



高等学校教材

# 水 电 站

西安理工大学 金钟元  
葛洲坝水电工程学院 伏羲淑 合编



高等学校教材

---

# 水电站

西安理工大学 金钟元  
葛洲坝水电工程学院 伏羲淑 合编

中国水利水电出版社

## 内 容 提 要

本书着重讲述水电站的基本型式和水电站上的进水、引水、平水及厂区建筑物,以及这些建筑物的布置、运行、结构型式和设计方面的基本知识及施工特点。为了使读者能更好地了解这些建筑物的运用和设计施工上的要求,本书还列出一章专门叙述水电站上的主要动力设备——水轮机,叙述水轮机的类型、基本构造、特性及选型。

本书主要作为水利水电工程施工专业的水电站课程的教材,也可供有关专业及工程技术人员参考。

高 等 学 校 教 材

水 电 站

西 安 理 工 大 学 金 钟 元 合 编  
葛 洲 坝 水 电 工 程 学 院 伏 义 淑

中 国 水 利 水 电 出 版 社 出 版  
(原水利电力出版社)

(北京市三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售  
北京市朝阳区小红门印刷厂印刷

787×1092 毫米 16 开本 12.5 印张 277 千字  
1994 年 10 月第一版 1997 年 10 月北京第二次印刷  
印数 2271—4270 册

ISBN 7-80124-369-2/TV·200

(原 ISBN 7-120-02053-6/TV·770)

定价 12.40 元

# 前 言

本教材是根据 1988 年 5 月在南京专业教学委员会上提出的水利水电工程施工专业《水电站》教材的基本要求和同年在成都水电站建筑物教学组会上制订的编写大纲编写的。

全书共分七章，即水电站的基本型式及其组成建筑物，水轮机，水电站的无压进水及引水建筑物，水电站的有压进水及引水建筑物，水击和调节保证计算，调压室，水电站厂房。其内容以大中型水电站为主，编写中在反映教学基本要求的同时还努力反映建筑物的施工特点，但由于篇幅所限，这方面可能有所不足，各院校在使用时可根据具体情况进行删减和补充。

本书由西安理工大学金钟元教授和葛洲坝水电工程学院伏羲淑副教授合编。绪论和前五章由金钟元执笔，后两章由伏羲淑执笔，全书由金钟元统稿。

本书由武汉水利电力学院俞裕泰教授主审，他对书稿提出了许多宝贵意见，在此表示衷心感谢。

限于编者水平，书中缺点和错误在所难免，希望读者给予指正。

编 者

1992 年 6 月

# 目 录

前 言	
绪 论	1
第一章 水电站的基本型式及其组成建筑物	5
第一节 水力发电的基本原理	5
第二节 水电站的基本类型	7
第三节 水电站的主要参数	16
第二章 水轮机	19
第一节 水轮机的主要类型及型号	19
第二节 水轮机的主要组成部分	24
第三节 水轮机工作的基本方程式	35
第四节 水轮机的汽蚀及安装高程	37
第五节 水轮机的特性	41
第六节 水轮机选择	49
第七节 水轮机的调速设备	57
第三章 水电站的无压进水及引水建筑物	62
第一节 无压进水口及沉沙池	62
第二节 引水渠道和无压隧洞	64
第三节 压力前池和日调节池	67
第四章 水电站的有压进水及引水建筑物	69
第一节 水电站的有压进水口	69
第二节 地面压力水管	73
第三节 压力隧洞及隧洞式钢管	87
第四节 坝内式钢管	94
第五节 分岔管	98
第六节 进水钢管上的阀门及附件	100
第五章 水击和调节保证计算	103
第一节 水击和调节保证计算的任务	103
第二节 水击基本方程式及水击波速	104
第三节 直接水击与间接水击	106
第四节 水击计算的连锁方程式	109
第五节 水击压力变化的计算	111
第六节 水击压力沿管长的分布	116
第七节 复杂管路水击的简化计算	118
第八节 机组转速变化的计算	120
第九节 调节保证计算的标准及改善调节保证的措施	123

