

张志平 译

自动化仪表控制系统

中国发明创造者基金会
中国预测研究会

223

052

自动化仪表控制系统

[日]

石井保
张志平
蔡福元
王道生

编
译
校

中国发明创造者基金会

中国预测研究会

1985. 8

译 者 的 话

随着我国现代化工业技术的发展,自动化技术日益显得重要。自动化仪表控制系统已在石油、化工、钢铁、发电、建材、环保等各重要工业部门获得了日益广泛的应用。为了满足我国实现四个现代化对自动化仪表控制技术的需要,使这一技术在我国能更快地发展,我们翻译了这本《自动化仪表控制系统》。

《自动化仪表控制系统》一书是根据日本出版的《计装制御システム》的最新版本(1984年1月出版)翻译的,它属于日本电气书院出版的《最新制御システムシリーズ》(《最新控制系统丛书》)的第一卷。本书是根据一九八四年版翻译的,到一九八四年为止,本书在日本已经印刷了八次,是一本颇受欢迎和具有实用价值的书籍。

本书的原著编者和作者均系日本著名的横河电机制作所的专家。这本书是他们多年来开发、研制和应用自动化仪表控制系统的经验结晶。它的最大特点是,能够将自控系统的理论与具体的工程应用结合起来,按照自控系统的实际要求,详细论述了自控系统的各个组成环节以及整个系统在石油、钢铁、水泥等主要工业部门的应用。本书的另一个比较突出的特点是,书中列举了大量有参考和实用价值的图、表和公式。

本书既不同于一般侧重论述自动控制理论的专著,也不同于一般侧重论述自动控制元件动作原理的专著,而是介于自动控制理论与工程实际之间的一本“桥梁书”。而且,取材新颖,内容丰富,涉及面广,联系实际。因此,它既可以作为大专院校自动化类专业的补充教材,也可作为从事工业自动化技术的广大工程技术人员、工人和干部的案头参考书。

本书的个别错误已由译校者作了订正,除在特别的地方作了注释以外,一般不再一一声明。

最后,本书的翻译工作曾得到许多同志的大力支持,日本友人五洋(株)副部长井田羲敬提供了有关资料,特别是丁朋序、谢燮正同志曾给予许多鼓励和帮助,在此,谨向他们表示衷心的感谢。

译者

1985年元月于沈阳

序 言

近年来,随着工业成套设备的大型化、复杂化,对可谓为“神经系统”的自动仪表控制系统,提出了越来越高的要求。

人们以往一直致力于提高系统各组成环节的性能。但是为了改善系统的经济性,今后既要洞悉所有组成环节之间的关系,又要以组合方式为重点,研究通过何种组合方式才能使系统更好地运行。尤其在当前,由于系统不断增大和系统中采用具有强大信息处理能力的计算机,不得不考虑与计算机联机的可靠性和一旦发生事故对社会所造成的严重危害,因此,对自动化仪表就更加不可忽视。

鉴于上述情况,不仅要求构成系统环节的自动化仪表具有很高精度和良好的使用性能,而且要求做到:信号传输方式统一、适于与计算机联机、在危险场所使用时达到安全、可靠等。可以相信,随着科学技术的不断发展,将会研制出更多的新型检测元件,特别是各种类型的分析仪表,以满足各个部门的需要。

在系统工程学被提出来以后,有关这方面的书籍也受到人们的关注,但是目前这方面可供实用的书却不多。因此,出版这本书是适时的。我们作为生产自动仪表的企业,为了借此机会总结多年来研制和应用自动控制装置的经验,集中专家们承担了本书的编写工作。

本书前半部分论述了自动化仪表控制系统的组成环节,后半部分介绍了自动化仪表控制系统在各种工业部门中的应用。在编写过程中,尽量采用最新资料。由于篇幅所限等原因,个别章节难免不够详尽。此外,有关计算机控制部分,由《计算机控制系统》一书专门论述,所以本书未加详述,请读者予以谅解。

编者希望这本实用参考书能够成为读者在学完自动控制入门后向自动化仪表技术深入学习和指导实际操作的案头书。

由于本书涉及的领域极为广泛,所以各章均由各方面的专家执笔,本人只不过承担了编辑工作。

最后,向本书编写过程中曾给予协助的大野勇先生、杉浦一郎先生以及提供宝贵资料的各方面人士深表谢忱!

横河电机制作所 石井 保

目 录

序 言.....	(1)
第一章 自动化仪表控制系统概述.....	(1)
第二章 自动化仪表控制系统的检测器.....	(34)
第三章 自动化仪表控制系统的信号变换器及传送器 (变送器)	(166)
第四章 自动化仪表控制系统的指示、记录和调节仪表.....	(200)
第五章 自动化仪表控制系统的执行器.....	(234)
第六章 基本控制回路的设计.....	(263)
第七章 自动化仪表控制系统的防爆.....	(287)
第八章 石油工业自动化仪表控制系统.....	(310)
第九章 钢铁工业自动化仪表控制系统.....	(330)
第十章 水泥工业自动化仪表控制系统.....	(353)
附录 练习题答案.....	(366)

第一章 自动化仪表控制系统概述

1.1 自动控制的意义

1.1.1 我们周围的自动控制

在现代建筑物中，由于有冷气、暖气设备，所以使人感到特别舒适。无论是在气温超过 30°C 的盛夏，还是在冰点以下的严冬，为了保持房间温度适宜，人们利用热能对温度进行自动调节。那么，这种自动控制方法究竟是怎么一回事呢？

寒冷的冬夜，门窗紧闭，点燃了煤气炉，一开始还是冰冷的房间，渐渐地暖和起来，连运动衫也不用穿了。当室内温度升高而将炉火暂时减弱一些时，房间又会逐渐变冷。这样就需要使煤气炉火时强时弱，最终达到一个适当的炉火强度，使人们在室内感到舒适，心情舒畅。此外，在空气不流通的室内，空气会逐渐混浊，所以长时间留在屋子里会感觉头痛，当打开窗户换气的时候，外面的冷空气就会侵入，房间里又会变冷。因此，这时又需要将炉火临时烧得旺一些，当然以后还需慢慢地使炉火回到原来的温度。

上述调节室温的操作如果一件件全由人们自己亲自做的话，势必无暇去处理更重要的事情。因此，人们自然希望将这一系列的温度调节动作交给机械去完成。在机械控温情况下，不能再用冷、热这种含混的词汇，而必须用仪器来对温度进行定量的测量。接着，将所测得的温度与取作调节目标值（例如 20°C ）进行比较，看是高还是低。如果高的话，就将炉火减弱；反之，如果低的话，就将炉火增强。因此，为了实现自动控制，必须具备“测量”、“判断”、“操作”三个动作，并且，只有将这三者组合起来，才能达到预期的目的。

