

712430

高等学校教材

503122

45127.3

水电站

(供农田水利工程专业用)

华东水利学院 成都科学技术大学 合肥工业大学



水利电力出版社

22
27.3

高等学校教材

水 电 站

(供农田水利工程专业用)

华东水利学院 成都科学技术大学 合肥工业大学

水利电力出版社

内 容 提 要

全书共分十二章，主要内容包水能规划、水轮机、引水建筑物及厂房四大部分。本书为高等院校农田水利工程专业的教材，也可供省、地、县各级水利工程技术人员的参考。

高等学校教材

水 电 站

(供农田水利工程专业用)

华东水利学院 成都科学技术大学 合肥工业大学

(根据水利出版社纸型重印)

*

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开本 19.625印张 446千字

1980年12月第一版

1983年11月新一版 1983年11月北京第一次印刷

印数 0001—6750册 定价 2.05元

书号 15143·5243

前 言

本书是根据1978年至1981年高等学校水利电力类教材编审规划，及1978年4月制订的高等学校“农田水利工程”专业教学计划，进行编写的。

该教材以讲授单机容量500~6000千瓦的水电站为主。全书按课内100学时编写，教师在使用本教材时，可根据各地区、各院校的特点，对书中内容有所取舍。

参加本书编写工作的有：华东水利学院张洪楚（第八章1~5节、第九章）、陈崇仁（第三、五、六章）、黄炳照（第八章6、7节）、陈金水（第四章），成都科学技术大学鄢建华（第十、十一、十二章），合肥工业大学韩志刚（第一、二章）、吴天柱（第七章），由华东水利学院主编。

初稿经王世泽、鄢建华、张洪楚同志修改、汇总后，由武汉水利电力学院组织了审查。审稿会后，由王世泽、张洪楚同志最后修改定稿。

本书在编写过程中得到了兄弟单位及有关院校的大力协助，在此一并致谢。

对于书中的缺点和错误，希望广大师生及读者给予批评指正。

编 者

1979年3月

目 录

前 言

第一章 水力发电的基本原理和水电站的基本类型	1
第一节 水力发电的基本原理和水电站出力的计算	1
第二节 水力资源的开发方式和水电站的基本类型	4
第二章 水电站装机容量的选择	15
第一节 电力系统及水电站在电力系统中的作用	15
第二节 水电站的设计保证率	20
第三节 水电站保证出力和平均年发电量的计算	21
第四节 水电站装机容量的选择	28
第五节 水电站的主要经济指标	41
第三章 水轮机类型、组成及安装高程	43
第一节 水轮机基本类型及型号	43
第二节 冲击式水轮机主要组成部分及其作用	50
第三节 反击式水轮机主要组成部分及其作用	53
第四节 水轮机的安装高程	68
第四章 水轮机的工作原理与相似理论	72
第一节 水轮机的工作原理及其基本方程	72
第二节 水轮机的能量损失及其效率	75
第三节 水轮机的相似定律	79
第四节 水轮机的效率修正及其对 η_1 、 Q_1 的影响	86
第五章 水轮机的特性和选择	88
第一节 水轮机特性曲线	88
第二节 水轮机选择的任务、原则及原始资料	99
第三节 水轮机选择	102
第六章 水轮机的调速设备	111
第一节 水轮机调节的任务和调速设备的分类	111
第二节 水轮机自动调速器的工作原理	112
第三节 调速器和油压装置的系列型谱及调速器的选择	116
第七章 水电站引水建筑物	120
第一节 水电站进水建筑物	120
第二节 水电站的引水渠道	126
第三节 水电站压力前池及日调节池	128
第四节 水电站引水隧洞	138
第八章 水电站压力水管	141
第一节 压力水管的功用、类型及布置	141

第二节	压力水管尺寸的确定	146
第三节	作用在露天钢管上的力	147
第四节	露天钢管的镇墩及支墩	151
第五节	露天钢管阀门及附件	155
第六节	露天钢管管身设计	157
第七节	分叉管	164
第九章	调节保证计算	175
第一节	调节保证计算的任务	175
第二节	水击现象、水击传播速度及水击基本方程	175
第三节	简单管水击简化公式	182
第四节	复杂管水击近似公式	190
第五节	水击图解法	192
第六节	机组暂态不平衡率的计算	195
第七节	调节保证计算标准及改善调节保证的措施	198
第八节	用电子数字计算机计算水击和转速	202
第九节	调压室的作用、要求及设置条件	210
第十节	调压室的水力现象、基本方程及基本类型	210
第十一节	圆筒、阻抗式调压室水位波动解析法计算	213
第十二节	“引水道-调压室”系统波动的稳定性	216
第十章	水电站厂房布置	219
第一节	水电站厂房的作用、组成及基本类型	219
第二节	水电站厂房的辅助设备	231
第三节	水电站厂房布置与尺寸拟定原则	237
第四节	竖轴机组厂房布置	243
第五节	卧轴机组厂房布置	247
第六节	厂区布置	254
第十一章	水电站厂房结构设计	258
第一节	水电站厂房结构特点	258
第二节	厂房的总体稳定性及地基应力	261
第三节	厂房的构架及楼板	266
第四节	吊车梁	269
第五节	机座	272
第六节	蜗壳	294
第七节	尾水管	298
第十二章	水电站厂房施工	303
第一节	水电站厂房施工特点	303
第二节	水电站厂房混凝土工程	306
附录	本书所用工程单位制与国际单位制(SI)对照表	308

