

第4章 执行器和防爆栅

4.1 执行器

执行器在控制系统中的作用是根据调节器的命令，直接控制能量或物料等被调介质的输入量，达到调节温度、压力、流量等工艺参数的目的。执行器代替了人工操作，形象的称之为实现生产过程自动化的“手脚”。

1 执行器的组成

- ❑ 执行机构：按调节器命令，产生推力或位移
- ❑ 调节机构：受执行机构的操纵，调节被调介质的输送量

2 按使用能源种类分类

- ❑ 气动：结构简单，可靠，便宜，维护方便，防火防爆；但需气源
- ❑ 电动：能源方便，信号传输快、距离远；结构复杂，推力小，价格贵
- ❑ 液动：推力最大，使用不多



4. 1. 1 气动执行器

1 结构及工作原理

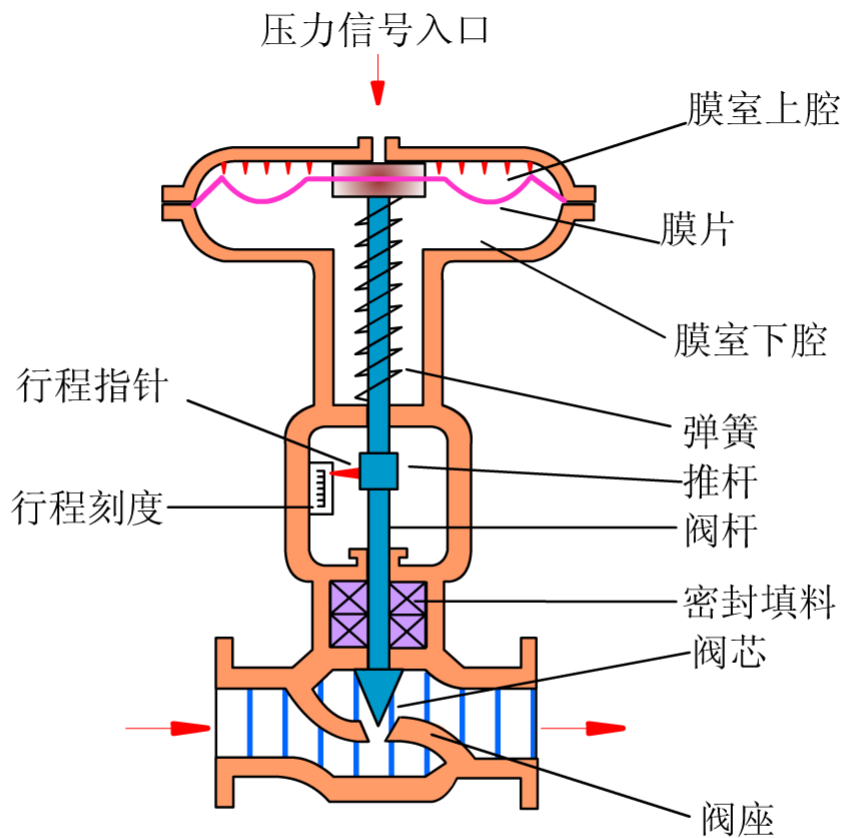
气闭式单座调节阀的结构如图4-1所示。

上半部分是产生推力的薄膜式执行机构，下半部分为调节阀，调节螺丝可实现零点迁移。

$P \Rightarrow$ 膜片 \Rightarrow 推杆
关闭阀芯（气闭式）



气动薄膜单座调节阀



气动薄膜阀

(1) 气动执行机构

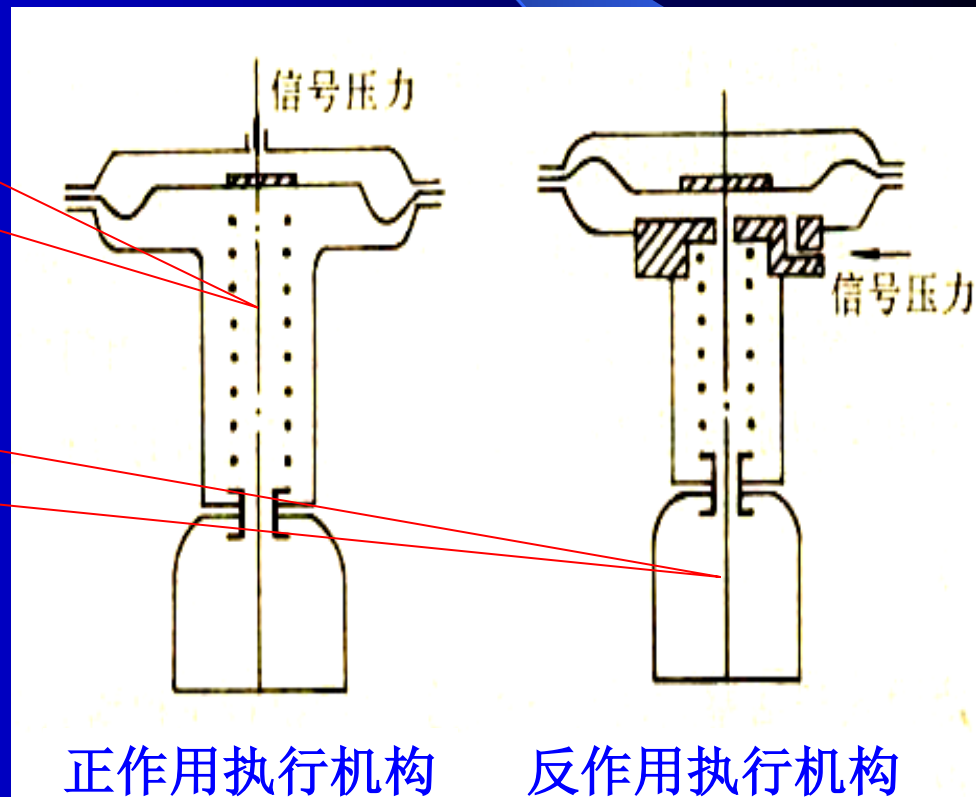
主要有薄膜式和活塞式两大类。

两种型式

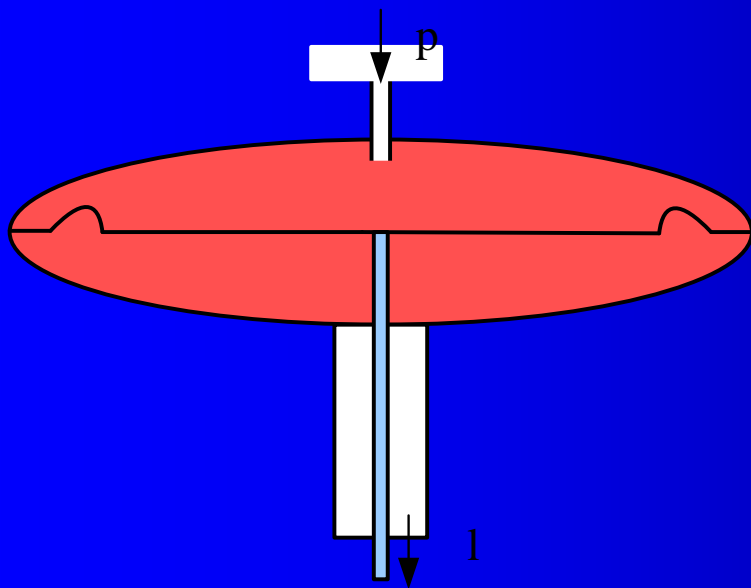
信号压力增加时，推杆向下移动

信号压力增大时，推杆向上移动

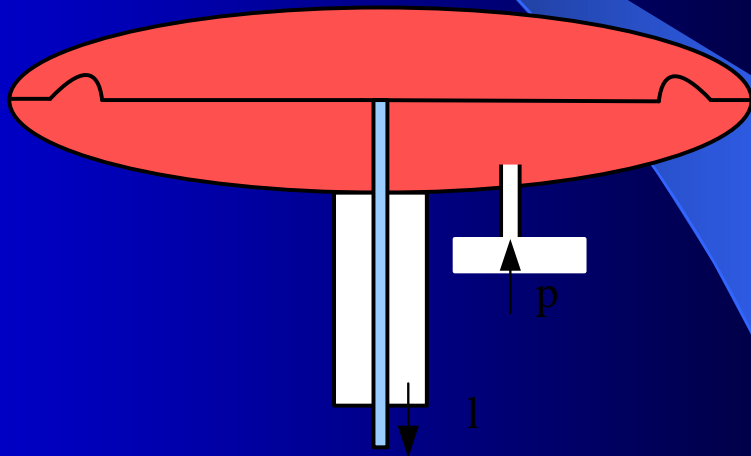
❖ 稍加改装就可以把正、反作用倒过来



执行机构的作用型式



正作用



反作用

(2) 调节（阀）机构

调节阀是一个局部阻力可变的节流元件。由阀体、上阀盖组件、下阀盖组件和阀内件组成。

1 按结构形式和阀座数目分类

采用双座阀，如图4-3所示，使流体对上、下两阀芯的作用力大致抵消。但缺点是上、下阀芯不能保证同时关闭，泄漏量比单座阀大，价格较贵。

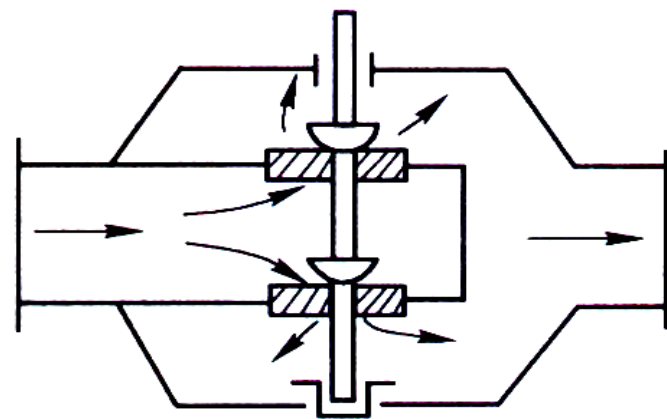
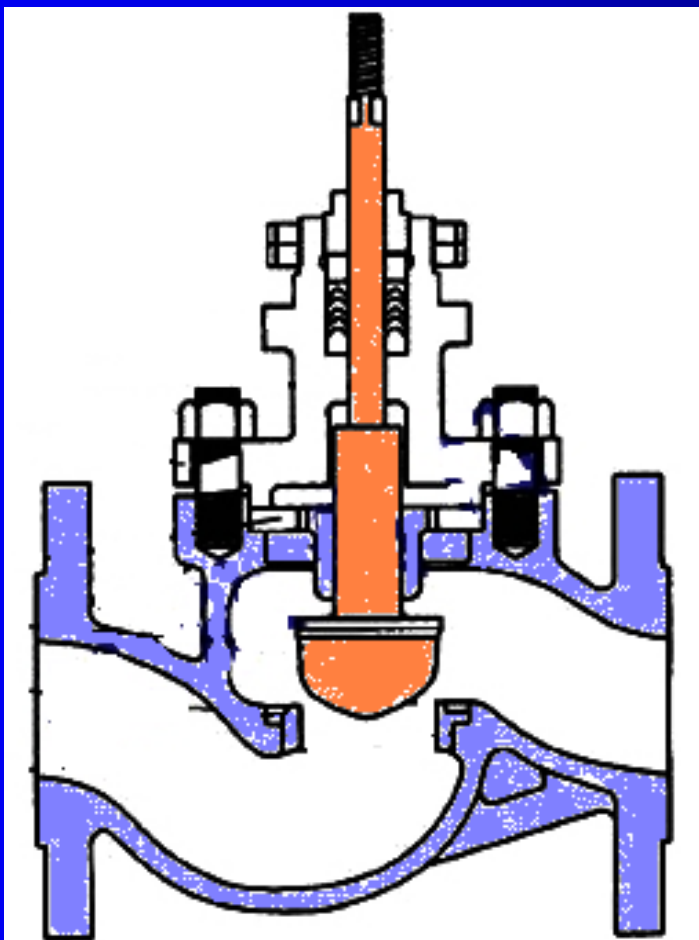
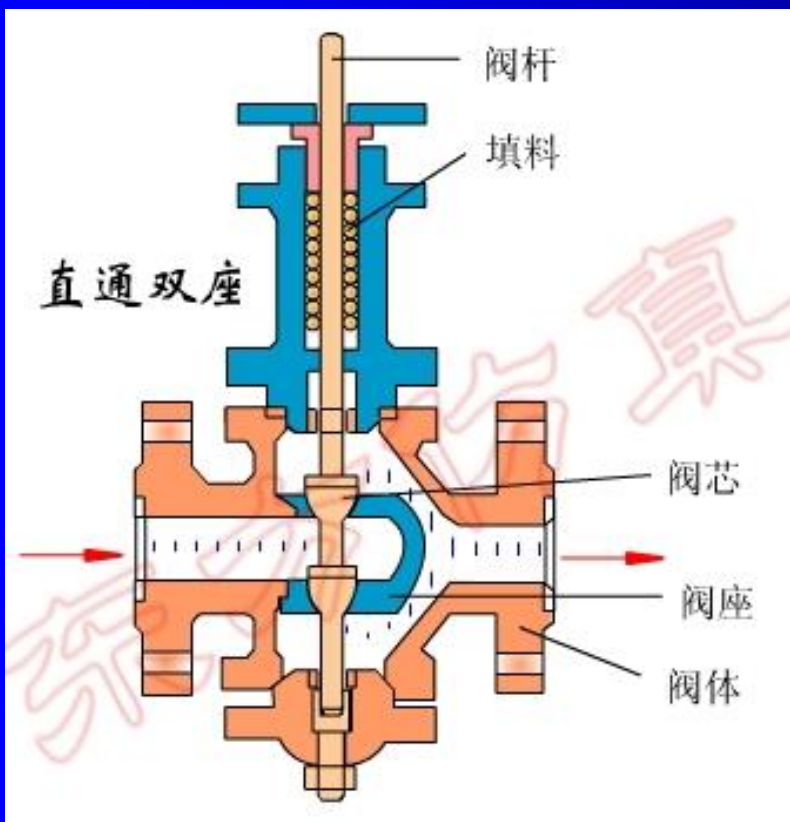


