


制冷装置自动化

朱瑞琪 主编

西安交通大学出版社

The background of the cover features a photograph of a refrigeration system. It shows a complex network of blue, glowing pipes and coils, likely part of a large-scale industrial or commercial cooling system. The lighting is dramatic, with strong highlights and deep shadows, creating a futuristic and technical atmosphere. In the foreground, there is a control panel or a display unit with various components, possibly sensors or actuators, which are also illuminated with the same blue light. The overall composition is clean and professional, emphasizing the technical nature of the subject matter.

AUTOMATIZATION
OF
REFRIGERATING
MACHINE

制冷装置自动化

AUTOMATIZATION OF REFRIGERATING
MACHINE

朱瑞琪 主编

西安交通大学出版社

内 容 提 要

本书以制冷装置中应该实现的控制内容为题,介绍制冷装置运行中所涉及到的各类参数(如压力、温度、流量、液位、制冷量等)的调节以及各机器、设备的控制。阐述制冷装置自动调节的原理、方法,实施概要和实施过程。介绍各类制冷专用自控元件的构造、原理、功能,特别强调指出如何将这些自控元件合理地应用于制冷装置,以收到良好的控制效果。本书列举大量国内外制冷自控系统的应用实例,反映国际上在制冷自动化方面的当前动态。这些内容对制冷装置的规划、设计、管理工作都非常有用。本书供制冷专业大学本科教学使用,同时,对于从事制冷科研设计、制造和运行管理人员来说也是一本实用的科技参考书。

(陕)新登字 007 号

制 冷 装 置

AUTOMATIZATION OF REFRIGERATING MACHINE

朱瑞琪

责任编辑

西安交通大学出版社出版

(西安市咸宁西路 28 号 邮政编码:710049)

西安向阳印刷厂印装

陕西省新华书店经销

*

开本 850×1168 1/32 印张 9.125 字数:231 千字

1993 年 12 月第 1 版 1995 年 4 月第 2 次印刷

印数:4001—8000

ISBN7-5605-0584-8/TK·48 定价:9.40 元

前 言

本书是在作者编写、并已经使用多年的同名教学讲义基础上,根据教学要求和专业实践,进一步充实内容重新编写而成。

制冷装置的自动控制是制冷技术发展中的一个重要方面,本书力图在这方面给读者以详尽而实用的知识。全书共六章,以制冷装置主要工艺参数的调节为重点,详细地阐述了制冷剂流量调节、能量调节和温度、压力调节。介绍了制冷机的安全保护和辅助设备的控制。给出各类典型制冷系统的控制实例,并且介绍了当前计算机控制在制冷装置上的应用和发展。由于控制问题不是孤立的,书中还对与控制有关的制冷系统规划、设计问题作了必要的说明。

除供制冷本科生教学使用外,本书还可供从事制冷研究、设计、运行管理工作的技术人员以及制冷配件生产单位的技术人员参考。

本书由朱瑞琪同志主编(绪论,第1,2,3,5,6章);田怀璋同志参加编写(第4,6章)。

本书由西安交通大学郁永章教授主审。

西安交通大学出版社孙文声同志任本书责任编辑。

编写过程中,得到洛阳商业部制冷机械厂的协助和西安交通大学制冷教研室的关心和支持,谨表示衷心感谢。

书中制冷控制件实物插图,多取自国际一些主要制冷控制件公司(尤其是Danfoss公司)的产品样本,特此说明。

作者水平有限,书中难免有错误和不足之处,恳请读者指正。

作者 1993 年 4 月
于西安交通大学

目 录

绪 论

1 自动调节的基本知识

1.1 自动调节系统概述	(5)
1.1.1 自动调节系统的组成	(5)
1.1.2 自动调节系统的分类	(8)
1.1.3 干扰作用	(8)
1.2 自动调节系统的调节品质	(9)
1.2.1 过渡过程	(9)
1.2.2 调节品质指标	(10)
1.3 调节对象的特性	(12)
1.3.1 对象的负荷	(12)
1.3.2 对象的容量及容量系数	(12)
1.3.3 对象的自平衡性	(13)
1.3.4 对象的动态特性微分方程及特性参数	(13)
1.4 调节器及调节过程分析	(18)
1.4.1 各种调节器	(18)
1.4.2 调节过程分析	(21)
2 制冷装置主要工艺参数的调节	
2.1 制冷剂流量调节	(28)
2.1.1 毛细管	(29)
2.1.2 定压膨胀阀	(40)
2.1.3 热力膨胀阀	(43)
2.1.4 热电膨胀阀	(74)
2.1.5 电子膨胀阀	(80)

