

高等学校教学用书

热工过程自动控制

GAODENG

XUEXIAO

JIAOXUE

YONGSHU

冶金工业出版社

2
1

高等学校教材

热工过程自动控制



热工过程自动控制

热工过程自动控制

热工过程自动控制

热工过程自动控制

热工过程自动控制

热工过程自动控制

北京科技大学 方之岗 主编

冶金工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

热工过程自动控制/方之岗主编. —北京:冶金工业出版社,1996

高等学校教学用书

ISBN 7-5024-1845-8

I. 热… II. 方… III. 热力工程-过程控制:自动控制-高等学校-教材 IV. TK32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 05727 号

出版人 卿启云(北京沙滩嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009)

利森达印务有限公司印刷;冶金工业出版社出版;各地新华书店发行

1996 年 10 月第 1 版,1996 年 10 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16;9.25 印张;222 千字;141 页;1-2500 册

9.30 元

前 言

本书是根据高等学校热能工程专业热工过程自动控制课程教学大纲,在总结多年教学经验基础上编写的教学用书。全书共8章,第1章为自动化基本概念;第2章、3章着重从物理概念出发阐述调节对象和调节器的特性;第4章进一步用传递函数说明调节对象与调节器的特性,并分析自动调节系统的特性;第5章介绍各种常用的复杂调节系统以及一些最新的高级控制系统;第6章为执行器;第7章为工业调节仪表;第8章介绍钢铁与有色企业中自动化发展的概况以及有代表性的热工过程控制系统。

由于自动化领域的知识面很广,本教材的主要读者对象属非自动化专业,而自动控制对热能工程专业又相当重要,这就决定了本教材的特点。全书内容简练,深入浅出,注重调节对象、调节器、调节系统的物理概念和理论的阐述。

本书第1、2、3、4、6章及第7章7.1、7.2、7.3节由北京科技大学方之岗编写,第5、8章及第7章的7.4节由华东冶金学院庄树兴编写,由方之岗担任主编。东北大学王玲生、中南工业大学张壮辉、昆明理工大学雷英参加了本书的审稿工作,并提出了宝贵的意见,在此表示衷心的感谢。限于编者水平,书中难免有缺点和错误,望广大读者批评指正。

编者

1995年11月

目 录

概述	(1)
1 热工过程自动调节基本知识	(2)
1.1 人工调节与自动调节	(2)
1.2 自动调节系统的组成和方框图表示	(3)
1.3 简单调节系统及其特点	(5)
习题与思考题	(7)
2 调节对象特性	(8)
2.1 基本概念与术语	(8)
2.2 简单对象的微分方程	(8)
2.3 对象的飞升曲线	(10)
2.4 对象的特性参数	(12)
2.5 广义对象特性	(16)
2.6 对象特性中的其他问题	(17)
2.7 对象特性实验测定法	(18)
习题与思考题	(21)
3 调节器特性	(23)
3.1 基本概念和术语	(23)
3.2 比例调节器	(24)
3.3 积分作用调节器	(27)
3.4 微分调节作用	(29)
3.5 三种基本调节规律概况及其优缺点比较	(32)
3.6 PI 调节器	(33)
3.7 PD 调节器	(35)
3.8 PID 调节器	(36)
习题与思考题	(37)
4 自动调节系统特性分析	(38)
4.1 系统特性的基本概念	(38)
4.2 调节过程质量指标	(39)
4.3 传递函数	(42)
4.4 传递函数在调节器特性分析上的应用	(50)
4.5 应用传递函数求系统的特性	(54)
4.6 从系统微分方程分析自调系统的某些指标	(59)
4.7 调节规律对调节过程的影响及调节规律的选择	(65)
4.8 调节器特性参数对调节过程的影响及参数整定	(71)
习题与思考题	(80)

