

大众科学识丛

伟大的水力

〔苏联〕M. 瓦西利叶夫著



科学普及出版社

目次

緒言	1
第一章 “白煤”	2
1. 河流是能量的来源	2
2. 水輪	3
3. 水輪机的产生	6
4. 水的几个实验	8
5. 水輪机的种类	10
6. 河流的調节	15
7. 水电站的型式	16
8. 苏联的水能利用	19
第二章 水是建設者	23
1. 水力机械化的原理	23
2. 水力冲击机	25
3. 吸泥船	29
4. 用水力筑坝	32
結束語	34

緒 言

水在自然界中分布得很广，它有液体、固体和气体三种状态。

海洋占据了地球表面的大部分。大大小小的河流密布在陆地上。地底下有很多水。水在空气中呈气态——水蒸汽的状态。水蒸汽凝結成細滴时，就形成云和霧。在地球的兩極地区有許多水是呈固体状态的。北半球巨大的格陵蘭島和南半球整个南極洲都被很厚的冰層所复盖，高山的頂峰在冬夏兩季都結着冰。

水在人們的生活中起着很大的作用。人們很早以来就居住在河流的兩岸，这里繁殖着許多魚和野禽，在灌溉得很好的土地上出产着丰饒的粮食，利用水道还可以进行远途旅行和运输貨物。

但是，人們在很長的时期內还是無力对抗大自然力的，因此，水就經常成为人类的敌人。时常毁灭住房和庄稼的洪水，被人們看作是不可避免的危害。

經過了一段时期，随着人类知識的增进，当人們学会了修筑水坝时，人們才有可能避免洪水的灾患。人們学会了利用水力来灌溉土地和取得动力，以滿足自己的需要。

水对于現代技术有很大的意义。水可以用来推动水电站的發电机，可以用来推动蒸汽發动机。它又可以象一个强壮的挖土工人似地挖掘基坑，建筑水坝，在我們的工地上进行工作。

这本册子就要談談人們怎样学会利用水力和利用水力时所应用的机械。

第一章 “白 煤”

1. 河流是能量的来源

河流通常發源于不很大的窪地，形成一条小溪从底部有冷泉噴涌的池塘里流出来，或是从沿着山峽滑动的冰川的下面滾滾地流出来。河流互相匯合后，繞过障碍物或是穿过障碍物开辟出河道，于是变得愈来愈寬，水量也愈来愈多，然后流入海洋里去。

河流是强大的、永远用不完的能量。我們知道，任何一个升高的物体都儲藏有一定的能量。物体从高处落下就耗費这部分能并会作出某种功来。物体愈重，升得愈高，那末它所作的功也愈大。例如鐘的小重錘慢慢落下时就帶动了时針；山峰發生雪崩时，就把整批岩石一扫而光。

河水从高处往低处流动，所以它也儲藏有能量，并且能作一定的功。

但是，鐘的重錘落到底时，就需要把它拉到上面去。那末河流的能量是怎样补充的呢？是什么力量使水从低处升往高处的呢？

这种力量就是日光的热。

太陽不断地向地球供应着强大的能量。一平方公里的地面上每分鐘所受到的太陽热(如果太陽光是以垂直方向射到地面)，足以把 190 吨水从零度加热到沸点。

照射在海洋表面的一部分日光能，用来使水加热和蒸發。太陽还使植物叶片和土壤中所含的水分蒸發。所产生的水蒸气和空气一起被帶到很远的地方，并以雨或雪的形式落到地球上。

每年降落到地球表面所有大陆和島嶼上的水量約有 10 万立方公里。用这些水量可以建造 100 个水庫，每个水庫的大小和咸海相仿。这个降水量大部分都被植物或河流、湖泊和沼澤的表面

蒸發掉了。約有4萬立方公里的水則被河流帶往海洋中。

由此可見，几千年来河流之所以沒有干涸，就是因为太陽好象一个巨大的水泵似地，經常把大量的水从海洋中搬送到河源（山峯和大陆中央地区）去。

人們通常把河流的能量比作“白煤”，这种“煤”在地球上的貯藏量非常丰富，它依靠太陽可以不断恢复它的貯藏量。苏联境内的河流每年可以“生产”25,000亿度以上的电力。

