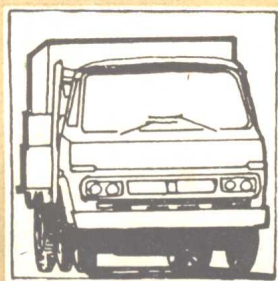


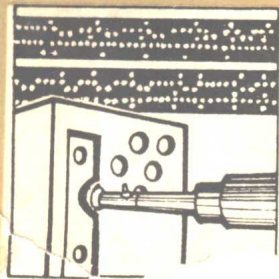
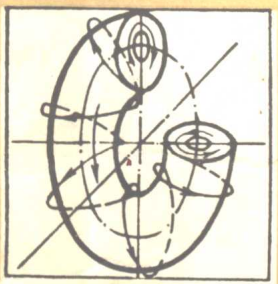
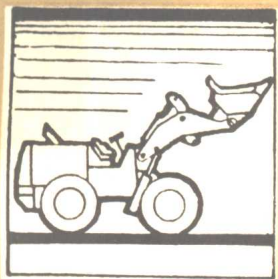
高等学校试用教材



# 离心泵与轴流泵

原理及水力设计

甘肃工业大学丁成伟 主编



高等学校试用教材

# 离心泵与轴流泵

原理及水力设计

甘肃工业大学丁成伟 主编



机械工业出版社

**离心泵与轴流泵**

甘肃工业大学丁成伟 主编

\*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16·印张16·字数390千字

1981年7月重庆第一版·1981年7月重庆第一次印刷

印数 0,001—4,800·定价 1.65元

\*

统一书号: 15033·5056

## 前 言

本书是根据 1978 年 4 月在天津召开的高等学校一机部对口专业座谈会的精神以及同年 9 月在兰州召开的水力机械、液压传动专业教材会议制订的“离心泵与轴流泵（原理及水力设计）”教学大纲编写的。

本教材是按课程总学时为 72 学时（包括实验课在内）编写的。在编写中注意了加强基础理论，力求反映国内外先进科学技术。教材内容侧重于叶片式泵的工作原理及水力设计。为了帮助读者具体掌握设计和计算方法，还介绍了一些设计图例和习题。由于教学时数的限制，有关系的结构和强度计算等内容留在本专业的选修课或专题讲座中讲授。本书为高等院校水力机械专业的试用教材，也可供有关机械类专业或工程技术人员参考。

本书由甘肃工业大学丁成伟同志主编。参加编写的有甘肃工业大学关醒凡同志（第一、五章），丁成伟同志（第二、三章），战长松同志（第四、六章），魏光新同志（第七、九章）及镇江农机学院许恭同志（第八章）。华中工学院仇谓生同志负责主审。一机部教编室孙祥根同志对全书进行了仔细审校。

对所有为本教材进行审阅并提出宝贵意见以及在编写出版过程中给予热情帮助和支持的同志，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平所限，加之时间仓促，书中缺点和错误在所难免，殷切希望使用本书的同志和读者给予批评指正。

# 目 录

第一章 绪 论	
§ 1-1 泵的定义和分类	1
§ 1-2 叶片式泵的过流部件和典型结构	1
§ 1-3 泵的应用	6
√ § 1-4 泵的主要性能参数	14
√ § 1-5 泵内的各种损失及泵的效率	15
习 题	16
第二章 叶片式泵的基本理论	
√ § 2-1 泵内液体流动的分析	17
√ § 2-2 叶片式泵的基本能量方程	19
√ § 2-3 无穷多数叶片( $Z=\infty$ )的假定和有限数叶片理论扬程的修正	25
√ § 2-4 泵的特性曲线	33
√ § 2-5 叶片泵中相似原理的应用	37
习 题	51
√ 第三章 汽 蚀	
§ 3-1 概 述	52
§ 3-2 吸上真空度	55
§ 3-3 汽蚀余量	56
§ 3-4 汽蚀相似定律及汽蚀(吸入)比转数	61
§ 3-5 液体热力学对空泡初生的影响	64
§ 3-6 改善泵吸入性能的途径	67
§ 3-7 研究汽蚀的设备和方法	74
习 题	78
第四章 泵内的能量损失	
§ 4-1 泵的能量平衡试验	79
§ 4-2 泵内各种水力损失分析	80
§ 4-3 圆盘摩擦损失	85
§ 4-4 泵内的容积损失	91
第五章 离心泵和混流泵叶轮的水力设计	
§ 5-1 泵主要设计参数和结构方案的确定	100
§ 5-2 叶轮主要参数的选择和计算	101
§ 5-3 叶片厚度和角度及其几何关系	113
§ 5-4 叶轮轴面投影图的绘制	117
§ 5-5 叶片设计理论和型线微分方程式	118
§ 5-6 叶片绘型	121
§ 5-7 二元理论设计方法概要	137
第六章 离心泵的压水室和吸水室	
§ 6-1 螺旋形压水室	143
§ 6-2 导 叶	150
§ 6-3 空间导叶	154
§ 6-4 半螺旋形吸水室	158
第七章 离心泵中的轴向力、径向力及其平衡	
§ 7-1 轴向力的产生及计算	163
§ 7-2 轴向力的平衡	166
§ 7-3 平衡盘的工作原理和计算	170
§ 7-4 径向力及其平衡	176
第八章 轴流泵水力设计	
§ 8-1 概 述	183
§ 8-2 液体在叶轮中的运动分析	184
§ 8-3 叶轮叶片的结构参数	188
§ 8-4 升力法设计轴流泵叶轮	191
§ 8-5 圆弧法设计轴流泵叶轮	210
§ 8-6 导叶设计	219
§ 8-7 轴流泵的吸水室	225
§ 8-8 轴流泵的特性曲线及其运行调节	227
§ 8-9 轴流泵的轴向力	229
第九章 泵在系统中的运转工况	
§ 9-1 泵运转时的工况点	231
§ 9-2 泵的串联运转	233
§ 9-3 泵的并联运转	234
§ 9-4 泵运行工况的调节	236
§ 9-5 泵的起动特性	238
§ 9-6 泵的性能试验	240
§ 9-7 泵的四象限特性	245

# 第一章 绪 论

## § 1-1 泵的定义和分类

### 一、泵的定义

泵是把原动机的机械能转换为抽送液体能量的机器。一般，原动机通过泵轴带动叶轮旋转，对液体作功使其能量增加，从而使要求数量的液体从吸水池经泵的过流部分，输送到要求的高度或要求有压力的地方。

图 1-1 所示是简单的离心泵装置。原动机带动泵叶轮旋转，使水从吸水池 I 吸入到泵内，排送到排水池 II。泵中主要起作用的是叶轮，叶轮中的叶片强迫液体旋转，液体在离心力的作用下向四周甩出。这种情况像转动雨伞，雨伞上的雨滴向四周甩出的情形相仿。泵内的液体甩出去之后，新的液体在大气压力作用下进到泵内。如此，液体连续不断的从泵内流出。泵在开动之前，应先灌满水，否则叶轮只是带动泵内的空气旋转，因空气的重度很小，由此产生的离心力甚小，无力把泵内和管路内的空气全部排出，即不能在泵内产生真空，因而水也就吸不上来。

