

河 海 大 学 郑源 主编
国家电力公司中南勘测设计研究院 张强

水电站

SHUI
DIANZHAN
DONGLISHEBEI

动力设备



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水电站

SHUI
DIANZHAN
DONGLISHEBEI

动力设备

河 海 大 学 郑源 主编
国家电力公司中南勘测设计研究院 张强



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书针对国内中、小型水电站,系统地介绍了水轮机的结构、工作原理、水轮机空化空蚀、水轮机特性和选型设计、水轮机的泥砂磨损、振动及检修,并简要地介绍了贯流式水轮机与冲击式水轮机特点;水轮机调速器特性、基本工作原理和调速系统的油压装置;同步发电机的工作原理、运行特性以及水轮机的进水阀门中的闸阀、蝴蝶阀、球阀的特性与选型等内容。

本书在编写过程中力求既系统性又通俗易懂。本书可作为高等学校相关专业的教材和教学参考书,也可作为水电厂中级技术人员的培训教材,同时可作为中小型水电站技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

水电站动力设备/郑源,张强主编. —北京:中国水利水电出版社,2003

ISBN 7-5084-1335-0

I. 水… II. ①郑…②张… III. 水力发电站,中小型-动力装置 IV. TV734

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第097129号

责任编辑 鹿启炳

书 名	水电站动力设备
作 者	郑源 张强 主编
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: sale@waterpub. com. cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68331835 (发行部)
经 售	全国各地新华书店
排 版	北京密云红光印刷厂
印 刷	北京密云红光印刷厂
规 格	787×1092毫米 16开本 16.5印张
版 次	2003年2月第一版 2003年2月第一次印刷
印 数	0001—4200册
定 价	28.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前 言

水电站动力部分所涉及的内容较多,主要包括水轮机、调速器、发电机和水轮机进水阀门等。其中的水轮机、调速器和发电机都有各自的教材和参考书,阀门是作为水电站辅助设备的一部分内容。将上述四部分内容合为一体进行系统地介绍的教材(参考书)笔者还没有发现。本书针对国内中、小型水电站,系统地介绍了水轮机的结构、工作原理、水轮机空化空蚀,水轮机特性和选型设计,水轮机的泥砂磨损、振动及检修,并简要地介绍了贯流式水轮机与冲击式水轮机特点;水轮机调速器特性、基本工作原理和调速系统的油压装置和微机调速器;同步发电机的工作原理、运行特性以及闸阀、蝶阀、球阀等进水阀门的特性与选型等内容。

全书由河海大学水电学院郑源教授编写,国家电力公司中南勘测设计研究院水力机械室主任、《水力机械技术》主编张强高级工程师参加了部分章节的编写并对全书进行通审。

武汉三联水电控制设备有限公司的总经理刘智凯高级工程师、副总经理邓显文高级工程师参加了第八章的编写工作。

参加本书编写的还有程云山、于洋、王洪霞、张婧璇、戴红霞、张小军、陈付山和刘建;另外黄时锋和徐峰在整理和图形处理复习题等方面做了大量工作。

全书由郑源和张强主编。

本书在编写过程中力求既系统性又通俗易懂。本书可作为高等学校相关专业的教材和教学参考书,也可作为水电厂中级技术人员的培训教材,同时也可作为中小型水电站技术人员的参考书。

本书在编写过程中得到了河海大学有关领导和老师的支持,作者在此谨向他们,以及在本书中引用其有关资料的各位作者表示衷心感谢。最后,作者还想借此机会向水利水电出版社的鹿启炳高级策划编辑表示衷心感谢。

本书由河海大学新世纪教育教改工程专项经费资助出版。

作 者

目 录

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	2
第三节 水轮机的主要类型及适用水头	4
第四节 水轮机的型号	7
第五节 水轮机的装置型式	8
第六节 水轮机发展综述	11
第二章 水轮机结构	16
第一节 混流式水轮机结构	16
第二节 轴流式水轮机结构	25
第三节 反击式水轮机引水部件	31
第四节 导水机构	36
第五节 反击式水轮机尾水管	44
第三章 水轮机工作原理	52
第一节 水流在反击式水轮机转轮中的运动	52
第二节 水轮机的基本方程与应用	59
第三节 水轮机效率与最优工况	61
第四章 水轮机的空化与空蚀	67
第一节 水流的空化	67
第二节 水轮机空化与空蚀类型	69
第三节 水轮机的空化系数与吸出高度	71
第四节 水轮机抗空化的措施	75
第五章 水轮机的特性与选择	82
第一节 水轮机的相似理论与单位参数	82
第二节 水轮机效率换算与单位参数修正	87
第三节 水轮机的比转速	89
第四节 水轮机的模型试验	92
第五节 水轮机的特性曲线	98
第六节 水轮机的选型	106
第七节 水轮机选型计算例	112
第六章 水轮机泥砂磨损、振动及检修	116
第一节 水轮机泥砂磨损	116
第二节 水轮机的振动	118

