



## 1.7 小结

### (1) 测速管（皮托管）

内管——冲压能；外管——静压能

$$u = \sqrt{\frac{2Rg(\rho_0 - \rho)}{\rho}} \quad \text{——点速度}$$

### (2) 孔板流量计

$$q_v = u_0 A_0 = C_0 A_0 \sqrt{\frac{2Rg(\rho_0 - \rho)}{\rho}}$$

$$C_0 = f\left(\text{Re}_d, \frac{A_0}{A_1}\right) \xrightarrow{\text{Re} > \text{Re}_c} C_0 = f\left(\frac{A_0}{A_1}\right)$$

一般  $C_0 = 0.6 \sim 0.7$

- 特点：恒截面、变压差——差压式流量计

### (3) 文丘里流量计

结构：从锐孔变为渐缩渐扩管 ( $W_f \downarrow$ )

从  $C_v$  代替  $C_0$  计算流量，此时  $C_v > C_0$ 。

### (4) 转子流量计

$$q_v = C_R A_R \sqrt{\frac{2(\rho_f - \rho) V_f g}{\rho A_f}}$$

- 特点：恒压差、变截面——截面式流量计

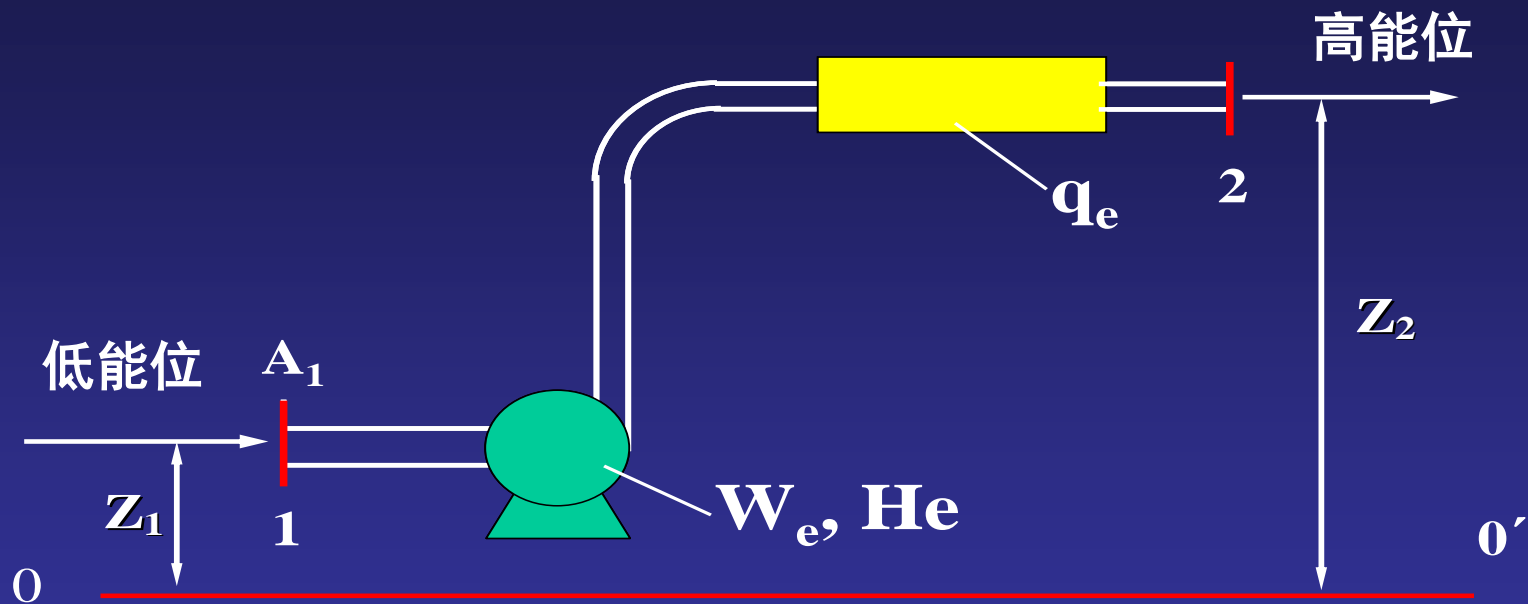
有刻度换算问题

(恒环隙流速、恒能量损失)

各种流量计的安装及使用、优缺点

孔板流量计	转子流量计
差压式流量计	截面式压差计
恒截面、变压差	恒压差、变截面
$q_v = C_o A_o \sqrt{\frac{2Rg(\rho_o - \rho)}{\rho}}$	$q_v = C_R A_R \sqrt{\frac{2(\rho_f - \rho)V_f g}{\rho A_f}}$
能量损失大	有刻度换算问题
<div>↓</div> <p>文丘里流量计</p>	<div>↓</div> $\frac{q_{v2}}{q_{v1}} = \sqrt{\frac{\rho_1(\rho_f - \rho_2)}{\rho_2(\rho_f - \rho_1)}}$

## 1.8 流体输送机械



流体输送机械: 向流体做功以提高流体机械能的装置。

## ● 流体输送机械的作用

供料点  $\longrightarrow$  需料点

$$w_e = g\Delta z + \frac{\Delta p}{\rho} + \frac{\Delta u^2}{2} + \Sigma w_f \quad [\text{J/kg}]$$

$$He = \Delta z + \frac{\Delta p}{\rho g} + \frac{\Delta u^2}{2g} + \Sigma h_f \quad [\text{m}]$$

对流体做功,  $\uparrow$  流体能量  $\longrightarrow$

$$\left\{ \begin{array}{l} \uparrow g\Delta z, \Delta z \\ \uparrow \frac{\Delta p}{\rho}, \frac{\Delta p}{\rho g} \\ \uparrow \frac{\Delta u^2}{2}, \frac{\Delta u^2}{2g} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{克服能量/压头损失} \end{array}$$

