# 声　明

本电子书由中国农业出版社数字出版，相关权利归中国农业出版社拥有。读者、著作权人和（或）依法可以行使著作权的权利人如有疑问，请与中国农业出版社联系：

地址：北京市朝阳区麦子店街 18 号楼

邮编：100026

电话：010-64194921 010-65005894

E-mail:lishanzhao@sina.com

中国农业出版社

全国中等水产学校教材

# 冷库制冷装置自动化

河北水产学校　主编

制冷专业用

农业出版社

全国中等水产学校教材

# 冷库制冷装置自动化

河北水产学校　主编

制冷专业用

农业出版社

# 目　　录


绪论 …… 1

第一章　冷库自动调节的基本概念 …… 3

第一节　自动调节系统概述 …… 3

第二节　自动调节系统的过渡过程及质量指标 …… 5

第三节　调节对象的特性 …… 8

第四节　调节器的特性 …… 11

第二章　制冷工艺参数的自动检测仪表、控制器及自动阀门 …… 18

第一节　自动化仪表的基本知识 …… 18

第二节　压力检测仪表及控制器 …… 20

第三节　压差控制器 …… 27

第四节　温度检测及调节仪表 …… 31

第五节　液位检测和控制器 …… 43

第六节　湿度检测及检测仪表 …… 55

第七节　程序控制器 …… 59

第八节　流通类自动控制元件 …… 69

第三章　冷库制冷装置的自动控制 …… 102

第一节　库房温度的自动控制 …… 102

第二节　氨泵系统的自动控制 …… 116

第三节　压缩机的自动控制 …… 121

第四节　冷凝压力的自动控制 …… 131

第五节　油系统的自动控制 …… 134

第六节　放空气器的自动控制及库房呼救信号 …… 140

第七节　电子计算机在冷库自动控制中的应用 …… 141

第四章　制冷装置自动控制的系统调试及故障分析 …… 145

第一节　制冷装置自动控制的系统调试 …… 145

第二节　制冷装置自动控制的故障分析 …… 156

# 绪　论

**一、冷库制冷装置自动化的意义**　冷库由于受室外空气温度变化、食品进出库等外界条件的影响，热负荷经常波动。要使制冷装置的产冷量和冷库的耗冷量不断趋于或达到平衡，保证各冷间所需的温、湿度数值不超过食品冷藏工艺所允许的波动范围，就必须对整个制冷装置及时地、准确地进行检测和调节。采用人工调节，存在着占用劳动力多；劳动条件差；劳动强度大；安全性差等缺点。

在制冷装置上配置一些自控元件和仪表，组成相互联系的自控回路，就能实现制冷装置的自动化。自动化的重要意义在于：

1.保证了设备的正常运行和操作人员的安全。如制冷压缩机等设备和系统都设有自动保护装置，一旦出现故障，即可自动报警、停车，保证安全生产。

2.改善工人的劳动条件，减轻了工人的劳动强度。工人毋需在低温条件下工作和进行繁重的手工操作。

3.可节约劳动力，同时提高制冷效率、降低水、电等的消耗。

4.有利于保持冷藏食品的质量，减少食品的干耗。以使食品达到最佳保鲜程度。

此外，自控系统还具有很大的适应性，能完成许多人工手动操作几乎难以达到的一些复杂而频繁的操作过程。

**二、冷库制冷装置自动化的内容**

1.安全保护　包括压缩机的安全保护装置，高液位保护，超压安全保护，氨泵保护等。

2.库房温度调节和空气冷却器的自动融霜。

3.工艺流程的程序控制　如冻结间或冻结装置程序控制，制冰设备程序控制等。

4.压缩机自动开、停车和能量调节。

5.辅助工序的自动化　包括冷凝器和冷却水系统的自动控制，放空气器的自动控制，系统放油、油处理和压缩机加油的自动控制等。

6.最佳工况调节

**三、冷库制冷装置自动化发展概况**　冷库制冷装置自动化是现代化技术的一个部分，也是自动化理论在机械制冷中的实际应用。

我国冷库制冷装置自动化虽然起步较晚，但发展很快。1973年以来，我国自行设计制造了制冷装置自动化专用的仪器仪表和元件，经过几年的试用鉴定，性能基本达到设计要求。自70年代以来，我国已建成不少制冷装置自动化冷库，大都采用国产仪表和元件，目前正向机组化、成套化发展。在自动化程度方面，北京、上海、深圳、青岛等地的少数冷

库已采用微型计算机对制冷机组进行节能群控、库温控制及冷库管理。但在自动装卸货物方面尚处于试验阶段。

国外自40年代开始搞制冷自动化，直到60年代常规制冷自控元件才渐趋成熟，但从控制方法上一直采用最简单的双位调节和直接作用式比例调节。以这些简单控制方法形成的制冷自动控制仪表，由于其具有简单可靠、价格低廉等优点，至今尚在沿用。当今世界制冷装置自动化技术发展很快，无论是设备、元件还是控制方法都面临更新换代时期。其研究和发展方向是利用电子计算机以过热度为信号实现制冷装置各有关参数的最佳综合控制，对压缩机实现连续无级调速以求获得最佳效果。为此制冷压缩机采用变频调速装置，并在制冷装置自动调节系统中引入精度更高的比例积分调节规律。丹麦丹福斯公司采用新型比例调节器和自控元件组成的串级调节系统，使库温达到了±0.1℃的调节精度。

**四、本课程设置的目的与要求** 冷库制冷装置自动化是实现冷库技术现代化的重要技术手段，是现代化冷库发展的必然方向。所以，对于从事制冷工艺的技术人员来说，本课程是必修的专业课程之一。

通过本课程的学习，要求掌握冷库制冷装置自动化的基本原理；冷库中常用的自控仪表和元件的基本构造、工作原理、应用和安装、调试、维修知识，并能比较系统地了解和实施制冷装置自动化的基本方法。能够识读电气控制线路图；对自动调节系统进行简单地定性分析并胜任制冷装置自动化工艺设计的一般工作。对有关制冷装置自动化方面的新技术和发展动向也要有所了解。