第三节	水轮发电机组的检修及故障处理	127
第七章	贯流式水轮机与冲击式水轮机	143
第一节	贯流式水轮机的特点与分类	143
第二节	灯泡贯流式水轮机基本结构	146
第三节	冲击式水轮机的特点与分类	152
第四节	切击式水轮机的基本结构	155
第八章	水轮机调速器与油压装置	161
第一节	水轮机调节的任务、特点	161
第二节	调节系统的特性	164
第三节	水轮机调速器工作原理	169
第四节	调速器的类型与系列	181
第五节	调速系统的油压装置	185
第六节	水轮机微机调速器	192
第九章	同步发电机	200
第一节	概述	200
第二节	同步发电机的基本结构及铭牌数据	200
第三节	同步发电机的工作原理及物理模型	204
第四节	同步发电机的空载运行	205
第五节	同步发电机的负载运行	208
第六节	同步发电机的电枢反应电抗和同步电抗	212
第七节	同步发电机的并联运行	214
第八节	同步发电机的功角特性	215
第九节	并联运行时的有功与无功功率调节	217
第十节	同步发电机的励磁运行	220
第十一节	同步发电机不对称运行时的相序阻抗和等效电路	224
第十二节	三相同步发电机不对称稳定短路	229
第十三节	不对称运行对电机的影响	231
第十四节	发电机在瞬变过程中的参数和突然短路对电机的影响	231
第十五节	发电机制动、发热和冷却	234
第十章	水轮机进水阀门	238
第一节	水轮机进水阀门的作用和类型	238
第二节	闸阀	240
第三节	蝴蝶阀	242
第四节	球阀	246
第五节	进水阀的附件	249
第六节	进水阀的操作方式和操作系统	250
第七节	进水阀的水力损失及选择计算	255
	参考文献	258

第一章 绪 论

本章教学要求:

1. 了解水能的优越性及水电站的型式;
2. 掌握水轮机的基本工作参数;
3. 熟悉水轮机的各种类型与特点;
4. 熟练掌握各种类型水轮机的型号表示方法及意义;
5. 掌握中小型水轮机的装置型式。

第一节 水电站与水轮机

自然界有多种能源,目前已被开发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,启动快,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粘性、摩阻、冲刷河床和夹带泥沙等方面去了。

水轮机是一种能将河流中蕴藏的水能转换成旋转机械能的机械。水轮机通过主轴带动发电机将旋转机械能转换成电能。水轮机与发电机联接成的整体称为水轮发电机组,它是水电站的主要设备之一。

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。为了利用水流发电,就要将天然落差集中起来,并对天然的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。水电站的型式主要取决于集中水头的方式,根据集中水头的方式的不同,水电站分为坝式水电站、引水式水电站和混合式水电站,见图 1-1、图 1-2、图 1-3 所示。

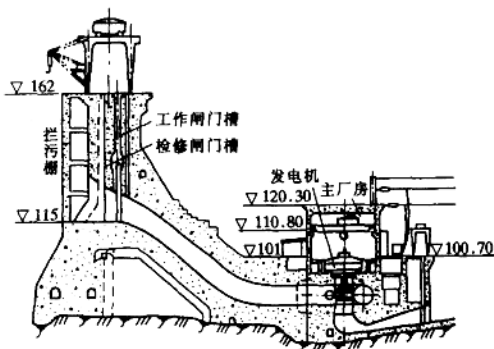


图 1-1 坝后式水电站厂坝横剖面示意图

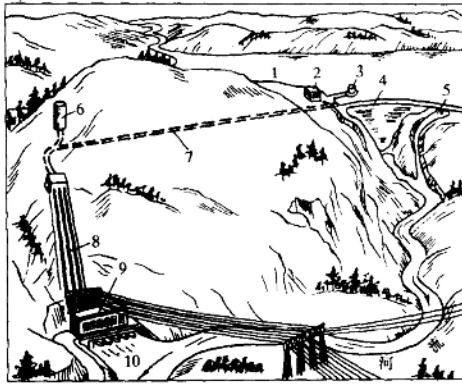


图 1-2 有压引水式水电站示意图
1—水库;2—闸门室;3—进水口;4—坝;5—泄水道;6—调压室 7—有压隧道;8—压力管道;9—厂房;10—尾水泵

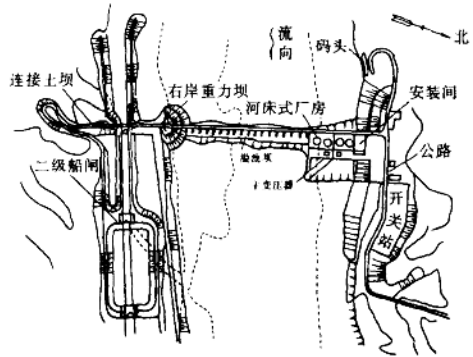


图 1-3 混合式水电站枢纽布置示意图

第二节 水轮机的工作参数

水轮机的工作参数是表征水流通过水轮机时水流能量转换为转轮机械能过程中的一些特性数据。水轮机的基本工作参数主要有水头 H 、流量 Q 、出力 P 、效率 η 、转速 n 。

一、水头 H

水轮机的水头（亦称工作水头）是指水轮机进口和出口截面处单位重量的水流能量差，单位为 m 。对反击式水轮机进口断面取在蜗壳进口处 I-I 断面，出口取在尾水管出口 II-II 断面。列出水轮机进、出口断面的能量方程，如图 1-4 所示，根据水轮机工作水头的定义可写出其基本表达式：