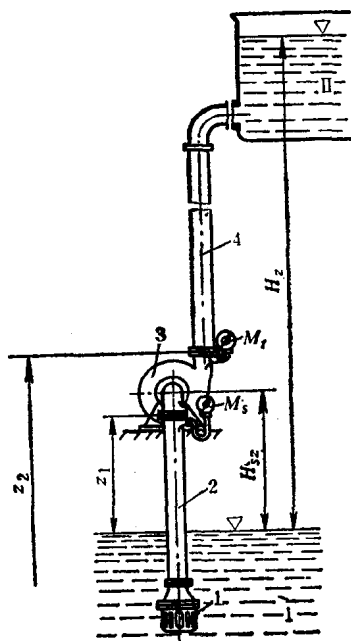


图 1-1 泵装置简图

1—过滤网 2—吸入管路 3—泵 4—  
排出管路  $M_1$ —真空表  $M_2$ —压力表  
I—吸水池 II—排水池  $H_s$ —泵安  
装高度  $H$ —吸、排水池液面高度差  
 $z_2, z_1$ —泵出、进口到测量基准面的距离

### 二、泵的分类

泵的种类很多，其主要类型如下。

泵的种类很多，按作用原理可分以下三大类

#### 1. 叶片式泵

它是利用叶轮的叶片和液体相互作用来输送液体，如离心泵、混流泵、轴流泵、旋涡泵等。

#### 2. 容积式泵

它是利用工作室容积周期性的变化来输送液体，如活塞泵、柱塞泵、隔膜泵、齿轮泵、螺杆泵等。

#### 3. 其他类型泵

包括只改变液体位能的泵，如水车等；利用液体能量来输送液体的泵，如射流泵、水锤泵等。

## § 1-2 叶片式泵的过流部件和典型结构

### 一、叶片式泵的过流部件

泵的主要过流部件是吸水室、叶轮和压水室。图 1-2 是叶片式泵的过流部件。

#### 1. 吸水室

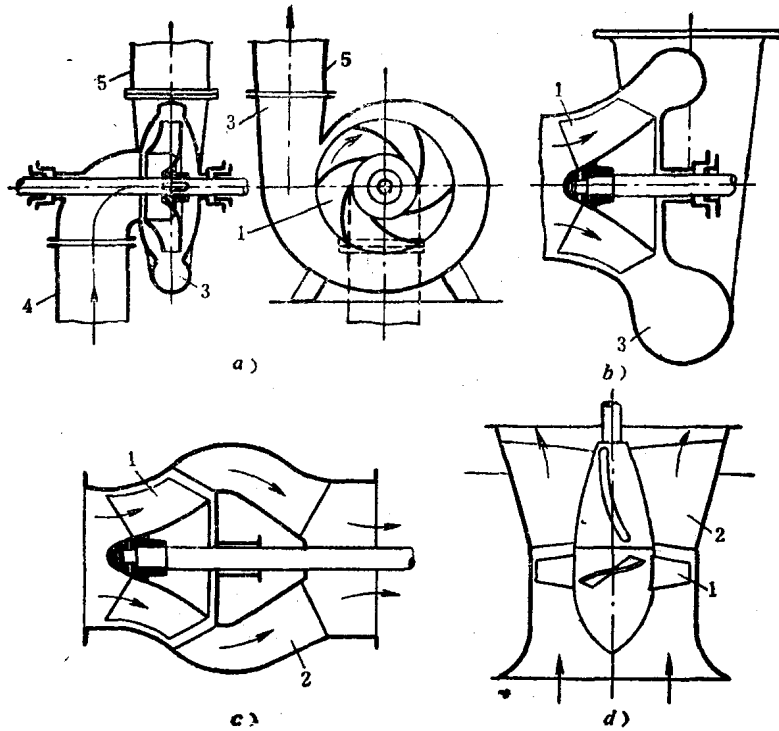


图 1-2 叶片式泵的过流部件  
 a)离心泵 b)蜗壳式混流泵 c)导叶式混流泵 d)轴流泵  
 1—叶轮(工作轮) 2—导叶 3—蜗室(压水室) 4—吸水管 5—排水管

泵吸水室位于叶轮进口前，其作用是把液体按一定要求引入叶轮。吸水室的主要类型如图 1-3 所示。

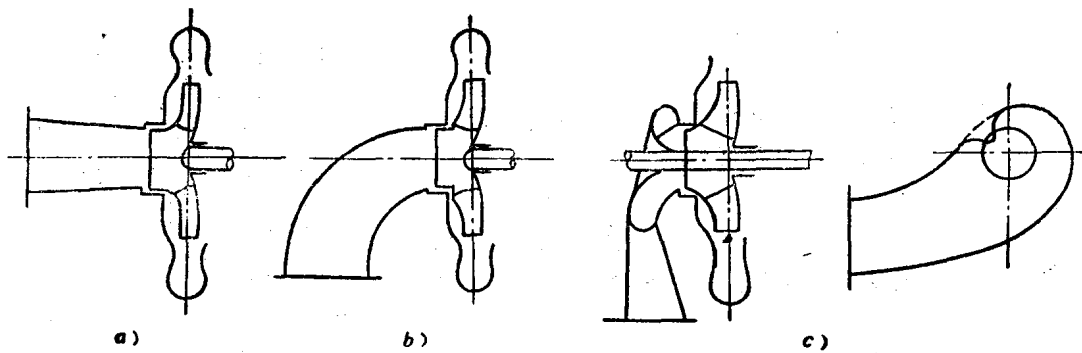


图 1-3 吸水室的类型  
 a)直锥形 b)弯管形 c)螺旋形

## 2. 叶轮

叶轮是泵的核心，也是过流部件的核心，泵通过叶轮对液体做功，使其能量增加。

叶轮按液体流出的方向分为三类（图 1-4）。

离心式（径流式）叶轮 液体沿与轴线垂直的方向流出叶轮。

混流式叶轮 液体沿与轴线倾斜的方向流出叶轮。高比转数的混流式叶轮有时叫斜流式

## 叶轮。

**轴流式叶轮** 液体沿平行轴线的方向流出叶轮。

另外，叶轮按吸入方式分为单吸和双吸叶轮。

**单吸叶轮** 叶轮从一面吸入液体。

**双吸叶轮** 叶轮从两面吸入液体。

### 3. 压水室

压水室位于叶轮出口之后，其作用是收集从叶轮中高速流出的液体，使其速度降低，转变速度能为压能，并且把液体按一定要求送入下级叶轮进口或送入排管路。压水室主要分螺旋形压水室（蜗室）如图1-2, a, b中3, 叶片式导叶，如图1-2 c, d中的2。还有节段式多级泵的流道式导叶等。

