

制冷与空调装置 的自动控制

南京化工学校 孙见君 主编

ZHILIENG YU KONGTIAO ZHUANGZHI DE ZIDONG KONGZHI



化学工业出版社
教材出版中心

制冷与空调装置的自动控制

南京化工学校 孙见君 主编

化学工业出版社
教材出版中心
·北京·

(京)新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

制冷与空调装置的自动控制/孙见君主编. —北京:
化学工业出版社, 2000
ISBN 7-5025-2688-9

I. 制… II. 孙… III. ①制冷系统; 自动控制系统
②空气调节系统; 自动控制系统 IV. TB65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 37698 号

制冷与空调装置的自动控制

南京化工学校 孙见君 主编

责任编辑: 张建茹

责任校对: 马燕珠

封面设计: 田彦文

*

化学工业出版社 出版发行

教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市管庄永胜印刷厂印刷

三河市延凤装订厂装订

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 11¼ 插页 1 字数 272 千字

2000 年 10 月第 1 版 2000 年 10 月北京第 1 次印刷

印数: 1—3000

ISBN 7-5025-2688-9/G·706

定 价: 17.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

制冷与空调专业教材编写说明

随着社会的不断发展、人民生活水平的不断提高，制冷与空调设备的应用几乎遍及生产、生活的各个方面，社会对制冷空调设备的安装、维修、管理专业人员的需求量愈来愈大。近年来，全国已有不少化工中专先后开设和准备开设“制冷与空调”专业，以满足社会对制冷与空调专业技术人员不断增长的需求。

为了培养出具有化工特色的制冷与空调专业毕业生，以南京化工学校、常州化工学校、杭州化工学校、上海化工学校为主的几所化工中专于1996年11月召开了“制冷与空调”专业教学研讨会，并在全国化工中专教学指导委员会机械组指导下，着手组织有关专业教材的编审工作。历时两年，现已完成《制冷原理》、《空气调节》、《制冷机器》、《制冷与空调装置的自动控制》、《制冷与空调装置安装、维修及管理》等五本教材的编写，相关配套教材将陆续组织编写。

五本教材中，《制冷原理》主要介绍制冷剂与载冷剂，单级蒸汽压缩式制冷循环，多级压缩与复叠式制冷循环，吸收式制冷循环等基本知识及基本原理；《空气调节》主要介绍湿空气的物理性质和焓湿图，空调房间的冷、湿负荷及送风量确定，空气的热湿处理，空气的净化处理，空气调节系统，空调系统的运行调节等基本知识；《制冷机器》主要介绍活塞式制冷压缩机，螺杆式制冷压缩机，离心泵，真空泵，风机等典型机器的结构种类、工作原理及选择使用；《制冷与空调装置的自动控制》主要介绍自动控制规律，制冷与空调装置的控制元器件，制冷与空调装置的基本控制电路，制冷系统的控制与保护，典型制冷与空调装置的自动控制等基本知识、基本结构、工作原理及其应用；《制冷与空调装置安装、维修及管理》主要介绍制冷与空调装置安装维修的常用工具、设备的使用及主要操作工艺，冷冻冷藏设备的安装维修，工业制冷装置的安装维修及管理，房间空调器的安装维修，中央空调系统的安装维修及管理基本知识、基本原理及基本技能。

这套教材力求突出能力培养，贴近生产实际，与同类教材相比，内容上不仅讨论一般家用、商用等制冷与空调设备，还讨论工业制冷装置，同时融入了编者丰富的实践经验，使之更加实用，既可作为制冷与空调专业用教材，又可作为专业人员岗位培训用教材。

教材出版后，衷心希望得到广大师生和读者的批评指正，以便不断完善和提高。

全国化工中专
教学指导委员会机械组
1999年10月

前 言

随着人民生活水平的提高，以及生产技术的进步，制冷与空调设备得到了广泛的应用。制冷与空调装置集设备、工艺和控制于一身。从多年来笔者从事制冷与空调装置的安装与维修经验以及社会调研情况来看，自动控制对保证制冷与空调装置的正常运行，起着举足轻重的作用。

本书由南京化工学校孙见君主编，并编写绪论、第三章、第四章、第五章、第六章；常州化工学校李玮编写第一章、第二章；南京化工学校杨莉编写第七章。

本书由南京化工学校张祖鹰主审，南京化学工业（集团）公司研究院冯大哉高级工程师和扬子石化公司烯烃厂周源成参加了教材的审定工作。在编写过程中，得到了南京化工学校賁可存、全琴等老师的大力帮助，在此一并表示感谢。

