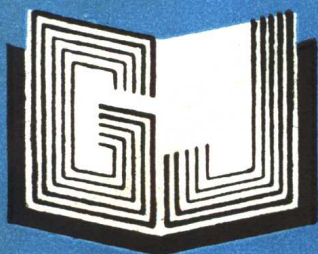


991243



高等学校教材



水 轮 机

第 三 版

河海大学 刘大恺 主编



991243

高等学校教材

水 轮 机

(第三版)

河海大学 刘大恺 主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书着重阐述水轮机的工作原理、设计计算和选择方法。其主要内容有水流在水轮机各过流部件中的流动及其能量转换过程,相似原理,模型试验,空蚀现象,各种形式水轮机的结构特点及设计计算。书中还详细的介绍近代利用电子计算机进行水轮机的选型设计和参考程序。

本书为高等学校“水电站动力设备”专业水轮机课程的教材,也可供有关专业师生和工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

水轮机/刘大恺主编. —3版. —北京:中国水利水电出版社, 1996. 12

高等学校教材

ISBN 7-80124-168-1

I. 水… II. 刘… III. 水轮机-高等学校-教材 IV. TK73

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 21820 号

书 名	高等学校教材 水轮机 (第三版)
作 者	河海大学 刘大恺 主编
出 版	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044)
发 行	新华书店北京发行所
经 售	全国各地新华书店
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市朝阳区小红门印刷厂
规 格	787×1092 毫米 16 开本 25.5 印张 597 千字
版 次	1980 年 10 月第一版 1986 年 11 月第二版 1997 年 10 月第三版 1997 年 10 月北京第五次印刷
印 数	16331—17530 册
定 价	24.70 元

第三版前言

本教材是根据 1989 年 11 月在洛阳及 1991 年 4 月在昆明召开的高等学校水利水电类专业教学委员会水动教学组确定的 1990~1995 年教材选题和编审计划而编写的。

《水轮机》是水动专业的主要专业课之一。本教材的编写体系是以四章篇幅讲授水轮机的基本原理，另以四章篇幅介绍生产上最常用的四种形式水轮机。将以往以过流部件分章改为以机型分章，可以使学生和初学者易接受和掌握。为了使学生学完本课程后能进行水轮机选型设计，本教材最后一章专门讲授水轮机的特性曲线及选型设计。

这本教材适应当代水轮机科学技术的发展，对水轮机空化及空化机理、过渡过程、水力振动等现象均作了较深入的介绍。在选型设计中引入了计算机辅助设计 (CAD) 的内容。

本书第三、五章由刘大恺（主编）编写。第一、六章由胡家璇编写。第二、七章由沈东编写。第四、八章由王煦时编写。第九章由陈德新编写。

本书由梅祖彦教授主审，王学真编审为责任编辑。

由于编写者水平有限，书中难免有谬误与不妥之处，恳请使用本教材的师生及其他读者给予批评指正。

编者

1996 年 10 月

1996.10.18

第 一 版 前 言

本书是高等学校“水电站动力设备”专业水轮机课程的教材。全书共十五章，分上、下两册。上册主要介绍水轮机的工作原理，相似理论，模型试验，水轮机特性和选型设计。下册主要介绍反击式水轮机过流部件水力设计的基本理论和方法，反击式水轮机主要零、部件的结构和强度计算，以及斜流式、贯流式、水斗式水轮机和水泵的工作原理、结构与选型。这些内容可为从事水轮机的技术工作和科学研究奠定必要的理论基础。

本书上册由武汉水利电力学院编写，参加编写的有魏先导（主编人）、刘国柱和李植鑫。下册由华东水利学院主编，季盛林（主编人）、支培法、陈新方、杨惠美和成都科学技术大学孙诗杰参加编写。全书由清华大学、西北农学院、云南工学院共同审订，并由清华大学姚志民主审。

本书除供“水电站动力设备”专业作为教材外，还可供其他从事有关水轮机工作的科技人员参考。

编 者

1980年4月

第二版前言

本书是根据1983年10月高等学校“水动专业”西安会议拟订的《水轮机》教学大纲进行修订的。这次修订将第一版上、下册合订为一册。考虑到水动专业与流体机械专业培养目标不同,本次修订时针对水动专业的培养目标调整了章目、丰富充实了内容,以期使本书对水电工程类专业具有特色。

修订中加强了对水轮机基本原理的分析与阐述,例如水轮机的工作过程、反击度、比速分析、相似理论、汽蚀机理、几何吸出高、水轮机特性等进行了补充;对模型试验作了系统论述;补充介绍了目前广泛流行的按比速进行选型设计的基本方法。对水轮机过流部件除增加了基本理论的阐述外,还根据水动专业的工作性质,增添了原型机组在运行中各过流部件对水力性能的影响;水流经过各过流部件时,速度场和压力场的变化规律及其对外特性的影响等。对其它类型的水轮机例如贯流式、斜流式、可逆式、切击式水轮机亦在工作原理、选型设计等方面增添了部分内容,水泵的工作原理、选型设计以及运行等内容从使用观点出发亦作了适当的修改。