# 第一章　冷库自动调节的基本概念

## 第一节　自动调节系统概述

**一、自动调节系统的组成和作用原理**　自动调节系统是在人工调节的基础上产生和发展起来的。自动调节是指不需人直接参与，而使生产过程中某一参数保持恒定或按一定规律变化的过程。为了便于了解自动调节系统的概念，我们首先从人工手动的调节来分析。图1—1是冷藏间温度人工调节示意图。它由房间、冷风机、供液阀、温度计等所组成，其调节过程如下：

1.观察温度计所指示的温度值。

2.将观察到的温度值与冷藏间所规定的温度进行比较得出偏差。

3.根据偏差情况开大或关小手动供液阀进行调节，即当温度比规定温度值高时开大供液阀，当温度比规定温度值低时关小供液阀。

上述步骤不断重复使冷藏间内温度恢复到规定的温度范围内。这个过程叫调节。

这种直接由人工完成的调节过程称为人工调节。很显然这种人工调节不仅值班人员劳累而且很难使冷藏间温度保持在规定的范围内。

上述过程若用自动调节装置（温度自动调节器）代替人工操作，就叫温度自动调节。如图1—2所示。

冷藏间和自动调节装置一起的全部设备就构成了一个自动调节系统。

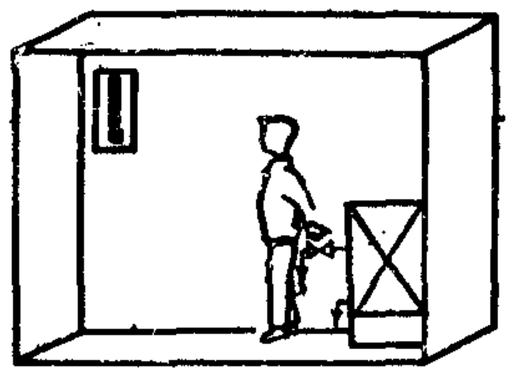


图 1—1　人工调节示意图

自动调节装置由三部分组成：

1.测量元件　又叫敏感元件（如图1—2中的铂电阻），它是用来测量生产过程中需要控制的某些参数并将被测参数成比例的转换成特定信号的元件。如果测量元件所发出的信号与后面仪器所要求的信号不一致时，则需增加一个将测量元件的输出信号变为后面仪器所要求的信号的装置，叫变送器。

2.自动调节器　简称调节器（如图1—2中温度调节器），它是将接受测量元件或变送器发出的信号与工艺上要求的参数加以比较，然后将比较结果用一特定的信号（气压、电流等）发送出去。

3.执行调节机构（如图1—2中的电磁阀）　它是按照调节器送来的信号自动地控制阀门的开启度，以使被调参数保持在生产工艺规定的范围内。

自动调节系统比人工调节系统有较大的优越性，它不仅可以提高调节精度，而且能减

轻劳动强度，提高劳动生产率。

为了便于分析自动调节系统，先介绍几个常用术语：

1.调节对象　生产工艺中需要进行调节的某空间或机器设备叫调节对象。如冷藏间、冷风机等。

2.被调节参数（简称被调参数）　生产过程中需要进行调节的、表征生产过程变化情况的参数叫被调参数。如温度、压力、液位、湿度等。

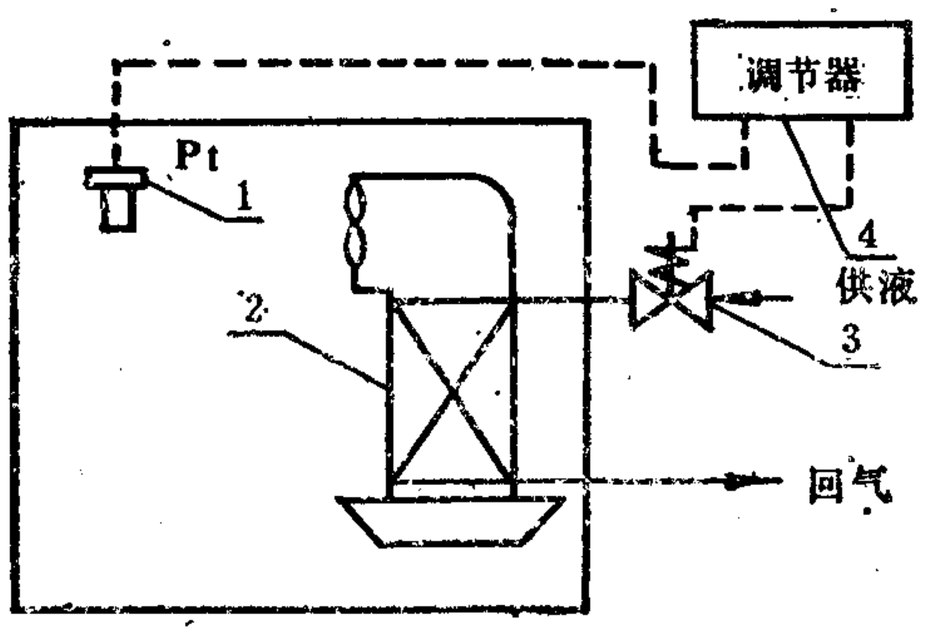



图 1—2　自动调节示意图

1.铂电阻　2.冷风机　3.电磁阀　4.调节器

3.给定值（又称设定值）　根据生产工艺要求而规定的被调参数值叫给定值。如冷藏间要求保持的温度为－18℃，这个预先规定的－18℃就是库温调节系统的给定值。

4.偏差　实际值与给定值之间出现的差值叫偏差。如冷藏间给定值为－18℃而实际温度为－17℃，相差1℃，该偏离给定值的差值就叫偏差。

5.扰动　能够引起被调参数发生变化而偏离给定值的一切外界因素都叫扰动。如由于室外温度变化、货物热量等使被调参数库温偏离了给定值。扰动是客观存在不可避免的。

在研究自动调节系统时，为能简单明了地说明问题常用方框图来表示自动调节系统各组成环节、相互关系和信号联系，如图1—1和图1—2可分别用图1—3和图1—4表示。图中每个方框代表系统中一个具体的组成环节各个方框之间用箭头表示其相互联系，箭头的方向表示信号传递方向。必须指出的是方框图中带箭头的联接线，仅表示各方框之间信号作用的方向，并不代表制冷剂的流程。如图1—2中电磁阀是装在冷风机蒸发排管的进液口，那么电磁阀的调节作用正好和流入冷风机的制冷方向一致，都是进入调节对象的，和方框图联接箭头一致，相反如果电磁阀装在冷风机蒸发排管的出气口，这时调节阀的调节作用还是输入给调节对象，而制冷剂的流量方向是流出调节对象的和方框图联接线箭头方向正好相反。

