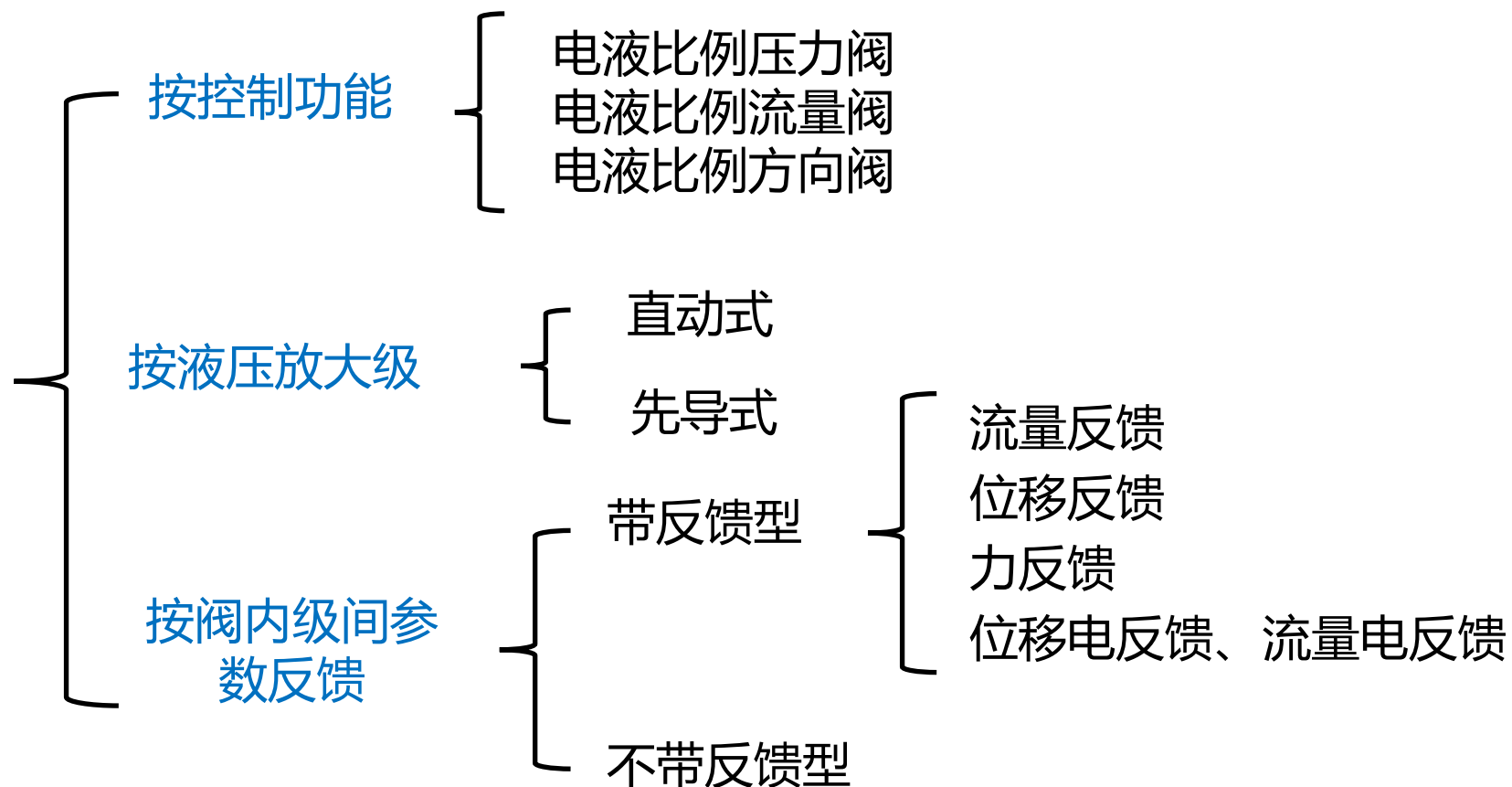


## 第十一讲 电液比例阀、数字阀

- 1. 电液比例阀
  - 1.1 比例压力阀
  - 1.2 比例流量阀
  - 1.3 比例方向阀
- 2. 电液数字阀

## 电液比例阀概述和分类

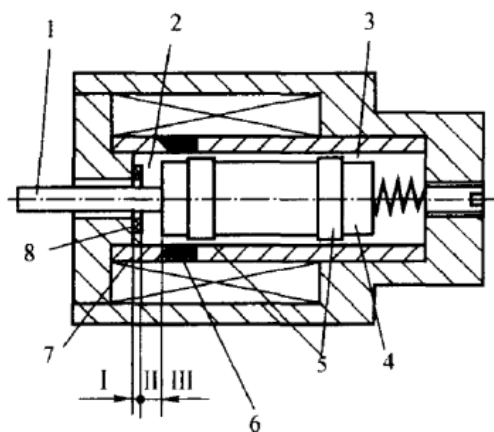
- 按输入的电信号连续成比例地对油液的压力、流量、方向进行控制
- 制造成本、抗污染等方面优于电液伺服阀。



## 比例阀的结构

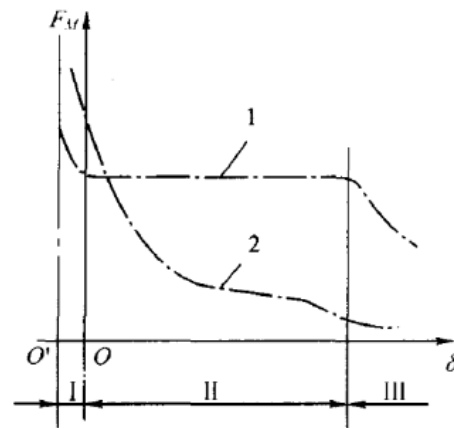
### A、电-机械转换器 (比例电磁铁)

- ✓ 水平的位移力特性：比例电磁铁有效工作行程内，线圈电流一定，输出力保持恒定。
- ✓ 稳态电流-力特性具有良好的线性度、较小的死区及滞回
- ✓ 阶跃响应快、频响高



(a) 基本结构

1. 推杆 2. 工作气隙 3. 非工作气隙 4. 衔铁  
5. 轴承环 6. 隔磁环 7. 导套 8. 限位片



(b) 位移—力特性

1. 比例电磁铁 2. 普通直流电磁铁

I —— 吸合区      II —— 工作行程区      III —— 空行程区

耐高压直流比例电磁铁结构及特性

## 比例阀的结构

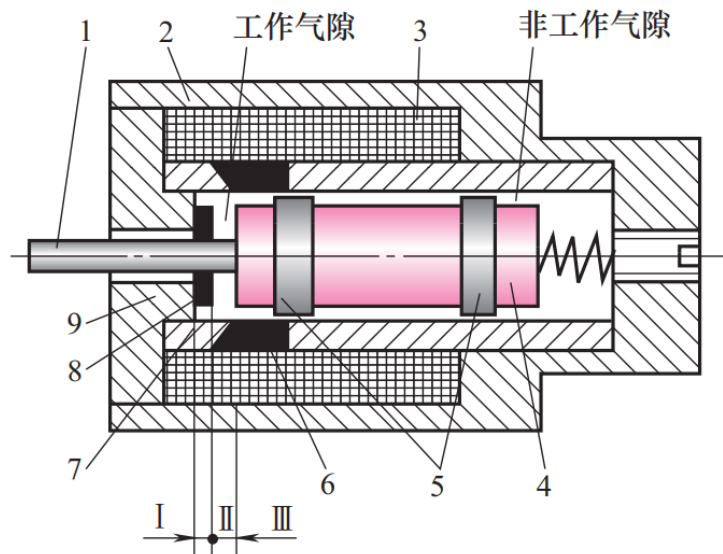
### A、电-机械转换器 (比例电磁铁)

