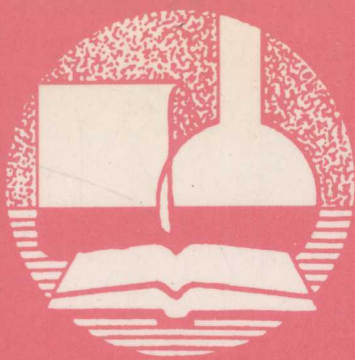




中等专业学校教材

化工仪表及自动化

(工艺类专业适用)

第二版

兰州化工学校
杜效荣 主编

化学工业出版社

中等专业学校教材

9254

化工仪表及自动化

(工艺类专业适用)

第二版

兰州化工学校 杜效荣 主编

中等专业学校
化工仪表及自动化
(工艺类专业适用)
第二版
杜效荣 主编
兰州化工学校

化学工业出版社

· 北 京 ·

(京)新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

化工仪表及自动化/杜效荣主编.—2版.—北京:化学工业出版社,
1994.11(1998.9重印)

中等专业学校教材·工艺类专业适用

ISBN 7-5025-1157-1

I. 化… II. 杜… III. ①化工仪表-专业学校-教材②自动化-
化工设备-专业学校-教材 IV. TQ056

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 03059 号

中等专业学校教材
化工仪表及自动化
(工艺类专业适用)

第二版

兰州化工学校 杜效荣 主编

责任编辑:胡忞强

封面设计:宫 历

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

新华书店北京发行所经销

北京市云浩印制厂印刷

三河市东柳装订厂装订

*

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 12³/₄ 字数 301 千字

1994 年 11 月第 2 版 1998 年 9 月北京第 7 次印刷

印 数:112701—132800

ISBN 7-5025-1157-1/G·307

定 价:14.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者,本社发行部负责调换

内 容 提 要

本书是化工中专《化工仪表及自动化》课程教材的修订版。

本书围绕化工企业工艺人员的实际需要,以自动化系统的构成为主线,介绍了构成自动控制系统的各环节的基本知识(包括对象、测量元件及变送器、显示仪表、调节器、执行器等),并介绍了常见的简单、复杂控制系统、新型仪表和计算机控制的基本知识,最后简介了信号联锁保护的初步知识。为方便教学,每章末附有习题,书后列有实验和若干图表、技术规定。

本书为化工中专工艺类专业的教材,也可以供从事化工生产的工程技术人员参考。

前 言

本书自 1980 年出版以来,经全国许多化工中等专业学校使用,基本上满足了化工工艺类专业《化工仪表及自动化》课程的教学需要。同时也发现了一些问题。这次修订再版,是根据化工部教育司 1988 年颁发的化工中专工艺类专业的教学计划和教学大纲的要求,紧紧围绕中专培养企业第一线应用型人才的目标来进行的。

根据“有体系、降理论、重实践”的总体要求,这次修订,在体系上,以自动化的基本概念为主线贯串全书,力图使学生建立系统的概念,了解常见的自动化系统的基本知识,学会使用常见的自动化工具来操作生产。由于时数少而内容多,在内容上注意以自动控制的基本知识和调节仪表的操作为主,兼顾化工变量的检测方法和仪表的工作原理;在深度上以定性为主;不作过多的理论推演和计算;在目的上,以实用为主,加强实际操作能力和读图能力的培养。

选材上,除了保留最基本的基础知识以外,删除了一些陈旧的内容,新增加了一些教学仪表、新型调节仪表、化工单元控制简介、集散控制和联锁保护等内容。每章末附有习题、书后列有实验和有关自控工程图例符号等,以供学生参考和查询。

本书由兰州化工学校杜效荣主编并编写第四、五、六、七章,杭州化工学校张寅啸编写了第一、二、三、八章,山东化工学校余瑞元编写了习题、实验等内容。全书由吉林化工学校崔浩范主审,河北化工学校王淼、南京化工学校李德萍参审。

