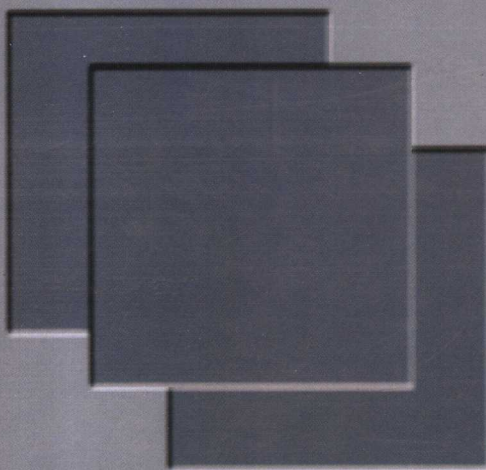




全国高职高专水利水电类精品规划教材

水轮机及辅助设备

梁建和 童文勇 陈炳森 李晓玲 郭红梅 合编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

全国高职高专水利水电类精品规划教材

水轮机及辅助设备

梁建和 童文勇 陈炳森 李晓玲 郭红梅 合编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是全国高职高专水利水电类规划教材,全书共分10章,包括:水轮机构造,水轮机特性曲线,水轮机选型,模拟调速器,数字式调速器,水电厂油水气系统等,将“水轮机”、“水轮机调节”、“水电站辅助设备”三部分内容有机地整合在一起。水轮机部分除传统的内容外,突出了使用维护中常遇到的结构原理;水轮机调节部分并行介绍模拟式、数字式调速器,并用典型实例全面介绍了日益得到广泛应用的微机调速器的基本原理、选型、构造和使用维护;简明扼要地介绍了辅助设备和水轮机的CAD。

本书主要用作高职高专三年制电类非水动专业和两年制电类水动专业的教材,也可以用作中专相关专业的教材或供从事水电工作的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水轮机及辅助设备/梁建和等编. —北京:中国水利水电出版社,2005(2007重印)

全国高职高专水利水电类精品规划教材

ISBN 978-7-5084-2634-1

I. 水… II. 梁… III. ①水轮机—高等学校:技术学校—教材②水轮机—附属装置—高等学校:技术学校—教材
IV. TK73

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第141612号

书 名	全国高职高专水利水电类精品规划教材 水轮机及辅助设备
作 者	梁建和 童文勇 陈炳森 李晓玲 郭红梅 合编
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: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266(总机)、68331835(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	787mm×960mm 16开本 19.25印张 376千字
版 次	2005年3月第1版 2007年2月第2次印刷
印 数	4001—7100册
定 价	29.00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

前

言

本书是根据 2003 年 12 月在厦门召开的“全国高职高专电类规划教材编写会议”精神组织编写的，主要用作高职高专三年制电类非水动专业和两年制电类水动专业的教材。

近年来我国高等职业教育迅猛发展，五年内招生人数增长了 4.6 倍，其人数占全国高等教育的 52.3%，已占据半壁江山，这就对教材提出了快、适、好的要求。正是在这种形势下，催生了去年的厦门会议。

在编写本书过程中，一方面以现有高职电类专业对水电站机电设备知识的需要为依据；另一方面考虑到高等职业教育在课程体系和教学内容等方面改革的需要，尤其是学制三年改两年的需要，以及科学技术发展的需要。将以往“水轮机”、“水轮机调节”、“水电站辅助设备”三门课程的内容有机地整合在一起，突出高职教育重在应用的特点，力求简明通俗，避免冗长的概念叙述和繁琐抽象的公式推导。在总体内容处理上，以点带面，详写典型、简述其他；不求面面俱到，避免一合就繁，一简就处处点到处处不精、难以自学的弊病。水轮机部分除传统的内容外，突出了使用维护中常遇到的结构原理；水轮机调节部分并行介绍模拟式、数字式调速器，并用典型实例全面介绍了日益得到广泛应用的微机调速器的基本原理、选型、构造和使用维护；简明扼要地介绍了辅助设备和水轮机的 CAD。

