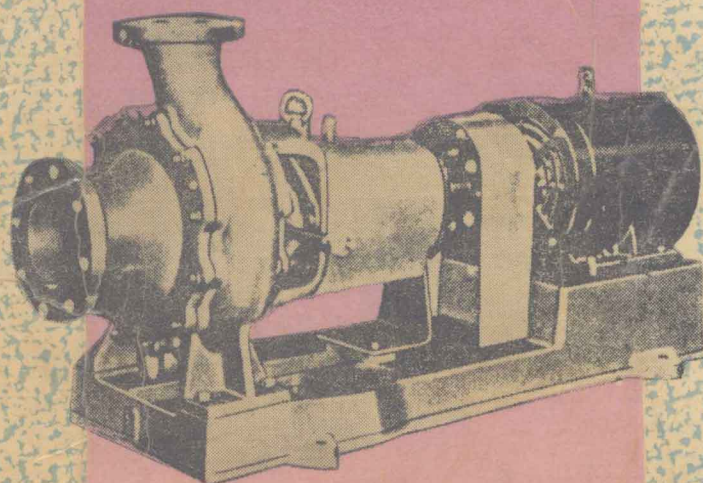


赵雪华 • 朱天霞 • 编著

泵的理论与应用

BENG DE LILUN
YU YING YONG



华东理工大学出版社

泵 的 理 论 与 应 用

赵雪华 朱天霞 编著

江苏工业学院图书馆
藏书章

华东理工大学出版社

内 容 简 介

本书是在流体机械专业教学实践基础上编写而成。全书共十一章,内容包括离心泵的理论、结构、运行、设计及其他类型泵和化工特殊用泵的原理、应用和特点。对新型转轴密封,如磁力传动密封;副叶轮密封等也作了介绍。全书各章后附有复习题及习题。

本书可作为高校流体机械专业、化工机械专业教材,也可供工程技术人员及有关专业工作人员自学参考。

(沪)新登字 208 号

泵的理论与应用

赵雪华 朱天霞 编著

华东理工大学出版社出版发行

上海市梅陇路 130 号

邮政编码 200237

新华书店上海发行所发行经销

江苏常熟市白云印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 15.25 字数 370 千字

1994 年 5 月第 1 版 1994 年 5 月第 1 次印刷

印数 1—4000 册

ISBN 7-528-0455-9/TH·9 定价:15.00 元

目 录

1 绪论

1.1 分类	(1)
1.2 基本参数	(6)
1.3 名词术语	(6)
复习题	(8)

2 离心泵的基本理论

2.1 离心泵的工作原理及分类	(9)
2.2 离心泵的主要零部件和典型结构	(11)
2.3 离心泵的性能参数和基本方程式	(14)
2.4 有限叶片数的理论扬程	(25)
2.5 叶片出口安装角 β_{A2} 对理论扬程的影响	(29)
2.6 叶片厚度对进出口速度三角形的影响	(31)
2.7 离心泵的各种损失	(34)
2.8 离心泵的性能曲线	(38)
2.9 输送粘性液体时离心泵性能曲线的换算	(42)
2.10 离心泵的相似理论	(47)
2.11 离心泵的预旋	(62)
复习题	(64)
习题	(65)

3 离心泵的汽蚀

3.1 概述	(69)
3.2 吸入真空度	(70)
3.3 汽蚀余量	(72)
3.4 汽蚀比转数	(76)
3.5 改善泵吸入性能的途径	(78)
复习题	(82)
习题	(83)

4 离心泵的运行

4.1 泵运转的工况点	(84)
4.2 泵的串联和并联运转	(88)
4.3 泵运行工况的调节	(90)

4.4	泵在分支及汇合管路中的工作	(94)
4.5	泵的起动特性	(97)
4.6	泵的四象限特性	(99)
	复习题	(102)
	习题	(104)
5	离心泵的主要零部件结构和作用原理	
5.1	离心泵的作功部件——叶轮	(107)
5.2	离心泵的转能装置——蜗壳与导叶	(108)
5.3	离心泵的轴向力及其平衡措施	(111)
5.4	径向力的产生及其平衡措施	(114)
5.5	转轴的密封装置	(116)
	复习题	(142)
	习题	(142)
6	离心泵的选用	
6.1	选型原则	(143)
6.2	选型步骤	(144)
	复习题	(148)
7	离心泵水力设计	
7.1	泵主要参数和结构方案的确定	(149)
7.2	泵轴径和叶轮轮毂直径的初步计算	(150)
7.3	叶轮主要尺寸的确定	(151)
7.4	压出室和吸入室的设计	(171)
7.5	面积比原理	(177)
	复习题	(178)
8	往复泵设计基本知识	
8.1	往复泵的原理、特点和分类	(179)
8.2	往复泵的主要性能参数	(182)
8.3	空气室	(191)
8.4	阀的基本理论和计算	(195)
8.5	主要结构参数选择和计算	(199)
	复习题	(200)
9	其他类型泵	
9.1	齿轮泵	(201)
9.2	计量泵	(205)
9.3	螺杆泵	(212)
9.4	挠性件泵	(214)

