21世纪高职高专规划教材

制冷与空调装置自动控制技术

主　编　南京化工职业技术学院　孙见君
副主编　无锡商业职业技术学院　林　勇
参　编　常州工程职业技术学院　付　璞
　　张家界航空职业技术学院　谭本军
主　审　无锡商业职业技术学院　林　钢



机械工业出版社

需要全本请访问 www.ertongbook.com

全书共分 缘章，分别介绍制冷与空调装置自动控制的理论基础、制冷与空调系统常用控制器和执行器、制冷剂循环系统的自动控制、空气调节系统的自动控制和典型制冷空调装置的自动控制案例分析。从制冷空调系统的质量指标要求、组成环节特性及其自动控制系统的方案确定与运行着手，引入空气质量 （悄勾） 控制器，系统分析了家用空调器、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，重实用的职业教育特点。可作为高等职业技术学院制冷与空调专业教材，也可供制冷与空调专业的本科生、工程技术人员参考。

图书在版编目 （悄孕） 数据

制冷与空调装置自动控制技术蛹小见君主编 援—北京：机械工业出版社，圆

圆世纪高职高专规划教材

陈

Ⅰ圆制 Ⅱ圆孙 Ⅲ圆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圆

中国版本图书馆 悄孕数据核字 （圆

机械工业出版社 （北京市百万庄大街 圆 邮政编码

责任编辑：余茂祚 版式设计：冉晓华 责任校对：张晓蓉

封面设计：饶 薇 责任印制：闫 焱

北京瑞德印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

圆年 第 员版第 员次印刷

印张 · 员插页 · 千字

定价：元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

本社购书热线电话 （

封面无防伪标均为盗版

圆贡世纪高职高专规划教材
编 委 会 名 单

编 委 会 主 任　王文斌　郝广发

编委会副主任 (按姓氏笔画为序)

马元兴　王茂元　王明耀　王胜利　王锡铭
田建敏　刘锡奇　杨　飒　杨文兰　佘元冠
李兴旺　李居参　陈丽能　陈瑞藻　张建华
沈国良　杜建根　沈祖尧　茆有柏　徐铮颖
符宁平　焦　斌

编 委 会 委 员 (按姓氏笔画为序)

王志伟　付丽华　许　展　朱　强　齐从谦
成运花　李连邺　李学锋　李茂松　李超群
曲昭钟　张　波　肖　珑　吴　锐　陈月波
陈江伟　杨克玉　杨国祥　杨翠明　何志祥
何宝文　吴诗德　吴振彪　武友德　宗序炎
周国良　俞庆生　恽达明　娄　洁　唐志宏
晏初宏　倪依纯　徐炳亭　崔　平　崔景茂

总　策　划　余茂祚
策 划 助 理　于奇慧

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。根据笔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，同时保证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，也要了解和掌握自动控制理论和技术。

全书共分 缘章，分别介绍制冷与空调装置自动控制的理论基础、制冷与空调系统常用控制器和执行器、制冷剂循环系统的自动控制、空气调节系统的自动控制和典型制冷空调装置的自动控制案例分析。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 猿章及第 缘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国标进行改动。

本书由南京化工职业技术学院孙见君任主编，并编写绪论、第 员章、第 圆章 圆节中的空气质量 （情）控制器、风机盘管控制器、液位控制器、程序控制器，圆节中的风量调节阀、防火阀、排烟阀和第 缘章。张家界航空职业技术学院谭本军编写第 圆章 圆节中的温度控制器、压力控制器、湿度控制器，圆节中的膨胀阀、蒸发压力调节阀、吸气压力调节阀、电磁阀、主阀和水量调节阀。常州工程职业技术学院付璞编写第 猿章；无锡商业职业技术学院林勇编写第 源章。

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

本书由无锡商业职业技术学院林钢任主审。在编写过程中，得到了南京化工职业技术学院王伯春、张国东、全琴、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

