

中小型灌排工程丛书

水轮泵与水轮泵站

肖冠英 柯彰等

中国工业出版社

中小型灌排工程丛书

水輪泵与水輪泵站

肖冠英 柯 彰 等



中国工业出版社

本书内容包括水輪泵的原理、結構、水力特征、型譜，水輪泵的設计、制造与性能測定，水輪泵的适用范围和水輪泵站的綜合利用，水輪泵站的规划、設计与施工，以及水輪泵站的管理、維護与检修等。

本书可供从事水輪泵及水輪泵站設计施工人員和专区、县的水利干部閱讀，也可供有关农田水利专业学校师生参考。

中小型灌溉工程丛书
水輪泵与水輪泵站
肖冠英 柯 彰 等

★

水利电力部办公厅图书編輯部編輯(北京阜外月坛南街5号)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路西10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

★

开本 $350 \times 1168^{1/32}$ ·印张 $15^{1/4}$ ·插頁1·字数359,000

1966年5月北京第一版·1966年5月北京第一次印刷

印数0001—6,380·定价(科四)1.80元

★

統一书号: 15165·4318(水电-592)

前 言

水轮泵是水轮机和水泵两者经过简化同轴结合为一体的新型提水机械,因此水轮泵技术是水轮机和水泵的综合技术,这门新技术是解放后在党的领导下成长与发展起来的。十多年来,经过科研、生产、使用等部门的不断实践总结,已有了一定的基础。现在许多省都在以集中优势力量打开灭战的精神,有计划地生产水轮泵和修建水轮泵站。水轮泵的推广将在争取农业稳产高产的斗争中,发挥巨大的作用。

为了建设水轮泵站的需要,水利电力部办公厅图书编辑部商请第八机械工业部水轮泵研究所及福建省水利电力厅合作编写了这本书,为从事设计制造、试验、勘测、建站及运行等工作的同志提供一些参考资料。在编写过程中,由于福建水利电力厅、第八机械工业部水轮泵研究所、永安水电学校党委和领导同志的大力支持,从而顺利地完成了本书的编写工作。

本书第一~五章及第七~九章是第八机械工业部水轮泵研究所肖冠英同志为主编写的,林锦荣、陈家瑞、翁爱和、陈继铭、郑子龙、庄天明、吴福青、魏文珍、余庆新、任均其诸同志参加了编写工作。第六章是福建省农业机械厂杨德惠同志编写的,第十~十四章是福建省水利电力厅永安水电学校以柯彰同志为主编写的,童多基、谢鸿词、陈伯祥、任斯可等同志参加了编写工作。全书由潘仲渔、成器两同志做了总的校阅。

由于水轮泵技术还很年青,我们水平又低,时间匆促,书中错误的地方必然不少,欢迎读者多提宝贵意见,以便在再版时改正和补充。

编 者

1965.9.

目 录

前 言

第一章 农用水泵	1
第一节 水泵的构造	1
第二节 叶片泵的工作参数	5
第三节 叶片泵的相似律	8
第四节 比速	9
第五节 水泵的特性曲线	13
第六节 排灌水泵的类型	17
第二章 农用水轮机	20
第一节 概述	20
第二节 混流式水轮机	21
第三节 轴流式水轮机	33
第四节 贯流式水轮机	37
第五节 水轮机的工作参数	41
第六节 水轮机的比速	43
第七节 水轮机的相似律	43
第八节 水轮机的特性曲线	46
第九节 农村低水头水力站或水电站用的水轮机的性能及其选型	50
第十节 微轴高速水轮机	59
第三章 水轮泵的结构及水力特征	61
第一节 水轮泵原理	61
第二节 配有单级泵的水轮泵	62
第三节 配有多级泵的水轮泵	66
第四节 齿轮增速的水轮泵	67
第五节 微轴高速水轮泵	70
第六节 皮带增速的水轮-水泵机组	71
第七节 中水头用的管型水轮泵	72
第八节 微水头适用的容积泵式水轮泵	73