第六章 调压室.....	126
第一节 调压室的功用及其设置条件 .....	126
第二节 调压室的水位波动现象和基本方程 .....	127
第三节 调压室的基本型式 .....	129
第四节 调压室水位波动计算 .....	132
第五节 调压室水位波动的稳定性 .....	136
第六节 调压室的结构及施工 .....	137
第七章 水电站厂房.....	142
第一节 厂区建筑物的组成和厂房的基本类型 .....	142
第二节 厂房下部结构及水轮机层的布置 .....	151
第三节 水轮发电机及发电机层的布置 .....	156
第四节 起重设备及安装间 .....	161
第五节 主厂房轮廓尺寸的确定 .....	163
第六节 厂区布置 .....	167
第七节 主厂房的结构布置及混凝土施工 .....	168
第八节 其他类型厂房简介 .....	178
参考文献.....	191

# 绪 论

## 一、水力发电在能源建设中的作用

电力工业是国民经济的基础工业，也是工农业生产的先行工业，对我国四个现代化的建设有着十分重要的作用。水力发电是电力工业的一大支柱，它是将水流的能量转换为电能的一种工业。

我们知道，河道中的水流从上游流到下游是具有能量的，这样就可以利用一系列的水工建筑物和水电站建筑物，集中河道的落差、形成水库，并控制和引导水流通过水轮机，将水能转变为旋转的机械能，接着由水轮机带动发电机转动从而发出电能，再经过配电和变电设备升压后送往电力系统供给广大用户。因此水电站是为开发利用水能资源，将水能转变为电能而修建的工程建筑物和机械、电气设备的综合体，它是当前生产电能的主要基地。

水能是自然界存在的一次能源，它可以通过水电站方便地转化为二次能源——电能，所以水电既是被广泛而经济利用的常规能源，又是再生能源，是当前世界上众多能源资源中永不枯竭的优质能源。

目前，在大的电力系统中，其电力生产主要依靠水电站、火电站和核电站。由于水轮发电机组启动迅速，出力调整快，运行操作灵便，因而水电是电力系统中最好的调峰、调频和事故备用电源。水电站与火电站、核电站相互补充调剂余缺，使得水能资源获得比较充分的利用，使得火电和核发电机组得以稳定运行，所以其作用和经济效益是很显著的。

此外，水力发电和火力发电、核能发电相比还有着许多突出的优点：水力发电不需要消耗燃料，而且水电站的运行和工作人员也较少，所以其成本最低，劳动生产率最高；在开发水电的同时还可以综合解决防洪、灌溉、供水、航运、水产养殖等方面的需要，所以其综合利用的效益也最高；水力发电对水体和空气都不会发生污染，而且在水电站建成后对改善气候和自然环境，发展旅游事业都大有裨益。

在发展水电事业中也有一些不利因素，这主要是在修建水电站，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。对这些不利因素应通过动能经济的分析比较，加以妥善解决。

由于水电对国民经济起着巨大的推动作用，所以从 30 年代以来，世界各国都很注意发展水电，并且在发展常规水电的同时，抽水蓄能电站也得到很快的发展。目前西方国家及其他一些发达国家在电能的构成中水电比重都比较大，水能资源利用的程度也都比较高。在表 1 中，给出了一些国家在 1986 年底的水电统计资料，可以看出：这些国家水能资源的开发程度都接近或超过全世界的平均水平（21%），有的已达到或接近于 100%。

表 1

一些国家水能资源开发的程度

国 家	可 开 发 的 水 能 资 源		水 能 资 源 开 发 的 程 度	
	装 机 容 量 (亿 kW)	年 发 电 量 (亿 kW·h)	按装机容量计 (%)	按年发电量计 (%)
全 世 界	22.6	98 012	25	21
巴 西	2.13	12 000	18	15
苏 联	2.69	10 950	23	20
美 国	1.87	7 015	45	40
加 拿 大	1.53	5 352	37	58
印 度	0.70	2 800	23	19
日 本	0.49	1 280	71	68
挪 威	0.29	1 210	79	79
法 国	0.21	630	100	95
瑞 士	0.11	320	100	98

