

石油职工
继续学习丛书

基础知识

(四)

基础仪表

〔美〕得克萨斯大学编



石油工业出版社

内 容 提 要

本书是石油职工继续学习丛书基础知识部分中的第四册,这部分包括“基础数学”、“基础电工学”、“基础电学与电子学”、“基础仪表”、“海洋操作入门”五本。它由美国石油学会生产部发起,得克萨斯大学编写,经多次修订,内容丰富,联系实际。

本书系统介绍最基本、最常用的仪表知识,包括基本概念、测量单位、最终控制元件和执行机构、气动控制;重点介绍压力、温度、液位、流量的测量与控制;也叙述了传感器、记录仪和积算器、遥测的有关知识;最后谈及自动调节器的工程调整。书中八至十二章由张家彦同志翻译。

这是一本学习仪表知识的入门书,可供仪表工人和工艺过程的操作工熟悉各种仪表及其在工业生产中的应用,也可作为技工学校教科书和工人培训教材。

BASIC INSTRUMENTATION

SECOND EDITION

published by

PETROLEUM EXTENSION SERVICE

INDUSTRIAL AND BUSINESS TRAINING BUREAU

THE UNIVERSITY OF TEXAS—DIVISION OF EXTENSION

AUSTIN, TEXAS

1976

石油职工继续学习丛书

基础知识

(四)

基 础 仪 表

【美】 得克萨斯大学 编

黎世澍 译 张潮生 校

石油工业出版社出版

(北京安定门外外馆东后街甲36号)

轻工出版社印刷厂排版

通县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 16 $\frac{1}{2}$ 印张 410千字 印1—9,300

1982年11月北京第1版 1982年11月北京第1次印刷

书号: 15037·2365 定价: 1.35元

出版说明

美国得克萨斯大学有关部门受美国石油学会和美国国际钻井承包商协会的委托，从六十年代起，陆续编写了一套为刚从事石油工作的人员学习的丛书，这套书经多次修订再版，已逐步完善，并日益受到石油工作者的重视。据我们目前的了解，这套丛书包括石油钻井、石油和天然气开采、油井的维护和大修、石油储运、海洋操作技术和基础知识方面的内容。这套丛书适于新工人自学，也可以作为培训技工的教材，有的内容可作为初学者的入门指导。

我们现将拿到手的部分陆续翻译出版，并统称为《石油职业继续教育丛书》，以供我国石油工作者，特别是石油厂矿工人学习参考用。我们相信随着我国石油工业的发展，以及与国际间石油技术交流活动的开展和新设备的不断引进，将这套丛书介绍给我国的石油工人，对我们的工作是有一定的益处的。

目 录

第一章 检测仪表概论.....	(1)
第一节 定义.....	(1)
第二节 为什么要进行测量和控制	(1)
第三节 测量和控制什么	(2)
第四节 如何测量	(2)
第五节 如何控制	(3)
第六节 自动控制中考虑的问题	(7)
第七节 结论	(15)
第二章 测量的单位和量纲.....	(16)
第一节 基础量.....	(16)
第二节 量纲.....	(16)
第三节 测量的单位	(16)
第四节 长度测量	(17)
第五节 时间单位	(18)
第六节 温度单位	(18)
第七节 质量、重量、力及其单位	(19)
第八节 功和能.....	(22)
第九节 功率与功和能的关系	(24)
第十节 各种量的量纲	(24)
第十一节 结论.....	(27)
第三章 最终控制元件和执行机构.....	(28)
第一节 调节阀术语	(28)
第二节 阀体型式	(29)
第三节 阀门流通能力和流量特性	(32)
第四节 阀门内部零件	(33)
第五节 阀芯类型	(33)
第六节 导杆和阀座	(35)
第七节 阀体设计细节	(36)
第八节 调节阀的尺寸及其配管.....	(38)
第九节 受控容积泵	(39)
第十节 其他最终控制元件	(40)
第十一节 调节阀执行机构	(41)
第四章 气动控制.....	(49)
第一节 调压器.....	(49)
第二节 气动调节器	(50)

第三节 体积升压继电器	(64)
第四节 阀门定位器	(64)
第五节 结论	(69)
第五章 压力测量和控制	(70)
第一节 压力测量	(70)
第二节 压力仪表的保护设备	(78)
第三节 高真空测量	(79)
第四节 超高真空测量	(82)
第五节 压力控制	(83)
第六节 压力调节器	(89)
第七节 结论	(94)
第六章 温度测量和控制	(95)
第一节 温度测量	(95)
第二节 温度控制	(117)
第三节 结论	(122)
第七章 液位测量和控制	(123)
第一节 液位测量	(123)
第二节 液位调节器及流体静压操作	(133)
第三节 测量和控制液位的电气元件	(135)
第四节 声波型液位测量	(138)
第五节 振动器型装置	(139)
第六节 辐射型液位测量和控制	(139)
第八章 流量测量	(141)
第一节 测量单位	(141)
第二节 流量测量的量纲	(141)
第三节 用差压测量流量	(142)
第四节 面积式流量测量仪表	(162)
第五节 电磁流量计	(164)
第六节 质量流量计	(166)
第七节 涡轮流量计	(168)
第八节 容积式流量计	(169)
第九节 结论	(172)
第九章 流量控制	(173)
第一节 手动和固定流量控制的方法	(173)
第二节 差压测量装置	(174)
第三节 流量控制的一般考虑	(176)
第四节 分馏塔的流量控制	(179)
第五节 流量测量和控制设备的安装	(183)
第六节 结论	(190)
第十章 其他变量的测量和控制	(191)

第一节	湿度和露点	(191)
第二节	比重.....	(195)
第三节	粘度.....	(200)
第四节	pH值的测量.....	(203)
第五节	结论.....	(206)
第十一章	传感器.....	(207)
第一节	定义、范围和必要性.....	(207)
第二节	电气传感器	(207)
第三节	结论.....	(214)
第十二章	记录仪和积算器.....	(216)
第一节	记录仪.....	(216)
第二节	积算器.....	(228)
第三节	结论.....	(231)
第十三章	遥测.....	(232)
第一节	遥测的必要性	(232)
第二节	如何实现遥测	(233)
第三节	遥测设备	(241)
第四节	结论.....	(245)
第十四章	自动调节器的工程调整.....	(247)
第一节	过程反应速率的复习.....	(247)
第二节	控制过程的稳定性	(248)
第三节	相位移和自然频率	(249)
第四节	调节器的调整	(250)
第五节	结论.....	(256)

