

应用型本科院校校企合作开发系列教材

化工仪表及自动化

主 编 邓进军 姜洪涛
副主编 刘 达 宋宏明
曹帼英

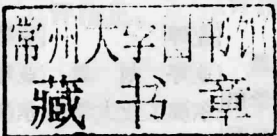


哈尔滨工业大学出版社
HARBIN INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

应用型本科院校校企合作开发系列教材

化工仪表及自动化

主 编 邓进军 姜洪涛
副主编 刘 达 宋宏明 曹帼英



哈尔滨工业大学出版社

内容提要

本书是校企联合编写教材,除了介绍自动控制系统相关基本概念和检测仪表、简单控制系统、复杂控制系统等理论知识外,还增添了仪表控制的相关案例和自动化控制系统的上机操作训练内容,最后结合生产工艺介绍了典型化工单元操作,通过单元仿真模拟训练对教学进行补充和强化。

本书可作为高等学校化学工程与工艺、应用化学、油气储运工程等工科领域的教材,也可供相关工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

化工仪表及自动化/邓进军,姜洪涛主编. —哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社,2018.2
ISBN 978-7-5603-7288-4

I. ①化… II. ①邓… ②姜… III. ①化工仪表②化工过
程—自动控制系统 IV. ①TQ056

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 031130 号

策划编辑 范业婷
责任编辑 范业婷 刘 瑶
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 哈尔滨圣铂印刷有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 22 字数 562 千字
版 次 2018 年 2 月第 1 版 2018 年 2 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5603-7288-4
定 价 45.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

随着科技的迅猛发展,化工仪表及自动化技术已经成为现代工业发展的重要支撑,更是推进我国化工行业化发展的有力保障,契合了新时期我国社会发展的需求。同时,“新工科”的出现,更加凸显了综合性专业课程的重要性,化工仪表及自动化课程作为典型代表之一,在高校工科类专业人才培养方案中占有非常重要的地位。本书的编写正是为了提升学生的设计思维和创新实践能力,培养具有创新意识的应用技术型人才。

本书在编写过程中,吸取了企业专家的宝贵意见,并吸收了各编写单位关于化工工艺、仪表操作和自动化控制方面的研究成果。在内容编写方面,注意先进性与实用性,保留传统内容,更新现代内容,使其相互渗透与融合;注重理论知识与实际相结合,对过于理论化的知识进行了适当的调整,对于实践性较强的理论部分,增添了现场操作案例,以辅助教学,提高学生的创新意识和能力;在内容的广度和深度方面有一定的加强,突出了自动化控制的重要性,在PLC和DCS控制系统中增加了上机模拟训练内容,以保证所学知识与社会发展相一致。

参加本书编写的有:大庆师范学院邓进军(第1、2、4章及第3.1、3.2节)、大庆师范学院刘达(第5、7章),大庆师范学院机电工程学院宋宏明(第8.1~8.13节),大庆油田化工有限公司曹帼英(第6章,第8.14、8.15节及第9章)、大庆油田化工有限公司姜洪涛(第3.3~3.8节)。全书由邓进军、姜洪涛担任主编并进行统稿。

本书在编写过程中,得到许多老师和学生的帮助,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,文中难免存在不当和疏漏之处,敬请读者批评指正。

作 者

2018年1月

目 录

第1章 化工仪表自动化概述	1
1.1 化工自动化基本知识	1
1.2 自动控制系统	8
1.3 自动控制系统的过渡过程和品质指标	10
第2章 仪表基本知识	16
2.1 测量过程与测量误差	16
2.2 测量仪表的品质指标	17
2.3 测量系统中的常见信号类型及传递形式	21
2.4 测量仪表与测量方法分类	22
2.5 仪表识图	23
第3章 检测仪表及传感器	37
3.1 概述	37
3.2 温度检测仪表及应用	38
3.3 压力测量仪表及应用	59
3.4 流量检测仪表及应用	71
3.5 物位测量仪表及应用	100
3.6 成分分析仪表	120
3.7 机械量检测仪表	130
3.8 传感器	133
第4章 执行器	137
4.1 执行器的特性	137
4.2 调节阀的应用	142
4.3 调节阀及执行机构的选型	163
4.4 调节阀的维护与常见故障处理	171
第5章 自动控制系统基本规律	179
5.1 概述	179
5.2 基本控制规律及其对系统过渡过程的影响	179
第6章 简单控制系统	189
6.1 简单控制系统的结构与组成	189
6.2 被控变量的选择	190
6.3 操纵变量的选择	192
6.4 控制器控制规律的选择及参数整定	193
6.5 控制系统的投运及操作中的常见问题	198