从这里可以看出，掌握河水中所包含的能量，使这个强大的力量为人类服务，这对于我們是多么重要啊！

2. 水 輪

人們为了使水变成馴服而忠实的奴僕，曾經花費了許多世紀的时间。人們利用水流能量的最早的設備就是水輪。

三千多年前在中国和印度就出現了水輪，起初它只是用来灌溉土地。

最初出現的是所謂下冲式（或下击式）水輪（圖1）。这种水輪裝有又寬又平的輪叶，通常是用木头做成的。下部輪叶浸在水中。水流冲击輪叶，于是就使水輪旋轉。

在輪叶的旁边裝有一些專門的戽斗或勺。輪子轉動的时候，戽斗就汲水并把它帶到上面，使它流到一条專門的溝槽中。这种裝置今天在非洲和亞洲的許多国家里还能找得到。

水輪經過逐渐改进，得到了新的用途。古代水利工程人員發現，下冲式水輪只

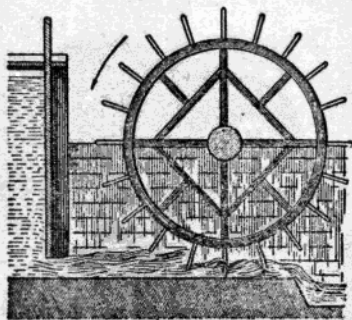


圖1 下冲式水輪。

有在湍急的水流中才能工作得很好。水流緩慢的河流就不能使水輪轉動。為了利用流速緩慢的河流的能量，人們就築壩把河床隔斷，留出一條狹窄的通道，在這裡裝設水輪。築壩後形成了水位差（所謂“回水”）。因此，通道中的水流就變得湍急了，水輪就可以工作了。

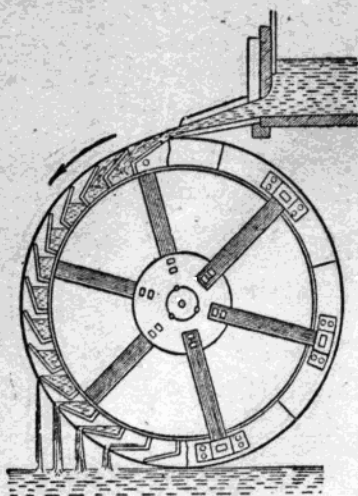


圖 2 上冲式水輪。

邊的水位差就更大了。水經過這種壩沿着一條專門的溝槽流到水輪的戽斗中。在水的重力作用下，輪子就轉動起來，並使下一個空的戽斗轉到水流下面。盛滿水的戽斗和水輪一同逐漸轉動，於是水就從戽斗里流出去。

這種水輪叫做上冲式（或上击式）水輪（圖 2）。它工作得比下冲式水輪好，因為它更充分地利用了水能。

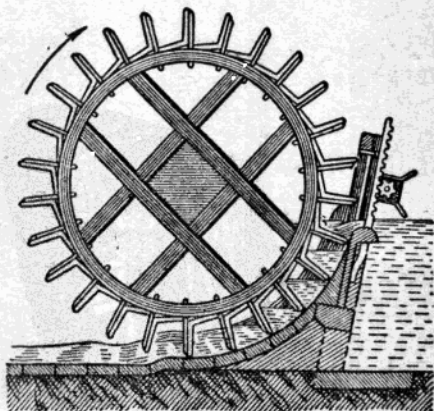


圖 3 中冲式水輪。

这种水輪可以应用在磨坊和矿井等等里面。

比下冲式水輪更完善的是中冲式水輪（圖3）。这种水輪不但利用了水的重量，而且利用了水对輪叶的冲力。

在俄国很早就出现了水輪，当时通常把它用来推动磨盤。最初提到水輪，是在11世紀。基輔公爵雅罗斯拉夫的“典章”中，曾談到因修筑水磨坝而可能引起的洪水，和怎样解决因修筑水坝而發生的訴訟。

