劳动和社会保障部职业技能鉴定推荐教材
21 世纪高等职业教育规划教材
双证系列

制冷与空调自动控制

主　编　邹新生
副主编　任　峰
主　审　匡奕珍

参　编　王子彪　王　兴
赵　斌　邱庆龄

上海交通大学出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

内 容 提 要

本书共分九章，分别介绍自动控制的基本知识，制冷与空调控制系统中常用的传感器和变送器、制冷空调系统工艺参数的检测和调节仪表、制冷与空调系统中常用的执行器、冷库制冷系统的自动控制、中央空调系统的自动控制、制冷空调系统的微型计算机控制、制冷与空调设备控制电路分析、制冷与空调控制系统的安装、调试和运行管理。

为方便读者学习，书中配有适量图表供参考和使用，并在每章之后配有思考与习题。

本书可作为高等职业院校制冷与空调专业教材，也可作为制冷与空调专业的本科生、工程技术人员和高级技工的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

制冷与空调自动控制/邹新生主编. —上海:上海交通大学出版社,2008

(21世纪高等职业教育规划教材双证系列)

ISBN978-7-313-05135-6

Ⅰ. 制... Ⅱ. 邹... Ⅲ. ①制冷装置—自动控制—高等学校:技术学校—教材 ②空气调节设备—自动控制—高等学校:技术学校—教材 Ⅳ. TB657

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第016928号

制冷与空调自动控制

邹新生 主编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路877号 邮政编码200030)

电话:64071208 出版人:韩建民

昆山市亭林印刷有限责任公司 印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:18 字数:444千字

2008年3月第1版 2008年3月第1次印刷

印数:1～3 050

ISBN978-7-313-05135-6/TB·657 定价:30.00元

版权所有 侵权必究

21 世纪高等职业教育规划教材

编审委员会

主任名单

（以姓氏笔画为序）

编审委员会顾问

叶春生　詹平华

编审委员会名誉主任

李　进　李宗尧

编审委员会主任

闵光泰　潘立本

编审委员会常务副主任

东鲁红

编审委员会副主任

孔宪思　王俊堂　王继东　白玉江

冯拾松　匡奕珍　朱懿心　吴惠荣

李　光　李坚利　陈　礼　赵祥大

洪申我　饶文涛　秦士嘉　黄　斌

董　刚　薛志信

前　言

2004年，教育部对高等职业教育进行改革，提出了“以市场需求为目标，以服务为宗旨，以就业为导向，走产学研结合的发展道路”的指导思想。根据教育部的最新精神，高职教育将以“就业导向、产学结合、改革学制、推行双证、订单培养、打造银领”为工作方针，加快培养社会紧缺的制造业技能型、应用型人才。专家指出，在高等职业教育中实行“双证制度”，将职业资格证书（或技术等级、待业培训证书）制度推向高职院校，用证书推动培养模式和教育学内容的改革，既是国外职业教育的历史经验，也是我国发展职业教育的必由之路。

从2004年开始，21世纪高职教材编委会组织了全国各地50多所高职院校的教师对“高职‘双证课程、加强实训’专业课程体系与教材改革方案”进行研究和论证，制定了30个专业“双证课程”的教材编写计划，并从2007年开始由上海交通大学出版社陆续出版。《制冷与空调自动控制》是高职院校制冷与空调技术专业的双证课程之一，编写过程中结合了我国制冷与空调行业对专业知识的需求，并在内容上融入国家职业资格标准，具有浅理论、重实用，补充新技术、新工艺和新设备的特点，体现了高职教育“以就业为导向”的特色。

本书由多所院校的教师合作完成，可以作为高职院校制冷与空调技术专业的教材，也可作为工程技术人员和高级技工、技师的专业参考书。为了方便读者的学习，本书中配有较多的图表供参考和使用，每章之后有结合内容重点的思考题和习题。

本教材由武汉商业服务学院邹新生任主编，苏州经贸职业技术学院任峰任副主编，参加编写的人员有邹新生（第2章、第3章、第5章）、任峰（第7章、第8章）、王子彪（第4章）、王兴（第6章）、赵斌（第1章）、邱庆龄（第9章）。

山东商业职业技术学院匡奕珍教授审阅了全书，提出了许多宝贵的修改意见，特此致谢。

由于编写人员水平有限，书中有不妥之处请广大读者指正。

编　者

2007年9月

目　　录

第 1 章　自动控制基本知识 …… 1

1.1　**自动控制系统概述** …… 1
1.2　**自动控制系统的基本要求** …… 4
1.3　**调节对象的特性** …… 7
1.4　**调节器的分类和调节规律** …… 12

第 2 章　常用传感器和变送器 …… 22

2.1　**温度传感器和变送器** …… 22
2.2　**湿度传感器和变送器** …… 28
2.3　**压力传感器和变送器** …… 34
2.4　**流量传感器和变送器** …… 37

第 3 章　工艺参数检测和调节仪表 …… 39

3.1　**自动化仪表的基本知识** …… 39
3.2　**温度的检测与调节仪表** …… 41
3.3　**压力的检测与调节仪表** …… 48
3.4　**湿度的检测与调节仪表** …… 55
3.5　**液位的检测与调节仪表** …… 58
3.5　**流量的检测与调节仪表** …… 63
3.7　**风速的检测仪表** …… 66
3.8　**其他的调节器和控制器** …… 68

第 4 章　制冷与空调常用的执行器 …… 74

4.1　**导阀** …… 74
4.2　**主阀** …… 77
4.3　**主阀与导阀的组合** …… 80
4.4　**电磁阀** …… 83
4.5　**膨胀阀** …… 85
4.6　**电动与气动调节阀** …… 94
4.7　**其他自控阀** …… 97

