

高 职 高 专 规 划 教 材

化工仪表自动化

王 强 主 编

任丽静 主 审



化学工业出版社

高 职 高 专 规 划 教 材

化工仪表自动化

王 强 主编

保生强 周迎红 副主编

任丽静 主审



化学工业出版社

· 北 京 ·

《化工仪表自动化》基于生产实际和工程应用,以实验形式引出背景知识,简明扼要地介绍了化工过程控制系统的基本知识和过程检测仪表、执行器、控制器等基础知识,并配有典型的应用实例。

《化工仪表自动化》可作为职业院校和成人继续教育化工类专业相关课程的教材,也可作为化工、炼油、冶金、轻工等相关企业的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

化工仪表自动化/王强主编. —北京:化学工业出版社,
2016.2
高职高专规划教材
ISBN 978-7-122-25899-1

I. ①化… II. ①王… III. ①仪工仪表-高等职业
教育-教材②化工过程-自动控制系统-高等职业教育-教
材 IV. ①TQ056

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 306532 号

责任编辑:刘 哲
责任校对:宋 玮

装帧设计:韩 飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 9 $\frac{3}{4}$ 字数 236 千字 2016 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

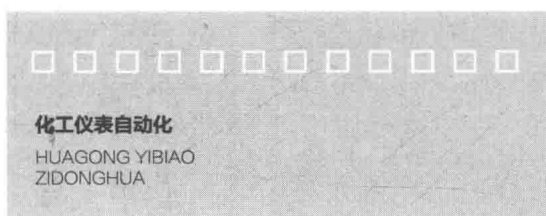
购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:25.00 元

版权所有 违者必究



生产与生活的自动化是人类长久以来所梦寐以求的目标。随着石油化工生产装置的日趋大型化、连续化，企业对生产过程参数自动检测和控制的要求越来越高，现代化工企业急需提高仪表专业技术人员及维修人员的综合素质，以适应生产装置自动化程度不断提高的需求。

本书基于生产实际和工程应用，简明扼要地介绍了化工过程控制系统的基本知识和过程检测仪表、执行器、控制器等基础知识，并配有典型的应用实例。通过基于“工学结合”的课程改革，将学习过程与工作过程联系起来，使学生不再一味地为储备知识而被动学习，即“学中做、做中学”，真正落实职业教育的课程标准，强化职业教育的特色，通过集“教、学、做”于一体的训练，使学生掌握化工仪表自动化的综合技能。

本书可作为职业院校和成人继续教育的化工类专业相关课程的教材，也可作为化工、炼油、冶金、轻工等相关企业的培训教材。

本书由东营职业学院王强任主编，河北化工医药职业技术学院任丽静主审，保生强、周迎红任副主编。具体编写分工如下：王强编写项目一；张艳阳编写项目二；周迎红编写项目三；刘海燕编写项目四；张佳佳编写项目五；李雪梅编写项目六；保生强编写项目七；东营技师学院崔树芹编写项目八；和利时自动化有限公司王跃芹编写项目九；利华益集团张永刚编写项目十；海科集团巩增利编写项目十一。全书统稿工作由王强完成。

由于编者水平有限，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编者

2015 年 11 月

绪论

1

项目一 认识自动控制系统

4

- 任务一 自动控制系统的组成 4
- 任务二 自动控制系统的方块图 5
- 任务三 过渡过程和品质指标 9

项目二 执行器

14

- 任务一 气动薄膜调节阀的调校 14
- 【相关知识】 21
 - 1. 气动执行器的组成与分类 21
 - 2. 控制阀的选择 25
 - 3. 气动执行器的安装和维护 26
 - 4. 实验原理 27
- 任务二 一阶单容上水箱对象特性测试实验 28
- 【相关知识】 30
 - 1. 电动执行器的特点 30
 - 2. 电动执行器的组成 30
 - 3. 电动执行器的类型 30
- 【思考题】 31

项目三 压力检测

32

- 任务一 压力表的校验 32
- 【相关知识】 34
 - 1. 弹性式压力计 35
 - 2. 电气式压力计 36
- 任务二 智能式差压变送器 39
- 【相关知识】 41

