



全国高职高专水利水电类精品规划教材

水电站

主 编 侯才水 胡天舒



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

全国高职高专水利水电类精品规划教材

水 电 站

主 编 侯才水 胡天舒

副主编 于 奎 罗绍蔚 刘能胜

主 审 程永光



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是《全国高职高专水利水电类精品规划教材》之一。全书共分8章,主要包括水力发电的原理和水电站的类型,水轮机及其选择,水电站进水和引水建筑物,水电站压力管道,水电站的水锤及调节保证计算,调压室,水电站厂房设计,地面厂房结构布置设计。

在本书编写过程中,根据高等职业教育的特点和专业需要,突出实用性和特色性,强调理论知识的应用和实践技能的锻炼,注重学生就业能力的培养;结合高职高专教育教学改革的需要,对课程内容进行了调整与优化,力求课程内容精炼,基本概念准确,文字通俗易懂,叙述条理清晰,便于读者学习;全面采用新规范、新标准,适当反映水电建设新技术。

本书主要作为高等职业技术学院、普通高等专科学校水利水电建筑工程、水利工程、水利工程管理、工程建设监理等专业的教材,也可作为其他相关专业和水利水电工程技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

水电站 / 侯才水, 胡天舒主编. —北京: 中国水利水电出版社, 2005

全国高职高专水利水电类精品规划教材

ISBN 7-5084-3165-0

I. 水... II. ①侯... ②胡... III. 水力发电站—高等学校: 技术学校—教材 IV. TV7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 093031 号

书 名	全国高职高专水利水电类精品规划教材 水电站
作 者	主编 侯才水 胡天舒
出版 发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202206 (总机), 68331835 (营销中心)
经 售	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	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 13.25 印张 314 千字
版 次	2005 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 2 次印刷
印 数	4101—7100 册
定 价	19.50 元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

序

教育部在《2003-2007年教育振兴行动计划》中提出要实施“职业教育与创新工程”，大力发展职业教育，大量培养高素质的技能型特别是高技能人才，并强调要以就业为导向，转变办学模式，大力推动职业教育。因此，高职高专教育的人才培养模式应体现以培养技术应用能力为主线 and 全面推进素质教育的要求。教材是体现教学内容和教学方法的知识载体，进行教学活动的基本工具；是深化教育教学改革，保障和提高教学质量的重要支柱和基础。所以，教材建设是高职高专教育的一项基础性工程，必须适应高职高专教育改革与发展的需要。

为贯彻这一思想，在继2004年8月成功推出《全国高职高专电气类精品规划教材》之后，2004年12月，在北京，中国水利水电出版社组织全国水利水电行业高职高专院校共同研讨水利水电行业高职高专教学的目前状况、特色及发展趋势，并决定编写一批符合当前水利水电行业高职高专教学特色的教材，于是就有了《全国高职高专水利水电类精品规划教材》。

《全国高职高专水利水电类精品规划教材》是为适应高职高专教育改革与发展的需要，以培养技术应用性的高技能人才的系列教材。为了确保教材的编写质量，参与编写人员都是经过院校推荐、编委会答辩并聘任的，有着丰富的教学和实践经验，其中主编都有编写教材的经历。教材较好地贯彻了水利水电行业新的法规、规程、规范精神，反映了当前新技术、新材料、新工艺、新方法和相应的岗位资格特点，体现了培养学生的技术应用能力和推进素质教育的要求，具有创新特色。同时，结合教育部两年制高职教育的试点推行，编委会也对各门教材提出了满足这一发展需要的内容编写要求，可以说，这套教材既能够适应三年制高职高专教育的要求，也适应了两年制高职高专教育培养目标的要求。

《全国高职高专水利水电类精品规划教材》的出版，是对高职高专教材建设的一次有益探讨，因为时间仓促，教材可能存在一些不妥之处，敬请读者批评指正。

《全国高职高专水利水电类精品规划教材》编委会

2005年6月

前

言

本书是根据2004年12月在北京召开的《全国高职高专水利水电类精品规划教材》编审会会议精神组织编写的。

在本书编写过程中,根据高等职业教育的特点和专业需要,突出实用性和特色性,强调理论知识的应用和实践技能的锻炼,注重学生就业能力的培养;结合高职高专教学改革的实践,尤其是考虑学制三年改为两年的需要,对课程内容进行了调整与优化,力求课程内容精炼,基本概念准确,文字通俗易懂,叙述条理清晰,便于读者学习;全面采用新规范、新标准,适当反映水电建设新技术。

本书由福建水利电力职业技术学院侯才水担任第一主编,湖北水利水电职业技术学院胡天舒担任第二主编,武汉大学水利水电学院程永光教授担任主审。参加本书编写的有:福建水利电力职业技术学院侯才水(编写第1章、第2章和第7章);湖北水利水电职业技术学院胡天舒(编写第3章第4~5节、第5章);黑龙江大学水利电力学院于奎(编写第3章第1~3节、第8章);福建水利电力职业技术学院罗绍蔚(编写第4章);湖北水利水电职业技术学院刘能胜(编写第6章)。全书由侯才水负责统稿和核对工作。

