

第15篇 流 体 机 械

主 编	张超武 (中国通用机械技术设计成套公司)
编 写 人	张超武 (中国通用机械技术设计成套公司)
	姚兆生 (中国通用机械技术设计成套公司)
责任编辑	王光大
	张树济
	辛 宁

1 泵和泵装置

1.1 泵的分类

1.1.1 按作用原理分类

这种分类方法是把反映能量传递机理的动力特征，也就是把泵内主导力的特征，做为分类基础。根据作用力，把泵分成动力式的和容积式的（图15-1）。

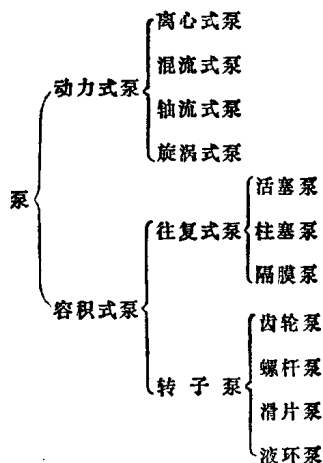


图15-1 泵的分类

a. 动力式泵 在这类泵中，主导力是惯性力和（或者是）粘性力。

b. 容积式泵 在这类泵中，液体所占据的泵腔周期地改变其容积，通过阀，泵腔同时又轮流地和泵的吸入室、排出室联通，靠表面压力使液体发生运动和增大压力。容积式泵又可以再细分成往复式的和转子式的。

1.1.2 按用途分类

根据泵的使用特征可以把泵分成如下几类：

a. 锅炉给水泵 这类泵用于锅炉给水, 流量 $0.5 \sim 1500 \text{ m}^3/\text{s}$, 泵出口压力 $0.981 \sim 30 \text{ MPa}$, 给水温度 t 高达 $250 \sim 280^\circ\text{C}$ 。

b. 化工用泵 这类泵的性能很广, 流量 $0.5 \sim 1000 \text{ m}^3/\text{s}$, 扬程 $5 \sim 500 \text{ m}$, 温度从 $-162 \sim +450^\circ\text{C}$ 。

c. 冷凝泵 热力装置上输送冷凝液的泵属于这一类。使用最多的是热电站冷凝水泵。这种泵的进口条件很恶劣, 因为冷凝器中的绝对压力很低 (约为 4.9 kPa), 所以常常要进行特殊设计。

d. 循环泵 在闭式回路 (有时在开式回路) 里将输送液体进行循环。泵的大小差异很大, 如原子能发电站主循环泵的流量可达每小时几万立方米, 而小型供暖用的循环泵的流量小到 $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

e. 船用泵 轮船上使用各式各样的泵。船用泵的共同特点是结构紧凑, 占地面积小, 重量轻。立式泵在轮船上应用较多。

f. 潜水泵 这种泵连同电动机一起置于水中, 电动机需特殊设计。

1.2 泵的主要特性参数和各类泵的应用范围

1.2.1 泵的主要特性参数

a. 泵的流量 Q Q 是单位时间内通过泵的液体量, 可以用体积、质量等单位计量。

(1) 体积流量 Q_v 一般用 m^3/s 、 m^3/min 、 m^3/h 、 L/s 、 L/min 表示。

(2) 质量流量 Q_m 一般用 kg/s 、 kg/min 和 t/h 表示。

这两种流量之间的关系如下:

$$Q_v = \frac{Q_m}{\rho}$$

式中 ρ ——液体的密度 kg/m^3

b. 泵的进、出口压力 P_1 和 P_2 指泵进口前和出口后液体所具有的压力能, 用 Pa 或 MPa 表示。

c. 水头 它是单位重量液体的能量。通常由压力水头 $\frac{P}{\rho g}$ (m)、速度水头 $\frac{v^2}{2g}$ (m) 和位置水头 Z (m) 三部分组成。 v 是液流平均流

