

石油化工中等专业学校统编教材

石油
化工
仪表
及自
动化

石油化工仪表及自动化

周志成 编



中国石化出版社

石油化工中等专业学校统编教材

石油化工仪表及自动化

(工艺类专业适用)

周志成 编

中国石化出版社

(京) 新登字048号

内 容 提 要

本书以自动控制系统为体系,叙述石油化工仪表及自动化方面的知识。全书共分九章。第一章过程控制基本原理介绍了自动控制系统的基本概念及对象特性、基本控制规律对控制过程的影响。第二、三、四、五章分别介绍测量元件及变送器、显示仪表、自动控制仪表和气动执行器,并列举了近几年推出的新型测量仪表和新型控制仪表。第六章介绍简单控制系统和复杂控制系统。第七章结合石油化工基本操作单元介绍各种控制方案。第八章为计算机工业控制,以一种典型产品为例介绍分散型综合控制(DCS)系统。最后一章简介自动信号联锁保护系统。

本书可作为中等专业学校化工工艺类专业的教材,也可供从事化工工艺生产的工程技术人员参考。

石油化工中等专业学校统编教材

石油化工仪表及自动化

(工艺类专业适用)

周志成 编

中国石化出版社出版

(北京朝阳区太阳宫路甲1号 邮政编码:100029)

海丰印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 14印张 358千字 印1—4000

1984年5月北京第1版 1994年5月北京第1次印刷

ISBN 7-80043-294-7/TP·009 定价:5.90元

前 言

《石油化工仪表及自动化》一书是以1989年10月茂名会议通过的《石油化工仪表及自动化》教学大纲为依据进行编写的，适用于石化普通中专工艺类专业。

现代化的石油化工生产过程，除了要求工艺人员通晓工艺和设备外，还要求有自动控制方面的基本知识。本书结合石化工艺类专业的特点和要求，以自动控制系统为体系来讲授和学习。由于自动化仪表的发展极为迅速，在教材内容的选取上，列举了近年来推出的新型测量仪表和新型控制仪表（如可编程序调节器、集散系统等），使之符合石化企业技术先进的特点。在教材内容的深广度上，贯彻“以定性为主，以实用为主”的要求，力求深入浅出，使之符合工艺专业人员的实际需要。

本书分九章。按大纲规定，课程总时数对四年制专业为85学时，对二年制专业为70学时。教学时可根据具体情况，适当增删内容。

本书是在中国石油化工总公司普通中专《化工仪表及自动化》专业指导组织领导下由上海石油化工总厂中等专科学校周志成编写。全书由兰州化工学校杜效荣主审，上海石化总厂杨华朴、燕山石化中专江沂河、兰州石油学校赵春芳、广东石油化工专科学校黄安明参审，对本书提出许多宝贵意见。对此，表示衷心感谢。

由于编者水平有限，教学经验不足，书中难免有不妥和错误之处，殷切希望读者批评指正。

编 者

1992年7月

绪 论

在生产过程中,将生产设备的操作及管理工作,通过采用各种自动化技术工具来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。这种用自动化技术工具来管理生产过程的办法,称为生产过程自动化。

石油化工自动化是石油化工类生产过程的自动化。

实现石油化工生产过程自动化,是保证生产安全、稳定、长周期、满负荷、优质的重要手段。例如,精馏塔的塔顶或塔釜温度,一般在操作压力不变情况下,必须保持一定,才能得到合格产品;加热炉出口温度的波动不能超出允许范围,否则将影响分馏效果;化学反应器的反应温度必须保持平稳,才能使效率达到指标;锅炉汽包的水位、受压容器的压力等,不允许超出规定的限度,否则将威胁生产的安全。为此,就需要借助自动化技术工具,对生产过程中的各种工艺参数加以控制。

我国生产过程自动化及仪表的发展,大致经历了下述几个阶段:

40年代至50年代,生产过程自动化开始得到发展。一些工厂、企业实现了仪表化和局部自动化。检测和控制仪表普遍采用基地式仪表和部分单元组合仪表(多数是气动仪表),实现工艺参数的稳定操作为目的的就地分散控制。

60年代至70年代,工业生产的不断发展,对生产过程自动化提出了新的要求,一些工厂、企业实现了车间或大型装置的集中控制。在仪表方面,电子技术的迅速发展为自动化仪表的完善提供了条件,开始大量采用电动单元组合(DDZ)仪表,它经历了电子管(DDZ-I型)、晶体管(DDZ-II型)、集成电路(DDZ-III型)的几个发展阶段。DDZ-I型因采用电子管而体积大、耗电量大,防爆性差,而被DDZ-II型所代替。II型仪表以晶体管为主要器件,不仅体积缩小,而且性能也得到改善。我国70年代生产的DDZ-III型仪表则以集成电路为核心器件,采用了火花防爆技术,精度较高,稳定性、可靠性也较好,多年来在石油化工生产装置中逐步取代II型仪表,而被广泛使用;同时,气动单元组合(QDZ)仪表也得到了相应的发展,QDZ仪表亦分为I型、II型和III型,QDZ-I型采用力平衡原理工作,QDZ-II型采用力矩平衡原理工作,在此基础上又发展了外形进一步小型化、反应速度快、性能稳定、功能齐全、高密度组合的III型仪表;为了满足定型、灵活、多功能的要求,又出现了组装式电子综合控制装置,以适应比较复杂的控制系统的需要;在这一阶段里,工业控制计算机开始应用于生产过程的控制,例如在炼油和石油化工生产装置中,采用工业控制计算机实现了直接数字控制(DDC)和设定值控制(SPC)。

