



# 液压传动及控制I

## — 液压缸和辅助装置

浙江大学  
流体动力与机电系统国家重点实验室  
2022.11





# 液压缸

- ◆ 液压缸的类型和特点
- ◆ 液压缸的典型结构和组成
- ◆ 液压缸的设计和计算



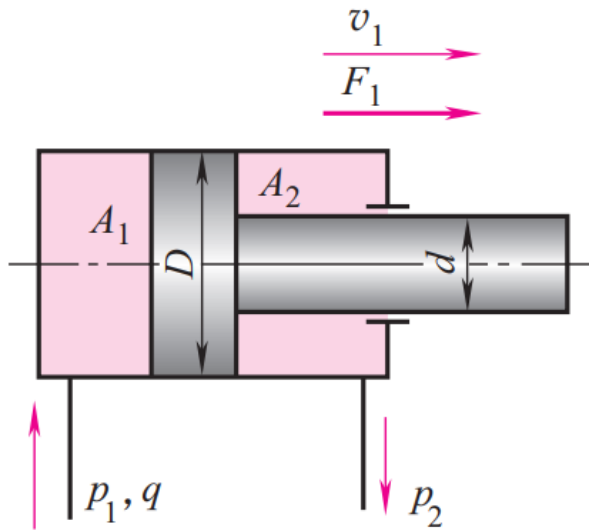
# 液壓缸

## □ 工作原理

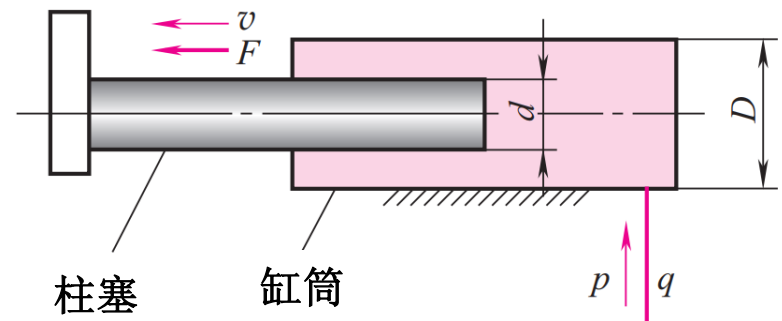
- 液壓能—> **直线运动**机械能
- 输入**压力**和**流量**，输出**推力**和**速度**

- ✓ 结构简单、工作可靠
- ✓ 设计简单、布置安装方便
- ✓ 驱动效率高

## □ 液壓缸的类型



活塞缸



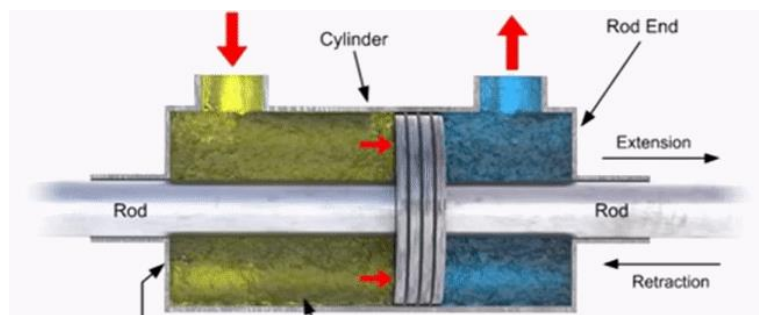
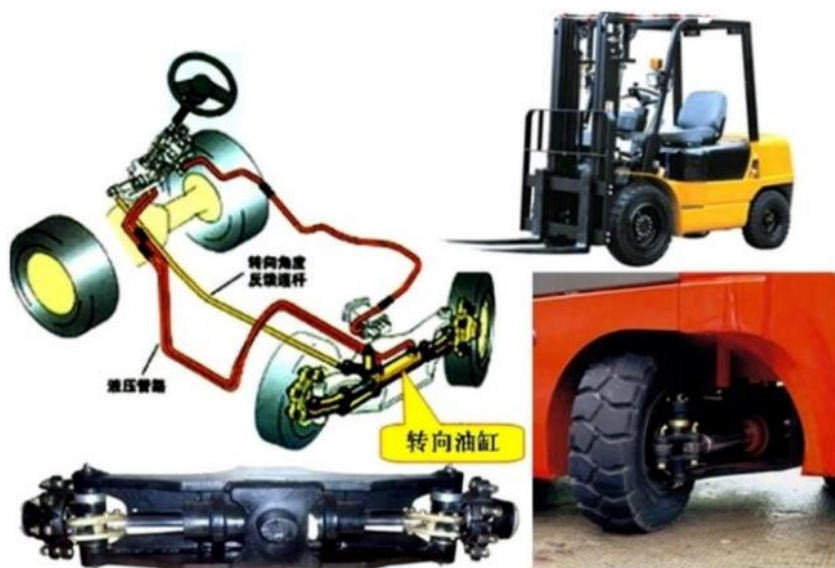
柱塞

缸筒

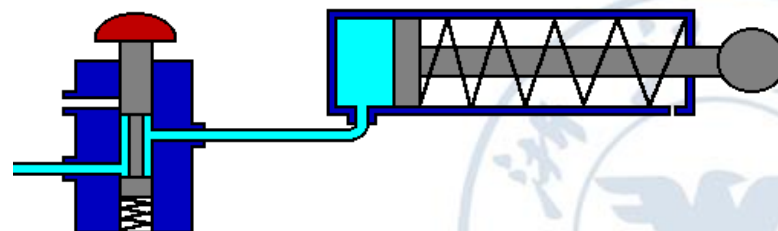
柱塞缸

# 活塞式液压缸

- 分为双杆和单杆活塞缸

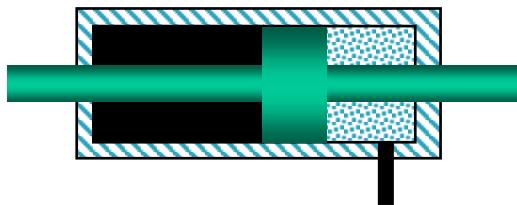


双杆活塞缸

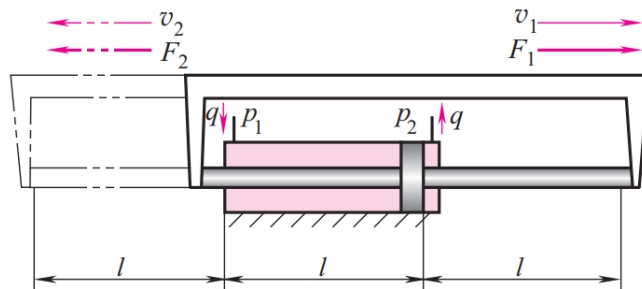


单杆活塞缸

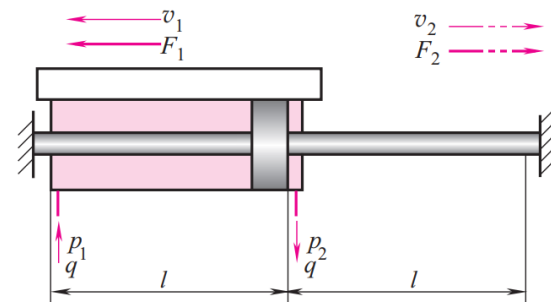
# 双杆活塞缸



双杆活塞缸



安装方式：a)缸固定,活塞移动（占地大）



b)活塞固定,缸移动（占地小）

**特点：**两腔面积相等

**推力：**

$$F_1 = F_2 = (p_1 - p_2)A\eta_m = (p_1 - p_2)\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)\eta_m$$

