



全国高等院校水利水电类精品规划教材

水电站

主编 张 丽 韩菊红

主审 马吉明



黄河水利出版社

全国高等院校水利水电类精品规划教材

水 电 站

主 编 张 丽 韩菊红
副主编 王春堂 马跃先 饶碧玉
主 审 马吉明

黄河水利出版社
· 郑 州 ·

内 容 提 要

本书是“全国高等院校水利水电类精品规划教材”之一。主要内容共三篇十三章。第一篇为水力机械部分,主要介绍水轮机的主要类型和构造、工作原理、相似原理、特性曲线、型式选择以及调速设备;第二篇为水电站输水系统,主要介绍各建筑物的功用、类型、设计要求以及压力管道、水锤及调节保证、调压室等的有关计算原理和方法;第三篇为水电站厂房,主要介绍水电站厂房的布置设计和结构设计原理等。

本书理论与实践相结合,可作为高等院校水利水电工程专业以及水利相关专业本科、专科学生的教材或教学参考书,也可作为水工和机电设计人员、水电站管理人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

水电站/张丽,韩菊红主编. —郑州:黄河水利出版社,
2009. 8

全国高等院校水利水电类精品规划教材

ISBN 978 - 7 - 80734 - 641 - 8

I. 水… II. ①张…②韩… III. 水力发电站 - 高等学校 - 教材 IV. TV7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 145875 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼14层 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940, 66020550, 66028024, 66022620(传真)

E-mail: hhsclbs@126. com

承印单位:河南地质彩色印刷厂

开本:787 mm × 1092 mm 1/16

印张:23

字数:530 千字

印数:1—4100

版次:2009 年 8 月第 1 版

印次:2009 年 8 月第 1 次印刷

定价:45. 00 元

出版者的话

近年来,随着我国对基础设施建设投入的加大,水利水电工程建设也迎来了前所未有的黄金时间。截至 2006 年,全国已建成堤防 28.08 万公里,各类水库 85 849 座,2006 年水利工程在建项目 4 614 个,在建项目投资总规模达 6 121 亿元(《2006 年全国水利发展统计公报》)。据《可再生能源发展“十一五”规划》,到 2010 年,我国水电总装机容量将达到 1.9 亿千瓦。水利水电工程的大规模建设对设计、施工、运行管理等水利水电专业人才的需求也更为迫切,如何更好地培养适应现今水利水电事业发展的优秀人才,成为水利水电专业院校共同面临的课题。作为水利水电行业的专业性科技出版社,我社长期关注水利水电学科的建设与发展,并积极组织水利水电类专著与教材的出版。

在对水利水电类本科层次教材的深入了解中,我们发现,以应用型本科教学为主的众多水利水电类专业院校普遍缺乏一套完整构建在校本科生专业知识体系又兼顾实践工作能力的教材。在广泛调研与充分征求各课程主讲老师意见的基础上,按照高等学校水利学科专业教学指导委员会对教材建设的指导精神与要求,并结合教育部实施的多层次建设、打造精品教材的出版战略,我社组织编写了本系列“全国高等院校水利水电类精品规划教材”。

此次规划教材的特点是:

- (1) 以培养水利水电类应用型人才为目标,充分重视实践教学环节。
- (2) 在依据现有的专业规范和课程教学大纲的前提下,突出特色,力求创新。
- (3) 紧扣现行的行业规范与标准。
- (4) 基本理论与工程实例相结合,易于学生接受与理解。

本系列教材除了涵盖传统专业基础课及专业课外,还补充了多个新开课程的教材,以便于学生扩充知识与技能,填补课堂无合适教材可用的空缺。同时,部分教材由工程技术人员或有工程设计施工从业经历的老师参与编写,也是此次规划教材的创新。

本系列教材的编写与出版得到了全国 21 所高等院校的鼎力支持,特别是三峡大学党委书记刘德富教授和华北水利水电学院副院长刘汉东教授对系列教材的编写与出版给予了精心指导,有效保证了教材出版的整体水平与质量。在此对推进此次规划教材编写与出版的各院校领导和参编老师致以最诚挚的谢意,是他们在编审过程中的无私奉献与辛勤工作,才使得教材能够按计划出版。

“十年树木,百年树人”,人才的培养需要教育者长期坚持不懈的努力,同样,好的教材也需要经过千锤百炼才能流传百世。本系列教材的出版只是我们打造精品专业教材的开始,希望各院校在对这些教材的使用过程中,提出改进意见与建议,以便日后再版时不断改正与完善。

