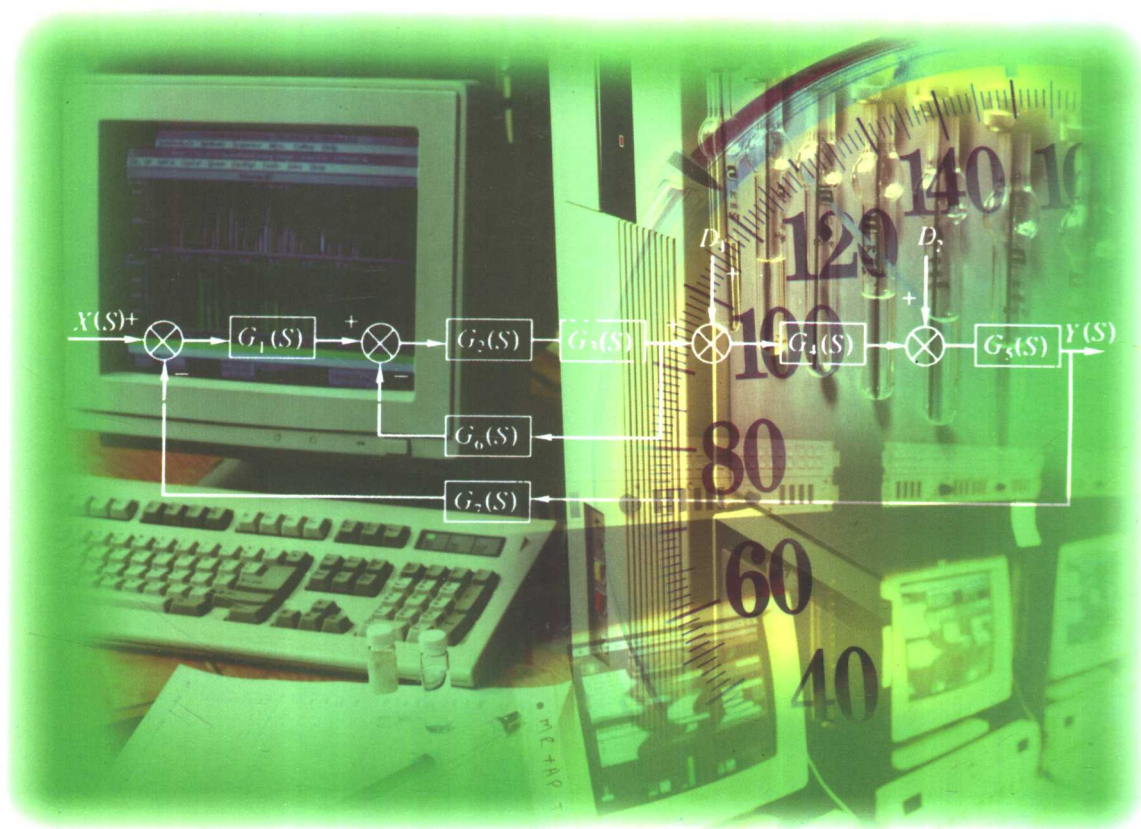


· 高等学校专业教材 ·

制浆造纸过程自动测量与控制

· 刘焕彬 主编 ·



中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

制浆造纸过程自动测量与控制/刘焕彬主编. — 北京:
中国轻工业出版社, 2003. 8

高等学校专业教材

ISBN 7-5019-3978-0

I. 制… II. 刘… III. ①制浆-自动检测系统-高等学校-教材 ②造纸-自动检测系统-高等学校-教材 ③制浆-自动控制系统-高等学校-教材 ④造纸-自动控制系统-高等学校-教材 IV. TS7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 038917 号

责任编辑: 林 媛

策划编辑: 林 媛 责任终审: 滕炎福 封面设计: 李云飞

版式设计: 郭文慧 责任校对: 燕 杰 责任监印: 吴京一

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印 刷: 三河市宏达印刷有限公司

经 销: 各地新华书店

版 次: 2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 1 次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 23.25