第一章 水力发电的基本原理和水电站的基本类型

第一节 水力发电的基本原理和水电站出力的计算

一、河流的综合利用

河流是国家的宝贵自然资源，对于国家经济建设的发展有着巨大的作用。

我国劳动人民很早以前就已懂得利用河流，如引水灌溉，通行舟楫，开发水力等。过去由于生产力和生产关系的限制，人们对于河流的利用，除一些著名的工程外，一般规模都比较小，而且往往只能获得某种单方面的效益。随着人类社会的不断进步和科学技术的飞速发展，人们对于河流的利用不仅规模日益巨大，而且在开发目标上，也由过去的单目标开发，逐步发展成多目标的综合利用开发。近二十年来，河流水利资源的综合利用，又进一步发展到包括地表水和地下水在内的，总的水资源综合利用的新阶段。

与河流关系最为密切的国民经济部门有灌溉、发电、航运、工业及民用给水、水产等。所谓开发水利，就是利用河流来为这些部门服务。此外，我国多数河流还有防洪的问题，这个问题的逐步解决，对于经济建设的发展和人民生活的安定有着重大的意义。因此，所谓河流的综合利用，即当我们在河流上兴建某项工程，对河流进行全面的开发与治理时，必须通盘考虑防洪、灌溉、发电、航运、给水、水产等各有关方面的要求，以取得国民经济最大的综合效益。

在上述这些经济部门中，由于各有其自身的特点，对河流的开发利用，彼此间存在着一些矛盾。例如，当我们在河流上兴建一座水库时，在防洪与灌溉和发电之间，就存在着库容的划分和运用上的矛盾。从防洪的角度看，要求在总库容中防洪库容占有较大的份额，每年汛期前，水库水位尽可能放低一些，以便多空出一些库容容纳汛期到来的洪水；但从灌溉和发电的角度看，则要求在总库容中兴利库容占有较大的份额，以增加水的储备，提高发电和灌溉的效益。在灌溉和发电之间也有矛盾，从水库运用来说，发电要求水库按照电力用户的负荷变化来供水，而灌溉则要求水库按照灌区作物需水情况来供水，这两个截然不同方面的要求无论在供水数量上、时间上都存在矛盾。在前面提到的其它一些经济部门之间，情况也是这样。

上面所列举的矛盾，还只是有关国民经济部门之间的矛盾，除这些方面的矛盾外，在实现河流的综合利用中，还存在着上下游之间，左右岸之间，干支流之间等地域上的矛盾。例如，提高下游的防洪标准，往往会增加上游的淹没损失；左岸引水多了，右岸引水就得减少；上游用水多了，下游用水就得减少等。由此可见，围绕着河流水利资源的综合利用问题，存在着多方面错综复杂的矛盾。

为了实现河流水利资源的综合利用，首先要制订出河流水利资源综合利用的全面规划，即流域规划。流域规划的制订，应在党的统一领导下进行。在详尽地占有自然的、社

会的、经济的等各种有关资料的基础上，运用辩证唯物主义观点，从全局出发，正确处理除害与兴利、工业与农业、需要与可能、近期与远景、干流与支流、地表水与地下水、上游与下游等各方面的关系。按照国民经济各有关部门的要求，并考虑到由于河流特性的改变对于环境保护及生态平衡的影响，作出河流综合治理与开发的全面部署，定出河流分期开发的先后次序，以及对各工程项目服务的主次关系。力求做到，以最少的费用来治理河流，最有效地开发水利资源，综合地满足各有关部门和地区的要求，取得整个流域国民经济的最大效益。

可以想见，这是一项非常复杂、非常繁重的任务，需要拟订许多方案，进行大量工程的和经济的计算及综合平衡工作，以选出最优开发方案。这方面的详细内容将在有关专业课中专门讲授。本课程只讲授作为河流综合利用重要组成部分的水力资源的开发利用问题。

二、水力发电的基本原理

在工农业生产和日常生活中广泛使用的电能，一般都是由各种原动机带动交流发电机发出来的。按照能量不灭原理，要原动机连续不断地带动发电机发电，就必须有其它形式的能量作为“原料”，连续不断地输入到原动机中去，“原料”不同，发电的方式也就不同。若以天然水源中含有的水能（亦称水力）为“原料”，将其输入到作为原动机之一的水轮机中，让它旋转并带动发电机发电，这种发电方式就是水力发电，它是现代电力生产的重要方式之一。

图1-1是水电站示意图。图中位于高处的水电站上游的水体具有较高的位能。当水由压力水管流过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

