

4.1 执行器的构成

4.2 电动执行器

4.3 气动执行器

4.4 阀门电位器

4.5 调节阀特性分析

1、执行器的构成

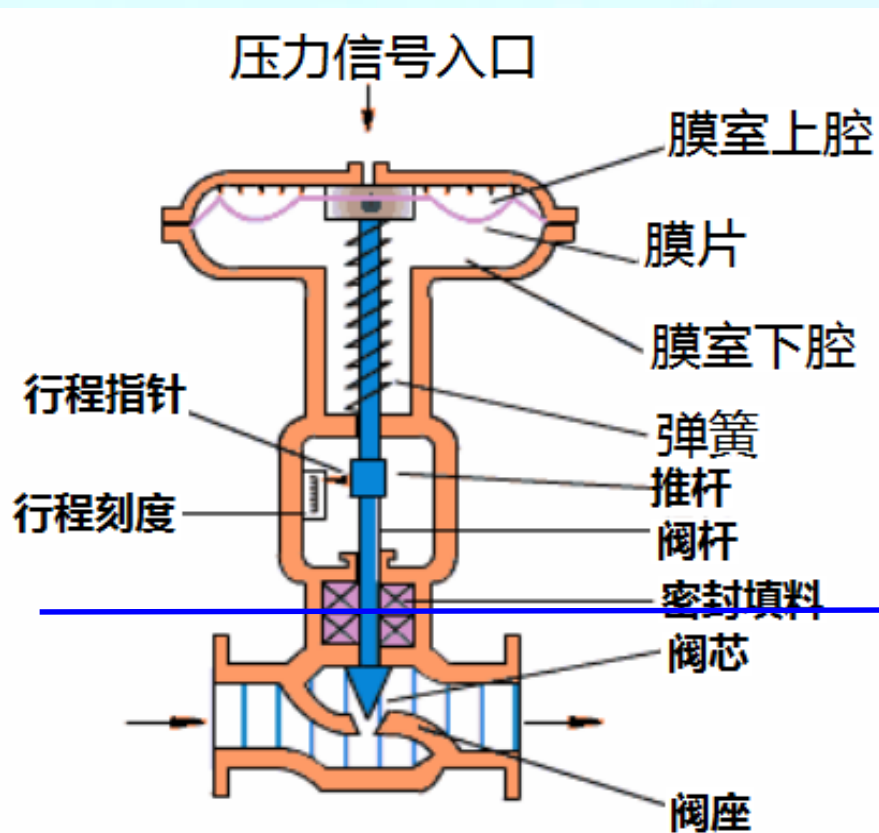


图4-1气动执行器的结构

执行机构：接收气（电）动控制信号产生推力及位移的装置

调节机构（调节阀）：改变改变阀芯与阀座开度，改变能量或物料输送量的装置



2、执行器的分类和特点

分类和特点	动力源	防爆等级	响应速度	功率	应用场合	与计算机连接
气动执行器	压缩机	高	快	较小	快速防爆等级高，石化	较难
电动执行器	电源	中等	较快	大	几乎所有	容易
液动执行器	油压机	较低	较慢	大	大功率机械石化等	较难

功能：它将输入的直流电流信号线性地转换成位移量。

1、结构组成

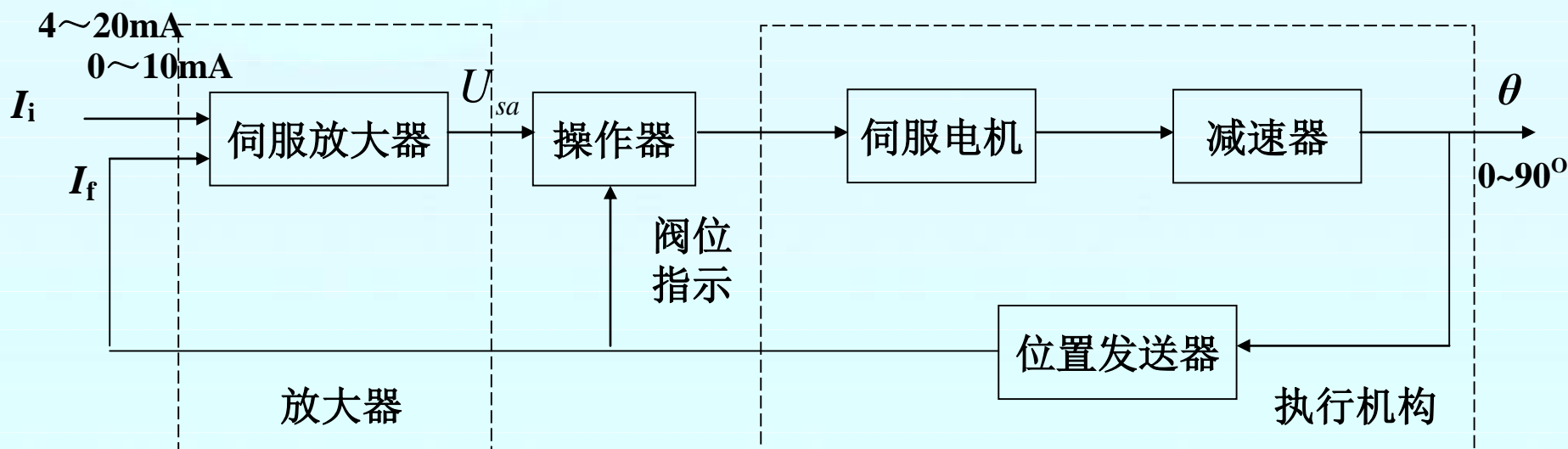
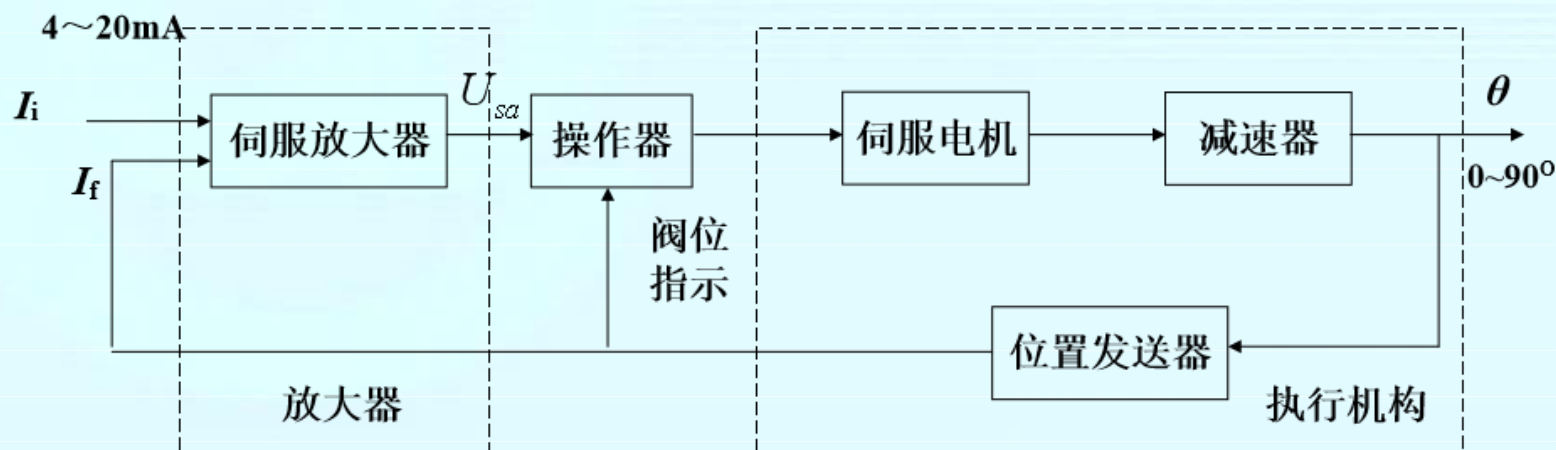


图4-2 电动执行器组成框图



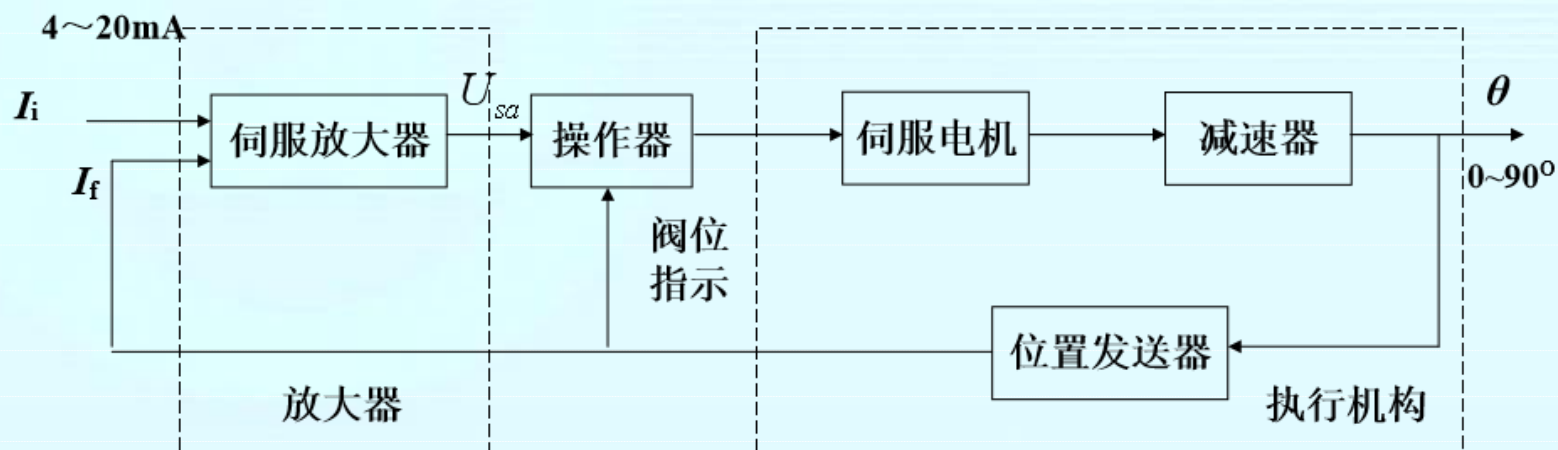
(1) 信号综合放大（伺服放大器）

将调节器的输入控制信号与执行器反馈信号比较和放大，输出控制信号控制伺服电机的正反转。

(2) 手动控制（电动操作器）

自动时：接通伺服放大器，伺服电机受伺服放大器输出控制。

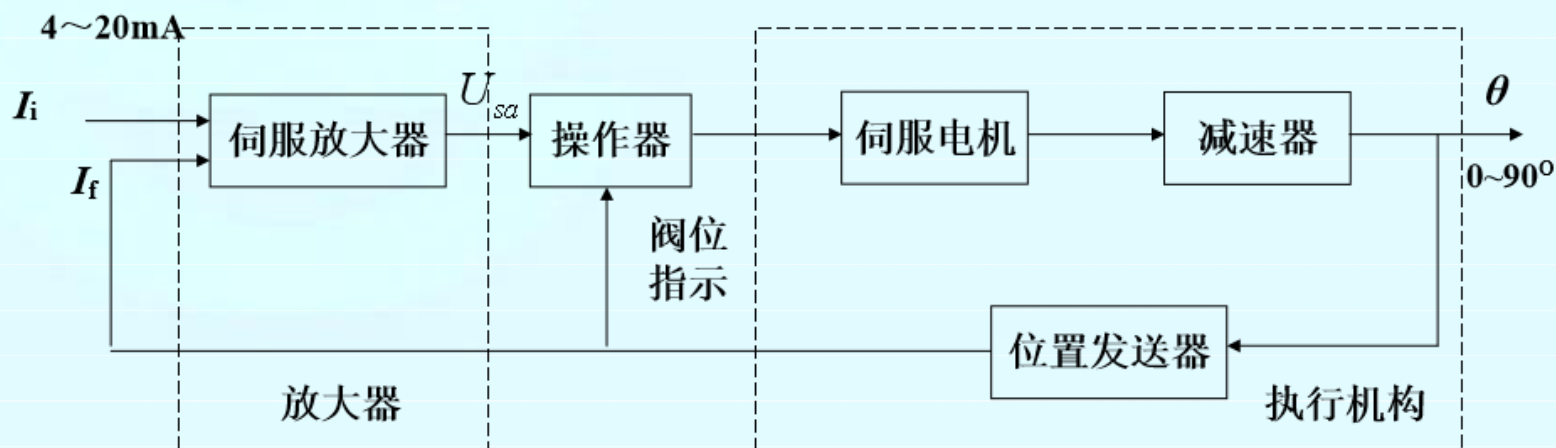
手动时：切断伺服放大器的输出信号，由操作器的正、反按钮直接控制伺服电机的电源，实现输出轴（杆）正/停/反三种状态的遥控操作。



(3) 执行机构

接收控制信号，伺服电机经过减速器驱动输出轴(杆)产生位移。同时通过位置发送器将阀位转换为**反馈电流**送伺服放大器。

2、工作原理



$$\Delta I_i (I_i - I_f) > 0 \rightarrow U_{sa} > 0 \rightarrow \text{电机正转} \rightarrow \theta \uparrow$$

$$\Delta I_i (I_i - I_f) < 0 \rightarrow U_{sa} < 0 \rightarrow \text{电机反转} \rightarrow \theta \downarrow$$

$$\Delta I_i (I_i - I_f) = 0 \rightarrow U_{sa} = 0 \rightarrow \text{电机停转} \rightarrow \theta \text{不变}$$

