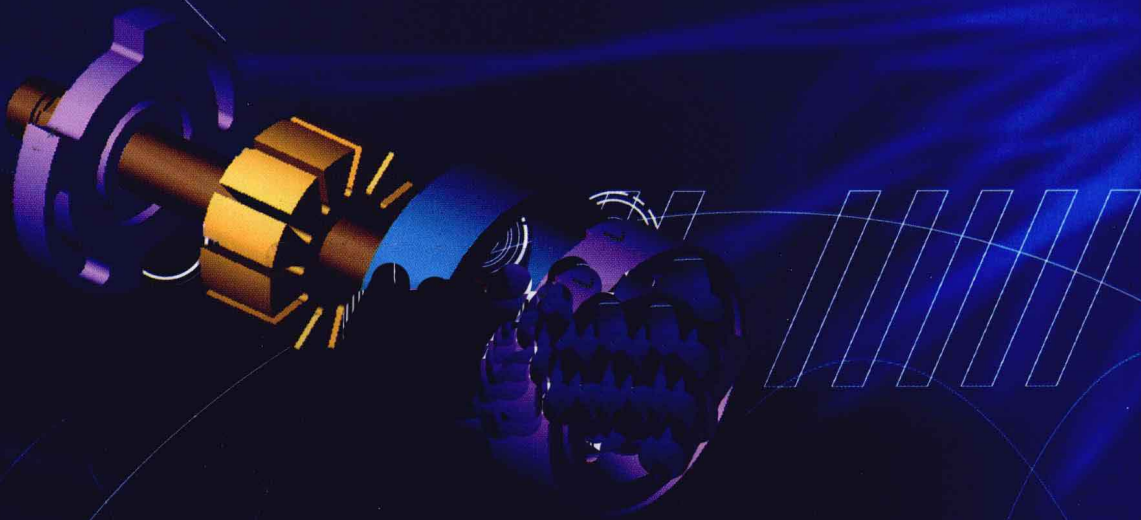


通用机械设计与实例丛书

叶片泵设计与实例

吴玉林 刘娟 陈铁军 陈乃祥 编著



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

通用机械设计与实例丛书

叶片泵设计与实例

吴玉林 刘娟 陈铁军 陈乃祥 编著



机械工业出版社

本书的主要内容包括：叶片泵（包括离心泵、混流泵、轴流泵和贯流泵）的基本原理、基本的水力设计方法和设计实例，旋流泵、螺旋离心泵、无堵塞离心泵和泥浆离心泵的水力设计方法和设计实例，叶片泵的相似设计、优化设计和基于数据库技术的设计方法。

本书可作为高等院校相关专业教材，也可供叶片泵使用和设计人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

叶片泵设计与实例/吴玉林等编著. —北京：机械工业出版社，2011.4
(通用机械设计与实例丛书)
ISBN 978-7-111-32348-8

I. ①叶… II. ①吴… III. ①叶片泵—设计 IV. ①TH310.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 208794 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑：曲彩云 责任印制：杨 曦

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2011 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm · 21 印张 · 523 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-32348-8

定价：56.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010)88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010)68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010)88379649

封面无防伪标均为盗版

读者购书热线：(010)88379203

前 言

叶片泵是用量最大的水泵，在给水处理及农业工程、固体颗粒及液体输送、石油及化学工业、航空航天、航海、能源和车辆工程等国民经济各个部门都有广泛的应用。由于应用场合、性能参数、输送介质和使用要求的不同，叶片泵的品种及规格繁多，其结构有各种各样的形式。为此，本书主要介绍叶片泵（包括离心泵、混流泵、轴流泵和贯流泵等）的基本原理、基本的水力设计方法和设计实例，也简单介绍了旋流泵、螺旋离心泵、无堵塞离心泵和泥浆离心泵的水力设计方法和设计实例，另外还介绍了叶片泵的相似设计、优化设计和基于数据库技术的设计方法。在泵的选择和水力设计方面，本书可作为广大离心泵使用和设计人员的参考用书。

在本书的编写过程中，编者得到了清华大学的前辈和同事的帮助，也得到江苏大学、华中科技大学、浙江大学、中国水利水电科学研究院和甘肃工业大学等单位的教师，以及制造厂和有关科研单位的技术人员的帮助，在此表示衷心感谢。另外，编者在写作过程中参阅了大量的图书及论文，对这些图书及论文的作者表示感谢。

