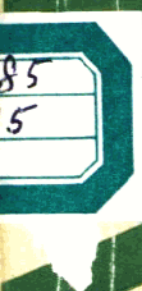


供热 空调 自动控制与仪表

西安冶金建筑学院 张子慧 编著



陕西人民教育出版社

79.85
1215

供热 空调 自动控制与仪表

西安冶金建筑学院 张子慧 编著

陕西人民教育出版社

内 容 简 介

本书论述供热、空调自动控制的基本理论、热工测量与自动控制仪表和有关自动控制系统。取材较新,内容实用,篇幅适中。

第一、二、三章联系供热空调实际,论述控制理论,第四章全面介绍供热空调系统中常用的热工测量仪表与自动控制仪表的原理及其使用,其中包括近年来国际上发展、国内已投产的新型供热、空调专用的功能模块(组装电子)式调节仪表。第五、六章介绍经实践检验,可靠的空调基本自控系统,冷源及输送系统节能控

制。第七章为空调自控系统设计、调整与应用实例。第八章介绍空调最佳化控制与计算机技术在空调控制系统上的应用与实例。第九章工业锅炉给水与燃烧系统的自动控制与应用实例。

本书可供从事采暖、通风和空调系统及其自控系统及设备设计、制造、安装和运行人员参考;可作为大专院校供热、通风与空调专业的教材,亦可作为有关培训教材。

供热 空调 自动控制与仪表

西安冶金建筑学院 张子慧 编著

陕西人民出版社出版

(西安长安路南段376号)

西安冶金建筑学院印刷厂印刷

787×1092毫米 16开本 15.5印张 350千字

1991年4月第1版 1991年4月第1次印刷

印数: 1—2000

ISBN7-5419-2425-3/G·2116

定价: 6.5元

前 言

随着社会的进步和技术的发展,供热、通风和空气调节的应用越来越广泛,她正在为人们的生产和生活发挥着重要作用。同时,人们也注意到供热、通风和空调的能量消耗,在建筑物的能耗中,占有相当大的比重。

为了使供热、通风和空调系统的运行与调节在保证合理和节能的前提下,既保证人的热舒适(对民用)和工艺参数(对工业)的要求,又能安全运行,采用自动控制技术,具有重大意义。自动控制已成为供热、通风和空调技术的发展方向,是供热、通风和空调技术中不可缺少的组成部分。

自动控制的发展是十分迅速的。在技术发达的国家,供热、通风和空调系统均实现了自动控制。许多国家都生产暖通、空调、制冷专用自动控制仪表和应用计算机技术的智能化仪表,使设计、使用十分方便。在节能控制方面,已从60年代末期的个别环节控制,进入到综合节能控制,现已发展到基于电子计算机控制的能量管理控制系统,使系统达到最佳化控制。

我国近年来,供热、通风和空调系统的自动控制有很大发展。控制系统方面不仅采用单回路控制系统,也采用了多回路、多功能的节能控制系统。在自动装置方面,近年来已能生产暖通空调专用的、新型功能模件(电子组装)式仪表,为空调自控系统的设计提供了成套装置,并已开始采用基于计算机技术的监督控制与直接数字控制。

供热、通风和空调自动控制的现代发展,要求暖通工程师都必须具有一定的测量仪表与自动控制知识。暖通空调工作者,应对自控原理、自控装置及自控系统有一定的了解,特别应掌握供热、通风和空调系统对自动控制的要求。曾经有过控制系统不能正常工作的情况,究其原因可能是:其一由于空调系统内在的缺陷,使系统变得无法控制;其二是由于自控系统设计的不合理或调整不当或维修管理不善所致。目前,越来越多的工程技术人员参加供热、通风和空调自动控制系统的设计、安装、调试和使用的工作,而其自控技术发展又很快。鉴于这样的客观形势,促使编者编写此书。希望本书对读者有所帮助。

本书首先,联系空调实际介绍控制理论。其次,根据近代发展和我国实际,介绍常用的热工测量仪表与自动控制装置的原理及其选用。在调节仪表方面包括新型的功能模件(电子组装)式仪表。再次,介绍经实践检验的、可靠的、空调自动控制系统、空调自控系统的设计与实例和计算机技术在空调自控中的应用与实例。最后,介绍工业锅炉自动控制及实例。

