

水电站经济运行及评价

华电电力科学研究院 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

水电站经济运行及评价

华电电力科学研究院 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

为了更好地指导水力发电厂开展水电站经济运行工作,华电电力科学研究院根据国家、行业相关标准规范以及中国华电集团公司所属各水力发电厂的经济运行工作实践,组织编写了本书,其内容包括水电站经济运行理论知识、水电站经济运行评价体系两部分。本书内容理论联系实际,具有较强的实用性和可操作性,对水力发电厂管理人员和相关专业人员极具参考价值。

本书可供水力发电厂各专业技术人员和管理人员参考,也可作为开展水电站经济运行工作的培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

水电站经济运行及评价 / 华电电力科学研究院编著

— 北京:中国水利水电出版社,2012.4

ISBN 978-7-5084-9670-2

I. ①水… II. ①华… III. ①水力发电站—电力系统运行 IV. ①TV737

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第075227号

书 名	水电站经济运行及评价
作 者	华电电力科学研究院 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 11.25印张 266千字
版 次	2012年4月第1版 2012年4月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	38.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

本书编写委员会

主任：刘传柱

副主任：柴方福 应光伟 范 炜

本书编写人员名单

主 编：柴方福

副主编：应光伟 姚 洪 范 炜

编 委：柴方福 应光伟 姚 洪 李朝新 范 炜

王照福 陈红官 王 磊 何晓红 毛福建

金亚兰 段开创 潘利坦 王 静

序

水力发电是可再生能源中技术最成熟、开发条件最具规模 and 商业化发展最好的发电方式之一。为实现 2020 年非化石能源消费占一次能源消费 15% 左右的目标，优先开发水电成为“十二五”电力发展的基本思路，预计 2015 年全国常规水电将达到 2.84 亿 kW，新增水电装机 7500 万 kW，2020 年全国常规水电装机将达 3.3 亿 kW。但目前，我国水电管理水平发展不平衡，水电站经济运行水平不高，缺乏科学的运行指导与管理标准，从而造成了不必要的水力资源浪费。

水电站经济运行，是从电力系统安全、优质、经济发供电的目标出发，制定水电站的最优运行方式，以一定的水能资源获取水电站最大发电量。水电站经济运行评价是一种科学的管理手段，是按照统一的标准，对水力发电厂的水库调度、发电运行、设备综合管理以及节水增发电的制度建设方面进行科学合理的评价。通过评价，去分析、了解水电站的发电运行情况，挖掘水电站节水增发电潜力。

一直以来，水电站经济运行缺乏系统性和规范性。如何结合我国国情从水电站的运行管理方面，去深层次地挖掘水电站的节水增发电的潜力点，已成为水电企业实现科学管理的必经之路。华电电力科学研究院组织编写的《水电站经济运行及评价》一书，是按照国家与行业的有关标准规范，结合我国水力发电厂的实际情况，详细阐述了水力发电厂如何从水电站的各个方面开展经济运行及评价工作，这对于水力发电企业的节水增发电工作具有很强的指导意义。

作为水电站开展经济运行评价工作的尝试，该书系统、全面、可操作性强，希望能为水电站开展经济运行工作提供一些理论和实践帮助，对水电站的节水增发电工作产生积极的推动作用。

中国华电集团公司

任书祥

前 言

我国水能资源蕴藏量非常丰富，理论容量为 6.944 亿 kW，技术可开发装机容量为 5.42 亿 kW，经济可开发装机容量为 4.02 亿 kW。截止 2010 年底，全国水电装机容量已达 2.13 亿 kW。随着国民经济的飞速发展，我国已逐步成为世界能源第一消费大国。当前我国能源消费仍以煤炭为主，可再生能源开发利用程度较低，环境污染状况加剧。为了优化能源结构，我国提出了在保护生态基础上有序开发水电，优先发展水电的重要方针。

解决我国能源问题，除积极开发能源和实施节能减排外，还必须提高发电企业的运行效率。开展水电站经济运行工作，不仅能够提高水电站运行的管理水平，而且能有效提高水能利用率，增加发电效益，同时对保障电网的安全运行也有着重要的现实意义。

为了更好地指导水力发电厂开展水电站经济运行工作，华电电力科学研究院根据国家、行业以及中国华电集团下属各水力发电厂的经济运行工作实际组织编著了本书。本书分为两部分：第一部分为水电站经济运行的理论知识，着重介绍了水电站经济运行的内容、方法；第二部分为水电站经济运行评价体系，主要介绍了水电站经济运行评价的理论基础和评价指标，提出了水电站经济运行评价标准，全面阐述了水电站经济运行评价工作。

本书在编著过程中得到了中国华电集团公司领导和安全生产部的大力支持，中国华电集团公司任书辉副总经理为本书作序；本书在编写过程中，参阅和直接引用了中国华电集团公司水电站的相关经济运行管理文件与规范，吸收了中国华电集团公司在水电站经济运行领域的研究成果和工程实际经验，在此一并表示感谢。

