



普通高等教育“十五”国家级规划教材

主 编 匡会健

副主编 朱大钧 徐 晶

# 水 电 站

SHUIDIANZHAN



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十五”国家级规划教材

---

# 水 电 站

主 编 匡会健

副主编 朱大钧 徐 晶



中国水利水电出版社

[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

### 图书在版编目 (CIP) 数据

水电站/匡会健主编. —北京: 中国水利水电出版社,  
2005 (2009 重印)

普通高等教育“十五”国家级规划教材

ISBN 978-7-5084-2992-2

I. 水… II. 匡… III. 水力发电站—高等学校: 技术学  
校—教材 IV. TV7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 088035 号

书 名	普通高等教育“十五”国家级规划教材 水电站
作 者	主编 匡会健 副主编 朱大钧 徐晶
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: <a href="http://www.waterpub.com.cn">www.waterpub.com.cn</a> E-mail: <a href="mailto:sales@waterpub.com.cn">sales@waterpub.com.cn</a> 电话: (010) 63202266 (总机)、68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 19.25 印张 457 千字
版 次	2005 年 8 月第 1 版 2009 年 1 月第 2 次印刷
印 数	3001—6000 册
定 价	34.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

## 内 容 提 要

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材，是为高等职业技术学院水利类专业编写的教材。它全面系统地对各类型水轮机及其调速设备、水电站各类型的进水口、引水建筑物、压力管道、调压室和水电站厂房等发电建筑物的结构、选型、计算和设计方法作了较详细的论述；对水轮机的相似理论、特性和汽蚀，水电站有压引水系统水力过渡过程的水锤、调压室水位波动进行了理论分析和推导。书中对一些理论问题以工程实例作为例题进行了分析计算。

本书可作为高等职业技术学院有关专业的教材，也可作为水利水电中等专业学校师生和工程设计、施工及管理人員的参考书。



普通高等教育“十五”国家级规划教材  
编辑委员会

主任委员 王志锋

副主任委员 陈自强 王国仪

委员 (按姓氏笔画排序)

王 锋 王庆河 刘宪亮 匡会健

孙敬华 孙晶辉 张俊峰 张朝晖

张耀先 陈良堤 欧阳菊根

茜平一 黄世钧

# 出版说明

为加强高职高专教育的教材建设工作,2000年教育部高等教育司颁发了《关于加强高职高专教育教材建设的若干意见》(教高司[2000]19号),提出了“力争经过5年的努力,编写、出版500本左右高职高专教育规划教材”的目标,并将高职高专教育规划教材的建设工作分为两步实施:先用2至3年时间,在继承原有教材建设成果的基础上,充分汲取近年来高职高专院校在探索培养高等技术应用性专门人才和教材建设方面取得的成功经验,解决好高职高专教育教材的有无问题;然后,再用2至3年的时间,在实施《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,推出一批特色鲜明的高质量的高职高专教育教材。根据这一精神,有关院校和出版社从2000年秋季开始,积极组织编写和出版了一批“教育部高职高专规划教材”。这些高职高专规划教材是依据1999年教育部组织制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》(草案)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(草案)编写的,随着这些教材的陆续出版,基本上解决了高职高专教材的有无问题,完成了教育部高职高专规划教材建设工作的第一步。

2002年教育部确定了普通高等教育“十五”国家级教材规划选题,将高职高专教育规划教材纳入其中。“十五”国家级规划教材的建设将以“实施精品战略,抓好重点规划”为指导方针,重点抓好公共基础课、专业基础课和专业主干课教材的建设,特别要注意选择一部分原来基础较好的优秀教材进行修订使其逐步形成精品教材;同时还要扩大教材品种,实现教材系列配套,并处理好教材的统一性与多样化、基本教材与辅助教材、文字教材与软件教材的关系,在此基础上形成特色鲜明、一纲多本、优化配套的高职高专教育教材体系。