目　录

前言

绪论 …… 1

第 1 章　制冷与空调装置自动控制的理论基础 …… 6

1.1 自动控制系统的组成及其质量指标 …… 6

1.2 自动控制系统构成环节的特性 …… 12

1.3 自动控制系统的方案确定与运行 …… 21

1.4 制冷与空调装置自动控制系统 …… 25

第 2 章　制冷与空调系统常用控制器和执行器 …… 30

2.1 常用控制器 …… 30

2.2 执行器 …… 45

第 3 章　制冷剂循环系统的自动控制 …… 52

3.1 制冷系统基本控制回路 …… 52

3.2 典型活塞式制冷机组的自动控制 …… 57

3.3 螺杆式冷水机组的自动控制 …… 61

3.4 离心式制冷机组的自动控制 …… 65

3.5 溴化锂吸收式制冷机组的自动控制 …… 68

第 4 章　空气调节系统的自动控制 …… 71

4.1 空调系统的温度控制 …… 71

4.2 空气调节系统的湿度控制 …… 74

4.3 空调系统静压控制的基本方法 …… 76

4.4 空调系统的自动控制 …… 78

第 5 章　典型制冷空调装置的自动控制案例分析 …… 81

5.1 家用变频空调器的自动控制 …… 81

5.2 中央空调系统的自动控制 …… 84

5.3 汽车空调的自动控制 …… 87

5.4 冷藏库系统的自动控制 …… 90

附录 …… 93

附录 A　电工常用基本文字符号 …… 93

附录 B　常用辅助文字符号 …… 94

附录 C　常用电气图形符号 …… 95

附录 D　阀门的图形符号 …… 96

附录 E　中国、日本、美国主要电气图形符号对照 …… 97

参考文献 …… 99

需要全本请访问 www.ertongbook.com

绪　　论

为了满足生活和生产科研活动对环境的要求，人们往往采用制冷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，而且要了解和掌握自动控制理论与技术。充分认识制冷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，适合不同用户要求，以及明确制冷空调自动控制的发展方向，对制冷空调装置的开发与实践有着十分重要的现实意义。

员援制冷空调技术的发展历程及其工程应用

根据制冷方法不同，制冷空调技术分为绝热膨胀法、物相转化法、绝热去磁法和激光制冷。绝热膨胀法制冷是指绝热的气体体积膨胀时可引起气体分子动能的减少，从而温度降低。绝热膨胀法主要包括绝热自由膨胀法和绝热节流膨胀法。绝热自由膨胀法是由法国采矿工程师 [illegible] 于 [illegible] 年在一次实验时无意中发现的。物相转化法通常利用物相变化时伴随有潜热变化及物相转化温度易受外界影响的特点，通过降低物相转化温度并及时消除相变潜热来达到降温目的，物相转化法主要包括蒸发冷却法、压缩固化[illegible]与[illegible]和稀释制冷法。绝热去磁法是由 [illegible] 等人于 [illegible] 世纪 [illegible] 至 [illegible] 年代发展起来的制冷方法。绝热去磁法是基于磁有序和无序间的转变伴随有熵和热量变化的原理来获得低温的。激光制冷于 [illegible] 年由[illegible]和[illegible]首先提出，它主要先利用速度选择器使速度（大小和方向）一致（有序）然后利用激光的辐射压力阻尼中性气体原子的热运动使之动能减小，从而达到降温目的。制冷空调技术的发展是随着社会生产力变革和需求不断进步的。

（员）制冷空调技术的发展历程：人类最早将冬季自然界的天然冰雪保存到夏季使用，这在我国、埃及和希腊等文化古国的历史上都有记载。

人工制冷的方法是随着工业革命而开始的。[illegible] 年英国柯伦证明了乙醚在真空下蒸发时会产生制冷效应。[illegible] 年苏格兰人 [illegible] 发明了第一台蒸发式制冷机，[illegible] 年意大利人凯弗罗进行了乙醚蒸发制冷实验。[illegible] 年美国人 [illegible] 获得了乙醚在封闭循环中膨胀制冷的英国专利，并制得了冰。[illegible] 年苏格兰人 [illegible] 发明了压缩式制冷机，采用二氧化碳、二氧化硫、氨、氯甲烷作制冷剂。[illegible] 年法国人 [illegible] 发明氨吸收式制冷机。美国人 [illegible] 于 [illegible] 年制造了第一台氨压缩机。次年，德国人 [illegible] 建成了第一个氨压缩式制冷系统。此后，氨压缩式制冷机在工业上获得普遍应用。直至 [illegible] 年氟里昂发现之后，氟

圆

里昂压缩式制冷机才快速发展起来，并在应用中超过了氨压缩机。

空气制冷机的发明比蒸汽压缩式制冷机稍晚。[illegible]年美国人[illegible]发明了空气循环式制冷机，并于[illegible]年获得美国专利，这是世界上第一台制冷和空调用机器。[illegible]年英国人基尔发明了封闭循环的空气制冷机，并获英国专利。

[illegible]年美国人尼斯取得了冷库设计的第一个美国专利，从此商用食品冷藏事业开始发展。在家用冰箱方面，世界上第一台电冰箱是美国考布兰工程师在[illegible]年设计的。此后，制冷技术在人民生活中获得了应用。