第九节	水轮泵的性能·····	77
第十节	水轮泵的特性曲线·····	80
第四章	水輪泵型譜及提高水头比的途徑·····	85
第一节	系列型谱的意义·····	85
第二节	水轮泵型谱·····	85
第三节	新系列型谱初拟·····	90
第四节	提高水头比的途径·····	94
第五章	水輪泵設計概要·····	102
第一节	水轮泵的选型计算·····	102
第二节	出力裕量问题·····	107
第三节	按水力模型设计水轮泵·····	109
第四节	水轮泵的轴承及其密封装置·····	118
第五节	扩大适用水头范围与变水头比·····	124
第六节	行星齿轮增速器·····	127
第六章	水輪泵制造工艺·····	130
第一节	概述·····	130
第二节	转轮的制造·····	131
第三节	导水座的制造·····	138
第四节	叶轮的制造·····	142
第五节	泵盖和主轴的制造·····	150
第六节	泵体和滤棚的创造·····	155
第七节	转轮与叶轮的平衡·····	157
第八节	水轮泵的装配·····	162
第七章	水輪泵性能的試驗測定·····	165
第一节	性能试验的分类·····	165
第二节	模型试验·····	165
第三节	水轮泵的出厂试验·····	194
第四节	水轮泵的工地试验·····	195
第五节	水轮泵运行中的性能监视·····	195
第八章	水輪泵的适用范围·····	197
第一节	利用筒车的水工建筑物改建水轮泵站·····	197
第二节	利用水碾水磨及引水灌溉的旧坝添建水轮泵站·····	198

VI

第三节	利用水轮泵的扬程代替建高坝	199
第四节	利用急滩无坝引水建造水轮泵站	200
第五节	与水电站结合的水轮泵站	202
第六节	在水库放水口安装水轮泵	207
第七节	利用水利工程渠道上的建筑物安装水轮泵	208
第八节	供梯田分级灌溉的串并联水轮泵站	210
第九节	新建水坝安装水轮泵, 与以蓄补提的水轮泵站及水轮 泵蓄能发电站	211
第十节	利用涌泉安装水轮泵	213
第十一节	利用防洪闸建造水轮泵站	213
第十二节	利用潮汐扬水	213
第九章	水轮泵站的综合利用	233
第一节	概述	233
第二节	综合利用的方式	233
第三节	水轮泵的动力输出装置与接轴结构	234
第四节	立装卧装比较	238
第五节	调速方法	240
第六节	小型发电机	245
第七节	碾米及制粉设备	249
第八节	皮带传动	251
第九节	厂房及其布置	260
第十章	水轮泵站的普查、详查和规划	262
第一节	山区水轮泵站开发方式和枢纽布置	262
第二节	平原潮汐水轮泵站开发型式和枢纽布置	270
第三节	规划工作的任务和原则	275
第四节	普查、详查和规划的步骤和方法	280
第五节	山区溪水水轮泵站规划中应注意几个主要问题	284
第六节	利用潮汐扬水的水轮泵站规划工作	290
第七节	普查、详查和规划的实例	293
第十一章	大中型水轮泵站勘测和水文水利计算	296
第一节	山区溪水大中型水轮泵站的勘测	296
第二节	平原潮汐顶淤大中型水轮泵站的勘测	300

第三节	山区大中型水轮泵站水文水利计算·····	304
第四节	平原潮汐水轮泵站水文水利计算·····	321
第十二章	水轮泵站水工建筑物设计·····	349
第一节	概述·····	349
第二节	拦河坝设计·····	349
第三节	进水闸、冲刷闸和闸门的设计·····	364
第四节	渠道、尾水槽及拦污栅设计·····	370
第五节	水轮泵机坑设计·····	374
第六节	尾水管和出水管设计·····	389
第七节	机坑、尾水管、出水管预制构件设计·····	395
第八节	潮汐泵站泵坑和进水闸内外港连接段设计·····	401
第九节	潮汐泵站泵坑和水闸的地下轮廓线设计·····	405
第十节	潮汐泵站机坑结构设计·····	408
第十一节	潮汐泵站泵坑整体稳定分析·····	416
第十二节	潮汐泵站泵坑和进水闸基础设计·····	421
第十三章	水轮泵站的施工·····	429
第一节	建立样板站,培养农民技术员·····	429
第二节	预制构件施工方法·····	431
第三节	大中型水轮泵站的水工建筑物施工·····	444
第四节	机械设备的安装·····	452
第五节	出水管的安装·····	456
第十四章	水轮泵站的管理、维护与检修·····	459
第一节	水轮泵站的管理·····	459
第二节	水轮泵及其设备的维护保养和检修·····	463
第三节	工程的管理和维修·····	468
第四节	水轮泵的拆装技术·····	469
第五节	安全工作·····	473
附 录	·····	474

