

水 泵

梅 祖 彥 編

清 华 大 学 水 利 学 教 研 组

1957年3月印

水泵

1956—57年下学期

0 熟 一 兀 暖 一 兀 紹

水利学教研組

梅祖彦編

参 考 书

1. 薛宗柏著“泵浦” 1952 大东书局
2. 石华鑫编“深井水泵” 1956 科学技术出版社.
3. В. И. ТУРК “Насосы и насосные станции”
1953.
中译本: 黄泳春译“水泵及水泵站”上册 高教出版社.
4. М. М. ФЛОРИНСКИЙ “Насосные установки и станции” 1946
中译本: 天津大学水利土壤改良教研室译“抽水设备与水泵站” 高教出版社.
5. А. А. УГИНИУС “Гидравлика и гидравлические машины” 1954
中译本: 周 鹏, 武敬尧译“水力学和水力机械” 电力工业出版社
6. И. Г. ЕСТЬМАН “Насосы” 1954
中译本: 黄宗鑫译“泵” 石油工业出版社
7. И. М. ЖУМАХОВ “Спиральные насосы” 1948
中译本: 王良军译“螺旋式水泵” 煤炭工业出版社
8. А. А. ЛОМАКИН “Центробежные и пропеллерные насосы” 1950 Машгиз.
9. Д. М. ХОХЛОВКИЙ “Глубинные насосы” 1954.
10. A. J. Stepanoff “Centrifugal and Axial flow pumps”
1948 John Wiley
11. C. Pfeleiderer “Die Kreiselpumpen” 3. Auf. 1949.

本讲义内所用符号

拉丁字母

b	宽度	Q	流量
C	常数	q	漏损流量
c	绝对速度	r	半径
D	叶轮或活塞直径	S	活塞行程
d	轴直径	t	时间, 厚度
e	偏心距	U	容积
F	活塞断面积	u	圆周速度
f	轴断面积	V	排量, 容积
g	重力加速度	v	管路流速
H	提水头	W	功
H_d	压水高度	w	相对速度
H_s	吸水高度	Z	叶片数目
H_z	提升水高度		
H_t	理论水头		

h_{wd} 压水管阻力损失

h_{ws} 吸水管阻力损失

K 常数

K 修正系数

l 长度

M 转矩

N 功率

n 转速

n_s 比转速

P 力

P 汽提压力

P_a 大气压力

P_n 蒸气压力

P_M 压力表读数

P_v 真空表读数

希腊字母

α	绝对速度与切线夹角
β	相对速度与切线夹角
δ	厚度
ζ	局部阻力损失系数
η	效率
λ	沿程阻力损失系数
μ	粘滞系数
ρ	密度
σ	空蚀系数
ω	角速度
Ω	面积

目 录

第一章 緒 言

- 1-1 水泵概述
- 1-2 水泵的应用
- 1-3 水泵的分类
- 1-4 水泵的基本参数

第二章 叶片泵的工作过程

- 2-1 叶片泵的作用原理
- 2-2 叶片泵的分类
- 2-3 叶轮的流速三角形
- 2-4 基本方程式
- 2-5 叶片形状对水头的影响
- 2-6 有限叶片叶轮的水头
- 2-7 叶片泵的损失和效率
- 2-8 相似关系
- 2-9 比转速

第三章 叶片泵的性能和应用

- 3-1 水泵的试验
- 3-2 特性曲线
- 3-3 改变特性曲线的因素
- 3-4 系统曲线和工作点的决定
- 3-5 并联工作
- 3-6 串联工作
- 3-7 离心泵的不稳定工作
- 3-8 空蚀现象
- 3-9 许可吸水高度

第四章 叶片泵的计标

- 4-1 轴流式叶轮的计标
- 4-2 混流式叶轮的计标
- 4-3 轴向及径向推力
- 4-4 环量概念和机翼理论
- 4-5 轴流式叶轮的计标

第五章 叶片泵的结构和选择

- 5-1 普通离心泵
- 5-2 立轴离心泵
- 5-3 高压离心泵
- 5-4 排水用泵
- 5-5 轴流泵
- 5-6 叶片泵的选择
- 5-7 注水方法, 真空泵
- 5-8 叶片泵的安装
- 5-9 叶片泵的运转和调节
- 5-10 叶片泵的维护和修理