那么，在自动控制情况下，如果将窗户打开进行换气，那么又将怎样呢？一开始，温度仍然要下降，要想恢复到正常值，则需要若干时间。采用自动控制时，这种温度的恢复所需要的时间如果与人工操作时相比，也许会快一点。但是，无论如何，哪怕是最理想的机械，这个恢复时间也绝不可能是零。这是因为，在自然现象中必然存在时间延迟，煤气炉火即使再旺，温度上升也需要花费时间。这样一来，我们就把扰乱自动控制的源（也就是冷空气的流入）叫做“扰动”。为了保持稳定的控制，不希望有太大的“扰动”侵入。因此，从控制的角度看，时而打开窗户换气不如经常少量换气的方法好，就是说，在小的“扰动”出现时，控制系统一面补偿“扰动”，一面使受控量趋近目标值，从而实现自动控制。

仅仅从控制温度来看，未必能说是舒服的。随着室温的上升，湿度变得低了起来。平时冬季是很干燥的，由于使用采暖设备，湿度下降，口干舌燥，这也是患感冒的原因之一。因此有必要将湿度定量地检测出来，并补充以适当的湿气。

换气的必要性是不言而喻的，但是过量地换气会导致温度过度下降，从而造成热能的损失。为此，如果将室内 CO 、 CO_2 的含量检测出来，并且采用最低限量换气法使上述的气体含量不超过一定值，则是一种经济的办法。

这样，如果温度、湿度及换气量都能适当，那么就会感到愉快而舒适。换言之，“舒适感”这种感觉是“温度”、“湿度”、“空气成分”这三个变量的函数，通过控制这些变

量,就能够控制“舒适感”这种抽象量。

1.1.2 生产过程控制

钢铁、化工、石油、石油化工、纤维等现代工业能够从规模巨大的工厂中供给大量而优质的产品,从而丰富我们的生活。在这些工业生产过程中,可以广泛采用自动控制技术使各种机械自动运行。以石油化工厂为例,当然希望自动控制产品的质量,就是说,希望能够连续生产出纯度、成分等质量稳定的产品。在这些产品的质量中,虽然也有能够直接测定的量,但是其中大部分是难以测定的,而为了测定这些量又需要人员和时间。此外,在生产过程中,连续地进行测量也是困难的。但是,产品质量与生产过程的操作条件关系密切,因此,通过控制温度、压力、流量、液位等操作条件就能够间接地控制产品质量。为此对操作条件进行定量的测量是重要的。自动控制的目的是力求使被控制的量与设定条件之间的差变为零。

图1.1 是石油化工联合企业中的工厂之一。这里许多管道、蒸馏塔并排耸立。这个工厂通过数以百计的测量仪表进行自动化生产,测量仪表全部集中到一个地方,以便集中管理。中央控制室如图1.2所示,大量的仪表安装在仪表盘上,它们的配置原则是当人环视这个仪表盘时能够对生产过程的状态一目了然。这样,当生产过程偏离正常状态时,就能迅速采取妥善的处理。

图1.3中的调节器整齐排列,当生产过程的状态正常时,仪表的指针处于刻度盘中央的绿带之中,故不可见。当状态异常时,该仪表的红色指针就出现在绿带的上方或下方,因而能够立即发现。可见,使生产过程直接运行的正是这些仪表,而人则是通过这些仪表来管理生产过程。因此,仪表盘的设计是根据人一机工程学的原则进行的。在设计时,考虑了仪表的易监视性,特别是可靠性。这样一个庞大的仪表室仅用少数几个人管理就完全可以了。

生产过程的自动控制分闭环控制与开环控制两种。闭环控制具有代表性的例子是反馈控制,其略图如图1.4所示。

由图可见,信号流巡回了一周。当目标值与控制量之间一旦发生偏差时,系统就对此差值进行判断,并据此改变操作量。结果,控制量发生改变,以便与目标值相符合。当生产过程中扰动侵入时,控制量受到影响,

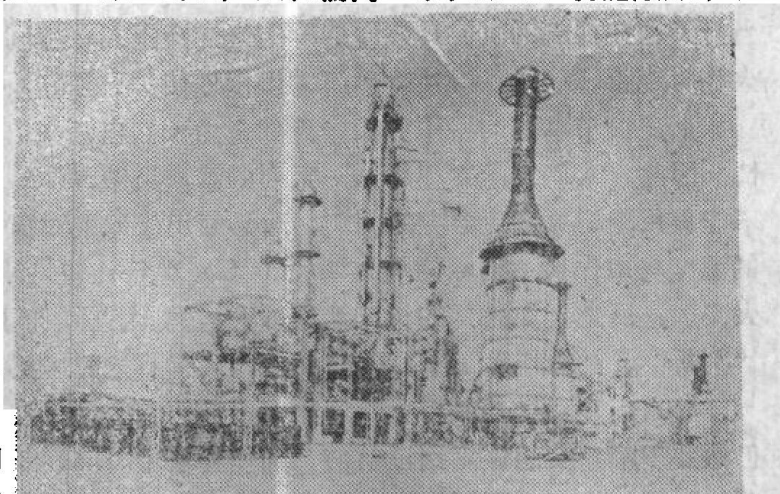


图1.1 石油化工厂

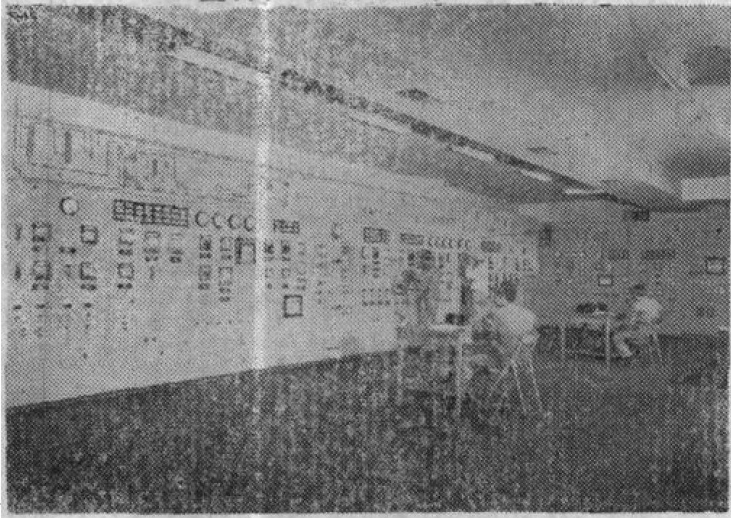


图1.2 中央控制室

从而产生偏差，这个偏差引起修正动作，以便抵消扰动的影响，使控制量与目标值一致。

开环控制分“前馈式”控制 (Feed Forward control) 和“程序式”控制 (Sequence) 两种。前馈控制是这样一种控制方式，它并不利用控制偏差，而是将影响控制量

