



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

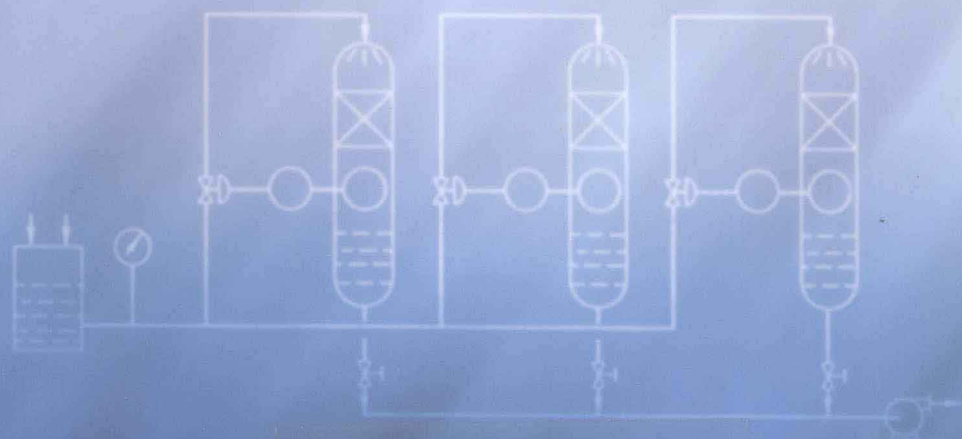


教育部高职高专规划教材

过程控制技术

第二版

王爱广 黎洪坤 主编



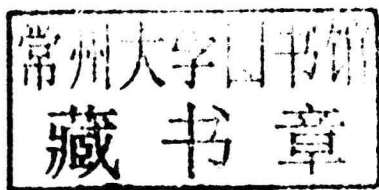
化学工业出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
教育部高职高专规划教材

过程控制技术

第二版

王爱广 黎洪坤 主编
李 慧 审定



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书试图改变原有的学科教学规律及理念,在第一版的基础上,通过对高职高专院校毕业生的工作岗位专业技术应用的过程与特点进行分析,结合生产过程自动化技术专业的学习规律,建立了以学习自动化基础理论为先导,重点掌握过程控制系统技术应用于系统运行,调试、安装与维护等技能的内容体系,强化了自动化工程技术的实用性。

本书共8章分为两篇。第一部分为过程控制理论,阐述过程控制系统的基本概念、基本构成与基本要求,过程系统的数学模型的建立和过程控制系统的分析方法;第二部分为过程控制技术的工程应用,重点介绍了单回路控制系统的结构、系统运行与调试、安装与维护、设计与建设的方法;对串级、比值、前馈等复杂控制系统及多变量控制系统的控制方案、操作调试与工程实施进行了比较全面的阐述;对常见的工业生产过程工艺操作要求提供了自动化控制系统设计和解决方案,并为今后能从事过程控制技术工程设计打下初步基础。

本书可作为高职高专院校生产过程自动化技术专业以及相关自动化类专业的教材使用,也可提供给石油、化工、冶炼、发电、建材、轻工等行业的工程技术人员参考和职工培训教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

过程控制技术/王爱广,黎洪坤主编. 2版.—北京:
化学工业出版社,2012.6

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

教育部高职高专规划教材

ISBN 978-7-122-13990-0

I. 过… II. ①王…②黎… III. 过程控制技术-
高职高专-教材 IV. TP273

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第068676号

责任编辑:唐旭华 张建茹

责任校对:徐贞珍

文字编辑:吴开亮

装帧设计:关飞

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)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张14¼ 字数375千字 2012年8月北京第2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:29.00元

版权所有 违者必究

高职高专电仪类专业规划教材 编审委员会

主 任 王爱广

副主任 邓 允 王黎明

委 员 (排名不分先后)

厉鼎熙	吕廉克	汤光华	于占河	郝万新	马应魁
张 虎	王永红	董 力	蔡夕忠	马克联	刘玉梅
樊明龙	任丽静	国海东	吕铁男	开 俊	王 琦
吴明亮	殷 刚	邓素萍	徐咏东	刘江彩	戴焰明
李世伟	宋 涛	郑 怡	张国华	陆建遵	黎洪坤
陈昌涛	夏鸿儒	黄 杰	王 磊	耿淑芹	何亚平

前 言

本书是在第一版的基础上,根据过程控制技术的发展,吸纳全国多所高职院校教师使用中反馈的建议,为更好地适应高等职业技术教育教学的需要修改编写而成。

全书分为八章。前三章为过程控制原理的基础知识,第1章过程控制系统的基本概念,第2章过程控制系统的数学模型,第3章过程控制系统的分析;第4章至第7章为过程控制工程应用内容,其中第4章为单回路控制系统,第5章为串级、比值、前馈控制系统,第6章为多变量过程控制系统,第7章为工业生产过程的自动控制方案;第8章为过程控制工程设计基础。

第一部分是过程控制基本理论。本书的特点是基于高等职业技术教育对学生的培养目标要求,在理论知识学习上本着“必需、够用”的原则,对原来学科体系的过程控制原理教材的内容做了较大的删减,重点是从常规的工程应用所需的知识结构为基点,介绍自动控制系统的基本概念与结构、微分方程分析法与传递函数、控制系统运行的理论分析,使得经典控制原理内容相对简约,更加实用。

第二部分是过程控制工程应用。根据高等职业技术教育的规律与高素质技能型专门人才培养的特点,结合企业职业与岗位技能对人才的要求,我们与时俱进地对传统学科的教学模式进行了创新,设计出更适合技能型人才培养的工程应用部分课程结构体系:系统基本认识→系统操作运行与调试→系统设计分析→系统实施与维护→学习反思与提高。课程内容以岗位技术的工作过程为导向,以工程应用方法为目标,对过程控制工程应用的内容做了全面详细的介绍,是全书的重点学习内容。

对过程控制工程设计部分知识、设计要领与设计步骤进行了介绍,以提升高职学生的创新思维与能力,强调过程控制技术的工程应用能力培养。

为了帮助读者学习和掌握过程控制技术,本书在每章后均附有小结、例题和解答,并选编了适量的思考题与习题。

本书配套的电子课件可免费提供给采用本书作为教材的院校使用,如有需要,请发邮件至 cipedu@163.com 索取。

本书第一版由王爱广、王琦主编,厉鼎熙主审。第二版由河北建材职业技术学院王爱广教授完成第1~3章,广西工业职业技术学院黎洪坤副教授完成第4~7章,广西工业职业技术学院谢彤老师完成第8章的修改编写。全书由黎洪坤副教授统稿,李慧教授审定。

由于编者水平有限,书中定有不足之处,恳请读者批评指正。

编 者
2012年5月

目 录

绪论	1
----------	---

第一篇 过程控制技术基本理论部分

1 过程控制系统的基本概念	2	2.3.2 阶跃法的数据处理	22
1.1 过程控制系统的组成、分类及方块图 and 术语	2	小结	25
1.1.1 过程控制系统的组成及其分类	2	例题和解答	26
1.1.2 过程控制系统的方块图及其术语	3	思考题与习题	30
1.2 对过程控制系统的基本要求	5	3 过程控制系统的分析	32
1.2.1 过程控制系统的过渡过程	5	3.1 过程控制系统的过渡过程分析	32
1.2.2 对过程控制系统的基本要求	5	3.1.1 一阶过程控制系统的过渡过程	32
小结	6	3.1.2 二阶过程控制系统的过渡过程	33
例题和解答	7	3.1.3 过程控制系统过渡过程的质量指标	38
思考题与习题	8	3.1.4 过程控制系统过渡过程的质量指标评定	40
2 过程控制系统的数学模型	9	3.2 过程控制系统的稳定性	41
2.1 被控对象的数学模型	9	3.2.1 过程控制系统稳定的基本条件	41
2.1.1 数学模型	9	3.2.2 过程控制系统的稳定裕度	43
2.1.2 一阶被控对象的数学模型	9	3.3 常规控制规律对过程控制质量的影响	44
2.1.3 二阶被控对象的数学模型	12	3.3.1 常规控制器的控制规律	44
2.2 过程控制系统的传递函数	13	3.3.2 常规控制器的控制规律对过程控制质量的影响	47
2.2.1 传递函数	13	小结	52
2.2.2 过程控制系统的方块图及其简化	15	例题和解答	53
2.2.3 过程控制系统的传递函数	18	思考题与习题	58
2.3 被控对象数学模型的实验测取	21		
2.3.1 对象的自衡特性	21		

第二篇 过程控制技术工程应用部分

4 单回路控制系统	59	4.3.3 检测仪表的选择分析	78
4.1 单回路控制系统的结构组成及工作原理	59	4.4 单回路控制系统的工程实施方案	85
4.1.1 单回路控制系统的结构组成	59	4.4.1 单回路控制系统的工程应用设计	85
4.1.2 单回路控制系统的工作原理	59	4.4.2 单回路控制系统的工程实施方案	86
4.2 单回路控制系统的运行与调试方法	60	4.5 单回路控制系统的故障及排除故障方法	89
4.2.1 控制器 PID 控制规律与正反作用的选择方法	60	4.5.1 单回路控制系统一般性故障的判断	89
4.2.2 单回路控制系统的运行	62	4.5.2 排除故障的分析法	90
4.2.3 单回路控制系统的调试方法	64	4.6 控制系统间的关联对控制质量的影响	92
4.3 单回路控制系统的设计方案分析	67	4.6.1 控制系统间的相互关联	92
4.3.1 被控变量与操纵变量的选择	67		
4.3.2 执行器的选择	70		

