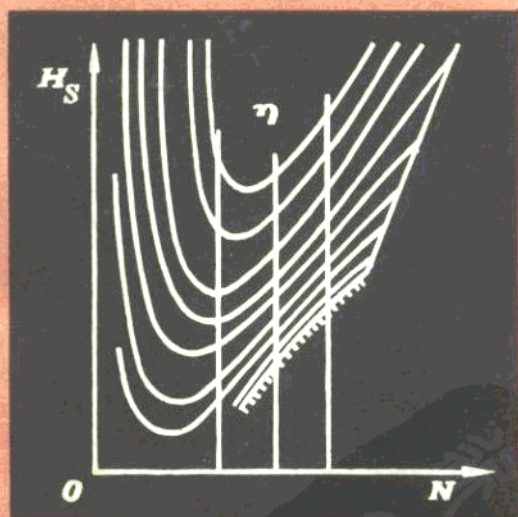


水力发电 丛书
技术知识

第二十二分册

水电站 经济运行

张勇传



水利电力出版社





006529 水利部信息所

~~012721~~

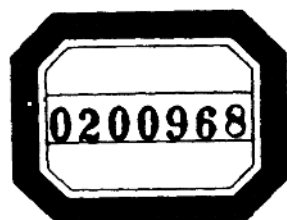
水力发电技术知识丛书

TV692

第二十二分册

水电站经济运行

张勇传



水利电力出版社

2W3P/02

内 容 提 要

本分册概述了水电站的经济运行,分析了水轮发电机组的动力特性和动力特性试验,阐述了机组间负荷最优分配的理论 and 最优工作机组的确定,并简单地介绍了计算机在厂内经济运行中的应用。

水力发电技术知识丛书

第二十二分册

水电站经济运行

张勇传

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路8号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 3.375印张 71千字

1984年2月第一版 1984年2月北京第一次印刷

印数 0001—8640册 定价 0.38元

书号 15143·5340

关于编写《水力发电技术知识 丛书》的说明

为了水力发电战线广大职工学习科学技术，适应现代化水电建设和生产的需要，中国水力发电工程学会组织编写了一套《水力发电技术知识丛书》。丛书是从普及水力发电科学技术知识的角度出发，着重介绍水力发电的基本概念和基本知识，对我国在实践中取得的经验和国外水平以及发展前景也作适当介绍。

读者对象以具有中等学校文化程度以上的各级管理干部为主，使他们能系统地了解水力发电的科技知识，不断提高业务能力和管理水平。对于中等学校文化程度的技术工人，也可通过学习本丛书为学习专业技术打下初步基础，并在工作中不断提高技术水平。对于有某种专业的技术干部，也可了解其他相邻专业的一般知识。

本丛书共分二十五个分册：

- 第一分册 水力发电概况
- 第二分册 水能规划和综合利用
- 第三分册 水能经济
- 第四分册 水电工程地质
- 第五分册 水电工程勘测
- 第六分册 水文测验和水文计算
- 第七分册 坝、泄洪和进水建筑物
- 第八分册 引水工程及发电厂房
- 第九分册 过船过鱼过木建筑物

- 第十分册 水工机械设备
- 第十一分册 水工建筑物的运行维护和观测
- 第十二分册 水电工程的施工组织和管理
- 第十三分册 水工混凝土工程施工
- 第十四分册 土石工程及地下工程施工
- 第十五分册 施工导流工程
- 第十六分册 水轮机和辅助设备
- 第十七分册 发电机和电气设备
- 第十八分册 水电站集中控制、继电保护和自动化
- 第十九分册 机电设备的安装
- 第二十分册 机电设备的运行维护
- 第二十一分册 水电站水库调度
- 第二十二分册 水电站经济运行
- 第二十三分册 小型水电站
- 第二十四分册 抽水蓄能电站
- 第二十五分册 潮汐电站

本丛书各分册承蒙从事水电事业的有关单位和院校的专家教授大力支持，花了大量时间和精力进行编写和审校，特此一并致谢。

《水电发电技术知识丛书》编辑委员会

1982年8月

《水力发电技术知识丛书》

编辑委员会

主 任 施嘉炆

副主任 陆钦侃、舒扬荣、刘颂尧

编 委 （按姓氏笔划为序）

于开泉、王伊复、王圣培、伍正诚、冯尚友、
李毓芬、刘颂尧、沈 晋、谷云青、陈叔康、
张勇传、汪景琦、施嘉炆、陆钦侃、唐集尹、
舒扬荣、董毓新、程学敏、杨德晔

前 言

本分册主要内容，包括水电站经济运行概述，水轮发电机组的动力特性，机组动力特性试验，机组间负荷最优分配，最优工作机组的确定及计算机在厂内经济运行中的应用。

由于篇幅所限，有关经济运行与可靠性分析，电站设备检修中的优化问题没有谈及。

本分册承蒙王梅地、陆钦侃同志审阅提出了许多宝贵意见，在此表示感谢。

编者希望听到对本书的批评和意见。

编者

目 录

关于编写《水力发电技术知识丛书》的说明

前 言

第一章 水电站经济运行概述	1
第一节 水电站的生产特点	1
第二节 水电站经济运行的内容	4
第三节 水电站厂内经济运行准则	7
第二章 水轮发电机组动力特性	12
第一节 动力指标	12
第二节 水力机组典型动力特性	14
第三节 动力特性曲线绘制	18
第四节 绘制机组动力特性曲线的误差问题	23
第三章 机组动力特性试验	27
第一节 试验的一般要求	27
第二节 水头和出力测定	29
第三节 流量测定	31
第四章 机组间负荷最优分配	48
第一节 微增率法	48
第二节 动态规划法	58
第五章 最优工作机组的确定	74
第一节 确定最优工作机组的方法	75
第二节 影响最优工作机组确定的其他因素	79
第六章 计算机在厂内经济运行中的应用	93
第一节 概述	93
第二节 实时控制简介	94

第一章 水电站经济运行概述

第一节 水电站的生产特点

水电站经济运行（最优运行）主要是研究水电站科学管理的优化技术和调度决策。在保证电能生产的安全可靠、连续优质以及多目标综合利用的要求的条件下，合理地、有效地、最大限度地利用水能，挖掘潜力，节约能源，多发电，以求收到最大的经济效益。科学地管理水电站是以水电站生产过程所具有的客观规律为依据的。从经济运行的角度来看，水电站的特点有以下几个：

一、水能再生

由于降水、径流、蒸发等水文现象，自然界的水不断地循环，因而水能不断地得到再生。从这点出发，水能作为一次能源与石油、煤炭等消耗性燃料有很大不同。除了水能的优越性之外，节约水电能源和由此带来的水电站的优化运行，必须引起充分的注意。

二、水能调节

科学技术的发展到目前为止，电能仍不能大规模的贮藏，而水电站则可借助于水库对河川径流的调节，调节水能，蓄盈补亏，以提高水能的利用。从一个较长的时期来看，由河川径流决定的水能在时间分配上很不均匀，而电力系统对水电站的供电要求则比较均匀；从较短的时期（如一天）来说，除洪水期外水电站来水一般很少变化，而电力系统对水电站的供电要求，特别是对担任调峰、调频电站的要

求却是不均匀的，这些矛盾均可通过水能调节加以协调。水能调节主要是带来益处，但也存在着调节损失，这也是在制定优化运行方案时需要考虑的。

三、随机性

水电站的工作情况具有多变性、不重复性和规律性。其运行的多变性和不重复性是由天然水能资源的性质决定的。河川径流是不断变化的，而且常常在很大范围内变化。在某些时期，天然流量很小，以致使水电站不能正常发电；而在另一些时期里，天然流量很大，除了水电站尽量发电、充蓄水库之外，还可能造成弃水。水电站运行情况的不重复性，是因为虽然在同一河流上可能不止一次地测到某个流量值，但所观测的一定次序的各个不同数值的流量，决不会在另一年或水文季节里完全一样的出现。在历史水文资料中，没有哪一年的径流过程会同另外一年完全相同。所有这些，加之目前水文科学还不可能相当准确地进行较长时间河川径流情况的预报，都增加了水电站优化管理工作的困难。

水电站运行情况的规律性，主要表现在径流情况的周期性，河川径流丰枯相间，周而复始，洪水期的开始和结束，日期虽不恒定，但变化不大。此外，径流的规律性还表现为相关关系。例如，若在某一河流的某个断面上进行观测，并对观测到的依次出现的流量进行考察，则会发现，前后测得的流量变化有一定的相关关系。这种相关有时也出现在不同河流，同一时间的径流量的观测中。

这些以相关形式反映出来的径流的规律性，称为统计规律性，如果有足够数量的观测资料，可以运用统计方法进行分析归纳，并以概率的形式表示出来。由相关形式表现出来的径流的规律性，总是以一定的物理成因为根据，由相关表

示的规律和其内在成因相统一，正象事物的形式与内容的关系一样，内容决定形式，形式反映着内容。

由径流特性决定的水电站运行情况所具有的这一特点，使水电站优化运行具有不断变化不断调整的特点应根据当时的具体情况，通过分析比较，选择最优的决策。在运行中，随着情况的变化，特别是径流情况的变化，调整所作的决策，以适应变化了的情况。这就增加了工作的困难和复杂程度，但不如此，就不能实现优化和经济运行。

四、灵活性

水电站机组起动停机都很迅速，从发电到调相或从调相到发电，运行方式的转变快速灵活，操作简单可靠，因此水电站常被选作调峰、调频电站，以保证频率和电压质量，并使火电站担负的负荷比较平稳，运行经济。

水电站的水库增加了水电站运行的灵活性。同一数量的水，用作发电时，可以采用均匀使用、前少后多、前多后少、中间多两头少等各种各样的方式。各种用水方式都必须满足电力系统电力电量的平衡和综合利用各部门对用水的要求，这些要求对用水方式构成了一定的限制或约束，满足这些要求的用水方式一般说来有很多种，可以比较选择。从电力系统要求水电站担负某一负荷的角度来看，通常一个水电站都不只有一台机组，担负这一负荷的方式便有多种可能，可以开动不同台数的机组来担负这一负荷，若开机台数一定，如为两台，则可以开动这两台也可以开动另两台来担负这一负荷，对确定的开动了的机组来说，机组间的负荷分配又可以各异，只要总负荷与电力系统要求承担的负荷一致即可，这些也表现了水电站运行方式的灵活性。

此外，水电站运行的灵活性还与水电站间可能的水力联

系有关。梯级水电站间的电力联系和水力联系（水头和水量联系），其间工作情况的互相补偿，更增加了这种灵活性。

水电站由于其设备特点、水库调节能力、水力联系等所导致的运行方式的灵活性，使得其与火电站或其他类型电站在运行方式方面有很大的不同。这一方面，使得水电站的经济运行大为复杂；另一方面，由于这种灵活性和运行方式的多样性，给水电站经济运行开辟了相当广阔的活动场地。依靠正确地选择水电站的运行方式，科学地管理和组织机电设备的工作，以达到最充分、最合理、最有效的利用水能资源，保证综合利用部门的需要，获得最大的效益。从某种意义上讲，正是由于这种灵活性，才有了水电站经济运行的问题。

第二节 水电站经济运行的内容

水电站的经济运行是整个电力系统（电厂及电网）经济运行的一个部分。由于前述水电站所具有的特点，决定了水电站的最优运行对整个电力系统的运行情况、电力电量平衡、周波与电压控制、供电的可靠和运行的经济性起着主导的、十分巨大的作用。按照具体情况合理地选择制定水电站的经济运行方式，并在实施过程中不断地恰当地调整它，可以有效地改善火电厂及整个电力系统的运行。当然，反过来说，也只有在混合电力系统中，通过水火电站运行的协调配合，水电站在经济运行中的作用才能更充分表现出来。

水电站经济运行问题分为三种方式：厂内运行、短期运行和长期运行方式。

一、水电站厂内经济运行

厂内经济运行主要研究水电站的出力、流量和水头平衡；机组动力特性和动力指标；机组间负荷的合理分配方法；最优的运转机组数和机组的起动、停机计划；机组的合理调节程序和电能生产的质量控制及用计算机实现经济运行实时控制等。

二、水电站短期经济运行

这是主要研究和解决电力系统的日（周、旬）电力电量平衡；水火电站有功负荷和无功负荷的合理分配；负荷预测；电网潮流和调频调压方式；备用容量的确定和合理接入方式；水电站的水库日调节和上、下游不稳定水流对最优运行方式和对综合利用各部门用水的影响等。

三、水电站长期经济运行

长期运行方式通常指年及多年较长时间的运行方式。具体内容是以水电站水库调度为中心，包括电力系统的长期的电力电量平衡，检修计划的安排，备用方式，水库来水预报及分析，水库洪水调度，水库长期最优调度等。

水电站的厂内、短期和长期经济运行方式（如图1-1）三者之间互相制约、相互影响，是一个整体。任一种经济运行方式的判定都必须考虑其与其它两者的关系和影响。在理论研究及分析最优运行方式所具有的特点时，应首先解决厂内经济运行的方式问题。先厂内，次短期，后长期。在制定短期经济运行方式时，把一个厂看做一个单元，认为厂内各动力设备的运行是按最优方式进行的，水电站的动力特性是在厂内经济运行的基础上作出的。在制定长期经济运行方式时，则认为厂内和短期都是按经济运行方式进行的，所具有的动力特性曲线叫做平均特性，它是在厂内和短期最优运行

的基础上确定和绘制出来的如图1-1所示。在实际制定各种最优（经济）运行方式用以指导运行管理时，则依与上述顺序正好相反的顺序进行。长期经济运行方式（计划）的基本任务，是把水电站的规定的有限输入能量（或相应的水量）分配给各个时间段（短期）；短期经济运行方式（计划）的任务，是把长期经济运行确定的、短期可使用的水量在短期间合理使用，以确定电站的逐时（小时）运行状态和负荷在各电站间的分配；厂内经济运行的基本任务，则是根据短期经济运行方式确定的水电站的负荷（日负荷图），组织厂内各动力设备的经济运行。如图1-1中反线表示的。

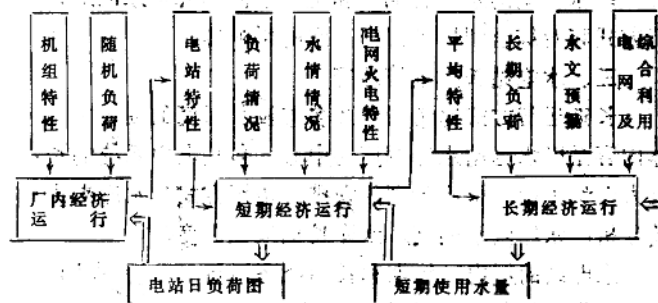


图 1-1 水电站厂内、短期和长期经济运行方式

根据上述厂内、短期和长期经济运行的联系和分工的阐述，水电站厂内经济运行的内容可再具体为以下几个方面，图1-2。

1. 机组动力特性试验。即通常的机组效率试验，其目的是掌握比较准确的原始数据和资料，获得机组运转特性，以使经济运行方案建立在比较可靠的基础上。

2. 绘制机组动力特性曲线。这项工作是在效率试验的基

基础上进行的，其目的是为制定经济运行方案作准备。

3. 制定最优机组开停计划。通常是作一天的计划，确定在一天之内什么时间应开起或停止运转哪一台机组，从而得出一天内各小时应由哪几台机组运转。

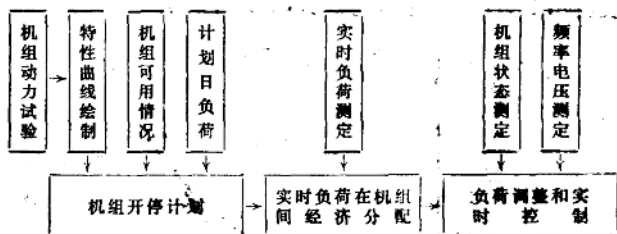


图 1-2 厂内经济运行的内容

4. 确定负荷在各机组间的经济分配。由于计划负荷图是建立在负荷预报基础上的，故不可能很准确，在确定机组间负荷经济分配时要以实际时间的实际负荷为依据。

5. 负荷调整和实时控制。对各机组的负荷进行调整控制，实现经济负荷分配的目的。这项工作是运行时经常进行的，调整负荷时还要考虑当时的网波和电压情况。调整负荷可以手动操作，但更好的是自动控制，即使用电子计算机或微处理机实现经济运行实时控制。

第三节 水电站厂内经济运行准则

一经建成的水电站，水就意味着电，水多发电就多。但就经济运行来说，这种说法又欠全面，同样数量的水能否多发些电？。请看一个例子。某水电站有甲乙两台水轮发电机组，在水头 $H=30$ 米时，两台机组的出力~流量关系曲线如

图1-3所示。设共有流量250米³/秒供作发电。

若只开甲机，则发电出力为6.4万千瓦，而若只开乙机，则发电出力为6.0万千瓦，再若两台机都开动，甲机使用流量150米³/秒，可发电5.0万千瓦，乙机使用流量100米³/秒可发电2.45万千瓦，共可发电7.45万千瓦。

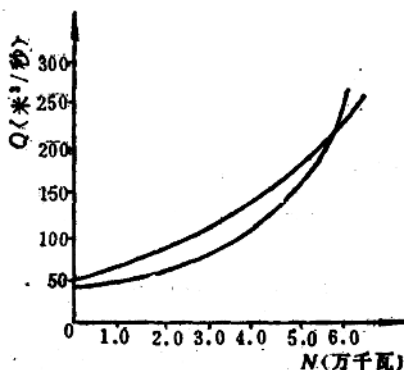


图 1-3 机组出力~流量关系曲线

仍然是两台机组都开动,但使用流量分别改为135米³/秒和115米³/秒,则可分别发电3.8万千瓦和4.2万千瓦,共可发电8万千瓦。

这四种不同方案的出力比较见表1-1。

从表1-1可以明显地看出,尽管所耗用的水(流量)是相同的,不同的方案效果大不相同,发电出力也有很大差别,从第二方案到第四方案出力可增加2.0万千瓦。各方案的做法的差别在于两方面:一是开机台数(开甲机、乙机或两台都开);二是流量分配(即当开机台数为两台时,各使用多少流量)。

表 1-1

不同开机方案出力的比较

方 案	一		二		三		四	
机 组	甲	乙	甲	乙	甲	乙	甲	乙
流量(米 ³ /秒)	250	0	0	250	150	100	135	115
出力(万千瓦)	6.4	0	0	6	5.0	2.45	3.8	4.2
总流量(米 ³ /秒)	250		250		250		250	
总出力(万千瓦)	6.4		6		7.45		8	

另一方面,水电站应发多少出力决定于电力系统的要求,是由短期运行方式确定的。要发电就得用水,这是确定无疑的,问题是,发出同样数量的电(出力)能否少用些水?仍看前例的情况。要求电站的发电出力为6.0万千瓦,现拟定四种方案,分别为:

方案一:甲机发出力6万千瓦;方案二:乙机发出力6万千瓦;方案三:甲机1.5万千瓦,乙机4.5万千瓦;方案四:甲机2.5万千瓦,乙机3.5万千瓦。耗水情况等列入表1-2,该表为不同开机方案流量的比较。

表 1-2

不同开机方案流量的比较

方 案	一		二		三		四	
机 组	甲	乙	甲	乙	甲	乙	甲	乙
流量(米 ³ /秒)	220	0	0	250	75	125	100	90
出力(万千瓦)	6.0	0	0	6.0	1.5	4.5	2.5	3.5
总出力(万千瓦)	6.0		6.0		6.0		6.0	
总流量(米 ³ /秒)	220		250		200		190	