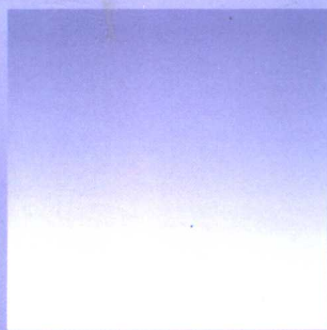


小型水电站 及其运行和维护

程 钢 龙 燕 杨海平 编

XIAOXING
SHUIDIANZHAN JIQI
YUNXING HE
WEIHU



重庆大学出版社

小型水电站及其运行和维护

程钢 龙燕 杨海平 编

重庆大学出版社

内 容 简 介

本书系统地介绍了小型水电站的基本结构及其各种设备,详细介绍了小型水轮机、小型水轮机调速设备及辅助设备、小型水轮发电机、变压器、高低压配电装置、小型水电站的二次设备和二次回路的工作原理、运行和维护,对小型水电站的管理也作了一定的叙述。本书注意系统性、理论性和实用性的结合,着重理论联系实际,解决实际工程问题。

本书可作为小型水电站运行人员的技术培训教材,对小型水电站管理人员、技术人员以及大专院校相关专业人员也有一定的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

小型水电站及其运行和维护/程钢,龙燕,杨海平编. 重庆:重庆大学出版社,2000.9

ISBN 7-5624-2199-4

I. 小... II. ①程... ②龙... ③杨... III. ①水力发电站,小型-运行②水力发电站,小型-维修

IV. TV742

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 30227 号

小型水电站及其运行和维护

程钢 龙燕 杨海平 编

责任编辑 谭 敏

*

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

重庆电力印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:26 字数:648 千

2000 年 8 月第 1 版 2000 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—4000

ISBN 7-5624-2199-4/TM·64 定价:30.00 元

前 言

我国有着丰富的小型水电资源,其发展前景十分广阔。近十多年来,随着我国小型水电站建设的迅速发展,对小型水电站的安装、运行、维护管理人员的技术水平要求越来越高。而我国小型水电站技术人员的缺乏以及在职技术人员的再教育是急需解决的问题。

本书作者长期从事发供电技术的教学和科研工作,具有扎实的理论知识;曾多年在西藏、福建和四川等地进行了小型水电站的安装、维修和运行管理人员的培训工作,积累了一定的实际工程经验,对小型水电站技术人员知识的需求也有一定的了解。为了适应小型水电站的发展需要,对电站运行和管理人员进行正规化和系统化的培训,提高其技术业务素质,特编写本教材。

本书第1篇和第2篇由龙燕编写,第3篇和第5篇由程钢编写,第4篇由杨海平编写。全书由程钢主编,冯璞乔教授主审。

作者编写本书时,注意其系统性、理论性和实用性的结合,着重理论联系实际,解决实际工程问题。本书主要面向小型水电站的运行和管理人员,也可供从事小型水电站安装、维护人员以及大专院校相关专业人员参考。

由于编者水平和经验有限,书中难免存在缺点和错误,恳请读者批评指出。

编 者
2000年1月

目 录

第 1 篇 小型水电站概述

第 1 章 水力发电及水工建筑	1
1.1 水力发电的基本原理及水电站的基本类型	1
1.2 水电站引水建筑物	7
1.3 水电站压力水管	14

第 2 篇 小型水轮机及其附属设备

第 2 章 小型水轮机	20
2.1 概述	20
2.2 反击式水轮机	37
2.3 冲击式水轮机	60
2.4 水轮机的运行	68
2.5 小型水轮机组常见故障分析与处理方法	81
2.6 小型水轮机组的检修	83
第 3 章 小型水轮机的调速设备	128
3.1 调速器的作用和类型系列	128
3.2 调速器工作原理	131
3.3 调速器的运行	140
3.4 调速器常见故障分析与处理方法	154
3.5 调速器的检修	165
第 4 章 小型水轮发电机组的辅助设备	170
4.1 水轮机的主阀与快速闸门	170
4.2 水电站水系统	179
4.3 水电站的压缩空气系统	190
4.4 水电站油系统	198

第 3 篇 小型水电站电气一次设备

第 5 章 小型水电站电气一次设备概述	206
5.1 小型水电站电气设备概述	206
5.2 电气主接线	206
第 6 章 小型水轮发电机	210
6.1 同步发电机的基本结构	210
6.2 同步发电机的基本原理	217
6.3 同步发电机的励磁系统	218
6.4 同步发电机的运行特性	227
6.5 同步发电机的并联运行	229
6.6 小型水轮发电机组的运行	233
6.7 小型水轮发电机的异常运行和常见故障分析与处理方法	237