限于时间和编者的水平，书中难免有不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编者

2000年6月

制冷与空调专业教材

制冷原理	濮伟 主编
制冷与空调装置的自动控制	孙见君 主编
制冷机器	章建民 主编
制冷与空调装置安装、维修及管理	戈兴中 主编
空气调节	蔡炳鉴 主编
流体流动与传热	王纬武 主编
工程热力学	徐建良 主编

ISBN 7-5025-2688-9



9 787502 526887 >

ISBN 7-5025-2688-9/G·706 定价：17.00元

目 录

绪论	1
第一章 自动控制的基本知识	4
第一节 自动控制系统概述	4
第二节 自动控制系统的过渡过程及其品质指标	6
第三节 控制对象特征	10
复习思考题	12
第二章 自动控制规律	13
第一节 双位控制	13
第二节 比例控制	14
第三节 比例积分控制	16
第四节 比例积分微分控制	18
第五节 串级控制和补偿控制的概念和应用	20
复习思考题	23
第三章 制冷与空调装置的控制元器件	24
第一节 温度控制器	24
第二节 压力控制元件	29
第三节 流体流动控制元件	34
第四节 液位控制元件	55
第五节 湿度控制器	57
第六节 程序控制器	61
第七节 电器控制器	64
复习思考题	75
第四章 制冷与空调装置基本控制电路	76
第一节 电气图形符号及其使用原则	76
第二节 制冷电机的启动	78
第三节 常用控制与保护电路	83
复习思考题	89
第五章 制冷系统中制冷部件的自动保护	90
第一节 压缩机保护与能量调节	90
第二节 氨泵系统的自动控制	97
第三节 冷凝器保护	100
第四节 蒸发器除霜和除霜控制	103
复习思考题	107
第六章 典型制冷与空调装置的自动控制	108
第一节 小型制冷装置的控制电路	108

第二节	大中型冷库装置的自动控制	111
第三节	房间空调器的自动控制	115
第四节	中央空调装置的自动控制	121
第五节	制冷装置自动控制的系统调试	136
	复习思考题	140
第七章	微电脑控制在空调系统中的应用	142
第一节	概述	142
第二节	空调器的微电脑控制电路	148
第三节	空调器电路分析	154
	复习思考题	165
附录		166
附录一	常用电气图形符号	166
附录二	阀门的图形符号	167
附录三	中国、日本、美国主要电气图形符号的对照	167
附录四	常用辅助文字符号	169

绪 论

现代化的生产装备都是自动化的。它由各种检测、控制器件以及电子计算机等按一定规律组成控制系统，对设备和生产过程进行自动控制。自动控制是指在没有人直接参与的情况下，利用控制系统使被控对象或生产过程自动地按预定的规律工作。或者说，自动控制就是为实现一定目的所进行的自动操作。

制冷装置是为完成某种制冷工艺任务而采用的一套机器和设备。与其他热力装置一样，它在完成指定的工艺过程中需要对有关的热工参数进行调节和控制，以保证装置工作正常，并满足根据各项要求拟定的制冷工艺指标。自动地实现这种调节和控制是制冷装置自动化的任务。

一、制冷装置自动控制的内容

制冷装置包括两大组成部分，一是完成冷媒循环的制冷工艺系统；二是实现制冷装置安全稳定运行的自动控制系统。

常见的制冷装置主要有电冰箱、家用空调器、冷库、大型氨制冷装置和中央空调系统等几种形式。制冷工艺系统都是由压缩机、冷凝器、蒸发器和膨胀元件四大部件组成。自动控制是通过自动化仪表和自控元件完成的。不同的制冷装置，其自动控制系统的配置不同，但其主要内容大致是相同的，即

① 对制冷工艺参数（如压力、温度、流量等）的自动检测。参数检测是实现控制的依据。

② 自动调节某些工艺参数，使之恒定或者按一定规律变化。对一台自动操作的制冷装置首先期望的是维持被冷却对象为指定的恒温状态。由此而来，还涉及到其他一系列相关参数（例如蒸发压力、冷凝压力、供液量、压缩机排气量等）的调节。

③ 根据编制的工艺流程和规定的操作程序，对机器、设备执行一定的顺序控制或程序控制。例如压缩机、风机、水泵、油泵等的程序启动与停车，冷凝器和冷却水系统的自动控制，蒸发器除霜控制等。

