

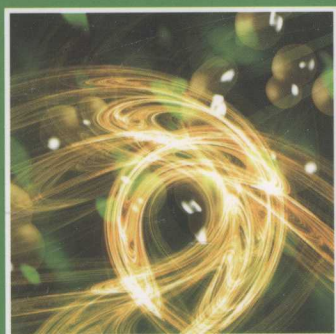
甘蔗糖生产

自动化和信息化(上册)

兰红星 易捷 编著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>



甘蔗糖生产

自动化和信息化(上册)

内容简介

《甘蔗糖生产自动化和信息化》共分上、中、下三册。上册主要介绍生产过程自动化和信息化的基础理论知识，中册介绍甘蔗糖生产全过程各主要工段的相关基本原理、工艺方法和设备特点，下册比较详细地介绍了制糖生产全过程各主要工段的信息技术应用方式方法，还附有实际例子和参数、表格，以及部分源代码及说明。

对于有自控及信息技术专业基础的本科生和研究生，可直接阅读中册后，结合专业阅读下册，通过实例可体会到工艺设备如何与信息技术相结合。对于糖化工专业的研究生或者企业技术人员，通过阅读上册了解自动控制的相关概念和理论后，也可直接在下册中看信息技术的实例。



责任编辑 徐蔷薇

封面设计：一克米工作室



ISBN 978-7-121-21603-9



9 787121 216039 >

定价：118.00元
(上、中、下册)

TS244
9:1

甘蔗糖生产自动化和信息化

(上册)

兰红星 易捷 编著

昆明理工大学图书馆
呈贡校区
中文藏书章



03002215934

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

《甘蔗糖生产自动化和信息化》共分上、中、下三册。上册主要介绍生产过程自动化和信息化的基础理论知识,中册介绍甘蔗糖生产全过程各主要工段的相关基本原理、工艺方法和设备特点,下册比较详细地介绍了制糖生产全过程各主要工段的信息技术应用方式方法,还附有实际例子和参数、表格,以及部分源代码及说明。

对于有自控及信息技术专业基础的本科生和研究生,可直接阅读中册后,结合专业阅读下册,通过实例可体会到工艺设备如何与信息技术相结合。对于糖化工专业的研究生或者企业技术人员,通过阅读上册了解自动控制的相关概念和理论后,也可直接在下册中看信息技术应用的实例。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

甘蔗糖生产自动化和信息化:全3册/兰红星,易捷编著. —北京:电子工业出版社,2013.10
ISBN 978-7-121-21603-9

I. ①甘… II. ①兰…②易… III. ①甘蔗制糖-生产自动化②信息技术-应用-甘蔗制糖
IV. ①TS244

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第235384号

责任编辑:徐蔷薇 特约编辑:王 纲 劳嫦娟 赵树刚

印 刷:三河市鑫金马印装有限公司

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编100036

开 本:787×1092 1/16 印张:73 字数:1687千字

印 次:2013年10月第1次印刷

定 价:118.00元(上、中、下册)

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

序

2008年美国金融危机爆发、特别是欧债危机发生以来,除了分析研究危机的成因之外,国内外一些战略家和历史学者力图从技术和产业发展历史进程的分析,寻找危机的真相和化解危机的办法。在这个过程中,产生了很多研究成果,包括美国学者杰里米·里夫金的专著《第三次工业革命》和英国《经济学家》杂志专栏作家保罗·麦基里的同名论文,彼特·马什的《新工业革命》,美国通用电气(GE)公司的报告《工业互联网:突破智慧与机器的界限》,以及德国国家科学与工程院的研究报告《工业4.0》。这些研究虽然侧重点各有不同,标志性概念也存在较大差距,但也有其共同点,那就是都认为由于材料、能源、装备、工艺技术的新进展与信息技术的发展结合在一起,一场新的产业革命已经在全球范围内孕育发展。这场革命将继承并发展工业革命以来人类社会取得的全部科学、技术和产业革命的成果。在赛柏(Cyber)-物理空间将信息生产力和工业生产力集成在一起,把材料、能源、信息三种资源的融合利用在广度和深度上推进到一个前所未有的新阶段,从而为化解危机、实现经济社会发展转型提供新的技术范式和商业模式。