第一章 农用水泵

第一节 水泵的构造

如果把一个带若干叶片的圆盘(叶轮), 安装在环状的蜗壳里, 蜗壳一侧中心开个圆孔, 蜗壳的出口接一段管子, 然后把它没入水池内, 这时池中的水, 就会经中心孔灌注蜗壳内, 之后如果把叶轮快速旋转起来, 则因离心力作用, 将有一股水流沿管子上升, 夺口而出, 池中的水也源源流入补充, 这便构成了一个简易的离心式水泵(图 1-1)。

轮船尾部装着螺旋推进器, 螺旋桨转动时, 桨叶把水往后推, 水的反作用就把船体往前推。如果把螺旋桨装在一根管子里, 并用轴承支承转轴, 不使其轴向移动, 然后把下端浸入水内, 则螺旋

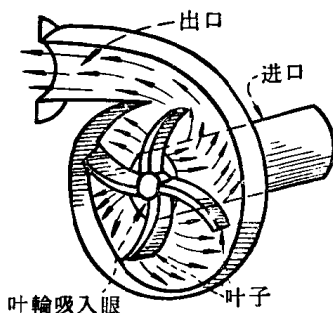


图 1-1

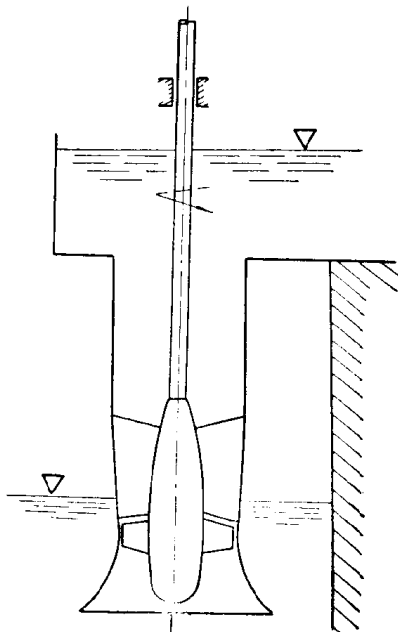


图 1-2

桨转动时, 水将沿着管子上流, 这便构成了最简单的螺旋桨式水泵(图 1-2), 通称轴流泵。

有一种水泵, 它的工作原理介乎上述的离心泵和轴流泵之间, 叫做混流泵。

水泵的种类很多，农田灌溉和排水用的水泵通常是上述的三类，这三类水泵通称叶片泵。

一、离心泵与轴流泵的构造

实用的离心泵和轴流泵如图 1-3 和图 1-4 所示，构造比上面所说的复杂，但原理相同。

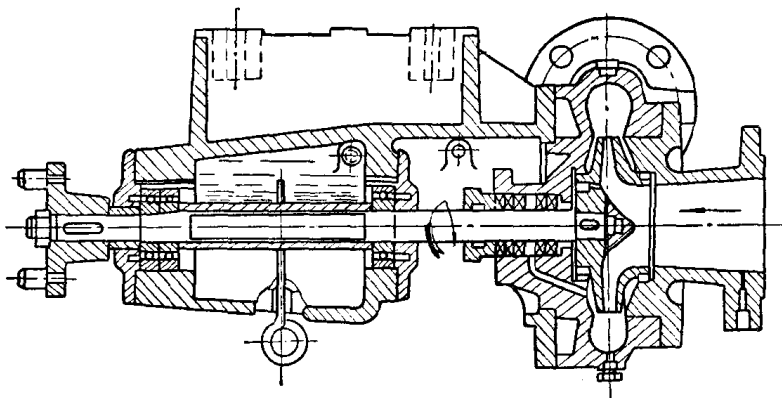


图 1-3

水泵的主要零件有：叶轮，泵轴，泵壳，轴承，填料函，减漏环等。

1. 叶轮：叶轮是水泵的心脏，离心泵的叶轮两侧有盖板的称闭式叶轮，无盖板的称开式叶轮，仅一侧有盖板的称半闭式叶轮。在两盖板之间有 3~8 个弯曲的叶片，分叶轮为好几道叶槽。叶轮有单面进水的，也有双面进水的。图 1-5 为离心式水泵的叶轮。农用水泵因扬程不高，多数仅有一个叶轮，称单级泵。有几个叶轮串联的则称为多级泵。

