

# 第四篇 仪表篇

## 第一章 自动控制系统基本概念

化工自动化是化工、炼油、食品、轻工等化工类型生产过程自动化的简称。在化工设备上配备一些自动化装置，代替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。

自动化是提高社会生产力有力工具之一。

实现化工生产过程自动化的目的：

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、改善劳动的条件、降低劳动成本。

保证生产安全、防止事故发生或扩大、延长设备使用寿命、提高设备利用能力。

自动化的发展

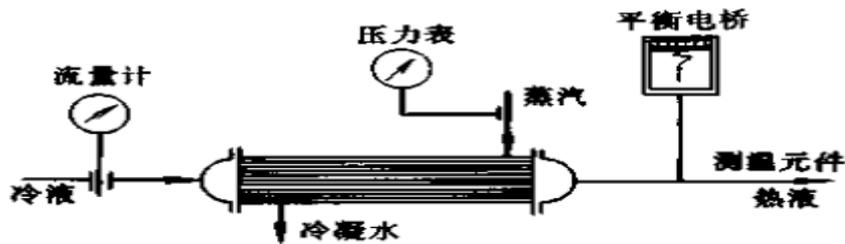
### 第一节 化工自动化的主要内容

主要包括：自动检测、自动保护、自动操纵和自动控制（调节）

（一）自动检测系统：

利用各种检测仪表对主要工艺参数进行测量、指示或记录、代替了操作人员对工艺参数的不断观察与记录，起的作用是人的眼睛。

图 4—1 换热器（热交换器）自动检测系统图



（二）自动信号和连锁保护系统

工艺参数超出允许的变化范围而出现不正常情况就有引起事故的可能，为此对某些关键性参数设有自动信号连锁装置，当工艺参数超过了允许范围，在事故即将发生之前，信号系统就自动地发出声光信号，告诫操作人员注意，并及时采取措施。如工况已达到危险状态时，连锁系统立即自动采取紧急措施，打开安全阀或切断某些通路，必要时紧急停车，以防止事故的发生和扩大。

（三）自动操作及自动开停车系统

就是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，也称为程序控制系统。

自动开停车系统就是按照预先规定的步骤，将生产过程自动投入运行或停车。

（四）自动控制系统生产过程中各种工艺条件不可能是一成不变的。特别是化工

生产，大多是连续性生产，各设备相互关联着，当其中某一设备的工艺条件发生变化时，都可能引起其他设备中某些参数或多或少地波动，偏离了正常的工艺条件。为此就需要用一些自动控制装置，对生产中某些关键性参数进行自动控制，是他们在受到外界干扰（扰动）的影响而偏离正常状态，能自动控制而回到规定的数值范围内，为此目的而设置的系统就是自动控制系统。

## 第二节 自动控制系统的组成

### （一）组成

- 1) 测量元件与变送器—它的功能是测量物料当前的某种物理特性值，并将此值转化为一种特定的，统一的输出信号（如气压信号或电压、电流信号等）。
- 2) 自动控制器—它接受变送器的信号，与工艺需要保持的物料特性值相比较而得出偏差，并按某种运算规律计算出结果，然后将此结果用特定的信号（气压或气流）发送出去。
- 3) 执行器—通常指控制阀，与普通阀门的功能一样，只不过他能自动地根据控制器送来的信号值改变阀门的开启度。

### （二）控制对象

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叫做被控制对象，简称对象。化工生产中的各种塔器、反应器、换热器、泵和压缩机以及各种容器贮槽都是常见的被控对象，甚至一段输气管道也可以是一个被控对象。在复杂的生产设备中，如精馏塔、吸收塔等，在一个设备上可能有好几个控制系统。只是在确定被控制对象，就不一定是生产设备。比如说，一个精馏塔，往往塔顶需要控制温度、压力等，塔底又需要控制温度、塔釜液位等，有时中部还需要控制进料流量，在这种情况下，就只有塔的某一与有控制有关的相应部分才是某一个控制系统的被控制对象。例如，在讨论进料流量的控制系统时，被控对象指的仅是进料管道及阀门等，而不是整个精馏塔本身。

## 第三节 工艺管道及控制流程图

在工艺流程确定后，工艺人员和自控设计人员应共同研究确定控制方案。控制方案的确定包括流程中各测量点的选择，控制系统的确定，及有关自动信号，连锁保护系统的设计等。在控制方案的确定后，根据工艺设计给出的流程图，按其流程顺序表注出相应的测量点，控制点，控制系统及自动信号与连锁保护系统等，便成了工艺管道及控制流程图（PID），也可以称为长控点的工艺流程图。在绘制（PID）图时，图中所采用的图例符号按有关的技术规定进行，可参见化工部设计标注 HGJ7-87《化工过程检测、控制系统设计符号统一规定》。

### （一）图形符号

- 1) 测量点（包括检测元件，取样点）

是由工艺设备轮廓线或工艺管线引到仪表圆圈的连接线的起点，一般无特定的图形符号。

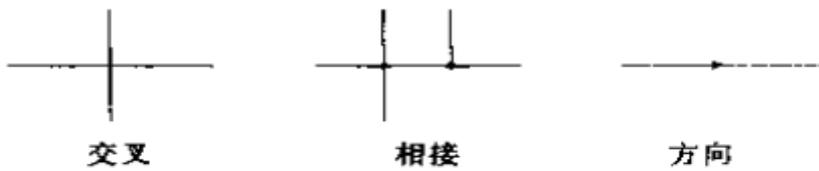
必要时，检测元件也可以用象形或图形符号表示。

图 4—2 测量点的一般表示方法



2) 连接线

图 4—3 通用的仪表信号线均以细实线表示。



3) 仪表（包括检测，量高，控制）的图形符号

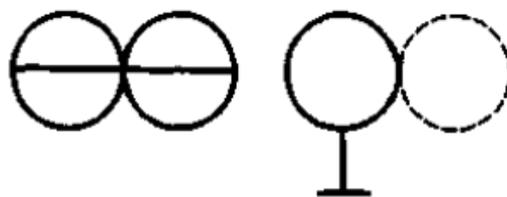
仪表的图形符号是一个细实线圆圈，直径约 10mm，对于不同的仪表安装位置的图形符号如下表所示

表 4—1 仪表位置的图形符号

序号	安装位置	图形符号	备注	序号	安装位置	图形符号	备注
1	就地安装仪表		嵌在管道中	4	集中仪表盘后安装仪表		
2	集中仪表盘面安装仪表			5	就地仪表盘后安装仪表		
3	就地仪表盘面安装仪表						

对于处理两个或两个以上被测变量，具有相同或不同功能的复式仪表时，可用两个相切的圆或分别用细实线圆与虚线圆相切表示

图 4—4 复式仪表的表示方法



(一) 字母代号

在 PID 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字母，第一位字母表示被测变量，后继字母表示仪表的功能。

表 4—2 被测变量和仪表功能那个的字母代号

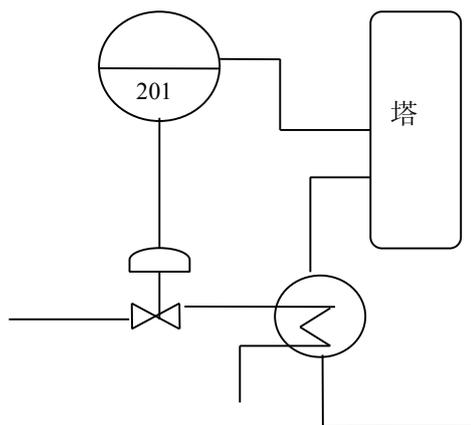
字 母	第 一 位 字 母		后 继 字 母
	被 测 变 量	修 饰 词	功 能
A	分析		报警
C	电导率		控制 (调节)
D	密度	差	
E	电压		检测元件
F	流量	比 (分数)	
I	电流		指示
K	时间或时间程序		自动-手动操作器
L	物位		
M	水分或湿度		
P	压力或真空		
Q	数量或件数	积分、累积	积分、累积
R	放射性		记录或打印
S	速度或频率	安全	开关、联锁
T	温度		传送
V	粘度		阀、挡板、百叶窗
W	力		套管
Y	供选用		继电器或计算器
Z	位置		驱动、执行或未分类的终端执行机构

## (二) 仪表位号

在检测、控制系统中，构成一个回路的每隔仪表（或元件）都应有自己的仪表位号。是由字母代号组合和阿拉伯数字编号两部分组成。字母代号在圆圈的上半部，阿拉伯数字写在圆圈的下半部，其第一位数字表示高 1 段号，后继数字（二位或三位）表示仪表序号。

通过 PID 图，可以看出其上每台仪表测量点位置，被测变量，仪表功能，工段号，仪表序号，安装位置等。

例：图 4—5



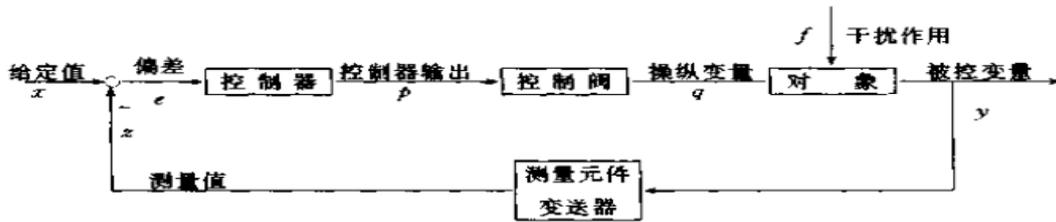
TRC-201 表示此为装置生产中属于第二 I 段的一台温度记录控制仪，其温度的测量在塔的下部，仪表安装在集中仪表盘上仪表序号为 201

## 第四节 自动控制系统方块图

在研究自动控制系统时，为了能更清楚地表示出一个自动控制系统中各个组成

环节之间的相互影响和信号联系，便于对系统分析研究，一般都用方块图表示控制系统的组成

图 4—6 自动控制系统是一个闭环系统



## 第五节 自动控制系统分类

自动控制系统有多种分类方法，可以按被控变量来分，如温度、压力、流量、液位等控制系统，也可以按控制器来分，如比例、比例积分、比例微分、比例积分微分等控制系统，在这里我们按最长遇到的将控制系统按工艺过程需要被控变量的给定值是否变化和如何变化来分了。

### （一）定值控制系统

“定值”就是恒定给定值的简称。

工艺生产中，如果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，或者要求被控变量的给定值不变，那么就需要采用定值控制系统。化工生产中要求的大都是这种类型的控制系统。

### （二）随动控制系统（自动跟踪系统）

这类系统的特点是给定值不断的变化，而且这种变化不是预先规定好了的，也就是说给定值是随机变化的。随动控制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。比如航空上的导航雷达系统，电视台的天线接收系统。

在化工生产中，有些比值控制系统就属于随动控制系统，例如要求甲流体的流量与工流体的流量保持一定的比值，当工流体的流量变化时，要求甲流体能快速而准确地随之变化，由于工流体的流量变化在生产中可能是随机的，所以相当于甲流体的流量给定值也是随机的，故属于随动系统。

### （三）程序控制系统

这类系统的给定值也是变化的，但它是一个已知的时间参数，即生产技术指标需按一定的时间顺序变化。

## 第六节 自动控制系统的过渡过程和品质指标

### （一）控制系统的静态和动态。

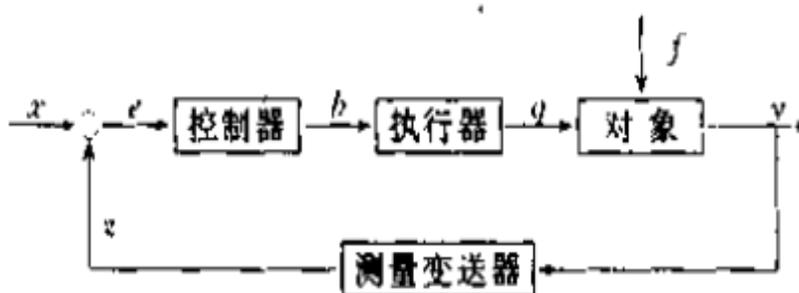
在自动化领域，把被控变量不随时间而变化的平衡状态称之为静态，而把被控变量随时间变化的不平衡状态称之为系统的动态。

自动控制系统的目的就是希望将被控变量保持在一个不变的给定值上。

了解系统的静态是必要的，但是了解系统的动态更为重要，这是因为在生产过程中，干扰是客观存在的，不可避免的。如生产过程中前后工序的影响；负荷的变化；电压、气压的波动；气候的影响等等。这些干扰是破坏系统平衡状态引起被控变量发生变化的外界因素。当一个自动控制系统投入运行时，时时刻刻都有干扰作用于控制系统，从而破坏了正常的工艺生产状态。因此，就需要通过自动化装置不断地施加控制作用去对抗或抵消干扰作用的影响，从而使被控变量保持在工艺生产所要求控制的技术指标上。

## (二) 控制系统的过程

图 4—7 控制系统方块图

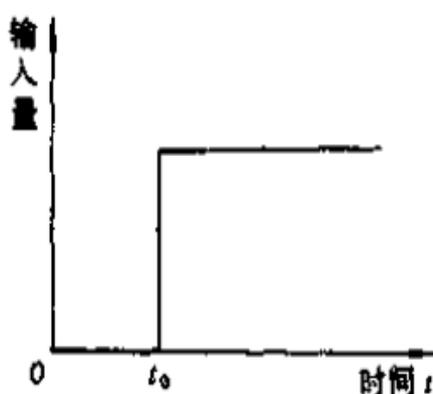


控制系统方块图

系统由一个平衡状态过渡到另一个平衡状态的过程，称之为系统的过渡过程。系统在过渡过程中，被控变量是随时间变化的。显然，被控变量随时间的变化规律，首先取决于作用于系统的干扰形式。在生产中，出现的干扰是没有固定形式的，且多半属于随机性质。

在分析和设计控制系统时，为了安全和方便，常选择一些定性的干扰形式，阶跃干扰。

图 4—8 阶跃干扰作用



阶跃干扰作用

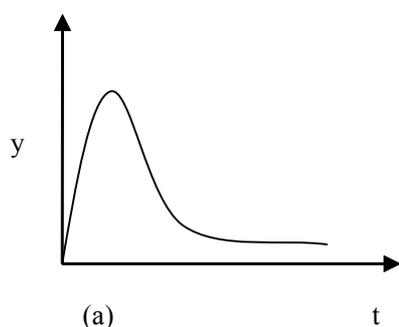
由图可以看出，所谓阶跃干扰就是在某一瞬间  $t_0$ ，干扰（即输入量）突然地阶跃式的加到系统上并继续保持在这个幅度。

采取阶跃干扰的形式来研究自动控制系统的理由。

干扰比较突然，比较危险，他对被控变量的影响最大。如果一个控制系统能够有效地克服这种类型的干扰，那么对于其他比较缓和的干扰也一定能很好地克服，同时，这种干扰的形式简单，容易实现，便于分析，实验和计算。

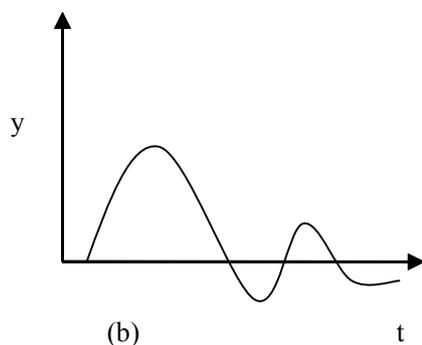
一般来说,自动控制系统在阶跃干扰作用下的过渡过程有下面图文的几种基本形式。

图 4—9



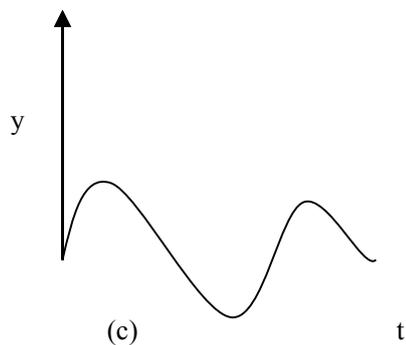
1、非周期衰减过程

被控变量在给定值的某一侧做缓慢变化,没有来回波动最后稳定在某一数值上。



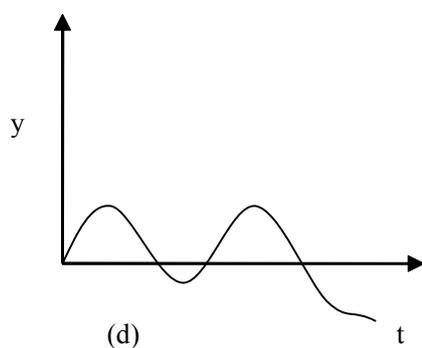
2、衰减振荡过程

被控变量上下波动,但幅度逐渐减小,最后稳定在某一数值上。



3、等幅振荡过程

被控变量在给定值附近来回波动,且波动幅度保持不变。



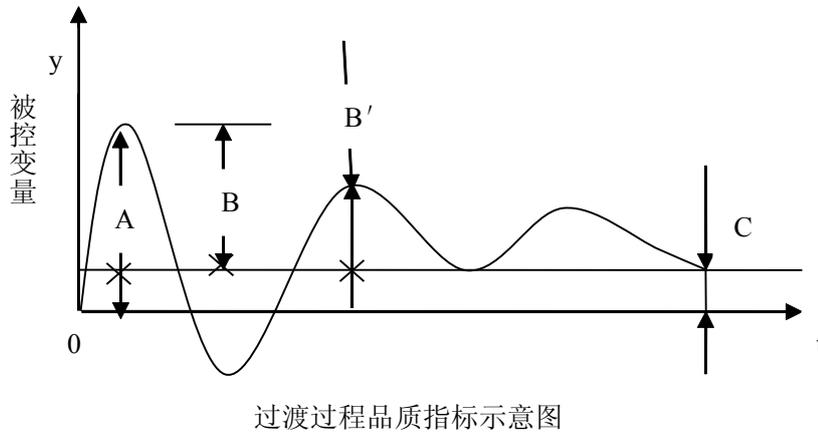
4、发散振荡过程

被控变量来回波动,且波动幅度逐渐变大,即偏离给定值越来越远

(三) 控制系统的品质指标

控制系统的过渡过程是衡量控制系统品质的依据。(衰减振荡过程)

图 4—10 过渡过程品质指标示意图



#### 1) 最大偏差或超调量

是指在过渡过程中被控变量偏离给定值的最大数值，在决定最大偏差允许值时，要根据工艺情况慎重选择，有时也可以用超调量来表示被控变量偏离给定值的程度。上图 B 即超调量  $B=A-C$  即第一个峰值 (A) 减新稳定的值 (C) 之差。

#### 2) 衰减比

表示衰减程度指标的是衰减比，是前后相邻两个峰值的比。

#### 3) 余差

当过渡过程终了时，被控变量所达到的新的稳定值与给定值之间的差叫余差。或说是过渡过程终了时的残余偏差 (C) 可正可负。

有余差的控制过程称之为有差调节，相应的系统称之为有差系统。没有余差的控制过程称之为无差调节，相应的系统称之为无差系统。对余差大小的要求必须结合具体情况作具体分析，不能一概而论。

#### 4) 过渡时间

从干扰作用发生的时刻起，直到系统重新建立新的平衡时止，过渡过程所经历的时间叫做过渡时间。

#### 5) 振荡周期或频率

过渡过程同向两波峰 (或波谷) 之间的间隔时间叫振荡周期或工作周期，其倒数称之为振荡频率，在衰减比相同的情况下，周期与过渡时间成正比，一般希望振荡周期短一些为好。

#### (三) 影响控制系统过渡过程品质的主要因素

一个自动控制系统可以概括成两大部分，即工艺过程部分 (被控对象) 和自动化装置部分。过渡过程品质的好坏，在很大程度上是对象的性质。

## 第二章 检测仪表与传感器

用来检测参数 (如压力、流量、物位、温度等) 的技术工具称之为检测仪表;

用来将这些参数转换为一定的便于传送的信号（例如电信或气压信号）的仪表通常称之为传感器；当传感器的输出为单元组合仪表中规定的标准信号时，通常称之为变送器。

## 第一节 概述

### （一）测量过程与测量误差

测量过程在实质上都是将被测参数与其相应的测量单位进行比较的过程。而测量仪表就是实现这种比较的工具。

在测量过程中，由于所使用的测量工具本身不够准确，观测者主观性和周围环境的影响等等，使得测量结果不可能绝对准确，由仪表读得的被测量值与被测量真值之间存在一定差距，这一差距就称之为测量误差。

测量误差通常有两种表示方法：绝对误差和相对误差。

绝对误差在理论上是指仪表指示值  $X_i$  和被测量的真值  $X_t$  之间的差值即  $\Delta = X_i - X_t$

所谓真值是指被测物理量客观存在的真实数值它是无法得到的理论值。因此，所谓测量仪表在其标尺范围内个点读数的绝对误差，一般是指用被校表（精确度较低）和标准表（精确度较高）同时对被测量值进行测量所得到的两个读数之差。

$\Delta = X - X_0$

$\Delta$ —绝对误差

$X$ —被标表的读数值

$X_0$ —标准表的读数值

测量误差还可以用相对误差来表示。

相对误差等于某一点的绝对误差  $\Delta$  与标准表在这一点指示值  $X_0$  之比

$$y = \frac{\Delta}{X_0} = \frac{X - X_0}{X_0}$$

公式中： $y$ —仪表在  $X_0$  处的相对误差

### （二）仪表的性能指标

一台仪表性能的优秀，可用如下指标来衡量。

#### 1) 精确度（简称精度）

任何测量的过程都存在一定的误差。因此使用仪表时必须知道该仪表的精确程度，以便估计测量结果与真实值的差距，即估计测量值误差的大小。仪表的绝对误差在测量范围内的各点上是不相同的因此常说的“绝对误差”指的是绝对误差中的最大值  $\Delta_{\max}$ 。事实上，仪表的精确度不仅与绝对误差有关还与仪表的测量范围有关。因此工业上常将绝对误差折合成仪表测量范围的百分数表示，称为相对百分误差  $S$  即

$$S = \frac{\Delta_{\max}}{\text{测量范围上限值} - \text{测量范围下限值}} \times 100\%$$

量程：仪表测量上限值与下限值之差称之为该仪表的量程  
根据仪表的使用要求，规定一个在正常情况下允许的最大误差，这个允许的最大误差就叫允许误差。即

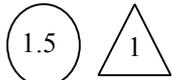
### 仪表允许的最大绝对误差

$$S_{允} = \pm \frac{\text{该仪表的精度}}{\text{该仪表的量程}} \times 100\%$$

仪表的 S 允越大，表示的精度越低，反之 S 允越小表示他的精度越高，国家就是利用这一办法来统一规定仪表的精确度（精度）等级的。将仪表的允许相对百分误差去掉“±”号及“%”号，便可以用来确定仪表的精确度等级。目前我国生产的仪表常用的精度等级有 0.005、0.02、0.05、0.1、0.2、0.4、0.5、1.0、1.5、2.5、4.0 等

如果某台温度仪表的允许误差为 ±1.5%，则以为该仪表的精确度等级符合 1.5 级。

仪表的精度等级一般可用不同的符号形式表示在仪表盘面上

如  等。

#### 2) 变差

变差是指在外界条件不变的情况下，用同一仪表对被测量值在仪表全部测量范围内进行正反行程（即被测参数逐渐由大到小，和由小到大）测量时被测值正行和反行所得到的两条特征曲线之间的最大偏差。

造成仪表变差的原因主要是有传动机构间存在的间隙和摩擦力，弹性元件的弹性滞后等等原因，变差的大慈奥用在同一被测参数值下，正反行程仪表指示值的最大绝对差值与仪表量程之比的百分数表示。

$$\text{即：变差} = \frac{\text{最大绝对差值}}{\text{测量范围上限值} - \text{测量范围下限值}} \times 100\%$$

仪表的变差不能超出仪表的允许误差，否则应及时检修。

#### 3) 灵敏度与灵敏限

仪表指针的线位移或角位移，与引起这个位移的被测参数变化量之比值称之为仪表的灵敏度

$$S = \frac{\Delta\alpha}{\Delta\chi}$$

公式中

S—仪表的灵敏度

$\Delta\alpha$ —指针的线位移或角位移

$\Delta\chi$ —引起  $\Delta\alpha$  所需的被测参数的变化量。

所以仪表的灵敏度，在数值上就等于单位被测参数变化量所引起的仪表指针移动的距离（或转角），所谓的仪表灵敏限，是指能引起仪表指针发生动作的测量参数的最小变化量。通常仪表灵敏限的数值应不大于允许绝对误差的一半。

上述指标仅适用于指针式仪表，在数字式仪表中往往用分辨力来表示灵敏度（或灵敏限）的大小。

#### 4) 分辨力

对于数字式仪表，分辨力是指数字显示器的最末位数字间隔所代表的被测参数变化量，如数字电压表显示器末位一个数字所代表的输入电压值。

不同量程的分辨力是不同的，相应于最低量程的分辨力称之为该表的最低分辨力，也叫灵敏度。

分辨率；当数字式仪表的灵敏度用它与量程的相对值表示，便是分辨率。分辨率与仪表的有效数字位数有关，如一台仪表的有效数字位数为三位，其分辨率便是千分之一。

### 5、线性变

线性变是表现线性刻度的输出量与输入量的时间校准曲线与理论直线的吻合程度，

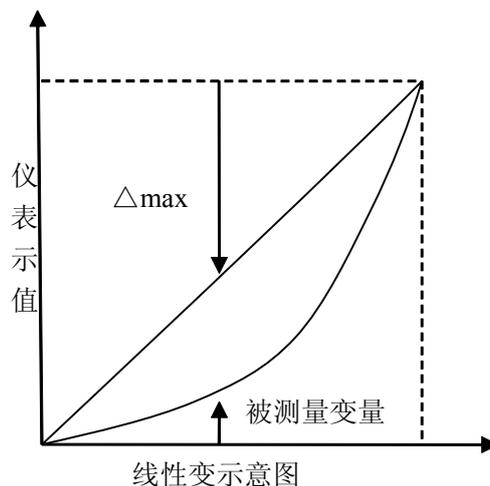
$$\delta r = \frac{\Delta f_{\max}}{\text{仪表量程}} \times 100\%$$

公式中；

$\delta r$ —线性变（又称非线性误差）

$\Delta_{\max}$ —校准曲线对于理论直线的最大偏差。

图 4—11



通常总是希望测量仪表的输出与输入之间呈线性关系，因为在线性情况下，模拟式仪表的刻度就可以做成均匀刻度，而数字式仪表就不必采取线性化的措施。

### 6、反应时间

当仪表对被测物进行测量时，被测量突然变化后，仪表指示值总是要经过一段时间后才能准确地显示出来。反应时间就是用来衡量仪表能不能尽快反映出参数变化的品质指标。仪表反应时间的长短，实际上反应了仪表动态特性的好坏。

#### （三）工业仪表的分类

##### 1) 按仪表使用的能源分类

工业自动化仪表可按能源来分为气动仪表，电动仪表和液动仪表。常用的为电动仪表和气动仪表。

（1）电动仪表—以电为能源，信号之间联系比较方便，适宜于远距离传送和集中控制；便于与计算机连用。但电动仪表一般结构较复杂，易受温度、湿度、电磁场放射性等环境影响。

（2）气动仪表；结构比较简单，直观；工作比较可靠，对温度、湿度、电磁场、

放射性等环境影响的抗干扰能力较强，能防火，防爆；价格比较便宜。但气动仪表信号传递速度慢，传输距离短，管线安装与检修不方便，不易实现远距离大范围的集中显示与控制，与计算机连用比较困难。

### 2) 按信息的获得、传递、反应和处理的过程分类

(1) 检测仪表 主要作用是获取信息，并进行适当的转换。在生产过程中，检测仪表主要用来测量其某些工艺参数，如温度、压力、流量、物位以及物料的成分、物性等，并将被测参数的大小成比例地转换成电信号（电压、电流、频率等）或气压信号。

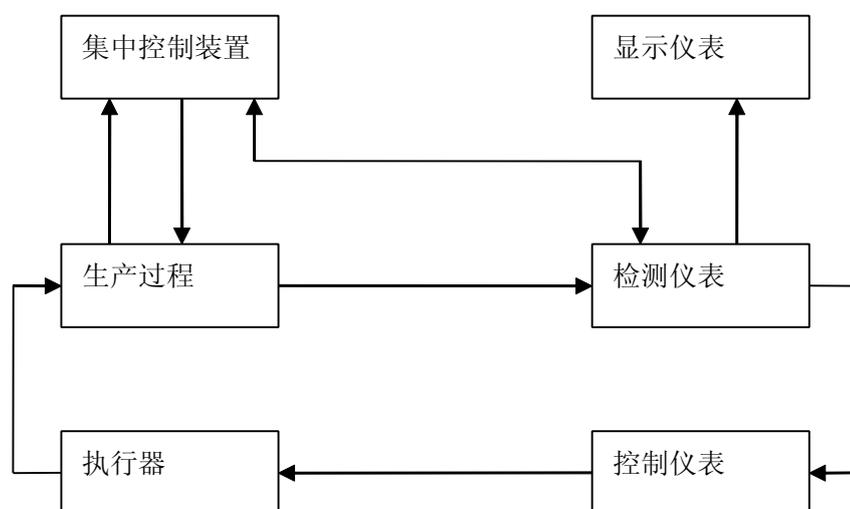
(2) 显示仪表 主要作用是将由检测仪表获得的信息显示出来，包括各种模拟量、数字量的电动，气动指示仪记录仪和计算器，以及工业电视，图像显示器等

(3) 集中控制装置 包括各种巡回监测仪，巡回控制仪，程序控制仪，数据处理机，电子计算机以及仪表控制盘和操作台等。

(4) 控制仪表 可以根据需要对输入信号进行各种运算，例如放大、积分、微分等。控制仪表包括各种电动、气动的控制器以及用来代替模拟控制仪表的微机处理机等。

(5) 执行器 可以接受控制仪表的输出信号或直接来自操作人员的指令，对生产过程进行操作或控制。包括各种电动、气动、液动执行机构和控制阀。上述各类仪表在信号传递过程中的关系可用下图表示；

图 4—12



### 3) 按仪表的组成形式分类；

基地式仪表 这类表的特点是将测量、显示、控制等各部分集中组装在一个表壳里，形成一个整体。这种仪表比较适合于在现场做就地检测和控制，但不能实现多种参数的集中显示与控制，这在一定程度上限制了基地式仪表的应用范围。

## 第二节 压力检测及仪表

工业生产中，所谓压力是指由气体或液体均匀垂直地作用在单位面积上的力。在

化工炼油等生产过程中，经常会遇到压力和真空度的测量，其中包括比大气压力高很多的压力、超高压和比大气压力低很多的真空度的测量。有些其他参数的测量，如物位、流量等往往也是通过测量压力或差压来进行的，即测出了压力或差压，便确定物位或流量的大小。

(一) 压力单位及测压仪表

由于压力是指均匀垂直地作用于单位面积上的力，故可用下式表示：

$$P = \frac{F}{S}$$

式中：

F 表示垂直作用力；

S 表示受力面积

根据国际单位制（代号为SI）规定，压力的单位为帕斯卡，简称帕（Pa），

1 帕为 1 牛顿每平方米即：

$$1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$$

帕所表示的压力较小，工程上经常使用兆帕（MPa）。

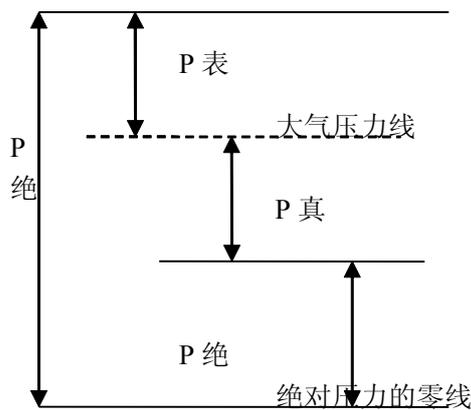
$$1\text{MPa} = 1 \times 10^6\text{Pa}$$

表 4—3

压力单位	帕/Pa	兆帕/MPa	工程大气压/ (kgf/cm <sup>2</sup> )	物理大气压/ atm	汞柱/ mmHg	水柱/ mH <sub>2</sub> O	(磅/英寸 <sup>2</sup> )/ (lb/in <sup>2</sup> )	巴/ bar
帕	1	1×10 <sup>-6</sup>	1.0197× 10 <sup>-3</sup>	9.869× 10 <sup>-6</sup>	7.501×10 <sup>-3</sup>	1.0197× 10 <sup>-4</sup>	1.450× 10 <sup>-4</sup>	1×10 <sup>-2</sup>
兆帕	1×10 <sup>6</sup>	1	10.197	9.869	7.501×10 <sup>3</sup>	1.0197× 10 <sup>2</sup>	1.450×10 <sup>2</sup>	10
工程大气压	9.807× 10 <sup>4</sup>	9.807× 10 <sup>-2</sup>	1	0.9678	735.6	10.00	14.22	0.9807
物理大气压	1.0133× 10 <sup>5</sup>	0.10133	1.0332	1	760	10.33	14.70	1.0133
汞柱	1.3332× 10 <sup>2</sup>	1.3332× 10 <sup>-4</sup>	1.3595× 10 <sup>-1</sup>	1.3158× 10 <sup>-3</sup>	1	0.0136	1.934× 10 <sup>-2</sup>	1.3332× 10 <sup>-3</sup>
水柱	9.806× 10 <sup>3</sup>	9.806× 10 <sup>-3</sup>	0.1000	0.09678	73.55	1	1.422	0.09806
磅/英寸 <sup>2</sup>	6.895× 10 <sup>3</sup>	6.895× 10 <sup>-1</sup>	0.07031	0.06805	51.71	0.7031	1	0.06895
巴	1×10 <sup>5</sup>	0.1	1.0197	0.9869	750.1	10.197	14.50	1

在压力测验中，常有表压，绝对压，负压或真空度之分。

图 4—13



工程上所用的压力指示值，大多为表压(绝对压力计的指示值例外)表压是绝对压力和大气压力之差即；

$$P_{\text{表压}} = P_{\text{绝对压力}} - P_{\text{大气压力}}$$

当被测压力低于大气压力时，一般用负压或真空度来表示，它是大气压力与绝对压力之差即；

$$P_{\text{真空度}} = P_{\text{大气压力}} - P_{\text{绝对压力}}$$

因为各种工艺设备和测量仪表通常是处于大气之中，本身就承受着大气压力，所以工程上经常用表压或真空度来表示压力的大小。

测量压力或真空度的仪表很多，按照其转换原理不同大致可分为四大类；

#### 1) 液柱式压力计

是根据流体静力学的原理，将被测压力转换成液柱高度进行测量的。按其结构形式，有U型管压力计，单管压力计和斜管压力计，这类压力计结构简单，使用方便，但其精度受工作液毛细管作用、密度及视差等影响，测量范围较窄，一般用来测量较低压力，真空度或压力差。

#### 2) 弹性式压力计

将其被测压力转化成弹性元件变形的位移进行测量的。有弹簧管压力计，波纹管压力计及膜式压力计等，是工业上最广泛应用的一种测压仪表。

#### 3) 电气式压力计

是通过机械和电器元件将被测压力转换成电量（如电压、电流、频率等）来进行测量的仪表，例如各种压力传感器和压力变送器。

#### 4) 活塞式压力计

是根据水压机液体传送压力的原理，将被测压力转换成活塞上所加平衡砝码的质量来进行测量的。他的测量精度很高，允许误差不到0.05%~0.02%，但结构复杂，价格较贵，一般作为标准型压力测量仪器来检验其他类型的仪表。

### (二) 压力表的安装

压力仪表的安装正确与否，直接影响到测量结果的准确性和仪表的使用寿命。

#### 1) 测压点的选择；

(1) 所选择的测压点应能反应所测压力的真实大小。

1、要选在被测介质直线流动的管段部分，不要选在管路拐弯，分叉，死角或其他易形成旋涡的地方。

2、测量流动介质的压力时，应使取压点与流动方向垂直，取压管内端面与生产设备连接处的内壁应保持平齐，不要有凸出物或毛刺。

3、测量液体压力时，取压点应在管道下部，使导压管内不积存气体；测量气体压力时，取压点应在管道上方，使导压管内不积存液体。

(2) 导压管铺设;

- 1、导压管粗细要合适，一般内径为 6~10mm，长度尽可能短，最长不超过 50m。
- 2、液体（或气体）的排除。
- 3、当被测介质易冷凝或冻结时，必须加设保温伴热管线。
- 4、取压口到压力计之间应装有切断阀，以备检修压力计时使用，要装在靠近取压力的地方。

(3) 压力计的安装

- 1、应安装在易观察和方便检修的地方。
- 2、安装地点应力求避免振动和高温的影响。
- 3、测量蒸汽压力时，应加装凝液管，以防止高温蒸汽直接与测压原件接触，对于有腐蚀性的介质的压力测量，应加装有中性介质的隔离罐。

(4) 压力计的连接处应根据被测压力的高低和介质性质选择**适**和材料的密封垫片，以防止泄露。

### 第三节 流量检测仪表

(一) 概述;

介质的流量是控制生产过程达到优质高产和安全生产以及进行经济核算所必须的一个重要参数

一般所讲的流量大小是指单位时间内流过管道某一**截**面的流体数量的大小，即**瞬**间流量。而在某一短时间内流过管道的流体流量的总和，即**瞬**时流量。在某一**段**时间内的累计值称之为总量。

流量和总量可以用质量表示，也可以用体积表示。单位时间内流过的流体以质量表示的称质量流量。通常用符号 M 表示，以体积表示的称体积流量，常用符号 Q 表示。

若流量的密度是  $\rho$ ，则体积流量与质量流量的关系是

$$M=Q \rho \text{ 或 } Q=M/\rho$$

如以 t 表示时间，则流量和总量之间的关系是;

$$Q \text{ 总}=\int \alpha Q dt \text{ 或 } M \text{ 总}=\int \alpha m dt$$

常用的流量单位由吨每小时 (t/h)、千克每小时 (kg/t)、千克每秒 (kg/s)、立方米每小时 (m<sup>3</sup>/h)、升每小时 (L/h) 升每分 (L/min) 等

1) 速度**式**流量计

以测量流体在管道内的流速作为测量依据来计算，流量的仪表，如差压式流量计，电磁流量计，涡轮流量计等。

2) 容积**式**流量计

以单位时间内所排出的流体的固定容积的数目作为测量依据来计算流量的仪表，如椭圆锯齿流量计，活塞式流量计。

3) 质量**流**量计

以测量流体流过的质量 M 为依据的流量计，分为直接式和间接式两种，直接式质量流量计直接测量质量流量，间接式质量流量计是用密度与容积流量经过运算求得质量流量。质量流量计具有测量精度不受流体的温度、压力、粘度等变化影响的优点。

## (二) 差压式流量计

也称节流式流量计，是基于流体流动的节流原理，利用流体流往节流装置是产生的压力差而实现流量测量的，是目前生产中测量流量最成熟、最常用的方法之一。通常是由能将被测流量转换成压差信号的节流装置和能将此压差转换成对应流量值显示出来的差压计，以及显示仪表所组成。在单元组合仪表中，由节流装置产生的压差信号，往往通过差压变送器转换成相应的标准信号，以供显示，记录或控制用。

### 1) 节流现象

节流现象；流体在有节流装置的管道中流动时，在节流装置前后的管道壁处，流体的静压力产生差异的现象称之为节流现象。

节流装置包括节流件和取压装置，节流件是能使管道的流体产生局部收缩的原件，应用最广泛的是孔板，其次是喷嘴、文丘里管等。

具有一定能量的流体，才可能在管道中形成流动状态，流体流动的能量有两种形式，即静压能和动能。流体由于有压力而具有静压能，又由于流体有流动速度而具有动能，这两种形式的能量在一定条件下可以相互转化。但是，根据能量守恒定律，流件所具有的静压能和动能，再加上克服流动阻力的能量损失，在没有外加能量的情况下，其总和是不变的。

由于节流装置造成流速的局部收缩，使流体的流速发生变化。

节流装置前流件压力较高，称之为正压，常以“+”标志，节流装置后流件压力较低，称之为负压（注意不要与真空混淆）常以“-”标志。节流装置前后压差的大小与流量有关，管道中流动的流体流量越大，在节流装置前后产生的压差也越大，我们只要测出孔板前后两侧压差的大小，即可表示流量的大小。

### 2) 标准节流装置

压差式流量计由于使用历史长久，积累了丰富的实践经验和完整的试验资料，因此国内外已把最常用的节流装置孔板、喷嘴、文丘里管等标准化，并称为“标准节流装置”。标准化的具体内容应包括节流装置的结构、尺寸、加工要求、取压方法、使用条件等。

如图 4—14

其中  $d/D$  应在  $0.2 \sim 0.8$  之间，最小孔组应不小于  $12.5\text{mm}$ ，直孔部分的厚度  $h = (0.005 \sim 0.02) D$ ；总厚度  $< 0.05 D$ ；锥面的斜度角  $\alpha = 30^\circ \sim 45^\circ$  等等，需要时可参阅设计手册。

我国国家规定的标准节流装置取压方法为两种，即角接取压法和法兰取压法。标准孔板采用角接取压法和法兰取压法。标准喷嘴为角接取压法。所谓角接取压法就是在孔板（或喷嘴）前后两端面与管壁的夹角处取压。

在管道 1 的直线段处，利用左右对称的环室 2 将孔板 3 夹在中间，环室与孔板端面留有狭窄的缝隙，再由导压管将环室内的压力  $P_1$  和  $P_2$  引出。（如图 4—15）是在前后夹紧环 4 上直接钻孔将压力引出。（如图 4—16）

对于孔板、环室取压用在工作压力即管道中流体的压力为  $6.4\text{MPa}$  以下，管道经  $D$  在  $50 \sim 520\text{mm}$  之间，而单独钻孔取压用在工作压力  $2.5\text{MPa}$  以下  $D$  在  $50 \sim 1000\text{mm}$  之间。

环室取压法得到较好的测量精度，但是加工制造和安装要求严格，如果由于加工和现场安装条件的限制，达不到预定的要求时，其测量进的难保证，所以在现场使用时，为了加工和安装方便，又是不用环室而用单独钻孔取压法，特别是对大口组管道。

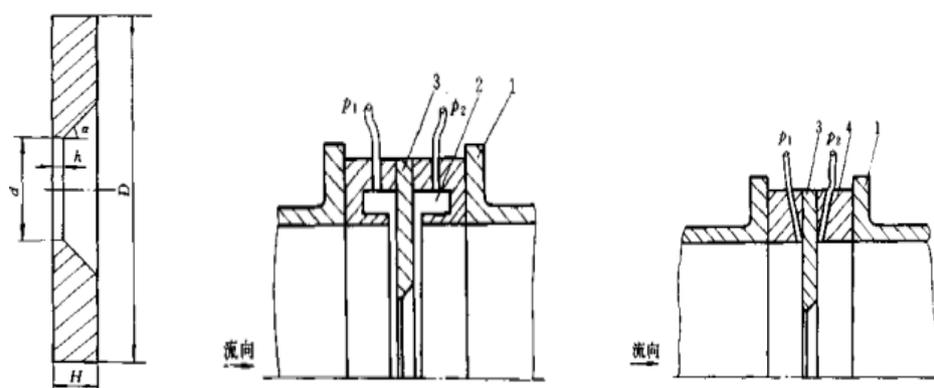
标准孔板应用广泛，具有结构简单，安装方便的特点，适用于大流量的测量。缺点是流体组过孔板后压力损失大。当工艺管道上不允许有较大的损失，便不宜采用。标准喷嘴和标准文丘里管的压力损失较孔板为小，但结构比较复杂。不易加工，实际上在一般场合下的以采用孔板为多。

节流装置将管道中流体流量的大小转换为相应的压差大小，但这个压差信号还必须由导压管引出，并传递到相应的差压计，以便显示出流量的数值。压差计有很多种类型，例如 U 型管压差计，双波纹管压差计，膜盒式压差计等，但这些仪表多半是采用压差变送器，将压差信号转换为统一的标准信号，以利于传递，并与单元组合仪表中的其他单元相连接，这样便于集中显示和控制。

图 4—14

图 4—15

图 4—16



### 3) 差压式流量计的测量误差

差压式流量计的应用是非常广泛的，但是在现场按实际应用中往往具有比较大的误差，有的甚至高达 10%~20%（应当指出造成这么大的测量误差完全是由于使用不当而引起的，而不是仪表本身的测量误差）。特别是在采用差压式流量计作为工艺生产过程中物料的计量，进行经济核算和测取物料算数据时，这一矛盾更显突出。在只要求流量相对值的场合下，对流量指示值与真实值之间的偏差往往不被注意，但事实上误差是客观存在的，因此必须引起注意的是，不仅需要合理的选型，准确的设计计算和加工制造，更要注意正确的安装，维护和符合使用条件等，才能保证差压式流量计有足够的实际测量精度。

下面列举一些造成测量误差的原因，以便在应用中注意。

#### (1) 被测流体工作状态的变动

如果实际使用时被测流体的工作状态（温度、压力、湿度等）以及相应的流体、重度、粘度、雷诺数等参数数值，与设计计算时所有变动，则会造成原来由压差计算得到的流量值与实际的流量值之间有较大的误差。为了消除这种误差，必须按新的工艺条件重新进行设计计算，或者将所测量的数值加以必要的修正。

#### (2) 节流装置安装不正确

是引起差压式流量计测量误差的重要原因之一。在安装节流装置时，特别要注意节流装置的安装方向，一般的说节流装置露出部分所标注的“+”号一侧，应当是流体的入口方向。当孔板作为节流装置时，应使流体从孔板 90° 锐口的一侧流入。

另外，节流装置除了必须按相应的规程正确的安装外，在使用中，要保持节流装置的清洁，如在节流装置处有沉淀，结焦，堵塞等现象，也会引起较大的测量误差，必须及时清洗。

#### (3) 孔板入口边缘的磨损

节流装置使用日久，特别是被测介质夹杂有固体颗粒等机械物情况下，或者由于化学腐蚀，都会造成节流装置的几何形状和尺寸的变化。对于使用广泛的孔板来说，它的入口边缘的尖锐度会由于冲击，磨损和腐蚀而变钝。这样，在相等数量的流体经过时所产生的压差将变化，从而引起仪表指示值偏低。故应该注意检查，维修，必要时应换用新的孔板。

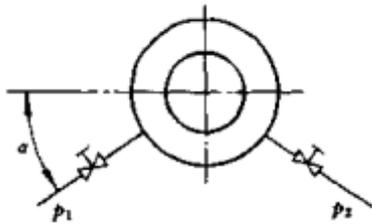
(4) 导压管安装不正确，或有堵塞，渗漏现象。

对于不同的被测介质，导压管的安装亦有不同的要求。

①测量液体流量时，应该使两根导压管内部都充满同样的液体而无气泡，以使两根导压管内的液体密度相等，这样，由两根导压管内液柱所附加在差压计正负压室的正压力不可以互相抵消。为了使导压管内没有气泡必须做到以下几点

a、取压点应该位于节流装置的下半部，与水平线夹角 $\alpha$ 应为 $0^\circ \sim 45^\circ$

图 4—17



b、引导管最好垂直向下，如果条件不许可，导压管亦应下倾一定的坡度（至少1:20~1:10）使气泡易于排出，

c、在引压导管的管芯中应有排气的装置。如果差压计只能装在节流装置之上时，则需要加袋贮气罐。

②测量气体流量时，上述的这些基本原则仍然适用。尽管在引压导管的链接方式上有些不同，其目的仍是要保持两份导压管内流体的密度相等。为此必须试管内不积聚气体中可能类带的液体，具体措施如下：

a、取压点应在节流装置的上半部。

b、引压导管最好垂直向上，至少亦应线上倾斜一定得坡度，以使引压导管中不滞留液体。

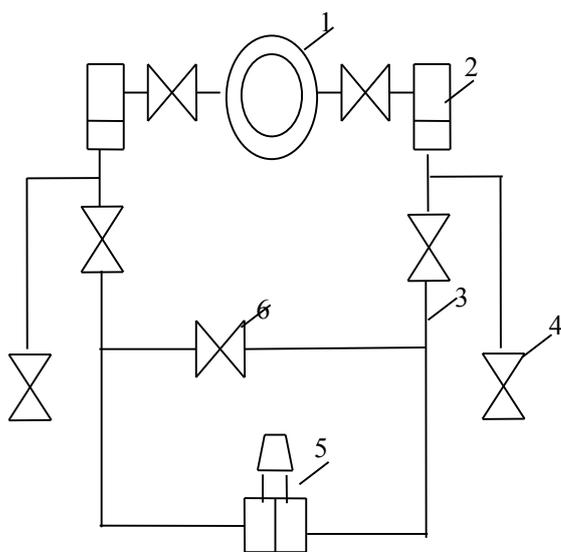
c、如果差压计必须装在节流装置之下，则需加装贮液罐和排放阀。

③测量蒸汽的流量时，要实现上述的基本原则，必须解决蒸汽冷凝液的等液位问题，以消除冷凝液液位的高低对测量精度的影响。

最常用的办法：

- 1、节流装置
- 2、一冷凝罐
- 3、引压导管
- 4、排放阀
- 5、压差变送器
- 6、平衡阀

图 4—18



取压点从节流装置的水平位置接出，并分别安装凝液罐。这样，两根导压管内都充满了冷凝液，而且液位一样高，从而实现了差压的准确测量。

(4) 差压计安装或使用不正确，差压计或差压变送器安装或使用不正确也会引起测量误差。

由引压管接至差压计或变送器前，必须安装切断阀和平衡阀，构成三阀组、我们知道，差压计是用来测量差压的，但如果两切断阀不能同时开闭时，就会造成差压计单向受很大的静压力，有时会使仪表产生附加误差，严重时会使仪表损坏，为了防止差压计单向受损很大的静压力，必须正确使用平衡阀。在启用差压计时，应先开平衡阀，使正负室连通，受压相同，再打开切断阀，最后关闭平衡阀，差压计即可投入运行。需要停用时，应先打开平衡阀，然后关闭切断阀。

当切断阀关闭，打开平衡阀，便可进行仪表的零点校验。测量腐蚀性（或因易凝固不适宜直接进入差压计）的介质流量时，必须采取隔离措施，最常用的方法是用某种与被测介质不可溶解且不起化学变化的中性液体作为隔离液，同时起传递压力的作用。

(转子流量计) (备)

(椭圆齿轮流量计) (略)

## 第四节 物位检测及仪表

### (一) 概述

在容器中液体介质的高低叫液位，容器中固体或颗粒状物质的堆积高度叫料位，测量液体液位的仪表叫液位计，测量料位的仪表叫料位计，而测量两种不同液体介质的分界面的仪表叫界面计，上述三种仪表统称为物位仪表。

通过物位的测量，可以正确获知容器设备中所储物质的体积或质量；见识或控制容器内的介质物位，使它保持在一定的工艺要求的高度，或对它的上、下限位置进行报警，以及根据物位来持续监视或调节容器中流入与流出物料的水平

衡，所以，一般测量物位有两种目的，一种是对物位测量的绝对值要求非常准确，借以确定容器或储存库中的原料、辅料、半成品或成品的数量；另一种是对物位测量的相对值要求非常准确，要能迅速正确反映某一特定水准面上的物料相对变化，用以连续控制生产工艺过程，即利用物位仪表进行监视和控制。工业生产中物位仪表的要求多种多样，主要的有精度、量程、经济和安全可靠等方面，其中首要的是安全可靠，测量物位仪表的种类很多，按其工作原理主要有下列几种类型。

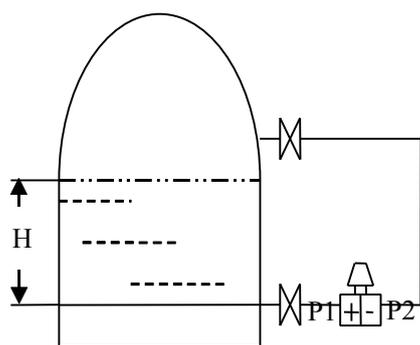
- 1) 直读式物位仪表——这列仪表中主要由玻璃板液位计，玻璃管液位计等。
- 2) 差压式物位仪表——它又可分为压力式物位仪表和差压式物位仪表，利用液柱式物料堆积，对其定点产生压力的原理而工作。
- 3) 浮力式物位仪表——利用浮子高度随液位变化而改变或液体对浸沉于液体中的浮子（或称沉筒）的浮力随液位高度而变化的原理工作。它又可分为浮子带钢丝绳或钢带的、浮球带杠杆的和沉筒式的几种。
- 4) 电磁式物位仪表——使物位的变化转换为一些电量的变化，通过测出这些电量的变化来测之物位它可以分为电阻式（即电极式）、电容式和电感式物位仪表等。还有利用压磁效应工作的物位仪表。
- 5) 核辐射式物位仪表——利用核辐射透过物料时其强度随物质层的厚度而变化的原理而工作的，目前应用较多的是  $\gamma$  射线。
- 6) 声波式物位仪表——由于物位的变化引起声阻抗的变化，声波的遮断和声波的反射距离的不同，测出这些变化就可测知物位。所以声波式物位仪表可以根据它的工作原理分为声波遮断式、反射式和阻尼式。
- 7) 光学式物位仪表——利用物位对光波的遮断和反射原理工作。它利用的光源有普通白炽灯或激光等。

## （二）差压式液位变送器

### 1) 工作原理

差压式液位变送器，是利用容器内的液位改变时，由液柱产生的静压也相应变化的原理而工作的。

图 4—19



将差压变送器的一端接液阀，另一端接气阀。设容器上半部空间为干燥气体，其压力为  $P$

$$\text{则： } P_1 = P + \rho g$$

$$P_2 = P$$

因此可得：

$$\Delta P = P_1 - P_2 = \rho g H$$

公式中：  $H$ ——液位高度

$\rho$ ——介质密度

$g$ ——重力加速度

$P_1$ 、 $P_2$ ——分别为差压变送器正负压室的压力

通常，被测介质的密度是已知的，差压变送器测得的差压与液柱的高度成正比，这样就把测量液位高度转换为测量差压的问题了。

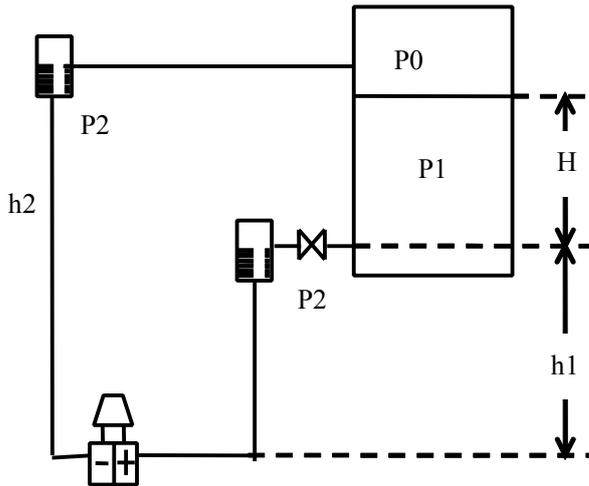
当被测容器是闭口的，气阀压力为大气压时，只需要将差压变送器的负压室通大气即可，若不需要远处接信号，也可以在容器底部安装压力表，根据压力  $P$  与液位  $H$  成正比的关系，可直接在压力表上按液位进行刻度。

## 2) 零点迁移

在使用差压变送器测量液位时，一般系统，其压差  $\Delta P$  与液位高度  $H$  之间有如下关系： $P=H\rho g$  这就属于一般的“无迁移”情况。当  $H=0$  时，作用在正负压室的压力是相等的。

但是在实际应用中，往往  $H$  与  $\Delta P$  之间的对应关系不那么简单如下图：

图 4—20



为防止容器内液体和气体进入变送器而造成管线堵塞或腐蚀，并保持负压室的液柱高度恒定，在负压室与取压点之间分别装有隔离罐，并充以隔离液。若被测介质密度为  $P_1$ ，隔离液密度为  $P_2$  (通常  $P_2 > P_1$ )，这时正负压室的压力分别为

$$P_1 = h_1 P_2 g + H P_1 g + P_0$$

$$P_2 = h_2 P_2 g + P_0$$

正负压室的压差为

$$P_1 - P_2 = H P_1 g + h_1 P_2 g - h_2 P_2 g$$

$$\Delta P = H P_1 g - (h_2 - h_1) P_2 g$$

式中：

$\Delta P$ ——变送器正负压室的压差

$H$ ——被测液位的高度

$h_1$ ——正压室隔离罐液位到变送器的高度

$h_2$ ——负压室隔离罐液位到变送器的高度

当  $H=0$  时， $\Delta P = -(h_2 - h_1) P_2 g$ ，对比无迁移情况，相当于在负压室多了一项压力，其固定数值为  $(h_2 - h_1) P_2 g$ 。假定采用的是 DDZ-III 型差压变送器，其输出范围为  $4 \sim 20 \text{mA}$  的电流信号。在无迁移时， $H=0$ 、 $\Delta P=0$  这时变送器的输出  $I_0=4 \text{mA}$ ； $H=H_{\text{max}}$ 、 $\Delta P=\Delta P_{\text{max}}$  这时变送器的输出  $I_0=20 \text{mA}$ 。但是有迁移时，由于有固定压差的存在，当  $H=0$  变送器的输入小于 0，其输出必定小于  $4 \text{mA}$ ，当  $H=H_{\text{max}}$  时，变送器的输入小于  $\Delta P_{\text{max}}$ ，其输出必定小于  $20 \text{mA}$ 。为了使仪表的输出能正确反应出液位的数值，也就是使液位的零值与满量程能与变送器输出的上下限值相对应，必须设法抵消固定压差  $(h_2 - h_1) P_2 g$  的作用，使的当  $H=0$  时，变送器的输出仍然回到  $4 \text{mA}$ ，而当  $H=H_{\text{max}}$  时，变送器的输出为  $20 \text{mA}$ 。采用零点迁移的办法就能够达到此目的，即调节仪表上的迁移弹簧，以抵消固定压差  $(h_2 - h_1) P_2 g$  的作用。

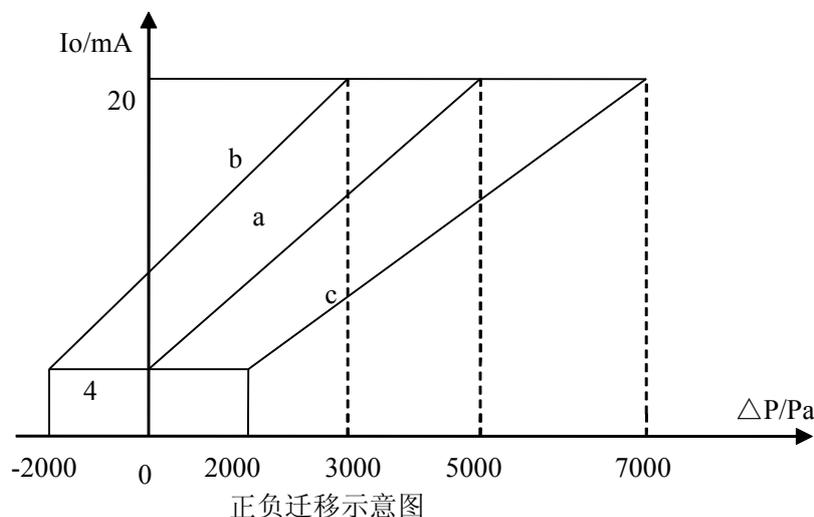
这里迁移弹簧的作用，其实只能改变变送器的零点。迁移和调零点调整量通常较小，而零点迁移量则比较大。

迁移同时改变了测量规范的上下限，相当于测量范围的平移，它不改变量程

的大小。例如，某差压变送器的测量范围为  $0 \sim 500\text{Pa}$ ，当压差由  $0$  变化到  $5000\text{Pa}$  时，变送器的输出将由  $4\text{mA}$  变化到  $20\text{mA}$ ，这是迁移的情况。

如图；曲线  $\alpha$  所示，当有迁移时，假定固定差压

图 4—21



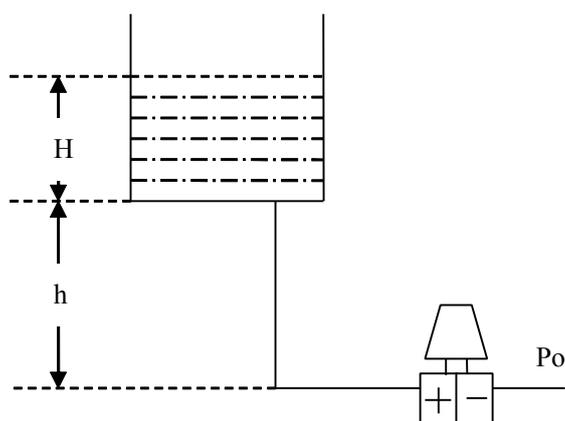
$$(h_2 - h_1)P_2g = 2000\text{Pa},$$

那么  $H=0$  时，根据  $\Delta P = hp_1g - (h_2 - h_1)p_2g - (h_2 - h_1)P_2g = -200\text{Pa}$  这是变送器的输出应为  $4\text{mA}$ ， $H$  为最大时

$\Delta P = hp_1g - (h_2 - h_1)p_2g = 5000 - 2000 = 3000\text{Pa}$  这是变送器的输出应为  $20\text{mA}$ ，如图中曲线  $b$  所示，也就是说  $\Delta P$  从  $-2000\text{Pa}$  到  $3000\text{Pa}$  变化时变送器的输出应从  $4\text{mA}$  变化到  $20\text{mA}$ ，他维持原来的量程 ( $5000\text{Pa}$ ) 大小不变，指示向负方向迁移了一个固定压差值  $\{(h_2 - h_1)p_2g = 2000\text{Pa}\}$  这种情况称之为负迁移。

由于工作条件的不同，有时会出现正迁移的情况，如图；

图 4—22



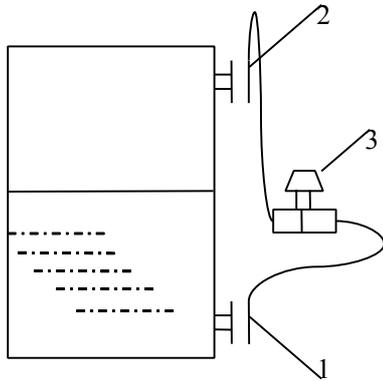
如果  $P_0=0$ ，经过分析可知，当  $H=0$  时，正压室多了一项附加压力  $hPg$ ，或者说  $H=0$  时， $\Delta P = hPg$ ，这是变送器输出应为  $4\text{mA}$  如曲线图中的  $c$

### 3) 法兰式差压变送器、

为了解决测量具有腐蚀性或含有结晶颗粒以及粘性大、易凝固等液体、液位式引压管被腐蚀，被堵塞的问题，应使用在导压管入口处加隔离膜盒的法兰式差

压变送器。

图 4—23



- 1-- 法兰测量头
- 2-- 毛细管
- 3-- 变送器

作为敏感元件的测量头 1(金属膜盒)经毛细管 2 与变送器 3 的测量室相通. 在膜盒毛细管和测量室所组成的封闭系统内充有硅油, 作为传压介质, 并使被测介质不进入毛细管与变送器.