2.2	液位控制	(88)
2.2.1	浮子阀	(88)
2.2.2	浮子液位控制器	(91)
2.2.3	热力式液位调节阀	(95)
2.2.4	热力式液位控制器	(97)
2.3	蒸发压力调节	(99)
2.3.1	直动式蒸发压力调节	(101)
2.3.2	控制式蒸发压力调节	(104)
2.4	吸气压力调节	(114)
2.5	冷凝压力调节	(117)
2.5.1	水冷式冷凝器	(118)
2.5.2	风冷式冷凝器	(122)
2.5.3	蒸发式冷凝器	(126)
2.6	被冷却对象温度调节	(127)
2.6.1	双位调节	(128)
2.6.2	比例调节	(129)
2.6.3	比例积分调节	(130)
2.7	温度和湿度控制器	(136)
2.7.1	温度控制器	(136)
2.7.2	湿度控制器	(141)
2.8	流动的截止和切换	(144)
2.8.1	电磁阀	(144)
2.8.2	特殊电磁阀	(153)
2.9	压缩机能量调节	(155)
2.9.1	吸气节流	(156)
2.9.2	压缩机启、停控制	(156)
2.9.3	压缩机运行台数控制	(156)
2.9.4	气缸卸载	(158)
2.9.5	压缩机运行台数与气缸卸载相结合	(163)

2.9.6	热气旁通能量调节	(166)
2.9.7	变速能量调节	(173)
3	制冷装置的自动保护	
3.1	压缩机保护	(177)
3.1.1	吸、排气压力保护	(177)
3.1.2	油压差保护	(179)
3.1.3	温度保护	(183)
3.1.4	电机保护	(184)
3.2	溢流机构	(185)
3.2.1	安全阀	(185)
3.2.2	堵塞和安全膜	(186)
3.2.3	溢流阀	(187)
3.3	止回阀和观察镜	(188)
3.3.1	止回阀	(188)
3.3.2	观察镜	(190)
4	制冷系统中各设备的控制	
4.1	蒸发器除霜和除霜控制	(192)
4.1.1	自然除霜(停机除霜)	(193)
4.1.2	电加热除霜	(194)
4.1.3	液体冲霜	(195)
4.1.4	热气除霜	(197)
4.2	强制循环供液的控制	(204)
4.2.1	用高压气循环供液的自动控制	(204)
4.2.2	用泵循环供液	(207)
4.3	汽液分离器的控制	(209)
4.3.1	氟里昂系统的汽液分离	(209)
4.3.2	氨系统的汽液分离	(213)
4.4	油分离器的控制	(216)
4.4.1	氟里昂系统的油分离	(216)

4.4.2	氨用油分离器	(219)
4.5	不凝性气体分离器的控制	(220)
5	典型制冷装置的自控实例	
5.1	用毛细管节流的小型装置	(222)
5.2	商用冷藏装置	(224)
5.2.1	小型全自动室内装配式冷库	(224)
5.2.2	开式食品冷陈列柜	(227)
5.3	一机多温冷库	(230)
5.4	双机多温冷库	(232)
5.5	空调用制冷装置	(233)
5.6	以盐水为载冷剂的氨制冷装置	(237)
5.7	R22泵供液的制冷装置	(238)
5.7.1	风道冷却装置	(238)
5.7.2	R22泵供液的多温冷库	(240)
5.8	单级氨冷库	(242)
5.9	大型氨冷库	(244)
5.10	具有露点控制功能的空调机	(247)
5.11	制冷能力的自动分配	(248)
5.11.1	用定压膨胀阀实行能量控制	(248)
5.11.2	单级制冷系统的制冷能力自动分配	(250)
5.11.3	单、双级制冷系统中的能量旁通	(251)
6	制冷装置的计算机控制	
6.1	微电脑控制的空调机	(252)
6.1.1	热泵型分体式空调器的微电脑控制	(252)
6.1.2	复合式空调器的微电脑控制	(259)
6.1.3	变频式空调器的微电脑控制	(262)
6.2	冷库制冷装置的计算机控制	(267)
6.3	制冷装置的最佳控制	(273)

参考文献

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。用更通俗的话说,自动控制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。与其它热力装置一样,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、制冷装置自动化的内容、特点

