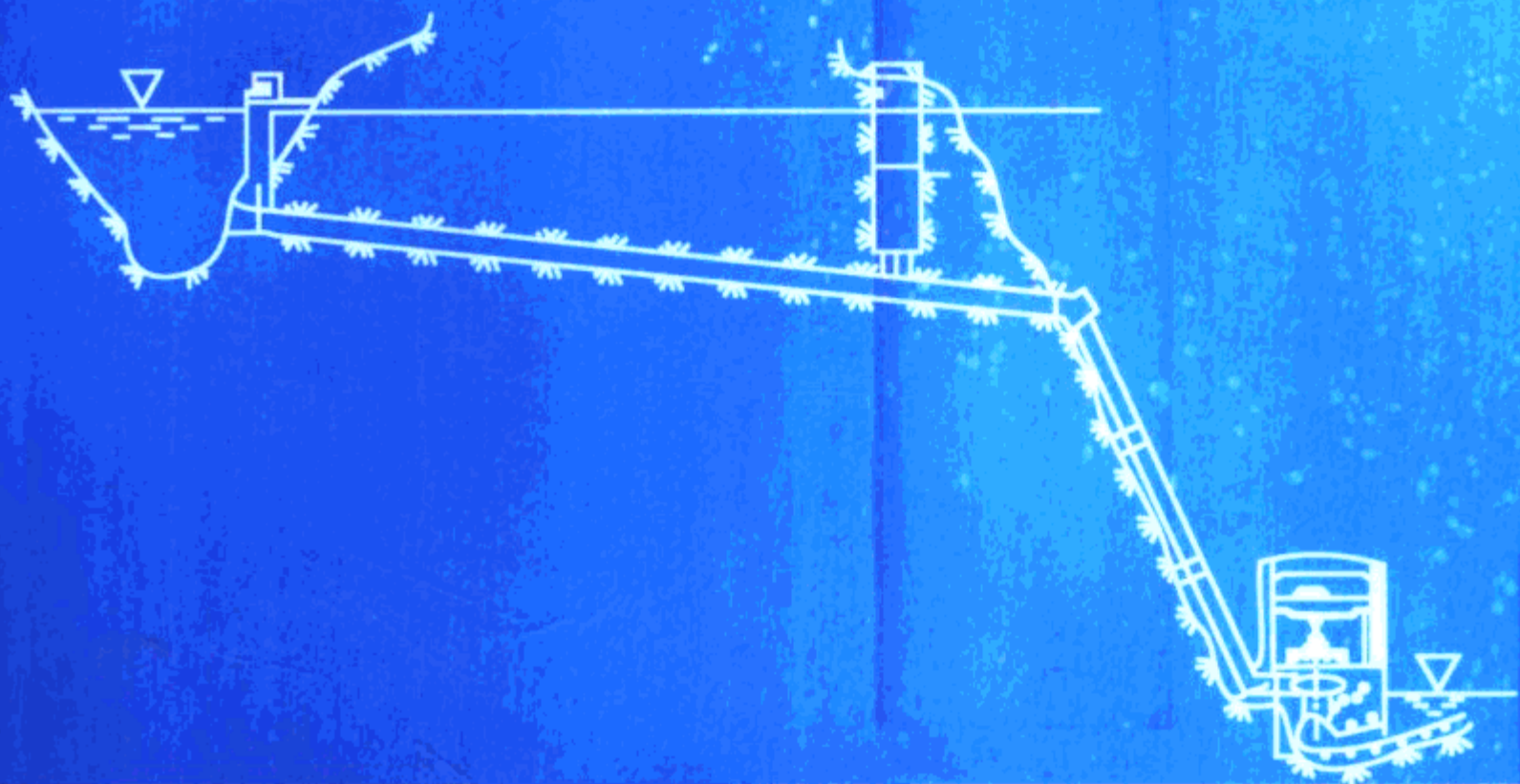


水电站

SHUIDIANZHAN

韩菊红 温新丽 马跃先



黄河水利出版社

SHUIDIANZHAN

ISBN 7-80621-706-1



9 787806 217061 >

ISBN 7-80621-706-1/TV · 322

定 价：32.00 元

PDG

水 电 站

韩菊红 温新丽 马跃先

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书是根据高等学校水利水电类专业教学大纲编写的,主要内容共分两篇 13 章。第一篇为水力机械,主要介绍水轮机及其厂房过流部件的工作原理、类型和特点;第二篇为水电站建筑物,主要介绍大中型水电站的进水口建筑物、引水建筑物、水击和调压室、厂房建筑物的布置原则和设计原理。