在16—18世紀，水輪曾經是工業中应用的主要的并且实际上又是唯一的万能發动机。

18世紀80年代，法国馬尔里的塞納河上修建了一座水力站，这是当时工程艺术上的一个出色的創作。这个水力站帶动二百多台水泵，这些水泵是用来对法国国王府邸凡尔赛宮噴泉供水的。这个水力站是由14个下冲式水輪構成，每个水輪的直徑是12米。这在当时是一个卓越的工程。

同一时期（1785—1786年），俄国“水利大师”K.Д. 弗罗洛夫在阿尔泰的茲密英諾戈尔斯克矿山中修建了更加完善的水力站，它能帶动起重机械。弗罗洛夫在茲密叶夫克河上修建了一座水坝。筑坝后所抬高的水，流到从坚硬的岩石中开鑿出来的地下坑道，在距地面25—45米的深处冲动了有四層楼那么高（即直徑16—17米）的巨大水輪。

但是，水輪存在着很大的缺点。

首先，这是一种非常笨重的設備。当时在工厂中所裝設的水輪，直徑通常是8—12米。水輪的速度很慢，每分鐘只有5—10轉。这样的速度往往是不够用的。所以在水輪和机床之間必須裝設复杂的、价錢很貴的傳动裝置，来提高軸的轉數。水輪轉速的調整是件困难而又不方便的事。

水輪只能有效地利用較小一部分落水的能量。例如，下冲式水輪只能利用經過輪叶的30—40%的水能量，上冲式水輪只能

利用 50—60% 的水能量。其余的能量却被从輪叶旁流過和戽斗里流出的水帶走，并且消耗在沉重的輪子的軸部的磨擦等方面。

但是，水輪最主要的缺点就是出力較小。水輪的出力最多也不过是 450 馬力。这样就不能用来創立大型的工厂。

日益發展的生产需要有新的、更加完善的發动机。

3. 水輪机的产生

早在 16—17 世紀，俄国就广泛地采用了所謂絞輪水磨（圖 4）。这是一种叶片傾斜的臥式水輪。湍急的水流从上面落到这些叶片上，于是利用冲击力使水輪旋轉。水輪迅速轉动，就帶动了竖軸上的机械，这机械通常是磨盤。

絞輪水磨是一种代替水輪的新式水力發动机的雛型。

18 世紀中叶，世界上最卓越的数学家之一，彼得堡科学院院士列奥納尔德·欧拉列出了一批計算这种發动机用的基本数学方程式，并概略地对这种發动机作了說明。按照这位科学家的建議，新的發动机應該由叶片傾斜的輪子和專門的固定裝置構成，固定裝置使水流在一定的角度下冲到叶片上。

象这样的發动机后来就被叫做水輪机。

但是要制造出一种实用的水輪机却不是一件容易的事。关于这一点，各国很多科学家都作过研究。法国科学家富尔涅依隆和天才的烏拉尔技师 И. Е. 薩方諾夫最有成就地解决了这个問題。

第一台試驗性的水輪机是在 1834 年由富尔涅依隆創制的。

薩方諾夫把他在 1837 年創造的水輪机叫做“臥式水輪”。这台水輪机曾帶动一台軋鋼机。

新的水力發动机出力很大，而且尺寸也比較小，这使得薩方諾夫的同时代人感到惊異。薩方諾夫的水輪机的直徑只有兩米多一点，而一般水輪的直徑却要比它大好几倍，而它所完成的工

作却和水輪一樣。此外，採用水輪機可以更精確地調整出力和軸的轉數，並且消耗的水量也少得多。

1839 年和 1841 年，薩方諾夫在烏拉爾又製造了兩台水輪機，其中有一台帶動了涅依伏-沙依唐工廠的鋼板軋機、壓延機和切割機。

薩方諾夫的第一台水輪機有效地利用了和良好的水輪所利用的大致一般多的水能，它的效率等於 53%。薩方諾夫後來所製造的水輪機的效率竟達 70—75%。

水輪機就是這樣產生的。雖然，在水輪機產生的時候水能已不再是工業中所利用的唯一的能量，當時已發明了蒸汽機，蒸汽機在許多情況下要比水輪機方便，然而水輪機在工業的發展上仍然起了很大的作用。