黄河水利出版社

全国高等院校水利水电类精品规划教材

编 审 委 员 会

主 任：	三峡大学	刘德富	华北水利水电学院	刘汉东
副主任：	西安理工大学	黄 强	郑州大学	吴泽宁
	云南农业大学	文 俊	长春工程学院	左战军
委 员：	西安理工大学	姚李孝	西北农林科技大学	辛全才
	扬州大学	程吉林	三峡大学	田 斌
	华北水利水电学院	孙明权	长沙理工大学	樊鸣放
	重庆交通大学	许光祥	河北农业大学	杨路华
	沈阳农业大学	迟道才	河北工程大学	丁光彬
	山东农业大学	刘福胜	黑龙江大学	于雪峰
	新疆农业大学	侍克斌	内蒙古农业大学	刘廷玺
	三峡大学	张京穗	华北水利水电学院	张 丽
	沈阳农业大学	杨国范	南昌工程学院	陈春柏
	长春工程学院	尹志刚	昆明理工大学	王海军
	南昌大学	刘成林	西华大学	赖喜德

前 言

本书是“全国高等院校水利水电类精品规划教材”之一,也是水利水电工程专业必修课教材。编写过程中,一方面遵照高等学校水利水电类专业《水电站》教学大纲和相关最新国家标准和行业规范,另一方面尽力体现本系列教材以应用型本科教学为主的思想。编写过程中广泛了解了国内外水电站建设动态,参考了多种水电站教材和相关专业书籍,汇聚了编写人员长期从事水利水电专业教学、科研和生产实践的经验,力求理论与实践的完美结合,使教师使用方便,学生容易接受。

本书主要内容共三篇十三章。第一篇为水力机械部分,主要介绍水轮机的主要类型和构造、工作原理、相似原理、特性曲线、型式选择以及调速设备;第二篇为水电站输水系统,包括水电站输水系统的进水、引水建筑物和调压室,主要介绍各建筑物的功用、类型、设计要求以及压力管道、水锤及调节保证、调压室等的有关计算原理和方法;第三篇为水电站厂房,主要介绍水电站厂房的布置设计和结构设计原理等。

本书由华北水利水电学院、郑州大学、山东农业大学、云南农业大学、河北工程大学等五所高等院校长期从事水电站教学的老师联合编写。其中第一章、第六章、第七章由韩菊红编写,第二章由王春堂编写,第四章由马跃先编写,第三章、第五章由马跃先、王春堂联合编写,第八章由饶碧玉、杨银华联合编写,第九章由张丽编写,第十章由蒋莉编写,第十一章由张丽、孟美丽、袁吉栋联合编写,第十二章由蒋莉、袁吉栋联合编写,第十三章由韩菊红、孟美丽联合编写。第一篇由马跃先统稿,全书由张丽、韩菊红统稿。

本书由清华大学马吉明教授主审,在此表示衷心的感谢。有关院校、科研机构的同行,特别是华北水利水电学院王玲花教授为本书提出了宝贵意见,在此一并向他们以及本书所引用参考文献的作者表示衷心的感谢。

由于水平及时间所限,编写中难免存在不当之处,敬请读者批评指正。

编 者

2009 年 5 月

目 录

出版者的话

前 言

第一章 绪 论	(1)
第一节 水力发展概述	(1)
第二节 水力发电的基本原理及特征参数	(4)
第三节 水电站的基本类型及组成建筑物	(6)
第四节 本课程特点	(11)

第一篇 水力机械

第二章 水轮机的类型及构造	(12)
第一节 水轮机的类型和特点	(12)
第二节 反击式水轮机的引水部件	(16)
第三节 反击式水轮机的导水机构	(18)
第四节 反击式水轮机的转轮	(21)
第五节 水斗式水轮机的构造	(25)
第六节 水轮机的工作参数	(28)
第七节 水轮机的牌号及标称直径	(29)
第三章 水轮机的工作原理	(32)
第一节 水流在反击式水轮机转轮中的运动	(32)
第二节 水轮机的基本方程式	(34)
第三节 水轮机的效率 and 最优工况	(37)
第四节 尾水管的工作原理	(41)
第五节 水轮机的空化和空蚀	(44)
第六节 水轮机的空蚀系数、吸出高及安装高程	(49)
第四章 水轮机特性曲线与选型	(55)
第一节 水轮机的相似原理概述	(55)
第二节 水轮机的相似律、单位参数和比转速	(57)
第三节 水轮机的效率换算与单位参数的修正	(62)
第四节 水轮机的主要综合特性曲线	(65)
第五节 水轮机的选择	(71)
第六节 水轮机运转特性曲线的绘制	(88)
第七节 蜗壳的型式及主要尺寸确定	(91)
第八节 尾水管的型式及主要尺寸确定	(98)