按其结构形分为单法兰式及双法兰式差压变送器两种. 容器与变送器阀只需一个法兰将管路接通的称为单法兰差压变送器, 而对于上端与大气隔绝的闭口容器, 因上部空间与大气压力多半不等, 必须采用两个法兰分别将液相和气相压力导致差压变送器.

如图, 这就是双法兰变送器.

### (三) 浮筒式液位计的结构原理

浸在液体里的物体体积不同, 则物体所受的浮力也就不同. 浮筒液位计的检测原理基于阿基米德定律. 所以只要检测所受浮力的变化, 便能知道被测介质所受的浮力变化. 一个横截面积相同、重量为  $W$  的圆形金属浮筒被弹簧压缩, 浮筒重量被弹力所平衡. 如果浮筒其中一部分浸没在被测介质的液体中, 则浮筒受到浮力作用将向上移动, 当与弹力达到新的平衡时, 浮筒即停止移动. 在平衡时有如下关系

$$Cx = W - Ah\rho$$

- 式中  $C$  —— 弹簧刚度;
- $x$  —— 弹簧压缩位移;
- $A$  —— 浮筒的截面积;
- $h$  —— 浮筒被液体浸没的深度 (液位高度);
- $\rho$  —— 液体的密度.

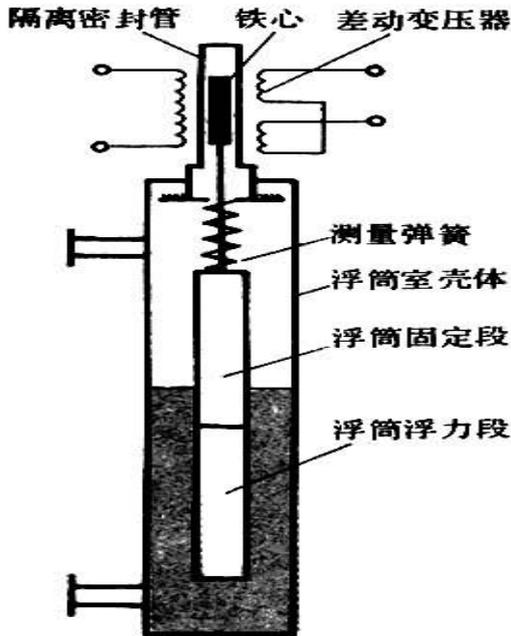


图 1 具有差动变压器的浮筒式液位计

当被测介质的液位发生变化  $\Delta h$  时, 浮筒的位移相应变化  $\Delta x$ , 而且位移  $\Delta x$  和液位变化  $\Delta h$  成比例关系. 当在浮筒的连杆上安装一个铁芯, 则通过差动变压器将输出相应的电信号, 便可检测出被测介质液位高低的数值. 有些结构中, 将浮筒浮力的变化转换成相应的角位移. 浮筒垂直悬挂在杠杆的一端,

杠杆的另一端与扭力管、芯轴的一端垂直地紧固在一起, 将其固定在外壳上.

扭力管的另一端通过法兰固定在仪表外壳上。其芯轴的另一端为自由端，将输出相应的角位移，从而可推出扭角  $\theta$  与杠杆所受的力  $\Delta F$  成比例关系。

浮筒液位计的量程取决于浮筒的长度；液位计的输出信号是液位高度和被测介质的液体的密度的函数关系，一旦当被测介质的密度有所变化，需进行相应的修正方能准确检测其液位。

浮筒式液位计的调校

浮筒式液位计的调校有两种方法，即挂重法和水校法。在工业现场中常用水校法，当被测介质液体不是水时，也可用水进行代校。

## 第五节 温度检测及仪表

温度是表示物体冷热程度的物理量。是各种工业生产和科学实验中最普遍而重要的操作参数。

众所周知，任何一种化工生产过程都伴随着物质的物理和化学性质的变化，都必然有能量的交换和转化其中最普遍的交换形式是热交换形式。因此，化工生产中的各种工艺过程都是在一定的温度下进行的。

(一) 温度检测方法

温度不能直接测量，只能借助于冷热不同物体之间的热交换，以及物体的性质随冷热程度不同而变化的特性来加以间接测量。任意两个冷热程度不同的物体相接触，必然要发生交换现象，热量将由受热程度高的物体传到受热程度低的物体，直到两物体的冷热程度完全一致，即达到热平衡状态为止，利用这一原理，就可以选择某一物体同被测物体相接触，并进行热交换，当两者达到热平衡状态时，选择物体与被测物体温度相等。于是，可以通过测量选择物体的某一物理量（如液体的体积，导体的电量等），便可以定量地给出被测物体的温度数值。以上就是接触测温法。也可以利用热辐射原理来进行非接触测温。

温度测量范围甚广，有的处于接近绝对零度的低温，有的要在几千度的高温下进行，这样宽的测量范围，需要各种不同的测温方法和测温仪表。若按使用的测量范围分，常把测量  $600^{\circ}\text{C}$  以上的测温仪表叫高温计，把测量  $600^{\circ}\text{C}$  以下的测温仪表叫温度计，若按用途分，可分为标准仪表，实用仪表。若按工作原理分则分为膨胀式温度计，压力式温度计，热电偶温度计，热电阻温度计和辐射高温计五类。若按测量方式分，则可分为接触式与非接触式两大类。前者测温元件直接与被测介质接触，这样可以使被测介质与测温元件进行充分的热交换，而达到测温目的。

现按测量方式分类见表所示。

表 4—4 常用温度计的种类及优缺点

测温方式	温度计种类	测温范围/℃	优点	缺点	
接触式测温仪表	膨胀式	玻璃液体	-50~600	结构简单,使用方便,测量准确,价格低廉	测量上限和精度受玻璃质量的限制,易碎,不能记录远传
		双金属	-80~600	结构紧凑,牢固可靠	精度低,量程和使用范围有限
	压力式	液体	-30~600	结构简单,耐震,防爆能记录、报警,价格低廉	精度低,测温距离短,滞后大
		气体 蒸汽	-20~350 0~250		
	热电偶	铂铑-铂	0~1600	测温范围广,精度高,便于远距离、多点、集中测量和自动控制	需冷端温度补偿,在低温段测量精度较低
镍铬-镍硅 镍铬-考铜		-50~1000 -50~600			
热电阻	铂	-200~600	测量精度高,便于远距离、多点、集中测量和自动控制	不能测高温,须注意环境温度的影响	
	铜	-50~150			
非接触式测温仪表	辐射式	辐射式	400~2000	测温时,不破坏被测温度场	低温段测量不准,环境条件会影响测温准确度
		光学式	700~3200		
		比色式	900~1700		
	红外线	光电探测	0~3500	测温范围大,适于测温度分布,不破坏被测温度场,响应快	易受外界干扰,标定困难
热电探测		200~2000			

### 1) 膨胀式温度计

是基于物体受热时体积膨胀的性质而制成的。玻璃管温度计属于液体膨胀式温度计,双金属温度计属于固体膨胀式温度计。

### 2) 压力式温度计

应用压力随温度的变化来测温的仪表叫压力式温度计。它是根据在封闭系统中的液体、气体或低沸点液体的饱和整体受热后体积膨胀或压力变化这一原理而制成的,并用压力表来测温这种变化,从而测的温度。

### 3) 辐射式高温计

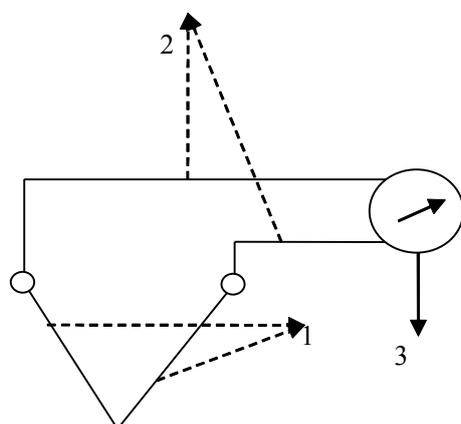
是基于物体热辐射作用来测量温度的仪表目前已被广泛的用来测量大于 800℃ 的温度。

### (二) 热电偶温度计

热电偶温度计是以热得按效应为基础的温度仪表。他的测量范围很广,结构简单,使用方便,测温准确可靠,信号便于远传,自动记录和集中控制,因而在化工生产中应用极为普遍。

热电偶温度计有三部分组成:热电偶(感温元件);测量仪表(动圈仪表或电位差计);连接热电偶和测量仪表的导线(补偿导线及铜导线)。

图 4—24



热电偶温度计测温系统示意图  
1、热电偶  
2、导线  
3、测量仪表

## 1) 热电偶

是工业上最常用的一种测温元件（感温元件），它是由两种不同材料的导体 A 和 B 焊接而成，焊接的一端插入被测介质中，感受到被测温度，称为热电偶的工作端或热端，另一端与导线连接，称为冷端或自由端，导体 A, B 称为热电极。常用热电偶的种类（最常用的、以标准化的）

### (1) 铂铑 30—铂铑 6 热电偶（也称双铂铑热电偶）

此种热电偶（分度号为 B）以铂铑 30 丝为正极，铂铑 6 丝为负极；测量范围为 300~1600℃，短期可测 1800℃。其热电特性在高温下更稳定，适于在氧化性和中性介质中使用。但它产生的热电势小，价格贵，在低温时热电势极小，因此当冷端温度在 40℃ 以下范围使用时一般可不需要进行冷端温度修正。

(2) 铂铑 10—铂热电偶 在铂铑 10—铂热电偶（分度号为 S），铂铑 10 丝为正极，测量范围为 -20~1300℃。在良好的使用环境下可短期测量 1600℃；适用于在氧化性或中性介质中使用。优点是耐高温不易氧化；有较好的化学稳定性；具有较高的测量精度，可用于精密温度测量和作基准热电偶。

(3) 镍铬—镍硅（镍铬—镍铝）热电偶。该热电偶（分度号为 K）中镍铬为正极，镍硅（镍铝）为负极；测量范围 -50~1000℃，短期可测量 1200℃ 在氧化性和中性介质中使用，500℃ 以下低温范围内，也可用于还原性介质中测量。此种热电偶其热电势大，线性好，测温范围较宽，造价低，因而应用很广。

镍铬—镍铝热电偶与镍铬—镍硅热电偶的热电特性几乎完全一致。但是镍铝合金在高温下易氧化变质，引气热电特性变化。镍硅合金在抗氧化及热电势稳定性方面都比镍铝合金好。目前，我国基本上已用镍铬—镍硅热电偶取代了镍铬—镍铝热电偶。

(4) 镍铬—考铜热电偶（分度号为 XK）镍铬为正极，考铜为负极；适宜于还原性或中性介质中使用；测量范围为 -50~600℃，短期可测量 800℃；这种热电偶的热电势较大，比镍铬、镍硅热电偶高一倍左右；价格便宜。

他的缺点是测温上限不高。在不少情况下不能适应。另外，考铜合金易氧化变质，由于材料的质地坚硬而不易得到均匀的线组。

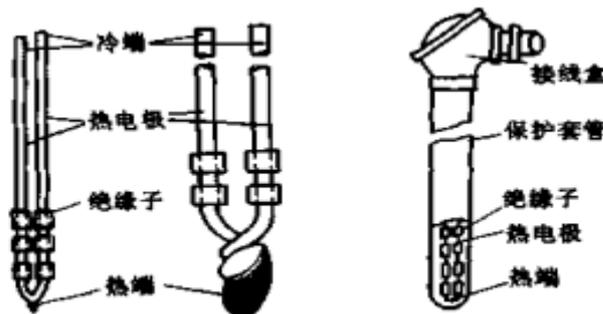
此外用于各种特殊用途的热电偶还很多。如红外线接收热电偶；用于 2000℃ 高温测量的钨铼热电偶；用于超低温测量的镍铬，金铁热电偶；非金属热电偶等。

## 2) 热电偶的结构

热电偶根据他的用途和安装位置不相同的。按结构型式分有普通型，铠装型，表面性和快速性四种。

### (1) 普通型、主要有热电极，绝缘管、保护套管和接线盒的主要部分组成。

图 4—25



热电极是组成热电偶的两根热偶丝，热电极的直径由材料的价格、机械强度、

电导率以及热电偶的用途和测量范围等决定。贵金属的热电极大多采用直径 0.3~0.65mm 的细丝，普通金属电极丝的直径一般为 0.5~3.2mm。其长度由安装条件及插入深度而定，一般为 350~2000mm。

绝缘管（又称绝缘子）用于防止两根热电极短路。材料的选用由使用温度范围而定，它的结构型式通常有单孔管，双控管，四孔管等。保护套管式套在热电极，绝缘子的外边，起作用是保护热电极不受化学腐蚀和机械磨损。保护套管材料的选择一般根据测温范围，插入深度以及测温的时间常数等因素来决定。对保护管材的要求是：耐高温，耐腐蚀，能承受温度的巨变，有良好的气密性和具有较高的热导系数。其结构一般有螺纹式和法兰式两种。

表 4—5 常用保护套管的材料表

材料	工作温度/°C
无缝钢管	<b>600</b>
不锈钢管	<b>1000</b>
石英管	<b>1200</b>
瓷管	<b>1400</b>
<b>Al2O3 陶瓷管</b>	<b>1900 以上</b>

接线盒是提供热电极和补偿导线连接之用的。他通常用铝合金制成，一般分为普通式和密封式两种。为了防止灰尘和有害气体进行热电偶保护套管内，接线盒的出线孔和盖子均用垫片和垫圈加以密封。接线盒内用于连接热电极和补偿导线的螺丝必须固紧，以免产生较大的接触电阻而影响测量的准确度。

#### (2) 铠装热电偶

由金属套管、绝缘材料（氧化镁粉）热电偶丝一起经过复合拉伸成型，然后将端部偶丝焊接成光滑球状结构。工作端有漏头型、接壳型、绝缘型三种。其外往为 1~8mm，还可小到 0.2mm 长度可为 50m

铠装热电偶具有反应速度快，使用方便，可弯曲，气密性好，不怕震，耐高压等优点，是目前是有较多并正在推广的一种结构。

#### (3) 表面性热电偶

常用的就够形式是利用真空镀膜发将两极材料蒸镀在绝缘基底上的薄膜热电偶，专门用来测量物体表面温度的一种特殊热电偶，其特点：反应速度快，热损性小。

#### (4) 快速热电偶

1. 它是测量高温溶解的一种热电偶，整个热电偶元件的尺寸很小，称之为消耗式热电偶。

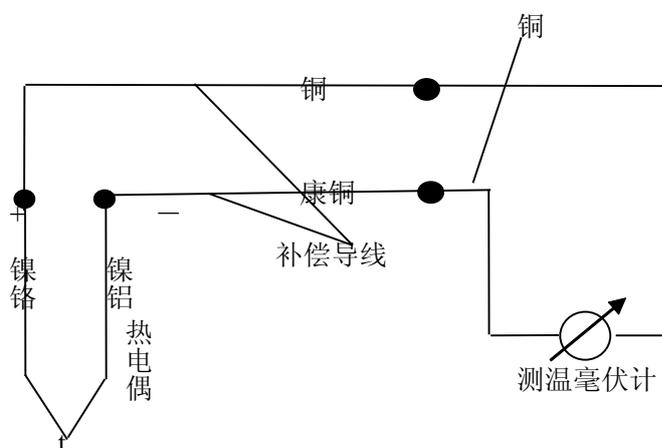
热电偶的结构形式可根据他的用途和按照位置来确定。在热电偶选型时，要注意五个方面：热电极的材料，保护套管的结构，材料的耐压程度，保护套管的插入深度。

