

GUOCHENG KONGZHI XITONG SHIXUN

过程控制系统实训

姜秀英 ◎ 主编

李 骁 张 佳 ◎ 副主编

(第2版)



化学工业出版社

GUOCHENG KONGZHI XITONG SHIXUN

过程控制系统实训

姜秀英 ◎ 主编 李 骥 张 佳 ◎ 副主编

(第2版)



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书内容包括过程控制中常用的仪表控制系统、集散控制系统、现场总线控制系统的构建和参数整定的实训项目,另外针对 PKS 集散控制的组态工具使用也进行了训练。实训课题的编写,侧重使学生掌握工厂过程控制系统操作、组态的基本技能,提高动手能力;同时本书对各种控制手段做了简要的技术上的介绍,使得本书也可适用于企业职工培训。

本书可供相关院校自动化、仪表专业选用,也可供化工、石油化工企业仪表、自动控制培训使用。

图书在版编目(CIP)数据

过程控制系统实训/姜秀英主编. —2 版. —北京:化学工业出版社, 2012. 8

ISBN 978-7-122-14850-6

I. ①过… II. ①姜… III. ①过程控制-自动控制系统-职工培训-教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 158860 号

责任编辑:李玉晖

文字编辑:高 震

责任校对:洪雅姝

装帧设计:韩 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 装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 13¼ 字数 346 千字 2013 年 1 月北京第 2 版第 1 次印刷

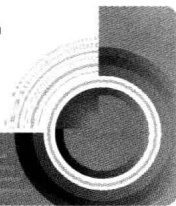
购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

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



过程控制作为自动化技术的重要分支,其应用范围覆盖石油、化工、制药、生物、医疗、水利、电力、冶金、轻工、纺织、建材、核能、环境等许多领域,在国民经济中占有极其重要的地位。为了适应社会经济和科学技术的迅速发展及教学改革的需要,本书以“系统、简洁、新颖、实用”为原则,把目前在工业生产过程中应用比较成熟的控制系统和控制方案作为重点内容,进行较为系统地阐述。同时调整和组织教学内容,增强认知结构与能力结构的有机结合,强调培养对象对职业岗位(群)的适应程度。通过本书的教学,学生可以较全面地了解 and 掌握各种典型过程控制系统的组成、各环节的工作原理以及相关技能。全书在内容安排上,力求层次清晰、整体次序上合理衔接,以便于阅读和理解。

《过程控制系统实训》作为高职高专教材,涉及的是一门工程实践性很强的学科,许多知识必须通过动手实践才能真正掌握,所以本书采用项目教学的方式将典型工作任务与知识理论相结合,真正形成“教、学、做”一体化教学方式。实训课题主要针对典型过程控制系统的参数整定、集散控制组态、总线控制系统应用等方面进行。通过实训课题的学习使学生们真正掌握所学内容,提高动手能力。此外,在项目 and 实训课题的后面附有思考题及习题,以加强 and 巩固学习效果。

全书共分 6 个项目,每个项目都配有相关的实训内容,参考教学时数为 76 学时。项目一 过程控制系统知识点,介绍过程控制系统的基础知识、基本控制规律。项目二 简单控制系统,介绍简单控制系统的实施和工程整定方法。项目三 复杂控制系统,介绍串级、比值、前馈控制系统。项目四 集散控制系统,介绍集散控制系统的基本构架与应用。项目五 Experion PKS 过程知识系统,介绍 PKS 系统结构、控制器组态工具、数据库管理工具、操作站、流程图组态工具等。项目六 现场总线控制系统 介绍现场总线控制的基本构架与应用。

项目一由张佳编写;项目二、五由姜秀英编写;项目三由刘慧敏编写;项目四由王鑫民编写,项目六由李骥编写。全书由姜秀英统稿。

我们在多年从事过程控制系统的教学工作中,曾得到许多专家、老师、朋友的帮助和支持;在本书编写过程中广泛参考了许多专家、学者的相关技术文献和著作,作者在此表示衷心感谢。

限于编者水平有限,书中若有不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2012 年 3 月



绪 论	1
-----	---

项目一 过程控制系统	3
------------	---

任务一 过程控制系统的组成	3
任务二 过程控制系统的分类	5
任务三 过渡过程和品质指标	6
一、自动控制系统的静态和动态	6
二、过渡过程的基本形式	7
三、控制系统品质指标	7
任务四 过程控制系统基本控制规律	9
一、过程的位式控制	9
二、过程控制系统比例控制	11
三、过程控制系统积分控制及比例积分控制	13
四、过程控制系统微分控制及比例积分微分控制	15
任务五 过程控制系统典型对象特性	19
一、过程控制系统的一阶对象	19
二、过程控制系统的积分对象	22
三、过程控制系统的时滞对象	23
四、过程控制系统的二阶对象	24
任务六 对象特性对控制质量的影响	26
任务七 被控对象特性测试实训	27
实训1 实训系统简介	27
实训2 单容水箱特性的测试实训	30
实训3 双容水箱特性的测试实训	32
实训4 锅炉内胆温度特性的测试实训	34
实训5 电动调节阀流量特性的测试实训	36
思考题及习题	38

