



液压传动及控制I

— 液压阀（上）

方向、压力、流量阀

浙江大学机械电子控制工程系
流体动力与机电系统国家重点实验室

2021. 12



目录

(对应教材第六章1-5节)

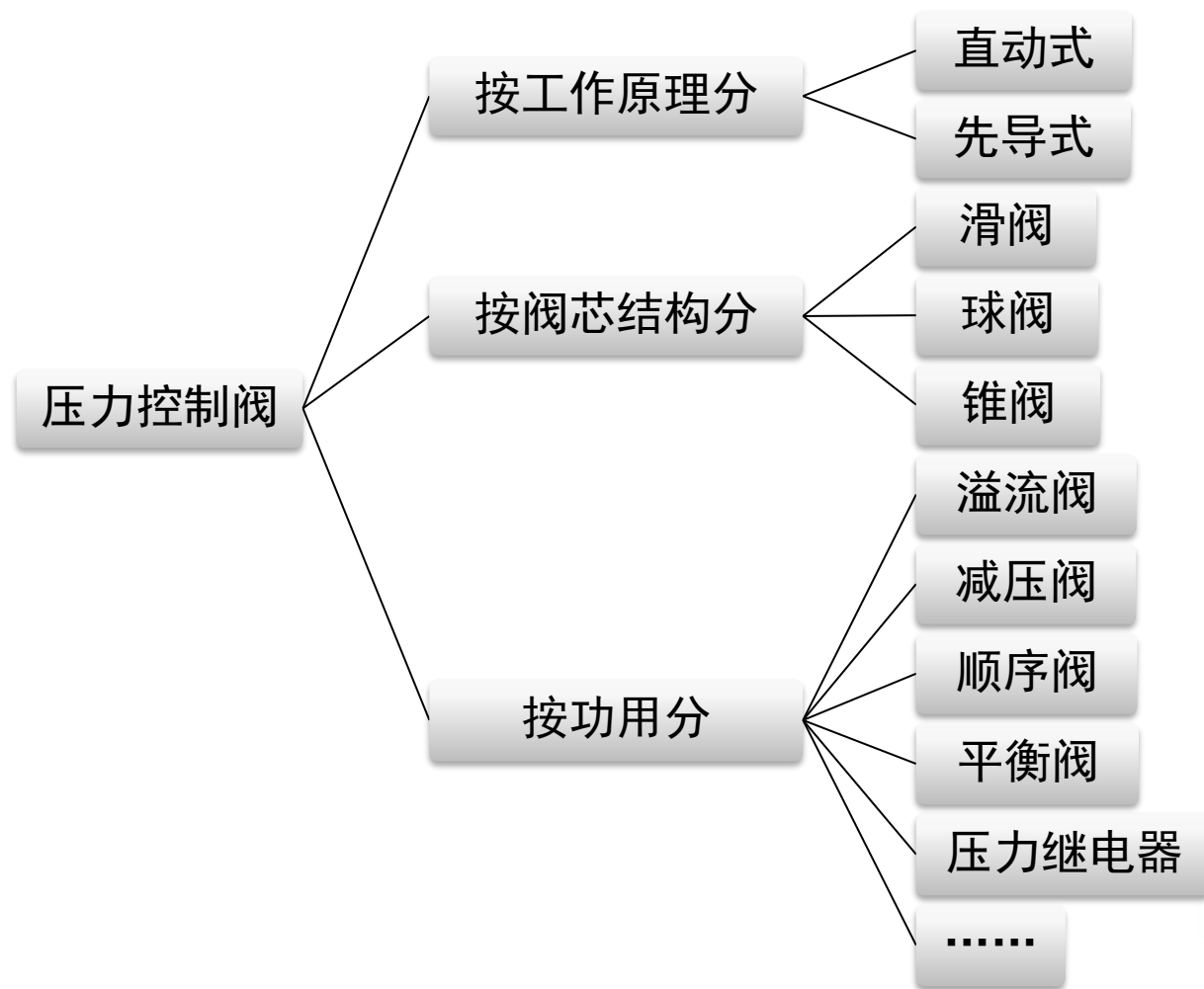
□ 压力控制阀

□ 流量控制阀



压力控制阀

□ 常见压力控制阀的类型



直动式溢流阀

只要阀口打开，有油液流经溢流阀，溢流阀入口处的压力基本恒定

调节弹簧预紧力，可调整溢流压力；改变弹簧刚度，可改变调压范围

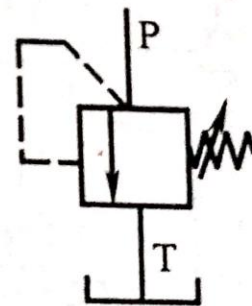
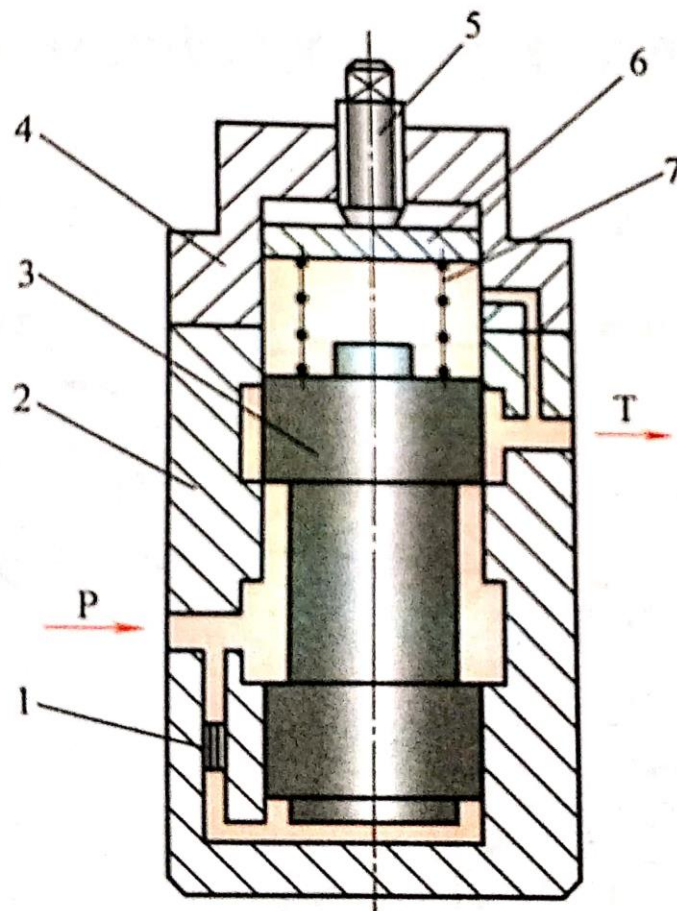


图6-23 直动式滑阀型溢流阀的工作原理及其图形符号

1-阻尼孔 2-阀体 3-阀芯 4-阀盖

5-调压螺钉 6-弹簧座 7-弹簧

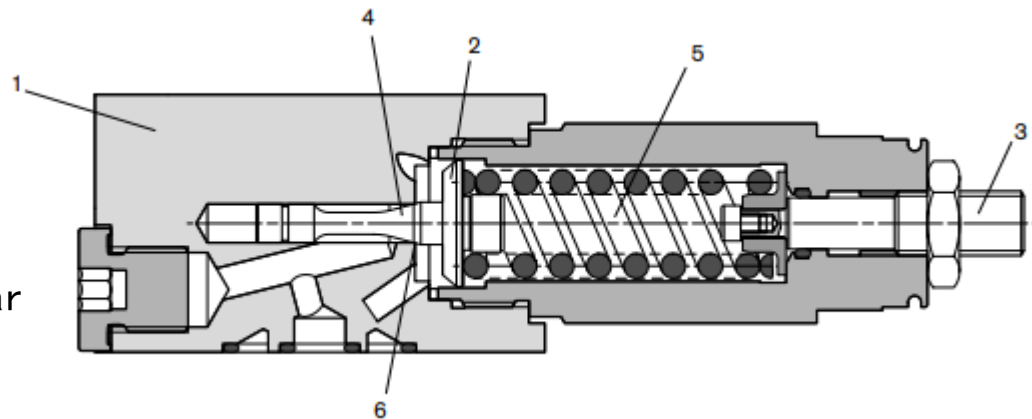
直动式溢流阀

Bosch Rexroth DB6D直动式溢流阀

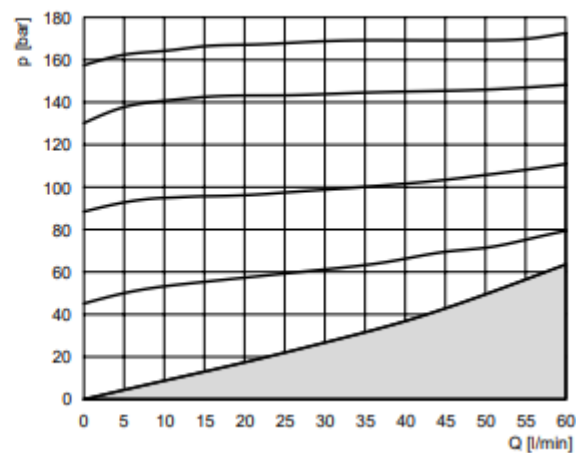
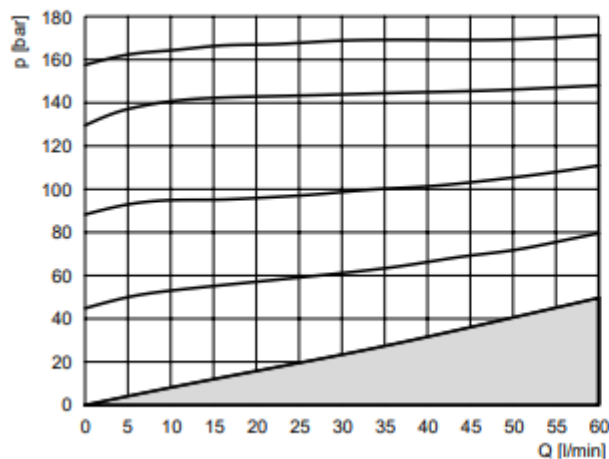
最大工作压力：315bar

最大流量：60L/min

最大设定压力：80bar、160bar、315bar



$p = 160 \text{ bar}$



该系列最大设定压力为160bar的溢流阀在不同设定压力下的流量-压力特性曲线

先导式溢流阀

- 由**先导阀**和**主阀**组成，阀体上有一个**远程控制口**
- 先导阀部分结构尺寸一般较小，压力调整比较轻便
- 要求先导阀和主阀都动作后才能起控制作用，反应不如直动式溢流阀灵敏

