 年代)

20 世纪 60 年代, 随着世界范围内化学工业的迅速发展, 装置规模的扩大, 生产的复杂性和对产品质量要求的严格, 迫切要求单元生产过程集中管理与控制, 当初是以气动仪表对生产过程进行测量与控制, 因此需要大量的气动信号管线传送测量与控制设备。到了 20 世纪 70 年代, 随着电子技术的迅速发展, 半导体产品取代了电子真空管, 随后, 集成电路取代了分离元件, 电子仪表的可靠性、可使用性大大提高, 从而逐步替代了气动仪表。在这期间, 计算机在过程控制的应用, 引起了工业生产过程革命性的变化。

在这一阶段,人们通过长期的生产实践和经验积累,研究出了克服参数干扰、提高系统控制品质的过程控制方法,如串级控制、前馈控制等;以及在生产过程中为实现特定生产任务的过程控制系统,如比值控制、选择控制等。大多数的测量仪表通过电动或者气动变送器把信号统一送到区域内的集中控制室内,操作人员通过显示和控制仪表对生产过程的各种参数进行集中的监视和控制。

在过程控制理论方面,除了仍然采用经典控制理论以解决实际生产中遇到的问题外,例如,在20世纪60年代,过程控制的科学家和工程师对化工过程主要分离装置——精馏塔的控制,进行了许多卓有贡献的研究,并结合化工生产实际,写出了自动控制理论在工业过程中的应用评述论文,本书第九章详细介绍了精馏塔的过程控制技术。到了20世纪60年代中期,提出了工业过程数学模型的建立和研究方法。在第二阶段,现代控制理论开始在过程控制领域内应用,如模型预测控制算法、模糊控制算法以及计算机仿真等。

3. 集散控制阶段(20世纪70年代中期至今)

20世纪70年代中期,电子仪表和以微处理器为基础的集散型控制系统(DCS)开始在工业生产过程控制中应用。“集中管理,分散控制”的设计思想被所有的大型过程控制系统所接受并应用至今,无论从控制功能、系统可靠性、可操作性等方面讲,集散型控制系统在某种意义上集中管理,分散控制实现了过程控制工作者的梦想。所以,称集散型控制系统的出现是过程控制发展史上的里程碑是一点也不过分的。集散型控制系统的设计雏形是在一座工厂只设一个中央控制室,用CRT来监视、操作工厂的生产过程。

进入20世纪90年代以后,随着测量仪表数字化、通信系统网络化、集散型控制技术的成熟,工业生产过程控制进入微机化、数字化和网络化的时代,而工业生产过程的大型化、精细化,又要求进行生产过程的优化控制。由于生产过程的复杂性、高要求,一般的常规控制方法无法满足工业过程优化生产的要求。因此,基于模型的先进控制算法和优化控制算法成为现代工业生产过程优化操作与控制的关键。从1980年至1995年期间,在工业过程控制领域中掀起了现代过程控制理论的研究高潮,从而开创了工业过程控制发展历史过程中一个历史性的新局面。

目前,过程控制已进入信息化和网络化发展阶段,在以“信息化带动工业化”,不断提高生产过程自动化的应用水平的需求下,基于现场总线的集散型控制系统正在企业广泛应用,先进控制策略也逐渐被企业有效利用,从而转化成为巨大的经济效益和社会效益,在此基础上,过程自动化(PA)、工厂自动化(FA)、计算机集成过程控制(CIPS)、计算机集成制造系统(CIMS)和企业资源综合规划(ERP)等方案的实施和规划,正在成为提高工业生产过程经济效益的关键手段。

第二节 过程控制系统的特点及其分类

一、过程控制系统的特点

过程控制是自动化控制的一个重要分支,因此在具有与其他自动控制系统相似的性质之外,它具有自己的5个主要特点:

(1) 被控过程的多样性 过程控制系统是面向生产过程的自动控制系统,由于生产规模

不同, 工艺要求各异, 产品的品种多样, 因此过程控制中的被控过程的形式也是多种多样的。常见工业生产过程都是在较大型的设备中进行的, 像热工过程中的锅炉、热交换器; 冶金过程中的平炉、转炉; 机械工业过程中的热处理炉; 石油化工过程中的精馏塔、化学反应器、流体输送设备等。这些生产过程的工作机理复杂各异, 不同的过程需要不同的控制方法, 就像医生对待不同的病人需要不同的治疗方法一样。因此, 过程控制不具有通用性, 要设计能适应各种过程的通用控制系统是比较困难的。所以, 对于一个过程控制工作者, 必须熟悉被控过程的工作机理, 这是实现生产过程自动化的前提必要条件, 也是控制技术被冠以“过程”的主要原因。本书第二章将介绍获取及分析过程数学模型的基本方法。

