

# 第三章 液压执行装置

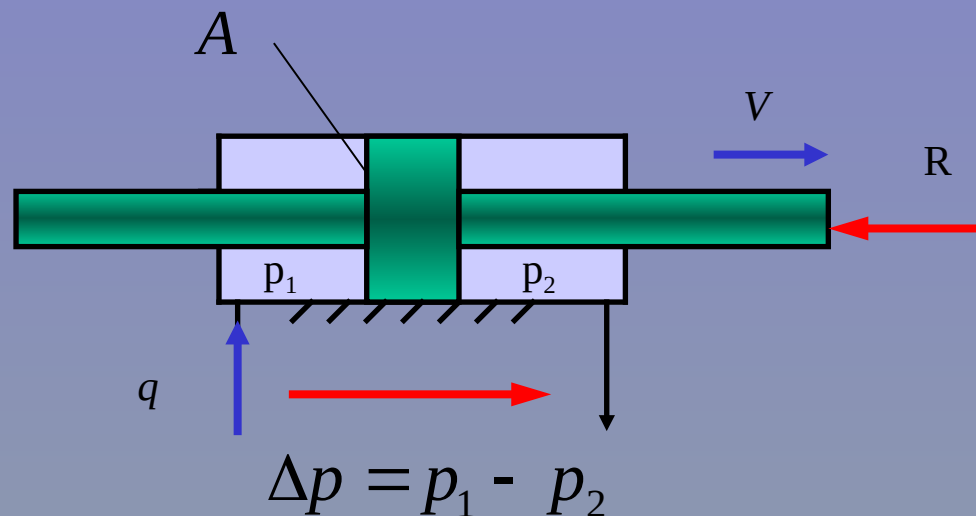
## §3-2 液压缸

本节主要内容为：

- 液压缸的类型及特点
- 液压缸的设计计算
- 液压缸的典型结构
- 液压缸的密封

通过本节的学习，要求掌握液压缸设计中应考虑的主要问题，包括结构类型的选择和参数计算等。

**液压缸**（油缸）主要用于实现机构的直线往复运动，也可以实现摆动，其结构简单，工作可靠，应用广泛。



- 液压缸的输入量是液体的流量和压力，输出量是速度和力。
- 液压缸和液压马达都是液压执行元件，其职能是将液压能转换为机械能。

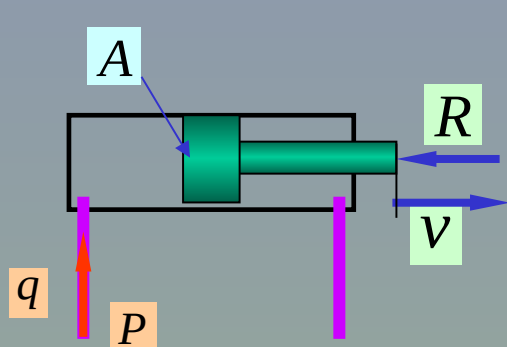
# 一、液压缸的类型及特点

## 1、液压缸的分类

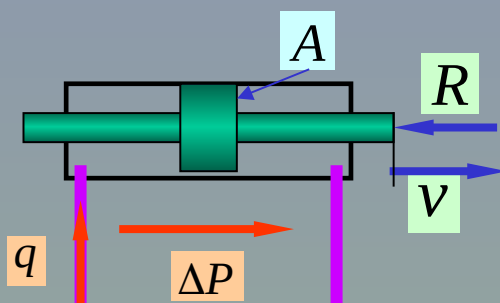
按供油方向分：单作用缸和双作用缸。

按结构形式分：活塞缸、柱塞缸、伸缩套筒缸、摆动液压缸。

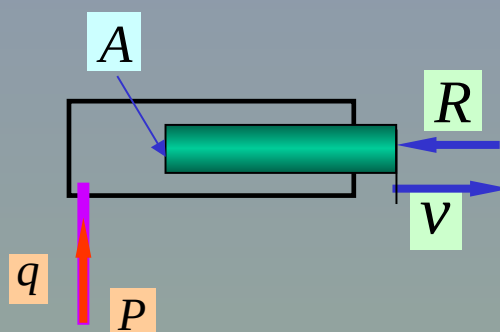
按活塞杆形式分：单活塞杆缸、双活塞杆缸。



单杆液压缸

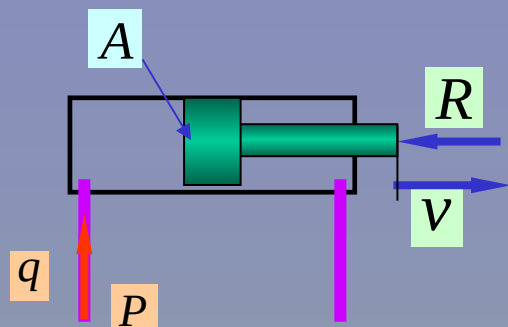


双杆液压缸



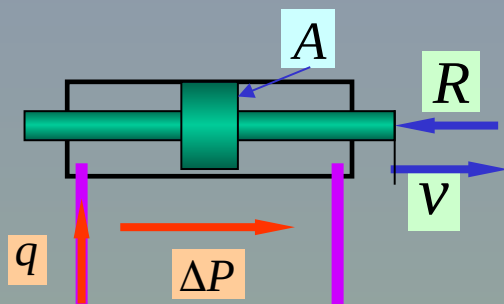
柱塞式液压缸

# 理想液压缸



理想单杆液压缸

$$P \cdot q = F \cdot v$$

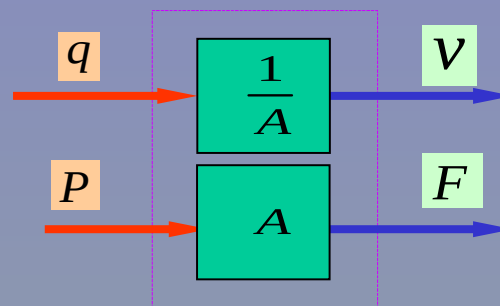


理想双杆液压缸

$$\Delta P \cdot q = F \cdot v$$



理想油缸



数学模型

$$P \cdot q = F \cdot v$$

$$F = P \cdot A$$

$$v = q / A$$

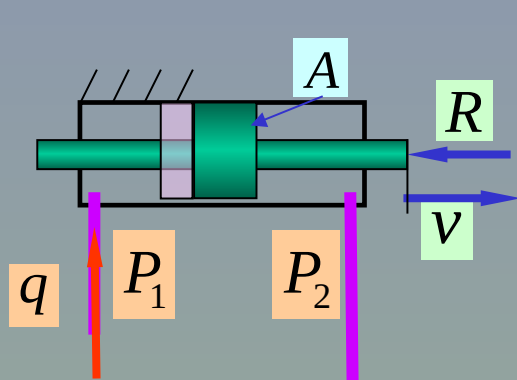
$A$ — 油缸有效工作面积  
(单位位移排量)

## 2、活塞式液压缸

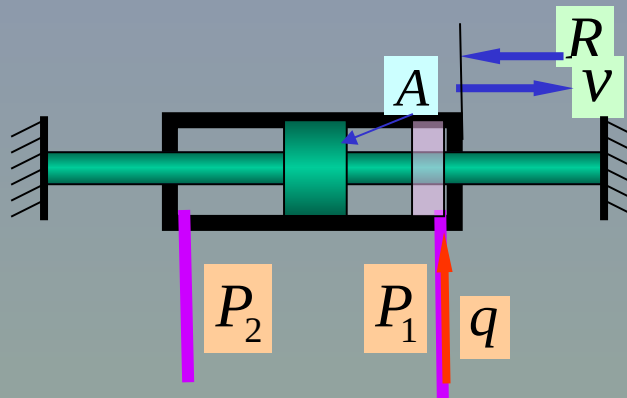
活塞式液压缸可分为双杆式和单杆式两种结构形式，其安装又有缸筒固定和活塞杆固定两种方式。

### (1) 双杆活塞液压缸

双活塞杆液压缸的活塞两端都带有活塞杆，分为缸体固定和活塞杆固定两种安装形式，如下图所示。



(a) 缸筒固定式



(b) 活塞杆固定式

因为双活塞杆液压缸的**两活塞杆直径相等**，所以当输入流量和油液压力不变时，其往返运动速度和推力相等。则缸的运动速度  $v$  和推力  $F$  分别为：

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

$$F = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)(p_1 - p_2)$$

式中  $p_1$ 、 $p_2$  — 分别为缸的进、回油压力；  
中：

$D$ 、 $d$  — 分别为活塞直径和活塞杆直径；

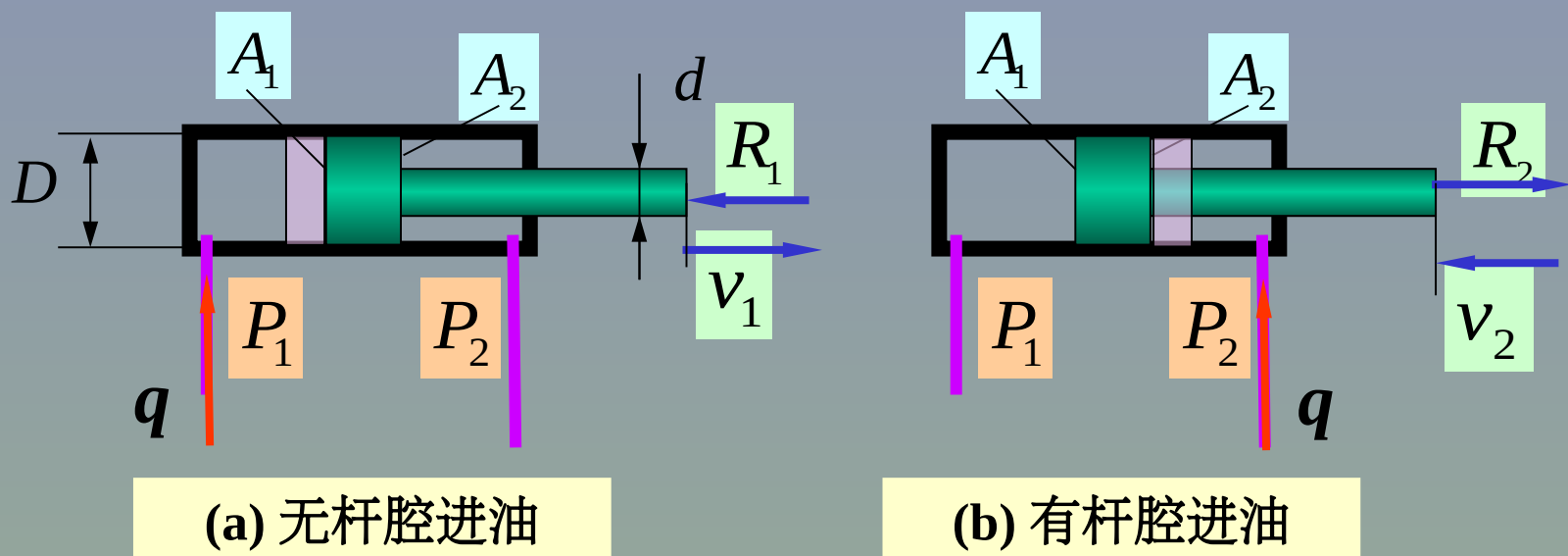
$q$  — 输入流量；

$A$  — 活塞有效工作面积

这种液压缸常用于要求往返运动速度相同的场合。

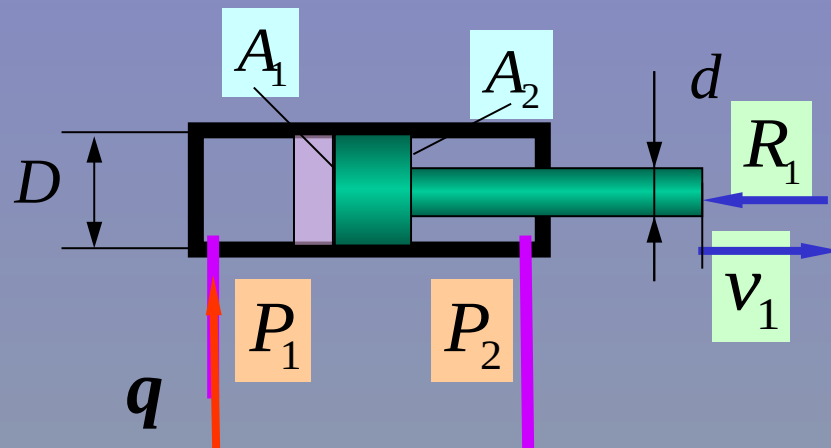
## (2) 单活塞杆液压缸

单活塞杆液压缸的活塞仅一端带有活塞杆，活塞双向运动可以获得不同的速度和输出力，其简图及油路连接方式如下图所示。





# 无杆腔进油



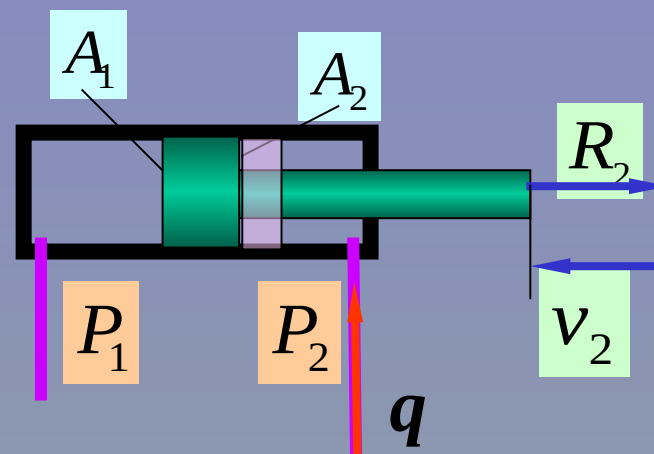
(a) 无杆腔进油

活塞的运动速度  $v_1$  和推力  $F_1$  分别为：

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

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

# 有杆腔进油



(b) 有杆腔进油

活塞的运动速度  $v_2$  和推力  $F_2$  分别为：

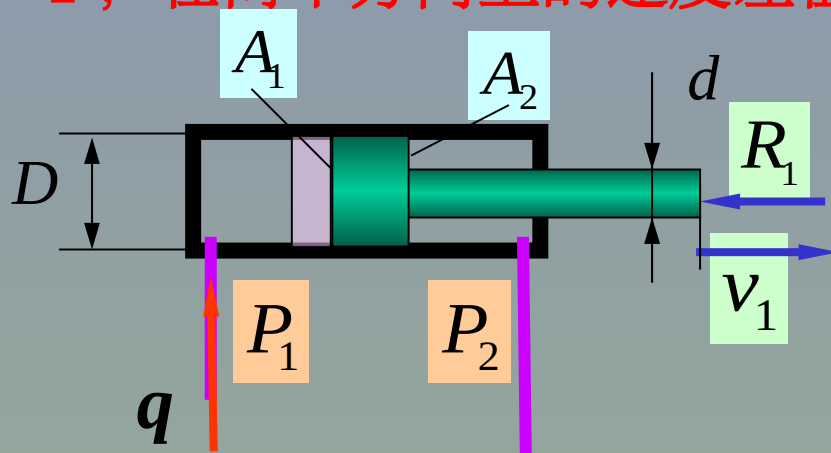
$$v_2 = \frac{q}{A_2} = \frac{4q}{\pi(D^2 - d^2)}$$

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

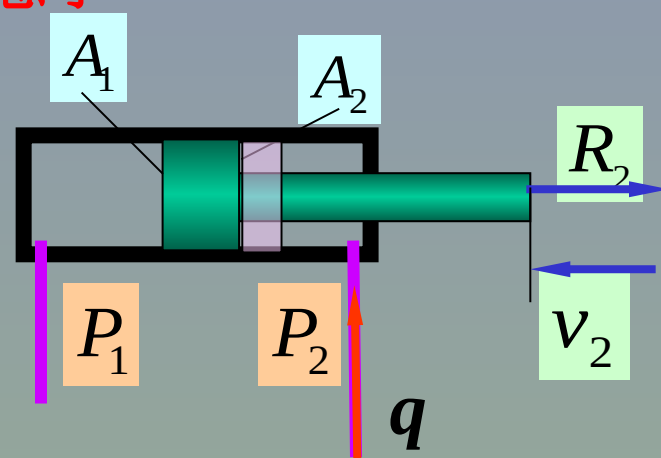
比较上述各式，可以看出  $v_2 > v_1$   $F_1, F_2$  ；液压缸往复运动时的速度比为：

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

上式表明：当活塞杆直径愈小时，速度比接近 1，在两个方向上的速度差值就愈小。

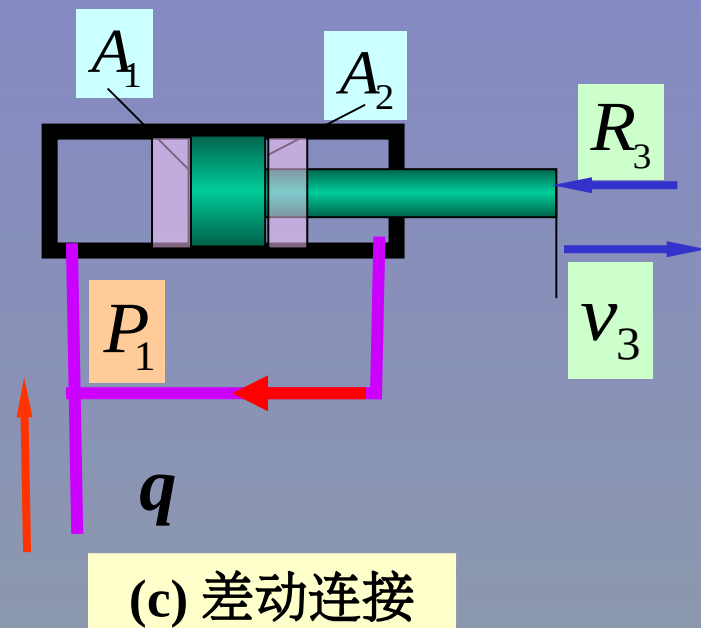


(a) 无杆腔进油



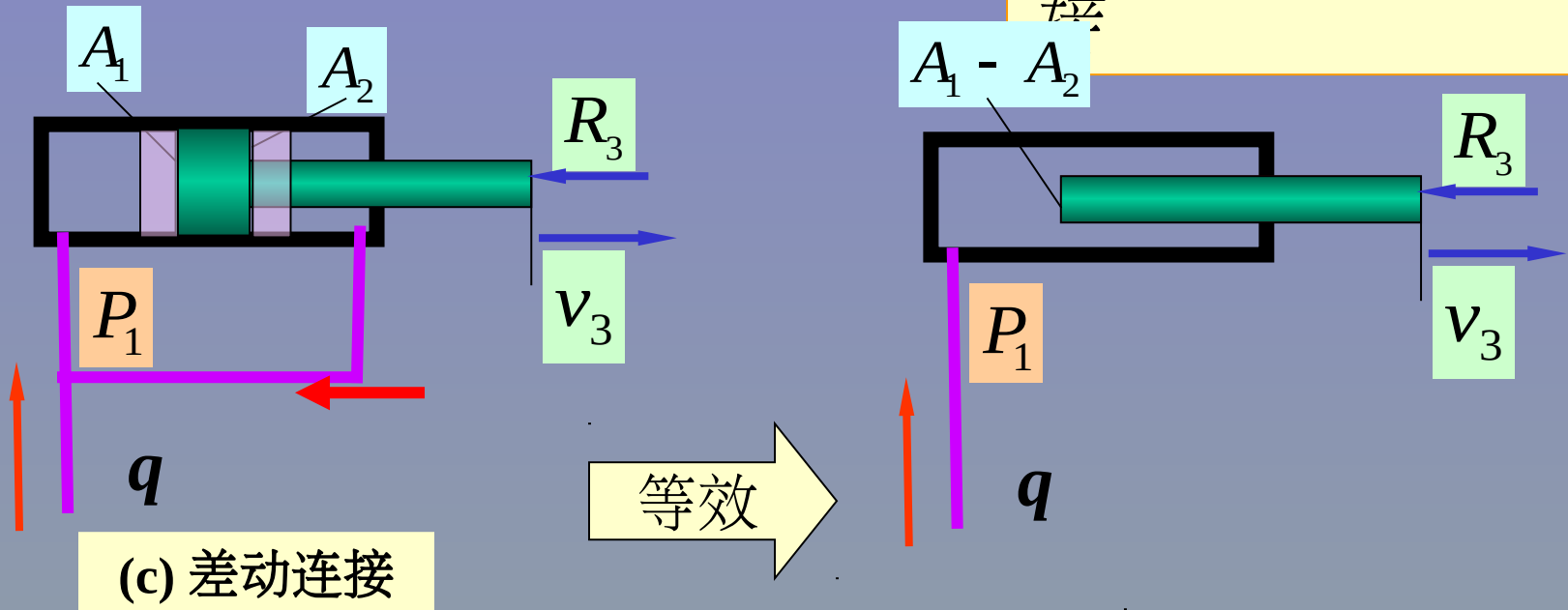
(b) 有杆腔进油

## 两腔进油， 差动连接



当单杆活塞缸两腔同时通入压力油时，由于无杆腔有效作用面积大于有杆腔的有效作用面积，使得活塞向右的作用力大于向左的作用力，因此，活塞向右运动，活塞杆向外伸出；与此同时，又将有杆腔的油液挤出，使其流进无杆腔，从而加快了活塞杆的伸出速度，单活塞杆液压缸的这种连接方式被称为**差动连接**。

