

2022春 过程控制系统

过程控制系统

授课教师：苗子博

要点回顾

单回路控制系统的结构与组成：仪表符号标准、工艺流程图和系统方框图

过程控制系统方案设计的基本要求、主要内容和步骤

被控变量（工艺要求，直接、间接）

控制变量和干扰（哪些不能选择）

检测仪表、执行器和调节器正反作用的选择

因此，控制通道时间常数 T_0 小一些好。表明控制变量对被控变量的影响迅速，有利于控制。

控制通道纯滞后 τ_0 越小越好。 τ_0 会使控制时间延长、最大偏差增大。

控制变量的选择原则：

1、控制变量应是可控的，即工艺上允许调节的变量。

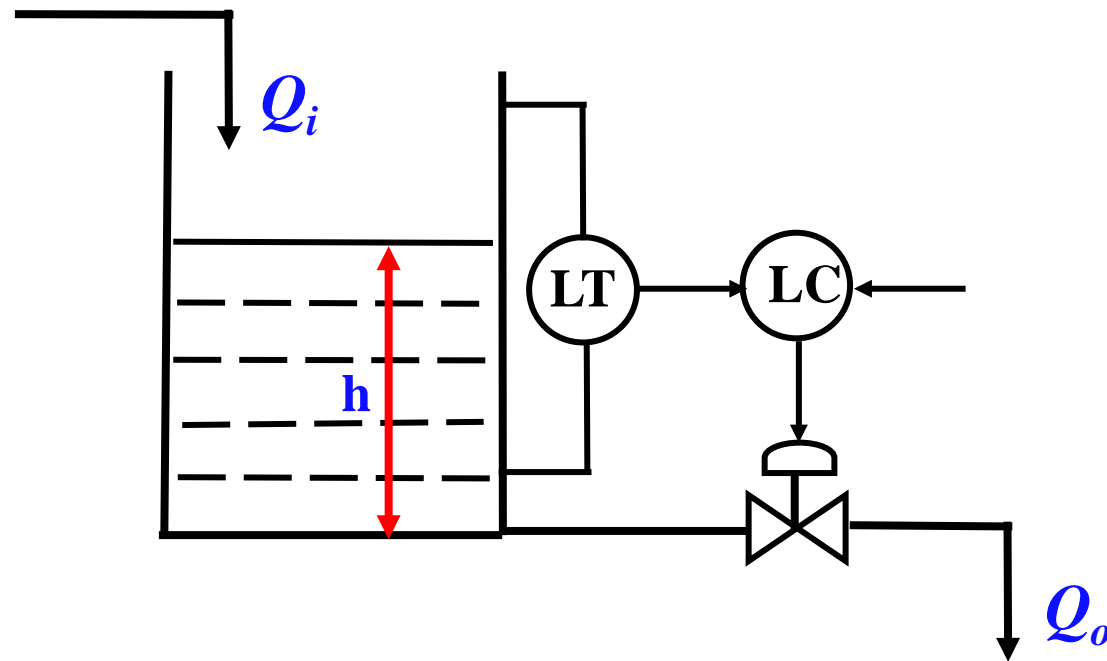
2、控制变量一般应比其他干扰对被控变量的影响灵敏。因此，控制通道应当放大系数大、时间常数小、纯滞后越小越好。

3、为使其他干扰对被控变量的影响减小，应使干扰通道的放大系数尽可能小、时间常数尽可能大，扰动引入系统的位置要远离被控变量，尽可能靠近调节阀。

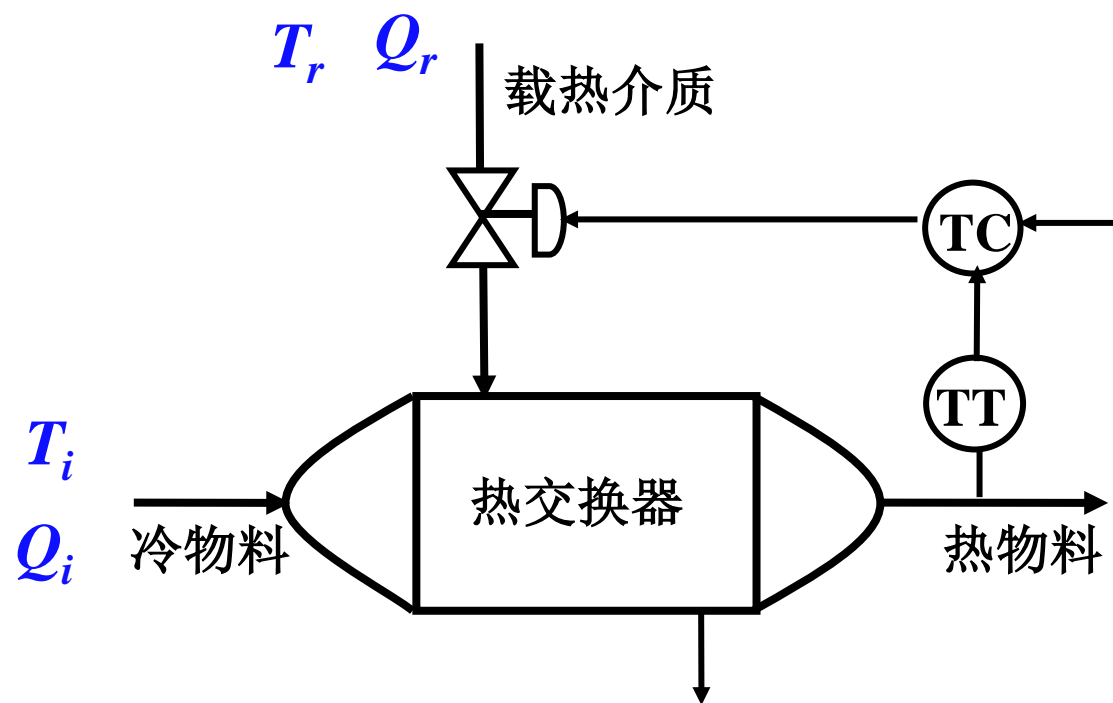
4、被控过程存在多个时间常数，在选择设备及控制参数时，应尽量使时间常数错开，使其中一个时间常数比其他时间常数大很多，同时注意减少其他时间常数。

5、选择控制变量时，还要考虑工艺的合理性与生产效率及生产过程的经济性。

例1中，影响储槽液位的主要因素有：液体流入量和液体流出量。这两个变量影响力相当，显然，液体流出量可控。故选液体流出量作为控制变量。

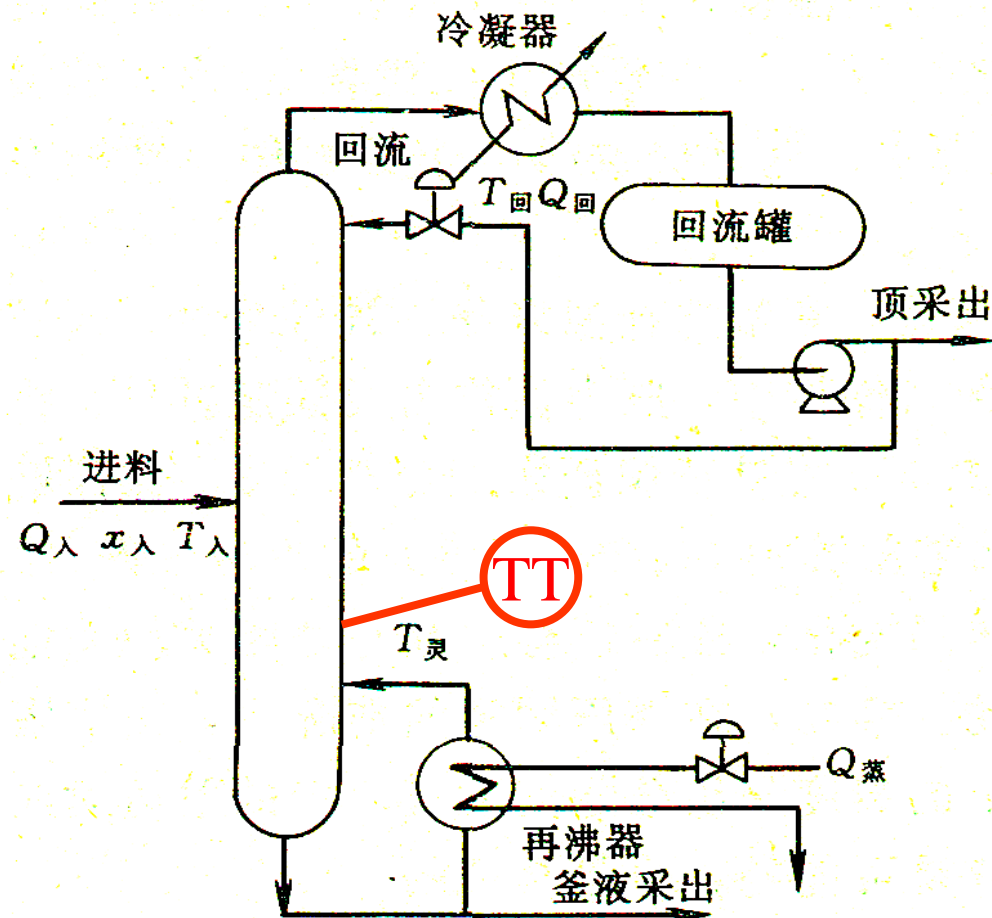


例2中，影响出口温度的主要因素有：载热介质温度、载热介质流量、冷物料温度、冷物料流量等。显然，载热介质流量影响力最大且可控。故选载热介质流量作为控制变量。



例3中，若选择提馏段某块塔板（灵敏板）的温度作为被控变量。那么，影响灵敏板温度 $T_{\text{灵}}$ 的因素主要有：

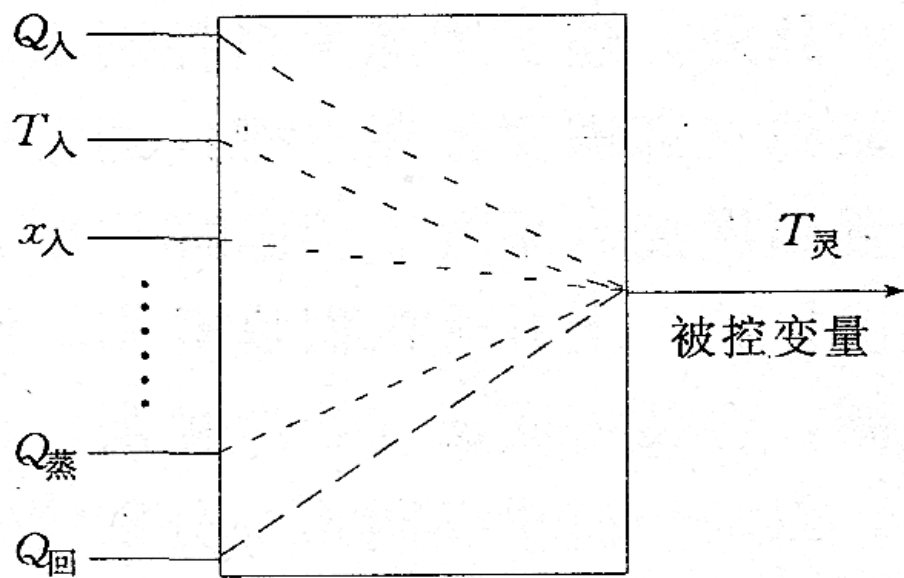
进料的流量（ $Q_{\text{入}}$ ）、
进料的成分（ $x_{\text{入}}$ ）、
进料的温度（ $T_{\text{入}}$ ），
回流的流量（ $Q_{\text{回}}$ ）、
回流的温度（ $T_{\text{回}}$ ），
加热蒸汽流量（ $Q_{\text{蒸}}$ ）、
冷凝器冷却温度等。



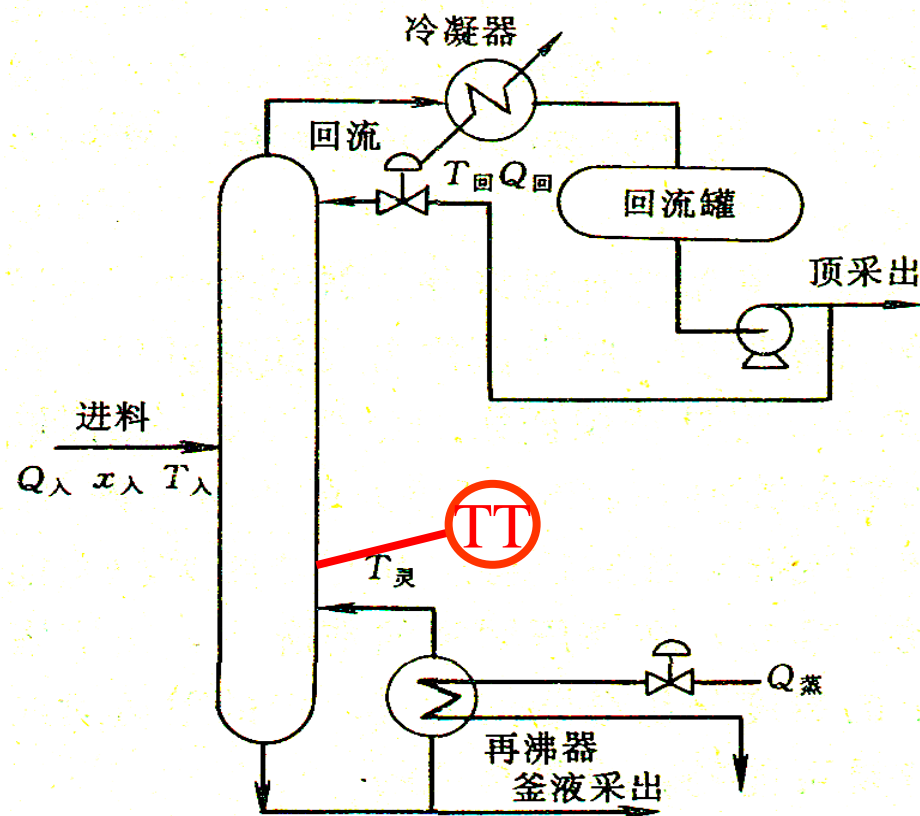
精馏塔流程图

这些影响因素分为可控的和不可控的两大类:

- 回流量和蒸汽流量为可控因素
- 其它基本为不可控因素



影响提馏段温度的
各种因素示意图

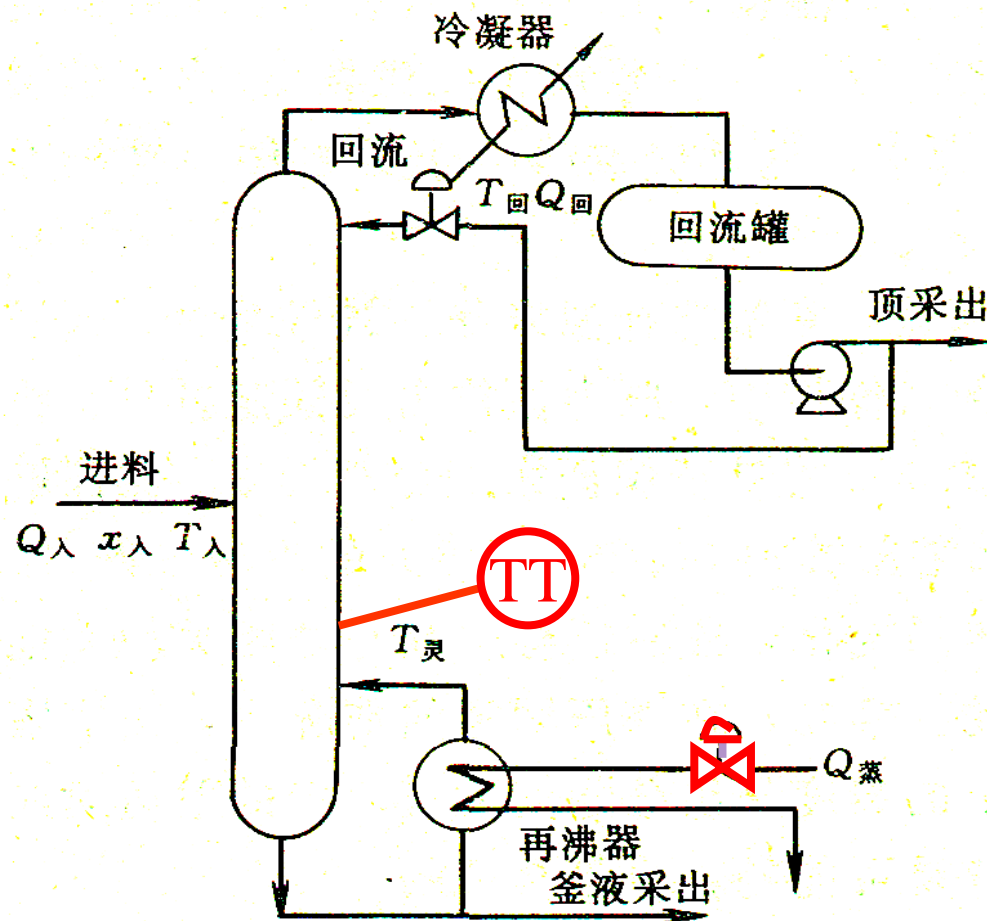


精馏塔流程图

在两个可控因素中，选蒸汽流量为操纵变量。

因为：

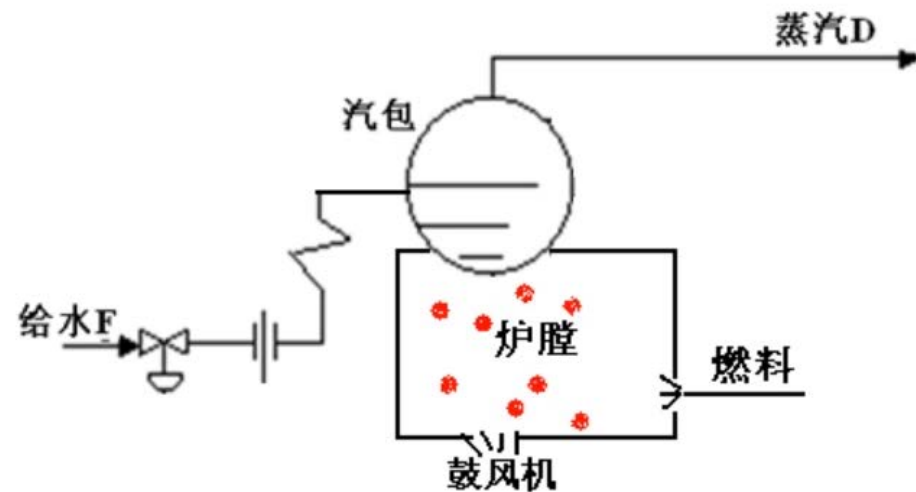
- 1、蒸汽流量对提馏段温度影响比回流量对提馏段温度影响更迅速、更显著。
- 2、从节能角度来讲，控制蒸汽流量比控制回流量消耗的能量要小。



精馏塔流程图

思考题：控制变量的选取

(1)



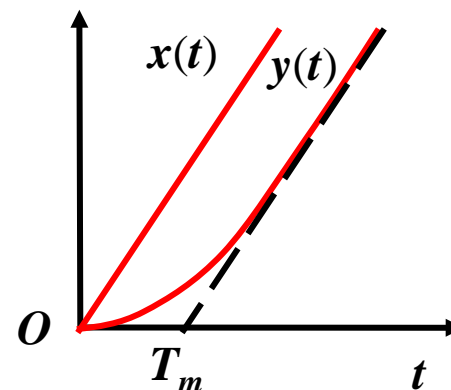
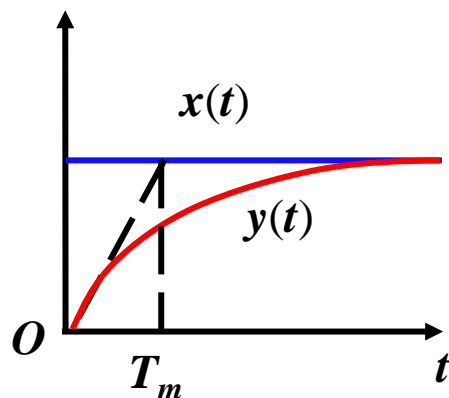
(2)

$$W_1(s) = \frac{3}{4s + 1} e^{-3s} \quad W_2(s) = \frac{4}{3s + 1} e^{-4s}$$

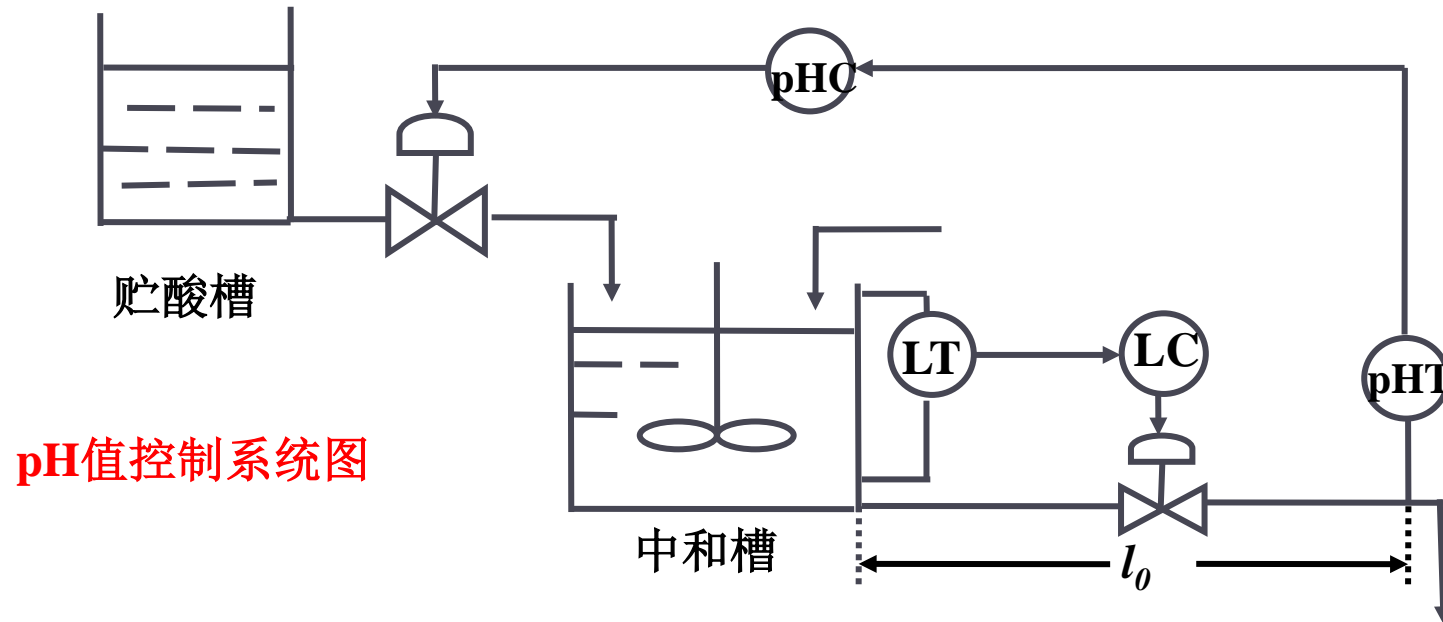
6.2.3检测环节、执行器及调节器正负作用选择

6.2.3.1传感器、变送器选择

1. 按照生产过程的工艺要求，首先确定传感器与变送器合适的测量范围（量程）与精度等级。
2. 测量仪表反应慢，会造成测量失真。应尽可能选择时间常数小的传感器、变送器。



3. 合理选择检测点，避免测量造成对象纯滞后 τ_0



4. 测量信号的处理

测量信号的校正与补偿、测量噪声的抑制、测量信号的线性化处理。

6.2.3.2执行器的选择

1. 调节阀工作区间的选择

正常工况下，调节阀的开度应在**15%~85%**区间。据此原则计算、确定控制阀的口径尺寸。

2. 调节阀的流量特性选择

按补偿对象特性的原则选取。

3. 调节阀的气开、气关作用方式选择

按控制信号中断时，保证生产设备安全的原则确定。

第4章 执行器及安全栅

4.1 执行器

执行器是自动控制系统中的重要组成部分，它将控制器送来的控制信号转换成执行动作，从而操纵进入设备的能量，将被控变量维持在所要求的数值上或一定的范围内。

执行器有自动调节阀门、自动电压调节器、自动电流调节器、控制电机等。其中自动调节阀门是最常见的执行器，种类繁多。

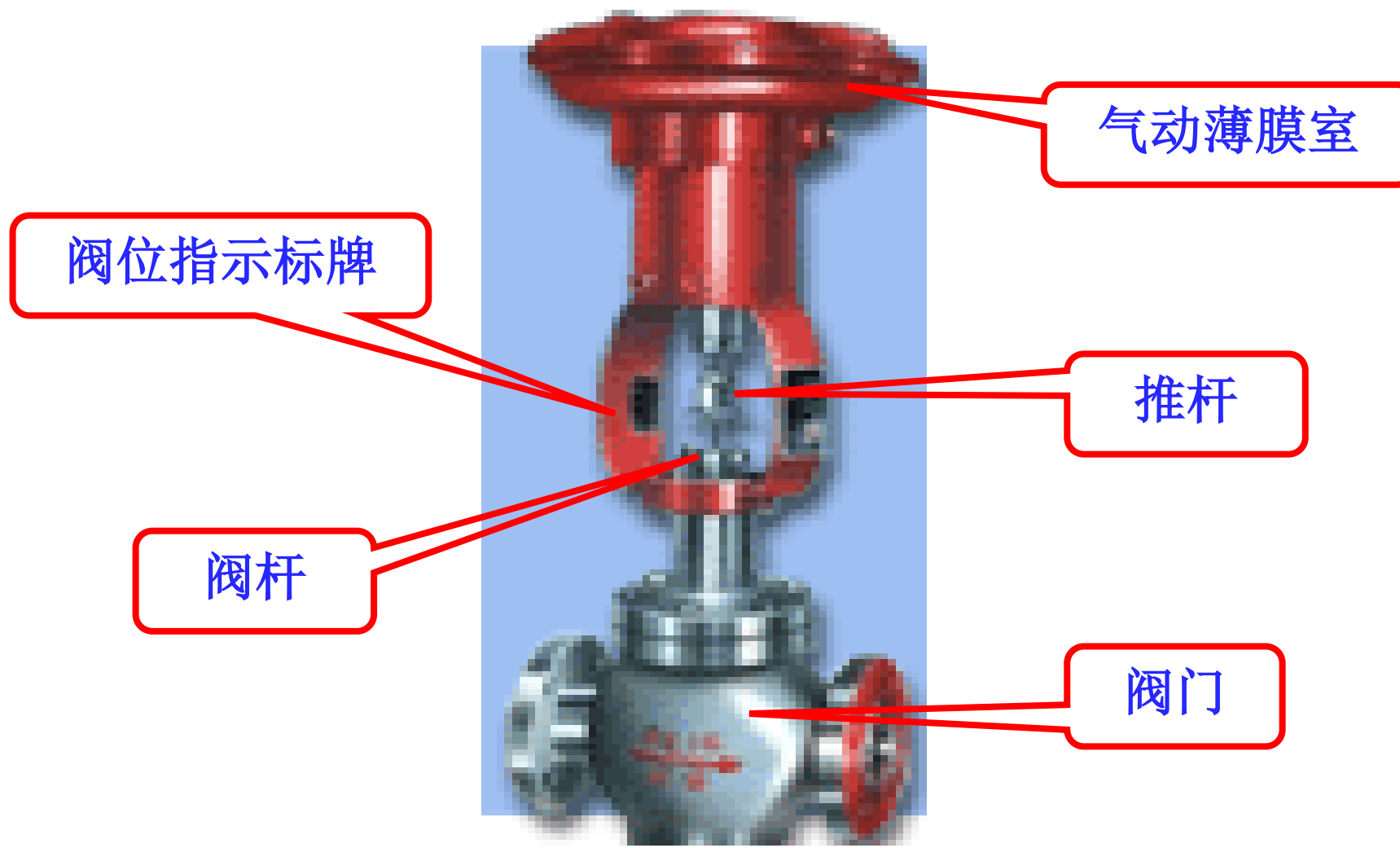
自动调节阀按照工作所用能源形式可分为：

- ❑ 电动调节阀：电源配备方便，信号传输快、损失小，可远距离传输；但推力较小。
- ❑ 气动调节阀：结构简单，可靠，维护方便，防火防爆；但气源配备不方便。
- ❑ 液动调节阀：用液压传递动力，推力最大；但安装、维护麻烦，使用不多。