$$I_f = K_f \theta \approx I_i \quad \theta = K I_i$$

3、伺服放大器

功能：信号综合、比较和放大，输出控制信号控制伺服电机的正反转。

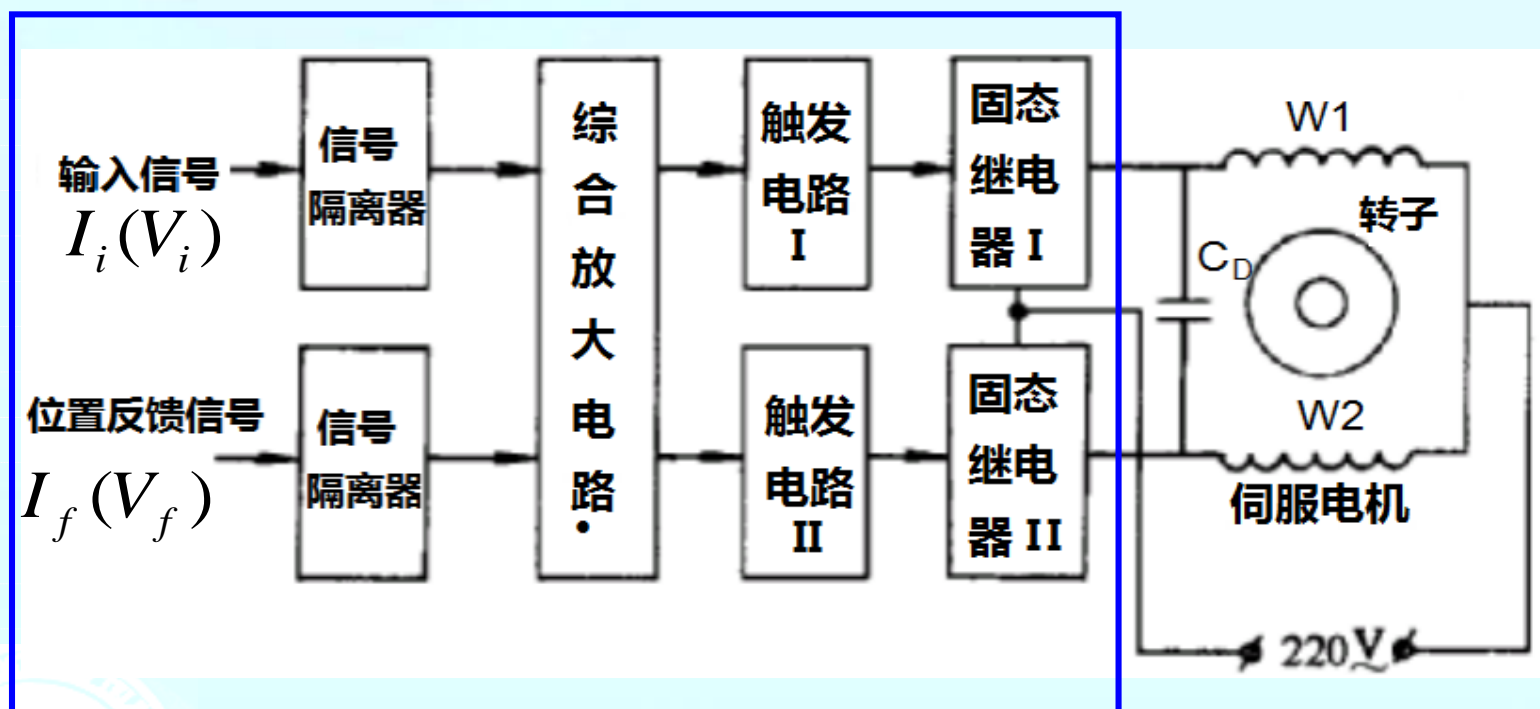
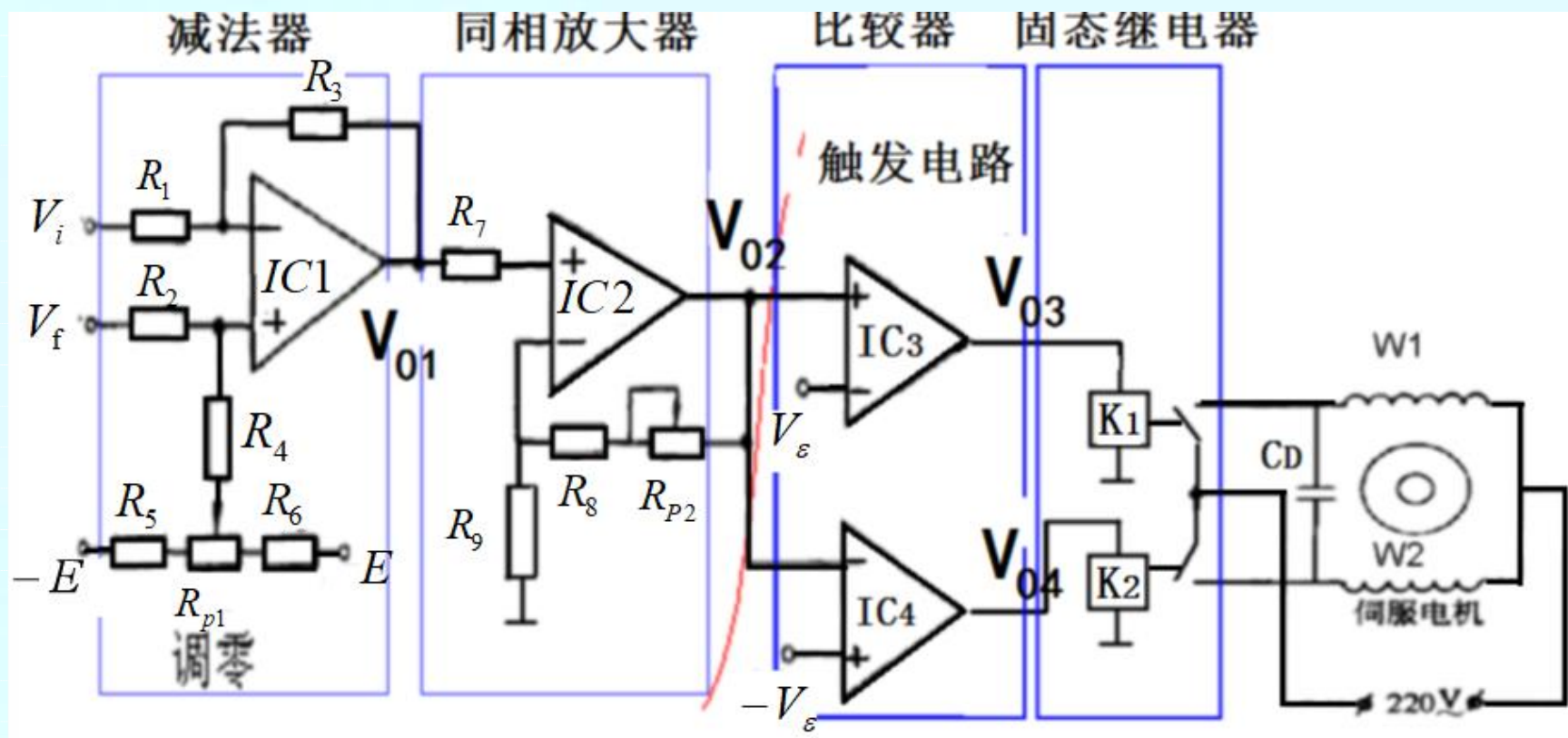


图4-3 伺服放大器原理框图

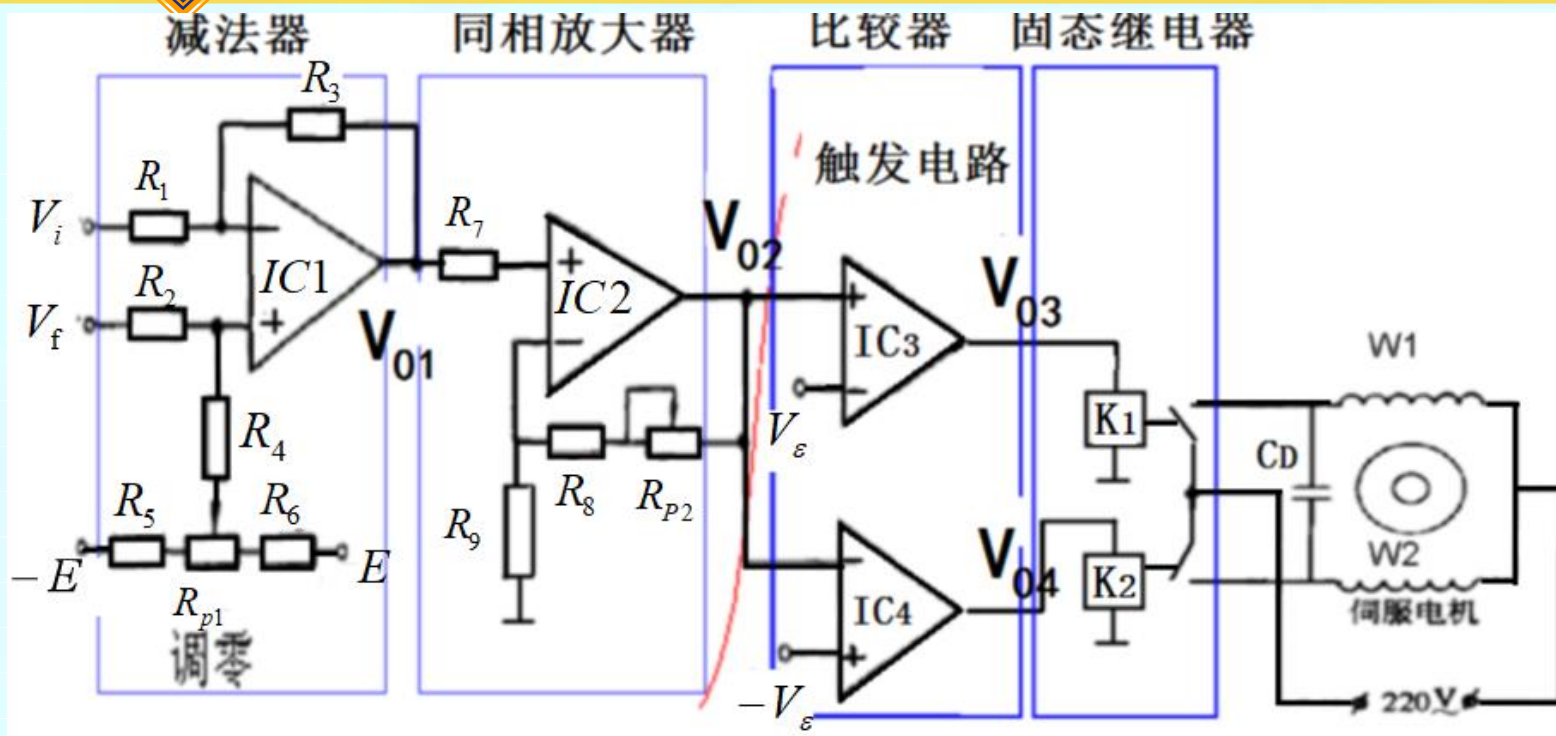
(1) 伺服放大器各个环节输出信号



$$V_{01} = \frac{R_3}{R_1} (V_i - V_f) \quad V_{02} = \left(1 + \frac{R_f}{R_9}\right) V_{01}$$

$$\begin{aligned} V_{02} > V_\varepsilon & \quad V_{03} = V_H, V_{04} = V_L \\ V_{02} < -V_\varepsilon & \quad V_{03} = V_L, V_{04} = V_H \end{aligned}$$

$$V_\varepsilon > V_{02} > -V_\varepsilon, \quad V_{03} = V_L, V_{04} = V_L$$



固态继电器

$V_{03} = V_H, V_{04} = V_L, K_1$ 接通, i_{w2} 超前 i_{w1} 90° (C_D 串接 W_2), 电机正转

$V_{03} = V_L, V_{04} = V_H, K_2$ 接通, i_{w1} 超前 i_{w2} 90° (C_D 串接 W_1), 电机反转

$V_{03} = V_L, V_{04} = V_L, K_1 K_2$ 均断开, 电机停转。

(2) 工作原理

$\Delta I_i(I_i - I_f) > 0 \rightarrow V_{01}, V_{02} > 0 \rightarrow V_{03} = V_H \rightarrow K_1 \text{ 接通} \rightarrow \text{电机正转} \rightarrow \theta \uparrow$
 $\Delta I_i(I_i - I_f) < 0 \rightarrow V_{01}, V_{02} < 0 \rightarrow V_{04} = V_H \rightarrow K_2 \text{ 接通} \rightarrow \text{电机反转} \rightarrow \theta \downarrow$
 $\Delta I_i(I_i - I_f) = 0 \rightarrow V_{01}, V_{02} = 0 \rightarrow V_{03} = V_L, V_{04} = V_L \rightarrow K_1, K_2 \text{ 断开}$
 $\rightarrow \text{电机停转, } \theta \text{ 不变}$