1. 智能差压变送器的特点	41
2. 智能差压变送器的结构原理	41
3. 压力计的选用及安装	43

项目四 流量检测 45

任务一 转子流量计	45
【相关知识】	47
1. 工作原理	47
2. 电远传式转子流量计	48
任务二 孔板流量计流量	48
【相关知识】	51
1. 节流现象与流量基本方程式	51
2. 标准节流装置	51
3. 力矩平衡式差压变送器	52
4. 差压式流量计的测量误差	54
任务三 漩涡流量计	57
【相关知识】	59
【思考题】	60

项目五 物位测量仪表 61

任务一 二阶双容下水箱对象特性测试实验	61
【相关知识】	64
1. 基本概念	64
2. 物位检测仪表的分类	64
3. 常用物位检测仪表	66
任务二 上水箱液位 PID 整定实验	68
【相关知识】	71
1. 浮力式液位计	71
2. 电容式物位计	73
3. 超声式物位计	74
4. 雷达物位计	75
5. 物位开关	75
6. 物位仪表的选用与安装	76

项目六 温度检测及仪表 79

任务一 热电偶的校验	79
【相关知识】	80

1. 温度检测的基本知识	80
2. 温度检测方法	81
3. 识读温度检测仪表	82
4. 热电偶温度计	82
5. 热电阻测温仪表	85
任务二 锅炉内胆温度二位式控制实验	85
【相关知识】	88
1. 电子自动电位差计	88
2. 电子自动平衡电桥	89

项目七 PLC应用

91

任务 电动机的正反转控制	91
【相关知识】	93
1. PLC 的基本构成	93
2. 型号及其含义	98
3. 扩展模块、特殊单元的连接	99
4. PLC 扩展模块、特殊单元选型	99
5. PLC 的分类	102
6. I/O 点的类别、编号及使用说明	102
7. PLC 软元件	104
8. GX Develop 编程软件操作界面图介绍	104
9. 编写电动机正反转的 PLC 控制程序	106
10. FX2N 系列 PLC 的基本指令	110

项目八 简单控制系统

111

任务一 简单控制系统设计原则	111
任务二 简单控制系统的投运及控制器参数的工程整定	113
任务三 单回路控制系统工程设计实例	114
【思考题】	115

项目九 复杂控制系统

116

任务一 串级控制系统	116
任务二 比值控制系统	117
任务三 前馈控制系统	118
任务四 均匀控制系统	119
任务五 分程控制系统	120

【思考题】	122
-------------	-----

项目十 典型化工单元控制方案举例	124
------------------------	-----

任务一 离心泵的控制方案	124
--------------------	-----

任务二 压气机的控制方案	125
--------------------	-----

任务三 精馏塔的控制方案	127
--------------------	-----

【思考题】	130
-------------	-----

项目十一 催化裂化装置控制系统	132
-----------------------	-----

任务一 工艺流程	132
----------------	-----

任务二 主要设备及控制指标	134
---------------------	-----

参考文献	148
------------	-----

绪论

20 世纪 40 年代以前，绝大多数化工生产处于手工操作状况，操作工人根据反映主要参数的仪表指示情况，用人工来改变操作条件，生产过程单凭经验进行，效率低，花费庞大。20 世纪 50 年代到 60 年代，人们对化工生产各种单元操作进行了大量的开发工作，使得化工生产过程朝着大规模、高效率、连续生产、综合利用方向迅速发展。20 世纪 70 年代以来，化工自动化技术水平得到了很大的提高。70 年代，计算机开始用于控制生产过程，出现了计算机控制系统。80 年代末至 90 年代，现场总线和现场总线控制系统得到了迅速的发展。

加快生产速度，降低生产成本，提高产品产量和质量；减轻劳动强度，改善劳动条件；保证生产安全，防止事故发生或扩大，达到延长设备使用寿命、提高设备利用率、保障人身安全的目的。生产过程自动化的实现，能根本改变劳动方式，但要提高操作者文化技术水平，以适应当代信息技术革命和信息产业革命的需要。