5 复杂调节系统	(82)
5.1 串级调节系统.....	(82)
5.2 比值调节系统.....	(86)
5.3 其他复杂调节系统.....	(89)
习题与思考题.....	(92)
6 执行器	(94)
6.1 执行器的种类和发展.....	(94)
6.2 电动执行机构.....	(94)
6.3 气动执行机构.....	(96)
6.4 调节阀.....	(98)
习题与思考题.....	(103)
7 工业调节仪表	(105)
7.1 调节仪表的种类和发展.....	(105)
7.2 模拟调节仪表.....	(106)
7.3 变送器.....	(110)
7.4 数字调节仪表.....	(113)
习题与思考题.....	(122)
8 典型的热工过程控制	(123)
8.1 概述.....	(123)
8.2 加热炉生产过程的控制.....	(126)
8.3 均热炉生产过程的控制.....	(130)
8.4 罩式退火炉生产过程的控制.....	(131)
8.5 锅炉生产过程的控制.....	(132)
8.6 铝厂煅烧窑煅烧温度控制.....	(135)
8.7 镍精炼过程阴极液 pH 值控制.....	(136)
习题与思考题.....	(138)
附录一 拉普拉斯变换.....	(74)
附录二 控制流程图中常用图形符号及文字代号.....	(139)
表 1 P、I、D 优点和缺点.....	(32)
表 2 响应曲线法参数整定计算法.....	(73)
表 3 拉普拉斯变换对照简表.....	(74)
表 4 XC 系列动圈表的型号组成及其代号意义.....	(106)
表 5 控制流程图中常用图形符号.....	(139)
表 6 表示参数的文字符号.....	(140)
表 7 表示功能的文字符号.....	(140)
参考文献	(141)

概 述

在社会生产和科学技术发展过程中,自动化起着极为重要的作用,而现代科技的进步又促使自动化水平迅速提高。实现生产过程自动化不仅可提高产品产量,保证产品质量,降低能耗及原材料损耗,而且能改善劳动条件,保证安全生产。

任何一门学科的发展都不能脱离社会生产,热工过程自动化也是随着生产和科技的发展而逐渐发展起来的。热工过程自动化最早在蒸汽锅炉上得到重视和发展,如锅炉的水位调节等。目前热电厂的大型发电机组对热工过程自动化要求更高,它是保证电厂安全和高效生产所必须的。

整个冶金生产基本上是在高温下进行的,必须供给大量的能量,除供给固体、气体和液体燃料外,还要供给大量的风、水、汽和电等多种能源,所以冶金工业是巨大的能源消耗工业。实现热工自动化不仅能提高冶金生产的产量和质量,而且是降低能耗所必须的。

生产过程自动化,或称自动控制,可分为热工量控制、机械量控制和电工量控制等。这与测量仪表分为热工仪表、机械量仪表与电工仪表等相一致。本文只涉及热工量控制。

自动控制的含义十分广泛。任何正在运行中的设备和正在进行的过程,没有人的直接干预而能自动地达到人们所预期效果的一切技术手段都称为自动控制。

冶金生产热工过程自动控制主要包含下面四个方面的内容:

(1)自动检测 自动地测量生产过程中各种物理量、化学量及生产设备的工作状态,以监视生产过程的进行情况和趋势,称为自动检测。

(2)顺序控制 根据预先拟定的程序和条件,自动地对设备进行一系列操作,称为顺序控制,也称自动操作。例如均热炉的炉盖启闭和燃料供给按一定顺序操作。又如高炉加料的程序和炉顶密封阀的启闭都是按一定程序自动操作。

(3)自动保护 在可能发生事故前,自动采取措施保护,以防止事故的发生与扩大,如超限报警和自动停机等。例如在连续加热炉上,一旦出现事故苗头时,在报警的同时迅速切断燃料供给,以保证设备和人身安全。

(4)自动调节 用各种调节仪表自动维持生产过程在规定的工况下进行称为自动调节。

生产过程中,必须保证产品满足一定的数量和质量要求,同时也要保证生产的安全和经济,这就要求生产过程在预期的工况下进行。但是,生产过程总会经常受到各种因素的干扰和影响,使运行工况发生偏离,这时,必须通过自动调节实现正常运行或进一步保持最佳工况。因此,自动调节是最经常起作用的一种自动控制职能。调节和控制这对名词没有严格的区分,常通用,但一般习惯上自动控制的范围要广得多。一个自动控制系统必须有自动检测、自动保护、顺序控制和自动调节等内容。其中自动调节起主要作用,并且是实现高级控制的基础,本书将着重论述。此外,本书也介绍冶金厂一些最新的典型的高级控制系统。

