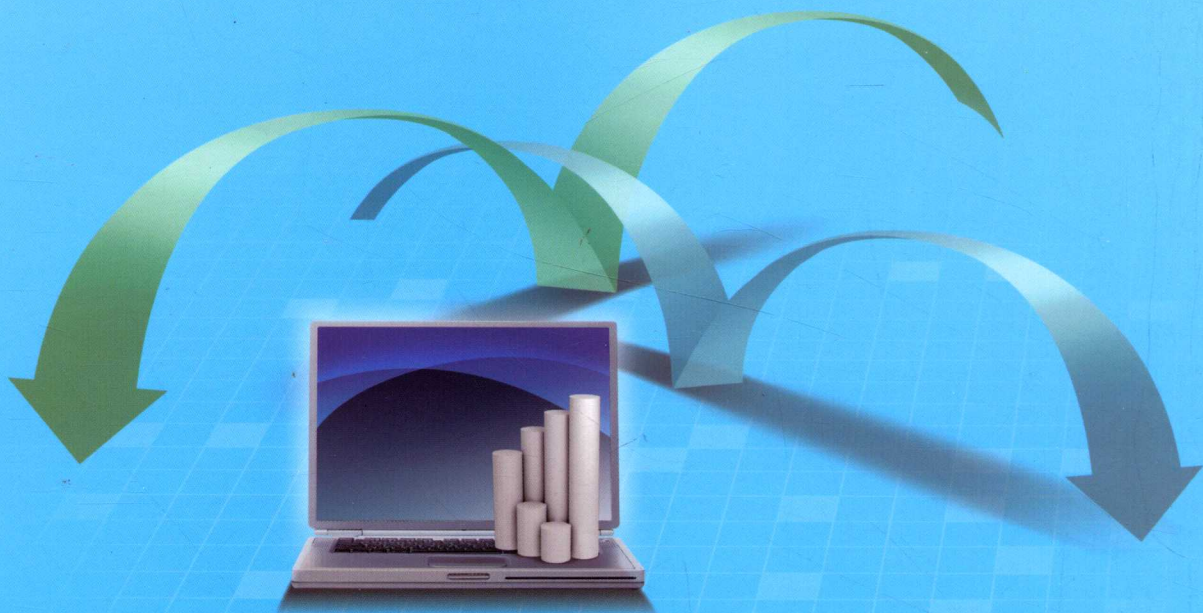


· 高职高专“十二五”规划教材 ·



冶金生产计算机控制

YEJIN SHENGCHAN JISUANJI KONGZHI

主 编 郭爱民



冶 金 工 业 出 版 社
Metallurgical Industry Press

内容简介

高职高专“十二五”规划教材

冶金生产计算机控制

主 编 郭爱民

副主编 李勇刚 孔祥彪

北 京

冶金工业出版社

2014

内 容 简 介

本书是在“检测仪表”课程之后,为冶金技术专业开设“冶金生产计算机控制”课程编写的教学用书。

主要包括:生产过程控制原理及系统;单回路控制与计算机控制;计算机控制在工业生产中的典型应用;冶金生产计算机的分级控制;生产过程计算机监控和日常操作。

本书可供高职(高等)院校教学使用,也可供从事冶金自动化和冶金工程专业的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

冶金生产计算机控制/郭爱民主编. —北京:冶金工业出版社, 2014. 8

· 高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-6670-1

I. ①冶… II. ①郭… III. ①冶金—生产过程—计算机控制—高等职业教育—教材 IV. ①TF1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 169259 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjchs@cnmp.com.cn

责任编辑 俞跃春 贾怡雯 美术编辑 杨帆 版式设计 葛新霞

责任校对 禹蕊 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6670-1

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2014 年 8 月第 1 版, 2014 年 8 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 12 印张; 291 千字; 184 页

30.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话:(010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgy.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前言

本书以能够适应我国冶金生产操作的需要为前提,以提高教育质量为目的,介绍了计算机控制系统在工业生产中的典型应用,结合冶金生产工艺,介绍了冶金生产计算机的分级控制,以及生产过程中常用监控画面及常见操作。

本书内容较系统地阐述了冶金企业在现代生产过程控制中的计算机应用技术。

通过对本书的学习,学生可熟悉生产过程中自动控制的基本原理和方法,了解计算机控制技术在冶金生产中的具体应用,学生毕业走向工作岗位后,能更好更快地适应现代生产操作的需要。

本书由郭爱民担任主编,李勇刚、孔祥彪担任副主编。山西工程职业技术学院郭爱民、任中盛合编第1、2章,晋西集团有限责任公司孔祥彪编写第3章,山西工程职业技术学院胡锐、郝赳赳、薛方合编第4章,山西太钢不锈钢股份有限公司李勇刚编写第5章,山西太钢不锈钢股份有限公司韩永生、焦剑、杨瑞军合编第6章,山西太钢不锈钢股份有限公司任昌编写第7章。

