

水电站经济运行

华中工学院主编

电力工业出版社

水电站经济运行

华中工学院主编

电力工业出版社

内 容 提 要

本书比较系统地介绍水电站经济运行的基本原理及各种经济运行方式。主要内容有：水电站厂内的经济运行；电力系统中水电站的日最优运行方式；设计水文条件下的水电站长期最优运行方式；丰水条件下水电站长期最优运行方式；水电站水库洪水调度；水电站最优运行的实现等。

本书可作为高等工业院校水电站自动化、水电站动力设备专业的教材，亦可供从事水电站设计、电力系统调度以及水电厂运行管理的工程技术人员参考。

水 电 站 经 济 运 行

华中工学院主编

*

电力工业出版社出版

(北京德胜门外六铺炕)

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 16开本 14印张 315千字

1981年6月第一版 1981年6月北京第一次印刷

印数 00001—3570册 定价 1.55元

书号 15036·4222

前 言

随着我国水电事业的发展,投入运行的大中型水电站日益增多,搞好水电站经济运行工作,已成为节约水电能源的主要措施。从国内外运行经验来看,水电站的经济运行能充分利用水能、挖掘水库潜力、增发水电。这对节约能源有着十分重要的意义。

考虑到我国的能源条件和电力系统的特点,发挥电力系统的经济效益是既要研究系统负荷的经济分配,又要注意水能资源的综合利用,节约原煤。水电站经济运行越来越引起人们的关注,对此课题的研究和解决显得更加迫切。高等院校有关专业设置“水电站经济运行”课程,对培养这方面的人才,将起很大的促进作用。

参加本书编写工作的有:华中工学院虞锦江、梁年生,武汉水利电力学院冯尚友、李钰心等同志。冯尚友同志编写绪论、第五章的一、二、三节及附录 I (动态规划),李钰心同志编写第四、七章,虞锦江同志编写第一、二、六章、附录 III (概率论及数理统计简介),梁年生同志编写第三章、第五章的第四节,第二章中第七节的一部分及附录 II (变分法)。全书由虞锦江副教授主编,冯尚友教授主审。在编写过程中,张勇传副教授提了宝贵意见,在此表示感谢。

由于编写者水平所限,书的内容、论点、组织等方面可能存在缺点和错误,希望读者提出批评和指正。

编 者

1980年12月30日

目 录

绪 论	1
一、我国水电事业的发展及能源政策	1
二、水电站经济运行的意义与内容	2
第一章 水电站经济运行概述	4
第一节 水电站的类型	4
第二节 水电站生产特点与生产过程	6
第三节 水电站的径流特性	7
第四节 电力系统和水利部门对水电站运行的要求	8
第五节 电力系统中水电站的运行方式概述及其最优准则	10
第六节 水电站经济运行的发展趋势	12
第二章 水电站厂内经济运行	15
第一节 水电站的动力特性	15
第二节 机组段动力特性曲线的绘制	19
第三节 用微增率法在运行机组间进行有功负荷的最优分配	22
第四节 用动态规划法在运行机组间进行有功负荷的最优分配	25
第五节 机组的最优投入次序及工作台数的确定	26
第六节 机组间无功负荷和随机负荷的最优分配	29
第七节 水电站厂内经济运行的实现和自动实施	30
第三章 电力系统中水电站的日最优运行方式	38
第一节 水电站在电力系统中日运行方式的最优化条件	38
第二节 火电站的动力特性及火电站间的负荷最优分配	45
第三节 水电站的动力特性修正	47
第四节 水火电站间日负荷最优分配的方法	51
第五节 水电站上下游水位变动对最优日运行方式的影响	57
第六节 具有水电站群的电力系统最优日运行方式的计算方法	59
第七节 关于调频任务在各电站间的最优分配问题	62
第四章 设计水文条件下的水电站长期最优运行方式	64
第一节 水电站长期最优运行概述	64
第二节 按火电站必需容量最小原则制定水电站长期保证运行方式的方法	79
第三节 用动态规划法制定随机来水情况下的水电站保证运行方式	92
第五章 丰水条件下水电站长期最优运行方式	104
第一节 水电站系统发电量最大的运行方式	104
第二节 水电站群长期负荷的最优分配	111
第三节 水火电站系统的长期最优运行方式	116
第四节 变分法在制定水电站长期最优运行方式中的应用	123