6.6 实例分析	204
第7章 复杂控制系统	206
7.1 串级控制系统	206
7.2 均匀控制系统	214
7.3 比值控制系统	216
7.4 前馈-反馈控制系统	218
7.5 取代控制系统	219
7.6 分程控制系统	220
7.7 多冲量控制系统	222
第8章 可编程控制器系统	227
8.1 可编程控制器的由来与发展	227
8.2 PLC 的特点	231
8.3 PLC 的分类	232
8.4 PLC 的基本组成	236
8.5 PLC 的工作原理	239
8.6 可编程控制器的编程语言	246
8.7 S7-200 的硬件配置与功能模块	248
8.8 S7-200 PLC 的数据类型与存储区域	266
8.9 S7-200 PLC 的编程元件	268
8.10 寻址方式	274
8.11 梯形图编写规则	277
8.12 程序结构和编程规约	279
8.13 S7-200 PLC 的基本指令	281
8.14 典型控制环节的 PLC 程序设计	301
8.15 PLC 控制系统设计与应用实例	314
第9章 典型化工单元的控制方案	320
9.1 流体输送设备的控制方案	320
9.2 传热设备的自动控制	326
9.3 精馏塔的自动控制	331
9.4 化学反应器的自动控制	337
9.5 生化过程的控制	341
参考文献	346

第 1 章 化工仪表自动化概述

1.1 化工自动化基本知识

1.1.1 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。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。化工自动化的内容十分广泛,一般包括自动检测系统、自动信号报警和联锁保护、自动操纵系统及自动控制系统等方面的内容,现分别予以介绍。

1. 自动检测系统

利用各种检测仪表(也称测量仪表),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,自动检测系统常称为工业生产的“眼睛”。

图 1.1 中的换热器是利用蒸汽来加热冷液的,冷液经加热后的温度是否达到要求,可以用测温元件配上平衡电桥来进行测量、指示和记录;冷液的流量可以用孔板流量计进行检测;蒸汽压力可用压力表来指示,这些就是自动检测系统。

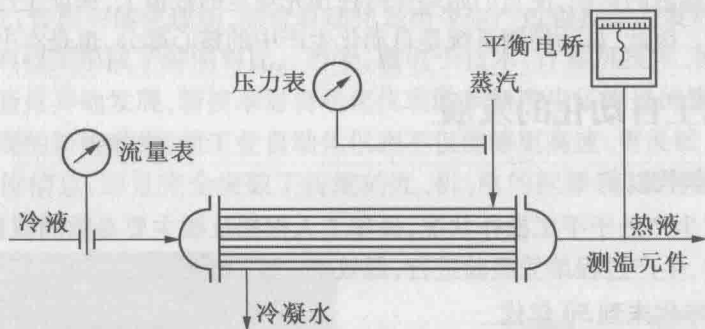


图 1.1 换热器自动检测系统

2. 自动信号报警和联锁保护系统

在生产过程中,由于一些偶然因素的影响,导致工艺参数超出允许的变化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自动信号联锁系统。

当工艺参数超过允许范围时,在事故即将发生以前,信号系统就会自动地发出声光信号,告诫操作人员注意,并及时采取措施。如工况已到达危险状态时,联锁系统立即自动采取紧急措施,打开安全阀或切断某些通路,必要时紧急停车,以防止事故的发生和扩大。联锁系统是生产过程中的一种安全装置。例如,某反应器的反应温度超过了允许极限值,自动信号系统就会发出声光信号,报警给工艺操作人员以便及时处理生产事故。

由于生产过程的强化,往往靠操作人员处理事故已成为不可能,因为在一个强化的生产过程中,事故常常会在几秒内发生,由操作人员直接处理是根本来不及的。自动联锁保护系统可以圆满地解决这类问题,当反应器的温度或压力进入危险极限时,联锁系统可立即采取应急措施,加大冷却剂量或关闭进料阀门,减缓或停止反应,从而避免爆炸等生产事故。

3. 自动操纵系统

自动操纵系统是利用自动操纵装置,根据预先规定的步骤,自动地对生产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气,利用自动操纵机可以代替人工自动地按照一定的时间程序扳动空气和水蒸气的阀门,使它们交替地接通煤气发生炉,从而极大地减轻操作工人的重复性体力劳动,进而实现远距离的自动操纵。

4. 自动控制系统

生产过程中各种工艺条件不可能是一成不变的。特别是化工生产,大多数是连续性生产,各设备相互关联,当其中某一设备的工艺条件发生变化时,都可能引起其他设备中某些参数或多或少地波动,偏离了正常的工艺条件,为此,就需要用一些自动控制装置,对生产中某些关键性参数进行自动控制,使它们在受到外界干扰(扰动)的影响而偏离正常状态时,能自动地控制而回到规定的数值范围内,为此目的而设置的系统就是自动控制系统。

在化工自动化领域中,自动检测系统和自动控制系统作为其核心部分,在化工生产中应用得最为广泛。

综上所述可以看出,自动检测系统只能完成“了解”生产过程进行情况的任务;信号报警和联锁保护系统能在工艺条件进入某种极限状态时,采取安全措施,避免生产事故的发生;自动操纵系统只能按照预先规定好的步骤进行某种周期性操纵,只有自动控制系统才能自动地排除各种干扰因素对工艺参数的影响,使它们始终保持在预先规定的数值上,保证生产维持在正常或最佳的工艺操作状态。因此,自动控制系统是自动化生产中的核心部分,也是本书的重点。