在本书的编、审过程中,得到许多同志的支持和帮助,这里谨向大家致谢。

由于学识所限,书中若有错误、不妥之处,恳请批评指正。

编 者

1991 年 12 月

目 录

绪 论	1
第一章 化工自动化基本知识	3
第一节 概述	3
一、化工生产过程的控制	3
二、自动控制系统的组成	4
三、自动控制系统的分类	6
第二节 自动控制系统的过渡过程及其质量指标	6
一、系统的静态、动态和扰动作用	6
二、自动控制系统的过渡过程及其基本形式	7
三、过渡过程的质量指标	8
第三节 化工自动化仪表简介	10
一、自动化仪表的分类	10
二、常用的自动化仪表	10
习题与思考题	14
第二章 化工生产过程变量检测及仪表	15
第一节 检测与检测仪表的基本知识	15
一、测量过程	15
二、测量误差	15
三、精确度等级、回差和灵敏度	16
四、检测仪表的构成	17
第二节 温度检测及仪表	18
一、概述	18
二、常用测温元件及变送器	19
三、常用温度显示仪表	25
四、温度仪表的选择及安装	37
第三节 压力检测及仪表	38
一、概述	38
二、常用测压方法及仪表	39
三、压力检测仪表的选择及性能比较	46
第四节 流量检测及仪表	47
一、概述	47
二、节流式流量计	49
三、其它检测方法简介	56
四、各种流量检测元件及仪表的选用	60
第五节 物位检测及仪表	61
一、概述	61

二、常用的液位检测仪表	61
三、其它物位检测方法简介以及各种物位计性能比较	66
习题与思考题	70
第三章 对象特性	72
第一节 概述	72
第二节 描述对象特性的三个参数	73
一、放大系数 K 及其对控制过程的影响	74
二、时间常数 T 及其对控制过程的影响	75
三、滞后时间 τ 及其对控制过程的影响	76
习题与思考题	78
第四章 控制规律和调节器	79
第一节 双位控制	79
第二节 比例控制	80
一、比例控制规律及其特点	81
二、比例度及其对控制过程的影响	82
第三节 比例积分控制	84
一、积分控制规律	84
二、比例积分控制	85
三、PI 调节器的积分时间及其对控制过程的影响	85
第四节 比例微分控制	86
一、微分控制	87
二、比例微分控制规律	87
三、比例积分微分控制	89
第五节 气动调节器	90
一、浮动板式调节器	91
二、气动三针记录调节仪的使用	93
第六节 电动调节器简介	94
一、DDZ-II 型调节器	94
二、DDZ-III 型调节器	97
三、单回路调节器	98
第七节 自控系统中的其它仪表	103
一、气动定值器	103
二、Q 型操作器	104
三、电-气转换器	104
四、遥控板	104
习题与思考题	105
第五章 气动薄膜调节阀	106
第一节 气动薄膜调节阀的结构和工作原理	106
一、结构	106
二、调节阀的主要类型	107

三、调节阀的流量系数	109
四、调节阀的流量特性	109
第二节 阀门定位器	111
一、阀门定位器的工作原理	111
二、阀门定位器的作用	112
第三节 调节阀的选择、安装	113
一、调节阀的选择	113
二、调节阀的安装	114
习题与思考题	114
第六章 简单控制系统	115
第一节 简单控制系统的构成	115
一、简单控制系统的构成	115
二、被控变量的选择	115
三、操作变量的选择	116
四、滞后对控制过程的影响	116
五、调节器控制规律的选择	117
第二节 调节器参数的工程整定	117
一、临界比例度法	117
二、衰减曲线法	118
三、经验凑试法	119
第三节 简单控制系统的投运	120
一、准备工作	120
二、自动控制系统的投运	121
三、可能出现的问题	122
四、仪表是否产生故障的简单判别	122
第四节 常见化工单元的控制方案	123
一、泵的控制	123
二、压气机的控制	124
三、无相变换热器的温度控制	125
四、载热体冷凝加热器的温度控制	126
五、载热体汽化的冷却器温度控制	126
六、精馏塔的控制	127
习题与思考题	130
第七章 复杂控制系统简介	131
第一节 串级控制系统	131
一、串级控制系统的组成和特点	131
二、串级控制系统的应用	133
第二节 均匀控制系统	135
一、均匀控制系统的目的和特点	135
二、均匀控制系统的构成和使用	136

