

水电站培训教材基础篇

# 中小型水电站

## 运行维护与安全管理

河南省农村水电及电气化发展中心 组织编写

王福岭 陈德新 主编



黄河水利出版社

水电站培训教材基础篇

# 中小型水电站运行维护与安全管理

河南省农村水电及电气化发展中心 组织编写

王福岭 陈德新 主编

黄河水利出版社

· 郑州 ·

## 内 容 提 要

本书为中小型水电站培训教材的基础篇,包括三部分:第一部分为水电站的基础知识;第二部分为水电站的运行维护与管理;第三部分为水电站的安全生产与安全管理。

第一部分共七章,内容包括:水电厂水力部分,水轮发电机组及其辅助设备,调速器基本知识,水电站电气主接线及一次设备,水电站电气二次设备,水电站厂用电及直流系统,水电站计算机监控系统与视频监控系统。

第二部分共八章,内容包括:水电站引水设施的运行,水轮发电机组的运行,机组辅助设备的运行、操作与管理,调速器的运行、维护与管理,电力变压器和配电装置的运行、维护与管理,二次设备运行、操作与维护,站用电的运行与维护,直流电源的运行与维护。

第三部分共五章,内容包括:水电站的安全管理制度,电气设备的额定值与设备安全,电气防火及防爆,生产安全制度与安全管理,人身触电及触电急救。

本书主要用于水电站运行与管理的技术培训及安全培训,也可供相关技术人员和大中专院校水电及相关专业师生学习参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

中小型水电站运行维护与安全管理/王福岭,陈德新  
主编. —郑州:黄河水利出版社,2014.9

ISBN 978 - 7 - 5509 - 0921 - 2

I. ①中… II. ①王… ②陈… III. ①水力发电站 -  
电力系统运行 - 技术培训 - 教材②水力发电站 - 维修 - 技  
术培训 - 教材③水力发电站 - 安全生产 - 安全管理 - 技术  
培训 - 教材 IV. ①TV737

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 216441 号

组稿编辑:李洪良 电话:0371 - 66026352 E-mail:hongliang0013@163.com

---

出版社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940,66020550,66028024,66022620(传真)

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:河南省地质彩色印刷厂

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:26.25

字数:813 千字

印数:1—2 000

版次:2014 年 9 月第 1 版

印次:2014 年 9 月第 1 次印刷

---

定价:90.00 元

# 《中小型水电站运行维护与安全管理》 编纂委员会

主任委员:崔 军

副主任委员:王福岭 杜 玮 陈德新 马跃先 许 强

主 编:王福岭 陈德新

编写人员:王守恒 陈德新 王福岭 杜 玮 许 强

马跃先 任 岩 程大鹏 李士辉 李小东

# 前 言

为适应中小型水电站技术和安全培训的需要,提高水电站生产和管理人员的运行维护水平,保障水电站的安全、可靠和高效运行,组织编写了这本培训教材。与其他同类培训教材相比,本书具有以下特点:

**实用性与系统性:**本书总体上涵盖了水电站工作人员所需要的基础知识、运行操作和安全管理三部分内容。书中详尽地介绍了水电站的基本水利设施,一、二次机电设备的工作原理和结构、性能特点、技术参数、运行操作方法。内容选择注意理论的系统性、技术方法的实用性,理论与实践有机结合,可满足生产人员和管理人员知识和技术的需求。

**新颖性和先进性:**在编写过程中,注意紧跟当前水电站生产实际,结合各种新技术、新设备的使用,尽可能地选择新的知识、新的技术、新的设备。书中所讲述的,均为目前我国中小型水电站正在使用或推广使用的技术和设备,包括各类微机调速器、真空断路器和六氟化硫断路器等高低压开关设备,微机同期、微机温度巡测和微机励磁等自动化装置,计算机监控系统和视频监控系统等。

**通俗易懂性:**本书考虑小型水电站的工作人员的特点和知识技术基础,力图使教材浅显易懂,对于大量常用的设施或设备,采用了原理图与实物图对照、工程图与三维结构模型相结合的方式描述,图文并茂,见图如见物,直观形象,容易理解,便于掌握。

作为培训用的教材,书中广泛汲取了各种同类型培训教材、大中专教科书优秀的部分内容,并引用了网络上转载的一些有益的资料。在此,一并对被引用书刊和技术资料的著作者表示衷心感谢。