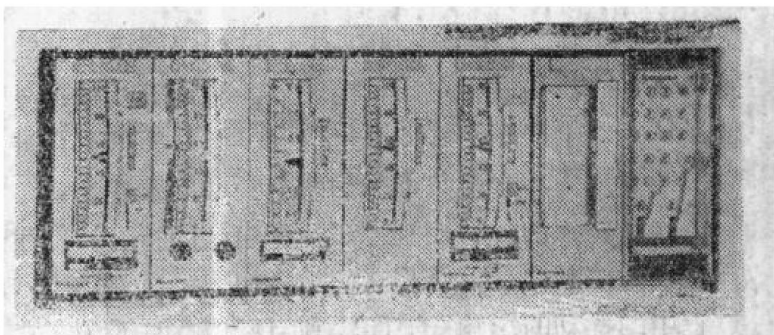


图1.3 调节器群

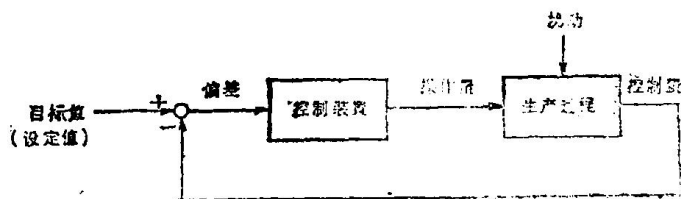


图1.4 反馈控制系统

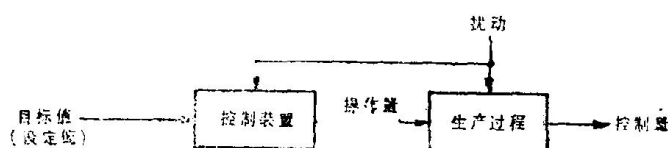


图1.5 前馈控制系统

的过程变量加以检测，然后根据其结果直接决定操作量。

图1.5示出其原理图，它的主要特征是信息的路线一直向前。如果在扰动侵入过程的情况下，能将此扰动检测出来，并在控制量所受到的影响显露出来之前，就加以操作使其抵消，那么就能够将扰动对控制测量的影响防患于未然，这样一来就能获得很好的控制效果。但是，在实际生产过程中，将所有的扰动通通检测出来是不可能的。此外获得完整的生产过程的模型也会发生困难，因此，在仅仅采用前馈控制的条件下，要想不产生固定的偏差是困难的。因此，一般都采用如图1.6所示的与反馈控制同时并用的控制方式。

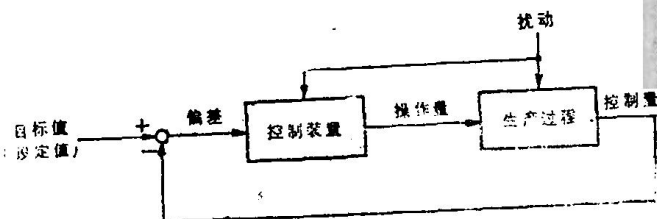


图1.6 前馈及反馈控制系统

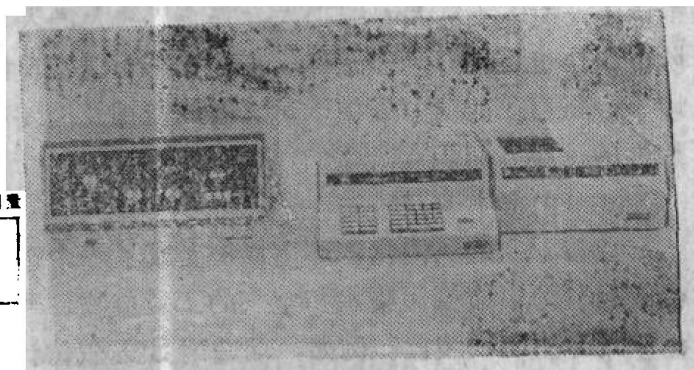


图1.7 程序控制装置

所谓程序控制是这样一种控制方式，它按照预先规定的操作顺序(叫做“程序”)依次并且自动地进行操作。它有“时间程序式”、“逻辑程序式”等类型。作为控制装置，以往多用时间继电器(定时器)与继电器的组合来构成，但是最近研制了采用磁心存储器的专用装置，这种装置可以用简单的办法编制任意的程序。图1.7是其中的一例。

至于控制方法，虽然一般采用模拟式控制，但现在数字式控制更为常用。最近，由于工厂的规模日益向大型化、复杂化发展，所以单单将各个控制回路组合起来并不能获得完美的控制效果，而数字控制则可将相互的控制回路联系起来，借以对整个工厂在最佳条件下实行

高效率的控制。在数字控制中,生产过程中的诸量都要变成数字量,然后利用计算机进行各种运算及数据处理,从而对生产工艺过程进行控制。图1.8示出了计算机控制装置,这种装置今后将有更大的发展。

这里介绍的各种控制方法各有自己的特点。在生产过程的控制中,可以将它们组合使用,以便将生产过程中的扰动的影响抵消而达到目标值,从而使工厂的生产条件保持一定,生产出质量稳定的产品。

1.1.3 自动控制的优越性

(a) 降低运行费用

控制装置的费用约占工厂整个设备费用的5~10%。因此,当工厂向大型化发展时,虽然测量仪表的费用增加一些,但由于实行自动控制,所以提高成品合格率,减少材料费用和节省能源。就是说,由于运行费用较为低廉,所以从经济角度看,自动控制的优越性是巨大的。

(b) 质量的稳定性

由于生产条件总是保持一定,生产出的产品不存在不均匀性,从而能获得质量稳定的产品。此外,由于减少了不合格品,就能够大量生产出稳定的合格品。

(c) 人材的有效利用

由于在运行过程中,控制装置替人们将所有的工作都做了,所以不需要熟练工人,并能节约大量人员,危险的工作也可避开了。这样一来,人就可以在良好的环境下,将自己的精力集中于对机器的监视及需要高度创造性的工作方面。

(d) 保护环境

随着工业的现代化,环境保护变成了一个重大的社会问题。为了监视污染水和空气的工业废物,可以有效地采用专用监视装置。例如,烟道用 SO_2 气体计、气相色谱计、pH计等,种类繁多。图1.9示出石油化工厂采用卡门涡流流量计监视喇叭形烟囱(Flase Stack)中燃烧流量的照片。今后的发展方向是不断采用控制装置来保护环境。