字 数: 600 千字

书 号: ISBN 7-5019-3978-0/TS·2367

定 价: 46.00 元

读者服务部电话(咨询): 010-88390691 88390105 传真: 88390106

(邮购): 010-65241695 85111729 传真: 85111730

发行电话: 010-65128898

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

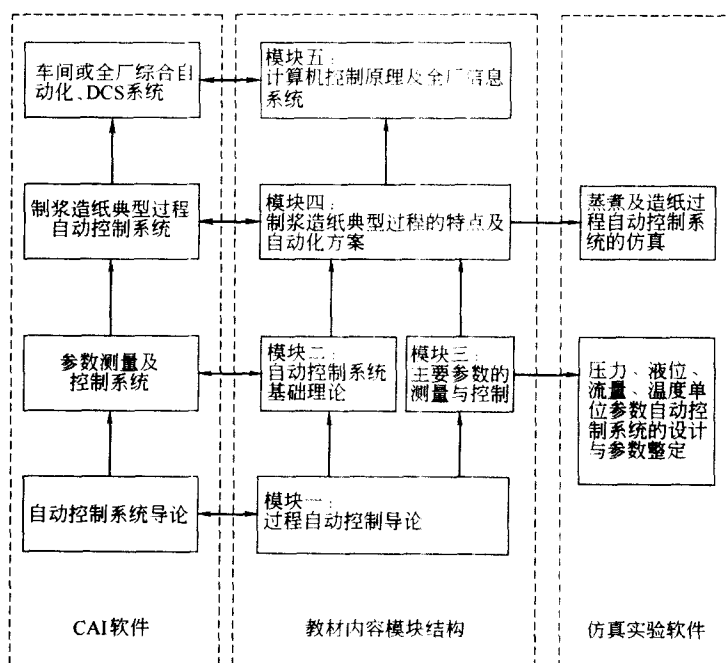
如发现图书残缺请直接与我社读者服务部(邮购)联系调换

30260J1X101ZBW

前 言

在发展我国造纸工业和实现造纸工业现代化过程中，必须坚持以信息化带动工业化，以工业化促进信息化，走新型工业化的道路。自动化是工业化和信息化之间的“桥梁”。提高制浆造纸过程自动化水平不仅需要自动化工程技术人员努力，而且需要制浆造纸工程技术人员的密切配合。同时，安装在生产过程中的各种自动化装置和系统如同生产设备一样是供工程技术人员使用的工具。因此，从事制浆造纸工程技术工作者应该学习和掌握生产过程自动化的基本知识，以适应造纸工业现代化的需要。

编写本书的目的是使读者能掌握制浆造纸生产过程中主要变量的测量原理，正确地选用和使用有关仪表；能运用自动控制的基本理论去设计简单控制系统，能结合制浆造纸过程的要求，提出各工序的自动化方案，为自动化系统设计提供有关要求和数据；了解计算机分散控制系统（DCS）、全厂自动化、全厂信息化等新技术在制浆造纸生产过程中的应用。



全书由五个内容模块组成。过程自动控制导论模块介绍自动控制系统的组成和有关概念；自动控制系统基础理论模块讲述自动控制系统的组成、原理和设计；主要变量的测量与控制模块讲述制浆造纸过程变量的测量原理和仪表及控制方案；制浆造纸典型过程的特点及自动化方案模块介绍国内外应用的典型过程自动化方案；计算机控制及全厂信息化模块介绍计算机控制原理及全厂自动化、信息化的组成。本书注重从应用的角度出发，深入浅出地介绍有关问题。在介绍变量测量时，重点放在各变量的特点、测量原理与方法以及仪表的选用，而仪表的结构只作一般的介绍。在介绍自动控制系统时，重点放在从设计和使用好简单控制系统这一实际问题出发，介绍自动控制系统的组成、基本原理和影响因素。在介绍自动

控制系统在造纸过程中的应用时，通过若干典型事例的分析讲解，使读者能分析一个工段或车间的自动化系统的作用及相互关系。

由于本书内容采用模块结构，作为教材时各学校可根据不同的教学要求和学时安排，采用不同的模块组合。为配合教材内容的教学和方便读者自学，配套编写了本书主要章节的CAI教学软件和自动控制仿真实验软件，以提高学生的学习积极性和教学效果。

本书共十七章，由华南理工大学刘焕彬教授主编。其中第一、二、三、四、五、十一、十二、十四、十七章由华南理工大学刘焕彬教授、沈文浩副教授编写；第十、十三、十五、十六章由陕西科技大学王孟效教授、李茜副教授编写；第六、七、八、九章由天津科技大学白瑞祥副教授编写。CAI教学软件由沈文浩副教授编写，仿真实验软件由闫东波副教授和沈文浩副教授编写。如各院校需要以上两种软件，请与华南理工大学联系购买。全书由华南理工大学自动化学院院长朱学峰教授主审。编者对主审和有关部门在编写过程中给予的帮助和支持表示由衷的感谢。

编者

2003年5月

目 录

第一篇 过程自动控制导论

第一章 导论	1
第一节 自动化及其发展概况	1
一、自动化	1
二、自动控制理论的发展	1
第二节 自动控制系统	3
一、自动控制是人工控制的模仿与发展	3
二、自动控制系统的基本概念及特点	4
第三节 自动控制系统的特性	5
一、系统的静态过程、动态过程和过渡过程	5
二、自动控制系统的质量指标	6
第四节 自动控制系统设计概述	6
一、过程控制的任务	7
二、自动控制系统的设计要求	7
思考题与习题	9
第二章 控制对象特性及数学模型的建立	11
第一节 对象特性和数学模型的建立	11
一、用机理分析法建立一阶过程数学模型	11
二、二阶过程的数学模型	16
三、具有纯滞后特性对象的数学模型	17
四、高阶过程的数学模型	18
五、二阶对象和高阶对象数学模型的简化	18
第二节 描述被控对象特性的参数	19
一、被控对象的负荷及自衡	19
二、放大系数 K	20
三、时间常数 T	21
四、滞后时间 τ	22
第三节 拉氏变换和传递函数	24
一、拉氏变换	24
二、传递函数	28
第四节 过程辨识	33
一、过程辨识的内容和步骤	33
二、过程辨识模型结构和参数	34
三、最小二乘法辨识过程的数学模型结构和参数	35

