

高等学校教材

水泵及水泵站

把多铎 马太玲 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

前 言

本教材是为了适应 21 世纪高等教育培养模式和教学改革的需要,充分体现高校教材的科学性、先进性和适用性而编写的。

“水泵及水泵站”是一门综合性很强的专业课,广泛涉及水、机、电诸多方面。如何优化教材内容,使其体系更加合理,便于组织教学和提高课程教学质量,一直是各院校有关教师共同关心的问题。本书在编写过程中,充分注意了以下几方面的问题:一是加强了基本知识点的介绍,使基本概念、理论和方法的论述更加明晰和具条理性。二是广泛吸收了以往各教材的优点,在内容组织和条目编排上更加符合认知规律,并力求精练。三是较好地把握了本课程与其他相关课程的关系,并不追求解决所有问题,而是有针对性地提出与其他知识的结合点,避免了内容上的庞杂。四是鉴于泵站技术的通用性和读者的广泛性,在突出重点的前提下,淡化不同专业和不同地区的区别,使教材的适用性得以扩展,以体现科学技术的普遍价值。五是尽可能反映本学科的新理念、新技术和发展成就,并指出需进一步研究解决的技术难题。六是在泵站设计方面,使相关的技术要求与新的国家标准 GB/T50265—97《泵站设计规范》相切合,理论与工程实际更加贴近。七是教材的内容注重对学生思想方法、分析能力和综合能力的培养,试图在开阔视野和丰富想像方面有所启迪,以期获得良好的教书育人的效果。

本书除绪论外分为十一章,其中:绪论、第二章、第八章(第七节除外)、第十章、第十一章由把多铎(西北农林科技大学)编写;第一章、第四章、第八章第七节、第九章由马太玲(内蒙古农业大学)编写;第三章、第七章由袁保惠(内蒙古农业大学)编写;第五章由杨建国(西北农林科技大学)编写;第六章由李凯(西北农林科技大学)编写。全书由把多铎和马太玲主编,冯家涛(西北农林科技大学)主审。朱晓群(西北农林科技大学)完成了本书大部分插图的 CAD 绘制。

限于编者的能力和水平,书中难免会有缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

编 者

2003 年 8 月

目 录

前言

绪论	1
第一章 叶片泵的工作原理和基本构造	7
第一节 离心泵的工作原理和基本构造	7
第二节 轴流泵及混流泵的工作原理和基本构造	16
第三节 井用泵的类型及构造	20
第四节 叶片泵的型号	26
第二章 叶片泵的基本理论	28
第一节 叶片泵的基本性能参数	28
第二节 叶片泵的基本方程	30
第三节 泵内的能量损失及效率	39
第四节 叶片泵的相似理论	41
第五节 叶片泵的性能曲线	47
第三章 叶片泵工作状况的确定	59
第一节 抽水装置构成及其工作过程	59
第二节 抽水系统的需要扬程	60
第三节 单泵运行工作点的确定	62
第四节 水泵并联运行工作点的确定	65
第五节 水泵串联运行工作点的确定	69
第四章 叶片泵工作状况的调节	71
第一节 节流调节	71
第二节 分流调节	72
第三节 变速调节	73
第四节 车削调节	77
第五节 变角调节	78
第五章 水泵的汽蚀和安装高程的确定	80
第一节 水泵的汽蚀	80
第二节 吸上真空高度和汽蚀余量	84
第三节 汽蚀相似律和汽蚀比转数	91
第四节 水泵安装高程的确定	94
第五节 预防和减轻汽蚀的措施	96
第六章 泵站工程规划	98
第一节 泵站工程规划的内容和原则	98

第二节	灌溉泵站工程规划	99
第三节	排水泵站工程规划简介	105
第四节	泵站建筑物的组成及布置	107
第五节	泵站设计参数的确定	109
第七章	水泵的选型与配套	116
第一节	水泵的选型	116
第二节	动力机的选型与配套	119
第三节	机组传动设备	127
第四节	泵站辅助设备	131
第五节	泵站变配电设施	141
第八章	泵房	145
第一节	泵房的结构型式及其适用场合	145
第二节	泵房的内部布置及尺寸确定	153
第三节	泵房建筑及结构	159
第四节	泵房整体稳定分析	166
第五节	机组基础及动力特性	170
第六节	泵房通风降温及采暖	173
第七节	移动式泵站	178
第九章	泵站进出水建筑物	184
第一节	引渠	184
第二节	前池	186
第三节	进水池	192
第四节	出水池	198
第五节	进出水流道	203
第六节	进出水建筑物的主要设备	209
第十章	泵站管道工程	214
第一节	进水管道的	214
第二节	出水管道的	217
第三节	管道支承结构	226
第四节	管道结构设计	231
第十一章	泵站水锤计算及防护	237
第一节	事故停泵水锤分析	237
第二节	事故停泵水锤计算	240
第三节	水锤防护措施及装置	267
主要参考文献		273

绪 论

一、水泵及水泵站的定义和分类

1. 水泵的定义

当有人问及什么是水泵时，或许有人会说，水泵是一种抽吸或提升液体的机械，人们利用水泵把液体从低处送往高处。这样来定义水泵，在某些场合下确有其合理性，因为水泵确实起着这样的作用。

水泵作为一种通用机械，在现代社会广泛地应用于国民经济的各个部门。在许多应用水泵的部门中，并不都是用水泵把液体从低处送往高处，有的是利用水泵给液体增加压力，有的甚至是把液体从高处送往低处，使用目的各不相同。因此，上面所讲的水泵定义就不够全面，它未能从本质上揭示水泵的功能。

水泵的定义应该这样来讲：水泵是一种转换能量的机械，它通过工作体的运动，把外加的能量传给被抽送的液体，使其能量增加。所谓工作体，因泵的种类不同而异，既可以是固体，也可以是液体或气体。外加的能量一般是原动机的机械能，也可能是其他能源。

需要指出的是：现代泵除了抽水以外，还可以抽送其他各种液体，甚至抽送带有固体粒块的浆状物，如泥浆、煤浆、灰渣、混凝土、纸浆、化妆品等。由于大部分场合下泵被用作抽水，所以，在习惯上将其称之为水泵，也可以按其抽送介质的不同来称谓，如油泵、泥浆泵等。

2. 水泵的分类

水泵的种类很多，着眼点不同，便有不同的分类方法。最基本的分类法是根据水泵的工作原理，将其分为下列三大类。

(1) 叶片式泵。它是利用泵内工作体的高速旋转运动使液体的能量增加。由于其工作体是由若干弯曲状叶片组成的一个叶轮，故称叶片泵。根据不同叶片形状对液流产生的作用力不同，以及液流流出叶轮的方向也相应不同，又将叶片泵分为离心泵（径流）、轴流泵（轴流）和混流泵（斜流）。