(2) 系统由过程检测控制仪表组成 过程控制是通过采用各种检测仪表、控制仪表和电子计算机等自动化技术工具, 对整个生产过程进行自动检测和自动控制, 图 1-1 所示是过程控制系统的框图, 它反映了过程控制系统的基本组成, 也是分析过程控制系统工作原理常用的理论工具。从图中我们可以看出, 组成一个完整的过程控制系统一般有调节器、调节阀、被控对象和测量变送器四个环节, 其中调节器、调节阀和测量变送器都属于过程检测控制仪表, 所以, 也可以认为

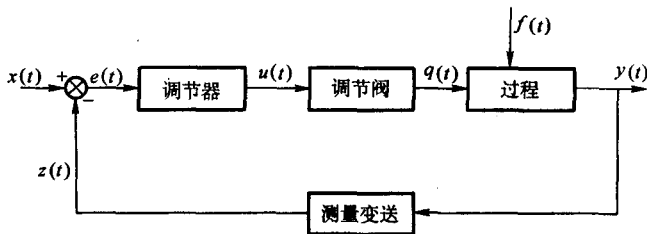


图 1-1 过程控制系统的框图

过程控制系统 = 过程检测控制仪表 + 被控对象

本书的第三、四、五章分别介绍了工业过程控制常用的过程检测控制仪表的工作原理和应用方法。

(3) 控制方案十分丰富 由于被控过程的多样性, 决定了控制方案的多样性。过程控制系统的控制方案有单变量及多变量控制方案; 有提高控制品质(即性能指标)的控制方案, 也有实现特定工艺操作要求的控制方案。本书第六、七、八章将详细介绍这些控制方案的工作原理和应用方法。

(4) 控制过程多属慢过程参量控制 在流程工业中, 常用一些物理量来表征生产过程是否正常, 这些物理量都以温度、压力、流量、液位、成分等参量表示。被控过程大多具有大惯性、大时延(滞后)等特点, 因此决定了控制过程是一个慢过程。所以, 过程控制的控制过程具有慢过程参量控制的特点。

(5) 定值控制是过程控制的一种主要控制形式 过程控制不同于航空器的姿态控制以及机器人的动作控制系统, 它的主要目的是减小或消除外界扰动对被控量的影响, 使被控量能控制在给定值上, 使生产稳定, 从而达到优质、高产、低消耗的目标。所以, 定值控制是过程控制的一种主要控制形式。

二、过程控制系统的分类

过程控制系统的分类方法有很多。例如, 按照被控变量的不同, 可以分为温度控制系统、压力控制系统等; 按照调节器控制规律可分为比例控制系统、比例积分控制系统等。在分析过程控制系统的特性时, 主要有以下几种分类方法。

1. 按给定值的特点分类

(1) 定值控制系统 定值控制系统是过程控制系统中应用最多的一种控制系统。在工业生产过程中,大多数场合要求被控变量(如温度、压力、流量、液位、成分等)保持恒定或在给定值附近。定值控制系统的给定值是恒定不变的,因此称为“定值”。控制系统的输出(即被控变量)应稳定在与给定值相对应的工艺指标上,或在规定工艺指标的上下很小范围内变化。图 1-2 所示是一个敞口容器的液位定值控制系统的控制流程图,图中虚线表示信号线,实线表示工艺介质管道。为了能够明显地区分信号线和工艺介质管线,本书中一律采用上述表示方法;有些章节中的流程图省略了测量变送器。为便于对控制系统进行理论分析,通常根据控制流程图,可得到相应的系统框图,如图 1-3 所示。