四、用机理—实验法建立过程的数学模型	37
思考题与习题	39
第三章 控制器及其特征	40
第一节 控制器的特性	40
一、比例调节规律	40
二、积分 (I) 调节规律及比例积分 (PI) 调节规律	41
三、微分调节 (D) 规律和比例积分微分调节 (PID) 规律	42
四、不同调节规律控制器的特性及选用	43
第二节 控制器的组成	43
一、控制器的基本组成	43
二、电动控制器	44
第三节 智能控制器简介	46
一、增强型 PID 控制规律分析	46
二、改进型 PID 控制算法	47
三、虚拟调节仪表发展趋势	49
思考题与习题	49
第四章 变送器及其特性	51
第一节 变送器的构成原理及其特性	51
一、变送器的理想输入输出特性	51
二、变送器的构成原理及其数学模型	51
三、不同测量转换特性的变送器	52
第二节 测量变送过程中的滞后问题	52
一、变送器安装位置引起纯滞后问题	53
二、变送器的测量滞后的问题	53
三、测量信号传递滞后的影响	53
第三节 变送器的量程调整、零点调整和零点迁移	54
一、量程调整	54
二、零点调整和零点迁移	54
思考题与习题	54
第五章 调节阀及其特性	55
第一节 调节阀的构成和特性	55
一、调节阀的构成	55
二、气动执行机构的构成和特性	55
三、电动执行机构的构成和特性	56
四、调节机构的种类和特性	58
第二节 调节阀的选用	61
一、调节阀执行机构的选择	61
二、调节机构的选择	62
三、调节阀流量特性的选择	63
四、调节阀口径的计算和选择	64

思考题与习题	66
第六章 简单控制系统	67
第一节 简单控制系统设计概述	67
一、简单控制系统的工作过程	68
二、控制系统的工程要点	69
第二节 简单控制系统的方案设计	69
一、被控变量的确定	69
二、调节变量的确定	70
三、测量变送装置的选择	72
四、调节阀的选择	73
五、控制器的选择	73
第三节 简单控制系统的投运及控制器的参数整定	75
一、控制器的参数整定	75
二、系统的投运及运行	80
思考题与习题	82
第七章 复杂控制系统	84
第一节 串级控制系统	84
一、串级控制系统的组成	84
二、串级控制系统的特点和设计原则	86
三、串级控制系统控制器的选择及工程整定	89
第二节 比值控制系统	91
一、比值控制系统的类型及组成	91
二、比值控制系统的实施	93
三、比值控制系统的参数整定	95
第三节 前馈控制系统	95
一、前馈控制系统的组成	95
二、静态与动态前馈控制系统	96
三、前馈—反馈控制系统	97
四、前馈控制系统的应用及工程整定	98
第四节 高级控制系统	100
一、大纯滞后过程的控制系统	100
二、解耦控制系统	102
三、预测控制系统	105
四、适应型控制系统	107
思考题与习题	109

第二篇 主要变量的测量与控制

第八章 常用变量的测量与控制	111
第一节 压力	111
一、压力测量仪的分类与原理	112

二、压力控制系统·····	120
第二节 液位·····	120
一、液位测量仪的分类与原理·····	120
二、液位控制系统·····	125
第三节 流量·····	126
一、流量计的分类与原理·····	126
二、流量控制系统·····	131
第四节 温度·····	134
一、温度计的分类与原理·····	134
二、热电偶温度计·····	136
三、热电阻温度计·····	141
四、温度变送器·····	143
五、温度仪表的使用·····	144
六、温度控制系统·····	145
思考题与习题·····	147
第九章 浓度的测量与控制·····	149
第一节 溶液浓度·····	149
一、电极法测量浓度的基本原理·····	149
二、pH 值的测量与控制·····	151
第二节 溶液密度·····	154
一、溶液浓度、密度与相对密度的关系·····	154
二、溶液浓度的光学测量方法——折光仪·····	154
三、溶液密度的测量与控制·····	156
第三节 纸浆浓度·····	158
一、中浓纸浆浓度的测量与控制·····	158
二、低浓纸浆浓度的测量与控制·····	164
第四节 纸浆打浆度·····	166
一、纸浆打浆度测量仪·····	167
二、打浆度控制·····	169
思考题与习题·····	171
第十章 纸张质量指标的在线测量·····	172
第一节 纸张水分的测量·····	172
一、红外线水分仪·····	172
二、微波水分仪·····	176
第二节 纸张定量的测量·····	179
一、测量原理·····	179
二、 β -射线纸张定量仪·····	180
第三节 纸张定量和水分的纵向和横向分布测量·····	182
第四节 纸张灰分测量仪·····	183