後來人們學會了生產和利用電能，於是水輪機就具有特殊的意義。因為水輪機和發電機（一種把機械能變成電流的機器）相結合，就能生產最廉價的電力。

一百多年以來，水輪機經過了很大的改進；到今天，已經出



圖 4 老式的紋輪水磨。

現了可以在形形色色的條件下工作的各種水輪機。

4. 水的幾個實驗

為了明了水輪機的工作原理，讓我們來回憶一下幾個簡單的物理實驗，這些實驗，你們中間有許多人大概都知道，而且每個人都可以在家裡做一下。

拿一個空罐頭，在它的壁上開幾個豎直排列的孔。如果在這罐頭里倒些水，那末水就開始從各個孔中噴流出來。

這是什麼道理呢？

在地球上的物體離地面越高，掉到地面上來的速度就越大。這是我們很熟悉的事情。一個罐頭里裝滿了水，在旁邊靠近底面的地方開一個洞，水就流出來。如果只裝半罐水，水也是要流出來的，但是速度就小一些。這個道理和物體離地面越高、它掉到地面來的速度越大的道理是一樣，都是物體的位能轉化為動能。物體越高，它的位能越大；水面越高，水的位能也越大。較大的位能也就轉化為較大的動能。物體的動能是和物體的速度的平方成正比的，所以同一物體，它的動能越大，它的速度自然也越大。

在水輪機里也可以看到類似的情況。被水壩升高的水的位能也比原來沒有水壩時的水的位能大。當水從水壩下流出時，這位能就變成了水流的動能。由於水流的衝擊水輪機，水的動能又傳給了水輪機。水流所給我們的能量以水頭（也就是水所降落的高度）和流量的大小為定。^①

例如，就拿使發電機轉動的水輪機來說吧。這裡，水的能量變成了電能，就是電流。如果通過水輪機的水每秒鐘是1立方米，而水輪機這一邊和那一邊的水位差等於12.5米（在這種情況下，我們通常說：水輪機是在12.5米水頭和每秒1立方米流量下工作

① 以上兩段是我們請人改寫的，事後曾征得原作者同意。——譯本出版者

的),那末这种水輪發电机所發出的电能就足足可以使1,000个100瓦的灯泡点得通明,或驅動20台金屬切削机床,或保証3台电气拖拉机可以进行工作。

現在我們可以作另一个实验。把一只空罐頭用繩子吊起来(如图5所示)。在罐頭側壁的下部开个孔,并插进一根小管。然后把罐頭裝滿水。当水开始經過管子向外流出时,罐頭就朝着和水流方向相反的方向傾斜。当水停止流动时,罐頭就恢复原来的位置。为什么会發生这样的现象呢?

如果罐頭不开孔,水便流不出来。开孔后水就流出来了。原来水是靜止的,現在水流起来了。这一部分水从靜止状态变到流动状态,我們知道一定要受外力作用的,所謂外力,就是这一部分水受到别的物体(包括其他部分的水)的作用力。根据牛頓的反作用定理,这一部分水一定要用同样的、但是方向相反的力反作用于使它运动的别的物体——罐頭和沒有流出的水。所以这罐頭和沒有流出的水,就受到一个和水流方向相反的力。因为水是以