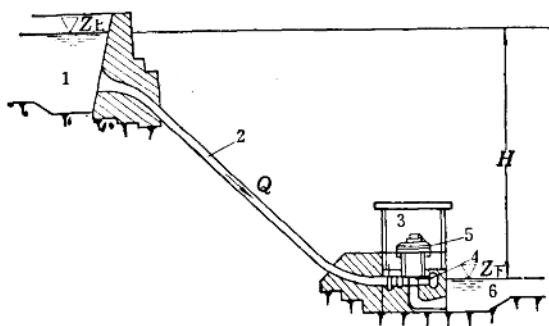


图 1-1 水电站示意图

1—水池；2—压力水管；3—水电站厂房；4—水轮机；
5—发电机；6—尾水渠道

轮旋转，使水能变为旋转的机械能。再令水轮机转轮带动发电机转子旋转，在发电机的定子绕组上产生感应电势，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又通过发电机转变为电能。

上述就是水力发电的过程。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机发电设备及其附属设备的总体，就是水电站。

三、水电站的出力和发电量的计算

水电站在某时刻输出的电功率，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 $Z_{上}$ ，下游水位为 $Z_{下}$ ，在 t 秒钟内有 V 立方米的水体经过水轮机而排入下游，则由物理学可知，这一水体的位能将减少 $\gamma V(Z_{上} - Z_{下})$ ，这

里 γ 是水的容重, 一般取 $\gamma = 1000$ 千克/立方米。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 秒钟内可以发出的电能, 其相应的出力称为水电站的理论出力 N_0 。

$$\begin{aligned} N_0 &= \frac{\gamma V (Z_{\text{上}} - Z_{\text{下}})}{t} = \gamma Q (Z_{\text{上}} - Z_{\text{下}}) \\ &= 1000 Q H \text{ 千克} \cdot \text{米} / \text{秒} \\ &= \frac{1000}{102} Q H \text{ 千瓦} \end{aligned}$$

即 $N_0 = 9.81 Q H \text{ 千瓦} \quad (1-1)$

式中 $Q = V/t$ ——水电站水轮机的流量 (米³/秒),

$H = Z_{\text{上}} - Z_{\text{下}}$ ——水电站上、下游的水位差, 称为水电站的水头 (米)。

水头和流量是构成水能的两个基本要素, 它们的一些特征值, 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, 由于磨擦和撞击会损失一部分能量, 通常用水头损失来表示, 从水头 H 中扣除掉水头损失 ΔH , 才是作用在水轮机上的有效水头, 称为净水头 $H_{\text{净}}$ ($H_{\text{净}} = H - \Delta H$); 另一方面, 在水轮机、发电机和传动设备中实现能量的转变和传递时, 由于机械磨损等原因, 也将损失一部分能量, 其有效利用的部分, 分别用其效率 $\eta_{\text{水机}}$ 、 $\eta_{\text{电机}}$ 、 $\eta_{\text{传动}}$ 来表示。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。水电站的实际出力 N 由下式计算

$$\begin{aligned} N &= 9.81 \eta Q (H - \Delta H) \\ &= 9.81 \eta Q H_{\text{净}} \text{ (千瓦)} \end{aligned} \quad (1-2)$$

式中 η 表示水轮发电机组的总效率, $\eta = \eta_{\text{水机}} \eta_{\text{电机}} \eta_{\text{传动}}$ 。 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 $9.81 \eta = K$, 则式 (1-2) 可以改写为

$$N = K Q H_{\text{净}} \text{ (千瓦)} \quad (1-3)$$

式中的 K 称为水电站的出力系数。对于大中型水电站, K 值可取为 $8.0 \sim 8.5$; 对于小型水电站, K 值一般取为 $6.5 \sim 7.5$ 。

在由式 (1-3) 计算水电站的出力时, 还必须知道 $H_{\text{净}}$ 。水头 $H = Z_{\text{上}} - Z_{\text{下}}$ 是知道的, 而水头损失 ΔH 则与流道的长度、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电站, 暂估一个 ΔH 值, 俟后再作校核。根据一些工程单位的经验, ΔH 可估为 H 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 代替 $H_{\text{净}}$, 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，单位是千瓦·小时（即“度”）。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

$$E = \bar{N}T \text{ (千瓦·小时)} \quad (1-4)$$

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，然后再总加得出。

第二节 水力资源的开发方式和水电站的基本类型

一、河段水力资源的开发方式和水电站的基本类型

由上节可知，为了利用河流的水力来发电，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。采取什么样的工程措施来集中河段落差构成发电水头，这是一个要在水电站的规划阶段首先研究解决的问题。

河段水力资源的开发，按照集中落差方法的不同有三种基本方式，即堤坝式、引水式和混合式。三种开发方式各适用于一定的河段自然条件。按不同的开发方式修建起来的水电站，其枢纽布置，建筑物组成等也迥然不同，故水电站也随之而分为堤坝式、引水式和混合式三种基本类型。

（一）堤坝式开发和堤坝式水电站

在河道上拦河建坝抬高上游水位，造成坝上、下游水位差，这种开发方式称为堤坝式开发。

采用堤坝式开发修建起来的水电站，统称为堤坝式水电站。在堤坝式水电站中，根据当地地形、地质条件，常常需要对坝和水电站厂房的相对位置作不同的布置，按照坝和水电站厂房相对位置的不同，堤坝式水电站又可分为河床式、坝后式、坝内式、溢流式等多种型式。在小型水电站中，最常见的是河床式和坝后式这两种类型。