参加本书编写的人员为：广西水利电力职业技术学院梁建和编写绪论和第 1、第 10 章，福建水利电力职业技术学院童文勇编写第 2、第 3 章，四川水利职业技术学院李晓玲编写第 4、第 8 章，广西水利电力职业技术学院陈炳森编写第 5、第 7 章和第 6 章的第 5~7 节，福建水利电力职业技术学院郭红梅编写第 6 章的第 1~4 节和第 9 章。本书由梁建和副教授担

任主编，负责全书统稿。

本书由福建水利电力职业技术学院伍哲身副教授担任主审，并改写、补充了部分内容。

本书在编写过程中，得到了广西水利电力职业技术学院的李吉川、周涛、吴罗盛、陈韶光和福建水利电力职业技术学院的张云根、张支臻、刘华斌几位老师的帮助，南宁发电设备总厂、南平电机厂和克瓦纳杭州电气设备有限公司（克瓦纳杭发）的有关技术人员对本书提出了宝贵的意见和建议，在此一并致以衷心的感谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中不妥或错误之处难免，恳请读者不吝指正。

编 者

2004 年 11 月

目 录

前言

绪论	1
----------	---

0.1 水电站的动力设备	1
--------------------	---

0.2 我国水电建设的发展	2
---------------------	---

第1章 水轮机概论	5
-----------------	---

1.1 水轮机的基本参数	5
--------------------	---

1.2 水轮机的类型及应用	8
---------------------	---

1.3 水轮机的型号及装置方式	13
-----------------------	----

复习思考题与习题	17
----------------	----

第2章 水轮机构造	18
-----------------	----

2.1 水轮机转轮	18
-----------------	----

2.2 水轮机导水机构	22
-------------------	----

2.3 引水部件及泄水部件	30
---------------------	----

2.4 水轮机其他部件	35
-------------------	----

2.5 贯流式水轮机概述	43
--------------------	----

2.6 水斗式水轮机基本构造	46
----------------------	----

2.7 水轮机典型结构	50
-------------------	----

复习思考题与习题	56
----------------	----

第3章 水轮机的工作原理	57
--------------------	----

3.1 水轮机内的水流运动	57
---------------------	----

3.2 水轮机的运行工况	64
--------------------	----

3.3 水轮机的空化	68
------------------	----

3.4 水轮机的磨损和振动	78
---------------------	----

复习思考题与习题	82
----------------	----

第4章 水轮机的相似理论和特性曲线	83
-------------------------	----

4.1 水轮机相似律和单位参数	83
-----------------------	----

4.2	水轮机相似计算	89
4.3	水轮机特性曲线	93
4.4	水轮机的飞逸转速和轴向力	101
	复习思考题与习题	107
第 5 章	水轮机选型	108
5.1	水轮机系列型谱	109
5.2	反击式水轮机的选择	110
5.3	水轮机运转综合特性曲线绘制	120
5.4	蜗壳与尾水管轮廓尺寸的计算	123
5.5	冲击式水轮机的选择	132
	复习思考题与习题	135
第 6 章	模拟式水轮机调速器	137
6.1	水轮机调速器概述	137
6.2	机械液压调速器的自动调节机构	142
6.3	机械液压调速器的控制机构	153
6.4	油压装置	157
6.5	电液调速器的电气调节器	161
6.6	电液调速器的电液随动系统	170
6.7	新型电液调速器实例	175
	复习思考题与习题	182
第 7 章	数字式微机调速器	184
7.1	微机调速器的系统结构与组成	185
7.2	微机调速器的组成和工作原理	190
7.3	新型电液随动系统	201
7.4	水轮机调节系统的特性	205
7.5	微机调速器实例	208
7.6	调速器的选择	215
	复习思考题与习题	219
第 8 章	水电站油气系统及进水阀	220
8.1	水电站油系统	220
8.2	水电站气系统	231

8.3 水轮机进水阀	245
复习思考题与习题	257
第9章 水电站水系统	258
9.1 技术供水系统	258
9.2 消防供水系统	268
9.3 排水系统	272
复习思考题与习题	277
第10章 水轮机及其辅助设备 CAD 简介	278
10.1 概述	278
10.2 水轮机选型 CAD 简介	281
复习思考题与习题	284
附录1 反击式水轮机型谱参数	285
附图1 反击式水轮机转轮综合特性曲线	288
附图2 水轮机调速器系统图	296