普通高等教育“十五”国家级规划教材(高职高专教育)适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

教育部高等教育司

2002年11月

# 前 言

本教材系普通高等教育“十五”国家级规划教材，原定名为《水电站建筑物》，但考虑到水利高职高专有关专业没有必要专设《水力机械》课程，经与有关各方协商后，决定将《水力机械》与《水电站建筑物》两门课程合并成一门课程——《水电站》。《水电站》教材根据高职高专特点和实际应用要求，以通俗易懂为原则，着重介绍基本理论和原理，其中的计算方法和知识深度，主要参照现行技术规范而定，并以现实工程为例，提供较完整相应的工程算例。

本教材主编为广东水利电力职业技术学院匡会健副教授，副主编为浙江水利水电专科学校朱大钧副教授和广东水利电力职业技术学院徐晶副教授、高级工程师，主审为浙江水利水电专科学校邹冰副教授。参加本教材编写的有广东水利电力职业技术学院的匡会健副教授（第一章）；徐晶副教授、高级工程师（第十一～十三章）；宋东辉副教授（第八～九章）；黑龙江大学于奎讲师（第二章）；黄河水利职业技术学院陶永霞讲师（第三～四章、第十四章）；浙江水利水电专科学校吴宏平讲师（第五～七、第十章）。

本教材在编写过程中参考和引用了国内的一些教材和文献资料，这里未一一列出，在此对有关作者和单位表示感谢。

由于作者水平有限，教材中难免会有错误和不足之处，恳请读者批评指正。

作者

2005年5月

# 目 录

出版说明	1
前言	1
<b>第一章 概论</b>	<b>1</b>
第一节 水能资源概况	1
第二节 水电站的类型及组成建筑物	2
<b>第二章 水轮机</b>	<b>6</b>
第一节 水轮机的类型和构造	6
第二节 水轮机的工作原理	19
第三节 反击式水轮机的进出水设备	23
第四节 水轮机的汽蚀、吸出高度和安装高程	32
第五节 水轮机的相似理论与特性曲线	39
第六节 水轮机的选型	51
第七节 水轮机的调速设备	67
<b>第三章 进水建筑物</b>	<b>71</b>
第一节 进水口的功用及设计要求	71
第二节 无压进水口	73
第三节 有压进水口	77
<b>第四章 无压引水建筑物</b>	<b>85</b>
第一节 引水渠道	85
第二节 前池	88
第三节 无压引水隧洞	94
<b>第五章 压力管道</b>	<b>97</b>
第一节 压力管道概述	97
第二节 压力钢管的材料、构造及附件	103
第三节 明钢管的敷设方式与支承结构	108
第四节 明钢管的结构计算	111
第五节 钢筋混凝土管	134
<b>第六章 埋管</b>	<b>140</b>
第一节 概述	140
第二节 地下埋管结构分析	143
第三节 坝内埋管结构分析	150



<b>第七章 岔管</b> .....	156
第一节 概述 .....	156
第二节 贴边岔管 .....	160
第三节 月牙肋岔管 .....	164
第四节 三梁岔管、球形岔管 .....	170
<b>第八章 有压引水系统非恒定流的水力现象</b> .....	174
第一节 有压引水系统水力过渡过程 .....	174
第二节 基本方程 .....	178
<b>第九章 水锤及调节保证计算的解析法</b> .....	182
第一节 直接水锤与间接水锤 .....	182
第二节 简单管的水锤计算 .....	183
第三节 复杂管的水锤计算 .....	188
第四节 水锤压力沿管长的分布 .....	190
第五节 机组转速变化计算 .....	191
第六节 减小水锤压力的措施 .....	192
<b>第十章 调压室</b> .....	194
第一节 概述 .....	194
第二节 调压室水位波动计算 .....	199
第三节 调压室水位波动的稳定分析 .....	206
<b>第十一章 水电站厂房的组成与厂区</b> .....	211
第一节 厂房的任务与组成 .....	211
第二节 厂房的类型 .....	213
第三节 厂区的布置 .....	215
<b>第十二章 水电站厂房的布置设计</b> .....	219
第一节 厂房布置设计所需的基本资料和厂房结构轮廓 .....	219
第二节 立式机组地面厂房的横剖面布置 .....	224
第三节 立式机组地面厂房的平面布置 .....	231
第四节 副厂房的布置 .....	235
第五节 厂房的通风、采暖和采光 .....	236
第六节 卧式机组厂房的布置 .....	240
第七节 灯泡贯流式水电站厂房布置设计 .....	246
<b>第十三章 水电站厂房的结构设计</b> .....	251
第一节 厂房结构的组成和荷载传力途径 .....	251
第二节 厂房混凝土浇筑的分期和分块 .....	253
第三节 厂房的分缝和止水构造 .....	255
第四节 厂房上部结构与结构计算 .....	256
第五节 发电机机墩 .....	262
第六节 蜗壳 .....	266