第 5 章　冷库制冷系统的自动控制 …… 104

5.1　**制冷压缩机的自动控制** …… 104

需要全本请访问 www.ertongbook.com

5.2 机房的自动控制 …… 114
5.3 库房的自动控制 …… 122
5.4 冷库制冷系统自动控制实例 …… 131

第 6 章 中央空调系统的自动控制…… 139

6.1 空调系统中的环节控制 …… 139
6.2 风机盘管自动控制系统 …… 142
6.3 新风机组自动控制系统 …… 144
6.4 空调机组自动控制系统 …… 145
6.5 焓值比较的新风量自动控制系统 …… 147
6.6 空调串级控制系统 …… 148
6.7 空调选择与分程控制系统 …… 153
6.8 变风量空调系统的自动控制 …… 154
6.9 空调系统中的其他控制 …… 160
6.10 空调制冷的自动控制 …… 164
6.11 中央空调系统自动控制实例 …… 175

第 7 章 制冷空调系统的微型计算机控制…… 179

7.1 制冷系统的微型计算机控制 …… 179
7.2 空调系统的微型计算机控制 …… 192

第 8 章 制冷与空调设备控制电路分析…… 212

8.1 制冷设备控制电路分析 …… 212
8.2 空调设备的控制电路分析 …… 222

第 9 章 制冷与空调控制系统的安装、调试和运行管理 …… 248

9.1 自控部件的安装和调试 …… 248
9.2 自动控制系统的调试 …… 263
9.3 自动控制系统的运行管理和常见故障 …… 269

第 1 章　自动控制基本知识

随着现代科学技术的迅猛发展，各学科相互渗透，自动控制技术在各个方面得到了广泛的应用。特别是近年来，计算机、微电子技术的日新月异，自动控制与计算机技术已经普遍应用在各个领域，自动化技术也出现了新的飞跃。制冷与空调系统的自动控制，其基础是经典自动控制理论。本章简要介绍了有关自动控制的一般概念、自动控制系统的组成和分类、对控制系统的基本要求；分析了制冷与空调自动控制系统中调节对象的特性和常用调节器的调节规律。

1.1　自动控制系统概述

1.1.1　自动控制系统的组成及方框图

自动控制是指在无人直接参与的情况下，利用控制装置操纵受控对象，使受控对象的被控量等于给定值或按照预定规律进行变化。

1. 人工控制与自动控制

自动控制是在人工控制的基础上产生和发展起来的。下面以室温控制系统为例，说明其调节过程。如果用人工控制保持室温恒定，需要先观察室内温度，再和给定值进行比较，计算出偏差，手工开、关蒸汽调节阀。这一过程不仅十分繁琐，而且很难使房间内温度稳定。

若用自动控制装置代替人工操作，完成上述控制过程，则称为自动控制。图 1-1 为一室温自动控制系统。空气加热器置于送风管道内，它所加入的热量必须时时与通过房间围护结构的散热量相平衡，才能保持室温恒定。为了达到这个目的，可以通过室温自动控制系统来完成。这个系统是由房间内的温度传感器、温度控制器、供水管上安装的电动二通阀组成。

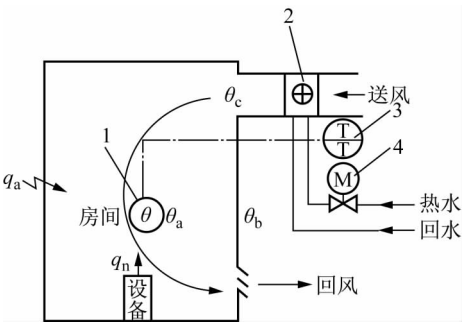


图 1-1 室温自动控制系统

1. 温度传感器　2. 热水加热器
3. 温度控制器　4. 电动二通阀
q_a—外侵热量　θ_a—室内温度
θ_b—室外温度　θ_c—送风温度

系统通过温度传感器测出室内温度变化，并将温度变化转变成相应的电信号输送给温度控制器，温度控制器将接收到的信号与给定值进行比较得出偏差，并根据偏差的大小和方向按照预定的调节规律转换成控制信号，去控制电动二通阀，决定其开启或关闭，控制热水流量，对室温进行调节。

通过上面的分析可知，室温自动控制系统用传感器代替了人工控制中眼睛的观察；用调节器代替了人工控制中人的大脑所做的分析和判断；用电动二通阀代替了人工控制中人对手动阀门的调节。

2. 自动控制系统的组成与方框图

从上面例子可以看出，自动控制系统是由控制设备和受控对象组成。自动控制设备一般

由传感器、控制器和执行器三部分组成。由于实际的控制系统包括的具体环节种类繁多，为了简单、清楚地表示自动控制系统各组成环节间信号联系及相互关系，通常用方框图表示系统的组成。图 1-2 为图 1-1 的室温自动控制系统框图。

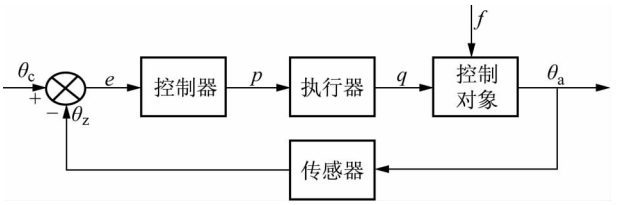


图 1-2 室温自动控制系统框图

控制系统中的每一个组成环节用一个方框来表示，每个方框都有一个输入信号，一个输出信号；方框间的连线和箭头表示环节间的信号联系与信号传递方向，信号可以分叉与交汇。在自动控制系统中，除给定值变化外，凡是引起被控参数发生变化而偏离给定值的外因均称为干扰作用，如上例中的室外空气温度。干扰作用通过干扰通道影响被控参数，而控制作用通过控制通道影响被控参数。