**速度：**

$$v_1 = v_2 = \frac{q}{A}\eta_v = \frac{4q\eta_v}{\pi(D^2 - d^2)}$$

$A$ ——活塞的有效面积

$D$ 、 $d$ ——活塞和活塞杆的直径

$q$ ——输入流量

$p_1$ 、 $p_2$ ——缸的进出口压力

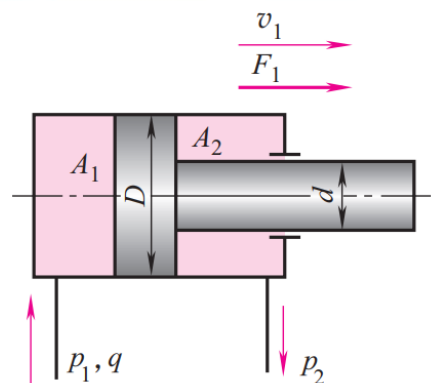
$\eta_m$ 、 $\eta_v$ ——缸的机械效率、容积效率

**流量决定速度**

**负载决定压力**



# 单杆活塞缸



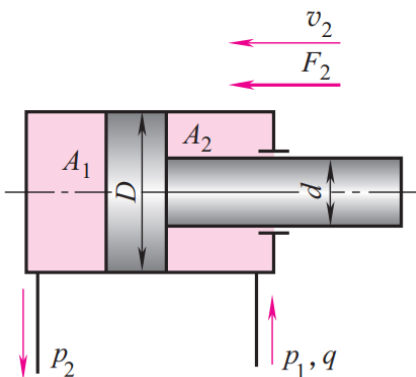
a) 无杆腔进油

无杆腔进油时的推力:

$$F_1 = (p_1 A_1 - p_2 A_2) \eta_m = \frac{\pi}{4} [(p_1 - p_2) D^2 + p_2 d^2] \eta_m$$

速度:

$$v_1 = \frac{q}{A_1} \eta_v = \frac{4q\eta_v}{\pi D^2}$$



b) 有杆腔进油

有杆腔进油时的推力:

$$F_2 = (p_1 A_2 - p_2 A_1) \eta_m = \frac{\pi}{4} [(p_1 - p_2) D^2 - p_1 d^2] \eta_m$$

速度:

$$v_2 = \frac{q}{A_2} \eta_v = \frac{4q\eta_v}{\pi (D^2 - d^2)}$$

由于**无杆腔面积大于有杆腔**( $A_1 > A_2$ ):

- 伸出时, 推力较大, 速度较小
- 缩回时, 推力较小, 速度较大

$A_1, A_2$ ——无杆腔和有杆腔的有效面积

$D, d$ ——活塞和活塞杆的直径

$q$ ——输入流量

$p_1, p_2$ ——缸的进出口压力

$\eta_m, \eta_v$ ——缸的机械效率、容积效率

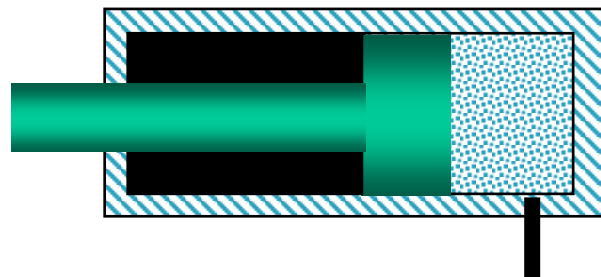
# 单杆活塞缸

确定活塞杆直径 $d$ :

往复速比:

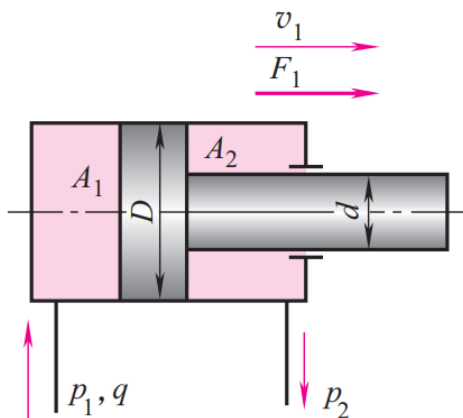
$$\lambda_v = \frac{v_2}{v_1} = \frac{D^2}{D^2 - d^2}$$