第一章 检测仪表概论

第一节 定 义

术语——使用特定意义的词和词组（有时是很普通的词）来表示和艺术、科学或业务有关的技术名词，是检测仪表系统研究中的一个难题，这主要是由于没有一个通用的绝对标准。在本书中，采用了最适合于现场需要而为广大工作人员和企业所接受的术语。在本章和今后各章中，将对各条术语下定义，其重点在于使读者熟悉检测仪表的主要内容。

自从仪表一词广泛地定义为包括“用来达到某目的的任何工具或其他器件”以来，常常按照其使用场所来定义仪表。这样，就有音乐的、外科的、测量的和航海的仪表等等。对于我们的目的来说，仪表是和某一过程或系统相联系的任何感应、测量、传送或调节的设备。仪表化是指在控制过程中，用来测量指示、记录或调节工艺过程变量大小的仪表的任何配置方式。温度计、压力计和调节阀也是组成仪表化系统的少数几种仪表。

第二节 为什么要进行测量和控制

原始社会的人，简单的棍棒同时代表了“一种战争工具”和“一种生存工具”，他们在发明不只是和生存有关的工具或仪表之前，已经生活了几个世纪。终于研制成功了测量距离、角度和时间的仪表。由于人类对周围环境产生了好奇心，发明了能够较精确地观察星辰和其他自然现象的设备，当然这并不是希望控制自然现象。但是也许有这样一种信念，可以调整他自己的能动性，以便得到较好的有利条件。早先人类执行的没有多少内容的控制，都是和他们的基本要求密切相关。他们在节省人力方面想得很少，但是却认识到仪表能够比较好地帮助人做好工作，因而推动了测量工具和标准的发展。

几个世纪以来，为了生产令人满意的产品，测量和控制被认为是一种必要的功能。古时候的酿酒过程也需要测量和控制，以保证他们的努力得到成功。诚然，这些测量方法是很原始的，只不过是发酵过程作仔细的观察，而控制也不过是选择一个适当的地窖。现代化的工业却非常需要精确测量和控制。例如，化工产品的质量可能取决于重量或体积的适当配料比例，反应器在预定时间内保持恒定的压力，以及加上校正剂调整最终产品的酸度（或pH值）等三个因素。

发展仪表系统最重要的着眼点在于通过对工艺过程的适当测量和控制，得到经济效益。在制造业中，由于有产品质量的精确控制系统，导致原料和时间的节省，这将使总的费用减少，意味着利润增加和售价降低。甚至在中等现代化的家庭中，取暖的自动控制系统也能防止由于过热而造成的燃料损失。

现代化家庭的温度自动控制是一个合乎需要和方便的系统。目前还有许多家庭，没有温度自动控制设备，用手动控制就能达到满意程度。但是，我们未必能确定所有形式的自动控制是合乎需要的和方便的，其中一些还是必需的。

几年前，一个中东国家的官员和一家美国公司签订合同，设计一个现代化的石油加工厂。

当设计完成提出批准时，这些官员惊恐地发现炼油厂的仪表自动化程度很高，只需要少数的操作人员。官员们认为这样高的自动化程度是不必要的，因为有丰富的廉价人力资源为这个炼油厂提供操作人员。他们要求美国公司重新设计这个炼厂，去掉所有的自动控制，而保持阀门和其他设备的手动操作。经过简单考虑之后，公司取消了订立的合同，并且指出一个现代化的炼厂不能只是简单的手动控制，因为要协调几百个人的行动保持严密配合是不可能的。我们看到自从瓦特在他的蒸汽机上安装调速器之日起，控制“能够比人更好地工作”，于是我们提出这种观点，若有测量仪表系统，就可以使那些没有合理系统所固有的可靠性、持续性和速度，即不可能存在的过程成为可能存在的过程。

第三节 测量和控制什么

在现代，特别是在十八世纪工业革命之后，由于工业的发展，增加了许多可变的条件和因素，与此同时对测量和控制的需要也大大增加。虽然人们可能考虑的测量和控制变量的数目几乎是不可胜数的，但令人鼓舞的是，对于任何已知的工艺过程，所需要考虑的变量相对来说是不多的。

检测仪表，也就是测量和控制仪表，在石油工业中得到广泛地应用。事实上，石油化工企业的特点就是广泛地采用自动化仪表。在所有可能考虑的变量中，只有很少数的几个变量对于我们的研究工作来说是特别重要的。虽然pH值、湿度和其他条件或特性是重要的，也将在研究中加以考虑，但是我们主要关心下列四种基本变量——温度、压力、流量和液位。在术语方面值得注意的是，在一个生产系统或工艺过程中，任何需要保持规定数值的工艺变量叫做被测量。

第四节 如何测量

人的器官对我们感兴趣的很多测量都是不敏感的，并且人与人之间的差别也很大。例如，人体不能精确地判断温度，也不能够用正常的视觉手段来准确判断距离。仪表增加了人的固有器官的作用，使人能够进行任何所需精度等级的测量。虽然当要求的精度太高，需要付出的代价太大时，会妨碍仪表的实际应用，但是，我们首先看到，仪表可以用来进行测量，或者可以帮助我们进行测量。

某些研究的变量，可以用表示变量基本特性的单位直接测量。例如，液位随着基准液面高度的改变而变化，而这个差值很容易用英尺和英寸直接测量。压力定义为单位面积上的力，可以直接用克服重力举起重物的能力来测量。流量可以用加仑/分、桶/天等单位来表示，还可以用充满或放空一个容器的速度来测量。而温度却是一个不同的问题，可以认为温度是分子活动程度的一种度量，或者更确切地说，是分子活动程度的指示，它是一个难于直接测定的量。一些物理定律，建立了温度和其他许多物理量之间的关系，使我们能够通过观察所选择的受温度影响的介质的变化，来测量温度。当用间接方法测定温度或其他变量时，它的数值被认为是推理性的。所有测量温度的方法都是推理性的方法。事实上，测量其他变量的大多数系统，在本质上也是推理性的。

为了能够正确地解释直接测量和推理性测量的概念，下面举出几个实例。图1-1的系统为直接测量液位和流体压力的方法。一个标有英尺和英寸刻度的玻璃液位计表示容器中高于

基准液面的液位。这是一个非常直观的测量仪表。

如图所示，压力的直接测量，包括两个力的平衡：作用于活塞和附加重物的向下重力，以及液压对活塞表面所产生的向上作用力。假如活塞重量为1磅，其截面积为1平方英寸。很明显，在管道中对于每个1磅/英寸²的压力来说，在活塞上将