第六章 活塞泵

- 6-1 活塞泵的工作原理和分类
- 6-2 活塞泵的供水量
- 6-3 惯性损失和空气室
- 6-4 活塞泵的特性
- 6-5 活塞泵的结构
- 6-6 蒸汽直接作用泵
- 6-7 活塞泵和叶片泵的比较

第七章 转子泵

- 7-1 转子泵概述

7-2 齒輪系及齒桿系

7-3 輻子活板系及輻子活塞系

第八章 其他类型系

8-1 压气水泵

8-2 噴射系

8-3 水虫竹水机 (冲虫水系)

第九章 压气机

9-1 压气机的分类

9-2 压气机理论概述

9-3 往复式压气机

9-4 离心式压气机

9-5 輻子式压气机

第一章 緒 言

§1-1 水泵簡述

据历史記載，在公元以前中国就有了好几种吸水的机械，如戽斗，桔槔，轆轤等。傳說戽斗是公刘發明的，桔槔是伊尹發明的。晋朝馬鈞發明了今日中国农村裡还使用着的水車，有的用人力，有的用獸力，明朝出現了龙骨水斗，用来从深井中吸水灌溉。

中国的水力机械是有很悠久的历史。但是和其他种的科学技術一樣，从中古紀以後就很少有其步。历代的帝王專政，压制了科学，以致有的一些成就都被西方国家夺其去。甚致我們祖先的發明在中国反而失傳了，要另从外国輸入回来。

原始的活塞泵到现在已经存在了数百年，最初的泵是用水材作的，後來有粗糙金屬制泵的出現。十七、十八世紀欧洲有了显著的工业發展，鉄鋼的生產和机械制泵都有了其步。十八世紀中叶有蒸汽机带动的活塞泵出現，到十九世紀就有了成熟的蒸汽直接作用泵。

十九世紀中出現了比活塞泵更輕便而有效的离心泵。十九世紀末期由於电动机的发展促成了离心泵的急速發展。隨离心泵之後有了更有效的軸流泵。

繼承着偉大的科学家欧拉(1707—1783)在水力学及水力机械方面的重要貢獻，俄羅斯的許多学者在水力机械的理論發展上一直佔着領先地位，儒考夫斯基(1847—1921)和他的繼承人哈普雷庚(1869—1942)建立了流体环境机現流动的理論基础(昇力理論)。1904年庫考列夫斯基第一個在离心泵的設計上应用了动力相似定律。

从十月革命以後，苏联在水力机械的应用理論和制造上摆脱了西方國家的影响而得到了突飞猛进的發展。在伏尔加頓瓦河上裝置的巨型軸流水泵是世界上最先进的設備之一。在中小型的水泵制造中採用了統一而科学化的标准規模，使水泵在發展各种工业中得到了更合理而有效的应用。

我們的國家在解放以後，全面的發展了工业建設，七年以

求，水泵的生產也和其他的工業一樣，有了長足的進步。現在我們已有了國營的大規模水泵製造廠，生產着各種標準型式的水泵。在普通型式上我們已經能夠滿足一般工業企業的需要。在生產的技術上我們得到了顯著的提高。國產的水泵質量，有的已經趕上並且超過了國外的水平。

隨着我國工業建設的發展，和相應的科學技術水平的提高，我國的水泵製造以及水泵的研究，改進和創造工作，必將會得到更大的發展。

§ 1-2 水系的應用

水泵是各種工業中應用最廣的機械之一，凡是需要運送液體的地方都要用泵。最小的泵只有幾分之一馬力，而最大的則需用數千匹馬力，由一部機器上的一個很小配件到一個水利工程中的主要設備，泵在各種應用場合中的任務是完全不同的。現在略舉幾種工業企業中較明顯的應用為例：

(1) 蒸汽動力廠——在現代的動力廠中每小時有數千噸的水在循環。在鍋爐系統中要用能耐高溫高壓的給水泵，有時還要用大流量的循環水泵來促成水的循環。這些泵因為要耐高溫和高压在制作上較困難，同時在冷凝系統中亦要用大流量的清水泵來循環冷却水。