(2) 容积式泵。它是通过泵内工作体对液体的挤压运动使液体的能量增加。由于是工作体交替改变液体所占空间的容积来实现挤压的，故称容积泵。根据挤压运动的方式不同，又将其分为往复泵和回转泵，前者如活塞泵、柱塞泵等，后者如齿轮泵、螺杆泵等。

(3) 其他类型泵。这类泵一般是指除叶片泵和容积泵以外的一些特殊泵。属于这一类的主要有射流泵、气升泵、水锤泵等。这些泵的特点是其工作体为液体或气体，它利用高速流动的流体来实现能量的转换，使被抽送液体的能量得以增加。

分类是人为设定的，除上述对泵的分类外，也可以有其他不同的分类方法。例如：根据被抽送液体所增加能量性质的不同进行分类；根据泵所利用的能量不同进行分类；根据泵的用途不同进行分类；以及按抽送液体性质不同进行分类等，在此不一一列举。

在上述三类泵中，叶片泵具有使用范围广、运转性能可靠、效率高、成本低等优点，被

广泛应用于生产与生活的各个方面，尤其是水利和城乡及工矿企业供、排水，绝大多数采用的是叶片泵。因此，本书将着重讲解叶片泵。

3. 水泵站及其分类

水泵站是指以水泵为核心的机电设备和配套建筑物所构成的一个抽水系统。水泵单独是不能进行工作的，它需要与动力机、传动设备、管道以及各种辅助、控制设备构成一个完整的抽水装置才能工作。为了保证机电设备和管理人员的正常工作，并为水泵安全、高效运行提供一个良好的水流条件，还需修建泵房、进出水建筑物、变配电设施等各种配套建筑物，由此构成一个泵站工程枢纽。

水泵站根据其不同的特点，大致有以下分类。

(1) 按任务分类。

- 1) 供水泵站：包括农田灌溉泵站、工矿企业供水泵站以及城乡生活给水泵站等。
- 2) 排水泵站：包括农田排水泵站、城镇排水泵站以及工矿企业排水泵站等。
- 3) 调水泵站：主要指跨流域调水的泵站，其作用往往是多方面的，如供水、灌溉、航运等。
- 4) 加压泵站：在以长管道输送水、油、煤浆等情况下，需要沿途加压以满足长距离输送所需的能量。为此而建的泵站，一般称之为加压泵站。

5) 蓄能泵站：火电厂和核电站是不允许间断工作的，为了维持电网负荷的稳定，往往在用电低谷时，用富裕的电力抽水蓄能，待用电高峰时再用于发电。此类泵站称之为蓄能泵站或抽水蓄能电站。

(2) 按动力分类。

- 1) 电力泵站：以电动机为动力机的泵站。
- 2) 机动泵站：以内燃机为动力机的泵站。
- 3) 水轮泵站：以水轮机为动力机的泵站。
- 4) 风力泵站：以风车为动力机的泵站。
- 5) 太阳能泵站：以太阳能为动力的泵站。

(3) 按水泵类型分类。

- 1) 离心泵站：泵站安装的主泵是离心泵。
- 2) 轴流泵站：泵站安装的主泵是轴流泵。
- 3) 混流泵站：泵站安装的主泵是混流泵。

二、水泵及水泵站在国民经济中的地位和作用

人类社会从使用简单的提水工具到现代水泵虽然经历了漫长的发展过程，但随着以电气化为标志的第二次技术革命的兴起，水泵的应用领域迅速扩展，其技术水平亦日臻完善。当今时代，无论是工业、农业、国防及科学技术，对泵的使用已十分普遍。例如：农业的灌溉与排涝，城市的给水与排水，石油的开采与输送，火电厂中的锅炉给水、废汽冷凝、药液投放及灰渣排送，化工、医药、食品行业中各种液体的配送及处理，机械制造业中的冷却、润滑及液压传动，以及江河疏浚、水力施工、水力采矿、水力输送等。包括现代交通工具（火车、汽车、飞机、轮船）和大型兵器（火炮、坦克、舰艇）以及火箭、飞船、航天飞机等尖端技术，都要用到各种各样的泵。

可以毫不夸张地说,现代社会几乎找不到一个不使用泵的部门或地方。正因为有了现代泵及泵站技术,才使得各类产业向大规模、自动化、集约化发展,才形成了现代意义上的大都市及城镇,人们可以很方便地享用清洁的生产和生活用水。

至于水泵及水泵站在农业上的作用则更为显著。提水灌排工程与自流灌排工程相比,一般无需修建大型的蓄水或引水建筑物,受水源、地形、地质等条件的影响较小,具有适用性强、一次投资少、工期短、受益快等优点。在大多数情况下,它能最大限度地满足生产之需要。据统计,我国现有各类农业灌排泵站 50 余万座,总装机容量达 7000 万 kW,抽水能力为 $30 \text{ 万 m}^3/\text{s}$,年平均提水量约 1500 亿 m^3 ,承担了我国 55% 的农田灌溉面积和 36% 的农田排涝面积的供排水任务。由此可见,水泵及水泵站在我国农业生产中所占的地位十分重要。

三、国内外水泵及水泵站的发展概况

1. 国外水泵及水泵站发展概况

国外泵站建设水平比较高的国家有美国、日本、荷兰、前苏联等,各国的发展情况因自然条件差异而有所不同。美国多为高扬程、大流量的灌溉泵站,其装机容量很大;日本和荷兰多为低扬程、大流量的排水泵站;而前苏联的梯级泵站规模较大。

大古力泵站是美国较早的大型泵站,始建于 20 世纪 40 年代,位于西北部的哥伦比亚河上,它从大古力水库提水至高原上的另一调节水库,用于灌溉和蓄能。该站安装有 6 台立式混流泵和 6 台抽水蓄能机组,混流泵每台流量为 $45 \text{ m}^3/\text{s}$ 、扬程为 94m、配套功率为 47800kW,蓄能机组的单机抽水能力为 $48 \text{ m}^3/\text{s}$ 。美国加利福尼亚州的“北水南调”工程经过 12 年的建设,于 1973 年竣工。该工程主要灌溉加州滨海地区的农田,并兼有防洪、发电、供水、旅游等效益,工程全线长 1126km,共有 22 座大坝、6 座电站和 23 座泵站。其中的埃德门斯顿泵站安装有 14 台大型立式四级离心泵,每台泵的流量为 $9 \text{ m}^3/\text{s}$ 、扬程为 587m,配套功率为 58820kW,总装机容量为 82 万 kW,是当今世界上最大的泵站。