第五章 水轮机调速器	(102)
第一节 水轮机调节的基本概念	(102)
第二节 调速器的类型及工作原理	(104)
第三节 调速器的主要设备及选择	(108)

第二篇 水电站输水系统

第六章 水电站进水口	(112)
第一节 进水口的功用和要求	(112)
第二节 有压进水口	(112)
第三节 无压进水口及沉沙池	(121)
第七章 水电站引水建筑物	(123)
第一节 引水建筑物的功用与要求	(123)
第二节 渠 道	(124)
第三节 隧 洞	(128)
第四节 压力前池与日调节池	(130)
第八章 水电站压力管道	(133)
第一节 压力管道的功用及类型	(133)
第二节 压力管道的布置及供水方式	(134)
第三节 压力管道的水力计算和经济直径的确定	(136)
第四节 钢管的材料、容许应力和管身构造	(137)
第五节 明钢管的敷设方式、镇墩、支墩和附属设备	(139)
第六节 明钢管的管身应力分析及结构设计	(149)
第七节 分岔管	(165)
第八节 地下埋管	(169)
第九节 坝身管道	(178)
第九章 水电站的水锤及调节保证计算	(185)
第一节 水电站不稳定工况	(185)
第二节 水锤现象及研究水锤的目的	(187)
第三节 水锤基本理论	(189)
第四节 水锤计算的解析法	(200)
第五节 水锤计算的数值分析法	(214)
第六节 调节保证计算	(220)
第七节 计算条件选择及改善调节保证的措施	(224)
第十章 调压室	(227)
第一节 调压室的功用、要求及设置条件	(227)
第二节 调压室的工作原理及基本方程	(229)
第三节 调压室的基本布置方式及类型	(232)
第四节 简单式和阻抗式调压室水位波动计算的解析法	(236)

第五节	调压室水位波动计算的数值积分法	(239)
第六节	水室式、溢流式和差动式调压室的水位波动计算	(246)
第七节	引水道—调压室系统的工作稳定性	(252)
第八节	调压室水力计算条件	(257)
第九节	调压室结构布置及设计原理	(259)

第三篇 水电站厂房

第十一章	引水式地面厂房布置设计	(263)
第一节	厂房的功用及类型	(263)
第二节	厂房的组成	(264)
第三节	水流系统设备的布置	(269)
第四节	发电机及其支承结构	(271)
第五节	辅助设备的布置	(275)
第六节	主厂房各层间的布置	(279)
第七节	主厂房的轮廓尺寸	(285)
第八节	副厂房	(293)
第九节	厂房的采光、通风、交通及防火	(297)
第十节	厂区布置	(300)
第十一节	厂房的结构布置设计	(303)
第十二章	其他类型厂房	(309)
第一节	坝后式厂房	(309)
第二节	河床式厂房	(313)
第三节	地下式厂房	(318)
第四节	抽水蓄能电站厂房和潮汐电站厂房	(327)
第十三章	水电站厂房结构设计原理	(332)
第一节	地面厂房整体稳定和地基应力计算	(332)
第二节	发电机支承结构和风罩	(335)
第三节	蜗壳	(343)
第四节	尾水管	(347)
参考文献		(354)

第一章 绪 论

第一节 水力发电概述

利用天然水资源中的水能进行发电的方式称为水力发电。它是现代电力生产的主要方式之一,也是开发利用天然水能资源的主要方式。水电站是为完成水力发电而修建的工程建筑物和机械、电气设备的综合体。

一、水力发电简史

早在 3 000 多年前劳动人民就利用水力磨面、舂米、提水灌溉。随着商业资本及小型手工业的发展,水力逐渐用于打铁、锯木、造纸及纺织等工业方面。当时的水力装置只能建造在急滩、瀑布处,这种地点的限制不能适应工业迅速发展的要求,所以 18 世纪下半叶蒸汽机一出现便立即得到广泛使用。当时为了扩大水力的利用,必须简化水力设备,提高效率,降低成本,并解决建站地点与工业基地不在一处的矛盾。随着水力学和机械制造业的发展,自 18 世纪末开始,相继发明了各种近代水轮机,使得利用水头大为提高,功率及效率也显著提高。19 世纪下半叶又相继发明了直流电机、交流同步电机、变压器、输电线路。直到 19 世纪末,在筑坝技术、结构理论与施工技术发展到一定水平以后,才出现了近代的水电站。此后,许多国家都大量建造水电站,水力发电得到了迅速发展。

