

農村小型水電叢書

怎樣提高木質旋槳式 水輪机的效率

水利电力部农村电站工作組編

水利电力出版社

怎样提高木質旋槳式水輪机的效率

在社会主义建設总路綫的光輝照耀下，农业生产正在飞跃发展，而且还要乡社办小型工业，所以农村已开始感到劳动力不足，因此对逐步实现机械化和电气化和提供大量廉价动力的要求已是十分迫切了。怎样解决呢？羣众已經找到了一条最好的办法——大办小型水电站和水力站。

在农村小型水电站的建設过程中，曾經有过而且現在还多少存在着使用鉄質水輪机还是木質水輪机的不同看法。主張用鉄質水輪机的同志常以木質水輪机效率低技术落后不耐久为理由，而認為它不值得推广。誠然，木質水輪机是存在着这些問題，但是我們認為在目前条件下采用木質水輪机有它許多不容忽視的优点：

(1)正因为它是木質，就能够为国家节约大量鋼鉄。目前国内鋼鉄的产量还不多，不能够充分滿足各方面的要求，虽然現在全国各地正在掀起一个全党全民办鋼鉄的高潮，鋼鉄的产量短期内即将大增。但是其他各項建設事业也是在以很大的速度跃进，对鋼鉄的需要亦大为增加。因此应將鋼鉄先用在其他更需要的地方，所以能为国家节约鋼鉄材料用量，仍然是极为重要的。

农村中要求建站的热情普遍高涨，各地都提出了宏偉的計劃，要在不長的时间內大力发展。如浙江省的金华專区在第二个五年計劃期間計劃要建設的小型水电站、水力站容量在50~100瓩以下的，总数就在2,200处以上（这是1958年6月間的数字現在計劃可能又有发展），若都采用鉄質水輪机的話，則需

理消耗大量的鋼鐵。但如果用木質的，大部分構件都可用木料制做，而仅仅在一些主要的部分，例如主軸等才采用鋼材，这样就可以为国家节约巨大数量的鋼鐵材料。

(2)制作簡便。因为木質旋槳式水輪机构造很簡單，零件少，事实証明，一般木工只要經過短期的訓練或者觀摩学习，标准样板，就能够制作。而鉄質只能由工厂生产，生产量是受限制的。

(3)就地取材。木材在我国除了少数个别地区以外，都有，完全可以做到就地取材，就地制作。几乎没有材料供应里的問題，同时也省去了运输費用。

(4)綜合上述三个优点，所以造价特別低廉，一台轉輪直徑60公分的木質旋槳式水輪机各省的不完全資料为300~700元。而一台同样直徑的鉄質水輪机則需要2~3千元，貴出許多而且还不容易买到，乡社一般又不能自行生产。

木質螺旋槳式水輪机的效率，虽然比鉄質的低些，但还不低到不宜采用的地步。制作良好的木質水輪机效率能够达到70%甚至可能更高。例如我們在浙江省金华專区的苏孟水电站，对一台直徑50公分的木質旋槳式水輪机进行了效率試驗。証明它的最佳效率达到了70%，而这个电站在运转上还有些缺点：如水輪机的实用轉数比理論最优轉数偏高，若加以改正，其效率还可望提高。可見木質水輪机的效率也并不是非常低的，它可以相当滿意地滿足現阶段农村水电站建設的要求。

木質水輪机当然沒有鉄質的耐用，但用堅質木料作成的水輪机可以用5~10年是毋庸置疑的。如前面提到的苏孟水电站水輪机用樟木做成，已經連續使用了兩年了，至今仍然完好而且保持到70%的效率。在用了这样長時間以后，电站

4

的成本早已收回，而且到那时国家鋼鐵生产多了，就有条件用技术更先进的鉄質水輪机来代替它們了。

这并不是說木質水輪机沒有缺点。誠然，它只适用于水头較低(1~6公尺)容量不大(150馬力以下)的情况。比起鉄的来，效率是要低一些，使用年限也短一些。然而也应当看到前面述及的許多优点，从而使它能够更符合我們农村发展的現阶段的需要能够使得农村电站遍地开花。假如都等着要技术先进的鉄質水輪机，那么农村电气化的速度势將有所推迟。