#### ✓ 力输出型比例电磁铁

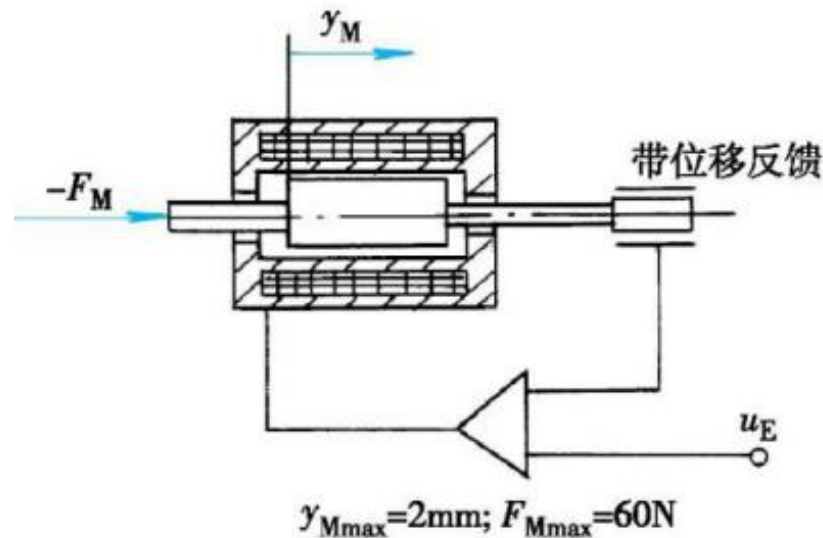
——开环控制，精度一般，抗干扰差

#### ✓ 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)

## 比例阀的结构

### B、比例放大控制器

#### 作用：

##### ➤ 功率放大：

输入信号：0 - 10V； 0 -  $\pm 10V$ ； 0 -  $\pm 20mA$ ， 0 - 20mA

输出信号：0 - 800mA； 0 - 1500mA； 0 - 2500mA； 0 - 2700mA

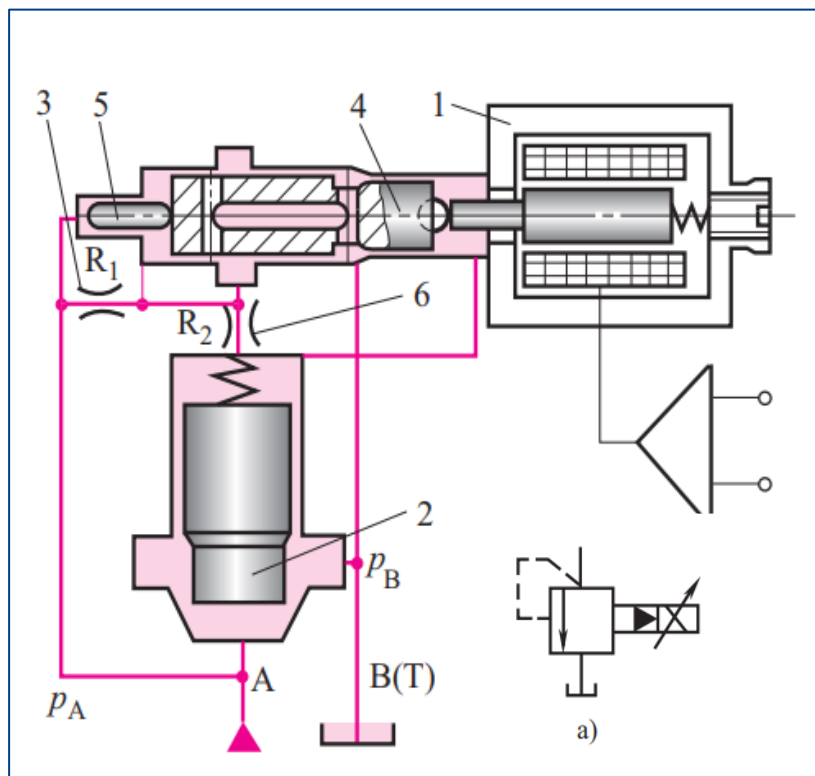
- 死区补偿：零位时，为可靠密封及降低加工成本，阀口正遮盖，通过死区补偿以消除正遮盖的影响
- 颤振：减小摩擦力及磁滞所造成的滞环，消除卡涩
- 缓冲：使电液比例阀过渡过程比较平缓，减小冲击。
- 位移传感器：提高阀芯控制精度（电感式、LVDT 式）

#### 结构形式：

- 板式（工业应用最多，性能最好，要有安装机箱）
- 盒式（行走机械，有保护外壳，防水防灰）
- 插头式（结构紧凑，功能较弱，不带位移控制）
- 模块式（工业应用最多，性能好，要有安装机箱）
- 集成功放（工业应用）

# 1.1 电液比例压力阀

## 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

溢流阀比较:

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



# 1.1 电液比例压力阀

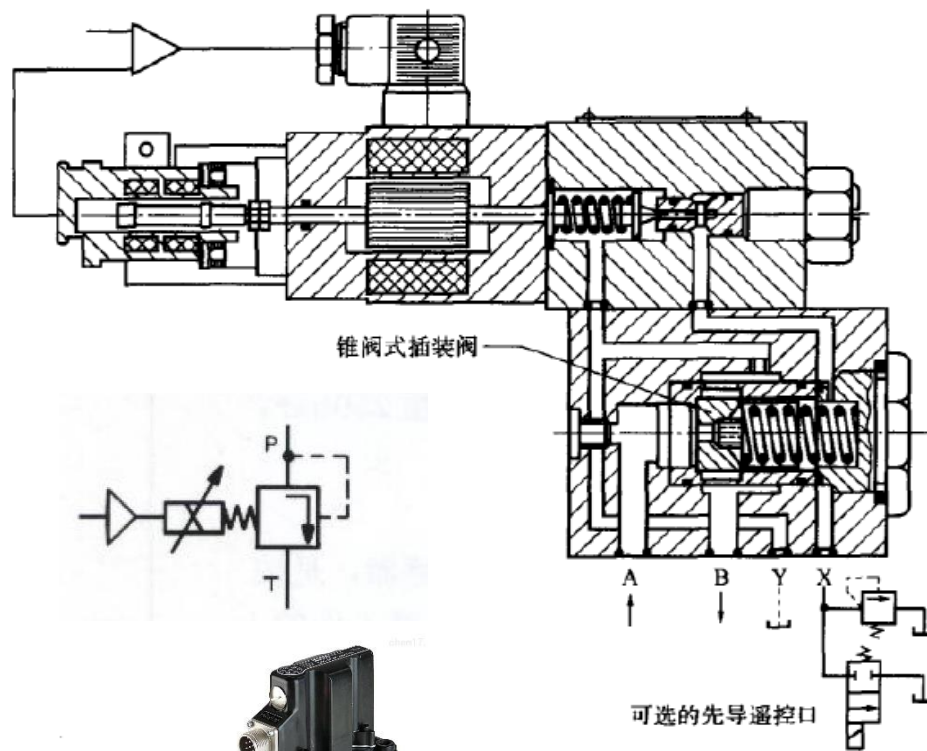
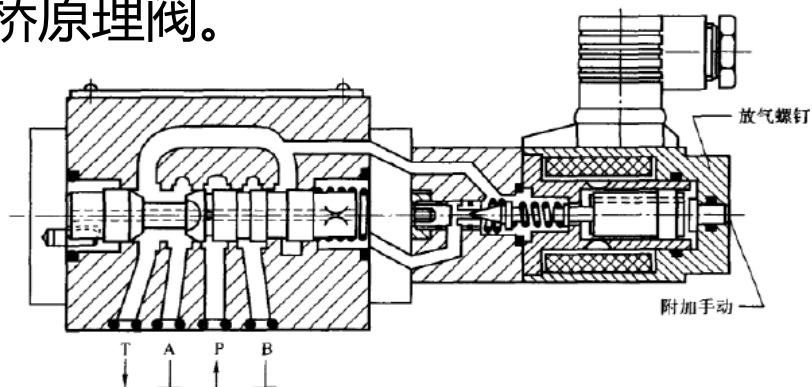
## 新型溢流阀：