1. 河床式水电站 河床式水电站一般修建在河流中、下游河道纵向坡度平缓的河段上。在这里，由于地形限制，为避免造成大量淹没，只能建造高度不大的坝（或闸）来适当抬高上游水位。其适用的水头范围，在大中型水电站上一般约在25米以下；在小型水电站上约在8~10米以下。

由于水头不大，河床式水电站的厂房就直接和坝（或闸）并排建造在河床中，厂房本身承受上游的水压力而成为挡水建筑物的一部分，如图1-2所示。

另一方面，由于河床式水电站多建造在中、下游河段上，因而其引用的流量一般较大，故河床式水电站通常是一种低水头大流量水电站。

2. 坝后式水电站 当由拦河坝集中起来的水头较大时，如果电站采用河床式布置，则由于上游水压力很大，厂房本身的重量已不足以维持其稳定，因此不得不将厂房移到坝后（坝的下游），使上游水压力完全或主要由坝来承担，这样布置的水电站称为坝后式水电站。

坝后式水电站一般修建在河流中、上游。由于在这种河段上允许一定程度的淹没，所以与河床式电站比较起来，它的坝可以建造得较高，这不但使电站获得了较大的水头，更重要的是，在坝的上游形成了可以调节天然径流的水库，有利于发挥防洪、灌溉、发电、通航及水产等多方面的综合效益，并给水电站的运行创造了十分有利的条件。

图 1-3 所示的韶山灌区水府庙水电站就是一座坝后式水电站。电站厂房布置在最大坝高

35.04 米的圬工重力坝后面，厂房内装设了四台水轮发电机组，发电用水由坝体内的钢筋混凝土压力管道引入厂房，自厂房流出的发电尾水供下游灌溉。在整个灌溉季节，水电站用水完全按照灌区的需水量来进行水库调度。在溢流坝段设有底孔，作为放空水库及冲砂之用；施工时也作施工导流用；当电站因故停机或检修时，还可供给下游灌溉用水。

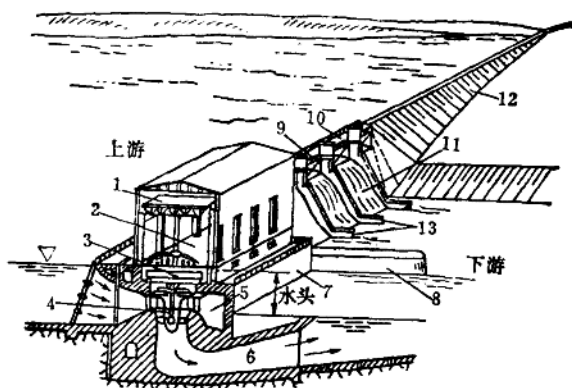


图 1-2 河床式水电站布置示意图

- 1—起重机；2—主机房；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—桥；
11—混凝土溢流坝；12—土坝；13—闸墩

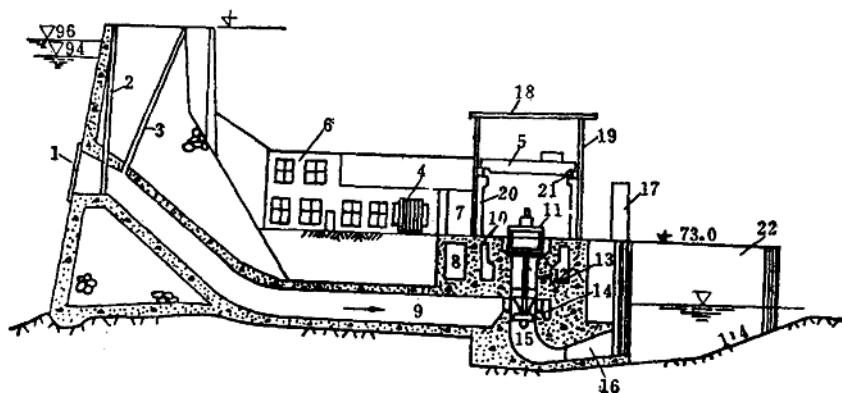


图 1-3 韶山灌区水府庙水电站

- 1—拦污栅；2—快速闸门；3—通气孔；4—主变压器；5—桥式吊车；6—副厂房；7—母线道；8—
电缆道；9—压力水管；10—发电机层楼板；11—发电机；12—圆筒式机墩；13—水轮机层地面；
14—混凝土蜗壳；15—水轮机；16—尾水管；17—尾水闸门起吊架；18—平屋顶；19—墙（柱）；20—
主柱；21—吊车梁；22—尾水导墙

如果坝后式水电站的拦河坝是土坝或堆石坝等当地材料坝，其发电用的压力管道可以埋设在坝基内，见图 1-4（A）。不过，采用这种埋设方法，当水管因某种原因破裂时不易检修，自管中漏出的水将直接威胁大坝的安全，所以在多数情况下，压力管道采用隧洞，而将厂房布置在河流的一岸，见图 1-4（B），这种布置方式称为河岸式。

