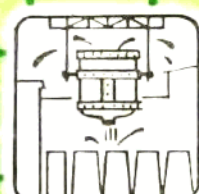
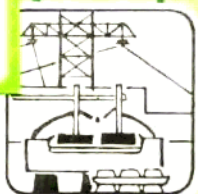
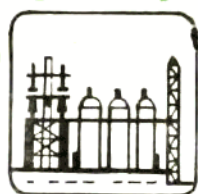


有色金属生产 过程自动化

主编 刘元扬



中南工业大学出版社

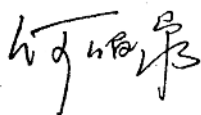
序 言

建国四十年来,特别是党的十一届三中全会以后,实行“对内搞活、对外开放”政策,开发和引进了一大批国内外先进技术,使我国有色金属生产过程自动化的建设有了很大的发展。在采矿、选矿、冶炼和加工等主要过程已普遍采用了自动化仪表进行监测和控制,有的主要生产设备应用了计算机控制。不少厂矿企业建立了计量控制管理网络,并培养锻炼出一支专业门类齐全,素质较好的技术队伍。为了总结经验,开拓未来,进一步提高生产自动化水平,中国有色金属工业总公司组织十多个单位二十多人,历时二年多,编写了《有色金属生产过程自动化》一书,现在终于与广大读者见面了。它的出版对我国有色金属工业的技术进步和生产发展,将会起到一定的推动作用。

有色金属生产过程比较复杂,生产流程长,工艺条件严格、工作环境恶劣。在生产操作和质量控制方面,需要随时了解有关的工艺参数,并按照生产的要求加以控制,使所需要的产品数量、质量以及原材料和燃料的消耗达到最佳化,求得最好的经济效益,这就离不开自动检测和控制。

生产过程自动化是企业技术进步和文明生产的重要组成部分。目前有色金属生产过程自动化的水平还不高,有许多难题亟待解决,今后任重而道远。我们要依靠自己的力量和智慧,坚持自力更生、艰苦奋斗的精神,继续开拓我国有色金属生产过程自动化的事业,赶超世界先进水平。希望有色战线,特别是从事有关生产过程自动化工作的同志们更多地关心、研究这方面的问题,为有色金属工业的发展作出贡献。

中国有色金属工业总公司副总经理



1989年10月13日

编写说明

《有色金属生产过程自动化》一书是为了总结反映我国有色金属生产过程自动化技术建设的成就,满足有色金属系统和其它有关行业的工程技术人员及技术工人工作与学习的需要编写的。

本书分为上下两篇,上篇主要阐述生产过程控制系统工程设计基础,内容包括自动控制系统的组成及其特性,常规仪表控制系统(有单回路控制系统和复杂控制系统)以及计算机控制系统等。下篇主要介绍我国有色金属厂矿生产过程自动化的状况,内容有采矿与选矿过程、主要有色金属(铜、铅、锌、铝、钛、硬质合金等)冶炼过程、铜铝加工过程等自动检测和控制系统,其中有近年来引进的国外技术,也有各厂矿技术革新的成果。本书联系有色金属生产实际,较系统、全面地反映其过程自动化的主要特点。

受中国有色金属工业总公司的委托,参加本书编写的有十一个单位,即中南工业大学、铜陵有色金属公司、江西铜业公司、韶关冶炼厂、株洲冶炼厂、抚顺铝厂、山东铝厂、贵州铝厂、郑州铝厂、洛阳铜加工厂和西南铝加工厂。编写组由二十五人组成,中南工业大学刘元扬同志任主编,有色金属工业总公司黄国平同志任副主编。各章编写分工如下:

第一、二章 中南工业大学唐云霞

第三、四、五章 中南工业大学刘元扬

第六章 中南工业大学姚晓笙

第七、八章 铜陵有色金属公司王启柏、江西铜业公司潘寅生

第九章 江西铜业公司贺有恒、魏九根、郭廷权、曾绍侠、杨国才、谭洁泉、黄毓英

第十章 韶关冶炼厂王从民

第十一章 株洲冶炼厂孙中石、有色金属工业总公司黄国平

第十二章 抚顺铝厂王炯、山东铝厂沈明贤、贵州铝厂李鸿鹏、潘阳生、郑州铝厂崔延明

第十三章 抚顺铝厂王炯

第十四章 中南工业大学贺先觉

第十五章 洛阳铜加工厂张顺芳、白海臣、陆世奇、西南铝加工厂陆爱福

本书可供有色金属工业系统中从事计量、检测和控制工作的技术人员和工人、设计研究人员以及高等院校师生使用,也可供钢铁、化工、热能、电力等有关专业人员参考。

本书在编写过程中,广泛收集资料,系统总结实践经验,书稿经多次讨论、修改和会审,最后由主编定稿。在工作中兄弟单位有关同志提供了不少资料和宝贵意见,在此表示衷心感谢。限于编者水平、书中错漏和不妥之处在所难免,敬请广大读者指教,斧正。