书中第四章第六节一、E3000系列仪表、第八节四、ESM电动执行机构及第八章第四节计算机技术在空调自控系统中的应用,由张秉信工程师编写。本书由戴庆山教授主审。

在本书的编写过程中得到了北京仪表机床厂、张家港市空调电器厂、有关高等院

校、中国建筑科学院空调所、中国建筑业联合会安装协会空调专业委员会和天津商学院函授部陕西站西安制冷空调培训中心等单位的大力支持，在此一并表示感谢。

由于编者水平所限，所述内容难免有不妥和错误之处，敬请批评指正。

编 著 者

1991年春

于西安冶金建筑学院

目 录

第一章 自动控制的基本知识

第一节 自动控制系统	1
一、开环控制系统	1
二、闭环控制系统	2
三、自动控制系统中的术语	3
第二节 反馈控制系统的分类	3
第三节 反馈控制系统的过渡响应	4
一、静态和动态	4
二、反馈控制系统的过渡响应	5
三、品质指标	6

第二章 构成环节的特性

第一节 环节的信号传递和特性	8
一、静特性	8
二、动态特性(过渡响应特性)	8
第二节 拉普拉斯变换与传递函数	10
一、拉普拉斯变换	10
二、传递函数	13
第三节 对象的过渡响应和数学描述	17
一、对象的过渡响应	17
二、温度对象的数学表达式	19
三、湿度对象的数学表达式	23
第四节 传感器和变送器特性	25
一、温度传感器特性	25
二、变送器特性	26
三、传感器加变送器的特性	26
第五节 调节器的特性	26
一、线性控制规律的微分方程	26
二、线性控制规律的传递函数	27
第六节 执行器特性	27

第三章 环节的综合和特性分析

第一节 环节的综合和等效变换	28
一、框图和传递函数	28
二、框图的等效变换	30
第二节 系统的传递函数和过渡响应	31
一、求控制系统过渡特性的计算公式	31
二、由微机制过渡响应曲线	36
三、测量值 θz 的过渡响应	36

四、二阶线性系统的通用阶跃响应	38
-----------------	----

第三节 影响过渡响应的因素	41
一、对象特性对调节过程的影响	41
二、调节器参数对调节过程的影响	43

第四章 自动控制仪表

第一节 自动控制仪表概述	49
一、自动检测与调节仪表的组成	49
二、仪表的基本技术指标	50
三、自动控制仪表的分类	51
第二节 传感器和变送器	53
一、温度传感器和变送器	53
二、湿度传感器和变送器	60
三、压力、压差传感器和变送器	71
四、流量传感器	77
五、其它传感器	82
第三节 显示、记录仪表	88
一、动圈式指示仪表	88
二、自动平衡式记录仪表	89
第四节 电气式调节器	92
第五节 电子式调节器	94
一、断续输出的电子调节器	94
二、连续输出的电子调节器	98
第六节 暖通空调专用控制仪表	101
一、E3000 系列仪表	101
二、W(S)ZT、WSZ-2 系列仪表	108
第七节 气动调节器	113
一、喷嘴—挡板放大器	113
二、气动比例调节器	115
第八节 执行器	117
一、电磁阀	117
二、电动调节阀	118
三、电动调节风门	120
四、ESM 电动执行机构	121
五、电压调节装置	123
六、气动执行器	124
七、电—气转换器	125