所以現在問題已不是木質水輪机应不应该采用推广，而是在現有的基础上如何使制作水平更好一些，效率更高一些，运轉操作更方便灵活一些，即如何提高的問題了。

下面拟就我們最近在浙江、福建、四川等地所看到的一些运轉或制造中的木質水輪机，提出若干不成熟的意見，希同志們指正。

一、水輪机的調速問題。由于水輪机所帶的发电机、动力加工机械(碾米机，磨粉机……等)的負載并不是固定不变的，随着負荷的变化，水輪机的轉速將會迅速地升高或降低，为了保証一定的供电質量和保証机械設備、运轉人員的安全，轉速的任意变化是不允許的；这就产生了調节速度的問題。使水輪机的轉速不隨負荷变化而变化，或者使轉速的变化限制在很小的範圍內。

現在农村小型电站中的木制水輪机的調速問題，有下面三种情况：1)根本沒有任何專用的調速設備，仅依靠裝設在进水槽前的平面木閘門控制流量，2)使用圓筒閘調速，3)使用活动的导叶調速。

第一种調速方式，最不方便，灵敏度差，非滿負荷时的效率也低。运轉人員常常需要跑出机房来調整閘門的开度，但这

时又看不到机房中的配电盘的仪表了，因而使轉速难以調节得令人滿意。也有將此閘門設于厂房內部的，但这样就增加了厂房的寬度。平面閘門關閉起来一般都很笨重、不灵便。假如机房中的任何一部分机器发生故障需要馬上停車时，即感到极为不便，而且容易发生危險。有的水电站甚至要用大錘猛打才能關閉閘門。靠平面閘門来調节流量，以維持水輪机的轉速不变，这实际上是孔口出流(图 1)在孔口后面发生水跃消能，造成了一部分无謂的水头損失

ΔH 。这个損失有时达到 0.2~0.5 公尺，个别的甚至 1 公尺多，而这是完全可以避免的。如果把這個平板閘門也算做調速設備而列為水輪机的一部分的話，則水輪机的效率就明显地降低了。

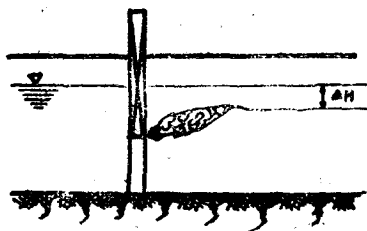


图 1

因此容量大于 5 瓩的水輪机，我們認為就不宜于采用这种調速方式了。

第二种調速方式，即利用圓筒閘进行調速，这样比第一种方式要好一些，相对來說比較灵敏，操縱設備又是安置在机房中比起利用平板閘門調速就方便得多了。一般說來这种調速裝置比較簡單也很便宜。但这种調速方式也还存在一些缺点：当圓筒閘非全开的情況下，严重的降低了水輪机的效率。因为它的存在使水流情况变得混乱，水不是平順地进入和作用于动輪叶片，而发生了严重的水旋，耗去了許多能量(图 2)，結果造成水輪机的效率的降低；因而要想发出所需要的出力就得多耗費了水量，而当电站有調节池的情況下这部分水量是可蓄存起来以备負荷增加时候用的。

有些水輪机的圓筒閘是用杠杆系統進行操縱的(圖3)使用起來很費勁,並且在機房中很占地方。布置不便,妨礙交通。天津專區陳官屯水電站,用鋼絲滑輪系統來吊起圓筒閘要輕便一些,但只適用於較低水頭的情況(圓筒閘受水压較小的情況),另外有些圓筒閘做得很不嚴密(做嚴了也不行,因為這樣啟閉更加困難),以致閘門雖已經完全關閉,而水輪机還是不停地旋轉。因而不得不再用平板閘門來停机。這樣操作手續就很多,當需要緊急停机時,就會措手不及。