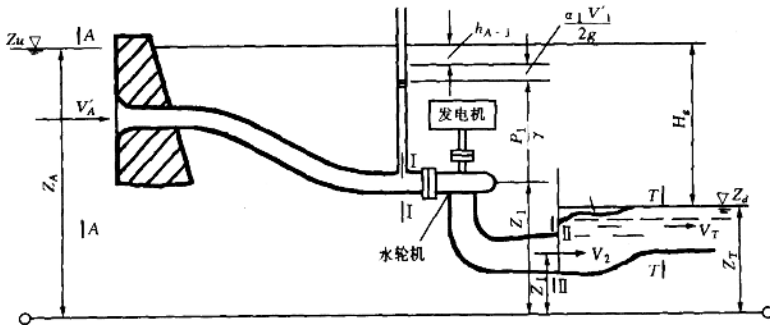


图 1-4 水电站和水轮机的水头示意图

$$H = E_I - E_{II} = \left(Z_I + \frac{P_I}{\gamma} + \frac{\alpha_I V_I^2}{2g} \right) - \left(Z_{II} + \frac{P_{II}}{\gamma} + \frac{\alpha_{II} V_{II}^2}{2g} \right) \quad (1-1)$$

式中： E 为单位重量水体的能量， m ； Z 为相对某一基准的位置高度， m ； P 为相对压力， N/m^2 或 Pa ； V 为断面平均流速， m/s ； α 为断面动能不均匀系数； γ 为水的重度，其值为 $9810N/m^3$ ； g 为重力加速度， m/s^2 。

式 (1-1) 中, 计算常取 $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$, $\alpha V^2/2g$ 称为某截面的水流单位动能, 即比动能 (m); P/γ 称为某截面的水流单位压力势能, 即比压能 (m); Z 称为某截面的水流单位位置势能, 即比位能 (m)。 $\alpha V^2/2g$ 、 P/γ 与 Z 的三项之和为某水流截面水的总比能。

水轮机水头 H 又称净水头, 是水轮机做功的有效水头。上游水库的水流经过进水口拦污栅、闸门和压力水管进入水轮机, 水流通过水轮机做功后, 由尾水管排至下游。上、下游水位差值称为水电站的毛水头 H_k , 其单位为 m。

水轮机的工作水头又可表示为

$$H = H_k - \Delta h \quad (1-2)$$

式中: H_k 为水电站毛水头, m; Δh 为水电站引水建筑物中的水力损失, m。

从式 (1-2) 可知, 水轮机的水头随着水电站的上下水位的变化而改变, 常用取几个特征水头表示水轮机水头的范围。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_w 、额定水头 H_r 等, 这些特征水头由水能计算给出。

(1) 最大水头 H_{\max} , 是允许水轮机运行的最大净水头。它对水轮机结构的强度设计有决性的影响。

(2) 最小水头 H_{\min} , 是保证水轮机安全、稳定运行的最小净水头。

(3) 加权平均水头 H_w , 是在一定期间内 (视水库调节性能而定), 所有可能出现的的水轮机水头的加权平均值, 是水轮机在其附近运行时间最长的净水头。

(4) 额定水头 H_r , 是水轮机发出额定出力时所需要的最小净水头。

水轮机的水头表明水轮机利用水流单位机械能的多少, 是水轮机最重要的基本工作参数, 其大小直接影响着水电站的开发方式、机组类型以及电站的经济效益等技术经济指标。

(5) 设计水头 H_d , 是指水轮机具有最高效率的水头。

二、流量 Q

水轮机的流量是单位时间内通过水轮机某一既定过流断面的水流体积, 常用符号 Q 表示, 常用的单位为 m^3/s 。在额定水头下, 水轮机以额定转速、额定出力运行时所对应的水流量称为设计流量 Q , 它是水轮机发出额定出力时所需要的最大流量。

三、转速 n

水轮机的转速是水轮机转轮在单位时间内旋转的次数, 常用符号 n 表示, 常用单位为 r/min 。

四、出力 P 与效率 η

水轮机出力是水轮机轴端输出的功率, 常用符号 P 表示, 常用单位 kW。

水轮机的输入功率为单位时间内通过水轮机的水流的总能量, 即水流的出力, 常用符号 P_n 表示, 则

$$P_n = \gamma QH = 9.81QH \text{ (kW)} \quad (1-3)$$

由于水流通过水轮机时存在一定的能量损耗, 所以水轮机出力 P 总是小于水流出力 P_n 。水轮机的输入和输出功率之比称为水轮机的效率, 用符号 η 表示。

$$\eta = \frac{P}{P_n} \quad (1-4)$$

由于水轮机在工作过程中存在能量损耗, 故水轮机的效率 $\eta < 1$ 。

由此，水轮机的出力可写成

$$P = P_n \eta_t = 9.81QH\eta_t \text{ (kW)} \quad (1-5)$$

水轮机将水能转化为水轮机轴端的出力，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

$$P = M\omega = \frac{M2\pi n}{60} \quad (1-6)$$

式中： ω 为水轮机旋转角速度，rad/s； M 为水轮机主轴输出的旋转力矩，N·m； n 为水轮机转速，r/min。

第三节 水轮机的主要类型及适用水头

水轮机是将水能转换成旋转机械能的一种水力原动机。根据转轮转换水流能量方式的不同，水轮机分成两大类：反击式水轮机和冲击式水轮机。反击式水轮机包括混流式、轴流式、斜流式和贯流式水轮机；冲击式水轮机分为水斗式、斜击式和双击式水轮机。

