



# 第四章 液压控制元件

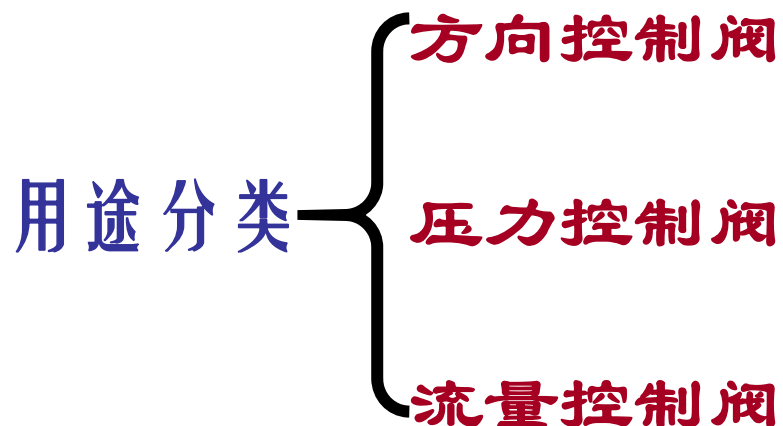
---

## 本章主要内容

- § 4-1 概述
- § 4-2 方向控制阀
- § 4-3 压力控制阀
- § 4-4 流量控制阀
- § 4-4 叠加式液压阀
- § 4-4 二通插装阀
- § 4-4 液压阀的连接
- 习题解答

## § 4-1 概述

**液压阀：**液压系统中控制油液流动方向、压力及流量的元件。



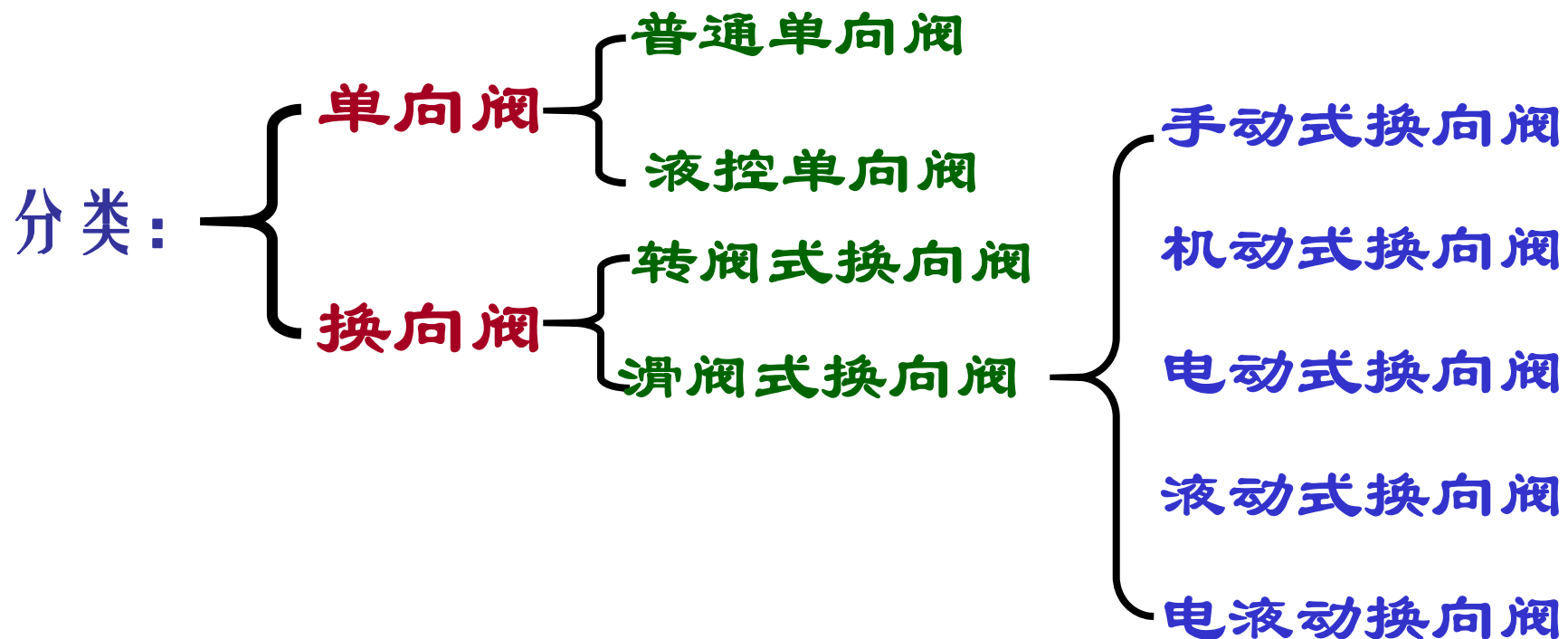
### 液压阀的工作要求

- a) 制造精度要高；阀芯动作灵活；工作性能可靠；
- b) 密封性好；结构紧凑；工作效率高；通用性好；



## § 4-2 方向控制阀

方向控制阀的作用：在液压系统中控制油路的通断以及改变压力油流动方向的元件。





## 一、单向阀

单向阀的作用：在液压系统中控制压力油单向通流的元件。

单向阀 { 普通单向阀  
液控单向阀

仅允许油液单向通流，反向处于截止状态。

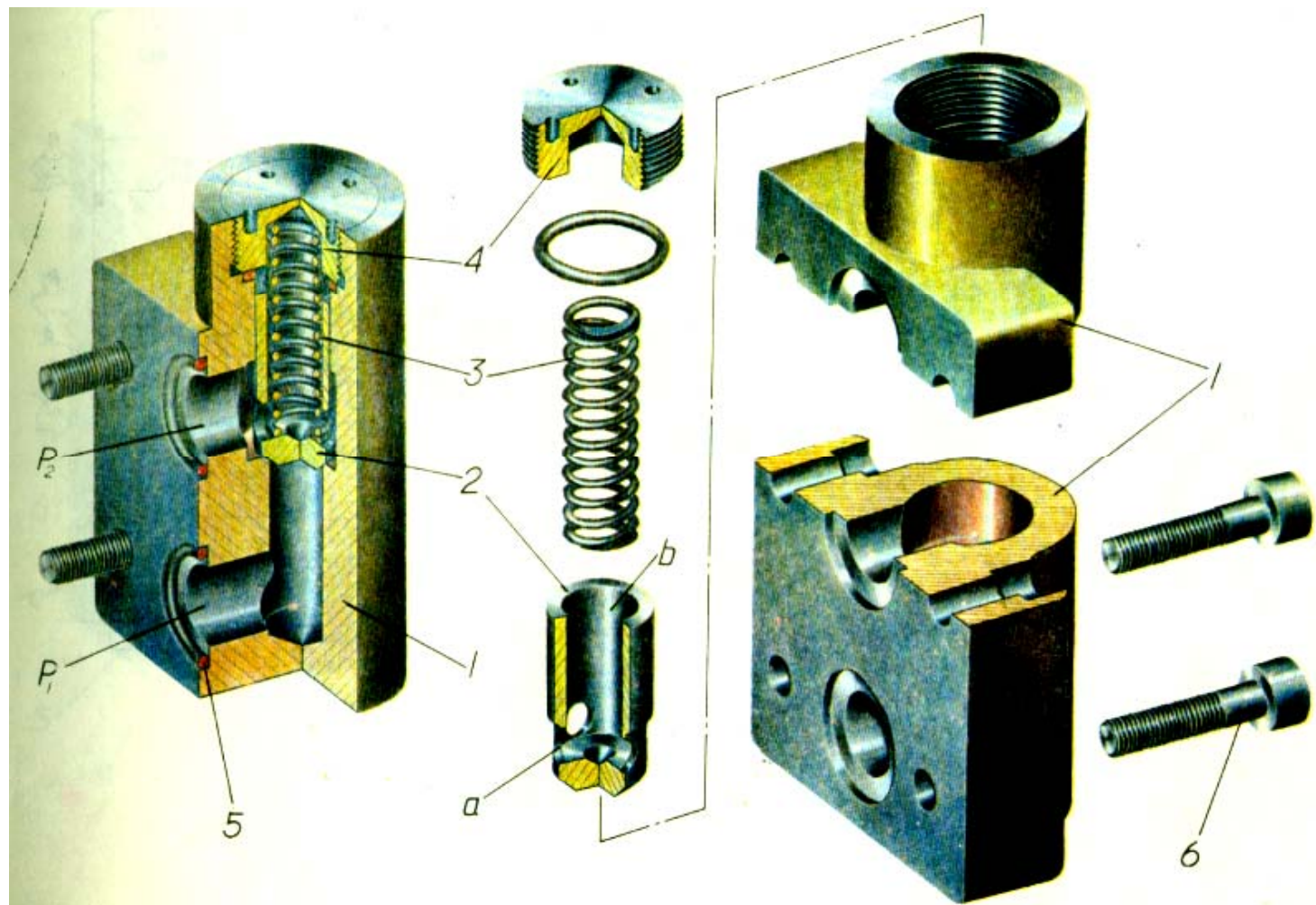
包含普通单向阀的功能，并可以通过控制压力油的作用，解除逆止使反向通流。

安装方式 { 管式连接  
板式连接

# 1、普通单向阀

作用：只允许压力油单向通流，反向则处于截止状态，因此又称为止回阀。

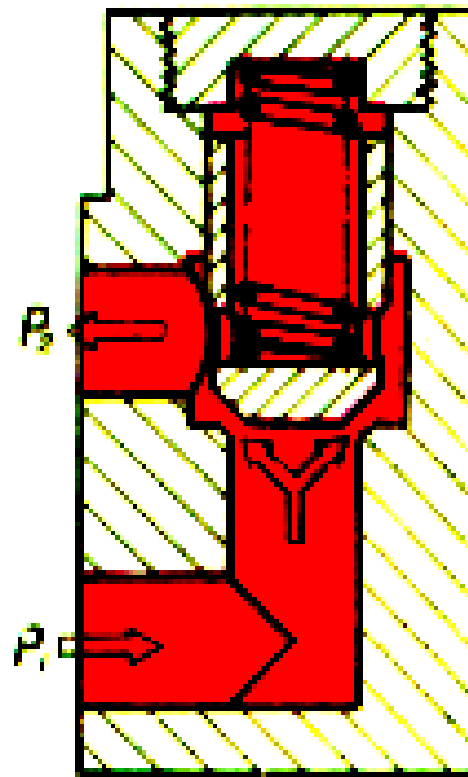
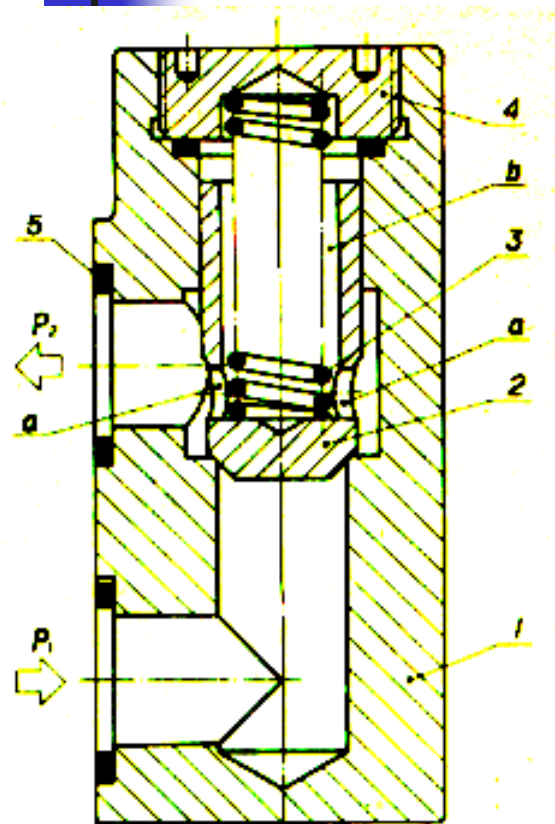
结构：



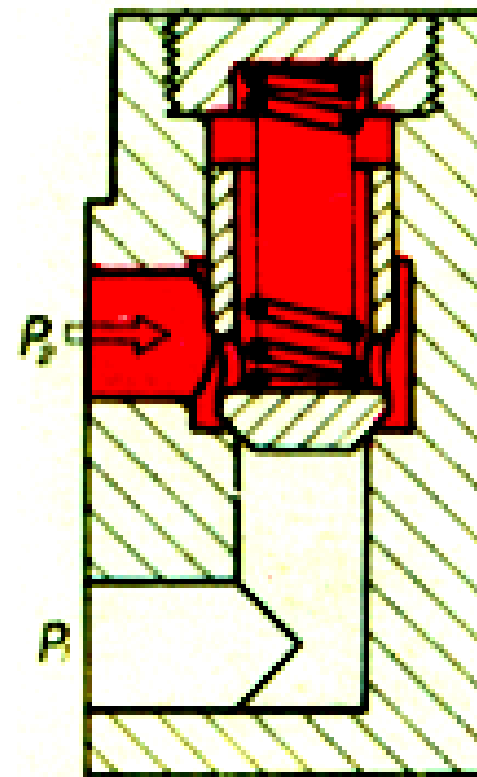
职能符号



## 普通单向阀的工作原理



正向通流状态



反向截止状态



## 普通单向阀的应用

---

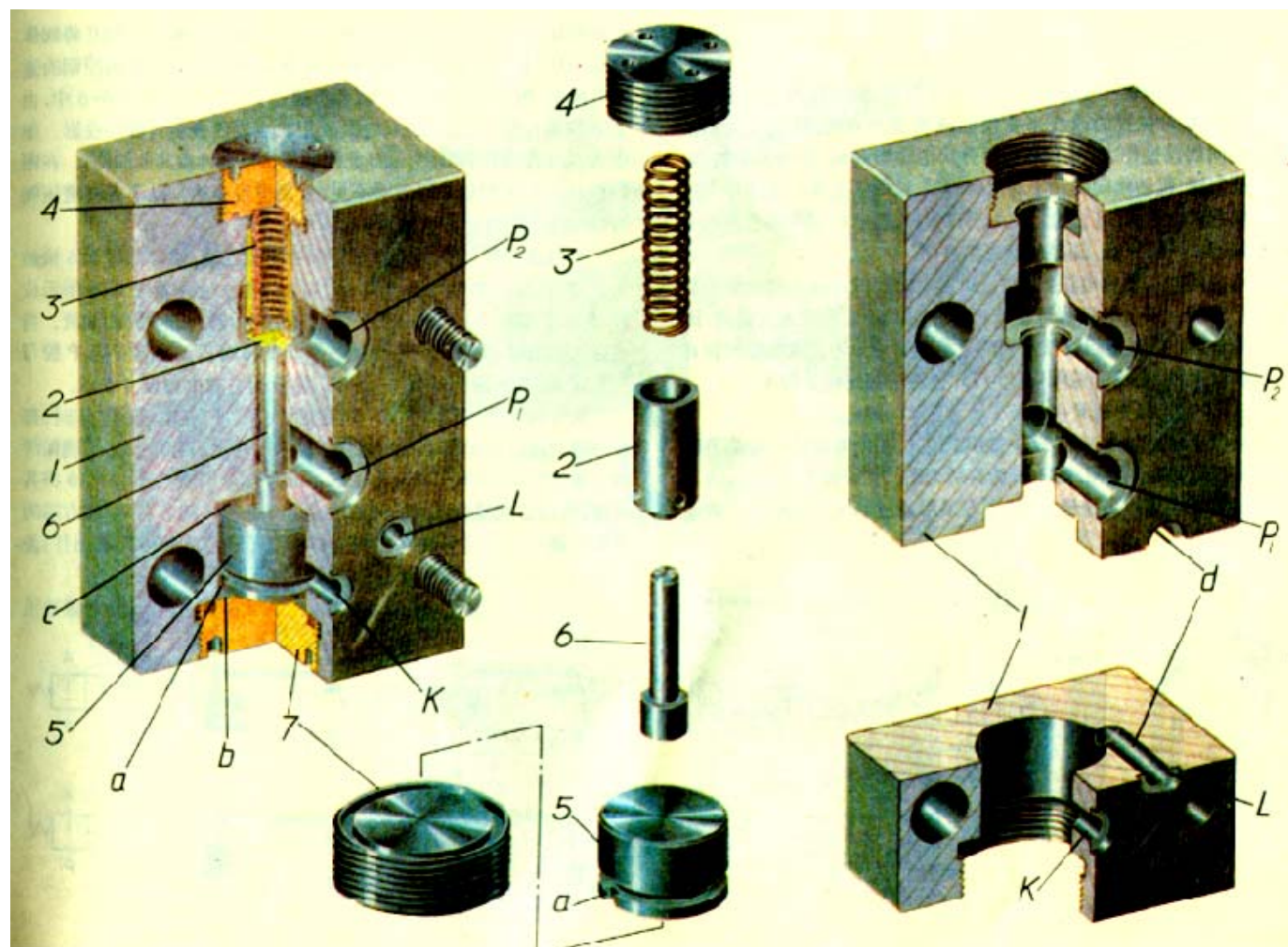
1. 单向阀安装在泵的出口处，可以防止系统压力突然升高而损坏泵。
2. 将单向阀安装在液压缸工进时的回油管路上做背压阀使用，使系统运动平稳性增加减小负载突然变小时液压缸前冲现象。
3. 单向阀可以实现锁紧、保压以及油路分隔的功能。