博世比例溢流阀特点：

- 1、电反馈；
- 2、方向阀式结构；
- 3、大流量阀的主阀轴线与先导阀轴线平行，主阀检修方便
- 4.间接检测——所有传统阀共同点

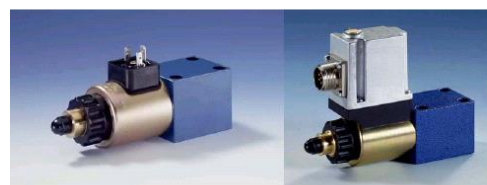
新原理比例溢流阀特点：

- 1、系统压力直接检测；
- 2、 $\pi$  桥原理阀。



带电反馈  
比例溢流阀

图 博世比例溢流阀



方向阀式结构  
比例溢流阀



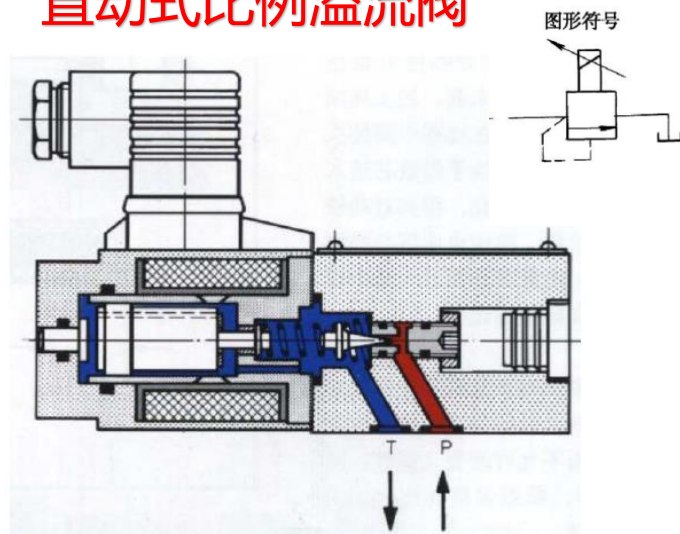
# 1.1 电液比例压力阀



浙江大学  
ZHEJIANG UNIVERSITY

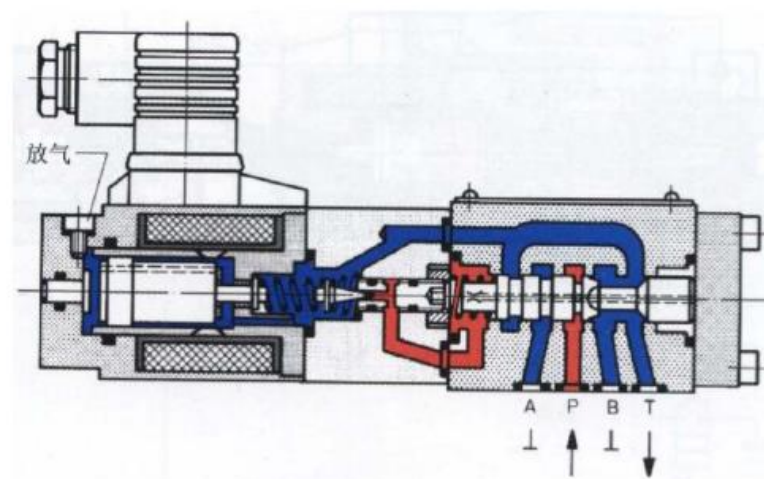
## 比例溢流阀分类：

### 直动式比例溢流阀

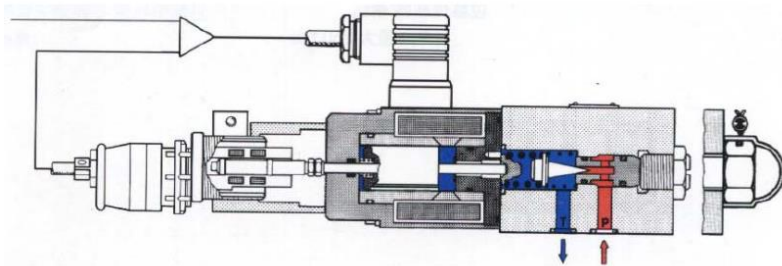


图a 直接作用式比例溢流阀

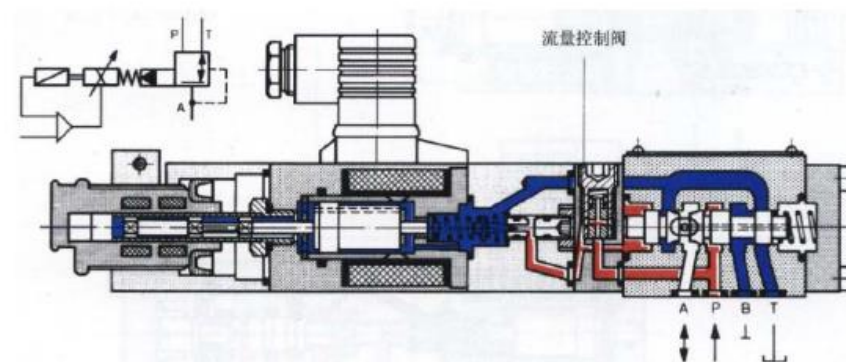
### 先导式比例溢流阀



图b 先导式比例溢流阀



图c 带电反馈直接作用式比例溢流阀

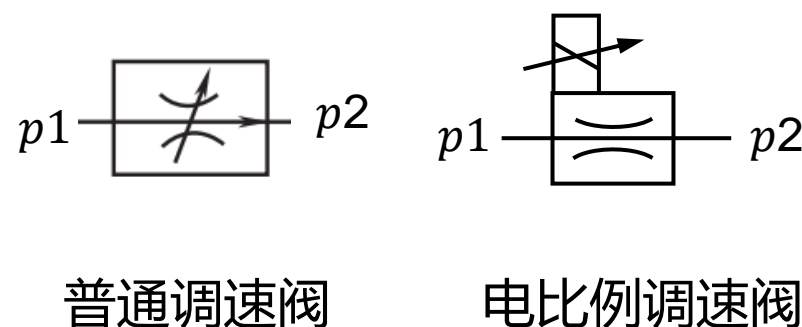
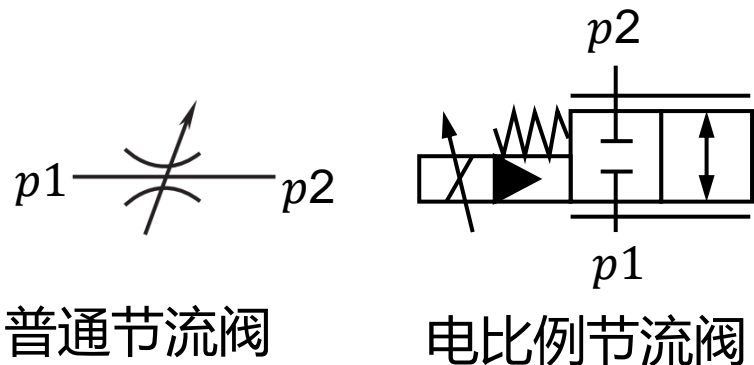


