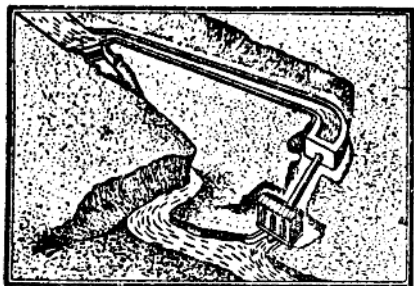


农村小型水电站讲义

下 卷

第二分册

赵 增 光 著



水利电力出版社

目 录

第二十四章 原始的水力原动机——水輪	3
§128 上击式水輪	43
§129 中击式水輪	46
§130 下击式水輪	47
第二十五章 近代水輪机的分类及其一般構造	48
§131 近代水輪机的基本类型	48
§132 現代水輪机之簡單構造	42
第二十六章 水輪机的簡單工作原理与相似理論	47
§133 反击式水輪机的工作原理	19
§134 速度三角形	18
§135 水輪机的效率	20
§136 冲击式水輪机的工作原理	22
§137 相似律	24
§138 水輪机的特性轉速(比速)	27
§139 水輪机的特性曲綫	30
§140 不同类型不同比速水輪机特性曲綫之比較	35
第二十七章 反击式水輪机的进水設備和泄水設備	37
§141 反击式水輪机的进水設備——水輪机室	38
§142 反击式水輪机的泄水設備——尾水管	44
第二十八章 水輪机的产品介紹	50
§143 苏联农村水电站用水輪机系列	50
§144 苏联农村水电站的水輪机选用	53
§145 我国現有小型水輪机产品介紹	54
第二十九章 常用水輪机的結構	59
第三十章 水輪机的調速器	78
§146 調速器的作用与構造	78
§147 結構簡單的直接作用式調速器	81
第三十一章 水輪机的安裝	85

§148 安裝的組織工作.....	85
§149 水輪機的一般安裝方法.....	88
§150 各組水輪機的安裝.....	94
第三十二章 水輪機的運轉和維護.....	102
§151 水輪機運轉.....	102
§152 水輪機的維護.....	106
第三十三章 傳動設備.....	109
§153 傳動設備一般介紹.....	109
§154 平皮帶傳動.....	109
§155 三角皮帶傳動.....	114
§156 半交叉平皮帶傳動.....	119
§157 傳動皮帶的維護.....	120
第三十四章 我國農村用的水輪機發電機系列化的初步方案	122
§158 水輪機的系列化.....	122
§159 發電機的系列化.....	124
附錄.....	129

第二十四章 原始的水力原动机——水輪

在 3,000 多年以前，我国即已利用水輪来代替一部分人力劳动了，直到目前这类水力原动机还在起着重要的作用，如南方各省所用提水灌溉的筒車及甘肃黄河沿岸所用天車等，均屬此种类型。下面簡單介紹一下常見的几种水輪的性能和适用范围。

水輪一般分为上击式水輪、中击式水輪和下击式水輪等三种。

§128 上击式水輪

上击式(图24-1)水輪是依靠流入水斗内水的重量来旋轉的。因为在同一个時間內只有一边的水斗充滿着水，所以就产生了一个轉动力矩，使水輪繞着一定的方向旋轉，水經由导水槽引至水輪的頂部。流量的大小用导水槽末端的閘門控制。

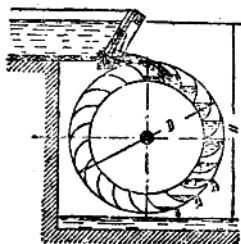


图24-1 上击式水輪

上击式水輪下半部的运动方向与尾水渠中的水流方向相反，所以不能讓它沒在水面以下，否則水輪的轉速会变慢，效率將显著降低，一般规定水輪的最下部应在下游水位以上0.25~0.50公尺。

如此，为了最大限度地利用水电站集中的落差，上击式水輪的直徑 D 必須和水头 H 相差不大，一般是 D 比 H 小0.3~0.6公尺。这样上击式水輪的适用范围就因其笨重受到了限制。通常上击式水輪的直徑都在12公尺以下，随着直徑增加則水輪轉速减小，而傳動設備則变得复杂起来。