第三节 比值控制系统	136
一、比值控制系统的类型	136
二、比值控制的过程和整定	138
第四节 其它复杂系统简介	139
一、三冲量控制系统	139
二、前馈控制	139
三、分程控制系统	141
四、选择性控制	142
第五节 计算机控制系统	145
一、直接数字控制	145
二、计算机监督控制	146
三、集中分散型控制系统	146
习题与思考题	150
第八章 自动信号报警与联锁保护系统简介	152
第一节 概述	152
一、自动信号报警与联锁保护系统的组成及其基本内容	152
二、触点式信号报警与联锁保护线路的读图方法	153
第二节 自动信号报警与联锁保护电路简介	154
一、信号报警电路	154
二、联锁保护电路	155
三、无触点信号报警与联锁保护系统简介	156
习题与思考题	157
实验一 弹簧管压力表校验	158
实验二 XCZ-101 型动圈式温度指示仪的示值校验	161
实验三 XCZ-102 型动圈式温度指示仪的示值校验	163
实验四 电子自动电位差计的校验	164
实验五 简单自动控制系统的初步实践	167
附录一 标准化热电偶电势-温度对照表	169
附录二 热电阻欧姆-温度对照表	174
附录三 热电偶、热电阻型号与主要规格	180
附录四 动圈仪表型号与命名	181
附录五 自动平衡显示仪表型号命名	182
附录六 动圈仪表与自动平衡显示仪表部分规格	182
附录七 ER180 系列自动平衡仪表的规格系列	183
附录八 JS 系列数字显示仪表型号及技术特性	185
附录九 XS (M) 系列数字自动巡检仪型号与命名	186
附录十 常用弹簧管压力表型号与规格	186
附录十一 部分差压变送器与显示仪表规格	188
附录十二 气动调节阀型号编制与命名	189
附录十三 化工过程检测、控制系统设计符号统一规定 (摘录)	190

绪 论

化学工业是国民经济中必不可少的重要组成部分，它不仅直接影响国计民生，而且与国民经济的其他部门密切相关，同时，又是农业、轻工、纺织、国防、交通运输等部门发展的不可缺少的基础工业之一。

化工生产过程，往往是在密闭的管道和设备中，连续地进行着物理的或化学的变化，常常具有高压、高温、深冷、有毒、易燃、易爆等特点，因此，必须借助于各种仪表等自动化工具进行自动化的生产，才能保证生产的稳定、可靠、安全。

所谓化工生产过程自动化，就是在化工设备上，配置一些自动化装置，代替操作人员的部分直接劳动，使生产在不同程度上自动地进行。这种用自动化装置来管理化工生产过程的方式，就称为化工生产过程自动化，简称化工自动化。

实现化工生产过程自动化，不仅可以使生产保持在最佳工况下，提高产品质量和数量，节约原材料和能源，降低成本，而且可以提高设备利用率，延长设备使用寿命，实现优质高产低耗。同时能充分保证工作人员和设备的安全，减轻劳动强度，改善工作环境。更有意义的是，实现生产过程自动化，能根本改变传统的劳动方式，提高劳动者的文化素质和技术素质，有利于社会主义物质文明和精神文明建设。

化工仪表和自动化技术的发展，也是经历了一个由简单到复杂，由低级到高级的发展过程。最初，是利用一些自动检测仪表（或装置）来监视生产工艺过程，了解生产中工艺参数的情况。本世纪40年代以前，绝大多数化工生产处于人工操作状态。五、六十年代以后，化工生产向大规模、高效率、连续生产、综合利用方向迅速发展，需要一类不仅能迅速、准确地监视工艺参数，而且能迅速地进行工况分析、判断、作出操作决策的自控装置。人工的操作也越来越不能适应生产的要求，必须有更有效地执行机构来操作生产。于是，一大批自动化装置应运而生，它们就是各种检测元件、变送器、调节器、执行器、以及其他各种有关的装置等。在生产的工艺设备上和操作中，起到了“眼”、“脑”、“手”的作用，它们与生产设备一起，构成了各种各样的自动化控制系统。从此，几乎工艺生产的所有环节都与自动化装置密不可分。

七十年代以来，仪表和自动化技术又有了迅猛的发展，新技术、新产品层出不穷，气动Ⅱ型Ⅲ型仪表、电动Ⅱ型Ⅲ型仪表相继投入使用，多功能组装式仪表也投入运行，特别是微型计算机的发展，在化工自动化技术工具中发挥了巨大作用，1975年出现了以微处理器为基础的过程控制仪表——集中分散型控制系统，把自动化技术推到了一个更高的水平。

电子技术、计算机技术的发展、也促进了常规仪表的发展，新型的数字仪表、智能化仪表、程序控制器、调节器等也不断投入使用。现在，我国大、中、小型企业以及广大乡镇企业，依据不同的生产实际和需求，气动仪表、电动仪表、模拟式仪表、数字仪表、以及各种智能化仪表、计算机等都在进行使用，形成了气电结合、模数共存、取长补短、协同发展的局面。它们构成的各种自动化控制系统，极大地推动着我们的现代化建设事业。

