

## 第三篇 自动控制系统的设计

### 一、简单控制系统

简单控制系统是生产过程中最常见、应用最广泛、数量最多的控制系统。它是由被控对象（常称对象）、测量变送（一个测量元件及变送器）单元、调节器和执行器组成的单回路负反馈控制系统。

**被控对象：**指需要控制的设备或装置，如反应器、锅炉汽包等。

**被控变量：**指需要控制的工艺参数。

**操纵变量：**受控于执行器，用于调节被控变量大小的物理量。

**设定值：**它对应于生产过程中被控变量需要保持的值。

**偏差信号：**它是比较元件的输出信号，是设定值与测量反馈信号的差值。

**干扰：**在自动控制系统中，除操纵变量外，作用于被控对象并对被控变量影响较大的输入作用称为干扰。

**控制信号：**由控制器按一定规律给出的。

按被控制的工艺变量来划分，最常见的是温度、压力、流量、液位和成分五种控制系统。物位包括：液位、料位、界位。仪表运行（对象）的特性通常分为静态特性和动态特性。静态特性是指工艺对象在某一状态下达到稳定时的情况，它由物料平衡、能量平衡、传热、传质以及化学反应速度等决定。化工生产过程和装置主要是通过静态计算进行设计的。

在自控设计过程中，首先应分析生产过程中各个变量的性质及其相互关系，分析被控对象的特性；然后根据工艺的要求，选择被控变量、操纵变量，合理选择控制系统中的测量变送单元、调节器和执行器，建立一个较为合理的控制系统。对有多个控制系统的生产过程，还要考虑各个系统间的相互关联和相互影响，并按可能使每个控制系统对其他控制系统的影响为最小的原则来建立各个控制回路。

**选择操纵变量时，主要应考虑如下的原则：**

- ①首先从工艺上考虑，它应允许在一定范围内改变；
- ②选上的操纵变量的调节通道，它的放大系数要大，这样对克服干扰较为有利；
- ③在选择操纵变量时，应使调节通道的时间常数适当小一些，而干扰通道的时间常数可以大一些；
- ④选上的操纵变量应对装置中其他控制系统的影响和关联较小，不会对其他控制系统的运行产生较大的干扰。

**被调参数选择应遵循的原则：**

- ① 能代表工艺操作指标或能反映工艺操作状态
- ② 可测并有足够大的灵敏度
- ③ 独立可控
- ④ 尽量采用直接指标

化学反应器最重要的被控制变量是反应温度。

典型的控制系统方框图是由控制器、测量元件、控制对象、控制阀、比较环节构成的。

在生产过程中，工艺总是要求被控变量能稳定在设计值上。

单回路控制系统的方框图如图 3-1-26 所示。

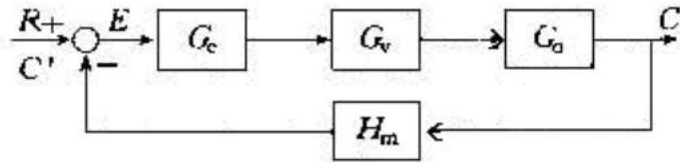


图 3-1-26 单回路控制系统的方框图

$G_c$ —调节器的传递函数； $G_v$ —调节阀的传递函数； $G_o$ —被控对象的传递函数；

$H_m$ —测量变送单元的传递函数； $R$ —给定值； $C$ —测量值； $E$ —偏差

从上面的方框图可以看出，在一个单回路控制系统中，只要  $G_c$ 、 $G_v$ 、 $G_o$  放大系数的乘积为正，就能实现负反馈控制。调节器、调节阀和对象放大系数正负号规定如下。

1. 调节器放大系数的正负号

对于调节器来说，按照统一的规定，测定值增加，输出增加，调节器放大系数  $K_c$  为负，称之为正作用。测量值增加，输出减小， $K_c$  为正，称之为反作用。