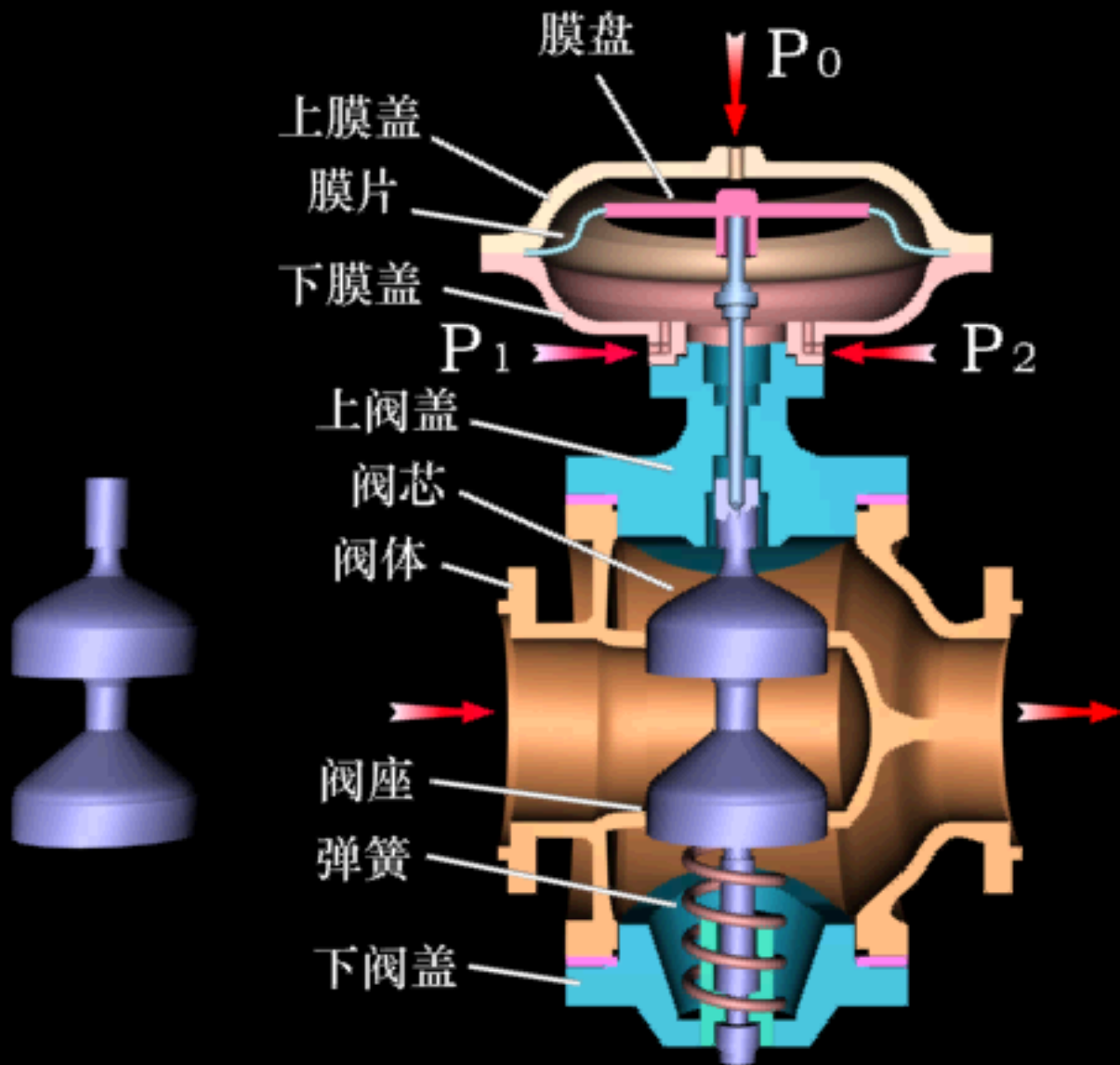
图 4-3 直通双座阀

调节阀的调节机构



调节阀的调节机构

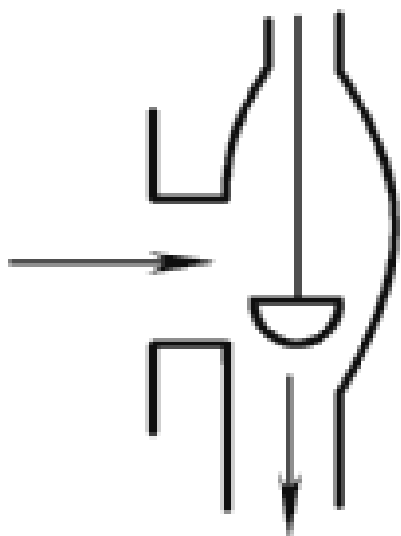




调节阀(双座)

(3) 角形控制阀

两个接管呈直角形，这种阀的流路简单、对流体的阻力较小。

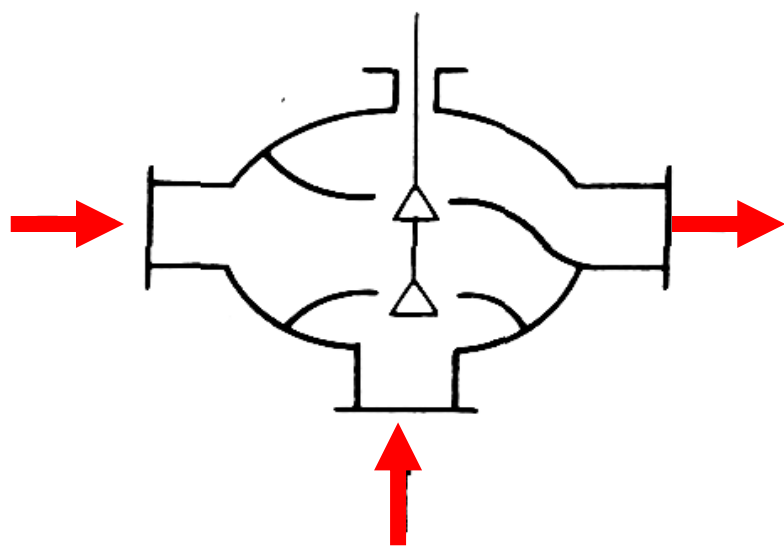


角形阀

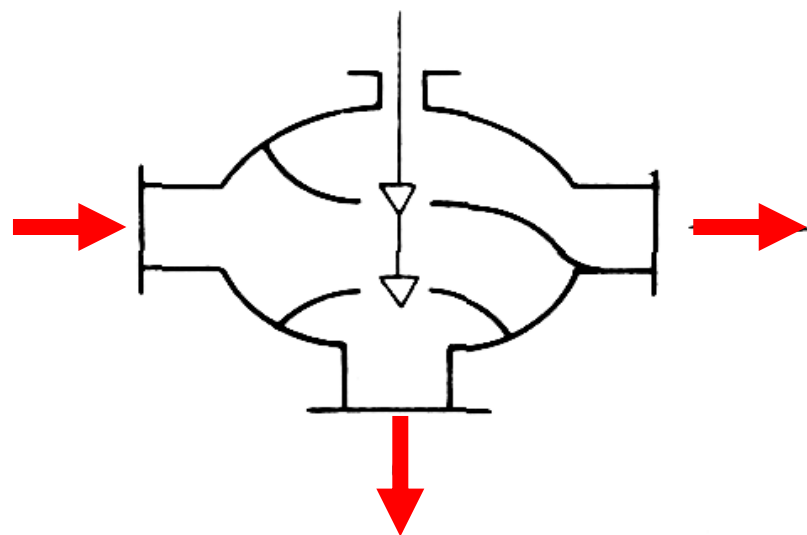
□ 适用于现场管道要求直角连接，介质为高粘度、高压差和含有少量悬浮物和固体颗粒状的场合。

(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。

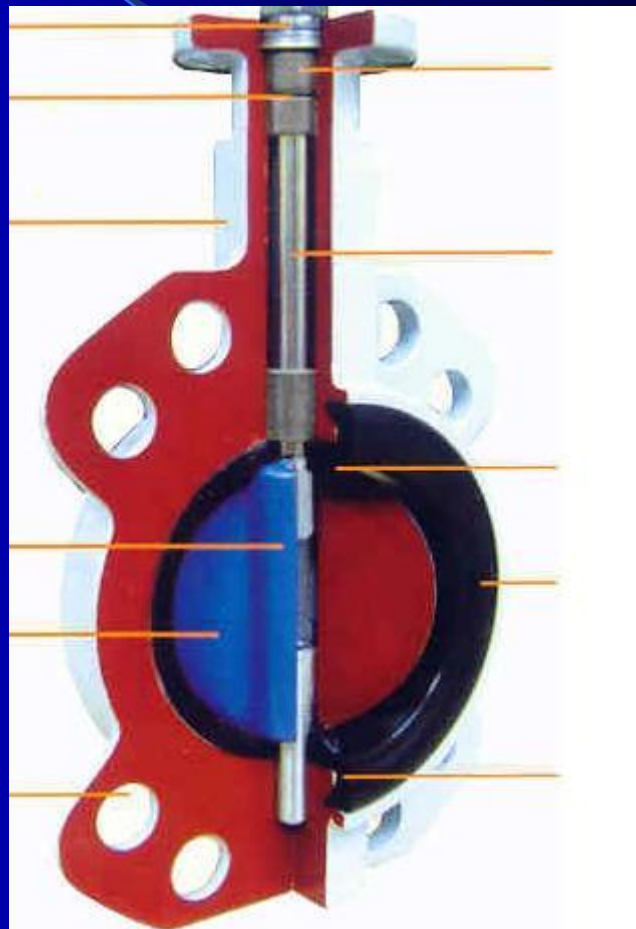


(a) 合流型



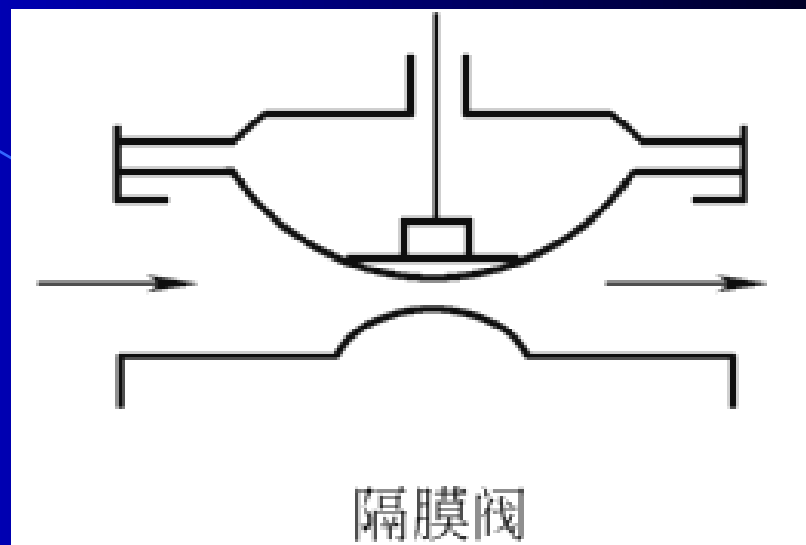
(b) 分流型

蝶阀



(5) 隔膜控制阀

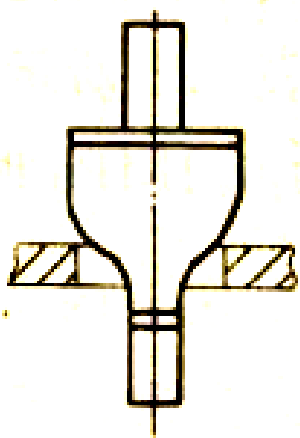
采用耐腐蚀材料作隔膜，将阀芯与流体隔开。



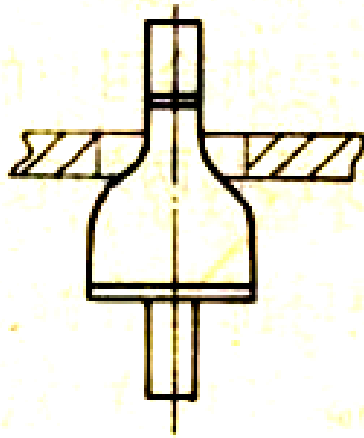
□ 结构简单、流阻小、流通能力比同口径的其他种类的阀要大。由于介质用隔膜与外界隔离，故无填料，介质也不会泄漏。