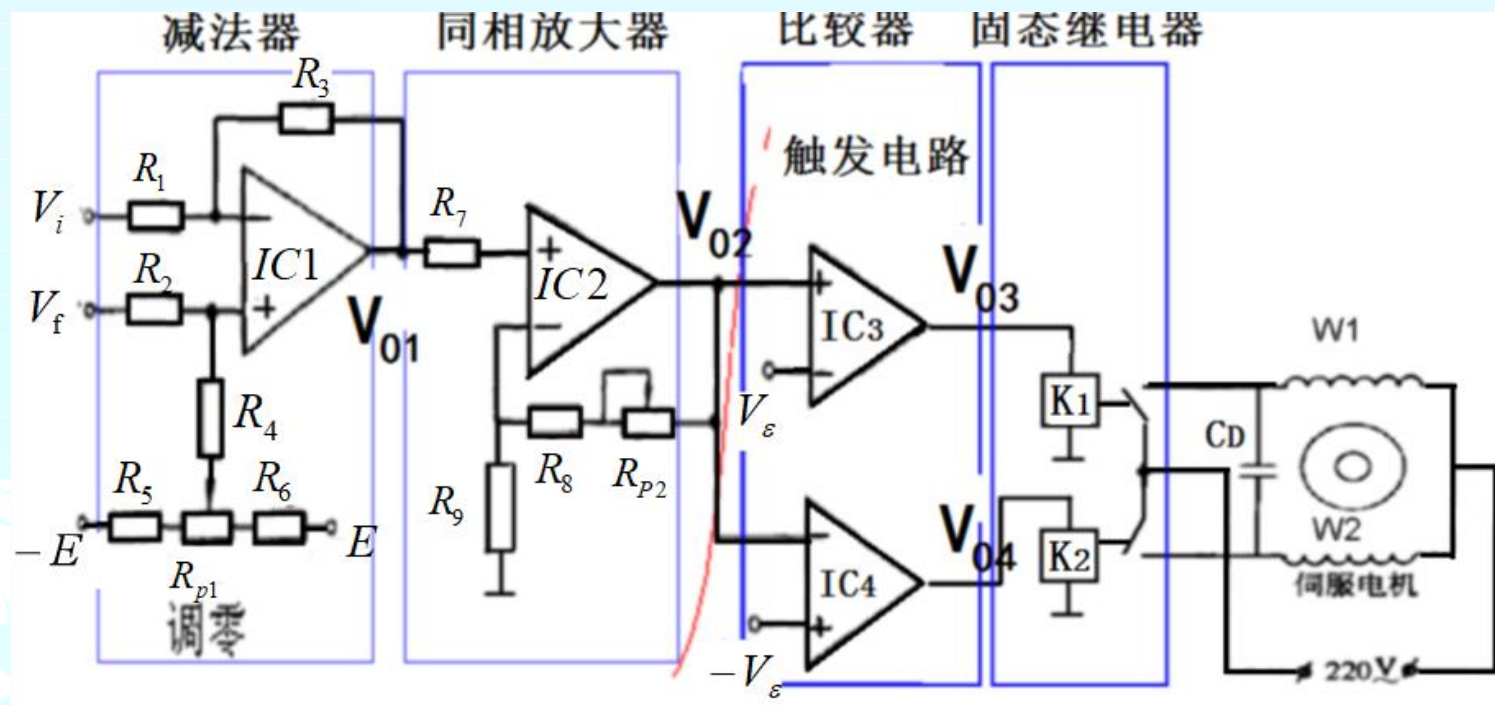


图4-4伺服放大器原理图

4、执行机构

功能：接收伺服放大器的电信号，将其转换为推力及位移的装置。

组成：伺服电机、减速机构、位置发送器。

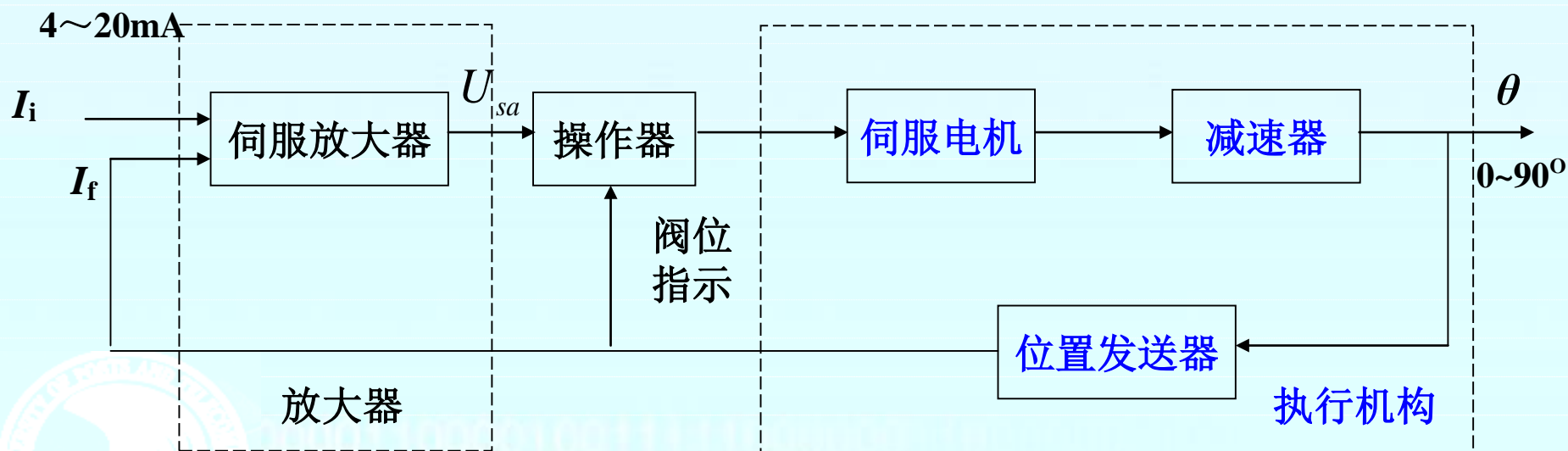


图4-5 执行器执行机构

(1) 伺服电机

将伺服放大器输出的电功率转换成机械转矩。

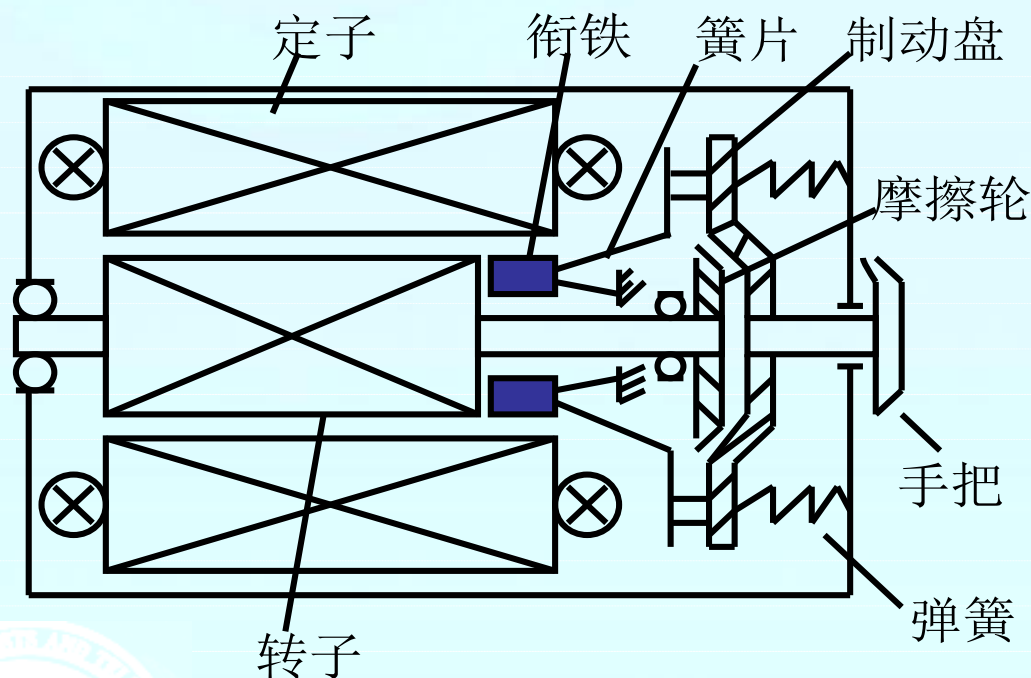


图4-6 两相伺服电机结构示意图

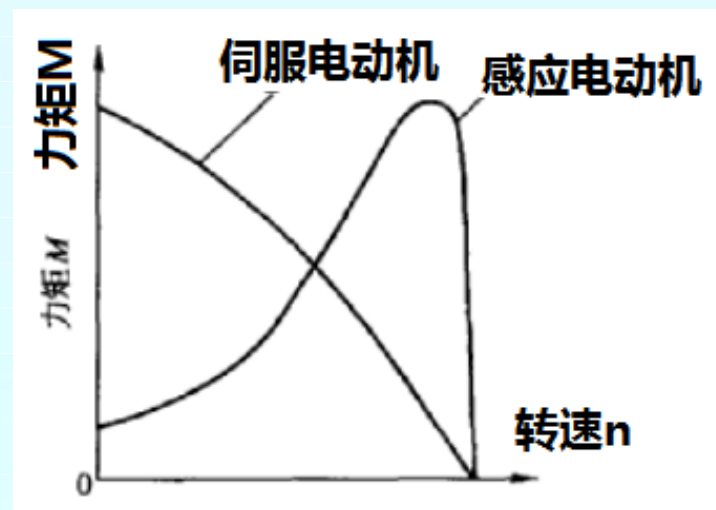


图4-7 电动机特性曲线对比

自动： 定子磁场将衔铁吸向定子的内表面，使簧片弯曲，通过杠杆把制动盘推开，使摩擦轮与制动盘脱开，电机转子自由转动。

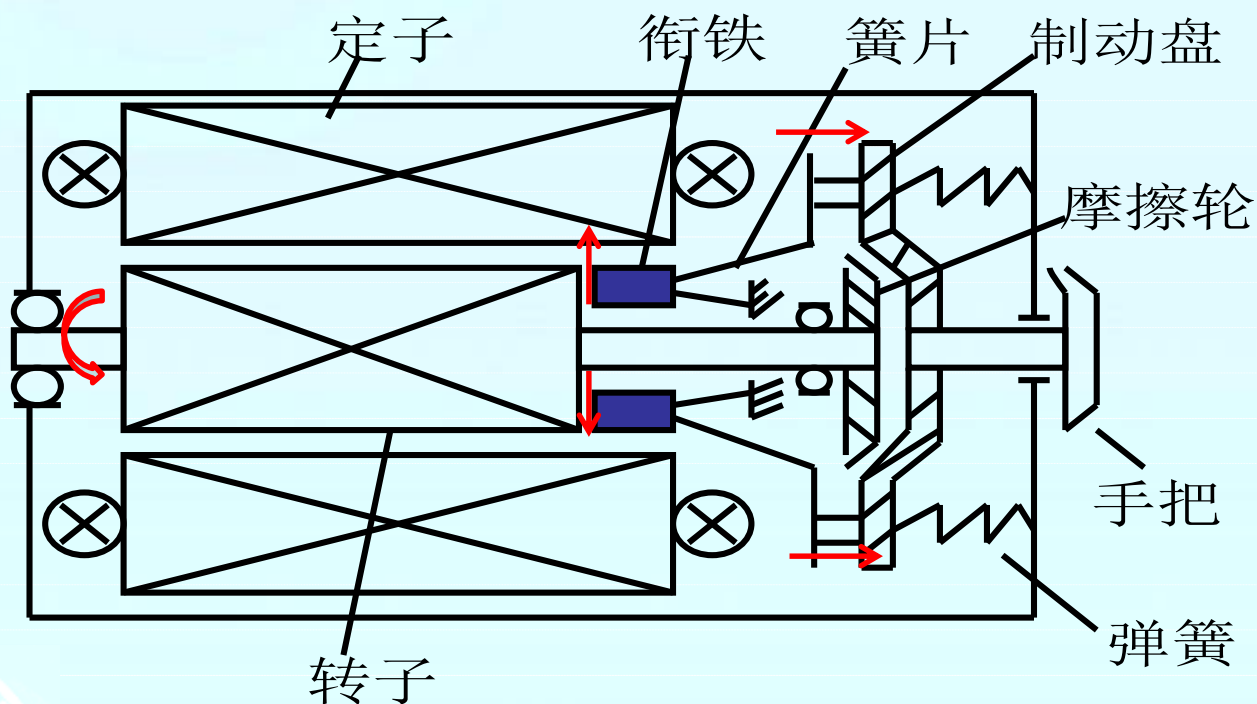


图4-8 伺服电机自动控制

停止：当电动机断电时，定子磁场消失，制动盘被弹簧推向左边与摩擦轮接触，将转子制动。

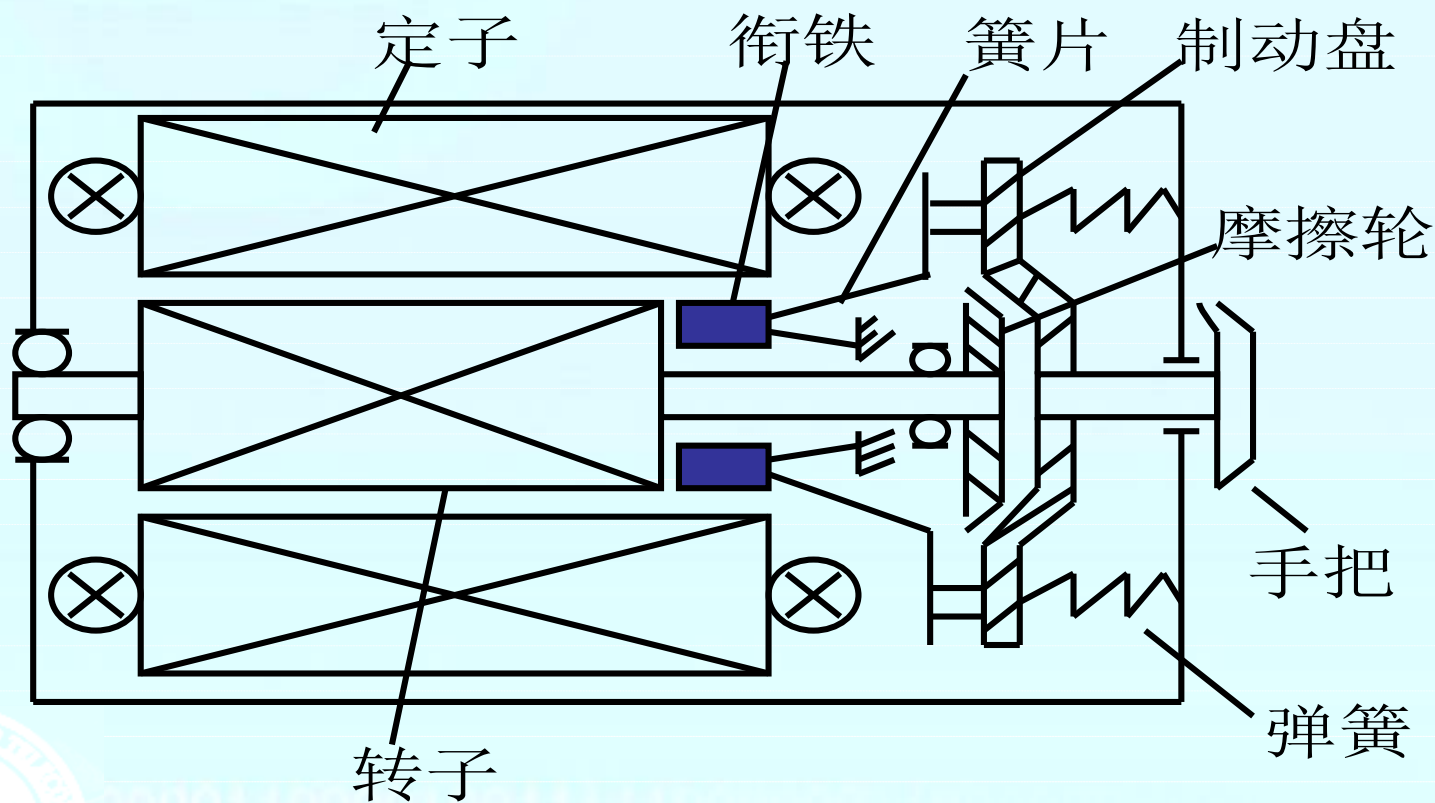


图4-9 伺服电机自动控制

手动：电机右边端盖上的手把，将它拉出使制动盘和摩擦轮脱开，解除制动，人工手动控制。

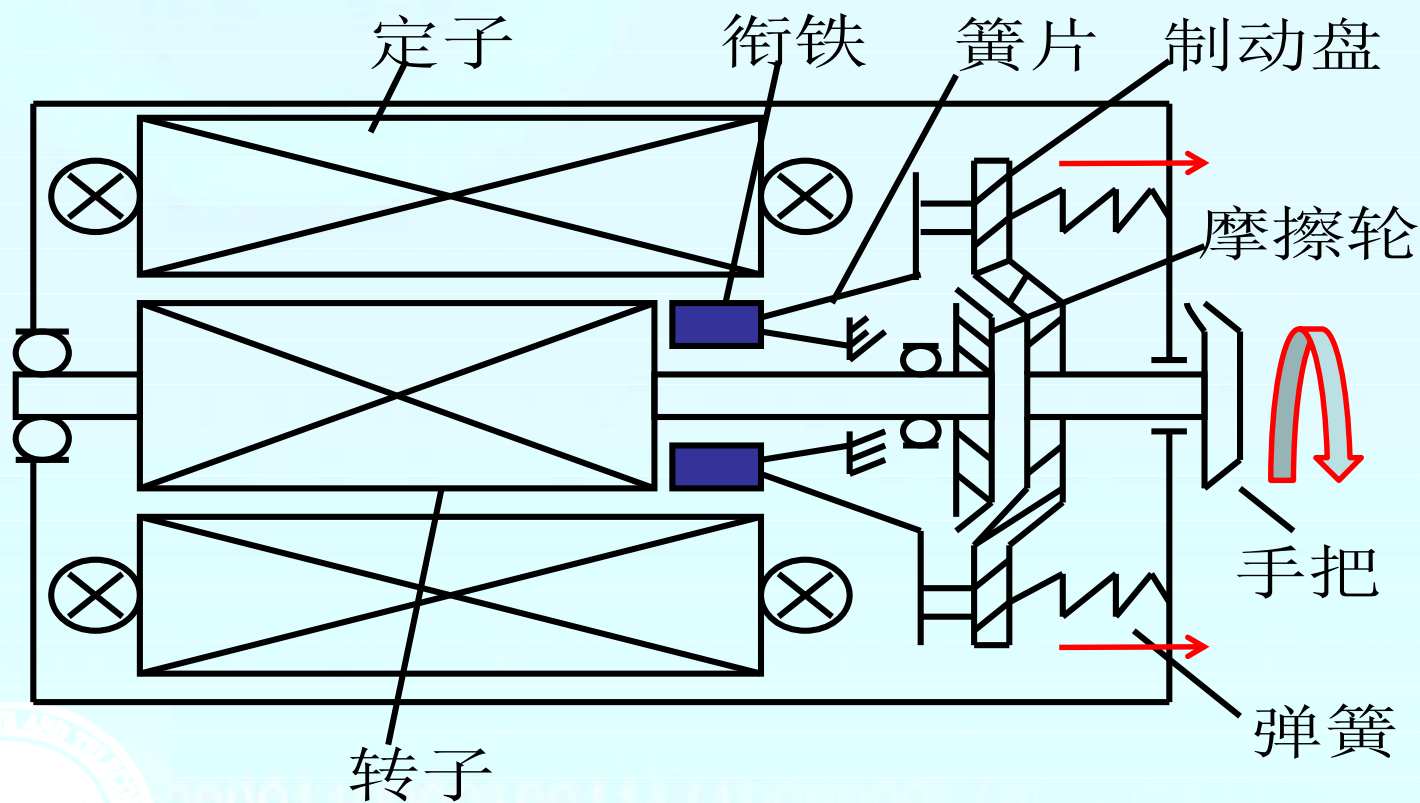


图4-10 伺服电机手动控制

(2) 减速器（减速齿轮）

把高转速小转矩电机输出变为低转速大力矩输出。

$(600 \sim 900 / \text{min}) \rightarrow 0.6 r / \text{min}$ 减速比1000 ~ 1500。

