



液压传动及控制I

比例阀、数字阀、插装阀

浙江大学
流体动力与机电系统国家重点实验室
2022.12

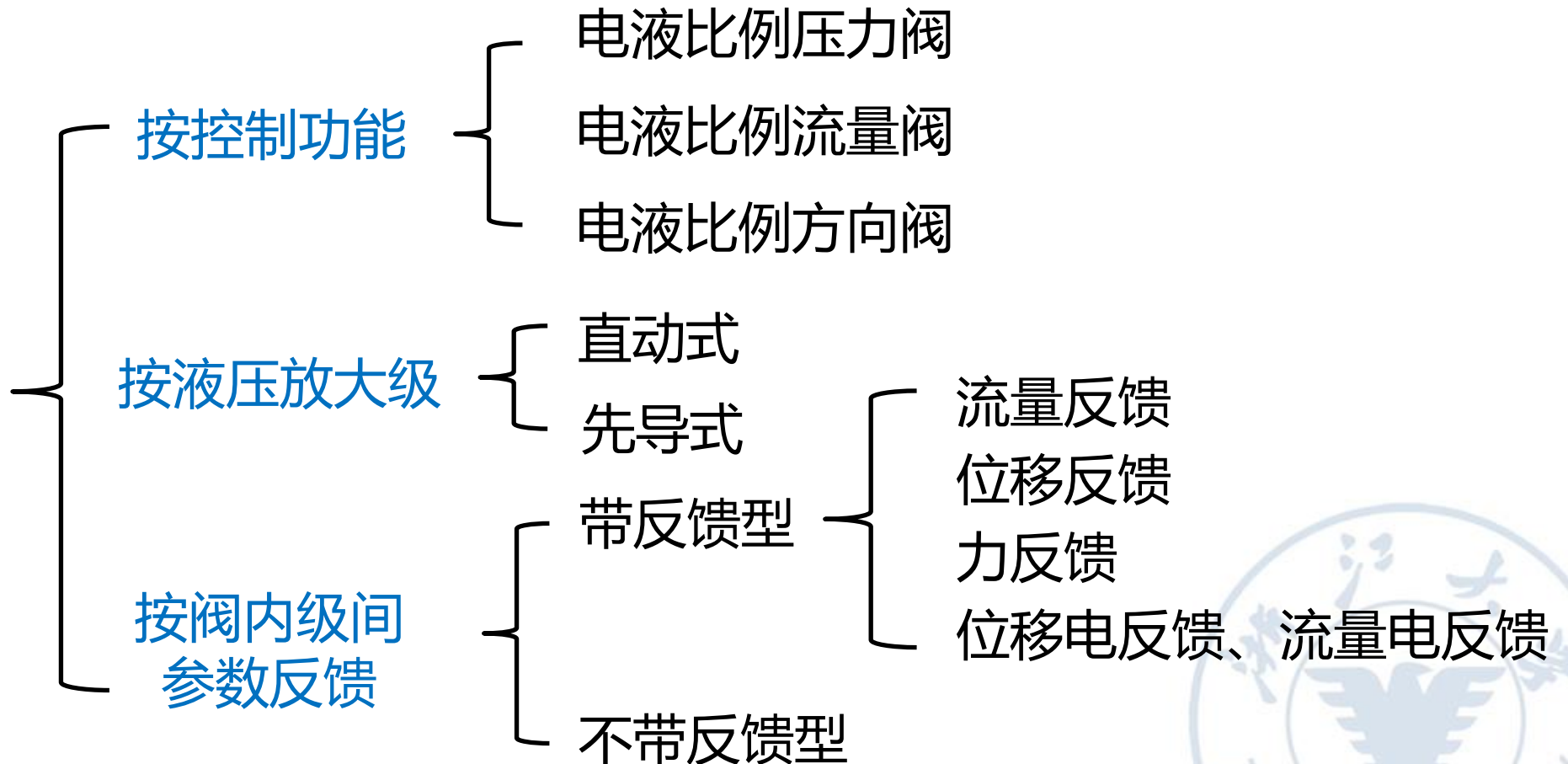


- 电液比例阀
 - 比例压力阀
 - 比例流量阀
 - 比例方向阀
- 数字阀
- 叠装阀和插装阀



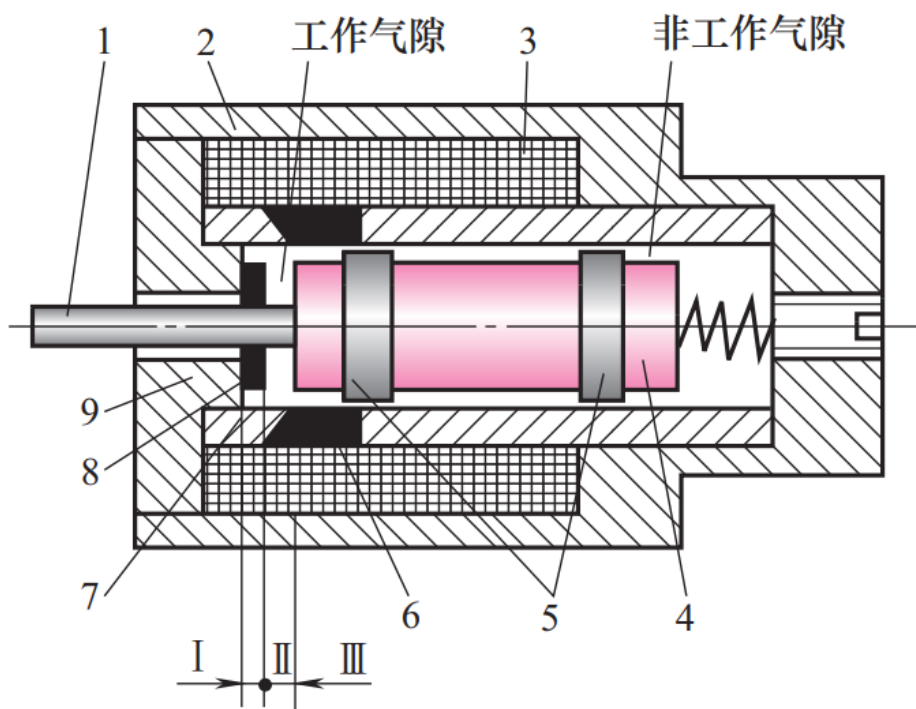
电液比例阀

- 连续成比例地对油液的压力、流量、方向进行控制



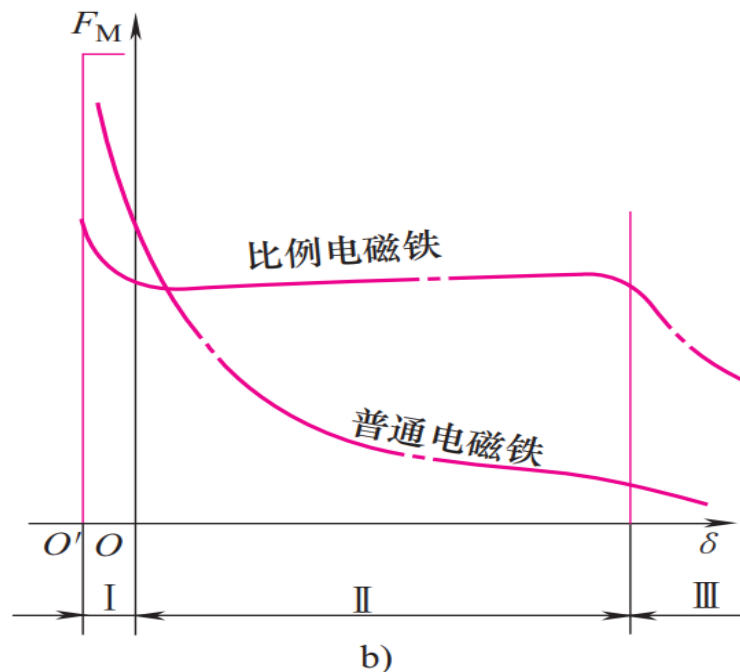
电机机械转换器

□ 电-机械转换器：比例电磁铁



耐高压直流比例电磁铁

- 1—推杆 2—壳体 3—线圈 4—衔铁
 5—轴承环 6—隔磁环 7—导套
 8—限位片 9—极靴 I —吸合区
 II —工作行程区 III —空行程区



- ✓ 水平的电磁力-行程特性
- ✓ 电流-力特性具有良好的线性度、较小死区和滞回
- ✓ 阶跃响应快

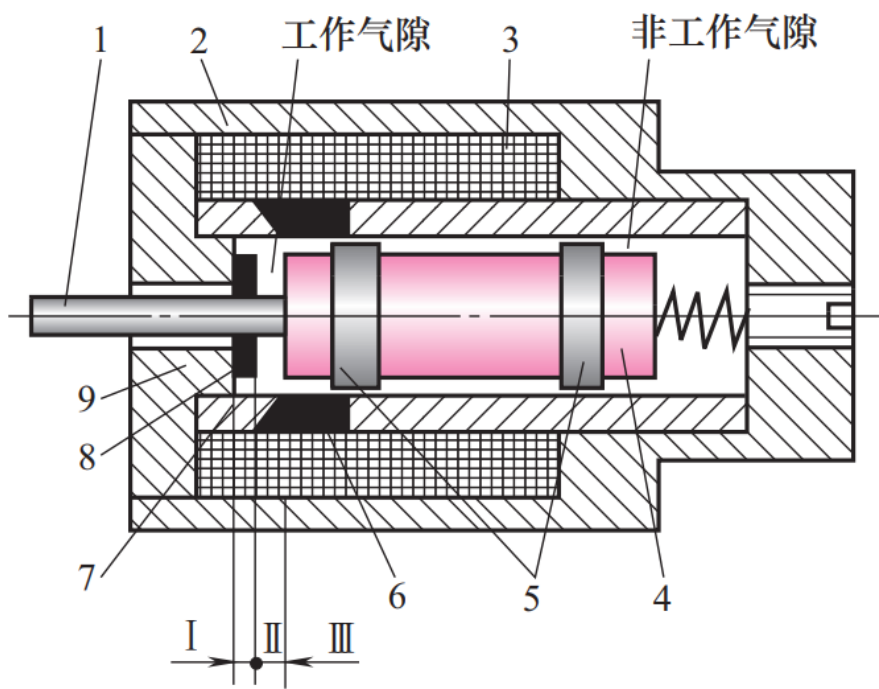
比例电磁铁类型

❑ 力输出型比例电磁铁

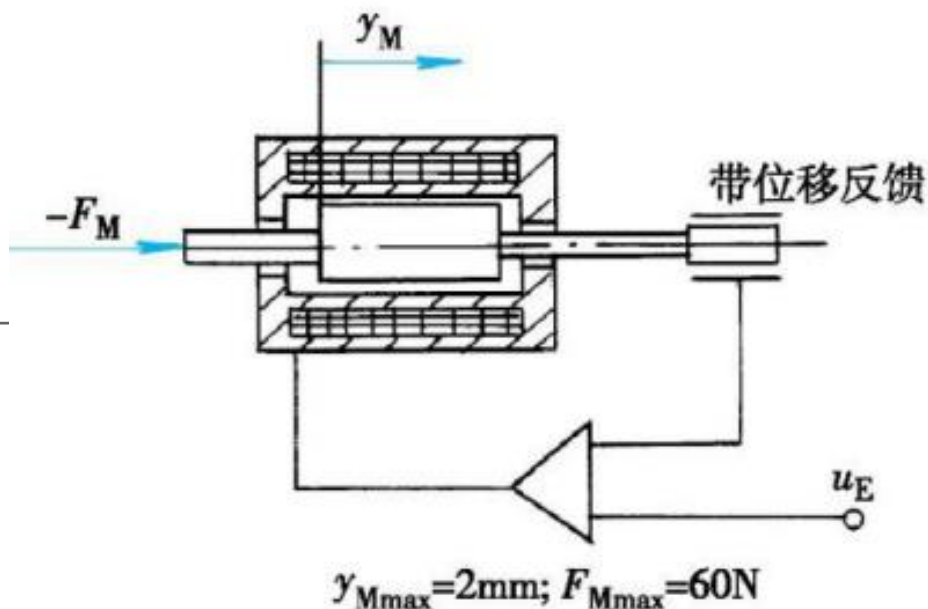
- 开环控制，精度一般，抗干扰差

❑ 位移输出型比例电磁铁

- 衔铁位移电反馈闭环：抑制摩擦力等扰动, 稳态控制精度和抗干扰特性优良



力输出型 (不带反馈)