速，等于体积流量 Q_v 除以管路横截面面积 A 的商，即 $v = \frac{Q_v}{A}$ 。

d. 基准面 通过叶轮叶片的水平面 (图15-2)。多级泵以第一级叶轮为基准，立式泵和双吸泵以上部叶片为基准。

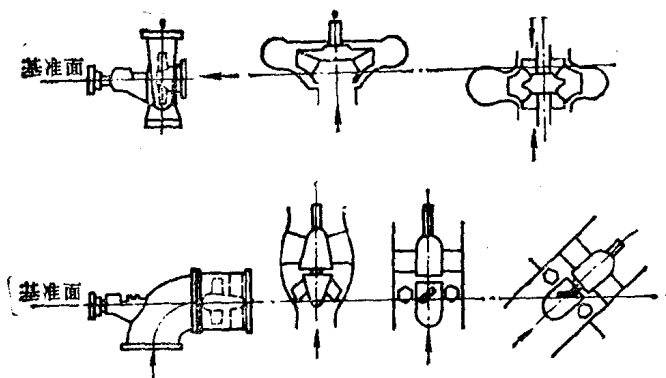


图15-2 泵的基准面

e. 泵的扬程 H 它是 1kg 液体通过泵之后总能量的增量，单位为 m，通常用下式表示：

$$H = \frac{P}{\rho g}$$

式中 P —— 泵的压力 Pa 或 MPa

g —— 自由落体加速度 m/s

或

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + (Z_2 - Z_1)$$

式中 P_2 、 P_1 —— 分别是泵出口和进口处的压力 Pa

v_2, v_1 ——分别是泵出口和进口处液流的平均速度 m/s

Z_2, Z_1 ——分别是泵出口和进口截面到基准面的垂直距离 m

f. 汽蚀余量NPSH 汽蚀余量是泵进口处液体所具有的超过该液体汽化压力的富余能量

$$\text{NPSH} = \frac{P_1 + \rho \frac{v_1^2}{2} - P_v}{\rho g}$$

式中 P_v ——输送液体所处温度下的汽化压力 Pa

汽蚀余量NPSH有三种:

NPSH_r, 通常称为泵必需的汽蚀余量, 它是泵正常无汽蚀工作所必需的能量, 由泵的类型、大小、设计好坏和制造质量决定, 其数值由制造厂给出 (在泵样本上标明)。

NPSH_a 一般称为有效的或者可用的汽蚀余量, 由泵站 (泵装置) 所处的地形和安装条件决定, 其数值在泵站 (泵装置) 设计时给定。

NPSH_c 称为临界汽蚀余量。确定方法如下, 泵做汽蚀试验时, 在给定流量下泵第一级扬程下降 $\left(2 + \frac{K}{2}\right)\%$ 的NPSH值。

三者关系如下:

$$\text{NPSH}_a \geq \text{NPSH}_r \geq \text{NPSH}_c$$

NPSH_a比NPSH_r大多少, 由用户根据泵样本上的NPSH_r曲线和泵的运行工况决定。

NPSH_r比NPSH_c大多少, 由泵制造厂或者有关标准 (规程) 决定。通常 $\text{NPSH}_r = (1.03 \sim 1.05) \text{NPSH}_c$ 。

g. 泵的转速 n 泵叶轮每分钟的转数, 单位是 r/min 。

h. 比转数 n_s 比转数是泵的相似准则, 它决定泵过流部分的几何形状, 泵特性曲线的形式和泵内液流的运动关系, 通常用下式表示:

$$n_s = 3.65 n \frac{Q^{\frac{1}{4}}}{H^{\frac{3}{4}}}$$

式中 n ——泵的转速 r/min

Q ——泵的体积流量 m^3/s

H ——泵的单级扬程 m

有些国家所用的比转数公式为

$$N_s = \frac{nQ^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{3}{4}}}$$

所用的流量 Q 、扬程 H 的单位也不一样。换算关系列在表15-1中。

表15-1 比转数换算表

计算公式		$\frac{3.65 n \sqrt{Q}}{H^{3/4}}$					
单位	Q	m^3/s	m^3/min	L/s	ft^3/min	$USgal/min$	$UKgal/min$
	H	m	m	m	ft	ft	ft
	n	r/min	r/min	r/min	r/min	r/min	r/min
换算关系	1	2.12	8.67	5.168	14.16	12.89	
	0.4709	1	4.083	2.438	6.68	6.079	
	0.1152	0.245	1	0.597	1.634	1.487	
	0.1935	0.41	1.675	1	2.74	2.49	
	0.0706	0.15	0.611	0.365	1	0.91	
	0.0776	0.165	0.672	0.401	1.1	1	

