

水电厂生产人员岗位技能培训教材

水轮发电机组值班

(上册)

全国电力生产人员培训委员会水力发电委员会 组编
刘家峡水力发电厂 任煜峰 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

水电厂生产人员岗位技能培训教材

编委会名单

(按姓氏笔划为序)

于 震	云峰水电厂培训专责
尤 建	白山水电厂培训专责
文家来	辽宁恒仁水电厂总工
王洪祥	新安江水电厂教育科长
王育康	陕西安康水电厂培训专责
白青平	李家峡水电厂人资部主任
兰福军	龙羊峡水电厂副厂长
师桂霞	隔河岩水电厂培训专责
刘 军	刘家峡水电厂厂长
刘庆芝	牡丹江水电总厂教育科长
刘晓萍	丰满水电厂培训专责
杨 军	西藏满拉水电厂厂长
杨 勇	佛子岭水电厂教育科长
李利华	三峡水电厂安全主管
吴兆旗	海南大广坝水电开发公司副总经理
吴洪林	江西柘林水电厂培训专责
汪国良	葛洲坝水电厂培训主任
张元领	甘肃小三峡水电开发公司总经理
张鹏骞	黄龙滩水电厂培训主任
陈绍群	广东新丰江水电厂副厂长、总工

陈建勋	东江水电厂教育科长
赵眼川	伊礼河水电厂人事部主任
贺兴云	丹江口水电厂培训专责
项洪高	乌溪江水电厂培训主任
侯伟	贵州乌江渡水电厂总工
郭占祥	青铜峡水电厂教育科长
姚志明	柘溪水电厂教育科长
涂复礼	五强溪水电厂副总工
郭凤英	盐锅峡水电厂培训专责
梁超英	柘溪水电厂总工（“总前言”执笔者）
黄忠生	广西岩滩水电厂人资部主任
黄治均	丹江口水电厂安教科科长
谢成	天生桥一级水电厂培训专责
谭诗念	天生桥水电总厂人事部主任
谭建中	凤滩水电厂培训主任

总 前 言

在市场经济条件下,企业无法回避竞争。为了今后的生存和发展,企业必须参与竞争。

我国加入 WTO 后,各行各业的竞争已日趋激烈,企业在竞争中发展,人才是关键。培训是提高员工素质的主要途径,通过培训一方面使员工学会使用新技术、更新旧技术,另一方面使员工接受了一些时代的新信息、新观念。

水力发电委员会为了提高水电厂企业员工的人员素质和技术素质,以求在改革中保生存、求发展、永立于不败之地,特组织一批曾长期在水电生产一线从事技术工作的同志编写了一套水电厂主要专业九个工种的培训教材,即由柘溪水电厂主编的《水库调度》、刘家峡水电厂主编的《水轮发电机组值班》、新安江水电厂主编的《水电自动装置检修》、丹江口水电厂主编的《水轮发电机机械检修》、葛洲坝水电厂主编的《水轮机调速机械检修》和《水工机械检修》、龙羊峡水电厂主编的《水工建筑物维护》、五强溪水电厂主编的《水轮机检修》。

本教材的策划、编写、审查直至出版发行,首先要感谢中国电力企业联合会教培中心、中国电力出版社水电室的领导和同志们的悉心关怀、热情指导;其次感谢水力发电委员会各会员厂许多人倾注的大量心血,尤其是第一任主任委员厂葛洲坝水电厂、第二任主任委员厂丹江口水电厂、第三任主任委员厂柘溪水电厂的领导和同志们,他们本着高度负责的态度,做了大量的组织工作和事务工作;各教材的主编、主审、参审人员的辛勤劳动,更是功不可没;各会员厂给予了大力的支持,才使本套教材顺利问世。

由于时间仓促，水平有限，本套教材中的错误和遗漏之处在所难免，敬请读者提出宝贵意见。

全国电力工人技术教育
水 力 发 电 委 员 会
二〇〇二年十二月

前 言

为了加强职工的岗位培训工作,提高水电厂生产人员的技术业务素质,以适应电业发展的需要,刘家峡水电厂受中国电力教育协会的委托,承担了《水轮发电机组值班》技能培训教材的编写任务。

本教材是根据原部颁《电力工人技术等级标准》,依照《水电厂运行岗位规范》及有关规程制度,从水电厂运行值班员的特点和实际情况出发,结合全国各大、中型水电厂的客观实际及机电合一、无人值班(少人值守)的发展趋势,同时兼顾劳动和社会保障部推行的职业技能鉴定考核的需要而编写的。

