

第四章

# 过程装备控制技术的应用

## 过程控制装置

# CONTENTS



## 第1节

### 变送器

## 第2节

### 调节器

## 第3节

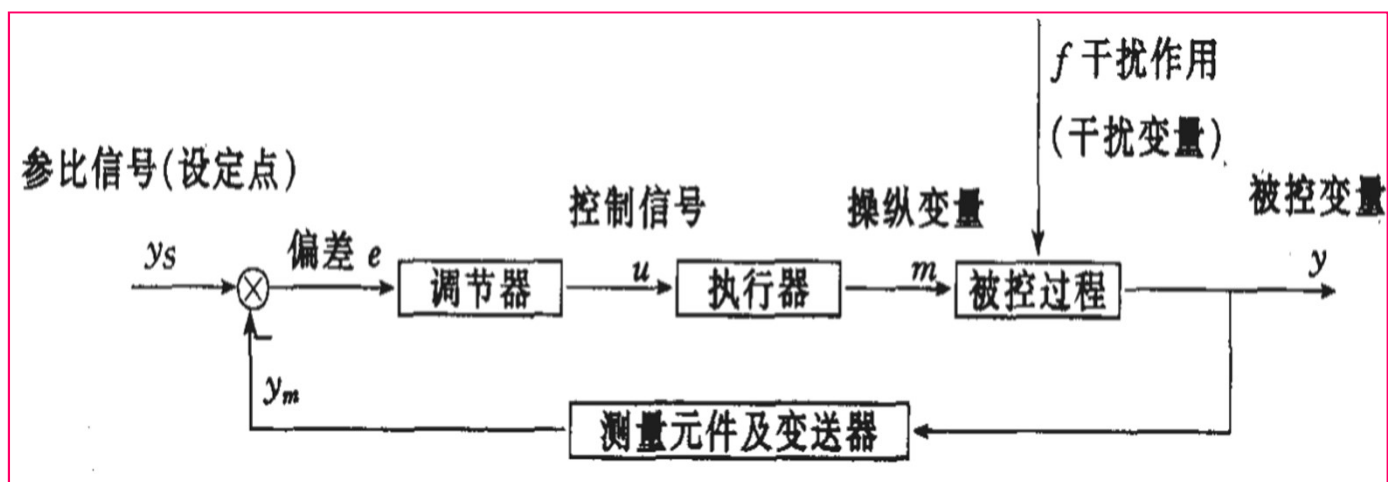
### 执行器

## 过程控制装置

测量变送单元


调节器

执行器





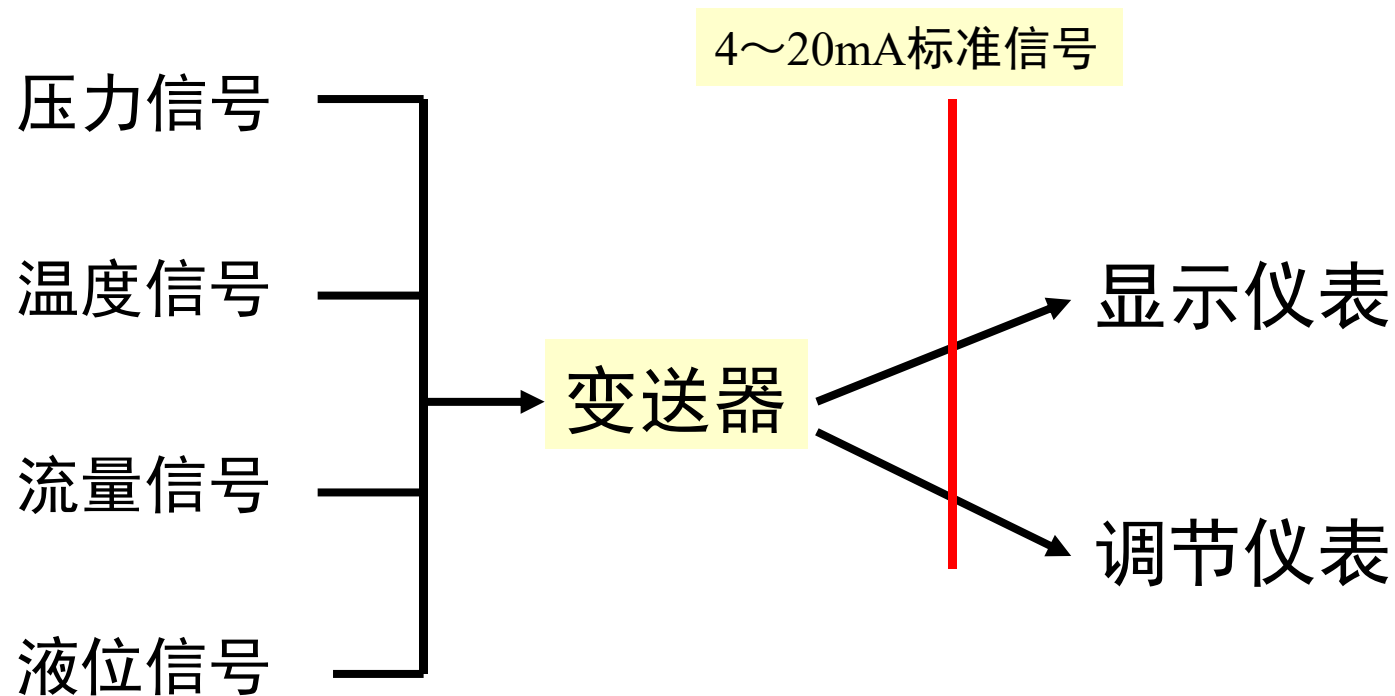
## 过程控制系统设计：

1. 合理选用过程检测、控制装置，组成自动控制系统；
  2. 调节器PID参数的整定，使系统运行在最佳状态。
- 

## ■ 4.1 变送器

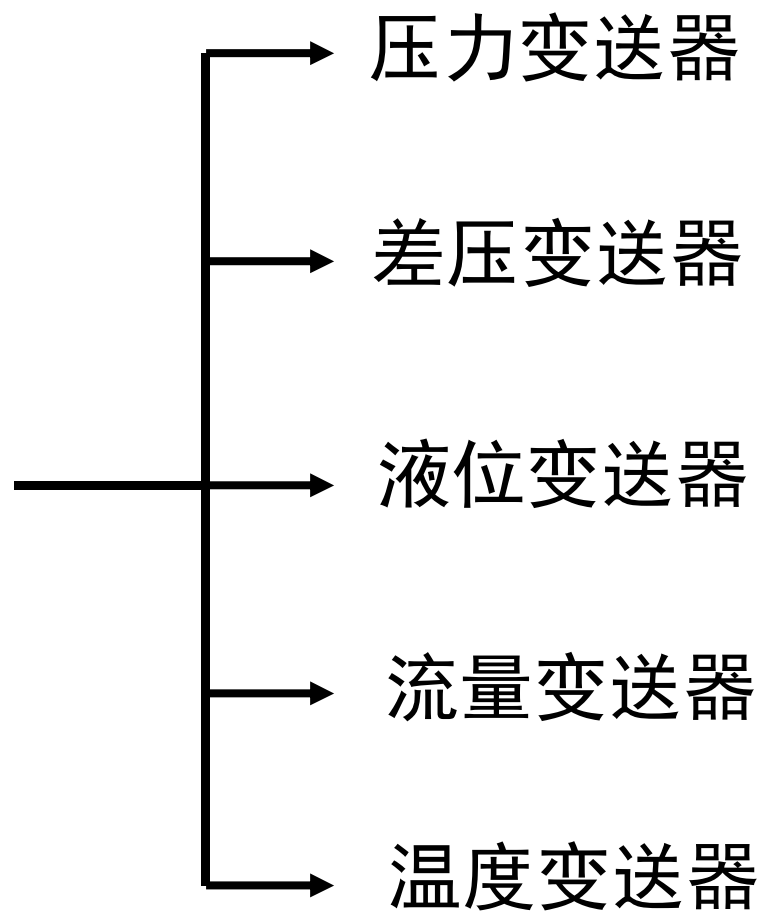
变送器—能输出标准信号的传感器

标准信号：电流输出 4-20mA, 0-10mA



## ■ 4.1 变送器

变送器类型



## ■ 4.1 变送器

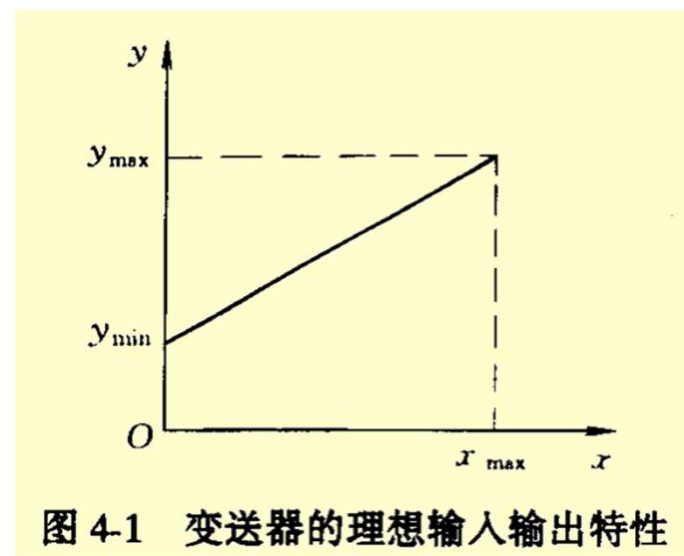
按变送器的驱动能源分类：

气动变送器：以压缩空气为驱动能源；

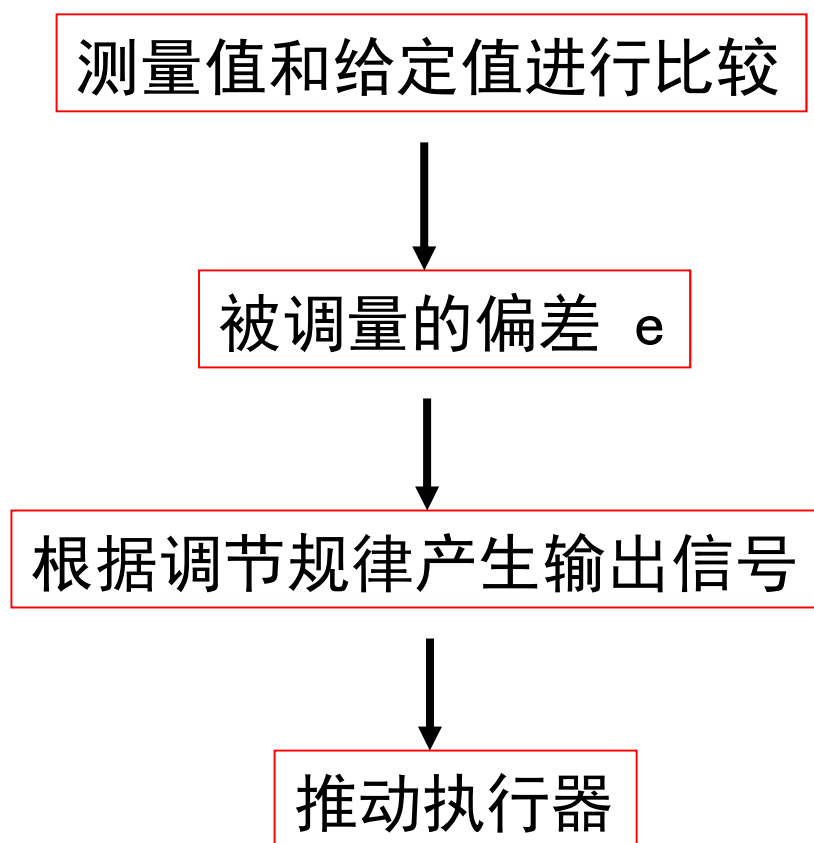
电动变送器：以电力为能源。

变送器的应用特点：

1. 使用统一信号形式和范围，便于各种变送器与其他调节仪表组成检测或控制系统；
2. 提高仪表的互换性、兼容性，方便仪表的配套。



### 一. 调节器的作用





### 二. 调节器的作用方向

#### 1. 正作用调节器(DA):

被调参数的测量值增加时, 调节器的输出信号增加;