i. 型式数 K 型式数是一个无量纲量, 和比转数的意义相同, 用下式定义:

$$K = \frac{2\pi n Q'^{\frac{1}{2}}}{(gH')^{\frac{3}{4}}}$$

式中 Q' ——每一个吸入口的体积流量

H' ——泵的单级扬程

$$K = 0.005175n,$$

j. 功率 泵的功率有水功率(泵的输出功率)、泵的轴功率(泵的输入功率)和原动机输入功率之分。

泵的水功率是泵传递给输送液体的能量,用下式表示:

$$P_u = \rho g H Q \quad \text{W}$$

$$= \frac{\rho g H Q}{1000} = \frac{H Q \gamma}{1000} \quad \text{kW}$$

式中 ρ ——泵输送流体的密度 kg/m^3

g ——重力加速度 m/s^2

Q ——泵的流量 m^3/s

H ——泵的扬程 m

γ ——泵输送液体的重度 N/m^3

泵的轴功率 P_a 是泵从原动机所接受的功率。泵的原动机输入功率 P_{gr} 是拖动泵的原动机从其动力源处所取得的功率。

k. 效率 效率分为泵效率 η 、传动效率 η_r 和机组效率 η_{gr} 。这儿种效率的定义表达式如下:

$$\eta = \frac{P_u}{P_a} \times 100\%$$

$$\eta_r = \frac{P_u}{P_{gr}} \times 100\%$$

$$\eta_{gr} = \eta \cdot \eta_r \cdot \eta_m$$

式中 η_r 、 η_m ——分别是传动效率和原动机效率

1.2.2 各类泵的应用范围

由于每一类泵的工作原理、性能特点、结构构成和所用材料不完全一样,所以每类泵都有一定的工作范围。

图15-3给出了动力式泵和容积式泵的应用范围。根据泵的扬程和流量可以在此图上确定泵的类型。

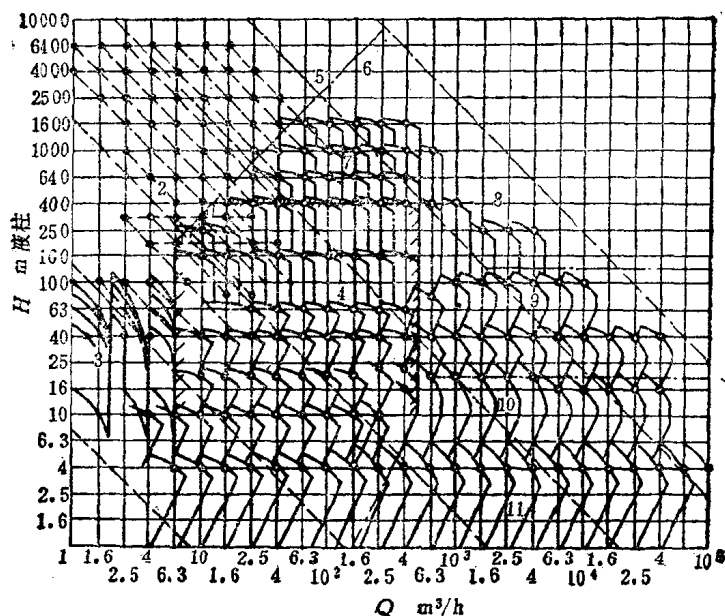


图15-3 动力式泵和容积式泵的性能参数范围

- 1—高压活塞式泵 2—高压活塞式泵 3—自吸离心式泵 4—常用的离心式泵 5—活塞式泵的边界 6—离心式泵 7—高扬程离心式泵 8—多级离心式泵 9—单级双吸离心式泵 10—混流式泵 11—轴流式泵