第六章 水电站水库洪水调度.....	130
第一节 水电站入库洪水预报.....	130
第二节 水库洪水调节.....	139
第三节 水库洪水的调度方式.....	148
第四节 水电站洪水调度方案的编制与计算机在洪水调度中的应用.....	154
第七章 水电站最优运行的实现.....	158
第一节 水库调度——实现水电站最优运行的重要措施.....	158
第二节 水电站水库调度图及调度规则.....	161
第三节 水电站水库调度方案及年度计划的编制.....	176
第四节 水电站水库调度方案及年度计划的实施.....	181
附 录	185
I 动态规划.....	185
II、变分法.....	196
III、概率论及数理统计简介.....	205
主要参考文献.....	216

绪 论

一、我国水电事业的发展及能源政策

我国幅员辽阔，河流甚多，水力资源的蕴藏量为6.8亿千瓦，约占全世界水力资源的七分之一，居世界第一位；可能开发的容量约为4亿千瓦，年发电量可达2万亿度左右，这相当于每年提供10亿吨标准煤的能量。我国的海洋水能资源也很丰富，初步估算仅潮汐水能一项就有1.1亿千瓦。

解放以来，我国水电建设事业取得了很大的成绩。至一九七九年底，全国已建大中型水电站122座，装机容量共1605万千瓦，连同装机五百千瓦以下的小水电267万千瓦，总装机容量达1875万千瓦，为解放初水电装机容量16.7万千瓦的115倍；每年的水力发电量从一九四九年的7.1亿度发展到501亿度，增加了70余倍。目前，已建水库8600多座，总库容为4080亿立方米。这些水电站及水库，对抗御洪旱灾害，提供廉价动力，促进工农业生产和提高人民生活水平起了重要的作用。

三十年来，我国的水电事业虽然取得了很大的成绩，但与我国丰富的水能资源相比，开发利用的还实在太少，已被开发的水电容量只占理论蕴藏量的2.7%，仅占可能开发容量的4.7%，这与工业发达的国家相比，差距是很大的。我国电力供应不足，存在着多年缺电的情况，煤炭、石油等能源的供应十分紧张，而大量的水能资源却未充分利用，任其白白流走实在可惜。因此，如何充分、合理地开发利用水能资源，尽量节省有限的矿物燃料资源，是我国能源政策中的一个重要问题。

六十年代以来，我国电力建设的方针是“水火并举，因地制宜，有水力资源的地方多搞水电。”这个方针是符合我国实际情况的，是有利于合理利用能源，调动一切积极因素，多快好省地进行电力建设的。但是由于种种原因，它没有得到认真地贯彻执行。至一九七九年水电的年发电量还只占全国年发电量的17%。

最近，我国制定了能源政策，即“实行开发与节约并重，近期要把节能放在优先的地位，大力开展以节能为中心的技术改造和结构改革”。同时明确指出：我国能源工作部门（煤炭、电力和石油工业部门）在贯彻开发与节约并重的方针时，应把开发放在首位，因为只有加快开发，才能从根本上解决我国的能源问题。根据我国能源构成的特点，在相当长的时期内，要把开发煤炭和水电放在优先的地位。

在大力开发煤炭的同时优先开发水电，实为大势所趋。水力和石油、煤炭都是一次能源，但石油和煤炭是消耗性能源，而水力则是再生性能源，是取之不尽、用之不竭的。水电站具有运行灵活，不污染环境及综合利用等特点。一般认为水电投资大、工期长，其实，并非如此，因为所谓投资大、工期长是相对于火电而言的，建设水电站若把相应开发煤矿

和修建铁路等的投资与工期计算在内，则水电投资大、工期长的结论便不存在了。

优先发展水电是世界上各国开发能源中的一条经验。不论水能资源较多而矿物燃料(煤炭、石油)较少的国家，还是水能资源较少而矿物燃料较多的国家，都是优先发展水电，只有当水电开发殆尽才不得不多建火电或核电。我国水能资源丰富，开发条件优越，因此，优先开发水电，尽快把水电搞上去，应是我国能源建设和加速发展国民经济的一项重大措施。

解决我国的能源问题，除积极开发能源外，还必须节能，尤其是在近期内更要把节能工作放在优先的地位。我国已开发的能源利用率低，浪费很大。例如，就我国水电站水库调度不合理而言，每年仅水头损失的电能就达20亿度以上(相当每年损失标准煤100万吨以上)，如再加上电厂机组运行不合理和一些电站施工处理不善的尾水位抬高等问题，能量损失就更多了。

自一九七九年执行国家经济建设委员会批转的《水电站水库经济调度试行条例》以来，低水头运行的情况有了一定的改变，但距水库正常运行还有相当的差距，至于水电站水库的经济调度，当前还只是刚刚开始。水电站的经济运行，既是发挥设备潜力、充分利用水能的一项增产措施，又是减少能量消耗的一项节能措施。目前，我国电力系统各个网局、各个水电站对水电站的经济运行工作均很重视，学校、科研和生产单位开始了这方面科学研究的协作，并取得了初步的效果。为了开展水电站的经济运行工作，必须有计划地培养这方面的技术人才。本书将提供水电站经济运行的基本理论和技术方法方面的知识。

