

# 流体力学基础知识

孔口及缝隙流动

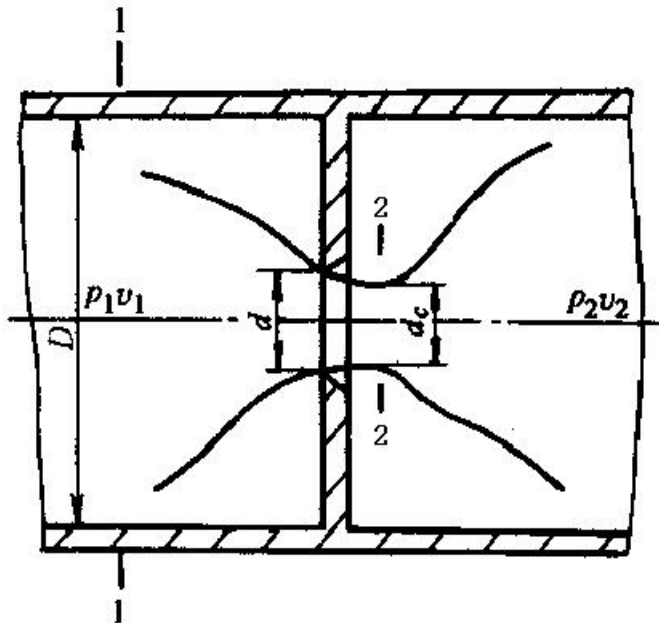
液压冲击和气穴

# 第1章 流体力学基础知识

## 1.5 孔口及缝隙的压力流量特性

### 1.5.1 孔口压力流量特性

- **薄壁小孔** 当长径比  $l/d \leq 0.5$  时称为薄壁小孔，一般孔口边缘都做成刃口形式。
  - 当液流经过管道由小孔流出时，由于液体惯性作用，使通过小孔后的液流形成一个收缩断面，然后再扩散，这一收缩和扩散过程产生很大的能量损失。对孔前、孔后通道断面1-1、2-2列伯努利方程，其中的压力损失包括突然收缩和突然扩大两项损失。



■ 经整理得到流经薄壁小孔流量

$$q = C_d A_0 (2\Delta p / \rho)^{1/2}$$

□  $A_0$ —小孔截面积；

□  $C_d$ —流量系数， $C_d = C_v C_c$

$C_v$ 称为速度系数； $C_c$ 称为截面收缩系数。流量系数  
 $C_d$ 的大小一般由实验确定，在液流完全收缩的情  
况下，当 $Re > 10^5$ 时，可以认为是不变的常数，计  
算时按 $C_d = 0.60 \sim 0.61$  选取

■ 薄壁小孔因沿程阻力损失小， $q$  对油温变化不敏感，  
因此多被用作调节流量的节流器。

## ■ 滑阀阀口

□ 滑阀阀口可视为薄壁小孔，流经阀口的流量为

$$q = C_d \pi D x_v (2\Delta p / \rho)^{1/2}$$

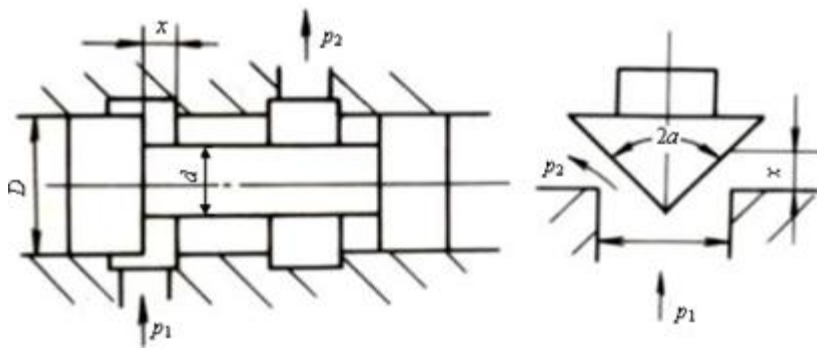
- 式中  $C_d$ —流量系数； $D$ —滑阀阀芯台肩直径； $x_v$ —阀口开度， $x_v = 2 \sim 4 \text{mm}$