图15-4示出了旋涡式泵、离心式泵和轴流式泵的最佳应用范围。根据泵的流量、扬程和比转数，在此图上可以确定选择什么型式的泵。

表15-2中列出了各类泵的特性比较。

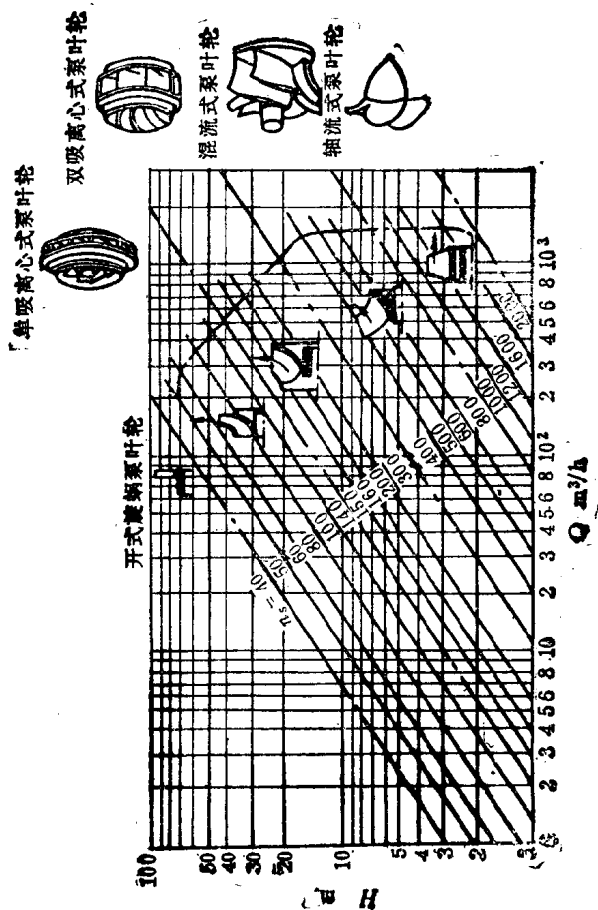
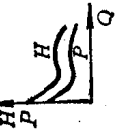
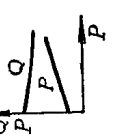


图15-4 旋涡式泵、离心式泵和轴流式泵的最佳应用范围

表15-2 各类泵的特性比较

泵类型	动力式 (叶轮式)		容积式		其他	
	离心泵	轴流泵	旋涡泵	往复式		回转泵
特性曲线形状						
流量与压力(扬程)的稳定性	稳	定	脉动	脉动	稳定	
自吸能力	除特殊结构的离心泵(自吸泵)外，无自吸能力		开式泵能自吸	能自吸		
启动与调节	启动前泵内须灌液，并关闭出口阀，一般用出口阀调节	启动前须灌液，改变叶片安装角调节	出口阀全开下启动，用旁通阀调节	出口阀全开下启动，用专门调节机构或旁通阀调节	出口阀全开下启动，用改变工作液体的流量和压力调节	
转速	转速范围大，可达很高转速	一般转速较低	转速较高	低速	转速较高	
流量与压力(扬程)范围	流量、扬程范围较大	大流量、低扬程	小流量，较高扬程	中小流量，压力范围大，可达很高压力	流量、扬程都不大	
效率	高	高	较低	较高	低	

1.3 各类泵的结构特征

1.3.1 离心式泵和轴流式泵的结构特征

离心式泵主要由叶轮、轴、泵体、悬架、轴承架部件和轴封等部分组成。图15-5示出了按ISO2858标准规定设计的单级单吸卧式离心泵的剖视图。这个系列离心泵的主要参数范围如下：流量 $Q = 6.3 \sim 400 \text{ m}^3/\text{s}$ ，扬程 $H = 5 \sim 125 \text{ m}$ ，转速 n 有 1450 r/min 和 2900 r/min 两种，进口直径 $D_g = 80 \sim 200 \text{ mm}$ ，输送介质温度 $t \leq 80^\circ\text{C}$ 。这种泵用来输送清水和化学性质类似于清水的其他洁净液体。除了轴采用碳钢之外，大部分零件都是铸铁的。根据用户要求，叶轮可以用青铜制造。