#### 2. 反作用调节器(RA):

被调参数的测量值增加时, 调节器的输出信号减小。

### 三、调节器的输出信号

标准信号: 电流输出 4-20mA, 0-10mA

气压信号 20—100 kPa



### 一、执行器的作用

接受调节器送来的控制信号，自动地改变操纵量（如介质流量、热量等），达到对被调参数（如压力、温度、液位等）进行调节的目的。

执行器是自动调节系统的终端部件，其性能直接影响调节系统的正常工作。

**调节阀**是执行器中使用最广泛的形式。





## ■ 4.3 执行器

---

执行器分类：

1. 气动执行器；
2. 电动执行器；
3. 液动执行器。



## ■ 4.3 执行器

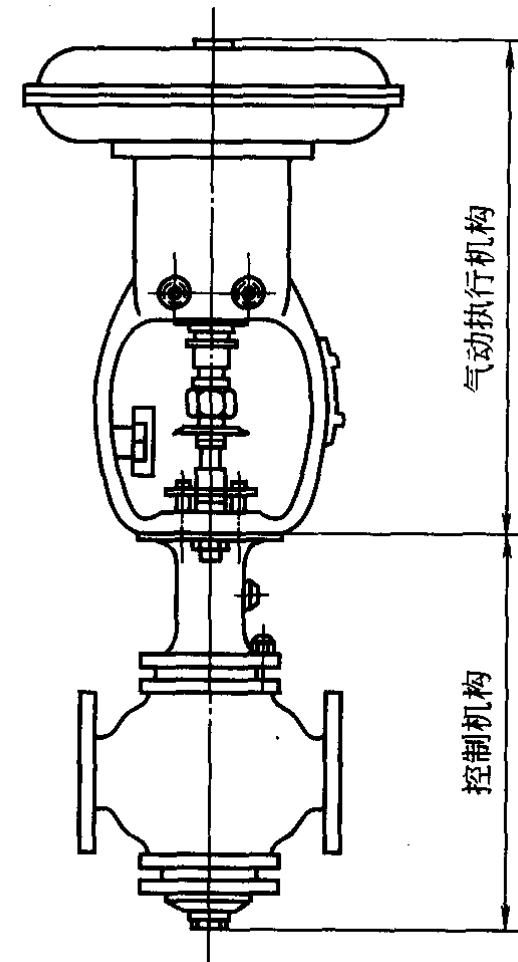
### 二、气动执行器

气动执行器以压缩空气为能源的执行器，由气动执行机构和调节机构组成。

#### 1. 特点：

(1) 结构简单、动作可靠、性能稳定、故障率低、价格便宜、维修方便、本质防爆、容易做成大功率等。

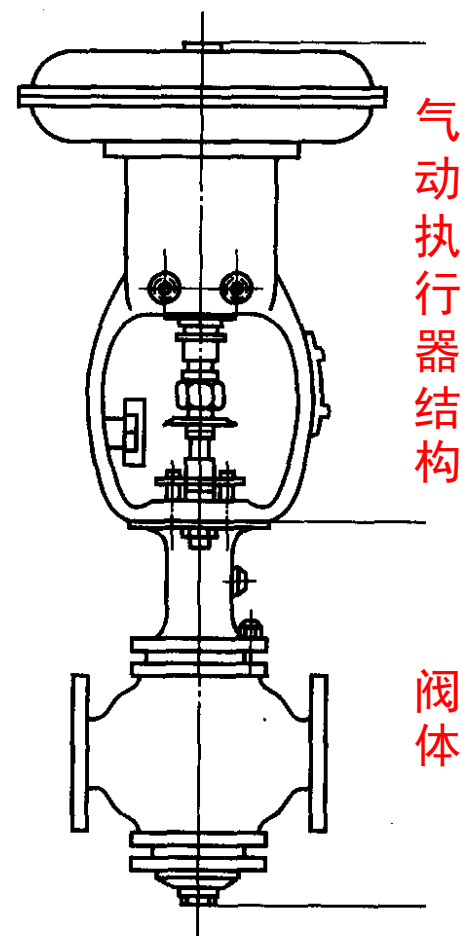
(2) 能与气动单元组合仪表配套使用。



## ■ 4.3 执行器

### 2. 气动执行器结构

执行机构是执行器的推动装置，它按调节器输出气压信号 (20—100 kPa) 的大小产生相应的推力，使执行机构推杆产生相应位移，推动调节机构动作。



## ■ 4.3 执行器

### (1) 气动薄膜调节阀

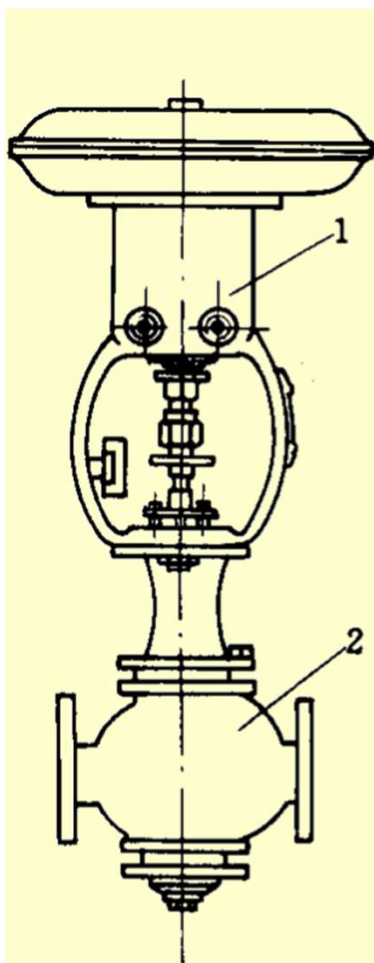


图 4-54 气动薄膜调节阀外形图

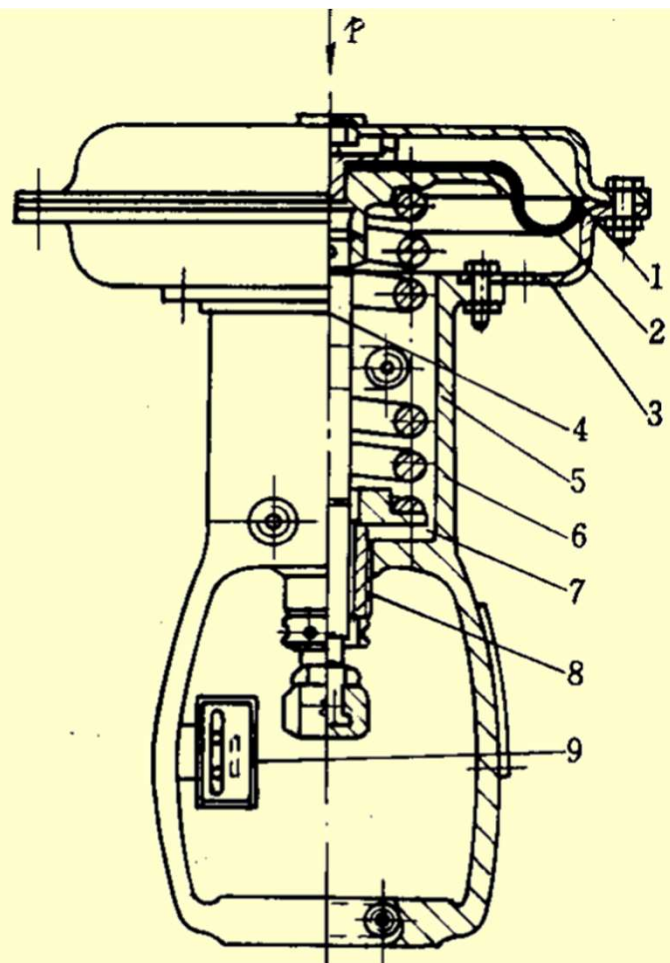


图 4-55 正作用式  
气动薄膜

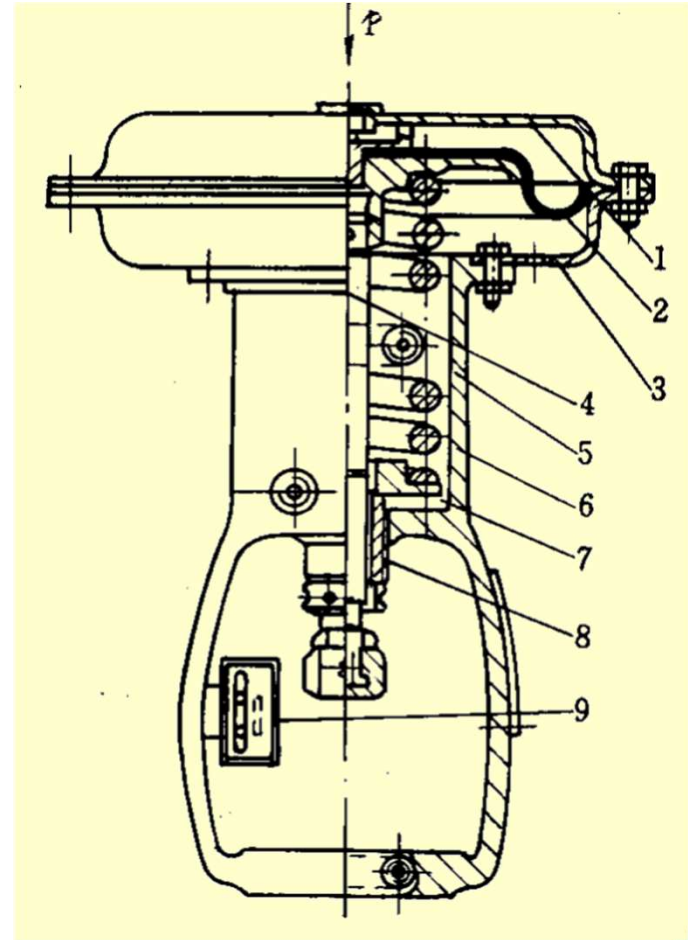
- 1—上盖
- 2—波纹膜片
- 3—下盖
- 4—推杆
- 5—支架
- 6—压缩弹簧
- 7—弹簧座
- 8—调节件
- 9—行程标尺

## ■ 4.3 执行器

动作原理：

调节信号压力 $P$ 通入薄膜气室  
作用于膜片2上，产生向下推力使推杆4向下移动，将弹簧6压缩，至弹簧反作用力与信号 $P$ 在波纹膜片上的推力相平衡，使推杆稳定在一个新位置。