## 2、液控单向阀

作用：包含普通单向阀的功能，又可以在控制压力油的作用下实现反向通流。

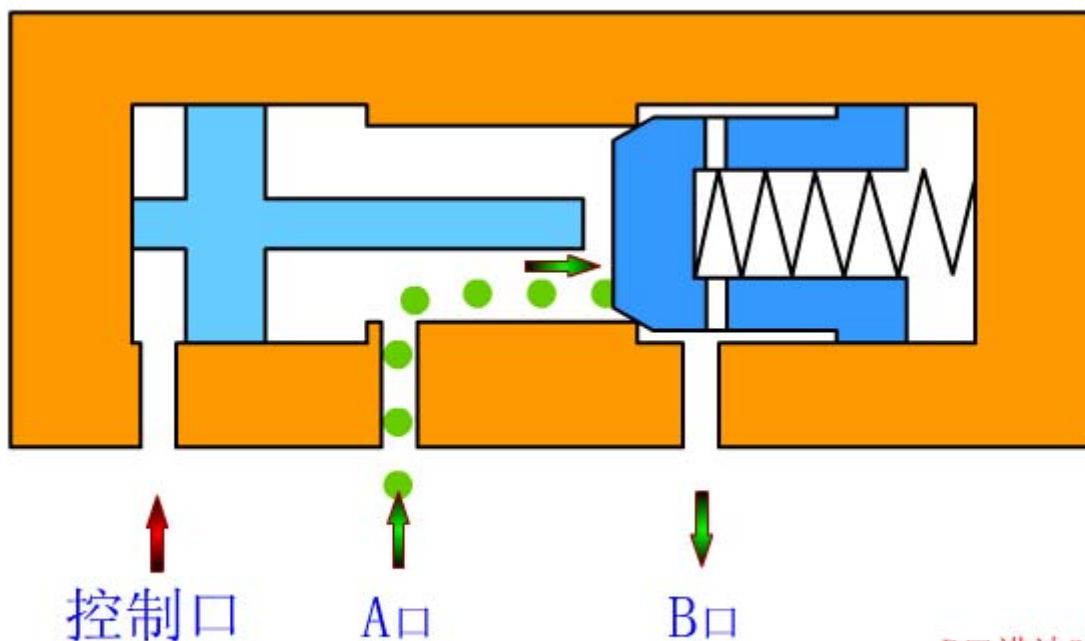
结构：





## 液控单向阀的工作原理

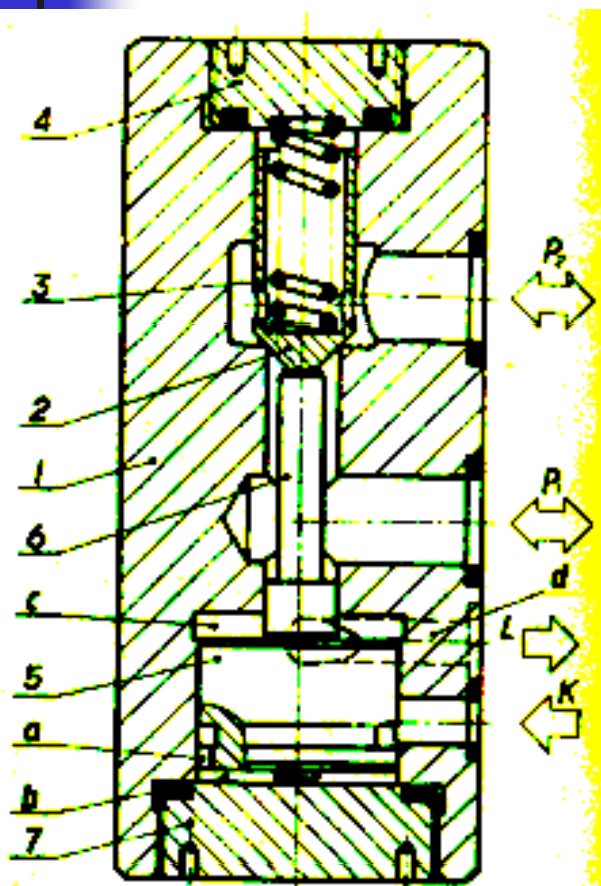
在液控单向阀中，控制油的压力需为主油路压力的30%~50%才能推动控制活塞顶开阀心。



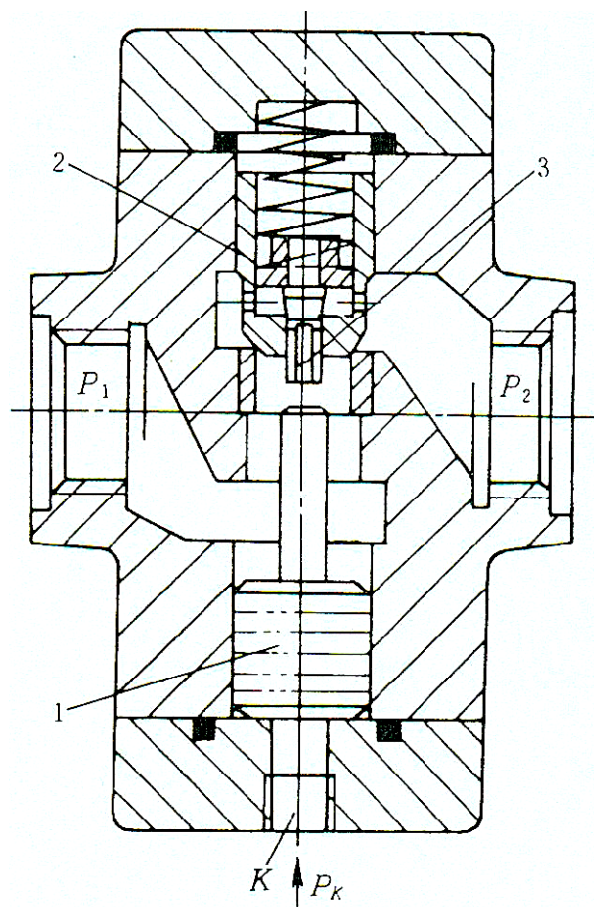
A口通油后使阀芯右移，A口通向B口的油路接通

B口进油时有控制油时

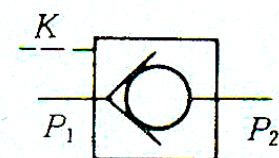
# 液控单向阀的分类和功能



简式液控单向阀



复式液控单向阀



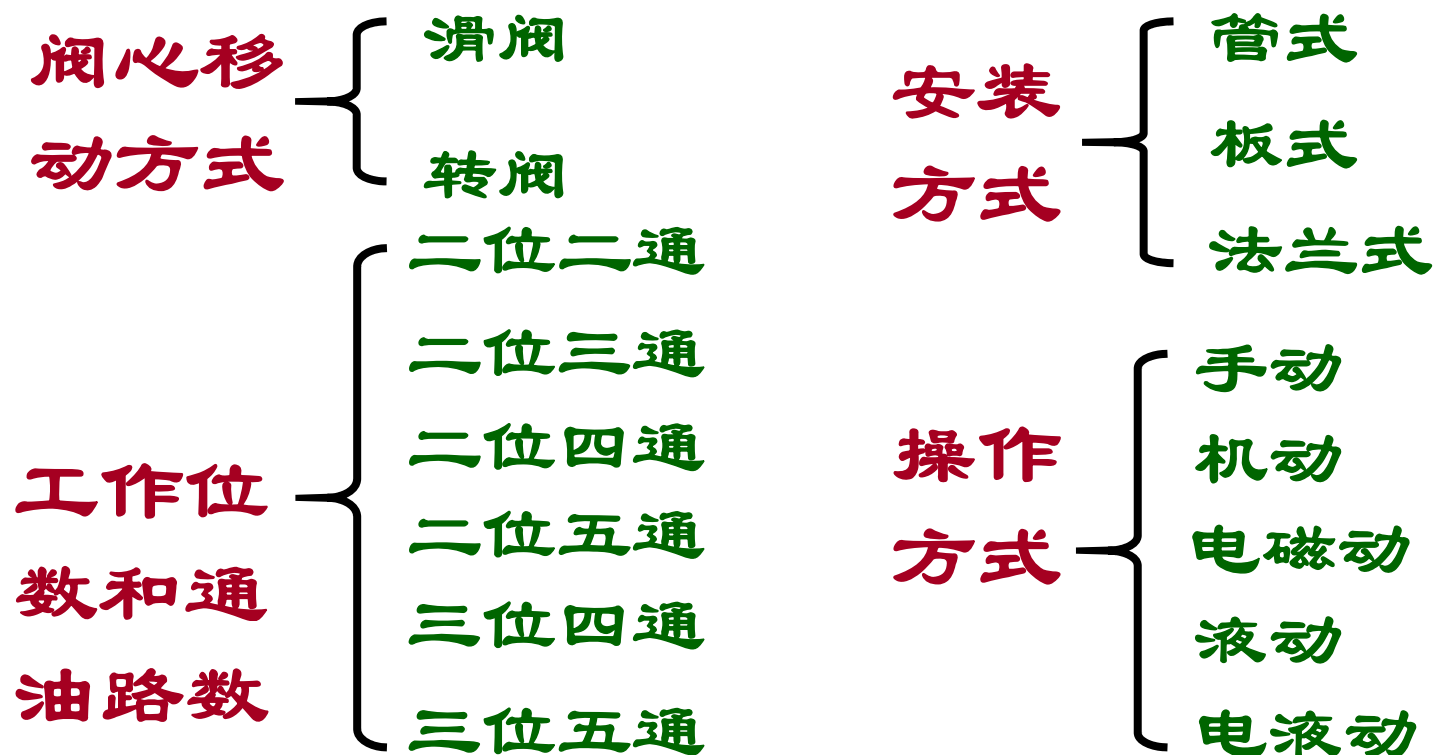
## 应用

1. 保压作用；
2. 支撑作用；
3. 双向液压锁作用。



## 二、换向阀

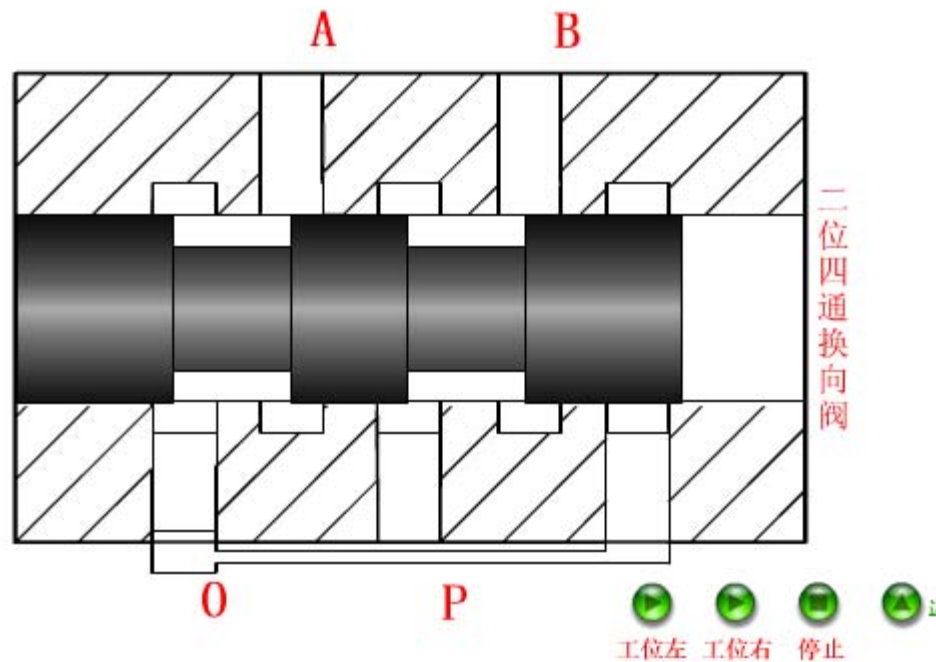
换向阀的作用：控制压力油的通、断和流动方向，从而实现执行元件的起、停和换向操作。



## 职能符号



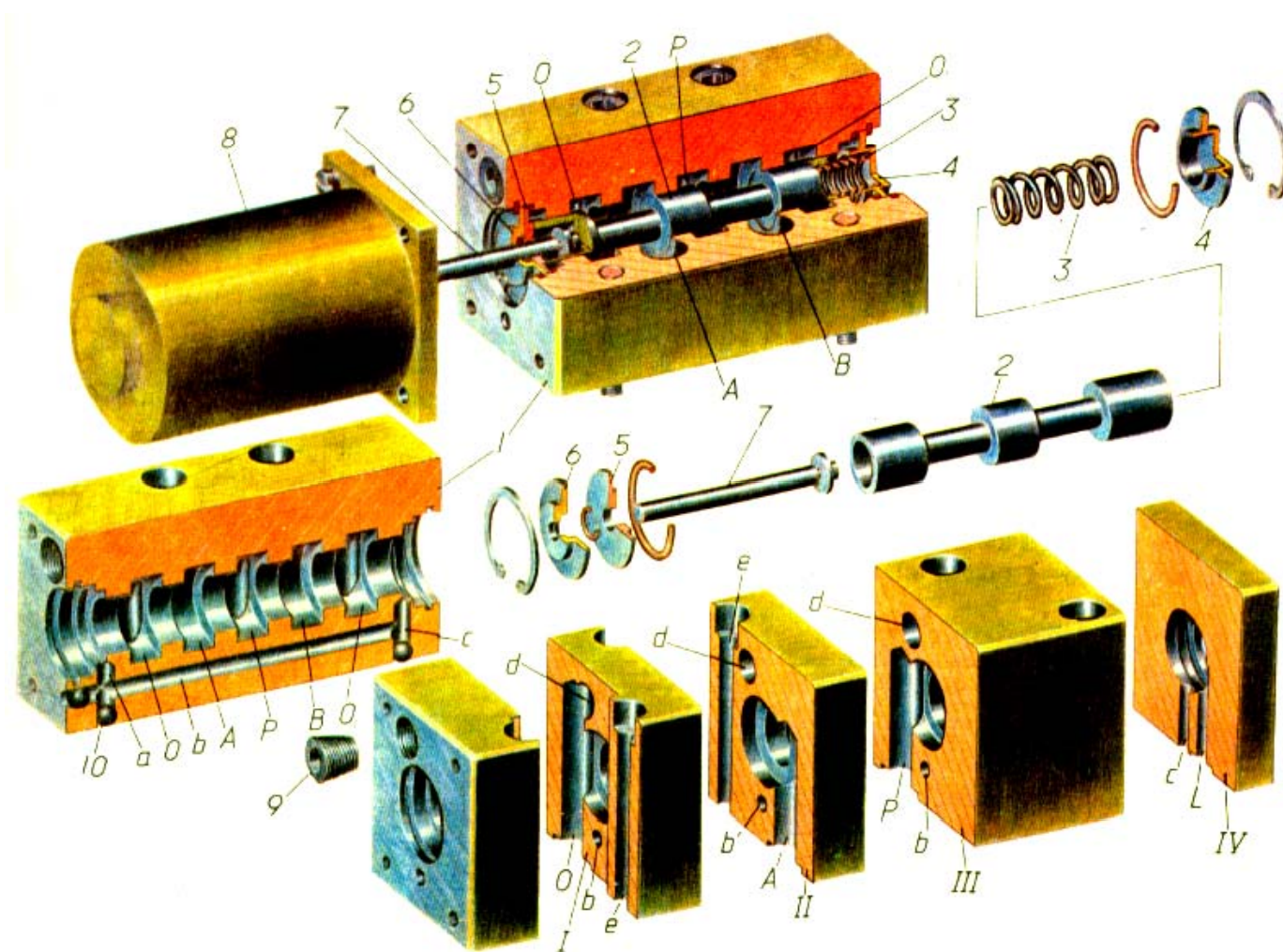
## 滑阀式换向阀的工作原理



阀心位于最左端，P与B口连通，A与O口连通  
(职能符号右工作位)

阀心位于最右端，P与A口连通，B与O口连通  
(职能符号左工作位)

## 二位四通电磁换向阀具体结构:





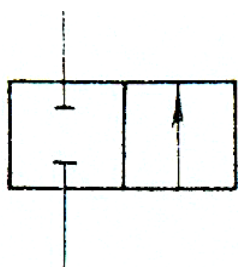
# 滑阀式换向阀的职能符号表示

滑阀式换向阀的三个基本特征：

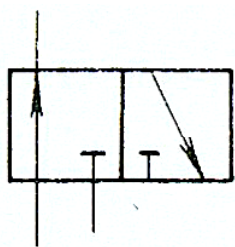
1. 工作位数   2. 通油路数   3. 操作方式

A: 工作位数与通油路数的表示

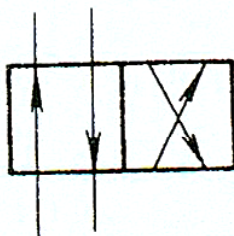
二位二通



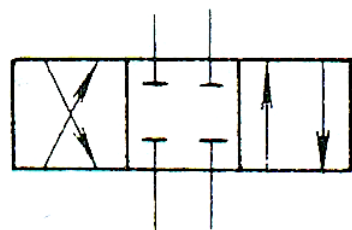
二位三通



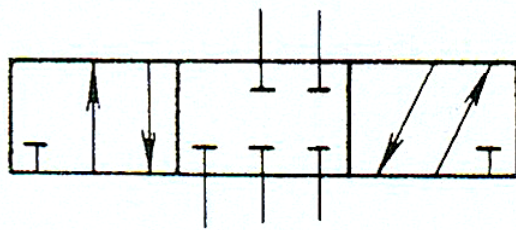
二位四通



三位四通



三位五通

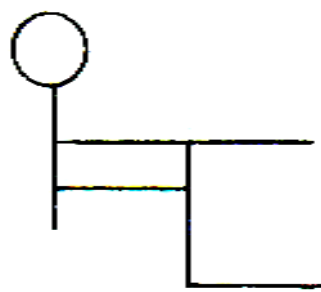


- 方框表示换向阀的“位”；
- $\uparrow$  表示油路连通；
- $\perp$  表示油路堵塞；
- 每个方框内的内容表示阀在该工作状态下主油路的连通方式



# 滑阀式换向阀的职能符号表示

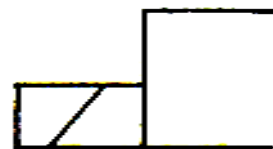
## B: 换向阀操作方式的表示



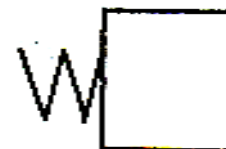
a)



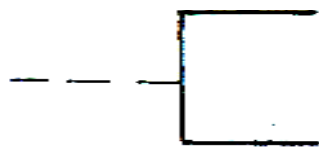
b)



c)



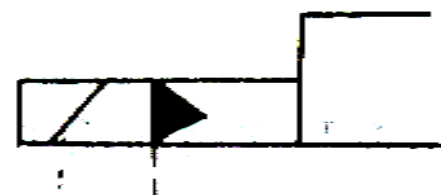
d)



e)



f)



g)