70年代中期至今,以微处理器为核心的微型计算机(下简称微机)的出现,使生产过程的控制开始采用通用电子计算机集中管理,多台微机分散控制的集中分散型控制系统(或称分散型综合控制系统)。从而,生产过程自动化的发展进入了一个新阶段。在仪表方面,开始采用微处理器、微机与传统仪表相结合的过程检测控制仪表(包括数字调节器或可编程序调节器等)。由此,自动化仪表进入了微处理器阶段,开始向智能化方向发展。集中分散型控制系统,既解决了工业控制计算机实现大范围全面控制的集中型计算机控制的缺点,即“危险”过于集中,一旦出现故障,生产将陷于瘫痪;又解决了把计算机分散到生产装置中

去,实现小范围局部控制的分散型计算机控制的缺点,即不能适应现代工业生产高度连续化与大型化,装置与装置之间的联系日趋密切的特点,仅仅实现局部范围的孤立的控制,是难以实现全面的最优化控制的。80年代以来,这种先进的控制系统在石油化工生产的实际应用中,取得了明显的社会效益和经济效益。

一、石油化工生产过程仪表

石油化工生产过程中使用的仪表,种类繁多,结构形式各异,视不同情况,可以进行如下分类。

(一) 按仪表的用途分类

根据仪表在自动化系统中的作用和功能不同,可分为六大类:

1. 检测仪表、传感器和变送器 它们是获取工艺参数信息的工具,处于自动化系统的输入端,用于测量各种工艺参数,并将被测参数的大小转换成可以传输、显示和处理的信号或标准信号。检测元件和传感器是检测仪表和变送器的关键部件。

2. 显示仪表 各种显示仪表是将检测元件、变送器获取的信息反映给操作人员和管理人员的工具。作为人与机联系的桥梁,完成指示、记录、数字显示、打印制表、图形显示、声光报警等功能。主要品种有指示仪、记录仪、打字仪、CRT(阴极射线管的缩写)显示器、工业电视、报警器等。

3. 转换和传输仪表 这类仪表是传递信息的工具。例如电压与电流之间的转换、电信号与气信号之间的转换、模拟量与数字量之间的转换,以及数据公路(由多芯电缆与有关门电路组成的传送数据信息的通道)和标准接口等。

4. 调节控制仪表和装置 它是将检测仪表和转换传输仪表的信息和操作人员输入的信息进行处理并发出控制指令的工具,在自动化系统中起核心作用。包括基地式调节器、单元组合式调节器、组装式控制装置、顺序控制器、可编程序调节器、工业控制计算机系统等。

5. 执行器 执行机构和调节阀是接受调节控制仪表和装置的指令或直接来自操作人员的指令,输出具有一定功率的控制动作或信号,对生产过程进行操作或控制的工具。包括电动、气动、液动执行器,以及各种继电器、可控硅及开关等。目前石油化工生产中常用的为气动执行器。

6. 配套设备和装置 这是进行调试操作、投运的工具。包括操作台、仪表控制盘、稳压电源、空气压缩及净化装置等。其中,操作台是值班人员对过程和系统进行监控的工具。

(二) 按仪表的组成形式分类

1. 基地式仪表 这种仪表是将测量、显示、调节等各部分都装在一个壳体内,成为不可分割的整体。当它用来构成简单自动化系统时,仪表台数少、结构简单,但用它构成复杂系统时就较困难,不够灵活。

2. 单元组合式仪表 它是根据自动化系统中各个组成环节的不同功能(测量变送、显示、调节)和使用要求,将整套仪表划分成能独立实现某种功能的若干单元,各单元之间用统一标准信号来联系。使用中可按照生产工艺的需要,将这些单元组合,构成多种多样的、复杂程度各异的自动检测和控制系统。

3. 组装式电子综合控制装置 这是在单元组合式仪表基础上发展起来的一种功能分离、结构组件化的成套仪表装置。它能与工业控制机、程控装置、屏幕显示器等新技术工具配合使用,特别适用于大型复杂工艺设备的自动化。

4. 集中分散型控制系统 它是采用计算机技术的新一代仪表,是以微机为核心,在控制技术、计算机技术、数据通讯技术以及图象显示技术迅速发展的基础上出现的一种新型控制系统。系统由多台专用微机(例如基本控制器或其它数字调节器)分散地控制各个回路,集中监视、操作和管理整个生产过程,由上一级监控管理计算机和显示操作站完成。各台微机用数据通讯电缆联系起来,并同上一级计算机和显示、操作装置等相连。

(三) 按被测参数的不同分类

根据不同的被测参数,可以分为压力测量、流量测量、温度测量、液位测量仪表和自动成分分析仪表。

二、石油化工生产过程自动化

石油化工生产过程的自动化,按照不同功能,一般可分为四种类型。

(一) 自动检测

用各种检测仪表对工艺参数进行测量、指示或记录,称为自动检测。它代替了操作人员对工艺参数的不断观察与记录。可见自动检测只能完成了解生产过程的任务。

(二) 自动信号联锁保护

生产过程中,有时由于一些偶然因素的影响或操作不当,会导致工艺参数超出允许的范围而出现不正常情况时,就有引起事故的可能。为此,常对某些关键性参数设有信号自动报警与联锁装置。在事故即将发生前,信号系统就能自动地发出声、光信号,告诫人们注意及早采取措施。如工况已接近危险状态时,联锁系统立即采取紧急措施,打开安全阀或切断某些通路,或使工艺自动切换到安全状态。