图d 带电反馈先导式比例溢流阀

# 1.2 电液比例流量阀

## 比例流量阀分类及原理

- ✓ 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**



节流与调速

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

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

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

节流阀—— $\Delta p \neq$  常数，调节  $A$  后， $q$  还受负载变化的影响；

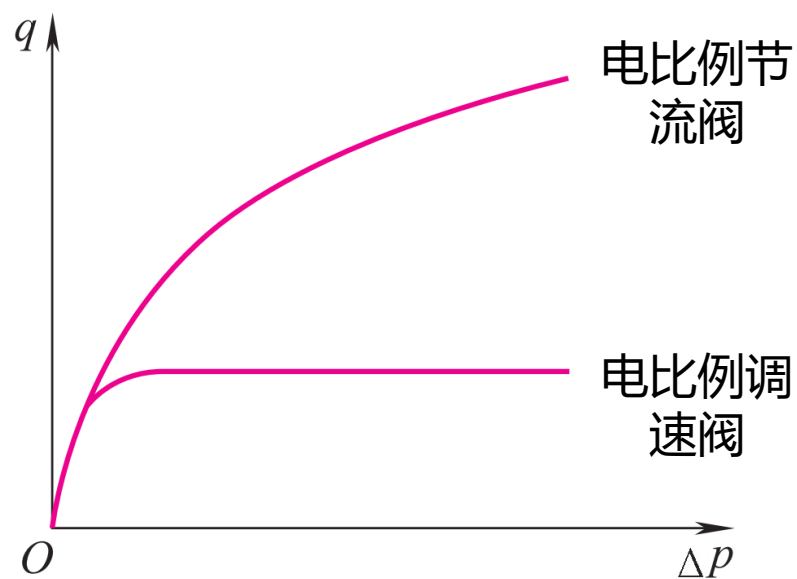
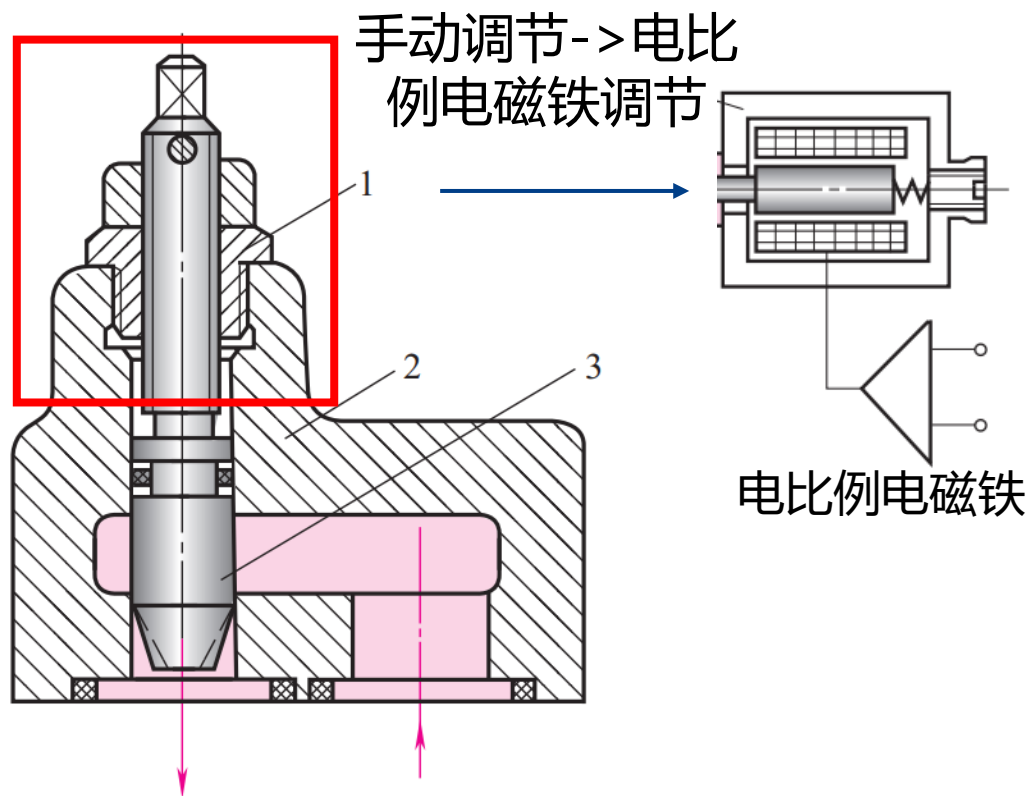
调速阀—— $\Delta p =$  常数，调节  $A$  后， $q$  不受负载变化的影响；