在编写过程中,我们引用了部分专家学者的研究成果,在此向所引用参考文献的作者表示感谢。

由于编者水平所限,书中不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

2014年5月

目 录

1 生产过程控制原理及系统	1
1.1 生产过程控制概述	1
1.1.1 自动控制系统的组成	1
1.1.2 自动控制系统的分类	2
1.2 控制系统过渡过程及品质指标	3
1.2.1 自动控制系统的过渡过程	3
1.2.2 过渡过程的品质指标	4
1.3 被控对象的动态特性	5
1.3.1 放大系数	5
1.3.2 时间常数	6
1.3.3 滞后时间	6
1.4 调节器的控制作用	7
1.4.1 双位控制作用	7
1.4.2 比例、积分、微分控制作用	8
1.5 单回路控制系统	13
1.5.1 被控量与操纵量的选择	13
1.5.2 调节器控制作用的选择	15
1.5.3 调节器参数的工程整定	15
1.6 系统投运和故障判别	18
1.6.1 投运步骤	18
1.6.2 系统运行中的故障判别	19
复习思考题	20
2 单回路控制与简单计算机控制	21
2.1 单回路控制系统简述	21
2.2 简单计算机控制系统	21
2.3 计算机控制与常规控制比较	22
2.4 执行器	23
2.4.1 概述	23
2.4.2 电动执行器	23
2.4.3 气动执行器	26
2.4.4 智能执行器简介	27

2.5 调节阀	29
2.5.1 工作原理	29
2.5.2 种类	29
2.5.3 流量特性	31
2.5.4 流通能力	34
2.5.5 调节阀安装	35
2.6 电-气转换器及阀门定位器	36
2.6.1 电-气转换器	36
2.6.2 阀门定位器	37
2.7 智能控制阀简介	38
2.7.1 智能控制阀的结构	39
2.7.2 智能控制阀的特点	39
复习思考题	39
3 计算机控制在工业生产中的典型应用	40
3.1 工业控制计算机系统的组成	40
3.1.1 计算机控制系统硬件组成	40
3.1.2 计算机控制系统软件组成	41
3.2 计算机在过程控制中的典型应用	41
3.2.1 巡回检测数据处理系统	41
3.2.2 操作指导控制系统	41
3.2.3 直接数字控制系统 (DDC)	42
3.2.4 监督控制系统 (SCC)	43
3.3 冶金企业常用典型控制	44
3.3.1 计算机集散控制 (DCS)	44
3.3.2 现场总线控制系统 (FCS)	46
3.3.3 可编程控制器 (PLC)	47
3.4 智能控制	49
3.4.1 智能控制的发展	49
3.4.2 专家控制系统	50
3.4.3 模糊控制	51
复习思考题	53
4 冶金生产计算机分级控制	54
4.1 生产自动化简介	54
4.2 冶金生产自动化的分级控制	54
4.2.1 生产控制级	56
4.2.2 过程控制级	56
4.2.3 基础自动化级	58

4.2.4 冶金生产计算机控制的分类和基本特点	65
4.3 高炉炼铁生产及过程控制	66
4.3.1 生产工艺简述	66
4.3.2 高炉冶炼生产的过程控制级	67
4.3.3 高炉炼铁生产基础控制级	70
4.4 转炉炼钢生产工艺及过程控制	86
4.4.1 氧气顶吹转炉炼钢生产简述	86
4.4.2 转炉炼钢生产过程控制级	89
4.4.3 转炉炼钢生产基础控制级	92
4.5 炉外精炼生产工艺及过程控制	95
4.5.1 炉外精炼生产工艺简述	95
4.5.2 炉外精炼过程自动化	101
4.5.3 炉外精炼基础自动化	104
4.6 连铸生产工艺及过程控制	106
4.6.1 连铸生产工艺简述	106
4.6.2 连铸过程自动化	107
4.6.3 连铸基础自动化	113
复习思考题	118
5 炼铁生产监控画面与操作	119
5.1 炼铁生产自动化简述	119
5.2 高炉本体检测控制与操作	120
5.2.1 高炉本体画面介绍	120
5.2.2 高炉工长的日常操作	121
5.3 上料系统的检测和控制	126
5.3.1 上料系统画面介绍	126
5.3.2 日常操作	126
5.4 炉顶系统检测控制与操作	127
5.4.1 炉顶检测系统简介	127
5.4.2 炉顶计算机控制系统	127
5.4.3 生产流程	128
5.5 热风炉及送风系统的检测和控制	128
5.5.1 热风炉设备的操作和监控	129
5.5.2 热风炉 I/O 强制画面	129
5.5.3 热风炉换炉操作步骤	130
5.6 煤粉喷吹系统的检测和控制	130
5.6.1 煤粉喷吹的意义	130
5.6.2 喷煤系统的监控画面	131
5.6.3 喷煤设备的操作和控制	132