工业中使用最多的是气动调节阀和电动调节阀。

4.1.1 气动调节阀

气动调节阀是由气压信号控制的阀门。

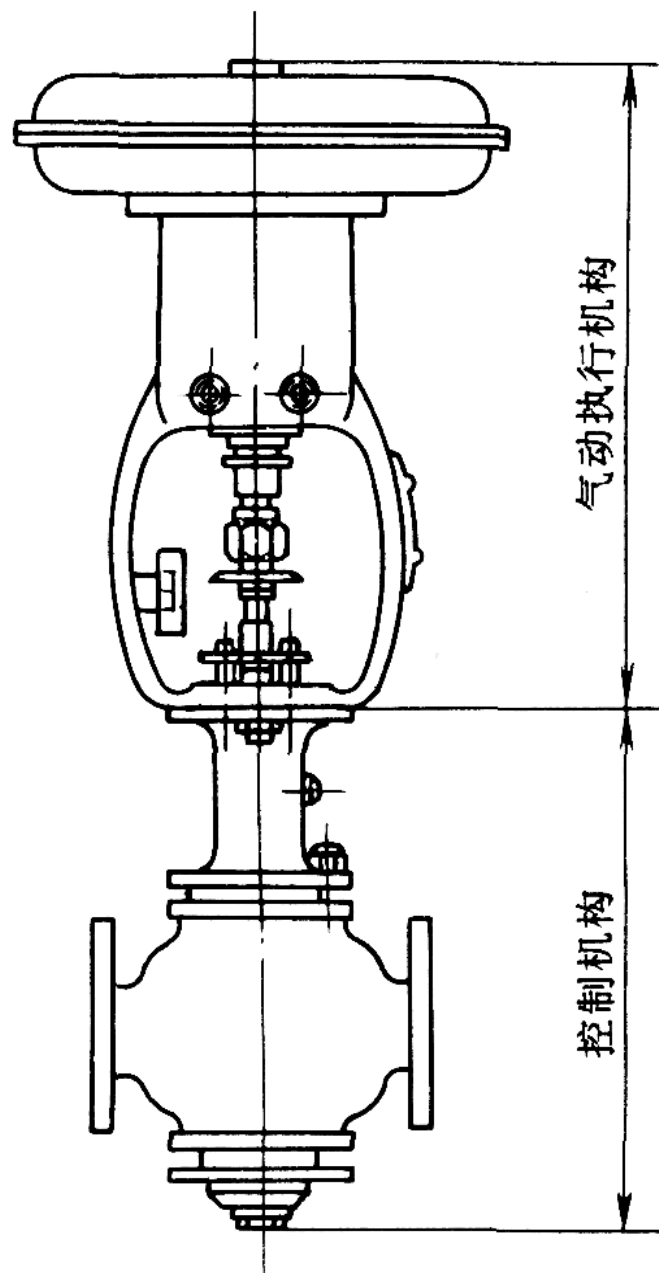


4.1.1.1 气动调节阀的结构与分类

气动调节阀由执行机构和调节机构（阀）两部分组成。

□ 执行机构是推动装置，它是将信号压力的大小转换为阀杆位移的装置。

□ 调节机构是阀门，它将阀杆的位移转换为流通面积的大小。



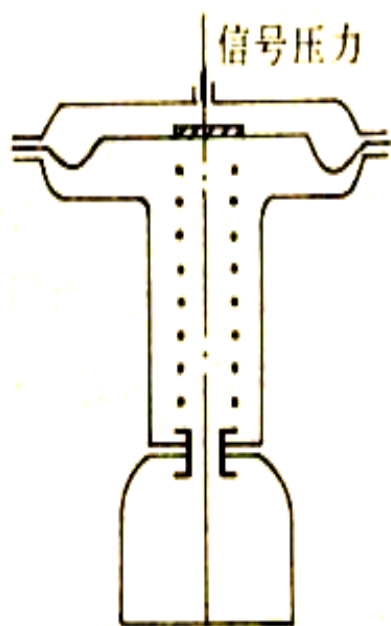
1.执行机构

执行机构按调节器输出的控制信号，驱动调节机构动作。气动执行机构的输出方式有角行程输出和直行程输出两种。

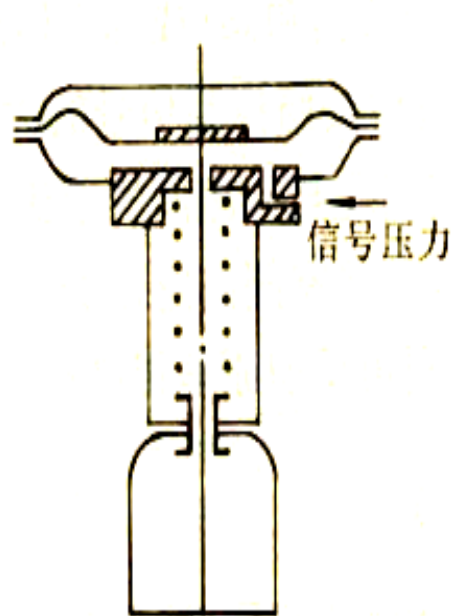


直行程输出的气动执行机构有两类。

薄膜式执行机构

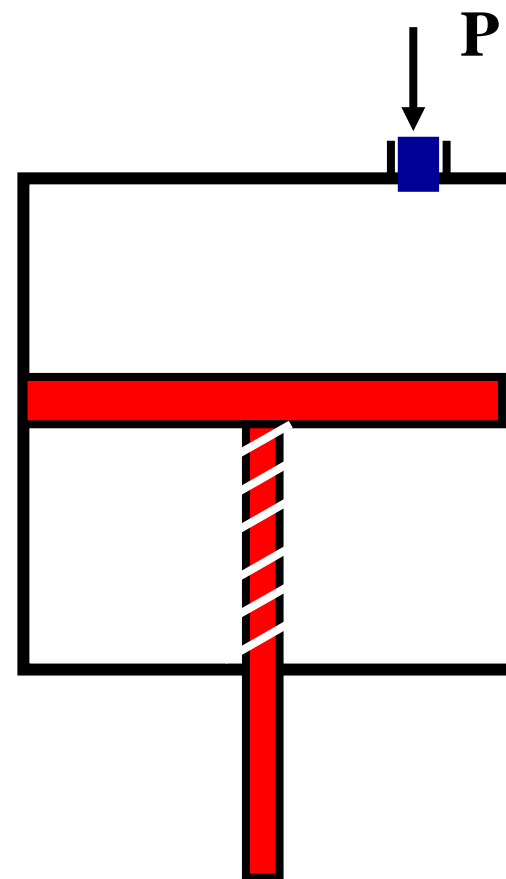


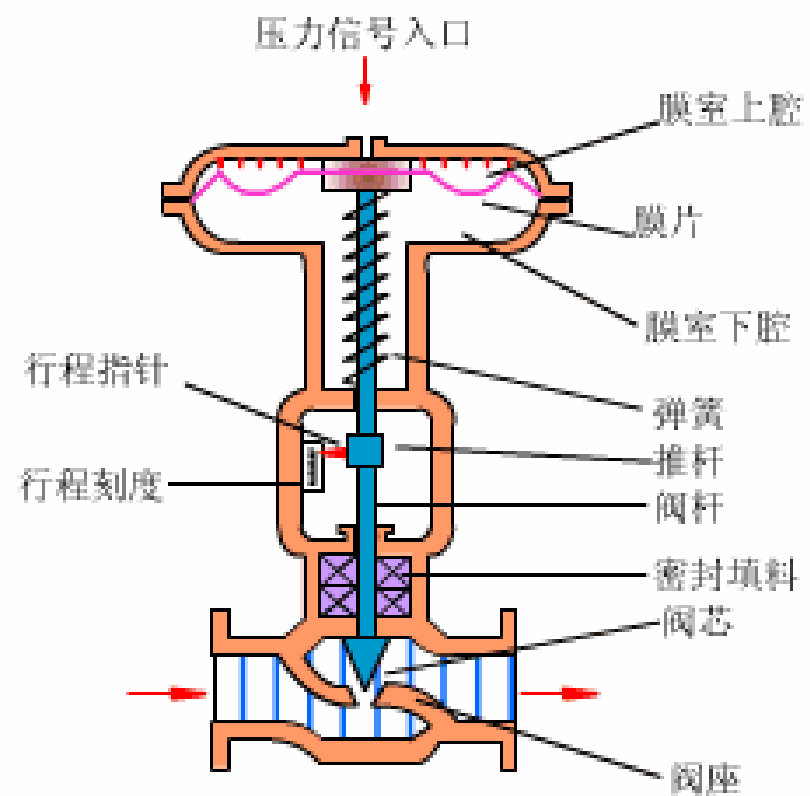
正作用执行机构



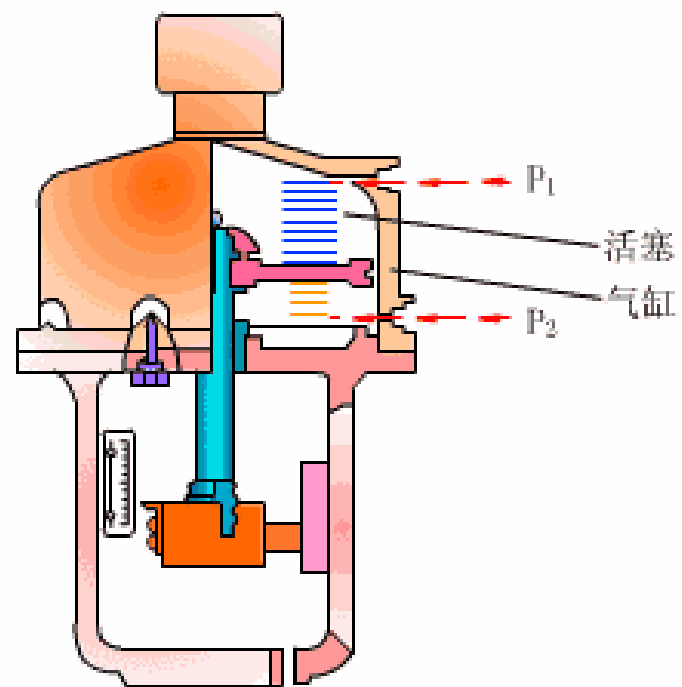
反作用执行机构

气动活塞式执行机构





气动薄膜阀

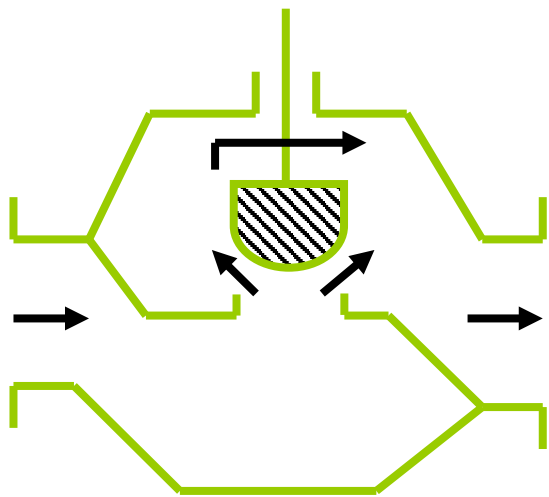


气动活塞阀

2. 调节机构

调节机构就是阀门，是一个局部阻力可以改变的节流元件。根据不同的使用要求，阀门的结构型式很多。

(1) 直通单座阀

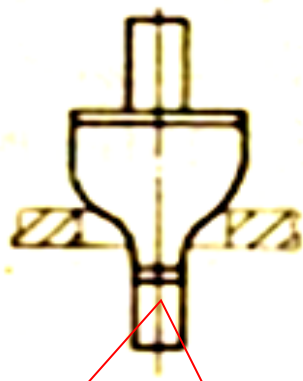


□ 结构简单、泄漏量小。

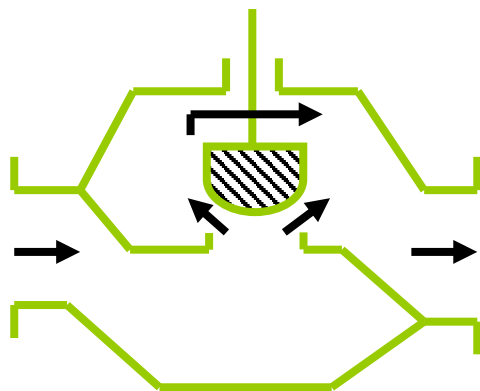
□ 流体对阀芯的不平衡作用力大。一般用在小口径、低压差的场合。

阀门中的柱式阀芯可以正装，也可以反装。

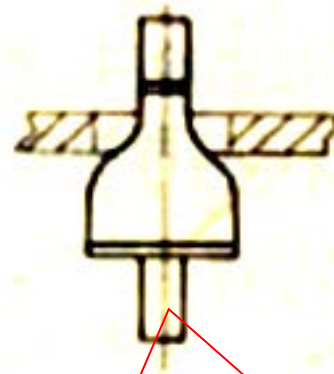
正装阀



阀芯下移时，阀芯与阀座间的流通截面积减小



反装阀

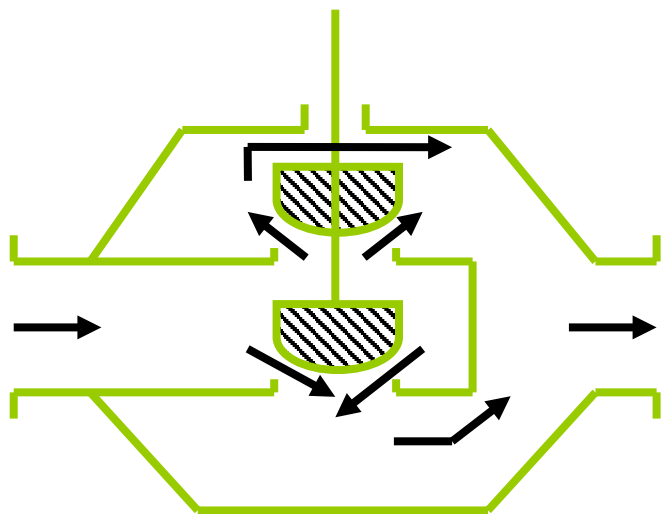


阀芯下移时，阀芯与阀座间的流通截面积增大

(2) 直通双座阀

阀体内有两个阀芯和阀座。

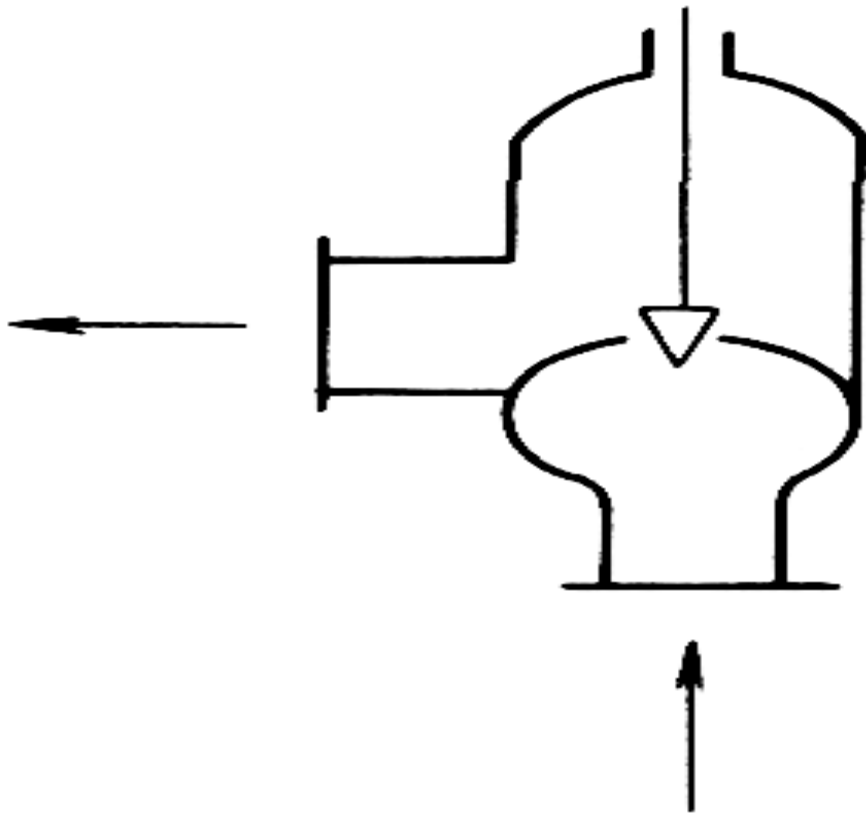
□ 流体流过时，作用在上、下两个阀芯上的推力方向相反且大小相近，可以互相抵消，所以不平衡力小。



□ 但是，由于加工的限制，上下两个阀芯阀座不易保证同时密闭，因此泄漏量较大。

(3) 角形控制阀

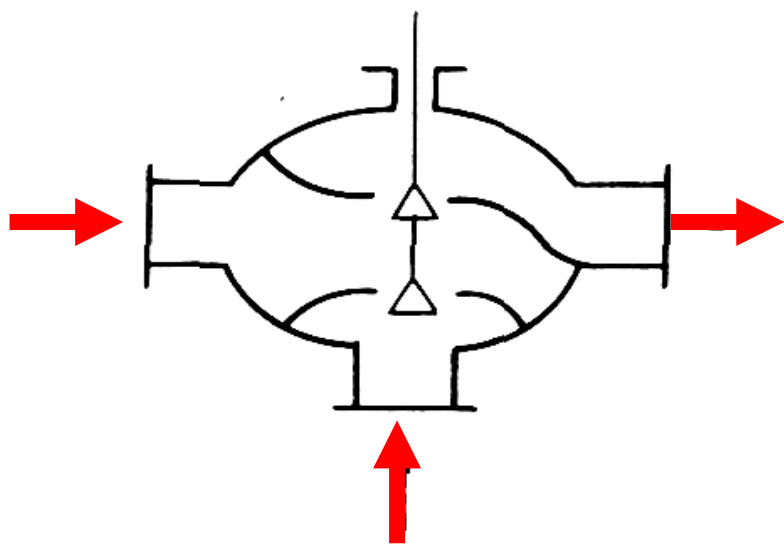
两个接管呈直角形，一般为底进侧出，这种阀的流路简单、对流体的阻力较小。



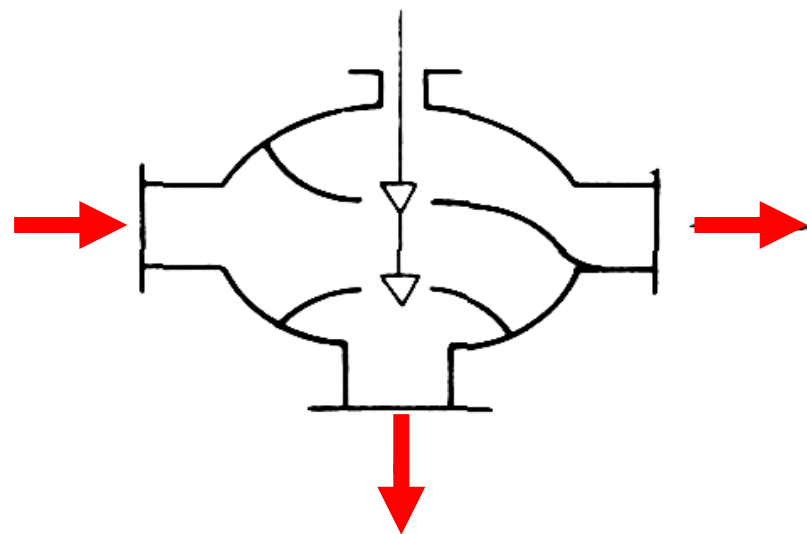
□ 适用于现场管道要求直角连接，介质为高粘度、高压差和含有少量悬浮物和固体颗粒状的情况。