□ 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。

2 根据流体通过调节阀时对阀芯作用方向分类

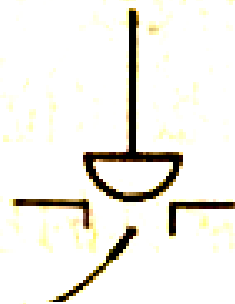


正装阀

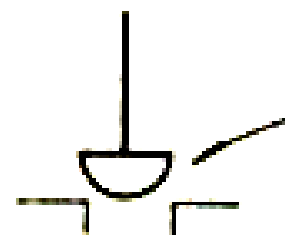


反装阀

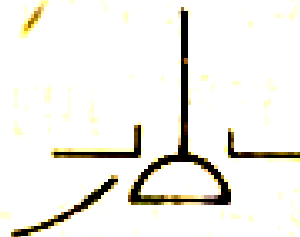
阀芯下移，阀芯与阀座间的流通截面积减小的为



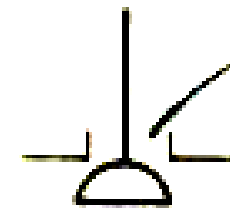
流开阀



流闭阀



流闭阀



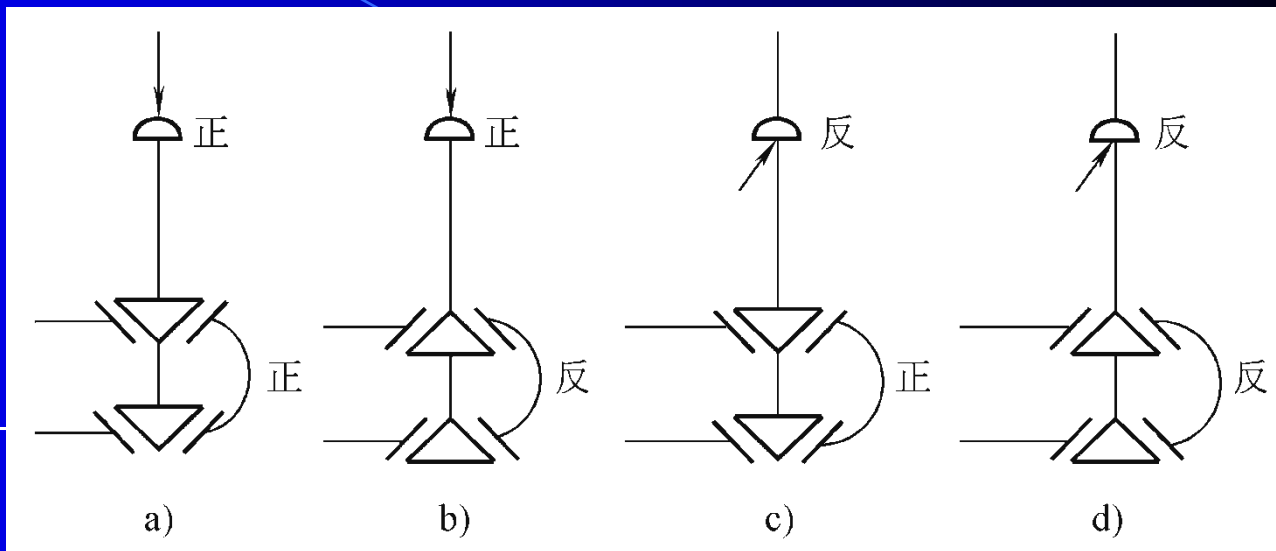
流开阀

3 根据阀芯的安装形式分类

执行器的“气开、气关”有四种构成方式

“气开”，是指当气压信号 $>0.02\text{MPa}$ 时，阀由关闭状态逐渐打开；

“气关”则相反，即当气压信号 $>0.02\text{Mpa}$ 时，阀由全开状态逐渐关闭。



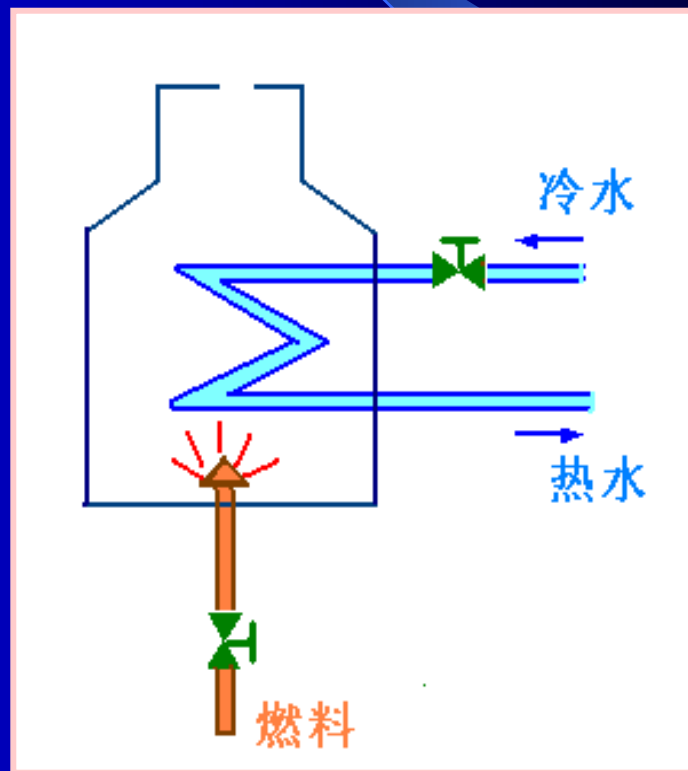
序号	执行机构 作用方式	阀体作用 方式	执行器气开、 气关形式
a	正	正	气关
b	正	反	气开
c	反	正	气开
d	反	反	气关

气开、气关方式的选择原则：

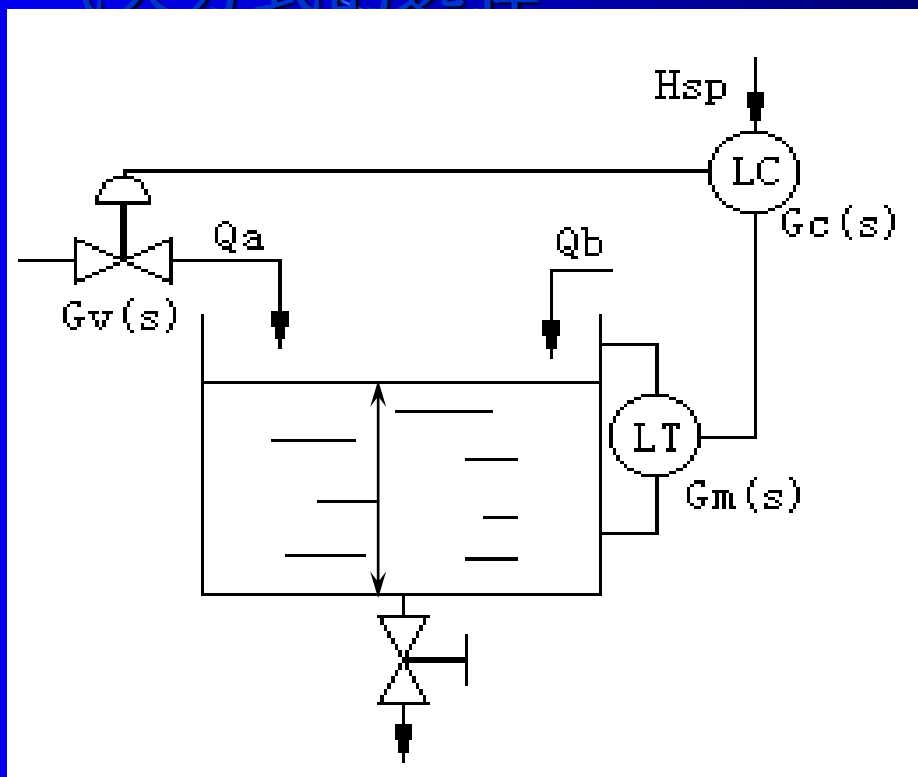
保证工艺生产的安全。即：当控制气源一旦中断时，
阀门处于全开还是全关状态，要依首先能够保证设备和人
身安全的原则而定。

以加热炉为例（见右图）

冷水阀： 气关式
燃料阀： 气开式

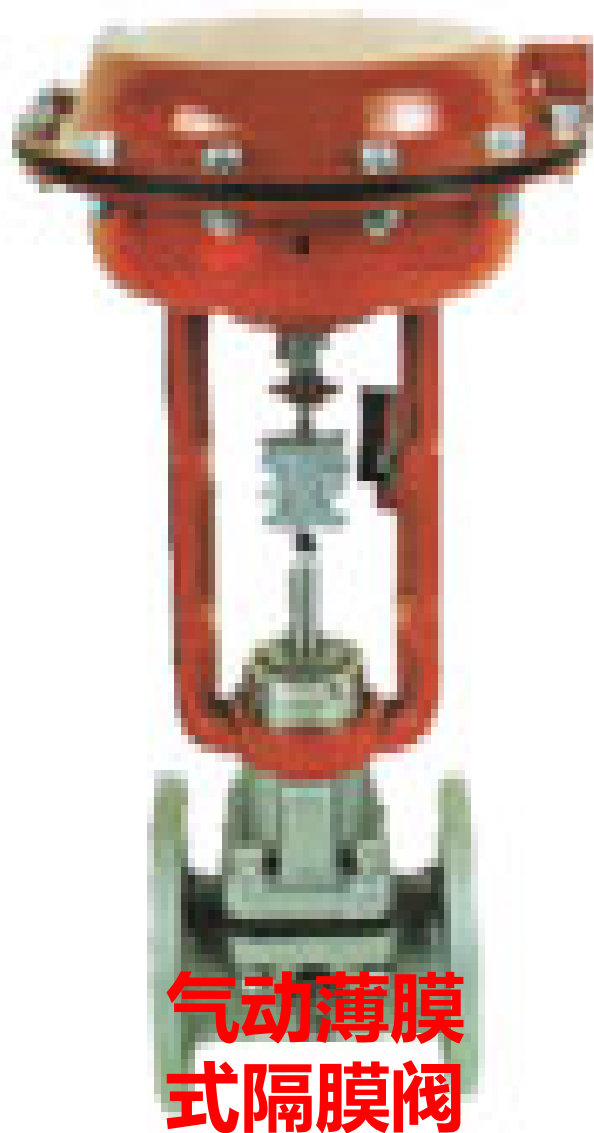


气开、气关方式的选择



如果，介质是由强腐蚀性的，在生产过程中不允许溢出，调节阀的作用形式？

如果后面的环节不允许没有物料，调节阀的作用形式？



3 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

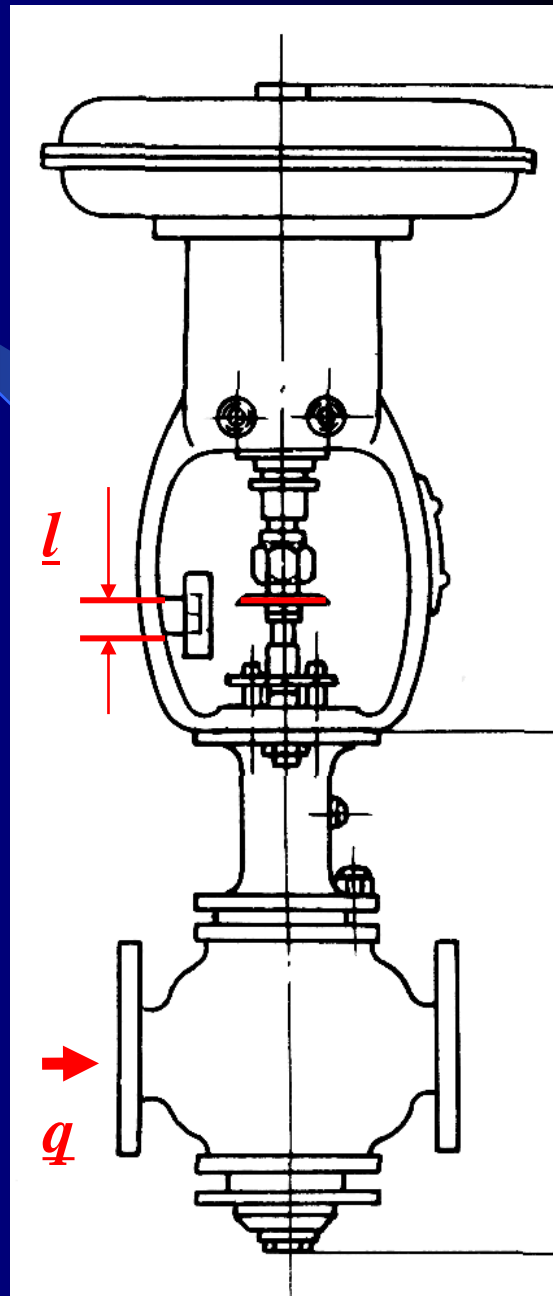
l/L — 相对开度

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。

$$\frac{q}{q_{max}} = f\left(\frac{l}{L}\right)$$

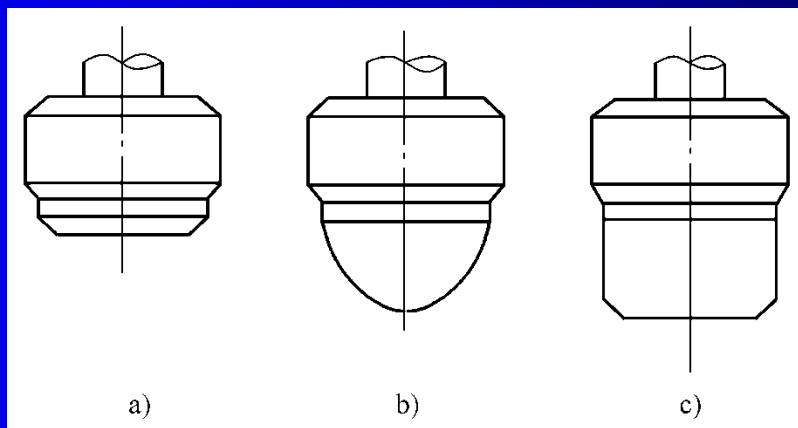
调节阀的流量特性不仅与阀门的结构和开度有关，还与阀前后的压差有关，必须分开讨论。