④ 实现自动保护，保证制冷设备的安全运行。在装置工作异常、参数达到警戒值，将出现事故苗头时，使装置故障性停机或执行保护性操作，并发出报警信号，以确保人机安全。

随着使用条件和功能、容量等参数的不同，实现自动控制内容所采用的控制规律和控制元件也不尽相同。一般小型制冷装置，例如电冰箱、冷柜、空调器等系统简单、温控精度要求不高，采用较少的、简单便宜的自控元件，双位控制或比例控制便可以实现自动运行。复杂制冷装置，如大、中型冷库，它们的机器设备多，工艺流程复杂、控制点多，运行中各设备、各参数的相互影响更要仔细考虑，所以实现自动化的难度相对较大，所需自控元件较多，所采用的控制规律，也由单一的双位控制、比例控制，变为多种控制规律的组合。

制冷装置自动控制实际上是自动控制理论和技术在制冷工程中的应用。它既需要自控原理的基本知识，又要求对制冷装置本身有深入的了解。在处理制冷自动化问题时，仅仅知道自控理论、了解制冷自控元件的构造和性能是不够的，重要的是如何将它们合理地运用到制

冷装置中实现自动控制。如果没有很好地了解制冷装置的特性就去配置自动化系统,往往效果很差,达不到控制要求,甚至会影响制冷装置的正常运行。因此,要实现制冷与空调装置的自动控制,就必须在充分研究制冷装置特性的基础上,掌握控制规律,熟悉控制元件的适用场合、基本控制和保护电路,以及一定的现场操作锻炼。

二、机电一体化是制冷装置发展的趋势

传统机械产品或装备是机械技术与电工技术结合的产物。它以电动机为动力,以开关、继电器、接触器等为控制件,这种传统的控制方法已有了 90 年的历史,在科学技术迅猛发展的今天,已远不能满足人们对控制的要求。以微电子、计算机和信息技术与机械技术相结合的“机电一体化”技术是技术上的一场深刻革命,它的发展和运用使机械装备及工程系统产生了新的飞跃。从系统观点出发,机电一体化将机械、电子、信息等有关技术进行了有机的组织、渗透和综合,实现了整个系统最优化。这样的装置跳出了单技术、单功能的范围,具有复合技术、复合功能,使装置的功能水平和自动化程度大大提高。这种产品一般具有自动控制、自动补偿、自动校验、自选量程、自动调节、自诊断、自恢复和智能化等多种功能。

制冷装置实现机电一体化是现代技术发展的必然趋势,也是提高制冷装置综合性能的迫切需要,因而成为当前制冷研究开发工作的热点之一。它将给制冷装置带来变革性的更新,使装置从传统控制进入到整个系统的最优控制。

制冷装置的传统控制以经典控制理论为基础,针对组成系统的主要部件,如压缩机、冷凝器、蒸发器等实行控制。将它们逐个作为单一对象,对其运行中的有关参数(如压缩机能力、冷凝压力、蒸发压力、制冷剂流量等)分别作必要的调节,构成单回路的并联控制系统。控制件多为机械式的双位或比例调节器以及一些保护继电器。这种控制系统模式虽然能对参数进行一定的调节并保证装置正常安全运行、实现必需的工艺目的,但由于调节品质不高,往往难以达到高精度的调节要求,特别是难以适应大的负荷变化和工况变化,也顾及不到装置总体最佳的节能运行。

电子式控制采用能够以标准电信号传输信息的电脑型调节装置。它传感快,能迅速获取装置运行中受控参数的测量值信号,可以运用现代各种新型控制技术和控制方法,由电脑给出控制规律或控制程序,并迅速执行调节作用。在确定调节规律时,由于顾及到整个系统部件之间的匹配和参数之间的关联和影响,因而能实现最有效的调节,故调节精度高、对变负荷的适应能力强,即使在负荷变化很大时,也能确保调节品质。即无论外部条件如何改变,都能将装置调整到最佳工况运行,即实现最佳控制。这样的装置性能精良、可靠性好、高效节能,具有强大的生命力和市场竞争力。

目前,新的控制技术和控制方法正不断运用于制冷控制系统。例如,电冰箱中采用模糊控制、日本在变频式空调器中采用预跟踪控制法(PTCA)确定启动时电子膨胀阀的调节规律、丹麦 Danfoss 公司采用自适应控制方法进行制冷剂流量、冷却对象温度及压缩机能量调节等,与之相应的新型电脑型制冷控制元件也不断发展。例如 Danfoss 公司、日本鹭宫株式会社、不二机械制作所、德国 Egelhof 公司等均已推出电子膨胀阀、电子式蒸发压力调节阀和能量调节阀等。这些都有力地推动制冷装置机电一体化的发展。