6.8 小型水轮发电机的检修	242
第 7 章 变压器	256
7.1 变压器的作用和基本结构	256
7.2 变压器的工作原理	262
7.3 变压器的运行特性	265
7.4 三相变压器	266
7.5 变压器的并联运行	268
7.6 变压器的运行	269
7.7 变压器的异常运行和常见故障的分析与处理方法	276
7.8 变压器的检修	278
第 8 章 高、低压配电装置	288
8.1 电弧的产生及灭弧方法	288
8.2 高压断路器	289
8.3 隔离开关	307
8.4 高压熔断器	314
8.5 互感器	316
8.6 母线、绝缘子及电缆	326
8.7 低压开关电器	336
第 9 章 防雷保护及接地保护	353
9.1 雷电的基本知识	353
9.2 防雷保护措施	354
9.3 接地保护	359
9.4 接地电阻的要求和测量	360
9.5 防雷设备与接地装置的维护	362
第 4 篇 小型水电站二次设备与二次回路	
第 10 章 小型水电站二次设备	363
10.1 二次设备的功用和代号	363
10.2 低压电站常用的几种继电器	369
10.3 二次设备中的计量仪表	372
第 11 章 小型水电站二次回路	378
11.1 二次回路图的阅读	378
11.2 同期系统接线	388
11.3 BKSF 型低压配电屏	392
11.4 二次回路的检修	396
第 5 篇 小型水电站的管理	
第 12 章 小型水电站的管理	400
12.1 小型水电站的组织管理	400
12.2 小型水电站的技术资料和档案管理	401
12.3 小型水电站的运行管理	402

第 1 篇 小型水电站概述

第 1 章 水力发电及水工建筑

1.1 水力发电的基本原理及水电站的基本类型

1.1.1 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生产出来的。若以天然水源中含有的水能(亦称水力)驱动作为原动机的水轮机,使其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。当水由压力管道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。

1.1.2 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 $Z_{\text{上}}$,下游水位为 $Z_{\text{下}}$,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 $\gamma V(Z_{\text{上}} - Z_{\text{下}})$,这里 γ 是水的容重,一般取 $\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$ 。假设上游和下游水流流速近似相等(即上、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 。

$$\begin{aligned} N_0 &= \frac{\gamma V(Z_{\text{上}} - Z_{\text{下}})}{t} = \gamma Q(Z_{\text{上}} - Z_{\text{下}}) \\ &= 1000QH \text{ (kg} \cdot \text{m/s)} \end{aligned}$$

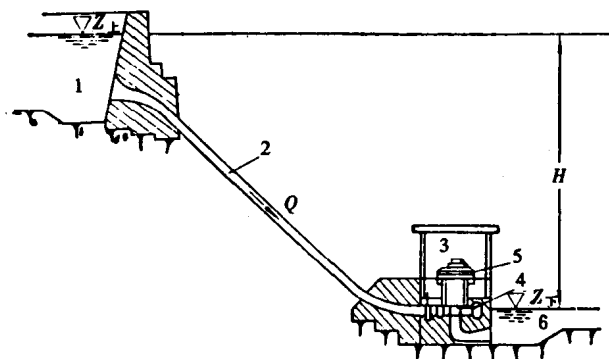


图 1.1 水电站示意图

- 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

$$= \frac{1000}{102} QH \text{ (kW)}$$

$$N_0 = 9.81 QH \text{ (kW)} \quad (1.1)$$

式中 $Q = V/t$ ——水电站水轮机的流量(m^3/s);

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

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,由于摩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:

$$\begin{aligned} N &= 9.81 \eta Q (H - \Delta H) \\ &= 9.81 \eta Q H_{\text{净}} \text{ kW} \end{aligned} \quad (1.2)$$

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:

$$N = K Q H_{\text{净}} \text{ kW} \quad (1.3)$$

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 ~ 8.5;对于小型水电站, K 值一般取为 6.5 ~ 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,然后再作校核。根据一些工程单位的经验, ΔH 可估为 H 的 3% ~ 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,否则会使计算结果偏大。

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 相乘而得,即

$$E = \bar{N} T \text{ kW} \cdot \text{h} \quad (1.4)$$

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,然后再总加得出。

1.1.3 水电站的基本型式

若要利用河流的水力来发电,首先须有水头,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。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。

1. 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两种类型。

(1) 河床式水电站

图 1.2 为河床式水电站的剖面图。

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,在大中型水电站一般约在 25m 以下;在小型水电站约在 8~10m 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。

