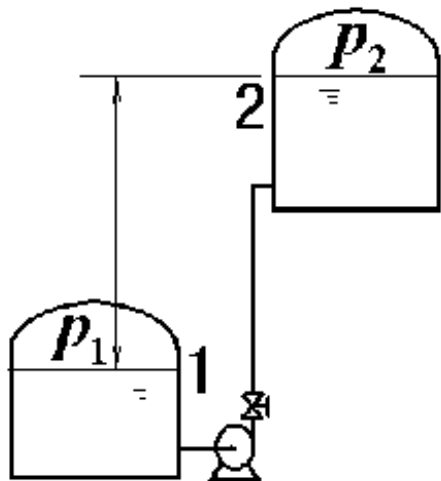


## 习题: 1, 3, 4, 6,

# 2 流体输送机械

## 2.1 概述

在讨论流体输送机械时,习惯以单位重量流体而不是以单位质量的流体为计算基准。



以 1-2 截面列伯努利方程:

$$\frac{\mathcal{P}_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} + H = \frac{\mathcal{P}_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + \Sigma H_{f1-2}$$

当(1)  $\mathcal{P}_1 < \mathcal{P}_2$

(2)  $\mathcal{P}_1 > \mathcal{P}_2$ , 但  $\frac{\mathcal{P}_1}{\rho g} - \frac{\mathcal{P}_2}{\rho g} < \Sigma H_{f1-2}$

为完成输送任务,必须有流体输送机械  
—给系统加入能量 ( $H$ )

带泵管路要解决两个主要问题:

(1) 管路需要泵提供多少能量?

(2) 泵能够提供怎样的能量?

首先看需方:

$$\frac{\mathcal{P}_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} + H = \frac{\mathcal{P}_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + \Sigma H_{f1-2}$$

$$\therefore H = \frac{\Delta \mathcal{P}_{21}}{\rho g} + \frac{\Delta u^2}{2g} + \Sigma H_{f1-2}$$

$$\Sigma H_{f12} = \lambda \frac{l + l_e}{d} \frac{u^2}{2g}$$

$$u = \frac{q_v}{\frac{1}{4}\pi d^2} \quad \therefore \Sigma H_{f12} = \frac{8\lambda(l + l_e)q_v^2}{\pi^2 d^5 g}$$

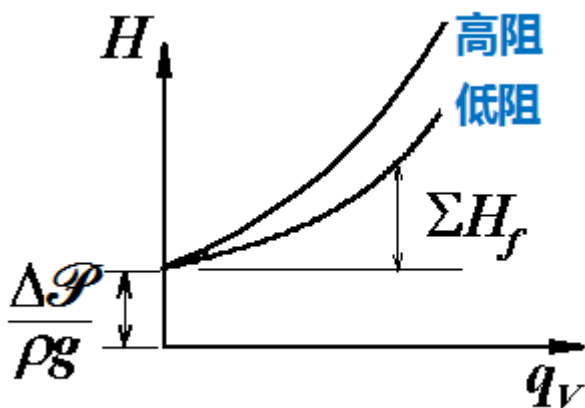
若在阻力平方区:  $\frac{8\lambda(l + l_e)}{\pi^2 d^5 g}$  与  $q_v$  无关

设为常数  $K$

忽略动能项:  $\frac{\Delta u^2}{2g}$

$$\therefore \text{管路特性方程: } H = \frac{\Delta \mathcal{P}_{21}}{\rho g} + Kq_v^2$$

此方程表明: 管路对输送机械的需求, 如图示。



同一  $K$ ,  $q_v \uparrow$ ,  $H \uparrow$

同一  $q_v$ ,  $K \uparrow$ ,  $H \uparrow$

影响因素：

阻力部分：

势能部分：

$$\frac{\Delta \mathcal{P}}{\rho g} = \frac{\Delta p}{\rho g} + \Delta z = \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \Delta z$$

①  $d^5$  次方

① 密度

②  $l, l_e$

②  $\Delta z$

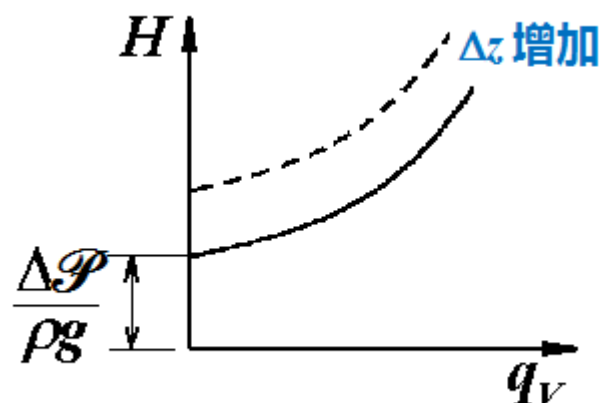
③  $\varepsilon / d$

③  $\Delta p$

影响因素：

1、势能变化

$$\frac{\Delta \mathcal{P}}{\rho g} = \frac{\Delta p}{\rho g} + \Delta z$$



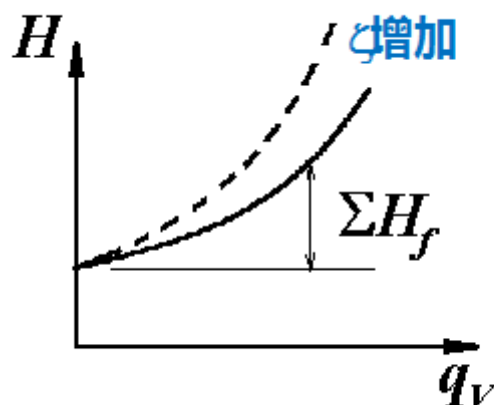
2、阻力部分

$$\Sigma H_f = \Sigma \left( \lambda \frac{l}{d} + \zeta \right) \frac{8}{\pi^2 d^4 g} q_v^2$$

① 管径

② 管长  $l, \zeta, l_e$

③  $\varepsilon / d$



需方：管路

供方：流体输送机械

方法论：过程分解

流体输送机械的核心问题：

用什么方法经济有效地提供机械能

—工程学科的特点

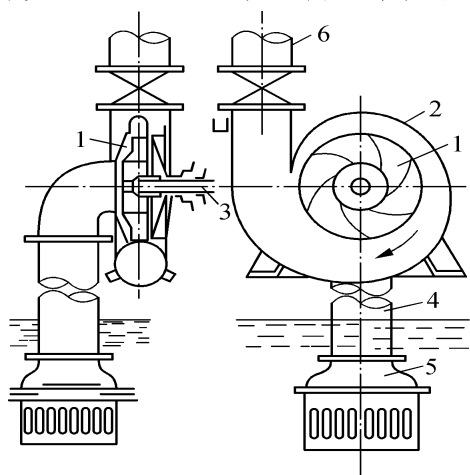
可提供多大的机械能

## 2.2 离心泵

### 2.2.1 结构与原理（录像）

#### 一、结构

泵壳（蜗壳）—转能作用

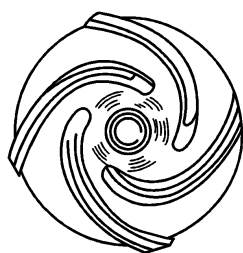


1—叶轮；2—泵壳；3—泵轴；4—吸入管；5—底阀；6—压出阀

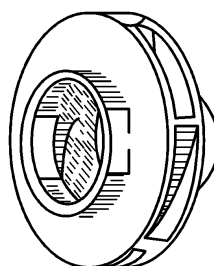
叶轮（蔽式，敞式，半蔽式）



(a) 敞式



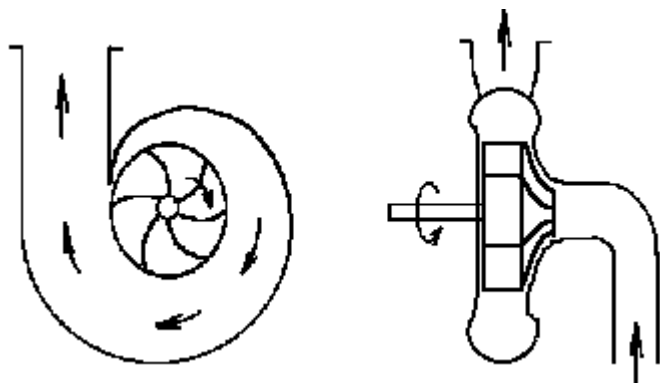
(b) 半蔽式



(c) 蔽式

轴封装置

防止“气缚”



在叶轮中心吸入低势能低动能流体，液体在流经叶轮的运动中获得能量并且在蜗壳中随着流道的扩大，动能部分又转化为势能。

## 二、 理论压头

经过理论推导，离心泵理论压头  $H_T$ :

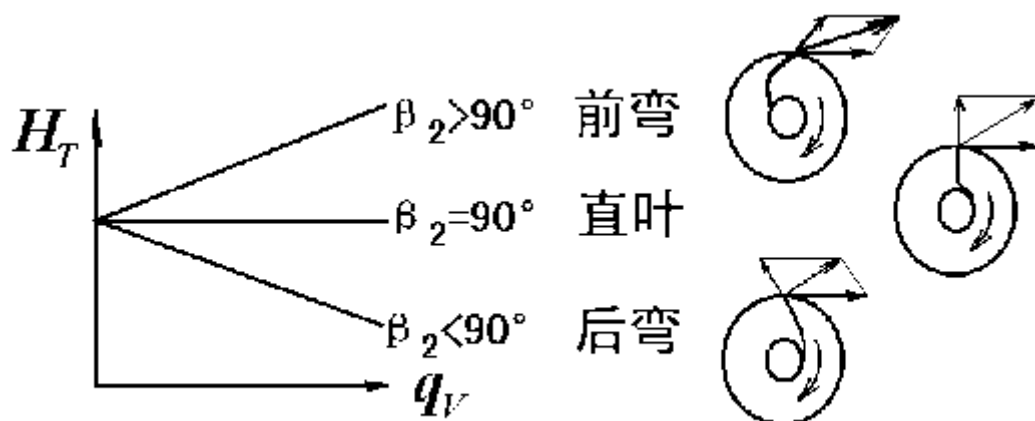
$$H_T = \frac{u_2^2}{g} - \frac{u_2 q_V}{g A_2} \cot \beta_2$$

其中：  $q_V$  是流量，  $\beta_2$  是叶轮后弯角度 p69

$H_T$  是理论扬程 单位是 m

理论压头的影响因素：

### (1) 叶片弯角



结论：后弯叶片工业上常采用

(势能增加 > 动能增加 效率高)

## (2) 液体密度

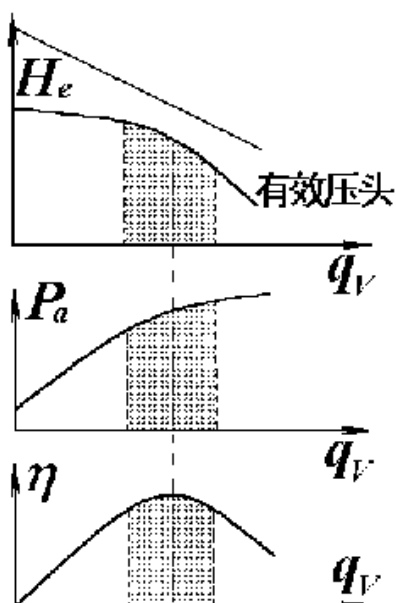
\* 无论打何种流体，泵的扬程是一样的  $m$  液柱

气缚现象  $\Delta p \propto H_T \rho g$

原因：泵中气体密度太小， $\Delta p = \rho g H$  太小，不能将液体吸上。

办法：底阀，灌泵，管路及轴封密封。

### 2.2.2 离心泵的特性曲线



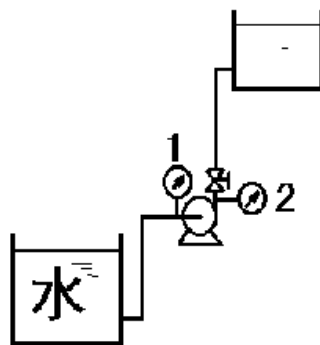
由特性曲线引出：

- (1) 离心泵铭牌上的额定流量是指效率最高点对应的流量；
- (2) 轴功率 ( $P_a$ ) 在  $q_v=0$  时为最小，因而对离心泵在开泵时关掉出口阀。

## 泵的特性曲线测定:

测定  $q_v, p_{\text{压}}, p_{\text{真}}, Pa$

已知:  $d_{\text{吸}}, d_{\text{出}}$



由泵进出口列机械能守恒方程

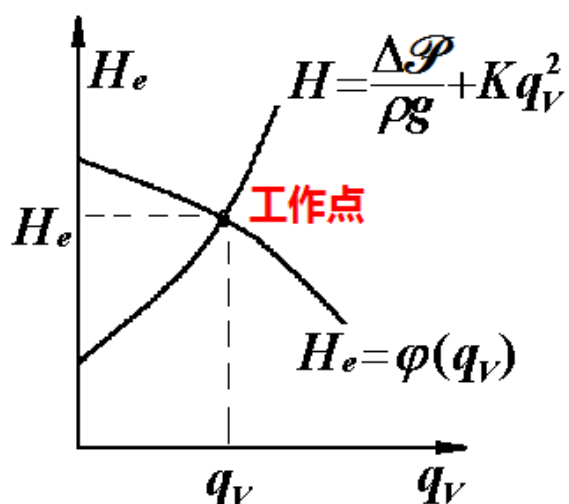
$$H_e = (z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g}$$
$$= (z_2 - z_1) + \frac{p_2(\text{压}) + p_1(\text{真})}{\rho g} + \frac{u_2^2 - u_1^2}{2g}$$

$$P_e = \rho g q_v H_e \quad \eta = \frac{P_e}{P_a}$$

$$H_e \sim q_v, P_a \sim q_v, \eta \sim q_v$$

由此大家了解了泵在管路中提供能量 ( $H_T$ ) 与流量等因素的关系。

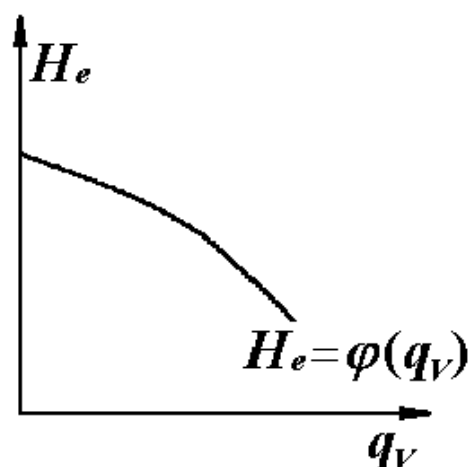
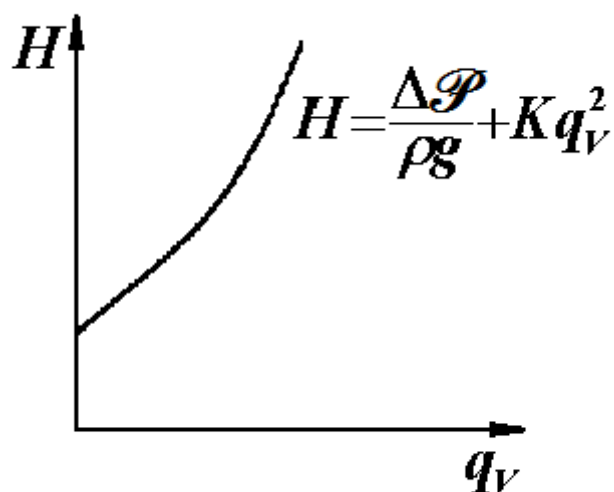
因而实际带泵管路的工作点 ( $q_v, H$ ) 是由管路特性和泵的特性曲线共同决定。