## 二、叶片式泵的型式和典型结构

叶片式泵按其结构型式，分类如下：

### 1. 按主轴方向

- (1) 卧式：主轴水平放置；
- (2) 立式：主轴垂直放置；
- (3) 斜式：主轴倾斜放置。

### 2. 按液体流出叶轮的方向

- (1) 离心式——装径流式叶轮；
- (2) 混流式——装混流式叶轮；
- (3) 轴流式：装轴流式叶轮。

### 3. 按吸入方式

- (1) 单吸——装单吸叶轮；
- (2) 双吸——装双吸叶轮。

### 4. 按级数

- (1) 单级：装一个叶轮；
- (2) 多级：同一根轴上装两个或两个以上的叶轮。

### 5. 按叶片安装方法

- (1) 可调叶片：叶轮的叶片安放角可以调节的结构；
- (2) 固定叶片：叶轮的叶片安放角度是固定的结构。

### 6. 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) 节段式：在分段式多级泵中，每一级壳体都是分开式的；
- (3) 中开式：壳体在通过轴心线的平面上剖分；
- (4) 水平中开式：在中开式中，剖分面是水平的；
- (5) 垂直中开式：在中开式中剖分面是垂直的；
- (6) 斜中开式：在中开式中，剖分面是倾斜的。

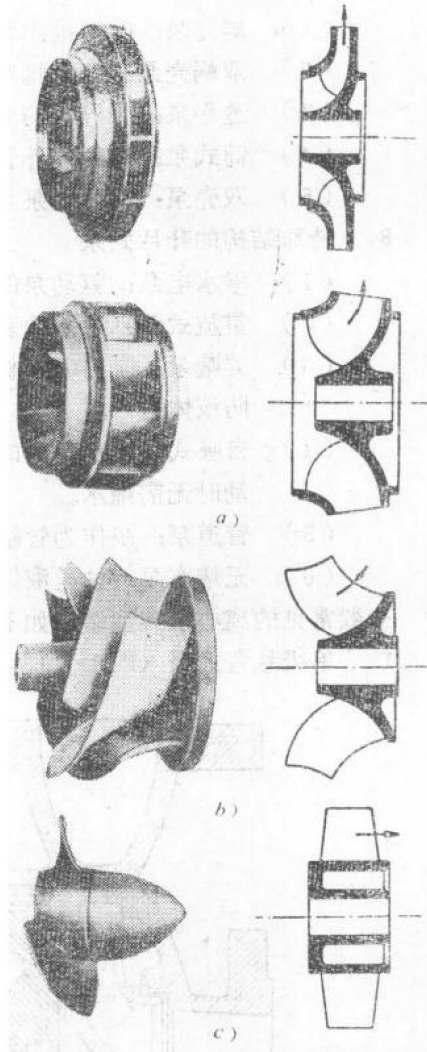


图 1-4 叶轮的类型

- a) 离心式 (径流式)
- b) 混流式 (斜流式)
- c) 轴流泵



## 7. 按泵体形式

- (1) 蜗壳泵：叶轮排出侧具有带蜗室的壳体；
- (2) 双蜗壳泵：叶轮排出侧具有双蜗室的壳体；
- (3) 透平泵：带导叶的离心泵；
- (4) 筒式泵：内壳体外装有圆筒状的耐压壳体；
- (5) 双壳泵：指筒式泵之外的双层壳体泵。

## 8. 特殊结构的叶片式泵

- (1) 潜水电泵：驱动泵的电动机与泵一起放在水中使用的泵；
- (2) 贯流式泵：泵体内装有电动机等驱动装置；
- (3) 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。
- (4) 自吸式泵：在一般的自吸泵中抽送液体作用的叶轮同时能起灌水作用，泵启动时无需灌水。
- (5) 管道泵：泵作为管路的一部分，无需特别改变管路即可安装泵。
- (6) 无堵塞泵：抽送液体中所含的固体不能在泵内造成堵塞。

一般常见的离心泵典型结构如下：

### 1. 单级悬臂式泵（图 1-5）

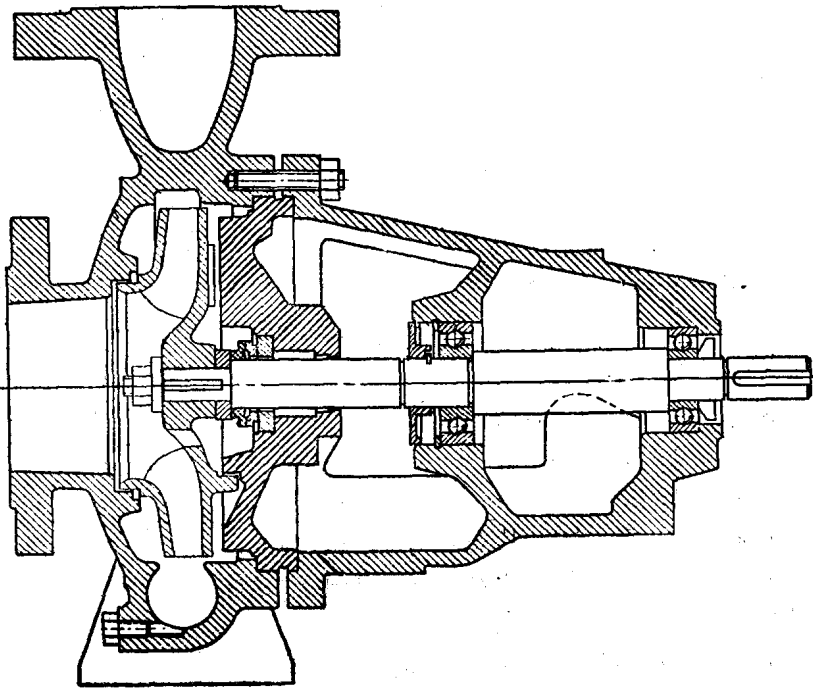


图 1-5 单级悬臂式泵

这种泵的转子，用位于一侧的轴承支承，叶轮悬臂地装在轴的一端。通常吸入口沿着轴向，排出口向上，根据要求也可以作成不同方位的组合。

### 2. 单级双吸泵（图 1-6）

这种泵的叶轮是双吸的，转子用两端的外轴承支承。吸入口和排出口的方向可以考虑各种不同的组合，但一般是水平吸入和水平排出。壳体是水平中开的，但也有单端盖或双端盖式结构。端盖式结构的优点是在高温和高压下，壳的变形小，检修方便。

3. 蜗壳式多级泵 (图 1-7)