本书在编写过程中,引用了大量的规范和文献资料,参考了有关院校编写的教材,未在书中一一注明出处,在此对有关作者表示衷心感谢。

由于编者学识水平有限,且时间仓促,书中难免有不妥或错误之处,敬请读者批评指正。

编 者

2005年6月

目 录

序

前 言

第 1 章 水力发电的原理和水电站的类型	1
1.1 水力发电的基本原理及特点	1
1.2 水能资源的开发方式及水电站的基本类型	5
1.3 水电站建筑物	12
第 2 章 水轮机及其选择	13
2.1 水轮机的类型和构造	13
2.2 水轮机的工作原理	31
2.3 水轮机的特性及其选择	39
2.4 水轮机调速设备	50
第 3 章 水电站进水和引水建筑物	55
3.1 进水口的功用、要求及类型	55
3.2 有压进水口	55
3.3 无压进水口	61
3.4 引水建筑物	63
3.5 压力前池与日调节池	68
第 4 章 水电站压力管道	76
4.1 压力管道的功用与类型	76
4.2 压力管道的线路选择和布置方式	78
4.3 明钢管的构造、附件及敷设方式	80
4.4 压力管道的水力计算与尺寸拟定	87
4.5 明钢管的结构分析	89
4.6 钢岔管	101
第 5 章 水电站的水锤及调节保证计算	105
5.1 水锤及其传播速度	105
5.2 水锤基本方程和边界条件	108

5.3	简单管道水锤计算的解析法	112
5.4	复杂管道的水锤计算	120
5.5	机组的调节保证计算	122
第6章	调压室	128
6.1	调压室的功用、要求及设置条件	128
6.2	调压室的工作原理和基本方程	130
6.3	调压室的基本类型	132
6.4	调压室水位波动的计算	135
6.5	调压室水位波动的稳定问题	139
6.6	调压室水力计算条件的选择	141
第7章	水电站厂房设计	144
7.1	水电站厂房的任务、组成及基本类型	144
7.2	主厂房设备	150
7.3	立式机组主厂房的布置	158
7.4	主厂房的轮廓尺寸	165
7.5	卧式机组厂房的布置	171
7.6	副厂房的布置	175
7.7	厂房的采光、通风、交通及防火	178
7.8	厂区布置	179
第8章	地面厂房结构布置设计	184
8.1	厂房结构概述	184
8.2	厂房整体稳定及地基应力计算	186
8.3	吊车梁和构架	190
8.4	机墩和楼板	194
8.5	蜗壳和尾水管	196
	参考文献	201

第 1 章 水力发电的原理和水电站的类型

1.1 水力发电的基本原理及特点

1.1.1 我国水能资源蕴藏量及特点

水能资源是指以位能、压能和动能等形式存在于水体中的能量资源，也称水力资源。广义的水能资源包括河流水能、潮汐水能、波浪能和海洋热能资源等；狭义的水能资源指河流水能资源。在自然状态下，水能资源的能量消耗于克服水流阻力，冲刷河床、海岸，搬运泥沙和漂浮物等，采取一定的工程技术措施后，可将水能转变为机械能或电能，为人类的生产发展和生活需求提供动力。

我国幅员辽阔，江河纵横，湖泊众多，蕴藏着巨大的水能资源，是世界上水能资源最丰富的国家，且水电开发建设的自然条件优越。根据 1980 年我国水能资源普查（除台湾省外），全国水能资源理论蕴藏量按多年平均流量计算为 6.76047 亿 kW，相当于年发电量 5.0222 万亿 kW·h，居世界首位。我国水能资源蕴藏量及可开发的水能资源见表 1-1。

经过最新的经济、技术、环境综合评估、筛选等调查统计，2005 年底，我国大陆水力资源的理论蕴藏量为 6.944 亿 kW，年发电量为 6.0829 万亿 kW·h，其中技术可开发容量为 5.416 亿 kW，年发电量为 2.474 万亿 kW·h。经济可开发装机容量为 4.02 亿 kW，经济可开发年发电量为 1.75 万亿 kW·h，已开发和正在开发的装机容量为 1.3 亿 kW，年发电量为 5259 亿 kW·h。

表 1-1 我国水能资源蕴藏量及可开发的水能资源

地 区	水能蕴藏量			可能开发的水能资源		
	装机容量 (MW)	年发电量 ($\times 10^8$ kW·h)	占全国 (%)	装机容量 (MW)	年发电量 ($\times 10^8$ kW·h)	占全国 (%)
西南地区	473311.8	41462.1	70.0	23234.33	13050.36	67.8
中南地区	64083.7	5613.8	9.5	6743.49	2973.65	15.5
西北地区	84176.9	7373.9	12.5	4193.77	1904.93	9.9
华东地区	30048.8	2632.3	4.4	1790.22	687.94	3.6
东北地区	12126.6	1062.3	1.8	1199.45	383.91	2.0
华北地区	12299.3	1077.4	1.8	691.98	232.25	1.2
全 国	676047.1	59221.8	100.0	378532.4	19233.04	100.0

从水能资源蕴藏量分布及开发利用的现状看，我国水能资源具有以下特点。

(1) 总量丰富，分布不均。按最新调查统计，我国水能资源可开发容量及年发电量均列世界之冠。但在时间分布上，夏秋季 4~5 个月的径流量占全年的 60%~70%，冬春季径流量很少；在地区分布上，可从表 1-1 看出，经济比较发达的华东、东北和华北 3 个地区，水能资源相对较少，其总和只占全国可开发水能资源的 6.8%，但经济发展水平相