# 两腔进油，差动连接



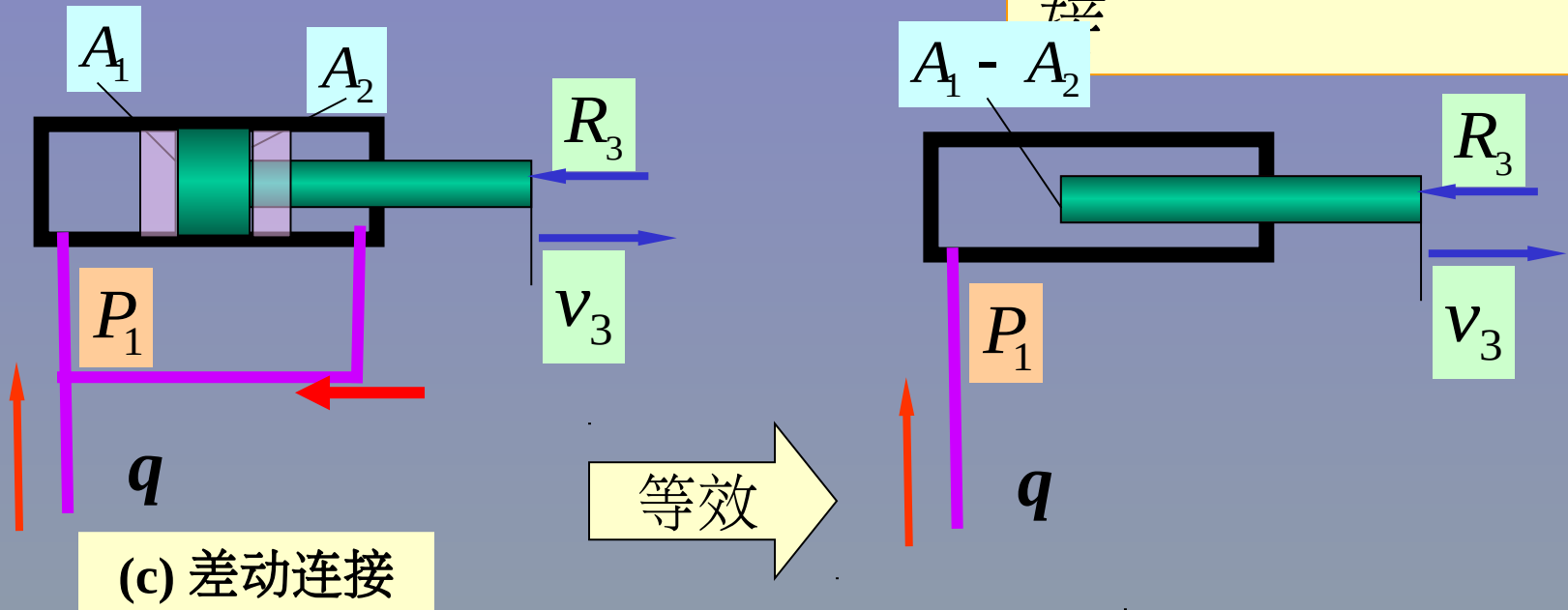
活塞的运动速度为：

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

在忽略两腔连通油路压力损失的情况下，差动连接液压缸的推力为：

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

## 两腔进油，差动连接



差动连接时，液压缸的有效作用面积是活塞杆的横截面积，工作台运动速度比无杆腔进油时的大，而输出力则较小。

差动连接是在不增加液压泵容量和功率的条件下，实现快速运动的有效办法。

## 差动液压缸计算举例

**例 1：** 已知单活塞杆液压缸的缸筒内径  $D=100\text{mm}$ ，活塞杆直径  $d=70\text{mm}$ ，进入液压缸的流量  $q=25\text{min}$ ，压力  $P_1=2\text{Mpa}$ ， $P_2=0$ 。液压缸的容积效率和机械效率分别为  $0.98$ 、 $0.97$ ，试求在前述图 (a)、(b)、(c) 所示的三种工况下，液压缸可推动的最大负载和运动速度各是多少？并给出运动方向。

**解：** 在图 (a) 中，液压缸无杆腔进压力油，回油腔压力为零，因此，可推动的最大负载为：

$$F_1 = \frac{\pi}{4} D^2 p_1 \eta_m = \frac{\pi}{4} \times 0.1^2 \times 2 \times 10^6 \times 0.97 = 15237(\text{N})$$

液压缸向左运动，其运动速度为：

$$v_1 = \frac{4q}{\pi D^2} \eta_v = \frac{4 \times 25 \times 10^{-3} \times 0.98}{\pi \times 0.1^2 \times 60} = 0.052 \text{ m/s}$$

在图（b）中，液压缸为有杆腔进压力油，无杆腔回油压力为零，可推动的负载为：

$$F_2 = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)p_1\eta_m = \frac{\pi}{4}(0.1^2 - 0.07^2) \times 2 \times 10^6 \times 0.97 = 7771(N)$$

液压缸向左运动，其运动速度为：

$$v_2 = \frac{4q}{\pi(D^2 - d^2)}\eta_v = \frac{4 \times 25 \times 10^{-3} \times 0.98}{\pi \times (0.1^2 - 0.07^2) \times 60} = 0.102 m/s$$

在图（c）中，液压缸差动连接，可推动的负载力为：

$$F_3 = \frac{\pi}{4}d^2 p_1 \eta_m = \frac{\pi}{4} \times 0.07^2 \times 2 \times 10^6 \times 0.097 = 6466(N)$$

液压缸向左运动，其运动速度为：

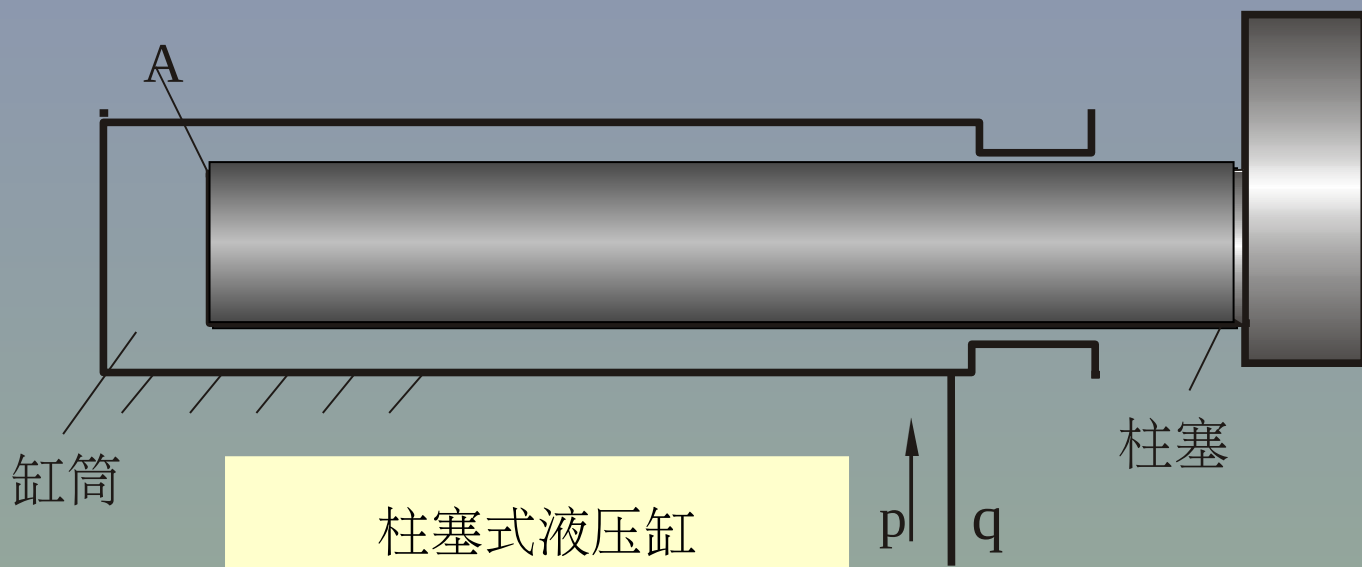
$$v_3 = \frac{4q}{\pi d^2} \eta_v = \frac{4 \times 25 \times 10^{-3} \times 0.98}{\pi \times 0.07^2 \times 60} = 0.106 m/s$$



### 3、柱塞式液压缸

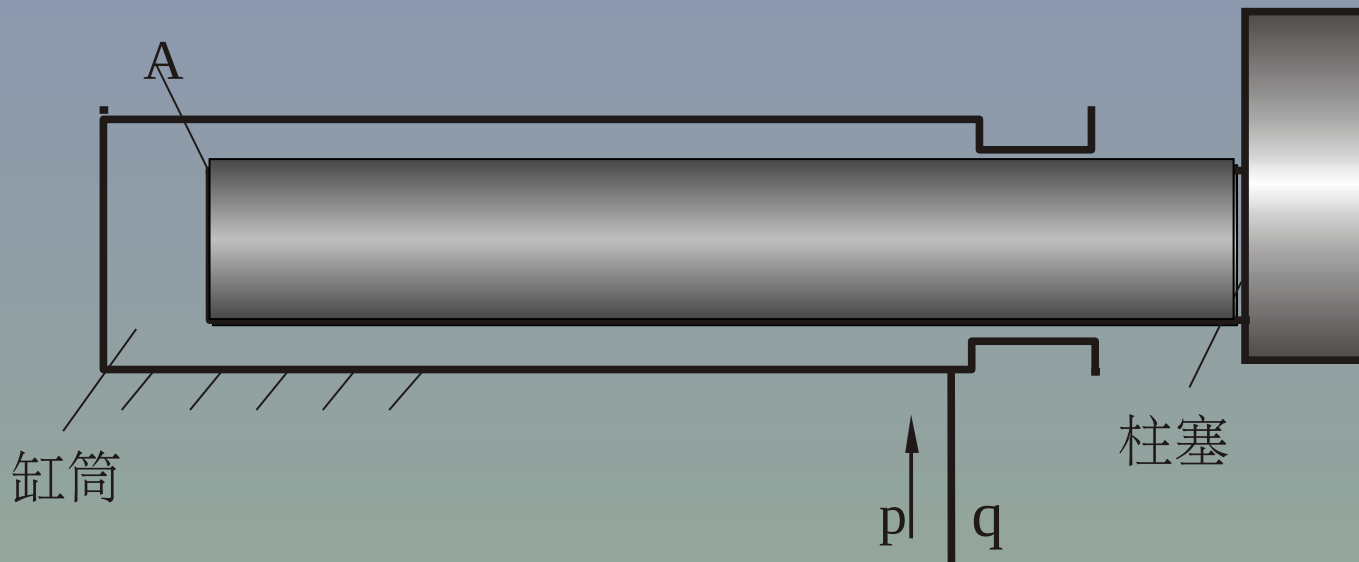
当活塞式液压缸行程较长时，加工难度大，使得制造成本增加。

某些场合所用的液压缸并不要求双向控制，柱塞式液压缸正是满足了这种使用要求的一种价格低廉的液压缸。



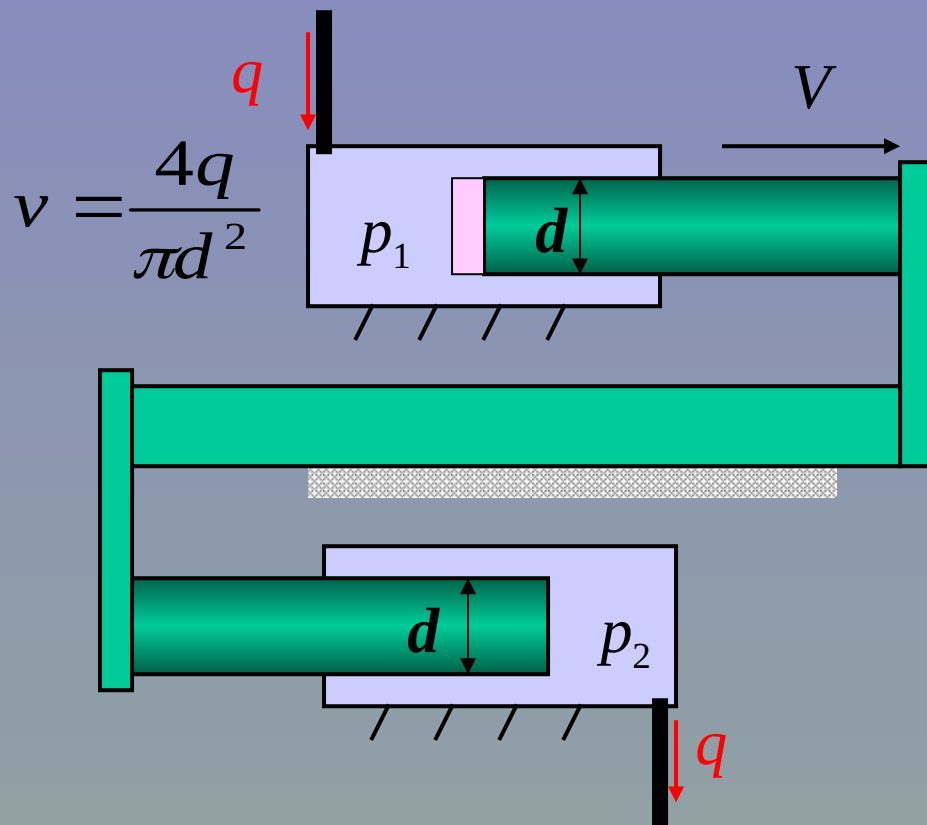
( a )