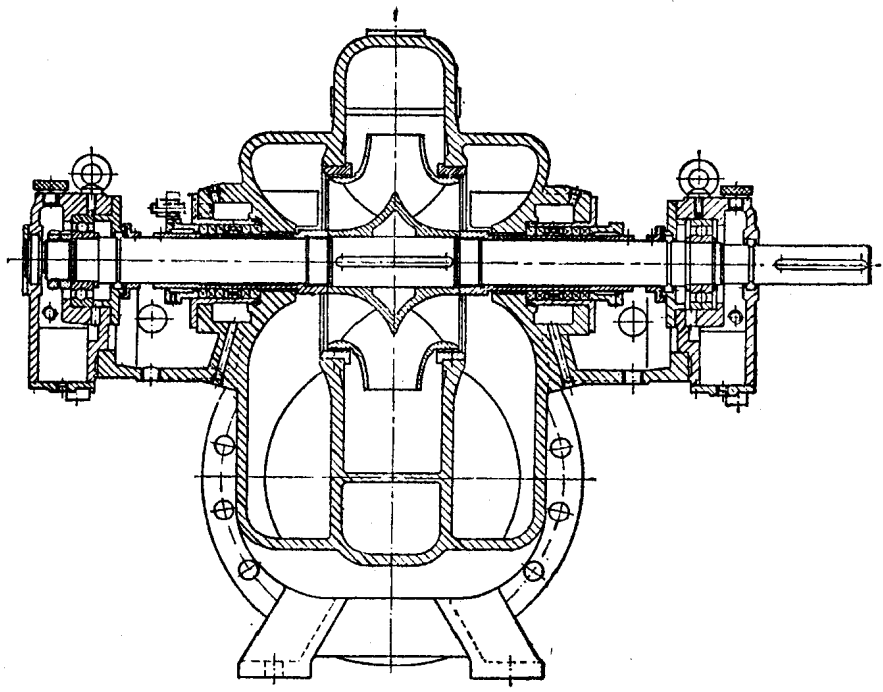


图 1-6 单级双吸泵

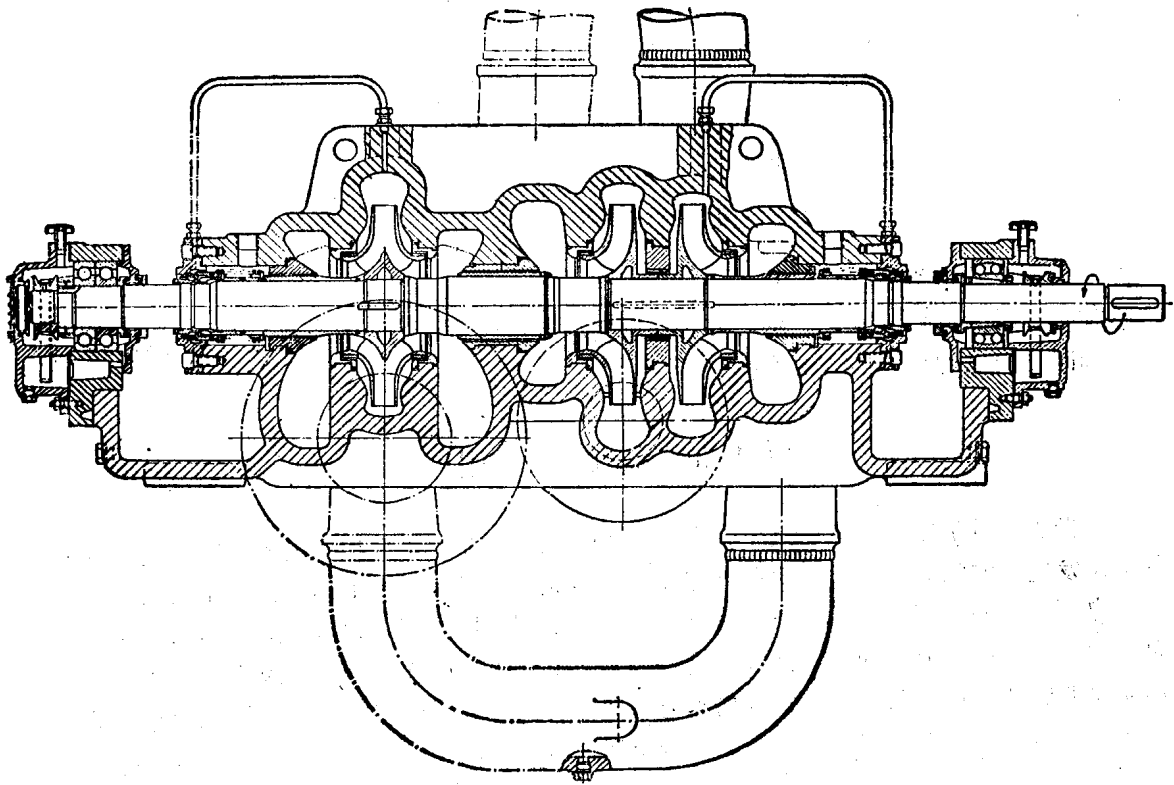


图 1-7 蜗壳式多级泵

这种泵采用螺旋形压水室。液体通过级间过渡流道从前一级压水室流到下一级吸水室。壳体是水平中开的，吸入口和排出口位于下泵体上，这样不拆开管路即可拆开泵盖(上泵体)，检修泵的内部。用于高温时，下泵体多在经过泵轴中心线的平面支承(中心支承式)，并且装有导向键，以减小高温下的变形。叶轮对称布置，自动平衡轴向力。

#### 4. 节段式多级泵(图1-8)

这种泵的结构，是在各叶轮、中段的两端，装吸入盖(前段)和排出盖(后段)，然后把这些零件用穿杠把紧。轴承装在泵的两端。叶轮按同一方向布置，用末级叶轮后的平衡盘平衡轴向力。

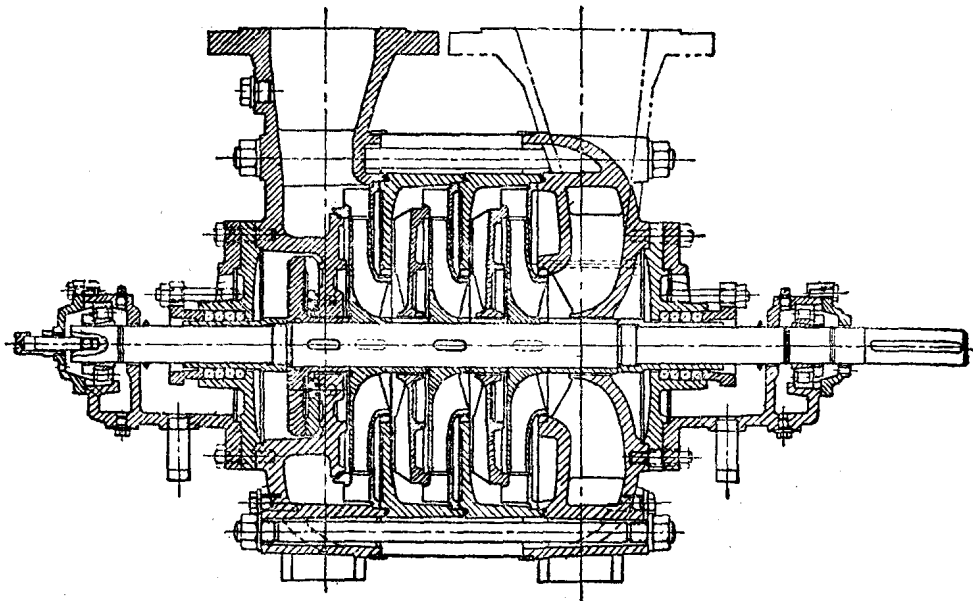


图 1-8 节段式多级泵

#### 5. 大型立式单级泵(图1-9)

这种泵一般为单吸单级泵。泵具有直锥形吸水室和螺旋形压水室。泵与立式电动机直接连接，轴向力由电动机的推力轴承承受。

### § 1-3 泵的应用

泵是世界上最早发明的机器之一。在现今世界上泵产品产量仅次于电机，所消耗的电量大约为总发电量的四分之一。泵的种类甚多，应用极为广泛。除农田排灌、城市和工业给排水、热电厂、石油炼厂、石油矿场、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。另外，还可以用泵来对固体如煤、鱼等进行长距离水力输送。泵抽送的介质除水外，有油、酸、碱浆料……一直到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。下面具体介绍泵在国民经济几个部门中的应用。

