

化工自动化

上册

化工自动化编写组 编

燃料化学工业出版社

化 工 自 动 化

上 册

化工自动化编写组

燃料化学工业出版社

内 容 简 介

“化工自动化”一书,包括四篇十一章。共分上、下两册出版。第一、二篇为上册,第一篇叙述自动调节系统的组成和过渡过程,并分析自动调节系统各组成环节的特性及其对调节质量的影响。第二篇介绍自动调节系统常用的数学方法,并应用这些方法对几种调节系统进行分析研究和整定计算。

第三、四篇为下册。第三篇主要阐述简单及复杂调节系统的方案设计方法,并分析一些典型化工单元的调节方案,同时还介绍几种新的控制方法。第四篇介绍化工自动化工程设计和调节器参数的工程整定。

本书由浙江大学、北京化工学院、上海化工学院、华东石油学院、河北化工学院和上海化工专科学校编写。具体执笔人有:周春晖、孙优贤、凌秋明、沈振闻、蒋慰孙、俞金寿、郑永基、吕明瑾、龙潜光、侯奎源等同志。由周春晖、蒋慰孙二同志审阅。

本书可供从事化工自动化和有关专业人员阅读,也可作为大专院校化工自动化专业师生的教学参考书。

化 工 自 动 化

上 册

化工自动化编写组

燃料化学工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

北 京 印 刷 八 厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

* * *

开本 $850 \times 1168^{1/32}$

印张 $10\frac{1}{4}$

字数 267 千字

印数 36,850

1973 年 11 月第 1 版

1973 年 11 月第 1 次印刷

* * *

书号 15063·2035(化-123) 定价 1.25 元

毛主席语录

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步步地爬行。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然，克服自然和改造自然，从自然里得到自由。

FC21 / 12

前 言

我们的国家是历史悠久的伟大国家，我们的人民是勤劳勇敢的伟大人民，在科学技术上，我国人民有过很多重大的发明创造。但是，解放前，在帝国主义，封建主义和官僚资本主义三座大山的压迫下，使我国科学技术长期停滞在落后状态，化工生产自动化也几乎是一个空白。解放后，在伟大领袖毛主席和中国共产党的正确领导下，在“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”总路线的指引下，我国的社会主义建设事业突飞猛进，科学技术亦得到了迅速发展，自动化技术越来越普遍地得到了应用，无论是大型化工、炼油厂或是中小型化工厂，不少工段和车间实现了集中控制。特别是通过无产阶级文化大革命和批修整风运动，从事化工自动化工作的广大工人和技术人员，认真学习马列主义、毛泽东思想，深入批判刘少奇一类骗子的修正主义路线，进一步激发了社会主义革命和建设的积极性。在毛主席关于“我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化强国”教导的鼓舞下，他们奋发图强，大搞工业仪表和自动化的群众运动，各种新型自动化技术工具不断出现，使化工自动化出现了崭新的局面。在这样一派大好形势下，为了满足广大从事化工自动化工作的工人、技术人员和大专院校工农兵学员的需要，在燃化部石油化工自动控制设计建设第三届工作会议上，由石油化工自动控制设计建设组组织浙江大学、北京化工学院、上海化工学院、华东石油学院、河北化工学院和上海化工专科学校等院校编写了《化工自动化》一书。

本书共分上、下两册，第一、二篇为上册，第三、四篇为下册。第一篇是一般性的介绍，从定性的角度讨论了自动调节系统的组成和过渡过程，从中引出了自动调节系统的基本概念，并分析了自动调节系统中各个环节的特性及其对调节质量的影响，以此作为一个入门，为学习其后各章打下一定的基础。

第二篇介绍了自动调节系统和对象的动态特性、传递函数和方块图及其应用。本篇着重阐述了分析自动调节系统的微分方程法、根轨迹法和频率法，并应用这些方法对具体的调节系统进行分析研究和整定计算，一方面使读者能够了解和应用基本方法，另一方面通过定量的计算，加深定性的概念。