三、本课程的学习要求

本课程是机电一体化的一门应用课,它将直接为学生日后参加工作的需要服务。因此,要求掌握以下几点:

① 掌握制冷与空调装置的构造、工作原理、性能特点、维护和使用要求，为从事自动控制打好基础；

② 了解各种控制元件在自动控制系统中的作用和地位，熟悉新技术、新工艺在制冷与空调装置自动控制系统的研制和开发中的应用状况及发展趋势；

③ 加强理论与实践相结合的锻炼，安排一定的操作。

第一章 自动控制的基本知识

随着现代科学技术的迅猛发展，电子计算机技术在各个领域中的普遍应用，使自动化技术产生了新的飞跃。但是热工对象综合自动化，实现电子计算机控制，其基础就是要引用经典自动控制理论及对各热工参数实现自动控制，故掌握自动控制的基本原理是实现综合自动化必不可少的基本知识。

第一节 自动控制系统概述

制冷与空调装置自动化和一般热力装置自动化一样，都是为了使整个装置能正常运行，并达到要求的指标。由于制冷与空调装置中各设备各参数在运行时是相互影响，相互作用的，为了使每一个参数在各种外界干扰条件下或负荷变化条件下和给定值的偏差均能保持在制冷与空调工艺要求的范围以内，就需要对装置中的各个设备的动、静态特性进行分析，以配置相应的、合适的调节器，形成该参数的自动控制系统。

一、自动控制系统及其组成

在制冷装置与空调系统中，为了保证整个装置和系统能正常运行，并达到要求的指标，需要对许多热工参数进行控制。如温度、湿度、压力、流量和液位等热工参数，其中除湿度以外，都是一般热工自动控制技术上常遇到的被控参数。湿度参数的控制，则是空调自动控制中特有的情况。

任何一个能够稳定工作的自动控制系统，都是在无人直接参与下，能使被控参数达到给定值或按照预先给定的规律变化的系统，它一般是由控制对象、发信器、控制器和执行器所组成的闭环系统。为了说明问题，先看下面两个简单的例子。

例 1-1，房间温度控制系统，如图 1-1 (a) 所示。室外冷空气与一部分回风混合，由风机送（吸）入空调器，经蒸汽加热盘管，使空气温度升高，然后送至房间，使房间内温度保

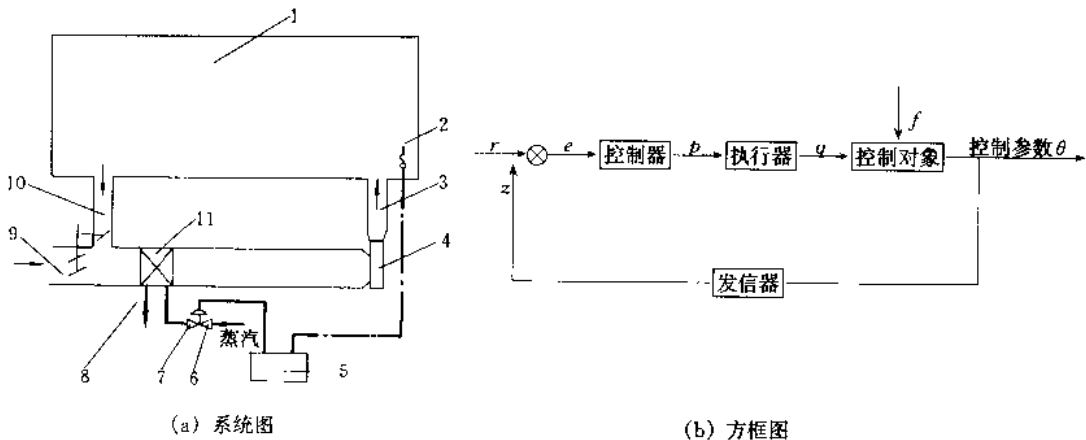


图 1-1 房间温度自动控制系统原理图

- 1—空调房间；2—发信器；3—送风；4—风机；5—控制器；6—蒸汽；7—执行机构；
8—冷凝水；9—新风；10—回风；11—空调器

持冬季采暖工况的要求。在这个系统中，可以通过改变蒸汽调节阀的开度来实现使蒸汽加热热量 Q_{λ} 与房间里散失的热量 $Q_{\text{出}}$ 随时相协调，以得到稳定的室温。