第三篇 制浆造纸典型过程的自动化方案

第十一章 制浆过程的自动控制系统	185
第一节 自动化方案制定原则	185
一、自动化工程设计简介.....	185
二、自动化方案的制定.....	185
第二节 碱法蒸煮过程自动控制系统	186
一、被调变量的确定.....	186
二、装锅过程的控制.....	186
三、蒸煮温度和压力的程序控制.....	188
四、间歇蒸煮过程的计算机控制.....	189
五、连续蒸煮过程的计算机控制.....	193
第三节 机械制浆过程自动控制系统	194
一、控制要点及控制参数的选择.....	194
二、控制系统.....	195
第四节 废纸制浆控制系统	197
一、废纸制浆工艺对自控系统的要求.....	197
二、废纸脱墨过程自控系统.....	198
第五节 洗选过程自动控制系统	201
一、洗浆过程.....	201
二、筛选过程.....	203
第六节 封闭筛选系统自动控制	204
第七节 漂白过程的自动控制系统	205
一、被调变量的确定.....	205
二、氧脱木质素过程的自动控制系统.....	206
三、CEHED 五段漂白过程自动控制.....	207
四、漂白剂制备的自动调节.....	209
第十二章 碱回收过程的自动控制	211
第一节 蒸发过程	211
一、被控变量的选择.....	211
二、典型控制系统.....	211
第二节 燃烧过程	212
一、黑液的再浓和喷射.....	212
二、黑液燃烧.....	213
三、锅炉给水和蒸汽生成.....	215
四、碱回收锅炉的先进控制系统.....	216
第三节 绿液苛化和石灰回收	217
一、苛化过程被控变量的选择.....	217
二、典型的过程控制系统.....	217
三、苛化率控制系统.....	218

四、白泥过滤的自动控制·····	218
五、石灰回收·····	219
第十三章 造纸过程的自动控制·····	220
第一节 打浆、配浆控制·····	220
一、打浆控制·····	220
二、配浆控制·····	222
第二节 纸料流送及流浆箱控制·····	225
一、纸料流送过程控制·····	225
二、流浆箱控制·····	227
第三节 纸机传动控制·····	229
一、多分部同步速度链控制系统·····	229
二、具有负荷分配控制的分部传动系统·····	231
第四节 纸张质量控制·····	233
一、纸张定量水分控制的特点·····	234
二、几种实用的大时滞过程控制算法·····	235
三、纸张定量水分典型控制方案·····	247
第十四章 废纸制浆过程废水处理控制·····	251
第一节 废纸制浆概况·····	251
第二节 废纸制浆废水处理控制·····	251
一、初沉池和污泥泵的控制·····	251
二、流量分配的控制·····	254
三、溶解氧 DO 和风机的控制·····	255
四、污泥回流的控制·····	255
五、废弃污泥的控制·····	258
六、药剂投放的控制·····	258
七、废纸制浆造纸废水处理 DCS 系统·····	260

第四篇 计算机控制

第十五章 计算机控制系统·····	263
第一节 计算机控制系统概述·····	263
一、计算机控制系统发展概况·····	263
二、计算机控制系统的种类和特点·····	264
三、计算机控制系统的基本组成和要求·····	269
四、计算机控制系统的设计步骤·····	272
第二节 计算机控制系统的控制规律·····	276
一、PID 控制·····	276
二、基于软测量技术的反馈控制·····	278
三、智能控制系统·····	280
第十六章 集散控制系统·····	301
第一节 集散控制系统的结构与特点·····	301

一、集散控制系统的发展概况·····	301
二、集散控制系统的基本结构与特点·····	303
三、集散控制系统的结构分类·····	305
第二节 典型集散控制系统的构成实例·····	306
一、MACS TM 系统·····	306
二、XDPS 分散处理系统·····	310
三、SIMATIC PCS7 系统·····	313
四、Advant OCS 系统·····	317
第三节 DCS 在造纸工业中的应用举例·····	320
一、奥斯龙纸浆筛选设备集散控制系统·····	320
二、漂白浆及碱回收集散式控制系统·····	324
三、DCS 在造纸厂白水回收系统的应用·····	326
四、集散控制系统在废纸脱墨生产过程中的应用·····	329
五、集散控制系统在制浆、造纸过程的应用·····	330
第十七章 全厂自动化信息化与现场总线系统·····	334
第一节 全厂自动化和信息化的概念·····	334
一、全厂自动化和信息化的定义·····	334
二、全厂自动化的规划·····	334
三、全厂信息化与现场总线·····	336
第二节 现场总线技术·····	337
一、现场总线的定义·····	337
二、现场总线技术·····	338
第三节 现场总线系统·····	341
一、现场总线网络系统·····	341
二、现场总线控制系统·····	346
第四节 工业信息技术及现代集成过程系统·····	350
一、工业信息技术·····	350
二、制浆造纸工业现代集成过程系统·····	353
主要参考文献·····	358

第一篇 过程自动控制导论

第一章 导 论

自动化技术和电子计算机的发展正在迅速地提高生产过程自动化程度。实现生产过程自动化,能提高产量,保证质量,减少原材料和能量的消耗,降低生产成本,改善劳动条件,确保生产安全,减轻环境污染,收到良好的经济效益和社会效益。因此生产过程自动化成为现代技术的主要趋势。