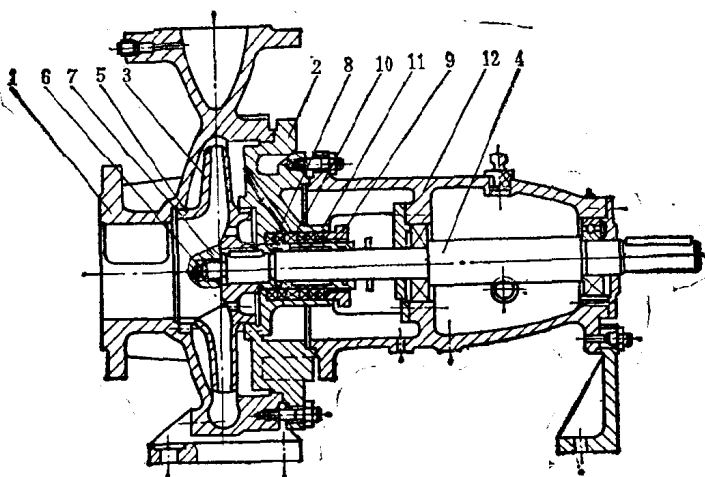


图15-5 单级单吸卧式离心式泵

- 1—泵体 2—泵盖 3—叶轮 4—轴 5—密封环 6—叶轮螺母
7—制动垫圈 8—轴套 9—填料压盖 10—填料环 11—填料
12—悬架轴承部件

图15-6示出了单级双吸卧式离心式泵的剖视图。这种泵用来抽送清水，一般多用在给、排水泵站上。它的叶轮两面吸水，以增大泵的

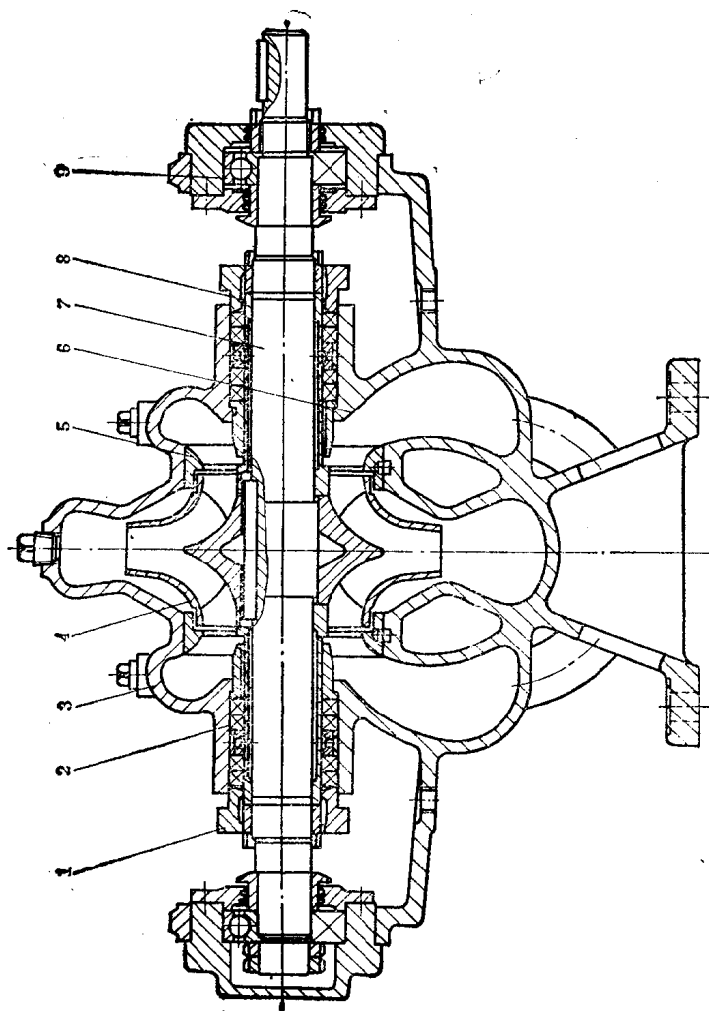


图15-6 单级双吸卧式离心式泵

1—填料压盖 2—填料 3—泵盖 4—叶轮 5—密封环 6—泵体 7—轴
8—轴套 9—轴承

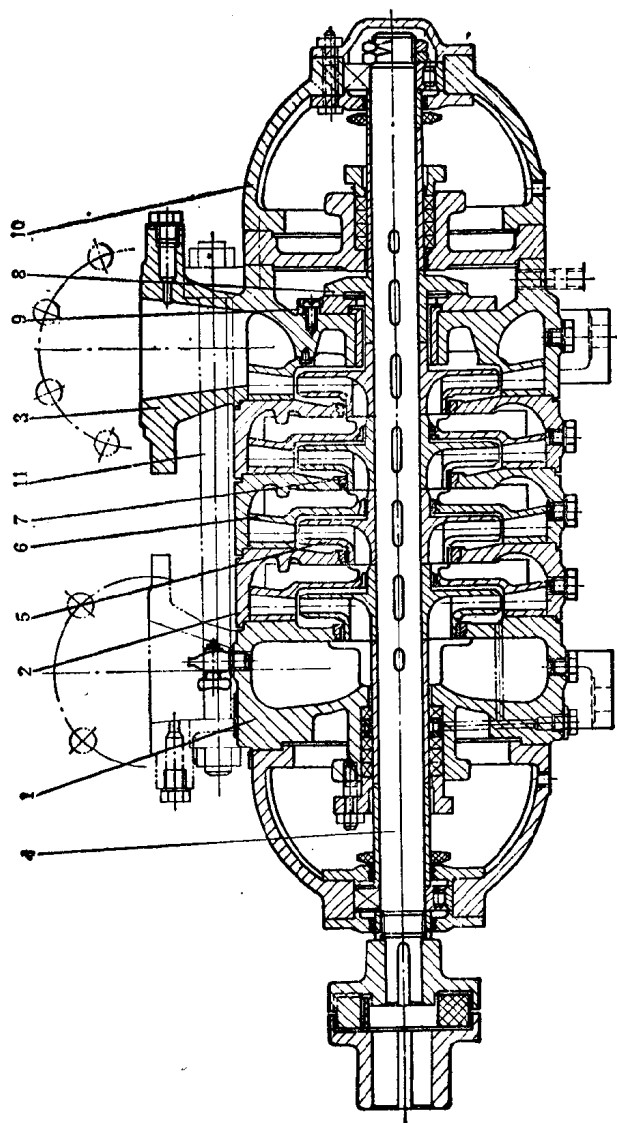


图15-7 多级离心式泵

1—吸入段. 2—中段. 3—压出段. 4—轴. 5—叶轮. 6—早叶. 7—密封环. 8—平
衡盘. 9—平衡板. 10—轴承零件. 11—穿杠

流量。泵体是水平剖分的，由上下两部分组成。吸入和排出短管铸在下泵体上，反向水平布置。轴封多数采用软填料密封。从泵体上引出两股液流对轴封进行润滑、阻封和冷却。这种泵有时做成双轴伸的，以适应不同转向的原动机。采用滚动轴承或者滑动轴承。根据用户要求，泵的原动机可以置于共同底座上，也可以不用共同底座。

图15-7示出了多级离心式泵的一般结构，它由吸入段、叶轮、导叶、中段、压出段、平衡盘、轴、轴封和轴承等部分组成。

这种泵多数用来抽送清水，流量中等，扬程较高。过流部分零件是铸铁的，如果输送腐蚀性液体，也可以用不锈钢制造。轴封有软填料密封和机械密封两种。采用滚动轴承或者滑动轴承。