1.1.2 自动控制系统中常用的术语

受控对象——又称调节对象，是指控制系统要控制的设备。如被调节的恒温室。

传感器——又称敏感元件和一次仪表，是将被测量按一定规律转换成便于处理和传输的另一种物理量的元件。

调节器——又称控制器，将输入为偏差，输出为调节信号的装置称作调节器。如温度控制器。

执行器——将输入为调节信号，输出为调节作用的装置称作执行器。如电动二通阀。

被控量——又称被控参数，是受控对象中要求实现自动控制的物理量。如空调房间内的温度、湿度等。

给定量——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，与输出成正比例或某种函数关系，但其量纲与设定值相同的信号。

偏差——给定值与反馈之差。在自动控制系统中规定偏差为给定值减去主反馈量。

干扰——又称扰动。在调节系统中，凡是使被控参数偏离给定值或影响其按照预期规律变化的各种因素统称干扰。如空调房间热负荷的变化，室外空气温度的变化等。

调节量——又称操作量。它是为了使被控量在受到干扰后，恢复到新的给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能量。

1.1.3 自动控制系统的分类

自动控制系统的分类方法较多，常见的有以下几种。

1. 按给定值变化的规律分类

(1) 定值控制系统。被控参数的给定值在控制过程中恒定不变的系统，它在制冷空调中应用最为普遍。例如，冷藏间的温度调节，空调系统中的恒温、恒湿控制都属于定值调节。

（2）程序控制系统。被控参数的给定值按照某一事先确定好的规律变化的系统，即给定值为时间 t 的函数，如冷风机的冲霜等。

（3）随动控制系统。又称为跟踪控制系统。被控参数的给定值事先不能确定，取决于本系统以外的某一进行着的过程，要求系统的输出量随着给定值变化。如近年来发展的中央空调负荷随动跟踪节能控制系统，可以随着负荷的不断变化而进行自动调整控制，能够获得很好的节电效果和可观的经济效益。

2. 按系统的结构分类

（1）开环控制系统。最简单的一种控制系统，如图 1-3 所示。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。

开环控制系统的结构简单，控制也及时。但开环控制系统的控制精度低，抗干扰能力差。

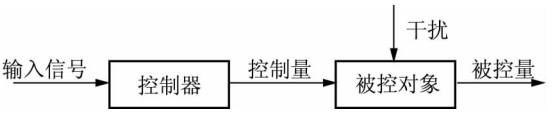


图 1-3　开环控制系统

（2）闭环控制系统。在控制系统中，如果把系统的输出信号反馈到输入端，由输入信号和输出信号的偏差信号对系统进行控制，则这种控制系统称为闭环控制系统，也称反馈控制系统。

图 1-4 是一个闭环控制系统的方框图。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，因此又称反馈控制。反馈控制系统具有较强的抗干扰能力，且精度高，适用面广，是基本的控制系统。

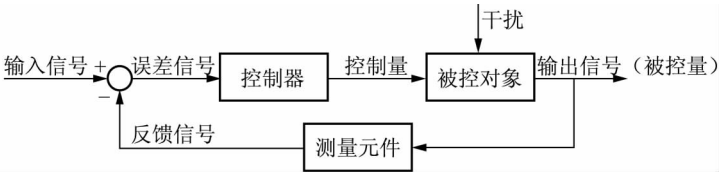


图 1-4　闭环控制系统

（3）复合控制系统。反馈控制是在外部（给定及扰动）作用下，系统的被控量发生变化后才作出相应调节和控制的，在受控对象具有较大时滞的情况下，其控制作用难以及时影响被控量，进而形成快速有效的反馈控制。前馈补偿控制，则在测量出外部作用的基础上，形成与外部作用相反的控制量，该控制量与相应的外部作用共同作用的结果，被控量基本不受影响，即在偏差产生前就进行了防止偏差产生的控制。在这种控制方式中，由于被控量对控制过程不产生任何影响，故它也属于开环控制。前馈补偿控制与反馈控制相结合，就构成了复合控制。它有两种基本形式：按输入前馈补偿的复合控制和按扰动前馈补偿的复合控制，见图 1-5。

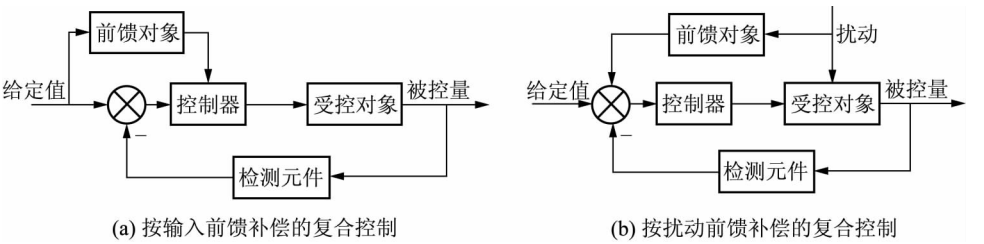


图 1-5　复合控制

1.1.4 干扰分析

影响自动控制系统的干扰很多，如外界环境温度的变化，热负荷的变化，室内照明及电气设备的开关等。干扰作用的大小一般随时间的变化而变化，没有固定的形式和规律。为了便于分析，常以阶跃干扰作为典型的干扰作用来探讨。如图 1-6 所示，阶跃干扰在 t_0 时刻作用于系统，干扰量不随时间而变化，也不再消失。当干扰作用 $f(t)=1$ 时，称为单位阶跃干扰，其时域方程为：

$$f(t)=\begin{cases}1 & t>t_0\\ 0 & t<t_0\end{cases} \qquad (1\text{-}1)$$

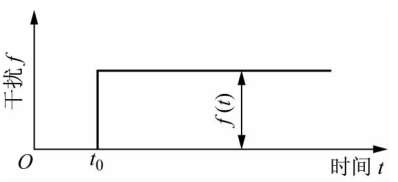


图 1-6 典型干扰作用

阶跃干扰对于控制系统是最不利的干扰形式，也是最便于计算和易于实现的干扰形式。它是自动控制工程中常用的干扰作用形式，在分析系统特性时，常以阶跃干扰为输入进行分析。

1.2 自动控制系统的基本要求

1.2.1 控制系统的主要性能指标

一个理想的控制系统，在其控制过程中应始终使被控量等于给定值。但是，由于系统中储能元件的存在以及能源功率的限制，使得运动部件的加速度受到限制，其速度和位置难以瞬时变化。所以当给定值变化时，被控量不可能立即等于给定值，而需要经过一个过渡过程，即动态过程。