一般来说,制冷装置自动化包括以下内容:

1. 对制冷工艺参数(例如压力、温度、流量、液位、湿度、成分……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(冷媒或者冷房)为指定的恒温状态。由此而来,还涉及到其它一系列相关参数(例如蒸发压力、冷凝压力、供液量、压缩机排气量等)的调节。

3. 对装置的自动控制。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. 自动保护。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。

以上自动化职能都是通过自动化仪表和自控元件完成的。对制冷自控元件的要求是：结构简单、性能可靠、密封性好、与工质相容。因此，需要一套专用的制冷自控元件。制冷装置沿用的传统控制方式以开关控制和比例控制为主，多采用机械作用式的自控元件，以获得可以接受的、较粗的制冷温控精度，并保证装置运行正确、安全可靠。以后，为了适应更高精度的温度控制要求，又发展了PID调节，并不断开发和完善制冷专用的电动执行器和电子调节器。

制冷装置因使用条件、功能、容量等不同而有不同的种类和复杂程度，因而自控系统的配置各不相同。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，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、参数控制点多，运行中各设备、各参数的相互影响更要仔细考虑，所以实现自动化的相对难度较大，所需自控元件较多。同时，又使它们在反映制冷自动化水平上具有重要的代表性。自本世纪70年代起，国外对冷库自动化的研制有较快的发展。美国、意大利、法国、日本、澳大利亚等先后建立起一批立体自动化冷库，采用了计算机技术，不仅能够完成对制冷系统的自动控制（例如：自动调节库房温度，自动控制制冷机械及设备，对压缩机组实行节能群控等……），而且实现了进、出货装卸作业的自动化，并对库房实行计算机管理。国内在80年代以后，也加速了计算机控制在制冷装置中应用的步伐。例如，在冷库方面，从初步实现主要制冷工艺环节的自动化，发展到微机控制和管理，出现了一批引用微机系统进行数据采集和库房管理的冷库。

制冷装置自动化是自动化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，必须明了：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化。如果没有很好地了解制冷装置的特性就去配自动化系统,配置不当的话,会使经济性很差,甚至达不到控制要求。

二、制冷装置“机电一体化”的发展

当代科学技术在世界上发展到一个崭新的阶段。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,也必然对制冷产品和制冷工程带来新的变革性影响。

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。这种传统控制方法已有八九十年的历史。而机电一体化产品和装置是近十多年来国际新技术革命的产物。它不仅在产品设计阶段引入了计算机技术,并把电子器件的信息处理和控制功能揉和到机械装置中,更重要的实质在于,机电一体化从系统观点出发,应用机械、电子、信息等有关技术,对它们进行有机的组织、渗透和综合,实现整个系统最优化。这样的装置跳出了单技术、单功能的圈子,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。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件压缩机、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以保证装置正常运行、实现必需的工艺目的,但由于调节品质不高,往往难以达到更高精度的调节要求、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,由电脑给出调节规律或控制程序,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。使得无论外部条件如何改变,都能够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。

1 自动调节的基本知识

自动控制技术范围很广。控制理论分经典控制理论和现代控制理论。当前工业生产中的各种控制系统绝大多数以经典理论为指导。有关控制原理方面的书籍已有很多。本书的重点在于制冷装置中自动控制的应用,这里仅概要介绍经典控制中最基本的入门知识。

