

# 第一章 水电站概论

## 第一节 水电站的基本类型

### 一、水力发电的基本原理

河道中的水流在地心吸力的作用下由高处向低处运动从而将水流的势能转变为动能。这样水流就具有作功的能力。其高差越大流量越多，作功的能力就越大。如图 1-1 所示在河道上取任意  $L$ (m) 长的河段，其上断面为 1-1 断面，下断面为 2-2 断面，河道的坡降为  $i$ ；其间水面降落的垂直高度（通常称为落差或水头）为  $H_{1-2}$ (m)。设在  $T$ (s) 时段内有  $\bar{W}$ ( $m^3$ ) 的水量通过断面，则水体  $\bar{W}$  所具有的能量  $E_{1-2}$ ( $N \cdot m$ ) 为

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

式中： $\gamma$  为水的容重， $\gamma = 9810 N/m^3$ 。

单位时间内水流所作的功，称为功率。在水力发电工程中，该功率通常被称为出力用  $N$  表示，则该河段的平均出力  $N_{1-2}$ ( $N \cdot m/s$ ) 为

$$N_{1-2} = \gamma \left( \frac{\bar{W}}{T} \right) H_{1-2} = \gamma Q H_{1-2} \quad (1-2)$$

式中： $Q = \frac{\bar{W}}{T}$  表示时段  $T$ (s) 内的平均流量， $m^3/s$ 。出力  $N$  通常以 kW ( $1W = 1J/s = 1N \cdot m/s$ ) 表示，则

$$N_{1-2} = 9.81 Q H_{1-2} \quad (1-3)$$

相应的发电量  $E_{1-2}$  以 kW·h 表示为

$$E_{1-2} = 9.81 Q H_{1-2} \left( \frac{T}{3600} \right) = 0.0027 \bar{W} H_{1-2} \quad (1-4)$$

这种水流能量在未被利用以前，主要分散地消耗在水流对河床的淘刷、挟带泥沙和相互的撞击上。若应用筑坝集中落差并形成水库，通过引水建筑物和水轮发电机组引水发电，则水电站的出力与电能，在考虑到引水道的水头损失和水轮机、发电机的效率后可把计算式表示为

$$N = 9.81 Q H \eta \quad (\text{kW}) \quad (1-5)$$

$$E = 0.0027 W H \eta \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (1-6)$$

式中： $H$  为水电站的工作水头，它等于水电站的毛水头  $H_m$  (水电站上、下游水位之差) 减

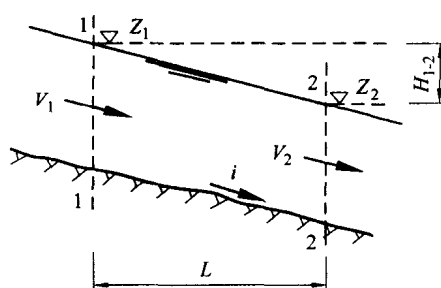


图 1-1 河段水能示意

去引水系统的水头损失  $h_w$  即  $H = H_m - h_w$ ;  $\eta$  为水轮机组的效率, 它等于水轮机效率  $\eta_T$  和发电机效率  $\eta_f$  的乘积 即  $\eta = \eta_T \eta_f$  对大中型机组,  $\eta_T = 0.85 \sim 0.90$ ,  $\eta_f = 0.95 \sim 0.98$  对小型间接传动 (用皮带或齿轮传动) 的机组, 尚应考虑传动效率。

在初步估算出力时, 可应用简化公式为

$$N = KQH \quad (\text{kW}) \quad (1-7)$$

式中:  $K$  为系数, 一般大型水电站可选用  $K = 8.0 \sim 8.5$  中型水电站  $K = 7.0 \sim 7.5$  小型水电站  $K = 6.0 \sim 6.5$ 。

## 二、水电站的基本类型

水电站出力的大小, 决定于它所利用水头的高低和流量的大小。为了开发利用水能, 必须将自然界天然河流的落差人工加以控制, 以便于水轮机能够将水能转换为机械能, 再由发电机转换为电能。根据河道地形、地质、水文等条件的不同 水电站集中落差、调节流量、引水发电的情况也不同。按照集中落差的方式, 水电站的基本形式可分为坝式水电站、引水式水电站和混合式水电站。

### (一) 坝式水电站

在河道上合适的位置建坝 抬高上游水位以集中落差 并形成水库调节流量。用这种方式修建的水电站, 称为坝式水电站。坝式水电站按照集中落差的大小、坝体和水电站厂房的相互关系及相对位置不同, 可分为坝后式、河床式、坝内式、溢流式等多种型式的水电站。在实际工程中, 较常采用的为坝后式和河床式两种。

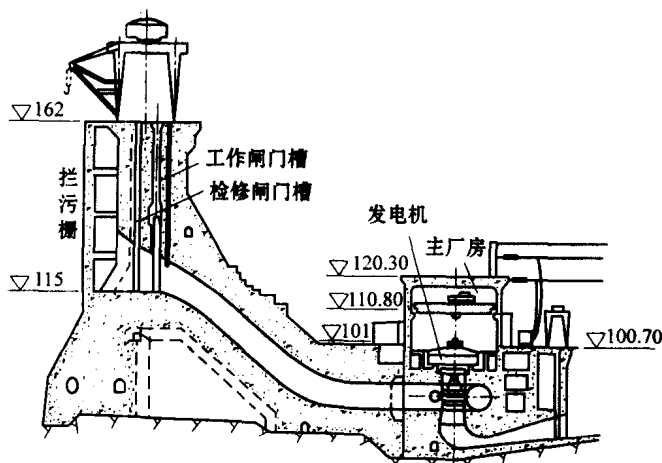


图 1-2 坝后式水电站横剖面

坝后式水电站因将电站厂房布置在紧靠大坝下游而得名 图 1-2 所示为典型的坝后式水电站。坝后式水电站的厂房和坝体常用缝分开, 全部水头由坝体承受, 厂房不受上游水压力作用。坝后式水电站一般修建在河道的中、上游 电站的水头多为中、高水头。这种

布置型式可使枢纽建筑物布置紧凑、工程量较省、施工和运行管理均比较方便。

如果大坝为当地材料坝 水电站的厂房常位于坝体下游 发电引水道从坝体或坝肩穿过。厂房也可以布置在河岸边, 由引水隧洞引水发电。

水电站的厂房与坝体一起建在河床上 作为挡水建筑物的一部分 这种电站称为河床式电站 如图 1-3 所示。河床式水电站一般建在河流的中、下游 水头较低 引用流量较大。有些河床式水电站由于所处河道的洪水流量较大, 需要的泄水坝段较长, 加上电站机组台数较多 为了解决布置上的矛盾 有时将厂房布置在闸墩内或溢流坝段内。

