



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

制冷与空调技术专业领域

制冷与空调装置 自动控制技术

■ 孙见君 主编 杜存臣 滕文锐 副主编

air condition

refrigeration

 高等教育出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

主要内容

制冷与空调技术专业领域

制冷与空调装置自动控制技术

孙见君 主编

杜存臣 滕文锐 副主编

中国环境出版社
北京 100071

ISBN 978-7-797-22211-0

责任编辑：王... 封面设计：... 印刷：... 发行：... 经销：... 定价：...

ISBN 978-7-797-22211-0	定价：28.00元	开本：787mm×1092mm 1/16
ISBN 978-7-797-22211-0	定价：28.00元	印张：14.25
ISBN 978-7-797-22211-0	定价：28.00元	字数：320千字
ISBN 978-7-797-22211-0	定价：28.00元	印次：2010年10月第1次印刷
ISBN 978-7-797-22211-0	定价：28.00元	印次：2010年10月第1次印刷

高等教育出版社

北京 100120

电话：010-59610611

内容提要

本书依据“十一五”国家规划教材“制冷与空调装置自动控制技术”的课程教学大纲编写而成,具有简明扼要、深入浅出、内容新颖等特点。全书除绪论外共分5章,分别介绍制冷与空调装置自动控制理论基础、制冷与空调系统常用控制器和执行器、制冷与空调装置基本控制电路、制冷设备与空气调节系统的单元控制和典型制冷与空调装置的自动控制。本书从制冷空调系统的品质指标要求、组成环节特性及其自动控制系统的方案确定与运行着手,引入空气品质(CO₂)控制器,系统地分析了家用空调器、舒适性水冷式空调系统、恒温恒湿型空调系统、汽车空调、冷藏库系统及工业制冷装置的自动控制,具有浅理论、重实践的职业教育特点。本书可作为高等职业技术学院制冷与空调专业教材,也可作为制冷与空调专业的本科生、工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

制冷与空调装置自动控制技术/孙见君主编。—北京:
高等教育出版社,2009.1

ISBN 978-7-04-025412-9

I. 制… II. 孙… III. ①制冷装置-自动控制-高等学校-教材②空气调节设备-自动控制-高等学校-教材 IV. TB657

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 176674 号

策划编辑 王 博 责任编辑 查成东 封面设计 于 涛 责任绘图 尹 莉
版式设计 张 岚 责任校对 金 辉 责任印制 尤 静

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市西城区德外大街 4 号

邮政编码 100120

总 机 010-58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司

印 刷 北京铭成印刷有限公司

购书热线 010-58581118

免费咨询 800-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

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

网上订购 <http://www.landaco.com>

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

畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787×1092 1/16

印 张 14.25

字 数 350 000

插 页 1

版 次 2009年1月第1版

印 次 2009年1月第1次印刷

定 价 19.70元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 25412-00

全国高职高专教育 制冷与空调技术 规划教材编写委员会

主任：匡奕珍 陈 礼

委员(按姓氏拼音排序)：杜存臣 杜玉文 何 晖 李好学 刘 乐
刘佳霓 卢 勇 逯红杰 罗 伦 钱华梅 邱庆龄 任 峰
邵长波 孙见君 滕文锐 王 宏 王 琪 王凌杰 王子彪
魏 龙 徐思维 杨俊通 殷 浩 尹选模 余华明 张 敏
张国东 周艳蕊 朱 立 邹新生

前 言

随着人民生活水平的提高以及生产技术的进步,制冷与空调装置得到了广泛的应用。作为机电一体化的典范,制冷与空调装置集设备、工艺和自动控制于一身。根据作者从事制冷与空调装置安装、维修与教学的多年经验以及社会调研情况来看,自动控制技术对保证制冷与空调装置的正常运行起着举足轻重的作用。在能源日趋紧缺的当今社会中,作为能耗大户的制冷与空调装置,使用有效的自动控制系统是实现环境舒适、满足生产工艺要求、节约能源的有效途径。因此,空调专业人员不但要熟悉空调的基本原理和工艺过程,也要了解和掌握其自动控制理论和技术。

本书依据“十一五”国家规划教材“制冷与空调装置自动控制技术”的课程教学大纲编写而成。全书除绪论外共分5章,第1章介绍制冷与空调装置自动控制的理论基础,第2章介绍制冷与空调系统常用控制器和执行器,第3章介绍制冷与空调装置基本控制电路,第4章介绍制冷设备与空气调节系统的单元控制,第5章介绍典型制冷与空调装置的自动控制。本书具有浅理论、重实用的职业教育特点,读者可从中得到有益的启发与借鉴。

需提请注意的是:本书第4章及第5章采用了一些生产厂家实际的生产图和原理图,为了便于读者现场操作,图中的电气图形符号及文字符号未按图标进行改动。

本书由孙见君、杜存臣、滕文锐、蒋李斌共同编写,其中孙见君编写绪论、第1章、第2章和第5章,杜存臣编写第3章,滕文锐编写第4章制冷设备自动控制部分,蒋李斌编写第4章空气调节系统自动控制部分。本书由孙见君任主编,杜存臣、滕文锐任副主编。