享有“空气调节之父”美誉的美国人开利尔（[illegible]）于[illegible]年创建了第一间暖通空调实验室，提出了若干实践验证理论的计算方程式。[illegible]年，他通过实验结果，设计和安装了彩色印刷厂的全年性空气调节系统。后来，他又将喷嘴和挡水板设置到喷水室内，改善了温湿度控制的效果，使全年性空调系统能够满意地应用于[illegible]种以上不同类型的工厂。[illegible]年[illegible]月，开利尔在空气调节的研究上出现了新的飞跃，他得出了空气干球湿度、湿球温度和露点温度的关系，以及空气显热、潜热和焓值之间关系的计算公式，绘制了湿空气的焓湿图，这也是空气调节发展史上的一个重要里程碑。[illegible]年世界上第一台由开利尔设计，以四氯化碳为制冷剂的用于空气调节的整体离心式制冷机组，在美国开利尔建筑公司（[illegible]）和德国一家制造公司的通力合作下试制成功，进一步推动了空调技术的发展。

随着制冷机型的不断发展，制冷工质的种类也逐渐增多。在吸收式制冷机中应用最多是水和溴化锂。最早在压缩式制冷机中应用的制冷剂是空气、二氧化碳、乙醚。以后渐渐在压缩式制冷机中应用氯甲烷、二氧化硫和氨等。[illegible]年以后，随着氟利昂制冷剂的出现，制冷压缩机和制冷系统的种类也不断发展。

我国制冷工业比较落后，[illegible]年前基本上没有制造制冷机的能力。到[illegible]年，全国冷库总容量只有[illegible]相当于现有一个城市的拥有容量。我国空调技术的应用起步并不太迟，[illegible]年，上海纺织厂安装了带喷水室的空气调节系统，其冷源为深井水。随后在一些电影院和银行也实现了空气调节，几座高层建筑物先后设置了全空气式的空调系统。[illegible]年研制成功了第一台风机盘管机组。经过几十年的努力，我国的制冷空调技术获得了迅猛发展。目前我们已能独立设计、制造和装配多种制冷机组和空调系统，形成了一套完整的设计、生产及管理体系，走向了世界市场。

（圆）制冷空调技术的工程应用：制冷空调技术在社会各个领域有着极其广泛的应用。在商业上，主要应用于易腐食品（如鱼、肉、蛋、蔬菜、水果等）的冷却加工、冷藏及冷藏运输，以及减少生产和分配中的食品损耗，保证市场季节的合理销售。现代化的食品工业，对于易腐食品，从生产到销售已形成一条完整的冷链。所采用的制冷装置有冷冻设备、冷库、冷藏列车、冷藏船、冷藏汽车及冷藏集装箱等。另外，还有供食品零售商用的冷藏柜、冷柜以及消费者的家用冰箱等。而冷藏列车等运输形式的冷藏装置实际上就是可以高速移动的冷库，它是随着制冷技术和交通的发展而发展的，以满足食品冷链的需要。此外，与食品冷藏技术有关的是食品的包装，即必须对肉类等食品采用分割加工工艺，然后进行冷却、冷冻和包装冷藏，这样既能保证质量，提高冷库容量，并实现节能。

降温和空气调节在工矿企业、住宅和公共场所的应用也越来越广。空气调节分为舒适空调和工艺空调。舒适空调是用来满足人们舒适需要的空气调节，而工艺空调是为满足生产中

工艺过程或设备的需要而进行的空气调节。空气调节对国民经济各部门的发展和对人民物质文化生活水平的提高有着重要的作用。这不仅意味着受控的空气环境对各种工业生产过程的稳定运行和保证产品的质量有重要作用，而且对提高劳动生产率、保护人体健康、创造舒适的工作和生活环境有重要意义。工业生产中的精密机械和食品制造业及精密计算机要求高精度的恒温恒湿；电子工业要求高洁净度的空调；纺织业则要求保证湿度的空调。同时，在民用及公共建筑中，随着改革开放，旅游业的蓬勃发展，装有空调的宾馆、酒店、商店、图书馆、会堂、医院、展览馆、游乐场所日益增多。此外，在运输工具如汽车、火车和轮船中，也不同程度地安装有空气调节设备。空气调节技术包括制冷、供暖、通风和除尘，其中制冷降温是空气调节的一项关键技术。

在工业生产过程中，制冷应用也很广。如机械制造中，对钢的低温处理，使金相组织内部的奥氏体转变为马氏体，改善钢的性能。在钢铁和铸铁工业中，采用冷冻除湿送风技术，利用制冷机先将空气除湿，然后再送入高炉或冲天炉，保证冶炼及铸件质量。化学工业中，气体的液化，混合气分离，盐类结晶，润滑油脱脂，某些化学反应过程的冷却、吸收反应热和控制反应速度等过程中，都需要应用制冷技术。此外，石油裂解、合成橡胶、合成树脂、化肥、天然气液化、储运也都需要制冷。工业生产用制冷机的特点是容量比较大，蒸发温度范围广，一个工程往往需要几千至几万千瓦的制冷量，所需的蒸发温度范围也大，有的生产过程只需要 园益以上，有的需要 原圆益以下，而天然气液化时蒸发温度低达 原员缘圆益以下。