第七节 尾水管 .....	269
<b>第十四章 地下厂房</b> .....	<b>275</b>
第一节 概述 .....	275
第二节 地下厂房的总体布置 .....	277
第三节 地下厂房通风、采光和对外交通 .....	285
第四节 围岩结构 .....	291

# 第一章 概 论

## 第一节 水能资源概况

水能是自然物质循环过程中可利用和可再生的重要能源。据统计,全世界可开发的水电容量约为 22 亿 kW,平均开发程度已达到 25% 以上。我国幅员辽阔,江河纵横,是世界上水能资源最丰富的国家。根据 1980 年全国水资源普查(不含台湾省),我国河流水能理论蕴藏量达 6.76 亿 kW,其中技术上可开发量为 3.78 亿 kW。

我国各水系水能资源蕴藏量见表 1-1。

表 1-1 我国各水系水能资源蕴藏量表

流 域	理 论 出 力 (万 kW)	年 发 电 量 (亿 kW·h)	占 全 国 (%)
全 国	67604.71	59221.8	100.0
长 江	26801.77	23478.4	39.6
黄 河	4054.80	3552.0	6.0
珠 江	3348.37	2933.2	5.0
海滦河	294.40	257.9	0.4
淮 河	144.96	127.0	0.2
东北诸河	1530.60	1340.8	2.3
东南沿海诸河	2066.78	1810.5	3.1
西南国际诸河	9690.15	8488.6	14.3
雅鲁藏布江及西藏其他河流	15974.33	13993.5	23.6
北方内陆及新疆诸河	3698.55	3239.9	5.5

我国的水能资源虽然极其丰富,但特殊的地形条件使其分布很不均匀,大部分集中在西南地区,其次在中南地区,东部沿海地区的水能资源较少。全国分区可开发水能资源见表 1-2。

中华人民共和国成立 50 多年来,随着国民经济的发展,我国水电建设事业取得了显著成就,特别是改革开放以来,小浪底、二滩、三峡等一批世界级水电站的建设,标志着我国已进入了世界水电建设的前列。目前,我国是世界上在建水电工程规模最大的国家,也是水电发展速度最快的国家。

表 1-2

全国分区技术可开发水能资源表

流域	装机容量 (万 kW)	年发电量 (亿 kW·h)	占全国 (%)
全国	37853.24	19233.04	100.0
长江	19724.33	10274.98	53.4
黄河	2800.39	1169.91	6.1
珠江	2485.02	1124.78	5.8
海滦河	213.48	51.68	0.3
淮河	66.01	18.94	0.1
东北诸河	1370.75	439.42	2.3
东南沿海诸河	1389.68	547.41	2.9
西南国际诸河	3768.41	2098.68	10.9
雅鲁藏布江及西藏其他河流	5038.23	2968.58	15.4
北方内陆及新疆诸河	996.94	538.66	2.8

1991年,我国水电开发程度(占技术可开发装机容量的比重)不足10%,到2002年底,全国常规水电开发装机容量已达7885万kW,占技术开发装机容量的20%左右,包括在建项目在内,全国水电开发程度为32%左右,根据初步规划,到2020年,全国水电开发程度将达到68%。