完成上述控制过程的方式有两种，一是人工控制，二是自动控制。前者是由人工来完成，需先观察房间内温度，再和给定值比较，考虑它和给定值的偏差，用手开、关蒸汽调节阀，这将十分劳累，且仍很难使房间内温度稳定。后者是装上一台温度控制器，它的发信器感受房间内温度，根据控制器的控制规律，操纵蒸汽调节阀的开度，控制蒸汽流量，改变加热量 Q_{λ} ，使被控参数回到给定值范围内。可见，自动控制是建立在人工控制的基础上，利用自动化装置代替人的眼睛、大脑和双手，实现观察、比较、判断、运算和执行功能，自动地完成控制过程。控制规律则是人工操作经验的模仿和发展。

在本例中，被控参数是房间温度，空调器及房间（包括送风管）就是控制对象。它和发信器、温度控制器和执行器组成了一个闭环系统，如图 1-1 (b) 所示。

例 1-2，如图 1-2 (a) 所示。氨制冷系统中，氨低压循环筒液位需要控制在一定要求的范围内。由液位发信器发出氨液位信号（一般把液位信号转变为电流、电压或电感信号）。发信器送来的信号 z 与给定值信号 r 比较。把偏差信号 e 送给控制器；液位控制器按其控制规律，送出指挥信号去控制调节阀开度，改变氨液的流量 q ，保持氨液位 H 在工艺要求范围内，如图 1-2 (b) 所示。

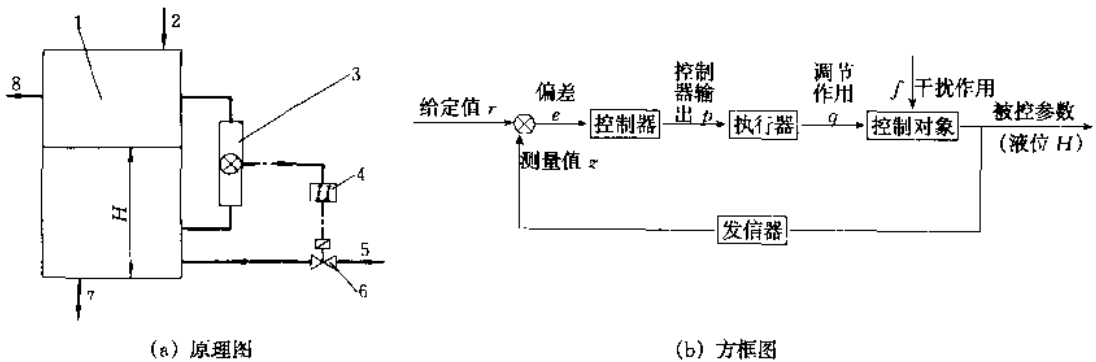


图 1-2 液位自动调节系统

- 1—氨低压循环桶；2—回气；3—液位发信器；4—液位控制器；5—氨液；
6—调节阀；7—出液口；8—去压缩机入口

在此例中被控参数是氨液位，控制对象就是氨低压循环筒。

二、自动控制系统的方框图

从以上两个例子可以看到，制冷、空调自动控制系统是由控制对象和控制设备组成了闭合的自动控制系统。

自动控制设备一般由发信器、控制器和执行器三部分组成。现以图 1-1 为例说明。第一部分是发信器（或称感受元件），如热电阻、热电偶、双金属温度发信器等。它是把被控参数（房间的温度高低）成比例地转变为其他物理量信号（如电阻、电流、气压、位移）的元件或仪表。

第二部分是控制器，它将发信器送来的信号与给定值进行比较，根据比较结果的偏差大小，按照预定的控制规律输出控制信号。

第三部分是执行器，它是由执行机构和控制机关组成的。控制机关为调节阀，它根据控

制器来的控制信号大小改变调节阀的开度，改变蒸汽流量，对控制对象施加控制作用，使被控参数（房间温度）保持在给定值。

同理，压力、流量、液位等被控变量的任一简单自动控制系统也需由这四个部分组成，并通过传递信号连接在一起，才能实现检测、比较、判断、决策和执行等功能，完成自动控制的任务。

在分析研究自动控制系统时，为了清楚地说明系统的结构及各个组成部分（环节）之间的相互关系和信息联系，一般都采用方框图来表示自动控制系统的组成，如图 1-1 (b)、图 1-2 (b) 所示。