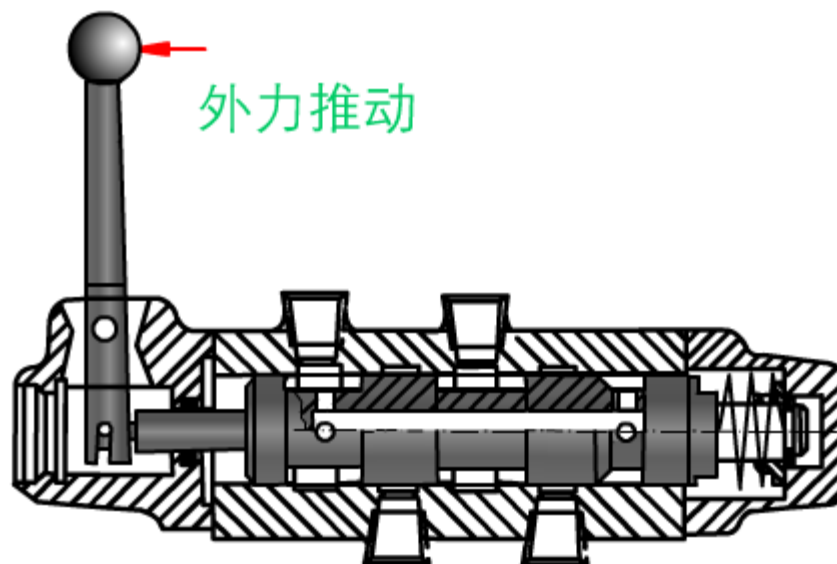
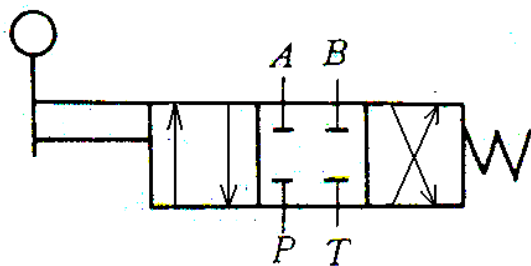
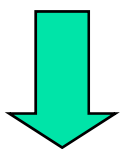
a—手动 b—机动 c—电磁动 d—弹簧复位 e—液动  
f—液动先导控制 g—电—液先导控制

# 1、手动换向阀

特点：利用控制手柄来改变阀心位置实现油路换向。

结构形式：

职能符号



手动换向阀

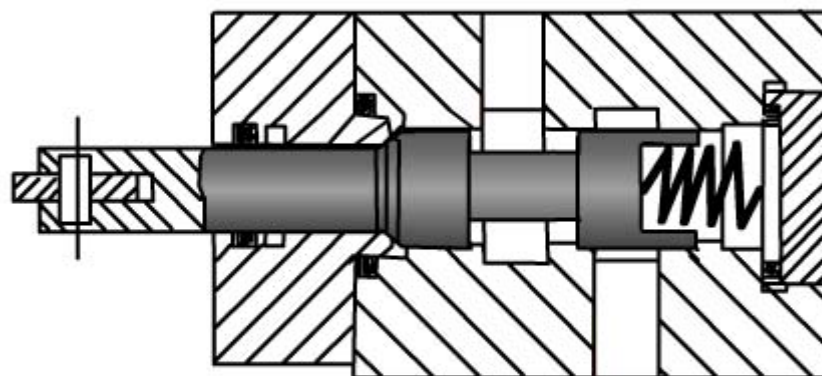
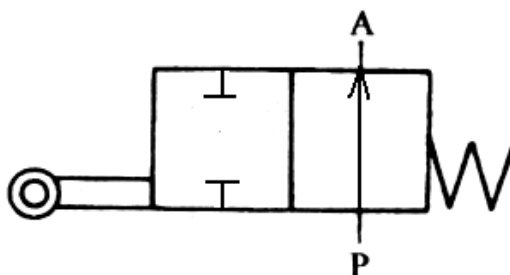
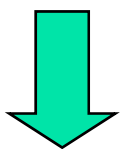


## 2、机动换向阀（行程阀）

特点：利用运动部件与阀心上顶杆或凸轮的接触使阀心移动来实现油路换向。

结构形式：

职能符号



行程阀只能为二位换向阀

### 3、电磁换向阀

特点：利用电磁铁的吸合与释放使阀心换向，从而实现油路换向。

控制电源：

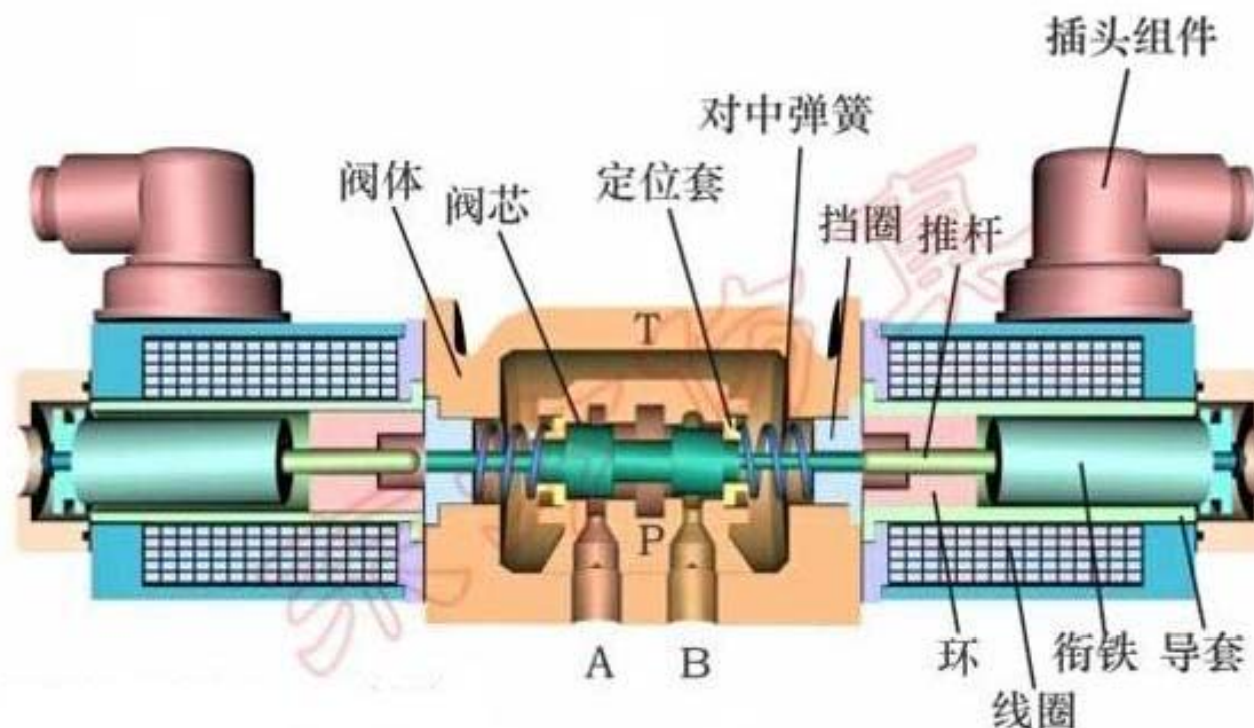
直流(24V)

交流(220V)

衔铁工作腔：

干式(无油)

湿式(有油)



使用电磁阀的液压系统必须要与电气控制系统相结合，才能实现相应的功能（以电驱液的电液压系统）

# 电磁阀的控制方式

**二位阀：**多为单电控阀，带单侧复位弹簧，长脉冲控制信号。

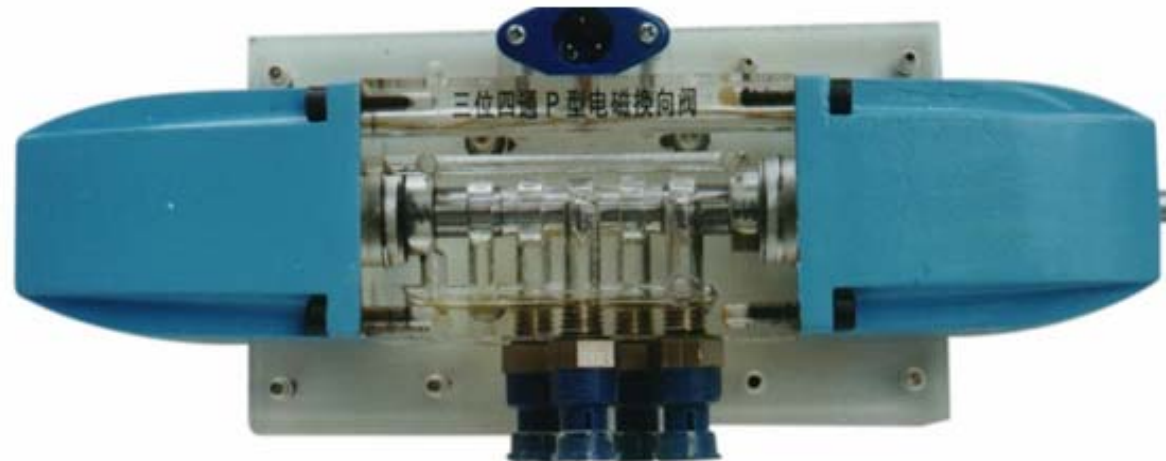
**三位阀：**  
双电控阀，  
带双侧对中弹簧，  
长脉冲控制信号，  
两控制点要求互锁控制。



二位二通电磁换向阀



二位四通电磁换向阀



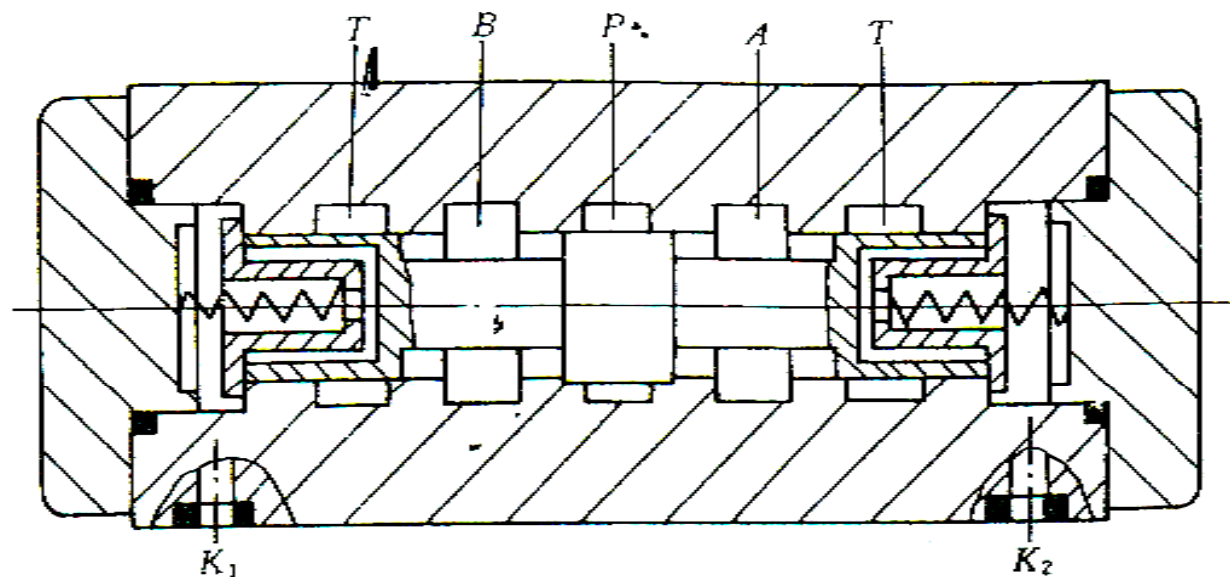
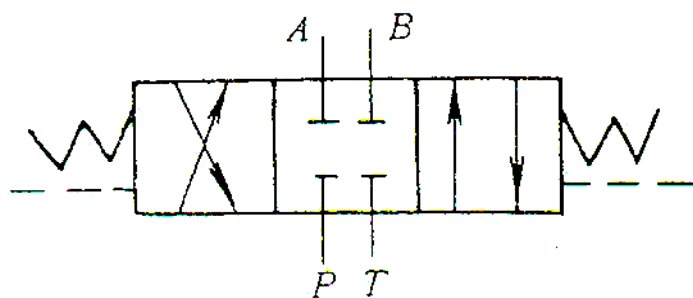
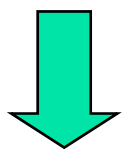
三位四通电磁换向阀 (O型 .H型 .M型)

## 4、液动换向阀

特点：利用控制压力油的推力作用使阀心移动实现换向。

结构形式：

职能符号





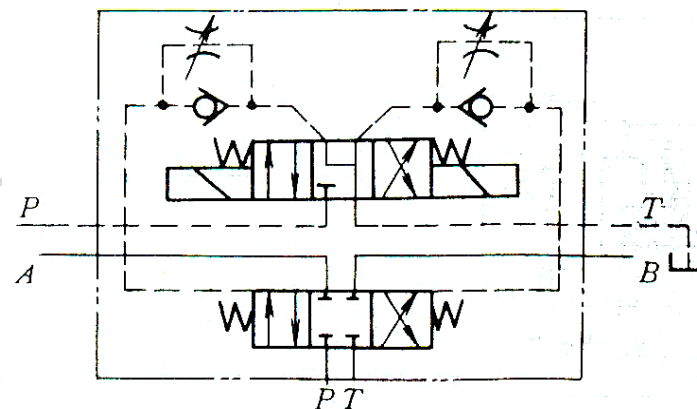
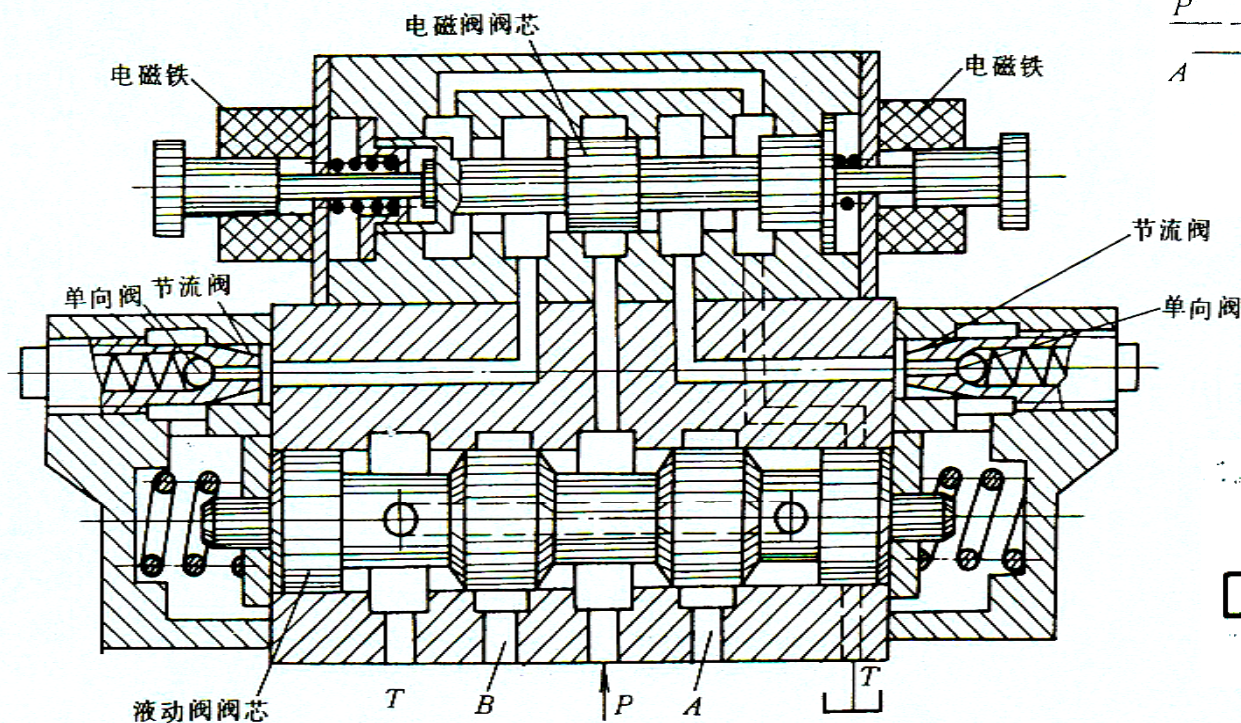
## 5、电液动换向阀

电液换向阀是利用电磁换向阀作为**先导阀**，调节控制压力油的流向，以驱动**液动主阀**换向，常用在高压、大流量的工作状况下。

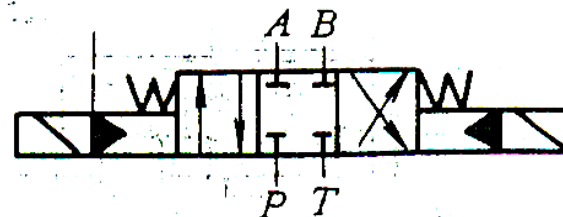


# 电液动换向阀的结构与职能符号

## 职能符号



## 简化符号



电液换向阀的电磁阀处于中位时，液动主阀两端控制压力油与油箱相通，压力为零，主阀因此处于中间位置；电磁阀某一位的接通，使控制压力油通入主阀相应腔中，主阀实现换向。



## 6、三位换向阀的中位机能

对于三位换向阀，把阀芯处于中间位置时主油路的连通方式称为其中位机能。

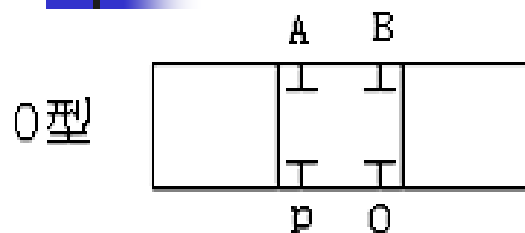
### 中位机能的作用

系统工作压力  
的卸荷或保持

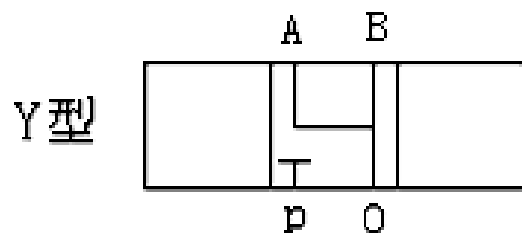
执行元件的锁  
紧或浮动

执行元件启动和  
换向的平稳性

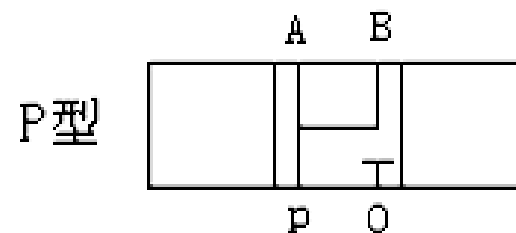
## 几种主要的中位机能及其作用



油缸锁紧



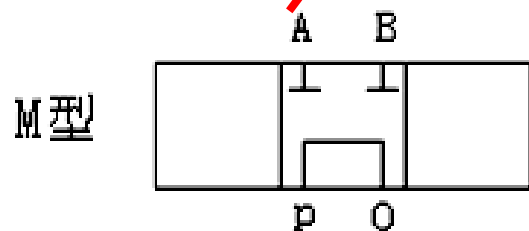
油缸浮动



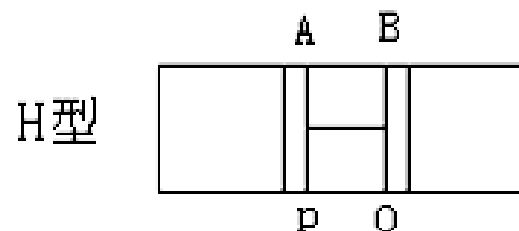
油缸差动连接

系统保压

系统卸荷



油缸锁紧



油缸浮动



## 三位换向阀中位机能的选择原则

1. 系统有卸荷要求时，应选用中位时P、O相互连通的形式，如H型、M型。
2. 系统有保压要求时，应选用中位时P口封闭的形式，如O型、Y型。
3. 当执行元件定位精度要求较高时，应选用中位时A、B口封闭的形式，如O型、M型。
4. 当执行元件换向平稳性要求较高时，应选用中位时A、B与O口相互连通的形式，如H型、Y型。
5. 当执行元件启动平稳性要求较高时，应选用中位时A、B均不与O口相互连通的形式，如P型、O型。