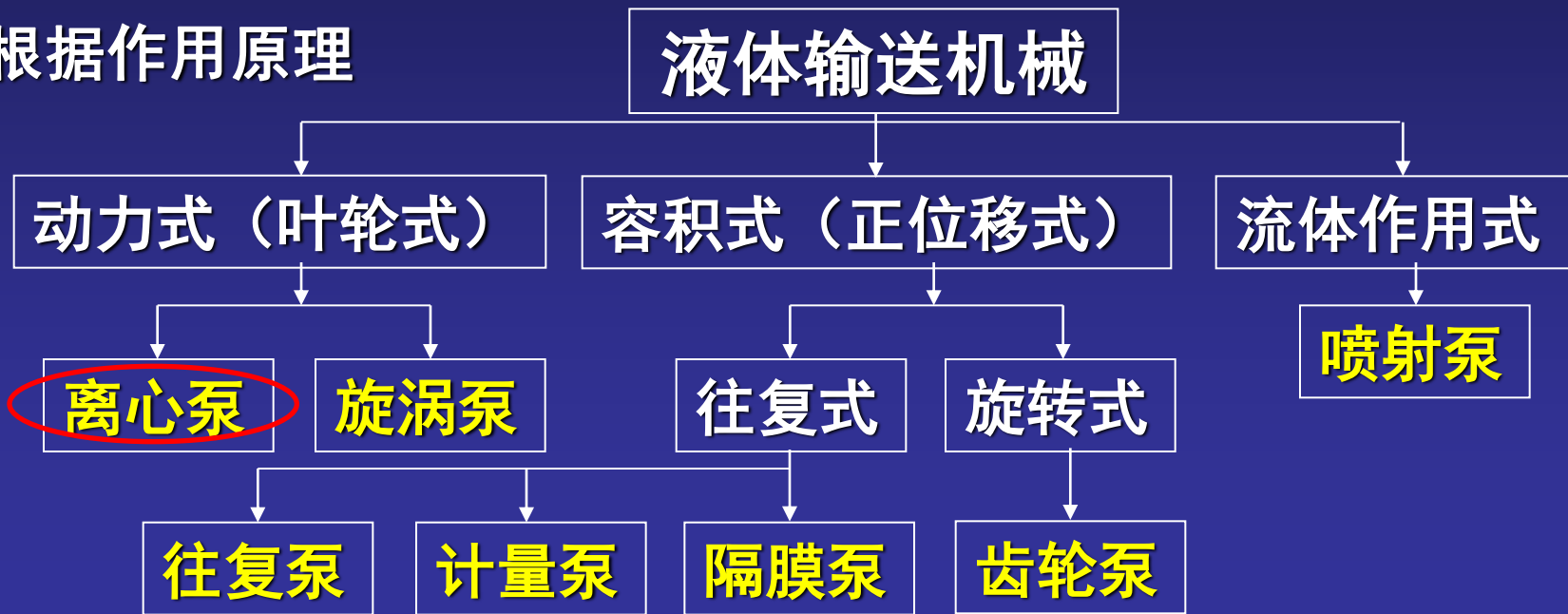
## ● 流体输送机械的分类

- 按输送的介质：

液体 → 泵

气体 → 风机、压缩机

- 根据作用原理



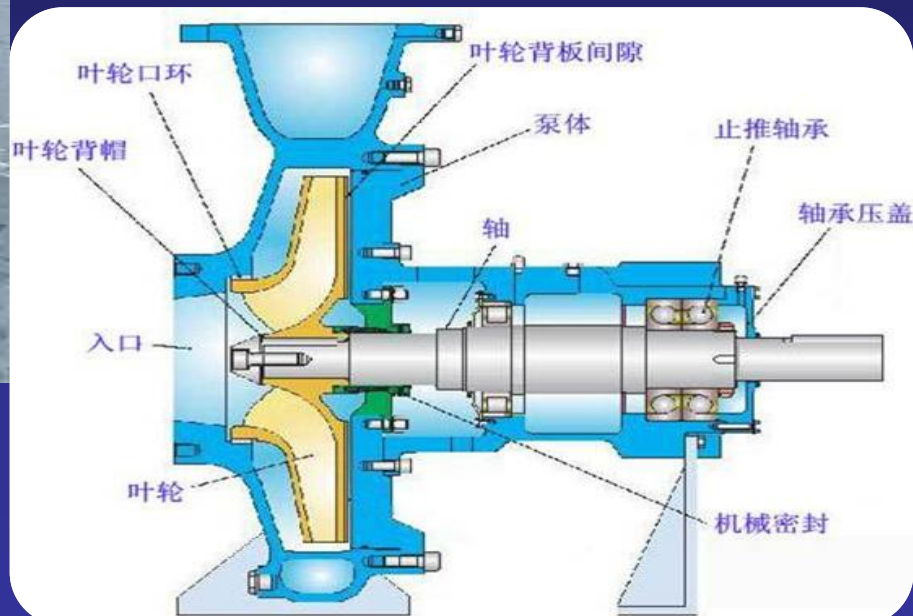
# 离心泵

---

- ★ ● 离心泵的基本结构和工作原理
- ★ ● 离心泵的性能参数与特性曲线
- ★ ● 离心泵的工作点和流量调节
- 离心泵的安装高度
- 离心泵的类型、选用、安装与操作

# 1.8.1 离心泵的基本结构和工作原理

## ● 离心泵的基本结构





## ● 离心泵的主要部件

### (1) 叶轮——叶片+（盖板）

叶轮是离心泵对流体做功的部件



闭式叶轮

前盖板



半开式叶轮

后盖板

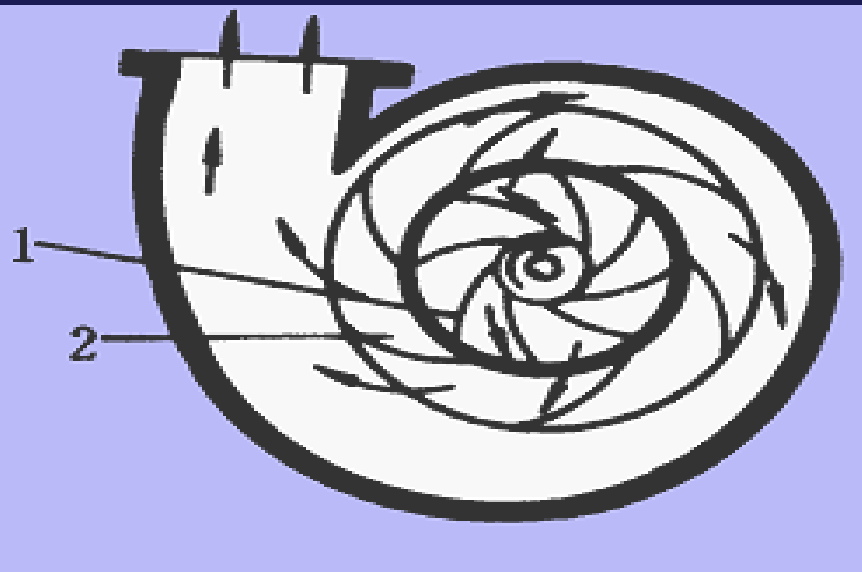
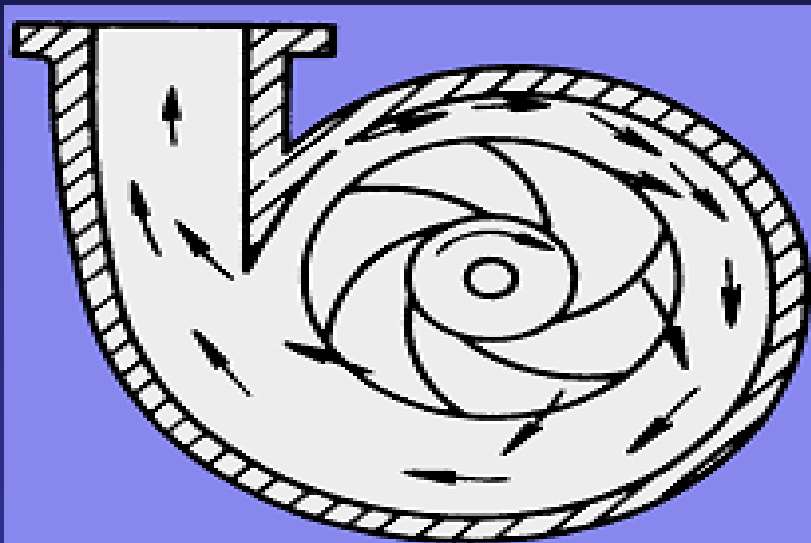