项目二 简单控制系统	40
------------	----

任务一 简单控制系统基本内容	40
一、简单控制系统常用名词	40

二、过程控制系统被控变量与操纵变量的选择	41
三、过程控制系统控制规律的选取	44
四、过程控制系统调节阀的选择	45
任务二 简单控制系统的方案实施	47
任务三 简单控制系统工程整定	50
一、过程控制系统投运前的准备	50
二、过程控制系统的投运	51
三、调节器的参数整定及整定中应注意的问题	51
任务四 简单控制系统实训	56
实训1 单容水箱液位定值控制系统实训	56
实训2 双容水箱液位定值控制系统实训	59
实训3 电动调节阀支路流量定值控制系统实训	60
思考题及习题	62

项目三 复杂控制系统

64

任务一 串级控制系统	64
一、过程控制基本原理及结构	64
二、串级控制系统的主、副回路选择	67
三、串级控制系统的主、副调节器选择	69
四、串级控制系统特点及应用场合	70
五、串级控制系统的实施	70
六、串级控制系统的投运及参数整定	72
任务二 比值控制系统	73
一、比值控制系统类型	74
二、比值系数的计算	77
三、比值控制系统的实施方案	77
四、比值控制系统的投运和参数的整定	78
任务三 前馈控制系统	79
一、前馈控制系统的特点及主要结构形式	79
二、前馈控制系统应用	82
三、前馈控制系统的参数整定	83
任务四 复杂控制系统实训	85
实训1 下水箱液位和电动调节支路流量组成串级控制系统实训	85
实训2 单闭环流量比值控制系统实训	88
实训3 锅炉内胆水温的前馈-反馈控制系统实训	91
思考题及习题	94

项目四 集散控制系统

96

任务一 集散控制系统出现的背景	96
任务二 集散控制系统的组成及特点	97
一、集散系统的组成	97

二、集散控制系统的特点	97
任务三 集散控制系统的集中操作管理装置	98
一、集中操作管理装置的功能与组成	98
二、集散控制系统的操作方式	100
三、集散控制系统的显示画面	101
任务四 集散控制系统的现场分散控制装置	104
一、DCS 的控制器	104
二、控制器的 I/O 模块	105
三、DCS 常用的控制算法	106
任务五 集散控制系统的通信系统	109
任务六 DCS 系统的故障诊断	112
一、DCS 系统故障的分类	112
二、故障的分析诊断	113
任务七 DCS 集散控制系统的实训	113
实训 1 MACS 实训系统认识	113
实训 2 双容液位定值控制系统实训	124
实训 3 锅炉内胆水温与循环水流量串级控制系统实训	125
实训 4 下水箱液位前馈-反馈控制系统实训	126
思考题及习题	129

项目五 Experion PKS 过程知识系统 130

任务一 Experion PKSTM 系统简介	130
任务二 Experion PKSTM 的基本系统组成及功能概述	132
任务三 Experion PKSTM 混合控制器结构描述	133
任务四 输入输出系统	135
任务五 安装 PKS 系统软件对计算机的硬件要求	136
任务六 [DCS] Experion PKS 系统实训	136
实训 1 控制器组态工具 Control Builder	136
实训 2 操作站 Station	157
实训 3 流程图组态工具 HMI Web Display Builder	168
思考题及习题	181

项目六 现场总线控制系统 182

任务一 现场总线控制系统 (FCS) 的组成	182
任务二 下位机软件中的硬件配置和程序结构	184
任务三 上位机组态软件简介	186
任务四 FCS 现场总线控制系统的实训	199
实训 1 锅炉内胆水温定值控制实训	199
实训 2 水箱液位串级控制系统实训	202
思考题及习题	205

参考文献 206

绪 论



过程控制 (process control) 通常是指连续生产过程的自动控制, 是自动化技术最重要的组成部分之一。其应用范围覆盖石油、化工、制药、生物、医疗、水利、电力、冶金、轻工、纺织、建材、核能、环境等许多领域, 在国民经济中占有重要的地位。

过程控制的主要任务是对生产过程中的有关参数 (温度、压力、流量、物位、成分、湿度、pH 值和物性等) 进行控制, 使其保持恒定或按一定规律变化, 在保证产品质量和生产安全的前提下, 使连续型生产过程自动地进行下去。连续型生产过程的特征是: 呈流动状的各种原材料在连续 (或间歇) 流动过程中, 伴随着物理变化、化学反应、生化反应、物质能量的转换与传递。连续型生产过程常常要求苛刻的工艺条件, 如要求高温、高压等; 现场存在易燃、易爆或有害物泄漏等危险; 需要有保护人身与生产设备安全的特别措施等。在大型的连续生产系统中, 影响生产过程的因素和条件一般不止一个, 各自所起的作用也不同, 这就决定了过程控制的复杂性和多样性。大型的连续生产过程是十分复杂的, 存在不确定性、时变性以及非线性等因素, 控制相当困难。实际的生产过程千变万化, 要解决生产过程的各种控制问题必须采用有针对性的特殊方法与途径。这就是过程控制要研究和解决的课题。

过程控制技术是自动化技术的重要应用领域。随着生产技术水平迅速提高与生产规模的持续扩大, 对过程控制系统的要求越来越高, 促使过程控制理论研究不断发展, 同时, 理论研究的成果在电子技术、计算机技术的基础上不断地转化为自动化产品与系统, 以满足工业生产不断发展的需要。生产实际问题、控制理论研究和控制系统产品的开发三者相互促进、共同推动现代过程控制技术迅速发展。现代过程控制技术在优化生产系统的经济、技术指标、提高经济效益和劳动生产率、改善劳动条件、保护生态环境等方面发挥着越来越大的作用。