本书可作为高等职业技术学院制冷与空调专业教材,也可作为制冷与空调专业的本科生、工程技术人员的参考用书。

本书由东南大学杜垲教授和孙华光高级工程师主审,编写过程中还得到了魏龙、全琴、黄建、李燕等老师的大力帮助,在此一并表示感谢。

限于作者的水平,书中难免有不妥之处,恳请广大读者批评指正。

孙见君
2008年10月

目 录

绪论	1	2.1.3 湿度控制器	50
第1章 制冷与空调装置自动控制理		2.1.4 空气质量(CO ₂)控制器	56
论基础	5	2.1.5 风机盘管控制器	57
1.1 自动控制系统的组成及其		2.1.6 液位控制器	59
质量指标	5	2.1.7 程序控制器	61
1.1.1 自动控制系统的组成及		2.2 执行器	65
方框图	5	2.2.1 膨胀阀	65
1.1.2 自动控制系统的分类	7	2.2.2 导阀	79
1.1.3 自动控制系统的品质		2.2.3 主阀和组合式主阀	81
指标	7	2.2.4 水量调节阀	83
1.2 自动控制系统构成环节		2.2.5 蒸发压力调节阀	87
的特性	9	2.2.6 吸气压力调节阀	89
1.2.1 被控对象的特性	9	2.2.7 四通换向阀	91
1.2.2 自动控制设备的特性	11	2.2.8 冷媒温度调节阀	92
1.2.3 执行器的特性	22	2.2.9 风量调节阀	94
1.3 自动控制系统的方案确		2.2.10 防火阀	98
定与运行	23	2.2.11 排烟阀	101
1.3.1 自动控制系统品质指标		复习思考题	108
的确定	23	第3章 制冷与空调装置基本控制	
1.3.2 控制设备的选择	23	电路	109
1.3.3 控制系统的投入运行	27	3.1 电气图形符号及其使用	
1.4 制冷与空调装置自动控		原则	109
制系统	28	3.1.1 电气图形符号使用原则	109
1.4.1 单回路系统	28	3.1.2 电气技术常用文字符号	109
1.4.2 多回路系统	31	3.2 控制电器与保护电器	112
1.4.3 计算机控制系统	34	3.2.1 控制电器	112
复习思考题	39	3.2.2 保护电器	115
第2章 制冷与空调系统常用控制器		3.3 制冷电动机的起动	118
和执行器	40	3.3.1 单相异步电动机的起动	118
2.1 常用控制器	40	3.3.2 三相异步电动机的起动	119
2.1.1 温度控制器	40	3.4 常用控制电路与保护电路	123
2.1.2 压力控制器	43	3.4.1 控制电路	123
		3.4.2 保护电路	127

复习思考题	130	分析	163
第4章 制冷设备与空气调节系统的		5.1.2 室外机微电脑控制电路	
单元控制	132	分析	167
4.1 压缩机的能量调节与		5.1.3 控制电路保护功能	172
自动保护	132	5.1.4 除霜原理	173
4.1.1 压缩机的能量调节	132	5.1.5 保护功能与显示	173
4.1.2 压缩机的自动保护	134	5.2 中央空调系统的自动	
4.2 蒸发器供液量的自动控制	135	控制	174
4.3 制冷系统运行参数的自		5.2.1 螺杆式中央空调控制系统	174
动控制	139	5.2.2 典型溴化锂吸收式制冷机组	
4.3.1 冷凝压力自动控制	139	自动控制	183
4.3.2 蒸发压力自动控制	141	5.3 汽车空调的自动控制	188
4.3.3 温度自动控制	142	5.3.1 基本控制回路	188
4.4 空调单回路控制	144	5.3.2 轿车空调电路	195
4.4.1 送、回风温度控制	144	5.3.3 大、中型客车空调的控制	
4.4.2 新风量控制	146	电路	195
4.4.3 恒温、恒湿空调控制方法	147	5.4 冷藏库系统的自动控制	199
4.5 空调多回路控制	157	5.4.1 冷藏库概况及控制要求	199
4.5.1 空调串级控制系统	157	5.4.2 制冷系统自动控制分析	199
4.5.2 空调焓值控制	158	复习思考题	209
4.5.3 空调变风量控制	159	附录1 常用电气符号	210
复习思考题	162	附录2 阀门的图形符号	211
第5章 典型制冷与空调装置的自动		附录3 中国、日本、美国主要电气	
控制	163	图形符号对照	212
5.1 家用变频空调器的自动		附录4 常用辅助文字符号	215
控制	163	参考文献	218
5.1.1 室内机微电脑控制电路			