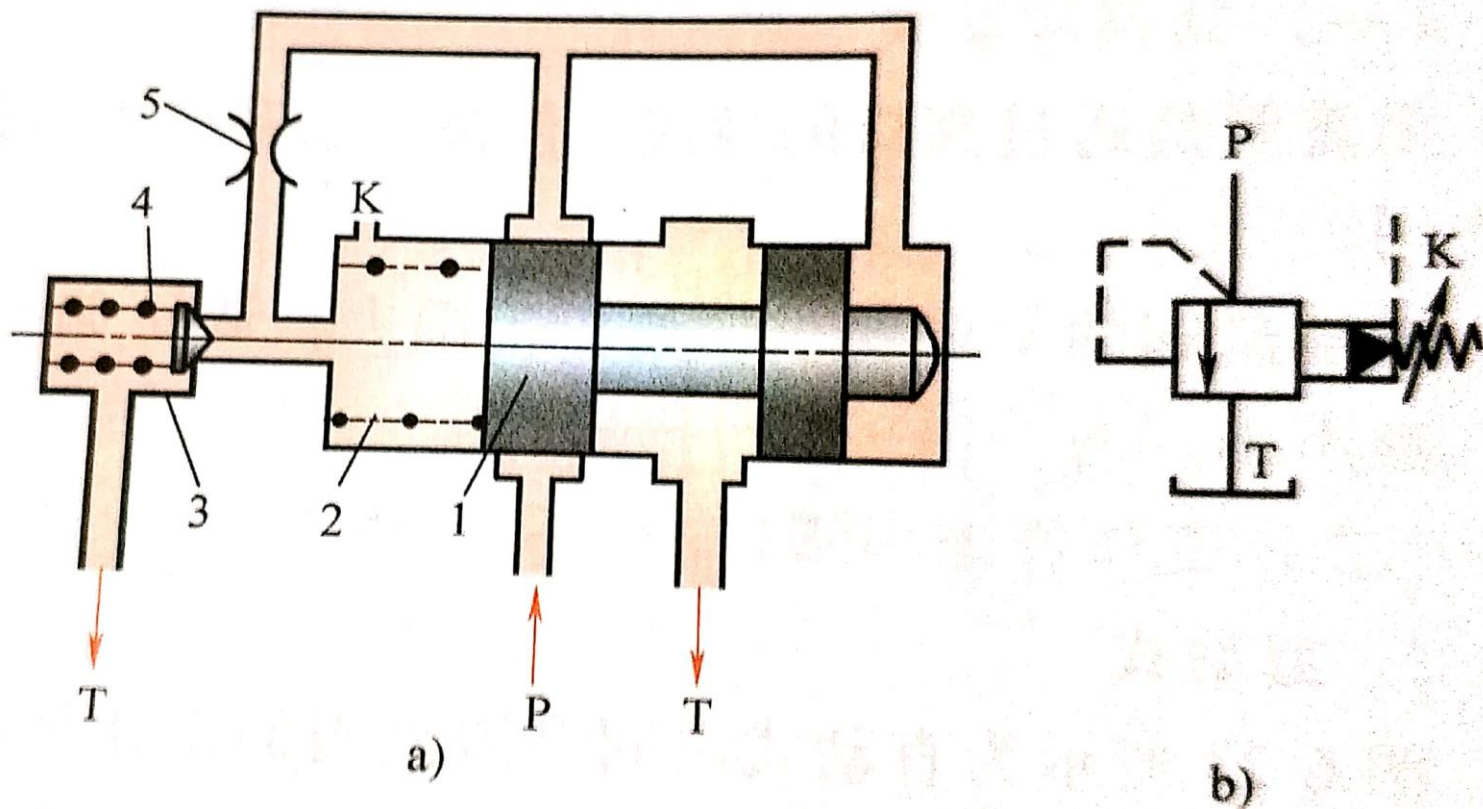
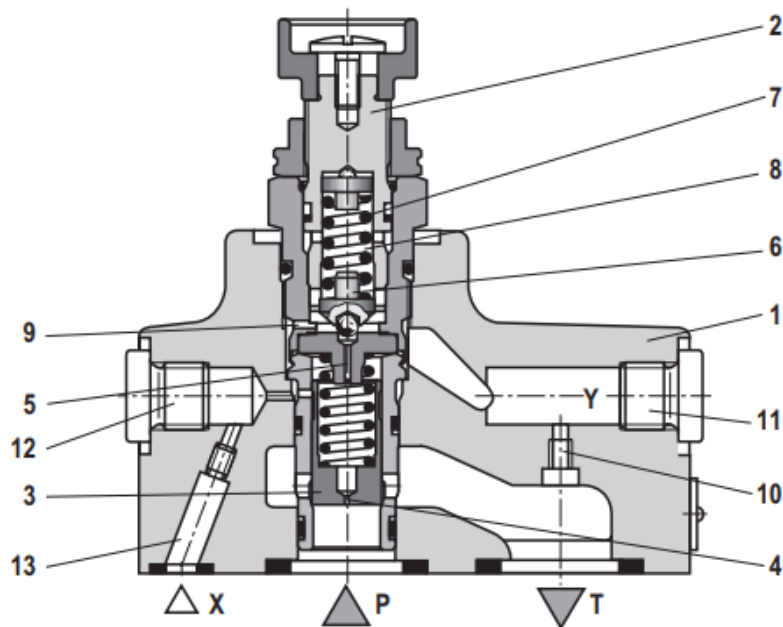


图6-25 先导式溢流阀的工作原理及其图形符号 a) 工作原理 b) 图形符号
1-主阀 2-主阀弹簧 3-先导阀 4-调压弹簧 5-阻尼孔

先导式溢流阀

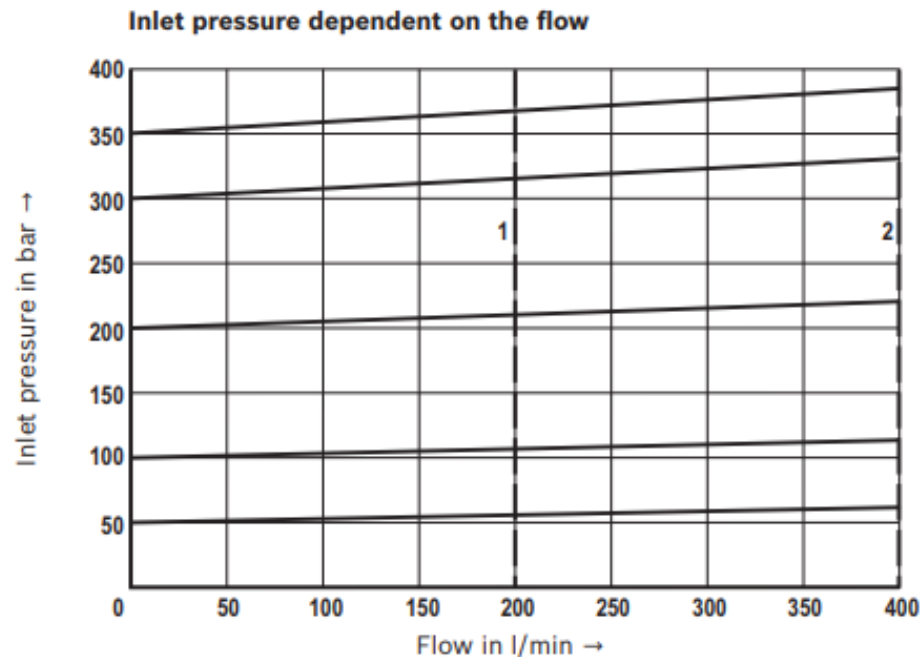


Bosch Rexroth DB20K先导式溢流阀

最大工作压力：350bar

最大流量：300L/min

最大设定压力：50bar、100bar、
200bar、315bar、350bar



该系列最大设定压力为350bar的溢流阀
在不同设定压力下的流量-压力特性曲线

溢流阀的静态特性

- 阀芯受力平衡方程：

$$pA = F_s + F_g + F_{bs} + F_f$$

p —进口处的压力， A —阀芯承压面积， F_s —弹簧作用力， F_g —阀芯重力， F_{bs} —轴向稳态液动力， F_f —摩擦力

- 溢流阀进口处的压力是由弹簧力决定的。溢流阀的开启压力：

$$p_c = \frac{k_s}{A} x_c$$

k_s ——弹簧刚度， x_c ——弹簧预压缩量

- 全流压力：当溢流阀通过额定流量时的进口压力
- 静态调压偏差：全流压力与开启压力之差
- 开启比：开启压力与全流压力之比
- 溢流阀的开启比越大，静态调压偏差越小，系统压力越稳定

溢流阀的静态特性

- 溢流阀的“压力-流量”特性方程：

$$q = \frac{C_d A w}{k_s + 2C_d w \cos \phi p} (p - p_c) \sqrt{\frac{2p}{\rho}}$$