为适应新形势下培养创新型人才的教改精神,本书在侧重讲授大中型水电站基本知识的同时,适当地增加了水电站建设的发展动态和专题科研成果。本书所涉及的水利水电相关标准均为国家和相关行业的最新标准。

本书可供水利水电建筑工程专业的本科生使用,同时也可供相关的专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水电站/韩菊红,温新丽,马跃先. —郑州:黄河水利出版社,2003.8

ISBN 7-80621-706-1

I. 水… II. ①韩…②温…③马… III. 水力发电站—高等学校—教材 IV. TV73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 062817 号

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话及传真:0371-6022620

E-mail:yrp@public.zz.ha.cn

承印单位:黄委会设计院印刷厂

开本:787mm×1092mm 1/16

印张:19.375

字数:445 千字

印数:1—2 100

版次:2003 年 8 月第 1 版

印次:2003 年 8 月第 1 次印刷

书号:ISBN 7-80621-706-1/TV·322

定价:32.00 元

责任编辑	马广州
	简 群
封面设计	谢 萍
责任校对	杨秀英
责任监制	常红昕

前 言

本书是根据高等学校水利水电类专业《水电站》教学大纲和水利水电工程最新的各种标准和规范撰写的。全书主要内容共分两篇 13 章。第一篇为水力机械,主要介绍水轮机的主要类型及构造、水轮机的工作原理、水轮机的相似原理、主要综合特性曲线、水轮机选型和水轮机调速设备等;第二篇为水电站建筑物,主要介绍水电站的进水口建筑物、引水建筑物、水击、调压室、水电站厂房布置和水电站结构设计原理等。

为适应新形势下培养创新型人才的教改精神,本书除按常规介绍大中型水电站的基本知识外,还融入了一些水电站建设的发展动态和专题科研成果,同时结合撰写人员长期从事水利水电专业教学、生产实践及科学研究的经验和体会,在理论联系实际方面进行了一些尝试,力求通俗易懂。

本书由郑州大学韩菊红、马跃先和华北水利水电学院温新丽联合撰写。具体分工为:绪论、第六章~第九章由韩菊红执笔;第一章~第五章由马跃先执笔;第十章~第十三章由温新丽执笔。全书由韩菊红统稿。

该书由华北水利水电学院郭雪莽教授审定。在本书撰写过程中得到了有关院校、科研机构的许多同行的大力支持和帮助,并对本书提出了宝贵意见。在此谨向这些同行和本书所引用参考文献的作者表示衷心的感谢。

对于本书中存在的缺点和错误,敬请读者给予批评指正。

作 者
2003.5

目 录

前 言

绪 论	(1)
-----	-----

第一篇 水力机械

第一章 水轮机概述	(12)
第一节 水轮机的工作参数	(12)
第二节 水轮机的主要类型及其构造	(15)
第三节 水轮机的牌号及标称直径	(29)
第二章 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 水轮机的效率及最优工况	(37)
第四节 尾水管的工作原理	(41)
第五节 水轮机的空化与空蚀	(44)
第六节 水轮机的空蚀系数、吸出高及安装高程	(49)
第三章 水轮机的相似原理及特性曲线	(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)
第四章 水轮机选型	(72)
第一节 水轮机的标准系列	(72)
第二节 水轮机选择	(76)
第三节 水轮机运转特性曲线的绘制	(88)
第四节 水轮机蜗壳的型式及主要尺寸的确定	(95)
第五节 尾水管的型式及主要尺寸的确定	(100)
第五章 水轮机调速器	(105)
第一节 水轮机调节的基本概念	(105)
第二节 调速器的类型及工作原理	(107)
第三节 调速器的主要设备及选择	(111)