由方框图看到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。象这样的系统在自动调节系统中叫闭环系统。信号不能形成闭合回路的系统叫开环系统。在闭环系统中通过测量元件（有的还要加变送器）把系统中输出信号（被调参数）又送回到输入端的做法叫反馈。反馈的结果若是加强了输入信号称为正反馈。若反馈的结果减弱了输入信号则称为负反馈。自动调节系统中一般都采用负反馈。这是因为当被调参数受到扰

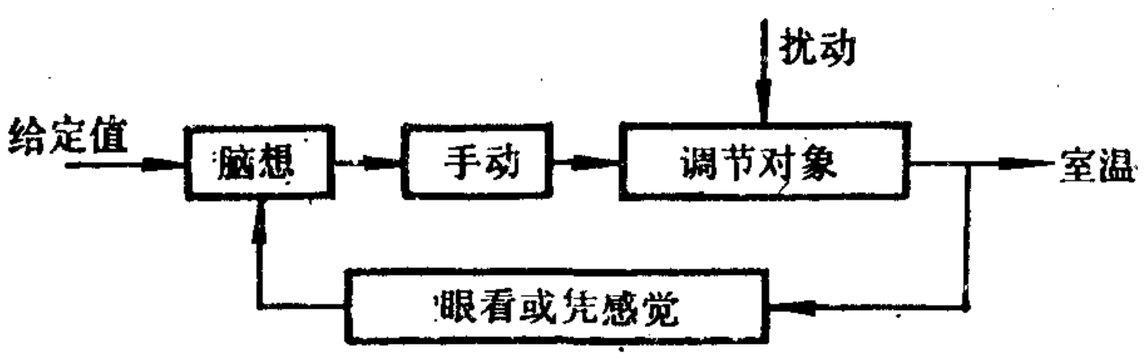



图 1—3　人工调节方框图

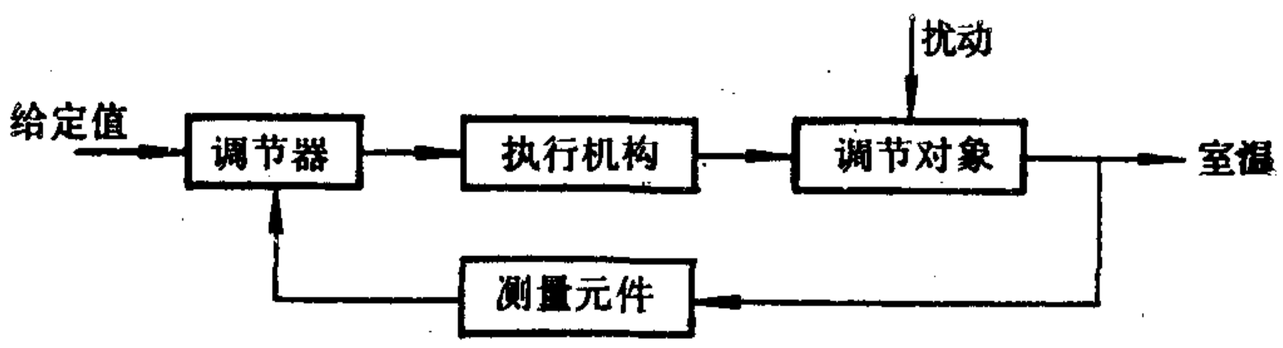



图 1—4　自动调节方框图

动影响而升高时，反馈信号将高于给定值，两者之间的偏差即给定值减去测量值的得数为负值。在这个负值信号的影响下，执行机构的作用为负，使被调参数数值下降，缩小了与给定值的偏差，以起到调节作用。如果采用正反馈，一旦有了偏差，调节器不但不能克服扰动的影响，反而在被调参数升高时使执行机构动作被调参数继续升高。因此，本来不大的偏差在调节作用下会越来越大，以致超出允许范围而造成事故。

**二、自动调节系统的分类**　自动调节系统有多种分类方法，通常是按照给定值变化规律的不同分为三类

1.定值调节系统　又称自镇定调节系统。该系统被调参数的给定值是一个不变的恒量或一个不超过某一变化范围的量值。如冷藏间的温度调节，首先根据工艺要求确定被调参数的给定值，测出被调参数对给定值的偏差，然后根据偏差的大小，由调节器指挥，调节阀起作用使被调参数恢复到给定值。

2.程序调节系统　系统被调参数的给定值随着某种预定的自动程序而变化，即被调参数的给定值是其它参数的函数。这种调节系统叫程序调节系统。若被调参数给定值是随着预定的时间程序而变化，这种调节系统就叫时间程序调节系统。如冷库冻结间的冲霜，根据工艺要求按时间预先编好的程序，自动冲霜。若被调参数给定值是其它参数（如温度、压力等）的函数，即调节参数的给定值按一定规律随另一参数而变化，则该调节系统就叫参数程序调节系统，如压缩机的能量调节，就是根据蒸发温度或蒸发压力而进行的。

3.随动调节系统又叫追踪调节系统　其被调参数的给定值是随另一未知过程而变化，如用雷达控制高射炮自动追踪飞机。这种调节系统在制冷系统中很少应用。

## 第二节　自动调节系统的过渡过程及质量指标

**一、自动调节系统的静态、动态和过渡过程**　自动调节系统的被调参数不随时间而变化的平衡状态称为自动调节系统的静态。在静态时自动调节系统各环节输出的变化率为零，处于相对稳定的状态。但这并不是说整个系统静止不动。实际上在静态时，生产仍在进行，物料或能量仍然有进有出，只是流入量与流出量相对平衡，不需进行调节。如当蒸发器的制冷量等于库房热负荷时，库温保持不变，但传热过程仍在进行。