$$d = D \sqrt{\frac{\lambda_v - 1}{\lambda_v}}$$

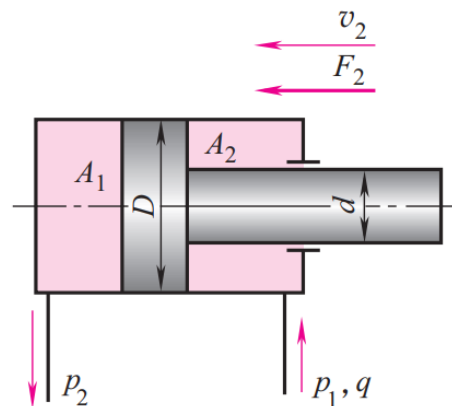


单杆活塞缸

工况的往复速比  $\lambda_v$  越大,活塞杆直径 $d$ 越大。



a) 无杆腔进油



b) 有杆腔进油

# 差动连接

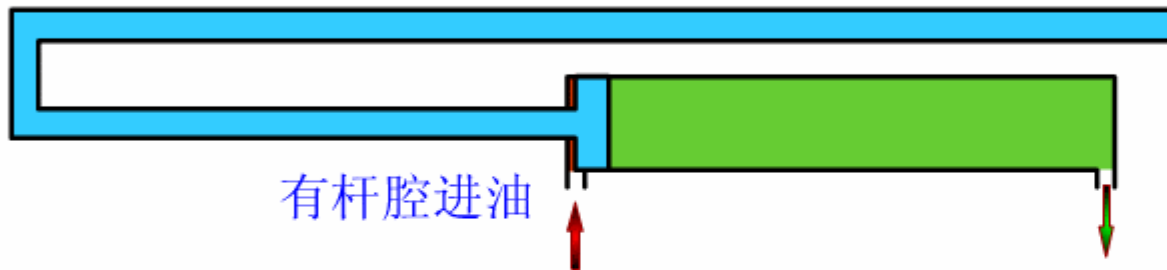
- 原理：**两腔同时通入流体，利用两端面积差进行工作。

无杆腔进油



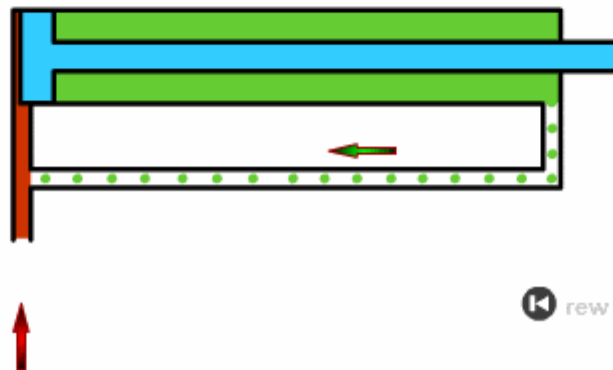
速度最慢

有杆腔进油



速度居中

差动连接



速度最快

rew

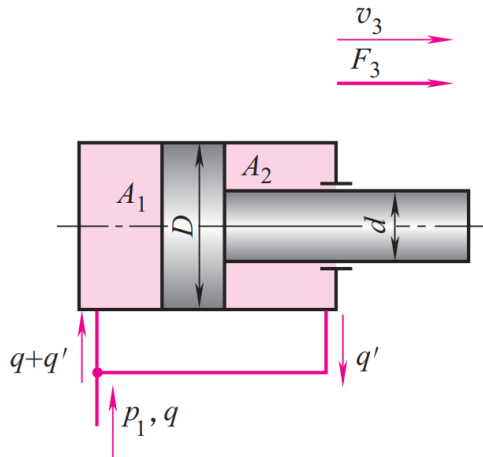
play

stop



# 差动连接

- 原理：**两腔同时通入流体，利用两端面积差进行工作。



**差动连接向右运动**

**推力：**

$$F_3 = p_1(A_1 - A_2)\eta_m = p_1 \frac{\pi}{4} d^2 \eta_m$$

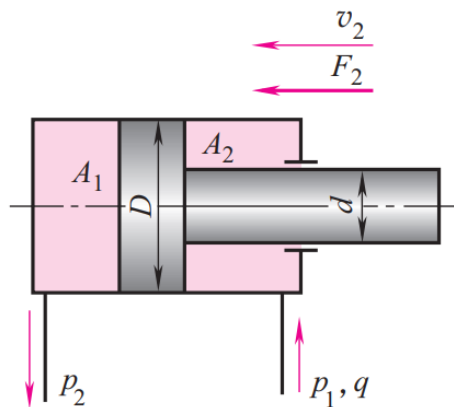
**速度：**

$$A_1 v_3 = q + A_2 v_3$$

$$v_3 = \frac{q}{A_1 - A_2} \eta_v = \frac{4q}{\pi d^2} \eta_v$$

若要使差动缸向右和向左运动速度相同：

$$v_3 = v_2 \rightarrow D = \sqrt{2}d$$



**向左运动**

- 差动连接时活塞**只能向一个方向产生推力**
- 在流量一定的情况下通过差动连接能实现**快速运动**

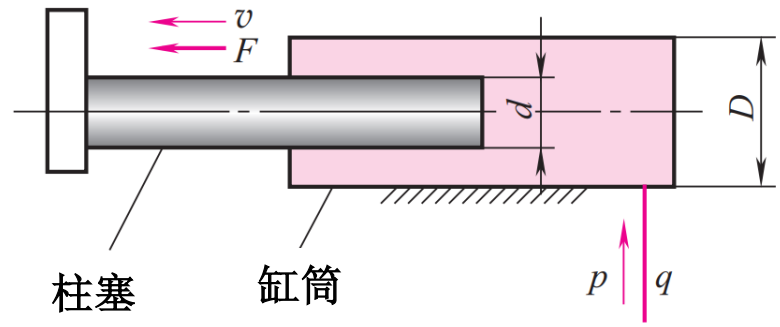
# 柱塞缸

- 只能实现一个方向运动，反向要靠外力

**推力：**  $F = pA\eta_m = p \frac{\pi}{4} d^2 \eta_m$

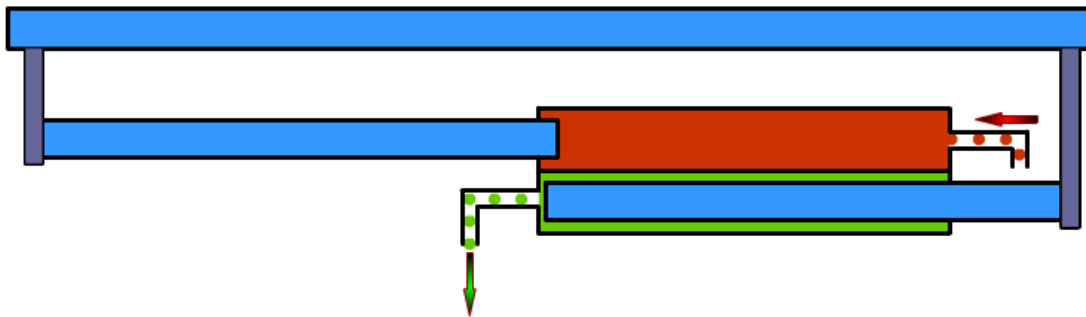
**速度：**  $v = \frac{q\eta_v}{A} = \frac{4q\eta_v}{\pi d^2}$