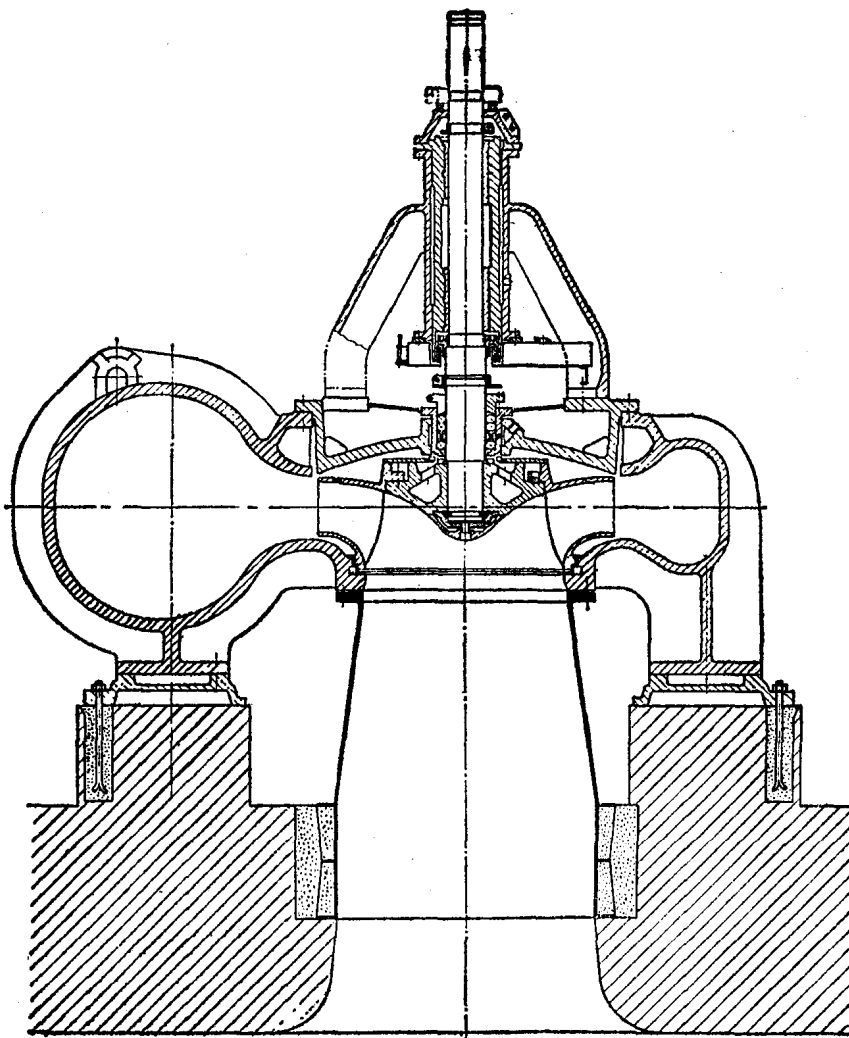


图 1-9 大型单级立式泵

### 一、火力发电厂用泵

发电是一个汽水循环的过程。锅炉把水加热变成蒸汽，蒸汽推动汽轮机旋转，汽轮机带动发电机旋转发电。其中，从加热器向锅炉供水用的泵叫锅炉给水泵。从汽轮机排出的废汽到冷凝器凝结成水，其中，需要用冷凝泵将凝结的水打入加热器进行再循环，而冷凝器用的冷却循环水是由循环水泵供给的。另外，锅炉排灰用的泵叫灰渣泵。图 1-10 是热电厂循环系统简图；表 1-1 是单机容量为 60 万千瓦机组用泵的性能参数；图 1-11 是近代高温高压锅炉给水泵的结构图。

### 二、原子能发电站用泵

原子能发电站与火力发电厂实质相同，也是一个汽水循环过程。其中同样需要给水泵和冷凝泵，但泵必须作一些改进以适应核电站运行的特殊要求。另外，在原子能反应堆的炉心，由核分裂所产生的热量，靠循环冷却剂把它带到反应堆外去加热水使之变成蒸汽，冷却剂的循环是用冷却剂循环泵来完成的。冷却剂循环泵是一次系统主机中唯一的回转机械，是