1 热工过程自动调节基本知识

1.1 人工调节与自动调节

“人工调节和自动调节”两个方面对于一门学科有很多新的概念和术语，在学习自动调节之前，应先了解这些基本概念，这是本节的目的。

1.1.1 人工调节

图 1-1 是加热炉炉温人工调节示意图。要保持正常运行，操作工人必须经常调节，或者在炉前根据炉内火苗的颜色调节烧嘴，或在仪表室根据仪表指示操作按钮来转动阀门。这属于遥控但仍属人工调节。这里被调节的量是温度。炉温这一热工过程或与炉温有关的生产设备（即炉膛、烧嘴及供油管路）称为调节对象。

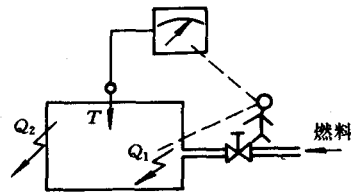


图 1-1 人工调节系统示意图

1.1.2 调节中的术语

(1) 调节对象 被调节的热工过程或有关的热工设备称为调节对象。它简称为对象，有的也称为被控过程。

(2) 被调量 表征热工过程是否符合规定工况的物理量，也就是调节所要维持为规定值的热工量（如温度、压力、流量等），称为被调量，也称被调参数或被控量。

(3) 给定值 希望被调量应该具有的数值，也称设定值。一般情况下给定值是不变的。如正常运行的油压，汽包液位高度，某一钢号下加热炉炉温等。但在有些情况下给定值是变化的，如热处理炉的温度，若需要把生产过程始终保持最佳状态，给定值也是在不断地改变。但给定值的改变不是由调节器来完成，而是由人工或其它仪表（如程序给定器、微机）来完成。

(4) 流入量与流出量 热工过程中流入量与流出量是从能量平衡或物料平衡的角度来说的。例如，对于一个炉温对象，它的流入量是进入炉内的总热量，流出量是消耗的总热量。例如，对于液位对象，流入量是流进容器液体的总流量，流出量是流出容器总流量，用字母表示为 Q_1 和 Q_2 （见图 1-1）。这里要强调的是不要把它们与后面提到的对象输入量与输出量相混淆。

(5) 扰动量与调节量（或称控制量、操纵量） 由一切外因引起流入量与流出量的平衡被破坏的量称为扰动量。例如，液位是被调量，流入侧供水压力变化引起 Q_1 变化是扰动量，流出侧用户需要的水量变化引起 Q_2 变化是扰动量，它们都使平衡破坏，又都是调节对象以外的外部原因。

由调节器或人工产生的恢复平衡的量称为调节量，或称为控制量或操纵量。

(6) 调节器和调节阀 调节器是实现自动调节的主要仪表，它监视被调量的变化，若被调量偏离给定值就发出调节指令，热工设备最终完成调节作用的是阀门，但它不是普通的开闭阀，而是专门用于自动调节、能平滑调节的阀门，称为调节阀。

(7) 调节过程 从扰动发生、平衡被破坏开始，到由于调节作用使流入量与流出量重

新平衡，被调量不再变化为止，这一段过程称为调节过程。电工课程中有术语“过渡过程”，调节过程属于过渡过程，即从原先的平衡状态（稳态）到新的稳态（调节终止）的过程。

1.1.3 有关调节的几个基本概念

(1) 调节的基本目的 它是使被调量保持在给定值。对热工过程调节来说，给定值绝大多数是定值，称定值调节。最优化调节是从定值调节基础上发展的，其基础还是定值调节。本文在不加特别说明的情况下都指定值调节，即调节的目的是将被调量保持在给定的某一数值上。

(2) 调节的手段或调节的实质 由于热工过程是定值调节，所以只要设法维持或恢复能量或物料的平衡就行。这是因为在平衡的情况下，作为被调量的热工参数稳定不变，这是调节首先要达到的目的。因此，调节的手段或实质就是调平衡，恢复被破坏的物料（或能量）平衡。

(3) 调节终止 它是指调节器不再发出调节指令，阀门不再移动，达到新的平衡，即又有 $Q_1=Q_2$ ，被调量不再变化，而此时被调量最好回到给定值上或者相差很小。

(4) 调节方向 扰动量可发生在流入侧，也可发生在流出侧。调节量也一样，原则上可以在流入侧调节，也可在流出侧调节。但不少对象只能在一侧调节，例如炉温只能在流入侧调节。这样，在自动调节里就有一个正确选择调节方向的问题。例如对炉温来说，当 $Q_1 < Q_2$ 时，炉温下降，油阀要开大。而对炉压，当 $Q_1 < Q_2$ 时，炉压下降，烟道阀门要关小。同样是被调量变小，一个要关小调节阀，另一个却要开大，所以在自动调节里总有个正确选择调节方向的问题。这已成为常识，以后不再特别说明。