在核工业中，制冷技术用来控制原子能反应堆的反应速度，吸收核反应过程放出的热量。在航天和国防工业中，航空仪表、火箭、导弹中的控制仪器，以及航空发动机，都需要在模拟高温和低温条件下进行性能实验。在高寒地区使用的汽车、拖拉机、坦克、常规武器、铁路车辆、建筑机械等，也都需要在模拟寒冷气候条件下的低温实验室里进行实验。为此就需要建造各种类型的低温实验室，其所要求的蒸发温度一般比较低，大约在 原圆园~原员缘园益范围。此外，有些科学实验要求建立人工气候室以模仿高温、高湿、低温、低湿及高真空环境。这类似于宇宙空间特殊环境的创造和控制，对军事和宇航事业的发展具有重要作用。

在建筑工业中，用冻土法挖掘土方。在挖掘矿井、隧道，或在泥沼、砂水处掘进时，可采用冻土法使工作面不坍塌，保证施工安全。混凝土加冰搅拌也已经普遍采用。三峡工程大坝混凝土预冷系统就是采用综合措施，在胶带机上喷淋冷水冷却骨料，然后用冷风机风冷，再加片冰拌和混凝土。为防止坝体混凝土出现危险性的温度裂缝，大坝工程都需要大量的制冷机和片冰机。

在农业方面，对农作物种子进行低温处理，人工配种时牲畜良种精液的低温保存，模拟阳光的日光型植物生长箱育秧等均需要制冷技术。

在医药卫生部门的冷冻手术，如心脏、外科、肿瘤、白内障、扁桃腺的切除手术，皮肤和眼球的移植手术及低温麻醉等，也都需要制冷技术。医药工业中，还利用真空冷冻干燥技术保存如疫苗、菌种、毒种、血液制品等热敏性物质，以及制作各种动植物标本，低温干燥保存用于动物异种移植或同种移植的皮层、角膜、骨骼、主动脉、心瓣膜等组织。

此外，在微电子技术、光纤通信、能源、新型原材料、宇宙开发、生物工程技术这些尖端科学领域中，制冷技术也有重要的应用。

圆援自动控制技术在制冷空调装置中的地位

人类很早就进行简陋自动化装置的探索，但由于技术与理论的限制，直至 员怨世纪年之前，

源

都未有重大突破。[illegible]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的开始。同年，美国也出现了[illegible]调节器，[illegible]年，控制理论的经典部分已基本形成。可以说，自动控制技术的每一次进步都给制冷空调装置带来重大变革。

随着控制要求的不断提高，制冷空调装置从最初的简单控制发展成复杂控制系统。采用前馈控制系统的制冷空调装置，其克服干扰的能力比一般反馈控制快捷而及时。在高精度控制的空调中常采用串级控制系统，将主控制器的输出作为副控制器的外给定。副环被控参数一般选取受干扰较大，纯迟延较小，反应灵敏的参数，采用比例积分控制器或者比例控制器，副环对象的时间常数比主环对象的时间常数要小，且控制效果显著。

串级控制系统，对于控制对象纯迟延较大，时间常数较大，热湿干扰影响严重的空调系统是很适宜的。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控制系统，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，提高控制质量。

直接数字控制系统（[illegible]即[illegible]控制系统，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，若改变控制规律，则必须改变硬件；[illegible]控制系统中，控制规律的改变则只需改变软件的编制。

模糊控制[illegible]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[illegible]却能较好的适应这些特征，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[illegible]作为控制基准；在控制策略方面从基于查询表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、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，使所控制的室内温、湿度相对稳定，提高空调房间的舒适性。

如果认为空调自动控制的作用仅仅是可对温度、湿度实现较精确的控制，那就错了。其实，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、[illegible]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，从而大大减轻运行和管理人员的劳务，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。

应该看到，采用自控技术可节省能耗，降低运行费用，但也需增加一定的初次投资费用。尽管增大的初投资费用要不了多长时间便会从节约的能源费用中得到回收，但在现行投资机制和经济核算的方式下，往往由于削减投资以及工程设计对制冷空调自动控制技术缺乏了解，而以种种借口把空调自动控制拒之门外。因此只有通过各级技术监督管理或节能技术管理机构，依照相应的技术法规进行行政干预，才能改观。

猿援制冷空调装置自动控制系统的特点

制冷空调装置是为完成某种工艺介质的温度、湿度等一系列要求的机器和设备。它包括两大部分，一是完成冷媒循环的制冷工艺系统，另一是实现制冷装置安全稳定运行的自动控制系统。充分认识制冷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。

(员) 干扰多：制冷空调系统的干扰分为外扰和内扰，外扰主要是送风及围护结构传热的扰动，内扰就是指房间内电器、照明散热、工艺设备的起停及室内外物品流动等变化对室内温湿度产生的影响。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。