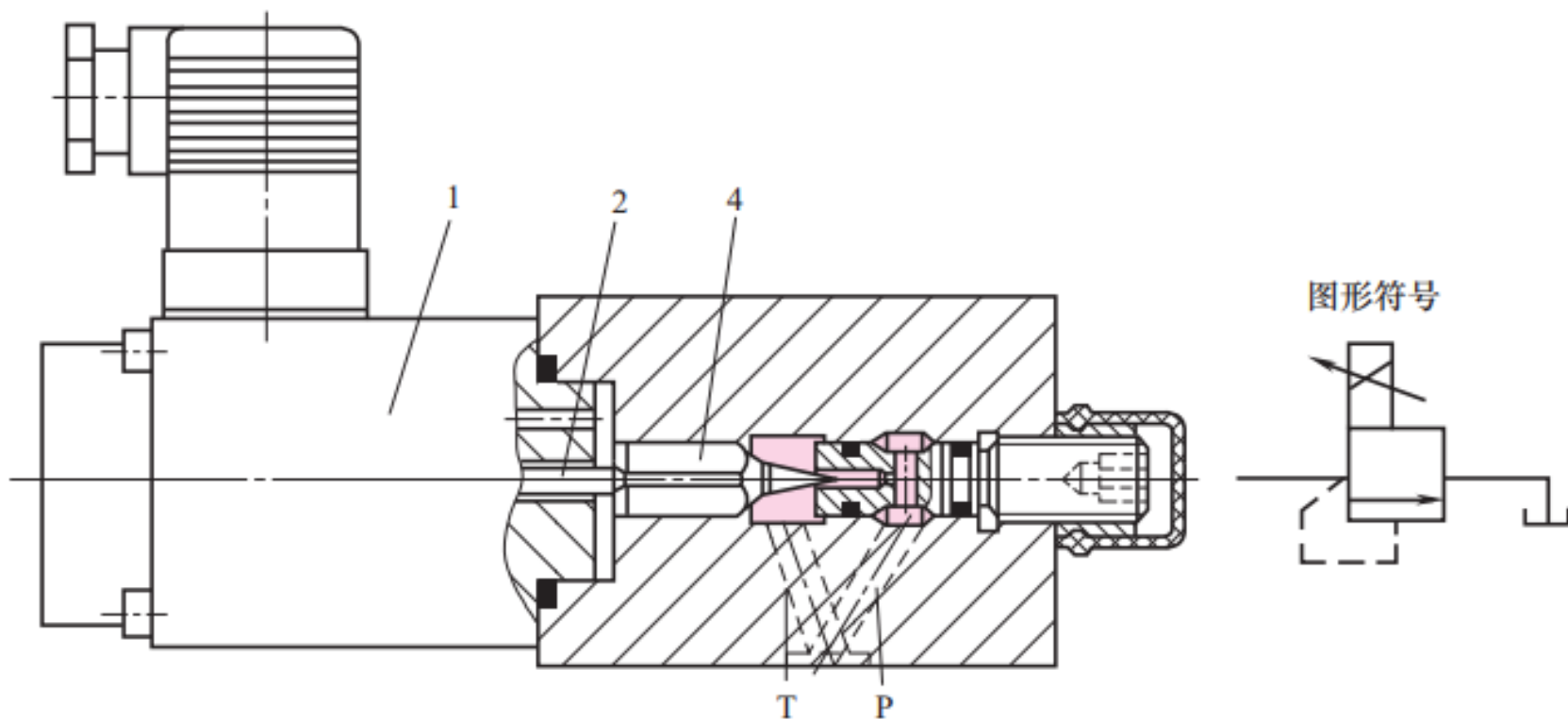


位移输出型 (闭环控制)

直动式电液比例溢流阀

□ 电液比例溢流阀

- 力输出型电磁铁：**输出力**



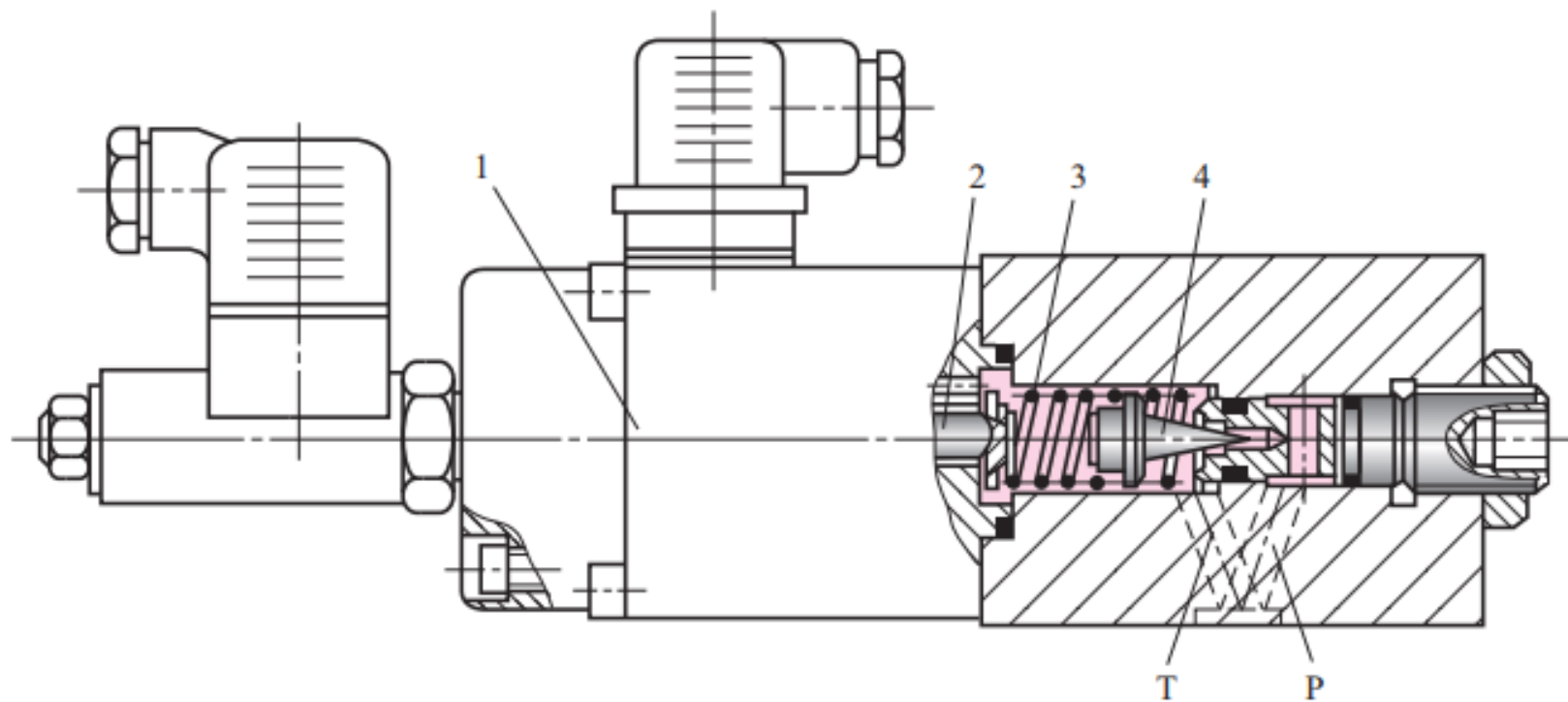
普通比例电磁铁控制

1—比例电磁铁 2—推杆 3—弹簧 4—锥阀

直动式电液比例溢流阀

□ 电液比例溢流阀

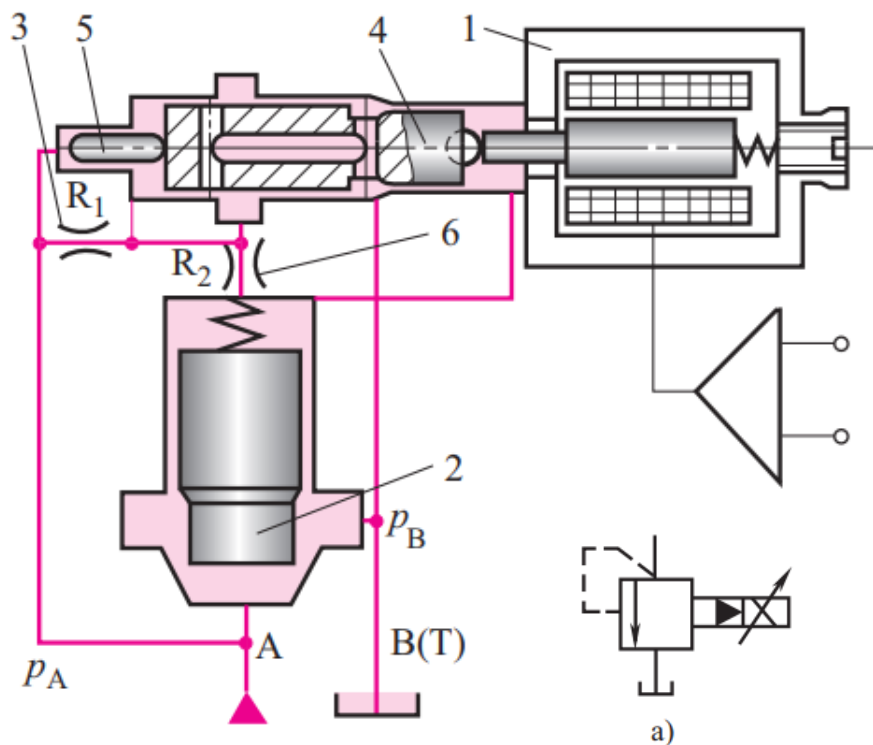
- 位移反馈型电磁铁：输出位移，经弹簧转换为力



位移反馈型比例电磁铁控制

1—比例电磁铁 2—推杆 3—弹簧 4—锥阀

□ 压力直接检测反馈



先导式电液比例溢流阀

- 1—比例电磁铁 2—主阀阀芯
3—固定节流孔 4—先导阀芯
5—压力反馈推杆 6—固定节流孔

□传统先导式溢流阀

- 电磁力与上腔压力平衡
- 受液动力和 p_B 影响

□ 先导式电液比例溢流阀

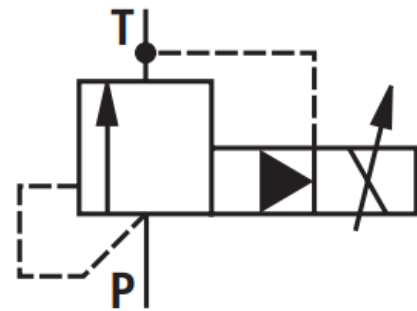
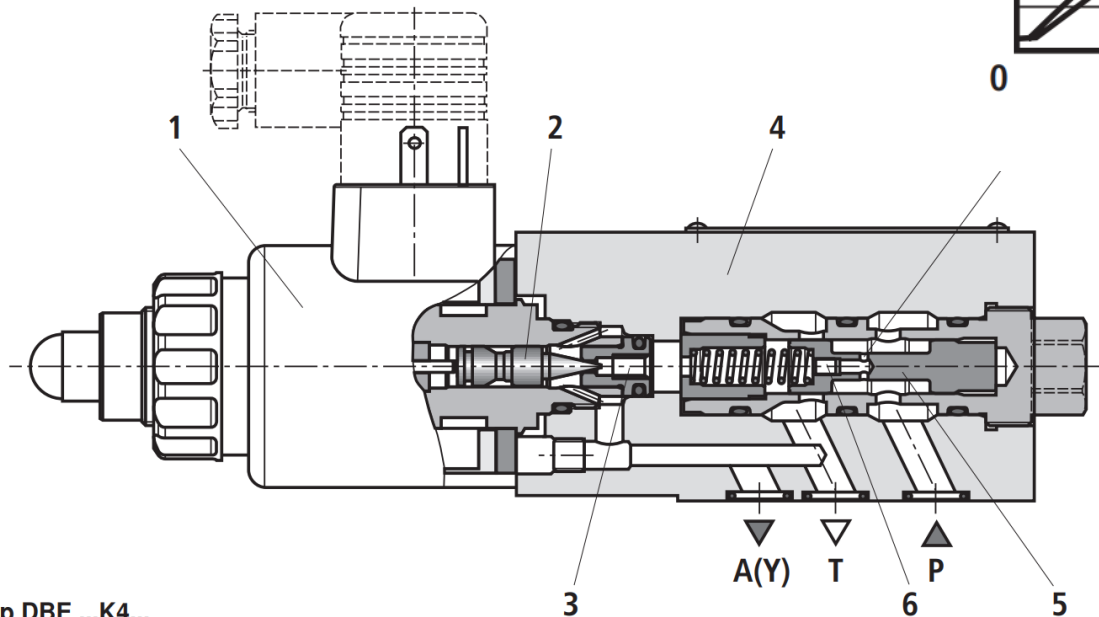
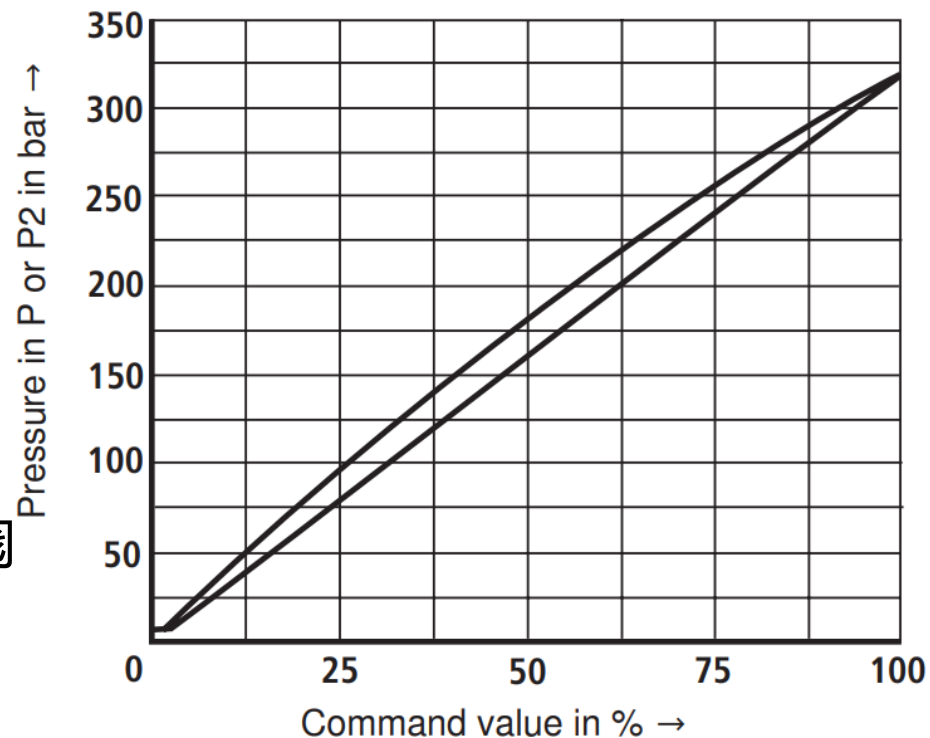
- 电磁力与压力 p_A 形成反馈闭环控制
- 输出压力稳定

