

化工生产自动化

化工生产自动化编写组编

石油化学工业出版社

化工生产自动化

化工生产自动化编写组 编

石油化学工业出版社

内 容 提 要

本书共分七章。第一章介绍自动调节系统的一般概念。第二章通过对液位、压力、温度、流量、成分等简单调节系统的分析,讲述了比例、积分、微分等调节规律的概念,并介绍有关气动、电动、调节器的构成原理。第三章介绍自动调节系统共同规律,讲述了方块图、传递函数、各环节的特性及其对调节质量的影响,并讨论了调节方案的选择及调节器参数整定的工程方法。第四章介绍常见的几种复杂调节系统,其中对串级调节系统作了较详细的叙述。第五章介绍有关自动调节系统设计的基本知识。第六、七章简单的介绍程序控制和计算机应用的基本概念。在附录中附有有关方面的数学知识、常用仪表型号规格和上海化工设计院提供的调节阀计算图等。

本书在编写中力求深入浅出,从特殊到一般。通过对实例(着重在化肥和炼油生产)的分析,阐述了自动调节系统的一般概念和共同规律。是一本较为通俗的读物。

本书由兰州化学工业公司设计院石油化工自控设计建设组组织上海化工学院、山西化工自动化交流站、上海炼油厂、上海高桥化工厂和上海川沙化肥厂等单位讨论编写。本书第四章及第三章第七节由山西化工自动化交流站执笔,其余由上海化工学院化工自动化教研组执笔。初稿完成后召开了由工人、干部、工农兵学员、教师和技术人员参加的审稿会,会上提出了很多宝贵意见,进一步完善和丰富了本书内容。

本书可供从事石油、化工生产的仪表工人、操作工人阅读,亦可供有关技术人员和大专院校师生参考。

化工生产自动化

化工生产自动化编写组 编

*

石油化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

石油化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张 $25\frac{3}{4}$ 字数 637千字 印数1—23,250

1978年8月北京第1版 1978年8月北京第1次印刷

书号15063·化253 定价2.05元

目 录

第一章 化工生产自动化概述	1
第一节 化工生产自动化的内容.....	1
第二节 自动调节是人工调节的发展.....	2
第三节 自动调节系统的构成及说明.....	4
第四节 对自动调节系统的要求.....	7
第五节 自动调节系统实例.....	11
第二章 简单调节系统	16
第一节 液位调节系统.....	16
第二节 压力调节系统.....	31
第三节 温度调节系统.....	43
第四节 流量调节系统.....	59
第五节 成分调节系统.....	71
第三章 调节系统的分析	79
第一节 方块图和传递函数.....	79
第二节 对象的特性	108
第三节 调节器的特性	122
第四节 检测元件和变送器的特性	138
第五节 调节阀的特性	145
第六节 调节方案的选择	159
第七节 调节器参数整定	170
第四章 复杂调节系统	184
第一节 串级调节系统	184
第二节 均匀调节系统	214
第三节 比值调节系统	227
第四节 多冲量调节系统	264
第五节 分程调节系统	277
第六节 自动选择调节系统	288
第七节 前馈调节系统	301
第五章 自动化系统设计介绍	314
第一节 设计的一般程序和内容	314
第二节 图例中仪表仪器图形和文字符号的说明	318
第三节 一般资料总结	322
第四节 气源装置	327
第六章 程序控制	330

第一章 化工生产自动化概述

作为本书的开头,首先介绍一下化工生产自动化包括那些内容,同时对自动调节系统作一个总体的分析,以便为进一步研究简单和复杂调节系统打下基础。

第一节 化工生产自动化的内容

化工生产自动化包括些什么内容?

化工生产自动化的内容是十分广泛的。它包括自动调节、程序控制、自动保护、自动检测等方面,现分别介绍于下:

一、自动调节

在化工生产的过程中,大多数物料是液体或气体的状态,它们连续的在密闭的管道和塔器中进行各种变化,即化学性质的变化,而化学反应又必须是在特定的条件下进行,即一定的压力、一定的温度、一定的流量、一定的液位、一定的成分等等,因此,只有严格的控制这些基本的工艺参数,才能保证化学反应的正常进行,才能保证生产过程的正常运行。

但是,由于生产过程中的物质在不断地运动着,情况在不断地变化着,生产过程中的每一个环节随时随地都可能出现各种干扰因素,只要在生产过程的任何一个环节失去了相对的平衡状态,就会导致其它环节生产的波动,从生产的操作任务来说,就在于必须随时保持住这些工艺参数的数值在预先给定的范围,然而干扰的破坏作用正是表现在使得这些参数的数值偏离给定值,显然,这是不允许的。怎么办?这就要求加以调节。就是把已经受干扰作用影响而偏离给定值的参数值重新拉回到给定值和允许的波动范围之内,以建立新的平衡。但是,平衡总是相对的,暂时的,有条件的,而不平衡则是绝对的。在生产过程中,干扰不断的产生,因此,也就要不断地加以调节,原来的平衡被干扰所打破,经过调节后,新的平衡被建立起来。如此不断地运动变化过程就是自动调节的整个过程,从而控制着工艺参数在给定的范围内,这样,就使生产过程能够在接近于它的较好的条件下进行。

所谓自动调节,就是使用自动化的装置代替人工的调节的过程。自动调节是自动化系统的核心问题。我们将着重予以讨论。

二、程序控制

在化工生产过程中,许多机器和设备都必须按照一定的程序进行运转。例如:煤造气合成氨生产中造气炉的运转,就是按照吹风、上吹、下吹、回收等操作步骤组合而成。又如,小石油化工厂裂解炉的控制,各阀门的动作也有一定的程序,就是按照吹扫、加热、烧焦、制气、预吹等操作步骤组成一定的顺序来进行。这种操作是按照一定的周期和规律重复进行的。这种程序控制装置包括自动机和相应的执行机构,自动机是一个程序讯号发生器,它是按一定的程序发出讯号的,从而控制执行机构,完成按一定程序进行控制的工作。程序控制的采用对于减轻工人的劳动强度,提高劳动生产率是有一定成效的。