1.1.2 化工自动化的发展

1.20 世纪 40 年代以前

绝大多数化工生产处于手工操作状况,操作工人根据反映主要参数的仪表指示情况,用人工来改变操作条件,生产过程单凭经验进行,低效率,花费庞大。

2.20 世纪 40 年代末到 50 年代

(1) 自动化仪表:采用基地式仪表和部分单元组合仪表(气动Ⅰ型和电动Ⅰ型)。

(2) 控制理论:以反馈为中心的经典控制理论。

(3) 控制系统:多为单输入、单输出的简单控制系统。

3.20 世纪 50 年代到 60 年代

人们对化工生产各种单元操作进行了大量的开发工作,使得化工生产过程朝着大规模、高效率、连续生产、综合利用方向迅速发展。

4.20 世纪 60 年代到 70 年代

化工自动化技术水平得到了很大的提高,计算机开始用于控制生产过程,出现了计算机控制系统。

(1) 自动化仪表:单元组合仪表(气动Ⅱ型和电动Ⅱ型)成为主流产品。20 世纪 60 年代

后期,出现了专门用于过程控制的小型计算机,直接数字控制系统和监督计算机控制系统开始应用于过程控制领域。

(2)控制理论:出现最优控制理论为基本特征的现代控制理论。

(3)控制系统:出现串级、比值、均匀、前馈和选择性等多种复杂控制系统。

5.20 世纪 70 年代到 80 年代

自动化工业仪表的真正出现是在 20 世纪的 80 年代,人们通过一种控制装置把自动化技术与工业仪表进行了有效结合,然后通过组装的电子设备进行综合控制,后来随着控制技术的不断发展,自动化技术逐渐成为工业仪表发展的主要工具,也就出现了真正的自动化工业仪表。

(1)自动化仪表:气动Ⅲ型和电动Ⅲ型,以微处理器为主要构成单元的智能控制装置。集散控制系统(DCS)、可编程逻辑控制器(PLC)、工业 PC 机(工控机)和数字控制器等已成为控制装置的主流。

(2)控制理论:出现最优控制理论为基本特征的现代控制理论,传统的单输入单输出系统发展到多输入多输出系统领域。

(3)控制系统:串级、比值、均匀、前馈和选择性等多种复杂控制系统。

6.20 世纪 80 年代末至 90 年代

现场总线和现场总线控制系统得到了迅速的发展。

7.20 世纪 90 年代至今

(1)自动化仪表:信息技术飞速发展,现场总线控制系统(FCS)的出现,引起过程控制系统体系结构和功能结构上的重大变革。现场仪表的数字化和智能化形成了真正意义上的全数字过程控制系统,出现各种智能仪表、变送器、无纸记录仪等。

(2)控制理论:人工智能,神经网络控制。

(3)控制系统:管控一体化现场,综合自动化是当今生产过程控制的发展方向。

图 1.2 中的两幅图形成了鲜明对比。当今,微电子技术、计算机技术、网络通信技术和信息处理技术等日新月异地发展,新技术对自动化仪表的革新产生了深远的影响,已成为工业自动化仪器仪表发展的新推动力,使工业自动化仪表不仅能够更高速、更灵敏、更可靠、更简捷地获取对象的全方位信息,而且完全突破了传统的光、机、电的框架,朝着智能化、网络化、总线化、开放性的方向发展。



图 1.2 早期 DCS 与现代 DCS 控制系统比较

1.1.3 自动化仪表的分类

自动化仪表又称过程检测控制仪表,它是实现化工生产过程自动化的主要工具。化工自

动化仪表的种类很多,按其功能不同,大致可分成四大类,即检测仪表、显示仪表、控制仪表和执行器。

1. 检测仪表

按检测仪表按仪表所测量的工艺参数,可以分为压力测量仪表、温度测量仪表、液位测量仪表、流量测量仪表和成分分析器。

2. 显示仪表

按显示仪表按功能,可以分为指示仪、记录仪、累计器、信号转换器和信号报警器。

3. 控制仪表

按控制仪表按功能和结构形式,可以分为基地式调节器、气动单元组合仪表、电动单元组合仪表、可编程调节器、集散控制系统(DCS)、可编程控制系统(PLC)、工业控制机(IPC)、计算机控制系统和安全控制系统(FSC)等。

4. 执行器

按执行器按驱动形式,可分为启动调节阀、电动调节阀和液动调节阀。

1.1.4 自动控制系统的组成

自动控制系统是在人工控制的基础上产生和发展的,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,对分析和了解自动控制系统是大有裨益的。