开式叶轮

无盖板

## ● 离心泵的主要部件

### (2) 泵壳（蜗壳）



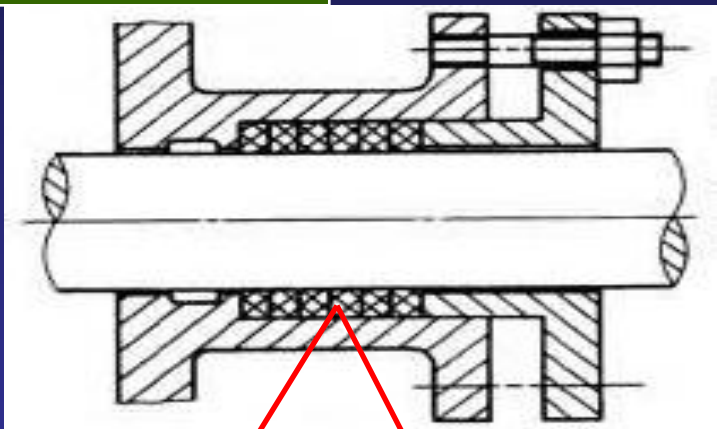
泵壳不仅能收集和导出液体，同时又是能量转换装置。



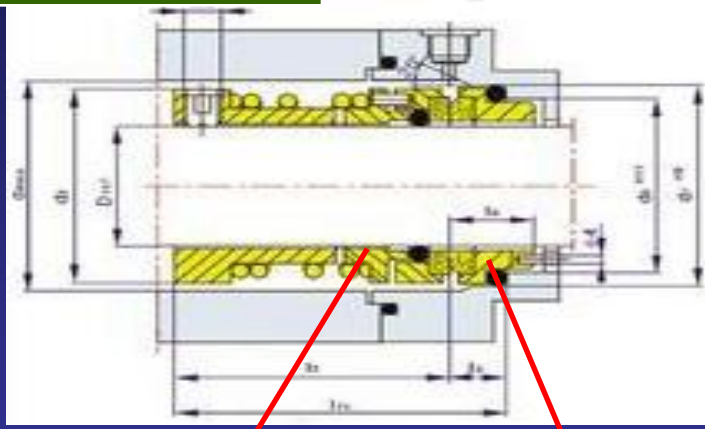
## ● 离心泵的主要部件

**(3) 轴封：防止转动轴与静止的泵体之间液体的泄漏。**

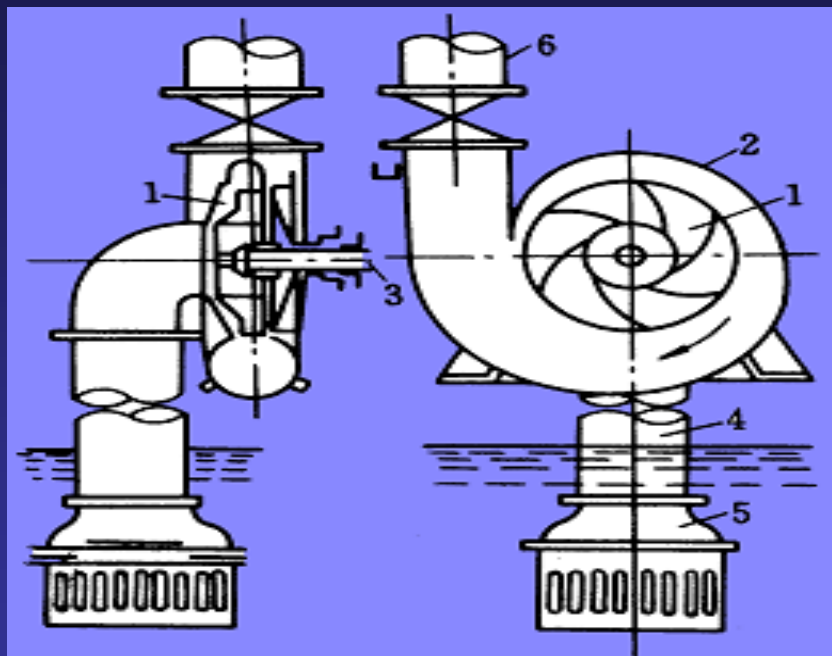
# 填料密封



# 机械密封



## ● 输送液体原理

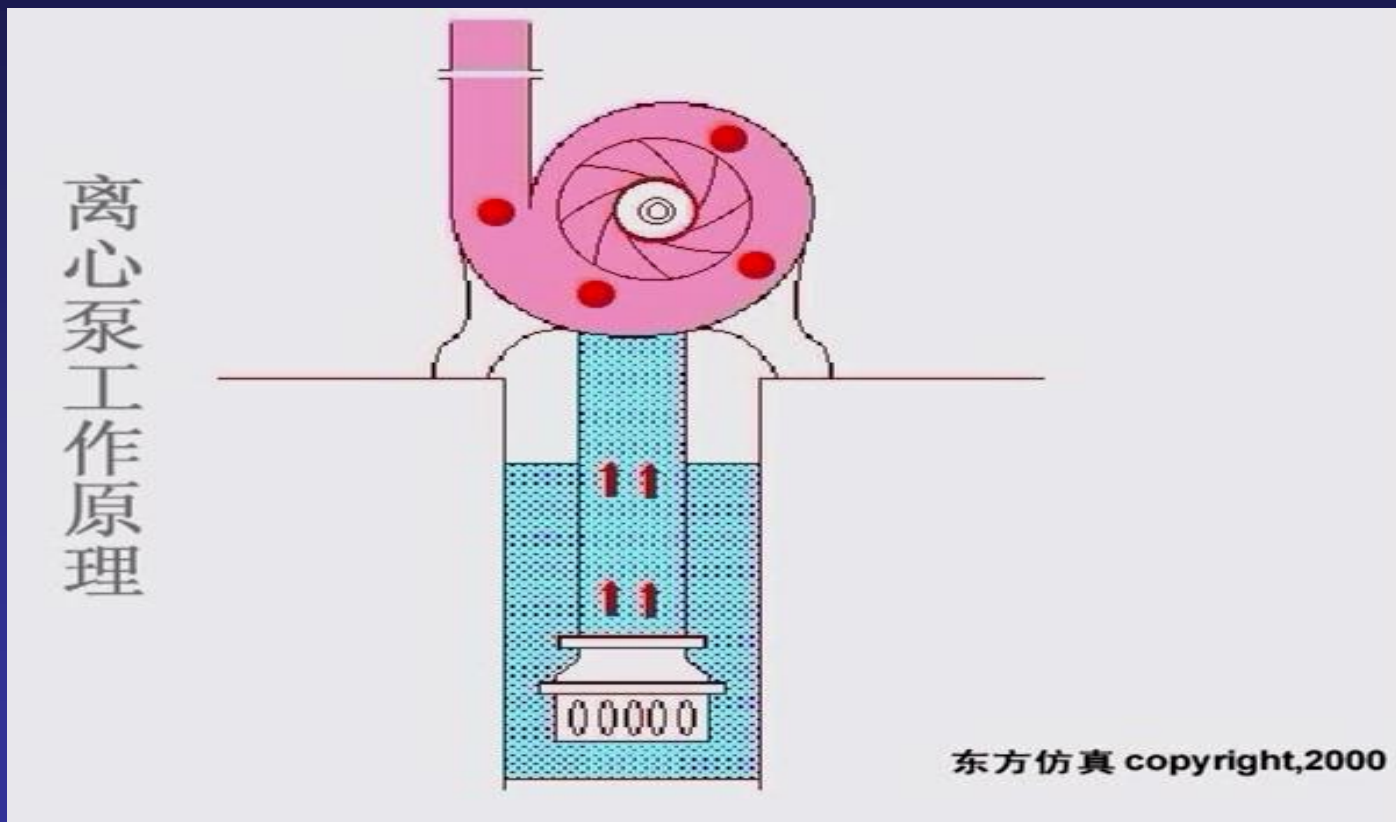


离心泵装置简图

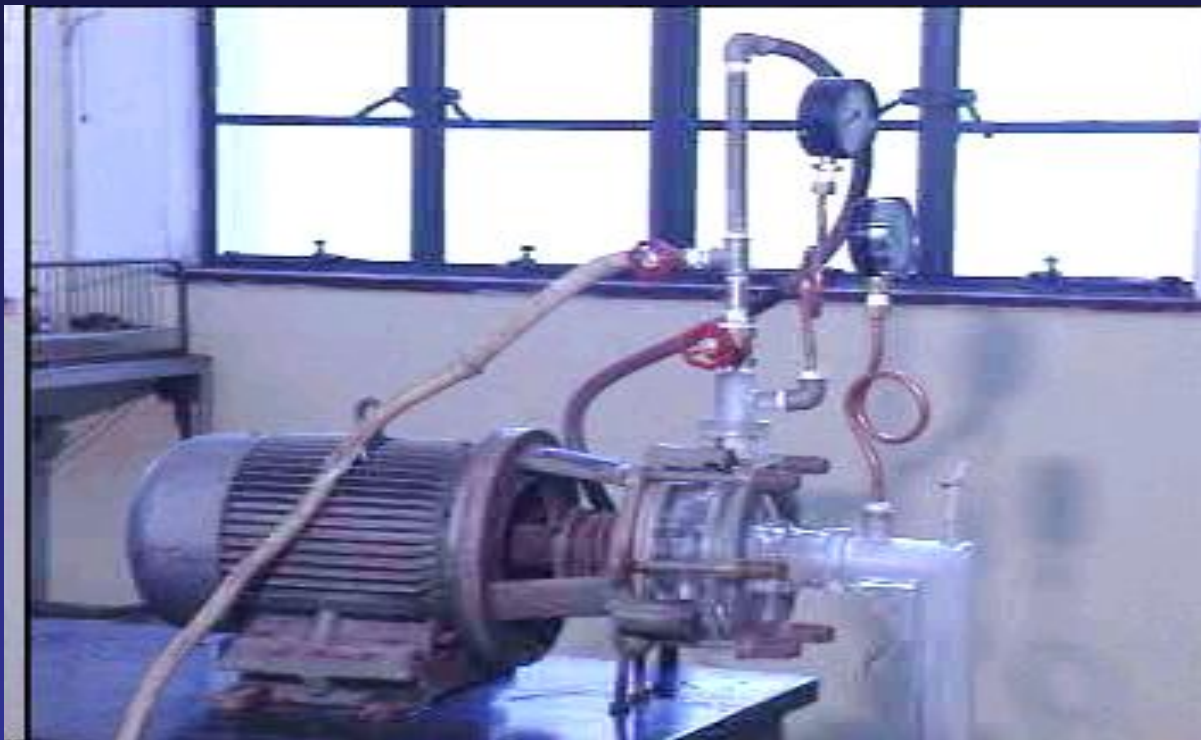
1-叶轮；2-泵壳；3-泵轴

4-吸入管；5-底阀；6-压出管

## ● 输送液体原理



## ● 气缚现象



防止气缚现象的措施：

- (1) 启动前，**灌泵排气**；
- (2) 运转时，**防止空气进入离心泵的吸入管**；



## 1.8.2 离心泵的性能参数与特性曲线

### ● 主要性能参数

#### (1) (体积)流量 $Q$

单位时间泵所输送的液体体积,  $[\text{m}^3/\text{s}]$ ,  $[\text{m}^3/\text{min}]$ 或 $[\text{m}^3/\text{hr}]$ ;

#### (2) 压头(扬程) $H$

单位重量 (1N) 流体流经泵所获得的能量,  $[\text{m}]$ ;

当离心泵的结构确定时,  $H=f(n, Q)$ ;