1.1 自动调节系统概述

自动调节是使生产过程中的某被调参数保持恒定或者按一定规律变化的一种自动控制过程。

1.1.1 自动调节系统的组成

自动调节系统是由调节对象、发信器、调节器和执行器所组成的闭环控制系统。

下面举例说明。图1-1是一个最简单的库房温度调节系统。冷风机置于库内,通过制冷剂蒸发提供冷量,用以平衡库内的热量和由于库内外温差通过建筑围护结构传入库内的热量

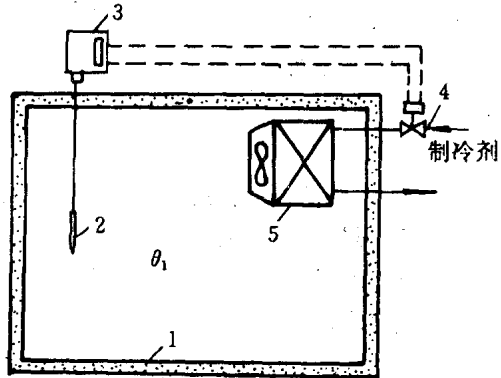


图 1-1 库房温度自动调节系统

- 1—冷库; 2—温包; 3—温度控制器;
4—电磁阀; 5—冷风机

以及库内其它设备的发热量。食品冷藏要求库温 θ_1 (被调参数) 保持恒定。为此, 可以在蒸发器供液管上设电磁阀 (执行器), 用温包 (发信器) 感应库房温度 θ_1 , 传递压力信号 P 给温度控制器 (调节器)。当 θ_1 上升超过给定值的上限时, 温控器控制电磁阀打开, 供液, 在蒸发器中产生制冷效应; 当 θ_1 下降低于给定值的下限时, 温控器控制电磁阀关闭, 停止供液, 中断制冷作用。如此反复, 将库温保持在给定值的上、下限之间作小范围波动。这是一种最简单的双位调节系统。因为电磁阀动作是间断的, 所以液量的调节不连续。

又如, 在制冷系统中, 有自由液面的设备或容器 (满液式蒸发器、中间冷却器、低压循环液桶等) 要求其液面维持一定。采用浮子调节阀控制液位的自动调节原理如图 1-2 所示。这里容器是受控对象 (即调节对象), 液位是被调参数。用浮子感应液位 (发信), 与给定值比较, 使杠杆机构动作 (调节), 带动阀杆移动 (执行), 使阀口开度改变, 调节供入容器的液量

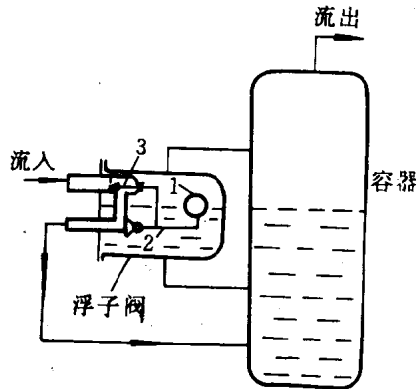


图 1-2 液位的自动调节

1—浮子; 2—杠杆机构; 3—阀件

与流出量相平衡, 从而维持液位恒定。这是典型的比例调节系统。而且浮子调节阀是将发信器 (浮子)、调节器 (杠杆机构) 和执行器 (阀件) 作成一体的调节装置。为了结构紧凑和保证密封, 制冷自控元件常取这种形式。

自动调节原理对控制系统的研究方法是不讨论具体系统, 而把系统抽象为数学模型加以研究。我们将上面两例加以抽象, 抛开每个自动调节的具体物理内容, 可以概括出: 自动调节系统总是由调节对象、发信器、调节器、执行器这样四个基本环节组成的。有时, 又把发信器、调节器和执行器合起来叫做调节装置, 于是自动

调节系统由调节装置和调节对象两部分组成。

被调参数是调节对象中的某个受控工艺参数；发信器检测被调参数的变化，并与给定值比较，向调节器输入偏差信号；调节器根据偏差信号按一定的调节规律传递调节指令；执行器按调节指令完成调节动作，作用于调节对象。用方框图表示自动调节系统的各组成环节及环节间的相互作用和信号传递。自动调节系统方框图如图 1-3 所示。图中每个方框表示一个具体的作用环节，每个环节都有输入信号和输出信号，方框间的连线和箭头表示环节间的信号联系和信号传递方向。

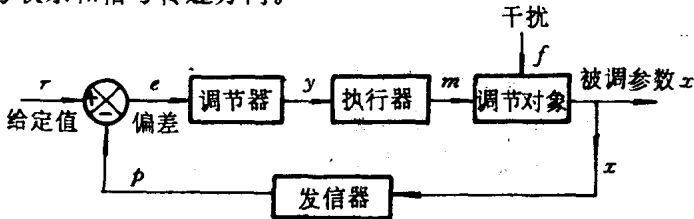
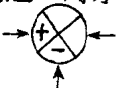


图 1-3 自动调节系统方框图

在方框图中，被调参数是调节对象的输出信号（譬如前两例中的库温、液位）。凡是引起被调参数波动的外来因素（除调节作用外）统称为干扰作用。譬如在库温调节中室外温度变化、货物热负荷变化等都是引起库温变化的干扰作用。干扰作用和调节作用对被调参数影响的信号传递通道分别称为干扰通道和调节通道。它们均为调节对象的输入信号。干扰作用破坏调节系统的平衡状态，使被调参数偏离给定值，这是不可避免的客观因素。而调节作用则力图消除干扰对被调参数的影响，使之恢复到给定值。自动调节过程就是调节与干扰这一对矛盾在调节系统中的对立和统一。