自动控制系统的过渡过程也就是系统的动态特性，评价系统优劣的性能指标是从动态过程中定义出来的，对系统性能的基本要求有三个方面。

1. 稳定性

稳定性是指系统受到外作用后，其动态过程的振荡倾向和系统恢复平衡的能力。如果系统受到外作用后，经过一段时间，其被控量可以达到某一稳定状态，则称系统是稳定的，见图 1-7；否则称为不稳定，见图 1-8。图中 $x_o(t)$ 表示系统的输出信号，$x_i(t)$ 表示系统的输入信号，$d(t)$ 表示系统受到的干扰信号。

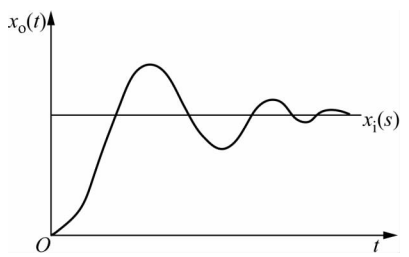


图 1-7 稳定系统的动态过程

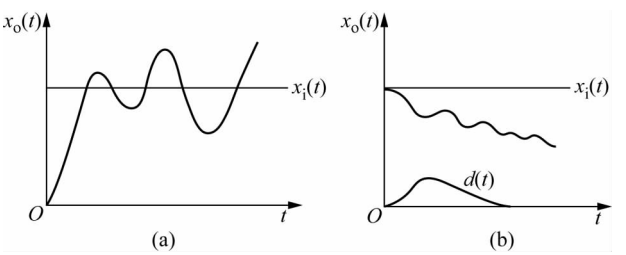


图 1-8 不稳定系统的动态过程

对于任何一个控制系统，要能正常工作，则必须是稳定的。因此稳定性是控制系统最重要的性能，也是对控制系统最基本的要求。

2. 瞬态特性

对于一个稳定系统，瞬态特性是指系统的被控量在输入信号或扰动作用下，由原来的平衡

状态变到新的平衡状态的过程。瞬态特性主要表征系统响应的快速性和平稳性。

3. 稳态特性

对于一个稳定系统，在输入信号的作用下，当 $t\to\infty$ 时系统的输出状态。稳态特性主要表征系统的准确性，反映了系统的稳态精度。准确性由输入给定值与输出响应的终值之间的差值(稳态误差)来表征。若系统的最终误差为零，称为无差系统，反之称为有差系统。

上述三方面的性能往往是相互制约的。在设计和调试过程中，若过分强调系统的稳定性，则可能引起系统响应迟缓和控制精度较低的后果；反之，若过分强调系统的快速性，则又会使系统加剧振荡，甚至引起不稳定。因此必须根据工作任务的不同，分析和设计自动控制系统，使其对三方面的性能有所侧重，并兼顾其他，以便更好地满足控制要求。

1.2.2　反馈控制系统的过渡响应

1. 静态和动态

自动控制领域内，把被控参数不随时间而变化的平衡状态称为系统的静态，把被控参数随时间而变化的不平衡状态称为系统的动态。

处于静态的各参数(或信号)，其变化率为零，即参数保持常数不变。如室温控制系统中，当进入室内的热流量与流出室内的热流量相等时，室温处于稳定的不变状态，此时称室温系统达到平衡，即处于静态。

如果一个自动控制系统输入信号发生变化(有新的给定量或受到干扰的作用)，系统的平衡态就被破坏。由于系统的输出发生了变化，自动化装置开始产生动作，不断地施加控制作用去克服干扰的影响，使系统再次恢复平衡态。从旧平衡态的破坏到新平衡态的建立，整个过程中，自动控制系统各个环节和参数都处于变化过程中，这时系统所处状态被称为动态。

2. 控制系统的动态特性

对于一个控制系统，由于输入的变化，将引起输出变化，它们之间的关系称为系统的动态特性。对于系统中一个元件(或环节)，由于输入的变化，也将引起输出变化，它们之间的关系称为元件(或环节)的动态特性。

由于自动控制系统是由被控对象、传感器、调节器、执行器等组成，在进行系统分析和设计时，了解这些元件的工作原理和运动过程是非常重要的，但要更深入研究系统的动态特性，首要工作就是建立控制系统的数学模型。

描述系统在动态过程中各物理量之间相互关系的数学表达式，称为系统的数学模型。

建立数学模型的方法有分析法和实验法，一般情况采用分析法进行建立。分析法是对系统各部分的运动机理进行分析，根据它们所依据的物理规律和化学规律分别列写相应的运动方程。系统的数学模型有很多种，微分方程是描述自动控制系统动态特性的最基本模型。对微分方程进行拉普拉斯变换后可以得到传递函数、动态结构图等数学模型。