4.6.2 相互关联对控制质量的影响及消除方法	93	7.1 流体输送设备运行过程的自动控制 ...	153
小结	94	7.1.1 离心泵运行过程的自动控制	153
例题和解答	95	7.1.2 往复泵运行过程的自动控制	155
思考题与习题	100	7.1.3 压缩机运行过程的自动控制	156
5 串级、比值、前馈控制系统	103	7.1.4 离心式压缩机防喘振的自动控制 ...	156
5.1 串级控制系统应用	103	7.2 传热过程的自动控制	159
5.1.1 串级控制系统的结构认识	103	7.2.1 换热器的自动控制	159
5.1.2 串级控制系统的工作机理	105	7.2.2 蒸汽加热器的自动控制	161
5.1.3 串级控制系统的运行操作	105	7.2.3 冷却器的自动控制	161
5.1.4 串级控制系统的调试方法	107	7.3 精馏塔生产过程的自动控制	162
5.1.5 串级控制系统的设计分析	108	7.3.1 精馏塔的控制目标	163
5.1.6 串级控制系统的实施案例	109	7.3.2 精馏塔的干扰因素	163
5.1.7 串级控制系统的特点	110	7.3.3 精馏塔生产过程质量指标的选择 ...	164
5.1.8 串级控制系统的工业应用	114	7.3.4 精馏塔生产过程的自动控制方案 ...	166
5.2 比值控制系统应用	116	7.4 锅炉生产过程的自动控制	169
5.2.1 比值控制系统的解决方案	117	7.4.1 锅炉生产过程的控制要求	170
5.2.2 比值控制系统的运行与调试	119	7.4.2 锅炉汽包水位的自动控制	171
5.2.3 比值控制系统的实施	120	7.4.3 过热蒸汽温度的自动控制	174
5.3 前馈控制系统解决方案	123	7.4.4 锅炉燃烧过程的自动控制	175
5.3.1 前馈控制的作用与特点	123	7.5 化学反应器生产过程的自动控制	176
5.3.2 前馈控制系统的解决方案	125	7.5.1 化学反应器的控制要求	177
小结	127	7.5.2 化学反应器的自动控制	177
例题和解答	127	7.5.3 工业生产过程 pH 值的自动控制 ...	180
思考题与习题	131	小结	182
6 多变量过程控制系统	133	例题和解答	182
6.1 均匀控制系统解决方案	133	思考题与习题	184
6.1.1 均匀控制的概念	133	8 过程控制工程设计基础	186
6.1.2 均匀控制系统的解决方案	134	8.1 工程设计的基本知识	186
6.1.3 均匀控制系统的调试方法	136	8.1.1 工程设计的任务和方法	186
6.2 分程控制系统解决方案	137	8.1.2 工程设计的规定和标准	187
6.2.1 分程控制的概念	137	8.2 自控工程设计图形符号	188
6.2.2 分程控制系统的解决方案	138	8.2.1 字母代号	188
6.2.3 分程控制系统实施方法分析	139	8.2.2 分散控制、共用显示、逻辑和计算机系统的设计符号	189
6.3 选择性控制系统解决方案	141	8.2.3 过程显示图形符号和文字符号 ...	191
6.3.1 选择性控制系统的认识	141	8.2.4 仪表位号及编制方法	196
6.3.2 选择性控制系统的解决方案	141	8.2.5 施工图中仪表管线编号原则及方法	197
6.3.3 控制器的积分饱和现象与防止措施	145	8.2.6 分散控制、共用显示、逻辑和计算机系统设计符号的应用示例	198
6.4 自动连锁保护系统解决方案	146	8.3 集散控制系统的工程设计概况	202
6.4.1 自动信号报警系统	146	8.3.1 施工图设计的基本程序	202
6.4.2 自动连锁保护系统	148	8.3.2 集散控制系统工程设计中的若干问题	204
小结	150	小结	210
例题和解答	150	思考题与习题	210
思考题与习题	151		
7 工业生产过程的自动控制方案	153		

附录	211
附录 1 拉氏变换对照表	211
附录 2 被测变量及仪表组合功能示例	212
附录 3 工艺流程图上设备和机器图例 符号	213
附录 4 工艺流程图上的物料代号	215
附录 5 工艺流程图上管道、管件、阀门及 附件图例	216
附录 6 控制阀气开、气关形式选择参 考表	217
参考文献	218

绪 论

(1) 过程控制技术的基本内容

本书作为普通高等职业技术学院自动化技术专业群学生的一门专业课教材，它包括三大部分内容。

第一部分是过程控制原理。阐述过程控制系统的基本构成与基本要求、过程控制系统的数学模型、过程控制系统的分析。这部分内容本着“必需、够用”原则做了较大的删减，数学模型只介绍微分方程式和传递函数，系统分析只介绍时域分析（微分方程分析法的基本内容）；对经典控制理论不做全面介绍，不涉及现代控制理论。

第二部分是过程控制工程应用。这部分是本书的学习重点，在教材内容的编排上根据高等职业技术教育的特点进行了创新。从过程系统的结构认识开始，以学习过程控制系统的运行操作和调试为重点，兼顾了识图绘图、工程安装等专业技能，以控制系统的设计分析和工程应用实施为技术提升的教学思路，比较详细地介绍单回路过程控制系统运行操作、系统调试方法应用、控制系统的设计与工程实施，对串级、比值、前馈控制系统过程控制系统调试特点、设计与工程实施方案、多变量控制系统的工程应用解决方案、工业生产过程中的基本控制方案做了比较全面的介绍，突出过程控制技术在工业生产实际中的技能培养和工程应用。

第三部分是过程控制工程设计。对工程设计内容做必要的介绍，目的是使学生认识工程设计的初步知识，学会自动化工程的识图绘图能力，自动化仪表的选型能力；引入了 DCS 技术应用于过程控制工程设计的整体解决方案，包含了现场仪表的选型、DCS 控制站、操作站、工程师站及通讯网络等设计，为自动化仪表、DCS 技术组成控制系统的应用、维护、改进、设计等专业能力培养奠定了基础。