(三) 自动操纵

利用自动操纵装置,可以自动地把设备启动或停运、或进行交替动作。如果指挥系统是一个程序信号发生器,则构成了程序控制系统。在石油化工生产中,许多机器和设备都必须按一定的程序进行运转。如离心泵是生产中主要的流体输送机械,根据离心泵工作原理,在启动过程中有关阀门的开关过程,必须按一定程序进行。

(四) 自动控制

生产过程中各种工艺条件不可能是一成不变的,特别是石油化工生产,大多数是连续性生产,各设备都互相关联着,其中某一设备的工艺条件发生变化时,都可能引起其它设备中某些参数的或多或少的波动,偏离了正常工艺条件。为此,就需要用一些自动控制装置,对生产中某些关键性参数进行自动控制,使它们在受到外界干扰的影响而偏离正常状态时,能自动地调到规定的数值范围以内,保证生产正常进行。

《石油化工仪表及自动化》课程是研究生产过程的“信息与控制”的。这是一门综合性的技术学科。在石油化工生产过程中,由于实现了自动化,人们通过自动化技术工具来管理生产,自动化技术工具与工艺及设备已结合成为有机的整体。因此,对于从事工艺的技术人员来说,学习自动化及仪表方面的知识,对于管理与开发现代化石油化工生产过程是十分重要的。

通过本课程的学习,应能具有石油化工自动化的初步知识,了解被控对象的特性,定性理解控制规律,了解调节器参数对控制质量的影响;了解主要工艺参数——压力、流量、液位、温度的常用测量方法;熟悉常用测量仪表和控制仪表的基本工作原理、主要特点和使用方法;懂得自动控制系统的基本构成原理,了解典型石油化工单元自动控制的方案;能在生产装置启动、停运过程中,初步掌握自动控制系统的投运及调节器的参数整定方法。

目 录

绪论	I	一、概述	53
第一章 过程控制基本原理	1	二、浮筒式液位计	54
第一节 自动控制系统概述	1	三、差压式液位计	56
一、人工控制与自动控制	1	第四节 温度的测量	58
二、自动控制系统的组成	2	一、概述	58
三、自动控制系统的方框图	2	二、热电偶温度计	60
四、负反馈的概念	4	三、热电阻温度计	69
五、自动控制系统的分类	5	四、测温仪表的选用与安装	72
第二节 自动控制系统的过渡过程	6	习题与思考题	74
一、系统的稳态与动态	6	第三章 显示仪表	76
二、自动控制系统的过渡过程	7	第一节 概述	76
三、过渡过程的品质指标	8	一、模拟式显示仪表	76
四、影响过渡过程品质的因素	9	二、数字式显示仪表	77
第三节 对象的特性	10	三、图象显示器	77
一、研究对象特性的意义	10	第二节 自动平衡式显示仪表	77
二、对象的特性	10	一、电子自动电位差计	78
第四节 调节器的基本控制规律	16	二、电子自动平衡电桥	82
一、双位控制	17	三、自动平衡式显示仪表的改进	84
二、比例控制	18	第三节 数字式显示仪表	84
三、积分控制	22	一、数字式显示仪表的分类	84
四、微分控制	25	二、数字式显示仪表的原理和组成	84
习题与思考题	28	三、数字式显示仪表实例	86
第二章 工艺参数的测量和变送	31	四、数字式显示仪表的主要技术指标	87
第一节 压力的测量和变送	32	习题与思考题	87
一、概述	32	第四章 自动控制仪表	89
二、弹簧管压力表	33	第一节 概述	89
三、应变式压力变送器	35	一、自动控制仪表的分类	89
四、气动压力变送器	37	二、单元组合式仪表	90
五、压力表的选用与安装	39	三、自动控制仪表的信号制和信号传输方式	91
第二节 流量的测量和变送	41	第二节 气动调节器	94
一、概述	41	一、气动调节器的类型和构成	
二、差压式流量计	43		
三、漩涡式流量计	51		
第三节 液位的测量和变送	53		

原理	94
二、QXJ-213B型气动记录调 节仪	97
第三节 DDZ-Ⅲ型电动调节器	98
一、DDZ-Ⅲ型与DDZ-Ⅰ型仪表 比较	98
二、DDZ-Ⅲ型调节器的组成和 使用	100
第四节 可编程序调节器	103
一、概述	103
二、可编程序调节器的基本 构成	105
三、KMM可编程序调节器	106
四、SLPC可编程序调节器 简介	114
第五节 组装式电子综合控制 装置	116
一、控制装置的特点	116
二、控制装置的基本组成	116
习题与思考题	118
第五章 气动执行器	120
第一节 气动执行器的组成与 分类	120
一、组成	120
二、气动执行机构	121
三、气动调节机构(调节阀)	122
第二节 气动执行器的选用	122
一、调节阀的尺寸选择	122
二、气开式与气关式的选择	123
三、调节阀结构形式的选择	124
四、调节阀流量特性的选择	126
第三节 阀门定位器	131
一、阀门定位器的作用	131
二、阀门定位器的结构原理	131
第四节 调节阀的安装和维护	132
习题与思考题	133
第六章 自动控制系统	134
第一节 简单控制系统	134
一、简单控制系统的组成	134
二、被控变量的选择	135