## § 4-3 压力控制阀

---

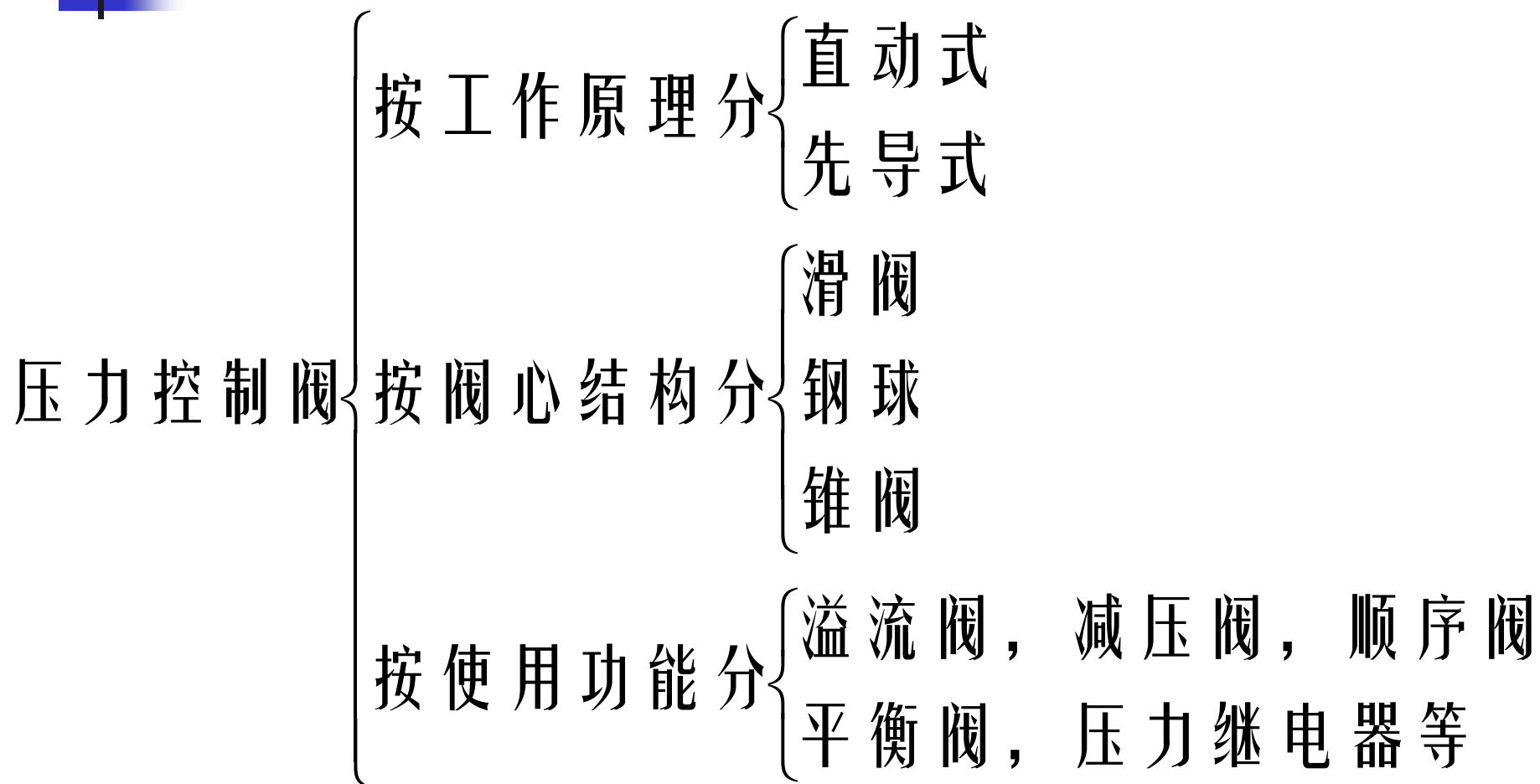
**作用:** 控制液压系统的工作压力或利用压力作为信号来控制其它元件动作。

**特点:** 利用阀心上作用的液压力与弹簧力相平衡的原理，控制油液的压力。





## 压力控制阀的分类



## 一、溢流阀的基本结构与工作原理

**作用：** 溢流阀是通过阀口的溢流，使液压系统或回路的压力维持恒定，实现**稳压、调压、或限压**的作用。

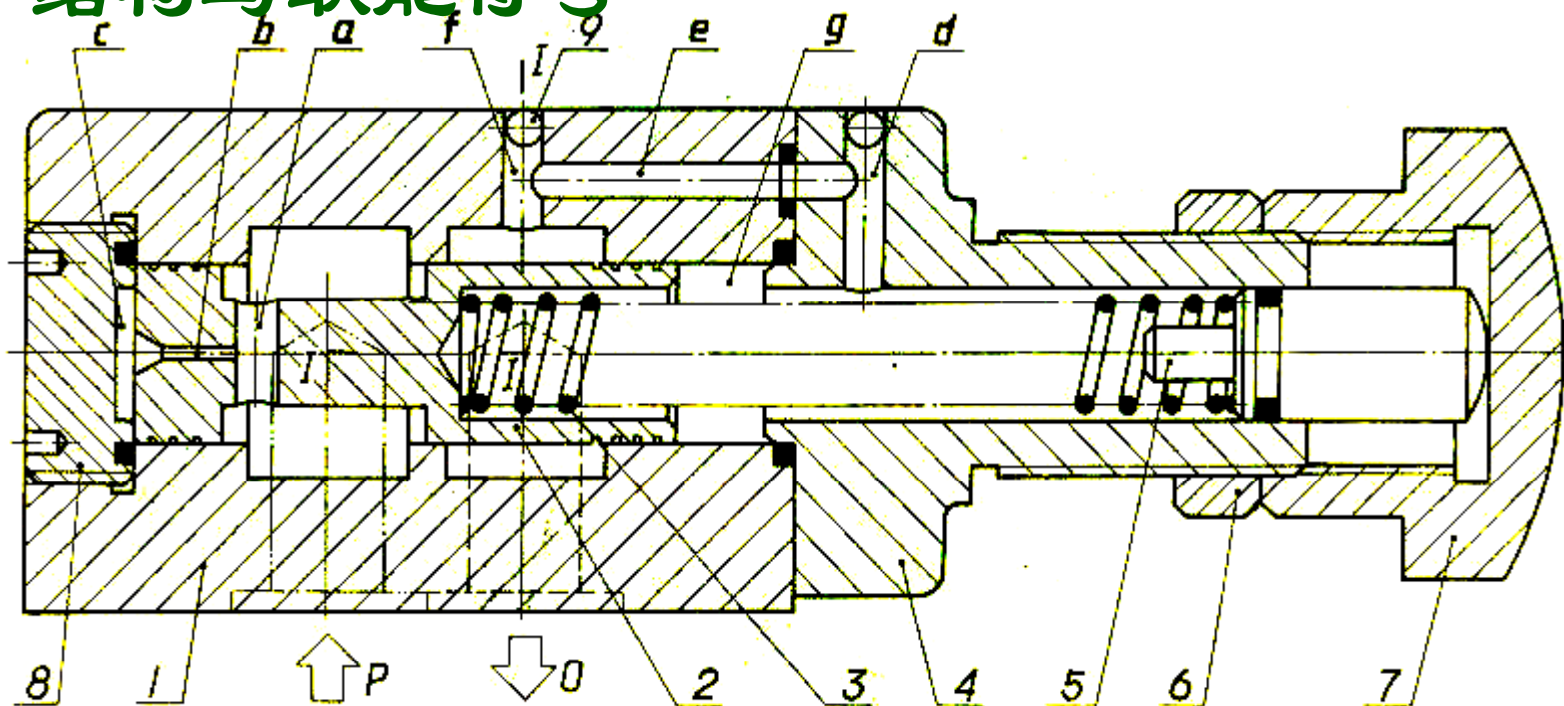
### 溢流阀的分类

溢流阀 { 直动式  
          { 先导式



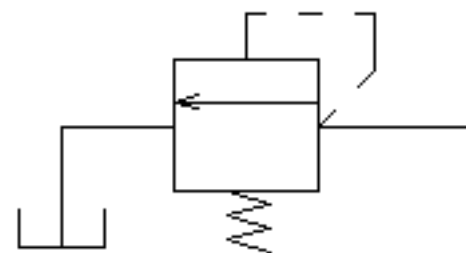
## 直动式溢流阀

## 结构与职能符号

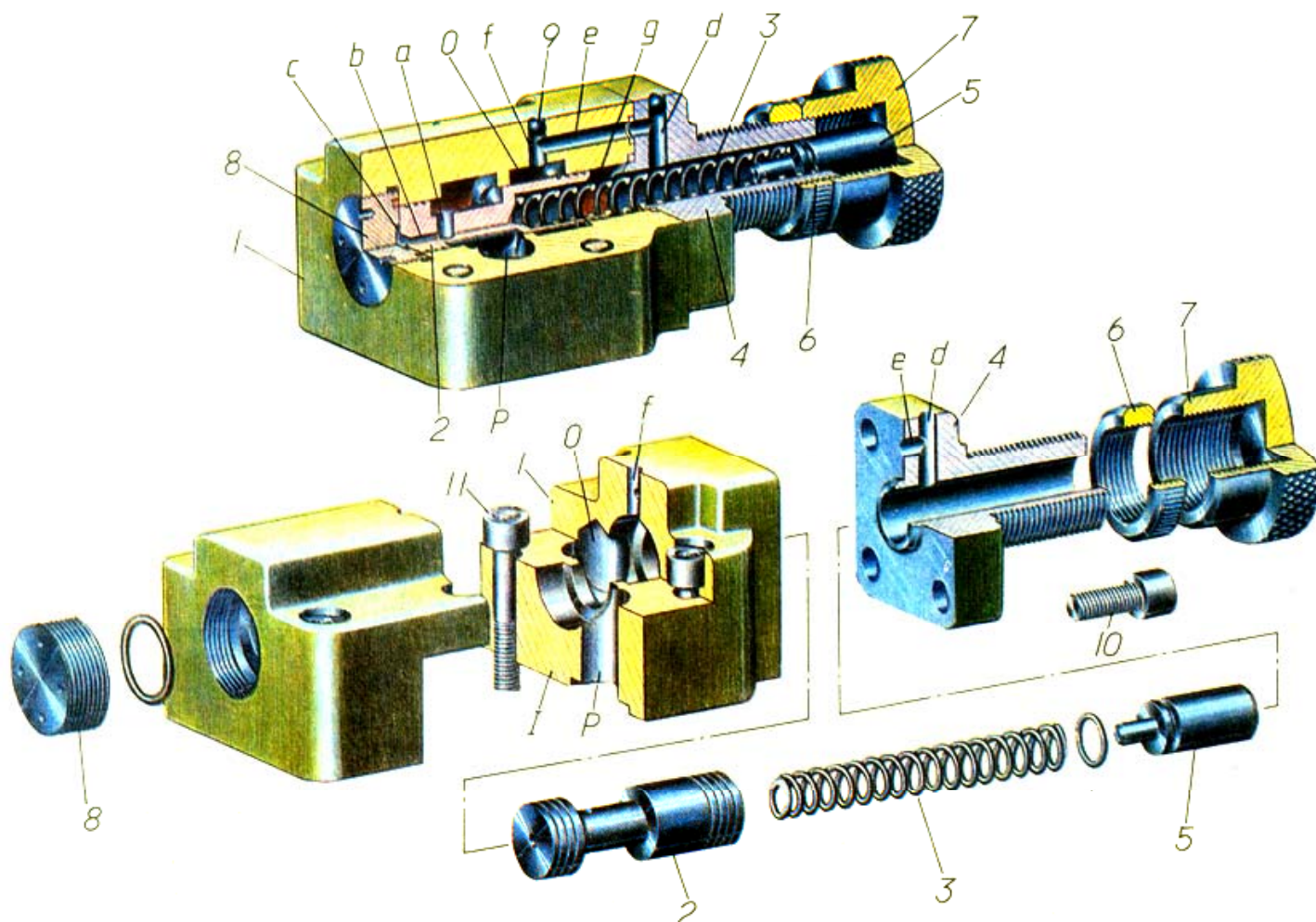


## 结构特点:

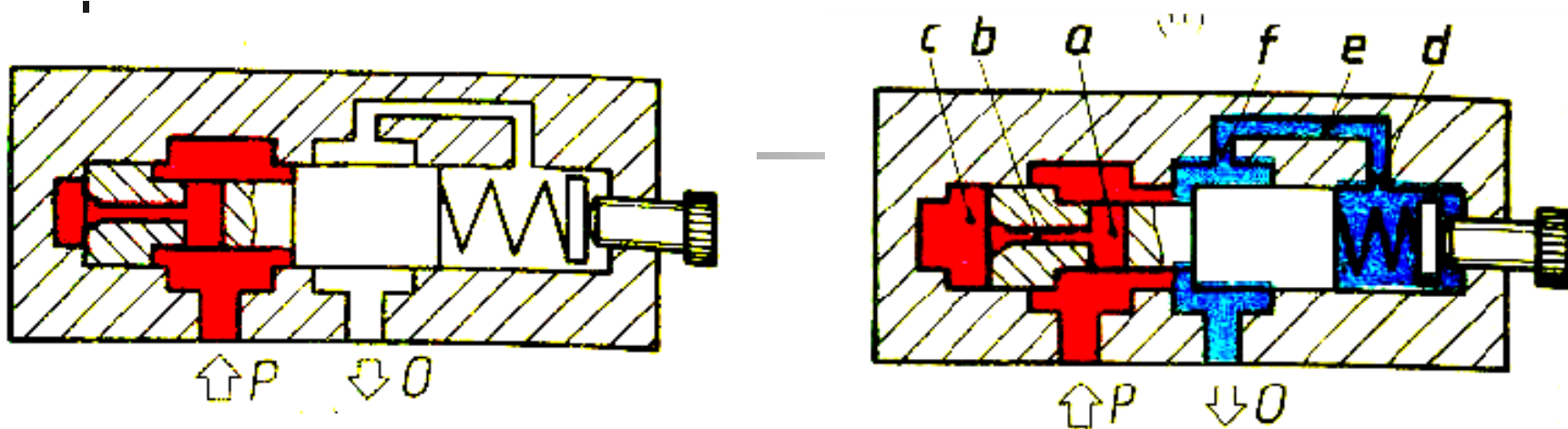
- 具有两个通油口，在弹簧预紧力作用下，通常状态进出口关闭。
- 作用在阀心上的压力油来自进口，阀心腔与出口相连，没有单独泄油口。



## 直动式溢流阀的立体结构



## 直动式溢流阀的工作原理



- 进口压力油对阀心的作用力低于弹簧预紧力时，溢流阀始终处于关闭状态。

$$p_1 A_R < kx_0$$

- 当进口压力油对阀心的作用力大于或等于弹簧预紧力时，溢流阀打开溢流，阀心在新的位置下平衡。

$$p_1 A_R = k(x_0 + \Delta x)$$

溢流阀开度

开度随进口压力升高而增大，溢流流量与进口压力成正反馈关系。



## 直动式溢流阀的 工作特点

★ 细微之处：

确切表述应为溢流阀进、出口压差作用于阀心的力与弹簧力平衡。

- ❏ 利用溢流阀进口压力油作用在阀心上的液压力与弹簧力相平衡的原理来控制阀心的启闭。
- ❏ 直动式溢流阀进口的溢流开启压力由弹簧的预紧力所决定。
- ❏ 直动式溢流阀阀心的阀口开度决定通过溢流阀的流量。
- ❏ 直动式溢流阀启闭特性较差，当溢流量变化时，会引起较大的压力波动。
- ❏ 结构简单，制造方便价格较低。