一个处于静态的系统，受到外界扰动后，平衡状态就要受到破坏，被调参数产生波动，这时，在自动调节装置的调节作用下，使系统克服扰动的影响又达到新的平衡。被调参数重新趋于稳定。从旧的平衡状态遭到破坏开始到新的平衡状态建立为止，在这段时间里，

自动调节系统中各个环节和被调参数都处于变动之中，这种状态叫自动调节系统的动态。而这一过程就叫自动调节系统的过渡过程。

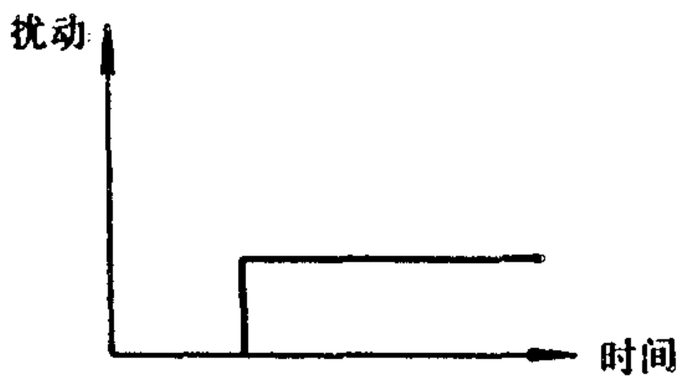


图 1—5　阶跃扰动示意图

在调节系统中，扰动是不可避免客观存在的，其作用的大小随时间而变化，没有固定形式。为了研究方便、保证安全，通常以阶跃扰动作为典型的扰动作用进行分析，并以此作为设计依据。所谓阶跃扰动，是一种对被调参数影响最大的扰动，一旦作用于系统就持续下去不再随时间而变化，如图1—5所示。

阶跃扰动是扰动作用中最不利的一种形式，如果一个系统在阶跃扰动下能满足工艺要求的话，则克服其它形式的扰动作用就不成问题了。

在生产过程中，自动调节系统的过渡过程通常是用动态特性曲线来表示，所谓动态特性曲线就是以被调参数的相对值为纵座标，以时间为横座标表示出系统被调参数随时间变化的过渡过程曲线。图1—6是自动调节系统中受扰动时过渡过程的四种基本形式。

曲线 a 是衰减振荡过程，也叫振荡稳定过程。系统受扰动后，被调参数经过一段时间能逐渐趋向原来的给定值，达到新的平衡状态。一般生产中都希望得到这种过渡过程。

曲线 b 是非振荡过程，也叫非周期稳定过程。在生产过程中不允许被调参数有大量波动的情况下可以采用，但由于调节系统有较大阻尼，调节器对偏差的反应较慢，一般很少采用。以上两种都是一种稳定过程。