(2) 本课程的教学目标与学习要求

《过程控制技术》是生产过程自动化技术专业学生的一门理论和实践性较强的专业课程，提倡能结合当地的工业生产特色和教学环境开展项目化教学、实践性教学。

通过本课程的学习，掌握控制系统基本概念、组成及其特性分析的理论知识；学会单回路过程控制系统的运行操作与系统调试技能、工程设计初步、工程实施与维护技术；具有全面应用生产过程控制系统的技术能力。

过程控制原理部分的内容比较抽象，涉及高等数学知识，作一般性的掌握；过程控制工程部分的内容，是本课程的核心，作重点掌握工程设计初步，并学会控制系统的运行与调试、工程安装等技能；过程控制工程设计部分内容的学习作为技术提升，为自动化工程应用实践能力培养奠定基础。

由于过程控制技术的广泛应用和计算机控制技术的迅速发展，过程控制系统逐渐将由常规过程控制系统向计算机过程控制系统发展，如当前发展和应用最广泛的集散控制系统。因此，过程控制技术是不断发展不断更新的；过程控制技术不仅是生产过程自动化技术专业的主要课程，对其他如电气、机械、冶金、化工工艺、制药、轻工、建材等专业的学生来说，对过程控制技术知识有一定的了解并学会其基本技能，有助于从事本专业或相关专业的工程技术人员在工业生产过程自动化、信息化的发展中拓展职业空间。

第一篇 过程控制技术基本理论部分

1 过程控制系统的基本概念

1.1 过程控制系统的组成、分类及方块图和术语

1.1.1 过程控制系统的组成及其分类

自动控制是在人工控制的基础上发展起来的。下面先通过一个示例，将人工控制与过程控制进行对比分析，看过程控制系统是由哪些部分组成的。

图 1-1 是电厂、化工厂里常见的生产蒸汽的锅炉设备。锅炉汽包水位过低会影响蒸汽产生量，并很容易将汽包中的水烧干而发生严重事故。汽包水位过高将使蒸汽带水滴并有溢出的危险。因此，维持锅炉汽包水位在设定的标准高度值上是保证锅炉正常运行的重要条件。

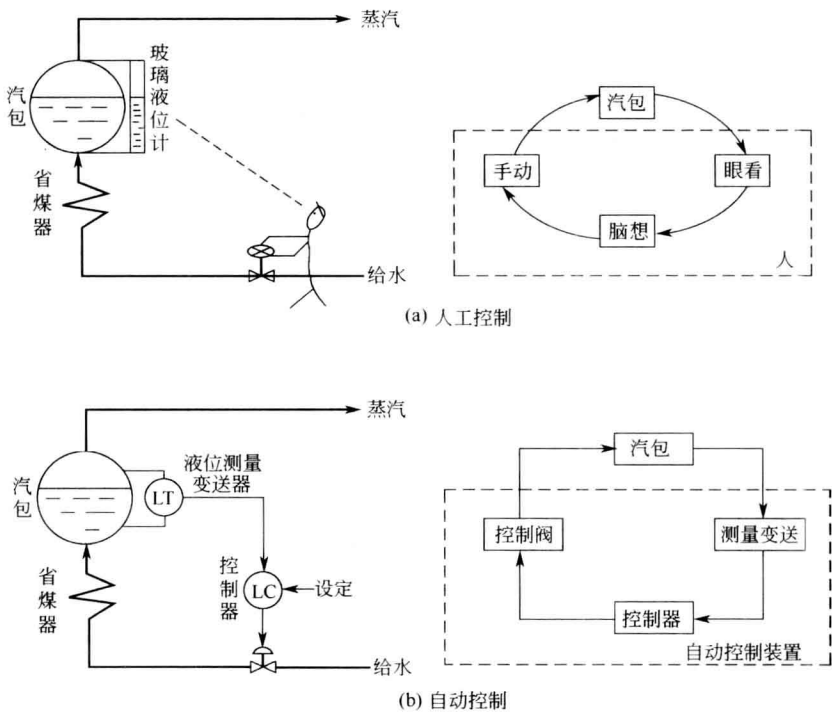


图 1-1 锅炉汽包水位控制示意图

图 1-1(a) 所示为人工控制。用眼睛观察玻璃液位计中水位高低，并通过神经系统告诉大脑；大脑根据眼睛看到的水位高度，加以思考并与要求的水位标准值进行比较，得出偏差大小和方向，然后根据操作经验发出命令给执行机构；根据大脑发出的命令，用双手去改变

给水阀门开度,使蒸汽的消耗量与给水量相等,最终使水位保持在设定的标准值上。人的眼、脑、手三个器官,分别担负了检测、判断和运算、执行三个作用,来完成测量、求偏差、再控制以纠正偏差的过程,保持汽包水位的恒定。

图 1-1(b) 所示为过程控制。液位变送器将汽包水位高低的物理量测量出来并转换为工业仪表间的标准统一信号(气动仪表为 $20\sim 100\text{kPa}$,电动Ⅱ型仪表为 $0\sim 10\text{mA DC}$,电动Ⅲ型仪表为 $4\sim 20\text{mA DC}$)。控制器接受测量变送器送来的标准统一信号,与锅炉工艺要求保持的标准水位高度信号相比较得出偏差,按某种运算规律输出标准统一信号。控制阀接受控制器的控制信号,改变阀门的开度控制给水量,最终达到控制汽包水位稳定的目的。

