

第一章 流体流动与输送

1.1 流体概述

1.2 流体静力学方程及其应用

1.3 流体在管内流动的基本方程

1.4 流体的流动现象

1.5 流体在管内的流动阻力损失

1.6 管路计算

1.7 流速和流量的测量

1.8 流体输送机械

1.7 流速与流量的测量

1.7.1 测速管

1.7.2 孔板流量计

1.7.3 文丘里流量计

1.7.4 转子流量计

1.7.1 测速管（皮托管）

一、结构

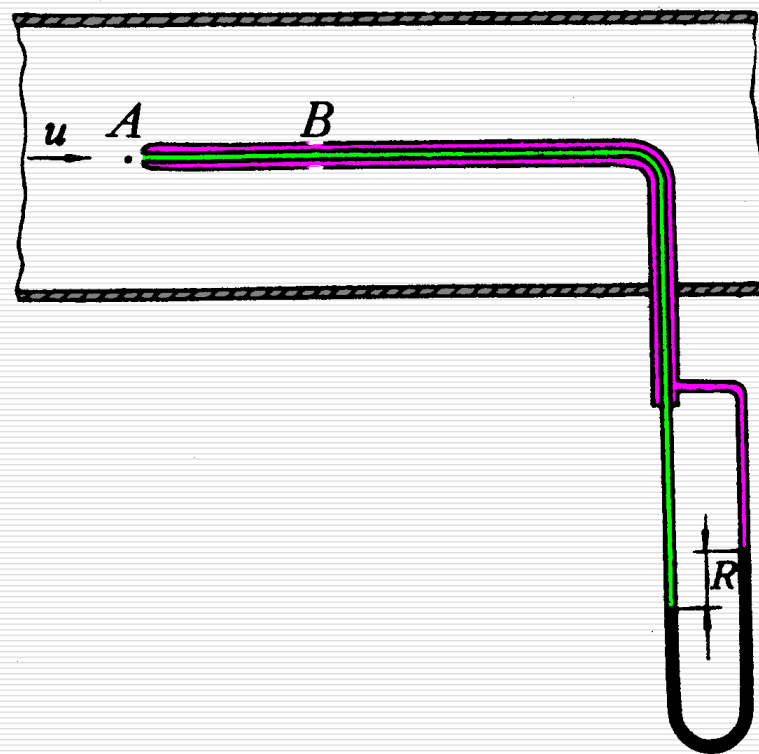
二、原理

内管A处

$$\frac{p_A}{\rho} = \frac{p}{\rho} + \frac{1}{2} u^2$$

外管B处

$$\frac{p_B}{\rho} = \frac{p}{\rho}$$



1.7.1 测速管（皮托管）

$$\frac{\Delta p}{\rho} = \frac{p_A}{\rho} - \frac{p_B}{\rho} = \left(\frac{p}{\rho} + \frac{1}{2} \dot{u}^2 \right) - \frac{p}{\rho} = \frac{1}{2} \dot{u}^2$$

点速度：

$$\dot{u} = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$$

即

$$\dot{u} = \sqrt{\frac{2Rg(\rho_0 - \rho)}{\rho}}$$

∵ 皮托管的制造精度等原因，∴ 在要求精度较高时应乘以校正系数C(=0.98 ~ 1.00)。

讨论：（1）皮托管测量流体的点速度，可测速度分布曲线；

1.7.1 测速管（皮托管）

(2) 流量的求取：

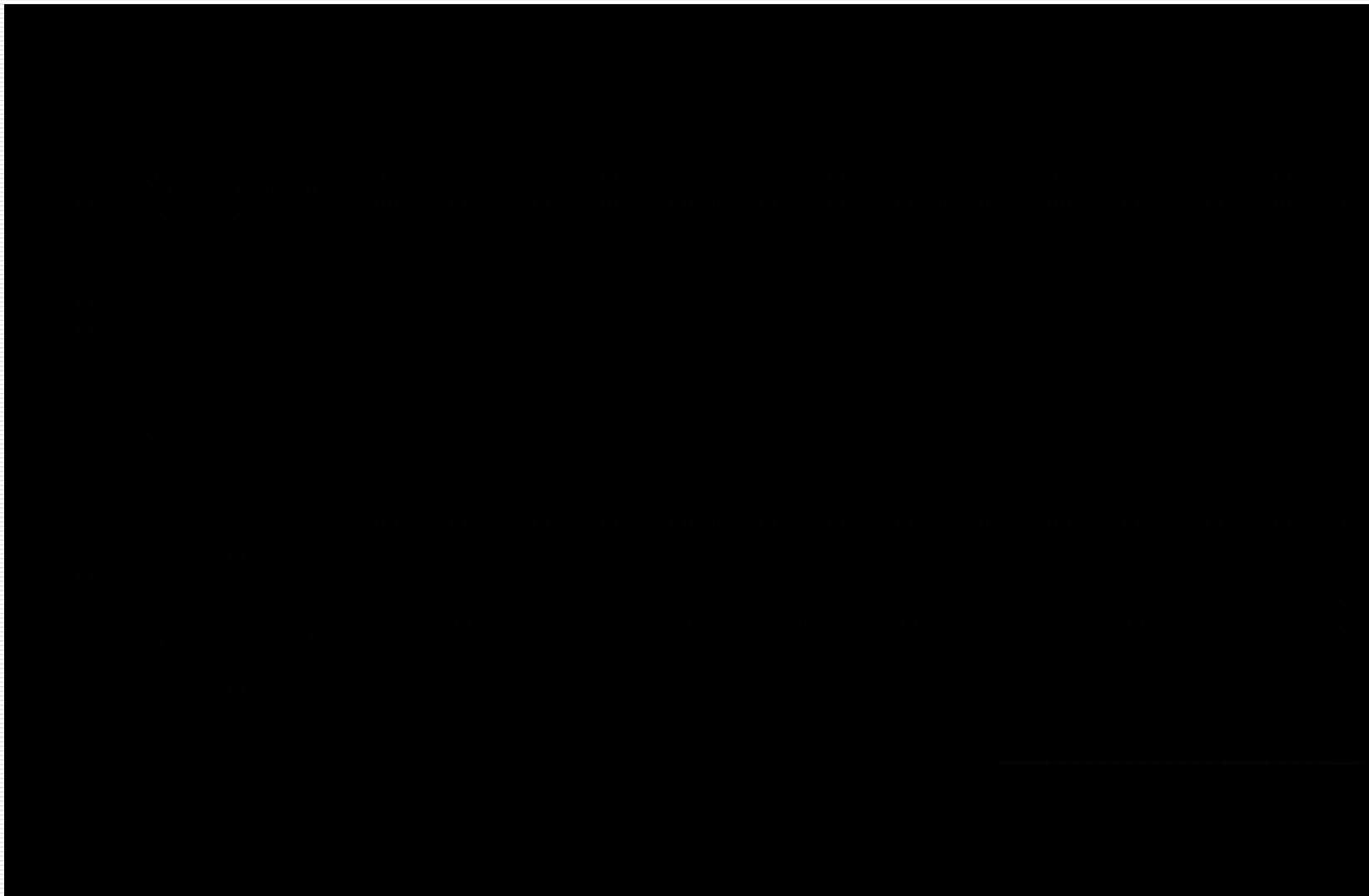
- 由速度分布曲线积分 $q_v = \int u dA$
- 测管中心最大流速，由 $u/u_{\max} \sim Re_{\max}$ 求平均流速，再计算流量。

三、安装

- (1) 测量点位于均匀流段，上、下游各有50d直管距离；
- (2) 皮托管管口截面严格垂直于流动方向；
- (3) 皮托管外径 d_0 不应超过管内径 d 的1/50，即 $d_0 < d/50$ 。

四、优点：结构简单，对被测流体的阻力小，尤其适用于低压、大管道气体流速的测量。

皮托管测速原理



1.7.1 测速管（皮托管）

法国航空的447号航班

池南观影 bilibili

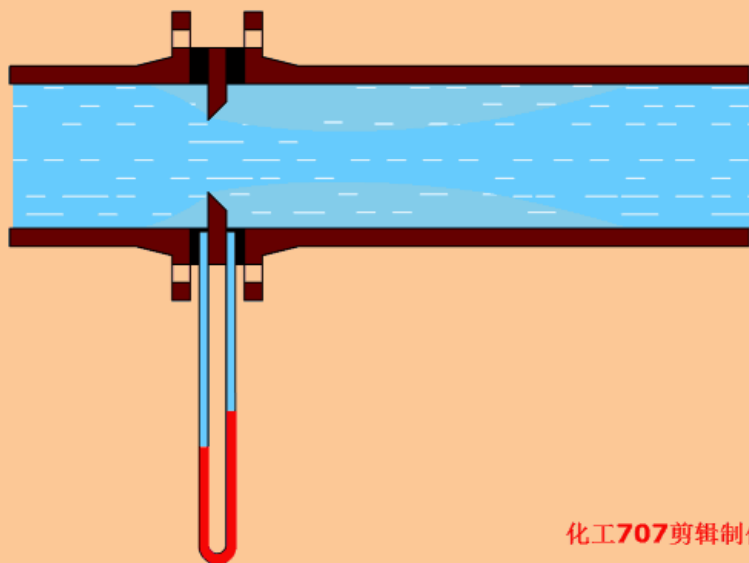
本视频含有真实空难
场面及情节
可能会让您感觉不适
请评估后酌情观看

5

1.7.2 孔板流量计

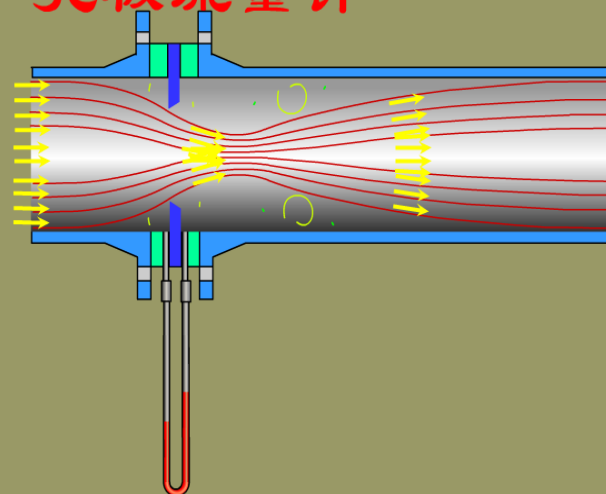
管道中垂直插入一片中心为圆孔的金属圆板，圆孔从前向后扩大，在孔板前后连接压差计，组成孔板流量计