在编写过程中,以水电厂运行设备为主线,紧密结合现场实际,突出技能应用。经过充分地调研,广泛征求意见,认真讨论修订,几易其稿,而后又经过专家审定和修改才定稿。

本教材是按照成人培训考核特点和规律建立的新教材体系,打破了传统教材的框架,强调实用性,以工种立目,以岗位立篇,融基础知识、专业理论和操作技能于一体,克服了以前教材存在的偏多、偏深、偏难及“重理论轻技能”的问题,具有理论联系实际、知识为技能服务、重点突出、内容全面、针对性强、通俗易懂、图文并茂的特点,尽量体现新技术、新设备、新方法;以大型水电厂设备为主,兼顾中、小型水电厂设备,有相当的先进性和实用性。

我国水电事业发展迅速,技术进步层出不穷,现已进入大电网、大机组、高电压、高参数、高度自动化阶段。由于各厂的实际情况不同,加上设备更新改造及新技术的不断应用,要想使本教材做到完全通用是不可能的。因此,建议各单位和读者在使用本教材过程中,结合本厂设备实际情况,按新颁技术等级标准各

个级别的具体要求，选择本书与之对应的内容去培训学习。鉴于编者的学识水平有限，实践经验不足，加上时间仓促，教材的内容编排和错误之处在所难免，敬请专家和读者予以批评指正。

在本教材编写过程中，得到了刘家峡水电厂的大力支持和帮助，同时葛洲坝电厂、隔河岩电厂等兄弟单位为编写本教材提供了技术资料。在此一并表示感谢。

目 录

总前言

前言

上 册

第一篇

水电厂辅助设备及厂用电系统

第一章 水力发电概论	1
第一节 水能资源开发及水电厂类型	1
第二节 水利枢纽及水工建筑物	10
第三节 水电厂的特征参数	14
第四节 水电厂在电力系统中的工作方式	19
第五节 水电厂的生产过程	23
复习题	26
第二章 水电厂辅助设备的运行	29
第一节 技术供水系统	30
第二节 排水系统	39
第三节 油系统	44
第四节 水电厂的压缩空气(风)系统	63
第五节 水电厂消防系统	79
第六节 水电厂的其他辅助设备	81
复习题	89
第三章 水电厂厂用电系统	93
第一节 概述	93

第二节	厂用配电装置	96
第三节	备用电源自动投入装置 (AAT)	101
第四节	厂用电动机的运行	106
第五节	厂用电的倒闸操作	120
第六节	厂用电系统的试验操作及运行维护	124
第七节	厂用直流系统	130
第八节	水电厂的信号系统	138
复习题		145

第二篇



水轮发电机组及一次系统

第四章	水轮机运行	149
-----	-------------	-----

第一节	水轮机概述	149
第二节	水轮机的工作原理	163
第三节	水轮机的空蚀与泥沙磨损	178
第四节	水轮机振动	187
第五节	水轮机的飞逸特性及轴向水推力	191
第六节	水轮机特性曲线	194
第七节	水轮机的异常运行及事故处理	202
第八节	水轮机的运行维护与试验	209
复习题		211

第五章	同步发电机运行	216
-----	---------------	-----

第一节	同步发电机的基本知识	216
第二节	水轮发电机的类型及基本参数	217
第三节	水轮发电机结构	223
第四节	同步发电机运行分析	241
第五节	同步发电机的并列运行	253
第六节	同步发电机的异常运行及事故处理	260
第七节	水轮发电机的运行维护及试验	266
第八节	水轮发电机组的正常操作	276

复习题	283
第六章 变压器运行	287
第一节 变压器概述	287
第二节 变压器的结构	293
第三节 变压器的基本原理	301
第四节 变压器的运行分析	314
第五节 变压器的允许运行方式	327
第六节 变压器合闸时的励磁涌流	332
第七节 变压器的并联运行	335
第八节 变压器的异常运行和事故处理	338
第九节 变压器的运行维护	349
复习题	352
第七章 水电厂一次设备及运行	354
第一节 水电厂电气主接线	354
第二节 电气设备的倒闸操作	369
第三节 高压断路器	384
第四节 隔离开关	415
第五节 互感器及运行	419
第六节 消弧线圈的运行	436
第七节 电缆线路的运行	442
第八节 水电厂的防雷、接地及过电压	445
复习题	462