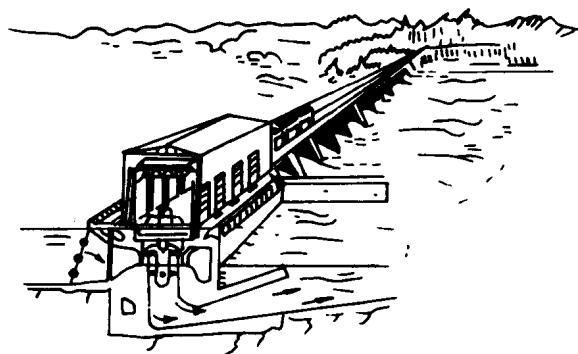


图 1.2 河床式水电站

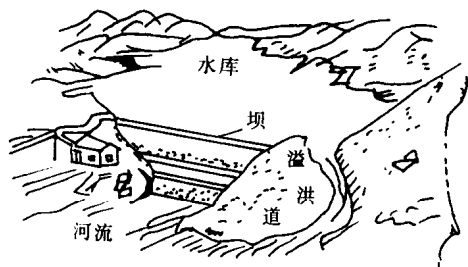


图 1.3 坝后式水电站布置图

水电站,如图 1.3 所示。

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

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

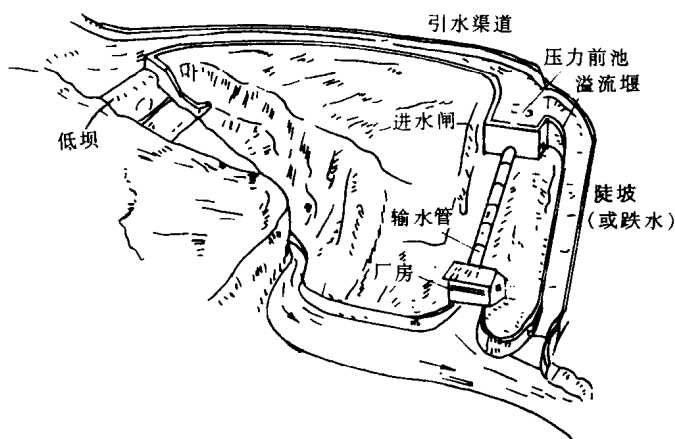


图 1.4 引水式水电站

集中河段的自然落差。这种利用引水建筑物集中落差的水电站,称为引水式水电站。

一般在天然坡度较陡的河流上游,修建引水坝(或闸)拦水,然后沿河岸开挖一条比原河段坡度平缓得多的渠道(或隧洞、管道),将水引入压力前池集中落差,再用压力管道将水引入厂房发电,然后由尾水渠排水。见图 1.4 所示。

图 1.5 是在灌溉渠道上的陡坡(或跌水)处集中落差后,修建的小水电站,除多建一个厂房及压力管道外,其它都是原灌渠上的建筑物,工程比较简单,但一般水头不高。

如果河道陡坡较陡,河弯又较大,则可以用截弯取直的办法,在上、下河段距离最短的地方引水发电,这比沿河开渠省工得多,见图 1.6 所示。

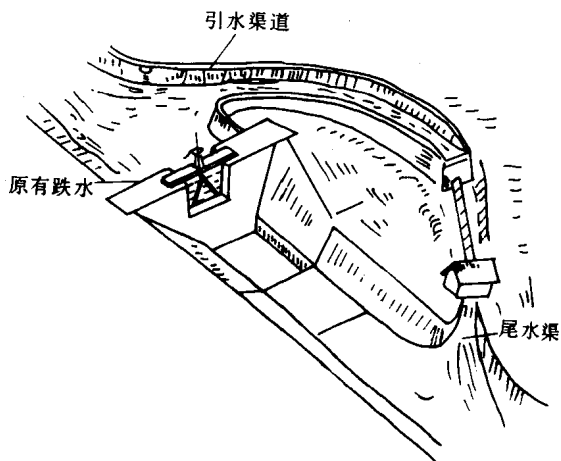


图 1.5 在灌溉渠上跌水(或陡坡)处建水电站

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。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。

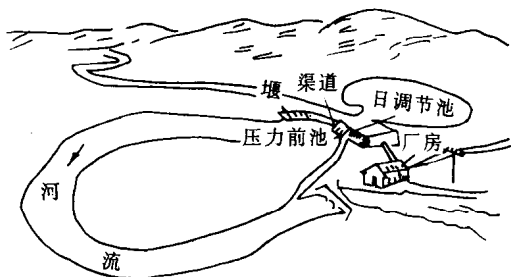


图 1.6 利用河弯开渠建水电站

混合式水电站的落差,是由筑坝抬高水头和引水集中落差两方面获得的。

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

3. 混合式水电站

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,中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的特点。如图 1.7 为混合式水电站。

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。

河段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。

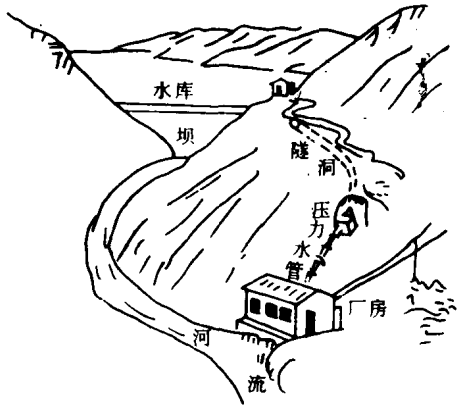


图 1.7 混合式水电站

1.1.4 水力资源的几种特殊开发方式及其典型布置

1. 跨流域引水开发、跨流域引水式水电站

若相邻两条河流有局部河段靠得很近而又一高一低,就可以考虑穿过两条河流的分水岭打一条隧洞,将高河的水引入低河来发电。这种开发方式涉及相邻两个流域,称为跨流域引水开发。

图 1.8 是广东省大台水电站跨流域引水建站的一个实例。该站在逢云河上游两条支流之间,修建了 80m 长的隧洞和 220m 长的引水渠,将大台水引入彩营水,取得 210m 水头,装机 640kW。