从今天的实际形态看,3D打印和电子商务最能说明这场变革的发展和意义。3D打印也称为“添加式制造”,通过逐层堆积材料一次成型生产产品,颠覆了传统制造工艺,在节能降耗、提高产品质量等方面具有显著的优点。我看了北京航空航天大学金属三维成型制造,将金属粉末在激光高温下融化,并逐步叠加,形成复杂的飞机关键构件。这是工业生产力和信息生产力结合的典型例子:材料技术——钛合金粉末,能源技术——激光熔化和成型,信息技术——CAM的完美结合,实现了革命性突破。

3D打印说明了制造领域两化融合,而电子商务则在更广泛的领域说明这次变革的实质。电子商务不仅意味着商务、贸易、物流、支付、生产方式的变化,更由于产业链、供应链、价值链在全新的信息平台下更加广泛和深入的协同,以大数据、云计算为代表的新技术、新模式、先进的信息基础设施和工业生产各要素的融合发展,促使制造业从大规模、标准化、低成本的模式走向大平台、个性化、高价值、需求主导的生产,影响深刻、意义深远。

新工业革命之所以在当前发生,其主要原因是信息技术和应用发展进入整体性转折点。处理、存储技术在现有技术还有四个数量级的提升潜力,量子、生物等新的技术期待突破;传输技术在现有技术上正在走向端到端G级带宽,泛在网将实现无所不在、无所不能的通信;感知获取技术正在快速发展普及,使人类获取信息资源的能力进入一个全新的阶段,为智能化创造条件;显示反应技术,与感知、网络能力一起提升了反应、行动能力,逐步替代人的工作;内容技术是信息技术体系的核心环节,信息组织、

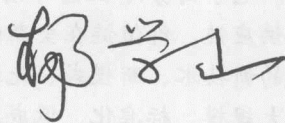
管理和利用与需求的匹配度不断提升,并能应对数量的快速增长;软件与系统集成技术的发展趋于满足复杂的赛柏-物理系统统一平台的要求,满足设备和技术的多样化、非结构化事务、2 的 100 次方级大数据的组织与利用、跨领域且相对松散的事务处理、设备(系统)控制与事务处理的融合等复杂系统的应用需求。

而这些技术进步集中体现在宽带、移动互联、物联网、云计算、大数据、智慧城市(智能技术)这六个方面。宽带是信息时代基础设施的必然要求,是信息化发展的基石;移动互联为方便廉价保证质量的应用模式提供了可能;物联网为智能化发展奠定了技术和系统的基础;云计算提供满足更加广泛、复杂应用的新模式;大数据则是实现转型发展、新工业革命的核心环节;以智慧城市为代表的,智能交通、智能电网、智能物流、智能医疗、智能城管、智能水务、智能制造、商业智能……这一系列关于智慧、智能的名词,深刻展示了新工业革命的特点,在更加广泛、深度融合的赛柏-物理空间,以自动化、智能化、网络化、数字化为特征,以新的方式加速人类社会现代化进程,全面提升劳动生产率,提升公共服务的质量和效率,提升全体人民的生活质量。

兰红星等人的著作——《甘蔗糖生产自动化和信息化》,虽然篇幅长了些,但值得一读。本书通过解剖甘蔗糖生产自动化和信息化这个“麻雀”,完整阐述了工业生产力与信息生产力发展、融合的理论和实践,对我们理解当前发生的新工业革命,具有重要的参考价值。我十分赞成理解两化融合的理论基础从自动控制理论开始,基于自动控制理论的工业控制系统是两化融合的先驱。我同样十分赞成从工业控制系统开始理解两化融合的实践。