《有色金属生产过程自动化》编写组

1989年9月

目 录

上篇 过程控制系统工程设计基础

第一章 绪 论	(3)
第一节 过程控制系统的组成和分类	(3)
第二节 过程控制系统的过渡过程	(6)
第二章 被控对象的特性	(10)
第一节 单容对象的特性	(10)
第二节 多容对象的特性	(14)
第三节 求取对象数学模型的实验方法	(18)
第三章 调节器的基本控制规律	(29)
第一节 基本概念	(29)
第二节 控制规律对系统过渡过程的影响	(30)
第三节 调节器动态特性的实现方法	(34)
第四节 双位控制	(40)
第四章 单回路反馈控制系统	(43)
第一节 被控量和操纵量的选择	(43)
第二节 检测元件和变送器的选择和安装问题	(48)
第三节 执行器	(51)
第四节 调节器的选型	(65)
第五节 控制系统的投运与整定	(68)
第六节 单回路控制系统的关联问题	(72)
第五章 复杂控制系统	(80)
第一节 串级控制系统	(80)
第二节 比值控制系统	(87)
第三节 前馈控制系统	(91)
第四节 其他控制系统	(98)
第六章 生产过程计算机控制	(108)
第一节 概 述	(108)
第二节 直接数字控制系统	(112)
第三节 集散型控制系统	(117)
第四节 可编程调节器和可编程序控制器	(122)

下篇 有色金属生产过程控制系统

第七章 铜矿床开采过程控制系统	(135)
第一节 矿井提升机的控制	(135)
第二节 压气设备的控制	(138)
第三节 矿井通风系统的控制	(140)
第四节 矿用电机车遥控系统	(143)

第八章 铜选矿过程控制系统	(145)
第一节 破碎过程的控制.....	(145)
第二节 磨矿-分级过程的控制	(147)
第三节 浮选过程的控制.....	(151)
第四节 铜浮选过程自控系统应用举例.....	(155)
第九章 铜冶炼过程控制系统	(159)
第一节 概 述.....	(159)
第二节 闪速炉熔炼控制系统.....	(160)
第三节 转炉吹炼控制系统.....	(164)
第四节 粗铜精炼炉控制系统.....	(166)
第五节 铜电解过程的控制.....	(168)
第六节 闪速熔炼计算机控制系统.....	(171)
第七节 特殊检测方法与仪表.....	(180)
第十章 铅锌密闭鼓风炉熔炼过程控制系统	(185)
第一节 概 述.....	(185)
第二节 烧结过程控制系统.....	(186)
第三节 密闭鼓风炉控制系统.....	(189)
第四节 特殊检测方法和仪表.....	(193)
第十一章 锌湿法冶炼过程控制系统	(196)
第一节 概 述.....	(196)
第二节 沸腾焙烧过程的控制系统.....	(196)
第三节 浸出、净化过程的控制.....	(200)
第四节 锌电解过程的控制.....	(201)
第五节 特殊检测方法和仪表.....	(204)
第十二章 炼铝过程的控制系统	(210)
第一节 概 述.....	(210)
第二节 氧化铝生产过程的控制.....	(211)
第三节 炭素生产过程的控制.....	(218)
第四节 预焙阳极铝电解槽的计算机控制系统.....	(221)
第五节 自焙阳极铝电解槽的计算机控制系统.....	(227)
第六节 铝电解整流系统的控制.....	(229)
第七节 特殊检测方法和仪表.....	(232)
第十三章 海绵钛生产过程控制系统	(237)
第一节 还原工序常规仪表控制系统.....	(237)
第二节 还原工序智能仪表控制系统.....	(240)
第十四章 硬质合金生产过程控制系统	(242)
第一节 还原炉的控制系统.....	(242)
第二节 烧结炉常规仪表自控系统.....	(243)
第三节 烧结炉计算机控制系统.....	(245)
第十五章 铜、铝加工过程控制系统	(248)
第一节 铜加工过程主要设备的控制.....	(248)
第二节 铜加工板带材厚度测量与控制.....	(255)
第三节 铝加工过程的控制.....	(259)

上 篇

过程控制系统工程设计基础

第一章 绪 论

过程控制一般是指冶金、石油、化工、电力、轻工、建材等工业部门生产过程的自动化，即通过采用各种自动化仪表、电子计算机等自动化技术工具，对生产过程中的某些物理参数进行自动检测、监督和控制，以达到最优的技术经济指标，提高经济效益和劳动生产率，节约能源，改善劳动条件和保护环境卫生等目的。

本章将简单地叙述过程控制系统的组成、特点、分类和品质指标等基本概念。

第一节 过程控制系统的组成和分类

过程控制系统是指自动控制生产过程中的温度、压力、流量、液位、物料成分等这样一些变量，且使这些变量稳定在某一范围或按预定的规律变化的系统。例如如图1-1所示是一个贮液罐，在实际生产过程中常作为一个中间容器或成品罐。从前一道工序来的成品或半成品连续不断地流入贮罐，然后再由此送至下一道工序进行加工或包装。为了保证正常生产，防止液体溢出或排空，需要对贮罐进行液位控制。