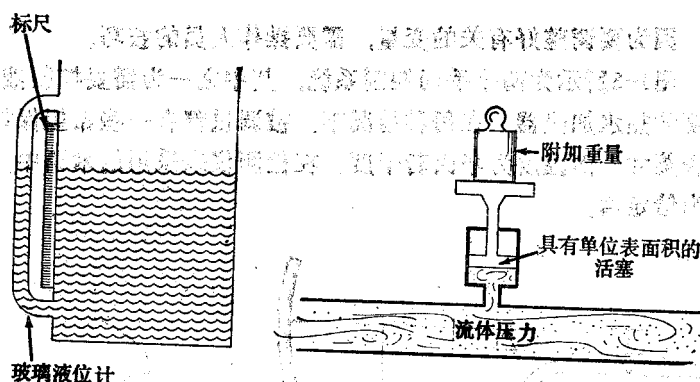


图 1-1 液位和流体压力的直接测量法

1 磅的向上作用力。当在活塞杆上部附加上重量时，最后总能够找出一定磅数的重量来抵消由于管道中的压力所产生的力。由于压力等于单位面积上的力，简单来说，管道中的压力，就等于抵消作用于活塞底面单位面积上流体压力所须要的总重量，用磅表示。

虽然液位很容易直接测量，但也很适宜于推理性测量。在图1-2中所示容器的液位，可用英尺和英寸测量，用玻璃液位计指示。但是，高于基准液面的液体，也产生一个可以用来推断这个液位高度的侧壁效应，即流体静压力。

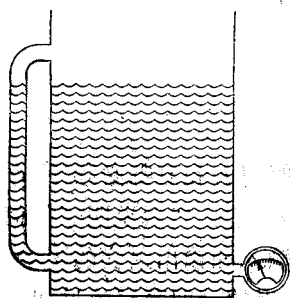


图 1-2 从流体静压力推断液位的方法

在以下各章中将更详细地讨论液体静压力，但目前知道下列数据就足够了，即比重为G的液柱，对于每英尺垂直高度的液柱，在其底部产生的压力为 $0.433 \times G$ 磅/英寸²。因此，如图1-2所示，如果在容器的基准液面上安装一个适当量程的压力表，用下式可以精确计算出液位：

$$h = \frac{P}{0.433 G}$$

式中 h——高于压力表的液位高度，英尺；

P——压力表读数，磅/英寸²；

G——液体对水的比重。

很清楚，液位高度是根据与密度、重力等有关联的自然物理效应来推断的。

第五节 如何控制

由上文可知，测量的方法，可以分为直接测量和推理性测量两大类。变量的控制方法也可以分为两大类：手动控制和自动控制。

一、变量的手动控制

单变量的手动控制一般包括一个操作人员、一个测量装置和一个最终控制元件。在手动控制中，测量装置是一个给操作人员指示被测量数值的仪表。最终控制元件是系统中的一个元件，通常是一个阀门，使操作人员能够改变被测量。测量装置和最终控制元件将在本章的下文详细解释。手动控制通常是一目了然的和简单的，因此不需要更多的研究，但是其重要性不可以忽略。象飞机在飞行中的控制，几个有关变量的手动控制是一项严格和复杂的工

作，因为要调整好有关的变量，需要操作人员的技巧。

图1-3所示为两个手动控制系统，其中之一为需要控制液位的水箱，另一个为需要控制温度的热水加热器。在每种情况下，被调量都有一些希望保持的要求数值，即液位为若干英尺和英寸，而温度为华氏若干度。在检测仪表采用的术语中，把被调量希望保持的要求数值称为给定值。

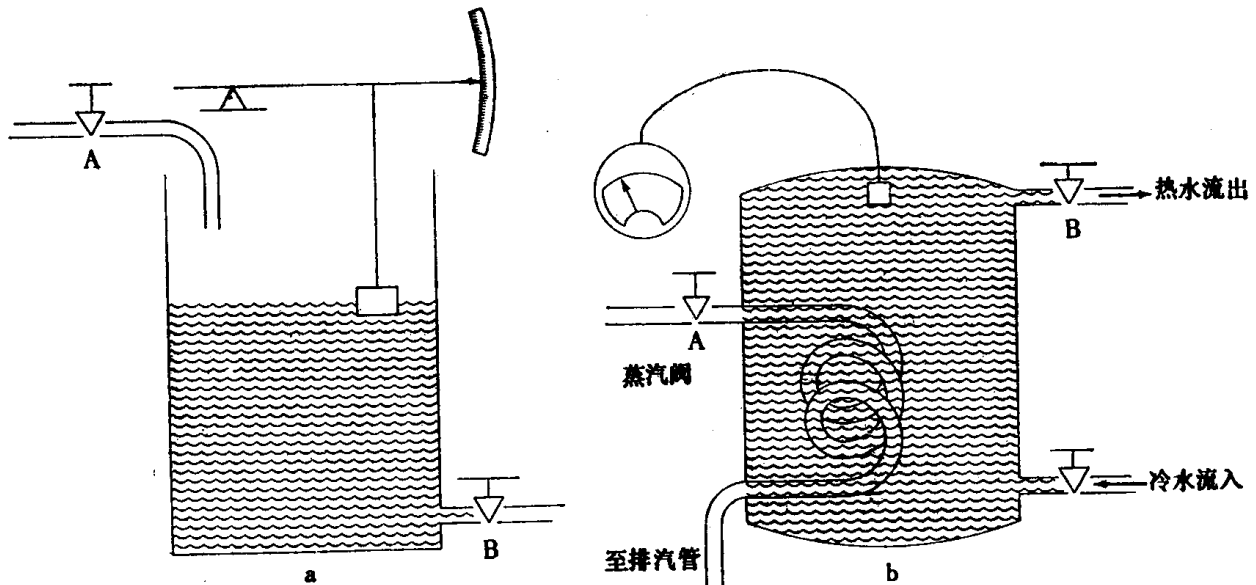


图 1-3 液位 (a) 和温度 (b) 的手动控制方法
(阀门A和B为控制元件)