(圆) 控制对象的特性：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、湿度，控制效果很大程度上取决于空调系统本身，而不是自控部分，所以，了解空调对象的特性，是很关键的一个方面。控制器主要特性参数包括放大系数 K_T、时间常数 T_T 和纯迟延时间 τ_T。

(猿) 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，两个参数在控制过程中相互影响。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，因此在自控中要充分考虑到温、湿度的相关性。空调自控系统是以空调房间的温、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，任意环节有问题，都将影响空调房间的温、湿度控制，甚至使整个控制系统无法工作。

(源) 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，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。为了尽量避免空气处理过程中的冷热抵消，充分利用新、回风和发挥空气处理设备的潜力，在考虑温、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。

源援制冷空调装置自动控制技术的发展方向

近 [illegible] 年来，制冷空调自动控制技术发展很快，除经典自动控制理论应用外，现代控制论、模糊控制技术、神经网络理论开始应用于本领域。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，各国均投入了大量人力、物力研究制冷、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。

(员) 更加重视制冷空调装置的节能控制：制冷空调装置的耗能在国际经济中的比重日益递增，在发达的工业国家，这一能耗已占到总能源的 [illegible] 世纪 [illegible] 年代，制冷空调装置的自动控制，虽然也考虑了一般方法的能量控制，但较多考虑的还是保证制冷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控制等。

近年来，国际制冷界为了提高制冷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，对传统的制冷自控元件与结构形式提出了新的要求；它既要求保持制冷自控元件结构上的高密封性、小尺寸、价格低廉的特色，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控元件。

(3) 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，以便为制冷空调装置及其各部件的最佳匹配（优化）设计提供理论基础和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。

(4) 控制方法与制冷空调自控元件面临更新换代时期：自从[illegible]世纪初制冷装置开始采用最原始的自控元件（热力膨胀阀），至[illegible]年代后期，自控元件结构形式变化繁多，但从控制方法上归纳，一直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、小型制冷装置自控系统中，即使在[illegible]世纪，尚能在一段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控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，比比例控制器精度更高的比例积分控制器从[illegible]世纪[illegible]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[illegible]年起开始在冷藏库库温控制中引入了串级控制与补偿控制，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[illegible]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、梅洛尼两家公司于[illegible]年推出了自己的产品。利用这些类似的“家庭电子系统（[illegible]）”可实现对多种家电器具网络性控制，以及对外的通信联络。随着[illegible]技术的飞速发展，人们通过[illegible]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[illegible]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。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第 员章　制冷与空调装置自动控制的理论基础

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及和应用，自动化技术出现了崭新的飞跃。制冷空调装置作为人们生活及社会生产应用极为广泛的设备，要保证正常运行，实现自动控制，其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、质量指标、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。

员援员　自动控制系统的组成及其质量指标

制冷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的被控参数实行自动调节和自动控制。

员援员援员　自动控制系统的组成及框图

在制冷空调系统中，为了保证整个系统能正常运行，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。

所谓控制对象是指所需控制的机器、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。传感器是指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）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。调节机构为控制阀，它根据控制器送来的控制信号大小改变调节阀的开度，对控制对象施加控制作用，使被控参数保持在给定值。

图 员援员援员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，才能保持室温 $\theta_{室}$ 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、温度控制器、供水管上安装的电动二通阀组成。

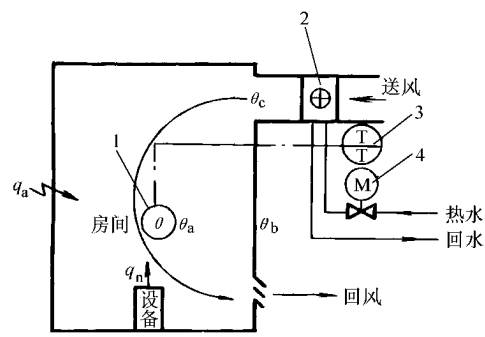


图 员援员援员　室温自动控制系统

员-温度传感器　圆-热水加热器　猿-温度控制器　源-电动二通阀
择-外侵热量　$\theta_{室}$-室内温度　$\theta_{遭}$-室外温度　$\theta_{精}$-送风温度

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

动控制系统框图来表示自动控制系统。图 员源圆为图 员源猿所示的室温自动控制系统的框图。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，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。