第一节 自动化及其发展概况

一、自 动 化

随着生产和科学技术发展阶段的变化,自动化的概念和内容是不同的。早期,自动化是指用传输机等机器代替人的体力劳动,即机械化。后来,由于生产的发展,机械设备的增多,人们控制机器设备的任务日益加重。为了减轻控制机器设备的负担,人们研制出自动控制装置去控制机器和生产过程,这时把利用反馈技术对机器设备进行自动控制称为自动化。20 世纪 60 年代以来,人们为了减轻脑力劳动,开始应用电子计算机控制和管理生产过程和其他过程,这时,自动化不仅是指利用机器装置去减轻或代替人的体力劳动,而且包括应用机器装置减轻或代替人的脑力劳动,即实现信息处理的自动化。因此,自动化是一门研究用机器装置(仪表、电子计算机等)对生产过程和其他过程进行自动控制和信息处理,以延伸和扩展人的器官功能的综合科学技术。必须指出,不管自动化技术如何发展,它只是人的器官功能的延伸和加强,并不能全部地代替人的体力劳动和脑力劳动。

二、自动控制理论的发展

自动化技术的基础是自动控制理论,而自动控制理论是人类在征服自然,改造自然的斗争中形成和发展的。控制理论从形成发展至今,已经历了 80 多年的历程,分为三个阶段。第一阶段是以 20 世纪 40 年代兴起的控制原理为标志,称为经典控制理论阶段;第二阶段以 60 年代兴起的状态空间法为标志,称为现代控制理论阶段;第三阶段则是 80 年代兴起的智能控制理论阶段。自动控制理论发展的三个阶段的主要特征对照见表 1-1。

经典控制理论研究的主要对象多为线性定常系统,主要解决单输入单输出问题,研究方法主要采用以传递函数、频率特性、根轨迹为基础的频域分析法。它的控制思想是对机器进行“控制”使之稳定运行,采用“反馈”的方式使一个系统按照人们的要求精确地工作,最终实现使系统按指定目标运行。经典控制理论推动了当时自动化技术的发展与应用,至今在工业技术领域中得到广泛应用。现代控制理论产生于 20 世纪 60 年代前后。在这一时期,计

表 1-1

自动控制理论发展阶段

阶 段	第一阶段	第二阶段	第三阶段
形成时间	20 世纪 50 年代以前	20 世纪 60~70 年代	20 世纪 80 年代以后
理论基础	经典控制理论	现代控制理论	智能控制理论
研究对象	单变量过程	多变量过程	多层次、众多因素控制
分析方法	传递函数、频率法	矩阵理论、状态空间分析法	智能算子、多级控制

计算机技术的迅猛发展为现代控制理论的形成与发展奠定了坚实的基础。同时,发展航天技术的需要以及生产向大型化、连续化方向发展,过程的非线性、耦合性和时变性,经典控制理论已经不能满足要求,从而促进了控制理论从经典到现代控制理论的发展。现代控制理论研究的问题从单输入单输出系统推广到了多输入多输出系统,不仅可以研究线性系统,而且可以研究非线性系统。现代控制理论建立的数学模型,实现了从直接根据被控对象的物理特性的方法向建立一般化的参数估计与系统辨识理论的扩展。它以状态空间分析方法为基础,内容包括了以最小二乘法为基础的系统辨识,以极大值原理和动态规划为主要方法的最优控制和以卡尔曼滤波理论为核心的最佳估计等三部分。值得注意的是,现代控制理论在综合和分析系统时,已经从外部现象深入到揭示系统的内在规律性,从局部控制进入到一定意义上的全局最优,而且在结构上从单环扩展到适应环、学习环。与此同时,电子数字计算机的发展和普及为现代控制理论的应用开辟了道路,提供了十分重要的技术手段。

经典控制理论与现代控制理论被统称为传统(或常规)的控制理论。传统控制理论的共同特点是:各种理论与方法都是建立在对象的数学模型基础上的,或者说,传统控制理论的前提条件是必须能够在常规控制理论指定的框架下,用数学公式严格地表述出被控制对象的动态行为。对象的数学模型可以是基于微积分理论、线性代数或矢量分析。因此我们可以把常规控制理论方法概括地称为“基于数学模型的方法”(Mathematical Model Based Techniques)。传统控制理论对能够得到准确数学表述的对象能进行有效的控制,最适用于该过程(设备)变量为对象的控制系统的设计问题。而在应用于以过程任务(或追求目标)为对象的控制时,传统控制理论遇到的最大困难是不确定性问题:系统模型的不确定性和环境本身的不确定性。随着科学技术的不断进步和工业生产的不断发展,人们发现,许多现代军事和工业领域所涉及的控制过程和对象都难于建立精确的数学模型,甚至根本无法建立数学模型,即使对有些对象和过程可以建立数学模型,但由于模型极其复杂,难于实现实时的高性能的有效控制。因此,基于数学模型的传统控制理论面临着强有力的挑战。