在规划跨流域引水开发时,应注意研究这种引水方式对引水河流(高河)和受水河流(低河)上已建造或计划兴建工程效益的影响,同时还应通盘考虑引水河流下游有关部门的用水要求。

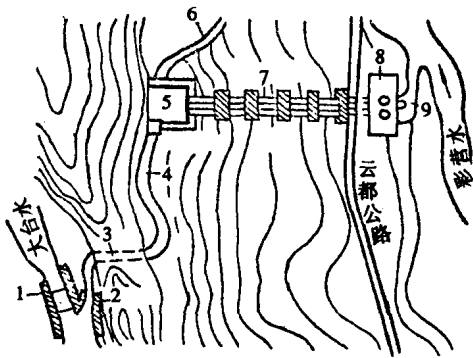


图 1.8 广东省大台水电站布置示意图

- 1—坝;2—进水口;3—隧洞;4—引水渠;5—前池;
- 6—溢水道;7—压力水管;8—厂房;9—尾水渠

2. 潮汐能的开发、潮汐式水电站

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 12 小时又 25 分钟。每一全潮水位升降的幅度称为潮差,其大小因时因地而异,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造围坝,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。利用潮差发电的水电站,称为潮汐水电站。我国海岸线长,沿海港湾多,潮汐能丰富,在广泛开发能源的今天,潮汐式水电站将有所发展。

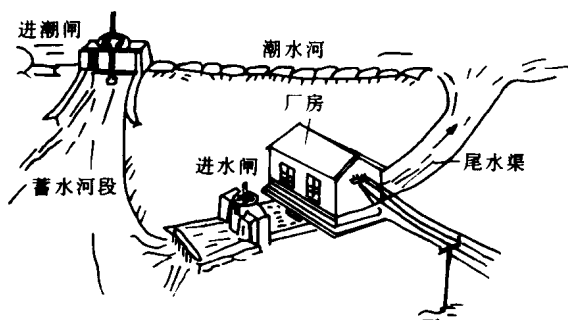


图 1.9 单向潮汐电站布置示意图

停止运转。以后每次涨潮,均按上述过程循环。

单向潮汐电站只能在退潮时发电,不能充分利用能量。为了克服这一缺点,浙江省黑山潮汐电站采用单向双库连续发电的方法(装机两台共 150kW)。图 1.10 为双向潮汐电站布置的示意图,A、B 为进水室两道闸门,C、D 为尾水闸门。关 B、C 开 A、D 为涨潮发电情况;关 A、D 开 B、C 则为退潮发电情况。当达到最高潮位时,关闭 C、D 并迅速开 A、B 闸门,尽快蓄满水库,以备退潮时发电之用。双向发电机连续发电的潮汐电站,建筑结构比较复杂,造价较高,其机组构造也较复杂,成本较贵,运行管理上也较麻烦。

图 1.9 是利用落潮发电的一种单向潮汐电站布置方式。其特点是涨潮蓄水,退潮发电。涨潮时,潮汐河水位渐高,由进潮闸进水,蓄水河段(港湾水库)蓄水,直至蓄水位与最高潮水位接近为止。退潮前,关闭进潮闸,潮汐河水位与蓄水河段水位差逐渐增大,当水位差达到水轮机的最小工作水头时,便可放水发电,蓄水位亦随之逐渐下降,直至内外水位差小于水轮机最小工作水头时,电站即

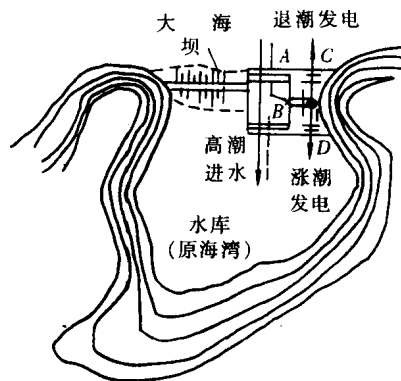


图 1.10 双向潮汐电站布置示意图

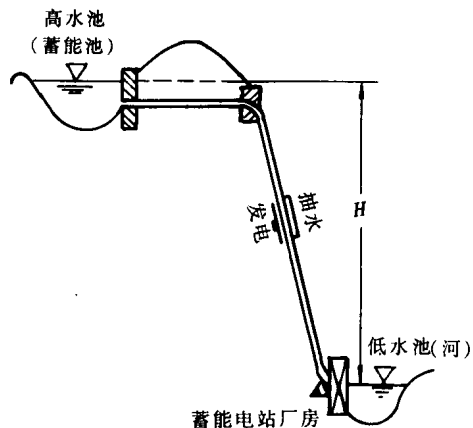


图 1.11 抽水蓄能电站示意图

3. 抽水蓄能电站

抽水蓄能发电是水能利用的另一种型式。它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,起调节电能的作用。抽水蓄能式水电站的工作包括抽水蓄能和放水发电两个过程。其建筑物的组成必须有高、低两个水池,与有压引水建筑物相连。蓄能电站厂房位于低水池处,如图 1.11 所示。当夜间用电负荷较小,系统内其他电厂出力有余时,该电站就吸收系统中的多余电量,带动水泵,将低水池中的水抽送到高水池,以水的势能形式贮存起来(抽水蓄能过程);等到系统负荷达到高峰而其他电厂出力不够时,就将高水池中的水放下来推动水轮机发电,以补充电力系统出力的不足(放水发电过程)。

抽水蓄能电站宜建于离负荷中心较近的地方,以减少输电线路的投资及能量的损失。抽水蓄能电站的水头宜高一些,地质条件要好。这样,机组尺寸较小,土建投资较少,总投资可少些。我国目前计划建造的广州抽水蓄能电站、北京十三陵及杭州天荒坪抽水蓄能电站,均满足

上述要求。

1.2 水电站引水建筑物

1.2.1 水电站进水建筑物

1. 进水建筑物的功用和要求

为了从天然河道或水库中引取水量而建造的专门水力建筑物称为进水建筑物,简称进水口。为发电目的专门修建的进水建筑物,称为水电站进水口。进水建筑物也可以修建成综合利用的形式,如发电灌溉或发电泄洪共用的进水口。

水电站进水口的功用,就是引进符合发电要求的用水。对进水口的基本要求如下:

(1)有足够的进水能力。在任何工作水位下,进水口都能保证按照负荷要求引进所需的流量。为此,在枢纽总体布置时,应合理安排进水口的位置和高程,选用足够的断面尺寸,防止产生吸气漩涡,妥善处理进水口结冰、淤积和污塞等问题。

(2)水质符合要求。除合理安排进水口的位置和高程外,需在进水口设置拦污设备,防止污物进入引水道和水轮机。在寒冷地区和多沙河流上,还需有排冰设施和沉沙、冲沙等设备。

(3)水头损失要小。进水口应有平顺的外形轮廓,以便水流通畅地进入引水道;有足够的断面尺寸,以便把进水口的水流速度控制在一定范围内。

(4)控制流量。进水口需设置闸门,为进水口和引水道检修创造条件,并在必要时进行紧急事故关闭,截断水流,避免事故扩大。对于无压引水式水电站,有时尚需利用进水口闸门来控制引水流量。

(5)满足对水力建筑物的一般要求。要有足够的强度、刚度和稳定性,结构简单,施工方便,并且便于运行、检修和维护等。

(6)综合利用。有综合利用要求时,应加以满足,必要时应设置专门装置。

2. 进水口的类型

水电站的用水可以从天然河道中直接引取,或建造闸坝引水。前者为无坝取水,后者为有坝取水。无坝取水只能引取河道中的一部分流量,水能资源不能得到充分利用。有坝取水有高坝和低坝取水之分,当坝较高时,上游形成水库,这就大大改变了原来河道的水流条件。由于水库中流速很小,悬移质很快沉降库底,故水质清洁;又因水库形成后,水量能得到重新调节分配,从而水能资源得以较充分的利用。在坝较高的情况下,水电站进水口应布置在死水位以下的一定深度,处于一定的水压力之下工作,这种进水口称为深式进水口。有压引水式水电站和坝后式水电站的进水口大都属于这种类型。当坝较低时,坝仅仅起到拦水的作用,不能进行调节,此时上游水库不深,水位变幅不大,水流流入进水口时仍然具有自由水面而处于无压状态,这种进水口称为开敞式进水口。无压引水式水电站的进水口就属于这种类型。

3. 深式进水口的主要类型及结构布置

(1) 坝式进水口

当水电站枢纽采用混凝土坝的坝后式水电站布置方案时,常常直接将进水口布置在坝体上游面,使进水口与坝身合成一体,并与预埋在坝体内的压力水管相连接,这种型式的进水口

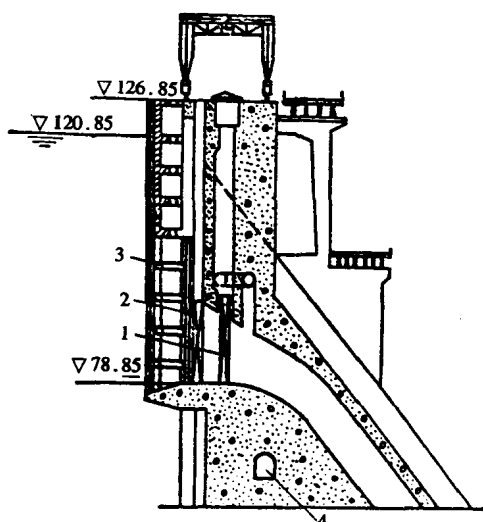


图 1.12 坝式进水口

1—事故闸门;2—检修闸门;3—拦污栅;4—廊道
有压引水式水电站常采用的方案。这时隧洞的进水口布置在水库岩边,当地质条件良好时,为了节省混凝土结构的工程量,可以直接在岩石中开挖成进水口,再进行衬砌,这种进水口称为隧洞式进水口。

隧洞式进水口沿水流方向可分为三段,即进口段、闸门段和渐变段。进口段的横断面一般为矩形,采用流线型收缩,使水流平顺流入引水道。闸门段是安置闸门的洞段,过水断面仍为矩形。渐变段则为由矩形断面逐步变成洞身断面的过渡段。有压隧洞洞身断面一般都是圆形的。