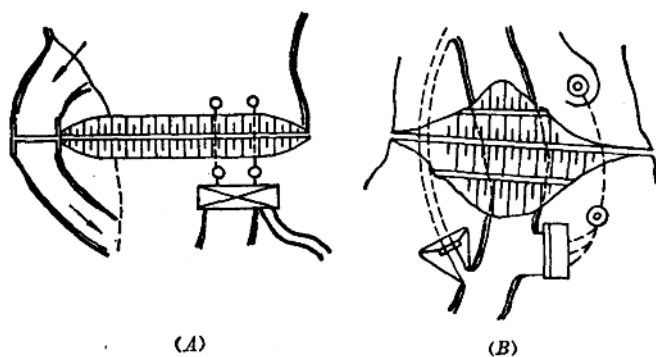


图 1-4

(A) 厂房布置在拦河坝后的水电站；(B) 厂房布置在河岸的水电站

(二) 引水式开发和引水式水电站

在河流的某些河段上，由于地形、地质条件的限制，不宜采用堤坝式开发时，可以修建人工引水建筑物（如明渠、隧洞等）来集中河段的自然落差。这种开发方式称为引水式开发。

在河道的上游坡度比较陡峻的河段上，常采用引水式开发。如图 1-5 所示，沿山腰开挖了一条引水渠道，由于引水渠道的纵坡（一般取 $1/1000 \sim 1/3000$ ）远小于该河段的天然坡度，所以在引渠的末端形成了集中的落差。河段的天然坡度愈大，每公里引水渠道所能集中的落差也愈大。

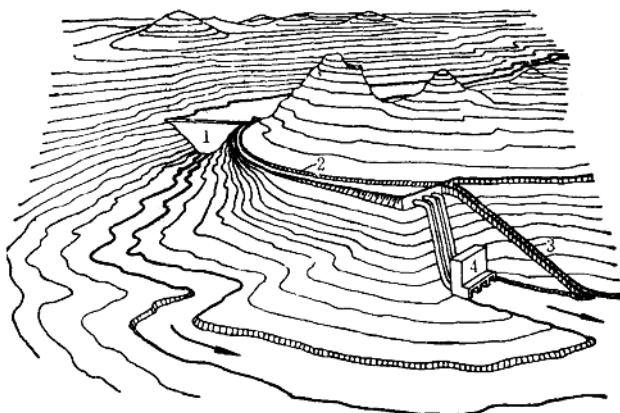


图 1-5 无压引水式水电站总体布置示意图

1—坝；2—引水渠；3—溢水道；4—水电站厂房

此外，当遇到大的河湾时，可通过打隧洞或开挖引水渠道将河湾截直，这样也能够集中一定的落差，如图 1-6 所示。

采用引水式开发修建起来的水电站，统称为引水式水电站。在小型水电站中，引水式水电站比堤坝式水电站更为普遍。它与堤坝式水电站比较起来，由于不存在淹没和筑坝技

术上的限制，故其水头常可达到极高的数值，如湖南省的崇山水电站，水头高达 612 米。但是，由于受当地天然径流的限制或受引水建筑物截面尺寸的限制，高水头引水式水电站的发电引用流量一般都比较小，如上述的崇山水电站，单机引用流量仅 0.124 立米/秒。

引水式水电站按引水建筑物中水流状态的不同而分为两个基本类型，即无压引水式水电站和有压引水式水电站。

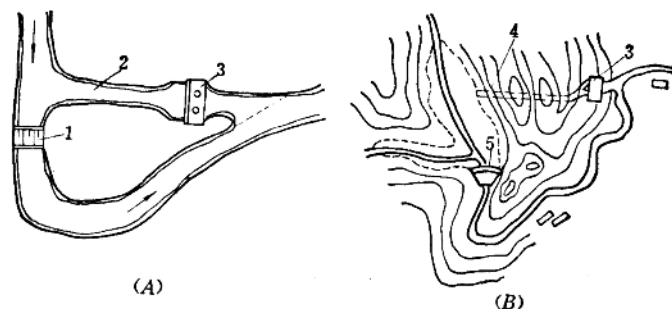


图 1-6 利用河湾修建引水式水电站

(A)丘陵、平原地区；(B)山区

1—溢流坝；2—引水渠；3—厂房；4—压力水管；5—坝

1. 无压引水式水电站 无压引水式水电站的引水建筑物是无压的，如明渠、无压隧洞等。图1-5即为典型的山区小型无压引水式水电站的布置示意图。由该图可见，在引水渠道进水口附近的原河道上也筑有坝，但它的主要作用不是用来集中水头，而只是将天然河道中的流量导入引水建筑物。由该图还可以看到，在引水渠道末端，有一个扩大加深的水池，称为压力前池。发电用水由压力前池经压力水管引入电站厂房。在电站骤然减少引用流量时，渠中多余的水量可自压力前池的溢水道泄往下游。

在低丘区和平原地区，无压引水式水电站的水头很小，一般在 6 ~ 10 米以下，这时，发电用水由引水渠道直接引入厂房水轮机室，整个枢纽的平面布置如图 1-6 (A) 所示。