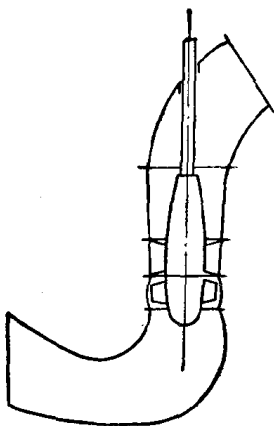


图 1-4

轴流式叶轮，通常只有 3~5 个叶片，叶片断面与飞机的机翼断面相似，如图 1-6 所示。

农用水泵的叶轮，大多是用铸铁制成的。

2. 泵轴：泵轴通常用中碳钢制成，一些轴流泵的泵轴，在水中与轴承接触部分，往往在轴颈处镀铬，或镶嵌青铜、不锈钢套筒等，防止锈蚀。

3. 泵壳：离心泵的泵壳，常为蜗壳式，状如螺壳，其内有螺旋流

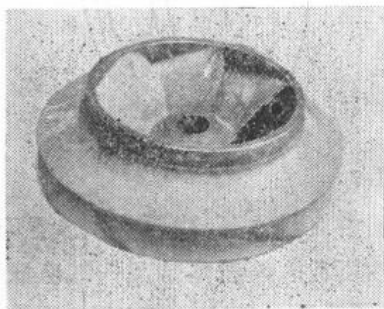


图 1-5

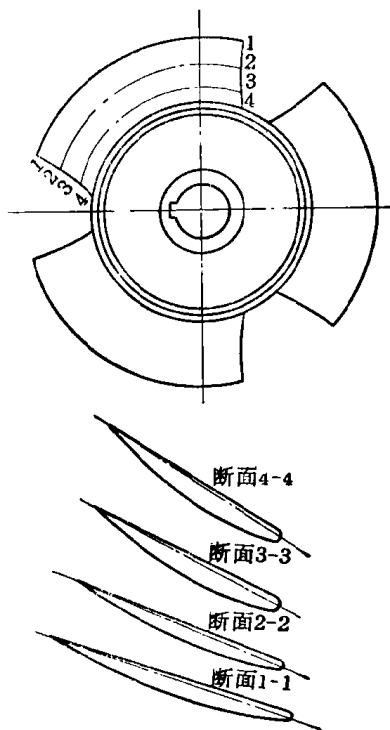


图 1-6

道，它用来汇集从叶轮甩出来的水，流道断面自小而大，流速则自大而小，使其速度能转化为压力能，并通过出水管路引水至高地。泵壳是用铸铁制成的。

轴流泵的泵壳为圆筒形，内周环列着3~7片导流叶片，它使由叶轮而来的旋转水流，经此转沿轴向流动，故亦称导流器。

4. 轴承：轴承用来支承泵轴，可分为滚动轴承与滑动轴承两种型式。一般小型离心泵常用滚动轴承，以机油或黄油润滑。轴流泵的水下轴承大多用以水直接润滑的橡胶轴承或塑料轴承。

在离心泵中，单面进水的叶轮即使为闭式叶轮，因进口侧盖板中心有孔口，承受压力比对侧为小，故产生与叶轮进水方向相反的轴向推力。而在轴流泵中，扬升水柱加于叶面，同样产生轴向推力，故单面进水的离心泵与轴流泵都设有止推轴承来承受轴向推