先导式溢流阀的开启比通常比直动式的大，静态调压偏差小，不灵敏区小

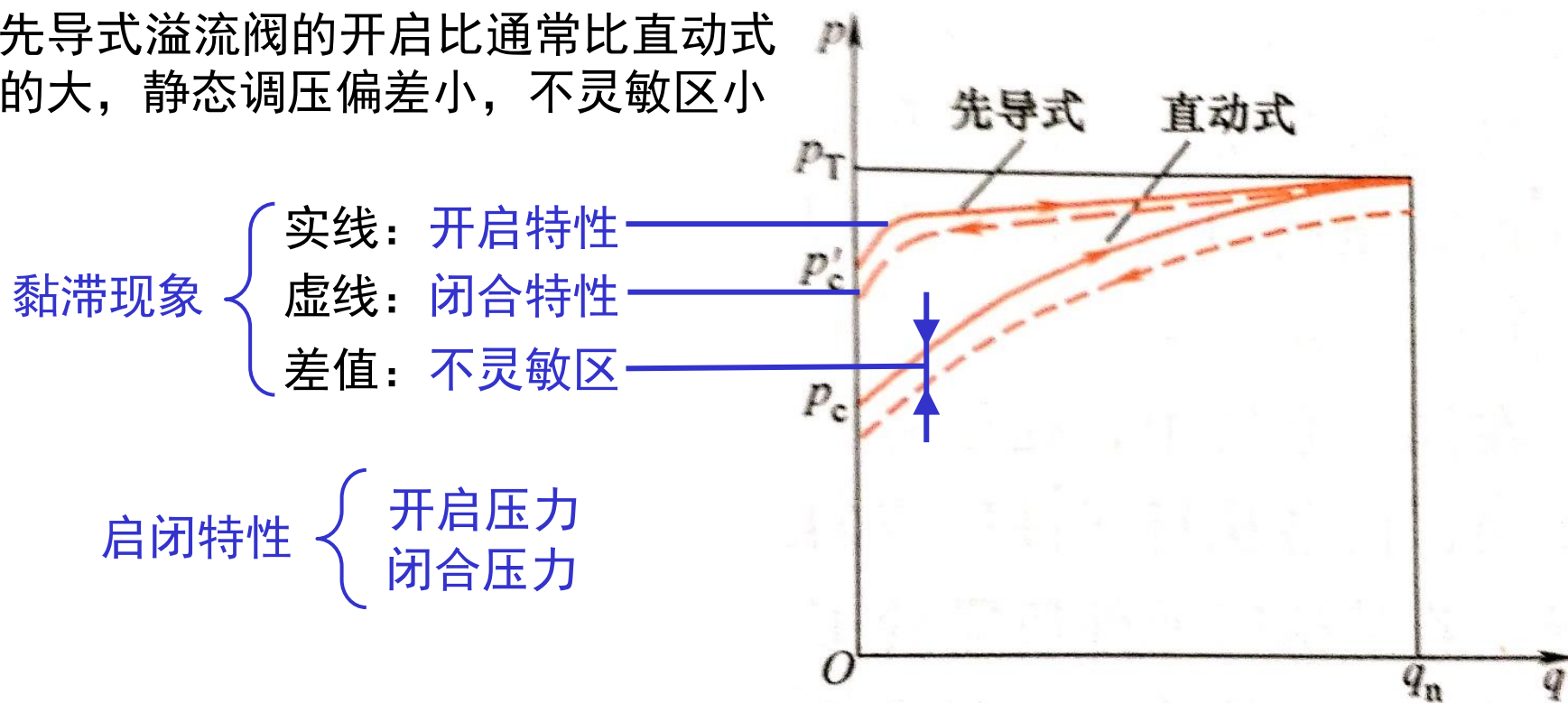


图6-27 溢流阀的特性曲线

减压阀

□ 减压阀和溢流阀的不同之处

- 减压阀保持**出口**处压力基本不变，溢流阀保持**进口**处压力基本不变
- 在不工作时，减压阀进、出口互通，溢流阀进、出口不通

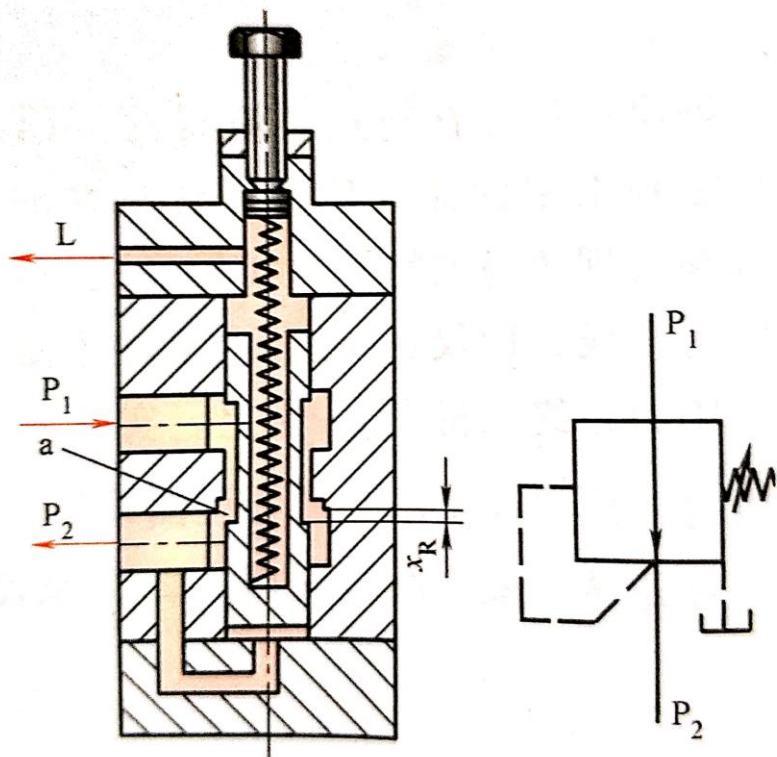


图6-28 直动式二通减压阀的工作原理及其图形符号

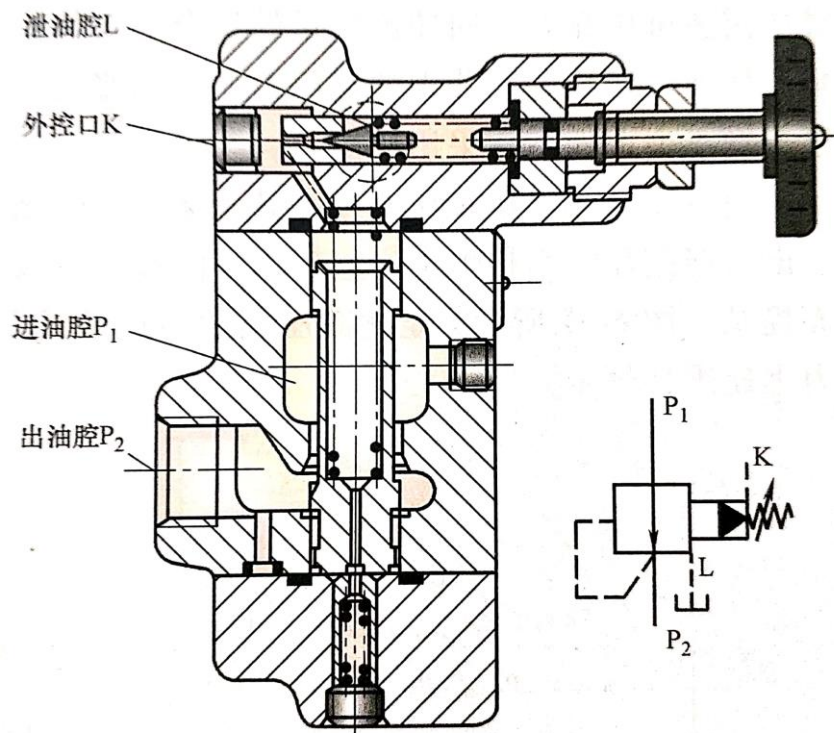
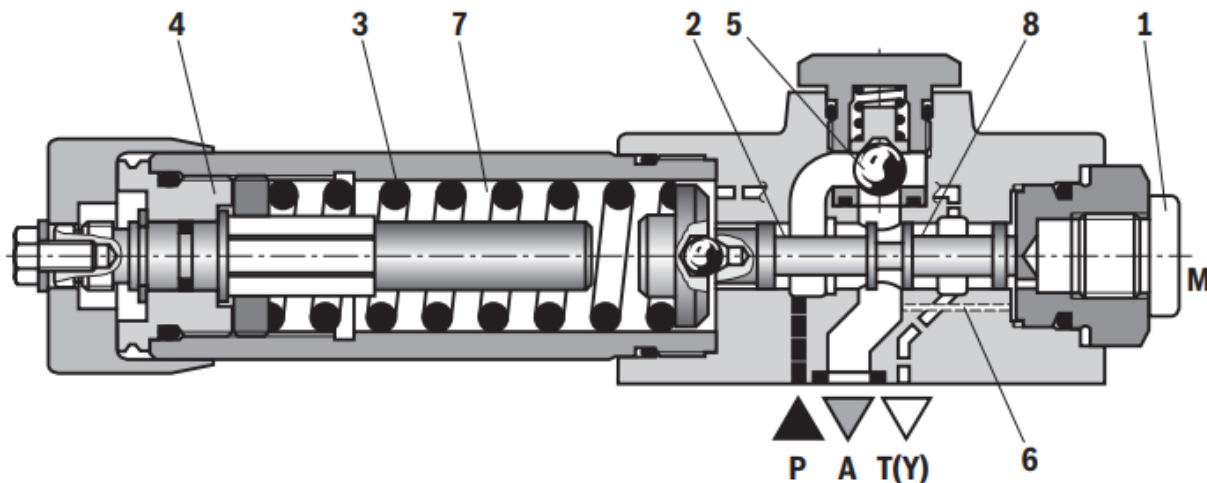