在低水头的情况下，水輪直徑虽然减小，但轉动力矩也减小，这时轉速虽然稍有增加，然而水輪的容量还是会减少的。

上击式水輪的轉速一般为4~12轉/分，每單位寬度(1公尺)的流量选择在0.1~0.2秒公方之間，在实际工程中总的流量一般为0.1

~1.0秒公方。

上击式水輪不适合水头在3~3.5公尺以下的情況。上击式水輪本身效率一般在0.5~0.75，若以上击式水輪作为电厂的原动机，其总效率要比这数字还低，因为水头不能全部利用，傳动設備又很复杂，所以效率就更低了。

上击式水輪的设计步骤：

已知：水头3~12公尺；流量0.1~1.0秒公方；

水輪效率0.5~0.75。

符号說明：設

Q 为过水量（秒公方），

H 为上下游水位差（公尺），

h_0 为射水口中心至上水面高（公尺），

h_e 为輪頂至上水面距离（公尺），

h_a 为水輪最下点高出下游水位距离（公尺），

u 为輪周切綫速度（公尺/秒），

v 为水輪的进水流速（公尺/秒），

C_h 为射水口中心水的水平分速（公尺/秒），

θ 为 v 与 C_h 間的夾角，

D 为水輪直徑（公尺），

n 为水輪轉速（轉/分），

a 为水扉深度（公尺）。

(1) 根据利用水头及流量假設水輪的效率求出水輪的功率

$$N = \frac{1000QH\eta}{75} \text{ (馬力);}$$

(2) 求射水中心至上水面高 h_0 。

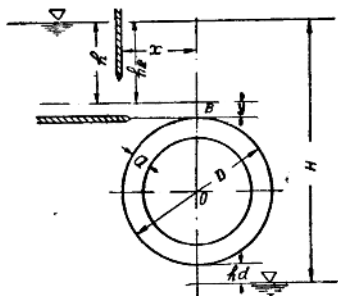


图24-2

1) 根据經驗选择輪周的切綫速度 u , 一般采用

$$u = 1.5 \sim 2.0 \text{ (公尺/秒)}$$

2) 由 u 根据經驗公式算出射水中水的水平分速 C_h , $C_h = 2.5\sqrt{\mu}$ 或 1.1μ (公尺/秒)。

3) 由 C_h 求得 h_0 (图24-2) $h_0 = 1.1 \times \frac{C_h^2}{2g}$ (公尺)。

(3) 求輪頂至上水面的距离 h_c :

1) 求进水流速 v $v = \frac{C_h}{\cos\theta}$ (θ —一般采用 $15^\circ \sim 18^\circ$);

2) 求 h_c $h_c = 1.1 \times \frac{v^2}{2g}$ (公尺)。

(4) 求水輪直徑 D :

1) 假設水輪底最大点高出下游水位距离 h_a (一般采用 $h_a = 30 \sim 40$ 公分);

2、輪徑 $D = H - (h_c + h_a)$ (公尺)。

(5) 求水斗深度 a :

$$a = \frac{1}{4} \sqrt[3]{H} \sim \frac{1}{6} \sqrt[3]{H}$$

(6) 求水輪寬度 b :

$b = \frac{Q}{a\mu\varepsilon}$ ε 为裝水系数一般 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$ (b 大于 1.5 公尺时須加裝中圈)。

(7) 求射水口寬度 b_0 $b_0 = b - (0.2 \sim 0.3)$ 。

(8) 求射水口高度 a_0 $a_0 = \frac{Q}{b_0 C_h}$ 。

(9) 求水輪頂点 B 之座标值 x, y (以射水口射水中心为座标中心)。

$$x = C_h \sqrt{\frac{2g}{y}}; \quad y = h_c - h_{00}$$

(10) 求水輪輻数 A $A = D + (2 \sim 3)$ (使輻数为双数)。

(11)求水戽数 Z 水戽距离 t_a

$$Z = xA (x \text{ 为假定数}) \quad t_a = \frac{2D}{8}。$$

(12)求水輪轉速 n $n = \frac{60\mu}{\pi D}$ (轉/分)。

(13)叶板形狀: 水戽叶板如以木制, 叶形可以兩段直綫 AB 及 BO 形成之。 AB 为半徑方向約等于水斗高 a 的 $\frac{1}{3}$ BO , 則与 O 点切綫成 30° 角。