第五章 空调的基本自动控制系统

第一节 空调系统的特性.....127

一、多干扰性.....127

二、热工特性.....128

三、多工况性.....128

四、温、湿度相干性.....12⁸

第二节 基本设备的控制.....128

一、加热(或冷却)设备的控制.....128

二、湿度设备的控制.....131

第三节 一次回风冷却再热系统的控制.....135

第四节 具有一、二次回风定露点系统的控制.....135

第五节 淋水旁通式空气处理过程的控制.....138

第六节 调节一、二次回风比的节能控制.....140

第七节 空调多工况节能控制.....141

一、多工况节能控制的特点与工况识别.....142

二、空调系统全年调节工况划分原则.....141

三、定露点控制的喷淋式集中空调系统的控制.....142

第六章 冷冻机、水泵及风机的节能控制

第一节 冷冻机的节能自动控制.....146

一、冷冻回水温度恒定的冷冻机容量控制.....146

二、活塞式制冷压缩机的能量自动控制.....149

第二节 水输送系统的节能控制.....152

一、转速控制.....152

二、多台水泵的台数控制.....154

第三节 空气输送系统的节能控制.....157

一、末端变风量装置的调节.....157

二、系统静压调节.....158

三、送、回风机的平衡控制.....160

第四节 空调设备的启停控制.....161

一、间歇循环控制.....161

二、最佳启停控制.....162

第七章 自动控制系统设计、调整

与应用举例

第一节 自动控制设计.....164

一、设计原则.....164

二、设计条件.....164

三、设计步骤.....165

四、调节规律的选择.....165

第二节 调节阀的选择与计算.....167

一、调节阀的流量特性及其选择.....167

二、调节阀的流通能力及阀门口径的选择.....170

第三节 单回路调节系统应用举例.....173

一、空气系统静压的自动控制.....173

二、空气混合温度的自动控制.....175

第四节 多回路控制系统应用举例.....175

一、按混风温度和新风温度控制系统.....176

二、按新、回风焓值比较控制新风量系统.....177

三、新风温度补偿自动控制系统.....180

四、空调串级控制系统.....183

五、空调分程控制系统.....188

六、带自动选择的串级分程自动控制系统.....190

第五节 恒温、恒湿自动控制系统.....194

一、空气处理过程及控制点的选择.....194

二、控制系统.....195

第六节 控制系统的调整.....196

一、控制系统的特性.....196

二、调节器参数的工程整定.....199

第八章 空调系统最佳化控制

第一节 最佳化的前提条件.....200

第二节 空调最佳化节能控制的内容概要.....201

第三节 按等效温度及CO₂浓度控制新风量.....203

一、等效温度ET.....203

二、控制系统及控制程序图.....204

第四节 计算机技术在空调自控系统中的应用.....210

一、Excel Plus 控制器.....211

二、Excel Plus 控制器的应用方式.....212

三、微型计算机在空调自控系统

应用实例.....215

(一)新风机组的控制.....215

(二) 空气处理机组的控制.....	216	二、燃烧自动调节系统.....	230
(三) 冷冻水系统的控制.....	216	三、引风自动调节系统.....	230
(四) Excel Plus控制器的选定.....	217	四、热工参数检测.....	230
第九章 工业锅炉的自动控制		五、汽包水位调节系统的安装、投运 和 调 整.....	231
第一节 工业锅炉汽包水位自动调节.....	221		
一、汽包水位调节对象的动态特性.....	222	附录一 两个简谐波并项的方法.....	232
二、单冲量调节系统.....	223	附录二 图例说明.....	232
三、双冲量调节系统.....	224	附录三 W(s)ZT、WSZ-2型系列 仪表	233
四、三冲量调节系统.....	224	附录四 ESM电动执行机构及风量 调节阀	236
第二节 燃烧自动调节.....	225	主要参考文献	238
一、位式调节系统.....	225		
二、连续调节系统.....	226		
第三节 工业锅炉测控系统实例.....	229		
一、水位自动调节系统.....	229		

自动控制是科学技术现代化的重要标志之一。在工业部门，实现生产过程自动化，可以提高产品质量，降低成本，降低能耗、降低劳动强度，提高劳动生产率，改善操作条件，保证安全生产。在供热、通风和空调这个广泛的领域，自动控制也得到了普遍应用，例如，工业锅炉汽包水位必须实现自动控制，才能确保安全生产。再如空调系统是由若干热力设备与输送装置组成，这些设备的工作能力是按设计负荷选定的。但在实际运行中负荷是变动的，必然引起空调参数的波动。自动控制的任務就是在空调参数变化时，自动调节诸如加热器，冷却器、加湿器、淋水室及风量等调节设备的实际输出量，使其与实际负荷相适应，以满足系统中调节参数的要求，同时满足最大限度节能与安全生产的要求。

第一章 自动控制的基本知识

第一节 自动控制系统

所谓自动控制，就是采用控制装置使被控对象（如机器设备或生产过程）自动地按照给定的规律运行，使被控对象的一个或数个物理量又称被控量（如温度、湿度、压力、液位、流量和化学成分等）能够在一定的精度范围内按照给定的规律变化。

为达到某一目的、由相互制约的各个部分，按一定规律组成的具有一定功能的整体称为自动控制系统。它一般由被控对象和控制装置组成。

自动控制系统有两种最基本的形式，即开环控制和闭环控制。

一、开环控制系统

开环控制是一种简单的控制形式，其特点是在控制器与被控对象之间只有正向控制作用，而没有反馈控制作用。即系统输出量对控制量没有影响。开环控制系统框图如图1-1所示。在开环控制系统中，不需要对被控量进行测量，只根据输入信号进行控制。