图6-29 先导式减压阀的结构及其图形符号

直动式减压阀



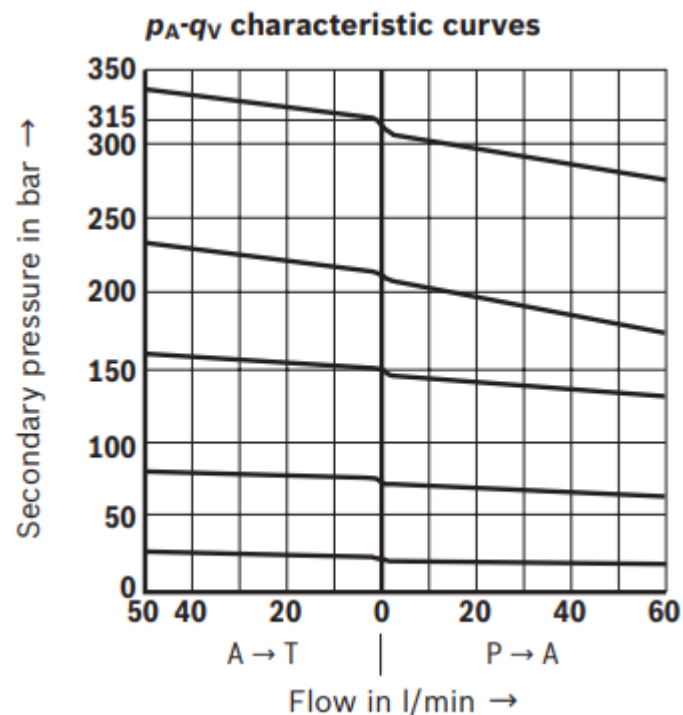
Bosch Rexroth DR 6 DP直动式减压阀

最大工作压力：315bar

最大流量：60L/min

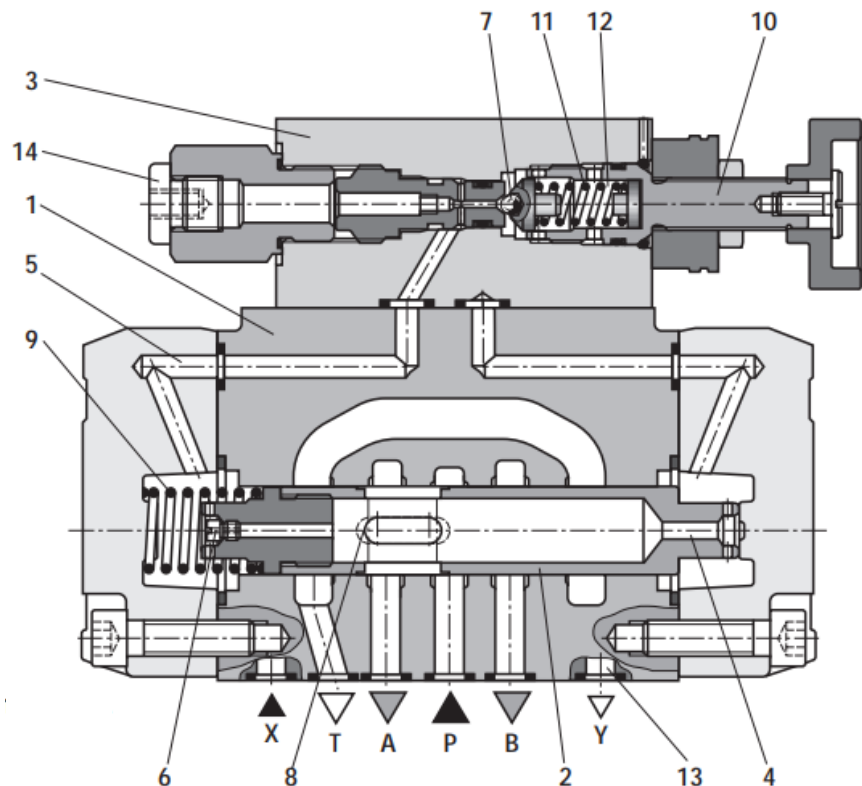
最大设定压力：25bar、75bar、

150bar、210bar、315bar



该系列不同型号减压阀的流量-压力特性曲线

先导式减压阀



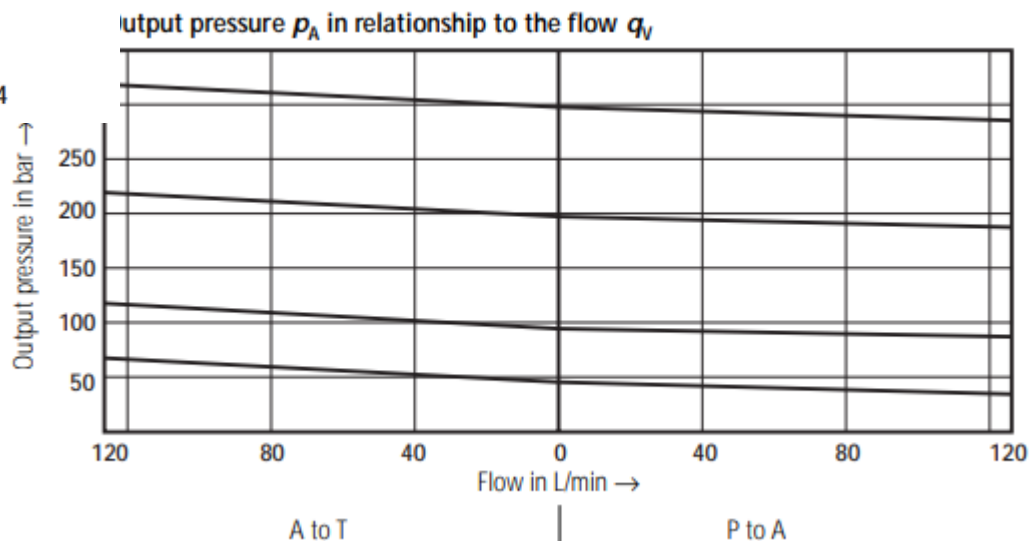
Bosch Rexroth 3DR 10P先导式减压阀

最大工作压力: 315bar

最大流量: 120L/min

最大设定压力: 50bar、100bar、
200bar、315bar

该系列不同型号减压阀
的流量-压力特性曲线



减压阀的性能

- 减压阀的出口压力基本上保持定值：

$$p_2 \approx \frac{k_s}{A} x_c \approx \text{const}$$

k_s ——弹簧刚度

A ——阀芯承压面积

x_c ——弹簧预压缩量

- 进口压力恒定时，若通过的流量增加，出口压力略微下降

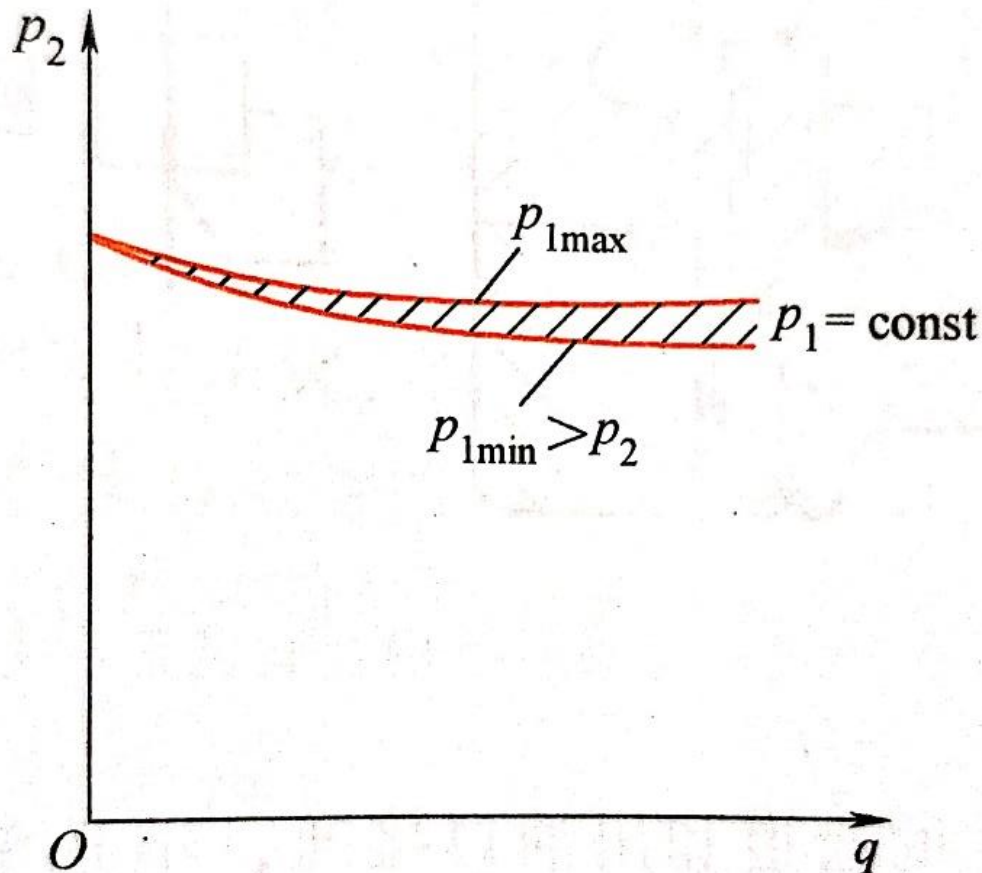


图6-30 减压阀的特性曲线

减压阀的应用

- 减压阀主要用在系统的夹紧、电液换向阀的控制压力油、润滑等回路中，三通减压阀还可用在有反向冲击流量的场合
- 减压阀会增加功耗和使油液发热，当分支油路压力比主油路压力低很多且流量很大时，常采用高、低压泵分别供油
- 定差减压阀**可保证节流阀进出口间的压差维持恒定，**定比减压阀**的进口压力和出口压力之比维持恒定

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{A_1}{A_2}$$

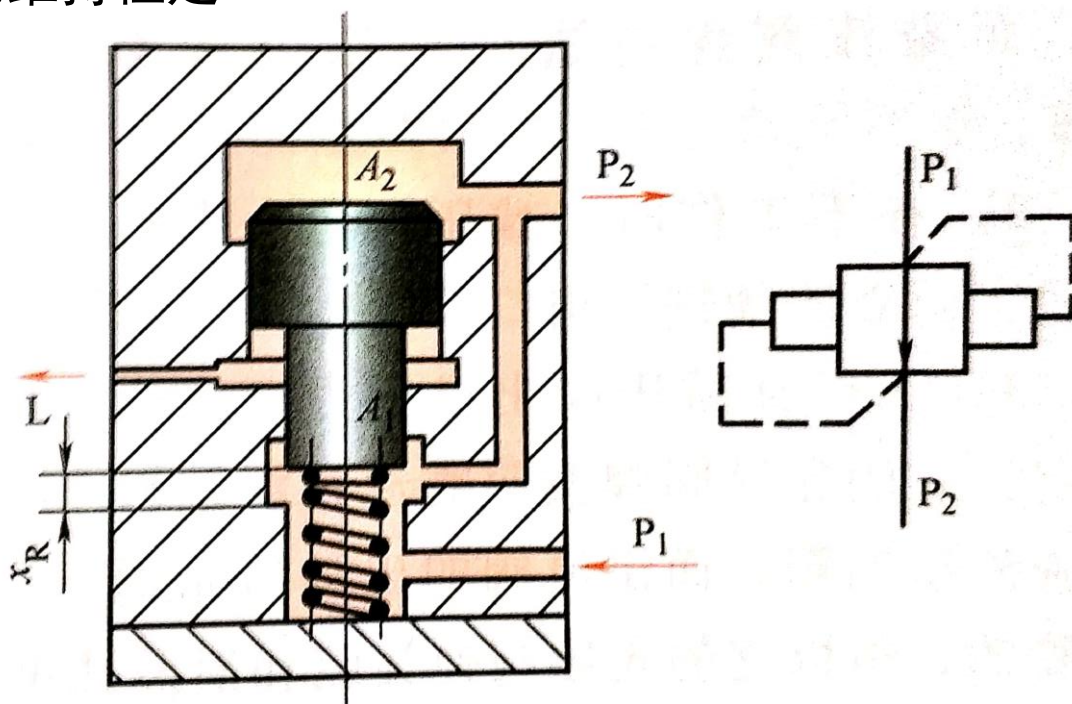
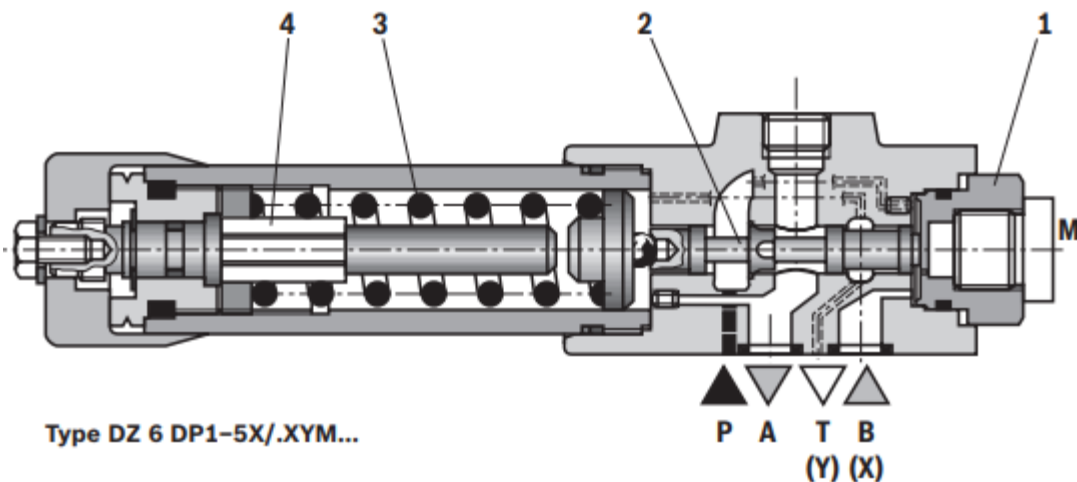


图6-31 定比减压阀的结构及其图形符号

-

图6-32 先导式顺序阀及其图形符号

直动式顺序阀

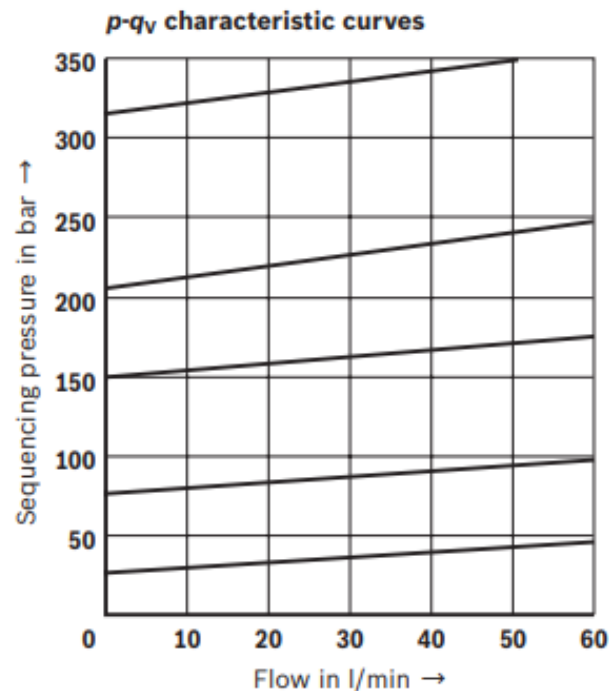


Bosch Rexroth DZ 6 DP直动式顺序阀

最大工作压力：315bar

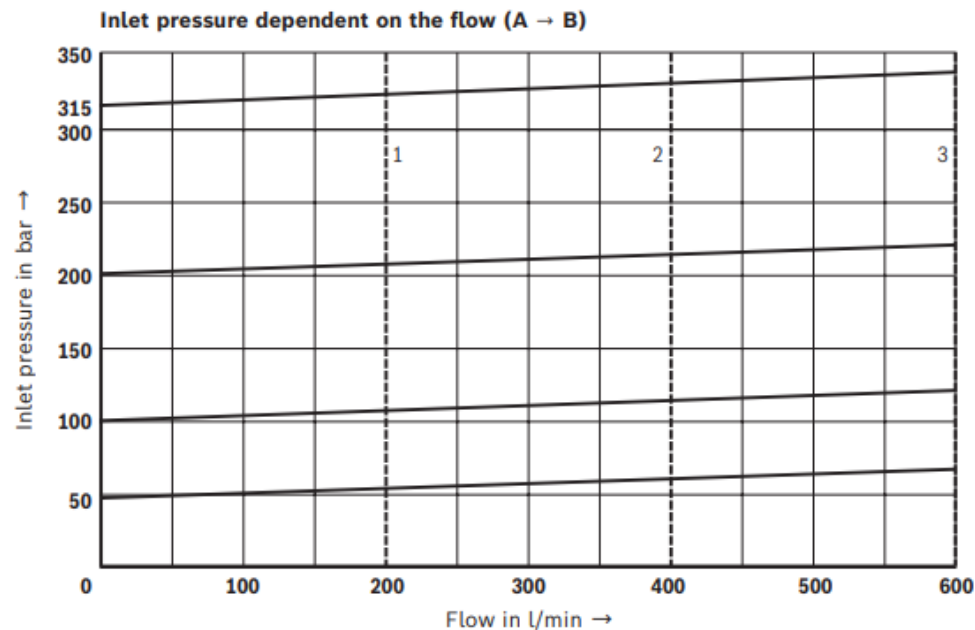
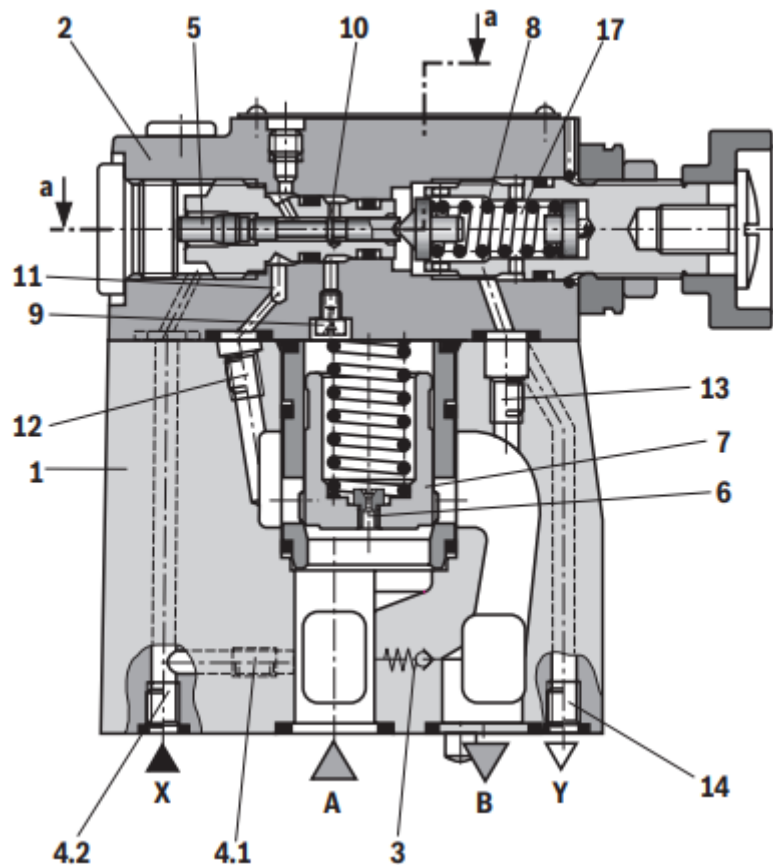
最大流量：60L/min

最大设定压力：25bar、75bar、
150bar、210bar、315bar



该系列不同型号顺序阀
的流量-压力特性曲线

先导式顺序阀



该系列不同型号顺序阀的流量-压力特性曲线

Bosch Rexroth DZ先导式顺序阀

最大工作压力：315bar

最大流量：600L/min

最大设定压力：50bar、100bar、

200bar、315bar

压力继电器

- 利用油液**压力信号**来启闭**电气触点**，从而控制电路通断的**液/电转换**元件
- 典型应用：刀具移到指定位置碰到挡铁或负载过大时的自动退刀；润滑系统发生故障时的工作机械自动停车；系统工作程序的自动换接