先导式电液比例溢流阀



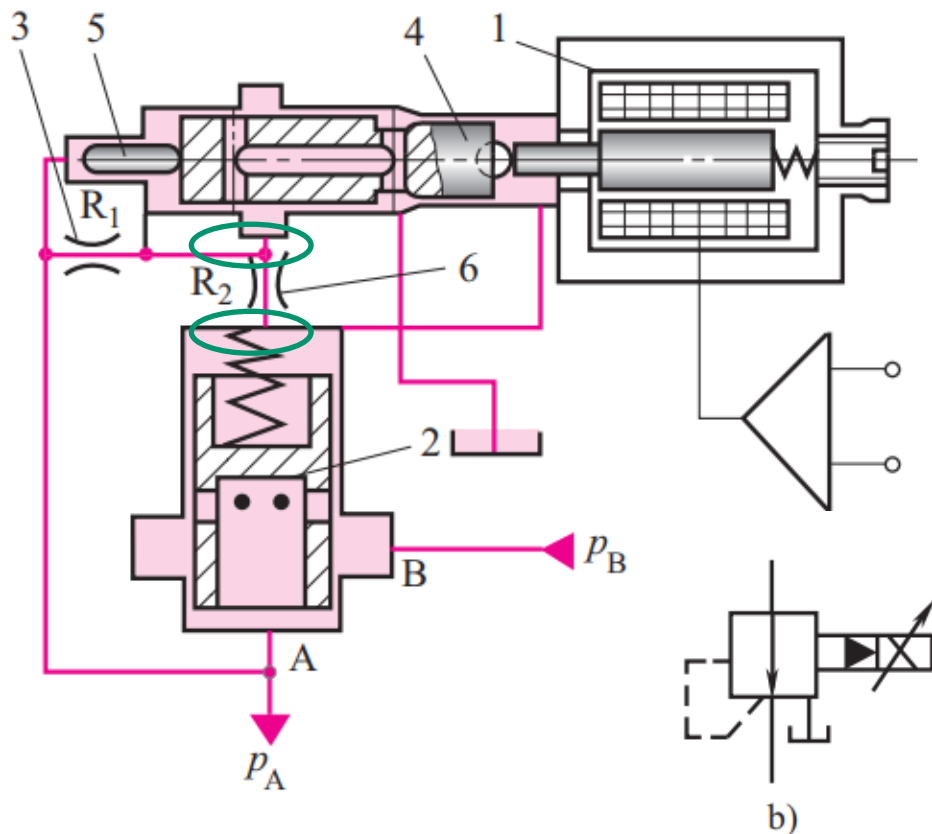
力士乐DBE 6 先导式电液比例溢流阀

Pressure rating 315 bar ("y" external and internal)



先导式电液比例减压阀

□ 级间动压反馈



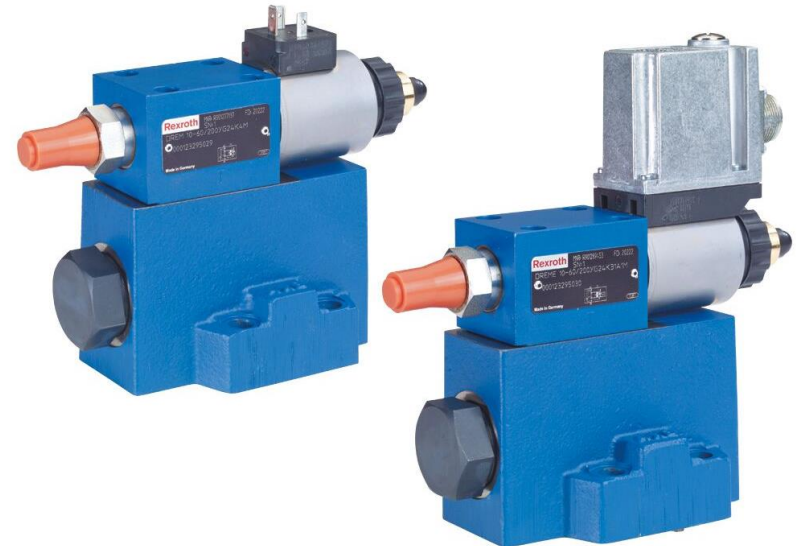
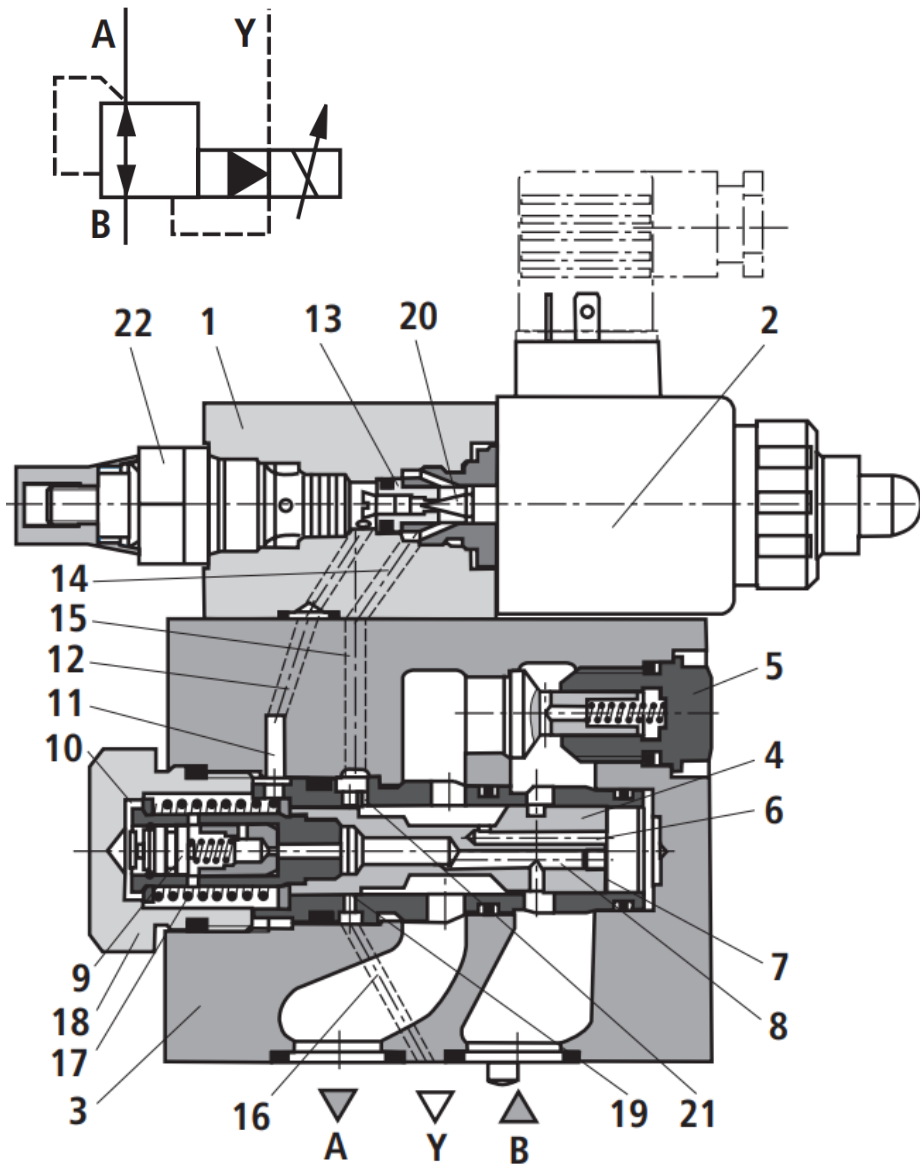
先导式比例减压阀

- 1—比例电磁铁 2—主阀阀芯
- 3—固定节流孔 4—先导阀芯
- 5—压力反馈推杆 6—固定节流孔

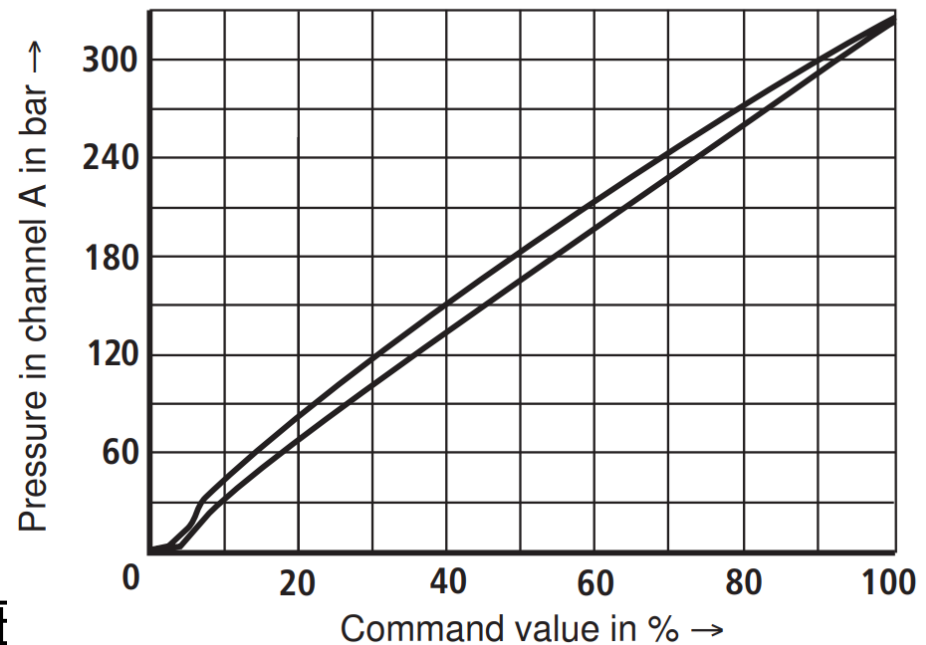
□ 动态阻尼孔R₂两端压差对主阀运动产生阻尼作用。

- 提高阀动态稳定性
- 调节动态阻尼孔径
- > 阀的快速性

先导式电液比例减压阀



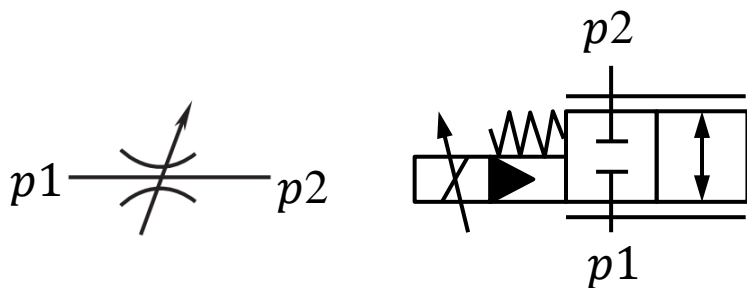
Pressure rating 315 bar



力士乐DREE10-6X 先导式电液比例减压

电液比例流量阀

- 通过**比例电磁铁**来调节阀口通流面积，达到调节流量的目的
- 分类：电液**比例节流阀**和电液**比例调速阀**
- 与普通节流阀和调速阀最大的不同是**阀口调节方式**

