

# 离心泵选型设计

石油、化工生产中常要用流体输送机械驱动流体通过各种设备，流体输送就是向流体做功以提高其机械能。输送液体的机械则称为泵。

泵是一种面大量广的通用型机械设备，它广泛地应用于石油、化工、电力冶金、矿山、造船、轻工、农业、民用和国防各部门，在国民经济中占有重要的地位。而离心泵由于其具有性能适用范围广（包括流量、压头及对介质性质的适应性）、体积小、结构简单、操作容易、流量均匀、故障少、寿命长、购置费和操作费均较低等突出优点，在化工生产中被广泛应用。

## 1. 离心泵的功用

### 1.1 离心泵的工作原理

当离心泵启动后，泵轴带动叶轮一起作高速旋转运动，迫使预先充灌在叶片间液体旋转，在惯性离心力的作用下，液体自叶轮中心向外周作径向运动。液体在流经叶轮的流动过程获得了能量，静压能增高，流速增大。当液体离开叶轮进入泵壳后，由于壳内流道逐渐扩大而减速，部分动能转化为静压能，最后沿切向流入排出管路。所以蜗形泵壳不仅是汇集由叶轮流出液体的部件，而且又是一个转能装置。当液体自叶轮中心甩向外周的同时，叶轮中心形成低压区，在贮槽液面与叶轮中心总势能差的作用下，致使液体被吸进叶轮中心。依靠叶轮的不断运转，液体便连续地被吸入和排出。液体在离心泵中获得的机械能最终表现为静压能的提高。

### 1.2 离心泵的基本结构

离心泵的基本部件是高速旋转的叶轮和固定的蜗形泵壳，导轮以及防止泄露的轴封装置。

叶轮是离心泵的关键部件。叶轮直接对泵内液体做功的部件，为离心泵的供能装置。具有若干个（通常为4~12个）后弯叶片的叶轮紧固于泵轴上，并随泵轴由电机驱动作高速旋转。泵壳就是泵体的外壳，它包围旋转的叶轮。泵壳中央的吸入口与吸入管路相连接，吸入管路的底部装有单向底阀。为了减少离开叶轮的液体直接进入泵壳时因冲击而引起的能量损失，在叶轮与泵壳之间有时装置一个固定不动而带有叶片的导轮。泵壳侧旁的排出口与装有调节阀门的排出管路相连接。由于泵轴转动而泵壳固定不动，在轴和泵壳的接触处必然有一定间隙。为避免泵内高压液体沿间隙漏出，或防止外界空气从相反方向进入泵内，必须设置轴封装置。

### 1.3 离心泵的分类

离心泵的分类很多，它是依据不同的结构特点而划分的。按工作叶轮数目分为单级泵和多级泵，按工作压力分为低压泵、中压泵、高压泵，按叶轮进水方式分为单侧进水式泵和双侧进水式泵，按泵壳结合缝形式分为水平中开式泵和垂直结合面泵，按泵轴位置来分类卧式泵和立式泵，按叶轮出来的水引向压出室的方式分为蜗壳泵和导叶泵。

平时我们说某台水泵属于多级泵，是指叶轮多少来讲的。根据其它结构特征，它又有可能是卧式泵、垂直结合面泵、导叶式泵、高压泵、单面进水式泵等。所

以依据不同，叫法就不一样。另外，根据用途也可进行分类，如油泵、水泵、凝结水泵、排灰泵、循环水泵等。

#### 1.4 离心泵主要用途

1、供输送清水及物理化学性质类似于清水的其他液体之用，适用于工业和城市给排水、高层建筑增压送水、园林喷灌、消防增压、远距离输送、暖通制冷循环、浴室等冷暖水循环增压及设备配套，使用温度  $T < 80^{\circ}\text{C}$ 。