执行机构的输出就是推杆的位移。





## ■ 4.3 执行器

---


行程规格：

气动薄膜执行机构有10、16、25、40、60、100mm等。

薄膜的有效面积：

200、280、400、630、1000、1600 cm<sup>2</sup>等。

气动薄膜执行机构由于波纹膜片承受的压力一般为20—100kPa，为了得到较大推力就要求使用较大的薄膜面积，使膜片盒显得很庞大，对中小口径的阀就不相称。





## ■ 4.3 执行器

气动薄膜调节阀

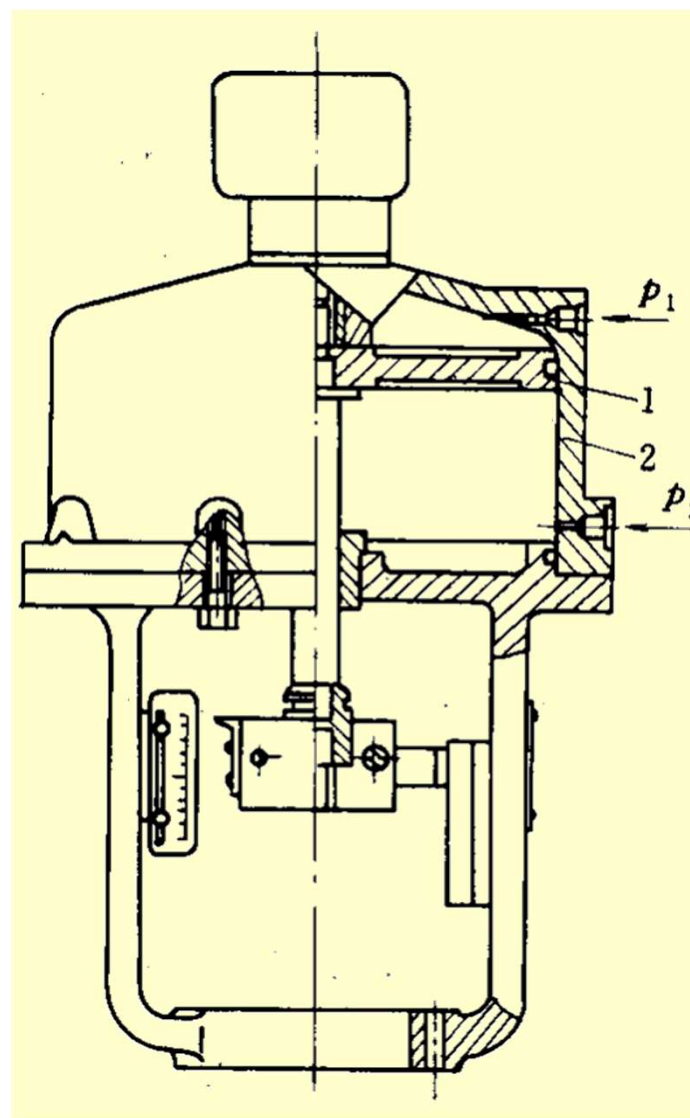


## ■ 4.3 执行器

### (2) 活塞执行机构

特点：

气缸允许操作压力为0.5MPa，无弹簧抵消推力，具有很大的输出推力，适用于高静压、高压差、大口径的场合。



1—活塞

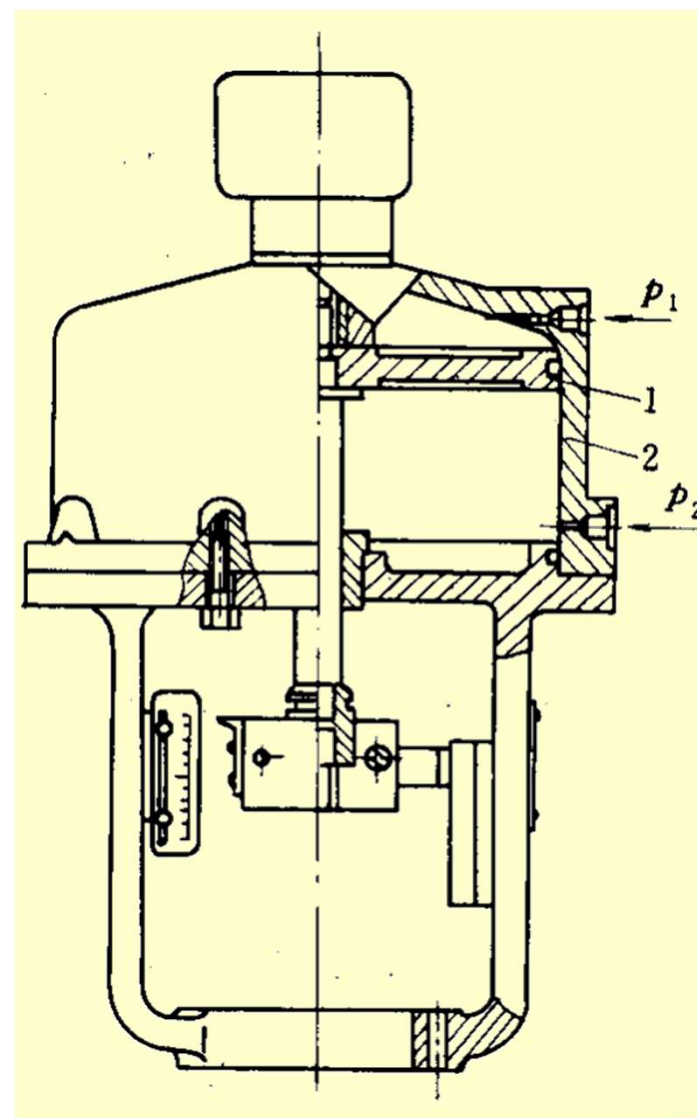
2—气缸

## ■ 4.3 执行器

输出特性

**两位式：**根据输入活塞两侧的操作压力的大小而动作，活塞由高压侧推向低压侧，推杆由一个极端到另一个极端。

活塞行程：25-100mm，适用于双位调节的控制系统。



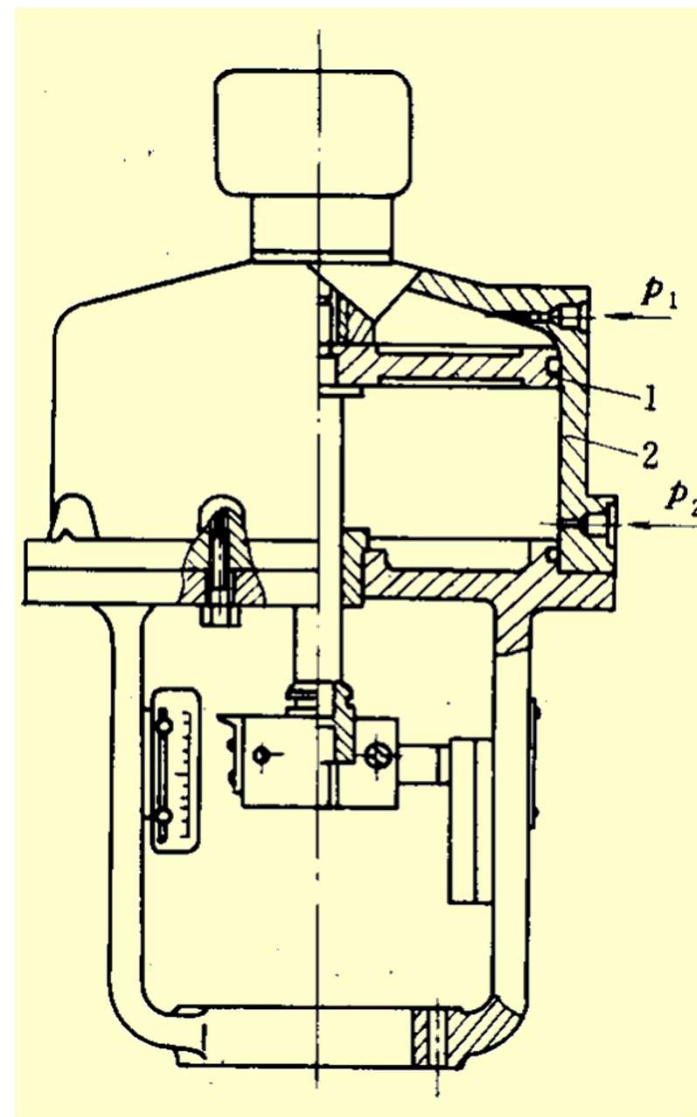
1—活塞

2—气缸

## ■ 4.3 执行器

输出特性

**比例式：**推杆的行程与输入压力信号成正比关系。带有阀门定位器，适用于调节质量要求较高的控制系统。



1—活塞

2—气缸

## ■ 4.3 执行器

### 三、调节机构(阀体)

调节机构是执行器的调节部分，是一个阻力可变的节流元件。通过阀芯在阀体内的移动，改变了阀芯与阀座之间的流通面积，从而改变了被调介质的流量，达到自动调节工艺参数的目的。

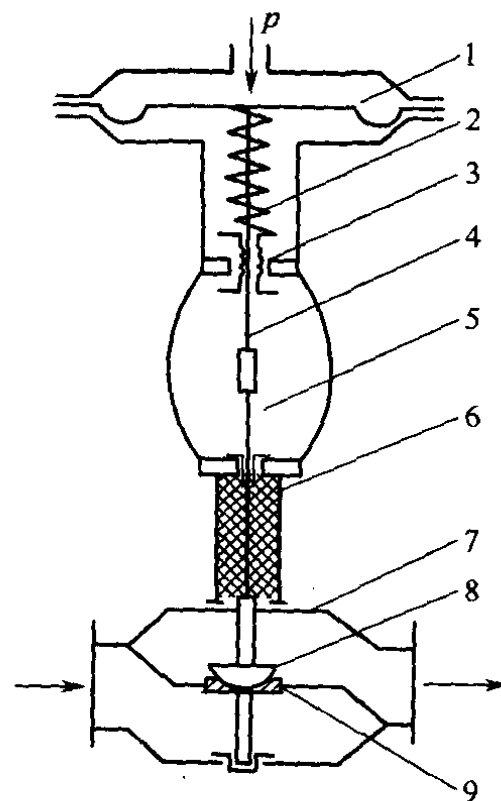


图 4-49 正作用式气动薄膜执行机构的结构简图

1—薄膜；2—弹簧；3—调节螺丝；4—推杆；5—阀杆；  
6—填料；7—阀体；8—阀芯；9—阀座



## ■ 4.3 执行器

---

### 1. 调节阀根据阀芯的动作形式分类：

#### ❖ 直行程式：

直通单座阀、直通双座阀、  
角形阀、三通阀、  
高压阀、超高压阀、隔膜阀；

#### ❖ 转角式：

蝶阀、凸轮挠曲阀、球阀。





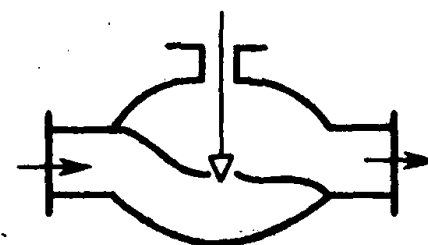
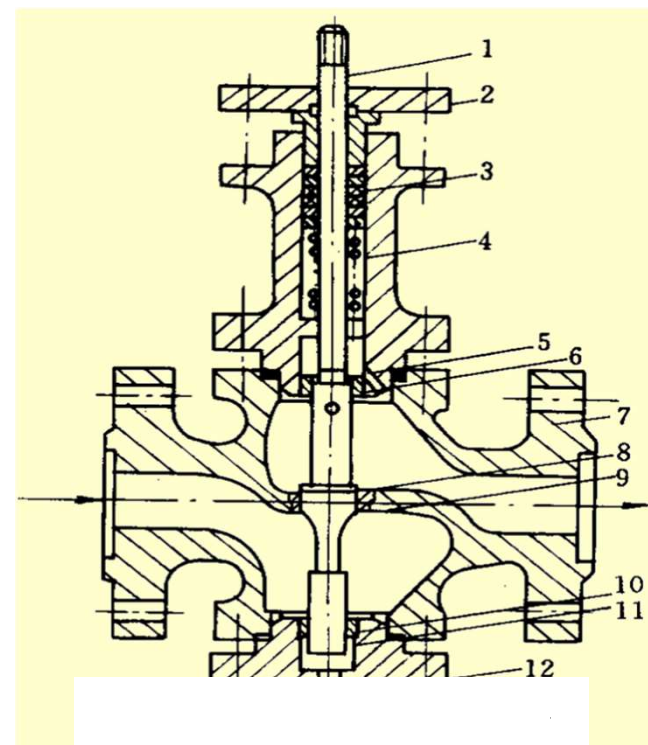
## ■ 4.3 执行器