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。



(a) 快开特性 (b) 直线特性 (c) 等百分比特性

(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：

$$\frac{d\left(\frac{q}{q_{\max}}\right)}{d\left(\frac{l}{l_{\max}}\right)} = K$$

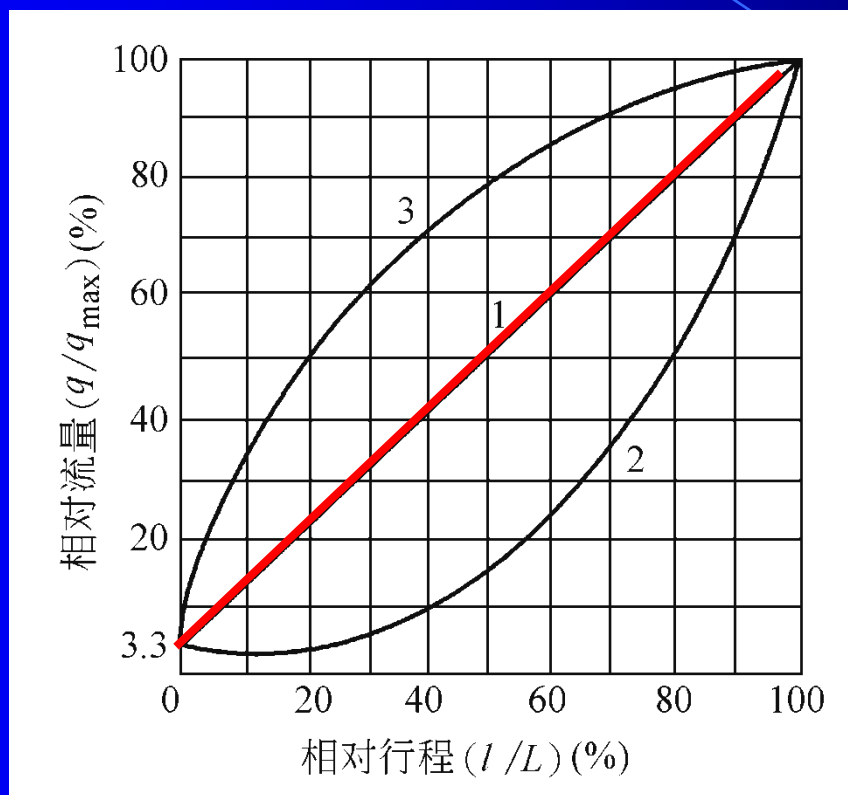
积分

$$\frac{q}{q_{\max}} = K \times \frac{l}{l_{\max}} + C$$

C为积分常数

单位行程的变化所引起的流量变化是不变的。

流量大时，流量相对值变化小，流量小时，则流量相对值变化大。



❖ 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，引起的流量变化都是10%，但流量相对变化值（即灵敏度）分别是：

10%时：

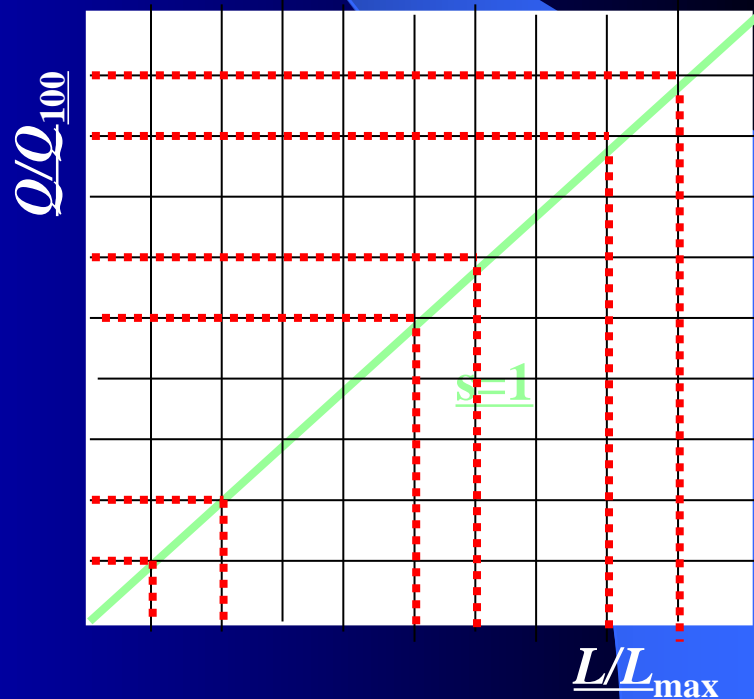
$$\underline{[(20-10) / 10] \times 100\% = 100\%}$$

50%时：

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

80%时：

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



(2) 等百分比 (对数) 流量特性

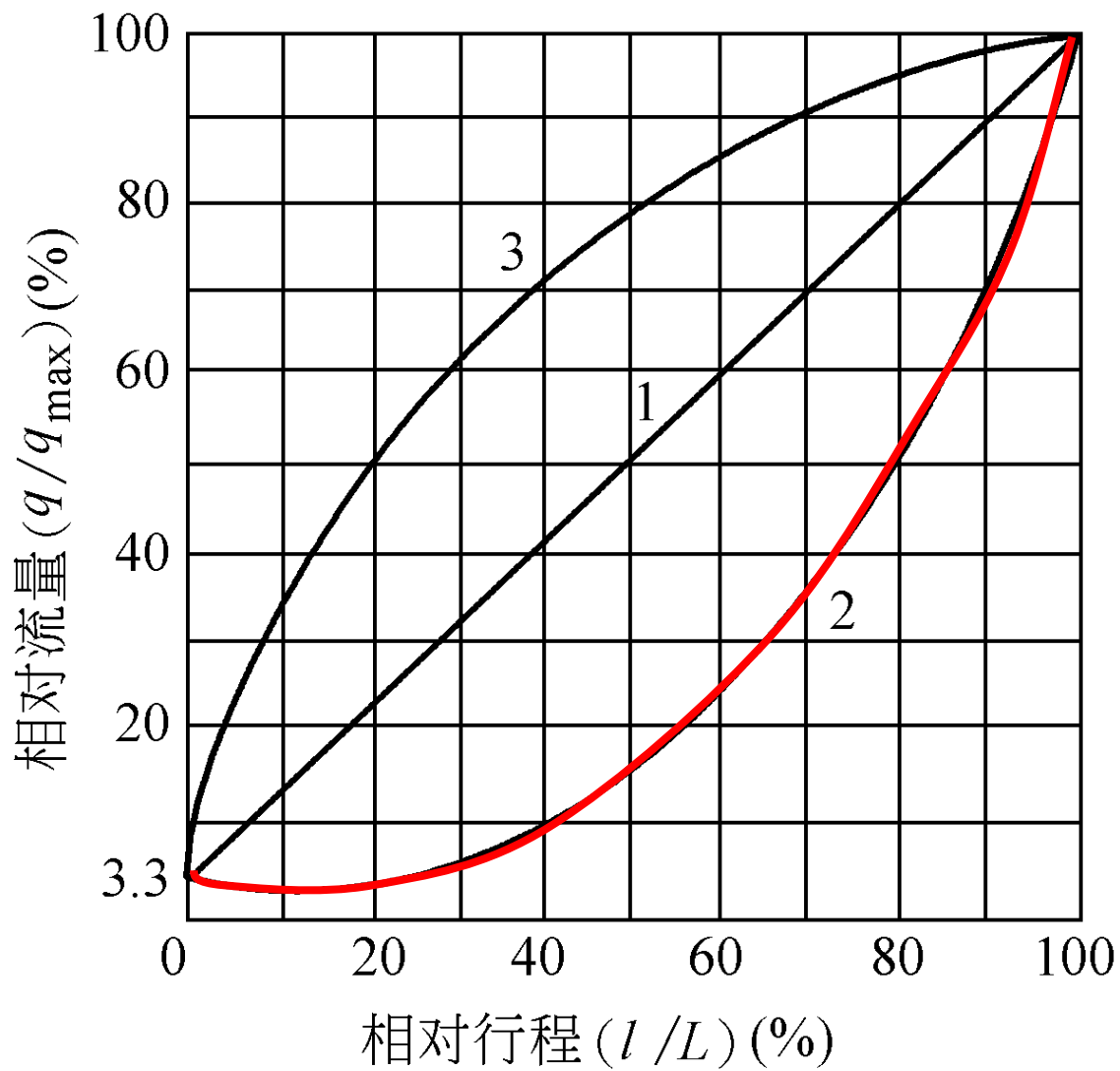
单位相对行程变化所引起的相对流量变化与此点的相对流量成正比关系:

$$\frac{d\left(\frac{q}{q_{\max}}\right)}{d\left(\frac{l}{l_{\max}}\right)} = K_1 \times \frac{q}{q_{\max}} = K_v \quad \xrightarrow{\text{积分}} \quad \ln \frac{q}{q_{\max}} = K_1 \times \frac{l}{l_{\max}} + C_1$$

❖ 相对行程与相对流量成对数关系

❖ 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。

$$\frac{q}{q_{\max}} = R \left(\frac{l}{l_{\max}} - 1 \right)$$



❖ 等百分比阀在各流量点的放大系数不同，但流量变化的百分比是相等的，也就是在不同开度上，具有相同的调节精度，即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，流量相对变化值（即灵敏度）分别是：

10%处：

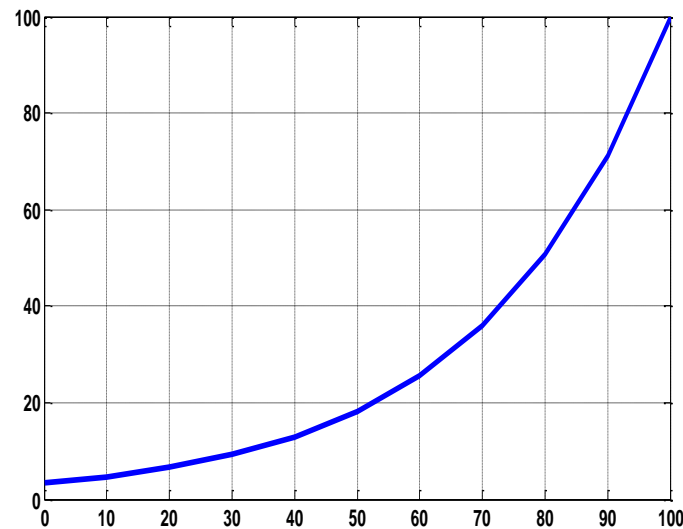
$$(6.58\% - 4.68\%) / 4.68\% \approx 41\%$$