本书编写人员有王守恒、陈德新、王福岭、杜玮、许强、马跃先、任岩、程大鹏、李士辉、李小东等。

本书在编写过程中,虽经反复推敲,但因时间仓促、编者水平有限,难免有错误之处,望使用本书的读者多提宝贵意见,以便修订和完善。

编 者

2014年6月15日

# 目 录

## 第一部分 水电站的基础知识

第一章 水电厂水力部分 .....	(1)
第一节 概 述 .....	(1)
第二节 水能利用及径流调节 .....	(2)
第三节 水电厂的开发方式 .....	(6)
第四节 水电厂的主要水工建筑物 .....	(10)
思考题 .....	(18)
第二章 水轮发电机组及其辅助设备 .....	(19)
第一节 水轮机基本知识 .....	(19)
第二节 水轮发电机基本知识 .....	(48)
第三节 水轮机主阀基本知识 .....	(66)
第四节 油、气、水系统 .....	(74)
思考题 .....	(87)
第三章 调速器基本知识 .....	(89)
第一节 水轮机调节常识 .....	(89)
第二节 调速器的组成 .....	(93)
第三节 机械液压调速器 .....	(94)
第四节 微机电液调速器 .....	(100)
第五节 小型水轮发电机组用水轮机操作器 .....	(114)
思考题 .....	(119)
第四章 水电站电气主接线及一次设备 .....	(120)
第一节 电力系统基本知识 .....	(120)
第二节 电气主接线 .....	(126)
第三节 变压器 .....	(131)
第四节 互感器 .....	(139)
第五节 高压断路器 .....	(149)
第六节 高压隔离开关 .....	(179)
第七节 高压熔断器 .....	(183)
第八节 高压负荷开关 .....	(186)
第九节 低压开关电器 .....	(194)
第十节 导体与绝缘子 .....	(203)
第十一节 防雷保护与接地装置 .....	(207)
思考题 .....	(218)
第五章 水电站电气二次设备 .....	(220)
第一节 电气二次系统的基本知识 .....	(220)
第二节 水电站继电保护的配置 .....	(224)
第三节 发电机的继电保护 .....	(225)

第四节	变压器的继电保护 .....	(229)
第五节	同步装置 .....	(231)
第六节	发电机励磁装置 .....	(234)
第七节	电气仪表与测量系统 .....	(244)
思考题	.....	(249)
<b>第六章</b>	<b>水电站厂用电及直流系统 .....</b>	<b>(251)</b>
第一节	水电站厂用电 .....	(251)
第二节	水电厂操作电源 .....	(253)
第三节	直流系统绝缘监察 .....	(260)
思考题	.....	(262)
<b>第七章</b>	<b>水电站计算机监控系统与视频监控系统 .....</b>	<b>(263)</b>
第一节	水电站计算机监控系统概述 .....	(263)
第二节	电厂控制级硬件构成和功能 .....	(267)
第三节	现地控制单元功能与硬件构成 .....	(273)
第四节	水电站计算机监控系统的数据通信 .....	(283)
第五节	中小型水电站计算机监控系统选型实例 .....	(287)
第六节	水电站视频监控系统 .....	(293)
思考题	.....	(298)

## 第二部分 水电站的运行维护与管理

<b>第一章</b>	<b>水电站引水设施的运行 .....</b>	<b>(299)</b>
第一节	进水口拦污栅与闸门的运行、操作与维护 .....	(299)
第二节	主阀的作用、运行、操作与维护 .....	(301)
思考题	.....	(302)
<b>第二章</b>	<b>水轮发电机组的运行 .....</b>	<b>(303)</b>
第一节	水电厂在电力系统中的作用与运行方式 .....	(303)
第二节	机组运行基本要求 .....	(304)
第三节	机组启动前准备 .....	(305)
第四节	机组的开机操作 .....	(306)
第五节	机组并列后的负荷调整 .....	(307)
第六节	机组的停机操作 .....	(308)
第七节	水轮发电机事故停机的原因及检查 .....	(309)
第八节	低压水轮发电机组的运行参数及许可范围 .....	(310)
思考题	.....	(316)
<b>第三章</b>	<b>机组辅助设备的运行、操作与管理 .....</b>	<b>(318)</b>
第一节	油系统的运行与维护 .....	(318)
第二节	压缩空气系统的运行维护与管理 .....	(320)
第三节	技术供、排水系统的运行监视、自动化运行操作 .....	(321)
思考题	.....	(325)
<b>第四章</b>	<b>调速器的运行、维护与管理 .....</b>	<b>(326)</b>
第一节	调速器的运行要求 .....	(326)
第二节	调速器的运行操作 .....	(327)

第三节	调速器的巡检与维护 .....	(329)
思考题	.....	(329)
<b>第五章</b>	<b>电力变压器和配电装置的运行、维护与管理 .....</b>	<b>(330)</b>
第一节	变压器运行、维护与管理 .....	(330)
第二节	配电装置运行与维护 .....	(335)
思考题	.....	(350)
<b>第六章</b>	<b>二次设备运行、操作与维护 .....</b>	<b>(352)</b>
第一节	二次回路的运行操作 .....	(352)
第二节	二次回路运行中的巡查与维护 .....	(353)
第三节	二次回路常见故障及处理 .....	(354)
思考题	.....	(356)
<b>第七章</b>	<b>站用电的运行与维护 .....</b>	<b>(358)</b>
第一节	站用电的负荷 .....	(358)
第二节	站用电系统的正常运行操作及维护 .....	(361)
思考题	.....	(364)
<b>第八章</b>	<b>直流电源的运行与维护 .....</b>	<b>(365)</b>
第一节	蓄电池的分类与工作特性 .....	(365)
第二节	蓄电池的运行与维护 .....	(367)
思考题	.....	(370)

## 第三部分 水电站的安全生产与安全管理

<b>第一章</b>	<b>水电站的安全管理制度 .....</b>	<b>(371)</b>
第一节	安全组织机构与安全责任制 .....	(371)
第二节	安全活动 .....	(372)
第三节	落实“两票”“三制” .....	(372)
思考题	.....	(373)
<b>第二章</b>	<b>电气设备的额定值与设备安全 .....</b>	<b>(374)</b>
第一节	电气设备的额定值 .....	(374)
第二节	导线及电缆的安全载流量 .....	(375)
思考题	.....	(376)
<b>第三章</b>	<b>电气防火及防爆 .....</b>	<b>(377)</b>
第一节	引发电气火灾和爆炸的原因 .....	(377)
第二节	危险场所分类 .....	(377)
第三节	防爆电气设备的类型 .....	(378)
第四节	电气防火和防爆措施 .....	(379)
第五节	电气灭火 .....	(384)
思考题	.....	(385)
<b>第四章</b>	<b>生产安全制度与安全管理 .....</b>	<b>(386)</b>
第一节	倒闸操作及操作票制度 .....	(386)
第二节	停电作业的安全技术措施 .....	(387)
第三节	低压带电作业的安全规定 .....	(391)
第四节	值班与巡线工作的安全要求 .....	(391)
第五节	在二次回路上工作的安全规定 .....	(393)