灌溉渠道上的跌水，一般也可用来建造水电站，称为灌溉跌水式水电站。它也是一种无压引水式水电站。因为该种水电站是利用灌溉渠道上的跌水来修建的，故其造价要比专门建造的同容量的水电站便宜一些。其缺点是，通常只能在灌溉渠道通水时才能发电，因而具有很大的季节性，作为常用电站，有其不方便之处，需要和其它电站相配合。

灌渠跌水式水电站的布置有两种方式。当水头较小时，发电用水直接自灌渠引入厂房（相当于河床式），或经引水渠引入厂房[如图1-6(A)]；当水头较大时，发电用水经引水渠和压力前池、压力水管进入厂房（图1-5）。

2. 有压引水式水电站 有压引水式水电站的引水建筑物是压力隧洞或水管，如图 1-6 (B) 所示。如果水电站主要利用有压引水建筑物来集中水头，那么这个水电站就可以看成是有压引水式水电站。在有压引水式水电站中，当压力引水道很长时，为了减小压力水管中因突然丢弃负荷而产生的水击压力和改善水电站的运行条件，常常需要在压力引水道和压力水管的连接处设置调压塔或调压井，如图1-7所示。

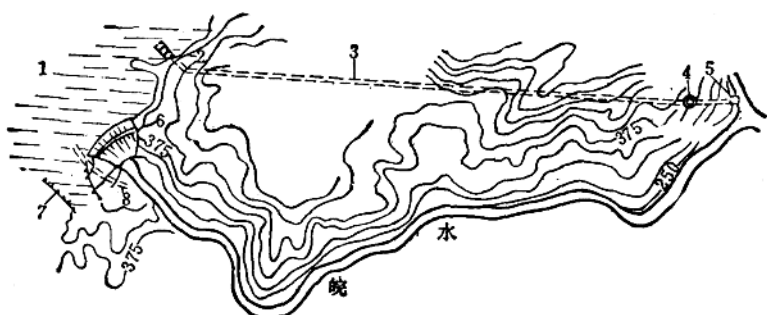


图 1-7 安徽省毛尖山水电站总体布置图

1—水库；2—进水口；3—发电引水洞；4—调压井；5—地面厂房；6—大坝；7—溢洪道；8—导流洞

(三) 混合式开发和混合式水电站

同时用拦河筑坝和修建引水建筑物两种方式集中河段落差，则称为混合式开发，相应的水电站称为混合式水电站。

混合式水电站常常建造在上游有优良库址，适宜建库，而紧接水库以下河道坡度突然变陡，或是有一个大的河湾的河段上。它的水头一部分由坝集中，另一部分由引水建筑物集中，因而具有堤坝式电站和引水式电站两方面的特点。图 1-7 所示的安徽省毛尖山水电站，就是一座混合式水电站。该站通过拦河建坝（土石混合坝）取得 20 米左右水头，又通过开挖压力引水隧洞，取得 120 多米水头，电站总净水头达 138 米，装机 25000 千瓦。由于压力隧洞很长，故在隧洞末端设置了调压井。

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，坝只起抬高一些上游水位的作用。但在实际工程中，常将具有一定长度引水建筑物的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。

(四) 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。

无调节水电站没有水库，或虽有水库却不用来调节天然径流，在天然流量小于电站能够引用的最大流量时，电站的引用流量就等于或小于该时刻的天然流量；当天然流量超过电站能够引用的最大流量时，电站至多也只能利用它所能引用的最大流量，超出的那部分天然流量只好废弃。

凡是具有水库，能在一定限度内按照负荷的需要对天然径流进行调节的水电站，统称为有调节水电站。根据调节周期的长短，有调节水电站又可以分为日调节水电站、年调节水电站及多年调节水电站，视水库的有效库容与河流多年平均年水量的比值（称为库容系数）而定。无调节和日调节水电站又称径流式水电站。具有比日调节能力大的水库的水电站又称蓄水式水电站。

在前面所讲过的水电站中，坝后式电站和混合式电站一般都是有调节的；河床式电站

和引水式电站则常是无调节的，或者只具有较小的调节能力，例如日调节。

应该强调指出，水电站的调节能力，对于天然径流的充分利用和水电站的运行方式有着决定性的影响，采用水能计算的方法和选择装机容量也不一样，这一点，我们将在第二章里再详细说明。

二、梯级开发、梯级水电站

前面讲的是一个河段水力资源的开发方式。由于自然的、技术的或经济的原因，一个水电站所能开发利用的河段长度是有一定限度的，对于小型水电站来说，一般约在10公里以内。当一条河流的全长（从河源到河口）超过一个开发段所能达到的最大长度时，就必须将全河流分成若干个河段来开发利用。这些河段，自上而下，一个接着一个，犹如一级级的阶梯，所以这种开发方式称为梯级开发。梯级开发中的水电站称为梯级水电站。

图1-8为湖南省黔阳县母溪河流域梯级开发规划（1978）示意图。母溪河是沅水的一级支流，是一条典型的山区河流，流域面积165平方公里，干流总长45.7公里，河道平均纵坡达12.2%，蕴藏着丰富的水力资源。

母溪河流域共规划9个梯级（10个电站），总装机容量22840千瓦，年总发电量近9000万度，各梯级的概况列于表1-1中。

表 1-1 黔阳县母溪河流域梯级开发规划概况表

梯级	电站名称	距河口距离 (公里)	开发方式	调节性能	设计水头 (米)	引用流量 (米 ³ /秒)	装机容量 (千瓦)	年发电量 (万度)
1	天堂	41.4	混合式	平	320	2×0.107	500	216
2	中平江	40.1	混合式	年	154	2×0.486	1000	370
3	下平江	35.0	引水式	(日)	620	2×0.7	8000	3238
	大溪		引水式	无	56	1.0	450	130
4	景冲	33.2	堤坝式	年	22.7	2×3.72	1000	406
5	雷家寨	27.7	引水式	无	148	4×1.4	6400	2420
6	熟坪	22.1	引水式	无	18	2×3.72	1000	395
7	泉龙溪	15.0	引水式	无	27	2×3.96	1600	646
8	鱼双溪	9.8	引水式	无	31.5	7.74	1890	821
9	沅建	2.3	引水式	无	12	2×5.3	1000	341

在河流梯级开发规划中，最重要的问题是梯级的布置和第一期工程的选择。

1. 河流梯级电站的布置 对一条具体河流来说，它应划分成多少个梯级来开发，每个梯级采取什么方式开发，按多大的规模来开发等，应作为整个流域规划的重要组成部分，要有一个通盘的规划。梯级规划的原则和流域规划的原则一样，即从客观实际情况出发，因地制宜，力求以最少的费用取得全河流国民经济最大的综合效益。

在这个原则指导下进行具体布置时，一般的作法是，在对全河流的自然、社会、经济情况进行充分调查研究的基础上，首先将那些在地形、地质、水文等自然条件上允许建库建坝的河段找出来，布置蓄水梯级，并初步确定各梯级在综合利用中的主次关系，粗略估计其开发规模（如蓄水高程、装机容量等）。在相邻蓄水梯级不相衔接的河段上，则视自然条件考虑布置引水梯级（或混合梯级，或低水头河床式梯级），使所有梯级上下衔接、