**扬程与升扬高度的区别?**

#### (3) (轴)功率 $N$

轴功率 $N$ : 电动机传给泵轴的功率,  $[\text{W}]$

有效功率 $N_e$ : 单位时间内液体从离心泵叶轮获得的能量,  $[\text{W}]$

$$N_e = q_m w_e = \rho Q g H_e \quad [\text{W}]$$



## ● 主要性能参数

### (4) 效率 $\eta$

$N_e < N$ ,  $\eta = \frac{N_e}{N}$  —— 衡量泵工作时机械能损失的相对大小

一般约为  $\eta = 0.5 \sim 0.7$ , 大型泵  $\eta = 0.9$

### 功率损失原因有三种：

- (1) 水力损失：泵内流体流动的摩擦损失。
- (2) 容积损失：高压液体泄漏到低压区造成的损失。
- (3) 机械损失：泵轴与密封以及轴承等处的机械摩擦造成的损失。



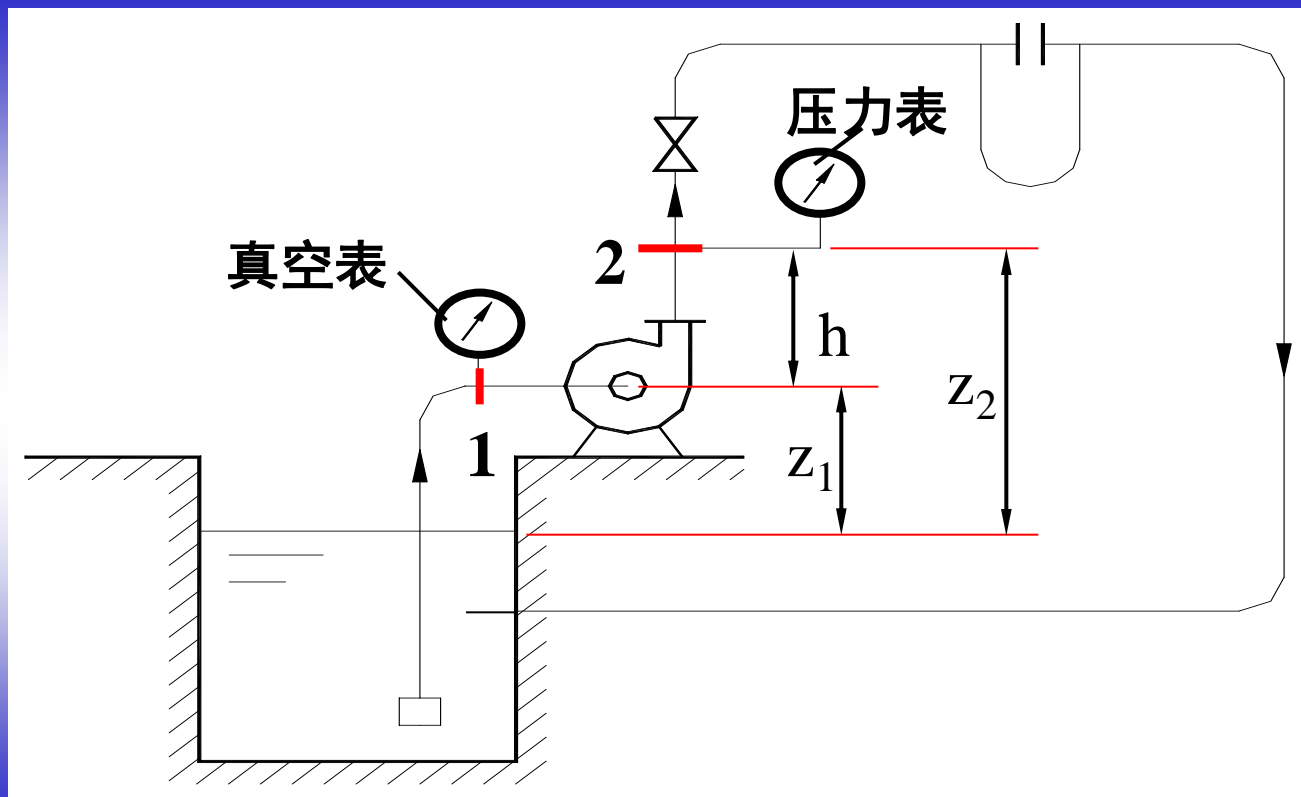
## ● 离心泵的特性曲线

离心泵的 $H$ 、 $N$ 、 $\eta$ 与 $Q$ 之间的关系曲线，称为离心泵特性曲线。

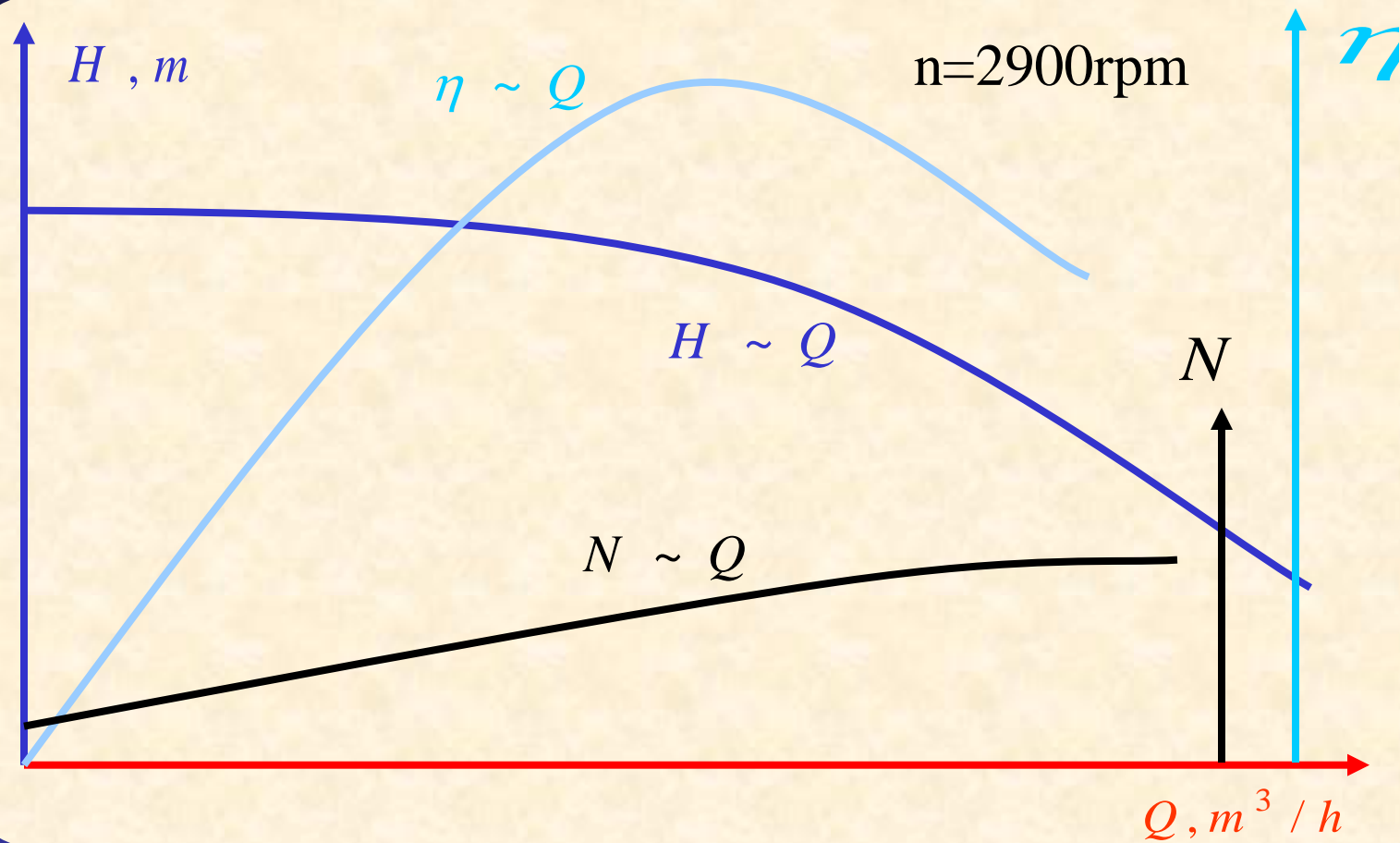


1 关出口阀； 2 灌泵； 3 排气； 4 压力表读数↓ 5 真空表读数↑

## ● 离心泵的特性曲线



## 离心泵的特性曲线



离心泵特性曲线

说明:

①  $H \sim Q$  曲线,  $Q \uparrow$ ,  $H \downarrow$ 。

②  $N \sim Q$  曲线:  $Q \uparrow$ ,  $N \uparrow$ 。

大流量  $\rightarrow$  大电机

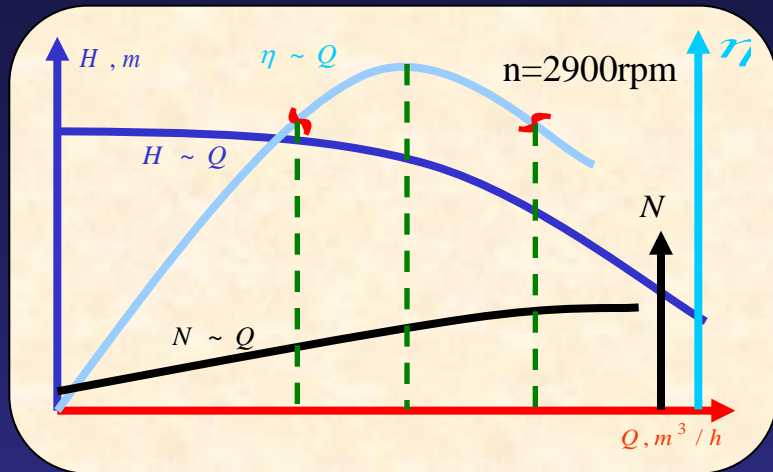
关闭出口阀启动泵, 启动电流最小

③  $\eta \sim Q$  曲线: 小  $Q \uparrow$ ,  $\eta \uparrow$ ; 大  $Q \uparrow$ ,  $\eta \downarrow$ 。  $\rightarrow \eta_{\max}$

泵的铭牌~与  $\eta_{\max}$  对应的性能参数

选型时  $\rightarrow \eta_{\max}$

使用时  $\rightarrow \geq 92\% \eta_{\max} \rightarrow$  高效区工作;



## ● 离心泵的特性曲线的影响因素

### (1) 流体的性质

密度:  $H \sim Q$  及  $\eta \sim Q$  与  $\rho$  无关;  $\rho \uparrow, (N, N_e) \uparrow N \sim Q \uparrow$

粘度:  $\mu \uparrow, H \sim Q$  及  $\eta \sim Q \downarrow; N \uparrow N \sim Q \uparrow$

工作流体  $\sim 20^\circ\text{C}$  水差别大  $\rightarrow$  参数和曲线变化

### (2) 转速——比例定律 ( $n \pm 20\%$ 以内)

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{n_2}{n_1} \quad \frac{H_2}{H_1} = \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^2 \quad \frac{N_2}{N_1} = \left( \frac{n_2}{n_1} \right)^3$$

### (3) 叶轮直径——切割定律 ( $D - 5\%$ 以内)

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{D_2}{D_1} \quad \frac{H_2}{H_1} = \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^2 \quad \frac{N_2}{N_1} = \left( \frac{D_2}{D_1} \right)^3$$

## 1.8.3 离心泵的工作点与流量调节

问题：离心泵工作时， $Q, H, N, \eta=?$

### ● 管路特性曲线

在特定的管路系统中，输液量与所需压头的关系。

$$\text{外加压头 } H_e = \Delta z + \frac{\Delta p}{\rho g} + \frac{\Delta u^2}{2g} + \Sigma h_f$$

于是  $H_e = A + f(Q)$

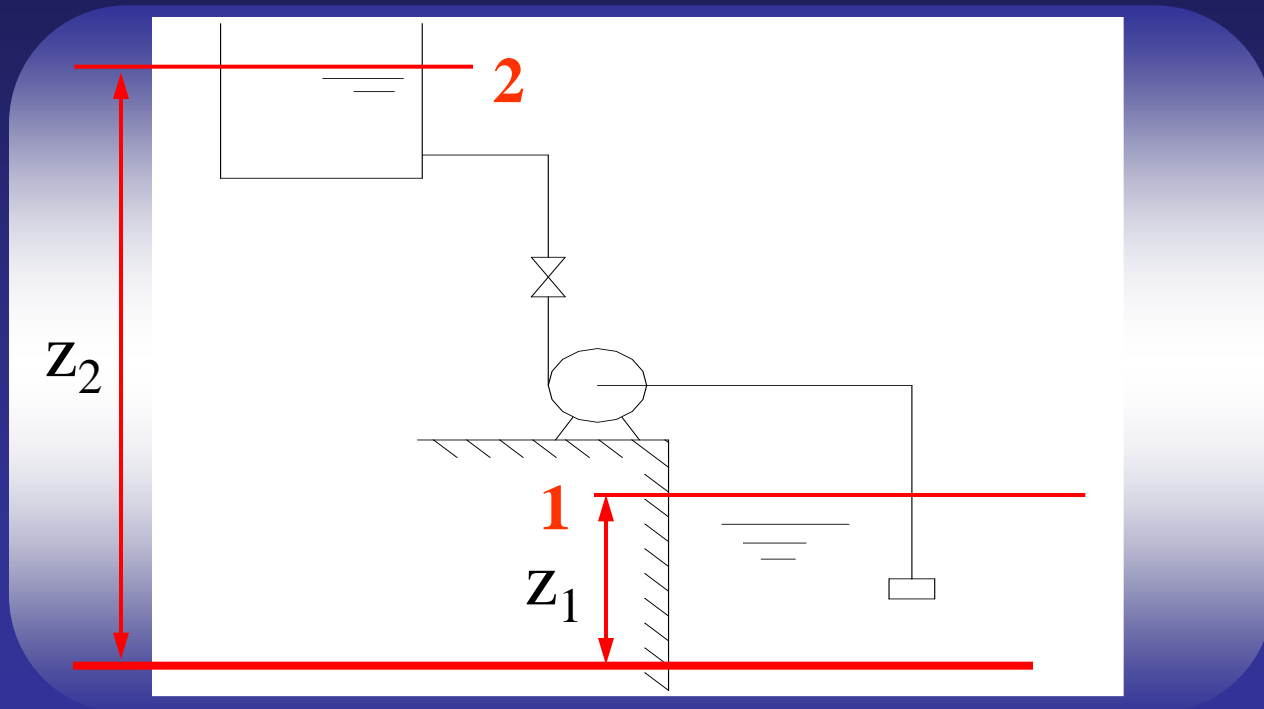
——管路特性方程(曲线)

其中， $A = \Delta z + \frac{\Delta p}{\rho g}$



## ● 管路特性曲线

示例 已知：等径管路，流动处于完全湍流区。  
确定管路特性曲线。



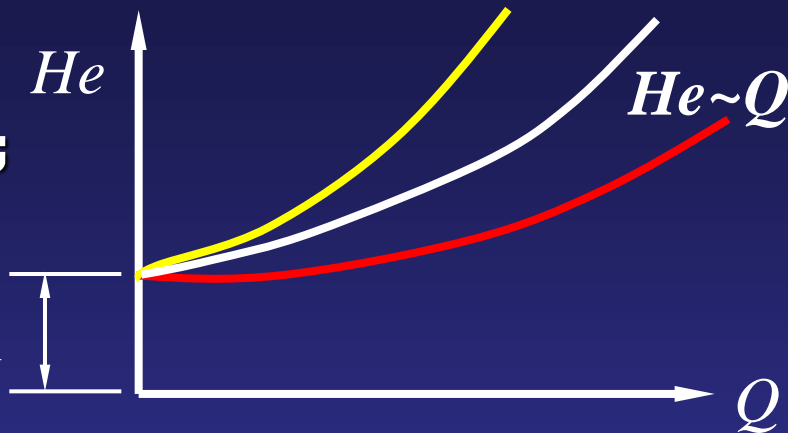
## ● 管路特性曲线

说明:

①  $A = \Delta z + \frac{\Delta p}{\rho g}$  曲线在H轴上截距;