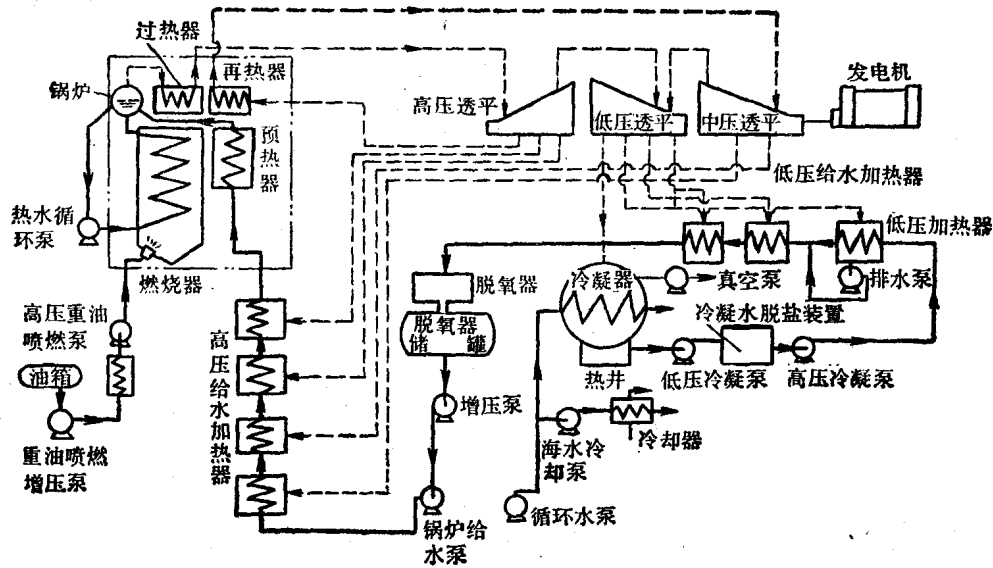


图 1-10 热电厂主要水汽系统图

表 1-1 60万千瓦机组用泵的性能参数

名称	主锅炉给水泵	锅炉给水增压泵	低压冷凝泵	高压冷凝泵	低压加热器排水泵	循环水泵	重油喷燃增压泵	重油喷燃泵
型式	卧式筒式多级(6级)离心泵	卧式双吸离心泵	立式2级(第1级双吸)透平式泵	卧式单级透平式泵	卧式多级透平式泵(6级)	立式混流泵	螺杆泵	卧式多级离心泵
口径(毫米)	300	350/250	300	250/200	160	2135	300/250	150/100
流量(米 <sup>3</sup> /分)	20.44	20.44	12.38	12.38	2.72	586.7	155米 <sup>3</sup> /小时	155米 <sup>3</sup> /小时
全扬程(米)	3179	79.25	76	145	206	8.83	29.2×10 <sup>5</sup> 牛顿/米 <sup>2</sup>	82.5×10 <sup>5</sup> 牛顿/米 <sup>2</sup>
转速(转/分)	4500	1460	980	2880	1460	245	1450	2985
电动机输出功率(千瓦)	12000	300	190	370	150	1200	185	330
液体温度(°C)	147	147	33	33	83	21(海水)	60	90
吸入压力(计示压力)×10 <sup>5</sup> 牛顿/米 <sup>2</sup>	8.7	1.4	-695毫米汞柱	5.0	-150毫米汞柱	—	0	29.2
台数	2	2	3	3	2	2	2	2

说明:

火力发电厂用泵,分为透平辅机和锅炉辅机两方面。主要泵是按蒸汽→凝水→加热→脱氧→升压→加热→蒸发的系统配置的。上表表示的是输出功率60万千瓦的性能规格例子,本机采用强制直流再热式锅炉,不要热水循环泵。输出功率为37.5万千瓦的机组,采用辐射式强制循环锅炉,设置热水循环泵,热水循环泵的性能规格例子如下:

热水循环泵	型式	口径(毫米)	流量(米 <sup>3</sup> /分)	全扬程(米)	转速(转/分)	电动机输出功率(千瓦)	液体温度(°C)	吸入压力(计示压力)牛顿/米 <sup>2</sup>	台数
	立式双吸离心泵	600/500	48	48.2	1760	450	352	192.6×10 <sup>5</sup>	4

作为火力发电厂其它方面的用泵,还有在煤粉燃烧锅炉灰处理装置中使用的灰泵(以喷射泵的方式,使灰不进入泵内的灰流泵和从灰池内直接排送水和灰混合的排灰泵),在给水处理装置中使用的耐酸泵和耐碱泵,还有,用于各种水冷却器中的海水冷却泵和冷凝器抽气用的真空泵。

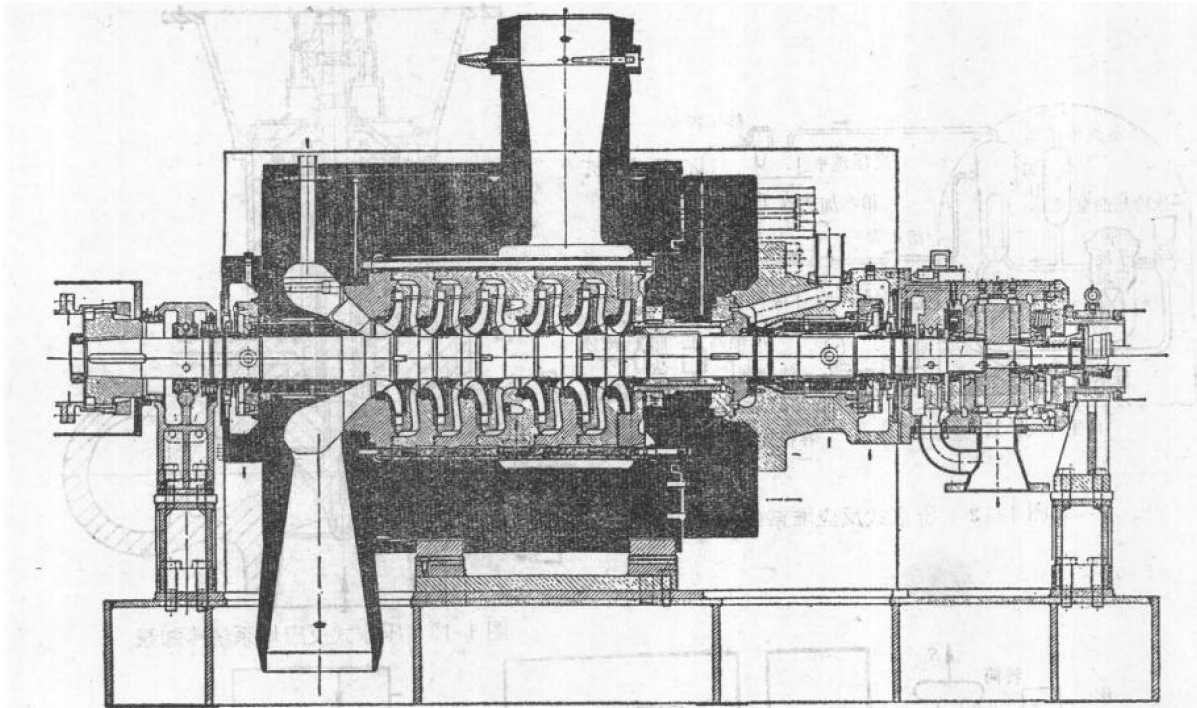


图 1-11 近代高温高压锅炉给水泵

性能参数:  $Q=1180$  米<sup>3</sup>/时;  $H=3615$  米;  $n=5960$  转/分;  $N=14500$  千瓦;  $t=188^{\circ}\text{C}$ 

核电站中最重要的泵。图 1-12 是压水式反应堆系统图, 表 1-2 是 36 万千瓦机组系统中所用泵的性能参数。图 1-13 是这种系统冷却泵的结构图。

表 1-2 压水式反应堆 36 万千瓦机组用泵性能参数

名称	一次冷却剂泵	充填泵	冷凝泵	给水泵
型式	立式蜗壳式泵(轴封式)	往复泵	立式多级透平泵	卧式蜗壳式泵
口径(毫米)	700/740	80/80	350/600	200/250
流量(米 <sup>3</sup> /分)	266	0.25(最大)	11.32	21.75
全扬程(米)	61	2100(最大)	220	780
转速(转/分)	1200	312(最大)	900	3570
电动机输出功率(千瓦)	3000	75	580	2810
液体温度( $^{\circ}\text{C}$ )	293	70	33	182.8
吸入压力(计示压力) (牛顿/米 <sup>2</sup> )	$157 \times 10^5$	$6 \times 10^5$	722 毫米汞柱	$11.51 \times 10^5$
台数	2	3	3	3

说明:

压水式原子反应堆是控制在炉心产生蒸汽, 为了高效率的从炉心带走热量, 把一次回路中的高压冷却剂, 引到蒸汽发生器, 在二次回路中产生蒸汽。沸腾水式原子反应堆, 是在炉心里使水沸腾的原子反应堆, 在炉心内产生的蒸汽到炉心的上部与水分离。