图中直线的箭头方向表示信息的流向，而不表示物料的流动方向，每一个方框称为一个环节，每一个环节都接收它前面一个环节的输出信号，同时该环节的输出信号又对它后面一个环节施加影响。

从方框图上可以看到，每一个环节的信息流向都是单向的，它沿着信号线上箭头方向前进，最后又回到原来的起点，构成一个闭合回路，这种系统称为闭环系统。它通过发信器把控制系统的输出量又引回到原来的起点，这种把输出端的信号又引回到输入端的做法称为反馈。

如果反馈信号使被控参数变化减小，则称为负反馈；如果反馈信号使被控参数变化增大，则称正反馈。若采用负反馈，则当被控参数 θ 受到干扰而上升时，反馈信号 z 与给定值 r 经过比较得偏差信号 e ，此时控制器的输出信号指挥调节阀动作，控制作用使被控参数 θ 向相反方向变化，将被控参数回降至给定值。若采用正反馈，只要被控参数与给定值间有一微小偏差，正反馈将使偏差越来越大，直到超出安全范围。因此，在自动控制系统中都采用负反馈。

控制系统具有反馈后，信号的传递形成闭合回路。这种闭环系统称为反馈控制系统。反之，没有反馈或反馈回路被切断的系统称为开环系统。

自动控制系统大多数是利用反馈构成的，反馈控制系统是按偏差进行控制的，故产生偏差是反馈控制系统进行自动控制的必要条件。

三、自动控制系统的分类

自动控制系统按照给定值的不同情况，可以分为定值控制系统、程序控制系统和随动控制系统三种类型。

1. 定值控制系统

定值控制系统是指被控参数的给定值在控制过程中恒定不变的系统。

2. 程序控制系统

程序控制系统是指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。

3. 随动控制系统

随动控制系统是指被控参数的给定值事先不能确定，取决于系统以外的某一进行的过程，要求系统的输出量跟着给定值变化的系统。

在制冷空调自动控制系统中，应用最普遍的是定值控制系统，控制系统的给定值根据制冷工艺与空调要求，保持在某一给定值上不变。也有应用程序控制系统和随动控制系统的场合。

第二节 自动控制系统的过渡过程及其品质指标

一、系统的静态、动态和干扰作用

在自动化领域内，把被控参数不随时间而变化的平衡状态称为系统的静态，而把被控参

数随时间而变化的不平衡状态称为系统的动态。如图 1-1 房间温度自动控制系统中，当蒸汽加热热量与房间里散失的热量相同时，系统各组成环节如控制器、调节阀等均暂时不动作，此时整个系统处于平衡状态，亦即处于静态。当干扰出现时，如新风温度升高，对象中的热量平衡被破坏，被控参数（房间温度）会升高，从而使控制器等自动化装置改变操作变量克服干扰的影响，使房间温度逐渐下降接近给定值，直至系统重新建立平衡。被控参数这一段随时间而变化的不平衡状态就是系统的动态。

值得注意的是上述的静态与习惯上所讲的静止不同。习惯上说静止都是指静止不动，而在自动化领域中的静态是指各参数（或信号）的变化率为零，即参数保持常数不变。因为自动控制系统在静态时，系统仍在工作，热量仍然有进有出，只是稳态进行而没有改变罢了。而干扰作用总是会不断地产生，自动化装置也就不断地施加控制作用去克服干扰的影响，所以自动控制系统总是一直处于动态之中。因此，研究自动控制系统的重点就是要研究其动态。

由上述可知，在自动控制系统中，干扰作用是破坏系统平衡状态，引起被控参数偏离设定值的外界因素。干扰作用（亦称扰动作用）的大小一般是随时间而变化的，它的变化并没有固定的形式与规律，但在分析与设计自动控制系统时，为了分析方便，常以阶跃干扰作为典型干扰作用来讨论。如图 1-3 所示，阶跃干扰在 t_0 时刻突然作用于系统中，干扰一旦加上后，扰动量不随时间而变化，也不再消失。

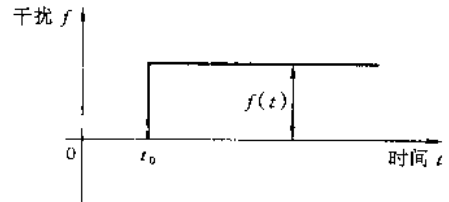


图 1-3 典型干扰作用

这种阶跃干扰对于控制系统是最不利的干扰形式，同时又是最易出现的干扰形式。一个控制系统如能很好地克服阶跃干扰作用，则其他干扰作用就不难克服。故以后分析控制对象、控制器及控制系统特性时，就将以阶跃干扰为输入来进行分析，它是自动控制工程中常用的干扰作用方式。本书中凡是提到干扰，若不特别指明，就是指这种阶跃干扰。