第六节 线路施工及其他作业的安全措施 .....	(395)
思考题 .....	(397)
<b>第五章 人身触电及触电急救 .....</b>	<b>(399)</b>
第一节 触电危害和类型 .....	(399)
第二节 触电急救 .....	(400)
思考题 .....	(403)
附录1 水利水电工程水利机械标准图例 .....	(404)
附录2 水利水电工程电气及自动化元件文字符号 .....	(407)
附录3 常用电气一次设备图形符号 .....	(408)
附录4 常用电气设备文字符号 .....	(409)
参考文献 .....	(410)

# 第一部分 水电站的基础知识

## 第一章 水电厂水力部分

本章以水电电能生产过程为主线,概要介绍主要动力设备的作用原理和特点。首先,介绍水电开发建设、水能利用和径流调节的基本知识,并对水电厂开发方式的特点及水电厂各种水工建筑物的功能进行分析。然后,重点对水电厂核心设备水轮机结构、特点和工作原理进行阐述,并简要介绍调速系统、油气水系统等辅助系统的设备的原理和作用。最后,从运行角度对水轮机工作参数、运行特性及其在电力系统中的作用进行分析。

### 第一节 概述

#### 一、水电开发建设的决定因素

水力发电用的原料是“水”,但并非在所有江河湖泊上都能兴建水力发电厂。水电厂的兴建,除取决于某一河段水能蕴藏量(由水头和流量描述)外,还取决于河道的地质、地形、水文等条件。同时,还要妥善处理因兴建水电厂而引起的淹没良田、居民搬迁、运输改道等一系列问题,以及国民经济建设的需要与可能等。所以,水电的开发必须在各部门配合下综合考虑诸多因素。

##### (一) 取得水流落差和造成淹没的关系

要取得水流落差,一般都修建拦河大坝,坝修得越高,在坝以上所形成的水库越大,相应地用来发电的水头也越大,也就能多发电。但是,一方面应预计到水库的形成总会使一些城镇和耕地被水淹没,另一方面还应预计到水库建成后,可能建设一个新的灌溉系统,为农业的增产创造了条件。由于水库具有拦蓄洪水的能力,可以使坝以下广大地区避免洪水袭击并改善灌溉系统,使旱地改造为水浇地,增加单位面积产量。因此,需要作全面的、认真的分析比较。

此外,坝高与造价投资有着密切关系。一般认为,提高大坝的建筑高度所增加的发电能力和数量,几乎和坝的增高成正比;而随着大坝的增高,其体积和造价却是按坝高的二次方到三次方的关系在增加。所以,当坝高增至一定高度后,若为了提高落差或增大库容,再采取增加坝高来提高发电能力就显得不恰当了。

##### (二) 防洪和发电的关系

建坝蓄水,除了发电外,其库容的大小还须考虑防洪的要求。因为当上游出现洪水时,要利用水库来拦蓄洪水。若下游对防洪的要求愈高,也就是说,在洪水季节容许向下游排泄洪水的流量愈小,则水库需要拦蓄的洪水的水量就愈大,因此水库在防洪调蓄情况下所限制的水面高程也就愈低。那么,水位的降低,势必相应地减少了发电所需要的落差,进而减少了发电能力。为了保证在洪水到来之前有足够的防洪库容,在汛期防洪运用时的起调水位称为防洪限制水位。它的拟定,反映了防洪和发电之间的相互依赖关系。为了多发电,总希望防洪限制水位定得高一些,而为了下游免遭洪水灾害,则希望该水位定得低一些,以便留出足够的库容用作拦洪。所以,防洪和发电之间的关系须针对具体工程具体分析。

### (三) 发电与航运、灌溉和用水的关系

根据发电的要求,往往需要集中落差,建立拦河大坝。坝前蓄水形成水库,除用于发电外,还要兼顾灌溉、航运、工业及民用供水等综合利用的要求。由于大坝隔断了航运通道,就需要修建船闸或升船机,建立新的水上交通,因而要求水库经常提供一定的通航流量,保证各种货轮、客轮顺利通航。但在枯水季节,水电厂的用水量是较紧张的,为了保证航运的需要,枯水期的用水更加紧张。除此以外,有些水库还设有筏道和鱼梯等设施,必须考虑综合利用,合理地实行水库调度。

此外,有时根据水库综合利用的要求,在不发电期间,需要水库均匀地、以一定流量不断地向下游放水,满足下游生态用水和工业用水的需要量,或在灌溉季节,水库应放水保证农灌用水。这时为保证各方面用水,又不致把水白白放至下游,一般可让部分机组运转,利用发电后的尾水满足下游的用水要求。

### (四) 水电厂投资与修建速度问题

水电厂的装机容量是根据河流的水能利用蕴藏量决定的。因此,水电厂设计都是一次完成的,不考虑发展与扩建,但根据工农业生产用电的需求及国家对电力投资的可能,通常采用一次设计分期装机、“以电养电”的办法。由于水电厂的水工建筑物勘测、施工费工费时、投资较高,因此一般认为水电开发没有火电兴建快。