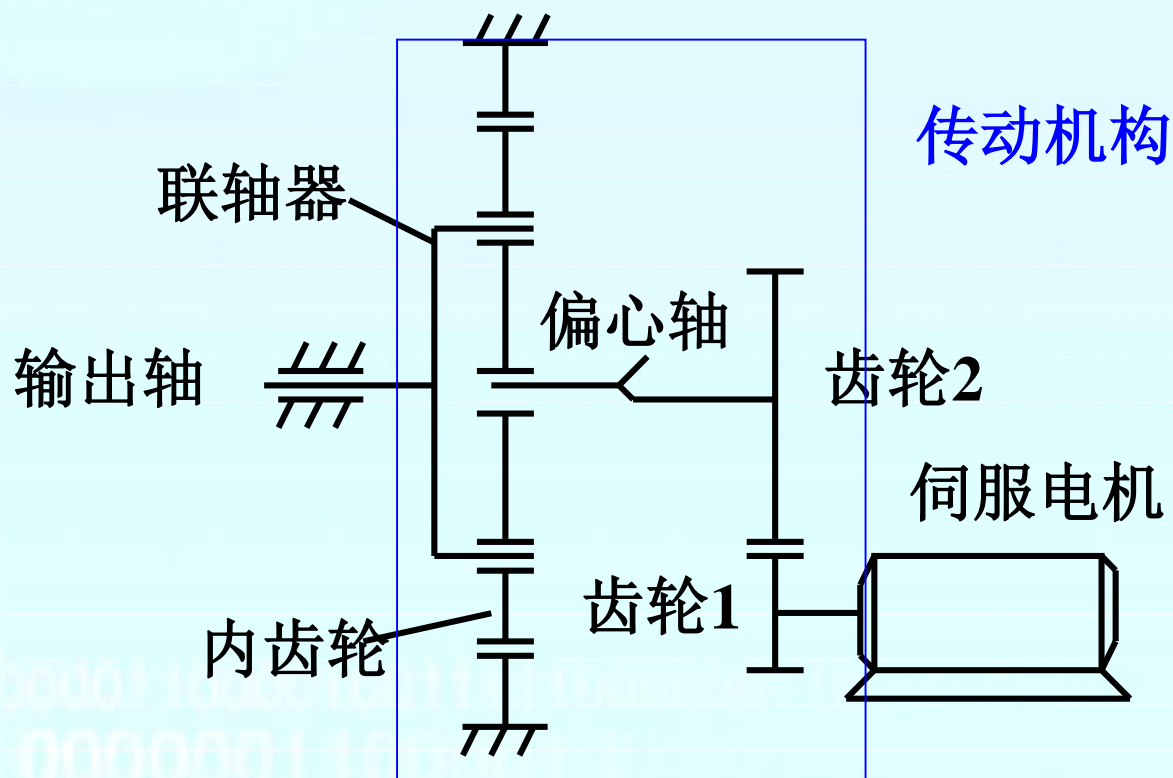


图4-11 减速器结构

(3) 位置发送器

作用：将输出轴 $0\sim 90^\circ$ 的转角转换成 $0\sim 10\text{mA}$ 或 $4\sim 20\text{mA}$ 直流电流，作为阀位信号和反馈信号。

$0\sim 10\text{mA}$

$$0^\circ \sim 90^\circ \rightarrow 0 \sim L_{\max} \rightarrow 0 \sim u_{f\max} \rightarrow 4 \sim 20\text{mA}(I_f)。$$

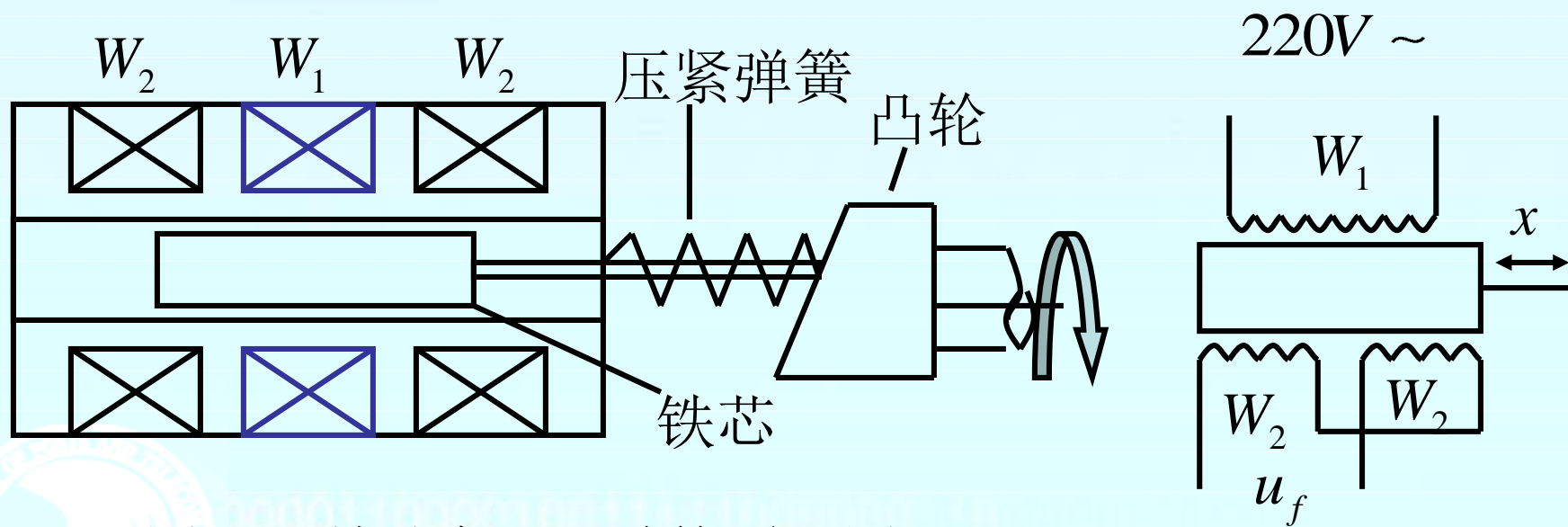
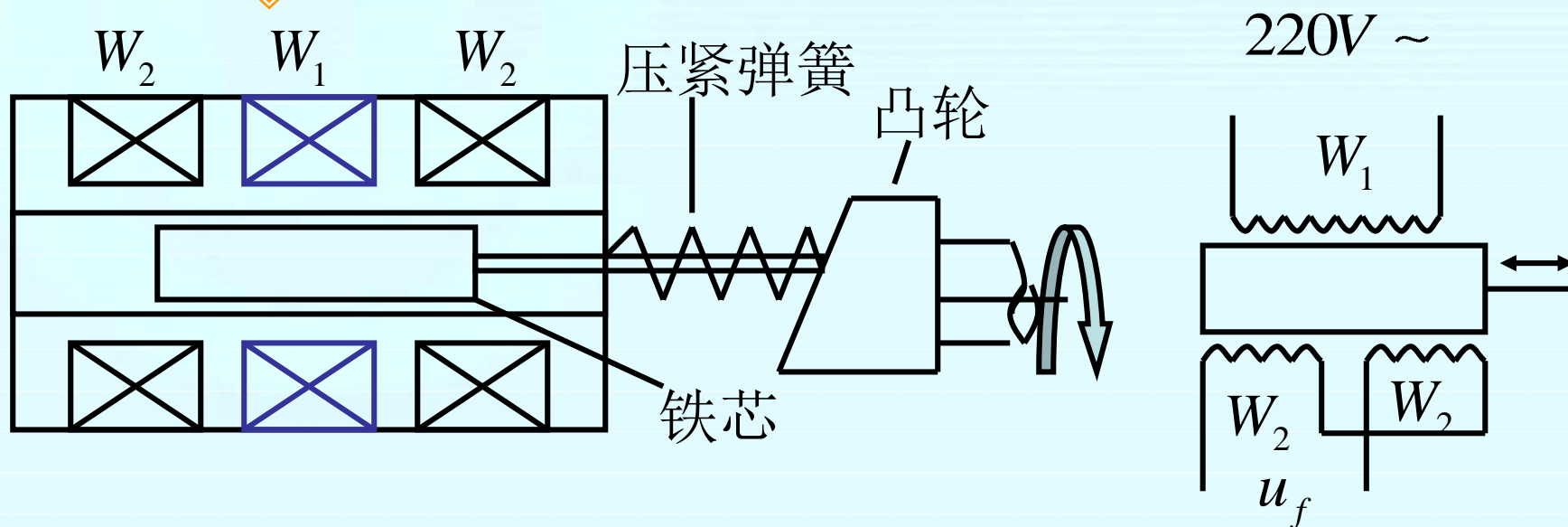


图4-12 差动变压器结构原理图



$$U_f = \frac{\omega(M_1 - M_2)U_1}{\sqrt{r_1^2 + (\omega L_1)^2}} = \pm \frac{2\omega\Delta MU_1}{\sqrt{r_1^2 + (\omega L_1)^2}}$$

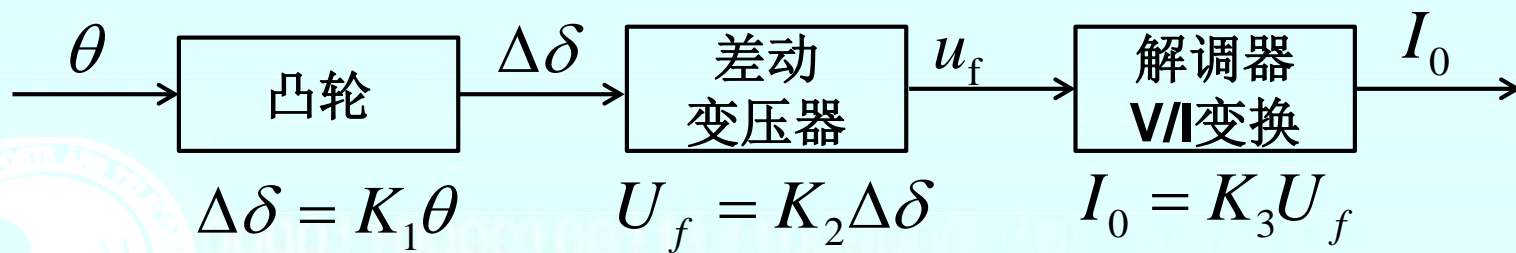


图4-13 位置发送器信号传递框图

1、气动执行器结构

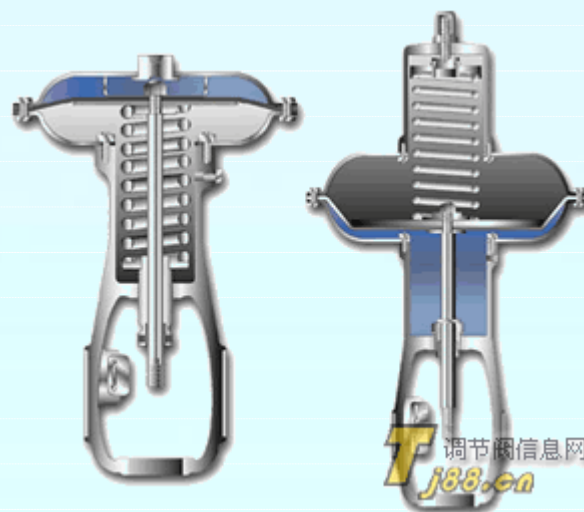
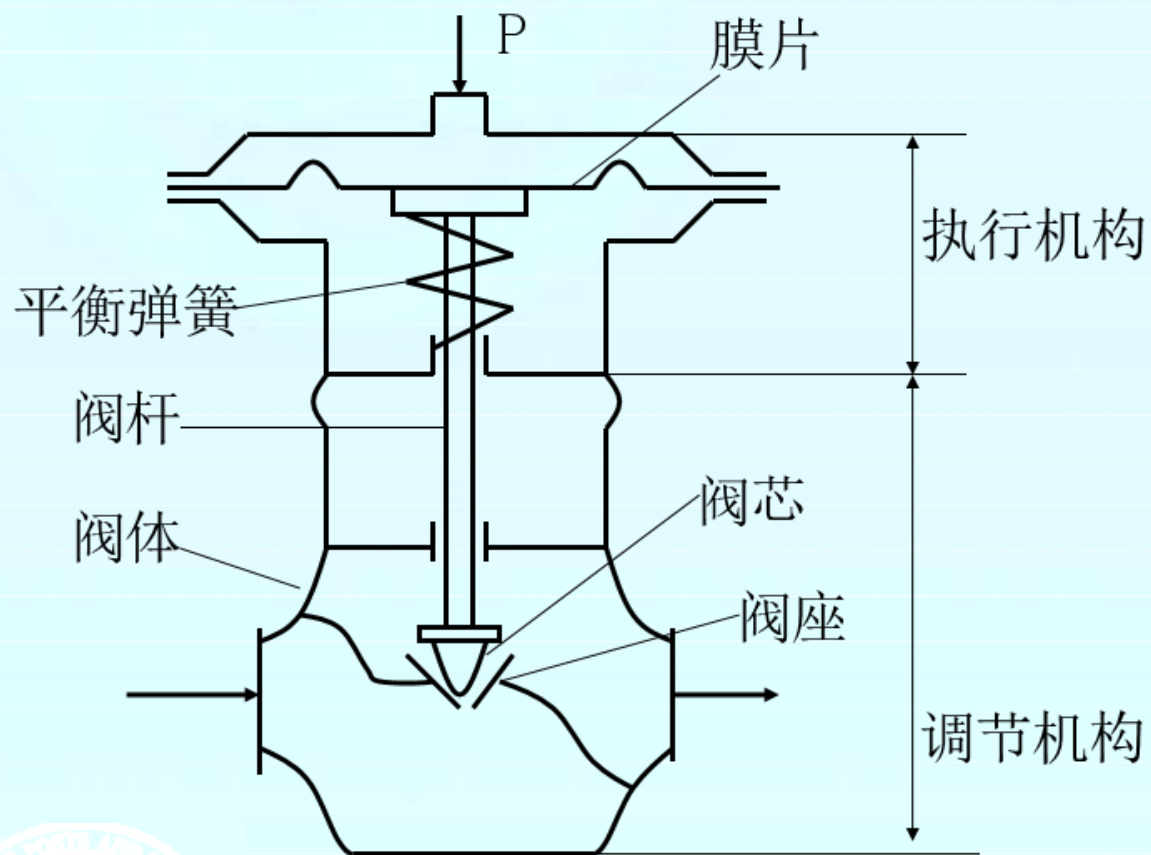