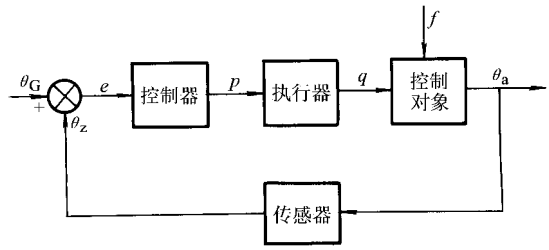


图 员源圆 室温自动控制系统框图

从图 员源圆可看出，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 $\theta_{葬}$，它通过传感器这个环节再返回到系统的输入端，与给定值 $\theta_{郧}$ 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 枣发生后，被控参数 $\theta_{葬}$ 偏离给定值，这种变化被传感器测出 $\theta_{扎}$ 并送到控制器的比较环节与给定值 $\theta_{郧}$ 比较，得出偏差 藻越 $\theta_{郧}$ 原 $\theta_{扎}$，偏差 藻输入到控制器中，经过控制器加工运算，输出一个和偏差 藻成一定关系的控制量 责，去调节执行机构，改变输入到控制对象中的能量 择，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、比较和加工。

员援圆援圆 自动控制系统的分类

(员) 按给定值的给定变化规律，自动控制系统可分为：

员 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 $\theta_{郧}$ 越常数，这种系统在制冷空调中应用最为普遍。

圆 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 $\theta_{郧}$ 越枣(贼) 为时间 贼的函数，如环境实验室中的设定温度。

猿 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 $\theta_{郧}$ 越枣($\theta_{则}$) 为随机量 $\theta_{则}$ 的函数。

(圆) 按控制动作与时间的关系，自动控制系统可分为：

员 连续控制系统。是指所有的参数都是随时间连续变化的系统。

圆 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量，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 (孕)、比例积分 (孕陨)、比例微分 (孕阅) 、比例积分微分 (孕陨阅) 控制系统等。

员援圆援猿 自动控制系统的质量指标

在讨论自动控制系统的质量指标时，首先应了解几个相关概念。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，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。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 员猿原猿所示，阶跃干扰在 贼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。

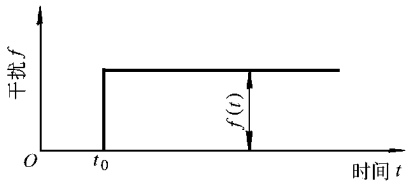


图 员猿原猿 阶跃干扰作用

员猿圆 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就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，过渡过程基本形式有四种，如图 员猿原源所示。图 葬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 遭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。图 糟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 凿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。

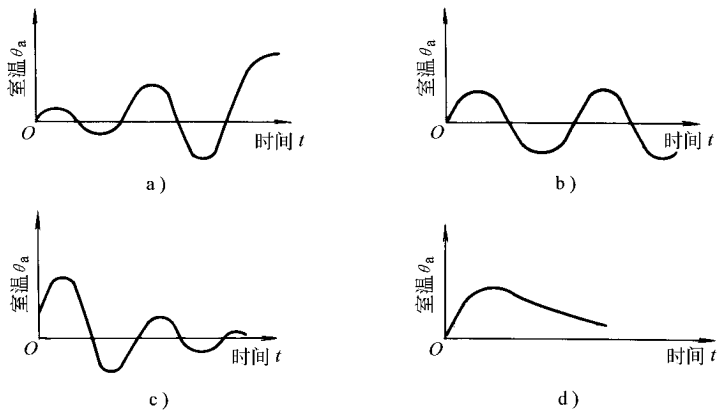


图 员猿原源 过渡过程的基本形式

葬 发散振荡过程　遭 等幅振荡过程　糟 衰减振荡过程　凿 单调衰减过程

员猿猿 自动控制系统的质量指标　常用的质量指标有下面几个。

（员）衰减比 灶：衰减比是表示衰减程度的指标，如图 员猿原缘所示，其值为前后两个波峰值之比，即 灶越酝员悦酝圆。当 灶约员时，系统为发散振荡，不稳定；当 灶越员时，系统等幅振荡，也不稳定；当 灶跃员时，为衰减振荡，是稳定过程。灶太小，系统不容易稳定下来；灶太大，系统不灵敏，一般 灶越原～员缘时系统较为理想。

（圆）动态偏差 酝员：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 赠（肄）的量，称为最大超调量 酝员，常称动态偏差。设计控制系统时，必须对此作出限制性规定，酝员大，则质量差。

（猿）最大静态偏差 赠酝员：被调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 员园猿中的 赠酝员所示。最大静态偏差越大，控制系统过渡过程质量指标越差。

（源）静态偏差 赠（肄）：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 员园猿中的 赠（肄）越 $\theta_{a\infty}$ 原 θ_{a0} 所示。若 赠（肄）越园 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 赠（肄）跃园 则为有差系统。

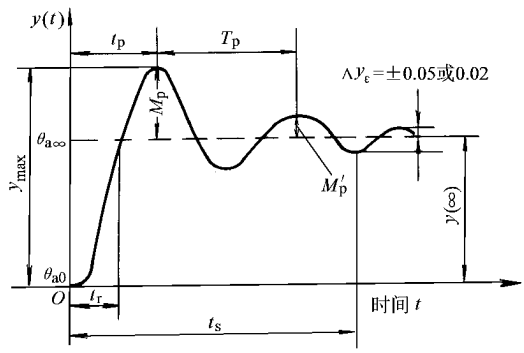


图 员园猿 自动控制系统受到阶跃干扰后衰减振荡过程质量指标

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 圆园℃，依圆℃，则该系统的给定值为 圆园℃，要求静态偏差 赠（肄）≤圆℃；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 原员℃，依员℃，即静态偏差 赠（肄）≤员℃。