对于书中存在的缺点和错误，敬请读者批评指正。

编 者

书中符号一览表

| 符号 | 名称 | 单位 | 符号 | 名称 | 单位 |
|------------------|------------|--|---------------|----------------------------|----------------------------------|
| A | 面积 | $\text{mm}^2, \text{cm}^2, \text{m}^2$ | r | 半径 | mm, cm |
| a | 加速度 | m/s^2 | S | 弧长, 叶片真实厚度 | mm, cm |
| b | 宽度 | $\text{mm}, \text{cm}, \text{m}$ | t | 温度 | $^{\circ}\text{C}$ |
| C | 汽蚀比转速 | | | 时间 | $\text{s}, \text{min}, \text{h}$ |
| C_D | 叶栅阻力系数 | | | 叶片间距 | mm, cm |
| C_{D1} | 单翼阻力系数 | | u | 圆周速度 | m/s |
| C_L | 叶栅升力系数 | | V | 体积 | L, m^3 |
| C_{L1} | 单翼升力系数 | | v | 速度 | m/s |
| D | 直径 | $\text{mm}, \text{cm}, \text{m}$ | w | 相对速度 | |
| D_0 | 叶轮进口有效直径 | $\text{mm}, \text{cm}, \text{m}$ | ω | 相对速度 | m/s |
| D_1 | 叶片进口直径 | $\text{mm}, \text{cm}, \text{m}$ | Z | 液面高程 | m |
| D_2 | 叶轮进口直径 | $\text{mm}, \text{cm}, \text{m}$ | z | 叶片数 | |
| d_h | 轮毂直径 | mm, cm | α | 动能系数, 涡形体舌角, 导叶叶片安放角, 翼型冲角 | $(^{\circ})$ |
| E | 能量 | $\text{N}\cdot\text{m}$ | | | |
| F | 力 | N | β | 叶片安放角 | $(^{\circ})$ |
| f | 力 | N | ψ | 叶片排挤系数 | |
| F_D | 叶栅翼型上的迎面阻力 | N | Γ | 环量 | m^2/s |
| | 叶栅翼型上的升力 | N | δ | 厚度 | mm, cm |
| g | 重力加速度 | m/s^2 | η | 效率 | |
| H | 水头、扬程 | m | η_v | 容积效率 | |
| H_t | 理论扬程 | m | η_h | 容积效率 | |
| H_c | 装置扬程 | m | η_m | 容积效率 | |
| H_{∞} | 无限多叶片的理论扬程 | m | θ | 扩散角 | $(^{\circ})$ |
| Δh | 管路损失 | m | λ | 尺寸系数 | |
| i | 级数 | | φ | 叶片包角 | $(^{\circ})$ |
| K | 系数 | | 书中下标含义 | | |
| K_m | 轴面速度系数 | | 角标 | 含义 | |
| K_u | 圆周速度系数 | | 1 | 机器进口, 叶轮进口 | |
| K_v | 速度系数 | | 2 | 机器出口, 叶轮出口 | |
| M | 力矩 | $\text{N}\cdot\text{m}$ | 3 | 导叶进口边 | |
| | 转速 | r/min | t | 理论值 | |
| n_s | 比转速 | | mec | 机械 | |
| $NPSH_a$ | 装置汽蚀余量 | m | m | 轴面, 子午面 | |
| $NPSH_r$ | 必需汽蚀余量 | m | ∞ | 无穷叶片数 | |
| P | 功率 | kW | u | 周向 | |
| ΔP_{mec} | 机械损失 | | | | |
| p | 压力 | Pa | | | |
| p_a | 大气压力 | Pa | | | |
| p_v | 液体的饱和蒸汽压力 | Pa | | | |
| Q | 体积流量 | $\text{L/s}, \text{m}^3/\text{s}, \text{m}^3/\text{h}$ | | | |
| Q_m | 质量流量 | $\text{kg/s}, \text{kg/h}$ | | | |
| Q_t | 理论流量 | $\text{L/s}, \text{m}^3/\text{s}, \text{m}^3/\text{h}$ | | | |
| R | 半径 | mm, cm | | | |
| Re | 雷诺数 | | | | |

目 录

前言

书中符号一览表

书中下标含义

| | |
|-------------------------------|----|
| 第一章 叶片泵的基础知识..... | 1 |
| 第一节 叶片泵概述..... | 1 |
| 第二节 叶片泵的性能参数及性能曲线..... | 8 |
| 第三节 不可压缩流体基本方程..... | 15 |
| 第四节 理想流体基本方程..... | 18 |
| 第五节 流体力学的相似原理..... | 20 |
| 第六节 空化和空蚀..... | 21 |
| 第二章 离心泵和混流泵设计的理论基础..... | 29 |
| 第一节 无限多叶片假设下的理论扬程..... | 29 |
| 第二节 叶轮叶片形式和反应系数..... | 31 |
| 第三节 有限叶片数时的理论扬程..... | 32 |
| 第四节 离心泵和混流泵的实际扬程及损失..... | 35 |
| 第五节 离心泵和混流泵的重要过流部件及其作用原理..... | 39 |
| 第六节 离心泵和混流泵的相似律..... | 43 |
| 第七节 离心泵的空化..... | 46 |
| 第三章 叶片泵相似设计原理..... | 52 |
| 第一节 泵相似原理及性能相似换算..... | 52 |
| 第二节 泵比转速及其他相似系数..... | 54 |
| 第三节 泵无量纲系数性能曲线..... | 58 |
| 第四节 泵选型设计与相似设计基础..... | 59 |