(4) 三通控制阀

有三个出入口与工艺管道连接。流通方式有合流型（两种介质混合成一路）和分流型（一种介质分成两路）两种。适用于配比控制与旁路控制。



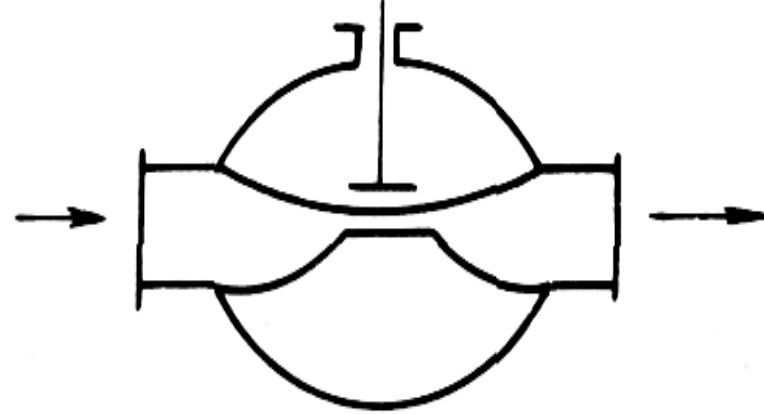
(a) 合流型



(b) 分流型

(5) 隔膜控制阀

采用耐腐蚀材料作隔膜，将阀芯与流体隔开。



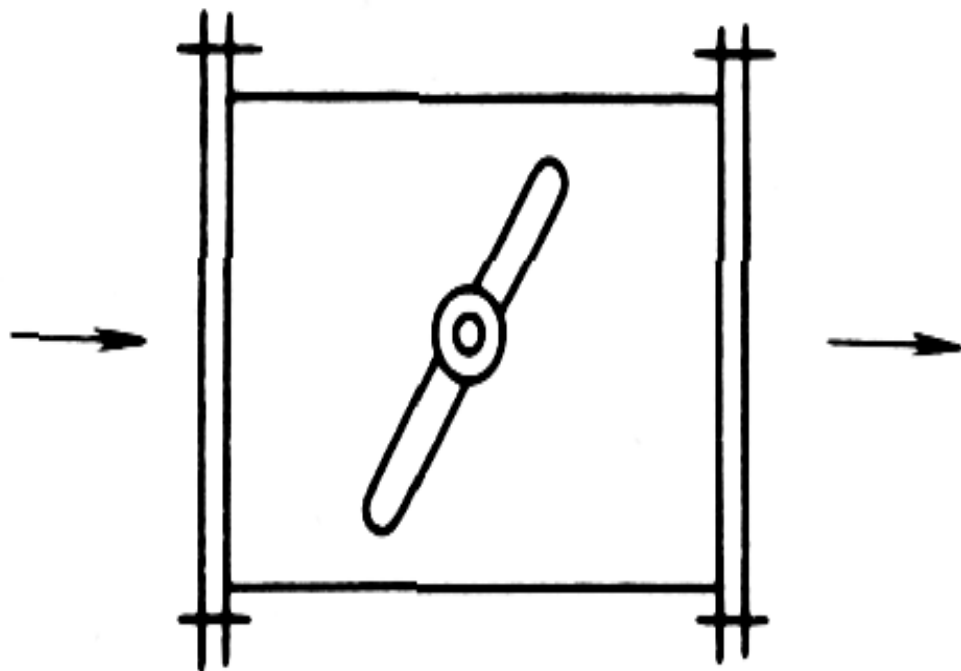
□ 结构简单、流阻小、流通能力比同口径的其他种类的阀要大。由于介质用隔膜与外界隔离，故无填料，介质也不会泄漏。

□ 耐腐蚀能力强，适用于强酸、强碱、强腐蚀性介质的控制，也能用于高粘度及悬浮颗粒状介质的控制。

(6) 蝶阀

又名翻板阀。

结构简单、重量轻、流阻极小，但泄漏量大。

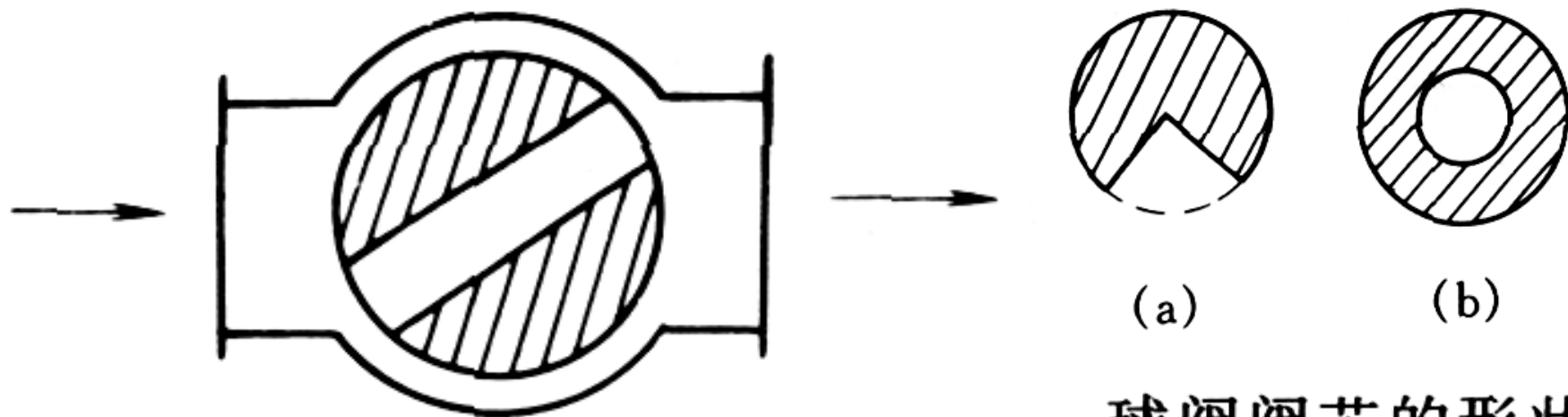


□ 适用于大口径、大流量、低压差的场合，也可以用于含少量纤维或悬浮颗粒状介质的控制。

(7) 球阀

阀芯与阀体都呈球形，阀芯内开孔。转动阀芯使之与阀体处于不同的相对位置时，就有不同的流通面积。

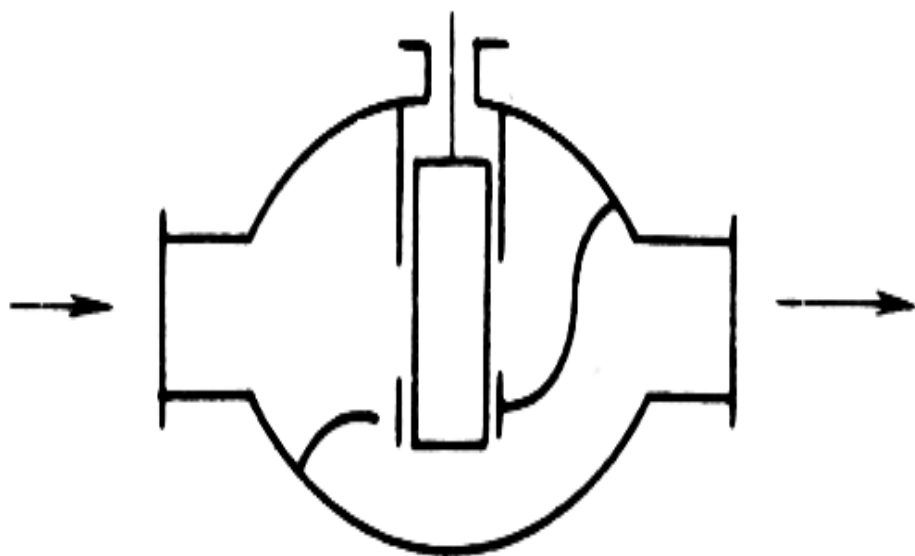
□ 流量变化较快，可起控制和切断的作用，常用于双位式控制。



球阀阀芯的形状

(8) 笼式阀

阀内有一个圆柱形套筒（笼子）。套筒壁上有一个或几个不同形状的孔（窗口），利用套筒导向，阀芯在套筒内上下移动，改变阀的节流孔面积。

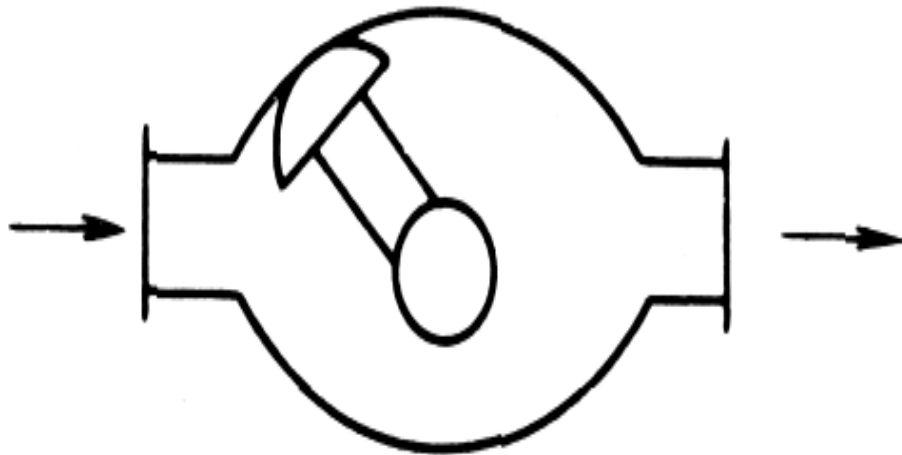


□ 可调比大，不平衡力小，更换开孔不同的套筒，就可得到不同的流量特性。但不适于高粘度或带有悬浮物的介质流量控制。

(9) 凸轮挠曲阀

又名偏心旋转阀。其阀芯呈扇形球面状，与挠曲臂及轴套一起铸成，固定在转动轴上。

□ 阀芯球面与阀座密封圈紧密接触，密封性好。
适用于高粘度或带有悬浮物的介质流量控制。



调节阀除了结构类型的不同外，其它的主要技术参数是流量特性和口径。

4.1.1.2 调节阀的流量特性

调节阀的阀芯位移与流量之间的关系，对控制系统的调节品质有很大影响。

流量特性的定义：

被控介质流过阀门的相对流量与阀门的相对开度（相对位移）间的关系称为调节阀的流量特性。

$$\frac{Q}{Q_{\max}} = f\left(\frac{l}{L}\right)$$

Q/Q_{\max} — 相对流量

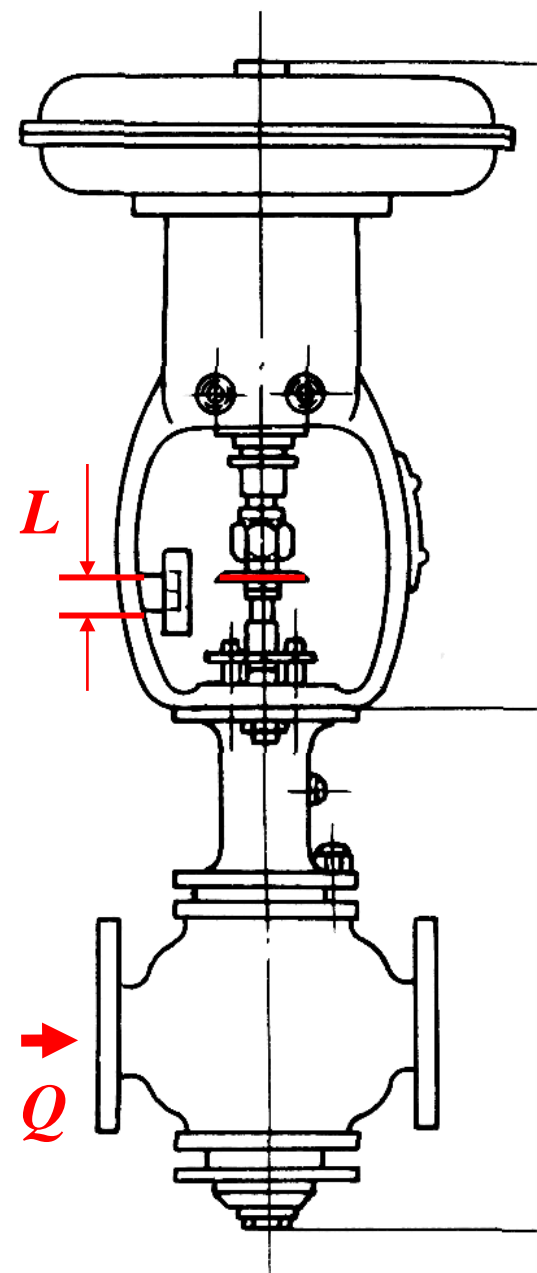
l/L — 相对开度

相对流量 Q/Q_{max} 是控制阀某一开度流量 Q 与全开时流量 Q_{max} 之比；

相对开度 l/L 是控制阀某一开度行程 l 与全开行程 L 之比。

$$\frac{Q}{Q_{\max}} = f\left(\frac{l}{L}\right)$$

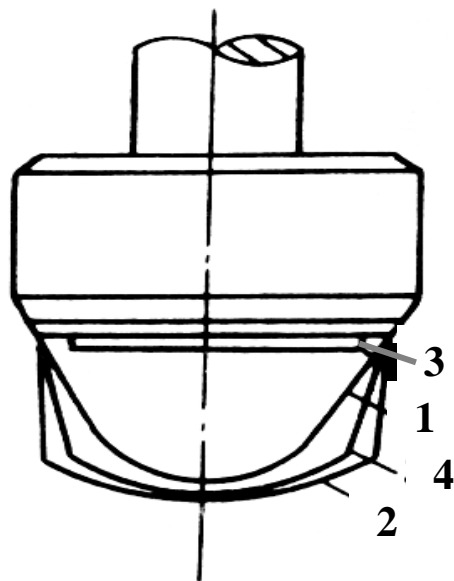
调节阀的流量特性不仅与阀门的结构和开度有关，还与阀前后的压差有关，必须分开讨论。



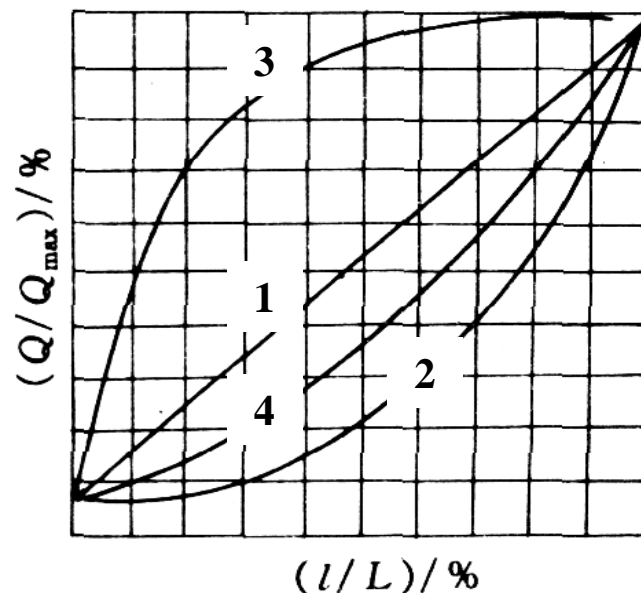
为了便于分析，先将阀前后压差固定，然后再引伸到实际工作情况，于是有**固有流量特性**与**工作流量特性**之分