绪 论

电力是国民经济的基础。水电即利用水能发电，是一种调节方便、成本低、效率高、运行管理简单，环境污染小的电力生产方式。我国是世界上水力资源最丰富的国家，全国理论蕴藏量为 6.760471 亿 kW，年发电量为 59211.8 亿 kW·h，可开发的装机容量为 3.785324 亿 kW，年发电量为 19233.04 亿 kW·h。据统计，世界上可开发的水电装机容量为 22.6 亿 kW，我国可开发水电装机容量已占世界可开发水电装机容量的 16.75%。从 1912 年中国第一座水电站—石龙坝水电站（装机 2×240 kW）在云南滇池出口的螳螂川建成开始，到 2004 年 9 月 26 日，随着黄河公伯峡水电站第一台机组发电投产，我国水电装机容量已突破 1 亿 kW（末含台湾省），水电总装机容量一举超过美国，跃居世界第一；水电发电量位于世界第四，仅次于加拿大、美国和巴西。

0.1 水电站的动力设备

水电站是利用水能生产电能的工厂，它先利用水轮机把水流的能量转换为旋转的机械能，再利用发电机把旋转的机械能转换为电能，最后通过电网把电能送给用户。

1. 能量生产过程

为实现水能到电能的转换，需要借助水工建筑物和动力设备来完成。水电站的水工建筑物包括拦河坝、厂房、引水管道、排水管道等。首先利用拦河坝形成水库，以获得集中的水能，并利用厂房来布置和安装能量转换及输送设备；其次是通过引水和排水管道、进水阀及有关流量调节机构调节水能，控制能量转换；接着利用水轮机把具有一定落差和流量的水能转换为旋转的机械能，进而带动发电机把机械能转换为电能，最后经过变压器和输电线路送给电力系统或电能用户。



2. 水电站的动力设备

水电站里承担电能生产的设备称为水电站动力设备,包括水轮发电机组、调速系统和辅助设备系统等。

(1) 水轮发电机组。是水轮机和发电机的合称,是在水能到电能的转换过程中最主要的动力设备。水轮机是水电站的水力原动机,当具有势能和动能的水流通过水轮机时,把水流的能量传给了水轮机转轮,促使水轮机转动,从而形成旋转的机械能。旋转的机械能又通过水轮机主轴带动发电机旋转,励磁后的发电机转子随发电机轴一起旋转,形成一个旋转的磁场,发电机定子线圈因切割磁力线而产生电能。在水轮机调节系统和发电机励磁系统的控制下,发电机产生的电能以稳定的频率和电压输送到电力系统或电能用户。

(2) 水轮机调速器。当系统的负荷发生变化时,应当及时调节机组发出电能的多少,以获得电力系统中发电量与用电量的平衡。如果不能及时调整系统能量的平衡,会导致水轮机转速不稳定,供电频率变化过大,威胁各种用电设备的安全,严重影响工农业生产、社会经济活动和人们的正常生活。为此,必须通过水轮机调速器,根据机组转速的变化,自动地调节进入水轮机的流量,使水轮发电机组在维持额定转速的同时不断适应外界负荷的变化。同时,水轮机调速器还担负着开机、停机及调整机组所带负荷的作用。

(3) 辅助设备系统。这主要是指水电站的油、水、气系统等的统称,对水电厂的安全运行来说是不可缺少的。油系统的主要作用有:机组转动部分轴承润滑,调速器和进水阀等油压设备操作,电气设备绝缘和灭弧等;水系统包括技术供水和排水两系统,供水系统主要供给机组运行时所需要的冷却、润滑、消防和生活用水,排水系统主要是将厂房和设备的渗漏及生产用过的废水排出厂房,同时完成机组检修时设备内积水的排除;气系统一般包括高压气系统和低压气系统,其中高压气系统主要提供油压装置及开关操作和灭弧用气,低压气系统则主要提供机组制动、主轴及阀门密封、风动工具等用气。

本课程的研究对象是在水能到电能的转换过程中,除发电机以外的水电站动力设备,包括水轮机、调速系统和辅助设备系统。本课程教学的主要任务是:水轮机的构造原理、工作特性及其选型设计;水轮机调速器的系统构成,各组成部分的构造原理和应用;水电站的油、水、气系统的构成,主要组成部分的作用、原理和应用。