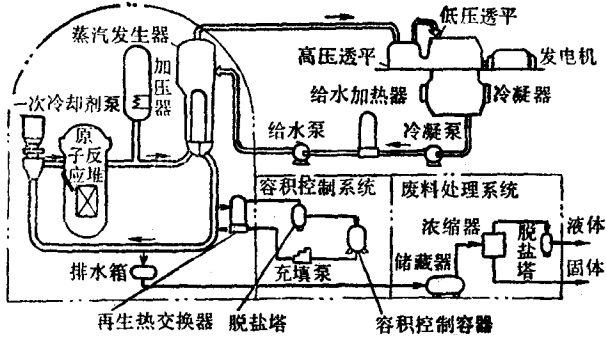


图 1-12 压水式反应堆系统

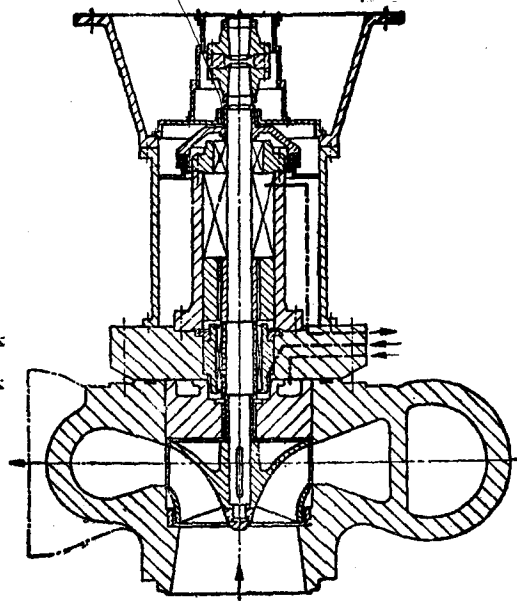


图 1-13 压水式反应堆系统冷却泵

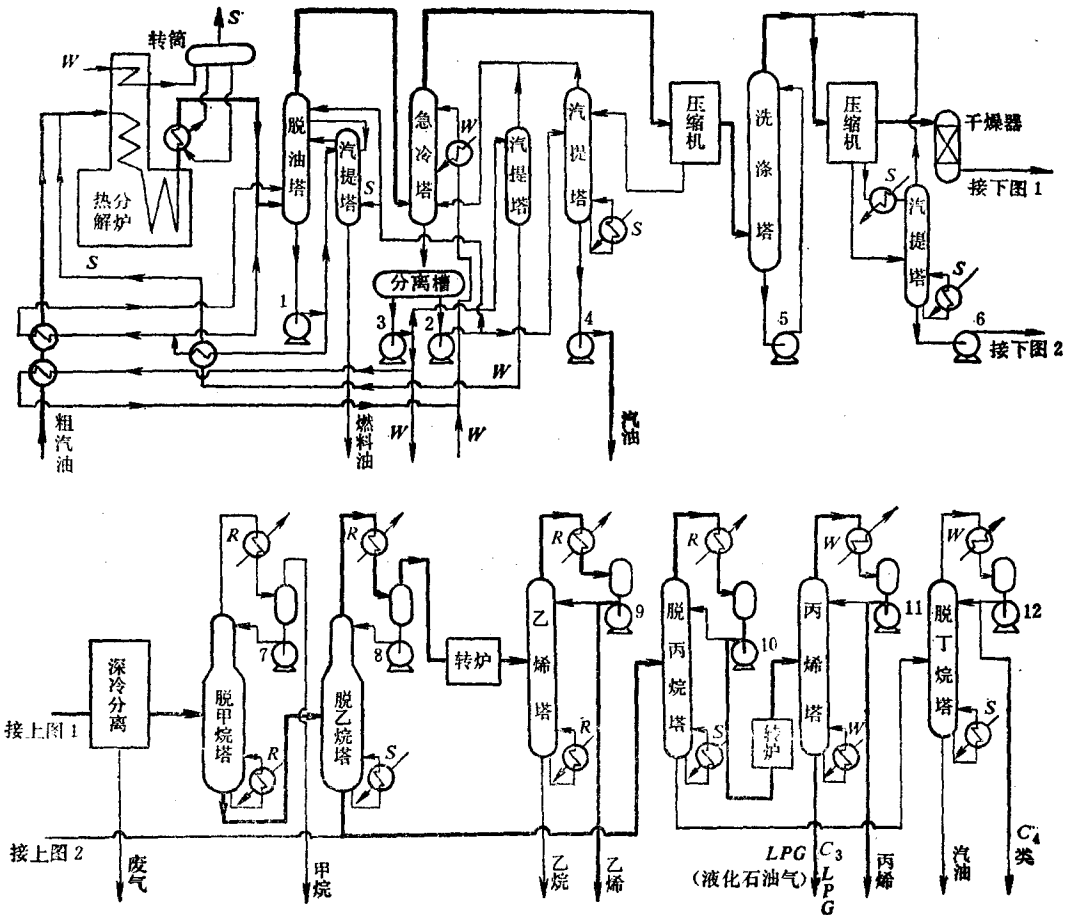


图 1-14 化工流程 (乙烯装置)

### 三、石油化工用泵

泵是石油化工的主要设备之一。以石油工业为例，钻井用泥浆泵（冷却钻头，冲洗钻屑和用泥浆加固井壁）；采油用采油泵（抽油）和注水泵（向地层深处加压使油自动从井口喷出）；输油管线用输油泵；炼油厂中使用着各种类型的泵作为工艺流程的动力。图1-14是乙烯装置流程图。图1-15是化工流程中用的高速离心泵。

说明：

上图中，R为冷媒、S为蒸汽、W为水，其中，各种泵的压力在 $10^6$ 牛顿/米<sup>2</sup>以内，液体温度最高为200℃，最低为-100℃。各泵抽送的液体种类和型式如下表：

泵序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
液体种类	油	油	水	汽油	碱液	H <sub>2</sub> C (C <sub>2</sub> 等)	H <sub>2</sub> C (甲烷)	H <sub>2</sub> C (乙烷等)	H <sub>2</sub> C (乙烯)	H <sub>2</sub> C (丙烷等)	H <sub>2</sub> C (丙烯)	H <sub>2</sub> C (C <sub>4</sub> )
泵型式	卧式单级离心	卧式单级离心	卧式单级离心	卧式单级离心	卧式单级离心	卧式单级离心	立式单级离心	卧式或立式单级离心	卧式或立式单级离心	卧式单级离心	卧式单级离心	卧式单级离心
温度	高温						低温	低温	低温			