式中  $d$ ——柱塞直径



**单柱塞缸**

- 用两个柱塞缸组合，也能实现往复运动



**双柱塞缸**

- 柱塞缸使用导向套导向，缸筒内壁不需要精加工，特别适用于行程较长的场合

# 增压缸

- **原理：**利用活塞和柱塞**有效面积的不同**获得高压
- 低压液压能——高压液压能

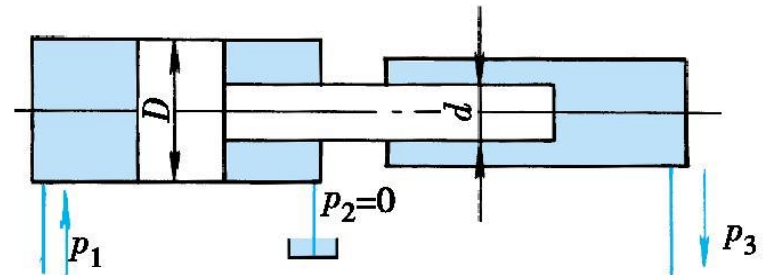
柱塞缸**输出高压**，其值为

$$p_3 = p_1 \left( \frac{D}{d} \right)^2 \eta_m$$

式中， $p$ ——输入活塞缸的液体压力

$d$ ——柱塞直径

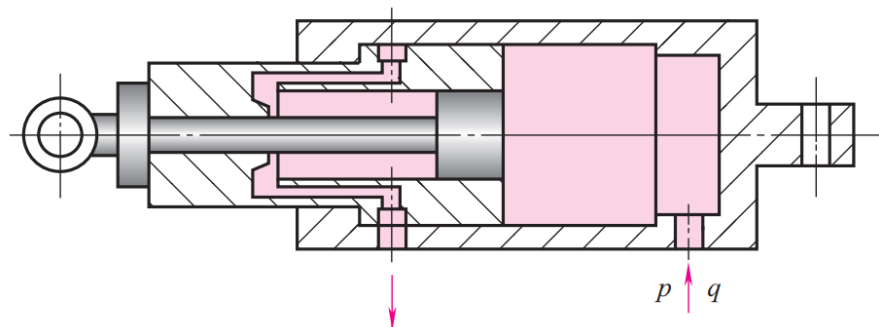
$D$ ——活塞直径



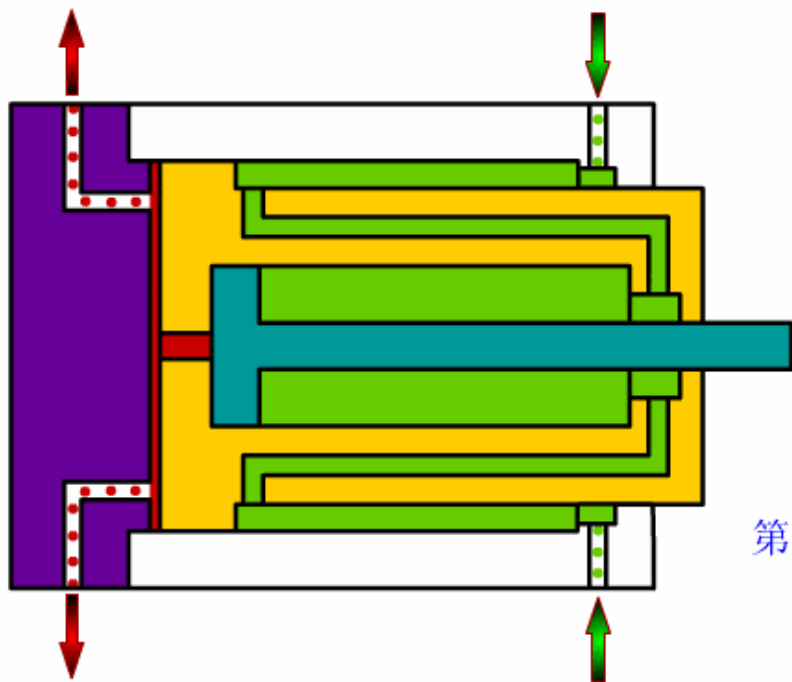
**增压缸**

# 伸缩缸

- 由两个或多个活塞套装而成
- 工作行程长，缩回尺寸很小
- 各级活塞按有效面积大小依次先后动作



双作用式两级伸缩缸



第一级缩回



play



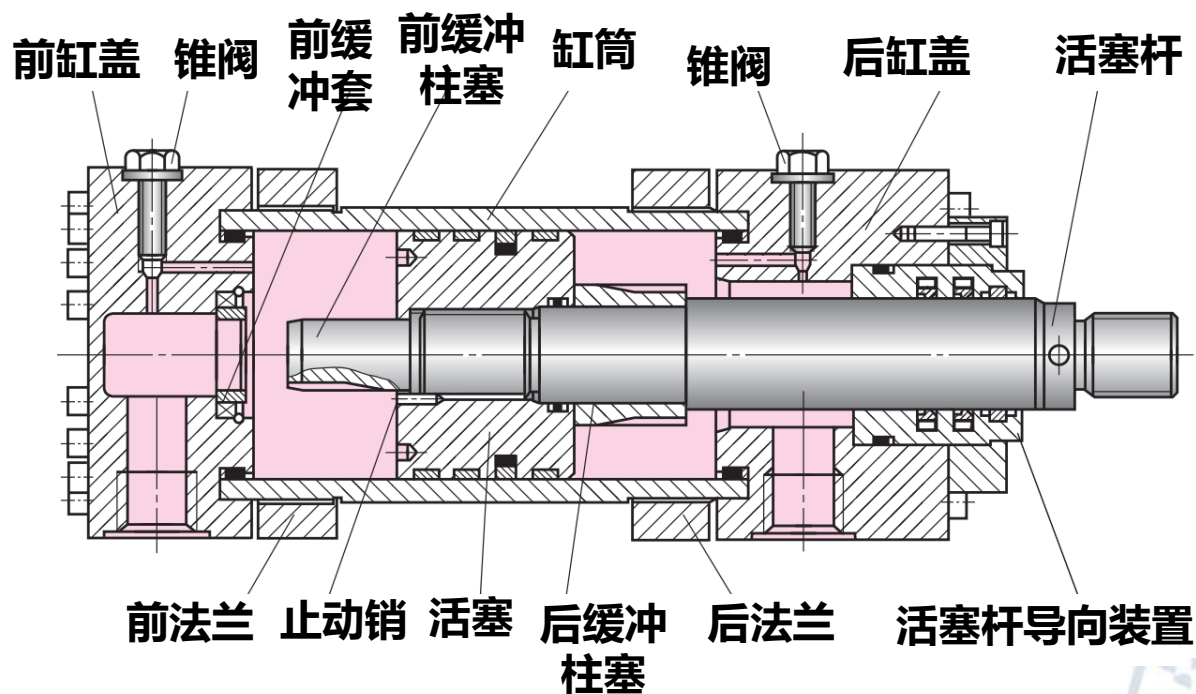
stop

伸出



# 液压缸的典型结构组成

- 液压缸的结构基本上可以分为缸筒和缸盖、活塞和活塞杆、缓冲装置、排气装置和密封装置五个部分

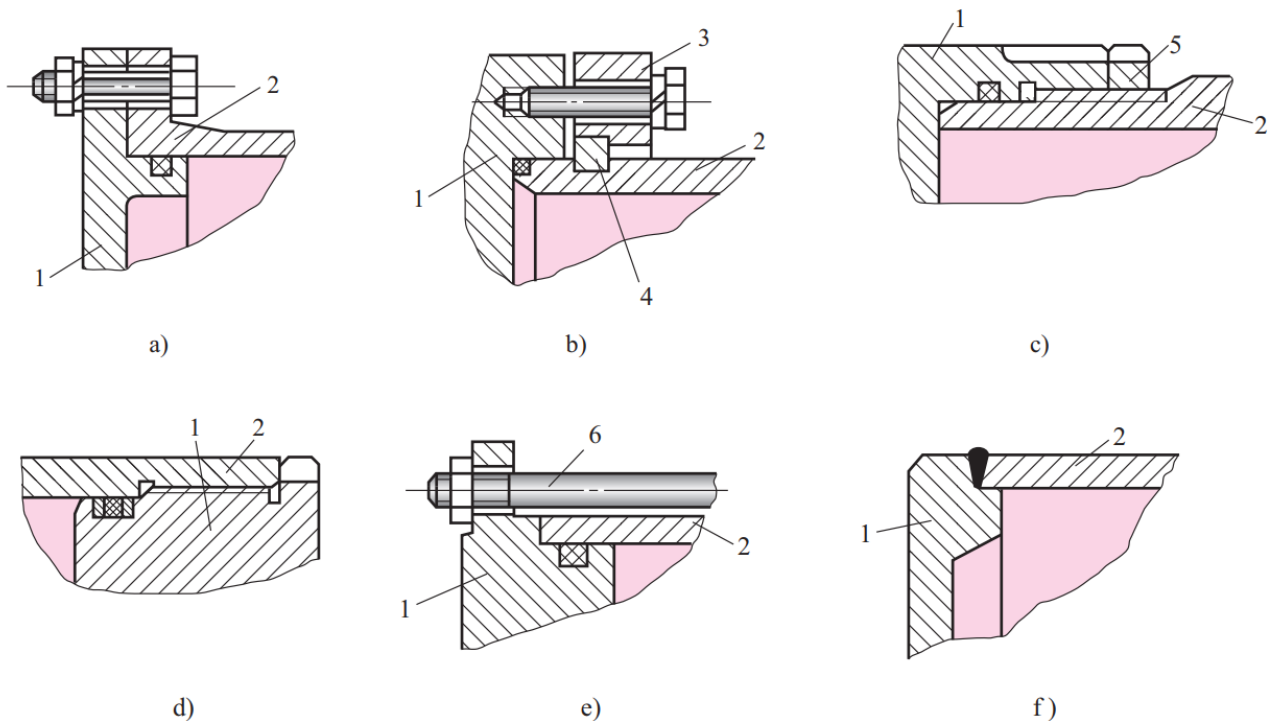


单杆活塞式液压缸结构

# 缸筒和缸盖

- **缸筒**：主要是由钢材制成，缸筒内要经过精细加工，以减少密封件的摩擦。