通过上述示例的对比分析知道,一般过程控制系统是由被控对象和自动控制装置两大部分或由被控对象、测量变送器、控制器、控制阀四个基本环节所组成的。

过程控制系统有多种分类方法,每一种分类方法都反映了控制系统某一方面的特点。为了便于分析反馈控制系统的特性,我们将按设定值的形式不同,分为三种类型。

(1) 定值控制系统

所谓定值控制系统,是指过程控制系统的设定值恒定不变。工艺生产中要求控制系统的被控变量保持在一个标准值上不变,这个标准值就是设定值(亦称期望值)。

图 1-1 所示的锅炉汽包水位控制系统就是一个定值控制系统。过程控制系统大多数都属于定值控制系统。由于引起这类系统输出参数(被控变量)波动的原因不是设定值的改变,而是各种扰动,系统的任务就是要克服扰动对被控变量的影响,所以也把以扰动信号为输入的系统叫作定值控制系统。

(2) 随动控制系统

随动控制系统也称跟踪控制系统。这类系统的设定值是无规律的变化,是未知的时间函数。控制系统的任务是使被控变量尽快地、准确地跟踪设定值变化,例如地对空导弹系统就是典型的随动控制系统。

(3) 程序控制系统

程序控制系统的设定值有规律的变化,是已知的时间函数。这类系统多用在间歇反应过程,如啤酒发酵罐温度控制就属于这类系统。

上述各种反馈控制系统中,各环节的传递信号都是时间的函数,因而统称为连续控制系统。若系统中有一个以上环节的传递信号是断续的,则这类系统为离散控制系统,计算机控制系统就属于这类系统。当系统各环节输入输出特性是线性时,则称这种系统为线性控制系统,反之为非线性系统。根据系统的输入和输出信号的数量可分为单输入单输出系统和多输入多输出系统等等。

在石油、化工、电力、冶金、轻工、制药、建材等工业生产过程中,定值控制系统占大多数,故研究的重点是线性、连续、单输入单输出的定值控制系统。

1.1.2 过程控制系统的方块图及其术语

为了能清楚地说明过程控制系统的结构及各环节之间的相互关系和信号联系,常用方块图来表示,如图 1-2 所示。

方块图中每个方块代表系统中的一个环节,方块之间用一条带有箭头的直线表示它们相互间的联系,线上箭头表示信号传递的方向,线上字母说明传递信号的名称。另外,箭头还具有单向性,即方块的输入只能影响输出,而输出不能影响输入。还需强调的是方块图中各线段表示的是信号关系,而不是指具体的物料或能量。方块图是过程控制系统中一个常用工具和重要的概念。

现在结合锅炉汽包水位控制的例子及其方块图,说明过程控制系统中常用术语的含义。

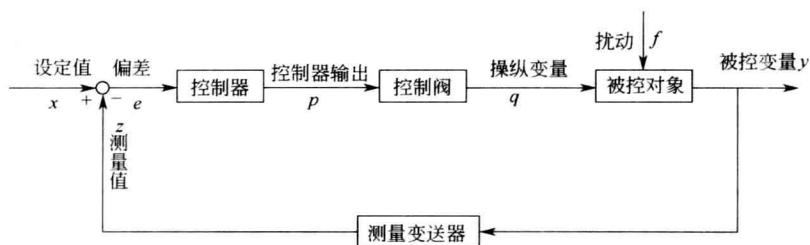


图 1-2 过程控制系统方块图

(1) 被控对象（简称对象或过程）

它是被控制的工艺设备、机器或生产过程。在图 1-1 中，被控对象就是锅炉汽包。

(2) 被控变量 y

它是表征生产设备或过程运行是否正常而需要加以控制的物理量。在图 1-1 中，汽包水位就是被控变量。过程控制系统的被控变量常有温度、压力、流量、液位、成分等。

(3) 扰动 f

在生产过程中，凡是影响被控变量的各种外来因素都叫扰动（又称干扰）。在图 1-1 中，给水压力变化而引起水位波动是一种扰动；蒸汽负荷变化而引起水位波动是一种扰动等。

(4) 操纵变量 q

受控制装置（控制器）操纵，并使被控变量保持在设定值的物理量或能量，被称为操纵变量。在图 1-1 中，往锅炉汽包中注入的给水量就是操纵变量。

(5) 测量变送器

如果发现扰动对被控变量有影响，观察被控变量是否维持在预定的设定范围之内，这就要利用测量元件对被控变量进行测量，并转换成一定的统一标准信号输出。在图 1-1 中，采用的是液位测量变送器。

(6) 测量值 z

它就是测量变送器的输出信号。

(7) 设定值 x

它是一个与要求的（期望的）被控变量相对应的信号值。

(8) 偏差值 e

在过程控制系统中，规定偏差值是设定值与测量值之差，即 $e = x - z$ 。但在仪表制造厂中，习惯取偏差 $e' = -e = z - x$ ，即把 $z > x$ 称为正偏差， $z < x$ 称为负偏差，需注意两者相差一个负号。

