

农村小型水电站 参考資料

水利出版社

序 言

随着農業社会主义改造高潮的到來，必然會出現一个農業生產的高潮。在農業生產高潮的形势下，農村小型水电站將日漸起着重要作用。

一九五六年全國水利會議根据目前農業合作化發展的需要提出了發展農村小型水电站的任务，但由于我國过去這項工作的基礎是薄弱的，而且到目前为止还没有定型設計，各地紛紛反映迫切需要关于這項工作的参考資料。为了適應这一要求，我們彙集了水利部北京勘测設計院的內部資料“農村小型水电站参考資料彙編”及“中國水利”和“水利譯叢”上已發表和未發表的几篇关于農村水电站的稿件，編成这本資料，供各地参考。

这本資料包括关于小型水电站工作的論述，水利部北京勘测設計院水电組在四川、福建、河北等省調查几十个小型水电站的材料及对它們的优缺点的分析和叙述；此外还收入了水利部北京勘测設計院水电組兩項定型設計的試作，即根据苏联圖紙补充而成的木制旋槳式水輪机的圖紙和利用渠道跌水建筑小型水电站的設計示例。

由于時間倉卒和我們水平不够，这本参考資料的內容很不完善，特別是有关施工和運轉方面的資料很少，可能还远不能滿足目前小型水电工作者的需要，希望参考这本資料的机关和个人提出意見。

水利出版社

一九五六年六月

目 錄

序言

一、关于小型水电站的查勘和設計.....	(1)
二、小型水电站的合理型式.....	(7)
三、小型水电站的机械和电气設計的参考資料.....	(19)
四、兩齿式水輪机的設計和应用.....	(26)
五、木制旋槳式水輪机及其应用.....	(33)
六、農村水电站的傳动設備.....	(56)
七、農村水电站的輸电綫——鋼導綫和“兩綫——地”制.....	(67)
八、四川省小型水电厂調查报告.....	(90)
九、房山縣高压水电站兩齿式水輪机的安裝.....	(108)
十、木制旋槳式水輪机制造圖(圖号 20—1~20--18).....	(116)
十一、已成小型水电站圖紙彙集說明及利用渠道跌水建筑小型水电站設計示例(圖号 1—31).....	(135)

一、关于小型水电站的查勘和設計

水利部北京勘测設計院水电組

我們于 1955 年做了河北房山、吉林敦化和貴州惠水的三个小型水电站的查勘和設計。房山和敦化水电站已于本年兴建，惠水將于 1956 年建站。在工作中我們遇到了一些問題，在領導上和苏联專家的帮助下，大部分得到了解决。現在把这些問題寫出來，与做小型水电站查勘和設計工作的同志們研討。

I 小型水电站查勘和設計的方法

我們所做的三个水电站的設計，都是按照兩個設計階段進行的，即初步設計和施工詳圖兩個階段。因此，查勘和設計都要在一次做完，剩下的只是施工詳圖的工作。

查勘是为設計收集資料，而小型水电站是为該地区的農副業生產和農村照明服务的，因此，在小型水电站的設計中必須研究工程条件的可能性和經濟条件的必要性，从而确定工程的合理性。在設計开始以前，就需要收集足够的資料，以供設計时作为研究上述問題的依据。

(一) 工程的可能条件 包括地形、地質、水文、气象、已成工程情况、交通運輸、劳动力和工程材料等部分。

地形資料主要为地形圖。小型水电站的地形資料需要：(1) 1:10,000~1:25,000 的建筑区域地形圖。建筑区域地形圖的范围包括農村水电站供电所涉及地区或是水电站的各水工建筑物分布的地区。(2) 1:500 的建筑物附近地形圖。这一种圖紙所包括的范围，要足供对各个水工建筑物如引水口、渠道、厂房等的選擇比較之用，应在查勘时按照地形变化和設計者所拟定的各种可能方案來定。

地形圖紙应尽可能采用旧有圖紙，在沒有旧圖时才測繪新圖，特别是比例尺較小的 1:10,000 或 1:25,000 的地形圖，如旧圖比例尺与要求出入不大，都可采用。我們在房山、敦化和惠水的設計中，小比例尺圖紙都是用的旧圖；1:500 的建筑物附近地形圖都是在查勘时新測的。对于旧圖，在查勘时都要加以驗證，如有錯誤，必須改正。

地質資料包括地質圖和查勘說明。由于目前地質工作人員缺乏，小型水电站的查勘一般不能配备專門地質工作人員，在查勘中要由水工人員附帶做些地質工作，所以不要求他們填地質圖，但要求他們做兩件事情：一件是在建筑物的基礎上了解一下复

蓋層的厚度和復蓋層的性質，方法是挖試坑，把復蓋層各層的性質和地下水位記錄下來；另一件是研究建築物附近地點的舊建築物的情況，如基礎情況、設計依據和使用后的變化情況及變化的原因等。這些資料對新建築物的設計有很大的幫助。在挖試坑時，如果發現復蓋層在新建築物建築預計深度以下，則試坑可挖至預計的建築深度以下1至2公尺（視地層情況的好壞而定）。挖了試坑以後，可測定一下滲水率。

在地質資料的收集工作中，還可以在現場採取石樣和土樣，請地質工程師或試驗室鑒定岩石和土壤的性質，作為設計中的參考。

水文資料對於小型水電工作者說來是個最困難的問題。由於小型水電站一般都在河流的上游或支流上，以往的水文資料特別缺乏，因此，查勘工作也就特別困難。

水文查勘的目的是為了在設計中供給水文計算以確定水電站的設計引用流量和其他設計用的最大和最小流量的充分資料。但是，由於原有資料的缺乏，在查勘中就需要把水文計算和水文查勘工作結合起來，逐步研究，逐步收集資料補充，以便得到比較圓滿的結果。