水电站的厂房与坝体一起建在河床上 作为挡水建筑物的一部分 这种电站称为河床式电站 如图 1-3 所示。河床式水电站一般建在河流的中、下游 水头较低 引用流量较大。有些河床式水电站由于所处河道的洪水流量较大, 需要的泄水坝段较长, 加上电站机组台数较多 为了解决布置上的矛盾 有时将厂房布置在闸墩内或溢流坝段内。

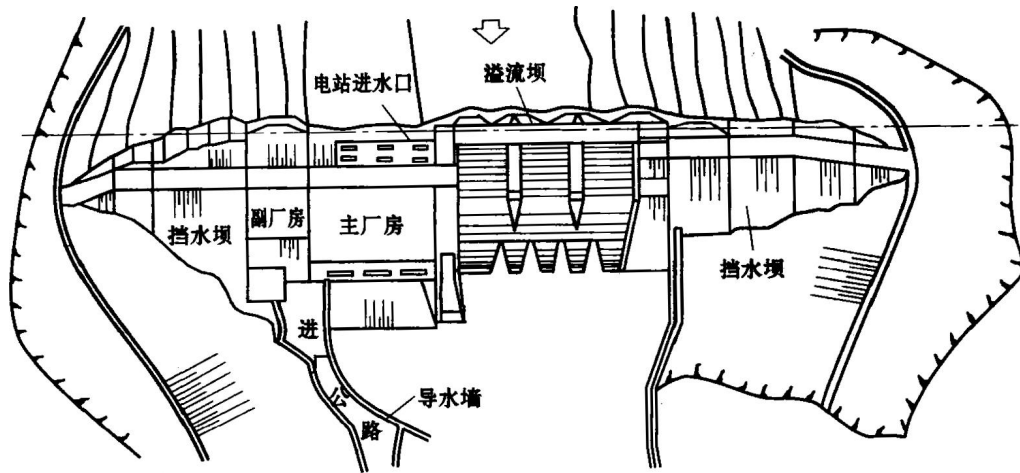


图 1-3 河床式水电站枢纽布置

## (二) 引水式水电站

一般在山区河道上修建水电站时，由于河道陡峻、水流湍急，有些地方还可能有一定的跌水和河湾，往往经济地筑一低坝取水，采用人工修建的引水建筑物如明渠、隧洞、管道等来集中落差，形成电站水头，这样修建的水电站称为引水式水电站。按引水建筑物中水的流态不同，引水式水电站又可分为无压引水式水电站和有压引水式水电站。

无压引水式水电站的引水建筑物为无压明渠或无压隧洞。发电水流由进水口引入渠道（或隧洞）至渠道末端的压力前池后经压力管道进入水电站厂房，发电后的尾水经尾水渠泄入下游河道，如图 1-4 所示。为了控制水流，便于引水，常常在引水渠首的河道中筑低坝或堰拦水，在地形合适的位置，也可采用无坝引水型式。

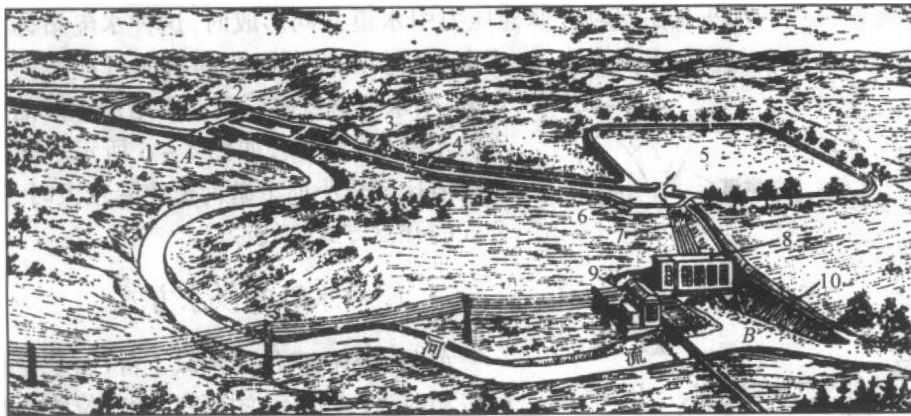


图 1-4 无压引水式水电站布置

- 1- 坝 2- 进水口 3- 沉沙池 4- 引水渠道; 5- 日调节池;  
6- 压力池 7- 压力管道 8- 厂房 9- 开关站 10- 泄水道

河道中低坝的作用主要是引导河中天然水流进入渠道，而不是以集中水头为目的。水电站的水头是由远比天然河道比降小的渠道集中落差形成的，在一定比降的河流上，渠道比降愈小，引水渠道愈长，获得的发电水头就愈大。

有压引水式水电站的引水建筑物为压力隧洞或压力明管，如图 1-5 所示。发电水流由有压进水口引入压力隧洞，经压力管道进入水电站厂房。在引水距离较长时，压力隧洞与压力管道之间可能设置调压室。

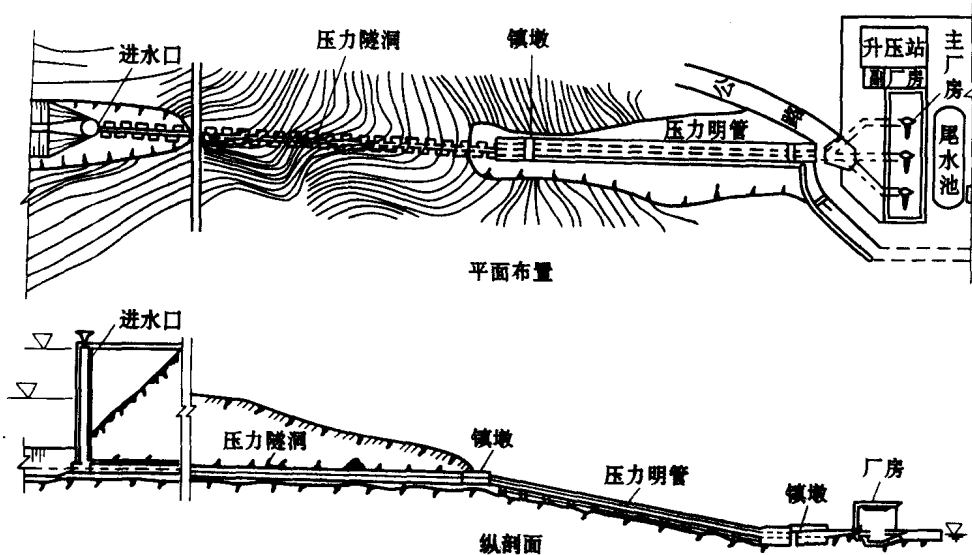


图 1-5 有压引水式水电站

这种水电站常建于河道坡降较陡或有河湾宜于修建压力引水系统集中落差的河段。在河湾地段裁弯取直引水、引取高山湖泊的存水及高差很大的毗邻流域采用跨流域引水等，均可获得比较大的发电水头，有利于修建有压引水式电站。