化工生产过程自动化是一门综合性的技术学科，它是利用自动控制学科、仪器仪表学科、以及计算机学科的理论与技术，服务于化学工程学科的。在企业里，化工工艺及设备

与自动化装置已经构成了一个有机的整体，没有现代化的自动化装置，也就没有现代化的化工生产。因此，作为化工工艺技术人员，学习和掌握必要的仪表和自动化的知识是非常必要的。

本课程就是为化工工艺专业的学生开设的一门必修课，通过本课程的学习，应能了解化工自动化的初步知识，定性理解控制规律，明确调节器参数对控制质量的影响，了解主要化工变量的检测方法和常用的检测仪表、调节仪表的工作原理、选用原则，学会常用的调节仪表和自动化系统的操作方法，了解调节器参数工程整定的方法和气动薄膜调节阀的工作原理，以及自动联锁保护的有关知识。能与自动化人员默契配合，正确提供有关的工艺条件和数据，为以后从事化工生产，打下必要的基础。

第一章 化工自动化基本知识

第一节 概 述

化工自动化是化工、炼油等化工类型生产过程自动化的简称。

化工自动化的内容很广泛，它一般包括以下几个方面：

自动检测 它是利用各种检测仪表（也叫测量仪表），对生产过程中的各种工艺变量自动、连续地进行检测和显示，以供操作者观察或直接自动地进行监督和控制生产。

自动信号报警与联锁保护 在生产过程中，有时由于一些偶然因素的影响，导致工艺变量超出允许范围而出现不正常情况时，轻则造成产品质量下降，重则发生设备或人身事故。为此，常对某些关键性变量设置自动信号报警与联锁保护装置。在事故即将发生之前，信号系统自动地发出声光报警信号，如工况已接近危险状态，联锁系统立即采取紧急措施，自动打开安全阀或切断某些通路，防止事故的发生和扩大，保护人身和设备的安全。

自动操纵 它是利用自动操纵装置，根据预先规定的步骤，自动地把设备启动或停运，或交替进行某种周期性操作。例如合成氨造气车间的煤气发生炉要求按照吹风、上吹、下吹、制气、吹净等步骤周期性地接通空气和水蒸汽，自动操纵装置就可以代替操作者自动地按照一定的时间程序扳动空气和水蒸汽阀门，使它们交替地接通煤气发生炉，从而实现了远距离的自动操纵。

自动控制（也称自动调节） 化工生产过程大多数是连续性生产，各设备之间相互关联，若其中某一设备的工艺条件发生变化时，都有可能引起其它设备中某些变量的波动，偏离正常的工艺条件。为此，就需要用一些自动控制装置，对生产中某些关键性变量进行自动控制，当它们在受到外界扰动作用的影响而偏离正常状态时，能自动地对生产过程施加影响，使工艺变量回复到规定的数值范围内，保证生产过程正常地进行。

在化工自动化领域中，自动检测和自动控制作为其核心部分，在化工生产中应用得最为广泛，因此它也是本书讨论的主要内容。

一、化工生产过程的控制

化工生产过程都必须按规定的工艺变量（如温度、压力、流量、物位、浓度等）值要求稳定操作，确保化工生产实现优质、高产、安全、低消耗。但在生产过程中，由于自然或人为的原因，这些变量值往往发生波动，偏离工艺变量的规定值产生偏差。要达到稳定操作，就必须对它们及时进行检测，并对工艺生产过程实现控制，以消除这种偏差而使工艺变量恢复到规定值。

图 1-1 所示是化工厂中常见的列管式换热器。工艺上要求将冷流体加热至一定的温度，过高或过低均不合要求。

如果冷流体进口温度、流量、蒸汽阀前压力、温度等均恒定不变，则依据热量平衡的原理，可以知道换热器物料出口温度亦将不变。在这种情况下，操作者即不需要去改变蒸汽阀门的开启度。