二、水电站经济运行的意义与内容

在动力系统安全可靠供电的条件下，水电站运行获得最大经济效果的工作，称为水电站经济运行，与此相应的水电站运行方式，称为水电站经济运行方式(或最优运行方式)。而使水电站取得最大经济效果的理论基础和技术方法，就是“水电站经济运行”课程研究的基本范畴。

动力系统中水电站运行的经济效果，应以整个系统收益最大的原则来考虑，也就是说系统的空间和时间上各个电站的总效益为最大。这里所说的空间是指系统内所有各种能源电站的联合；所说的时间是指系统内所有长期和短期调节电站的当前效益与长远效益的统一。但是在一定的条件下，如系统中水(火)电站的技术设备资料不完全，或从优化方法考虑须将整个动力系统按各类电站区分为子系统来处理时，也允许从单纯的水(火)电站群、甚至单一的水电站本身的最大经济效益来考虑。

欧、美、苏等国的经济运行资料表明：厂内经济运行节省燃料费0.5~3.0%；短期经济运行提高发电量1.5~5.0%；长期经济运行提高发电量2.0~5.5%。我国湖南某电站实现长期经济运行，提高发电量约10%；福建某梯级水电站开展长期经济调度后增加了1.3~2.2%的效益。由此可见，水电站经济运行的效果是十分显著的。

电力系统中水电站的经济运行问题，从不同的角度可分为水电站厂内经济运行，短期经济运行和长期经济运行三类。三类经济运行问题各有不同的研究内容，不同的理论和方法，但它们又是紧密相联系的。水电站经济运行又称为水电站最优运行。最优运行问题是指在一定的时期内，按照一定的最优准则，满足各种约束条件而使水(火)电站(群)优

化的目标函数为最大或最小的问题。本书讲述优化问题的技术，主要采用微分法、变分法和动态规划法等。这些方法的基本原理列于附录中。

水电站经济运行涉及的问题比较广泛，需要用现代化的计算理论和控制技术。因此，研究和开展水电站经济运行，除给电站的生产带来巨大的经济效益外，也将给水电站设计和运行技术水平的提高带来新的动力。

第一章 水电站经济运行概述

电力系统中的水电站为了达到充分利用水能资源、节约能源、经济供电的目的，就要挖掘设备潜力，改善设备性能，合理制定和实现水电站最优运行方式。水电站的运行方式，其基本结构如图1-1所示。

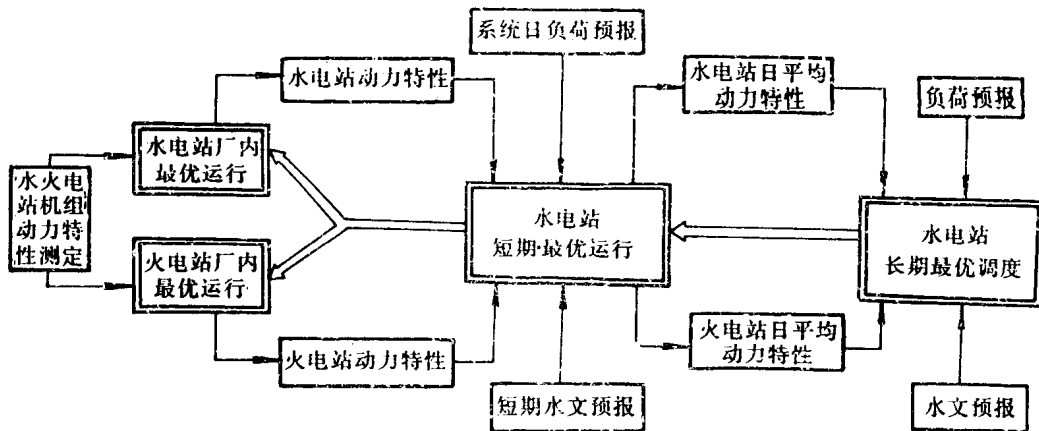


图 1-1 水电站运行方式结构框图

第一节 水电站的类型

水电站出力的大小，决定于它所利用的水头的高低和流量的大小。人们为了开发水能，必须将自然界的水头加以人工的控制，以便于水轮机将水能转换为机械能，再由发电机转换为电能。根据造成水头的方法不同，水电站可分为三大类型，即堤坝式水电站、引水式水电站及混合式水电站。