板孔流量计示意图



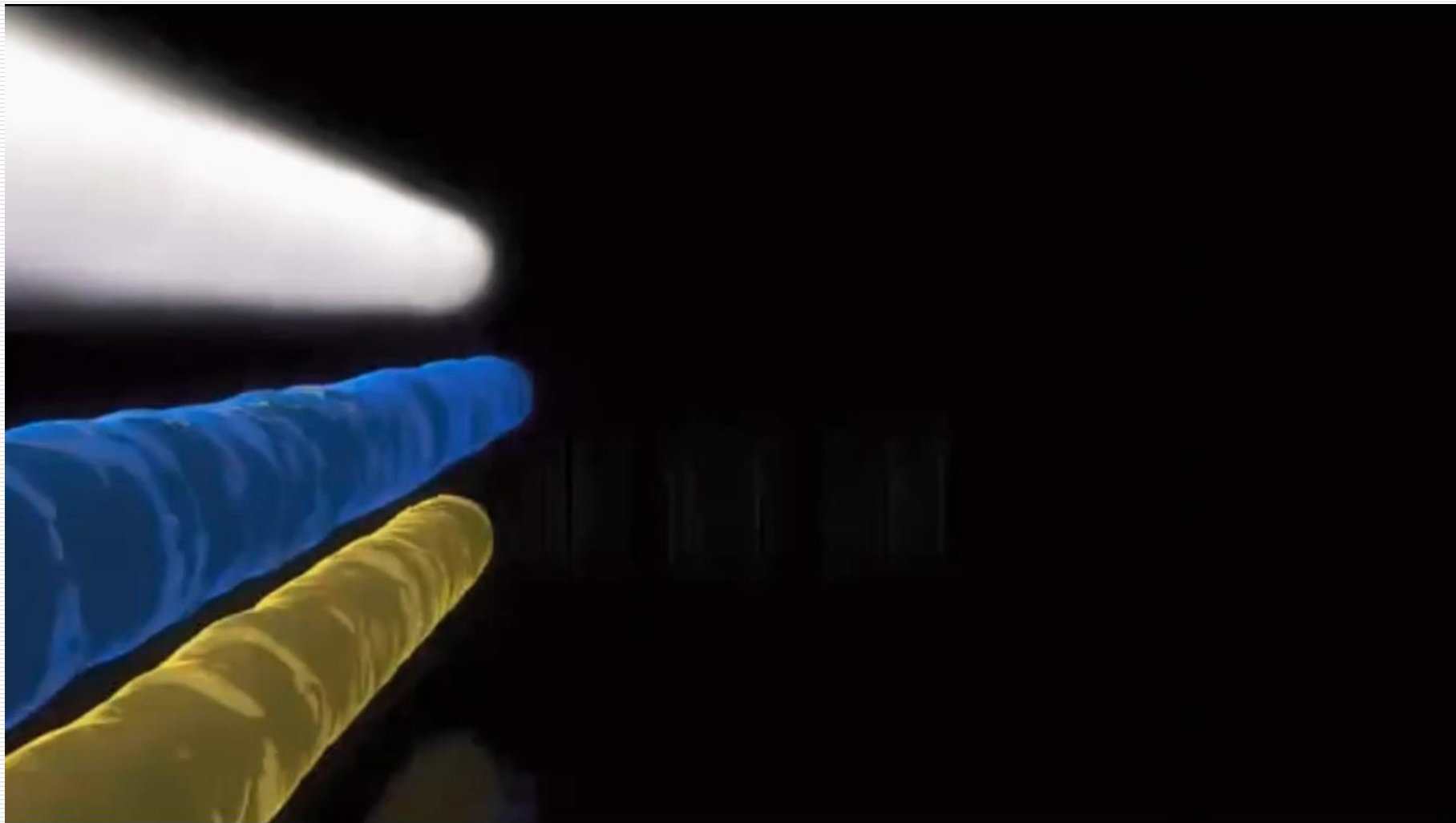
化工707剪辑制作

孔板流量计



中国矿业大学化工学院

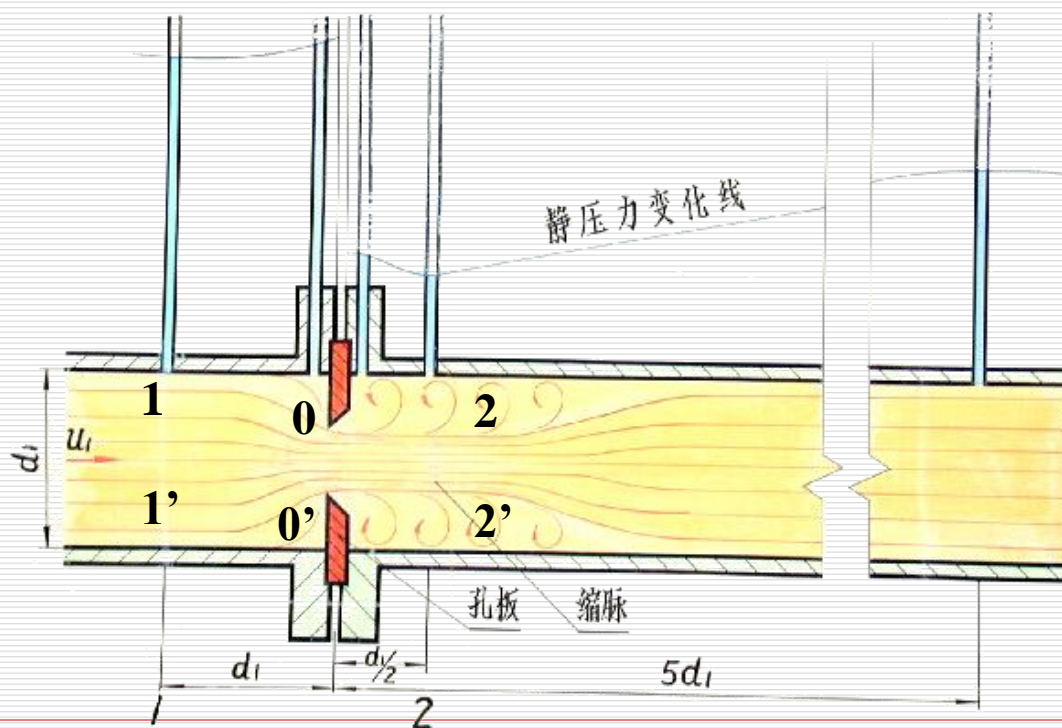
孔板流量计的测量原理



1.7.2 孔板流量计

一、结构与原理

孔板流速计及孔板后的压力变化



1.7.2 孔板流量计

二、流量方程

在1-1'截面和2-2'截面间列柏努利方程，暂不计能量损失

变形得

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{1}{2}u_1^2 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{1}{2}u_2^2$$
$$\frac{u_2^2 - u_1^2}{2} = \frac{p_1 - p_2}{\rho}$$

$$\sqrt{u_2^2 - u_1^2} = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$$

问题： (1) 实际有能量损失；
(2) 缩脉处 A_2 未知。

1.7.2 孔板流量计

解决方法：用孔口速度 u_0 替代缩脉处速度 u_2 ，引入校正系数 C 。

$$\sqrt{u_0^2 - u_1^2} = C \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$$

由连续性方程 $u_1 = u_0 \frac{A_0}{A_1}$

$$u_0 = \frac{C A_1}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_0}{A_1}\right)^2}} \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$$

令 $C_0 = \frac{C}{\sqrt{1 - \left(\frac{A_0}{A_1}\right)^2}}$

1.7.2 孔板流量计

则
$$u_0 = C_0 \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad u_0 = C_0 \sqrt{\frac{2Rg(\rho_0 - \rho)}{\rho}}$$

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

质量流量
$$q_m = C_0 A_0 \sqrt{2Rg\rho(\rho_0 - \rho)}$$

C_0 ——流量系数（孔流系数）

A_0 ——孔面积

1.7.2 孔板流量计

讨论:

(1) 特点:

恒截面、变压差——差压式流量计

(2) 流量系数 C_0

对于取压方式、结构尺寸、加工状况均已规定的标准孔板

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

Re是以管道的内径 d_1 计算的雷诺数 $\text{Re}_d = \frac{d_1 \rho u_1}{\mu}$

1.7.2 孔板流量计

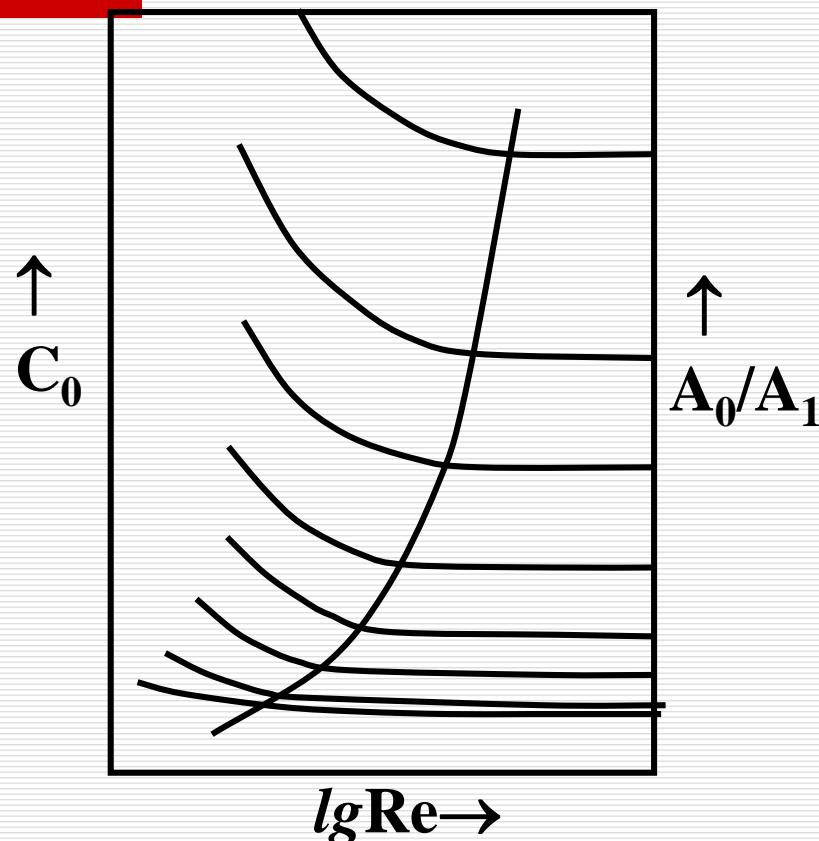
当 $Re > Re_{\text{临界}}$ 时,

$$C_0 = f\left(\frac{A_0}{A_1}\right)$$

一般 $C_0 = 0.6 \sim 0.7$

(3) 测量范围

$$q_v \propto \sqrt{R} \quad R \propto q_v^2$$



孔板流量计的测量范围受U形压差计量程决定。

1.7.2 孔板流量计

三、安装及优缺点

安装：在稳定流段，上游 $l > 10d$ ，下游 $l > 5d$ ；

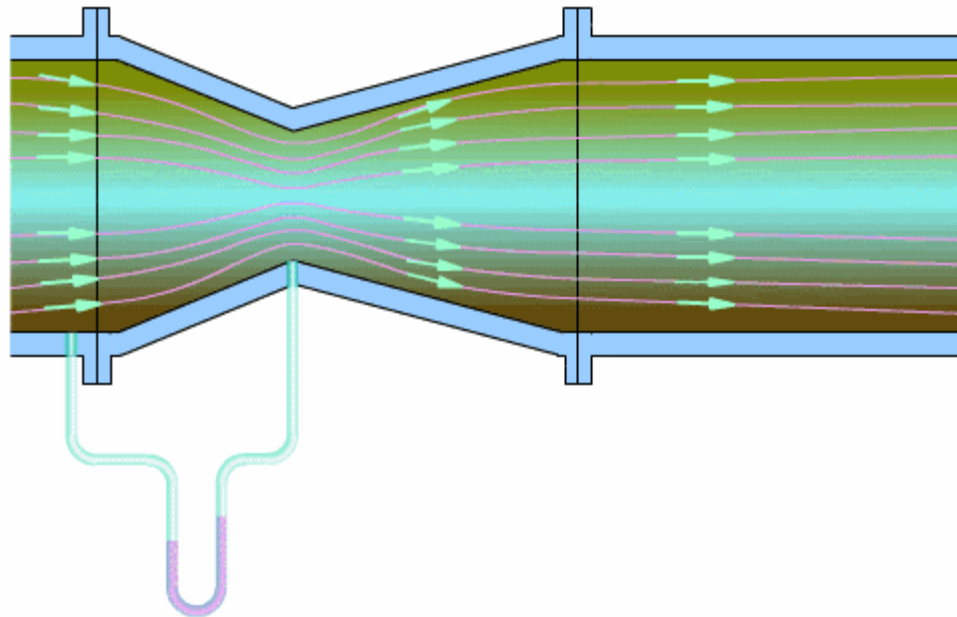
优点：孔板流量计的制造、调换都简便；可耐高温、高压，不怕含尘的气体。

缺点：圆孔的锐角边缘易被腐蚀、磨损或挂焦 \Rightarrow 圆孔的形状改变(须定期校正)；能量损失大。

损失按下式估算：

$$h_f' = \frac{p_a - p_b}{\rho} \left(1 - 1.1 \frac{A_0}{A_1} \right)$$

1.7.3 文丘里 (Venturi) 流量计



文丘里流量计的收缩角一般取 $15\sim 25^\circ$ ，扩大角取 $5\sim 7^\circ$ 。流体流过渐缩渐扩管时，避免了流体边界层的脱离，基本上不产生漩涡，阻力损失较小。

1.7.3 文丘里 (Venturi) 流量计

∴其工作原理与孔板的相同,

$$V_s = C_v A_0 \sqrt{\frac{2Rg(\rho_0 - \rho)}{\rho}}$$

C_v ——流量系数 (0.98 ~ 0.99)

A_0 ——喉管处截面积

多用于测低压气体流速；但加工精度、造价较高。

文丘里效应



1.7.4 转子流量计

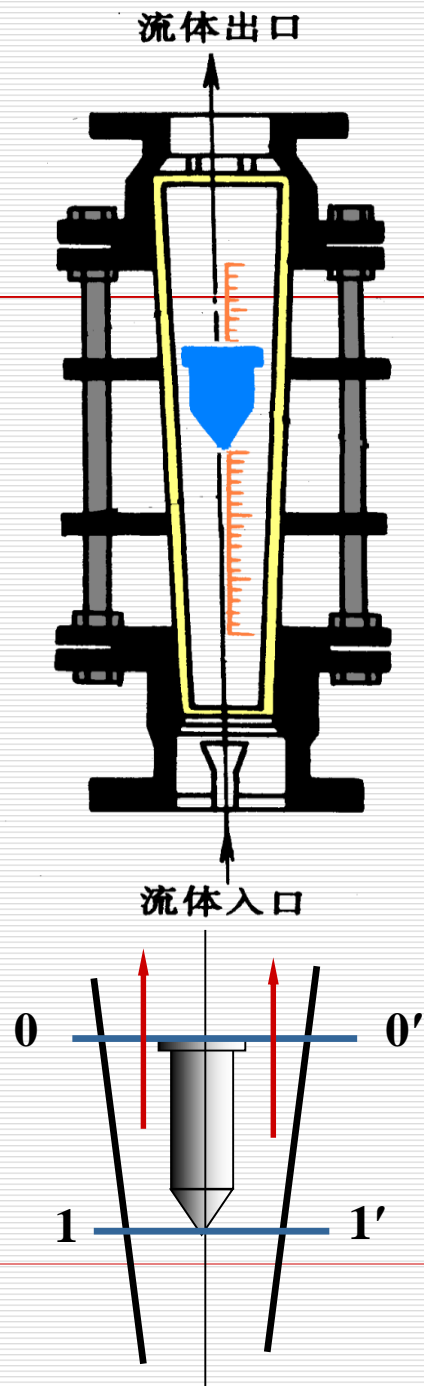
一、结构与原理

上粗下细的微锥形玻璃管及直径略小于玻璃管直径的转子组成。从转子的悬浮高度直接读取流量数值。

二、流量方程

在1-1'和0-0'截面间列柏努利方程

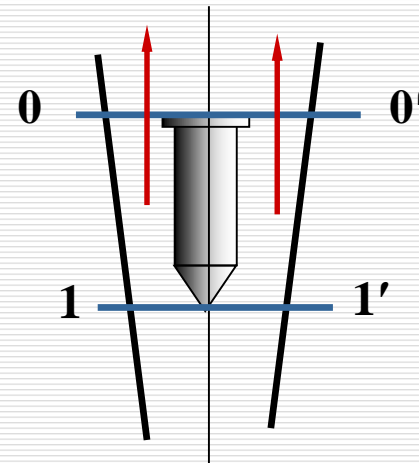
$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{u_1^2}{2} + z_1 g = \frac{p_0}{\rho} + \frac{u_0^2}{2} + z_0 g$$



1.7.4 转子流量计

$$p_1 - p_0 = (z_0 - z_1) \rho g + \frac{\rho}{2} (u_0^2 - u_1^2)$$

≈ 0



转子受力平衡 $(p_1 - p_0)A_f + \rho V_f g = \rho_f V_f g$

$$V_f (\rho_f - \rho) g = A_f \frac{\rho}{2} (u_0^2 - u_1^2)$$

由连续性方程 $u_1 = u_0 \frac{A_0}{A_1}$

A_0 、 A_1 : 流体通过截面的环隙面积

$$u_0 = \frac{1}{\sqrt{1 - (A_0/A_1)^2}} \sqrt{\frac{2V_f (\rho_f - \rho) g}{\rho A_f}} = C_R \sqrt{\frac{2V_f (\rho_f - \rho) g}{\rho A_f}}$$

C_R ——流量系数

1.7.4 转子流量计

体积流量 $q_v = C_R A_0 \sqrt{\frac{2(\rho_f - \rho)V_f g}{\rho A_f}}$

讨论：（1）特点：

恒压差、变截面——截面式流量计。

（2）刻度换算

标定流体：20℃水 ($\rho = 1000\text{kg/m}^3$)

20℃、101.3kPa下空气 ($\rho = 1.2\text{kg/m}^3$)

1.7.4 转子流量计

C_R 相同，同刻度时

$$\frac{q_{v2}}{q_{v1}} = \sqrt{\frac{\rho_1(\rho_f - \rho_2)}{\rho_2(\rho_f - \rho_1)}}$$

式中：1——标定流体；

2——被测流体。

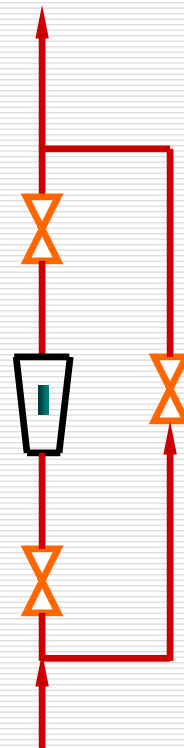
气体转子流量计

$$\frac{q_{v2}}{q_{v1}} \approx \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_2}}$$

1.7.4 转子流量计

三、安装及优缺点

- (1) 永远垂直安装，且下进、上出，安装支路，以便于检修。
- (2) 读数方便，流动阻力很小，测量范围宽，测量精度较高；
- (3) 玻璃管不能经受高温和高压，在安装使用过程中玻璃容易破碎。不能把流量转换为电信号送到控制仪表上。



1.8 流体输送设备

□ 1.8.1 离心泵 (重点)

□ 1.8.2 往复压缩机和压缩泵

□ 1.8.3 离心压缩机

□ 1.8.4 其它流体输送设备

} 自学!

流体输送机械：向流体施加外功，以提高流体的机械能的装置。
目的：提高流体的动能和静压能，足以克服输送时所消耗的能量损失；或送至高位槽；或提供流体应具有的高压或低压(真空度)。

1. 按被送介质分：

输送液体的机械—泵；

输送气体的机械—风机。



按产生压强的高低又可分为：通风机、鼓风机、压缩机。

2. 从工作原理分:

离心式: 离心泵、旋涡泵、鼓风机、离心通风机

往复式: 往复泵、计量泵、压缩机

旋转式: 齿轮泵、双螺杆泵、蠕动泵

正位移泵
(或容积泵)

流体动力式: 蒸汽喷射泵

学习时注意:

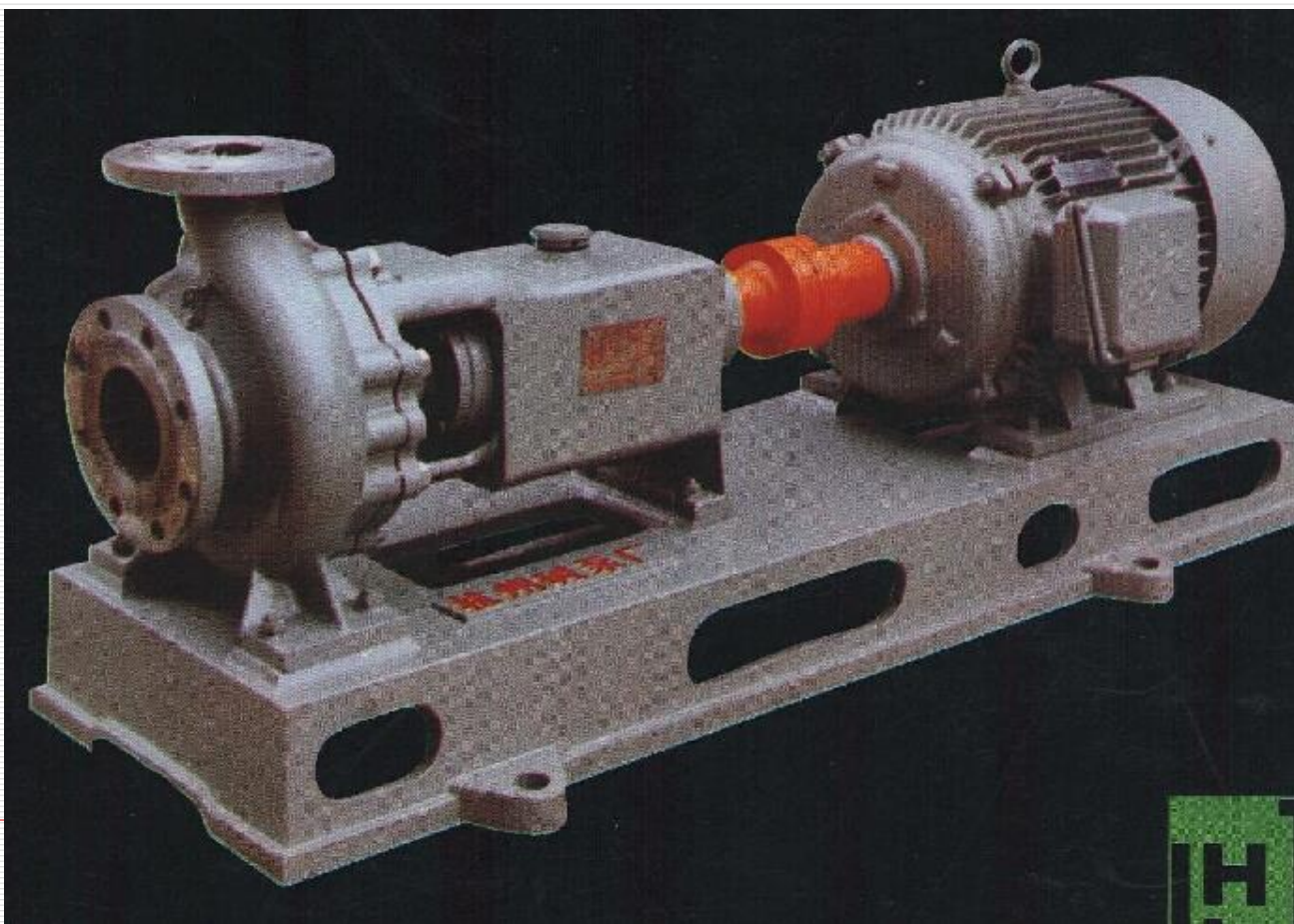
即使**同形式**的输送机械也因气体的可压缩性和气、液密度差异大而在结构及特性上有区别。