本书第二、三、四、五、七章及第六章第七节及部分附录由刘国柱(主编)编写。第一、六章由屠兰君编写。第九、十一、十二、十三、十四章及部分附录由季盛林(主编)编写。第八、十章由支培法编写。河海大学陈新方和云南工学院黄奋杰提供了第九、十二和十三章的修订初稿并参加了修订工作。

全书由华中工学院张昌期副教授主审。

在本书修订过程中,华中工学院、陕西机械学院、云南工学院、江西工学院水利分院等兄弟院校从事《水轮机》课程教学工作的同志对本书修订提出了许多宝贵意见。担任本书第一版主审的清华大学姚志民副教授在此次修订过程中给予支持和帮助,在此表示感谢。

由于编者水平有限,在修订过程中可能仍会有遗漏和错误之处,敬希广大读者给予批评指正。

编 者

1985年5月

目 录

第三版前言

第一版前言

第二版前言

第一章 绪论	1
第一节 水电站与水轮机	1
第二节 水轮机的工作参数	4
第三节 水轮机的类型和结构	6
第四节 水轮机的牌号及装置形式	16
第五节 现代水轮机的发展过程	22
第二章 水轮机工作原理	26
第一节 水轮机中的水流运动	26
第二节 水流作用于叶片的力矩, 水轮机基本方程式和水力效率	36
第三节 水轮机变工况转轮进、出口速度三角形的讨论	42
第四节 反击式与冲击式水轮机	45
第三章 水轮机的相似原理	48
第一节 水力相似及水轮机相似条件	48
第二节 水轮机相似规律及相似准则数	49
第三节 水轮机的模型试验	53
第四节 相似水轮机的参数换算	65
第五节 水轮机比转速	66
第六节 效率换算与单位参数修正	69
第七节 水轮机型谱	74
第四章 水轮机的空化和空蚀	79
第一节 水流空化现象及空化数	79
第二节 空化及空蚀机理	81
第三节 水轮机空化和空蚀的类型	89
第四节 水力机械的空化系数及电站空化系数	92
第五节 水轮机模型空化试验	95
第六节 水轮机安装高程的确定	100
第七节 水轮机抗空化的措施	103
第五章 混流式水轮机	112
第一节 混流式水轮机概述	112
第二节 混流式水轮机引水室	116
第三节 混流式水轮机金属蜗壳设计	119

第四节	导水机构	125
第五节	混流式水轮机转轮	140
第六节	混流式水轮机的轴向水推力	155
第七节	尾水管	158
第八节	混流式水轮机运行中的异常现象	169
第六章	轴流式水轮机	177
第一节	轴流式水轮机概述	177
第二节	混凝土蜗壳的水力设计	182
第三节	轴流式转轮中的水流运动	189
第四节	轴流式转轮参数选择	193
第五节	轴流式转轮设计原理	197
第六节	轴流式水轮机的特性曲线	204
第七节	轴流式水轮机的力特性	205
第八节	轴流转桨式水轮机协联工况的特性	209
第九节	轴流式水轮机的过渡过程	211
第七章	冲击式水轮机	219
第一节	冲击式水轮机概述	219
第二节	切击式水轮机工作原理及参数	228
第三节	切击式水轮机的特性综述	247
第八章	水泵水轮机	268
第一节	水力机械四象限特性	268
第二节	水泵水轮机概述	274
第三节	水泵水轮机工作原理和参数选择	278
第四节	水泵水轮机的运行	285
第九章	水轮机特性曲线与水轮机选型设计	291
第一节	水轮机特性曲线的类型	291
第二节	水轮机的线性特性曲线	291
第三节	水轮机模型综合特性曲线	295
第四节	水轮机模型综合特性曲线的绘制	300
第五节	水轮机运转综合特性曲线及其绘制	305
第六节	水电厂运转综合特性曲线	313
第七节	水轮机的选型设计	314
第八节	水泵水轮机的选型设计	333
第九节	水轮机选型计算例	339
第十节	计算机辅助水轮机选型设计	345
附录	反击式水轮机型谱参数及综合特性曲线	370
参考文献		400

第一章 绪 论

第一节 水电站与水轮机

自然界有多种能源，目前已被利用的能源中主要有热能、水能、风能和核能。水能是一种最经济的一次能源，也是一种永远消耗不尽的能源。地球上江河纵横，湖泊星罗棋布，海洋辽阔，蕴藏着丰富的水力资源。借助太阳的帮助，把地球上的水蒸发成汽，在天空中汽又凝聚成雨雪降至大地，通过江河又流入海洋，如此循环不已，永无止境。所以说利用水能发电是最经济的电能转换方式，它与火力发电和核能发电相比有许多优点，例如成本低，运行管理简单，起动快，消耗少，适于调峰和调频，污染少等。