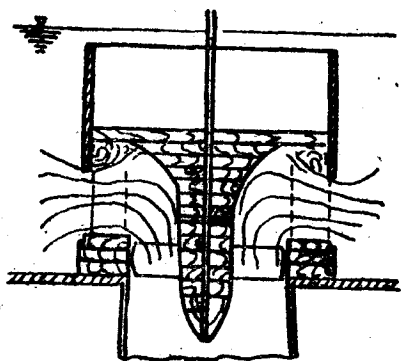


圖 2

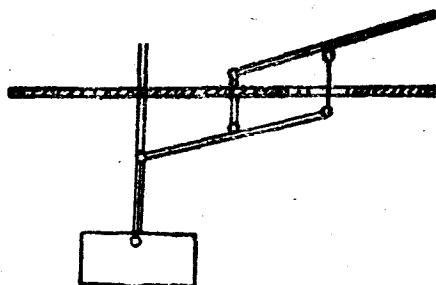


圖 3

第三種調速方法,我們認為是比較好的,這就是用活動導葉以連杆改變其開度進行水輪机的轉速調整。這種調節方式有下列優點:

(1)操作特別輕便靈活。一人操作非常輕便自如,這樣就大大地減輕了運轉人員的勞動強度,導葉的開度能夠作很微小的調節,因此它工作起來就很靈敏。

(2)工作可靠,安全。因為採用此種方法調節時,操作起來輕便靈活,要使導葉從全開到全關閉所需時間很短,而且關

閉严密，这样就能保証机器发生故障时迅速停車。而这一点是任何电站都需要重視的問題。

(3)效率較高。当机組在低于最高出力情况下运轉时(这种情况是常有的)就要縮小过水断面以减小通过水輪机的流量，保持水輪机的轉速不变，这时用改变导叶角度比以圓筒閘或者以平面閘門来达到此目的的效果都好，因为它能保持水流的最好流型，而不显著地增加水头的損失。

这种活动导叶裝置的造价比固定导叶及圓筒閘，并不昂貴很多。据福建的資料，同是一台动輪直徑60公分的水輪机，帶活动导叶的水輪机只比帶固定导叶及圓筒閘的約貴100多元，而由此换来的好处却是很大的。我們認為在发电站的主要机組設備上，最好不应过分的簡陋。要节省电站的投資降低造价，應該在非主要生产設備方面大力縮減。如在厂房土建方面縮減投資，采取就地取材因陋就簡。而目前个别水电站常在厂房建筑上搞得較講究，而水輪机却連最簡單的調速設備都沒有，这是不够恰当的。

可能有人認為活动导叶制造复杂，易出故障，其实也不尽然。我們就以浙江省金华專区的苏孟水电站的水輪机为例該水輪运轉已兩年多了，一直很正常，並沒有因調速裝置而发生过什么故障，而且操作很順利。我們在金华專区也看了其他几个水电站，都是用活动导叶的，运行得都很成功。活动导叶在制造上也并不是特別复杂和困难的，一般的木业生产社即能做，关于具体作法，拟在后面附录中另作介紹。并附有关相片，以供參閱。

因此我們認為，对于一些容量較大的农村小型水电站，例如20瓩以上的特别是当电站有調节水庫时，最好能采用活动导叶来进行調速。这样可使机組效率提高，操作运行方便。

二、動輪直徑與座環內徑的差值問題。這個差值就是動輪葉片外緣至座環內面之間的間隙。這個間隙往往做得偏大。有些水電站的水輪機這個間隙在 10 公厘以上，甚至到 30 公厘的。間隙大了就要顯著降低水輪機的效率。據西南水工試驗所進行的模型試驗資料，這個間隙(δ)與動輪直徑 D 之比($\frac{\delta}{D}\%$)從 0.56% 增加到 1.94% 時，效率即從 81% 降到 63%。在實際電站的情況下，隨著這個間隙的增大，效率也將以相仿的趨勢迅速降低。因此在製作水輪機時尽可能地減小這個間隙，是有特殊重大意義的。為此，在製造木質水輪機時應當努力遵守下列公式：

$$D_2 = D_1 + 6 \sim 10 (\text{公厘})$$

上式中 D_2 為水輪機座環內徑； D_1 是動輪直徑。這就是說兩者之間的間隙(每邊)不得超過 3~5 公厘。

目前個別地方有些容量很小的水電站或水力站使用木軸。應當說這也是一個羣眾智慧的大膽創造。只要選用有足夠強度的木材，木軸本身不偏心，不彎曲，那麼是可以放心大膽地去使用木軸而不必懷疑的。但是應當指出一點：使用木軸時，如果也以硬木作為軸承，則木材自相摩擦很容易磨損，並使它產生擺動，轉輪與座環也因擺動而發生摩擦，使間隙迅速增大，效率降低。這對於木軸或水輪機本身都是不利的。