三、操作变量的选择	136
四、控制系统的投运	137
五、调节器参数的工程整定	140
第二节 串级控制系统	143
一、串级控制系统的组成	143
二、串级控制系统的工作过程	144
三、串级控制系统的特点和适用 场合	145
四、副变量的选择	145
五、串级控制系统的投运	146
六、串级控制系统的参数整定	147
第三节 均匀控制系统	148
一、均匀控制的目的与要求	148
二、均匀控制的方案	149
第四节 比值控制系统	150
一、什么是比值控制	150
二、比值控制的方案	151
第五节 分程控制系统	152
一、什么是分程控制	152
二、分程控制的应用及示例	152
第六节 前馈控制系统	154
一、前馈控制的特点	154
二、前馈控制系统主要形式	154
三、前馈控制系统应用示例	156
第七节 选择性控制系统	157
一、选择性控制的基本原理	157
二、选择性控制系统的类型	158
习题与思考题	159
第七章 典型石油化工单元的控制 方案	162
第一节 流体输送设备的控制 方案	162
一、离心泵的控制方案	162
二、往复泵的控制方案	163
三、压缩机的控制方案	164
第二节 传热设备的控制方案	165
一、无相变换热器的温度控制 方案	165
二、蒸汽冷凝的加热器温度控制 方案	166

三、低温冷却器的控制方案	167	习题与思考题	190
第三节 精馏塔的控制方案	168	第九章 自动信号联锁保护系统	191
一、精馏塔对自动控制的要求	168	第一节 概述	191
二、精馏塔的主要干扰因素	169	第二节 信号报警系统	191
三、操作变量与被控变量的 选取	170	一、信号报警系统的基本工作 状态	191
四、精馏塔常用控制方案	170	二、信号报警系统的类型	192
五、精馏塔塔压的控制方案	173	三、信号报警系统示例	192
第四节 化学反应器的控制方案	174	第三节 联锁保护系统	193
一、化学反应器的控制要求	175	一、联锁系统的组成	193
二、化学反应器的控制方案	175	二、联锁系统示例	193
习题与思考题	177	习题与思考题	194
第八章 计算机工业控制	179	附录一 压力单位换算	194
第一节 概述	179	附录二 常用弹簧管压力表规格	195
第二节 直接数字控制 (DDC) 系统	180	附录三 常用热电偶分度表	196
第三节 计算机监督控制 (SCC或 SPC) 系统	181	附录四 常用热电阻分度表	204
第四节 分散型综合控制(DCS) 系统	181	附录五 动圈仪表型号命名	208
一、DCS 系统的主要特点	181	附录六 自动平衡显示仪表命名	208
二、DCS 系统的基本构成	184	附录七 自控设计图例符号	209
三、TDC-3000 集散系统	185	附录八 部分电气元件的图形符号和 文字符号	211
		参考书目	212

第一章 过程控制基本原理

第一节 自动控制系统概述

一、人工控制与自动控制

石油化工生产过程都必须在规定的温度、压力、浓度等工艺参数条件下进行。为此，必须对生产过程进行控制或进行调节。自动控制系统是在人工控制的基础上产生和发展起来的。所以，在开始介绍自动控制的时候，先分析人工操作，并与自动控制加以比较，对了解和分析自动控制系统是有裨益的。

图1-1是一个热交换器加热过程控制的例子。它是一个蒸汽加热的热交换器，工艺需要把冷物料加热到一定的温度，高于或低于这个规定温度均不符合要求。如果进入热交换器的物料流量、比热容、进口温度；加热蒸汽的压力、流量以及热交换器的散热情况等等都是恒定不变的，则根据热平衡原理，可以认为被加热物料的出口温度也将是恒定不变的。但是实际上，以上工艺条件往往是要变化的。例如，冷流体的处理量因为前后工序的需要有时就要变动，冷流体的入口温度也可能不同，加热蒸汽的压力也会波动（引起蒸汽流量也波动）。

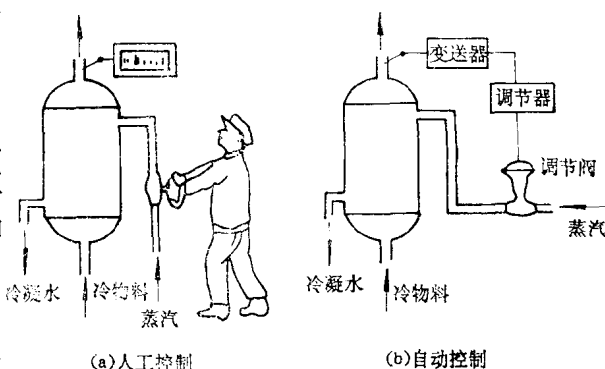


图 1-1 热交换器加热过程控制

因此，被加热物料的出口温度就不可能是恒定的。为了保证这一温度为规定值，操作人员就必须根据出口温度与规定值的偏差来开大或关小蒸汽进口阀门，以改变蒸汽流量，从而使被加热物料的出口温度符合规定值。