力。中小型水泵常用的是滚动止推轴承。

5. 填料函: 泵轴穿过泵壳伸出外部来, 中间装填料函来保证不漏气, 不漏水。图 1-7 所示为农用水泵填料函的结构。

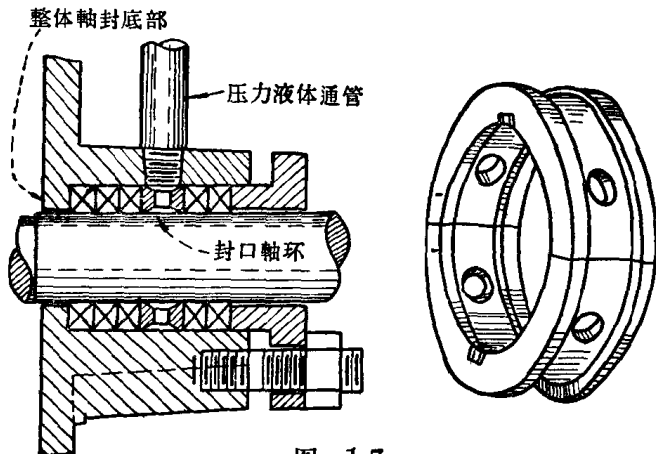


图 1-7

此处轴常嵌有护轴套。填料函中有封水环, 由泵壳引水至环, 分润两侧的渍过油脂的石棉或棉纱填料。填料两端, 一端有底套环, 一端有压盖。使用时调整至间隔几秒钟滴水一滴为宜, 不宜过紧。

6. 减漏环: 它是安装在泵壳上, 用来防止叶轮和泵壳间的直接摩擦而磨损, 同时减少高压水流经泵壳和叶轮间的间隙回流至进水口。一般农用水泵的减漏环用平口环, 材料为铸铁。间隙的数值可按下式估算:

$$\delta = 0.25 + (D - 150) \times 0.001 (\text{毫米}),$$

式中 D ——叶轮进口直径(毫米)。

近几年来新设计的农用水泵, 大多不采用减漏环。

有的水泵以泵壳兼支座, 有的却以轴承座兼支座。至于泵轴的外端, 分别以联轴器或皮带轮与动力机交联。

二、混流泵的构造

混流泵的叶轮(图 1-86)一部分像离心泵, 一部分又像轴流

泵。这是因为水流出叶轮时,半推半甩,既有径向成分,又有轴向成分。它的泵壳有像离心泵做成蜗壳的,也有像轴流泵做成管式的,后者亦称斜流泵。

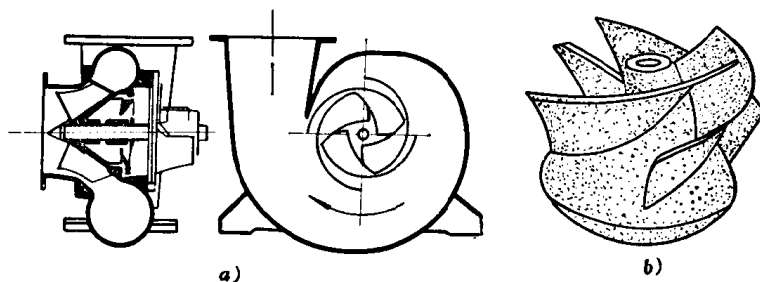


图 1-8

第二节 叶片泵的工作参数

决定水泵性能的,有以下六个基本参数:

1. 出水量 q : 指泵部吐出口单位时间内所输出的水的体积,单位是升/秒或米³/小时(千升/小时)。

$$1 \text{ 升/秒} = 3.6 \text{ 米}^3/\text{小时};$$

$$\text{水的重度 } \gamma = 1 \text{ 公斤/升} = 1 \text{ 吨/米}^3.$$

2. 总扬程 h : 指水在水泵进口至出口间每单位重量液体的能量增加量,单位是 $\frac{\text{公斤} \cdot \text{米}}{\text{公斤}} = \text{米}$ 。

3. 功率 N : 水泵的功率分为有效功率与轴功率,单位时间内液体能量的增值,称为水泵的有效功率。

$$N = \gamma q h (\text{公斤} \cdot \text{米/秒}) = \frac{\gamma q h}{75} (\text{马力}) = \frac{\gamma q h}{102} (\text{瓩}).$$

由于水泵内部的损耗,输送给水泵轴的功率要大于有效功率。水泵轴自动力机获得的功率,称为轴功率,以 N_z 表示。

4. 效率 η : 指水系的有效功率 N 与输入的轴功率 N_z 的比值,它标志着水泵效能的高低。水泵叶轮在接受动力机的机械功率转化为提升水的功率间遭受了各种损失,故 η 值永远小于 1。因为

$$\eta = \frac{N}{N_z} \times 100\%,$$

所以

$$N_z = \frac{N}{\eta} = \frac{\gamma q h}{\eta} (\text{公斤} \cdot \text{米} / \text{秒}) = \frac{\gamma q h}{75 \eta} (\text{马力}).$$