二、自动控制系统的过渡过程

对于任何一个处于平衡状态的自动控制系统，它的被控参数总是稳定不变的。但当系统受到干扰作用后，被控参数就要偏离给定值产生偏差，从而控制器等自动化装置将根据偏差变化情况，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。这种自动控制系统在干扰和控制的共同作用下，从原有平衡状态过渡到新的平衡状态的整个过程称为自动控制系统的过渡过程。自动控制系统过渡过程也就是系统的动态特性，它包括静态和动态。

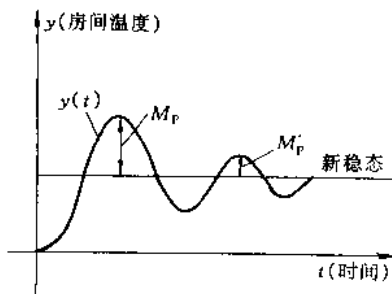


图 1-4 调节系统的过渡过程

仍以图 1-1 所示的系统为例进行分析。如果用温度记录仪把房间温度从平衡、波动、又重新平衡的过程记录下来，就可以得到房间温度因干扰而引起波动，通过控制作用又重新稳定的过渡过程曲线。

如果以时间为横坐标，房间温度为纵坐标，就可以得到过渡过程曲线，如图 1-4 所示。

三、过渡过程的品质指标

控制品质指标有许多个，但有一个最基本的指标，

就是要求系统稳定。

对于控制过程曲线来说,首先要求是衰减率,即被控变量经过几次波动能恢复到新的稳定状态。控制系统稳定是控制系统能正常工作的必要条件,只有在保证系统稳定的前提下,讨论其他控制品质指标才有实际意义。其次对控制系统的静态和动态性能,亦要满足一定的品质指标。

通常要求控制系统在阶跃干扰作用下,其控制过程的衰减率、超调量(动态偏差)、静态偏差及控制过渡过程时间等满足预定的要求。下面分别进行讨论。

1. 稳定性与衰减率 φ

稳定性是控制系统在外干扰作用下,过渡过程能否达到新的稳定状态的性能。

讨论控制系统的稳定程度,常用过渡过程的衰减率 φ 来衡量。

$$\varphi = \frac{M_p - M'_p}{M_p} \times 100\% = \left(1 - \frac{M'_p}{M_p}\right) \times 100\%$$

式中 M'_p ——过渡过程第三个波幅值;

M_p ——过渡过程第一个波幅值。

M_p 与 M'_p 见图 1-4 所示。

根据衰减率 φ 的定义,若要控制系统稳定,其过渡过程曲线就应是一衰减波动曲线(或非周期曲线),即要求 $\varphi > 0$,如图 1-5 (a);一般不希望控制过渡过程曲线是个等幅振荡曲线,即不希望 $\varphi = 0$;更不允许是一增幅扩散振荡,即不允许 $\varphi < 0$,如图 1-5 (b),此时被控参数的波幅将愈来愈大,不可能使被控参数稳定下来,这将使控制系统的工作遭到破坏,工艺过程可能出现不安全情况,这样的控制系统就不能使用。

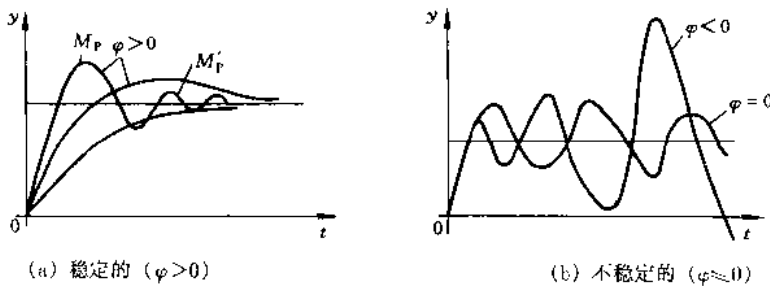


图 1-5 控制过渡过程曲线

对于 $\varphi = 0$ 的等幅振荡,在一定条件下可以采用,但其振荡幅度始终在给定范围以内,第二章中介绍的双位控制过程就属于这种情况,双位控制过程广泛地应用于制冷空调工程中。