曲线 c 是等幅振荡过程，系统受到扰动之后，被调参数开始等幅振荡，由于不稳定，一般不采用。只有当其波幅在被调参数给定值允许的偏差范围内时方可采用。

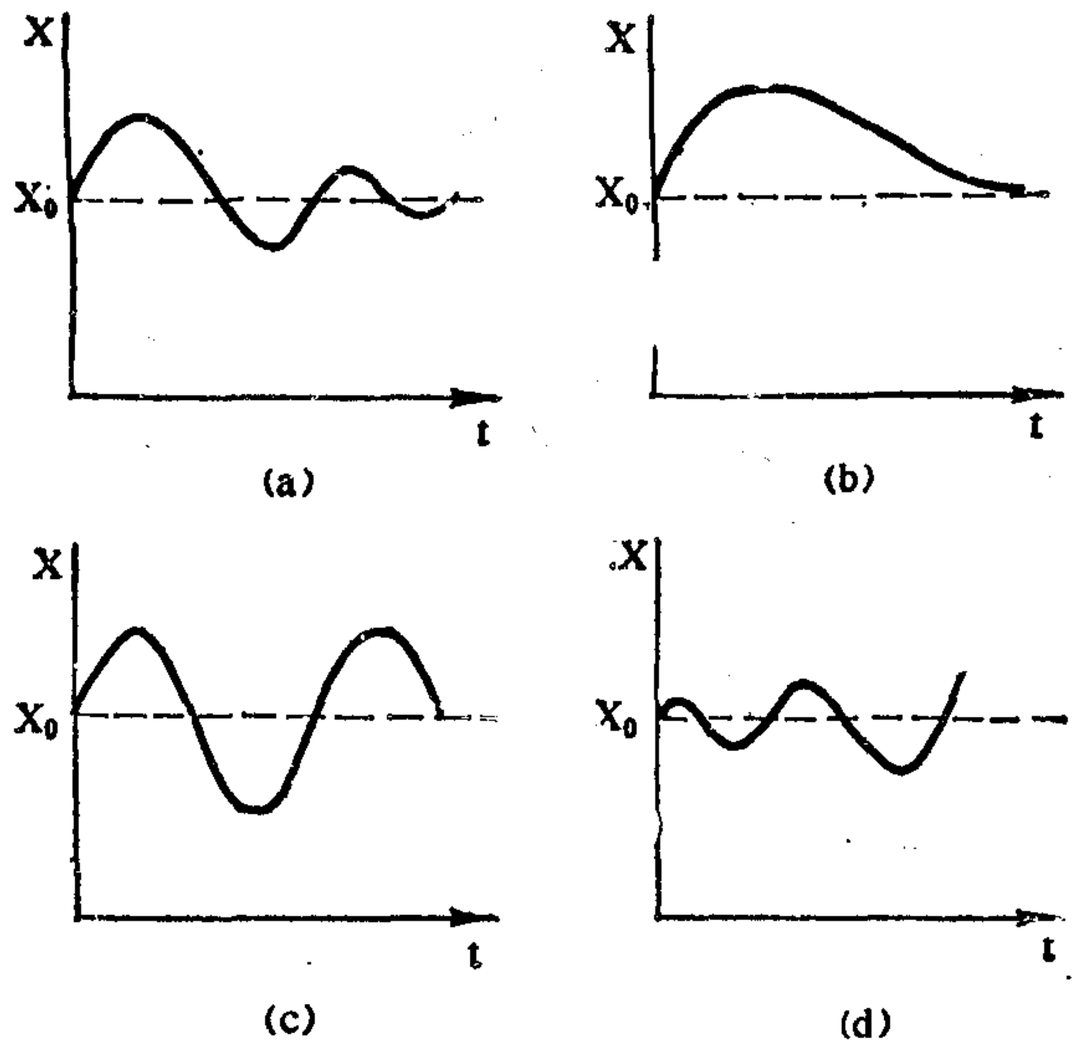


图 1—6　过渡过程的四种基本形式

a.衰减振荡　b.非振荡过程　c.等幅振荡　d.发散振荡

曲线d是发散振荡过程，系统受扰动后，被调参数在调节作用下偏离给定值越来越远。这种扩散的不稳定过程是不能采用的，这时必须对系统进行调整或重新设计。

**二、自动调节系统的质量指标**　衡量自动调节系统过渡过程质量的标准叫质量指标。通常以衰减率、动态偏差、静态偏差、调节过程时间等指标来衡量。必须指出的是任何自动调节系统的过渡过程，都必须是稳定过程。这是自动调节系统正常工作的必要条件。

1.衰减率（$\psi$） 如图1—7所示过渡过程曲线上同方向相邻两波幅的递减率即衰减率。

$$\psi = \frac{X_1 - X_3}{X_1} \qquad (式1—1)$$

式中：$X_1$——过渡过程曲线第一个峰值。

$X_3$——这渡过程曲线第三个峰值。

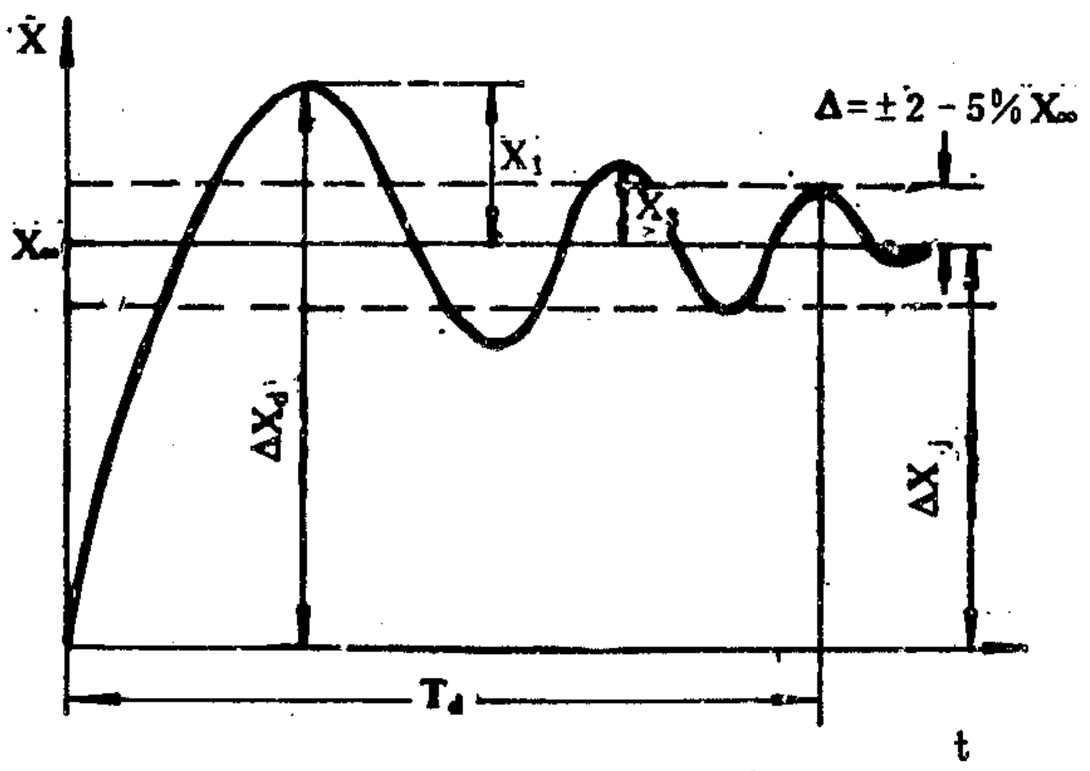



图 1—7 调节过程质量指标

通过衰减率$\psi$可以判断过渡过程曲线是否衰减及衰减的程度。从公式中可看出$\psi>0$时调节系统是稳定的衰减过渡过程，$\psi$越大，衰减越快。图1—6中a和b曲线即属于这种情况。当$\psi=0$时，过渡过程曲线如图1—6中c所示，为等幅振荡不衰减。当$\psi<0$时，曲线非但不衰减，反而逐渐发散，如图1—6中d所示，这种发散振荡是不稳定的，不能采用。根据经验一般取$\psi=0.75$为宜。

2.动态偏差（$\Delta X_d$） 它表示调节过程中被调参数相对于给定值的最大偏差。对于稳定的系统，动态偏差就是第一次出现的超调值与给定值之差。如图1—7中的$\Delta X_d$。动态偏差反映了系统偏离给定值的程度。在设计自动调节系统时，为保证质量，对其质量指标都有一定要求，如低温冷藏间的温度，最大瞬时偏差不超过5℃，即$|\Delta X_d| \leqslant 5℃$。

3.静态偏差（$\Delta X_j$） 静态偏差又称残余偏差，简称余差。它表示调节系统受到扰动后，从原来的平衡状态过渡到新的平衡状态时，被调参数的新稳定值相对于原来给定值的偏差。如图1—7中的$\Delta X_j$。

系统受到扰动后，经过调节能恢复到原来的状态，即$|\Delta X_j| = 0$，这种调节系统称为无静差调节系统，反之，若$|\Delta X_j| > 0$，则被称为有静差调节系统。一般调节系统要求静态偏差必须在给定的允许范围之内，如果超出这个范围，则商品质量受到影响，造成经济损失。如低温冷藏间允许静态偏差$|\Delta X_j| \leqslant 1℃$；冷却物冷藏间$|\Delta X_j| \leqslant 0.5℃$。