[例]某小型水电站和水头 $H=5.5$ 公尺, 流量 $Q=0.5$ 秒公方, 选用水輪圓周切綫速度 $u=2.0$ 公尺/秒。

$$C_A = 2.5 \sqrt{u} = 3.53 \text{ 公尺/秒。}$$

选用 $\theta = 18^\circ$ 。

$$v = \frac{C_A}{\cos \theta} = \frac{3.53}{0.91} = 3.89 \text{ 公尺/秒。}$$

射水口中心至上水面高

$$h_0 = 1.1 \frac{C_A^2}{2g} = 1.1 \frac{3.53^2}{2 \times 9.81} = 0.7 \text{ 公尺。}$$

輪頂至上面的距离 h_e

$$h_e = 1.1 \frac{v^2}{2g} = 1.1 \frac{3.89^2}{2 \times 9.81} = 0.85 \text{ 公尺。}$$

选用 $h_a = 0.4$ 公尺, 則 $D = H - (h_e + h_a) = 4.25$ 公尺。

$$\text{水輪轉数: } n = \frac{60u}{\pi D} = \frac{60 \times 2}{3.14 \times 4.25} = 9.0 \text{ 轉/分,}$$

$$\text{水戽深度: } a = \frac{1}{4} \sqrt[3]{H} = \frac{1}{4} \sqrt[3]{5.5} = 0.44 \text{ 公尺,}$$

$$\text{水輪寬度: } b = \frac{Q}{a \pi u} = \frac{0.5}{0.44 \times \frac{\pi}{4} \times 2} = 1.7 \text{ 公尺,}$$

$$\text{射水口寬度: } b_0 = 1.7 - 0.3 = 1.4 \text{ 公尺,}$$

$$\text{射水口深度: } a_0 = \frac{Q}{b_0 C_A} = \frac{0.5}{1.4 \times 3.53} = 0.101 \text{ 公尺,}$$

$$\text{輪輻数: } A = D + 2 = 4 + 2 = 6 \text{ 根。}$$

§129 中击式水輪

中击式水輪 (图24-3) 主要也是依靠水斗中水的重量来轉动的,

其水流量利用的比較充分，因为在輪的下面有一个圓弧形阻水面防止水倒出来。

在水头小不适合上击式水輪时，可采用中击式水輪，其直徑为水头的3~4倍。

当下游水位升高使水輪浸在水下时，对中击式水輪效率影响不大，因为它的下半部运动方向和尾水渠水流运动方向一致。中击式水輪所要求的流量要比上击式水輪的流量大些，一般在0.1~3秒公方，每單位寬度（1公尺）的流量为0.3~1.0秒公方。

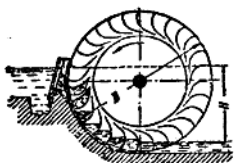


图2-3 中击式水輪

中击式水輪适用水头的范围随进水方式不同而变化，若堰式进水时，水头适用范围为0.4~2.5公尺；底孔式进水时，水头适用范围为1.5~5.0公尺。

中击式水輪的直徑一般为2~9公尺。轉速为2~12轉/分，因其轉速也很慢，同样也要一套复杂的傳动设备。因为它能充分利用水头，所以在作为电厂的原动机时，效率要比上击式水輪的效率高些。但輪的外周与其包围的阻水面空隙应尽可能小些，否則渦水太多而影响效率。当为木輪时，此間隙采用10~15公分。当为鉄輪时，此間隙采用0.8公分，而且阻水面要混凝土制成。

§130 下击式水輪

下击式水輪（图24-4）是依靠水流的动能而轉动的，水从閘門下流出时冲動輪叶把水輪帶动。

因为它所利用的仅仅是水流的动能，所以一定要經常浸在水下12—15公分，因此这种水輪应用水头很小（0.3~1公尺）。效率也很低只0.3~0.35。特别是在輪叶为平板时，撞击水能損失很大，而且兩旁漏水很多，因此效率很低。我們若把輪叶制成曲綫形狀，兩旁作上擋

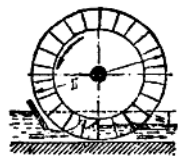


图24-4 下击式水輪

水板，它的效率就可提高到0.6~0.65。

下击式水輪是依靠水流动能工作的，所以流速减小时水輪的出力也就随着降低，当流速在1公尺/秒以下时，用下击式水輪就不合适了。而且下击式水輪直径不宜超过4~7公尺，否則轉速太低。下击式水輪可以应用到5秒公方流量。