在传统控制理论形成和发展进程中,特别是在传统控制理论遇到困难时,人们已经注意到开辟控制理论的新途径:避开数学模型,直接用机器模仿工程技术人员的操作经验,实现对复杂过程的有效控制,从而孕育着新一代控制理论——智能控制理论诞生。智能控制在 20 世纪 80 年代开始形成和发展。

智能控制是在常规控制理论基础上,吸收人工智能、运筹学、计算机科学、模糊数学、实验心理学、生理学等其他学科中的新思想、新方法,对更广阔的对象(过程)实现期望控制。其核心是如何设计和开发能够模拟人类智能的机器,使控制系统达到更高的目标。智能控制是传统控制理论的继承和发展。常规控制理论里的“反馈”和“信息”这两个基本概念,在智能控制理论中仍然占有重要地位,并且更加突出了信息处理的重要性。在智能控制系统中并不排斥传统的控制理论的应用,恰恰相反,在分级递阶结构的智能控制系统中,面

向生产的执行级，更强调采用传统控制理论进行设计。这是因为在这一级的被控对象通常具有精确的数学模型，成熟的传统控制理论可以对其实现高精度的控制。

综观上述发展简史，自动化技术在工业中的应用大致可以分为四个阶段：

第一，单变量检测阶段（20 世纪 40 年代前）。它以人工现场操作，在设备附近安装基本变量（温度、压力、流量、液位等）的测量仪表为标志，有的还带有简单的报警和控制装置。操作人员通过检测仪表可以了解主要设备的运行情况，以便在必要时采取措施，保证产品质量，维持生产安全。

第二，局部自动化（又称单机自动化）阶段（20 世纪 40 年代到 50 年代初）。它的重要标志是对单机（或简单过程）的主要参数进行自动控制，以大型电子显示仪表和气动仪表为代表。

第三，综合自动化阶段（20 世纪 50 年代到 70 年代）。在这一阶段中，将几台单机或整个车间的主机根据工艺过程连接起来，应用电动或气动单元组合仪表实现多个变量的自动控制。操作人员可以在控制室或仪表盘前方便地监视和处理生产问题。但是开机、停机、事故处理以及附属设备的操作等还要人工去完成。

第四，全厂自动化阶段（20 世纪 80 年代以后）。这是综合自动化的更高形式，采用高度集中中央控制装置，突出的标志是电子计算机的应用，进入所谓计算机集成过程系统（Computer Integrated Production Systems, CIPS）的时代。现场检测仪表的数据全部送入计算机，由计算机对变量进行自动控制，能自动开机、停机，预报和处理生产的异常状态。20 世纪 90 年代以来，生产自动化与电子商务、现场总线技术相结合，出现了所谓工业信息化技术（Industrial Information Technology），实现企业管理和生产控制全厂自动化和信息化，使整个企业的生产和管理保持在高效率、低消耗、安全可靠的最佳状态之中。

第二节 自动控制系统

一、自动控制是人工控制的模仿与发展

图 1-1 是小型锅炉汽包液位人工控制的示意图，当蒸汽用量与进水量相等时，汽包液位维持在正常值上，不需要调节（控制）进水阀门。当用汽量变化时，液位也会随之变化。为了维持液位在规定值上，操作人员要按下述三个步骤进行操作：

第一步“观察”，用眼睛观察液位计上液位的变化情况；第二步“思考”，用大脑将观察到的液位值与要求的规定值进行比较得出两者之间的偏差值，并根据偏差值的大小和变化情况决定如何指挥手去控制阀门；第三步“执行”，根据大脑的指令用手去开大或关小进水阀门，直至液位重新维持在规定的值为止。如果上述三个步骤是人工直接完成的，称为人工控制；如果

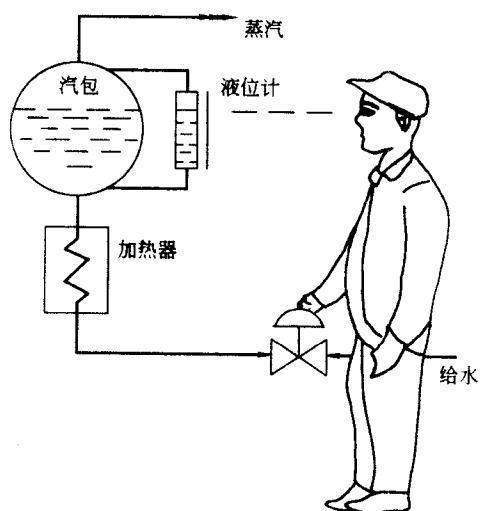


图 1-1 汽包液位的人工控制

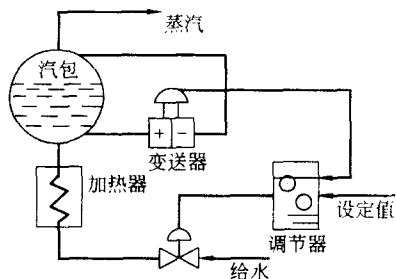


图 1-2 汽包液位的自动控制

用自动装置去完成上述三个操作步骤，便叫做自动控制。

简单自动控制系统由如下四个部分组成：第一是被控制的生产设备，称为“对象”；第二是“变送器”，把被控制变量测量出来并转换为信号，起“观察”作用；第三是“控制器”（又称“调节器”），它将测量信号与给定信号进行比较得出偏差值并按预先设计好的控制规律发出控制信号，指令控制阀动作，起“思考”作用；第四是“控制阀”，它根据控制器送来的控制信号改变阀门的开关程度，起“执行”的作用。图 1-2 是与图 1-1 对应的液位自动控制系统。