1、固有（理想）流量特性

在将控制阀前后压差固定时得到的流量特性称为**固有**流量特性。它取决于阀芯的形状。



- (1) 直线特性
- (2) 等百分比特性
- (3) 快开特性
- (4) 抛物线特性

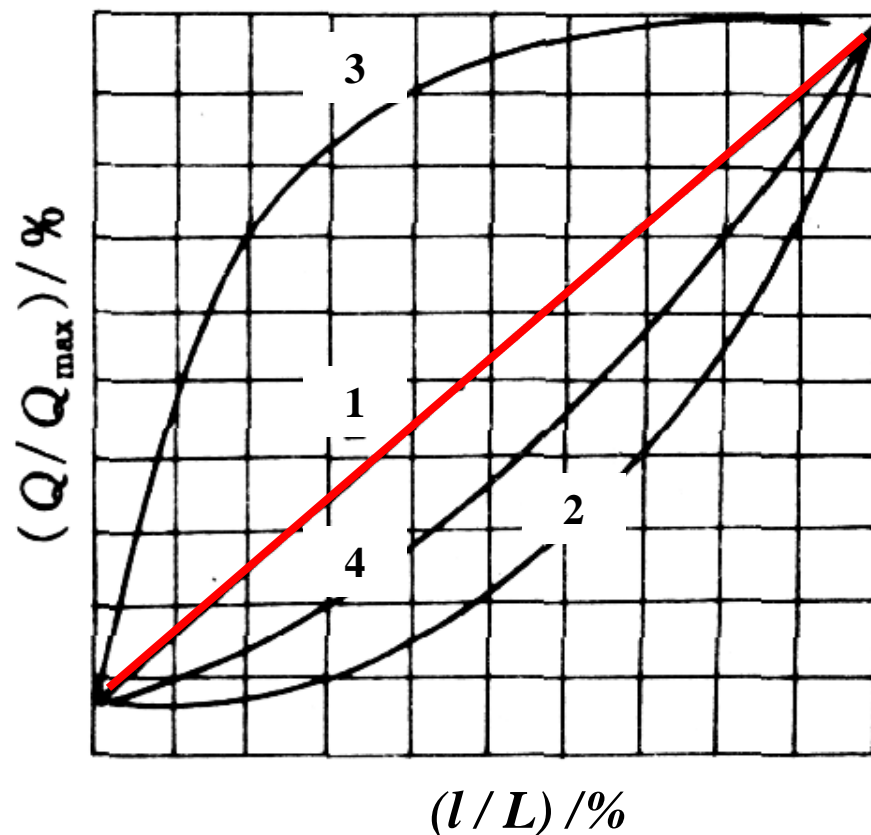


(1) 直线流量特性

控制阀的相对流量与相对开度成直线关系，即单位位移变化所引起的流量变化是常数。用数学式表示为：

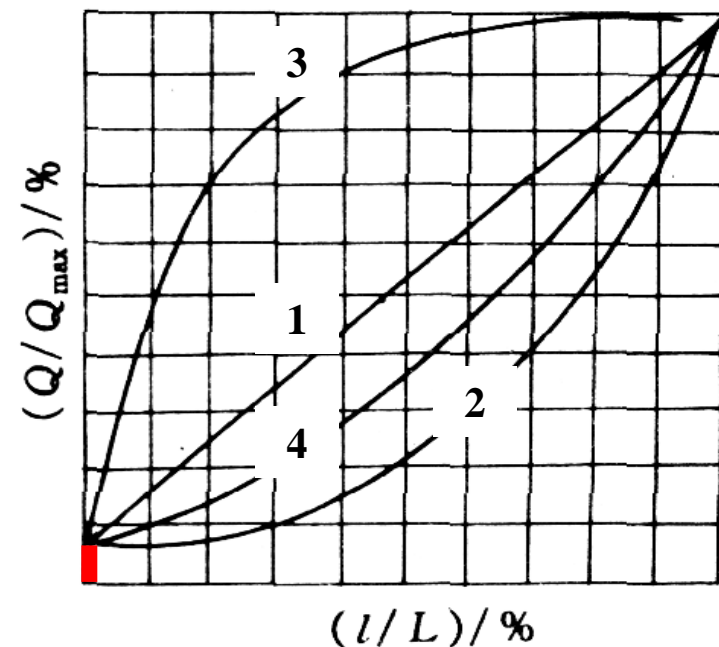
$$\frac{Q}{Q_{\max}} = \left(1 - \frac{1}{R}\right) \frac{l}{L} + \frac{1}{R}$$

R — 调节阀
的可调比系数。



可调比**R**为调节阀所能控制的最大流量与最小流量的比值。

$$R = Q_{max} / Q_{min}$$



其中 Q_{min} 不是指阀门全关时的泄漏量，而是阀门能平稳控制的最小流量，约为最大流量的2~4%
一般阀门的可调比**R=30**。

❖ 直线阀的流量放大系数在任何一点上都是相同的，但其对流量的控制力却是不同的。

控制力：阀门开度改变时，相对流量的改变比值。

例如在不同的开度上，再分别增加10%开度，
相对流量的变化比值为

10%时：

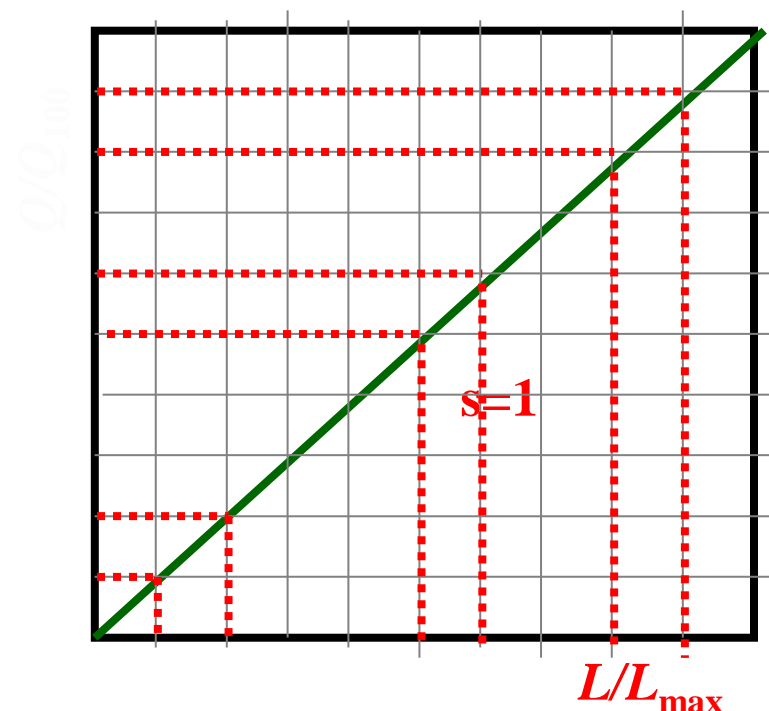
$$[(20-10)/10] \times 100\% = 100\%$$

50%时：

$$[(60-50)/50] \times 100\% = 20\%$$

80%时：

$$[(90-80)/80] \times 100\% = 12.5\%$$

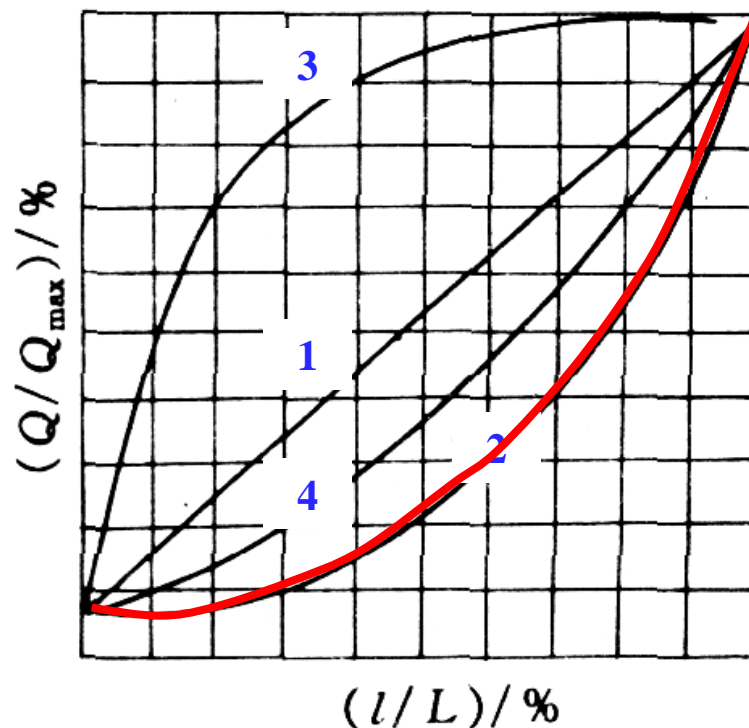


(2) 等百分比 (对数) 流量特性

相对流量变化与引起此流量变化的阀门相对开度之间的比值，和此点的相对流量成正比关系：

$$\frac{Q}{Q_{\max}} = R^{\left(\frac{l}{L}-1\right)}$$

❖ 曲线斜率（放大系数）随行程的增大而增大。流量小时，流量变化小；流量大时，流量变化大。



❖ 等百分比阀在各流量点的放大系数不同，但对流量的控制力却是相同的。

同样以10%、50%及80%三点为例，分别增加10%开度，相对流量变化的比值为：

10%处：

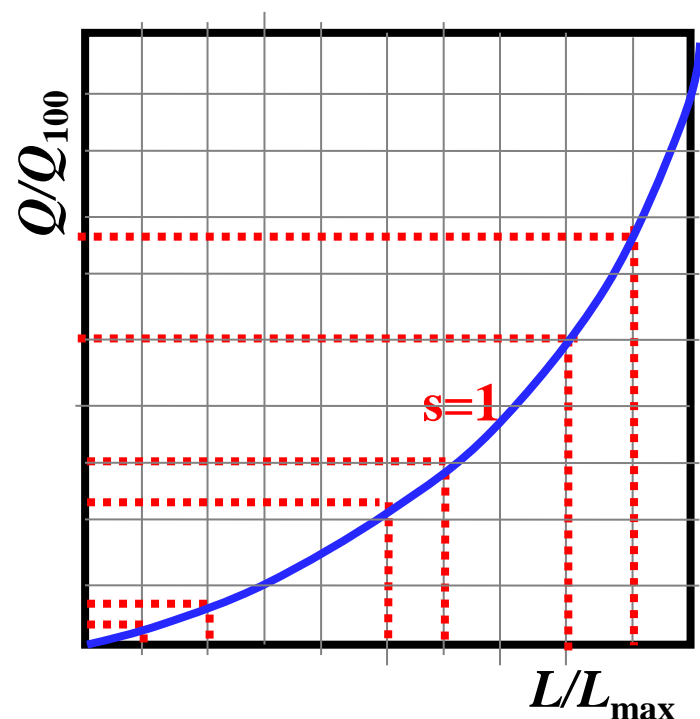
$$(6.58\% - 4.68\%) / 4.68\% \approx 41\%$$

50%处：

$$(25.7\% - 18.2\%) / 18.2\% \approx 41\%$$

80%处：

$$(71.2\% - 50.6\%) / 50.6\% \approx 41\%$$

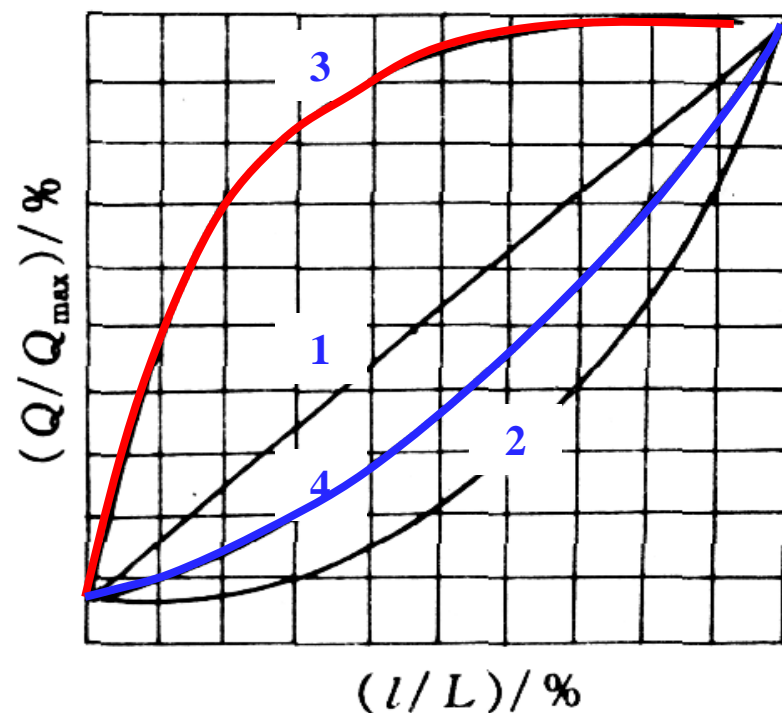


(3) 快开特性

开度较小时就有较大流量，随开度的增大，流量很快就达到最大，故称为快开特性。适用于迅速启闭的切断阀或双位控制系统。

(4) 抛物线流量特性

特性曲线为抛物线，介于直线和对数曲线之间，使用较少。

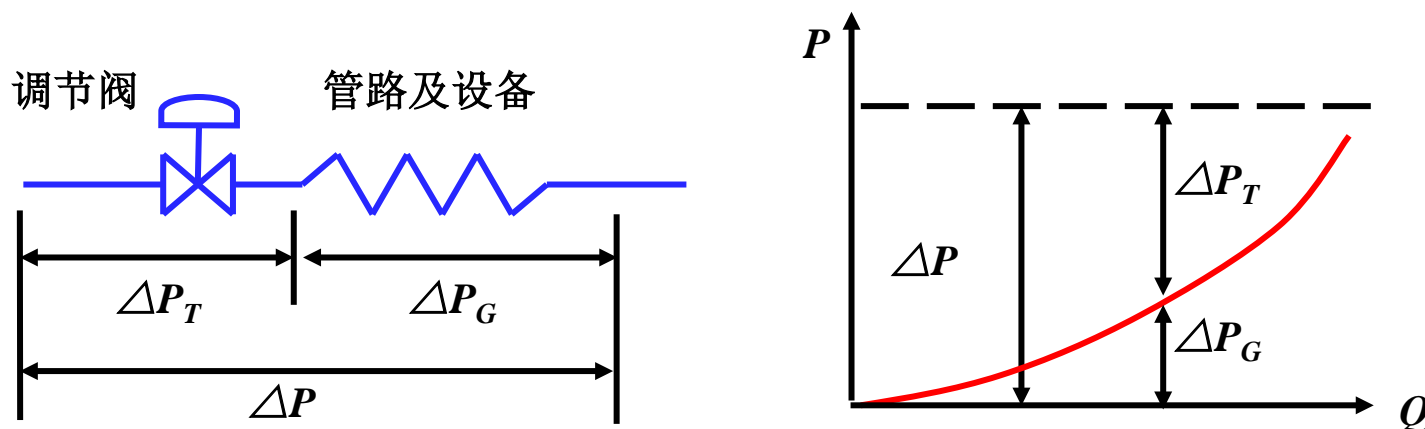


2、调节阀的工作流量特性

实际使用时，调节阀装在具有阻力的管道系统中。管道对流体的阻力随流量而变化，阀前后压差也是变化的，这时流量特性会发生畸变。

例：管道串联时的工作流量特性

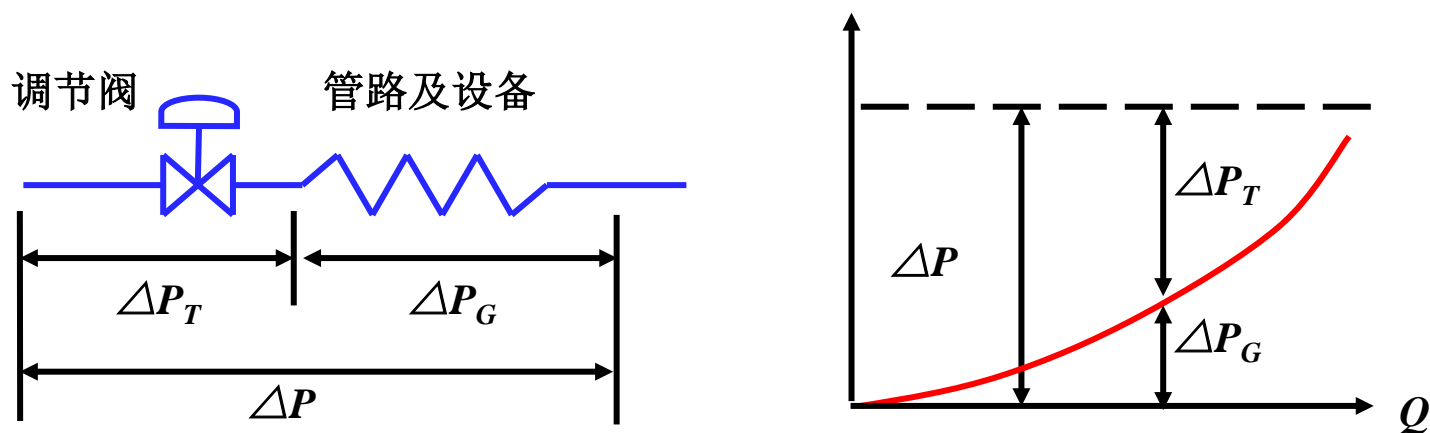
如图，管道系统总压力 ΔP 等于管路系统的压降 ΔP_G 与控制阀的压降 ΔP_T 之和。