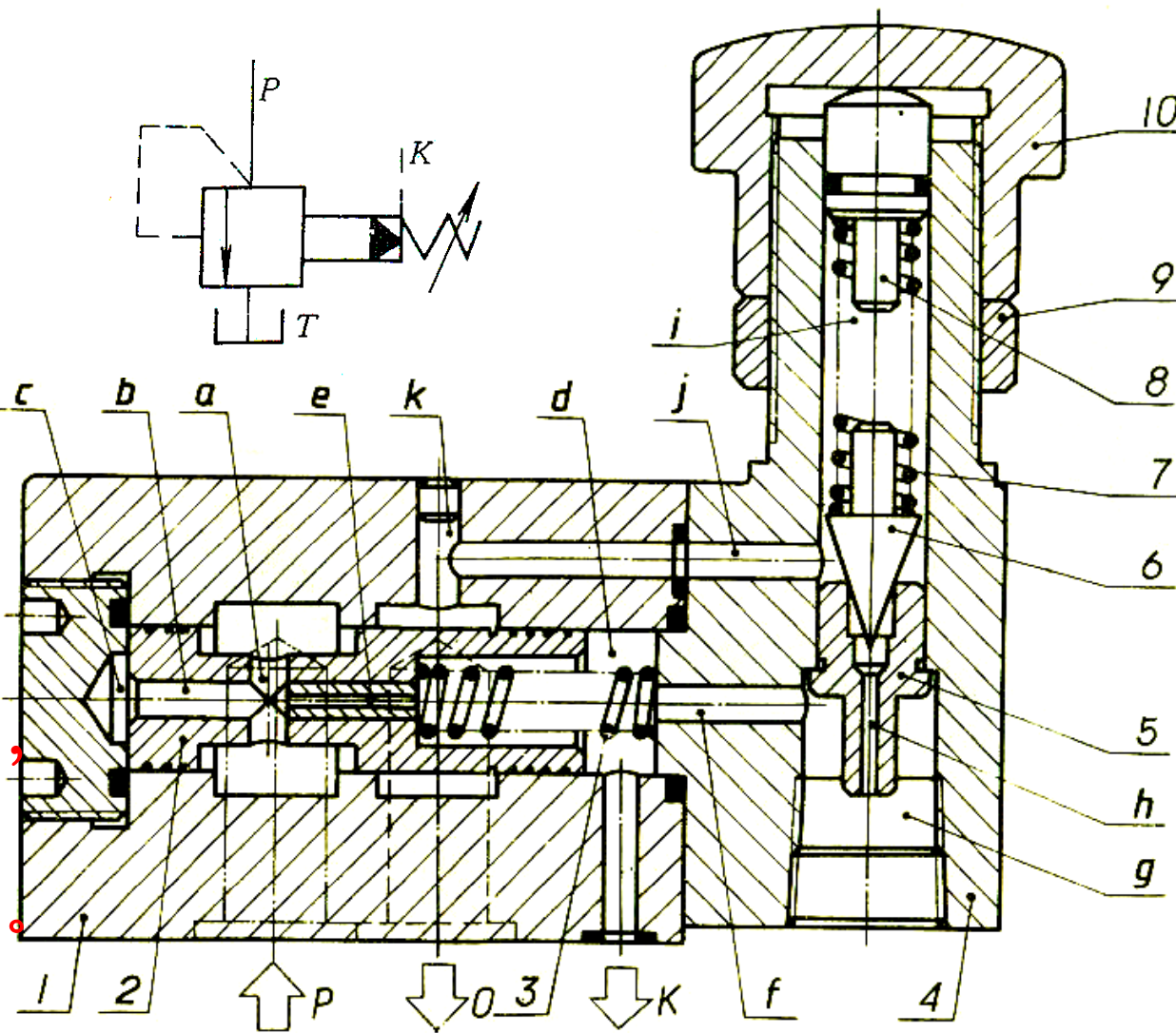
# 先导式溢流阀

## 结构与职能符号

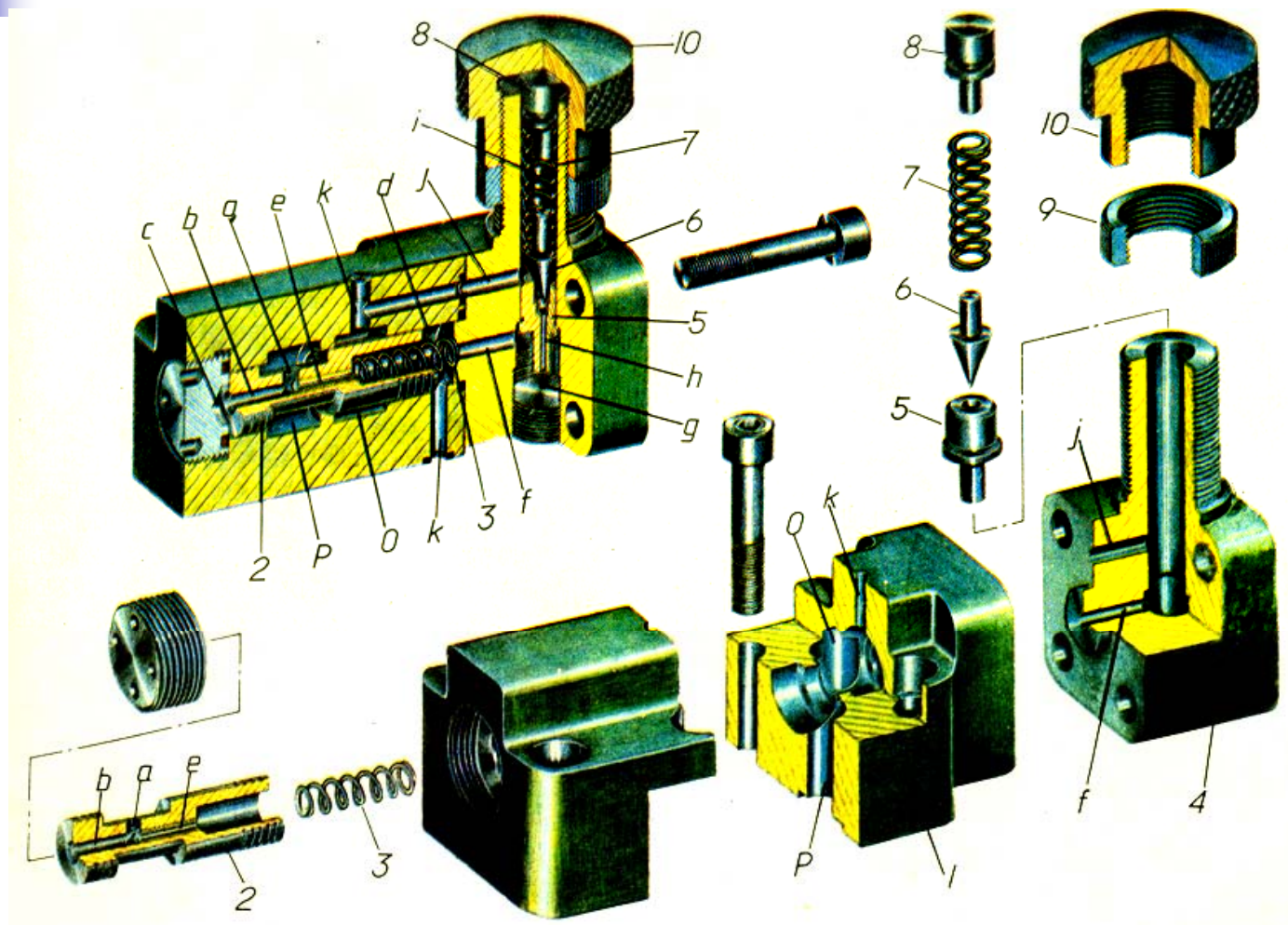
结构特点：

➤ 由先导阀和溢流主阀组成，先导阀也为溢流阀。先导阀弹簧可调，主阀弹簧固定。

➤ 阀心腔与主阀进口通过阻尼孔相连，并与先导阀进口，和外部控制口连通。



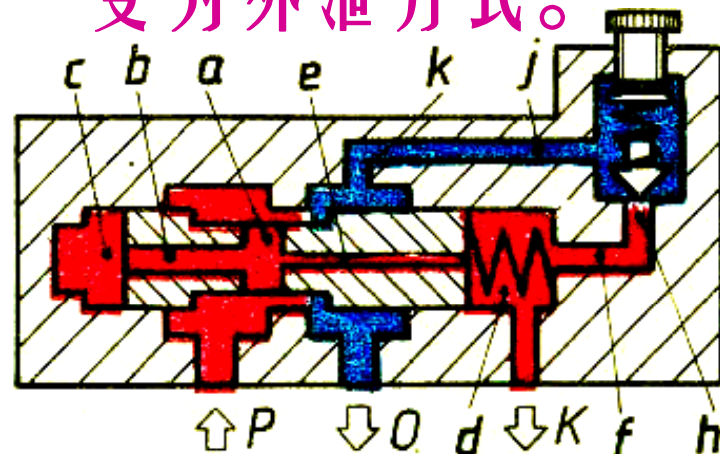
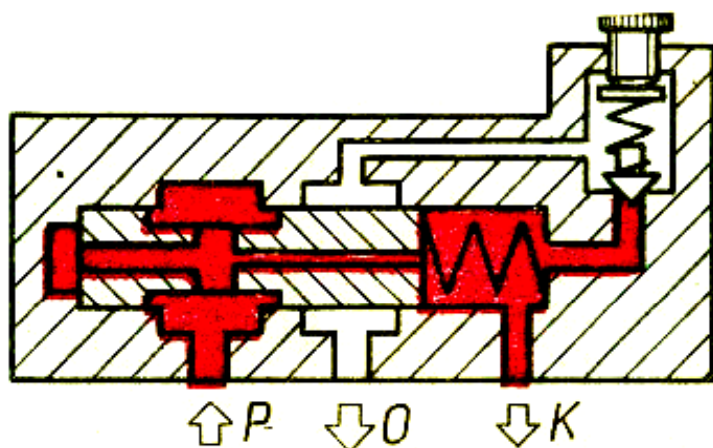
## 先导式溢流阀的立体结构



## 先导式溢流阀的工作原理

★ 细微之处：

## 主阀芯的泄油由内泄变为外泄方式。



- 进口压力低于先导阀调定压力，主阀心两侧压力相等，主阀在弹簧力作用下处于关闭状态。
- 当进口压力高于先导阀调定压力时，先导阀首先溢流，主阀心内部形成流动，并由于阻尼孔的液阻作用，主阀心在两侧压力差作用下打开。

**注：**外控口的作用是用来接调定压力小于其自身先导阀的远程溢流阀，以实现多级调压的功能。



## 先导式溢流阀的工作特点

- 先导式溢流阀的开启压力由先导阀的调定压力决定，主阀弹簧力与两侧压差平衡，因此刚度可以做的较小。
- 先导式溢流阀开启时，主阀和先导阀同时溢流。
- 当先导式溢流阀外控口所接的远程调压阀的调定压力低于先导阀时，则先导式溢流阀的调定压力由远程调压阀所决定。
- 先导式溢流阀的先导阀多采用锥阀形式，因此承压面积较小，其调定压力可以很高。
- 结构复杂，工艺性差。



# 溢流阀的静态特性

溢流阀的静态特性是指在溢流阀开启后稳定工作的情况下，阀的进口压力与溢流流量的关系。

## 溢流阀的性能参数

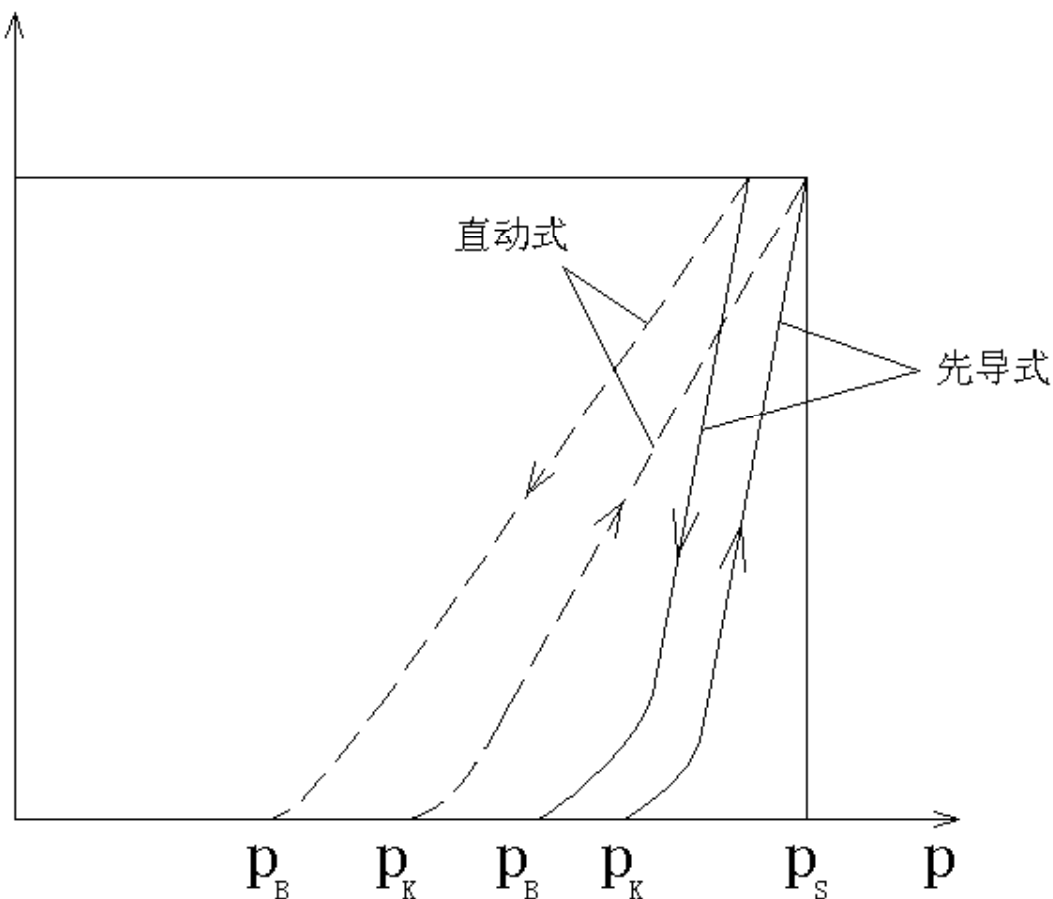
### 1. 开启比

$$\varepsilon_K = p_K / p_s$$

### 2. 闭合比

$$\varepsilon_b = p_b / p_s$$

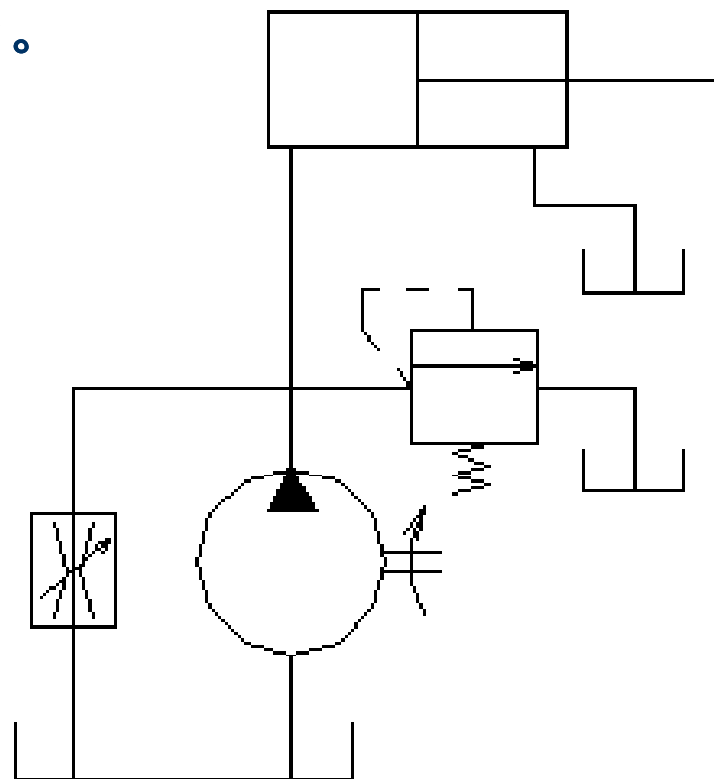
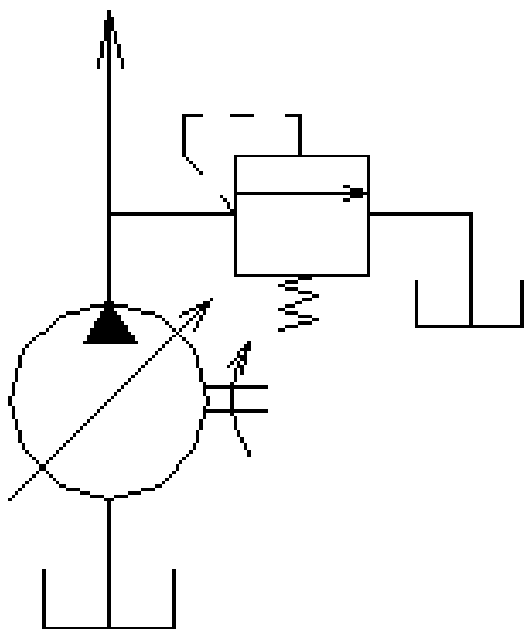
溢流阀开启后，要求压力随流量变化而产生的波动尽可能小，因此要求溢流阀具有尽可能大的开启或闭合比



# 溢流阀在液压系统中的作用

## 限压或（安全）作用：

通过溢流阀的溢流来限制系统的工作压力不超过某一安全值，因此又称为安全阀。溢流阀在系统正常工作情况下处于关闭状态。

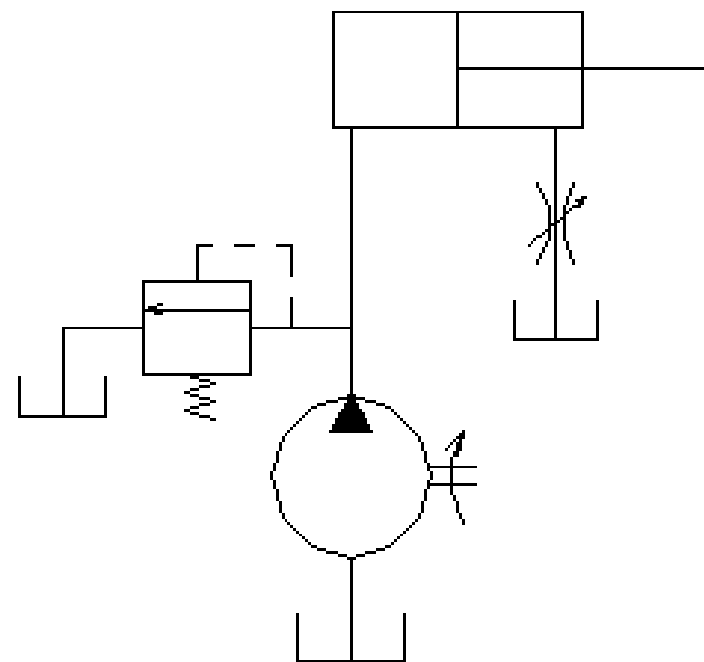
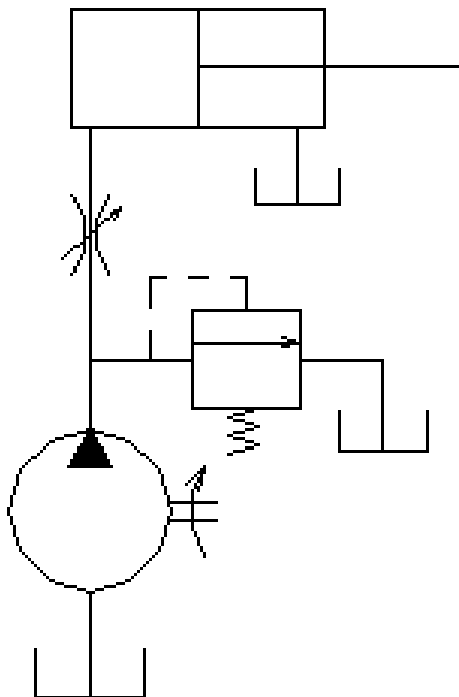