0.2 我国水电建设的发展

自 1912 年中国第一座水电站——石龙坝水电站建成开始,我国的水电建设走出了



第一步。1951年,我国第一台0.8MW水力发电机组在哈尔滨电机厂诞生,掀开了我国水力发电机组制造史上新的一页。50多年来,我国的水轮机及水轮发电机组制造业经历了从无到有,从小到大,从进口到出口的历程,现已基本能生产各种形式的水轮发电机组。

1. 典型水电站及其机组设备

位于浙江的新安江水电站是我国自行设计、自行制造、自行施工建设的第一座大型水电站,1960年开始投产,总装机容量662.5MW,最大单机容量72.5MW,为混流式机组。

位于甘肃省永靖县境内的刘家峡水电站是我国自行勘测设计、自行制造、自行施工安装的第一座1000MW级大型水电站,1969年开始投产,总装机容量1225MW,最大单机容量为300MW,混流式机组,是当时世界上最大的混流式水轮发电机组之一。

葛洲坝水电站是在长江干流上兴建的第一座大型水电站,是我国第一座2000MW级大型水电站。1981年开始投产,总装机21台,总装机容量2715MW,为我国已建成装机容量第二大水电站。

我国单机容量最大的轴流定桨式机组安装在吉林红石水电站,机组单机容量50MW;单机容量最大的轴流转桨式机组安装在福建水口水电站,单机容量200MW;单机容量最大的灯泡贯流式机组安装在广东飞来峡电站,单机容量为35MW;应用水头最高的水电站是广西天湖水电站,电站水头1074m,总装机容量60MW,采用立轴双喷嘴水斗式机组。

二滩水电站位于四川省的雅砻江上,是目前我国已建成的最大水电站,总装机容量3300MW,混流式机组,其240m高的双曲拱坝在同类型坝中排名世界第三,亚洲第一。

正在建设中的三峡水电站位于长江西陵峡中段,是目前世界上最大的水电站。电站安装26台单机容量为700MW的混流式机组,总装机容量为18200MW。水轮发电机组最大容量为840MVA,是世界上单机容量最大的水轮发电机。电站于1994年12月14日正式开工,至2004年5月1日,三峡水电站已完成8台单机700MW机组的安装并正式投产。

在抽水蓄能电站方面,我国第一座抽水蓄能电站是河北岗南水电站,安装1台单机容量为11MW的抽水蓄能机组。我国第一座大型抽水蓄能电站是河北潘家口抽水蓄能电站,安装3台单机容量为90MW的双转速混流式水泵水轮机抽水蓄能机组,1991年开始投运,全厂设1台60MW静止变频器,供3台机组启动、制动和供1台机组变速运行。我国已建水头最高的抽水蓄能电站是西藏羊卓雍湖抽水蓄能电站,电



站水头达 840m, 采用了 4 台单机容量为 22.5MW 的三机式抽水蓄能机组。广州抽水蓄能电站是目前世界上已建成的最大抽水蓄能电站, 安装 8 台单机容量为 300MW 的可逆式机组, 1994 年开始投产。

2. 水轮机调速器

水轮机调速器的发展经历了机械液压调速器、电液调速器、微机调速器三个发展阶段。20 世纪 50 年代先后仿制生产了 T 型、CT—40 型机调和电子管式电调; 60 年代设计制造 XT 小型、TT 特小型机调, 并在 80 年代将 XT 型改进为 YT 型, 从而成为我国机调的代表性产品。70 年代初, 研制晶体管式电调, 并从分立式电子元件发展到集成电路式电调。80 年代初, 研制了以微处理器为核心的电调, 并开始研制适应性变参数、并联 PID 式微机调节器, 其调速产品如 WT—S 双微机调速器 (Z80 单板机)、SJ—700 系列微机调速器等。90 年代以来, 逐步开发和应用可编程控制器 (PLC) 或可编程计算机控制器 (PCC) 控制的水轮机微机调速器。目前, PLC 型调速器已成为我国微机调速器的主导产品。