人工控制时，如图1-1a所示。操作人员观察玻璃液位计的指示值，将指示值与需要保持的液位高度比较，得出两者的差值，再根据液位偏差的大小和方向作出判断，去改变进液阀门的开启度（开大或关小），直到液位回复要求的高度为止。

假若用一套自动化仪表代替上述人工操作，构成自动控制系统如图1-1b所示，这就是液位的自动控制。自动化仪表包括液位变送器、调节器和调节阀三个基本部分。图中液位变送器代替人眼的观察，随时把液位的测量值转换成统一的标准信号（电流或气压信号）送给调节器，在调节器内液位的设定值与测量值进行比较，得出偏差值，此值经运算放大，调节器便输出有一定规律的控制信号，去改变调节阀的开启度，调节进液量的大小，实现液位的定值控制，即把液位保持在设定值。在这里调节器代替人工控制时人脑进行比较、运算和判断的部分功能，而调节阀代替人手去操作阀门。可见，只有在人们知道了生产过程应如何控制，并使用自动化仪表或装置来模仿人的劳动时，自动控制才能实现。

由上可知，一个简单的自控系统是由被控对象、检测元件、变送器、调节器和执行器（即调节阀）等基本部分所组成的。为了更清楚地表达自控系统中各个组成环节的相互影响和信号联系，常用系统方框图来表示，如图1-2所示。图中每一方框表示组成系统的一个部件，称之为环节。方框之间的带箭头的连线，表示信号的相互联系和传递方向。应该指出，方框图中的连线与生产工艺流程图上的连线，其意义是不同的。工艺流程图上的连线代表物料之间的联系，即表示物料的流动路径。

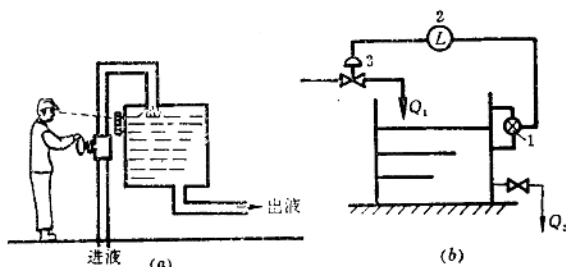


图1-1 贮液罐液位控制

1—液位变送器；2—调节器；3—调节阀

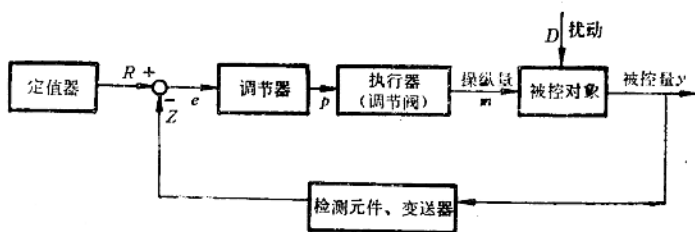


图1-2 自动控制系统方框图

被控对象 是指某些被控制的生产工艺设备，在这些设备中对生产过程的产量、质量及安全因素起决定性影响的某些参数进行了自动控制。例如加热炉、沸腾炉，贮存物料的槽罐和输送物料的管道等，都是常见的被控对象。在生产过程中要求控制的参数称为被控（变）量，在方框图中被控量是对象的输出信号，用 y 表示。显然，被控量不同，对于同一工艺设备所表现的对象特性是不相同的。

检测元件和变送器 检测元件的作用是感受并测量被控量的大小，例如热电偶、孔板等。变送器的作用是将检测元件测出的被控量，转换成统一标准信号形式（电流或气压信号）的测量值 Z 输入调节器，例如温度变送器、差压变送器等。变送器与检测元件及调节器必须配套，协调地工作。

定值器 定值器的作用是将被控量的设定值 R （即生产操作指标）的大小，以统一标准信号的形式输给调节器。定值器可以是调节器的一个部件，也可以是一单独的仪表。

调节器 它是自控系统中的指挥机构。在控制过程中，调节器的比较机构，将被控量的设定值 R 与测量值 Z 进行比较，得出偏差值 e 。此偏差经调节器放大运算后，输出有一定规律的控制信号 p 去驱动执行器。在方框图中为了突出比较机构，用圆圈表示在调节器之前。

执行器 是接受调节器输出的控制信号的指挥，改变操纵（变）量（又称操作量，指输入过量的物料量，燃料量，电功率等），给对象施加控制作用 m （又称校正作用），即调整对象的物料或能量的出入平衡，使被控量保持或回复到设定值。

执行器按使用能源的不同，分为电动执行器、气动执行器和液动执行器等。常见执行器有各种气动薄膜调节阀、电动调节阀、伺服电机、可控硅、接触器和继电器等。在工业生产中，采用各种调节阀作为执行器最为普遍，故方框图中就有的以调节阀代表执行器。

从方框图可看出，在控制系统中，对象的输出即被控量 y ，经过检测、变送、调节和执行等环节的信号变换、传递和运算放大，最后产生一个控制信号，施加控制作用于对象去影响被控量的变化，使之符合工艺控制指标的要求。从信号的传递角度看，整个系统组成了一个闭合回路，称为闭环系统。如果信号前进至某处断开了，没有形成闭合回路，这样的系统称为开环系统。被控量是控制系统的输出参数，它同时经过检测变送环节又引回系统的输入端，作为测量值与设定值相比较，这种把系统的输出信号以一定的方式又引回输入端的做法叫做反馈，闭合回路就是通过反馈作用形成的。