9.5 旋涡泵	(214)
9.6 磁力驱动泵	(216)
9.7 自吸泵	(216)
复习题	(219)

10 化工特殊用泵

10.1 屏蔽泵	(220)
10.2 液下泵	(221)
10.3 离心油泵	(221)
10.4 超低温泵	(222)
10.5 高速部分流泵	(224)
10.6 耐腐蚀泵	(228)
复习题	(229)

11 真空泵

11.1 液环泵	(230)
11.2 喷射泵	(232)
复习题	(232)
附录 单位换算	(234)
参考书刊	(238)

1 绪 论

1.1 分类

泵是用来增加液体能量的机械,属于流体机械。它把原动机的机械能转换为被输送液体的能量,达到输送液体及提高液体压力的目的。

泵是最早发明的机器之一。在现今世界上,泵产品的产量仅次于电机,所消耗的电量大约为总发电量的四分之一。除农田排灌、城市和工业给排水、热电厂、石油炼厂、输油管线、化工厂、钢铁厂、采矿、造船等部门外,目前泵在原子能发电、舰艇的喷水推进、火箭的燃料供给等方面亦得到重要应用,泵抽送的介质除水外,还有油、酸、碱浆料、有机溶液、石油产品等多种液体,甚至有超低温的液态气体和高温熔融金属。可以说,凡是要让液体流动的地方,就有泵在工作,泵在国民经济中起着十分重要的作用。

化工生产中有大量的原料、半成品和成品是液体,其生产过程一般为连续生产过程,所以要用泵将液体物料从一处沿管道输送至另一处,或从压力低处输送至压力高处。

在生产上所要输送的液体数量、性质、压力大小各不相同,为了适应这些不同情况的要求,泵的种类和型号极多,我们这里介绍一个基本的分类系统。即首先定义能量施加于液体的原理,进而说明实施这种原理的方法,最后叙述通常采用的具体几何形状。所以,这种分类系统只与泵本身有关,而与泵的任何外界因素或制造泵的材料无关。按照这个基本分类方法,全部泵可分为两大类。

a 动力型

能量连续地施加于泵内液体,使其速度增加,并在转能装置中转变为压力的提高。

(1) 离心式 通过离心力把能量传给液体,并按液体流出叶轮的方向分为轴流式,混流式,旋涡式。

(2) 特殊作用式 除离心式外的其他型式动力型泵,如射流泵、空气升液泵、水锤泵、液态金属电磁泵。涡流泵等。

b 容积型

工作容积周期性地变化,使被输送液体的压力增加。

(1) 往复式 活塞或柱塞在泵缸内作往复运动,以改变工作室的容积来吸入或排出液体,有活塞式、柱塞式、直接作用式、隔膜式等。

(2) 转子式 由两个或两个以上转子作回转运动以输送流体的容积型泵,有齿轮泵、凸轮泵、滑片泵、挠性件泵、螺杆泵等。

泵的各种分类,详见表 1-1,表 1-2,表 1-3。

每种型式的泵有自己的特点和使用范围,在实际使用中,可根据所需流量及扬程的大

小,以及所输送液体的性质等进行合理选用。一般说,容积型适用于小流量,高扬程,而动力型则适用于大流量、扬程不是太高的场合,见图 1-1。

在石油化工生产过程中,还用到许多特殊要求的泵,如各种耐腐蚀泵、输送高温油品的油泵,输送低温介质的低温泵,要求完全不泄漏的屏蔽泵以及能使流量进行精密调节的比例泵,计量泵等等。