如下图所示，柱塞缸由缸筒、柱塞、导套、密封圈和压盖等零件组成，柱塞和缸筒内壁不接触，因此缸筒内孔不需精加工，工艺性好，成本低。



柱塞式液压缸

柱塞式液压缸是单作用的，它的回程需要借助自重或弹簧等其它外力来完成。如果要获得双向运动，可将两柱塞液压缸成对使用，为减轻柱塞的重量，有时制成空心柱塞。



$$v = \frac{4q}{\pi d^2}$$

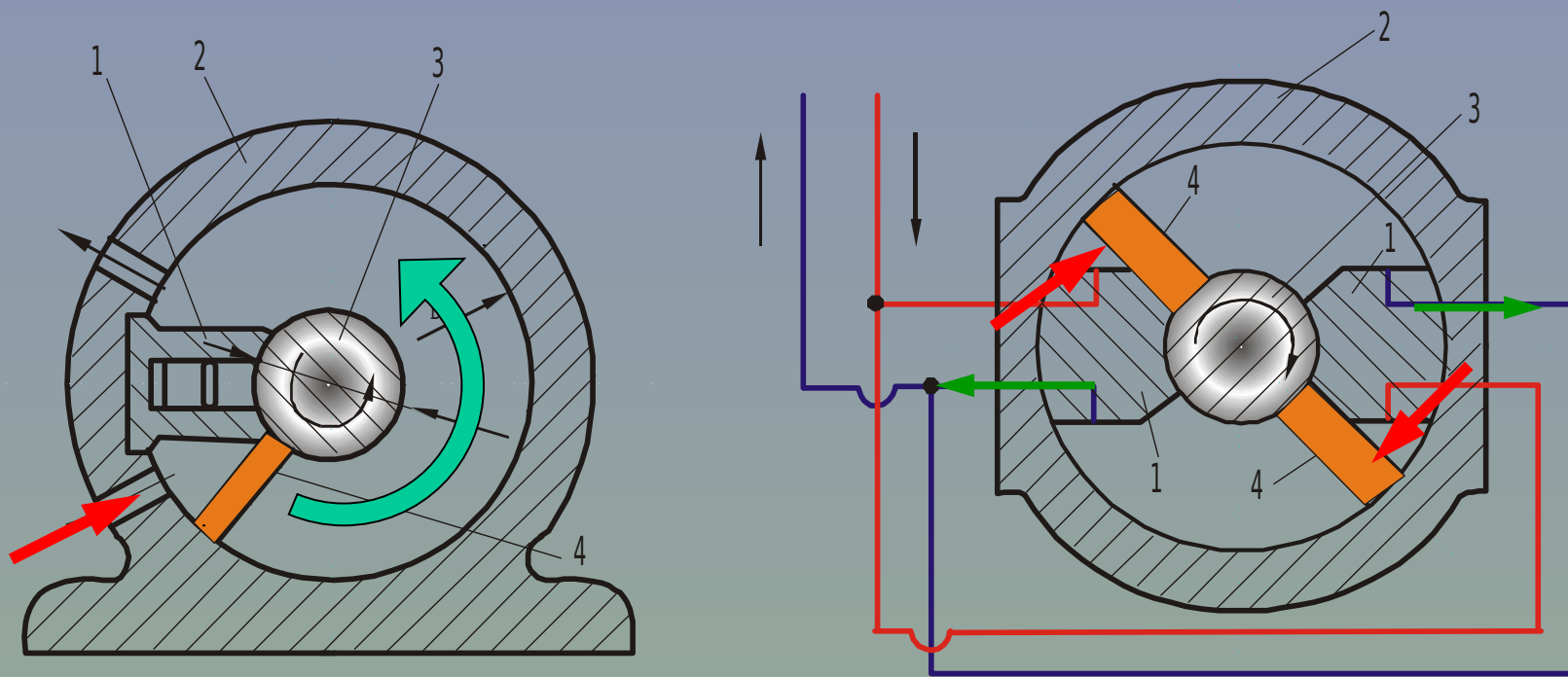
$$F = (p_1 - p_2) \frac{\pi}{4} d^2$$

柱塞式液压缸

式中：  $d$ — 柱塞直径，  $p_1$ — 进油压力，  $p_2$ — 另一缸的回油压力。

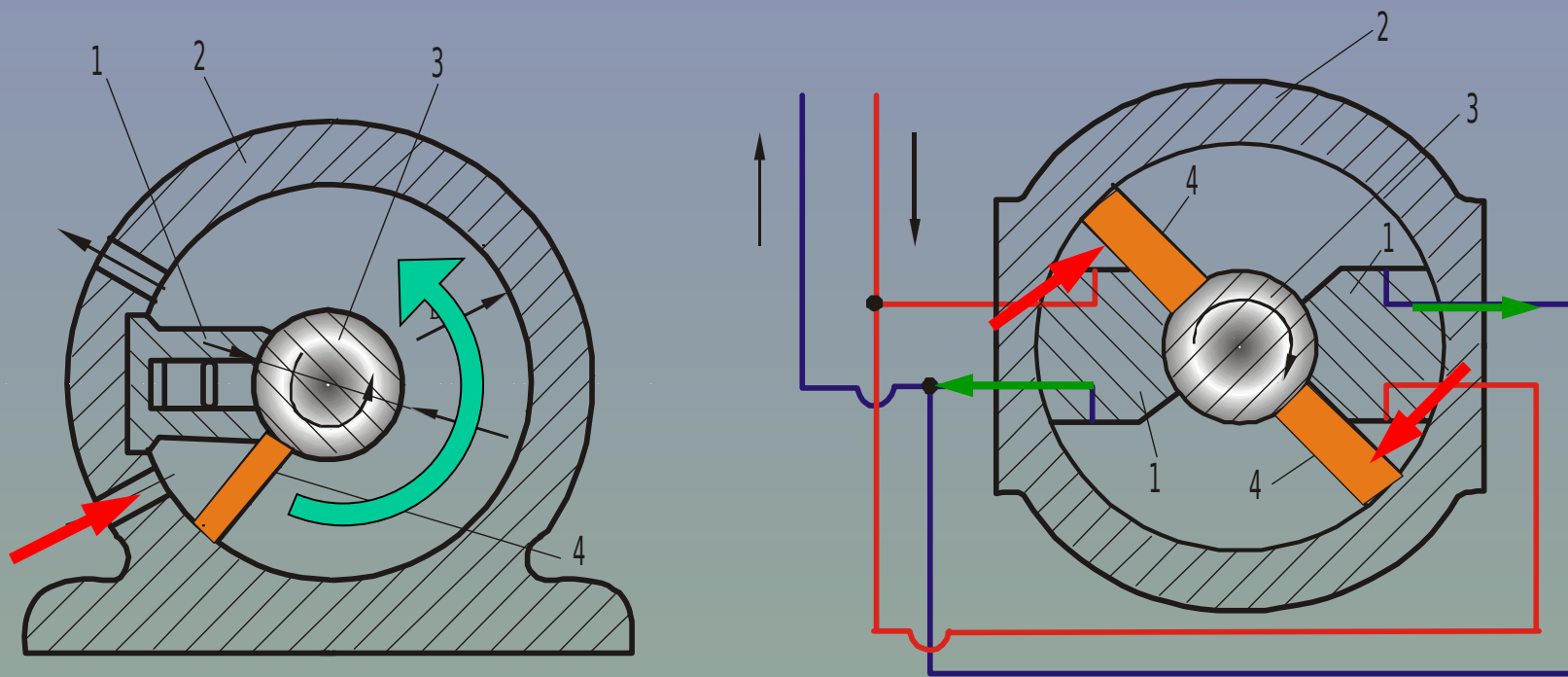
## 4 、摆动式液压缸

摆动液压缸能实现小于  $360^\circ$  角度的往复摆动运动，由于它可直接输出扭矩，故又称为摆动液压马达，主要有单叶片式和双叶片式两种结构形式。



摆动液压缸

**单叶片摆动液压缸**主要由定子块 1、缸体 2、摆动轴 3、叶片 4、左右支承盘和左右盖板等主要零件组成。定子块固定在缸体上，叶片和摆动轴固连在一起，当两油口相继通以压力油时，叶片即带动摆动轴作往复摆动。

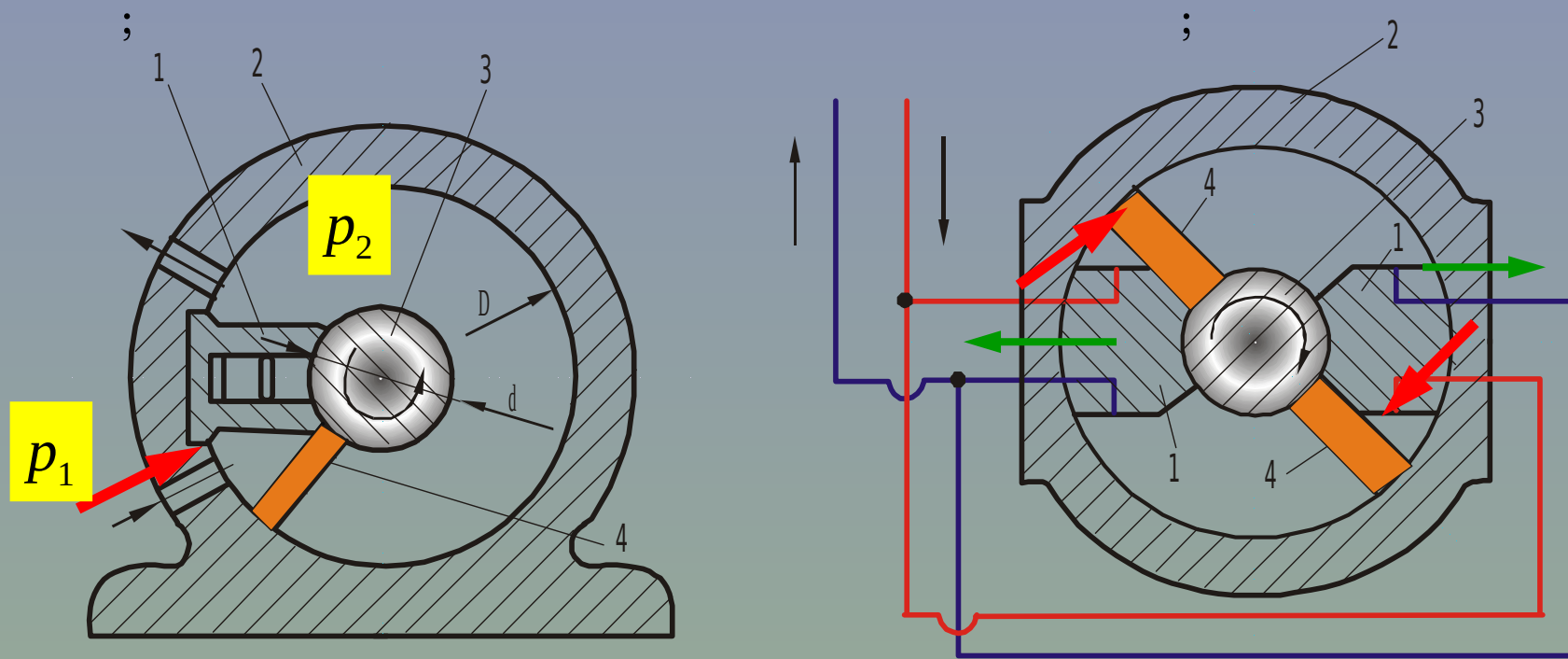


摆动液压缸

当考虑到机械效率时，单叶片缸的摆动轴输出转矩为

$$T = \frac{1}{8}(D^2 - d^2)(p_1 - p_2)b\eta_m$$

$D$  — 缸体内孔直径  $d$  — 摆动轴直径;  $b$  — 叶片宽度

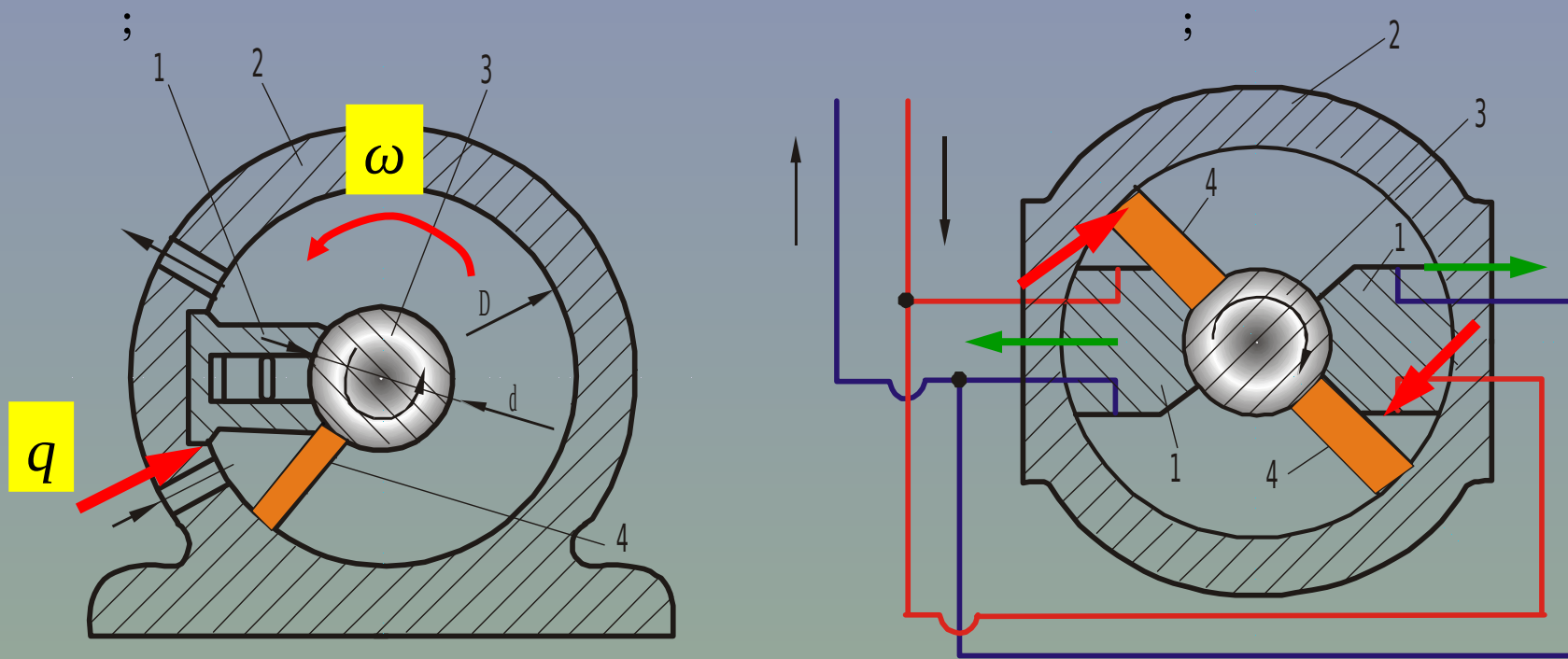


摆动液压缸

根据能量守恒原理，输出角速度为

$$\omega = \frac{8q\eta_v}{b(D^2 - d^2)}$$

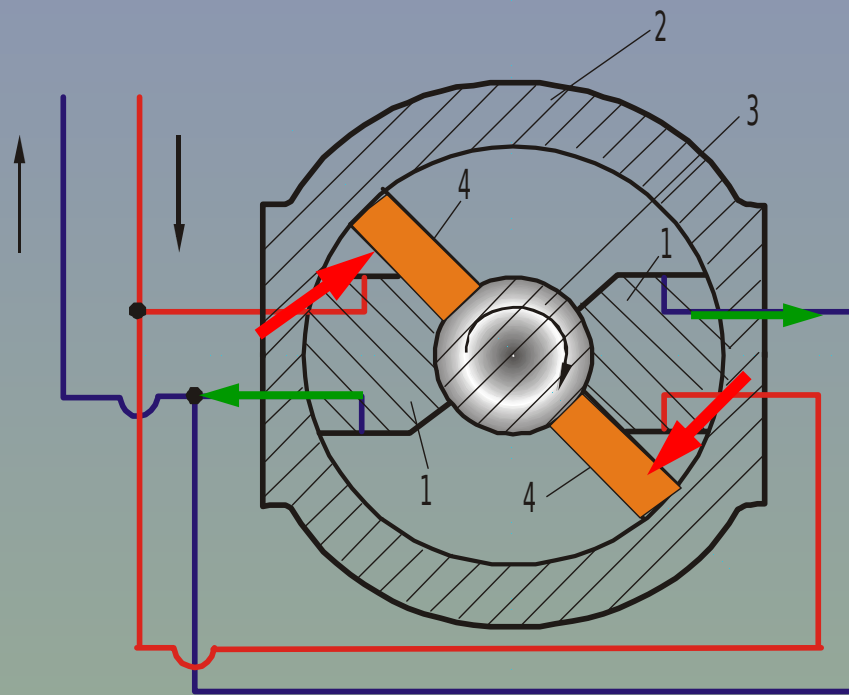
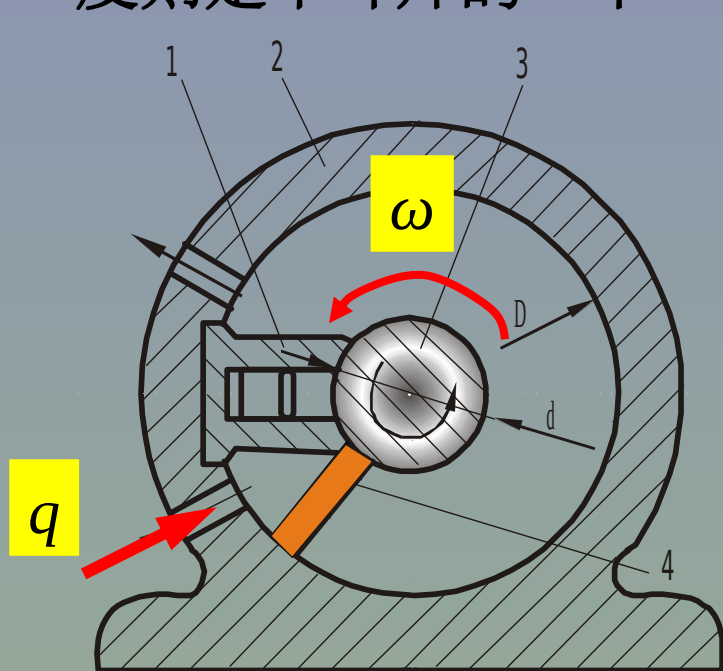
$D$  — 缸体内孔直径  $d$  — 摆动轴直径;  $b$  — 叶片宽度



摆动液压缸

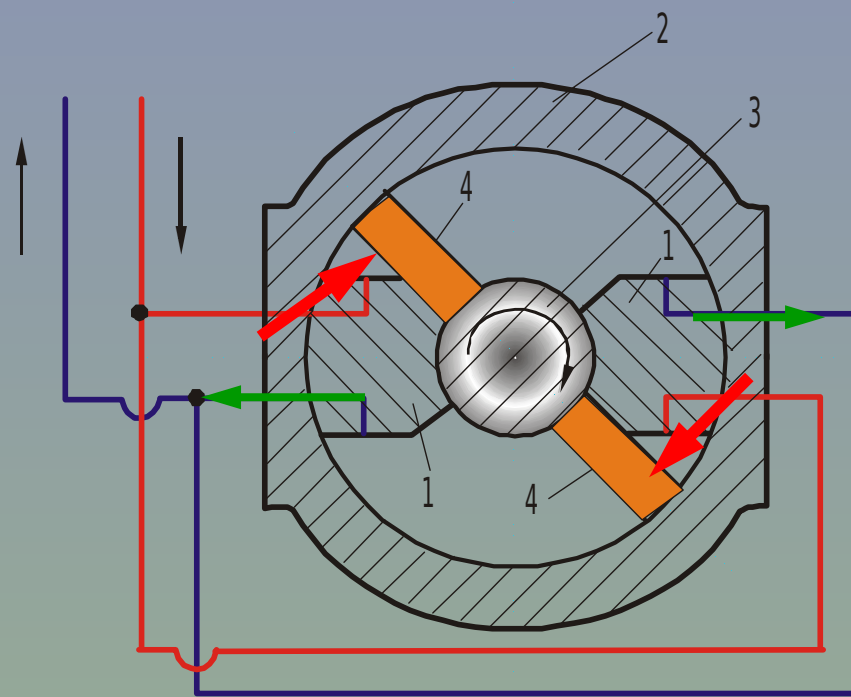
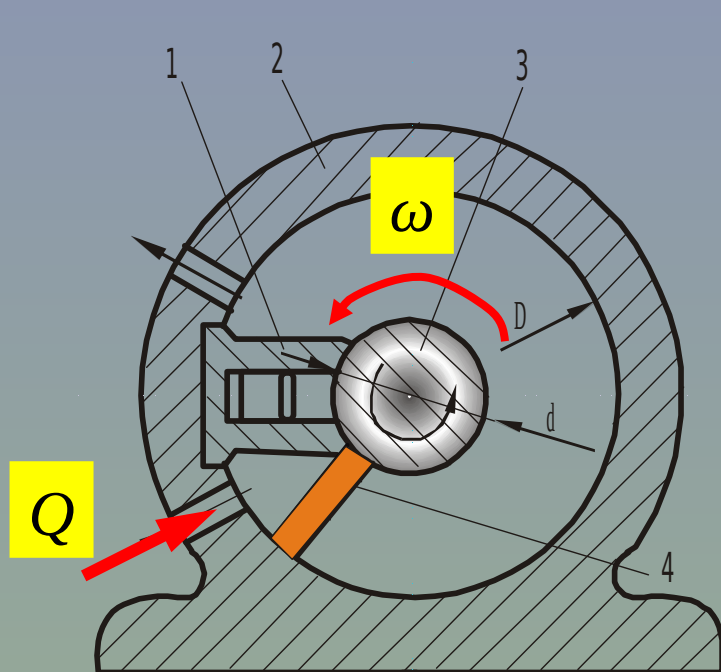
单叶片摆动液压缸的摆角一般不超过  $280^\circ$ ，双叶片摆动液压缸的摆角一般不超过  $150^\circ$ 。