### 2. 直通单座阀

阀体内只有一个阀芯和阀座，具有泄漏量小、易于关断、不平衡力大的特点，适用于泄漏量要求高、压差较小的场合。

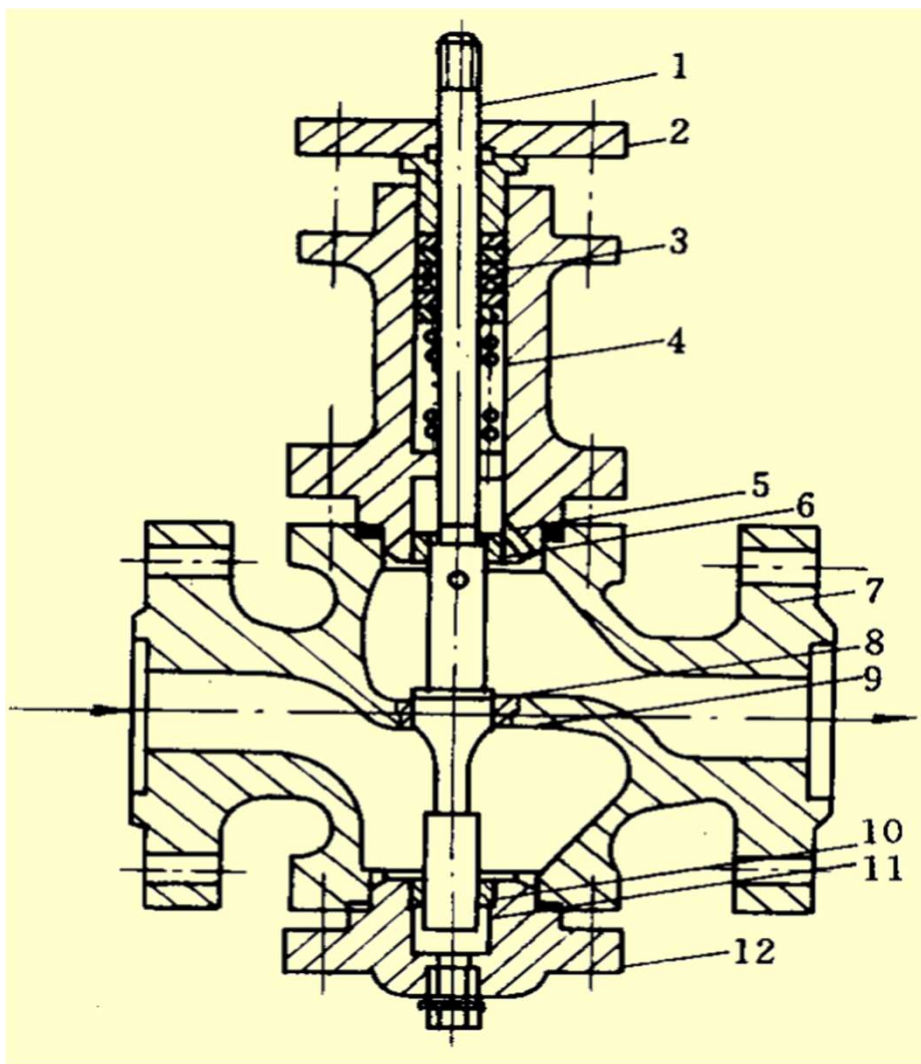
直通单座阀分为调节型和切断型，主要区别在于阀芯形状不同，调节型为柱塞型，而切断型为平板型。

单座阀的阀芯 $DN \geq 25\text{mm}$ 时采用双向，而 $DN < 25\text{mm}$ 的阀芯采用单导向。



(a) 直通单座阀

## ■ 4.3 执行器



- 1—阀杆
- 2—压板
- 3—填料
- 4—上阀盖
- 5、11—斜孔
- 6、10—衬套
- 7—阀体
- 8—阀芯
- 9—阀座
- 12—下阀盖

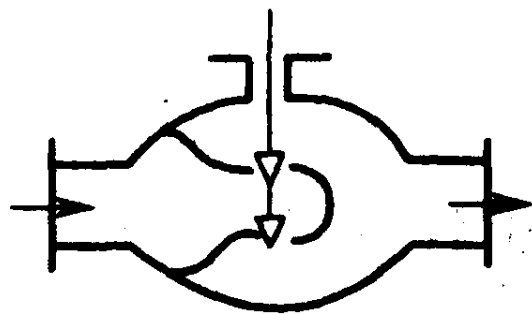


## ■ 4.3 执行器

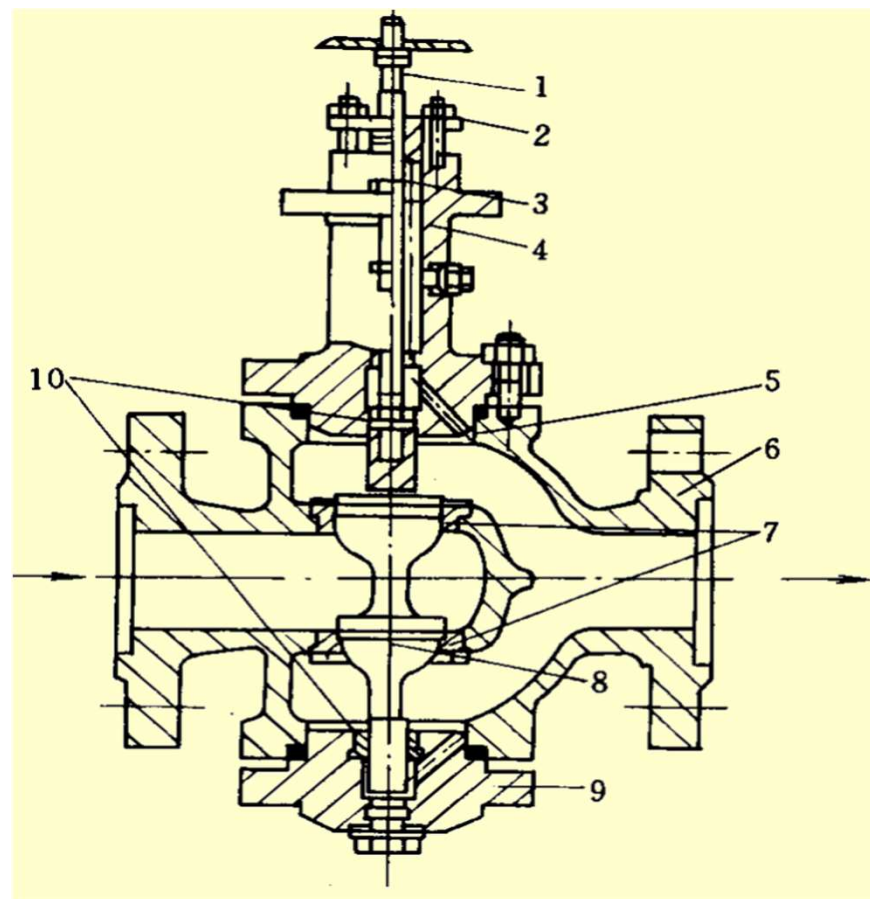
### 3. 直通双座阀

阀芯与阀杆之间用螺纹或销钉连接，阀杆带动阀芯作上下移动，阀杆与执行机构相连。

阀体内有两个阀芯和阀座。流体从左侧进入，通过阀座阀芯后，由右侧流出，为双导向结构。



(b) 直通双座阀

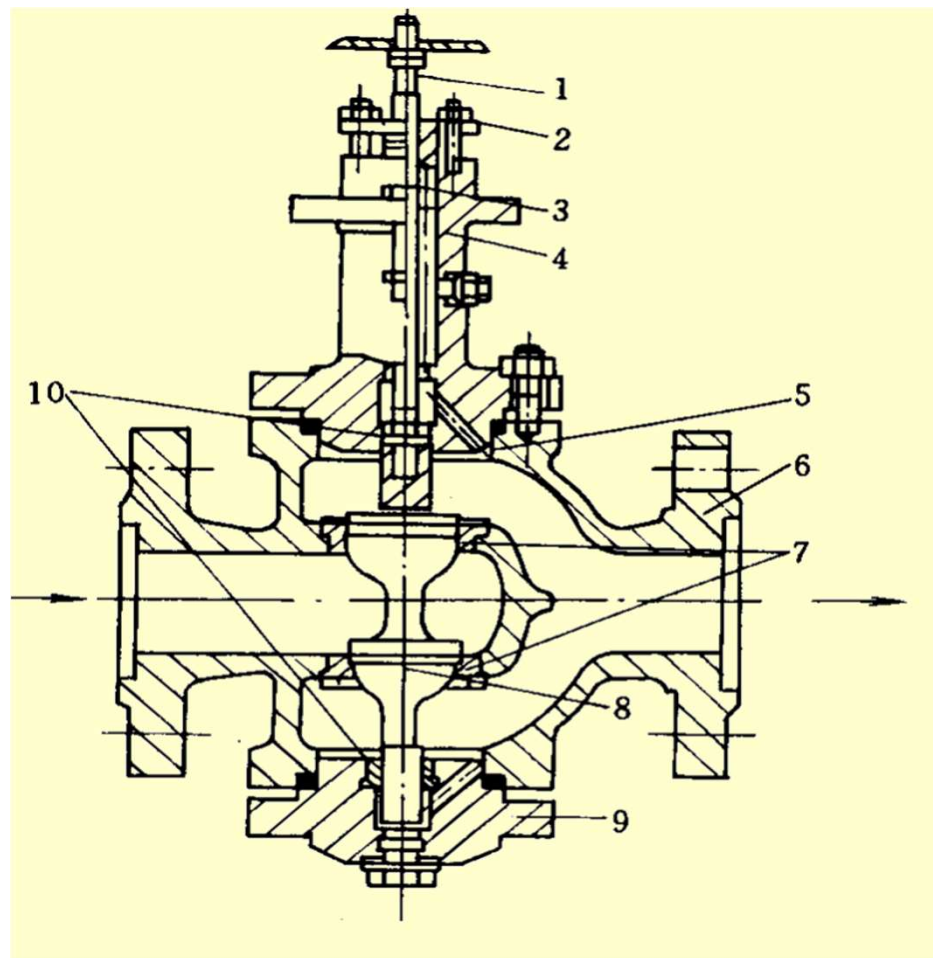


- 1—阀杆；2—压板；3—填料；4—上阀盖；  
5—圆柱销钉；6—阀体；7—上下阀座；  
8—阀芯；9—下阀盖；10—上下衬套

## ■ 4.3 执行器

特点:

- 流体作用在上下阀芯上的推力，方向相反而大小接近相等，所以其不平衡力很小。
- 由于上下阀芯不易同时关闭，故泄漏量较大。
- 阀体流路复杂，不适用于高粘度和含纤维介质的场合。

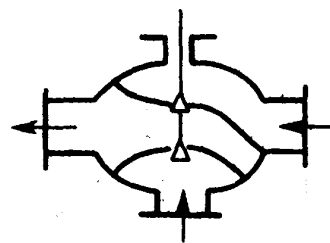
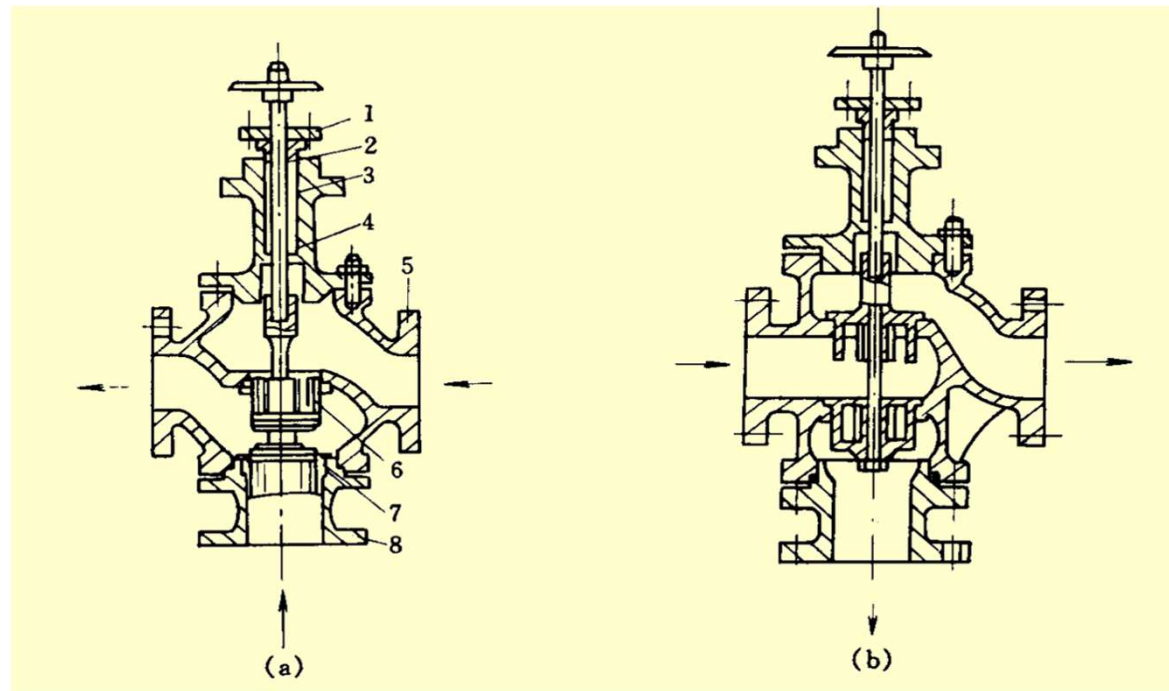


1—阀杆；2—压板；3—填料；4—上阀盖；  
5—圆柱销钉；6—阀体；7—上下阀座；  
8—阀芯；9—下阀盖；10—上下衬套

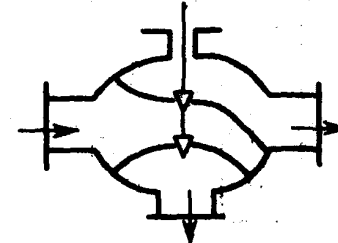
## ■ 4.3 执行器

### 4. 三通阀

三通阀有三个出、入口与管路相连接，分为合流型（a）和分流型（b），用于换热器旁通调节或配比调节。



(d) 三通阀合流型



(e) 三通阀分流型

## ■ 4.3 执行器

### 5. 蝶阀

具有流阻小、流量系数大、结构简单、成本低等特点，适用于大口径、大流量、低压差的场合，但泄漏量大。

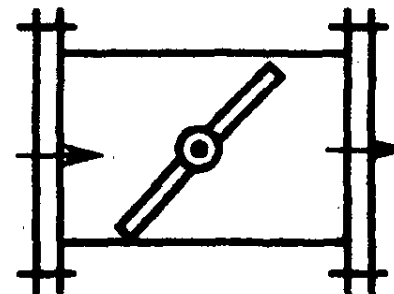
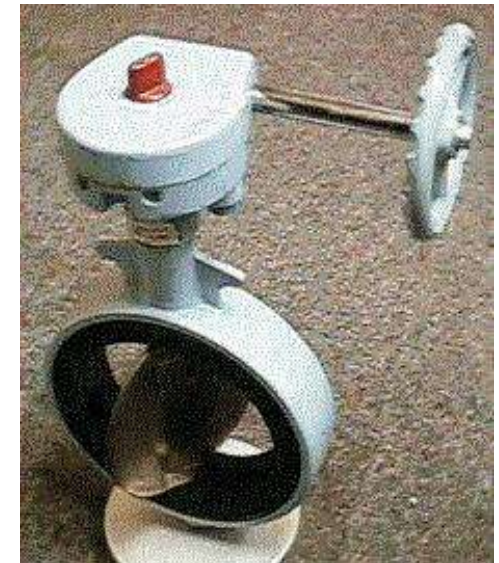
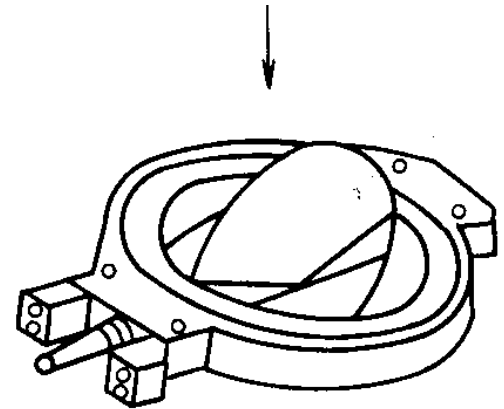
蝶阀品种：

常温蝶阀（ $-20—450^{\circ}\text{C}$ ）；

高温蝶阀（ $450—600^{\circ}\text{C}$ 和 $600—850^{\circ}\text{C}$ ）；

低温蝶阀（ $-40 — -200^{\circ}\text{C}$ ）；

高压蝶阀（ $p_N \leq 3200\text{kPa}$ ）。




### 5. 调节阀的调节方向：

#### a. 正作用：

当调节阀阀芯**向下**位移时，阀芯与阀座之间的流通截面积**减少**；

#### b. 反作用：

当调节阀阀芯**向下**位移时，阀芯与阀座之间的流通截面积**增大**；




### 四、调节阀的工作原理

流经阀门的流体遵循流体流动的质量守恒和能量守恒定律。

对不可压缩流体，流体流过调节阀时的情况与流体流过节流元件（如孔板）时的情况相似。

流体流经调节阀时的局部阻力损失为：

$$\Delta p_V = \xi \frac{w^2}{2g} = \frac{p_1 - p_2}{\rho g}$$


## ■ 4.3 执行器

$$\Delta p_V = \xi \frac{w^2}{2g} = \frac{p_1 - p_2}{\rho g}$$

$\xi$  ---调节阀的阻力系数，与阀门结构形式、  
流体性质、阀门前后压差及开度等因素  
有关；

$w$  ---流过阀的流体平均速度；

$g$  ---重力加速度；

$\rho$  ---流体密度；

$p_1$  ---阀前压力；

$p_2$  ---阀后压力。

## ■ 4.3 执行器

由： $\Delta p_V = \xi \frac{w^2}{2g} = \frac{p_1 - p_2}{\rho g}$  得： $w = \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\xi \cdot \rho}}$

若流体体积流量为 $q_v$ ，流通截面积为 $A$ ，则：

$$w = \frac{q_v}{A}$$

调节阀的流量方程：

$$q_v = w \cdot A = \frac{A}{\sqrt{\xi}} \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}}$$

当调节阀口径一定， $\Delta p / \rho$  不变的情况下，流量 $q_v$ 仅随着阻力系数  $\xi$  的变化而改变。当移动阀芯使开度改变时，阻力系数随之变化，从而改变了流量 $q_v$ 的大小，达到了调节流量的目的。



### 五、调节阀的理想流量特性

#### 1. 调节阀的特性

**调节阀的流量特性**——流体流过调节阀的相对流量与阀门相对开度之间的关系：

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

$q_V / q_{V\max}$  ——**相对流量**；

$q_V$  ——阀在某一开度时的流量；

$q_{V\max}$  ——阀在全开时的流量；

$l / L$  ——**阀的相对开度**

$l$  ——阀在某一开度时阀芯的行程；

$L$  ——阀全开时阀芯的行程。

## ■ 4.3 执行器

### 2. 可调比

**可调比**——调节阀能够控制的最大流量和最小流量之比，即调节范围，用 $R$ 表示：

$$R = \frac{q_{V \max}}{q_{V \min}}$$

**理想可调比**——调节阀前后压差不变时的可调比。

国产阀理想可调比 $R=30$

**实际可调比**——因系统阻力影响造成调节阀前后压差变化时的可调比。

## ■ 4.3 执行器

### 3. 调节阀的理想流量特性：

**理想流量特性**——调节阀前后压差一定情况下的流量特性。

根据阀芯形状不同，流量特性主要有：

- (1) 快开
- (2) 直线
- (3) 抛物线
- (4) 等百分比(对数)

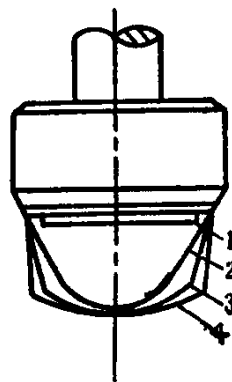


图 6-5 不同流量特性的阀芯形状

1—快开；2—直线；3—抛物线；4—等百分比

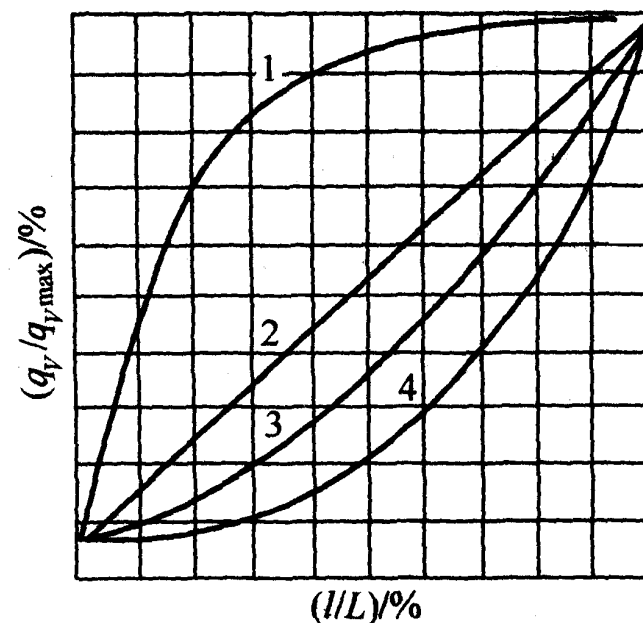


图 4-56 调节阀理想流量特性

1—快开；2—直线；  
3—抛物线；4—等百分比

## ■ 4.3 执行器

### (1) 直线流量特性

调节阀的相对流量与相对开度成直线关系，即 **阀杆单位行程变化所引起的流量变化为常数**时，称：阀具有直线流量特性。

$$\frac{d(q_V / q_{V\max})}{d(l / L)} = K$$

K —调节阀的放大系数（常数）

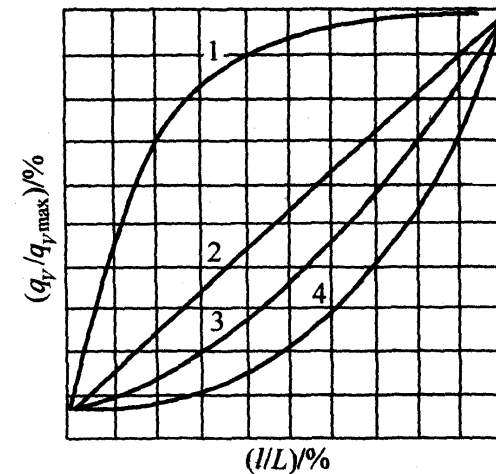


图 4-56 调节阀理想流量特性

1—快开；2—直线；  
3—抛物线；4—等百分比

## ■ 4.3 执行器

$$\frac{d(q_V / q_{V\max})}{d(l / L)} = K$$

将上式积分得：

$$\frac{q_V}{q_{V\max}} = K\left(\frac{l}{L}\right) + C$$

式中：

$q_V / q_{V\max}$  —— 相对流量

$l / L$  —— 阀的相对开度

$C$  —— 积分常数

## ■ 4.3 执行器

边界条件为：

$$l = 0 \text{ 时, } q_V = q_{V \min}$$

$q_{V \min}$  ——调节阀能控制的最小流量；

$$l = L \text{ 时, } q_V = q_{V \max}$$

$q_{V \max}$  ——调节阀能控制的最大流量。

$$\frac{q_V}{q_{V \max}} = K \left( \frac{l}{L} \right) + C$$

将边界条件代入式：

$$\frac{q_V}{q_{V \max}} = K \left( \frac{l}{L} \right) + C$$

$$l = 0 \quad \frac{q_{V \min}}{q_{V \max}} = C = \frac{1}{R}$$

$$\because R = \frac{q_{V \max}}{q_{V \min}}$$

$$C = \frac{1}{R}$$

$$l = L \quad \frac{q_{V \max}}{q_{V \max}} = K + C = K + \frac{1}{R} \rightarrow 1 = K + \frac{1}{R}$$

$$K = 1 - \frac{1}{R}$$

## ■ 4.3 执行器

$$l = 0 \quad C = \frac{1}{R}$$

$$l = L$$

$$K = 1 - \frac{1}{R}$$

代入：

$$\frac{q_V}{q_{V\max}} = K\left(\frac{l}{L}\right) + C$$

得：

$$\begin{aligned} \frac{q_V}{q_{V\max}} &= \left(1 - \frac{1}{R}\right) \frac{l}{L} + \frac{1}{R} \\ &= \frac{l}{L} - \frac{l}{L} \frac{1}{R} + \frac{1}{R} \\ &= \frac{l}{L} \frac{R}{R} - \frac{l}{L} \frac{1}{R} + \frac{1}{R} \\ &= \frac{1}{R} \left( \frac{l}{L} R - \frac{l}{L} + 1 \right) \\ &= \frac{1}{R} \left[ 1 + (R-1) \frac{l}{L} \right] \end{aligned}$$