| | |
|---------------------------|-----|
| 第四章 离心泵和混流泵水力设计..... | 65 |
| 第一节 概述..... | 65 |
| 第二节 离心泵和混流泵基本参数选择..... | 67 |
| 第三节 离心泵和混流泵轴面流道设计..... | 75 |
| 第四节 离心泵和混流泵叶轮叶片的水力设计..... | 77 |
| 第五节 离心泵和混流泵导叶叶片的水力设计..... | 88 |
| 第六节 离心泵和混流泵压水室的水力设计..... | 92 |
| 第七节 离心泵和混流泵吸水室的水力设计..... | 98 |
| 第八节 离心泵诱导轮的水力设计..... | 100 |
| 第九节 离心泵和混流泵相似设计方法..... | 106 |
| 第五章 其他类型的离心泵和混流泵设计..... | 109 |
| 第一节 低比转速离心泵设计..... | 109 |
| 第二节 旋流泵设计..... | 116 |
| 第三节 螺旋离心泵设计..... | 124 |
| 第四节 泥浆离心泵设计..... | 129 |
| 第五节 蜗壳式混流泵设计..... | 134 |
| 第六节 导叶式混流泵设计..... | 136 |
| 第六章 离心泵和混流泵设计实例..... | 140 |
| 第一节 一般离心泵设计实例..... | 140 |
| 第二节 多级离心泵设计实例..... | 148 |
| 第三节 低比转速离心泵设计实例..... | 157 |
| 第四节 旋流泵设计实例..... | 158 |
| 第五节 螺旋离心泵设计实例..... | 159 |
| 第六节 潜水离心泵设计实例..... | 162 |
| 第七节 无堵塞离心泵设计实例..... | 166 |
| 第八节 离心渣浆泵设计实例..... | 167 |

| | | |
|-----|--------------------------|-----|
| 第九节 | 蜗壳式混流泵设计实例..... | 173 |
| 第十节 | 导叶式混流泵设计实例..... | 184 |
| 第七章 | 轴流泵和贯流泵设计的理论基础..... | 194 |
| 第一节 | 液体在轴流叶轮中的运动..... | 194 |
| 第二节 | 叶栅的流体动力学基本方程..... | 198 |
| 第三节 | 翼型的流体动力学特性..... | 201 |
| 第四节 | 叶栅的流体动力学特性..... | 207 |
| 第五节 | 叶栅的流动损失..... | 213 |
| 第六节 | 轴流叶轮的流型分析..... | 217 |
| 第八章 | 轴流泵和贯流泵水力设计..... | 225 |
| 第一节 | 轴流泵和贯流泵设计方法概述..... | 225 |
| 第二节 | 轴流泵和贯流泵损失及效率..... | 225 |
| 第三节 | 轴流泵和贯流泵主要结构参数的确定及优化..... | 227 |
| 第四节 | 轴流叶轮水力设计的升力法..... | 231 |
| 第五节 | 轴流叶轮水力设计的圆弧法..... | 236 |
| 第六节 | 轴流泵和贯流泵的导叶水力设计..... | 243 |
| 第七节 | 轴流泵和贯流泵的吸水室水力设计..... | 248 |
| 第八节 | 轴流泵和贯流泵其他固定元件设计..... | 251 |
| 第九章 | 轴流泵和贯流泵设计实例..... | 255 |
| 第一节 | 轴流泵设计实例..... | 255 |
| 第二节 | 潜水式轴流泵设计实例..... | 263 |
| 第三节 | 多级轴流泵设计实例..... | 286 |
| 第四节 | 贯流泵设计实例..... | 287 |
| 第十章 | 叶片泵相似设计实例..... | 293 |
| 第一节 | 离心泵相似设计实例..... | 293 |
| 第二节 | 混流泵相似设计实例..... | 295 |

| | | |
|------|------------------------|-----|
| 第三节 | 轴流泵相似设计实例..... | 297 |
| 第四节 | 固液泵相似设计实例..... | 299 |
| 第十一章 | 叶片泵现代设计方法及设计实例..... | 301 |
| 第一节 | 泵内部流动数值模拟与性能预测..... | 301 |
| 第二节 | 泵优化设计模型及优化设计方法..... | 308 |
| 第三节 | 基于数据库技术的泵设计方法..... | 311 |
| 第四节 | 基于数据库技术离心泵设计方法的实现..... | 312 |
| 第五节 | 基于数据库技术离心泵设计实例..... | 322 |
| 参考文献 | | 328 |

第一章 叶片泵的基础知识

第一节 叶片泵概述

泵是将原动机的机械能或其他形式的能量传递给所输送液体的机械，它能使液体的能量（压力，位能或动能）增加。泵的种类很多，按其作用原理可以分为叶片泵、容积泵和其他特殊类型泵。

叶片泵也称为动力式泵。这种泵通过转动的带有叶片的叶轮连续施加能量，使水或其他液体的压力和动能都得到提高，它是一种反击式水力机械。叶片泵又可分为离心泵、混流泵及轴流泵。