2. 调节阀放大系数的正负号

调节阀的放大系数  $K_v$  定义为气开阀  $K_v$  为正，气关阀  $K_v$  为负。

3. 对象放大系数的正负号

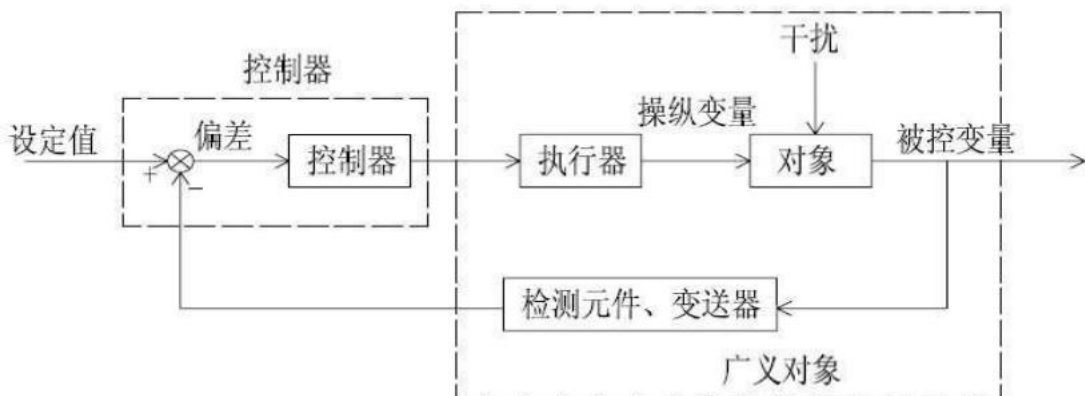
对象的放大系数  $K_o$  定义为：如操纵变量增加，被控变量也增加， $K_o$  为正；操纵变量增加，被控变量减少， $K_o$  为负。

由此可知，单回路控制系统调节器正反作用方式的确定方法如下：首先确定对象放大系数  $K_o$  的正负号，然后根据调节阀选型为气开或气关确定调节阀放大系数  $K_v$  的正负号，最终由  $K_c$ 、 $K_v$ 、 $K_o$  乘积应为正，即可确定调节器的作用方式。调节器的作用方式也可由表 3-1-1 查出。

表 3-1-1 单回路控制系统调节器正反作用选择表

对象放大系数	调节阀	调节器	对象放大系数	调节阀	调节器
正号	气开	反作用	负号	气开	正作用
	气关	正作用		气关	反作用

调节阀气开、气关方式的选择主要是从生产安全角度出来考虑的。



主要用来产生偏差的元件称为比较元件，在简单控制系统中，接受偏差信号的环节是控制器，扰动主要针对被控对象。被控变量的测量值就是变送器输出的信号。直接对被控对象进行操作的元件称为执行元件。

反馈是把系统的输出信号，不断直接地或经过中间变换后全部或部分地返回输入端。

开环控制系统的特征是没有反馈环节，开环调节系统的控制信号取决于给定的输入信号，是自动控制系统的一种方式。

方框间的连线代表的是方块间物料关系。

余差是指控制系统受到干扰以后，过渡过程终了时被控变量的残余偏差，它是衡量控制系统准确性的指标。

## 调节器

在控制系统的设计中，选择合适的调节器并在投运时把它们的参数整定在恰当的数值上，是一个重要的工作环节。一个简单控制系统由广义对象和调节器两部分组成，广义对象包括被控对象、测量变送单元和执行器，它们的特性不可能太多地改变，因此系统中相对有较大调整 and 选择余地的环节就是调节器了。