## ■ 锥阀阀口

■ 锥阀阀口与薄壁小孔类似，流经阀口的流量为

$$q = C_d \pi d_m x_v \sin \alpha (2\Delta p / \rho)^{1/2}$$

- 式中  $C_d$ —流量系数； $d_m$ —阀座孔直径； $x_v$ —阀芯抬起高度； $\alpha$ —阀芯半锥角



## ■ 短孔和细长孔

- 当长径比  $0.5 < l/d \leq 4$  时，称为短孔。
  - 流经短孔的流量  $q = C_d A_0 (2\Delta p / \rho)^{1/2}$
  - $C_d$  应按曲线查得，雷诺数较大时， $C_d$  基本稳定在 0.8 左右。短管常用作固定节流器。
- 当长径比  $l/d > 4$  时，称为细长孔。
  - 流经细长孔的流量  $q = (\pi d^4 / 128 \mu l) \Delta p$   
液流经过细长孔的流量和孔前后压差成正比，和液体粘度成反比。
  - 流量受液体温度影响较大。

## ■ 通用公式

- $q = KA \Delta p^m$
- $K$ ——由孔口的形状、尺寸和液体性质决定的系数，对于细长孔， $k = d^2 / 32 \mu l$ ，对于薄壁孔和短孔  $K = C_d (2/\rho)^{1/2}$
- $m$ ——由孔口的长径比决定的指数，对于细长孔  $m=1$ ，对于短孔  $0.5 < m < 1$ ，对于薄壁孔  $m=0.5$ 。