管路所需最小外加压头

② 管路特性曲线与流动状态有关。



- 阻力平方区,  $\lambda$  与  $Q$  无关
- 等径管路或忽略动能差

$\rightarrow He = A + kQ^2$

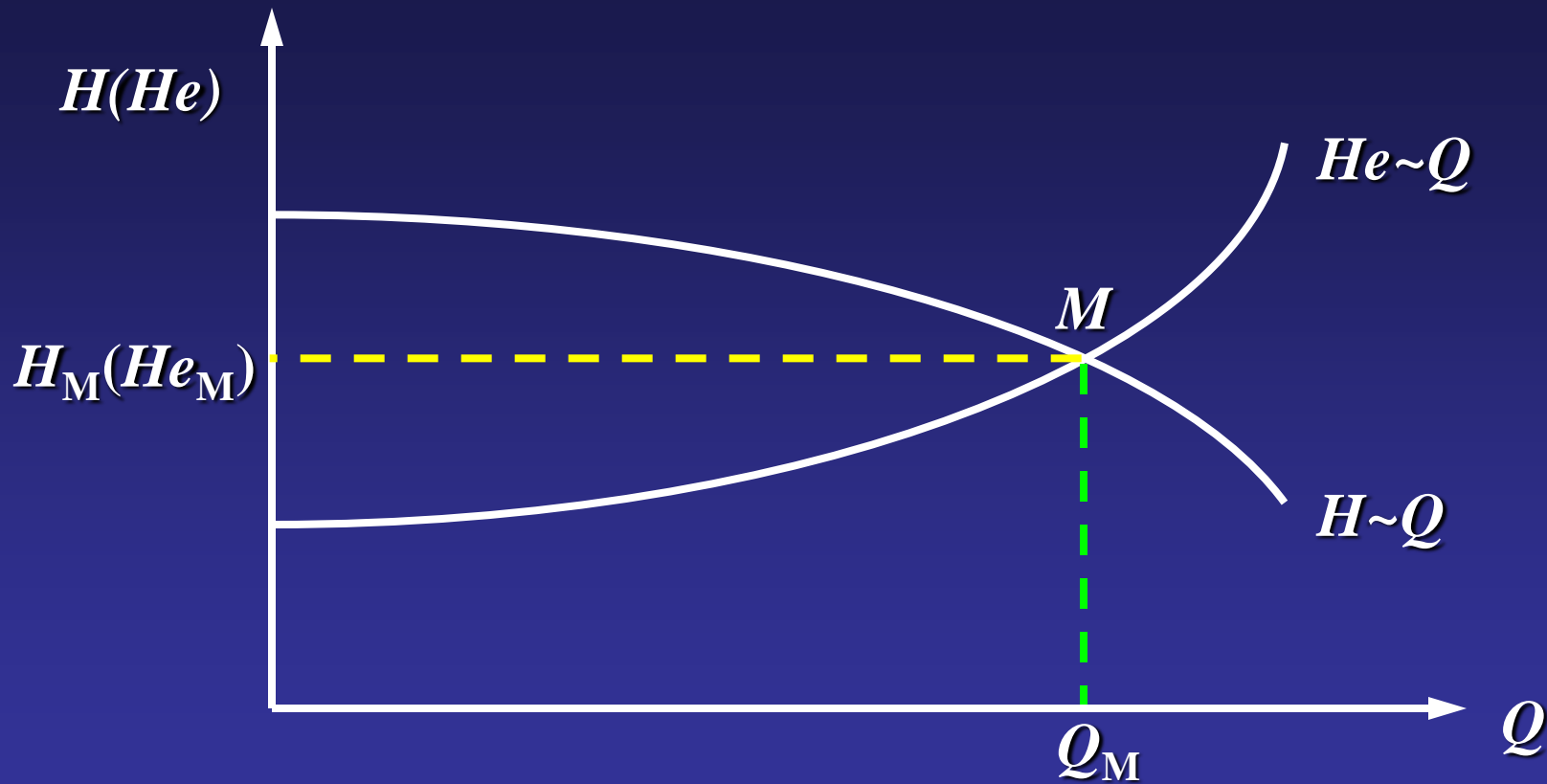
其中  $k = \frac{8\lambda}{\pi^2 g} \frac{l + \sum l_e}{d^5}$

管路特性系数

③ 高阻管路, 曲线较陡;  
低阻管路, 曲线较平缓。



## ● 离心泵的工作点



离心泵的特性曲线与管路特性曲线的交点为离心泵的工作点

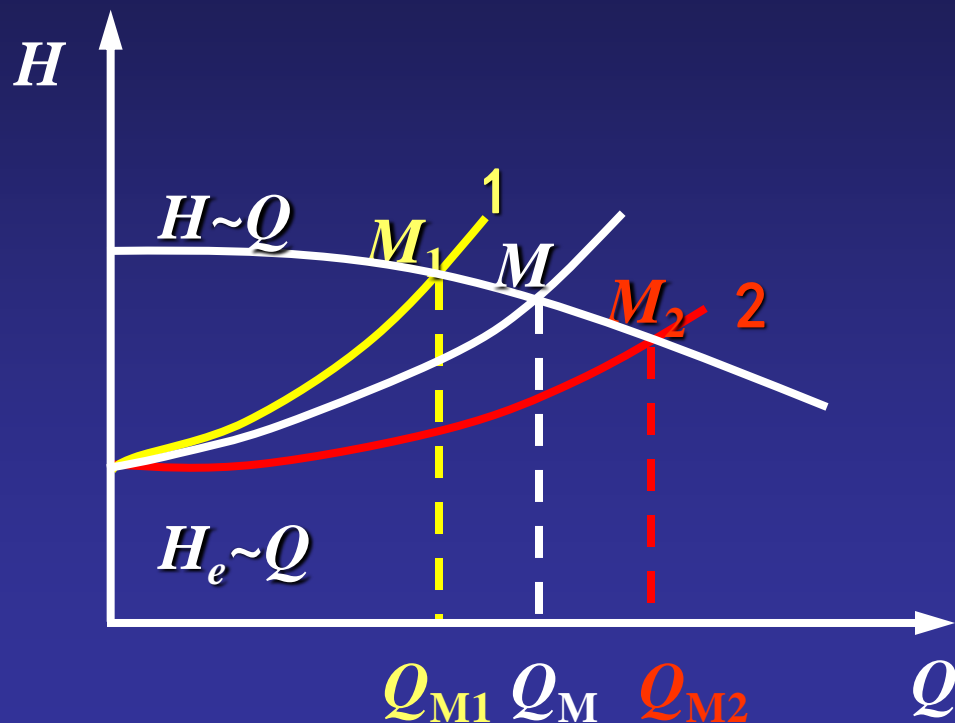
## ● 流量调节

流量调节实质上就是改变泵的工作点。

### (1) 改变阀门开度

★ 关小出口阀  $\rightarrow \Sigma l_e \uparrow$   
 $\rightarrow$  管路特性曲线变陡  
 $\rightarrow$  工作点左上移  
 $\rightarrow H \uparrow, Q \downarrow$

★ 开大出口阀  $\rightarrow \Sigma l_e \downarrow$   
 $\rightarrow$  管路特性曲线变缓  
 $\rightarrow$  工作点右下移  
 $\rightarrow H \downarrow, Q \uparrow$



## ● 流量调节

### (2) 改变叶轮转速

★  $n \uparrow \rightarrow$  泵  $H \sim Q$  曲线上移

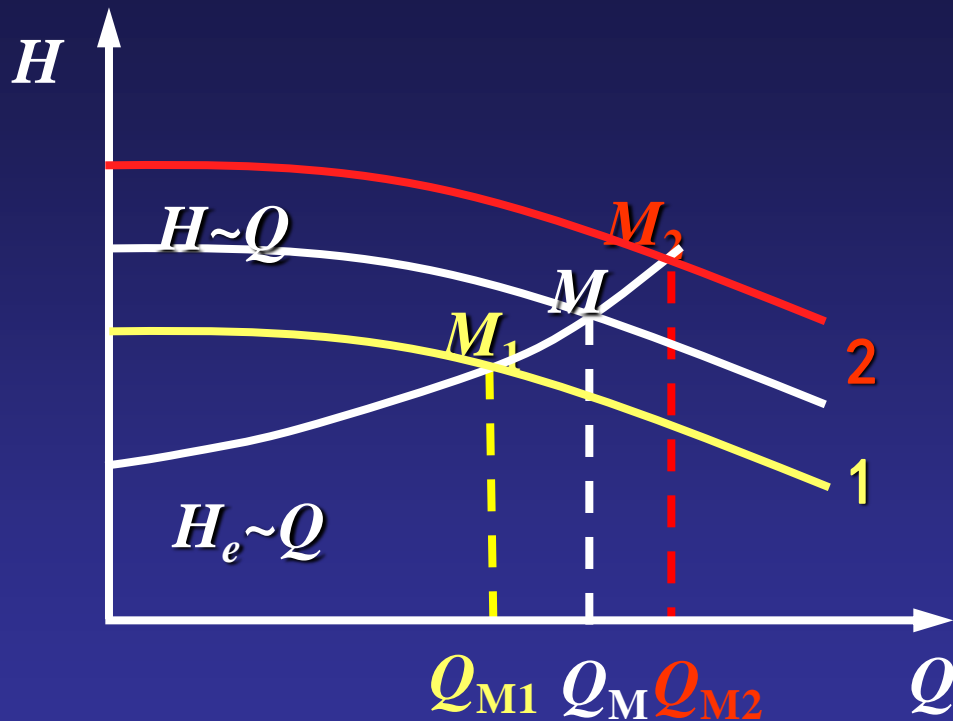
$\rightarrow$  工作点右上移,

$\rightarrow H \uparrow, Q \uparrow$

★  $n \downarrow \rightarrow$  泵  $H \sim Q$  曲线下移

$\rightarrow$  工作点左下移,

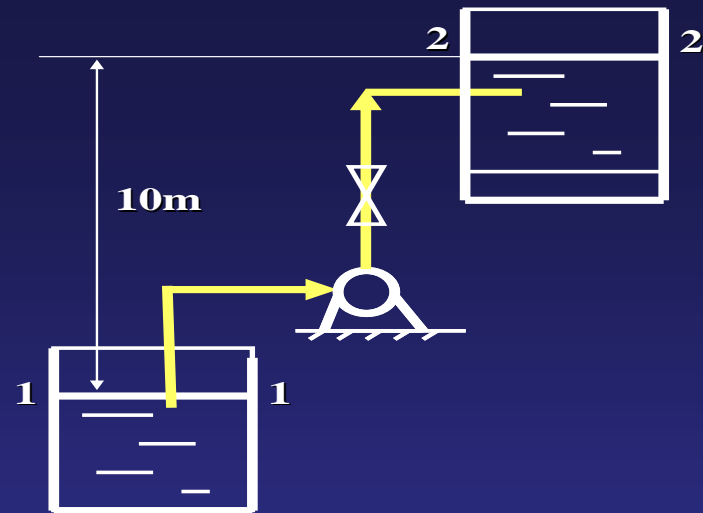
$\rightarrow H \downarrow, Q \downarrow$