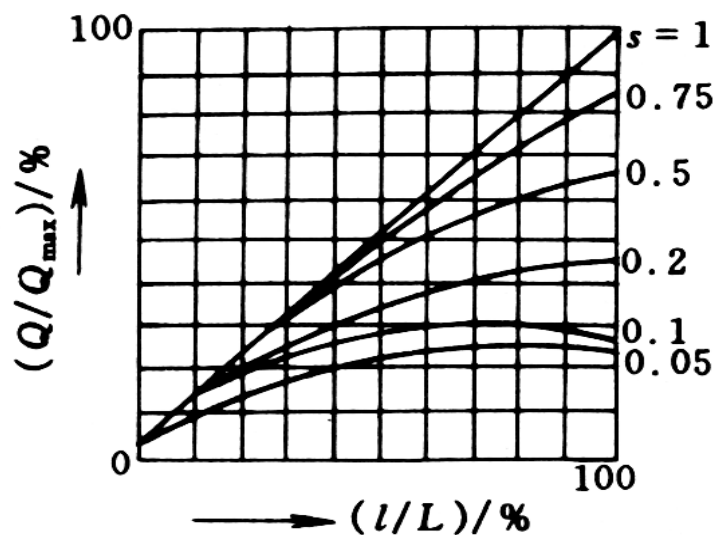
从串联管道中调节阀两端压差 ΔP_T 的变化曲线可看出，调节阀全关时阀上压力最大，基本等于系统总压力；调节阀全开时阀上压力降至最小。

为了表示调节阀两端压差 ΔP_T 的变化范围，以阀权度 s 表示调节阀全开时，阀前后最小压差 ΔP_{Tmin} 与总压力 ΔP 之比。

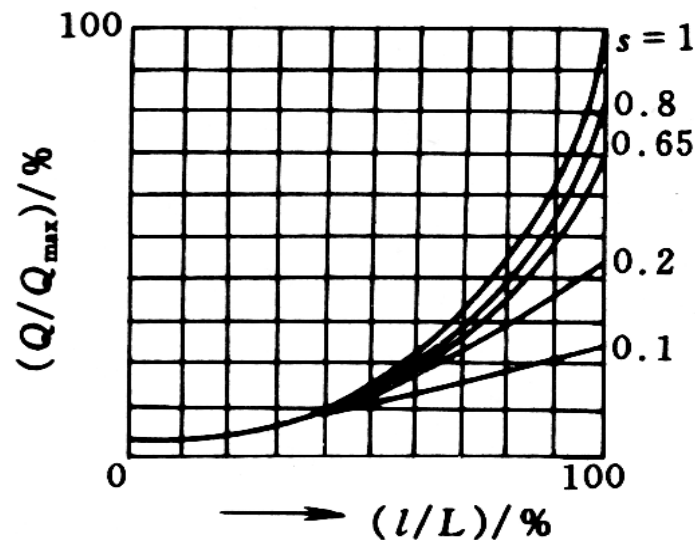
$$s = \Delta P_{Tmin} / \Delta P$$



以 Q_{\max} 表示串联管道阻力为零时($s=1$)，阀全开时达到的最大流量。可得串联管道在不同 s 值时，以自身 Q_{\max} 作参照的工作流量特性。



(a) 理想特性为直线型



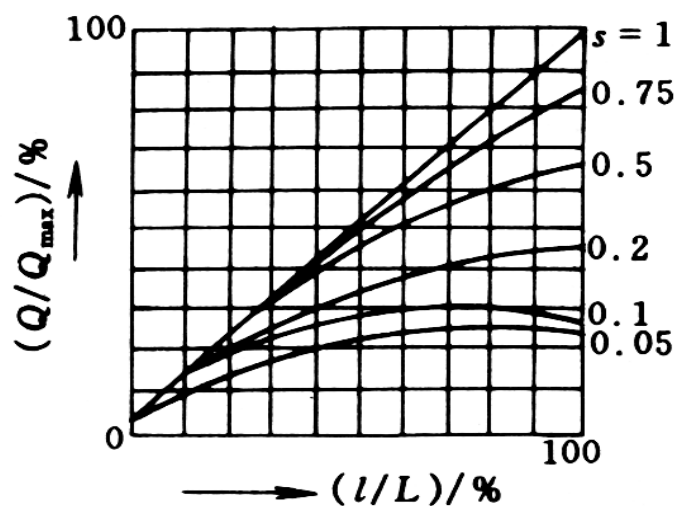
(b) 理想特性为等百分比型



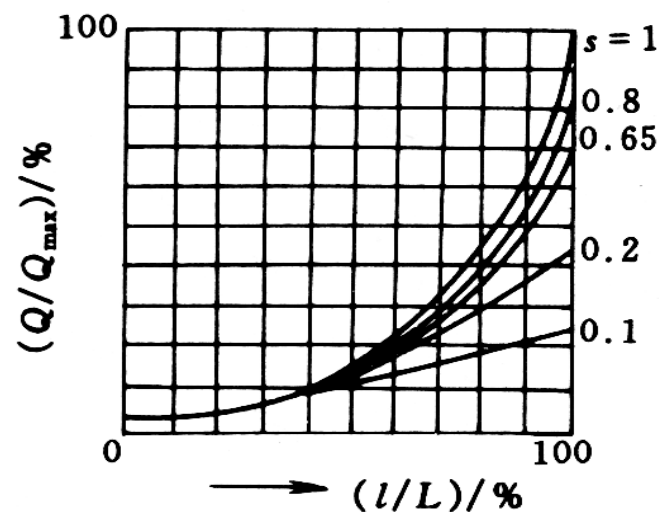
$s \downarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{直线阀变为快开阀} \\ \text{对数阀变为直线阀} \end{array} \right.$

结论

- ❑ 串联管道使调节阀的流量特性发生畸变。
- ❑ 串联管道使调节阀的流量可调范围降低，最大流量减小。
- ❑ 串联管道会使调节阀的放大系数减小，调节能力降低， s 值低于0.3时，调节阀能力基本丧失。



(a) 理想特性为直线型



(b) 理想特性为等百分比型

4.1.1.2调节阀的选择

选用调节阀时，一般应考虑以下几个方面。

1. 调节阀结构的选择

通常根据工艺条件，如使用温度、压力，介质的物理、化学特性（如腐蚀性、粘度等），对流量的控制要求等，来选择调节阀的结构形式。

例如，一般介质条件选用直通单座阀或直通双座阀；高压介质选用高压阀；强腐蚀介质采用隔膜阀等。

2. 气开式与气关式的选择

气动调节阀在气压信号中断后阀门会复位。

无压力信号时阀全开，随着信号增大，阀门逐渐关小的称为**气关式**。反之，无压力信号时阀全闭，随着信号增大，阀门逐渐开大称为**气开式**。

❖ 阀门气开气关式的选择原则：

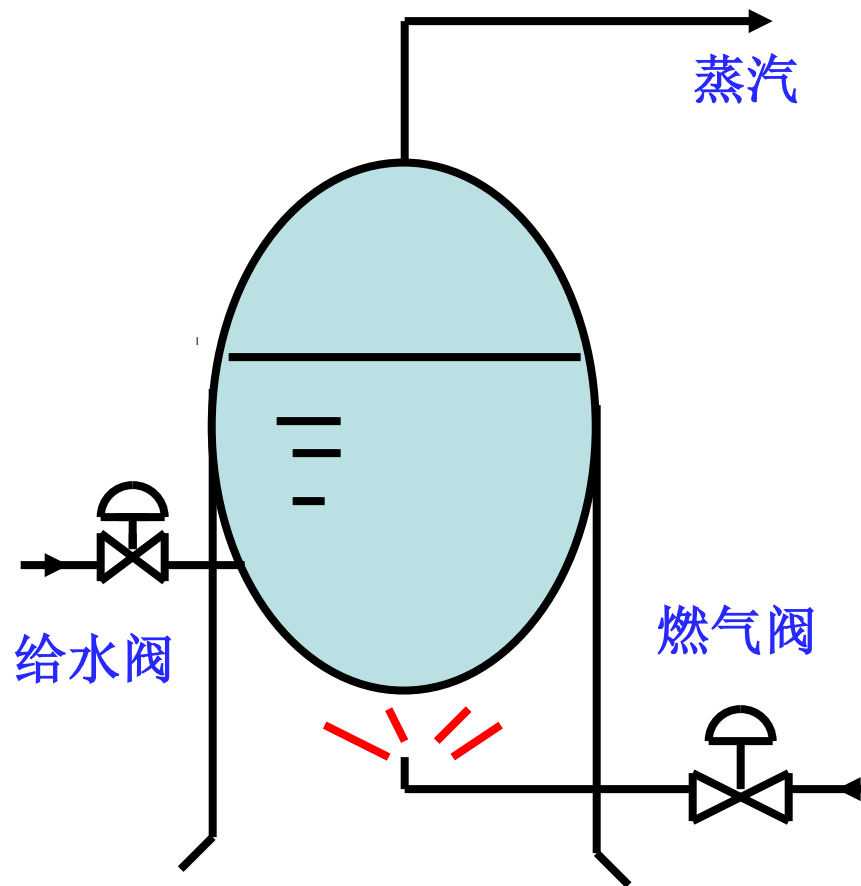
当控制信号中断时，阀门的复位位置能使工艺设备处于安全状态。

例如：

选择蒸汽锅炉的控制阀门时，为保证失控时不能烧干：

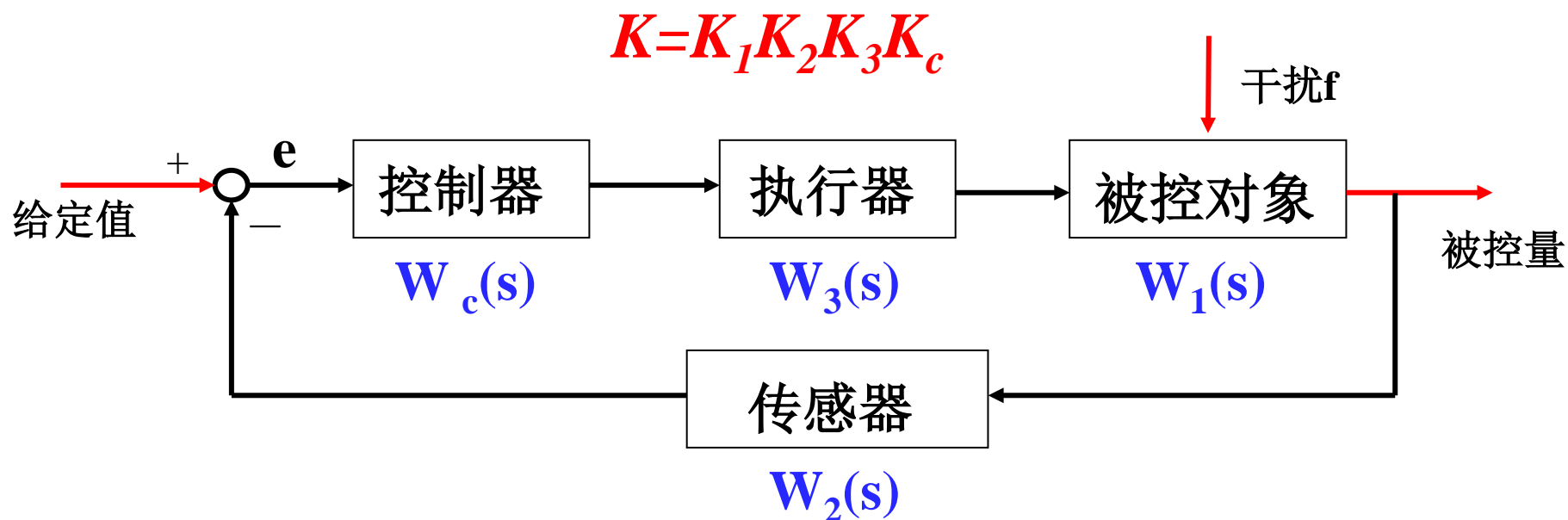
给水阀应选气关式

燃气阀应选气开式



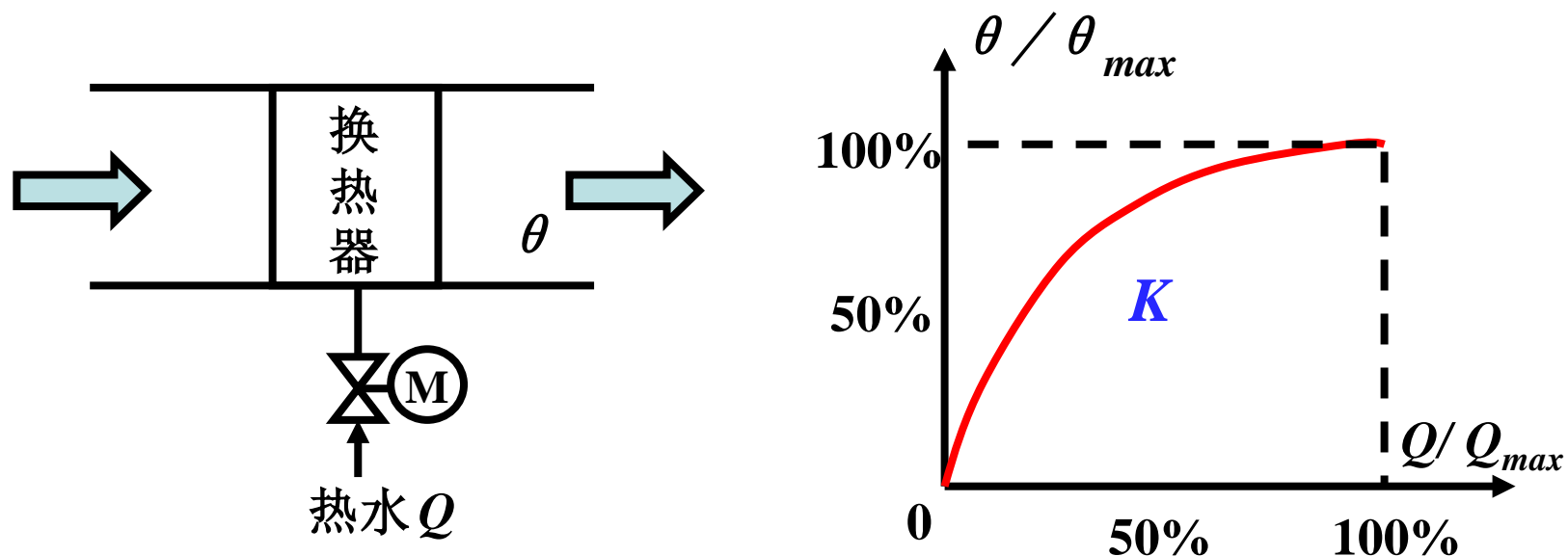
3. 调节阀流量特性的选择

保证控制品质的重要因素之一是：保持控制系统的总放大倍数在工作范围内尽可能恒定。



有的被控对象的放大倍数，在不同的工艺点不同。

如热水换热器的热水流量与送风温度的静特性



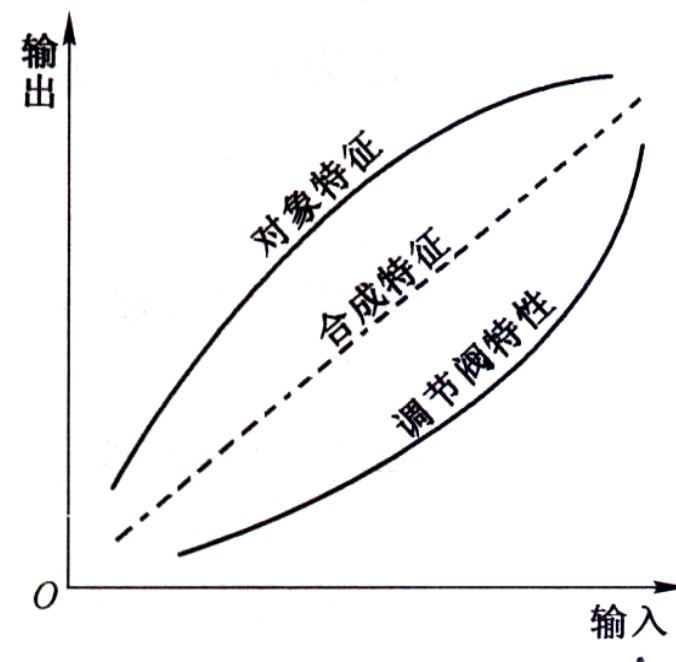
由图可见，随着热水流量增大，对送风的加热效果越来越差。因为热交换需要时间，热水很快流走，不能充分热交换所致。但若用蒸汽加热，由于冷凝放热很快，该特性为直线特性。