第三篇的主要内容是自动调节系统的设计。本篇首先定量地分析了简单调节系统各个环节对调节质量的影响，提出了克服各种影响的具体方法和简单调节系统设计的一般原则，并列举了大量实例，从中引出各种复杂调节系统的特点和应用场合，论述了各种复杂调节系统的设计和实现方法。其次，讨论了典型化工单元的自动调节。根据“洋为中用”的方针，介绍了几种国外新的控制方法，并用实例说明了这些方法的应用。

第四篇的主要内容是化工自动化工程设计和工程整定。本篇一开始提出了工程设计的基本任务和主要内容，然后介绍了自动调节系统的投运和维护以及各种投运方法。最后，着重讨论了自动调节系统的整定，一方面提出了便于在实际应用的工程整定方法，另一方面阐述了这些工程方法的理论基础。

为了能够满足从事化工自动化工作的工业人员和大专院校工农兵学员的需要，在编写过程中在广度和深度上作了某些考虑。在广度上，从自动调节系统的基本概念、自动调节系统的分析、设计、安装、整定，直到投运、维护，对于进行一项自动化工程所需的每个步骤，都进行了介绍；在深度上，对于一般线性调节系统的分析和设计都用数学方法进行了分析。

本书在编写和调查研究过程中得到了石油化工自控设计建设组的大力支持，受到了有关工厂领导、工人和技术人员的热情接待，很多工厂还寄来了不少资料，在此表示深切感谢。

由于我们马列主义、毛泽东思想水平不高，特别是学习毛主席的哲学思想还很不够，加之时间匆促，学识浅陋，本书的缺点和错误一定很多，深切希望读者批评指正。

编 者

目 录

第一篇 化工自动化基本概念	1
第一章 化工自动化基本概念	1
第一节 自动调节系统概述	2
一、自动调节系统及其组成	2
二、自动调节系统的分类	7
第二节 自动调节系统的过渡过程	9
一、系统的静态和动态	9
二、自动调节系统的过渡过程	10
第三节 自动调节系统及其组成环节的特性	14
一、调节对象的静态特性和动态特性	14
二、测量元件及变送器的特性	23
三、气动薄膜调节阀的特性	26
第四节 调节器的调节规律及其对过渡过程的影响	28
一、双位调节	28
二、比例调节	39
三、比例积分调节	50
四、比例微分调节	57
五、比例积分微分调节	62
第二篇 自动调节系统的分析	67
第二章 对象及系统的动态特性	67
第一节 数学描述	67
一、对象的动态特性	67
二、调节器的动态特性	85
三、测量元件的动态特性	87
四、气动调节阀的动态特性	93
第二节 实验法测取动态特性	95
一、实验测试动态特性	96
二、反应曲线法测试广义对象特性	99
三、反应曲线数据处理	102
第三节 传递函数及方块图	110

一、拉氏变换	110
二、传递函数	121
三、方块图的运算和变换	131
第三章 微分方程分析方法	139
第一节 系统微分方程式的求解	139
一、系统微分方程式的列写	140
二、系统方程式的解与过渡过程曲线	146
三、线性二阶系统的标准过渡过程曲线和应用	157
第二节 调节器特性对调节质量的影响	166
一、比例作用对调节质量的影响	166
二、积分作用对调节质量的影响	172
三、微分作用对调节质量的影响	177
第四章 根轨迹分析方法	179
第一节 复数简述	180
一、复数的表示	180
二、复数四则运算	181
第二节 微分方程特征根与过渡过程的关系	183
一、正根和负根对过渡过程的影响	183
二、复数根对于过渡过程的影响	184
三、稳定条件	186
第三节 根轨迹及其分析方法	188
一、零点和极点	189
二、零点和极点与调节系统质量	191
三、调节系统质量在根平面上的表示	196
四、闭环系统的特征根	202
五、根轨迹	204
六、从闭环零点求过渡过程	219
七、零点对过渡过程的影响	222
第五章 频率特性的分析方法	233
第一节 频率特性	234
一、频率特性和传递函数的关系	234
二、频率特性的图示法	238
三、对数频率特性	243
四、对数频率特性的迭加性	250
五、调节器的频率特性	253