闸门段可以由在岩石中开挖成的竖井和平洞组成。竖井上端与闸门启闭机房相连,启闭机房建造在未被上游水位淹没的山坡上。平洞内设有隔墩和闸门槽,竖井和平洞内都布置有闸门需用的预埋铁件。竖井内水位与上游水位一致。工作闸门可以采用平面闸门或弧形闸门。这种具有闸门竖井布置的进水口称为隧洞竖井式进水口,如图 1.13 所示。

称为坝式进水口。为了不致削弱坝体强度,要求进水口布置紧凑合理,尽量减少坝体空腔。图 1.12 是混凝土重力坝的坝式进水口布置。

当机组设计流量较大时,为了降低拦污栅过栅流速所引起的水头损失,同时也为了减小坝体空腔,可将拦污栅布置在外伸悬臂支架上。拦污栅可做成半圆形或多边形,伸出在坝体上游面之外。当机组流量不大时,在不影响坝体结构强度的前提下,可采用平面拦污栅,并将进水口全部放入坝体内。有时在进水口内可增设隔墩,以降低闸门造价和减少闸门启闭设备能力。启闭机一般布置在坝顶,在可能的情况下,应尽量考虑与溢流坝段的闸门启闭机合用,特别是检修闸门的启闭机。

(2) 隧洞式进水口

利用有压隧洞自水库引水到厂房水轮机,是

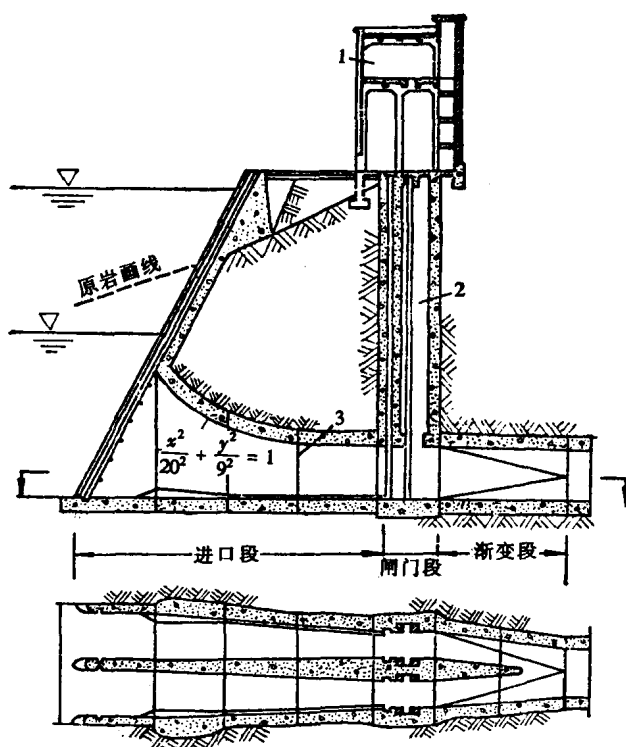


图 1.13 隧洞竖井式进水口

1—启闭机闸;2—闸门井;3—伸缩缝

若进水口所在的岸坡比较稳定而又较陡时,也可不设竖井,而将闸门布置在进口拦污栅后。这时,进口段和闸门段紧凑在一起,并突出在岩坡外面。在岩坡上浇筑闸门槽,闸门沿闸门槽上下启闭,这种布置方式称为隧洞斜坡式进水口(图 1.14)。

采用斜坡式进水口布置时闸门启闭较大,闸门槽也较长。

(3) 塔式进水口

在水电站枢纽中,当采用当地材料坝型的坝后式水电站布置方案时,常将有压引水管道(钢筋混凝土压力水管)设置在坝基或坝基廊道内,这时常采用塔式进水口。有压引水式水电站隧洞进口处地质差,岸坡又较平缓而不宜采用隧洞式进水口时,也可采用塔式进水口(图 1.15)。塔式进水口耸立在水库之中,有工作桥与岸坡相连,进水口及其上部框架形成一个塔形结构。塔式进水口要求地基坚固,在风浪压力和地震力作用下,要有足够的强度和稳定性。

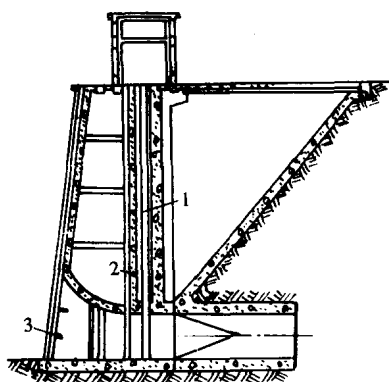


图 1.15 塔式进水口

1—工作门槽;2—检修门槽;3—拦污栅

开敞式进水口上游无大水库,因而河中流速仍较大,特别是洪水期,流量大、流速大,漂木、树枝、树叶、草根、泥沙等顺流而下,直达进水口前。进水口应位于河流凹岸,以防回流造成漂浮物堆积,而且河中上层清水在环流的作用下流向凹岸,进水口前不易淤积,进水口可引进上层清水。