图1-1 (a) 是人工控制的示意图。整个控制过程是这样的：在被加热流体出口管道上，一台温度测量仪表随时指示出被加热流体出口温度。操作人员首先用眼睛去观察被加热流体的出口温度，通过大脑思考，即大脑根据观察到的温度与工艺规定的出口温度加以比较，计算出偏差；再根据此偏差的大小及变化的趋势，经过思考从而决定要把蒸汽阀门的开度作如何的变更；最后发出调节命令，用手把蒸汽阀门按照思考所决定的结果开大或关小。上述过程不断重复下去，直至被加热物料出口温度回到所规定的数值为止。以上这个过程叫做人工控制过程。

在人工控制中，操作人员的眼、脑、手分别起着“观察”、“思考”、“执行”三种功能。如果用一套自动化技术工具来代替或模拟操作人员的这三种功能，从而使控制过程自动地进行，那么就叫自动控制，图1-1 (b) 是自动控制的示意图。它用热电阻和温度变送器代替人的眼睛，测量被加热物料的出口温度，并将测得的温度信号送至调节器。调节器起着人

的大脑的作用，它把测量得到的数值与规定的数值进行比较，计算出偏差的大小，发出控制命令，送至执行器（或称调节阀）。执行器代替人的手的功能来开大或关小蒸汽阀门，改变进入热交换器的蒸汽量以完成控制作用。

在自动控制过程中，热交换器中被加热物料的出口温度，可以在没有人的直接参与下，自动地维持在规定值。所以，自动化技术工具在一定程度上代替了人的劳动，但应指出，在自动控制过程中，自动化技术工具只能按人们预先的安排来动作，而不能代替人的全部劳动。

二、自动控制系统的组成

图1-1 (b) 所示的热交换器、热电阻与温度变送器、调节器、执行器，构成了一个完整的自动控制系统。从图中可以看出，一个自动控制系统主要由两大部分组成：一部分是起控制作用的整套自动化技术工具，即自动控制仪表，它包括测量元件及变送器、调节器及执行器等；另一部分是自动控制仪表所控制的生产设备，即被控对象。现分别讨论如下。

（一）被控对象

在自动控制系统中，需要控制其工艺参数的生产设备或机器叫做被控对象，简称对象。图1-1中所示的热交换器就是这个温度控制系统的被控对象。石油化工生产中，常见的被控对象有各种塔器、反应器、泵与压缩机以及各种容器、贮罐等。在复杂的生产设备中，如精馏塔、吸收塔等，在一个设备上可能有好几个控制系统。这时在分析被控对象时，就不一定是生产设备的整个装置。譬如说，一个精馏塔，往往塔顶需要控制温度、压力等，塔底又需要控制温度、塔釜液位等，有时中部还需要控制进料流量，在这种情况下，就只有塔的某一相应有关的部分才是某一个控制系统的被控对象。例如，在讨论进料流量的控制系统时，被控对象指的仅是进料管道部分，而不是整个精馏塔本身。

（二）测量元件和变送器

它是用以感受并测量被控制的工艺参数的变化，并将其转变为标准信号（如气压、电流等）输出的仪表。图1-1中的测量元件热电阻阻值的大小是随被加热物料出口温度的变化而变化，通过温度变送器，再转换成调节器所要求输入的标准信号。

（三）调节器

它把测量元件和变送器送来的标准信号与工艺上需要保持的工艺参数规定值（称为设定值）相对应的信号值进行比较，得出偏差。根据这个偏差的大小和变化趋势，按预先设计好的运算规律进行运算后，输出相应的控制信号（气压、电流等）给执行器。

（四）执行器

根据使用能源的不同，执行器主要有电动和气动两类。石油化工生产过程中使用的执行器形式主要是气动薄膜调节阀，简称调节阀。它接受调节器来的信号，改变阀门的开启度来改变物料量或能量的大小。

一个自动控制系统，以上几个部分是必不可少的。除此之外，还有一些附属部分，如计算类仪表、转换类仪表、显示仪表等。

三、自动控制系统的方框图

在研究自动控制系统时，为了更清楚地表示出系统各个组成部分之间的相互影响和信号联系，一般都用方框图来表示自动控制系统的组成和功能。例如，图1-1 (b) 所示的温度控

制系统可以用图1-2所示的方框图来表示。

图1-2中，每个方框表示组成系统的一个部分，称之为环节。方框与方框之间用带箭头的直线来表示信号的相互联系和传递方向，箭头指向方框的信号表示为这个环节的输入，箭头离开方框的信号表示为这个环节的输出。线上的字母表示相互作用的信号。每一环节的输入信号直接影响它的输出信号，即前者是引起变化的原因，而后者是变化的结果。方框图中的信号只能沿箭头方向通过，具有单向特性，不能自动倒回。

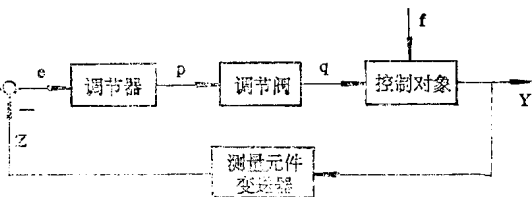


图 1-2 自动控制系统方框图

下面结合图1-1 (b) 温度控制系统的例子，分析方框图中各个环节的输入与输出信号的意义：

(一) 被控变量 Y

按照工艺要求，应该保持在预定的变化幅度之内的某些参数，对它们进行控制，则这些参数称为被控变量。上例中的物料出口温度即是被控变量。被控变量是被控对象的输出信号，同时又是测量元件和变送器的输入信号。