(2) 給水排水工程——工業區的供水排水工程和城市鄉村的衛生工程都需要大量的清水和污水泵。

(3) 水利工程——在很多項水利工程中需要把水由低水位打到高水位，在水壩或運河上的船閘中就有這樣的要求。這都需要大量流量的鉅型水泵。近年來新發展的蓄能泵——可以兼作水泵和水輪機的两用機械已達到80,000馬力的容量。

(4) 农田灌溉——使用大數量的中小型泵。一般對性能的要求並不太高，但要堅固耐用。在灌溉應用中很多泵是用內燃機來帶動的。

(5) 建築及探礦工作——建築工地上普遍的需要排除积水，矿井中則多半有永久性的抽水裝置，有些露天砂場要用高压水柱（水鎗）把砂沖刷下來再進行分選。美以列克氏泵輸泥砂

方法是將泥漿打到目的地再將水和泥砂分離。

(6) 石油化學工業——在石油輸送管線上每隔一定距離就要有一個強大的泵站來補充油管內的壓力。在各種化學工業中（包括煉油廠）需要很多特別型式的泵，由於要求耐蝕，耐凍，抗酸，防腐等性質，化學工業的應用中常常產生一些最先進的設計型式。

(7) 機械製造——各種機械和引擎機上都要有潤滑油系統，車輛和飛機上要有燃料和冷卻系統，它們都需用大量的油泵。

§1-3 水泵的分類

要研究不同型式的水泵，我們將引用水力學中對能量的定義。能量可能以位能，壓能及動能三種形式來表示，即

$$E = Z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g}.$$

水泵是使液體能量增加的一種機械，由於能量中三項增加的不同，可以將泵分為如下三類：

第一類是只增加位能（ Z ）的機器，包括各種古老的升水裝置，如桔槔，戽斗，水車，螺旋機，以及新式的氣體升水器（如壓氣水泵——使用氣體的壓力把液體由井下壓上來）。

第二類是靠增加液體的壓力（ $\frac{P}{\gamma}$ ）而增加其能量的機器。包括所有的容積式（排位式）泵，如各種的活塞泵，各種的轉子泵（齒輪式，螺旋式等），以及使水車的力量來升水的水車升水機。

第三類是先把動能（ $\frac{V^2}{2g}$ ）給予液體然後再轉變為壓力能的機器。包括各種型式的葉片泵（透平式機器），如離心式軸流式等。亦包括用一種流體的動能來輸送另外一種流體的機器，如各種的噴射泵。

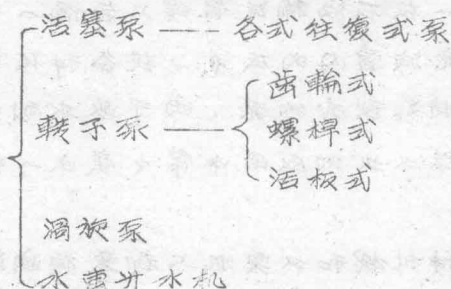
總括的列於下表：

1. 只改變位能的機械

最简单的升水器——戽斗，水車，螺旋機等。

氣體升水器——壓氣水泵。

2. 只改变压力能的机械：包括



3. 改变动能，而後使其转变为压力能的机械：包括



在本书讲义裡，根据使用上的重要性，主要的叙述下类几种泵：

叶片泵（离心式及轴流式）

活塞泵

转子泵

其他类型。

§1-4 水泵的基本参数

在讨论一个泵的性能时，一般是以流量 Q ，水头 H ，功率 N ，效率 η 和转速 n 作为主要参数。分别略述如下：

(1) 流量 Q ——对很多的使用者来说，最重要的和最先考虑的要素是流量，也就是泵能打出多少水来。在一个已有的装置上，原动机的容量（ N ）一般是不够的，转速是不容易更改的（感应电机），使用者可能并不会计算水头，他也不计较效率。然而只有在最简单的使用场合下才可以这样的只关心流量，事实上一个泵的各个参数都是密切关联的，每一项的改变都会影响泵的性能。