本教材将重点介绍离心式泵和往复泵的原理、结构、性能及设计基本知识。同时也介绍些其他常用泵的工作原理、结构及一些化工特殊用泵的特点。

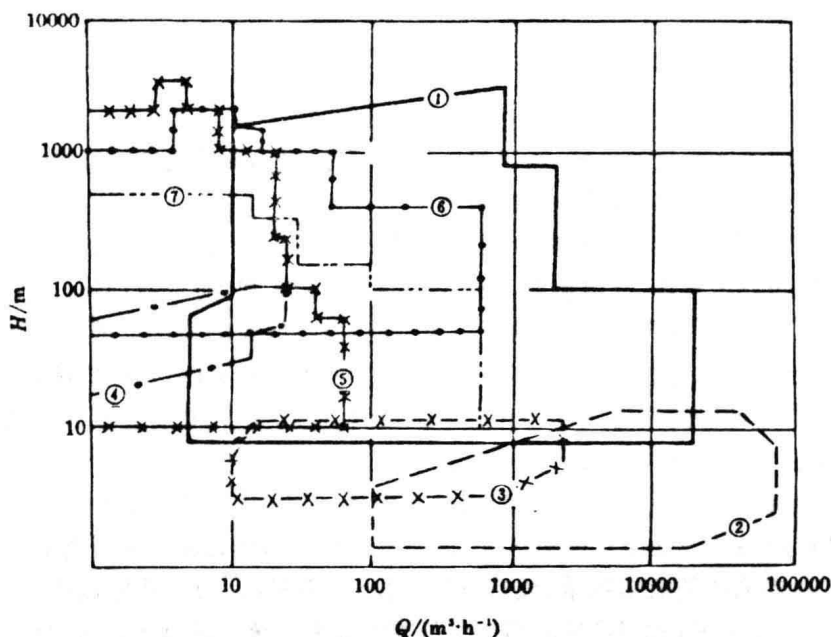


图 1-1 各种常用泵的使用范围

- 1—离心泵;2—轴流泵;3—混流泵;4—旋涡泵;
