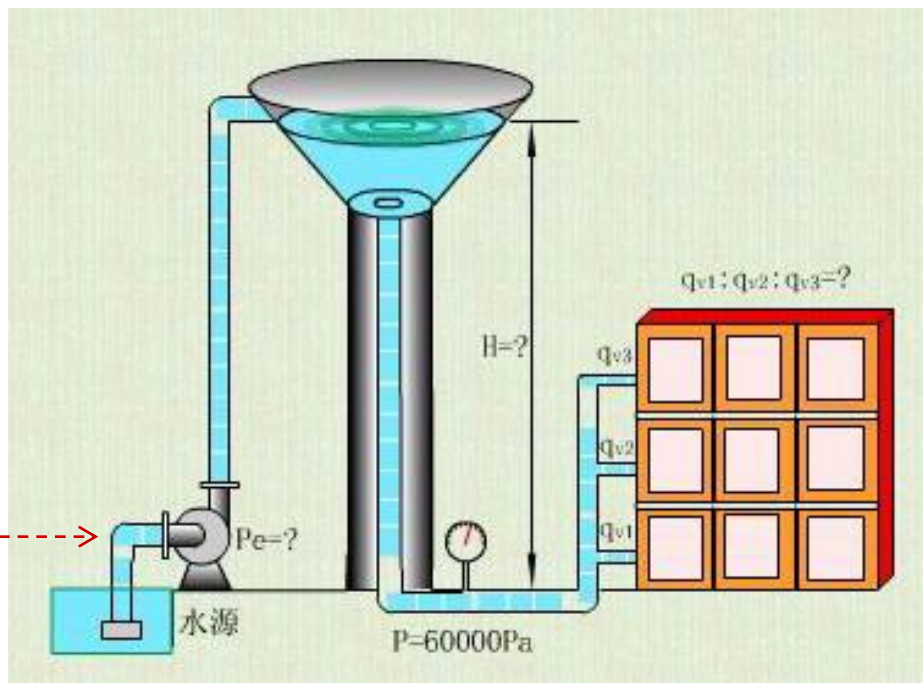
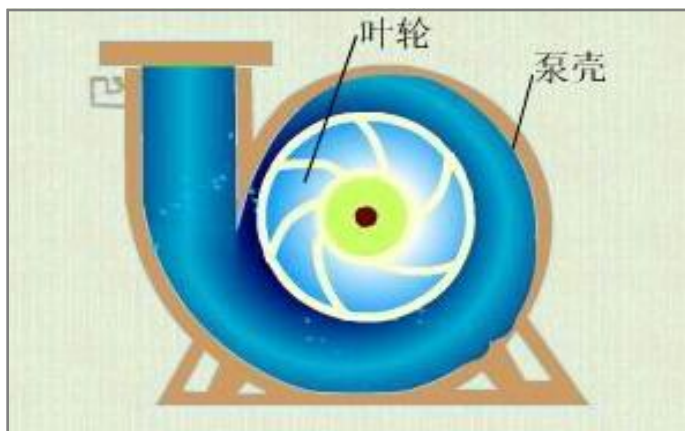


离心泵

结构简单、流量大而均匀、操作方便，应用很广

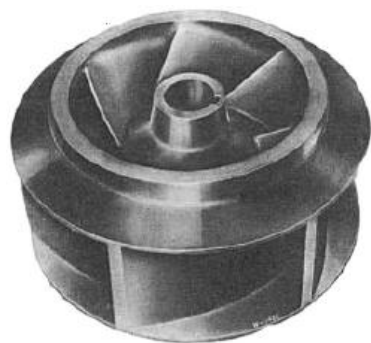
离心泵的构造及工作原理

离心泵的构造

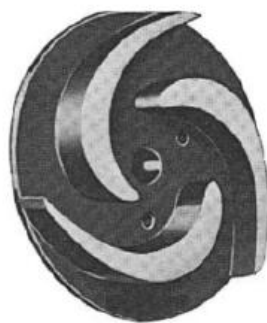


主要构件：叶轮和蜗壳

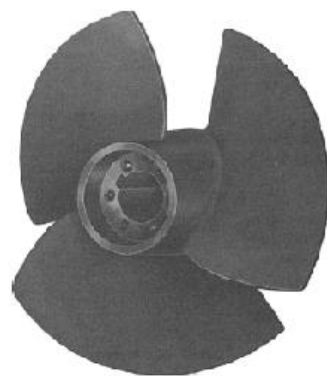
叶轮：直接对液体做功的部件，其上有若干后弯叶片，一般为4~8片。迫使流体高速旋转，形成离心力场。叶轮中心处吸入低势能、低动能的液体；叶轮外缘输出高势能、高动能的液体。液体受迫由叶轮中心流向外缘的同时，在叶轮中心形成低压，液体在吸入口和叶轮中心处的势能差的作用下，源源不断地被吸入叶轮。



(a) 闭式叶轮



(b) 半开式叶轮



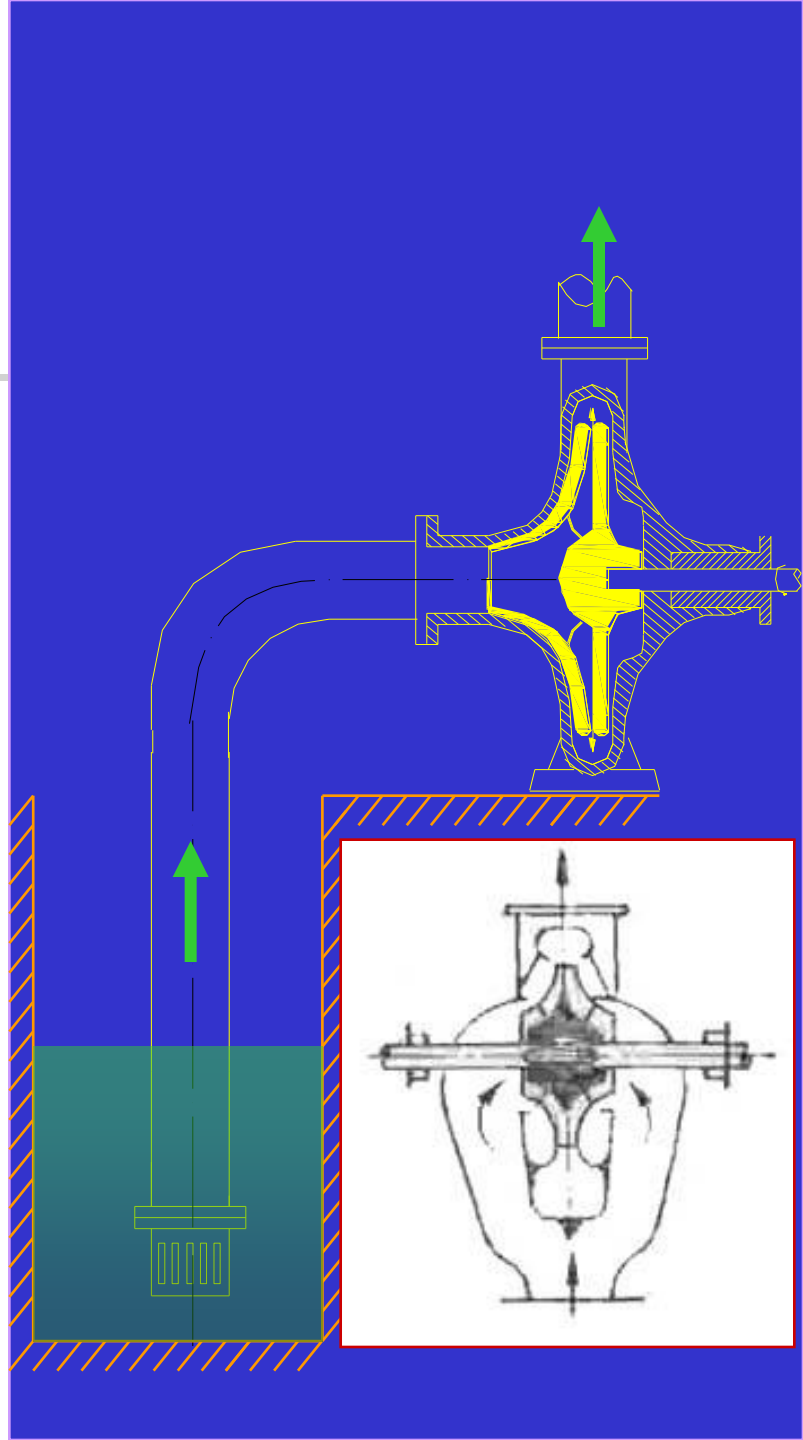
(c) 开式叶轮

蜗壳：流道的逐渐扩大，将动能部分地转化为势能。蜗壳不仅能汇集和导出液体，同时又是能量转换装置。

单吸叶轮和双吸叶轮

单吸式：液体从叶轮一侧吸入，但叶轮会受到轴向推力，增加了轴承的负荷，对闭式或半开式叶轮尤其如此。需设置平衡孔消除轴向推力。

双吸式：两侧对称，液体从叶轮的轴向两侧吸入，具有较大的吸液能力，且可消除轴向推力。





“气缚”现象

由于吸入管路和泵的轴心处漏进气体，致使离心泵不能将液体吸入泵内的现象。

解决办法：

(1) 预先灌泵

自灌式

人工灌入

(2) 良好的轴封



离心泵的基本参数

q_v — 体积流量

H — 总压头(扬程), 泵给单位重量液体的机械能

P — 轴功率(输入功率), 原动机输入泵轴的能量

P_e — 有效功率, 液体实际获得的能量

η — 总效率, 有效功率与轴功率的比值

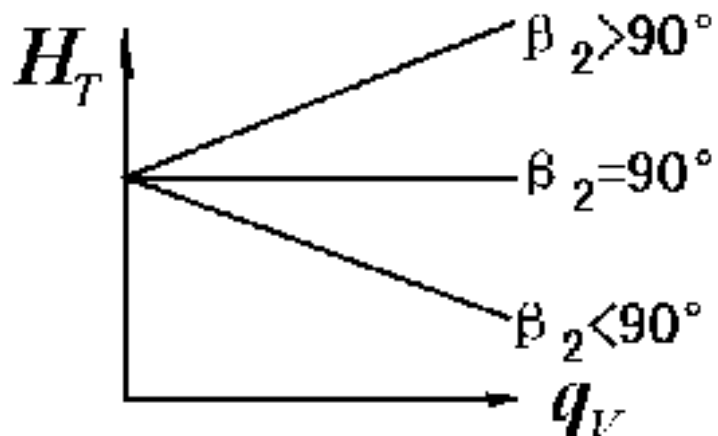
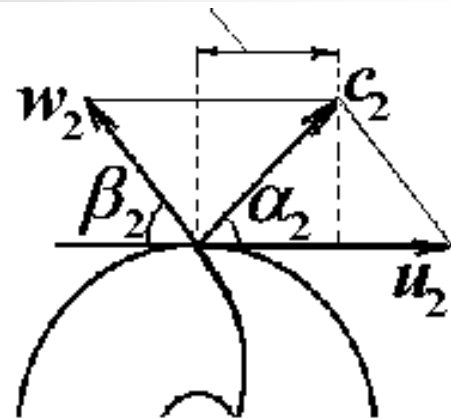
$$P_e = \rho \cdot g \cdot q_v \cdot H$$

$$\eta = \frac{P_e}{P} = \frac{\rho \cdot g \cdot q_v \cdot H}{P}$$

离心泵的理论压头

基本方程

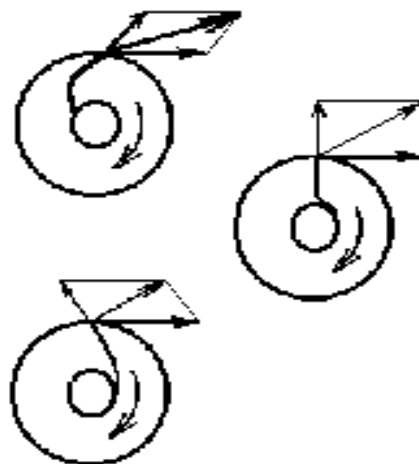
$$H_T = \frac{u_2^2}{g} - \frac{u_2}{gA_2} q_V \operatorname{ctg} \beta_2$$



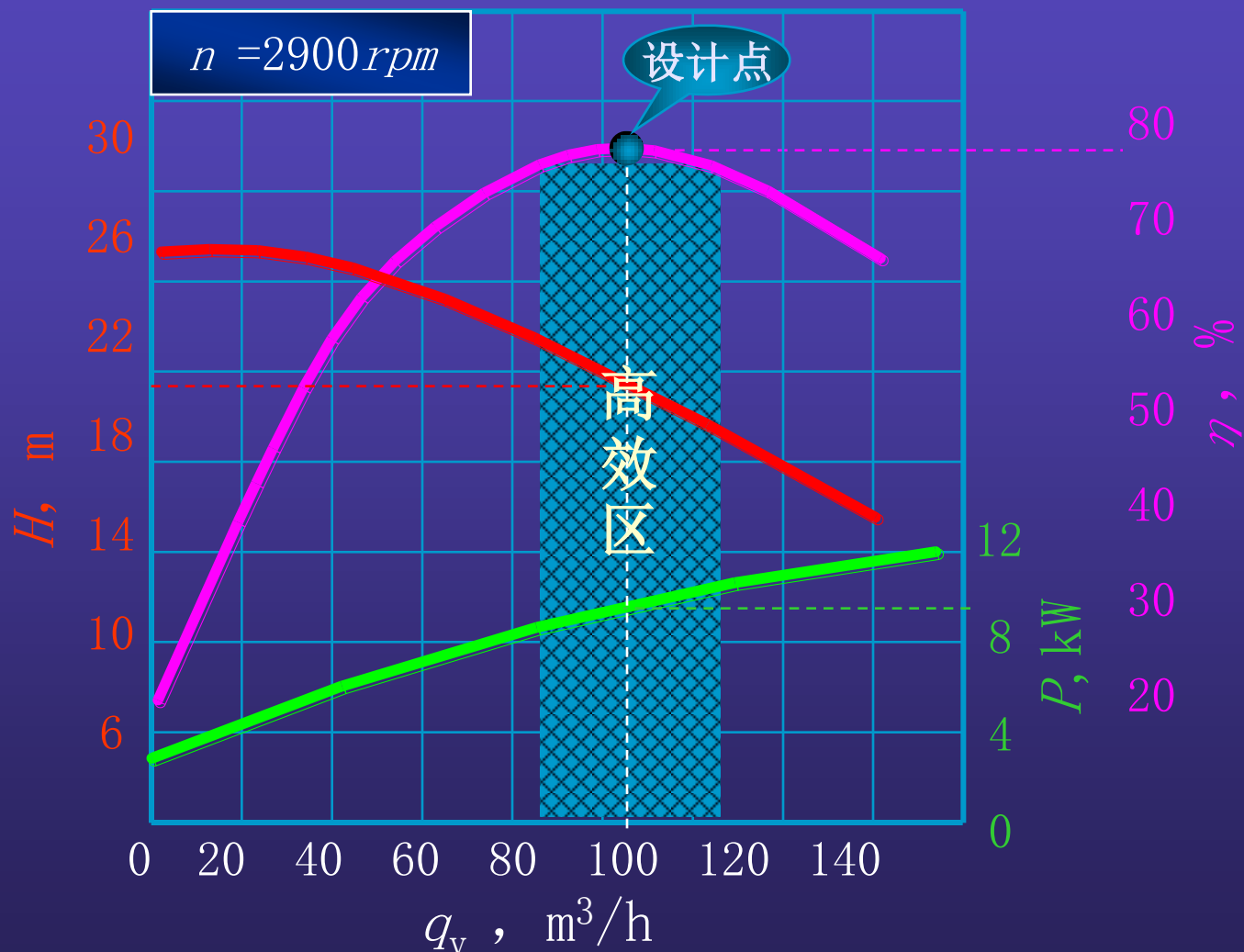
前弯

直叶

后弯



离心泵的主要特性： H 、 η 、 P 、 q_v



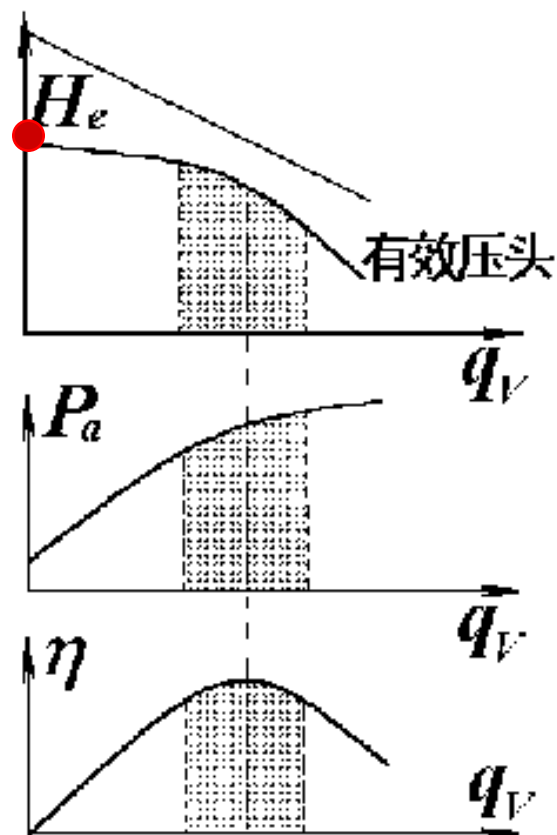
某离心水泵的特性曲线

泵的特性曲线之一：

$$H \sim q_v$$

由于机械能损失，使泵的实际压头和流量较理论值低，而输入泵的功率比理论值高。

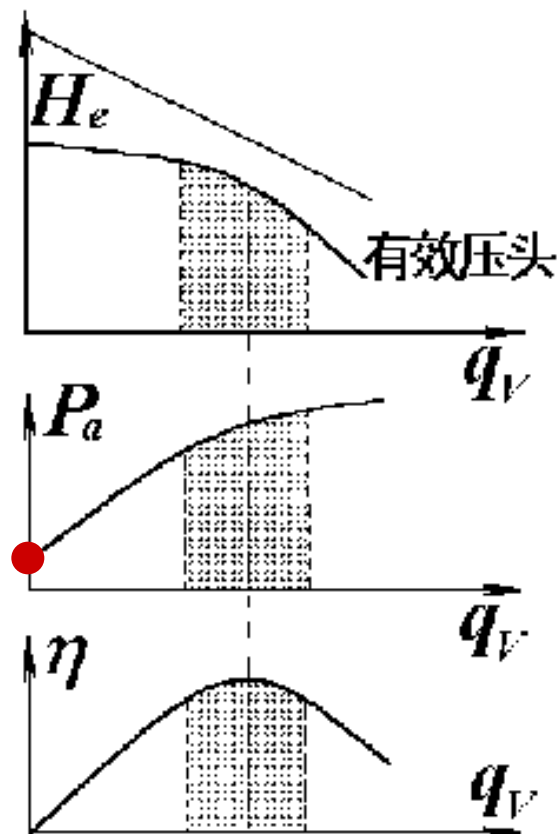
注意：离心泵的工作处于扬程随流量的增加而降低的区域，这样可以保护泵；若反之则流量和扬程同时增加，容易造成操作失稳。特性曲线的**最大值**落在纵轴上能够保证满足此条件，有利于泵的运行。



泵的特性曲线之二： $P \sim q_v$

参考输入轴功率的最大值选择电机的功率，并配备电机。

注意：启动电机时，要关闭出口阀门，因为流量为零时，启动功率最低。



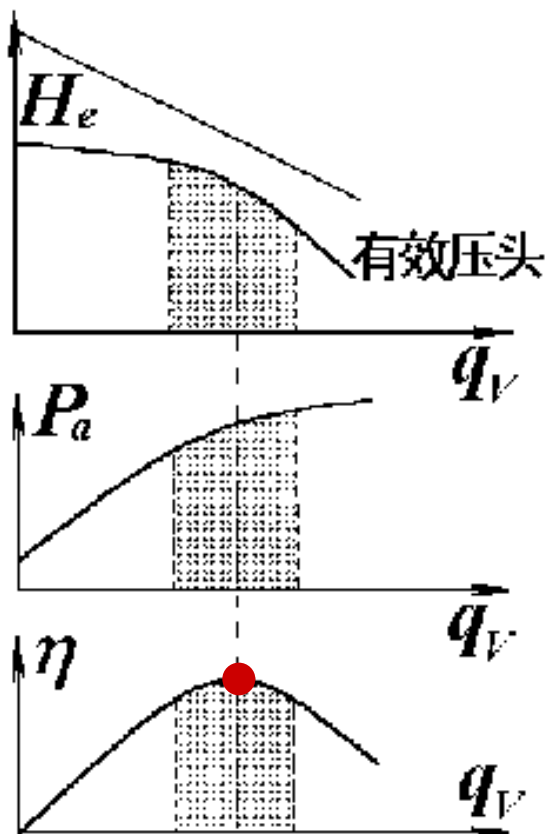
泵的特性曲线之三：

$$\eta \sim q_v$$

泵的设计点取最大效率对应值。
离心泵铭牌上对应的参数值是最大效率时的值。（额定值）

高效区：最大效率值7%范围以内的操作区域。**显然**，应使运行工况维持在设计点附近以保证泵的高效工作。

泵的（总）效率：
产生于离心泵内的**容积损失**、**水力损失**和**机械损失**。



泵的特性曲线测定

主要仪表及设备

泵、管道

真空泵

压力表

出口调节阀

流量计

功率表

测定参数

真空泵读数

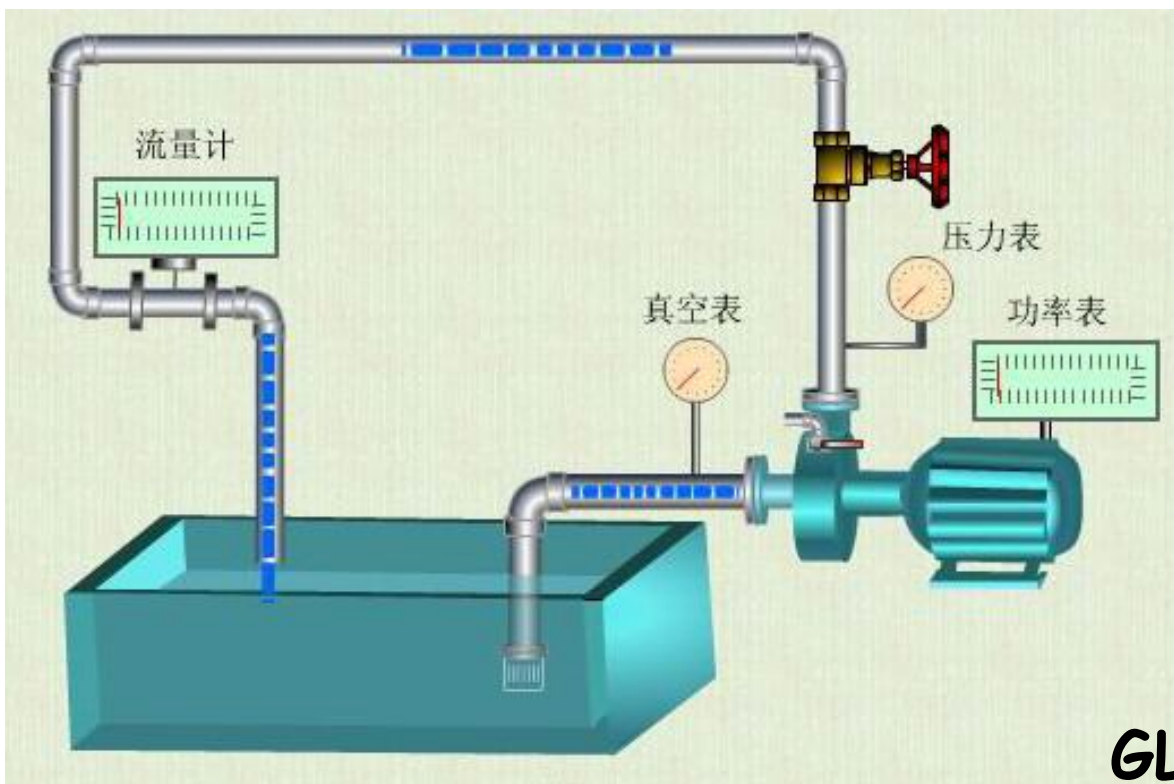
压力表读数

流量计读数

功率表读数

已知参数：管道尺寸

真空表与压力表间列伯努利方程



比例定律与切割定律

比例定律：离心泵转速对特性曲线的影响

当同一泵输送同种液体时，若泵的转速变化 $< \pm 20\%$ ，效率 η 近似不变，符合比例定律：

$$\frac{q_{V2}}{q_{V1}} = \frac{n_2}{n_1} \quad \frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 \quad \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3$$

切割定律：叶轮直径对特性曲线的影响

在相同的转速下，当叶轮直径的切割量小于5%时，泵的效率基本不变，满足切割定律：

$$\frac{q_{V2}}{q_{V1}} = \frac{d_2}{d_1} \quad \frac{H_2}{H_1} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^2 \quad \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^3$$

物性对特性曲线的影响

黏度的影响

$$\mu \uparrow \begin{cases} u \downarrow, q_v \downarrow \\ h_f \uparrow \rightarrow H \downarrow \\ h_f \uparrow \rightarrow \eta \downarrow \rightarrow P \uparrow \end{cases} \quad \text{流量、扬程、效率均需修正}$$

密度的影响

由离心泵的基本方程可知，其流量、扬程均与被输送液体的密度无关，效率也不随液体密度变化；

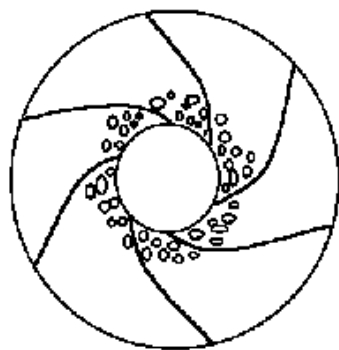
但泵的轴功率随液体密度而变化，与液体密度成正比。

离心泵的安装高度

离心泵的长周期可靠运行的两个基本要求：

- 保证泵在一个最小的连续流量之上工作
- 防止**汽蚀现象**的发生

汽蚀现象：液体流经离心泵时有气泡不断形成、长大和溃灭



后果：叶轮受冲击而出现剥落
泵轴振动强烈，甚至振断

汽蚀现象

汽蚀现象导致：

- 流量、扬程和效率都明显下降，严重时无法吸上液体。

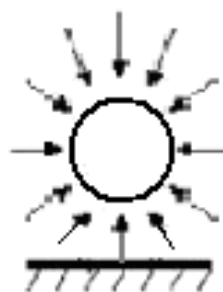
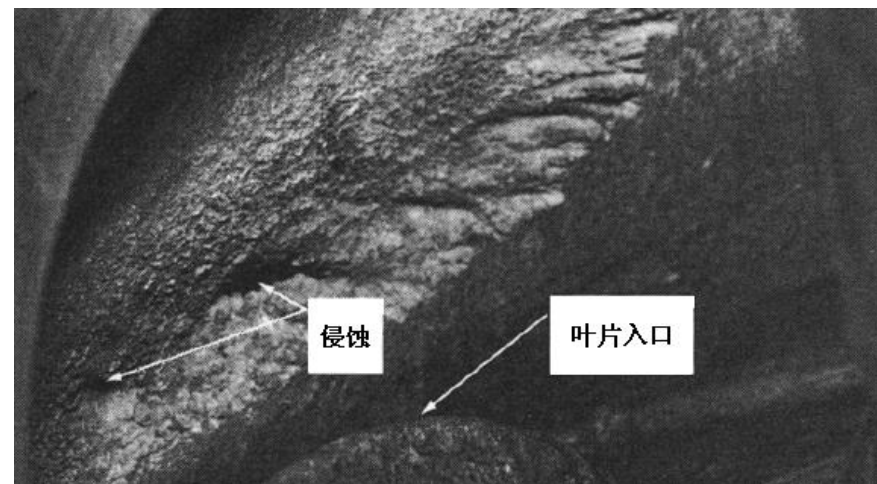
- 异常声音及振动

- 泵部件损坏

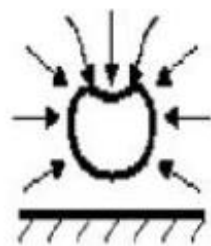
- 汽蚀侵蚀

- 力学变形

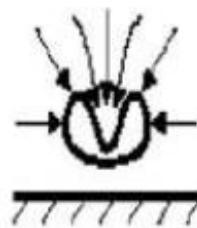
- 汽蚀腐蚀



初始气泡



气泡开始受压溃灭



微小喷射流的形成



冲击产生的坑洼

防止汽蚀现象

汽蚀现象的起因：

泵中某点压力降低到了临界值（饱和蒸汽压）之下。

① **汽蚀余量** $NPSH = \frac{p_{in}}{\rho g} + \frac{u_{in}^2}{2g} - \left(\frac{p_v}{\rho g} \right)$

此值越小，泵内压力越有可能降低至汽化压力之下，即发生汽蚀的危险越大。

临界汽蚀余量 $(NPSH)_{cr}$ **通过实验测得**

必需汽蚀余量 $(NPSH)_{re} = (NPSH)_{cr} + \Delta$

实际汽蚀余量 $NPSH \geq (NPSH)_{re} + 0.5$

防止汽蚀现象

- ①吸入管径常大于压出管径
- ②吸入管不装调节阀

②最大安装高度

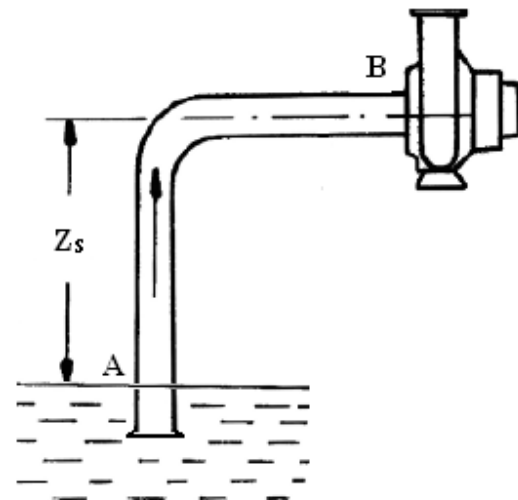
$$Z_{S\max} = \frac{p_A}{\rho g} + \frac{u_A^2}{2g} - H_f - \left(\frac{p_{in}}{\rho g} + \frac{u_{in}^2}{2g}\right)_{\min} = \frac{p_A}{\rho g} + \frac{u_A^2}{2g} - H_f - \frac{p_v}{\rho g} - (NPSH)_{re}$$

设计标准:

$$Z_S = \frac{p_A}{\rho g} + \frac{u_A^2}{2g} - H_f - \frac{p_v}{\rho g} - [(NPSH)_{re} + 0.5]$$

实际安装高度：不得高于设计标准

※流量大时， $(NPSH)_{cr}$ 较大。因此在确定 Z_S 时，必须以使用过程中可能达到的最大流量进行计算。



【例2-1】最大允许安装高度

$$\frac{p_A}{\rho g} + \frac{u_A^2}{2g} = \frac{p_{in}}{\rho g} + \frac{u_{in}^2}{2g} + Z_S + H_f$$

工作点与流量调节

管路特性曲线

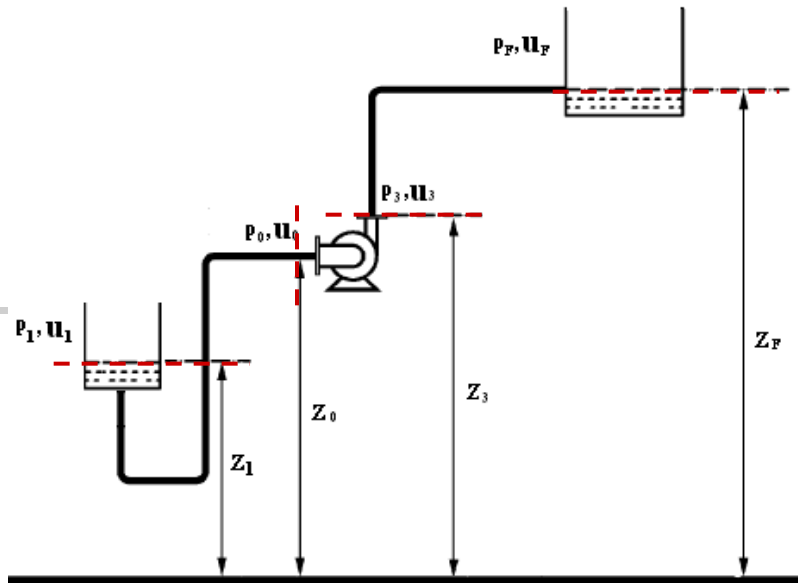
$$1-0: \frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{p_0}{\rho g} + \frac{u_0^2}{2g} + Z_0 + H_{f1}$$

$$3-F: \frac{p_3}{\rho g} + \frac{u_3^2}{2g} + Z_3 = \frac{p_F}{\rho g} + \frac{u_F^2}{2g} + Z_F + H_{f2}$$

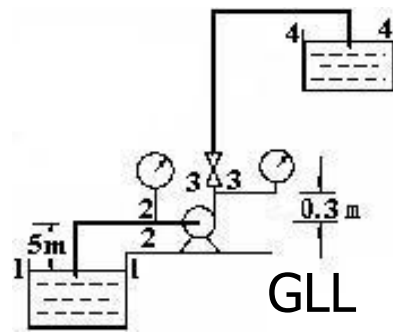
$$1-F: H = \frac{p_3 - p_0}{\rho g} + (Z_3 - Z_0) + \frac{u_3^2 - u_0^2}{2g} = \frac{p_F - p_1}{\rho g} + (Z_F - Z_1) + \frac{u_F^2 - u_1^2}{2g} + H_{f1}$$

$$H_R = B + K(q_v)^2$$

$$H_R = H_{RS} + H_{RD}$$



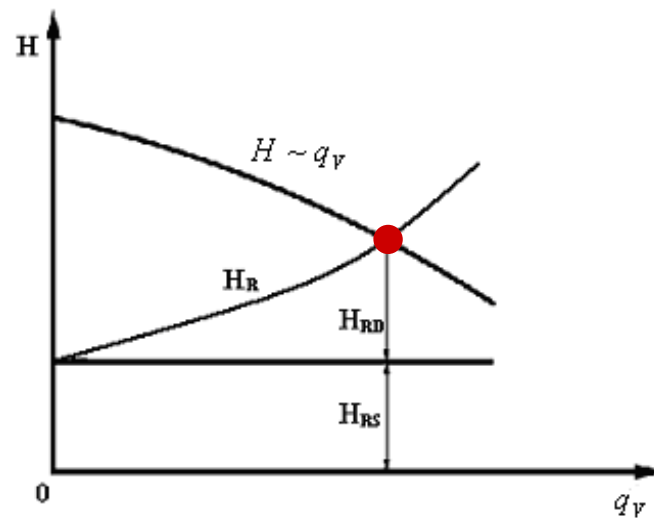
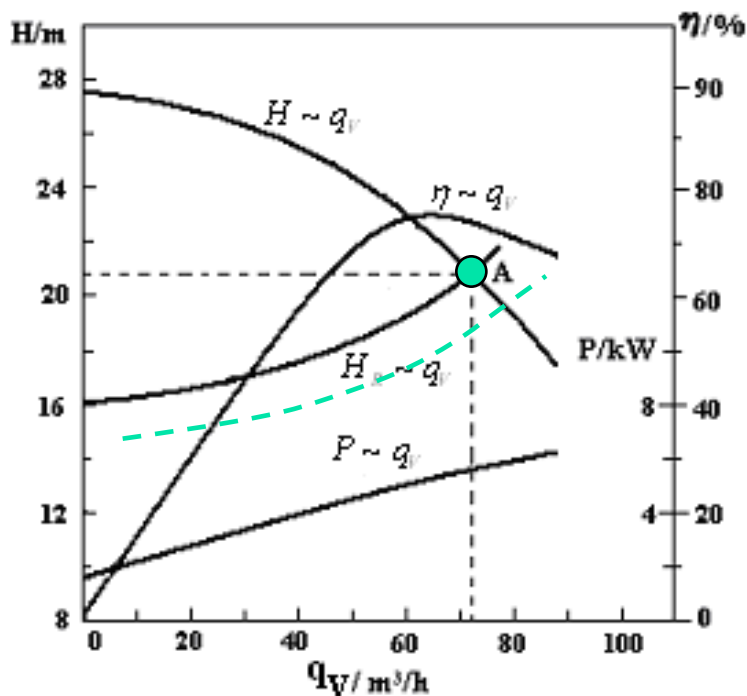
【例2-2】输水系统



工作点：管路特性曲线和泵的特性曲线的交点

工作点应落在泵的高效区

【例2-3】工作点的确定及变化



$$H_R = B + K(q_v)^2$$

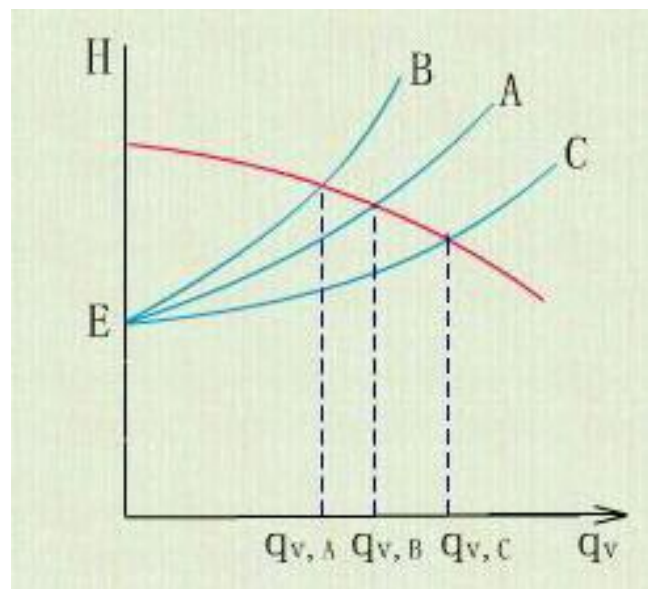
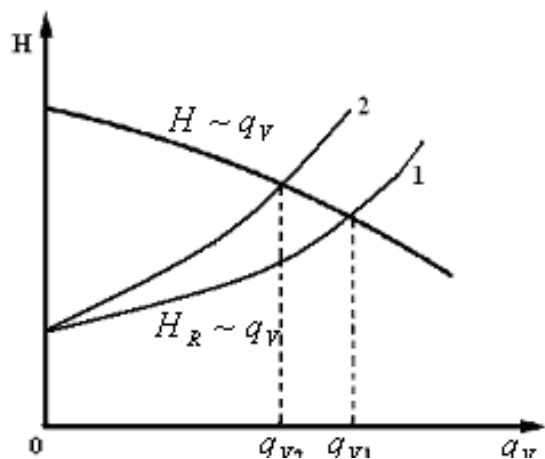
流量调节 (改变管路或泵的特性曲线)

改变管路特性: 调节泵出口管路上阀门的开度

优点: 调节简便, 流量可以连续变化, 应用广泛;

缺点: 阀门关小时需要额外的能耗, 经济性不佳。

设置旁通管路, 将部分出口液体引回泵的入口端, 减小输送流量。



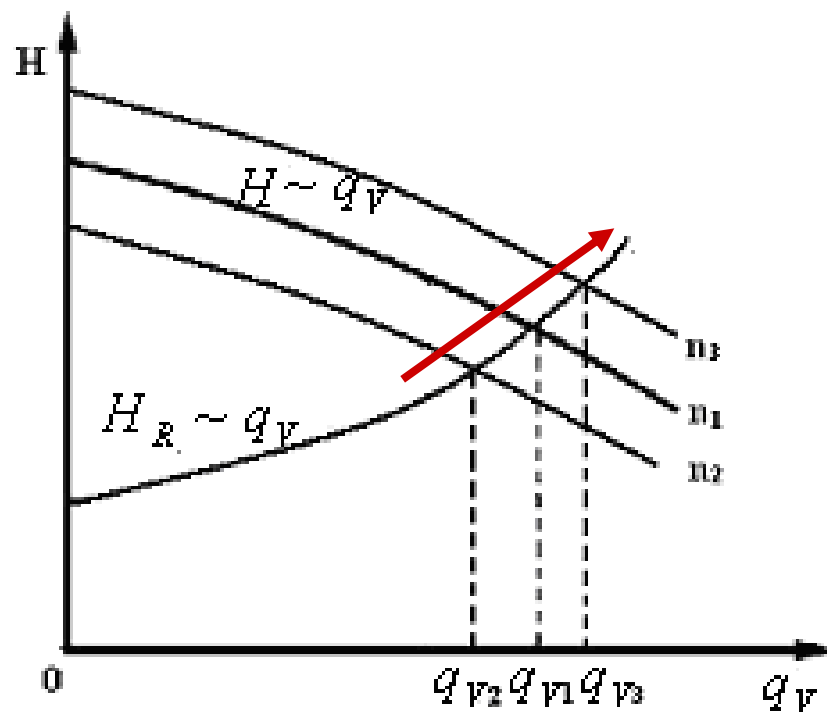
流量调节 (改变管路或泵的特性曲线)

改变泵的特性: 调节泵的转速或切割叶轮
是比例定律和切割定律的应用

优点: 节能

缺点: 实际操作不方便,
应用不多。

切割叶轮可以在减小流量
时采用, 但调节范围较小。





两种流量调节的比较

◎用调节阀调节流量：改变管路特性曲线

优缺点：在阀门关小时，不仅会增加管路阻力损失，且使泵在低效率点工作，在经济上十分不合理；但此法简便、灵活，对调节幅度不大而需经常改变流量的场合特别适用。可连续调节流量。

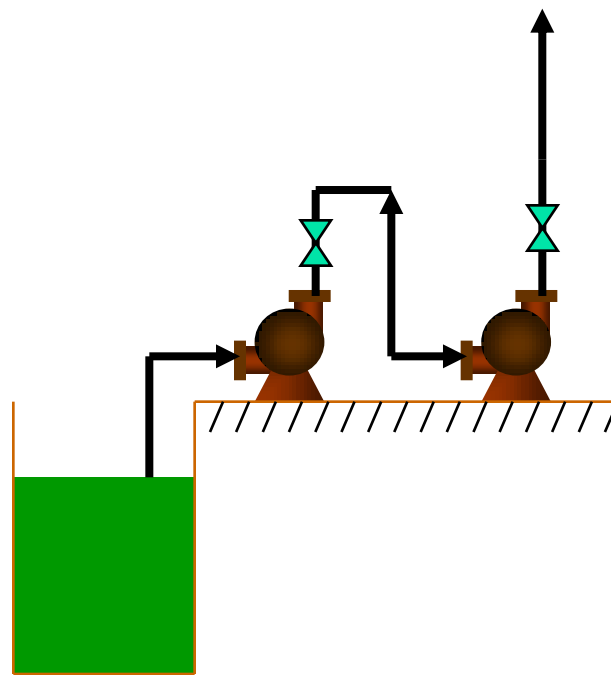
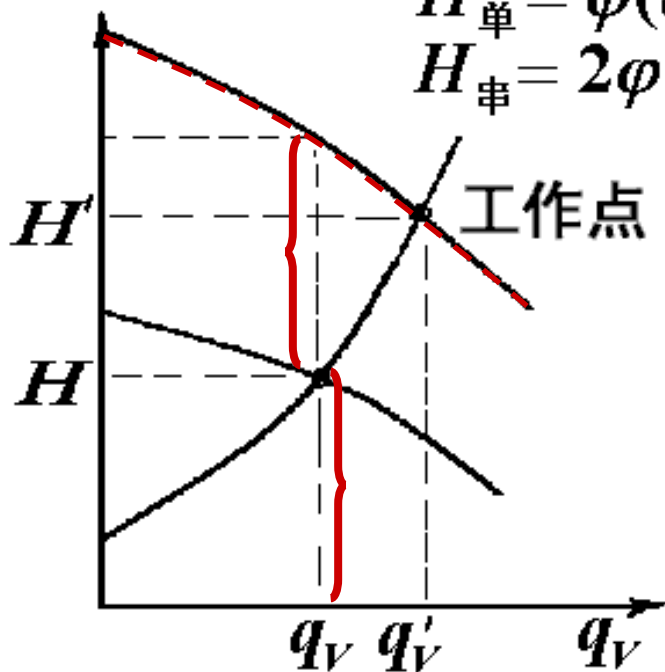
◎改变泵的特性曲线，如改变转速等。

优缺点：不额外增加管路阻力，而且，在一定范围内可保持泵在高效率区工作，能量利用较为经济，对大功率泵尤为重要。一般不可连续调节流量。

泵的组合 — 串联

同样流量下, 两泵压头相加

$$H_{\text{单}} = \varphi(q_v)$$
$$H_{\text{串}} = 2\varphi(q_v)$$



泵的串联

泵的合成特性曲线满足：

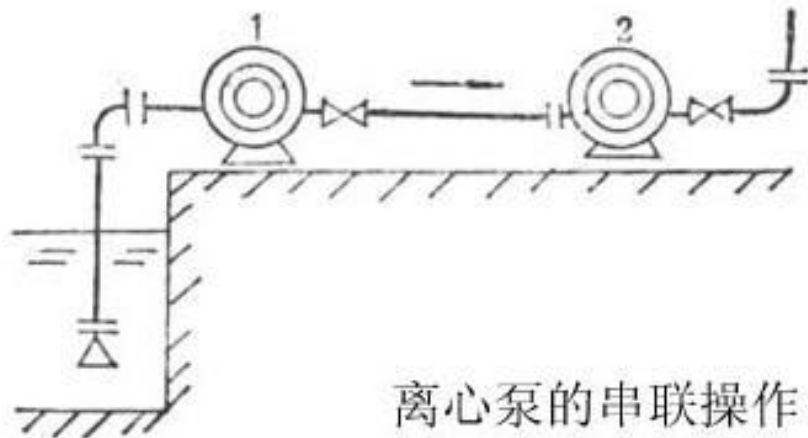
$$q_{v\text{串}} = q_{v1} = q_{v2}, \quad H_{\text{串}} = H_1 + H_2 = 2H_1$$

工作点：

$$q_{v\text{串}} > q_v, \quad H_{\text{串}} < 2H, \quad \eta_{\text{串}} = \eta_1 = \eta_2$$

由于串联泵组各台泵工作压力不同，在布置泵的先后顺序时，应考虑泵壳耐压和汽蚀等因素。

相同泵的串联



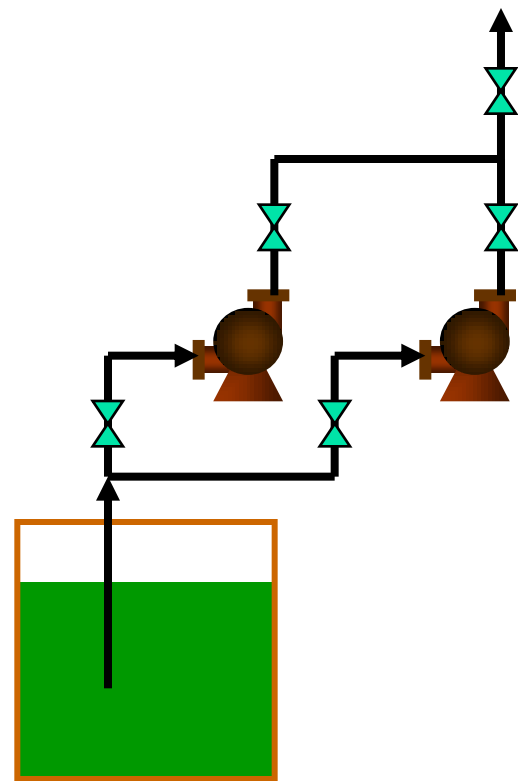
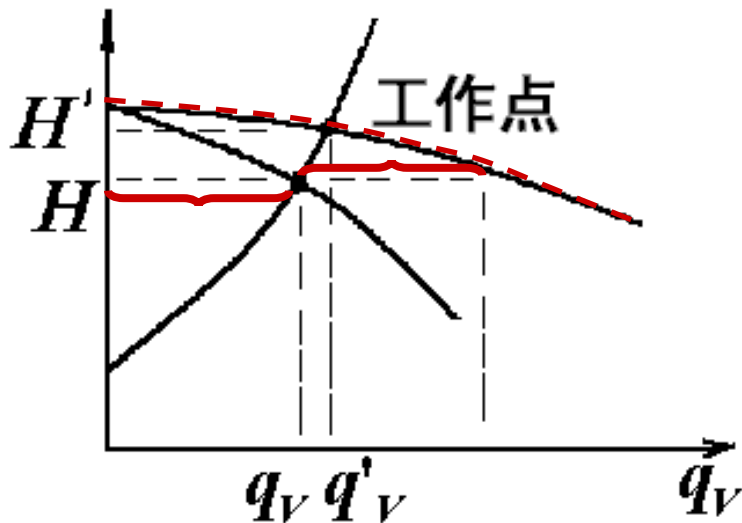
离心泵的串联操作