流量有时被叫作扬水量，普通以公升/秒（秒公升）或立方公尺/秒（秒公方）或立方公尺/小时（时公方）来计称。在液体

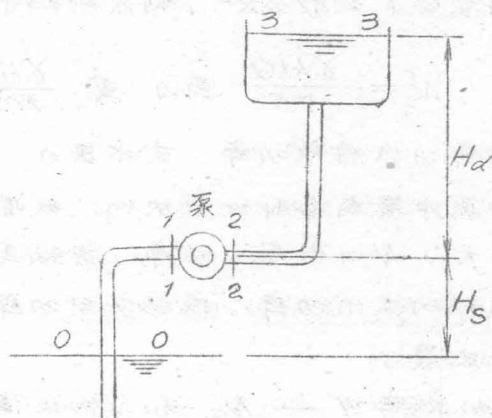
溫度有變化時，如鍋爐給水泵中，常把液體的體積折合成重量，以噸/小時來計。

所謂流量通常是指泵外的管道中量測得的。在設計泵的尺吋時得考慮泵中的損耗，故計祿中就得使用理論的流量 Q_T ($Q_T > Q$)。

(2) 水頭 H ——有時被稱為壓頭。在我們有些工廠內或稱之為揚程。水頭的單位一般要用公尺水柱。在粘度變化大的場合中，如油泵中，習慣使用壓力單位，公斤/公分²。

水頭是水泵出口兩端上能量的差別，而不是兩個水面之間的幾何高度。在以下的分析中可以看出：

在圖 1-1 上我們令吸水面為 0-0，壓水面為 3-3；由水泵中心至 0-0 距離為吸水高度 H_s ，由水泵中心至 3-3 為壓水高度 H_d ， $H_s + H_d = H_z$ 稱為升水高度。又設吸水管中阻力損失為 h_{ws}



，壓水管中阻力為 h_{wd} 。分別寫出 0-0 與 1-1 之間及 2-2 與 3-3 之間的伯諾里方程式：

$$\frac{P_0}{\gamma} + \frac{V_0^2}{2g} = \frac{P_1}{\gamma} + H_s + \frac{V_1^2}{2g} + h_{ws} \quad (1-1)$$

$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} = \frac{P_3}{\gamma} + H_d + \frac{V_3^2}{2g} + h_{wd} \quad (1-2)$$

視 $V_0 = V_3 = 0$ ，則

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_0}{\gamma} - H_s - h_{ws} \quad (1-3)$$

$$\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} = \frac{P_3}{\gamma} + H_d + h_{wd} \quad (1-4)$$

把水頭定義為

$$H = \left(\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \right) - \left(\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} \right) \quad (Z_1 = Z_2)$$

所以

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} = H_s + H_d + h_{w_s} + h_{w_d} + \frac{P_2 - P_1}{\gamma} \quad (1-5)$$

上式說明了 H 是大于 $H_s + H_d = H_2$ 的。

在最常見の場合中， $P_0 = P_2 = P_a$ ，即上下水面上是大气压力，最後一項即消掉。

(3) 功率 N —— 如泵的水头为 H 公尺，流量为 Q 公尺³/秒，水的重量 γ 公斤/公尺³，则泵所加于水的功率

$$N_2 = \frac{\gamma H Q}{75} \text{ 马力 或 } \frac{\gamma H Q}{102} \text{ 瓩} \quad (1-6)$$

这项功率叫作有效功率，或水马力。

水泵中要有各种的损失，故原动机传给水泵的功率 N 要比 N_2 大。 N 叫作实用功率，或轴马力。在表示泵的性能时功率都要指的实用功率。根据实用功率的大小可以去配原动机或计算耗电量。

(4) 效率 η —— N_2 和 N 的比值叫作泵的总效率

$$\eta = \frac{N_2}{N} \quad (1-7)$$

总效率是一个指示水泵的设计和制造质量的重要指标。现代的水泵中，小型的效率在 70% 左右，中型的可达 80% 以上，巨型的可能接近 90%。

(5) 转速 n —— 绝大多数的泵要用交流感应电机直接驱动的，故水泵常要依电机的转速而设计的。常用的转速有 2900, 1450, 960, 730 转/分等。巨型的水泵有时用同步电机来驱动，则转速就要比相应的异步电机转速高一些。在热电厂中水泵有时用汽轮机来驱动，那时转速可能达到 6,7000 转，以至超过 10,000 转。

第二章 葉片泵的工作过程

在这一章中将介绍各种型式叶片泵的基本理论和相似换算。这里着重地以离心泵为例进行分析，但其结果同样地适用于混流和轴流泵。

§2-1 离心泵的作用原理

图2-1是一个单级离心式叶片泵的简图。泵的主要工作部份是叶轮1，叶轮上面有一定数目的叶片2，泵的外壳是螺旋形的扩散室，叫作蜗壳或蜗壳。泵的吸水口和吸水管道4连接，压水口和压水管3路连接。