(9) 控制器输出 p （亦称控制信号）

在控制器内，设定值与测量值进行比较得出偏差值，按一定的控制规律（比例、比例积分、比例积分微分）发出相应的输出信号 p 去推动执行器（控制阀）。

(10) 控制阀

控制阀接收控制器的控制信号，通过阀门开度变化将控制信号的变化转换成操纵变量的变化。图 1-1 中，控制阀根据控制信号的变化对锅炉汽包的进水量进行控制。

(11) 反馈控制系统

把系统输出信号通过测量变送器又引回到系统输入端，这种作法称为反馈。过程控制系统又称反馈控制系统。当反馈信号与设定值相减，即取负值与设定值相加，这属于负反馈；当反馈信号取正值与设定值相加，这属于正反馈。过程控制系统一般采用的是负反馈。

(12) 闭环系统与开环系统

凡是系统的输出信号对控制作用有直接影响的控制系统，就称作闭环控制系统。例如图 1-1 所示便是闭环控制系统。在图 1-2 的方块图中，任何一个信号沿着箭头方向传递，最后又回到原来的起点，从信号的传递角度来看，构成了一个闭合回路。所以，闭环控制系统必然是一个反馈控制系统。

若系统的输出信号对控制作用没有影响，则称作开环控制系统，即系统的输出信号不反馈到输入端，不形成信号传递的闭合环路，

如图 1-3 所示。家用洗衣机便是开环控制系统的实际例子，从进水、洗涤、漂洗到脱水整个洗衣过程，是在洗衣机中顺序完成的

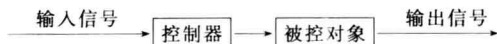


图 1-3 开环控制系统

的，而对衣物的清洁程度（系统的输出信号）没有进行测量。显然，开环控制系统不是反馈控制系统。

由于闭环控制系统采用了负反馈，因而使系统的输出信号受外来扰动和内部参数变化小，具有一定的抑制扰动、提高控制精度的特点。开环控制系统结构简单，容易构成，稳定性不是重要问题，而对闭环控制系统稳定性始终是一个重要问题。

1.2 对过程控制系统的基本要求

1.2.1 过程控制系统的过渡过程

在图 1-1 所示的锅炉汽包水位控制系统中，当给水量与蒸汽量相等时，汽包水位将保持不变，系统处于平衡状态。当给水量与蒸汽量不相等时，汽包水位将上下波动变化，系统处于不平衡状态。把被控变量不随时间而变化的平衡状态称为静态或稳态；而把被控变量随时而变化的不平衡状态称为动态或瞬态。

当锅炉汽包水位控制系统处于平衡状态即静态时，扰动作用为零，设定值不变，系统中控制器的输出和控制阀的输出都暂不改变，这时被控变量汽包水位也就不变。一旦设定值有了改变或扰动作用于系统，系统平衡被破坏，被控变量开始偏离设定值，此时控制器、控制阀将相应动作，改变操纵变量给水量的大小，使被控变量汽包水位回到设定值，恢复平衡状态。从扰动的发生，经过控制，直到系统重新建立平衡，在这段时间中整个系统的各个环节和变量都处在变化状态之中，这种变化状态就是动态，动态比静态复杂。在生产过程中，不仅要了解系统的静态，更需要了解系统的动态。当过程控制系统在动态阶段中，被控变量是不断变化的，这一随时间变化的过程称为过程控制系统的过渡过程或时间响应。即一个过程控制系统在外作用下从原有稳定状态过渡到另一个稳定状态的过程，称为过程控制系统的过渡过程。过程控制系统的输出变量变化是由于有输入变量（设定或扰动）引起的，所以，输出是输入的时间响应。时间响应对应着过渡过程，稳态响应对应着过渡过程的静态，瞬态响应对应着过渡过程的动态。

1.2.2 对过程控制系统的基本要求

由于系统在控制过程中存在着过渡过程，所以过程控制系统性能的好坏，不仅取决于系统稳态时的控制精度，还取决于瞬态时的工作状况。因此，对过程控制系统的基本技术要求，包含有稳态和瞬态两个方面，一般可以归纳为以下三点。

① 稳定性 系统要稳定，控制过程要平稳。所谓稳定，是指系统在受到外来作用时，虽然会有一个过渡过程，但经过一定的时间后，过渡过程会结束，最终恢复到稳定工作状态。

② 准确性 系统稳态时要有较高的控制精度。当系统在设定作用时,被控变量的稳定值与设定值保持较精确的一致。当系统受到扰动作用时,被控变量的稳定值应基本不受影响,与设定值保持一致。

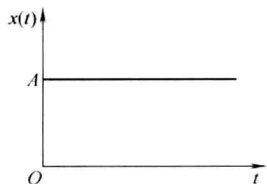


图 1-4 阶跃函数信号

③ 快速性 系统的输出对输入作用的响应要迅速,系统的过渡过程时间尽可能短。因为在过渡过程期间系统尚未达到稳定,被控变量还未能达到最佳控制值,实际值与期望值之间有相当大的差异,所以提高响应速度,缩短过渡时间,对提高控制效率和控制过程的精度都是有利的。

