

高职高专规划教材

过程控制系统

主 编 王银锁
副主编 孙如田
毛徐辛



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

高职高专规划教材

过程控制系统

主 编 王银锁

副主编 孙如田
毛徐辛



石油工业出版社

内 容 提 要

本书分为两篇,第一篇主要讲述过程控制系统的基本概念、组成、过渡过程形式、质量指标和控制器参数对系统过渡过程的影响。第二篇主要讲述简单、串级、均匀、比值等控制系统的结构、特点、应用、案例分析等,并介绍了新型控制系统、典型单元操作和生产过程控制方案。

本书体现职业教育的特点,突出实践性、实用性和先进性,着重职业技能的培养,可作为高等职业教育、继续教育等院校的生产过程自动化技术专业的教材,也可作为与石油化工相关企业的职业技能培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

过程控制系统/王银锁主编.

北京:石油工业出版社,2009.1

(高职高专规划教材)

ISBN 978-7-5021-6858-2

I. 过…

II. 王…

III. 过程控制-自动控制系统-高等学校:技术学校-教材

IV. TP273

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第207402号

过程控制系统

王银锁主编

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里2区1号 100011)

网 址:www.petropub.com.cn

编辑部:(010)64523546 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技有限公司

印 刷:中国石油报社印刷厂

2009年1月第1版 2009年1月第1次印刷

开本:1/16 787×1092毫米 印张:12

字数:301千字

定价:20.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

本书是参照2007年7月召开的高职高专规划教材大纲审定会制定的《过程控制系统》大纲编写的。

全书分为两篇,第一篇主要介绍过程控制系统的基本知识和分析方法。第二篇主要介绍目前石油化工生产过程中应用比较成熟的控制系统、典型单元操作和生产过程控制方案,深入浅出地阐述了过程控制系统的构成、特点、适用场合和操作使用方法等。教材内容素材选自当前最新的石油化工生产过程控制技术,以常用的典型控制系统案例为主,介绍了一些新技术和新方案。

根据高等职业教育的特点,书中编写了MATLAB软件使用方法,在有关的章节中编写了实验实训指导等内容。通过一边学习理论知识,一边实际操作训练,将控制理论和生产实践紧密结合起来,并贯穿到课程实施过程中,帮助学生建立过程控制系统的基本概念,巩固和加深对控制系统应用技术的理解。在学习过程中掌握过程控制系统应用技术,真正达到国家职业标准要求的培养目标。

本书依据国家职业标准《化工仪表维修工》中的知识及技能内容要求,紧紧围绕高等职业教育高技能应用型人才的培养目标,突出实践性、实用性和先进性,理论知识以够用为宜,突出实践能力培养。

本书为高等职业教育、继续教育等院校的生产过程自动化技术专业的教材,也可作为化工、石油化工、轻工、炼油等企业相关专业的职业技能培训教材,还可作为工程技术人员的参考书。

本教材由兰州石化职业技术学院王银锁编写第六章的第四节、第七章、第八章;河北石油职业技术学院毛徐辛编写第四章、第五章、第六章,任黎娟参编第四章,张智参编第五章,贾瑜华参编第六章;克拉玛依职业技术学院孙如田编写第一章、第三章,邓晓英编写第二章;兰州石化职业技术学院李红萍编写第一章的第五节、第三章的第三节、第四节。全书由王银锁主编,孙如田、毛徐辛副主编,张德泉主审。

本书在编写过程中得到了中国石油兰州石化公司等单位的的大力支持和帮助,并参考了大量的相关书籍和资料。编者向为本书的编写提供帮助的人们致以诚挚的谢意!

由于编者水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2008年8月

目 录

第一篇 过程控制原理

第一章 过程控制系统基础知识	(3)
第一节 过程控制系统的组成及分类	(3)
第二节 过程控制系统的过渡过程和品质指标	(7)
第三节 传递函数	(12)
第四节 方框图的等效变换	(14)
第五节 过程控制系统认识实训	(19)
本章小结	(20)
习题与思考题	(20)
第二章 控制系统 MATLAB 的应用	(21)
第一节 MATLAB 简介	(21)
第二节 MATLAB 基本操作	(26)
第三节 控制系统数学模型的 MATLAB 描述	(32)
第四节 MATLAB 应用实训	(35)
本章小结	(40)
习题与思考题	(40)
第三章 过程控制系统的分析	(41)
第一节 被控对象的数学模型	(41)
第二节 常规控制规律及其对控制系统过渡过程的影响	(48)
第三节 系统及环节特性测试实训	(60)
第四节 控制系统分析实训	(63)
本章小结	(64)
习题与思考题	(65)