第二篇 水电站建筑物

第六章 水电站进水口建筑物	(116)
---------------	-------

第一节	进水口的功用和要求	(116)
第二节	有压进水口	(116)
第三节	无压进水口及沉沙池	(123)
第七章	水电站引水道建筑物	(125)
第一节	引水道	(125)
第二节	压力前池与日调节池	(130)
第八章	水电站压力管道	(133)
第一节	压力管道的功用和类型	(133)
第二节	压力管道的线路选择及尺寸拟定	(134)
第三节	明钢管的敷设方式及附件	(137)
第四节	作用在明钢管上的荷载及其组合	(141)
第五节	明钢管的结构分析	(144)
第六节	明钢管的抗外压稳定	(154)
第七节	分岔管	(157)
第八节	地下埋管	(162)
第九节	混凝土坝体压力管道	(171)
第九章	水电站的水击与调节保证计算	(176)
第一节	概述	(176)
第二节	水击现象及其传播速度	(177)
第三节	水击基本方程及边界条件	(179)
第四节	简单管水击的解析计算	(182)
第五节	复杂管道水击计算	(193)
第六节	水击计算的计算机方法	(195)
第七节	机组转速变化计算	(198)
第八节	调节保证计算标准和改善调节保证的措施	(200)
第十章	调压室	(204)
第一节	调压室的功用、要求及设置条件	(204)
第二节	调压室的工作原理及基本方程	(205)
第三节	调压室的布置方式和类型	(208)
第四节	调压室水位波动计算	(210)
第五节	调压室水位波动的稳定问题	(214)
第六节	调压室水力计算条件	(216)
第七节	调压室的结构布置	(217)
第十一章	水电站地面厂房布置设计	(221)
第一节	水电站厂房的任务、组成及类型	(221)
第二节	水电站厂房设计所需资料和设计程序	(226)
第三节	水轮发电机	(227)
第四节	水电站厂房内的辅助设备	(231)

第五节	主厂房的布置	(235)
第六节	主厂房的轮廓尺寸	(243)
第七节	副厂房的布置	(249)
第八节	厂房的采光、通风、交通及防火	(252)
第九节	厂区布置	(254)
第十二章	水电站厂房结构分析	(258)
第一节	水电站厂房的结构特点	(258)
第二节	厂房整体稳定及地基应力	(261)
第三节	吊车梁及排架柱结构计算	(265)
第四节	机墩与风罩	(270)
第五节	蜗壳结构计算	(277)
第六节	尾水管	(285)
第十三章	其他类型厂房	(292)
第一节	坝后式、溢流式和坝内式厂房	(292)
第二节	河床式厂房	(295)
第三节	地下式厂房	(296)
参考文献		(301)

绪 论

一、水力发电概述

(一)水力发电的特点

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再生,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,除发电以外,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。

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。

(二)我国的水力资源

我国的水力资源极其丰富,仅各水系水力资源理论蕴藏量就达 6.76 亿 kW,其中可开发的 500kW 以上的水电站总装机容量为 3.78 亿 kW,年发电量为 19 233.04 亿 kW·h,居世界首位。此外,我国大陆海岸线长达 18 000km 以上,可开发的潮汐动力资源约 2 100 万 kW,年发电量约 580 亿 kW·h。我国各水系水力资源蕴藏量分布见表 0-1。

表 0-1 全国各水系水力资源统计

水 系	理论水能蕴藏量		可开发的水能蕴藏量	
	装机容量 (万 kW)	年发电量 (亿 kW·h)	装机容量 (万 kW)	年发电量 (亿 kW·h)
长江	26 801.77	23 478.40	19 724.33	10 274.98
黄河	4 054.80	3 552.00	2 800.39	1 169.91
珠江	3 348.37	2 933.20	2 485.02	1 124.78
海河、滦河	294.40	257.90	213.48	51.68
淮河	144.96	127.00	66.01	18.94
东北诸河	1 530.60	1 340.80	1 370.75	439.42
东南沿海诸河	2 066.78	1 810.50	1 389.68	547.41
西南国际诸河	9 690.15	8 488.60	3 768.41	2 098.68
雅鲁藏布江及西藏其他河流	15 974.33	13 993.50	5 038.23	2 968.58
北方内陆及新疆诸河	3 698.55	3 239.90	996.94	538.66
全国	67 604.71	59 221.80	37 853.24	19 233.04

1. 我国水力资源的特点

从我国水力资源蕴藏分布及开发利用的现状来看,我国水力资源具有以下特点:

(1)水力资源在地区分布上不均衡,与经济发展现状不匹配。我国经济相对落后的西南、西北地区的水力资源约占全国可开发水力资源的 77.7%,中南地区的水力资源约占全国可开发水力资源的 15.5%,经济比较发达的东北、华北和华东三大区的水力资源共计只占全国可开发水力资源的 6.8%。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)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,在开发水力资源时,要建造调节性能好的水库,提高总体水电质量。

(3)水力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 100 万 kW。这些大型水电站水头高、单机容量大,带来很多技术难题,因而制约了水力资源的开发利用速度。

2. 我国水力资源的开发状况

1949 年全国水电总装机容量仅 36 万 kW,年发电量 12 亿 kW·h。经过 50 多年的努

力,我国的水电事业得到了蓬勃发展。截至 2001 年底,全国水电总装机容量已达 8 270 万 kW,年发电量 2 575 亿 kW·h。水力资源开发利用程度由 1949 年新中国成立初的 0.4%,提高到 2001 年的 20%。新中国成立后的 50 多年,我国先后建成了黄坛口、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,特别是在 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为 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,是当今世界上最大的水利水电工程。

(三)我国水电开发的规划与前景

2001 年底,我国常规水电站装机容量 7 700 万 kW,超过美国,居世界第一位。我国在建水电站规模超过 3 000 万 kW,规划拟建水电站容量 5 000 万 kW,均居世界第一位。但从水力资源开发利用程度上看,我国水力资源开发利用率仍低于 22%的世界平均水平,且远低于水力资源开发程度较高的国家 50%的开发利用率。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 2005 年,全国水电装机容量达 9 500 万 kW,占可开发水力资源的 25%;到 2010 年,全国水电装机容量达 12 500 万 kW,占可开发水力资源的 33%;到 2015 年,全国水电装机容量达 15 000 万 kW,占可开发水力资源的 40%;到 2020 年,全国水电装机容量达 20 000 万 kW,占可开发水力资源的 53%。

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 22 725 万 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”,逐步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,其水电技术水平处于世界领先地位。

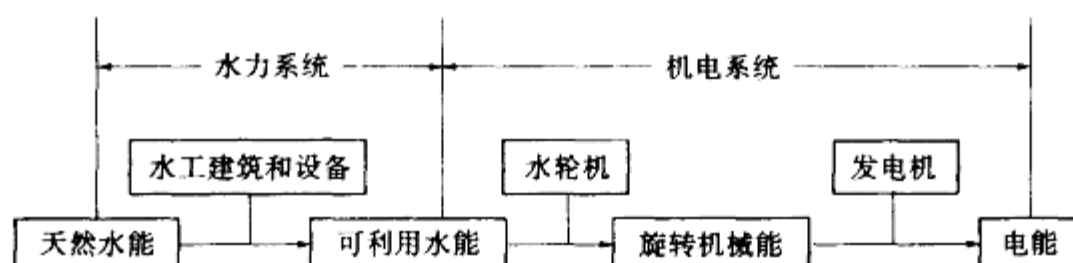
为了实现这一宏伟的水电建设蓝图,我们一定要认真钻研有关的理论和技术知识,学习和掌握现代科学技术,牢固树立为祖国的水电事业贡献毕生精力的远大理想,为我国的水电事业作出贡献。

二、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,水轮机和发电机则是其最主要的生产设备。

经过一系列工程措施,有压水流通过水轮发电机组转换为电能,该过程即称为水力发电。其生产电能过程如下:



水轮机 + 水轮发电机 = 水轮发电机组(机组)

如图 0-1 所示,在水库中的水体具有较大的位能,当水体通过隧洞、压力水管流经安装在水电站厂房内的水轮机时,水流带动水轮机转轮旋转,此时水能转变为旋转机械能;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就产生了感应电动势,一旦发电机和外电路接通,就可供电,这样,旋转的机械能又转变为电能。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。