(二) 干扰作用 f

在自动控制系统中能引起被控变量偏离设定值的外界因素，称为干扰作用。如物料的流量或进口温度变化时，将引起物料出口温度发生变化。干扰作用是作用于对象的输入信号，它使正常的生产过程产生波动。

在分析控制系统时，常假设一些特定的干扰形式，其中常用的是阶跃干扰作用（见图1-3），可用如下数学式表示。

$$f(t) = \begin{cases} 0 & t < t_0 \\ A_0 = \text{常数} & t \geq t_0 \end{cases}$$

上式说明，当 $t=t_0$ 时，突然加上一个阶跃信号 A_0 ，此后一直保持不变。所以，阶跃干扰是一种突变作用，而且一经产生就持续下去不再消失。它对被控变量的影响最大，为最不利于控制的干扰作用形式。若一个自动控制系统能够很好地克服阶跃形式的干扰，那么其它形式的干扰就不难克服了。

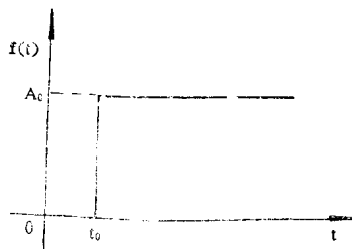


图 1-3 阶跃干扰形式

(三) 控制作用 q 与操作变量

利用调节阀去改变物料或能量的大小，来克服干扰对被控变量的影响，这种手段就叫做调节阀的控制作用。控制作用q是作用于对象的输入信号，它将影响被控变量Y（如加热蒸汽流量的变化将影响物料出口温度的变化），使之重新回复到规定的变化幅度之内。同时，控制作用也是调节阀这个环节的输出信号。所以，调节阀开度的变化也就意味着有一个控制作用输入到对象。

具体实现控制作用的变量叫做操作变量（调节参数），如上例中流过调节阀的蒸汽流量就是操作变量。用来实现控制作用的物料一般称为控制介质，如上例中的加热蒸汽就是控制

介质。

(四) 测量值Z

它是变送器的输出信号,是被控变量经测量、变送后的值。它以统一的标准信号(气压、电流等)来反映被控变量的大小。

(五) 偏差e

测量值信号Z与设定值信号X在调节器的比较机构进行比较,得到的差值即为偏差信号,并作为调节器的输入信号。

值得注意的是,在讨论自动控制系统时,习惯用设定值减去测量值作为偏差信号,即 $e=X-Z$ 。但在单独讨论调节器时,偏差信号是用测量值减去设定值的,即常把 $Z>X$ 称为正偏差; $Z<X$ 称为负偏差。学习时应注意。

比较机构实际上是调节器的一个组成部分,不是一个独立的部分,在图中把它单独画出来(一般方框图中以○或⊗的符号表示)为的是更清楚地说明其比较作用。

(六) 调节器输出信号P

调节器输出信号送至执行器,使调节阀的开度发生变化,从而克服干扰作用对被控变量的影响。所以,调节器输出信号P的变化就意味着阀门开度的变化。

用同一个方框图,有时可以代表不同的控制系统。例如图1-4所示的液位控制系统,当进口流量的变化引起贮槽3液位发生变化时,可以通过差压变送器1测得液位变化,并将输出信号送至液位调节器2。

液位调节器输出信号送至调节阀4,以改变出口流量来维持贮槽的液位不变。这时,被控对象是贮槽;被控变量是液位;干扰作用代表的是进口流量的变化;而调节阀的输出信号即控制作用是贮槽出口流量的变化,所以贮槽出口流量即为操作变量。

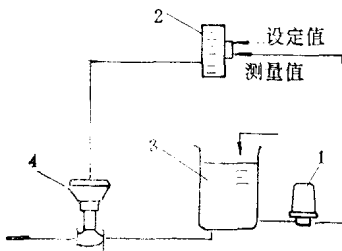


图 1-4 贮槽液位控制系统

1—差压变送器; 2—液位调节器; 3—贮槽; 4—调节阀

自动控制系统的方框图与工艺流程图是有区别的。前者画的是控制系统各组成部分的信号联系,所以又常称为信号流程图;后者所表示的则是工艺物料的流动方向。工艺流程图上的物料线是代表物料从一个设备进入另一个设备,而方框图上的线条及箭头方向只代表信号作用方向,并不代表物料流动方向。例如,对于调节阀来说,它控制着流体的流量(即操作变量),从而把调节作用施加于被控对象去克服干扰作用的影响,以维持被控变量在设定值上。所以调节阀的输出信号q,任何情况下都是指向被控对象的。然而调节阀所控制的调节介质却可以是流入对象的(如图1-1中的加热蒸汽),也可以是流出对象的(如图1-4中的出口流体)。这说明方框图中,调节阀这个方框的输出信号线只是代表施加到对象的控制作用,而并不是具体的流入或流出对象的流体。

四、负反馈的概念

从图1-2的方框图看出,它的各个组成部分的信号传递过程为: $Y \rightarrow Z \rightarrow e \rightarrow P \rightarrow q \rightarrow Y$,形成了一个闭合回路。所以,由方框图所示的自动控制系统是一个闭环控制系统。