第二篇 过程控制工程

第四章 简单控制系统	(69)
第一节 被控变量和操纵变量的选择	(69)
第二节 控制阀的选择	(75)
第三节 测量与变送滞后对控制质量的影响及克服方法	(83)
第四节 控制器的选择	(86)

第五节 简单控制系统的投运和控制器参数的工程整定	(88)
本章小结	(93)
习题与思考题	(93)
第五章 复杂控制系统	(95)
第一节 串级控制系统	(95)
第二节 均匀控制系统	(103)
第三节 比值控制系统	(106)
第四节 前馈控制系统	(113)
本章小结	(117)
习题与思考题	(118)
第六章 其他控制系统	(119)
第一节 选择性控制系统	(119)
第二节 分程控制系统	(123)
第三节 新型控制系统	(128)
第四节 安全仪表系统	(135)
本章小结	(140)
习题与思考题	(140)
第七章 典型操作单元控制案例	(142)
第一节 流体输送设备的控制	(142)
第二节 传热设备的控制	(147)
第三节 精馏塔的控制	(152)
第四节 锅炉设备的控制	(156)
第五节 化学反应器的控制	(160)
本章小结	(163)
习题与思考题	(164)
第八章 典型生产过程控制案例	(165)
第一节 常减压过程的控制	(165)
第二节 催化裂化过程的控制	(168)
第三节 乙烯生产过程的控制	(169)
第四节 合成氨生产过程的控制	(173)
第五节 生产过程控制实习	(176)
本章小结	(177)
习题与思考题	(177)
附录 自动控制系统常用图例符号的统一规定	(178)
参考文献	(183)

第一篇 过程控制原理

第一章 过程控制系统基础知识

在石油化工生产中,对各个工艺过程中的某些物理量,即工艺变量,有着一定的控制要求。有些工艺变量直接表征生产过程,对产品的数量和质量起着决定性的作用。例如,在精馏塔的操作中,当塔中压力维持恒定时,只有保持精馏段或提馏段温度一定,才能得到合格的产品。有些工艺变量虽不直接影响产品的质量和数量,然而,保持其平稳却是使生产获得良好控制的前提。对于以上各种类型的变量,都需要加以必要的控制。在生产设备上,配备一些自动化仪表等控制装置来代替人的观察、判断、决策和操纵,使某些工艺变量能准确地按照预期的规律变化,使生产在不同的程度上自动进行,这种系统就是过程控制系统。

第一节 过程控制系统的组成及分类

一、过程控制系统的组成

在锅炉正常运行中,汽包水位是一个重要的变量,它的高低直接影响着蒸汽的品质及锅炉的安全。水位过低,当负荷很大时,汽化速度很快,汽包内的液体将全部汽化,导致锅炉烧干甚至会引起爆炸;水位过高会影响汽包的汽水分离,产生蒸汽带液现象,降低了蒸汽的质量和产量,严重时损坏后续设备。

如果一切条件恒定不变,只要将进水阀置于一定开度,则锅炉汽包水位能保持在一定高度。但实际生产过程中,这些条件是变化的,如进水阀的压力变化、蒸汽流量的变化等。如不进行控制,则液位就要偏离要求的高度。图 1-1 所示是锅炉汽包水位人工控制的示意图。人工控制的过程简述如下:

操作人员用眼睛观察玻璃液位计中的指示值,然后通过神经系统传给大脑,大脑根据指示值和工艺要求的控制目标值进行比较,得到偏差的大小和方向,并依据操作经验发出信息命令传至双手,双手根据大脑的指令去改变给水阀的方向和大小,使蒸汽的消耗量和给水量相等,最终使水位保持在设定目标值上。在这里,人的眼睛、手、大脑分别起到检测、判断分析和运算、执行的作用,完成测量、计算偏差、纠错偏差的过程,保持锅炉汽包水位恒定。

人工控制由于受生理的限制,无论在速度上或是在精度上都是有限的。为提高控制精度,减轻操作人员的劳动强度,改善操作人员的工作环境,用一些自动控制设备,如测量仪表、控制仪表、执行机构等自动控制装置来代替人工操作过程,使人工控制变成自动控制。

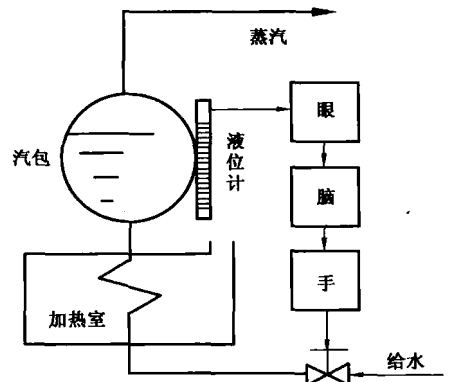


图 1-1 锅炉汽包水位人工控制示意图

图 1-2 所示为锅炉汽包水位控制系统的示意图,图 1-3 所示为锅炉汽包水位控制系统的原理图(图中自动化装置的符号功能,查附录表一)。控制的过程简述如下:

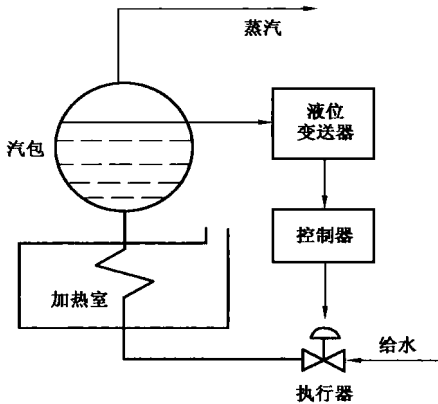


图 1-2 锅炉汽包水位控制系统示意图

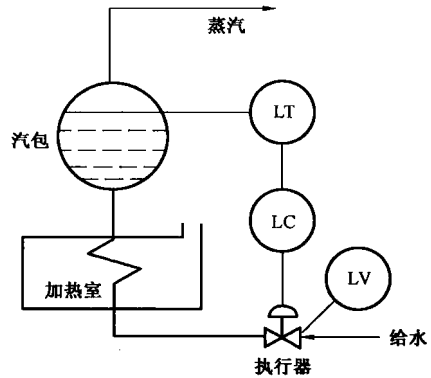


图 1-3 锅炉汽包水位控制系统原理图

液位测量变送器(图 1-3 中 LT 表示液位变送器)检测锅炉汽包水位的变化,并将汽包水位高低这一物理量转换成仪表间的标准统一信号。

控制器(图 1-3 中 LC 表示液位控制器)接受液位测量变送器的输出标准统一信号,与工艺控制要求的目标水位信号相比较得出偏差信号的大小和方向,并按一定的规律运算后输出一个对应的标准统一信号。执行器(图 1-3 中 LV 表示液位执行器)接受控制器的输出信号后,根据信号的大小和方向控制阀门的开度,从而改变给水量,经过反复测量和控制使锅炉汽包水位达到工艺控制要求。

经锅炉汽包水位控制系统分析可知,一般过程控制系统由被控对象、测量变送器、控制器和控制阀四个基本环节组成。其中测量变送器、控制器和控制阀是自动控制仪器设备,可以将过程控制系统看成由被控对象和自动控制装置两部分组成。

(1)被控对象。它是控制系统的主体,在自动控制系统中,是指需要控制其工艺变量的生产设备或机器。

(2)测量变送器。通常包括检测元件和变送器两部分。其作用是将被控制的物理量检测出来并转换成工业仪表间的标准统一信号。例如,温度变送器是将温度信号转换成电信号。

(3)控制器。其作用是将测量值与目标值比较得出偏差,按一定的规律运算后对控制阀(执行机构)发出相应的控制信号或指令。

(4)执行器。通称执行机构。其作用是依据控制器发出的控制信号或指令,改变控制量,对被控对象产生直接的控制作用。

二、过程控制系统方框图

为了便于对过程控制系统进行分析,常采用方框图的形式来表示控制系统的结构、环节之间的相互关系和信号间的联系,如图 1-4 所示。

在图 1-4 所示方框图中,每个方框代表系统中的一个环节,环节之间带有箭头的直线只表示信号的关系和传递的方向。

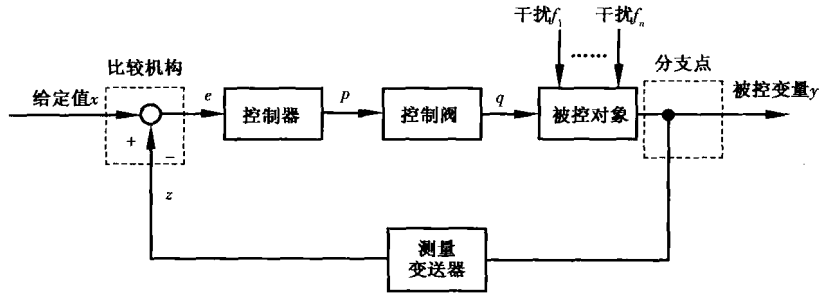


图 1-4 过程控制系统的方框图

几点说明：

- (1) 箭头还具有单向性, 即方框的输入只能影响输出, 而输出不能影响输入。
- (2) 方框图中各线段所表示的是信号关系, 而不是指具体的物料或能量。
- (3) 图中的比较机构实际上是控制器的一个部分, 不是独立的元件, 为了更醒目地表示其比较作用, 才把它单独画出。比较机构的作用是比较给定值与测量值并得到其差值。