为了保持图1-3系统中液位和温度的给定值，在每种情况下，阀门A和B都必须手动调整平衡。对液位控制来说，水流入和流出容器的平均流量必须相等。这一句话说明了任何成功的控制系统的基本要求——“被调量的给定值是通过一个过程的输入和输出之间的平衡来保持的”。热水系统温度的控制，是通过输入和输出热能的平衡来取得的，即蒸汽流过加热盘管，丧失一定的热量被冷水吸收。当然，了解下述情况是重要的，并不是所有的蒸汽能量最后都由阀门B排出。由于加热器保温不完善以及其他的耗损因素，都要损失一些能量。

图1-3 a 中用于指示液位的测量装置是一个简单的系统。称为一次元件的浮子，跟随水面浮动，并通过一组联动装置操作指示器。热水温度的测量装置是以气体的压力、温度和体积相关的定律作根据的推理性系统。实质上，系统的工作原理是，如果将定量的气体限制在恒定的容积中，则气体的绝对压力将和它的绝对温度成正比。这个原理将在第六章中详细讨论。一次元件为装有定量气体的温包。一个内径很小的金属管把温包和一个波登管相连接。压力敏感元件，将在后面讨论。同许多其它压力测量元件一样，波登管形状的改变反应出温包的压力变化。

二、简单的自动控制

在图1-3的系统中，作一些简单的修改，增加一点东西，就可以得到一个适当程度的自动控制。新的方案如图1-4所示。除了控制液位指示器之外，浮子还控制阀门A。如果通过B的排放流率增加，就引起容器中的水位下降，则浮子和阀门A之间的联动装置，就促使阀门A开大，让更多的水流入容器。这类的系统在许多应用场合是经常采用的。注意，由于安装

了一个松紧螺旋扣，因此可以改变连接阀杆的连杆有效长度。其作用将使给定值迅速改变。如果将连杆调短些，对于一定的水位，阀门将开得更大，反之亦然。

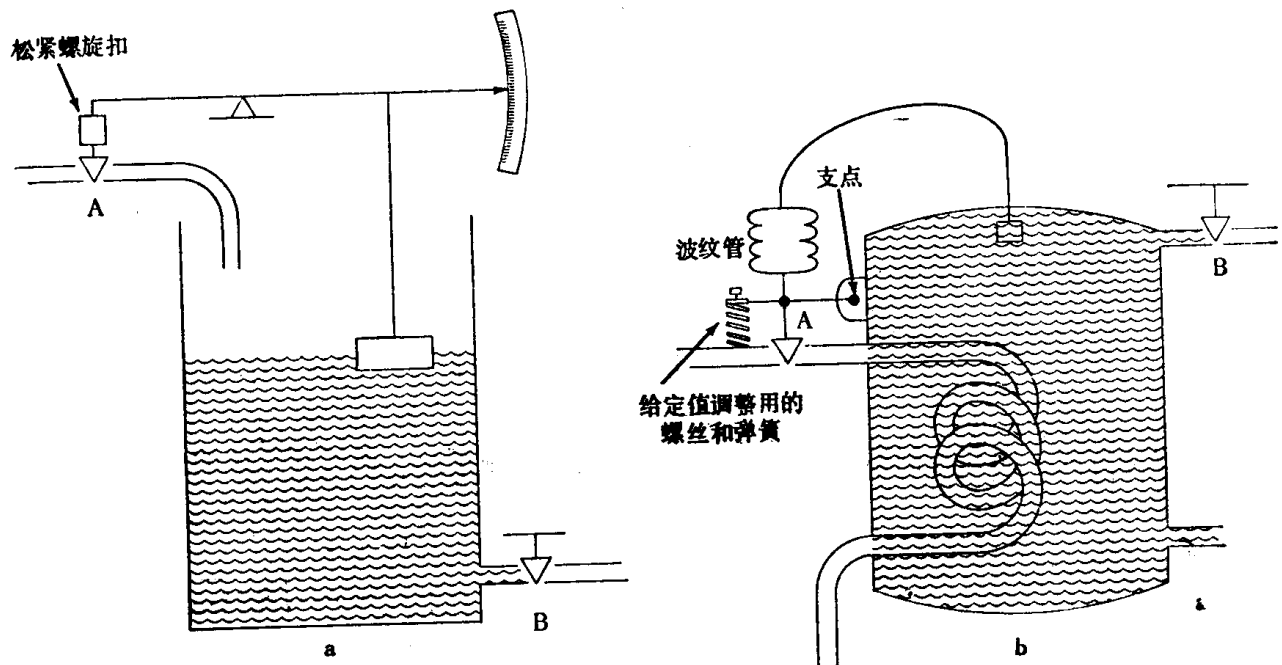


图 1-4 图 1-3 中系统的自动控制 (在图 a 中阀门 A 连接浮子; 在图 b 中阀门 A 响应波纹管中的压力变化)

现在，蒸汽流量的控制是通过波纹管操作的调节阀来实现的。波纹管为另一种压力敏感元件，通过其长度的改变响应压力的变化。压力变化与温度的变化有关，并以前面指出的同样规律变化。给定值的调整既可以用松紧螺旋扣的方法，也可以安装一个弹簧，调节弹簧可以改变阻止波纹管运动的张力的大小。如果使弹簧的弹力阻止图 1-4b 中波纹管的膨胀，则给定值较高，提供的张力就较大等等。

1. 反馈原理

和简单的自动控制系统相联系的一个重要概念即反馈原理。所有成功的自动调节系统都是以反馈作基础，“反馈”一词指出了下列事实，即与被调量有关的信息“反馈”给控制装置，因此只要是需要，就可以产生校正作用。控制装置的作用是使被调量产生变化，而且这个变化由一次元件加以检测，一次元件将这个信息传送到控制装置。这样一种自动控制系统通常称为闭环系统。为了评价反馈和闭环系统的重要性，让我们将这个系统的特性，和另一个称为开环、或开环程序的控制系统，作简要的对比。

图 1-5a 为开环控制系统，而图 1-5b 为其方框示意图。用蒸汽散热器加热密闭车间。送入散热器的蒸汽流量用波纹管驱动阀调节，它与前面介绍的一样。注意，测量装置的一次元件是装在车间的外面，因而是暴露在车间周围不受控制的空气之中。车间温度也可能粗略地和外部空气温度成比例变化，但是很明显，如果要求室温得到恰如其份的控制，这个方法是不能简单接受的，因为要求控制的条件主要是一个不能控制的环境温度——外部空气温度的函数。

图 1-6a 和上述的开环系统十分相似。但是必须看到，现在一次元件是装在车间里，因而就要响应散热器的作用。图 1-6b 为闭环系统的方框图，而且清楚地显示出，反馈回路或闭合