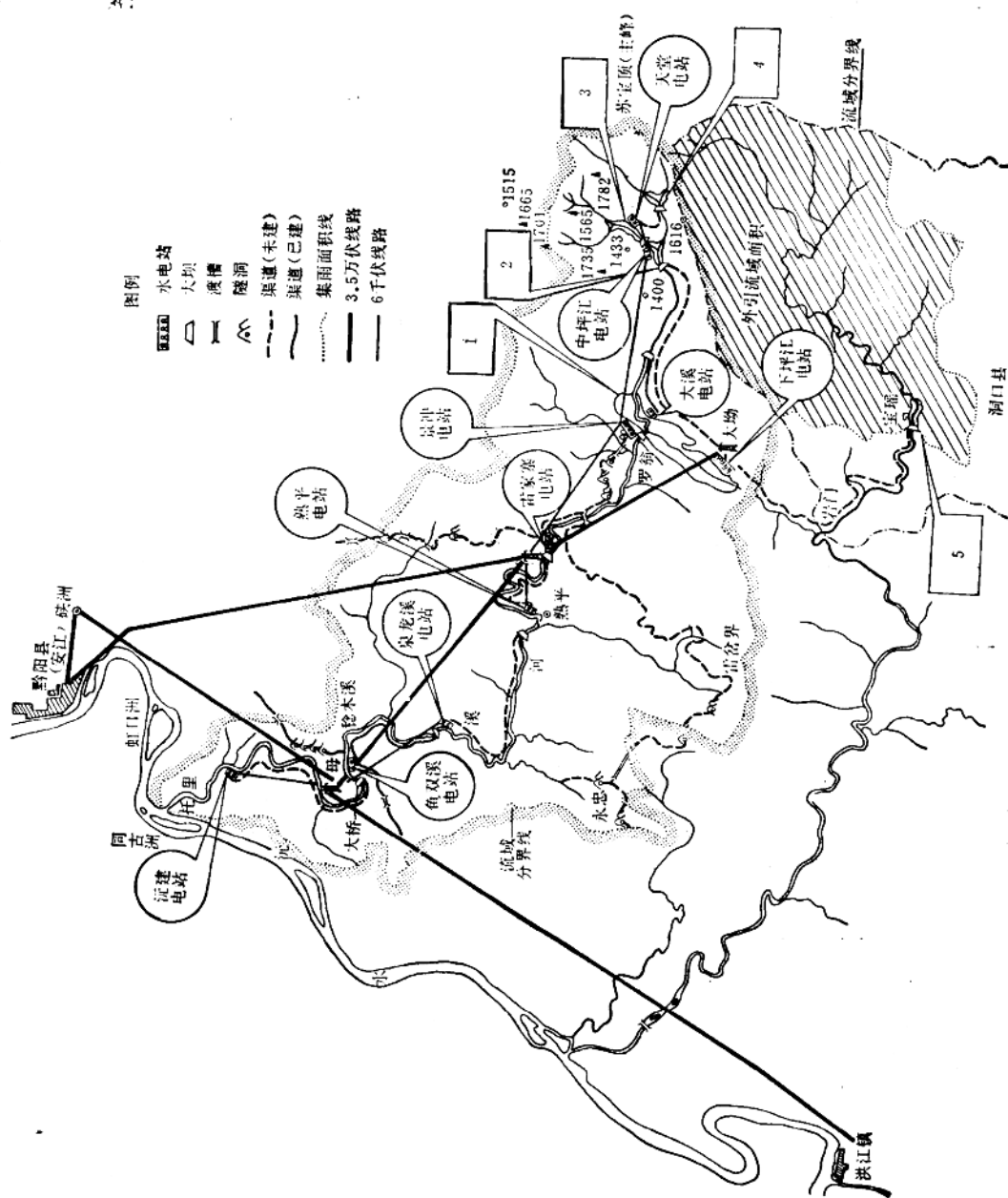


图 1-8 黔阳县母溪河梯级开发示意图

1—八面山水库，集雨面积98.9公里²，最大坝高53米，库容2千万米³，2—下坪江水库，集雨面积13.21公里²，最大坝高31米，库容43万米³，3—中坪江水库，集雨面积10公里²，最大坝高44.5米，库容278万米³，4—天堂水库，集雨面积2.95公里²，最大坝高24米，库容60.7万米³，5—宝顶引水坝，集雨面积64.9公里²，最大坝高40米，引水渠长14公里

首尾相连，以最大限度地利用河流的自然落差。

在布置中要注意到：

(1) 全部梯级的最上一个梯级，最好是一个蓄水梯级，如图1-8及图1-11所示。因为最上一级布置蓄水梯级能增大梯级总的发电能力，并给以下各个梯级的施工（若最上一级梯级先施工的话）和运行创造有利的条件。当然，能否做到这一点仍然取决于河流的自然条件。

(2) 如果在初步布置中有两个或两个以上的蓄水梯级连在一起，应进一步研究将它们合并或分组合并的可能性。试比较一下图1-9所示的同一河段上的两种不同的梯级布置方案。方案I即虚线所示的大坝方案，全河段的落差按一级开发，这时，水电站的出力可近似估算为 $N_I = 9.817Q_3H$ （千瓦）；在方案II中，全河段分成三级开发，三个水电站的总出力可近似估算为 $N_{II} = 9.817(Q_1H_1 + Q_2H_2 + Q_3H_3)$ （千瓦）。一般说来， $H \geq H_1 + H_2 + H_3$ ，而 $Q_3 > Q_2 > Q_1$ ，所以 $N_I > N_{II}$ 。由此可见，从获得较大的发电效益来看，在相连的蓄水梯级中，一般说来减少梯级的数目是有利的。当然，这只是事情的一个方面；另一方面，还必须同时比较建造三个小坝电站和建造一个大坝电站在技术上的可能性及经济上的合理性，特别是要比较一下两个方案的淹没情况。我国人口多耕地少，在建造水库时农田的淹没及人口的搬迁是要首先加以考虑的重要因素。

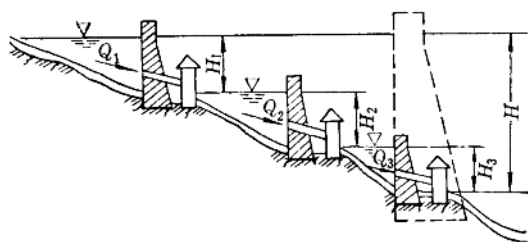


图 1-9 蓄水梯级的梯级划分方案比较

对于相连的引水梯级，也可以同样地进行不同方案的比较，如图1-10所示，其结论是，对于引水梯级，级数增加常能获得较大的发电效益。

(3) 在初步确定各梯级的开发规模（主要指库容和电站过水能力）时，要注意上、下级之间的协调。图1-11是一条河流梯级开发的实例。在该例中，由于历史的原因，第二梯级的库容过小，电站过水能力也只及一级站的一半，为使二级站不发生弃水，一级站经

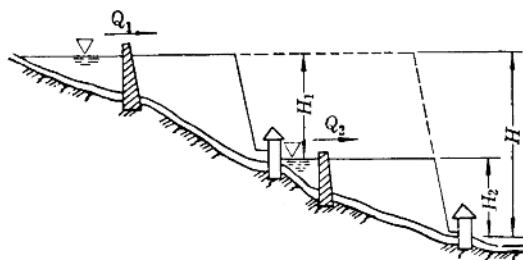


图 1-10 引水梯级的梯级划分方案比较

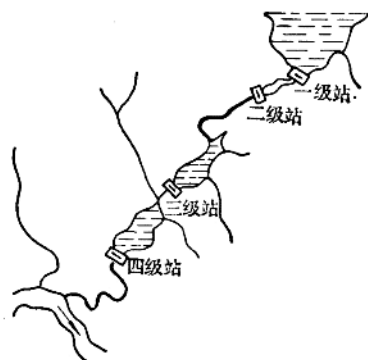


图 1-11 ××河梯级电站布置示意图