但是实际上，上述条件常常是变动的，例如冷流体的处理量因前后工序的需要而变动，

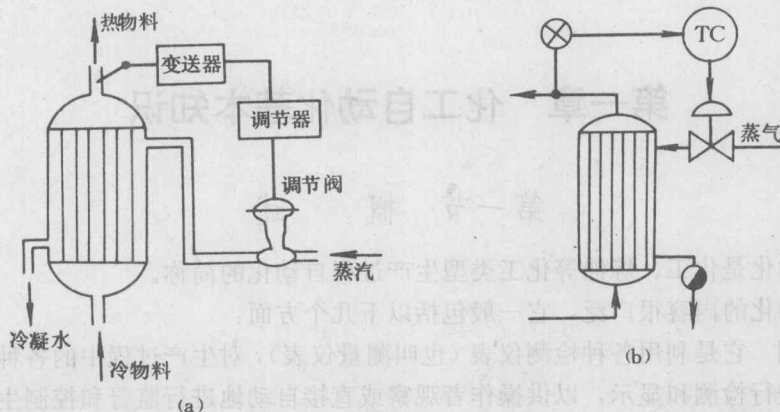


图 1-1 列管式蒸汽热交换器温度自动控制图

(a) 自动控制示意图

(b) 带控制点工艺流程图

或是蒸汽阀前压力有波动等等,因此被加热物料的换热器出口温度就不可能是恒定不变的。为了保证这一温度为工艺的规定值,就必须按换热器出口温度与工艺规定值的偏差来开大或关小进换热器的蒸汽阀门,以改变加热蒸汽的流量,而使被加热物料的换热器出口温度符合工艺的规定值。这就是换热器的温度控制过程。

实现上述控制过程的方式有两种,一是人工控制,二是自动控制。后者是在人工控制的基础上发展起来的,它是利用自动化装置代替人的眼睛、大脑和双手,实现观察、比较、判断、运算和执行功能,自动地完成控制过程。控制规律则是人工操作经验的模仿和发展。

图 1-1 中,自动化装置包括检测元件及变送器、调节器、调节阀三部分。热电阻(检测元件)和温度变送器的作用是检测换热器出口物料温度,并转换成相应的测量信号。调节器即根据温度变送器送来的测量信号,与设定值进行比较得出偏差,按已经设计好的控制规律对偏差进行运算,发出控制信号给调节阀,以开大或关小蒸汽阀门,实现控制作用,使换热器物料出口温度恢复到设定值或其附近。图 1-1 (b) 是其带控制点工艺流程图。

在化工自动化领域中,我们把生产过程中所要保持定值的工艺变量称为被控变量(本例中换热器物料出口温度)。包含被控变量的生产设备、机器或生产过程称为对象(本例中的换热器)。生产中要求保持不变的工艺指标称为设定值,设定值与被控变量的测量值之差称为偏差。控制加入对象或从对象中取出用以使被控变量保持在设定值附近的物料或能量(即流过调节阀的流量)称为操作变量(本例中的蒸汽流量)。而把作用于对象,能引起被控变量偏离设定值的种种外来因素称为扰动(本例中的冷流体流量波动,蒸汽阀前压力变化等)。

二、自动控制系统的组成

图 1-1 中,换热器和自动化装置一起的全部设备,构成了一个简单的自动控制系统。可见,要实现换热器物料出口温度的自动控制,至少必须具有检测元件及变送器、调节器、执行器(调节阀)、对象等四个部分。同理,压力、流量、物位等被控变量的任一简单自动控制系统也须由这四个部分组成,并通过传递信号连接在一起,才能实现检测、比较、判断、决策和执行等功能,完成自动控制的任务。

在分析研究自动控制系统时，为了清楚地说明系统的结构及各个组成部分（环节）之间的相互关系和信息联系，一般都采用方框图来表示自动控制系统的组成，如图 1-2 所示。

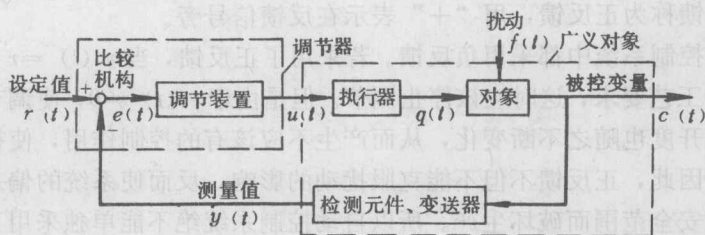


图 1-2 自动控制系统的组成

方框图中检测元件及变送器的作用是感受被控变量 $c(t)$ 并将它转换为测量值 $y(t)$ 。例如如图 1-1 中用热电阻测量温度，并用温度变送器转换成统一标准的气压信号（20~100kPa）或直流电流信号（0~10mA 或 4~20mA）。