在方框图中，反馈信号 Z “-”与设定值信号 R “+”，在比较机构进行比较，偏差 $e = R - Z$ 。通常称这种反馈作用为负反馈；反之，若偏差 $e = R + Z$ 时，则称为正反馈。在自控系统中，是以消除偏差稳定输出为目的的，故总是要求引入负反馈。前面介绍的贮液罐，当液位受到扰动作用而波动时，如果液位升高，即 $R < Z$ ， $e = R - Z < 0$ 时，调节器发出信号使装在进液管的调节阀关小，贮液罐液位下降直到 $R = Z$ ，即 $e = R - Z = 0$ 时，控制作用停

止,系统保持稳定。负反馈的作用在定值控制的特定情况下,也可以这样来理解:偏差是指设定值与测量值之差,自动控制的目的是使偏差为零,只有设定值与测量值相减才能实现。闭环系统正是利用负反馈获得的偏差进行调节,使系统达到稳定的。否则,如果引入正反馈,只要被控量稍微有点变化,控制作用不仅不能克服扰动的影响,反而助长扰动作用,使被控量的波动越来越大,破坏正常生产。因此,过程自动控制系统必须采用负反馈闭环系统。

在方框图中,扰动是指破坏系统平衡状态(物料或能量的平衡)而引起被控量变化的外界因素。它也是作用于对象的输入信号,用 D 表示。在控制系统中,扰动是不可避免的,而且多半是随机的,例如生产能力的变化、生产过程中前后工序的相互影响、供电电压变化等等。扰动的形式、幅值以及进入系统的位置的不同,对被控量的影响也不同。在分析控制系统时,常假设一些特定的扰动形式,其中最常用的阶跃扰动形式,如图1-3所示,可用如下数学式表示:

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

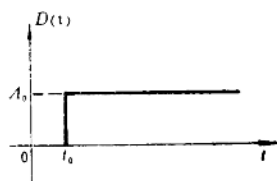


图1-3 阶跃扰动形式

通常把 $D(t) = 1$ 叫单位阶跃扰动。阶跃扰动是一种突变作用,而且一经产生就持续下去不再消失,它对被控量的影响最大,为最不利于控制的扰动作用形式。一个自控系统若能够很好地克服阶跃形式的扰动,那么其他形式的扰动就不难克服了。

为了克服扰动作用,系统利用执行器(或调节阀)改变操纵量的大小,按负反馈要求给对象施加控制作用,消除偏差,被控量回复并稳定在设定值,使系统恢复平衡状态。因此,扰动作用和控制作用是相互制约的一对矛盾,自控过程就是这一对矛盾对立统一的过程。

此外,自控系统也可简化由广义对象与调节器(或调节装置)二大部分组成。这时方框图中的检测元件、变送器、执行器(或调节阀)、被控对象合并构成广义对象。

一、过程控制系统的特点及其分类

1. 过程控制的特点

生产过程的自动控制,一般是要求保持过程进行中主要参数为一定值或按一定规律变化。过程参数的变化受外界条件和内在关联的相互影响。与其他控制系统(电力拖动、电机运转等)比较,过程控制大致有如下的特点:

1) 应用成套的工业自动化仪表作为元部件构成控制系统 过程控制主要是利用电动仪表、气动仪表、智能化仪表等自动化技术工具来实现生产过程自动化的。过程控制系统由被控对象和过程检测控制仪表所组成。工业对象复杂多样,其特性各异。必须根据对象的特性以及生产工艺的条件和要求,合理选用检测控制仪表,组成过程控制系统。系统设计的核心是调节器的参数设计和整定。目前有比例、比例积分、比例微分、比例积分微分等调节器可供选用。调节器参数(P 、 I 、 D 参数)的整定是实现过程最佳控制的重要途径。

2) 被控对象多样性和复杂性 在生产过程中被控对象是多种多样的,它们的特性一般是惯性(时间常数)大,滞后大,而且还具有非线性特性,例如:冶金过程中的沸腾炉、闪速炼铁炉、回转窑、锅炉、热交换器、精馏塔、化学反应器等。这些对象的工作机理都比较复杂,很难用解析方法得出其精确的动态数学模型,往往只能采用简化的方法来近似处理。

它们的时间常数和滞后都较大,对自动控制十分不利。

3) 控制方案的多样性 随着现代化工业生产的迅速发展,生产工艺条件变得愈来愈复杂,对过程控制的要求也不断提高,而且,对象特性的多样性,它的控制难易程度也区别较大。因此,过程控制应用的控制方案也很多。有简单(单回路)控制系统,复杂(多回路)控制系统;有单变量反馈控制系统,也有多变量系统;有模拟量控制系统,也有数字控制系统,计算控制系统等。

4) 过程控制属慢过程,多半属参量控制 控制过程属慢过程是由对象特性所决定的。另外,生产过程中通常用一些物理量和化学量来表征其工艺是否正常,因此,需要对表征生产过程的温度、压力、流量、液位、pH值等过程参数作为操作指标进行控制。