即使同为**离心泵**，也因输送的物料不同分为水泵、油泵、泥浆泵等等。当然结构上也有区别。

本章主要介绍常用的输送机械的**基本结构、工作原理和特性**，学习如何**选择、安装**设备，使设备在尽可能高的效率下运作。

1.8.1离心泵

离心泵的外观



一、离心泵的主要部件

(1) 叶轮

作用： 将原动机的能量传给液体，使液体静压能及动能都有所提高——**给能装置**

按结构分为：



开式



半开（闭）式



闭式

(2) 泵壳

作用：汇集叶轮甩出的液体；

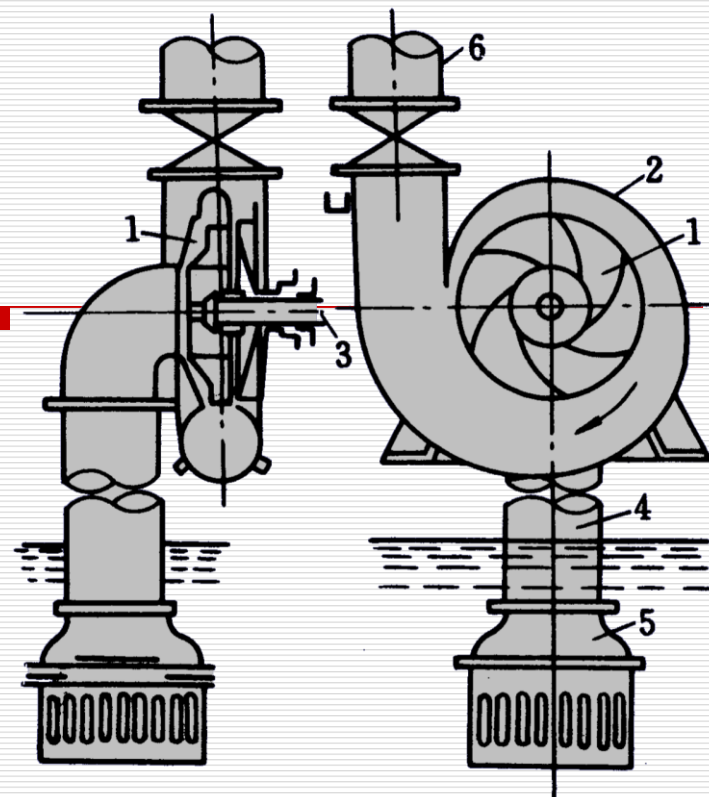
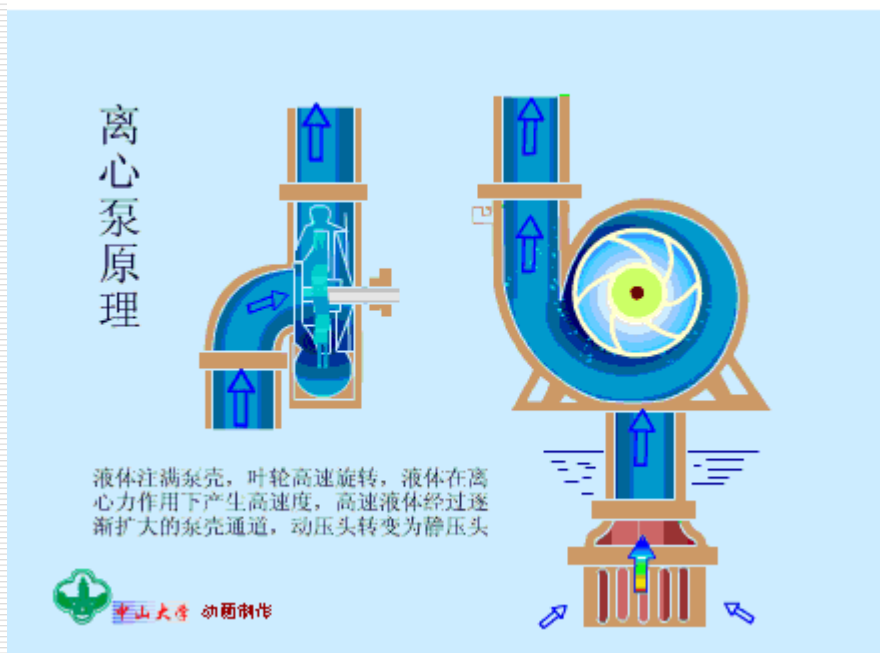
**实现动能到静压能的转换——转能装置；
减少能量损失。**

(3) 轴封装置

作用：防止高压液体沿轴漏出；

防止外界气体进入泵壳内。

二、离心泵的工作原理



1-叶轮；2-泵壳，3-泵轴；
4-吸入管；5-底阀；6-压出管

离心泵装置简图

在泵启动前，泵壳内灌满被输送的液体；启动后，叶轮高速转动，液体在离心力的作用下以高速离开叶轮外缘进入蜗形泵壳。在蜗壳中，液体由于流道的逐渐扩大而减速，将部分动能转变为静压能，最后以较高的压力流入排出管道，送至需要场所。叶轮中心液体被抛出后形成局部真空，贮槽液体在压差作用下被连续压入泵内。

二、离心泵的工作原理

知识区

三、气缚现象

由于泵内存有空气，空气的密度远小于液体的密度，叶轮旋转产生的离心力小，因而叶轮中心处所形成的低压不足以将贮槽内的液体吸入泵内，此时虽启动离心泵，也不能输送液体，这种现象称为气缚现象。

——表明离心泵无自吸能力

四、离心泵的主要性能参数

① 流量 q_V

单位时间内泵所输送液体的体积， m^3/s 或 m^3/h 。

② 压头或扬程 H

单位重量的液体经泵后所获得的能量， J/N 或 m 液柱。

影响扬程大小的因素：

1. 泵的结构（叶轮大小、弯曲程度）；
 2. 转速；
 3. 流量。
-

③ **轴功率 N** ：泵轴所需的功率，单位：W

有效功率 N_e ：流体实际从泵得到的功率，单位：W

而 $N_e = q_v H \rho g \quad \text{W}$

或 $N_e = \frac{q_v H \rho \times 9.81}{1000} = \frac{q_v H \rho}{102} \quad \text{kW}$

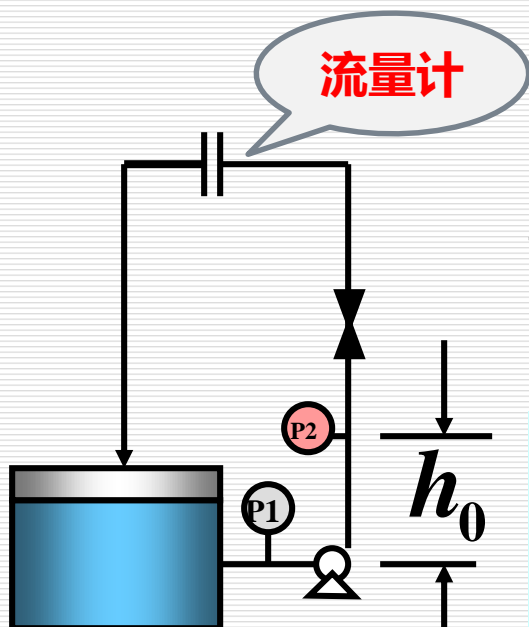
④ **效率 η** $\eta = \frac{N_e}{N} \times 100\%$

容积损失；水力损失；机械损失

一般小型泵效率为60~85%，大型泵效率可达90%。

$$N = \frac{q_v H \rho}{102\eta} \quad \text{kW}$$

压头测定实验：



$$H = h_0 + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g} + \sum H_f$$

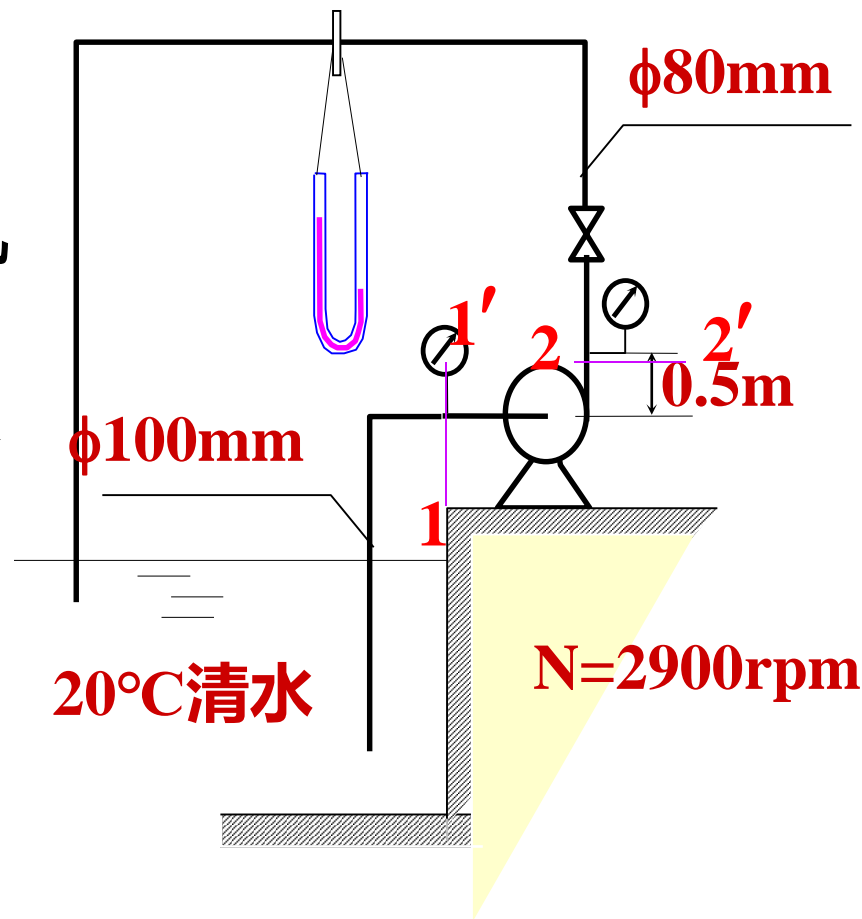
P1-真空表, P2-压力表

如果不计泵内的能量损耗 $\sum H_f = 0$

注意：扬程 $H \neq$ 举起高度

例 测得： $Q=15\text{l/s}$ ，
出口 $p_2=2.55\times 10^5\text{Pa}$ (表)，**入口**
 $p_1=2.67\times 10^4\text{Pa}$ (真空度)，**电动机**
消耗功率 6.2kW ，**电机效率** 93% ，
电机直接带动泵。求该情况下泵的
压头、轴功率和效率。