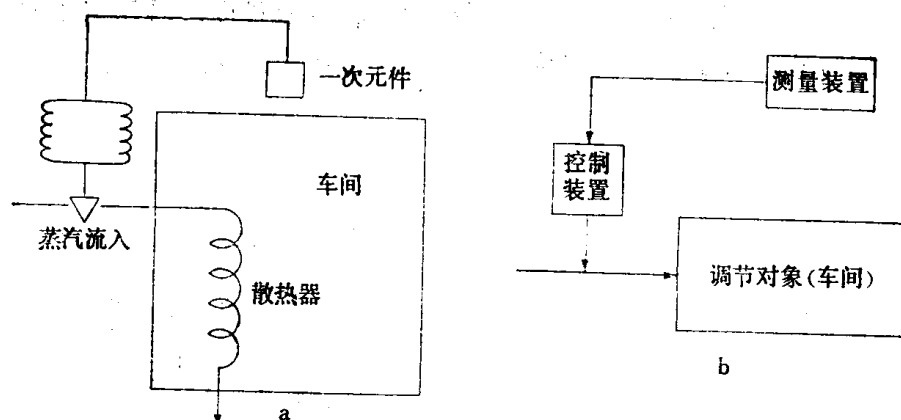


图1-5 开环控制系统（一次元件位于车间外面）

环路的连接方式。闭环控制系统是一种有用且常见的控制系统，而开环系统的使用范围却有限。

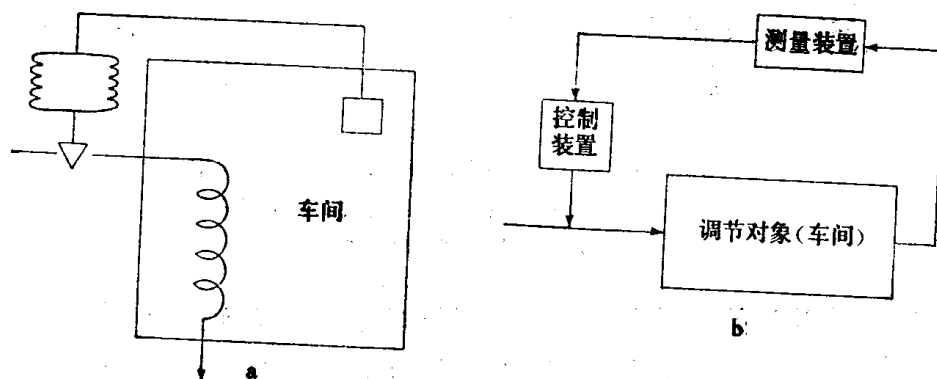


图 1-6 闭环控制系统（位于车间内的一次元件，对控制装置提供反馈作用）

本节中讨论的简单自动控制系统比人们可能想象的要更有意义。在这些系统中包括了很多在许多关键性的应用场合中必须认真研究的重要问题。例如，对我们来说，很明显，在面临负荷变化时，即在阀门B的排放流量变化，或者加热车间的温度改变时，没有一个系统能够平稳地和自动地保持给定值。某些需要考虑的问题将在本章后面及其他各章中研究。现在首先研究术语。

2. 重要技术术语

下面着重说明今后研究的系统中所使用的一些术语。有些重要的术语已经简要的提到了，在本节中将要提出一组更详细的定义。

在每个研究的系统中，被调量——液位、水温和室温都要用改变水或蒸汽的流量进行调节。水和蒸汽都不是变量，但它们的流量都是变化的。在所研究的情况中，流量称为操作变量。水和蒸汽称为调节介质，因为通过调节它们可得到要求的液位和温度值。前面所述，液位和温度是研究系统中的被调量，而控制调节介质流量的阀门是最终控制元件。浮子元件和温包则定义为一次元件。水箱、热水加热器和车间称为调节对象。

为了充分理解术语一次元件和最终控制元件，了解它们的全部定义和它们与系统其他部分的关系是必要的。下列定义是重要的。

控制装置是由产生校正作用的调节器部件组成。

最终控制元件是直接改变操作变量大小的控制装置的一部分。

测量装置是由这些调节器部件组成，其作用是测量和传送被调量或其偏差值到控制装置。

一次元件是测量装置的一个部分，它首先利用或传送调节介质的能量对被调量大小的变化产生一种效应。一次元件产生的效应可能是压力、力、位置、电阻等等的变化。

在仔细研究之后，很明显，这些定义在许多情况下是难于应用的。使人啼笑皆非的是越是简单的自动控制系统，在应用这些定义时，就越是麻烦。例如，汽车发动机中的普通恒温器，它调节冷水循环以便得到适当的发动机操作温度，其特点是紧凑，即效率测量装置、控制装置、最终控制元件和一次元件都装在这个小恒温器中。但是当我们采用上述定义时，就很难分清楚测量装置和控制装置的起止分界线。幸好，在我们将要讨论的许多系统中并不涉及这个问题，通常为了避免错误，需要仔细地解释。

第六节 自动控制中考虑的问题

上述的每个自动调节系统，都具有影响调节功能质量的某些特性。熟悉这些特性对我们是有利的，那么可以知道消除那些不需要的特性，需要做些什么工作。

一、反应滞后

在任何物理系统中，用测量装置来完成和立刻响应被调量的改变是很困难的。响应可能立即产生，但完成其影响需要一定的时间。这个延时叫做滞后。它反应了一个物理状态相对于另一个有关的物理状态的落后情况。因此，不能及时检测出图1-4b中所示的热水系统温度变化。热量必须通过温包壁传递到气体介质。然后气体膨胀并操作调节阀。在响应被调量无论是增大或是减少的变化中，都会产生反应滞后。

图1-7图形显示了图1-3b系统中，我们希望得到的一类特性。如果蒸气阀打开，让水温以中速上升，突然关闭蒸气阀，在X分钟之后，则温度上升速度立即开始下降。注意，测量值滞后于实际值，在实际值的上升速度充分下降之后，直到最后这两个数值一致时为止。在这种情况下，温度的测量值和实际值之间的差值叫做动态误差。它是一种由于条件变化所产生的误差，而不是测量装置的任何恒定的不精确性所引起的结果。