图 1.3 所示是一个液体贮槽,在生产中常用来作为一般的中间容器或成品罐。从前一个工序来的物料连续不断地流入槽中,而槽中的液体又被送至下一工序进行加工或包装。当流入量 Q_i (或流出量 Q_o) 波动时会引起槽内液位的波动,严重时会造成溢出或抽空。解决这个问题的最简单办法是以贮槽液位为操作指标,以改变出口阀门开度为控制手段,当液位上升时,将出口阀门开大,液位上升越多,阀门开得越大;反之,当液位下降时,则将出口阀门关小,液位下降越多,阀门关得越小。为了使液位上升和下降都有足够的余地,选择玻璃管液位计指示值中间的某一段为正常工作时的液位高度,通过改变出口阀门开度而使液位保持在这一高度上,这样就不会出现贮槽中液位过高而溢至槽外,或使贮槽内液体抽空而发生事故。归纳起来,操作人员所进行的工作有三方面检测、运算、执行,如图 1.3(b) 所示。

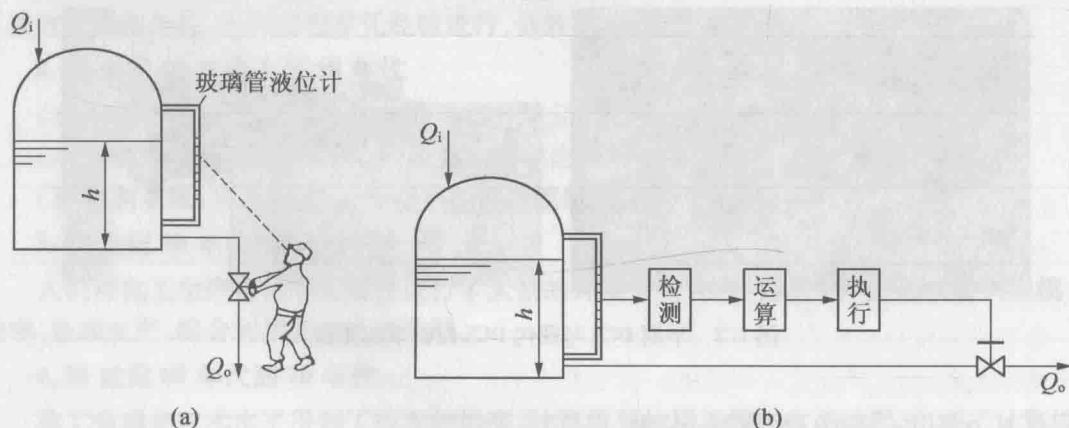


图 1.3 液体贮槽

(1)检测(眼看):用眼睛观察玻璃管液位计(测量元件)中液位的高低,并通过神经系统(数据信号的传送)告诉大脑。

(2)运算(思考)与命令(脑想):大脑根据眼睛看到的液位高度,加以思考并与要求的液位值进行比较,得出偏差的大小和正负,然后根据操作经验,经思考、决策后发出命令。

(3)执行(手动):根据大脑发出的命令,通过手去改变阀门开度,以改变出口流量,从而使液位保持在所需高度上。

眼、脑、手三个器官,分别担负了检测、运算和执行三个作用,来完成测量、求偏差、操纵阀门以纠正偏差的全过程。由于人工控制受到人的生理上的限制,因此在控制速度和精度上都满足不了大型现代化生产的需要。为了提高控制精度和减轻劳动强度,可用一套自动化装置来替代上述的人工操作,这样就由人工控制变为自动控制了。液体贮槽和自动化装置构成了一个液位自动控制系统,如图1.4所示。

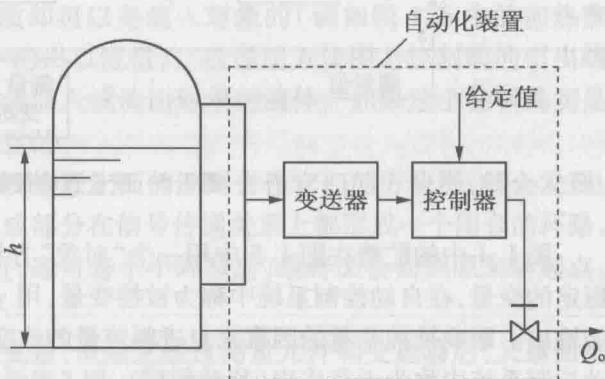


图1.4 液位自动控制系统

为了完成人的眼、脑、手三个器官的任务,自动化装置一般至少也应包括三个部分,分别用来模拟人的眼、脑和手的功能。自动化装置的三个部分分别介绍如下。

(1)测量元件与变送器。它的功能是测量液位并将液位的高低转化为一种特定的、统一的输出信号(如气压信号或电压、电流信号等)。

(2)自动控制器。它接收变送器送来的信号,与工艺需要保持的液位高度相比较得出偏差,并按某种运算规律算出结果,然后将此结果用特定信号(气压或电流)发送出去。

(3)执行器。通常指控制阀,它与普通阀门的功能一样,只不过它能自动地根据控制器送来的信号值改变阀门的开启度。

显然,这套自动化装置具有人工控制中操作人员的眼、脑、手的部分功能,因此,它能完成自动控制贮槽中液位高低的任务。

在自动控制系统的组成中,除了必须具有前述的自动化装置外,还必须具有控制装置所控制的生产设备。在自动控制系统中,将需要控制其工艺参数的生产设备或机器称为被控对象,简称对象。图1.4中的液体贮槽就是这个液位控制系统的被控对象。化工生产中的各种塔器、反应器、换热器、泵和压缩机以及各种容器、贮槽都是常见的被控对象,甚至一段输气管道也可以是一个被控对象。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多个控制系统。这时在确定被控对象时,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,就只有塔的某一与控制有关的相应部分才是某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,被控对象仅指的是进料管道及阀门等,而不是整个精馏塔本身。