解： (1)求泵的压头 取真空表处为1-1'，
 压力表为2-2'



$$Z_1 + \frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} + H = Z_2 + \frac{u_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho g} + H_{f,1-2}$$

$$u = \frac{4q_v}{\pi d^2} \quad u_1 = \frac{4 \times 15 \times 10^{-3}}{\pi \times 0.1^2} = 1.91\text{m/s} \quad u_2 = 2.98\text{m/s}$$

$$Z_1=0, H_{f,1-2}=0$$

$$H = 0.5 + \frac{2.55 \times 10^5 + 2.67 \times 10^4}{10^3 \times 9.81} + \frac{2.98^2 - 1.91^2}{2 \times 9.81} = 29.5m$$

(2) 轴功率N

已知电动机的输入功率为6.2kw, 电机效率93%。则电动机输出功率:

$$= 6.2 \times 93\% = 5.77kw$$

∴电机直接带动泵, ∴泵的轴功率N=5.77kw。

(3) 效率 η

$$\eta = Ne / N \quad Ne = q_v H \rho / 102kw$$

$$\eta = \frac{q_v H \rho}{102 N} = \frac{15 \times 10^{-3} \times 2.9 \times 10^3}{102 \times 5.77} = 0.752 = 75.2\%$$

离心泵的特性曲线便是：通过若干流量下，取得各流量对应的真空表、压力表、测功器的数据，按例题的方法处理，在坐标纸上绘出的。

五、离心泵的特性曲线

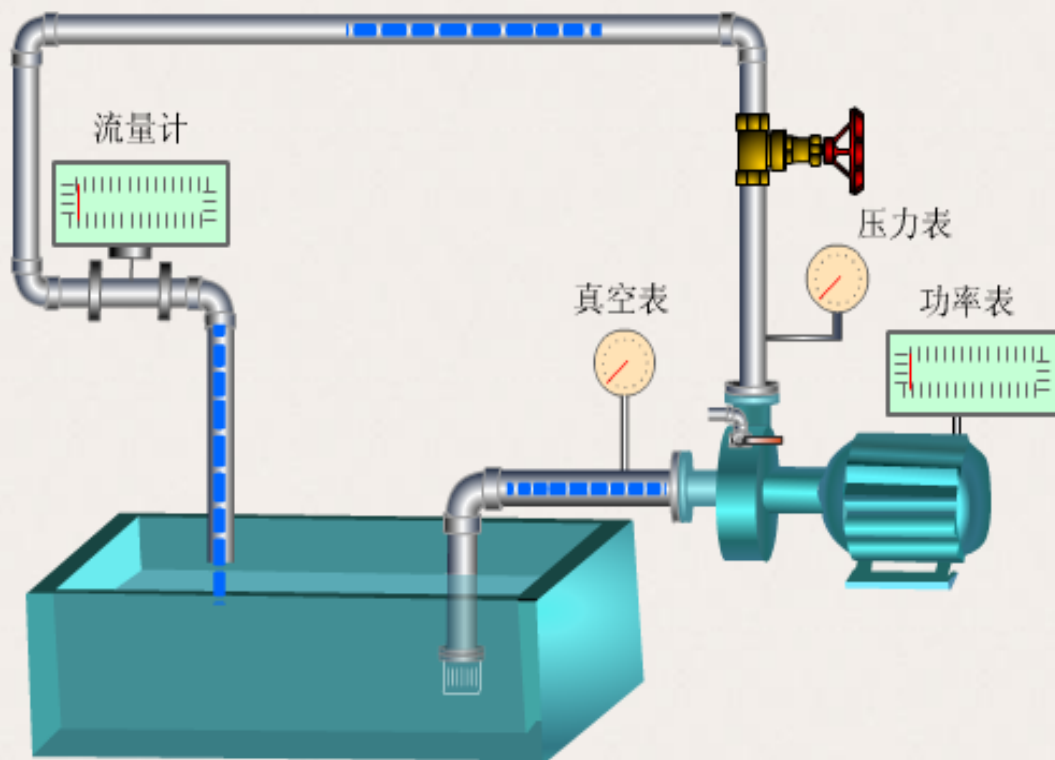


图 2-3 泵性能实验装置示意图

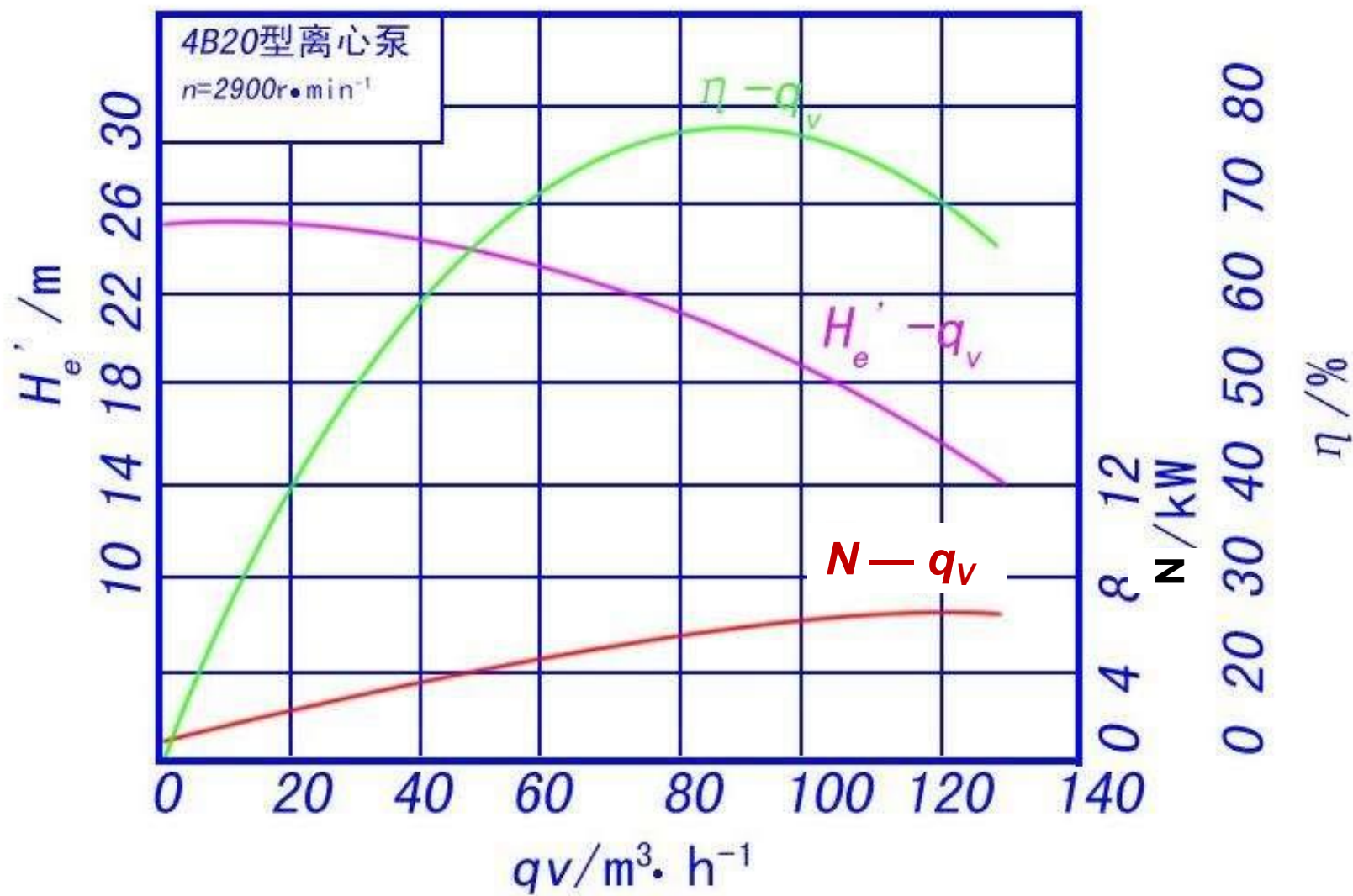
厂家实验测定:

$$H \sim q_V$$

$$N \sim q_V$$

$$\eta \sim q_V$$

常压, 20°C清水
一定转速下



离心泵特性曲线

$$N = \frac{q_v H \rho}{102 \eta}$$

(一) 离心泵的特性曲线说明:

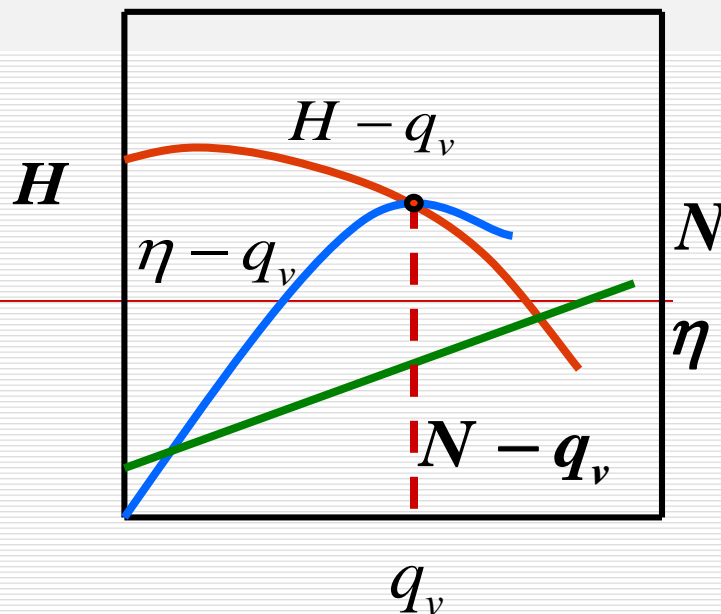
① $H \sim q_v$ 曲线: 较大范围内, $q_v \uparrow \rightarrow H \downarrow$
在流量极小时有能例外