对落后、交通不便以及人口相对稀少的西南地区却集中了全国可开发水能资源的 67.8%。

(2) 开发率低, 发展迅速。我国水能资源开发利用程度与世界其他国家相比较低。按 1996 年常规水电站发电量统计开发利用程度, 法国 74%, 瑞士 72%, 日本 66%, 巴拉圭 61%, 挪威 60%, 英国 58%, 瑞典 56%, 芬兰、美国 55%。截至 2004 年 9 月底, 我国水电总容量突破了 1 亿 kW, 扣除抽水蓄能后, 仅占可开发容量的 17%。虽然我国水能资源开发利用程度较低, 但其发展是非常迅速的。我国第一座水电站——昆明石龙坝水电站建成于 1912 年, 装机 1440kW。1949 年, 全国水电站装机容量仅 360MW, 年发电量 12 亿 kW·h。新中国成立后, 我国政府十分重视水电开发利用, 水电事业得到了蓬勃发展, 特别是我国改革开放以来, 水电事业发展的速度更快。到 2004 年底, 我国已建水电装机容量已突破 1 亿 kW, 水电总装机容量超过美国, 跃居世界第一; 水电发电量位居世界第四, 仅次于加拿大、美国和巴西。

(3) 前景宏伟, 任重道远。如前所述, 我国水能资源丰富, 开发利用程度较低, 所以水能资源开发利用有着宏伟的前景。据 1977~1980 年第三次水能资源普查, 把水量丰富、水能集中的河流作为水电开发的重点基地, 我国近期和远期规划可开发的水电基地有如下 12 个。

1) 黄河上、中游水电基地。黄河上游, 从龙羊峡至青铜峡全长 918km, 河流落差 1317m, 可建 15 座水电站, 总装机 12460MW; 黄河中游可建 10 座水电站, 装机 6000MW。

2) 红水河水电基地。红水河属于珠江水系的西江上游, 可建 10 座水电站, 装机 6000MW。

3) 长江上游水电基地。长江上游规划 4 座水电站, 已建成葛洲坝水电站, 装机 2715MW; 三峡水电站正在建设之中, 装机容量 18200MW, 第一批机组已于 2003 年开始发电, 预计于 2009 年实现全部机组发电和枢纽工程全部完建。

4) 金沙江水电基地。可建 8 座水电站, 装机 51000MW, 其中有 4 座是 5000~10000MW 的巨型水电站。

5) 雅砻江水电基地。可建 11 座水电站, 装机 19010MW。

6) 大渡河水电基地。可建 16 座水电站, 装机 17600MW。

7) 乌江水电基地。可建 8 座水电站, 装机 6240MW。

8) 澜沧江水电基地。可建 15 座水电站, 装机 20730MW。

9) 湘、鄂、赣水电基地。湖南规划 73 座水电站, 装机 8410MW; 湖北规划 27 座水电站, 装机 5230MW; 江西规划 37 座水电站, 装机 3660MW。

10) 闽浙地区水电基地。福建规划 43 座水电站, 装机 4670MW; 浙江规划 22 座水电站, 装机 3130MW。

11) 东北水电基地。规划 67 座水电站, 装机 10240MW。

12) 雅鲁藏布江墨脱水电基地。位于墨脱县境内的大河湾, 若用 40km 的隧洞引水, 可装机 40000 多 MW, 是世界上第一大水电站。

可以预见, 在环境问题日益受到全球关注的今天, 水电的开发利用将受到更加重视, 水力发电事业前景宏伟, 任重道远。21 世纪将是我国水电大发展的时代, 中国的水电开

发技术将随着我国水电建设事业的发展达到世界领先水平。

1.1.2 水力发电的基本原理

在天然河流上，修建水工建筑物，集中水头，通过一定的流量将“水能”输送到水轮机中，使水能转变为旋转机械能，带动发电机发电，由输电线路送往用户。这种利用水能资源发电的方式称为水力发电，它是现代电力生产的重要方式之一，也是开发利用河流水能资源的重要方式。

如图 1-1 所示，高处水库中的水体具有较大的位能，当水体由压力管道流进安装在水电站厂房内的水轮机而排至水电站的下游时，水流带动水轮机的转轮旋转，使水能转变为旋转的机械能，水轮机转轮带动发电机转子旋转切割磁力线，在发电机的定子绕组上产生感应电动势，当和外电路接通时，发电机就向外供电了，这样，水轮机的旋转机械能就通过发电机转变为电能。