### (三) 混合式水电站

当水电站应用的水头是由筑坝和修建压力引水道共同形成时，这种水电站称为混合式水电站。

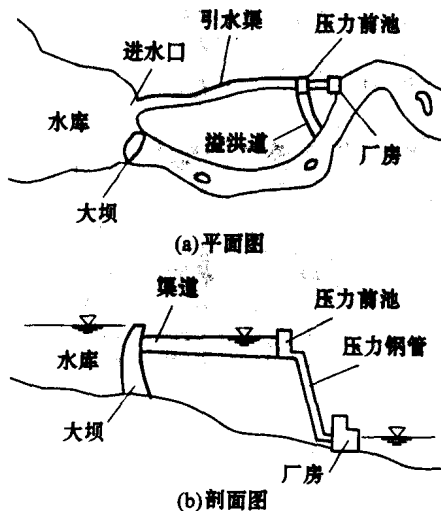


图 1-6 混合式水电站

筑坝所形成的水库可用来调节发电水量，引水渠道或隧洞则在不增加坝高的条件下增加水电站的水头 如图 1-6 所示。通常当上游河道比降较小而下游河道比降较大时，采用混合式的开发方式比较经济。

### 三、压力水管的供水方式

水电站的机组往往不只 1 台 由于受水电站厂房和前池 或水库 的距离、相对位置及地形地质条件等因素的制约，压力水管的布置方式也形形色色 通常可归纳为 3 类 单元供水 如图 1-7 中 (a)、(b) 联合供水 如图 1-7 中 (c)、(d) ；分组供水 如图 1-7 中 (e)、(f)。

单元供水方式多用于水电站厂房距前池（或水库）距离较近的情况 联合供水和分组供水方式则多用于有压引水式水电站、当地材料

坝后式电站或电站厂房和有压进水口距离较远的情况。

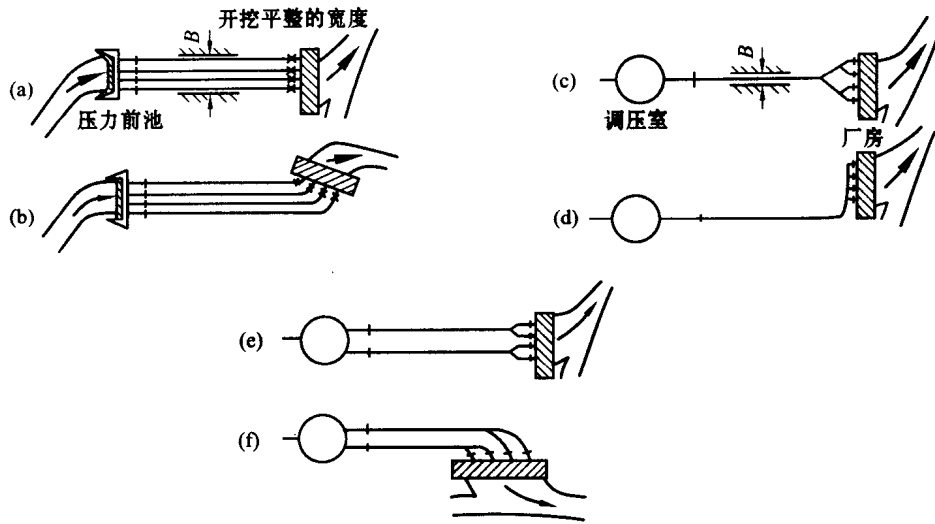


图 1-7 压力水管供水方式  
+ 为必须设置的闸门或阀门；x 为有时可以不设的阀门

## 第二节 水电站的主要参数

### 一、水库特征水位及相应的库容

由于天然来水流量的不均匀和水电站引用流量及综合用水量的经常变化，水库的水位和应用的库容也是随时变化的，一般用其特征值来表示这种变化的特征，如图 1-8 所示。

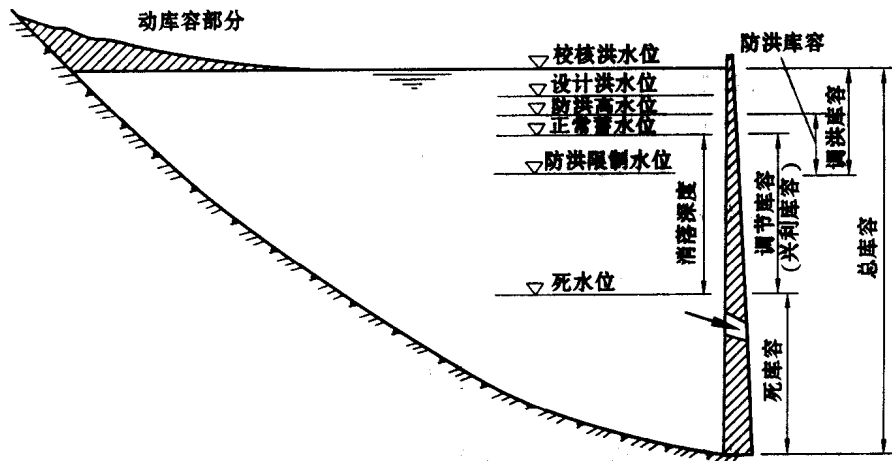


图 1-8 水库特征水位及库容示意

### (一) 死水位与死库容

死水位是指水库在正常运用情况下，允许的最低消落水位。在此水位以下的容积，称为死库容。一般死库容中的水量是不利用的。

### (二) 正常蓄水位与调节库容

正常蓄水位是指水库在正常运用情况下满足兴利所必须的最高水位。死水位至正常蓄水位之间的库容，称为调节库容（也称为兴利库容或有效库容）。根据调节库容占多年平均来水量的百分比（ $\beta$ ）值，一般可将水库分为多年调节水库（ $\beta \geq 30\%$ ）、年调节水库（ $3\% < \beta < 30\%$ ）和日调节水库（ $\beta < 3\%$ ）。

### (三) 防洪限制水位

防洪限制水位是指在汛期允许的水库最高蓄水位。它通常低于正常蓄水位，是为拦蓄洪水而定的。

### (四) 防洪高水位与防洪库容

防洪高水位是在满足下游防洪标准时，水库达到的最高水位。防洪限制水位至防洪高水位之间的库容，称为防洪库容。

### (五) 设计洪水位

设计洪水位是指水库从防洪限制水位起拦蓄大坝设计洪水时，所达到的最高水位。

### (六) 校核洪水位与调洪库容

校核洪水位是指从防洪限制水位起拦蓄大坝校核洪水时，所达到的最高水位。防洪限制水位至校核洪水位之间的库容，称为调洪库容。校核洪水位以下的全部库容便是水库的总库容。

在图 1-8 上阴影部分所示的动库容，是由上游回水曲线形成的。由于其容积很小，一般可不考虑，只有在研究水库淹没问题时才考虑其影响。

## 二、水电站的特征水头及流量

随着水库的调节和水电站负荷的变化，水电站的水头和流量也是随时变化的，通常也用特征值来表示其变化的特征。

### (一) 水电站的特征水头

水电站的特征水头包括最大水头  $H_{\max}$ 、最小水头  $H_{\min}$  和加权平均水头  $H_a$ 。 $H_{\max}$ 、 $H_{\min}$  可由水能计算求得，加权平均水头  $H_a$  是水电站上出现次数最多、历时最长的水头，可由式 (1-7)、式 (1-8) 确定，即