注 选自《水力发电》，1989年第10期。

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巴西和巴拉圭合建的伊泰普水电站，为1260万kW；最大的抽水蓄能电站是美国的巴斯康蒂电站，为210万kW；水头最高的水电站是瑞士的马吉亚蓄能电站，为2117m；最大的水轮发电机组是伊泰普水电站的机组，其单机容量为70.0万kW。

## 二、我国水能资源的分布及其开发利用

我国有众多的河流和充沛的河川径流，拥有丰富的水能资源，根据1977~1980年对1400多条河流查勘计算结果，全国水能资源理论蕴藏量为6.76亿kW（不包括台湾），相应的年发电量为5.92万亿kW·h；可开发的水能资源的总装机容量为3.78亿kW，年发电量为1.92万亿kW·h，均居世界首位。

可开发的水能资源是指具有建设水电站的条件、可以利用的，因此必须重视其开发和研究。我国可开发的水能资源按水系和按地区分布的情况如表2、表3所示。

我国的水能资源在开发利用方面，还具有以下特点：

1) 我国的水能资源在分布上是很不均匀的，但和其他能源配合开发却极为有利，例如西南地区缺煤而水能资源丰富；华北内蒙古地区水能资源较少，但煤炭丰富；沿海地区水能资源不多，却有大量的潮汐能源，再加上石油和其他能源的配合，只要因地制宜地开发



利用,就能促进国民经济的发展。

**表 2 全国各水系可能开发水能资源统计表**

编 号	水 系	装 机 容 量 (万 kW)	年 发 电 量 (亿 kW·h)	占 全 国 百 分 比 (%)
	全国	37 853.24	19 233.04	100
1.	长江	19 724.33	10 274.98	53.4
2.	黄河	2 800.39	1 169.91	6.1
3.	珠江	2 485.02	1 124.78	5.8
4.	海、滦河	213.48	51.68	0.3
5.	淮河	66.01	18.94	0.1
6.	东北诸河	1 370.75	439.42	2.3
7.	东南沿海诸河	1 389.68	547.41	2.9
8.	西南国际诸河	3 768.41	2 098.68	10.9
9.	雅鲁藏布江及西藏其他河流	5 038.23	2 968.58	15.4
10.	北方内陆及新疆诸河	996.94	538.66	2.8

注 ①本表按单站 500kW 以上电站统计;②根据年发电量计算占全国百分比;③本表摘自《水力发电》,1981 年第 2 期。

**表 3 全国各地区可能开发水能资源统计表**

地 区	装 机 容 量 (万 kW)	年 发 电 量 (亿 kW·h)	占 全 国 百 分 比 (%)
全 国	37 853.24	19 233.04	100
华 北 地 区	691.98	232.25	1.2
东 北 地 区	1 199.45	383.91	2.0
华 东 地 区	1 790.22	687.94	3.6
中 南 地 区	6 743.49	2 973.65	15.5
西 南 地 区	23 234.33	13 050.36	67.8
西 北 地 区	4 193.77	1 904.93	9.9

2) 在可开发的水能资源中,许多河流的地形地质条件良好,且处于峡谷地带,流量大而落差集中,因而大型水电站的比重大,而且在分布上也较集中。据统计 25 万 kW 以上的大型水电站就有 203 座,200 万 kW 以上的特大型水电站就有 33 座,而且大都集中在西南四省区内。我国正在设计的长江三峡水电站,其装机容量为 1 820 万 kW;我国雅鲁藏布江上的墨脱水电站,其装机容量可达 4 400 万 kW。

3) 我国的气候受季风的影响,降水和径流在年内的分配很不均匀,一般夏秋季降水占全年降水的 60%~70%,而冬季很少。从这个特点出发,我国修建的水电站大都具有较大的综合效益,另外在梯级水电站的开发利用中也要特别重视在上游修建大的龙头调节水库,为全河流所有的梯级水电站服务,如黄河上游的龙羊峡水电站(装机容量 128 万 kW,总库容 247 亿 m<sup>3</sup>)、刘家峡水电站(装机容量 116 万 kW,总库容 57 亿 m<sup>3</sup>),对下游盐锅峡、八盘峡、青铜峡、天桥等水电站提高了枯水出力,并对甘、宁、蒙地区增加了灌溉和防洪