《甘蔗糖生产自动化和信息化》总结了到现在为止的甘蔗糖生产领域的技术、理论、实践。历史在发展,技术在进步,我们需要总结技术和产业发展新趋势,从历史和战略的高度,进一步探索符合中国国情的两化融合规律,在新一轮产业革命发展的关键时刻,抢占先机,扎实推进经济社会发展转型,打造中国经济升级版,为实现两个百年的发展目标和中华复兴的中国梦做出切实的贡献。

是以为序。



工业和信息化部副部长、教授

2013 年 7 月 26 日

前言

制糖是一个很古老的行业，它伴随着糖料作物的农业生产存在，并伴随着科学技术的提高而不断发展。人类发明和运用制糖技术以中国和印度为最早。据说在 2200 年前的周朝末年，中国人已经知道提取蔗汁。约在 1400 年前，以甘蔗为原料的制糖技术已经初步形成了。到唐宋时期，我国的手工制糖业已很兴盛，糖坊林立，遍及华南和西南。宋朝王灼撰写的《糖霜谱》一书是我国制糖技术的最早经典著作。用石灰法制造含蜜糖粉、片糖，用糖漏分离赤砂糖，用保温法制造冰糖等技术，在我国民间广为流传。20 世纪 30 年代以后，一些新的工业技术逐步应用于制糖生产的流程中，如糖料萃取提汁过程中的扩散、渗透、渗析、滤洗；糖汁提净过程中的电离、絮凝、吸附、离子交换；浓缩结晶过程中的蒸发、结晶等，使制糖工艺不断发展完善。20 世纪 80 年代以后，制糖工业更是广泛采用了现代控制技术。可见，制糖业在它的发展历程中经历了 18 世纪后半期以蒸汽动力为代表的工业革命和 20 世纪以原子能、半导体、化学为代表的工业革命，各种先进生产技术的不断渗透，使原始的手工作坊发展成为具有较高机械化、电气化水平的大型企业，制糖实现了工业化生产。

进入 21 世纪以来，经济全球化正迅速改变着世界的产业格局，糖料的生产、消费成为摆在世界范围内考虑的问题。在我们编写这本书时，全世界的制糖业面临着新的形势：第一，发达国家的食糖消费量已达顶峰且略有下降，而发展中国家的食糖消费量暂时还增长不快；第二，原料甘蔗的生产受气候变化的影响和种植收益预期的影响较大，致使原料甘蔗的产量起伏震荡，波及制糖企业，导致整个行业产量及效益不稳定；第三，在世界范围内正开展着一场“新的工业革命”，以信息技术为代表的新技术浪潮将会又一次改变整个制糖工业的面貌。信息化技术由于能够有效减少资源消耗和环境污染，提高产品质量和劳动生产率，实现资源的循环利用，大幅度提高企业的经济效益，成为企业提高竞争力的必然选择。

运用大型机械装置的企业加工能力越来越强，总希望满负荷生产，而甘蔗是季节性收获的农作物，制糖生产需要按榨季进行。起伏不稳的原料来源和震荡变化的市场行情给制糖企业的生产、管理带来了很大挑战，同时，大规模生产过程中产生的大量废水、废糖蜜、滤泥等工业污染也增加了，如果生产的工艺、设备、控制协调不好，会造成生产指标的恶化、能源利用效率的下降和生产成本的上升。因此，将自动控制理论、传感技术、计算机技术、网络技术及先进管理方法融合进生产过程中，逐步实现精准生产，以适应原料来源和市场的变化，这一需求越来越迫切。

经过千百年的进化尤其是最近一个世纪工程技术人员的努力，现代的制糖工业生产

技术已发展成为了由以下三个领域的技术内容构成、缺一不可并日益紧密结合的技术结构:

- (1) 以化学工程为主体的工艺技术, 决定了制糖生产的方法;
- (2) 以机械和动力为主体的设备配置, 使生产能够大规模进行;
- (3) 以自动检测技术、自动控制理论和数学模型为主体的过程控制技术, 保证了各种机器设备能够协调运转, 生产能够按人的意志正常进行或加以改变。