泵内的能量损失可分为三种：机械损失，容积损失和水力损失。

(1) 机械损失有：轴承内的摩擦损失；填料函内的摩擦损失；叶轮在水中旋转所引起的摩擦损失，也称转盘摩擦损失。转盘损失是三种机械损失中最大的一种，以公式表示为：

$$\Delta N_{PS} = c_1 \gamma D_2^5 u_2^3.$$

因 $u_2 = \frac{\pi D_2 n}{60}$ ，故可改写成

$$\Delta N_{PS} = c_2 \gamma D_2^5 n^3.$$

式中 c_1, c_2 ——系数；

D_2 ——叶轮直径；

n ——转速；

γ ——重度；

ΔN_{PS} ——转盘的功率损失。

由式可知转盘损失与叶轮直径的 5 次方及转速的三次方成正比。填料函及滚动轴承损失只与转速的一次方成正比。

(2) 容积损失：叶轮出口所提供的出水量 q 大部分被压送至出水管，另有一小部分经过减漏环间隙漏回叶轮进口处，其值为 Δq 。故容积效率

$$\eta_R = \frac{\gamma q h}{\gamma (q + \Delta q) h} = \frac{q}{q + \Delta q} = \frac{q}{q_0}.$$

式中 η_R ——容积效率。

(3) 水力损失包括进水道、叶槽和压水室内的水流阻力所造成的损失。进水道损失一般很小，叶槽愈细长摩阻就愈大，叶片愈弯曲及叶槽变化急剧，局部阻力损失也愈大。叶槽进口处水流相对于叶片的方向角愈大，因冲击而生的旋涡损失也愈大。叶轮出口

流速甚高,它依靠压水室逐渐把动能转化为压能,故压水室损失一般亦较大。

叶片泵的总效率 η 是机械效率、容积效率与水力效率三者的乘积。同类水泵其效率的高低,标志着水泵设计及制造的技术水平。

5. 转速 n :指水泵轴每分钟的转数。变动水泵的转速,则出水量 q 、扬程 h 、轴功率 N_s 均相应起变化,故一般水泵是定速的。中小型农用水泵的转速多是按频率50赫芝的电机的同期转速减去滑差率进行设计的。这样用电动机带动时,可以同轴联接。

表 1-1 三相异步电机的转速

极 数	同期转速(轉/分)	异步电机近似轉速及泵轉速(轉/分)
2	3000	2900
4	1500	1450
6	1000	960
8	750	730
10	600	580

6. 容许吸上真空

高度:如图 1-9 所示, $h_{\text{吸}}$ 说明了水泵的吸水性能,即水泵的轴线允许高出水面的高度。当水泵布置在此允许的吸程范围内,不会影响水泵的正常工作。当超出此高度后,水泵将产生振动、噪音,效率降低,叶轮将受汽蚀破坏。离心

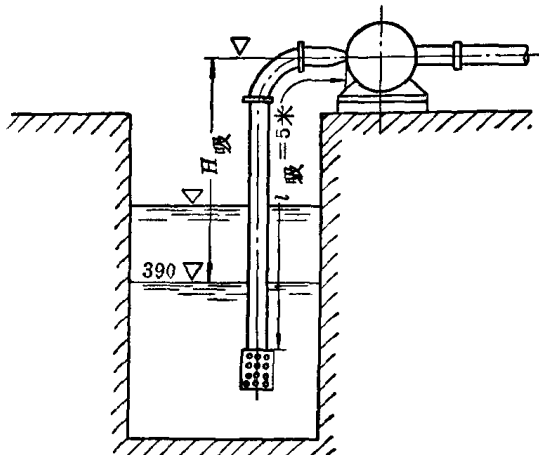


图 1-9

泵容许吸上真空高度为4~8米。混流泵较小,轴流泵最小。

容许吸上真空高度等于几何高度与吸水管路的损失之和。

第三节 叶片泵的相似律

水在叶片泵内的运动情况甚为复杂。单纯凭借理论,不能很准确地算出叶片泵在设计情况下的性能。因此,必须借助实验来解决叶片泵的设计、制造与运转问题。把流体力学相似理论运用到叶片泵中,就能够:

1. 根据模型试验进行新产品设计与制造;
2. 根据已制成的水泵的实验数据确定与该泵几何相似,即放大了或缩小了的新的水泵的性能;
3. 根据一个泵在某一转速下的性能,换算它在其它转速下的性能。

当两个水泵过流部分成几何相似及运转工况(即速度三角形)相似时,其出水量 q 、扬程 h 与轴功率 N_z 将有以下关系:

$$\begin{aligned}\frac{q}{q_m} &= \left(\frac{D_2}{D_{2m}}\right)^3 \frac{\eta}{\eta_{m1}}; \\ \frac{h}{h_m} &= \left(\frac{D_2 \eta}{D_{2m} \eta_{1m}}\right)^2; \\ \frac{N}{N_m} &= \left(\frac{D_2}{D_{2m}}\right)^5 \left(\frac{\eta}{\eta_m}\right)^3.\end{aligned}$$

但两泵大小不同,它的容积效率 η_R 、水力效率 η_S 与机械效率 η_J 三种效率也不尽相同。泵的尺寸越大,效率也越高,即小泵效率低,大泵效率高。如原型泵与模型泵尺寸相差不超过三倍,则效率随尺寸改变很小,可以近似地认为效率比值为1。据此计算结果,误差不超过3%,如作较准确的计算,上式应加以修正。这时:

$$\begin{aligned}q &= q_m \left(\frac{D_2}{D_{2m}}\right)^3 \frac{\eta}{\eta_m} \cdot \frac{\eta_R}{\eta_{mR}}; \\ h &= h_m \left(\frac{D_2 \eta}{D_{2m} \eta_m}\right)^2 \cdot \frac{\eta_S}{\eta_{mS}}; \\ N &= N_m \left(\frac{D_2}{D_{2m} \eta_m}\right)^5 \cdot \left(\frac{\eta}{\eta_m}\right)^3 \cdot \frac{\eta_J}{\eta_{mJ}};\end{aligned}$$

$$\eta = 1 - (1 - \eta_m) \sqrt[5]{\frac{D_{2m}}{D_2}}.$$

第四节 比 速

设有某一叶片泵，其出水量、总扬程和转速分别为 q 、 h 和 n 。再假设另有一个作为标准的叶片泵，它的叶轮与压水室和上述水泵几何相似，水力效率与容积效率和上述水泵的相等，但此泵具有总扬程 $h_s = 1$ 米与有效功率 $N_s = 1$ 马力，因而具有出水量

$$q = \frac{75 N_s}{\gamma h_s} = \frac{75 \times 1}{1000 \times 1} = 0.075 \text{ 米}^3/\text{秒}.$$

这个标准泵的转速 n_s 称为比速，可以根据相似律公式推得：

$$\frac{q}{0.075} = \left(\frac{D_2}{D_{2s}} \right)^3 \frac{n}{n_s},$$

$$\frac{h}{1} = \left(\frac{D_2 n}{D_{2s} n_s} \right)^2.$$

消去上列两个式子的 $\frac{D_2}{D_{2s}}$ ，就得出：

$$n_s = 3.65 n \frac{\sqrt[3]{q}}{h^{\frac{3}{4}}}.$$

式中出水量 q 以米³/秒计。如 q 以升/秒计，则

$$n_s = \frac{0.1155 n \sqrt[3]{q}}{h^{\frac{3}{4}}}.$$

因为叶片泵在定转速时它的比速随着工况的变化而变化，故计算比速时，是以效率最高点的扬程和出水量来计算的。

比速的计算是以单面进水单个叶轮为准的，故如为双面进水的泵，则应按 $\frac{1}{2}q$ 计，为多级泵时，应按单个叶轮的扬程计算。

这样由相似律得到了比速 n_s ，它组合了水泵的主要工作特性 (h 、 q 、 n)，成为一个综合性的参数。在实用中有下述的意义和功用：

1. 比速反映了水泵的主要特性：由上述可见，当 n 、 q 相等时，