日本作为一个岛国,山多地狭,人口众多。为了扩大耕地面积,进行了围海造田和开垦沼泽地,相应建立了一批排水泵站。1973 年建成的新川河口泵站装有 6 台口径为 4200mm 的贯流式轴流泵,其单泵流量为 $40 \text{ m}^3/\text{s}$,扬程 2.6m,泵站总装机容量为 7800kW,总排水量为 $240 \text{ m}^3/\text{s}$,水泵的运行过程全部自动化,可控制集水面积 28000 hm^2 ,是新川水系 25 座泵站群中的最大泵站。1975 年建成的三乡排水泵站是日本最大的混流泵站,安装有 3 台流量各为 $50 \text{ m}^3/\text{s}$ (口径 4600mm)、1 台流量为 $30 \text{ m}^3/\text{s}$ (口径 3600mm) 和 1 台流量为 $20 \text{ m}^3/\text{s}$ (口径 3000mm) 的立式蜗壳式混流泵。该泵站设计扬程为 6.3m,排水能力为 $200 \text{ m}^3/\text{s}$,将中川水系流域低洼地区的涝水排向江户川。日本的大型离心泵站主要用于供水,如东京都水道局练马给水泵站,安装 3 台口径为 1500mm (配套功率 5600kW) 和 3 台口径为 1200mm (配套功率 1900kW) 的卧式双吸离心泵。大阪市水道局城东加压泵站,安装有 4 台口径为 1200mm (配套功率 1400kW) 和 2 台口径为 800mm (配套功率 970kW) 的卧式双吸离心泵。

荷兰地势低平,从 13 世纪就开始围海造田,迄今已增加土地 60 多万 hm^2 ,全国约有 45% 的面积在海平面以下,因此,排水问题十分突出。1973 年在阿姆斯特丹附近北海运河入海处建成的爱莫顿排水泵站,安装有 4 台口径为 3940mm 的贯流式轴流泵,单泵流量

37.5m³/s, 扬程 2.3m, 配套功率 975kW, 采用变频调速的异步电动机驱动, 电源频率可从 50Hz 变至 16.5Hz。

前苏联的大型泵站也较多, 如著名的英古列茨、库拉霍夫及莫斯科运河等泵站。1973 年开始运行的卡尔申提灌工程位于乌兹别克共和国, 该工程从阿姆河抽引流量 200m³/s, 灌溉 35 万 hm² 农田, 总装机容量为 45 万 kW。沿渠线共设 7 级泵站, 各站均装有 6 台立式全调节轴流泵, 单泵流量 40m³/s, 第一级扬程 17~19m, 其余各级扬程为 23~26m, 总扬程 156m。第 7 级泵站送水至特里马让水库, 库容 16 亿 m³, 可以调节水量, 灌溉季节由水库引出的最大流量为 360m³/s。另外的占比雪夫提灌及供水工程, 共建 10 座泵站, 累计扬程 320m, 并计划兴建一系列大流量、高扬程泵站, 进行跨流域、跨地区的调水。

2. 我国水泵及水泵站发展概况

我国地域辽阔, 各地自然条件差异较大, 故建泵站的任务各不相同, 大致可划分为以下几种类型。

(1) 高扬程提灌泵站。这类泵站主要分布于地处黄土高原的陕西、甘肃、宁夏、山西等省(区), 这一地区由于地势高、雨量少、水资源主要集中于黄河及其支流上, 干旱缺水一直是困扰工农业生产和人民生活的主要问题。早在 20 世纪 50 年代后期陕西就建成了渭惠渠北原电力提灌工程, 共设泵站 22 座, 安装大中型离心泵 83 台, 灌溉面积 6.4 万 hm²。1960 年黄河干流上第一座大型泵站山西夹马口泵站建成运行, 抽水流量 9.5m³/s, 灌溉面积 2.67 万 hm², 分三级提水, 累计净扬程 110m, 一级泵站安装 10 台双吸离心泵。在随后的年代里, 黄河干流上陆续兴建了百余处提灌工程, 总灌溉面积约 60 万 hm², 其中装机容量超过 1 万 kW 或灌溉面积大于 2 万 hm² 的大型提灌工程有 34 处。例如: 陕西的交口抽渭, 东雷抽黄一期、二期, 甘肃的靖会、三角城、景泰川一期、二期, 宁夏的固海、盐环定, 山西的小樊、大禹渡、尊村等。1974 年建成的甘肃景泰川提灌一期工程, 共 11 个梯级, 累计净扬程 445m, 抽水流量 10.6m³/s, 灌溉面积 2 万 hm², 共安装水泵 103 台, 总装机容量 6.78 万 kW。1984 年开始兴建的景泰川二期工程规模更大, 其设计灌溉面积 3.47 万 hm², 设计流量 18m³/s, 共分 18 级提水, 累计净扬程 602m, 装有各种水泵 204 台, 总装机容量 18 万 kW。1979 年建成的陕西东雷抽黄二级泵站, 安装有我国目前单泵容量最大(8000kW)、单泵扬程最高(225m)的卧式离心泵两台。这些泵站工程的特点是扬程高、梯级多、输水距离远、工程艰巨。

(2) 井灌泵站。这类泵站主要分布于以华北平原为主的北方地区, 这里河流、湖泊稀少, 地表水严重不足。所以, 开发利用地下水资源便成了农业灌溉的重要途径。据统计, 这一地区已建机井 240 多万眼, 每年提取地下水 400 亿~500 亿 m³, 井灌面积达 1133 万 hm², 约占该地区灌溉面积的 1/3。在有些地区已形成以井灌为主的机井群, 井深一般为几十米, 有的深达百米甚至数百米, 绝大多数采用长轴井泵和潜水电泵(均属于立式多级离心泵), 目前的最大提水深度为 325m。需要指出的是, 由于过度开采地下水, 已引起一系列的水文地质及环境问题, 解决该问题的根本途径在于“南水北调”。

(3) 低扬程排、灌泵站。这类泵站主要分布于长江三角洲、珠江三角洲、江汉平原及洞庭湖区。这里雨量丰沛, 水源充足, 地形平坦, 土壤肥沃, 是我国的主要产粮区。但是, 往往会因暴雨而积涝成灾。有些沿江滨湖地区, 因地势低洼, 水位在堤外地面的上下浮动,

雨季需要提排,天旱时又需要提灌。其特点是扬程低(一般在5m左右,最高不超过10m,低的还不足1m)、流量大,一般都选用轴流泵或混流泵,同时采用排灌结合的方式,使一站两用。目前该地区已建成许多大中小型相结合的连片的泵站排灌网,基本实现排灌作业的机械化。1961~1977年,江苏省兴建的江都排灌站共有4座大型泵站,共安装33台轴流泵,抽水流量 $473\text{m}^3/\text{s}$,总装机容量4.98万kW,现已成为南水北调东线一期工程的水源泵站。已建成的淮安二站装有国内最大的轴流泵2台,该泵口径4500mm、流量 $60\text{m}^3/\text{s}$ 、扬程7.0m、配套功率5000kW。皂河泵站安装了国内最大的立式液压可动翼混流泵2台,其口径6000mm,流量 $97.5\text{m}^3/\text{s}$ 、扬程5.5m、配套功率7000kW。湖北鄂州的樊口泵站安装有4台口径为4000mm的大型轴流泵,总流量为 $214\text{m}^3/\text{s}$,可使3.33万 hm^2 的易涝面积受益。

(4) 跨流域调水泵站。我国水资源的时空分布差异很大,部分区域和地方的资源性缺水十分严重,而跨流域调水是解决这一问题的根本途径,它将多水区的富裕水量跨流域调入缺水地区,以满足社会经济发展对水资源的需求。目前,我国跨流域调水已具相当规模,并在迅速发展过程中,而调水往往是通过泵站工程来实现的,如东深、引滦入津、引黄济青及南水北调等工程。东(江)一深(圳)工程是从广东东莞桥头镇引东江水,经桥头、司马、雁田等8个梯级泵站输水至深圳、香港,线路全长83km,每年为香港供水11亿 m^3 ,占香港用水总量的70%。引滦入津工程是从河北大黑汀水库引滦河水,经潮白河、尔王庄、大张庄3级提升后流入天津,线路全长234km,共建有4座大型泵站,安装大型水泵45台,总流量 $50\text{m}^3/\text{s}$,每年可向天津供水10亿 m^3 ,社会效益十分显著。引黄济青工程由山东博兴引黄河水,经潍坊到青岛,沿线建有5个梯级泵站,共安装28台大型水泵,线路全长290km,输水流量 $45\text{m}^3/\text{s}$ 。南水北调(分东、中、西三条线路)作为本世纪我国最大的水利工程,其东线工程已于2002年12月27日由国务院宣布正式开工。东线工程分两期实施,一期工程由已建成的江都站抽引长江水北上,分15级提升送至黄河以南的广大地区,沿线新建和扩建泵站20余座,输送流量 $500\text{m}^3/\text{s}$,输水线路646km。二期工程抽引长江水 $700\text{m}^3/\text{s}$,沿线共建泵站37座,并穿越黄河送水至天津,线路全长1150km,泵站总装机容量达103万kW。

(5) 各类小型泵站。这些泵站的特点是数量大、范围广、类型多、建设周期短、运行管理简便。在南方的许多平原、圩垸地区,河网沟汊密布,地势平坦,水源充沛,以低扬程、小流量进行排灌的小型泵站星罗棋布,形成大面积的泵站群。至于遍布各地丘陵山区的小型提灌泵站(简称小高抽)更是多不胜数。另外,在西南、中南和西北的一些河、库岸边,因地势高亢,土地零散,水源水位变幅大,不适宜建固定式泵站,大都采用小型的浮船式或缆车式泵站进行提水灌溉。水轮泵站是我国独特的提水工程,它由水轮机带动水泵抽水,具有结构简单、运行可靠、能量转换率高等优点,可以利用山区溪流、潮汐河道、渠道跌水及水库下游的水位差工作。在20世纪60年代,我国南方发展和推广了这种泵站,并收到了良好效果。

我国水泵及水泵站的数量及受益面积均居世界首位,在工程规模上也达到较高的水平,但在技术水平、工程标准及经济效益指标方面与发达国家相比,仍有不少差距。今后,泵站工程发展的趋势是:在规划设计上注重动能经济和综合利用,更加讲求工程的经济效益;

在机组选用上趋于大型化、高速化和装置型式多样化；在运行管理上主张实现自动化和节能节水；在能源利用上探索如何因地制宜地利用风能、太阳能、潮汐能、水能等自然能源。

四、本课程的性质、任务和基本要求

水泵及水泵站课程是农业水利工程、热能与动力工程（水动方向）和给水排水工程专业的必修专业课，亦可作为水利类其他专业的选修课。它的主要任务是：使学生掌握叶片泵的基本知识和理论，熟悉抽水装置和泵站建筑物的类型、组成及其所涉及的技术问题，熟悉泵站工程中的功能转换原理及其有效利用方法，能够合理地选择水泵、动力机及其配套设备，能够因地制宜地确定泵站建筑物的组成及类型，具备规划设计和运行管理泵站工程的基本能力。

本课程由水泵和水泵站两部分内容组成，前者是后者的先修内容，学习时应以水泵的性能及应用技术为重点，后者是利用机电提水设备为农业灌排服务的水利工程，它涉及到机、电、水的相互配合和相互制约，应以合理配套和提高经济效益为主要内容。泵站取材上以中型灌排泵站为主，兼顾大型、小型和其他用途的泵站。

通过本课程的学习，应达到以下基本要求：

（1）了解叶片泵的一般构造及工作原理，熟悉叶片泵的工作参数和基本性能，掌握其理论和计算方法，并能进行叶片泵基本性能曲线的测绘。

（2）掌握叶片泵抽水装置的工作点及安装高程确定方法，并能进行水泵工作状况的调节。

（3）了解进行灌溉和排水泵站规划的一般原则和任务，会划分泵站级数、选定泵站站址，确定泵站流量和扬程。

（4）能够根据流量、扬程及其他必要条件，选择水泵、动力机及辅助设备。

（5）能够比较合理地进行泵站的总体布置和内部设备布置，选择进出水建筑物和泵房的结构形式，并能通过水力计算确定建筑物的尺寸，对泵房及其他建筑物进行整体稳定校核和力学结构方面的分析与计算。

（6）能够合理选择配套进出水管道及其附件，对泵站水锤进行计算和防护。

（7）了解泵站运行管理的一般知识和相关技术经济指标。

第一章 叶片泵的工作原理和基本构造

第一节 离心泵的工作原理和基本构造

一、离心泵的工作原理

我们可以作一个这样的实验：向一个敞口圆筒内灌注一定高度的水，并使其做等速旋转，这时圆筒内的水面呈从中心到边壁逐渐升高的旋转抛物面（图 1-1）。圆筒半径越大，水流旋转得越快，则水面沿筒壁上升的高度就越大。离心泵就是基于这一原理，利用叶轮旋转时对水产生的离心力来工作的。