1.1.4 自动调节

用一套自动化仪表和装置代替人来完成调节作用，称为自动调节。图 1-2 为温炉自动调节的一个例子，图中的图形符号参阅表 5，其中 1 是热电偶，2 是温度自动调节仪表如自动平衡记录调节仪（盘装式， T 代表温度， R 代表记录， C 代表调节），3 是电动执行机构，4 是调节阀。热电势反映炉温大小与给定值比较后经调节器给出调节信号，再经电动执行机构转变为机械位移以移动阀门。

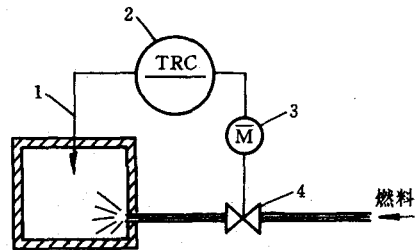


图 1-2 炉温自动调节系统的原理系统图

1.2 自动调节系统的组成和方框图表示

1.2.1 自调系统的工作过程

图 1-3 是一个自力式液位调节系统。早年蒸汽锅炉上曾使用它，现在卫生间里也使用它。它的缺点不在自动调节的功能上。凡是自动调节所需的各个功能它都有，而且是理想的。缺点只是调节器的出力太小。因为它是自力式，调节器输出带动阀门的力由测量元件浮子自己产生，没有功率放大部件，没有电力、气压等辅助能源，所以调节器的灵敏度低，只能用在很小的设备上。

因为此系统功能齐备，结构又简单，所以可作为例子来熟悉一个自动调节系统的工作情况。但要指出，本例里出入水量都在连续不断地流动，不同于卫生间水箱那种开闭式控

制。工艺要求水箱的水位保持一定的高度，但流出水量由用户决定，时大时小，所以要调节水量的平衡。现只能在流入侧调，所以流入量 Q_1 由调节阀 3 的开度决定。浮子 1，用来反映水位高度。若需要的水量 Q_2 突然增加，则水位 H 下降，浮子降低，通过杠杆 2 将阀门开大，加大 Q_1 以恢复流入与流出量的平衡。反之， H 升高，浮子通过杠杆将阀门关小，这样就可以自动地把水位保持在预定的高度上。

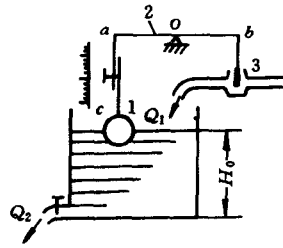


图 1-3 液位自动调节系统示意图

H_0 是水位希望保持的高度，由浮子杆长 ac 决定。改变 ac 长度就改变了给定值 H_0 的大小。例如要加大 H_0 ，则手动地缩短 ac 长度，杆上有标尺，根据刻度调到所需的 H_0 。

数值上。因为调节终止的水位高度不再变化，而浮子特性是始终浮于水面上，不可能离开水面或沉于水下。现在杆 ac 短了，调节终止后的 a 点位置基本不变，因为阀杆的 b 点位置可视为不变（阀门行程很微小，与水位高度相比可忽略不计）。现在浮子高了，调节终止时水位必然停在较高位置上。

1.2.2 自调系统的基本组成部分

从图 1-3 自动调节系统的工作过程可见，一个自调系统从功能上说必须包括以下六个基本部分。

(1) 调节对象 图 1-3 的水箱和进出水管是对象。

(2) 测量环节 它将被测量转变为电信号或气信号（分别对应电动调节器和气动调节器）。测量环节通常是传感器，如热电偶，或传感器加变送器，如节流装置加流量变送器。图 1-3 上测量环节是浮子。

(3) 比较环节 它用来设定给定值并把与测量值进行比较后的差值作为调节信号。若有偏差，经调节器进行调节；若无偏差则不需调节。图 1-3 中比较环节不明显，因为比较环节本身很简单，在电动调节器里也很简单，只需将代表测量值的电压与给定电压反向串联即可。