一般控制过程为了保证稳定性,总要求 $\varphi > 0$,通常认为 $\varphi = 0.75$ 比较理想,即过渡过程的第一波峰与第三波峰之比 n 为 4 ($n = \frac{M_p}{M'_p} = 4, \varphi = 1 - \frac{M'_p}{M_p} = 0.75$),控制过渡过程收敛得快慢适中,过渡过程时间短,又比较稳定,常为人们所选用。

2. 衰减比 n

如图 1-6 所示,被控参数在过渡过程中,第一个波峰与第三个波峰之比,即 $n = \frac{M_p}{M'_p}$

所以

$$\varphi = 1 - \frac{M'_p}{M_p} = 1 - \frac{1}{n}$$

3. 最大超调量 (动态偏差) M_p

被控参数在过渡过程振荡中, 出现第一个最大峰值至新稳态 $y(\infty)$ 的量, 称为最大超调量 M_p 。

最大超调量越大, 控制系统过渡过程品质指标就越差, 因此设计控制系统时, 必须对动态偏差作出限制性规定。

4. 静态偏差 $y(\infty)$

或称稳态偏差、残余偏差即余差。它表示控制系统受干扰作用后, 达到新的平衡, 被控参数的新稳态值与给定值的差。

若 $y(\infty) = 0$, 表示控制系统受到干扰作用后, 能回到原来的给定值, 这种系统为无差系统; 若 $y(\infty) > 0$, 则为有差系统。

一般舒适空调系统允许有一定的静态偏差。例如某船的空调系统, 冬季仓内温度设计值为 $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$, 则该系统的给定值为 23°C , 要求静态偏差 $y(\infty) \leq 2^\circ\text{C}$ 。

对于制冷系统, 对静态偏差要求一般较高, 例如某冷藏仓温度设计为: $(-17 \pm 1)^\circ\text{C}$, 即静态偏差 $y(\infty) \leq 1^\circ\text{C}$ 。

5. 最大偏差 y_{\max}

由图 1-6 可看出, 最大偏差 $y_{\max} = M_p + y(\infty)$, 例如要求某温度控制系统最大偏差不超过 5°C , 即 $y_{\max} < 5^\circ\text{C}$ 。

对于无差系统, 很显然, 最大偏差 $y_{\max} = M_p$, 即最大偏差此时就是最大超调量。

6. 振荡周期 T_p

控制系统过渡过程中, 相邻二个波峰所经历的时间, 或振荡一周所经历的时间, 称为振荡周期。

7. 控制过程时间 t_s

也称过渡过程时间。是指控制系统受到干扰作用, 被控参数从开始波动到进入新稳态值上下的 $\pm 5\%$ (或 $\pm 2\%$) 范围内所需的时间。令这个范围为 Δy_e , Δy_e 的选取根据控制系统任务的要求而定, 对于有差控制系统 $\Delta y_e \leq \pm 5\% y(\infty)$; 对于无差控制系统一般取 $\Delta y_e \leq 2\%$ 给定值或更小。

控制过程一旦进入 Δy_e 范围, 就认为处于新的稳定状态, 并不是指绝对的处于稳定状态。严格地说, 绝对地处于稳定状态要无限长的时间。

一般希望控制过程时间 t_s 短些好, t_s 短表示干扰作用出现后, 控制系统能很快恢复稳定。一般希望

$$t_s = 3T_p$$

此外, 还有一些次要的指标, 如振荡次数、峰值时间 t_p 、上升时间 t_r 等, 不在此详细讨论了。

值得指出的是, 过渡过程的这些品质指标在不同的控制系统中各有其侧重, 且相互之间又有着内在的联系, 要满足这些指标要求, 有时会出现一些矛盾。因此, 必须根据具体情况分析主次, 区别轻重, 统筹兼顾, 对于主要的品质指标应优先予以保证, 不可一味地追求满足所有指标。

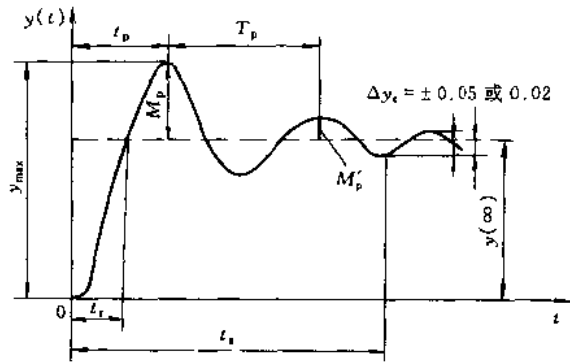


图 1-6 调节质量指标图