主要性能

调压范围

灵敏度和通断调节区间

重复精度

升压或降压动作时间

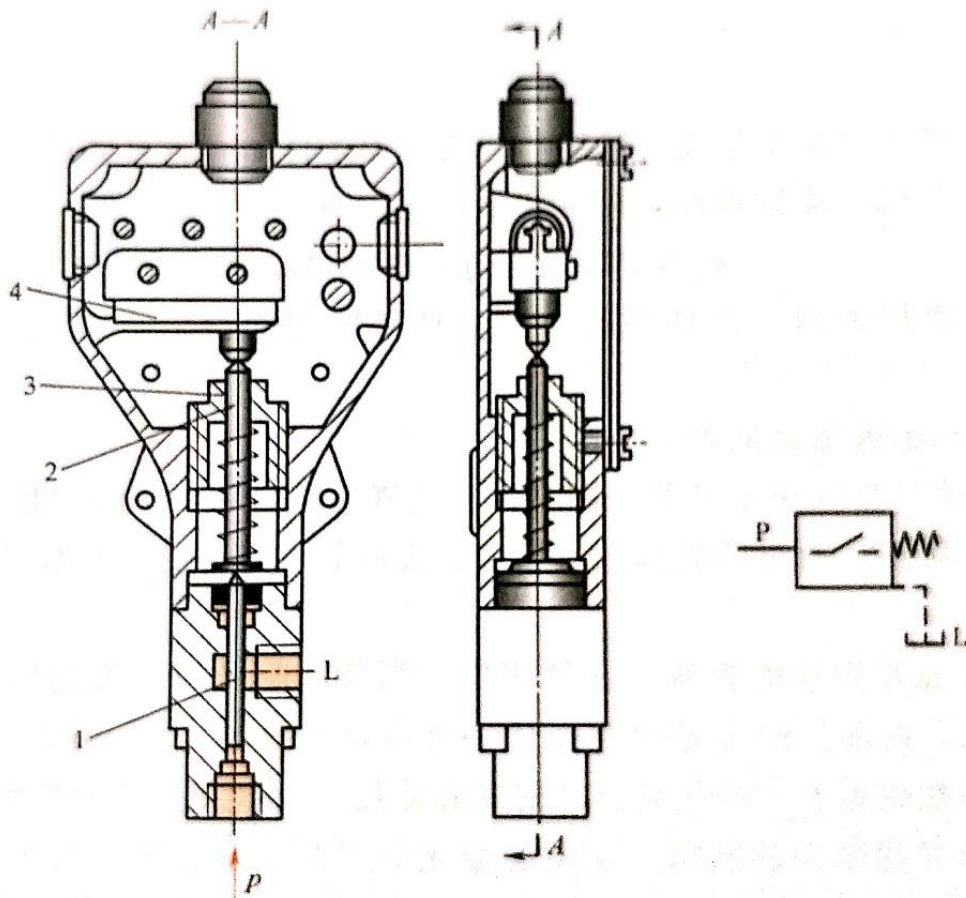


图6-34 压力继电器及其图形符号 1-柱塞 2-顶杆 3-调节螺钉 4-微动开关

流量控制阀

- 依靠改变阀口通流面积的大小来改变液阻，控制通过阀的流量，达到调节执行元件（液压缸或液压马达）运动速度的目的
- 常用的流量控制阀有普通节流阀、调速阀等

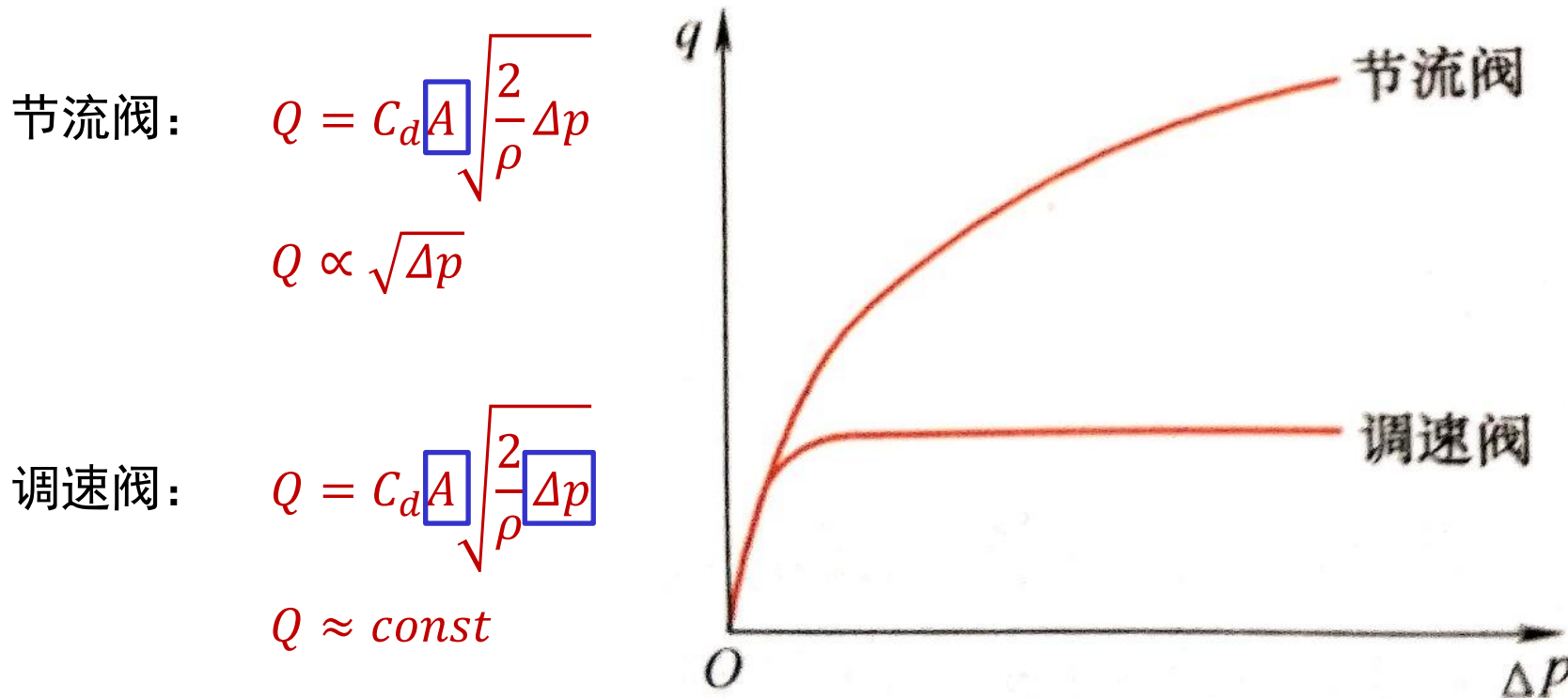


图6-37 调速阀和节流阀的流量特性曲线

普通节流阀

- 改变节流口的通流面积来调节流量
- 流量特性： $q_T = C A_T \Delta p^\varphi$
 C ——由节流口形状、液体流态、油液性质等因素决定的系数， A_T ——节流口的通流截面积； φ ——由节流口形状决定的节流阀指数
- 节流阀的流量与节流口前后的压差、油温以及节流口形状等因素相关
- 节流口制成薄壁孔($\varphi \approx 0.5$)比制成细长孔($\varphi \approx 1$)的好，能减小压差对流量稳定性的影响

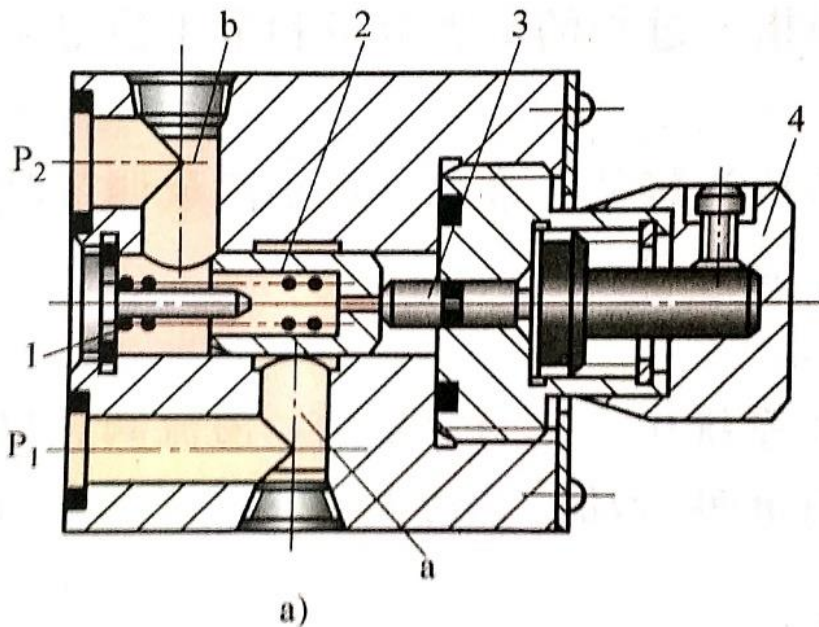


图6-35 普通节流阀及其图形符号

a) 结构 b) 图形符号

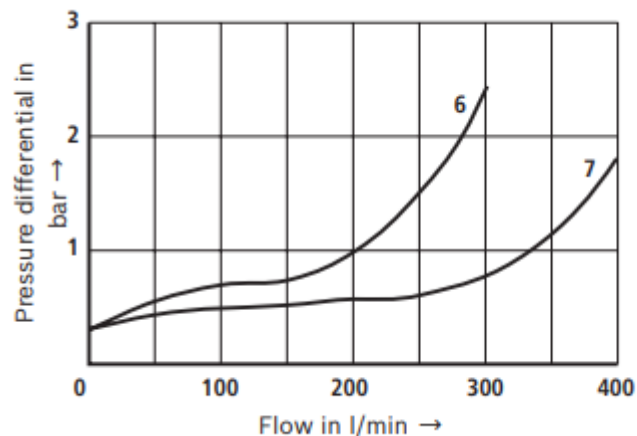
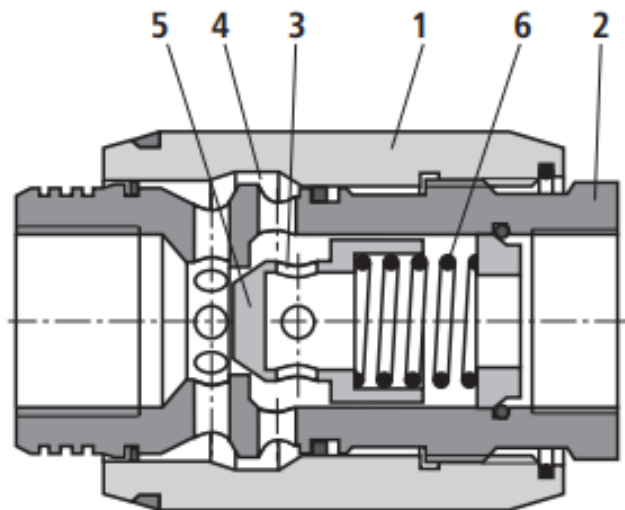
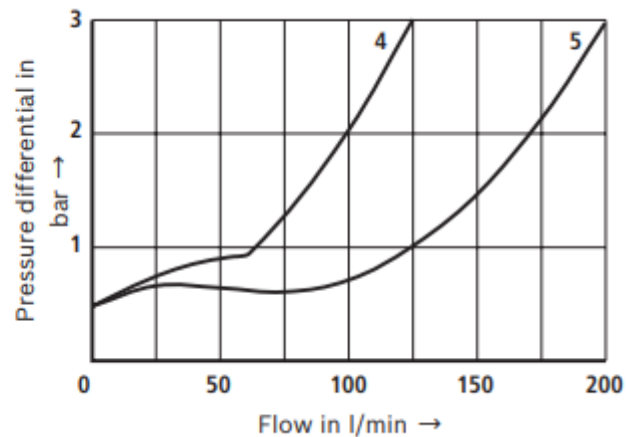
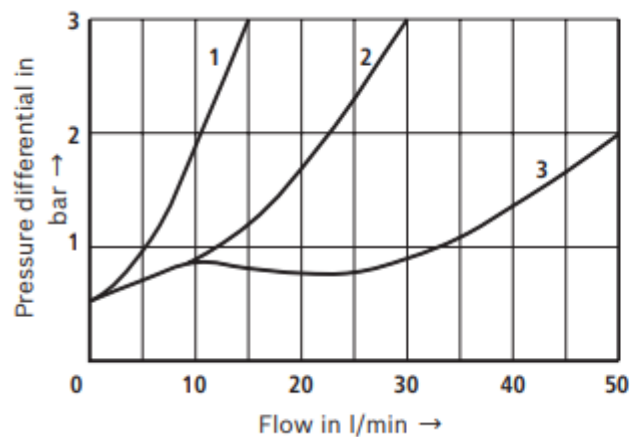
1-弹簧 2-阀芯 3-推杆 4-调节手把