图4-14 气动执行器结构示意图

2、薄膜式气动执行器工作原理

执行机构 $\overset{\text{膜片A}}{p \rightarrow \rightarrow F \rightarrow L}$

调节机构 $L \rightarrow \text{阀芯阀座开度变化} \rightarrow \text{流量变化}$

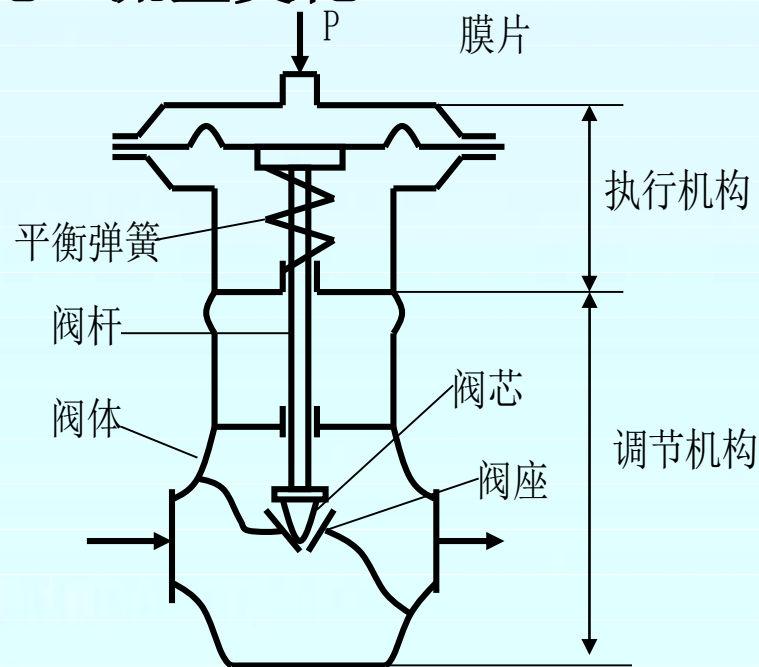
原理公式

$$pA = KL \quad L = \frac{A}{K} p$$

$$p : p_{\min} \rightarrow p_{\max} \rightarrow L : 0 \rightarrow L_{\max}$$

阀门全开（全关） \rightarrow 全关（全开）

气开阀，气关阀

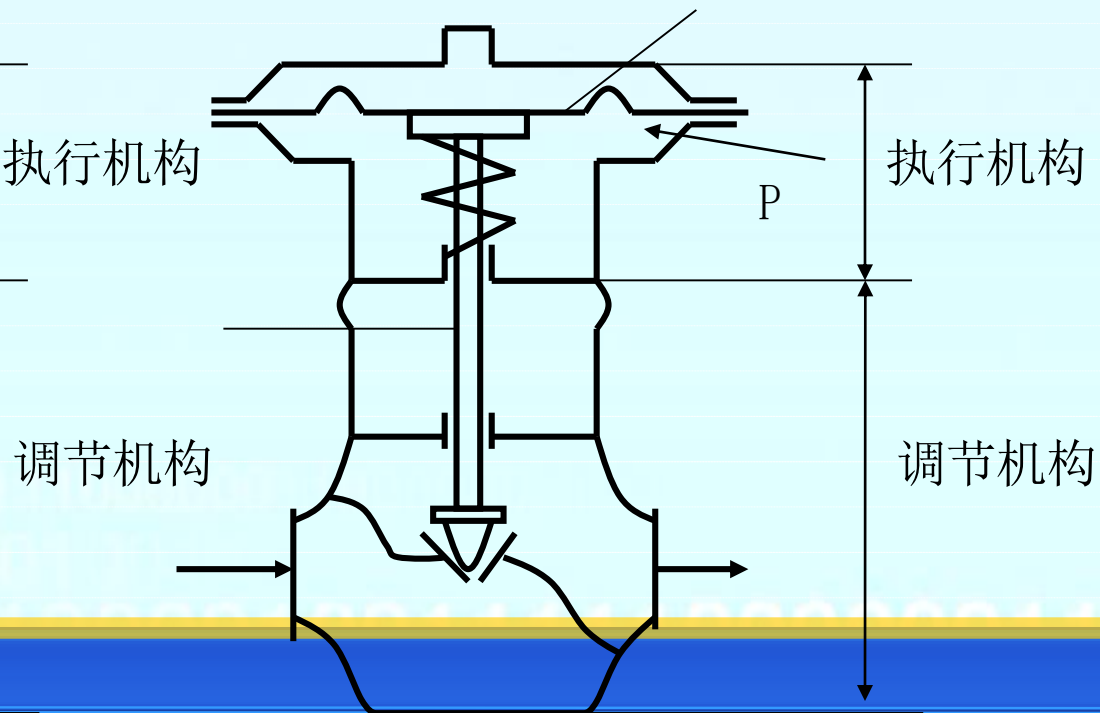
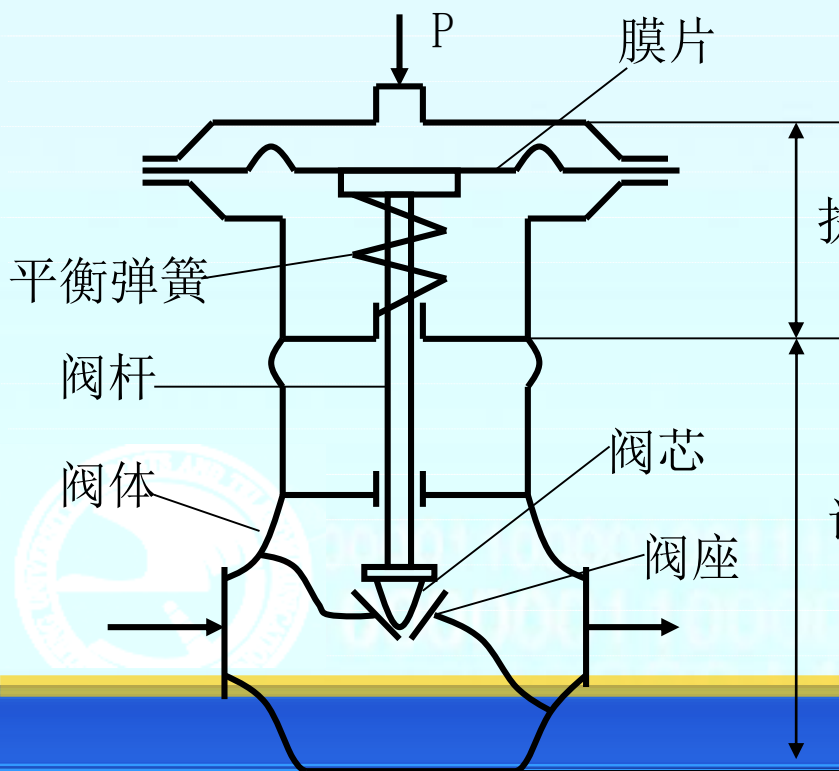


3、执行机构与调节机构的作用方式

执行机构作用方式

正作用：P送入膜室的上腔，
P增加，阀杆下移。

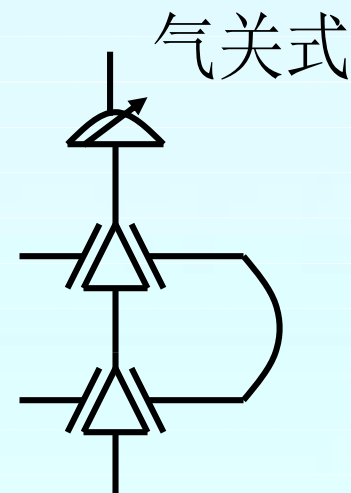
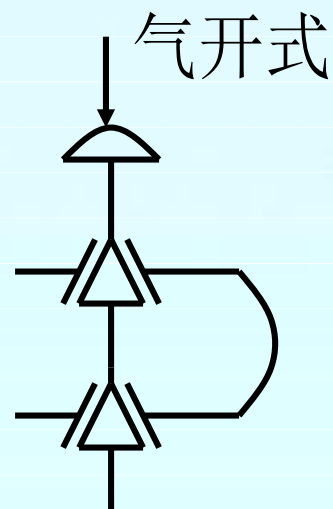
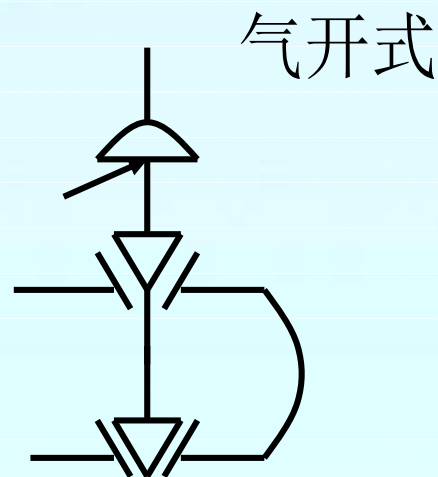
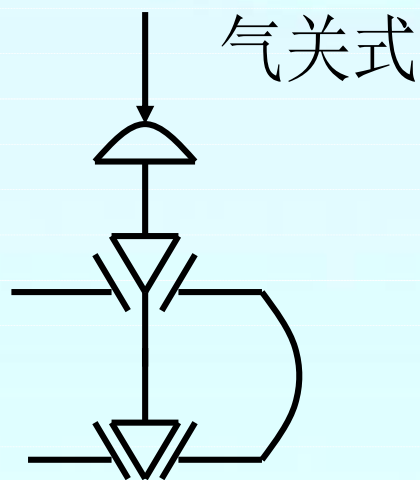
反作用：P送入膜室的下腔，
P增加，阀杆上移。



调节机构的作用方式：**气关式和气开式。**

气关式：**P**增大，阀门关小。

气开式：**P**增大，阀门开大。



调节阀有正装和反装两种。执行器的作用方式有四种组合。

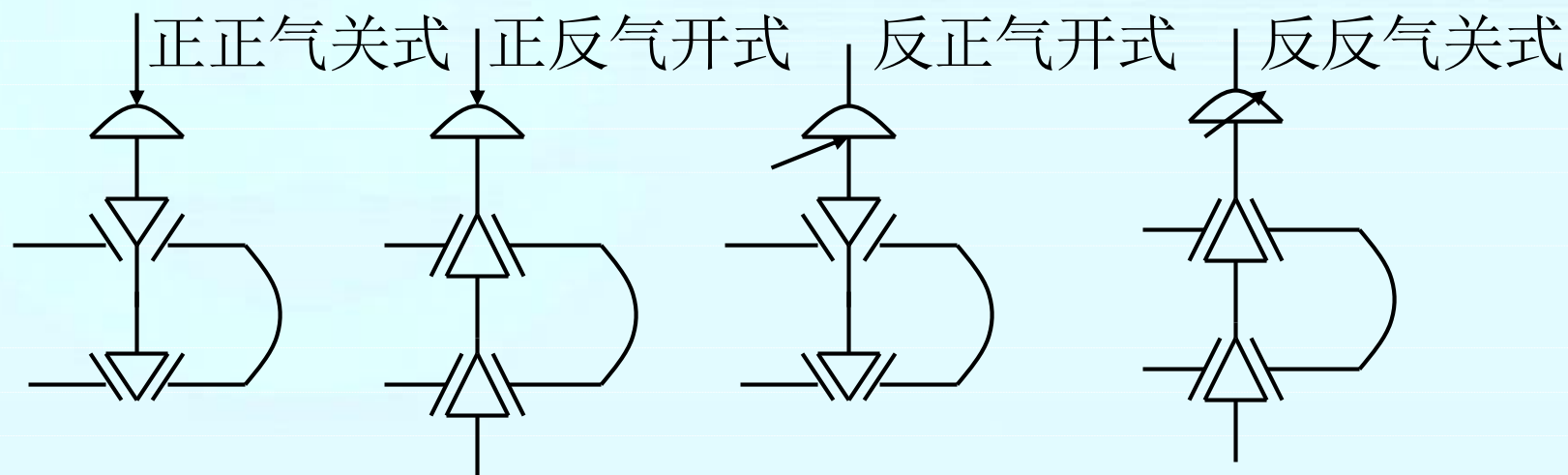


图4-14执行器的作用方式

选择作用方式原则是：当工作气源中断时，气动信号消失，阀门的位置应是最经济、安全的。（安全阀位）

例：油料储罐出口阀应是 气开阀。

锅炉给水阀应是 气关阀。

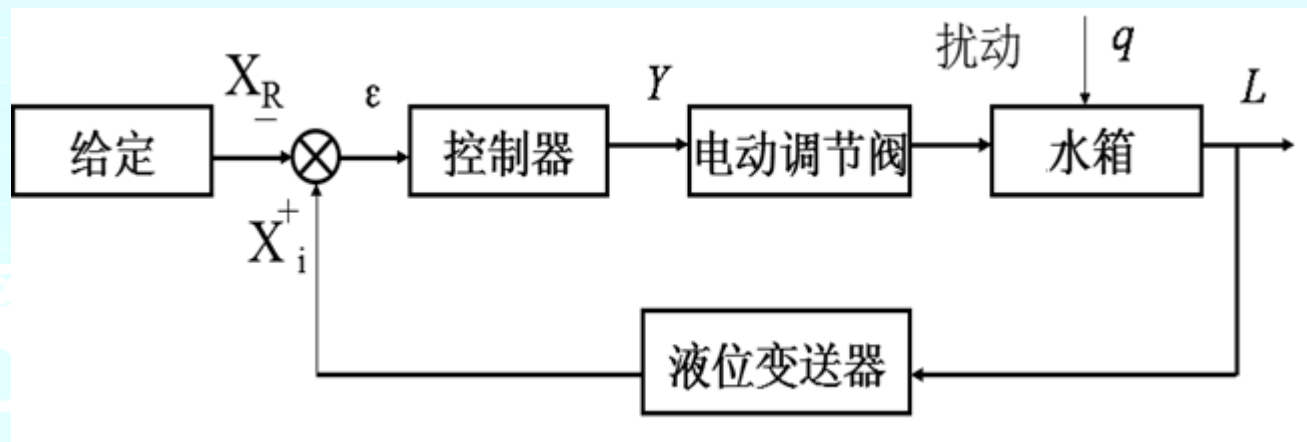
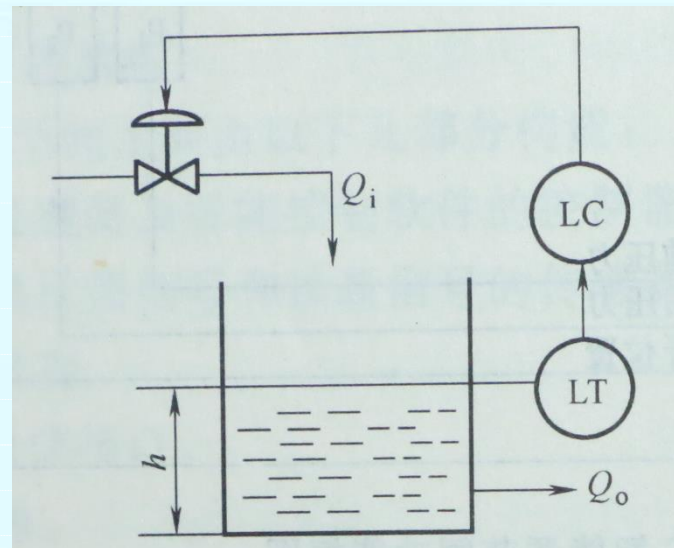
4、执行器应用举例