本书大体按这三个领域来编写, 介绍当前国内外制糖行业采用的典型生产工艺、设备装置和常用的自动化信息化系统, 对国际上先进的制糖自动化领域正在研究开发的方法、设备和数学模型及其研究状况也做了简要介绍。上册主要介绍生产过程自动化和信息化的基础理论知识, 中册介绍甘蔗糖生产全过程各主要工段的相关基本原理、工艺方法和设备特点, 下册比较详细地介绍了制糖生产全过程各主要工段的信息技术应用方式方法, 还附有实际例子和参数、表格, 以及部分源代码及说明。对于有自控及信息技术专业基础的本科生和研究生, 可直接阅读中册后, 结合专业阅读下册, 通过实例可体会到工艺设备如何与信息技术相结合。对于糖化工专业的研究生或者企业技术人员, 通过阅读上册了解自动控制的相关概念和理论后, 也可直接在下册中看到信息技术应用的实例。书中介绍的部分内容是作者实际研发的成果, 这些系统和装置一直在我国南方和东南亚、非洲、中南美洲等多家糖厂的生产线上发挥作用。

本书分三册共二十六章。上册自动化、信息化基础篇和下册应用篇由兰红星研究员、易捷研究员、许家坤工程师和蓝晨华工程师编写。中册是工艺和设备篇, 其中的第十二、第十三和第十七章由周少基博士编写; 第十、第十一、第十四和第十八章由黄谷亮副教授编写; 第十五、第十六和第十九章由苏元艺高级工程师、萧亦枪高级工程师和章超工程师编写。

本书在编写过程中有幸得到广西宏智科技集团、广西大学、广西华蓝设计集团及云南英茂糖业、广西农垦糖业、广西上上糖业、广西华盛廖平糖业、云南孟连昌裕糖业等糖业集团的帮助, 他们给本书提供了很多成功的实用工艺、控制设备和控制模式的例子, 他们对本书内容安排等也提出了不少宝贵意见, 使书中内容更加丰富、准确, 谨此向他们表示深深谢意! 对参与本书文字整理工作的杨冰、唐妍等广西宏智科技集团员工表示衷心的感谢!