我們在三個水電站的查勘中，對於水文查勘共做了以下幾方面的工作：

（1）收集對建築地點有關係的河流上的水文和氣象資料。這是為了研究採用各種水文計算方法的可能性，也是為了供給水文計算的資料。

（2）現場水文測量，包括枯水流量的測定、洪水流量的測定和一年中水位變化的大致情況的測定。這種測定，是水文計算中最可靠的和最重要的依據。

測量工作包括河床比降、水面比降、河床斷面測量、河床復蓋情況記錄等等。

（3）現場水文調查。一部分調查與測量是配合的，包括歷史上的洪水位和枯水位的調查；另一部分是為了了解水文情況的，例如水磨生產量的變化情況、灌溉用水情況等等。由於實際資料的缺乏，在查勘中就需要引用各種各樣的遺留的水文痕迹來說明過去的水文情況，以便把人們的記憶與實地上遺留的各種痕迹配合起來，從而求得各種可靠的情況。

氣象資料是供給水文計算、電氣設計、廠房的通風和保溫設計等應用的，其中有下列各項要求：

（1）降雨量和蒸發量記錄；

（2）氣溫、風速和濕度的最大、最小和平均值、風的經常的方向、降雪降霜的每年起迄時間和日數、一年中落雪的次數和最多落雪的季節、一年中冰凍的起迄日期和冰凍日數、冰凍最大厚度等。

氣象資料可向距建築地點最近的一個氣象站索取。資料上要注明統計起迄年月和供給資料單位的名稱，並要求供給資料的機關注明資料的可靠程度，以備於採用時適當地考慮它的正確度。

已成工程的調查是我們查勘中的一項重要工作，因為在新建工程的設計中需要考慮與已成工程的關係；而且還因為已成工程的設計、施工和運用情況是新建工程設計的重要參考材料。調查內容包括：

（1）已成工程的設計情況：設計中的水文分析成果、設計引用水量以及它與新建工程的關係、設計規劃中所考慮的問題的結論、建築物設計的各項數據、地質數據、

建築材料的選用及選用的原因等。

(2) 已成工程的建築情況：建築開挖以後所發現的岩石和土壤情況、建築中遇到的困難問題、建築材料的供應情況等。

(3) 已成工程的運用情況：運用以後的工程與原設計的差別、發生的問題及其原因、處理的方法和效果與人民反映的意見等。

交通運輸的調查 主要是作為設計預算和施工組織設計的資料。在一般情況下，小型水電站的各個機械零件都是不太重的，運輸問題不大。對於交通情況，主要是要了解建站地點距公路的遠近；如果沒有公路直達建站地點，是否還有其他交通工具可資應用。

勞動力調查 主要是要了解在建站地點附近有沒有條件解決機械安裝方面的技術力量、有沒有技工可以招請或調用。至於泥水工、木工和普通工，因為用量不大，一般尚無問題。

工程材料的調查 工作量較小。因為，小型水電站所用的建築材料不多，只需了解工程上所用的各項材料的產地、儲存量、運送和開采情況、價格、運價等等。在進行工程材料調查時，要注意研究已成工程的用料情況。工程材料應儘可能利用能就地開采和應用最廣泛的材料，使工程造價比較便宜。

(二) **經濟條件的資料** 是確定電站建築的必要性的依據，它充分反映在負荷資料中；負荷數字的大小，表示對該工程要求的程度。

負荷調查應從當地縣區政府的意圖出發。當地縣區政府應按照當地的經濟情況提出負荷要求，調查者即按照他們的意圖，分門別類進行調查。

農村水電站的負荷一般包括：抽水灌溉、農產品加工（碾米、榨油、軋花打包、磨面等）、小城鎮和農村照明等方面。對於各項負荷，都應調查它的目前需要和將來發展的可能情況。

抽水灌溉用電 要確定灌區位置和範圍、抽水機站的設立位置、灌區畝數、作物用水量和用水的過程綫（干旱年份按月計算的年過程綫）；因為要根據抽水機站的位置確定輸電的距離，要根據用水量和用水過程綫以及抽水高度來確定用電量。

農產品加工用電 要確定各種農產品的年加工量、現有加工用的各種機器的容量（馬力數）和使用情況、加工廠將來發展的計劃等等。

小城鎮和農村照明用電 一般的照明，要調查居民的戶數和人數（按鎮和村莊分，或按居住集中點分），機關、學校和工廠、商店的照明，要調查實際需要量，小商店按照一般用戶計算。

以上這些資料的來源，一般是根據縣區政府的統計，然後選定重點，深入了解一些具體情況和居民的意見和要求。

查勘和確定各項資料的過程大致是：在到現場去進行查勘以前，必須與有關部門聯繫，了解情況並征求他們的意見；同時收集政府各機關現有的各種有關資料，並加以整理和研究，以便弄清資料的來源，提出問題。這樣，在查勘以前就可以達到基本上掌握建站地點已有的各種資料和政府各有關部門的意圖。其次，要進行現場查勘。現場查勘要在已經收集的資料的基礎上進行，有的只要做些校核工作，有的要做些補

充的收集工作。同时，对已经提出的問題，还要进行深入研究，加以解决。第三步，就是把收集的資料和問題向政府有關部門介紹和商討，然后再把它肯定作为設計的依據。各項資料中特別是負荷資料，必須經過三個步驟反复研究然后肯定。