- **缸盖盖板**：通常由钢材制成，有前端盖和后端盖，安装在缸筒的前后两端。

## 缸筒缸盖连接形式

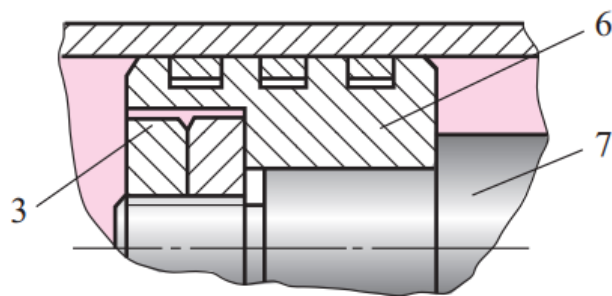


a) 法兰式连接 b) 半环式连接 c) 外螺纹式连接 d) 内螺纹式连接 e) 拉杆式连接 f) 焊接式连接



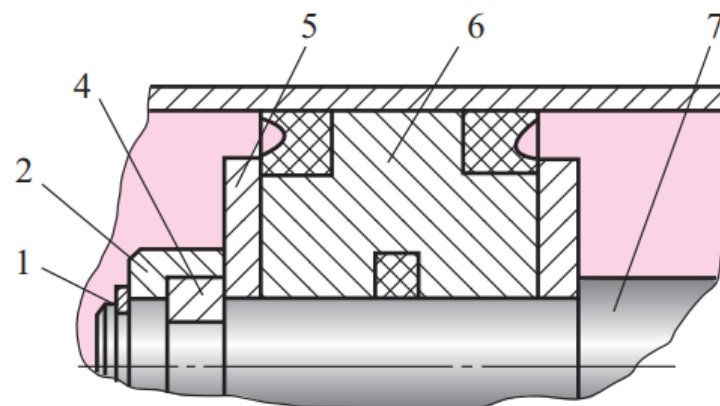
# 活塞和活塞杆

- **活塞：**有整体活塞和分体活塞
- **活塞杆：**有实心活塞杆和空心活塞杆
- **活塞和活塞杆的连接：**有螺纹式和半环式等



a)

**螺纹式**



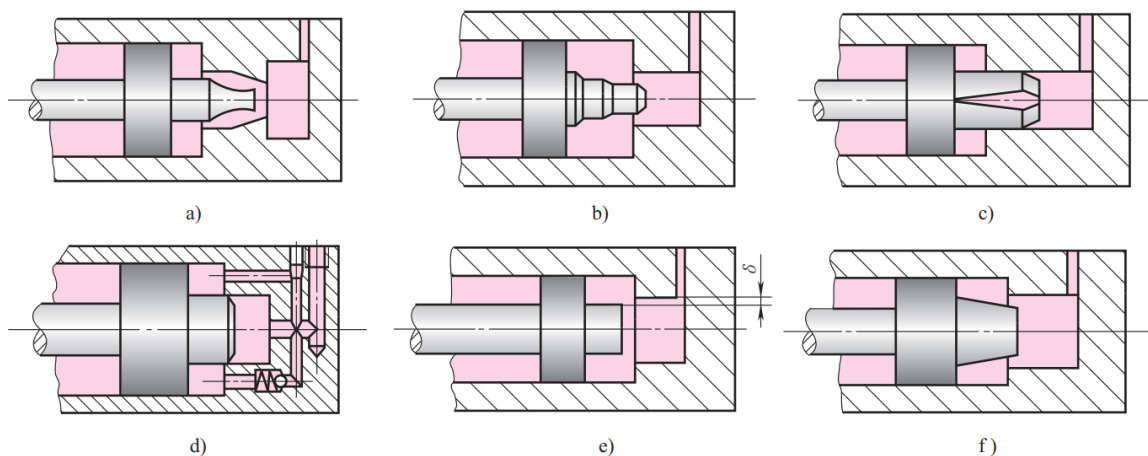
b)

**半环式**

1—弹簧卡圈 2—轴套 3—螺母 4—半环 5—压板 6—活塞 7—活塞杆

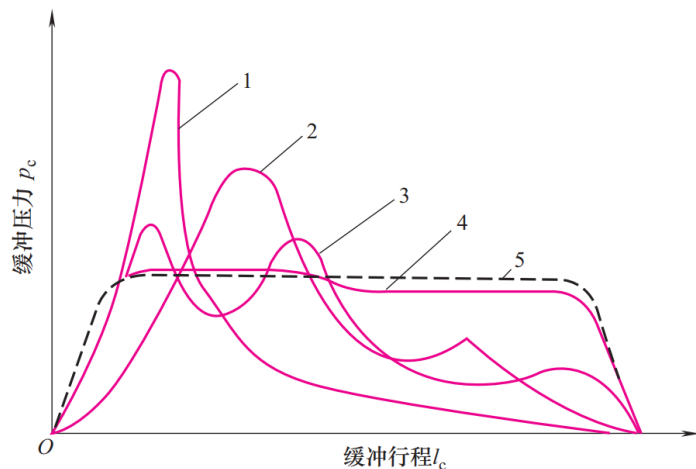
# 缓冲装置

- 原理：**利用节流方法在液压缸的回油腔产生阻力，减小速度，避免撞击。



**缓冲柱塞的形式**

- a)反抛物线式 b)阶梯圆柱式 c)节流口变化式  
d) 单圆柱式 e)环形缝隙式 f) 圆锥台式



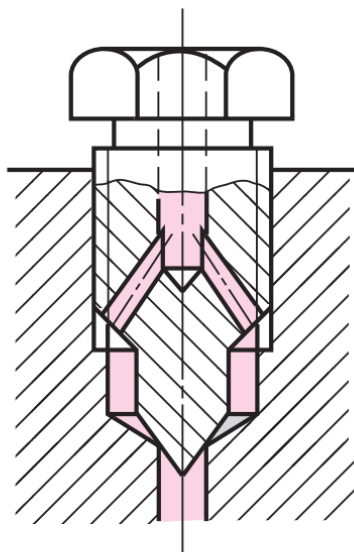
**缓冲压力曲线**

- 1-单圆柱式 2-圆锥台式 3-阶梯圆柱式 4- 反抛物线式 5-理想曲线

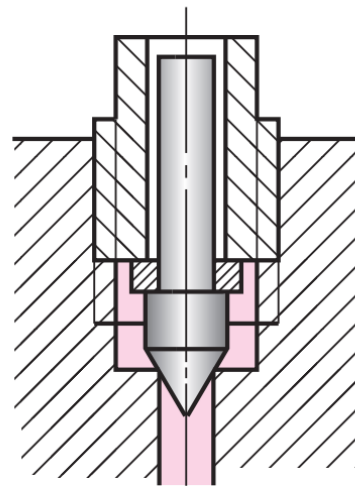
- 理想的缓冲装置应在其整个工作过程中保持缓冲压力恒定不变，实际的缓冲装置则很难做到这点。