进水口前一般均要设拦污栅或浮排,以便拦截漂浮物。当河中漂木较多时,有时还要做胸墙拦阻漂木进入。进入枢纽布置时,要使进水口前能形成一股水流,以便将拦污栅前的漂浮物冲至下游。

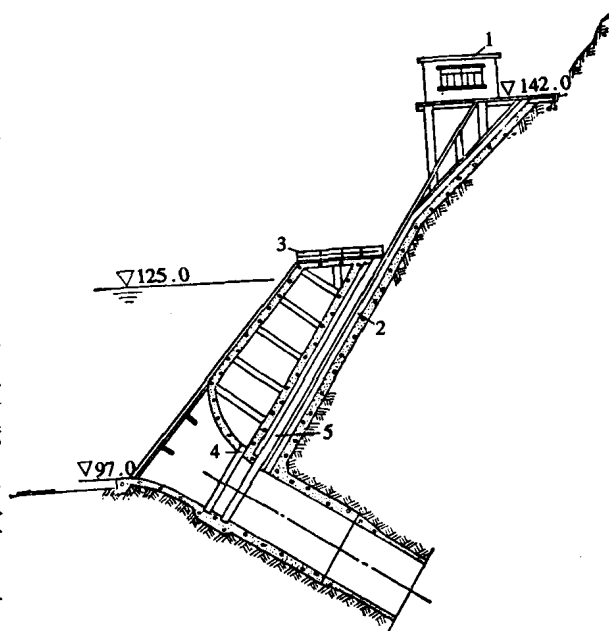


图 1.14 隧洞斜坡式进水口

1—闸门启闭室;2—通气管;3—拦污栅及闸门的检修平台;4—检修门槽;5—事故门槽

(4) 压力墙式进水口

当隧洞进口处地质较差,不宜扩大开挖时,可将进口段、闸门段和闸门竖井均布置在山岩之处,形成一个单独的建筑物,这种结构型式称为压力墙式进水口(图 1.16)。无压引水式水电站明渠末端压力前池所设的压力水管进水口也属于这种型式。

4. 开敞式进水口及沉沙池

开敞式进水口一般用于无压引水式水电站,这时上游只有较小的水库,因而防污、防沙、防冰等问题更为突出。山区河流上的有压引水式水电站,当进水口只有低坝小水库,上游水位变化不大时,为了解决防沙问题,也可以采用开敞式进水口。

开敞式进水口上游无大水库,因而河中流速仍较

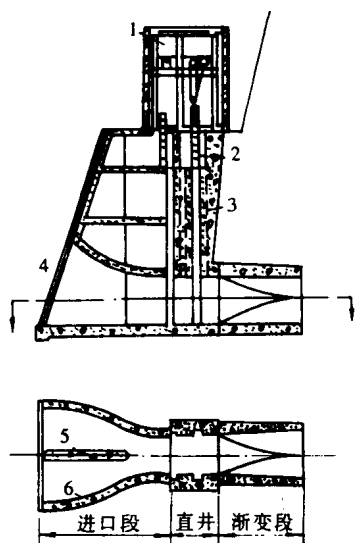


图 1.16 压力墙式进水口
1—闸门操纵室;2—定轮闸门;3—通
气孔;4—拦污栅;5—支墩;6—侧墙

对于多沙河流,为避免泥沙进入水轮机,通常在无压进水口后修建沉沙池。所谓沉沙池即将进水口后面一段渠道断面扩大,通过分流墙或格栅尽量使水流速度呈均匀分布并降低流速。根据泥沙颗粒大小,当流速降低到 $0.25 \sim 0.7 \text{ m/s}$ 时,泥沙将沉淀于池内。有关沉沙池的尺寸及构造,要经过专门计算,较重要的工程还要经过模型实验。

沉沙池内沉淀的泥沙要及时清除。采用冲沙廊道冲沙,有连续冲沙与定期冲沙两种方式。为不影响连续发电,采用定期冲沙方式一般将池做成并排几个,轮流冲沙。有的水电站还采用机械排沙,如我国四川省映秀湾电站采用挖泥船清除泥沙。

1.2.2 水电站的引水渠道

1. 水电站引水渠道的功用和要求

水电站引水渠道有时称为动力渠道,其功用是为无压引水式水电站集中水头和输送水电站所需要的流量。由于它结构简单、施工方便,往往也比较经济,只要当地条件许可,常用作水电站的引水建筑物。

水电站引水渠道应满足以下基本要求:

(1) 有足够的输水能力

要求引水渠道能随时供应水电站所需要的能量,为此,渠道必须具有合理的纵坡及过水断面。渠道的基本尺寸应通过动能经济计算加以选定。在一般情况下,渠道的经济流速大约为 $1.5 \sim 2.5 \text{ m/s}$ 。

当水电站的负荷变化时,所需要的流量也随之变化,渠道是否具有适应这种流量变化的能力,影响着水电站的运行方式。例如,当无压引水式水电站没有日调节能力时,只能在系统中担任基荷,不宜担任峰荷,更不宜担负调频任务。