限于作者的理论水平和工作实践经验，书中缺点和错误难免，敬请专家、读者批评指正。

作 者

2012 年 2 月

第一部分 水电站经济运行

第一章 概 论

第一节 水电站特点与发展趋势

一、水电站定义与分类

水能是清洁可再生能源，水力资源是目前唯一可以大规模开发的清洁可再生能源，并有防洪、灌溉、航运、水产养殖、旅游等综合效益。我国水力资源量丰富，2005 年开展的全国水力资源复查结果显示，我国大陆水力资源理论容量为 6.944 亿 kW，技术可开发装机容量为 5.42 亿 kW，经济可开发装机容量为 4.02 亿 kW。我国“十二五”期末非化石能源消费占一次能源消费的比重将达 11.5%，为实现 2020 年非化石能源消费占一次能源消费的 15% 的目标做好铺垫。优先开发水电成为“十二五”电力发展的基本思路，依据《电力工业“十二五”规划研究报告》规划，2015 年全国常规水电预计为 2.84 亿 kW，新增水电装机 7500 万 kW（其中抽水蓄能新增装机 1200 万 kW），2020 年全国常规水电装机容量预计达到 3.3 亿 kW。

水力发电是利用江河流从高处流到低处的落差所具备的位能做功，推动水轮机旋转，带动发电机发电。水电站是指在水力发电的过程中，为了实现电能的连续产生需要修建的一系列水工建筑物，包括：进水、引水、厂房、排水等建筑物以及安装水轮发电机组及其附属设备的厂房和变电站的总体。

水电站的分类方式比较多，按照工作水头分为低水头、中水头和高水头水电站；按水库的可调节能力可分为无调节（径流式）和有调节（日调节、年调节、多年调节）水电站；按在电力系统中的作用分为基荷、腰荷及峰荷水电站；按组成建筑物特征可以分为坝式、河床式及引水式三种典型的布置形式，见图 1-1~图 1-3。

二、水电站发展趋势

1. 高水头、大容量巨型水电站

我国水力资源分布结构特点是西部多、东部少。目前，东部水电开发程度达到

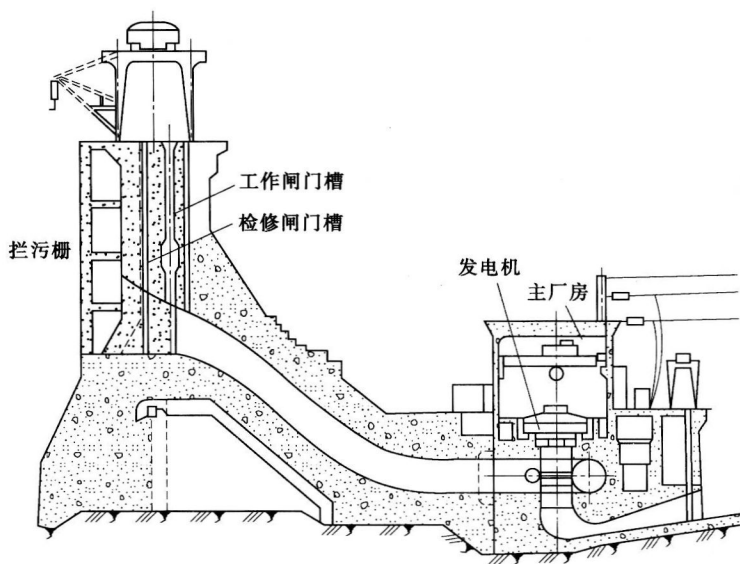


图 1-1 坝式（坝后式）水电站示意图

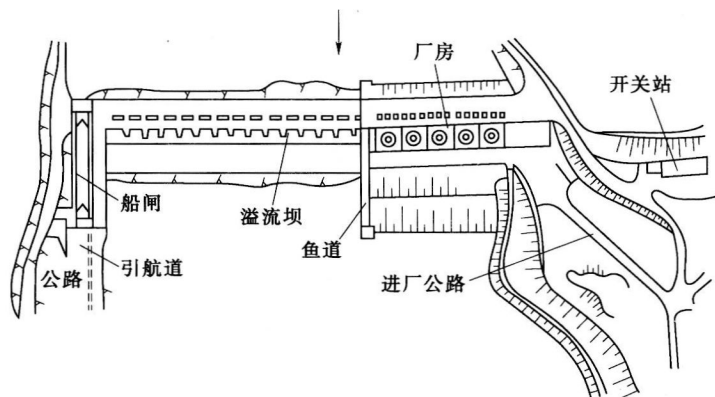


图 1-2 河床式水电站平面示意图

79.61%（扣除抽水蓄能电站为 63%），可开发的大型水电所剩无几，中部水电开发程度也已达 32.28%，而西部地区水电开发程度很低，只有 11.41%，特别是西南地区只有 8.58%。近年来，在我国实施西部大开发、“西电东送”战略背景下，西部的水电资源已经进入了全面开发的时代。我国将开工、投产的特大型水电工程主要集中在金沙江、大渡河、澜沧江、怒江流域。金沙江上的溪洛渡和向家坝大型水电站相继开工，下游的乌东德、白鹤滩也即将开工。