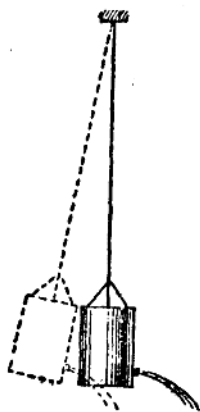


圖5 在产生反作用力的影响下,罐頭朝和水流运动方向相反的方向摆过去。

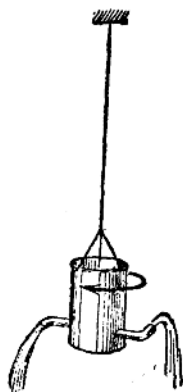


圖6 在两个水流的反作用力下,罐頭开始旋轉。

水平方向流出来的，所以这时罐头和剩下的水就受到一个水平方向的力，因而倾斜了，就好像用一个水平方向的力把垂直悬挂的电灯往旁边拉时所发生的情形一样。^①

这种力量叫做反作用力或反力。

我們可以看到，流出的水的速度要比水在罐头里下降的速度大得多。因此，我們可以得出一个結論(这个結論在各种情况下都能得到証实)：如果水流速度发生变化(指从罐内流到罐外的过程中——编者)，那末就不可避免地要产生反作用力。

最后，我們再来作一个实验。在前面講的那个罐头上再开一个孔(和第一个孔相对)，并且插进一根同样的小管。如果现在把水倒进罐头里，那末罐头就不动了，因为两个水流的反作用力方向相反，并且相互保持平衡。如果把小管子的末端朝不同方向弯曲(圖 6)，那末罐头立即开始向着和水流方向相反的方向旋轉起来。

我們剛才看到，水从静止状态到流动状态，必須受到别的物体的作用，而这流动的水又以方向相反的同样大小的力作用于那些使它流动起来的物体。

此外，如果当一股水已經在流动的时候，人們即使要改变一下它的流动方向也要用力的。而水流也会有力反作用在使它改变流动方向的物体上。在水輪机中，水輪机的叶片使水流改变方向，而水流也就以同样大小、但是相反方向的力作用于水輪机的叶片上，这样，水輪机就动起来了。^②

5. 水輪机的种类

所有的水輪机可以分成冲击式和反击式两大类。

冲击式水輪机可用冲斗式水輪机作例子(圖 7)。冲斗式水輪

① 这一段是我們請人改写的，事后曾征得原作者同意。——譯本出版者

② 以上兩段是我們請人改写的，事后曾征得原作者同意。——譯本出版者

机的工作輪在空气中轉动。水流以很大的速度从專門的噴嘴里噴出来，它猛烈地冲击弯曲的輪叶，于是，水流的动能变成了轉动水輪机工作輪的机械能。噴嘴是一种錐形的、末端窄小的管子。冲斗式水輪机中通常有1—6个这样的噴嘴。

冲斗式水輪机的叶片有兩個凹部，这两个凹部是由尖的脊頂分开的(圖8)。水流冲击到这个脊頂上，被分成兩部分，并且沿着凹部流动，同时几乎使水流的方向改变成相反的方向，最后向外流到水輪机的溢水孔中。

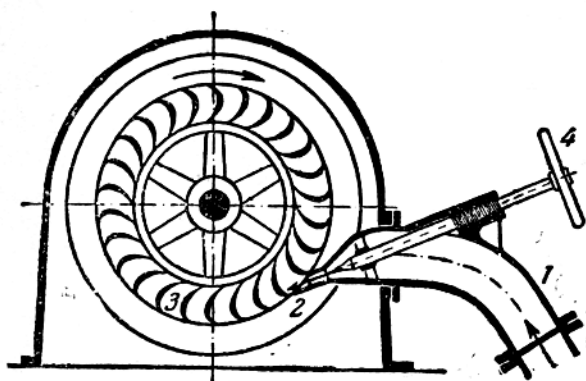


圖7 冲击式冲斗水輪机的裝置。在压力作用下，水沿着导管1經過噴嘴2到达水輪机工作輪叶片3上，并使它轉动。水輪机的进水量，也就是它的出力，由轉动手輪4来加以調整。

改变通过噴嘴的水量，就可以調节冲斗式水輪机的出力。为了这个目的，采用一种專門的心杆(“針杆”)，这种心杆插在噴嘴的出水孔中。把这种心杆推进或拉出，就可以打开或关闭噴嘴的出水孔，从而改变流量，也就是改变水輪机的出力。如果要使水輪机停止工作，那末就用針杆把噴嘴的出水孔全部关闭。