II 小型水电站初步設計的要求

小型水电站的初步設計（按兩個設計階段划分）工作包括：負荷曲線的編制、水文分析、水能計算、水工建筑布置、水力計算、投資概算和圖圖等七部分。現在將各部分的工作要求和方法介紹于下：

（一）編制負荷曲線的要求，是为了做成建站運轉第一年的冬季和夏季的代表負荷曲線，并大約估計五年以后的負荷需要情况。大型和中型电站的設計中，要求考慮第一年和第五年以及較長远的負荷情况；而小型水电站由于容量小、農村經濟的統計材料不足、負荷分配調整也比較容易，所以不需要也不容易估計得很远，因此，只要要求能做出建站后第一年供电时的負荷曲線就够了。負荷曲線上要注明負荷率，以便研究联动机的選擇問題。

負荷曲線的編制方法。根据各类用戶的用电情况做成各类用戶的日用電过程綫，然后再把各类日負荷綫累加起來再加上輸電損失和厂用电，便可以得到日負荷的总过程綫。

（二）水文計算的要求，是供給水能計算的流量資料，所以对它的具体要求是根据可能獲得的水文資料和水能計算的要求來确定。小型水电站一般是日調節或無調節的，水能計算的要求比較簡單。目前所遇到的主要問題是水文資料缺乏。我們今年所做的三个小型水电站都是缺乏水文資料的。房山和惠水的兩個站，只是根据查勘时測得的流量和調查所得情况分析确定的；敦化站則是采用了鄰近河流的五年水文記錄而确定的。因此，它們的設計保証率也都是大致估計而沒有計算的依據的。我們的意見，在目前小型水电站建站地点水文資料極缺乏的情况下，应当着重水文的查勘工作和水文的分析工作；尽一切可能去獲得歷史上的各种水文現象，据以大致确定水电站的設計引用流量和設計保証率，并以計算方法來驗證确定的数字，加以修正，而后采用。

（三）水能計算的要求，是确定水电厂的容量和机組数，計算水电厂的年电能。由于小型水电站一般是日調節或無調節的水电站，水头变化不大，可以当作是没有变化的。洪水时期的水头变化可能較大，但由于小河流上的洪水期一般都很短促，所以影响不大。因此，只要依照水电站的上下游的平常水位差减去主要的水头損失（渠道和引水管的摩擦損失）即可。水电厂的平均出力，則以簡單的公式 $(7.5 \sim 8.0) QH$ 瓦計算（ H 是除去主要水头損失以后的淨水头）。由于水量和水头的計算都是很粗略的，出力計算也就沒有詳細考慮水輪机的效率变化的必要。同时，目前要獲得正确的水輪机的效率曲線很困难，而且有时还是不可能的。

由于对水輪机的出力計算作得很粗略，在选定發電机容量时应使發電机容量比水輪机容量大一些。因为，發電机容量虽然大一些，但它的价格并不增加多少，却可以避

免由于选用發电机容量过小而限制了水輪机的出力。

小型水电站的机組数，一般采用一組或二組。机組数过多就要增加基建的投資和運轉的費用。容量在 50 瓩以下的水电站，可采用一个机組，容量大于 50 瓩的，則按負荷变化的情况选定一組或二組。

在有日調節水庫的水电站容量，用平均出力除以負荷率來确定。如沒有負荷曲綫，負荷率可按用戶性質選用 40 % 至 60 %（如主要为照明用戶，則夏季負荷率約为 20 % 左右）。

如果有季節電能的用戶，則可考慮根据季節電能的需要量和可能的來水量而擴大电站容量。

（四）关于小型水电站水工建築物的布置，需要考慮尽可能地减少建築物的数量和采用簡單型式的建築物，可以緩修的建築物就應緩修，以使用最小的第一期投資完成水电站的建築。

水电站的电能用戶和用量是随着地区的農業生產的發展而逐步發展的，所以水电站的用水量是逐漸增加的，对運轉要求也是逐步提高的；因此建站的初期可以使用簡陋的水工建築物，而在电站建成以后再逐步加以改善。当然，这不是指的那些在改善时对水电站的運轉影响很大的建築物（如厂房的水下建築部分就不宜于逐步改善）。

水工建築物的布置，需要从多方面考慮，并做出各种比較方案，以便選擇最經濟而合理的布置。如果建站的要求迫切，時間很緊，則水工布置的比較，可以不做很多的計算工作，而可用一般的常識來衡量各个布置的优劣条件。在比較的方法上，应多做討論，少做計算。

小型水电站的厂房布置，須考慮水輪机、發电机、配电板和運轉人員在工作中的方便条件，还須考慮到升压站的位置与配电板出綫的方向。小型水电站的厂房地面，应尽可能地縮小，但必須留出運轉和修理的活动場所。一般地，在机械運轉时，它的活动構件与牆壁或其他机器之間必須有 0.8~1.0 公尺的地方，以便運轉人員往來工作。因此，先确定各种机器必需的位置，以后便可以确定厂房的必需面積了。

（五）水力計算和結構計算，主要是对各建築物的校核計算，水工建築物的尺寸可按照其他已成工程的尺寸來选定。对于水电站厂房則应計算以下几項：（1）厂房的总体穩定。（2）厂房水輪机室和尾水室牆的断面校核計算（有水和無水的兩種情况的校核計算）。（3）發电机室和水輪机室的地板和承重梁的应力計算和結構設計。（4）尾水管的水力計算，主要校核尾水流速是否超过 1.5 公尺。（5）進水流速和通过攔污柵的流速、最低水位时的可能最小進水量等等。