(2) 水质符合要求

渠道沿山坡布置,山坡的泥沙和污物随时可能进入渠道,特别是在暴雨期间,因此不仅在渠首需设置拦污和清污设备,在压力前池的末端即压力水管的进口,也应设置拦污和清污设备。在渠道沿线还应采取适当措施防止泥沙、污物进入渠道,如在靠山坡一边开挖平台和排水沟等;在渠道甚长且污物或泥沙较多时,还需在渠道中途的适宜地点增设拦污和清污设备。

(3) 防止渠道冲刷、淤积、渗漏、结冰及长草

在设计渠道时,应注意防止冲刷和淤积。对于土质渠床,应使渠道中水流速度不超过临界不冲流速,如果土质的临界不冲流速小,可能还需加大渠道过水断面或加设护面。水电站以小出力运行时,渠道中流速可能小于临界不淤流速,而使渠道发生淤积,所以在河流含沙较多的时期(如洪水期),应使电站只担任基荷工作。渠道中流速应根据动能经济计算确定,并应大于临界不淤流速和小于临界不冲流速。渠道的渗漏应限制在一定的范围内,过大的渗漏,不但会造成水量损失,而且可能破坏渠床和渠堤的稳定性。在设计北方寒冷地区的渠道时,应详细研究渠道冬季运行的情况。一般在气温很低时,最好使渠道水面结成冰盖,以保护冰盖下的水

流不致再结冰。可先减小电站的出力,使渠道流速保持在 $0.45 \sim 0.6\text{m/s}$ 以下,这时渠道水面迅速形成冰盖,冰盖形成后要限制电站出力,使水流速度不大于 1.25m/s ,并避免出力的过大变化使冰盖破坏。在渠道末端压力前池内应有排冰设施,有时可在拦污栅上设置加热设备,融化冰冻,或用压缩空气吹扫冰凌。渠道长草会降低输水能力,增加水头损失。在气温较高适于长草的季节,保持渠道中有较大的水深或较高的流速,也可取得一定的效果。在渠道中加设护面(如混凝土护面),可防冲刷、防长草、防渗漏,并可增加边坡的稳定性,但造价较高。

(4) 渠道应采取放空进行检修的措施

可与压力前池的放空检修同时考虑。

2. 水电站引水渠道的型式

在无压引水式水电站中,通常引水渠道的渠顶大致平行于渠底,渠道的深度基本保持不变。在一般情况下,渠道的设计流量等于水电站的最大引用流量 $Q_{\max}$ 。当渠道通过设计流量时,水流处于均匀流状态,水面线平行于渠底,水深等于正常水深 h_0 ;当水电站引用流量小于渠道设计流量时,渠道水流处于非均匀流状态,水面线为壅水曲线。为了保证渠道沿线不发生漫流现象,常在渠末压力前池处设置溢水建筑物。当水电站引用流量减少时,溢流堰就开始溢流;当水电站引用流量为零时,渠道的全部流量从溢流堰溢出。这种型式的渠道(有时称为非自动调节渠道)由于渠顶能随地形而变化,所以工程量比较节省,尤其在渠道较长,底坡较陡的情况下;此外,它还可以保证下游用水部门的供水。这种型式的渠道当下游无用水要求而渠道进口闸门不能及时关闭时,就会造成大量无益弃水。

在无压引水式水电站中还有一种渠道,其顶部堤顶和末端堤顶高程基本相同,并高出上游的最高水位,渠末无溢水建筑物。即使水电站引用流量减小到零时,渠道也不会发生漫溢和弃水现象。这种渠道(有时称为自动调节渠道)在小流量发电时,还可提高发电水头,并且在渠道中有一定的容积,为电站适应负荷变化创造了条件。它的缺点是工程量较大,所以只适用于渠道不长、底坡较缓、上游水位变化不大的水电站。

1.2.3 水电站压力前池及日调节池

1. 压力前池

压力前池又称压力池或前池,它位于引水渠道或无压引水隧洞的末端,是水电站引水建筑物与水轮机压力水管的连接建筑物(图 1.17)。

(1) 压力前池的作用

① 平稳水压,平衡水量。电站引用流量的改变将使渠道中的水位产生波动,但前池有较大的容积,这样就减少了渠道中的水位波动幅度,并且将水击现象限制在压力水管之中,因而平稳了水压,有利于水电站工作的稳定。再者,由于前池具有较大的容积,当电站流量改变,渠道引来的流量来不及随之变化时,前池就及时补充或储存一部分水量,溢水建筑物也可以渲泄多余的水量,因此前池又起到平衡水量的作用。倘若当地地形许可,能采用容积较大的前池时,它还可起到日调节池的作用。

② 分配水量。前池可将渠道中水量均匀分配给水电站每台机组的压力水管,由于在压力水管进口处设有闸门,故能保证各机组按计划工作或进行检修。

③ 拦阻杂物和泥沙。前池在压力水管的进口处设有拦污栅,以防止未被渠道进口处拦阻的,以及从渠道沿岸进入的污物带进压力水管。此外,由于前池体积较大,水流速度减小,因而