（缘）控制时间 贼：控制时间 贼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 圆缘（或 缘缘）范围内而不再越出时所需要的时间。令这一范围为 △赠。对于有差控制系统，△赠≤缘缘赠（肄）；对于无差控制系统，一般取 △赠≤圆缘赠（肄）或更小。

（远）振荡周期 栽：过渡过程中从第一个波峰到第二个波峰之间的时间。

上述 远个质量指标中只有静态偏差 赠（肄）表示系统的静态指标，其他均为动态指标。这 远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。动态指标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 酝员、赠（肄）及 贼值小些好。

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，而把其他质量指标放在次要地位。

员园园猿 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，对自动控制系统质量有着重要的影响。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质量之间的关系，有利于正确设计控制系统方案。

员园园猿员 控制对象的特性

制冷空调中的控制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，是指在没有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，它反映了控制对象的动态特性。控制对象常见的响应曲线形式如图第[illegible]所示。

在响应曲线上可以获得三个描述对象特性的参数：

第[illegible]放大系数 运员

$$运员越\frac{\theta_{新稳}-\theta_{原稳}}{皂} \qquad (第[illegible]$$

式中 $\theta_{原稳}$——原稳态值（见图 第[illegible]）；

$\theta_{新稳}$——新稳态值（见图 第[illegible]）；

皂——干扰输入量。

即单位干扰引起的被控参数的变化量，它表示对象的自平衡能力的大小。所谓自平衡能力就是在没有控制器的情况下，对象受到干扰后也能够稳定下来的性能。放大系数越大，自平衡能力越小，抗干扰能力越差。

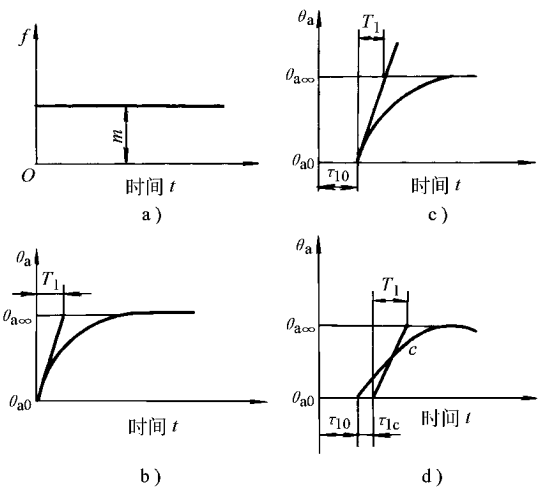


图 第[illegible] 控制对象常见的响应曲线形式
葬 阶跃干扰 遭 无迟延的单容对象
糟 有迟延 $\tau_{第}$的单容对象 凿 迟延 $\tau_{第}$的双容对象

圆[illegible]时间常数 栽员 从响应曲线的起始点作切线与新稳态值 $\theta_{新稳}$ 交点的时间间隔称时间常数 栽员，它表示热工对象惯性的大小，即表示对象受到干扰后从一个稳定状态到另一个稳定状态过渡过程的快与慢。一般说来，对象时间常数 栽员大，被控参数变化缓慢，控制过程时间长，但系统平稳；对象时间常数 栽员小，被控参数变化快，控制过程时间短，但容易引起系统振荡和超调。所以时间常数适当大些，可调性能较好。

猿[illegible]迟延时间 $\tau_{员}$ 在实际生产过程中，不少控制对象在受到干扰作用或控制作用后，被控参数并不立即变化，而是延迟一段时间才发生变化，这段延迟时间称为控制对象的迟延时间。迟延时间分为传递迟延 $\tau_{第}$与容量迟延 $\tau_{第}$ 传递迟延是由于调节机构到控制对象、控制对象到传感器之间存在距离，能量或物料量发生输入变化时，不能立即充满空间，需要一定的传递时间 $\tau_{第}$ 任何一个控制对象，都能储存一定的能量或物料，对象储存能量或物料的能力称为对象的容量。多数控制对象具有两个或两个以上的容量，在容量之间总是存在着阻力（如热阻），控制作用在克服这些阻力后才能使被控参数发生变化，因此被控参数的变化总是迟延于干扰作用或控制作用。对于双容对象，其响应曲线如图 第[illegible]所示，是带有拐点 糟 的曲线。为了简化问题，在拐点 糟 处作上半部曲线的切线，与时间轴的交点和 $\tau_{第}$点的时间间隔称容量迟延 $\tau_{第}$ 这样就可以把双容对象看作为有总迟延 $\tau_{员}$越$\tau_{第}$垣$\tau_{第}$的单容对象。在 $\tau_{员}$期间，干扰已经发生，偏差还未形成，这对以偏差克服偏差的负反馈控制系统来说，$\tau_{员}$ 期间干扰一直作用于控制对象，被控参数在不断变化之中，而控制器并不产生控制作用。因此，对象迟延时间的存在将使超调量增大，稳定性下降，控制时间加长，控制质量变坏。