从生产过程自动化的发展情况来看, 首先是应用一些自动检测仪表来监视生产。在 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。

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技术革新, 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。在实际生产中应用的自动控制系统主要是温度、压力、流量和液位四大参数的简单控制, 同时, 串级、比值、多冲量等复杂控制系统也得到了一定程度的发展。所应用的自动化技术工具主要是基地式电动、气动仪表及单元组合式仪表。此时期由于还不能深入了解过程控制对象的动态特性, 因此, 应用半经验、半理论的设计准则和整定公式, 对自动控制系统设计和参数整定有相当重要的作用, 也解决了许多实际问题。

20 世纪 70 年代以来, 化工自动化技术又有了新的发展。在自动化技术工具方面, 仪表的更新非常迅速, 特别是计算机在自动化中发挥越来越重要的作用, 这对常规仪表产生了一系列的影响, 促使常规仪表不断变革, 以满足生产过程中对能量利用、产品质量等各方面越



来越高的要求。在自动控制系统方面,由于控制理论和控制技术的发展,各种新型控制系统相继出现,控制系统的设计与整定方法也有了新的发展。

现代自动化技术已经不只是局限于对生产过程中重要参数的自动控制了。概括地说,现代自动化技术主要具有以下一些特点:现代自动化技术已发展为综合自动化,其应用的领域和规模越来越大,控制与管理一体化的系统已提到议事日程,因此,其社会、经济效益也越来越大;自动化技术显示了知识密集化、高技术集成化的特点,它是信息技术、自动化技术、管理科学等相结合的现代高新技术,在发展自动化技术的过程中,软设备所起的作用日益被重视;自动化过程中的智能化程度日益增加,各种智能仪表不断出现,控制的精度越来越高,控制的方式日益多样化,自动化技术不仅仅减轻和代替人们的体力劳动,而且也在很大程度上代替了人们的脑力劳动。

20 世纪末,计算机、信息技术的飞速发展,引发了自动化系统结构的变革:专用微处理器嵌入传统测量控制仪表,使它们具有数字计算和数字通信能力;采用双绞线等作为通信总线,把多个测量控制仪表连接成网络系统,并按开放、标准的通信协议,在多个现场智能测量控制设备之间以及与远程监控计算机之间实现数据传输与信息交换,组成各种适合实际需要的自动控制系统,即现场总线控制系统。现场总线控制系统的出现,使自动化仪表、集散控制系统和可编程序控制器产品的体系结构、功能结构都发生了很大的变化。

随着大规模集成电路的出现及微处理器的问世,计算机的性价比和可靠性大为提高,采用冗余技术和自诊断措施的工业计算机完全满足工业控制对可靠性的要求,为新的过程控制仪表、装置与系统的设计开发提供了强有力的支持。

大型生产过程一般都是分散系统,使生产过程控制分散进行(将发生故障和危险的风险分散),整个生产过程的监视、操作与管理相对集中的设计思想被大型过程控制系统生产商和用户普遍接受。基于“集中管理,分散控制”理念,在数字化仪表和计算机与网络技术基础上开发的集散型控制系统(DCS, distributed control system)在大型生产过程控制中得到广泛应用,使过程控制系统的控制功能、可靠性、安全性、可操作性以及经济效益等方面都达到了新水平。过程控制系统的结构也由单变量控制系统发展到多变量系统,由生产过程的定值控制发展到最优控制、自适应控制等。

随着测量仪表数字化、通信系统网络化和集散型控制技术日益成熟、现场总线技术以及基于现场总线技术的网络化分布式控制系统逐步推广、使用,使过程控制系统的开放性、兼容性和现场仪表与装置的智能化水平发生了质的飞跃:工厂自动化(FA, factory automation),计算机集成过程控制(CIPS, computer integrated process system),计算机集成制造系统(CIMS, computer integrated manufacturing system)和企业资源综合规划(ERP, enterprise resource planning)等方案的规划和实施,正在成为提高工业生产过程经济效益的关键手段。

在现代控制理论和人工智能发展的基础上,人们针对生产过程本身存在非线性、时变性、不确定性、控制变量间的耦合性等特性,提出了许多可行的控制策略与方法,如解耦控制、推断控制、预测控制、模糊控制、自适应控制等,这些先进的控制手段有效地解决了那些采用传统控制效果差,甚至无法控制的复杂过程的自动控制问题。实践表明,先进的控制方法能取得更高的控制品质和经济效益,具有很好的应用与发展前景。

项目一 过程控制系统

过程控制系统是指以生产过程的参量为被控制量，使之接近给定值或保持在给定范围内的自动控制系统。表征过程的主要参量有温度、压力、流量、液位、成分、浓度等，通过对过程参量的控制，使生产过程中产品的产量增加、质量提高和能耗减少。

任务一 过程控制系统的组成

1. 过程控制系统基本的组成

自动控制系统是在人工控制的基础上演变而来的。在学习自动控制系统之前分析人工操作的过程，并与自动控制过程进行比较，对了解自动控制系统是有益的。

在工业生产中，储槽是一种常见的储存流体的设备。图 1-1 是一个储水槽，当储水槽出水量和进水量相等时，液位将保持在某一正常位置。一旦生产波动出水量或进水量发生变化，液位就发生相应变化。为保持液位恒定，操作人员必须密切注视液位的变化。一经发现实际液位高度与应该维持的正常液位值之间出现偏差时，就要马上进行调节，即开大或关小出水阀门，使之恢复正常位置，这样就不会出现储槽中液位过高而溢流至槽外，或是储槽内液体抽空而出现故障。