(4) 运算环节 它接受比较环节的需要调节的信号，经运算后按一定的调法输出驱动阀门的信号，例如电动调节器输出是电信号。图 1-3 是自力式，运算环节杠杆 2 输出的是位移。杠杆完成比例运算。其详细分析见第三章。

比较环节加运算环节为调节器，一个调节器必须包括这两个功能，缺一不可。

(5) 电动或气动执行机构 它将调节器输出信号（电或气）正比地转变为机械量以驱动阀门。在图 1-3 上没有这一部分，因它是自力式无辅助能源。

(6) 调节阀 一般它是调节用的节流阀门，但有的也不是，比如在电炉上用来调温的是触头，可控硅调压器等。

也有将 (5) 和 (6) 两个部分合并称为执行器（执行器=执行机构+调节阀），它又分为电动执行器和气动执行器。

1.2.3 自动调节系统的方框图表示

由于自动调节主要研究运动变化，研究信号的传递关系，因此它适合用一种抽象的简图来表示，即所谓方框图。一个车间的工艺流程也可用框图表示，它表示工件在各工段的流向。一个自调系统受到外界扰动后经对象引起被测量变化，经检测和比较环节产生（需

要)调节的信号,此信号经运算环节输出(执行调节的)信号来驱动阀门。这就是信号的传递。图 1-3 所示的自动调节系统用方框图可以很清楚地表示出它的各组成部分,及其功能和信号传递等工作过程,如图 1-4。与图 1-3 对应的各部分都已示于方框图上,其中 $\Delta\mu$ 是阀门开度的变化。这里没有执行机构,因为它是自力式,所以不需要。

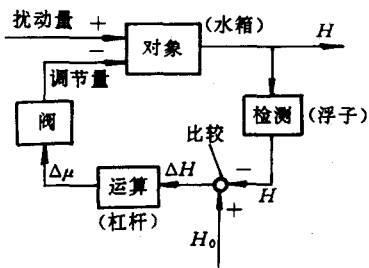


图 1-4 图 1-3 所示液位调节系统的方框图表示

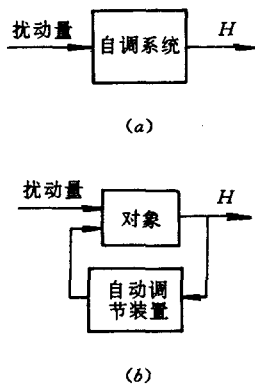


图 1-5 (a)、(b) 自调系统方框图

方框图里各个方框的划分可大可小,视需要而定。如对初学者需要图示得清楚些,那么就划分得细些,如图 1-4 所示。也可如图 1-5 (a),整个系统用一个方框;或如图 1-5 (b),用两个方框图表示。但有一原则,一个环节用一个方框,代表一个功能,功能不能重复。

1.2.4 方框图的输入量与输出量

输入量与输出量是对方框的信号传递而言的。箭头离开方框是输出量,向着方框或引起输出量变化的量是输入量。输入与输出间有因果关系,又表示了信号的传递关系。输入经方框传递后变成输出量。

1.3 简单调节系统及其特点

1.3.1 简单调节系统的特点

简单调节系统是相对于第五章复杂调节系统而言。简单调节系统是基础,并且目前在工业上应用也很多。自动调节主要是利用负反馈的原理,使受扰动破坏的系统重新获得平衡和稳定。简单调节系统有如下特点。

(1) 它属反馈调节。所谓反馈是指系统输出经调节器又反回到输入端,形成一个闭合回路。与反馈调节相对应的是前馈调节(或称前馈控制)。详细分析在第五章。反馈有正反馈和负反馈,其概念与电子学中的相同。正反馈若用在自动调节里就不是自动调节,而是自动破坏,所以在自动调节里不能有正反馈。