#### 2. 补偿导线的选用

在实际应用时，由于热电偶的工作端（热端）与冷端离的很近，而求冷端又暴露在空间容易受到周围环境温度波动的影响，因而冷端温度难以保持恒定。为了使热电偶的冷端温度保持恒定。当然可以把热电偶做得很长，使冷端远离热端，

但是这样做要多消耗许多贵重的金属材料，是不经济的。解决这个问题的方法是采用一种专用导线，将热电偶的冷端延伸出来如图所示

图 4—26



这种专业导线称之为“补偿导线”，他也是有两种不同性质的金属材料制成，在一定温度范围内（0~100℃）与所连接的热电偶具有相同的热点特性，其材料又是廉价金属。不同的热电偶所用的补偿线也不同，对于镍铬-考铜等一类廉价金属制成的热电偶，刚刚用其本身材料做补偿导线。

在使用热电偶补偿导线时，要注意型号相配，极性不能接错，热电偶与补偿导线连接端所处的温度不应超过 100℃

表 4—6 常用热电偶的补偿导线

热电偶名称	补偿导线				工作端为 100℃冷端为 0℃是的标准热电偶
	正极		负极		
	材料	颜色	材料	颜色	
铂铑 10—铂	铜	红	铜镍	绿	<b>0.645±0.087</b>
镍铬—镍硅	铜	红	铜镍	蓝	<b>4.095±0.105</b>
镍铬—铜镍	镍铬	红	铜镍	棕	<b>6.317±0.170</b>
铜—铜镍	铜	红	铜镍	白	<b>4.277±0.047</b>

### 3) 冷端温度的补偿

采用补偿导线后，把热电偶的冷端从温度较高和不稳定的操作室内，但冷端温度还不是 0℃，而工业上常用的各种热电偶的温度—热电势关系曲线是在冷端温度保持为 0℃ 情况下得到的，与他配套使用的仪表也是根据这一关系曲线进行刻度的。由于操作室的温度往往高于 0℃ 而且是不恒定的。这时，热电偶所产生的热电势必然偏小。且测量值也随冷端温度变化而变化，这样测量结果就会产生误差。因此，在应用热电偶测温时，只有将冷端温度保持为 0℃ 或者进行一定的修正才能得出标准的测量结果。这样做就称之为热电偶丝的冷端温度补偿。

1. 冷端温度保持为 0℃ 地方法。
2. 冷端温度保持 0℃ 地方法。

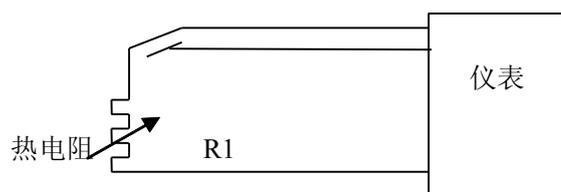
3. 校正仪表零点法。
4. 补偿电桥法。
5. 补偿热电偶法。

### (三) 热电阻温度计

适用于中、低温区测量温度。

是由热电阻（感温元件）显示仪表（平衡电桥或不平衡电桥）以及连接导线组成。连接导线制接法。

图 4—27



热电阻温度计

目前应用最广泛的热电阻材料是铂和铜

- 1 铂电阻（WZP 新型号 WZB 旧型号）
- 2 铜电阻（WZC 新型号 WZG 110 型号）

## 第三章 显示仪表

凡能将生产过程中各种参数进行指示，记录或积累的仪表称显示仪表（也称二次仪表）。一般都装在控制室的仪表盘上。目前，大多数石化企业采用 DCS 系统，显示仪表功能由 DCS 彩色显示器（CRT 或 LCD）代替，故不再多做介绍。

## 第四章 控制仪表

### 第一节 基本控制规律

调节器在一定输入信号作用下，其输出信号随时间变化的规律称为调节器的特性，或作用规律，也就是调节器输出 / 输入的动态特性。

调节器可分为 P、I、D 及其组合 PI、PD、PID 等多种作用规律。不论电动 II 型、电动 III 型调节器或集散型过程控制系统，都是 P、I、D 的组合，应用时只是根据被调对象的特性进行 P、I、D 整定而已。例如  $D=0$ ，则成为 PI 调节规律； $I=\infty$ ，则成为 PD 调节规律； $I=\infty$ ， $D=0$ ，则为纯比例调节规律。

#### (一) 单一控制规律

### 1) 比例调节规律

#### (1) 比例调节的物理意义

调节器的输出变化量与输入变化量（偏差）成正比。控制及时，控制作用强，但存在余差。

#### (2) 比例作用闭环特性

调节系统闭环时，输入、输出的时间特性叫闭环特性，或称输入、输出的动态特性。

从时间特性看，比例作用有以下特点：

- a. 比例作用输入、输出同步变化，在时间上没有延滞。调节作用快。
- b. 输出信号与输入（偏差）信号一一对应。
- c. 调节器输出变化速度与被调参数变化速度成正比。

### 2) 积分调节规律

积分调节规律是调节器的输出变化量与输入偏差随时间的积分成正比的调节规律，

积分作用的物理意义

通常用积分时间  $T_i$  表示积分作用的强弱， $T_i$  越短，积分作用越强。反之亦然。只要有偏差存在，输出便随时间而积累，直到偏差消除为止，系统达到新的稳定（否则输出一直到最大），这就是积分能消除余差的原因。

积分调节作用可以自动消除系统的余差，也就是说，积分调节规律可以使被调参数最终准确地等于给定值，而比例调节总是存在一定余差，从这个意义来说，有积分作用的调节器称为“无差调节器”；而没有积分作用的调节器称为“有差调节器”。

积分作用闭环特性

a. 在阶跃、恒速、正弦输入下，调节器输出都是以一定速度随着时间而积累，直到最大或最小。其速度与偏差大小成正比，而与积分时间  $T_i$  成反比。所以在相同偏差下，积分时间越短，输出变化越快，积分作用越强。反之依然。

b. 只要偏差存在，调节器输出就不断变化，当偏差消除，输出即保持某积累量不再变化，所以在积分作用下，当达到新的稳态时，必然是无差的。

c. 积分作用与比例作用相比，具有相位上的滞后（ $90^\circ$ ），所以调节速度慢

### 3) 微分作用调节规律

调节器的输出变化量与输入（偏差）变化的趋势（速度）成正比。

微分方程的物理意义，

调节作用强，超前调节，但不能消除余差。微分不能作为独立的调节器使用。

#### (二) 组合调节规律

由比例、积分、微分三种基本作用调节规律可以组合成比例积分（PI）、比例微分（PD）、比例积分微分（PID）等不同的组合调节规律。

##### 1) 比例积分（PI）组合调节规律

PI 调节器既具有比例作用的快速（相对积分作用而言）优点，可对干扰进行及时校正，使系统稳定快，又具有积分作用消除余差快的优点，现场应用较广

##### 2) 比例微分（PD）组合调节规律

比例微分调节，当输入信号作阶跃变化时，输出一开始飞跃到单纯比例作用的  $K_D$  倍，然后沿指数曲线逐渐回降，到最后只剩下比例作用。

### 3) 比例积分微分 (PID) 组合调节规律

PID 调节器综合了比例、积分、微分三种调节作用的特点。当偏差信号进入时, 比例和微分同时发生作用。由于微分的超前作用, 可以使起始偏差幅度减小, 降低超调量。比例作用是经常性的、主要的作用, 可以使系统趋于稳定。接着积分起作用, 慢慢把余差消除掉。

P、I、D 作用规律组合合理与否取决于对象特性和工况。PID 调节不仅克服干扰能力大大加强, 而且系统稳定性大大提高, 所以比例、积分、微分不是简单的三作用叠加, 而是互相促进。因为微分作用是阻止被调参数的一切变化, 因此, 引入微分后可以将比例度和积分时间相应减少而不降低系统的稳定性, 从而提高调节质量。

#### (三) PID 控制器的参数整定

PID 控制器的参数整定是控制系统设计的核心内容。它是根据被控过程的特性确定 PID 控制器的比例系数、积分时间和微分时间的大小。PID 控制器参数整定的方法很多, 概括起来有两大类: 一是理论计算整定法。它主要是依据系统的数学模型, 经过理论计算确定控制器参数。这种方法所得到的计算数据未必可以直接用, 还必须通过工程实际进行调整和修改。二是工程整定方法, 它主要依赖工程经验, 直接在控制系统的试验中进行, 且方法简单、易于掌握, 在工程实际中被广泛采用。PID 控制器参数的工程整定方法, 主要有临界比例法、反应曲线法和衰减法。三种方法各有其特点, 其共同点都是通过试验, 然后按照工程经验公式对控制器参数进行整定。但无论采用哪一种方法所得到的控制器参数, 都需要在实际运行中进行最后调整与完善。现在一般采用的是临界比例法。利用该方法进行 PID 控制器参数的整定步骤如下: (1) 首先预选择一个足够短的采样周期让系统工作; (2) 仅加入比例控制环节, 直到系统对输入的阶跃响应出现临界振荡, 记下这时的比例放大系数和临界振荡周期; (3) 在一定的控制度下通过公式计算得到 PID 控制器的参数。

在实际调试中, 只能先大致设定一个经验值, 然后根据调节效果修改。

对于温度系统: P (%) 20--60, I (分) 3--10, D (分) 0.5--3

对于流量系统: P (%) 40--100, I (分) 0.1--1

对于压力系统: P (%) 30--70, I (分) 0.4--3

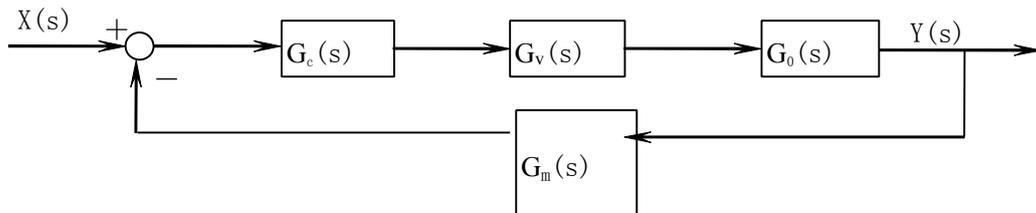
对于液位系统: P (%) 20--80, I (分) 1--5

参数整定找最佳, 从小到大顺序查  
先是比例后积分, 最后再把微分加  
曲线振荡很频繁, 比例度盘要放大  
曲线漂浮绕大湾, 比例度盘往小扳  
曲线偏离回复慢, 积分时间往下降  
曲线波动周期长, 积分时间再加长  
曲线振荡频率快, 先把微分降下来  
动差大来波动慢。微分时间应加长  
理想曲线两个波, 前高后低 4 比 1  
一看二调多分析, 调节质量不会低

## 第二节 主要控制方案

本装置的大部分控制回路采用单回路定制控制,对工艺操作上有关联的重要参数采用串级控制、超驰控制、分程控制等复杂控制。下面对各种控制方法做一简单介绍。

1) 单回路控制: 又称单回路反馈控制。由于在所有反馈控制中,单回路反馈控制是最基本、结构做简单的一种,因此,它又被称之为简单控制。



简单调节系统方块图

单回路反馈控制由四个基本环节组成,即被控对象(简称对象)或被控过程(简称过程)、测量变送装置、控制器和控制阀。

2) 超驰控制: 就是当自动控制系统接到事故报警、偏差越限、故障等异常信号时,超驰逻辑将根据事故发生的原因立即执行自动切手动、优先增、优先减、禁止增、禁止减等逻辑功能,将系统转换到预设定好的安全状态,并发出报警信号。

超驰控制是监视自动控制过程的眼睛,随时检测控制回路中变送器信号的品质、输入输出偏差限值等。如果是控制仪表本身出现问题,控制回路就失去了自动控制的基础条件、超驰控制将选择自动切手动方式把控制回路自动转为手动;对外,它是系统的安全转折器,若自动控制仪表一切正常,主、辅设备或各种自动控制系统之间的运行状态产生异动,超驰控制将根据判定逻辑得出的结果,决定自动控制系统的控制策略或运行方向,从而转入安全通道,脱离可能发生的危险工况。

3) 串级控制系统: 是指一个自动调节系统由两个串联调节器通过两个测量两元件构成两个调节回路,并且一个调节器的输出作为另一个调节器的给定。串级调节系统调节速度快,过渡过程短,调节品质高,最大动态偏差小。

串级调节系统构成

### ① 主、副参数

主参数: 化工生产过程中的重要工艺指标,在串级调节系统中起主导作用的被调参数。

副参数: 影响主参数的主要变量或为满足某种关系的需要而引入的辅助参数。

### ② 主、副对象

根据主、副参数,可以确定主、副对象。

主对象: 生产过程中所要控制的、由主参数表征其主要特性的工艺生产设备。

副对象: 影响主参数的、由辅助参数表征其特性的工艺设备及管道。

### ③ 主、副变送器

串级调节系统中的两个变送器,根据其接收主、副参数的信号而分为主变送器和副变送器,一般可简称为“主变”、“副变”。

### ④ 主、副调节器

根据调节器接受的信号和所起的作用而区分。

主调节器: 接受主变送器送来的主参数信号,与由工艺指标决定的给定值进行

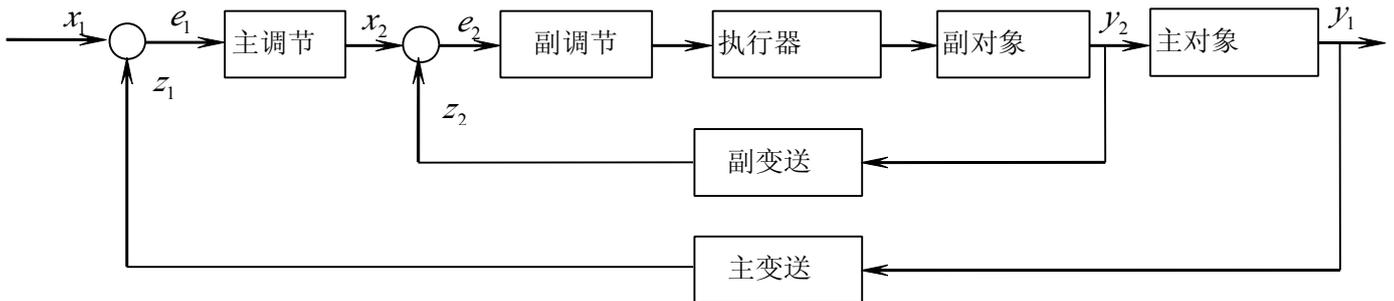
比较，其输出送往另一调节器作为副参数给定值。这个调节器在串级调节系统中起主导作用，因此叫做主调节器，简称主调。

副调节器：接受副变送器送来的副参数信号，与由主调节器输出决定的给定值进行比较，其输出直接操纵执行器。简称副调。

⑤ 主、副回路

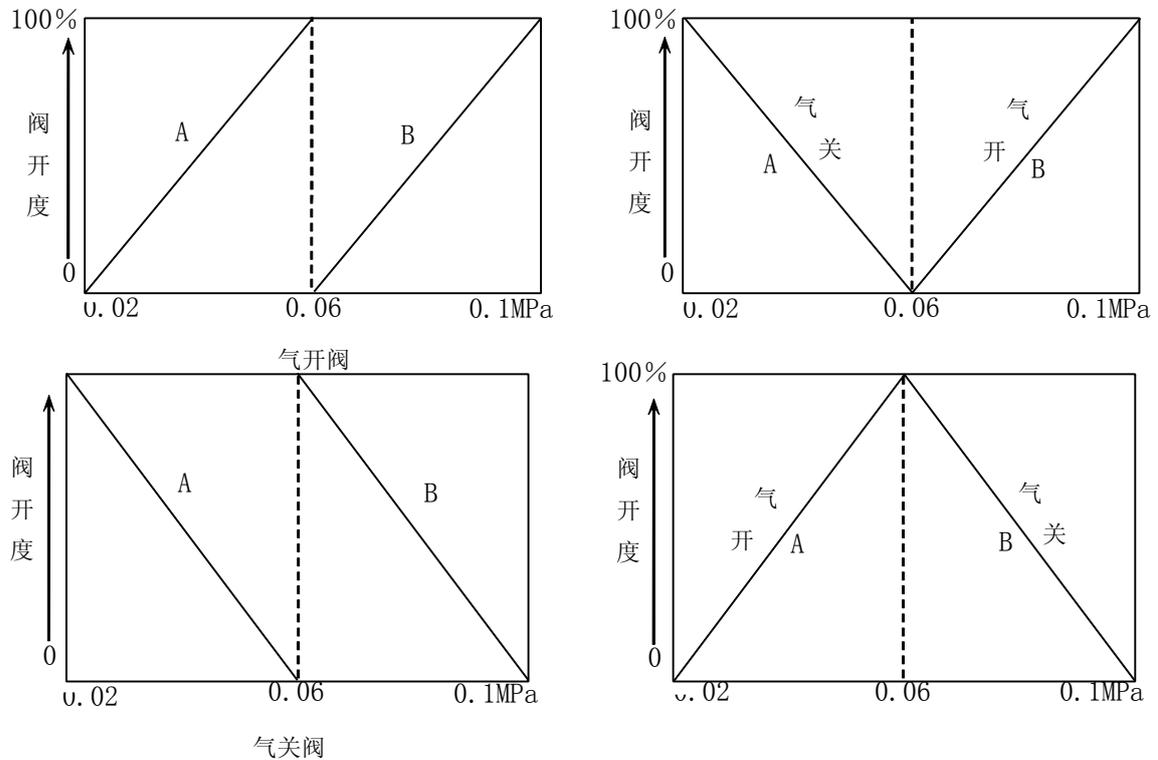
主回路：又称主环，它是由主变送器、主调节器、执行器和主对象所构成的闭合回路，也就是副回路反馈断开后的整个回路。

副回路：又称副环，它是由副对象、副变送器、副调节器及执行器构成的闭合回路。



串级调节系统方块图

4) 分程控制：将一台调节器的输出信号分割成了两个（或三个）不同量程范围，去带动不同的两个（或三个）调节阀，这种调节成为分程调节系统。调节器输出的分割一般由阀门定位器来完成。分程调节中，调节阀开关形式一般可分为两种类型。一种是阀门同向动作，即随调节输出信号增大（或减小），两阀门都开大（或关小）。另一种是异向动作，即随调节器的输出信号增大（或减小），阀门总是按一个关闭而另一个打开的方向进行，如图所示。



同向分程控制

反向分程控制

分程控制的目的：

- ① 扩大调节阀可调范围，改善调节品质。
- ② 满足工艺生产中的一些特殊要求。

## 第五章 执行器

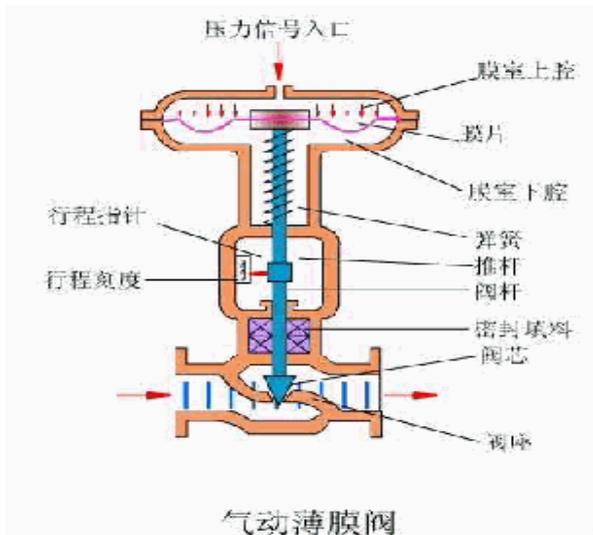
是自动控制系统中的一个重要组成部分。它的作用是接受控制器送来的控制信号，改变被控介质的量，从而将被控制变量维持在所要求的数值上或一定的范围内。执行器按其能源形式可分为气动，电动，液动三大分类。气动执行器用压缩空气作为能源，其特点是结构简单，动作可靠，平稳，输出推动较大，维修方便，防火放然，而且价格较低，一次管饭应用于化工，炼油等生产过程中。

### （一）气动执行器

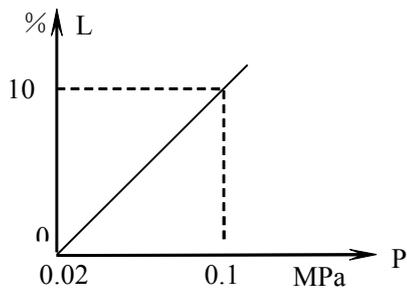
执行器由执行机构和调节器（控制阀）两部分组成。

#### 1) 气动执行机构

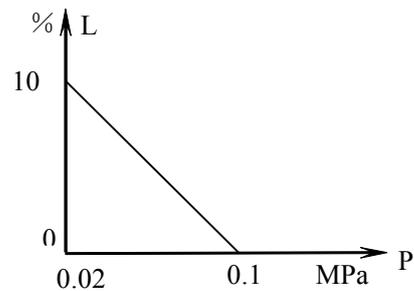
气动执行机构是气动执行器的推动部分，它按控制信号的大小产生相应的输出力，通过执行机构的推杆，带动控制阀的阀芯使它产生相应的位移（或转角）。生产中常用的为气动薄膜执行机构。



气动薄膜执行机构由膜片、推杆和平衡弹簧等组成。它通常接受  $0.2 \times 10^5 \sim 1.0 \times 10^5 \text{Pa}$  的标准压力信号，经膜片转换成推力，克服弹簧力后，使推杆产生位移，按其动作方式分为正作用和反作用两种形式。当输入气压信号增加时推杆向下移动称正作用；当输入气压信号增加时推杆向上移动称反作用。与气动执行机构配用的气动控制阀有气开和气关两种；有信号压力时，阀门开启的称气开式；而有信号压力时，阀门关闭的称气关式。气开、气关是由气动执行机构的正、反作用与控制阀的正、反安装来决定的。



(a)正作用式



(b)反作用式

## 2) 调节器 (控制阀)

调节阀的结构形式较多, 其中最为常用的是直通双座调节阀。

### 直通双座、单座调节阀

为适应不同的调节对象、被调参数、调节参数, 即为不同的调节系统的需要, 调节阀将有不同的型号规格, 例如直通单座、双座阀、三通阀、角形调节阀、高压调节阀、隔膜调节阀、小流量调节阀、碟阀、球阀等。

#### (1) 直通双座调节阀

直通双座调节阀阀体内有两个阀芯和两个阀座, 用阀杆上下移动来改变阀芯和阀座的位置, 故叫直通双座调节阀。双座阀分为正装、反装两种。正装时, 阀芯向下移动, 阀芯与阀座间的流通面积减少。反装时, 阀芯向下移动, 阀芯与阀座间的流通面积增大。

由于双座阀有两个阀芯与阀座, 采用双导向结构, 故正、反装可以方便互改。例如正装可以改成反装, 只要把阀芯倒装, 阀杆与阀芯的下端联接, 上、下阀座互换位置之后可以改变安装方式。

双座阀有上、下两个阀芯, 流体作用在上、下阀芯上的推力方向相反, 但大小相等, 故其不平衡力很小, 允许使用压差大。双座阀关闭时泄漏量大为其不足点。

#### (2) 直通单座调节阀

直通单座调节阀的基本组成部件和双座阀相同, 只是阀体内只有一个阀芯和阀座。其优点是与双座阀相比泄漏量小, 由于其单芯结构, 密闭性好, 并且可以完全切断。从结构上看可分调节型和切断型, 区别在于阀芯形状不同。调节型的阀芯结构为柱塞型, 切断型的阀芯结构为平板型。

直通单座调节阀的阀芯根据口径大小还可分为双导向、单导向。DN $\geq$ 25mm 的阀芯为双导向, DN $<$ 25mm 为单导向。单导向的只能正装, 而不能反装, 故气开式需应用反作用执行机构。双导向的只要改变阀杆与阀芯的连接位置就可实现正、反装。单座阀的不平衡力较大, 故仅适用于低压场合, 否则需配阀门定位器或大推力的气动执行机构。

## 3) 气动执行器辅助装置的种类

气动执行器的辅助装置有以下几种:

(1) 阀门定位器。包括电气阀门定位器和气动阀门定位器, 用于改善调节阀工作特性, 实现正确定位。

(2) 阀位开关。显示调节阀上、下限的行程工作位置。

(3) 气动保位阀。气源故障时, 保持阀门当时的位置。

(4) 三通、四通电磁阀。实现气路的自动切换。

(5) 手轮机构。系统故障时, 可切换进行手动操作。

(6) 气动继动器。使执行机构动作加快, 减少传递时间。

(7) 空气过滤减压器。作为气源净化、调压之用。

(8) 贮气罐。气源故障时，由它取代，使阀能继续工作一段时间。

#### 气动执行器的安装、维修、故障修理

任何一台气动执行器均由气动执行机构和调节阀组成。在安装前须进行始终点偏差、全行程偏差、非线性偏差、正反行程变差、灵敏限、薄膜气室或气缸的气密性、调节阀的密封性、阀关闭时的允许泄漏量、流通能力及流量特性等技术性能的测试及调校，符合规程要求后方可进行安装。上述这些技术性能测试或调校，有的可在使用单位进行，但仪表制造厂家须进行全部的测试或调校。但尽管如此，厂商的调节阀运到使用单位后，由于运输与搬动等因素会使调节阀的性能受到一定影响，如螺丝松动或零度变动等，故在安装前需进行如下项目的检查：

- ① 外观检查；
- ② 始终点偏差；
- ③ 全行程偏差；
- ④ 非线性偏差；
- ⑤ 正反行程的变差；
- ⑥ 灵敏限；
- ⑦ 阀座关闭时的泄漏量；
- ⑧ 密封填料函及其连接处的渗漏；
- ⑨ 薄膜气室及活塞气缸的密封试验。

#### 4) 气动执行器的安装

气动执行器经检查后可进现场安装，但须确定好位置。位置的选择应符合如下规定。

(1) 对于气动执行器最好为正立垂直安装于水平管线上。特别情况需水平或倾斜安装时，除小口径外，均应加支撑。对于阀重量较大的，即使是水平安装也应加支撑。

(2) 气动执行器应安装在近地面、楼板的地方，这样便于调整、检修、拆卸。当管道的标高大于 2m 时，为便于维修，应尽量设置于平台上。对于有手轮机构或阀门定位器的调节阀，更应安装于便于观察、调整方便的地方。

(3) 安装在环境温度不高于+60℃，不低于-40℃，并远离连续振动的场所。

(4) 阀体上的箭头方向需与介质流向一致。尤其对于直通单座调节阀的流向需与阀芯斜面相反，否则，当阀芯与阀座关闭时，因执行机构的输出力小于流体作用在阀芯上的不平衡力，产生突然关闭，导致影响调节阀的性能和寿命。所以调节阀不能背着流向进行安装。待安装完毕，仪表、自动化人员应与工艺人员一起检查阀的方向是否正确。

(5) 如调节阀的公称直径与管路的公称通径不同时，应加渐缩管，

(6) 调节阀安装前，应对管路进行吹扫、清洗，排去污物、焊渣，以防杂质进入阀体内。安装完毕后再次进行清洗吹扫，并检查阀与管道连接处的密封性。首次阀门通入介质时，使阀门处于全开状态，以防杂质卡住，使阀芯不动。

(7) 阀的手轮机构使用后，需恢复到空挡位置，确保自动调节系统能顺利进行。

#### 气动执行器的维修

由于气动执行器与工艺介质相接触，其好坏会影响调节系统。虽然其结构简单，动作可靠，但由于其重要性，故需经常强化维修工作。调节阀在维修过程中应重点检查以下五个部分：

(1) 阀体内壁。检查其耐压、耐腐情况。

(2) 阀座。因介质渗入，固定阀座用的螺纹内表面易受腐蚀而使阀座松动，检查时应予以注意。对高压差场合，还应检查阀座密封面是否被破坏。

(3) 阀芯。要认真检查阀芯各部分是否被腐蚀、磨损，特别是在高压差情况下阀芯磨损更严重，应予以注意。另外，还应检查阀杆是否也有类似现象，或与阀芯连接是否松动等。

(4) 膜片、“O”型圈和其它密封垫。检查是否老化、裂损。

(5) 密封填料。检查聚四氟乙烯填料、密封润滑油脂是否老化、干涸，配合面是否被损坏。

#### 5) 气动执行器的故障处理

气动执行器在运行过程中难免会发生一些故障，下面就经常发生的问题进行讨论。

(1) 调节阀经常卡住和堵塞，如何加以解决？

出现这种故障说明管道中杂物较多，可采取以下措施：

##### ① 卸开阀门进行清洗

管路中的焊渣、铁锈、杂质等在节流口、导向部位、下阀盖平衡孔内堵塞或卡住，使阀芯曲面、导向面产生拉伤和划痕，密封面上产生压痕等。这种现象经常发生于开工期间和大修后投运初期，是最常见的故障。

遇到此情况，必须卸开阀门进行清洗，除掉杂物，如密封面受到损伤还应研磨，同时将底塞打开，以冲掉从平衡孔进入下阀盖内的杂物，并对管路进行冲洗。投运前，让调节阀全开，介质流动一段时间后再纳入正常运行。

##### ② 外接气体或蒸气进行冲洗

采用普通调节阀时，一些易沉淀、含有固体颗粒的介质经常在节流口、导向处造成堵塞。可打开下阀盖底塞，外接冲刷气体或蒸汽管线。当产生堵塞或卡阻时，打开外接的气体或蒸汽阀门，即可在不动调节阀的情况下完成冲洗工作，使阀正常运行。

##### ③ 安装管道过滤器

对小口径的调节阀，尤其是微小流量调节阀，其节流间隙很小，介质中不能有一点渣物，遇此情况，最好在阀前管道上安装一个过滤器，以保证介质顺利通过。

##### ④ 改用其它形式的调节阀

如将直通单、双座阀改成套筒阀、角形阀等。单双座阀节流面积圆周分布，间隙小，易堵塞卡住，套筒阀节流面积集中分布，为窗口型，间隙大，渣物容易通过。直通阀为倒S形流路，上下容腔死区多，为介质沉淀提供了地方。角形阀为倒L形流路，自洁性能好，不易沉积堵塞。

(2) 调节阀的密封性能差，应如何处理？

可采取以下措施：

① 研磨。通过研磨，消除痕迹，提高密封面的光洁度，减小或消除密封间隙。

② 将流开型改为流闭型。流闭型的阀，不平衡力对阀芯产生压闭趋势，密封效果好，如两位型的切断调节阀，一般均应按流闭型使用。 $DN \geq 20$ 的单座阀，通常为流开型，若认为密封效果不满意时，可改为流闭型，密封性能将成倍增加。

③ 增大执行机构的输出力。这是保证阀门关严，提高密封性能的常见方法，常用措施有：

- a. 移动弹簧工作范围；
- b. 改用小刚度的弹簧；
- c. 增设定位器；
- d. 提高气源压力；

e. 改用具有更大推力的执行机构。

④ 改用软密封的调节阀。如将普通蝶阀改为软密封蝶阀，密封效果可提高 10 倍以上。软密封的阀耐温性能差，换用时应加以注意。

(3) 有一台调节阀（被测介质 300℃，1.6Mpa）上盖漏，处理时应注意些什么？

① 应与工艺人员联系，将调节阀自动调节改为旁路手动阀调节。

② 关闭上、下游阀，降温一段时间后慢慢打开放净阀，排放介质，判断上、下游阀是否关严。

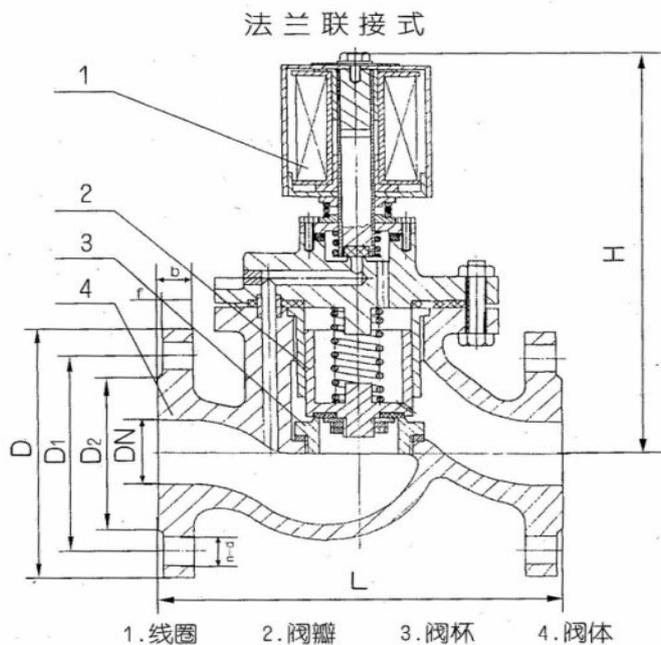
③ 阀内存液基本放净后，拆开上阀盖，换垫，注意垫片材质。

④ 处理完毕，投用时必须先检查放净阀是否关闭。

### 3) 电磁阀

是用来控制流体的自动化基础元件，属于执行器；并不限于液压，气动。

电磁阀从原理上分为三大类(即：直动式、分步式、先导式)，而从阀瓣结构和材料上的不同与原理上的区别又分为六个分支小类(直动膜片结构、分步重片结构、先导膜式结构、直动活塞结构、分步直动活塞结构、先导活塞结构)。



电磁阀结构简图

#### (1) 直动式电磁阀：

原理：通电时，电磁线圈产生电磁力把关闭件从阀座上提起，阀门打开；断电时，电磁力消失，弹簧把关闭件压在阀座上，阀门关闭。特点：在真空、负压、零压时能正常工作，但通径一般不超过 25mm。

#### (2) 分布直动式电磁阀：

原理：它是一种直动和先导式相结合的原理，当入口与出口没有压差时，通电后，电磁力直接把先导小阀和主阀关闭件依次向上提起，阀门打开。当入口与出口达到启动压差时，通电后，电磁力先导小阀，主阀下腔压力上升，上腔压力下降，从而利用压差把主阀向上推开；断电时，先导阀利用弹簧力或介质压力推动关闭件，向下移动，使阀门关闭。特点：在零压差或真空、高压时亦能可靠动作，但功率较大，要求必须水平安装。

#### (3) 先导式电磁阀：

原理：通电时，电磁力把先导孔打开，上腔室压力迅速下降，在关闭件周围形成上低下高的压差，流体压力推动关闭件向上移动，阀门打开；断电时，弹簧力把先导孔关闭，入口压力通过旁通孔迅速腔室在关闭件周围形成下低上高的压差，流体压力推动关闭件向下移动，关闭阀门。特点：流体压力范围上限较高，可任意安装(需定制)但必须满足流体压差条件。

电磁阀的基本特点

外漏堵绝，内漏易控，使用安全。系统简单，便接电脑，价格低谦。动作快速，功率微小，外形轻巧。调节精度受限，适用介质受限。型号多样，用途广泛。

## 第六章 安全仪表系统

也称安全联锁系统(SIS)，是对石油化工等生产装置可能发生的危险或不采取措施将继续恶化的状态进行自动影响和干预，从而保障生产安全，避免造成重大人身伤害及重大财产损失的控制系统。联锁系统极为重要，它包括信号报警和自动联锁保护两方面内容。

信号报警的作用是当工艺变量(如温度、压力、流量、物位、轴位移等)超越规定值时，用灯光(平光、闪光、旋光)和音响(电铃、蜂鸣器、电笛声)表示事故状态，警告操作人员。

联锁保护系统的作用是当工艺过程发生异常情况时，一般在超限信号报警之后，能按规定的程序实现紧急操作，自动投入备用设备或安全停车。

信号及联锁系统按其构成元件不同，可分成触点式和无触点式(或者是混合式)。触点式是由各种类型继电器组成；无触点式由集成逻辑元件组成的电子插卡或可编程序控制器来实现。

## 第七章 计算机控制系统

计算机控制系统是用计算机(通常称为工业控制计算机)来实现工业过程自动控制的系统。

计算机控制系统的工作原理

(1)实时数据采集 对测量变送装置输出的信号经 A/D 转换后进行处理。

(2)实时控制决策 对被控变量的测量值进行分析、运算和处理，并按预定的控制规律进行运算。

(3)实时控制输出 实时地输出运算后的控制信号，经 D/A 转换后驱动执行机构，完成控制任务。

(一)集散控制系统

DCS 适应为分散控制系统的简称，国内一般习惯称为集散控制系统。他是一个有过程控制级和过程监控级组成的以通信网络为纽带的多级计算机系统。综合

了计算机，通讯，现实（CRT）和控制等四项技术，其基本思想是分散控制，集中操作，分级管理，配置灵活组态方便。

DCS 具有以下特点：

1) 高可靠性

由于 DCS 将系统控制功能分散在各台计算机上实现，系统结构采用容错设计，因此某一台计算机出现故障不会导致系统其它功能的丧失。此外，由于系统中各台计算机所承担的任务比较单一，可以针对需要实现的功能采用具有特定结构和软件的专用计算机，从而使系统中每台计算机的可靠性也得到提高。

2) 开放性

DCS 采用开放式，标准化，模式化和系列化设计系统中各台计算机采用局域网方式通信，实现信息传输，当需要改变或扩充系统功能时，可将新增计算机方便地连入系统通信网络或从网络中卸下几乎不影响系统其他计算机的工作。

3) 灵活性

通过组态软件根据不同的流程应用对象进行软硬件组态，即确定测量与控制信号及相关链接院系，从控制算法库选择使用的控制规律以及从图形库调用基本图形组成所需的各种监控和报警画面，从而方便地构成所需的控制系统。

4) 易于维护

功能单一的小型或微型专用计算机，具有维护简单，方便的特点，当某一局部或某个计算机出现故障时，可以在不影响整个系统运行的情况下在线更换，迅速排除故障。

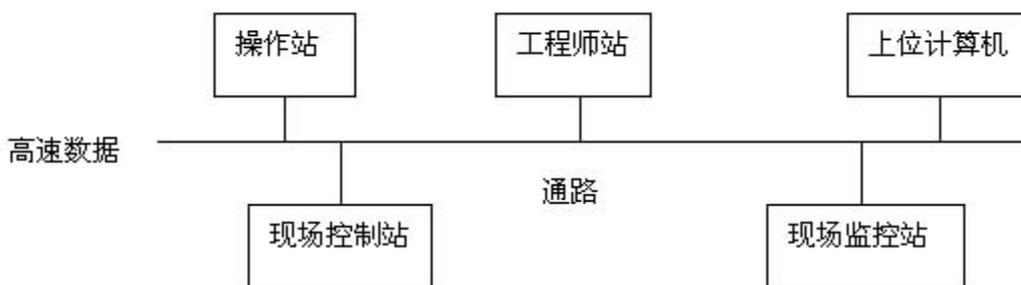
5) 系条形

各工作站之间通过通信网络传递各种数据，整个系统信息共享，协调工作，以完成控制系统的总体功能和优化处理。

6) 控制功能齐全

控制算法丰富，集连续控制，顺序控制，和批处理控制于一体，可实现串级，前馈解耦，自适应和预测控制等先进控制，并可方便地加入所需的特殊控制算法。DCS 的构成方式十分灵活，可有专用的管理计算机站，操作员站，工程师站，记录站，观察控制站和数据采集站等组成，也可有通用的服务器，工业控制计算机和可编程控制器构成。

DCS 的组成：硬件部分和软件部分。



DCS 基本结构图

1. 硬件部分主要由以下三大部分组成：

1) 分散过程控制装置

分散过程控制装置是集散控制系统与生产过程间的界面，生产过程的各种过程

变量通过分散过程控制装置转化为操作监视的数据，而操作的各种信息也通过分散过程控制装置送到执行机构。在分散过程控制装置内，进行模拟量与数字量的相互转换，完成控制算法的各种运算，对输入与输出量进行有关的软件滤波及其它的一些运算。

## 2) 操作管理装置

操作管理装置是操作人员与集散控制系统间的界面，操作人员通过操作管理装置了解生产过程的运行状况，并通过它发出操作指令给生产过程。生产过程的各种参数在操作管理装置上显示，以便于操作人员监视和操作。

## 3) 通信系统

分散过程控制装置与操作管理装置之间需要有一个桥梁来完成数据之间的传递和交换，这就是通信系统。

有些集散控制系统产品在分散过程控制装置内又增加了现场装置级的控制装置和现场总线的通信系统，有些集散控制系统产品则在操作管理装置内增加了综合管理级的控制装置和相应的通信系统。这些集散控制系统使系统的分级增加，系统的通信系统对不同的装置有不同的要求，但是，从系统总的结构来看，还是由三大部分组成的。

硬件系统在恶劣的工业现场具有高度的可靠性、维修方便、工艺先进。底层汉化的软件平台具备强大的处理功能，并提供方便的组态复杂控制系统的能与用户自主开发专用高级控制算法的支持能力；易于组态，易于使用。支持多种现场总线标准以便适应未来的扩充需要。

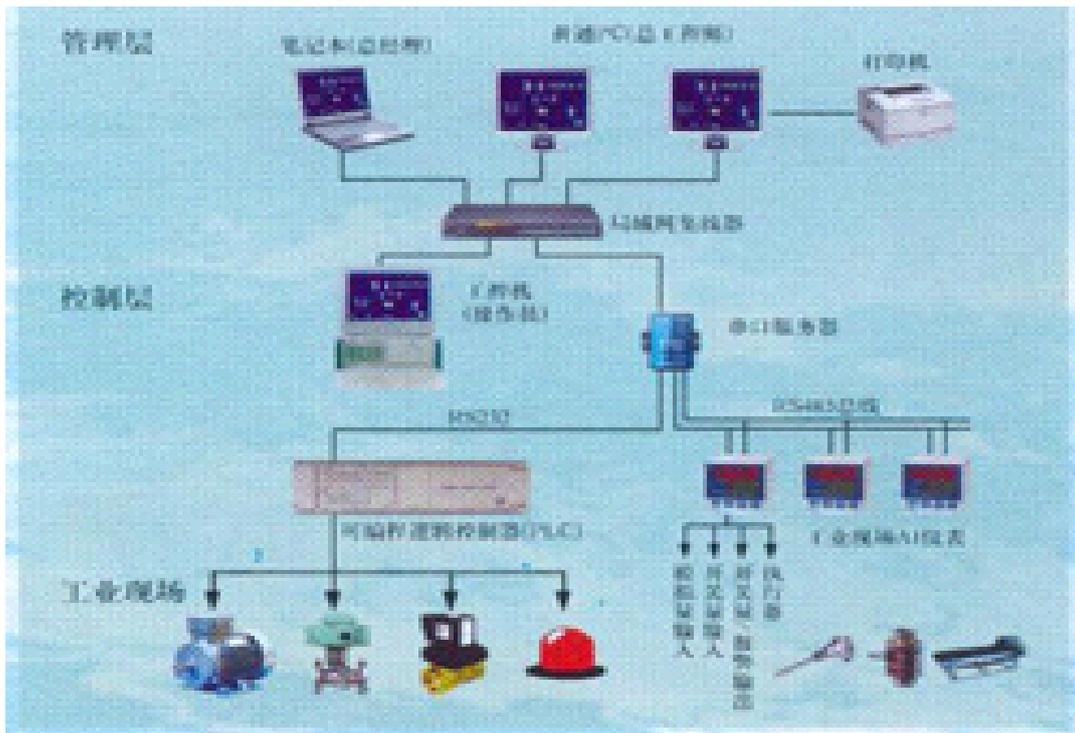
2. DCS 软件大致分为控制层软件、监督控制软件两种。

### 1) 控制层软件

控制层软件：习惯上称为下位组态软件，是指运行于现场控制站的控制器中的软件，基本功能概括为 I/O 数据的采集、控制运算及 I/O 数据的输出，此外还有一些辅助功能，如控制器及重要 I/O 模块的冗余功能，网络通信功能及自诊断功能。DCS 的控制功能由控制器实现，是控制器的核心功能。控制运行时，控制运行软件一般针对每个控制方案，按照方案的组织逻辑关系，逐个执行程序的组织单元，针对每个程序组织单元处理，处理如下：(1)、从 I/O 数据区获得输入数据。(2)、执行控制运算。(3)、将运算结果输出到 I/O 数据区。(4)、由 I/O 驱动程序执行外部输出，即将输出变量的值转换成外部信号输出到外部控制仪表，执行控制操作。

### 2) 监督控制软件

督控制软件：即上位组态软件，是指运行于系统人机界面工作站、服务站等节点中的软件。它集中了全部工艺过程的实时数据和历史数据。DCS 监督控制层软件所需要的数据来自控制层，但对数据的要求不同，因此要对直接控制层提供的数据进行进一步的加工和处理、监督控制层也有实时数据的采集、处理、存储等功能。DCS 监控层软件一般包括实时数据管理、历史数据管理、报警监视、日志管理、事故追忆及事件顺序记录等功能。



3. 从结构上划分，DCS 包括过程级、操作级和管理级。

过程级主要由过程控制站、I/O 单元和现场仪表组成，是系统控制功能的主要实施部分。操作级包括：操作员站和工程师站，完成系统的操作和组态。管理级主要是指工厂管理信息系统（MIS 系统），是 DCS 更高层次的应用。

1) I/O：控制系统需要建立信号的输入和输出通道，这就是 I/O。DCS 中的 I/O 一般是模块化的，一个 I/O 模块上有一个或多个 I/O 通道，用来连接传感器和执行器。

2) 工程师站：是对 DCS 进行离线的配置、组态工作和在线的系统监督、控制、维护的网络节点，其主要功能是提供对 DCS 进行组态，配置工作的工具软件（即组态软件），并在 DCS 在线运行时实时地监视 DCS 网络上各个节点的运行情况，使系统工程师可以通过工程师站及时调整系统配置及一些系统参数的设定，使 DCS 随时处在最佳的工作状态之下。

3) 操作员站：显示并记录来自各个控制单元的过程数据，是操作人员与生产过程的操作接口。具有显示功能、报警功能、操作功能、报表打印功能、组态和编程功能等。

随着计算机技术的发展，网络技术已经使集散控制系统不仅主要用于分散控制，而且向着集成管理的方向发展。系统的开放不仅使不同制造厂商的集散控制系统产品可以互相连接，而且使得它们可以方便地进行数据的交换，系统的开放也使第三方的软件可以方便地在现有的集散控制系统上应用。在我国石化行业已运行着许多套不同型号的集散和控制系统，它们在过程控制中发挥着非常重要的作用。

DCS 系统订货以后厂家会派人进行培训，到时再做具体了解。