例1：储槽液位控制系统如图。

画出控制系统框图。

若储槽液体不能溢出，选择何种阀？

控制器的作用方向。



例1解答：从安全性考虑，为防止储槽液体溢出，应选择气（电）开阀。

控制系统各个环节作用方向为，对象 $+$ ，变送器 $+$ ，调节阀 $+$ 。为了构成负反馈控制系统，控制器为 $-$ ，控制器应选择反作用。

也可这样判断，当液位升高时，应关小阀门，阀为气开阀。控制器输出信号应减小，控制器为反作用。

例2：锅炉锅筒液位控制系统如图。

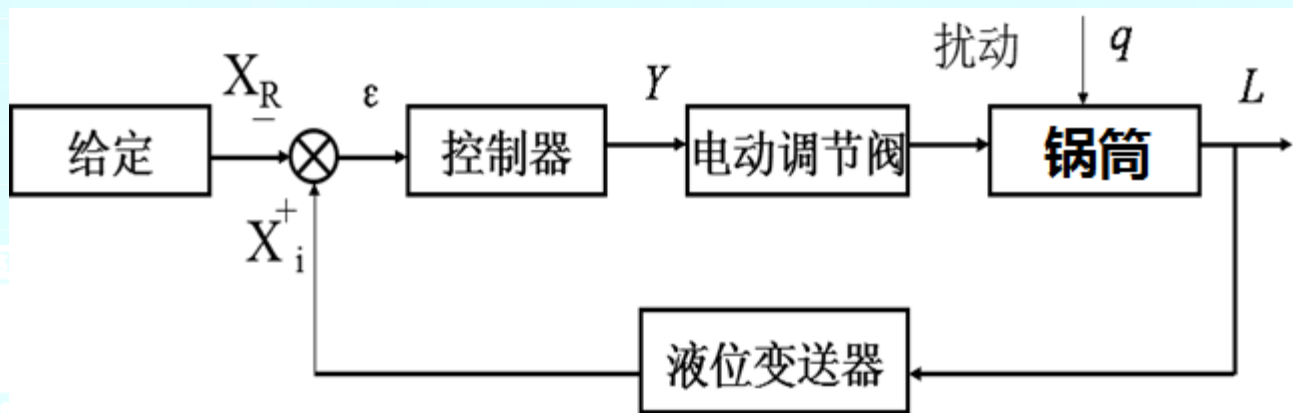
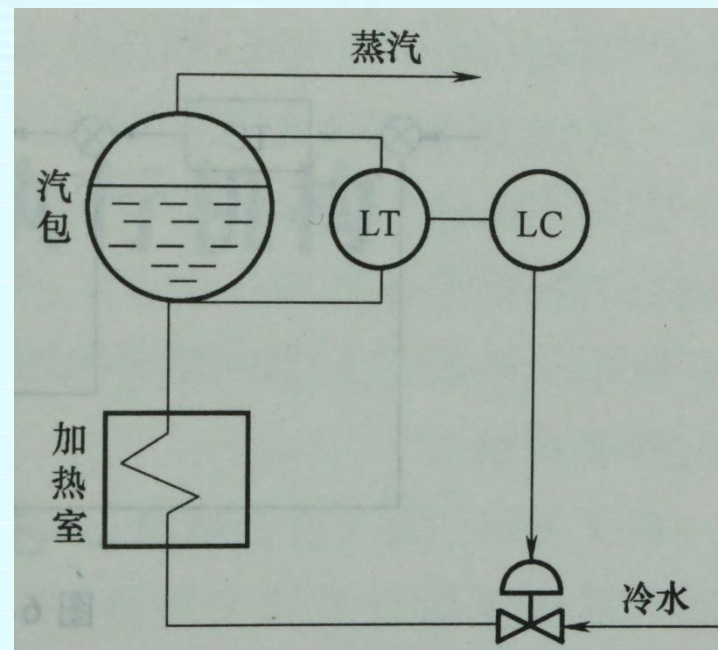
要求锅炉不能烧干，画出控制系统框图。

选择何种阀？

控制器的作用方向。

加热室温度升高导致蒸汽量增加时，

控制系统如何克服扰动？



例2解答：

控制系统框图如图。

锅炉不能烧干，从安全性考虑，故障时无控制信号阀门应全开。控制阀应选电（气）关式。

差压变送器“+”，对象“+”，调节阀“-”。为了构成闭环负反馈系统，控制器+，即正作用方式。

也可当液位升高时，应关小阀门，少进冷水。阀为气关阀，控制器输出信号应增加，控制器为正作用方式。

加热室温度升高导致蒸汽量增加时，液位下降，偏差减小，控制器输出信号减小，阀门开度增加，进水量增加，液位上升，克服干扰。

例3：反应器温度控制系统如图。

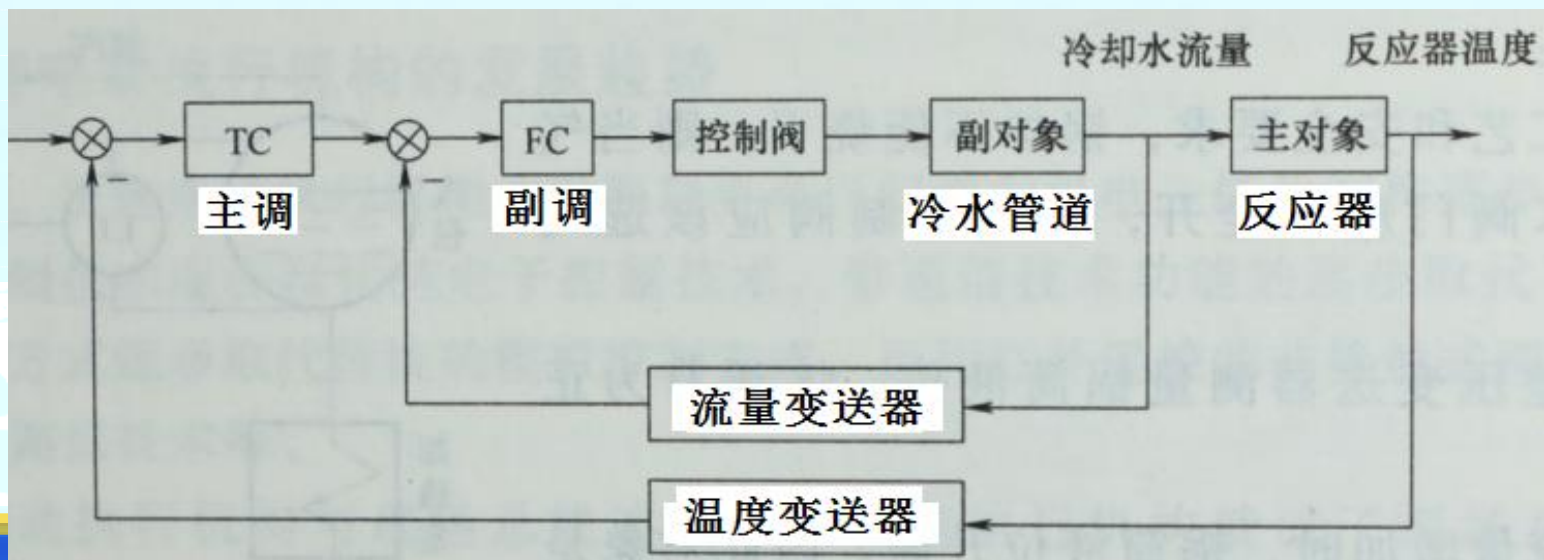
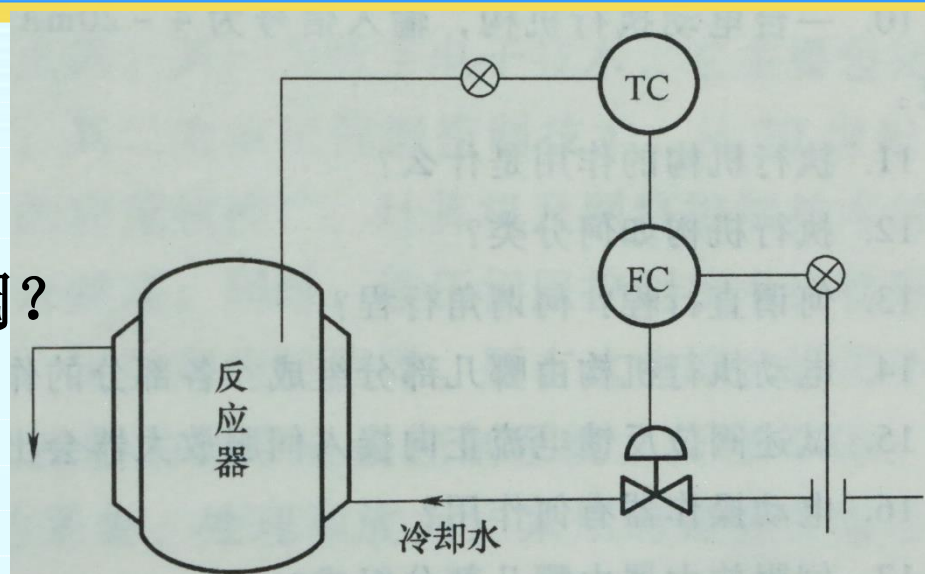
画出控制系统框图。

反应器温度不能过高，选择何种阀？

控制器的作用方向。

冷水压力突然升高，简述该

控制系统的调节过程。温度突然下降呢？



例3解答： 控制系统框图如图。

温度不能过高，气源中断时阀门应全开，应选气关式。

方法一：负反馈法。各个环节乘积为负。

阀-，副对象+，流量变送器+，副控制器+，正作用。

广义副对象为+，主对象-，温度变送器+，主控制器+，正作用。

方法二：过程分析法。

副调节器流量增大时，关小阀门，副控制器输出信号应增大，副控制器为正作用方式。

温度升高偏差增大时，开大阀门，副调节器输出信号减小，副调节器设定信号应增大，即主调节器输出信号增大。主控制器为正作用方式。

冷水压力突然升高，流量增大，副调节器偏差增大，输出信号增大，关小阀门。克服扰动。

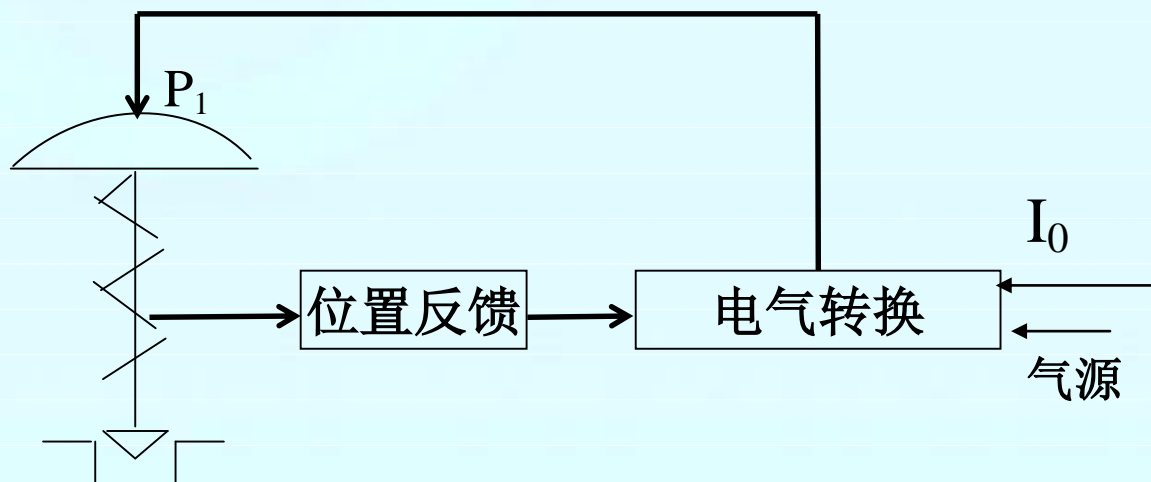
$$P \uparrow \rightarrow Q \uparrow \rightarrow \varepsilon \uparrow \rightarrow u_2 \uparrow \rightarrow \text{阀门关小} \rightarrow Q \downarrow$$

温度下降，主调节器输出减小，副调节器设定值减小，副调节器输出增大，关小阀门，冷水流量下降，温度上升。克服扰动。

$$t \downarrow \rightarrow \varepsilon \downarrow \rightarrow u_1(x_{2_S}) \downarrow \rightarrow u_2 \uparrow \rightarrow \text{阀门关小} \rightarrow Q \downarrow \rightarrow t \uparrow$$