综上所述,工业生产要实现生产过程自动化,首先必须熟悉工艺过程,掌握对象特性,同时要熟悉过程参数的主要测量方法,了解仪表的主要性能、特点。根据反馈控制理论的分析方法,合理正确地构成过程控制系统,并且通过整定调节器的特性参数(PID),使系统的控制质量满足生产过程的要求。

2. 过程控制系统的分类

自动控制系统有多种分类方法,每一种方法都只反映控制系统某一方面特点。按被控量来分,有温度控制系统,流量控制系统等。按控制系统的任务分,有比值控制系统,前馈控制系统等。按调节器的控制规律分,有比例控制系统,比例积分控制系统,比例积分微分控制系统及位式控制系统等。按控制装置处理的信号的不同来分,有模拟控制系统及数字控制系统,按是否采用计算机来分,有常规仪表控制系统及计算机控制系统。按控制回路来分,有简单(单回路)控制系统,复杂(多回路)控制系统等。

过程控制主要是分析反馈控制的特性,按系统设定值的形式不同,可将过程控制系统分为如下三类:

1) 定值控制系统 所谓定值是指被控量的设定值固定不变。定值控制系统是工业生产中应用最多的一种控制系统。图1-1贮液罐液位控制系统就是一个定值控制系统,要求液位保持在设定值不变,以满足液体输入与输出的平衡关系。对于定值控制系统来说,由于设定值是固定不变的,所以引起系统变化的只是扰动信号,故可认为以扰动量为输入的系统是定值控制系统。

2) 随动控制系统 它是指被控量的设定值随时间任意变化的控制系统。自动控制的目的是克服一切扰动,使被控量相当准确而及时地跟随设定值变化。例如加热炉燃料与空气的混合比例控制,燃料量是按工艺过程的需要而自动(或手动)地不断改变,控制系统要使空气量跟着燃料量的变化,自动按规定的比例增减空气量,保证燃料经济地燃烧,这就是随动控制系统。

3) 程序控制系统 它是指被控量的设定值按预定的时间程序而有规律变化的控制系统。自动控制的目的是要使被控量按规定的程序自动变化,以保证生产过程的顺利完成。例如退火炉、烧结炉、干燥窑等周期作业的加热设备,一般包含加热升温、保温后逐次降温等程序,设定值按此程序而自动改变,加热的温度跟随设定值变化,达到程序控温的目的。

第二节 过程控制系统的过渡过程

自动控制系统的作用是克服扰动,把被控量维持在设定值或按一定规律变化。当系统受到干扰作用后,在调节器的控制下,被控量从偏离设定值又逐渐回复到设定值,要经历一个

过程,这个过程称为自控系统的过渡过程。为了使自控系统在生产上发挥应有的作用,对系统的过渡过程应进行分析和对其品质的评定。

一、自动控制系统的静态与动态

一个自控系统,当被控量不随时间变化,亦即被控量变化率等于零的平衡状态,称为系统的静态;把被控量随时间变化的不平衡状态称为系统的动态。

1. 静态

当一个自控系统的输入恒定不变时,亦即不改变设定值又没有扰动,整个系统就会处于一个相对平衡的静止状态,这时候流入和流出对象的物料(或能量)处于平衡状态,生产稳定。系统各组成环节如变送器、调节器和执行器等输出信号都处于相对静止不变,从记录仪表上看,被控量变化过程呈一条直线,这时系统就处于静态。

2. 动态

自控系统的静态过程是暂时的、相对的和有条件的。生产过程中扰动会不断产生,系统的静态会随时被打破,使被控量变化。在记录仪表上看,被控量的变化过程呈各种形状的曲线,反映了控制作用不断克服扰动的过程。在这个过程中,系统各环节都处于运动状态。

必须指出,在研究自控系统中,了解系统的静态是必要的,但了解系统的动态更为重要,一个自控系统在正常运行时,总是处于一波未平、一波又起的动态过程之中,因此,重点是研究系统的动态。

二、对过渡过程的要求

当自控系统受到扰动后,被控量就会变化。由于调节器的作用,系统在达到平衡状态之前,系统中各个组成环节的输出信号与被控量都在不断变化。在阶跃信号输入的情况下,典型过渡过程有几种形式如图1-4所示。

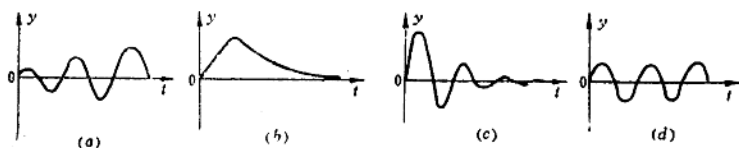


图1-4 控制系统过渡过程曲线

(1) 被控量 y 的变化愈来愈大,表现为发散振荡,如图1-4a所示。这是在扰动作用于系统后,控制作用没能使被控量稳定下来,且其变化幅度愈来愈大。这是一种不稳定的过程。被控量越来越偏离设定值(横坐标零线),有可能出现严重的生产事故,因此,这种发散过渡过程是不能采用的。