自然界的河流都具有一定的坡降，水流在重力作用下，沿着河床流动，在高处的水蕴藏着丰富的位能，如果没有把这种水能加以利用，当它向低处流动时，则所有的能量都消耗在克服水流的摩阻、冲刷河床和夹带泥沙等方面去了。

河流蕴藏的水能可以用伯努里方程进行计算，图 1-1 表示一段河流，在河流上取两个断面 1-1 和 2-2，两断面水面高程分别为 Z_1 和 Z_2 ，平均流速分别为 v_1 和 v_2 ，设在 t 时间内有水量 W 流过两断面，则两断面水流能量之差即该河段的潜在水能 E 。

断面 1-1 处水流所具有的能量为

$$E_1 = \gamma W \left(Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right)$$

式中 Z_1 ——单位重量水流的位能；

$\frac{P_1}{\gamma}$ ——单位重量水流的压能；

$\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}$ ——单位重量水流的动能；

γ ——水的容重。

则同样的水量 W 通过断面 2-2 时所具有的能量为

$$E_2 = \gamma W \left(Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right)$$

河段的潜在水能 E 为

$$E = E_1 - E_2 = \gamma W \left(Z_1 - Z_2 + \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2 - \alpha_2 v_2^2}{2g} \right) \quad (1-1)$$

令 $H_{1-2} = Z_1 - Z_2 + \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2 - \alpha_2 v_2^2}{2g}$ 称为水头。

则

$$E = \gamma W H_{1-2} \quad (1-2)$$

考虑到两断面的压力均为大气压，流速水头 $\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}$ 和 $\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}$ 相差很小，可以将 $\frac{P_1 - P_2}{\gamma}$ 和

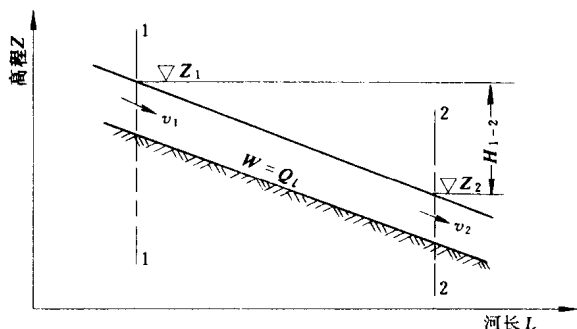


图 1-1 河段示意图

$\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}$ 略去不计。所以通常以河流两断面的高程差 $Z_1 - Z_2$ 代表两断面单位重量水流的能量差，即水头 $H_{1-2} = Z_1 - Z_2$ 。称 $Z_1 - Z_2$ 为“落差”。

河段水流的出力 N 为

$$N = \frac{E}{t} = \gamma W H_{1-2} \frac{1}{t} = \gamma Q H_{1-2} \quad (1-3)$$

式中 Q ——流量。

工程上流量 Q 的单位常用 m^3/s ，水头 H_{1-2} 常用 m 为单位，水的容重 $\gamma = 1000 \times 9.81 \text{ N/m}^3$ ，代入式 (1-3) 得到河段水流的出力为

$$P = 9.81 Q H_{1-2} \quad (\text{kW}) \quad (1-4)$$

水流的能量为

$$E = 9.81 Q H_{1-2} \left(\frac{t}{3600} \right) = 0.00272 W H_{1-2} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (1-5)$$

为了利用水流的能量发电，就要将天然落差集中起来，并对天然流量加以控制和调节（如建造水库），形成发电所需要的水头和流量。

水电站是借助水工建筑物和机电设备将水能转换为电能的企业，水电站的形式主要取决于集中水头的方式，根据集中水头方式的不同，水电站分为坝式水电站、引水式水电站和混合式水电站。

坝式电站的水头由坝抬高上游水位形成（图 1-2），引水式电站的水头由引水道形成（图 1-3），混合式电站的水头一部分由坝集中，另一部分由引水道形成（图 1-4）。水电站的建筑物包括水工建筑物、电站厂房、引水管道和高压开关站等。

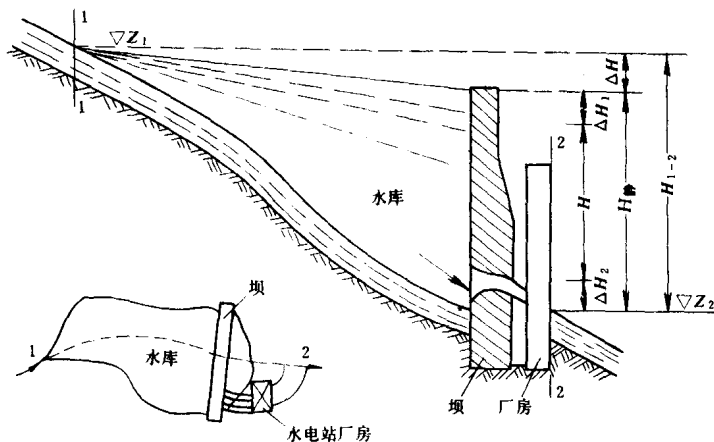


图 1-2 坝式开发平、剖面图

水轮发电机组是水电站的主要发电设备，其中水轮机是原动机，它将水能转换成旋转的机械能，并带动发电机发电。

图 1-5 是一座坝后式水电站，取水电站坝前 $A-A$ 断面和下游 $T-T$ 断面，根据伯努里方程求出两断面处单位重量水流能量差为

$$H_{A-T} = \left(Z_A + \frac{P_A}{\gamma} + \frac{\alpha_A v_A^2}{2g} \right) - \left(Z_T + \frac{P_T}{\gamma} + \frac{\alpha_T v_T^2}{2g} \right)$$