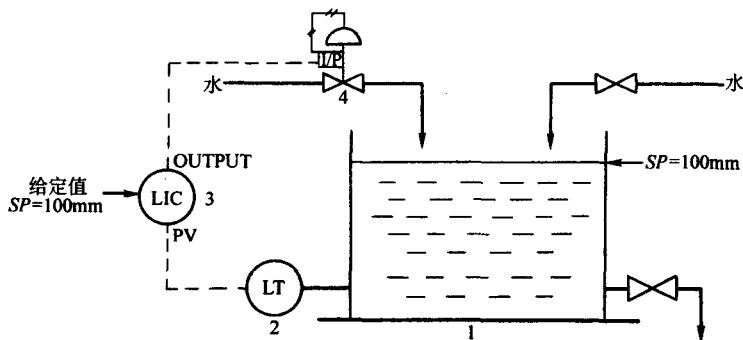


图 1-2 液位定值控制系统

1—敞口容器 2—液位变送器 3—调节器 4—气动调节阀

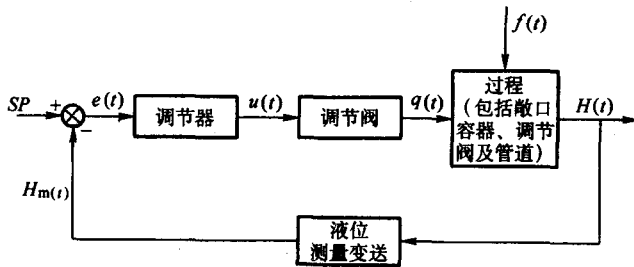


图 1-3 液位定值控制系统的控制框图

图 1-3 中的干扰 $f(t)$ 是指企图阻止控制系统实现定值控制的一切干扰因素。大部分的干扰是随机发生的,定值控制的过程也就是控制系统克服干扰,最终达到或接近给定值的过程。

(2) 随动控制系统 随动控制系统的给定值随时间任意地变化,其主要作用是克服一切扰动,使被控量迅速、准确无误地跟踪给定值的变化,因此这类系统又称为自动跟踪系统。在生产过程中,多见于复杂控制系统中,如图 1-4 所示的燃料油与空气的比值控制系统。

(3) 程序控制系统 程序控制系统被控量的给定值是按预定的时间程序而变化的。控制的目的是使被控量按规定的程序自动变化。这类系统在间歇生产过程中的应用比较广泛,如食品工业中的罐头杀菌温度控制、造纸工业中制浆蒸煮的温度控制、机械工业中的退火炉温度控制等。它们要求的温度指标不是一个恒定的数值,而是一个按工艺规程规定好的时间函

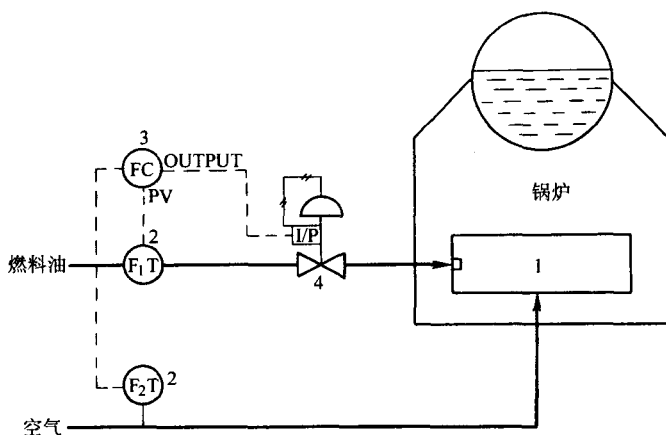


图 1-4 燃料油与空气的比值控制系统

1—炉膛 2—流量变送器 3—调节器 4—气动调节阀

数，具有一定的升温时间、保温时间和降温时间等。

2. 按系统克服干扰的方法分类

(1) 反馈控制系统 反馈控制系统是根据系统被控变量与给定值的偏差进行工作的，最后达到消除或减小偏差的目的，偏差值是控制的依据。

图 1-2 所示的液位控制系统，就是一个反馈控制系统。因为该系统由液位变送器作为反馈单元构成了一个闭合回路，所以又称为单回路闭环控制系统。这是过程控制系统中最基本，也是最重要的一种类型，它是分析研究多回路闭环控制系统的基础。本书第六章中详细介绍了单回路闭环控制系统的工作原理和应用方法。另外，反馈信号也可能有多个，从而构成一个以上的闭合回路，称为多回路反馈控制系统，如串级控制等复杂控制系统。

(2) 前馈控制系统 前馈控制系统是直接根据扰动量的大小进行工作的，扰动成为该类系统的控制依据。由于它没有被控变量的反馈，所以不构成闭合回路，故也称为开环控制系统。