② $N \sim q_v$ 曲线: $q_v \uparrow \rightarrow N \uparrow$

$q_v = 0$ 时, $N \rightarrow N_{\min}$

• 离心泵启动时, 应**关闭出口阀门**, 使其**启动电流最小**, 以**保护电机**。转动正常后再开启出口阀, 调节适当的流量。

(一) 离心泵的特性曲线说明：



③ $\eta \sim q_v$ 曲线：

离心泵在一定转速下有一最高效率点

——离心泵的设计点

离心泵铭牌上标注的性能参数均为最高效率点下之值。

离心泵设计点

离心泵在一定转速下有一最高效率点，该点称为设计点，设计点对应的流量、压头和轴功率称为**额定流量**、**额定压头**和**额定轴功率**，标注在泵的铭牌上。一般将最高效率值的92%的范围称为泵的高效工作区，泵应尽量在该范围内操作。

$$\eta \geq 92\% \eta_{\max}$$

(二) 离心泵性能的改变与换算

$$N = \frac{q_v H \rho}{102 \eta}$$

(1) 密度的影响

q_v 不变, H 不变, η 基本不变, N 随 ρ 变化。

A) q_v 不变。 q_v 与泵出口截面有关。

B) H 不变。 $F_{\text{离心力}} \propto \rho$, $p_2 - p_1 \propto \rho$, $(p_2 - p_1) / \rho g$
与 ρ 无关, $H \propto (p_2 - p_1) / \rho g$

C) $\rho \uparrow$, $N \uparrow$

(二) 离心泵性能的改变与换算

(2) 粘度的影响

$$\mu \uparrow \longrightarrow H \downarrow, q_v \downarrow, \eta \downarrow, \text{而 } N \uparrow$$

原因：(1) $\mu \uparrow, h_f \uparrow, H \downarrow$;

(2) $\mu \uparrow, u \downarrow, q_v \downarrow$;

(3) $\mu \uparrow$, 叶轮前后能量损失 \uparrow , $N \uparrow$

(二) 离心泵性能的改变与换算

(3) 离心泵转速的影响

当液体的粘度不大，转速变化小于20%时，认为效率不变，有：

$$\frac{q_{V2}}{q_{V1}} = \frac{n_2}{n_1} \quad \frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \quad \frac{N_2}{N_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3$$

——**泵的比例定律**

六、离心泵的工作点与流量调节

管路特性曲线-表示在特定管路系统中，固定操作条件下，流体流经该管路时所需的压头与流量的关系。

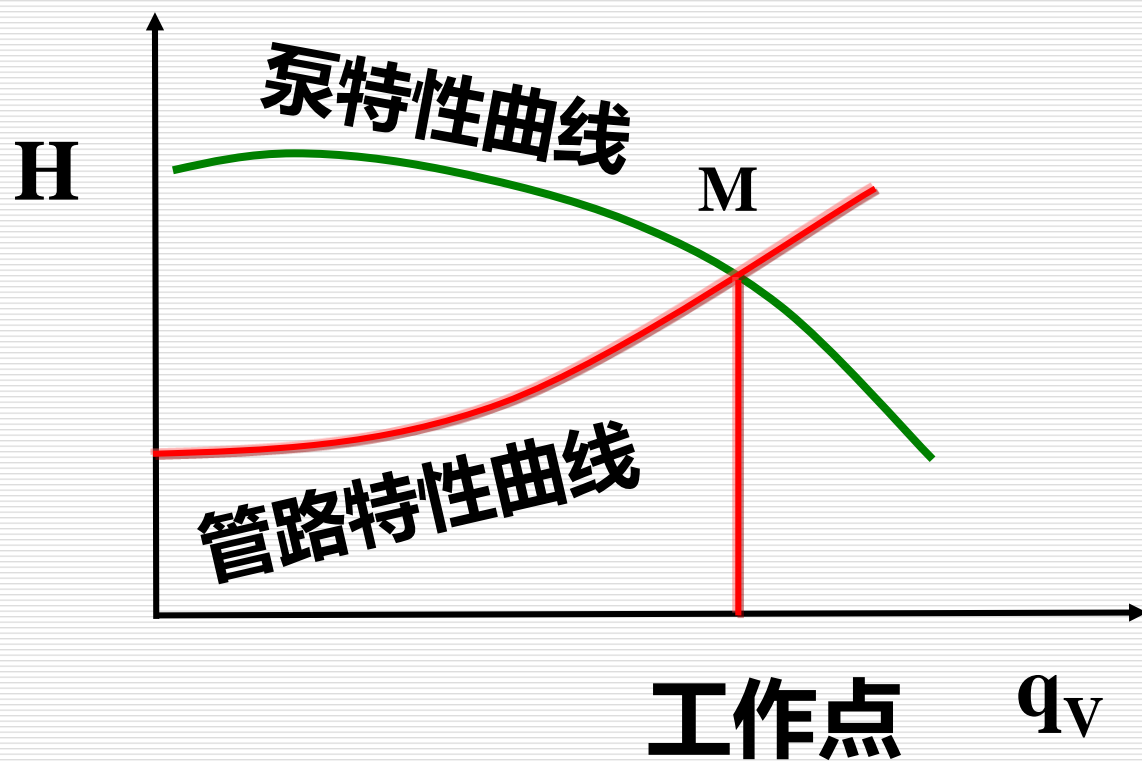
$$H = \Delta Z + \frac{\Delta p}{\rho g} + \frac{\Delta u^2}{2g} + \Sigma H_f$$

$$\Delta Z + \frac{\Delta p}{\rho g} \cdots \cdots \text{定值} \quad \frac{\Delta u^2}{2g} \approx 0 \quad H = H_0 + \Sigma H_f$$

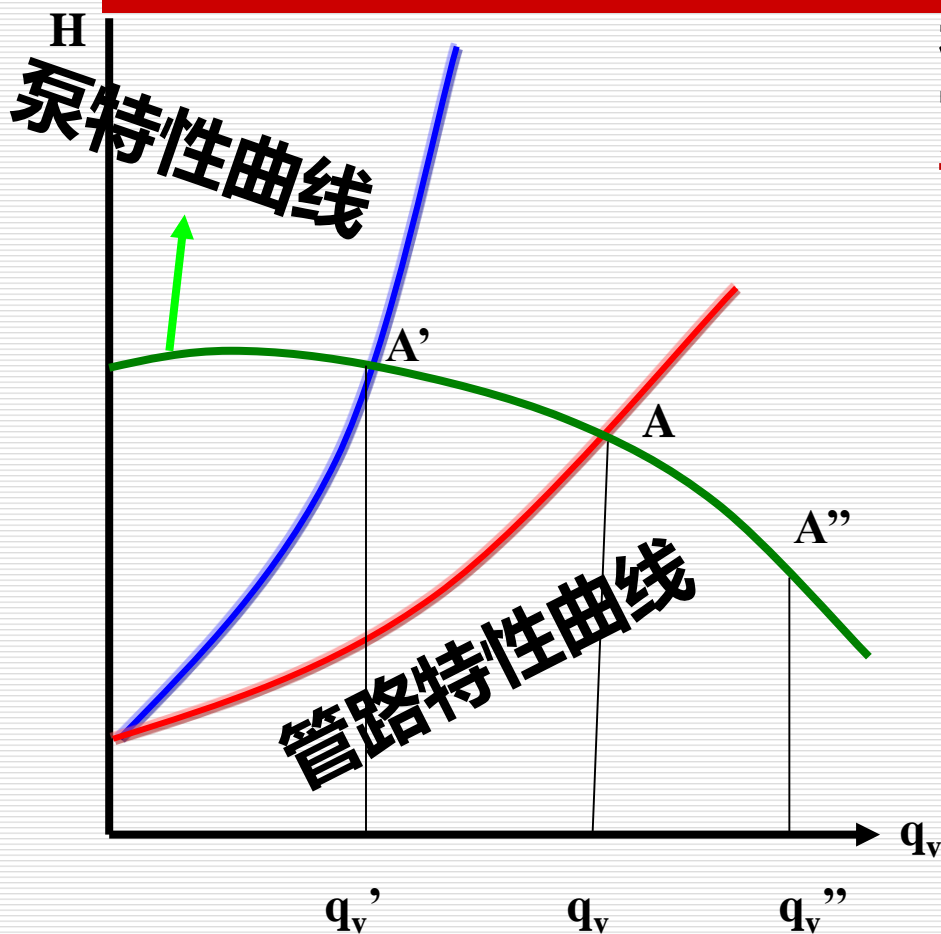
$$\Sigma H_f = \left(\lambda \frac{l + \Sigma l_e}{d} + \Sigma \xi \right) \frac{u^2}{2g} \quad u = \frac{q_v}{\frac{\pi}{4} d^2}$$

$$\Sigma H_f = \frac{8}{\pi^2 g} \left(\lambda \frac{l + \Sigma l_e}{d^5} + \frac{\Sigma \xi}{d^4} \right) q_v^2 = k q_v^2 \quad H = H_0 + k q_v^2$$