关于水电与火电建设投资和速度的对比分析问题,曾有过讨论。认为两者比较应在等同的基础上进行,即水电的开发是把水能转换为电能的全过程,包括水工、水机和电气。那么火电的兴建亦应是把原煤的化学能转换为电能的全过程,包括原煤开采,运输(铁路或水路)设施和电厂本体的机、炉、电基建的全部内容。若以此为对比基础就将更改多年来人们习惯性地水电厂开发全过程与火电厂本体兴建相对比时得出的欠妥结论。特别是从国民经济考虑,在原煤供应不足、交通运输紧张的情况下就更显现出开发水电的优越性。大型水电厂的兴建除具有直接综合利用效益外,还有许多间接效益,诸如兴建水库发展养殖、保持生态平衡、调节邻近地区的气候、改善电力系统电网结构、减少污染物排放、保护环境、节省燃料、增加经济效益等。

## 二、水电厂电能生产过程

水电厂是利用水能生产电能的工厂。变水能为机械能的原动机是水轮机,而使机械能转换为电能的设备是发电机。为实现能量转化必须借助于水工建筑物和动力设备来完成,其生产过程概括由以下四部分组成:

(1) 获得水能。即取得河水的径流,汇集水量,集中水头。为此,在发电厂中相应设置有各种功能的水工建筑物,诸如渠道、压力前池、大坝等。

(2) 调节水能。河川流量的大小决定于集水面积、融雪和降雨量等因素。在一年内各季之间径流分布是不同的,所以河流有丰水期、平水期和枯水期之分。为了使天然径流的变化适应于电能负荷的需要,实现水能调节,大中型或有条件的小型水力发电厂都要在河流上修建水库,将丰水期的水蓄存起来,以便枯水期使用。为此设置有水库、闸门、泄洪等建筑物。

(3) 转换水能为电能。将具有一定落差和流量的水能,通过水轮机及其同轴的发电机把水能转换为机械能和电能。

(4) 输配电能。把发电机发出的电能经过变电、输电系统馈送给电力系统或用户。

## 第二节 水能利用及径流调节

### 一、水能利用

天然河道中,水流经常冲刷河岸和河底并挟带大量泥沙和砾石,从上游流向下流。这就表明水流中蕴藏着一定的能量,称为水能。形成水能应具备两个条件,即流量和落差。

流量是指江河中在单位时间内通过过水断面(垂直水流方向的横断面)的水的体积,即

$$Q = \frac{W}{t} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (1-2-1)$$

式中  $W$ ——水的体积,  $\text{m}^3$ ;  
 $t$ ——时间,  $\text{s}$ 。

流量反映了水流的速度及水量的大小。

落差又称为水头,它是指集中起来的上下游水位差,亦表征上下游水流的单位能量差。当水沿河道以  $Q$  流量从断面 I—I 经距离  $s$  至断面 II—II 时(如图 1-2-1 所示),由于水头未被集中利用,而能量沿河道坡度就白白浪费掉了。通常称  $h = H_1 - H_2$  为水头损失,它包括两部分内容:

- (1) 局部损失——因水流边界的急剧变化所受到阻力而引起的损失;
- (2) 沿途损失——因摩擦力做功而引起的损失。

所以,水头损失表示了单位重量的水流在流程  $s$  范围内的能量损失。如果设法抬高上游水位(如筑坝)或减少水头损失(如采用压力管道),则上下游之间的水位差就会被集中起来,以  $H$  表示。水头就代表着断面 I—I 处单位重量体积的水所具有的位能。若坝前水库中有体积为  $W(\text{m}^3)$  的水量,则它所含的总能量应为

$$E = HW\gamma \quad (\text{N} \cdot \text{m}) \quad (1-2-2)$$

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

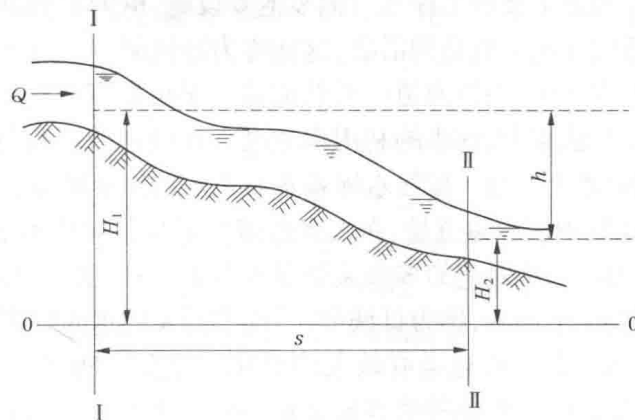


图 1-2-1 水力坡度示意图

单位时间内  $W$  体积水从坝前(上游)流到坝后(下游)所做的功为水流的出力(功率),用  $N$  表示:

$$N = \frac{E}{t} = \frac{HW\gamma}{t} = HQ\gamma = 9810 QH \quad (\text{N} \cdot \text{m}/\text{s}) \quad (1-2-3)$$

式中  $Q$ ——单位时间内的下泄流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ,  $Q = \frac{W}{t}$ 。

把下泄流量引入水轮机组即可冲动水轮机转动做功。在能量转换过程中要损失掉一部分能量,常用小于 1 的有效利用系数  $\eta$  表示,根据单位换算关系:  $1 \text{ W} = 1 \text{ J}/\text{s}$ ,  $1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$ , 发电厂实际发出的电功率为

$$P = N\eta = 9.81QH\eta \quad (\text{kW}) \quad (1-2-4)$$

式中  $\eta$ ——水电厂机组效率。

$\eta$  反映了水流进入水轮机后,从水能变为电能过程中的能量损失,它是一个无量纲的物理量,用百分数表示,包括水工建筑物的效率、水轮机效率和发电机效率三部分,即

$$\eta = \eta_c \eta_T \eta_f \quad (1-2-5)$$

式中  $\eta_c$ ——水通过建筑物的效率,主要考虑引水建筑物中水头损失;