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

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

## 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



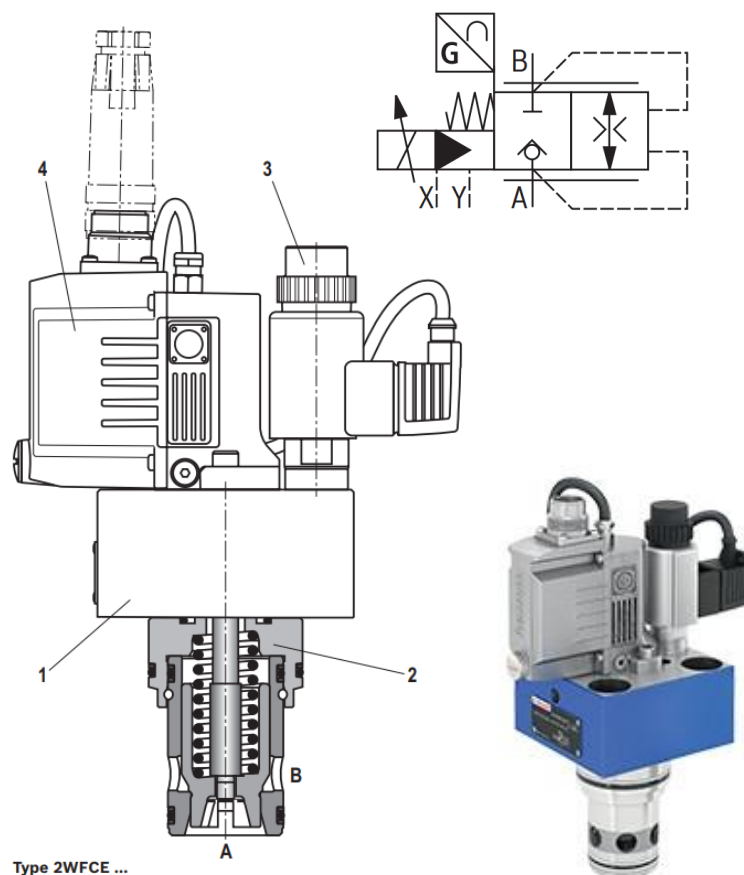
流量特性曲线

# 1.2 电液比例流量阀

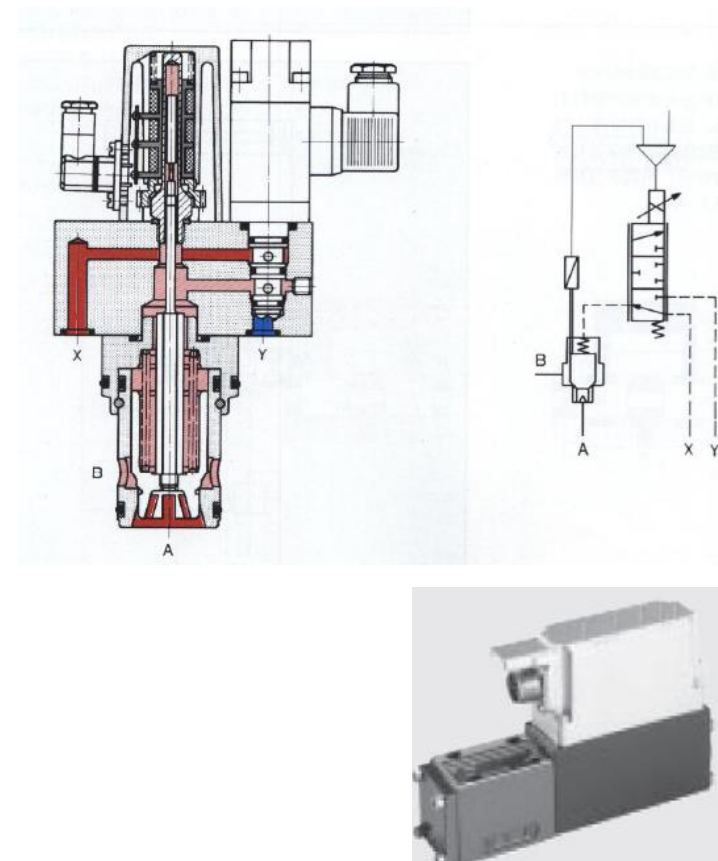


浙江大学  
ZHEJIANG UNIVERSITY

## 电液比例节流阀



1.力士乐2WFCE比例节流阀



2.插装式比例节流阀

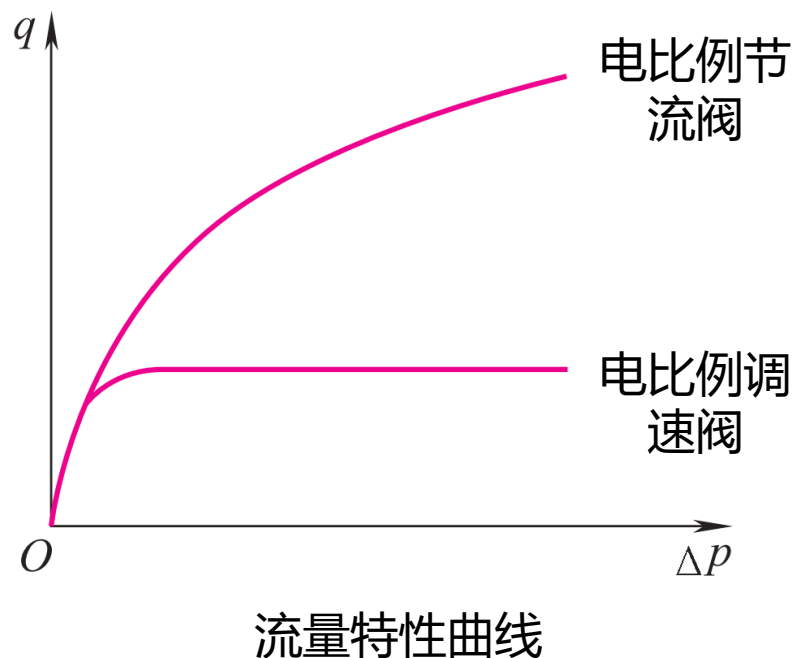
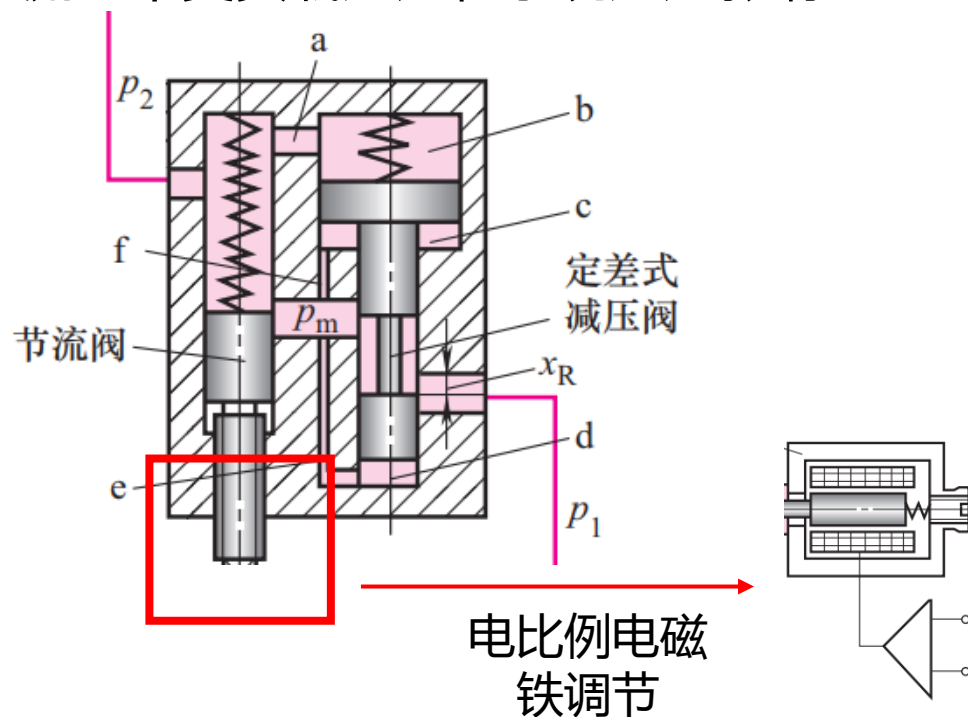
## 1.2 电液比例流量阀