一、堤坝式水电站

在河流上修建拦河坝，将水拦蓄起来，抬高上游水位，形成水库，这种开发方式称为堤坝式。堤坝式水电站又可分为河床式和坝后式。坝后式水电站的厂房建筑在拦河坝后，它并不承受上下游水头差的水压力作用，全部水头由坝承受，因而适合于中高水头的电站，这种型式在我国得到广泛的应用。例如丹江口水电站就是典型的坝后式水电站。

河床式水电站厂房也起挡水作用，承受水的压力，电厂与挡水堤坝混为一体。例如我国西津水电站就是河床式水电站。

坝后式与河床式水电站的落差集中方式并无区别，水头均由坝所造成，因此总称为堤坝式水电站。如图1-2所示。

二、引水式水电站

这种型式水电站主要是建筑在山区地势险峻、水流湍急的河道上中游，及河道坡度较陡的地方。由于引水式水电站是靠渠道引水造成水头的，因此，除了在渠道起点要建一进水口来引取流量外，在河道中一般不需要拦河坝。只有当需要引走河道流量的全部或大部分，或者为了改善进水条件，才需建造高度不大的拦河坝(图 1-3)。因此，引水式水电站河段上游淹没范围不大，损失很小，这是它的优点。

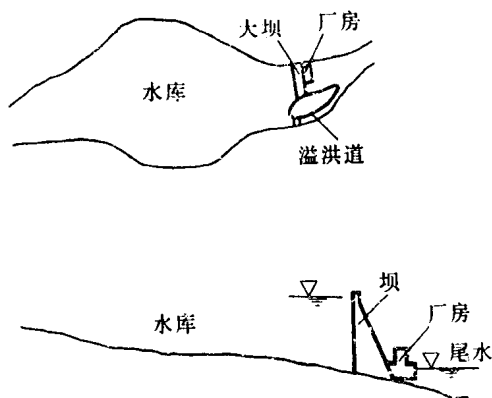


图 1-2 堤坝式水电站示意图

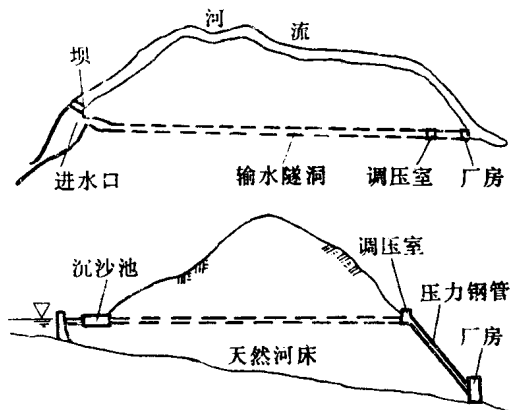


图 1-3 引水式水电站示意图

引水式水电站通常采用的引水建筑物有渠道、水管和隧洞等，例如以礼河水电站就是引水式水电站。

三、混合式水电站

这种水电站的布置兼有上述两种水电站的特点，它的水头一部分由拦河坝来集中，另一部分由引水建筑物来集中。因此，坝所形成的水库可用来调节水量，引水渠道则在不增加坝高的条件下增加水电站的水头(图 1-4)。例如流溪河水电站就是混合式水电站。

一般说来，当上游河道比降小而下游河道比降却很大时，采用混合式(即堤坝引水式)的开发方式是比较经济的。

在水电站的运行中，水流由被利用的河段始端经过进水建筑物及压力引水管道进入水轮机再泄向下游的过程中，必然产生水头损失。拦河坝式水电站，水流直接由压力引水管进入水轮机中，故引水建筑物中的水头损失(ΔH_g)为零，此时机组段水头(H_d)等于水电站的毛水头或输入水头(H_r)。

水头损失造成水电站的能量损失，直接影响着水电站运行的经济效益。同时水头损失

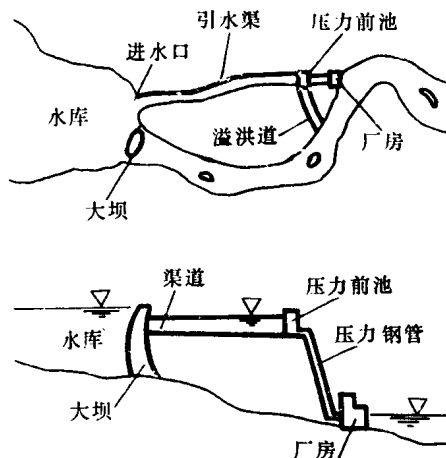


图 1-4 混合式水电站示意图

值亦与运行期间对于引水建筑物的维护情况有密切关系。

第二节 水电站生产特点与生产过程

水电站是一个生产电能的工厂，它的生产过程为：利用水工建筑物集中水头，形成水库以调节径流，由水轮机、发电机把水能转换为机械能并转换为电能，输入水能，输出电能。为了提高水电站运行水平，必须熟悉和掌握水电站的生产全过程，这样才有可能采取有力的措施来搞好运行工作。在讲水电站生产过程之前，先介绍一下水电站的特点。