1、作用

电气转换及阀门定位，调节阀精确快速定位。



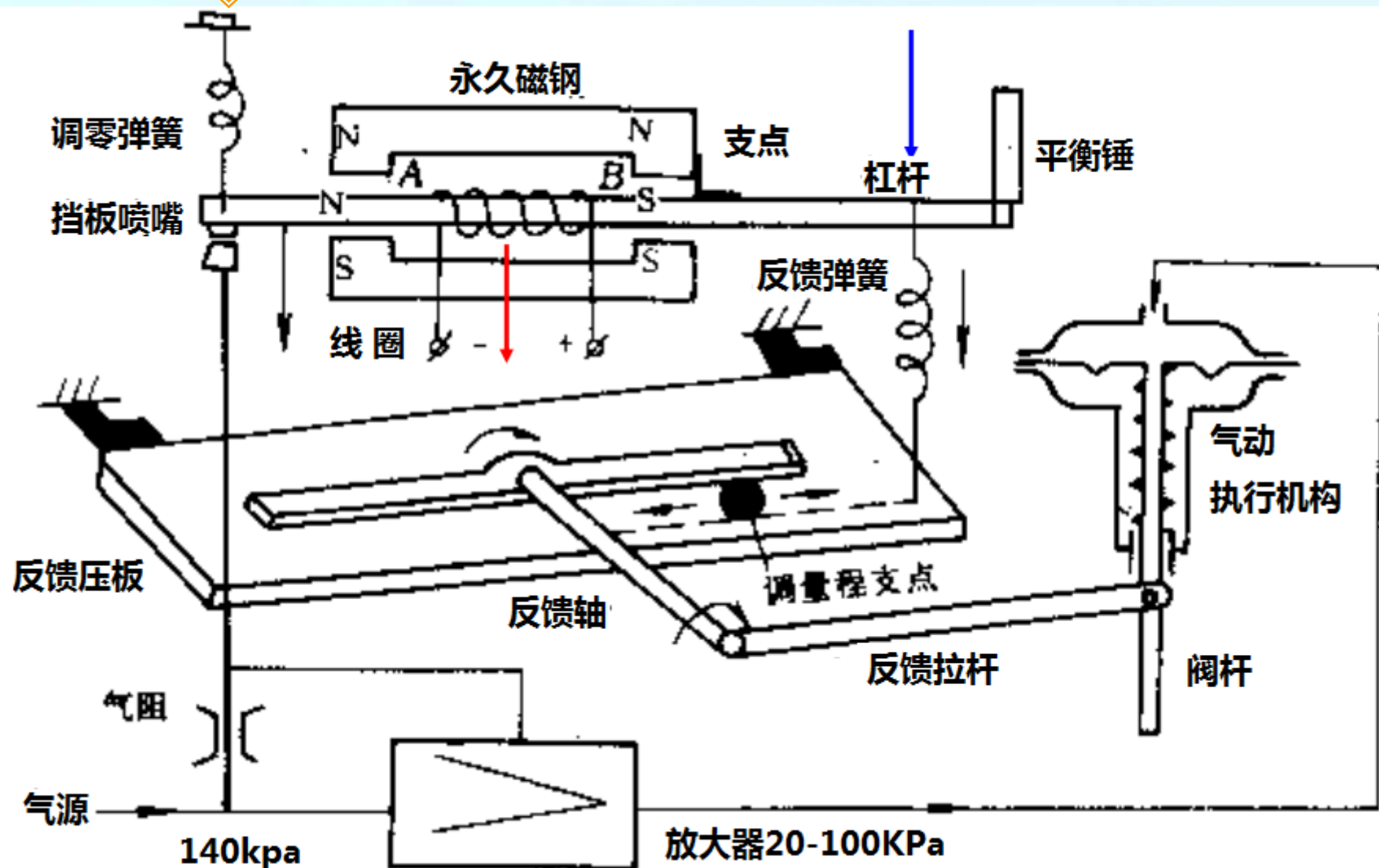
4-15 阀门定位器示意图

2、工作原理

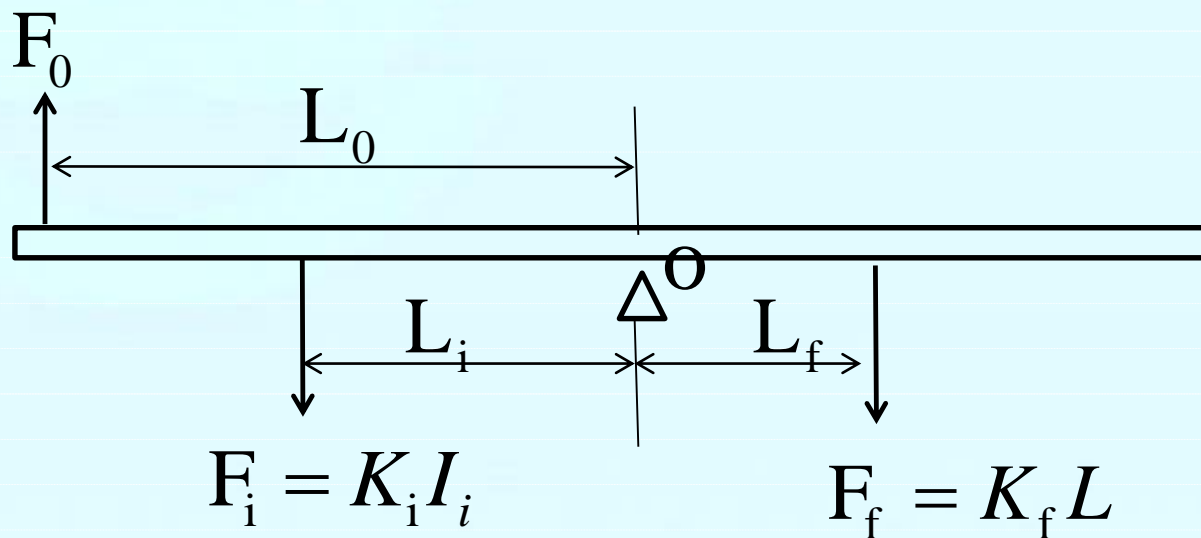
气压-位移负反馈系统。力矩平衡原理工作。

4.4

电气阀门定位器



力矩平衡原理示意图



$$M_i = K_i L_i I_i$$

$$M_i = M_0 + M_f$$

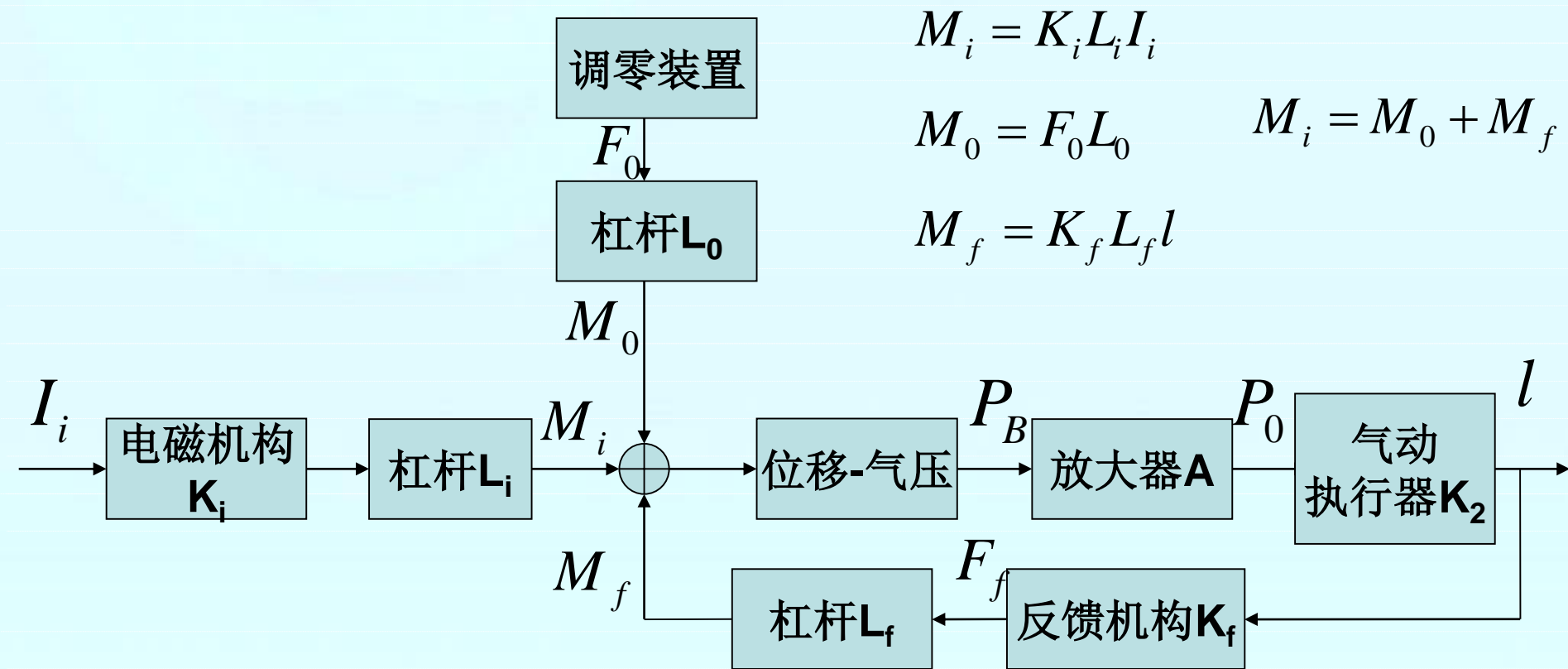
$$M_0 = F_0 L_0$$

$$M_f = K_f L_f l$$

$$l = \frac{K_i L_i}{K_f L_f} I_i - \frac{F_0 L_0}{K_f L_f}$$

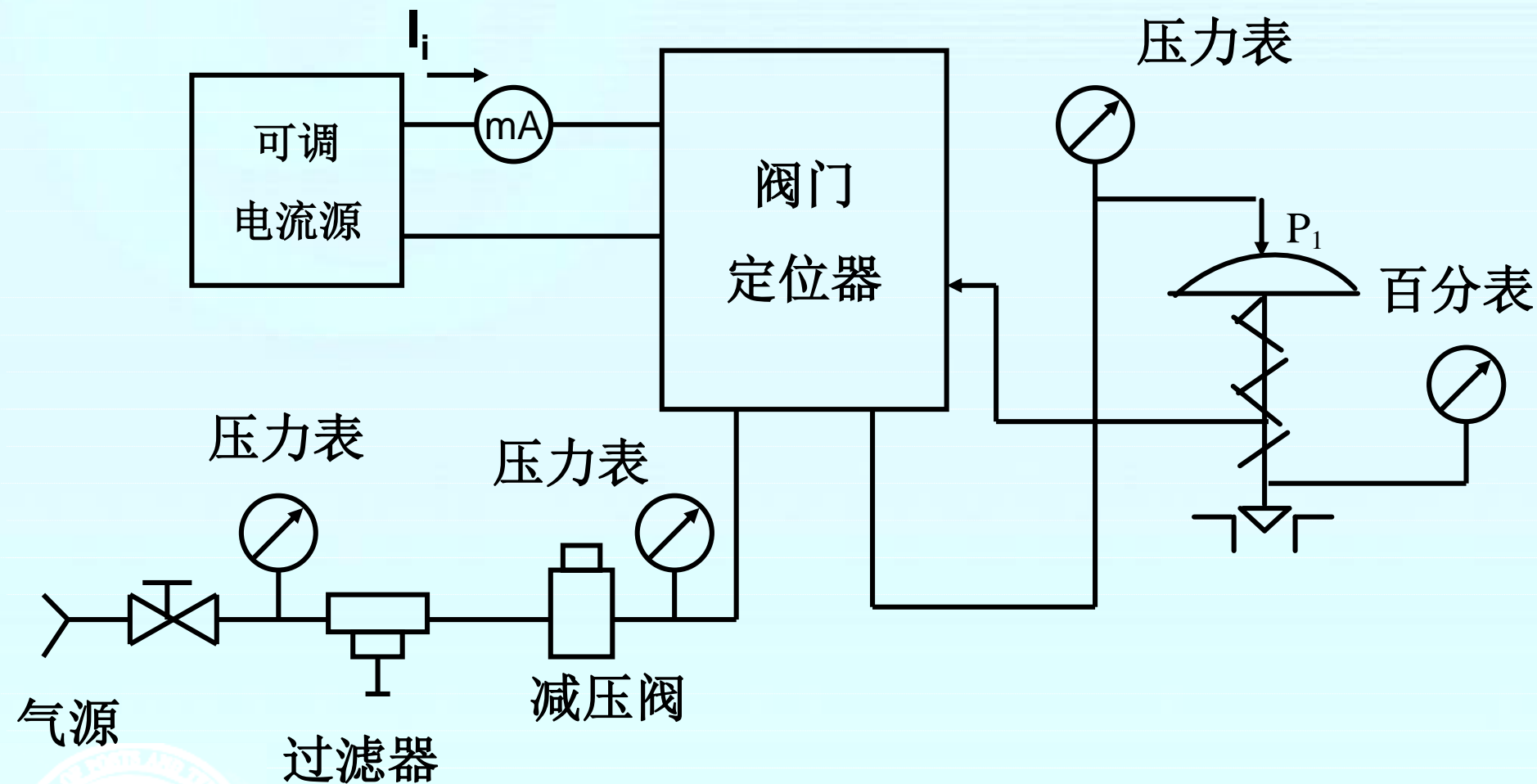
4-20mA ADC 转换为 $0-I_{\max}$

电气定位器机电系统框图



$$l = \frac{K_i L_i}{K_f L_f} I_i - \frac{F_0 L_0}{K_f L_f}$$

4-20mA ADC 转换为 0- I_{\max}



4-17 阀门定位器校验原理框图

零位调整，调调零螺钉

当 $I_i = 4mA$ 使 $P_1 = 20kPa$ $l = 0$

量程调整，调量程螺钉（支点）

当 $I_i = 20mA$ 使 $P_1 = 100kPa$ $l = l_{\max}$

调量程支点右移， l_f 减小， l 量程增大。

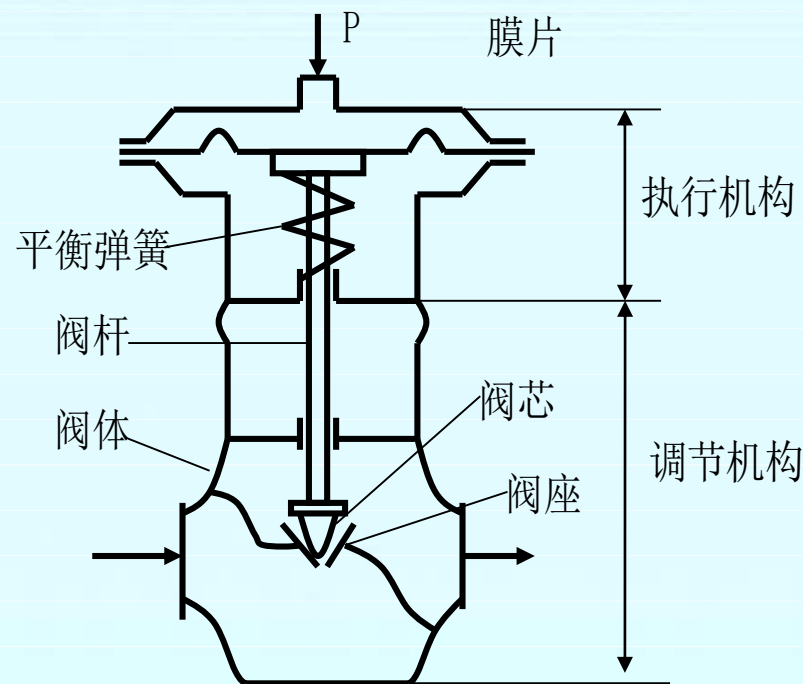
调量程支点左移， l_f 增大， l 量程减小。

$$l = \frac{K_i L_i}{K_f L_f} I_i - \frac{F_0 L_0}{K_f L_f}$$

1、阀体部件流量方程

$$q_v = \frac{5.09A}{\sqrt{\zeta}} \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} = K_v \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}$$

$$\frac{\Delta L}{L} \uparrow \rightarrow \zeta \downarrow \rightarrow \frac{\Delta Q}{Q} \uparrow$$



K_v (流量系数)：标准压差 (**100kPa**)，一定水温 (**5-40°C**)，介质密度为**1g/cm³**时，每小时流经阀体部件的流量数**m³/h**。

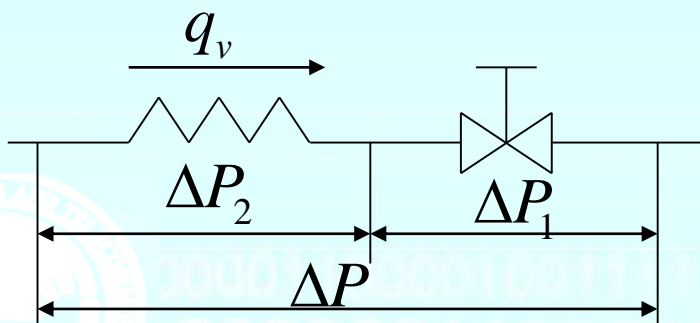
2、阀体部件的可调比

阀体部件的理想可调比

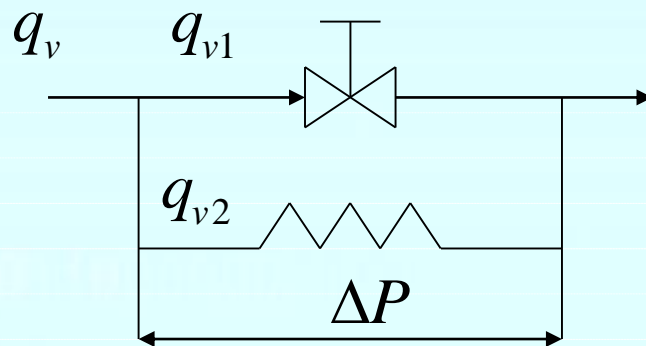
$$R = \frac{q_{v\max}}{q_{v\min}} = \frac{K_{V\max} \sqrt{\Delta P / \rho}}{K_{V\min} \sqrt{\Delta P / \rho}} = \frac{K_{V\max}}{K_{V\min}}$$

如**R=30**，阀前后压差一定，反映阀体部件的调节能力。

实际阀体工作状态



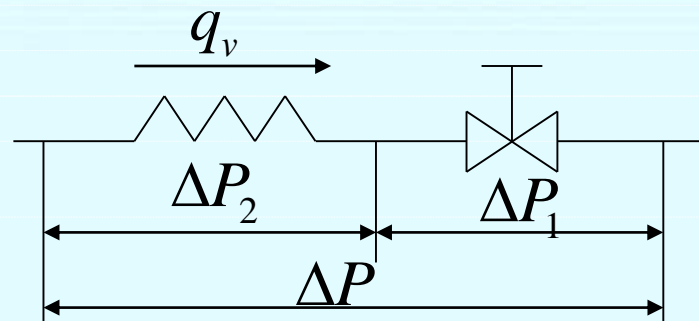
串联管道



并联管道

(1) 串联管道实际可调比

$$R_r = \frac{q_{v1\max}}{q_{v1\min}} = \frac{K_{V\max} \sqrt{\Delta P_{1\min} / \rho}}{K_{V\min} \sqrt{\Delta P_{1\max} / \rho}} = R \sqrt{\frac{\Delta P_{1\min}}{\Delta P}}$$

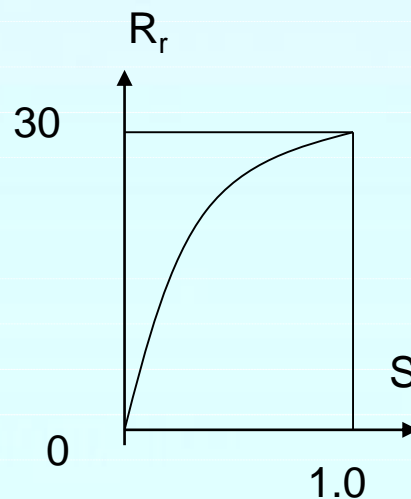


串联管道

$$R_{\text{实际}} = R \sqrt{\frac{\Delta p_{1\min}}{\Delta p}} = R \sqrt{S} \quad S \downarrow \rightarrow R_{\text{实}} \downarrow$$