六、离心泵的工作点与流量调节



六、离心泵的工作点与流量调节



改变阀门开度时流量变化

在实际操作过程中，由于生产任务经常会变化，因而需要调节流量，**如何调节？？？？**

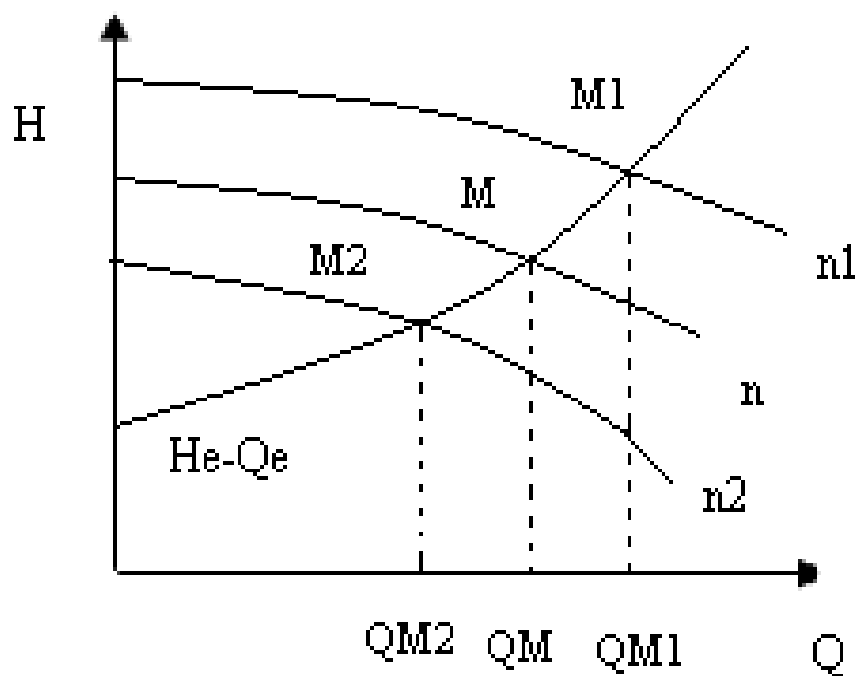
离心泵流量的调节就是改变泵的工作点。方法一：

改变阀门的开度 即改变离心泵出口管路上调节阀门开度改变管路特性曲线，灵活方便，耗能大当。

阀门关小时，管道的局部阻力增大，管路特性曲线斜率变大，工作点从 A 点移动到 A' 点，流量从 q_v 减小到 q_v' ；

当阀门开大时，管道的局部阻力减小，管路特性曲线斜率变小，工作点从 A 点移动到 A'' 点，流量从 q_v 增大到 q_v'' 。

六、离心泵的工作点与流量调节



离心泵流量的调节就是改变泵的工作点。方法二：
改变泵的转速 改变泵转速
实质上是改变泵特性曲线，
节能，投资大。

改变泵的转速时流量变化

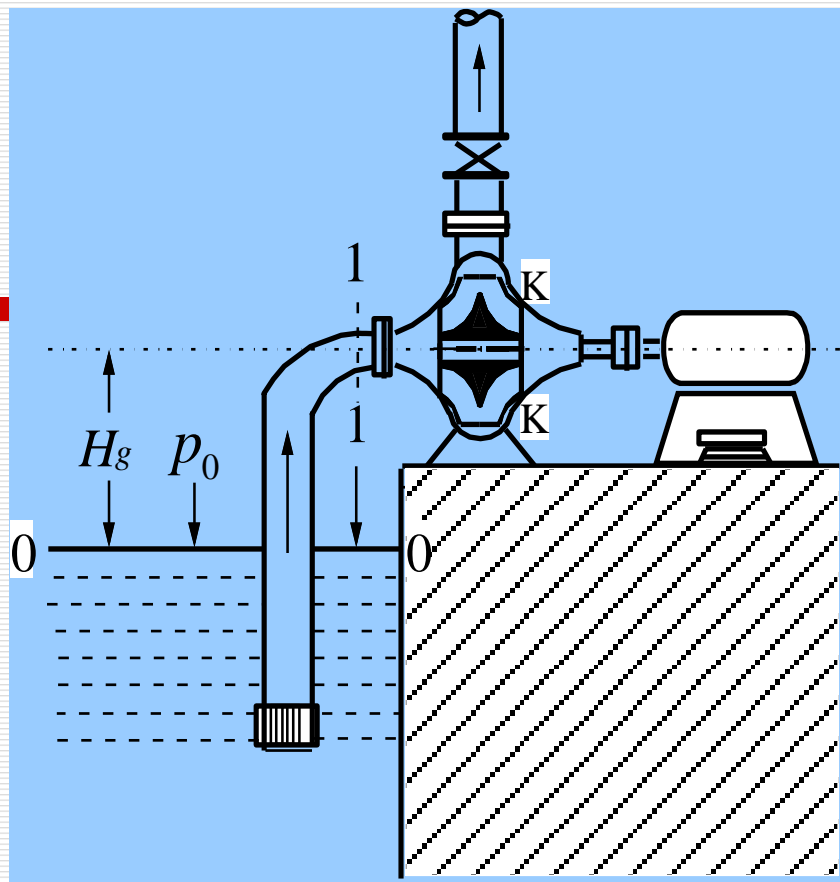
七、离心泵的气蚀现象与安装高度

- 1. 离心泵的气蚀现象
 - 2. 离心泵的抗气蚀性能
 - a. 离心泵的气蚀余量
 - b. 离心泵的允许吸上真空度
 - 3. 离心泵的允许安装（吸上）高度
-

气蚀现象

原因

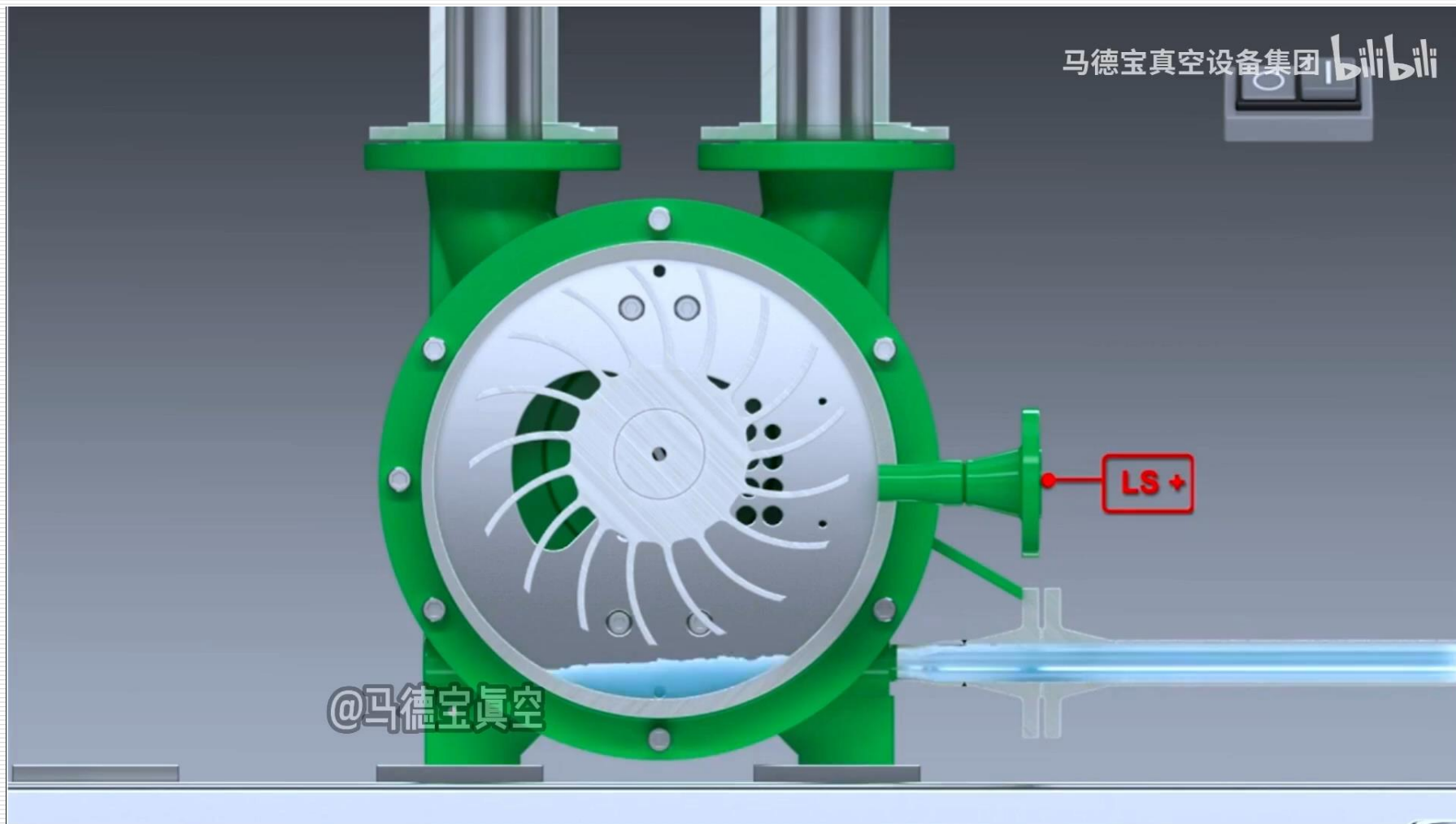
当泵叶片入口附近的最低压强等于或小于输送温度下液体饱和蒸汽压时，部分液体将在该处汽化并产生的气泡，被液流带入叶轮内压力较高处凝结或破裂。由于凝结点处产生瞬间真空，造成周围液体高速冲击该点，产生剧烈的水击。



现象：噪声大、泵体振动，流量、压头、效率都明显下降。严重时，泵不能正常工作。

防止措施：把离心泵安装在恰当的高度位置上，确保泵内压强最低点处的静压超过工作温度下被输送液体的饱和蒸汽压。

离心泵的汽蚀现象



离心泵的气蚀余量

为了避免发生气蚀现象，在离心泵的入口处液体的静压头 $p_1/\rho g$ 与动压头 $u_1^2/2g$ 之和必须大于操作温度下的液体饱和蒸汽压头 $p_v/\rho g$ 某一数值，此数值即为离心泵的气蚀余量（NPSH），即

$$NPSH = \frac{p_1}{\rho g} - \frac{p_v}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g}$$

离心泵的临界气蚀余量（NPSH）_c：在泵入口1-1'和叶轮入口k-k'两截面间列柏努利方程式，可得

$$\frac{p_{1,\min}}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} = \frac{p_v}{\rho g} + \frac{u_k^2}{2g} + H_{f,1-k}$$

变形可得 $(NPSH)_c = \frac{p_{1,\min} - p_v}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} = \frac{u_k^2}{2g} + H_{f,1-k}$

离心泵的允许吸上真空度

若以输送液体的液柱高度来计算离心泵入口处的最高真空度，则此真空度称为离心泵的允许吸上真空度，以 H_s' 来表示，即

$$H_s' = \frac{p_a - p_1}{\rho g}$$

□ H_s' 值的大小与泵的结构、流量、被输送液体的性质及当地大气压等因素有关。通常由泵的制造工厂在98.1kPa下，用20℃为介质进行测定。若输送其他液体，或操作条件与上述的实验条件不同时，应按下式进行换算，即

$$H_s = \left[H_s' + (H_a - 10) - \left(\frac{p_v}{9.81 \times 10^3} - 0.24 \right) \right] \frac{1000}{\rho}$$

离心泵的允许安装（吸上）高度 $NPSH = \frac{p_1}{\rho g} - \frac{p_v}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g}$

假设离心泵在可允许的安装高度下操作，于储槽液面0-0'与泵入口处1-1'两截面间列柏努利方程式，可得允许安装高度 H_g

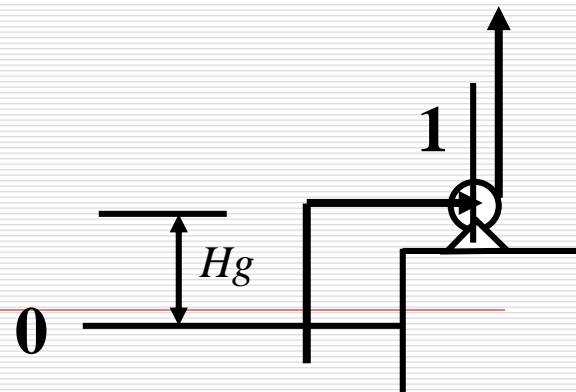
$$H_g = \frac{p_0 - p_1}{\rho g} - \frac{u_1^2}{2g} - H_{f,0-1}$$