控制系统中一些常用的名词术语的解释：

(1) 被控变量 y 。被控变量是表征生产设备或过程运行状况, 需要加以控制的变量, 也是过程控制系统的输出量。如图 1-3 中锅炉汽包水位自动控制系统中的水位就是被控变量。通常在石油化工生产过程控制系统中被控变量有温度、压力、液位、流量、成分等。

(2) 给定值(设定值) x 。工艺要求被控变量的值, 也是过程控制系统的输入量。如图 1-3 中锅炉汽包水位自动控制系统中的要求水位保持在 50%, 其所对应的标准信号值就是给定值。

(3) 干扰变量 f 。在生产过程中, 凡是影响被控变量的各种外来因素都称为干扰作用。它也是过程控制系统的输入量。如图 1-3 中锅炉汽包水位自动控制系统中给水压力的变化和蒸汽负荷的变化等都是干扰。

(4) 操纵变量 q 。用以克服干扰变量的影响, 具体实现控制作用的变量称为操纵变量。用来实现控制作用的物料一般称为操纵介质或操纵剂。如图 1-3 中锅炉汽包水位自动控制系统中给水量就是操纵变量, 给水就是操纵介质。

(5) 测量值 z 。测量值是检测元件与变送器的输出信号值。在图 1-3 中, 汽包水位变送器的输出信号值就是测量值。

(6) 偏差 e 。在过程控制系统(方框图和有关分析)中, 规定偏差是给定值与测量值之差, 即: $e = x - z$ 。

(7) 控制器的输出 p 。在控制器内, 给定值与测量值进行比较得出偏差, 按一定的控制规律发出相应的输出信号 p 去驱动执行机构。

(8) 反馈。把系统的输出信号通过检测元件与变送器又引回到系统输入端的做法称为反馈。当系统输出端送回的信号取负值与给定值相加时, 属于负反馈; 当反馈信号取正值与给定值相加时, 属于正反馈。自动控制系统一般采用负反馈。

三、过程控制系统的分类

过程控制系统有多种分类方法, 可以按被控变量分类, 如温度、压力、流量、液位、成分等控制系统。也可以按控制器具有的控制规律分类, 如比例、比例积分、比例微分、比例积分微分控

制系统。在分析控制系统时,按照给定值是否变化和如何变化来分类,这样可以将自动控制系统分为三类: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

在生产过程中,如果要求控制系统使被控变量保持在一个生产指标上不变,或者说要求工艺参数的给定值不变,这类控制系统称为定值控制系统。如图 1-1 锅炉汽包水位控制系统就是定值控制系统。这个控制系统的目的是使汽包水位保持在给定值不变。在石油化工生产中绝大部分是定值控制系统,因此,后面讨论的过程控制系统,如果没有特殊说明,都是定值控制系统。

2. 随动控制系统

给定值是一个未知变化量的控制系统称为随动控制系统,随动控制系统的目的是使被控变量准确快速跟随着给定信号的变化而变化。这类控制系统又称为跟踪系统。

3. 程序控制系统

程序控制系统的给定值有规律地变化,是已知的时间函数。

控制系统按有无闭合(简称闭环)来分类,可分为闭环控制系统和开环控制系统。凡是系统的输出信号对控制作用有直接影响的控制系统,就称为闭环控制系统。例如,图 1-3 所示的汽包液位控制系统便是闭环控制系统。图 1-4 所示的方框图中,任何一个信号沿着箭头方向前进,最后又会回到原来的起点。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。

若系统的输出信号不能影响控制作用,则称为开环控制系统。这种系统的输出信号不反馈到输入端,不能形成信号传递的闭合回路。蒸汽加热器开环控制系统,如图 1-5 所示。在蒸汽加热器中,如果负荷是主要干扰,则开环控制系统能使蒸汽流量与冷流体流量之间保持一定的函数关系。当冷流体流量变化时,通过控制蒸汽流量以保持热量平衡。图 1-6 所示是蒸汽加热器开环控制系统方框图,显然,开环控制系统不是反馈控制系统。