# 溢流阀在液压系统中的作用

## 定压或（稳压）作用：

将系统的工作压力稳定在溢流阀的调定压力值上，溢流阀在系统正常工作情况下处于打开状态，定压回路多与流量控制阀相结合组成节流调速回路。

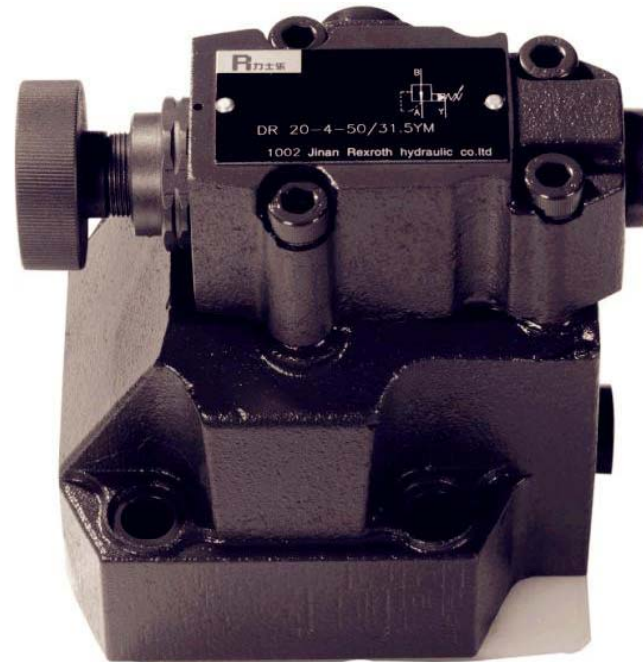


## 二、减压阀的基本结构与工作原理

**作用：** 减压阀通过出口压力油的负反馈作用，调节阀**出口**压力保持在低于进口压力的某一特定值上，在各种机床的**润滑、夹紧系统**中有着广泛的应用。

### 减压阀的分类

减压阀 { 直动式  
          { 先导式



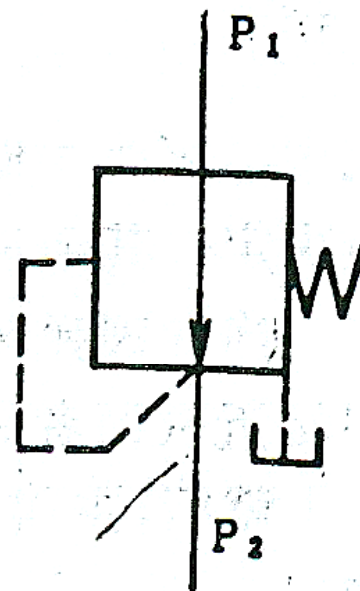
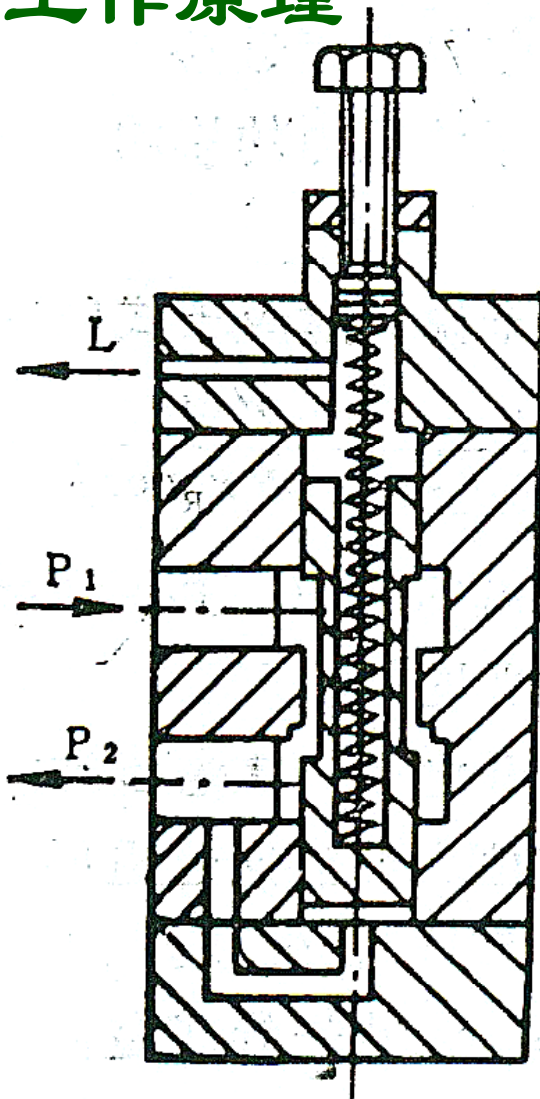
## 直动式减压阀的工作原理

- 出口压力 $P_2$ 低于弹簧预紧力，减压阀阀口全开，不起减压作用

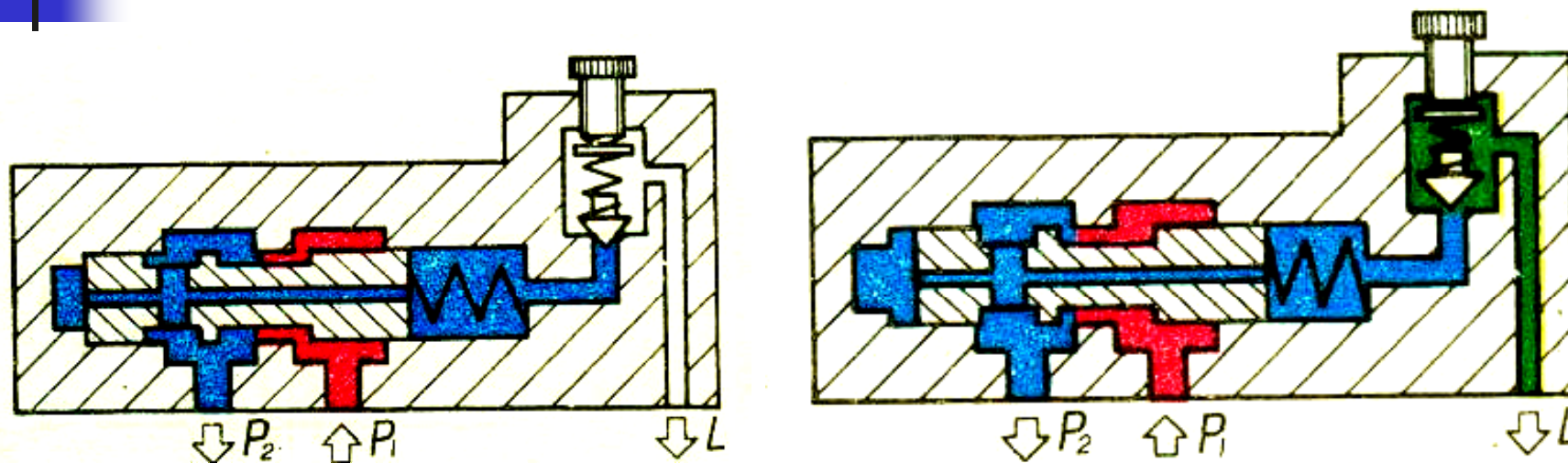
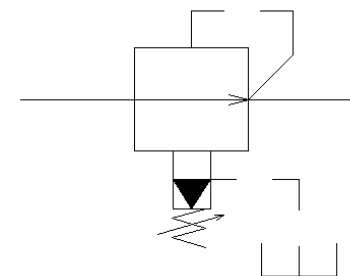
$$P_2 A_R < kx_0$$

- 当 $P_2$ 大于等于弹簧预紧力，阀心上移使阀口关小，进出口压差增大，减压阀处于减压状态。

$$P_2 A_R = k(x_0 + \Delta x)$$

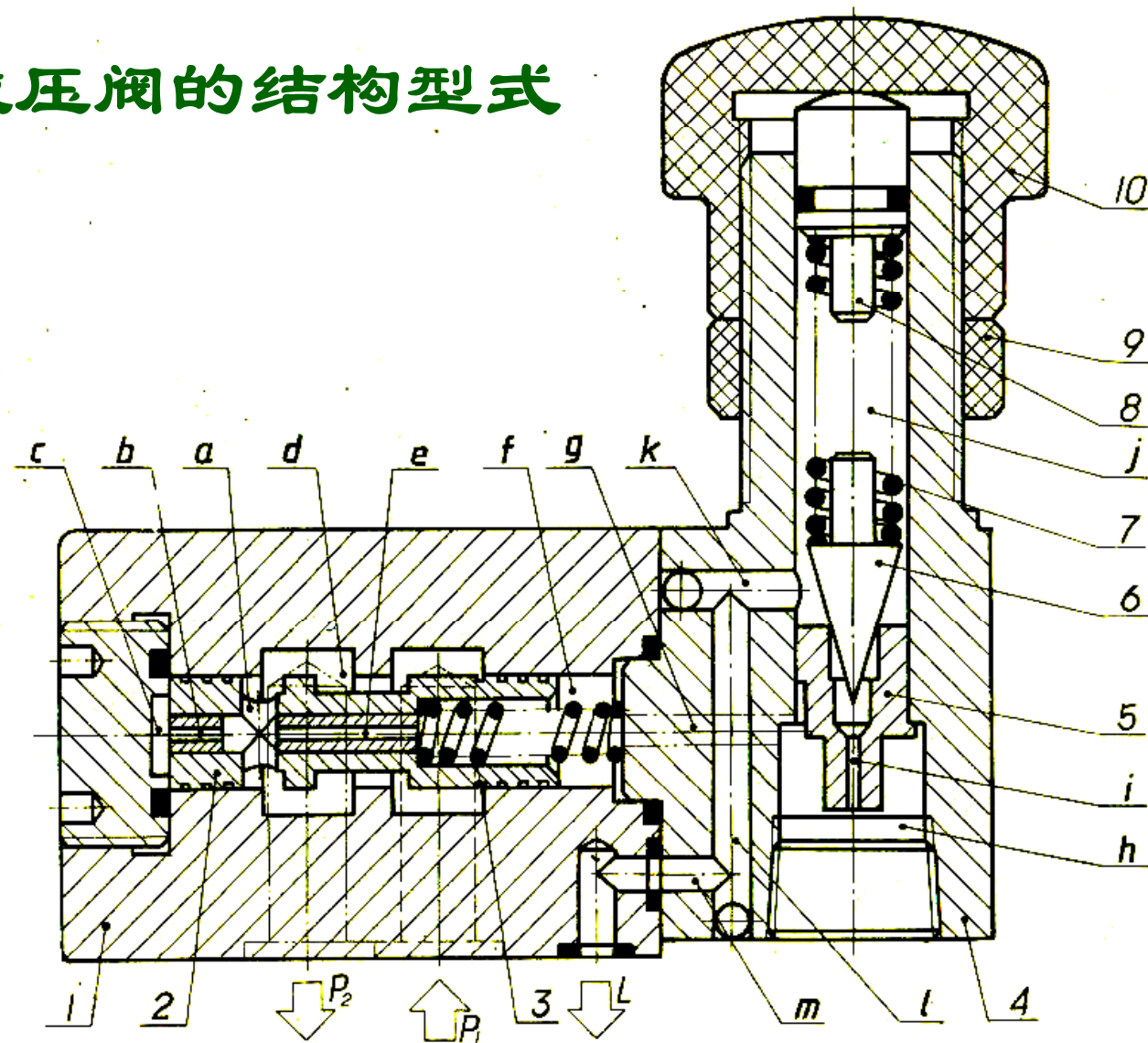


## 先导式减压阀的工作原理



- ❏ 出口压力低于先导阀调定压力，主阀心两侧压力相等，主阀在弹簧力作用下处于全通状态。
- ❏ 当出口压力高于先导阀调定压力时，先导阀首先溢流，由于阻尼孔的液阻作用，主阀心在两侧压力差作用下逐渐关闭

- 





## 减压阀与溢流阀的异同点

---

- 利用减压阀工作时保持**出口压力**基本不变，而溢流阀工作时**进口压力**基本不变。
- 减压阀不工作时阀口**常开**，溢流阀不工作时阀口**常闭**。
- 溢流阀由于出口直接接油箱，因此导阀的回油口与阀的出口相接（内泄式）；而减压阀由于出口接二次油路，因此需要单独的回油口（外泄式）。

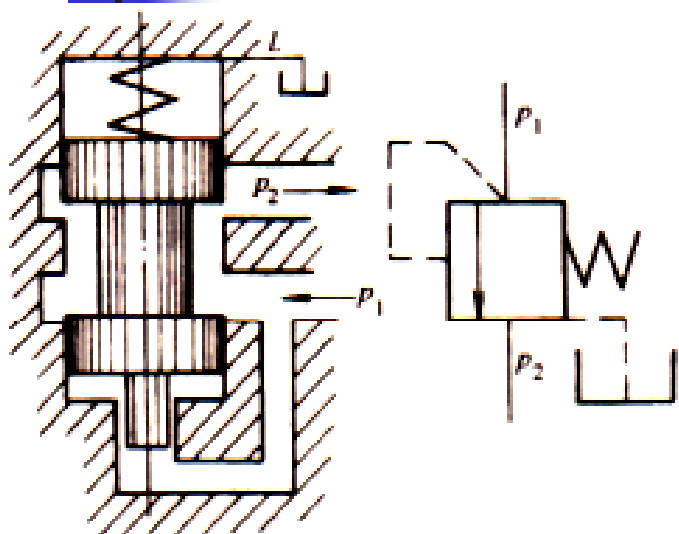


**功能：**根据系统各油路的压力来实现多个执行元件的顺序动作，起到一个油路开关的作用。

## 顺序阀



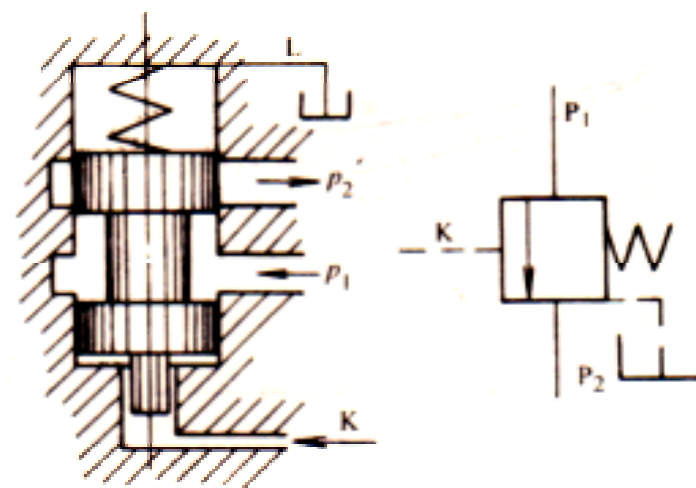
## 直动式顺序阀的工作原理与职能符号



腔单油因外式  
心有泄，为方  
阀具独口，而泄

### 直动直控式顺序阀

控制压力油取自进口  
进口压力达到调整压  
力则顺序阀开启。

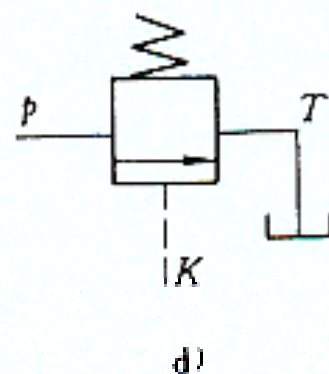
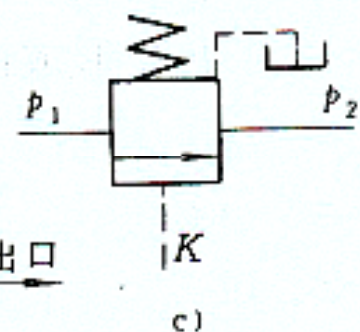
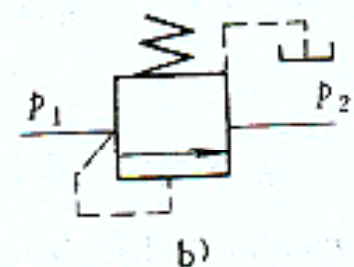
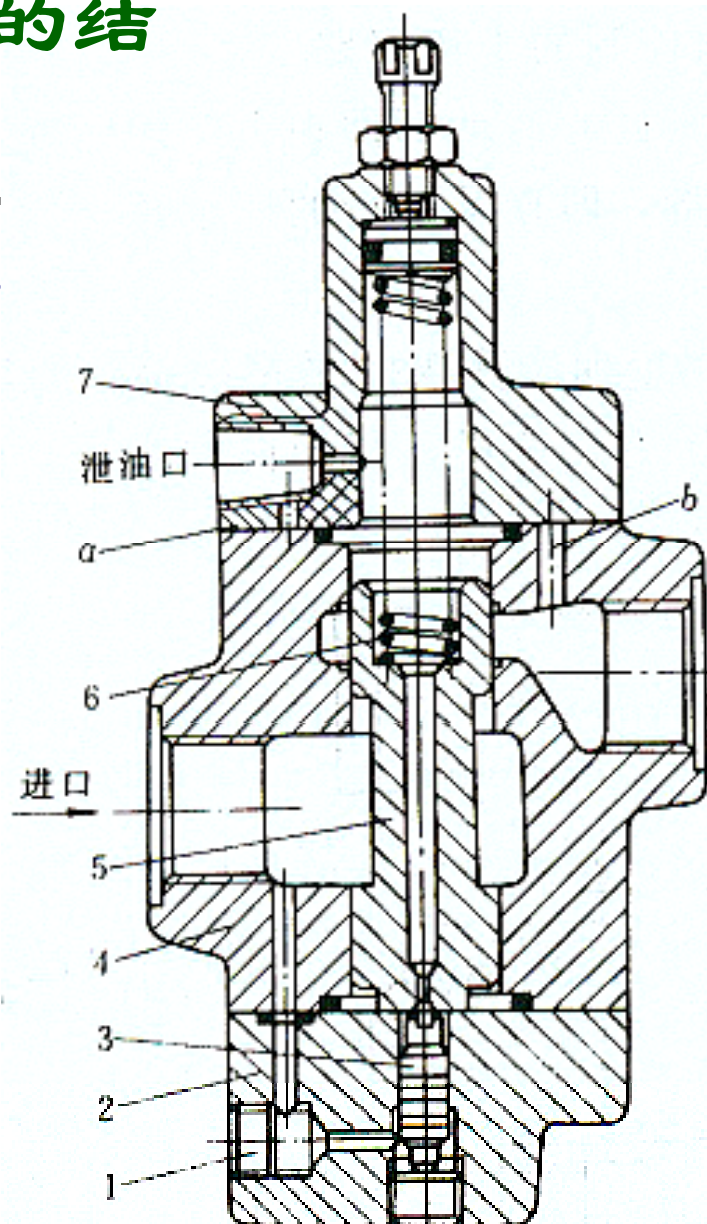