六、实验测试频率特性	261
第二节 频率特性的分析方法	265
一、稳定裕度	265
二、闭环系统的可控性	274
三、闭环频率特性	277
四、调节系统质量与M值的关系	285
五、调节器参数的整定	292
六、衰减频率特性	302
七、频率特性的其它形式	310

第一篇 化工自动化基本概念

第一章 化工自动化基本概念

化工自动化是化工、炼油等化工类型生产过程自动化的简称。在化工设备上，配上一些自动化装置，替代操作人员的部分直接劳动，使生产在不同程度上自动地进行，这种用自动化装置来管理化工生产过程的办法，称为化工自动化。

化工生产过程的特点是，大多数物料以液体或气体的状态，连续地在密闭的管道和塔器等内进行各种变化，它不仅有物理变化，同时伴随着化学反应。因此，严格的控制生产过程，才能更好地实现高产优质。为此必须实现自动化。况且，有的化工生产过程是高温、高压、易爆、易燃，还有的是有毒、有腐蚀性、有刺激性臭味，为了确保安全生产，改善劳动条件，保护工人身体健康，也必须实现自动化。

在我国发展化工自动化的目的，正是为了努力发展生产，以不断满足国家和人民对化工产品日益增长的需要。同时，也是为了改善操作条件，减轻工人的劳动强度。因此，在我国自动化水平的不断提高，充分体现了党和国家对劳动人民的关怀，体现了我国社会主义制度的优越性。与此完全相反，在资本主义国家里，自动化是垄断资本家剥削和压榨工人，攫取高额利润的一种残酷手段。

在我国努力发展自动化，是更好的贯彻执行建设社会主义总路线的有效措施之一，也是提高我国工、农业技术水平，彻底改变我国经济落后面貌的一个重要方面。因此，我们必须以高度的责任感来努力发展自动化事业。

本书将化工自动化分为自动调节原理、化工生产过程自动化

及化工自动化工程设计三大内容来叙述。

第一节 自动调节系统概述

一、自动调节系统及其组成

自动调节系统是在人工调节的基础上产生、发展起来的。所以，在开始介绍自动调节的时候，先分析人工操作，并与自动调节加以比较，对了解和分析自动调节系统是有裨益的。

图 1-1 所示是一个液体的贮槽，在生产上常用为一般的中间容器或成品罐。从前一工序出来的半成品或成品连续不断地流入槽中，而槽中的液体又送至下一工序进行加工或包装。我们可以

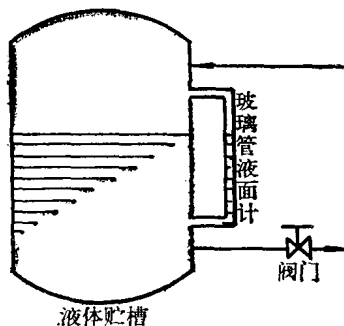


图 1-1 人工调节示意图

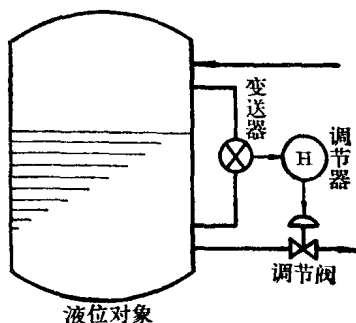


图 1-2 自动调节系统示意图

发现这一岗位的操作存在一个问题，即来料流量大的时候，就觉得贮槽容积太小，而在来料流量小的时候，又觉得出口阀门开得太大。克服上述这个矛盾最简单的办法，是以贮槽液位为操作指标，以改变出口阀门开度为调节手段，当液位上升时，可将出口阀门开大，液位上升越多，阀门开得越大；反之，当液位下降时，则关小出口阀门，液位下降越多，阀门关得越小。为了使贮槽液位上升及下降都有足够的余地，选择玻璃管液位计的中点为正常工作时的液位高度并保持不变。这样就不会有贮槽过满而溢流至槽外，或使贮槽抽空事故。归纳起来，操作人员所进行的工作是：

