

苏联电站部技术司

水电站的动能经济计算

(基本规则)

水利水电建设总局设计处水能组译

王正纲校

水利电力出版社

目 录

緒言

第一篇 水电站的动能經濟計算总則	4
------------------------	---

第二篇 动能經濟計算中水电站的主要动能指标	9
-----------------------------	---

第一章 总則	9
--------------	---

第二章 水电站的主要动能特性	11
----------------------	----

第三章 水电站的能量損失和容量損失	17
-------------------------	----

第三篇 計算費用	19
----------------	----

第四篇 动能經濟效益的标准	26
---------------------	----

第五篇 輸水建筑物	36
-----------------	----

第一章 总則和基本計算关系	36
---------------------	----

第二章 压力輸水道(压力隧洞、压力水管和倒虹吸管)	44
---------------------------------	----

第三章 无压輸水道	47
-----------------	----

第六篇 与徑流調节有关的动能經濟計算	55
--------------------------	----

第七篇 水电站装机容量的选择	61
----------------------	----

第八篇 同时选择水电站的几个参变数	66
-------------------------	----

第九篇 关于动力建設項目选择的意見	69
-------------------------	----

緒 言

本“基本規則”可供水電站設計單位使用。

當設計水電站時，為了選擇最優的方案，應當進行方案比較；所比較的各個方案需要不同的投資和運行費用，具有不同的年平均發電量和不同的參加電力系統容量平衡的容量。

在基本規則中敘述了選擇水電站的動能參變數和建築物尺寸的動能經濟計算的一般方法和方式。水電站的動能效益和經濟效益是依其參變數和建築物尺寸大小而變化的。據此我們研究了水電站的裝機容量、調節水庫的壅水位、容積和運行方式以及輸水建築物尺寸的選擇。所敘述的計算方法，也適用於輸水管根數、機組台數和型式等的選擇。

對水電站動能特性沒有影響的方案的比較範例，例如當壅水位高程已定時對壩型的選擇，在基本規則中沒有進行專門研究。

在許多情況下動能經濟計算實際上是論證設計方案的唯一標準，但在其它的情況下，這些計算只能指出經濟方案的範圍。

同時，無論是在第一種情況下，或者特別是在第二種情況下，進行動能經濟計算時必須同時進行工程、動能、經濟等方面的分析，以使形式上完成的計算，不致忽視沒有列入動能經濟計算的重大的、或有時是起決定作用的情況。

動能經濟計算的某些假定性和近似性，是由於它們所依據的原始資料不可避免的要隨時間而變化所致。例如河流水文特

性、动力系统的规模和结构、系统内各电站的动能经济指标等就是这样。

在本基本规则中，对各方案的动能经济比较所采取的計算期限为15~25年。

按照本基本规则，可以从寻求計算期限内国民经济費用最小的方案出发，或者从計算期限内补充投資的抵偿出发，来进行計算。

本基本规则中所采用的一般計算公式，可通过最简单的推演得到个别的計算公式。

个别的計算公式具有同样的结构形式，并且可以考虑到实际的设计条件。

本基本规则沒有要求包括所有的动能经济设计問題。

对本基本条例的建議和批評，請寄給：莫斯科別列日柯夫沿河街40号全苏动力建設施工組織設計研究院莫斯科分院科学研究部。

第一篇 水电站的动能经济计算总则

§1. 在设计水电站时，动能经济计算的目的是任务在于在动能经济方面论证：

(1) 所设计的水电站的第一期工程和以后动力建设的次序；

(2) 所设计的水电站的主要参数和建筑物尺寸；

(3) 水电站在动力系统中的运行方式。

§2. 水电站应作为参加动力系统运行的电站进行设计。因此水电站主要参数和尺寸的正确选择以及动能效益的确定，应该以分析所研究的水电站方案在该水电站参加动力系统运行中的动能效益的基础。

§3. 在个别情况下，单独的水电站的主要参数的选择和动能效益的确定，应该从最合理地利用水电站向所在地区或单独用户供电的观点出发。

§4. 设计水电站时，水流的利用应当从国民经济的利益出发，使水利枢纽的各用水部门如发电、航运、灌溉、土壤改良、供水等，都得到最大可能的综合效益。

§5. 水电站的效益，是用水电站同其它可能的电源进行比较的方法加以确定的，在一些情况下，同可能实现的水电站比较，在另一些情况下，同火电站比较。

动能经济设计时，应考虑某座电站出现后在整个总体系统中所引起的变化：

(1) 电站效益的估计，应按该电站参加运行的整个动力系

統进行，其中也包括系統的用电部分，同时分析在系統中安排季节性或大耗电用户的合理性問題（如果水电站容量小于系統容量的10~20%，那末可以不必估計水电站对电能用户的影响）；

（2）除发电以外，当存在或发现其它用水部門时，应考虑所設計的水电站对总体系統的影响。同时在計算中应相应地反映各用水部門所取得的利益（改善航运、灌溉条件等）和不良的后果（淹没、浸沒等）。

（3）对火电站應該計算其所需燃料的开采投資和运到发电地点的运输投資。

§6. 在动能經濟計算时，假定各个不同方案的用电量在动力系統的設計发展水平中，其数量和质量都是相等的，以此来确定水利樞紐（或其任何一个参变数）的动能效益。

水电站的設計正常运行方式在某些时期沒有保証时，必須考虑因此而产生的动力系統和电力用户的补充費用。

当水电站同火电站比較时，应以凝汽式电站或热电站的凝汽部分作为比較对象。考虑到热电站按照热力負荷方式运行的效益高，因此水电站不同热电站比較。

§7. 合理的动力系統应按下列的方針建立：

（1）建設水电站和以經濟合理地集中供热为基础，联合生产热能和电能；

（2）在水力資源丰富而燃料缺乏的地区，利用水电站取得电能，并在季节性电能的基础上通过电力鍋炉取得热能，而在个别情况下，在基本电能的基础上取得热能；

（3）在水电比重占优势的电力系統中安排調节性用户，使电力系統的用电方式与水电站的供电方式接近。

§8. 在許多情况下采用經過动能經濟計算所得到的最有利

的方案，可能会遇到一些无法进行經濟评价的技术方面或其它方面的意見的障碍(例如，其它用水部門的限制，不許淹沒，地区燃料平衡，施工期限，国防方面的意見等)。在这些情况下，最有利的方案的放弃，应从国民經濟遭受到的損失和方案的技术复杂化两方面的观点出发进行评价。

因此，动能經濟計算不能认为是寻求最有利的方案的唯一标准，但即使是在上述情况下，为了对所采用的方案进行评价，动能經濟計算仍然是必要的。

§9. 在进行各方案的动能經濟比較时，为了充分地估計投資和运行費用，应考虑到各方案在輸电或配电总汇合点以前的所有各組成部分。

§10. 設計水电站时，动能經濟計算要求确定各比較方案的下列指标：

(1) 为用户所利用的水电站发电量；

(2) 在为該水电站規定的設計保証率的条件下，在动力系统容量平衡最緊張的时期，保証供給系統的工作容量和备用容量；

(3) 各种建筑物、設備和整个水电站的投資；

(4) 建筑物、設備和整个水电站的年运行費用；

(5) 与所設計的水电站在同一动力系統中运行的各电站的投資和年运行費用，随水电站参变数而变的上述各电站的发电量、装机容量和年費用。上述各电站可能包括：凝汽式电站、热电站的凝汽部分、柴油发电站以及其它水电站；

(6) 水利樞紐各用水部門和整个水利樞紐的随水电站参变数而变的那部分投資和年运行費用；

(7) 实物指标：節約燃料，節約运行人員，節約金属消耗量等，在对方案进行评价时要考虑到我們拥有上述資源的情

况:

(8) 电站和水利樞紐各組成部分投入运行的期限。

§11. 为了进行动能經濟計算, 必須利用某些初步的計算成果和許多动能經濟原始資料, 即:

(1) 河流水文特性;

(2) 关于用电发展水平和用电发展速度的原始資料;

(3) 关于用电方式和負荷曲綫特性(形状)的原始資料;

(4) 关于动力系統的电站組成, 以及动力系統中不同发展水平的动力系統的結構;

(5) 决定各比較方案在施工、运行期限內总費用的水电站的各組成部分和其它綜合利用工程的价值指标。

§12. 为了保証各动能經濟計算比較方案的可比性, 計算的原始資料和計算方法必須保持完全相同。

§13. 当水电站布置方式相近似的两个方案进行經濟比較时, 动能經濟研究可以簡化, 因为这种水电站的运行費用大致都是与其投資成相等的比例的, 因而可以只按投資进行方案比較。

§14. 在大多数情况下, 在設計水电站并将其与建筑物布置方式不同的其它水电站比較时, 特别是与火电站比較时, 必須对施工期限內的投資和运行期內的費用进行經濟比較。但这种比較在方法上和計算上的困难, 常因火电站比水电站的投資低、运行費用高而复杂化; 这种情况决定着这两种費用对国民經濟的不平衡。

§15. 因为在进行不同方案的动能經濟比較时, 應該考虑施工期間的投資和运行期間累积增加的运行費用, 所以方案的經濟比較可以只在某一限定的計算期限 T_p (从动能經濟設計观点出发) 內进行, 在这个計算期限 T_p 內来評价获得一定的动能

效益而消耗的资金的合理性。

采用限定的计算期限 T_p ，就是假定：超过这个计算期限的各方案之间经济关系的某些可能的变化，照例不能作为采用在计算期限 T_p 内已证明是不利的方案的理由。

§16. 在动能经济计算时，经济效益的主要标准是在计算期限 T_p 内整个国民经济因建设和运行所设计的工程（或因它的参变数的变化）所消耗的总费用数值。

但是，正如对这个问题的分析所表明的那样，在动能经济计算中，可以只列入所设计的水电站将参加运行的动力系统在设计期限内的总费用，来代替上述整个国民经济的总费用，同时考虑到：

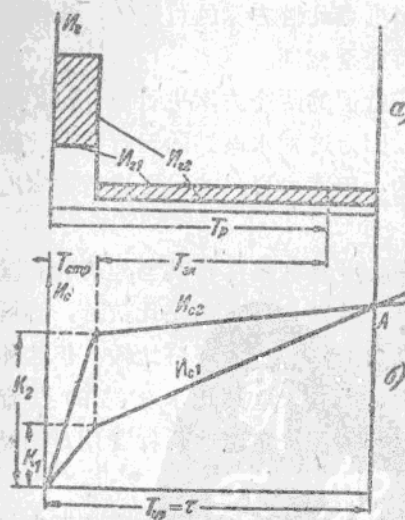


图1 各比较方案的费用示意图

H_{c1} 和 H_{c2} —年费用； K_1 和 K_2 —投资； H_{c1} 和 H_{c2} —总费用。

此示意图假定两个方案的施工期限相同。

代表各比较方案的资金使用差别（数值大小和使用时间次序）的补加费用，即当计算期限内的总费用相同时，资金使用较早的那一方案，对国民经济不利；

在估计将来相当长的计算运行期限内的费用时，应当考虑到劳动生产率的提高；

由于水电站的低水量保证率年份供电不足而产生的国民经济的补加费用。

§17. 上条所述两个

方案比較一般圖式，如图 1 所示。图中繪出了各比較方案的年費用曲綫（图 1a）和自所述时期之期初累計的总計算費用曲綫（图 1b）。

在一定的計算期限 T_p 内进行經濟比較，并且如果总投资和总运行費用拉平的期限 T_{vp} 小于 T_p ，那么在經濟上就証明采用投資大的方案是合理的，如果 T_{vp} 大于 T_p ，那么就証明采用投資大的方案是不合理的。

第二篇 动能經濟計算中水电站的主要动能指标

第一章 总 則

§18. 水电站是一种电源，它的电能可供給联成动力系统（用电系統）的各种用戶，或尚未形成动力系统（新兴区）的地区用戶，甚或个别用戶（单独負荷）。

§19. 水电站在动力系統中运行最合理的供电方式，可以最有效地利用水电站和河流的所有特点。在新兴区或单独負荷点运行的水电站，随着時間的推移和电业的发展，最終是会改变为参加动力系統中供电的方式的。

§20. 在动力系統中运行的、又是动能和出力源泉的水电站，可以担負許多符合动力系统要求的职能，这些职能完成的程度，也决定着水电站在数量和质量方面的动能价值。

这些职能如下：

(1) 发出用戶所用的电量和替代火电站或其它水电站相等数量的电量；

(2) 保証用戶以工作容量，因为水电站能够分担系統年負

荷曲綫和日負荷曲綫的一定的部分，而沒有必要在火电站或其它水电站上增加相应的容量；

(3) 担負全系統备用的职能：甲) 容量和电量的運轉事故备用(电量的备用应由水庫事故存水保証)；乙) 調整系統周波用的負載备用，以減縮其它电站同种功用的容量；

(4) 保証在动力系統內进行計劃預防檢修的可能性，因而系統不必装設附加的檢修容量；

(5) 用有功負荷不滿的发电机过励磁的办法，来发出无功出力和提高系統的 $\cos \varphi$ 。

§21. 担負上述职能的水电站，可以替代相应的容量，以及改善动力系統中其它电站的負荷方式。同时，其它电站运行方式的改变，可能对本水电站的运行方式有好的影响。

因此，当估計所設計的水电站的效益时，在它的发电量和工作中应当包括：由于本水电站参加动力系統运行而使系統中全部水电站和火电站增加的发电量和参加容量平衡的容量，以及与此有关的、主要是由于火电站燃料消耗量的变化而引起的系統費用的附加变化。

§22. 水电站动能利用的最有利的方式与动力系統的电站組成、負荷曲綫有直接关系，并可能随着它們在時間上的变化而有重大改变。

§23. 当水电站有多余的季节性电能而未被系統的現有用戶利用时，投入一些專門的季节性用戶(某些化工生产，在水电系統中向工业和日常生活供給蒸气和热水的电力鍋炉，机械灌溉等)可能是合理的。在此情况下投入季节性用戶可以大大提高水电站的利用程度和效益。但是，有时在根据动力系統的动能經濟要求所决定的水电站容量以外，不投入季节性用戶而增加水电站容量也是有利的。

§24. 动能經濟計算时，应考虑到下列各点：

(1) 具有水庫(季調节、年調节和多年調节)的水电站，可以分出一部分容量担負系統事故备用和運轉备用(当有保証备用庫容时)；

(2) 水庫容積不大(部分季調节、周調节、日調节)的水电站的全部容量或部分容量，可以作为系統的短時間的事故备用；

(3) 沒有季調节或日調节(徑流式电站)的水电站的可能出力，可以在容量平衡的設計时段內全部作为工作容量利用，而不可能担負这个时段內的事故备用(即使是短時間的)。

§25. 調整系統周波的职能，只能由相当大的水电站担負，即它的容量和系統的容量相称，并能适应这种工作方式。

§26. 應該特別強調具有水庫的大型壩后式水电站的出力效益的动能經濟意义，它的补充投资低，又有电能备用。这种水电站的优越性就在于在大多数情况下增加它的容量是經濟合理的，因而在頗大程度上可以减少系統中短時間利用的装机容量，然而，如果沒有水电站，那么在火电站上还是要安装：

第一，担負尖峰負荷的容量；第二，仅在发生事故时投入的备用容量。

第二章 水电站的主要动能特性

§27. 动能經濟計算时所考虑的水电站主要动能特性是：

(1) 水电站可能供給动力系統的电量；

(2) 在年內容量最緊張的时期参加动力系統容量平衡的水电站的保証出力。

这两个动能指标取决于水头和流量，而水头和流量是根据

与水电站利用计划相适应的运行条件进行水利计算和水力计算而确定的。

§28. 水电站动能经济效益的估计，只能在动力系统一定的运行期限内或者在动力系统的各个设计发展水平上进行。

在規定设计发展水平时，应当考虑到包括动力系统在內的动力系统供电地区的国民经济的远景发展。

§29. 在一般情况下，可以建议按照水电站投入运行后（第一台机组投入后）的第五年的系统负荷曲线来确定水电站的发电量和保证出力；通常，此时系统中所利用的水电站发电量应等于它的水流可能发电量。

对于系统中的巨型水电站，在许多情况下根据以后的设计水平（即第一台机组投入运行后的第十年，考虑到新电站的出现和负荷的增长）校核水电站的运行情况是合理的。

在河流利用条件以后有变化，因而可能大大改变水电站的运行方式和效益的情况下，对于大型水电站建议采用第二设计水平进行校核计算。第二设计水平的选择应在设计时论证。

§30. 在确定水电站效益时，动能经济计算所考虑的水电站发电量，应当是多年平均值。

多年平均发电量的计算可如下进行：

(1) 对现有全部多年水文系列（或设计代表时段）进行计算，并求出算术平均发电量；

(2) 或者，绘制水电站日平均出力的多年平均历时曲线，并按此计算年发电量。

多年平均历时曲线建议按不同季度绘制，因各季度的水量损失的计算和水电站担负负荷曲线的运行方式的性质不同。

§31. 动力系统所利用的水电站发电量（列入动能经济计算的）应了解为：水电站按照动力系统规定的负荷曲线在电站

母綫上供給電力系統的電量。

水電站的水流發電量應了解為：當水電站電能的利用沒有受到用戶方面的限制時，全部機組在母綫上的最大可能發電量。

§32. 水電站的保證出力 N_0 ，是按年內系統容量最緊張的時期水電站參加系統容量平衡的容量確定的。保證出力由下列各部分組成：

(1) 用來担负動力系統尖峰負荷的水電站容量，其中包括短時間的不穩定的尖峰（水電站最大工作容量）；

(2) 用來保證動力系統必要的事務備用的水電站容量；

(3) 用來調整動力系統周波的水電站容量；

(4) 用來替代系統中其它電站停機檢修的機組的容量（檢修備用）。

水電站的保證出力決定了該水電站在系統中的容量效益，完全可以替代火電站或其它水電站的相應容量值。

為了確定水電站的保證出力，必須編制設計年份或設計時段的動力系統按月容量平衡。參加容量平衡的最大容量就決定了水電站的保證出力。

§33. 水電站的工作容量（見§32(1)）決定於：第一，水電站水流日平均保證出力的大小；第二，在該動力系統的條件下日調節的可能性。

水電站的周、季、年和多年的徑流調節，表現在日平均保證出力的增加上。

水电的工作容量在年內不同時期可能由於水電站參加動力系統容量平衡的情況和水頭的降低（下游壅水，上游消落）而受到限制。

§34. 利用水電站容量作為系統事務備用、調整周波和替代系統其它電站的容量檢修〔見§32(2)(3)(4)〕的可能性，在

水头和水量上任何必要的时候都应予以保证。

动力系统主要设备的大修，通常安排在系统年负荷曲线的夏季“低谷”内，所以作为检修备用的水电站容量，通常在这个时期利用。

作为事故备用和调整周波用的水电站容量，在不同程度上任何时候都可能利用。

在设计得合理的动力系统中应当把重复容量缩小到最小限度，以避免不必要的投资和运行费用。

§35. 当确定水电站参加系统平衡的容量时，应特别分析：

(1) 用以确定系统需要的工作容量和备用容量的年最高负荷；

(2) 相当于水电站水库消落期末和水库洪水期初的年最高负荷曲线的降低时期；

(3) 各水利部门对水电站运行方式的影响(航运限制、灌溉用水等)。

在年最高负荷时，水电站照例是发足全部装机容量，所以应当用相应的水库消落方式予以保证。在水库消落期末和河床式水电站的洪水期，常因水头下降而出力降低，应当在编制各水文代表年的系统容量平衡时(考虑检修在内)予以考虑。

§36. 水电站出力保证率是按多年持续时间确定的，以小数或百分比表示。“ $p\%$ 的保证出力”这句术语表示：低于该保证值的出力出现的机率不超过 $(100-p)\%$ (按时间计)。

如果水电站的保证方式是按实际的年份确定的，那么这个实际的年份应当根据所采用的按持续时间计的出力保证率进行选择。

同时，设计枯水年在机率 $p_{m.}$ (以小数表示) 方面，应符合

合下列条件:

$$p_{m.z} = 1 - \frac{1 - p_p}{\varepsilon}, \quad (1)$$

式中 p_p ——按持續時間計的參加动力系统容量平衡的設計保証率(以小数計);
 ε ——在設計机率以外的年份的年平均缺電時間(以小数計)。

同时, 当選擇机率接近于 $p_{m.z}$ 的实际枯水年时, 必須使这个年份的容量平衡緊張时期的持續時間等于:

$$T_{d.e.p} \cong 8760\varepsilon. \quad (2)$$

§37. 在設計保証出力范围以外, 水电站工作容量的降低, 可用下列方法补偿:

- (1) 把系統备用投入运行;
- (2) 在容量不足的时期調正負荷曲綫, 并轉而限制負荷;
- (3) 增加并列运行的替代电站的容量;
- (4) 对調整負荷的用戶, 在不缺電的时期供給补加电量, 或是增加某些用戶的生产能力;
- (5) 降低动力系統中調节性用戶的用电量。

在系統中建立專門的重复容量, 以便在設計保証率范围以外保持正常的供电方式, 經濟計算証明是不利的。

在某些情况下, 出力的降低还是会导致部分限制用电, 甚至停止用电。

§38. 从动能經濟計算的观点出发, 設計保証率問題归結为綜合分析供电系統和用电系統的附加費用的价值表現。附加費用应包括与电站和企业工作方式的改变、生产能力的补充增加以及某些企业减产等有关的費用。

在論証設計保証率时, 对上述各因素所包括的广度問題,

應該在具体設計時解決。

初步設計時對大型水電站可建議下列設計保證率範圍：

(1) 大型動力系統中的大型水電站(以後必須根據經濟計算成果加以校正)——從0.85到0.95；前者適用於系統水電比重小的情況(容量在15~20%左右)，後者適用於水電比重大的情況(大於50%)。

(2) 對於中小型水電站，下限為0.75，在某些情況下甚至為0.5^①。

§39. 決定水電站效益的兩個主要動能參變數——發電量和保證出力，是根據水電站的水能方式或年水能運行計劃的設計成果確定的。

水電站水能規劃的任務是建立一種能夠保證該水電站在容量和電量方面最有利的參加動力系統運行的水能方式，它可使國民經濟費用達到最小限度，同時在規定的系統電站組成情況下，保證用水水平得到最大限度的發展。

§40. 當在已有火電站和水電站的動力系統中進行新水電站的動能經濟設計時，新水電站只應負擔現有電站不能以較小的費用完成的動能職能。因此，應從增加水電站有效發電量和保證出力(水電站在系統中可以補充增加有效發電量和保證出力)的觀點出發來設計新水電站的運行方式。

這種確定水電站設計指標的方法，可以避免夸大水電站的動能經濟效益。

①現正編制新的設計保證率標準。