由于 A—A 和 T—T 断面处水流表面均系大气压；并且流速很小，则 $H_{A-T} = Z_A - Z_T$ 。

所以水电站水头近似等于电站上下游水位差，称 $H_{A-T} = Z_A - Z_T$ 为水电站毛水头，用符号 H_g 表示。

$$H_g = Z_{\text{上}} - Z_{\text{下}} (\text{m}) \quad (1-6)$$

H_g 又称水电站静水头。

真正作用在水轮机上的工作水头

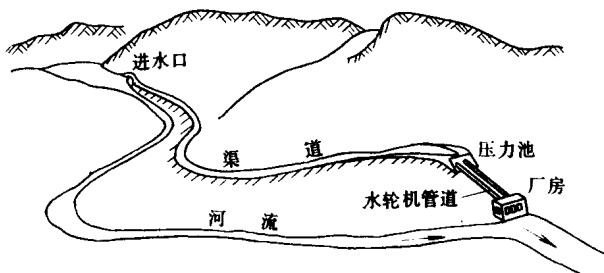


图 1-3 用渠道引水来集中水头

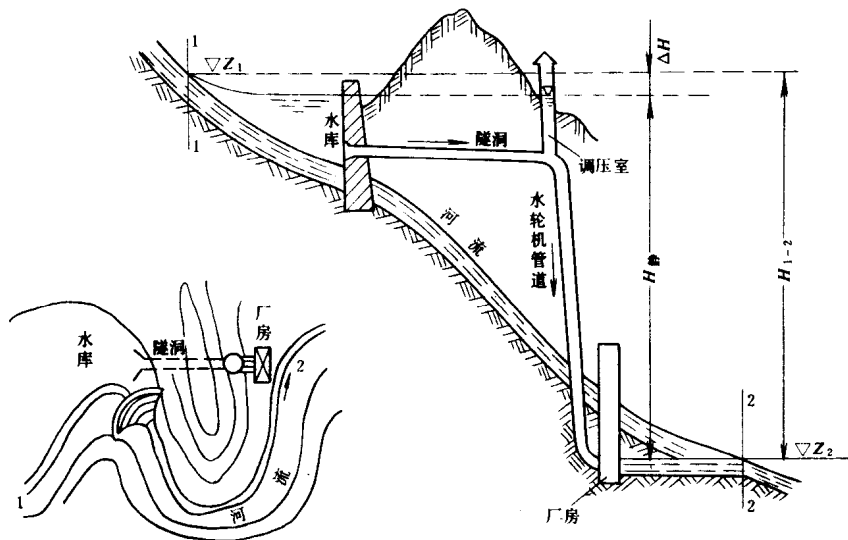


图 1-4 混合式开发平、剖面图

H 应从水电站毛水头 H_g 中减去水电站进水损失和尾水损失。

水电站可能发出的最大出力称水电站的装机容量，机组的最大出力则称单机容量，单机容量即是发电机的容量 P_g ，水电站的装机容量是各台机组容量的总和。水轮机的额定出力 P 应等于机组的单机容量 P_g 除以发电机的效率 η_g 。

机组的单机容量为

$$P_g = 9.81QH\eta_u = 9.81QH\eta_t\eta_g \quad (\text{kW}) \quad (1-7)$$

式中 Q ——通过水轮机的流量， m^3/s ；

H ——水轮机工作水头， m ；

η_u ——水轮发电机组的效率，它等于水轮机效率 η_t 与发电机效率 η_g 的乘积。在大型电站 η_u 可以达到 90%，中型电站 η_u 达到 80%~85%，在小型电站约为 65%~80%。