# 第1章 流体力学基础知识

## 1.5 孔口及缝隙的压力流量特性

### 1.5.1 缝隙的压力流量特性

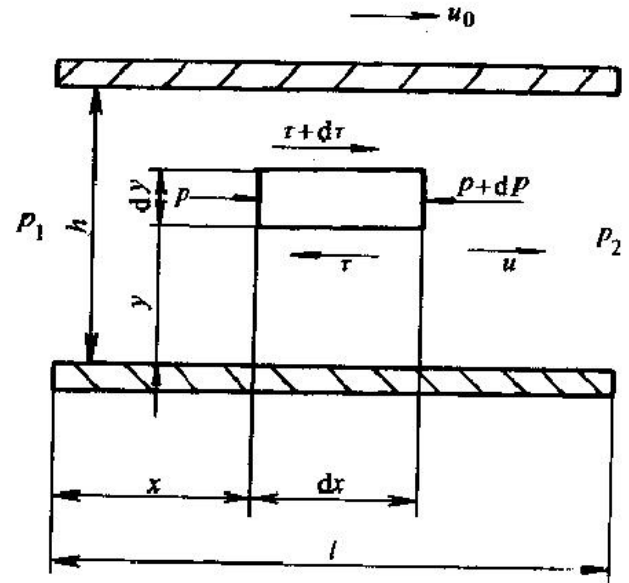
#### ■ 平板缝隙

两平行平板缝隙间充满液体时，压差作用会使液体产生流动（压差流动）；两平板相对运动也会使液体产生流动（剪切流动）。

#### ■ 通过平板缝隙的流量

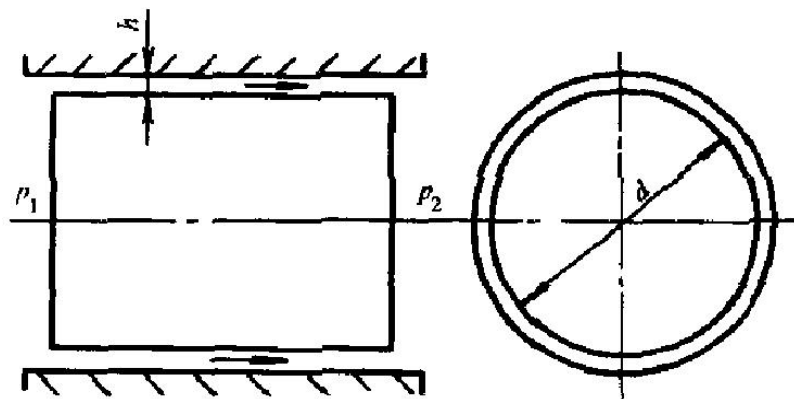
$$q = \frac{bh^3}{12\mu l} \Delta p \pm \frac{bhu_0}{2}$$

- 在压差作用下，流量 $q$ 与缝隙值 $h$ 的三次方成正比，这说明液压元件内缝隙的大小对泄漏量的影响非常大。



# 环形缝隙

■ 相对运动的圆柱体与孔之间的间隙为圆柱环形间隙。根据两者是否同心又分为同心圆柱环形间隙和偏心环形间隙。通过其间的流量也包括压差流动流量和剪切流动流量。设圆柱体直径为 $d$ ，缝隙值为 $h$ ，缝隙长度为 $l$ 。



■ 通过同心圆柱环形缝隙的流量公式：

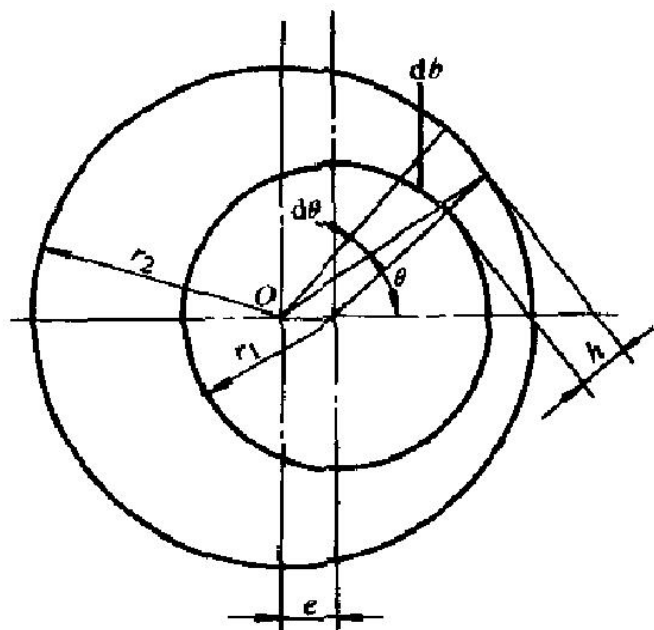
$$q = \frac{\pi d h^3}{12 \mu l} \Delta p \pm \frac{\pi d h u_0}{2}$$

当圆柱体移动方向和压差方向相同时取正号，方向相反时取负号。

# 环形缝隙

- 通过偏心圆柱环形缝隙的流量公式：

$$q = \frac{\pi d h_0^3 \Delta p}{12 \mu l} (1 + 1.5 \varepsilon^2) \pm \frac{\pi d h_0 u_0}{2}$$