5—流动往复泵;6—三螺杆泵;7—蒸汽往复泵

表 1-1 容积型泵

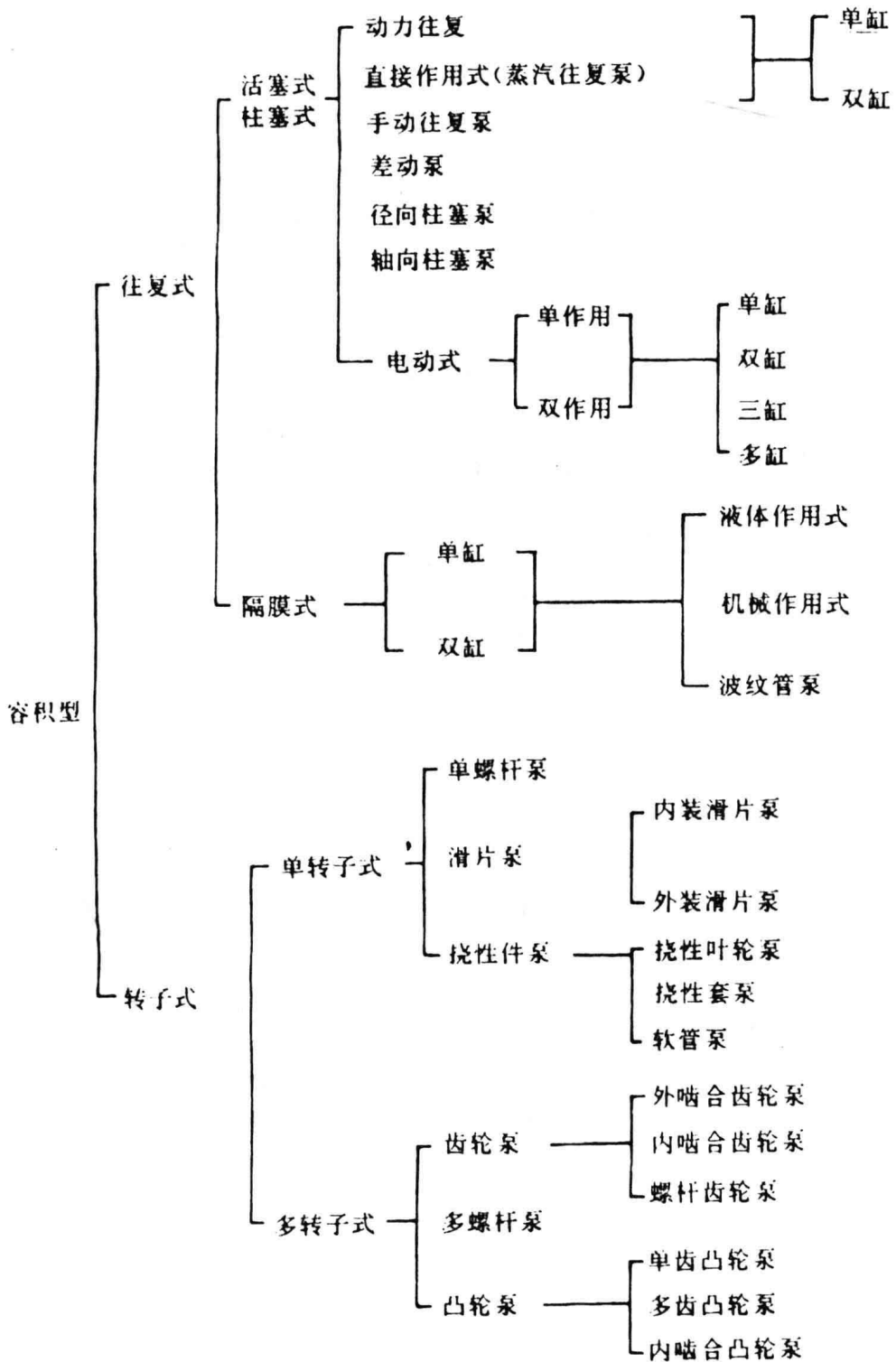
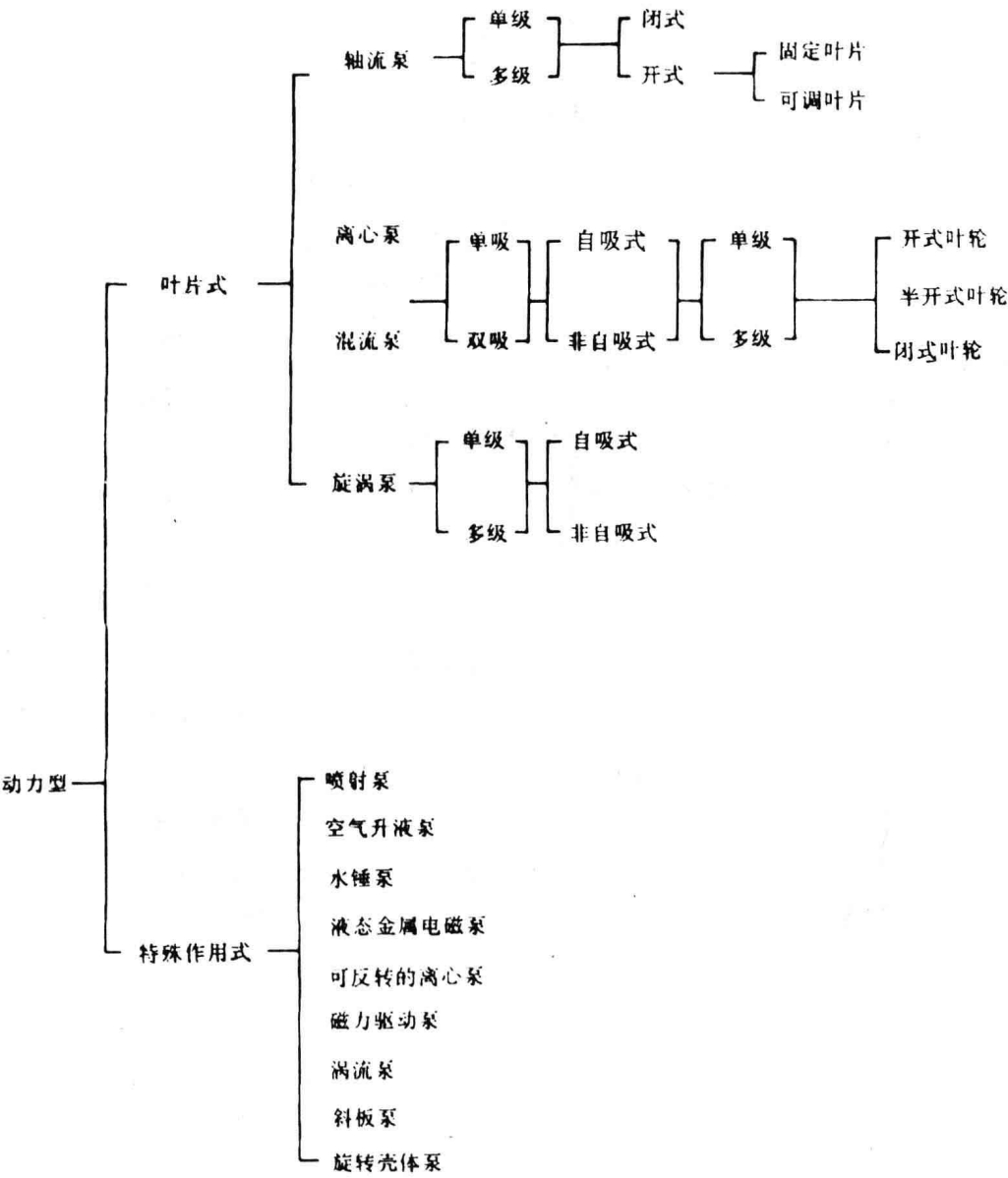
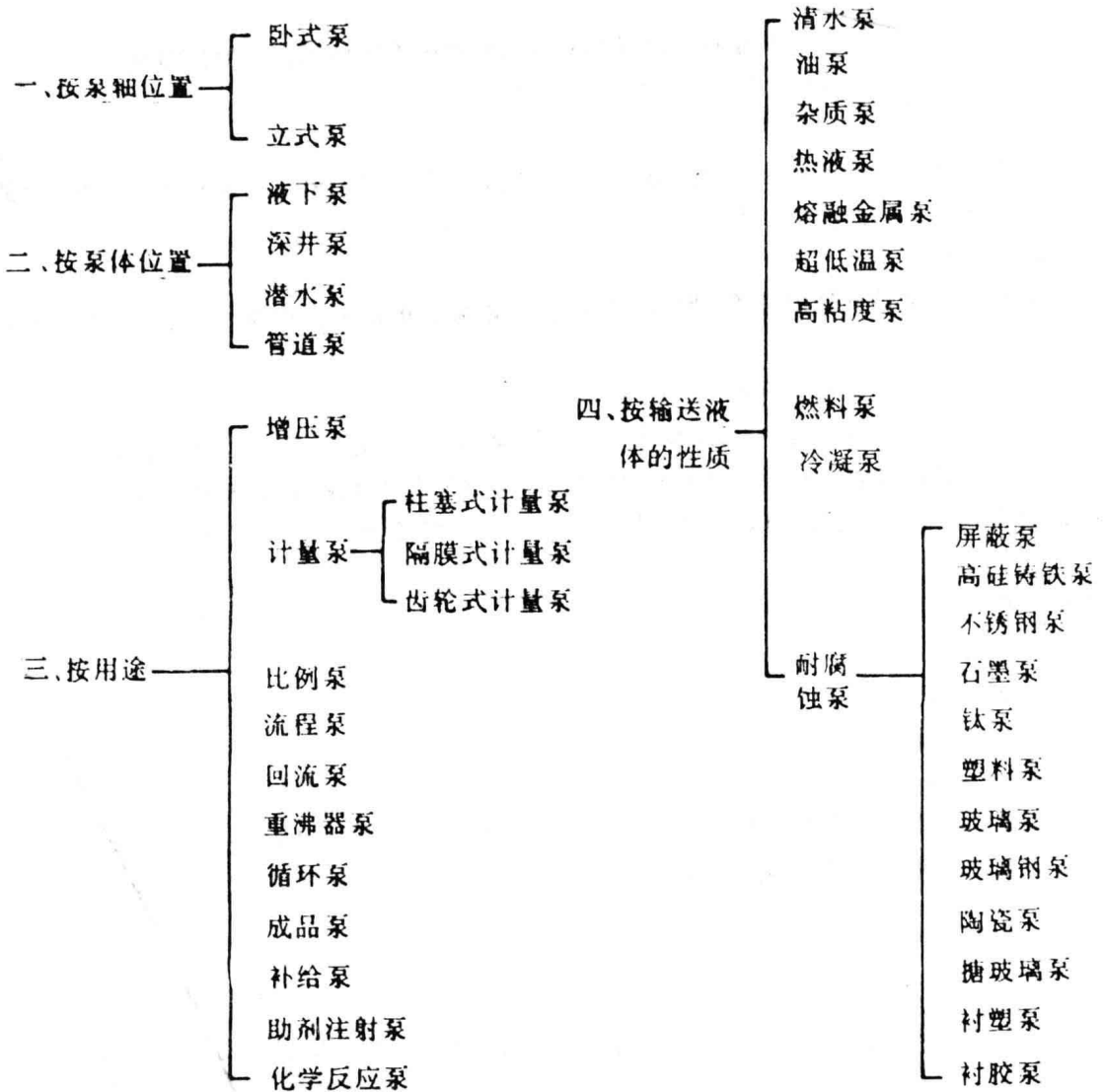