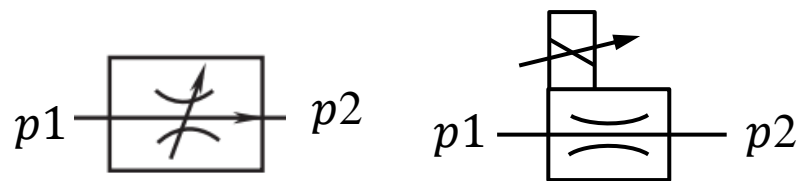


普通节流阀

电比例节流阀

$$Q = C_d A \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p}$$

$$Q \propto \sqrt{\Delta p}$$



普通调速阀

电比例调速阀

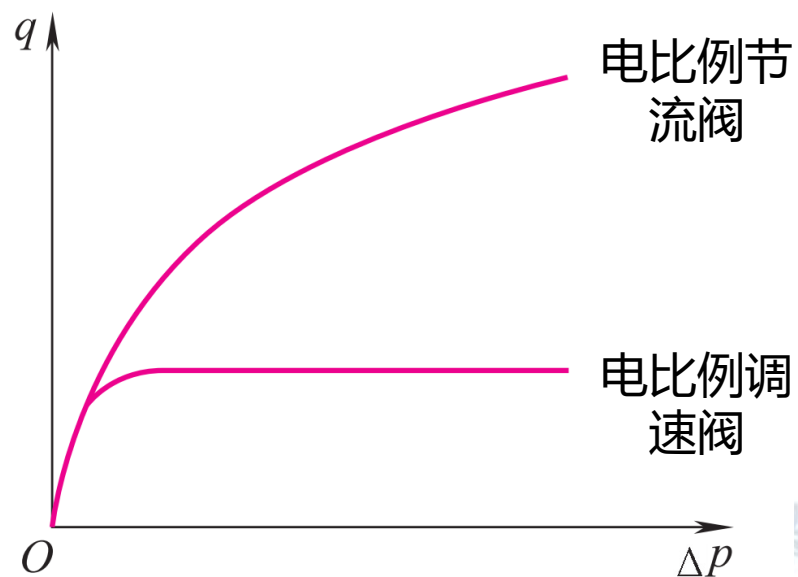
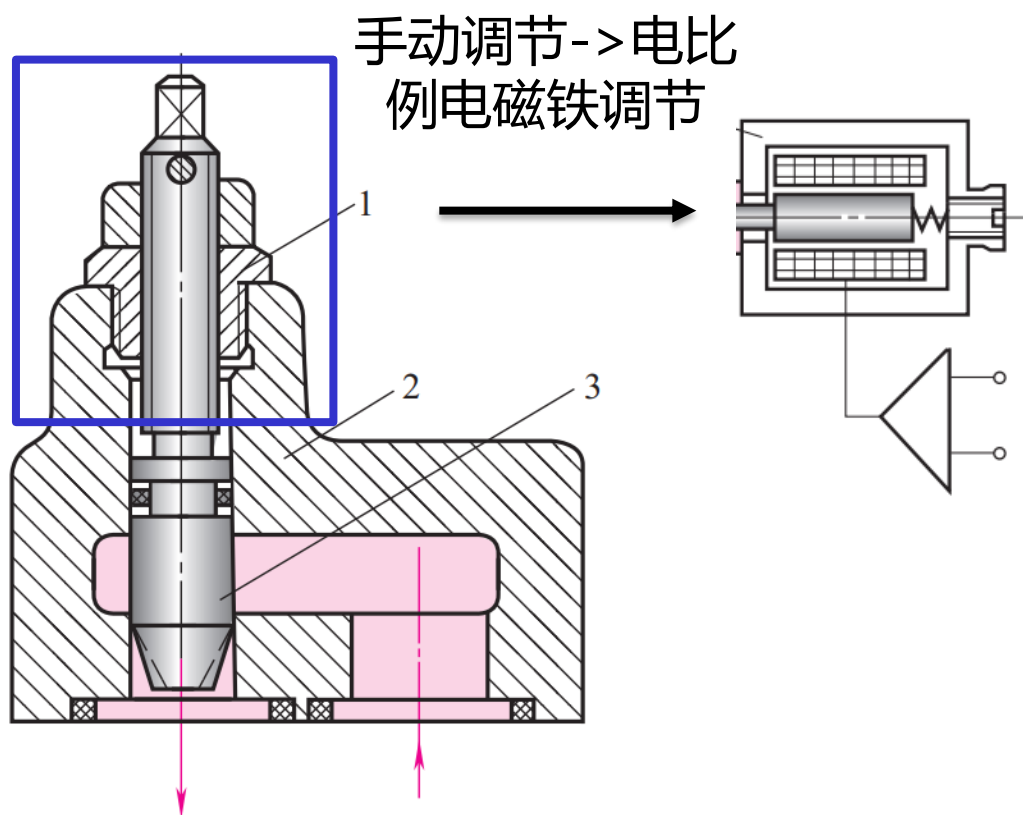
$$Q = C_d A \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p}$$

$$Q \approx \text{const}$$

电液比例节流阀

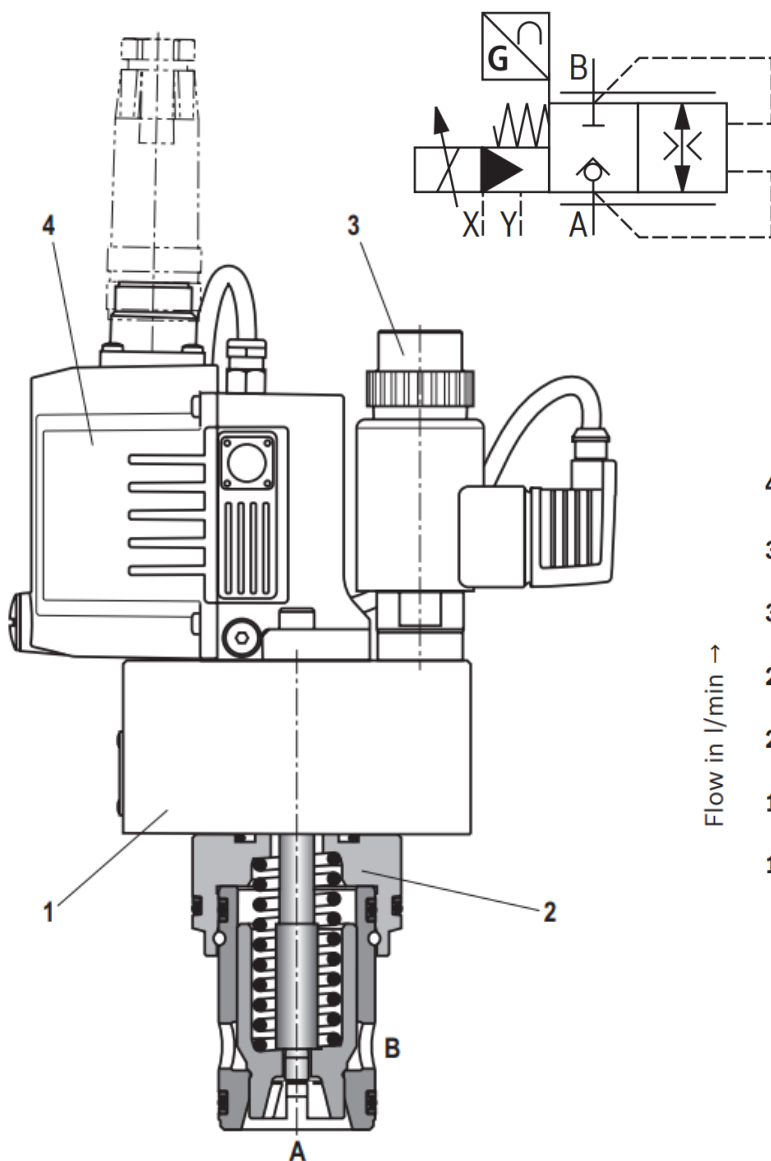
□ 电液比例节流阀

- 阀芯位移与输入信号成正比，**无压力补偿阀**
- 流量受负载压力和系统压力影响



流量特性曲线

电液比例节流阀

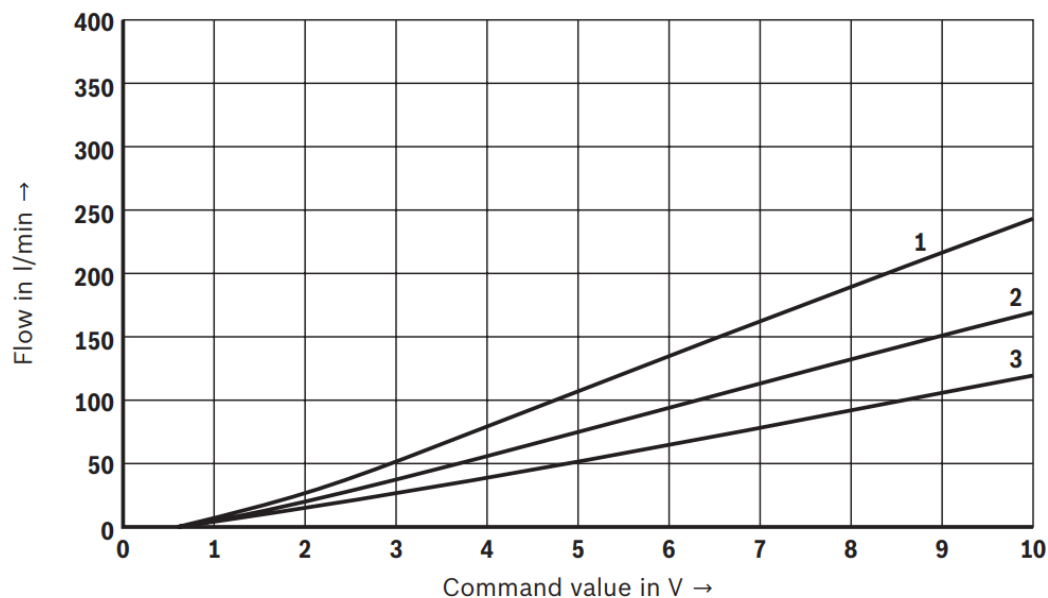


Type 2WFCE ...

力士乐2WFCE比例节流阀



Version "125" (A → B; B → A; linear)

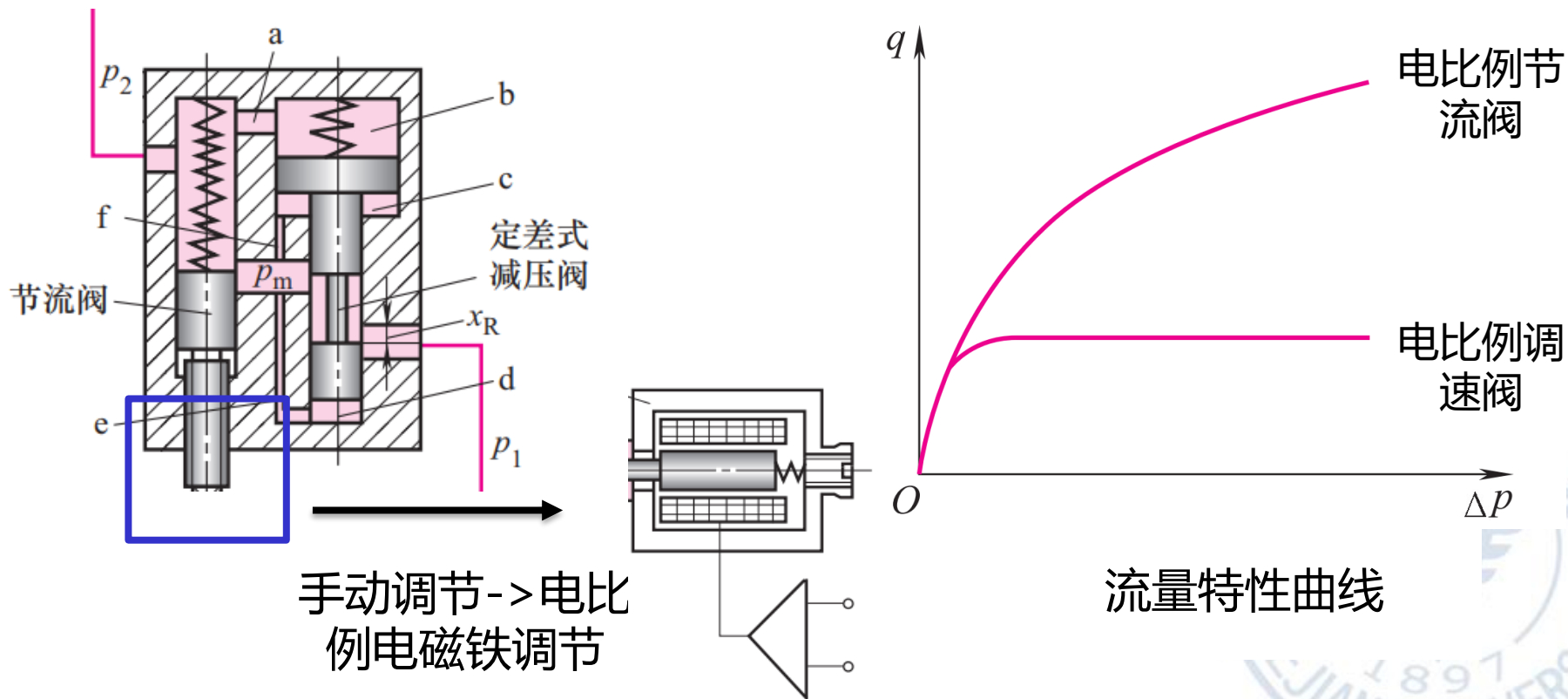


- 1 Pressure differential 20 bar
- 2 Pressure differential 10 bar
- 3 Pressure differential 5 bar