在研究自动控制系统时,为了能更清楚地表示出一个自动控制系统中各个组成环节之间的相互影响和信号联系,便于对系统分析研究,一般都用方块图来表示控制系统的组成。例如图1.4所示的液位自动控制系统可以用图1.5所示的方块图来表示。每个环节表示组成系统

的一个部分,称为“环节”。两个方块之间用一条带有箭头的线条表示其信号的相互关系,箭头指向方块表示为这个环节的输入,箭头离开方块表示为这个环节的输出。线旁的字母表示相互间的作用信号。

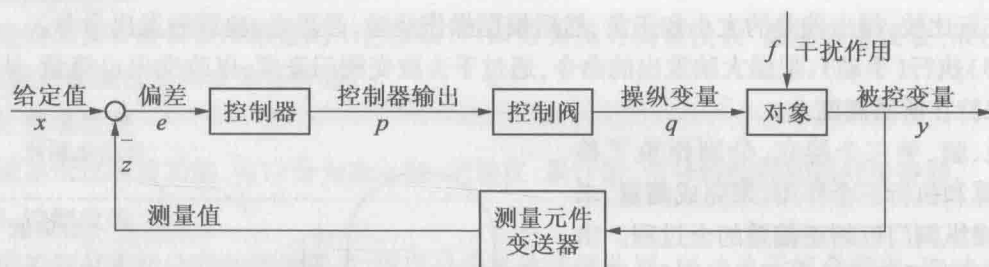


图 1.5 液位自动控制系统方块图

图 1.4 中的贮槽在图 1.5 中用一个“对象”方块来表示,其液位就是生产过程中所要保持恒定的变量,在自动控制系统中称为被控变量,用 y 来表示。在方块图中,被控变量就是对象的输出。影响被控变量的因素来自进料流量的改变,这种引起被控变量波动的外来因素,在自动控制系统中称为干扰作用(扰动作用),用 f 表示。干扰作用是作用于对象的输入信号。与此同时,出料流量的改变是由控制阀动作所致,如果用一方块表示控制阀,那么,出料流量即为“控制阀”方块的输出信号。出料流量的变化是影响液位变化的因素,所以也是作用于对象的输入信号。出料流量信号 q 在方块图中把控制阀和对象连接在一起。贮槽液位信号是测量元件及变送器的输入信号,而变送器的输出信号在 z 进入比较机构,与工艺上希望保持的被控变量数值,即给定值(设定值) x 进行比较,得出偏差信号 e ($e = x - z$),并送往控制器。比较机构实际上只是控制器的一个组成部分,不是一个独立的仪表,在图中把它单独画出来(一般方块图中是以 $\bigcirc$ 或 $\oplus$ 表示),为的是能更清楚地说明其比较作用。

控制器根据偏差信号的大小,按一定的规律运算后,发出信号 p 送至控制阀,使控制阀的开度发生变化,从而改变出料流量以克服干扰对被控变量(液位)的影响。控制阀的开度变化起着控制作用。具体实现控制作用的变量称为操纵变量,如图 1.4 中流过控制阀的出料流量就是操纵变量。用来实现控制作用的物料一般称为操纵介质或操纵剂,如上述中的流过控制阀的流体就是操作介质。

用同一种形式的方块图可以代表不同的控制系统。例如图 1.6 所示的蒸汽加热器温度控制系统,当进料流量或温度变化等因素引起出口物料进料温度变化时,可以将该温度变化测量后送至温度出料控制器 TC。温度控制器的输出送至控制阀,以改变加热蒸汽量来维持出口物料的温度不变。这个控制系统同样可以用图 1.5 所示的方块图来表示。这时图 1.6 所示蒸汽加热器温度控制系统中

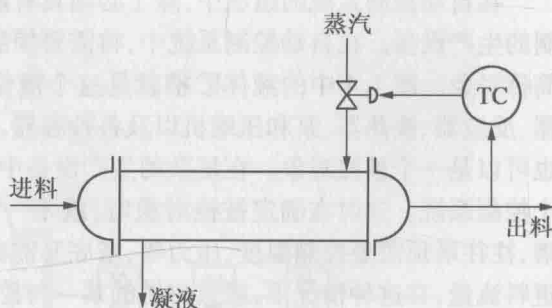


图 1.6 加热器温度控制系统

被控对象是加热器,被控变量是出口物料的温度。干扰作用可能是进料流量与进料温度的变化、加热蒸汽压力的变化、加热器内部传热系数或环境温度的变化等。而控制阀的输出信号即操纵变量 q 是加热蒸汽量的变化,在这里,加热蒸汽是操纵介质或操纵剂。