若储槽上方与大气相通，则 p_0 即为大气压强 p_a ，上式可表示为：

$$H_g = \frac{p_a - p_1}{\rho g} - \frac{u_1^2}{2g} - H_{f,0-1}$$

$$H_g = H_s - \frac{u_1^2}{2g} - \Sigma H_f$$

H_s 允许吸上真空度



例题：某离心泵在样本中查得允许吸上真空度为6m，现将泵安装在海拔高度500m处，水温40度，问（1）修正后的 H_s ？（2）若吸入管路压头损失为1m，动压头为0.2m，该泵安装在离水面5m高处是否合适？

**解：1、水40°C, $P_v = 55.32 \text{ mmHg}$,
500 m处 $P_a = 9.74 \text{ mH}_2\text{O}$,
 $H_v = 55.32 / 760 \times 10.3 = 0.75 \text{ mH}_2\text{O}$
 $H_a = 9.74 \text{ mH}_2\text{O}$
 $H_s' = H_s + (H_a - 10) - (H_v - 0.24)$
 $= 6 + (9.74 - 10) - (0.75 - 0.24) = 5.23 \text{ m}$**

**2、 $H_g = H_s' - u_1^2 / 2g - \sum H_f = 5.23 - 0.2 - 1 = 4.03 \text{ m}$
计算的允许安装高度值(4.03m)低于实际安装高度值(5m)，因此泵安装高度不合适。**

例题：用油泵从贮罐向反应器输送异丁烷，密度 530kg/m^3 ，罐内液面恒定，且上方绝对压强为 6.65kgf/cm^2 ，吸入管压头损失为 1.6m ，饱和蒸汽压为 6.5kgf/cm^2 ，泵的气蚀余量为 3.5m ，确定泵的安装高度。（ $\varphi=0.9$ ）

解：

$$H_g = \frac{P_0 - P_v}{\rho g} - \Delta h' - \sum H_f$$

$$P_0 = 6.65 \times 98100 \text{ Pa}$$

$$P_v = 6.5 \times 98100 \text{ Pa}$$

$$\sum H_f = 1.6 \text{ m}$$

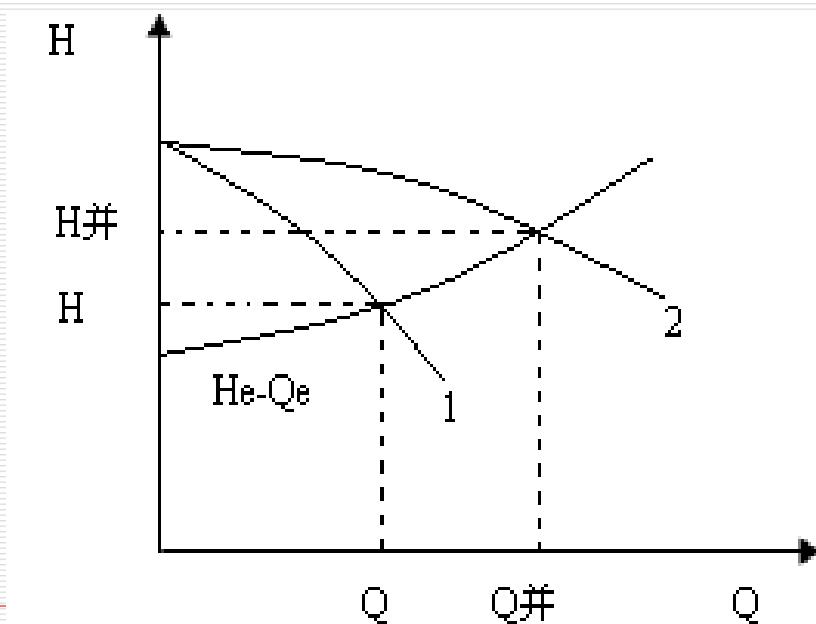
$$\Delta h' = 0.9 \times 3.5 = 3.15 \text{ m}$$

$$H_g = -1.92 \text{ m}$$

泵应安装于罐液面下 1.92m 之下

八、离心泵的并联与串联

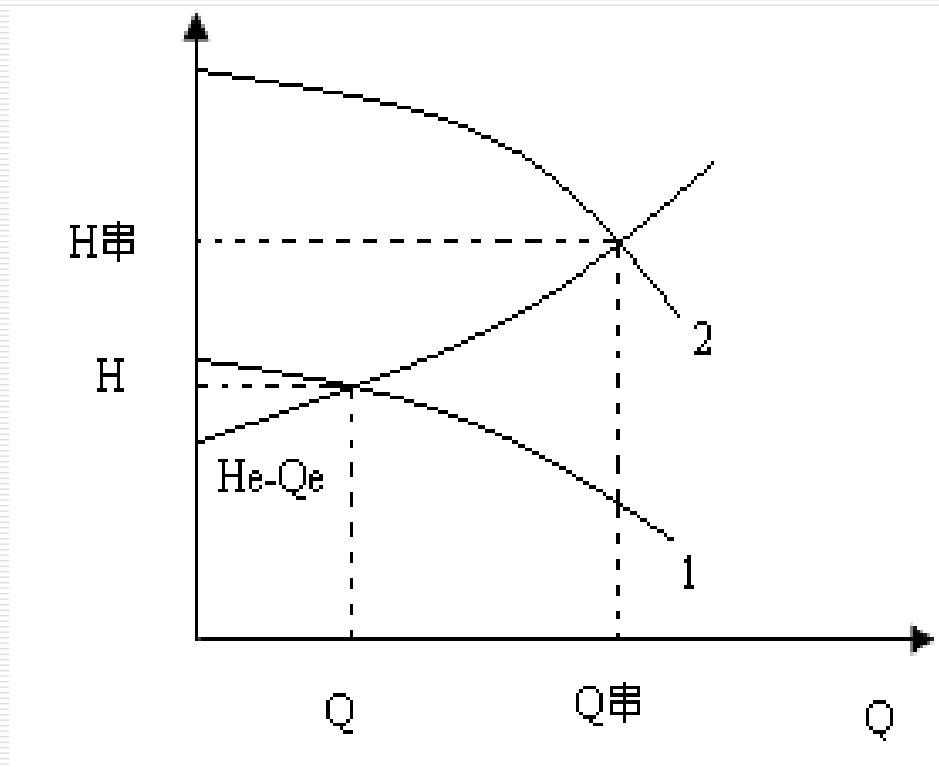
离心泵并联和串联，将组合安装的两台型号相同离心泵视为一个泵组，泵组的特性曲线或称**合成特性曲线**，据此确定泵组工作点。



离心泵的并联

离心泵**并联操作**时，泵在同一压头下工作，两台并联泵的流量等于单台泵的两倍。据此，并联离心泵组的 $H-Q$ 特性曲线。

离心泵的并联与串联



离心泵**串联操作**时，泵送流量相同，两台串联泵的扬程为该流量下单台泵的扬程两倍。离心泵串连工作时的合成特性曲线。

离心泵的串联

九、离心泵的类型、选用、安装与操作

1、离心泵的类型：

按输送液体的性质不同

(1) **清水泵**：输送清水或相近、无腐蚀性、杂质较少的液体。结构简单，造价低。——**IS**

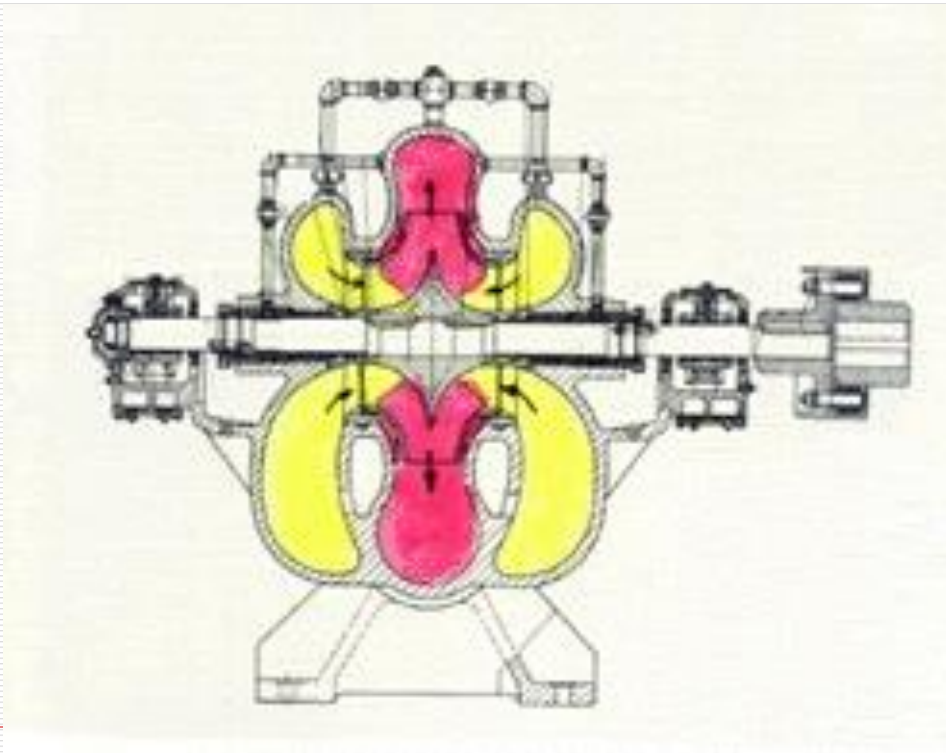
(2) **耐腐蚀泵**：输送腐蚀性的液体，用耐腐蚀材料制成，要求密封可靠。——**F**

(3) **油泵**：输送石油产品的泵，要求有良好的密封性。——**Y**

1、离心泵的类型：

(4) **杂质泵**：输送含固体颗粒的液体、稠厚的浆液，叶轮流道宽，叶片数少。 ——P

单吸泵；双吸泵



1、离心泵的类型：

单级泵；多级泵



串联组合；并联组合

2、离心泵的选用

(1) 根据液体的性质确定类型

(2) 确定管路流量和所需外加压头。

$q_v \leftarrow$ 生产任务, $H \leftarrow$ 管路的特性方程。

(3) 根据所需 q_v 和 H 确定泵的型号

①查性能表或曲线, 要求泵的 H 和 q_v 与管路所需相适应。

②若需 q_v 有变, 以最大 q_v 为准, H 应以最大 q_v 值查找。

③若泵的 H 和 q_v 与管路所需不符, 在邻型号中找 H 和 q_v 都稍大一点的。

2、离心泵的选用

- ④若几个型号都行，应选在操作条件下 η 最高者。
 - ⑤若液体性质与清水相差大，则应对所选泵的特性曲线和参数进行校正，看是否能满足要求。
 - ⑥为保险，所选泵可以稍大；但若太大，能量利用程度低。
-

3、离心泵的安装与操作

安装

- ①安装高度应小于允许安装高度
- ②尽量减少吸入管路阻力，短、直、粗、管件少；调节阀应装于出口管路。

操作

- ①启动前应灌泵，并排气。
 - ②应在出口阀关闭的情况下启动泵
 - ③停泵前先关闭出口阀，以免损坏叶轮
 - ④经常检查轴封情况
-