检测与过程控制仪表（通常称自动化仪表）分类方法很多，根据不同原则可以进行相应的分类，例如按仪表所使用的能源分类，可以分为气动仪表、电动仪表和液动仪表（很少见）；按仪表组合形式，可以分为基地式仪表、单元组合仪表和综合控制装置；按仪表安装形式，可以分为现场仪表、盘装仪表和架装仪表；随着微处理机的蓬勃发展，根据仪表有否引入微处理机（器），又可以分为智能仪表与非智能仪表；根据仪表信号的形式，可分为模拟仪表和数字仪表。

检测与过程控制仪表最通用的分类是按仪表在测量与控制系统中的作用进行划分，一般分为检测仪表、显示仪表、调节（控制）仪表和执行器四大类。检测仪表包括各种参数的测量和变送，显示仪表包括模拟量显示和数字量显示，控制仪表包括气动、电动控制仪表及数字式控制器，执行器包括气动、电动、液动等执行器。

检测仪表根据其被测变量不同，根据化工生产的五大参数，又可分为温度检测仪表、流量检测仪表、压力检测仪表、物位检测仪表和分析仪表（器），参见图 0-1。

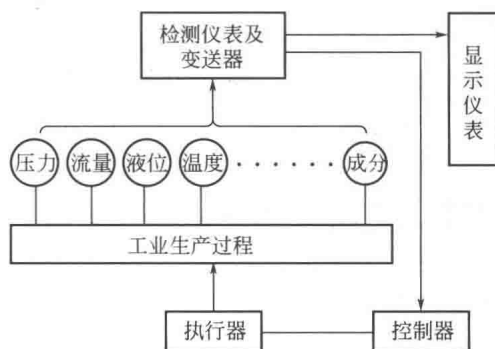


图 0-1 检测仪表分类示意图

化工仪表及自动化系统的分类按功能不同，分为四类。

(1) 自动检测系统

利用各种仪表对生产过程中主要工艺参数进行测量、指示或记录的部分（图 0-2、图 0-3），其作用是对过程信息的获取与记录。

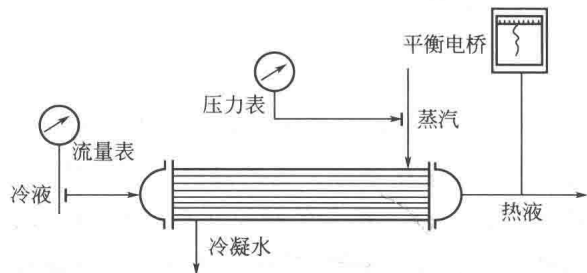


图 0-2 热交换系统的自动检测装置

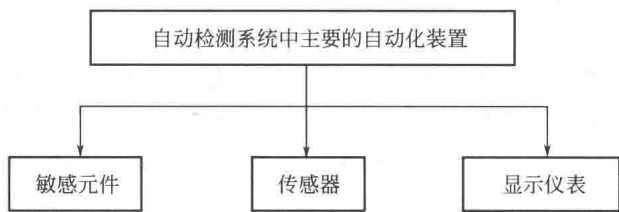


图 0-3 自动检测系统方框图

敏感元件对被测变量做出响应，把它转换为适合测量的物理量。传感器对检测元件输出的物理量信号做进一步信号转换。显示仪表将检测结果以指针位移、数字、图像等形式，准确地指示、记录或储存。

(2) 自动信号和联锁保护系统

对某些关键性参数设有自动信号联锁保护装置，是生产过程中的一种安全装置。自动信号联锁保护电路按主要构成元件不同分类，有触点式、无触点式两类。

(3) 自动操纵及自动开停车系统

自动操纵系统可以根据预先规定的步骤，自动地对生产设备进行某种周期性操作。自动开停车系统可以按照预先规定好的步骤，将生产过程自动地投入运行或自动停车。

(4) 自动控制系统

对生产中某些关键性参数进行自动控制，使它们在受到外界干扰的影响而偏离正常状态时，能自动地调回到规定的数值范围内。

通过本门课程的学习，应能了解主要工艺参数（温度、压力、流量及物位）的检测方法及其仪表的工作原理及特点：

- ① 能根据工艺要求，正确地选用和使用常见的检测仪表及控制仪表；
- ② 能了解化工自动化的初步知识，理解基本控制规律，懂得控制器参数是如何影响控制质量的；

- ③ 能根据工艺的需要，和自控设计人员共同讨论和提出合理的自动控制方案；
- ④ 能为自控设计提供正确的工艺条件和数据；
- ⑤ 能在生产开停车过程中，初步掌握自动控制系统的投运及控制器的参数整定；
- ⑥ 能了解检测技术和控制技术的发展趋势和最新发展动态。