必须指出,方块图中的每个方块都代表一个具体的装置。方块与方块之间的连接线,只是代表方块之间的信号联系,并不代表方块之间的物料联系。方块之间连接线的箭头也只是代表信号作用的方向,与工艺流程图上的物料线不同。工艺流程图上的物料线代表物料从一个设备进入另一个设备,而方块图上的线条及箭头方向有时并不与流体流向一致。例如,对于控制阀来说,它控制着操纵介质的流量(即操纵变量),从而把控制作用施加于被控对象去克服干扰的影响,以维持被控变量在给定值上。所以控制阀的输出信号 q 在任何情况下都是指向被控对象的。然而控制阀所控制的操纵介质却可以是流入对象的(例如图1.6中的加热蒸汽),也可以是由流出对象的(例如图1.4中的出口流量)。这说明方块图上控制阀的引出线只是代表施加到对象的控制作用,并不是具体流入或流出对象的流体。如果这个物料确实是流入对象的,那么信号与流体的方向才是一致的。

对于任何一个简单的自动控制系统,只要按照上面的原则去作它们的方块图,就会发现,不论它们在表面上有多大差别,它的各个组成部分在信号传递关系上都形成一个闭合的环路。其中任何一个信号,只要沿着箭头方向前进,通过若干个环节后,最终又会回到原来的起点。所以,自动控制系统是一个闭环系统。

如图1.5所示,系统的输出变量是被控变量,但是它经过测量元件和变送器后,又返回到系统的输入端,与给定值进行比较。这种把系统(或环节)的输出信号直接或经过一些环节重新返回到输入端的做法称为反馈。从图1.5中还可以看到,在反馈信号旁有一个负号,而在给定值旁有一个正号“+”(正号可以省略)。这里正和负的意思是在比较时,以设定值作为正值,以反馈信号作为负值,也就是到控制器的偏差信号 $e = x - z$ 。因为图1.5中的反馈信号 z 取负值,所以称为负反馈,负反馈的信号能够使原来的信号减弱。如果反馈信号取正值,反馈信号使原来的信号加强,那么就称为正反馈,在这种情况下,方块图中反馈信号旁则要有正号“+”,此时偏差 $e = x + z$ 。

在自动控制系统中都采用负反馈,因为当被控变量受到干扰的影响而升高时,只有负反馈才能使反馈信号升高,经过比较,到控制器去的偏差信号将降低,此时控制器将发出信号,使控制阀的开度发生变化,变化的方向为负,从而使被控变量下降回到给定值,这样就达到了控制的目的。如果采用正反馈,那么控制作用不仅不能克服干扰的影响,反而会推波助澜,即当被控变量受到干扰升高时亦升高,控制阀的动作方向是使被控变量进一步升高,而且只要有一点微小的偏差,控制作用就会使偏差越来越大,直至被控变量超出了安全范围而破坏生产,所以控制系统绝对不能单独采用正反馈。

综上所述,自动控制系统是具有被控变量负反馈的闭环系统。它与自动检测、自动操纵等开环系统比较,最本质的区别就在于自动控制系统有负反馈。在开环系统中,被控(工艺)变量是不反馈到输入端的,如化肥厂的造气自动机就是典型的开环系统的例子。自动机在操作时,一旦开机,就只能按照预操作指令周而复始地运转。这时,如果煤气炉的工况发生了变化,自动机是不会自动地根据炉子的实际工况来改变自己的操作的。自动机不能随时了解炉子的情况并依此改变自己的操作状态,这是开环系统的缺点。反过来说,自动控制系统由于是具有负反馈的闭环系统,它可以随时了解被控对象的情况,有针对性地根据被控变量的变化情况而改变控制作用的大小和方向,从而使系统的工作状态始终等于或接近于所希望的状态,这是闭环系统的优点。

1.2 自动控制系统

在工业、农业、交通运输和国防各个方面都离不开自动控制。所谓自动控制,就是在没有人直接参与的情况下,利用控制装置对生产过程、工艺参数、目标要求等进行自动的调节与控制,使之按照预定的方案达到要求的指标。自动控制系统性能的优劣,将直接影响到产品的产量、质量、成本、劳动条件和预期目标的完成。

自动控制技术的应用可以追溯到 18 世纪(1788 年)瓦特(Watt)利用小球离心调速器使蒸汽机转速保持恒定的开创性的突破,以及 19 世纪(1868 年)麦克斯韦(Maxwell)对轮船摆动(稳定性)的研究。但在初期,自动控制技术的应用进展很缓慢。自动控制技术的真正发展是在 20 世纪。

1.2.1 自动控制系的分类

1. 按输入量变化的规律分类

自动控制系统有多种分类方法,可以按被控变量来分类,如温度、压力、流量、液位等控制系统。也可以按控制器具有的控制规律来分类,如比例、比例积分、比例微分、比例积分微分等控制系统。在分析自动控制系统特性时,最经常遇到的是将控制系统按照工艺过程需要控制的被控变量的给定值是否变化和如何变化来分的,这样可将自动控制系统分为三类,即定值控制系统、随动控制系统和程序控制系统。