控制系统的输出信号也就是被控变量Y,它经过测量元件和变送器后,又返回到系统的输入端与设定值相比较。这种把系统的输出信号以一定方式重新作用到系统的输入端叫做反

馈。闭环系统就是通过反馈作用形成的，故也称为反馈控制系统。

从图1-2还可以看到，在反馈信号 Z 旁有一个负号“-”，而在设定值信号 X 旁有一正号“+”，这表示两个信号通过比较机构进行比较时作用方向相反，以 X 作为正值，以 Z 作为负值，偏差 $e=X-Z$ ，通常称这种反馈作用为“负反馈”。若反馈信号 Z 取正值，与系统的输入信号作用方向相同，即比较结果是两个信号之和（ $e=X+Z$ ）时，则称为“正反馈”。在自动控制系统中，目的是为了纠正偏差而稳定输出，总是要求引入负反馈。例如，图1-4中被控变量（贮槽液位）受到干扰作用而升高时，反馈信号将高于设定值，即 $Z>X$ ，经比较得到的偏差信号为负值，即 $e=X-Z<0$ ，调节器发出信号，使装在出口管道上的调节阀开大，贮槽液位下降，直到达到设定值，即 $e=X-Z=0$ ，控制作用停止，系统保持稳定。这样就达到了控制的目的。负反馈在定值控制（ X 为恒定值）的特定情况下也可以这样简单理解，偏差是设定值与测量值之差，自动控制的目的是使偏差为零，只有设定值和测量值做减法才能实现。闭环系统正是利用负反馈获得的偏差进行控制，使系统达到稳定。否则，如果引用了正反馈，那么控制作用不仅不能克服干扰作用的影响，反而是推波助澜，即当被控变量液位受到干扰作用增高时， Z 亦增高，调节阀的动作方向必然使贮槽液位进一步上升，而且只要被控变量稍微有点变化，控制作用就会使偏差越来越大，直至被控变量超出安全范围而破坏生产。因此自动控制系统必须构成负反馈回路。

以上所述的自动控制系统是具有负反馈的闭环系统。

五、自动控制系统的分类

自动控制系统有多种分类方法，如可以按被控变量压力、流量、液位、温度等分类，也可按控制规律分类，每一种分类方法都只反映了自动控制系统的某一特点。

若按控制系统的结构特点分类，可以分为开环控制系统和闭环控制系统两类。

（一）开环控制系统

开环系统分两种，一种是按设定值进行控制，如图1-5（a）所示。被控对象为蒸汽加热器，被控变量为被加热流体出口温度；操作变量为蒸汽流量。其蒸汽流量与设定值间保持一定的关系，当设定值变化时，蒸汽流量随之变化。由于该系统没有被控变量的反馈，所以不构成闭合回路，故称为开环控制系统。另一种是按干扰进行控制，即所谓前馈控制，在蒸汽加热器中，如果负荷是主要干扰，则使蒸汽流量与冷流体流量保持一定关系，当干扰出现时，蒸汽流量随之变化，如图1-5（b）所示。由于它也没有被控变量的反馈，故也称为开环控制系统。

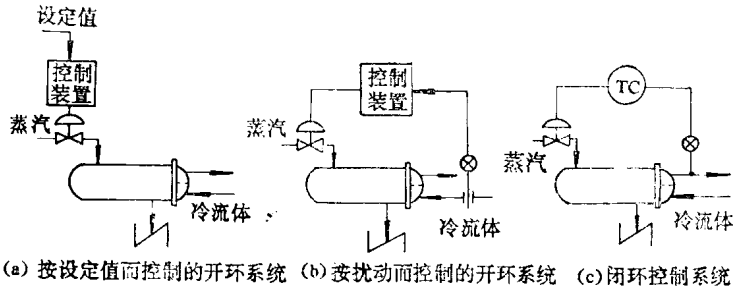


图 1-5 控制系统的基本结构

（二）闭环控制系统

闭环控制系统又称反馈控制系统，它是按偏差进行控制的。在蒸汽加热器的出口温度控制系统中，根据偏差情况改变蒸汽流量，如图1-5（c）所示。因为该系统由被控变量的反馈构成一个闭合回路，所以称为闭环控制系统。

在闭环控制系统中，按设定值情况的不同，又可分为三种类型。

1. 定值控制系统 这类系统的设定值是恒定不变的。石油化工生产领域里的自动控制系统，凡要求被控变量平稳不变的，或者说要求被控变量的设定值不变，那么就需要采用定值控制系统。图1-1所讨论的温度控制系统就是定值控制的一个例子，这个控制系统的目的是使被加热物料的出口温度保持在设定值不变。石油化工生产中的自动控制大多数是这种类型的系统。

2. 随动控制系统 这类系统的设定值随时间任意变化的，也就是说设定值是随机变化的。它的主要任务是使被控变量能够尽快地、准确地跟踪设定值的变化。在石油化工自动化中，有些比值控制系统就属此类，例如要求甲流体的流量与乙流体的流量保持一定的比值，当乙流体的流量变化时，甲流体流量能按一定比例随之变化。

3. 程序控制系统 这类系统的设定值也是变化的，但它随时间变化的规律是已知的，即被控变量的设定值按一定的时间程序变化。这类系统在间歇生产过程中应用比较普遍，例如合成纤维锦纶生产中的熟化罐温度控制就是这类系统的例子。近年来，程序控制系统应用日益广泛，一些定型的或非定型的程控装置越来越多地被应用到生产中，微机的广泛应用为程序控制系统提供了良好的技术工具。