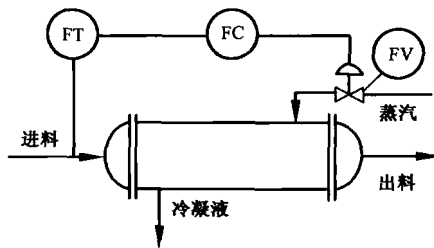


图 1-5 蒸汽加热器开环控制系统

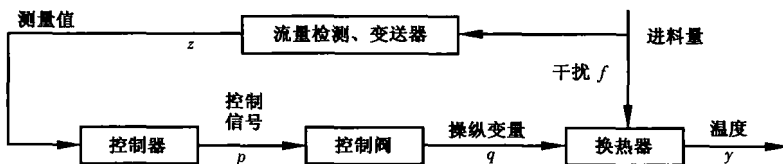


图 1-6 蒸汽加热器开环控制系统方框图

由于闭环控制系统采用了负反馈,因而使系统的被控变量受外来干扰和内部参数变化小,具有一定的抑制干扰、提高控制精度的特点。开环控制系统则不能做到这一点,但开环控制系

统结构简单、使用便捷。

方框图是研究自动控制系统的常用工具和重要的概念,有了它可以方便地讨论各个环节之间的相互影响。如果只需要研究系统输入与输出的关系,有时把图 1-4 所示的方框图简化为图 1-7 所示的形式,即将检测元件与变送器、控制阀、控制对象合为一个整体,称之为广义对象。

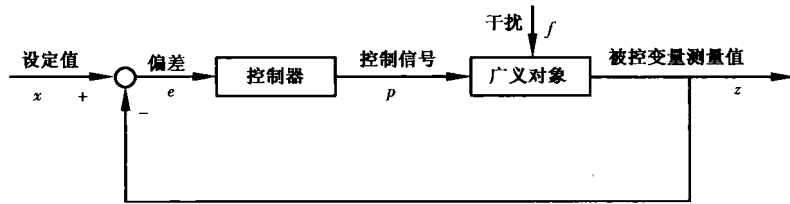


图 1-7 过程控制系统简化方框图

上述各种系统中,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,则这类系统称为离散控制系统。计算机控制系统就属于此类系统。当各环节的输入输出特性是线性时,则称这种系统为线性控制系统,反之称为非线性控制系统。根据系统的输入和输出信号的数量可分为单输入系统和多输入、多输出系统等。

第二节 过程控制系统的过渡过程和品质指标

一、过程控制系统的静态与动态

当图 1-3 中锅炉汽包水位过程控制系统处于平衡状态时,系统的输入(给定值和干扰量)及输出(被控变量)都保持不变,过程控制系统内各组成环节都不改变其原来的状态,其输入、输出信号的变化率为零。而此时生产仍在进行,物料和能量仍然有进有出。将这种被控变量不随时间而变化的平衡状态称为静态。

假设图 1-3 中锅炉汽包水位过程控制系统中原来处于平衡状态,当给水压力变化时,汽包水位就会发生变化,其平衡状态受到破坏,被控变量偏离给定值,此时控制器会改变原来的状态,产生相应的控制作用,改变操纵变量去克服干扰的影响,使系统达到新的平衡状态。将被控变量随时间而变化的不平衡状态称为动态。

二、过程控制系统的过渡过程

在给定值发生变化或系统受到干扰作用后,系统将从原来的平衡状态经历一个过程进入另一个新的平衡状态。过程控制系统从一个平衡状态过渡到另一个平衡状态的过程称为过程控制系统的过渡过程。一般来说,研究控制系统的静态是重要的,但研究控制系统的动态更为重要。系统在过渡过程中,会不断受到干扰的频繁作用,系统自身通过控制装置不断地调整控制作用去克服干扰的影响,使被控变量保持在工艺生产所规定的技术指标上。因此,对系统研究的重点应放在控制系统的动态过程。

系统的过渡过程与输入信号的形式有关,输入信号的形式不同,过渡过程的形式也不同。

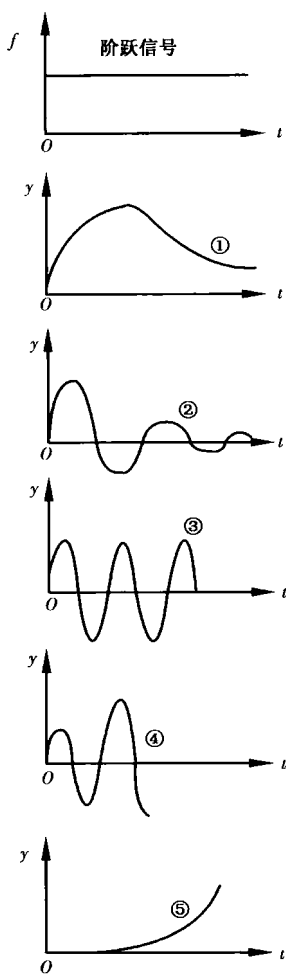


图 1-8 过渡过程的基本形式

在分析和设计控制系统时,为了安全和方便起见,在多种干扰中,往往只考虑一个最不利的干扰。阶跃干扰通常是最不利的。系统在阶跃信号(f)作用下,被控变量随时间(t)的变化有下述几种形式,如图 1-8 所示,图中 y 表示被控变量。