图 1-5 所示为换热器温度前馈控制系统的控制流程图。在前馈控制中，扰动是引起被控量变化的原因，前馈调节器是根据扰动进行工作的，可及时抵消扰动对被控量的影响。换热器温度前馈控制系统根据冷物料量变化的扰动来控制加热蒸汽量，其控制目的是为了控制换热器热物料的温度，有效减小被控参数的动态偏差。但从流程图上，我们未能看到温度的显示及控制仪表，所以说前馈控制是一种开环控制。由于这种控制方法最终无法检查控制的效果，所以在实际生产中往往与其他控制方法组合使用，很少单独应用。本书第七章第二节详细讨论了前馈控制的工作原理和应用方法。

(3) 前馈-反馈控制系统 前馈-反馈控制系统是前馈控制系统与反馈控制系统复合在一起构成的控制系统。前馈控制系统的优点是能针对主要扰动迅速且及时地克服对被控量的影响；利用反馈控制来克服其他扰动，使系统在稳态时能准确地使被控量控制在给定值上。这样充分利用了前馈控制系统与反馈控制系统各自的优点，可以提高控制系统的控制品质。图 1-6 所示是锅炉汽包水位的前馈-反馈控制系统。本书第九章第二节以工业锅炉为例介绍了过程控制系统的工程应用。

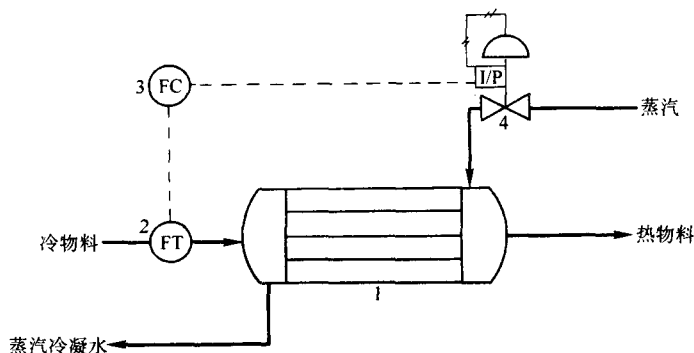


图 1-5 换热器温度前馈控制系统

1—换热器 2—流量变送器 3—调节器 4—气动调节阀

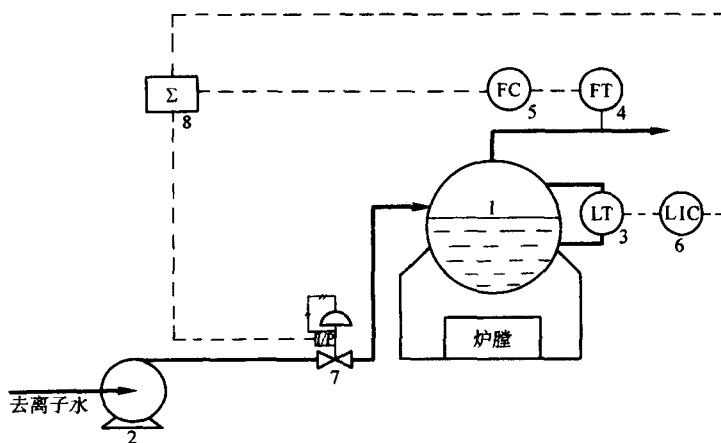


图 1-6 锅炉汽包水位的前馈-反馈控制系统

1—锅炉 2—离心泵 3—液位变送器 4—流量变送器
5—前馈调节器 6—反馈调节器 7—气动调节阀 8—加法器

第三节 过程控制系统的性能指标

过程控制系统开始执行控制任务到完成控制任务，其间发生被控参数的变化过程称为过程控制系统的过渡过程。在评价过程控制系统的性能指标时，通常是以与被控参数有关的阶跃干扰作为控制系统的输入，得到被控参数变化的不同过渡过程曲线，如图 1-7 所示的四种过渡过程基本形式。

在分析控制系统的过渡过程曲线时，首先人们总是希望得到一个衰减振荡的、最终呈稳态的过渡过程，如图 1-7b 所示。它能使被控变量在受到干扰作用后重新趋于稳定，满足控制速度快、回复时间短的控制要求。但每个衰减振荡过程的控制质量却并不完全相同。要评价和讨论一个控制系统性能的优劣，就必须建立统一的衡量指标，这些指标就是过程控制系统的性能指标。