表 1-2 动力型泵



1-3 泵的其他分类



1.2 基本参数

表示泵工作性能的基本参数有以下几个。

A 泵流量

泵流量是单位时间内从泵排出口排出并进入管路的液体体积。一般指的流量均为体积流量。用符号 Q 表示,单位为 m^3/h 或 m^3/s 或 L/s 。

B 扬程

泵的扬程是单位质量液体通过泵后的能量增值。其值等于单位质量液体在泵出口处的能量减去泵进口处的能量。用符号 H 表示,单位为 m 。

C 泵转速

泵转速是泵轴旋转的速度,即单位时间内泵轴旋转的次数。用符号 n 表示,单位为 r/min 或 s^{-1} 。

D 泵轴功率、泵输出功率

泵轴功率通常指输入功率,即泵轴所接受的功率。用符号 P_a 表示,单位为 W 。

泵传递给输出液体的功率称为泵输出功率,又称为有效功率。它表示单位时间内泵输送出去的液体从泵中获得的有效能量。用符号 P_u 表示,单位为 W ,用下式计算:

$$P_u = \rho g Q H$$

式中 P_u ——泵输出功率, W ;

ρ ——泵输送液体的密度, kg/m^3 ;

Q ——泵流量, m^3/s ;

H ——扬程, m 。

E 泵效率

泵轴功率和输出功率之差是泵内的损失功率,其大小用泵效率来计量。泵效率为泵输出功率与泵轴功率之比,用符号 η 表示,并用小数或百分比表示,泵效率的表达式为

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

F 汽蚀余量

泵入口处,单位质量液体所具有的超过该温度下饱和蒸汽压的富裕能量,这是反映泵吸入性能的主要参数,习惯用符号 Δh 表示,单位为 m 。国外称此为净正吸入压头,用 $NPSH$ 表示,最近已在国内等效采用,被编入国家标准的有关部分。

1.3 名词术语

A 粘性系数(粘度)

流体层相互滑动的剪应力与剪切速度变化率的比例常数,用下式表示:

$$\mu = \frac{\tau}{\frac{du}{dy}}$$

式中 μ ——粘度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$;

τ ——剪应力, N/m^2 ;