### (3) 车削叶轮直径

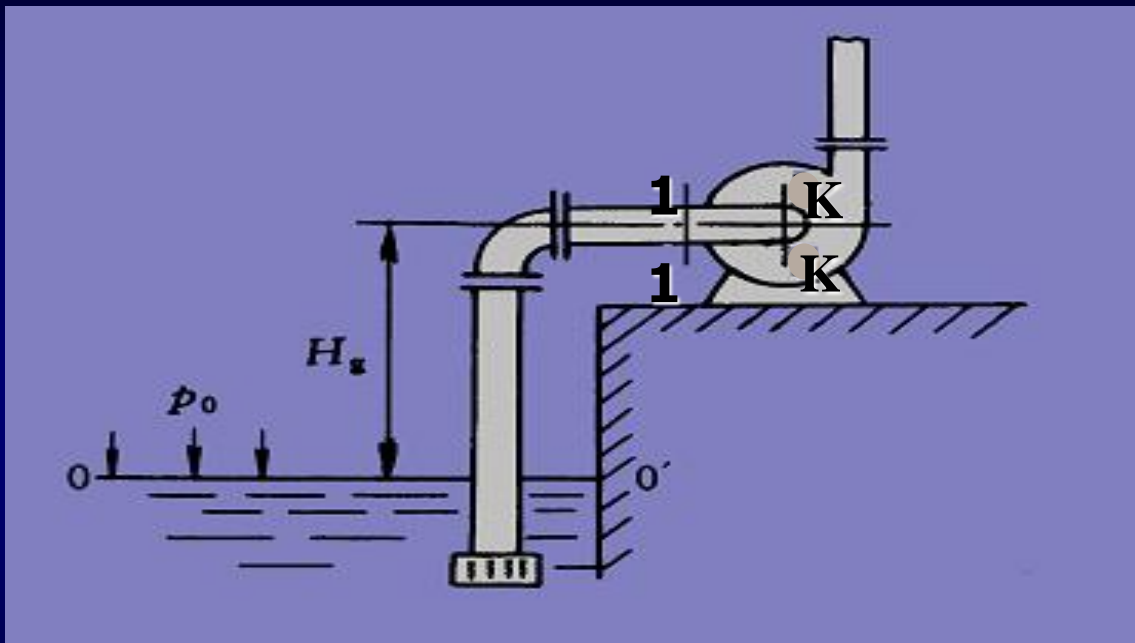
### (4) 离心泵的串、并联 (组合操作)

**例题：** 如图所示的输水管路系统，  
 $d=50\text{mm}$ ，阀门全开时 $l+l_e=50\text{m}$ ，  
 $\lambda=0.03$ ，泵在 $6\sim 15\text{m}^3/\text{h}$ 范围内的特性  
方程为 $H=24.10-0.82Q^{0.8}$ ， $H$ 单位  $\text{m}$ ，  
 $Q$ 单位 $\text{m}^3/\text{h}$ ；试求：



- (1) 阀全开时管路特性方程；如管路 $Q=10\text{m}^3/\text{h}$ ，此时 $W_e$ 和 $H_e$ 分别为多少，该离心泵能否完成任务？
- (2) 如果泵能完成任务，计算多消耗在阀门上的有效功率？
- (3) 调节出口阀将流量减少到 $8\text{m}^3/\text{h}$ ，泵的轴功率减少多少？假设 $\eta$ 不变

## 1.8.4 离心泵的安装高度



安装高度：液面到泵入口处的垂直距离( $H_g$ )

问题： 安装高度有无限制？

## ● 汽蚀现象

截面0-0~1-1, 列B.E.

$$\frac{p_0}{\rho g} = H_g + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} + \sum h_{f0-1}$$

$H_g \uparrow$ , 则  $p_1 \downarrow p_K \downarrow$

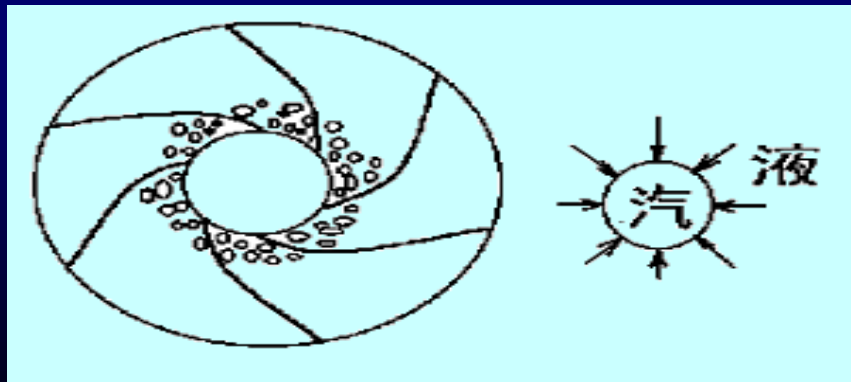
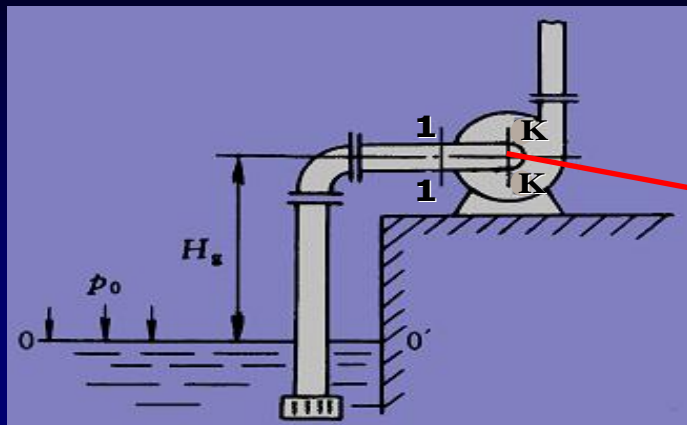
当  $p_K \leq p_v$  叶轮中心汽化→气泡

被抛向外围→压力升高

→气泡凝结→局部真空

→周围液体高速冲向气泡中心

→撞击叶片(水锤)



## ● 汽蚀现象

### 离心泵在汽蚀状态下运行的后果：

- 泵体振动并发出噪音；
- $q_V$ 、 $H$ 、 $\eta \downarrow \downarrow$ ；严重时不送液；
- 时间长久，水锤冲击和化学腐蚀，损坏叶片。

❓ 区分离心泵气缚现象和汽蚀现象。

安装高度 $\uparrow \uparrow \rightarrow$ 汽蚀

问题：如何确定 $H_g$ 的上限？

—————允许安装高度

## ● 允许安装高度

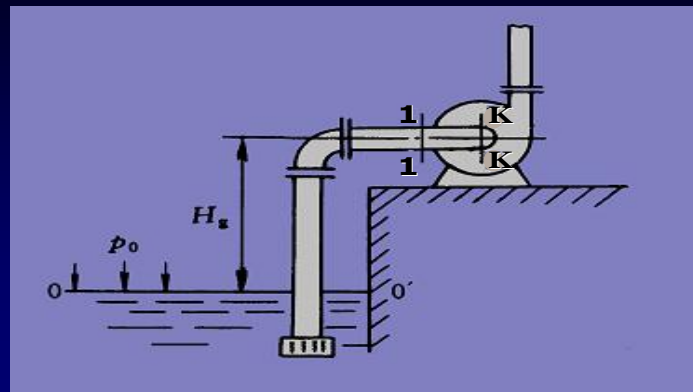
由 $(NPSH)_r$ 计算 $H_{g允}$

$$H_g = \frac{p_0}{\rho g} - \left( \frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} \right) - \sum h_{f0-1}$$

$$= \frac{p_0}{\rho g} - \left( \frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} - \frac{p_v}{\rho g} \right) - \frac{p_v}{\rho g} - \sum h_{f0-1}$$