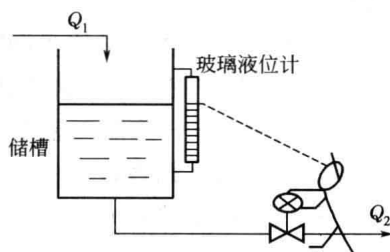


图 1-1 储水槽

上述操作过程归纳起来，操作人员通过眼、脑、手三个器官，分别承担了检测、运算和执行三个任务，来完成测量、求偏差、再控制以纠正偏差的全过程。人工控制受到生理上的限制，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，可以用一套自动化装置来代替上述人工操作，这样，就由人工控制变成自动控制了，液位储罐和自动化装置一起构成了一个自动控制系统，如图 1-2 和图 1-3 所示。

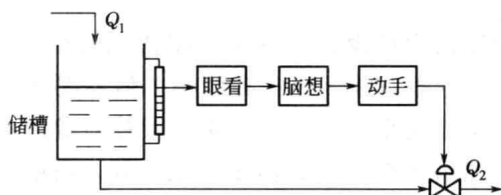


图 1-2 液位人工控制

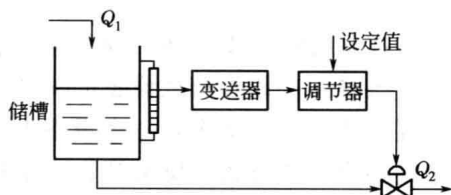


图 1-3 液位自动控制

2. 过程控制系统常用术语

从上面的实例中，可以总结出一般过程控制系统是由被控对象、测量变送器、调节器、

控制阀等部分组成的。为了更清楚地表达一个自动控制系统各环节的相互影响和信号联系,常用方框图来表示。图中用一个方块表示组成系统的一部分,称之为环节,用带箭头的直线表示信号的相互联系和传递方向,如图 1-4 所示。

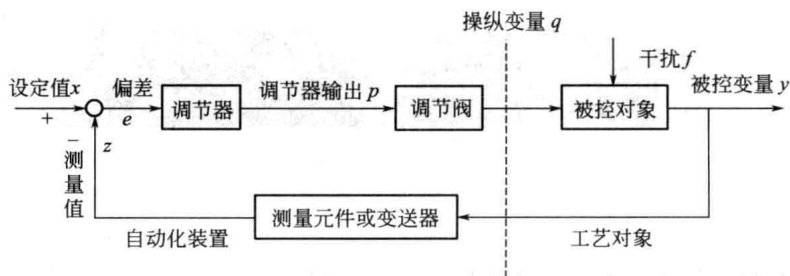


图 1-4 过程控制系统组成方框图

从图 1-4 过程控制系统的基本组成框图可知,过程自动控制系统主要由工艺对象和自动化装置(调节阀、调节器、检测变送器)两个部分组成。

被控对象——需要控制的工艺设备(塔、容器、储槽等)、机器,如上例中的水槽。

检测元件和变送器——感受并测量被控变量的变化,并将其转变为标准信号输出。如上例中的液位变送器将液位检测出来并转化成统一标准信号(如 4~20mA DC)。

比较机构——其作用是将设定值与测量值比较并产生偏差值。

调节器——在调节器内,将设定值与测量值进行比较,得出偏差值,按预定的控制规律实施控制作用,比较机构和调节器通常组合在一起,它可以是气动调节器、电动调节器、可编程调节器等。

调节阀——其作用是接受调节器送来的信号,相应地去改变操纵变量 q 以稳定被控变量 y ,最常用的调节阀是气动薄膜调节阀。

被控变量 y ——按照工艺要求,被控对象是通过控制能达到工艺要求设定值的工艺变量,如上例中的水槽液位。

设定值(给定值) x ——自动控制系统中,设定值是与工艺预期的被控变量相对应的的信号值,它由工艺要求决定,如上例中的 50% 液位高度。

测量值 z ——检测元件及变送器的输出值,即被控变量的实际测量值。

偏差 e ——设定值与测量值之差。

操纵变量 q ——由调节器操纵,能使被控变量恢复到设定值的物料量或能量,如上例中的出水量。

干扰 f ——除操纵变量外,作用于生产过程对象并引起被控变量变化的随机因素,如进料量的波动。

在自控系统组成中,还必须具有控制装置所控制的生产设备。将需要控制工艺参数的生产设备、机器、一段管道或设备的一部分叫做被控对象,如图 1-3 中的储槽。但需要指出的是,在复杂的生产设备中,一个设备上可能有好几个控制系统。这时在确定被控对象时,就不一定是整个生产设备。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一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流量检测点到调节阀之间的一段管道或设备,而不是整个精馏塔。

任务二 过程控制系统的分类

过程控制系统有多种分类方法。可以按被控变量的物理性质如温度、压力、流量、液位等分类；也可按调节器的控制规律来分类；也有按构成控制系统结构的复杂程度来分类。按控制系统的输出信号是否反馈到系统的输入端可分为两类。