$\frac{du}{dy}$ ——剪切速度变化率, $1/\text{s}$ 。

B 运动粘度

用下式表示的液体所固有的物理量

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

式中 ν ——运动粘度, m^2/s ;

μ ——粘度, $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$;

ρ ——密度, kg/m^3 。

C 冲角

流体流入翼形的速度方向和翼弦形成的角。单位:度。

D 失速

冲角过大时,液流在翼面或叶片表面上产生显著分离的现象。

E 汽蚀

流动着的流体由于局部压力降低而产生气泡的现象。泵发生汽蚀时,在汽蚀部位会引起对机件的侵蚀,进一步发展造成扬程下降,产生振动、噪声等。

F 喘振

管路系统(包括泵)由于流量小引起液流在泵内脱流而形成的自振,表现为压力、流量周期性变化,泵与管路产生激烈振动及低沉噪声。

G 水锤(水击)

管路系统(包括泵)由于流量急剧变化而引起的较大的压力变动。

H 脱流

接近物体表面的液流不是沿着物体表面流动而产生逆流或死区的现象。

I 灌泵

启动前向泵内和吸入管内注入液体。

J 液封

在轴封部位注入液体,以防止大气进入泵内。

K 暖泵

对于高温用泵,启动前对泵和管路加热。

L 预旋

由于不正常的进口条件和不合理的吸入流道形状,在叶轮进口前吸入管的某一位置处引起螺旋形液流的现象。

M 基准面

离心式 通过由叶轮叶片进口边的外端所描绘的圆的中心的水平面。见图 1-2。

往复式 卧式——包含液缸中心线的水平面。

立式——包含行程中点处($S/2$)的水平面。

主 流

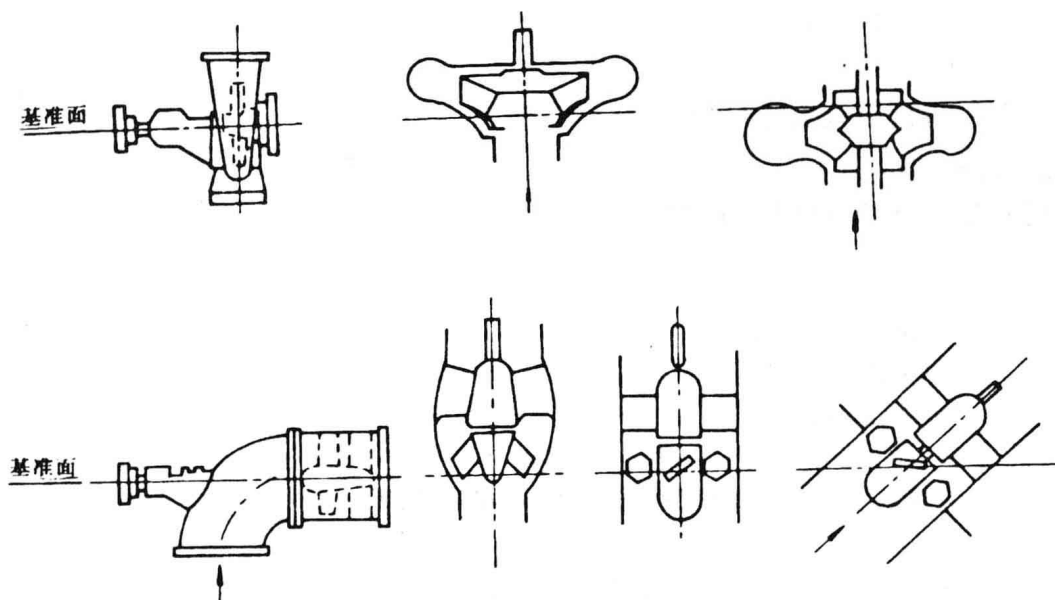


图 1-2 基准面

N 蜗形体

叶轮外圆侧直接形成的具有蜗形的壳体。见图 1-3。

O 比转数

判别动力型泵水力特征的相似准数,是一种泵分类的准则。用下式定义:

$$n_s = \frac{3.65nQ^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{3}{4}}}$$

式中 n_s ——比转数;

n ——泵的转速;r/min;

Q ——流量,m³/s;

H ——扬程,m。

P 轴面

通过轴心线的平面。

Q 轴面投影

将叶轮流道用圆柱投影法投影在轴面上。

R 轴面截线

轴面与叶片的交线。

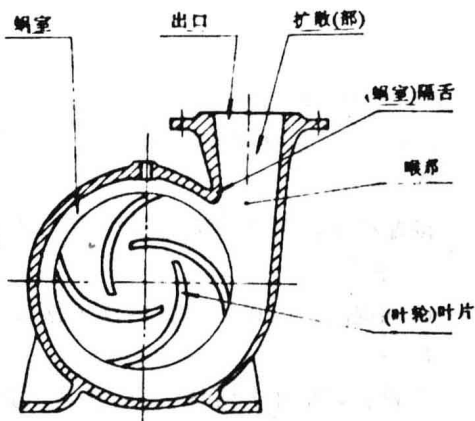


图 1-3 蜗形体

复 习 题

- 1-1 按照能量施加于液体的原理,泵可分为哪两大类型? 各有什么特点? 适用于什么范围?
- 1-2 试说明柱塞泵、隔膜泵、螺杆泵分别属于什么类型,什么形式的泵,为什么?
- 1-3 试说明自吸泵、旋涡泵、磁力驱动齿轮泵分别属于什么类型,什么型式的泵,为什么?
- 1-4 深井泵,液下泵,潜水泵的泵体与电机位置各有什么不同?