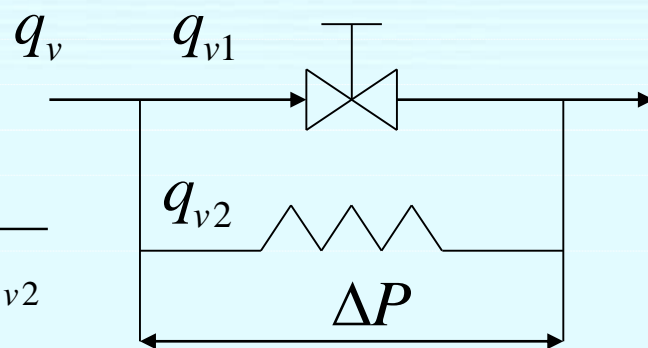
S: 阀阻比

S 越小，串联管道压力损失越大，实际可调范围越小。



(2) 并联管道实际可调比

$$R_{\text{实际}} = \frac{\text{总管最大流量}}{\text{阀体最小流量} + \text{旁路流量}} = \frac{q_{v\max}}{q_{v1\min} + q_{v2}}$$



并联管道

工况1：旁路阀关闭

$$R_{\text{实际}} = \frac{q_{v\max}}{q_{v1\min} + q_{v2}} = \frac{q_{v1\max}}{q_{v1\min}} = R$$

工况2：旁路阀全开

$$R_{\text{实际}} = \frac{q_{v\max}}{q_{v1\min} + q_{v2}} \approx \frac{q_{v\max}}{q_{v2}} \quad (q_{v2} \gg q_{v1\min})$$

实际可调比与阀体可调比无关。

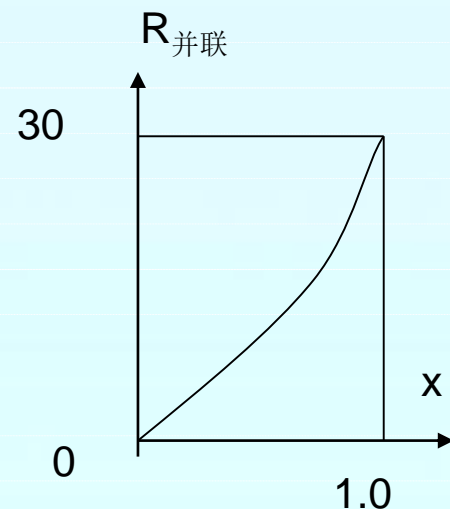
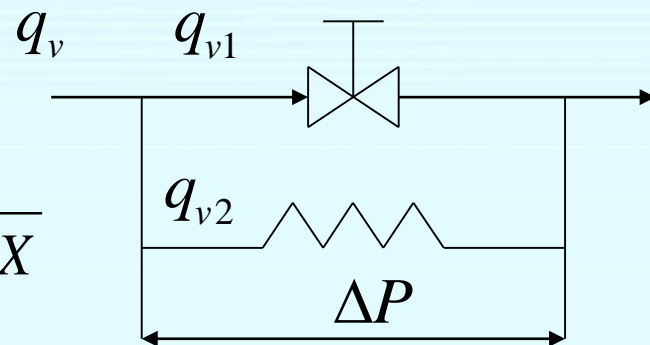
工况3：旁路阀开度可变

$$R_{\text{实际}} = \frac{q_{v\max}}{q_{v1\min} + q_{v2}} = \frac{q_{v\max}}{\frac{Xq_{v\max}}{R} + (1-X)q_{v\max}} = \frac{R}{R - (R-1)X}$$

$$q_{v1\min} = \frac{q_{v1\max}}{R} = X \frac{q_{v\max}}{R} \quad X = \frac{q_{v1\max}}{q_{v\max}}$$

$$q_{v2} = q_{v\max} - q_{v1\max} = q_{v\max}(1-X)$$

$$X \downarrow \rightarrow q_{v2} \uparrow \rightarrow R_{\text{实际}} \downarrow$$



并联管道，旁路流量越大，实际可调比越小。

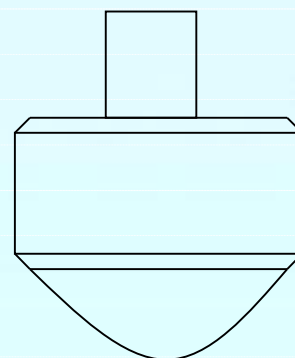
(3) 阀体部件的流量特性

阀体部件的流量特性原理式

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

① 直线流量特性

$$d\left(\frac{q_v}{q_{v\max}}\right) = K d\left(\frac{l}{L}\right)$$



阀体单位相对位移的变化引起相对流量变化是常数。

积分

$$\frac{q_v}{q_{v\max}} = K \frac{l}{L} + C$$

边界条件 $l=0 \quad q_v = q_{v\min}$

$l=L \quad q_v = q_{v\max}$

$$C = \frac{q_{v\min}}{q_{v\max}} = \frac{1}{R} \quad K = 1 - \frac{1}{R}$$

直线流量特性

$$\frac{q_v}{q_{v\max}} = \frac{1}{R} + \left(1 - \frac{1}{R}\right) \frac{l}{L}$$

直线阀适合负荷变化不大中等流量场合。

$$\Delta\left(\frac{l}{L}\right) = 10\%$$

$$\Delta\left(\frac{q}{q_{\max}}\right) = 10\%$$

$$\frac{l}{L} = 10\% \quad , \quad \Delta\left(\frac{q_1}{q_{\max}}\right) / (q_1/q_{\max}) = \frac{20-10}{10} \times 100\% = 100\%$$

$$\frac{l}{L} = 50\% \quad \Delta\left(\frac{q_2}{q_{\max}}\right) / (q_2/q_{\max}) = \frac{60-50}{50} \times 100\% = 20\%$$

$$\frac{l}{L} = 80\% \quad \Delta\left(\frac{q_3}{q_{\max}}\right) / (q_3/q_{\max}) = \frac{90-80}{80} \times 100\% = 12.5\%$$

思考：

小负荷与大负荷时，
流量变化率情况

直线流量特性阀举例

$$q_{v\max} = 60m^3 / h, q_{v\min} = 3m^3 / h \quad L = 10mm, \quad l = 5mm \text{ 时,} \\ q_v = ?$$

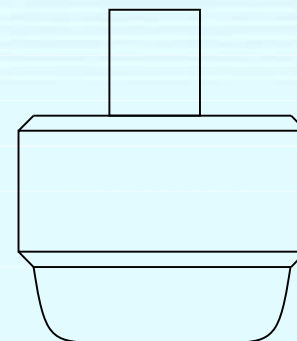
$$\frac{q_v}{q_{v\max}} = \frac{1}{R} + \left(1 - \frac{1}{R}\right) \frac{l}{L} \quad R = \frac{q_{v\max}}{q_{v\min}} = \frac{60}{3} = 20$$

$$\frac{q_v}{60} = \frac{1}{20} + \left(1 - \frac{1}{20}\right) \frac{5}{10} \quad q_v = 31.5m^3 / h$$



② 等百分比（对数）流量特性

$$\frac{d(\frac{q_v}{q_{v\max}})}{d(\frac{l}{L})} = K \frac{q_v}{q_{v\max}}$$



阀体单位相对位移的变化引起相对流量变化率是常数。

积分 $\ln \frac{q_v}{q_{v\max}} = K \frac{l}{L} + C$

边界条件 $l=0 \quad q_v = q_{v\min} \quad C = -\ln R \quad K = \ln R$
 $l=L \quad q_v = q_{v\max}$

等百分比（对数）流量特性

$$\frac{q_v}{q_{v\max}} = R^{(\frac{l}{L}-1)}$$

等百分比（对数）流量特性

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

I/L=10%

$$\left(\frac{q_v}{q_{v\max}}\right) = 30^{0.1-1} \approx 4.68\% \quad \text{测得} \Delta\left(\frac{q_v}{q_{v\max}}\right) = 1.9\%$$

I/L=50%

$$\left(\frac{q_v}{q_{v\max}}\right) = 30^{0.5-1} \approx 18.3\% \quad \text{测得} \Delta\left(\frac{q_v}{q_{v\max}}\right) = 7.4\%$$

I/L=80%

$$\left(\frac{q_v}{q_{v\max}}\right) = 30^{0.8-1} \approx 50.6\% \quad \text{测得} \Delta\left(\frac{q_v}{q_{v\max}}\right) = 20.5\%$$

流量变化率

$$\frac{\Delta\left(\frac{q_v}{q_{v\max}}\right)}{\frac{q_v}{q_{v\max}}} \approx 40.5\%$$

等百分比阀

适合各种工况

对数流量特性阀举例

流量为 $q_{v\max}$ 时,流量系数为 $K_{v\max} = 60$, 流量为 $q_{v\min} = 2\text{m}^3/\text{h}$ 时, 流量系数为 $K_{v\min} = 3$, 全行程 $L=4\text{cm}$, 求开度 $l=2\text{cm}$ 时, $q_v = ?$

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

$$R = \frac{q_{v\max}}{q_{v\min}} = \frac{K_{v\max}}{K_{v\min}} = \frac{60}{3} = 20 \quad q_{v\max} = R \times q_{v\min} = 20 \times 2 = 40\text{m}^3 / \text{h}$$

$$q_v = 40 \times 20^{\left(\frac{2}{4}-1\right)} = 8.94\text{m}^3 / \text{h}$$

现测得两种流量特性的有关数据见表。设 $R=30$ 试分别计算其相对开度在10%，50%，80%各变化10%时的相对的变化量及相对流量的变化率。据此分析它们对控制质量的影响和选用原则。

相对开度(L/L)(%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
相对流量(q/q_{\max})(%)											
直线流量特性	3.3	13.0	22.7	32.3	42.0	51.7	61.3	71.0	80.6	90.3	100
对数流量特性	3.3	4.67	6.58	9.26	13.0	18.3	25.6	36.2	50.8	71.2	100

直线流量特性 $\Delta \frac{q}{q_{\max}} = (22.7 - 13.0)\% = 9.7\% \quad 10\% \text{开度}$

$\Delta \frac{q}{q_{\max}} = (61.3 - 51.7)\% = 9.6\% \quad 50\% \text{开度}$ $\Delta \frac{q}{q_{\max}} = (90.3 - 80.6)\% = 9.7\% \quad 80\% \text{开度}$

对数流量特性 $\Delta \frac{q}{q_{\max}} = (6.58 - 4.67)\% = 1.91\% \quad 10\% \text{开度}$

$\Delta \frac{q}{q_{\max}} = (25.6 - 18.3)\% = 7.3\% \quad 50\% \text{开度}$ $\Delta \frac{q}{q_{\max}} = (71.2 - 50.8)\% = 20.4\% \quad 80\% \text{开度}$

相对开度(L/L)(%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
相对流量(q/q_{\max})(%)											
直线流量特性	3.3	13.0	22.7	32.3	42.0	51.7	61.3	71.0	80.6	90.3	100
对数流量特性	3.3	4.67	6.58	9.26	13.0	18.3	25.6	36.2	50.8	71.2	100

直线流量特性

$$\frac{\Delta \frac{q}{q_{\max}}}{\frac{q}{q_{\max}}} = \frac{9.7}{13} = \mathbf{74.6\%} \quad 10\% \text{开度}$$

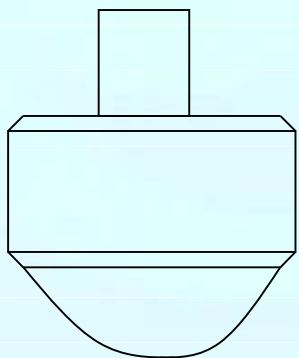
$$= \frac{9.6}{51.7} = \mathbf{18.6\%} \quad 50\% \text{开度} \quad = \frac{9.7}{80.6} = \mathbf{12.0\%} \quad 80\% \text{开度}$$

对数流量特性

$$\frac{\Delta \frac{q}{q_{\max}}}{\frac{q}{q_{\max}}} = \frac{1.91}{4.67} = \mathbf{40.9\%} \quad 10\% \text{开度}$$

$$= \frac{7.3}{18.3} = \mathbf{39.9\%} \quad 50\% \text{开度} \quad = \frac{20.4}{50.8} = \mathbf{40.2\%} \quad 80\% \text{开度}$$

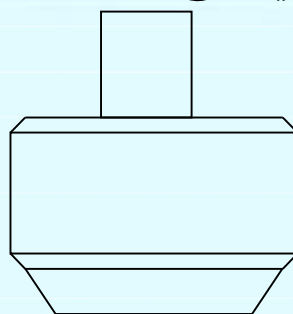
③ 抛物线流量特性



$$\frac{q_v}{q_{v\max}} = \frac{[1 + (R^{1/2} - 1)\frac{l}{L}]^2}{R}$$

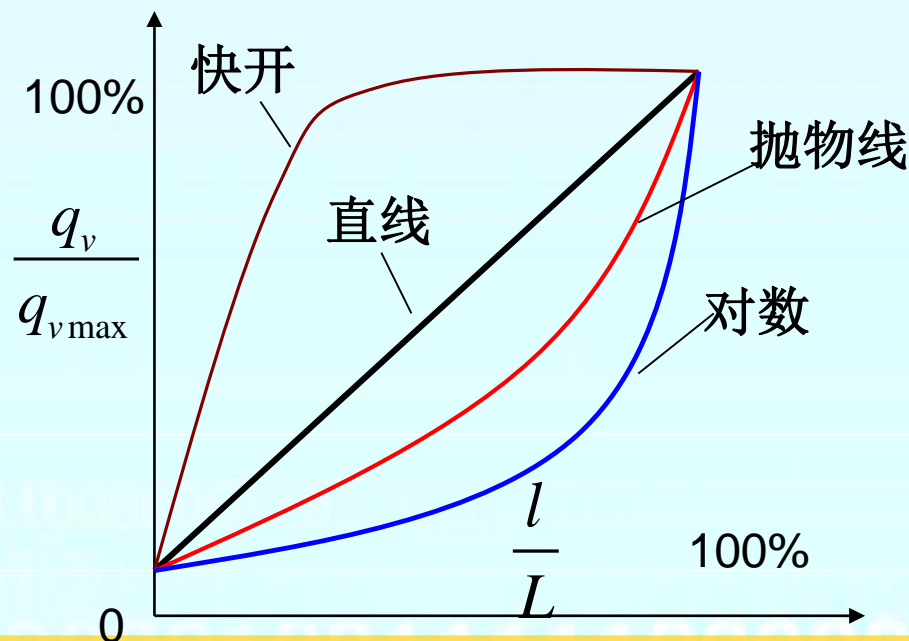
介于直线与对数流量特性之间

④ 快开流量特性



$$\frac{q_v}{q_{v\max}} = \frac{[1 + (R^2 - 1)\frac{l}{L}]^{\frac{1}{2}}}{R}$$

迅速开关的切断阀或双位控制系统。



- 1、开方器用于何种场合？开方器中为何设置小信号切除电路？分析该电路的工作原理。
- 2、简述电动执行机构的构成原理。伺服电机的转向和位置与输入信号有什么关系？
- 3、执行器的作用与分类。
- 4、薄膜式气动执行机构的工作原理及原理式。
- 5、调节机构流量调节原理。
- 6、电动执行器的组成，其中伺服放大器、电动操作器、位置发送器、减速器和两相伺服电机作用。
- 7、伺服放大器中前置磁放大器、触发器、可控硅交流开关的作用。

- 8、电气转换器的功能与工作原理。
- 9、气动阀门定位器的功能与工作原理。