很多对象在工作区域内稳态放大倍数 K 不是常数，在不同的工艺负荷点， K 不相同。因此希望调节阀的流量特性能补偿对象的静特性使调节阀的特性与过程特性乘积为一常数。

(1) 若调节对象的静特性是非线性的，工艺负荷变化又大，用等百分比特性补偿。

(2) 若调节对象的静特性是线性的，或工艺负荷变化不大，用直线阀。

(3) 配管阻力大、 s 值低，等百分比阀会畸变成直线阀。

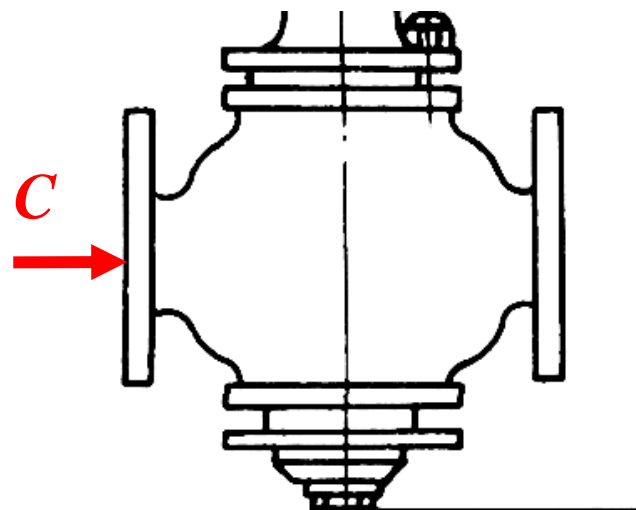


4. 调节阀口径的选择

为保证工艺的正常进行，必须合理选择调节阀的尺寸。如果调节阀的口径选得太大，使阀门经常工作在小开度位置，造成调节质量不好。如果口径选得太小，阀门完全打开也不能满足最大流量的需要，就难以保证生产的正常进行。

调节阀的口径决定了调节阀的流通能力。

调节阀的流通能力用C值表示。

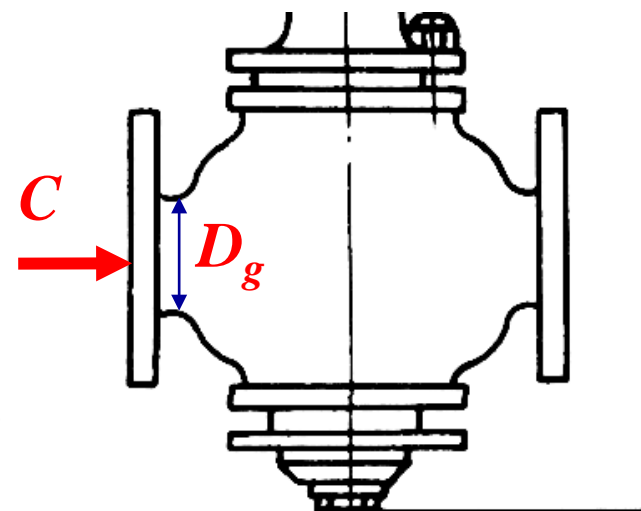


流量系数C的定义：

在阀两端压差100kPa，流体为水（ $10^3\text{Kg} / \text{m}^3$ ）的条件下，阀门全开时每小时能通过调节阀的流体流量（ m^3 / h ）。

例如，某一阀门全开、阀两端压差为100kPa时，流经阀的水流量为 $20 \text{ m}^3 / \text{h}$ ，则该调节阀的流通能力系数为： $C=20$ 。

在调节阀技术手册上，给出了各种阀门的口径和流通能力 C ，供用户查阅。



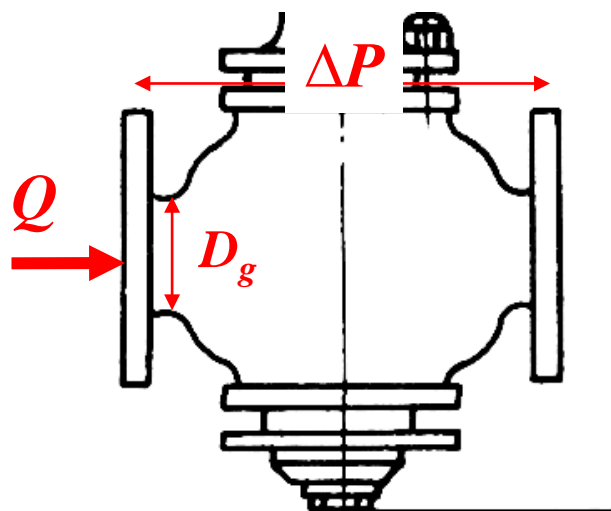
实际应用中阀门两端压差不一定是100kPa，流经阀门的流体也不一定是水，因此必须换算。

(1) 液体流通能力C值的计算

根据基本流量公式

$$Q = \alpha A_0 \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta P}$$

将流量系数的定义条件代入基本流量公式：



$$C = \alpha A_0 \sqrt{\frac{2}{1000} \times 100} = \alpha A_0 \sqrt{\frac{2}{10}}$$

两式相除得

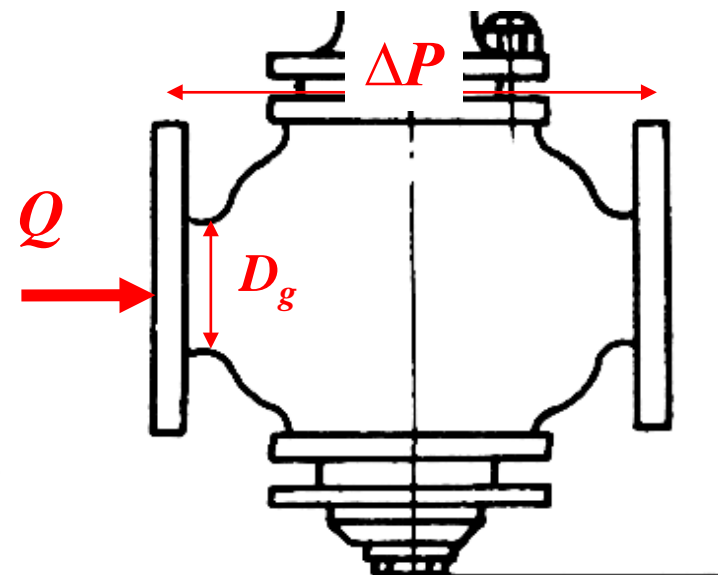
$$C = Q \sqrt{\frac{\rho}{10 \Delta P}}$$

(2) 气体、蒸汽C值的计算

气体、蒸汽都具有可压缩性，其C值的计算必须考虑气体的可压缩性和二相流问题，计算时进行相应的修正。

$$C = kQ\sqrt{\frac{\rho}{10\Delta P}}$$

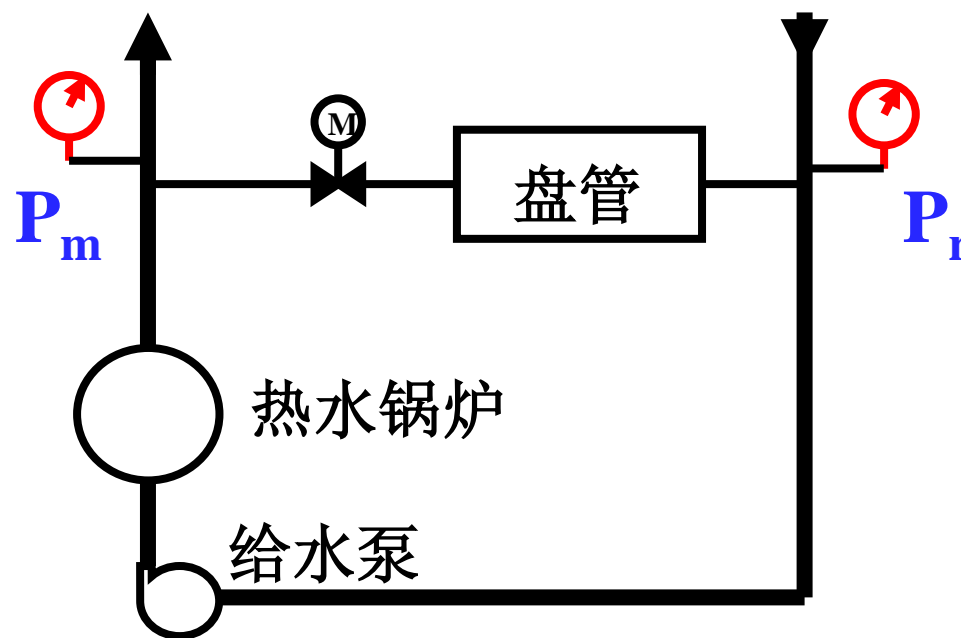
根据实际的工艺流量和管道压力换算出C值后，查阀门手册确定口径。



例 某供暖系统，流过加热盘管的水流量为 $Q=31\text{m}^3/\text{h}$
热水为 80°C ， $P_m-P_r=2.0\times 100\text{kPa}$ ，所装阀门C可以从
28，30，32，34四种中选取，应该选择那种？

（配管 $s=0.5$ ， 80°C 热水的密度 $\rho=971\text{Kg}/\text{m}^3$ ）

$$C = Q \sqrt{\frac{\rho}{10\Delta P}}$$



4.1.2 电/气转换器

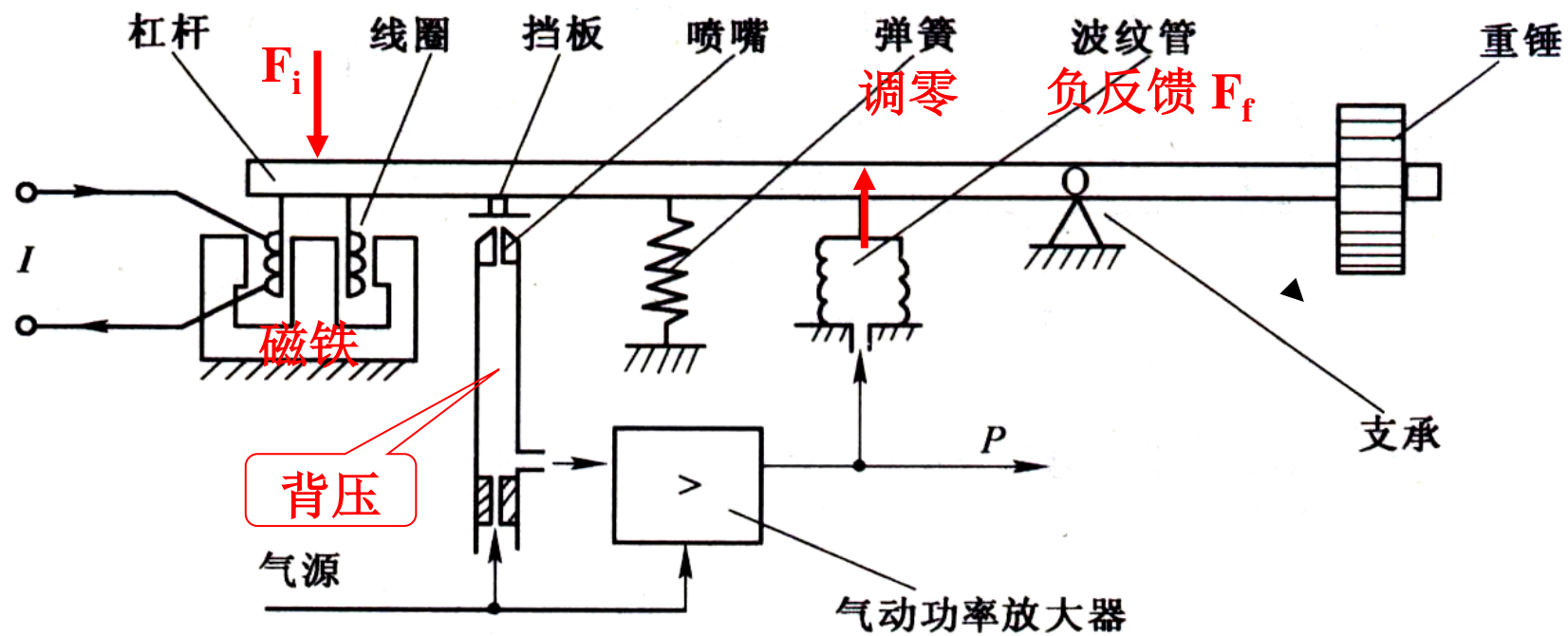
为了使气动调节阀能够接收电动调节器的输出信号，必须把标准电流信号转换为标准气压信号。

电/气转换器作用：

将4~20mA的电流信号
转换成20~100KPa的标准
气压信号。



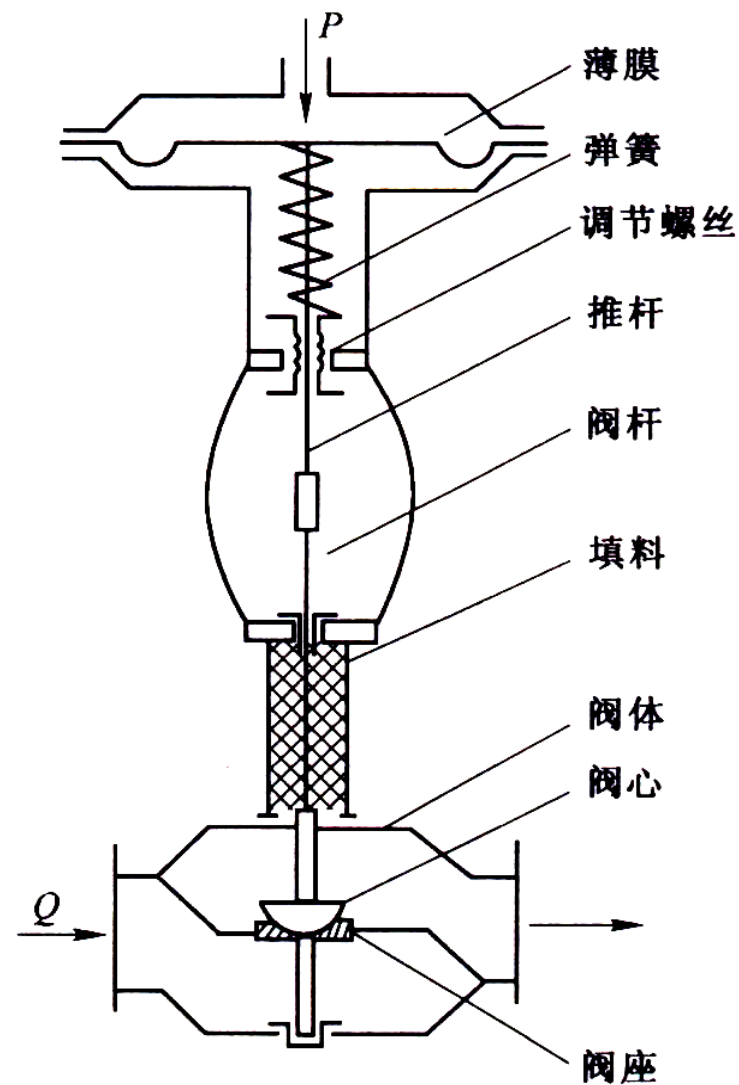
工作原理



4.1.3 阀门定位器

气动调节阀中，阀杆的位移是由薄膜上气压推力与弹簧反作用力平衡确定的。

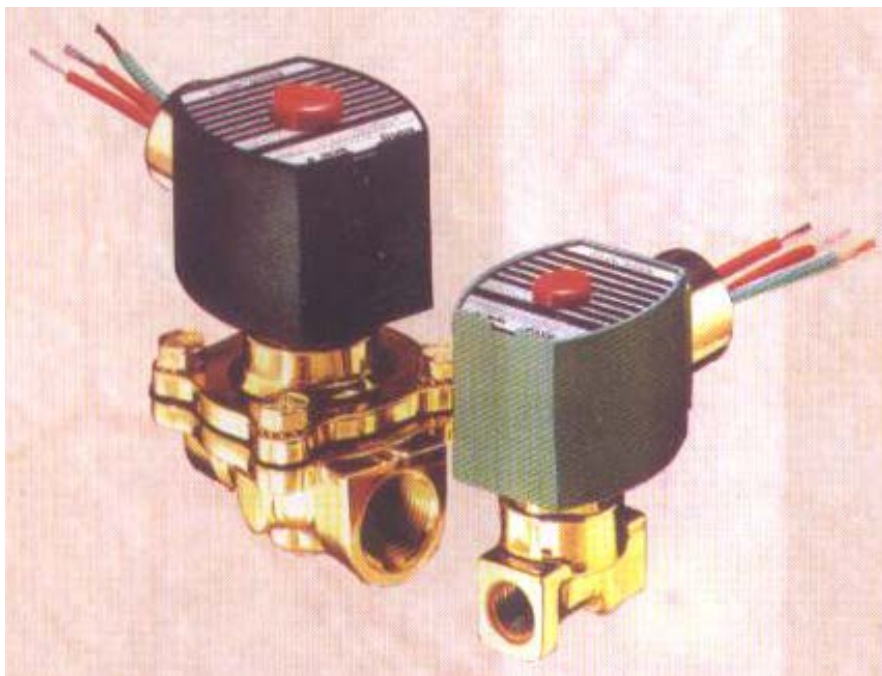
为了防止阀杆处的泄漏要压紧填料，使阀杆摩擦力增大，且个体差异较大，这会影响输入信号 P 的执行精度。