一、水电站生产特点

水电站不仅是一个电力生产的企业，而且水电站利用水能首先要考虑水力资源的综合利用，使发电、防洪、灌溉、航运、工业及城市给水等任务得到合理解决。水电站利用的能源是可以不断地循环、恢复与转换的水能，水电站的生产特点归纳如下：

1. 水能是一种非常优越的能源

河川径流流入大海或被取用后，经过自然界水的循环作用不断得到补充，是一种取之不尽、用之不竭的能源。水电站为了利用水能，需要建拦河坝、水库和引水道，以便集中水头和取得水量；为了把水能变为电能就要有水轮机、发电机；为了把电能送给用户就要有变电、配电等电气设备；为了安装这些机电设备就要建厂房。为了把水能变为电能的一切建筑物，以及各种机械、电力设备的综合体称为水电站。

2. 水电站工况受水文条件限制

天然河道的径流变化无常，人工修建水库就有可能控制这种径流的变化，可根据用水部门的要求，把流入水库的水量在时间上重新加以分配。因此，河道径流的特性和变化规律，在一定程度上可以为人们所掌握，但径流的多变性和不重复性，对水电站及水电比重较大的混合电力系统的运行带来一定的困难。

3. 水电站的能源可以储备

电能是无法储备的，发电与用电必须保持平衡，水电站生产的电能不论大于或小于需要的电能都影响电力系统的正常工作。为了协调发电和用电的矛盾，利用水电站的水库对河川径流进行调节，即水库先把输入能量储蓄起来，然后按照系统的需要供给水电厂使用。这只有当水电站具有调节水库时才有可能。具有可逆能量转换装置时的水电站工作不受这个限制，即利用电力系统负荷低谷时的剩余电量抽水蓄能，待电力系统高峰负荷时发电，既调峰又调谷，起到用户调节器作用，这是抽水蓄能电站的优点。

4. 机组运行操作灵活

水电站由于机组起动快，开机停机都很迅速、灵活，可靠性高，能担负电力系统调频调峰任务，保证周波质量，保证火电平稳经济运行。水轮发电机组不象火电厂的汽轮发电机组要求锅炉经常处于热备用状态，它从静止状态可以在一分钟以内起动和投入工作，能节省大量的燃料。由于水电站机组运转操作机动灵活，因而可担任系统的负荷备用、检修备用和事故备用，有时可作为调相机运行节约系统专用调相设备。同时水电站发电设备元件少，结构简单，便于自动化。

二、水电站生产过程

水电站建成后，具有一定能量的水流最后经过压力输水管道进入蜗壳，驱动水轮机，同时带动发电机旋转发出电能。水电站的生产过程，可用方框图表示如下：



|←集中能量→|←输入能量→|←变换能量→|←输出能量→|

具体地说，水电站生产的主要过程，可以划分为四个阶段：

第一阶段——集中能量，即取得河川的径流。而河川径流是由集水面积、降水量及其他影响径流的因素综合决定的。故第一阶段决定了水电站的输入能量（水能）的多寡。

第二阶段——输入能量，即集中水头并输送水能至水电站。这个阶段主要是研究如何集中水头，如何维持较高的上游水位及输送水能等问题。

第三阶段——变换能量，是水能利用最重要的一个阶段，前两阶段都是为它作准备的，在这阶段把水能转变为电能。

第四阶段——输出能量，包括从发电机发出来的电能，经过输、变、配电最后送到用户的过程。在这个阶段中没有能量转换的过程，只是改变电能的参数。

第三节 水电站的径流特性

在水力发电工程中，需要了解工程所在的河流多年平均径流量，它反映河流的水力资源的大小，多年平均年径流量具有充分的稳定性（不能理解为不变性），它是河流的一个最基本的水文特征值。为了预估水电站在整个运用期间河川径流未来的情势，还必须研究年径流量在多年期间的动态——径流的年际变化。河川径流的变化情势各年并不相同，在长期变化过程中，时而多水，时而少水，这种多水年与少水年虽然交替出现，但其周期很不固定。例如在埃及的尼罗河（有长达1300余年的水文资料）、欧洲的莱茵河（有130余年的资料）的研究中看不出年径流量（以及极大流量）有肯定的周期。其次，相邻年份的年径流量之间并无密切的关系，而是具有很大的独立性，关于这点可就邻近年份年平均流量之间的相关系数来说明：令 r_1 代表相邻年份年平均流量之间的相关系数， r_2 代表每隔一年的年平均流量之间的相关系数， r_3 代表每隔二年的年平均流量之间的相关系数。根据长江流域宜昌站长期的径流资料分析得到： $r_1 = 0.23$ 、 $r_2 = 0.10$ 、 $r_3 = 0.06$ ，从这些数字可看出关系是不密切的。因之一般认为：径流量（包括年平均流量、最大洪水流量等）是一种服从偶然性规律的随机变量，可以用机率统计方法进行分析。

