

電力系統中水電站 動能效益的提高

蘇聯 B. П. 馬爾提諾夫著

王 永 年譯

水利電力出版社

內 容 提 要

本書主要敘述電力系統中水電站動能效益的分析方法和怎樣確定水電站合理的水能方式。書中闡述了在電力系統中所採用的提高水電站動能效益的措施，並提出了在制訂水電站效益定額時應當遵守的原則。

本書可供從事水電站運行的工程技術人員閱讀，也可供高等學校水力發電專業的学生參考。

В. П. МАРТЫНОВ

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ, РАБОТАЮЩИХ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ МОСКВА 1954

電力系統中水電站動能效益的提高

根據蘇聯國立動力出版社1954年莫斯科版翻譯

王 永 年 譯

1143S294

水利電力出版社出版(北京西郊科學路二里溝)

北京市書刊出版業營業登記證出字第105號

水利電力出版社印刷廠排印 新華書店發行

787×1092 $\frac{1}{32}$ 開本 * 3 $\frac{3}{4}$ 印張 * 66千字

1958年8月北京第1版

1958年8月北京第1次印刷(0001—2,350冊)

統一書號: 15143·955 定價(第10類)0.50元

序 言

作为科学的水能学，主要由于本国学者及工程师们的劳动，已经取得了广泛而多方面的发展。但是，在电力系统中工作的水电站的运行理论问题的研究稍为落后，这影响了水电站的运行实践。

电力系统的一系列运行经验指出，在水电站上利用水流能量方面，有着重大的潜在储备力量。查明及利用这些潜在的储备力量，具有很大的国民经济意义，因为依靠减少损失可以使水电站的发电量得到额外的增加。电力系统中水电站的良好运行经验的总结及进一步研究，这对苏联的动力事业有着决定性的意义，同时可以达到促进水电站上水流能量利用效益提高的目的。

关于苏联电力系统中水电站工作方式的效益提高问题，有许多科学研究著作曾予以阐述，其中有 B.B. 博洛托夫、T.Л. 卓洛塔廖夫、B.Г. 阿依瓦齐扬、M.A. 莫斯特科夫、И.В. 依吉阿扎罗夫、B.M. 郭尔恩什亭、M.П. 菲利德曼、Б.И. 倪克勤、И.М. 索科洛夫、С.Я. 瓦尔塔扎罗夫、И.М. 马尔科维奇、Г.Г. 郭尔布诺夫、Д.О. 谢依富拉、И.А. 吉林斯基、B.И. 奥勃列兹科夫等的著作。在上述作者的著作中，对混合电力系统中的水电站工作方式的一般理论问题及实际问题，或对水电站的最合理工作方式方面的个别问题，曾予以很大的注意。

但关于运行水电站的效益计算及分析问题，特别是在梯级中及在水电系统中工作的水电站的效益计算及分析问题，

在上述著作中几乎沒有予以注意。

作者在1950年根据全苏动力科学技术研究协会水力分会的委託，完成了水电站的工作效益指数体系及純水电系統中梯級水电站的合理水能方式管理的总结工作，而这主要适用于高水头水电站。

上述总结，使得后来制訂出决定水电站及水电系統效益方面的运行导則，这个运行导則曾被苏联电站部技术委员会批准。但是这个导則当时未下达到我們的水电站及电力系統的运行人員中去。

近年来，在水电站水能方式的改进方面，以及应用“提高水电站效益措施”的改进方面，累积了补充經驗。这本著作是水电系統中在改进水电站的水能方式及提高水电站的动能效益方面的十年运行經驗的理論上的总结。一系列問題的理論研究，曾經由作者在阿尔明尼亚加盟共和国科学院水力发电研究所中完成，並且已发表于阿尔明尼亚加盟共和国科学院院报上〔参考文献24、25及26〕。作者对Л.А.巴巴揚工程师在校訂本書时所进行的工作，表示感謝。

如果本書的出版，能够对水电站及电力系統的工作人員在解决水电站上水流能量利用效益的提高問題方面有某些帮助的話，那末这本著作的目的就达到了。

对本書的所有批評意見及要求，都将为作者所接受，並表示感謝。对本書的批評意見及要求，請寄：

Госэнергоиздат, Москва, Шпозовая наб.10.

作 者

目 录

序言	1
緒論	4
第一章 水电站的工作方式	6
第1节 电力系统中水电站的性质及任务简述	6
第2节 水电站在电力系统中的工作方式	7
第3节 对水电系统的昼夜工作方式提出的要求	9
第二章 水电站及水电系统的动能效益指数	12
第4节 对水电站效益指数提出的要求	12
第5节 现在所采用的水电站动能效益指数	13
第6节 水电站的合理动能效益指数	19
第三章 水电站效益的分析方法	24
第7节 单位比水耗的分析方法	24
第8节 单位比水耗及其水头总损失分量、流量总损失 分量、机组所利用的分量的决定	27
第9节 建筑物组成部分中及机组中的单位 比损失的決定	30
第四章 水电站效益的检查組織	47
第10节 决定水电站效益时所必需的检查-测量仪器	47
第11节 作水电站效益分析的时期	50
第12节 决定水电站水能方式效益的試驗的进行	51
第五章 电力系统效益的决定	59
第13节 电力系统的效益指数及其分析方法	59
第14节 电力系统的单位比水耗的决定	63
第15节 规定效益指数定额的原则	65
第六章 提高水电站动能效益的措施	67
第16节 提高水电站及水电系统工作效益的措施概述	67
第17节 提高水电站及电力系统工作效益的若干方式 措施的总结	75
結論	110
参考文献	112

緒 論

參加不斷發展的蘇聯能量平衡中的水電站，年年增加着。目前，區域發電站全部發電量的17%左右是由水電站發出的。

在蘇聯共產黨第十九次代表大會上所作的關於發展蘇聯第五個五年計劃的指示中，規定水電站總容量要增加兩倍。新的大型水電站的發電，表現出從質量上改變蘇聯電力系統及全部動力事業的性質的時代。由於上述情況，對現代水能學就提出了按新的方式來提高水電站動能效益的要求。

蘇聯能量平衡中的水能比重的不斷增長，就要求提高水電站的運行水平及其在電力系統中的利用程度。動力設備及水流利用方法的改進，以及水電站和電力系統裝置自動化設備及遙控設備，可以促進上述要求的實現。

在蘇聯的一系列電力系統中，在改善水流能量利用及提高水電站設備的工作效益方面，已經累積了很多經驗。但是這方面的經驗總結，還落在近年來起了質的根本變化的運行要求的後面。

這種落後情況，在一定程度上是由於缺乏客觀的、靈活的、而在運行上可行的電力系統效益計算和分析的體系，而這種體系可以將水電站的效益問題制訂成統一的效益定額。

許多水電站在參變數、建築物組成、所利用的水流情況、在電力系統中的任務、動力設備的類型等方面，是各式各樣極不相同的，因此就很難在效益問題上能有統一的觀點，由於該水電站或電力系統的特殊條件的不同，效益的分析及計算問題就要按不同的方式解決。現有的計算體系，在

这方面未給出应有的方向。

第三次全苏水电站运行會議(1950年)指出：在水电站及电力系统的工作效益的現有計算方法中，未能充分反映出水力发电的特点。必須研究水电站的运行理論，特别是水电站工作方式效益的計算方法。會議向苏联的水力发电工作者提出了如下的任务：“改进水电站的运行質量，努力提高水能在国民經济利益中的利用效益”〔参考文献34〕。

这个总任务的解决，是与决定和分析水电站效益的問題有密切关系的。为了逐步解决上述任务，可以提出下列問題进行研究：

1. 水电站工作的动能效益指数，此指数可以客觀地、而且在运行条件下可以简单地决定水电站工作方式的效益。

2. 水电站工作效益的分析方法，此分析方法可以查明水能損失的根源。

3. 减少所查明的損失的措施。

4. 規定一定方式下的水电站工作效益的定額。

本書是逐步解决上面所提出的主要問題的嘗試，亦即是对水电站的合理效益指数及其分析方法的研究。

除此之外，本書还闡述了在現有电力系统中所采用的提高水电站方式效益的某些措施，並指出在制訂水电站及水电系統的方式效益定額时应遵循的方向。

所研究的方法应用于主要由高水头引水道式水电站組成的电力系統中，而且經過檢驗。对于这样的水电站來說，在地形上通常沒有建造大容积水庫的可能，而且在水电站附近要建造必需容积的日調节池也是困难的。同时在一系列类似的电力系統中，有着可以实现梯級水电站的多年調节的少数人工水庫及天然上游水庫。

第一章 水电站的工作方式

第1节 电力系统中水电站的性质及任务简述

水电站比火电站具有一系列的技术优点，这些优点可以大大改善电力系统的工作。此外，水电站的能量资源是週而复始的，在运行方面水电站具有极高的质量，例如：水力机组可以迅速自动起动及停机，发电机可以迅速转入同期调相机工作状态及相反地转换，当负荷改变时损失比较小，厂用电少，在机组的预备工作状态时不消耗能量资源等。

当水电站可以进行水量调节时，水电站在运行方面就具有非常大的灵活性。当水电站与火电站并行工作时，可以很好地利用水电站的优点。

根据水电站参变数及水流情况的不同，上述特性决定水电站所担负的电力系统负荷曲线图部分的特性。同时，发电站的运行人员，除了完成国家发电量计划及降低水电站厂用电之外，还应保证解决下列问题：

1. 在一定方式下，在水电站上最有效地利用水流，这就是使水电站的水量损失及水头损失减至最小。

2. 合理地利用水电站的调节可能性，以改善电力系统的方式及水电站和整个电力系统的技术-经济指数。

当然，总的要求是保证水工建筑物及水电站的所有设备可靠工作。上述任务的完成，要在水电站和地区电业管理局生产科（调度科、水工科等）的运行人员取得协调工作下才能实现。

第2节 水电站在电力系统中的工作方式

根据计划的目标或研究任务，水电站的水能方式被看作为水电站或电力系统的总方式的一部份。例如，分为设计方式、运行方式、年度方式、月份方式、昼夜方式、操作方式等。

水电站的水能方式，是以水电站的任何组成部份(与水能转变为电能的统一过程有关的组成部份)中的流量、水头、水位、容积、出力等的相应数据表征的。

为了管理水电站的工作方式，在即将来到的昼夜中实施水电站及电力系统的昼夜工作方式的操作计划，这个操作计划是根据所研究的月份方式或季度方式的昼夜数据加以修正的。

水电站的合理方式，应该在一定具体条件下最好地解决上述要求。

水电站由于具有上述性质，可以担负电力系统负荷图的任何合理部份，这样在计划及管理电力系统方式时，可以把燃料消耗最省的一部份负荷分给火电站担负。

因为所利用的水流情况，通常在一年内是有变化的，那末随着水电站参变数的不同而给予水电站的方式也变化。同时影响水电站方式及一年内电力系统日负荷图的变化。

按水电站合理的担负电力系统负荷的可能性，水电站在电力系统中的工作方式可以分为下列三种类型：

1. 无调节水电站。在水电站运行容量范围内时，水电站的出力决定于水流情况。为了全部利用水能，无调节水电站应在负荷图的基荷部份工作。在由水流所决定的水电站出力小于水电站运行容量的时期内，没有水流保证的机组容量，

可以作为厂内备用容量，或用来发出无功能量。

2. 日调节水电站。 当日调节池的容积足够大时，可以在一定范围内重新分配水流容量。

水能应完全被日调节水电站所利用。水电站在电力系统负荷图的峯荷或腰荷工作，就可以替换电力系统中其他发电站的较大容量。日调节水电站合理担负负荷图峯荷部份的范围，这取决于水电站的运行容量及日调节池的能量容积〔参考文献10, 13, 28〕。

在洪水时期，当水流能保证水电站的运行容量时，为了完全利用水流，日调节水电站应在负荷图的基荷部份工作。

3. 长期调节水电站(年调节及多年调节)。 当有大水库时，可以重新分配水量以保证最大程度地利用水流。当还有日调节时，就有可能在一年中的长时期内保证水电站有所希望的工作方式，即在电力系统负荷图的峯荷或腰荷部份工作。现在趋向于利用长期调节水库同时进行日调节。利用调节后的水流历时曲线代替日常的水流历时曲线，以便按季度及月份来计划水电站的方式。

还有一系列与该水电站特性及电力系统特性有关的因素，影响各别水电站的工作方式。例如，电力系统分配给水电站担负频率调整、发无功出力或保证迴转备用容量的任务，以及担负负荷图的显著增长部份，所有这些都使水电站的工作方式及其效益发生重大的改变。

在另一方面，当制订操作计划及管理电力系统的方式时，应当考虑到与水电站的建筑物及设备的工作发生强制改变有关的情况。例如，在洪水期为了避免日调节池的淤积不使用日调节池，以致使水电站失去调节^①；冰屑团的排除或冰屑

① 注意到日调节池的位置靠近引水道式水电站的压力池。

囤积儲在建筑物中破坏水电站的正常工作方式及降低水流利用效益。

在許多情況下，例如当梯級中的水电站工作时，其中的一个水电站的工作方式，往往大体上决定了其他水电站的工作方式。

第3节 对水电系統的晝夜工作方式提出的要求

正确的計劃及管理水电站的工作方式，特别是在混合电力系统中的水电站，是有一定困难的。

在发电站及电力网的技术管理規程中指出：“水电站的用水管理，应在水电站担負对电力系统最有利的最大負荷的情况下，保証最完全地利用水流能量及水电站的装机容量” (§595)。其次，“当在电力系统中有几个水电站时，則所有水库应这样地来共同进行調节，就是使得电力系統中所有发电站的总的能量效益为最大” (§599) [参考文献33]。

不深入分析电力系統的組成情况，也可以推引出关于水电站及火电站有效担負混合电力系统負荷图的理由，这些理由是在實踐中肯定下来的。

水电站的枯水期。 枯水期中，放置在电力系统負荷图的基荷部份的是：在一昼夜內工作的凝汽式汽輪机最小技术出力；按供热图所需的热电站汽輪机的强制出力；无日調节水电站的出力。負荷图的腰荷及峯荷部份由具有日調节的水电站担負。

具有长期調节的水电站的負荷，按照水量調节的調度图拟定。利用这些水电站担負負荷图的上部是合理的。

电力系统負荷图的其余未填滿部份，由火电站担負，此时要考虑到燃料政策及发电站設備的技术經濟特性。以当地

燃料及燃料碎屑工作的发电站，应尽可能最大地佔滿負荷图。

混合电力系統的頻率調整，交給具有日調節的水电站担任是合理的。隨着按水流的水电站日平均出力的增大，应将負荷图的更密实的部份分与水电站担负。

洪水时期。 在洪水时期，放置在負荷图基荷部份的是：无日調節水电站的出力；在建筑物的全部过水能力极限时的具有日調節水电站的出力；具有长期調節的水电站的最大出力，如果水庫已經蓄滿或洪水流量能保證水庫蓄滿时；按供热图所必需的热电站汽輪机的出力；火电站凝汽式汽輪机的最小技术出力及凝汽部份。

負荷图的腰荷及峯荷部份由火电站担负。虽然火电站的这种工作方式，既使燃料的消耗过量，又使电力系統的单位煤耗增加，但是由于水电站担负了最大的負荷，因此总的燃料消耗是減少的。

电力系統的頻率調整，在上述时期內交給大容量火电站担任。

当計劃发电站的工作方式时，除了考虑上述(合理处理燃料問題及最大程度地利用水能資源)之外，还要考虑一系列与保證供电可靠性及能量的标准質量、輸电經濟性等有关的因素。为了考虑上述因素，需要进行技术經濟計算，根据技术經濟計算就可以定出最經濟的工作方式。

火电站和水电站之間的負荷分配問題，在于要达到在已知水电站日流量的情況下，所决定的負荷分配能使火电站上的燃料消耗最少。

在仅由水电站組成的电力系統中，各个水电站在电力系統負荷图上所担负的位置类似地規定如下：无調節水电站在

負荷图的基荷部份工作，以利用河流的現有逕流；具有有限調節的水电站，佈置在負荷图的中部。負荷图的上部由有調節水电站担負。

当研究在单纯电力系统中的每一水电站最合理的負荷图时，可以对水电站的方式提出下列要求〔参考文献26〕：

1. 保証电力系统中的完全日調節，而不限制用戶的負荷。
2. 所有水电站的水流完全利用，而无棄水。
3. 保証最大程度地利用水流能量，也就是电力系統中所有水电站的总的动能效益为最大。
4. 保証必需的备用容量及备用发电量，以便担負水流状况的可能偏差以及負荷与計劃負荷图的可能偏差。
5. 保証电力系统运行的特殊条件和要求，例如：頻率調整，保証事故备用，調節无功出力，保証繼电保护的工作等。

当研究水电站和水电系統的工作方式时，必須使既可客觀地将各个水电站的效益彼此間作比較，又有可能将整个水电系統方式的各个方案的效益彼此間作比較。只有水电站和水电系統方式效益的清楚的数量指数，才可以判断某种方式或措施的优点。

关于水电站和水电系統的动能效益的客觀評定問題，以及效益分析，将在以下各章講述。

第二章 水电站及水电系统的动能效益指数

第4节 对水电站效益指数提出的要求

为了计划、计算和检查发电站的运行质量，必须有可以定出水电站工作标准的相应数量指数。

现行的指数、报表、计划和奖励水电站工作人员 的制度，並不反映出工作人员的实际工作，也不能促进水能资源利用效益的提高。例如，评定水电站工作好坏的主要指标——国家发电站计划的完成程度，像决定工作人员奖金的厂用电消耗量一样，不能鑑定各个分场(車間)和各个小组在保證設備和建筑物的有效工作方面的实际工作质量。

問題之所以复杂，是由于影响发电量损失的許多因素与设计者、建筑者、地区电业管理局的工作人员以及水电站本身的工作人员有关。水流能量不能充分利用的具体原因，只有对各种损失进行詳細分析才能弄清楚。

提高水电站工作效益的任务，在于在最終計算中获得控制损失的可能性，也就是在于根据能量平衡区分各种损失，以及在于研究降低各种损失的措施，以便确定对整个电力系统而言的水电站最优工作方式。

由于这个緣故就产生了这样的問題：甚么样的动能指数应该作为共同工作的水电站效益分析的标准。

为了有可能评定这个或那个指数是否适宜，可以对水电站运行效益的动能指数提出下列要求：

1. 指数应能客观地表征水能利用的程度，也就是应该以能量平衡为基础。

2. 指数应该可以方便地分析水电站的工作效益，也就是

在数量上弄清楚发电量损失的根源和因素。

3. 指数應該可以客觀地比較各个水电站的效益。

4. 指数應該可以計及某一水电站在电力系统中的作用，也就是应反映出水电站与电力系統的关系。

5. 指数應該可以規定定額。

6. 指数应可以简单地决定，而且可以根据水电站运行时采用的檢查-測量儀器的測量决定。

7. 指数不应与外界因素有关。

現在所采用的动能指数，並不完全符合以上所提出的要求。

第5节 現在所采用的水电站动能效益指数

发电站和电力网的技术管理規程中，为水电站定出了下列技术經濟指数〔参考文献33〕：发电量，发每一班小时所用的单位水耗，发电站厂用电佔发电量的百分比(§1063)。

上述指数，表征某一水电站工作的动能效益，但不能使各个不同水电站的效益彼此間进行比较，也不能弄清楚各种损失的根源。

对于火电站來說，技术管理規程規定，除了确定其他指数以外，还要确定发一班小时所用的标准燃料的单位煤耗，单位煤耗是极方便的动能效益指数。它可以清楚地、客觀地比較各个发电站和各个电力系统的工作的經濟性，並且可以对其工作規定定額。根据能量平衡对此种指数进行相应分析，可以弄清楚設備的各个組成部份中的損失大小，以及可以影响此种損失的降低。

虽然有水电站运行计划及計算的詳細格式，但对水电站來說，类似标准燃料消耗的指数是沒有的。在水电站关于完

成生产计划的表报中所标明的整个水电站的效率值、单位“毛”水耗及单位“净”水耗，并不符合上述目的。

对水电站算出的单位水耗，可以按季度或年度来比较各个水电站的工作效益，但是不可能用来比较水头不同、建筑物和设备的组成不同、在电力系统中的任务不同的各种水电站的工作效益。

现在所采用的水电站的各种动能效益指数，不管怎样总可以归结为以下两个指数中的一个指数：效率或倒值（单位水耗）。

效率是有效能量与引入能量之比，在应用它来作为效益指数及标准时，有不便之处并受到限制。

有效能量是决定能量平衡时的原始数值。决定有效能量是极简单的，而且可以很精确，但引入能量值的决定实际上是有困难的，而且不够精确。效率可以按水电站的各组成部分分为一系列的损失分量，但只有在决定引入能量的数值之后才可以这样分。

单位水耗是引入能量与有效能量之比，用它来作为效益指数是比较方便和明显的。单位水耗值按水电站各组成部分成为一系列损失，进行起来可以比较容易，因为损失是属于有效能量的可以被简单而精确地决定的数值。由于这个缘故，可以分析任何环节的损失，即使不求出总指数。

在原来式子中的单位水耗，不能用来在不同的水电站之间彼此比较，这是由于水头不同的缘故；单位水耗也就失去了对整个电力系统的意义。上述情况限制了单位水耗在运行上的应用。

И.М. 索科洛夫工程师曾经提出过水电站运行方式的效益指数，所谓“水电站的运行指数”或“可能发电量利用系数”[参考文献 5 及 31]：

$$K_{ablp} = \frac{\partial \phi}{\partial \partial_{03}} > 1, \quad (1)$$

式中 $\partial \phi$ ——水电站的有效发电量；

$\partial \partial_{03}$ ——水电站的可能发电量。

И.М. 索科洛夫建議对每一水电站用試驗方法确定各种电站损失的定額，也就是确定該水电站的“正常”水量损失、“正常”水头损失及机組的“正常”效率，根据这些数值計算 $\partial \partial_{03}$ 。

应取 $K_{ablp}=1$ 作为建筑物、設備和水电站来水量的正常利用的标准。如果採取了减少水量损失和水头损失以及提高水輪机组效率的措施，就可以突破确定的定額而得到 $K_{ablp} > 1$ 。当运行管理草率馬虎时 $K_{ablp} < 1$ 。

可能发电量利用系数，对各个水电站按季度或年度来比較其工作是方便的；但它不能按照损失的位置和决定这些损失的各种因素方便地区分不足发电量，不能方便地从电站损失中划分出电力系统损失，不能表征出水电站在电力系统中所起的作用，不能在各个不同水电站之間客观地进行比較。

对每一具体水电站定出的“正常的” H 、 Q 及 η 的引用，是有很大的条件性的。

这种指数作为規定損失定額的論証性的嘗試來說是有价值的，然而，虽然有上述限制，但它在改善水电站的运行方面仍起了良好的作用。

可能发电量利用系数，实际上是关于可能发电量的相对效率，而不是关于全部引入能量的相对效率。从全部引入能量中減去不可避免的損失值，而不可避免的損失是假設地决定的，所以这个指数也就帶有假定性。藉分解这个指数来得到水电站每一組成部份中的总損失值是不可能的。

水电站运行指数的严密体系是由技术科学博士 Т.Л. 卓洛塔廖夫教授提出的[参考文獻 13 及 17]。

Т.Л. 卓洛塔廖夫教授对水电站分別作成水量、水头和能量的平衡，並划分出从河流开始直到机組及尾水渠为止的水量、水头和能量的所