西南拟建的水电站容量大、水头高，例如白鹤滩水电站总装机容量为 14000MW，水头运行范围为 156~235.5m，见图 1-4。坝区多属高原深谷地貌，河谷狭窄，岸坡陡峻，坝体泄洪量大，又处于Ⅶ度地震区。在水电机组单机容量选取上，若按目前世界上最大容量 700MW 考虑，主要问题是：机组台数较多，电站地下厂房增大，部分洞段进入较差的岩层，影响建筑物的稳定性；在进水口部位，由于进水口较长，边坡加大，受弱岩层的影响，增加了施工难度；在尾水部位，由于受到泄洪洞、下游围堰及泄洪水流影响，尾水口

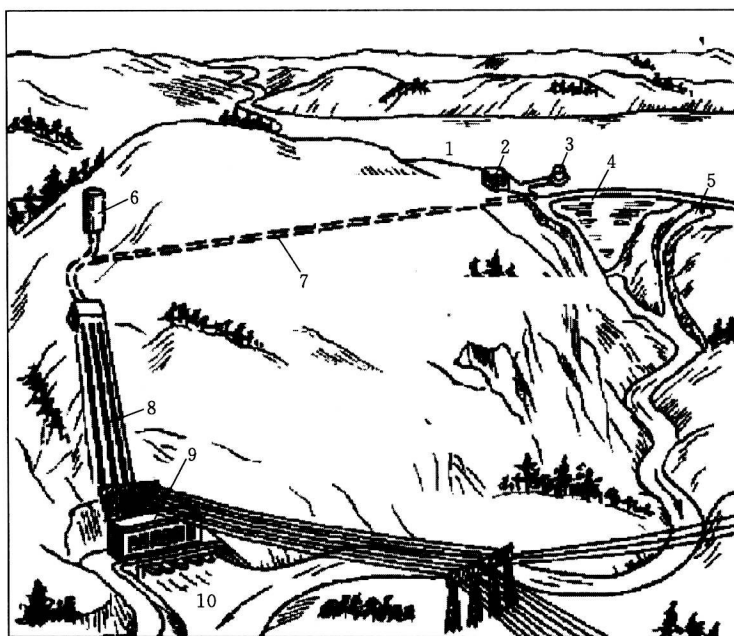


图 1-3 引水式（有压）水电站示意图

1—水库；2—闸门室；3—进水口；4—坝；5—泄水道；6—调压室；
7—有压隧洞；8—压力管道；9—厂房；10—尾水渠

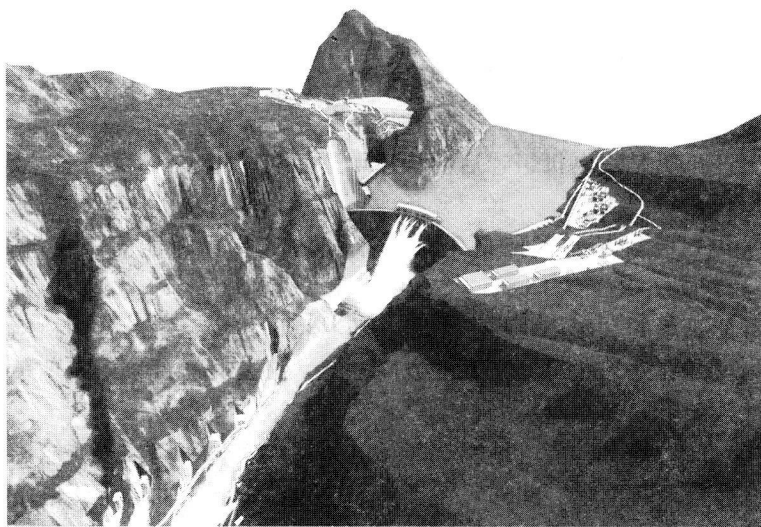


图 1-4 白鹤滩水电站示意图

布置难度较大。若选定单机容量 1000MW 的方案，不但有利于减小弱岩层的影响、便于水利枢纽布置，可以减少土石方量和机组台数，缩短建设周期、节省工程投资，而且有利于提高机组效率，降低运行成本，经济效益显著。目前在白鹤滩水电站可研报告中，确定采用单机容量 1000MW 的水轮机组；初步规划白鹤滩 14 台机组中有 2 台为 1000MW 机

组。此外，处于规划中的西藏雅鲁藏布江上的墨脱电站装机容量将达到 4000MW，水头很高，非常适用 1000MW 水轮机组。

为了加快振兴装备制造业，《国务院关于加快振兴装备制造业的若干意见》（国发[2006] 8 号）将特大型水电机组作为发展大型清洁高效发电设备的重大突破项目之一。根据西部地区地质条件和技术经济比较，选定超大容量、高参数、高可靠性水电机组是科技发展的必然结果。

2. 抽水蓄能水电站

抽水蓄能水电站利用可以兼具水泵和水轮机两种工作方式的蓄能机组，在电力负荷出现低谷时做水泵运行，用电网基荷的多余电能将下水库的水抽到上水库储存起来，在电力负荷出现高峰时做水轮机运行，将水放下来发电。抽水蓄能电站主要由上下水库、引水系统、地下厂房组成，见图 1-5。