从提高系统稳定性的角度来看，希望其他环节的时间常数尽量比对象的时间常数 栽员小，同时也希望放大系数 运员小些。但 运员小会使静态偏差 赠（肄） 增大，所以从提高系统稳定性的角度与从提高系统精密度的角度对 运员的要求是矛盾的。解决此矛盾的原则是：在满

足系统稳定性要求的前提下，尽量增大 运员值，以提高系统的控制精度。

员圆圆圆 自动控制设备的特性

如上节所述，自动控制设备是由传感器、控制器和执行器组成的。系统的控制质量不仅与被调对象的特性有关，而且与自动控制设备，即构成控制系统的传感器、控制器和执行器的特性有关。

员圆圆 传感器的特性及其对系统控制质量的影响　在制冷与空调系统中，常用的有温度、压力及湿度等几种传感器。这些传感器，一般可以看作单容对象，其性能可以用与图 员圆圆相似的响应曲线来描述，其时间常数用 栽圆表示，表征传感器热惯性的大小。根据 栽圆的大小，对于铂电阻一类的温度传感器，热电阻可分为大惯性的 栽圆越员园园 滴园园 中惯性的 栽圆越员园 员园园 小惯性的 栽圆≤员园 选择传感器时，如要及时反应被控参数的变化，必须选用小惯性的传感器。

圆圆 控制器的特性　控制器决定了自动控制系统的控制规律，并在很大程度上决定了自动控制系统的控制质量，因此控制器是自动控制系统的核心。控制器的输出信号 责是控制作用，输入信号是测量值与给定值的偏差 藻越$\theta_{郧}$原$\theta_{把}$ 控制器的特性即控制器的输出 责与输入 藻的函数关系 责越枣（藻），即所谓控制器的控制规律。

依照控制器的控制规律，控制器可分为双位、比例 （孕）、比例积分 （孕陨）、比例微分 （孕阅）、比例积分微分 （孕陨阅） 等。一般的制冷空调系统控制精度要求不高，被控参数允许在一定范围内变化。采用结构简单、价格低廉的双位控制器和比例控制器就能满足要求。只有在控制精度要求较高的制冷空调系统中，才采用 孕陨或 孕陨阅控制器。

（员）双位控制器

员 双位控制规律。双位控制是最简单的一种控制方式，当控制器的输入信号发生变化后，控制器的输出信号只能有两个值，即最大输出信号和最小输出信号，因此称之为双位控制。

在制冷和空调系统中，很多热工参数如温度、湿度、压力和液位等，都广泛地使用双位控制。

图 员圆苑所示的冷库温度控制系统就是一个双位控制系统。库温要求控制在 原员园益依员益。控制器将传感器感受到的被控参数（温度）值与给定值进行比较，然后将比较的结果发送给执行元件——电磁阀，指令电磁阀动作。当库温升高到上限 （原员园益）时，控制器输出触点闭合，指令电磁阀开启，向蒸发器供液；当库温下降到下限（原员益）时，控制器输出触点断开，指令电磁阀关闭，停止向蒸发器供液；当库温重新回升到上限，电磁阀又重新开启。可见，双位控制器的执行机构只有开和关两种状态。只有被控参数达到上限或下限时，控制器才动作，控制执行机构全开或全关。被控参数处于差动范围之内时，控制器的输出触点保持原有状态。

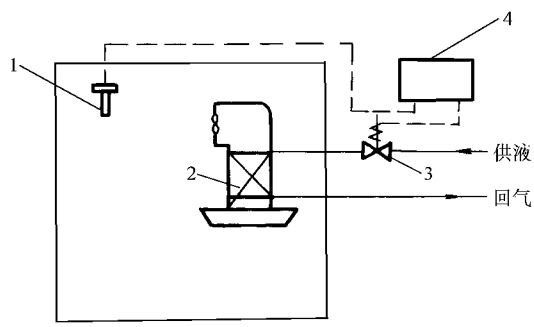


图 员圆苑　冷库温度双位控制系统

员-铂热电阻　圆-冷风机　猿-电磁阀　源-控制器

圆 双位控制器的静态特性。双位控制器的动作规律，可用图 员圆愿所示的静态特性曲线

需要上本请访问 www.ertongbook.com