1. 开环控制系统

控制系统的输出信号（被控变量）不反馈到系统的输入端，因而也不对控制作用产生影响的系统，称为开环控制系统。

开环控制系统又分两种。一种是按设定值进行控制，如蒸汽加热器，其蒸汽流量与设定值保持一定的函数关系，当设定值变化时，操纵变量随之变化，图 1-5(a) 为其原理。另一种是按扰动量进行控制，即所谓前馈控制，如图 1-5(b) 所示。被控变量的变化没有反馈到调节器的输入端，没有用偏差来产生调节作用影响被控变量。

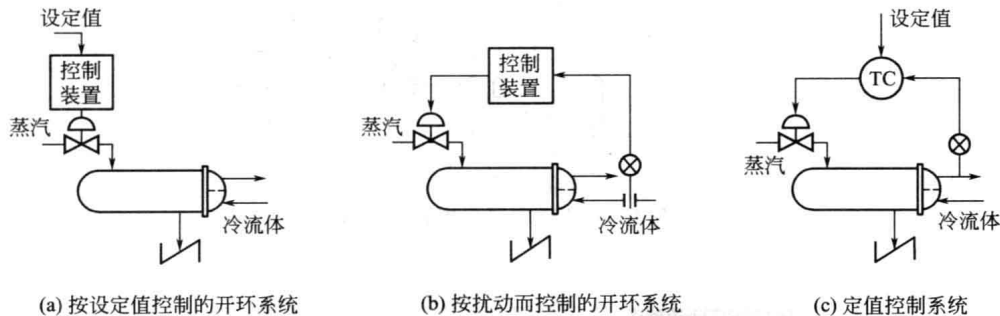


图 1-5 控制系统基本结构

2. 闭环控制系统

从图 1-4 方框图可以看出，系统的输出（被控变量）通过测量变送环节，又返回到系统的输入端，与设定信号比较，以偏差的形式进入调节器，对系统起控制作用，整个系统构成了一个封闭的反馈回路，这种控制系统被称为闭环控制系统，或称反馈控制系统。

在闭环控制系统中，按照设定值的情况不同，又可分为三种类型。

① 定值控制系统。所谓定值控制系统，是指这类控制系统的设定值是恒定不变的。如图 1-5(c) 所示蒸汽加热器在工艺上要求出口温度按设定值保持不变，因而它是一个定值控制系统。定值控制系统的基本任务是克服扰动对被控变量的影响，即在扰动作用下仍能使被控变量保持在设定值（给定值）或在允许范围内。

化工生产领域里的自动控制系统，凡要求工艺条件不变的，都属于这种范畴。

② 随动控制系统。随动控制系统也称为自动跟踪系统，这类系统的设定值是一个未知的变化量。这类控制系统的主要任务，是使被控变量能够尽快地、准确无误地跟踪设定值的变化，而不考虑扰动对被控变量的影响。在化工生产中，有些比值控制系统就属于此类。航空中的导航雷达系统、电视台的天线接收系统，也都是随动控制系统。

③ 程序控制系统。程序控制系统也称顺序控制系统。这类控制系统的设定值也是变化的，但它是已知的的时间函数，即设定值按预定的时间程序变化，被控参数自动跟踪设定值。在化工生产中，如间歇反应器的升温控制系统、食品工业中的罐头杀菌温度控制、造纸中纸浆蒸煮的温度控制、机械工业中的退火炉温度控制以及工业炉、干燥窑等周期作业的加热设



备控制等。在这类生产过程中,要求按工艺规程规定、随时间变化的函数,如具有一定的升温时间、保温时间和降温时间等。程序控制的设定值按程序自动改变,系统按设定程序自动运行,直到整个程序完成为止。

值得注意的是,随着自动化工具的发展,控制手段和方法的增多,系统也复杂了,往往在一个系统中有几个局部的环节。在应用闭环系统这一名词时,并不单纯看系统中有没有一个闭环,而是看有没有包括系统输出信号在内的闭环,因为只有输出反馈到设定值所构成的闭环才会对改进系统质量最直接最有效。下面用一个例子来进一步说明这一观点。

如图 1-6 所示的温度控制问题,在某种情况下经过分析认为,造成温度波动的主要原因是进料流量及冷却水流量的改变,如果将这两个流量保持恒定或基本上恒定,则温度的波动将会减少到生产可以接受的误差范围之内。从图中可以看到整个系统有两个闭环,但是其中都没有包括系统的输出(反应器的温度),因而对反应器的温度控制系统来说,这个系统是开环而不是闭环。

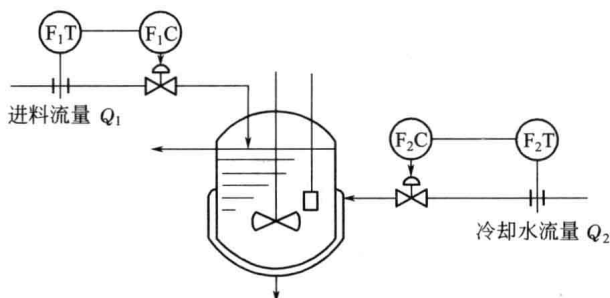


图 1-6 某反应器温度控制系统

任务三 过渡过程和品质指标

自动控制系统的作用就是克服干扰,使被控变量维持在设定值上。然而当系统受到干扰后,在控制器的作用下,被控变量恢复到设定值并不是一瞬间完成的,要经历一个过程,这个过程叫自动控制系统的过渡过程。为了使自动控制系统在生产上发挥应有的作用,对自动控制系统过渡过程是有要求的,这就是关于过渡过程质量指标的评定。