在上面講的三种水輪中以平板形的下击式水輪最經濟，但出力亦最低。綜合上所述，水輪原动机有以下的缺点：

(1) 适用水头范围小；如果水头大相应的輪徑就要加大，这就显得非常笨重；

(2) 轉速很慢；最快也不过每分十几轉，若为电厂的原动机，和发电机联动起来就要经过多次傳动，不但增加了傳动設備，而且功率損失很大；

(3) 容量很小，一般在50馬力以下，若要增大馬力就要多加水輪，这样佔地很多增加了厂房的面积和厂房造价；

(4) 效率較低，因为水能不能充分利用；

(5) 轉速不容易控制。

由于以上的缺点，所以現在一般很少采用。

第二十五章 近代水輪机的分类及其一般構造

§131 近代水輪机的基本类型

水輪机按照水流作用于轉輪，按其性質可分为冲击式和反击式兩大类型。前者是利用噴射水流对水斗之冲击力来轉动；后者是利用水流自輪叶間流过时所产生的反作用力而轉动的。

这两大类型中每类又可按照它們結構上的不同，又可分为許多种。但近代水电站常用的水輪机，一般可分为五种基本类型。

(1) 輻軸流式或称法蘭西斯式(图25-1)；

(2) 旋槳式或称軸流式(图25-2)；

(3) 轉槳式或称卡普蘭式(图25-3)；

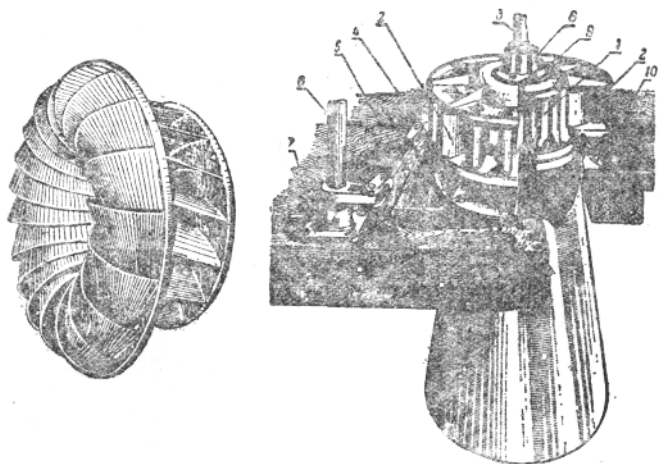


图25-1 辐轴流式水轮机

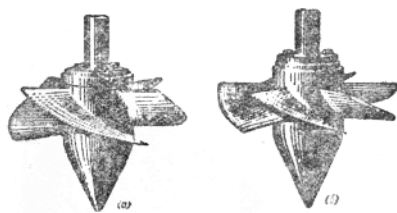


图25-2 旋桨式水轮机

四片轮叶a和六片轮叶b的旋桨式水轮机

以上三种均属于反击式水轮机。

(4) 冲斗式或称培尔顿式(图25-4);

(5) 两击式或称班克式(图25-5);