(2) 被控量偏离设定值后,经过相当的时间才又慢慢地接近设定值,如图1-4b所示称为非周期过程。这种过渡过程进行缓慢,时间长,除特殊情况外,一般难以满足工艺的要求。

(3) 被控量经二、三个周期波动后就回复到设定值,如图1-4c所示称为衰减过渡过程。这种过程比较理想,生产上乐于接受。

(4) 被控量的变化,既不衰减也不发散,振荡的幅度相等,处在发散的临界状态,称为等幅振荡过程。它是一种不稳定的过渡过程,只在特殊情况下,例如振幅不大而生产过程又允许这种振荡时,才可采用。

总之,对自控系统过渡过程的要求,首先是稳定,即在系统受到扰动后,能否在调节器

的作用下再稳定下来。其次,应是一个衰减振荡过程,即系统克服扰动使被控量回复到设定值的快慢程度,应符合工艺要求。

三、评价过渡过程品质的指标

自控系统的衰减振荡过程,品质并不都一样的。图1-5a所示是定值系统,即在扰动作用影响下的过程过渡。图1-5(b)是随动系统,即在设定作用影响下的过渡过程。为评定过渡过程的品质,通常采用以下几个指标来衡量。

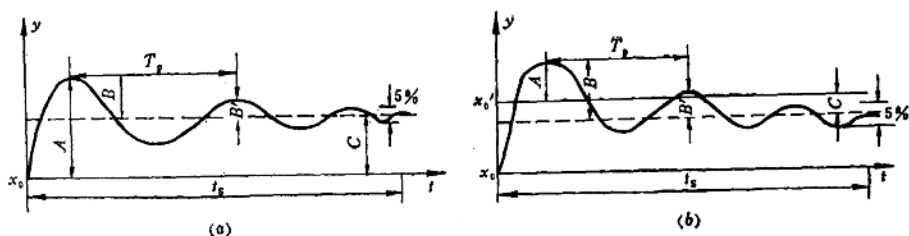


图1-5 过渡过程品质指标

(a) 定值系统 (b) 随动系统

1. 递减比

递减比(或衰减比)是衡量过渡过程衰减快慢的指标。它用过渡曲线相邻两个振幅之比表示,即递减比 $n = B/B'$,或用 $n:1$ 表示。在实际工作中,控制系统的递减比通常采用 $4:1$,即振荡一周后衰减了 $3/4$ 。也就是说,被控量经上下两次波动后,其幅值降到最大值的 $1/4$,这样的系统被认为稳定性较好。

虽然公认 $4:1$ 递减比较好,但并非唯一的,特别是对一些变化比较缓慢的如温度控制过程,采用 $4:1$ 递减比,可能嫌振荡过甚,显得不太合适,如采用 $10:1$ 递减比,效果会好些。这时,可认为过渡过程基本上只有一个波。

2. 最大偏差

最大偏差是过渡过程中被控量偏离设定值的最大差值,又称为动态偏差,如图1-5中曲线偏离设定值 x_0 (或 x_0')的第一波峰 A ,过渡过程到达此峰值的时刻称为峰值时间。动态偏差过大,持续时间太长,通常是不允许的。特别是对某些有危险界限限制的系统,如化合物爆炸的温度极限、触媒烧结温度极限等,最大偏差超过允许范围,尽管时间短,也会产生事故。所以,一般希望最大偏差愈小愈好。

有时也用超调量来表征过渡过程中被控量偏离稳态值的程度,在图1-5中用 B 表示,它是第一峰值 A 与新稳态值(即图中虚线)之差,在图(a)有 $A = B + C$,在图(b)有 $A = B - C$ 。

3. 稳定时间

从扰动引起被控量变化起,到控制系统又建立新的平衡状态,被控量重新稳定为止,所经历的时间叫做稳定时间或过渡时间,在图1-5中用 t_s 表示。严格地讲,要真正达到稳态要经过无限长的时间。因此,实际中规定,当被控量衰减到进入最终稳态值的 $5\% (\pm 2.5\%)$ 的范围内所经历的时间,就称为稳定时间。稳定时间短,表示控制系统能及时克服扰动作用,被控量回复稳定的过程快,控制质量就高。故希望稳定时间短些为好。

4. 静差

静差就是控制过程结束时,被控量的新稳态值与设定值之差(又称为余差)。在图1-5中以

C表示。静差的大小反映了自控系统的控制精度，是系统的静态指标。静差的大小是按生产工艺过程的实际需要订制的。如果订高了，则要求系统特别完善；订低了又难以满足生产需要，也失去自动控制的意义。虽然从控制品质着眼，余差越小越好，但应根据对象特性和被控量允许的波动范围，综合考虑，适当制订。

5. 振荡周期

从一个波峰到相邻的第二个波峰之间的时间称为过渡过程振荡周期，简称周期（见图1-5），以 T_s 表示，其倒数则称频率。在递减比相同的条件下，周期与稳定时间成正比。