当输入压力和流量不变时，双叶片摆动液压缸摆动轴输出转矩是相同参数单叶片摆动缸的两倍，而摆动角速度则是单叶片的一半。

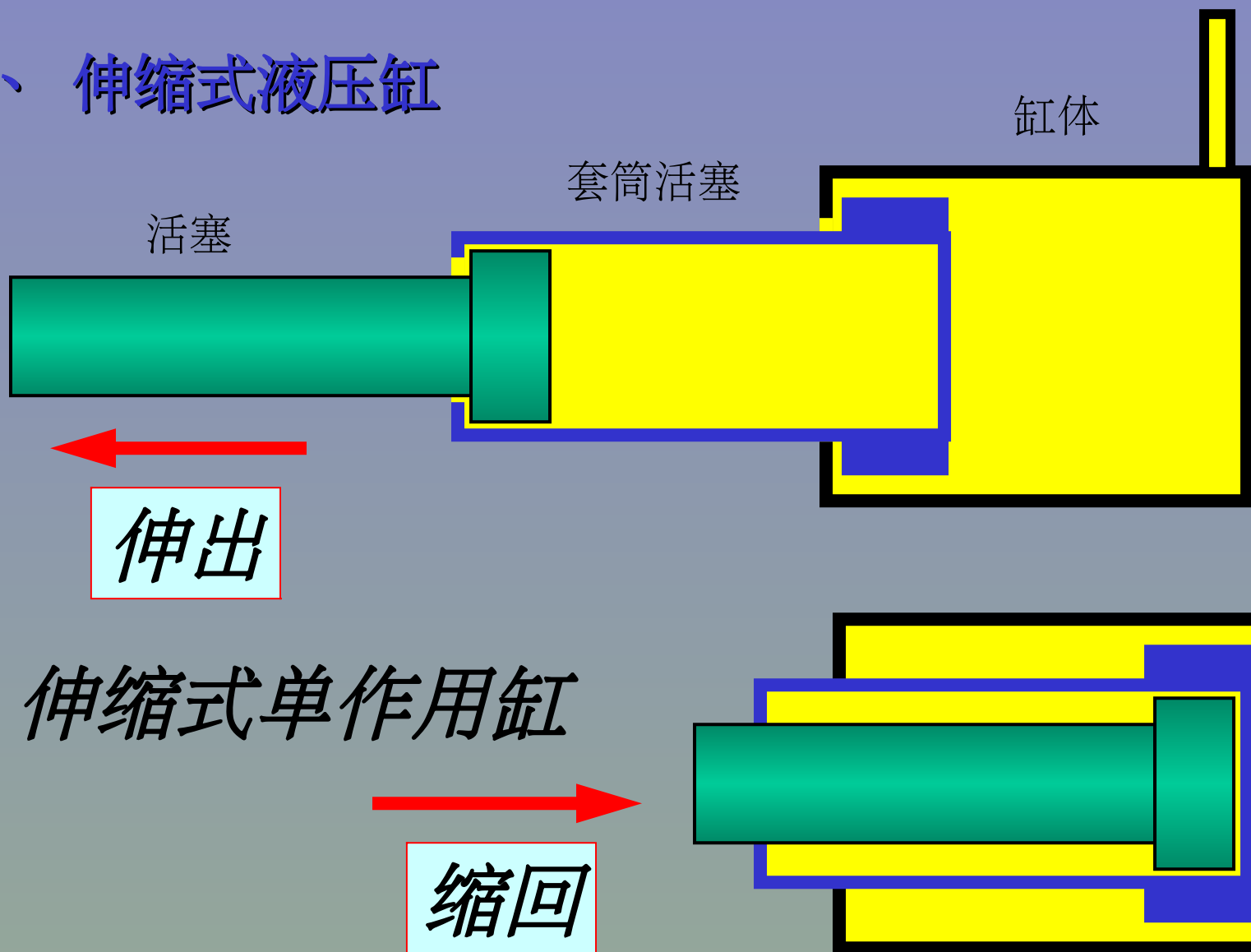




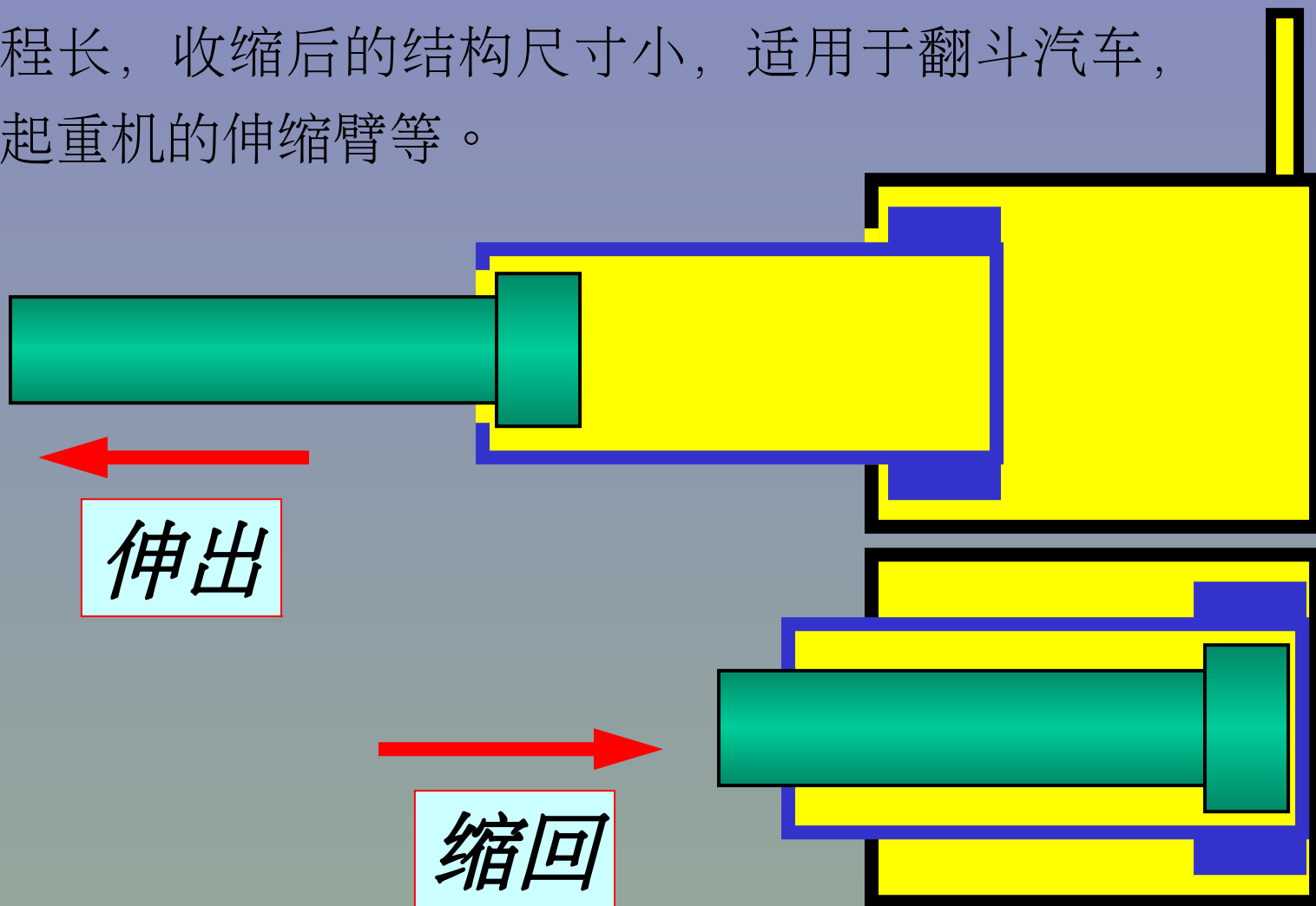
摆动缸结构紧凑，输出转矩大，但密封困难，一般只用于中、低压系统中往复摆动，转位或间歇运动的地方。



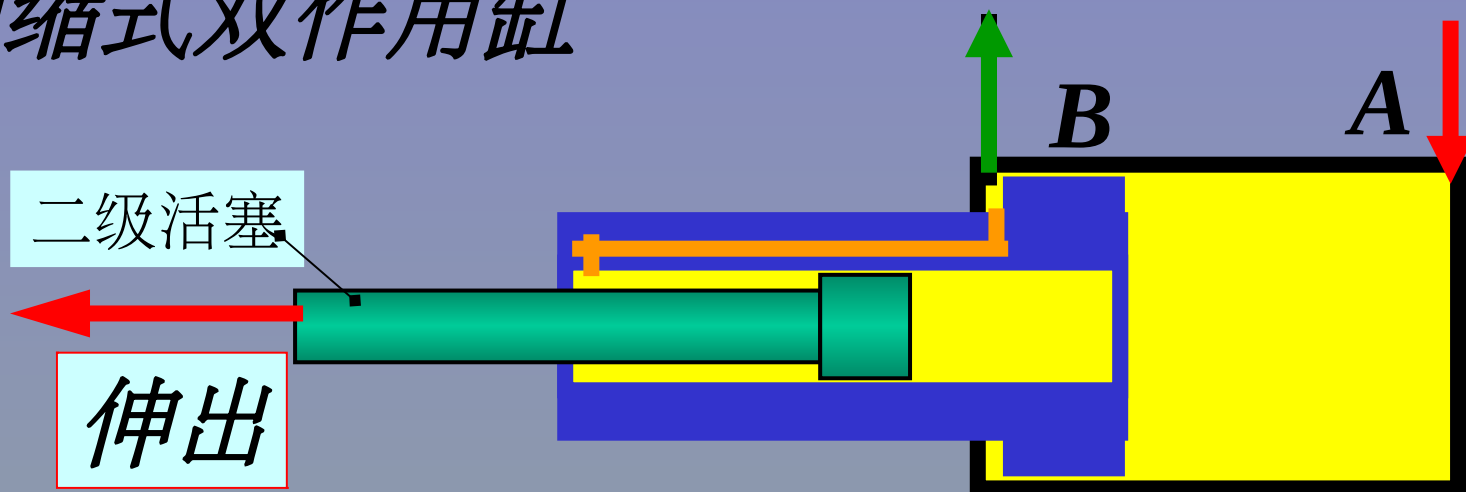
## 5、伸缩式液压缸



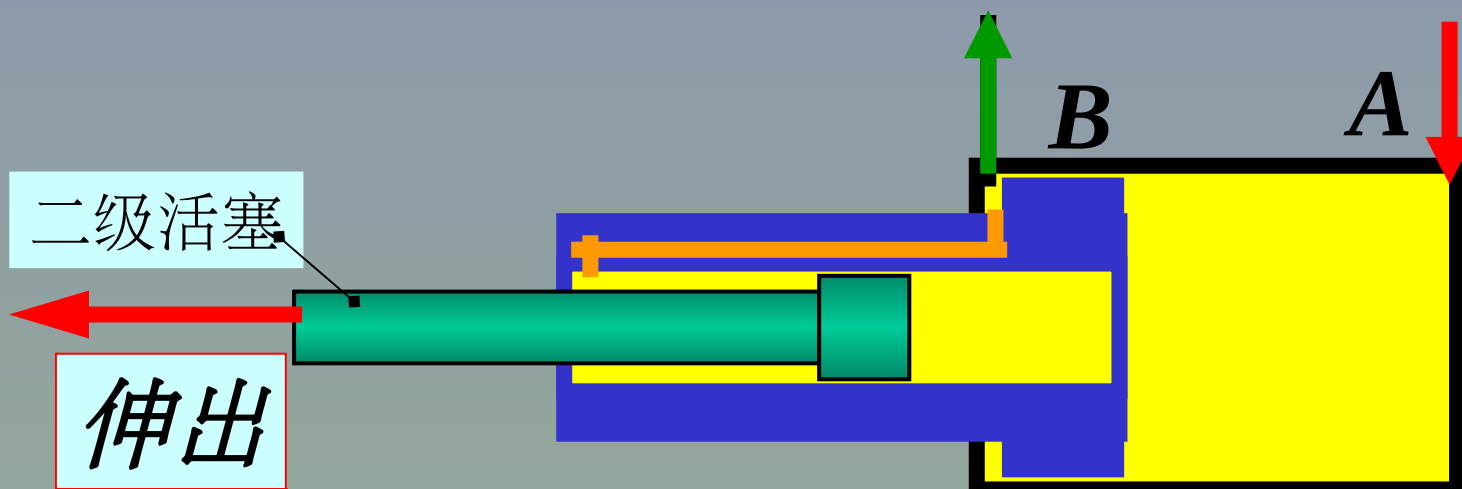
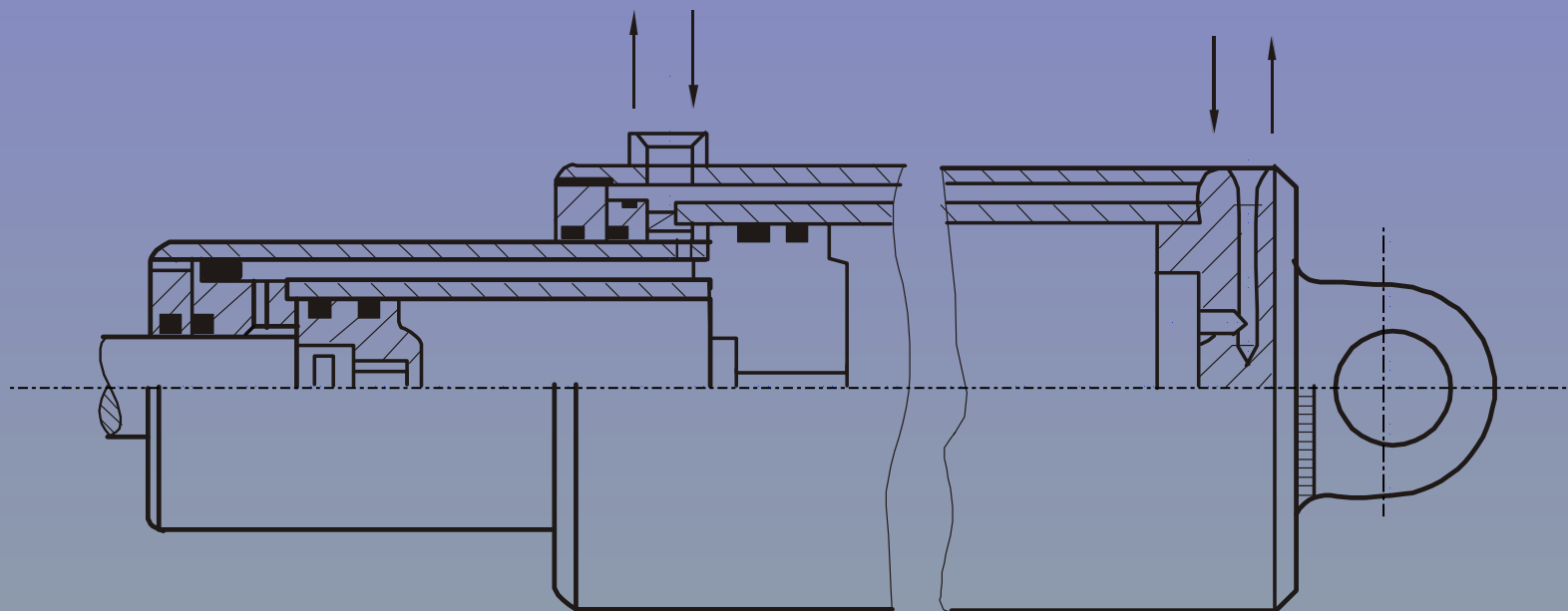
伸缩式液压缸的特点是：活塞杆伸出的行程长，收缩后的结构尺寸小，适用于翻斗汽车，起重机的伸缩臂等。



# 伸缩式双作用缸

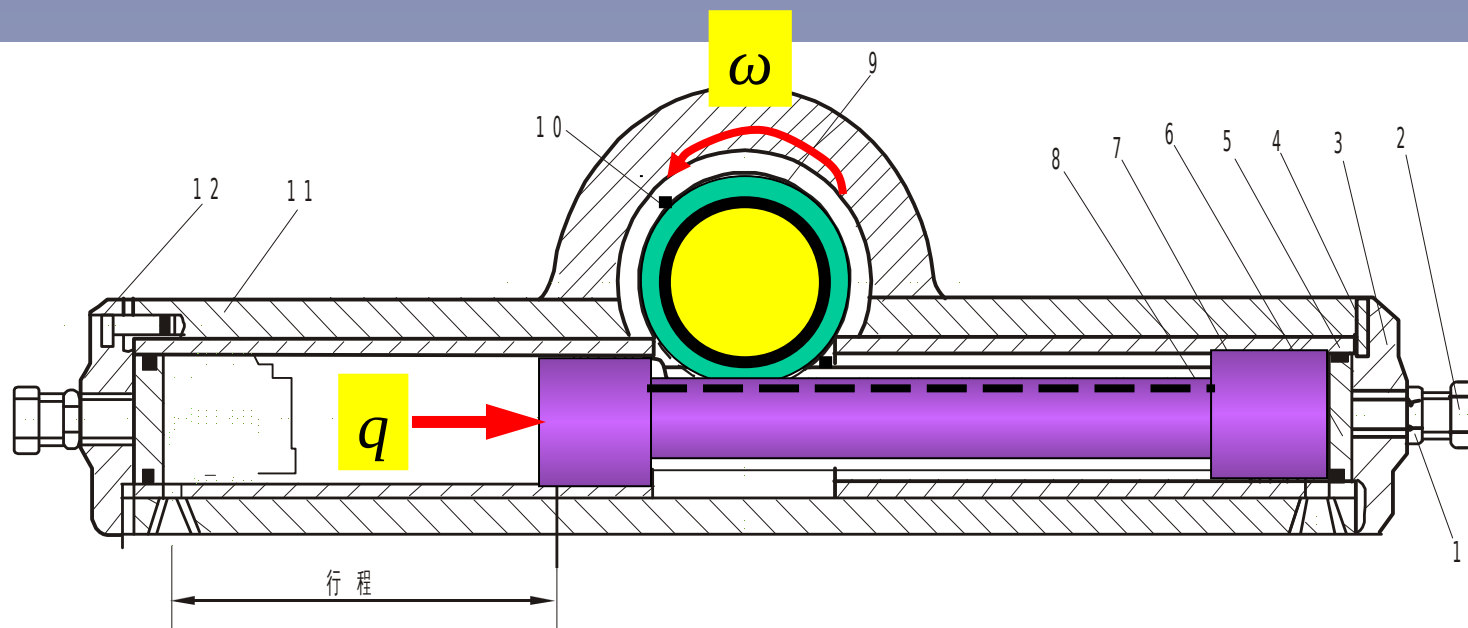


缸体两端有进、出油口 A 和 B 。当 A 口进油， B 口回油时，先推动一级活塞向右运动。一级活塞右行至终点时，二级活塞在压力油的作用下继续向右运动。



## 6、齿条活塞缸

齿条活塞缸由带有齿条杆的双作用活塞缸和齿轮齿条机构组成，活塞往复移动经齿条、齿轮机构变成齿轮轴往复转动。

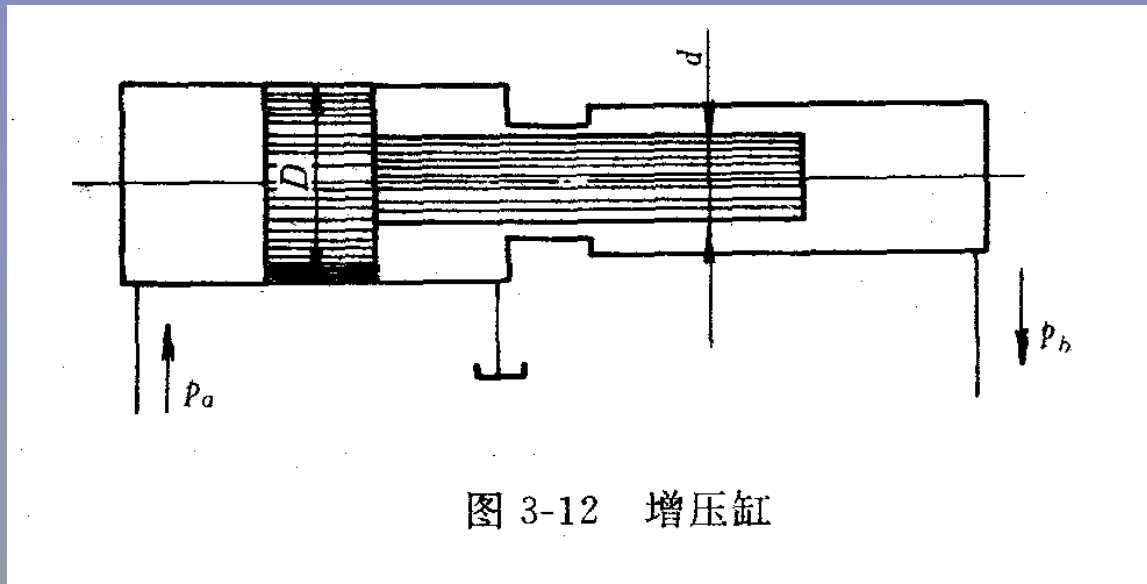


齿条活塞液压缸的结构图

1 — 紧固螺帽； 2 — 调节螺钉； 3 — 端盖； 4 — 垫圈； 5 — O形密封圈；  
6 — 挡圈； 7 — 缸套； 8 — 齿条活塞； 9 — 齿轮； 10 — 传动轴； 11 —  
缸体； 12 — 螺钉