$$H_a = \frac{\sum H_i t_i N_i}{\sum t_i N_i} \quad (1-7)$$

或

$$H_a = \frac{\sum H_i t_i}{\sum t_i} \quad (1-8)$$

式中： $t_i$ 、 $N_i$  分别为水头  $H_i$  出现时相应的持续时间和出力，这可由水能计算的资料得到。

### (二) 水电站的特征流量

水电站的特征流量包括最大引用流量  $Q_{\max}$ 、平均引用流量  $Q_w$  和最小引用流量  $Q_{\min}$ 。

这可由水轮机的特征和水电站的工作出力确定。

### 三、水电站的动能参数

水电站的动能参数是表征水电站的动能规模、运行可靠程度和工作效益的指标。

#### (一) 设计保证率与保证出力

水电站的设计保证率是指水电站正常发电的保证程度，一般用正常发电总时段与计算期总时段比值的百分数来表示。它是根据系统中水电容量的比重、水库调节性能、水电站规模及其在电力系统中的作用等因素而选定的，可参照表 1-1 选用。

表 1-1 水电站设计保证率

电力系统中水电容量的比重(%)	25 以下	25 ~ 50	50 以上
水电站设计保证率(%)	80 ~ 90	90 ~ 95	95 ~ 98

保证出力，是指水电站相应于设计保证率的枯水时段发电的平均出力。

#### (二) 装机容量

装机容量，是指水电站内全部机组额定出力的总和，如丹江口水电站有 6 台机组 每台机组的额定出力（也称为单机容量）为 15 万 kW 则该电站的装机容量为 90 万 kW。

#### (三) 多年平均发电量

多年平均发电量，是水电站各年发电量的平均值。计算时先将应用的水文系列分为若干时段（可以是日、旬或月，视水库的调节性能和设计的需要而选定）然后按照天然来水和用水进行水库调节计算和水能计算，得出逐年的发电量，再求其平均值便可得出多年平均发电量。

#### (四) 水电站装机年利用小时数

将水电站的多年平均发电量除以装机容量，便可得出水电站装机年利用小时数。它相当于全部装机满载运行时的多年平均工作小时数，是反映设备利用程度和检验装机合理性的一个指标。

### 四、水电站的经济指标

#### (一) 水电站的总投资

水电站的总投资是指水电站在勘测、设计、施工安装过程中所投入资金的总和。它包括水工建筑物、水电站建筑物和机电设备的投资。

同时，还常用单位千瓦的投资和单位电能的投资来表示水电站投资的经济性与合理性。单位千瓦的投资是指平均每 1kW 的装机容量所需要的投资，它可由总投资除以装机容量求得。单位电能的投资是指平均 1 年中每发 1kW·h 电所需要的投资，它可由总投资除以多年平均发电量求得。

#### (二) 水电站的年运行费用

水电站的年运行费用，是指水电站在运行过程中每年所必须付出的各种费用的总和，它包括建筑物和设备每年所提存的折旧费、大修费和经常支出的生产、行政管理费及工资

等。

### (三) 水电站的年效益

水电站的年效益，是指水电站每年售电总收入减去年运行费用后所获得的净收益。

## 五、水电站的分等指标

为了保证工程及下游人民生命财产和经济建设的安全，也为了降低工程造价和加快建设进度，对以发电为主的水利枢纽工程，原水利电力部于 1978 年颁发的《水利水电工程等级划分及设计标准》中，根据水电站装机容量的大小划分为五等，如表 1-2 所示。

表 1-2 以发电为主的水利枢纽工程分等指标

工程等别	工程规模	水电站装机容量(万 kW)
一	大(1)型	> 75
二	大(2)型	75 ~ 25
三	中型	25 ~ 2.5
四	小(1)型	2.5 ~ 0.05
五	小(2)型	< 0.05

## 第三节 水轮发电机组的主要类型及型号

在水电站中，水轮机将水流能量转变为旋转的机械能，发电机又将旋转的机械能转化为电能。水轮机和发电机是安装在水电站厂房中的主要动力设备。水轮机和发电机连结为一个整体称为水轮发电机组，或简称为机组。

### 一、水轮发电机的类型

#### (一) 按机组容量和转速分类

由于各个水电站的自然条件和工作状态不同，水轮发电机的容量和转速相差很大。水轮发电机按机组容量可分为小容量、中容量和大容量三类；各类容量又可按额定转速分为低速、中速和高速三类。通常可大致按表 1-3 划分水轮发电机的容量和转速等级。

表 1-3 水轮发电机容量和转速划分范围

分 类	额定功率(kW)	额 定 转 速 (r/min)		
		低 速	中 速	高 速
小容量水轮发电机	< 500	< 375	375 ~ 600	750 ~ 1 500
中容量水轮发电机	500 ~ 10 000	< 375	375 ~ 600	750 ~ 1 500
大容量水轮发电机	> 10 000	< 100	100 ~ 375	> 375

## (二 按机组布置方式分类)

水轮发电机按机组的布置方式不同可分为立式(主轴与地面垂直)和卧式(主轴与地面平行)两种。图 1-9 为立式布置 图 1-10 为卧式布置。立式布置的应用较广,卧式布置一般用于小容量水轮发电机和冲击式或贯流式水轮发电机组。

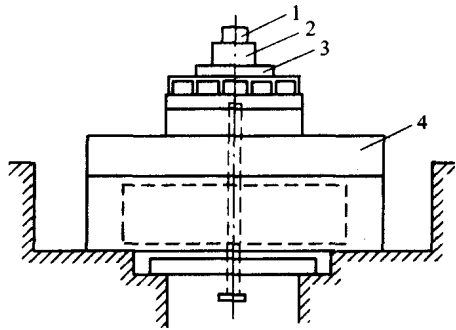


图 1-9 立式布置水轮发电机

1- 永磁发电机 2- 副励磁机;  
3- 主励磁机 ;4- 发电机

对立式水轮发电机,根据推力轴承位置又分为悬式和伞式两种。悬式水轮发电机的特点是推力轴承位于转子上面的上机架内或上机架上(如图 1-11 所示)。它把整个转动部分悬挂起来,轴向推力通过定子机座传至基础。悬式结构适用于转速较高的机组(转速一般在