出力大的冲斗式水輪机可以应用在水头非常大(約为150—250米以上)的情况下。在我們的时代，这是唯一的能在这样的水



圖 8 冲斗式水輪機葉片的形狀和水
流在葉片里面流動的情況。

比較慢地流進水輪機的水在水輪機中產生較大的速度。從水輪機工作輪葉片中朝一個方向流出的水，把葉片朝相反方向推動，并使工作輪轉動起來。

頭下工作的水輪機。所以在流速很急和從陡坡下降的溪水上常常應用冲斗式水輪機。

蘇聯大多數河流都是在平原上流着的，在這樣的河流上很難造成供冲击式水輪機工作用的大水頭，所以蘇聯應用較多的是反击式水輪機。

在反击式水輪機中，不僅利用了水冲击的動能，而且还利用了反作用力。水輪機的裝置能使

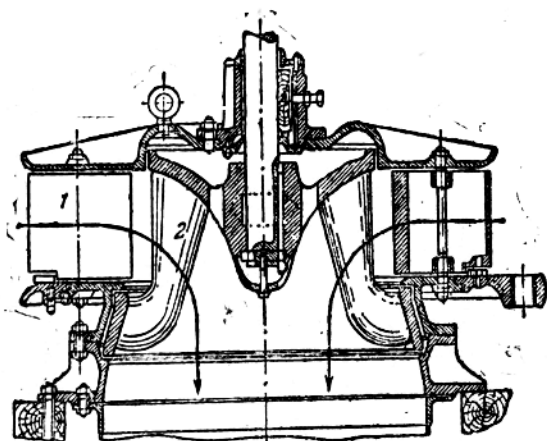


圖 9 軸向輻流式水輪機的剖面。水經過導水機構 1 的葉片進入工作輪 2 的葉片中，而使工作輪轉動。

反击式水轮机中采用得较广的要算是轴向辐流式水轮机(圖9)。它所以叫做轴向辐流式水轮机,是因为它里面的水从辐射的流动方向(沿着半径向中心流动)改变成轴向(沿着轴綫)的流动方向。“列宁”第聶伯水电站就装設着这种型式的水轮机。

这种水轮机的工作輪装在一个由导水机构所形成的座环內。发电机通常装在工作輪的上面。

水先进入导水机构內,它把水流“导向”工作輪的叶片。导水机构的叶片可以轉动,这样就能調节水轮机的过水量,也就是水轮机的出力。当导水机构的叶片轉到一定位置时,叶片之間的空隙完全被閉住,因此水轮机就停下来。

水轮机工作輪的叶片具有复杂的弯曲部分(圖10)。这一弯曲部分能保証工作輪各个叶片之間的水流方向和速度均匀地变化。如果工作輪的叶片做得不好,那末水流的均匀性就会遭到破坏,因而發生渦流。形成渦流就会消耗能量,結果也就減低了水轮机的效率。

由于把水能傳給了水轮机的工作輪,所以在工作輪的叶片上就發生了水流方向和速度的变化。用过的“廢水”排到工作輪下面的管子中。

反击式轴向辐流式水轮机能很好地在中水头下工作。水头大时,工作輪的旋轉速度就会太大,因此在水轮机的叶片上就会發生極有害的現象——“气蚀現象”。

气蚀現象的實質是这样的:如果水流过工作輪叶片时流动得太快,那末在某些地方的压力就会大大下降,于是水就沸騰了

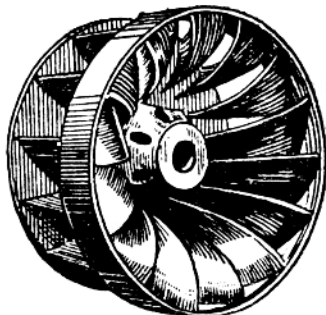


圖 10 轴向辐流式水轮机工作輪的全圖。

(压力低时，水在很低的温度下就可以沸腾)。这时在液体的内部形成了小气泡。蒸汽到达压力较高的地方，一瞬间就凝缩了，同时水以很大的速度冲往以前所发生的空隙中。在这种情况下，工作轮叶片的表面就遭到破坏。遇到气蚀时，有时甚至连巨大的水轮机叶片也要损坏。