图 1-2 所示为离心泵的工作原理示意图。蜗壳型的泵壳内装有靠泵轴带动旋转的叶轮，泵壳的吸水口与泵的进水管相连，出水口与泵的出水管相接。在开始抽水前，将泵内和进水管内灌满水（也可用真空泵或射流泵将泵体和进水管内抽成真空引水），以使叶轮旋转时能够产生足够的离心力。之后，驱动动力机，当动力机通过泵轴带动叶轮高速旋转时，叶轮中的水随之旋转，在离心力的驱动下被甩出叶轮，汇集到泵壳内，流经扩散锥管减速增压后流入出水管。在水流被甩出叶轮的同时，叶轮进口处形成真空，与进水池水面形成压力差，进水池中的水便在大气压力的作用下，沿进水管流入叶轮。叶轮不停的旋转，水流就源源不断地被吸入和甩出，形成水泵的连续抽水。

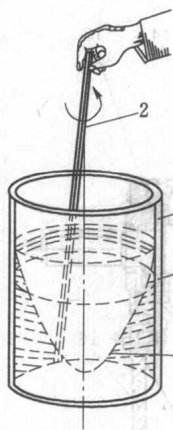


图 1-1 离心力示意图

1—盛水圆筒；2—小棒；
3—原水面；4—旋转后水面

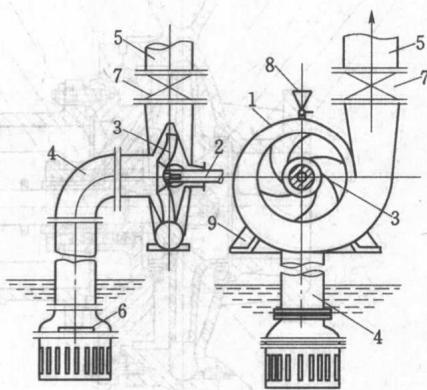


图 1-2 离心泵工作原理示意图

1—泵壳；2—泵轴；3—叶轮；
4—吸水管；5—压水管；6—底阀；
7—闸阀；8—灌水漏斗；9—泵座

二、离心泵的分类

离心泵的分类方法很多，根据常用的分类方法可将离心泵分为如下类型：根据泵轴的装置方式可分为卧式泵和立式泵；根据水流进入叶轮的方式可分为单吸泵和双吸泵；根据轴上安装叶轮的个数可分为单级泵和多级泵。现就各类离心泵的结构特点和性能范围分述

如下。

1. 单级单吸卧式离心泵

其结构特点是水流从叶轮的一侧吸入，泵轴为卧式且轴上只有一个叶轮，叶轮固定在泵轴的一端，泵的进出水口互相垂直。其性能特点是流量小、扬程高。

老型号的 B 型和 BA 型单级单吸式离心泵已被国家标准规定为淘汰产品。IS 系列泵是我国水泵行业首批采用国际标准设计的单级单吸清水离心泵，其性能和规格均有较大扩展和改进。该系列泵共有 29 种基本型号，51 个规格，6 种口径。其性能范围是：流量 $6.3 \sim 400 \text{ m}^3/\text{h}$ ，扬程 $5 \sim 125 \text{ m}$ ，配套电机功率 $0.55 \sim 110 \text{ kW}$ ，转速有 1450 r/min 和 2900 r/min 两种。其外形及结构如图 1-3 所示。

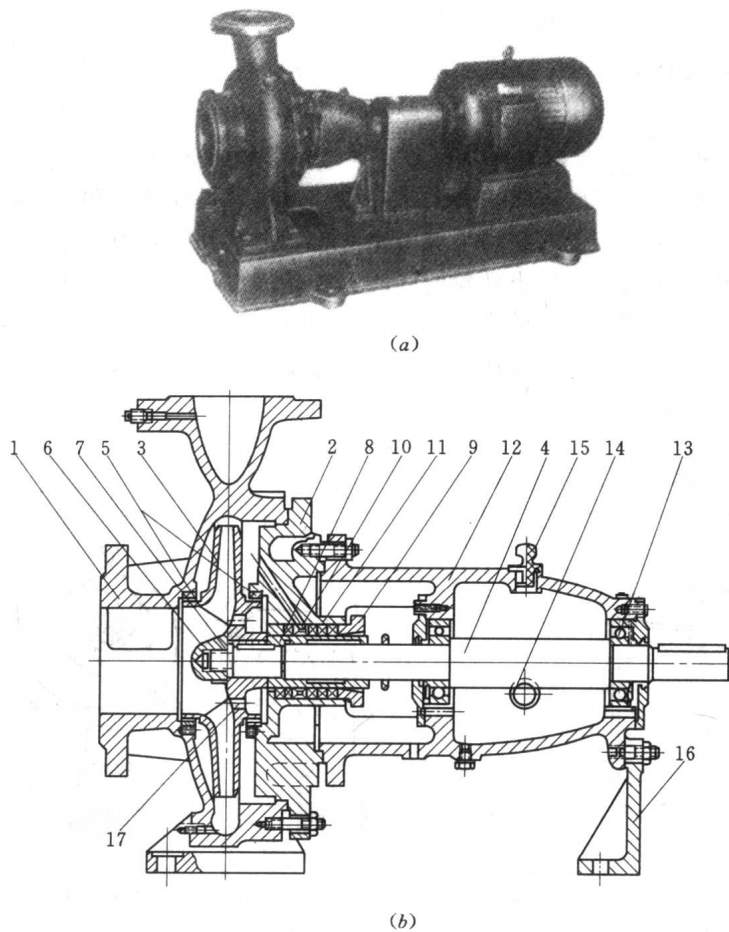


图 1-3 IS 型单级单吸式离心泵

(a) 外形图；(b) 结构图

- 1—泵体；2—泵盖；3—叶轮；4—泵轴；5—密封环；6—叶轮螺母；7—止动垫圈；
8—轴套；9—填料压盖；10—填料环；11—填料；12—悬架；13—轴承；
14—油标；15—油孔盖；16—支架；17—水压平衡孔