5.6.4 喷煤参数设定	133
5.7 高炉专家系统简介	136
5.7.1 高炉专家系统发展概述	136
5.7.2 高炉专家系统的构成	136
复习思考题	137
6 炼钢生产监控画面与操作	138
6.1 转炉炼钢生产监控画面与操作	138
6.1.1 氧枪系统检测、控制与操作	138
6.1.2 汽化冷却系统的检测与控制	140
6.1.3 煤气回收系统的检测与控制	141
6.1.4 原料系统的检测与控制	141
6.2 炉外精炼监控画面与操作	143
6.2.1 RH 法监控画面与操作	143
6.2.2 LF 钢包精炼炉炼钢监控画面与操作	153
6.2.3 多功能非真空感应炉炼钢检测控制与操作	159
6.3 连铸生产监控画面及操作	165
6.3.1 综述	165
6.3.2 连铸生产常用控制画面和操作	167
复习思考题	176
7 烧结生产监控画面简介	177
7.1 烧结生产自动化简述	177
7.2 烧结生产主要画面介绍	177
7.2.1 配料系统监视画面	177
7.2.2 烧结机本体过程控制画面	180
复习思考题	181
附 录	182
参考文献	184

1

生产过程控制原理及系统

1.1 生产过程控制概述

1.1.1 自动控制系统的组成

自动控制系统是模仿人工控制来实现的。我们以生产过程中加热炉的温度控制为例说明。图 1-1 (a) 是通过控制燃料的流量以控制炉温的人工控制示意图。人工控制的过程是：观察当前的温度 t 并与要求的温度 T 进行比较，如果 $t > T$ ，将减小阀门开度，使燃料减少，炉温下降，直到 $t = T$ 为止；如果 $t < T$ ，将增加阀门的开度，使燃料增加，炉温上升，直到 $t = T$ 为止。阀门的控制过程是很有学问的，有经验的操作工人如发现当前温度 t 与要求温度 T 相差较大，将大幅度改变阀门开度；如发现温度急剧变化如下降，将快速控制阀门开度。

上述人工控制过程可归纳为：(1) 观察当前温度 t ；(2) 与要求温度 T 作比较，求偏差值 $(t - T)$ ；(3) 根据偏差按一定的控制方式改变阀门开度；(4) 当 $t = T$ 时，停止操作，保持阀位不变。上述操作过程，完全可以通过控制仪表自动完成，如图 1-1 (b) 所示。

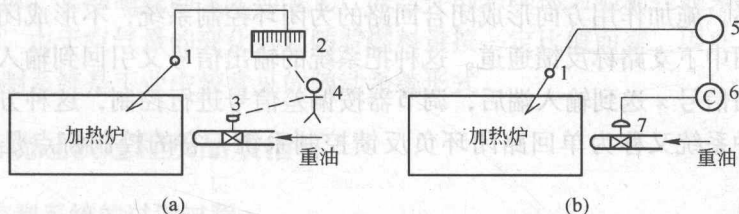


图 1-1 人工控制与自动控制示意图

(a) 人工控制；(b) 自动控制

1—热电偶；2—显示仪表；3，7—调节阀；4—操作人员；5—变送器；6—调节器

被控制的加热炉，加上一些自动控制仪表（变送器、调节器、执行器）就构成了一个自动控制系统。从图 1-1 可以看出，自动控制与人工控制的区别在于，自动控制是用测温组件热电偶及变送器代替人的眼睛，起检测信号的作用，用调节器代替人的大脑，判断偏差，根据偏差输出调节信号，用执行机构代替人的手，输出位移量，去控制阀门的开度。从而可使被控的加热炉温度自动稳定在预先规定的数值上。

简单的自动控制系统的组成如图 1-2 所示。

图中每一个方框表示一个设备或装置，各个设备装置之间的关系，用它们之间的连线表示。

习惯上把被控制的装置或设备（如图 1-1 中的加热炉）称为被控对象或对象；把所控

制的参数（如温度）称为被控量；把作用于对象的物料或能量（如重油）称为操纵量；把引起被控量变化的外界因素（如管道漏油、或电压波动等）称为干扰或扰动。由这些来表示广义的单回路控制系统。

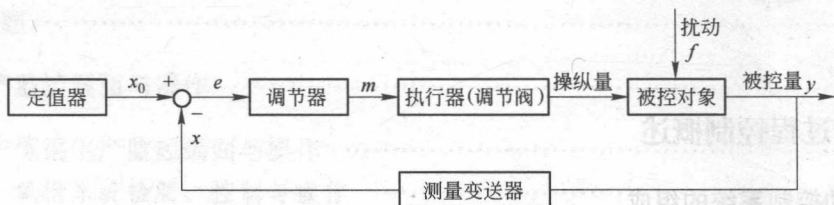


图 1-2 单回路控制系统方框图

检测元件及变送器：感受被控量的大小，转换成调节器所需要的信号形式，例如电动调节器所需要的电信号。 x 称为检测信号（测量值）。

定值器：定值器是把被控量设定值（或称给定值即生产要求的数值）的大小，以调节器要求的信号形式（例如电信号），输送给调节器。 x_0 称为设定值或给定信号，设定值与测量值之差称为偏差，用 e 表示。

调节器：将设定值 x_0 与测量值 x 进行比较，将二者的差值 e 进行运算，然后输出使执行机构动作的控制信号 m_0 ，执行机构接受调节器发出的控制信号并放大到足够的功率，推动调节阀开度变化，改变操纵量控制被控量。

图 1-2 所示的方框图中，方框之间连线的箭头，只是代表施加作用的方向，并不代表物料之间的联系。施加作用方向形成闭合回路的为闭环控制系统，不形成闭合回路的为开环控制系统。图中下支路称反馈通道。这种把系统的输出信号又引回到输入端的做法，就叫做反馈。反馈信号 x 送到输入端后，调节器按偏差信号进行控制，这种方式称为负反馈控制方式。这种系统又称为单回路闭环负反馈控制系统，它的控制特点是根据偏差进行控制。

1.1.2 自动控制系统的分类

在闭环控制系统中，为了便于分析自动控制系统的性质，按照设定值情况的不同，又可分为三种类型。

1.1.2.1 定值控制系统

定值控制系统，是指这类控制系统的设定值 x_0 是恒定不变的。生产过程中往往要求控制系统的被控量保持在某一定值不变，当被控量波动时调节器动作，使被控量回复至设定值（或接近设定数值）。大多数生产过程的自动控制，都是定值控制系统。上述加热炉温度的自动控制，就是一种定值控制系统。在定值控制系统中，有简单的控制系统，又有复杂的控制系统。一般来说，简单控制系统只包含一个由基本的自动控制装置组成的闭合回路，如图 1-2 所示。如果影响被控量波动的因素较多，采用一个回路不能满足工艺要求，就需要采用两个以上的回路，这就组成了复杂的控制系统。

1.1.2.2 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是变化的,但它是时间的已知函数,即设定值 x_0 按一定的时间程序变化。例如某些热处理炉温度的自动控制,需要采用程序控制系统,因为工艺要求有一定的升温、保温、降温时间。

图1-3所示曲线就是热处理炉工艺要求的温度变化规律实例,其中0-1-2线段是升温曲线,2-3线段是保温曲线,3-4-5线段是降温曲线。通过系统中的程序设定装置,可使设定值按工艺要求的预定程序变化,从而使被控量也跟随设定值的程序变化。

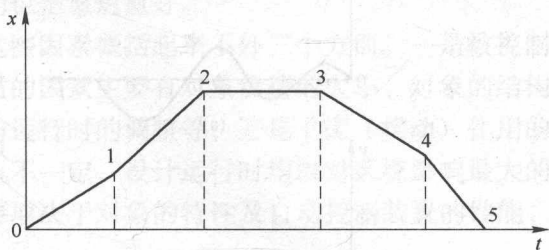


图 1-3 时间程序曲线

1.1.2.3 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:使被控量能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量的影响。

在冶金生产过程中,如燃料燃烧过程,空气与燃料量之间的比值是有一定要求的,但是燃料量需要多少,则随生产情况而定,而且预先不知道它的变化规律。在这里燃料需要量相当于设定值,它随温度的变化而变化,故这样的系统称为随动控制系统。在这样的随动控制系统中,由于空气量的变化必须随着燃料量按一定比值而变,因此又称为比值控制系统,比值控制系统是工业中较常见的随动系统形式。

1.2 控制系统过渡过程及品质指标

1.2.1 自动控制系统的过渡过程

一个处于平衡状态的自动控制系统,在受到扰动作用后,被控量发生变化;与此同时,控制系统的控制作用将被控量重新稳定下来,并力图使其回到设定值或设定值附近。一个控制系统在外界干扰或给定干扰作用下,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。

在阶跃干扰作用下,控制系统的过渡过程有如图1-4所示的几种形式。

图1-4(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,非但不能使被控量回到设定值,反而使它振荡得越剧烈。显然,这类过渡过程的控制系统是不能满足生产要求的。图1-4(b)为等幅振荡过程,它表示系统受到阶跃干扰后,被控量将作振幅恒定的振荡而不能稳下来。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1-4(c)为衰减振荡过程,它表明被控量经过一段时间的衰减振荡后,最终能重新稳定下来。图1-4(d)为单调衰减过程,它表明被控量最终也能稳定下来,但由于被控

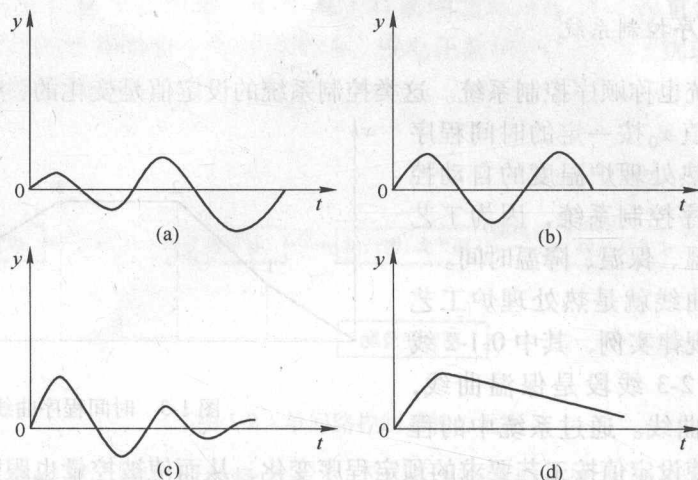


图 1-4 过渡过程的几种基本形式

(a) 发散振荡; (b) 等幅振荡; (c) 衰减振荡; (d) 单调过程

量达到新的稳定值的过程太缓慢, 而且被控量长期偏离设定值一边, 一般情况下工艺上也是不允许的, 只有在工艺允许被控变量不能振荡时才采用。

1.2.2 过渡过程的品质指标

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, 被控量的变化应是一条衰减的曲线。图 1-5 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, 衡量该曲线所表示的控制系统的好坏, 常采用以下几个过渡过程品质指标。

(1) 衰减比。衰减比是表征系统受到干扰以后, 被控变量衰减程度的指标。其值为前后两个相邻峰值之比, 即图中的 B/B' , 一般希望它能在 4 : 1 到 10 : 1 之间。

(2) 静差 (余差)。静差是指控制系统受到干扰后, 过渡过程结束时被控变量的残余偏差, 即图中的 C 。 C 值也就是被控变量在扰动后的稳态值与设定值之差。控制系统的静差要满足工艺要求, 有的控制系统工艺上不允许有静差, 即要求 $C=0$ 。

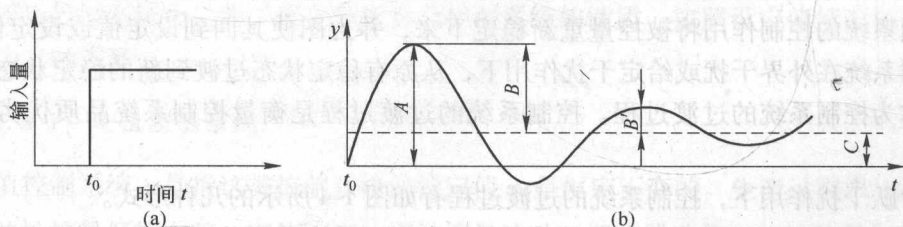


图 1-5 阶跃扰动作用时过渡过程品质指标示意图

(a) 阶跃扰动; (b) 过渡过程曲线

(3) 最大偏差。最大偏差表示被控量偏离设定值的最大程度。对于一个衰减的过渡过程, 最大偏差就是第一个波的峰值, 即图中 A 值。 A 值就是被控量所产生的最大动态偏差。对于一个没有静差的过渡过程来说, $A=B$ 。

(4) 过渡过程时间。过渡过程时间又称调节时间，它表示从干扰产生的时刻起，直至被控量建立起新的平衡状态为止的这段时间。过渡过程时间愈短愈好。

(5) 振荡周期。被控量相邻两个波峰之间的时间称为振荡周期。在衰减比相同的条件下，与过渡时间成正比，因此一般希望周期也是愈短愈好。

影响系统过渡过程品质的因素很多，这些因素概括起来不外三个方面。一是被控制对象本身，也就是对象的性质，影响对象性质的因素主要有对象负荷的大小、对象的结构尺寸及其材质等；二是自动控制装置的性能与运行时的调整等；三是干扰（扰动）作用的形式。前面已经讲到，扰动是随机的，形式也不一定，设计运行时均以对系统影响最大的阶跃扰动来考虑，则影响系统品质的因素主要取决于对象的特性及自动控制装置的性能、投运与正确调整。

1.3 被控对象的动态特性

被控对象的动态特性是通过以输入量和输出量为变化量的微分方程加以描述的，换句话说，被控对象的动态特性的基本表达式是微分方程式。实际上某些被控对象的动态特性往往是十分复杂的高阶微分方程式，求解和分析都比较复杂。还有一些复杂的被控对象，由于其中物理过程的机理不清，无法列出动态的微分方程式，而只得借助于实验来获得动态特性。

工程上常用飞升曲线法来分析被控对象的几个动态特性。

以加热炉温度为例，当煤气或重油阀门突然开大一定开度后，炉膛温度必然要上升，起始温度上升速度较快，后来逐渐变慢，当上升到一定温度值后就不再变化了。煤气或重油阀门 U 突然开大一定开度，实质就是输入量阶跃式变化，如图 1-6 (a)