3. 我国水电建设展望

20 世纪, 我国已基本完成全国 12 个大水电基地的部署, 完成了长江、黄河、珠江等七大江河流域综合规划和补充修订工作, 以及红水河、乌江、大渡河、澜沧江、怒江等数十条河流或河段水电开发规划报告及补充报告。21 世纪初, 主要是大力加快大型水电基地的建设, 尽快开发西部水电富矿, 实现“西电东送”, 到 2010 年基本形成北、中、南电网的互联, 至 2020 年将形成基本覆盖全国的统一电网。

据统计, 到 2004 年底, 全国水电装机容量将已超过 1 亿 kW, 占全国总装机容量比重达到 27%, 位居水电装机容量世界第一。根据国家经济社会发展的需要, 到 2010 年, 三峡水电站将建成并全部投产, 我国水电装机容量可望达到 1.25 亿 kW, 占电力总装机容量的比重约为 28%; 到 2015 年, 我国水电装机容量可望达到 1.5 亿 kW, 占电力总装机容量比重可保持在 28%, 占可开发水电装机容量的 40%。

“十五”期间, 国家重点计划开工建设的大型和特大型水电站有红水河龙滩 5400MW、澜沧江小湾 4200MW、大渡河瀑布沟 3300MW、乌江构皮滩 3000MW、清江水布垭 1840MW、黄河上游公伯峡 1500MW 等。目前, 金沙江溪洛渡 12000MW 和向家坝 6000MW 电站正积极开展前期工作。同期, 将筹建总装机容量超过 11000MW 的抽水蓄能电站。

随着我国经济的腾飞, 对电能的需求还会进一步扩大, 这将促进我国电力建设的更快发展, 水力发电的众多优势也将使我们的水电事业面临更加广阔的发展前景。



水 轮 机 概 论

1.1 水轮机的基本参数

水轮机是把水流能量转换成旋转机械能的水力机械，是水电厂最主要的动力设备。水轮机主轴带动发电机轴旋转，利用发电机将机械能转换成电能。水轮机一般装在水电站的厂房内，如图 1-1 所示，当水流经引水道进入水轮机，由于水流和水轮机的相互作用，水流的能量便传给了水轮机，水轮机获得能量后开始旋转而做功。因为水轮机轴和发电机轴相连，水轮机便把它获得的能量传给了发电机，并驱动带有磁场的发电机转子转动而形成旋转磁场，发电机定子绕组切割磁力线而感应出电动势，带上外负荷后便输出了电流。