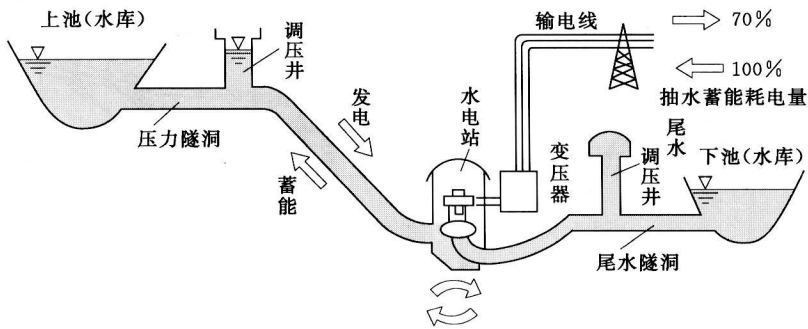


图 1-5 抽水蓄能水电站结构示意图

抽水蓄能机组在电力系统中担任调峰、调频、调相、事故备用和吸收多余电能等方面有明显的功效。在改善电网运行方面主要有以下作用：

（1）抽水蓄能机组是水电机组，启动快速，适用负荷范围广，在电力系统中能很好地替代火电机组担任调峰作用。

（2）作为水电机组，抽水蓄能机组具有很强的负荷跟随能力，在电网中可起调频作用。

（3）抽水蓄能机组的利用小时数不很高，随时可以作为系统的备用机组，同时还可以作旋转备用，也就是在并列状况下在发电方向空转，必要时能更快地带上负荷，可以在很短的时间内转换为发电，其短时间调节能力为装机容量的两倍。

在能源利用方面，抽水蓄能电站能够降低电力系统燃料消耗，改变能源结构，提高火电设备利用率，降低运行消耗。此外，在提高水电效益方面，抽水蓄能电站能够缓解发电与灌溉的用水矛盾，调节长距离输送的电力，充分利用水力资源，以及减少对环境的不良影响。

我国抽水蓄能电站的建设起步较晚，目前已普查到抽水蓄能电站地址有 247 个，包括广蓄一期、广蓄二期、十三陵、天荒坪和潘家口等大型抽水蓄能电站。2005 年我国（大陆）已建成投产的抽水蓄能电站有 15 座，总装机容量为 6443MW，约占我国总装机容量的 1.2%。在建的有 10 座，总装机容量 12000MW：泰安电站（1000MW）、张河湾电站

(1000MW)、西龙池电站(1200MW)、桐柏电站(1200MW,已投300MW)、琅琊山电站(600MW)、宜兴电站(1000MW)、宝泉电站(1200MW)、白莲河电站(1200MW)、黑麋峰电站(1200MW,一期600MW)以及惠州电站(2400MW)。此外还有一批已完成设计等待正式批准开工的项目。根据各电网的负荷特性和电源规划等分析测算,全国在2015年、2020年2个水平年抽水蓄能装机规模将分别达到34000MW、50000MW,预计上述2个水平年,全国抽水蓄能电站的装机容量占全国总装机容量的3.7%和4.4%。而国内外专家普遍认为:调峰、填谷发电机组在电网中的比例应当在12%左右比较合理,这样才能初步满足电网安全稳定经济运行。

2030年以后,我国人口预计将增加到15亿人,在节电的基础上以人均装机容量1kW计,届时装机总容量约15亿kW,调峰容量约4.5亿kW。估计水电和单循环的燃气机可承担1/3峰荷,约1.5亿kW,则抽水蓄能机组仅从调峰考虑就需要1.5亿kW,再加上紧急事故备用和风电配套等,届时,我国抽水蓄能电站的规模应在1.7亿~2亿kW。

2030年以后,我国常规水电基本开发完毕,抽水蓄能电站仍可继续开发,以满足电网不断增长的调峰、调频、调相、紧急事故备用等需求。此外,风电比例高的电网还需要建设一些抽水蓄能电站以解决瞬时电力冲击的问题。水电远距离的西电东送的最终规模可能超过1亿kW,而中部和南部地区人口密集,受输电走廊的控制,只能送基荷和少量腰荷,因此,中东部受电区,由于受通道影响和从安全、经济方面考虑,也需要建设相应的抽水蓄能电站,以解决调峰和保安电源等问题。

为实现这样的装机水平,我国的抽水蓄能电站建设必须加快进程。虽然我国抽水蓄能电站技术总体水平较低,但面临着良好的发展机遇,已呈现出可喜的发展局面。当前,我国抽水蓄能电站水泵水轮机机组转轮的研发尚处于引进、消化、吸收再创新的阶段;随着广蓄、十三陵和天荒坪三大蓄能电站水泵水轮机机组设计技术的引进,我国已经成功掌握了水泵水轮机转轮以外部分过流通道水力与结构设计,并成功完成了白山等多个抽水蓄能电站的可逆式水泵水轮机固定部分过流通道的水力与结构设计。

3. 潮汐式水电站

潮汐能作为一种可再生、无污染的能源具有广阔的发展前景。当前在重视能源结构调整,优先发挥洁净能源的背景下,发展潮汐能可作为常规能源的重要补充。潮汐能是指海水涨潮和落潮形成的水的势能,其利用原理和水力发电相似。潮汐的能量与潮量及潮差成正比。与水力发电相比,潮汐能的能量密度很低,相当于微水头发电的水平。世界上潮差的较大值约为13~15m,最大潮差