系统数学模型确定后，就可以对系统控制性能进行分析和计算。在经典控制理论中，常采用时域分析法、根轨迹法和频率特性法分析控制系统的性能。

由于上述过程需要许多相关理论和复杂的数学计算，并不在本书研究范畴，在此不再详细叙述。

3. 反馈控制系统的过渡过程

对于任何一个处于平衡状态的反馈控制系统，它的被控参数总是稳定不变的。但当系统

需要全本请访问 www.ertongbook.com

受到干扰作用后，被控参数就要偏离给定值而产生偏差，控制器等自动控制设备将根据偏差变化状况，施加控制作用以克服干扰的影响，使被控参数又回到给定值上，系统达到新的平衡状态。这种反馈控制系统在干扰和控制的共同作用下，从一个稳定状态变化到另一个稳定状态期间被控参数随时间的变化过程称为反馈控制系统的过渡过程。研究过渡过程的目的就是为了研究控制系统的质量，也就是它的稳定性、准确性和快速性。

定值控制系统受到阶跃干扰后，过渡过程基本形式有四种，如图 1-9 所示，其中(a)曲线是一衰减振荡过程，被控参数经过一段时间振荡后，能很快地趋向于新的平衡状态，是一种比较理想的过渡过程。(b)曲线是单调衰减过程，这种过程是稳定的、允许的，但由于反应迟钝、控制质量差，是一种很不理想的过渡过程。(c)曲线是等幅振荡过程，在连续控制系统中这是不稳定的过程，但在双位控制系统中只要被控参数幅值和波动频率在工艺允许的范围内，是可以采用的。(d)曲线是发散振荡过程，被控参数变化幅度越来越大。这是一种不稳定的过程，在控制系统中应当避免。

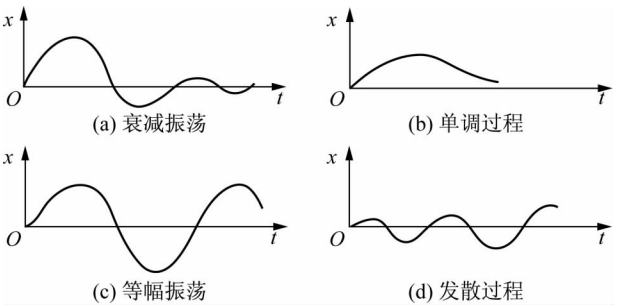


图 1-9　过渡过程的基本形式

4. 反馈控制系统过渡过程中的品质指标

评价过渡过程质量的好坏，可以从分析过渡过程的微分方程入手，也可以从分析过渡过程的曲线入手。控制系统常用的质量指标如下：

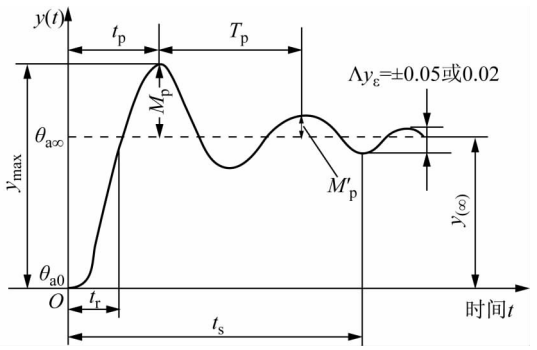


图 1-10　系统受到阶跃干扰后衰减振荡过程品质指标图

(1) 衰减比 n。衰减比是表示衰减程度的指标，如图 1-10 所示，其值为前后两个波峰值之比，即 $n=M_p/M'_p$。当 $n<1$ 时，系统为发散振荡，不稳定；当 $n=1$ 时，系统等幅振荡，也不稳定；当 $n>1$ 时，为衰减振荡，是稳定过程。n 太小，系统不容易稳定下来；n 太大，系统不灵敏，一般 $n=4\sim10$ 时系统较为理想。

(2) 最大超调量 M_p，又称最大动态偏差。被控参数在过渡过程中，出现第一个最大峰值超出新稳态值 $y(\infty)$ 的量，称为最大超调量 M_p。它反映了调节系统的动态误差和稳定性。M_p 越大，动态误差越大，稳定性越差；M_p 越小，动态误差越小，稳定性越好。但 M_p 过大或过小，都延长了控制系统过渡过程，因此，在设计控制系统时，必须对其作出限制性规定。

(3) 静态偏差 $y(\infty)$，又称稳态偏差、残余偏差。它表示控制系统受干扰作用后，达到新的平衡时，被调参数的新稳定值与给定值之差。$y(\infty)=0$，表示控制系统受干扰作用后，被控

量能回到原来的给定值，称为无差系统；若 $y(\infty)>0$，则为有差系统。

静态偏差是表征控制精度的一个重要指标，因此要根据需要和可能慎重取值。一般舒适性空调系统允许有一定的静态偏差。如某空调系统，冬季温度设计值为 23℃±2℃，则该系统的给定值为 23℃，要求静态偏差 $y(\infty)\leqslant 2$℃；对于制冷系统，对静态偏差要求一般较高，如某冷库温度设计为－15℃±1℃，即静态偏差 $y(\infty)\leqslant 1$℃。

(4) 动态偏差 y_{max}。动态偏差表示在调节过程中被调参数相当于给定值的最大偏差。稳定调节系统的动态偏差常出现在第一个波峰。其物理意义与最大超调量相同，仅是参考点不同而已。根据生产工艺要求，低温冷藏间的动态偏差 $y_{max}\leqslant 5$℃。

(5) 调节时间 t_s，又称过渡过程时间。是指控制系统受到干扰作用，被控量从开始波动过渡到新稳态值的±2%～5%范围时所需的时间。令这一范围为 Δy_ε。对于有差控制系统，$\Delta y_\varepsilon\leqslant 5\%y(\infty)$；对于无差控制系统，一般取 $\Delta y_\varepsilon\leqslant 2\%y(\infty)$或更小。

对于制冷与空调系统，由于被调参数(如温度)变化较慢，对 t_s 不作严格要求，主要指标是最大超调量 M_p 和静态偏差 $y(\infty)$。因此给自动控制系统的设计和调试带来方便。