2. 单级双吸式离心泵

单级双吸卧式离心泵的结构特点为：

(1) 水从叶轮的两侧吸入，即叶轮有两个进水口，故称双吸。

(2) 叶轮及泵轴由两端的轴承支承，故其受力和支承对称，应有较高的抗弯和抗拉强度，以免因轴的挠度增大，导致运行时发生振动，增大振幅，甚至断轴。

(3) 泵壳为水平中开式，即泵壳分为上部泵盖、下部泵体两部分，上、下两部分用双头螺栓联结成一体，检修时只要松开螺栓，揭开泵盖即可对泵体内部进行检修。

(4) 水泵进出水口均垂直于泵轴且在泵轴线下方，有利于进出水管路的布置与安装。

(5) 有两个减漏环和两个填料函，此处填料函的作用主要是防止漏气。

单级双吸卧式离心泵的流量及扬程均较单级单吸卧式离心泵大。常用的单级双吸卧式离心泵型号有 Sh、SA 和 S 等几种。其中 Sh 型为最常用泵型，共有 30 个品种、61 种规格，其流量范围一般为 $144 \sim 12500 \text{ m}^3/\text{h}$ ，扬程为 $9 \sim 140 \text{ m}$ ，最高扬程达 225 m 。目前，我国生产的 S 型离心泵最大流量达 $5.71 \text{ m}^3/\text{s}$ 。单级双吸卧式离心泵外形及结构如图 1-4

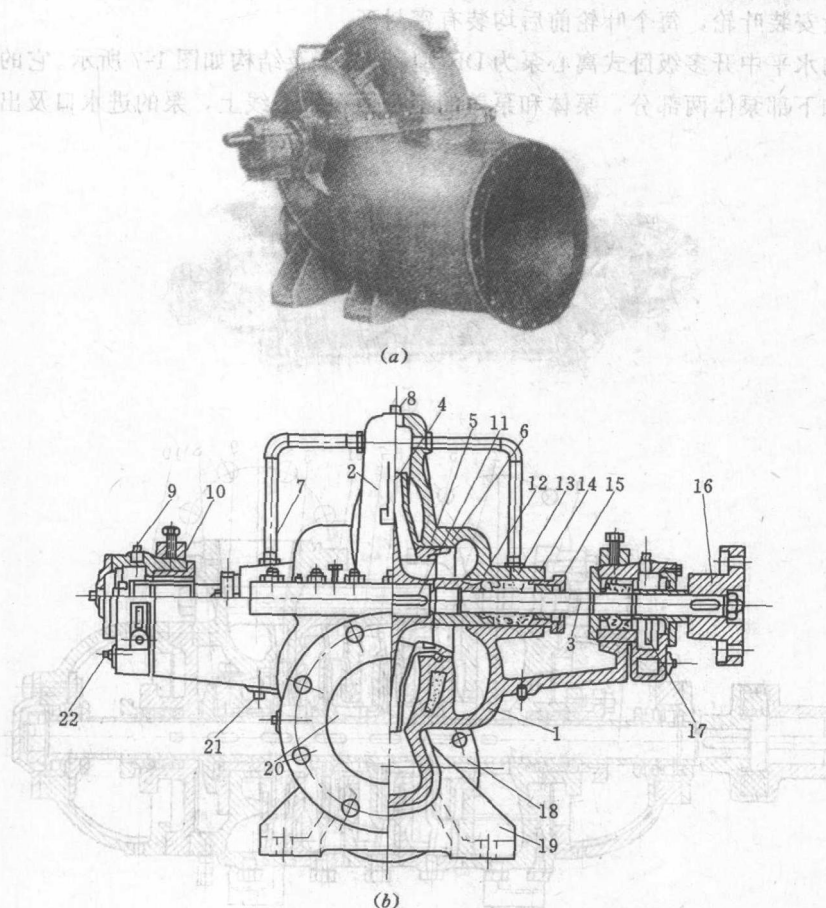


图 1-4 单级双吸卧式离心泵

(a) 外形图；(b) 结构图

- 1—泵体；2—泵盖；3—泵轴；4—叶轮；5—叶轮上减漏环；6—泵壳上减漏环；
7—水封管；8—充水孔；9—油孔；10—双列球轴承；11—键；12—填料套；
13—填料环；14—填料；15—压盖；16—联轴器；17—油杯指示管；
18—压水管法兰；19—泵座；20—吸水管；21—泄水孔；22—放油孔

所示。

与 SA 型水泵类同的单级双吸立式离心泵是 SAL 型水泵，它是将 SA 型的泵轴改为立式安装，除上下两轴承体内装有径向轴承外，上端轴承体内还装有止推轴承，以承受泵的轴向推力及转动部分的重量。

3. 多级卧式离心泵

其结构特点是：多个叶轮被安装于同一泵轴上串联工作，轴上叶轮的个数代表泵的级数，泵的总扬程为各级叶轮扬程之和，级数越多，扬程越高。根据泵壳联结方式可分为分段式和水平中开式两种泵型。

常见的分段式多级离心泵为 D 型，其外形及结构如图 1-5 所示。它由进水段、中段和出水段组成，各段由长螺栓连成一体。叶轮为单吸式，吸入口朝向一边排列，水流从前一级叶轮经导叶进入后一级叶轮，使能量逐级增加（图 1-6）。在进出水段端部装有填料函和轴承，中段安装叶轮，每个叶轮前后均装有密封环。

常见的水平中开多级卧式离心泵为 DK 型，其外形及结构如图 1-7 所示。它的泵壳分为上部泵盖和下部泵体两部分，泵体和泵盖的结合面在轴心线上，泵的进水口及出水口均在