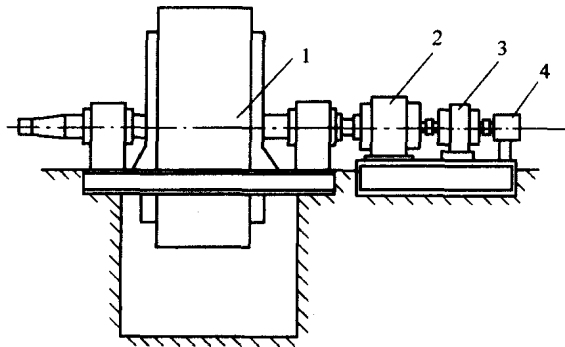


图 1-10 卧式布置水轮发电机

1- 发电机;2- 主励磁机;  
3- 副励磁机 ;4- 永磁发电机

150r/min 以上)它的优点是 推力轴承直径较小;由于转子重心在推力轴承下面,机组的运转稳定性较好,轴承损耗小;因推力轴承在发电机层,使得安装维护等都比较方便。悬式水轮发电机的缺点是:推力轴承座承受的机组转动部分的重量及全部水压力都落在上机架及定子机座上,由于定子机座直径较大,上机架和定子机座为了承重而比较笨重 消耗的钢材也较多 另外 机组轴向长度增加,机组和厂房的高度也需要

相应增加。在悬式水轮发电机中,一般选用两个导轴承 如图 1-11(a)、(b)。其中一个装在上机架内 称为上导轴承 另一个装在下机架内 称为下导轴承。如运行稳定性许可,悬式水轮发电机也可取消下导轴承 如图 1-11(c)所示。

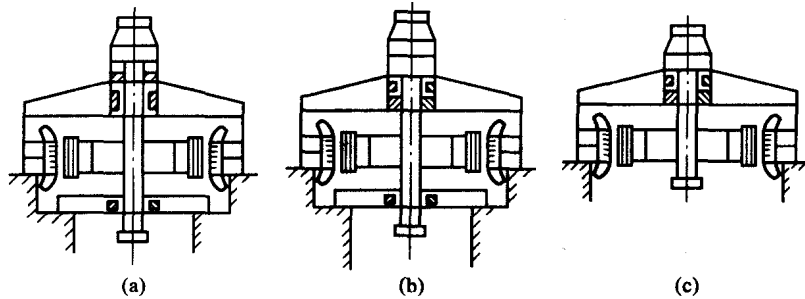


图 1-11 悬式水轮发电机

(a) 具有两个导轴承 推力轴承在上导轴承上面;(b)具有两个导轴承,推力轴承在上导轴承下面;(c)无下导轴承

伞式水轮发电机的结构特点是推力轴承位于转子下方,布置在下机架内,如图 1-12

(a)、(b)所示 或布置在水轮机顶盖上 如图 1-12(c)所示。轴向推力通过发电机机墩或水轮机顶盖传至基础。它的优点是结构紧凑，能充分利用水轮机和发电机之间的空间，使机组和厂房的高度相对降低，由于推力轴承位于承重的机架上，下机架直径较小，因而下机架为了承重所消耗的钢材就比较少，从而减轻了机组的重量，降低了造价。伞式水轮发电机的缺点是由于转子重心在推力轴承上方，使机组运行的稳定性能较差，所以只能用于较低转速（一般在 150r/min 以下），另外 因机组的高度降低使推力轴承的安装、维护、检修变得较困难。

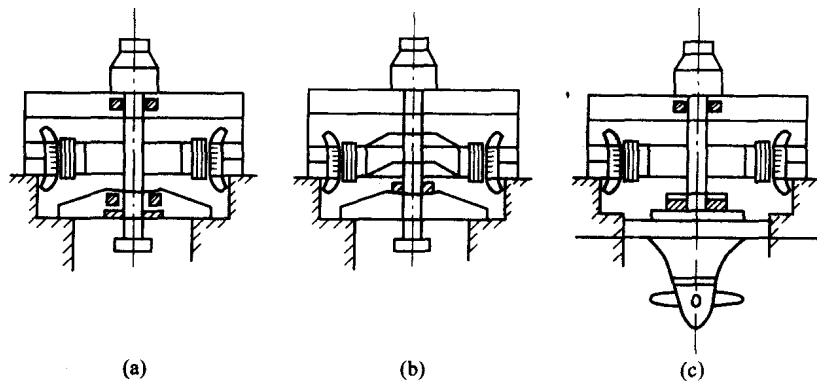


图 1-12 伞式水轮发电机示意  
(a)普通伞型；(b)全伞型；(c)半伞型

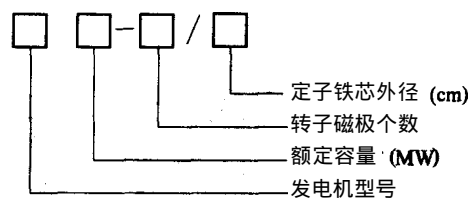
伞式发电机根据轴承布置不同 又可分为普通伞型、半伞型和全伞型 3种。普通伞型具有上、下导轴承 如图 1-12(a) 半伞型只有上导轴承而没有下导轴承 如图 1-12(c)所示 全伞型只有下导轴承 布置在推力油槽内 而没有上导轴承 如图 1-12(b)所示。

另外 水轮发电机还可按冷却方式分类 在此不再赘述。

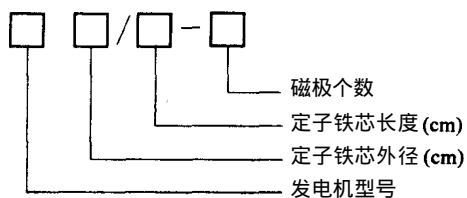
## 二、水轮发电机的型号

我国水轮发电机尚没有统一的标准系列，关于型号表示方法一般有两种。

新型号表示法为



老型号表示法为



发电机型号部分由汉语拼音字母组成。其表示符号见表 1-4。

表 1-4 水轮发电机代表符号

新 型 号 表 示 法		老 型 号 表 示 法	
立式空冷水轮发电机	SF	空冷同步水轮发电机	TS
立式水内冷水轮发电机	SFS	水内冷同步水轮发电机	TSS
卧式水轮发电机	SFW	卧式同步水轮发电机	TSW
水轮发电—电动机	SFD	同步水轮发电—电动机	TSD
贯流式水轮发电机	SFG	同步贯流式水轮发电机	TSG

举例：

(1)SF210-40/1035 新型号表示立式空冷水轮发电机 额定容量 210MW 转子有 40 个磁极 定子铁芯外径 1 035cm。

(2)TSS1260/160-48 老型号表示水内冷同步水轮发电机 定子铁芯外径为 1 260cm, 定子铁芯长度为 160cm 转子有 48 个磁极。

### 三、水轮发电机的基本参数

#### (一) 功率和功率因数

##### 1. 功率

功率表示一台水轮发电机单位时间内可以作功的能力，也就是通常说的容量。水轮发电机发出三相交流电，它的额定功率（也称视在功率）单位用千伏安（kVA）表示，有功功率用千瓦表示。