作者

2013年4月

目 录

自动化、信息化基础篇

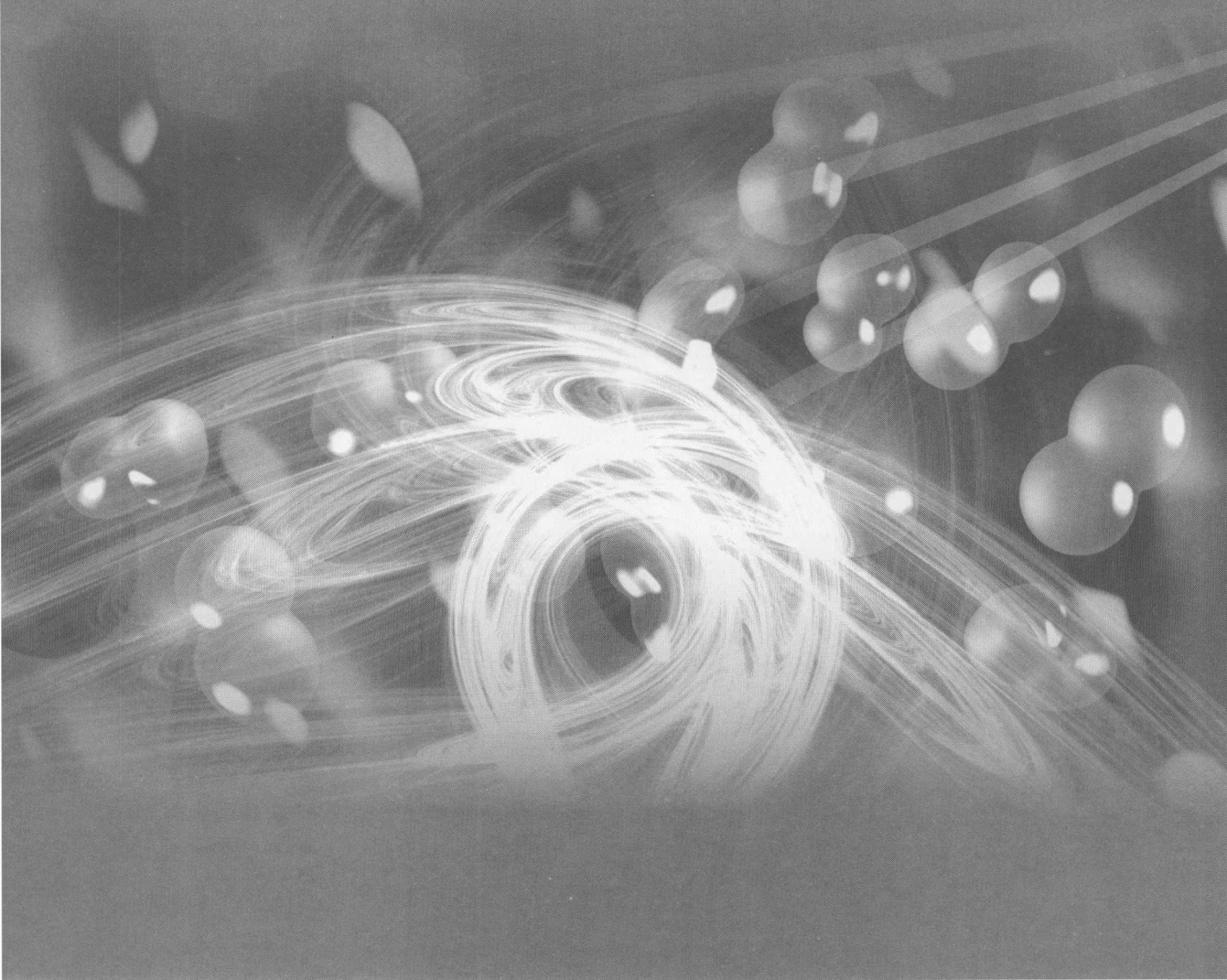
第一章 自动控制理论的一般概念	(3)
第一节 控制理论的发展	(3)
第二节 经典控制理论	(5)
一、自动控制的基本概念	(6)
二、自动控制系统的基本形式	(7)
三、自动控制系统分类	(12)
四、对自动控制系统的基本要求	(15)
第三节 现代控制理论	(16)
一、如何按一定目标来确定一个控制函数(最优控制)	(16)
二、如何从受到随机干扰的输出 $y(t)$ 来求状态向量 $x(t)$ (最优估计)	(17)
三、如何为一个承受随机干扰的系统按一定目标确定一个控制函数(随机最优控制) ...	(18)
四、如何从动态系统输入和输出求系统的方程(动态系统辨识问题)	(19)
五、如何用各种直接或间接辨识系统动态特性的方法随时调整控制律得到最优控制 (适应控制问题)	(20)
第二章 过程控制基础	(22)
第一节 过程与过程控制	(22)
一、生产过程自动化的发展概况和趋势	(22)
二、过程控制的任务和要求	(29)
三、过程控制的任务由控制系统的设计和实现来完成	(30)
四、控制系统的组成、分类与性能指标	(32)
第二节 几种常用过程控制系统的分析与设计	(36)
一、单回路控制系统	(36)
二、串级控制系统	(41)
三、比值调节系统	(50)
四、均匀控制系统	(55)
五、前馈控制系统	(60)
六、选择性控制系统	(68)