一、叶片泵的过流部件

叶片泵的主要过流部件有吸水室、压水室（包括导叶）和叶轮。

吸水室位于叶轮进水口的前面，其作用是将液体引向叶轮，有直锥形、弯管形和螺旋形三种类型。

压水室位于叶轮外围，其作用是收集叶轮流出的液体，送入排出管，主要有蜗壳（螺旋形压水室）、导叶和空间导叶三种形式。

叶轮是最重要的工作元件，是泵过流部件的心脏，由盖板和中间的叶片组成。根据液体流出方向的不同，叶轮可分为离心式（径流式）、混流式（斜流式）和轴流式三种形式，如图 1-1 所示。

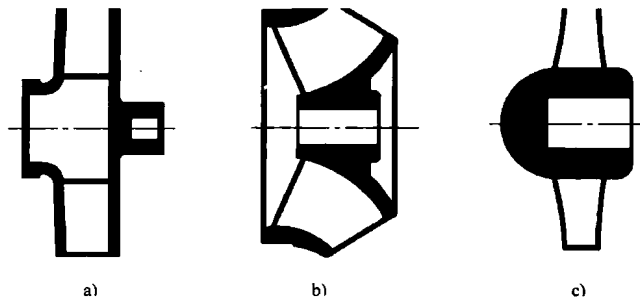


图 1-1 叶轮的类型

a) 离心式 b) 混流式 c) 轴流式

二、泵型号

泵型号表明泵的结构类型、大小和性能，但其编制方法尚未完全统一，故在泵样本及使用说明书中，一般都应对该泵型号的组成和含义加以说明。目前，我国多数泵的结构类型及特征在泵型号中是用汉语拼音字母表示的。表 1-1 给出了部分离心泵的型号中某些字母通常所代表的意义。

该表中的字母皆为描述泵结构类型或结构特征的汉字的第一个拼音字母，但仅作为

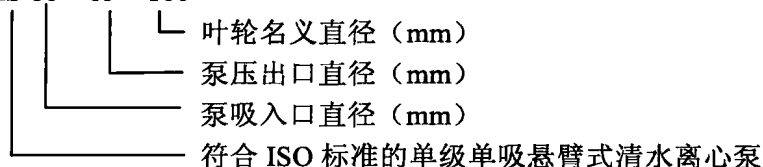
一些例子给出，有不少型号并不遵循此规则。有些按国际标准设计的泵或从国外引进的泵，其型号除少数为汉语拼音字母外，一般为表示该泵某些特征的外文缩略语，如 IS 和 IB 均代表符合 ISO 标准的单级单吸悬臂式清水离心泵、IH 代表符合 ISO 标准的单级单吸式化工泵、引进泵的型号 DSJH 和 RSN 分别代表单级双吸两端支承式离心石油化工流程泵和两级立轴船用离心泵等。

表 1-1 泵型号中的字母及其意义

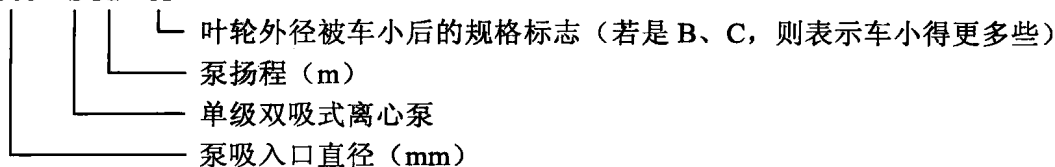
| 字母 | 意义 | 字母 | 意义 |
|-----|----------------|-----|------------|
| B | 单级单吸悬臂式离心泵 | QXD | 单相干式下泵式潜水泵 |
| D | 节段式多级泵 | QS | 充水上泵式潜水泵 |
| DG | 节段式多级锅炉给水泵 | QY | 充油上泵式潜水泵 |
| DL | 立轴多级泵 | R | 热水泵 |
| DS | 首级用双吸叶轮的节段式多级泵 | S | 单级双吸式离心泵 |
| F | 耐腐蚀泵 | WB | 微型离心泵 |
| JC | 长轴深井泵 | WG | 高扬程横轴污水泵 |
| KD | 中开式多级泵 | Y | 油泵 |
| KDS | 首级用双吸叶轮的中开式多级泵 | YG | 管道式油泵 |
| QJ | 井用潜水泵 | ZB | 自吸式离心泵 |

泵型号除有上述字母外，还用一些数字和附加的字母来表示该泵的大小及性能，如：

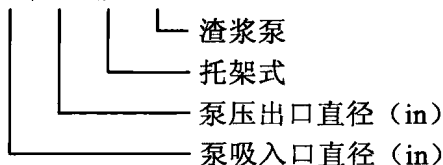
IS 80-65-160



300 S 32 A



10 / 8 STAH



三、叶片泵的结构与分类

叶片泵是一种使用量大、面广的机械设备。由于应用场合、性能参数、输送介质和使用要求的不同，泵的品种及规格繁多，其结构有各种各样的形式。按用途不同，叶片泵可分为普通泵和工业泵。普通泵一般就是常用的单级和多级抽水泵。工业泵按照介质