径流天然分配过程的不均匀性往往不能满足国民经济各部门的需水要求，必须研究河流流量的年内变化规律——径流的年内分配。从水能利用观点来看，径流年内变化的一个重要时期是枯水期，其水量的大小和时间的长短，对水电站具有重要的意义。

动态规律性与统计规律性是自然现象中客观存在的两种基本规律性，反映着必然性和偶然性两类范畴的存在与作用。在每种现象中都有着这两种规律的交互作用，水文现象也不例外。水文预报由于预见期较短，往往根据上游断面已发生的水文情况，通过水流在河

道中的传播规律来预报下游断面未来的水文情势。这时，必然性联系对于现象的发生起主导作用，偶然性虽也存在但并不决定着过程的本质方面。因此在水文预报中主要采用探讨动态规律性的方法。对于所研究的水文现象来说，随着预见期的逐渐加长，参预控制或影响结果的因素和过程也随之复杂化。这时，现象之间的必然性联系退居次要地位，而偶然性因素显示了重要的作用。因此在水文分析与计算中要求对未来长时期内的水文情势给出预估，就必须采用探讨统计规律性的统计方法。

对河川径流过程的认识与描述是一个很重要的问题，成因分析帮助认识径流过程，而描述方法则把认识用一定的方式表达出来，以便应用到具体计算中去。水文水利计算中所采用的两个基本方法为时历法与统计法。它们分别反映出径流过程的两大基本特征（连续性与随机性）的一个侧面。时历法选用实测径流过程为典型，不可能反映径流过程的所有可能的、多种多样的和互相交替的组合。统计法只取某一径流特征值进行统计，实质上是把连续的径流过程置换以孤立的随机量（如年径流量）序列，因而不可能反映出在某一周期内径流的变化过程。从各种水文现象里用形式逻辑的思维方法运用频率探求水文的客观规律得出的一些成果，概括地看出河川径流的特性，作为研究水文规律的第一步是合理的、必要的，但这些成果所表现的只是事物的现象，应当进一步的深入研究，以便认识它的本质。如果只满足于形式逻辑的初步成果或数学公式的演绎，是不可能认识河川径流客观规律的。

根据上述两种方法进行径流调节计算时产生了一些矛盾，例如在绘制防洪调度线时，一般是根据统计法对洪量或洪峰的统计结果采用几个典型年的内包线，这对大坝本身来说是安全的，但因各月的防洪限制水位偏低，使防洪与发电及早到洪水与迟到洪水等之间产生矛盾。因此要求突破这种传统的方法，寻求一种既能反映“过程”又能反映“随机”特征的径流描述方法。有些文献中提出了把径流过程当作随机过程来处理的数学模型，径流过程的数学描述可以分成连续的与离散的两种，由于连续过程的数学处理比较困难，目前实际采用的都是离散的模型（即分成时段进行统计，并考虑各时段径流值之间的相关关系），这样，径流过程的完善的数学描述，便是随机过程理论中通用的多维联合概率分布函数的形式。

第四节 电力系统和水利部门对水电站运行的要求

大中型水电站很少单独供电，一般都由一些水电站或一些火电站联合供电。这种将电站彼此之间以及用户之间用输电线路联结成的整体称为电力系统。换句话说，电力系统就是动力系统的一部分，它包括发电厂中的发电机、升降压变压器、输电线路和用户的用电设备。所谓动力系统就是一个包括水库、水机、锅炉热机、发电机、变压器、输电线路、供热管道和用户的用电用热设备等的完整系统。

目前电力系统绝大多数是由水、火电站联合组成的混合系统，纯水电系统或纯火电系统是极个别的情况。混合系统中组成电站包括：①水电站，可分为无调节（径流式）、日调节、年调节和多年调节水电站；②火电站，可分为凝汽式和供热式两类，供热式电站的主要任务是供热，它在供给热能的同时进行供电；③其他电站，主要有抽水蓄能电站、潮汐