图中的比较机构实际上是调节器的一个部分，不是独立的元件，为了更醒目地表示其比较作用，所以把它单独画出。比较机构的作用是比较设定值 $r(t)$ 与测量值 $y(t)$ 并得到其差值。在分析自动控制系统时，把偏差 $e(t)$ 定义为设定值 $r(t)$ 与测量值 $y(t)$ 之差，即 $e(t) = r(t) - y(t)$ 。（而在仪表制造行业中却相反，把偏差 $e(t)$ 定义为测量值 $y(t)$ 与设定值 $r(t)$ 之差，即 $e(t) = y(t) - r(t)$ ，两者符号相反。对此，我们应予以注意）。

调节器的作用是根据偏差的变化情况，按照预定的控制规律，输出统一标准的（气压或电流）控制作用信号 $u(t)$ 。

执行器（调节阀）的作用是接受调节器送来的信号 $u(t)$ ，相应地去改变阀门的开启度，以改变操作变量 $q(t)$ ，具体实现对被控变量的控制。执行器有电动和气动两类，化工厂中常用的执行器是气动薄膜调节阀，简称调节阀。在采用电动调节器的场合，则需经过电—气转换器，将调节器输出的电流信号转换成统一标准的气压信号后，再去驱动气动薄膜调节阀。

自动控制系统中，常把除调节器以外的执行器、对象、检测元件及变送器的组合称为广义对象。

图中的字母 $r(t)$ 、 $y(t)$ 、 $e(t)$ 、 $u(t)$ 、 $q(t)$ 、 $c(t)$ 与 $f(t)$ 尽管它们本身都代表实际的物理量，然而在控制系统中是作为信息来转换和作用的，图中直线的箭头方向表示信息的流向，而不是表示物料的流动方向。执行器所控制的介质可以是流入对象的物料或能量，也可以是从对象中流出的物料或能量，但作为信息来看，它们都是作用于对象。图中的每一个方框称为一个环节，每一个环节都接受它前面一个环节输出信号的作用，同时该环节输出信号又对它后面一个环节施加影响。作用于该环节的信息称为它的输入信号，而输入信号作用在该环节中引起变化的结果就是它的输出信号。输出信号与输入信号之间的关系仅仅取决于该环节的特性。从整个系统来看，设定值和扰动是输入信号，被控变量或其测量值是输出信号。

方框图中每一个环节的信息流向都是单向的，它沿着信号线上箭头方向前进，最后又回到原来的起点，构成一个闭合回路，这种系统称为闭环控制系统（化工厂中常见的是这

类自动控制系统),它通过检测元件及变送器,循环往复地把被控变量的测量值 $y(t)$ 送回到输入端与设定值 $r(t)$ 进行比较,这种把系统的输出信号又引回到输入端的做法称为反馈。用以消弱原输入信号的反馈称为负反馈,可用“-”表示在反馈信号旁。反之使原输入信号得以加强的反馈称为正反馈,用“+”表示在反馈信号旁。

在闭环自动控制系统中都采用负反馈。若采用了正反馈,当 $y(t) = r(t)$ 时,即表明被控变量已符合工艺要求,这时应该停止调节。但是由于 $e(t) \neq 0$,使调节器输出继续发生变化,调节阀开度也随之不断变化,从而产生不应该有的控制作用,使被控变量偏离工艺规定的指标。因此,正反馈不但不能克服扰动的影响,反而使系统的偏差越来越大,直至被控变量超过安全范围而破坏生产。所以自动控制系统绝不能单独采用正反馈。

三、自动控制系统的分类

自动控制系统按照设定值的不同情况,可以分为定值控制系统、随动控制系统、程序控制系统三种类型。

(一) 定值控制系统

定值控制系统是指被控变量的设定值在控制过程中恒定不变的系统。由于这类系统的设定值是不变的,扰动就成为引起被控变量偏离设定值的主要因素,因此定值控制系统的基本任务是克服扰动的影响,使被控变量保持在设定值上。化工生产中大多数控制系统属于这类系统,因此,未经特别说明,本书中所述的自动控制系统都是指定值控制系统。

(二) 随动控制系统

随动控制系统的设定值是不断变化的,而且没有确定的规律,它是时间的未知函数。这类控制系统的主要任务是使被控变量能够及时地、准确地跟踪设定值的变化。例如要求甲物料流量与乙物料流量保持确定的比值,而当乙物料流量随机变化时,甲物料流量即按确定的比值随之变化,这种情况就是随动控制。