50%处：

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

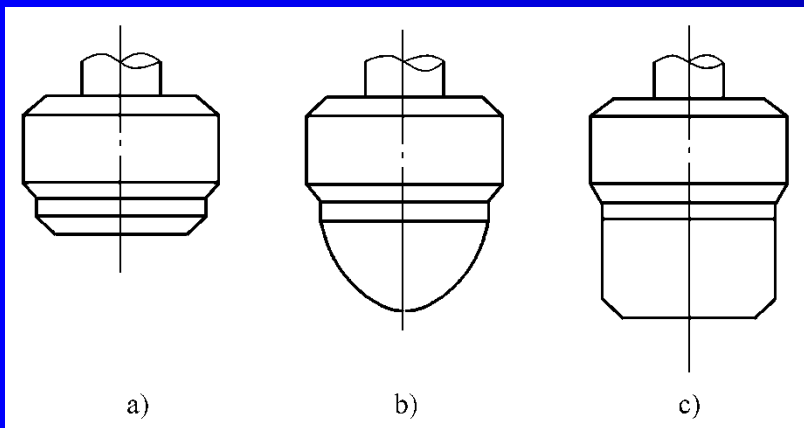
80%处：

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

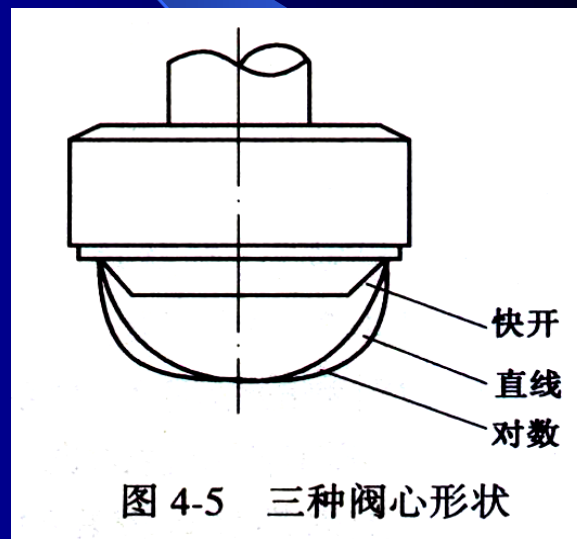


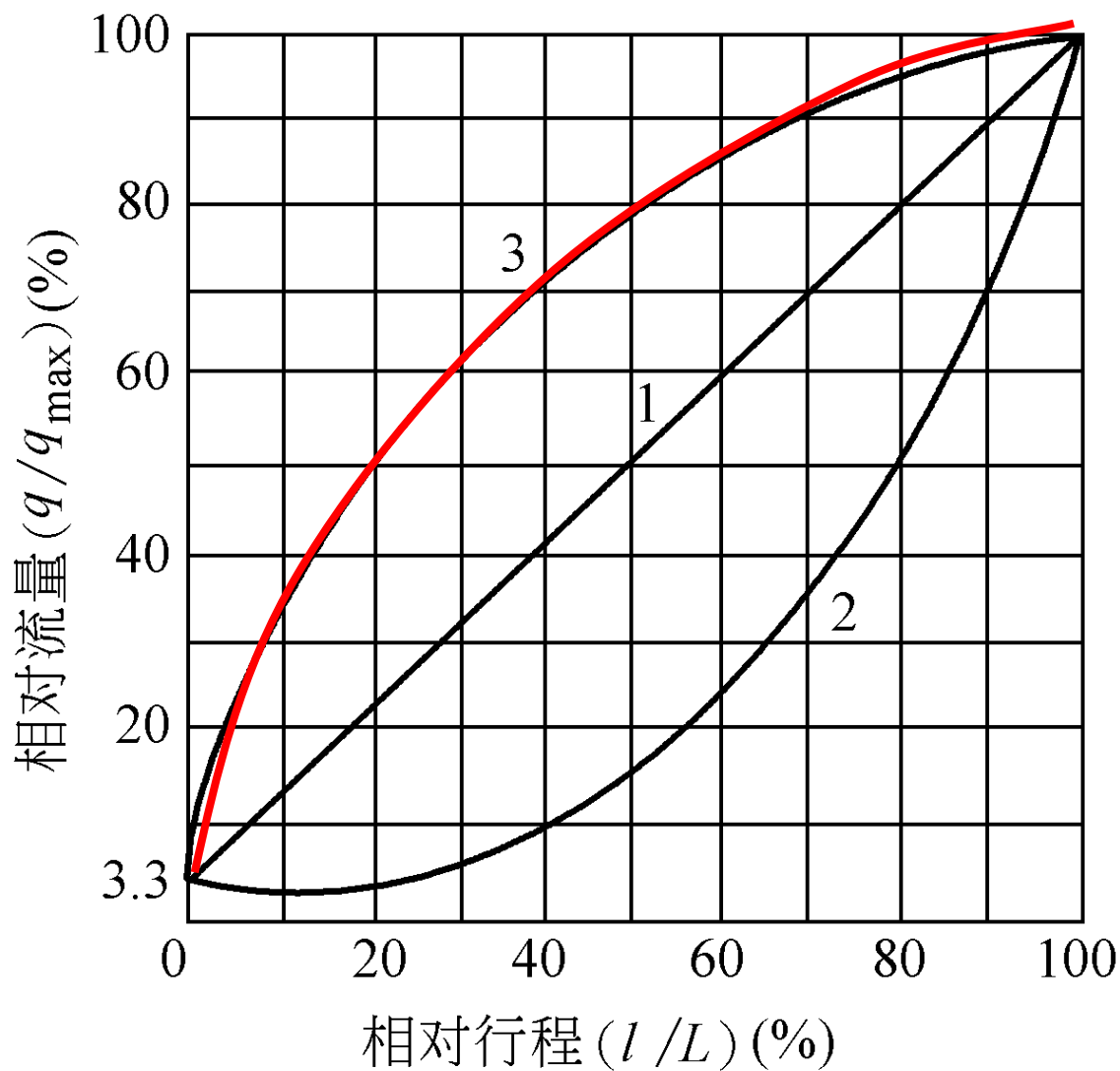
(3) 快开特性

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。



(a) 快开特性 (b) 直线特性 (c) 等百分比特性





特点:

在阀门开度小时, 流量变化较大, 随着开度增大, 流量很快达到最大值, 放大系数大, 灵敏度高。

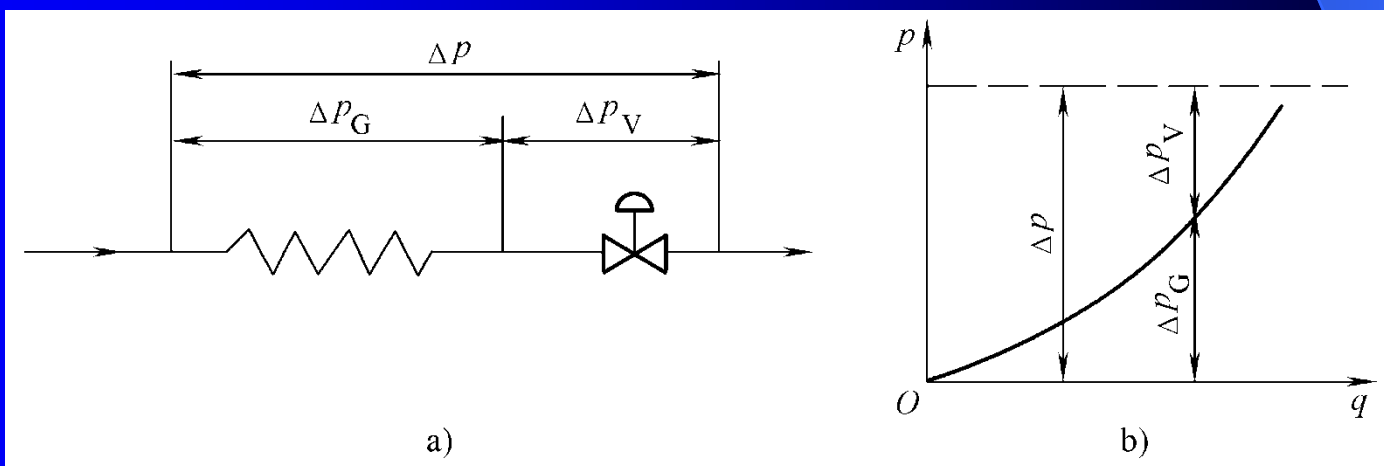
在阀门开度大时, 流量变化不大, 放大系数较小, 灵敏度也较低。

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。

1) 管道串联时的工作流量特性

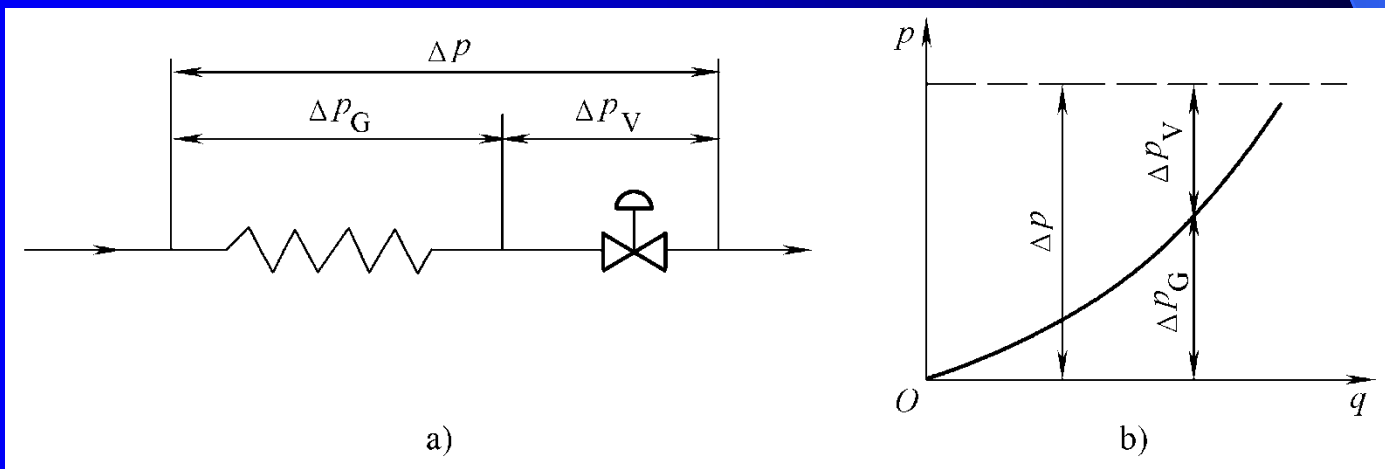
如图，管道系统总压力 ΔP 等于管路系统的压降 ΔP_G 与控制阀的压降 ΔP_V 之和。



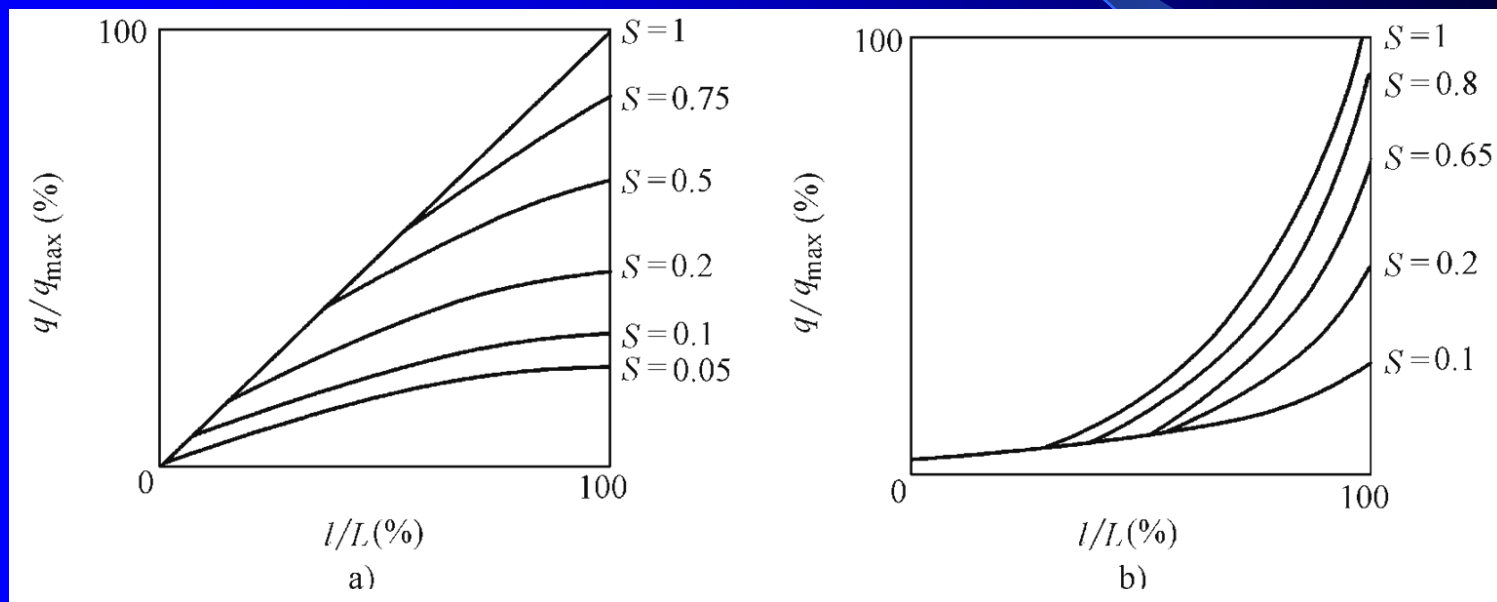
从串联管道中调节阀两端压差 ΔP_V 的变化曲线可看出，调节阀全关时阀上压力最大，基本等于系统总压力；调节阀全开时阀上压力降至最小。

为了表示调节阀两端压差 ΔP_V 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_{Vmin} 与总压力 ΔP 之比。

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



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。 $s<1$ 时由于串联管道阻力的影响，使得阀门开大时，流量达不到预期值。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。