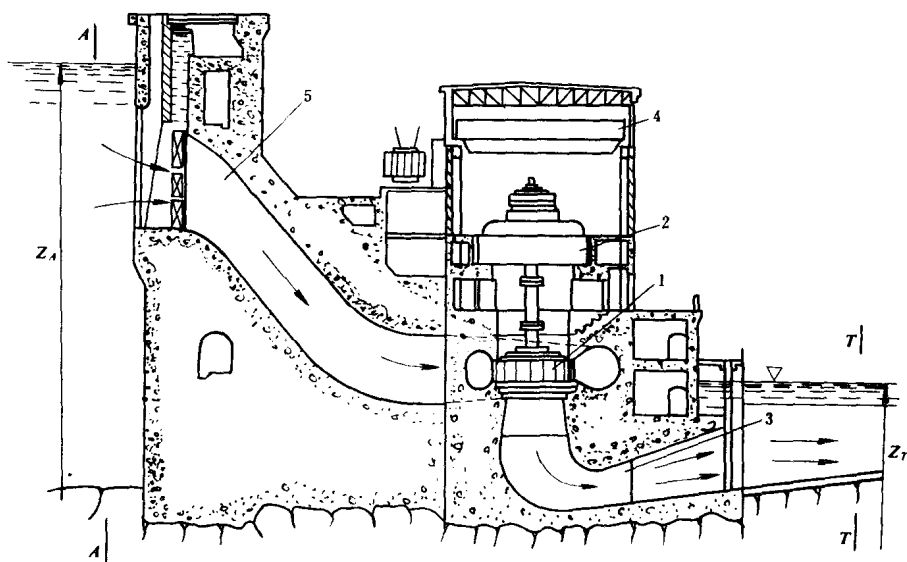


图 1-5 坝后式电站

1—水轮机；2—发电机；3—水轮机尾水管；4—吊车；5—引水钢管

第二节 水轮机的工作参数

水轮机将水流能量转换成旋转机械能的工作过程特性，通常用水轮机的工作参数及这些参数之间的关系来表示。水轮机的基本工作参数有水头 H 、流量 Q 、转速 n 、出力 P 和效率 η 。

一、工作水头 H

水轮机的工作水头是水轮机的进口和出口处单位重量水流的能量差值，单位为 m 。

水电站的水轮机装置原理如图 1-6 所示。

对反击式水轮机进口断面取在蜗壳进口处 I—I 断面，出口断面取在尾水管出口 II—II

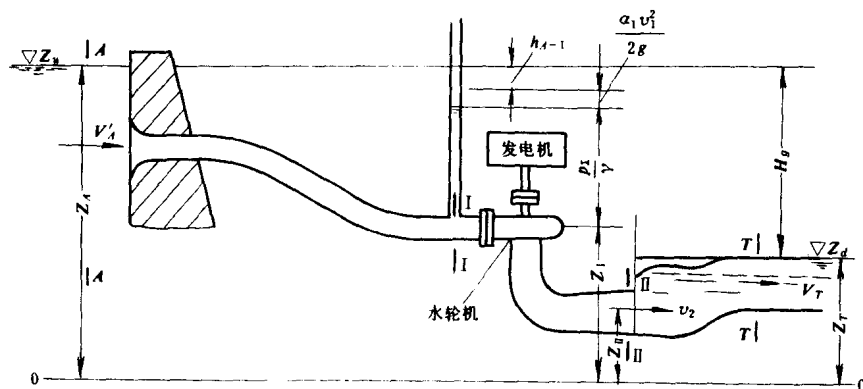


图 1-6 水电站和水轮机的水头

Ⅱ断面。则水轮机工作水头 H 为

$$H = \left(Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right) - \left(Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right) \quad (1-8)$$

H 又称净水头是水轮机做功的有效水头。

水轮机工作水头又可表示为

$$H = H_g - \Delta h_{A-1} \quad (1-9)$$

式中 H_g ——水电站毛水头；

Δh_{A-1} ——水电站引水建筑物中的水力损失。

从式 (1-9) 可知，水轮机的工作水头随着水电站的上下游水位的变化而改变，一般用几个特征水头表示水轮机工作水头的范围。特征水头包括最大水头 $H_{\max}$ 、最小水头 $H_{\min}$ 、加权平均水头 H_a 、设计水头 H_d 等，这些特征水头由水能计算给出。

对冲击式水轮机，以单喷嘴切击式为例（图 1-7），切击式水轮机工作水头定义为喷嘴进口断面与射流中心线跟转轮节圆相切处单位重量水流能量之差

$$H = \left(Z_1 + a + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right) - Z_2 \quad (1-10)$$

二、流量 Q

单位时间内通过水轮机的水流体积称为水轮机的流量，用符号 Q 表示，流量的单位是 m^3/s 。

三、转速 n

水轮机转轮单位时间内旋转的次数，称水轮机的转速，用符号 n 表示，转速的单位为 r/min 。

四、出力 P 与效率 η

水轮机出力指水轮机轴端输出的功率，用符号 P 表示，常用单位为 kW 。

通过水轮机的水流的出力即水轮机的输入功率。水流的出力 P_n 根据式 (1-3) 为

$$P = \gamma Q H = 9.81 Q H \quad (\text{kW}) \quad (1-11)$$

由于水流在通过水轮机进行能量转换的过程中，会产生一定的损耗，损耗包括容积损失、水力损失和机械损失，因此水轮机的出力小于水流的出力。水轮机的输入和输出功率之比称水轮机的效率，用符号 η 表示

$$\eta = \frac{P}{P_n} \quad (1-12)$$

$$P = P_n \eta = 9.81 Q H \eta \quad (\text{kW}) \quad (1-13)$$

目前大型水轮机的最高效率可达 $90\% \sim 95\%$ 。

水轮机将水能转换成水轮机轴端的出力，产生旋转力矩 M 用来克服发电机的阻抗力矩，并以角速度 ω 旋转。水轮机出力 P 、旋转力矩 M 和角速度 ω 之间有以下关系式