调节器一般包括：位式调节器、比例调节器、比例积分调节器、比例微分调节器、比例积分微分调节器、智能型数字调节器。

- a. 位式调节器：位式调节器的动作规律是当被控变量偏离给定值时，调节器的输出不是最大就是最小，从而迫使执行器全开或全关。
- b. 比例调节器：它的动作规律是调节器输出的变化与输入偏差的变化成正比例。因此，比例的作用是依据偏差的大小动作的。
- c. 比例积分调节器：比例积分调节器的输出信号不仅仅与输入偏差保持比例关系，还与输入偏差对时间的积分成正比。只要有偏差存在，调节器的输出就要变化，直到输入偏差等于零为止，所以使用比例积分调节器能消除被控变量的余差。
- d. 比例微分调节器：由于比例积分调节器的控制作用是相位滞后的，为了改善调节过程的品质就必须引入微分作用，尤其对温度和成分控制。
- e. 比例积分微分调节器：比例积分微分调节器兼有比例积分、比例微分调节器两者的优点，它加强了控制系统克服干扰的能力，使系统的稳定性也有所提高。引入微分作用后，不仅比例度可以减小，积分时间也可以减小，而且系统不会产生过度的振荡。对于容量滞后较大，纯滞后不太大，不允许有余差的对象，采用比例积分微分调节器可以全面地改善调节品质，大多数的温度、成分控制系统都选用比例积分微分调节器。比例、积分、微分作用通常用 PID 表示。
- f. 智能型数字调节器：它的功能不断增强，已能实现 PID 自整定、模糊控制、多种信号制输入、直接给变送器供电等，特别适合在复杂的控制系统中使用。而且通讯功能也大大的增强。

因此，比例作用是依据偏差的大小动作的，控制器的比例度与控制器的增益成反比，因此控制器的比例度越大，则控制器的增益将越小，则控制曲线平稳；积分作用是依据偏差是否存在动作的；微分作用是依据偏差的变化率动作的。调节器加入微分作用是为了克服被控对象的惯性滞后和容量滞后。

## 调节阀

调节阀所能控制的最大流量与最小流量的比值称为可调比。当打开与控制阀并联的旁路时，将使阀门的可调比变小。

调节阀的理想流量特性有：直线流量特性、等百分比流量特性、快开流量特性、4. 抛物线流量特性。抛物线流量特性与等百分比流量特性较为接近，前者可以用后者来代替，而快开特性又主要用于位式控制和顺序控制，因而所谓调节阀流量特性的选择，一般常局限于

直线特性与等百分比特性的选择。

调节阀气开、气关方式的选择主要是从生产安全角度出发来考虑的。当调节阀上信号或气源中断时，应避免损坏设备和伤害人员。因此在调节阀选型时要由工艺专业来从安全出发提出阀门故障时阀所处的位置，即气开、气关或保持。

调节阀上一个很重要的附件就是阀门定位器，它的作用就是把阀杆的位置与调节器所要求的位置相比较，如不符要求，它就改变阀门定位器的输出，即调节阀执行机构上的空气压力，直到最终获得正确的阀杆位置为止。

阀门定位器具体能实现的功能如下：

- ① 能借助它实现分程控制；
- ② 通过定位器能改变调节阀工作时气开、气关的作用方式；
- ③ 在高压降的条件下，它能提供足够的功率；
- ④ 能克服阀杆的摩擦力，提高调节阀的响应速度；
- ⑤ 较为准确地确定调节阀的开度，一定程度上能提高调节的精度；
- ⑥ 通过更换定位器上的反馈凸轮片，在一定范围内能改变调节阀的流量特性。

阀门定位器从功能上说一般由比较、放大及反馈等部分组成。它是接收调节器输出的4~20mA 直流电流信号到线圈中，与永久磁铁的恒定磁场共同作用，在杠杆上产生电磁力矩，使杠杆偏转，改变挡板与喷嘴的距离而使放大器的背压发生变化，即放大器的输出信号作用在执行机构膜头上的力就发生变化。当电磁力矩与反馈力矩平衡时，阀杆就稳定在一个位置上，实现输入的电流信号与阀杆位移的对应关系。

## 二、复杂控制系统

### 1. 串级控制系统

它的特点是二个调节器相串联，主调节器的输出作为副调节器的给定，适用于时间常数及纯滞后较大的对象，如加热炉的温度控制等。

图 3-2-1 为串级控制系统的方框图，该系统有两个调节器，调节器 1 为主调节器，调节器 2 为副调节器，主调节器的输出作为副调节器的给定，系统有两个测量变送单元，一个测量主被控变量，另一个测量副被控变量。串级控制系统的目的主要在于控制主被控变最稳定。