一、自动控制系统的静态和动态

1. 静态

在一个定值控制系统中,被控变量不随时间变化的平衡状态,即被控变量变化率等于零的状态,称为系统的静态。

当一个自动控制系统的输入恒定不变,即不改变设定值又没有干扰,整个系统就会处于一种相对平衡的静止状态。这时物料进出平衡,生产稳定,自动控制系统的各组成环节如检测变送器、调节器和调节阀都暂不动作,从记录仪表上看,被控变量变化过程呈一条直线,这时系统就处于静态。例如在液位控制系统中只有当流入储槽的流量和流出储槽的流量相等时,液位才能恒定,系统才处于平衡状态即静态。

自动化领域所讲的静态是指各参数(或信号)的变化率为零,即参数保持在某一常数不变化,而不是指物料或能量不流动。因为自动控制系统在静态时,生产在进行,物料仍然有进出,只是此时物料平衡,流入量等于流出量。对化工对象来说,静止状态是由物料平衡、能量平衡及化学反应平衡等规律所确定的。从严格意义上说,应该称为稳态特性,因为它反



映的是动态平衡情况。

2. 动态

在一个定值控制系统中,被控变量随时间变化的不平衡状态称为系统的动态。

生产中扰动会不断产生,自动控制系统的静态随时被打破,使被控变量变化。在控制室记录仪表上或历史数据上所记录的各种各样形状的曲线,就反映了控制作用克服干扰的过程。在这个过程中,系统诸环节都处于运动状态,所以称为动态。

在自动控制系统过程中,由于扰动作用,被控变量随时间不断变化的过程称为自动控制系统的过渡过程。也就是自动控制系统从一个平衡状态过渡到另一个平衡状态的过程。自动控制系统的过渡过程是控制作用不断克服干扰作用影响的过程,这种运动过程是控制作用与干扰作用在系统内斗争的过程,当这一对矛盾得到统一时,过渡过程也就结束,系统又达到了新的平衡。

总之,平衡(静态)是暂时的、相对的、有条件的,不平衡(动态)才是普遍的、绝对的、无条件的。在自动化工作中,了解系统的静态是必要的,但了解系统的动态更为重要。干扰引起系统变化后,系统能否再重新建立新的平衡,这是系统动态的情况。因此研究自动控制系统的重点是要研究系统动态,即控制系统的过渡过程。

二、过渡过程的基本形式

生产过程总希望被控变量保持不变,然而这是很难办到的。原因是干扰的客观存在,扰动没有固定的形式,是随机发生的。为了分析和设计控制系统时方便,常采用形式和大小固定的扰动信号来描述扰动过程,其中最常用的是阶跃干扰。系统受到干扰后,被控变量就要变化。典型过渡过程有如图 1-7 所示。

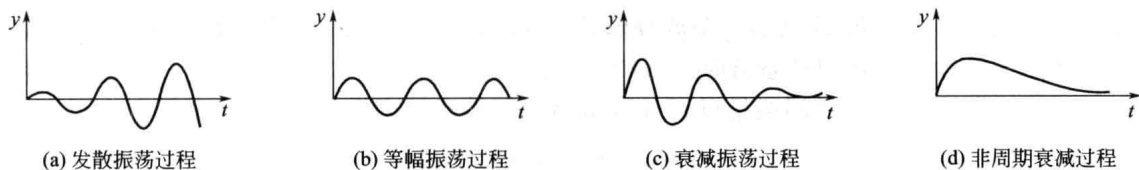


图 1-7 过渡过程的基本形式

图 1-7(a) 为发散振荡过程,它表明这个控制系统在受到阶跃干扰作用后,非但不能使被控变量回到设定值,反而使它越来越剧烈地振荡起来。显然,这类过渡过程的控制系统不能满足生产要求,严重时会引起事故。

图 1-7(b) 为等幅振荡过程,它表示系统受到阶跃干扰后,被控变量将做振幅恒定的振荡而不能稳定下来。因此,除了简单的位式控制外,这类过渡过程一般也是不允许的。

图 1-7(c) 为衰减振荡过程,它表明被控变量经过一段时间的衰减振荡后,最终能重新稳定下来。这是所希望的。

图 1-7(d) 为非周期衰减过程即单调过程,它表明被控变量最终也能稳定下来,但由于被控变量达到新的稳定值的过程太缓慢,而且被控变量长期偏离设定值一边,一般情况下工艺上也是不允许的,而只有工艺允许被控变量不能振荡时才采用。

总之,对自动控制系统过渡过程的要求,首先是稳定,其次应是一个衰减振荡过程。衰减振荡过渡过程时间较短,而且容易看出被控变量变化趋势。在大多数情况下,要求自动控制系统过渡过程是一个衰减振荡的过渡过程。

三、控制系统品质指标

闭环控制系统的品质指标主要由过渡过程性能反映。一个控制系统在外界干扰或设定干

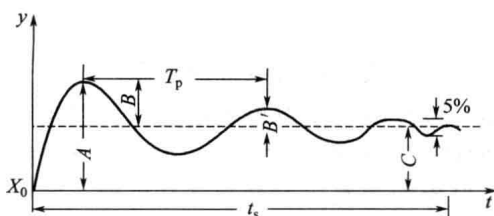


图 1-8 过渡过程品质指标示意

扰作用下,从原有稳定状态过渡到新的稳定状态的整个过程,称为控制系统的过渡过程。控制系统的过渡过程是衡量控制系统品质优劣的重要依据。

从以上几种过渡过程情况可知,一个合格的、稳定的控制系统,当受到外界干扰以后,被控变量的变化应是一条衰减的曲线。图 1-8 表示了一个定值控制系统受到外界阶跃干扰以后的过渡过程曲线,对此曲线,用过渡过程质量指标来衡量控制系统的好坏时,常采用以下几个指标。