项目一

认识自动控制系统

任务一 自动控制系统的组成

自动控制系统是在人工控制的基础上产生和发展起来的,所以,在开始介绍自动控制的时候,先分析人工操作,并与自动控制加以比较,对分析和了解自动控制系统是有裨益的。

图 1-1(a) 所示是一个液体储槽,储槽液位是一个重要控制指标,液位上升则需要开大阀门,液位下降时则需要关小阀门。要使液位上升和下降有明显的指示,需要选择玻璃管液位计指示中间某一段为正常工作时的液位高度范围,操作人员可通过改变出口阀门开度而使液位保持在这一高度范围内。操作人员所进行的工作主要包括三方面:检测、运算和执行。这三个作用主要靠眼、脑、手三个器官完成。由于人工控制受到人的生理上的限制,因此在控制速度和精度上都满足不了大型现代化生产的需要。为了提高控制精度和减轻劳动强度,可用一套自动化装置来代替上述人工操作,这样就由人工控制变为自动控制了。液体储槽和自动化装置一起构成了一个自动控制系统,如图 1-2 所示。

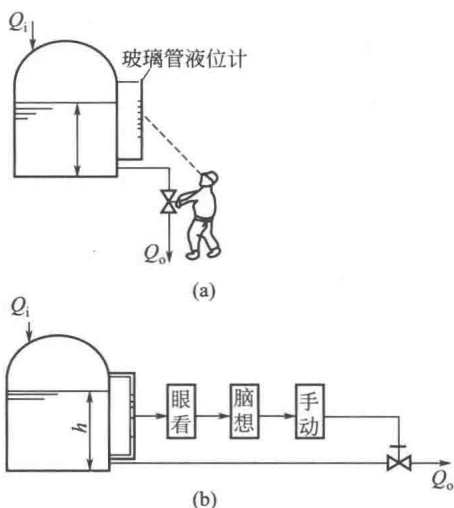


图 1-1 人工操作图

自动化装置一般至少应包括三个部分,分别用来模拟人的眼、脑和手的功能,如图 1-2 所示。自动化装置的三个部分分别如下。

(1) 测量元件及变送器

它的功能是测量液位并将液位的高低转化为一种特定的、统一的输出信号(如气压信号

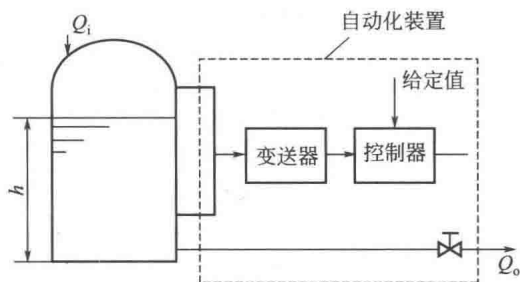


图 1-2 液位自动控制示意图

或电压、电流信号等)。

(2) 自动控制器

它接受变送器送来的信号，与工艺需要保持的液位高度相比较，得出偏差，并按某种运算规律算出结果，然后将此结果用特定信号（气压或电流）发送出去。

(3) 执行器

通常指控制阀，它与普通阀门的功能一样，只不过它能自动地根据控制器送来的信号值来改变阀门的开启度。

显然，这套自动化装置具有人工控制中操作人员的眼、脑、手的部分功能。因此，它能完成自动控制储槽中液位高低的任务。

在自动控制系统中除了必须具有自动化装置外，还必须具有控制装置所控制的生产设备。在自动控制系统中，将需要控制其工艺参数的生产设备或机器称为被控对象，简称对象。图 1-2 所示的液体储槽就是这个液位控制系统的被控对象。

任务二 自动控制系统的方块图

1. 信号和变量

控制与信息不可分割，控制系统的作用是通过信息的获取、变换或处理来实现的，载有变量信息的物理变量就是信号，因此，控制系统的全部命题都涉及信号流。对控制系统或其组成环节来说，输入变量、输出变量和状态变量都是变量，也都是信号。