為防止這些弊病的出現，建議在軸承處緊套一個如圖 4 所示的鐵環，它的尺寸圖上已經示出，此環普通鐵匠即能製作。加工

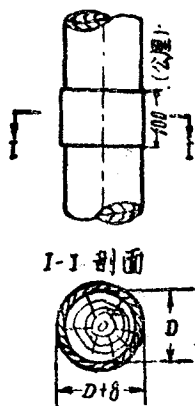


圖 4

时，环的接口应接合得平整牢固，环的外圆应保持完全圆形，表面光滑，环的内径与木轴在装设卫轴承处的直径相等。当轴还是干燥状态时紧套进去，待浸水后木轴膨胀，越胀越紧。用其他方法，例如用键槽加楔亦可。

此外作好卫轴承的木块，亦应经常检查调整和更改。水轮导叶座环的内壁实际上是动轮轮室，因而它的内表面加工是否良好，对整个水轮机质量好坏起重要作用。它必须作得光滑平整，令各个方面的直径完全相等。这样才能保证动轮在其中很好地转动，而且得到较高的效率。有些制造水轮机的木工厂或木业社常由不了解它的重要性而把有缺陷的木块有意放在座环的内表面，而且刨得很不光滑，但它的外圆表面却加工的很好，这是不对的。

三、水轮机室的合理形状问题。作为水轮机的组成部分之一的水轮机室，它的合理形状并不为每个农村小型水电建设者所注意。举例来说，如我们在福建永春县看到，有的把水轮机室作成了如图 5 所示的不良形式。这个电站把水轮机放在一个呈圆形的水轮机室内，而且是几乎对称的位置上，此外室内还埋装着四根柱子，作为上面推力轴承的支承梁的支柱。不良的水轮机室形状，再加上这些柱子，使水流变得极为混乱，水鞭和旋涡很多。从导水槽流来的水分成左右两股进入水轮机室。最后发生水股的冲击，水流也不是平顺地沿着导叶的方向前进。所有这些都降低水轮机的效率。

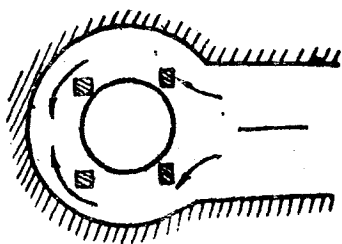


图 5

水轮机室最好具有完全涡壳形状，具体尺寸如图 6 所示。

这曲线是假定水流以平均流速流动，水轮机的导水叶环均匀进水的条件下算出的。涡壳的局部稍稍扩大了一些。实践证明这是较好的曲线形状。图中 b_0 是导流槽末端即涡室进口的宽度。

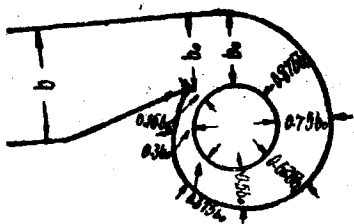


图6

为了获得良好的水流状况，使不致发生漩涡并把空气带入水轮机从而降低水轮机的效率。建议建造小型农村电站时，可参考图6的比例来作。这样做并不太多地增加施工的困难，亦不致于增加电站的造价。

四、选择水轮机的合理转速问题。有些已建成的小型水电站，在运转时水轮机的转速采用得很不正确，有的偏高，有的偏低。可能这些电站只注意到发电机要保持额定转速。而忽略了水轮机也应该在合理的转速下运行才能保持水轮机有最高的效率。实际转速比合理的转速偏高或偏低，都要使水轮机的效率大为降低，甚至可使水轮机的出力小到不能工作。这点我们可以从图7的曲线上明显地看得出来。该图在实验室中进行木质水轮机模型试验所得到的转速特性曲线。