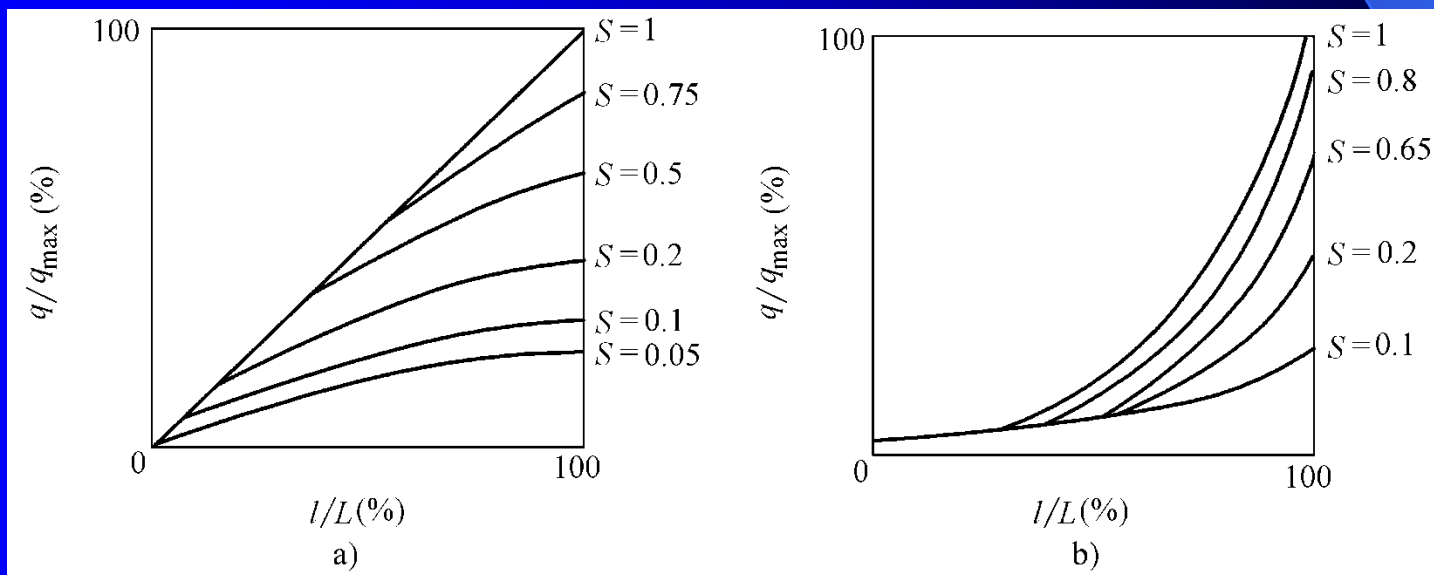


流量特性畸变: $s \downarrow$

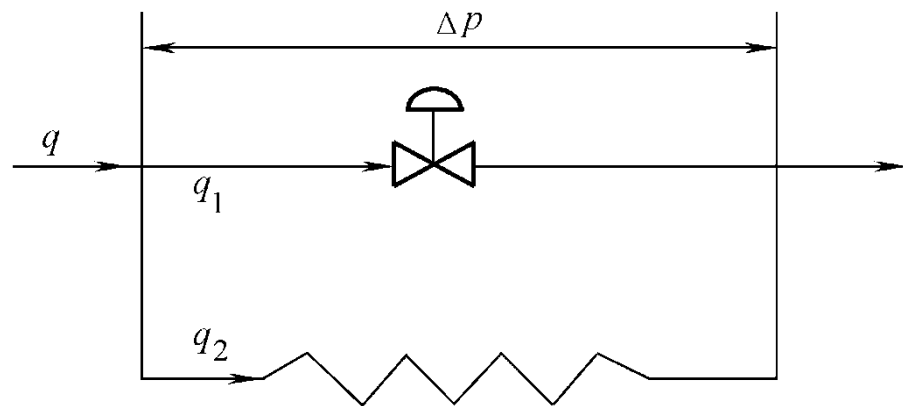
{ 直线阀变为快开阀
对数阀变为直线阀

结论

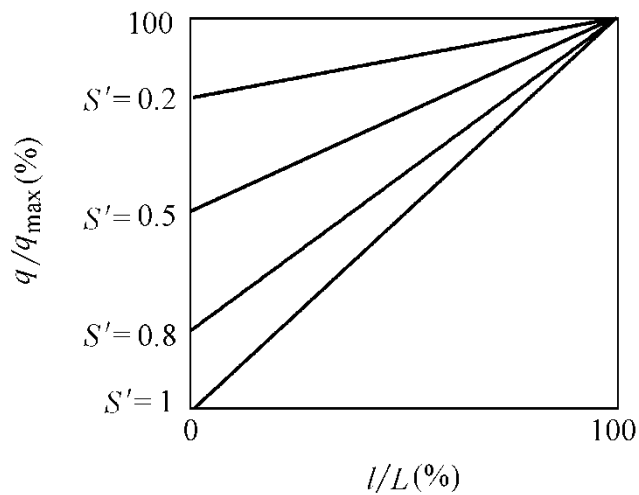
- ❑ 串联管道使调节阀的流量特性发生畸变。
- ❑ 串联管道使调节阀的流量可调范围降低，最大流量减小。
- ❑ 串联管道会使调节阀的放大系数减小，调节能力降低， s 值低于0.3时，调节阀能力基本丧失。



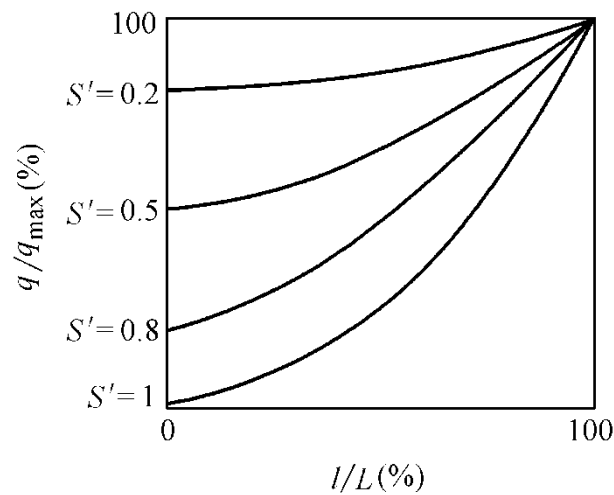
2) 与管道并联工作时的流量特性



图中 $S' = 1$ 时，旁路阀关闭，工作流量特性即为理想流量特性。随着旁路阀逐渐打开， S' 值逐渐减小，调节阀的可调范围也将大大降低，从而使调节阀的控制能力大大下降，影响控制效果。根据实际经验， S' 值不能低于0.8。



a)



b)

(3) 调节阀特性的选择

原则：保持调节系统在整个工作范围内具有较好的品质，即总的放大倍数尽可能保持恒定。

调节对象具有非线性特性——选非线性调节阀来补偿调节对象的非线性，如图4-8所示。

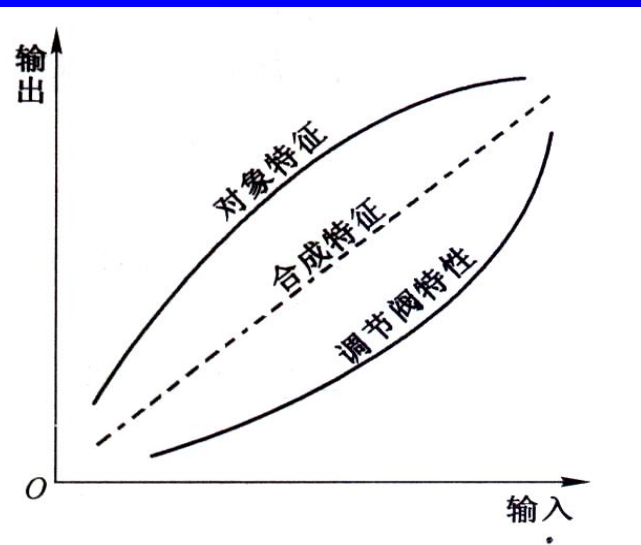


图 4-8 阀和对象特性的
非线性互相补偿

调节对象为线性特性——选线性阀。

❖ 快开阀，开度小时放大倍数高，易使系统振荡；开度大时，调节不灵敏，适用于迅速启闭的切断阀或双位控制系统。

➤ 依据负荷变化情况选择。

在负荷变化较大的场合，宜选用对数调节阀，因为对数调节阀的放大系数可随阀芯位移的变化而变化，但它的相对流量变化率则是不变的，所以能适应负荷变化大的情况；

此外，当调节阀经常工作在小开度时，则宜选用对数调节阀。因为直线调节阀工作在小开度时，其相对流量的变化率很大，不宜进行微调。

3.4.3 电/气转换器与阀门定位器

1 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。

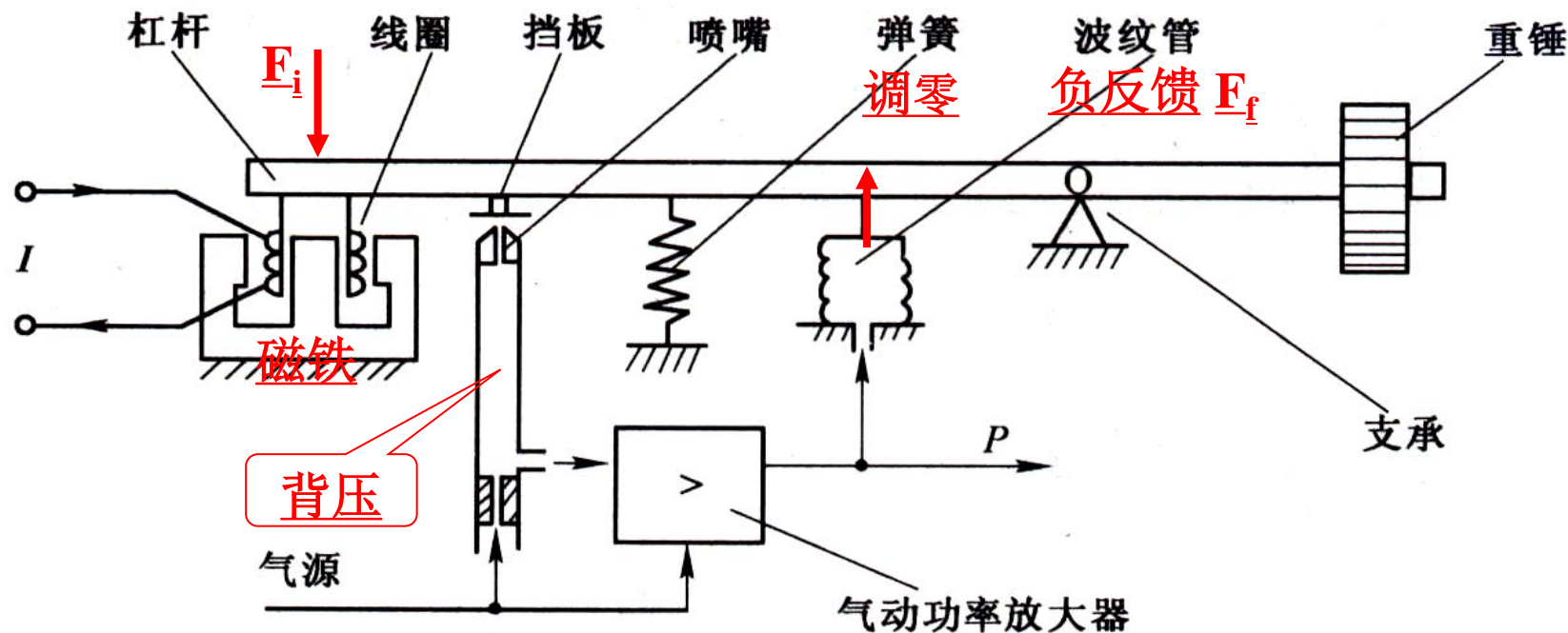
电/气转换器作用：

将4~20mA的电流信号转换成0.02~0.1MPa的标准气压信号。



力平衡式电/气转换器的原理图

$I \uparrow \Rightarrow \text{吸力 } F_i \uparrow \Rightarrow \text{杠杆偏转} \Rightarrow \text{挡板与喷嘴间隙} \downarrow$
 $\Rightarrow \text{背压} \uparrow \Rightarrow \text{放大器输入} \uparrow \Rightarrow \text{输出压力 } P \uparrow \Rightarrow \text{杠杆}$
 $\text{的反馈力 } F_f \uparrow \Rightarrow \text{杠杆平衡} \Rightarrow P \propto I$