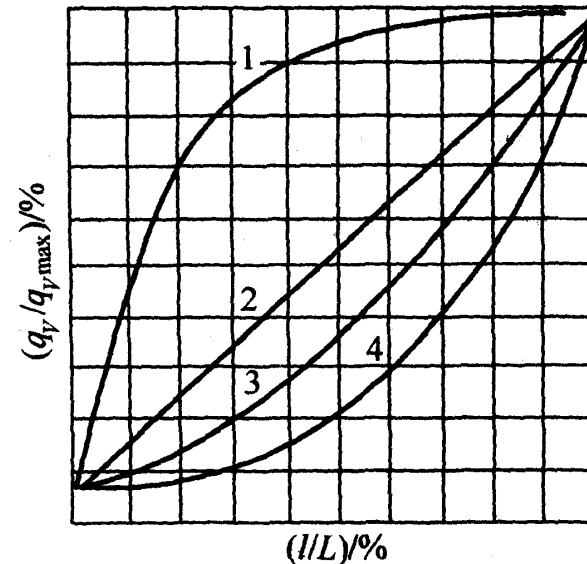


图 4-56 调节阀理想流量特性

1—快开；2—直线；

3—抛物线；4—等百分比

直线流量特性关系：

$$\frac{q_V}{q_{V\max}} = \frac{1}{R} \left[ 1 + (R-1) \frac{l}{L} \right]$$

## ■ 4.3 执行器

$$\frac{q_V}{q_{V\max}} = \frac{1}{R} \left[ 1 + (R-1) \frac{l}{L} \right]$$

表明  $q_V/q_{V\max}$  与  $l/L$  之间呈线性关系，如图中的曲线2

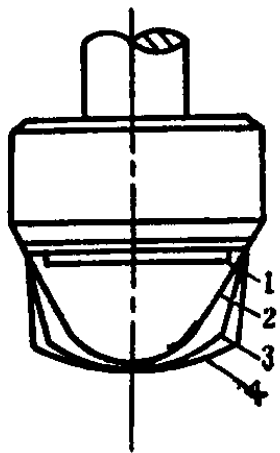


图 6-5 不同流量特性的阀芯形状  
1—快开；2—直线；3—抛物线；4—等百分比

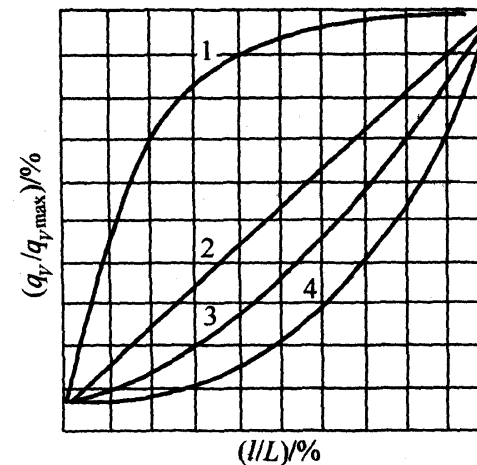


图 4-56 调节阀理想流量特性

1—快开；2—直线；  
3—抛物线；4—等百分比



## ■ 4.3 执行器

直线流量特性的调节阀：

单位行程变化=单位流量变化

若原来阀位是在10%、50%、80%行程的点上，当行程变化10%时所引起的流量变化均为10%，但引起的流量变化的相对值不同。

$$\frac{20-10}{10} \times 100\% = 100\% \quad \text{流量小时, 流量变化的相对值大;}$$

$$\frac{60-50}{50} \times 100\% = 20\%$$

$$\frac{90-80}{80} \times 100\% = 12.5\% \quad \text{流量大时, 流量变化的相对值小。}$$



## ■ 4.3 执行器

---

结论：

- 流量小时，流量变化的相对值大；
- 流量大时，流量变化的相对值小。
- 即：阀门开度小时调节作用太强，易使系统产生振荡；
- 阀门开度大时调节作用又太弱，调节不灵敏、不及时。
- 具有直线流量特性的调节阀不宜用于负荷变化较大的场合。



## ■ 4.3 执行器

### (2) 对数（等百分比）流量特性

当调节阀的“**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**”时，称：阀具有对数流量特性。

即：调节阀的放大系数随相对流量的增加而增大。

$$\frac{d(q_V / q_{V\max})}{d(l / L)} = K \frac{q_V}{q_{V\max}}$$

$$\frac{1}{\frac{q_V}{q_{V\max}}} d(q_V / q_{V\max}) = K \cdot d(l / L)$$

## ■ 4.3 执行器

$$\frac{1}{\frac{q_V}{q_{V\max}}} d(q_V / q_{V\max}) = K \cdot d(l / L)$$

积分：

$$\int \frac{1}{\frac{q_V}{q_{V\max}}} d(q_V / q_{V\max}) = \int K \cdot d(l / L)$$

$$\ln \frac{q_V}{q_{V\max}} = K \frac{l}{L} + C$$

代入边界条件：  $l = 0$      $q_V = q_{V\min}$  ， 代入：

$$\ln \frac{q_V}{q_{V\max}} = K \frac{l}{L} + C$$

得：

$$\ln \frac{q_{V\min}}{q_{V\max}} = C$$

又根据可调比：

$$R = \frac{q_{V\max}}{q_{V\min}}$$

$$\ln \frac{q_{V\min}}{q_{V\max}} = \ln \frac{1}{R} = -\ln R$$

$$\therefore C = -\ln R$$

## ■ 4.3 执行器

即：  $l = 0$ :  $C = -LnR$

代入边界条件： $l = L$   $q_V = q_{V\max}$  代入： $Ln \frac{q_V}{q_{V\max}} = K \frac{l}{L} + C$

$$Ln \frac{q_{V\max}}{q_{V\max}} = K + C$$

$$K = -C$$

$$K = LnR \quad \text{由 } (l = 0: C = -LnR)$$

$$\therefore C = -LnR$$

$$K = LnR$$

代入： $Ln \frac{q_V}{q_{V\max}} = K \frac{l}{L} + C$

$$Ln \frac{q_V}{q_{V\max}} = \frac{l}{L} LnR - LnR = \left(\frac{l}{L} - 1\right) LnR$$

$$\therefore \frac{q_V}{q_{V\max}} = R^{\left(\frac{l}{L} - 1\right)}$$

## ■ 4.3 执行器

阀的相对流量与相对开度成对数关系。

$$\frac{q_V}{q_{V\max}} = R^{\left(\frac{l}{L}-1\right)}$$

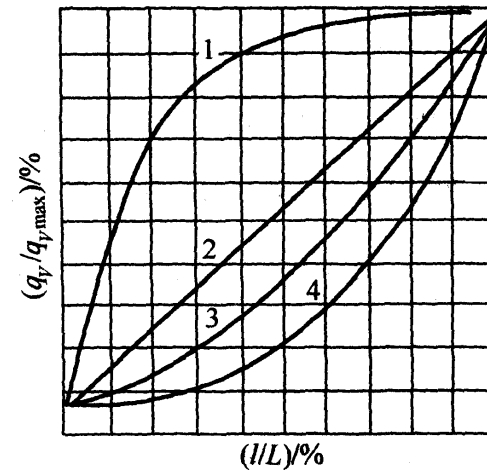


图 4-56 调节阀理想流量特性

1—快开；2—直线；

3—抛物线；4—等百分比

在同样的行程变化值下：

流量小时—流量变化小，调节平稳缓和；

流量大时—流量变化大，调节灵敏有效，如曲线4。

## ■ 4.3 执行器

例: 已知等百分比阀的最大流量  $q_{V\max} = 100m^3/h$ , 可调比  $R=30$ , 在理想情况下, 计算阀的相对行程  $l/L=0.1$ 、 $0.2$ 、 $0.8$ 、 $0.9$ 时的流量值, 并比较阀在不同开度时流量变化情况。

解: 根据

分别代入相对行程为 $0.1$ 、 $0.2$ 、 $0.8$ 、 $0.9$ , 得

$$\frac{q_V}{q_{V\max}} = R^{\left(\frac{1}{L}-1\right)}$$

$$q_{V0.1} = q_{V\max} \cdot R^{\left(\frac{1}{L}-1\right)} = 100 \times 30^{(0.1-1)} = 4.68m^3/h$$

$$q_{V0.1} = 4.68m^3/h \quad q_{V0.2} = 6.58m^3/h$$

$$q_{V0.8} = 50.65m^3/h \quad q_{V0.9} = 71.17m^3/h$$

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

## ■ 4.3 执行器

$$q_{V0.1} = 4.68 m^3 / h \quad q_{V0.2} = 6.58 m^3 / h$$

$$q_{V0.8} = 50.65 m^3 / h \quad q_{V0.9} = 71.17 m^3 / h$$

相对行程由10%变为20%时，流量变化的相对值为：

$$\frac{6.58 - 4.68}{4.68} \times 100\% = 40\%$$

相对行程由80%变为90%时，流量变化的相对值为：

$$\frac{71.17 - 50.65}{50.65} \times 100\% = 40\%$$

故等百分比调节阀不管是小开度或大开度时，行程同样变化了10%，流量在原基础上变化的相对百分数是相等的。



## ■ 4.3 执行器

### (3) 快开流量特性

当调节阀在较小开度时，流量就达到很大。随着行程增加，很快达到最大流量。**单位行程的相对流量变化所引起的相对流量变化与此点的相对流量的倒数成正比**，这种特性称为快开流量特性。表示为：

$$\frac{d(q_V / q_{V\max})}{d(l / L)} = K(q_V / q_{V\max})^{-1}$$

- ◆ 具有快开特性的阀芯形式是平板型的，其有效位移很小。
- ◆ 用于迅速启闭的切断阀或双位调节系统。

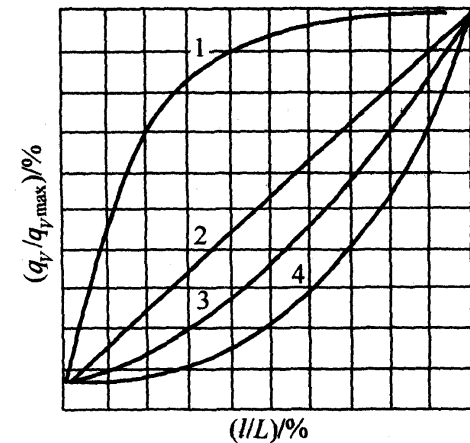


图 4-56 调节阀理想流量特性

1—快开；2—直线；  
3—抛物线；4—等百分比

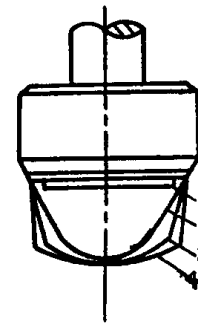


图 6-5 不同流量特性的阀芯形状  
1—快开；2—直线；3—抛物线；4—等百分比

## ■ 4.3 执行器

### (4) 抛物线流量特性

单位行程的相对流量变化所引起的相对流量变化与此点的相对流量的平方根成正比时，称阀具有抛物线流量特性。表示为：

$$\frac{d(q_V / q_{V\max})}{d(l / L)} = K(q_V / q_{V\max})^{-1/2}$$

抛物线流量特性介于直线流量特性与等百分比流量特性之间。

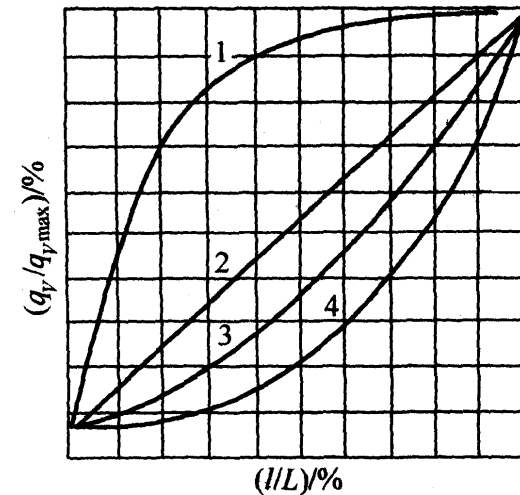


图 4-56 调节阀理想流量特性

1—快开；2—直线；  
3—抛物线；4—等百分比

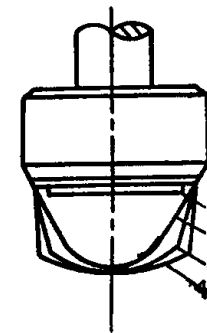


图 6-5 不同流量特性的阀芯形状

1—快开；2—直线；3—抛物线；4—等百分比

### 六. 调节阀的工作流量特性

调节阀前后压差变化情况下的流量特性。

#### 1. 串联管道工作特性

当调节阀串联在管路中时，系统的总压差  $\Delta p$  等于管路系统的压差  $\Delta p_1$  与调节阀压差  $\Delta p_v$  之和：