①观察玻璃管液位计的指示值；②将指示值与液位计中点刻度比

较并算出两者的差值；③当指示值偏高时则开大出口阀门，而在指示值偏低时则关小出口阀门，阀门改变的量与计算出来的偏差成一定关系，如比例关系；④将上述三步工作不断重复下去，直至液位指示值回到液位计中点高度为止。这个过程就叫做调节。图 1-1 中调节的指标是液位，所以也叫做液位调节。由人来直接进行调节的工作，就叫做人工调节。假若用一个自动化装置来代替上述人工操作，就叫做液位自动调节。液体贮槽和自动化装置一起的全部设备，构成了一个自动调节系统，如图 1-2 所示。由图可知，自动化装置包括三个部分。第一部分是测量贮槽液位并能将液位的高低用一种特定的信号(如气压、电流或机械位移等)表示出来的仪器，这个仪器叫做测量元件和变送器。测量元件是指测出液位高低的装置。假若测量元件发出的信号与后面仪器所要求的信号不相符合时，则需增加一个将测量信号变换为后面仪器所需要信号类型的装置，叫做变送器；第二部分是自动调节器，即根据变送器送来的信号，与工艺上需要保持的液位高度加以比较，按已经设计好的运算规律算出结果，然后将此结果用特定的信号(气压、电流等)发送出去；第三部分是调节阀，它和普通阀的功能一样，只不过它能自动地根据调节器送出来的信号值改变阀门的开启度。当一套自动化装置具有这三部分仪器后，上述人工调节的工作就能由自动化装置所代替。

自动调节系统中的工艺生产设备，如上例中的液体贮槽，叫做调节对象或简称对象。而生产中要求保持不变的工艺指标，如上例中的液位高度，称为给定值。

在研究自动调节系统时，为了能更清楚地表示出一个自动调节系统各个组成环节之间的相互影响和信号联系，一般都用方块图来表示调节系统的组成。例如图 1-2 的液位自动调节系统可以用图 1-3 的方块图来表示。每个方块表示组成系统的一个环节，两个方块之间用一条带有箭头的线条表示其相互关系，箭头表示进入还是离开这个方块，线上的字母表示相互间的作用信号。

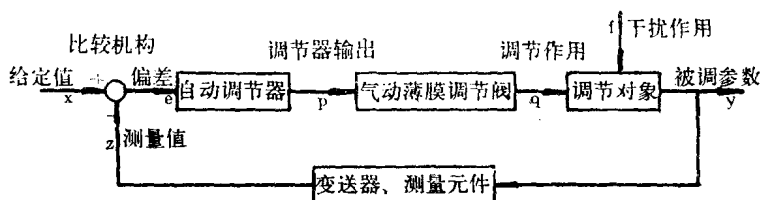


图 1-3 自动调节系统方块图

图 1-2 中的贮槽可用一个“对象”方块来表示，其液位就是生产过程中所要保持定值的参数，在自动调节系统中称为被调参数，这里用 y 来表示。在方块图中，被调参数就是对象的输出信号。在本例中影响被调参数液位的因素来自进料流量的改变，这种引起被调参数波动的外来因素在自动调节系统中称为干扰作用，在方块图中用 f 表示。干扰作用是作用于对象的输入信号，所以箭头是指向对象的。与此同时，出料流量的改变是由于调节阀动作所致，如果用一方块表示调节阀，那么，出料流量即为“调节阀”方块的输出信号，出料流量的变化也是影响液位的因素，所以也是作用于对象的输入信号，它在方块图中把调节阀和对象联接在一起。贮槽液位信号是测量元件及变送器的输入，而变送器的输出信号 z （如气动液面变送器的输出风压）进入比较机构，与给定值信号 x 进行比较，得到偏差信号 e （ $e = x - z$ ），并被送往调节器。比较机构实际上是调节器的一个部分，不是独立的元件，在图中把它单独画出来为的是说明其比较作用。调节器按照偏差信号 e ，发出信号 p （如气动调节器的输出风压变化），送至调节阀，使阀动作来克服干扰的影响，阀的输出 q 的变化称为调节作用。具体实现调节作用的参数叫做调节参数，如图 1-2 中流过调节阀的出料流量就是调节参数。