来分类，如泥浆泵之类的专用泵都属于工业泵。下面主要介绍叶片泵的不同分类方法：

1. 按主轴方向不同

1) 卧式（主轴水平放置）：卧式泵的轴是水平安装的，支撑脚落在基础上，泵轴通过联轴器与电动机或减速器连接，维护、检修都在地面上，所以比较方便。卧式泵适用场合广泛、重心低、稳定性好，但占地面积大、建筑投入大、重量大。卧式泵有 CFW 型、D 型、SH 型、B 型、IH 型、BA 型、IR 型等。

2) 立式（主轴垂直放置）：立式泵的泵轴是垂直安装的。这种泵结构紧凑，转速低，体积小，吸入口、排出口都是横向设置的。立式泵占地面积小、建筑投入小、安装方便，但重心高，不适合无固定底脚场合运行。立式泵有 CFL 立式离心泵、DL 立式多级泵、潜水泵。

2. 按叶轮种类不同

1) 离心式（装离心式叶轮）：离心泵、轴流泵和混流泵的叶轮入流方向皆为轴向，它们之间的差别在于其叶轮出流方向的不同。离心泵中的液流在与泵轴线垂直的径向平面内流出叶轮。离心泵的主要部件有叶轮、泵体、轴承、吸入室、压出室、密封装置和平衡装置等。离心泵可与电动机直接相连，转速高，一般为 1450r/min 或 2900r/min，运行平稳，流量均匀，压力波动不大，构造简单，操作方便，效率比较高。离心泵广泛应用于石油化工、煤化工等化学工业中，输送不同性质的液体。

2) 混流式（装混流式叶轮）：混流式泵又称斜流式泵，它由吸入管、叶轮、导向机构和出水管组成。叶轮叶片与泵轴线成一定角度，水流与轴线成一定角度进入叶轮和流出叶轮。混流泵的特点是导叶直径小、泵的效率较高、使用范围广泛，单级扬程可达 60m，流量可从 $20\text{m}^3/\text{h}$ 到最大值。

3) 轴流式（装轴流式叶轮）：轴流式水泵由工作叶轮、导向机构和外壳组成。叶轮形状像螺旋桨，水流进入和流出叶轮都是轴向的。轴流泵多用于抽水，适用于低扬程、大流量的泵站，在农业和大型水利工程中应用广泛。

3. 按吸入方式不同

1) 单吸（装单吸叶轮）：单吸泵的叶轮进口只有一个，所以称单吸泵。

2) 双吸（装双吸叶轮）：双吸泵的液体从叶轮两侧进入泵体，液体施加给双吸泵的轴向推力小。生产能力大的泵多为双吸泵。

4. 按级数不同

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. 按叶片安装方式不同

1) 可调叶片：叶轮叶片安放角可以调节。

2) 固定叶片：叶轮叶片安放角固定。

6. 按壳体剖分方式不同

1) 分段式：壳体按与主轴垂直的平面剖分。

2) 阶段式：在分段式结构形式中，每一级壳体都是分开的。

3) 中开式：壳体在通过轴中心线的平面上分开。

4) 水平中开式：在中开式结构中，剖分面是水平的。

- 5) 垂直中开式：在中开式结构中，剖分面与水平面垂直。
- 6) 斜中开式：在中开式结构中，剖分面是倾斜的。

7. 按泵体形式不同

- 1) 蜗壳式：叶轮排水侧具有带涡室的壳体。
- 2) 双蜗壳式：叶轮排水侧具有双涡室的壳体。
- 3) 透平式：带导叶的离心泵。
- 4) 筒袋式：壳体外装有圆筒状的耐压壳体。
- 5) 双层壳体式：指筒袋式之外的双层壳体泵。

8. 按泵体支承方式不同

- 1) 悬架式：泵体下有泵脚，固定在底座上，轴承体悬在一端。
- 2) 托架式：轴承体下部固定在底座上，泵体被轴承体托起悬在一端。
- 3) 中心支承式：泵体两侧在通过轴心的水平面上固定在底座上。

9. 按特殊结构

- 1) 潜水泵：驱动泵的电动机与泵都放在水中。
 - 2) 贯流泵：泵体内装有电动机等驱动装置。
 - 3) 屏蔽泵：泵与电动机直连（共用同一轴），电动机定子内侧装有屏蔽套，以防液体进入定子。
 - 4) 磁力泵：电动机带动外磁钢旋转，通过磁感使和泵叶轮连在一起的内磁钢旋转，内外磁钢间有间隔套，完全杜绝液体外漏。
 - 5) 自吸式泵：泵再次启动时无需灌水。
 - 6) 管道泵：泵作为管道的一部分，无需特别改变管路即可安装。
 - 7) 无堵塞泵：泵抽送液体中所含固体物质不会在泵内造成堵塞。
- 常见的叶片泵如图 1-2~图 1-5 所示。