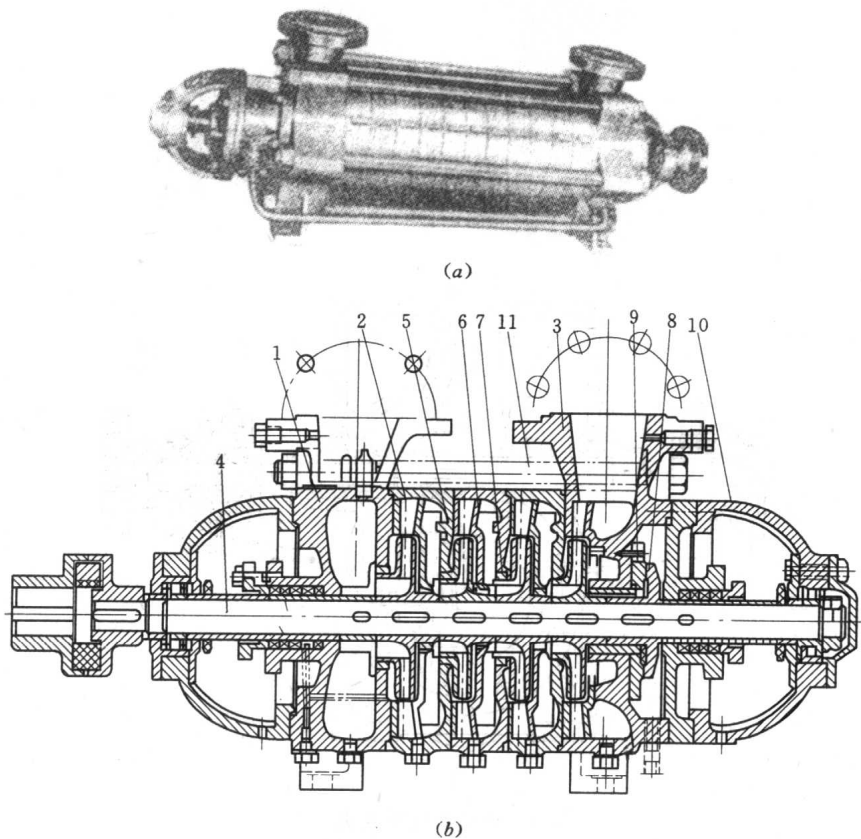


图 1-5 分段式多级离心泵

(a) 外形图；(b) 结构图

- 1—进水段；2—中段；3—出水段；4—泵轴；5—叶轮；6—导叶；7—密封环；
8—平衡盘；9—平衡环；10—轴承部件；11—长螺栓（穿杠）

泵轴心线下方,与泵轴垂直。检修时无须拆下电动机和管路,操作方便。此外,它将各个单吸式叶轮作“面对面”或“背对背”对称布置(图1-8)。

D型分段式多级卧式离心泵的性能范围是:流量 $3.75\sim 1100\text{m}^3/\text{h}$,扬程 $54\sim 1050\text{m}$;DK型水平中开多级卧式离心泵的性能范围是:流量 $18\sim 1368\text{m}^3/\text{h}$,扬程 $100\sim 360\text{m}$ 。

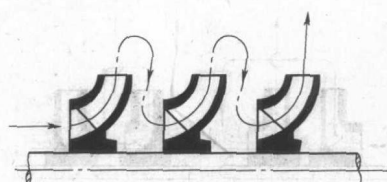


图 1-6 分段式多级离心泵中液流方向

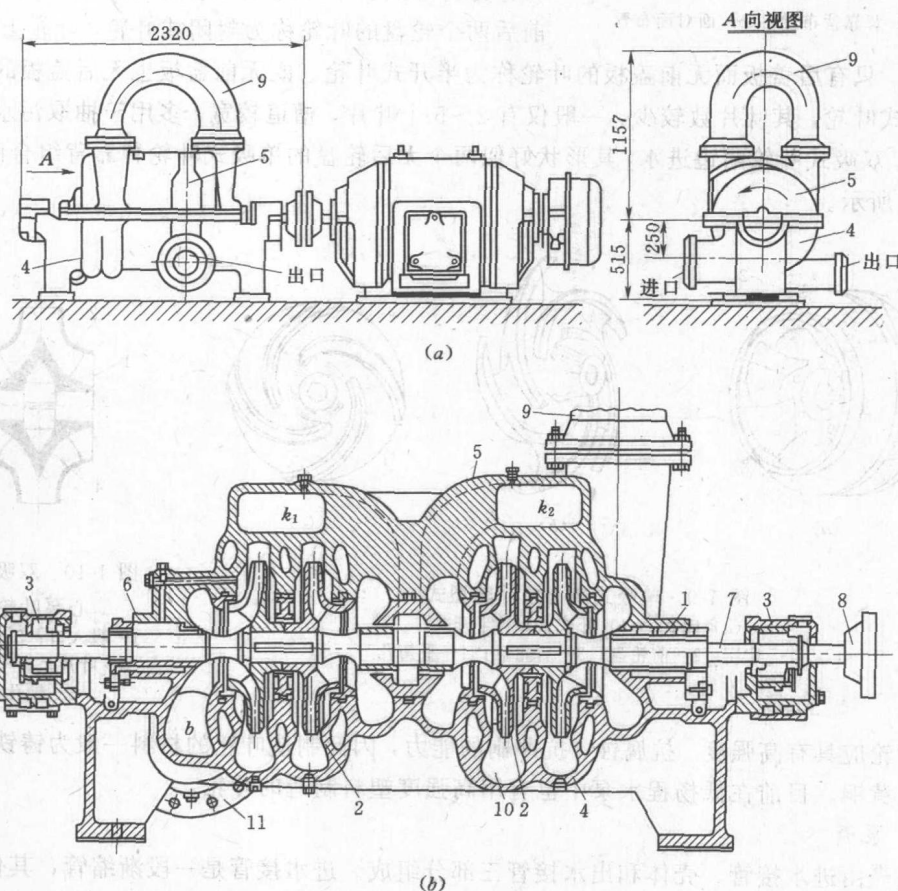


图 1-7 水平中开式多级离心泵外形及构造图 (单位: mm)

(a) 外形图; (b) 构造图

- 1—轴套; 2—叶轮; 3—轴承; 4—泵体; 5—泵盖; 6—填料; 7—泵轴;
8—联轴器; 9—外部过渡管; 10—蜗壳空腔; 11—进口法兰盘

三、离心泵的构造

虽然离心泵的类型很多、型号各异,但其主要零部件组成基本相同。主要零部件有:叶轮、泵壳、密封环、泵轴、轴承、轴封装置、轴向力平衡装置及联轴器等。现分述如下。

1. 叶轮

叶轮的主要作用是将动力机的机械能传递给液体,使液体的能量增加。当叶轮旋转时,

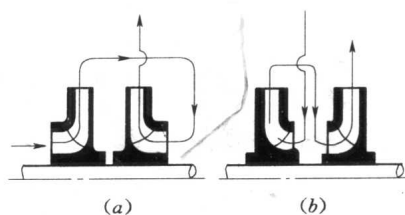


图 1-8 水平中开式多级
离心泵中液流方向
(a) 背靠背布置；(b) 面对面布置

叶槽内的水流质点基本上沿着径向流出叶轮，随着其圆周速度沿半径方向越来越大，所产生的离心力也越来越大，故称离心泵叶轮为径流式叶轮。叶轮一般由叶片、轮毂、前盖板和后盖板组成。

叶轮的构造在很大程度上决定了水泵的类型和性能。根据水流进入叶轮的方式，可将叶轮分为单吸式叶轮和双吸式叶轮。单吸式叶轮单边进水，其叶轮型式又可分为封闭式、半开式和开敞式三种（图 1-9）。具有前后两个轮盘的叶轮称为封闭式叶轮，叶轮上有 6~8