2、立式热水（高温）循环管道泵广泛适用于：能源、冶金、化工、纺织、造纸、以及宾馆饭店等锅炉高温热水增压循环输送及城市采暖系统循环用泵，热水型使用温度  $T < 120^{\circ}\text{C}$ ，高温型使用温度  $T < 240^{\circ}\text{C}$ 。

3、不锈钢化工管道泵，供输送不含固体颗粒，具有腐蚀性，粘度类似于水的液体，适用于石油、化工、冶金、电力、造纸、食品制药和合成纤维等部门，使用温度为  $-20^{\circ}\text{C} \sim 120^{\circ}\text{C}$ 。

4、管道油泵型，供输送汽油、煤油、柴油等石油产品，被输送介质温度为  $-20^{\circ}\text{C} \sim +120^{\circ}\text{C}$

## 2. 离心泵选型原则

合理选泵，就是要综合考虑泵机组和泵站的投资和运行费用等综合性的技术经济指标，使之符合经济、安全、适用的原则。具体来说，有以下几个方面：

1、使所选泵的型式和性能符合装置流量、扬程、压力、温度、汽蚀流量、吸程等工艺参数的要求。

2、机械方面可靠性高、噪声低、振动小

3、经济上要综合考虑到设备费、运转费、维修费和管理费的总成本最低。

4、离心泵具有转速高、体积小、重量轻、效率高、流量大、结构简单、输液无脉动、性能平稳、容易操作和维修方便等特点。

因此除以下情况外，应尽可能选用离心泵：

有计量要求时，选用计量泵

扬程要求很高，流量很小且无合适小流量高扬程离心泵可选用时，可选用往复泵，如汽蚀要求不高时也可选用旋涡泵。

扬程很低，流量很大时，可选用轴流泵和混流泵。

介质粘度较大（大于  $650 \sim 1000 \text{mm}^2/\text{s}$ ）时，可考虑选用转子泵或往复泵（齿轮泵、螺杆泵）

介质含气量 75%，流量较小且粘度小于  $37.4 \text{mm}^2/\text{s}$  时，可选用旋涡泵。

对启动频繁或灌泵不便的场合，应选用具有自吸性能的泵，如自吸式离心泵、自吸式旋涡泵、气动（电动）隔膜泵。

## 3. 离心泵的选型依据

泵选型依据，应根据工艺流程，给排水要求，从五个方面加以考虑，既液体输送量、装置扬程、液体性质、管路布置以及操作运转条件等

1、流量是选泵的重要性能数据之一，它直接关系到整个装置的生产能力和输送能力。如设计院工艺设计中能算出泵正常、最小、最大三种流量。选择泵时，以最大流量为依据，兼顾正常流量，在没有最大流量时，通常可取正常流量的 1.1 倍作为最大流量。

2、装置系统所需的扬程是选泵的又一重要性能数据，一般要用放大 5%—10% 余量后扬程来选型。

3、液体性质，包括液体介质名称，物理性质，化学性质和其它性质，物理性质有温度  $c$ 、密度  $d$ 、粘度  $u$ ，介质中固体颗粒直径和气体的含量等，这涉及到系统的扬程，有效气蚀余量计算和合适泵的类型：化学性质，主要指液体介质的化学腐蚀性和毒性，是选用泵材料和选用那一种轴封型式的重要依据。

4、装置系统的管路布置条件指的是送液高度送液距离送液走向，吸如侧最低液面，排出侧最高液面等一些数据和管道规格及其长度、材料、管件规格、数量等，以便进行系统扬程计算和汽蚀余量的校核。

5、操作条件的内容很多，如液体的操作  $T$  饱和蒸汽力  $P$ 、吸入侧压力  $PS$ （绝对）、排出侧容器压力  $PZ$ 、海拔高度、环境温度操作是间隙的还是连续的、泵的位置是固定的还是可移的。