(加拿大芬地湾)可达18.5m,我国最大潮差(杭州湾澈浦)为8.9m。一般来说,平均潮差在3m以上就有实际应用价值。图1-6为潮汐式水电站发电原理示意图。

潮汐式水电站发电形式大致分为以下三类:

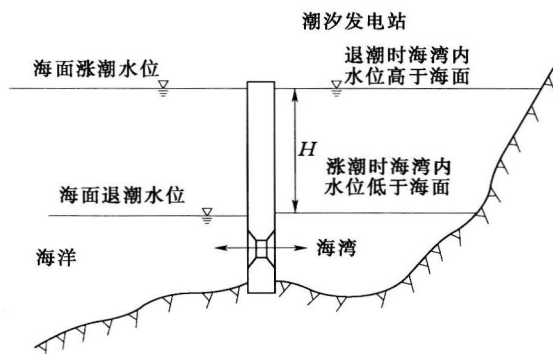


图 1-6 潮汐式水电站发电原理示意图

(1) 单库单向型潮汐电站。这种电站只有一个蓄水库，利用落潮发电。水轮发电机组只要满足单方向通水发电的要求就可以了。所以建筑物和发电设备的结构比较简单，投资也省，缺点是不能连续发电。

(2) 单库双向型潮汐电站。这种潮汐电站的主要优点是，除水库内外水位相平外，不管是涨潮还是落潮均能发电，发电时间和发电量都比单向潮汐电站多，能够比较充分地利用潮汐能量。

(3) 双库单向型潮汐电站。需要建造两个相邻的水库，一个水库在涨潮时进水，另一个水库在落潮时出水。前一个水库的水位始终比后一个水库高，水轮发电机安放在两个水库之间的隔坝内，可以利用两个水库的水位差全日发电。在潮汐水电站实际开发建设时，应根据当地的实际情况及资金因素等综合考虑，合理选择所需的发电方式。

潮汐电站建在沿海滩涂，一般无需淹地，也没有移民，可节省大量的土地资源。潮汐电站运行规律性强，发电量稳定少变，运行管理方便。电站建设形成滩涂和水面可进行种养等开发利用。利用潮汐发电既可减轻环境污染、节约能源，又能改善能源结构，其优越性和发展潜力是不言而喻的。

世界上利用潮汐能的历史可追溯到距今约 1000 年前，那时已出现了潮汐磨，用潮汐能推动磨子，加工粮食。近代潮汐电站的研究和兴建始于 20 世纪，潮汐能的开发进入了实际应用阶段。1912 年在德国的胡苏姆兴建的一座小型潮汐电站是世界上对潮汐发电的首次实际应用。1966 年，世界上第一座具有经济价值且规模最大的潮汐能源电厂——郎斯 (Larnace) 潮汐电站在法国布列塔尼的朗斯河口建成并投入商业运行，其装机容量达 240MW ($24 \times 10\text{MW}$)，采用了可逆式水轮机，无论涨潮退潮均能发电，年发电量 5.44 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ ，至今已安全运行 40 年，产生了可见的经济效益和社会效益。1968 年前苏联建成基斯活湾潮汐电站，装机容量 0.8MW。1984 年加拿大建成安纳波利斯 (vannapozis) 潮汐电站，装机容量 20MW。未来的 10~15 年，英国、加拿大、俄罗斯等国将建成百万千瓦级的潮汐电站。丰富的能量、成熟的技术加上先进的设计，潮汐能的开发具有技术和经济两方面的现实可行性。

世界潮汐能蕴藏量约为 27 亿 kW ，若全部转换成电能，每年发电量大约 $1.2 \times 10^{12} \text{kW} \cdot \text{h}$ 。全球潮汐能比较集中的有芬迪湾 (加拿大)、布里斯托尔湾 (英美晋湾)、图古尔湾 (俄罗斯)、品仁湾、仁川湾 (韩国)、孟加拉湾、圣马洛阿根廷巴塔哥尼亚沿岸，这些地区正是开发潮汐能源最有利的地区。迄今，全球除 10 座运行发电的潮汐电站以外，目前正在筹建发电量在 10 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 以上的大型潮汐电站有 15 座，列选部分见表 1-1。

表 1-1 全球计划筹建的大型潮汐式电站

地点 (国家)	最大潮差 (m)	平均潮差 (m)	装机容量 (万 kW)	年发电量 (亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$)
塞支河口 (英国)	11.0	8.8	720.0	144.0
默尔西河口 (英国)		6.5	70.0	12.0
芬迪湾 (加拿大)	16.0	11.8	380.0	127.0

续表

地点 (国家)	最大潮差 (m)	平均潮差 (m)	装机容量 (万 kW)	年发电量 (亿 kW·h)
坎伯兰湾 (加拿大)	14.4	10.0	108.5	31.0
金伯利湾 (澳大利亚)	12.0	7.0	125.0	40.0
坎贝湾 (印度)	10.3	6.8	736.0	154.0
卡奇湾 (印度)	7.0	5.3	90.0	30.0
圣何塞 (阿根廷)	7.6	5.9	495.0	120.0
梅森 (俄罗斯)	9.0	6.6	1500.0	500.0
帕斯梅格迪 (美国、加拿大)	15.6	5.5	30.0	18.4
罗加林湾 (韩国)		4.8	48.0	13.4