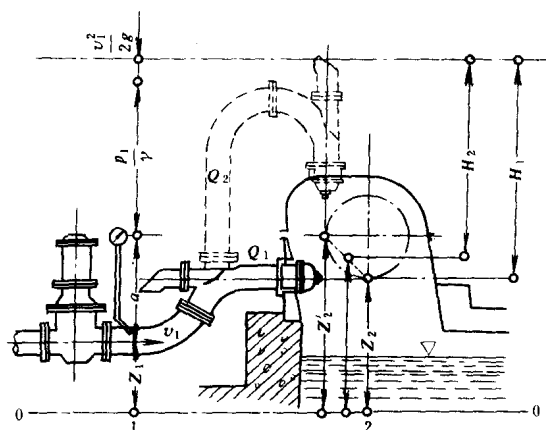


图 1-7 卧轴水斗式水轮机的工作水头

$$P = M\omega = M2\pi n/60 \quad (\text{W}) \quad (1-14)$$

式中 M ——水轮机轴上的旋转力矩, $\text{N} \cdot \text{m}$;

n ——水轮机转速, r/min 。

【例 1】 某河床式电站在设计工况下: 上游水位 $Z_{\text{上}}=63 \text{ m}$, 下游水位 $Z_{\text{下}}=44.4 \text{ m}$, 通过某台水轮机的流量是 $825 \text{ m}^3/\text{s}$, 发电机效率 $\eta_g=0.968$, 水轮机效率 $\eta_t=0.86$ 。如忽略引水建筑物中的水力损失, 试求水流出力、水轮机出力和机组出力。

解 因为 $\Delta h_{A-i}=0$

$$\text{则} \quad H = Z_{\text{上}} - Z_{\text{下}} = 63 - 44.4 = 18.6 \quad (\text{m})$$

由式 (1-11)

$$P_{\text{水}} = 9.81QH = 9.81 \times 825 \times 18.6 = 150500 \quad (\text{kW})$$

由式 (1-13)

$$P = P_{\text{水}}\eta_t = 150500 \times 0.86 = 129400 \quad (\text{kW})$$

而机组出力

$$P_g = P\eta_g$$

$$P_g = 129400 \times 0.968 = 125000 \quad (\text{kW})$$

【例 2】 做水轮机效率试验时, 在某一开度下测得下列数据, 蜗壳进口压力表读数 2.26 kg/cm^2 ($22.16 \times 10^3 \text{ Pa}$), 压力表中心高程 88.7 m , 压力表所在处钢管直径 $D=3.35 \text{ m}$, 电站下游水位为 84.9 m , 流量 $Q=33 \text{ m}^3/\text{s}$, 发电机功率 $P_g=7410 \text{ kW}$ 。取发电机效率 $\eta_g=0.966$, 试求机组效率和水轮机效率。

解 将水轮机出口断面取在下游断面, 则 $\frac{P_1}{\gamma} = \frac{P_a}{\gamma}$, $\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \approx 0$ 。则水轮机水头 H 为

$$\begin{aligned} H &= \left(Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right) - \left(Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} \right) \\ &= (Z_1 - Z_2) + \frac{P_1}{\gamma} - \frac{P_a}{\gamma} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \end{aligned}$$

$$\text{而} \quad Z_1 - Z_2 = 88.7 - 84.9 = 3.8 \text{ m}$$

$$\frac{P_1 - P_a}{\gamma} = 2.26 \times 10 = 22.6 \text{ m}$$

$$\text{取} \quad \alpha_1 = 1$$

$$\text{则} \quad \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = \frac{Q^2}{2g \left(\frac{\pi D^2}{4} \right)^2} = \frac{33^2}{2 \times 9.81 \left(\frac{\pi \times 3.35^2}{4} \right)^2} = 0.71 \text{ m}$$

$$H = 3.8 + 22.6 + 0.71 = 27.11 \text{ m}$$

$$\eta_u = \frac{P_g}{9.81QH} = \frac{7410}{9.81 \times 33 \times 27.11} = 0.845$$

$$\eta_t = \frac{\eta_u}{\eta_g} = \frac{0.845}{0.966} = 0.875$$

第三节 水轮机的类型和结构

水轮机是水力原动机, 水轮机的过流通道由引水部件、导水机构、转轮和泄水部件组

成。水轮机将水流的能量转换为轴的旋转机械能，能量的转换是借助转轮叶片与水流相互作用来实现的。根据转轮内水流运动的特征和转轮转换水流能量形式的不同，现代水轮机可以划分成反击式和冲击式两大类。