$h_0$ ——内外圆同心时半径方向的缝隙值；

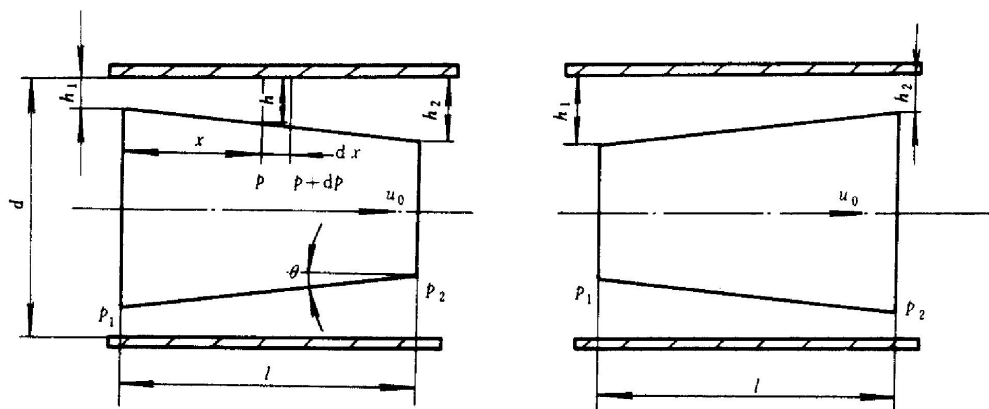
$\varepsilon$ ——相对偏心率，  $\varepsilon = e/h_0$

当圆柱体移动方向和压差方向相同时取正号，方向相反时取负号。



# 圆锥环形缝隙的流量及液压卡紧现象

- 当柱塞或柱塞孔，阀芯或阀体孔带有一定锥度时，两相对运动零件之间的间隙为圆锥环形间隙，间隙大小沿轴线方向变化。
- 阀芯大端为高压，液流由大端流向小端，称为**倒锥**，阀芯小端为高压，液流由小端流向大端，称为**顺锥**。
- 阀芯存在锥度不仅影响流经间隙的流量，而且影响缝隙中的压力分布。
- 如果阀芯在阀体孔内出现偏心，作用在阀芯一侧的压力将大于另一侧的压力，使阀芯受到一个液压侧向力的作用。



- 倒锥的液压侧向力使偏心距加大，当液压侧向力足够大时，阀芯将紧贴孔的壁面，产生所谓**液压卡紧现象**；而顺锥的液压侧向力则力图使偏心距减小，不会出现液压卡紧现象。

- 为减少液压侧向力，一般在阀芯或柱塞的圆柱面开径向**均压槽**，使槽内液体压力在圆周方向处处相等，槽深和宽为**0.3~1.0mm**。



# 第1章 流体力学基础知识

## 1.6 液压冲击和气穴现象

### 1.6.1 液压冲击

- 液压冲击——因某些原因液体压力在一瞬间会突然升高，产生很高的压力峰值，这种现象称为液压冲击。瞬间压力冲击不仅引起振动和噪声，而且会损坏密封装置、管道、元件，造成设备事故。
- 液压冲击的类型
  - 管道阀门突然关闭时的液压冲击
  - 运动部件制动时产生的液压冲击