绪 论

为了满足生活、生产和科研活动对环境的要求,人们往往采用制冷与空调装置对某一空间内的空气进行适当的处理,以使该空间内空气的温度、相对湿度、压力、洁净度和气流速度等多项参数保持在一定的范围内。根据使用要求的不同,制冷空调技术分为制冷和空调两大领域。制冷领域的主要任务是实现某一空间的温度和湿度目标以及生产对工艺介质的温度要求;空调领域的主要任务是以室内人员或工艺过程为对象,着眼于制造使人感到舒适的室内气候环境以及制造符合工艺过程所要求的生产环境。随着国民经济的发展和人们生活水平的提高,制冷空调系统广泛应用于工农业生产和民用建筑,而自动控制技术在制冷与空调装置中的应用与推广,大大提高了装置与系统的性能参数和经济指标,提高了制冷与空调装置作为商品的附加值,改善了设备的可靠性、使用的方便性和舒适性。可见,制冷空调专业人员不仅要熟悉制冷空调的基本原理和工艺过程,而且还要了解和掌握自动控制理论与技术。充分认识制冷与空调装置的发展历程,有效地引入计算机技术,将国内、外自动化仪表运用到工艺性工业制冷装置、冷库和舒适性空调工程中,满足不同用户的要求,以及明确制冷空调自动控制的发展方向,对制冷与空调装置的开发与实践有着十分重要的现实意义。

1.1 自动控制在制冷与空调装置中的地位

人类很早就进行了简单自动化装置的探索,但由于技术与理论的限制,在 1788 年之前都没有重大突破。1920 年,反馈理论广泛地应用于电子放大器中,标志着自动化领域技术化的开始;同年美国出现了 PID 调节器。1948 年控制理论的经典部分已经基本形成。可以说,自动控制技术的每一次进步都给制冷与空调装置带来了重大变革。

随着控制要求的不断提高,制冷与空调装置从最初的简单控制系统发展成复杂控制系统。采用前馈控制系统的制冷与空调装置,其克服干扰的能力比一般反馈调节快捷而及时。在高精度调节的空调中常采用串级调节系统,将主调节器的输出作为副调节器的外给定。副环被调参数一般选取受干扰较大、纯延迟较小、反应灵敏的参数,采用比例积分控制器或比例控制器,副环对象的时间常数比主环对象的时间常数要小,且调节效果显著。

串级控制系统对于控制对象纯延迟较大、时间常数较大、热湿干扰影响严重的空调系统是很适合的,例如采用蒸汽或热水加热器及表冷器的室温空调系统。将送风干扰作为主干扰纳入副环的送风温度调节系统,而主环对象(空调房间)的干扰通过主控制器的作用来改变副控制器的给定值,使送风温度按室温变化调整,从而减少室温的波动,提高调节质量。

直接数字控制系统(Directed Digital Control, DDC)是目前国内、外应用较为广泛的计算机控制系统。在常规控制系统中,控制规律是由硬件决定的,若改变控制规律,则必须改变硬件。而在 DDC 控制系统中,控制规律的改变则只需改变软件。

模糊控制(Fuzzy Logic Control, FLC)是人工智能领域中形成最早、应用最为广泛的一个重要分支,适合于结构复杂且难以用传统理论建模的问题。在制冷空调系统的过程控制中,由于控制

对象的时滞、时变和非线性的特征比较明显,导致控制参数不易在线调节,而 FLC 却能较好地适应这些特征,目前已经成功地应用到家用空调器上。随着模糊控制技术在空调系统中应用研究的不断深入,在控制目标方面从早期的温度控制发展到以热环境综合评价指标(Predicted Mean Vote, PMV)作为控制基准;在控制策略方面从基于查询方法的简单模糊控制发展到与其他人工智能领域相结合的智能模糊控制。这些智能控制方法的应用极大地提高了空调器的控制效果。

对于常规控制方法,当室外气象参数和室内负荷变化较大时,空调器控制效果较差,主要表现为所控制的室内温度、湿度波动较大,使人有忽冷忽热的感觉,因而总体舒适感受到一定的限制。采用模糊控制技术,可使所控制的室内温度、湿度相对稳定,提高空调房间的舒适性。其实,空调自动控制的功能并不仅仅限于对温度、湿度的精确控制,它还能对房间内的压力、风量、CO₂含量、烟气等进行控制,确保人民生命、设备、财产的安全。此外,还能实现能量调节。一个包含转换控制、联锁控制、补偿控制、状态监控、容量调节等安全自动化的控制系统,可在极大程度上排除人员对操作过程的参与,从而大大减轻运行管理人员的劳动强度,减少其误操作的可能性。可见,空调自动控制的功能是多样的,其作用在很多情况下是无可替代的。