例如，在寒冷地区空调系统中的空气预热器可采用开环控制，如图1-2所示，是利用室外空气温度来控制预热器阀门开度，维持预热器后风温在一定范围内波动。图中测量温度的元件称传感器，T—T是控制器，

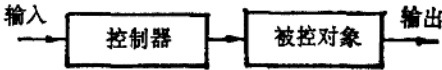


图1-1 开环控制系统框图

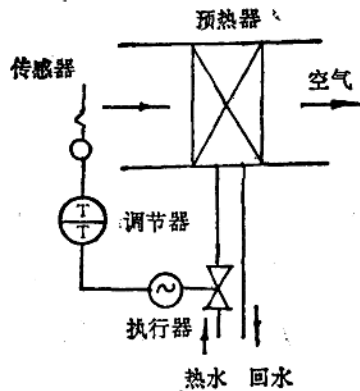


图1-2 开环控制一例

电动调节阀称执行器。显然，这个系统是根据室外温度这个干扰信号进行控制的。因此，仅在室外温度发生变化时有控制作用，而当其它干扰（如热水温度、压力等）无控制作用。因此，不能保证预热器后风温恒定，存在着偏差。

上述依据干扰控制组成的开环系统，虽然不一定能消除偏差，但是也有一定特点，即控制作用不需等待偏差的产生，调节很及时，对于较频繁的主要干扰能起到补偿效果。这种系统称前馈控制系统，所用的控制装置称为前馈调节器。

开环控制系统控制精度低，抗干扰能力差。但由于装置简单、成本低，不易使被控量产生振荡，因此可应用在干扰不强烈、控制精度要求不高的场合。

二、闭环控制系统

闭环控制的特点是，在控制器与被控对象之间，不仅存在着正向作用，而且存在着反馈作用，即系统的输出量对控制量有直接影响。将检测出来的输出量送回到系统的输入端并与输入信号比较的过程称为反馈。若反馈信号与输入信号相减称为负反馈；反之，若相加，则称为正反馈。输入信号（又称给定值）与反馈信号（又称测量值）之差称为偏差信号，简称偏差。偏差作用在控制器上，使系统的输出量趋于给定值。闭环控制的实质就是利用负反馈的作用来减小系统的偏差。因此闭环控制又称反馈控制。

利用负反馈组成的控制系统称为闭环控制系统，又称反馈控制系统。在反馈控制系统中存在着一从被控量（系统的输出量）经过传感器到输入端的联络通道，称为反馈通道。反馈控制系统的框图如图1-3所示。

闭环控制系统是由被控对象，传感器、调节器和执行器等组成的系统。闭环控制系统不论造成偏差的因素是外来干扰（例如环境条件变化等）还是内部干扰（例如给定值变化），控制作用总是使偏差趋向下降。因此，它具有自动修正被控量偏离给定值的能力。控制精度高，适应面广，是基本的控制系统。由于存在着反馈，系统可能会产生振荡，故调试比较繁杂。图1-4是室温闭环控制系统的例子。

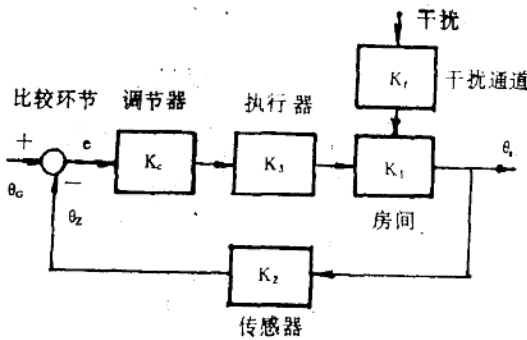


图1-3 反馈控制系统框图

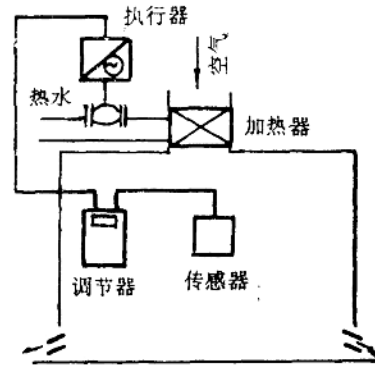


图1-4 室温自动控制系统

综上所述，开环控制与闭环控制各有特点，应根据各种不同的情况和要求，合理选择适当的方式。前馈-反馈控制系统就是开环与闭环控制的组合形式，在不少情况可获得很好的效果。应说明，应用较多的系统是反馈控制系统。