1.3　调节对象的特性

自动控制系统由调节对象及自动控制设备组成。前者是控制系统中最基本的环节，一切控制设备都服务于它，并根据调节对象的特性来设计和调整控制系统；调节对象及自动控制设备特性的优劣，对自动控制系统质量有着重要的影响。实际上，调节对象的特性在一定程度上决定了调节过程和调节质量。自动控制设备只是根据调节对象特性将调节过程的品质指标加以改善。研究调节对象特性是设计好控制系统的基础。

调节对象特性是指其在输入作用下，其输出变量即被控量随时间变化的特性，包括静态特性和动态特性两部分。常用放大系数(传递系数)K、时间常数 T 和迟延时间 τ 来综合表示对象特性。对象的动态特性取决于对象的结构，即对象所组成的环节的性质、环节的数目以及连接方式等。下面分别讨论调节对象的一些基本性能参数。

1.3.1　对象的负荷

当自动调节过程处于稳定状态时，在单位时间内流入或流出对象的物料量或能量称为对象的负荷。例如在恒温室中，当被调参数(室内的空气温度)保持恒定时，单位时间内流入或流出恒温室的热量就是对象的负荷。

在空调房间内的空气状态经常受到室内、室外因素的影响，因此，为了保持室内空气温度的恒定，单位时间内流入和流出空调房间的热量也在不断地变化，但流入和流出的热量处于一种平衡状态。否则将不会维持室内温度的恒定。在不同时期中恒温室对象的负荷也是变化的。如冬季流出恒温室的热量多(即热负荷大)，在夏季流出恒温室的热量为负值(即由室外向室内传递热量)。对象的负荷变化将引起室内空气温度的变化(即被调参数的变化)，从而产生自动调节系统的调节过程。

如果对象的负荷变化速度急剧，那么要求自动调节装置具有较高的灵敏度和调节速度，使之能够在被控量对给定值(又称设定值)产生很小的偏差时就开始调节动作，并能迅速的产生调节作用，以便恢复对象中的平衡状态，同时使调节对象中的被调参数趋于调节系统中被调参

数的设定值，因而需要在自动调节中使用要求较为严格的调节装置。如果对象的负荷变化速度比较缓慢，则对调节装置的要求可以根据情况适当放宽。由此可见，对象中的负荷变化情况对于自动调节系统的工作具有很重要的意义。

1.3.2 调节对象的容量及容量系数

任何一个调节对象，都能贮存一定的能量或物料。对象贮存能量或物料的能力称为对象的容量。调节对象之所以具有贮存能量或物料的能力，是由于其内部存在着某种阻力，阻碍能量或物料从调节对象中流出。图 1-11 所示的液位调节对象中，输出管路上的阀门是一个阻力元件，阻碍液体从调节对象中流出。这个液位调节对象的容量为容器所贮存的液体量。其容积

$$V = FH \tag{1-2}$$

式中：F 为容器截面积；H 为液位高度。

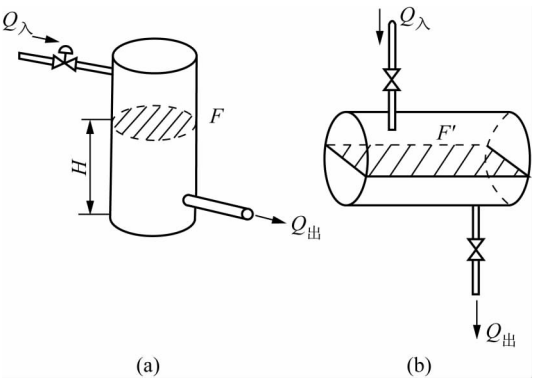


图 1-11 液位调节对象
(a) 立式 (b) 卧式

在图 1-11 所示的对象中，如果容器贮存液体量不变，即容量不变，现将容器竖直安装和横卧安装，并分别加入同样大小的干扰后，液位（被调参数）的变化显然是不同的。可见，容量这个概念并不能确切地反映调节对象受干扰作用后被调参数的变化情况。直接影响被调参数变化的是容量系数。

图 1-11 所示的液位调节对象，容量系数

$$C = \frac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}H} \tag{1-3}$$

式中：$\mathrm{d}V$ 为容量的改变量；$\mathrm{d}H$ 为被控量的改变量。

由式 1-3 可知，如果对象的容量改变量 $\mathrm{d}V$ 一定，容量系数 C 越大，被控量的变化 $\mathrm{d}H$ 越小。可见，容量系数是一个表征被控对象储蓄（能）能力或惯性的量。容量系数越大，储蓄（能）能力或惯性越大。调节对象在受干扰后，其被控量的波动越小，这对调节是有利的。例如同样 10 个人，若走进一小房间，则房间温升大；若走进一大房间，则房间温升小。但一旦被控量偏离了给定值，容量系数大的控制系统也不容易调回到给定值。

在不同的控制系统中，容量系数可以是常数（如图 1-11(a)），也可以是变数（如图 1-11(b)）。容量系数 C 只与调节过程初始和终了两个状态有关，与调节过程本身无关。因此，容量系数是一个表征调节对象静态特性的量。

上面讨论的都是只有一个容量的对象，称为单容对象。实际生产中调节对象往往有两个或多个容量，它们之间通过某些阻力（水阻力、热阻等）隔开。这些容量可以互相串联，也可以互相并联。图 1-12 所示的双容对象，由两个容量串联而成，阀 3 构成两容量之间的阻力。若无此阀，则两容器液面高度将趋于相等，即 $h_1 = h_2$，调节对象就只有一个容量了。