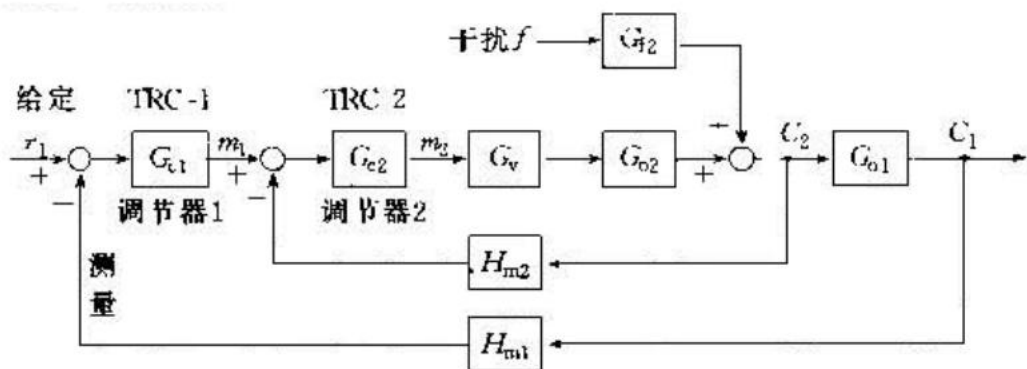


图 3-2-1 串级控制系统方框图

串级控制系统的特点：

串级控制系统从总体上来看仍然相当于一个定值控制系统，但由于它在结构上增加了一个随动的副回路，因此具有如下两个特点。

- a. 对于克服副回路的干扰有较强的能力
- b. 对于克服主回路的干扰也有好处

采用串级控制系统以后，副回路克服干扰的能力比单回路简单控制系统提高较多，特别当副调节器放大系数较大时，对于进入主回路的干扰，虽然副回路不能直接克服它，但由于副回路减小了时间常数，改善了对对象动态特性，加快了调节过程，因而也能减少动态偏差。副调节器通常选用比例微分作用。

#### **串级控制系统的设计原则：**

在一些控制要求高，对象时间常数大，干扰幅度大，干扰频繁的场所可以设计串级控制系统来改善调节品质。设计时应注意如下原则。

a. 副回路应力求包括主要的干扰，即变化频繁、幅度较大的干扰，如有条件还应尽可能包括其他次要的干扰，这样能充分发挥副回路的作用，把影响主被控变量的干扰作用抑制到最低程度。

b. 应使主、副对象的时间常数不能太接近要有合适的搭配，一般希望主对象的时间常数为副对象时间常数的3~4倍，这样可以避免主、副回路互相影响，产生“共振”现象，也便于调节器的参数整定。

c. 在串级控制系统中，主、副调节器的工作性质不一样，主调节器起定值控制的作用，而副调节器起随动控制的作用；主被控变量一般不允许有余差，而副被控变量往往允许在一定范围内波动。因而主调节器可选用比例积分调节器，副调节器可以选用比例调节器。只是在流量控制作副回路时，如不加积分作用会产生很大余差，一般副调节器也选用比例积分调节器。在工厂运行时往往把串级回路打开，因此在实际工作中往往副调节器也采用比例加积分作用。

## **2. 比值控制系统**

它可以控制两个或两个以上的物料流量保持一定的比值关系。在反应釜进料时经常用到。对于双闭环控制系统它由两个流量闭合回路及比值计数器构成，它可以克服各自的外界干扰，使主、副流量都比较平稳。当主参数受到干扰变化时副参数是要跟踪变化的，但当副参数受到干扰变化时，主参数是不变的。

## **3. 分程控制**

由一个调节器去控制两个或两个以上的调节阀，并且是按输出信号的不同区间操纵不同阀门。各个阀的信号范围可由阀门定位器来实现。目的在于扩大调节阀的可调比及解决调节器与阀门定位器以及调节阀的工作配合问题。