一、反击式水轮机

反击式水轮机转轮区内的水流在通过转轮叶片流道时，始终是连续充满整个转轮的有压流动，并在转轮空间曲面型叶片的约束下连续不断地改变流速的大小和方向，从而对转轮叶片产生一个反作用力驱动转轮旋转。当水流通过水轮机后，其动能和势能大部分被转换成转轮的旋转机械能。

1. 混流式水轮机

如图 1-5 所示，水流从四周沿径向进入转轮，然后近似以轴向流出转轮。混流式水轮机应用水头范围较广，约为 20~700m，结构简单，运行稳定且效率高，是现代应用最广泛的一种水轮机。

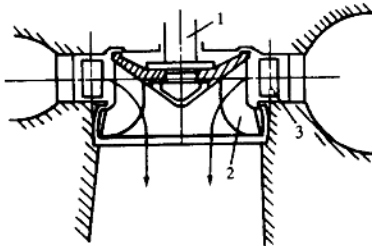


图 1-5 混流式水轮机
1—主轴；2—叶片；3—导叶

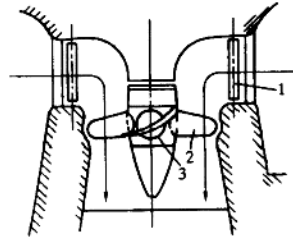


图 1-6 轴流式水轮机
1—导叶；2—叶片；3—轮毂

2. 轴流式水轮机

如图 1-6 所示，水流在导叶与转轮之间由径向流动转变为轴向流动，而在转轮区内水流保持轴向流动，轴流式水轮机的常用水头约为 3~50m。轴流式水轮机在中低水头、大流量水电站中得到了广泛应用。根据其转轮叶片在运行中能否转动，又可分为轴流定桨式和轴流转桨式水轮机两种。轴流定桨式水轮机的转轮叶片是固定不动的，因而结构简单、造价较低，但它在偏离设计工况运行时效率会急剧下降，因此，这种水轮机一般用于水头

较低、出力较小以及水头变化幅度较小的水电站。轴流转桨式水轮机的转轮叶片可以根据运行工况的改变而转动，从而扩大了高效率区的范围，提高了运行的稳定性。但是，这种水轮机需要有一个操作叶片转动的机构，因而结构较复杂，造价较高，一般用于水头、出力均有较大变化幅度的大中型水电站。

3. 斜流式水轮机

如图 1-7 所示，水流在转轮区内沿着与主轴成某一角度的方向流动。斜流式水轮机的转轮叶片大多做成可转动的形式，具有较宽的高效率区，适用水头在轴流式与混流式水轮机之间，约为 40~200m。它是在 20 世纪 50 年代初为了提高轴流式水轮机适用水头而在轴流转桨式水轮机基础上改进提出的新机型，其结构形式及性能特征与轴流转桨式水轮机类似，但由于其倾斜斜叶操作机构的结构特别复杂，加工工艺要求和造价均较高，所以一般只在大中型水电站中使用，目前这种水轮机应用还不普遍。

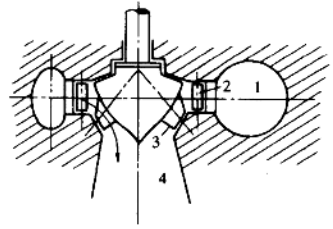


图 1-7 斜流式水轮机

1—蜗壳；2—导叶；
3—转轮叶片；4—尾水管

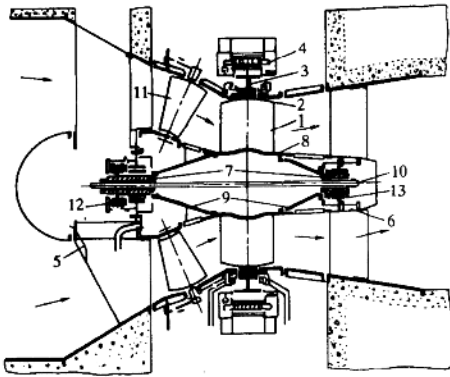


图 1-8 全贯流式水轮机

1—转轮叶片；2—转轮轮缘；3—发电机转子轮轴；
4—发电机定子；5、6—支柱；7—轴颈；8—轮毂；
9—锥形插入物；10—拉紧杆；11—导叶；12—推力轴
承；13—导轴承

目前广泛使用的是灯泡贯流式水轮机，其结构紧凑、稳定性好、效率较高，其发电机布置在

4. 贯流式水轮机

贯流式水轮机是一种流道近似为直筒状的卧轴式水轮机，它不设引水蜗壳，叶片可做成固定的和可转动的两种。根据其发电机装置形式的不同，分为全贯流式和半贯流式两类。

全贯流式水轮机（如图 1-8）的发电机转子直接安装在转轮叶片的外缘。它的优点是流道平直、过流量大、效率高。但由于转轮叶片外缘的线速度大、周线长，因而旋转密封困难。目前这种机型已很少使用。

半贯流式水轮机有轴伸式、竖井式和灯泡式等装置形式，如图 1-9、图 1-10、图 1-11 所示，其中轴伸式和竖井式结构简单、维护方便，但效率较低，一般只用于小型水电站。目前广泛使用的是灯泡贯流式水轮机，其结构紧凑、稳定性好、效率较高，其发电机布置在