反击式水轮机利用了水流的势能和动能。水流充满整个水轮机的流道，整个流道是有压封闭系统，水流是有压流动，水流沿着转轮外圆整周进水，从转轮的进口至出口水流压力逐渐减小。根据水流在转轮内运动方向的特征及转轮构造的特点，反击式水轮机分为混流式、轴流式、斜流式和贯流式。另外根据转轮叶片能否转动，将轴流式、斜流式和贯流式又分别分为定桨式和转桨式。

冲击式水轮机仅利用了水流的动能。借助特殊的导水装置（如喷嘴），把高压水流变为高速的自由射流，通过射流与转轮的相互作用，将水流能量传递给转轮。转轮和导水装置都安装在下游水位以上，转轮在空气中旋转，水流沿转轮斗叶流动过程中，水流具有与大气接触的自由表面，水流压力一般等于大气压，从转轮进口到出口水流压力不发生变化，只是转轮出口流速减小了。转轮不是整周进水，因此过流量较小。根据转轮进水特征，冲击式又分为切击式、斜击式和双击式。

下面将各型水轮机及其代表符号列出。

反击式	{ 混流式 (HL)	
	{ 轴流式 (ZL)	轴流定桨式 (ZD)
		轴流转桨式 (ZZ)
	{ 斜流式 (XL)	斜流定桨式 (XD)
		斜流转桨式 (XZ)
冲击式	{ 贯流式 (GL)	贯流定桨式 (GD)
		贯流转桨式 (GZ)
	{ 切击式 (CJ)	
	{ 斜击式 (XJ)	
	{ 双击式 (SJ)	

同一类型的水轮机，由于使用水头和流量不同，转轮被设计成不同的几何形状。把转轮直径不同但是几何形状相似的水轮机归纳起来，组成一个系列，又称轮系。

根据转轮布置方式不同，水轮机的装置形式有立式和卧式，一般大中型机组都布置成立式。

一、各型水轮机的特点

1. 混流式水轮机

在混流式水轮机的轴面投影图中，水流由径向进入转轮，然后沿轴向流出，所以曾被称为辐轴流式水轮机。又由于它是美国人法兰西斯发明的，所以又称法兰西斯式。

混流式转轮由上冠、下环和叶片组成（图 1-8），混流式转轮叶片是固定不动的，取下环与叶片进口边的交点对应的直径为标称直径 D_1 。

混流式结构紧凑，运行可靠，效率高，能适应很宽的水头范围，是目前应用最广泛的水轮机之一（图 1-9）。

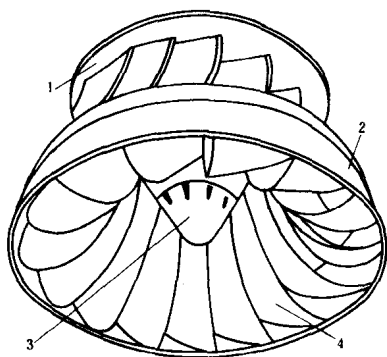


图 1-8 混流式水轮机的转轮
1—上冠；2—下环；3—泄水锥；4—轮叶

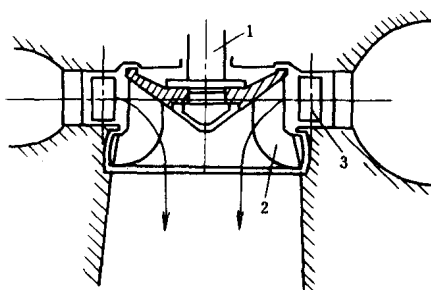


图 1-9 混流式水轮机
1—主轴；2—叶片；3—导叶

大型混流式水轮机一般应用于 50~700 m 水头范围，单机容量由几十千瓦到几十万千瓦。

2. 轴流式水轮机

在轴流式水轮机的轴面投影图中，水流在导叶与转轮之间的流动方向由径向转为轴向，经过转轮区域时水流是轴向流进又轴向流出（图 1-11）。

转轮由转轮体和叶片组成（图 1-10），叶片数少于混流式，叶片轴线与水轮机轴线垂直。在同样直径与水头时，它的过流能力比混流式大，气蚀性能较混流式差。取转轮叶片轴线与转轮室交点处的直径为标称直径 D_1 。

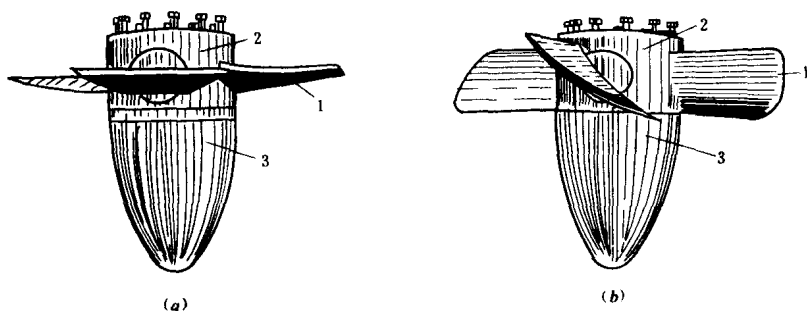


图 1-10 轴流式水轮机转轮
(a) 转轮轮叶处于非工作状态；(b) 转轮轮叶处工作状态
1—转轮轮叶；2—转轮轮毂；3—泄水锥

根据转轮叶片能否转动，轴流式又分定桨式和转桨式。定桨式叶片不能转动，但结构简单。当水头和出力变化时，效率变化较大，运行平均效率较低。所以定桨式适用于功率不大，水头变化不大的电站，目前适用水头为 3~50 m。