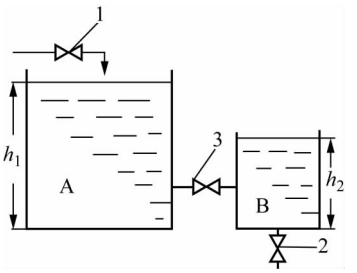


图 1-12 双容调节对象
1. 阀 1 2. 阀 2 3. 阀 3

在多容量对象中，当平衡遭到破坏后，被调参数在每个容量中将按不同的规律发生变化。根据调节对象的结构和对象中进行的过程，可分为流入侧容量和流出侧容量。这两个容量之间的比例对被调参数变化有严重影响。当其他条件相同时，增大流入侧容量系数将给调节工作带来困难，而增大流出侧容量系数则有利于调节。

1.3.3　调节对象的自平衡和传递系数

当调节系统受到干扰，平衡遭破坏时，调节对象能够不借助调节装置的作用而只依靠本身的变化，使系统重新达到平衡，被调参数趋向一个新的稳定值。调节对象的这种性能叫调节对象的自平衡。

很多调节对象都具有自平衡能力。比如冷藏间这种调节对象，当库温稳定在 t_1 时，室外流入冷藏间的热量与制冷剂从冷藏间带走的热量相等，系统处于平衡状态。如果外界温度突然升高，传入冷藏间的热量就突然增加，冷藏间的温度也逐渐升高。由于蒸发器内外温差的增大，制冷剂从冷间带走的热量也增加，同时，传入冷藏间的热量将因室内外温差的减小而减少。当冷藏间温度升到某一定值 t_2 后，制冷剂带走的热量等于外界传入的热量，系统重新建立平衡。当然，重新平衡的温度要比原来的温度高一些。可以看出，调节对象的自平衡是以调节参数的稳态值发生变化为代价的。

调节对象自平衡能力的大小常用自平衡系数 ρ 来表示

$$\rho = \frac{\Delta Q}{t_2 - t_1} \tag{1-4}$$

式中：ρ 为自平衡系数；t_1 为干扰前的库温；t_2 为干扰后的库温；ΔQ 为热负荷变化幅度。

自平衡系数的物理意义是被调参数每变化 1 个测量单位所能克服的干扰量。

调节对象具有自平衡能力有利于改善调节质量。在相同的扰动下，ρ 值越大的调节对象，经自平衡后新稳定值的偏差就越小。因此，对一些要求不高，调节对象自平衡系数又很大的系统，可以设置简单的调节器。

自平衡系数的倒数称为调节对象的传递系数，也叫放大系数。

$$K = \frac{1}{\rho} \tag{1-5}$$

式中：K 为传递系数，其数值等于被调参数新旧稳定值之差与干扰幅度之比。

传递系数 K 表征调节对象的静态特性，与被调参数的变化过程无关，而只与过程的始态和终态数值有关。

一个调节对象的传递系数 K 值越大，表示输入信号（干扰）对输出信号（被调参数）的稳态值影响越大；K 值小，影响也小。当输入量与输出量是线性关系时，该对象为线性对象，此时 K 为常数；若输入量与输出量为非线性关系时，则称为非线性对象，此时 K 为变数。传递系数的输入、输出关系见图 1-13。

传递系数大的对象，自平衡能力较小，调节起来比较灵活，但稳定性差；传递系数小的对象，自平衡能力大，调节不太灵活，但稳定性好。

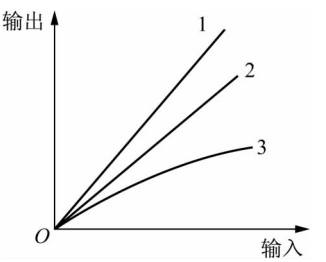


图 1-13　对象静态特性

1. K 值大　2. K 值小　3. 非线性

1.3.4 调节对象的反应曲线与时间常数

调节对象在阶跃干扰作用下，被控量随时间的变化的曲线称为调节对象的反应曲线或飞升曲线。它反映了调节对象的动态特性，也称动态特性曲线。图 1-14 是冷藏间在受到阶跃干扰作用后，温度随时间的变化曲线。

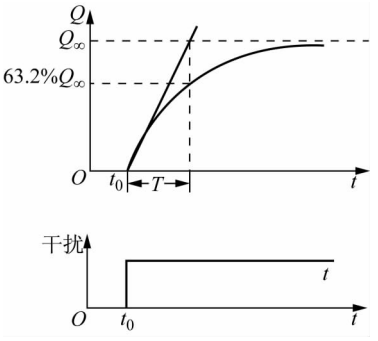


图 1-14 反应曲线与时间常数

由温度调节的动态特性曲线可以看出，被调参数的变化速度在初始点最大，以后逐渐下降，最后为零。如果在动态特性曲线的初始点 t_0 作曲线的切线，使其与新稳态值相交，则从 t_0 点到该交点所对应的时间即为调节对象的时间常数 T。它表示假若被调参数保持以初始的变化速度达到新的稳定值时所需的时间。

温度调节的动态特性曲线是一单调上升的指数曲线。温度是时间的非周期函数。即

$$Q_t = Q_\infty (1 - e^{-\frac{t}{T}}) \tag{1-6}$$

式中：Q 为被调参数；t 为时间；e 为常数，约为 2.718；T 为时间常数。

由式 1-6 可知，当

$t = 0$ 时，$Q = 0$；　$t = T$ 时，$Q = 63.2\%Q_\infty$；

$t = 3T$ 时，$Q = 95\%Q_\infty$；　$t \to \infty$，$Q = Q_\infty$。

可见，时间常数 T 在数值上等于对象受到阶跃干扰后，被调参数到达新稳定 Q_∞ 值的 63.2%所需的时间。在理论上，被调参数到达新稳定值需要无限长的时间，但当 $t=3T$ 时，被调参数已达到新稳定值 Q_∞ 的 95%。所以，工程上认为，经 $3T \sim 5T$ 的时间以后，系统已经进入稳定状态了。