2. 制冷与空调装置自动控制系统的特点

制冷与空调装置是用以实现某种工艺介质获得所需温度、湿度等一系列要求的机器和设备。它包括两大部分,一部分是完成冷媒循环的制冷工艺系统,另一部分是实现制冷与空调装置安全、稳定运行的自动控制系统。充分认识制冷与空调装置自动控制系统的特点是自动实现制冷工艺系统热工参数调节和控制以及装置正常工作的保证。

(1) 干扰多:制冷空调系统的干扰分为外扰和内扰,外扰主要是因为季节的变化所引起的送风及围护结构传热的扰动,内扰是指房间内电器、照明散热、工艺设备的启停及室内、外物品流动等变化对室内温度、湿度产生的影响。为了抑制或消除这些干扰,除了在建筑热工和空调工艺方面采取措施外,在自控设计中应分析干扰来源及影响的大小,选择合理的控制方案。

(2) 调节对象的特性:制冷空调系统自动控制的主要任务是维持空调房间一定的温度、湿度,控制效果的好坏很大程度上取决于空调系统本身,而不是控制部分。所以,了解空调对象的特性是自动控制系统的又一关键方面。

(3) 温度与湿度的相关性和空调系统的整体控制性:制冷空调系统中主要是对温度和相对湿度进行控制,这两个参数常常是在一个控制对象里同时进行调节的两个被调量,两个参数在调节过程中相互影响。如房间温度升高时,在含湿量不变的情况下,则相对湿度下降,因此在自动控制中要充分考虑到温度、湿度的相关性。空调自动控制系统是以空调房间的温度、湿度控制为中心,通过工况转换与空气处理过程,每个环节紧密联系在一起的整体控制系统,任何环节有问题都将影响空调房间的温度、湿度调节,甚至使整个控制系统无法工作。

(4) 具有工况转换的控制:空调系统是按工况运行的,因此自动控制系统应包括工况自动转换部分。如夏季工况制冷装置工作,控制冷水量,调节室内温度,而在冬季需转换到加热器工作,控制热媒,调节温度,这是最基本的工况转换。此外,应从节能出发进行工况转换控制。全年运行的空调系统,采用工况的处理方法能达到节能的目的。为了最大程度上避免空气处理过程中的冷热抵消,充分利用新风、回风和发挥空气处理设备的潜力,除考虑温度、湿度为主的自动控制外,还必须考虑与其相配合的工况自动转换的控制。

3. 制冷与空调装置自动控制技术的发展方向

近 20 年来,制冷与空调装置自动控制技术发展很快,除经典自动控制理论的应用外,现代控制论、模糊控制技术、神经网络理论开始应用于制冷领域。概括地说,目前制冷空调自动化工作已逐步转向计算机化、数字化。为了提高制冷空调设备的整体水平,许多国家投入了大量人力、物力研究制冷与空调设备的最优控制。美国、丹麦、德国、日本、俄罗斯、乌克兰、挪威等国均有一些著名大学与公司联手,在该领域的理论与实验上竞相研究。归纳起来制冷空调自动控制技术的热点为节能控制、装置动态特性以及控制方法与制冷空调自控元件的研究。

(1) 更加重视制冷与空调装置的节能控制:制冷与空调装置的耗能在国际经济中的比重日益递增,发达工业国家的这一能耗已占到总能源的 1/3。20 世纪 60、70 年代,制冷与空调装置的自动控制虽然也考虑了一般方法的能量调节,但较多考虑的还是保证制冷与空调装置各参数达到所要求的运行值并保证安全运行。控制系统都是一个个独立的控制回路,例如蒸发器供液量控制、吸气压力控制、库温控制及制冷压缩机自身的能量卸载调节等。

近年来,国际制冷界为了提高制冷与空调装置的节能水平,从自动控制原理、仿真优化理论和计算机集成控制角度出发,分析制冷与空调装置各设备、各参数的数学模型,并用动态分布参数及参数定量耦合的观点分析,建立制冷装置与空调系统的数学模型,进而进行仿真优化,从装置与系统的总体性能出发,寻找制冷装置与空调系统各部件参数与尺寸的最佳匹配设计方法,其主要目的是从装置与系统内部设计出发进行节能,提高经济性。

新的节能控制方案对传统的制冷自动控制元件与结构形式提出了新的要求。它既要求保持制冷自动控制元件结构上的高密封性、小尺寸、价格低廉等特色,又要求能以电信号进行输入与输出,形成所谓电脑型制冷自动控制元件。

(2) 注意制冷装置动态特性研究:通过制冷装置动态特性的研究,把制冷与空调装置及其自动化技术的理论基础,从传统的静态特性转到动态特性上来,以便为制冷与空调装置及其各部件的最佳匹配(优化)设计提供基础,寻找合适的制冷装置(包括热泵)的数学模型,为计算机控制制冷循环提供必要条件。