随着电力工业的发展,水电站的规模、利用水头和单机容量也都越来越大。目前,世界上装机容量最大的水电站是我国的三峡水电站,总装机容量 1 820 万 kW;最大的抽水蓄能电站是我国的广州抽水蓄能电站,装机容量为 240 万 kW;水头最高的水电站是瑞士的马吉亚蓄能电站,为 2 117 m;最大的水轮发电机组是三峡水电站及巴西和巴拉圭合建的伊泰普水电站的机组,其单机容量均为 70 万 kW。

二、水力发电特点

水力发电区别于其他能源,具有以下几个特点:

(1)水能的再生。水能来自于江河中的天然水流,江河中的水流主要由自然界气、水循环形成。水的循环使水电站的水能可以循环使用,取之不尽,用之不竭,故水能被称为“再生能源”。

(2)水能的综合利用。水力发电只利用水流中的能量,不消耗水量。因此,水能可以综合利用,除发电外,可同时兼得防洪、灌溉、航运、给水、水产养殖、旅游等方面的效益。

(3)水能的调节。电能不能储存,生产与消费必须同时完成。水能则可储蓄在水库里,根据电力系统的要求进行生产,水库是电力系统的储能库。水库调节提高了电力系统对负荷的调节能力,增加了供电的可靠性与灵活性。

(4)水力发电的可逆性。把高处的水体引向低处驱动水轮机发电,将水能转换成电能;反过来,通过电动抽水机将低处的水送往高处水库储存,将电能又转换成水能。利用这种水力发电的可逆性修建抽水蓄能电站,对提高电力系统的负荷调节能力有独特的作用。

(5)水力发电机组工作的灵活性。水力发电机组设备简单,操作灵活方便,启闭灵活,易于实现自动化,具有调频、调峰、旋转备用、事故备用、负荷调整等功能,可增加电力系统的运行可靠性,动态效益突出。水电站是电力系统动态负荷的主要承担者。

(6)水力发电生产成本低,效率高。与火电厂相比,水力发电厂设备简单,运行维修费用低,不用支付燃料费用,故发电成本低廉。水电站的能源利用率高,可达85%以上,而火电厂燃煤热能效率只有40%左右。

如果计及火电厂煤矿及运输投资,水电站造价与火电厂造价相近。

(7)有利于改善生态环境。水电站生产电能不产生“三废”,不污染环境,扩大的水库水面面积调节了所在地区的小气候,调整了水流的时空分布,有利于改善周围地区的生态环境。

(8)一次投资大,工期长。修建水电站,特别是修建拥有高坝大库的水电站时,往往淹没损失较大,土建工程量也大,因而使得一次投资大,工期长,而且水力发电也要受河道中天然流量变化的影响等。为此,水电开发过程中必须建立一套科学、完整的评估体系,以作出准确的抉择并采取相应对策。

由于水力发电具有上述诸多优点,世界各国都以优先发展水力发电、尽可能利用水能这一“绿色环保”资源作为能源发展的基本方针。据统计,世界上有24个国家依靠水力发电提供国内90%的电力,如巴西、挪威等;有55个国家的水力发电占全国电力的50%以上,如加拿大、瑞士、瑞典等。我国当前的水电装机容量约占全国电力的24%,年发电量占14.8%。

三、我国的水能资源

水能资源是水力发电的前提条件,我国地域辽阔、江河众多,径流丰沛、落差巨大,蕴藏着极为丰富的水力资源。根据2005年我国发布的水力资源复查结果,我国大陆水力资源理论蕴藏量在10 MW及以上的河流共3 886条,水力资源理论蕴藏量的平均功率为694 400 MW,年发电量为60 829 亿 kW·h;技术可开发量的装机容量为541 640 MW,年发电量为24 740 亿 kW·h;经济可开发量的装机容量为401 795 MW,年发电量为17 534 亿 kW·h。全国水力资源总量,包括理论蕴藏量、技术可开发量 and 经济可开发量均居世界首位。

我国不仅有得天独厚的大江大河水能资源,而且还具有丰富的小水电资源和潮汐水能资源。其中,我国大陆海岸线全长18 000 km以上,可开发的潮汐水能资源约2 100 万 kW,年发电量约580 亿 kW·h。