效益。

我国河川水能资源开发利用中的最大问题是利用程度很低。到 1990 年底，全国水电总装机为 3 530 万 kW，年发电量为 1 260 亿 kW·h，仅占可开发水能资源的 9.33%（按装机容量计）和 6.55%（按年发电量计），远低于发达国家的水平。这说明我国水能资源开发利用的远景还十分广阔，因此为充分发挥我国水能资源的优势，我们还需要作出很大的努力。

遵照党中央关于十年规划和“八·五”计划的建议，对电力工业实行因地制宜，水火并举，充分发挥我国水电优势和适当发展核电的方针，根据到本世纪末国民经济再翻一番的奋斗目标，到 2000 年水电需新增装机 4500 万 kW，使水电总装机达到 8000 万 kW，年发电量达到 2400 亿 kW·h。由此可以看出，今后十年我国要修建的水电装机容量将超过前 40 年的总和，所以面临的任务是十分艰巨的。

根据多年来的勘测和研究，我国曾提出到本世纪末要着重开发十二大水电基地，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 20523 万 kW，年发电量可达 9459 亿 kW·h，所以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。

为了担负起这一伟大的水电建设任务，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成就，自觉树立起无产阶级世界观，牢固树立为祖国的水电事业贡献毕生精力的远大理想。

# 第一章 水电站的基本型式及其组成建筑物

## 第一节 水力发电的基本原理

### 一、水力发电的基本原理

河道中的水流在地心吸力的作用下，由高处向低处运动，从而将水流的势能转变为动能，这样水流就具有做功的能力，其高差越大，流量越多，做功的能力就越大。如图 1-1 所示，在河道上取任意  $L$  (m) 长的河段，其上断面为 1-1 断面，下断面为 2-2 断面，河道的坡降为  $i$ ，其间水面降落的垂直高度（通常称为落差或水头）为  $H_{1-2}$  (m)。设在  $T$  (s) 时段内有  $\bar{W}$  ( $\text{m}^3$ ) 的水量通过断面，则水体  $\bar{W}$  所具有的能量  $E_{1-2}$  为

$$E_{1-2} = \gamma \bar{W} H_{1-2} \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1-1)$$

式中  $\gamma$ ——水的重度， $\gamma = 9810 \text{N/m}^3$ 。

单位时间内所作的功称为功率，在水力发电工程中通常称为出力，用  $N$  表示，则该河段的平均出力  $N_{1-2}$  为

$$N_{1-2} = \gamma \left( \frac{\bar{W}}{T} \right) H_{1-2} = \gamma Q H_{1-2} \quad (\text{N} \cdot \text{m/s}) \quad (1-2)$$

式中  $Q = \frac{\bar{W}}{T}$ ，表示时段  $T$  (s) 内的平均流量，其单位为  $\text{m}^3/\text{s}$ 。出力  $N$  通常以 kW ( $1\text{W} = 1\text{J/s} = 1\text{N} \cdot \text{m/s}$ ) 表示，则

$$N_{1-2} = 9.81 Q H_{1-2} \quad (\text{kW}) \quad (1-3)$$

相应的发电量（以 kW·h 表示）为

$$E_{1-2} = 9.81 Q H_{1-2} \left( \frac{T}{3600} \right) = 0.0027 \bar{W} H_{1-2} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (1-4)$$

这种水流能量在未被利用以前，主要分散地消耗在水流对河床的淘刷、挟带泥沙和相互的撞击上。若应用筑坝集中落差并形成水库，通过引水建筑物和水轮发电机组引水发电，则水电站的出力与电能考虑到引水道的水头损失和水轮机、发电机的效率后可依式 (1-5)、(1-6) 计算为

$$N = 9.81 Q H \eta \quad (\text{kW}) \quad (1-5)$$

$$E = 0.0027 \bar{W} H \eta \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (1-6)$$