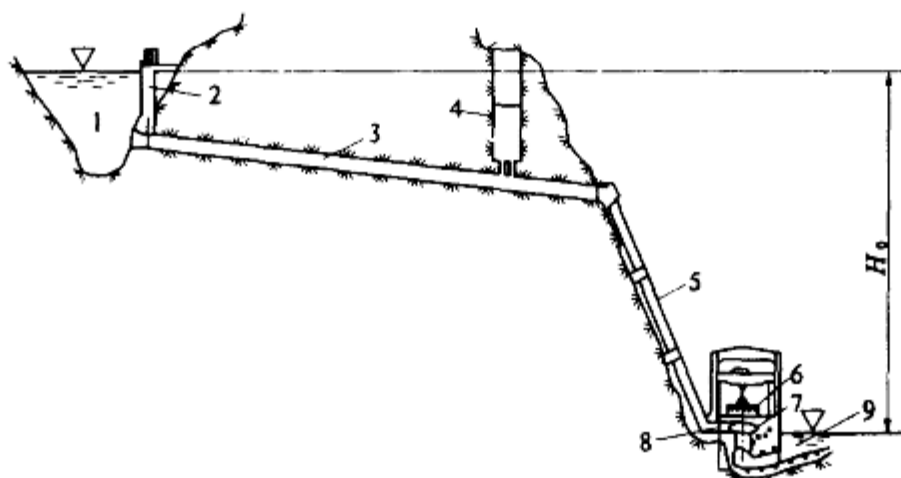


图 0-1 水电站示意图

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

(二)水电站的出力及发电量计算

如图 0-1 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

$$N_t = \gamma V H_0 / t = \gamma Q H_0 = 9.81 Q H_0 \quad (0-1)$$

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

Q ——水轮机流量, $Q = V/t, \text{ m}^3/\text{s}$;

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

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,水电站的实际出力要

小于由式(0-1)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

$$N = 9.81 \eta Q (H_0 - \Delta h) = 9.81 \eta QH \tag{0-2}$$

式中 H ——水轮机的工作水头, m;

η ——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总效率 η 是一个常数。若令 $K = 9.81 \eta$, 则式(0-2)可写为

$$N = KQH \tag{0-3}$$

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 ~ 8.5; 对中小型水电站, K 值一般取为 6.5 ~ 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 kW·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

$$E = \bar{N}T \tag{0-4}$$

对于较长的时段,如季、年等,可由式(0-4)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。

1. 设计保证率与保证出力

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。它是根据系统中水电容量比重、水库调节性能、水电站规模及其在电力系统中的作用等因素而选定的,初步可参照表 0-2 选用。

表 0-2 水电站设计保证率

电力系统中水电容量的比重(%)	25 以下	25 ~ 50	50 以上
水电站设计保证率(%)	80 ~ 90	90 ~ 95	95 ~ 98

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。

2. 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。如丹江口水电站有 6 台机组,每台机组的额定出力(也称为单机容量)为 15 万 kW,则该电站的装机容量为 90 万 kW。

3. 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,计算时先将应用的水文系列分为若干时段(可以是日、旬或月,视水库的调节性能和设计的需要而选定),然后按照天然来水量和用水量进行水库调节计算和水能计算,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。

4. 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合理性的一个指标。

(四)水电站的经济指标

1. 水电站的总投资

水电站的总投资是指水电站在勘测、设计、施工安装过程中所投入资金的总和,它包括水工建筑物、水电站建筑物和机电设备的投资。同时,还常用单位千瓦的投资和单位电能的投资来表示水电站投资的经济性和合理性。单位千瓦的投资是指平均每 1kW 的装机容量所需要的投资,它可由总投资除以装机容量求得;单位电能的投资是指平均一年中每发 1kW·h 电所需要的投资,它可由总投资除以多年平均发电量求得。

2. 水电站的年运行费用

水电站的年运行费用是指水电站在运行过程中每年所必须付出的各种费用的总和,它包括建筑物和设备每年所提存的折旧费、大修费和经常支出的生产、行政管理费及工资等。

3. 水电站的年效益

水电站的年效益是指水电站每年售电总收入减去年运行费用后所获得的净收益。

(五)水电站的分等指标

为了保证工程及下游人民生命财产和经济建设的安全,也为了降低工程造价和加快建设进度,对以发电为主的水利枢纽工程,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》中,根据装机容量的大小将水电站划分为五等,如表 0-3 所示。

表 0-3 以发电为主的水利枢纽工程分等指标

工程等别	工程规模	水电站装机容量 (万 kW)
一	大(1)型	≥ 120
二	大(2)型	120 ~ 30
三	中 型	30 ~ 5
四	小(1)型	5 ~ 1
五	小(2)型	< 1

三、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、中水头和高水头水电站,按水库的调节能力分为无调节(径流式)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、腰荷及峰荷水电站;按集中水头的方式可分为坝式、引水式和混合式水电站等。

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。水电站厂房位于坝后,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,布置在坝体非溢流段下游时,称为坝后式水电站,如图 0-2 和图 0-3 所示的丹江口水电站;当河谷较窄而水电站机组台数较多时,可将厂房布置在溢流坝段下游,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,如贵州乌江渡水电站;或让厂房顶兼作溢洪道宣泄洪水,形成厂房顶溢流式水电站,如浙江新安江水电站;如坝体足够大,也可将厂房布置在坝内而形成坝内式水电站,如江西上犹江水电站和湖南凤滩水电站。

坝式水电站的水头由坝来集中,且一般为中、高水头。

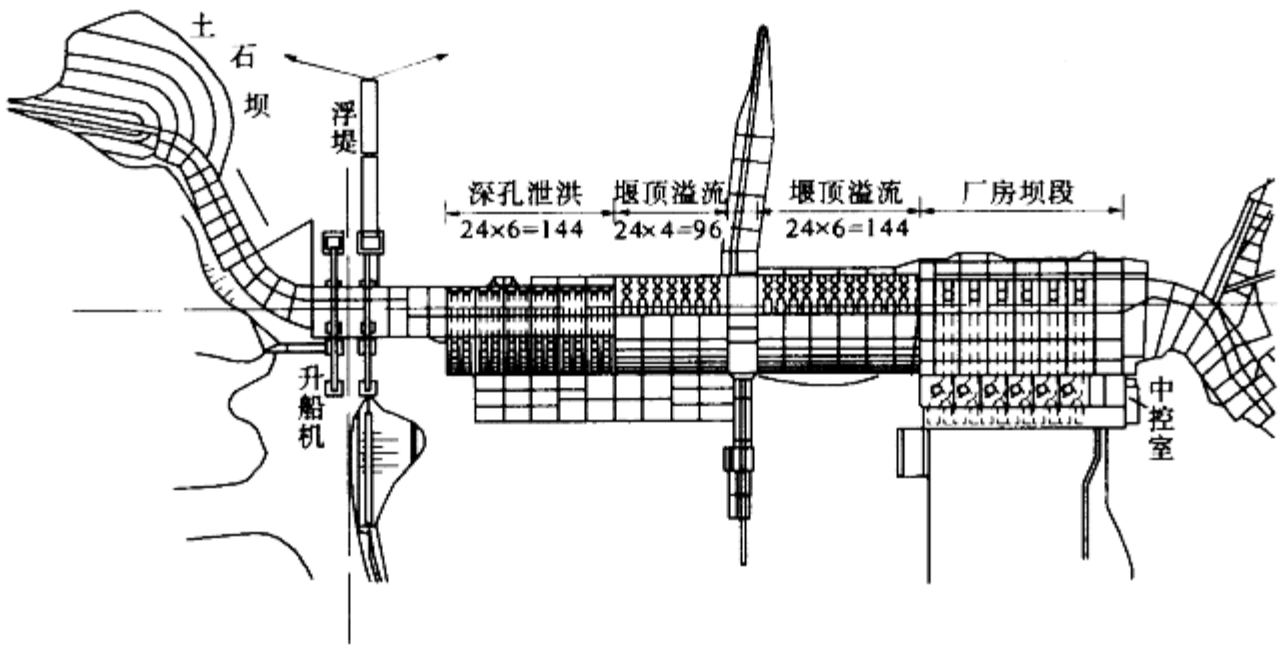


图 0-2 丹江口(坝后式)水电站枢纽平面布置图

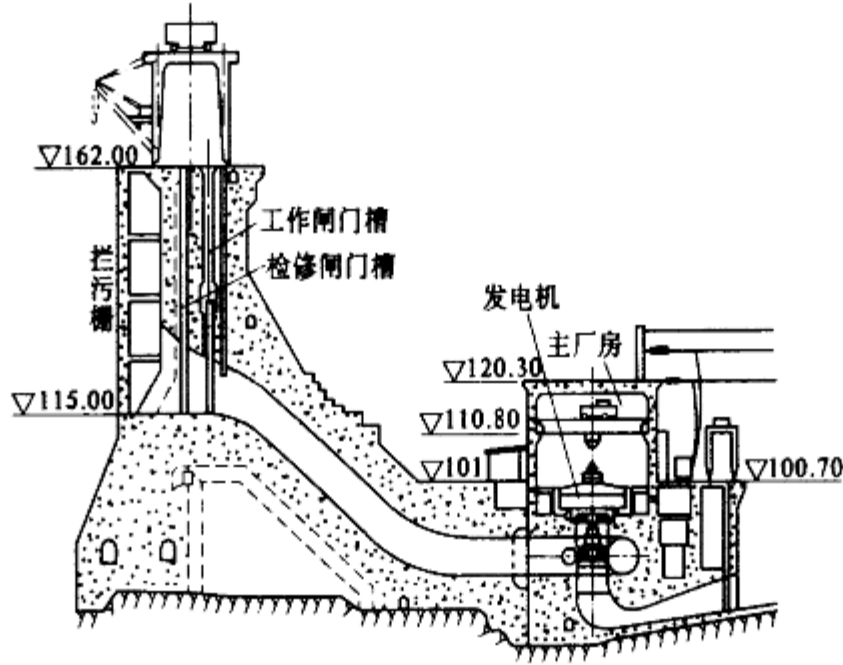


图 0-3 丹江口(坝后式)水电站横剖面图(单位:m)

(二)河床式水电站

河床式水电站常修建在河流中、下游河道较平缓处,水电站厂房位于河床内,和坝共同组成挡水建筑物,从而水电站厂房本身承受上游的水压力,图 0-4 和图 0-5 所示为西津河床式水电站。