三、自动保护

在化工生产的过程中,当某些工艺参数超过一定限量时,就会影响生产,甚至会发生各

种事故，如燃烧、爆炸、以及损毁设备等。为此，在生产的不正常情况即将达到发生事故时，为了及时帮助操作人员发现问题而采取紧急措施，为了保护工人和设备的安全以免除事故的发生，设置自动保护装置来自动地消除事故，或者设置自动报警装置，如电铃、音响、灯光等装置及时地发出讯号以引起操作人员的注意。这些就是报警与自动保护装置。在实际的生产过程中，应用是很多的，也是很必须的。

四、自动检测装置

在化工生产过程中，要想得到合乎质量的产品，就必须对生产过程加以控制，为了进行控制，首先就必须了解生产过程进行的情况。因此，反应生产进行的一些工艺参数，如温度、压力、流量、液位等，就必须经常进行检测。采用了自动检测装置则能不断的连续的检查生产中各工艺参数的数值，并能自动的将这些参数的变化指示或记录下来。

自动检测装置，就是通常我们常用的各种测量指示和记录仪表。

以上，我们概括的叙述了化工生产自动化的大概内容，自动化的应用常是这四方面内容总的考虑。

第二节 自动调节是人工调节的发展

毛主席教导我们说：“认识开始于经验——这就是认识论的唯物论。”人类的生产活动是最基本的实践活动。自然科学理论的产生和发展，归根到底都是来源于生产实践，而直接从事生产实践的，就是广大劳动群众，劳动人民在长期的生产实践斗争中创造和总结出了极其宝贵的经验和理论。化工生产自动化就是在手动操作经验的基础上发展起来的，自动化可以说是人工操作的模仿和发展。

现在，我们就来举一个例子进行分析解剖，看看自动调节是怎样在人工操作的基础上发展起来的。

在化工厂里，锅炉是一个常见的动力设备，如图1-1所示，一个锅炉要能正常运行，锅炉液位是一个很重要的参数。锅炉液位过低会影响蒸汽产生量，也很容易烧干而发生严重事故，液位过高则又使蒸汽夹带水滴并有溢出之危险。因此，操作人员就必须严格控制锅炉液位的高低以保证其正常运行。

当蒸汽耗水量与锅炉进水量相等时，液位保持在给定的正常标准值。若生产负荷突然发生变化，需要的蒸汽量增加时，液位就会下降，或者，由于进水管的水压变化，也会影响到给水量的变化，从而，使锅炉液位发生变化，这时，操作人员必须密切注视着液位的变化情况，一经发现实际的水位高度与应该维持的正常水位值（即给定值）之间出现偏差时，就要马上进行调节，即开动给水阀门，使之恢复到给定值。

从这个例子我们可以看出，在人工手动调节时，操作步骤是这样的三个步骤：

一、观察：观察液位的变化，即观察被调参数的数值变化。

二、比较：把观察值与给定值进行比较，根据观

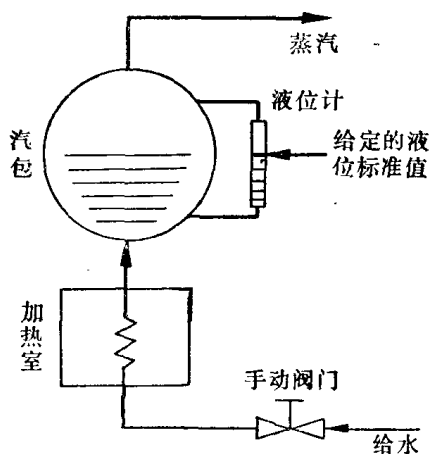


图1-1 锅炉液位手动调节示意图

察值与给定值二者的偏差大小或偏差随时间的变化情况并决定如何进行调节。是将阀门开大呢，还是关小？是动作快一点呢，还是慢一点好？

三、手调：操纵阀门，改变给水量。

人工操作往往是十分紧张和繁忙的，而且不可疏忽大意。

劳动人民在长期的生产斗争中总结了人工操作的经验，创造了自动调节装置并设法用自动装置来模拟和实现操作的规律，这样就可以摆脱人们的繁重负担。同时，实行了自动化操作，一个人可以检查和监督许多自动装置，劳动生产率就大为提高，工作条件也有了改善，并且，由于自动装置能连续的工作，就使得生产情况相当平稳，这样就可以提高产量和质量。

通过以上的分析，可见自动调节应由以下三个部分组成：

一、检测与变送：检测出液位的高低并能将液位高低转变为一个信号（气压信号，或电流信号，或机械位移），送到调节器去。用来检测液位高低的装置叫做测量元件。用来将测量元件发出的信号变换为后面仪器所需要的信号类型的装置，叫变送器。

二、调节器：能将变送器送来的测量信号与给定的工艺上所要求的标准值相对应的信号相比较，并能决定按怎样的规律进行调节。

三、调节阀：能自动地根据调节器送来的信号值改变阀门的开启度，即接受调节器的操纵，产生调节动作。

将此三部分自动化装置组成一个系统，就能实现自动调节，从而代替了人工操作的工作。图 1-2 是锅炉液位的自动调节系统示意图。

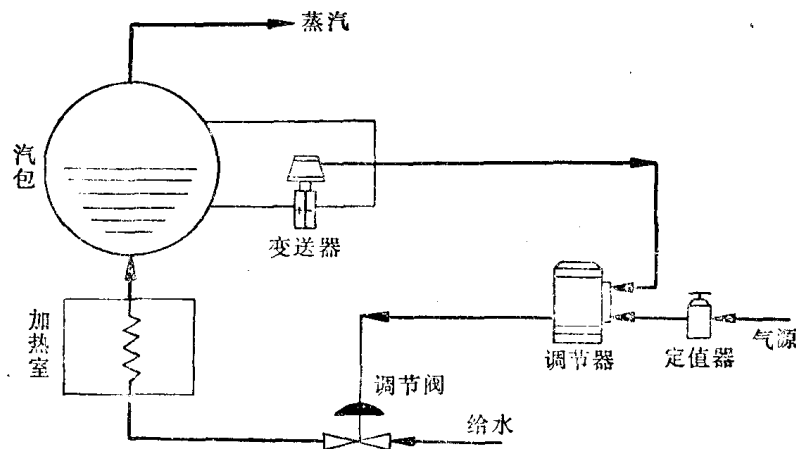


图1-2 锅炉液位自动调节示意图

下面，我们就来比较一下，看看怎样用自动化装置来代替人工的操作。参照图 1-2 锅炉液位自动调节示意图我们来作一说明。

一、变送器代替了人的观察

我们的工作“对象”是一个蒸汽锅炉系统，我们要控制的工艺参数是锅炉的液位，在人工操作时，锅炉液位的高低是通过人眼的观察来了解液位的高低和液位变化的情况的。现在，我们用了一个差压变送器来代替人的观察，差压变送器能根据液位的高低变化而发出相应的测量信号。