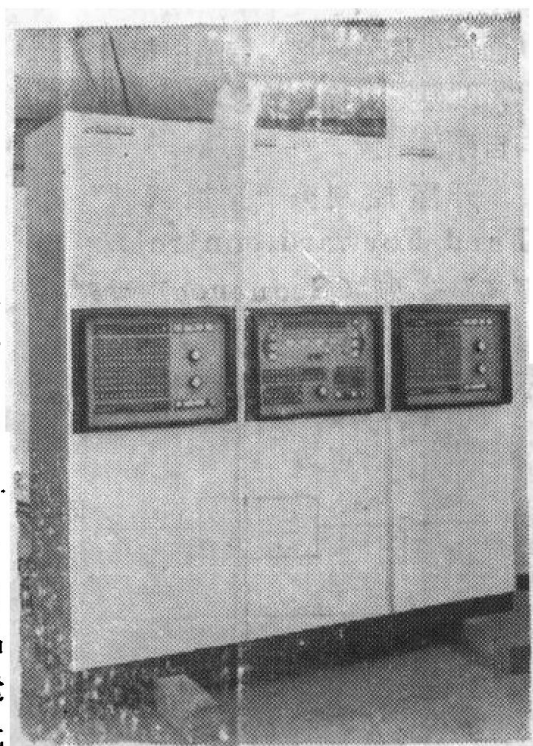


图1.8 计算机控制装置

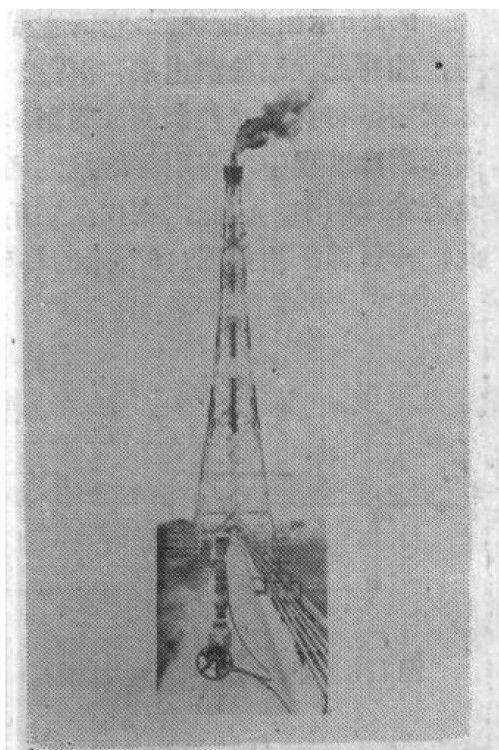


图1.9 喇叭形烟囱专用的流量计

1.2 控制回路及其组成部分

1.2.1 控制回路的基本概念

在自动控制中使用最多的是反馈控制。那么,其控制回路是怎样构成的呢?它的组成部

分又包括些什么呢？下面加以叙述。

自动控制系统与手动控制系统极其相似。图1.10举出一个手动控制的例子，其中，用蒸汽将管道中流动着的水加热，对其出口的温度进行控制。被加热的水的温度通过测温电阻检测出来，用温度指示计加以指示。操作员用眼睛注视着温度计，并读其指示值，然后在头脑中将此温度值与所要求的温度值进行比较判断，看是高还是低。如果温度过高，就用手将阀门关闭些；如果温度过低，则用手将阀门打开些。这样，随着阀门的开闭，进入热交换器的蒸汽流量就发生变化，从而导致水温的变化。从这个系统的信号流的角度看，其顺序是温度—测温电阻—温度指示计—眼睛—头脑—手—阀门—蒸汽流量—温度。可以发现，信号绕行了一周。在这个例子中，是通过人这一环节才构成闭环控制系统的。

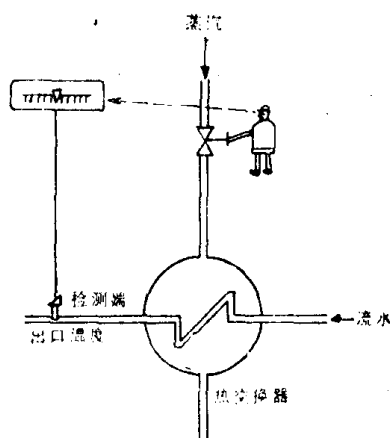


图1.10 手动控制系统

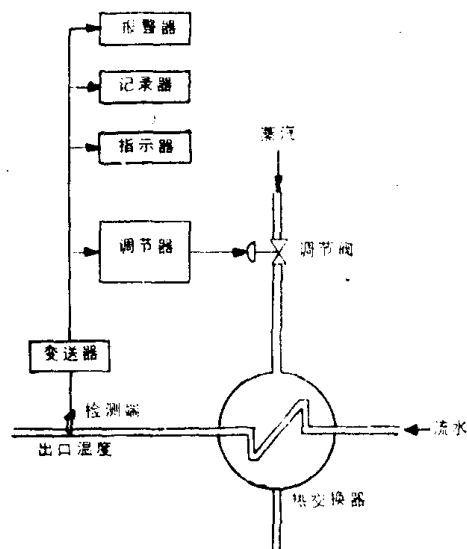


图1.11 自动控制系统

图1.11是自动控制系统的例子，为了代替手动控制中的操作员，设置了一个调节器，该调节器能进行判断动作。此时，出口温度用测温电阻或温度检测器加以测定，并在变送器中转换为电信号（例如，4~20mA直流），然后送至调节器。在调节器中，作为目标值所要达到的温度，可以在其刻度盘上任意设定，根据设定值与从变送器送来的控制信号之间的偏差，经过适当的运算之后，将所获得的输出作为操作信号送至调节阀。这样一来，调节阀就跟随操作信号开闭，对蒸汽流量进行调节。

把上述这些情况画成方框图，如图1.12所示。图中“—”号表示负反馈，这意味着当温度上升时调节阀要关闭些，使温度向低的方向过渡。如果不是这样，当温度上升时调节阀打

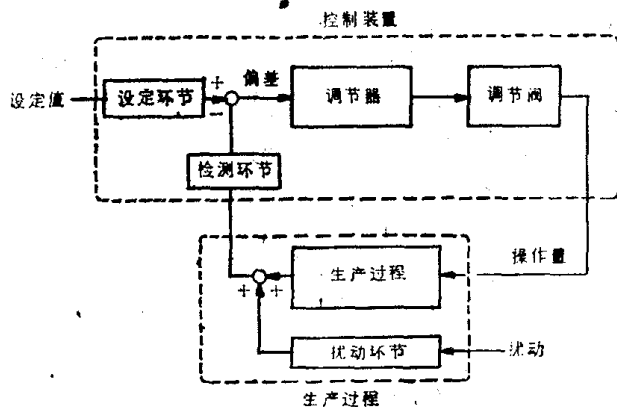


图1.12 控制回路的方框图

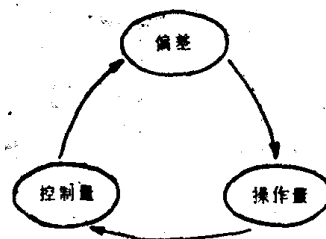


图1.13 反馈系统中的信息路径

并，则温度将会不断上升，于是温度就失控了。这就是说，正反馈导致系统不稳定。在本例中，所谓“扰动”，是指对所要控制的出口温度造成妨碍的有关参量，例如流水的人口温度、流量、蒸汽温度等。由这个方框图也可看出，在反馈控制系统中，信息路径必须形成一个封闭的回路，如图1.13所示。

在控制回路中，除了上述部分之外，为了对生产过程进行监视与管理，还使用各种仪表。

1.2.2 组成部分

(a) 检测端 在工业测量中多用测温电阻及热电偶作为温度检测器。它们分别利用温度—电阻特性和温度—热电动势特性。

纯铂制成的电阻，温度每上升 1°C 时，其电阻增加0.39%左右。铂测温电阻就是利用这一性质制成的，它体积小，性能稳定，能够进行精密的测量。它的温度测量范围是 $-200 \sim 600^{\circ}\text{C}$ ，在这区间中，电阻与温度成直线关系，图1.14示出其变化特性。

热电偶是利用将两种不同金属的端部结合在一起时将产生与尖端温度相应的热电动势的特性而制成的，它与测温电阻一样使用广泛。热电偶的电动势因材料而异，但其数量级大致为数十毫伏(mV)，图1.15示出各种热电偶的特性。