由上述可知，干扰作用是破坏系统平衡状态、引起被调参数发生变化的外界因素。干扰是客观存在不可避免的，例如生产过程中前后工序的相互影响、负荷的变化、电压、气压的波动、气候的影响等等。在化工生产过程中，大多数调节对象往往有数种

干扰作用同时存在。干扰作用进入系统的位置、形式、幅度大小和频繁程度的不同，对被调参数的影响都不同，这方面的内容将在本书下册第六章介绍。

在生产中干扰的出现是没有固定形式的，但多半属于随机性质。在分析和设计工作中，为了安全和方便，常假设一些定型的干扰形式，其中最常用的是阶跃干扰作用，如图 1-4 所示。阶跃干扰作用对被调参数的影响最大，它是一个突变作用，而且一经加上以后就持续下去不再消除。所以，它常被视为最不利的干扰作用形式。如果一个系统能够很好地克服主要干扰的阶跃形式影响，那末其他形式和其他干扰的影响就不难克服。

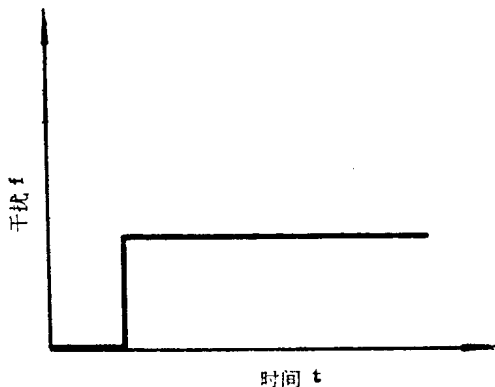


图 1-4 阶跃干扰作用

方块图一般不包括二次仪表。图 1-3 的方块图是一种基本的形式，代表一般单参数或简单调节系统。多参数调节系统的方块图要比较复杂一些，在第七章中再介绍。

方块图中的每一个方块都代表一个具体的实物。有的方块是单方向作用的，也就是方块的输入会影响输出，但输出不会反过来影响输入，如测量元件、变送器及调节阀等都是这样。

值得指出的是一个自动调节系统中，只要有一个方块是单方向性的，那末整个系统就具有单方向性。所以自动调节系统都是不能逆向动作的。还需注意的是，方块与方块之间的联接线，只

是代表方块之间的联接信号，并不代表方块之间的物料联系，方块之间联接线的箭头也只是代表信号作用的方向，与工艺流程图上的线不同。工艺图上的线条是代表物料从一个设备流动到另一个设备。对于调节阀来说，它控制着流体的流量（即调节参数），从而把调节作用送到调节对象去克服干扰的影响，以维持被调参数在给定值上。调节阀所控制的流体可能是流入对象的，也可能是流出对象的。在图 1-2 的系统中，调节阀所控制的流体是从对象流出来的，而在图 1-3 中却表示为从调节阀到对象去的一条带箭头的线，这就说明方块图上的线只是代表施加到对象的调节作用，而不是具体通过调节阀的流体。如果这个物料确实是流入对象中去的，那末信号和流体的方向及作用都一致。

从图 1-3 的方块图可以看出，自动调节系统中任何一个信号沿着箭头的方向前进，最后又会回到原来的起点。从信号的角度来说，图 1-3 有一个闭合的回路，所以叫做闭环系统。再看图 1-3 中，系统的输出参数是被调参数，但是它经过测量元件和变送器后，又返回到系统的输入端，与给定值相比较。这种把系统（或方块）的输出信号又引回到输入端的做法叫做反馈。从图 1-3 还可以看到，在反馈信号 z 旁有一个负号“-”，而在给定值信号 x 旁有一个正号“+”，这里正和负的意思是在比较时，以 x 作为正值，以 z 作为负值，也就是到调节器的偏差信号是 $e = x - z$ 。因为图 1-3 中的反馈信号 z 总是按其值的负数来考虑的，所以叫做负反馈。假若不是用反馈的负值，而是用反馈的正值，那末就叫做正反馈。在这种情况下，方块图中反馈信号 z 旁则要用正号“+”，同时偏差 $e = x + z$ 。在自动调节系统中都采用负反馈，因为当被调参数 y 受到干扰的影响而升高时，反馈信号 z 将高于给定值 x ，经过比较而到调节器去的偏差信号 e 将为负值，此时调节器将发出信号而使调节阀动作，其作用方向为负，即使被调参数下降，这样就达到了调节的目的。设想如若采用了正反馈的形式，那末调节作用不仅不能克服干扰的影响，反而是推波助澜，即当被调参数增高时， z 亦增高，调节阀的动作方向为正，即使