二、自动控制系统的基本概念及特点

为了更清楚地表示出一个自动控制系统各组成部分及其相互关系，常常用方块图来表示。图 1-3 是图 1-2 所示自动控制系统方块图。

方块图中每一个方块表示组成系统的一个环节，两个方块之间用一条有箭头的线相连表示相互关系和信号传递方向。线上的字母表示相互间的作用信号。

每一个方块受其前面方块的影响而对其后面的方块施加影响。表 1-2 列出了有关简单自动控制系统的基本概念。

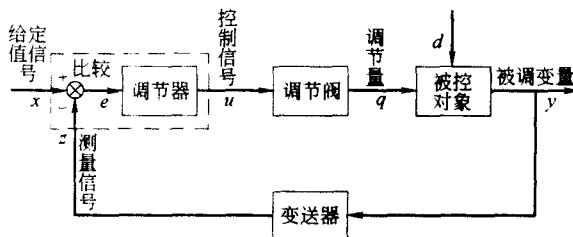


图 1-3 简单自动控制系统的组成方块图

表 1-2

简单自动控制系统的基本概念

	名 称	符 号	物理意义及作用	对照图 1-2 的实例
过 程	被控对象	P	被控制的生产过程或设备	锅炉汽包
	被控变量	y	对象中表示运行状况、需要控制的参数	汽包液位
	给定值	x	被控变量的标准（规定）值	规定的汽包液位高度
	干扰	d	引起被控变量变化的外界影响因素	用汽量的变化
	调节变量	q	受调节阀直接控制的变量	进水量
仪 表	变送器	T	测量被调参数值	差压变送器
	测量信号	z	变送器输出的表示被控变量值大小的信号	变送器输出的表示液位的信号
	给定值信号	x	表示给定值大小的信号	定值器的输出信号
	定值器		输出给定信号的仪表	定值器
	偏差信号	e	给定信号值与测量信号之差 $e = z - x$	
	控制器	C	计算偏差并根据偏差大小发出控制信号	调节器
	控制信号	u	控制器输出、用于调节执行机构的信号	调节器的输出信号
	执行机构	V	根据控制信号带动阀门动作的机构	气动调节阀

由图 1-2 和图 1-3 可以看出，简单控制系统具有如下特点：

(1) 自动控制系统是按照偏差 e 的大小进行控制的。没有偏差，便没有控制作用。存在

偏差，则控制器根据偏差的大小，按预定的控制规律去控制调节阀的开关，以增大或减少控制量，直至减少或消除偏差为止。

(2) 自动控制系统由封闭回路（闭环）组成。即系统中沿着箭头方向前进，最后又回到原来的起点。

(3) 自动控制系统是负反馈的。把系统的输出信号引回到输入端的做法称为“反馈”，控制对象通过反馈向控制器反映被调参数的情况，为正确的控制作用提供必要的依据。在反馈信号与给定信号比较时，如果给定信号作为正值而反馈信号作为负值来考虑，则称为负反馈。在自动控制系统中都采用负反馈，不允许单独采用正反馈。

简单控制系统是用得最多，最基本的控制系统。

应该指出，一个自动控制系统是否能克服干扰，消除偏差，使被控变量与给定值保持一致，取决于自动控制系统本身的特性，即决定于组成控制系统的控制对象、变送器、控制器和调节阀的特性，以及它们之间的配合是否恰当。因此，要想设计和使用好自动控制系统，必须对组成系统的各个环节特性以及系统特性有所了解。这是本课程在以后章节中要重点介绍的内容。

第三节 自动控制系统的特性

自动控制系统处在过渡过程时的输出量与输入量的关系是自动控制系统特性的表现。自动控制系统特性直接关系到自动控制系统的控制质量，即其稳定性、准确性和快速性。

一、系统的静态过程、动态过程和过渡过程

如图 1-4 所示：①系统中被调变量不随时间变化即系统处于平衡状态，这种平衡的过程称为系统的静态过程。②当受外界因素的干扰，系统的平衡状态被破坏，被调变量随时间变化，系统的各组成环节的参数都将随时间变化，这种不平衡过程，称为系统的动态过程。③一个处于静态情况下的系统受到干扰后，被调变量将偏离规定值，自动控制系统根据偏差大小去改变调节量，进而克服干扰作用，使被调变量达到新的平衡状态。从一个平衡状态到达相邻的另一个平衡状态所经历的过程，称为系统的过渡过程。