个叶片。只有后盖板而无前盖板的叶轮称为半开式叶轮。既无前盖板也无后盖板的叶轮称为开敞式叶轮，其叶片数较少，一般仅有 2~5 个叶片，槽道较宽，多用于抽取污水或浆粒状液体。双吸式叶轮两边进水，其形状好似两个无后轮盘的单吸式叶轮背靠背组合而成，如图 1-10 所示。

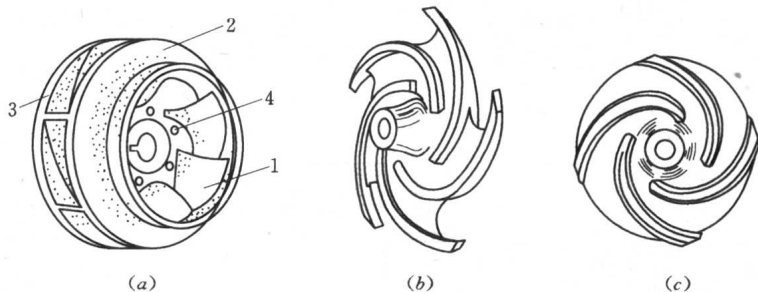


图 1-9 单吸式离心泵叶轮型式
(a) 闭式；(b) 开式；(c) 半开式
1—叶片；2—前轮盘；3—后轮盘；4—平衡孔

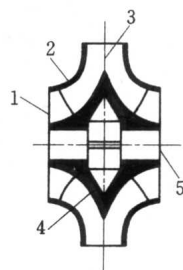


图 1-10 双吸式离
心泵叶轮
1—吸入口；2—轮盖；
3—叶片；4—轮毂；
5—轴孔

叶轮应具有高强度、抗腐蚀、抗冲刷的能力，因此制造叶轮的材料一般为铸铁、铸钢、青铜或黄铜。目前在低扬程水泵中也有用高强度塑料制造的叶轮。

2. 泵壳

泵壳由进水接管、壳体和出水接管三部分组成。进水接管是一段渐缩管，其作用是把水流平顺、均匀地引向叶轮。壳体为一断面逐渐增大的螺旋形流道，外形像蜗牛壳，故又称蜗壳。其作用是汇集从叶轮甩出的水流并借助其过水断面的逐渐增大保持蜗壳中水流速度基本不变。出水接管为一扩散锥管，其作用是使水流流速逐渐减小，从而将水流的部分动能转化为压能。

泵壳的进出水接管上各有一螺孔，用以安装测量水泵进出口压力的真空表和压力表。泵壳顶部设有灌水（或抽气）孔，以便在水泵启动前向泵中充水、排气。泵壳底部设有放水孔，用以停泵后或检修时放空泵中积水。

3. 密封环

密封环又称减漏环、承磨环、口环，几个名称共同表明了密封环的作用。该环为金属

圆环，镶装在叶轮进口外缘或该处的泵壳上，有时叶轮及泵壳上各装一个，用以减少高压水流经叶轮进口与泵壳之间间隙的漏水量，同时又可避免因间隙过小而引起叶轮与泵壳的直接磨损。当该环磨损过量、间隙增大后便予以更换。

单吸式叶轮因单边进水，只有一个密封环；而双吸式叶轮因两侧进水，故有两个密封环。对口径大、扬程高的 IS 型泵，特别是对叶轮后盖板上开有平衡孔的泵，在后轮盘和泵壳之间还装有一个密封环；对多级分段式离心泵，在每个叶轮前后也均装有密封环，其目的是为了减少水量的漏失。

密封环的形式有单环式、双环式和迷宫式三种（图 1-11）。在最常用的单环式密封环中，又可分为平直式和端面式两种（图 1-12）。平直式密封环主要靠径向间隙 b 密封；端面式密封主要靠轴向间隙 a 密封，其特点是流回的水沿径向流出，改善了叶轮进口处的水流状态，同时密封环与泵体之间采用过渡配合，轴向间隙可调整，当因磨蚀引起间隙增大后，可将密封环向叶轮进口移动以减少泄漏水量。

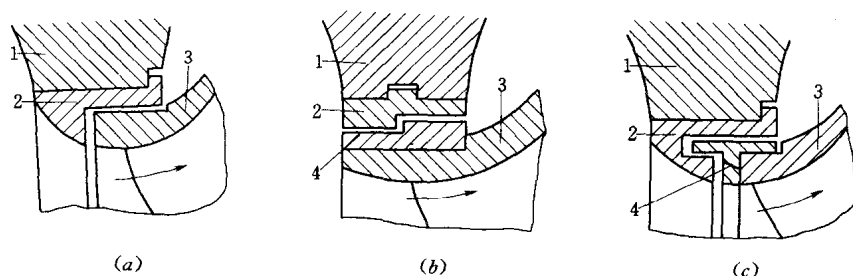


图 1-11 密封环型式

(a) 单环型；(b) 双环型；(c) 双环迷宫型

1—泵壳；2—镶在泵壳上的减漏环；3—叶轮；4—镶在叶轮上的减漏环

从减少泄漏量和改善叶轮入口流态来看，密封环间隙越小越好，但其间隙也不宜过小，否则将产生机械磨损，降低泵的机械效率，严重时甚至会磨熔，使密封环与叶轮咬死。密封环的径向间隙一般取 $0.1 \sim 0.4\text{mm}$ 为宜。

4. 泵轴

泵轴用于传递扭矩给叶轮以使之旋转。泵轴为受扭、受弯构件，故要有足够的抗扭、抗弯强度及刚度，其挠度不得超过允许值。泵轴常用优质碳素钢制造。叶轮用平键联于泵轴上，因这种键只能传递扭矩，而不能固定叶轮的轴向位置，所以一般用轴套和反向螺母来定位，轴套还可以起保护泵轴的作用。采用反向螺母目的，在于泵轴转动时不会自行松动，而是越转越紧。

5. 轴承

轴承用以支承转动部分的重量并承受泵运行时的径向力和轴向力。水泵中常用的轴承为滚动轴承和滑动轴承。滚动轴承常用于中小型水泵，依其形状又可分为滚珠轴承和滚柱轴承，一般荷载小的采用滚珠轴承，荷载大的采用滚柱轴承。滑动轴承常用于大中型水泵

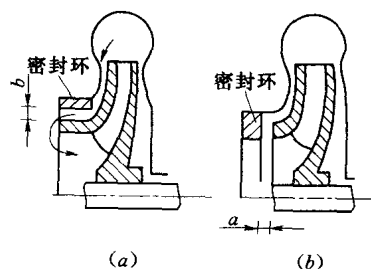


图 1-12 单环式密封环型式

(a) 平直式；(b) 端面密封式