#### 4. 泵选型一般程序及需要考虑的几方面因素。

选泵的具体操作，根据泵选型原则和选型基本条件，具体操作如下：

1、根据装置的布置、地形条件、水位条件、运转条件，确定选择卧式、立式和其它型式（管道式、潜水式、液下式、无堵塞式、自吸式、齿轮式等）的泵。

2、根据液体介质性质，确定清水泵，热水泵还是油泵、化工泵或耐腐蚀泵或杂质泵，或者采用无堵塞泵。

安装在爆炸区域的泵，应根据爆炸区域等级，采用相应的防爆电动机。

3、根据流量大小，确定选单吸泵还是双吸泵；根据扬程高低，选单级泵还是多级泵，高转速泵还是低转速泵（空调泵）、多级泵效率比单级泵低，如选单级泵和多级泵同样都能用时，首先选用单级泵。

4、确定泵的具体型号

确定选用什么系列的泵后，就可按最大流量，（在没有最大流量时，通常可取正常流量的 1.1 倍作为最大流量），取放大 5%—10% 余量后的扬程这两个性能的主要参数，在型谱图或者系列特性曲线上确定具体型号。操作如下：

利用泵特性曲线，在横坐标上找到所需流量值，在纵坐标上找到所需扬程值，从两值分别向上和向右引垂线或水平线，两线交点正好落在特性曲线上，则该泵就是要选的泵，但是这种理想情况一般很少，通常会碰上下列两种情况：

第一种：交点在特性曲线上方，这说明流量满足要求，但扬程不够，此时，若扬程相差不多，或相差 5% 左右，仍可选用，若扬程相差很多，则选扬程较大的泵。或设法减小管路阻力损失。

第二种：交点在特性曲线下方，在泵特性曲线扇状梯形范围内，就初步定下此型号，然后根据扬程相差多少，来决定是否切割叶轮直径，

若扬程相差很小，就不切割，若扬程相差很大，就按所需  $Q$ 、 $H$ ，根据其  $n_s$  和切割公式，切割叶轮直径，若交点不落在扇状梯形范围内，应选扬程较小的泵。选泵时，有时须考虑生产工艺要求，选用不同形状  $Q$ - $H$  特性曲线。

5、泵型号确定后，对水泵或输送介质的物理化学介质近似水的泵，需再到有关产品目录或样本上，根据该型号性能表或性能曲线进行校改，看正常工作点是否落在该泵优先工作区？有效  $NPSH$  是否大于  $(NPSH)$ 。也可反过来以  $NPSH$  校改几何安装高度。

6、对于输送粘度大于  $20\text{mm}^2/\text{s}$  的液体泵（或密度大于  $1000\text{kg}/\text{m}^3$ ），一定要把以水实验泵特性曲线换算成该粘度（或者该密度下）的性能曲线，特别要对吸入性能和输入功率进行认真计算或较核。

7、确定泵的台数和备用率：

对正常运转的泵，一般只用一台，因为一台大泵与并联工作的两台小泵相当，（指扬程、流量相同），大泵效率高于小泵，故从节能角度讲宁可选一台大泵，而不用两台小泵，但遇有下列情况时，可考虑两台泵并联合作：