自动控制系统处在过渡过程时的输出量与输入量的关系是自动控制系统特性的表现。系统的特性取决于系统本身和输入（干扰或规定值）的变化形式。为了简化问题，通常给系统加入阶跃干扰，从系统受到阶跃干扰后的过渡过程中了解和研究系统的特性。如图 1-5 所

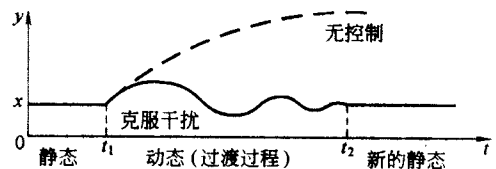


图 1-4 系统的静态过程、动态过程和过渡过程

示，系统处于静态情况下，在 t_1 时刻，受到幅值为 a 的阶跃干扰，在以后的时间里保持这干扰量不变，这种干扰称为阶跃干扰。

系统受到阶跃干扰后，由于系统特性的不同，有四种不同的过渡过程基本形式，如图 1-6 所示为稳定系统的过渡过程。曲线 A 所示为单调的非周期过渡过程，曲线 B 所示为衰减振荡过渡过程。系统受到阶跃干扰后，被调参数在自动控制系统的作用下，通过单调的非周期过渡或衰减振荡过渡到新的平衡状态。受阶跃干扰后能恢复到新的稳定状态的系统称为稳定系统。如图 1-7 所示为非稳定系统的过渡过程。曲线 C 和 D 所示为等幅振荡和发散振荡过

过渡过程。这两种过渡过程的共同点是系统受到阶跃干扰后，被调参数永远不能恢复到新的稳定状态，这类系统称为非稳定系统。

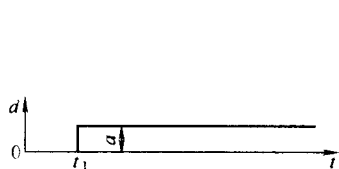


图 1-5 阶跃干扰

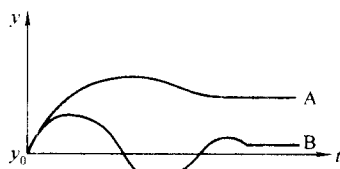


图 1-6 稳定系统的过渡过程

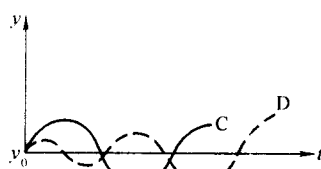


图 1-7 非稳定系统的过渡过程

二、自动控制系统的质量指标

正常生产过程要求当系统受到干扰后，被调变量在自动控制系统的作用下能最快最好地恢复到新的稳定状态。通常用自动控制系统衰减振荡过渡过程的四项指标去量度其控制质量的好坏，如图 1-8 所示。

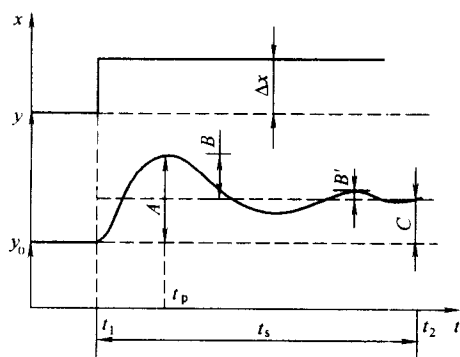


图 1-8 衰减振荡过渡过程的质量指标

1. 最大偏差 A

最大偏差是被调变量在衰减过程中的第一个幅值，表示系统的被调变量瞬时值偏离规定值的最大程度，这个数值的大小在生产上有明确要求。在决定允许的最大偏差值时，要考虑干扰的频繁性和偏差的叠加性，还要考虑安全系数。最大偏差有时也用超调量 B 表示，指第一个幅值与新平衡状态的被调变量值之差。

2. 残余偏差 C

被调参数的新平衡值与工艺规定值之差，称为残余偏差。表示被调变量在新的平衡状态下，偏离规定值的程度。残余偏差又称为余差或静差。

严格讲系统受到干扰开始经过无限长的时间以后才能达到新的平衡状态。一般当被调参数的波动范围占最后平衡值的 5% 以下时，就可认为参数达到新平衡值了。

3. 过渡过程时间 t_s

系统在平衡状态下受到干扰，从干扰作用开始到被控变量达到新的平衡状态所经历的时间称为过渡过程时间。过渡过程时间短表示系统抗干扰强。

4. 衰减比 n

衰减过渡过程的衰减程度用衰减比表示。衰减比即前后两个相邻的波幅值的比值 $n = B : B'$ ，一般 n 应在 4~10 范围内。

以上所述的控制系统品质指标，可以归纳成下面的三个特性：由衰减比决定系统的稳定性；由最大偏差、超调量和残余偏差决定系统的准确性；由过渡过程时间决定系统的快速性。在这三个特性之中系统的稳定性是第一位的，尤其在定值控制系统中，因为没有系统的稳定性，也就提不到定值控制。

第四节 自动控制系统设计概述

自动控制系统设计是按照安全性、经济性和稳定性的要求，在了解、掌握工艺流程和生