二、调节器的作用

由差压变送器发出的测量信号，反映了液位的高低，这个液位高低符合不符合生产要求，那就要有个标准和它比较，这标准是按生产情况而预先决定的。在人工操作时，我们可以在与锅炉相连通的玻璃液位计上划一个记号，表明液位到了这个高度就是标准液位（给定值），液位高或低时都要调节。现在，这个液位的高低已由变送器转换为一个测量信号，那么，它和谁来进行比较？我们可以再用一个定值器，它能发出一个恒定的与标准液位相对应的信号（给定值），把这两个信号来进行比较，一个是测量信号，一个是给定信号。当两个信号一样大小时，反映了现在的实际液位正在标准值上。如果两个信号不一样，就说明实际的液位值和标准值有偏差，偏高或降低，这就要进行调节。这个比较环节就装在调节器内。

其次，调节器在将测量信号与给定信号进行比较后，得到一个偏差信号，然后按偏差信号的大小和预定的调节规律发出调节的信号，这就是调节器的作用。按什么样的方式和什么样的规律去进行调节？人工手动调节时，在长期实践的基础上，摸索出许多经验，按照这些经验以决定是把阀门开大一些或是关小一些，是动作快一些还是慢一些等等，不同的运行方式，会有不同的调节效果，运行人员的操作规律适当，才可能有好的调节效果。所以，应对调节对象的性质要摸透，要熟知那些因素会引起被调量的变化，怎样调节才能有好的效果。调节器就是在总结人工调节经验的基础上发展起来的。我们做了一些仪器，使它具有比例调节，积分调节、微分调节的规律。因此，调节器就能按照这些预定的规律发出进行调节的信号。然后，去操纵执行机构，执行调节任务。

三、气动薄膜调节阀代替了手操阀门执行调节任务

从调节器送来的调节信号作用在气动薄膜调节阀的阀头上。当信号压力增大时，阀杆的位移也增大，阀门开度也就改变。这样用气动薄膜调节阀代替了手动操作阀门后，就实现了自动调节的目的。当然，这只有在人们知道了对生产过程应该如何调节，并实现了用仪器设备来模仿人的劳动时，自动调节才能实现。

另外，在自动调节系统中，调节器不仅可以按液位的变化而动作，同时，也可以接受蒸汽流量和给水流量的变化。这样，调节器发出的信号就不仅是根据液位的偏差，也综合了蒸汽流量和给水流量的偏差来进行调节，这就是多参数的调节。调节效果比只采用液位作为唯一调节信号时要好得多。

从以上的手动自动对比分析可见，自动化并不神秘，自动调节是在人工调节的基础上发展起来的。一个好的调节系统一定是现场运行经验的生动反映。古往今来，一切科学技术的成果，都是广大劳动人民智慧的结晶。所以要搞好自动调节系统的设计必须深入现场了解设备的实际运行情况，善于总结经验，才能做好自动调节系统的运行与设计工作。正如毛主席所说：“只有在亲身参加变革现实的实践的斗争中，才能暴露那种或那些事物的本质而理解它们。”

第三节 自动调节系统的构成及说明

“认识有待于深化，认识的感性阶段有待于发展到理性阶段——这就是认识论的辩证法。”

通过上一节关于液位调节系统的讨论，我们对一个调节系统有了一个初步的认识。在生产实践中我们所遇到的调节参数是多种的，如压力调节、流量调节、温度调节等等，我们在

总结这许多的调节系统时发现它们中间有共性和规律性的东西存在，以下我们将就这些共性的东西来讨论。

一、自动调节系统的组成

从上面简单的实例中，我们可以概括出一般自动调节系统是由四个部分所组成：即调节对象、测量变送、调节器、调节阀。为了更清楚地表示出一个自动调节系统各个组成环节的相互影响和信号联系，我们用一个方块图来进行表示。用一个方块表示各个环节，划一个箭头线表示信号的相互联系和传递方向。如图 1-3 所示。