图 1-3 中符号  表示比较元件。它往往是调节器的一个组成部分，在图中将它单画出来是为了说明被调参数测量值与给定值的比较作用。比较元件上常常作用着多个输入量和一个输

出量,输出量等于输入量的代数和。

从信号传递的角度说,由方框图可以看出,自动调节系统是个闭合回路,故为闭环系统。另外,系统的输出是被调参数,但它经过发信器后又返回到调节器的输入端。这种把系统的输出信号又引到系统输入端的作法叫做反馈。如果反馈信号使被调参数的变化减小,称为负反馈;反之,称为正反馈。负反馈信号(即被调参数的测量值) p 进入比较元件时取负值,而给定值 r 取正值,所以比较元件输出的偏差信号为 $e = r - p$ 。在自动调节系统中一般都采用负反馈。它是按偏差进行控制的,所以,产生偏差是自动调节的必要条件。

1.1.2 自动调节系统的分类

按被调参数给定值的变化规律,可以分为:

- 1)定值调节系统 给定值为某一确定的数值;
- 2)程序调节系统 给定值按指定的规律变化;
- 3)随动调节系统 给定值事先不能确定,随机变化。

在分析自动调节系统特性时,不同的给定值形式涉及到不同的分析方法。制冷、空调的自动调节系统应用最普遍的是定值调节。也有用程序调节和随动调节系统的场合。

按实现调节动作的特征,可以分为:

- 1)连续调节系统 系统所有参数在调节过程中连续变化;
- 2)断续调节系统 在调节过程中系统中有一个以上的断续变量。

还有一些其它分类方法。如:按调节规律可分为:双位调节、三位调节、比例调节、比例积分调节、比例微分调节和比例积分微分调节。按调节过程结束后被调参数与给定值的偏差可分为:有静差系统和无静差系统。还可按系统组成中有无非线性环节分为:线性系统和非线性系统。

1.1.3 干扰作用

调节系统的干扰作用大小一般是随时间变化的,其变化没有

一定的规律。在分析与设计自动调节系统时,为了方便,常以阶跃干扰作为典型干扰作用。所谓阶跃干扰是在 t_0 时刻突然作用于系统的扰动量,以后不再消失也不随时间变化。若扰动量等于1时,则为单位阶跃干扰,见图1-4。它的动态方程为

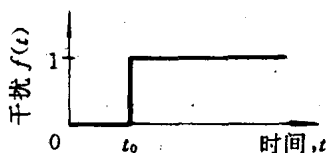


图 1-4 单位阶跃干扰

$$f(t) = \begin{cases} 0, & t < t_0 \text{ 时} \\ 1, & t \geq t_0 \text{ 时} \end{cases} \quad (1-1)$$

对调节系统来说,阶跃干扰是最不利的干扰形式,但它又最易实现。调节系统若能很好地克服阶跃干扰,则其它形式的干扰也不难克服。

1.2 自动调节系统的调节品质

1.2.1 过渡过程

原来处于稳定平衡态的自动调节系统,当对象受到干扰时,被调参数开始变化,但通过调节作用,可以克服干扰,使系统在一个新的平衡态重新稳定下来。系统的稳定态为“静态”。从干扰发生、经历调节再到新的平衡这段过程中,系统的各环节和各参数都在不断变化,这种状态为“动态”。被调参数在动态过程中随时间的变化叫做过渡过程。可见,过渡过程是自动调节系统对干扰的动态反应。通过对过渡过程的特性分析,可以获得调节系统的调节品质。

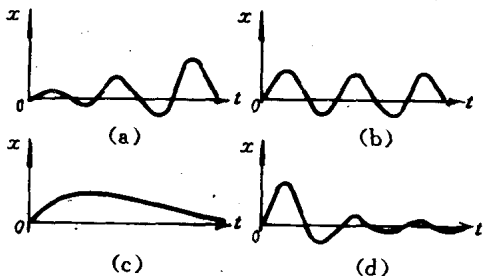


图 1-5 各种典型的过渡过程

- (a)增幅振荡;(b)等幅振荡;
(c)单调过程;(d)衰减振荡

一般来说,对象受阶跃干扰后,系统的过渡过程有图1-5所示