在阶跃扰动作用下(如图 1-4 所示),过程控制系统的过渡过程将出现如图 1-5 所示的几种形式。

(1) 发散振荡过程

图 1-5(a) 所示的被控变量变化幅度越来越大,表现为发散振荡的过渡过程。说明了一旦扰动进入系统,经控制器的控制以后,被控变量的振荡逐渐增大,越来越偏离设定值,最后超出限度出现事故。这属于一种不稳定的控制系统,是人们所不希望的。

(2) 等幅振荡过程

图 1-5(b) 所示的被控变量变化为一等幅振荡的过渡过程,即不衰减也不发散,处于稳定与不稳定的边界。这种控制系统一般被认为是一种不稳定状态而不采用。

(3) 衰减振荡过程

图 1-5(c) 所示的就是一个衰减振荡过渡过程。被控变量经过几个周期波动后就重新稳定下来,符合对系统基本性能的要求:稳定、迅速、准确;这正是人们所希望的。

(4) 非振荡衰减过程

图 1-5(d) 所示是一个非振荡的单调衰减过渡过程。被控变量偏离设定值以后,要经过相当长的时间慢慢地才接近设定值。非振荡衰减过程符合稳定要求,但不够迅速,不是理想的不宜采用,只有当生产上不允许被控变量有较大幅度波动时才采用。

(5) 非振荡发散过程

图 1-5(e) 所示是一个非振荡发散的过渡过程。它与发散振荡过程同属于不稳定的系统,是人们所不希望的。

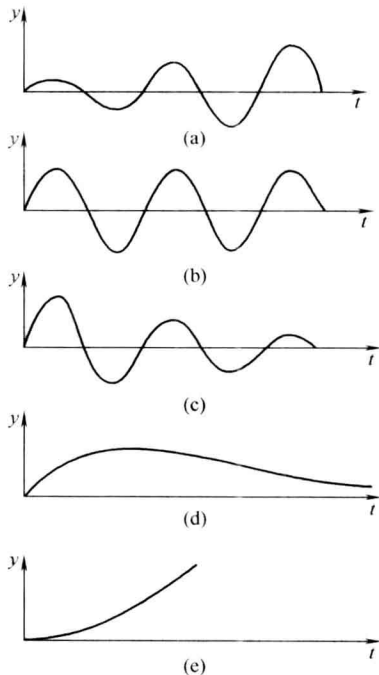


图 1-5 过渡过程的几种基本形式

小 结

(1) 主要内容

① 过程控制系统是由被控对象(被控制的生产过程或机器设备)和自动控制装置(测量变送器、控制器、控制阀)组成。方块图能够清楚地表明系统的结构和环节间的信号传递。

② 过程控制应用负反馈原理,故称反馈控制系统;通过反馈使信号传递构成闭合环路,所以又称闭环控制系统。过程控制系统通过测量变送器,把被控变量的测量值反馈到输入端

与设定值进行比较, 根据两者的偏差, 控制器的控制作用 (控制器输出) 通过控制阀调整操纵变量, 以保证被控变量与设定值一致, 尽量不受扰动的影响。过程控制系统多为定值控制系统。

③ 开环控制系统没有对控制变量进行测量和反馈, 当被控变量因系统受到扰动作用而发生偏离时, 系统没有调整作用, 通常控制精度低。

④ 过程控制系统为了完成一定任务, 必须具备一定的性能, 常用过渡过程 (或时间响应) 来衡量。对过程控制系统的基本性能要求可归纳为: 稳定、迅速、准确三点。

(2) 基本要求

① 弄清楚组成过程控制系统的结构, 掌握描述控制系统的原理图和方块图及其专用术语。

② 掌握闭环控制系统实现自动控制的基本原理, 尤其是负反馈在过程控制中的作用。学会用负反馈原理构成简单的闭环控制系统。

③ 了解开环控制与闭环控制的差别及各自的特点。

④ 弄清楚定值控制系统与随动控制系统的区别, 连续系统与离散系统的区别。

⑤ 理解控制系统过渡过程 (或时间响应) 的概念。

例题和解答

【例题 1-1】 试述开环控制系统的主要优缺点。

答 开环控制系统的主要优点是:

- ① 结构简单, 操作方便;
- ② 成本比相应的闭环系统低;
- ③ 不存在稳定性问题;
- ④ 当被控变量不易测量或在经济上不允许时, 采用开环控制比较合适。

开环控制系统的主要缺点是:

① 扰动和设定值的变化将造成偏差, 使系统的被控变量偏离希望数值, 即开环控制精度不高;

② 为了保证被控变量接近希望值, 需要随时修正设定值。

【例题 1-2】 图 1-6 所示是一个液位控制系统的原理图, 试画出相应的系统方块图。

答 控制器通过比较由浮球测量到的实际液位高度与希望液位高度的偏差, 发出一控制信号, 调整控制阀的开度, 对偏差进行修正, 从而保持液位高度不变。画出液位控制系统的方块图如图 1-7 所示。