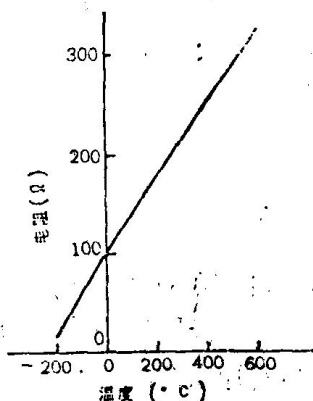


图1.14 铂测温电阻的特性

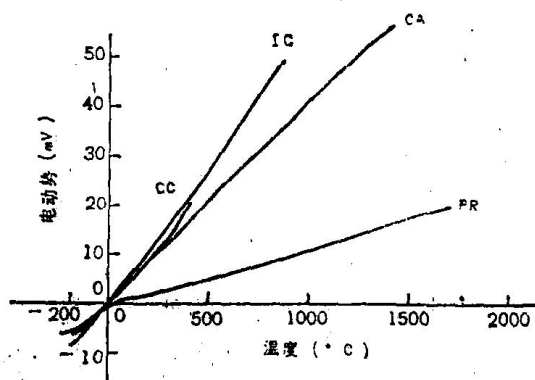


图1.15 热电偶的特性

至于采用什么样的热电偶，这要由使用温度及使用环境来决定。

为了保护热电偶及测温电阻的检测部分，通常都将它们装在金属制的保护套管中使用。

图1.16是外观照片，图1.17示出其温度测定范围。



(a) 热电偶

(b) 测温电阻

图1.16 热电偶、测温电阻的外观照片

(b) 传送器(变送器) 在将检测端测量出来的控制量的值传送到与其远离的调节器或记录仪等装置时,将检测出来的量直接传送是不妥当的,较适当的方法是将其转换为适合于传送的信号后再加以传送。

例如,在检测端采用测温电阻时,如果直接传送其电阻值,则传送线路的电阻将会

引入额外的误差,这是不希望。这里,只要设法将电阻变换为电流,就可以用电流信号传送。图1.18是其原理电路,这里将测温电阻作为电桥的一臂后,就可将电阻变换为电压,再用放大器放大就可获得电流信号。关于电流信号的大小,则因厂家的不同而异,但是多采用4~20mA、10~50mA的直流电流与测量范围相对应。例如,在测量温度范围为0~200°C时,通过适当选择电桥的常数,就可以使0°C与4mA相对应,使200°C与20mA相对应。由于在0°C时给出了4mA的偏置量,所以,即使传输线中途发生断线时,也能与0°C时的状态区别开来。

正因为上述原因,传送器也有称为变换器的(译者注:我国通常叫做“变送器”)。

(c) 调节器 调节器的作用是将控制量与设定值相比较,将对应于其偏差的操作信号作为输出以便进行必要的修正动作。调节器有输出二位置的“开关式”调节器,连续输出信号的PID调节器等几种。图1.19是PID调节器的原理图。其中从变送器来的电流信号在通过电阻 R_i 时就变换成1~5V的电压输入 E_i 。另一方面,在内部的设定器上产生1~5V的设定电压 E_s ,这个电压 E_s 就作为设定值使用。在调节器中,根据两者的差 $e = E_s - E_i$ 进行PID运算后获得输出 I_o 。

其运算方式如下:

$$I_o = \frac{100}{P} \left(e + \frac{1}{T_i} \int e dt + T_d \frac{de}{dt} \right)$$

这里P、 T_i 、 T_d 分别表示比例、积分、微分三个调节动作的强度,它们皆为常数并可在仪器内部加以设定。

图1.20是市售的PID调节器,仪器前面板设有两个指示器,上半部的纵向指示器是输入(控制量)与设定值指示器,当二者指示一致时,就表示控制情况良好。下半部的横向指示器表示输出 I_o , I_o 一般选为4~20mA、10~50mA等,为直流电流。

为了节约调节器面板的面积,在设计时要求小型化,并且当把许多仪表排列在一起时,要易于监视。

(d) 执行器 执行器的任务是从调节器接受信号,使进入热交换器的蒸汽量发生变化。图1.21的例子中示出了一个调节阀。这个调节阀能够根据所加的电流信号来决定阀的位

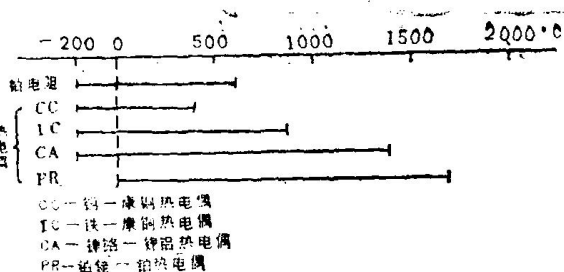


图1.17 温度测量范围

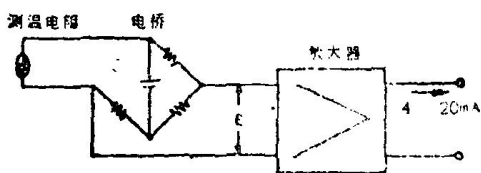


图1.18 电阻变换器原理

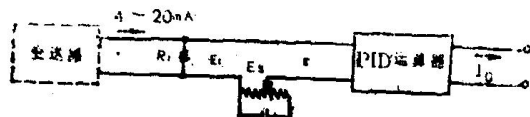


图1.19 PID调节器的构成

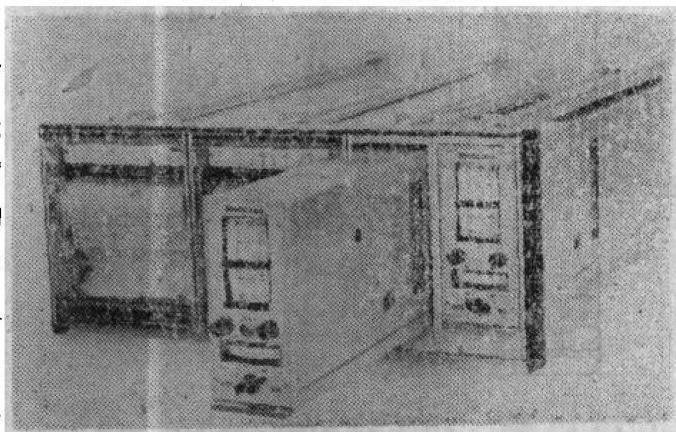
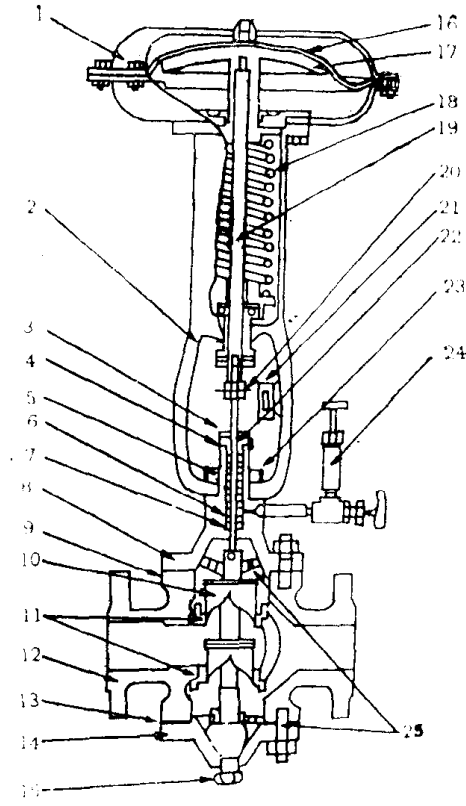