综上所述，评价过渡过程品质的指标主要有：递减比、最大偏差或超调量、稳定时间、静差等。对于一个控制系统来说，总是希望能够做到静差小，稳定时间短，回复快。但上述几个指标往往是矛盾的，一般地讲，抑制最大偏差，就要产生较强的波动。要求静差小，相应的控制过程就要长些。这些指标在不同的系统中其重要性也各不相同，应根据具体情况，分清主次，优先保证主要的指标。

第二章 被控对象的特性

任何一个自动控制系统,都是由被控对象(工艺设备)和自动化仪表或装置(变送器、调节器、执行器等)两大部分组成。只有掌握了它们的特性,并把它们合理地组合,才能实现人们预期的控制目的。因此,控制系统设计、使用的好坏,在很大程度上取决于对被控对象特性了解的程度。被控对象的特性是指被控对象的输入发生变化时,其输出随时间变化的规律。研究被控对象的特性实际上是建立被控对象的数学模型,即用数学方程式(代数方程式、微分方程式、传递函数式或频率特性式等)来描述被控对象各变量间的关系。

研究被控对象特性的目的,具体说来有以下几方面:

1. 合理设计自动控制系统

从控制理论中设计控制系统的原则知道,只有准确地掌握了被控对象的特性,才能确定最优的控制规律,设计出合理的控制系统。事实证明,对于某些复杂的被控对象,由于人们还未能充分掌握其特性,而使自动控制不令人满意,或者不成功。

2. 对工艺设备的设计提出合理的要求和建议

目前,作为被控对象的工艺设备的设计制造,主要是以静态特性为依据的。如果通过对被控对象的动态特性的研究,得出被控对象的结构和参数对其动态特性的影响,则可对工艺设备提出具体的设计要求或合理的改进意见,使工艺设备作为被控对象具有良好的可靠性,可为设计满意的控制系统创造条件。

3. 确定控制系统的最佳整定参数

在控制系统中,只有掌握了被控对象的特性,才有可能应用控制理论计算确定控制系统的整定参数。根据已掌握的对象特性,可以对控制系统进行仿真,研究系统性能,或者制成模拟培训装置,训练运行人员。

目前研究对象数学模型一般有两种方法。对于简单对象,可以根据过程进行的机理和生产设备的具体结构,用分析计算的方法,即通过物料平衡和能量平衡关系,推导出对象的数学模型。对于复杂对象,用解析方法求取数学模型比较困难,因此,通常采用现场实验测试方法来获得。

第一节 单容对象的特性

单容量,即只有一个储蓄容积。它又可分为有自平衡能力对象和无自平衡能力对象两类。

一、有自平衡能力对象的数学模型

所谓自平衡能力是指对象在扰动作用下,平衡状态被破坏后,不需要操作人员或仪表的干预,就能依靠自身重新恢复平衡的能力。例如图2-1为水箱液位控制对象,其液体流入量为 Q_1 ,改变调节阀1的开度 μ_1 ,可以改变 Q_1 的大小。液体流出量为 Q_2 ,它取决于用户的需要,可调节阀门2的开度来加以改变。液位 h 代表水箱中贮存液体的数量,液位 h 的变化就反映了因液体流入量 Q_1 与流出量 Q_2 的不等,而引起水箱中蓄水或泄水的变化过程。液位 h 在这里是被控量。根据物料平衡的关系,液体流入量与流出量之差应等于水箱中贮存量的变化率,即

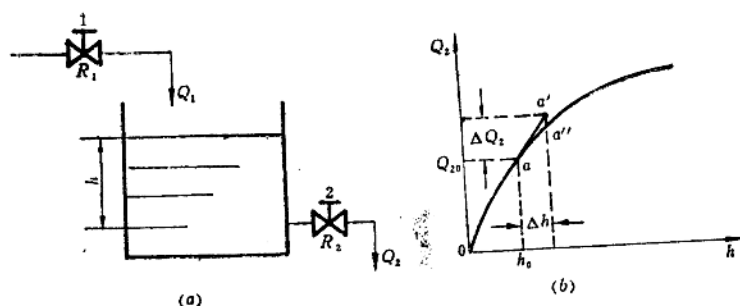


图2-1 液位对象

$$Q_1 - Q_2 = A \frac{dh}{dt} \quad (2-1)$$

将式(2-1)表示为增量形式:

$$\Delta Q_1 - \Delta Q_2 = A \frac{d\Delta h}{dt} \quad (2-2)$$

式中 ΔQ_1 、 ΔQ_2 、 Δh ——分别为偏离某一平衡状态 Q_{10} 、 Q_{20} 、 h_0 的增量;
 A ——水箱截面积。

设某一平衡状态下的流入量 Q_{10} 等于流出量 Q_{20} ; 水位的稳定值为 h_0 。 ΔQ_1 是调节阀1的开度变化而引起的, 假设 ΔQ_1 与阀门1开度变化量 $\Delta \mu$ 的关系为

$$\Delta Q_1 = k_\mu \Delta \mu \quad (2-3)$$

式中 k_μ ——比例系数

流出量 Q_2 随液位 h 而变化, h 愈高, 液体出口静压愈大, Q_2 就愈大, 假设二者变化量之间的关系为

$$Q_2 = -\frac{\Delta h}{R_2} \quad \text{或} \quad R_2 = -\frac{\Delta h}{Q_2} \quad (2-4)$$