电压与电流是发电机的主要参数。发电机正常运行时的工作电压，称为额定电压，在额定电压、额定容量运行时，所发出的电流称为额定电流。单相交流发电机产生的电压单位为 kVA。三相交流发电机的视在功率则为

$$S = \frac{UI \times \sqrt{3}}{1000} \quad (1-9)$$

式中： $U$ 为额定线电压，V； $I$ 为额定线电流，A； $S$ 为视在功率，kVA。

发电机的电压和电流的相位由负荷的性质决定，电流的交换常是超前或滞后于电压而不相同。在计算功率时可把电流分解为两个分量：一个与电压同相，称为有功分量；另一个与电压相垂直，称为无功分量。把有功分量电流与电压的乘积除以 1 000 称为有功功率，以千瓦为单位表示；把发电机电压与无功电流分量的乘积除以 1 000 称为无功功率，以千乏为单位。对三相负载，总的有功功率和无功功率还要乘 $\sqrt{3}$ 。

##### 2. 功率因数

我们把发电机的有功功率与视在功率的比值，称为功率因数。它的大小视电力系统的情况而定，一般在 0.8~0.9 之间。

发电机的设计是以视在功率为根据的，但它能够输出的有功功率是由水轮机的轴功

率输出决定的。

## (二) 效率

发电机的效率，是发电机输出的有功功率与输入到发电机的水轮机轴功率之比。发电机的主要损耗有定子、转子绕组中的铜损、有效铁芯中产生的铁损、推力轴承和导轴承的机械磨损、发电机转动时的风磨损，以及其他附加损耗等。所有这些损耗都变为热能，使发电机的温度升高。

提高水轮发电机组的效率有很大的经济意义。具体措施有采用高导磁性能、低损耗的硅钢片以减少铁损，改善通风以降低风损，以及减少推力轴承的损耗等。现在大型水轮发电机的效率可达 97% ~ 98%。

## (三) 额定转速及飞逸转速

### 1. 额定转速

发电机转速的高低对发电机型式、频率、尺寸、重量、造价等都有影响。

大中型水轮发电机与水轮机同轴连接，因此发电机的额定转速等于水轮机的额定转速。由于我国交流电频率  $f$  规定为 50Hz 所以额定转速与磁极对数  $P$  的固定关系即为

$$\text{额定转速} = \frac{60f}{P} = \frac{3000}{P} \quad (1-10)$$

由此看出，发电机的磁极对数决定于发电机转速即水轮机转速。转速愈低磁极数就愈多，这时发电机直径就必须增大，这对发电机来说是不经济的。所以，从发电机经济角度出发，希望能将水轮机额定转速提高。

### 2. 飞逸转速

飞逸转速是指当水轮发电机甩满负荷而调速系统又失灵时机组所能达到的最大转速。飞逸转速愈大，对强度要求也愈高。水轮发电机的强度设计应保证在飞逸转速下运行两分钟而不损坏。当发电机发生飞逸后，必须停机检查发电机转动部分有无损坏或松动。

飞逸转速，一般与水轮机型式和最高水头等有关。混流式或冲击式水轮机飞逸转速一般为 1.6 ~ 2.2 倍的额定转速，轴流式水轮机飞逸转速一般为 2.0 ~ 2.6 倍的额定转速。

## (四) 转动惯量

转动惯量是反映转动部分在转动过程中惯性大小的量，也就是说代表转动部分保持它原来运动状态的能力。我们通常见到一些机械设备，如冲床，为了保证旋转速度的稳定而装一个飞轮。当驱动转速忽低于或忽高于额定转速时，由于飞轮转动时的惯性，不会立即忽高忽低，会延缓转速的变化。延缓时间的长短与飞轮的直径和质量（重量）有关。从飞轮的这些数值和转速可以计算出来，这就称为飞轮旋转体的转动惯量。

水轮发电机在运行时，负荷时常会有变动，但是必须保证机组转速的相对稳定。这样，就要求水轮发电机组的转动部分有类似飞轮的作用来稳定转速，就是说转动惯量要大。转动惯量用  $GD^2$  表示，单位用  $\text{kg}\cdot\text{m}^2$  其中  $G$  主要决定转动部分的质量（重量）， $D$  主要决定转动部分的直径。由于整个水轮发电机组转动部分以磁轭和磁极为最重，它们所处的直径也最大，所以水轮发电机组的转动惯量主要决定于磁轭和磁极，它的飞轮效应约占整个转动部分的 90%。对小型水轮发电机有时采用加装一个飞轮，人为地加大转动部分的

质量(重量)以满足转动惯量的需要。

#### 四、水轮机的主要类型

水轮机是将水流能量转变为旋转机械能的一种水力机械，它主要用来带动发电机发电，是水电站厂房中的主要动力设备。水轮机和发电机连结为一整体称为水轮发电机组，简称为机组。

水流的能量包括动能和势能，而势能又包括位置势能和压力势能。根据水轮机利用水流能量情况的不同，可将水轮机分为两大类：同时利用水流动能和势能的水轮机称为反击式水轮机；利用水流动能的水轮机称为冲击式水轮机。每一大类中又有多种型式的水轮机，现分述如下。

##### (一) 反击式水轮机

反击式水轮机的转轮是由若干个具有空间曲面的刚性叶片组成，当压力水流通过整个转轮时，由于弯曲叶道迫使水流改变其流动的方向和流速的大小，因而水流便依其动能和势能给叶片以反作用力，并形成旋转力矩迫使转轮转动做功。

对反击式水轮机，压力水流通过蜗壳、导水机构进入转轮做功后由尾水管引导排至下游。按转轮区的水流相对于水轮机主轴的方向不同，反击式水轮机又可分为混流式、轴流式、斜流式和贯流式水轮机。

##### 1. 混流式水轮机

如图 1-13 所示，水流通过转轮时先以辐向从四周进入转轮而后以轴向流出转轮，故称为混流式水轮机。混流式水轮机结构简单，运行稳定，效率高，它的水头应用范围一般为 20~450m，目前最高已应用到 672m，是现代应用最广泛的一种水轮机。我国刘家峡水电站 30 万 kW 的机组和龙羊峡水电站 32 万 kW 的机组应用的就是这种型式的水轮机。

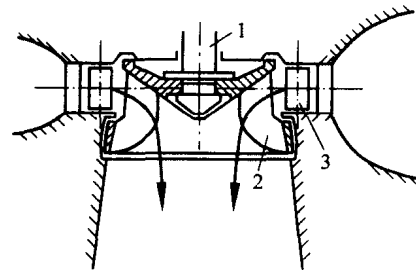


图 1-13 混流式水轮机  
1- 主轴 2- 转轮 3- 导叶

##### 2. 轴流式水轮机

如图 1-14 所示，这种水轮机的水流在进入转轮之前流向就已经变得和水轮机轴平行，因此水流在通过转轮时沿轴向进入而又依轴向流出，所以称为轴流式水轮机。轴流式水轮机按其叶片结构上的特点又可分为定桨式和转桨式两种。