$\eta_T$ ——水轮机效率,大中型水轮机为  $0.88 \sim 0.94$ ;

$\eta_f$ ——发电机效率,大中型水轮发电机为  $0.85 \sim 0.86$ 。

若近似取  $\eta = 0.85$ , 则发电厂发出的电功率即电厂容量为

$$P = 8.3QH \quad (\text{kW}) \quad (1-2-6)$$

农村小型水电站一般取  $\eta = 0.72 \sim 0.82$ , 则

$$P = (7 \sim 8)QH \quad (\text{kW}) \quad (1-2-7)$$

由此可知, 水电站的容量由水头  $H$  及流量  $Q$  来决定。流量愈多, 水头愈高, 水电站发出的电功率就愈大。所以, 通常把流量  $Q$  和水头  $H$  看作水力发电的两大要素, 近似地用下式来估算水电站的可能装机容量和发电量:

$$P \approx 8QH \quad (\text{kW}) \quad (1-2-8)$$

因为  $1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{m}$ , 由式(1-2-2)可得:

$$E \approx \frac{8}{3600}WH \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \quad (1-2-9)$$

由此可见, 发电厂的装机容量与落差和流量成正比, 发电量与落差和水量成正比。

## 二、径流调节

径流是指在水循环过程中, 从地面、地下向着流域出口断面汇集的全部水流。多数河道的径流量主要由降雨、融雪形成, 但天然雨量在一年四季中是不均匀的, 从而导致流量分布显著不均匀。有些河道丰水期和枯水期的流量差可达几百倍, 甚至上千倍。而电力系统中的负荷虽然在一天或一年中亦有变化, 但相对于天然河道径流的变化却比较均匀。根据电能生产与消费是同时进行的特点, 就必须对天然径流进行调节。为此, 一般在河道上修建水库或日调节池等设施, 借助它们将径流加以控制和在时间上重新加以分配, 使天然径流适应于电力负荷的需要, 这就称为径流调节。当河道中天然流量大于负载需要时, 可将多余的水量存储在水库中; 而当河道中天然流量小于负载需要时, 则可利用水库中存储的水量。水库的容积越大, 调节流量值越大, 河水的利用率越高。径流调节不仅解决发电用水问题, 也用于防洪、灌溉、航运等综合利用的各个方面。按照水库蓄水和供水的持续时间, 径流调节方式有下面四种:

(1) 日调节。一昼夜内河流中的天然流量, 在大多数情况下几乎保持不变; 而用水部门的用水量却有较大的变化。若将用水少的各个小时内的多余流量存入水库, 到用水多时放出, 以弥补天然流量之不足。这种调节在一昼夜中完成一个循环, 称为日调节, 日调节需要的水库容积不大。

(2) 周调节。在一周中, 每天的负载也会有较大的变化。如在星期日, 由于很多企业停止工作, 负载有较大的降落。但一周中每天的平均流量值差异是很小的。如果将星期日多余的水量存蓄起来, 分配到其他各天去用, 就可以扩大水电站的能量效益。周调节库容的计算是根据一周中日平均流量和日平均负载的变化情况决定的。周调节的同时也进行日调节。

(3) 年调节。在一年中, 天然径流量和负载值是不一致的。为了提高发电厂的保证出力, 也就是提高在一年内枯水时期中水电站的出力, 减少洪水期的弃水量, 就必须进行调节。把洪水期多余的部分水或全部水都存入水库中, 到枯水期放出使用。这种对于一年中径流进行重新分配的调节称为年调节。几乎所有的年调节水库, 都同时进行周调节和日调节。

年调节分为完全年调节和不完全年调节两种。完全年调节就是在整个的一年中水库不发生弃水, 全部天然径流经过调节后完全变成均匀的流量。不完全年调节是指在一年中还有发生弃水的现象。所谓弃水现象, 就是指水库的容积不足以储存全部多余的水量, 当水库存满以后, 河道中天然流量仍大于用水量, 这时就将多余的水由溢流坝或泄洪道弃掉, 放至下游。对于不完全调节, 在一年中水库将经历蓄水期、供水期、弃水期等不同的工作时期, 而各时期的长短, 由河流的水文情况及负荷用水量来决定。

(4) 多年调节。将丰水年多余的水量储存起来, 供枯水年使用。多年调节是充分利用水利资源的方法。但由于地形、地质和经济条件的限制, 并非所有电厂都能进行多年调节。多年调节的特点是调节期不固定, 可能很长, 也可能很短。调节周期的持续时间不是一个常数。只有当水库具有相当大的容积时, 才能进行多年调节。具有多年调节水库的水电站, 通常也进行年调节、周调节和日调节。

### 三、水库的特征水位及库容

筑坝形成水库。在一定坝址条件下,坝越高,水库蓄水位越高,水库占据的面积和容量就越大。水库所能容纳的水量称为库容。河道的纵坡降及岸边地形对库容大小有直接影响。修建同样高的坝,在坡降陡的峡谷河段,形成的水库容积就小,但在坡降较平缓、两岸较开阔的河段形成的水库容积就比较大。在设计、运行中为了更好地描述水库特征,常采用一些专业术语,如图 1-2-2 所示。

#### (一) 死水位、死库容和淤沙水位

在正常运行条件下,水库允许消落的最低水位称为死水位。在这个水位以下的库容称为死库容。其中还包含被泥沙淤积的部分,其水位称为淤沙水位,它的标高位于发电厂进水口之下,一般不能被有效地利用。死水位的确定不仅要考虑发电的最小用水量,而且还与灌溉水位、航运水深、养殖渔业以及卫生等方面的要求有关。死库容不直接参与径流调节。