启动泵之前，泵壳内和吸水管内都要充满了水。叶轮旋转起来后，在叶片之间（流道内）的水受到叶片的推动，由叶轮的中心被甩向叶轮的周围，以较高的速度流出，经过蜗壳进入压水管。

叶道里面的水向外流动时，叶轮的吸水口就产生了低压。这时吸水池的水面在大气压力作用下，使水经过吸水管上升而流入叶轮。这样就使水流源源不断地连续下去。

水在离开叶轮的出口时获得了较高的动能（流速水头），通过蜗壳（扩散室），把一部份的动能改变为我们所需要的压力能，所以一个叶轮的工作要离不开蜗壳的。要研究一个泵的性能也不能只看叶轮而要考察叶轮和蜗壳的组合。

离心泵的名称最初有人以为水由泵中获得能量完全是依靠离心力的作用而取的，多年来即相沿引用。事实上离心力不

此处贴插图 Puc.1

$$7\frac{1}{2} \times 6\frac{1}{2}$$

图2-1 单级离心式泵

要作用力的唯一方式，而在其他种泵中离心力亦起作用。故目前符合上述的习惯，仍採用离心泵的名称，应该認為要用以表示某一类型的水泵，而不用以表示其作用原理。

圖2-1A 上是一个軸流泵的示意图。这是一个立軸泵，叶輪經常浸沒在吸水池中。原动机通过垂直的轉軸把叶輪轉动，將水向上方压出。固定导叶是用来减少出水的旋轉，其功用和离心泵的蜗壳有一些相似。

在立軸泵的工过程中，水之获得能量主要要靠叶輪的推动，其方向要沿軸的方向，故叫作軸流泵。

圖2-2 上是一个普通应用的离心水泵装置系统，为了使水泵有效的工，需要装一些管路附件。不同型式的泵或在不同使用情况下管件的装置当有一些出入。

圖中主要是底閥，水由這裡进入吸水管中。底閥是一个網罩和一个单向閥的组合，它一面可以防止污物被吸入泵中，一面在启动前注水时能防止水的倒流。在装有真空泵的地方可以不使用底閥。

在水泵4的压水管上一定要装置一个

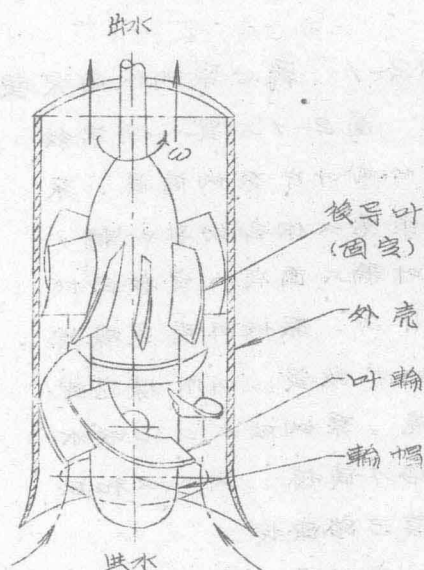


圖2-1A.

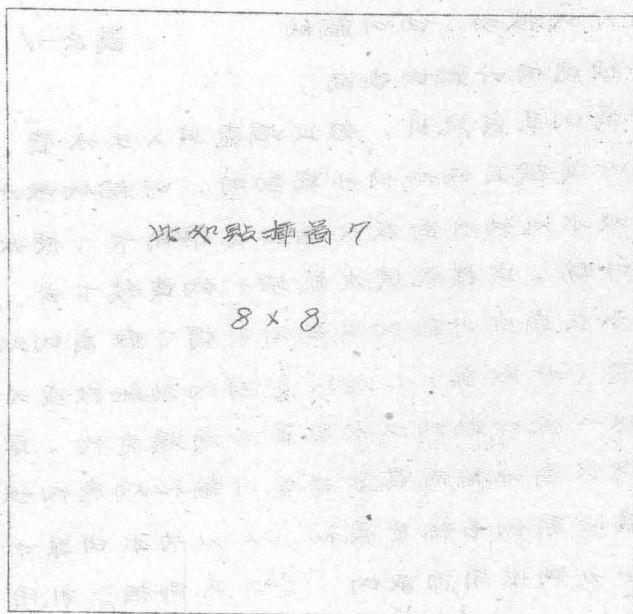


圖2-2.