轴流转桨式水轮机的转轮体内有一套叶片转动机构，它的叶片相对于转轮体可以转动。在运行中根据不同的负荷和水头，叶片与导叶相互配合，形成一定的协联关系，实现导叶与叶片的双重调节，获得较高的水力效率和稳定的运行特性，扩大了高效率的运行范围。所以它适用于水头变化较大，特别是出力变化较大的电站。适用水头为 3~70 m，广泛用于低

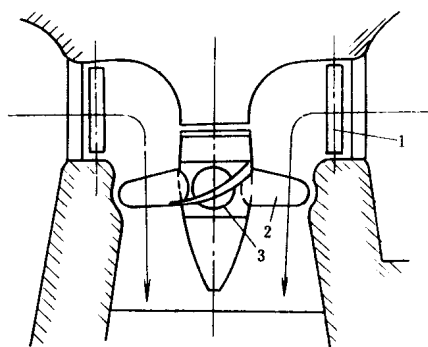


图 1-11 轴流式水轮机
1—导叶；2—叶片；3—轮毂

水头、大容量的电站。轴流转桨式是捷克人卡普兰在 1916 年提出的，所以又称卡普兰式。

3. 斜流式水轮机

在混流式与轴流式的基础上，20 世纪 50 年代产生了斜流式水轮机。

斜流式转轮叶片布置在与主轴同心的圆锥面上，叶片轴线与水轮机主轴中心线形成交角 θ ， θ 角随水头不同而异（图 1-12），一般水头在 40~80 m 时 $\theta=60^\circ$ ，水头在 60~130 m 时 $\theta=45^\circ$ ，水头在 120~200 m 时 $\theta=30^\circ$ 。因此在斜流式转轮上能比轴流式转轮布置更多的叶片，降低了叶片单位面积上所承受的压力，提高了使用水头。在斜流

式的转轮体内布置有叶片转动机构，也能随着外负荷的变化进行双重调节，因此它的平均效率比混流式高，高效区比混流式宽。由于在它的轴面投影图中水流是斜向流进转轮又斜向流出的，所以又称对角流转桨式水轮机（图 1-13）。取叶片轴线与转轮室交点处圆断面的直径为标称直径 D_1 。

斜流式水轮机适用于水头变幅大的电站，一般应用于 40~200 m 水头范围。目前由于它的制造工艺较复杂，技术要求较高，在一定程度上限制了它的推广和应用。

4. 贯流式水轮机

贯流式水轮机是开发低水头水力资源的一种新机型，这是一种流道呈直线状的卧轴水轮机，转轮形状与轴流式相似，也有定桨和转桨之分，由于水流在流道内基本上沿轴向运动不拐弯，提高了过流能力和水力效率。

由于贯流式水轮机外形像管子，又是卧轴，所以缩短了机组高度和间距，简化了厂房水工结构，减少了土建工程量。相对于同样水头和直径的立轴机组功率可增大 20%~35%，厂房造价可降低 10%~25%。把发电机装在灯泡状机室内称为灯泡贯流式（图 1-14）。把发电机置于厂房内，水轮机轴由尾水管内伸出与发电机相连的称轴伸式（图 1-15）。把发电机置于混凝土竖井内的称竖井式（图 1-16）。以上三种又称半贯流式。把发电机转子装在水轮机转轮外缘的称全贯流式（图 1-17），这种贯流式具有结构简单，轴向尺寸小等优点，但是由于转子外缘线速度大，密封十分困难，目前很少采用。取转轮叶片轴线与转轮室交点处的直径为标称直径 D_1 。

贯流式水轮机适用于 2~25 m 水头，广泛用于平原河流上的电站和潮汐电站。

5. 切击式水轮机

1889 年美国人培尔顿发明了采用双曲面水斗的切击式水轮

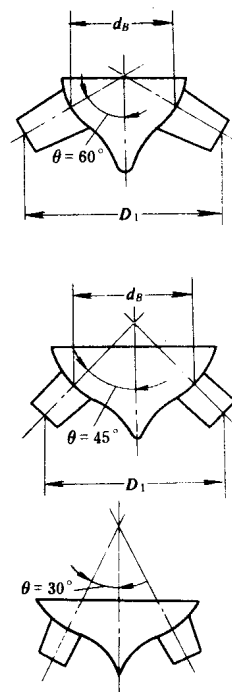


图 1-12 斜流式水轮机转轮