2 离心泵的基本理论

2.1 离心泵的工作原理及分类

2.1.1 离心泵的基本工作原理

离心泵的作用原理如图 2-1 所示。在离心泵启动前,应先在泵体和吸液管道灌满液体,使叶轮完全浸没在液体中。为了不让液体从吸液管中漏出,吸液管道下部装有一个浸在吸液池中的止逆阀。泵开动后,叶轮高速旋转,充满在泵体内的液体被叶轮带动一起旋转,并受到离心力的作用。在离心力的作用下,液体自叶轮中心被甩向外缘,液体从叶轮上获得了能量,它是一种机械能,由液体所具有的动压头(速度头)和静压头两部分组成,其中静压头以液体压力的高低显示出来,是我们所希望的;动压头以液体流速的大小显示出来,它在液体流经蜗壳到排液口的过程中,再部分地转变为静压头。在液体自叶轮外周抛出的同时,叶轮中心部分造成低压(当吸液池上为大气压力时,此处为真空),与吸液池液面的压力形成压力差,于是液体就源源不断地被吸入(压力)泵内。因此,当叶轮不断旋转时,液体就连续不断地从叶轮中心吸入,以一定的压力排出,并输送到所需要的地方去。

离心泵之所以能够输送液体,主要是依靠叶轮的高速旋转,使液体受到离心力的作用。而离心力的大小与液体的重度有关,在转速等其他条件相同的情况下,液体的重度越大,则离心力也就越大。在泵起动时,如果泵内存在空气,则由于空气重度远比液体的小,故叶轮旋转后空气所产生的离心力亦小。致使在叶轮中心处只能造成很小的真空,池中的液体不能上升到叶轮中心,泵也就打不出液体,这种现象称为“气缚”。

2.1.2 离心式泵的分类

离心式泵按其结构特点可作如下分类。

a 按吸入方式

(1) 单吸 液体从一侧流入叶轮,即叶轮只有一侧有吸液口。这种结构的叶轮容易制造,液体在叶轮内流动情况较好,缺点是叶轮两个侧面所受的液体压力不同,使叶轮受到轴向力的作用;

(2) 双吸 液体从叶轮两侧对称地流入。这种叶轮制

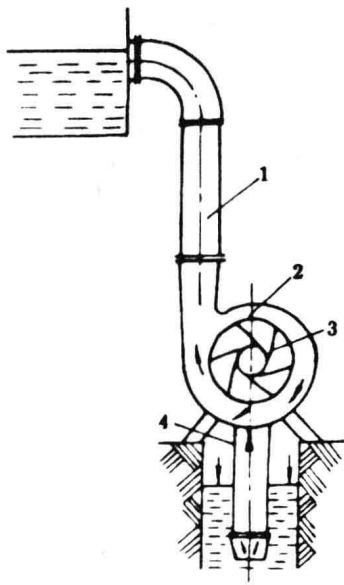


图 2-1 离心泵作用原理图

1—排液管;2—泵体;3—叶轮;4—吸入管

造比较复杂,两股液体在叶轮的出口汇合时稍有冲击,影响泵的效率。但叶轮两侧液体压力相等,不存在轴向力,而且泵的流量也几乎比单吸增加一倍。

b 按级数

(1) 单级 装一个叶轮;

(2) 多级 同一根轴上装两个或多个叶轮。液体依次流过叶轮,产生扬程。级数越多,产生的扬程越高,但目前实际上一级一般不超过 10 级。

c 按主轴方向

(1) 卧式 主轴水平放置;

(2) 立式 主轴与水平面垂直;

(3) 斜式 主轴与水平面倾斜。

d 按液体流出叶轮的方向(图 2-2)

(1) 离心式 液体沿径向流出叶轮;

(2) 轴流式 液体沿旋转轴线方向流动;

(3) 混流式 液体流出叶轮的方向介于轴向和径向之间;