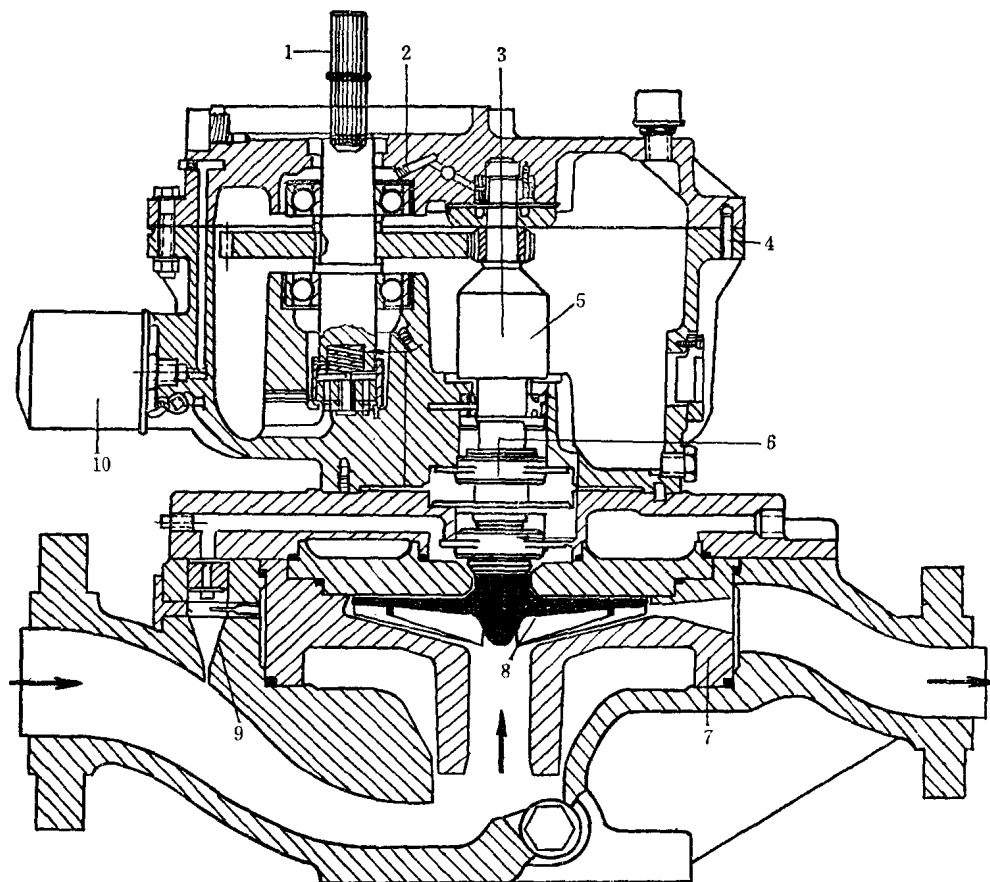


图1-15 化工流程高速离心泵

1—输入花键轴 2—喷嘴 3—输出轴 4—定位销 5—增速器 6—机械密封  
7—扩散管 8—叶轮 9—旋风分离器 10—润滑油过滤器



#### 四、农田排灌用泵

水利是农业的命脉。农田用泵数量相当大，但多是普通的清水泵，在农用泵中轴流泵、混流泵和潜水泵或深井泵使用较多。目前我国已生产出叶轮直径4.5米，流量 $60\text{米}^3/\text{秒}$ 的大型全调节轴流泵，深200米的潜水泵和深井泵和扬程超过200米的高扬程水泵。可见我国农田排灌用泵在向大、深高方向发展方面取得了很大的成绩。图1-16、17、18是农田排灌常用的几种泵的结构图例。

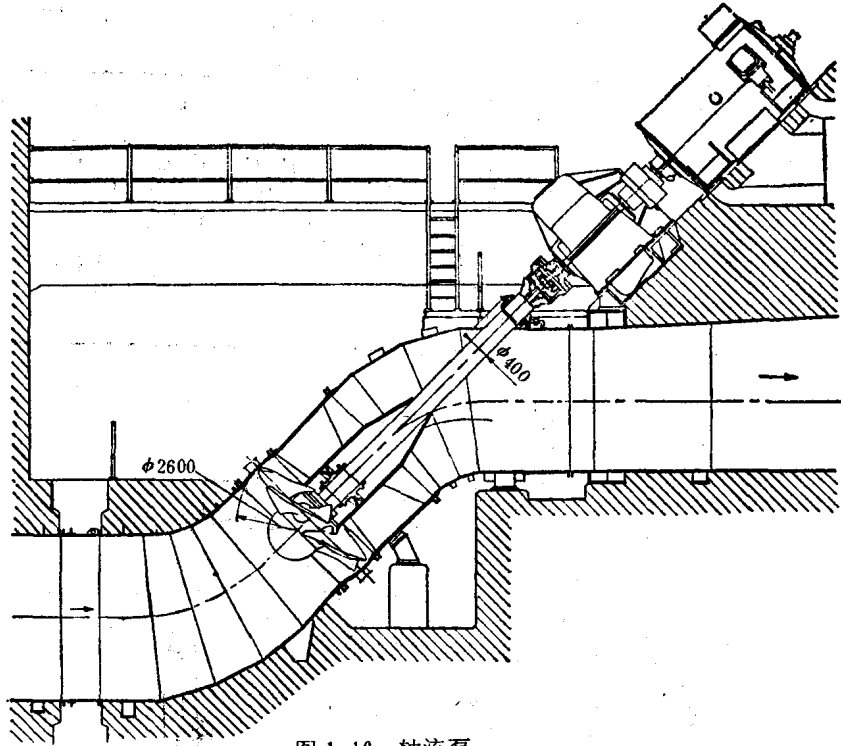


图 1-16 轴流泵

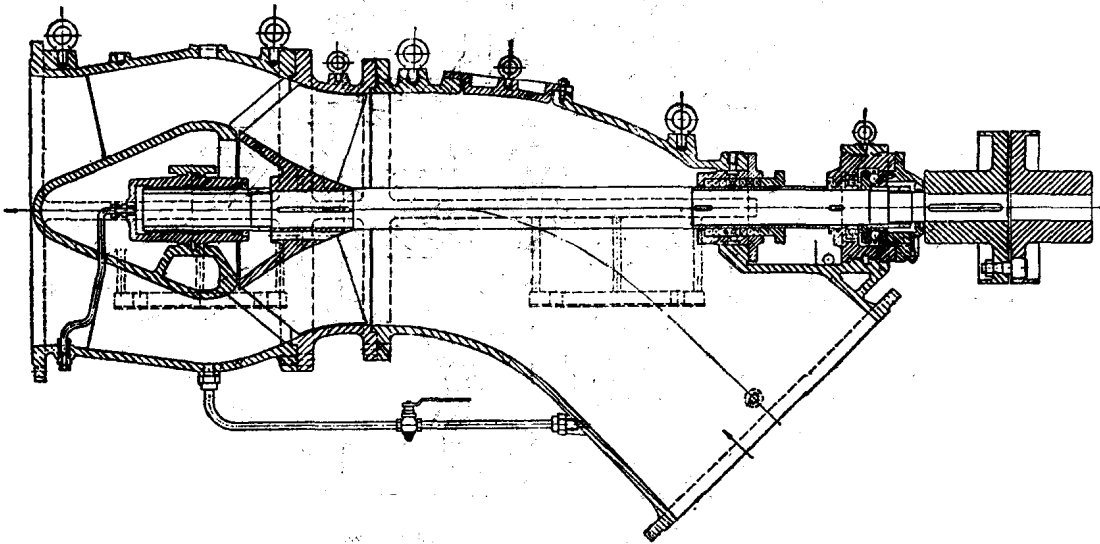


图 1-17 导叶式混流泵