水轮机的合理转速应该根据电站的实际正常工作水头出力和已选择好的水轮机型号的比转速（又称转性转速）按照下列公式来计算：

$$n = \frac{n_s H \sqrt{H}}{\sqrt{N}},$$

式中 n ——水轮机的最优转速(转/分)；

n_s ——水轮机的比转速(转/分)；

H ——水电站的工作水头(公尺)；

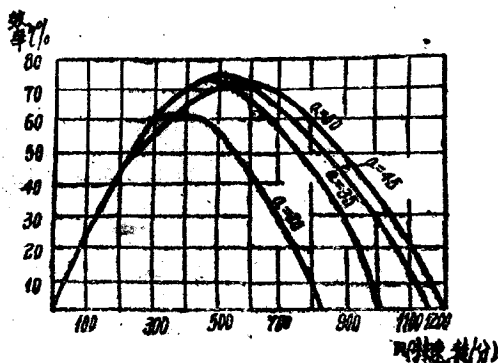


图 7

N ——水輪机的出力(馬力)可以根据水电站的工作水头 H 和通过水輪机的流量 Q 按公式: $N = 10QH$ (馬力) 計算出来。

浙江省金华專区某水电站合理的轉数应该为 370 轉, 而实际上却沿用着 440 轉/分, 福建省永春县某农村水电站的合理轉数应为 510 轉/分, 而实际都是用的 292.5 轉/分。这些都將使水輪机的效率降低。

由此可見选择水輪机合理轉速問題, 是需每个农村小型水电站建設者們注意的。

附录 关于木質活动导叶調速裝置的設計与制作

木質活动导叶調速裝置, 通常都作成手动調节, 而非自动調节。它包括导水裝置——导水叶; 以及調节裝置——控制环、連杆和舵盤。

关于导水裝置部分的設計原則。在索科洛夫“木質旋槳式水輪机”一文中已有詳細介紹, 摘录于下:

导水裝置的基本參变数如下:

1. 导水裝置內徑 D_1 , 亦即最优开度情况下导叶泄水端点所在的圓周直径;

2. 导水装置外径 D_n , 亦即最优开度情况下导叶进水端点所在的圆周直径;

3. 导水装置的高度 B_1 ;

4. 导水数目 z_0 ;

5. 角度 α , 即在最优开度情况下导叶中心线与经过导叶泄水端点对导水装置内径圆周所作的切线间的夹角;

6. 导叶的断面。

导水装置的内径可以采用:

$$D_o = D + 40 \text{ (公厘)},$$

式中 D ——动轮直径(公厘)。

导水装置的外径建议按下式计算:

$$D_n = 1,000D \left(1 + 0.03 \sqrt{\frac{n_s}{D}} \right) \text{ 公厘},$$

式中 D ——动轮直径(公尺)。

水轮机顶盖及座环的直径。

$$D_k = D_n + 40 \text{ (公厘)}$$

导水装置的高度 B_1 , 由 D 与 n_s 确定, 如表 1; 导叶的数目 z_0 应采用表 2 各值。

导叶轴线与导水装置内泄水端点切线间的夹角 α 可按下式计算(当 $n=0.75$ 时):

表 1

n_s	B_1
300	0.30D
400	0.40D
600	0.45D

表 2

D (公厘)	z_0
300~400	10
500~700	12
800~1000	16
1000以上	18

$$\tan \alpha = \frac{n_s^{1/3}}{9250s}$$

式中 $s = \frac{B_1}{D}$

导叶长度 l 按下式计算:

$$l = \frac{D_B}{2} \left(\sqrt{\left(\frac{D_n}{D_B} \right)^2 + \sin^2 \alpha} - 1 - \sin \alpha \right)$$

导叶的断面建議按图 8 繪制。

导叶旋轉軸心应布置在如下直径的圓周上:

$$D_A = \sqrt{1.2l^2 + D_B^2 + 2.2D_B l \sin \alpha}$$

导叶軸心距其泄水端点(尖端)的間距为 $0.55l$ 。

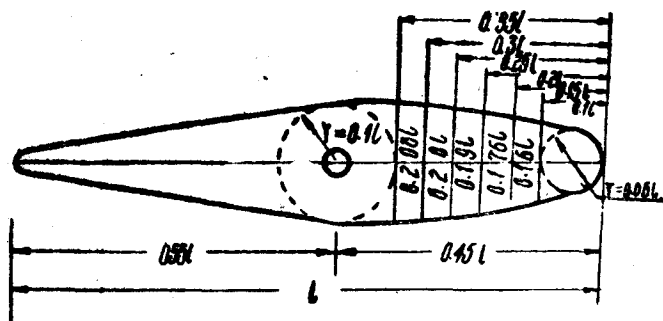


图 8

为制作方便, 还对各种型号, 不同直径的水轮机的导水裝置的詳細尺寸进行了計算, 作为附录列于該文之后。讀者可以参考“农村小型水电站参考資料(增訂本)”一書(水利电力出版社)这里不再詳述。