(三) 程序控制系统

程序控制系统的设定值既不是固定不变的,也不是随机变化的,而是根据工艺过程的需要,按照一定的时间程序变化,即它是时间的已知函数。这类控制系统的任务是使被控变量以一定的精度随设定值而变化。例如间歇反应器的温度控制系统即属于这类系统。

第二节 自动控制系统的过渡过程及其质量指标

一、系统的静态、动态和扰动作用

在自动化领域内,把被控变量不随时间而变化的平衡状态称为系统的静态,而把被控变量随时间而变化的不平衡状态称为系统的动态。如图 1-1 换热器温度自动控制系统中,当冷物料进口温度、流量、蒸汽阀前压力、蒸汽温度、流量等均恒定不变时,系统的各个组成环节如变送器、调节器、调节阀等均暂不动作,它们的输出信号都处于相对静止状态,换热器的物料出口温度将稳定在设定值,此时整个系统处于平衡状态,亦即处于静态。当扰动出现时,如冷物料流量突然增大,对象中的能量平衡被破坏,其出口温度下降,从而使调节器等自动化装置改变操作变量克服扰动的影响,使换热器的物料出口温度逐渐上升接近设定值,直至系统重新建立平衡。被控变量这一段随时间而变化的不平衡状态就是系统的动态。

值得注意的是上述的静态与习惯上所讲的静止不同。习惯上说静止都是指静止不动,而在自动化领域中的静态是指各变量(或信号)的变化率为零,即变量保持常数不变。因为

自动控制系统在静态时,生产仍在进行,物料和能量也仍然有进有出,只是稳态进行没有改变罢了。

必须指出,在研究自动控制系统时,我们不仅要研究其静态,而且更需要了解和探讨系统的动态情况。例如图 1-1 换热器温度自动控制系统中,当冷物料流量突变(扰动)时,在自动化装置的作用下,换热器的物料出口温度能不能回到设定值;蒸汽流量应如何改变才能使其出口温度稳定在设定值附近;其出口温度达到设定值需要多少长时间等等,单凭“静态”概念已经不能简单回答和解决这些问题,因为这里均有时间概念。这就需要深入分析研究其动态情况,才能搞清诸如系统究竟能否建立起新的平衡,怎样去建立平衡,以及建立平衡所需要的时间等问题。何况系统的平衡和静态只是暂时的、相对的、有条件的,而不平衡和动态才是普遍的、绝对的、无条件的。扰动作用总是会不断地产生,自动化装置也就不断地施加控制作用去克服扰动的影响,所以自动控制系统总是一直处于动态之中,因此研究自动控制系统的重点是要研究其动态。

由上述可知,在自动控制系统中,扰动作用是破坏系统平衡状态,引起被控变量偏离设定值的外界因素,例如生产过程中前后工序的相互影响,负荷的变化,电压、气压的波动,气候的影响等等都是常见的扰动。扰动是客观存在不可避免的。在化工生产过程中,大多数对象往往同时存在数种扰动作用。扰动没有固定的形式和种类,多半属于随机性质的。在分析和设计控制系统时,为了安全和方便起见,在多种扰动中,常选取一些定型的扰动形式,其中最常用的是阶跃扰动作用,如图 1-3 所示。它在某一个瞬间突然地阶梯式地加到系统上去,并继续保持在这个幅度上。这种扰动的变化形式比较突然,比较危险,它对被控变量的影响也最大,如果一个系统能有效地克服阶跃扰动,那么对于其它比较缓和的扰动也一定能适应。同时,阶跃扰动形式简单,容易实现,便于分析、实验和计算。

二、自动控制系统的过渡过程及其基本形式

对于任何一个处于平衡状态的自动控制系统,它的被控变量总是稳定不变的。但当系统受到扰动作用后,被控变量就要偏离设定值产生偏差,从而调节器等自动化装置将根据偏差变化情况,施加控制作用以克服扰动的影响,使被控变量又回到设定值上,系统达到新的平衡状态。这种自动控制系统在扰动和控制的共同作用下,从原有平衡状态过渡到新的平衡状态的整个过程称为自动

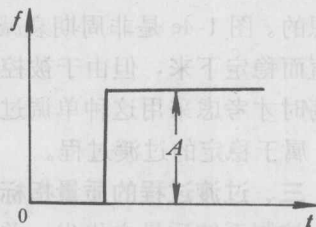


图 1-3 阶跃扰动

控制系统的过渡过程。自动控制系统过渡过程也就是系统的动态特性,它包括静态和动态。

自动控制系统的任务是在扰动作用下,仍使被控变量保持在设定值附近。扰动作用使被控变量偏离设定值,而控制作用则克服扰动的影响,驱使被控变量回到设定值,自动控制系统的过渡过程就是控制作用不断克服扰动影响的过程,这种动态过程是控制与扰动这一对矛盾在系统内相互作用的过程,当这一对矛盾得到统一时,过渡过程也就完成,系统又将达到新的平衡。