1. 非振荡衰减过程曲线

如图 1-8 中曲线①所示。它表明被控变量受到干扰作用后,产生单调变化,经过一段时间最终能稳定下来。

2. 衰减振荡过程

如图 1-8 中曲线②所示,它表明系统受到干扰作用后,被控变量上下波动,且波动的幅度逐渐减小,经过一段时间最终能稳定下来。

3. 等幅振荡过程

如图 1-8 中曲线③所示。它表明系统受到干扰作用后,被控变量作上下振幅稳定的振荡,即被控变量在给定值的某一范围内来回波动。

4. 发散振荡过程

如图 1-8 中曲线④所示,它表明系统受到干扰作用后,被控变量上下波动,且幅度越来越大,即被控变量偏离给定值越来越远,以致超越工艺允许的范围。

5. 非振荡发散过程

如图 1-8 中曲线⑤所示。它表明系统受到干扰作用后,被控变量单调变化偏离给定值越来越远,以致超出工艺设计的范围。

上述五种过程形式中,等幅振荡过程曲线③、发散振荡过程曲线④和非振荡发散过程曲线⑤是不稳定过程;非振荡衰减过程曲线①和衰减振荡过程曲线②是稳定过程。

三、过程控制系统的品质指标

在比较不同控制方案时,应首先规定评价控制系统的优劣程度的性能指标,一般情况下,主要采用以阶跃响应曲线形式表示的品质指标。

控制系统最理想的过渡过程应具有什么形状,没有绝对的标准,主要依据工艺要求而定,除少数情况不希望过渡过程有振荡外,大多数情况则希望过渡过程是略带振荡的衰减过程,它容易看出被控变量的变化趋势,便于及时操作调整。

图 1-9、图 1-10 所示是系统在阶跃信号作用下的过渡过程曲线,常以下面几个特征参数为品质指标。

1. 余差

余差是控制系统过渡过程终了时,被控变量新的稳态值 $y(\infty)$ 与给定值 x 之差。或者说余差就是过渡过程终了时存在的残余偏差,在图 1-9、图 1-10 中用 C 表示,即

$$C = y(\infty) - x \quad (1-1)$$

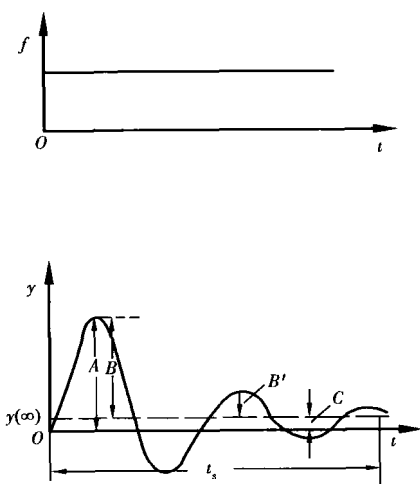


图 1-9 阶跃干扰作用下的过渡过程

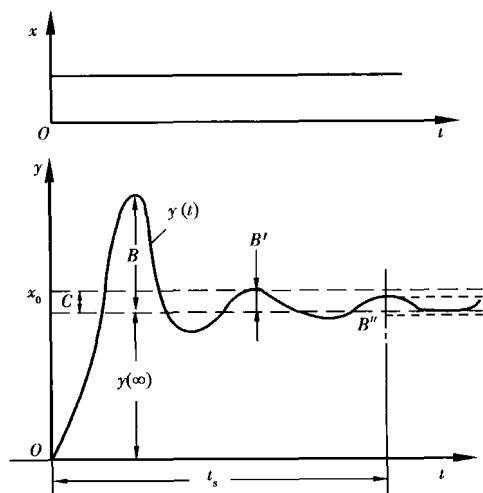


图 1-10 阶跃给定作用下的过渡过程

余差是衡量控制系统准确性的一个质量指标,余差越小越好。但在实际生产中,也并非要求任何系统的余差都要很小,例如,一般储槽的液位控制要求就不高,这种系统往往允许液位在一定范围内波动,余差就可以大一些。又如,精馏塔的温度控制,一般要求比较高,应当尽量消除余差。因此,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。

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;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。