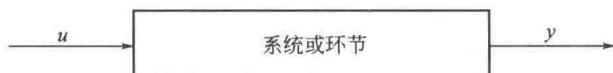


图 1-3 方块示意图

图 1-3 的方块可以用来表示系统或某一个环节，箭头指向方块的信号 u 表示施加到系统或环节上的独立变量，称为输入变量；箭头离开方块的信号表示系统或环节送出的变量，称为输出变量。如果一个系统同时有几个输入变量和几个输出变量，则称为多输入多输出系统，如图 1-4 所示。

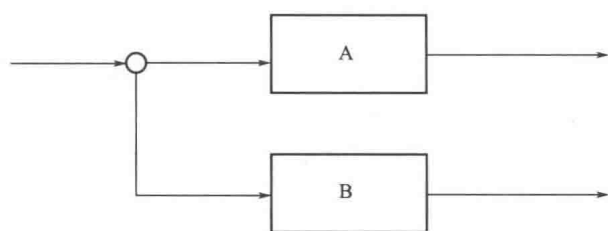


图 1-4 信号分叉点

2. 自动控制系统方框图

在研究自动控制系统时，为了便于分析研究，一般用方块图来表示控制系统的组成。图 1-5 为自动控制系统的方块图，每个方块表示组成系统的一个部分，称为“环节”，方块内填入表示其自身特性的数学表达式或文字说明。两个方块之间用一条带有箭头的线条表示其信号的相互关系，箭头指向方块表示这个环节的输入，箭头离开方块表示这个环节的输出。线旁的字母表示相互间的作用信号。

用图 1-5 来表示图 1-2 所示的液位自动控制系统，其中的“对象”方块就表示图 1-2 中的储槽。在自动控制系统中，被控对象需要加以控制（一般是需要恒定）的变量，称为被控变量，图中用 y 来表示，在本控制系统中就是液位 h 。在方块图中，被控变量 y 就是对象的输出变量。影响被控变量 y 的因素来自进料流量的改变，这种引起被控变量波动的外来因素，在自动控制系统中称为干扰作用，用 f 表示。干扰作用 f 是作用于对象的输入变量。与此同时，出料流量的改变是由于控制阀动作所致，如果用一方块表示控制阀，那么出料流量即为“控制阀”方块的输出变量。出料流量的变化也是影响液位变化的因素，所以也是作用于对象的输入变量。出料流量 q 在方块图中把控制阀和对象连接在一起。

方块图 1-5 中， x 为给定值； z 为输出信号； e 为偏差信号； p 为发出信号； q 为出料流量信号； y 为被控变量； f 为扰动作用。当 x 取正值， z 取负值时， $e = x - z$ ，负反馈；当 x 取正值， z 取正值时， $e = x + z$ ，正反馈。

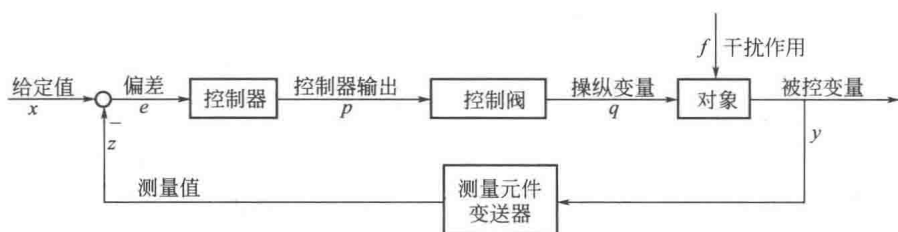


图 1-5 自动控制系统方块图

储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 进入比较机构（或元件），与工艺上希望保持的被控变量值，即给定信号 x 进行比较，得到偏差信号 e ($e = x - z$)，并送往控制器。比较机构实际上是控制器的一个组成部分，不是一个独立的元件，在图中把它以相加（减）点形式单独画出来（一般方块图中是以 $\bigcirc$ 或 $\otimes$ 表示的），为的是能更清楚地说明其比较作用。控制器根据偏差信号 e 的大小，按一定的规律运算后，发出控制信号 p 送至控制阀，使控制阀的开度发生变化，从而改变出料流量以克服干扰对被控变量（液位）的影响。控制阀输出 q 的变化实现控制作用。具体实现控制作用的参数叫做操纵变