上述就是水力发电的原理。为了实现这个能量的连续转换而修建的水工建筑物和所安装的水轮发电设备及其附属设备的总体，就称为水电站。

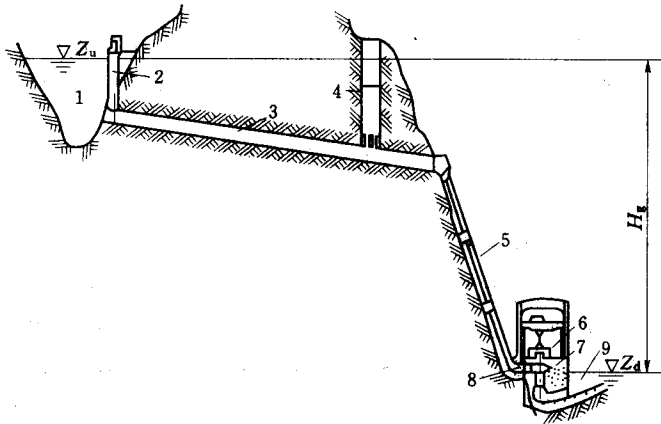


图 1-1 水电站示意图

- 1—水库；2—进水建筑物；3—引水隧洞；4—调压室；
5—压力管道；6—发电机；7—水轮机；
8—主阀；9—尾水渠

1.1.3 水电站的出力和发电量的计算

水电站在某时刻输出的功率，称为水电站在该时刻的出力。水电站在任一时刻的出力，决定于该时刻水电站上、下游的水位差和通过水电站水轮机的流量。其关系简单推导如下。

如图 1-1 所示，设在某时刻上游水位为 Z_0 ，下游水位为 Z_d ，在 t 时间内有体积 V 的水体经过水轮机而排入下游，则由水力学可知，这一水体的位能将减少 $\rho_w g V (Z_0 - Z_d)$ ，这里 ρ_w 是水的密度， $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$ 。假设上游和下游水流流速近似相等（即将上、下游水流的动能变化忽略不计），那么，在不考虑能量转变过程中的损失的情况下，水体减少的位能，就是水电站在 t 时间内可以发出的电能，其相应的出力称为水电站的理论出力 P_t ：

$$P_t = \frac{\rho_w g V H_g}{t} = \rho_w g Q H_g = 9.81 Q H_g \quad (\text{kW}) \quad (1-1)$$



式中 Q ——水轮机的引用流量, $Q=V/t$, m^3/s ;

H_g ——水电站上、下游的高程差, 称为水电站的毛水头, $H_g=Z_u-Z_d$, m 。

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, 不可避免地要有能量损失, 这种损失表现在两个方面: 一方面, 在水流自上游到下游的整个过程中, 由于摩擦、漏水和撞击会损失一部分能量, 通常用水头损失 Δh 来表示, 从毛水头 H_g 中扣除水头损失 Δh , 才是作用在水轮机上的有效水头, 称为净水头 H ($H=H_g-\Delta h$), 也称为工作水头; 另一方面, 在水轮机、发电机和传动设备中实现能量的转换和传递时, 由于机械磨损等原因, 也将损失一部分能量, 包括水力损失、水量损失和机械损失。由于上述两个方面的能量损失, 所以水电站的实际出力要小于由式 (1-1) 计算出的理论出力。因此, 水电站的实际出力 P 由下式计算

$$P = 9.81Q(H_g - \Delta h)\eta = 9.81QH\eta \quad (\text{kW}) \quad (1-2)$$

式中 H ——水轮机的工作水头, m ;

η ——水轮发电机组的总效率。

η 值的大小与设备类型、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, 可以近似地认为总效率 η 是一个常数, 若令 $K=9.81\eta$, 则式 (1-2) 可以改写为:

$$P = KQH \quad (\text{kW}) \quad (1-3)$$

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 $6.5\sim 8.0$ 。

在由式 (1-3) 计算水电站的出力时, 还必须知道净水头 H 。静水头 $H_g=Z_u-Z_d$ 是知道的, 而水头损失 Δh 则与过水流道的长度、截面形状和尺寸、构造材料、敷设方式、施工工艺质量等因素有关, 必须在电站的总体布置完成后才能作出比较精确的计算。在初步计算时, 可以参照已建成的同类型水电站, 暂估一个 Δh 值, 然后再作校核。根据工程经验, Δh 可估为 H_g 的 $3\%\sim 10\%$, 输水道短的取小值, 输水道长的取大值。还要指出, 若在初步计算中用 H_g 代替 H , 亦即略去水头损失 Δh 不计, 这时出力系数 K 值应相应减小, 否则会使计算成果偏大。

水电站的发电量 E 是指在一定时段 (如日、月、季、年) 内水电站发出的电能总量, 单位为 $\text{kW}\cdot\text{h}$ 。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{P} 和该时段的小时数 T 相乘得出, 即

$$E = \bar{P}T \quad (\text{kW}\cdot\text{h}) \quad (1-4)$$

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。

1.1.4 水力发电的特点

水力发电提供电能区别于其他能源, 具有以下特点。

1. 水能的再生

水能资源来自河川天然径流, 而河川天然径流则主要由自然界气、水循环形成的, 水循环 (降水、径流、蒸发、降水) 使水能可以再生循环使用, 故水能称为“再生能源”。

太阳能、风能、潮汐能等，也是再生能源，但由于大规模地开发利用的技术还不很成熟，成本很高，目前还不能大量开发利用。

2. 水资源可综合利用

水力发电只利用水流中的能量，不消耗水量。如果水电站枢纽具有容量较大的水库，则除发电以外，还可兼顾防洪、灌溉、航运、供水、水产养殖、旅游等综合利用效益。

3. 水能的储存和调节

电能不能储存，生产和消耗是同时完成的。而水电站可以借助于水库，储存水能，代替储存电能，有利于增强电力系统对负荷的调节能力，提高供电质量和经济效益。

4. 水力发电的可逆性

将位于高处的水体引向低处的水轮发电机组，使水能转变成电能；而将位于低处的水体通过电动抽水机组提送到高处的水库储存，使电能又转变成水能。利用这种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具有独特的作用。

5. 机组运行的灵活性

水轮发电机组具有设备简单，运行操作灵活，易于实现自动化运行管理等优点。机组可在几分钟内启动，投入运行，增、减负荷十分方便。因此，水电站最适于承担电力系统的调峰、调频任务和承担事故备用、负荷备用容量。

6. 水电站生产成本低、效率高

水电站不消耗燃料，不需要开采和运输燃料所投入的大量人力和设施，设备简单，运行人员少，厂用电少，设备使用寿命长，运行维修费用低，所以水电站的电能生产成本低廉，只有火电站的 $1/5\sim 1/8$ ，且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。

7. 有利于改善生态环境

水电站在生产过程中不污染环境。相反，宽广的水库水面可调节所在地区的小气候，调整水流的时空分布，有利于改善周围地区的生态环境，可以成为风景游览区。

8. 水电建设受自然条件限制

水电工程规模相对较大，建筑物比较复杂，施工较困难，建设工期较长，一次性投资较大。其建设受水文、地质、地形、交通等条件限制，且造成一定的淹没损失。

1.2 水能资源的开发方式及水电站的基本类型

由上节可知，为了利用河流的水能来发电，首先要有水头，即要求在水电站的上、下游有一定的水位差。在通常情况下，水电站的水头是通过适当的工程措施，将分散在一定河段上的自然落差集中起来而构成的。就集中落差形成水头的措施而言，水能资源的开发方式可分为坝式、引水式和混合式三种基本方式。根据三种不同的开发方式，水电站也可分为坝式、引水式和混合式三种基本类型。

抽水蓄能电站和潮汐电站也是水能利用的重要形式。

1.2.1 坝式开发和坝式水电站

在河流峡谷处拦河筑坝，坝前壅水，形成水库，在坝址处形成集中落差，这种开发方



式称为坝式开发。用坝集中落差的水电站称为坝式水电站。其特点为：

(1) 坝式水电站的水头取决于坝高。坝越高，水电站的水头越大，但坝高往往受地形、地质、水库淹没、工程投资、技术水平等条件的限制，因此与其他开发方式相比，坝式水电站的水头相对较小。目前坝式水电站的最大水头不超过 300m。

(2) 拦河筑坝形成水库，可用来调节流量。坝式水电站的引用流量较大，电站的规模也大，水能利用较充分。目前世界上装机容量超过 2000MW 的巨型水电站大都是坝式水电站。此外坝式水电站水库的综合利用效益高，可同时满足防洪、发电、供水等兴利要求。

(3) 由于工程规模大，水库造成的淹没范围大，迁移人口多，因此坝式水电站的投资大，工期长。

坝式开发适用于河道坡降较缓，流量较大，有筑坝建库条件的河段。

坝式水电站按大坝和发电厂房相对位置的不同又可分为河床式、坝后式、闸墩式、坝内式、溢流式等。在实际工程中，较常采用的坝式水电站是河床式和坝后式水电站。

1. 河床式电站

河床式水电站一般修建在河流中下游河道纵坡平缓的河段上，为避免大量淹没，坝建得较低，故水头较小。大中型河床式水电站水头一般为 25m 以下，不超过 30~40m；中小型水电站水头一般为 10m 以下。河床式电站的引用流量一般都较大，属于低水头大流量型水电站，其特点是：厂房与坝（或闸）一起建在河床上，厂房本身承受上游水压力，并成为挡水建筑物的一部分，一般不设专门的引水管道，水流直接从厂房上游进水口进入水轮机，如图 1-2 所示。我国湖北葛洲坝、浙江富春江、广西大化等水电站，均为河床式水电站。

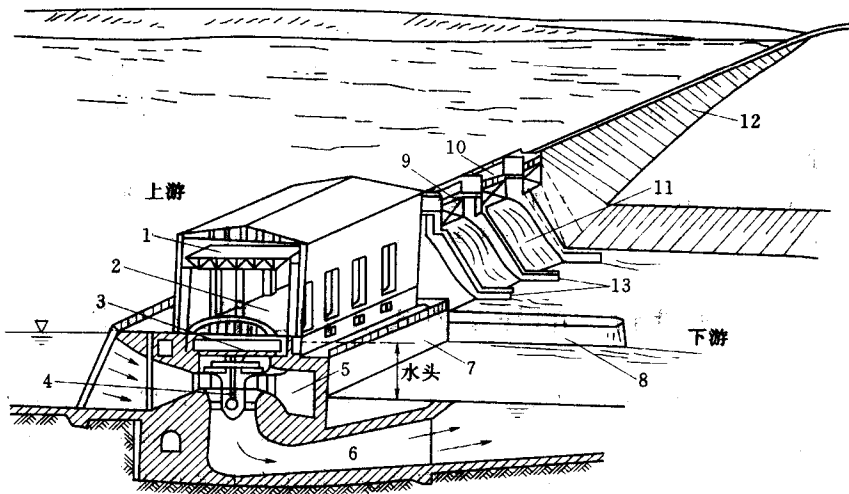


图 1-2 河床式水电站

1—桥式吊车；2—主厂房；3—发电机；4—水轮机；5—蜗壳；6—尾水管；7—水电站厂房；8—尾水导墙；9—闸门；10—工作桥；11—溢流坝；12—拦河坝；13—闸墩

2. 坝后式水电站

坝后式水电站一般修建在河流中上游的山区峡谷地段，受水库淹没限制相对较小，所

以坝可建得较高，水头也较大，在坝的上游形成了可调节天然径流的水库，有利于发挥防洪、灌溉、航运及水产等综合效益，并给水电站运行创造了十分有利的条件。由于水头较高，厂房不能承受上游过大水压力而建在坝后（坝下游），如图 1-3 所示。其特点是：水电站厂房布置在坝后，厂坝之间常用缝分开，上游水压力全部由坝承受。三峡水电站、福建水口水电站等，均属坝后式水电站。

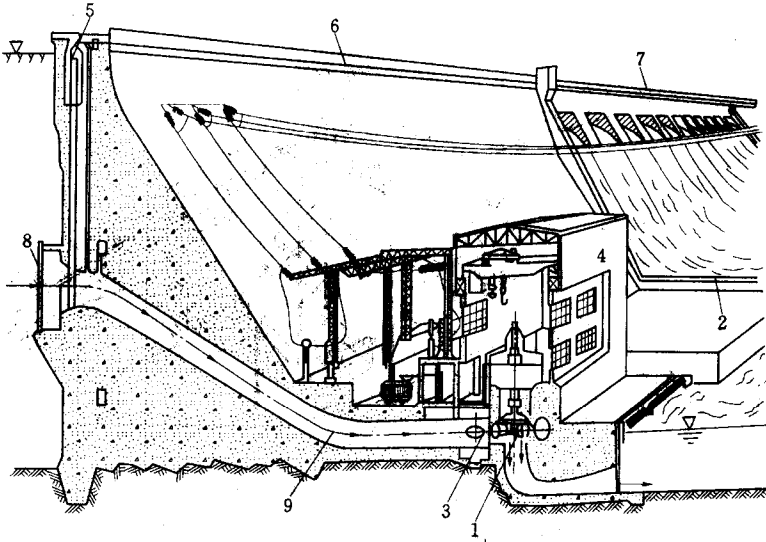


图 1-3 坝后式水电站

1—水轮机；2—导流墙；3—主阀；4—厂房；5—闸门；
6—拦河坝；7—溢流坝；8—拦污栅；9—压力管道

坝后式水电站厂房的布置型式很多，当厂房布置在坝体内时，称为坝内式水电站；当厂房布置在溢流坝段之后时，通常称为溢流式水电站。当水电站的拦河坝为土坝或堆石坝等当地材料坝时，水电站厂房可采用河岸式布置。

1.2.2 引水式开发和引水式水电站

在河流坡降较陡的河段上游，通过人工建造的引水道（渠道、隧洞、管道等）引水到河段下游，集中落差，这种开发方式称为引水式开发。用引水道集中水头的水电站，称为引水式水电站。

引水式开发的特点是：由于引水道的坡降（一般取 $1/1000 \sim 1/3000$ ）小于原河道的坡降，因而随着引水道的增长，逐渐集中水头；与坝式水电站相比，引水式水电站由于不存在淹没和筑坝技术上的限制，水头相对较高，目前最大水头已达 2000m 以上；引水式水电站的引用流量较小，没有水库调节径流，水量利用率较低，综合利用价值较差，电站规模相对较小，工程量较小，单位造价较低。

引水式开发适用于河道坡降较陡且流量较小的山区河段。根据引水建筑物中的水流状态不同，可分为有压引水式水电站和无压引水式水电站。

1. 无压引水式水电站

如图 1-4 所示，水电站引水建筑物中的水流是无压流。无压引水式水电站的主要建



筑物有低坝、无压进水口、沉沙池、引水渠道（或无压隧洞）、日调节池、压力前池、溢水道、压力管道、厂房和尾水渠等。

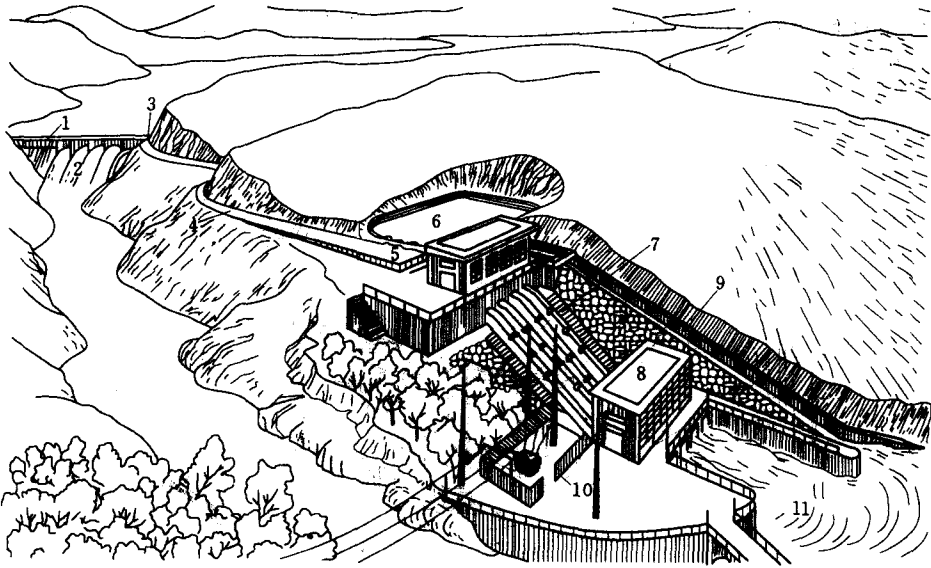


图 1-4 无压引水式水电站

1—拦河坝；2—溢流坝；3—进水闸；4—引水渠道；5—压力前池；6—日调节池；
7—压力钢管；8—厂房；9—泄水道；10—开关站；11—尾水渠

2. 有压引水式水电站

如图 1-1 所示，水电站引水建筑物中的水流是有压流。有压引水式水电站的主要建筑物有拦河坝、有压进水口、有压引水隧洞、调压室、压力管道、厂房和尾水渠等。

1.2.3 混合式开发和混合式水电站

在一个河段上，同时采用筑坝和有压引水道共同集中落差的开发方式称为混合式开发。坝集中一部分落差后，再通过有压引水道集中坝后河段上另一部分落差，形成了电站的总水头。用坝和引水道集中水头的水电站称为混合式水电站。

混合式水电站适用于上游有良好坝址，适宜建库；而紧邻水库的下游河道突然变陡或河流有较大转弯的情况。这种水电站同时兼有坝式水电站和引水式水电站的优点，如图 1-5 所示。

混合式水电站和引水式水电站之间没有明确的分界线。严格说来，混合式水电站的水头是由坝和引水建筑物共同形成的，且坝一般构成水库。而引水式水电站的水头，只由引水建筑物形成，坝只起抬高上游水位的作用。但在工程实际中常将具有一定长度引水建筑物的混合式水电站统称为引水式水电站，而较少采用混合式水电站这个名称。

1.2.4 抽水蓄能电站

随着国民经济的迅速发展以及人民生活水平的不断提高，电力负荷和电网日益扩大，电力系统负荷的峰谷差越来越大。预计到 2010 年，我国东北、华北、华东均将成为几百万兆瓦的电力系统，它们的峰谷差将达到 1 万 MW，因此解决调峰填谷的任务愈来愈迫切。

在电力系统中，核电站和火电站不能适应电力系统负荷的急剧变化，且受到技术最小出力的限制，调峰能力有限，而且火电机组调峰煤耗多，运行维护费用高。而水电站启动与停机迅速，运行灵活，适宜担任调峰、调频和事故备用负荷。

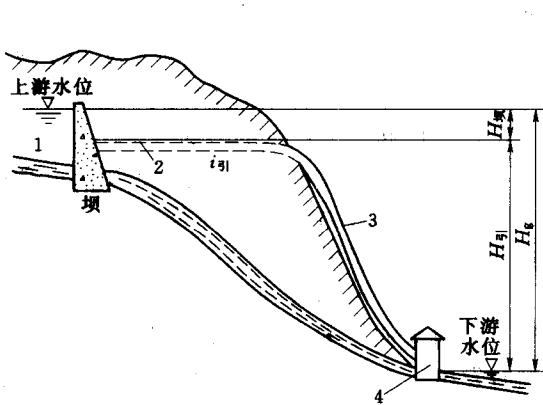


图 1-5 混合式水电站示意图

1—水库；2—引水隧洞；3—压力管道；4—厂房

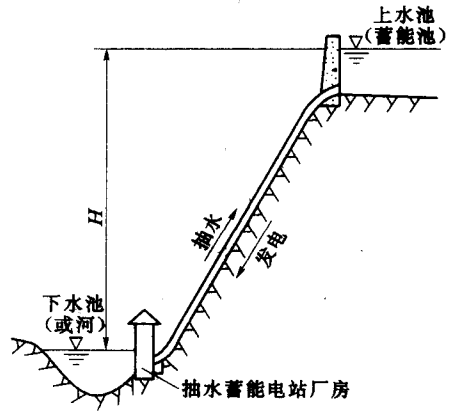


图 1-6 抽水蓄能电站示意图

抽水蓄能电站不是为了开发水能资源向系统提供电能，而是以水体为储能介质，起调节作用。抽水蓄能电站包括抽水蓄能和放水发电两个过程，它有上下两个水库，用引水建筑物相连，蓄能电站厂房建在下水库处，如图 1-6 所示。在系统负荷低谷时，利用系统多余的电能带动泵站机组（电动机+水泵）将下库的水抽到上库，以水的势能形式储存起来；当系统负荷高峰时，将上库的水放下来推动水轮发电机组（水轮机+发电机）发电，以补充系统中电能的不足。