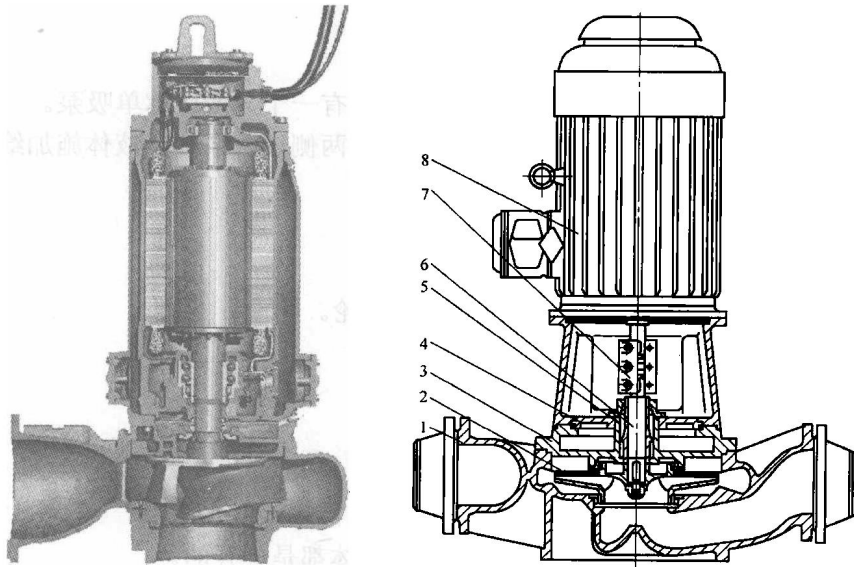


图 1-2 单级单吸立轴悬臂泵

1—泵体 2—叶轮 3—泵盖 4—支承盖 5—轴承 6—泵轴 7—夹壳联轴器 8—驱动电动机

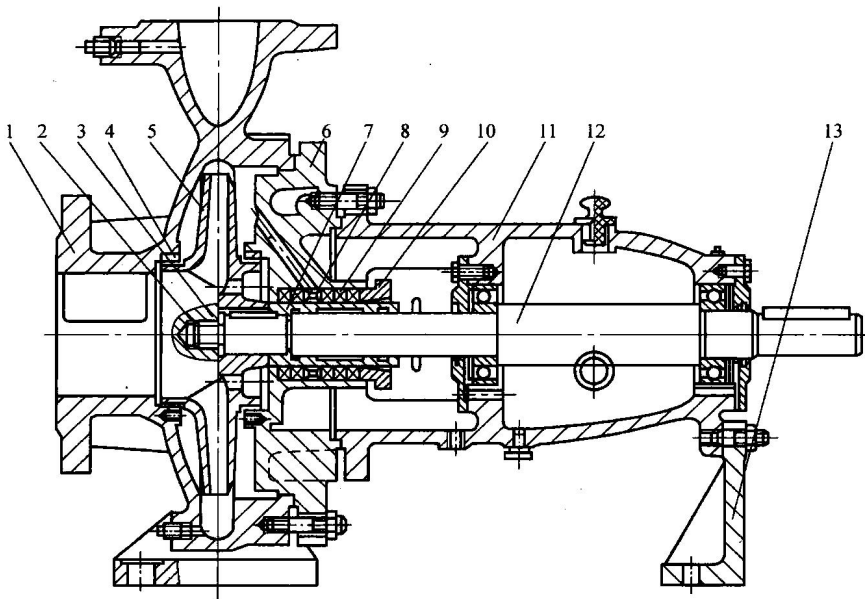
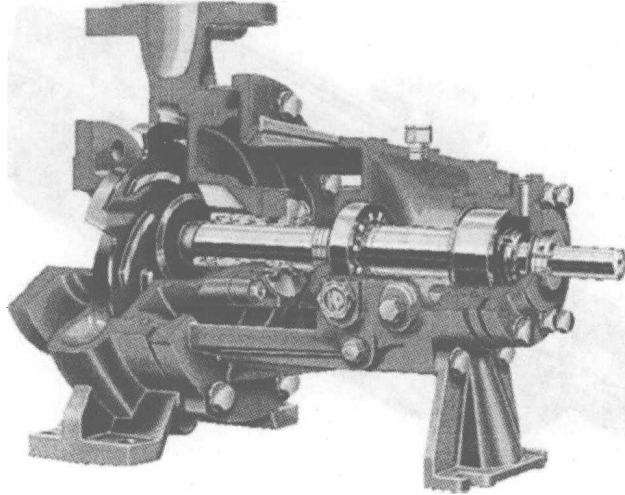