(一)我国水能资源特点

(1)我国的水能资源在地理分布上极不均衡,与经济发展现状不匹配。总体而言是西部多、东部少,西南地区的水力资源最为丰富,理论蕴藏量占到全国总量的70.6%;而

经济发达的华东、中南(含华南)地区仅占4%和8.6%。全国70%以上的大型水电站和80%以上的特大型水电站集中分布在云、贵、川、藏西南四省(区)。

从我国经济发展的现状来看,用电负荷主要集中在东部地区。因此,搞好西电东送工程,可以解决水力资源分布与经济发展现状不匹配的矛盾。

(2)我国河流分为长江、黄河、珠江、海河、淮河、雅鲁藏布江(含西藏其他河流)六大流域和东北诸河、东南沿海诸河、西南国际诸河、北方内陆及新疆诸河四大片区。我国河流流域面积 100 km^2 以上的有5万多条,其中水力资源理论蕴藏量10 MW以上的河流共有3 886条。水能资源最为丰富的是长江流域,理论蕴藏量占全国总量的40%;其次是雅鲁藏布江,理论蕴藏量占全国总量的23.1%;第三位是西南国际诸河(主要在云南省境内,如澜沧江、怒江等),理论蕴藏量占全国总量的14.2%。

(3)河流主要由降雨形成径流,年内水量分配很不均匀,丰枯流量相差悬殊。所以,在开发水能资源时,要建造调节性能好的水库,提高总体水电质量。

(4)水能资源相对集中在一些高山、大河地区,不少水电站的装机容量超过1 000 MW。这些大型水电站水头高、单机容量大、地质地形条件复杂,带来很多技术难题,因而制约了水力资源的开发利用速度。

(二)我国水能资源开发状况

1912年建成发电的云南石龙坝水电站,装机容量480 kW,是我国第一座水电站。但由于工业化进程的滞后,至1949年全国水电总装机容量仅36万kW,年发电量12亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。新中国成立后,我国的水电事业得到了蓬勃发展,先后建成了黄坛口、新安江、狮子滩、官厅、新丰江、三门峡、柘溪、陈村、恒仁、刘家峡等大型水电站,20世纪80年代,成功地修建了装机容量271.5万kW的葛洲坝水电站与装机容量128万kW的龙羊峡水电站,标志着我国已具有修建不同型式的百万千瓦级水电站的技术能力。目前在建的三峡水电站,装机容量1 820万kW,单机容量70万kW,第一批机组于2003年发电,至2007年底已有19台机组投入运行,是当今世界上最大的水利水电工程。

我国在建的水电工程中,就技术而言相当一部分已处于世界领先水平。除世界最大水电站三峡水电站外,澜沧江小湾水电站将建设世界最高的混凝土双曲拱坝(292 m),红水河龙滩水电站将建设世界最高的碾压混凝土重力坝(216 m)等。

四、我国水电开发的规划与前景

2004年9月,我国水电装机容量突破1亿kW,居世界第一。但我国水力资源的开发和利用程度仅占可开发水力资源的25%,与发达国家相比仍存在较大差距。当前,发达国家水电平均开发程度在60%以上,其中美国水力资源已开发约82%,日本约84%,加拿大约65%,德国约73%,挪威、巴西等国的水力资源开发利用率甚至超过了90%。因此,我国水电事业具有广阔的发展前景。

我国水电开发的规划目标是,到2020年全国水电装机容量达2.5亿kW,占可开发水力资源的60%,基本上接近发达国家水平。

为了实现上述目标,我国把12条水量丰富、水力资源集中的河流作为水电开发的重点。它们是长江上游、黄河上游、黄河中游北干流、红水河流域、金沙江、雅砻江、大渡河、

乌江、澜沧江,以及东北、湘西和闽浙赣地区,其总装机容量可达 2.27 亿 kW,年发电量可达 10 085 亿 kW · h。因此,随着这十二大水电基地的开发,我国将逐步实现“西电东送”,缓解电力供应紧张的局面,以适应国民经济日益发展的需要。

到 2050 年,我国水电装机容量将达到 4.3 亿 kW,水电资源基本开发完毕,水电开发率达到 90% 以上。中国将真正成为水电资源大国、开发规模大国、水电电能生产大国,其水电技术水平将处于世界领先地位。

第二节 水力发电的基本原理及特征参数

一、水力发电的基本原理

水力发电是通过水电站枢纽来实现的。在这里,水电站相当于一个将水能转换为电能的工厂,水能(水头和流量)相当于这个工厂的生产原料,电能相当于其生产的产品,水轮机和水电发电机则是其最主要的生产设备。通常水轮机和水电发电机被合称为水电发电机组。

经过一系列工程措施,有压水流通过水轮机将水能转变为旋转机械能,水轮机又带动水电发电机转动,再将旋转机械能转变为电能。水电站就是为实现上述能量的连续转换而修建的水工建筑物及其所安装的水轮发电设备和附属设备的总体。