七、分程控制系统	(72)
八、多冲量调节系统	(73)
第三章 自动检测技术与传感器	(79)
第一节 检测技术的基本概念	(79)
一、测量的概念和定义	(79)
二、测量仪表的基本功能	(81)
第二节 检测仪表的构成和基本性能	(82)
一、测量仪表的构成	(82)
二、仪表的基本性能	(83)
第三节 检测技术的发展概况	(86)
一、在测量概念方面	(86)
二、在测量对象和测量领域方面	(87)
三、在测量工具和方法方面	(87)
四、在测量理论方面	(87)
第四节 几种专用传感器	(88)
一、新一代的差压流量计——威力巴流量探头	(88)
二、核子秤	(96)
三、微波锤度计	(102)
四、微波水分仪	(108)
五、近红外水分仪	(110)
六、近红外色谱仪	(115)
七、射线料位计	(119)
第四章 过程控制系统的现场级——检测仪表和执行器	(123)
第一节 常用的传感器和检测仪表	(123)
一、传感器	(123)
二、变送器	(123)
三、几种常见被控变量的检测	(125)
第二节 执行器	(167)
一、调节阀	(167)
二、变频调速器	(188)
第五章 过程控制系统的控制管理级	(196)
第一节 监视、控制级	(196)
一、模拟调节器	(196)
二、单元组合仪表	(196)
三、单、多回路数字调节器	(196)
四、直接数字控制系统	(197)
五、DCS 控制站	(199)
六、现场监视站	(209)

七、PLC 与 ESD 站	(210)
八、现场总线控制系统 (FCS)	(210)
第二节 操作、管理级	(211)
第三节 网络与通信	(212)
一、早期通信方式	(212)
二、网络基础	(213)
三、网络参考模型与通信栈	(216)
四、通信模型	(218)
五、数据传输方式	(219)
六、信息传输过程	(219)
七、过程控制常用的数据链路层协议	(221)
八、工业以太网	(224)
第四节 支撑软件	(226)
一、系统软件	(226)
二、编程语言	(233)
三、基本应用软件	(233)
四、HMI 软件	(235)
五、组态软件	(235)
第五节 高层软件	(235)
第六章 集散控制系统 (DCS)	(238)
第一节 DCS 概述	(238)
一、集散控制系统的基本定义	(238)
二、集散控制系统的优点	(238)
三、DCS 的构成	(239)
第二节 DCS 的硬件系统	(239)
一、现场控制站	(240)
二、工程师站和操作员站	(254)
三、系统服务器	(257)
四、系统网络	(259)
五、高层管理网络	(259)
六、其他功能站	(260)
第三节 DCS 的软件系统	(260)
一、DCS 的主要功能	(260)
二、DCS 控制站软件	(262)
三、人机界面 (HMI) 软件	(280)
四、DCS 管理服务器软件	(285)
五、系统自诊断和故障切换	(290)
六、工程师站组态软件	(291)

七、先进控制及高层应用软件	(295)
第七章 可编程控制器 (PLC)	(297)
第一节 PLC 概述	(297)
一、PLC 的特点	(297)
二、PLC 的分类	(298)
第二节 PLC 的工作原理	(300)
第三节 PLC 的结构	(302)
一、PLC 的组成	(302)
二、PLC 的接口模块	(304)
第四节 PLC 的编程	(309)
一、PLC 的系统配置	(309)
二、PLC 的通信网络	(313)
三、PLC 的编程环境	(315)
第八章 现场总线控制系统 (FCS)	(318)
一、现场总线控制系统概述	(318)
二、现场总线控制系统的组成	(319)
三、现场总线控制系统的特点	(320)
四、现场总线控制系统的功能	(321)
五、现场总线控制系统的应用	(323)
第九章 信息化系统	(325)
第一节 信息系统基础知识	(325)
一、信息系统	(325)
二、信息系统建设	(328)
三、信息系统开发方法	(331)
第二节 云计算	(334)
一、云计算的概念与特点	(334)
二、云计算的应用	(336)
三、基础设施即服务 (IaaS)	(338)
四、平台即服务 (PaaS)	(342)
五、软件即服务 (SaaS)	(344)
第三节 物联网	(345)
一、物联网的基本概念	(345)
二、物联网的层次结构	(346)
三、物联网的相关领域与技术	(348)
四、物联网的应用	(351)
参考文献	(353)