浙江大学  
ZHEJIANG UNIVERSITY

### 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

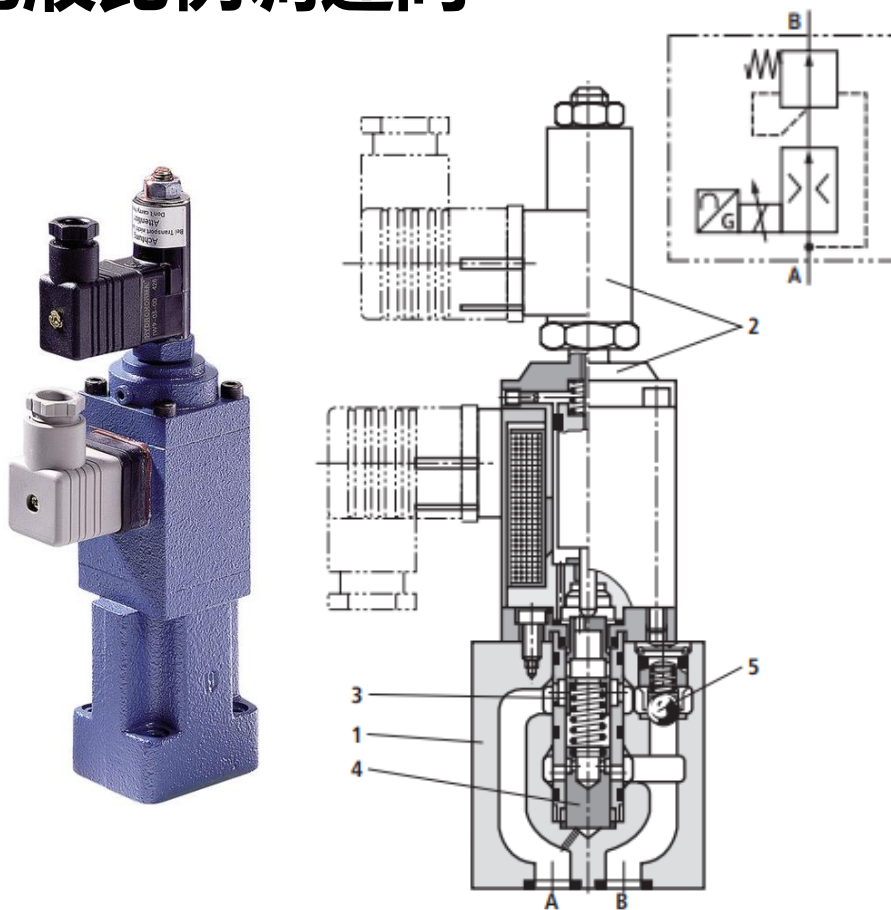


# 1.2 电液比例流量阀

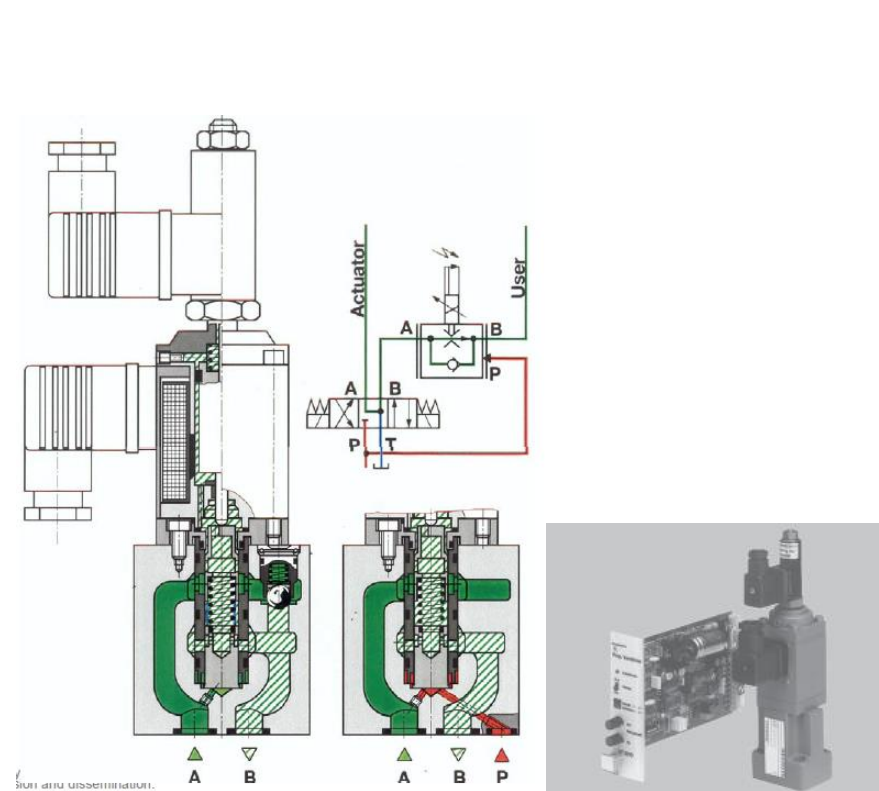


浙江大学  
ZHEJIANG UNIVERSITY

## 电液比例调速阀



1.力士乐2FRE比例调速阀



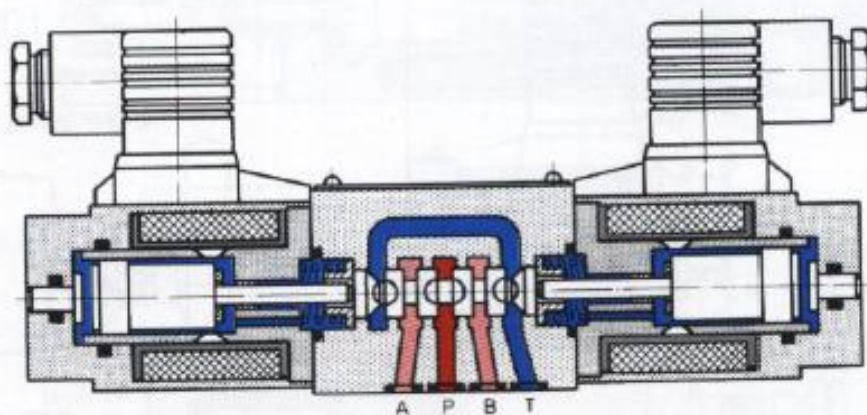
2.直动式二通型比例调速阀



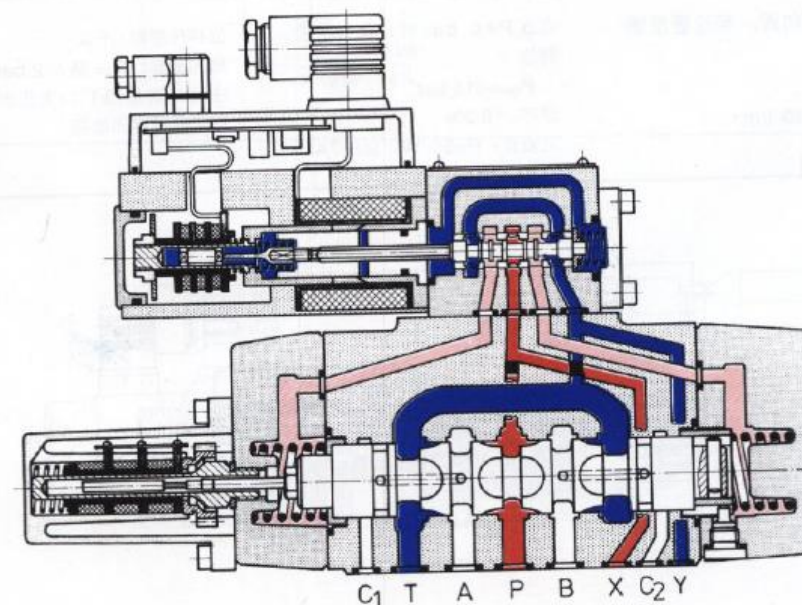
# 1.3 电液比例方向阀



- 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

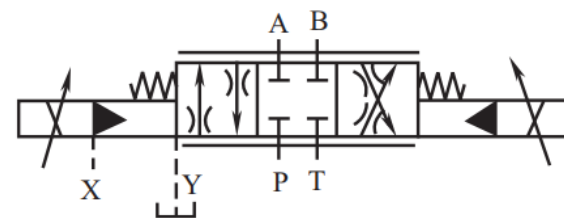
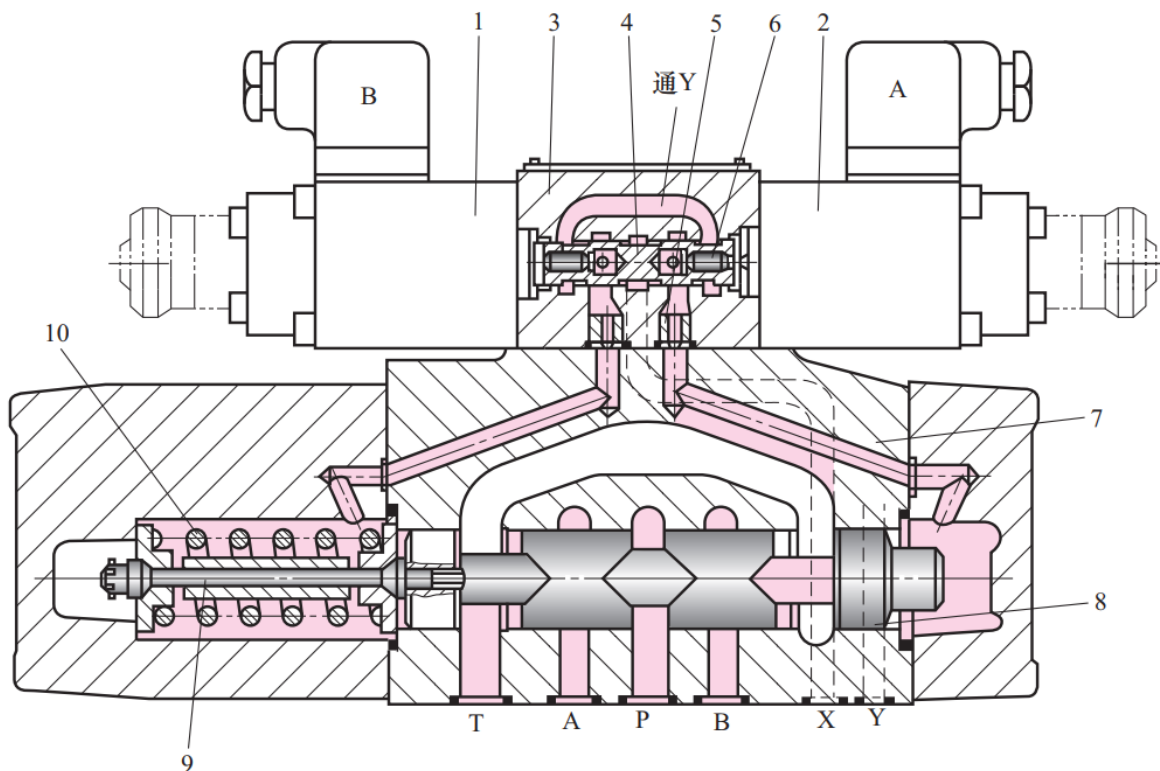
# 1.3 电液比例方向阀



浙江大学  
ZHEJIANG UNIVERSITY

## 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



- 1、2—比例电磁铁
- 3—先导阀阀体
- 4—先导阀阀芯
- 5—左固定阻尼孔
- 6—反馈活塞
- 7—主阀阀体
- 8—主阀阀芯
- 9—弹簧座
- 10—主阀对中弹簧