轴流定桨式水轮机在运行时其叶片是固定不变的，因而其结构简单，但当水头和流量变化时，其效率相差较大，所以多应用在负荷变化不大、水头和流量比较固定的小型电站上，其应用水头范围一般为 3~50m。

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，使水轮机在不同工作状况（以下简称工况）下都能保持有较高的效率，因此轴流转桨式水轮机多用在大中型水电站上，它的水头应用范围可达 3~80m。我国长江葛洲坝水电站 12.5 万 kW 和 17 万 kW 的机组应用的就是这种型式的

## 水轮机

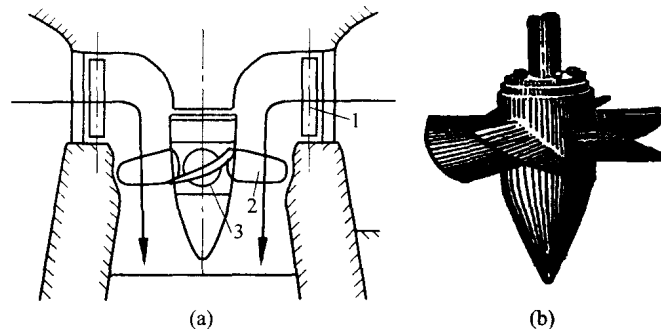


图 1-14 轴流式水轮机

(a)轴流转桨式;(b)轴流定桨式

1-导叶;2-轮叶 3-轮毂

### 3 斜流式水轮机

如图 1-15 所示,水流流经转轮时倾斜于轴向 故称为斜流式水轮机。这种水轮机的

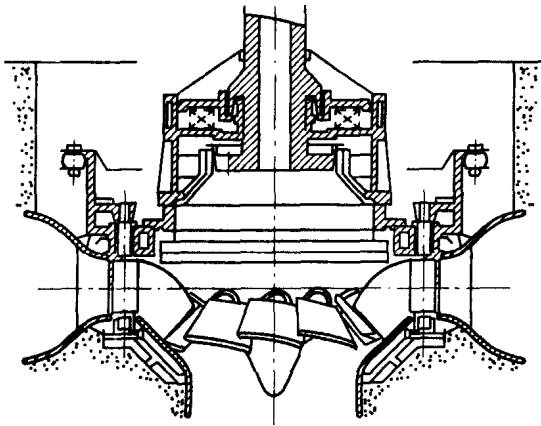


图 1-15 斜流式水轮机

叶片也是可以转动的,叶片的轴线与主轴的轴线呈  $45^{\circ} \sim 60^{\circ}$  的锥角 因而与轴流转桨式水轮机相比就能装置较多的叶片,应用水头范围也有所提高,一般为  $40 \sim 200\text{m}$ 。1969 年我国制成了第一台斜流式水轮机并在毛家村水电站上安装运行,其单机容量为  $8\,000\text{kW}$ ;1972 年又为密云水电站制成了  $15\,000\text{kW}$  的斜流式水泵水轮机,目前正在试制更大容量的斜流式水泵水轮机。

### 4. 贯流式水轮机

当轴流式水轮机的主轴装置成水平或倾斜 而且不设置蜗壳 使水流直贯转轮 这种水轮机称为贯流式水轮机 它是开发低水头水力资源的新型机型,适用于水头小于  $20\text{m}$  的情况。由于发电机装置情况的不同,这种水轮机又分为全贯流式和半贯流式两种。

当发电机转子安装在转轮外缘时,称为全贯流式水轮机。但由于转轮外缘线速度较大 而且密封十分困难 故现已很少使用。当发电机采用灯泡式或其他轴伸式、竖井式布置时的这种水轮机统称为半贯流式水轮机。其中以灯泡贯流式机组应用较为广泛,如图 1-16 所示,其特点是将发电机装置在灯泡形的密封机壳内并与水轮机直接连接,这样结构紧凑,流道平直,水力效率也较高。我国已制成水轮机转轮直径为  $1.0\text{m}$ 、单机容量为  $10\,000\text{kW}$  的灯泡贯流式机组,安装在白垢水电站中。

### (二) 冲击式水轮机

冲击式水轮机主要由喷管和转轮组成。来自压力钢管的高压水流通过喷嘴变为具有动能的自由射流。当高速射流冲击转轮叶片时 从进入到离开轮叶时 速度的大小和方向

也都发生变化，因而将其动能传给转轮并形成旋转力矩使转轮转动。

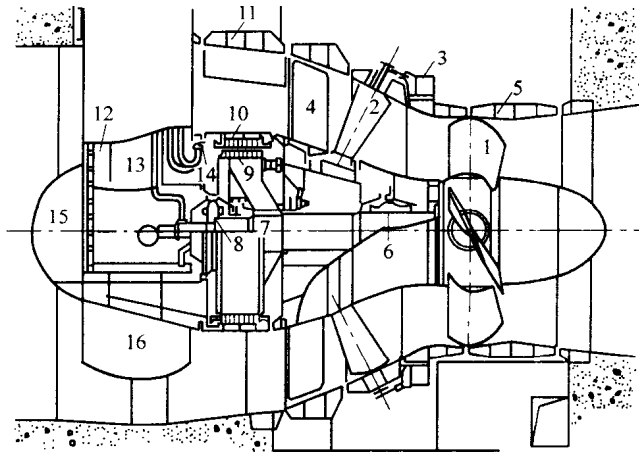


图 1-16 灯泡贯流式机组

1-水轮机转轮 2-导叶 3-控制环 4-固定导叶 5-检修盖板 6,7-径向轴承 8-推力轴承;  
9-发电机转子;10-定子;11-盖板;12-管路通道;13-检修人孔;14-电缆通道;15-灯泡壳体;16-前支柱

冲击式水轮机按射流冲击转轮的方式不同，又分为水斗式、斜击式和双击式 3 种。后 2 种结构简单便于制造，但效率较低，多应用在小型水电站中。水斗式水轮机是目前应用最广泛的一种冲击式水轮机，如图 1-17 所示。它适用于高水头小流量的情况，现代大型水斗式水轮机的水头应用范围大都在 400~1000m 世界上最高的达 1767m。我国磨坊沟水电站所安装的水斗式水轮机，单机容量为 1.25 万 kW 设计水头为 458m。