（六）小型水电站的电气設計分兩部分：一部分是厂房內部的“厂內电气”設計，包括發电机選擇、配电板選擇、主結綫圖和升压变电站等部分；第二部分是輸電綫路的设计，包括輸電綫截面選擇、綫杆設計、電綫的各种应力計算和降压变电站的選擇等部分。其中最主要的是主結綫圖的确定，它应当从用戶的要求、運轉的方便和安全以及綫路的經濟等方面來進行各种結綫方式的比較，然后确定。由于小型水电站的容量較小，应采用比較簡單、運轉方便的主結綫（可參考“農村水电站”第十三章）。

小型水电站的輸電綫，一般可采用鉄導綫及“兩綫——地”制，以節省輸電綫的

材料，减少基建的投资。

(七) 小型水电站的初步设计图纸，要求有下列几张：

1. 说明水电站的位置、它的输电范围和水利建筑分布范围的图纸，图中表明水电站的总布置和输电线路的布置和负荷中心点。在图纸中最好能包括一个县城或较大的城市。比例尺不小于五万分之一，不大于一万分之一。

2. 说明利用河段坡降情况的河床（或枯水面）坡降线。图上表明电站引水口和尾水出口的位置。如果在河段上有其他水利建筑物或其他用水的引水建筑物，都要表明，河段范围按具体情况而定。

3. 引水道式水电站需要有电站引水口到尾水出口的引水道纵剖面图。图上表明引水道各种技术数据、上下游的平常、最高和最低水位、厂房的位置等。

4. 说明各建筑物总布置的各主要水利建筑物（进水口、厂房等）的平面布置图。比例尺不小于五百分之一。

5. 各水利建筑物的主要剖面图，说明各建筑物的结构形式、构件的尺寸等。

6. 厂房布置图，分为发电机层平面布置、水轮机层平面布置和尾水管层平面布置、厂房的前视和后视图、厂房的纵横立剖面图。比例尺不小于百分之一。

7. 厂房内的电气主结线图，说明输电方式、发电机、变电站和输电线的运转关系，用单线表示。

(八) 小型水电站的效益计算是很困难的，而且它的作用也远非数字可以表示的。抽水灌溉部分可计算增产量。副业加工和照明用电则计算每年的发电度数，并按以一般价格出售，计算每年可收回的电价即可。

二、小型水电站的合理型式

苏联技术科学硕士B.A. 巴蘭諾夫作

I 灌溉渠道上的小型水电站的建筑

党和政府关于農業电气化的決議中，預定要修建数以百計的小型的農村水电站，以期廣泛利用小河流和灌溉渠道上所蘊藏的水能。第四個五年計劃里所擬定的建筑計劃需要大量的劳动力和建筑材料，这一情况提出了一个急待解決的問題，即改進小型水电站的結構使其更为合理，以期節約貴重的建筑材料、減少建筑工作量、縮短施工期限和改良机組等。

由于烏茲別克蘇維埃社会主义共和國領土內的地形复雜，“小型水能”可以利用的水头的范围很寬——从1公尺至100公尺。但值得注意的是極大多數的農村水电站都位于各灌溉渠道上，所利用的水头一般为3.5公尺，因此低水头的小型水电站在烏茲別克獲得了最为廣泛的發展。可是这种低水头水电站的單位容量的基建投資却是較高的。

烏茲別克蘇維埃社会主义共和國內的低水头農村水电站，大多數是按照烏茲別克農村电气化总局的标准設計建筑的。这种标准設計所用的主要建筑材料是燒磚，而厂房的牆壁則是采用土磚。这就大大地減少了混凝土和木材的用量（見圖1）。电站內安裝有一組或兩組动輪直徑为0.5至0.8公尺的开敞式立軸水輪机（法蘭西斯式或旋槳式），并采用手动制速。水电站标准設計中還有的是安裝动輪直徑小于1公尺的簡單的木制旋槳式水輪机。这种标准設計的电气设备用得最多的是СГ型三相交流发电机，这种发电机当轉速为每分钟1,000轉时，它的出力为15至60千伏安。发电机是由水輪机立軸借皮帶來帶動的，或者是安裝一个中間傳动軸來帶动（当水輪机的轉速不足时或是还要帶动其他某种机器时）。

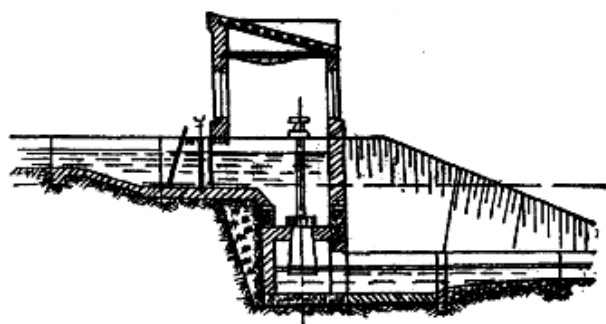


圖1 烏茲別克農村电气化总局1945年制定的水头小于5公尺的農村水电站的标准設計略圖

必須指出，由于地方工厂所出產的水輪机的品种太少，因而使目前修建水电站的工作遇到了一些困难。例如在旋槳式水輪机中（不包括木制旋槳式水輪机在內），至今在烏茲別克苏維埃社会主义共和國只出產一种 ПРК-70 ВО-60 牌号的水輪机，它的动輪是 К-70 型（直徑 600 公厘）。因此就談不上適應不同工作条件來選擇水輪机組。