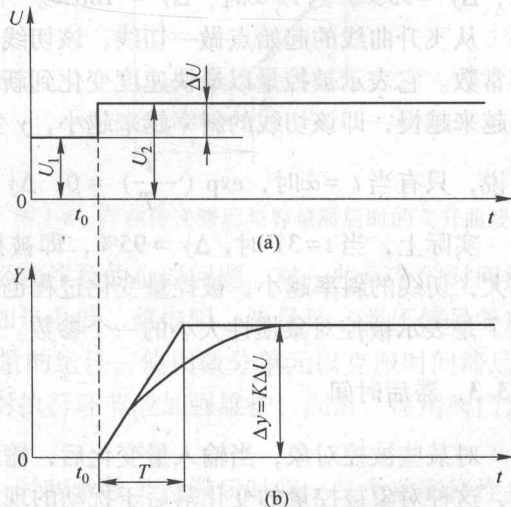


图 1-6 温度飞升曲线

(a) 阶跃变化；(b) 飞升曲线

所示，此时输出量即炉膛温度随时间变化曲线称为飞升曲线，如图 1-6 (b) 所示。

从飞升曲线可以看出，调节阀在 t_0 时突然开大了 ΔU ，即调节机构的输出信号使流体的流量改变，加热炉温度则慢慢上升，即被控量 y 缓慢变化，最后达到稳态值不再变化。下面从飞升曲线上作特性参数来分析被控对象的动态特性。

1.3.1 放大系数

把加热炉看做一个环节，当它的输入量改变 ΔU 时，它的输出量改变了 Δy ，其关系为：

$$\Delta y = K\Delta U \quad (1-1)$$

这就好像经过加热炉这个环节后，输入量最后放大了 K 倍而输出，因此把 K 称做放大系数。从以上分析可知，放大系数 K 与温度变化过程无关，而只与过程初始两点状态有关，所以放大系数实质上是一个静态特性。利用放大系数可以获得任何扰动 ΔU 对输出的

静态影响。对同样大小的扰动 ΔU ，如果放大系数 K 大，温度最终变化也大；如果放大系数 K 小，温度最终变化也小。放大系数 K 大的被控对象，调节起来比较灵敏，但稳定性差，而放大系数 K 小的对象调节起来不灵敏但稳定性好。一般希望对象的放大系数 K 小一些，而灵敏度往往靠提高调节器的放大倍数来满足。

1.3.2 时间常数

从图 1-6 可以看出，输出量的变化速度在起始点处最大，以后逐渐下降，最后为零。过渡过程飞升曲线可以用下式表示：

$$\Delta y = 1 - \exp\left(-\frac{t}{T}\right) \quad (1-2)$$

这是一个指数方程，图 1-6 所示的飞升曲线为一指数曲线， e 为常数，等于 2.718， T 是被控对象的特性参数，称为时间常数。

由式 (1-2) 可知，当 $t=0$ 时， $\Delta y = 0$ ；当 $t=T$ 时， $\Delta y = 0.623 = 62.3\%$ ；当 $t=3T$ 时， $\Delta y = 95\%$ ；当 $t=\infty$ 时， $\Delta y = 100\%$ 。

从飞升曲线的起始点做一切线，该切线与新的稳定值相交，该点对应的的时间 T 即为时间常数。它表示被控量以最快速度变化到新的稳定值所需的时间。实际上由于 y 的变化速度越来越慢，即该切线的斜率越来越小， y 变化到新稳定值所需的时间要长得多。从理论上说，只有当 $t=\infty$ 时， $\exp\left(-\frac{t}{T}\right) = 0$ ， $\Delta y = 100\%$ ，即 $\Delta y = K\Delta U$ 才到达新的稳定值。

实际上，当 $t=3T$ 时， $\Delta y = 95\%$ ，即被控参数 y 的变化已接近结束。因此时间常数 T 越大，切线的斜率越小，被控量变化过程也越长，这表明被控对象惯性越大，可见时间常数 T 是表示被控对象惯性大小的一个参数。

1.3.3 滞后时间

对某些被控对象，当输入量变化后，输出量并不立即改变，而须等待一段时间后才变化，这种对象被控量的变化落后于扰动的现象称为被控对象的滞后现象。

根据滞后的性质，滞后可分为两类：传递滞后和容量滞后。如前面介绍的加热炉温度自动控制系统，首先用热电偶测出温度，经温度变送器，最后到执行机构启动，需要经过一段时间，这段时间称为传递滞后时间。显然，传递滞后一方面与传递距离有关，另一方面与介质流动速度有关。传递滞后对控制过程非常有害，它使调节器不能立即发出信号进行控制，这就降低了控制质量。因此设计控制系统时，应配备适当设备竭力把它减至最小。

传递滞后（纯滞后）时间 τ_0 可用下式表示：

$$\tau_0 = L / w \quad (1-3)$$

式中 L ——信号传送距离；

(1-1) w ——信号传送速度。

图 1-7 为传递滞后的示意图。图中 τ_0 为传递滞后时间， T 为时间常数。

有的对象有一种与传递滞后相似的滞后性质，即容量滞后，它几乎与对象的负荷和扰动无关，仅取决于工艺设备的结构及运行条件。传递滞后与容量滞后的区别在于传递滞后

延迟被控量开始变化的时间，而容量滞后影响被控量变化的速度。

图 1-8 为一个存在传递滞后多容量对象的飞升曲线。在分析工作中一种近似处理多容量飞升曲线的方法是，在曲线拐点 C 处作一切线，并与横轴交于 B 点，如图 1-8 中的 BC 段。这样就可以将多容量对象飞升曲线 $OACD$ 近似地看做是由一个传递滞后 OA 和一个单容量对象飞升曲线 BCD 所组成。图中 OA 为传递滞后，用 τ_0 表示， AB 为容量滞后，用 τ_c 表示，总滞后时间用 τ 表示：