式中  $H$ ——水电站的工作水头，它等于水电站的毛水头  $H_m$ （水电站上、下游水位之差）减去引水系统的水头损失  $h_w$ ，即  $H = H_m - h_w$ ；

$\eta$ ——水轮发电机组的效率，它等于水轮机效率  $\eta_T$  和发电机效率  $\eta_f$  的乘积，即  $\eta =$

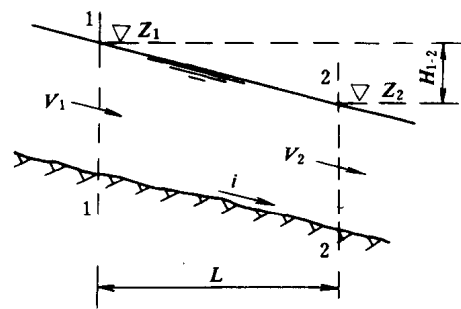


图 1-1 河段水能示意图

$\eta_T \eta_f$ 。对大中型机组  $\eta_T = 0.85 \sim 0.90$ ,  $\eta_f = 0.95 \sim 0.98$ ; 对小型筒接传动(用皮带或齿轮传动)的机组, 尚应考虑传动效率。

在初步估算出力时可应用简化公式为

$$N = KQH \quad (\text{kW}) \quad (1-7)$$

一般, 大型水电站可选用系数  $K = 8.0 \sim 8.5$ , 中型水电站  $K = 7.0 \sim 7.5$ , 小型水电站  $K = 6.0 \sim 6.5$ 。

## 二、河流水能资源蕴藏量的估算

要进行一条河流水能资源的评价和开发利用, 就必须首先勘测和估算河流天然蕴蓄的水能资源, 估算时通常根据多年平均流量值计算而且也不考虑径流调节的情况。系统地表示河流水能资源蕴藏情况的图称为河流水能蕴藏图, 如图 1-2 所示, 其绘制方法大致如下:

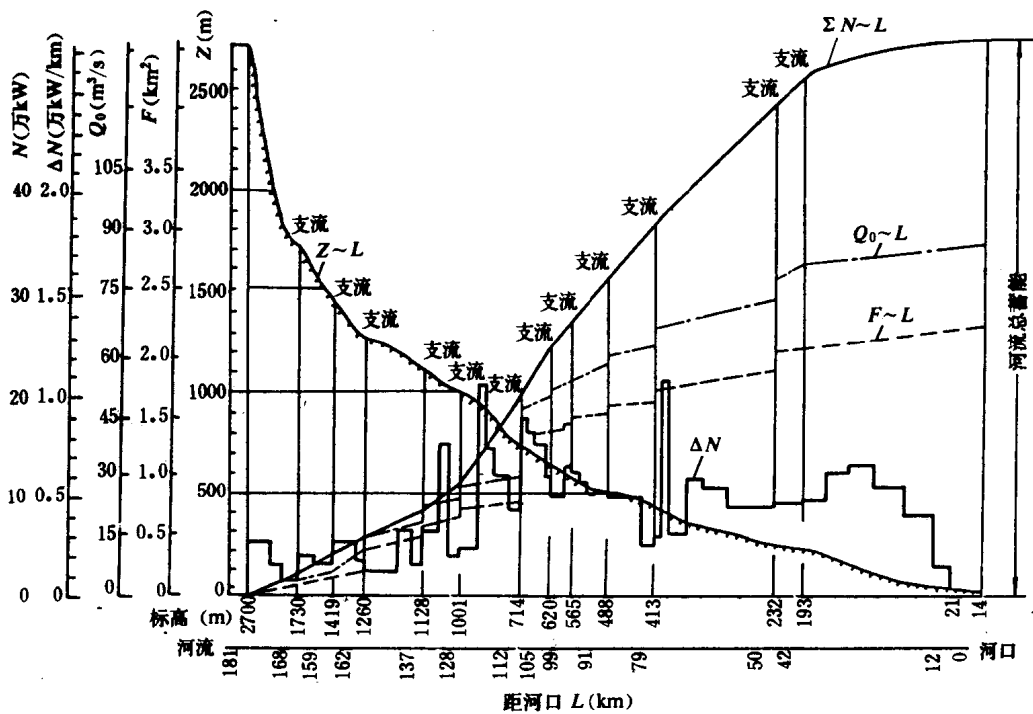


图 1-2 河流水能蕴藏图

1) 从河口到河源测量河流全长(用  $L$  表示, 单位为  $\text{km}$ ) 及枯水位高程(用  $Z$  表示, 单位为  $\text{m}$ ), 绘制枯水位沿河长的变化线  $Z \sim L$ 。

2) 沿河长将河流分为若干段, 一般是在支流汇入处、河道坡降较大变化处、优良坝址处, 以及限制淹没等处分段, 并得出各河段的长度  $\Delta L$ 。

3) 测算各分段断面处所控制的流域面积(用  $F$  表示, 单位为  $\text{km}^2$ ) 和多年平均流量(用  $Q_0$  表示, 单位为  $\text{m}^3/\text{s}$ ), 并绘制  $F \sim L$ ,  $Q_0 \sim L$  线。

4) 计算各河段的水能蕴藏量, 考虑到河段上、下两断面的流量有所不同, 河段出力可按式 (1-8) 估算为

$$N_{1-2} = 9.81 \frac{Q_{01} + Q_{02}}{2} H_{1-2} \quad (\text{kW}) \quad (1-8)$$

将各河段的出力，从河源到河口依次积累，便可得出  $\Sigma N \sim L$  线。

5) 河段单位长度所蕴藏的出力，亦称为单位出力（用  $\Delta N$  表示，单位为 kW/km），可按式 (1-9) 计算为

$$\Delta N = \frac{N}{\Delta L} \quad (\text{kW/km}) \quad (1-9)$$

由此便可得出河段单位出力  $\Delta N$  的分布线。

以上各线所组成的河流水能蕴藏图代表了河流的水能特性，据此便可进一步考虑水能资源实际被利用的程度。一般，单位出力较大的河段，水能较集中，往往是优先研究和开发的河段。

## 第二节 水电站的基本类型

### 一、水电站的基本型式

根据河道地形、地质、水文等条件的不同，水电站集中落差、调节流量、引水发电的情况也不同。按照集中落差的方式，水电站的基本型式可分为坝式水电站，引水式水电站和混合式水电站。

#### (一) 坝式水电站

坝式水电站的特点是在河道上修建拦河大坝抬高上游水位以集中落差，并形成水库调节流量，这种型式的水电站大都修建在流量大、坡降较小的山谷河段上。坝式水电站按照集中落差的大小和建筑物布置的特点又可分为坝后式水电站和河床式水电站两种。