## **4. 均匀控制**

它可以控制两个有关的变量，例如精馏塔塔釜的液位和塔底出料流量，使它们都呈缓慢的变化，以缓和供求的矛盾并使后续设备的操作较为平稳。均匀控制是指控制目的而言，而不是指控制系统的结果而言。均匀控制一般采用单回路控制或串级控制，与一般意义上的单回路控制不同的是均匀控制作用“弱”，是允许在一定范围内波动的。

## **5. 前馈控制系统**

按照干扰量的变化来补偿其对被控量的影响，从而达到被控量完全不受干扰量影响的控制方式，这种按干扰进行控制的开环控制方式称为前馈控制。反馈控制系统的特点是当被控过程受到扰动后，必须等到被控量出现偏差时，控制器才开始动作以补偿扰动对被控量的影响。而前馈控制方法则无需等到扰动量引起被控量出现偏差时才去控制，而是直接利用测量到的扰动量去补偿扰动对被控量的影响。因此这种方法只能用在扰动量是可测的场合，不太常用。

## 6. 自动选择性控制系统

调节器的测量值可以根据工艺的要求自动选择一个最高值、最低值或者可靠值，也可以根据工艺的工况来自动选择预先设计好的几种控制系统的结构和组成。

## 7. 随动系统

被调量随给定量的变化而变化。

# 三、锅炉设备的控制

## 1、锅炉的控制要求

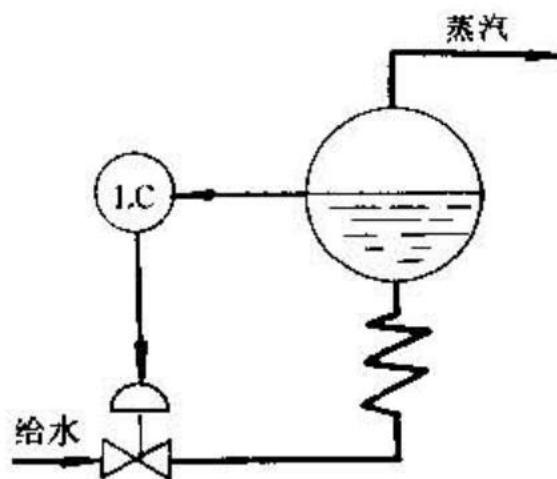
锅炉的控制是指用户对锅炉的产汽量和产汽压力的要求，也包括对锅炉自身安全稳定运行的要求。因此，必须对锅炉进行相应的控制，并通过控制达到：

- ①锅炉产汽量必须适应用汽设备用汽量变化的需要；
- ②锅炉的产汽压力必须满足用汽设备的要求；
- ③过热蒸汽温度需保持在一定范围内；
- ④汽包水位必须保持在一定范围内；
- ⑤燃烧系统必须维持经济、安全地运行。

## 2、汽包水位的控制

锅炉汽包水位的控制是安全生产和提供优质蒸汽的保证。水位过低，由于锅炉的蒸发量大，汽包容积相对较小，水的汽化速度很快，如控制不及时，不能给汽包及时补水，汽包内的水很快就会蒸发光而导致干锅，有引起锅炉爆炸的危险。对于大型锅炉，这种危险性尤为突出，水位过高，会影响汽包内汽水分离效果，使蒸汽带液，这会使过热器结垢而导致损坏，同时也会使过热蒸汽温度急剧下降。如该蒸汽是作为汽轮机动力就会损坏汽轮机的叶片，影响后者的安全运行。因此，汽包的水位必须加以严格的控制。