(1) 定值控制系统(fixed set-point control system)。

所谓“定值”就是恒定给定值的简称。工艺生产中,如果要求控制系统的作用是使被控制的工艺参数保持在一个生产指标上不变,或者说要求被控变量的给定值不变,那么就需要采用定值控制系统。图 1.4 所示的液位控制系统就是定值控制系统的一个例子,这个控制系统的目的是使贮槽内的液位保持在给定值不变。同样,图 1.6 所示的温度控制系统也属于定值控制系统,它的目的是使出口物料的温度保持恒定。化工生产中要求的大都是这种类型的控制系统,因此后面所讨论的,如果未加特别说明,都是指定值控制系统。

(2) 随动控制系统(follow-up control system)。

随动控制系统又称伺服系统(serve-system),特点是给定值不断变化,而且这种变化不是事先规定好的,也就是说给定值是随机变化的。随动系统的目的就是使所控制的工艺参数能快速跟随给定值的变化而变化。例如,航空上的导航雷达系统、电视台的天线接收系统,都是随动系统的一些例子。

在化工生产中,有些比值控制系统就属于随动控制系统。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,要求甲流体的流量能快速而准确地随之变化。由于乙流体的流量变化在生产中可能是随机的,因此相当于甲流体的流量给定值也是随机的,故属于随动控制系统。

(3) 程序控制系统(program control system)。

程序控制系统其设定值是变化的,但它是时间的已知函数,即设定值按人规定的时间程序变化。这种系统的给定量是按照一定的时间函数变化的,如程序控制机床的程序控制系统的输出量应与给定量的变化规律相同。这类系统在间歇生产过程中应用比较普遍,如多种液体

自动混合加热控制就属于此类,以及合成纤维锦纶生产中的熟化罐温度控制和机械工业中金属热处理的温度控制都是这类系统的例子。程序控制系统主要由开关信号、输入回路、程序控制器、输出回路和执行机构等部分组成。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被越来越多地应用到生产中,微型计算机的广泛应用也为程序控制提供了良好的技术工具与有利条件。

2. 按系统传输信号对时间的关系分类

自动控制系统按系统传输信号对时间的关系可分为两类。

(1)连续控制系统(continuous control system)。

连续控制系统的特点是:各元件的输入量与输出量都是连续量(模拟量),因此它又称为模拟控制系统(analogue control system)。图1.6所示的恒温控制系统就是连续控制系统。连续控制系统的运动规律通常可用微分方程来描述。

(2)离散控制系统(discrete control system)。

离散控制系统又称采样数据控制系统(sampled-data control system)。它的特点是:系统中有的信号为脉冲序列或采样数据量、数字量。

3. 按系统的输出量和输入量间的关系分类

自动控制系统按系统的输出量和输入量间的关系可分为两类。

(1)线性系统(linear system)。

线性系统的特点是:系统全部由线性元件组成,它的输出量与输入量间的关系用线性微分方程来描述。

(2)非线性系统(nonlinear system)。

非线性系统的特点是:系统中存在非线性元件,如含有死区、出现饱和、含有库仑摩擦等非线性特性的元件,它的输出量与输入量间的关系要用非线性微分方程来描述。

4. 按系统中的参数对时间的变化情况分类

自动控制系统按系统中的参数对时间的变化情况可分为两类。

(1)定常系统(time-invariant system)。

定常系统(又称时不变系统)的特点是:系统的全部参数不随时间变化,它的输出量与输入量间的关系用定常微分方程来描述。

(2)时变系统(time-varying system)。

时变系统的特点是:系统中有的参数是时间 t 的函数,它随时间变化而改变。

1.2.2 对自动控制系统的基本要求

1. 稳定性

稳定性是保证控制系统正常工作的先决条件。一个稳定的控制系统,其被控量偏离期望值的初始偏差应随时间的增长逐渐减小或趋于零。

2. 快速性

为了很好地完成控制任务,控制系统仅仅满足稳定性要求是不够的,还必须对其过渡过程的形式和快慢提出要求,一般称为动态性能。

3. 准确性

在理想情况下,当过渡过程结束后,被控量达到的稳态值(即平衡状态)应与期望值一致。

1.2.3 自动控制系统实例

1. 轧钢计算机控制系统

- ①被控对象：轧辊。
- ②被控变量：轧辊的输出量——厚度和张力。
- ③干扰变量：主要是元件参数的变化而引起的干扰力矩。
- ④测量元件：厚度传感器和张传感器。
- ⑤给定值：厚度给定、张力给定，是人们设计的希望值。
- ⑥计算装置：数字计算机。
- ⑦执行器：电动机。

2. 机床台控制系统

- ①被控对象：工作台。
- ②被控变量：工作台的输出量——位移 x_0 。
- ③干扰变量：主要是元件参数的变化而引起的干扰力矩。
- ④测量元件：角位移测量装置和测速机。
- ⑤给定值： x_i ，是指设计者要把零件的毛坯加工成理想的零件模型。
- ⑥计算装置：控制器，用来把三个输入信号比较后得到的差值输出给放大变换器，进而控制电动机的转动。
- ⑦执行器：电动机，用来拖动工作台按理想的模线运动。