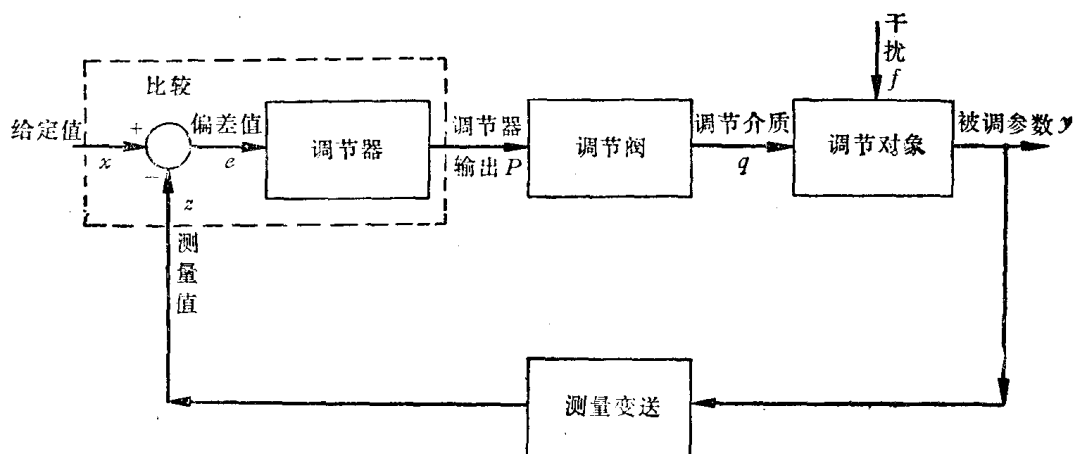


图1-3 自动调节系统的组成方块图

结合液位调节的例子，我们来分析一下方块图的意义：

调节对象：就是被控制的设备或机器。在锅炉液位调节的例子中，调节对象就是锅炉。

被调参数 y ：按照工艺要求，某些参数应该维持在预定的变化幅度之内，如对它们进行调节，它们就叫做被调参数。在液位调节例子中，液位就是被调参数。

干扰 f ：在生产过程中，凡是影响被调参数的各种作用，都称为干扰，或称为扰动作用。由于外界的干扰作用，破坏了生产上的平衡，破坏了正常生产的条件，改变了生产中所要求保持的定值参数，这就使正常的生产过程受到影响。生产的每一个环节随时随地都可能出现干扰因素，只要生产上的某一环节失去了相对的平衡状态，就会导致其它环节生产的波动。在锅炉液位调节例子中影响被调参数的因素来自用汽方面负荷的变化、水压的变化，这些因素都称为干扰。

调节介质 q ：怎样去克服干扰的影响？就需要进行调节，利用阀门去改变物料的进料量，这种手段就叫做调节作用，所用的介质叫做调节介质。如锅炉液位调节的例子中，往锅炉中注入的水就是调节介质。

测量元件、变送器：靠什么去发现干扰的影响？要调节，就必须依据干扰的情况来作出判断。要知道干扰后的情况，就要利用测量元件对被调参数进行测量，并转变为一定的信号输出。如本例中所用的差压变送器。

测量值 z ：变送器的输出值。对于气动单元组合仪表， z 为输出气压 0.2~1.0 公斤/厘米²，对于电动单元组合仪表， z 为直流电流 0~10 毫安。

给定值 x ：一个恒定的与正常的被调参数相对应的信号值。

偏差值 e ：给定值与测量值之差。

调节器输出 p ：怎样根据被调参数的测量值来调节？在调节器内，将给定值与测量值进行比较，得出偏差值，然后依据偏差情况，按一定的调节规律，发出相应的输出信号 p 去推动执行器。现在大多数调节器是电动及气动的，绝大多数的执行器是气动调节阀，在电动调节器与气动调节阀之间，必须有电-气转换装置。在实际的仪表中，比较机构是调节器的一个组成部分，为了突出比较机构，我们用一个圆圈单独划出来。

调节阀：调节阀按输入信号对锅炉的进水量进行调节。同时阀门如何运动，还取决于阀门的特性，有的阀门是与输入信号成正比的变化，有些阀门的输出特性则是和输入信号呈某种曲线关系。阀门还分为气开与气关两种。

从以上自动调节系统的方块图，我们对各个环节之间的相互关系就更加清楚了，也就是我们从具体的事物中抓住其本质的和规律性的东西，抽出了各种调节系统的共性，各种调节系统都包含这样一些基本环节，各个环节之间都有这样的相互关系，对于每一个环节来说，输出和输入之间的关系反应了这个环节的特性，反映了这个环节自身的特点和规律性，这样就便于对各个环节提出要求以及对各个环节的特性作进一步的研究。

由于在生产过程中干扰不断的产生，调节作用也在不断的进行，平衡不断的被打破，经过调节新的平衡被建立起来，构成了整个调节过程。如因某种干扰使液位上升时，测量变送部分将液位测量出来，在调节器内与给定值进行比较，根据偏差的情况，调节器的输出气压发生相应的变化，把调节阀关小，使进水量减小，阀门动作的结果将使液位降低下来，逐渐向给定值靠拢。

二、对自动调节系统的几点说明

1. 开环与闭环

通过自动调节系统方块图，我们对这系统的总体有这样一个概念，就系统信号的传递路线来看，从调节对象开始，经过一连串的自动化装置又回到调节对象。干扰作用使液位升高了，调节的作用则必使液位降低。从信号的传递角度来看就构成了一个闭合系统，一般称为闭环系统。这与前面我们提到的自动机就不同，那种程序控制系统是典型的开环系统。如在化肥厂中用的造气自动机ZKY-II，这种系统的动作，是事先已为人安排好的，在自动机工作的时候，它是无论造气炉的情况，不管炉子有气无气，甚至炉子熄灭了也不管，它还是照样周而复始的在运动。所以开环系统的特点是不能了解对象的运转情况，不能按对象的情况变化而随之变化的，这也是开环系统的最大缺点。而在闭环系统时就不同了，闭环系统的特点则是每时每刻地都在监视检查着被控对象的运转情况。

如锅炉液位控制系统中，使用了差压变送器就是一个液位高低的监视器，它能自动地向调节器提供情况，只要一发生偏差，调节器马上就发出调节命令，使调节阀开度变化以纠正偏差。这种调节系统，采用了检测机构，测出被调参数的变化后送入调节器，又经阀门的控制，使被调参数发生相反的变化。信号构成了一个闭合环路，称为闭环系统。信号从一个环节送到另一个环节，但是不能构成闭合环路的系统，称为开环系统。

2. 正反馈与负反馈

在上面我们讲到的闭环系统中，把输出的信号通过测量变送器又引回到输入方面来的做法，就称为反馈。就是说，凡是通过一定的方式把属于输出方面的某个量，反过头来，送到输入方面来，改善某些特性，就叫做反馈。自动控制系统的基本方法就是反馈的方法。在日常生活中，人们采用反馈的方法是很多的。譬如，我们在洗脸的时候，脸盆里先放了一些热

水,然后用一只手去试探水温,这只手就相当于是一个测量元件,手对水温的感觉传递给大脑,经过大脑的判断,发出调整水温的命令,另一只手就来开动水笼头,执行调节水温的任务,以使水温达到合适的要求,这就是一个反馈过程。水的温度是输出信号,也就是被调参数,经过测量和人大脑的判断,发出调节水温的命令,另一只手去执行调节任务控制进水量,太烫了开冷水笼头加冷水,太凉了开热水笼头加热水,这当中就包含着反馈的意思。