(1) 喷嘴挡板机构

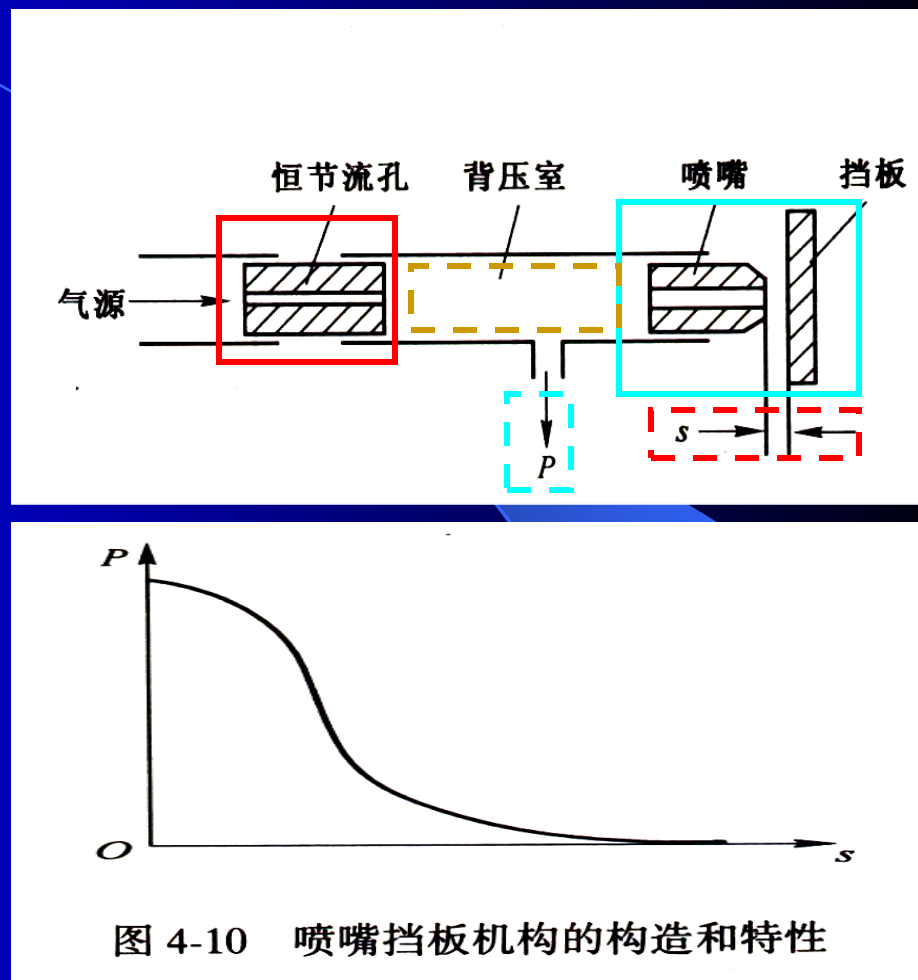
结构见图4-10所示。

恒节流孔为一段窄细的气体通道，其两端的压降与流量成正比，相当于一固定气阻；

喷嘴挡板机构为一可变气阻，背压室的输出

压力 p 与喷嘴挡板间的距离

有如图4-10的关系，是一种很好的位移检测元件。



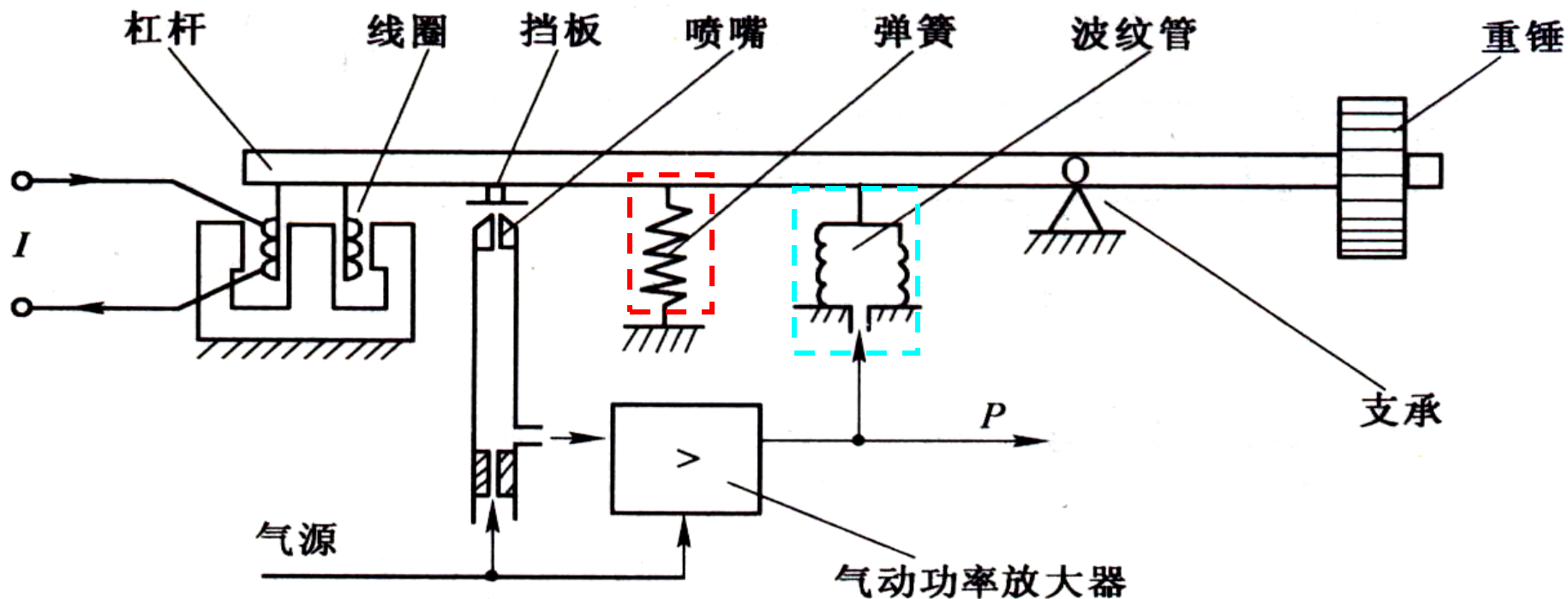


图 4-9 电-气转换器的原理图

(2) 零点迁移：弹簧

(3) 量程迁移：粗，左右移动波纹管的位置；

细，调永久磁铁的磁分路螺丝。

4. 1. 3 阀门定位器

1 问题的提出

在图4-1的气动调节阀中，阀杆的位移是由薄膜上的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，要加充填料，摩擦力可能相当大；此外，被调节流体作用也可能相当大，这样会影响输入信号与执行

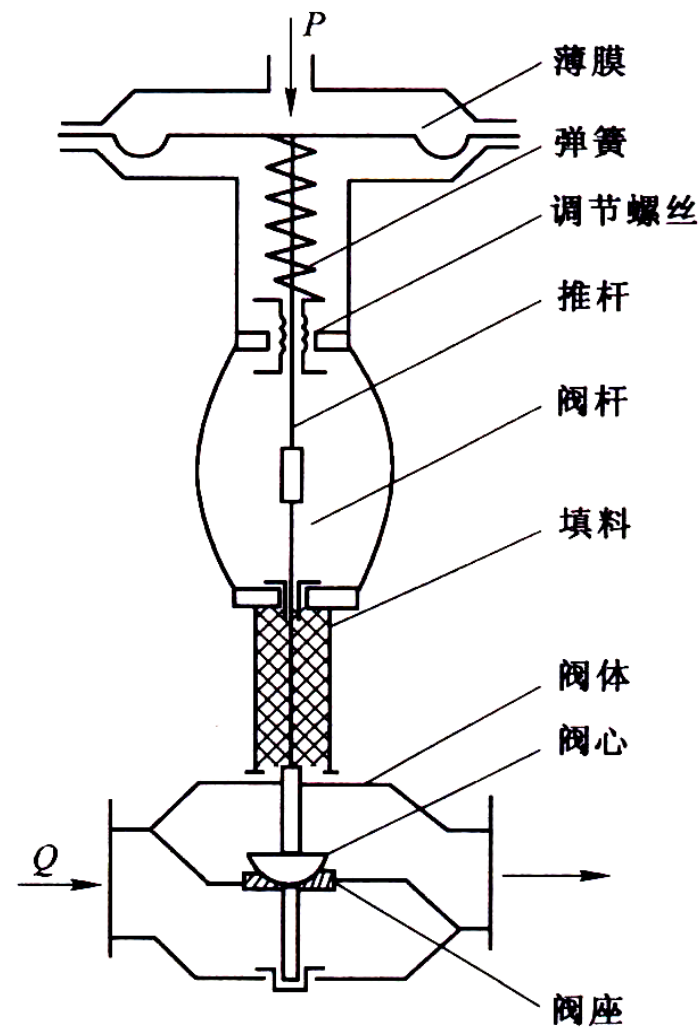


图 4-1 气动执行器

机构间的定位关系，使执行机构产生回环特性，严重时造成调节系统振荡。

2 解决措施

引入阀杆位移负反馈。在调节阀上加装阀门定位器，使阀杆能按输入信号精确地确定自己的开度。其方框图如图4-11所示。

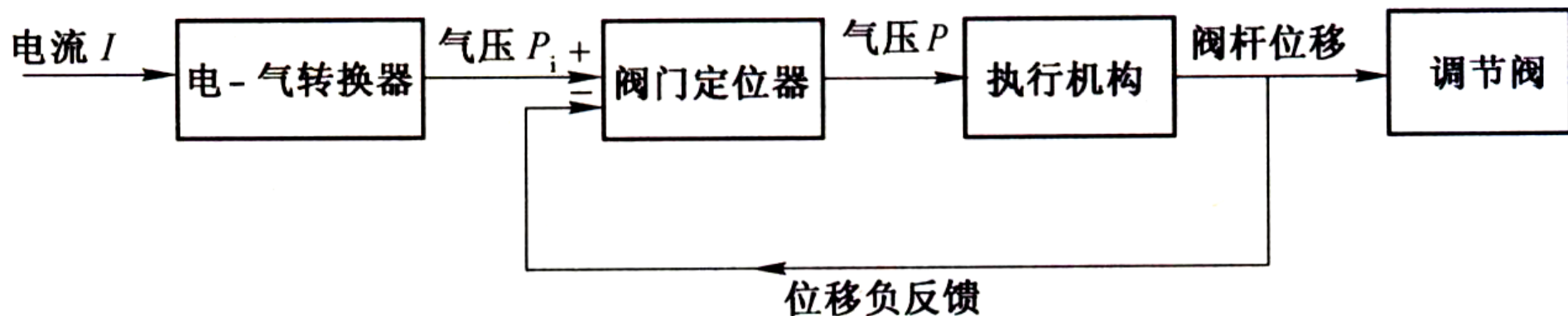


图 4-11 带定位器的气动执行器

3 气动阀门定位器

$P_i \uparrow \Rightarrow$ 波纹管左移



靠近喷嘴 \Leftarrow 托板左移



A 压力 \uparrow



膜片使锥阀关, 球阀开

托板右移 \Leftarrow 反馈凸轮 \Leftarrow 阀杆下移

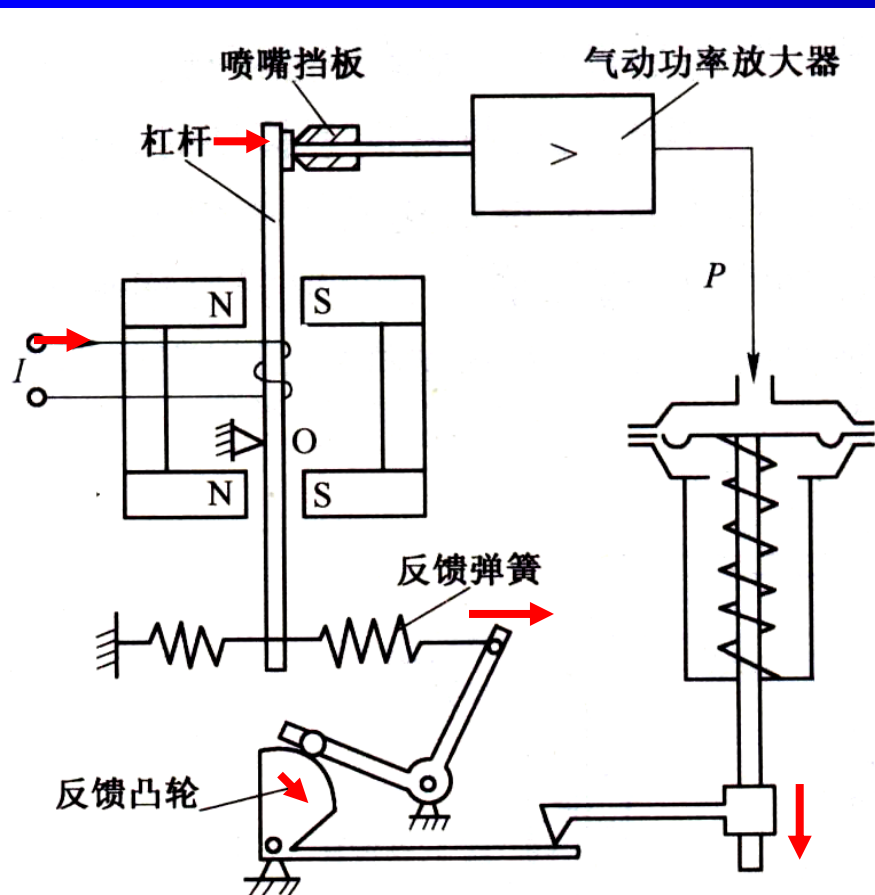


\Rightarrow 压缩气体 $D \rightarrow C \Rightarrow P \uparrow$



电/气阀门定位器

实际应用中，常把电/气转换器和阀门定位器合成一体，组成电/气阀门定位器。



$I \uparrow \Rightarrow$ 杠杆上端右移 \Rightarrow
挡板靠近喷嘴 $\Rightarrow P$ 压力 \uparrow
 \Rightarrow 阀杆下移 \Rightarrow 反馈凸轮
右转 \Rightarrow 反馈弹簧右拉 \Rightarrow
杠杆平衡