# 排气装置

- 存留空气将使液压缸低速时产生爬行、颤抖现象，换向时易引起冲击
- 排气装置可以排除缸内空气，安装在两端盖的最高处



排气阀



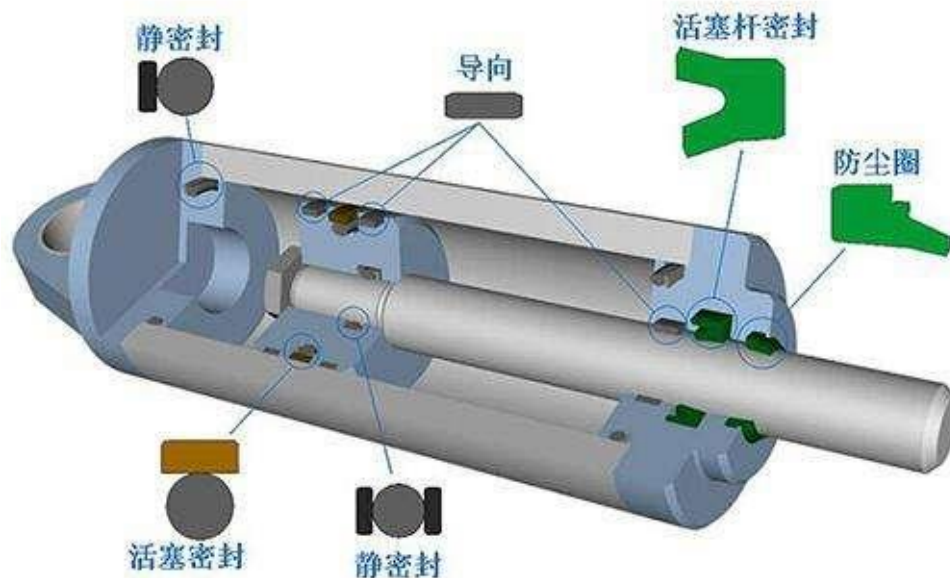
排气塞

# 密封装置

- 液压缸的密封主要是指**活塞、活塞杆处的动密封**和**缸盖等处的静密封**
- 防止液压缸**工作介质的泄漏**和**外界尘埃与异物的侵入**
  - 缸内泄漏引起工作压力和容积效率下降
  - 缸外泄漏造成工作介质浪费和污染环境

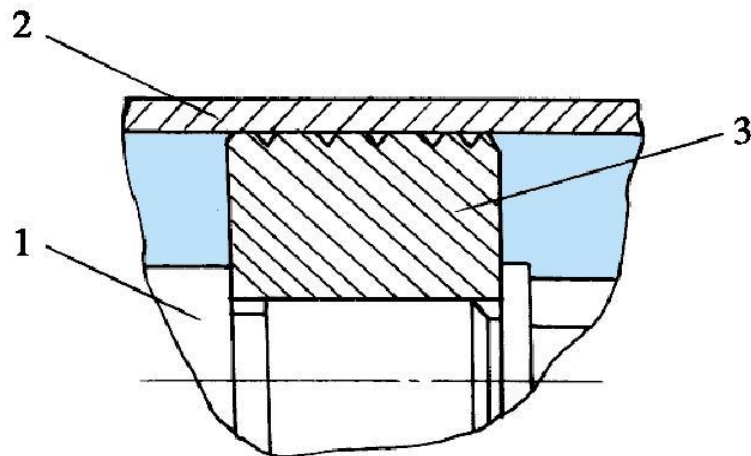
## 常用密封方法

- 1.间隙密封
- 2.密封件密封
  - 常用密封件
  - 新型密封件
  - 组合密封件
- 3.防尘圈



## 1. 间隙密封

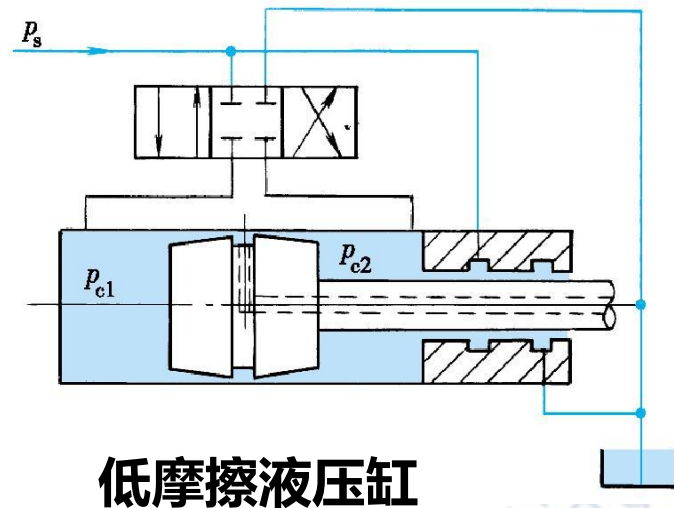
- 结构简单，摩擦阻力小，可耐高温
- 泄漏大，加工要求高
- 磨损后无法恢复



➤ 适用尺寸较小、压力较低、相对运动速度较高的缸筒和活塞

## 采用间隙密封设计的低摩擦缸：

- 实现液体摩擦
- 提高机械效率和低速性能



低摩擦液压缸

## 2.密封件密封

- 结构简单，制造方便，磨损后有自动补偿能力，性能可靠
- 常用密封件：**O型密封圈**、**Y型密封圈**、**V型密封件**

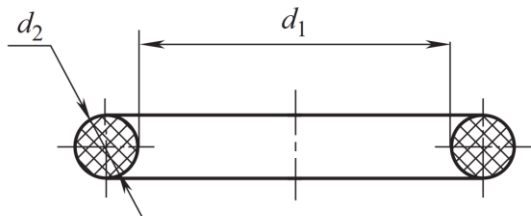


图 5-1 O 形密封圈

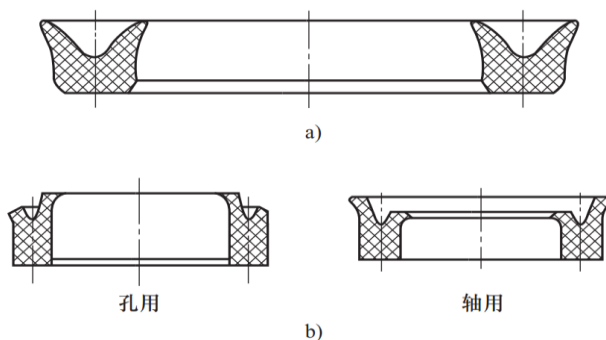


图 5-4 Y 形密封圈

a) 等高唇 b) 不等高唇 (Y<sub>x</sub> 型)