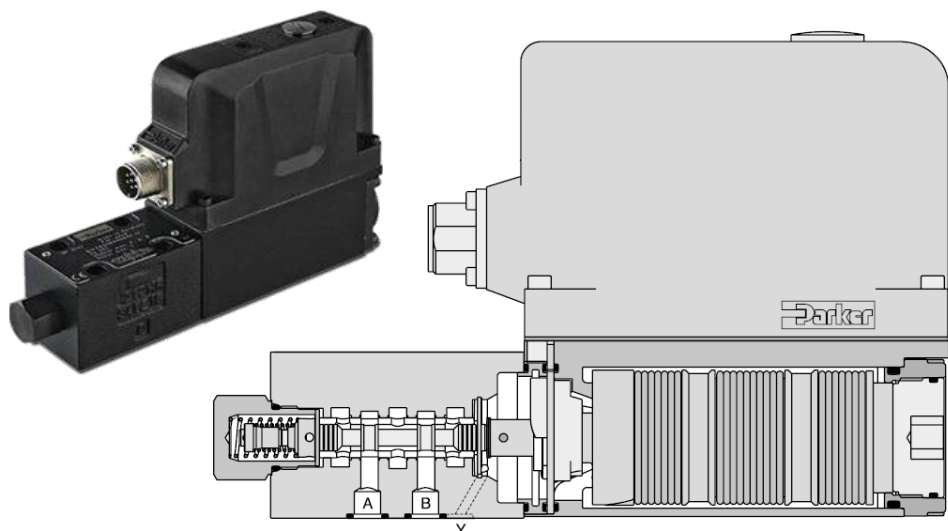


# 1.3 电液比例方向阀



浙江大学  
ZHEJIANG UNIVERSITY

## 电液比例方向阀

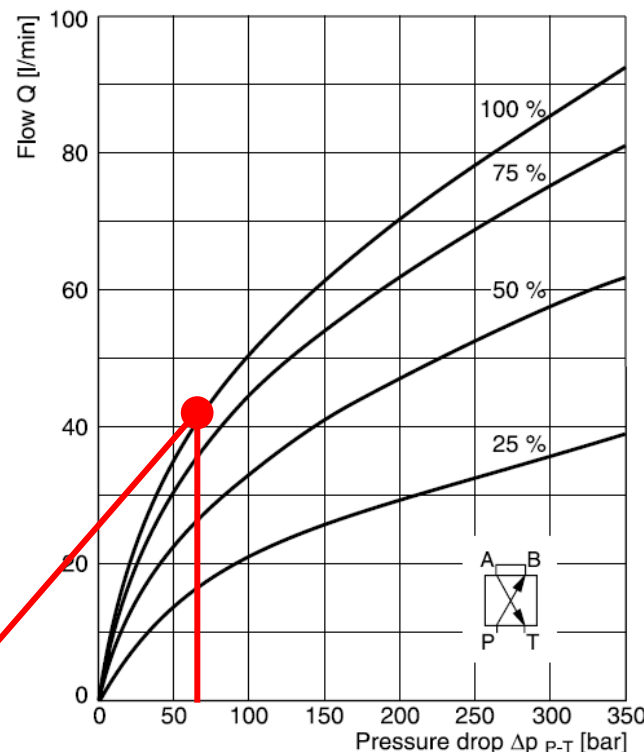


### 1. Parker D1FP E50M 高频响应比例方向阀

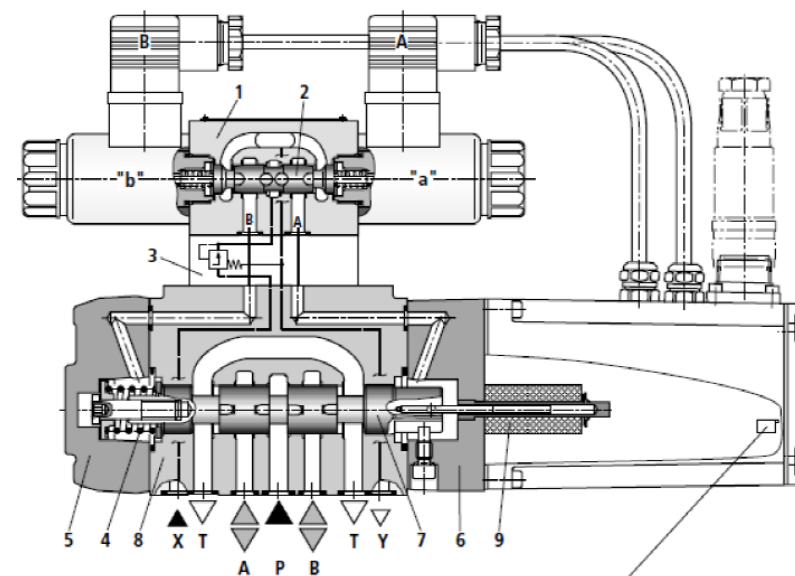
额定流量 (单边压降35bar) : 40L/min

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



### 2. 两级电反馈电液比例方向阀

表 电液比例阀和电液伺服阀特点比较

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	-/16/13---/18/14	-/13/9---/15/11 进口过滤
线性度	低压降 (0.8MPa) 工作通过较大流量 阀体内阻力影响线性度 (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	8-60ms	2-10ms
频率响应	10-150Hz	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