#### (二) 正常高水位、有效库容和水库工作深度

正常高水位根据发电、航运、防洪、灌溉等方面的要求以及淹没、地形、地质等方面的特定条件限制,综合考虑。在正常设计条件下,水库调节允许达到的最高水位称为正常高水位。位于正常高水位与死水位之间的水库容积称为有效库容,又称为兴利库容。正常高水位到死水位的消落深度称为水库工作深度。有效库容主要担负着径流调节的任务,它不断地周期性地储蓄天然河道的流量和泄放水量,满足发电、灌溉、航运等方面的用水要求,而水库的工作深度则反映着水头的变化状况,直接影响着水电站的调节性能和出力大小,在一定的坝址条件下,正常高水位定得越高,则有效库容就越大,水库的调节能力也就越强,取得发电及其综合利用的效益也越大,但相应的水工建筑物的尺寸、投资、淹没亦会增加。所以,水库正常高水位的确定是一件比较复杂且重要的事情,须根据各方面的因素综合分析、全面考虑来决定。

#### (三) 汛前水位、防洪水位以及防洪库容

一年内河道的水量随季节而变化,有涨有落。例如初春季节,因高山融雪而导致河水流量增大,俗称为“桃花水”;因秋雨连绵或山洪爆发而引起的河道流量猛增,则称为“洪水”。凡带有季节性的涨水都称为“汛”,桃花水又称为春汛。为了使水库具有足够的防洪库容,在汛期到来之前要及时放出水库中部分尚未用完的蓄水,使库水位消落到汛前水位。在汛期,当出现大洪水时,水库中的水位将上升到大坝所能承受的最高数值,这个水位被称作防洪最高水位或超高水位。此时,即认为水库已被蓄满。在正常高水位以上的水库容积称为防洪库容,专门用于准备拦蓄可能出现的洪水。防洪水位是根据百年来的水文资料查证并综合分析后确定的。防洪库容对下游起着滞洪和削减洪峰的作用。

设计洪水是指水库从防洪限制水位起调,拦蓄大坝设计标准洪水时达到的最高水位。而校核洪水是指遇到大坝校核洪水时,坝前达到的最高水位。

水库中的各种特征水位在运行中为水能调度提供了控制水位极限数值的依据,特征水位如图 1-2-2 所示。

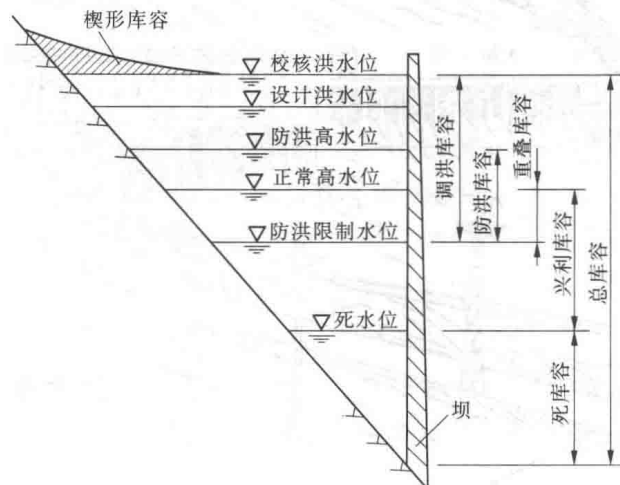


图 1-2-2 水库中各种特征水位示意图

### 第三节 水电厂的开发方式

水电厂的出力与落差、流量成正比,发电量与落差、水量成正比。而河道的流量则取决于水文特性,河流的自然落差又大多分散在整个河道上,且分布极不均匀。为了开发利用河流水力资源,就必须根据地形、地质、水文等自然条件的特点加以改造,使分散的落差集中起来,获得生产电能所必需的流量和水头。集中落差的方式不同,相应地水电厂的布置形式及水工建筑物设施也就不同。目前就水电厂的开发方式可归纳为三种类型:堤坝式、引水式和混合式。

#### 一、堤坝式水电厂

这种开发方式是在河道上修建拦河大坝,将水拦蓄起来抬高上游水位,使库内水面线坡降比原河道水面线坡降小得多,因而减小了流速和能量损失。把分散的落差集中起来就形成发电水头。例如:在某一段足够长的河流上,沿河两岸有连绵的山峦,而且河床又有一定的坡度,那么,在这一段河流的下游,选一地质条件比较好且两岸山势又比较靠近的位置,兴建拦河大坝。在坝以上由坝和两岸的山峦把河水拦蓄起来,形成狭长形的自然水库。在坝的前后两侧形成集中落差,即水头。将水库中的水通过输水管或隧道,引向布置在水电厂厂房中的水轮机,使其旋转并带动发电机发电,这是最常见的形式。

堤坝式布置的特点是在用堤坝集中落差的同时,在坝的上游形成容积较大的水库,储蓄了水量,不仅对天然河流来的水量重新进行调节分配,增加了发电引用流量,而且和防洪、灌溉、航运等任务结合在一起,形成综合利用的水利枢纽。当然,在筑坝蓄水过程中,也必然会造成淹没上游两岸的城镇和良田、引起居民搬迁等问题。同时考虑到水库的泥沙淤积,从而使建坝高度和水库寿命受到限制。按照大坝和水电厂厂房相对位置不同,堤坝式水电厂又可分为河床式、坝后式、溢流式和坝内式等。