## 过程分解:

需方: 管路方程

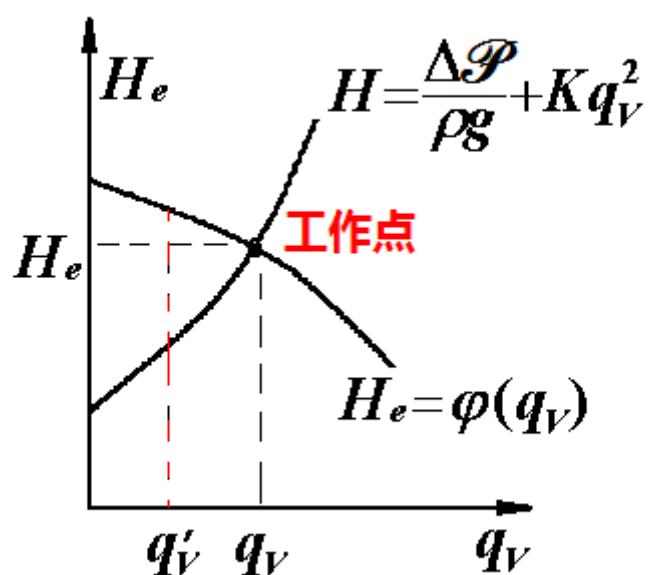
供方: 流体输送机械



## 过程的合成: 解决实际问题。

### 2.2.3 离心泵的流量调节

#### 1、离心泵的工作点



管路  $H = f(q_v) = \frac{\Delta \mathcal{P}_{21}}{\rho g} + K q_v^2$

$$K = \frac{8\lambda \Sigma l}{\pi^2 g d^5}$$



泵特性:  $H_e = \varphi(q_V) = A - Bq_V^2$

$H_e = H$  离心泵一定是在工作点工作。

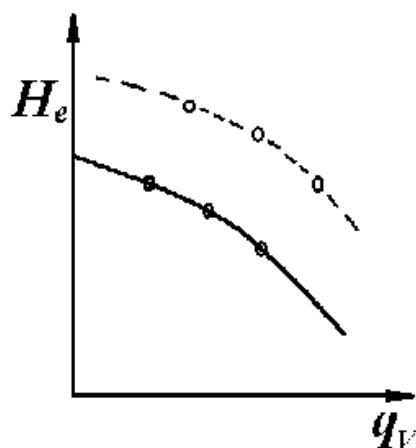
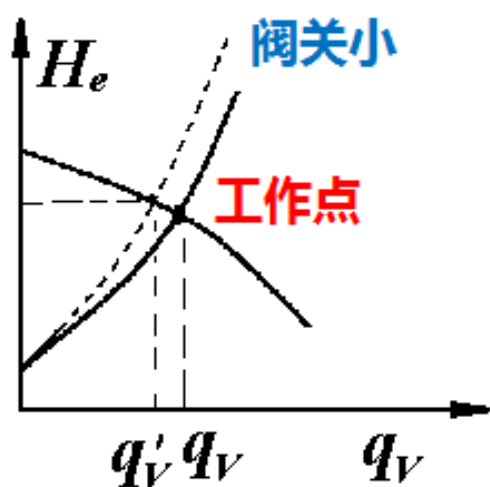
流量调节就是工作点调节。

## 2、 流量调节

**办法：** 调节需方（管路）—出口阀

调节供方（泵）—改变  $n'$

改变  $D'$



实用方便，能耗大

能耗少，不方便

用  $n'$  或  $D'$  调节应注意：

(1) 适用条件与范围

(2) 必须符合等效原则

例：某管路安装一台 IS80-50-200 型水泵，将水池中的水送至高度为 10m，表压为  $9.81 \times 10^4 \text{Pa}$  的密闭容器中，管内流量为  $16.7 \times 10^{-3} \text{m}^3/\text{s}$ 。(1) 试求管路特性曲线（假定管内流动已进入阻力平方区）。(2) 若将阀门关小，使管内流量减小 25%，管路特性曲线（假定管内流动位于阻力平方区）有何变化？在此

流量下输送每千克水额外消耗的理论功为多少？

解：（1）由 p78 图查得当  $q_v=16.7\times 10^{-3}\text{m}^3/\text{s}$ ，泵的压头  $H_e=47\text{m}$ 。由此可求

$$K = \frac{H_e - \frac{\Delta \mathcal{P}}{\rho g}}{q_v^2} = \frac{47 - (10 + \frac{9.81 \times 10^4}{1000 \times 9.81})}{(16.7 \times 10^{-3})^2} = 9.68 \times 10^4$$

管路特性方程为：  $H_e = \frac{\Delta \mathcal{P}}{\rho g} + Kq_v^2 = 20 + 9.68 \times 10^4 q_v^2$

（2）关小阀门后管路的流量为

$$q_v' = 16.7 \times 10^{-3} \times (1 - 0.25) = 12.5 \times 10^{-3} \text{m}^3 / \text{s}$$

查 p78 图，当流量为  $12.5 \times 10^{-3}\text{m}^3/\text{s}$ ，泵的压头  $H_e=52\text{m}$ 。由此可求得关小阀门后管路特性曲线方程系数 K：

$$K' = \frac{H_e' - \frac{\Delta \mathcal{P}}{\rho g}}{q_v'^2} = \frac{52 - (10 + \frac{9.81 \times 10^4}{1000 \times 9.81})}{(12.5 \times 10^{-3})^2} = 2.05 \times 10^5$$

管路特性方程为：  $H_e = \frac{\Delta \mathcal{P}}{\rho g} + Kq_v^2 = 20 + 2.05 \times 10^5 q_v^2$

对于原管路，输送  $q_v=12.5 \times 10^{-3}\text{m}^3/\text{s}$  的水量，所需压头为  $H_e = 20 + 9.68 \times 10^4 \times (12.5 \times 10^{-3})^2 = 35.1\text{m}$

因阀门关小，输送每千克水多消耗的理论功为  $g(H_e' - H_e) = 9.81 \times (52 - 35.1) = 165.8\text{J} / \text{kg}$