流量很大，一台泵达不到此流量。

对于需要有 50%的备用率大型泵，可改两台较小的泵工作，两台备用（共三台）

对某些大型泵，可选用 70%流量要求的泵并联操作，不用备用泵，在一台泵检修时，另一台泵仍然承担生产上 70%的输送。

对需 24 小时连续不停运转的泵，应备用三台泵，一台运转，一台备用，一台维修。

8、一般情况下，客户可提交其“选泵的基本条件”，由我司给予选型或者推荐更好的泵产品。如果设计院在设计装置设备时，对泵的型号已经确定，按设计院要求配置。

## 5. 离心泵的安装与汽蚀现象

### 5.1 离心泵的汽蚀现象与危害

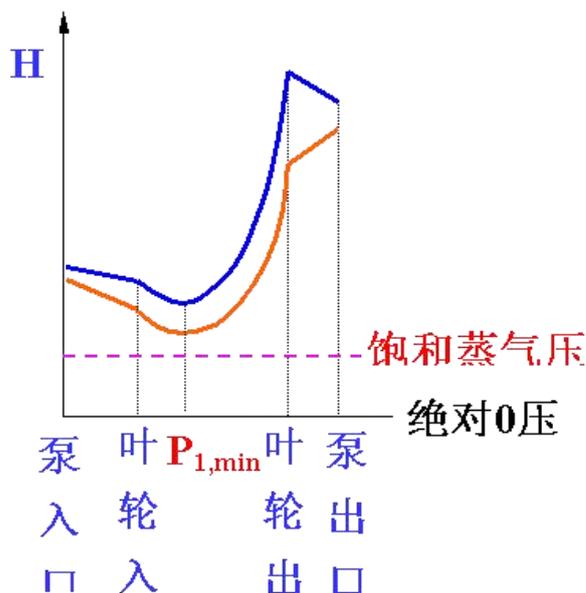
水当泵入口压强  $p_1 <$  输送液体温度下的饱和蒸汽压  $p_s$  时，液体会汽化。汽化量与  $\Delta p = p_1 - p_s$  成正比。气泡与叶片间的液体一同抛向叶轮外缘，过程中气泡受到压力的作用迅速地凝结或破裂，气泡的消失产生局部的真空，其周围的液体以极其高速涌向该空间造成达几万 kPa 的极大冲击压力，冲击频率高达每秒几万次，冲击使泵体产生震动并发出噪音。气泡多发生在叶轮入口附近，气泡凝结破裂时，液体象许多细小的高频冲击“水锤”（600~25000Hz）那样击打着叶轮和壳体的表面，使材料表面出现麻点以致穿孔，严重时金属晶粒松动并剥落冲蚀成蜂窝状，甚至断裂，以至叶轮或泵壳不能使用。这种现象称为气蚀。

除机械破坏外，气蚀还伴有电解、化学腐蚀等多种复杂的作用。泵在气蚀条件下运行，泵体震动发出噪音、流量明显下降，压头、效率大幅度降低。严重时不能吸上液体。

### 5.2 离心泵的允许吸上高度（允许安装高度，极限）

泵的允许吸上高度：泵的吸入口与吸口侧储槽液面间允许达到的最大垂直距离，Hg, m。

设泵在允许的安装高度操作，在 0-1 间列柏努利方程式：



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

由图示可见  $P_1 > P_{1, \min}$ , 其差包括: 安装真空表处与压强最小处之间的压强差和流动损失等。

表示泵吸上能力的指标:

1、允许吸上真空度

$$H_s' = (P_a - P_1) / \rho g \quad (2-21)$$

$P_a - P_1$ ——液面到泵入口间的真空度,  $P_1 > P_{1, \min} > P_s$ ,  $H_s'$  用输送液体柱高度表示的真空度, [m 液柱]。

$$(2-21) \text{ 代入 } (2-19): H_g = H_s' - (u_1)^2 / 2g - H_{f, 0-1} \quad (2-22)$$

$H'$  与泵的结构、输送液体的流量、物性及当地大气压强有关。

厂家给的  $H_s'$  是以 1at, 20°C 清水为介质表定的  $H_s'$ 。有人建议再减去 0.5~1m 的高度。

2、气蚀余量  $\Delta h$  (多为油泵用)

为防止气蚀现象发生, 离心泵入口附近的液体静压头  $P_1 / \rho g$  与动压头  $(u_1)^2 / \rho g$  之和必须大于操作温度下液体的饱和蒸汽压头的一个最小值。

$$\Delta h = \frac{P_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} - \frac{P_v}{\rho g}$$

发生气蚀的临界条件是 (设  $P_{1, \min}$  处为 k-k' 截面):