4.调节过程时间（$T_d$） 调节过程时间又称过渡过程时间或过渡时间，它是指调节系统受到扰动后，被调参数从发生变化开始到系统通过自动调节又处于新的稳定状态为止，这一过程所需要的时间。理论上被调参数达到新的稳定状态需要无限长的时间，但是由于自控仪表和元件本身总有一个不灵敏区域，因此当被调参数进入仪表的不灵敏区域时，仪表的指示值就不再改变，这时被调参数已趋于稳定值。一般在被调参数进入稳定值$X_\infty$的5%范围内时，就可以认为调节系统已达到稳定值。

对各种不同的调节系统，首先要求具有稳定性，才能正常进行工作，在这个前提下，对系统的其它各项质量指标也都有一定要求，通常都希望$\Delta X_d$、$\Delta X_j$、$T_d$小些，但若片面追求这些质量指标，则会使系统过于复杂、成本增高、维修困难。所以具体情况要具体分析。如对食品冷藏系统，由于被调参数（如温度、湿度、压力）变化比较缓慢，动态偏差

增大些对系统的影响不很显著，所以对 $\Delta X_d$的要求可以低些，对调节过程 时间 $T_d$的要求也不高，但对静态偏差$\Delta X_j$则要求高些，因为静态偏差大会影响食品的质量。不同的冷藏间对静态偏差的要求也不一样，如目前部颁标准对低温冷藏间要求静态偏差不超过 1 ℃，而对贮藏鲜蛋、水果的高温冷藏间，则要求静态偏差不超过0.5℃。

## 第三节　调节对象的特性

自动调节系统是由调节对象和自动调节装置组成一个闭合调节回路而成。其中调节对象是调节系统中最基本的环节，一切调节设备都服务于它，并根据它的特性来设计和调整调节系统。调节系统质量的好坏，一方面与自动调节装置的选购和安装质量有关，另一方面在很大程度上要由调节对象的特性所决定。如有些自动调节系统，投入很大资金装设了复杂的质量好精度高的自动调节装置，但效果并不好，究其原因，往往是由于对调节对象的特性了解不够。

调节对象的特性是指调节对象受到扰动后，反映调节对象内部物理、化学性质的被调参数变化的大小和规律。它是设计自动调节系统，分析系统质量指标，探索最优工况以及调节器参数整定、调试等工作的重要依据，特别是采用新的控制方式如电子计算机控制等，更是以对象的动态特性为主要依据。调节对象对调节系统质量有影响的基本特性主要有以下几个方面：

**一、调节对象的负荷**　当被调节的生产工艺过程处于稳定状态条件下，在单位时间内流入或流出调节对象的物料量或能量叫做调节对象的负荷，也称做调节对象的生产能力。如当冷藏间被调参数（温度）保持恒定时，单位时间内流入或流出冷藏间的热量就是该冷藏间的热负荷。了解热负荷的大小，才能正确选择调节器附件的规格，使其与负荷相适应。

调节对象的负荷不是固定不变的，如制冷系统中进、出货，外界环境温度变化等都会引起负荷变化。而负荷的变化又会引起被调参数的变化，从而开始调节过程。所以负荷变化的大小和快慢对自动调节过程是十分重要的。通常负荷波动大变化快的，自动调节较为困难，系统稳定性差些，需要用较为复杂的灵敏度高的调节器才能达到调节的目的。而负荷波动小变化慢的（如一般冷藏间），便于自动调节，系统易于稳定，可根据具体情况对调节器的要求适当放宽。

**二、调节对象的容量及容量系数**　当被调参数为给定值时，在调节对象中所能贮存的物料量或能量叫做对象的容量。调节对象之所以具有贮存物料量或能量的能力，是由于其内部存在着某种阻力，这种阻力阻碍物料量或能量从调节对象中流出。例如制冷工艺中贮液器，其输出管路上的阀门就是阻力元件。如图1—8所示。由于阻力存在，才使容器内液面能保持一定的高度，使其具有贮存液体工质的能力。

容量这个概念并不能确切地反映调节对象受到扰动作用后被调参数的变化速率，例如两个容器的容量相同，贮有液体的体积也相同，但其截面积不同，当加入同样幅度的扰动

后，被调参数液位高度的变化就不一样，截面积大的变化小，截面积小的变化大。为此引入容量系数这一概念。

容量系数是指被调参数改变一个测量单位时，调节对象中容量或能量的变化量。常用字母C表示。对图1—8所示液位调节对象则：

$$C=\frac{dW}{dH} \qquad (式1—2)$$

式中：dW——容量的变化值。

dH——被调参数的变化值。

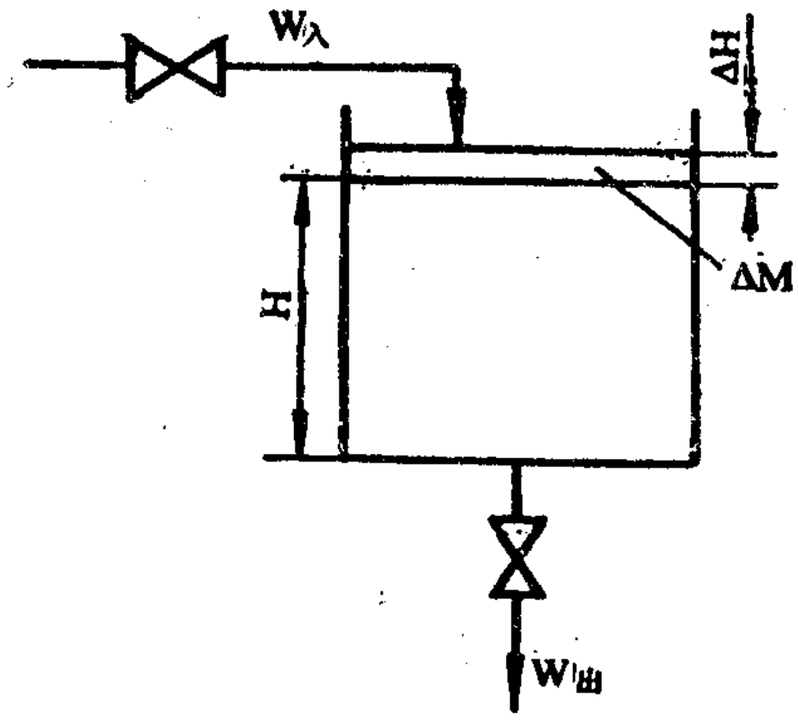



图 1—8　调节对象的容量

不同调节对象容量系数C的量纲是不一样的。如图1—8所示对液位调节对象来说，其容量系数的含义为液位升高（或降低）1cm时，所需流入（或流出）容器的液量（$m^3$），其单位为〔$m^3/cm$〕。若被调参数是温度，那么调节对象的容量系数即为其温度改变1℃时，所需流入或流出的热量（J），其单位为〔J/℃〕。