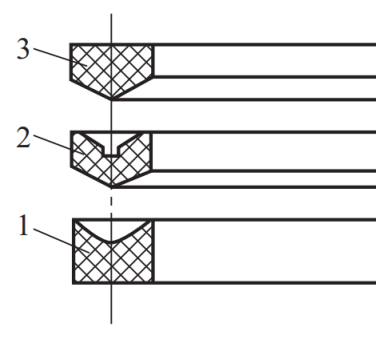


图 5-6 V 形密封装置

静、动密封均可，使用最广泛

- 结构小巧，安装紧凑
- 可对两个方向起密封作用
- 价格低廉

宜作大直径的往复运动密封件

- 密封性能良好
- 摩擦阻力小，运动平稳
- 耐压性好，适用压力范围广

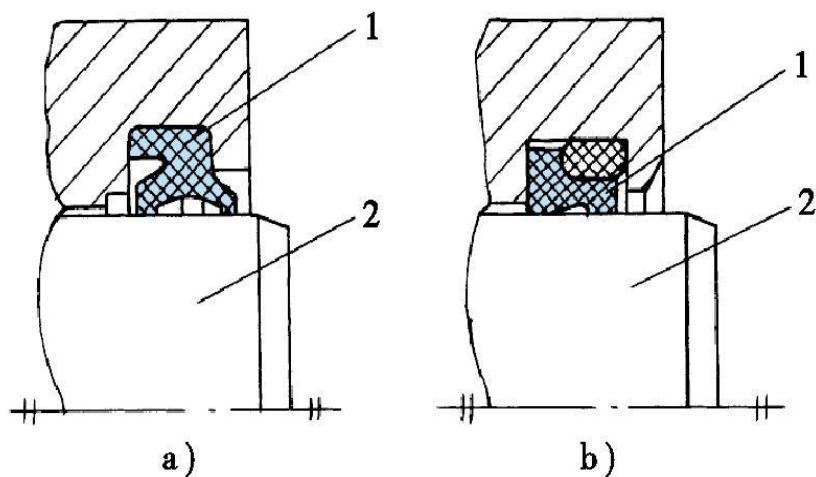
用于活塞和活塞杆的往复动密封

- 摩擦阻力小，运动平稳
- 密封装置的轴向尺寸大，摩擦阻力大
- 可多个组合使用



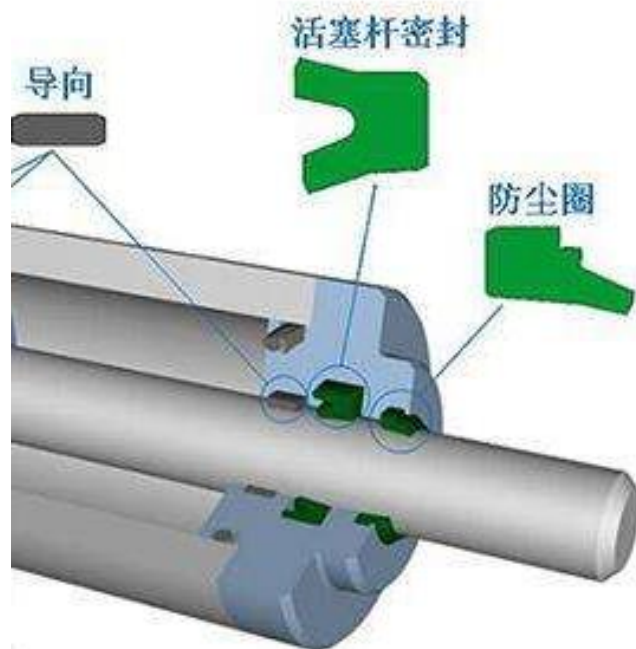
## 3. 防尘圈

- 活塞杆外伸部分很容易把脏物带入液压缸,使油液受污染,密封件被磨损
- 需在活塞杆密封处增添防尘圈



a) 普通型防尘圈 b) Z形Turcon防尘圈

1—防尘圈 2—活塞杆



## 设计流程:

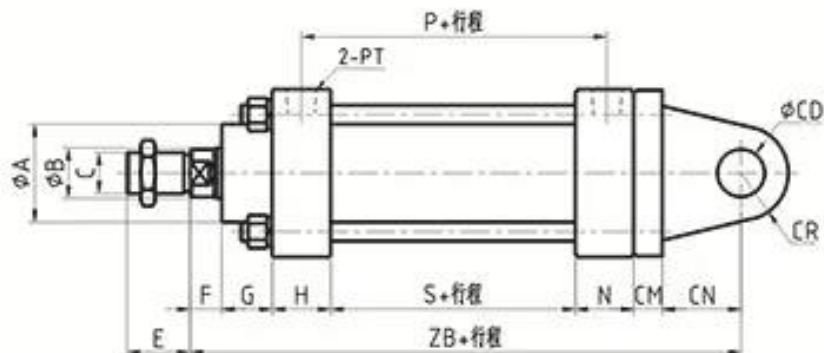
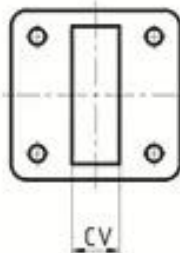
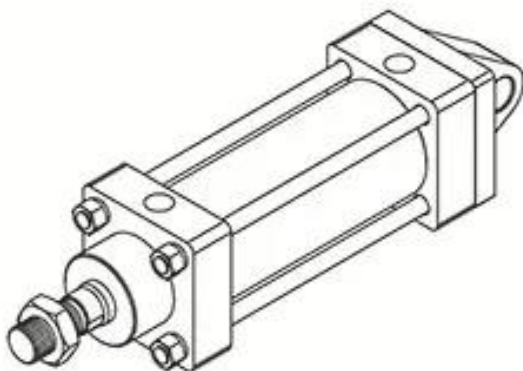
液压缸工作压力的确定

液压缸结构类型选择

主要结构尺寸 (缸径、杆径) 确定

强度、稳定性、缓冲验算

其他结构设计



# 液压缸主要尺寸的确定

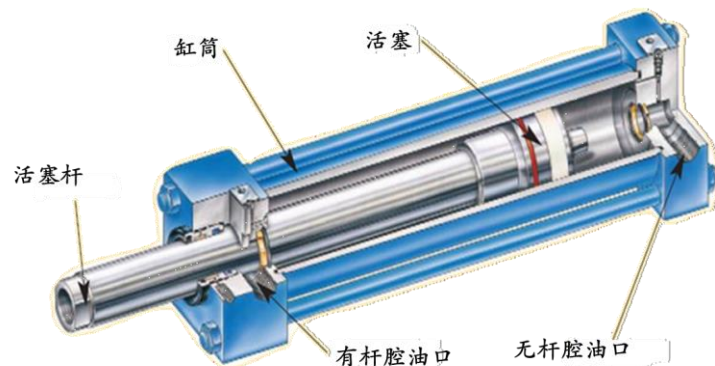
缸筒内径 $D$ 、活塞杆直径 $d$ 、液压缸缸体长度 $L$

## ■ 液压缸内径 $D$

- 根据**最大总负载**和**选取的动作压力**来确定

## ■ 活塞杆直径 $d$

- 根据**工作时受力情况**来确定



活塞杆受力情况	受拉伸	受压缩	受压缩	受压缩
		工作压力 $\leq 5\text{MPa}$	$5\text{MPa} \leq \text{工作压力} \leq 7\text{MPa}$	工作压力 $\geq 7\text{MPa}$
活塞杆直径 $d$	$(0.3-0.5) D$	$(0.5-0.55) D$	$(0.6-0.7) D$	$0.7D$