自动化、信息化 基础篇



第一章 自动控制理论的一般概念

“控制”，是一个很一般的术语或概念，日常生活中随处可见，自然界中的任何事物都受到不同程度的控制。

在工程技术领域，“控制”是指为了克服各种扰动的影响，达到预定的目标，对生产机械或生产过程中的某一个或某一些物理量进行的操作。

所谓自动控制，就是在没有人参与的情况下，利用自动控制装置（通常简称控制器）使整个生产过程或生产机械（通常简称控制对象或被控对象）自动地按预先指定的规律运行，或使它的某些参数（称为被控量或被控变量）按预定的规律变化。

在对被控量进行控制时，按照系统中是否有人参与，可分为人工控制和自动控制。若由人来完成对被控量的控制，称为人工控制；若由自动控制装置代替人来完成这种操作，称为自动控制。

第一节 控制理论的发展

自动控制理论是研究自动控制技术的基础理论和自动控制共同规律的技术科学。

近几十年来，自动控制技术得到了迅速的发展，并已广泛应用于工农业生产、交通运输、国防建设和航空航天等多个领域。随着科学技术和生产的进一步发展，在各个专业的工程领域中，它的作用越来越重要，已成为现代科学技术中最有发展前途的学科之一。

第二次世界大战期间，由于军事装备的需要，随动系统的技术和理论有很大的发展。

到20世纪50年代末期，以反馈控制理论为基础的自动控制理论已形成比较完整的理论体系，称为经典控制理论或古典控制理论。它以传递函数为基础，主要研究单输入单输出反馈控制系统的理论问题，采用的主要研究方法是根轨迹法和频域法。

20世纪60年代以来，由于航空航天技术、微电子技术、计算机技术等科学技术的高度发展，对控制系统提出了更高的要求，在理论上迫切需要解决经典控制理论所不能解决的多输入多输出（MIMO）、最优控制、多变量、变参数、非线性等控制理论问题，使自动控制理论出现了新的飞跃，进入了现代控制理论的阶段。

近年来，随着科学技术的进一步发展，现代控制理论在大系统工程、人工智能控制等方面继续向前深入发展，显示出自动控制理论和自动控制技术的无可估量的发展前景和巨大潜力。

控制理论包括经典控制理论和现代控制理论两大部分。

所谓经典控制理论，一般是指以单变量系统为主，用根轨迹法或频域法研究控制系统动态特性的理论。

在特定输入下研究系统输出的运动规律称为系统分析。

按一定动态性能要求(系统的稳定性、误差精度和各种动态指标如飞升时间、带宽、超调量和误差系数,等等)来改变这种运动规律称为系统综合。

当然,在经典控制理论发展的过程中,开始和后来都曾用过时域方法(微分方程、差分方程和积分方程),但频域法还是主导的(即使是随机过程中的维纳—霍甫积分方程也用频域法来解)。在发展过程中,某些指标的优化问题、多变量问题、采样系统问题逐步被提到日程上来,并得到了在当时被认为是较好的解决。

现代控制理论是在经典控制理论的基础上逐步发展起来的。它是以时域法,特别是以状态空间方法为主,研究系统状态的运动规律,并按所要求的各种指标最优为目标来改变这种运动规律。

现代控制理论的发展和计算机的普遍应用分不开,经典控制理论中以图表、特制曲线(奈奎斯特曲线、伯德图、尼柯尔斯图、根轨迹等)和特制计算尺为主要计算、分析、设计工具,而现代控制理论中以各种语言设计计算程序为主要设计手段。现代控制理论中不少方法是适应这种计算和特点形成的,例如,迭代算法和递推算法。前者解决了原来无法解决的多变量复杂关系的数值解问题,最优化技术——控制理论、滤波技术、数学规划等一系列学科的根本技术之所以在目前应用得如此普遍,和迭代算法的推广是分不开的。后者则更是一切计算机在线控制系统(在线最优控制、卡尔曼滤波、在线动态系统辨识、自适应滤波和自适应控制等)的基础。