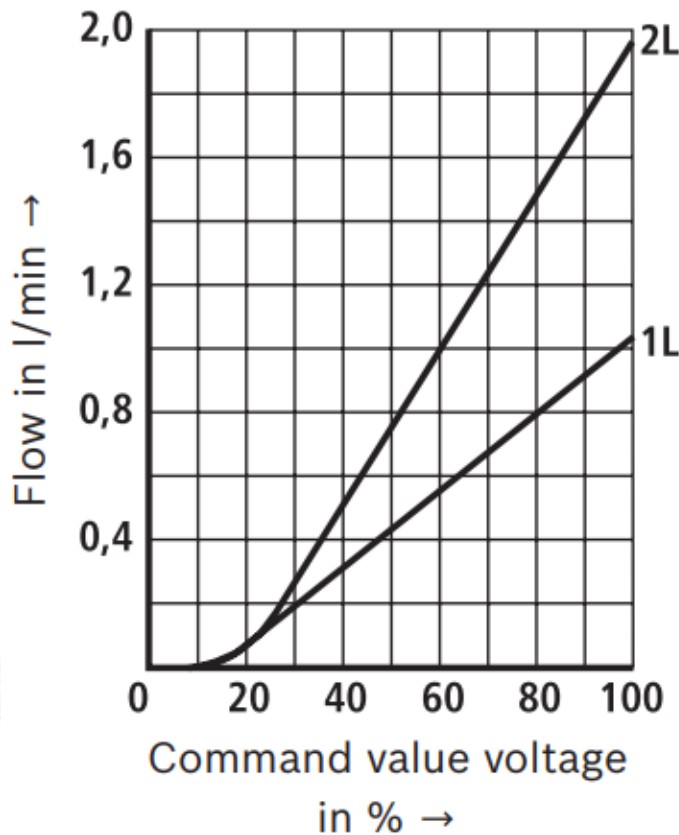
电液比例调速阀

□ 电液比例调速阀

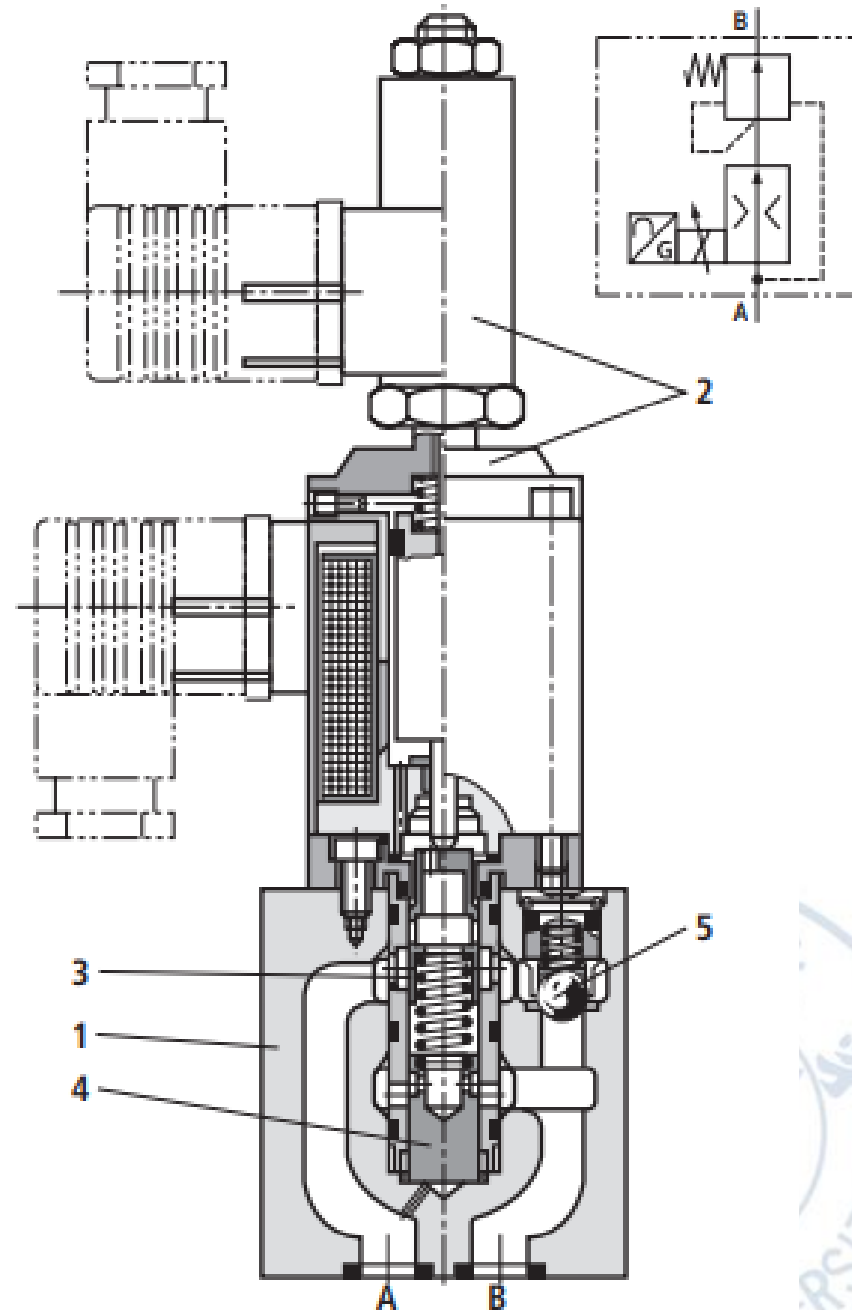
- 电液比例节流阀 + 压力补偿阀（定差减压阀/定差溢流阀）
- 阀芯位移与输入信号成正比
- 压力补偿阀：保证阀口前后压差为定值
- 流量不受负载压力和系统压力影响



电液比例调速阀

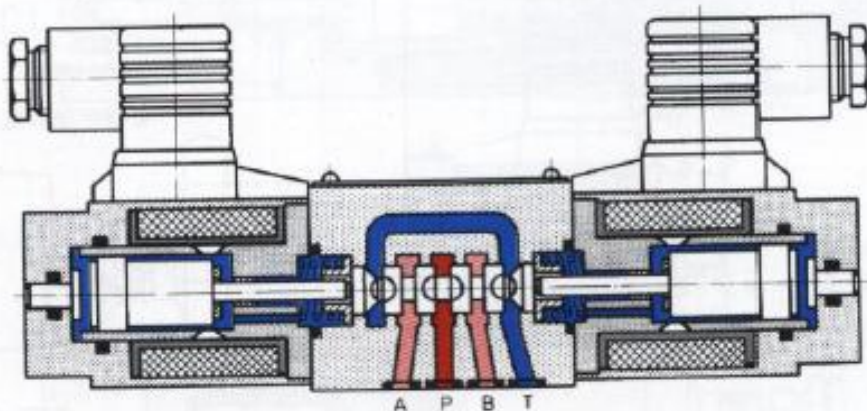


力士乐2FRE比例调速阀

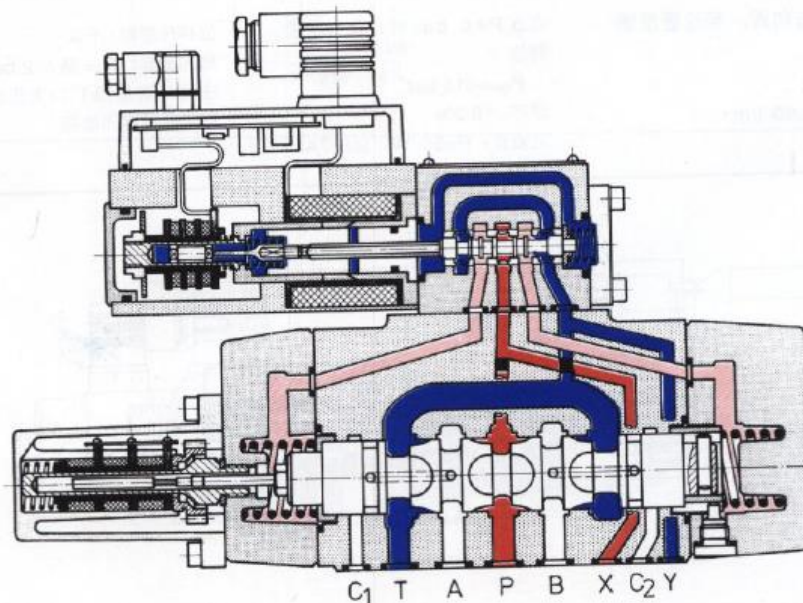


电液比例方向阀

- 电比例方向阀：换向阀+电比例流量阀
- 既能调节流量方向，又能调节流量大小
- 直动式和先导式
- 开环控制和阀芯位移反馈闭环控制



直控式电比例方向阀

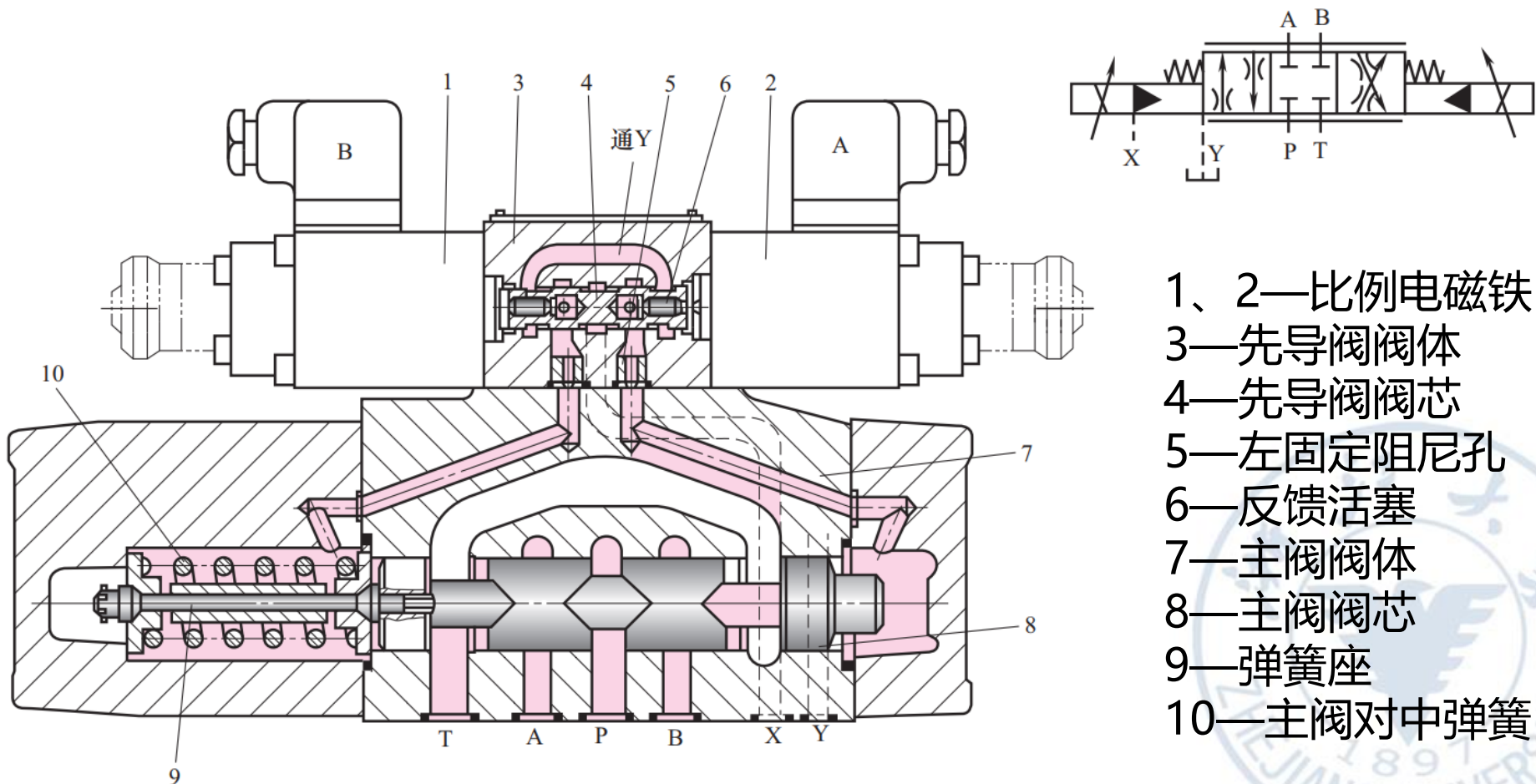


先导式电比例方向阀

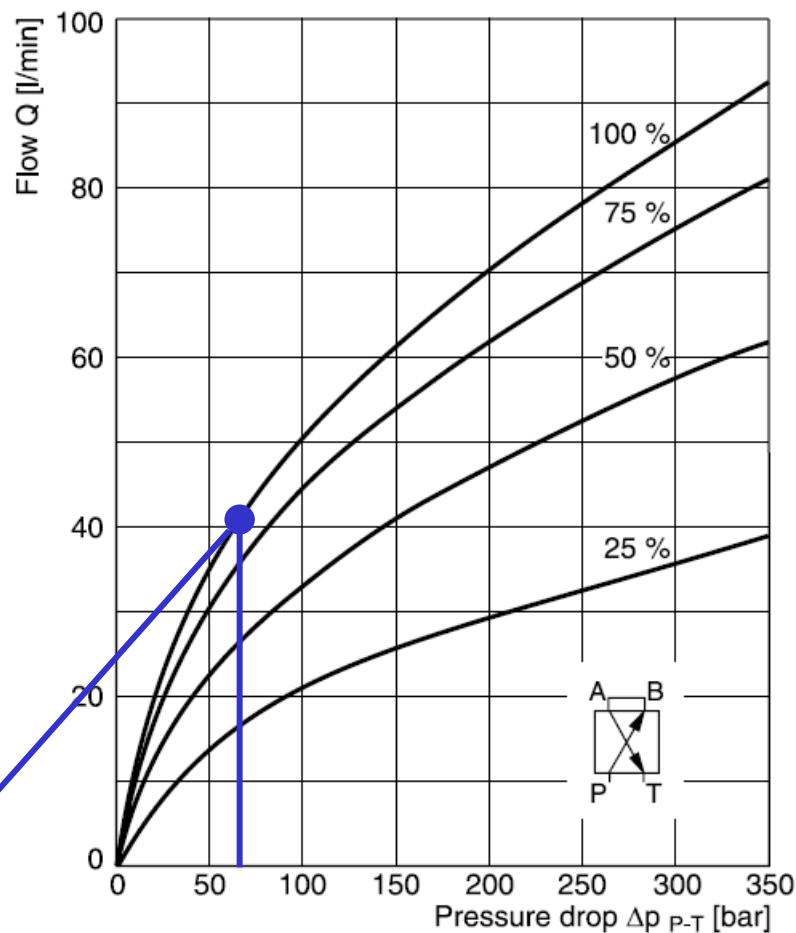
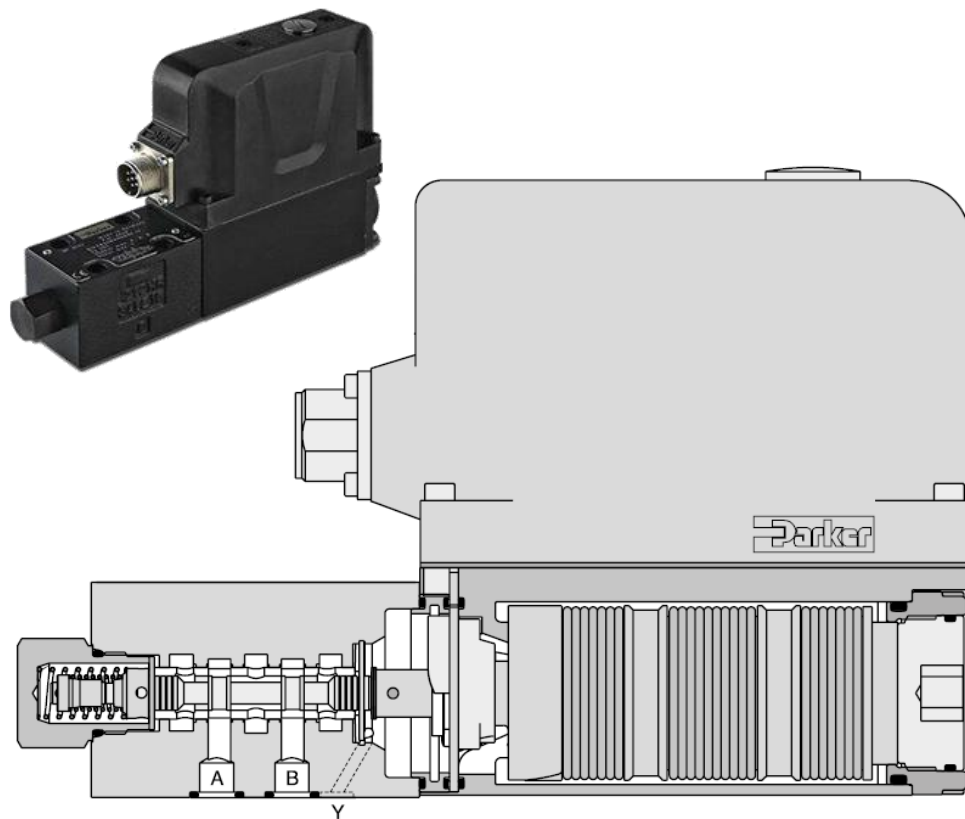
电液比例方向阀