我国的海岸线有 18000km，如包括沿海岛屿，海岸线长约 32000km。曲折的海岸线，众多的潮汐河流，蕴藏着丰富的潮汐能源。普查统计我国 156 个海湾、33 个河口表明，我国沿海（不包括台湾省）装机容量在 500kW 以上的站点共 191 处，可装机容量为 2158 万 kW，可开发的潮汐能年总发电量为 619 亿 kW·h。20 世纪 50 年代，我国曾出现过利用潮汐能发电高潮，沿海诸省市兴建了 42 个小型潮汐电站，总装机容量 500kW。70 年代初再度出现潮汐发电热潮，至今仍在使用的潮汐电站有 8 座。其中最大为浙江江夏电站，总装机容量为 3200kW，年发电量 600 万 kW·h，1980 年开始发电，1985 年底 6 台机组全部并网发电，采用的单机容量为 500kW 及 700kW 的灯泡贯流式水轮发电机组完全由我国自主研制。表 1-2 为我国正在运行的部分潮汐式电站。

表 1-2 我国正在运行的部分潮汐式电站

站 名	潮差 (m)	装机容量 (kW)	投运时间	站 名	潮差 (m)	装机容量 (kW)	投运时间
江夏	5.1	3200	1980	海山	4.9	150	1975
白沙口	2.4	640	1978	沙山	5.1	40	1961
幸福洋	4.5	1280	1989	浏河	2.1	150	1976
岳浦	3.6	150	1971	果子山	2.5	40	1977

4. 微型水电站

微型水力发电（以下简称微水电）是指利用电力负荷附近的微小水能资源发电、高网独立运行、无需变电、直接向用户供电或者与地方农网并网运行的水力发电系统。与大中型水力发电不同，微水电只需简单的水工建筑物，直接利用天然微小水能发电，无水量消耗不造成自然生态改变和环境污染等负面影响。微型水电站结构简单，只需简单的水工建筑物，甚至只需引水管道即可。工程规模小，建造安装方便。图 1-7 为微型水电站的结构示意图。

微型水电属于小水电的范畴。1980 年在中国杭州和菲律宾马尼拉召开的第二次国际小水电技术发展与应用考察研究讨论会，对小水电规模作以下定义：小水电站为 1001~12000kW，小小水电站为 101~1000kW，微型水电站为 100kW 及以下。随着以小水电为主的农村电气化计划的实施，小水电的建设规模迅速扩大，小电站定义也扩大到 2.5 万

kW；20 世纪 90 年代以后，国家计划委员会、中华人民共和国水利部进一步明确小水电的装机容量规模为 50 万 kW 以下；2007 年在中国农村能源行业协会、农业部南京农业机械化研究所等单位联合召开的“全国微水电发展研讨会”上将微水电出力范围定义为 500kW 以下。

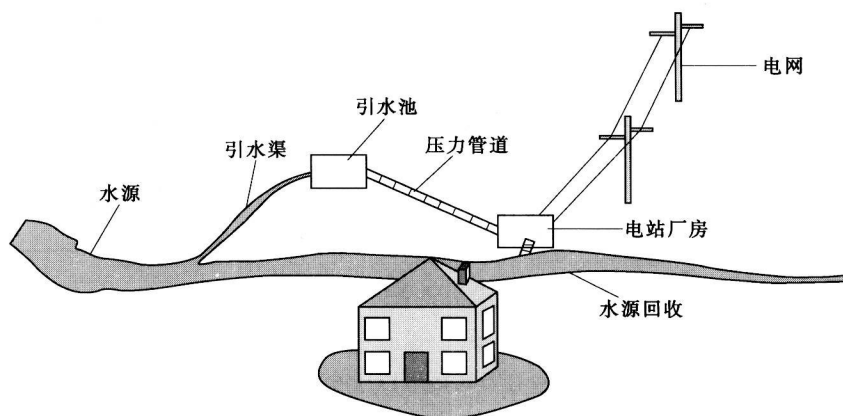


图 1-7 微型水电站结构示意图

微水能资源范围分布很广，包括小溪、河湾、泉水、高山湖泊、天然瀑布、灌渠跌水、急滩、潮汐等。微水电资源遍及全国 20 个省、自治区、直辖市。小于 100kW 的微水能资源有 8000 万 kW，相当于 4.4 个三峡工程的装机容量。由于对微水电优势的认识不足，加之缺失相关政策的扶持，长期以来我国的微水电开发规模较小，微水能开发率仅为 0.27%，只有小水电（500~50000kW）开发率的 1%。而国外一些发达国家（如瑞士、法国、意大利、日本等）微水能开发率高达 90% 以上，微水电不仅广泛用于边远偏僻地区的农业生产，而且在城市绿化、私家庭院建设方面也获得了一定的应用。在我国部分地处富集水能资源的地区至今仍然存在着严重缺电的不适宜人居环境，少数边陲山区甚至过着无电的原始落后生活。据有关部门统计，我国的微水电资源约为 0.8 亿 kW，多分布在山区、农村，尤其是电网难以达到或电网供电很不经济的边远地区。对这些资源的开发利用，是充分利用清洁能源的重要组成部分，也是电能普及应用的重要补充。