二、水电站的出力及发电量计算

如图 1-1 所示,水电站上、下游水位差 H_0 称为水电站的静水头。设水电站某时刻的静水头为 H_0 ,在时间 t 内有体积为 V 的水体经水轮机排入下游。若不考虑进出口水流动能变化和能量损失,则体积为 V 的水体在时间 t 内向水电站供给的能量即是水体所减少的位能。单位时间内水体向水电站所供给的能量称为水电站的理论出力 N_t ,水电站出力的单位用 kW 表示,则有

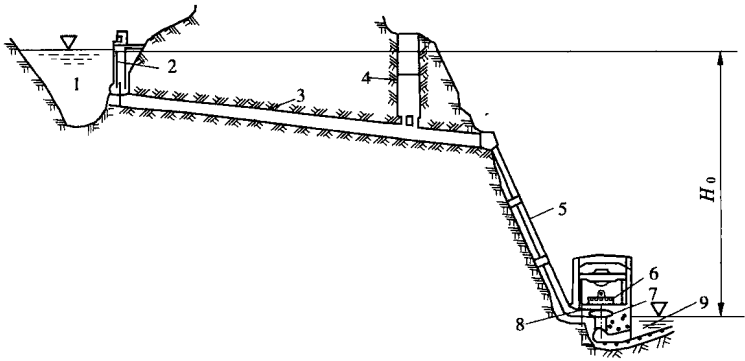


图 1-1 水电站示意图

1—水库;2—进水建筑物;3—隧洞;4—调压室;5—压力钢管;
6—发电机;7—水轮机;8—蝶阀;9—泄水道

$$N_t = \gamma V H_0 / t = \gamma Q H_0 = 9.81 Q H_0 \quad (1-1)$$

式中 γ ——水的容重, $\gamma = 9.81 \text{ kN/m}^3$;

Q ——水轮机流量, m^3/s , $Q = V/t$;

H_0 ——水电站上、下游水位差,称为水电站的静水头, m , $H_0 = z_{\text{上}} - z_{\text{下}}$ 。

水头和流量是构成水能的两个基本要素,是水电站动力特性的重要表征。

实际上,在由水能到电能的转变过程中,不可避免地会产生能量损失。这种损失表现在两个方面:一方面,在水流自上游引到下游的过程中,存在引水道的水头损失 Δh ;另一方面,在水轮机、发电机和传动设备中也将损失一部分能量。因此,水电站的实际出力小于由式(1-1)算出的理论出力。

考虑引水道的水头损失和水轮发电机组的效率后,水电站的实际出力 N 由下式计算

$$N = 9.81 \eta Q (H_0 - \Delta h) = 9.81 \eta Q H \quad (1-2)$$

式中 H ——水轮机的工作水头, m ;

η ——水轮发电机组总效率。

水轮发电机组总效率 η 的大小与设备的类型和性能、机组传动方式、机组工作状态等因素有关,同时也受设备生产和安装工艺质量的影响。在初步计算中可近似地认为 η 是一个常数,若令 $K = 9.81 \eta$,则式(1-2)可写为

$$N = K Q H \quad (1-3)$$

式中 K ——水电站的出力系数,对于大中型水电站, K 值可取为 $8.0 \sim 8.5$,对于中小型水电站, K 值一般取为 $6.5 \sim 8.0$ 。

水电站的发电量 E 是指水电站在一定时段内发出的电能总量,单位是 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。对于较短的时段,如日、月等,发电量 E 可由该时段内电站的平均出力 $\bar{N}$ 和该时段的小时数 T 相乘得出,即

$$E = \bar{N} T \quad (1-4)$$

对于较长的时段,如季、年等,可由式(1-4)先计算该季或年内各日(或月)的发电量,然后再相加得出。

三、水电站的动能参数

水电站的动能参数是表征水电站的动能规模、运行可靠程度和工程效益的指标。

(一) 设计保证率和保证出力

水电站的设计保证率是指水电站正常发电的保证程度,一般用正常发电总时段与计算期总时段比值的百分数来表示。设计水电站时,合理选择设计保证率十分重要,应根据水电站所在电力系统的负荷特性、系统中的水电比重、河川径流特性、水库调节性能、水电站的规模及其在电力系统中的作用,以及设计保证率以外时段出力降低程度和保证系统用电可能采取的措施等因素,通过动能经济计算的途径来选定。初步设计时可参照《水利水电工程动能设计规范》(DL/T 5015—1996),按表 1-1 选用。

水电站的保证出力是指水电站相应于设计保证率的枯水时段发电的平均出力,它是选择水电站装机容量的重要依据。可以利用已有的水文资料,通过径流调节计算,求出每年供水期的平均出力,然后将这些出力值按大小次序排列,绘制其出力保证率曲线,在该