##### 1. 坝后式水电站

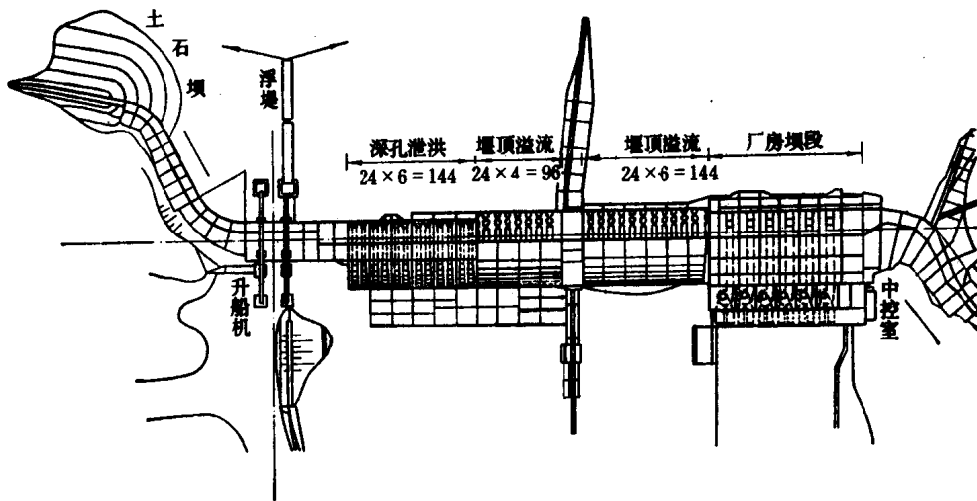


图 1-3 丹江口水电站枢纽布置图

坝后式水电站是因将厂房布置在紧靠大坝下游而得名,这种布置型式可使建筑物紧凑、工程量省、施工和运行管理方便。

图 1-3 是我国汉江上丹江口水电站的枢纽布置图,可以看出:河床中部是混凝土重力坝,两岸以土石坝与岸坡相接;靠近右岸为升船机;河床中以深孔和堰顶表孔泄洪(可渲泄最大洪水 6.49 万  $m^3/s$ );靠近左岸为挡水坝和坝后式厂房,厂房中装设有 6 台水轮发电机组,装机容量为 90 万 kW。图 1-4 是该水电站的厂坝横剖面图,由大坝所形成的水电站最大水头为 81.5m,总库容为 208.86 亿  $m^3$ ,发电用水是通过坝式进水口、坝内管道引至厂房发电的。通常在厂、坝连接处设有永久缝,这样可使厂房不承受上游水压力而且施工也较方便,有时需要厂房帮助坝体的稳定时,亦可不设永久缝。

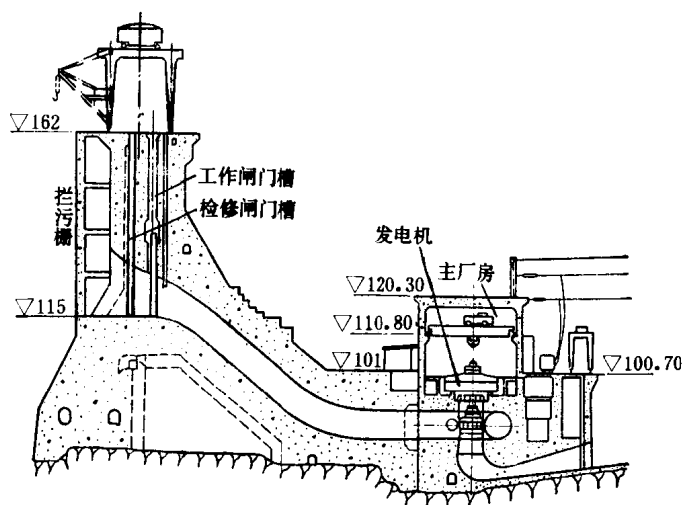


图 1-4 丹江口水电站厂坝横剖面图

图 1-5 是我国湘江支流耒水上东江水电站枢纽布置图,该电站为一拱坝坝后式水电站,最大坝高 157m,总库容 81.2 亿  $m^3$ ,最大水头 139m,装机容量  $4 \times 12.5 = 50$  万 kW;为了保持坝肩岩坡的稳定,厂房布置在距拱坝下游面 75m 处,这样可利用厂坝之间所形成的平台上布置副厂房、开关室、主变压器和高压开关站等。在坝身左、右两岸各布置有两孔滑雪式溢洪道,其挑流鼻坎与大坝分离,以便将高速水流挑送到远离厂房的下游;为了加大汛期泄洪量,并考虑人防和对大坝的维护检修,在左右两岸还各设有一条泄洪、放空洞。图 1-6 为该水电站厂坝横剖面图,可以看出发电用水是由坝式进水口、坝内管道和坝后背管引入厂房的。

具有混凝土坝的坝后式水电站较为常见,如我国龙羊峡(最大水头 148.5m,装机容量 128 万 kW)、石泉(49m, 13.5 万 kW)、安康(88m、80 万 kW)等水电站。

当拦河大坝为土石坝,不可能在坝身内埋管时,或由于河道狭窄布置坝后厂房有困难时,亦可在上游水库岸边修建河岸式进水口,采用压力隧洞引水,厂房可设在坝下游河岸边,如图 1-7 所示,这种型式的水电站称为坝后引水式水电站。如我国的黄龙滩(最大水头