2. 最大偏差或超调量

最大偏差是指在过渡过程中,被控变量偏离给定值的最大数值。在衰减振荡过程中,最大偏差就是第一个波的峰值,在图 1-9 中用 A 表示。最大偏差表示系统瞬间偏离给定值的最大程度。若偏离越大,偏离的时间越长,对稳定正常生产越不利,因此,最大偏差可以作为衡量控制系统稳定性的一个质量指标。一般来说,最大偏差小一些为好,特别是对于一些有约束条件的系统,例如,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,当第一个干扰的影响还未消除时,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,在决定最大偏差允许值时,应根据工艺情况慎重考虑。

被控变量偏离给定值的程度有时也可用超调量来表示,在图 1-9、图 1-10 中用 B 表示。超调量是指过渡过程曲线超出新稳态值的最大值,反映了系统过调程度,也是衡量控制系统稳定性的一个质量指标。从图中可以看出,超调量是第一峰值与新稳态值之差,即 $B = A - y(\infty)$ 。如果系统的新稳态值等于给定值,那么最大偏差也就与超调量相等。

对于定值控制系统, $B = A - y(\infty) = A - C$ 。

对于随动控制系统, $B = A - y(\infty) = A + C$ 。

对于无差控制系统, $B = A$ 。

对于有差控制系统,超调量习惯上用百分数 σ 来表示,即

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{y(t_p) - y(\infty)}{y(\infty)} \times 100\% \\ &= \frac{B}{C} \times 100\% \end{aligned} \quad (1-2)$$

式中, $y(t_p)$ 为过渡过程曲线第一个峰值。

3. 峰值时间

峰值时间是指过渡过程曲线达到第一个峰值所需要的时间, 常用 t_p 表示。 t_p 越小表明控制系统反应越灵敏。峰值时间是反映系统快速性的一个动态指标。

4. 衰减比

衰减比是指过渡过程曲线同方向的前后相邻两个峰值之比, 用 n 表示, $n = B/B'$ 。习惯上用 $n:1$ 表示。衰减比表示衰减振荡过渡过程的衰减程度, 是衡量控制系统稳定性的质量指标。

若 $n < 1$, 则过渡过程是发散振荡过程; 若 $n = 1$, 则过渡过程是等幅振荡过程; 若 $n > 1$, 则过渡过程是衰减振荡过程。

如果 $n > 1$, 且 n 只比 1 稍大一点, 则过渡过程接近于等幅振荡过程, 由于这种过程不易稳定, 振荡过于频繁, 不够安全。因此, 一般不采用。如果 n 值过大, 则又太接近于非周期衰减过程, 过渡过程过于缓慢, 通常这也是不希望的。通常取 $n:1 = 4:1 \sim 10:1$ 之间为宜。因为当 $n:1 = 4:1 \sim 10:1$ 之间时, 过渡过程开始阶段的变化速度比较快, 被控变量在同时受到干扰作用和控制作用的影响后, 能比较快地达到一个高峰值, 然后马上下降, 又较快地达到一个低峰值, 而且第二个峰值远远低于第一个峰值。当操作人员看到这种现象后, 心里就比较踏实。因为操作人员知道被控变量再振荡数次后就会很快稳定下来, 并且最终的稳态值显然在两峰值之间, 不会出现发散的现象, 更不会远离给定值以致造成事故。尤其在反应比较缓慢的情况下, 衰减振荡过程的这一特点尤为重要。对于这种系统, 如果过渡过程接近于非振荡的衰减过程, 操作人员很可能在较长时间内, 都只看到被控变量一直上升(或下降), 就会怀疑被控变量会不会继续上升(或下降)不止, 由于这种焦急的心情, 很可能会进行干预, 这就等于给系统施加了人为的干扰, 有可能使被控变量离开给定值更远, 使系统处于难以控制的状态。所以, 选择衰减振荡过程并规定衰减比在 $4:1 \sim 10:1$ 之间, 完全是人们多年操作经验的总结。

5. 过渡时间

过渡时间是从干扰作用开始, 到系统重新建立平衡为止的过渡过程所经历的时间。从理论上讲, 要系统完全达到新的平衡状态需要无限长的时间。实际上, 由于仪表灵敏度(或分辨率)的限制, 当被控变量靠近新稳态值时, 显示值就不再改变了。所以有必要在可以测量的区域内, 在新稳态值上下规定一个适当小的范围, 当显示值进入这一范围而不再越出时, 就认为被控变量已经达到稳态值。这个范围一般定为新稳态值的 $\pm 5\%$ (有的为 $\pm 2\%$)。按照这个规定, 过渡时间就是从干扰开始作用之时起, 直至被控变量的增量进入最终稳态值的 $\pm 5\%$ (或 $\pm 2\%$) 的范围之内且不再越出时为止所经历的时间, 在图 1-9、图 1-10 中用 t_s 表示。注意, 这里所讲的最终稳态值是指被控变量的动态变化量即增量, 而不是被控变量的最终实际值。因为在过程控制系统的过渡过程中, 各个变量的值是相对于稳态的增量值。过渡时间是衡量系统快速性的质量指标。过渡时间短, 表示过渡过程进行得比较迅速, 这时即使干扰频繁出现, 系统也能及时适应, 系统控制质量就高。反之, 过渡时间太长, 前一个干扰引起的过渡过程尚未结束, 后一个干扰就已经出现。这样, 几个干扰的影响叠加起来, 就可能使系统难以满足生产的要求。