## 第二节 水电站的类型及组成建筑物

水流的能量取决于河流中的流量和河段落差。集中河流某一河段的自然落差,就形成了水电站的水头。在开发河流的水能资源时,按集中落差形成水头的不同方式,将水电站分为坝式、引水式和混合式三种。

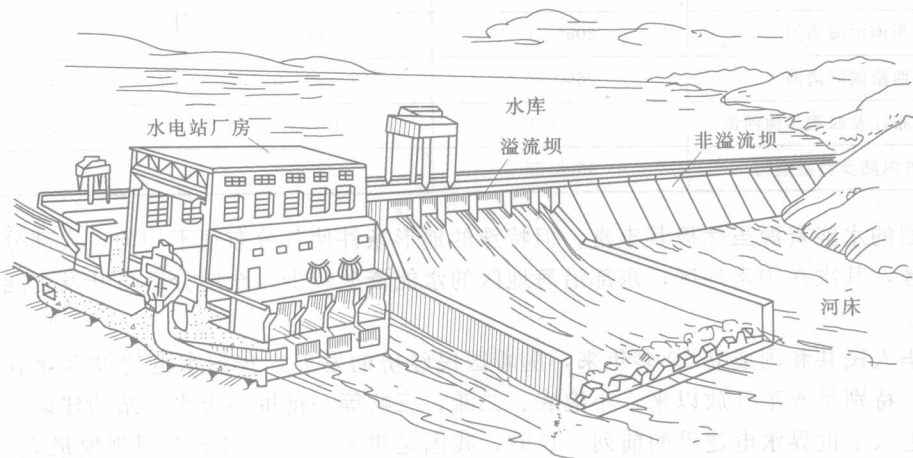


图 1-1 河床式水电站

### 一、坝式水电站

主要依靠拦河筑坝集中落差形成水头的水电站，称为坝式水电站。坝式水电站主要有河床式（见图 1-1）和坝后式（见图 1-2）两种。

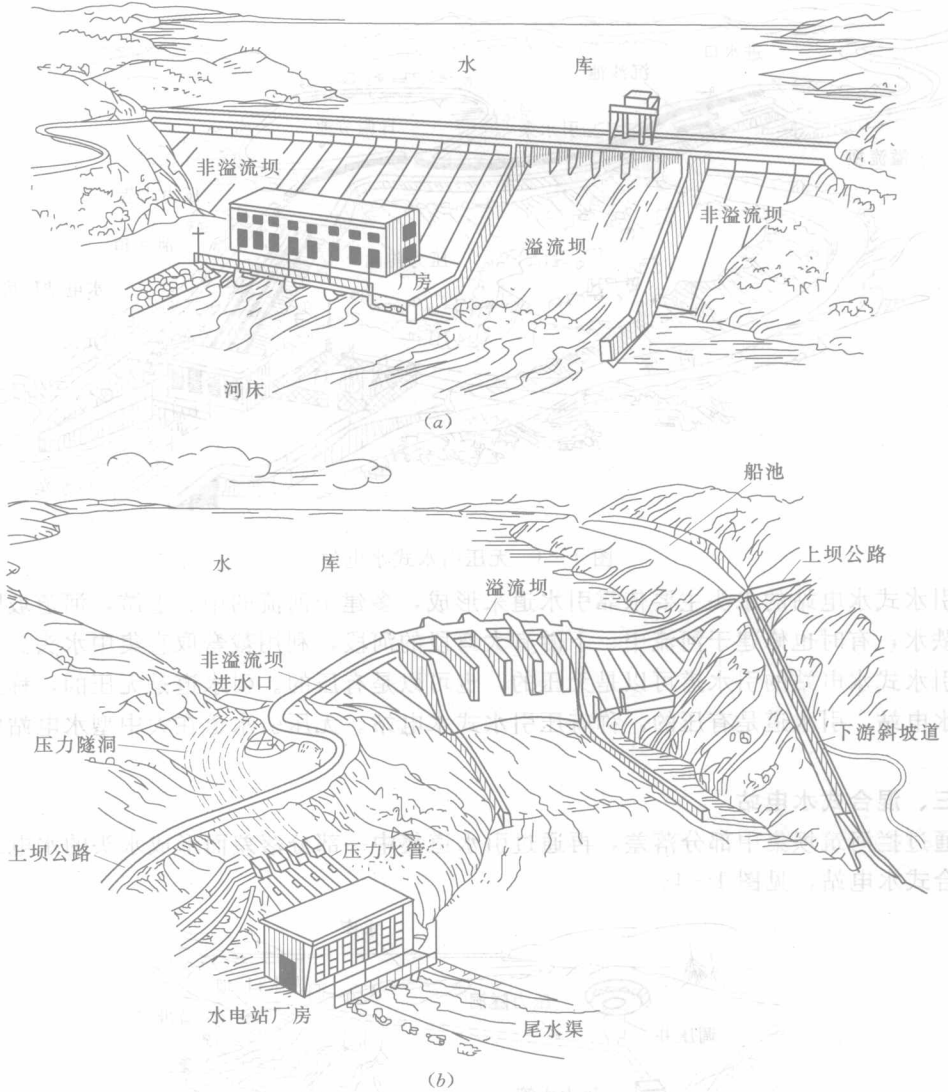


图 1-2 坝后式水电站

(a) 坝后式厂房；(b) 河岸式厂房

当水头不大时，水电站厂房本身能承受上游水压力，成为挡水建筑物上的一个组成部分，这种坝式水电站称为河床式水电站。河床式水电站多建于河流的中、下游，水头较小。

当水头较大时，水电站厂房难以承担上游水压力，一般布置在挡水坝下游，不起挡水作用，这种坝式水电站称为坝后式水电站。坝后式水电站多建于河流的中、上游，并具有一定的水库库容，能对水量进行重新分配。