图1.20 PID调节器

置。此时,需要使用气压、油压、电力等作为辅助动力。图1.21示出了气动隔膜式调节阀的构造。

在隔膜的上部施加空气压力,依靠此力与下部弹簧力的平衡来决定阀的位置。隔膜上所施的空气压力由来自调节器的电流信号加以控制,但是一般地采用电一气定位器,这种装置使阀的位置与电流信号成比例。图1.22是电一气定位器的原理图,即利用处在永久磁铁所产生的磁场中的线圈接受电流信号的办法,将电流信号变换为电磁力,再进一步利用喷嘴—挡板进行变换,将所产生的放大的空气压力作用于隔膜,使得与弹簧上的力(此力与阀的位置成比例)相平衡,这样一来,就使阀的位置与电流信号相对应。图1.23示出了带有电一气定位器的调节阀的照片。

(e) 指示器 为了监视生产过程的即时值,采用指示器。指示器接受来自变送器的信号并加以指示,按其指示方式可分为模拟式和数字式两种。模拟式指示器有直接动作式和伺服平衡式(自动平衡式)两种。但不管哪一种,指针的位置都与过程的参量相对应,因此很直观。图1.24所示的那种模拟式指示器在大型仪表中使用很多。最近,用数字指示的数字指示器也已开始使用。图1.25示出了直接用工程



- 1、隔膜圆盖 2、框架 3、密封压盖螺母
- 4、密封压盖 5、密封衬垫 6、灯笼式环
- 7、金属衬环 8、阀盖 9、垫圈 10、阀瓣
- 11、阀坐环 12、阀体 13、垫圈 14、底盖板
- 15、泄放塞 16、隔膜 17、隔膜板 18、弹簧
- 19、隔膜板支柱 20、指示器指针 21、指示器刻度盘
- 22、阀杆 23、框架螺母 24、润滑器(防喷管)
- 25、导向器(衬套)

图1.21 调节阀的构造

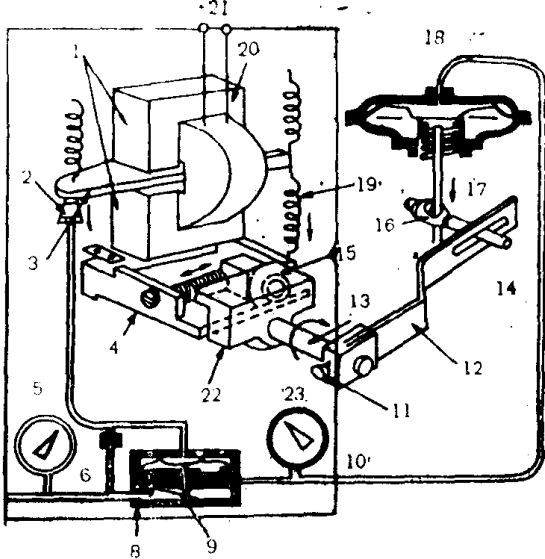


图1.22 电一气定位器原理图

单位表示的数字温度指示器,它读数方便、准确、分辨能力高。这样,模拟式也好,数字式也好,都各有其特点,应根据不同的目的分别加以采用

- 1、轭铁 2、喷嘴 3、挡板 4、控制杆C
- 5、输入指示器 6、节流气阻 7、输入1.4kg/cm²气压
- 8、控制中继器 9、中继阀 10、输出0.2~1.0kg/cm²气压
- 11、螺钉 12、控制杆A 13、轴 14、夹销 15、作用范围调节器
- 16、限位器 17、阀杆 18、调节阀 19、反馈弹簧
- 20、力矩马达部分 21、信号端钮 22、控制杆B
- 23、输出指示器

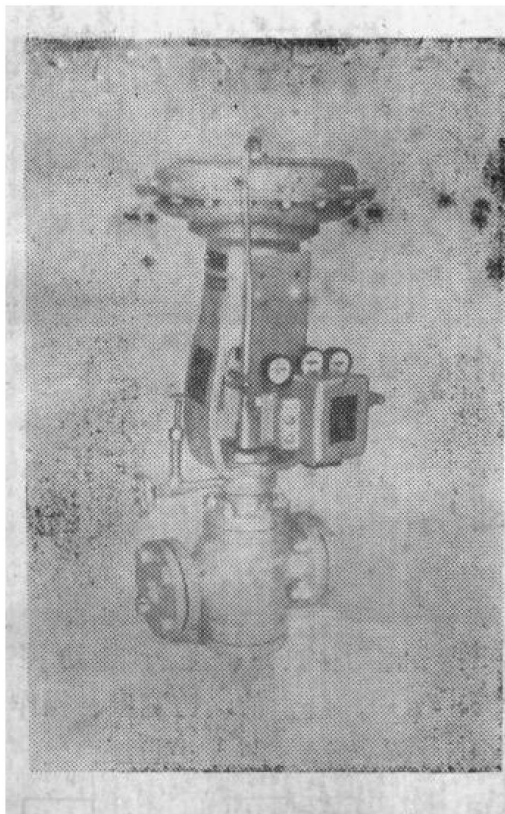


图1.23 调节阀的照片

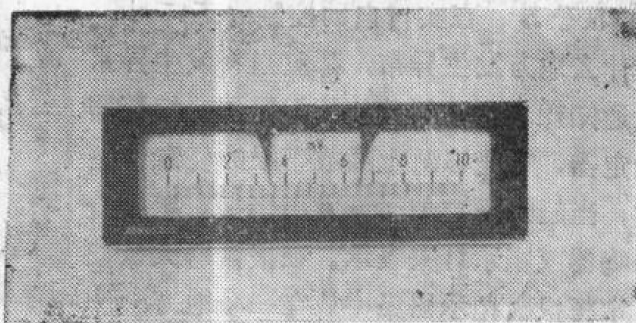


图1.24 模拟式指示器

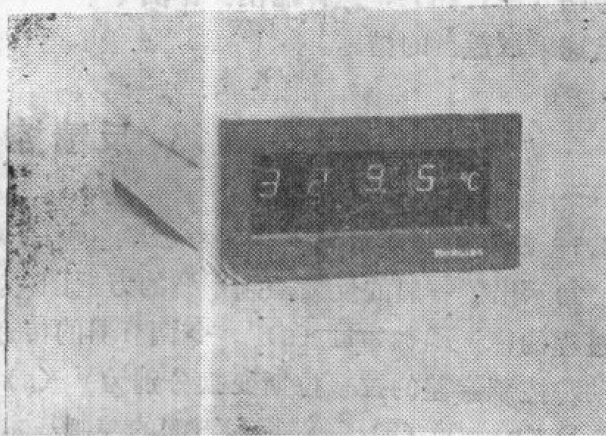


图1.25 数字式温度指示器

(f) 记录器 如果要了解从过去到现在的生产过程随时变化的情况时，或者要保存记录时，均需使用记录器。最普通的记录方式是在记录纸上用色笔进行记录，除了单笔型的以外，尚可有 2 笔、3 笔、4 笔等形式，它们可以在同一记录纸上同时记录多个现象。由于过程诸变量之间一般地都有相互关系，所以在同一记录纸上能够记录多个现象是非常方便的。在记录多个现象时，若把输入顺次切换然后加以记录是很方便的，按这样方式构成的仪器叫做打点式记录器。它可以根据输入量改变记录的颜色，容易识别。图1.26是6 点式记录器的照片。现在，点数多达24点的多点式记录器已经标准化。还有一种记录器，它能根据插孔板的选择，对多个输入量中的必需的几个输入量进行选择记录，这种记录器叫做“预选式记录器”(trained recorder) (参见图1.27)。这种记录器能够在过程启动、停止以及发生异常现象时进行记录，非常便利。