(2) 它是一个闭合回路,并且是一个由负反馈形成的闭合回路,或称闭环,见图 1-4 的箭头走向。有两个或两个以上的回路就是复杂调节系统。

(3) 调节信号是偏差,是被调量与给定值的偏差。没有偏差就不需要调节,所以反馈

调节又称偏差调节。前馈调节的调节信号就不是偏差。

1.3.2 简单调节系统典型方框图

1.3.2.1 扰动量是自调系统输入时的方框图

自调系统适合用方框图表示，熟悉单回路的简单调节系统方框图也是分析复杂调节系统的基础。简单调节系统方框图常见的一种画法如图 1-6 所示。这里作三点说明。

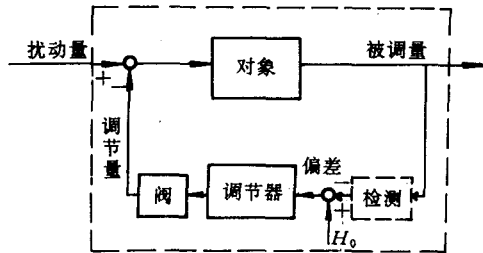


图 1-6 简单调节系统方框图

(1) 扰动量与调节量作用的符号相反，与比较环节情况相同。为统一起见，也用同样图形表示。

(2) 图中箭头一般可用文字笼统地表达出来，如图上只写明输出是被测量，没有具体明确是液位 H 还是温度 T ，其中还有些箭头没有表示是什么信号，参阅第 5 章各个方框图。因为这里的方框图只需表明由哪些环节组成。若需借助方框图作定量分析和计算，则方框图中各个箭头必须明确地表示清楚，如第 4 章中各个方框图。

(3) 将运算环节的方框写成调节器，这只是习惯表示。因调节器里起主要作用的是运算环节，是公认的代表方法，不会发生误解。

1.3.2.2 自调系统的输入是给定值变化的方框图

一个自调系统有两个箭头向着这个方框，如图 1-8，即干扰可引起被测量变化，给定值变化也可使被测量变化。若扰动量为零，由给定值引起被测量变化，则系统方框图如图 1-7 所示。它是将图 1-6 的 H_0 箭头拉出虚线方框并顺时针转 90° ，图 1-6 的其它部分也跟着转就变成 1-7 图。图 1-7 上扰动量为零，所以在虚线（即系统）的大方框内，也可不画扰动量这一箭头。

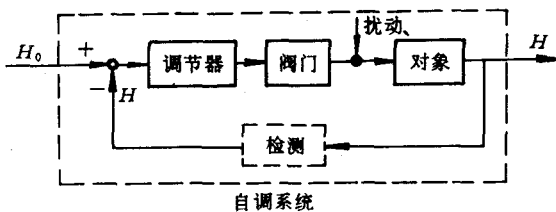


图 1-7 简单调节系统方框图

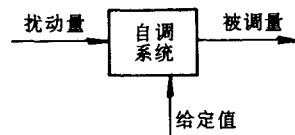


图 1-8 自调系统方框图

自动调节里对输入的影响是单个考虑的。若被调量同时由扰动和给定值变化两个因素引起，则把这两因素分别影响的结果代数相加。

习题与思考题

- (1) 自动调节最基本的目的是什么？自动调节是通过什么手段来达到这一目的？
- (2) 什么是反馈？负反馈在自动调节中有何作用？
- (3) 反馈调节的调节信号是什么？
- (4) 什么叫简单调节系统？它有什么特点？
- (5) 两种简单调节系统典型方框图在图示上有什么区别？
- (6) 什么是自动调节的正确方向？为什么要提出调节的正确方向问题？
- (7) 什么叫扰动量？它与对象有什么关系？
- (8) 一个自动调节系统需要由哪些部分来组成？指出图 1-3 所示的系统中各个部件所起的作用。
- (9) 图 1-3 所示水位调节系统是如何起调节作用的？怎么能自动地改变需要的水位？

2 调节对象特性

2.1 基本概念与术语

2.1.1 什么是对象特性

被调节对象的特性简称对象特性。与“炉子热工及构造”课程一样，本课研究的对象也是炉子等热工设备，但研究的角度不同，是从运动变化的角度来观察其特性。即输入一个外力即扰动，看输出变化的规律。

首先要明确，对象特性是指对象的输出与输入的函数关系。对象的输入若用字母表示为 ΔQ ($\Delta Q = Q_1 - Q_2$)，输出为热工量如温度 T 或液位 H 等，则对象特性就是 $H = f(\Delta Q)$ 。它一般是一阶或二阶微分方程。

2.1.2 研究对象特性的目的

一个事物的运动变化外因（即扰动）只是运动的条件，其内因才是运动的根据。内因就是自动调节系统中各个环节的运动特性，主要是对象与调节器的特性。所以若要了解一个自调系统受到外界干扰后如何变化，首先要很好掌握其运动变化的内在原因，也就是要很好掌握对象和调节器的特性。