随着电力行业的改革，实行负荷高峰高电价、负荷低谷低电价后，抽水蓄能电站的经济效益将是显著的。抽水蓄能电站除了产生调峰填谷的静态效益外，还由于其特有的灵活性而产生动态效益，包括同步备用、调频、负荷调整、满足系统负荷急剧爬坡的需要、同步调相运行等。

1.2.5 潮汐水电站

海洋水面在太阳和月球引力的作用下，发生一种周期性涨落的现象，叫做潮汐。从涨潮到涨潮（或落潮到落潮）之间间隔的时间，即潮汐运动的周期（亦称潮期），约为 12h 又 25min。在一个潮汐周期内，相邻高潮位与低潮位间的差值，称为潮差，其大小受引潮力、地形和其他条件的影响因时因地而异，一般为数米。有了这样的潮差，就可以在沿海的港湾或河口建坝，构成水库，利用潮差所形成的水头来发电，这就是潮汐能的开发。据计算，世界海洋潮汐能蕴藏量约为 27×10^6 MW，若全部转换成电能，每年发电量大约为 1.2 万亿 kW·h。根据 1981 年对我国 500kW 以上可以开发的站址进行统计（不包括台湾），可开发的装机容量为 21580MW，年发电量 619 亿 kW·h。

利用潮汐能发电的水电站称为潮汐水电站，如图 1-7 所示。潮汐电站多修建于海湾。其工作原理是修建海堤，将海湾与海洋隔开，并设泄水闸和电站厂房，然后利用潮汐涨落时海水位的升降，使海水流经水轮机，通过水轮机的转动带动发电机组发电。涨潮时外海

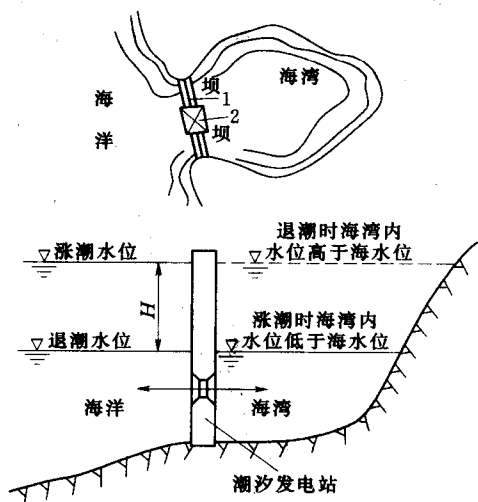


图 1-7 潮汐水电站布置示意图
1—挡水坝；2—电站厂房

水位高于内库水位，形成水头，这时引海水入湾发电；退潮时外海水位下降，低于内库水位，可放库中的水入海发电。海潮每昼夜涨落两次，因此海湾每昼夜充水和放水也是两次。潮汐水电站可利用的水头为潮差的一部分，水头较小，但引用的海水流量可以很大，是一种低水头大流量的水电站。

按建筑物布置和不同的发电方式，潮汐水电站可分为单库单向、单库双向及双库连续发电等三种类型。

(1) 单库单向潮汐水电站。建造一个水库，采用单向水轮发电机组，只在落潮或涨潮时发电。电站运行由 4 种工况组成一个循环，如单向落潮发电为：①充水，开启水闸，机组处于停机状态，上涨的潮水经水闸进入水库，至库内外水位齐平为止；②等候，水

闸关闭，机组处于停机状态，库内水位保持不变，外海水位因落潮逐步下降，待库内外水位差达到发电水头时，起动水轮发电机组发电；③发电，机组开机，库内水流外泄，库水位下降，直至与外海潮位的水位差小于机组发电所需的最小水头为止；④等候，机组停机，库水位保持不变，待库内外水位齐平后转入下一循环。

单向涨潮发电系采用在涨潮时发电充水、落潮时泄水的方式。由于涨潮发电利用的库容在水库的较下部，比采用落潮发电利用的库容小，而该部分库容又易被泥沙淤积，因此在多数情况下，单库单向潮汐水电站采用落潮发电方式。

(2) 单库双向潮汐水电站。建造一个水库，但在落潮和涨潮时都能发电。它有两种布置型式，一种是采用双向（正、反向）发电的水轮发电机组；一种是改变水工建筑物的布置方式，仍采用单向发电机组，使水流在涨潮和落潮时均能按同一方向进入和流出水轮机组发电。单库双向潮汐电站由 6 种运行工况组成一个循环，即等候、涨潮发电、充水、等候、落潮发电、泄水等。一般以落潮发电为正向发电，涨潮发电为反向发电。

(3) 双库连续发电潮汐电站。建造两个相邻的水库，分别用水闸与外海相通，一个水库（高水库）进潮，一个水库（低水库）出潮，两水库间设置发电厂房，采用单向发电机组。在涨落潮中，控制进水闸和出水闸，使高水库与低水库间始终保持一定落差，水流由高水库流向低水库，实现连续发电。

潮汐能与一般水能资源不同，是取之不尽，用之不竭的。潮差较稳定，且不存在枯水年与丰水年的差别，因此潮汐能的年发电量稳定。但由于发电的开发成本较高和技术上的原因，所以发展较慢。

1.2.6 无调节水电站和有调节水电站

水电站除按开发方式进行分类外，还可以按其是否有调节天然径流的能力而分为无调节水电站和有调节水电站两种类型。