气动薄膜单座(套筒)调节阀



气动薄膜双座调节阀

(2) 安全防爆措施

如图4-14所示。经安全保持器，进行隔离、限压、限流，将调节器信号与现场隔开；

将电-器阀门定位器的力线圈，加双重续流保护后密封隔离。属于安全火花型和隔爆复合型结构。

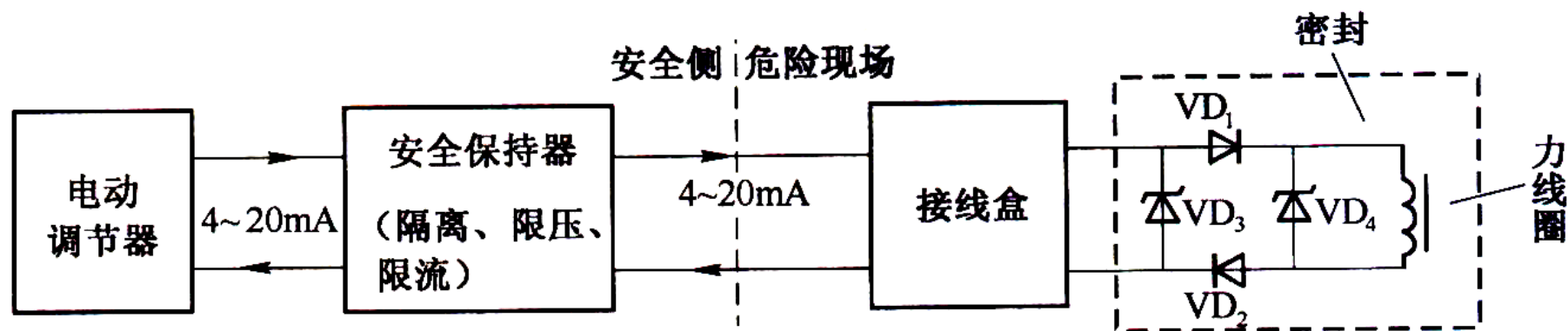


图 4-14 电-气阀门定位器的安全防爆

4.1.4 电动执行器

执行机构：最简单的是电磁阀，其它连续动作的都使用电动机作动力元件。

调节机构输出：
电动执行机构

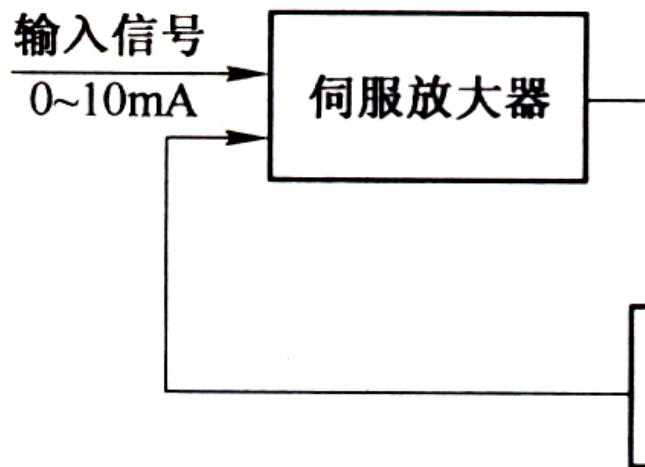
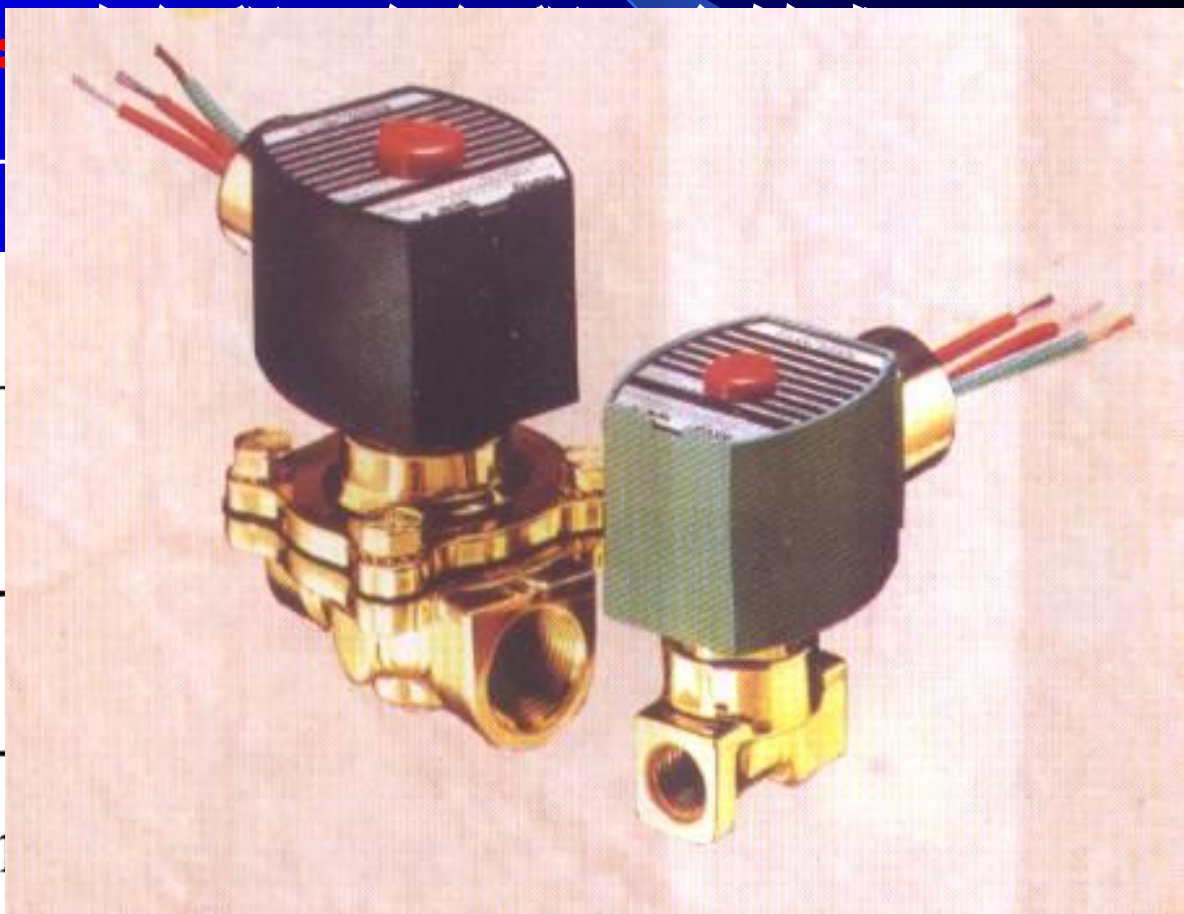


图 4-1



1 两相电机伺服驱动电路

如图4-16所示。

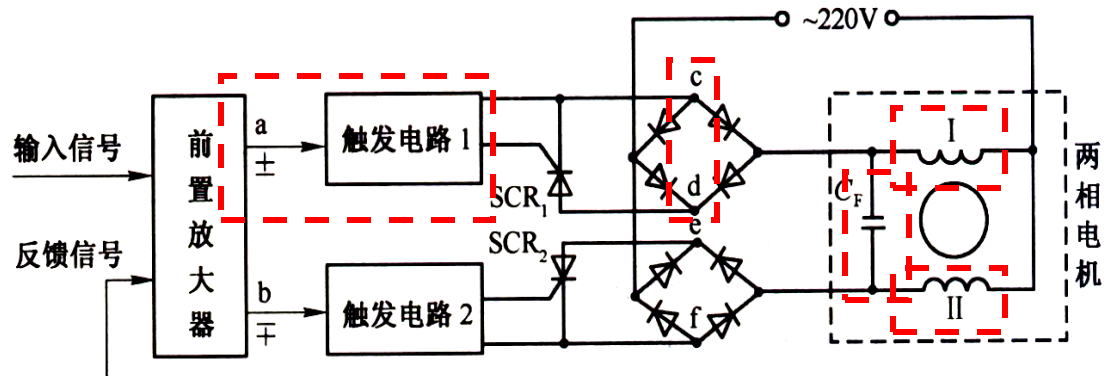


图 4-16 伺服放大器的原理示意图

$a (+) b (-)$ 时 \Rightarrow 触发电路1工作 $\Rightarrow SCR_1$ 导通



电机正转 \Leftarrow 线圈I \Downarrow \Leftarrow $d、c$ 间短接



线圈II \Downarrow \Leftarrow 90° 相移 $\Leftarrow C_F$



$a (-) b (+)$ 时 \Rightarrow 电机反转

2 伺服电动机的傍磁式制动机构

为减少“惰走”，保证电机断电时制动。结构如图4-17所示。

通电时，定子磁场 \Rightarrow 衔铁吸向定子内表面

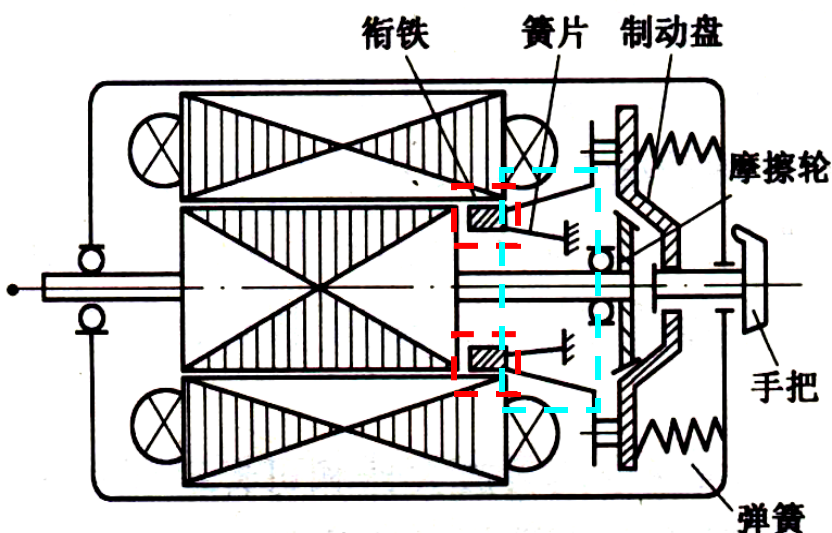


图 4-17 带制动机构的两相伺服电动机

电机转动 \Leftarrow 簧片弯曲

断电时，定子磁场消失

离开摩擦轮 \Leftarrow 制动盘向右

电机制动



电动调节阀



智能电动执行器



电动V形球阀



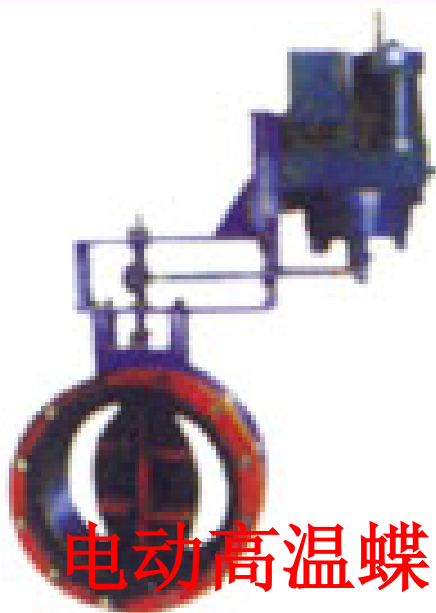
电动O形球阀



电动三通球阀



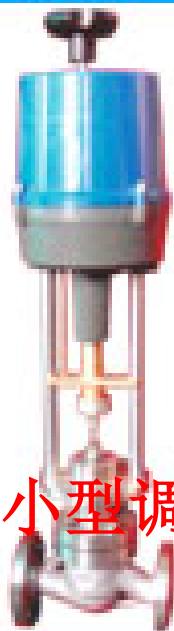
电动调节蝶阀



电动高温蝶阀



智能电动调节蝶



电动精小型调节阀



电动角度调节阀



电动电子式
单座(双座)调节阀



电动浆液阀



电动刀型闸阀



电动闸阀

练习：控制阀的工作流量特性与下列哪几项有关？

(A) 阀门的流量系数；

(B) 阀芯的形状；

(C) 阀门的口径；

(D) 阀门两端的配管情况。

练习：控制阀的工作流量特性与下列哪几项有关？

(A) 阀门的流量系数；

(B) 阀芯的形状；

(C) 阀门的口径；

(D) 阀门两端的配管情况。

答：B, D

练习：调节阀串联管路中，管路中其它阻力件的阻力增加会导致全开阀阻比 S 发生什么变化？

(A) 增加；

(B) 减少；

(C) = 1；

(D) 不变。



练习：调节阀串联管路中，管路中其它阻力件的阻力增加会导致全开阀阻比S发生什么变化？

(A) 增加；

(B) 减少；

(C) =1；

(D) 不变。

$$S = \frac{\Delta P_{T \min}}{P_0}$$

答：b

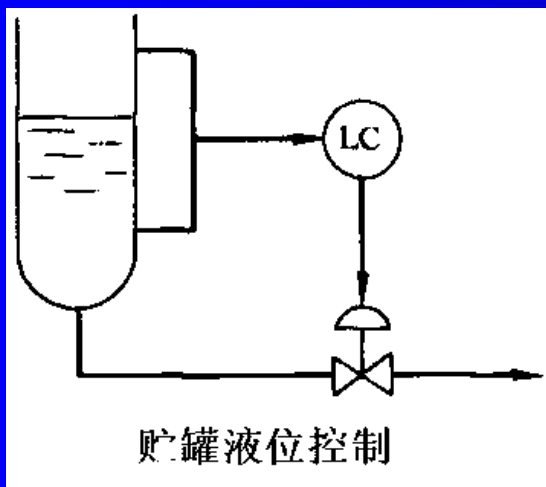
练习：图为贮罐液位控制系统，为安全起见，贮罐内液体严禁溢出。当选择流出量 Q 为操纵变量时，其控制阀和控制器分别应如何选择作用方向？

(A) 气关式、正作用

(B) 气开式、正作用

(C) 气关式、反作用

(D) 气开式、反作用



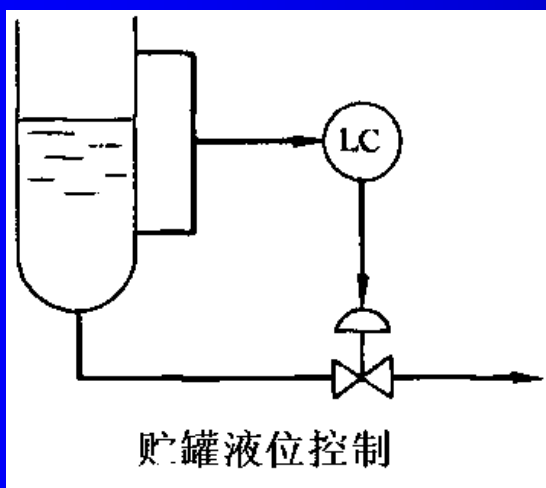
练习：图为贮罐液位控制系统，为安全起见，贮罐内液体严禁溢出。当选择流出量 Q 为操纵变量时，其控制阀和控制器分别应如何选择作用方向？

(A) 气关式、正作用

(B) 气开式、正作用

(C) 气关式、反作用

(D) 气开式、反作用

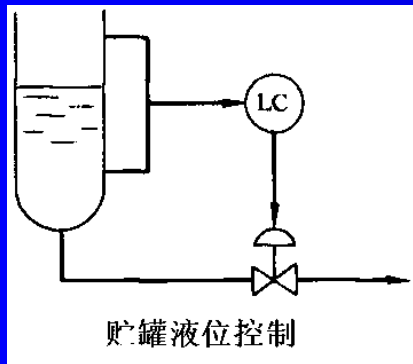


答：(C)

题解：在系统中，贮罐是被控对象，流出量是操纵变量，贮槽液位高度是被控变量。

① 当操纵变量流出量增加时，被控变量液位高度下降，因此对象是反作用（-）。

② 从工艺安全条件出发，为避免当控制信号中断时，控制阀全关而导致液体溢出，执行器应选气关式，即反作用（-）。



③ 为保证系统负反馈，使各环节符号乘积为“负”，控制器须选用反作用（-）。才能当液位上升时，控制器的输出减小，开大输出阀门，使液位降下来。