3. 液位控制系统

- ①被控对象：液体储罐。
- ②被控变量：液体储罐的输出量——液位 x_0 。
- ③扰动量：主要是 Q_i 的变化。
- ④给定值：液体储罐中液位的希望高度 x_i 。
- ⑤测量元件：液位变送器。
- ⑥计算装置：调节器。
- ⑦执行器：调节阀。

1.3 自动控制系统的过渡过程和品质指标

1.3.1 控制系统的静态与动态

在自动化领域中，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（给定和干扰）和输出均恒定不变时，整个系统就处于一种相对稳定的平衡状态，系统的各个组成环节如变送器、控制器、控制阀都不改变其原先的状态，它们的输出信号也都处于相对静止状态，这种状态就是上述的静态。值得注意的是，这里所指的静态与习惯上所讲的静止是不同的。习惯上所说的静止就是指静止不动（当然指的仍然是相对静止）。而在自动化领域中的静态是指系统中各信号的变化率为零，即信号保持在某一常

数不变化,而不是指物料不流动或能量不交换。因为自动控制系统在静态时,生产还在进行,物料和能量仍然有进有出,只是平稳进行而没有改变。

自动控制系统的目的就是希望将被控变量保持在一个不变的给定值上,这只有当进入被控对象的物料量(或能量)和流出对象的物料量(或能量)相等时才有可能。例如图1.4所示的液位控制系统,只有当流入贮槽的流量和流出贮槽的流量相等时,液位才能恒定,系统因此处于静态。图1.6所示的温度控制系统,只有当进入换热器的热量和由换热器出去的热量相等时,温度才能恒定,此时系统就达到了平衡状态,亦即处于静态。

假若一个系统原先处于相对平衡状态即静态,由于干扰的作用而破坏了这种平衡时,被控变量就会发生变化,从而使控制器、控制阀等自动化装置改变原来平衡时所处的状态,产生一定的控制作用来克服干扰的影响,并力图使系统恢复平衡。从干扰发生开始,经过控制,直到系统重新建立平衡,在这一段时间中,整个系统的各个环节和信号都处于变动状态之中,所以这种状态称为动态。

在自动化生产中,了解系统的静态是必要的,但是了解系统的动态更为重要。这是因为在生产过程中,干扰是客观存在的,是不可避免的,例如生产过程中前后工序的相互影响;负荷的改变;电压、气压的波动;气候的影响等。这些干扰是破坏系统平衡状态引起被控变量发生变化的外界因素。在一个自动控制系统投入运行时,时时刻刻都有干扰作用于控制系统,从而破坏了正常的工艺生产状态。因此,就需要通过自动化装置不断地施加控制作用去对抗或抵消干扰作用的影响,从而使被控变量保持在工艺生产所要求控制的技术指标上。所以一个自动控制系统在正常工作时,总是处于一波未平、一波又起、波动不止、往复不息的动态过程中。显然,研究自动控制系统的重点是研究系统的动态。

1.3.2 控制系统的过渡过程

图1.5是简单控制系统的方块图。假定系统原先处于平衡状态,系统中的各信号不随时间而变化。在某一时刻,有一干扰作用于对象,于是系统的输出就要变化,系统进入动态过程。由于自动控制系统的负反馈作用,经过一段时间以后,系统应该重新恢复平衡。系统由一个平衡状态过渡到另一个平衡状态的过程,称为系统的过渡过程。

系统在过渡过程中,被控变量是随时间变化的。了解过渡过程中被控变量的变化规律对于研究自动控制系统是十分重要的。显然,被控变量随时间的变化规律首先取决于作用于系统的干扰形式。在生产中出现的干扰是没有固定形式的,且多半属于随机性质。在分析和设计控制系统时,为了安全和方便,常选择一些定型的干扰形式,其中常用的是阶跃干扰,如图1.7所示。由图可以看出,所谓阶跃干扰就是在某一瞬间 t_0 干扰(即输入量)突然地、阶跃式地加到系统上,并继续保持在这个幅度。采取阶跃干扰的形式来研究自动控制系统是因为考虑到这种形式的干扰比较突然,干扰作用较危险,它对被控变量的影响也最大。如果一个控制系统能够有效地克服这种类型的干扰,那么对于其他比较缓和的干扰也一定能很好地克服,同时,这种干扰的形式简单,容易实现,便于分析、实验和计算。

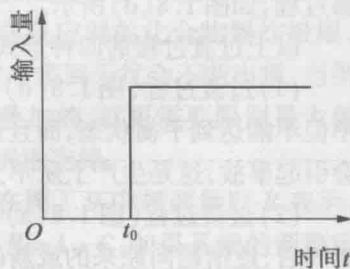


图 1.7 阶跃干扰作用

一般来说,自动控制系统在阶跃干扰作用下的过渡过程有如图1.8所示的几种基本形式。