三、自动控制系统中的术语

被控对象 又称被调对象。指自动控制系统中要进行控制的机器、设备或生产过程的全部或一部分。例如，空调房间、空气处理设备、冷热源装置等，简称对象。

传感器 又称敏感元件、一次仪表。是将被测量（包括物理量、化学量、生物量等）按一定规律转换成便于处理和传输的另一种物理量（一般为电量）的元件。其转换要求将被测量以单值函数关系，稳定而准确地变成另一种物理量，以便提供仪表后续环节变换、比较运算与显示记录被测量。常见的温度传感器有热电偶、热电阻等。

调节器 又称控制器。在自动控制系统中，将被控量的实测值检测信号与给定值信号相比较，检测偏差并对偏差进行运算，按照预定的控制规律发出调节指令的部分。它控制执行器的动作，对系统进行控制。一般具有给定、比较、指示、运算和操作功能。

执行器 在控制系统中，将来自调节器的控制信号转变为操作量的部分，也称操作部分。它由执行机构和调节机构组成。例如，电动调节阀是由电动执行机构和调节阀门组成。

被控量 又称被调量。被控对象中要求实现自动控制的物理量。例如，温度、湿度、液位等。

给定值 又称设定值。即通过控制系统的作用，使被控量达到要求的数值。

主反馈 输出的被控量通过传感器转换的、与输出成正比或某种函数关系，但量纲与给定值相同的信号。

偏差 给定值与主反馈之差。在自动控制系统中规定偏差为给定值减去主反馈量。它是调节器的输入信号，也是反馈控制系统用来进行控制的信号。

外部干扰 又称外部扰动。它是影响控制系统状态的外部作用。例如，图1-4例中室外气象条件的变化等。

内部干扰 又称内部扰动。它是影响控制系统状态的内部作用。例如上例中温度给定值的改变等。

操作量 又称调节量。它是为了使被控量在受到干扰后，恢复到新稳定值而需要通过调节机构向被控对象输入或从对象中输出的物料量或能量。例如图1-4例中通过加热器的热水量。

第二节 反馈控制系统的分类

反馈控制系统的分类方法有多种，本书仅按给定值的不同情况，将反馈控制系统分为三类：定值调节系统、随动系统和程序控制系统。

一、定值调节系统

给定值保持不变（为一恒定值）的反馈控制系统称为定值调节系统。这类系统在供热空调系统中得到广泛的应用。例如锅炉汽包水位调节系统，空调中的恒温、恒湿调节系统等。

二、随动系统

这类控制系统的给定值不断变化，且事先不知道其变化规律，并要求系统的输出

(被调参数)随之而变化。例如空调系统中的室外温度补偿控制系统,其系统输入的室温给定值是室外温度的函数。系统的任务是保证输出以一定的精度跟随输入的变化而变化。空调补偿控制应用在适舒适性空调上,既达到舒适,又可节能。

三、程序控制系统

给定值是一个已知的函数,即根据需要按一定的时间程序变化。系统的任务是使输出的信号按一定的精度随输入而变化。例如,空调中的人工气候室就属于这一类,造成按一定规律变化的人工气候,满足某些产品(如电子产品)例行实验的要求。

四、计算机控制的优化控制系统

由于数字计算机的迅速发展和不断完善,它的强大计算能力和信息处理能力给自动控制以极大的影响。计算机在自动控制中的应用不仅引起了量的变化,并且引起了质的变化。

暖通、空调、制冷系统的能量消耗在建筑物的总能耗中占有相当的比重,因而国内外都力求应用节能控制措施。基于计算机控制的能量管理系统,可使系统达到最佳化控制。“最佳”是指空调系统实现给定的评价函数(性能指标)为最佳,即能耗最小的控制。例如,希望使用最少的能量,达到空调系统的温、湿度要求条件。

第三节 反馈控制系统的过渡响应

一、静态和动态

反馈控制系统的输入有两种:给定值的变化(给定作用)和干扰的变化(干扰作用)。当输入恒定不变时,整个系统若能建立平衡,系统中各个环节将暂不动作,它们的输出都处于相对静止状态,这种状态称为静态。例如前述的室温系统中,当进入室内的热流量与流出室内的热流量相等时,室温保持不变,此时称室温系统达到平衡,亦即处于静态。这里所指的静态并非指系统内没有物料和能量的流动,而是指各个参数的变化率为零,即参数保持不变。此时输出与输入的关系称为系统的静态特性。