泵的组合 — 并联

同样压头下, 两泵流量相加

$$H_{\text{单}} = \varphi(q_v)$$

$$H_{\text{并}} = \varphi\left(\frac{q_v}{2}\right)$$



泵的并联

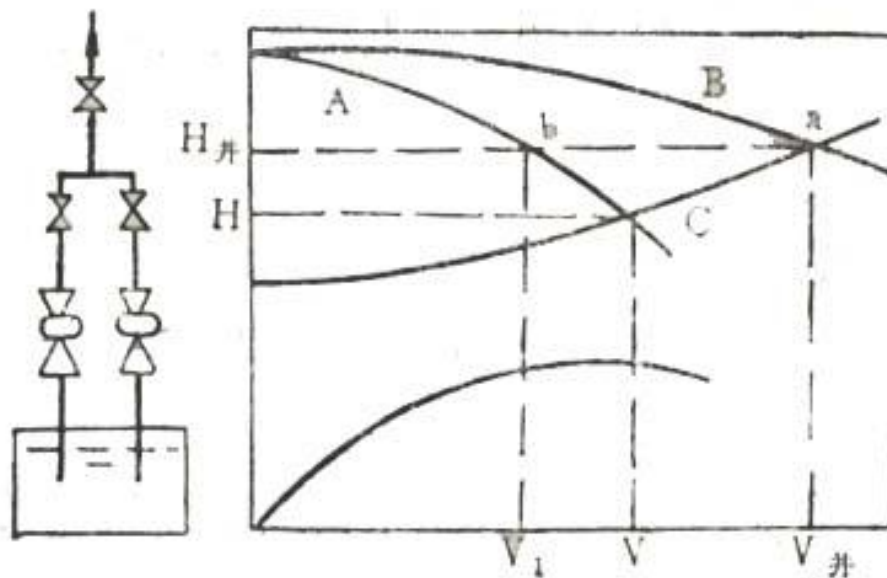
泵的合成特性曲线满足：

$$q_{v\text{并}} = q_{v1} + q_{v2} = 2q_{v1}, \quad H_{\text{并}} = H_1 = H_2$$

工作点：

$$q_{v\text{并}} < 2q_v, \quad H_{\text{并}} > H$$

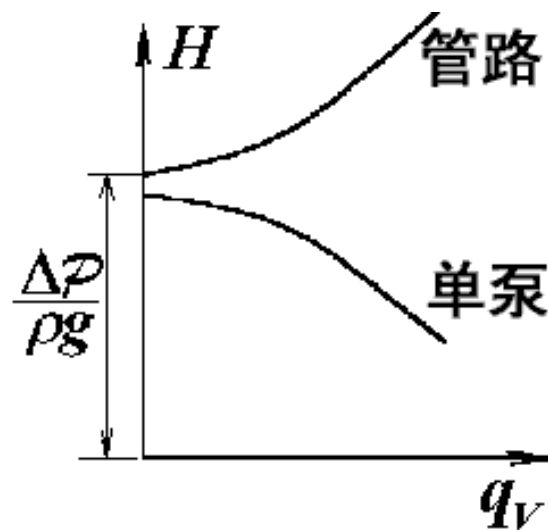
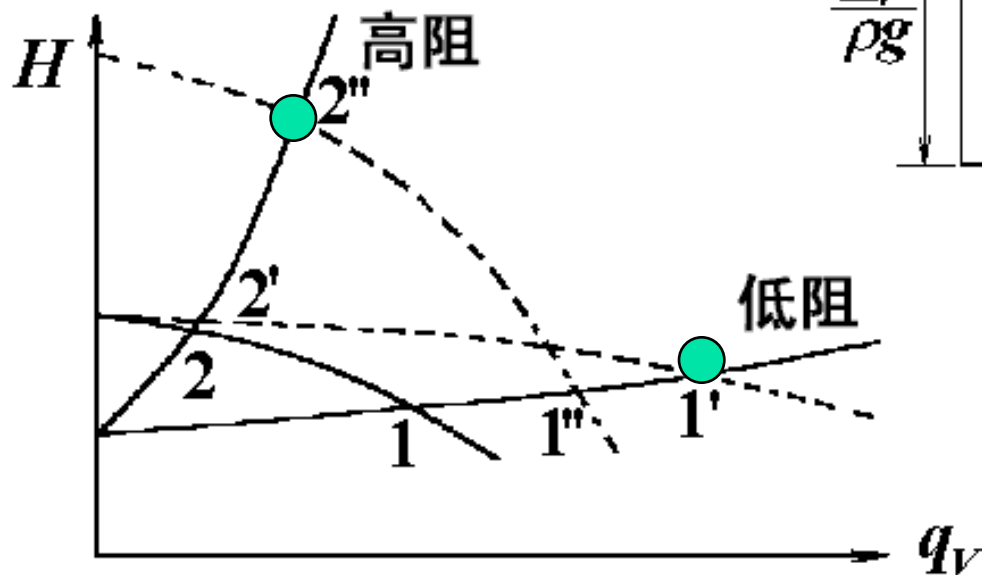
$$\eta_{\text{并}} = \eta_1 = \eta_2$$



离心泵的并联操作

组合方式的选择

当 $\frac{\Delta p}{\rho g} > H_{\text{单 max}}$ 时, 必须串联
 高阻管路 (K值较大) 串联较优
 低阻管路 (K值较小) 并联较优



离心泵的类型与选用

离心泵的类型

- (1) 清水泵 { 单级单吸式，系列代号为IS
多级离心泵，系列代号为D：高压头
双吸式离心泵，系列代号为Sh：大流量
- (2) 耐腐蚀泵：系列代号为‘F’。
- (3) 油泵：系列代号为“Y”，双吸式为“YS”。
- (4) 杂质泵：其特点是叶轮流道较宽，叶片少，常用开式或半开式叶轮，可输送悬浮液和粘稠的浆液。
- (5) 屏蔽泵：又称无填料泵，其叶轮与电机连为一体，密封在同一泵壳内。不需要轴封装置，可输送易燃、易爆、高毒性甚至具有放射性的液体，但效率较低。



离心泵的选用

- 确定输送液体的流量与扬程 (H_e 和 q_v)
- 根据被输送流体的性质和操作条件确定泵的类型；根据管路特性确定泵的型号。
- 校核泵的特性参数。如果被输送液体的黏度和密度与水相差很大，或操作条件远离标准测定状态，则应对泵的流量、压头 H 及轴功率 P 进行重新校核。
- 优选。当有多个泵满足上述要求时，可分别确定各泵的工作点，比较各泵在工作点的效率。一般总是选择效率最高的，还需参考泵的价格。
- 先定泵，再配电机。



离心泵的安装及使用

- 泵的安装高度必须低于指定的最大安装高度，确保不发生**汽蚀**；
- 启动之前应使泵内充满输送液体，防止**气缚**；
- 启动时应关闭出口阀，泵的流量为零，此时功率最小，可避免启动电流过大。开动后逐渐调节阀门达到所需流量；
- 出口管路上使用单向阀或在关停离心泵之前关闭出口阀，防止加压液体倒流；
- 定时检查、保养和润滑。