以上第(4), (5)两种均属于冲击式水轮机。

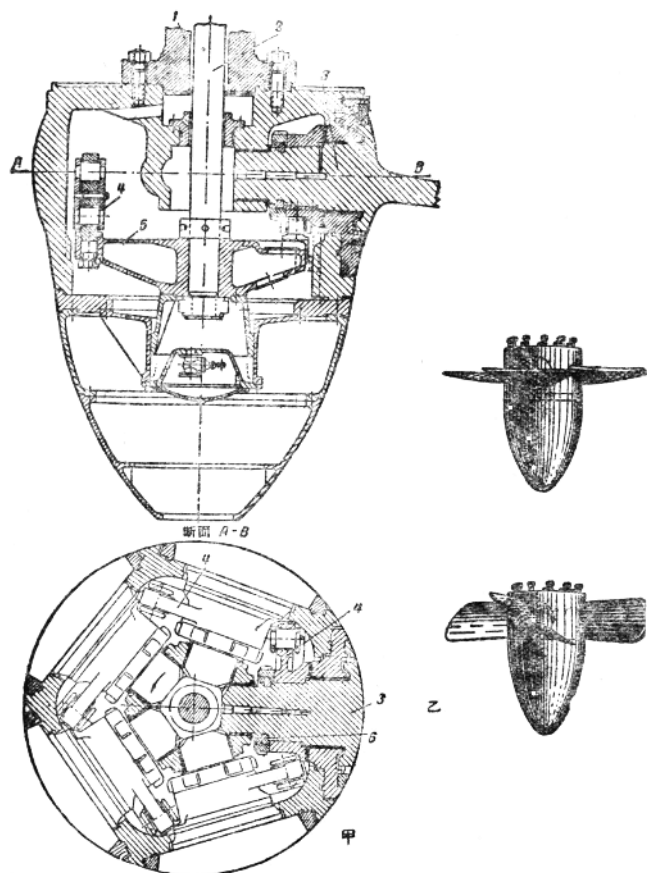


图25-3 转桨式水轮机

- 1—水轮机主轴；2—转动轮叶的调整杆；3—轮盖；4—转动轮叶的摇臂；
5—与调整轴一起转动并与摇臂4相联的十字头；6—核柱形键。

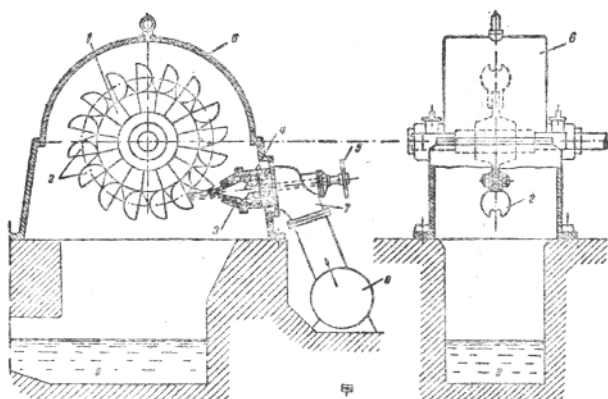
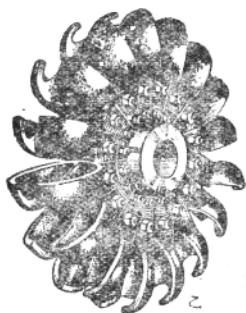


图25-4 冲斗式水轮机

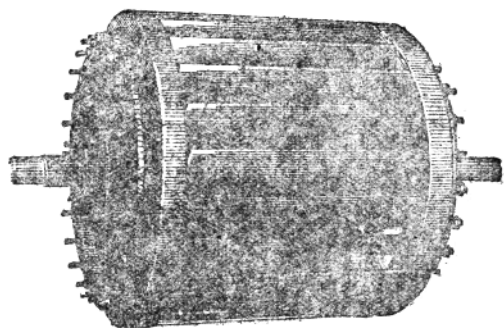
1—转轮；2—斗；3—喷嘴；4—调节针阀；
5—手动调整的舵轮；6—外壳；7—进水管头；
8—压力导水管；9—尾水槽。



这五种水轮机，各适用于不同的工作条件（指不同的水头与出力），但几乎所有可能遇到的工作条件下，均有可能只少选择出其中之一满足该条件的需要。

这五种基本类型的水轮机与水轮相比，可看出具有下列之优点：

- (1) 工作效率高；
- (2) 具有较高之转速；



25-5 反击式水轮机

- (3) 水輪机的尺寸較小，便于布置厂房；
- (4) 可以充分地利用水头。

§132 現代水輪机之簡單構造

水輪机之主要組成部分大体上可分为：

- (1) 进水設備及机壳；
- (2) 轉輪；
- (3) 泄水設備。

不同型式之水輪机其各部分構造往往极不相同，其区别集中表现在轉輪上，下面分別就各种水輪机的構造作一簡單介紹。

(1) 反击式水輪机

三种常用的反击式水輪机中除轉輪外，其他結構大致相同，其組成部分包括：

(1) 机壳 在低水头之小型水电站中常采用“明槽式”，即把水輪机直接浸沒在寬闊的水槽中，槽中的上水面为自由水面，不承受压力。明槽式机壳又根据形狀可分为几种，在第二十七章中將要詳細介紹，这里就不再多談。