被调参数上升，因此只要有一点微小的偏差，调节作用就会使偏差越来越大，直至被调参数超过了安全范围而破坏生产。所以调节系统绝不能单独采用正反馈。

自动调节系统是具有被调参数负反馈的闭环系统，它与自动测量、自动操纵和自动信号报警等开环系统有着本质的差别，关键就在于调节系统有负反馈。图 1-5 所示是一个开环系统的方块图。如化肥厂的造气自动机就是典型开环系统的例子。自动机在操作的时候，不管煤气发生炉有气或无气，甚至炉子灭火也不管，自动机仍然是周而复始地运转不停。自动机不能“了解”炉子的情况，这是开环系统的缺点。反过来说调节系统具有负反馈就是它的优点，它可以随时了解调节对象的情况，有针对性地而不是盲目地进行调节。

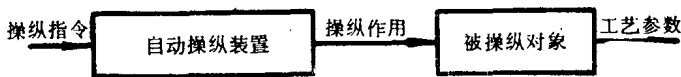


图 1-5 自动操纵系统方块图

二、自动调节系统的分类

自动调节系统有多种分类方法，可以按工艺参数如压力、流量、温度等分类，也可以按调节规律等分类。每一种分类方法都只反映了自动调节系统的某一个特点。但是，在分析自动调节系统特性时，给定值的形式不同会涉及到不同的分析方法，所以宜将调节系统按给定值的不同情况来分类，这样可将自动调节系统分为三类，即定值调节系统、随动调节系统和程序调节系统。

(一)定值调节系统

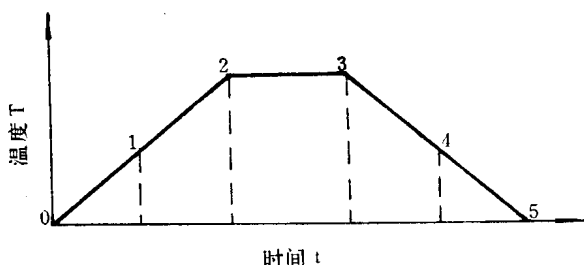
所谓定值就是恒定给定值的简称。工艺生产中要求调节系统的被调参数保持在一个生产技术指标上不变，这个技术指标就是给定值。化工生产中大多要求这种类型的系统，因此后面的章节主要讨论定值调节系统。

(二)随动调节系统(也称跟踪系统)

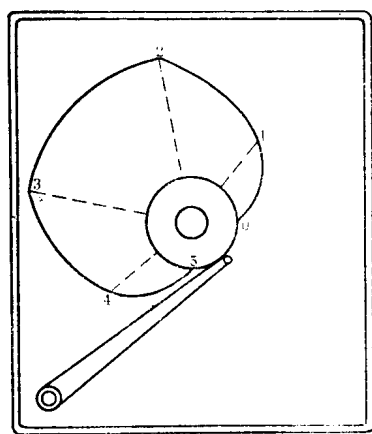
这类系统的特点是给定值在不断地变化，并要求系统的输出跟着变化。如各种变送器均可看作一个随动系统，它的输出（指示值）应严格地及时地随着输入（被测值）而变化，这样才能既测得准又测得快。

（三）程序调节系统

这类系统的给定值也是变的，但它是一个已知的时间函数，即生产技术指标需按一定的时间程序变化。如合成纤维锦纶生产中的熟化罐温度调节和冶金工业金属退火炉的温度调节等都是这类系统的例子，在一般化工生产中较少碰到程序调节的要求。这



(a) 时间程序曲线



(b) 时间程序给定凸轮

图 1-6 程序给定示意图