单向阀3和闸阀2。单向阀用在当外界压力高于水泵压力时防止水的倒流。闸阀用来将泵和管路隔断之用，并在大多数的场合下用来调节泵的流量。有时吸水管上亦装有闸阀，但不得用来调节流量。

水泵的上部有排气阀，供注水时排气之用。

为了指示吸水管和压水管中的压力，分别使用真空表A及压力表B。

§2-2 叶片泵的分类

(1) 以水在叶轮中流动的方式分类：

凡是水流与转轴垂直的，称为轴流式（水流是径向的）。水流与转轴平行的称为轴流式。介于二者之间，水流与转轴成一角度的称为混流式。

由于这三种型式都是叶片泵，其作用原理要一样的，故在水力学上未讲这三种型式是属于一族的。由轴流变到轴流



图 2-3

，相对的过水断面渐次增大，流量增大，而因相对的直径渐次减小，水头减小。

在实用上又存在如下的名称：

轴流式——离心式。

混流式——螺旋式，别名中有时叫作对角线式。

轴流式——螺旋式，以其和船舶的螺旋桨相像。

(2) 由水头的高低，一般的分为：

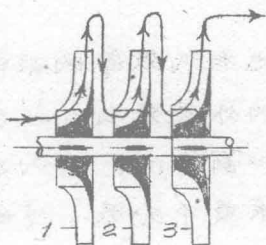


图 2-4

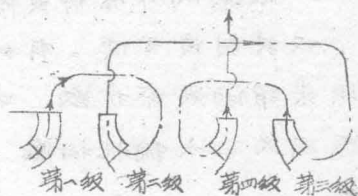


图 2-5

低压泵 至20公尺水头，

中压泵 20至60公尺水头，

高压泵 60公尺以上。

(3) 叶轮的数目 (级数)

最普通的泵是单级的，即只有一个叶轮，如图2-1所示。为了达到更高的水头，有时把几个叶轮串联起来，由一个轴带动。一般要用几个相同的叶轮，故每级的水头是相同的，总水头是各级的总和。多级泵叶轮的排列有的是都朝一个方向的(图2-4)有的是成对的背靠背(图2-5)而级数要相互交错的。

(4) 叶轮的构造

叶轮的吸水方式，有单面吸水的，叫作单吸叶轮，如图2-1中的叶轮。有两面吸水的，叫作双吸叶轮，如图2-6。

叶轮的叶片有的两边没有盖板，叫作开式叶轮。有的在两边有盖板，叫作半开式的。有的两边都有盖板，叫作闭式的。开式叶轮只用于污水泵中，叶片的两边同时用来切割带状的污物，半开式多半用于输送粘度较高和有杂质的液体。闭式的则普遍的应用在清水泵上，因为它的效率较高。

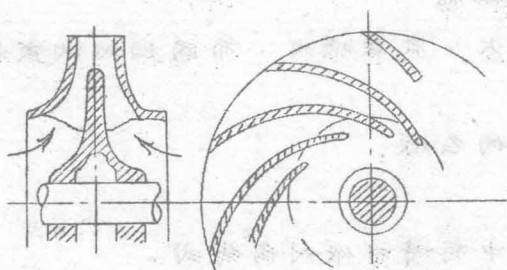


图2-6.

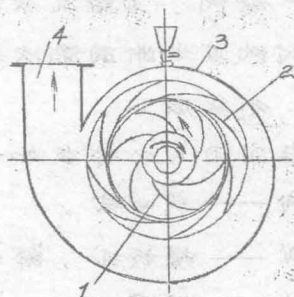


图2-7

(5) 外壳的构造:

一般泵的外壳都是螺旋线形的，也有低效率的泵用环形的外壳，取其制造方便。有的泵在叶轮的外圈装有一组固定的叶片，用来帮助液体扩散，叫作导叶，如图2-7中的2。有导叶的泵因为和水轮机相像，有时被叫作贯流式泵，是个不正确的名称。

(6) 外壳拆卸的方法: