

农村水电站水力机械 设备的运转

M. B. 盧果夫斯基 著
A. A. 格列波維奇

水利电力出版社

农村水电站水力机械设备的运转

技术科学硕士 M.B. 盧果夫斯基 著
技术科学硕士 A.A. 格列波維奇

李 煥 章
吳 瑞 鈺 合譯

水利电力出版社

1958年5月

农村水电站水力机械设备的运转

原 书 名 ЭКСПЛУАТАЦИЯ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО
ОБОРУДОВАНИЯ СЕЛЬСКИХ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ
原 著 者 М.В.ЛЧГОВСКОЙ, А.А.ГЛЕБОВИЧ
原 出 版 处 СЕЛЬХОЗГИЗ
原出版年份 1953
译 者 李焕章 吴瑞懿
出 版 者 水利电力出版社（北京科学路二里溝）
北京市書刊出版业營業許可証出字第 105 号
印 刷 者 水利电力出版社印刷厂（北京西城成方街 13 号）
发 行 者 新华書店

210千字 787×1092 1/25开 9 3/5印張
1958年 5 月第一版 北京第一次印刷 印数1—2,700
統一書号: 15143·171 定价(10)1.40元

目 录

前 言	7
第一章 水电站水力原动机概述	9
决定水电站工作的主要动能参数	9
水轮机的一般概念及其牌号	14
水轮机室、吸出管和许可吸出高度	16
水轮机的比速	22
比例公式和相似公式在水轮机运转时的应用	24
第二章 水轮机工作情况	28
概述	28
水轮机的特性曲线	29
水轮机的工作特性曲线	39
水轮机的运转特性曲线（水头特性曲线）	43
水电站机组的运转特性曲线	50
装有若干台水轮机的水电站通用运转特性曲线	53
第三章 水电站水下部分及水能设备移交运转时的一些基本要求	57
总则	57
为保证机组正常工作对水电站水下部分提出的一些要求	58
在交-接试验范围内对水轮机的要求	60
量测设备和仪表	61
对水电站设备的基本要求及其工作性能的确定	63
第四章 小型水电站水轮机的试验和其技术特性的确定	67
总则	67
确定水轮机出力的方法	68
用制动装置确定水轮机出力的方法	68
确定水轮机出力的电测法（用发电机）	71
水轮机的试验	83
第五章 保证水轮机正常工作的条件	86
基本要求	86

气蚀影响	87
泥沙影响	87
水轮机机件的状况和工厂要求的执行	88
水轮机的管理	88
机组工作中的故障及其预知和消除的方法	99
水轮机长期停车时的养护	102
第六章 皮带传动的装置和运转	105
皮带的简要特性	105
关于三角皮带的基本常识及其传动的计算	107
关于平皮带传动计算的简述	113
皮带的接头	120
皮带的胶接	124
皮带运转的基本要求	127
第七章 水轮机的修理	129
修理的类别	129
修理计划的制订	131
准备工作	132
修理工作	137
水轮机修理后的试验	157
第八章 装卸农村水电站机电设备时的起重工作和起重工具	160
麻绳	160
钢丝绳(钢索)	162
吊索、绳结与绳圈	163
链(焊接式)	166
滑车、吊钩、滑车组	167
绞车、千斤顶与复式滑车	171
机电设备的缚扎	174
起重工作的安全技术基本规则	176
第九章 水轮机自动调速器的运转	180
水轮机调速器的用途	180
有关调速器的概念及其主要特性	182
关于农村水电站水轮机自动调速器的简要资料	183
水轮机自动调速器的调整与试验	193
机组并列时调速器的工作情况	201
调速器的运转及养护	203

第十章 农村水电站的工作效率及其运转	206
水电站工作情况指标	206
电能质量指标	217
强度指标	217
对决定水电站工作效率各种因素的估计	217
发电量对电力成本及水电站工作效率的影响	221
组织运转的几个问题	225
设备检查与修理计划	227
附录 1 小型水轮机运转特性曲线 (图100~112)	230
附录 2 机组负荷增减试验记录	237
参考文献	238

前 言

列宁和斯大林一直認為电气化是建成共产主义經濟基础的重要条件之一。

在我国逐步由社会主义过渡到共产主义的时期內，工农业生产的电气化具有特別重要的政治意义和国民經济意义。

下列数字令人信服地說明了苏联农业电气化发展的規模：1913年农村电站的容量不超过 2 千瓦，而在 1940 年則增長到 275 千瓦，亦即增長为 137 倍。

在偉大的卫国战争以后，农村电气化开始了极广泛的发展，这个时期的特点是大大增加了农村水电站的建設，利用了无数小河的能量。

为了表明这个时期农村水电站建設的增長，举出这一点就够了：它們的容量由 1945 年到 1948 年增長了 3 倍。

有系統地发展农业生产机械化和集体农庄的扩大为兴建容量数百瓦甚至数千瓦的农村水电站創造了现实的前提。那样的水电站为农业广泛的电气化建立着稳固而完善的电力基地。

第十九次党代表大会在拟定今后发展社会主义农业的宏偉計劃时，曾提出加紧建設农村电站和扩大使用电力拖拉机和利用电力的农业机械。

在农村电气化工作者面前提出了一个問題——怎样来組織农村水电站的運轉，使其不間断地供应用戶以廉价而質量良好的电能。

如果不系統地提高管理人員的技术知識，就不可能改善水电站的運轉。

水电站是否能不間断地工作首先决定于水工建筑物和水力机械設備工作的正常与否。

电能質量則决定于以下的因素：第一，它决定于水电站水工建筑

物所造成的最佳水头和通过水輪机的流量的稳定性；第二，还决定于設備狀況是否正常。

水电站工作的技术經濟指标不仅随其容量、建筑物的型式、它所处的自然条件等因素而异，同时也决定于正确的運轉。因而，水电站的運轉包括了各方面的措施，在这些措施中占首要地位的是保証水力机械正常的工作，特別应保証水輪机以較高的效率工作。

为了順利地完成这些任务，农村水电站的管理人員應該充分掌握本行的技术，了解設備的構造，熟习这些設備在各种条件下的工作特性，独立地分析在工作过程中发生的現象，以及善于及时采用一些最有效地利用水电站的方法。

本書的目的是为了帮助农村电站人員解决这个問題。

作者在本著中利用了全苏水利与土壤改良科学研究院(ВНИИГиМ)水力試驗室的資料，全苏农业电气化科学研究院(ВИЭСХ)，全苏水力机械制造科学研究院(ВИГМ)，莫斯科莫洛托夫动力学院(МЭИ)等的著作，以及苏联电站部和苏联农业部农村电业总局的資料。

第九章“水輪机自动調速器的運轉”系由技术科学碩士 А.А. 格列波維奇所写，其余九章均为技术科学碩士 М.В. 盧果夫斯基 所写。

第一章 水电站水力原动机概述

决定水电站工作的主要动能参数

水轮机是任何水电站的原动机。水轮机的构造是各不相同的，并主要由水轮机工作中的最佳水头及流量所决定。

直接地或由传动装置传给发电机的水轮机有效出力可按下式确定

$$N = \frac{1,000 \cdot Q \cdot H \cdot \eta}{102} = 9.81 \times Q \times H \times \eta. \quad (1)$$

式中 Q ——通过水轮机的流量，以公方/秒计；

H ——工作水头，以公尺计；

η ——水轮机效率。

除工作水头外，每一个水电站都具有等于水电站上下游水位差的几何水头。这个水头常称为毛水头 (H_{op})。净水头 (H_{HT}) 则等于紧靠着水轮机的上下游水位之差 (图 1)，亦即：

$$H_{\text{HT}} = H_{\text{op}} - h_1 - h_2, \quad (2)$$

式中 h_1 ——水轮机引水设备 (渠道、水槽、水管) 中的水力损失；

h_2 ——排水设备中的水力损失。

对于开敞式水轮机 (图 1)，净水头可采用等于工作水头，亦即 $H = H_{\text{HT}}$ 。

由公式 (2) 可知，引水和排水设备中的水力损失愈小，则在同样 H_{op} 之下的工作水头愈大。

对于封闭式水轮机来说，其工作水头等于

$$H = M + h + \frac{V^2}{2g}, \quad (3)$$

式中 M ——装设于水轮机罩压力水管上的测压计 (或测压管) 读数 (图 2)，以水柱高度公尺数计；

h ——从該測压計中心至吸出管附近（排水渠起点）水位的垂直距离；

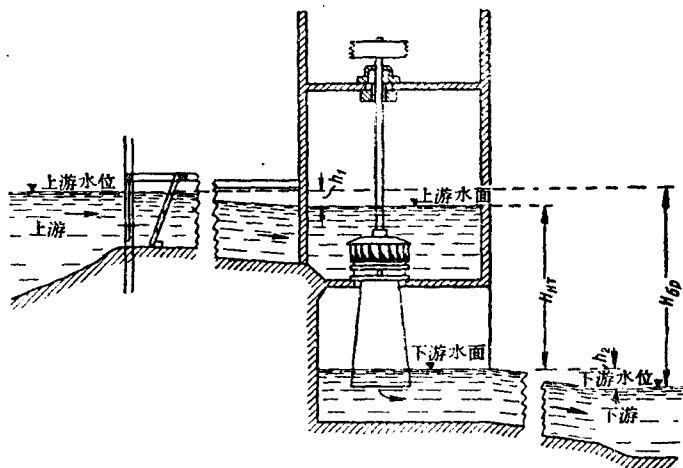


图 1 确定設有开敞式水輪机的水电站水头的示意图

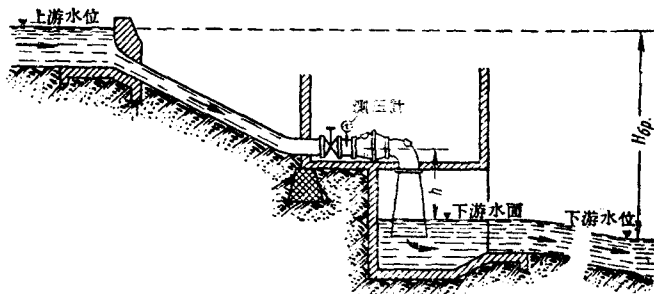


图 2 确定設有封闭式水輪机的水电站水头的示意图

$$v = \frac{Q}{F} \quad \text{公尺/秒}$$

式中 Q ——通过水輪机的流量，以公方/秒計；

F ——压力水管断面面积（淨），以平方公尺計。

必要的测量应在水輪机稳定工作的条件下，亦即当排水渠中出口处水位比較稳定而测压計的水管中充滿水的情况下进行。

水电站在发电机母綫上的出力(通常以瓩計)总是較水輪机的机軸出力为小。这是由于发电机本身及傳动裝置中的功率損失所致。

H.M.夏保夫教授提出了各种傳动裝置的近似效率值如下:

- 1) 皮帶傳动(直接的).....0.92~0.96
- 2) 皮帶傳动(半交叉的).....0.88~0.92
- 3) 齿輪傳动, 未加工的毛鑄鉄齿輪.....0.70~0.85
- 4) 齿輪傳动, 光鑄鉄齿輪.....0.85~0.90
- 5) 齿輪傳动, 銑成的或刨成的毛齿輪.....0.87~0.92
- 6) 齿輪傳动, 銑成的或刨成的光齿輪.....0.93~0.96
- 7) 齿輪傳动, 銑成的或刨成的光齿輪,

并有压力潤滑.....0.96~0.97

在图 3 上是三角皮帶与平皮帶傳动的效率和原动机負荷(以最佳出力的百分数計)的关系。

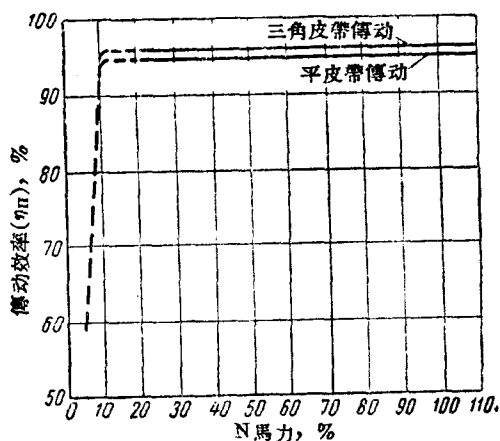


图 3 傳动效率变化图

在初步計算中, 一般采用:

水輪机效率.....0.75~0.80

发电机效率.....0.88

考虑了水輪机傳动裝置和发电机中的損失后, 水电站发电机母綫

上的出力(瓩)，可由下面的一般公式表示：

$$N = 9.81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta_T \cdot \eta_H \cdot \eta_G \quad (4)$$

式中 η_T 、 η_H 、 η_G ——水輪机、傳动裝置和发电机的效率。

决定水电站工作的主要动能参数为水头、流量、出力和发电量。

1. 水头 工作人員應該知道下述水头：

1) 最高水头，設計时据以計算水工建筑物的稳定性和水輪机許可工作情况的极限。超过这个水头，建筑物或水輪机就会发生事故。

2) 平均水头，即对水电站工作最适合的平均条件。

3) 最低水头，是整个水电站或个别水輪机保証能发出所分配到的出力的极限。这个水头表示水电站最不利的工作条件。

2. 流量 在運轉过程中，同时在上下游測定流量。上游流量称为日常流量，它决定进入水庫的水量。

下游流量則决定通过水輪机或水电站建筑物的水量。

当水庫蓄水以及上游水位抬高时，必須使通过水輪机和建筑物的总流量小于日常流量。如果下游流量超过日常流量，則会产生水庫泄水及水庫水位降低的現象；如果下游流量等于日常流量，上游水位就維持不变。

日常流量可由下列方法来确定：

1) 按照設于堤壩回水影响以上的水文站断面处的水尺讀数来确定。

水文站應該有稳定的水位流量关系曲綫。这个 $Q=f(H)$ 关系曲綫是根据各种不同水位时的实测流量繪制的(图4)。

2) 在上游水位高程不变的条件下，測定水电站下游的流量。这个流量可按照設于下游

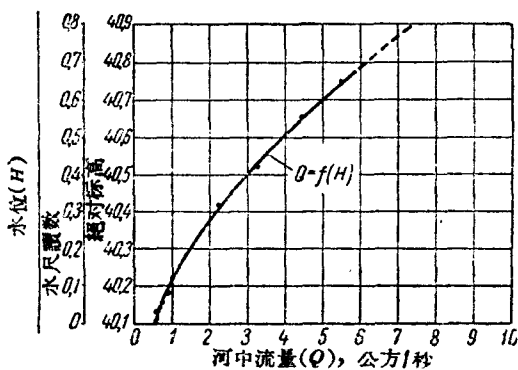


图4 非汛期水位流量关系曲綫 $Q=f(H)$

相应地段的水文站的 $Q=f(H)$ 关系曲线确定。或者按經由建筑物与水輪机泄至下游的总流量計算。当經由建筑物的滲漏很严重时，滲漏流量常常难以确定，故不推荐用这个方法來計算日常流量。

为了研究河流的水文情况，工作人員必須知道下述流量。

1) 用来計算水电站最小出力的最小日平均、最小旬平均、最小月平均和最小年平均流量。

2) 用来确定平均发电量的日、旬、月和年平均流量。

3) 当正常高水位时能經由水电站建筑物泄放的最大流量。

4) 当上游极限高水位(超过正常高水位)时泄放的非常流量，这种流量发生在特大洪水时或当水庫紧急溢泄时。

水电站出力 工作人員應該知道下列性質与数值各不相同的出力：

1) 水电站的装机容量，它等于所有机組容量之和。

2) 机組在最有利的水文条件下能够发出的最大出力，但不得超出从机械强度和气蚀的观点計算水輪机时所規定的极限值。

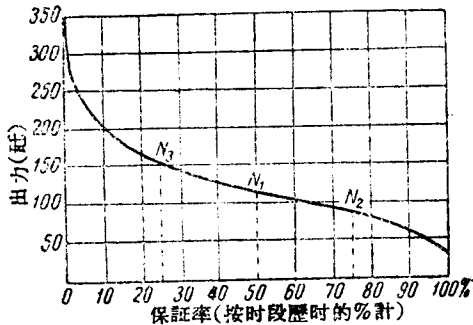


图 5 水电站出力保証率图

3) 水电站平均出力(日的、旬的、月的、年的)，这可由一天、一旬等时期內的发电量(以瓩小时計)除以該时期內的小时数得出。

4) 水电站最小出力，即相应于不进行日調节时的最小日常流量的出力。

5) 具有某一保証率(占某一时期的百分数)的水电站出力。

从河流的水文情况看来，在任一时期內，例如在一年之內，水电站的出力是时刻变化的。設有在半年內保証可以发出某一出力 N_1 ，亦即如以一定时期(一年)的百分数計，該出力的保証率为 50%。另一出力 N_2 (小于 N_1) 在 75% 時間內得到保証，第三个出力 N_3 (大

于 N_1) 在 25% 時間內得到保證等等。將出力按遞減數值排列并知道了以整个时期的百分数表示的出力保證率，即可繪出水电站出力保證率图。图 5 即为該图的一个例子。从這張图上可知，保證率为 50% 的出力为 115 瓩，保證率为 75% 的出力为 85 瓩，保證率为 25% 的出力为 155 瓩。保證率为 100% 的水电站最小出力为 30 瓩，最大出力 (350 瓩) 的保證率为 0% 。

水电站发电量可由电度表或水电站配电盤上的仪表讀数确定。在实际運轉中，通常仅确定一年中最大、最小和平均的发电量，亦即相应于水电站特征出力的发电量。

水电站厂用电的消耗有兩種：生产用电及日常管理用电。

水电站母綫上的輸出电量等于水电站发电量与水电站生产耗电量之間的差額。

水輪机的一般概念及其牌号

根据水輪机轉輪輪叶上水力作用的性質可將水輪机分为压流式和射流式兩種。

压流式 (或反击式) 水輪机的特点是：

1) 作用在轉輪輪叶上的水是有压力的，所有輪叶之間都充滿着水。

2) 水在离开輪叶时仍然貯存有某些能量。

混流式 (弗蘭西斯式) 和旋槳式水輪机都屬於压流式。

射流式 (或冲击式) 水輪机的特点为：

1) 水以动压力作用于工作輪叶上，輪叶間的空間并不充滿着水。

2) 水在离开輪叶 (戽斗) 时完全將其能量傳給后者，如戽斗式水輪机 (伯尔頓式) 或兩击式 (班克式) 水輪机。

根据水流动的方向，水輪机可分为：

1) 輻流式，其特点是水沿輻向冲击輪叶；混流水輪机亦包括在內。

2) 軸流式，其特点是水沿輪軸方向冲击輪叶，其中包括旋槳式及轉叶式 (卡普蘭式) 水輪机。

压流式水輪机的主要部分是轉輪和导水裝置。

联接在軸上的轉輪在固定的导水裝置中旋轉，导水裝置的下端以凸緣固定在基础上，而上端則复以頂盖。

导水裝置系由許多可动的側立导叶所構成，它們位于联接底环（座环）和水輪机盖的許多豎軸上。

导水裝置的导叶借特設的裝置轉动。水在一定的水头下由水輪机室經导叶間流过，并流至轉輪輪緣与輪轂間的輪叶上。

水在沿着轉輪輪叶向內流动时，釋出其貯蓄能量，迫使轉輪帶动輪軸旋轉，在軸上有适当的傳动裝置（皮帶輪、齿輪或法蘭盤）以便將能量傳給发电机。

水輪机的标定直徑是表示水輪机尺寸的主要参数之一。对于混流式水輪机，其直徑是工作輪进水邊緣的最大直徑，而轉叶式及旋槳式水輪机則为轉輪室的最大直徑。

在全苏水力机械制造科学研究院（ВИГМ）拟定的标准目录中，所有水輪机都是向右轉动的，亦即从水向吸出管流动的方向观察水輪机时为順时針方向。

水輪机的牌号 在上述目录中列有苏联的全部水輪机牌号。水輪机的牌号表征着它的系統、輪系或型式、結構和尺寸，并由以短橫綫划分开的三个符号組成。第一部分表示轉輪的类型，第二部分——構造形式，第三部分——尺寸。

轉輪类型以水輪机系統的第一个字母及此类型的号碼表示。对于各种水輪机系統所采用的字母为： Φ -混流式（弗蘭西斯式）， K -轉叶式（卡普蘭式）， Π_p -旋槳式， $\Pi_p K$ -旋槳式輪轂上裝有 K -型輪叶， Π_e -戽斗式（伯尔頓式）。例如： $\Phi 300$ ， $K 90$ ， $\Pi_p K 70$ 。

構造形式由兩個大写字母表示，第一个字母表示輪軸的位置（豎軸式或橫軸式），第二个字母表示水輪机室的構造。

第一个字母的意义为： B -豎軸式， Γ -橫軸式。第二个字母的意义为： O -开敞式， B -混凝土蜗室式， M -金屬蜗室式， Φ -正面进水的壳状机室（圓柱式）。例如： BO ， ΓO ， BM ， BB 。

如果一定構造的水輪机既被应用于高水头，又被应用于低水头，

这样，在高水头情况下水輪机的結構比較坚固，而第二种情况——結構强度較差，这常以相应的字母“B”“H”表示。例如 $\Gamma\Phi_B$ —橫軸式，正面进水式，高水头； ΓM_H —橫軸式，金屬蝸壳式，低水头。

水輪机的尺寸以数字表示，它代表以公分計的水輪机轉輪的标定直徑(混流式水輪机)或轉輪室的最大直徑(轉叶式或旋槳式水輪机)。

規定的牌号讀法如下：

$\Phi 300-BO-60$ ——混流式水輪机(弗蘭西斯式)，其轉輪为 $\Phi 300$ 型，豎軸开敞式，轉輪直徑 60 公分。

$\Phi 300-\Gamma O-59$ ——混流式水輪机(弗蘭西斯式)，其轉輪为 $\Phi 300$ 型，橫軸开敞式，轉輪直徑 59 公分。

$\Phi 300-\Gamma\Phi_H-84$ ——混流式水輪机(弗蘭西斯式)，其轉輪为 $\Phi 300$ 型，橫軸正面进水式，低水头，轉輪直徑 84 公分。

$\Phi 82-\Gamma M-50$ ——混流式水輪机(弗蘭西斯式)，其轉輪为 $\Phi 82$ 型，橫軸金屬蝸壳式，轉輪直徑 50 公分。

$\Pi pK70-BO-80$ ——旋槳式水輪机，其轉輪为 K70 型，豎軸开敞式，轉輪直徑 80 公分。

$\Pi pK245-BB-120$ ——旋槳式水輪机，其轉輪为 K245 型，豎軸混凝土蝸室式，轉輪直徑 120 公分。

$\Pi e801-\Gamma-82/6.5$ ——戽斗式水輪机，其轉輪为 $\Pi e801$ 型，橫軸式，轉輪直徑 82 公分，噴嘴直徑 6.5 公分。

水輪机室、吸出管和許可吸出高度

水輪机室(进水室)用来把水引到水輪机导水裝置，它在構造上可以是开敞式的或封閉式的。

把水引至水輪机輪叶的情况和流速的方向对于水輪机的工作有很大意义。

流速的方向和进入导水裝置內的水量在很大程度上取决于水輪机室的尺寸和其型式。除上述諸因素外，流到轉輪上的水量还决定于导叶的开度及其形狀。因而，無論是水輪机室或是水輪机的导水裝置，在水力学上都与轉輪有很密切的联系，也就是說，其構造應該完全与