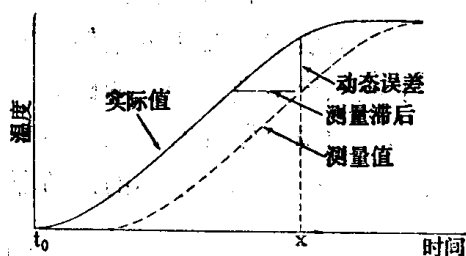


图1-7 在手动控制系统中，温度测量值和实际值之间的典型的滞后曲线图

滞后不完全是一次元件和测量装置的特性。在整个闭环控制系统中都会出现滞后。在某些系统中，可以允许有一个较大的滞后，而在其他系统中，必须尽一切努力，把滞后减少到最小。

二、周期性变化

参见图1-4b，我们记得被调量（温度）的任何变化都会驱使控制装置最终控制元件以及它的驱动波纹管产生校正作用。逐渐地高于和低于给定值温度的偏差，和测量装置及控制装

置中存在的滞后相结合,引起温度的测量值和实际值在给定值的附近振荡。图1-8表示在这种系统中,可能出现的偏差形式。

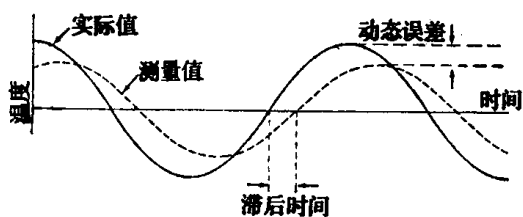


图 1-8 自动调节系统中, 温度测量值和实际值之间的典型的滞后(系统在给定值附近振荡)

由于显著的滞后和动态误差的存在,所引起的实际温度偏差值,稍大于测量装置所得到的偏差值。周期性的偏离给定值的上下波动状态称之为振荡或周期性变化。任何自动控制系统或过程,必须允许其被调量有一定偏差值。在某些情况下,其允许的被调量偏差很小,而在另一些情况下则可以很大。当要求被调量严格保持在给定值上时,而偏离给定值小的上下波动的周期性变化,常常是允许的。

三、死区

从图1-4a可以看出,引导式机械联动装置连接一次元件(浮子装置)和调节阀。似乎很明显,浮子的任何移动,都将立即传送到调节阀,并且相应地调节流量。此时机械联动装置代表一次元件和最终控制元件之间的传送系统。这种机械系统,虽然在许多应用中是满意的,但上述系统的缺点也是严重的。除非联动装置中传动接头的设计具有精密的公差,否则在移动中将出现大量的空转情况,即浮子能够垂直移动一定的距离,而阀杆没有移动。其他需要考虑的因素为惯性和摩擦。

如果用严密配合的接头做成联动装置,适当封装阀杆以防泄漏,则系统在反应水位变化方面,将产生严重的滞后。这种滞后不是时间的函数,而与偏离给定值的大小和可动部件的摩擦程度有关。这种作用是简单而合乎逻辑的。可动部件的静摩擦对抗浮子产生的作用力,直到这个力达到临界值为止,这时克服了静摩擦,而为滑动摩擦——一个较小的阻力所代替。阀门很快地打开或关闭,而系统的惯性多半会使阀门的调整超过其目标,即阀门打开或关闭所通过的流量将超过正确调整所需的量,这种作用对上述周期性变化的偏差大小产生一定的影响。联动装置中接头的空转,和整个系统的摩擦,将产生这么一种情况:虽然浮子移动已经高于或低于给定值一定的距离,也不驱使调节阀动作。这种情况发生的数值范围叫做死区。所有自动调节器都有死区,然而在很多情况下,死区是很小的。死区与调节器的灵敏度密切相关,而一个死区很小的调节器,被认为是灵敏的,反之则是不灵敏的。

四、容量和阻力

我们必须清楚,今后研究的每一个系统,不论是手动控制还是自动控制,至少都有一个能够储存能量的元件。控制液位的容器,以其中水的质量和水的静压力的形式储存能量,而热水加热器则储存热能。在生产系统或工艺过程中,能够储存能量的那些组成部分或介质叫做容量。

在图1-9中表示了两个水箱,每个水箱的流入和流出流量都用手动控制。两个水箱的高度均为 h , 液位均为 l , 但两者的直径却明显不同,一个直径为 2 英尺,另一个为 4 英尺。两个水箱在排出口产生的流体静压力是一样的,因为和这个压力有关的液位、水的密度等因素也都是一样的。但是,由于水箱的容量相差很大,因此每个水箱储存的能量也有很大的差别。

上述有关水箱能量储存的道理，也适用于前面研究过的热水系统。热水箱的体积容量越大，在一定水温时，其热量储存容量也越大。然而热水系统和液位系统的主要差别在于：热水系统是一个多重容量系统，而我们所讨论的液位系统实际上是一个单一容量系统。注意，在液位系统中，能量储存的主要形式是用水的质量和高度来表示的。在热水加热器中，水箱的热水是以热的形式储存能量，而加热盘管和水箱金属壁也同样储存热的能量。很清楚，我们涉及到的容量不止一个，而且如果水箱和盘管是用很厚的金属制成的话，那么这些附加的容量，在控制过程中就成为非常严重的不利因素。

在生产系统或工艺过程中，当必须有能量从一个容量向另一个容量传递时，在控制问题中遇到的阻力开始起作用。在热水系统的情况下，热能从蒸气盘管传递到水，即从一个容量

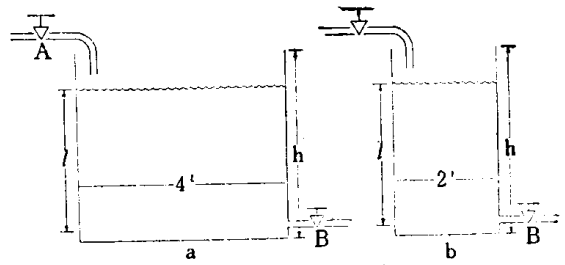


图 1-9 储存能量的容量比较

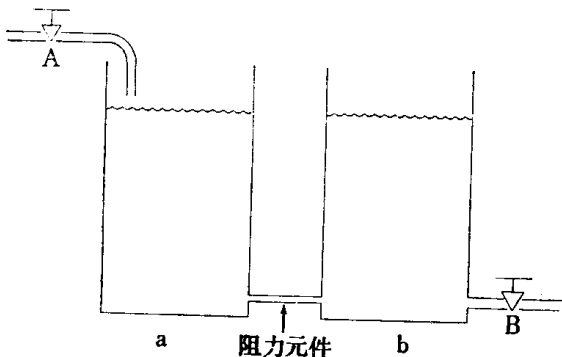


图 1-10 从一个容量向另一个容量传递能量的阻力示例

传到另一个容量。在所有的工艺过程中，两个容量之间的传送不会是瞬时的，传递过程总会受到系统中一个或多个组成部分某种程度的阻力，蒸汽盘管管壁和在盘管任一侧上的蒸气层和水层都是阻力的实例。阻碍两个容量之间能量自由传递的系统任何组成部分或部件，都叫做一个阻力。