对单杆活塞缸， $d$ 值也可由 $D$ 和往复速比 $\lambda v$ 来决定

## ■ 液压缸缸体长度 $L$

- 根据**最大工作行程**来确定

计算所得液压缸的内径和活  
 塞杆内径 $d$ 应**圆整为标准值**

## ■ 缸筒壁厚 $\delta$ 校核

- 中、低压系统由结构工艺要求决定, 高压系统须校核
- 根据壁厚、工况和缸筒材料强度等校核

## ■ 活塞杆直径 $d$ 校核

- 根据作用力和活塞杆材料的许用应力校核

## ■ 缸盖固定螺栓 $d_s$ 校核

- 根据作用力和活塞杆材料的许用应力校核

## ■ 拉杆计算

- 有的液压缸缸筒和两端缸盖由拉杆组装, 使缸盖和缸筒不会松开, 产生泄漏
- 由液压缸最高工作压力时缸盖和缸筒接触力为0, 可求拉杆的预加载荷量

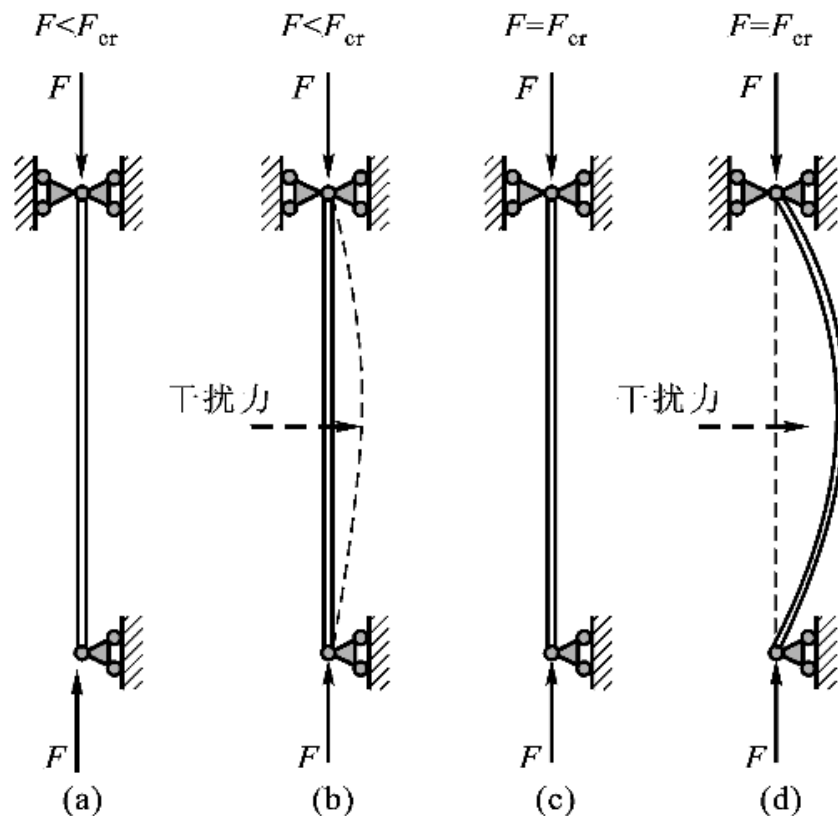


# 稳定性校核

- 活塞杆受轴向压缩负载时,其值 $F$ 超过某一临界值就会失去稳定。
- 活塞杆稳定性按下式进行校核

$$F \leq \frac{F_k}{n_k}$$

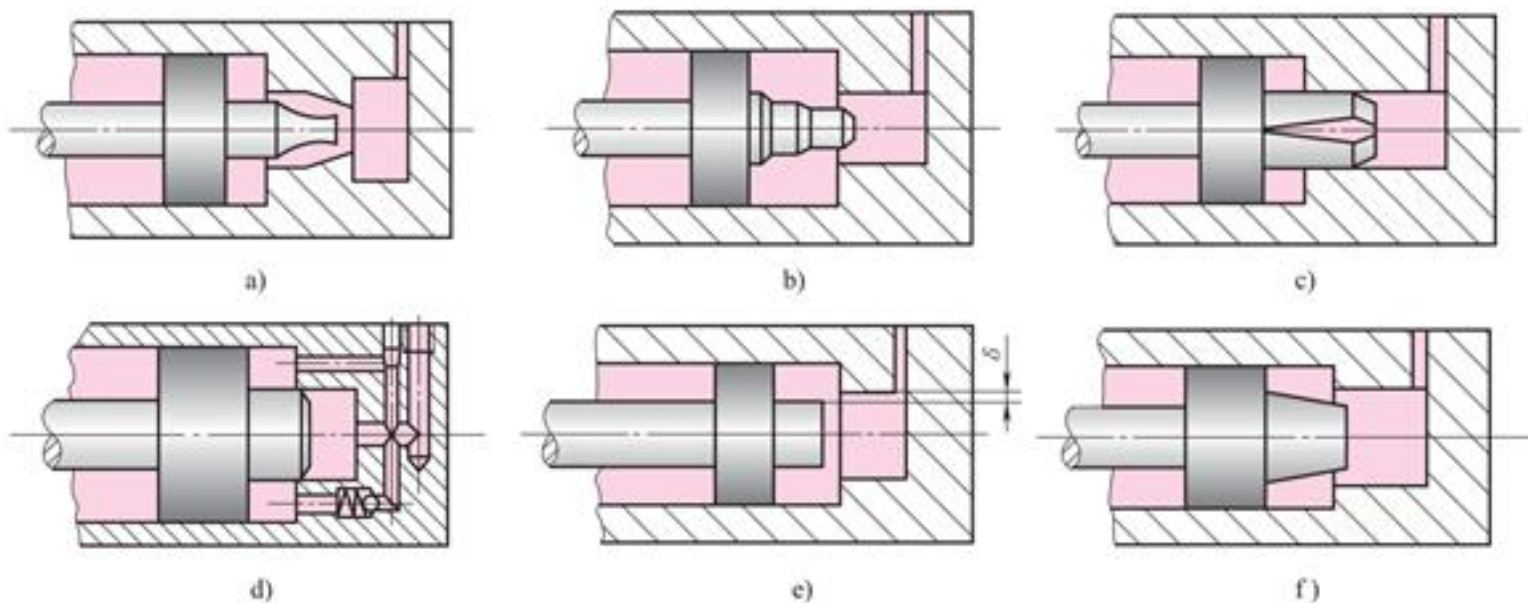
式中  $n_k$ ——安全系数,一般取2~4  
 $F_k$ ——压杆稳定临界值,由安  
装方式,活塞杆材料强度等决定





# 缓冲计算

- 液压缸的缓冲计算主要是估计缓冲时缸内出现的最大冲击压力,以便用来校核缸筒强度、制动距离是否符合要求。
- 通过计算液压缸缓冲时背压腔内产生的**液压能 $E_1$** 和工作部件产生的**机械能 $E_2$** 计算最大缓冲压力





□ 课后作业：5-2；5-3；5-4；5-5