电站、原子能电站等。

为了确定水电站安全、经济的运行方式,必须了解电力系统对水电站运行的基本要求,可归纳为两点:第一满足系统的动力平衡,即水电站保证完成电力系统所分配的电能生产任务,这是对水电站运行的最基本的也是最重要的要求;第二保证电力系统供电的经济性是电力系统对水电站的另一项基本要求。今从动力平衡的观点加以说明。随时满足系统的动力平衡,其内容包括:

1) 工作容量平衡即任何时刻各个电站能够投入的容量之和,必须大于或至少等于该时刻的系统负荷。

2) 电能平衡即任何时段内水电站的发电量与其它电站的发电量之和应等于电力系统用户所需要的电量。满足了系统工作容量平衡的条件,并不一定同时满足系统电能平衡的条件,这可能由于火电站燃料不足或水电站水量不足,也可能由于运行调度中发生了错误。

3) 无功功率平衡即要求任何时刻水电站所能发出的无功功率与其它电站或无功功率补偿装置所能生产的无功功率之和能满足系统用户对无功功率的需要。为了满足无功功率平衡的条件,水电站水轮发电机组有功功率有时可以小于其额定值,而增加无功功率;有时也可利用机组作调相机运行专门生产无功功率。

以上三种平衡条件是保证电力系统正常工作的最基本的条件。此外,为了提高系统供电的可靠性,任何时刻系统中还必须具有一定的备用容量,备用容量亦需保持平衡,现将备用容量平衡分述如下:

1) 负荷备用容量平衡即水电站用以担负负荷备用的容量与其它电站的负荷备用容量之和,等于电力系统所需的总的负荷备用容量。系统负荷备用容量的数值一般可取等于系统最大负荷的 2 ~ 5 %。

2) 事故备用容量平衡即水电站用以担负事故备用的容量与其他电站的事故备用容量之和,等于电力系统所需的总事故备用容量。电力系统所需总事故备用容量的数值,一般可取等于系统最大负荷的 5 ~ 10 %,并且要求按此值决定的备用容量总值不能小于系统中最大的单机容量。

3) 检修备用容量平衡即系统中设置一定的检修备用容量以保证各电站的机组按计划进行检修,不影响系统对用户的正常供电,系统检修备用容量的大小,由电力系统最大年负荷曲线的形状及每一台机组的容量来决定。

保证电力系统供电的经济性是电力系统对水电站的另一项基本要求。满足上述动力平衡条件就是保证了供电的可靠性和电能质量。而就满足动力平衡的条件来说,可以有无限多的运行方案来保证电力系统的正常供电,但各种方案的经济性是大不相同的。因此在其中选择出最经济最合理的方案是要研究的问题。由于系统中的水电站具有灵活性,因而选择水电站的最优运行方式就成了选择系统运行方式的主要内容之一。另一方面,对于运行调度人员来说,这种灵活性使他们有较大的活动余地,依靠他们创造性的工作,正确地选择制定和实现水电站以及电力系统的最优运行方式,而获得巨大的经济效益。

制定水电站在电力系统中的运行方式时,必须同时满足有关综合利用部门(包括防洪、灌溉、航运、城市给水、工业用水等)所提出的要求。它们用水量的多少及用水时间的先后

一般是不同的。对一个水电站而言，不一定同时具有上述的全部水利任务，应根据具体情况加以分析，对制定电力系统中的水电站的运行方式，具有重要意义。

第五节 电力系统中水电站的运行方式概述及其最优准则

研究水电站的最优运行方式对整个电力系统的供电质量、运行可靠性与经济性等具有重要意义。根据不同的情况合理的安排水电站的运行方式，可以有效的改善火电厂及整个电力系统的运行。

制定水电站在系统中运行方式，首先需要了解电力系统对水电站的要求，然后就要确定水电站在负荷图上的工作位置。电站的工作位置是指其担任系统的那一部分负荷(峰荷、腰荷或基荷)而言。合理确定水电站的工作位置，就可提高水电站保证工作容量的数值，从而可减少火电站的装置容量或系统的总装机容量，改善火电站的运转条件，降低火电成本，充分利用水能资源，发挥它们的最大效用。

一、确定水电站工作位置的一般原则

1. 要充分利用各种能源

对于供热式火电站，首先按照热力负荷图运转所得的强制出力运行。而凝汽式火电站各运行机组负担的工作负荷则不应低于当天运转着的汽轮机的技术最小出力所需要的负荷。火电站的技术最小出力是指锅炉或汽轮机组受技术条件限制出力不能小于某一极限值，一般为机组最大出力的15~25%左右。径流式水电站的天然出力担任系统负荷图的基荷。

2. 要使整个系统运行经济

为了尽量减小火电站单位电能的燃料消耗量，结合水、火电站的特点，尽可能使火电站担任均匀的负荷(最好是基荷)。有调节性能的水电站担任腰荷和峰荷。在洪水期间应尽量多发水电，节约火电站的燃料消耗量，根据水电站的调节程度，决定担任基荷或腰、峰负荷，余下的负荷再由火电站担任。