□ 先导式电比例方向阀

- 比例电磁铁控制先导阀压力
- 电磁力与主阀阀芯位移成正比



电液比例方向阀



Parker D1FP E50M高频响比例方向阀

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（ $\pm 5\%$ ）：350Hz

不同控制信号下的流量-压力特性曲线

电液比例阀优缺点

- 结构简单，制造精度要求和价格比伺服阀低，抗污染性好

电液比例阀

电液伺服阀

功能	压力、流量、方向控制	多为四通，同时控制方向和流量
电-位移转换器	功率较大的比例电磁铁 (50W) 直接驱动阀芯或压缩弹簧	功率较小的力矩马达 (0.1-0.3W) 带动喷嘴挡板或射流管放大管 先导输出功率100W
过滤精度	低，无特殊要求	高，要求进口过滤
线性度	低压降 (0.8MPa) 工作，通过较大流量时影响线性度 (饱和)	高压降 (7MPa) 下工作，阀体内阻力对线性度影响不大
遮盖	20% 一般精度，可以互换	0 极高精度，单件配作
响应时间	相对较慢，8-60ms	快，2-10ms
频率响应	一般，10-150Hz	高频响，100-500Hz
电子控制	比例放大器与阀一起供应	电子电路专门设计，包括整个闭环
应用领域	执行元件开环或闭环控制	执行元件闭环控制
价格	普通阀3-6倍	普通阀10倍以上

电液数字阀

- 数字信号直接控制阀，直接与计算机接口，不需数模转换器
- 结构简单、工艺性好、制造成本低、抗污染能力强、重复性好、工作稳定可靠、功耗小
- 部分取代比例阀或伺服阀