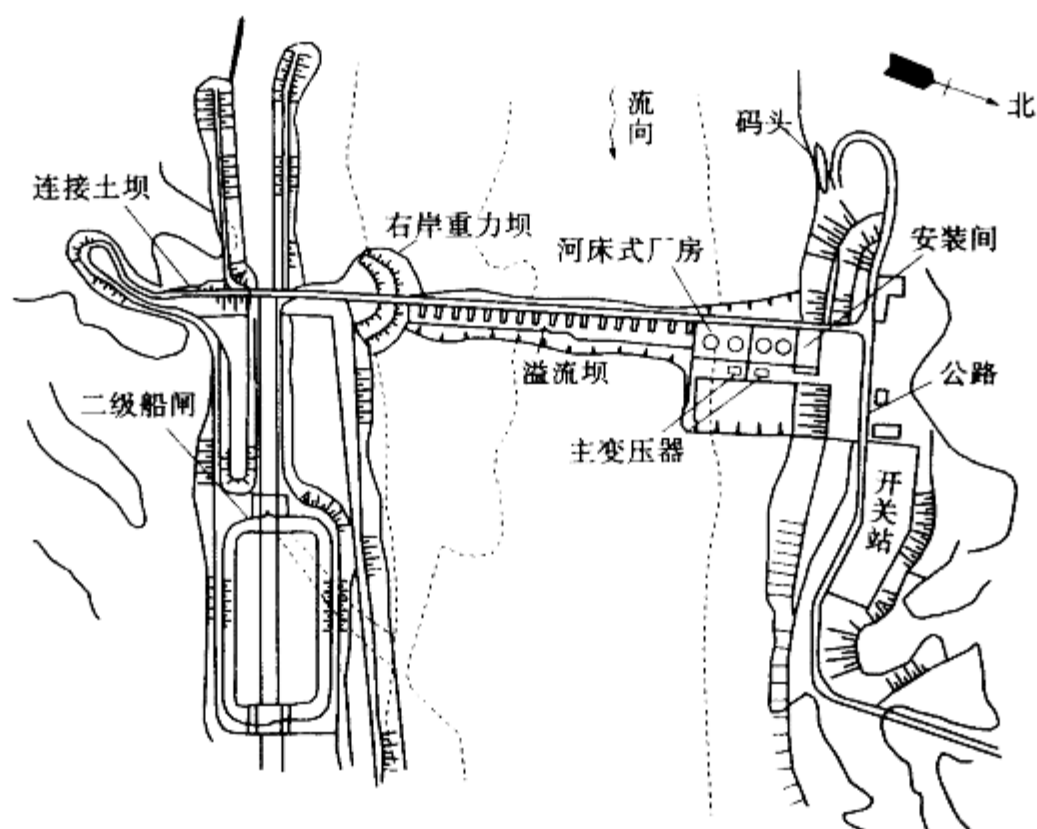


图 0-4 西津(河床式)水电站枢纽平面布置图

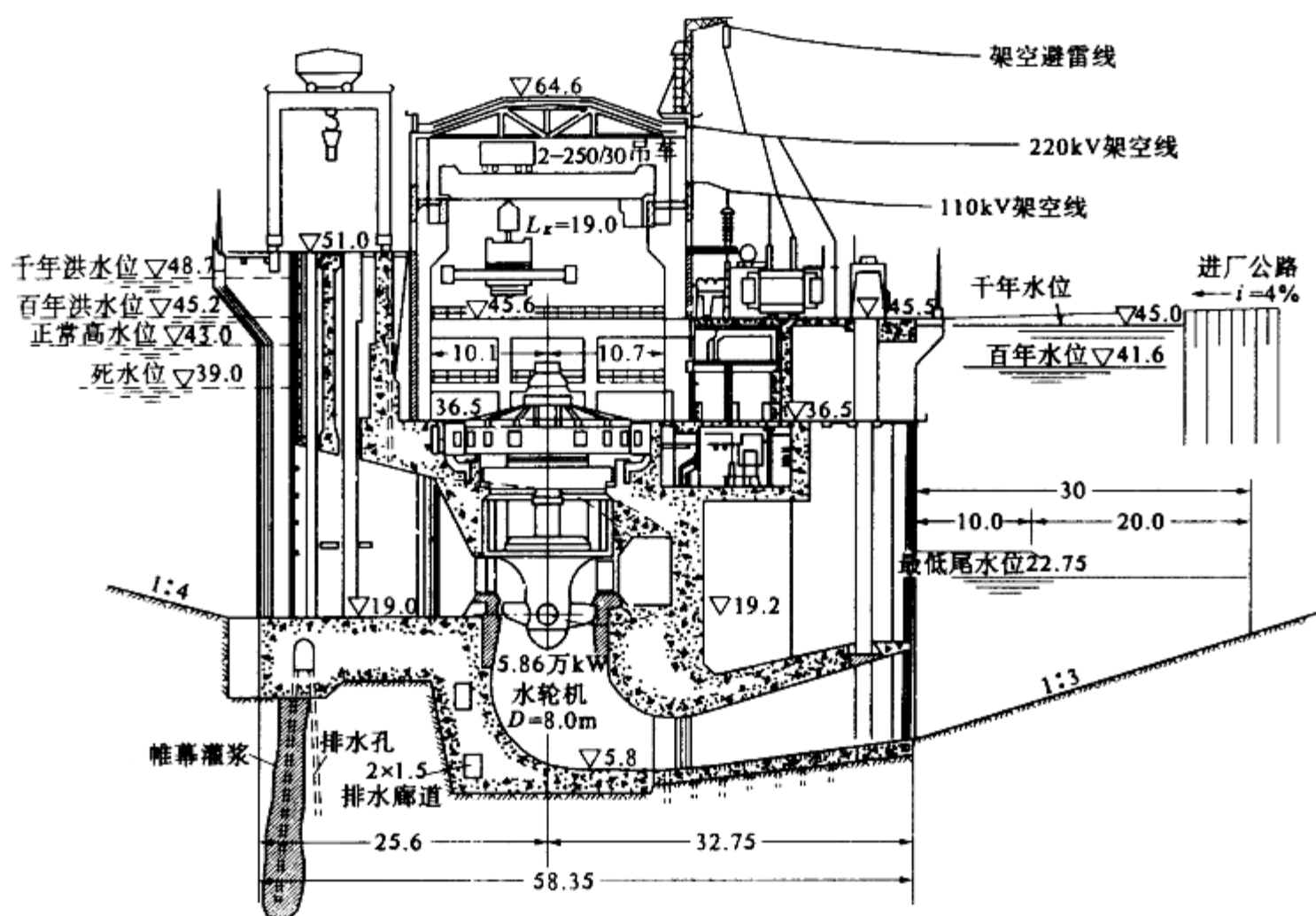


图 0-5 西津(河床式)水电站厂房横剖面图(单位:m)

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