若按引入反馈后是使输出量增大或减小,又可分为负反馈和正反馈。

在自动调节系统中采用的是负反馈。例如:在液位调节例子中,当液位上升时,由差压变送器检测的液位信号 z ,进入调节器的偏差信号为 $e = x - z$,这一偏差信号送入调节器后,调节器的输出必然使阀门关小,使液位降回到给定值。当液位下降时,调节器的作用又使输出增大,阀门开大使进水量增加,液位就上升恢复到给定值。

在图 1-3 中,可以看到,给定值 x 旁有一个正号,反馈信号 z 旁有一个负号,到调节器的偏差信号 $e = x - z$ 。所以叫做负反馈。

如果反馈信号 z 与给定值不是相减而是相加,则偏差值 $e = x + z$,经过调节器后,调节器的输出信号将增加,这时调节阀将使进水量增加,进水量增加后,液位更加升高,而液位升高又使测量信号 z 值增大,从而使偏差值 $e = x + z$ 更大,阀门就会愈开愈大。这样的反馈过程就称之为正反馈。这在自动调节系统中是不允许的。

3. 正偏差与负偏差

在自动调节系统中,一般规定偏差值 $e = x - z$ 。但在仪表制造部门,习惯上是取偏差值 $e' = -e = z - x$ 。就是说在仪表校验时常把 $z > x$ 称为正偏差。 $z < x$ 称为负偏差。

4. 气动薄膜调节阀有气开与气关两种形式

气开阀是指当调节器的输出增加时,阀门开大,气关阀是指当调节器的输出增加时,阀门反而关小。气开阀和气关阀的选择主要是从安全角度来考虑,即在一旦发生断气事故时,仍能保证安全生产。例如,蒸汽锅炉的进水阀一般就是用气关阀,有气时阀门关小,无气时开大,万一发生断气,则阀门是开着的,以保证汽包不使烧干。然而,在用作透平蒸汽源的锅炉时,蒸汽大量带水的危险更大,所以用气开阀。

5. 调节器的正作用与反作用

由于调节阀有气开与气关两种形式,同样是进气,一个是开大,一个是关小。所以调节阀应有正、反两种形式的作用。所谓正作用,就是指偏差值 e' 增加时(如测量值 z 增加),调节器的输出信号 p 也增加,所谓反作用,就是指偏差值 e' 增加时(如测量值 z 增加),调节器的输出 p 反而下降。

如在液位调节例子中,采用气关阀,当液位升高时,测量值 z 增大,偏差值 e' 增大,经过调节器后,应使调节器的输出 p 增大,将调节阀关小,这就是正作用。如果采用气开阀,当液位升高时,测量值 z 增大,偏差值 e' 增大,进入调节器后,应使调节器的输出 p 减小, p 减小了,气开阀的开度也就减小了,这就是反作用。

调节器的正反作用是可切换的,但一定要选择正确,如果方向搞错了,结果反而会使被调参数越来越偏离给定值,不可能达到稳定状态。

第四节 对自动调节系统的要求

以上,我们分析了一个自动调节系统所包括的各个环节及其相互关系,当一个自动调节

系统的输入不变时，整个系统就处于一种相对的平衡状态，这种状态就称为静态，这时，生产在正常进行，物料在平稳的进出。但是，平稳和静态是暂时的、相对的、有条件的，不平衡和动态才是普遍的、绝对的、无条件的。在生产的过程中，干扰总是不断的经常的产生着，这只要我们走进工厂的控制室看一看自动记录仪表就可以知道，仪表上画着各种各样记录曲线，反映了干扰的作用，也反映了调节的质量，对自动调节系统的要求就是按干扰出现后系统的动态变化情况而提出的。所以，我们先要谈谈干扰问题和干扰出现时的动态过程才能对系统提要求。

一、阶跃干扰

干扰有各种情况，而且有大有小，有的干扰来得很快，有的干扰则比较缓慢。一般说来，缓慢的干扰总是比突然袭击而来的干扰，更容易克服些，因此，我们常把一种突然的从一个数值变化到另一个数值的干扰称为阶跃干扰。如图 1-4 所示。

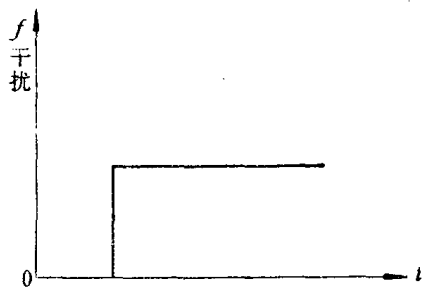


图1-4 阶跃干扰

例如，对锅炉液位调节系统的例子来说，当蒸汽用量突然增加或突然减少时，对液位的干扰就是一种阶跃干扰。

阶跃干扰是一种突然变化的干扰，也是最不利的干扰形式，如果一个调节系统能很好的克服阶跃干扰的影响，那么它对于其它形式的干扰也就不难克服，所以，

我们常把阶跃干扰作为判别系统抗干扰能力好坏的标准。

这样，我们可以用同样的干扰，作用于相同的几个系统，再来分析记录曲线的情况就可以比较各个系统的抗干扰能力，比较它们调节质量的好坏。

假若一个系统原来处于相对平衡的状态即静态，由于干扰的作用破坏了这种平衡状态，被调参数就会变化，而自动调节的作用就在于克服干扰的影响，并力图使系统恢复平衡状态。从干扰的发生，经过调节，直到系统重新建立平衡，在这一段时间中整个系统的各个环节和参数都处于变动状态之中，这种状态又叫做动态，在化工生产过程中，了解系统的静态固然必要，但是了解系统的动态更为重要。当自动调节在动态阶段中，被调参数是不断变化的，这一随时间而变化的过程称为自动调节系统的过渡过程，也就是系统从一个平衡状态过渡到另一个平衡状态的过程。下面，我们就来分析一下在阶跃干扰作用下，被调参数将如何变化，经过调节后可能出现的各种调节过程。