(3) 控制方法与制冷空调自动控制元件面临更新换代时期:自从 20 世纪初制冷装置开始采用最原始的自动控制元件(热力膨胀阀)至 60 年代后期,自动控制元件的结构形式变化繁多,但从控制方法上沿用经典控制方法中的双位控制,如各种温度控制器、压力控制器、油压差控制器、液位控制器和各型电磁阀以及直接作用式比例控制器,如热力膨胀阀、旁通能量调节阀、吸气压力调节阀、背压调节阀等。

采用上述简单控制方法形成的制冷控制仪表,由于简单、廉价、可靠,预计在中、小型制冷装置自动控制系统中,即使在 21 世纪,也会在一时间内新老控制元件共存。但简单的双位、比例控制规律的制冷自动控制元件垄断制冷装置自动化领域半个世纪的局面,在最近几年里开始动摇了。

为提高制冷与空调自动控制系统的控制精度,控制器精度更高的比例积分控制器从 20 世纪 70 年代就应用于制冷装置及冷藏库库温的控制。为适应制冷空调对象负荷干扰大,又发展了抗干扰、抗饱和的比例积分控制器。为对付制冷系统中许多对象热惯性大、中间环节多、时间迟延长以及对付控制系统中变化剧烈与幅值较大的干扰作用,又要求较高的控制精度,从 1978 年开始在冷藏库库温控制中引入了串级控制与补偿控制,以比例积分控制器作为主控制器,并完善了密封性很好的专用电动执行器,使冷藏库温度控制系统首次达到了静态控制精度为 $\pm 0.1\%$

的水平。目前,全球正在进入网络化时代,制冷空调系统也逐步网络化。欧洲的西门子、梅洛尼两个

家电巨头于 1998 年推出了自己的产品。利用这些类似的“家庭电子系统(Home Electrical System, HES)”可实现对多种家用电器网络化控制以及对外的通信联络。随着 Internet 技术的飞速发展,人们通过 Internet 对世界各地的制冷空调系统进行远程监控已经成为现实。可以相信,在不久的将来,基于 Internet 的常规空调系统远程监控和故障诊断将成为必然的发展趋势。

目前,全球正在进入网络化时代,制冷空调系统也逐步网络化。欧洲的西门子、梅洛尼两个家电巨头于 1998 年推出了自己的产品。利用这些类似的“家庭电子系统(Home Electrical System, HES)”可实现对多种家用电器网络化控制以及对外的通信联络。随着 Internet 技术的飞速发展,人们通过 Internet 对世界各地的制冷空调系统进行远程监控已经成为现实。可以相信,在不久的将来,基于 Internet 的常规空调系统远程监控和故障诊断将成为必然的发展趋势。

目前,全球正在进入网络化时代,制冷空调系统也逐步网络化。欧洲的西门子、梅洛尼两个家电巨头于 1998 年推出了自己的产品。利用这些类似的“家庭电子系统(Home Electrical System, HES)”可实现对多种家用电器网络化控制以及对外的通信联络。随着 Internet 技术的飞速发展,人们通过 Internet 对世界各地的制冷空调系统进行远程监控已经成为现实。可以相信,在不久的将来,基于 Internet 的常规空调系统远程监控和故障诊断将成为必然的发展趋势。

目前,全球正在进入网络化时代,制冷空调系统也逐步网络化。欧洲的西门子、梅洛尼两个家电巨头于 1998 年推出了自己的产品。利用这些类似的“家庭电子系统(Home Electrical System, HES)”可实现对多种家用电器网络化控制以及对外的通信联络。随着 Internet 技术的飞速发展,人们通过 Internet 对世界各地的制冷空调系统进行远程监控已经成为现实。可以相信,在不久的将来,基于 Internet 的常规空调系统远程监控和故障诊断将成为必然的发展趋势。

目前,全球正在进入网络化时代,制冷空调系统也逐步网络化。欧洲的西门子、梅洛尼两个家电巨头于 1998 年推出了自己的产品。利用这些类似的“家庭电子系统(Home Electrical System, HES)”可实现对多种家用电器网络化控制以及对外的通信联络。随着 Internet 技术的飞速发展,人们通过 Internet 对世界各地的制冷空调系统进行远程监控已经成为现实。可以相信,在不久的将来,基于 Internet 的常规空调系统远程监控和故障诊断将成为必然的发展趋势。

第1章 制冷与空调装置自动控制理论基础

随着现代科学技术的迅猛发展,计算机技术在各个领域得到了广泛的应用,自动化技术也出现了崭新的飞跃。制冷与空调装置作为人们生活及社会生产应用极为广泛的设备,要保证其正常运行,实现自动控制,基础是经典自动控制理论。

本章主要介绍自动控制系统的组成、品质指标、自动控制系统构成环节的特性以及自动控制系统的方案确定与运行调节。

1.1 自动控制系统的组成及其质量指标

制冷与空调装置自动控制就是在制冷空调系统中利用自动控制规律,设置相应的传感器、控制器、执行机构、调节阀等自动控制元件,组成自动控制系统,对被控制的机器与设备或空间实行自动调节和自动控制。