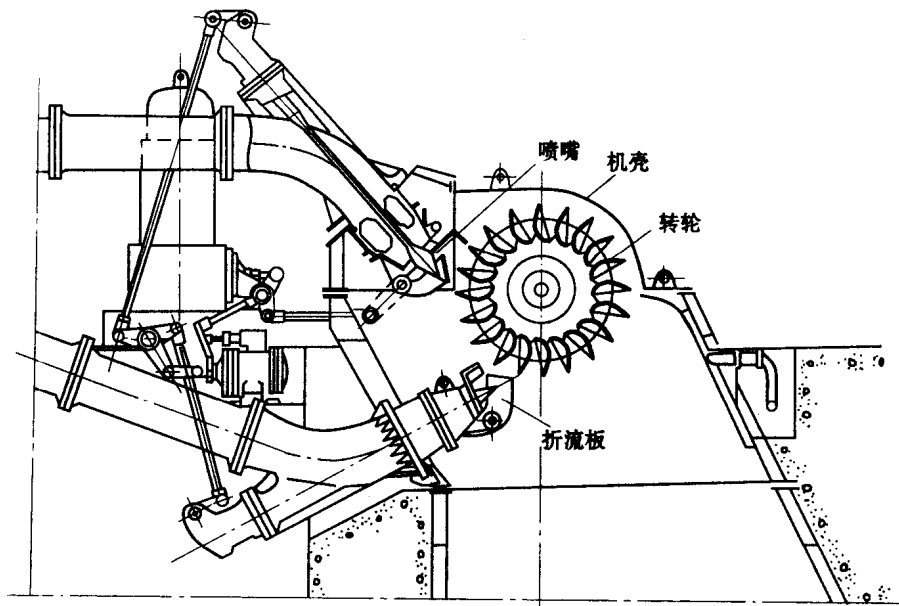
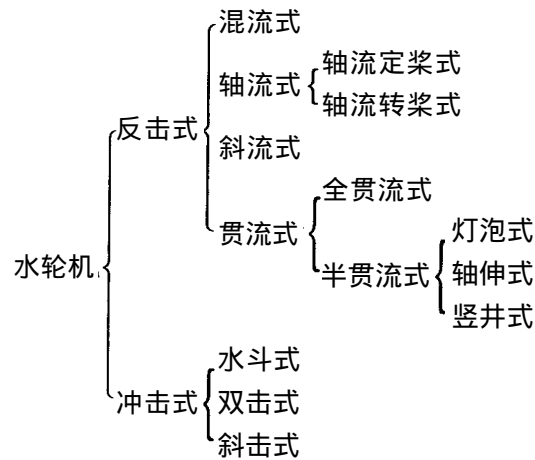


图 1-17 水斗式水轮机

根据以上所述，现将各种类型的水轮机归纳简列于下：



对于抽水蓄能电站所应用的可逆式水轮机 通常应用的也有混流式、斜流式、轴流式和贯流式。

在生产上 按额定容量及转轮直径的大小将水轮机也划为大、中、小型 见表 1-5。

表 1-5 水轮机大、中、小型的划分

类别	转轮直径 (m)		额定容量(kW)
	混流式	轴流式	
大型	> 2.25	> 3.0	> 30 000
中型	2.25 ~ 1.0	3.0 ~ 1.2	10 000 ~ 30 000
小型	< 1.0	< 1.2	< 10 000

大中型水轮发电机组均采用竖向立式装置，水轮机轴和发电机轴的中心线在同一铅垂线上，两轴通过法兰盘用螺栓刚性连接，进行直接传动。这样，可使发电机安装在较高的位置而不易受潮，机组的传动效率最高而且安装、拆卸及维护管理也都方便，水电站厂房占地面积小，也易于布置。只有对一些小型机组，有时采用卧式装置或间接传动。

## 五、水轮机的型号及标称直径

为了统一水轮机的品种规格，我国对水轮机的型号作了统一规定，规定型号由以下 3 部分组成，各部分之间用一短横线分开。

第一部分由两个汉语拼音字母和阿拉伯数字组成 前者代表水轮机的型式 (表 1-6)，后者是水轮机的比转速，并以比转速代表水轮机的型号。

第二部分由水轮机主轴的装置型式和进水设备为特征的代号组成，这些代号都采用汉语拼音字母表示 见表 1-7。

第三部分由水轮机的标称直径 (以 cm 为单位) 或其他必要的指标组成。对水斗式水轮机，牌号的第三部分规定按下列方式表示：

表 1-6

水轮机型式的代表符号

水轮机型式	代表符号	水轮机型式	代表符号
混流式	HL	贯流定桨式	GD
轴流转桨式	ZZ	冲击(水斗)式	CJ
轴流定桨式	ZD	双击式	SJ
斜流式	XL	斜击式	XJ
贯流转桨式	GZ		

注 对可逆式水轮机,在水轮机型式代号后加汉语拼音字母“N”。

表 1-7

主轴装置型式与进水设备特征代表符号

名称	代表符号	名称	代表符号
立轴	L	明槽	M
卧轴	W	罐式	G
金属蜗壳	J	竖井式	S
混凝土蜗壳	H	虹吸式	X
灯泡式	P	轴伸式	Z

水轮机转轮的标称直径 (cm)  
作用在每一转轮上的喷嘴数目  $\times$  射流直径 (cm)

各型水轮机转轮的标称直径 (简称水轮机直径) 的规定如下 (图 1-18):

(1) 混流式水轮机是指转轮叶片进口边上的最长直径, 如图中 (b) 和 (c)。

(2) 轴流式水轮机和斜流式水轮机是指与转轮叶片轴心线相交处的转轮室内径 如图中 (a) 和 (d)。

(3) 水斗式水轮机是指转轮与射流中心线相切处的节圆直径, 如图中 (e)。

下面举例说明水轮机型号中表示及意义: ① HL220-LJ-550 表示混流式水轮机 转轮型号(比转速)为 220 立轴 金属蜗壳 转轮标称直径为 550cm; ② ZZ560-LH-800 表示轴流转桨式水轮机 转轮型号为 560 立轴 混凝土蜗壳 转轮标称直径为 800cm; ③ XLN200-LJ-300 表示斜流可逆式水轮机 转轮型号为 200 立轴 金属蜗壳 转轮标称直径为 300cm; ④ GZ440-WP-500 表示贯流转桨式水轮机 转轮型号为 440 卧轴 灯泡式进水室 转轮的标称直径为 500cm; ⑤ 2CJ30-W- $\frac{120}{2 \times 10}$  表示一根轴上有两个转轮的水斗式水轮机, 转轮型号为 30 卧轴 转轮的标称直径为 120cm 每个转轮上有两个喷嘴 射流直径为 10cm。

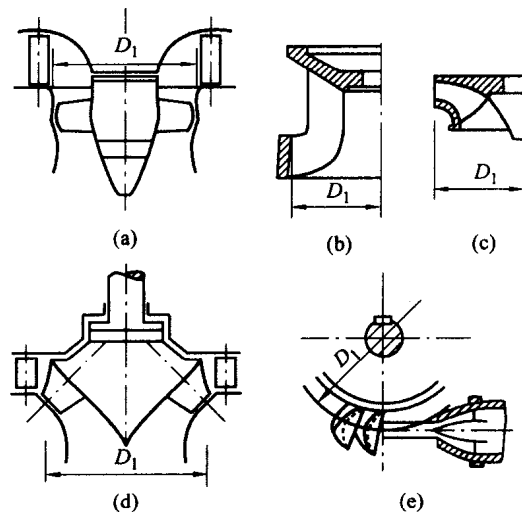


图 1-18 各型水轮机转轮标称直径