## 7、增压缸

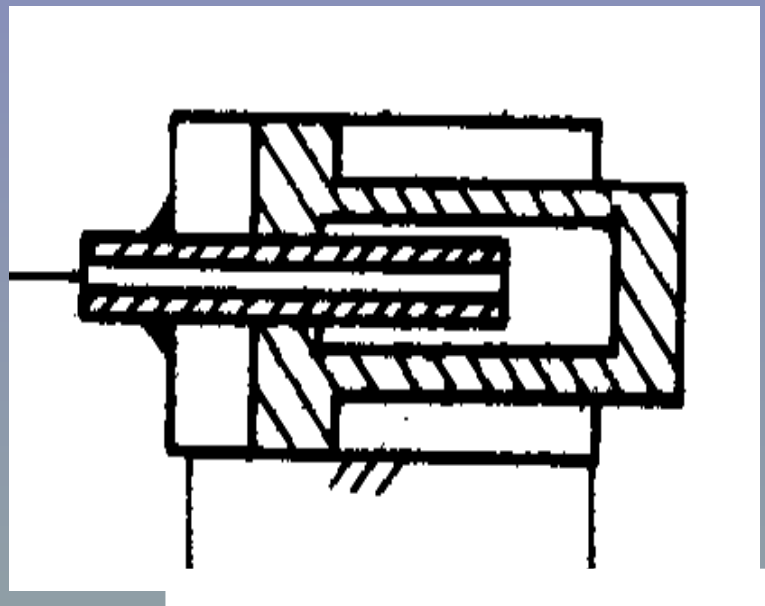
■ 增压缸是活塞缸与柱塞缸组成的复合缸，但它不是能量转换装置，只是一个增压器件。



- 增压比为大活塞与小柱塞的面积比  $K = D^2/d^2$   
小柱塞缸输出的压力  $p_b = p_a K$
- 增压能力是在降低有效流量的基础上得到的。
- 增压缸作为中间环节，用在低压系统要求有局部高压油路的场合。

## 8、增速缸

■ 增速缸也是活塞缸与柱塞缸组成的复合缸，活塞缸的活塞内腔是柱塞缸的缸筒，柱塞固定在活塞缸的缸筒上。当液压油进入柱塞缸时，活塞将快速运动（活塞缸大腔必须补油）；当液压油同时进入柱塞缸和活塞缸时，活塞慢速运动。



- 增速缸用于快速运动回路，在不增加泵的流量的前提下，使执行元件获得尽可能大的工作速度。



## 二、 液压缸的结构

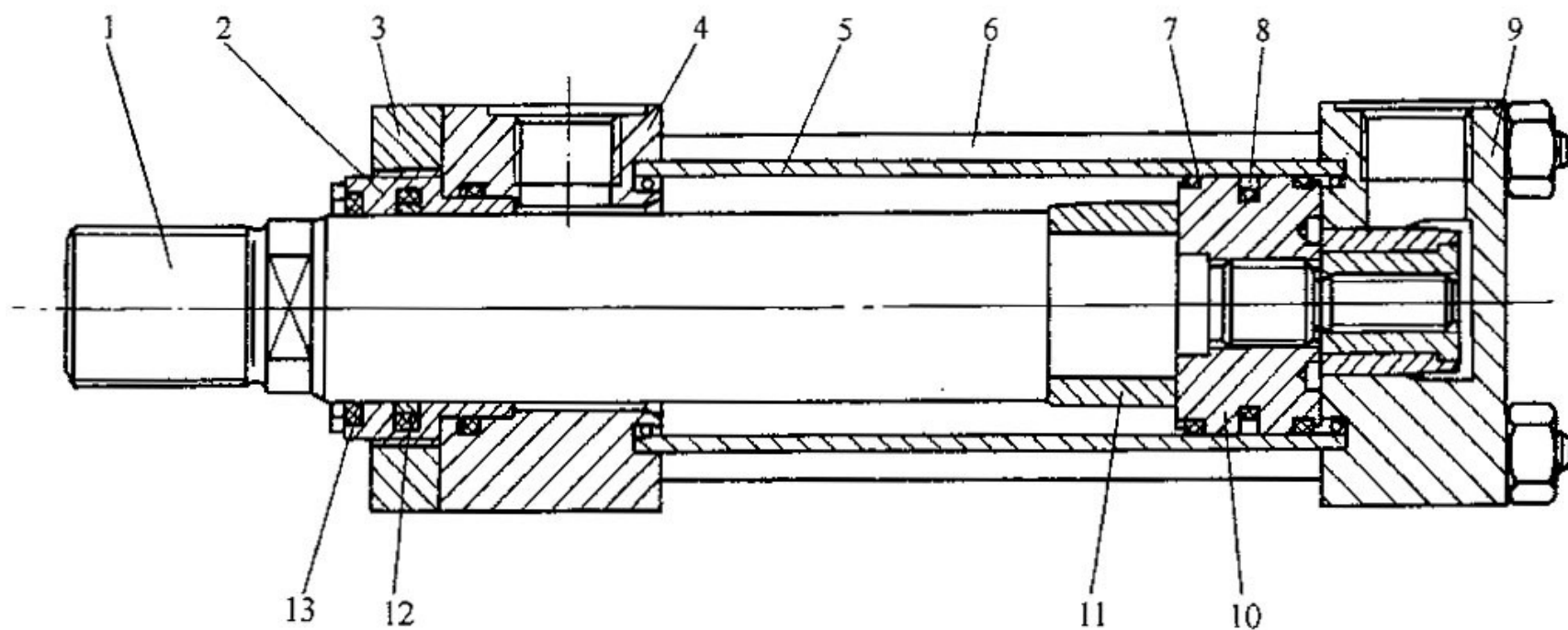


图 4-17 双作用单杆活塞缸

1—活塞杆 2—导向套 3—法兰 4—前缸盖 5—缸筒 6—拉杆 7—导向环  
8—活塞密封件 9—后缸盖 10—活塞 11—缓冲套筒 12—活塞杆密封件 13—防尘圈

液压缸的结构组成可分为缸体组件、活塞组件、导向套、密封装置、缓冲装置和排气装置等

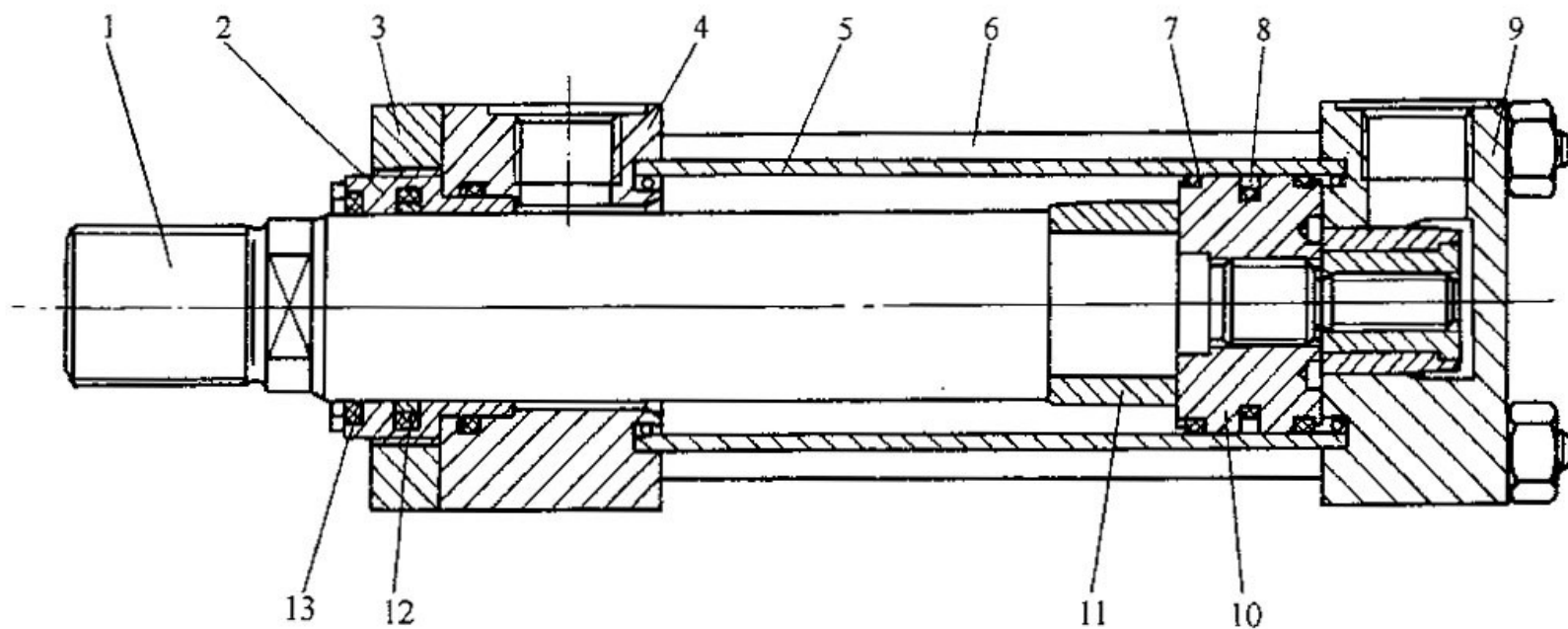
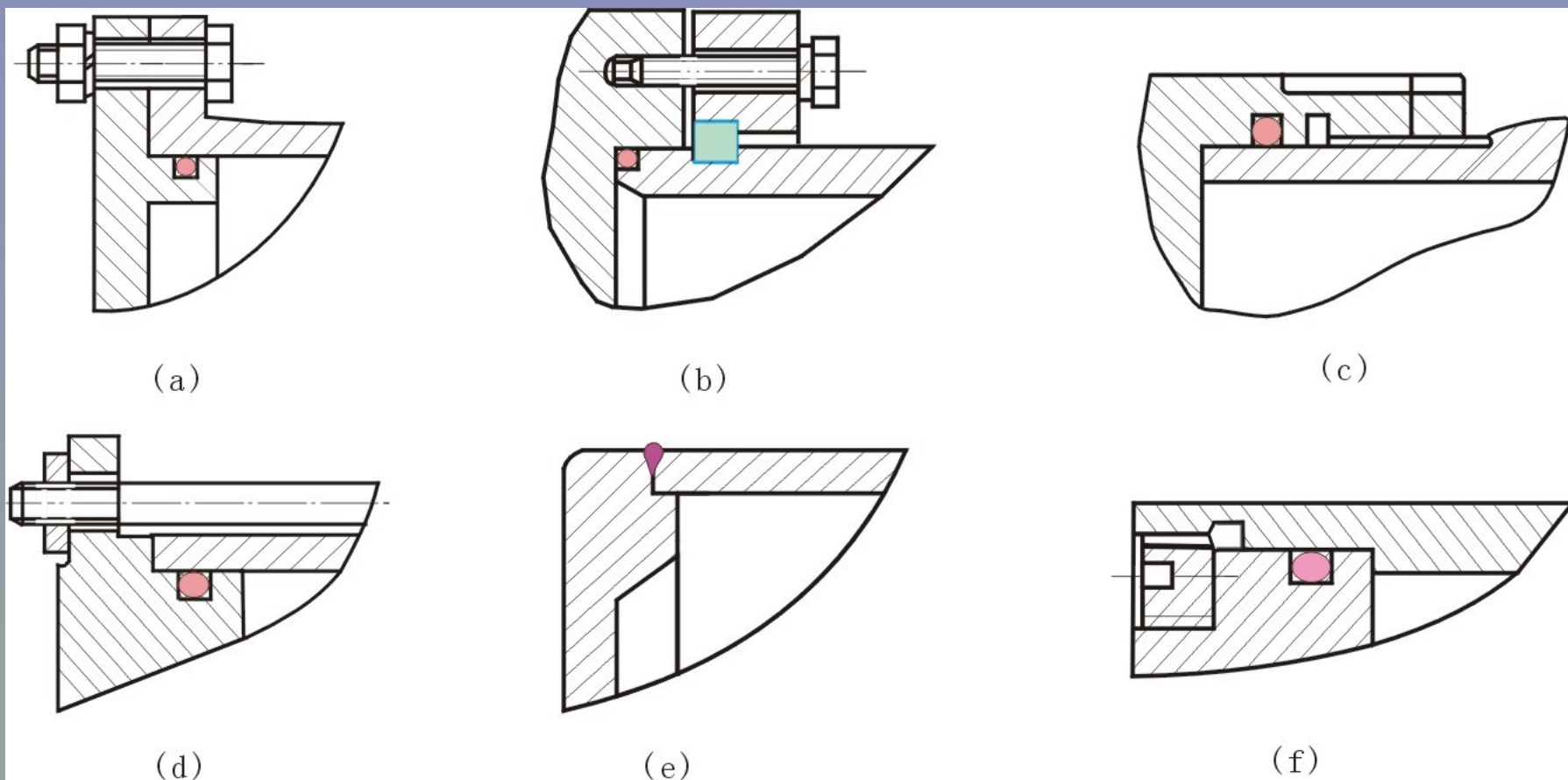


图 4-17 双作用单杆活塞缸

1—活塞杆 2—导向套 3—法兰 4—前缸盖 5—缸筒 6—拉杆 7—导向环  
8—活塞密封件 9—后缸盖 10—活塞 11—缓冲套筒 12—活塞杆密封件 13—防尘圈

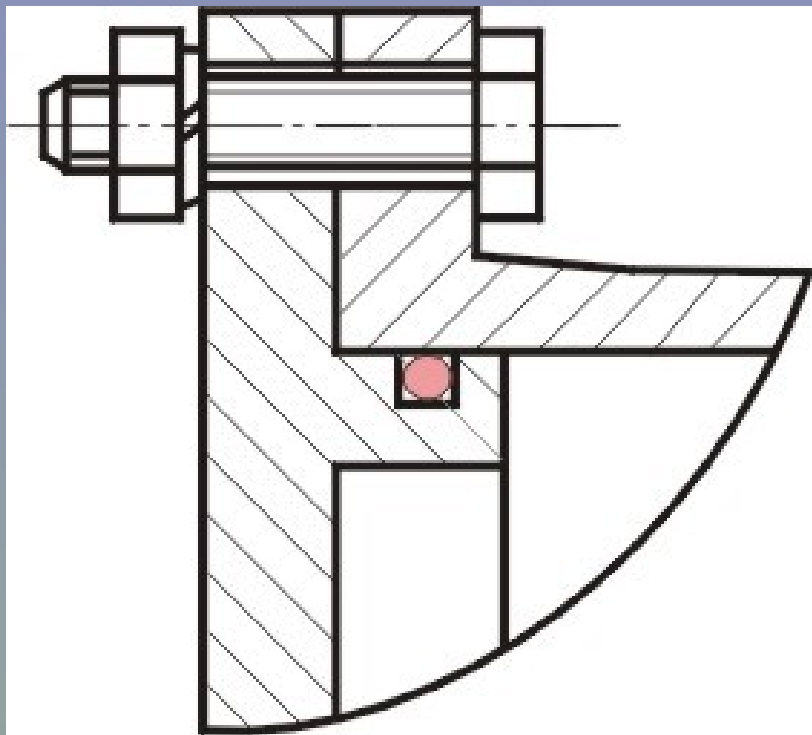
# 1、缸体组件

## 缸筒与端盖的连接



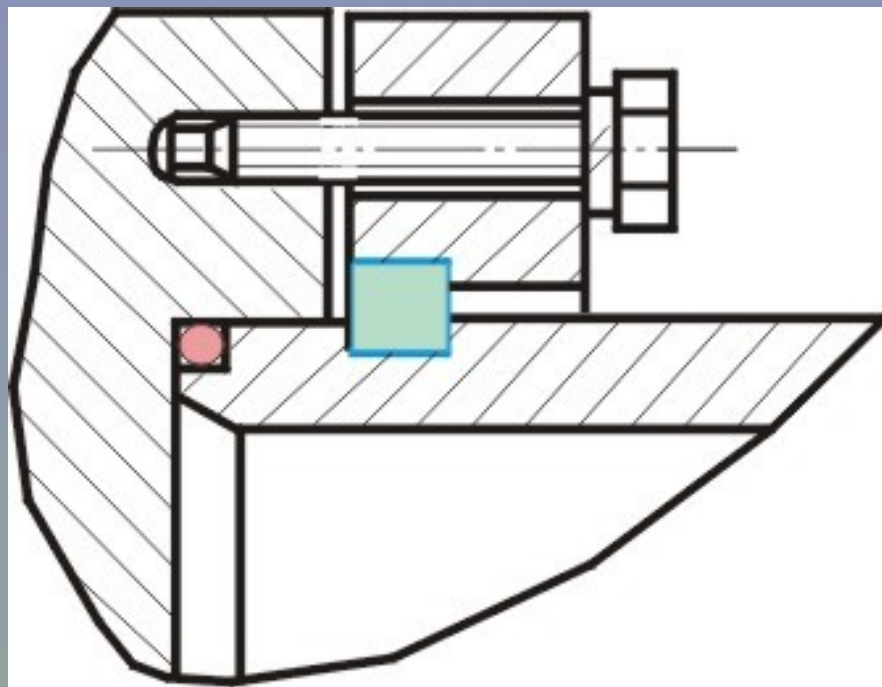
缸体与缸盖的连接结构

## (1) 法兰式连接



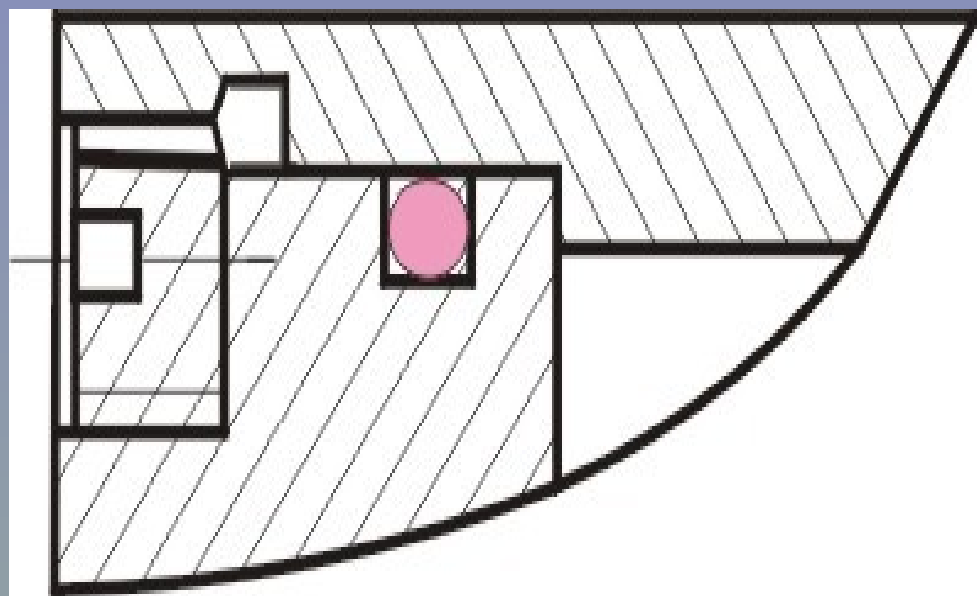
(a)