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_v$$

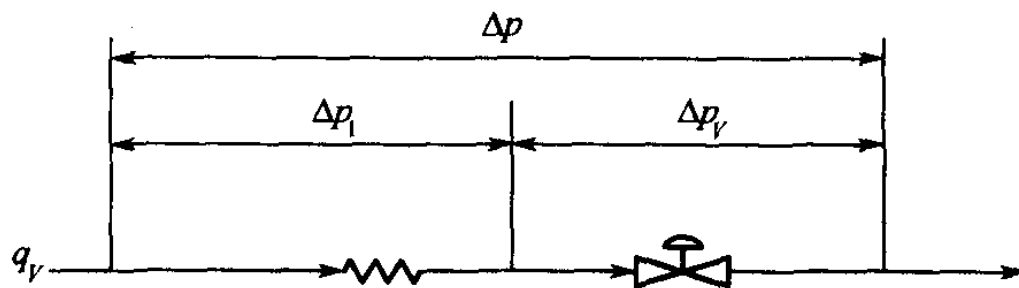


图 4-57 调节阀与管路串联的示意图

## ■ 4.3 执行器

串联管道系统的压差  $\Delta p_1$  与通过该管道的流速的平方成正比：

$$\Delta p_1 = \xi \frac{w^2}{2g}$$

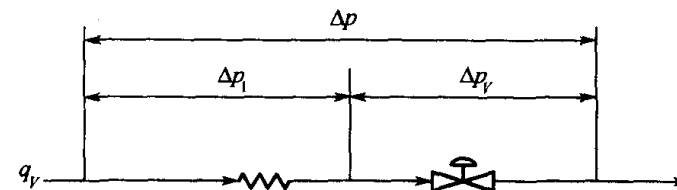
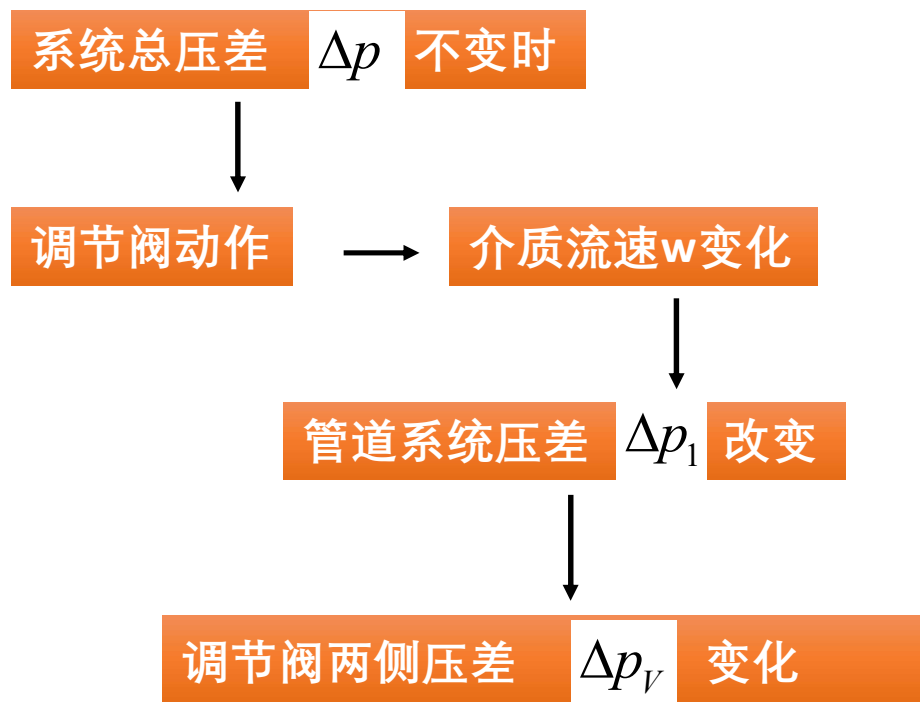


图 4-57 调节阀与管路串联的示意图

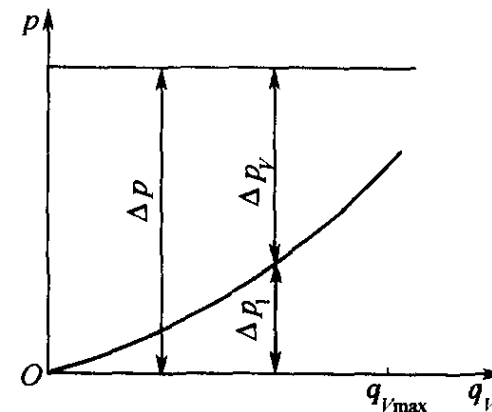


图 4-58 串联管道时调节阀压差变化情况

## ■ 4.3 执行器

若以 $s$ 表示调节阀全开时阀两侧压差  $\Delta p_V$  与系统总压差  $\Delta p$

之比:  $s = \frac{\Delta p_V}{\Delta p}$   $s=1$ , 管道系统压力损失为零, 即:  $\Delta p_1 = 0$

$q_{V\max}$  一管路阻力为零时, 调节阀的全开流量;

$q_V / q_{V\max}$  一以  $q_{V\max}$  作为参比值的相对流量。

管道串联时调节阀的工作特性图如下:

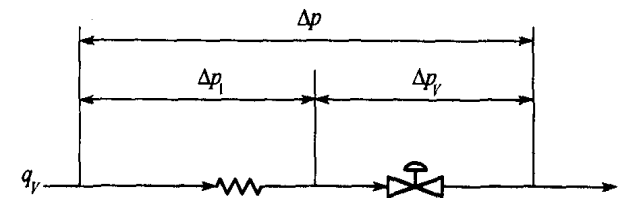
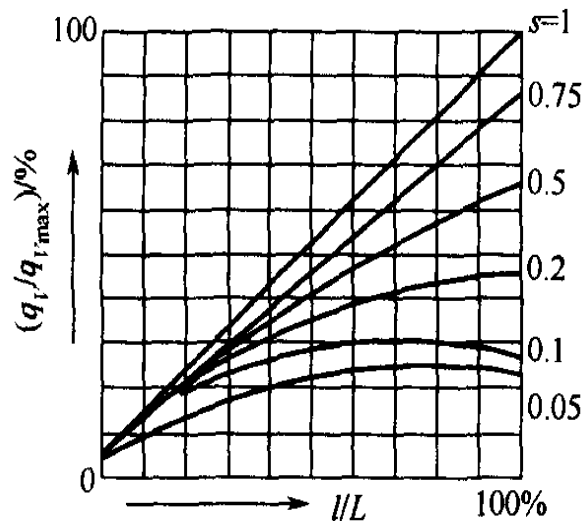
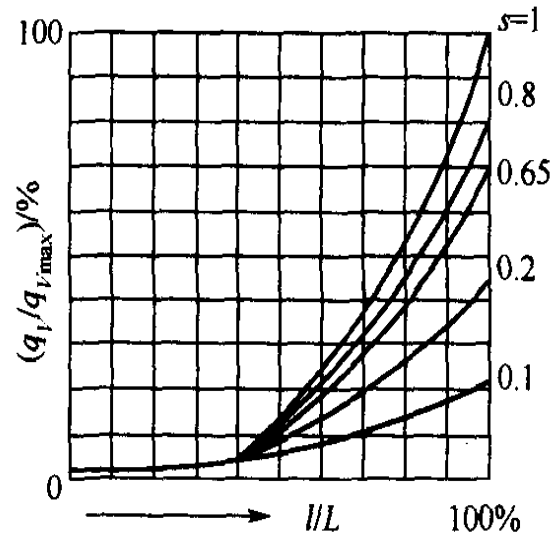


图 4-57 调节阀与管路串联的示意图



(a) 理想特性为直线型



(b) 理想特性为等百分比型

## ■ 4.3 执行器

$$s = \frac{\Delta p_V}{\Delta p}$$

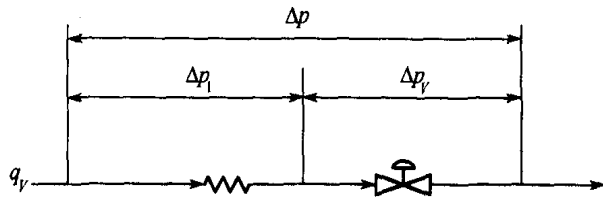
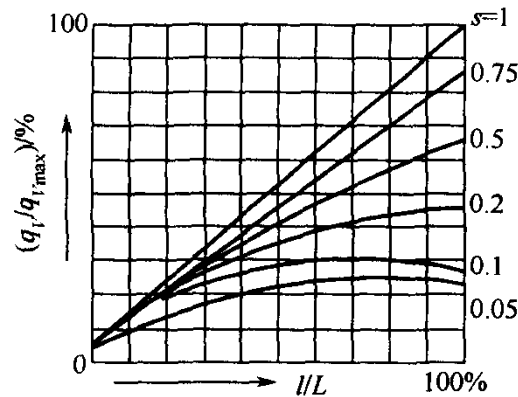
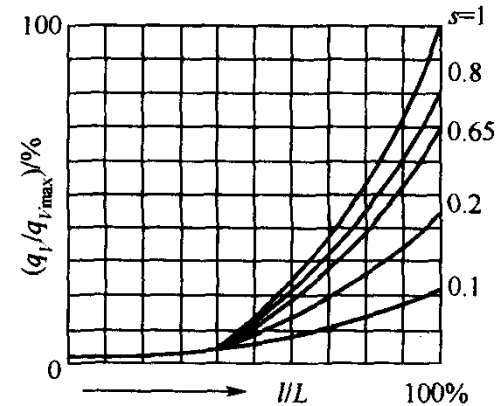


图 4-57 调节阀与管路串联的示意图



(a) 理想特性为直线型



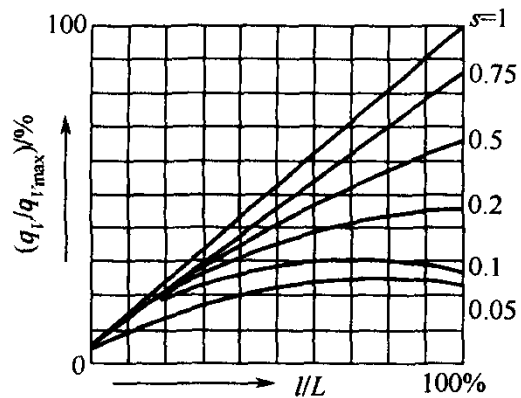
(b) 理想特性为等百分比型

s值的选择：

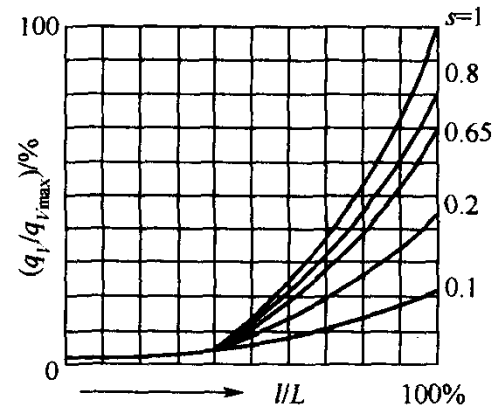
①  $s=1$  系统总压降全落在调节阀上，工作特性与理想特性一致；

② 随着  $s$  值的减小，管道系统压力损失增加，调节阀特性发生畸变，实际可调比减小，使得调节阀在小开度时调节能力增大，控制不稳定；大开度时调节能力减小，控制迟钝；