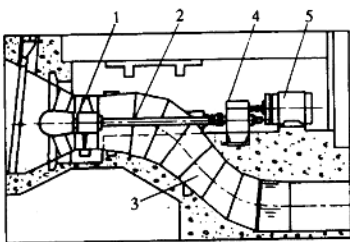


图 1-9 轴伸贯流式水轮机

1—转轮；2—水轮机主轴；3—尾水管；
4—齿轮转动机构；5—发电机

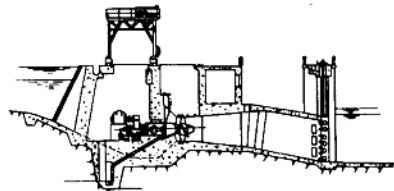


图 1-10 竖井贯流式水轮机

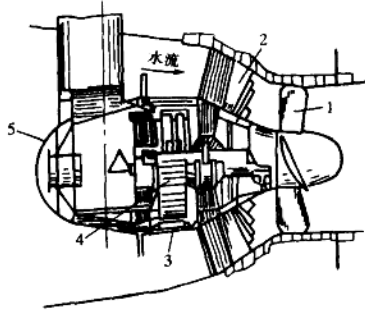


图 1-11 灯泡贯流式水轮机
1—转轮叶片；2—导叶；3—发电机定子；
4—发电机转子；5—灯泡体

贯流式水轮机适用于低水头、大流量的水电站，利用水头一般为 $1 \sim 25\text{m}$ ，也有最大水头达 30m 的电站。由于其卧轴式布置及流道形式简单，所以土建工程量一般比同规模的轴流式少约 20% ，效率约高 3% ，机电设备费节约 15% ；由于施工简便，施工期短，因而在开发平原地区河道和沿海地区潮汐等水力资源中得到较为广泛的应用。目前已运行的灯泡贯流式水轮机最大转轮直径为 7.7m ；单机出力最大的为日本的只见电站为 65.8MW 。国内湖南洪江水电站最大水头为 27.3m ，单机容量 45MW 。

二、冲击式水轮机

冲击式水轮机的转轮始终处于大气中，来自压力钢管的高压水流在进入水轮机之前已转变成高速自由射流，该射流冲击转轮的部分轮叶，并在轮叶的约束下发生流速大小和方向的变化，从而将其动能大部分传递给轮叶，驱动转轮旋转。在射流冲击轮叶的整个过程中，射流内的压力基本不变，近似为大气压。

冲击式水轮机按射流冲击转轮的方式不同可分为水斗式、斜击式和双击式三种。

1. 水斗式水轮机

水斗式水轮机，亦称切击式水轮机，如图 1-12 所示。从喷嘴出来的高速自由射流沿转轮圆周切线方向垂直冲击轮叶。这种水轮机适用于高水头、小流量的水电站，特别是当水头超过 400m 时，由于结构强度和气蚀等条件的限制，混流式水轮机已不太适用，则常采用水斗式水轮机。大型水斗式水轮机的应用水头约为 $300 \sim 1700\text{m}$ ，小型水斗式水轮机的应用水头约为 $40 \sim 250\text{m}$ 。目前水斗式水轮机的最高水头已用到 1767m （奥地利莱塞克电站），我国天湖水电站的水斗式水轮机额定水头为 1022.4m 。

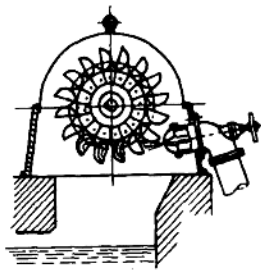


图 1-12 水斗式水轮机

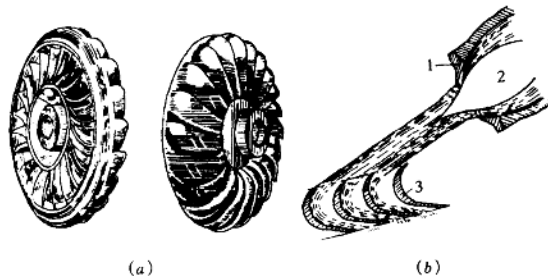


图 1-13 斜击式转轮
(a) 转轮；(b) 斜击式转轮进水示意图
1—管；2—针阀；3—轮叶

2. 斜击式水轮机

如图 1-13 所示，从喷嘴出来的自由射流沿着与转轮旋转平面成一角度的方向，从转轮的一侧进入轮叶再从另一侧流出轮叶。与水斗式相比，其过流量较大，但效率较低，因此这种水轮机一般多用于中小型水电站，适用水头一般为 $20 \sim 300\text{m}$ 。

3. 双击式水轮机

如图 1-14 所示, 从喷嘴出来的射流先后两次冲击在转轮叶片上。这种水轮机结构简单、制作方便, 但效率低、转轮叶片强度差, 仅适用于单机出力不超过 1000kW 的小型水电站, 其适用水头一般为 5~100m。