(2) 半环式连接，  
分为外半环连接和内半环连接两种连接形式。

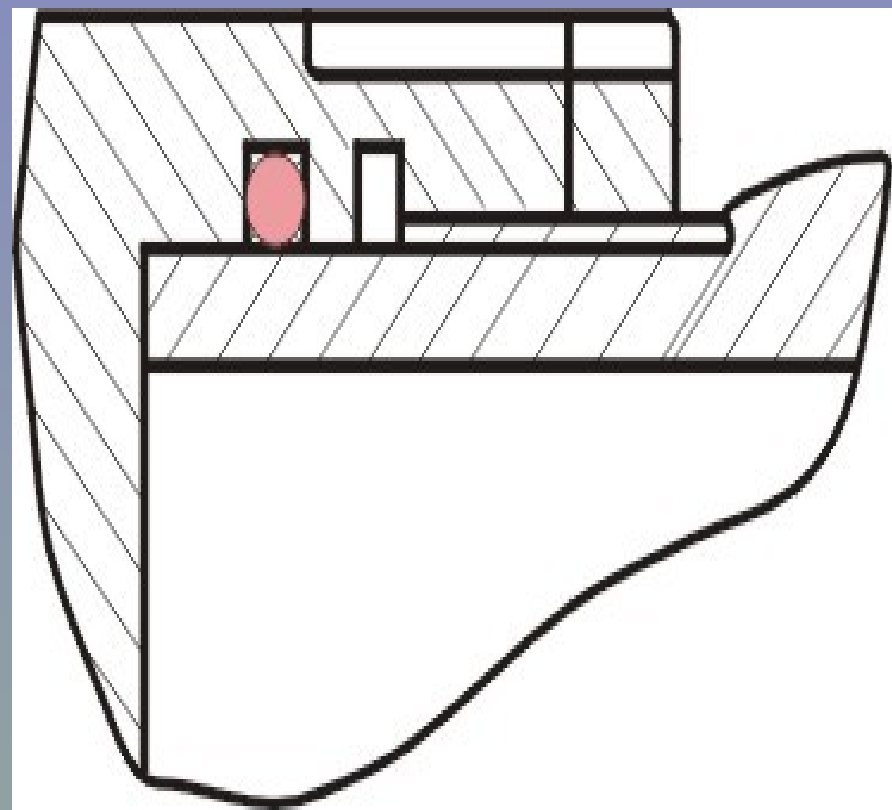


(b)

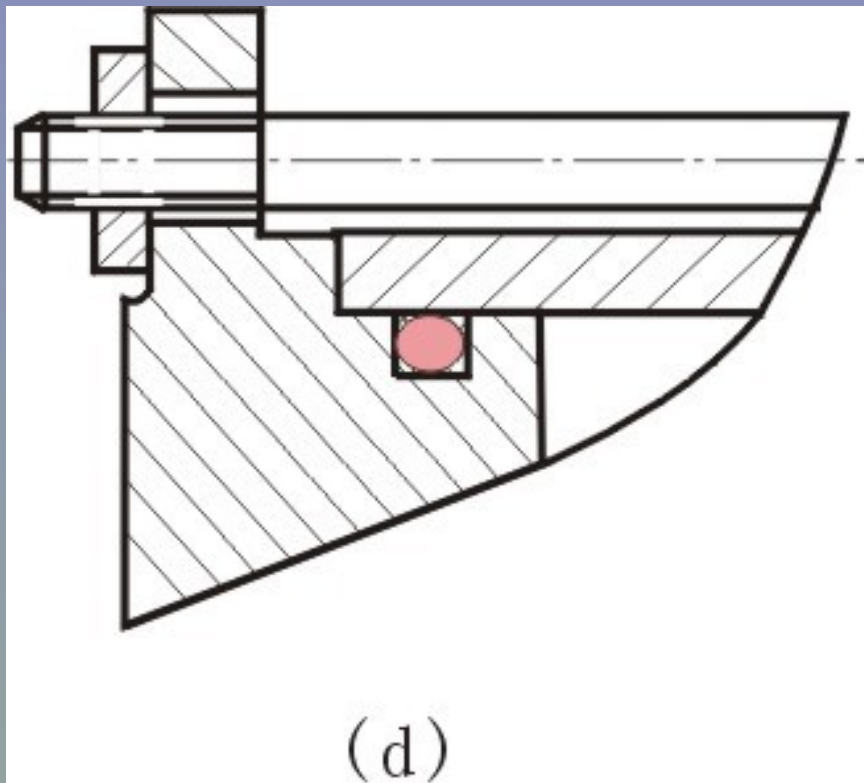
### (3) 螺纹式连接



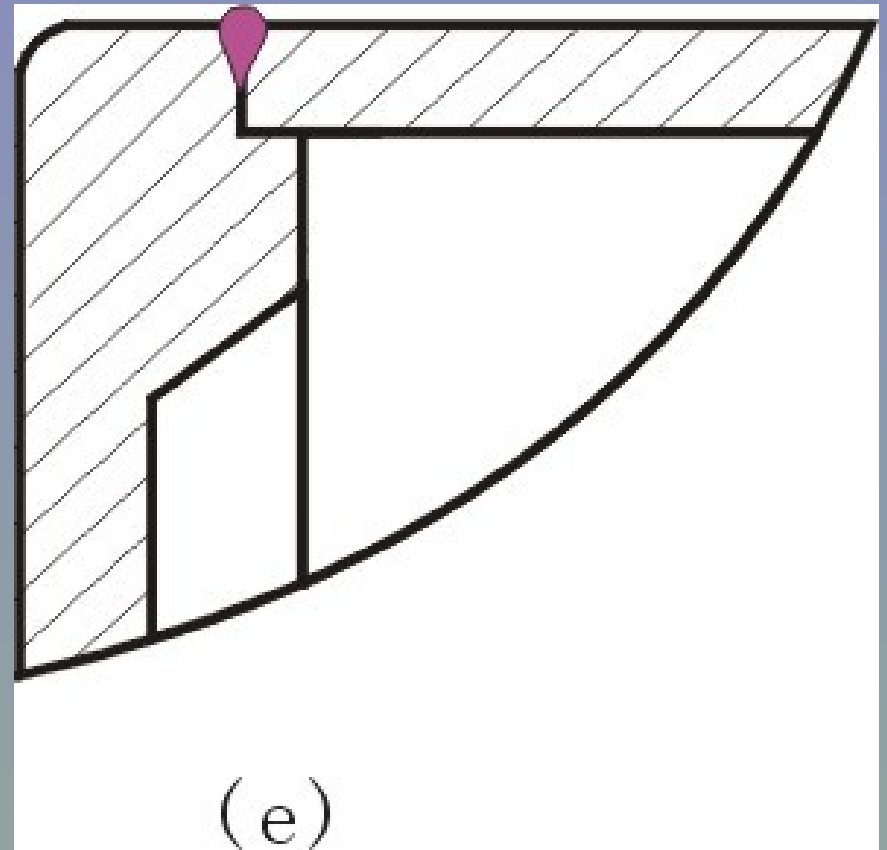
(f) 内螺纹连接



(c) 外螺纹连接



(4) 拉杆式连接



(5) 焊接式连接

**缸筒** 是液压缸的主体，其内孔一般采用镗削、绞孔、滚压或珩磨等精密加工工艺制造，要求表面粗糙度在  $0.1\mu\text{m}\sim 0.4\mu\text{m}$  。

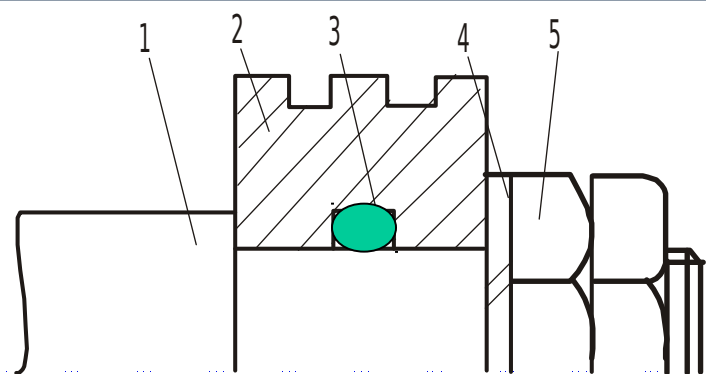
**端盖** 装在缸筒两端，与缸筒形成封闭油腔，同样承受很大的液压力，因此，端盖及其连接件都应有足够的强度。

## 2 、 活塞组件

活塞组件由活塞、活塞杆等组成。

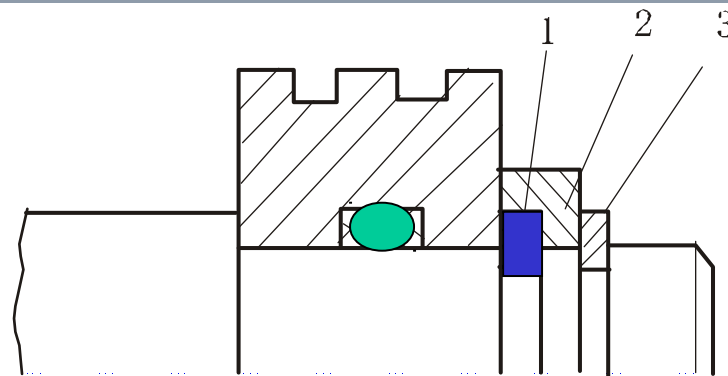
### 活塞与活塞杆的连接形式

如下图所示，活塞与活塞杆的连接最常用的有螺纹连接和半环连接形式，除此之外还有整体式结构、焊接式结构、锥销式结构等。



( a )

1 一活塞杆； 2 一活塞； 3 一密封  
圈；  
4 一弹簧圈； 5 一螺母



( b )

1 一卡键； 2 一套环； 3 一弹簧卡圈



### 3、密封组件

液压系统中的工作介质必须在密闭容器中传递能量的。因此有可能泄漏的表面和连接处都需要有可靠的密封。若密封不良，会造成液压缸等元件的内部或外部泄漏，从而降低系统的效率，污染工作环境。所以，密封装置的好坏是提高系统的压力、效率和延长元件使用寿命的重要因素之一。

密封装置按工作原理，可以归纳为两大类：**非接触式密封**（如**间隙密封**）和**接触式密封**（如**密封圈**等）。按密封部分的运动特性，密封形式可分为用于固定联接件间的**静密封**和用于相对运动件间的**动密封**。

## ( 1 ) 间隙密封

间隙密封是依靠相对运动件配合表面之间的微小间隙来防止泄漏的，它是一种最简单的动密封方法。间隙密封的密封性能与间隙大小、压力差、配合面的长度和直径以及加工精度等有关，其中以间隙的影响最大。

如图所示为 间隙密封，它在圆柱形的配合表面开几条环形均压槽，用来提高密封性能，减少液压卡紧。

间隙密封的优点是结构简单，密封阻力小，磨损小和润滑性能好。缺点是不能自行补偿磨损的影响，随着工作压力的升高，泄漏量增大；

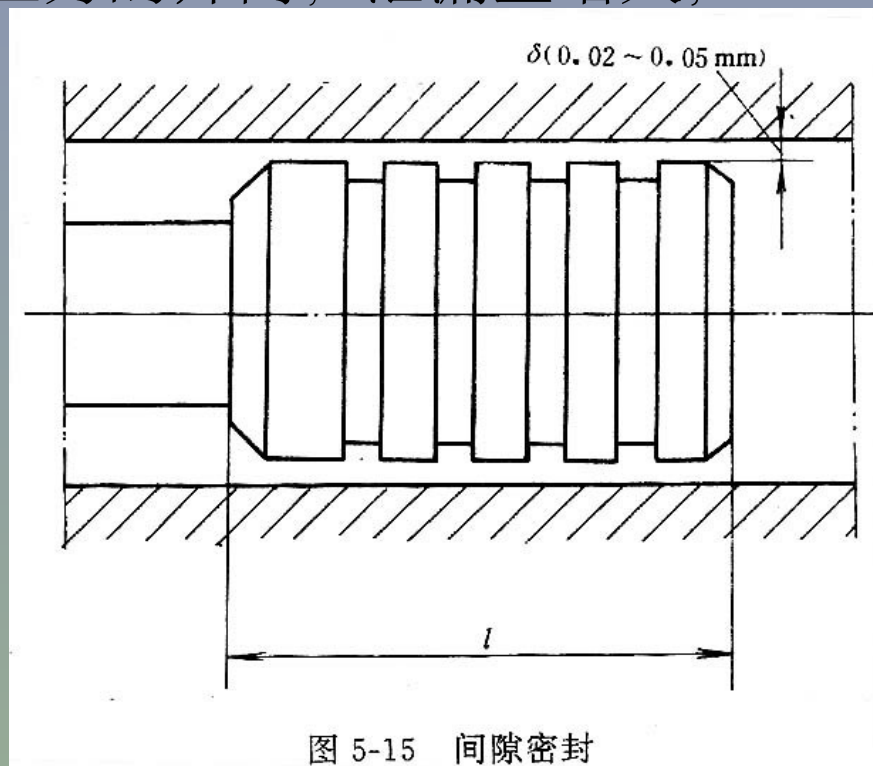
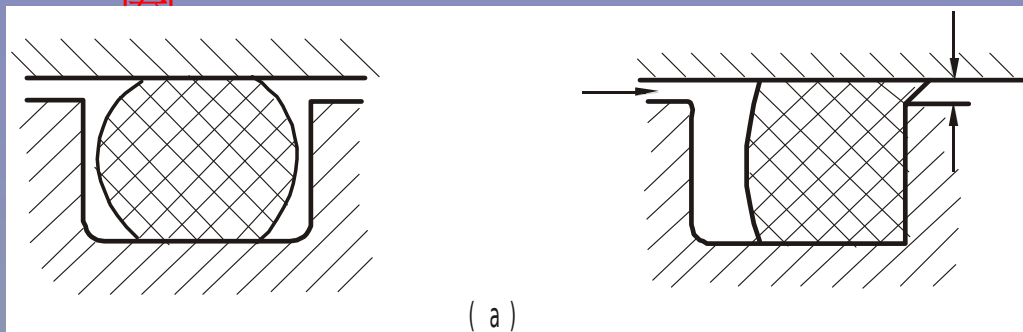


图 5-15 间隙密封

## (2) O形密封

图



(a)

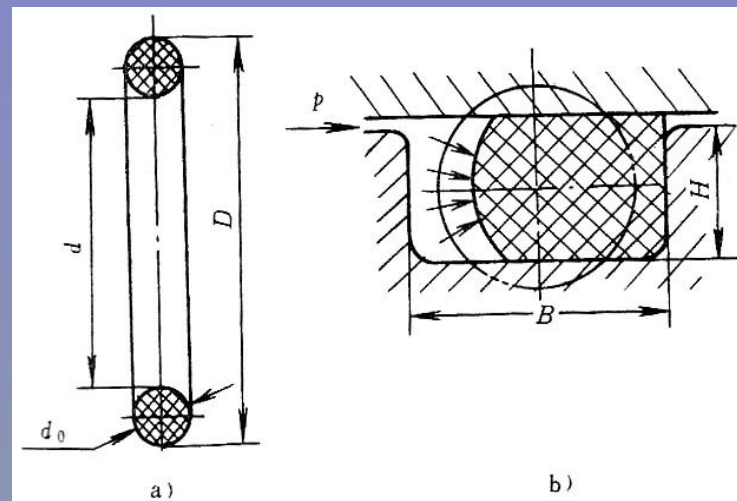
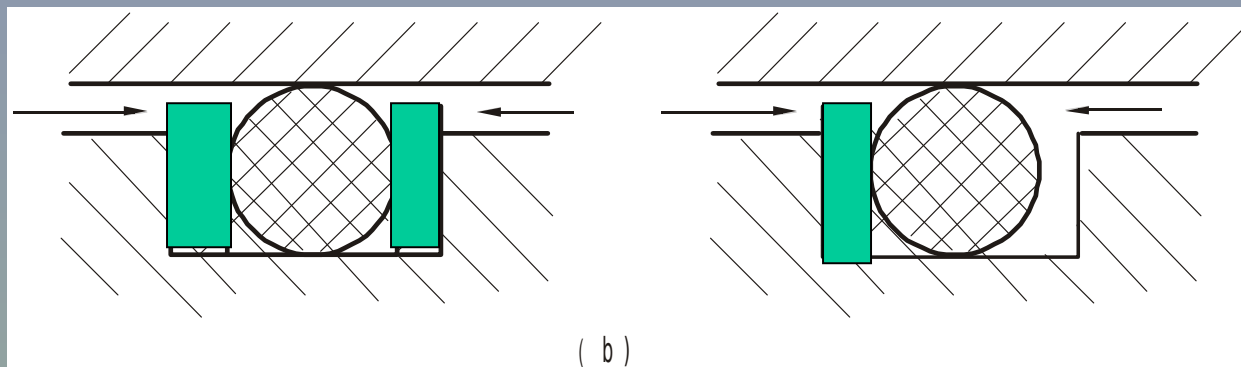


图 5-16 O 型密封圈

(a) 普通型



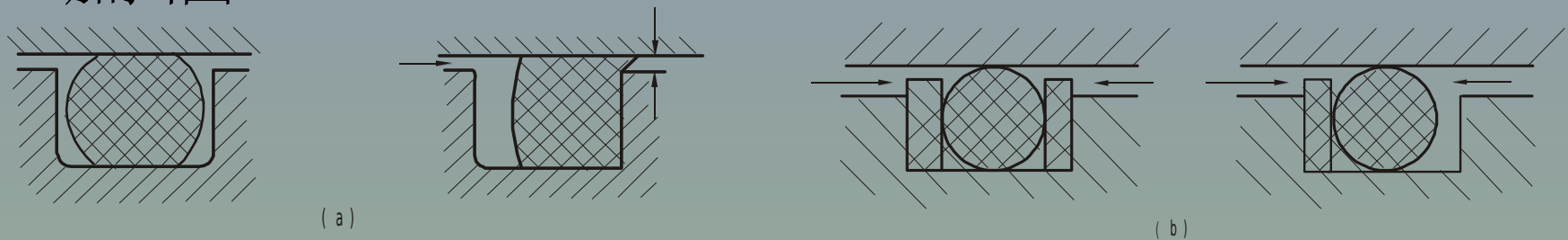
(b)

(b) 有挡板型

O 型密封圈的结构原理

**O 形圈密封的原理：**任何形状的密封圈在安装时，必须保证适当的预压缩量，过小不能密封，过大则摩擦力增大，且易于损坏。因此，安装密封圈的沟槽尺寸和表面精度必须按有关手册给出的数据**严格保证**。

在动密封中，当压力大于 10MPa 时，O 形圈就会被挤入间隙中而损坏，为此需在 O 形圈低压侧设置聚四氟乙烯或尼龙制成的挡圈，双向受高压时，两侧都要加挡圈。



( a ) 普通型

( b ) 有挡板型

### ( 3 ) V 形密封圈

V 形圈的截面为 V 形，如图 3.11 所示，V 形密封装置是由压环、V 形圈和支承环组成。当工作压力高于 10MPa 时，可增加 V 形圈的数量，提高密封效果。安装时，V 形圈的开口应面向压力高的一侧。



( a )

a) 压环



( b )



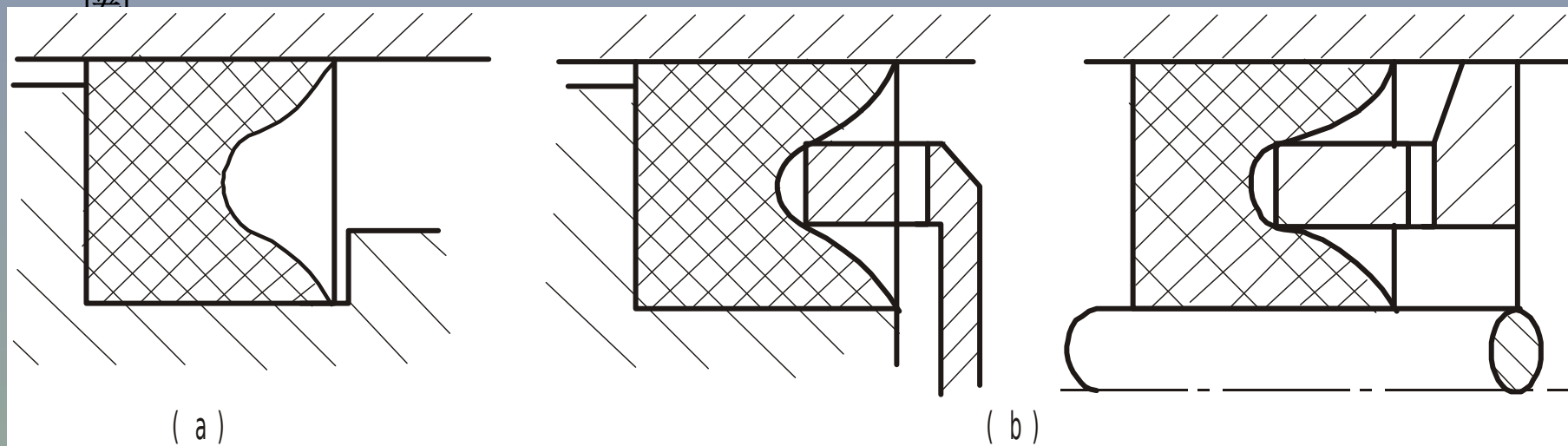
( c )

c) 支承环  
V 形密封圈

b)V 型圈

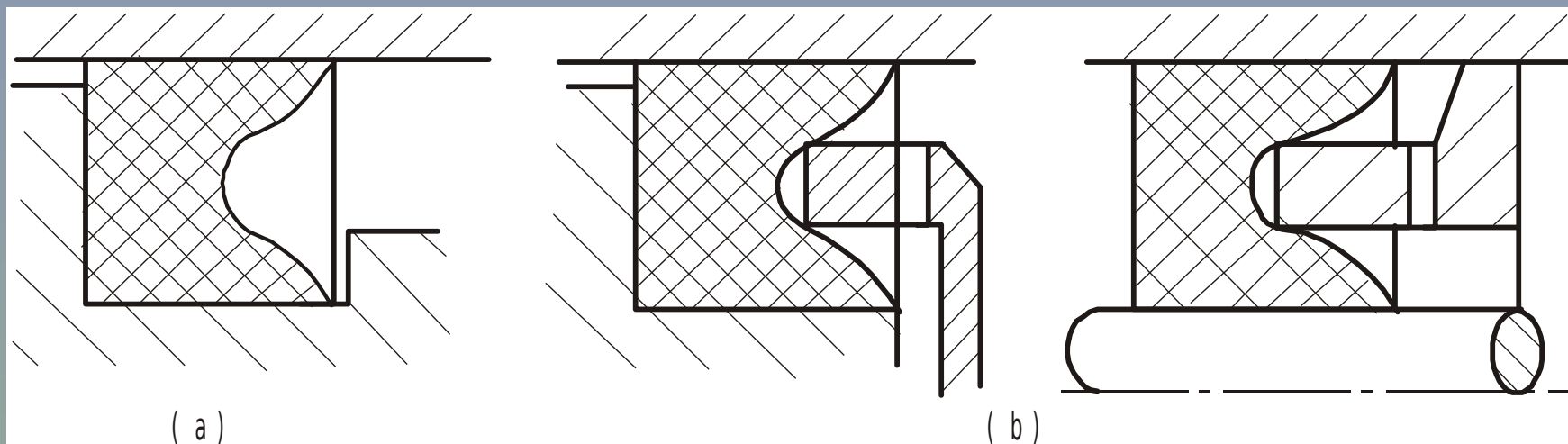
## ( 4 ) Y ( $Y_x$ ) 形密封圈

Y 形密封圈的截面为 Y 形，属唇形密封圈。它是一种摩擦阻力小、寿命较长的密封圈，应用普遍。Y 形圈主要用于往复运动的密封。根据截面长宽比例的不同，Y 形圈可分为宽断面和窄断面两种形式，图 3.12 所示为宽断面 Y 形密封圈



Y 形密封圈

Y 形圈安装时，唇口端面应对着液压力高的一侧。当压力变化较大，滑动速度较高时，要使用支承环，以固定密封圈，如图 3.12 ( b ) 所示。



Y 形密封圈



Y<sub>x</sub>形密封圈是Y形密封圈的改进型，其断面的高度与宽度之比大于2，因而不易翻转，稳定性好。通常用聚氨酯或耐油橡胶压制而成。如图所示，Y<sub>x</sub>形密封圈有轴用和孔用两种，它的两个唇边高度不等，短边为密封边，与密封面接触，滑动摩擦阻力小；长边与非滑动表面接触，增加了压缩量。因此Y<sub>x</sub>形密封圈的弹性、耐油性、耐磨性好，寿命长。

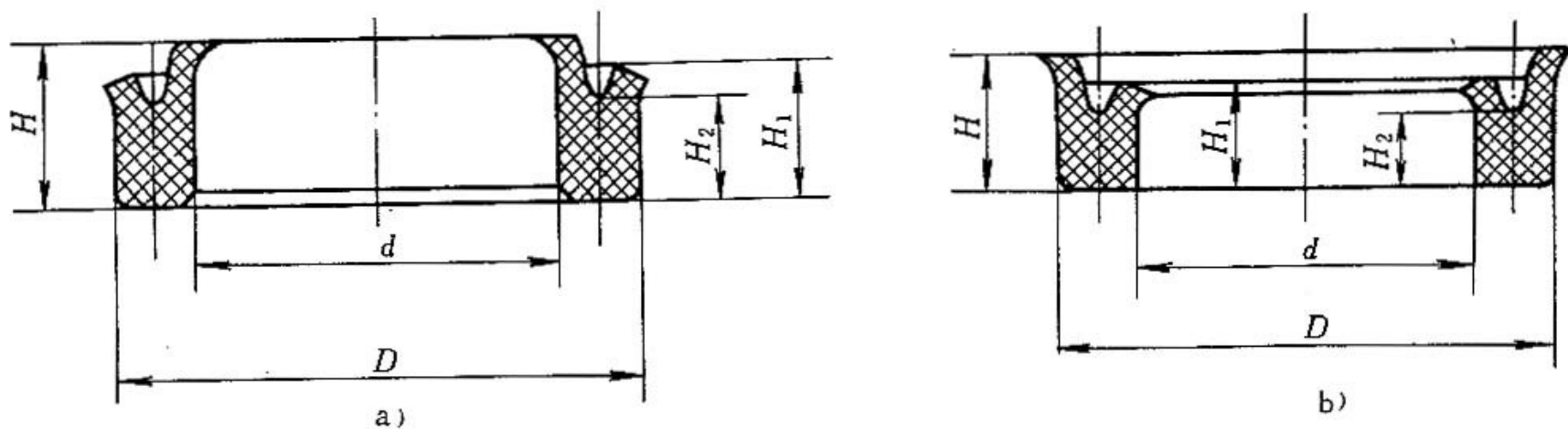


图 5-20 Y<sub>x</sub> 型密封圈  
a) 孔用 b) 轴用

## (5) 组合式密封圈

由两个或两个以上的元件组成的密封形式称为组合式密封，最常见的是组合密封垫圈和橡胶密封组合圈。

组合密封垫圈的结构如图所示，它的外圈 2 由 Q235 钢制成，内圈 1 为耐油橡胶，这种密封圈主要用于端面的静密封。

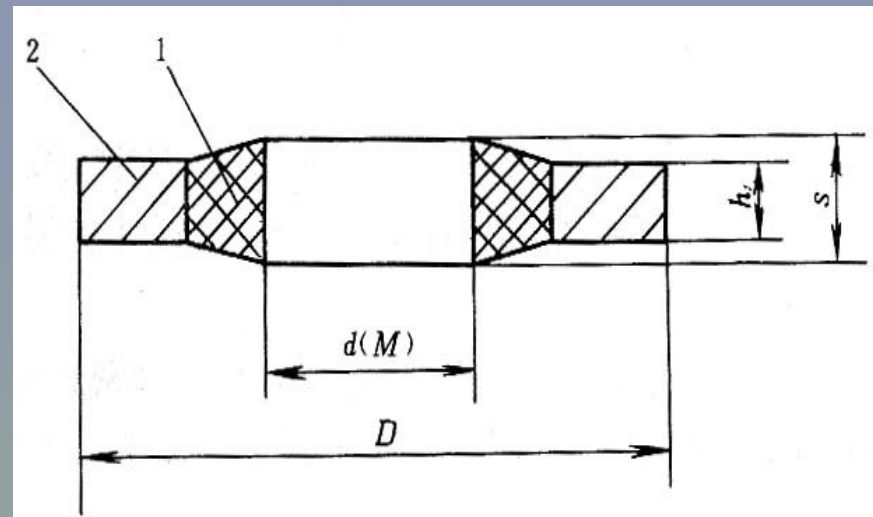


图 5-22 组合密封垫圈

1—耐油橡胶 2—Q235 钢圈

橡胶密封组合圈又称为同轴密封圈，它由 O 形密封圈和聚四氟乙烯做成的格来圈或斯特圈组合而成的

左图为方形断面的格来圈和 O 形密封圈的组合用于孔用动密封；右图为阶梯形断面的斯特圈和 O 形密封圈的组合用于轴用动密封

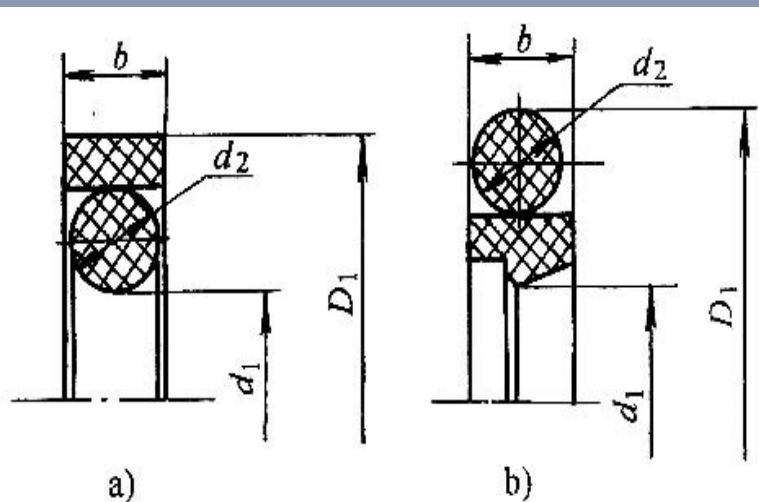


图 6-21 同轴密封圈

a) 活塞用 b) 活塞杆用

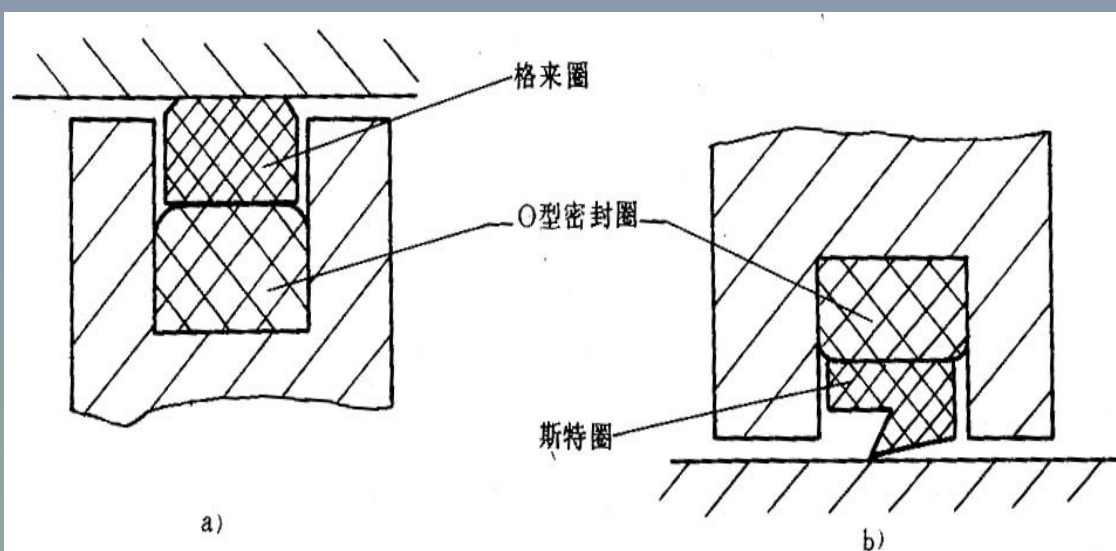


图 5-23 橡塑组合密封装置

a) 格来圈 b) 斯特圈

这种组合利用了 O 形密封圈的良好弹性变形性能，通过预压缩力来将格来圈（斯特圈）紧贴在密封面上起密封作用，O 形密封圈不与密封面直接接触，不存在磨损等问题，而与密封面接触的格来圈和斯特圈为聚四氟乙烯，这种材料具有极低的摩擦系数，而且动、静摩擦系数相当接近。此外，因具有自润滑性，与金属摩擦不易粘着；启动摩擦小，不存在橡胶密封低速爬行的现象。

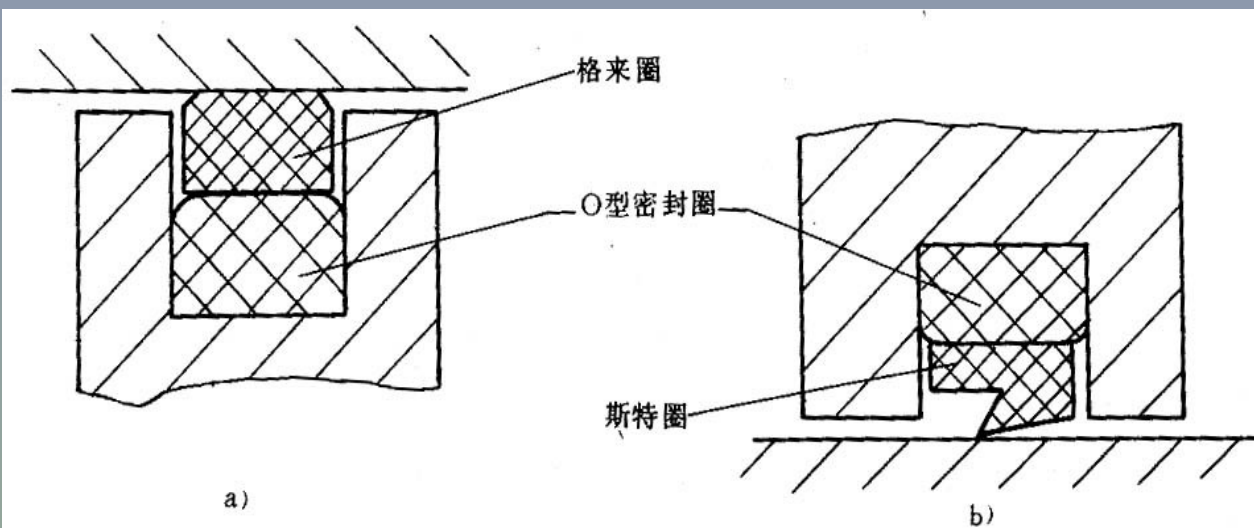


图 5-23 橡塑组合密封装置

a) 格来圈 b) 斯特圈

其使用寿命比一般的橡胶密封高百倍。因此在工程上，特别是液压缸上，日益广泛应用 52

这种组合利用了 O 形密封圈的良好弹性变形性能，通过预压缩力来将格来圈（斯特圈）紧贴在密封面上起密封作用，O 形密封圈不与密封面直接接触，不存在磨损等问题，而与密封面接触的格来圈和斯特圈为聚四氟乙烯，这种材料具有极低的摩擦系数，而且动、静摩擦系数相当接近。此外，因具有自润滑性，与金属摩擦不易粘着；启动摩擦小，不存在橡胶密封低速爬行的现象。