# 1.3 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**
- ✓ 计算机实时控制电液系统部分取代比例阀或伺服阀
- ✓ 嵌入式数字化控制提升电液伺服阀的动静特性

结构类型：

- ① 步进电机直驱式
- ② 力矩马达和球阀组成高速开关数字阀
- ③ 锥阀型高速开关阀

数字量控制方法：

- ① 脉数调制 (PNM) ——增量控制
- ② 脉宽调制 (PWM) 控制

## 1.3 电液数字阀

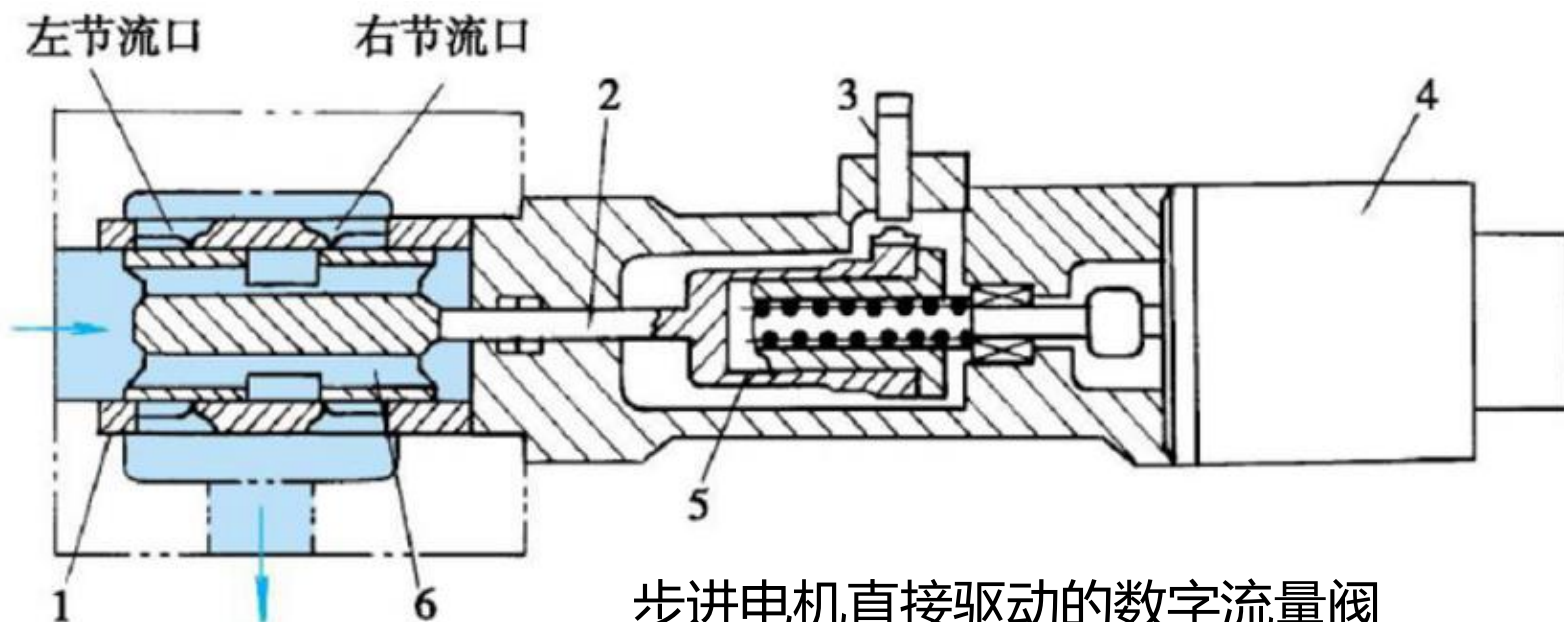


浙江大学  
ZHEJIANG UNIVERSITY

### A、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

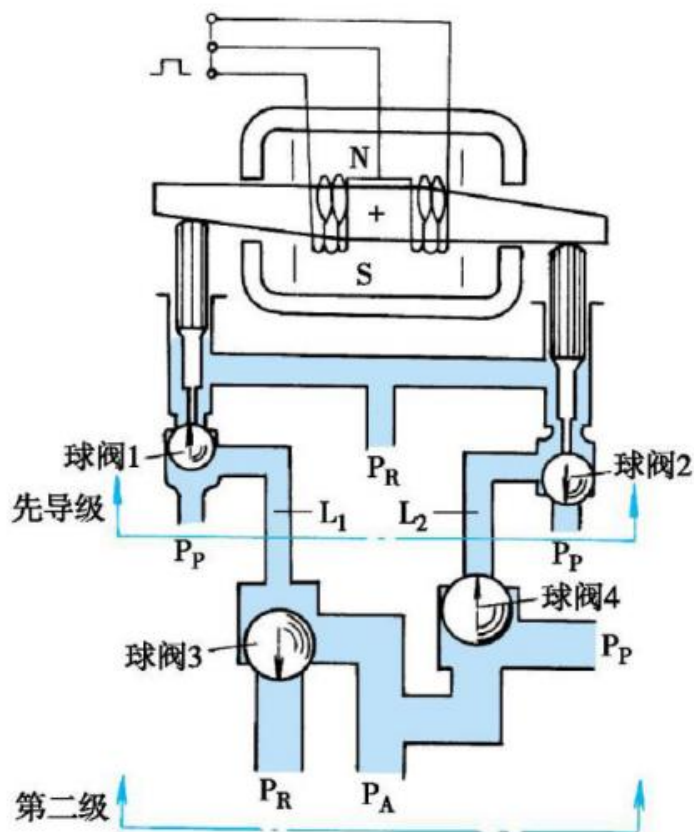
✓ 开环控制，带零位位移传感器



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

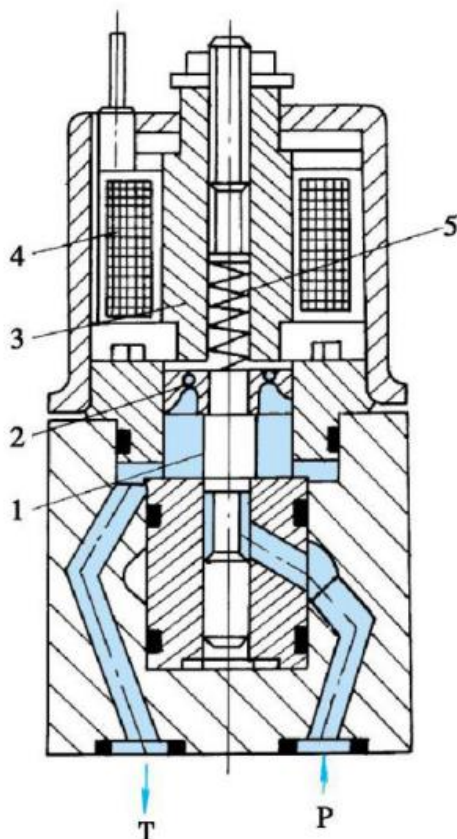
### B、力矩马达和球阀组成的高速开关型数字阀



球阀型二位三通高速开关阀

- ✓ 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

### C、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

## 增量式数字阀

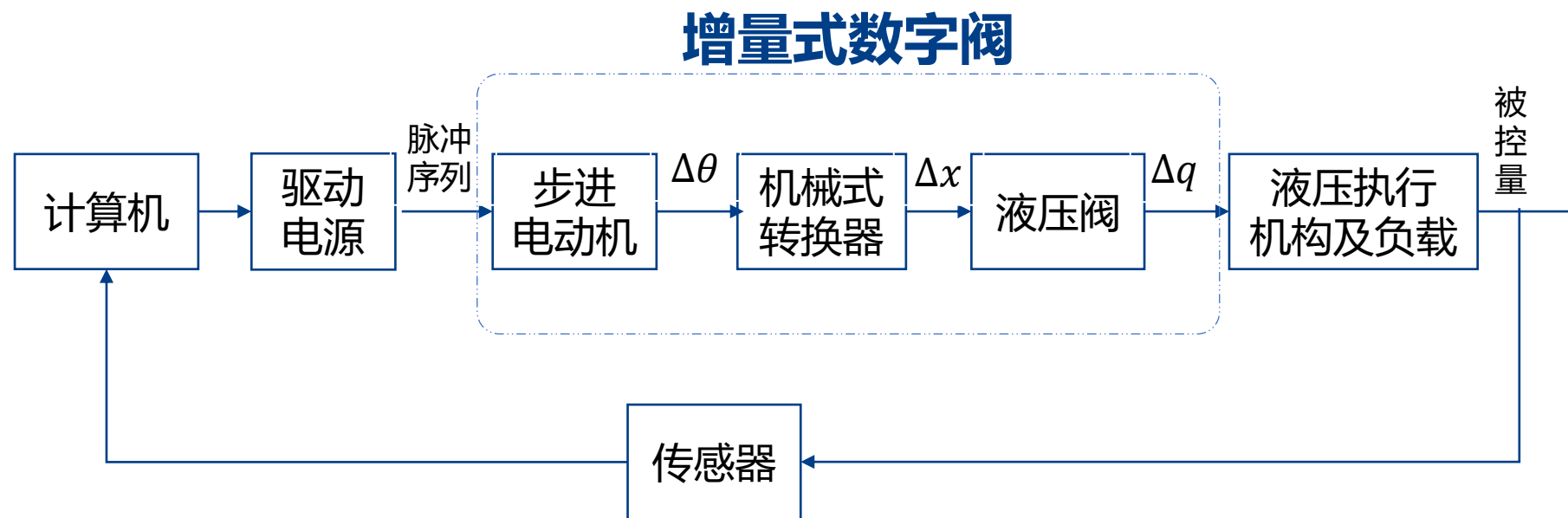


图 增量式数字阀控制电液系统

# 1.3 电液数字阀



浙江大学  
ZHEJIANG UNIVERSITY

## 脉宽调制式数字阀

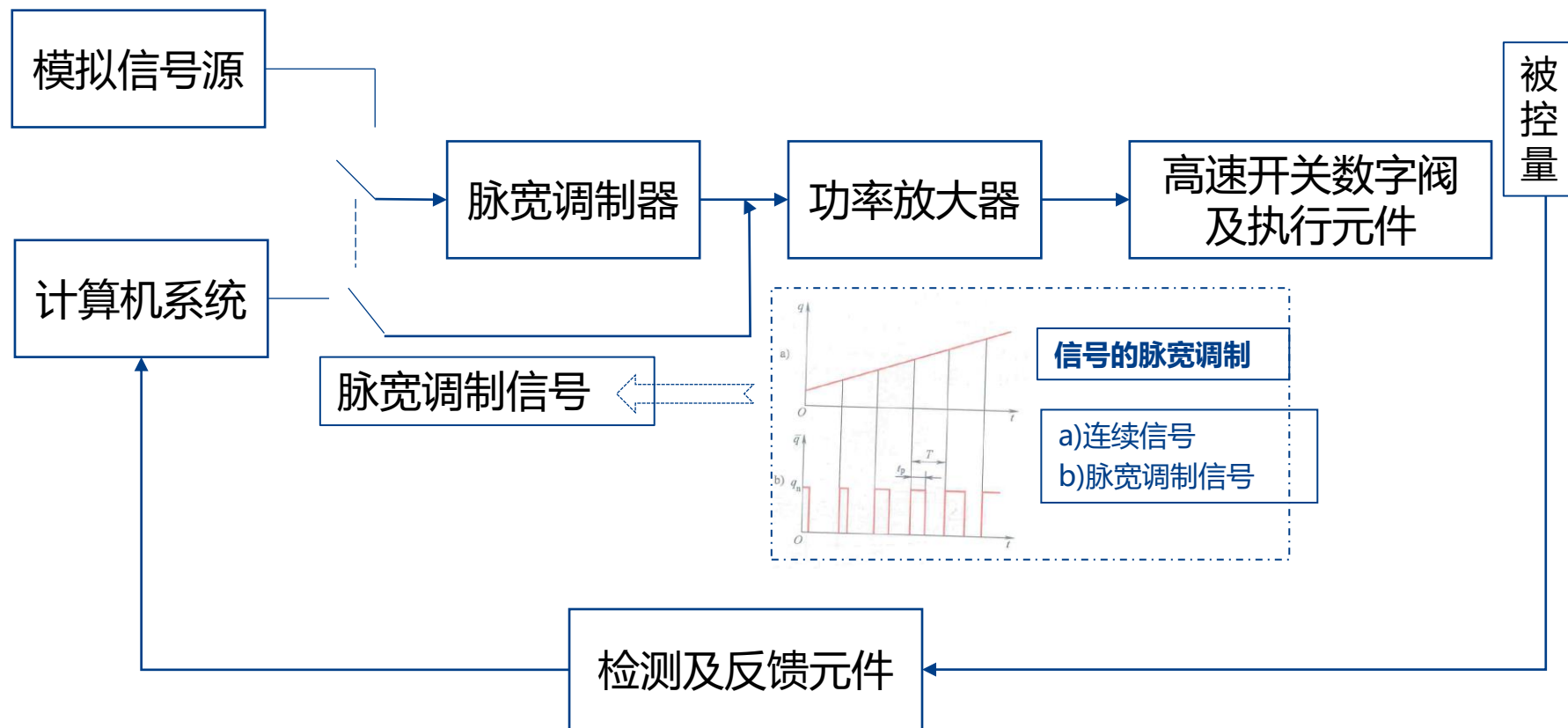


图 脉宽调制 (PWM) 式数字阀控制电液系统