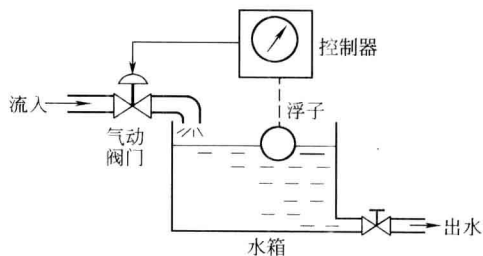


图 1-6 液位控制系统原理图

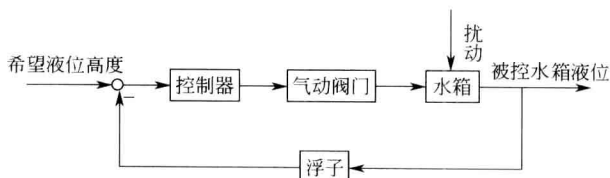


图 1-7 液位控制系统方块图

思考题与习题

- 1-1 过程控制系统由哪几部分组成？各组成部分在系统中的作用是什么？
- 1-2 过程控制系统为何又称反馈控制系统或闭环控制系统？
- 1-3 什么是控制系统的过渡过程？研究过渡过程有什么意义？
- 1-4 图 1-8 表示的是一个水位控制系统。试说明它的作用原理，画出相应的方块图；并指出系统的被控变量、操纵变量、被控对象、扰动量、控制器是什么？
- 1-5 现有一气缸如图 1-9 所示，要求缸内的压力稳定。试设计一个压力自动控制系统，画出其原理图并说明压力控制过程。

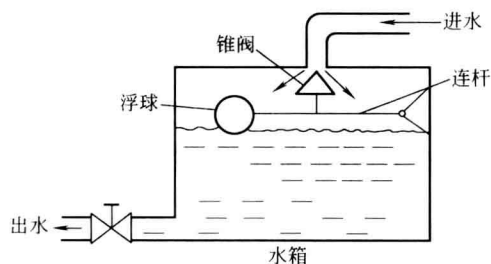


图 1-8 水位控制系统原理图

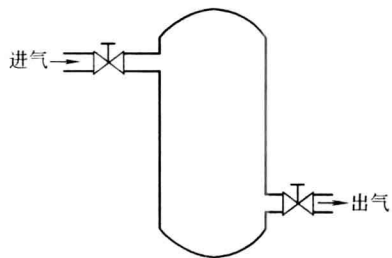


图 1-9 气缸示意图

2 过程控制系统的数学模型

2.1 被控对象的数学模型

2.1.1 数学模型

在第1章已做介绍，过程控制系统一般是由被控对象、控制器、控制阀、测量变送器等基本环节所组成的。若要对过程控制系统进行分析设计、质量改进等都应先掌握构成系统的基本环节的特性，特别是被控对象的特性。

所谓被控对象（或环节）的特性，就是被控对象（或环节）的输出变量与输入变量之间的关系。其特性可以用关系曲线表示，具有直观、简单、明了的特点；若用数学表达式来描述更具有普遍意义。描述被控对象（或环节）特性的数学表达式称为被控对象（或环节）的数学模型；描述过程控制系统特性的数学表达式称为系统的数学模型。

数学模型可以有不同的表示形式，如微分方程式、传递函数和频率特性表示式，它们常用于经典控制理论；而状态空间表达式这种数学模型又常用于现代控制理论。各种数学模型表示形式可以互相转换，微分方程式是最基本的表示形式。

关于建立被控对象数学模型（微分方程式）的一般步骤可归纳为：

- ① 根据被控对象的内在机理，列写基本的物理学定律作为原始动态方程式；
- ② 根据被控对象的结构及工艺生产要求进行基本分析，确定被控对象的输入变量和输出变量；
- ③ 消去中间变量，得到只含有输入变量和输出变量的微分方程式；
- ④ 若微分方程式是非线性的，则需要进行线性化。

如果推导出被控对象的数学模型是一阶微分方程式，则称这类对象具有一阶特性；如果数学模型是二阶微分方程式，则称这类对象具有二阶特性，其余类推。

2.1.2 一阶被控对象的数学模型

【例 2-1】 图 2-1 所示的蒸汽直接加热器是一个简单传热对象，图 2-1(a) 是由蒸汽直接加热器构成的温度控制系统，图 2-1(b) 是控制系统中的被控对象方块图。工艺要求热流体温度（即容器内温度）保持恒定值，温度控制器根据被测温度信号与设定值的偏差，经计算

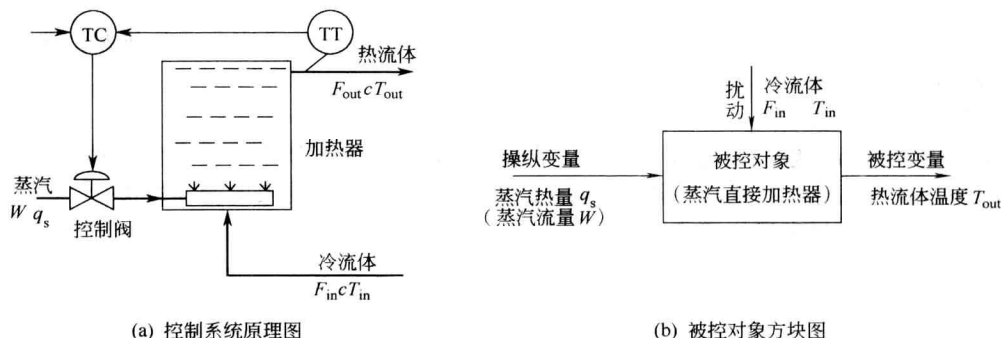


图 2-1 蒸汽直接加热器构成温度自控系统