1.1.1 自动控制系统的组成及方框图

在制冷空调系统中,为了保证整个系统正常运行,并达到要求的指标,有许多热工参数需要进行控制。如温度、湿度、压力、流量和液位等热工参数,都是一般热工自动控制技术上经常遇到的被控参数。为了达到自动调节被控参数的目的,必须把具有不同功能的环节组成一个有机的整体,即自动控制系统。自动控制系统由自动控制设备和控制对象组成,也就是由传感器、控制器、执行器和控制对象所组成的闭环控制系统。

所谓控制对象是指需要控制的机器、设备或生产过程。被控参数是指所需控制和调节的物理量或状态参数,即控制对象的输出信号,如房间温度。传感器是把被控参数成比例地转变为其他物理量信号(如电阻、电流、气压、位移等)的元件或仪表,如热电阻、热电偶等。控制器是指将传感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的元件或仪表。执行器由执行机构和调节机构组成。调节机构如控制调节阀、控制调节风门、变频风机水泵等,它根据控制器输出的控制信号改变调节机构的调节量,对控制对象施加控制作用,使被控参数保持在给定值。

图1-1是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,才能满足室温 θ_a 恒定的要求。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1、温度控制器3、供水管上安装的电动二通阀4组成。

为了研究自动控制系统组成环节间的相互影响和信号联系,通常用自动控制系统方框图来

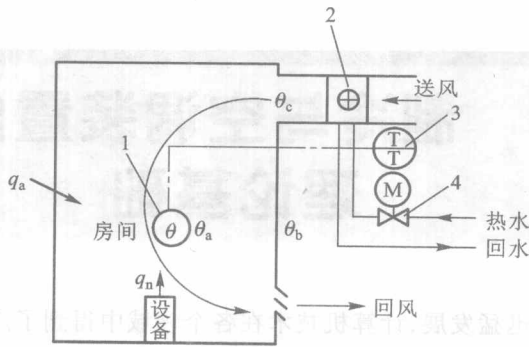


图 1-1 室温自动控制系统

1—温度传感器;2—空气加热器;3—温度控制器;4—电动二通阀;
 q_a —外侵热量; q_n —设备散热量; θ_a —室内温度; θ_b —室外温度; θ_c —送风温度

表示自动控制系统。图 1-2 为图 1-1 所示的室温自动控制系统的方框图。控制系统中的每一个组成环节在此图上用一个方框来表示,每个方框都有一个输入信号和一个输出信号。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。



图 1-2 室温自动控制系统方框图

从图 1-2 可看出,系统中信号沿箭头方向前进,最后又回到原来的起点,形成一个闭合回路,这种系统叫闭环系统。在闭环系统中,系统的输出信号为被控参数 θ_a ,它通过传感器这个环节再返回到系统的输入端,与给定值 θ_c 比较,这种将系统的输出信号引回到输入端的过程叫反馈。被测输出信号减弱输入信号的反馈称为负反馈,反之称正反馈。负反馈控制具有自动修正被控参数偏离给定值的能力,控制精度高,适应面广,是基本的控制系统。负反馈控制系统的工作原理是:当干扰作用 f 发生后,被控参数 θ_a 偏离给定值,这种变化被传感器测出 θ_z 并送到控制器的比较环节与给定值 θ_c 比较,得出偏差 $e = \theta_c - \theta_z$,偏差 e 输入到控制器中,经过控制器加工运算,输出一个和偏差 e 成一定关系的控制量 p ,去调节执行机构,改变输入到控制对象中的能量 q ,克服干扰造成的影响,使被控参数又趋于给定值。可见,负反馈控制的实质是以偏差克服偏差

的控制过程。自动控制系统的基本功能是信号的测量、变送、比较和处理。

1.1.2 自动控制系统的分类

自动控制系统的分类方法有多种。按给定值的给定变化规律来分,自动控制系统可分为:

1) 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,即给定值 $\theta_c = \text{常数}$,这种系统在制冷空调中应用最为普遍。

2) 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,即给定值 $\theta_c = f(t)$ 为时间 t 的函数,如环境实验室中的设定温度。

3) 随动控制系统。是指被控参数的给定值事先不能确定,取决于本系统以外的某一进行过程中的系统,即给定值 $\theta_c = f(\theta_r)$ 为随机量 θ_r 的函数。

若按控制动作与时间的关系来分,自动控制系统可分为:

1) 连续控制系统。是指所有的参数都是随时间连续变化,并且调节过程也是连续的系统。

2) 断续控制系统。是指有一个以上的参数是开关量的系统。如电磁阀控制蒸发器供液,要么开,要么关,不会停在中间某一位置。

除了以上两种分类方法外,还有其他分类方法,如按控制器使用的能源种类分为气动控制系统、液动控制系统、电动控制系统;按控制器的控制规律分为双位、比例(P)、比例积分(PI)、比例微分(PD)、比例积分微分(PID)控制系统等。