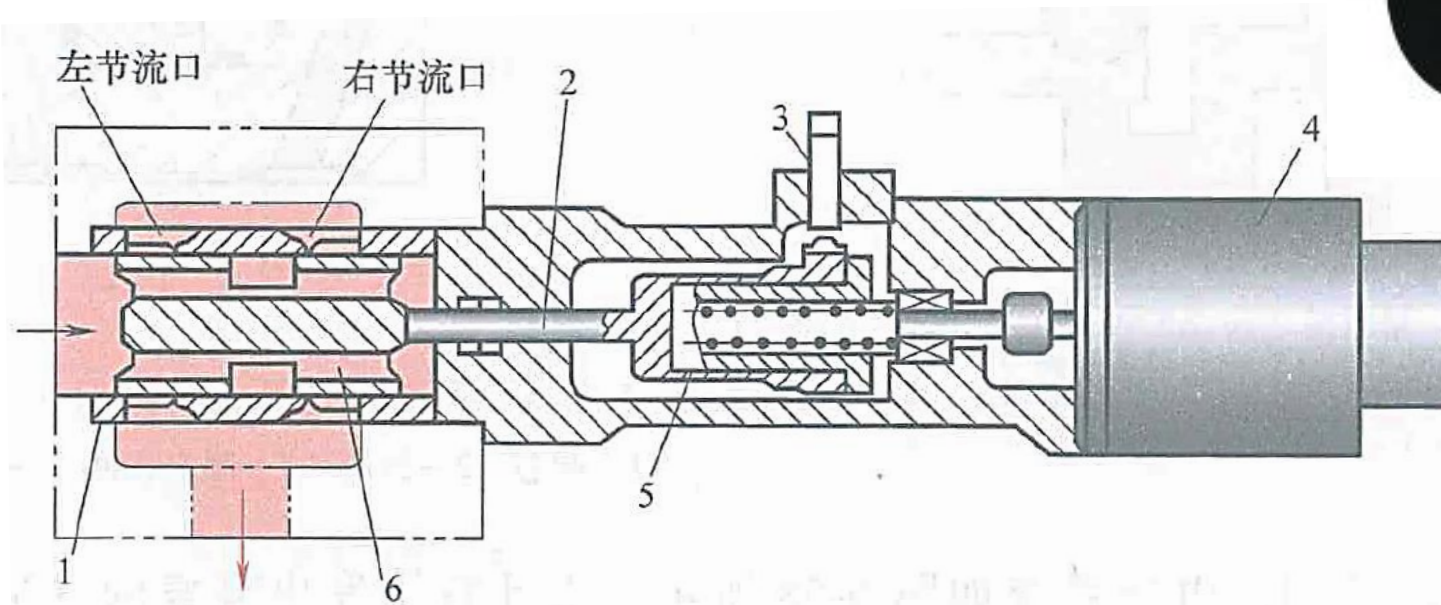
结构 { 步进电机直驱式
力矩马达和球阀组成高速开关数字阀
锥阀型高速开关阀

控制方法 { 脉数调制 (PNM) 控制(增量控制)
脉宽调制 (PWM) 控制

电液数字阀

□ 步进电机直接驱动的数字流量阀

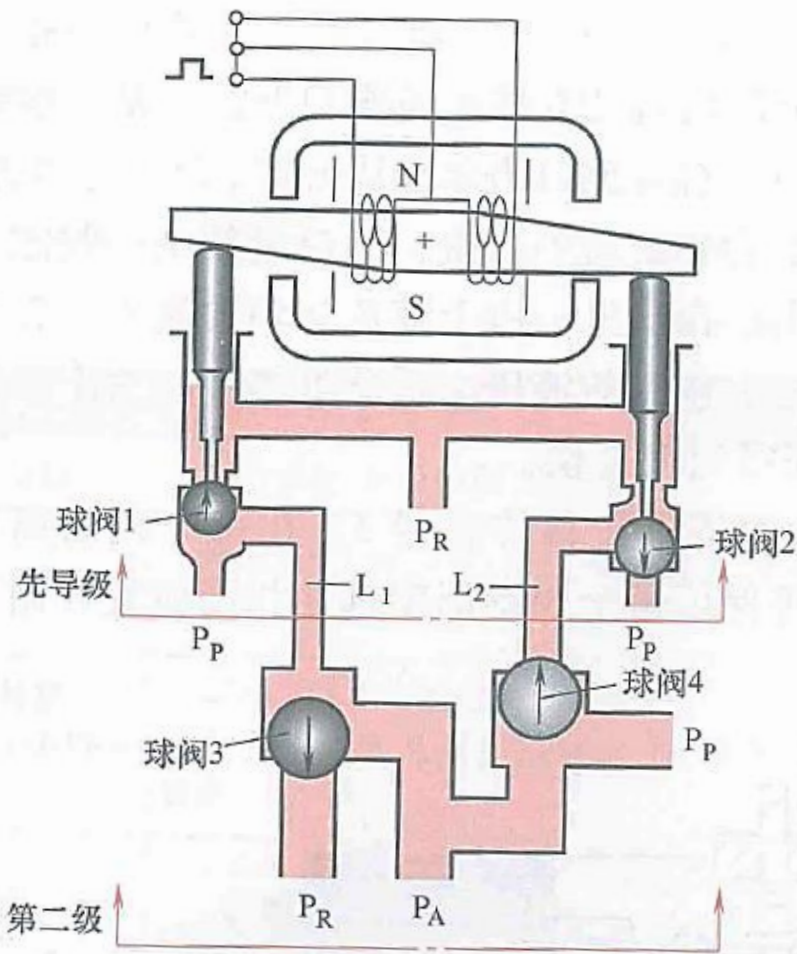
- 步进电动机转动，通过滚珠丝杠带动阀芯
- 开环控制，带零位位移传感器



步进电机直接驱动的数字流量阀

- 1-阀套 2-连接杆 3-零位位移传感器
4-步进电动机 5-滚珠丝杠 6-节流阀阀芯

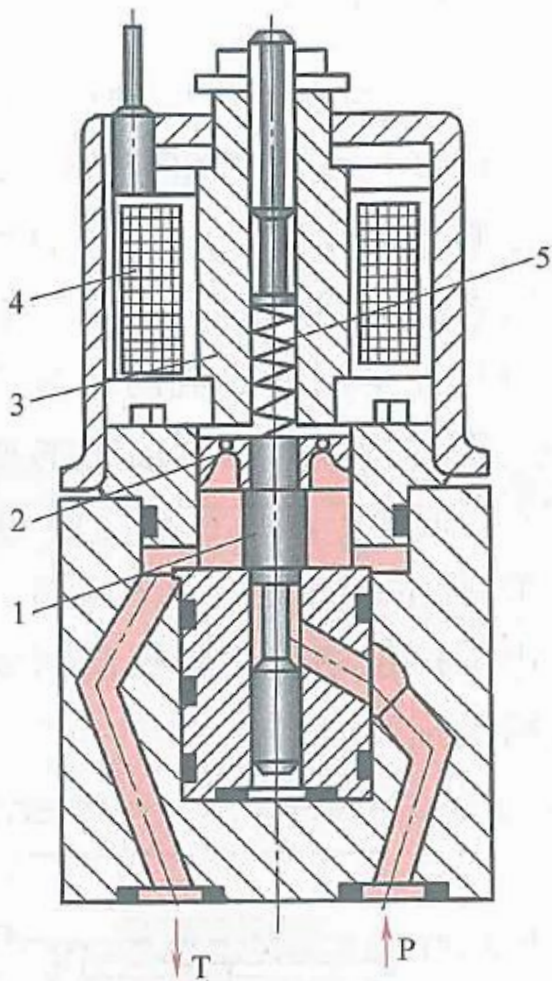
□ 力矩马达和球阀组成的高速开关型数字阀



- 线圈通电时，衔铁针偏转使先导级球阀开启
- 流量小，1.2L/min，工作压力可达20MPa，最短切换时间0.8ms

球阀型二位三通高速开关阀

□锥阀型高速开关电磁阀



- 线圈通电时，铁心被吸引带动阀芯，使阀开启,油液由P口流入T口
- 动作时间 3ms ， 额定流量 12L/min

锥阀型高速开关电磁阀（二位二通，常闭）

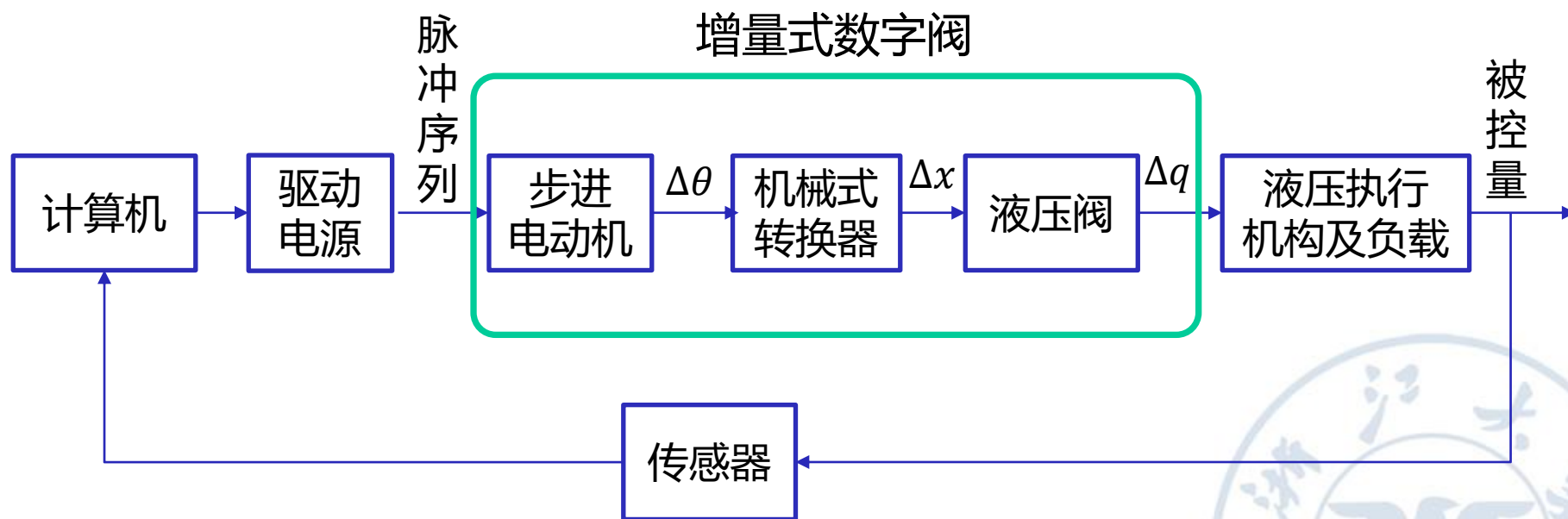
1-阀芯 2-铁心 3-固定元件 4-线圈 5-弹簧



电液数字阀

□ 增量式(PNM)数字阀

- 调整每个周期的脉冲数从而达到需要的幅值
- 经驱动电源放大后驱动步进电动机

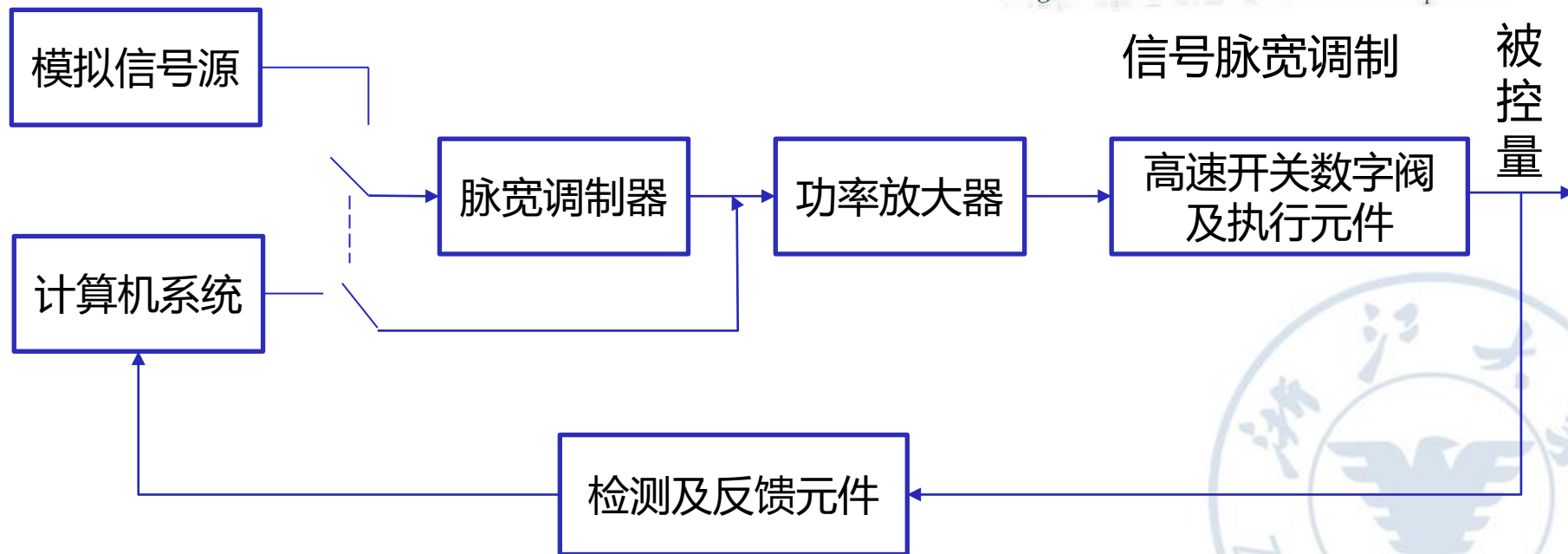
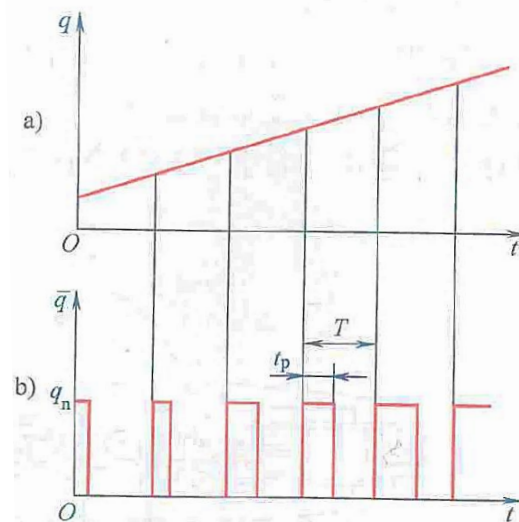


增量式数字阀控制电液系统

电液数字阀

□ 脉宽调制式(PWM)数字阀

- 调整每个周期的脉冲占空比从而达到需要的幅值



脉宽调制 (PWM) 式数字阀控制电液控制系统

叠加阀

□ 管式连接和法兰式连接

- 占用的空间较大，装拆和维修保养不方便
- 现在已越来越少用



法兰式



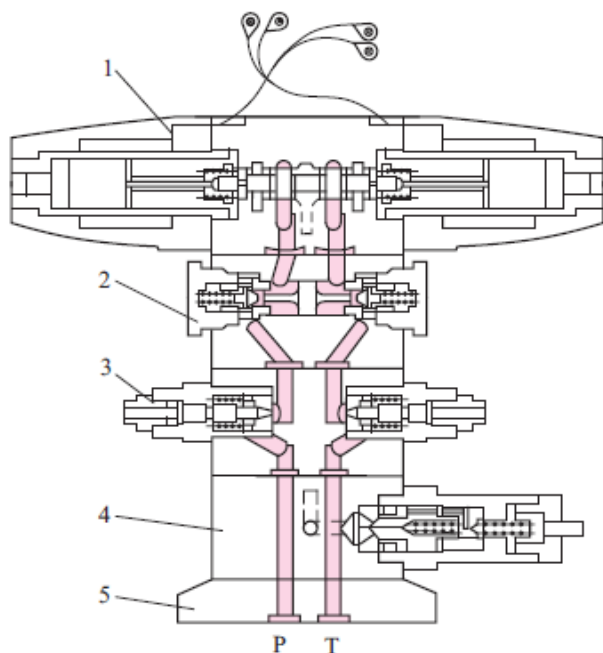
采用管式阀的卡车液压系统



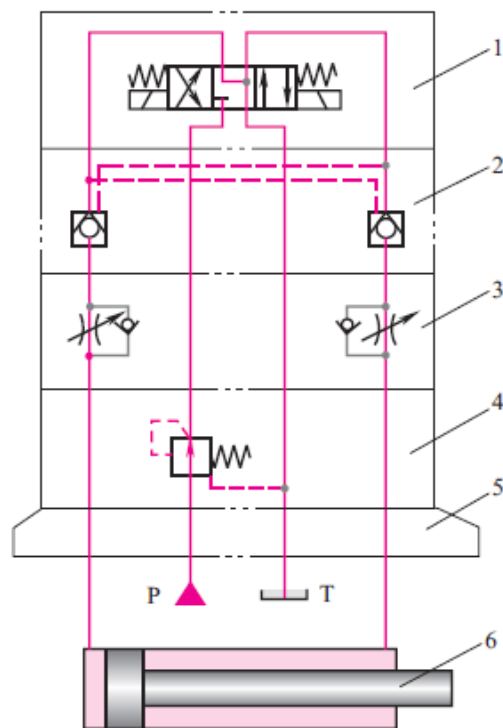
管式

叠加阀

- 叠加阀系统最下面一般为带油口的底板
- 多个执行元件可将几个叠加阀组竖立并排安装
- 结构紧凑, 更改方便, 设计标准化



a)



b)

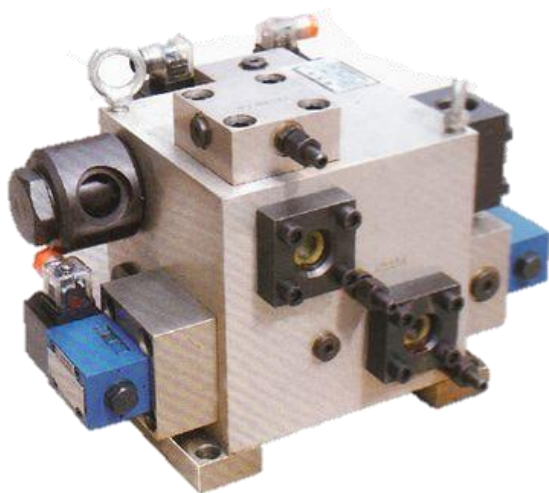


叠加阀系统

- 1—电磁换向阀 2—液控单向阀
3—单向节流阀 4—减压阀
5—底板 6—液压缸

插装阀

- 按结构分为盖板式插装阀和螺纹式插装阀
- 插装阀按通口数量分为二通、三通和四通插装阀



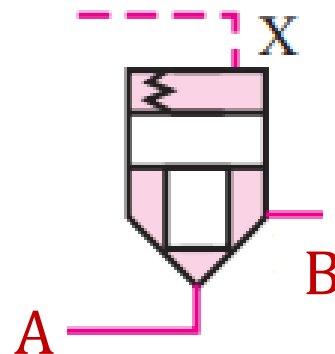
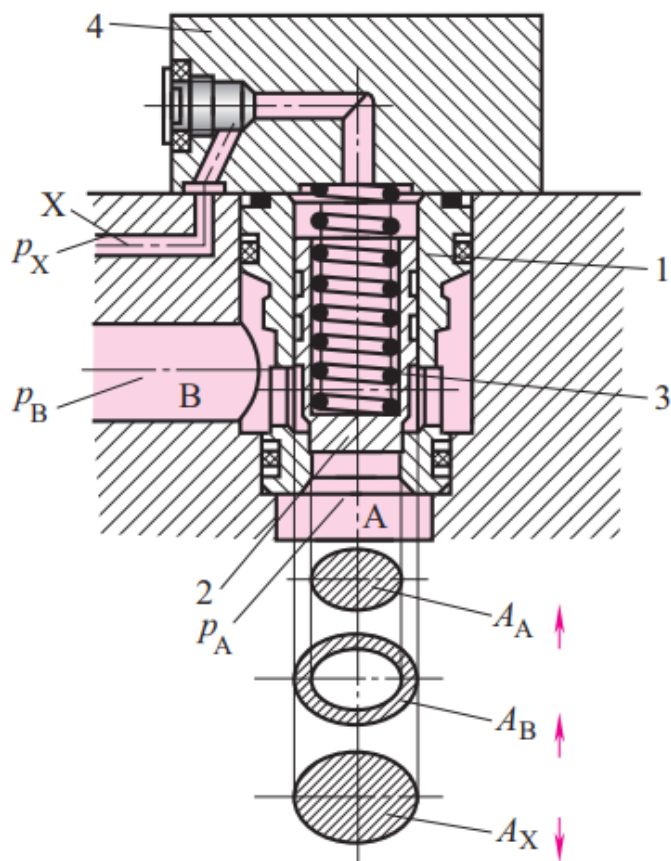
盖板式插装阀



螺纹式插装阀

盖板式插装阀

□ 盖板插装阀



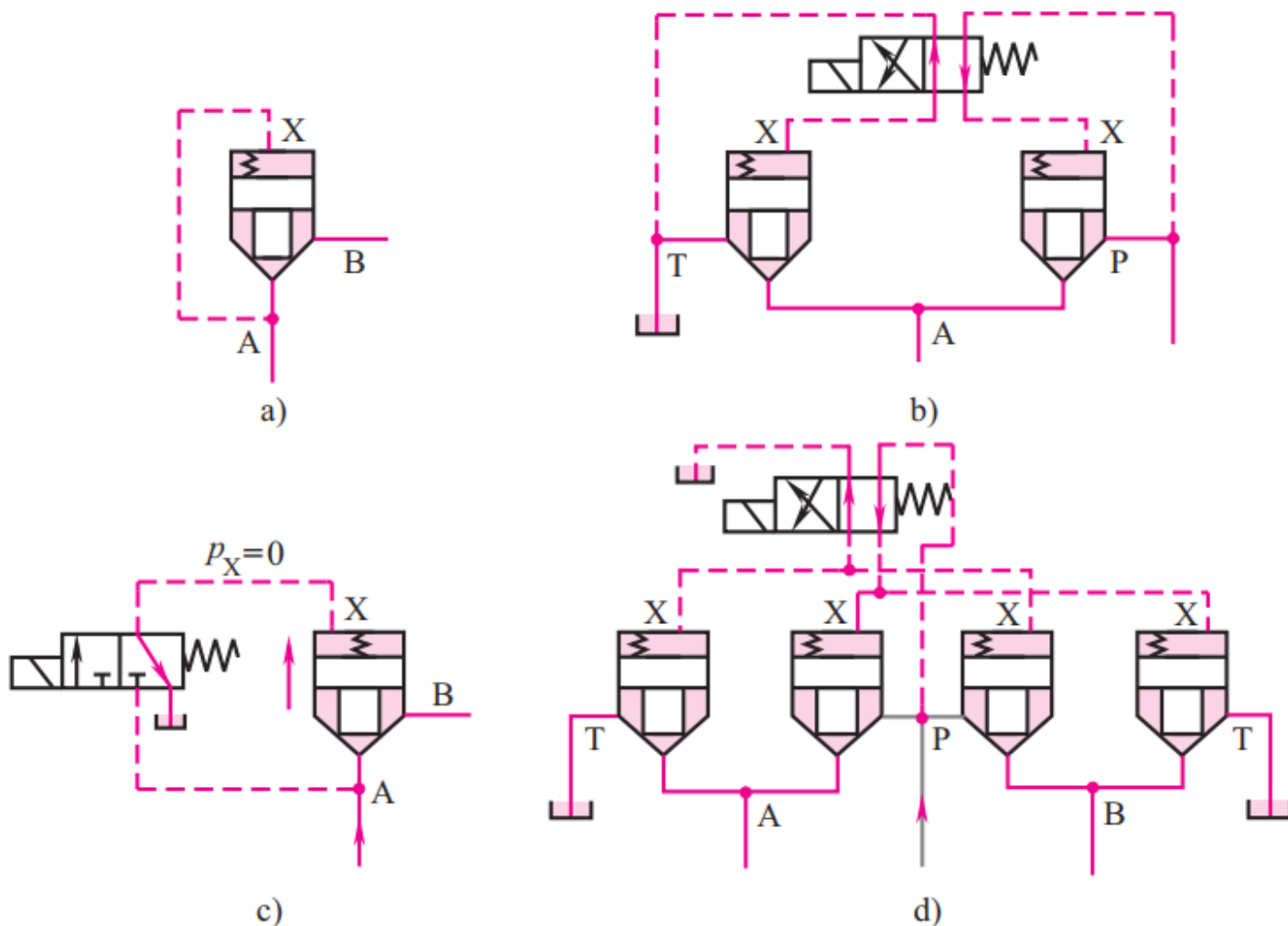
- 原理：液控单向阀
- 插装件：主油路A、B口
- 控制盖板：控制油路X口
- 不同先导级通过控制X，控制A与B的通断，构成各种控制阀