微水电的电能转化率至少可达 50%，远远高于其他可再生能源（太阳能约 20%），单位千瓦造价也远远低于风能和太阳能，优势明显。此外，微水电的工程量小、设备简单、投资少、收效快、运行维护简单，容易实现用户自筹、自建、自管、自用，是其他能源无法取代的一种农村能源。它除了被广泛地应用于山区、农村外，还可用于水库供水多余落差的利用及其他微型水力资源的利用等。微水电的利用既有经济意义，也有重大社会效益。

第二节 水电站经济运行概述

一、开展水电站经济运行的意义

我国的能源蕴藏总量较为丰富，同时也是世界第二大能源生产国与消费国。目前我国

的能源消费状况是以煤炭为主，可再生资源开发利用程度很低；消费总量不断增长，能源利用效率较低；能源消费以国内供应为主，环境污染状况加剧，优质能源供应不足。中国拥有较为丰富的可再生资源资源。水力资源理论蕴藏量折合年发电量为 $6.19 \times 10^{12} \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，经济可开发年发电量约 $1.76 \times 10^{12} \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，相当于世界水力资源量的 12%，列世界首位。“十一五”规划提出在保护生态基础上有序开发水电，优先发展水电是我国能源发展的重要方针。

解决我国能源问题，除积极开发能源和实施节能减排外，还必须提高发电企业的运行效率。随着电力体制的改革和市场化的推进，水电走向市场，按照“公平、公正、公开”的原则参与竞价上网，将是水电发展的必然。“厂网分开，竞价上网”的电力市场运营机制的实施，使发电企业成了竞争的主体。在这种新形势下，发电企业只有挖掘一切可以挖掘的潜力，降低运行成本，才能在竞争中处于有利地位。

水电站经济运行，是从电力系统安全、优质、经济发供电的目标出发，制定水电站的最优运行方式，以一定的水能资源获取水电站最大发电量。开展水电站经济运行工作，充分挖掘节水增发电的潜力、提高运行管理水平，对增加水电站的收入，实现“工程水利”向“资源水利”转变具有重要的现实意义。

在这种新形势处，开展水电站经济运行工作，提高水电站运行的管理水平，挖掘潜力，对增加水电站的发电效益、确保电网的安全运行有着重要的现实意义，这也是充分利用水能资源的有效措施。

在电力市场环境下，水电厂在满足安全性和可靠性要求的前提下，通过中长期优化调度、短期优化调度和厂内经济运行等手段实现资源优化配置，通过一系列的节能措施降低生产成本，提高市场竞争能力，最终实现收益最大化的目标。欧、美发达国家优化运行资料表明，大型水电厂厂内优化运行的效益为 0.5%~3.0%。20 世纪 80 年代中期，我国某年平均发电量 22 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 的水电厂，实行厂内优化运行后，效益提高 4.6%，增加发电量 1.03 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。我国水电运行经验表明，仅从软件方面着手，编制科学的运行调度方案，就可以使其发电效益在原有的基础上再提高约 2%~6%。

二、水电站及其水库运行特点与综合要求

（一）水电站运行与水库调度特点

1. 运行经济性

水能资源是一种天然的可再生能源，在梯级或流域水电站系统中可重复利用。水电站的年发电量主要取决于年来水径流和水电站水库调度管理方法，而其运行管理费用基本上与发电量无关。因此，应采取科学方法合理利用调节库容、进行厂内机组间负荷优化分配，尽量提高水量利用率、降低耗水率，达到利用水能多发电能的目的，同时也可以减少火电站和核电站资源的消耗，提高电力系统供电的经济性。

2. 调度灵活性

水电站及水库各种工程和机电设备，如水轮机等动力设备，各种取、用、泄水建筑物具有启闭迅速、工作灵活的特点，能适应电力负荷急剧变化及供水多变的要求，所以水电站一般在电力系统中承担调峰、调频及调相任务。

3. 效益综合性

河流水系是一个整体，其水能资源和水资源密切相关，它们的利用和保护涉及国民经济各部门和社会各方面。水电站和水库的运行调度方式直接影响其上下游、左右岸各部门、各方面的安全和利益。所以为了合理利用和保护水资源及水能资源、综合治理河流，各部门、各地区都应该服从全局，协调相互间的利害关系，分工协作，进行统一调度，争取获得最大综合效益。

4. 信息随机性

如果将水电站及水库作为一个系统进行研究，其输入为河川径流，输出为电力负荷和其他用水，由于调节库容和装机规模等系统参数已知，影响系统运行方式的主要是输入和输出，但其输入和输出信息均具有很大的随机性。

河川径流是在各种地球物理因素综合作用下形成的，在时间上的变化是一种随机过程，其随机性既表现为年际间径流量差别很大，年内径流变化又具有明显的季节性，即有丰水期和枯水期之分，虽然具有以多年、年或季等周期的变化规律，但总体上是随机的。