图1-10所示为包括两个容量和连接它们的一个阻力的液位系统。本例中的阻力是靠近它们底部联接两个容器的限制通道。这个

阻力的效应，和加热水箱中蒸气盘管和水之间存在的阻力十分相似。

五、过程反应速率及其他特性

假定图1-11 a 的液位控制系统是稳定的，因而操作的液面高度也稳定。在任意时间 t_0 ，最终控制元件（阀门A），突然打开一个较大的开度。假定阀门调节的变化是瞬时的，则把这种作用叫做阶跃变化。图1-11 b 的直线性曲线，表示在时间 t_0 通过最终控制元件的流量变化曲线类似一个阶梯。

注意，图1-11 c 中曲线所示的液位，在开始时，立即响应容器输入流量的变化。这种响应在开始是迅速的，之后逐渐减慢以致于接近液位新的稳定值。开始，液位随阀门A的阶跃变化同时上升，这种事实表明能量传入这个系统实际上没有滞后和阻力。紧接在阶跃变化之后，曲线的斜率很陡，表明在容器中储存能量的速率，稍大于通过阀门B的排放速率。在新的稳定值上容器中储存的能量达到一个新的高度，因而能量停止增加。如上所述，过程中部件储存能量的能力称为容量。

被测量跟随阀门A的阶跃变化的变化速度叫做系统的过程反应速率。通过观察过程反应曲线，可以学习到许多关于过程及其控制系统的特性。为了得到自动控制系统的这种曲线，必须使自动控制的某些部分暂时不起作用，也就是说，控制系统不再有校正“扰动”（干扰）的作用，即是说最终控制元件不起调节作用。过程反应曲线的研究将有助于确定大多数简单控制系统的类型，以便充分满足工艺过程的需要。

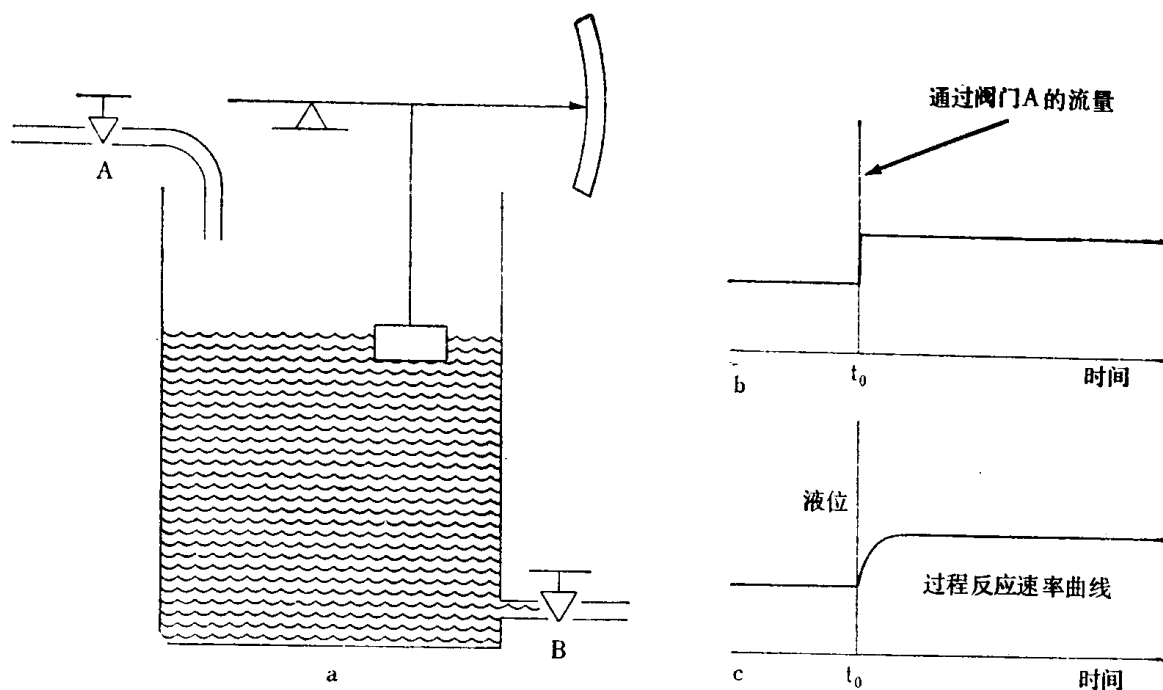


图 1-11 在液位控制系统中调节阀突然开大(阶跃变化)的反应

图1-11 a 的系统是一个简单的控制系统，主要因为其中只包括一个容量,而且阻力很小，甚至没有阻力，因而问题比较简单。图1-12 a 是一个比较复杂的系统，被调量跟随阀门 A 阶跃变化的变化速率特性曲线与上面讨论的有所不同。注意指示仪所示的温度变化与阀门 A 开度的突然增加不是同时开始发生的。被调量一经开始变化，片刻之后，指示仪迅速变化，当达到新的稳定值时，其变化速率又开始下降。