同样,对任何一个环节来说,也存在静态。在保持平衡时的输出与输入关系称为环节的静态。

系统和环节的静态特性对控制是很重要的。系统的静态特性是调节品质的重要内容之一;对象的静态特性是干扰分析、确定控制方案的基础;检测装置的静态特性反映它的精度;调节装置和执行器的静态特性对调节品质有显著影响。

假若一个系统原来处于静态,由于出现了干扰,即输入起了变化,系统的平衡受到破坏;由于被控参数(即输出)发生变化,自动调节装置就会动作,进行控制,以克服干扰的影响,力图使系统恢复平衡。从输入开始,经过控制,直到再建立静态,在这段时间中整个系统的各个环节和参数都处于变化的过程之中,这种状态称为动态。另一方面,在给定值变化时,也引起动态过程,调节装置力图使被控参数在新的给定值或其附近建立平衡。总之,由于输入的变化,输出随时间而变化,其间的关系称为系统动态特性。

同样,对任一环节来说,当输入变化时,也引起输出的变化,其间的关系称为环节

的动态特性。

在反馈控制系统中，了解动态特性甚至比静态特性更重要，也可以说，静态特性是动态特性的一种极限情况。在定值调节系统中，干扰不断产生，控制作用也就不断克服其影响，系统总是处于动态过程中。因此，调节系统的分析重点要放在系统和环节的动态特性上，这样才能设计出良好的调节系统，以满足工艺上提出的各种要求。

二、反馈控制系统的过渡响应

当反馈控制系统的输入发生变化后，被控参数随时间不断变化，最终稳定下来。被控参数随时间而变化的过程称为系统的过渡响应，又称系统的过渡过程。也就是系统从一个平衡状态过渡到另一个平衡状态的过程。

对于一个稳定的系统（所有正常工作的反馈系统都是稳定系统）要分析其稳定性、准确性和快速性，常以阶跃作用输入时的被控参数的过渡响应为例。所谓阶跃作用是一种突然地从一个数值变化到另一个数值，而且一经加入就持续下去的作用，如图1-5所示。阶跃作用很典型，实际上也经常遇到，且这类输入变化对系统来讲是比较严重的情况。如果一个系统对这种输入有较好的响应，那末对其它形式的输入变化就更能适应。

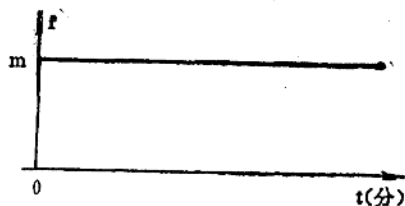


图1-5 阶跃信号

定值调节系统的过渡响应有四种形式，如图1-6所示。曲线（a）是发散的振荡过程，被调参数的变化幅度愈来愈大，这是一种不稳定的过程，在自动调节系统中是应该避免的。曲线（b）是等幅振荡过程，在连续调节系统中一般认为它是不稳定的和不允许的，但在双位调节系统中，只要被调参数的波动幅值及波动频率在工艺所允许的范围內，还是可以采用的。曲线（c）是一个衰减的振荡过程，被调参数经过一段时间的振荡后，能很快地趋向于一个新的平衡状态，这种过渡过程是比较理想的。曲线（d）是

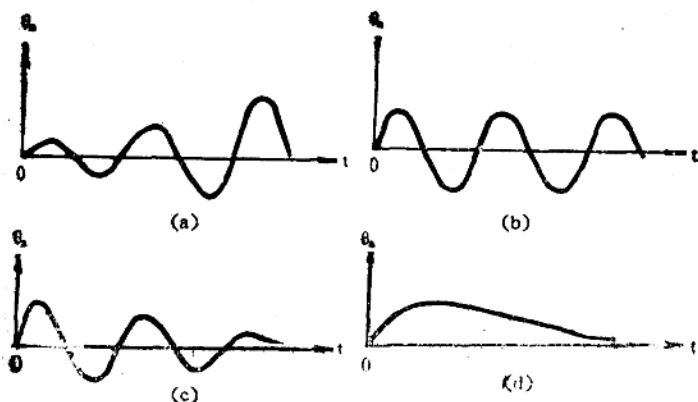


图1-6 过渡过程的几种基本形式

(a) 发散振荡；(b) 等幅振荡；(c) 衰减振荡 (d) 单调过程

非振荡的过渡过程，又称单调过程。这种过渡过程是允许的，但由于过渡过程时间太长，一般认为很不理想。综上所述，曲线（a）及（b）是不稳定的过渡过程，而曲线（c）及（d）是稳定的过渡过程。在多数情况下，都希望得到象曲线（c）那样的衰减振荡。