容量系数是表示调节对象惯性的一个量。调节对象容量系数越大，在一定扰动作用下被调参数的变化就越小。但被调参数一旦偏离给定值后，容量系数大的调节对象也不容易调回来。例如大小不同的两个冷藏间，当加入相等热量时，大冷藏间的容量系数大，其温度变化就比小冷藏间小；而要使两个冷藏间的温度同样改变1℃，则小冷藏间要比大冷藏间容易。容量系数是不随工况、负荷和时间而变化的，属于静态特性。

**三、调节对象的自平衡与传递系数**　调节对象受到扰动后，系统平衡受到破坏，被调参数不借助调节装置作用而依靠调节对象本身的变化使系统自动的达到新的平衡状态。调节对象的这种性能即调节对象的自平衡。

在制冷系统中很多调节对象都有自平衡能力。如冷藏间这样的温度调节对象，平时流入的热量$Q_{入}$和由制冷剂带走的热量$Q_{出}$相等，处于平衡状态，其温度保持在$t_1$。当外界温度突然升高，在没有调节的情况下，传入冷藏间的热量$Q_{入}$大于制冷剂从冷藏间带走的热量$Q_{出}$，这时冷藏间的温度将逐渐升高。由于温度的升高，使得蒸发温度和冷藏间温差变大，制冷剂带走的热量$Q_{出}$增大，同时由于冷藏间和外界温差减少，渗入冷藏间的热量$Q_{入}$也逐渐减少，当冷藏间温度上升到一定值$t_2$时，$Q_{入}=Q_{出}$，这时系统又建立了新的平衡，不过此时冷藏间的温度比原来升高了一些。由此可知调节对象的自平衡能力对调节系统来说是一个有利因素。

扰动作用引起热负荷的变化量ΔQ与自平衡过程开始到结束时调节参数的偏差（如上例中温度变化前和变化后的相对温差$t_2-t_1$）之比，叫做冷藏间的自平衡系数，以$\rho$表示。

$$\bar{\rho}=\frac{\Delta Q}{t_2-t_1}=\frac{\Delta Q}{\Delta t} \qquad (式1—3)$$

用自平衡系数表示系统自平衡能力的大小，在相同的扰动作用下，对不同的调节对象，自平衡系数$\rho$的值越大，经平衡后达到新稳定值与原稳定值的偏差就越小。

调节对象的特性常用自平衡系数的倒数，即传递系数（又称放大系数）K来表示：

$$\overline{K} = \frac{1}{\rho} = \frac{t_2 - t_1}{\Delta Q} \qquad (式1—4)$$

由式1—4可以看出，传递系数$\overline{K}$值与温度变化过程无关，而只与过程的始态与终态数值有关，所以传递系数只表征了对象的静态特性。利用传递系数可以知道任何幅度阶跃干扰对输出的静态影响。$\overline{K}$值愈大，表示输入信号（干扰）对输出信号（被调参数）的稳态值影响愈大，传递系数$\overline{K}$值可以由计算或实验求得。

**四、调节对象的时间常数** 调节对象受到阶跃扰动后，被调参数随时间而变化的关系曲线，叫做调节对象的反应曲线。如图1—9所示。由于它反映了调节对象的动态特性，所以也称为动态特性曲线。

从曲线可以看出被调参数的变化速度在初始点最大，以后逐渐变小，最后达到新的平衡时为零。为了表征调节对象的输出变化速度，引入时间常数T这个概念。时间常数即假定被调参数保持以初始的变化速度进行变化而达到新稳定值所需的时间。它可以从反应曲线的初始点作一切线，将其引伸与新的稳定值相交，交点所对应的时间即为T。通常也近似地把调节对象受到阶跃扰动后，被调参数达到新稳定值的63.2%所需要的时间作为时间常数T。一般认为，当t = 3T时被调参数已达到新稳定值的95%，这时可以近似地认为动态过程基本结束，系统已进入稳定状态。