### 直动外控式顺序阀

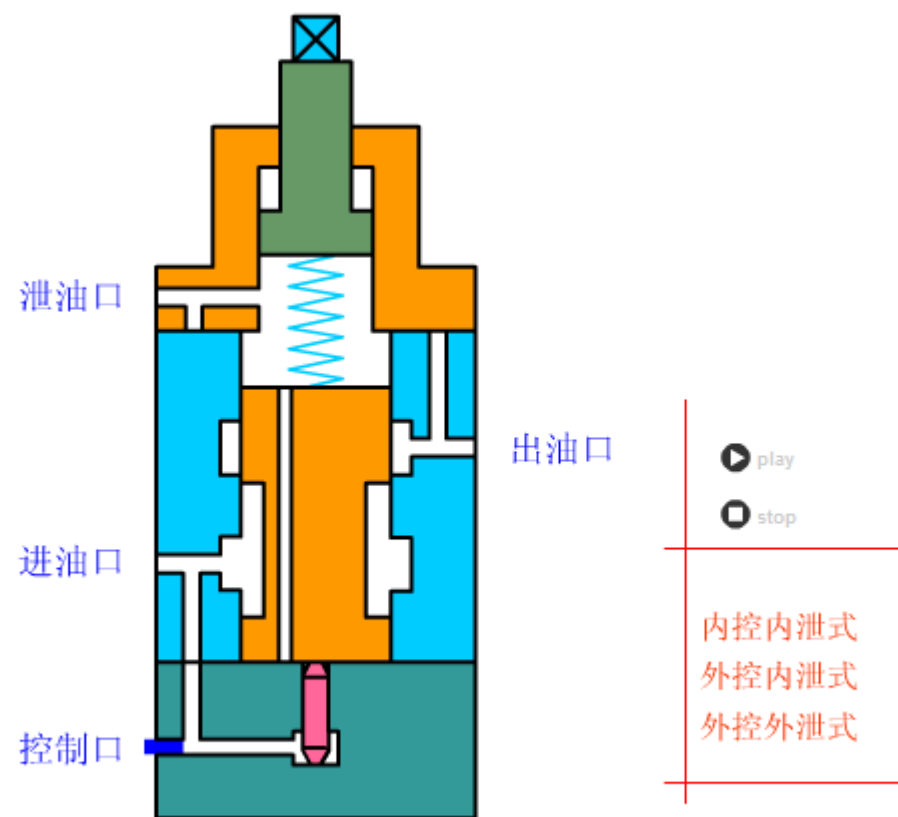
控制压力油取自二次油  
路，外控压力达到调整  
压力则顺序阀开启。

## 直动式顺序阀的结构特点

- 控制压力油取自进口、具有单独泄油口，为直控顺序阀（图b）
- 下阀盖转动180° 并打开外控口，则控制方式变为外控式（图c）
- 下阀盖转动180° 打开外控口，上阀盖转动180°，并堵住泄油口，则控制方式为外控，泄油方式为内泄，称为卸荷阀（图d）

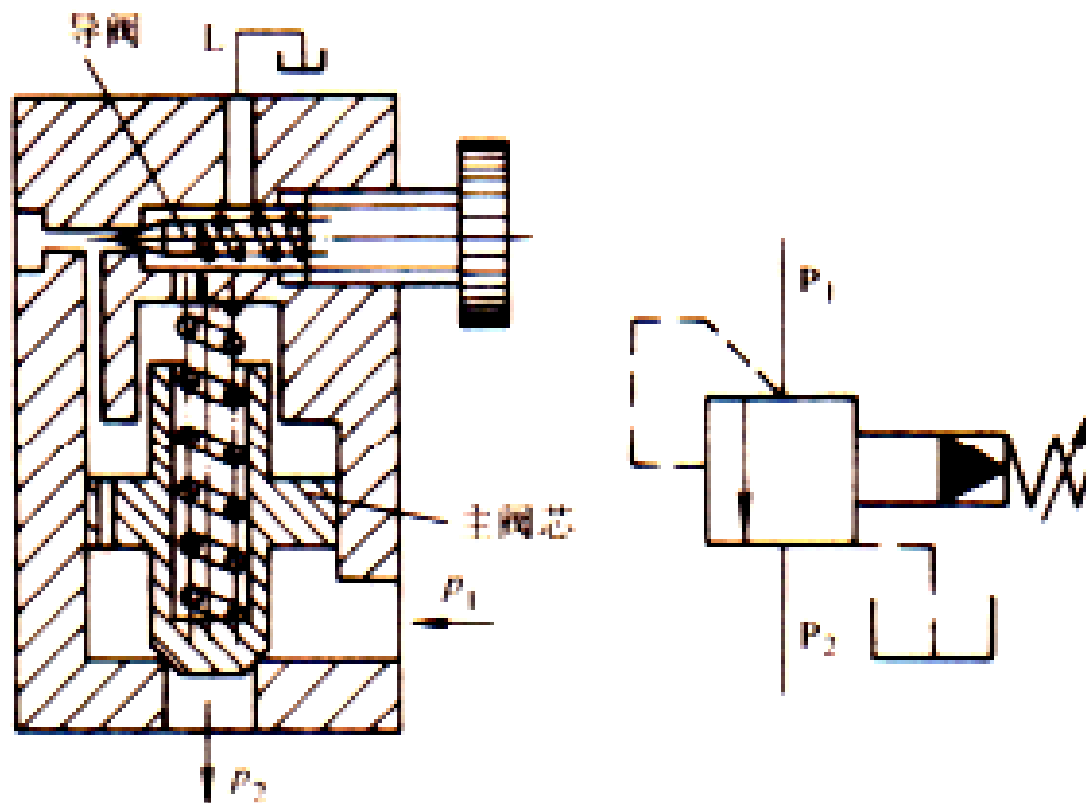


## 各类顺序阀的工作特点演示



## 先导式顺序阀的结构与工作原理

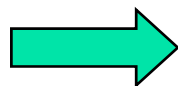
- 由先导调压阀和通流主阀两部分组成，主阀阀心在压差作用下开启
- 顺序阀出口接二次油路，阀心腔具有单独的泄油口。



## 顺序阀的工作特点

- 直控顺序阀出口接二次油路（通常为执行元件），因此阀芯腔具有单独泄油口，阀的启闭只与进口压力相关

直控顺序  
阀串联



支路的开启决定于其中调整压力最大的直控顺序阀

- 与溢流阀和减压阀不同，顺序阀不能保证开启后进、出口压力的恒定，而是由出口油路的压力决定

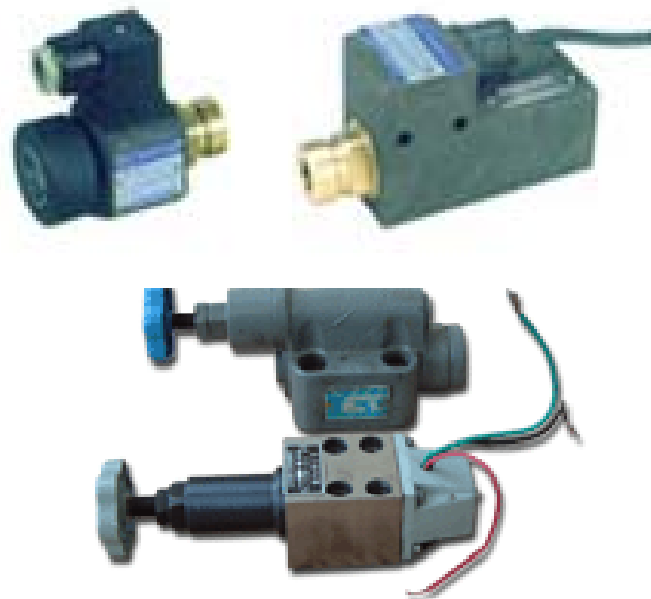
出口压力 < 调整压力 → 进口压力 = 调整压力，阀口呈与出口压力对应的开度

出口压力 > 调整压力 → 进口压力 = 出口压力，阀口全开



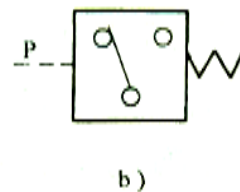
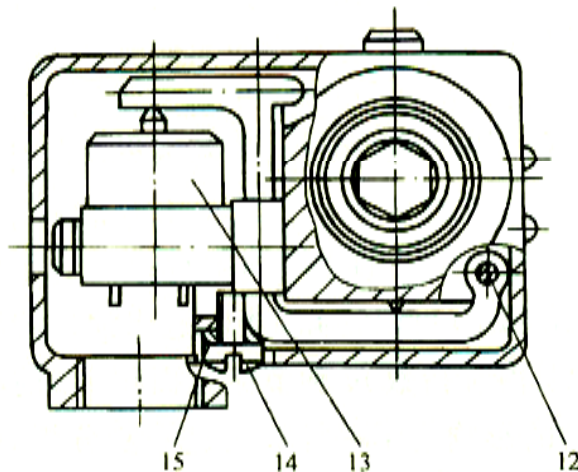
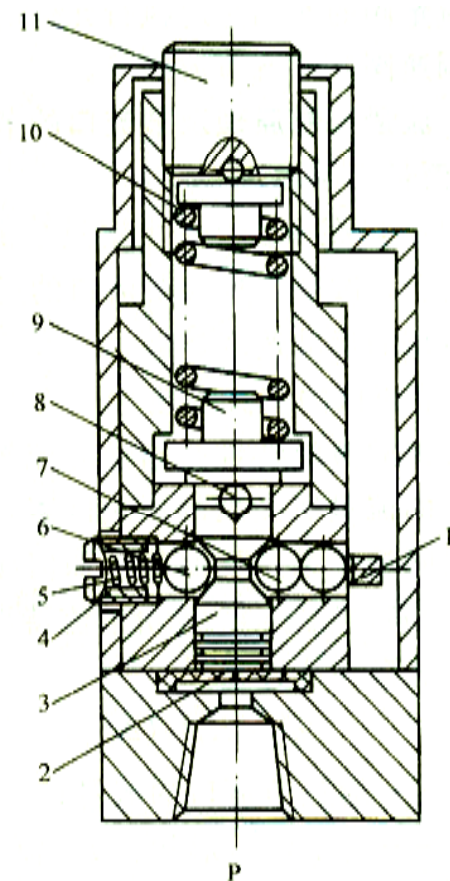
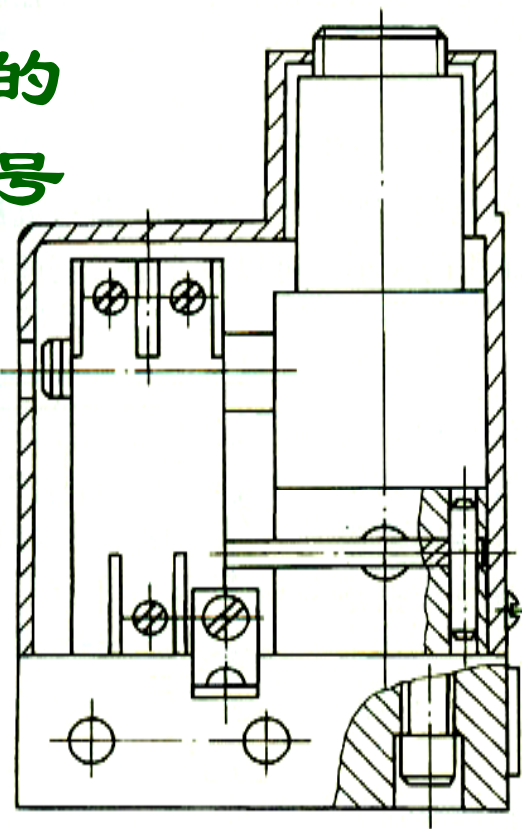
## 四、压力继电器及其工作原理

压力继电器是一种将油液压力信号转换为电信号的控制元件。压力继电器通过检测油路的压力来启闭电气触点，向电控系统发出电信号，控制其它元件的动作。



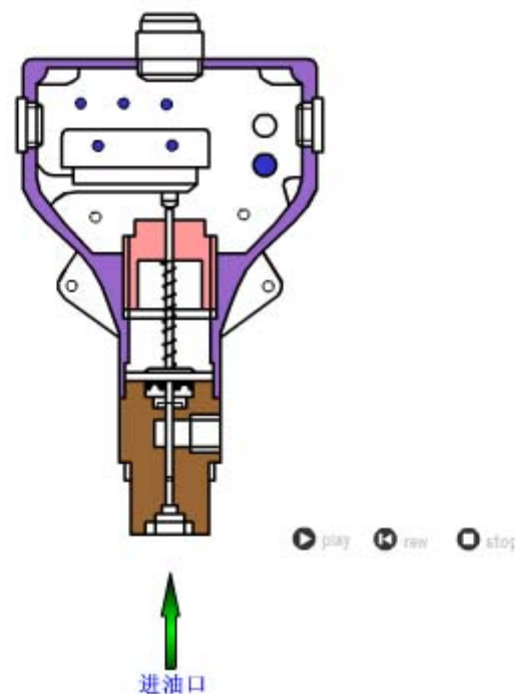
## 典型压力继电器的工作原理与能符号

- 当进口压力油压力大于闭合压力时，微动开关闭合，发出电信号。
- 当进口压力油压力下降到低于断开压力，微动复位复位，电信号切断。



## 压力继电器的工作特点

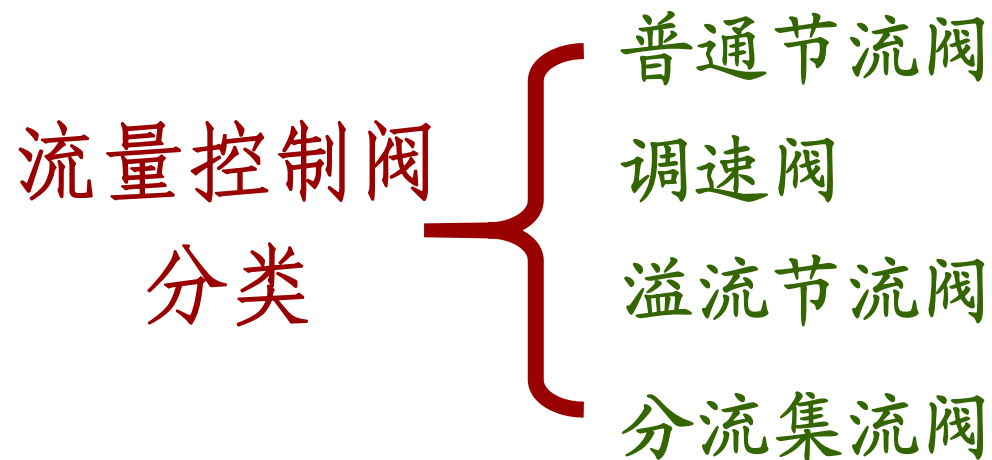
- 压力继电器的动作压力（闭合或断开）由弹簧预紧力决定，继电器的闭合压力大于断开压力。
- 压力继电器必须安装在压力能够发生变化的油路上，所产生电信号才能反映出系统状态的变化。