普通节流阀

Bosch Rexroth MK节流阀

最大工作压力：315bar

最大流量：400L/min



- 1 NG6
- 2 NG8
- 3 NG10
- 4 NG15
- 5 NG20
- 6 NG25
- 7 NG30

该系列不同型号节流阀的流量-压力特性曲线

调速阀

- 在节流阀前面串接一个定差式减压阀
- 节流阀前后的压差基本保持不变，通过调速阀的流量不变，活塞运动速度不受负载变化影响

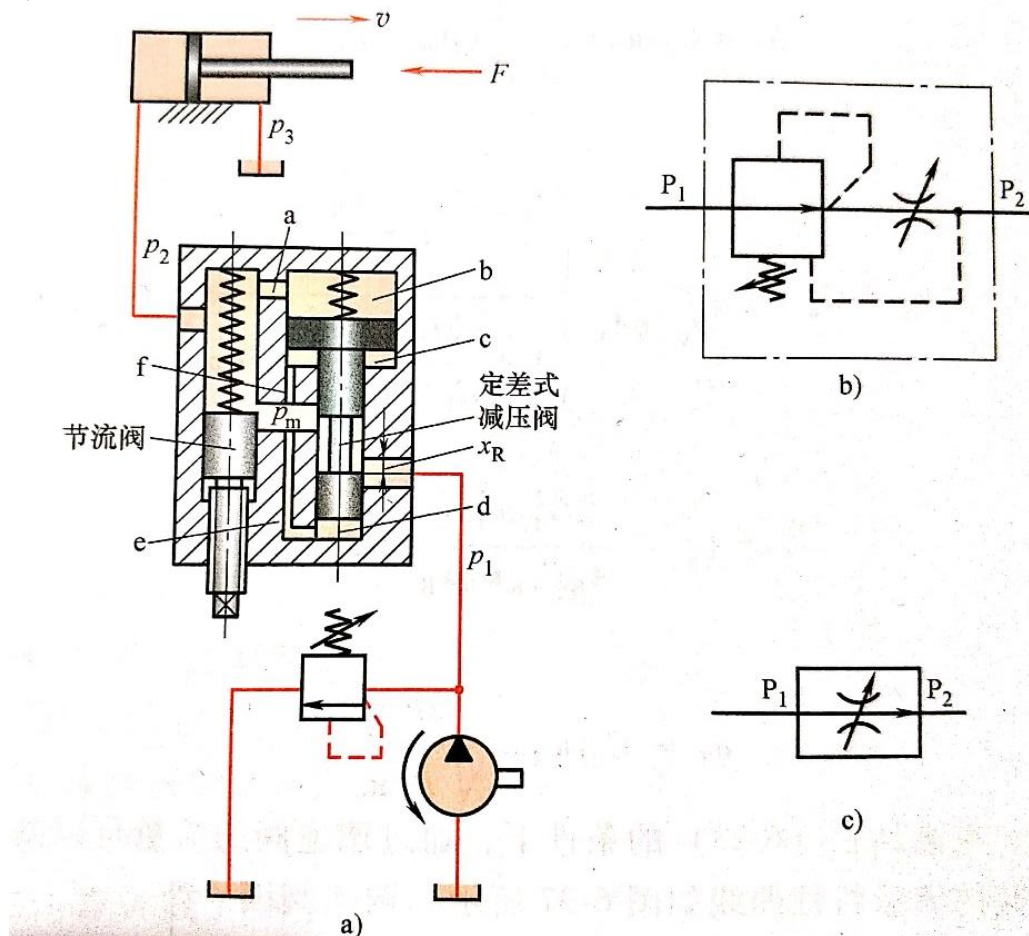
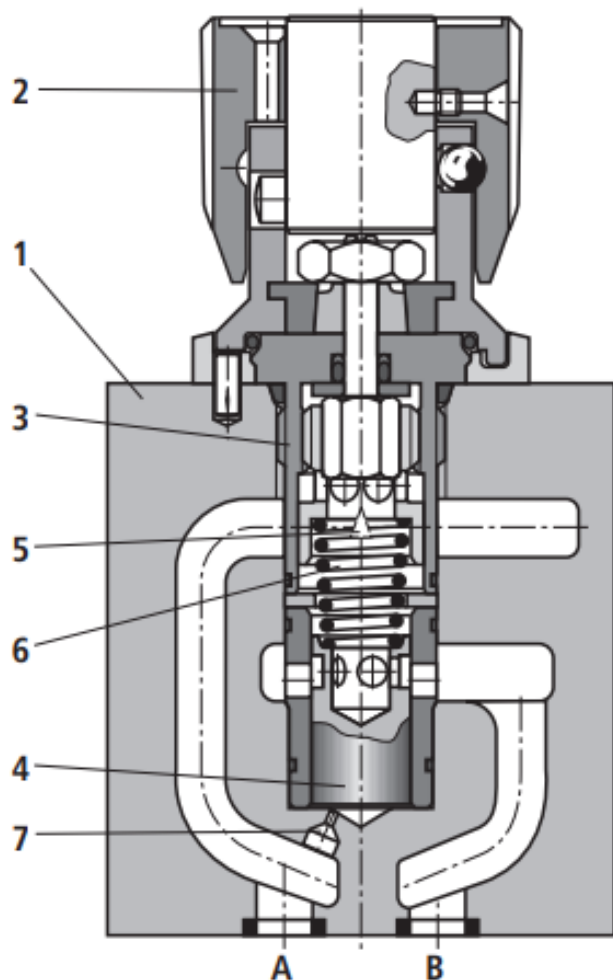
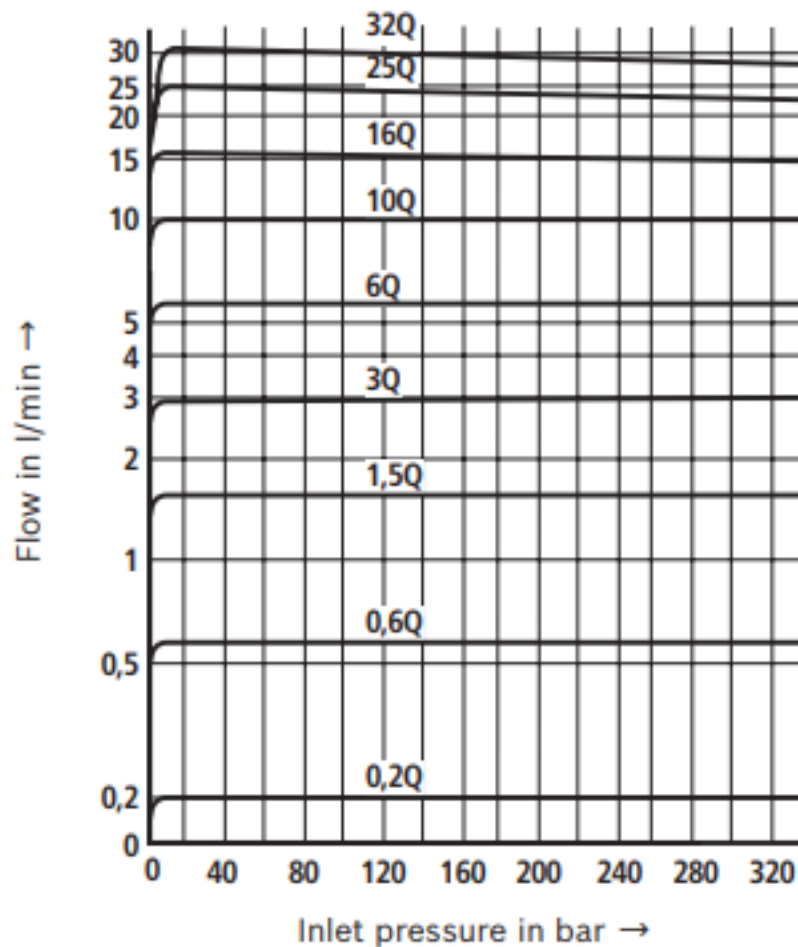