量,图 1-5 中流过控制阀的出料流量就是操纵变量。用来实现控制作用的物料一般称为调节介质或调节剂,上述中流过控制阀的流体就是调节介质。

用同一种形式的方块图可以代表不同的控制系统。例如图 1-6 所示的蒸汽加热器温度控制系统,当进料流量或温度变化等因素引起出口物料温度变化时,可以通过温度变送器 TT 测得温度变化并将输出信号送至温度控制器 TC。温度控制器的输出送至控制阀,以改变加热蒸汽量来维持出口物料的温度始终等于给定值。这个控制系统同样可以用图 1-5 所示的方块图表示。这时的被控对象是加热器,被控变量 y 是出口物料的温度。干扰作用 f 是进料流量、温度的变化等。而控制阀的输出信号即控制作用 q 是加热蒸汽量的变化。在这里,加热蒸汽是调节介质或调节剂。

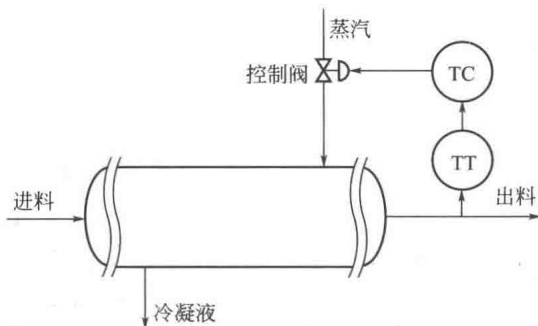


图 1-6 蒸汽加热器温度控制系统

综上所述,所谓自动控制系统的方块图,就是从信号流的角度出发,将组成自动控制系统的各个环节用信号线相互连接起来的一种图形。在已定的系统构成内,对于每个环节来说,信号的作用都是有方向性的,不可逆置。在方块图中,信号的方向由连接方块之间的信号线箭头来表示。

为了便于分析,有时将控制器以外的各个环节(包括被控对象、测量元件及变送器、控制阀)组合在一起看待,称之为广义对象。这样,整个系统可认为是由控制器与广义对象两者所构成,其方块图可简化为图 1-7。

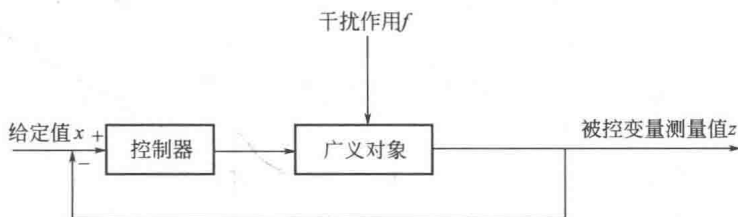


图 1-7 简化方块图

在控制流程图中,用来表示仪表的小圆圈的上半圆内,一般写有两位(或两位以上的)字母,第一位字母表示被测变量,后继字母表示仪表的功能,常用被测变量和仪表功能的字母代号见表 1-1。

3. 反馈

组成自动控制系统的各个环节在信号传递关系上都形成一个闭合的回路。其中任何一个信号,只要沿着箭头方向前进,通过若干个环节后,最后又会回到原来的起点。所以,自动

表 1-1 被测变量和仪表功能的字母代号

字母	第一位字母		后继字母
	被测变量	修饰词	功能
A	分析	差	报警
C	电导率		控制(调节)
D	密度		检测元件
E	电压		
F	流量	比(分数)	指示
I	电流		
K	时间或时间程序	积分、累积	自动—手动操作器
L	物位		积分、累积
M	水分或湿度		
P	压力或真空		
Q	数量或件数	安全	记录或打印
R	放射性		开关、联锁
S	速度或频率		传送
T	温度		阀、挡板、百叶窗
V	黏度	安全	套管
W	力		继电器或计算器
Y	供选用		驱动、执行或未分类的终端执行机构
Z	位置		