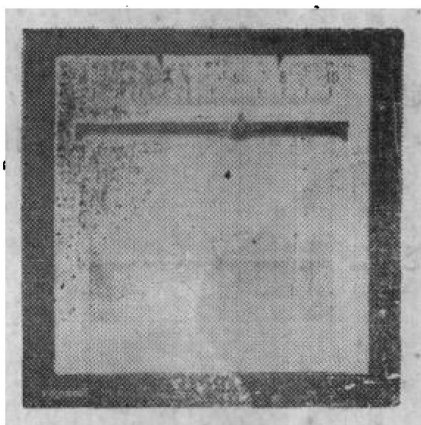


图1.26 打点式多点记录器

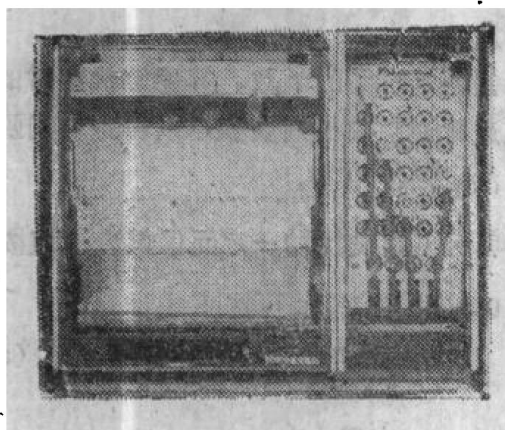


图1.27 预选式记录器

(g)报警器 在实行自动控制的工厂中,不论在什么地方发生异常,都应当将发生异常的地点通知操作员,为此使用报警器。报警器内装设定器,它能够对上限或下限的任意值进行设定,当超过设定值时就发出警报。警报普通用蜂鸣器或指示灯来表示。在报警器大量使用时,常将报警指示器集中放在一个地方——报警信号站(图1.28),这样能使操作员尽早发现并迅速采取适当的措施。

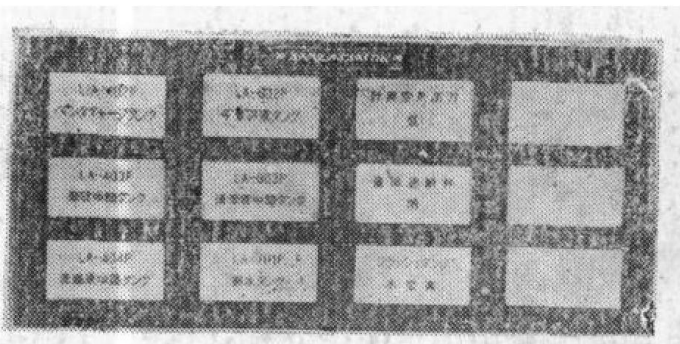


图1.28 报警信号站

1.3 反馈控制基础

1.3.1 控制的基本公式

图1.29示出了一般的反馈控制系统的方框图,其中要用调节器对生产过程进行自动控制,该过程的传递函数为 $H(s)$ 。令调节器的传递函数为 $G(s)$,设定值、控制量、操作量、扰动、控制偏差的拉普拉斯变换分别为 $V(s)$ 、 $X(s)$ 、 $M(s)$ 、 $D(s)$ 、 $E(s)$,则得到下面的控制基本关系式:

$$V(s) - X(s) = E(s)$$

$$E(s) \cdot G(s) = M(s)$$

$$\{M(s) + D(s)\} \cdot H(s) = X(s)$$

(1.1)

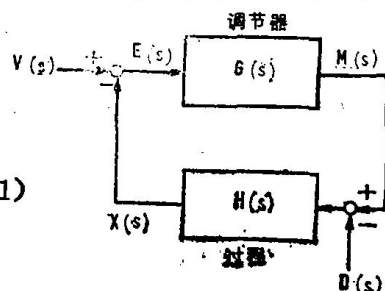


图1.29 反馈控制系统

由上述关系式可求得控制偏差为:

$$E(s) = \frac{G(s) \cdot H(s)}{1 + G(s) \cdot H(s)} V(s) + \frac{H(s)}{1 + G(s) \cdot H(s)} D(s)$$

(1.2)

右边的第一项是与设定值有关的项,第二项是与扰动有关的项,由上述关系式可以确定控制偏差会受到多大程度的影响。上述关系式右边的两项分母皆为“ $1 + (\text{环路的传递函数})$ ”的形式,而分子则是从 $V(s)$ 、 $D(s)$ 的加入点至偏差点的传递函数。因此,为使控制偏差为零,环路的传递函数 $G(s)$ 、 $H(s)$ 必须取得很大,以便对应于微小的偏差,获得较大的操作量。

控制偏差是时间的函数,其稳定状态时的值叫做固定偏差。为了求出固定偏差,需将(1.2)式进行逆拉普拉斯变换,以得到时间函数。令 $t \rightarrow \infty$ 虽然也可求得,但如果采用终值定理,则方法可以简单些。

为简单起见,设扰动一定而仅仅设定值按照阶跃 a 变化。此时, $V(s) = \frac{a}{s}$,

$D(s) = 0$, 固定偏差 e 可按式计算:

$$\begin{aligned} e &= \lim_{t \rightarrow \infty} (t) = \lim_{s \rightarrow 0} \{s \cdot E(s)\} \\ &= \lim_{s \rightarrow 0} \left\{ s \cdot \frac{1}{1 + G(s) \cdot H(s)} \cdot \frac{a}{s} \right\} \end{aligned}$$

$$\varepsilon = \frac{a}{1 + G(0)H(0)} \quad (1.3)$$

这个偏差叫做稳定位置偏差或者叫做残余偏差。为使残余偏差减小，最好是增大 $G(0)$ 或 $H(0)$ 的值，也即增大对直流的环路增益，或者使调节器的传递函数取

$$G(s) = \frac{G_v(s)}{s} \quad (G_v(s) \neq 0) \quad (1.4)$$

的形式，即应具有良好的积分特性。

其次，当设定值一定，而仅仅扰动按照阶跃规律 b 变化时，则此时的残余偏差为：

$$\varepsilon = \frac{bH(0)}{1 + G(0)H(0)} \quad (1.5)$$

这里应该注意的是，通过使 $H(0)$ 增大，而使环路增益 $G(0)H(0)$ 增大的办法并不能使 ε 变小；而只有使 $G(0)$ 增大才能减少由扰动所产生的偏差。总之，对扰动所产生的残余偏差的性质来说，必须注意扰动是在控制系统的哪个位置产生的。 $G(s)$ 如果具有积分性质，那么对于扰动所产生的残余偏差同样能够加以抵消。