图6-36 调速阀的工作原理及其图形符号 a) 工作原理 b) 图形符号 c) 简化的图形符号

调速阀



Bosch Rexroth 2FRM6A流量控制阀
 最大工作压力: 315bar
 最大流量: 32L/min



该系列不同型号流量控制阀的流量-压力特性曲线

调速阀的静态特性

- 通过调速阀的流量基本保持不变：

$$q_T \approx C_{dT} w_T x_T \sqrt{\frac{2k_s x_c}{\rho A_R}}$$

带R下标为减压阀，带T下标为节流阀

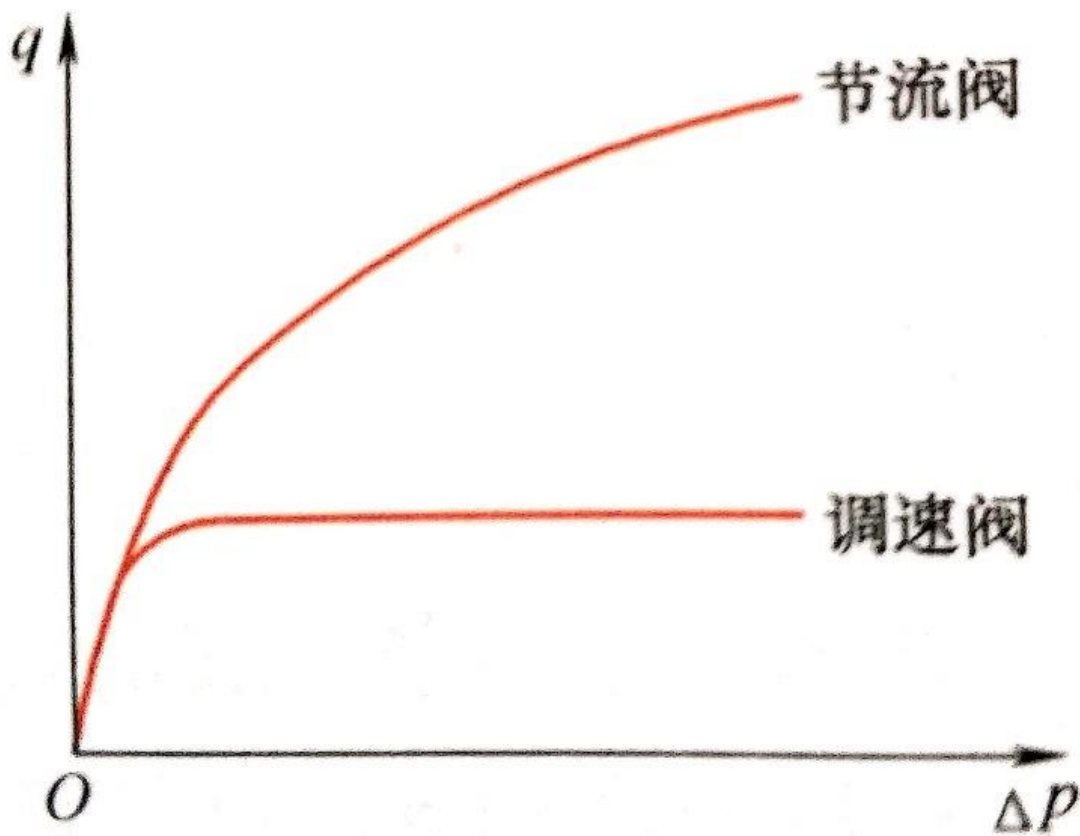


图6-37 调速阀和节流阀的流量特性曲线

旁通式调速阀

定差溢流阀与节流阀并联

由于定差溢流阀的补偿作用使**节流阀两端压差保持恒定**，从而使流量与节流阀的通流面积成正比，与负载压力无关

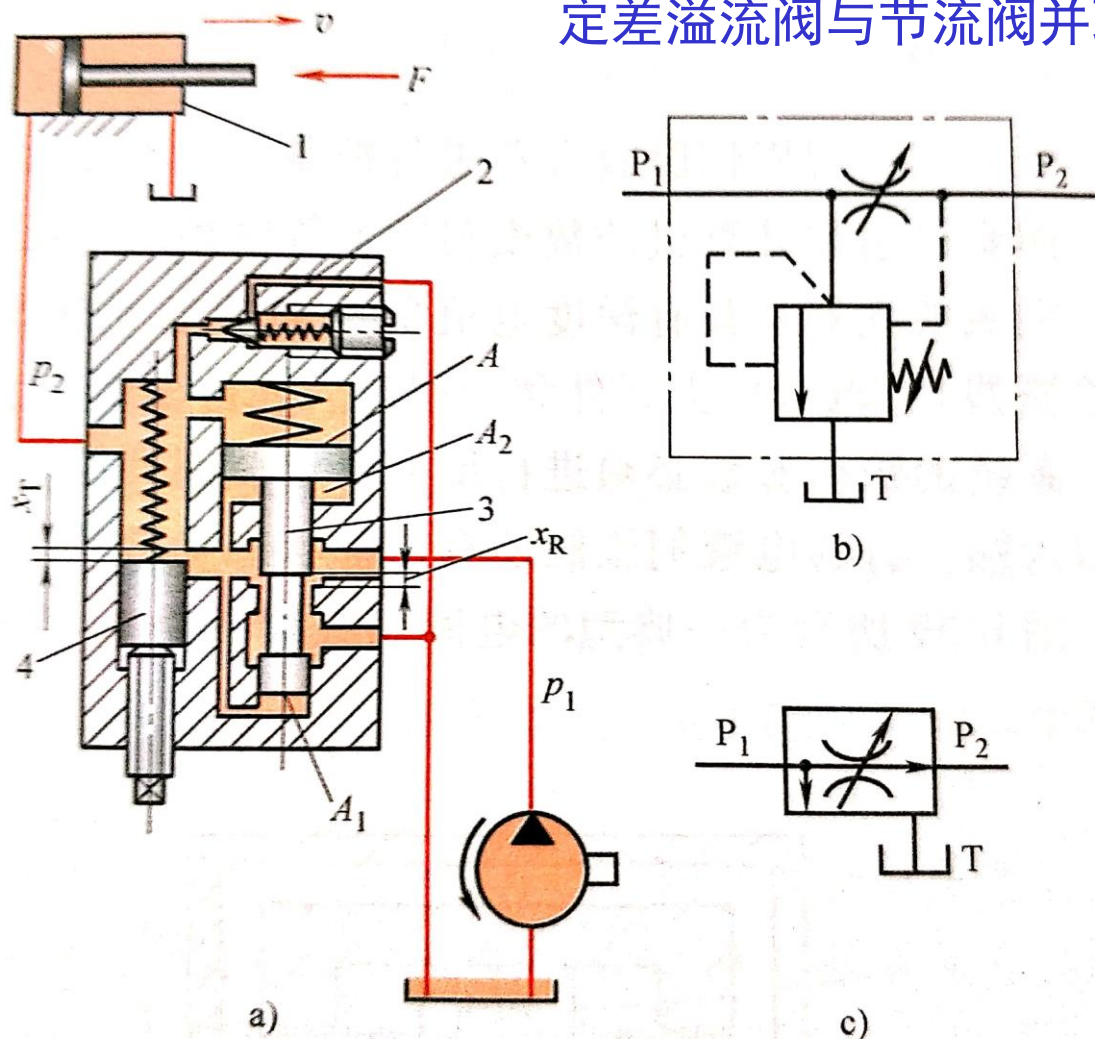


图6-38 旁通式调速阀及其图形符号

1-液压缸 2-安全阀 3-溢流阀 4-节流阀

旁通式调速阀

- 溢流阀阀芯的受力平衡方程：

$$p_2 A + k_s(x_0 + x_R + x_c) + F_{fs} = p_1 A_1 + p_1 A_2$$

k_s ——溢流阀弹簧刚度， x_0 ——弹簧预压缩量， x_R ——阀开口量，
 x_c ——溢流阀开启($x_R = 0$)时阀芯的位移， F_{fs} ——阀芯稳态液动力

- 节流阀两端压差基本保持恒定：

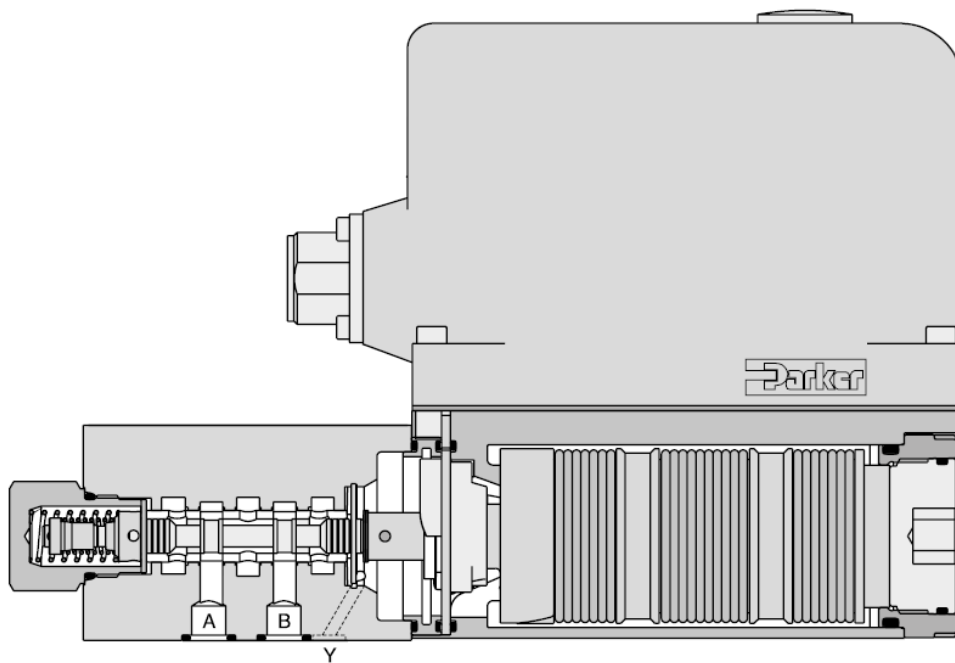
$$p_1 - p_2 \approx \frac{k_s(x_0 + x_c)}{A}$$

□ 调速阀和旁通式调速阀的差别

- 调速阀可以安装在执行元件的进油路、回油路或旁油路上。旁通式调速阀只能用在进油路上，系统功率损失小，效率高，发热量小。
- 旁通式调速阀具有溢流和安全功能，进口处不必单独设置溢流阀。旁通式调速阀中流过的流量比调速阀的大（一般是系统的全部流量），节流阀前后压差加大（须达0.3~0.5MPa），稳定性稍差。

比例换向阀

- 比例换向阀既能调节流量方向，又能调节流量大小



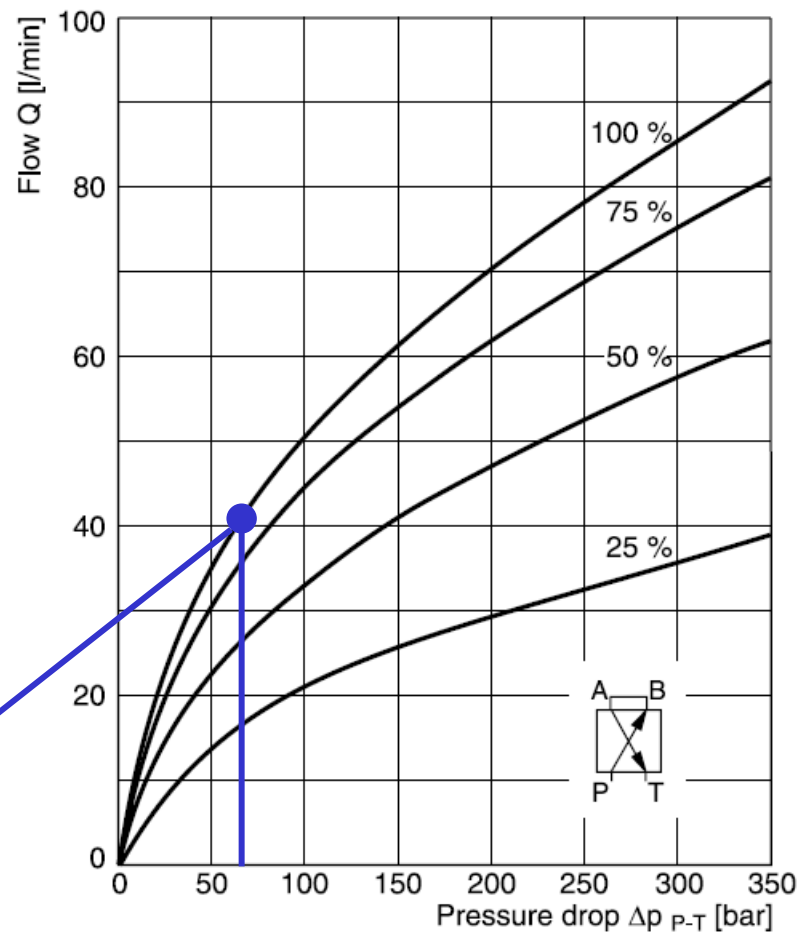
Parker D1FP E50M高频响比例换向阀

最大工作压力：350bar

额定流量（单边压降35bar）：40L/min

阶跃响应时间（100%）：3.5ms

频率响应（±5%）：350Hz



不同控制信号下的流量-压力特性曲线