三、品质指标

图1-7是衰减振荡过程的示意图，其中（a）是阶跃干扰作用下的过程，（b）是阶跃给定作用下的过程。用过渡过程衡量系统质量时，常用下面几个指标：

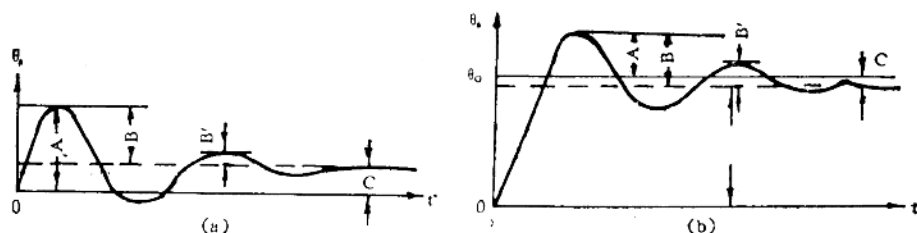


图1-7 过渡过程质量指标示意图

（a）阶跃干扰作用下的过渡过程；

（b）阶跃给定作用下的过渡过程（虚线表示新稳定值）

（一）衰减比

衰减比是表示衰减程度的指标，它是反映系统稳定程度即相对稳定性。如图1-7(a)

所示，它是前后两个波峰值之比，即 $n = \frac{B}{B'}$ 。当 $n \leq 1$ 时系统不稳定，当 $n > 1$ 时系

统稳定。当 n 只比 1 稍大一点时，过渡过程衰减很慢，与等幅振荡过程接近，由于振荡过于频繁不够稳定，一般不采用。如果 n 很大则又接近非周期的单调过程，通常也是不希望的。一般 n 以 4~10 之间为宜，因为衰减比在这之间时，过渡过程开始阶段的变化速度比较快（图 1-7 曲线的 n 接近于 4），被调参数在受到干扰作用后调节作用比较快地克服干扰的影响，使被调量的偏差不会很大，而且振荡数次后就会很快稳定下来。

（二）静差

静差又称余差，是指过渡过程终了时的残余偏差，也就是被调参数的稳定值与给定值之差，在图1-7中以 C 表示，其值可为正也可为负，它是一个表明准确性的重要指标。在生产中被调参数的静差要求限制在给定值附近的一个范围内。

（三）最大偏差和它的持续时间。

被控量偏离给定值的最大值称是最大偏差，又称动态偏差。对于衰减振荡过渡响应，最大偏差是第一个波的峰值，在图1-7中用 A 表示。动态偏差所在的半周时间（分）为最大偏差持续时间。对于定值调节系统常用最大偏差 A 来反映被控量的偏离程度。

（四）调节时间

从干扰（或给定值）发生变化起至被调参数又建立新的平衡为止，这一段时间叫调节时间。一般规定响应曲线进入终值的 $\pm 2\%$ （或 $\pm 5\%$ ）范围而不再越出时所需的时

间。对于从 $t = 0$ 开始的阶跃输入来说，经过这段时间，调节过程已基本完成，它反映了系统的快速性。

(五) 振荡周期

过渡过程从第一个波峰到第二个波峰之间的时间叫振荡周期，它反映了系统的快速性。

上述五项品质指标中，只有静差一项是静态指标，其余四项均属于动态特性范围，它们之间是相互联系相互制约的。这些品质指标在不同的系统中有不同要求，应视具体情况选定。例如，对于室温波动范围要求较严格的空调系统（允许波动范围在 $\pm 0.1 \sim 0.2^\circ\text{C}$ 的系统），采用以上提出的分项指标。而对于一般要求的空调则仅用室内温湿度允许波动范围，通称空调精度来表示。它的含义是空调区域内，在要求空调的工件旁所设一个或数个测温（或相对湿度）点上水银温度（或相对湿度计），在要求的持续时间内，所示的空气温度（或相对湿度）偏离室内温（湿）度基数（给定值）的最大偏差值。显然，对一般要求的空调系统在测定工作上就简化了。