第二节 自动控制系统的过渡过程

一、系统的稳态与动态

在自动控制系统中，被控变量不随时间变化的平衡状态称为系统的稳态（也称静态）；被控变量随时间变化的不平衡状态称为系统的动态。

当一个自动控制系统的输入（设定值与干扰）和输出均恒定不变时，整个系统就处于一种相对平衡状态，系统的各个组成环节如变送器、调节器、调节阀都不改变其原先的状态，它们的输出信号都处于相对静止状态（即指信号的变化率为零），这种状态就是上面所述的稳态。只有当进入被控对象的物料量（或能量）等于流出被控对象的物料量（或能量）时，才有可能建立系统的稳态。例如图1-1所示的温度控制系统，只有当进入热交换器的热量等于从热交换器带走的热量时，物料出口温度才能恒定，系统才处于稳态；图1-4所示的液位控制系统，只有当流入贮槽的流量等于流出贮槽的流量时，液位才能恒定，此时系统就达到了稳态。

当系统受到干扰作用，平衡被破坏，使被控变量发生变化，经过控制，克服干扰作用的影响，当流入物料量（或能量）和流出物料量（或能量）又重新达到平衡时，系统又重新进入稳态。在这一段时间内系统的各个环节和输出信号都处于变动状态之中，这种状态就是动态。这样，系统就经历了下面所示的一个控制过程：

稳态Ⅰ（平衡） $\xrightarrow[\text{（平衡破坏）}]{\text{干扰作用}}$ 动态过程 $\xrightarrow[\text{（克服干扰）}]{\text{控制作用}}$ 稳态Ⅱ（平衡）

稳态是暂时的、相对的、有条件的，而动态才是普遍的、绝对的、无条件的。干扰作用会不断地产生，控制作用就要不断地克服干扰的影响。自动控制系统总是一直处于运动过程之中，故研究自动控制系统，重点是研究系统的动态，即研究干扰作用与控制作用这一对矛盾的相互作用而产生的被控变量的变化过程。

二、自动控制系统的过渡过程

自动控制系统在动态中，被控变量随时间变化的过程称为自动控制系统的过渡过程或控制过程，也就是系统从一个平衡状态过渡到另一平衡状态的过程，如图1-6所示。图中被控变量 Y 随时间 t 变化的曲线称为过渡过程曲线（也叫做调节过程曲线）。

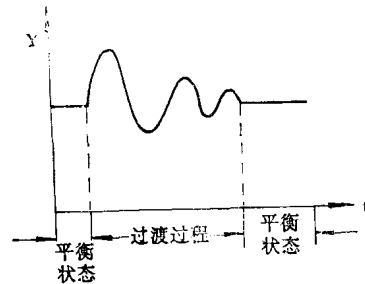


图 1-6 过渡过程示意图

对于一个自动控制系统，不管在设计或运行阶段，衡量系统控制质量的依据主要是系统的过渡过程。评价控制的好坏，通常是在相同的阶跃输入信号作用下，比较它们的输出信号（被控变量）的变化过程。

一般来说，自动控制系统在阶跃干扰作用下的过渡过程有图1-7所示的几种基本形式。

（一）稳定的过渡过程

如果自动控制系统受到一次干扰后，经过控制能够达到新的平衡状态，即被控变量能够达到新的稳定数值，那么这就叫做稳定的控制过程。稳定的控制过程又分为衰减振荡和非周期过程两种，如图1-7 (c) 和 (b) 所示。前者表明系统受到干扰后，平衡被破坏，经过控制，被控变量经历二、三次波动后衰减而趋于稳定；后者表明被控变量没有经过什么波动就平稳但缓慢地回到了稳态值，或在允许范围内。由于非周期控制过程变化缓慢，过渡时间长，且被控变量在动态中变化幅度大，不能满足生产上的需要，故一般不予采用。在大多数情况下，要求采用衰减振荡的过渡过程。

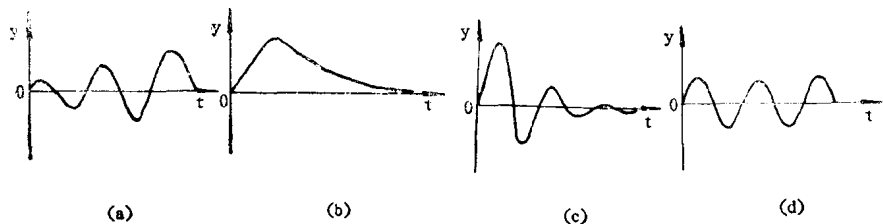


图 1-7 控制系统过渡过程曲线

（二）不稳定的过渡过程

自动控制系统受干扰后，如被控变量的变化呈发散振荡或等幅振荡的形式，就叫做不稳定的过渡过程，如图1-7 (a)、(d) 所示。

图1-7 (a) 所示的过程是被控变量随时间的增长而无限增加，到某一时刻，被控变量的数值就可能超出生产允许的极限值而发生事故。故发散振荡的过程是非常危险而不能采用的过程。

图1-7 (d) 所示的是一个等幅振荡过程。这种过程处于稳定与不稳定之间，一般也认为是不稳定过程。由于被控变量长期振荡不息也是不允许的，所以等幅振荡也是不能采用的过