曲线中相应于设计保证率的平均出力,就是水电站的保证出力。

表 1-1 水电站设计保证率

(%)

电力系统中水电容量比重	< 25	25 ~ 50	> 50
水电站设计保证率	80 ~ 90	90 ~ 95	95 ~ 98

(二) 装机容量

装机容量是指水电站内全部机组额定出力的总和。设计水电站装机容量时,必须充分研究水库调节性能、综合利用要求、系统负荷水平及其特性、水电站的供电范围及其在系统中的作用、水火电比重、各类电站的合理运行方式等,进行各种代表年的电力、电量和调峰能力平衡,计算各装机方案的容量、电量效益与费用,通过方案比较合理确定。某些小型水电站可以采用装机容量年利用小时数法或保证出力倍比法求出。

(三) 多年平均发电量

多年平均发电量是水电站各年发电量的平均值,通常可根据入库天然流量系列资料,利用水库进行径流调节,按水电站的发电量计算公式得出逐年的发电量,再求其平均值便可得出多年平均发电量。

(四) 水电站装机年利用小时数

将水电站的多年平均发电量除以装机容量便可得出水电站装机年利用小时数。它相当于全部装机满载运行时的多年平均工作小时数,是反映设备利用程度和检验装机容量合理性的一个指标。

四、水电站的分等指标

我国水利部于 2000 年颁布的《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL 252—2000),根据装机容量的大小将水电站划分为五等,如表 1-2 所示。

表 1-2 以发电为主的水利枢纽分等指标

工程等别	工程规模	水电站装机容量(MW)
I	大(1)型	$\geq 1\ 200$
II	大(2)型	1 200 ~ 300
III	中型	300 ~ 50
IV	小(1)型	50 ~ 10
V	小(2)型	< 10

第三节 水电站的基本类型及组成建筑物

一、水电站的基本类型

水电站的分类标准和分类方式很多,如按工作水头分为低水头水电站、中水头水电站

和高水头水电站;按水库的调节能力分为无调节(径流式)水电站和有调节(日调节、年调节和多年调节)水电站;按在电力系统中的作用分为基荷水电站、腰荷水电站及峰荷水电站;按集中水头的方式可分为坝式水电站、引水式水电站和混合式水电站;按照水电站利用水源的性质可分为常规水电站、抽水蓄能电站和潮汐电站。

按水电站的组成建筑物及其特征,可将水电站分为坝式、河床式和引水式三种基本类型。

(一) 坝式水电站

坝式水电站常修建于河流中、上游的高山峡谷中。水电站厂房布置在坝体下游侧,并通过坝体引水发电。厂坝之间常用缝分开,厂房不起挡水作用,也不承受上游水压力。坝式水电站的引水道短,水头损失小,建筑物布置比较集中。当水电站厂房紧靠坝体,布置在坝体非溢流坝段下游时,称为坝后式水电站,如图 1-2 和图 1-3 所示的丹江口水电站就是典型的坝后式水电站。当河谷较窄而水电站机组较多、溢流坝段和厂房并列布置有困难时,可将厂房布置在溢流坝下游,或者让溢流水舌挑越厂房顶泄入下游河道,形成挑越式水电站,如乌江渡水电站和漫湾水电站;或者让厂房顶兼作溢洪道宣泄洪水,形成厂房顶溢流式水电站,如新安江水电站。当坝体足够大时,也可将厂房布置在坝内,形成坝内式水电站,如上犹江水电站和凤滩水电站。

坝式水电站的水头由坝来集中,一般为中、高水头,目前最大水头已接近 300 m。

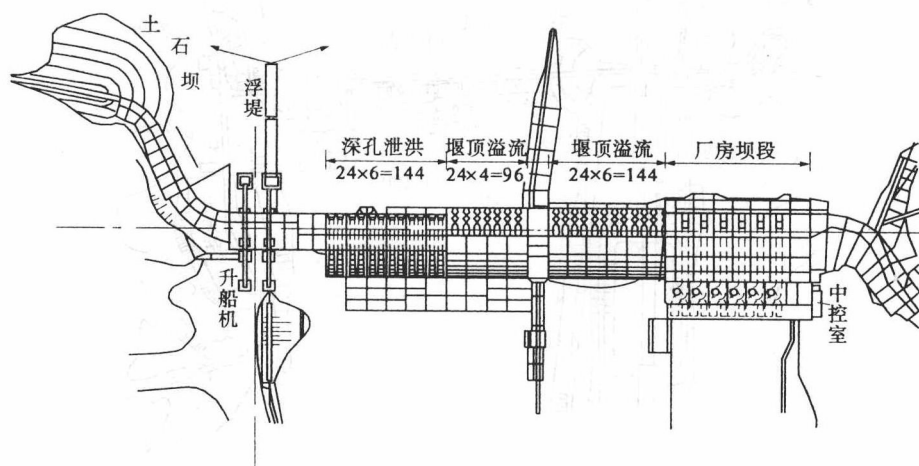


图 1-2 丹江口(坝后式)水电站枢纽平面布置图 (单位:m)