$$\tau = \tau_0 + \tau_c \quad (1-4)$$

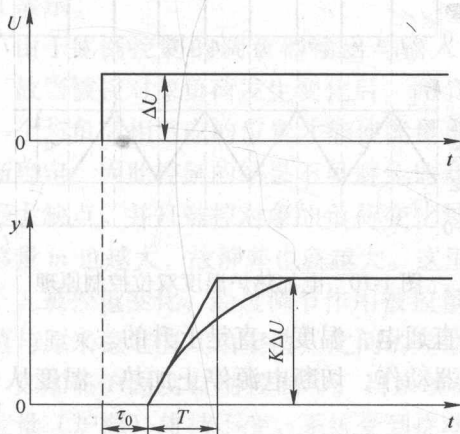


图 1-7 存在传递滞后时的飞升曲线

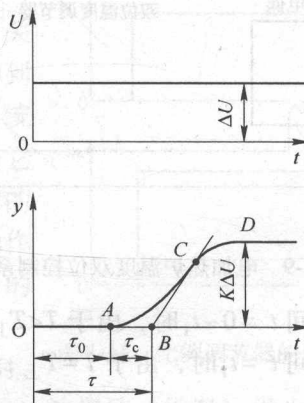


图 1-8 存在传递滞后与容量滞后时的飞升曲线

滞后时间是设计自动控制系统、选择仪表必须注意的重要问题。对一些环节的时间滞后可采取适当措施来解决：对一些测量组件，如热电偶、热电阻、流量计、差压信号等应合理选择测量组件的位置，并选择能够快速测量的组件，使用微分单元以克服时间滞后；对变送器、调节器应尽力缩短信号传递管线；对执行环节应加强维护、润滑，使用阀门定位器等。

综上所述，对象的特性可以用放大系数 K 、时间常数 T 及滞后时间 τ 三个动态特性参数来表征。

1.4 调节器的控制作用

我们已经知道了被控对象的特性，就要选择出合适的调节器的控制作用与之配合达到控制目的。不论是人工控制还是自动控制，其目的都是为了纠正被控量的偏差，偏差的存在是产生控制作用的根本原因。偏差是调节器的输入，控制动作是调节器的输出。所谓调节器的控制作用，就是指调节器的输出信号与输入（即被控量出现的偏差）之间随时间变化的规律，也称为调节器的调节规律，即调节器的动态特性。其基本的控制作用有双位、比例（P）、积分（I）、微分（D）及其组合。

1.4.1 双位控制作用

双位控制的特点是调节机构只有两个位置，也就是说调节阀不是全开就是全关，它不能停留在两者中间任何位置上，因此它是设备上最简单，投资最少的一种控制方式。

图 1-9 是一个电加热炉温度的双位控制系统，被控对象是电加热炉，为控制炉温，用热电偶测量炉温，并把温度信号送至电动温度调节器，然后由调节器根据温度的变化情况来切断或接通电加热器的电源。当炉温升至上限时，调节器切断电源停止加热；当温度降至下限时，调节器接通电源进行加热。对双位式温度控制系统，它的被控参数 T 是在定值上下波动、如图 1-10 所示。