二、各种调节过程

自动调节的过程就是调节作用不断克服干扰影响的过程，我们希望被调参数能保持不变，但实际上是办不到的，当系统受到阶跃干扰作用时，系统的过渡过程有以下几种典型情况：

第一种情况如图 1-5 所示。被调参数的变化幅度愈来愈大，表现为发散振荡。例如，在锅炉液位调节的例子中，当蒸汽用量突然变化时，经过调节器的调节，不但不能稳定下来，反而使变化的幅度愈来愈大了，这是一种不稳定的过程，被调参数愈来愈偏离给定值，既不准，又不稳。这样的情况在自动调节系统中是应该避免的。

第二种情况如图 1-6 所示。这是一种非周期过程，被调参数偏离给定值以后，经过相当的时间慢慢的才接近给定值。例如在液位调节的例子中，水位升高后，慢慢的回到给定值，

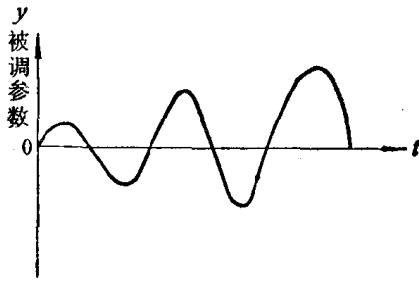


图1-5 发散振荡的不稳定的调节过程

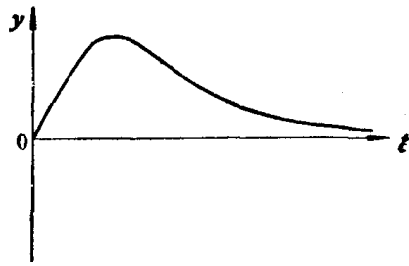


图1-6 非周期的调节过程

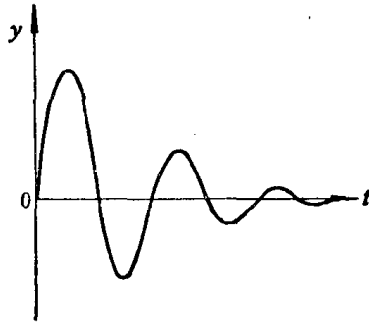


图1-7 衰减振荡的调节过程

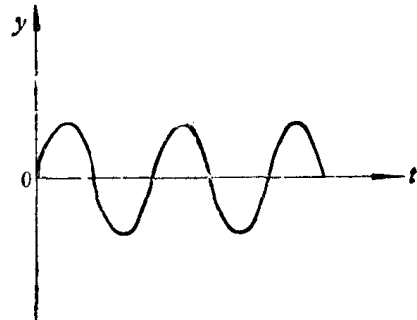


图1-8 等幅振荡的调节过程

而没有上下的波动。按照工艺的要求，这样的调节过程是允许的，但是很不理想。

第三种情况如图 1-7 所示。可见被调参数经二三个周期波动后就回复到给定值，例如在水位调节的例子中，当有干扰出现时，水位突然有较大的变化，但是经过调节，把这个波动不但拉回来了，而且拉过头了，这样，又经过二个小波动之后就渐渐的接近给定值，在实践中比较了各种情况，认为如果都象这个样子调节，就很理想了。

第四种情况如图 1-8 所示。是等幅振荡的调节过程，是不衰减而又不发散，振荡的幅度相等处于一个近于发散的临界状态。一般都认为它是一种不稳定状态而不采用，虽未达到发散振荡的情况，但是被调参数一直不能稳定下来。

以上，我们叙述了各种可能出现的调节过程，我们看到调节的作用就是战胜干扰的过程。一个自动调节系统的好坏，在系统的稳定状态下是难以判别的，只有在过渡过程中才能加以判别。

通常衡量一个调节过程的质量从那些方面来加以判别？

三、调节过程的品质指标

现在我们就来分析一个典型的定值调节系统的过渡过程的情况。如图 1-9 所示。

图 1-9 表示了一个调节过程的情况，一个调节系统受了阶跃干扰以后，被调对象就发生了变化，被调参数开始偏离了给定值，调节器有一个偏差值输入，这时自动调节系统就进行调节以使偏差消除，但是被调参数消除偏差不是一瞬间就可以完成的，是要经过一个过程才能逐渐接近给定值的。这个调节过程的好坏通

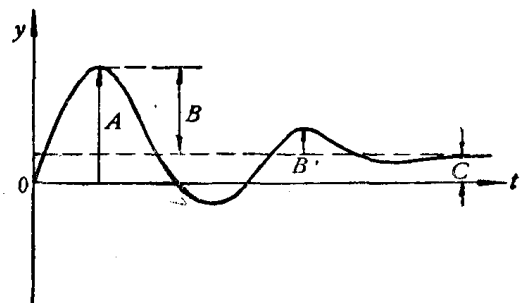


图1-9 调节过程的品质指标

常可由以下四个指标来看。

1. 最大偏差 A 。即被调参数偏离给定值的最大偏差值, 这个最大偏差值表示工艺状态偏离预定要求的状态。在工艺上这个数值是有一定要求的, 如果最大偏差值过大, 可能会使生产受到损失, 甚至破坏工艺过程的进行。所以生产上往往对最大的偏差值要作个限制, 不允许超过允许的规定。

2. 衰减比 n 。理想的调节过程应该是衰减的振荡而不是发散的振荡, 那么衰减到怎样的程度最好? 表示衰减程度的指标是衰减比, 也就是曲线中前后两个曲线峰值之比, 即

$$\frac{B}{B'} = n$$

n : 就称为衰减比。表示衰减的程度, 习惯上用 $n:1$ 来表示。

例如, 第一个峰值的 B 做为 1, 衰减比 $n=4$, 就是说第二个峰值 B' 仅为第一个峰值的 $1/4$ 。若第三个峰也按这样的关系衰减下去, 那么第三个峰值就是第二个峰高 B' 的 $1/4$, 也就是第一个峰高的 $1/16$, 即仅为第一个峰高 B 的 6.25%, 可见衰减之快。