### 二、引水式水电站

引水式水电站是在河段上游筑坝引水，经引水道引水至河段下游来集中落差形成水头的水电站，见图 1-3。

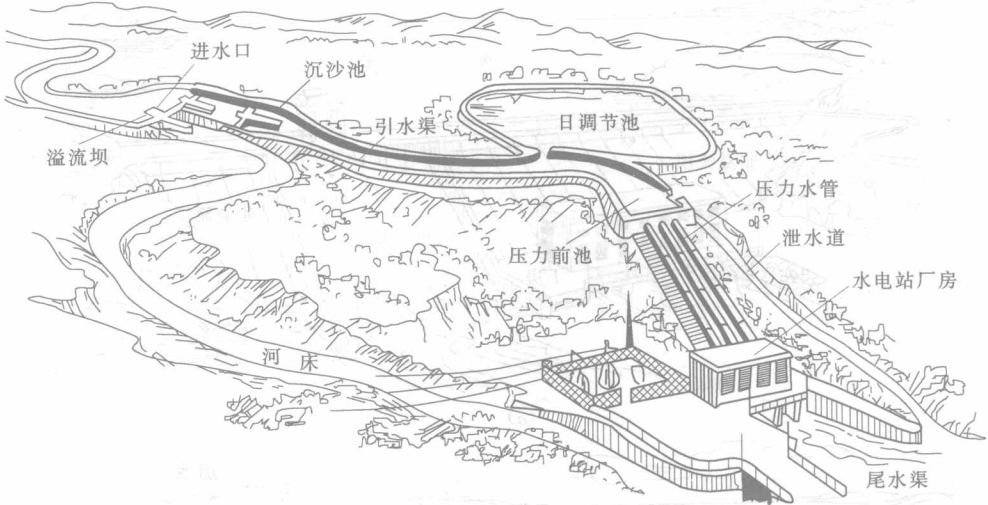


图 1-3 无压引水式水电站

引水式水电站的水头主要依靠引水道来形成，多建于河流的中、上游，河道坡陡流急或有跌水，有时也修建于河流中、下游有大弯段的河段，利用裁弯取直集中水头。

引水式水电站的引水道可以是无压的，也可以是有压的。引水道是无压的，称无压引水式水电站，引水道是有压的，称有压引水式水电站。无压引水道在大中型水电站中较少应用。

### 三、混合式水电站

通过拦河筑坝集中部分落差，再通过引水道集中一部分落差而形成水头的水电站，称为混合式水电站，见图 1-4。

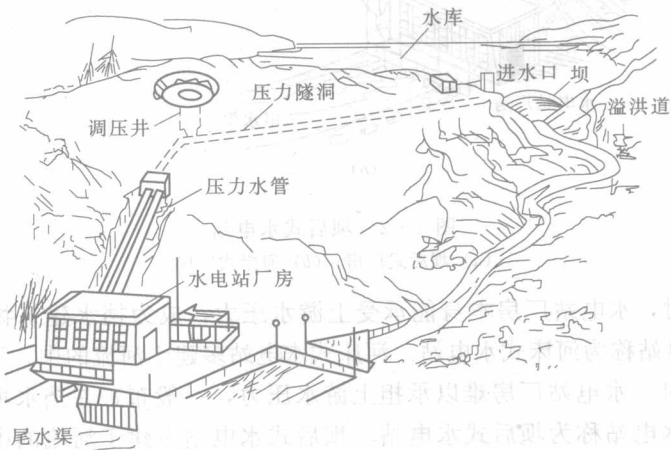


图 1-4 混合式水电站

当上游河段有良好筑坝建库条件，下游河段坡降较大时，适于建混合式水电站。另外，抽水蓄能电站和潮汐电站也是水电站的重要型式。

#### 四、水电站的组成建筑物

水电站的组成建筑物一般包括两大类。

##### (一) 枢纽建筑物

###### 1. 挡水建筑物

用以抬高水位，集中落差，形成水库的建筑物，如土石坝、混凝土坝等。

###### 2. 泄水冲砂建筑物

用以宣泄洪水或放空水库、排泄泥沙的建筑物，如溢流坝、溢洪道、泄水冲砂孔等。

###### 3. 过坝建筑物

提供船只、鱼类等过坝的建筑物，如船闸、鱼道等。