式中 R_2 ——阀门2的阻力, 称为液阻, 其物理意义是产生单位流量变化所必须的液位变化量。

在一般情况下, 液位 h 与流量 Q_2 之间的关系是非线性的, 如图1-1b所示。因此液阻 R_2 在不同流量 Q_2 时是不相同的。为了简化问题, 在曲线上工作点 a 附近不大的范围内, 用切于 a 点的一段切线 aa' , 代替原曲线上一段曲线 aa'' , 进行线性化处理。经过线性化后, 液阻 R_2 则可认为是常数, 可以用式(2-4)表示。

将式(2-3)和式(2-4)代入式(2-2)可得

$$\begin{aligned} k_\mu \Delta \mu - \frac{\Delta h}{R_2} &= A \frac{d\Delta h}{dt} \\ AR_2 \frac{d\Delta h}{dt} + \Delta h &= k_\mu R_2 \Delta \mu \end{aligned} \quad (2-5)$$

写成一般形式为 $RC \frac{d\Delta h}{dt} + \Delta h = K \Delta \mu$

$$\text{或者 } T \frac{d\Delta h}{dt} + \Delta h = K \Delta \mu \quad (2-6)$$

上式 Δh 和 $\Delta \mu$ 经拉氏变换为 $H(s)$ 和 $\mu(s)$ ，得对象传递函数 $G_0(s)$ 为：

$$G_0(s) = \frac{H(s)}{\mu(s)} = \frac{K}{Ts + 1} \quad (2-7)$$

式中 C ——液容又称为容量系数，在数值上等于水箱横截面积 A ；

T ——对象的时间常数， $T = R_2 A = RC$ ；

K ——对象的放大系数， $K = k_u R_2 = k_u R_0$ 。

$$\text{解式 (2-6) 得 } \Delta h = K \Delta \mu (1 - e^{-t/T}) \quad (2-8)$$

这就是单容量对象的阶跃响应，其曲线如图 2-2 所示。显然，对象的特性与放大系数 K 和时间常数 T 有关。

1. 放大系数 K

对象输出量变化达到新稳态值后，输出量与输入量对应变化值之比，称为对象的放大系数。上例水箱液位对象（图 2-2），流入水量的大小以阀门开度变化值 $\Delta \mu$ 表示，即当阀门开度增大 $\Delta \mu$ ，液位相应升高 $\Delta h(\infty)$ 并稳定不变，因此对象的放大系数可以表示为：

$$K = \Delta h(\infty) / \Delta \mu \quad (2-9)$$

上式表明，放大系数 K 与被控量变化过程无关，只与被控量的变化终点与起点相关。它影响被控量的新稳态值，故放大系数是对象的静态特性参数。

如果把对象输入与输出均以变化值的百分数表示，则 K 为一个无因次比值。这样表示对分析问题比较简单。将放大系数视为常数时，只适合于线性系统。实际上，在不同负荷下， K 值随负荷大小而有增减。但在扰动量小的情况下，把 K 视为常数仍然是允许的。

2. 时间常数 T

由图 2-2 可见，时间常数是指被控量保持起始速度不变而达到稳定值所经历的时间 T 。自起点沿响应曲线作切线，与新的稳态值 $h(\infty)$ 线相交，其交点与起始点之间的这段时间间隔，就是时间常数 T 。

由式 (2-8) 可知，时间常数 T 反映的是对象受到阶跃扰动作用后（图中的 $\Delta \mu$ ），被控量变化（图中的 Δh ）的快慢。当 $t=0$ 时， $\Delta h=0$ ，表示被控量没有变化；当 $t=T$ 时， $\Delta h=0.632\Delta h(\infty)$ ，表示经 T 后，被控量变化值达到稳态值的 63.2%； $2T$ 、 $3T$ 、 $4T$ 、 $5T$ 后分别达到 86.5%、95%、98.2%、99.3%。达到新稳态值理论上要经过无限长的时间。实际上，被控量约在稳态值的 $\pm 2.5\%$ 范围内波动时，就认为已经达到新的稳态值，故 $4T$ 时间是评价响应时间长短的标准。

时间常数是由阻力和容量决定的动态参数。其值反映了对象阻力和容量乘积的大小（ $T=RC$ ），即对象的容量和惯性大，时间常数也大，反之则小。

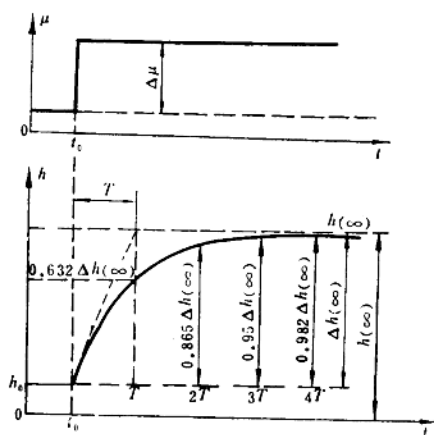


图 2-2 单容对象阶跃响应曲线