盖板式二通插装阀

1—阀套 2—阀芯 3—弹簧 4—控制盖板

盖板式插装阀

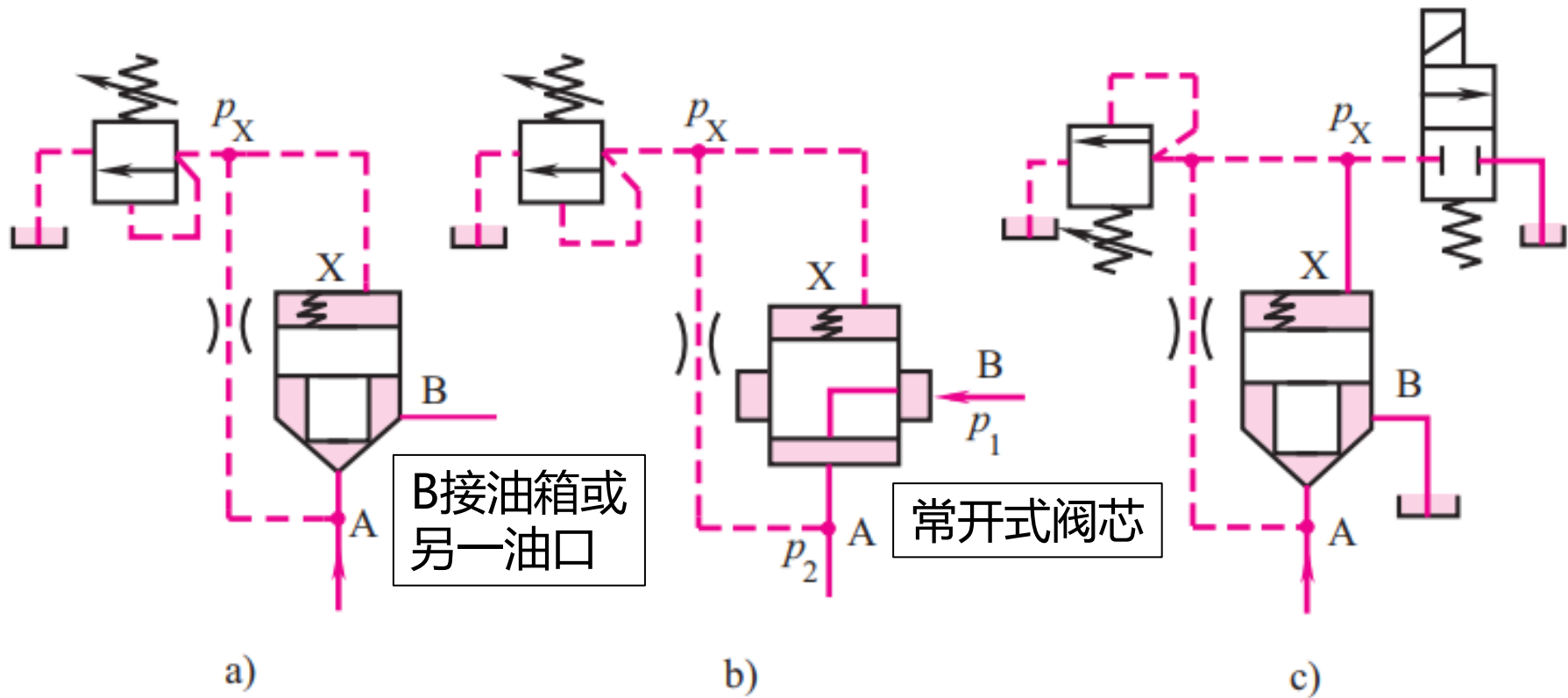
□ 二通插装阀组成方向控制阀



a) 单向阀 b) 二位三通阀 c) 二位二通阀 d) 二位四通阀

盖板式插装阀

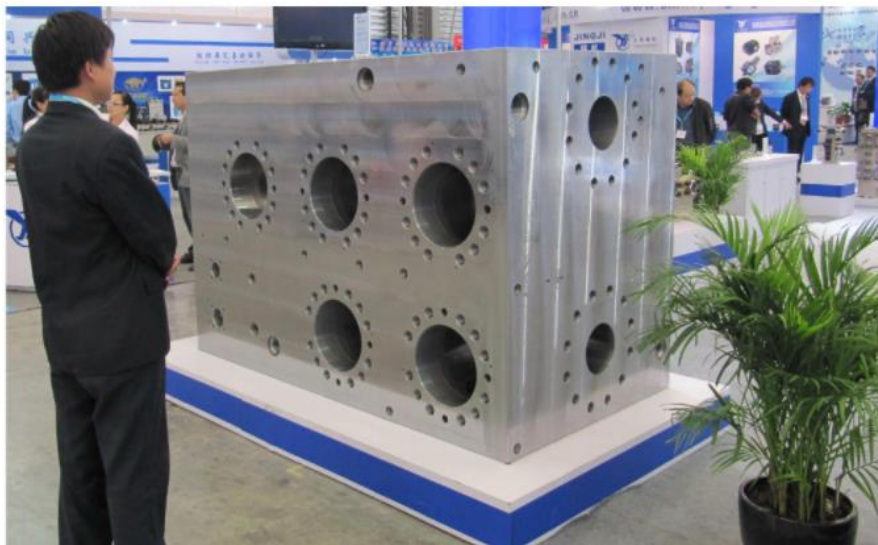
□ 二通插装阀组成压力控制阀



a) 溢流阀或顺序阀 b) 减压阀 c) 卸荷阀

盖板式插装阀

- 采用锥阀结构,内阻小、响应快、**密封好**、泄漏少。
- 机能多,集成度高。配置不同的先导控制级,就能实现**方向、压力、流量的多种控制**。
- 通流能力大,特别适用于**大流量**的场合。
- 结构简单,易于实现**标准化**、系列化。



125通径插装阀集成块

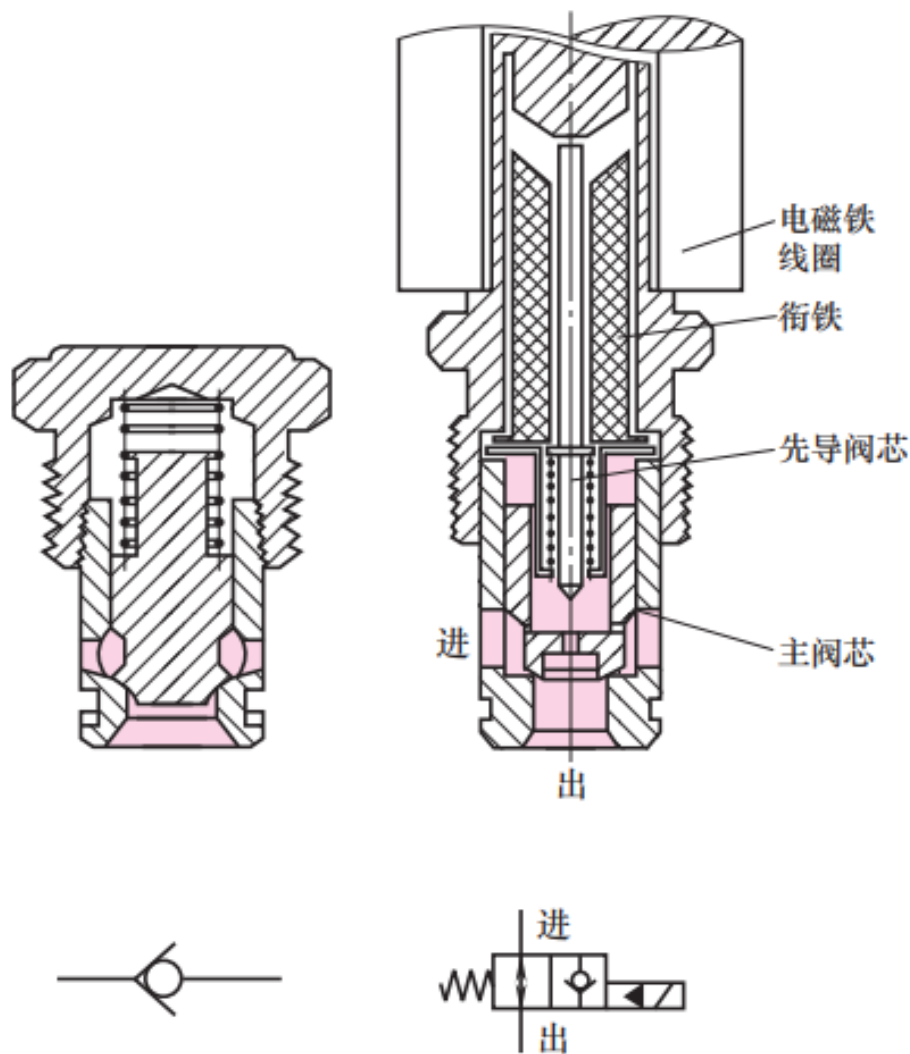


25到160通径的二通插装阀

螺纹式插装阀

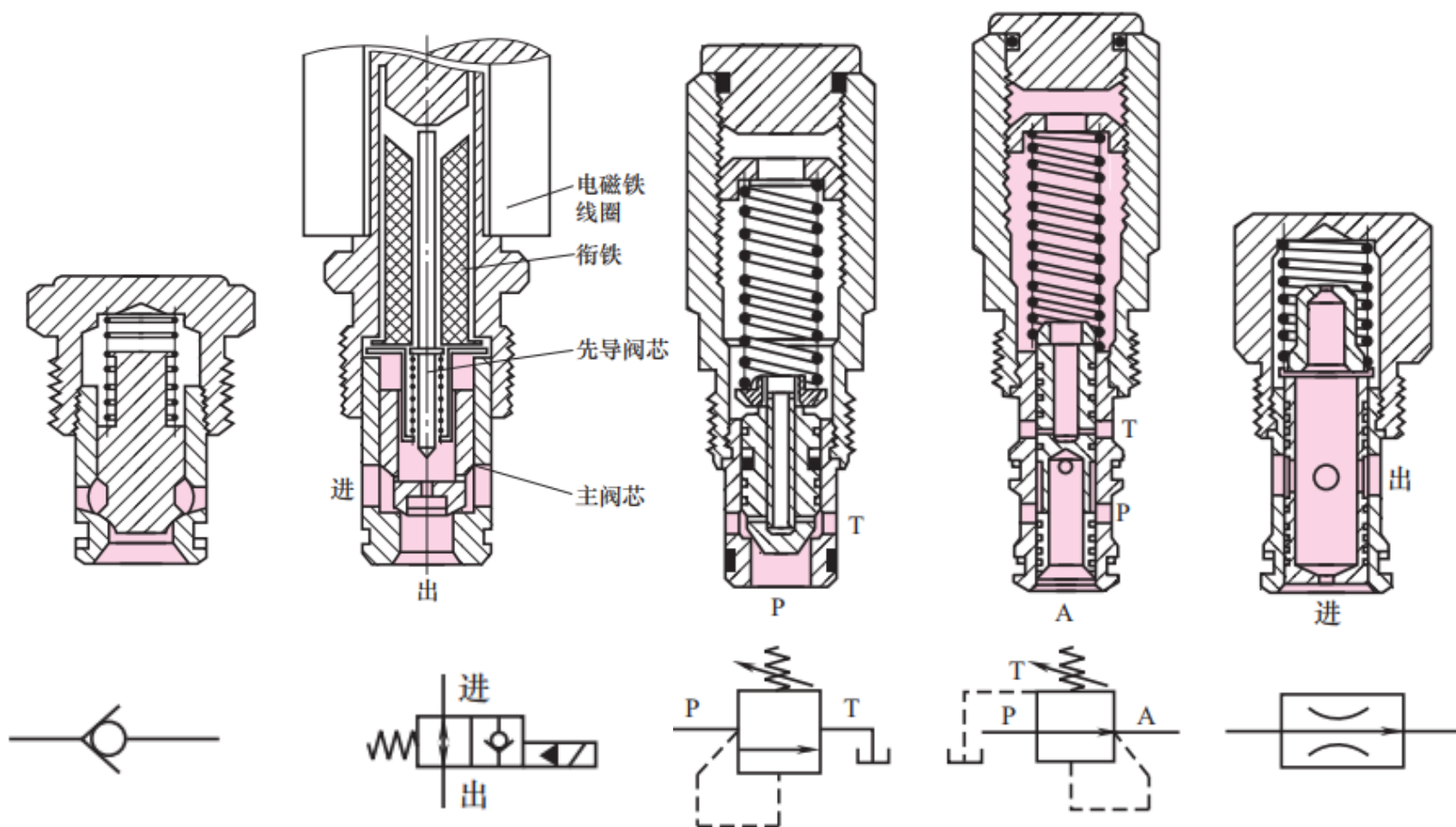
□ 螺纹式插装阀

- 具有压力、流量和方向控制阀以及手动、电磁、电液、比例、数字等多种控制方式
- 尺寸、流量规格一般比盖板式二通插装阀要小



a) 单向阀 b) 锥阀型
电液常开二通阀

螺纹式插装阀实例



- a) 单向阀 b) 锥阀型电液常开二通阀 c) 直动式溢流阀
 d) 滑阀型直动式三通减压阀 e) 压力补偿型定流量阀

□ 作业

- 6-13 6-14 6-18 6-19