##### (二) 发电建筑物

###### 1. 进水、输水建筑物

从河道或水库将发电用水引进引水道的建筑物为进水建筑物，如有压进水口、无压进水口等。

将发电用水由进水建筑物输送给水轮发电机组的建筑物为输水建筑物，如明渠、隧洞、压力管道等。

###### 2. 平压建筑物

水电站负荷变化时用以平稳引水建筑物中流量和压力的变化以保证水电站运行稳定的建筑物为平压建筑物，如调压室、压力前池等。

###### 3. 厂房枢纽建筑物

厂房枢纽建筑物主要是指主厂房、副厂房、变压器场、高压开关站等建筑物。

本教材主要介绍水轮机及各种发电建筑物，枢纽建筑物在《水工建筑物》课程中介绍。

## 第二章 水 轮 机

### 第一节 水轮机的类型和构造

#### 一、水轮机的工作参数

水轮机在不同工作状况（以下简称工况）下的性能，通常是用水轮机的工作水头、流量、出力、效率、工作力矩及转速等参数以及参数之间的相互关系来表示。现将这些参数的意义分述如下：

##### （一）工作水头

水轮机的工作水头  $H$  是指水轮机进口断面和尾水管出口断面处单位重量水流能量之差。

水轮机的工作水头计算公式为

$$H = H_m - h_w \quad (2-1)$$

即水轮机的工作水头等于水电站毛水头扣除压力引水系统水头损失 ( $h_w$ ) 的净水头，也就是水轮机利用的有效水头。

水轮机的工作水头随着水电站上、下游水位的变化而变化。为此，一般采用几个特征水头来表述水轮机工作水头的变化特点。特征水头包括最大水头  $H_{\max}$ 、最小水头  $H_{\min}$ 、加权平均水头  $H_a$  和设计水头  $H_p$ 。