水头小的时候，也不便于应用轴向辐流式水轮机，因为这时工作轮的转数就会太低了。在这种情况下，当小型水轮机的水头小于6米和巨型水轮机的水头小于30—35米时，都采用螺旋式或反击式回转翼水轮机。

螺旋式水轮机的工作轮(图11)和船上的螺旋桨十分相象，所不同的就是这种工作轮是装在一个竖轴上。工作轮由一个厚毂构成，厚毂上装有几个叶片。工作轮的上面是导水机构。水经过导水机构的叶片流到工作轮的叶片上，并且把能量传给它，然后向下流去。螺旋式水轮机中能量的改变和出力的调节和轴向辐流式水轮机相同。

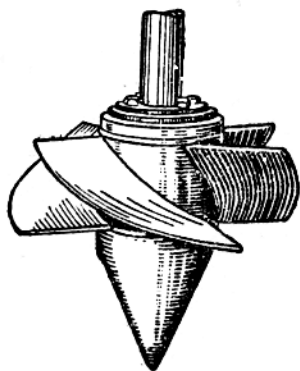


图 11 螺旋式水轮机的工作轮。

螺旋式水轮机速度大、构造简单、价格便宜，所以它广泛地应用在集体农庄的小型水电站上。但是，螺旋式水轮机也有一个严重的缺点：在流量最大时，也就是当水轮机的出力全部被利用时，水轮机才能发挥最大的效率；而当流量较小时，它的效率就降低了。

反击式回转翼水轮机却没有这种缺点。

回转翼式水轮机和螺旋式水轮机不同的地方，就是它的工作轮的叶片不是固定不动的。利用工作轮轮毂内专门机构，就可以使叶片回转(图12)，而这种叶片

是和导水机构的叶片一同回轉的。因此，从导水机构流出的水流的速度和方向無論怎样变化，这种水輪机的工作輪叶片总是回轉得很好。这种水輪机的效率在各种不同的流量下都是很高的。

回轉翼式水輪机通常是应用在小水头和較大流量的情况下。这是苏联大型水电站中广泛采用的一种水輪机。例如，齐姆良和古比雪夫水电站就安装着这种水輪机。

回轉翼式水輪机的出力可以超过 10 万瓩。

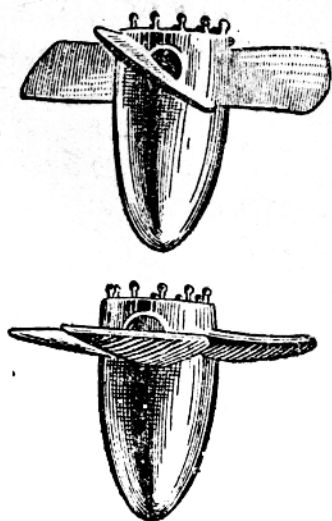


圖 12 叶片旋轉程度不同的回轉翼式水輪机的工作輪。

6. 河流的調节

随着季节的不同，河流的水量也是不同的。

春汛期間河水往往氾濫几十公里之广。在三四个星期的期間，通过河流的水量可达全年水量的 50—60%。夏天，河流有时变得很浅。在不久以前河水汹涌澎湃的地方，現在可以涉水而过。冬季，河床中所通过的水量，只有全年水量的 15%。

我們已經說过，發电站所發出的电能是和头以及水輪机的过水量有連帶关系的。这就是說，如果我們不善于調节河流中的水量，那末我們的水电站在春季的时候就会發出大量的电能，而夏季和冬季所發出的电能却就很少。为了不發生这样的情形，可以用人为的方法来調节河流的水量。

我們可以在水电站的水坝这一边建造一个水庫，水庫的容积