### (1) 单冲量水位控制系统



这是汽包水位控制中最简单、最基本的一种控制方式，该系统结构简单，投资少，容易实现。然而这种控制方案也存在着如下缺陷。

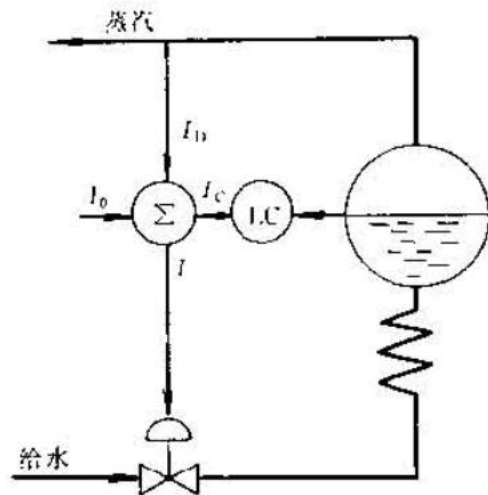
a. 当负荷变化产生假液位时，液位调节器将会出现误动作。例如，蒸汽负荷突然增大时，假液位使水位上升，此时水位调节器不但不能开大调节阀，增加给水量，相反地，它根据假液位来的信息会关小调节阀，减少给水量。等到假液位消失后，由于蒸汽量的增加和给水量的减少，将会使水位严重下降，严重时会使汽包水位降至危险程度而引发事故。这是单

冲量水位控制方案所无法克服的严重缺陷。

b. 对负荷不灵敏。负荷变化时，需引起汽包水位变化后才起控制作用，由于控制缓慢，会导致控制质量的下降。

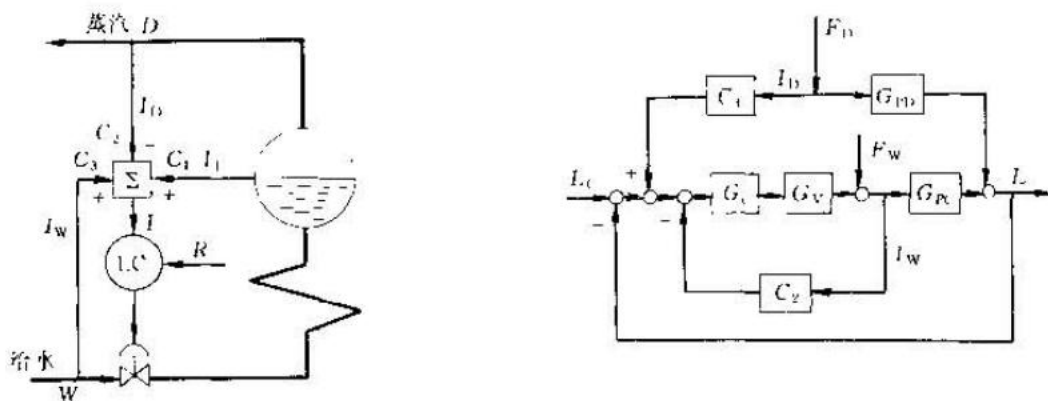
c. 对给水量变化的干扰不能及时克服。当给水量发生变化时，只有当引起汽包水位发生变化后，才采取控制措施，因此控制作用缓慢。

## (2) 双冲量水位控制系统



在单冲量水位控制的基础上，引进蒸汽流量作为前馈信号构成双冲量水位控制方案。由于本方案中引进了蒸汽流量前馈信号，就可以消除“假液位”对控制过程的不良影响。当蒸汽量变化时，就有一个与蒸汽量变化同方向的信号送往给水调节阀，使给水量作同方向的变化，这就减小或抵消了因“假液位”而导致的误动作。

## (3) 三冲量水位控制系统



双冲量水位控制系统虽然解决了“假液位”的问题，但仍然存在着两点缺陷：其一是对给水量变化的干扰不能及时克服；其二是由于调节阀的工作特性不一定是线性的，因此要得到静态补偿就很困难。为此，在双冲量水位控制的基础上再引入一个给水量变化的信号进行控制，这就构成了所谓三冲量水位控制系统。

这种控制方案先将水位、蒸汽流量及给水流量的测量信号送入加法器进行信号叠加，然后再将叠加后的信号送给水位调节器作为后者的测量值。水位调节器则根据测量值与给定值的偏差改变调节阀的开度，达到控制汽包水位的目的。从方块图看，该系统实质上是一个前馈-反馈控制系统。