##### （二）流量

水轮机的流量是水流在单位时间内通过水轮机的水量，通常用  $Q$  表示，其单位为  $\text{m}^3/\text{s}$ 。水轮机的引用流量随水轮机的工作水头和出力的变化而变化。在设计水头下水轮机以额定出力工作时其过水流量最大。

##### （三）出力和效率

水头为  $H$ ，流量为  $Q$  的水流，通过水轮机时，水流出力为

$$N_s = \gamma QH = 9.81QH \quad (\text{kW}) \quad (2-2)$$

水轮机的输出功率，也称为水轮机的出力，用  $N$  表示。由于水流通过水轮机进行能量转换时，产生了水力损失、水量损失和机械损失，因而水轮机的出力  $N$  要小于它的输入功率  $N_s$ 。水轮机出力与其输入功率的比值称为水轮机的效率，用  $\eta$  表示

$$\eta = \frac{N}{N_s} \quad (2-3)$$

现代大型水轮机的最高效率可达  $90\% \sim 95\%$ 。

##### （四）工作力矩与转速

水轮机出力亦可用转动机械运动的功率计算公式来表示



$$N = M\omega = M \frac{2\pi n}{60} \quad (2-4)$$

式中  $M$ ——水轮机主轴上的工作力矩,  $N \cdot m$ ;

$\omega$ ——水轮机旋转角速度,  $rad/s$ ;

$n$ ——水轮机的转速,  $r/min$ 。

对大中型水轮发电机组,水轮机和发电机都是用法兰接头直接刚性连接的,所以水轮机的转速和发电机的转速相同,并符合标准同步转速,即应满足下列关系式

$$np = 60f, \quad n = \frac{3000}{p} \quad (r/min) \quad (2-5)$$

式中  $f$ ——电流频率,我国规定为  $50Hz$ ;

$p$ ——发电机的磁极对数。

正常情况下,机组的转速应保持为相应的同步转速,此转速称为水轮机或机组的额定转速。

## 二、水轮机的主要类型

水轮机是将水能转变为旋转机械能的动力设备。根据能量转换特征的不同可分为两大类:

- (1) 反击式水轮机是将水流的压能、位能和动能直接转变为旋转机械能的水轮机。
- (2) 冲击式水轮机是将水流的能量转换为高速水流的动能,再将水流动能转换为旋转机械能的水轮机,它不能直接转化利用水流的压能和位能。

### (一) 反击式水轮机

反击式水轮机的转轮由若干个具有空间扭曲面的刚性叶片和轮毂等组成。当压力水流通过转轮时,由于叶片的作用,迫使水流改变其流动的方向和流速的大小,因而水流便以其势能和动能给叶片以反作用力,并形成旋转载矩使转轮转动。

反击式水轮机按转轮区水流相对于主轴的方向不同可分为混流式、轴流式、斜流式和贯流式等不同类型的水轮机。

#### 1. 混流式水轮机

水流以辐向从四周进入转轮,而以轴向流出转轮的水轮机称为混流式水轮机,如图 2-1(b) 所示。这种水轮机的适用水头范围为  $30 \sim 700m$ 。由于其适用水头范围广,且结构简单、运行稳定、效率高,是目前应用最广泛的一种水轮机。

#### 2. 轴流式水轮机

水轮机的水流在进入转轮时,流向与主轴中心线平行,水流经过转轮后又沿轴向流出,所以称为轴流式水轮机,如图 2-1(a) 所示。

轴流式水轮机又可分为定桨式和转桨式两种。轴流定桨式水轮机结构简单,运行时其叶片是固定不动的。当水头和流量变化时,水轮机效率相差较大,所以多应用在负荷变化不大、水头和流量比较固定的小型水电站上,其适用水头范围为  $3 \sim 50m$ 。轴流转桨式水轮机在运行时转轮的叶片是可以转动的,并和导叶的转动保持一定的协联关系,以适应水头和流量的变化,使水轮机在不同工况下都能保持有较高的效率,因此轴流转桨式水轮机多应用在大中型水电站上,其适用水头范围为  $3 \sim 80m$ 。