若水头較高($>6 \sim 7$ 公尺)，則明槽式不适用，而采用封閉式，这种

机壳沒有自由水面、普通分混凝土渦壳、金屬渦壳，圓筒金屬机壳等几种，在进水设备一章中再詳細叙述。

(2) 导流器 导流器(图25-6)由分佈在轉輪周圍的导叶和导流环組成。导流器分兩種：一种导叶是活动的，它可以同时一致地繞自己的固定軸旋轉一个相当的角度，用导叶的启閉来控制进入轉輪的流量，以适应負荷的变化；另一种导叶是固定的，調节流量是用套在外面的圓筒閘，圓筒閘上下时，过水断面也相应改变，从而控制了进入轉輪的流量。

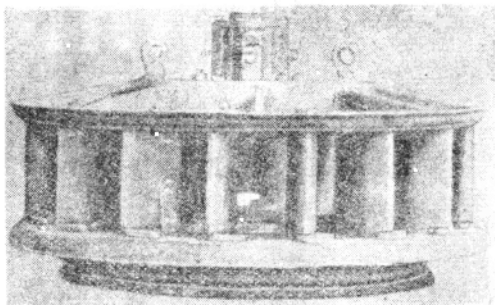


图25-6 导流器

回轉导叶式的导流器構造較复杂，所以近來我国許多小型水电站都采用了固定导叶用圓筒閘来調速，由于圓筒閘上下时不需要克服水的压力，費力較小，所以还可以采用直接作用式的簡單調速器，后面我們还要作詳細介紹。

在回轉导叶式导流器，导叶的作用有三：1) 导順水流；2) 控制流量；3) 支持水輪机頂盖。它由流綫型的导叶(12~32片)，上下导流环，控制环，小連板、拉杆等組成(图25-7)。

导叶中心穿有小樞軸，上下貫穿于导流环之小軸承中，导叶外端另一点以小連板与控制环相联，控制环被調速器拉杆拉动回轉时，导叶由于偏心作用也向一个方向偏轉。

固定导叶式則多將导叶与导流环鑄为一体。

(3)轉輪 轉輪是水輪機中最主要部分，其型式上極小的改變，都會影響到水輪機的性能，各種型式水輪機的區別，主要就表現在轉輪的不同。

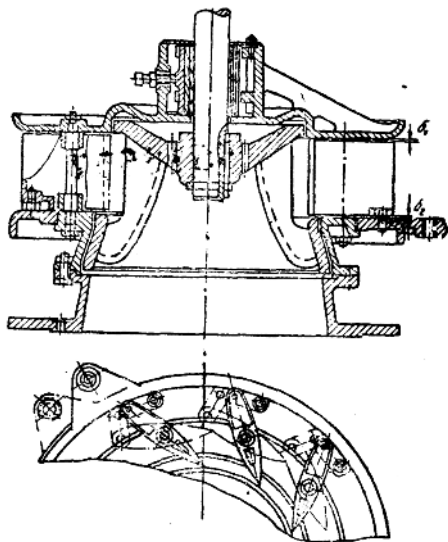


圖25-7 回轉導葉式導流器

輻軸流式水輪機之轉輪，是由許多扭曲形的葉片，和裝在葉片上端的輪冠及葉片下端的輪箍所組成的，葉片固定在輪冠和輪箍之間。在水頭不大的情況下的小型水輪機，一般是用鑄鐵的輪冠和輪箍，中嵌以普通碳鋼片彎成的葉片，組成轉輪。這種轉輪在製造上最方便、葉片鑲嵌不夠牢固；並且水流和葉片形狀不能完全吻合，以致效率不高，較大一點的水輪機，在水頭不大的情況下是整個用上等鑄鐵做成。大的水輪機是用鋼的葉片和鑄鐵輪冠、輪箍構成，葉片斷面形狀是流綫型的，葉片的數目一般是12個~20個。

旋槳式和轉槳式水輪機的轉輪是以輻軸流式演進而來，這兩種水



0662562

15/103/2	
15	1

輪機的轉輪是由一個輪軸和附在軸上的扭曲形叶片所組成。它們的外形很相似，只是旋槳式的叶片是固定在輪轂上的，而轉槳式的叶片則可繞着叶片本身的軸旋轉。轉槳式中一種是運轉中能隨時調節輪葉角度的；一種則需停車後方能調整，其輪葉與葉軸接為一體，用銷子固定在輪轂上。前者構造較複雜、造價較高，小型水電站很少採用，後者則採用較廣。