1. 最大偏差 A 或超调量 B

最大偏差是衡量过渡过程稳定性的一个动态指标。最大偏差是指在过渡过程中,被控变量偏离设定值的最大数值。在衰减振荡过程中,最大偏差就是第一个波的峰值,在图 1-8 中以 A 表示。最大偏差表示系统瞬时偏离设定值的最大程度。若偏离得越大,偏离的时间越长,即表明系统离开规定的工艺参数指标就越远,这对稳定正常生产是不利的。因此最大偏差可以作为衡量系统质量的一个品质指标。一般来说,最大偏差当然是小一些为好,特别是对于一些有约束条件的系统,如化学反应器的化合物爆炸极限、触媒烧结温度极限等,都会对最大偏差的允许值有所限制。同时考虑到干扰会不断出现,当第一个干扰还未消除时,第二个干扰可能又出现了,偏差有可能是叠加的,这就更需要限制最大偏差的允许值。所以,在决定最大偏差的允许值时,要根据工艺情况慎重选择。

有时也可以用超调量来表征被控变量偏离设定值的程度。在图 1-8 中超调量以 B 表示。从图中可以看出,超调量 B 是第一个波峰值 A 与新稳态值 $y(\infty)$ 之差,即 $B=A-C$ 。其中 C 表示被控变量达到的新的稳态值时产生的余差。

在工程实际中常把一般超调量以百分数给出,即相对超调量

$$\delta = \frac{B}{C} \times 100\%$$

总之,最大偏差或超调量过大时,对于某些工艺要求比较高的生产过程来说,是应该禁止的。同时考虑到干扰会不断出现,偏差可能叠加,这就更应限制最大偏差的允许值。

2. 衰减比 n

衰减比是衡量调节过程衰减速度的指标,它用过渡过程曲线相邻两个波峰值的比来表示,在图 1-8 中衰减比是 $B:B'$ 。若衰减比小,接近于等幅振荡过程,过程变化灵敏,但波动过于激烈,不易稳定,安全性低,一般不采用;若衰减比大,则又接近于非振荡过程,过渡过程稳定,但反应太迟缓,也是不需要的。衰减比究竟以多大为合适,没有确切的定论,根据实际经验,为保持足够的稳定裕度,一般希望在两个波峰左右,与此相对应的衰减比在 $4:1 \sim 10:1$ 。在 $4:1$ 衰减振荡过程中,大约两个波以后就可以认为是稳定下来了,这是一个适当的过渡过程。而衰减比为 $10:1$ 时,过渡过程基本上可以认为是只有一个波峰。

3. 余差 C

余差是衡量控制系统稳定性的一个动态指标。当过渡过程结束时,被控变量所达到的新的稳态值与设定值之间的偏差,叫做余差。或者说,余差就是过渡过程结束时的残余偏差,在图 1-8 中以 C 表示。余差的符号可能是正,也可能是负的。 $C=0$ 的控制过程为无差调节,没有余差的控制过程称为无差控制,相应的系统称为无差系统; $C \neq 0$ 时成为有差调节,有



余差的控制过程称为有差控制,相应的系统称为有差系统。余差的大小反映了自动调节的控制精度。一般要求余差能满足工艺要求就可以了。

在生产中,设定值是生产的技术指标,所以被测变量越接近设定值越好,即余差越小越好。但在实际生产中,也并不是要求任何系统的余差都很小。如一般储槽的液位控制要求就不高,这种系统往往允许液位有较大的变化范围,余差就可以大一些。又如化学反应器的温度控制,一般要求比较高,应当尽量消除余差。所以,对余差大小的要求,必须结合具体系统做具体分析,不能一概而论。

4. 过渡时间 t_s

从干扰作用发生的时刻起,到系统重新建立新的平衡时止,过渡过程所经历的时间叫做过渡时间或控制时间。严格地讲,对于具有一定衰减比的衰减振荡过渡过程,要完全达到新的平衡状态需要经历无限长的时间。实际上,由于仪表灵敏度的限制,当被控变量接近稳态值时,指示值就基本上不再改变了。因此,一般是在稳态值的上下规定一个小的范围,当被控变量进入这一小范围,并不再越出时,就认为被控变量已经达到新的稳态值,或者说过渡过程已经结束。所以实际规定,当被控变量衰减到进入最终稳态值的 $\pm 5\%$ (也有的规定为 $\pm 2\%$)的一定范围之内所经历的时间,就定义为过渡时间 t_s 。

过渡时间短,表示控制系统能及时克服干扰作用,过渡过程进行得比较迅速,这时即使干扰频繁出现,系统也能很快稳定,系统控制质量就高,故希望过渡时间短些为好;反之,过渡时间太长,第一个干扰引起的过渡过程尚未结束,第二个干扰就已经出现。这样,几个干扰的影响叠加起来,就可能使系统满足不了工艺的要求。

5. 振荡周期 T_p 或频率 f

从第一个波峰到同方向的第二个波峰之间的间隔时间,称为过渡过程的振荡周期或工作周期 T_p ,其倒数称为振荡频率 f 。在衰减比相同的条件下,周期与过渡过程时间成正比。振荡周期越短,过渡时间越短。因此它也是衡量控制系统控制速度的品质指标。