## ■ 4.3 执行器



(a) 理想特性为直线型



(b) 理想特性为等百分比型

- ③ 若 $s$ 值过大，在流量相同的情况下，阀的压降大，能量消耗大；
- ④ 实际使用时 $s$ 值不低于0.3—0.5。

## ■ 4.3 执行器

### 2. 并联管道的工作特性

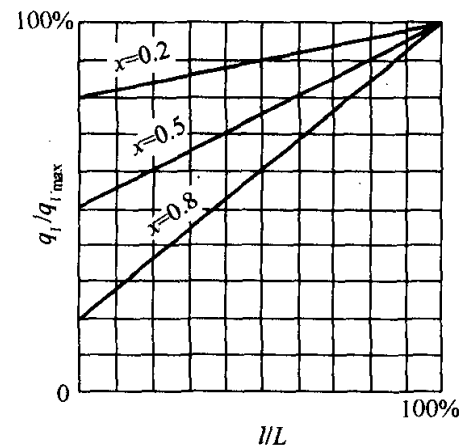
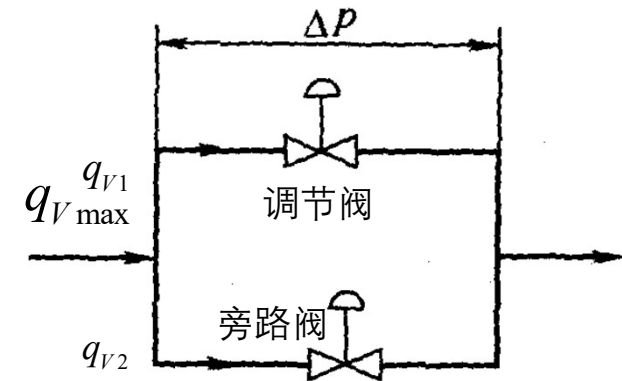
当调节阀与旁路阀并联工作时，管道总流量随阀开度的变化规律称并联管道工作特性。

设： $x$ —并联管道调节阀全开流量  $q_{V1\max}$  与总管流量  $q_{V\max}$  之比：

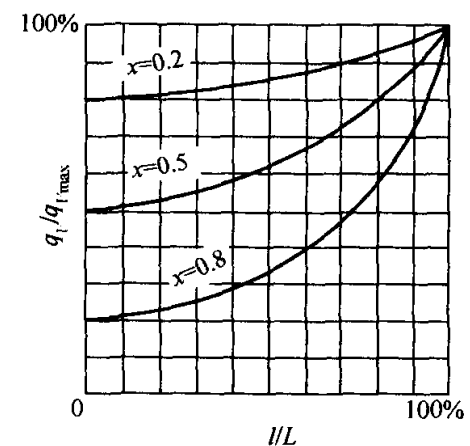
$$q_{V\max} = q_{V1} + q_{V2}$$

$$x = \frac{q_{V1\max}}{q_{V\max}}$$

①  $x=1$ ：旁路阀全关闭，调节阀特性为理想流量特性；



(a) 理想特性为直线型



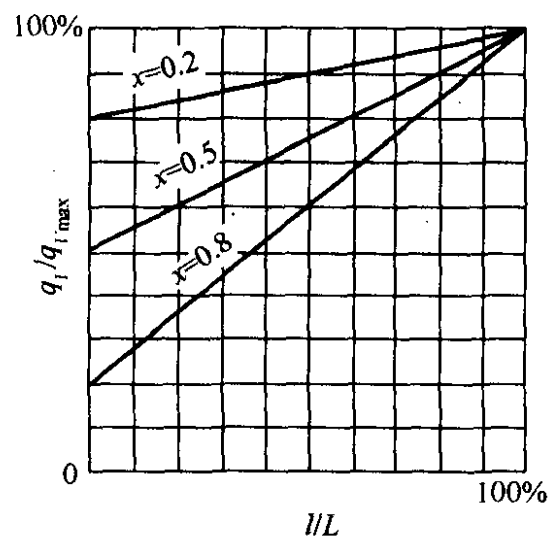
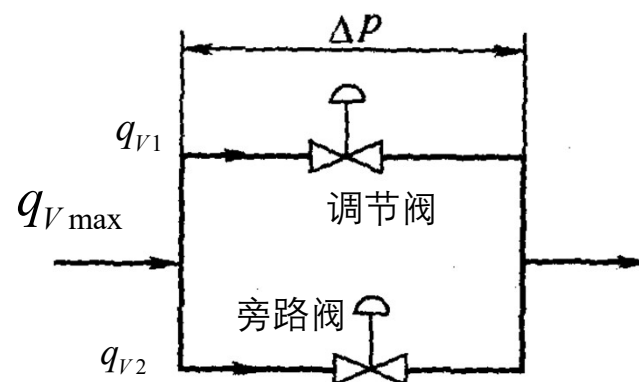
(b) 理想特性为等百分比型

图 4-60 并联管道时的工作流量特性

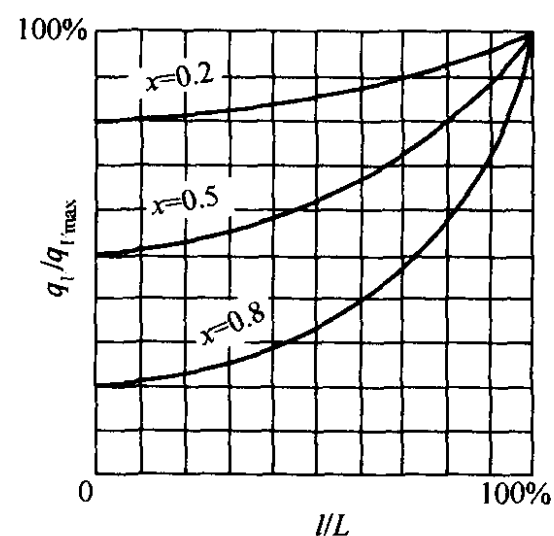


## ■ 4.3 执行器

- ② 随旁路阀逐渐开大,  $x$  值减小, 调节阀的可调比大大降低;
- ③ 实际使用中仍然存在串联管道阻力的影响, 将使可调比进一步减小。
- ④ 通常取  $x \geq 0.8$




(a) 理想特性为直线型



(b) 理想特性为等百分比型

图 4-60 并联管道时的工作流量特性

### 3. 结论

- ① 串、并联管路都会使调节阀的理想流量特性发生畸变，串联管路的影响尤为严重；
  - ② 串、并联管路都会使调节阀的可调范围降低，并联管路的影响尤为严重；
  - ③ 串联管路使系统总流量减少，并联管路使系统总流量增加；
  - ④ 串、并联管路都会使调节阀的放大系数减小，即输入信号引起的流量变化值减小。
- 

### 七、调节阀的流量系数及计算

#### 1. 流量系数 $C$ 定义：

在给定行程下，调节阀两端的压差为0.1MPa，流体密度为  $1000\text{kg}/\text{m}^3$  时，流经调节阀的流量数 ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) 。

$C_V$  一调节阀全开时的流量系数—**额定流量系数**。

$C_V$  反映了调节阀容量的大小，是确定调节阀口径的主要依据，由阀门制造厂提供。

工程中通过计算流量系数  $C_V$  ，确定调节阀的公称口径。

例：某调节阀全开时，当阀两端压差为0.1MPa，流经阀的水流量为  $40\text{ m}^3/\text{h}$  ，则该阀的流量系数  $C_V=40$

## ■ 4.3 执行器

### 2. 流量系数 $C_{100}$ ( $C_v$ ) 计算:

由调节阀的流量方程

$$q_v = \frac{A}{\sqrt{\xi}} \sqrt{\frac{2(p_1 - p_2)}{\rho}}$$

令:  $\Delta p = p_1 - p_2$

$$q_v = \frac{\sqrt{2} A}{\sqrt{\xi}} \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}} = \frac{\alpha A}{\sqrt{\xi}} \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}}$$

$\alpha$ —与单位有关的常数;  
 $A$ —流体流通面积。

据流量系数 $C$ 定义, 令上式  $\Delta p = 0.1MPa$  ,  $\rho = 1000kg / m^3$

$$C = \frac{\alpha A}{\sqrt{\xi}}$$

流量系数 $C$ 取决于 $A$ 及 $\xi$  , 在阀开度不变时 $\xi$ 是常数, 因此可根据流量系数 $C$ 确定调节阀的公称直径 $DN$ 。

## ■ 4.3 执行器

对于调节阀前后差压不为0.1MPa，介质密度不为  $1000\text{kg} / \text{m}^3$  的其他介质，用下式计算：

$$C = \frac{q_v}{\sqrt{(p_1 - p_2) / \rho}}$$


由：  $C = \frac{\alpha A}{\sqrt{\xi}}$  可知， $C$ 取决于调节阀的 $A$ 和阻力系数 $\xi$ ，

在一定条件下  $\xi$ 是常数，可根据 $C$ 确定调节阀的口径DN。

### 3. 阻塞流

随阀两端压差 $\Delta p$ 的增加，通过阀的流量同时增加，但当 $\Delta p$ 继续加大后通过阀的流量不再增加，此时的最大流量值称为**阻塞流**。

### 4. 计算 $C$ 的步骤：

- ① 判别阻塞流，见教材中表4-5阻塞流判别式；
  - ② 根据流体类型计算 $C$ 值，见表4-5
- 

## ■ 4.3 执行器

**例 4-3 (P171)** 液体介质为甲胺、氨、二氧化碳混合物，温度为170℃  
，  $p_1=13.729\text{MPa}$ ,  $p_2=0.196\text{MPa}$ ,  $q_{VL}=122.3\text{m}^3/\text{h}$

$\rho_L=1040\text{kg/m}^3$ ,  $p_v=6.58\text{MPa}$ ,  $p_c=8.20\text{MPa}$ 。

若选用高压角型阀，流开流向工作， $F_L=0.9$ ，试计算流量系数C。

解：首先判定工作情况，由表4-5计算液体临界压力比系数 $F_F$ ：

$$F_F=0.96-0.28\sqrt{p_v/p_c}=0.96-0.28\sqrt{6.58/8.20}=0.71$$

由于液体产生阻塞流时的临界压差为： $\Delta p_T = F_L^2(p_1 - F_F p_v)$

查表4-6  $F_L=0.90$ ，则  $\Delta p_T = 0.9^2(13.729 - 0.71 \times 6.58) = 7.335 \text{ MPa}$

阀进出口压差： $\Delta p = p_1 - p_2 = 13.729 - 0.196 = 13.533 \text{ MPa}$

由于： $\Delta p > \Delta p_T$  属于阻塞流，所以流量系数需按下式计算：

$$C = 10q_{VL}\sqrt{1040/F_L^2(p_1 - F_F p_v)} = 10 \times 122.3\sqrt{1040 \times 10^{-3} / (7.335 \times 10^3)} = 14.6$$

### 八、调节阀的选型

#### 1. 调节阀的选型：

阀的口径选择、型式选择、阀的固有流量特性的选择以及阀的材质选择等。

#### 2. 固有流量特性的选择：

调节阀的流量特性有线性、等百分比、快开及抛物线等几种。

(1) 快开特性的调节阀—两位式控制用；

(2) 抛物线特性的调节阀—控制三通阀。

(3) 等百分比特性调节阀—负荷变化范围较大的场合，工程上常常优先考虑选用。





## ■ 4.3 执行器

---

作业：

P176

题19、20、21、22、28





**本章结束**