时间常数 T 是表明扰动发生后，被调参数完成其变化过程所需时间的一个重要参数。越大，被调参数变化越缓慢，完成变化过程所需时间越长，即表明对象惯性越大。反之，T 越小，表明对象惯性越小。

在相同的干扰作用下，对象的时间常数越大，惯性越大，系统越稳定，但调节时间也长；时间常数越小，惯性越小，调节时间越短，但系统的稳定性差。

1.3.5 调节对象的时间延迟

在生产实际中，不少调节对象在受到干扰作用或调节作用后，被控参数并不立即随着变化，而要延迟一段时间才发生变化，这段时间间隔在控制技术中称为调节对象的时间延迟（也叫滞后时间），用 τ 来表示。时间延迟是调节对象的一个很重要的参数，表征其动态特性好坏。

调节对象的时间延迟有传递延迟和容量延迟两部分。

1. 传递延迟 τ_0（也叫纯延迟）

传递延迟产生的原因是，从调节机构到调节对象、从调节对象到敏感元件之间总会有一段距离，物料或能量的传递需要一定时间。例如，冷藏间的温度控制，电磁阀到蒸发器之间的距离为 l_1，制冷剂在管道中流速为 v_1，制冷剂从电磁间流到蒸发器所需的时间为 τ_{01}，敏感元件到蒸发器的距离为 l_2，库内空气的流速为 v_2，则需要经过时间 τ_{02} 感温元件才能感受到库温的变

化。由于调节系统的布置不同，传递延迟还可能有 τ_{03}，τ_{04}，…。总的传递延迟为：$\tau_0=\tau_{01}+\tau_{02}+\tau_{03}+\tau_{04}+\cdots$。

2. 容量延迟 τ_c

实际上制冷空调调节对象很多是多容对象。例如，空调中蒸汽加热盘管，欲要蒸汽加热空气，必须先使盘管温度升高，再去加热空气，这里存在蒸汽、金属、空气各自的热容量以及它们之间存在的热阻；制冷系统中，制冷剂要冷却空气，亦必须先使金属管壁冷却，再冷却空气，这里也必须克服金属壁热阻后，才能使室内温度变化，这是因为蒸汽或制冷剂与空气之间存在中间容量——金属管壁。

我们仍以图 1-12 所示的双容对象为例来讨论其过渡过程。两液位容器通过阀门 3(阻力元件)相连。当阀门 1 突然开大时，容器 A、B 的液面都要发生变化，经过一段时间后，两容器的液位重新稳定下来，其动态特性如图 1-15 所示。容器 A 的过渡过程就是单容对象的反应曲线，如图 1-15(b)所示。容器 B 的反应曲线如图 1-15 中(c)所示，在开始一段被调参数变化缓慢，以后才逐渐增大，这是因为调节(或干扰)作用要先经过第一容量，待其参数上升后才会影响第二容量。这种由于存在中间容量而产生的延迟叫容量延迟，也称过渡滞后。

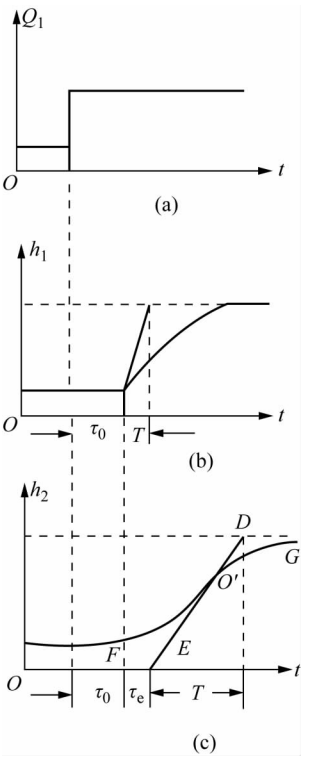


图 1-15　双容对象的过渡过程

在图 1-15(c)的反应曲线上，找出拐点 O'，过 O' 点作曲线的切线与 t 轴相交于 E 点，与新稳定值相交于 D 点，则 E 点与被调参数开始变化时的起点 F 之间的时间间隔就是容量延迟 τ_c。直线 $\overline{ED}$ 在时间轴上的投影即为双容对象的时间常数 T。这样，实际上就把双容对象反应曲线，用一段延迟 $\tau(\tau=\tau_0+\tau_c)$ 加上单容对象反应曲线 $EO'G$ 来代替，把多容对象看成为延迟环节与单容对象的串联。

容积延迟是由于多容量之间的阻力造成的。增加中间容量，τ_c 容量延迟时间，也会增加。改变系统运行条件时，如蒸发器管外结霜和管内油垢层等，都会使中间容量增大，传热系数减小，热阻增大，容量延迟时间 τ_c 也增大。

传递延迟与容量延迟尽管在本质上不同，但在实际对象中往往两者同时存在，很难严格区分开来，通常把两种延迟合起来称为总时间延迟，即 $\tau=\tau_0+\tau_c$。

时间延迟 τ 是表示对象受干扰作用后，被调参数发生变化过程中的参数，也属于动态参数。在延迟时间内，调节作用将无法影响被调参数，被调参数与给定值之间的偏差将继续增大，因而使自动调节系统的动态偏差增大，调节时间延长，降低了调节质量。

为了减小时间延迟，在安装设计调节系统时，要设法减小延迟。应选择惯性小且灵敏度高的敏感元件与调节器，并将敏感元件放在被调参数的变化有代表性的位置上；尽量缩短执行器与调节对象之间的距离；改进换热器等设备的结构，尽量减少中间容量和容量之间的阻力。

需要全本请访问 www.ertongbook.com