各种类型水轮机及应用水头范围如表 1-1 所示。

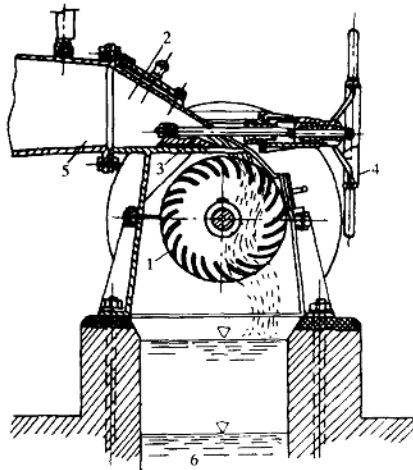


图 1-14 带有闸板阀门的双击式水轮机

1—工作轮; 2—喷嘴; 3—调节闸板;
4—舵轮; 5—引水管; 6—尾水槽

表 1-1 水轮机类型及应用水头范围

类 型	型 式	适应水头范围(m)	
反击式	混流式	混流式	40~700
		混流可逆式	80~600
	轴流式	轴流转桨式	3~90
		轴流定桨式	3~50
	斜流式	斜流式	40~200
		斜流可逆式	40~120
贯流式	贯流转桨式	2~30	
	贯流定桨式		
冲击式	水斗式	300~1700	
	斜击式	20~300	
	双击式	5~100	

第四节 水轮机的型号

根据我国“水轮机型号编制规则”规定, 水轮机的型号由三部分组成, 每一部分用短横线“—”隔开。第一部分由汉语拼音字母与阿拉伯数字组成, 其中拼音字母表示水轮机型式, 阿拉伯数字表示转轮型号, 入型谱的转轮的型号为比转速数值, 未入型谱的转轮的型号为各单位自己的编号, 旧型号为模型转轮的编号; 可逆式水轮机在水轮机型式后加“N”表示。第二部分由两个汉语拼音字母组成, 分别表示水轮机主轴布置形式和引水室的特征; 第三部分为水轮机转轮的标称直径以及其它必要的数字。水轮机型号中常见的代表符号如表 1-2 所示。

对于冲击式水轮机, 上述第三部分应表示为: 转轮标称直径 (cm) / 每个转轮上的喷嘴数 × 射流直径 (cm)。

各种型式水轮机的转轮标称直径 (简称转轮直径, 常用 D_1 表示) 规定如下 (参见图 1-15 所示):

- (1) 混流式水轮机转轮直径是指其转轮叶片进水边的最大直径;
- (2) 轴流式、斜流式和贯流式水轮机转轮直径是指与转轮叶片轴线相交处的转轮室内径;
- (3) 冲击式水轮机转轮直径是指转轮与射流中心线相切处的节圆直径。

反击式水轮机转轮标称直径 D_1 的尺寸系列规定如表 1-3。随着科学技术的不断进步,

计算手段和加工能力不断发展,目前,除小型机组之外,大中型机组的转轮直径一般不套用标准系列,而是根据实际需要进行设计。

表 1-2 水轮机型号的代表符号

水轮机型式	代表符号	主轴布置型式及引水室特征	代表符号
混流式	HL	立轴	L
轴流转桨式	ZZ	卧轴	W
轴流定桨式	ZD	金属蜗壳 J	
斜流式	XL	混凝土蜗壳	H
冲击(水斗)式	GJ	灯泡式	P
贯流转桨式	GZ	明槽式	M
贯流定桨式	GD	罐式	G
可逆式	N	竖井式	S
双击式	SJ	虹吸式	X
斜击式	XJ	轴伸式	Z

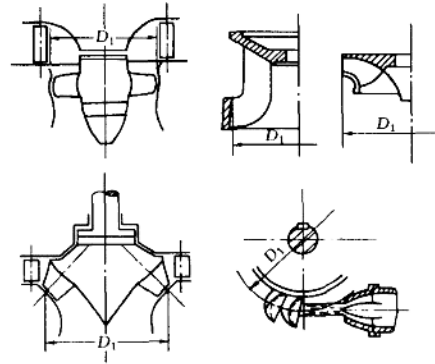


图 1-15 各种类型的水轮机转轮直径规定示意图

表 1-3 反击式水轮机转轮标称直径系列 单位: cm

25	30	35	(40)	42	50	60	71	(80)	84
100	120	140	160	180	200	225	250	275	300
330	380	410	450	500	550	600	650	700	750
800	850	900	950	1000					

注 括号内的数字仅适用于轴流式水轮机。

水轮机型号示例:

- (1) HL220-LJ-250, 表示转轮型号为 220 的混流式水轮机, 立轴、金属蜗壳, 转轮直径为 250cm。
- (2) ZZ560-LH-500, 表示转轮型号为 560 的轴流转桨式水轮机, 立轴、混凝土蜗壳, 转轮直径为 500cm。
- (3) GD600-WP-300, 表示转轮型号为 600 的贯流定桨式水轮机, 卧轴、灯泡式引水, 转轮直径为 300cm。
- (4) 2CJ20-W-120/2×10, 表示转轮型号为 20 的水斗式水轮机, 一根轴上装有 2 个转轮, 卧轴、转轮直径为 120cm, 每个转轮具有 2 个喷嘴, 射流直径为 10cm。

第五节 水轮机的装置型式

水轮机的装置型式,是指水轮机主轴的布置型式和引水室型式相结合的总体。它取决于使用水头、单机容量和上下游水位等的变化情况。水轮机装置型式对水电站厂房设计有着密切的关系,下面对我国中小型水轮机常用的几种装置型式作简要介绍。