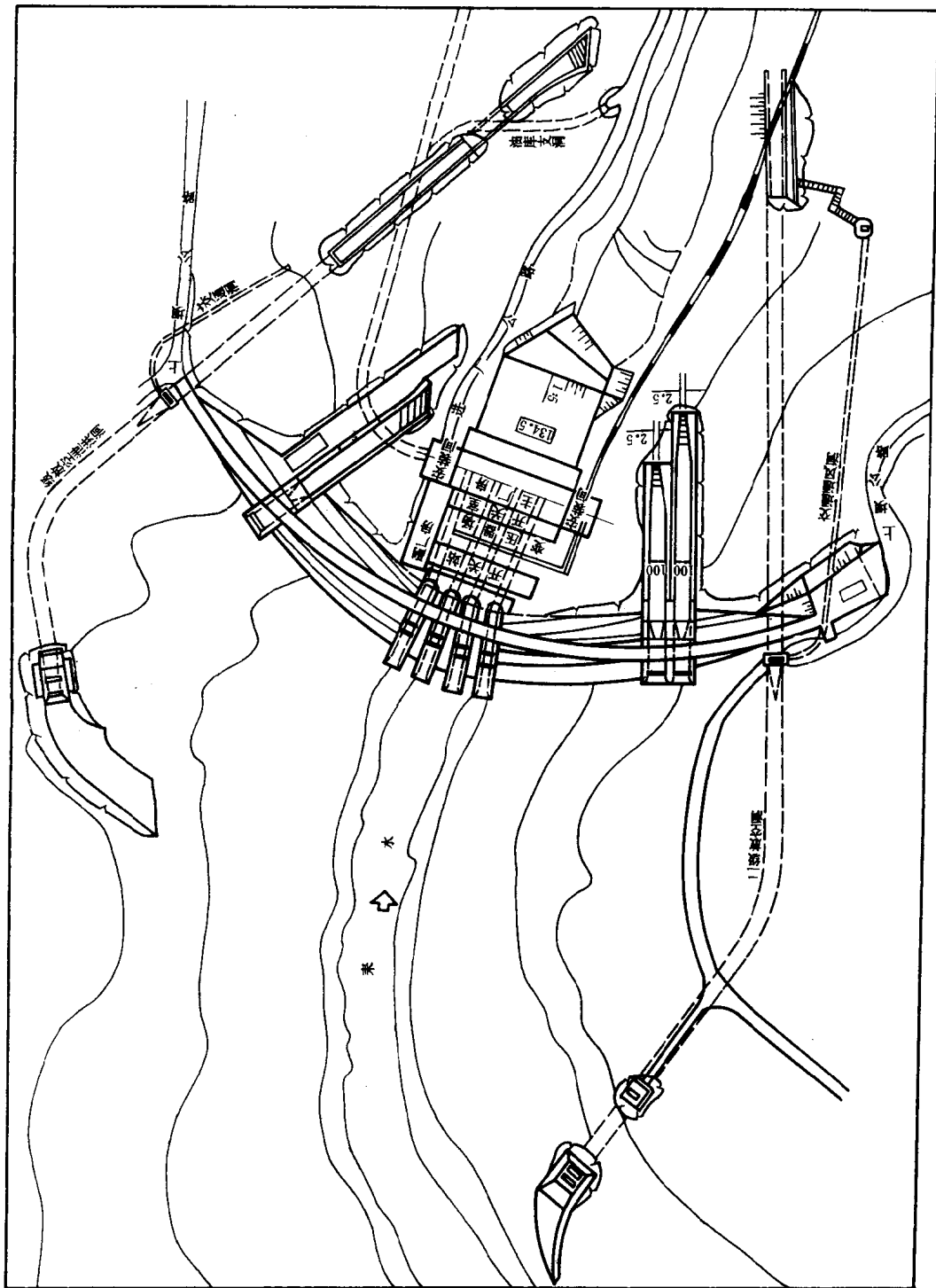


图 1-5 东江水电站枢纽布置图