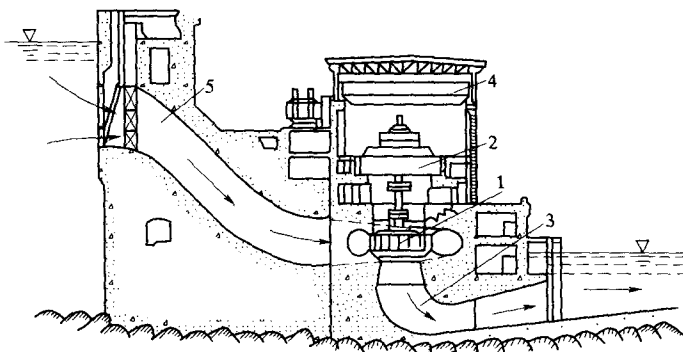


图 1-1 拦河坝式水电站坝后式厂房

1—水轮机；2—发电机；3—尾水管；4—桥式起重机；5—引水道

当水流通过水轮机时，水能即转变成机械能，这一工作过程的特性可用水轮机基本参数来表征。其基本参数有：水头 H 、流量 Q 、功率 P 、效率 η 和转速 n 等。



1.1.1 水轮机水头 H 1. 净水头 H

净水头是水轮机进口与出口测量断面的总水头差, 即水轮机做功用的有效水头, 用符号 H 表示, 单位为 m 。图 1-2 为反击式水电站水轮机装置示意图。

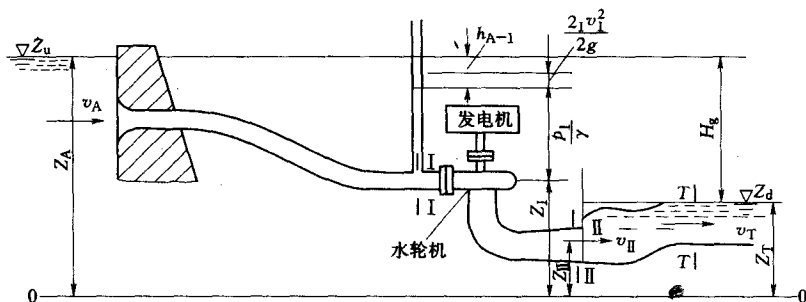


图 1-2 立轴反击式水轮机的工作水头

对于反击式水轮机, 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 断面, 则净水头为:

$$H = \left(Z_I + \frac{p_I}{\rho g} + \frac{\alpha_I v_I^2}{2g} \right) - \left(Z_{II} + \frac{p_{II}}{\rho g} + \frac{\alpha_{II} v_{II}^2}{2g} \right) \quad (1-1)$$

式中: Z_I 、 Z_{II} 分别为断面 I—I 和 II—II 处相对于某基准的位置高度, m ; p_I 、 p_{II} 分别为断面 I—I 和 II—II 处的流体压强, Pa ; v_I 、 v_{II} 分别为 I—I 和 II—II 处过流断面的平均流速, m/s ; α_I 、 α_{II} 分别为 I—I 和 II—II 处的过流断面速度分布不均匀系数; ρ 为水的密度, kg/m^3 ; g 为重力加速度, m/s^2 。

净水头 H 又可表示为:

$$H = H_g - \Delta h_{A-I} \quad (1-2)$$

式中: H_g 为水电站水头 (毛水头); Δh_{A-I} 为水电站引水建筑物中的水力损失。

毛水头是水电站上、下游水位的高程差, 用符号 H_g 表示, 单位为 m 。

2. 额定水头 H_r

额定水头是水轮机在额定转速下, 输出额定功率时的最小净水头, 单位为 m 。

3. 设计水头 H_d

设计水头是水轮机在最高效率点运行时的净水头, 单位为 m 。

4. 最大 (最小) 水头 H_{max} (H_{min})

最大水头 H_{max} 是指电站最大水头减去一台机组空载运行时引水系统所有水头损失后的工作水头, 单位为 m ; 最小水头 H_{min} 是指电站最小水头减去水轮机发出允许



功率时引水系统所有水头损失后的工作水头，单位为 m。

5. 加权平均水头 H_w

加权平均水头是在电站运行范围内，考虑负荷和工作历时的水轮机水头的加权平均值，单位为 m。

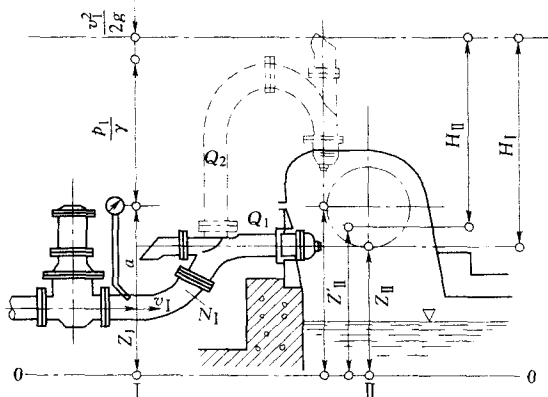


图 1-3 卧轴水斗式水轮机水头

对于冲击式水轮机，以图 1-3 卧轴水斗式水轮机为例，净水头 H 则为喷嘴进口断面与射流中心线（两者距离为 a ）跟转轮节圆相切处单位质量水流机械能之差，即

$$H = \left(Z_I + a + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right) - Z_{II} \quad (1-3)$$