旋槳式和轉槳式叶片断面都作成流綫型，其叶片數目和水頭有關，一般是3~8個，在水頭為5~20公尺時一般都用4個；在水頭20~60公尺時用5~8個；事實上在水頭大於30公尺時就很少用這兩種水輪機，所以一般常見的是4個叶片。

我國目前農村用的小型水輪機，沒有生產轉槳式的，福建省綜合農業試驗站所生產的旋槳式水輪機，旋葉與輪轂系用生鐵整體鑄出，結構如圖25-8所示。

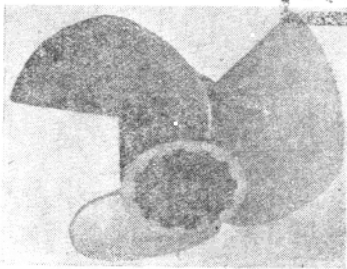


圖25-8 np88-B0-120轉輪

(4)軸及軸承 軸是將動能由轉輪傳至皮帶輪、齒輪、或發電機的必不可少的中間裝置。一般小型水輪機多為實心軸，大型的轉槳式水輪機則多將調節輪葉角度的傳動裝置裝在空心的主軸中。主軸的裝置方式分立軸及臥軸兩種，在我國小型水電站中，低水頭多用立軸，中高水頭則採用臥軸。較長的立軸有時為了加工及安裝方便又分作兩段，中間以法藍聯結起來。

軸承在立軸式水輪機分為上下兩部，上部軸承位於發電機層地面之上之推力軸承箱內，主要承受軸向的力(包括主軸、轉子的重量及水對轉輪的軸向壓力)，稱為推力軸承；下部軸承裝置在水輪機頂蓋上，主要為防止主軸在運轉時擺動，稱為導軸承。

我國目前製造的小型水輪機，推力軸承多採用圓錐滾柱軸承，在蘇聯的標準設計中則採用帶自動調位徑向導軸承的滾珠推力軸承。

(图25-9)。此外也有采用滑动轴承的(图25-10)。

开敞式水輪机的导轴承, 因为淹没水中, 一般多用木質(瘰瘡木、鉄梨木、及其他硬質木料)或硬橡膠等材料制成的軸瓦, 直接以水来潤滑, 軸瓦后面用螺絲頂紧, 用螺絲可以調节軸的中心位置。

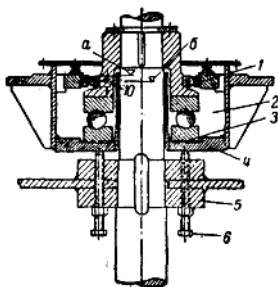


图25-9

a和b分别为最高和最低油面
1—导轴承; 2—立軸承; 3—在油槽底部車出的环状槽; 4—油槽; 5—轉輪殼; 6—支承油槽螺絲。

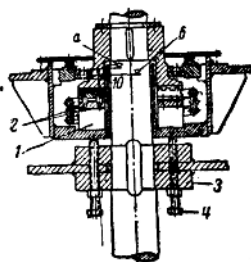


图25-10

a和b分别为最高和最低油面
1—弓形垫块; 2—定位銷; 3—轉輪; 4—支承油槽螺絲。

在我国新設計的系列中为适应北方泥沙含量較大的条件, 設計了一种用兩半个套管封閉以油潤滑的导軸承。可以根据条件选用。

臥軸水輪机采用徑向滾珠軸承。

(5)尾水管 水流从轉輪流出时, 还含有很大的能量, 这些能量对于水輪机的效率有着很大的意义, 尾水管即承担着回收这些能量的任务, 所以尾水管对于水輪机來說是很重要的。

尾水管有好多种不同的型式, 主要的有直圓錐型和弯曲型两种, 直圓錐型效率較高, 但采用这种尾水管时, 水电站厂房基础需要較多的挖方, 一般只用在小型水輪机上。大型水輪机都用弯曲形尾水管(图25-11, 25

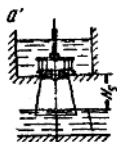


图25-11 直圓錐型
尾水管



图25-12 弯曲型
尾水管