#### (一) 河床式水电厂

水电厂厂房与大坝布置在同一直线上,成为坝的一部分,也起挡水作用并靠自身重量直接承受上游水的压力。典型的河床式水电厂枢纽平面布置如图 1-3-1 所示。河床式水电厂通常修建在河流中、下游河道纵坡平缓的河段中,水头一般不高,大中型水电厂多在 25~30 m 以下,小型水电厂在 8~10 m 以下,从而既避免了造成大量淹没损失,又适当地抬高了上游水位。河床式水电厂大多为低水头大流量电厂且进水口及其附属建筑物,如拦污栅、闸门、启闭机等都与水电厂主厂房连接成一整体,其水电厂横剖面如图 1-3-2 所示。我国长江中游的葛洲坝水电厂、浙江富春江水电厂以及广西郁江西津水电厂等都属此形式。

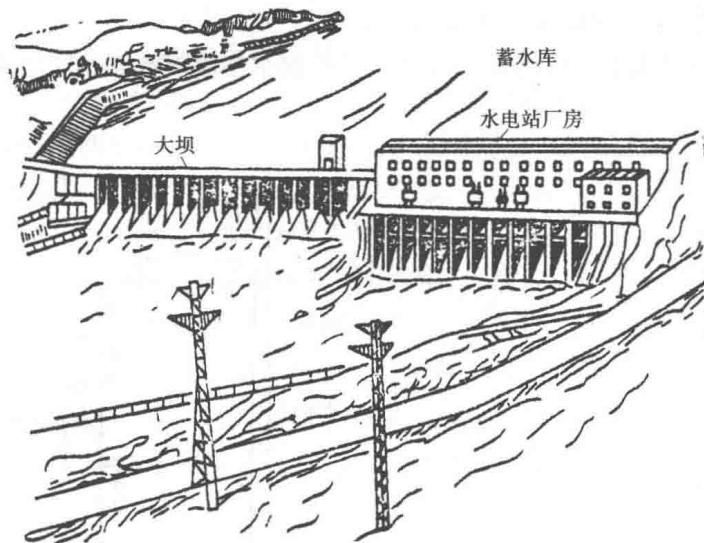


图 1-3-1 河床式水电厂枢纽平面布置图

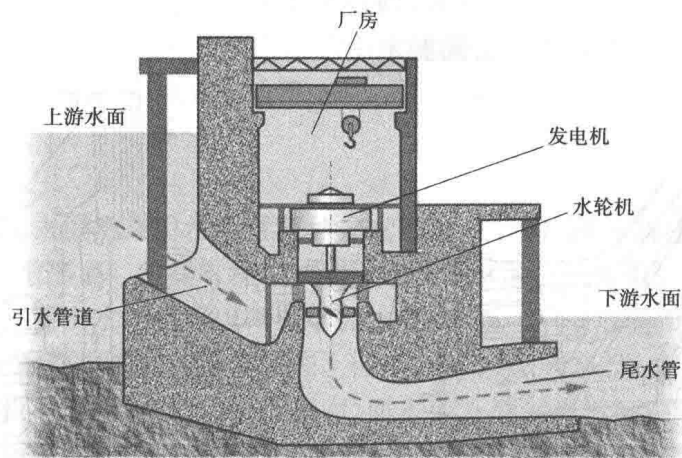


图 1-3-2 河床式水电厂横剖面图

### (二) 坝后式水电厂

当拦河大坝集中起来的水头较大时,如果采用河床式布置,则由于上游水压力很大,厂房本身重量已不足以维持其稳定,若加大厂房尺寸则不经济,在这种情况下,宜采用坝后式水电厂。坝后式水电厂是将厂房建造于拦河大坝之后,使上游水压力完全或主要由坝来承担,而厂房不承受上下游落差的水压力作用,如图 1-3-3 所示。坝后式水电厂一般建造在河流的中、上游。由于在这种河段上容许一定程度的淹没,所以它的坝比河床式的高。不仅使电厂获得较大的水头,还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、航运、给水及养殖等综合效益。坝后式水电厂布置比较集中,取水口和压力水管一般都设于坝内侧,如图 1-3-4 所示。坝与厂房间可设构造缝使之分开,也可不设构造缝。前者厂房不承受压力,后者考虑厂坝联合作用共同承受水库压力。坝后式水电厂多系中、高水头电厂,在我国采用得比较广泛,如东北丰满水电厂、湖北丹江口水电厂、甘肃刘家峡水电厂和青海龙羊峡水电厂等均为坝后式布置。



图 1-3-3 坝后式水电厂枢纽布置图

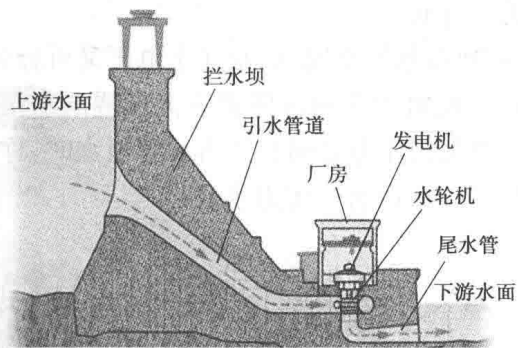


图 1-3-4 坝后式水电厂横剖面图

### (三) 溢流式水电厂

当厂房高度相对坝来说很小时,往往采取溢流式厂房布置形式。当在河床较窄的峡谷中建设厂房时,溢洪道有时占去了大部分的河床宽度,以致没有足够的地方来布置电厂厂房。此时,可将厂房与溢流坝相结合,厂房布置在溢流坝之后,当宣泄洪水时,水历经厂房顶板跳下至下游河床中。我国黄河上游甘肃八盘峡水电厂、浙江新安江水电厂等采取的是溢流式坝后布置方式,如图 1-3-5 所示。