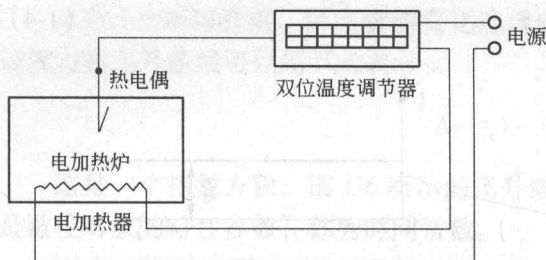


图 1-9 电加热炉温度双位控制系统

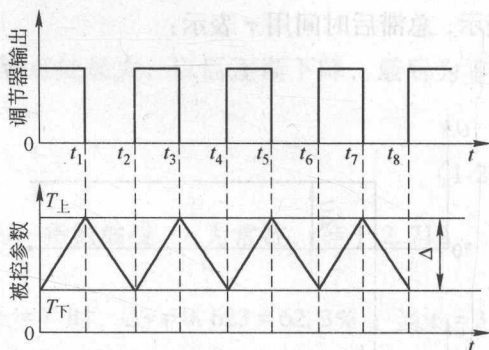


图 1-10 电加热炉温度双位控制原理

当时间 $t = 0 \sim t_1$ 时，由于 $T < T_{上}$ ，电加热器一直通电，温度一直是上升的。

当时间 $t = t_1$ 时，由于 $T = T_{上}$ ，电动双位调节器动作，切断电源停止加热，温度从 $T_{上}$ 开始下降。

当时间 $t = t_2$ 时，由于 $T = T_{下}$ ，电动双位调节器动作，接通电源又开始加热，温度从 $T_{下}$ 开始逐渐上升。

当时间 $t = t_3$ 时， $T = T_{上}$ ，电动双位调节器又一次切断电源停止加热，如此又开始了一个循环动作。

衡量一个双位控制过程的品质指标，用振幅和周期表示。在图 1-10 中，振幅为 $T_{上} - T_{下}$ ， Δ 为失灵区。对同一双位控制系统来说，过渡过程的振幅与周期是相互矛盾的，实际上用失灵区 Δ 可以概括说明振幅与周期的关系。很明显，失灵区 Δ 越小，振幅就越小，但周期短，振荡频率大，选择合适的失灵区 Δ ，使振幅在允许范围内，尽可能使周期短些。影响双位控制系统品质指标的因素主要是被控对象的滞后。

双位控制一般应用在生产过程允许被控参数经常以一定振幅上下波动、被控对象的时间常数很大、而延迟时间又很小的情况，如常用的电烘箱、管式电炉、箱式电炉、恒温箱等。

1.4.2 比例、积分、微分控制作用

工业生产中的被控对象是复杂多样的，当它受到扰动作用之后，一般均要求控制系统能迅速连续地进行控制，使能量或物料量达到新的平衡状态，被控参数也能稳定在某一定值或回落到设定值上。显然，双位控制无法满足这一要求。为了使控制过程得以稳定，并保证达到一定的控制指标，就必须采用带有比例（P）、积分（I）和微分（D）等控制作用的连续调节器。

1.4.2.1 比例（P）控制作用

比例调节器输出的调节信号 m 与输入的偏差信号 e 成比例。若用一个数学式表示，可

以表示为:

$$m = K_p e \quad (1-5)$$

式中 K_p ——调节器的放大系数

上式表明,比例控制作用的规律是:偏差值 e 变化愈大,调节机构的位移量 m 变换也愈大,并且 e 与 m 之间存在一定的比例关系;另外,偏差值 e 的变化速度 (de/dt) 快,调节机构的移动速度 (dm/dt) 也快。这是比例调节器的一个显著特点。

在阶跃输入 e 作用下,比例调节器的动态特性可由图 1-11 表示。

由于比例控制的调节器输出与输入有一一对应的关系,故当被控对象负荷发生变化后,调节机构必须移动到某一个与负荷相适应的位置才能使能量再度平衡,使系统重新稳定。因此控制的结果不可避免地存在静差,这是它的最大缺点。并且被控对象的负荷变化越大,调节机构的位移量 m 也越大,故静差也就越大。这里静差是指扰动作用下,被控量变化,经过调节作用被控量重新稳定下来的数值与原来稳定值(给定值)之间的差值。

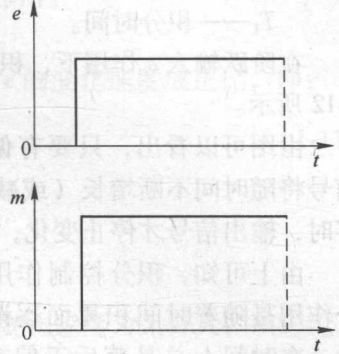


图 1-11 比例调节器的动态特性

如加热炉温度自动控制中,当系统处于平衡状态时,被控量(炉温)维持不变。系统受到扰动后(负荷加大),被控量(炉温)发生变化,开始下降。通过比例调节器使调节阀开度开大,煤气或重油量增加,使被控量(炉温)下降速度逐渐缓慢下来,经过一段时间,又建立了新的平衡,此时被控量(炉温)达到新的稳定值,这时调节过程结束。但此时被控量(炉温)的新的稳定值与给定值不相等,它们之间的这个差值就是静差。这个静差的大小,与调节器放大系数 K_p 有关, K_p 大,对应静差小。反之, K_p 小,对应静差大。

比例调节作用的整定参数是放大系数 K_p , 它决定比例作用的强弱。 K_p 大,比例作用强。但在一般的调节器中,比例作用都不用放大系数 K_p 作为刻度,而用比例带 P_s 来刻度。对于电动单元组合仪表讲,比例带 P_s 与放大系数 K_p 互为倒数关系,常以百分数表示。即:

$$P_s = \frac{1}{K_p} \times 100\% \quad (1-6)$$

不难理解,选择比例带 P_s 越小,比例作用越强; P_s 越大,比例作用越弱。若 P_s 选择过小,会造成调节系统不稳振荡; P_s 过大,比例作用小,静差大。因此要根据静差特点选取合适的 P_s 值。一般来说,若对象时间常数较大以及放大系数较小时,调节器的比例带可选得小一些,以提高整个系统的灵敏度,使反应加快一些,这样就可得到较理想的控制过程。反之,若对象时间常数较小以及放大系数较大时,比例带就必须选得大些,否则系统就难以稳定。

1.4.2.2 比例积分控制作用

为了能消除静差,提高控制质量,必须在比例控制的基础上,引入能自动消除静差的积分控制作用。