一、反击式水轮机装置型式

反击式水轮机使用水头范围大,单机容量的差别大,机型繁多,所以装置型式各不相

同。对大型机组，为了缩小厂房面积，一般采用立轴布置形式，水轮机轴与发电机轴直接连接。对中高水头混流式机组，采用立轴，金属蜗壳，弯肘形尾水管，如图 1-16 所示，一般中低水头混流式机组和轴流式机组采用立轴，混凝土蜗壳，弯肘形尾水管，如图 1-17 所示。

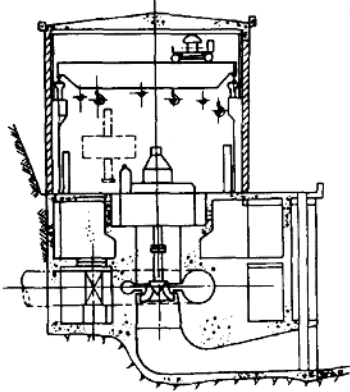


图 1-16 金属蜗壳—立轴装置

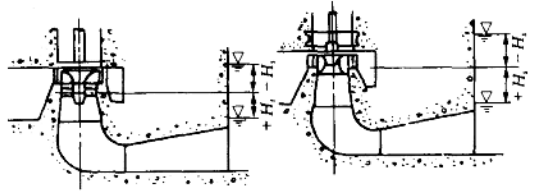


图 1-17 混凝土蜗壳—立轴装置

室采用贯流式。如图 1-8~图 1-11 所示。对中、小型机组，根据利用方式不同，主轴也可以布置成立式或者卧式。水轮机轴与发电机轴可以采用直接连接，也可以通过齿轮、皮带间接连接。在高水头时，一般采用蜗壳，在低水头时大多采用开敞式引水室。另外也有采用罐式、虹吸式的，而尾水管一般采用直锥形和肘形尾水管。图 1-18 是立轴、金属蜗壳，

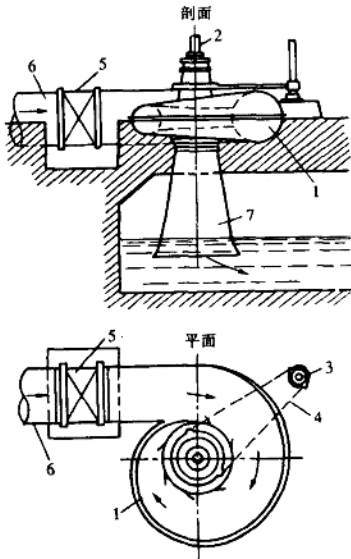


图 1-18 金属蜗壳—立轴装置

1—金属蜗壳；2—主轴；3—调节轴；
4—推拉杆；5—主阀；6—压力水管；
7—直锥形尾水管

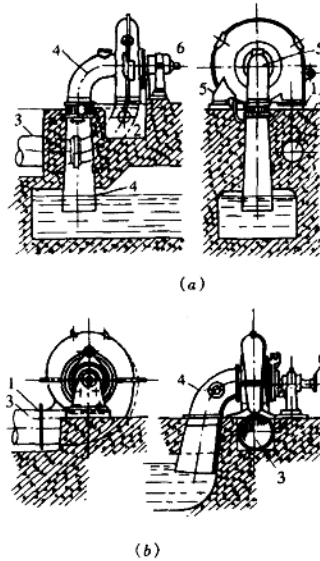


图 1-19 金属蜗壳—卧轴布置

(a) 蜗壳进水断面垂直向下的方法；
(b) 蜗壳进水断面朝向水平的方式
1—蜗壳进水断面；2—弯管；3—压力水管；
4—尾水管；5—支撑腿；6—主轴

直锥形尾水管，一般用于中高水头，相对容量较大的混流式机组。图 1-19 是卧轴、金属蜗壳、肘形尾水管，一般用于中高水头、小容量的机组。图 1-20 是立轴、明槽、肘形尾水管，一般低水头、小容量的轴流式水轮机可以采用这种装置型式。图 1-21 是立轴、明槽、直锥形尾水管，对于水头很低的小容量轴流式水轮机可以采用这种装置型式。图 1-22 是卧轴、罐式、肘形尾水管，一般用于中等水头，容量相当小的混流式水轮机。

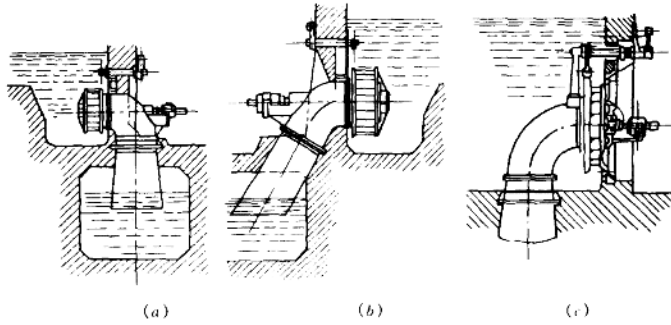


图 1-20 明槽——卧轴布置

(a) 垂直肘管位于明槽外；(b) 斜肘管位于明槽外；(c) 垂直肘管位于明槽内

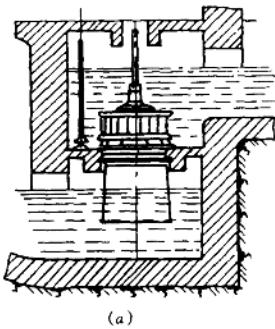


图 1-21 明槽——立轴装置
(直锥形尾水管)