2.1.3 对象特性的研究方法

研究热工设备的特性是本专业的任务，本文是从运动角度来观察其特性，下面将着重介绍观察的方法。

从大的方面说研究对象有两种方法。一是实验测定法，即在对象上加一输入，测定和记录输出的变化，然后图解出特性参数。二是分析法，即利用已有的知识来分析。分析法又分两种，一是列出微分方程，微分方程是事物运动的数学表达式，简单的对象可用能量或物料平衡的关系来列出，复杂的对象就必须用传递函数。另一种分析法是所谓扰动响应法，意思是要知道一个物体如何运动，则加一个外力让它动起来，观察其运动情况，若外界扰动相等、输出运动相同的就属于同一类。这里所加的不是实际的外力，而是假设的。很明显列微分方程属于定量分析，扰动响应是定性分析，它也是必需的，因为物理概念清晰，以弥补微分方程式的抽象。

2.2 简单对象的微分方程

图 2-1 (a)、(b)、(c) 是三个简单的热工对象，分别是水箱，气缸和电炉，它们的输入都是 ΔQ ，输出分别是 H 、 P 与 T 。

对象特性就是式 $H = f(\Delta Q)$ 。图 2-1 (a)、(b)、(c) 的特性相同，即微分方程是相同的。也就是说，从运动的角度看三者特性相同，当然从炉子热工及构造的角度看大不相同。这里引出一个概念。在种类繁多的热工世界里，若从自动调节的运动变化的角度看，各种各样的热工对象只归成五种基本类型。图 2-1 就是五种类型里的一种。

前已说到对这种简单对象可用能量或物料的平衡关系列出微分方程。根据物料平衡关系，图 2-1 (a) 在正常工作状态下的稳态方程式是：
$$Q_{10} - Q_{20} = 0$$

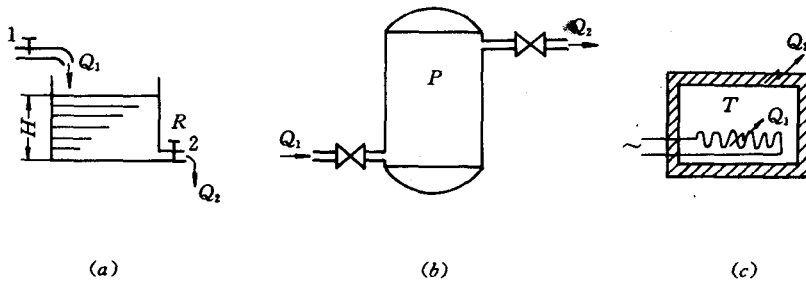


图 2-1 简单热工对象

动态方程式是：

$$Q_1 - Q_2 = \frac{dV}{dt}$$

式中 dV/dt 是流体蓄存量的变化率。它与水位 H 间的关系是：

$$dV = AdH \quad \frac{dV}{dt} = A \frac{dH}{dt}$$

代入上式得：

$$Q_1 - Q_2 = A \frac{dH}{dt}$$

或

$$\frac{dH}{dt} = \frac{Q_1 - Q_2}{A} \quad (2-1)$$

其实 (2-1) 式是最简单的关系式，可直接写出。它表示液位变化速度与 ΔQ 成正比与截面积 A 成反比。

流出量 Q_2 又随 H 的增加而加大，其关系如图 2-2 所示。可见比值液阻 $R = \Delta H / \Delta Q$ 不是常数，称为非线性。

在工程上往往采用近似处理方法，在这里就是非线性问题的线性化处理。当然不是随意处理，要在近似的前提下，所以是有条件的。条件一是工作点 (H_0, Q_0) 一定，二是只在很小范围内变化。如图 2-2 只在 ΔH 内变化，这种曲线就完全可近似视为直线，即作线性化处理。