这里想提出几个值得注意的地方:

1) 为了使导叶能够灵活地轉动, 应该考虑到木材浸水后会膨胀这一特性。这个膨胀来自頂盖、座环及导叶本身, 而主要是来自导叶。因此在制作时需要留出一定的空隙。建議使导叶轉軸的凸肩以內部分的長度取下列数值(图 9):

$$l = B_1 + 4 \text{ (公厘)},$$

式中 B_1 —— 导叶的高度(公厘)。

这样即使导叶在浸水之后膨胀，也不致于顶死了。应当指出，上式中附加的4公厘之数，还不一定完全恰当。对坚質的不太膨胀的木材，可以适当取小一些。对于容易膨胀的木材，则应当取得大一些。这可以根据各地的实践經驗来决定。不过不管对什么种类的木材，間隙都是必要的。

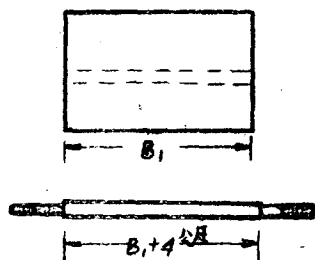


图9

2)除上述为了导叶能够灵活转动而需要預留的間隙之外，整个导水装置的其他部分，则应当力求严密，使得当导叶完全关闭时，通过縫隙的漏水量达到最小程度。至少当导叶完全关闭后，水輪机能够自行停車。为此应当做到以下几点：

(1)各导叶的形狀，应当完全一致。用同一个样板放样，在加工、刨光时，要严格遵守根据样板划出的迹綫。

(2)导叶的轉軸軸孔位置应当正确和完全垂直。为此在加工制作之前应当沿导叶叶片的上下兩端同时放样，确定軸孔的位置，然后从这两端向中間鑽孔，在中間会合，孔最好先鑽得小一些，然后用凿子扩大成所需要的孔徑。这样就能很好地保証軸孔的正确位置。或者在大致放样以后，先把孔打好，然后根据孔所在的位置詳細放样加工，亦可取得正确的位置。

(3)为了保証导叶叶片做好之后，不致变形扭曲，应当选择紋路較正、質地較硬、不易变形的木料来做。

(4)导叶在座环上的分布，應該是完全均匀的。

● 曾經对5号的水輪机在最高水头最大流量情况下进行过粗略的核算，当留此4公厘空隙时，导叶完全关闭之后，通过此間隙的漏水量約为最大流量的5%，此数不致使水輪机轉动。

图10和图11是已經制造好了的活动导叶裝置，图10是它的全貌，我們把水輪机頂盖揭开了，并且取下了一块导叶露出轉軸。图11是活动导叶的联动裝置細部照片。

在索科洛夫的設計中，在导叶軸孔中要紧套一个与导叶同高的鋼管来減輕导叶軸孔磨耗。我們認為对于容量較小的水輪机，如果用很坚硬的木料来制作导叶时，可以考虑省去这个套管。这时导叶的轉軸应当是很圓的，导叶軸孔的孔徑也要相应地减到与套管的內徑相同或稍大。



图10



图11

关于导水裝置的开度控制系统，可以完全按照索科洛夫的設計制作，可以得到滿意的結果。但在實踐中曾經有將連杆改为兩根的，即左右各一，一推一拉，但仍用一个舵盤操动，即两个連

杆是不平行的。但是根据分析，如果以簡單的鉸作为傳动的構件，則兩根連杆將是行程不等的。否則为解决这个缺陷就得將控制环直徑作得大些，其結果会使得兩边的开度不一，关闭不严。因此，看来采用一根連杆比較好些（本文由水利电力部水利科学研究院李兆鵬同志整理編写）。