(4) 旋涡式 液体从吸入口到排出口多次在叶片和流道间进行旋涡运动。

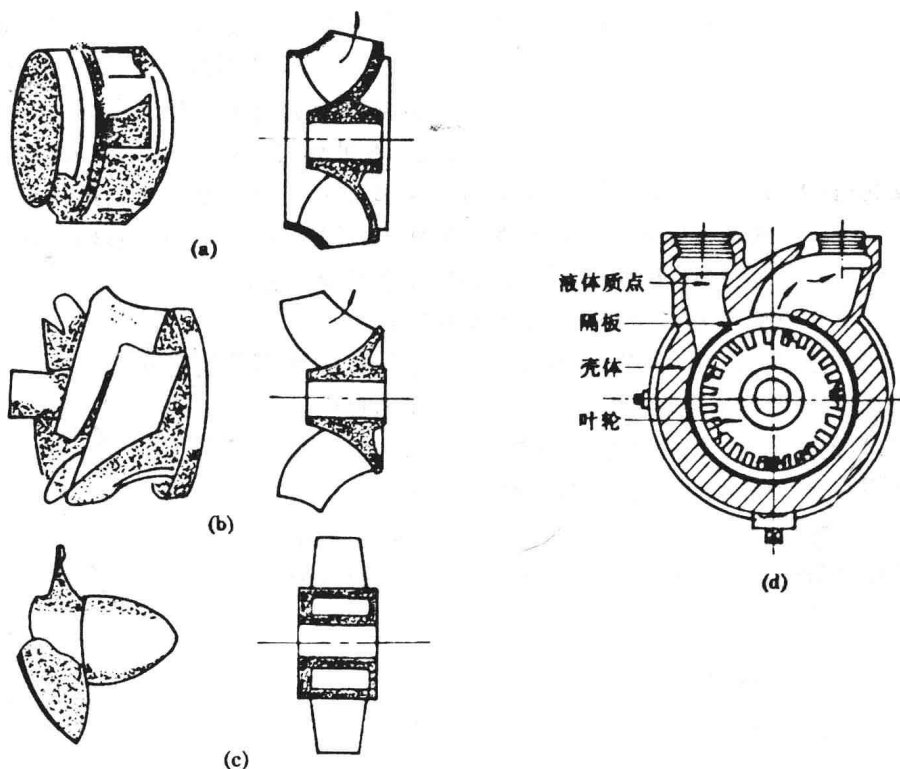


图 2-2

(a)离心式;(b)混流式;(c)轴流式;(d)旋涡式

e 按叶片安装方法

(1) 可调叶片 叶轮的叶片安装角可以调节的结构;

(2) 固定叶片 叶轮的叶片安装角是固定的结构。

f 按壳体剖分方式

(1) 分段式 壳体按与主轴垂直的平面剖分；

(2) 中开式 壳体在通过轴心线的平面上分开。

g 按泵体形式

(1) 蜗壳泵 叶轮排出侧具有带蜗室的壳体；

(2) 透平泵 带导叶的离心泵；

(3) 筒式泵 内壳体外装有圆筒状的耐压壳体。

h 一些特殊结构的离心泵

(1) 潜水泵 将泵和电动机制成一体浸入水中输送水的泵；

(2) 液下泵 泵体浸入液体内的泵；

(3) 管道泵 泵作为管路的一部分，安装时无需改变管路的泵；

(4) 自吸式泵 叶轮同时能起灌水作用，泵起动时无需灌水；

(5) 屏蔽泵 泵与电动机直连(共用一根轴)，电动机定子内侧装有屏蔽套，以防液体进入。

2.2 离心泵的主要零部件和典型结构

2.2.1 离心泵的主要零部件

离心泵的主要零部件有：叶轮、转轴、吸液室、压液室、泵体、密封件等，有些离心泵还装有专门的转能装置(导叶)、提高泵汽蚀性能的诱导轮及平衡叶轮轴向推力的平衡盘等。下面分别介绍它们的作用和结构特点。

A 叶轮

叶轮是液体传递能量的部分，泵通过叶轮对液体做功，使其能量增加，因此是离心泵的主要部件。叶轮的型式有闭式、开式、半开式三种。闭式叶轮由叶片、前盖板、后盖板组成，应用于输送不含杂质的液体。这种叶轮的效率高，但造价也较高，一般离心泵均采用此种叶轮，叶片数为6—8片。

B 泵体

在单级泵中泵体采用蜗壳，蜗壳的作用是将叶轮封闭在一定的空间内，收集自叶轮抛出的液体沿一定的方向输送到排液口，并将部分动能转变为静压能。因此，蜗壳是单级泵的转能装置。为了保证起到上述作用，蜗壳的形状应使液体流过的损失小，并且断面逐渐扩大。

多级泵中采用导叶轮，末级之后有蜗壳，作用与上面相同。

泵体的排液口凸缘上有装置压力表用的螺孔，在最高点有充水或放气用的小孔，最低点有停车时放水用的小孔。吸液管的凸缘上有装接真空表用的螺孔。

C 密封

离心泵的叶轮以高速旋转，因此它与固定的泵体之间必然要留有间隙，这样就造成了从叶轮出来的液体经叶轮进口与泵体之间的间隙漏回到泵的吸液口(内部泄漏)，以及从叶轮背面与泵体间的间隙漏出，然后经填料函漏到外面去(外部泄漏)。所以在泵体和叶轮间隙的