# 第1章 流体力学基础知识

## 1.6 液压冲击和气穴现象

### 1.6.1 液压冲击

#### 1. 升压过程

$$0 \sim t = 0 \sim \frac{l}{C}$$

#### 2. 压强恢复过程

$$\frac{l}{C} \sim t = \frac{l}{C} \sim \frac{2l}{C}$$

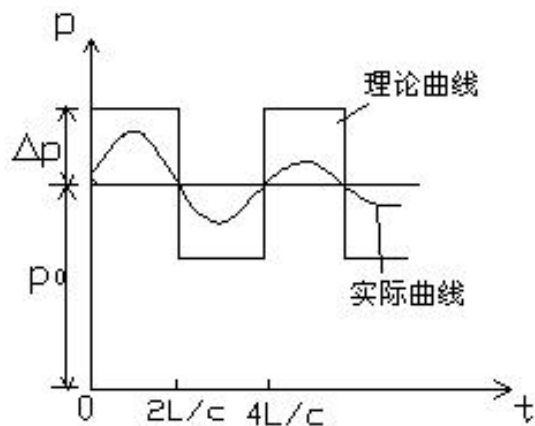
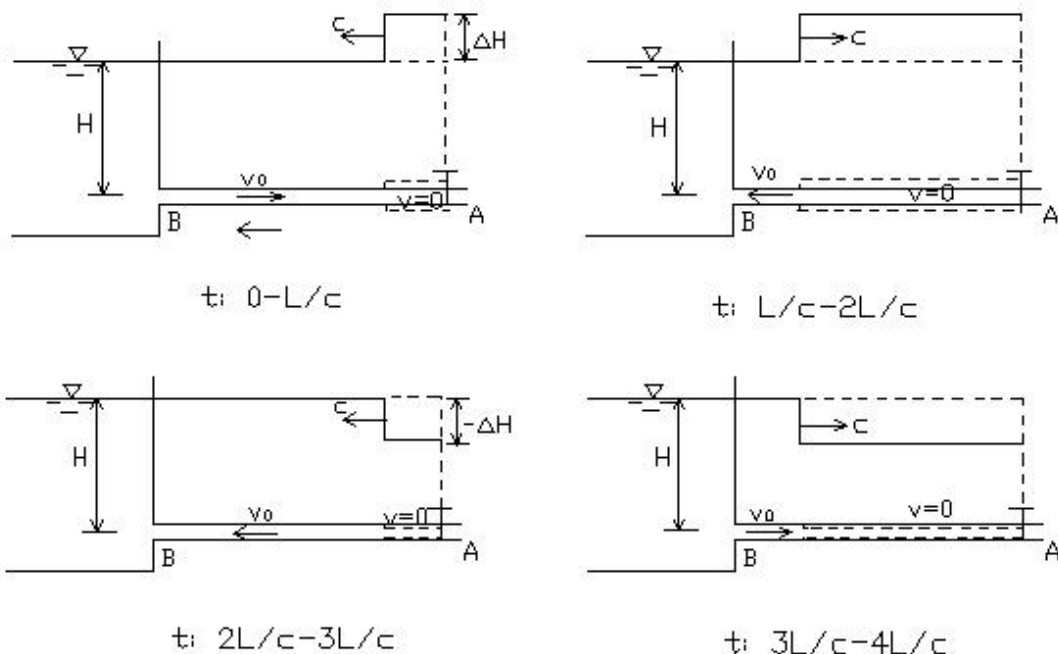
#### 3. 压强降低过程

$$\frac{2l}{C} \sim t = \frac{2l}{C} \sim \frac{3l}{C}$$

#### 4. 压强恢复过程

$$\frac{3l}{C} \sim t = \frac{3l}{C} \sim \frac{4l}{C}$$

阀门A处压强随时间的变化规律:



## ■ 减少液压冲击的措施：

- 延长阀门关闭和运动部件制动换向的时间。
- 限制管道流速及运动部件的速度。
- 适当增大管径，以减小冲击波的传播速度。
- 尽量缩短管道长度，减小压力波的传播时间。
- 用橡胶软管或设置蓄能器吸收冲击的能量。

# 第1章 流体力学基础知识

## 1.6 液压冲击和气穴现象

### 1.6.2 气穴现象

#### 气穴现象

- 液压系统某点压力低于液压油的空气分离压时，原先溶于液体中的空气会分离出来，产生大量的气泡，这种现象称为气穴现象。
- 当压力进一步减小低于液体的饱和蒸汽压时，液体将迅速汽化，产生大量蒸汽气泡，使气穴现象更加严重。

#### 气穴现象的危害

- 大量气泡会造成流量和压力不稳定，进入高压区会使气泡迅速崩溃，产生非常高的温度和冲击压力，引起振动和噪声；
- 当附着在金属表面的气泡破灭时，局部产生的高温和高压会使金属表面疲劳，造成金属表面侵蚀、剥落，这种气蚀作用会缩短元件的使用寿命，严重时会造成故障。

## ■ 减少气穴现象的措施

- (1) 减小阀孔或其它元件通道前后的压力降。
- (2) 尽量降低液压泵的吸油高度。
- (3) 管路要有良好的密封，防止空气进入。
- (4) 提高液压零件的抗气蚀能力。