1.1.3 自动控制系统的品质指标

在讨论自动控制系统的品质指标前首先了解几个相关概念。自动化领域内,把被控参数不随时间变化的平衡状态称为系统的静态,把被控参数随时间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。实际工程中总存在一些破坏系统平衡状态的干扰作用,干扰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,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。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,可见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系统的动态。

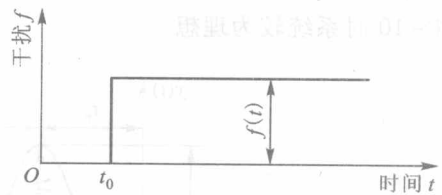


图 1-3 阶跃干扰作用

(1) 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。这种自动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。研究过渡过程的目的是为了研究控制系统的质量。

定值控制系统受到阶跃干扰后,过渡过程的基本形式有四种,如图 1-4 所示。图 1-4a 所示曲线是发散振荡过程,被控参数变化幅度越来越大,是一种不稳定的过程,在控制系统中应当避免。图 1-4b 所示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,是可以采用的。图 1-4c 所示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。图 1-4d 所示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、控制品质差,是一种很不理想的过渡过程。

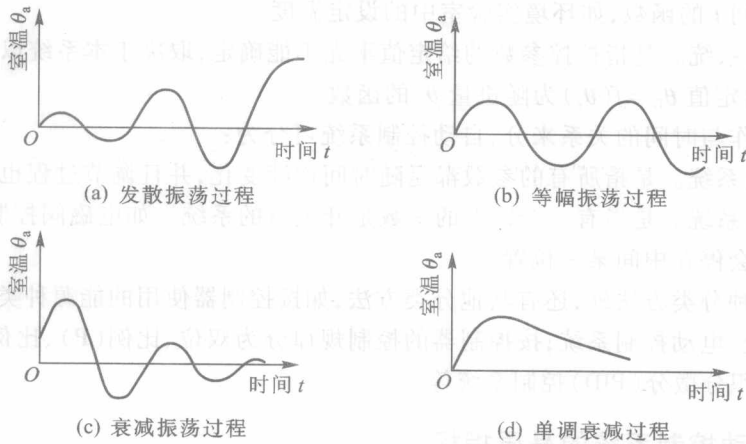


图 1-4 过渡过程的基本形式

(2) 自动控制系统的品质指标。常用的品质指标有下面几个。

1) 衰减比 n 。衰减比是表示衰减程度的指标,如图 1-5 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,系统为等幅振荡,也不稳定;当 $n > 1$ 时,系统为衰减振荡,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 $n = 4 \sim 10$ 时系统较为理想。

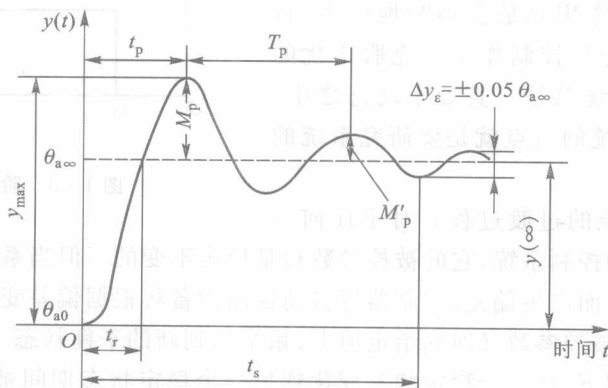


图 1-5 自动控制系统受到阶跃干扰后衰减振荡过程质量指标

2) 动态偏差 M_p 。又称最大超调量。被控参数在过渡过程中,第一个最大峰值超出新稳态 $\theta_{a\infty}$ 的量,称为最大超调量 M_p ,常称动态偏差。设计控制系统时,必须对此作出限制性规定, M_p 大,则质量差。

3) 最大偏差 y_{\max} 。被测量偏离给定值的最大量称为最大偏差。对于衰减振荡过程,最大偏差是第一个波峰值,如图 1-5 中的 y_{\max} 。最大偏差越大,控制系统过渡过程品质指标越差。

4) 静态偏差 $y(\infty)$ 。又称余差,它是被控参数新的稳态值 $\theta_{a\infty}$ 与给定值 θ_{a0} 之差,如图 1-5 中的 $y(\infty) = \theta_{a\infty} - \theta_{a0}$ 。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。

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 $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$,则该系统的给定值为 $23\text{ }^{\circ}\text{C}$,要求静态偏差 $y(\infty) \leq 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。制冷系统对静态偏差的要求一般较高,如某冷库温度设计为 $-17\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$,即静态偏差 $y(\infty) \leq 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

5) 控制时间 t_s 。控制时间 t_s 是指系统受到干扰作用,被控参数从开始波动过渡到新稳态值上下的 2% (或 5%) 范围内而不再超出时所需要的时间。令这一范围为 Δy_e 。对于有差控制系统, $\Delta y_e \leq 5\% y(\infty)$; 对于无差控制系统,一般取 $\Delta y_e \leq 2\% y(\infty)$ 或更小。