$p_{1, \min}$  等于  $p$ , 此时对应的  $p_1$  也达其最小值,  $1-k$ :

$$\frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} = \frac{u_k^2}{2g} + \frac{p_v}{\rho g} + H_{f,1-k}$$

$$\therefore \Delta h = \frac{u_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho g} - \frac{p_v}{\rho g} \quad \therefore = \frac{u_k^2}{2g} + H_{f,1-k}$$

$$H_g = \frac{p_0}{\rho g} - \frac{p_v}{\rho g} - \Delta h - H_{f,0-1} \quad (2-27)$$

$\therefore Q \uparrow \rightarrow \Delta h \uparrow$ ,  $\therefore$  应取  $Q_{\max}$  下的  $\Delta h$  值。

### 5.3 防止气蚀

汽蚀现象是离心泵正常操作所不允许发生的。避免汽蚀现象发生的关键是泵的安装高度要正确, 尤其是当输送温度较高的易挥发性液体时, 更要注意。防止发生气蚀, 从下列方面入手:

- 1、提高泵自身气蚀能力: 增加叶轮叶片进口的宽度  $b_1$ ; 适当增大叶轮前盖板的曲率半径, 改善流速分布的均匀性; 平衡孔面积  $> 5$  倍密封环间隙的面积, 以减小泄露流速  $\rightarrow$  减小对主流的影响, 提高抗气蚀能力; 增加叶轮等的光洁度和流线型等等。
- 2、防止发生气蚀的措施: 减小  $H_g$ ; 减小  $H_{f,0-1}$  如  $d_1 \uparrow$ 、 $L \downarrow$ 、减少弯头(或增大角度)、附件等; 防止常时间在大流量下进行; 降低输送介质的温度; 同流量下采用双吸泵, 进口流速  $\downarrow$ , 等等。
- 3、采用诱导轮: 诱导轮属于轴流式叶轮, 无离心式叶轮促进液体和气泡分离的离心作用。在诱导轮外缘产生的气泡沿轴向运动时, 轮毂侧的液体在离心力作用下把气泡压控在外缘局部, 在诱导轮内凝结。不易造成整个流道的堵塞。
4. 重新选泵, 或者对泵的某些部件进行改进, 比如选用耐汽蚀材料等等。使泵体内灌满液体或者在进口增加一缓冲罐就可以解决。

## 6. 离心泵的维护和保养

### 6.1 日常正确操作

- (1) 检查离心泵管路及结合处有无松动现象。用手转动离心泵, 试看离心泵是否灵活。
- (2) 向轴承体内加入轴承润滑油, 观察油位应在油标的中心线处, 润滑油应及时更换或补充。
- (3) 拧下离心泵泵体的引水螺塞, 灌注引水(或引浆)。
- (4) 关好出水管路的闸阀和出口压力表及进口真空表。
- (5) 点动电机, 试看电机转向是否正确。
- (6) 开动电机, 当离心泵正常运转后, 打开出口压力表和进口真空表视其显示出适当压力后, 逐渐打开闸阀, 同时检查电机负荷情况。
- (7) 尽量控制离心泵的流量和扬程在标牌上注明的范围内, 以保证离心泵在最高效率点运

转，才能获得最大的节能效果。

(8) 离心泵在运行过程中，轴承温度不能超过环境温度 35C，最高温度不得超过 80C 。

(9) 如发现离心泵有异常声音应立即停车检查原因。

## 6.2 精心保养

(1) 离心泵要停止使用时，先关闭闸阀、压力表，然后停止电机。

(2) 离心泵在工作第一个月内，经 100 小时更换润滑油，以后每个 500 小时，换油一次。

(3) 经常调整填料压盖，保证填料室内的滴漏情况正常（以成滴漏出为宜）。

(4) 定期检查轴套的磨损情况，磨损较大后应及时更换。

(5) 离心泵在寒冬季节使用时，停车后，需将泵体下部放水螺塞拧开将介质放净。防止冻裂。

(6) 离心泵长期停用，需将泵全部拆开，擦干水分，将转动部位及结合处涂以油脂装好，妥善保