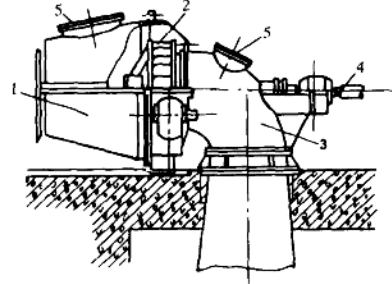


图 1-22 罐式——卧轴装置
1—水轮机罐；2—水轮机转轮；3—肘形尾水管；4—水轮机主轴；5—检察孔

二、冲击式水轮机的装置型式

冲击式水轮机的装置型式是根据它们的类型和机组容量的大小，结合当地自然条件与生产制造水平决定的。

斜击式和双击式水轮机由于机组容量小，一般都采用卧轴装置型式。切击式水轮机由于机组容量范围较大，因此装置型式有立式也有卧式。大容量机组一般是立式，小容量机组是卧式。卧式切击式水轮机一般为了得到较高的水力效率大多对每个转轮采用单喷嘴，对较大容量的卧式机组多采用双转轮，对每个转轮使用双喷嘴的装置型式。如图 1-23～图 1-27 所示。

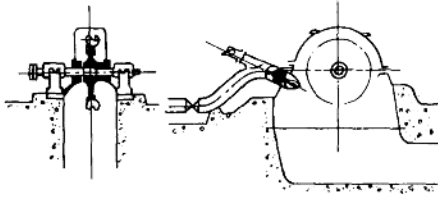


图 1-23 单轮单喷嘴卧式水斗式水轮机

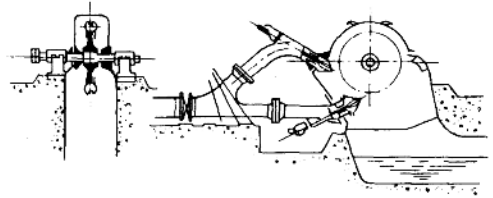


图 1-24 单轮双喷嘴卧式水斗式水轮机

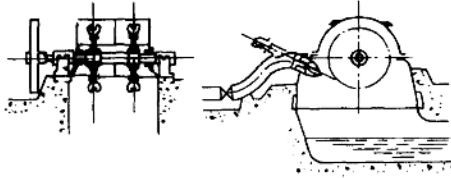


图 1-25 双轮单喷嘴卧式水斗式水轮机

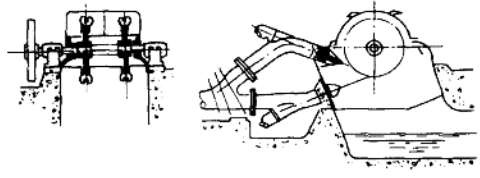


图 1-26 双轮双喷嘴卧式水斗式水轮机

对大容量机组，为了缩小厂房平面尺寸，降低开挖费用，一般都采用立式装置。立式装置还可以降低进水管中的水力损失及转轮的风损，提高水轮机效率。另外立式机组可以多装喷嘴，一般是 1~6 个喷嘴。如图 1-28 所示。增加喷嘴数可以提高切击式水轮机的比转速，在运行中能够根据负荷的变化自动调整投入运行的喷嘴数，保持运行的高效率。国外 5~6 个喷嘴的切击式水轮机所占比例相当大。

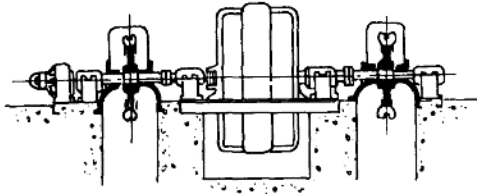


图 1-27 双轮双喷嘴卧式水斗式水轮机

如图 1-28 所示。增加喷嘴数可以提高切击式水轮机的比转速，在运行中能够根据负荷的变化自动调整投入运行的喷嘴数，保持运行的高效率。国外 5~6 个喷嘴的切击式水轮机所占比例相当大。

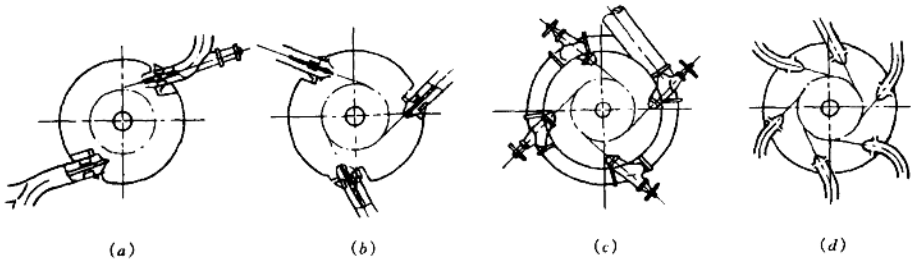


图 1-28 立式机组喷嘴布置

(a) 双喷嘴；(b) 三喷嘴；(c) 四喷嘴；(d) 六喷嘴

第六节 水轮机发展综述

水轮机作为一种水力原动机有着悠久的历史。远在公元前几世纪在中国、印度等地人们就已经懂得利用水轮机来带动水磨、水碾等加工机械，公元二世纪在欧洲罗马的运河上