我们的调节系统假如能做到这样一个指标, 我们就放心了。一旦被调参数受到干扰之后, 我们可以断定被调参数只经几次振荡很快就会被稳定下来, 决不会出现太高太低的现象, 这样就不会出现造成事故的异常值。在实际的生产中, 工人老师傅多年的操作经验总结出了这样一个经验。认为衰减比为 4:1 较为合适。

但是具体情况要作具体分析, 4:1 的衰减曲线在一般的情况下是比较好的。但是对于一些变化很慢的温度调节过程, 波动一次所需要的时间可达一个小时左右, 若采用 4:1 衰减曲线为指标时, 很可能实际操作的记录曲线呈缓慢的波动形状, 这时的 4:1 衰减曲线就不能认为是理想的, 如果按照 10:1 的衰减曲线, 或以非振荡衰减曲线为指标, 效果可能会更好一些。这就是说 4:1 衰减曲线在大多数情况下是能用的, 少数特殊情况应另作考虑。

3. 调节时间。在调节系统受到干扰作用以后, 经过调节, 使系统从原来的平衡状态被破坏过渡到另一个新的平衡状态所需要的时间, 就是调节时间, 也就是指一个过渡过程的时间, 这个时间要求要短一些好, 不能过长。因为平衡总是相对的, 暂时的, 不平衡则是绝对的。一个调节系统可能要不断的受到干扰, 如果调节时间过长就会前波未平, 后波又起。造成被调参数长期不能稳定在给定值附近。也就是使被调参数长期脱离工艺生产上应有的较好状态, 就会给生产带来损失。

4. 余差 c 。一个受到干扰的系统经过调节而达到新的平衡状态以后, 很可能新的稳定状态和给定值之间有点小偏差 c 。但是, 此时的系统已经平衡了, 这个经过调节稳定后的系统被调参数的数值与给定值之间的偏差就称为余差, 也就是最后残余的偏差, 这个余差数值, 工艺上就有一定的要求, 超过规定的要求是不允许的, 对于一个自动平衡系统来说, 余差应该是尽量的小, 最好完全消除。

当然, 对具体情况要作具体分析, 有些情况, 如贮槽液位的高低要求不是很高, 余差就不要作为一个主要的调节指标, 在有些要求较高的情况下, 就应该考虑这个问题。

综上所述, 可见对一个自动调节系统的要求主要是能在和干扰的斗争中求稳, 最大偏差要小, 平稳要快、应无余差。这些条件的提出应根据生产的具体情况而定, 当生产上允许指标低一些时, 就应适当放宽, 这将给自动调节系统带来很大的方便, 不能盲目追求高标准。如果不管生产的实际需要提出很高的要求, 就会造成很大的人力和物力的浪费。我们应该本

着勤俭办一切事业的精神，利用较少的仪表来满足生产上的要求。

第五节 自动调节系统实例

[实例一]

下面，我们以小合成氨生产精炼工段的工艺过程为例看看自动调节系统是怎样组成的，看看那些地方需要控制，怎样控制。

我们先介绍精炼工段的工艺流程（图1-10）。

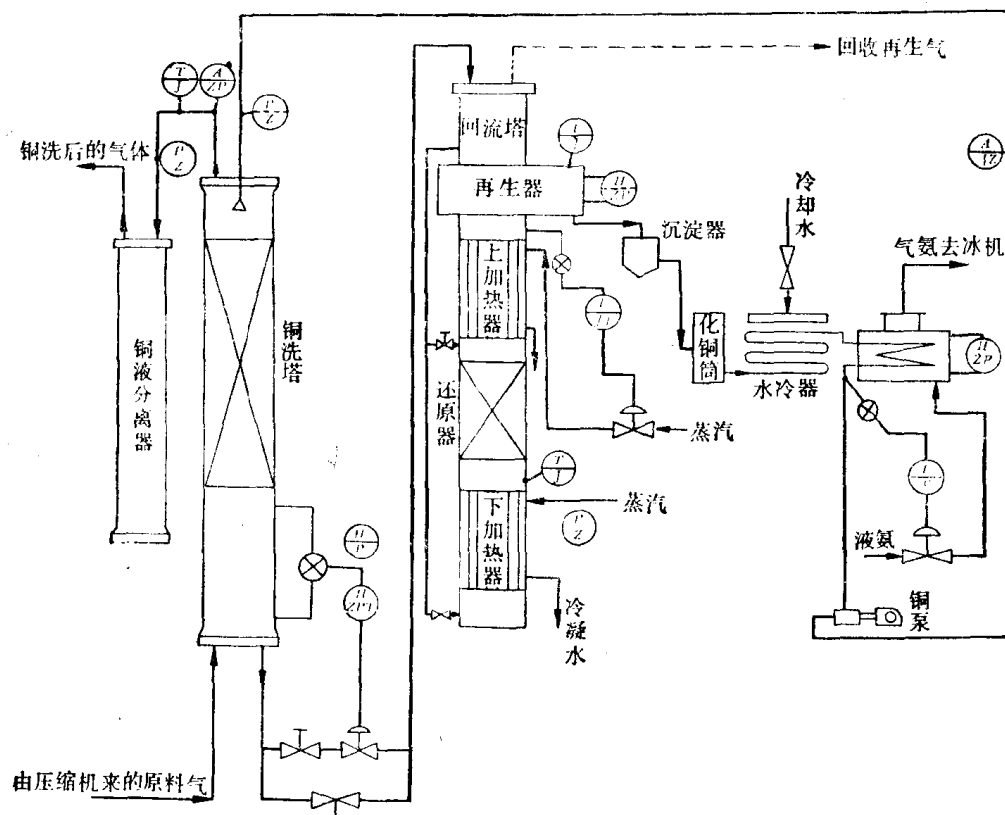


图1-10 合成氨生产精炼工段的工艺流程简图

当我们拿到这张图时，首先需要了解工艺的过程，了解工艺的要求，需要控制什么，要求如何。第二步就要分析怎样控制。把一张比较复杂的图按系统作分解，按自动调节系统一个一个的来分析，图上的符号代表什么意思要看懂，在这个基础上才有可能进一步研究用什么仪表，怎样进行安装投运、整定参数等等。