图 1-3 单级横轴悬架式离心泵

1—泵体 2—叶轮螺母 3—止动垫圈 4—密封环 5—叶轮 6—泵盖 7—轴套 8—填料环

9—填料 10—填料压盖 11—悬架 12—泵轴 13—支架

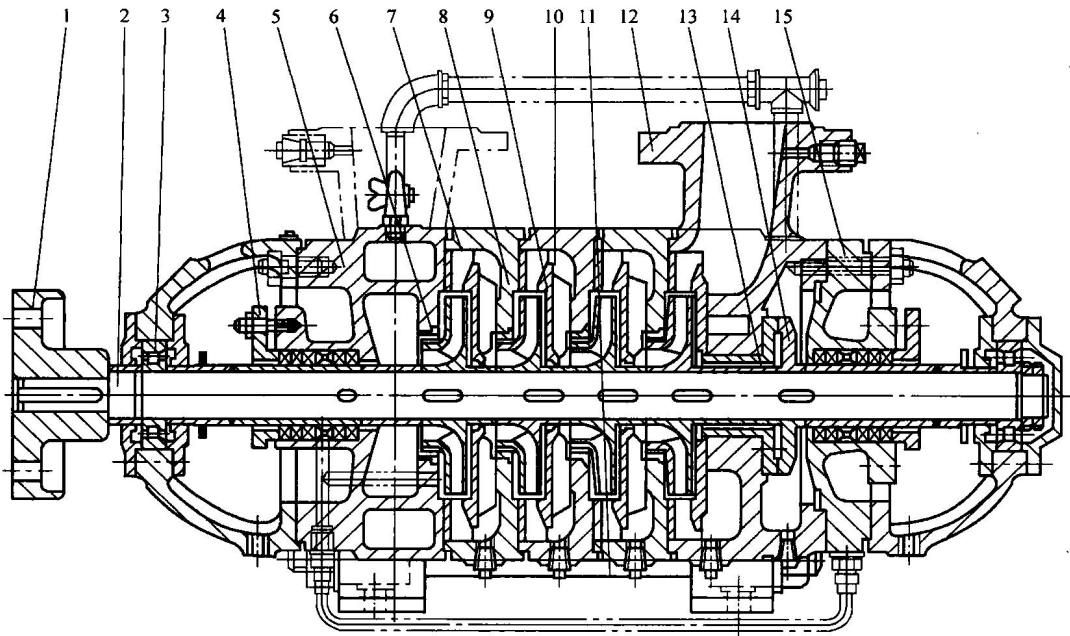
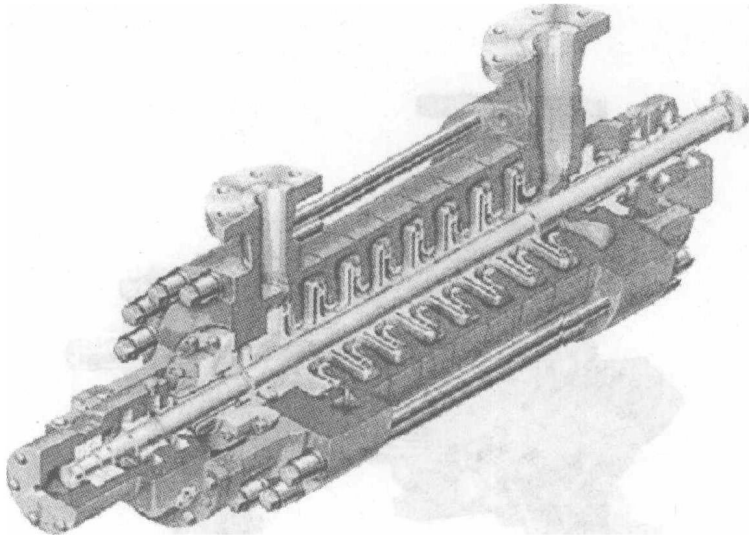


图 1-4 多级横轴阶段式离心泵

- 1—联轴器 2—泵轴 3—滚动轴承 4—填料压杆 5—吸入段 6、10—密封环 7—中段
8—叶轮 9—导叶 11—拉紧螺栓 12—压出段 13—衬环 14—平衡盘 15—泵盖