6) 振荡周期 T_p 。过渡过程中从第一个波峰到第二个波峰之间的时间。

上述六个品质指标中只有静态偏差 $y(\infty)$ 表示系统的静态指标,其他均为动态指标。这六个指标反映控制系统三个方面的性能:衰减比、动态偏差和最大偏差是反映系统稳定性的指标;静态偏差是反映系统精密性的指标;控制时间和振荡周期是反映系统快速性的指标。各种不同用途的控制系统,除了系统都要求稳定外,对控制过程的其他质量指标要求各有不同,一般控制系统都希望 M_p 、 $y(\infty)$ 及 t_s 值小些好。

制冷空调对象属慢速热工对象,有些参数(如温度)的控制目的是为了改善工作和生活条件,故对动态偏差要求可以放宽一些,控制过程时间要求也不严,往往只对静态偏差提出严格要求。因此,在控制系统设计过程中,为方便及简化设计程序,常常突出稳定性和静态偏差两个指标,而把其他品质指标放在次要地位。

1.2 自动控制系统构成环节的特性

自动控制系统是由被控对象及自动控制设备组成的。被控对象及自动控制设备特性的优劣对自动控制系统的品质有着重要的影响。研究构成自动控制系统的各环节特性,探讨各环节特性与系统控制品质之间的关系,有利于正确设计控制系统方案。

1.2.1 被控对象的特性

任何一个被控对象,都能贮存一定的能量或工质。被控对象贮存能量或工质的能力(或被控对象的蓄存量)称为被控对象的容量。例如,空调室的热量 $Q = \sum_{i=1}^n m_i c_i \theta$, 式中 θ 为室内温度; m_i 、 c_i 分别为空调室壁及各部分设备的质量和比热容,则被控对象的容量为 Q 。显然,被控参数(温度)升高,则容量增大,因此容量是一个随着工况变化的参数。

容量系数表示被控参数变化一个单位值时,被控对象容量的改变量,也就是容量对被控参数的一阶导数。如上例,对空调室而言,其容量系数为:

$$C = \frac{dQ}{d\theta} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i c_i d\theta}{d\theta} = \sum_{i=1}^n m_i c_i$$

显然,房间中物品设备的质量愈大,比热容愈大,其容量系数也愈大,其值不随工况而变化。容量系数 C 大的对象,在同样的被控参数变动幅度下,对象贮存起来的工质或能量也大。因此,容量系数 C 大的对象具有较大的贮蓄能力或称有较大的惯性。

容量系数 C 较大的对象,受干扰作用后,被控参数的反应比较缓慢,较不灵敏。如同十个人走进一小房间,房间内温升大,而走进一个大房间,房间内温升小的道理一样。一般地说,容量系数大的对象,其控制性也较好。

制冷空调中的被控对象大多都可当作热工对象,它的特性常用对象响应曲线来描述。所谓对象响应曲线也称飞升曲线,是指在无控制器的情况下对象受到阶跃干扰后,被控参数随时间变化的曲线,它反映了被控对象的动态特性。控制对象常见的响应曲线形式如图 1-6 所示。

在响应曲线上可以获得三个描述对象特性的参数:

(1) 放大系数 K_1 。

$$K_1 = \frac{\theta_{a\infty} - \theta_{a0}}{m} \quad (1-1)$$

式中: θ_{a0} ——原稳态值(如图 1-6 所示);

$\theta_{a\infty}$ ——新稳态值(如图 1-6 所示);

m ——干扰输入量。

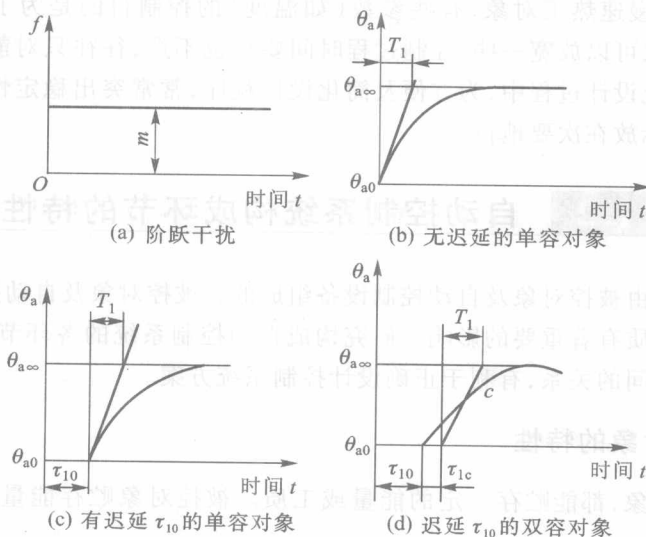


图 1-6 控制对象常见的响应曲线形式