## § 4-4 流量控制阀

**流量控制阀：**通过改变阀通流截面积或通流长度来改变阀的液阻，从而达到控制阀的流量的作用的液压控制阀



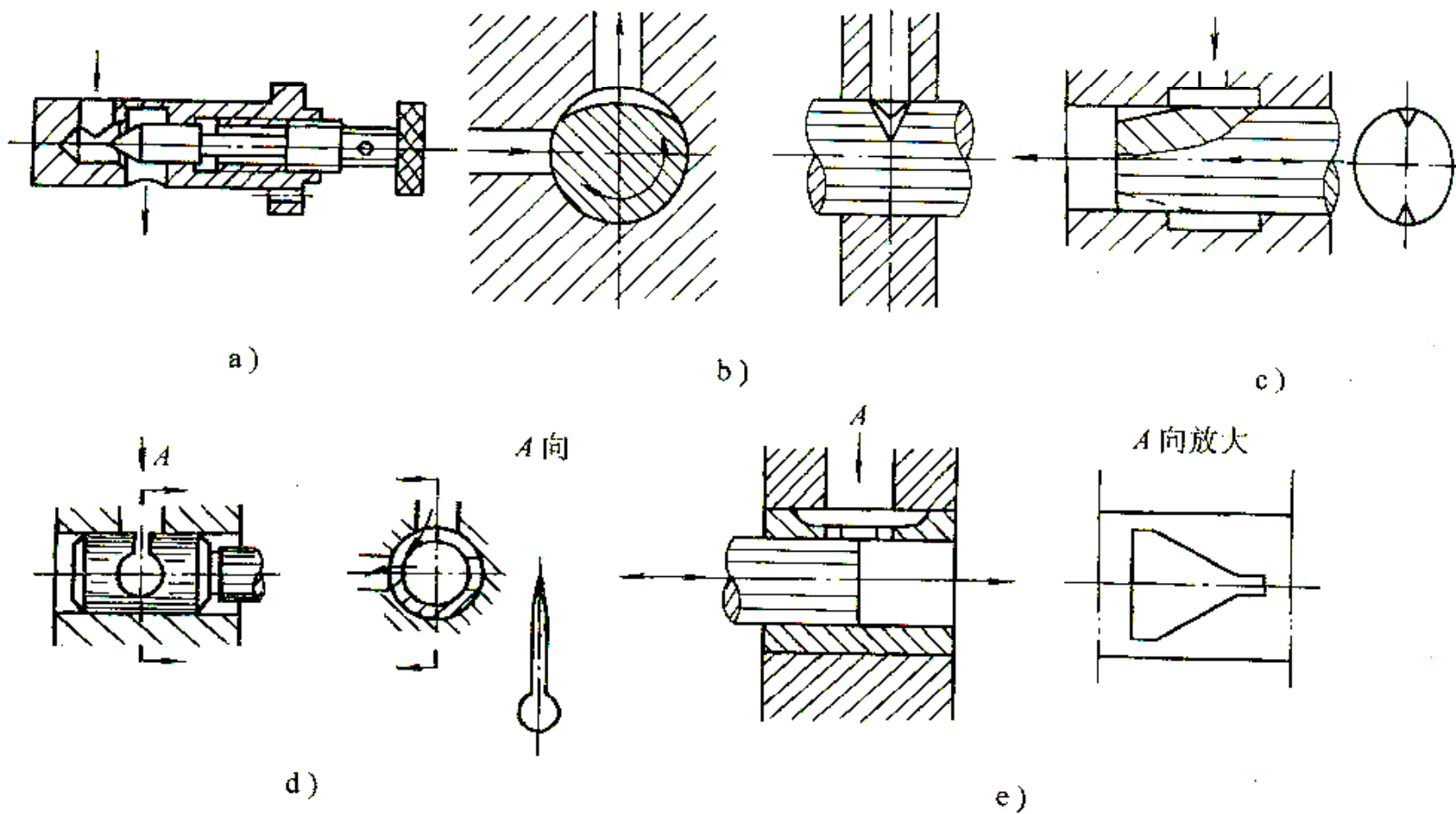
## 一、节流阀

### 节流阀的组成

- 节流口
- 阀心调节机构



# 节流阀的阀口节流型式







## 节流阀的流量特性

节流阀的节流口多为薄壁或细长小孔型式，因此通过节流阀节流口的流量为：

$$q = K \cdot A \cdot \Delta p^m$$

流量系数

节流口通流面积

节流阀进出口压差

节流阀指数

细长孔：m=1

薄壁孔：m=0.5

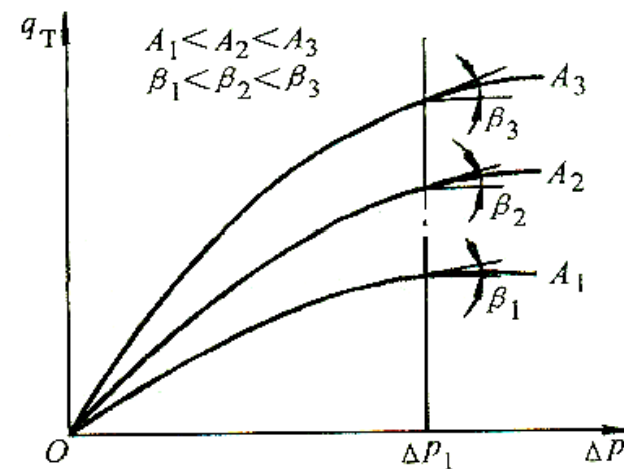
# 节流阀节流口的流量影响因素

## 节流阀两端压力差

节流阀的流量随两端压力差的改变而改变，因此在系统工作时，执行元件的负载变化就会引起其速度的波动。

速度刚度  $T$ ：

$$\left. \begin{aligned} T &= \frac{d(\Delta p)}{d(q)} \\ q &= K \cdot A \cdot \Delta p^m \end{aligned} \right\} \Rightarrow T = \frac{1}{K \cdot A \cdot m \cdot \Delta p^{m-1}}$$





# 节流阀的流量影响因素

## 节流口的形状及大小

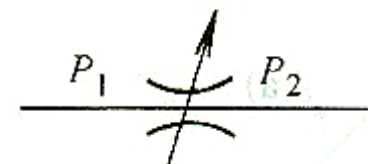
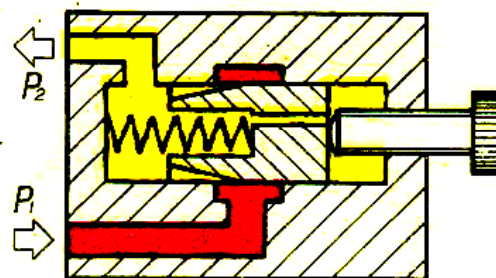
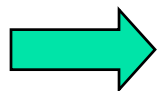
薄壁小孔对温度的敏感性小，不易堵塞，是保证节流阀流量稳定的理想选择。

## 液压油的温度变化

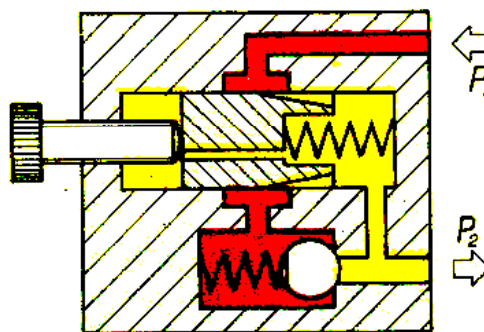
温度变化对节流阀流量的影响体现在对油液的密度、粘度等物理性质的影响。油温升高，油粘度下降，相同流量的情况下，所产生的压力差变小；反之则压力差变大。因此在使用节流阀时，**应注意系统中油液的温度在许用范围内，或引入温度补偿装置**

# 节流阀的工作原理

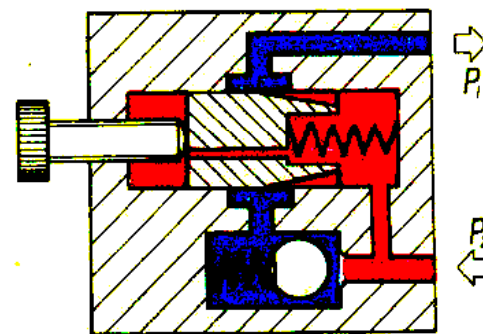
普通节流阀



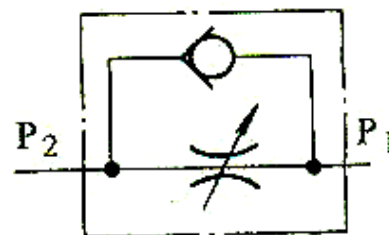
单向节流阀



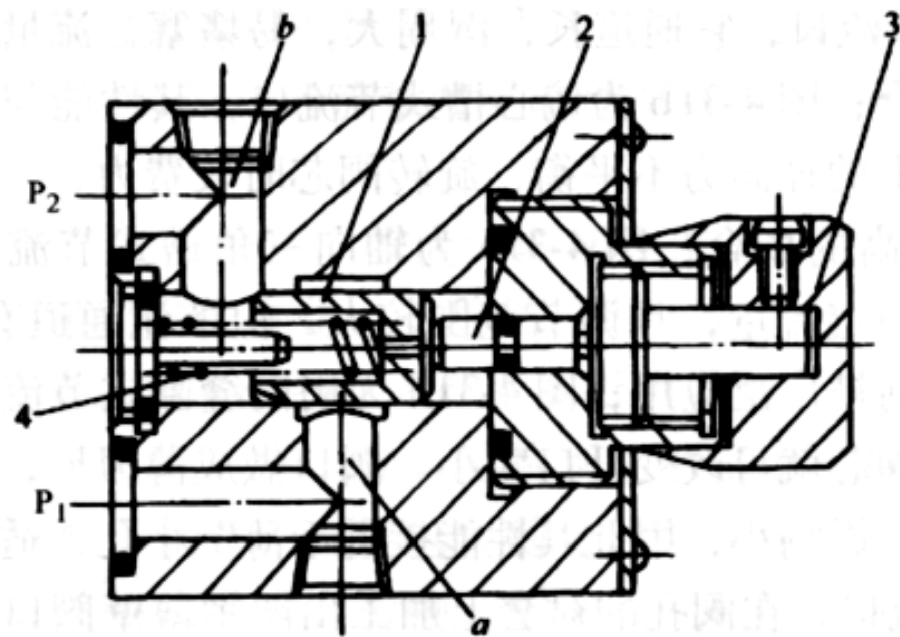
(a)



(b)

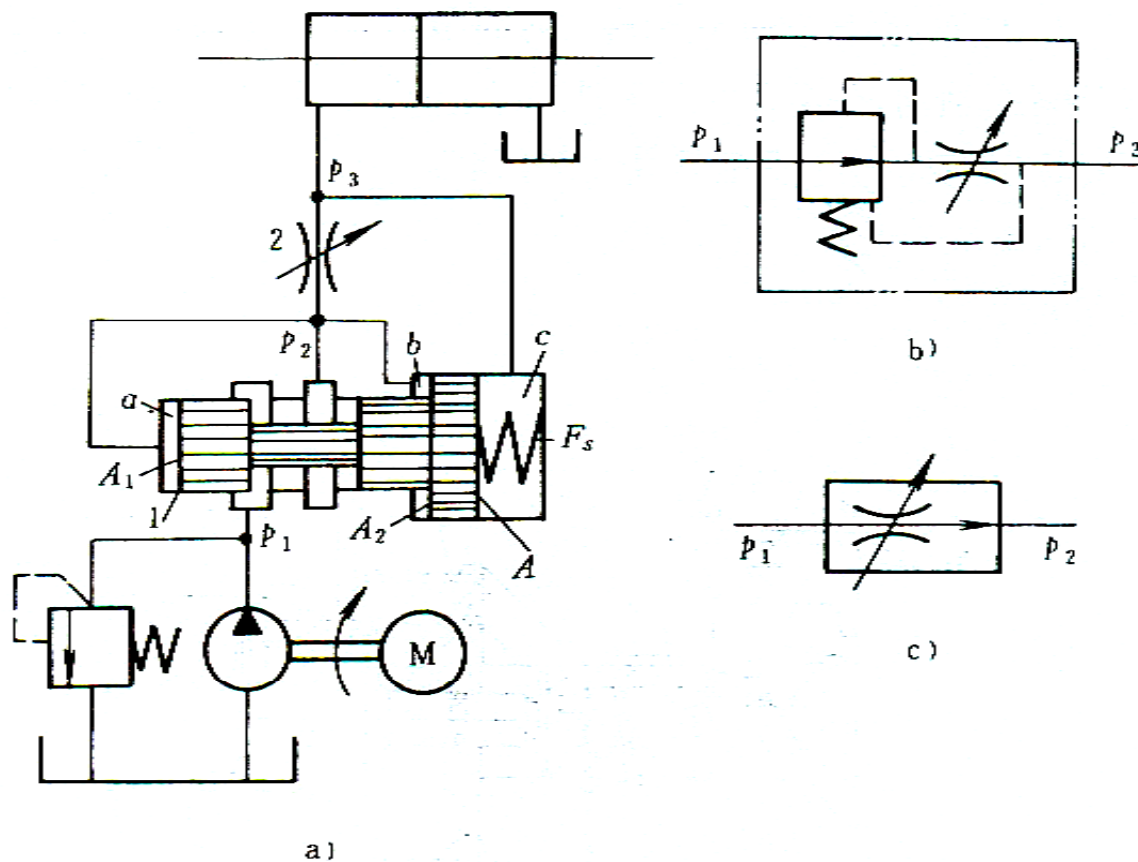


# 节流阀的典型结构



## 二. 调速阀

### 调速阀的基本组成与职能符号

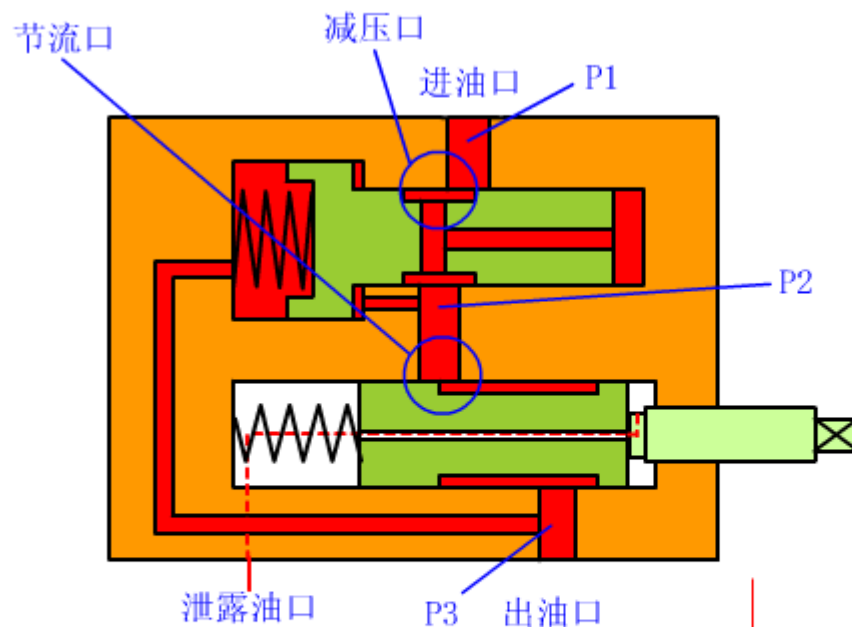


组成：节流阀和定差减压阀相串联



## 调速阀的压力补偿原理

调速阀稳定工作时，  
在减压阀的作用下，  
节流阀两侧压差基  
本保持恒定，因此  
通流流量不变。



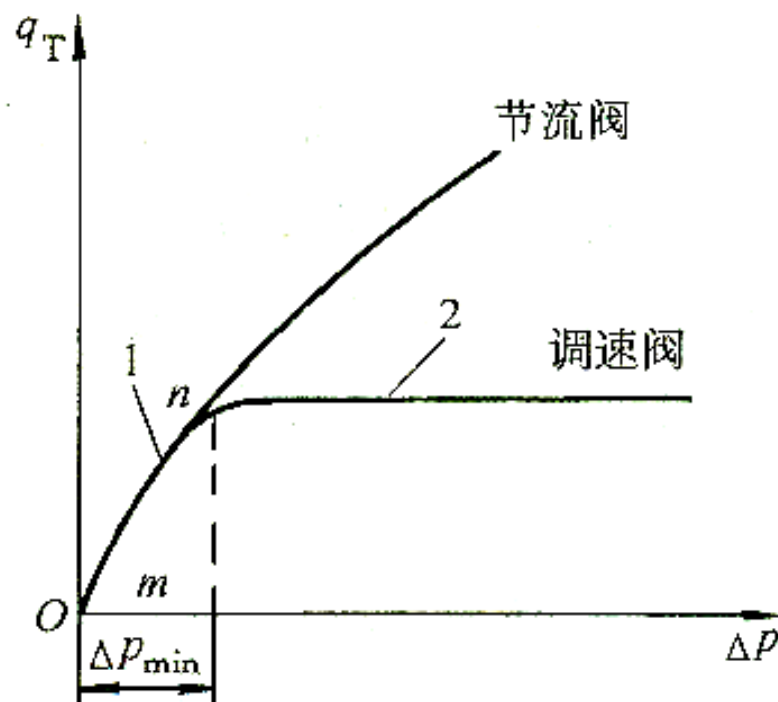
当出口压力降底时  
当出口压力升高时

$$(P_2 - P_3) \\ = F_s / A = kx_0 / A$$

## 调速阀的流量特性

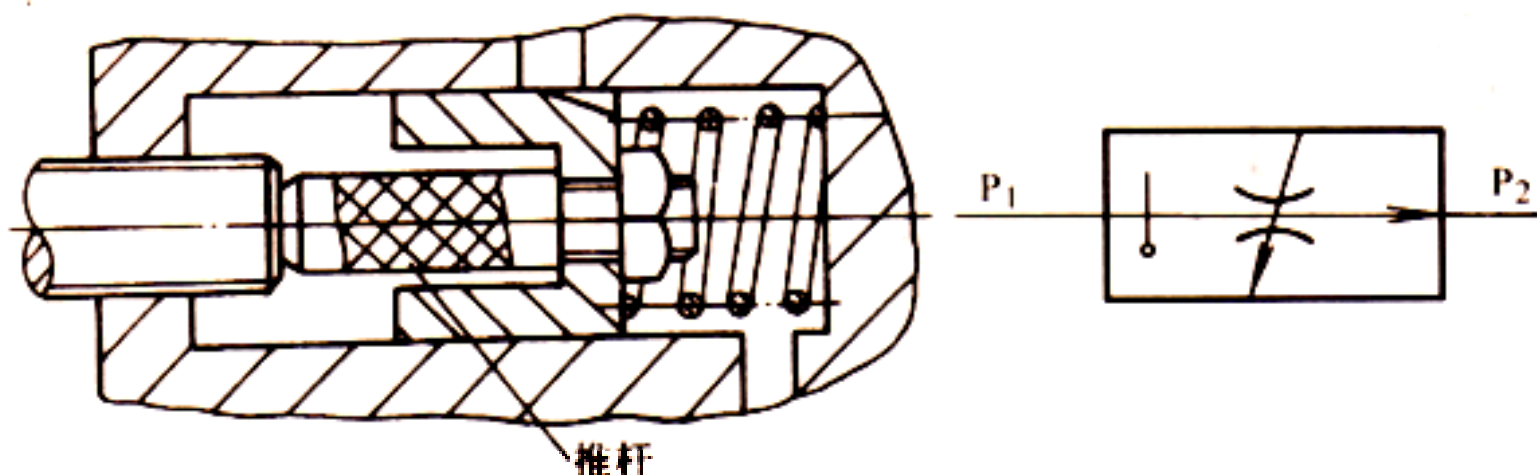
调速阀两端压差较低时，调速阀流量特性与节流阀相同。

调速阀正常工作时则通过调速的流量不随负载变化，即速度刚度无穷大。



调速阀工作时，必须保证调速阀进出口的压差 $\Delta P$ 至少为4~5bar。

## 调速阀的温度补偿原理



利用热膨胀系数较大的聚氯乙烯做成推杆，补偿因温度引起的流量变化。

温度升高→推杆伸长→阀口关小

温度降低→推杆收缩→阀口开大