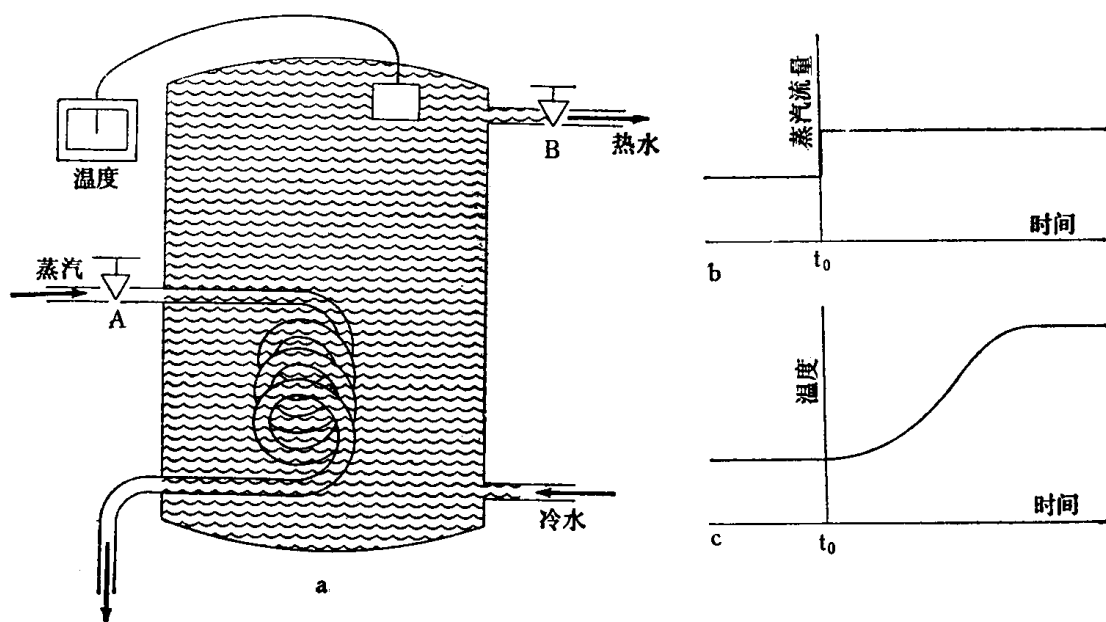


图 1-12 水温控制系统中，调节阀对阶跃变化的反应

指示仪对最终控制元件调整作用的响应滞后是由几个因素所引起的。首先，能量必须从一个容量向另一个容量传递，从加热盘管传到水。这种类型的滞后称为传递滞后。还有一种

滞后是这样引起的：蒸汽盘管的温度变化传送到一次元件的位置，需要经过一定的时间，这种滞后叫做传送过程滞后，或者叫做时滞。前面的研究已经看出，一次元件在感测水温变化的过程中也包括类似的滞后。

被调量变化速率是最终控制元件的阶跃变化所引起的，这种过程反应速率的曲线形状，主要决定于过程中所包括的容量的大小。图1-13所示为两个容量差别很大的容器，及其对应

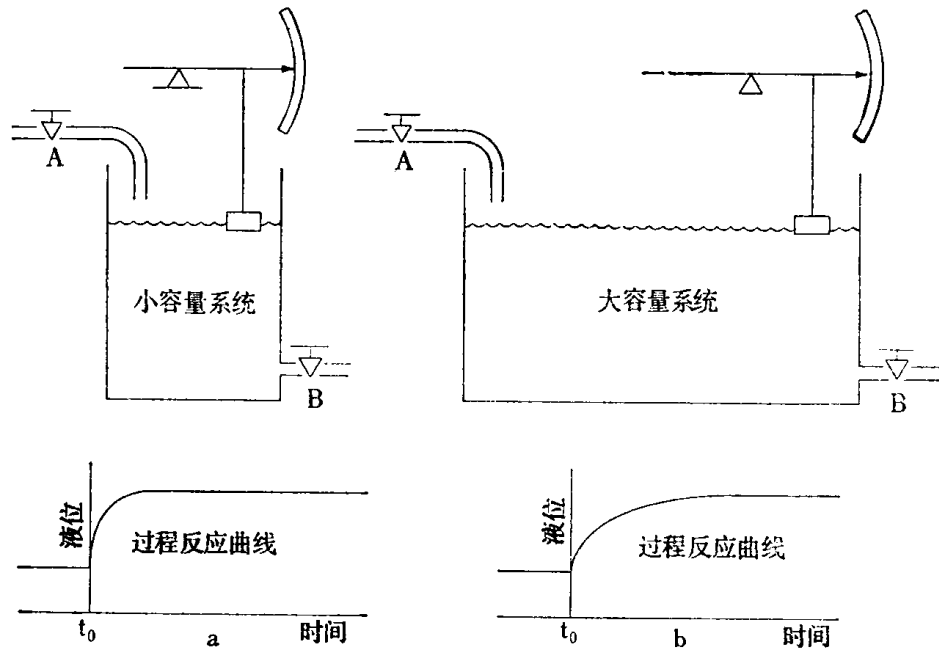


图 1-13 液位控制系统中，过程反应速率和容量的关系

于液位高度的反应曲线。注意，小容量容器的反应速率很快，因而在较短的时间内，液位就达到新的稳定值。在大容器中，调节阀 A 一定的变化，其反应速率却慢得多。图1-14所示是两个热水系统及其反应速率曲线。图1-14 a 中的系统包括一个小容积的容器和轻型的加热盘管，而图1-14 b 中的系统，则包括一个中等容积的容器和重型的加热盘管。此处应注意的

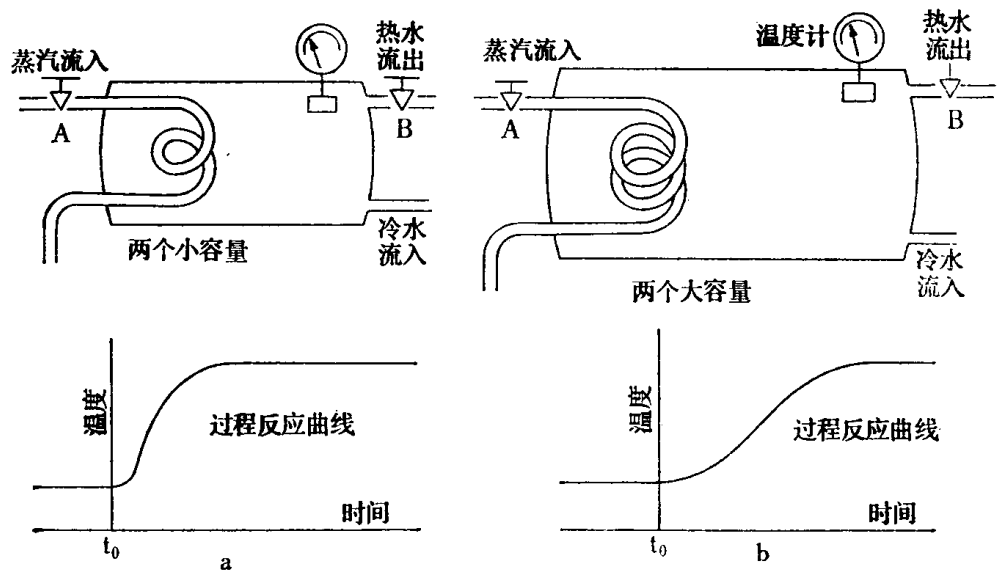


图 1-14 水温控制系统中，过程反应速率和容量的关系