3. 要尽量使各电站机组在高效率区域运行

在保证供电可靠的前提下，要系统的总能量损失最小，火电站的总燃料消耗量最小。根据这一要求，凝汽式电站各机组应按单位煤耗增长的顺序增加负荷，先安排单位煤耗小的机组担任负荷。新型的高温高压火电站效率比较高，应尽量使之在基荷部分工作。

应当指出：在确定各种电站在负荷图上位置时必须全面考虑以上的几条原则，而不是孤立的仅遵守某一项原则，应视条件的变化而作相应处理。例如一般火电站不适宜担任剧烈变化的负荷，但为了节省总的燃料消耗量有时火电站担任峰荷也是合理的。这就是说，为了充分利用水能资源，水电站的工作位置随着来水的增加，可从枯水期的峰荷逐渐下降到洪水期的基荷；而火电站则相反，在洪水期担任系统的峰荷。

水电站按其调节性能可分为三种类型：

(1) 无调节(径流式)水电站。它在任何时刻的可能发电量由当时河中的天然流量所决定。无调节水电站在负荷图上的位置很简单，它总按照天然来水和设备容量的大小担任基荷。当水流出力小于装机容量时，没有水流能量保证的部分机组容量可作为备用容量

(厂内备用容量)或根据系统需要用来发出无功功率,参加系统的无功功率的平衡。

(2) 短期(日、周)调节水电站。日调节水电站具有在一天之内重新分配日发电量的能力,当与火电厂并列运行且电力系统中又无调节能力更好的水电站时,日调节水电站可以在电力系统的峰荷或腰荷工作,并可参与电力系统的负荷备用平衡,担任系统的调频任务。日调节水电站担任峰荷及担任系统负荷备用的合理性取决于水电站的设备容量、日调节水库的能量容积、调节特性,并在很大程度上决定于系统中其它电站的情况。

在洪水期天然来水较大时,为了充分利用水能,日调节水电站应在系统负荷图的基荷部分工作,且一般不参加系统的负荷备用平衡和发出额外的无功功率。

(3) 长期调节(年、多年调节)水电站。这种水电站具有在年及多年间重新分配发电量的能力,因而在相应时期里水电站发电量的能力与该时期的天然流量之间并无固定的联系。由于水库有较大的容积,可以保证充分利用水能。这些水库同时还可进行短期(日、周)调节,因而可在系统负荷图的峰荷、腰荷或基荷部分工作,并可以担任系统的负荷及事故备用,以及可以参加系统的无功功率平衡。

抽水蓄能水电站,它是利用夜间剩余电能进行扬水、蓄能于水库中,待负荷为高峰时担任系统峰荷的一部分,改善供电质量。

二、水电站最优运行准则

运行方式的最优准则是衡量运行方式是否最优的标准,因此,准则问题对运行来说是个十分重要的问题。几种常用的水电站最优运行的准则是:

- 1) 国民经济效益最大或国民经济费用最小准则;
- 2) 电力系统支出费用最小准则;
- 3) 电力系统总耗煤量最小准则;
- 4) 水电站发电量最大准则。

这些准则有的完善,有的不够完善。对它们扼要说明如下:

国民经济效益最大或国民经济费用最小准则,是一个一般性的准则,适用于一切场合。国民经济效益包括电力系统供电效益、水利综合利用部门的效益,即发电、防洪、灌溉、航运等效益。这种效益有正、负两种,正效益指电站的运行带来的效益,负效益指维持电站运行所需要的支出,如检修费、折旧费、工资等,此外它还包括电站正常运行被破坏时带来的损失。按这个准则选择运行方式时效益计算往往较困难,因此通常用与运行方式有关的国民经济费用代替。费用包括二部分:①与电站运行方式有关的电力系统支出费用;②由于系统电力、电量不足或各综合利用部门的要求不能满足时的国民经济损失费用。这样制定运行方式的准则就能用国民经济费用最小来表示,虽然计算国民经济损失的费用仍有一定的困难,但需要计算损失费用的项目较少。

电力系统支出费用最小准则是指在满足各水利综合利用部门一定要求的条件下,使电力系统的支出费用最小。这个准则与国民经济费用最小准则进行比较,它无须在发电及其它水利综合利用要求得不到满足时进行损失费用计算,但需要确定各综合利用部门正常用水、用电要求的标准。前者可看做是局部最优准则,后者可看做是整体最优准则。

电力系统耗煤量最小准则,是指在满足各水利综合利用部门一定要求的条件下,使电