因此，上述的电站型式的改進之所以成为特別重要的問題，是由于这种改進可使整个电站具有最大的效能。当然，擴大小型水輪机出產的品种也是重要任务之一。

II 小型水电站的合理化問題

任何一种生產的合理化，都是与各种改進联系着的，而这种改進在大多数的情况下都是通过某些簡化來达到的。合理化的主要目的即在不降低產品質量和不增加產品成本的条件下增加產品的数量，否則合理化不过是一种帶有各种不良后果的簡化而已。在我們所討論的这个情况下，建筑水电站的目的就是为了生產一定質量（电压，頻率）和成本的电能。

牽涉到水輪机工作構件的水輪机結構上的簡化，在大多数的情况下，將引起水輪机效率的降低，因而减少發電量。此外，進水建筑物和尾水建筑物內的水头损失也会影响水电站的总效率。为了節省建筑材料而進行的結構簡化是与减小輸水管过水断面联系着的，这一簡化也会導致發電量的减少。但另一方面，如果簡化机械設備，特別是簡化水电站的水工建筑物，既可節省基建投資和修理費用，又可降低運輸費用。

在由于簡化电站結構而降低了水电站的总效率的情况下，电能成本应随運轉費用减少的程度而有所降低，但在某些情况下也可能有些增加。因此当比較小型水电站的各个設計方案（各个方案的电能成本是不同的）时，評價合理化措施的效能的标准应当是建筑材料和投資的節省以及施工期限的縮短。

但必須指出，在个别情况下，如果电力成本的某种短期的增大能促使某一較重要的國民經濟問題迅速得到解决，則这种电能成本的增加是可以允許的。

現在引用下列的計算來說明前述的論点：

电能（按水輪机的軸出力計算）的成本为：

$$e = \frac{S}{T \cdot N}$$

式中 S ——水电站每一机組所需的年運轉費用；

T ——每一机組的年運轉小时数；

N ——水輪机的有效出力。

在这个情况下，应当确定出电能成本与水輪机的效率、水电站進水建筑物和尾水建筑物內的水头损失、建筑和設備的投資的关系。

按農村水电站通常所用的運轉費用的計算方法*，小型水电站的年運轉費用可按下式确定：

* 見 А. И. 庫茲涅佐夫和 А. И. 茲拉特科夫斯基著“農村水电站”1941年版：对于單机組而容量小于 50 瓩的水电站，計算運轉費用是采用 2~3 个管理人員再加上每年擦洗潤滑用油費 1,000 盧布。

$$S = (ac_1 + bc_2 + c_3)m \dots\dots\dots (1)$$

式中 c_1 ——水工建筑物的基建总投资；

c_2 ——机械设备的总投资；

c_3 ——人员(包括临时工在内)和运转材料(润滑油和擦洗的油料)等的年总费用。

$a \approx 0.06$ ——水工建筑物的折旧和修理费用的提存系数；

$b \approx 0.1$ ——机械设备的折旧和修理费用的提存系数；

$m \approx 1.1$ ——行政管理费用和税款等的提存系数。

计入了水电站建筑物内的水头损失的水轮机的有效出力为：

$$N = N_{\text{BOA}}(1 - \xi)\eta \dots\dots\dots (2)$$

式中 N_{BOA} ——按毛水头计算得的出力；

$\xi = \frac{\sum h}{H}$ ——水电站进水建筑物和尾水建筑物内的总水头损失系数；

η ——水轮机的效率。

根据公式(1)和(2)，进行比较的二电站方案的电能(按水轮机轴出力计算)设计成本的比如下式所示：

$$\frac{e'}{e} = \frac{(1 - \xi)\eta s'}{(1 - \xi')\eta' s} \dots\dots\dots (3)$$

在上式中，机组的年运转小时数是相等的。

根据公式(3)，假如水电站在改进以后，进水和尾水建筑物中的水头损失系数的增加不超过下式中的 $\Delta\xi$ 值，则改进后的水电站的电能成本就不会增加：

$$\Delta\xi = \xi' - \xi = (1 - \xi) \left(1 - \frac{s'\eta}{s\eta'} \right) \dots\dots\dots (4)$$

因此，公式(4)确定了小型水电站建筑中“合理化”和“简化”之间的理论界限。但是当应用这一公式时，在各个情况下，还须注意到前面所谈到的该工程对国民经济意义的意义。

按照乌克兰农村电气化总局 1945 年的标准设计建造的低水头小型水电站(不计入引水道)，它们的单价平均为每瓦 6,000 卢布，其中大致三分之一是用在机械设备上。

如果出力为 30 瓦的单机组水电站(水电站最普遍的形式)的建筑部分经过改进后可以减少建筑材料的用量(以钱数表示，例如可以节省建筑部分投资的 30%)，那末按照公式(1)，水电站的年运转费用与原来的年运转费用之比约等于：

$$\frac{s'}{s} = \frac{30 \times 6,000(0.7 \times 0.06 \times \frac{2}{3} + 0.1 \times \frac{1}{3}) + 15,000}{30 \times 6,000(0.06 \times \frac{2}{3} + 0.1 \times \frac{1}{3}) + 15,000} \approx 0.9$$