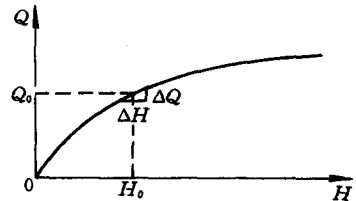


图 2-2 水箱水位对象的静态特性

自动调节在一般情况下都满足这两个条件，因自动调节的基础是恒值调节，即保持 H_0 一定，而且既然用了自调系统，就不允许被调量 H 有较大的变化。

把液阻 R 视作常数，因此有 $R = H/Q$ 。其物理意义与电工里的 $R = U/I$ 完全对应，电压对水压头，电流对液流，电阻对液阻，也就是说只是物理量不同，运动形式（运动特性）上完全相同。所以有关系式

$$R = \frac{\Delta H}{\Delta Q_2} \quad (2-2)$$

若输入量是 ΔQ_1 ，例如由图 2-1 (a) 中阀门 1 变化引起的 ΔQ_1 （也即扰动 ΔQ 是由 Q_1 变化引起），则 (2-1) 式与 (2-2) 式联立可消去中间变量 ΔQ_2 。但这里还需要将 (2-1) 式也以增量的形式表示，即将 $Q_1 = Q_{10} + \Delta Q_1$ ， $Q_2 = Q_{20} + \Delta Q_2$ ， $H = H_0 + \Delta H$ 代入 (2-1) 式。

代入后有

$$\frac{d(H_0 + \Delta H)}{dt} = \frac{Q_{10} + \Delta Q_1 - (Q_{20} + \Delta Q_2)}{F}$$

因 $Q_{10} = Q_{20}$, 得

$$\frac{d\Delta H}{dt} = \frac{\Delta Q_1 - \Delta Q_2}{F} \quad (2-3)$$

将 (2-2) 式代入 (2-3) 式得

$$FR \frac{d\Delta H}{dt} + \Delta H = R\Delta Q_1 \quad (2-4)$$

$F=C$ 称为液容, 与电容 C 对应, $RC=T$ 在电路里是电容充电时间常数, 这里则为容器充水的时间常数。

$$(2-4) \text{ 式写成一般形式是 } T \frac{d\Delta H}{dt} + \Delta H = K\Delta Q_1 \quad (2-5)$$

其中 $K=R$ 称为对象的放大系数, $T=RC$ 是对象的时间常数。

$$\text{对图 2-1 (b) 有式 } T \frac{d\Delta P}{dt} + \Delta P = K\Delta Q_1$$

其中 P 是气缸压力, $T=RC$, $R=K$ 是流出侧阀门的气阻, C 是容量系数 $C=V/(R_0T_0)$, V 气缸容积, R_0 气体常数, T_0 绝对温度。

$$\text{对图 2-1 (c) 有式 } T \frac{dT_b}{dt} + \Delta T_b = K\Delta Q_1$$

其中 T_b 为炉膛温度, $T=RC$, $R=K$ 是热阻, C 是热容, Q_1 是电热体给炉膛的热流。

2.3 对象的飞升曲线

上节是用微分方程表示对象的特性, 本节是用图形表示, 属于扰动响应法。意思是说, 要知一个物体运动特点, 别让它动起来, 然后按其运动轨迹加以分类。

2.3.1 阶跃扰动

前已提到, 一个物体如何运动不但与内因 (对象特性) 有关, 又与外因 (扰动) 有关, 所以必须先固定扰动的形式, 取一致的扰动才可作比较, 从不同的输出变化曲线区分出不同的对象特性。

原则上输入的形式可以任取, 有一个输入 (扰动) 对象就有一个输出变化。例如研究电子设备特性时, 往往用频率发生器输入一个正弦波, 而这对热工对象是不现实的, 在炉子供热阀门上作一个很低频率的正弦变化时, 炉温还能跟着变。只要阀门频率稍高, 炉温就不跟着变, 即炉温对象是一个低通滤波器。

在热工过程自动调节里采用阶跃形式的扰动, 如图 2-3 (a)、(b) 所示。阶跃扰动的特点是扰动量以接近无穷大的速度加上, 而后一直保持不变。

采用阶跃扰动的理由有:

(1) 符合热工过程生产实际, 例如连续加热炉的轧机故障, 燃料更换发热值变化, 车间的几台燃气炉关掉其中一台等。

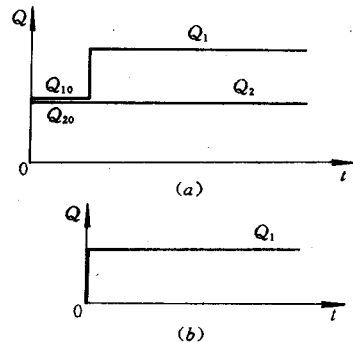


图 2-3 阶跃扰动