图15-8所示为屏蔽式泵。其特点是没有泄漏。泵和电动机同轴，输送介质在电动机内循环。电动机的定、转子用薄不锈钢片屏蔽，保证输送介质和定、转子隔绝。电动机轴承都采用滑动轴承。

图15-9示出了潜水泵的结构，它和电动机一起置于水中工作。泵在上，电动机在下，通过刚性联轴器相联。这种泵叶轮的比转数一般比较大，多采用径向导叶。泵的上部设有逆止阀，防止突然停泵时发生水击。电动机为封闭充水湿式结构。它的上部设有两道密封，并和防水圈共同构成防砂结构。电动机的下部装有弹簧膜盒，用以调节电动机内由于热胀冷缩引起的容积变化。电动机设上、下导轴承和下推力轴承，它们都是塑料的，个别的推力轴承也采用金属。

图15-10是立式轴流式泵的结构。轴流式泵主要由叶轮、导叶、进出水弯管等部分组成。为了调节泵的工况，轴流式泵叶轮叶片可以旋转。大多数轴流式泵只有导轴承承受径向力，轴向力由电动机的推力轴承承受。

1.3.2 往复式泵的结构特征

a. 活塞往复式泵 有卧式和立式两种。卧式易于检修，占地面积大；立式占地面积小，但有时装拆不便。

图15-11示出了卧式双缸双作用活塞往复式泵的结构。

b. 柱塞往复式泵 图15-12示出了卧式三柱塞往复式泵。上为外形图，下为液力部分。

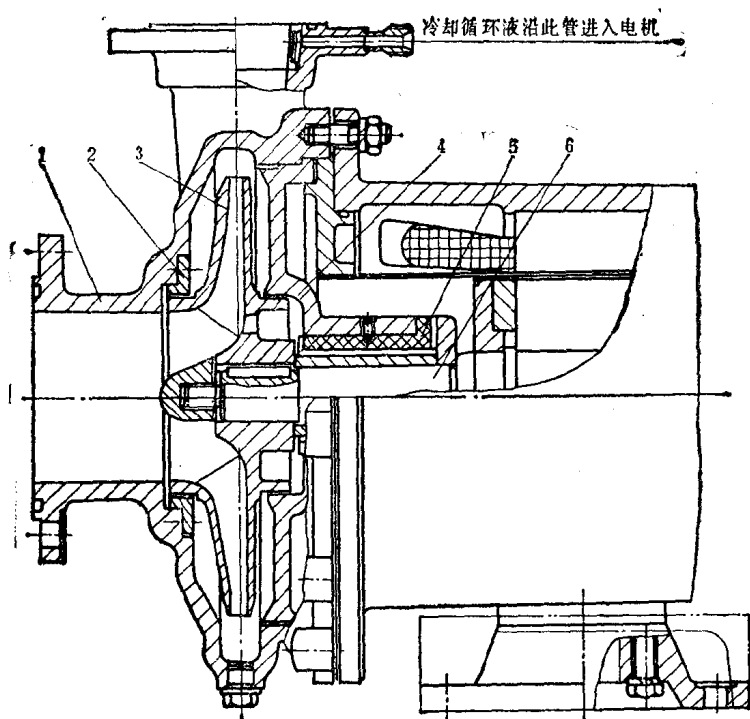


图15-8 屏蔽式泵

1—泵体 2—密封环 3—叶轮 4—泵盖 5—套筒轴承 6—轴

c. 蒸汽往复泵 图15-13, 这种泵以蒸汽做为动力, 直接驱动活塞作往复运动。

1.3.3 转子泵的结构特征

转子泵是一种旋转的容积式泵。特点是: 靠转子旋转吸液和排液, 转子每转一转所排出的液体量和泵的转速无关。此外, 转子结构保证泵的进、出口之间存在连续液体密封, 所以, 它不象往复泵那样需要加设进、出口阀。