如果水轮机的效率不变，且电站水工建筑物内的水头损失系数原为 10%，按照公式(4)，则水头损失系数的许可增加数值为：

$$\Delta\xi = (1 - 0.1)(1 - 0.9) \times 100 = 9\%$$

在下面，这个数字将用作为评价电站枢纽的合理化方案的效果的指标。

兹将改进小型水电站结构的一般原则归纳如下：

(1) 在小型水电站中采用手工業生產的簡單水輪機（這種水輪機比新型的水輪機的效率低 20% 或更多些），乃是一種暫時性的措施。

(2) 在水电站安裝簡單的水輪機，可採用最低廉的和簡陋的水工建築物，但要使得建築物內的水頭損失為最小〔公式（3）〕。

(3) 採用高效率的水輪機，加大流速，從而可以稍許縮小水电站的水工建築物的尺寸。這首先是針對水輪機室而言的。

(4) 自動化是改進小型水电站的最有效的方法之一，其目的在於節省看管機器所花的運轉費用〔式（1）中的 c_3 〕。

III 節省水电站建築費用的可能性

在低水頭小型水电站樞紐的組成部分中，最貴和最複雜的是它的建築部分。按水力發電設計局小型电站設計處的資料，容量自 25 至 150 馬力的低水頭單機組的小型水电站樞紐的主要部分的投資如下（以總投資的百分數表示）：

建築部分……………63~67

水力機械設備……………26~30

電氣設備……………6~8

在电站樞紐建築中最昂貴和最複雜的施工部分是水电站廠房的水下部分（正確的說是地下部分）。它的投資超過建築部分投資的一半，亦即約占水电站全部投資的 30% 以上。假如將水輪機流出的水用水管引到機器房的旁邊，則可大大地減少建築工作量，或者甚至可以完全不要廠房的水下部分。

在圖 2、3 和 4 中，提出了三個沒有水下建築部分的小型水电站的平面布置方案，這三種方案適用於不同型式的水輪機。

第一種方案，电站廠房的水下部分用圓井代替，水輪機的尾水管伸入井中。井的下部與一埋設於土內的水平管道相連接，水平管道的埋設深度應與尾水渠內的水位相適應。

在這種情況下，水平管道不

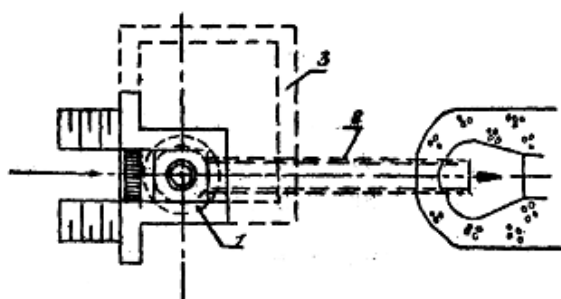


圖2 第一種方案。用尾水管來簡化廠房水下部分的安裝立軸開敞式水輪機的低水頭小型水电站

1—水輪機；2—尾水管；3—廠房

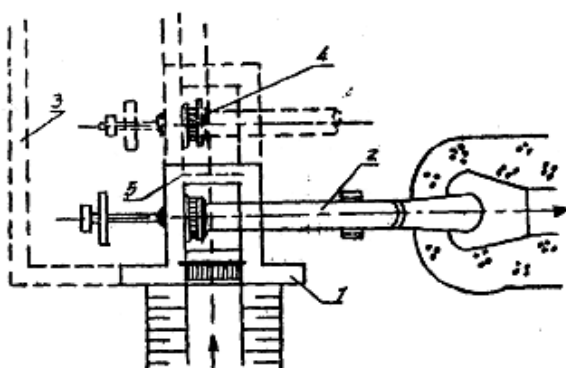


圖3 第二種方案。裝有橫軸開敞式水輪機而沒有水下建築部分的低水頭小型水电站

1—水輪機室；2—尾水管；3—機器房；4—第二個機組；5—開壩

會發生真空，因此它的嚴密性並沒有什麼重要意義，所以可採用混凝土管或用磚砌等，這是這種方案的主要優點。

上述方法，可以相當地減少立式水輪機的電站樞紐的圬工工作量。如果採用於橫式水輪機的小型水電站時，這種改進方法的效果尤其顯著。

第二種方案是安裝開敞的橫式水輪機的低水頭水電站的一種方案，這種電站的水輪機是安裝在磚砌的水輪機室內。水輪機室具有從水力計算和修理時拆卸方便的观点看來的最小尺寸。水輪機的尾水管在水平方向延伸，將尾水導至位於機器房（在圖上用虛線表示）旁邊的渠道內。

在這個圖上用虛線表明了第二部水輪機組的位置。第二部水輪機與第一部裝設在一個總的水輪機室內，並且可以用閘牆將它與第一部隔開以便進行修理。顯然，當修理第一台水輪機時，整個水電站就要停止運轉。

因此，對於兩台水輪機前後串列在一個水輪機室中的這種布置方案，必須全部停電的修理次數比起單機組電站並沒有增加，但是卻能縮小雙機組水輪機室的尺寸，並簡化水輪機室的結構。

還必須指出，雙機組電站的這種布置對於採用旋槳式水輪機的情況也是合理的（因為旋槳式水輪機的不穩定的工作性能，在導葉開度很小的情況下將影響它的效率）。

當尾水管延長部分的直徑為 700 公厘、長度為 10 公尺、流量為 1.2 秒公方（當水頭為 4 公尺時機組的出力為 30 瓩）時，它的水頭損失約為 0.2 公尺，即不大於毛水頭的 5%。同時由於完全不要廠房的水下部分所節省的基本投資，毫無疑問地將要大大地超過電站建築部分投資的 30%。

因此，上述資料證明，小型水電站按第二種布置方案的改進，不但大大地減少了建築投資，而且還可以降低電能成本。這充分證明了這個方案的合理性。

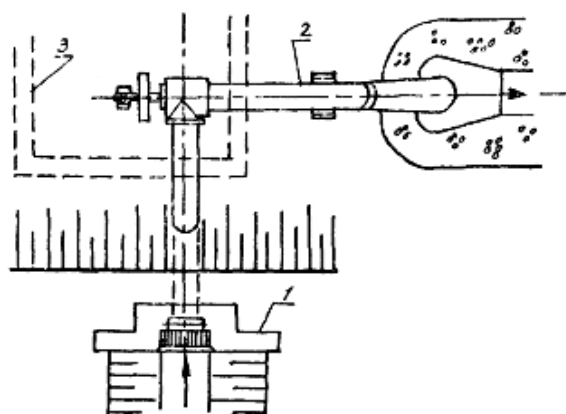


圖4 第三種方案。裝有橫軸密閉式水輪機而沒有水下建築部分的中水頭和低水頭小型水電站
1—泄水渠道；2—尾水管；3—機器房

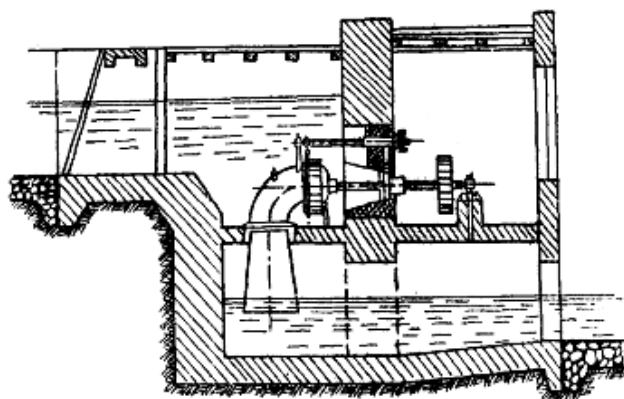


圖5 普通形式的低水頭水電站

为了比較起見，引用了圖5和圖6。

按照第三种方案，水輪机通常裝設在不大的基礎上。它的外殼可以做成各种形式（如蜗式、方形、圓錐形），并且是側面進水（如圖示）。水用管子引至水輪机室并從水輪机室排走。此时，尾水管向水平方向延伸，將尾水排至机器房以外。机器房位于尾水渠和進水廊室的一边。机器房按照一般的型式建筑在干燥的地方而与水完全隔絕。

小型水电站的这种改進方案的效果，用下例來加以說明。

在圖1中表明的按照烏茲別克电气化总局的标准設計建造的農村水电站，当水头为4公尺、流量为1.2秒公方吋，它的主要的建筑工程量如下：

土方	1,200 立方公尺
鋪石	100 平方公尺
燒磚巧工	120 立方公尺
土磚巧工	50 立方公尺
混凝土和鋼筋混凝土	13 立方公尺
水泥抹面	210 平方公尺
白灰抹面	270 平方公尺
粗木工	100 平方公尺
細木工	10 平方公尺
金屬安裝（不包括水輪机和傳动裝置，該兩部分总重約1.5噸）350 公斤	

按第三种方案改進的电站（如圖7），可節約的工作量如下（以百分数表示）：

土方	50
燒磚巧工	40
混凝土和鋼筋混凝土	70
水泥抹面	80

增添700公厘直徑的水管和水輪机的外殼以后，金屬安裝的工作量的增加不超过1.3噸。

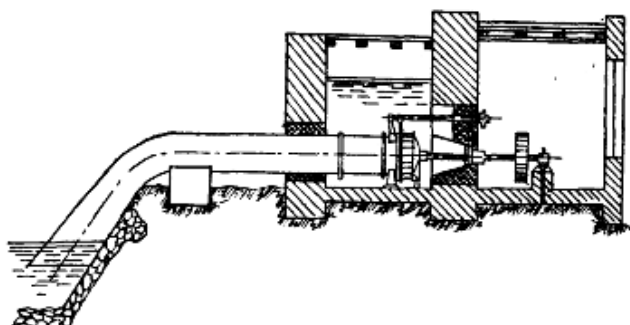


圖6 按照第二种布置方案的沒有水下建筑部分的水电站

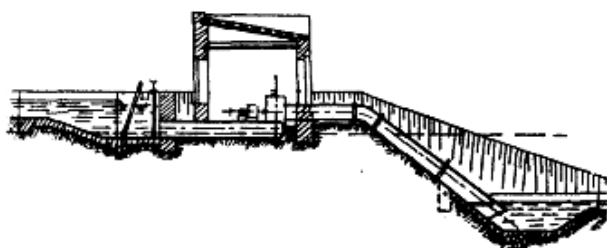


圖7 按照第三种布置方案改進以后的農村水电站（根据圖1）的略圖

由于第二种和第三种方案的尾水管中应保持有真空，管子最合適的材料是用厚度能保證嚴密焊接的鋼板。在需要时应当用角鉄做成加勁环來保證管子必要的强度（抵抗外力挤压）。在第三种方案中的压力水管的材料則有較大的选择范围。

除去結構上的要求以外，上述各方案中的尾水管的最小长度都应滿足滲漏（压力室至尾水渠的滲漏）校核計算的要求*。

沒有水下建筑部分的小型水电站的尾水管的直徑按照公式（4）应这样來确定，使加長的尾水管段中的水头损失不超过下列数值：

$$\Delta \xi, H_{\text{op}}$$

根据这个条件，尾水管加長段的最小直徑（按道西公式）可以按下式确定：

$$d_{\text{min}} = \left(\frac{0.083 \lambda Q^2}{\Delta \xi H_{\text{op}}} \right)^{0.2} \dots \dots \dots (4)$$