1.1.2 水轮机流量 Q

水轮机流量是单位时间内通过水轮机进口测量断面的水的体积，用符号 Q 表示，单位为 m^3/s 。即

$$Q = Fv \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (1-4)$$

式中： F 为水轮机过水断面面积， m^2 ； v 为过水断面平均流速， m/s 。

1. 额定流量 Q_r

额定流量是水轮机在额定水头、额定转速下，输出额定功率时的流量，单位为 m^3/s 。

2. 水轮机空载流量 Q_0

水轮机空载流量是水轮机在额定水头和额定转速下，输出功率为零时的流量，单位为 m^3/s 。

1.1.3 水轮机功率 P

1. 水轮机输入功率 P_{in}

水轮机输入功率是水轮机进口水流所具有的水力功率，单位为 kW 或 MW。



$$P_{in} = \rho g Q H = 9.81 Q H \quad (\text{kW}) \quad (1-5)$$

2. 水轮机输出功率 P_{out}

水轮机输出功率是水轮机主轴输出的机械功率，单位为 kW 或 MW。

由于水流在通过水轮机时会产生一部分损耗，包括容积损失、水力损失和机械损失，因此水轮机的输出功率 P_{in} 要小于水轮机的输入功率 P_{out} ，两者关系为：

$$P_{out} = P_{in} \eta = 9.81 Q H \eta \quad (\text{kW}) \quad (1-6)$$

式中： η 为水轮机效率，一个小于 1 的系数。

3. 额定输出功率 P_r

额定输出功率是在额定水头和额定转速下水轮机能连续发出的功率，单位为 kW 或 MW。

1.1.4 水轮机效率 η

效率是水轮机输出功率与其输入功率的比值。它表示水流能量的有效利用程度，即

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (1-7)$$

水轮机的效率与设计、制造工艺及运行工况有关。对于某水轮机而言，在最优运行工况时水轮机效率最高，水轮机各效率中的最大值即最优效率。目前水轮机效率最高可达 93%~96%。

1.1.5 水轮机转速 n

水轮机转速是指水轮机转轮单位时间内旋转的圈数，用符号 n 表示，单位为 r/min。

额定转速 n_r 是水轮发电机组按电站设计选定的稳态同步转速。

水轮机的旋转方向是从发电机轴端看到的转轮的旋转方向。贯流式水轮机则从上游向下游方向看。水泵水轮机的旋转方向取水轮机工况的旋转方向。

1.2 水轮机的类型及应用

1.2.1 水轮机的基本类型

水轮机属于水力机械中的一种，即水力原动机。不同的水头和流量，所适用的水轮机型式与种类也不一样。现代水轮机按水能利用的特征分为两大类，即反击式水轮



机和冲击式水轮机，见表 1-1。

表 1-1 水轮机型式及其适用范围

类 型	型 式		适用水头 (m)
反击式	混流式		25~700
	轴流式	轴流转桨式	3~80
		轴流调桨式、定桨式	3~50
	斜流式		40~120
	贯流式	贯流转桨式	<20
		贯流调桨式	
		贯流定桨式	
冲击式	水斗式（切击式）		100~2000
	斜击式		20~300
	双击式		5~150

1. 反击式水轮机

转轮利用水流的压力能和动能做功的水轮机是反击式水轮机。在反击式水轮机流道中，水流是有压的，水流充满水轮机的整个流道，从转轮进口至出口，水流压力逐渐降低。水流通过与叶片的相互作用使转轮转动，从而把水流能量传递给转轮。为减少水流与叶片相互作用时的能量损失，反击式水轮机的叶片断面多是空气动力翼型形状。反击式水轮机根据其适应的水头和流量的不同，又分为混流式、轴流式、斜流式和贯流式四种型式。

2. 冲击式水轮机

转轮只利用水流动能做功的水轮机是冲击式水轮机。冲击式水轮机的明显特征是：水流在进入转轮区域之前，先经过喷嘴形成自由射流，将压能转变为动能，自由射流以动能形式冲动转轮旋转，故称为冲击式。在冲击式水轮机流道中，水流沿流道流动过程中保持压力不变（等于大气压力），水流有与空气接触的自由表面，转轮只是部分进水，因此水流是不充满整个流道的。为适应于利用水流动能做功的需要，冲击式转轮叶片一般呈斗叶状。按射流冲击转轮叶片的方向不同可分为水斗式（切击式）、斜击式和双击式。

1.2.2 各类型水轮机的特点及应用范围

1. 混流式水轮机（图 1-4）

混流式水轮机是指轴面水流径向流入、轴向流出转轮的反击式水轮机，又称法兰