现在我们就来作第一步的工作，简略介绍一下合成氨生产中精炼工段的工艺过程，通过这一工艺过程的叙述了解控制的要点。氮肥厂的同志们对工艺过程是很熟悉了，如果不是从事这项工作的同志，也可以通过这个例子体会一些分析问题的方法。

一、工艺过程简述

我们知道氨（ NH_3 ）是氮（ N_2 ）和氢（ H_2 ）的化合物，将氮和氢在高温高压下通过触媒层就生成了氨。在以煤为原料时，把空气和水蒸汽交替通过装有无烟煤或焦炭的煤气发生炉，在高温下产生了以氢和氮为主要成分的半水煤气，经过脱硫、变换、水洗以后的气体主要就

是氢与氮了。但是还含有少量的一氧化碳，二氧化碳以及微量的氧与硫化氢，这些气体会使合成触媒中毒，必须清除干净，才能送入合成工序，在小合成氨生产中，一般均采用醋酸铜氨液来洗涤原料气的，这个过程，就叫铜洗即精炼。

铜液吸收一氧化碳的反应是一个放热反应，同时气体在液体中的溶解度随温度的升高而下降，温度越低，溶解度越大，反应越完全。同时，压力越高，气体在液体中的溶解度也越大。所以，要创造一个高压低温的条件使铜液更好的吸收一氧化碳。铜液不但能吸收一氧化碳，而且能吸收二氧化碳，氧和硫化氢。铜液吸收了这些气体以后，便失去了吸收的能力，需要用减压和加热的方法，把被铜液吸收了的气体解吸出来，以恢复铜液的吸收能力。这一过程叫铜液的再生。再生后的铜液，恢复了吸收能力，可以继续循环使用。

所以，铜洗工段包括两个部分：一是铜液洗涤原料气，对有害的气体进行吸收；二是铜液再生，是有害气体的解吸过程，吸收与解吸是这一工段的主要矛盾。参看图1-10，可将这一工艺流程分为两部分来叙述：

1. 吸收流程

由压缩机出口的原料气，经过油分离器后，进入铜洗塔底部，在塔内自下而上，与塔顶喷淋下来的铜液在填料上接触，以洗去气体中的有害杂质。气体中的有害成分被铜液洗去后，气体从塔顶出来，经铜液分离器除去夹带的铜液，送往合成。吸收了有害气体的铜液、温度升高，由铜洗塔底部出来，经减压阀减压送到回流塔顶部，去进行再生。

2. 再生流程

吸收了气体后的铜液经减压阀送至回流塔顶部与再生器放出来的再生气（就是被解吸出来的 CO 、 CO_2 、氨等）逆流相遇，吸收了再生气中的氨和水蒸汽并被予热，温度上升，然后从回流塔的下侧流出。根据铜液中铜比的高低，可决定由还原器底部或中部进入还原器。

还原器的作用就是创造一定的温度条件和铜液的停留时间，使在吸收过程中被氧化了的低价铜重新还原成高价铜，提高铜比，恢复铜液的吸收能力。它包括上加热器与下加热器，有两个铜液的进口，一个在上加热器的底部，另一个在下加热器的底部。铜液究竟从那一个进口入口，需要根据当时铜液中铜比的高低来决定，如果铜比较高，可以减少铜液的还原时间，铜液可由上加热器底部进口进入，如果铜比较低，铜液还原的时间需要较长，则由下加热器底部进入。并从还原器的顶部进入再生器。

再生器位于回流塔与还原器之间，铜液进入再生器后，继续由蒸汽间接加热，使铜液中残存的气体全部解析出来，即为再生气，含有 CO 、 CO_2 、 NH_3 、 H_2 、 N_2 及水蒸汽等，再生气进入回流塔，其中 NH_3 大部分被铜液吸收，一部分水蒸汽被冷凝。从回流塔的塔顶出来的再生气尾气主要是一氧化碳，经气水分离后，可送往变换工段回收利用。

再生后的铜液，从再生器下侧出来，经过化铜桶，补充总铜含量然后进入水冷器，氨冷器，利用氨的蒸发，将铜液温度进一步降低，再送入铜泵加压，由铜泵打到铜洗塔进行吸收，循环使用。

二、控制点与自动调节系统分析

实际的控制点与自动调节系统还是比较多的。在图1-10中仅取几个代表回路来说明。在此，首先要认清图上各种符号和文字所代表的意义。现把一部分符号说明如下，较详细的参见第五章有关内容。

表示参数的文字:

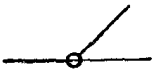
T : 温度, P : 压力, G : 流量, H : 液位。

表示功能的文字符号:

Z : 指示; J : 记录; T : 调节; X : 信号。

表1-1

图 形 符 号

名 称	符 号	名 称	符 号
检测点		气闭式气动薄膜调节阀	
节流元件		气开式气动薄膜调节阀	
变送器		带阀门定位器的角通气开调节阀	
控制室安装		手动调节阀	
机组盘与就地集中安装			

下面，我们把主要的控制回路来分析一下：

1. 铜洗塔液位控制

铜洗塔的液位为什么要进行控制？因为液位过高了，容易使气体带出铜液，引起合成塔触媒中毒或使加压机损坏，如果液位过低，失去液封作用，就会引起高压气体进入再生系统，引起爆炸事件。如果铜洗塔内液位波动很大，也会引起塔内压力的波动，所以铜洗塔内的铜液液位应保持恒定。铜洗塔液位的控制是用减压阀控制铜液的流出量达到控制液位的目的。

在自动调节系统中，减压阀是气动薄膜调节阀，常采用气开式薄膜阀代替手动阀门。 HT 表示液位调节。

2. 铜塔带液自动报警

进入铜塔的原料如果 CO_2 及 H_2S 含量太高，会使铜液中产生杂质或沉淀并使铜液粘度增加，铜液流速减慢，塔内液位升高，在这种情况下往往引起铜液带入合成塔，造成事故。轻者，影响产量；重者迫使停车处理。而这种事故的发生前后只需 1~2 分钟。为保证生产的正常进行，防止事故发生，某工厂工人老师傅设计了带液报警装置，使气体中有铜液时能立即报警。