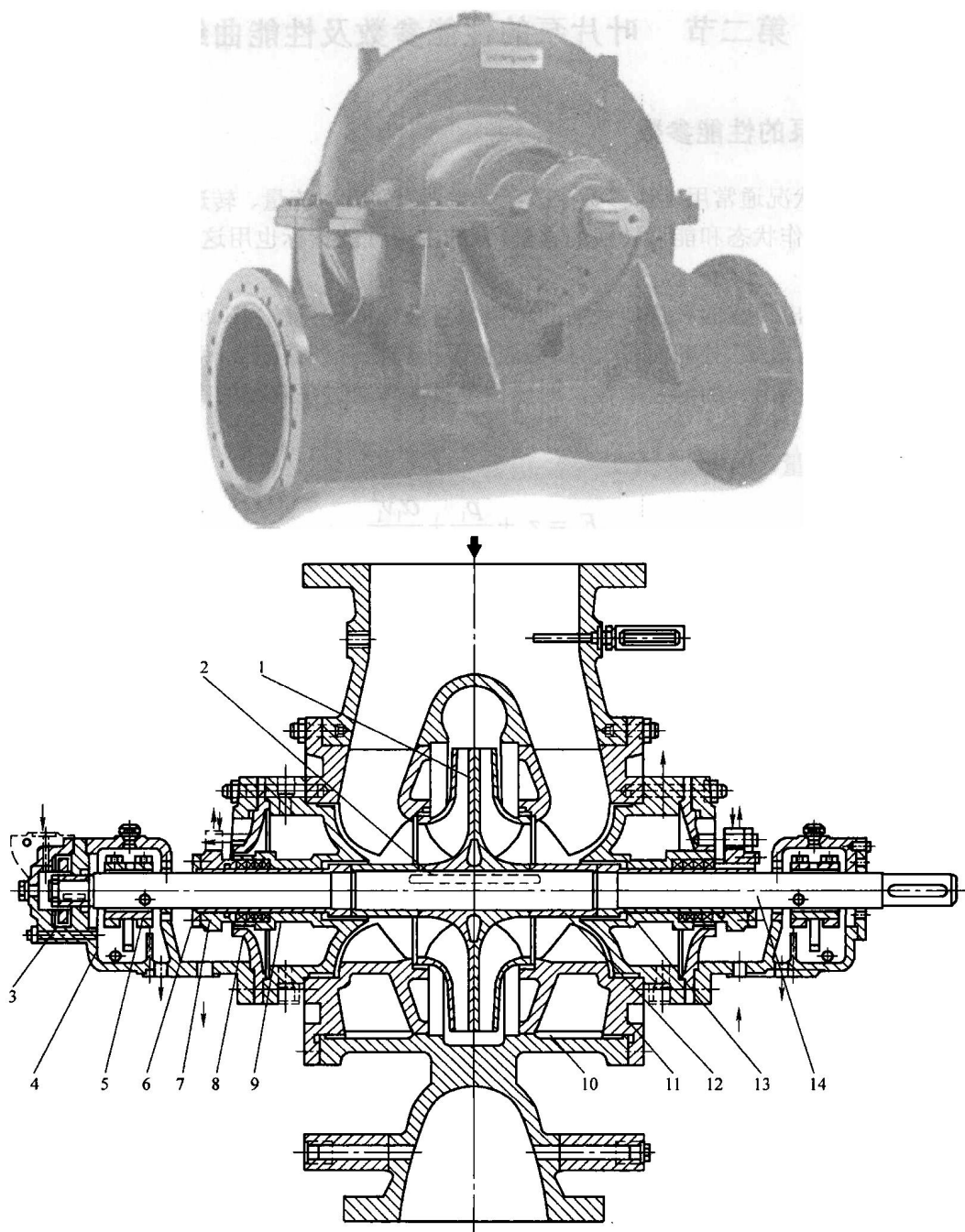


图 1-5 单级双吸式双支承泵

- 1—叶轮 2—键 3—推力盘 4—轴承体 5—径向轴承 6—辅助填料盖 7—填料压盖
8—冷却室盖 9—主填料箱 10—泵体 11—吸入盖 12—套管 13—护轴轴套 14—轴

第二节 叶片泵的性能参数及性能曲线

一、叶片泵的性能参数

泵的工作状况通常用工作参数来表示，主要有扬程、流量、转速和效率等。这些参数反映了泵的工作状态和能量转换的程度。泵的主要性能指标也用这些工作参数来表示。

1. 扬程 H

泵扬程为泵出口截面和进口截面的单位重量液体的能量差。图 1-6 为泵扬程示意图。进口截面指泵进口法兰处截面 1，出口截面指泵出口法兰处截面 2，则可知泵抽送的单位重量液体由进口至出口的能量增值，即单位重量液体通过泵获得的有效能量就是泵的扬程 H 。

进口截面能量

$$E_1 = z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}$$

出口截面能量

$$E_2 = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}$$

则有扬程

$$H = E_2 - E_1 = (z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2 - \alpha_1 v_1^2}{2g} \quad (1-1)$$

式中， z 为液面高程； p 为压力； v 为速度；变量中下标 1 表示进口，下标 2 表示出口； ρ 为液体密度； g 为重力加速度； α 为动能系数。

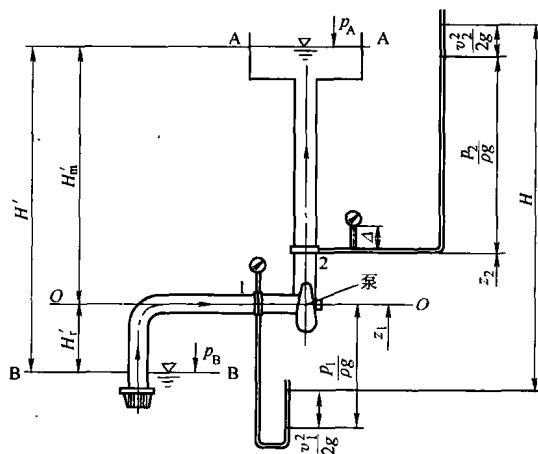


图 1-6 泵扬程示意图

在图 1-6 所示的泵装置中，上池和下池的水位差为 H' ，泵的压出高度为 H'_m ，泵的吸上高度为 H'_r ，则 $H' = H'_m + H'_r$ 可由出口 2 至上池 A 和进口 1 至下池 B 得到：