式中 $\lambda = 0.025$ ——大直徑水管的摩擦系数。

采用的尾水管的直徑应大于最小值；另一方面，它还应小于相应于下列函数最小值的經濟直徑：

$$S_1 + S_2 = f(d)$$

式中 S_1 ——年修理費用和折旧費用之和；

S_2 ——一年中損失的水能的价值。

按照烏茲別克農村电气化总局的設計資料， S_1 和 S_2 可按下列的平均值計算：

$$S_1 = \alpha p d$$

式中 $\alpha = 0.05$ ——水管的折旧和修理費用的提存系数；

$p = 800$ 盧布——1.0 公尺直徑的水管每公尺長連同安裝的价格；

d ——水管直徑。

$$S_2 = \Delta N \eta_{\text{арп}} T'_{\text{эл}}$$

式中 ΔN ——每公尺水管的水能損失；

$\eta_{\text{арп}} = 0.65$ ——水輪發電機組的总效率；

$T'_{\text{эл}} = 0.4$ 盧布/瓩时——电能成本；

$T = 3,000$ 小时——机組的年運轉小时数。

每公尺水管的水能損失（以瓩計）等于：

$$\Delta N = 9.8 Q \times 0.083 \lambda Q^2 d^{-5}$$

因此，將 $S_1 + S_2$ 对 d 微分即得：

$$\frac{d(S_1 + S_2)}{d} = \alpha p - 5 \times 0.815 \lambda Q^3 d^{-6} \eta_{\text{арп}} T'_{\text{эл}}$$

由此可得水管的經濟直徑 $d_{\text{эп}}$ 为：

$$d_{\text{эп}} = \left(\frac{5 \times 0.815 \lambda \eta_{\text{арп}} T'_{\text{эл}}}{\alpha p} \right)^{1/6} \sqrt[6]{Q} \dots \dots \dots (5)$$

如以上述平均数值代入上式以后即得：

$$d_{\text{эп}} = 1.1 \sqrt[6]{Q} \dots \dots \dots (6)$$

因此，沒有水下建筑部分的小型水电站的尾水管的直徑 d 应在下述範圍內：

$$1.1 \sqrt[6]{Q} > d > d_{\text{min}} \dots \dots \dots (7)$$

在上述小型水电站的各种改進方案中，加長尾水管並沒有使水輪机的工作惡化

* 指的是尾水管出口的位置必需滿足水輪机塞到尾水渠間地下滲透长度的計算——譯者。

(指效率和空蝕方面),在水电站的全部水能平衡中,除了加長的尾水管段內所產生的不大的水能損失以外,並沒有造成其他的水能損失。但由於加長了水平尾水管得以能將厂房布置在尾水渠的旁边,因此:

- (1) 电站樞紐完全不需要水下建築物;
- (2) 減小了機器房基礎的深度;
- (3) 減省了开挖厂房基坑的土方工作量;
- (4) 施工時不必進行排水,並且不需要建築圍堰;
- (5) 不必設置尾水閘門(不必修建下游的工作橋和有閘槽的支墩)。

由於所有上述有利因素,可大大地縮短施工工期,減少材料的用量和降低水电站的投資。水电站投資的降低總數大大地超過水輪機和尾水管所增加的投資數。

上述的理論根據和近似的計算表明,前面所建議的各種水电站的型式應當加以重視,並可推薦為水电站的合理型式而加以推廣。

當前設計機構的任務是制訂各種具體情況下的水电站的技術設計,以便在實際中校驗上述建議,並修正沒有水下建築的水电站的計算方法和結構。在今後對這些电站型式所進行的理論研究任務中(其目的是擬訂水电站的各種標準設計),還應當根據水輪機水力性能的研究和修正後的技術經濟計算來確定它們在水頭和流量方面的適用範圍。

除了以上所說的以外,還可能有基於其他原則的小型水电站的改進方案。例如不用皮帶傳動就可以大大減小機器房的面積。如果在水頭和出力的一定配合下,將CF型*發電機直接裝在轉速較高的(例如每分鐘1,000轉)橫軸水輪機上,就可以不用皮帶傳動。近似計算表明,從4~5公尺水頭起始就可以這樣做。

IV 尾水管的水力計算

當設計沒有水下建築的小型水电站的加長尾水管時,主要問題之一就是確定當調節葉片時尾水管內由於水錘而產生的最大壓力降低。

當水管中產生水錘時壓力波往返一次的時間等於:

$$t = \frac{2l}{c} \approx \frac{l}{500}$$

式中 l ——水管長度(公尺);

$c \approx 1,000$ ——音波在水中的速度(考慮了鋼管管壁的彈性);

t ——時間(秒)。

由上式可見,在長度小於50公尺的水管中,水錘壓力波往返的時間約為百分之幾秒。因之,在長度通常小於50公尺的加長的尾水管內,由於水輪機的導葉關閉得很緩慢(特別是當採用手動調速時),不應當是直接水錘。

因此,沒有水下建築的小型水电站的加長的尾水管,應當按間接水錘來計算,這種水錘通常是小於直接水錘的。

最危險的是當水輪機正在滿出力工作時將水輪機導葉全部關閉而產生的壓力降低。此時,尾水管中的流速變化達到它的最大值,也就是等於流速值。

* 農村水电站中發電機最常用的型式。