现代控制理论本身在深度和广度上也是不断发展的,现在已很难严格地为它指定一个范围,况且越来越多的经典控制理论中用之有效的方法已渗透到现代控制理论内部,如零极点配置和频域方法,“现代”两个字再加在控制理论的前面已不太能作为一个含义明确的定语了。

理论归根结底是从实践发展来的,它来自实践,但又反过来指导实践。控制理论的发展又一次说明了这一真理。

远在经典控制理论形成之前,就有蒸汽机的飞轮调速器、鱼雷的航向控制系统、航海罗经的稳定器、放大电路的镇定器等自动化系统和装置出现。这些都是不自觉地应用了反馈控制概念而构成的自动控制器件和系统的成功例子。但是我们何尝知道在控制理论形成之前的漫长岁月中,由于缺乏理论指导而失败了的无数次的实践和尝试。

20世纪20年代至40年代,马诺尔斯基、奈奎斯特、海任、伯德等,当然也包括维纳的工作为经典控制理论奠定了基础,促进了第二次世界大战中许多武器和通信自动化系统的研制工作。第二次世界大战后,麦克考尔、吉姆斯、尼柯尔斯和菲利浦斯等总结了武器系统研制和设计方面的实践经验,陆续出版了许多著作。这些理论对战后的许多实际自动控制工程起到了良好的指导作用,为人类在较短时间内征服宇宙空间做出了贡献。

事物是不停地发展的,第二次世界大战后到20世纪50年代中期,控制理论中又添加了根轨迹法、非线性系统的谐波近似法(描述函数法)、采样控制系统、自寻最优问题和部分最优控制,多变量控制,系统灵敏度分析和系统动态测试等新篇幅。

最具有决定性意义的是状态空间方法的应用、极大值原理和卡尔曼滤波技术的提出。有人就曾把这三件事，或再加上贝尔曼的动态规划方法，作为现代控制理论的起点。

20 世纪 60 年代以来，现代控制理论各方面都有明显进展，而且已形成了几个分支学科：线性系统理论、最优控制理论、自适应控制、动态系统辨识、大系统理论。有些分支学科还渗透到了相邻学科中，如滤波技术和适应滤波、自学习理论和人工智能、系统辨识和建模理论、大系统理论和系统工程，等等。

经典控制理论和现代控制理论要点对照如表 1-1 所示。

表 1-1 经典控制理论和现代控制理论要点对照

	经典控制理论	现代控制理论
研究对象	单输入单输出的单变量系统、定常系统	线性系统和非线性系统，定常系统和时变系统，单变量系统和多变量系统
数学方法	以输入/输出特性（主要是传递函数）为系统数学模型，数学基础是拉普拉斯变换，数学方法有频率分析法和根轨迹法（1950 年发明）	侧重于对系统的状态变量的描述。有状态空间法（强调能控性、能观测性）、极大值原理、动态规划、卡尔曼滤波
研究方向	① 系统运动的稳定性 ② 时间域和频率域中系统的运动特性（过渡过程、频率响应） ③ 控制系统的设计原理和校正方法	① 线性系统理论 ② 非线性系统理论 ③ 最优控制理论 ④ 随机控制理论 ⑤ 自适应控制理论
组成	线性控制理论 采样控制理论 非线性控制理论	线性系统理论 非线性系统理论 最优控制理论 随机控制理论 自适应控制理论

为便于大家形象地理解自动控制系统的构成，以拟人方式简述系统构成，如表 1-2 所示。

表 1-2 拟人方式的系统构成

人	控制系统	
眼、耳、鼻、舌、身	传感器（如热电偶、差压变送器的一次/二次仪表等）	硬件
大脑	控制器（如 DCS、PLC、计算机等）	
手、脚	执行器（如气动、电动阀门、变频器等）	
思想（知识系统、受过的专业训练）及思维能力	成熟、可靠的软件	软件

第二节 经典控制理论

自动控制理论是研究自动控制共同规律的技术科学。

控制技术的广泛应用，不仅将人们从繁重的体力劳动和大量重复性的操作中解放出