6. 振荡周期或频率

过渡过程同向相邻两个波峰(或波谷)之间的间隔时间称为振荡周期或工作周期, 用 T 表

示。其倒数称为振荡频率,一般用 f 表示。它们也是衡量系统快速性的质量指标。在衰减比相同的情况下,振荡周期与过渡时间成正比,因此希望振荡周期短一些为好。

除上述品质指标外,还有一些次要的品质指标。其中振荡次数是指在过渡过程内被控变量振荡的次数。所谓“理想过渡过程两个波”,就是指过渡过程振荡两次就能稳定下来,此时衰减比约近于4:1,它将被认为是良好的过程。另外,峰值时间也是一个品质指标,它是指从干扰开始作用起至第一个波峰所经过的时间。显然,峰值时间短一些为好。

综上所述,过渡过程的品质指标主要有:最大偏差、衰减比、余差、过渡时间和振荡周期等。这些指标在不同的系统中各有其重要性,且相互之间既有矛盾又有联系。因此,应根据具体情况分清主次,区别轻重,对生产过程有决定性意义的主要品质指标应优先予以保证。另外,对一个系统提出的品质要求和评价一个控制系统的质量,都应该从实际需要出发,不应过分偏高偏严,否则就会造成人力物力的巨大浪费,有时甚至根本无法实现。

【例1-1】某石油裂解炉工艺要求的操作温度为 $890 \pm 10^\circ\text{C}$,为了保证设备的安全,在过程控制中,辐射管出口温度偏离给定值最高不得超过 20°C 。温度控制系统在单位阶跃干扰作用下的过渡过程曲线如图1-11所示。试分别求出最大偏差、余差、衰减比、振荡周期和过渡时间等过渡过程质量指标。

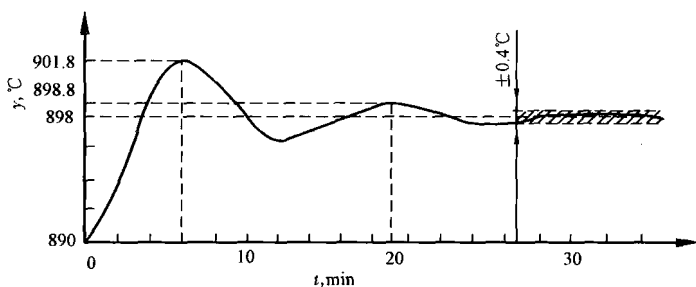


图1-11 裂解炉温度控制系统过渡过程曲线

解:(1)最大偏差: $A = 901.8 - 890 = 11.8(^\circ\text{C})$;

(2)余差: $C = 898 - 890 = 8(^\circ\text{C})$;

(3)第一个波峰值: $B = 901.8 - 898 = 3.8(^\circ\text{C})$,第二个波峰值: $B' = 898.8 - 898 = 0.8(^\circ\text{C})$,
衰减比: $n = 3.8 : 0.8 = 4.75 : 1$;

(4)振荡周期: $T = 19 - 6 = 13(\text{min})$;

(5)过渡时间与规定的被控变量限制范围大小有关。假定被控变量进入额定值的 $\pm 5\%$,就可以认为过渡过程已经结束。那么限制范围为 $(898 - 890) \times (\pm 5\%) = \pm 0.4(^\circ\text{C})$,这时,可在新稳态值(898°C)两侧以宽度为 $\pm 0.4^\circ\text{C}$ 画一区域,图1-11中以画有斜划线的区域表示,只要被控变量进入这一区域且不再越出,过渡过程就可以认为已经结束。因此,从图1-11可以看出,过渡时间大约为 $t_s = 27\text{min}$ 。

四、影响过程控制系统过渡过程品质的主要因素

一个过程控制系统包括两大部分,即工艺过程部分(被控对象)和自动化装置。自动化装置指的是为实现过程控制所必需的自动化仪表设备,通常包括测量与变送、控制器和执行器等三部分。对于一个过程控制系统,过渡过程品质的好坏,很大程度上决定于对象的性质。下面