控制系统是一个闭环系统。

自动控制系统之所以是一个闭环系统，是由于反馈的存在。由图 1-5 可以看出，系统的输出变量是被控变量，但是它经过测量元件和变送器后，又返回到系统的输入端，与给定值进行比较。这种把系统（或环节）的输出信号直接或经过一些环节重新返回到输入端的做法叫做反馈。从图 1-5 还可以看到，在反馈信号 z 旁有一个负号“ $-$ ”，而在给定值 x 旁有一个正号“ $+$ ”（也可以省略），这里正和负的意思是在比较，以 x 作为正值， z 作为负值，也就得到控制器的偏差信号 $e = x - z$ 。因为图 1-5 中的反馈信号 z 取负值，所以叫做负反馈，负反馈信号与原来的信号方向相反。如果反馈信号取正值，反馈信号与原来的信号方向相同，那么就叫做正反馈。自动控制系统中都采用负反馈。因为只有负反馈，才能在被控变量 y 受到干扰的影响而升高时，使反馈信号 z 也升高，经过比较而到控制器去的偏差 e 将降低，此时控制器将发出信号，使控制阀的开度发生变化，变化的方向为负，从而使被控变量下降回到给定值，这样就达到了控制的目的。所以控制系统不能单独采用正反馈。

综上所述，自动控制系统是具体被控变量负反馈的闭环系统。它与自动测量、自动操纵等开环系统比较，最本质的区别在于控制系统有无负反馈存在。图 1-8 是自动操纵系统的方块图。



图 1-8 自动操纵系统方块图

4. 自动控制系统的分类

自动控制系统有多种分类方法，可以按被控变量来分类，如温度、压力、流量、液位等控制系统；也可以按控制器具有的控制规律来分类，如比例、比例积分、比例微分、比例积

分微分等控制系统。

在分析自动控制系统特性时，经常遇到的是将控制系统按照工艺过程需要控制的被控变量的给定值是否变化和如何变化来分类，这样可将自动控制系统分为三类，即定值控制系统、随动控制系统和程序控制系统。

(1) 定值控制系统

所谓“定值”，就是恒定给定值的简称。工艺生产中，若要求控制系统的作用是使被控制的工艺参数保持在一个生产指标上不变，或者说要求被控变量的给定值不变，就需要采用定值控制系统。

(2) 随动控制系统（自动跟踪系统）

这类系统的特点是给定值随机变化，随动系统的目的就是使所控制的工艺参数准确而快速地跟随给定值的变化而变化。

(3) 程序控制系统（顺序控制系统）

这类系统的给定值也是变化的，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。这类系统在间歇生产过程中应用比较普遍。

任务三 过渡过程和品质指标

1. 控制系统的静态与动态

在自动化领域中，把被控变量不随时间而变化的平衡状态称为系统的静态，而把被控变量随时间变化的不平衡状态称为系统的动态。

当一个自动控制系统的输入（给定和干扰）和输出均恒定不变时，整个系统就处于一种相对稳定的平衡状态，系统的各个组成环节如变送器、控制器、控制阀都不改变其原先的状态，它们的输出信号也都处于相对静止状态，这种状态就是静态。值得注意的是，这里所指的静态与习惯上的静止是不同的。习惯上所说的静止是指静止不动（当然是相对静止），而在自动化领域中的静态是指系统中各信号的变化率为零，即信号保持在某一常数不变化，而不是指物料不流动或能量不交换。

自动控制的目的是希望将被控变量保持在一个不变的给定值上，这只有当进入被控对象的物料量（或能量）和流出对象的物料量（或能量）相等时才有可能。

假若一个系统原先处于相对平衡状态即静态，由于干扰作用破坏了这种平衡时，被控变量就会发生变化，从而使控制器、控制阀等自动化装置改变原来平衡时所处的状态，产生一定的控制作用来克服干扰的影响，并力图使系统恢复平衡。从干扰发生开始，经过控制，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信号都处于变动状态之中，这种状态叫做动态。

在自动化工作中，了解系统的静态是必要的，但是了解系统的动态更为重要。因为在生产过程中，干扰是客观存在的，是不可避免的，例如生产过程中前后工序的相互影响、负荷