### (四) 坝内式水电厂

当坝的高度和宽度都较大或河谷狭窄、洪水又很大时,可以将厂房布置在坝内,如图 1-3-6 所示。它是厂房与溢流坝相结合的另一种型式,采用坝内式布置,可以节约投资和缩短引水管道。我国上犹江水电厂就是坝内式布置。



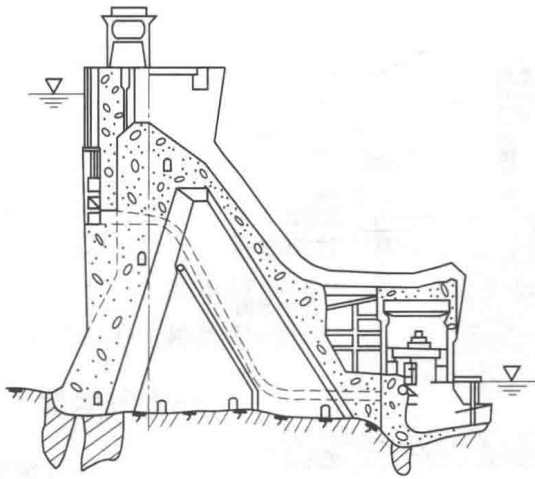


图 1-3-5 坝后溢流式水电厂横剖面图

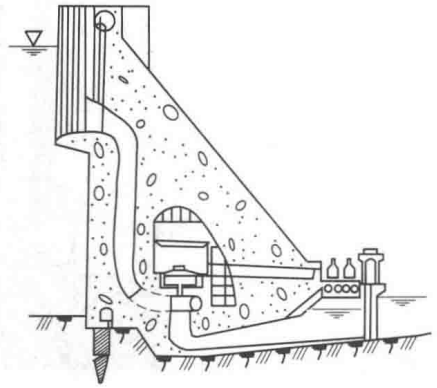


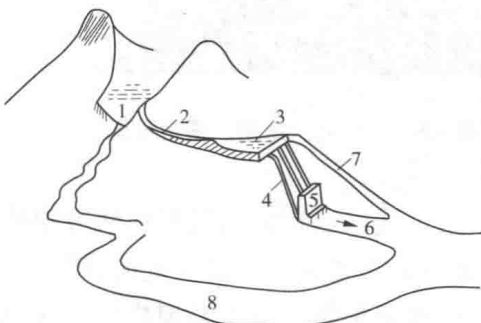
图 1-3-6 坝内式水电厂剖面图

## 二、引水式水电厂

引水式水电厂是用渠道、隧洞或水管在引水的过程中形成水头,适用于山区地势险峻、河道坡度较大而流量较小、水流湍急的河流。先在河段首端,修筑一座小型堤坝,把原来的河水截断。在小坝以上形成一个不大的水库,它可以起到小量的调节作用。与小坝相衔接,沿着山坡的等高线修筑一条坡度平缓的引水渠道。水流流过这条平整的引水渠道时不仅减小了水能损失,而且经过数千米或数十千米后,和原来天然河道末端相靠近时,就形成了很大的落差。在引水渠道末端,一般都修建一座压力前池,使渠道来水稳定,然后用钢管(或其他管道)将压力前池的水引到建筑在原来天然河道旁边的厂房中,利用水流的势能推动水轮发电机组发电。水轮机的尾水就直接排往原来的天然河道。有时候,由于地形条件,引水渠道或压力水管的全部或一部分可采取隧洞引水。

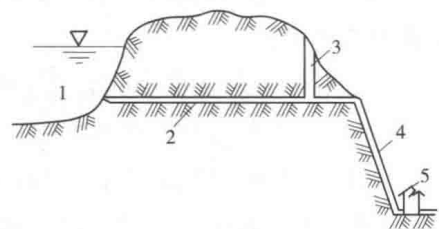
隧洞分为有压和无压两种。凡是整个隧洞断面被水流充满,水流处于有压状态下流动的叫有压隧洞,反之为无压隧洞。

根据引水建筑物的不同,引水式水电厂又可分为两种:其一,若采用明渠或无压隧道引水,称为无压引水式水电厂,此时水先通过明渠或无压隧洞引至压力前池,然后再经压力水管引向厂房,如图 1-3-7 所示。其二,当采用压力隧洞和压力水管引水时,称为有压引水式水电厂。这种形式,水大多先由压力隧洞流向调压井,然后通过压力水管引入厂房,如图 1-3-8 所示。有时亦可直接由压力隧洞经压力水管引入厂房。



1—坝;2—渠道;3—前池;4—压力水管;5—厂房;  
6—尾水;7—溢水道;8—原河道

图 1-3-7 无压引水式水电厂布置示意图



1—水库;2—隧洞;3—调压井;4—压力管道;5—厂房

图 1-3-8 有压引水式水电厂剖面图

引水式水电厂所建筑的小坝,其主要作用是壅高河道水面,便于取水,并不在于集中水头,其水头主要靠引水渠道来形成。上游所形成的水库,一般库容甚小,调节能力有限,因此径流调节能力较差,但兴建电厂的水头不受限制。它不仅可以在河道引水,还可采用跨河引水、裁弯取直等方式引水。跨河引水是利用两相邻河道之高差,跨河引水发电,如我国以礼河与金沙江两河之高差为 1 400 m,最近点仅相距