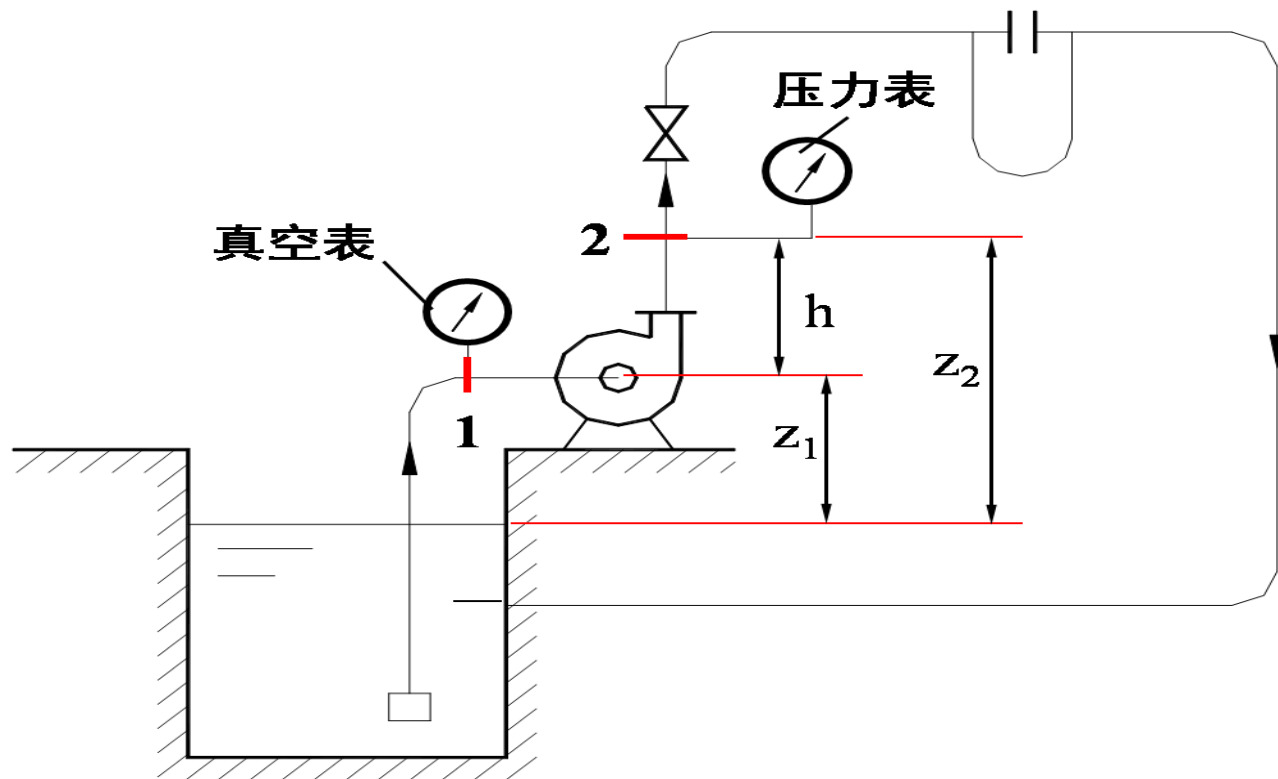
$$= \frac{p_0}{\rho g} - \frac{p_v}{\rho g} - (NPSH)_a - \sum h_{f0-1}$$

$$H_{g允} = \frac{p_0}{\rho g} - \frac{p_v}{\rho g} - (NPSH)_r - \sum h_{f0-1}$$





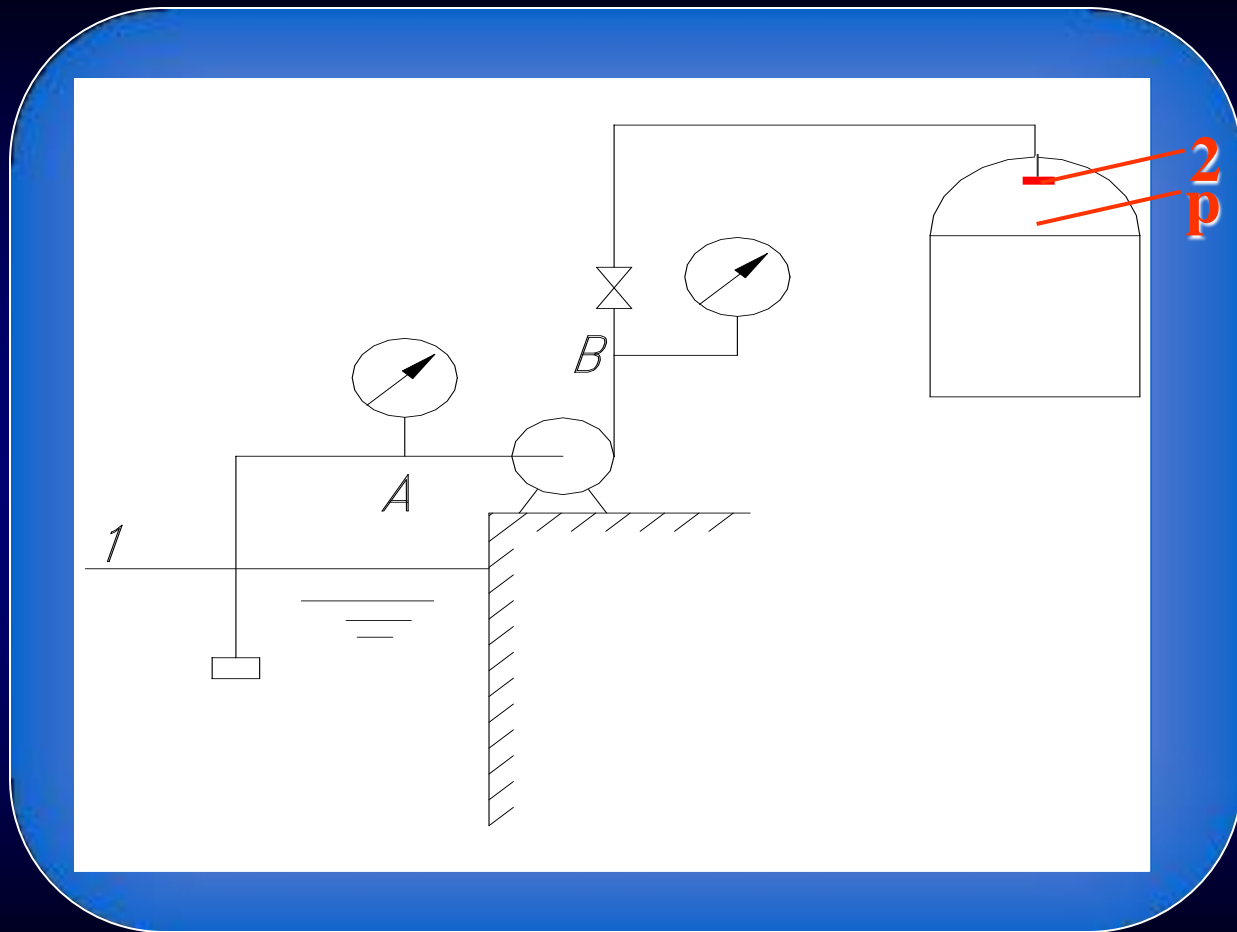
**讨论题:** 如图所示, 出口阀门开大, 定性分析真空表和压力表的读数如何变化? (设 $\lambda$ 不变)



# 讨论题

用离心泵将水从水池送入具有一定压力的密闭高位槽中。在一定转速下测得离心泵流量、扬程、泵出口压力表读数、泵进口真空表读数以及泵的轴功率。流动处于完全湍流区，管路按等径考虑。改变下列条件之一而其他条件及流动状态不变。问上述各参数如何变化

- (1) 出口阀门开度增大；
- (2) 输送另一种密度比水大的流体；
- (3) 叶轮直径减小5%；
- (4) 离心泵转速提高5%。



# 1.8 流体输送机械

流体输送机械的作用

流体输送机械的分类

## 1.8.1 离心泵的基本结构与工作原理

### ● 1.8.2 离心泵的性能参数与特性曲线

### ● 1.8.3 离心泵的工作点与流量调节

### ● 1.8.4 离心泵的安装高度



离心泵的基本结构

离心泵的主要部件

输送液体原理

气缚现象

性能参数

特性曲线

特性曲线的影响因素

管路特性曲线

工作点

流量调节

汽蚀现象

汽蚀余量

允许安装高度