上述五个过渡过程质量指标在不同的控制系统中各有其重要性,而且相互之间又有着内在联系。对一个系统总是希望能够做到余差小,最大偏差小,调节时间短,恢复快。但上述几个指标往往是互相矛盾的,一般讲,这些指标在不同的系统中其重要性也不相同,应根据工艺生产中的具体要求分清主次,区别轻重,优先保证重要的质量指标。

在实际生产中,如果干扰幅度较小,参数变化较快,从记录曲线定量识别各个质量指标就很困难,所以操作人员常根据被控变量值指示仪指针摆动次数作为质量指标,以摆动两个周期就稳定下来的过程,来认定衰减比为4:1的衰减过程。

任务四 过程控制系统基本控制规律

一、过程的位式控制

1. 双位控制

在一些工艺简单的生产过程中,仍然采用双位控制。双位控制是位式控制的最简单形式。双位控制的规律是:当测量值大于设定值时,控制器的输出为最大(或最小);而当测量值小于设定值时,则控制器的输出为最小(或最大)。其偏差 e 与输出 u 间的关系为:

当 $e > 0$ 或 $e < 0$ 时, $u = u_{\max}$;

当 $e < 0$ 或 $e > 0$ 时, $u = u_{\min}$ 。



双位控制只有两个输出值状态，相应的执行机构也只有两个极限位置，“开”或“关”。而且从一个位置到另一个位置的動作是极其迅速的，没有中间过程。这种特性又称继电器特性，如图 1-9 所示。图 1-10 是一个典型的双位控制系统。它是利用电极式液位计来控制电磁阀的开启与关闭，从而使储槽液位维持在设定值上下很小的一个范围内。

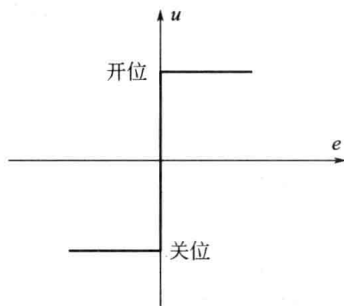


图 1-9 理想的双位控制特性

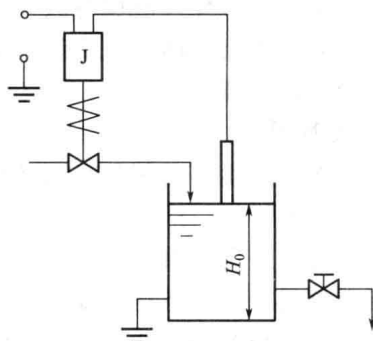


图 1-10 双位控制示例

槽内有一个电极，作为测量液位的装置。电极的一端与继电器的线圈 J 相接；另一端安装在液位设定值的位置。流体由装有电磁阀的管路进入储槽，经出料管流出。流体是导电的，储槽外壳接地。当液位低于设定值 H_0 时，流体与电极未接触，故继电器断路，此时电磁阀全开，流体通过电磁阀流入储槽，使液位上升。待液位上升至稍大于设定值时，流体与电极接触，于是继电器接通，从而使电磁阀全关，流体不再进入储槽。但此时储槽内流体仍继续通过出料管往外排出，故液位要下降，待液位下降至稍小于设定值时，流体又与电极脱离，于是电磁阀又开启，如此反复循环，使液位维持在设定值上下很小的一个范围内波动。

在这个实例中，电磁阀只有全开全关两个极限位置，它的动作非常频繁，致使系统中的运动部件（继电器、电磁阀）等部件经常摩擦，很容易损坏，这样就很难保证双位控制系统安全可靠运行。而且对于这个具体液位对象来说，生产工艺也并不要求液面 H 一定维持在设定值 H_0 上，而往往只要求液面保持在某一个较宽的范围内就可以，即确定一个上限值 H_H 和下限值 H_L ，只要能控制液面 H 在 H_H 与 H_L 之间波动，就能满足生产工艺的要求。

2. 具有中间区的双位控制

实际生产中被控变量与给定值之间总是允许有一定偏差，因此，实际应用的双位调节器都有一个中间区（有时就是仪表的不灵敏区）。带中间区的双位控制规律是：当被控变量上升时，必须在测量值高于设定的某一数值后，阀门才“关”（或“开”）；而当被控变量下降时，必须在测量值低于设定的某一数值后，阀门才“开”（或“关”）。在中间区域，阀门是不动作的。这样，就可以大大降低执行器开闭阀门的频繁程度。实际的带中间区的双位控制规律如图 1-11 所示。

只要将如图 1-10 所示的双位控制装置中的测量装置及继电器线路稍加改变，则可构成一个具有中间区的双位控制系统，它的控制过程如图 1-12 所示。图中上面的曲线是调节机构（或阀门）输出变化（例如通过电磁阀的流体流量 Q ）与时间 t 的关系；下面的曲线是被控变量（液位）在中间区内随时间变化的曲线。当液位低于下限时，电磁阀是开的，流体流入储槽。由于流入流体大于流出流体，故液位上升。当上升到上限值时，阀门关闭，流体停止流入。由于此时槽内流体仍在流出，故液位下降，直到液位下降至下限时，电磁阀才重新开启，液位又开始上升。因此，带中间区的双位控制过程是被控变量在它的上限值与下限值之间的等幅振荡过程。