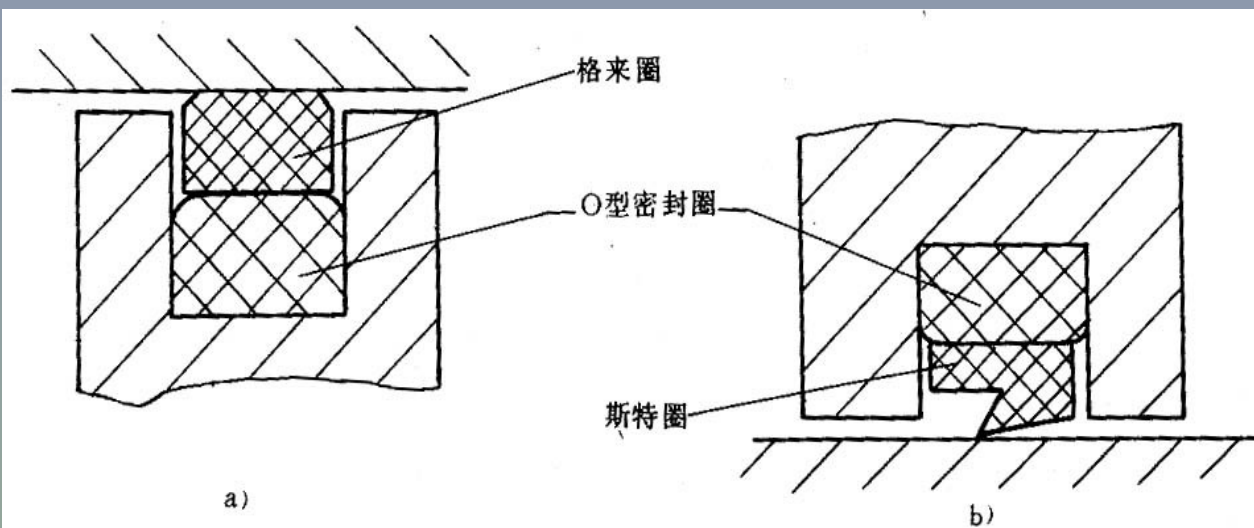


图 5-23 橡塑组合密封装置

a) 格来圈 b) 斯特圈

其使用寿命比一般的橡胶密封高百倍。因此在工程上，特别是液压缸上，日益广泛应用 53

## (6) 防尘圈密封

在液压缸的活塞杆和端盖之间除了安装密封圈外，一般还要安装防尘圈用以刮除活塞杆上的灰尘，以防止外部灰尘进入液压缸内部，防尘圈的结构和安装方式如图。

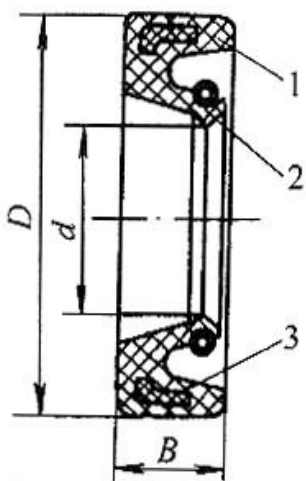


图 6-19 骨架油封

1—橡胶环 2—螺旋弹簧 3—骨架

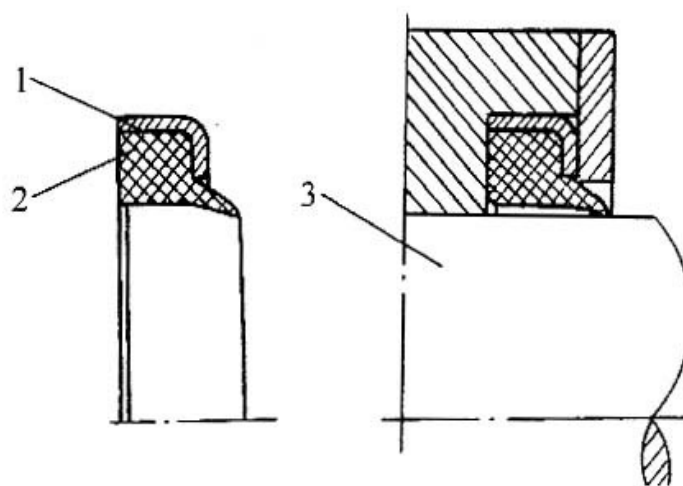


图 6-20 骨架式防尘圈

1—防尘圈 2—骨架 3—活塞杆（轴）



## 4、导向套

导向套装在液压缸的有杆侧端盖内，对活塞杆的往复运动起导向作用，内装有密封装置以保证缸体有杆侧的密封，外侧装有防尘圈，以防止活塞杆后退时把杂质、灰尘及水分带到密封装置处，损坏密封。

导向套要能够承受活塞杆由于外载荷造成的横向压力、弯曲和振动，同时它又和活塞杆表面直接接触，故必须选用摩擦系数小的耐磨材料。通常材料为铸造青铜（如 **ZQSn6-6-3**、**ZQAl9-4**），也可用塑料、聚四氟乙烯等。

导向套的外圆与内孔的同轴度应不大于 **0.03mm**，圆度和圆柱度一般不大于外径公差之半。

## 5 、 缓冲装置

当液压缸带动质量较大的部件作快速往复运动时，由于运动部件具有很大的动能，因此当活塞运动到液压缸终端时，会与端盖碰撞，而产生冲击和噪声。这种机械冲击不仅引起液压缸的相关零件的损坏，而且会引起其它相关机械的损伤。

为了防止这种危害，保证安全，应采取缓冲措施，对液压缸运动速度进行控制。

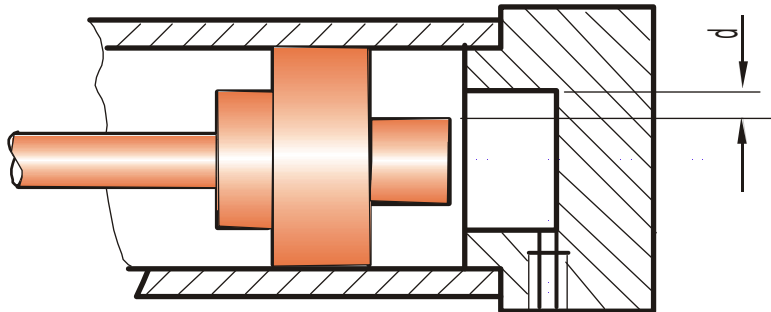


缓冲装置的工作原理是在活塞运动接近终点位置时，增大液压缸的排油阻力，使活塞运动速度降低。

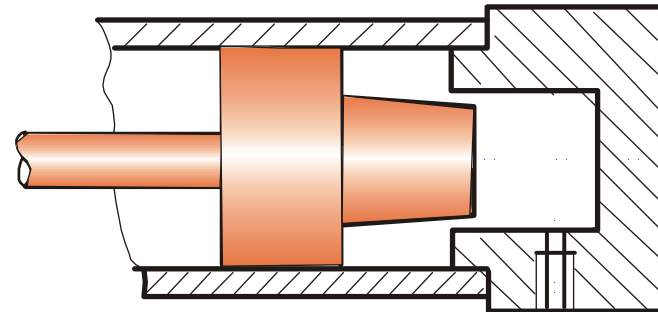
图 b 、 c 为可变节流缓冲装置，其活塞上缓冲柱塞上开有轴向三角沟槽。当缓冲柱塞进入端盖凹腔后，活塞与端盖之间的油液只能从三角沟槽流出，形成排油阻力使活塞制动，因三角沟槽的通流面积逐渐减少、排油阻力逐渐增强的，因此缓冲均匀，冲击力小，制动位置精度高。

图 d 为可调节流缓冲装置，当活塞上的凸台进入端盖凹腔后，排油只能从针形节流阀流出，调节节流阀开口可改变排油阻力。

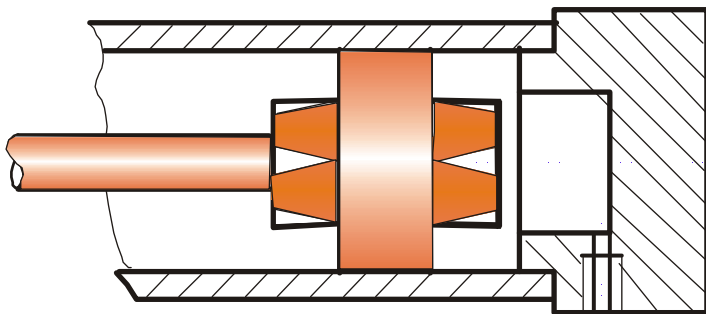
## 5、缓冲装置



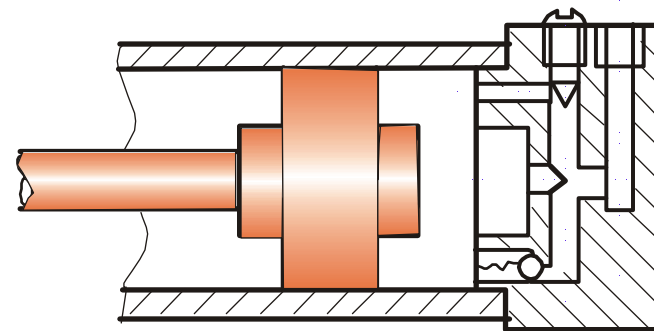
( a )



( b )



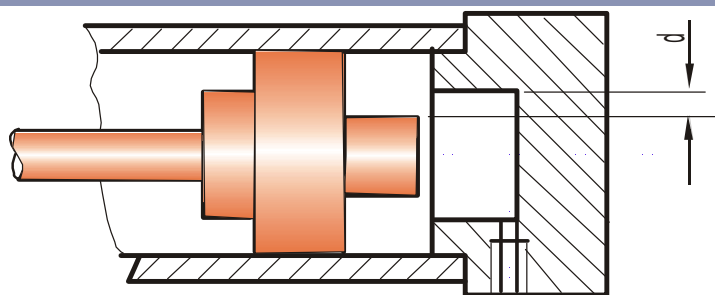
( c )



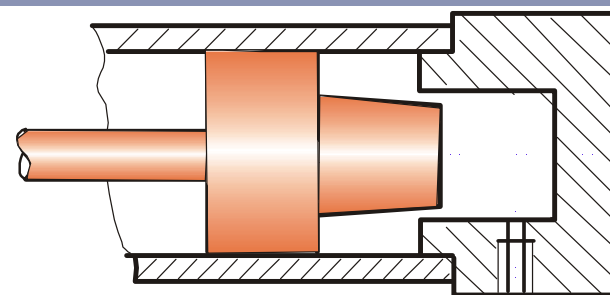
( d )

液压缸缓冲装置

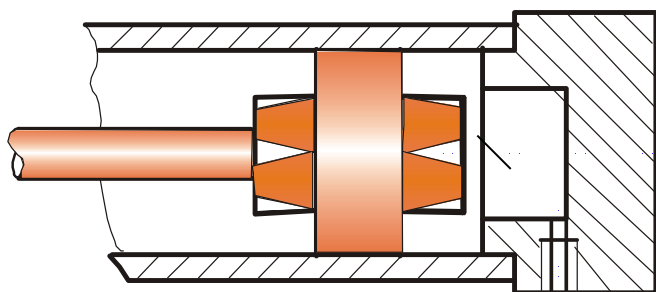
当活塞移至端部，缓冲柱塞开始插入缸端的缓冲孔时，活塞与缸端之间形成封闭空间，该腔中受困挤的剩余油液只能从节流小孔或缓冲柱塞与孔槽之间的节流环缝中挤出，从而造成背压迫使运动柱塞降速制动，实现缓冲。



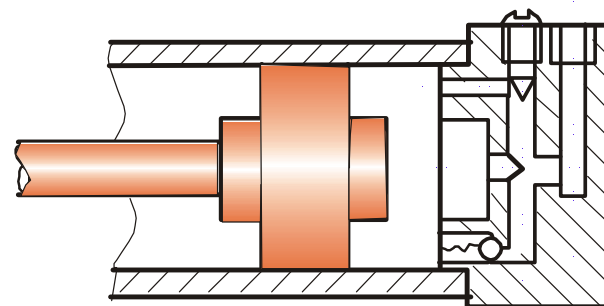
( a )



( b )



( c )



( d )

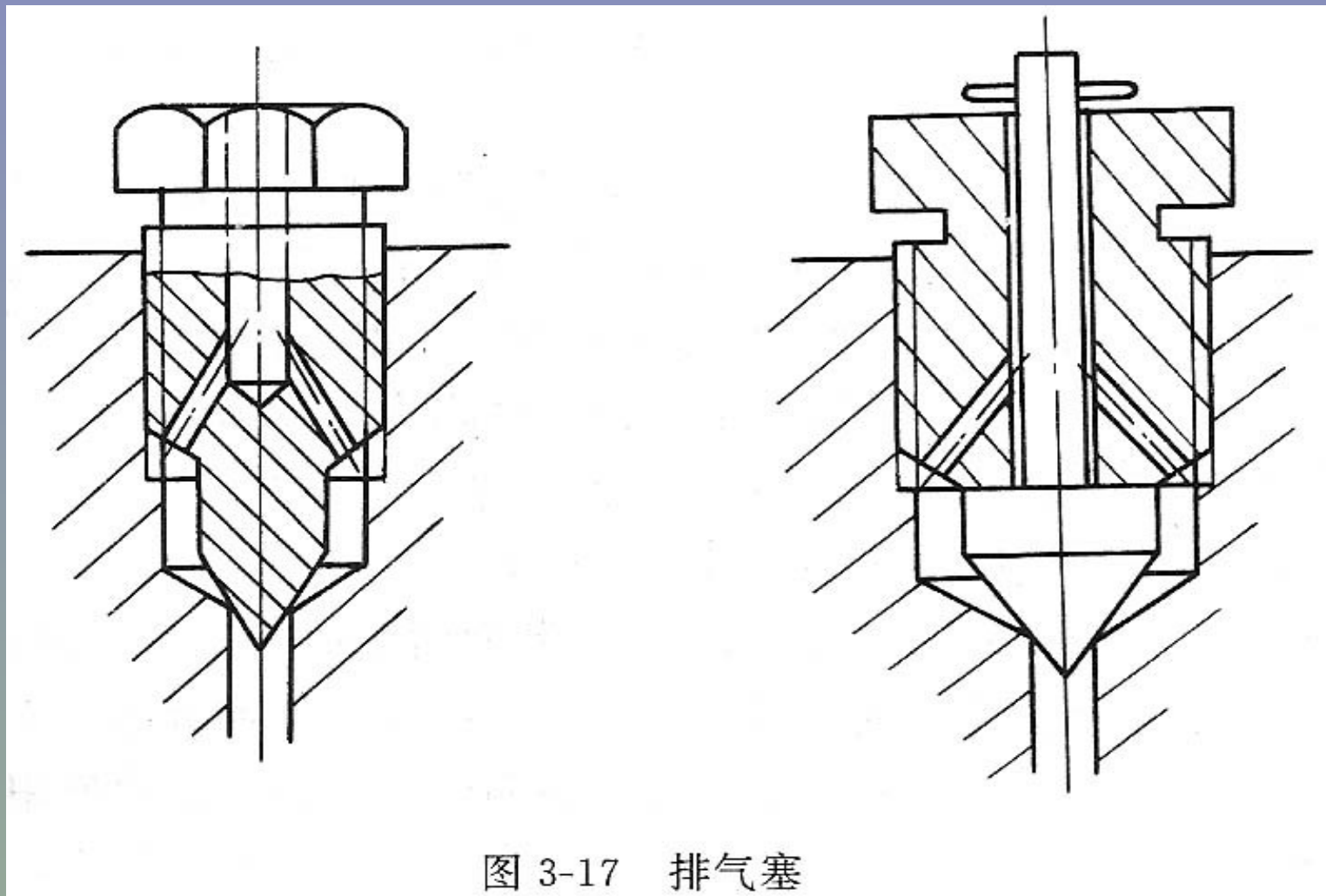
## 6、排气装置

液压传动系统往往会混入空气，使系统工作不稳定，产生振动、爬行或前冲等现象，严重时会使系统不能正常工作。

**因此，设计液压缸时，必须考虑空气的排除。**

对于速度稳定性要求较高的液压缸和大型液压缸，常在液压缸的最高处设置专门的排气装置，如排气塞、排气阀等。当松开排气塞或阀的锁紧螺钉后，低压往复运动几次，带有气泡的油液就会排出，空气排完后拧紧螺钉，液压缸便可正常。

常见的排气装置如下：



### 三、 液压缸的设计与计算

#### 液压缸的计算及验算方法

首先根据使用要求确定液压缸的类型，再按负载和运动要求确定液压缸的主要结构尺寸，必要时需进行强度验算，最后进行结构设计。

液压缸的主要尺寸包括液压缸的内径  $D$ 、缸的长度  $L$ 、活塞杆直径  $d$ 。主要根据液压缸的负载、活塞运动速度和行程等因素来确定上述参数。

## 液压缸工作压力的确定

液压缸要承受的负载包括有效工作负载、摩擦阻力和惯性力等。液压缸的工作压力按负载确定。对于不同用途的液压设备，由于工作条件不同，采用的压力范围也不同。设计时，液压缸的工作压力可按负载大小及液压设备类型来确定。

## 1、 液压缸主要尺寸的确定

液压缸内径 **D** 和活塞杆直径 **d** 可根据最大总负载和选取的工作压力来定，对单杆缸而言，有：

无杆腔进油时

$$D = \sqrt{\frac{4F_1}{\pi p_1}}$$

有杆腔进油时  
：

$$D = \sqrt{\frac{4F_2}{\pi p_1} + d^2}$$



上式中的杆径  $d$  可根据工作压力选取；当液压缸的往复速度比有一定要求时，由下式得杆径为

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

无杆腔进油时

$$D = \sqrt{\frac{4F_1}{\pi p_1}}$$

有杆腔进油时

:

$$D = \sqrt{\frac{4F_2}{\pi p_1} + d^2}$$

计算所得的液压缸内经  $D$  和活塞杆直径  $d$  应圆整为标准系列，参见《新编液压工程手册》。

液压缸的缸筒长度由活塞最大行程、活塞长度、活塞杆导向套长度、活塞杆密封长度和特殊要求的长度确定。其中活塞长度为  $(0.6-1.0) D$ ，导向套长度为  $(0.6-1.5) d$ 。为减少加工难度，一般液压缸缸筒长度不应大于内径的  $20-30$  倍。

## 2、液压缸的校核

### (1)、缸筒壁厚的验算

中、高压液压缸一般用无缝钢管做缸筒，大多属薄壁筒，即 $\delta/D \leq 0.08$ 。此时，可根据材料力学中薄壁圆筒的计算公式验算缸筒的壁厚，即

$$\delta \geq \frac{p_{\max} D}{2[\sigma]}$$

当 $\delta/D \geq 0.3$ 时，可用下式校核缸筒壁厚

$$\delta \geq \frac{D}{2} \left( \sqrt{\frac{[\sigma] + 0.4 p_{\max}}{[\sigma] - 1.3 p_{\max}}} - 1 \right)$$

当液压缸采用铸造缸筒时，壁厚由铸造工艺确定，这时应按厚壁圆筒计算公式验算壁厚。当  $\delta / D = 0.08 - 0.3$  时，可用下式校核缸筒的壁厚

$$\delta \geq \frac{p_{\max} D}{2.3[\sigma] - 3p_{\max}}$$

式中： $p_{\max}$ ——缸筒内的最高工作压力

$[\sigma]$  ——缸筒材料的许允应力

## ( 2 ) 、液压缸稳定性验算

活塞杆长度根据液压缸最大行程  $L$  而定。对于工作行程中受压的活塞杆，当活塞杆长度  $L$  与其直径  $d$  之比大于 **15** 时，应对活塞杆进行稳定性验算。

关于稳定性验算的内容可查阅液压设计手册。

# 小 结

液压缸用于实现往复直线运动和摆动，是液压系统中最广泛应用的一种液压执行元件。液压缸有时需专门设计。

## 设计液压缸的主要内容

1. 根据需要的推力计算液压缸内径及活塞杆直径等主要参数；
2. 对缸壁厚度、活塞杆直径、螺纹连接的强度及油缸的稳定性等进行必要的校核；
3. 确定各部分结构，其中包括密封装置、缸筒与缸盖的连接、活塞结构以及缸筒的固定形式等，进行工作图设计。