受工农业及国民经济各部门发展、居民生活水平的提高、气候或季节变化等因素的影响，电力系统的负荷过程也具有一定的随机性，电力系统规模越大，负荷随机性越强。相比较而言，虽然其他用水也有随机性，但其确定性则占主导部分。

5. 决策风险性

正由于系统输入输出信息具有随机性，从而导致系统决策就具有风险性。

对于中长期调度而言，由于难以准确预测入库径流过程，因而水电站及其水库的输出和运行调度方式决策必然要冒一定风险；对防洪来说，虽然可以通过水库调洪及其他防洪措施减少洪水灾害，但若出现未能预料的特大洪水或调度方法与措施不当时，水电站水库大坝本身安全和防洪保护对象也有可能受到洪水威胁；受水资源随机多变的影响，特枯水年份水电站和电力系统的正常工作就可能遭受破坏的风险；类似地，其他兴利要求也不可能完全得到满足，也会冒一定风险。

做好水电站及其水库运行调度的主要目的就是要尽量将这些风险限制在规定范围内，使遭破坏所带来的损失最小，并获得尽可能大的综合效益，更好地满足电力及其他有关部门的要求。

6. 系统复杂性

水电站及其水库是水利系统与电力系统的重要组成单元。作为电力生产的水电站，其运行方式不仅与输电网络、电网负荷需求有关，还与电网内其他电源具有电力或水力联系。作为径流调节的水库，其调度方式与天然径流时空特性、洪水特性、国民经济各部门和社会各方面用水需求和防洪要求、其他水利工程调度等关系密切。所以，水电站及其水库运行调度问题本身十分复杂。

水电站及其水库运行调度需要综合运用自然科学、社会科学及工程技术等诸多知识和研究成果，如系统优化理论、自动控制理论、现代数学方法及计算机技术，还涉及水文气象、生态环境、工业、农业、经济、管理、电力、机电设备、通信、自动化等许多专业知识。因此，水电站及其水库运行调度需要配备具有多种专业知识的技术人员、具有理论先进和技术成熟的专业应用软件。

(二) 水电站水库综合利用要求

1. 防洪要求

水库是防御洪水、减免洪水灾害的主要工程措施之一，水电站水库都要确保其自身工程防洪安全为首要任务，在很多情况下兼有对上下游防洪保护对象的防洪任务。

为确保大坝工程与防洪保护对象的安全，要求水库在汛期留出一定的调洪和防洪库容（汛期不能用于兴利目的蓄水），以调蓄汛期可能出现的各频率洪水。针对不同防洪保护对象的重要性，分别采用不同的洪水标准作为水库防洪调度的依据。洪水标准以洪水的重现期、或洪峰流量和洪量的出现频率表示。为确保水库大坝工程安全的防洪调度，在正常情况下以设计洪水标准为依据，非常情况下以校核洪水标准为依据；为保护防洪保护对象，则以保护对象的防洪标准为依据，因而形成各种等级标准的设计洪水。通常，大坝校核洪水标准最高，设计洪水标准次之，防洪保护对象的防洪标准较低。

2. 发电要求

水电站作为电力系统的重要组成部分，承担着电能供给任务，因此必须满足电力系统的可靠性与经济性要求。

电力系统为了保证电网安全运行与电力用户可靠供电，要求水电站在一定时期内以一定出力和电量工作的保证率，不得低于某一规定保证率。这一规定的保证率为发电设计保证率，是在规划设计阶段根据设计规范确定的或运行时重新核定的水电站设计标准，也是检验和评价水电站运行的重要指标之一。

水电站保证率以其正常工作不遭受破坏的相对历时或相对年数表示，前者称历时保证率，后者称年保证率。由于在破坏年份内还有一部分时间正常工作未遭受破坏，所以历时保证率大于年保证率。一般大中型水电站的设计保证率不低于 90%。

通常将相应于设计保证率的水电站至少应承担的电力负荷图称为水电站的保证出力图。无调节和日调节水电站以日出力图表示；年调节和多年调节水电站以其年内各时段（月或旬）平均出力和最大（峰荷）出力表示，分别称之为年平均出力保证图和年最大（峰荷）出力保证图。其中，一定临界的平均出力习惯上称为保证出力，这一临界期相应的电量称为保证电量，最大峰荷出力称为水电站最大工作容量。水电站按保证出力图工作的方式称为水电站的保证运行方式。

电力系统对水电站提出经济性要求，是针对水电站发电成本较低的特点，要求水电站充分利用水能多发电，最大限度地节省电力系统中其他电站的燃料消耗和运行费用，从而使电力系统运行更经济，用户用电更便宜。

3. 其他综合利用要求

当水电站水库兼有其他综合利用任务时，还必须满足相关部门的要求。

农业部门一般要求在灌溉期提供作物生长的正常需水。农作物需水对缺水的适应性比其他用水部门大，其灌溉设计保证率一般较低，缺水地区以旱作物为主时取 50%~70%，以水稻为主时取 70%~80%；丰水地区以旱作物为主时取 70%~80%，以水稻为主时取 75%~95%。

考虑发电、泄洪或其他泄放流量的剧烈变化所引起的下游不稳定水流和水位波动对航运、漂木等的影响，航运部门要求水库保证在一定通航和漂木标准（保证率）下的最低水