第二章 构成环节的特性

环节特性就是指环节的输出和输入的关系。实际系统的构成环节有热工式、电气式、气动式等多种物理环节，其输入和输出量的性质也各不相同。在自动控制系统中统称输入、输出量为信号。

实际控制系统中所出现的信号，当通过环节传递时其大小和状态都要发生变化，但其输出与输入有一定的函数关系。不同性质的物理环节，尽管他们输入、输出信号的性质不同，但当它们受到同一形式的输入信号（如阶跃信号）时，它们的输出信号也可以用几种共同的输出形式来表示。因此，

在控制理论中并不探讨环节的內部情况，而是把环节用一个方框来表示，这种表示方法称为“暗箱”表示，并在方框中记入描述环节的输出和输入关系的特性公式——传递函数，例如图 2-1 所示为积分环节的框图。



图2-1 环节框图

第一节 环节信号的传递和特性

描写环节特性分静特性和动特性两种。

一、静特性

静特性是表示环节在稳态时，输出信号增量与输入信号增量之比。它与输出信号变化过程无关，即与时间的变化无关，而只与过程的始态与终态的数值有关，故代表环节在信号传递过程中的静态特性，用 K_i 表示， $i = 1, 2, 3, \dots$ ，又称放大系数。

$$K_i = \frac{\text{输出增量}}{\text{输入增量}}$$

二、动态特性（过渡响应特性）

与静特性相对应的特性是动特性。动特性是控制理论的重要特性，求动特性时与系统过渡响应相同也常用阶跃信号。与阶跃信号相对应的响应称为过渡响应。

当不连续的突然加入的阶跃信号作用在环节上时，其输出会受到环节特性的影响，出现一段时间的过渡现象，然后再逐步过渡到稳定状态。研究过渡现象一般应用微分方程。例如，电工学中 RC 电路的阶跃响应如图 2-2 所示。一个直流电压源突然与电路接通，就相当于对电路输入一个阶

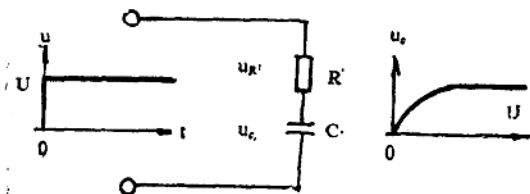


图2-2 RC 电路的阶跃响应

跃电压信号, 因此电路就会产生阶跃响应。

假设在未加入输入信号之前电容器上没有电荷, 即端电压为零。当输入阶跃电压信号 U 时, 电容器被充电, 在电路中就有电流 i 通过。

根据克希荷夫电压定律可以列出如下的方程式:

$$Ri + u_c = U$$

因为

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du_c}{dt}$$

代入上式, 便可得到

$$RC \frac{du_c}{dt} + u_c = U \quad (2-1)$$

这是一个一阶线性非齐次常微分方程。我们知道, 要想求出它的通解, 只要求出与它对应的齐次方程的通解和它本身的一个特解, 再取两者之和就可以了。

与方程式 (2-1) 对应的齐次方程为

$$RC \frac{du_c}{dt} + u_c = 0$$

其特征方程为

$$RCv + 1 = 0$$

特征方程式的根 $v = -\frac{1}{RC}$

∴ 方程式的通解, $u_c = Ce^{-\frac{t}{RC}}$

式中 C 是待定积分常数, 应由初始条件确定。

方程式 (2-1) 右边是常数, 在稳定时 $\frac{du_c}{dt} = 0$, 故 $u_c = U$ 是它的特解。

于是, 方程式 (2-1) 的通解为

$$u_c = U + Ce^{-\frac{t}{RC}}$$

已知初始条件是: 当 $t = 0$ 时, $u_c = 0$ 。将其代入上式便可求出 $C = -U$ 。这样, RC 电路的阶跃响应则为

$$u_c = U - Ue^{-\frac{t}{RC}} = U(1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

令 $T = RC$ 则为

$$u_c = U(1 - e^{-\frac{t}{T}}) \quad (2-2)$$

T 称为电路的时间常数。式 (2-2) 第一项 U 是强迫响应, 第二项 $-Ue^{-\frac{t}{T}}$ 是自然响应, 后者随时间而逐渐地消失。由此可知, 在电路充电的过程(或放电过程)中, 电容两端的电压都不可能发生突变, 而且电路的时间常数 T 愈大, 过渡响应的时间愈长, 反