(二) 河床式水电站

河床式水电站常修建在河流中、下游河道纵坡较平缓的河段上。水电站厂房位于河床内,和坝共同组成挡水建筑物,厂房本身承受上游水压力。图 1-4 和图 1-5 所示为西津河床式水电站。

河床式水电站一般均为低水头、大流量型水电站,厂房应尽量远离溢流坝段而布置在河岸边。如果厂房与溢流坝段相邻,则厂房与溢流坝段之间在上、下游都应有足够长的导流隔墙,以免泄洪时影响发电。当溢流坝段和厂房均较长,布置上有困难时,可将厂房机组段分散布置于泄水闸闸墩内而形成闸墩式厂房,如青铜峡水电站;或通过厂房宣泄部分

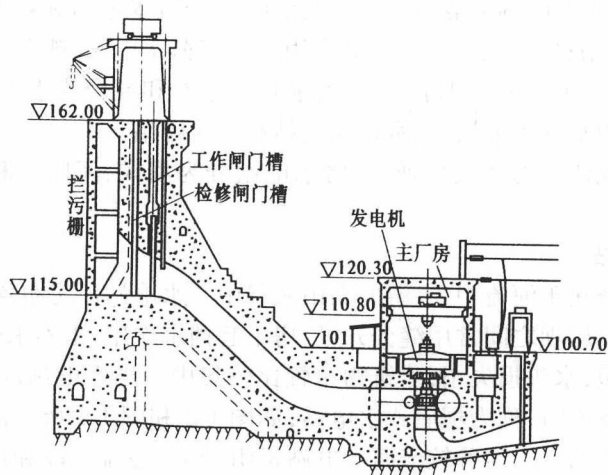


图 1-3 丹江口(坝后式)水电站厂房横剖面图 (单位:m)

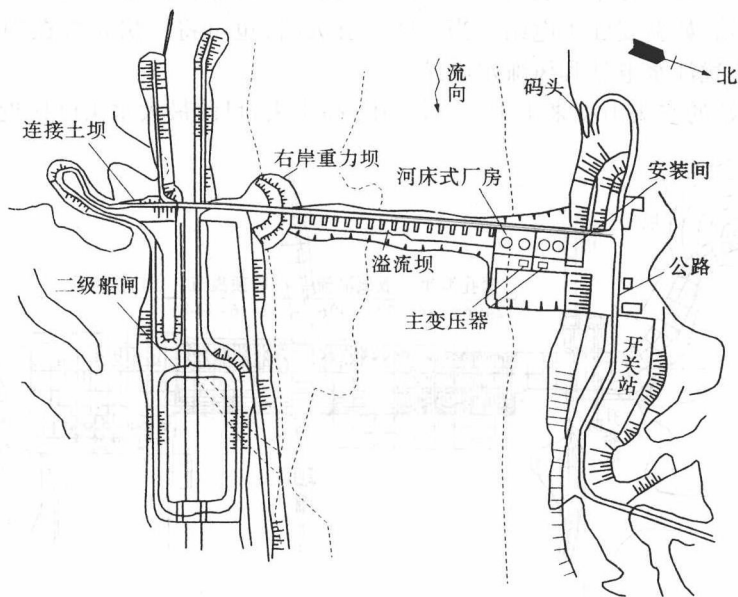


图 1-4 西津(河床式)水电站枢纽平面布置图

洪水而形成泄流式厂房,如葛洲坝大江、二江水电站。这两种布置方式在泄洪时还可因射流得到增加水头的效益。

河床式水电站的水头由挡水建筑物集中,水头一般低于 30 ~ 40 m。

(三) 引水式水电站

引水式水电站一般修建在河流坡度大、水流湍急的山区河段。水电站厂房位于河岸,距水电站进水口较远。这种水电站的引水道较长,并以此集中水电站全部或大部分水头。当压力引水道较长时,为了减小其中的水击压力和改善机组运行条件,还需在靠近厂房处修建调压室。这种型式的水电站由于不存在淹没和筑坝技术上的限制,可以集中很高的