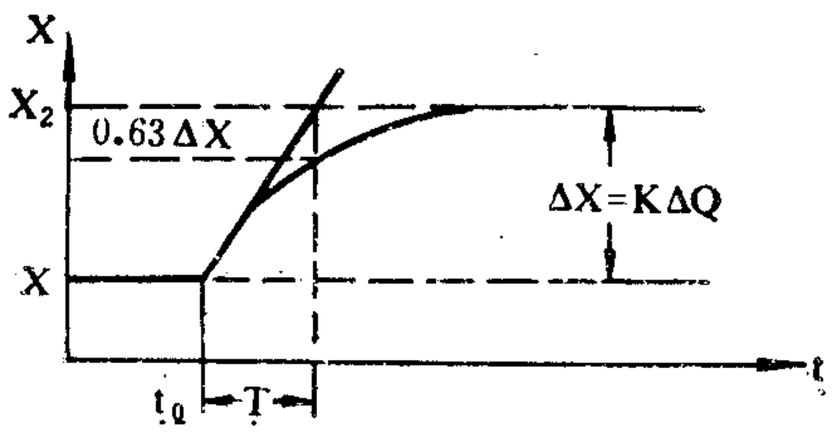


图 1—9 动态特性曲线

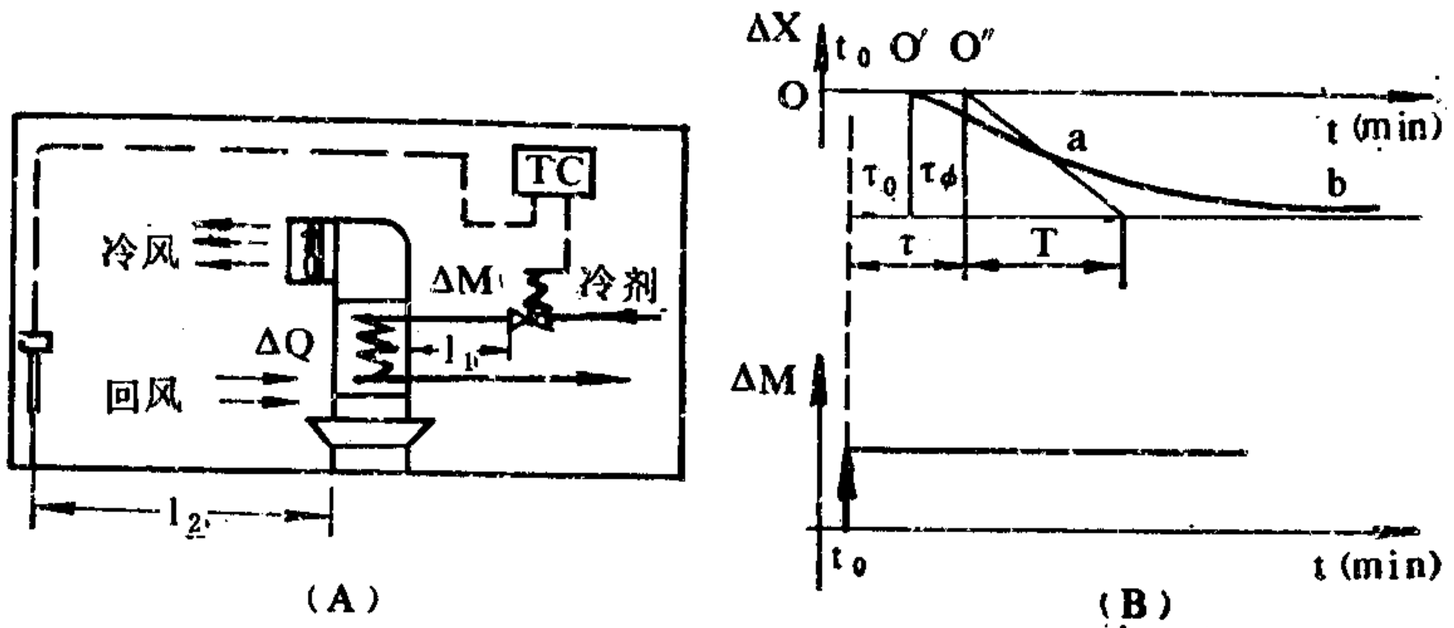
在相同扰动作用下，时间常数T越大，被调参数的变化就越慢，系统则较稳定易于控制，但达到新稳定值所需的时间要长。时间常数T与调节对象的容量系数C和阻力R的关系为T = RC。

**五、调节对象的滞后时间** 在生产中不少调节对象在受到扰动或调节作用后，被调参数并不立即改变，而是或多或少的延迟一定时间才开始发生变化，这段延迟的时间叫做调节对象的滞后时间，用字母$\tau$表示。

滞后时间通常由两部分组成，即传递滞后$\tau_0$和容量滞后$\tau_c$。总滞后$\tau$为：$\tau = \tau_0 + \tau_c$。

1.传递滞后$\tau_0$ 也叫纯滞后，其产生的原因是因为调节机构到测量元件之间总有一段距离，因此物料或能量的传递就需要一定时间，从而引起传递滞后。

例如图1—10所示的库温调节对象，由供液电磁阀到冷风机之间有一段距离$l_1$，管内制冷剂的流速为$v_1$，则其滞后时间为$\tau_{01} = \frac{l_1}{v_1}$；冷风机到测量元件铂电阻之间的距离为$l_2$，冷藏间内空气流速为$v_2$，则其滞后时间为$\tau_{02} = \frac{l_2}{v_2}$，总的传递滞后时间为$\tau_0 = \tau_{01} +$




（A）　　（B）

图 1—10　调节对象的滞后

$\tau_{02}$。由于自动调节系统的布置情况不同，传递滞后还可能有 $\tau_{03}$、$\tau_{04}$……。这时总的传递滞后则为$\tau_0 = \tau_{01} + \tau_{02} + \tau_{03} + \tau_{04} + \cdots\cdots$。由上可知瞬时调节作用加入后，被调参数并不能立即变化，而是要经过$\tau_0$时间后才开始变化。

2.容量滞后$\tau_c$。又叫过渡滞后。大多数调节对象具有两个或多个容量，在容量之间总存在着各种阻力（热阻、液阻等），由于容量之间的阻力作用而引起的滞后称为容量滞后。

仍以图1—10所示为例，制冷剂要冷却空气，必须先冷却金属排管（即中间容量），然后才能冷却空气。也就是说必须先克服金属管壁的热阻之后，空气温度才开始变化。所以冷藏间空气温度的变化，总是滞后于制冷剂冷却量的变化。中间容量越多，容量滞后时间越长。此外容量滞后时间$\tau_c$还与运行条件有关。如对冷风机来说，排管结霜和管内有油垢层等都会增大热阻延长滞后时间。

无论是传递滞后还是容量滞后，对调节质量都是不利的。因为系统调节要求尽量减小偏差，一旦出现偏差，就要依靠自动调节装置使其很快得到调节。但由于滞后时间的存在，使这段时间内调节作用无法影响被调参数，而被调参数却继续偏离给定值，使动态偏差越来越大，延长了调节时间，降低了调节质量。在冷库制冷系统中一般热容量较大，滞后时间较长。为减少滞后时间，制冷系统自动控制在设计安装时应注意如下几点：

（1）选择惯性小、灵敏度高的测量元件与调节器。

（2）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（热阻、流体阻力等）。

（3）执行机构应尽可能靠近调节对象，缩短它们之间的距离。

（4）在保证测量精度的前提下，将测量元件安装在能够迅速反应调节参数变化的位置上。

## 第四节　调节器的特性

调节器是将测量元件发来的被调参数信号与给定值进行比较，将得出的偏差信号（有时还需加以放大）发送至执行机构使其动作的一种专用仪器。调节器的种类繁多，现将制