4.1.5 电动调节阀

电动调节阀接受来自调节器的电流信号，阀门开度连续可调。

电磁阀也接受来自调节器的电流信号，但阀门开度是位式调节。



4.1.6 智能式调节阀

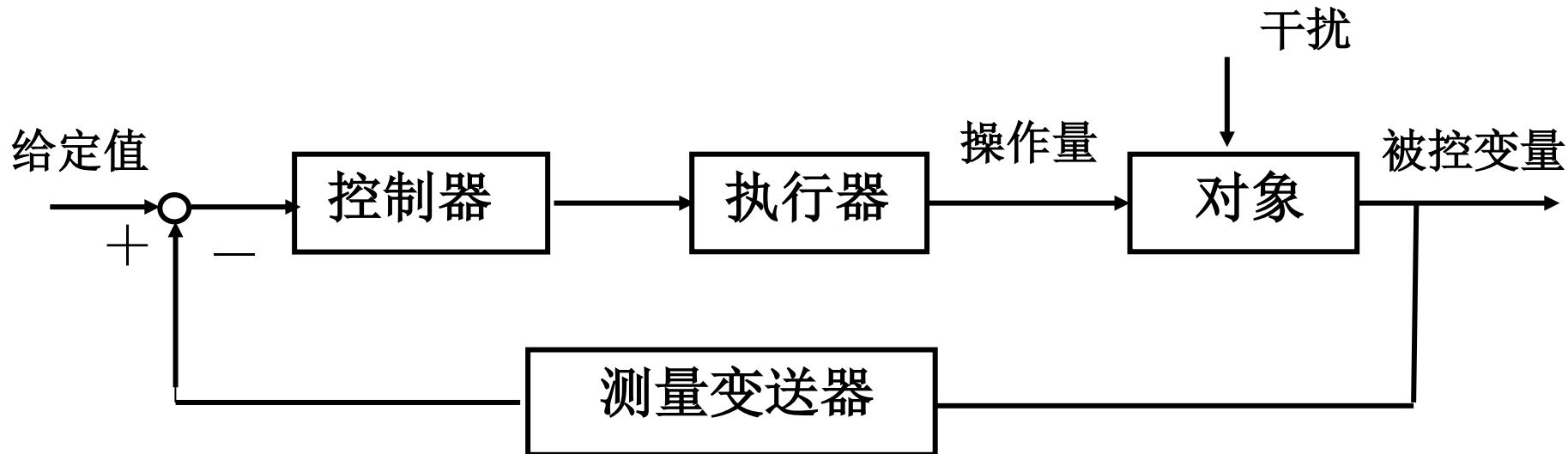
随着电子技术的迅速发展，微处理器也被引入到调节阀中，出现了智能式调节阀。主要功能如下：

1. 控制及执行功能
2. 补偿及校正功能
3. 通信功能
4. 诊断功能
5. 保护功能



6.2.3.3 调节器正反作用的选择

负反馈控制系统的控制作用对被控变量的影响应与干扰作用对被控变量的影响相反，才能使被控变量值回复到给定值。为了保证负反馈，必须正确选择调节器的正反作用。



为了说明选择方法，先定义作用方向：

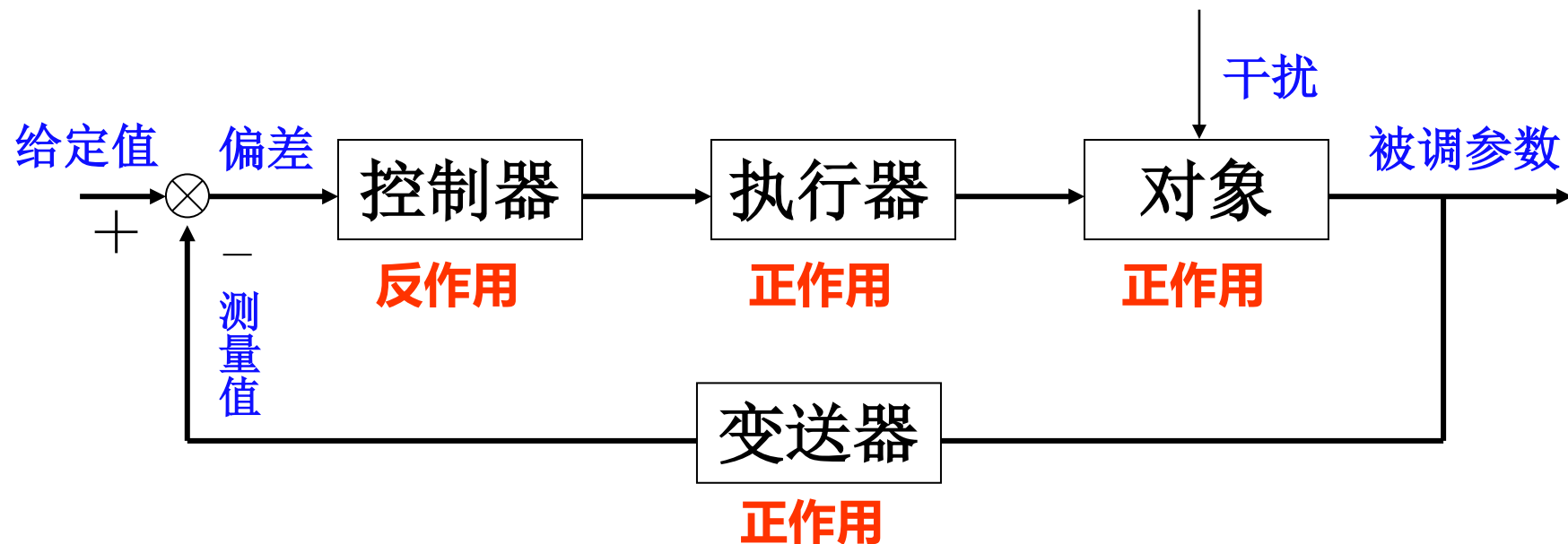
当某个环节的输入增加时，其输出也增加，称该环节为“正作用”；反之，称为“反作用”。

按此定义：

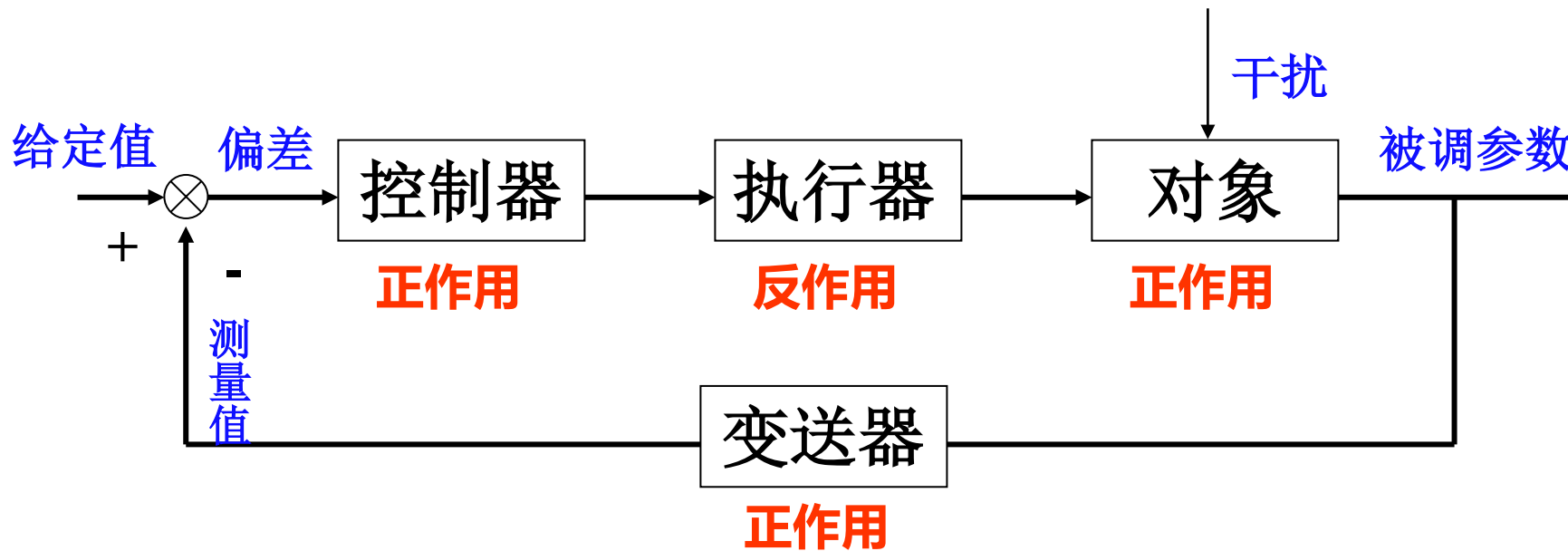
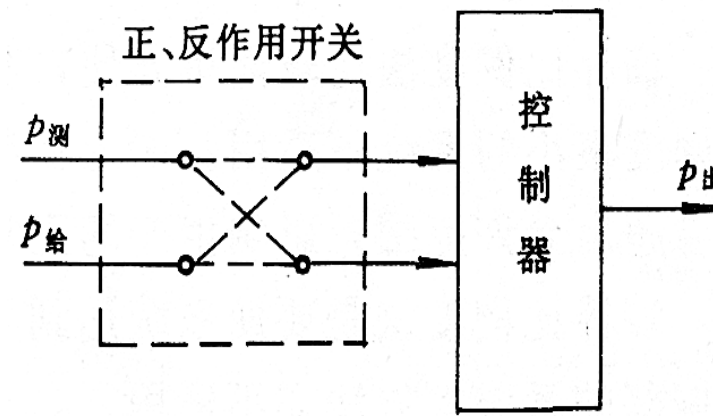
- ❑ 变送器都是正作用
- ❑ 气开阀是正作用，气关阀是反作用
- ❑ 被控对象有的正作用，有的反作用
- ❑ 控制器作用方向以测量输入与输出的关系定义

控制系统中，各个环节的作用方向组合不当的话，会使系统构成正反馈，不但不能起控制作用，反而会破坏生产过程的稳定。

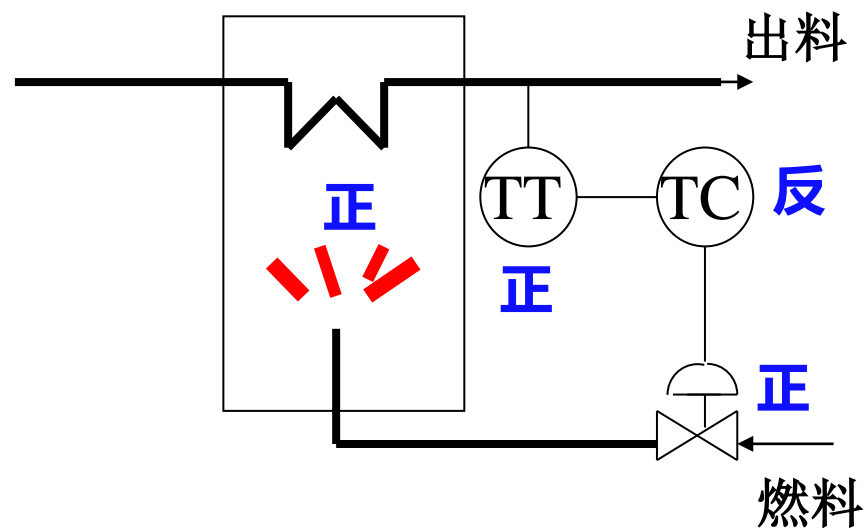
因为执行器和对象有正、反作用，为了保证控制系统负反馈，调节器必须有正、反作用之调整。



调节器正反作用的确定原则：**保证系统构成负反馈**
简单的判定方法：**闭合回路中有奇数个反作用环节。**



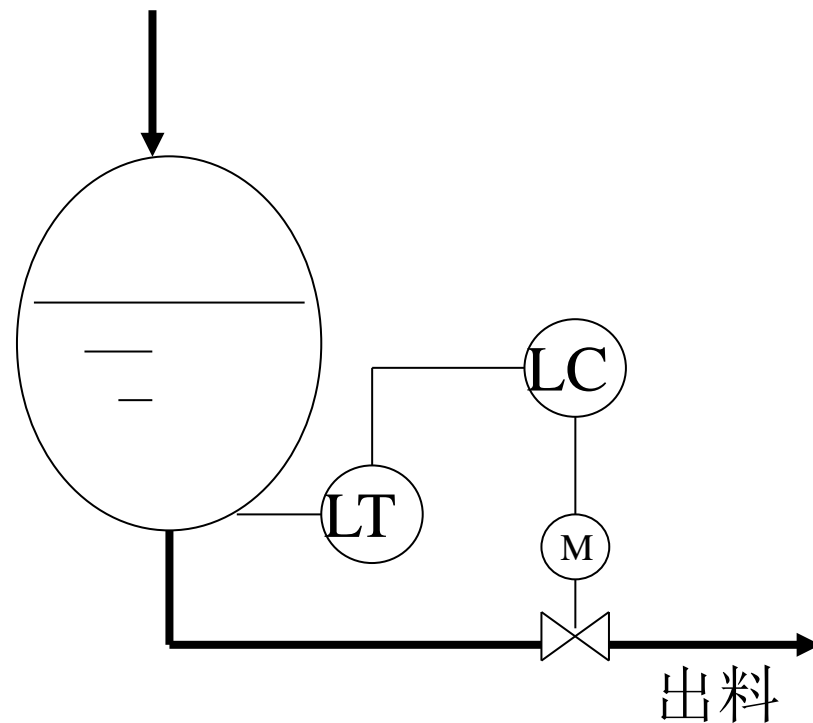
例1：加热炉出口温度控制系统



负反馈验证：

设某时刻燃料压力 \uparrow →燃料流量 \uparrow →炉温 \uparrow →出料温度 \uparrow
→TC输入 \uparrow → TC输出 \downarrow →阀关小→炉温 \downarrow →出料温度 \downarrow

例2：储槽液位控制系统



负反馈验证：

设某时刻进料量 $\uparrow \rightarrow$ 液位 $\uparrow \rightarrow$ LC输入 \uparrow
 \rightarrow LC输出 $\uparrow \rightarrow$ 阀开大 \rightarrow 出料量 $\uparrow \rightarrow$ 液位 \downarrow