研究自动控制系统的过渡过程对设计、分析、整定和改进控制系统,具有很重要的意义。它直接反映控制系统质量的优劣,与化工生产过程中的安全及产品的产量、质量有着密切的联系。

在输入阶跃扰动和控制的共同作用下,系统的过渡过程有如图 1-4 所示的几种基本形

式,它们就是记录仪表在记录纸上画出的曲线。最理想的情况当然是被控变量能迅速地、精确地衰减和稳定下来,保持在设定值不变,亦即可包括为快速性、精确性、稳定性三个方面。

如图 1-4b 所示是发散振荡过程,它表明系统在受到阶跃扰动作用后,控制作用非但不

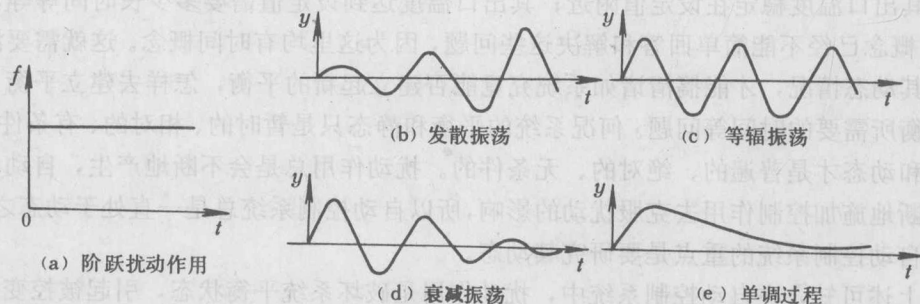


图 1-4 过渡过程的几种基本形式

能把被控变量调回到设定值,反而使其越来越剧烈地振荡逐渐远离设定值,最后到超出限度产生事故为止。显然,具有这类过渡过程的控制系统是非常危险的,也是我们所不希望的。图 1-4c 是等幅振荡过程,它表明系统受到阶跃扰动作用后,控制作用使被控变量在设定值附近作振幅恒定的振荡而不能稳定下来。因此,除了简易的位式控制外,这类过渡过程常常不能满足生产要求,在一般情况下我们也不能采用。图 1-4d 是衰减振荡过程,它表明被控变量经过一段时间的振荡后,最终能够趋向于一个稳定状态,这种过渡过程是比较理想的。图 1-4e 是非周期衰减的单调过程,它表明被控变量经过很长时间最终也能趋近设定值而稳定下来,但由于被控变量的变化速度过于缓慢,只有当生产过程不允许被控变量振荡时才考虑采用这种单调过程的控制系统。图 1-4b 及 c 属于不稳定的过渡过程,图 1-4d 及 e 属于稳定的过渡过程。

三、过渡过程的质量指标

控制系统质量之优劣,并无绝对标准,主要根据工艺要求而定。但因为在大多数情况下,我们都希望控制系统出现如图 1-4d 所示的衰减振荡过渡过程,它是研究控制系统的依据,也是衡量系统质量的前提,所以有进一步讨论这种过渡过程的必要。

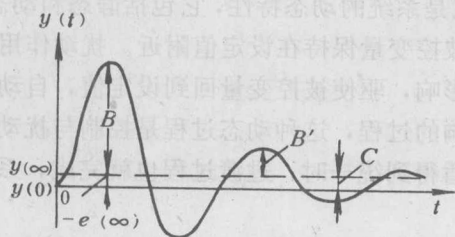


图 1-5 阶跃扰动作用下过渡过程品质指标示意图

图 1-5 为定值控制系统在阶跃扰动作用下的衰减振荡过程。用过渡过程评价系统质量时,习惯上用下面几项指标。

(一) 余差 $e(\infty)$

余差就是过渡过程终了时的残余偏差,也就是控制系统设定值 r 与被控变量稳态值 $y(\infty)$ 之差,即 $e(\infty) = r - y(\infty)$,其值可以为正也可以为负。在图 1-5 中,余差以 c 表示。余差是一个重要的静态指标,也是一个精度指标。在生产中,设定值是生产的技术