1.3.2 稳定性

为使残余偏差减小而使环路增益过大时，控制环路就容易产生振荡，从而使得系统不稳定。在自动控制系统中，即使设定值或者扰动发生变化使得控制状态暂时发生紊乱时，那么，在经过适当的时间后，偏差值再度变为 0，从而使系统获得稳定是绝对必要的。这些情况如图 1.30 所示。图 1.30 (a) 是稳定的，图 (b) 是不稳定的，因为其偏差逐渐扩大，图 (c) 则产生一定振幅的连续振荡，这种情况叫稳定极限。

在反馈控制系统中，不稳定现象为什么会产生呢？反馈有正、负两种，正反馈助长了不平衡现象的发生，因此如前所述，是不稳定的。但是如图 1.29 所示的负反馈系统就一定是稳定的吗？也不能这样说。如果环路的传递函数 $G(s)H(s)$ 的相位滞后为 180° ，结果还会变成正反馈，还会产生振荡。就是说，信号沿反馈回路传输一周所产生的相位滞后及其增益与系统的稳定性具有非常密切的关系。图 1.03

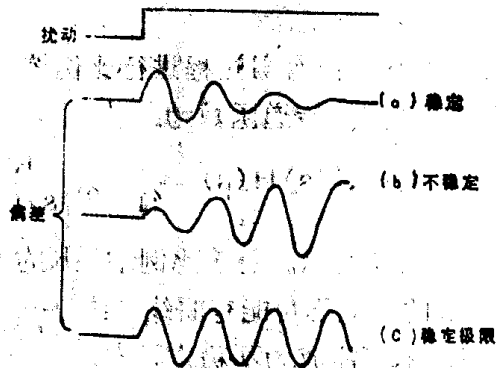


图 1.30 稳定系统与不稳定系统

(c) 中的振荡是持续的，这意味着当波沿回路环绕一周回到出发点时，相位相同并且振幅也相等。对于负反馈来说，考虑到它本身含有 180° 的相位差，所以持续振动的条件是沿回路一周的传递函数的相位延迟应为 180° ，并且环路增益应恰好为 1，只有这样才能产生稳定的振荡。如果环路的增益比 1 小，则振荡为衰减的，系统稳定，如果环路增益比 1 大，则振荡为发散的，系统不稳定。

关于反馈系统的稳定判别法，在数学上可以有多种，但是其中应用最广泛的是所谓奈奎斯特方法。这个方法是用图解法，它着眼于环路传递函数的相位及增益。现在将此方法简略地表达如下：

“当控制系统的环路传递函数的频率响应 $G(j\omega)H(j\omega)$ 的向量轨迹从 $\omega = 0$ 到 $\omega = \infty$ 描绘时，如果 $(-1, j0)$ 点在此轨迹的左边，则系统稳定；如果 $(-1, j0)$ 点在此轨迹的

右边，则系统不稳定。”

图1.31是奈奎斯特图的说明，图中画出了三条曲线 $G(j\omega)H(j\omega)$ 的向量轨迹。考虑到 $(-1, j0)$ 点的增益为1，而相位滞后为 180° ，则由于曲线A的增益比1小因而稳定，而曲线B的增益比1大，故不稳定；至于曲线C，其增益等于1，为稳定极限（临界稳定）。

下面就一个实际例子来研究一下。

〔例1〕 在比例控制一阶时滞过程的情

况下， $G(s) = K$ ， $H(s) = \frac{1}{1+Ts}$ ，

环路传递函数的增益与相位为：

$$\text{增益} = \frac{|G(j\omega)H(j\omega)|}{1} = \frac{1}{\sqrt{1+(\omega T)^2}}$$

$$\text{相位} = \angle G(j\omega)H(j\omega) = -\tan^{-1}\omega T$$

因此，当使 ω 从0到 ∞ 变化时，其向量轨迹所描绘的曲线如图1.32所示，为一半圆。在这个奈奎斯特图中，不论K的值如何， $(-1, j0)$ 点总在曲线的左边，这相当于图1.31(a)，因此是稳定的。在这种对一阶时滞过程进行比例控制的情况下，即使将比例增益K增大，也不会有产生振荡的危险。

〔例2〕 在对二阶容量过程进行比例控制的情况下，环路的传递函数为：

$$G(s)H(s) = \frac{K}{(1+T_1s)(1+T_2s)}$$

向量轨迹如图1.33所示。随着比例增益K的增大，曲线所描绘的弧也逐渐大了起来，但是只要K值是有限的，就不可能有曲线围绕 $(-1, j0)$ 点的情况出现，这仍然是相当于图1.31中(a)的情况，不可能成为不稳定状态。

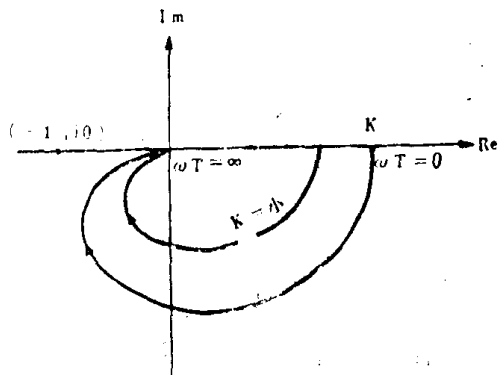


图1.33 二阶控制系统的向量轨迹

$$\frac{K}{(1+j\omega T_1)(1+j\omega T_2)}$$

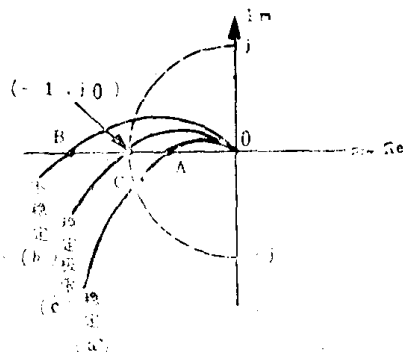


图1.31 $G(j\omega) \cdot H(j\omega)$ 的向量轨迹

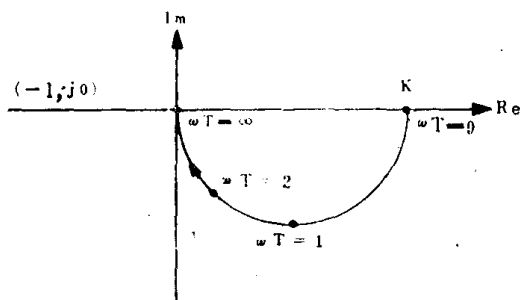


图1.32 一阶控制系统的向量轨迹

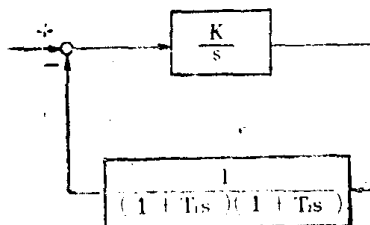


图1.34 三阶控制系统