下 册

第三篇



水电厂二次系统

第八章 水轮机调节	465
第一节 水轮机调节概述	465

第二节	调节系统参数对水轮机调节系统稳定性和动态品质的影响	470
第三节	电气液压型(电液)调速器	475
第四节	电液转换器	479
第五节	水轮机调速器的几种电液伺服系统	496
第六节	调速器的试验	505
第七节	调速器的运行维护	509
第八节	调速器的故障分析	515
复习题		523
第九章	水电厂继电保护	525
第一节	水轮发电机保护	525
第二节	变压器继电保护	548
第三节	发电机——变压器组公用继电保护	563
第四节	水轮机保护	570
第五节	输电线路保护	573
第六节	母线继电保护	617
复习题		624
第十章	水电厂自动装置	627
第一节	同期装置	627
第二节	励磁控制系统	643
第三节	灭磁及转子过电压保护装置	674
第四节	机组电制动停机系统简介	682
第五节	综合重合闸	687
第六节	故障录波器	693
第七节	其他自动装置	698
复习题		703
第十一章	水电厂计算机监控系统	707
第一节	概述	707
第二节	计算机监控系统基本工作原理及要求	708

第三节	计算机监控系统功能	713
第四节	水电厂计算机监控系统分类	719
第五节	水电厂计算机控制方式	731
第六节	计算机监控现地控制单元及硬、软件设置	733
第七节	水电厂监控系统配置实例及展望	735
复习题		739



第四篇

电力系统运行管理

第十二章	现代电网及电力系统	741
-------------	------------------------	------------

第一节	现代电网概述	741
第二节	电力系统的接线方式和电力线路结构	744
第三节	电力系统稳定	749
第四节	电力系统频率及电压的调整	758
第五节	电力系统中性点的运行方式	766
复习题		774

第十三章	电力系统事故处理简介	775
-------------	-------------------------	------------

第一节	概述	775
第二节	电气事故处理的一般知识	776
第三节	电力系统异步振荡的事故处理	779
第四节	频率降低的事故处理	782
第五节	电压降低的事故处理	785
第六节	厂用电源中断的事故处理	789
第七节	送电线路跳闸的事故处理	792
第八节	发电厂解列或母线电压消失的处理	793
第九节	全厂停电的事故处理	795
复习题		799

第十四章	常用工器具及仪表的使用	802
-------------	--------------------------	------------

第一节	水电厂常用仪表的使用方法	802
-----	--------------------	-----

第二节 安全用具	811
第三节 防火与灭火知识	819
复习题	829
附录一 电气常用新旧图形符号对照表	830
附录二 电气常用新旧文字符号对照表	845
附录三 小母线新旧文字符号及其回路标号	852
参考书目	855

第一篇

水电厂辅助设备及厂用电系统

第一章 水力发电概论

第一节 水能资源开发及水电厂类型

如何开发和利用水能资源为工农业生产和人民生活提供大量廉价的电力,已形成一种专门的科学技术,称之为水力发电。

一、水力发电的基本原理

天然河流中蕴藏着水能,它在水流流动过程中以克服摩擦阻力、冲刷河床、挟带泥沙等形式分散地被消耗掉,水力发电就是利用这白白消耗掉的水能来生产电能。

众所周知,具有一定质量的物体自高处落下时要作功,其功的大小取决于物体的质量和落体重心的下降高度。水能就是在天然河流中水从高处向低处流动时所具有的能量。同样,河段水能数值的大小取决于水的落下高度和水量的大小,也就是落差和水量两个要素,如图 1-1 所示。河段通过的水量愈大,河段的坡降愈陡,蕴藏的水能就愈大。

设在河段 1-2 中,它们之间的距离为 L ,坡降为 i ,假定在 T 秒(s)时段内有 W (m^3)的水量流过该河段时,则根据水力学知识可知,水流出力为

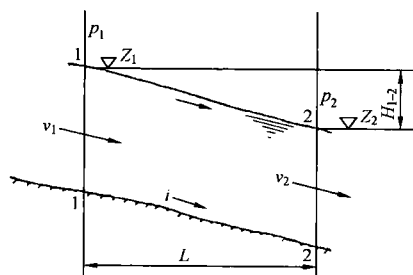


图 1-1 河段的潜在水能

$$P_{1-2} = 9.81 QH_{1-2} \quad (\text{kW}) \quad (1-1)$$

式中 Q ——时段 T 的平均流量, m^3/s ;

H_{1-2} ——落差或水头, m 。

$$Q = \frac{W}{T}$$

能量的单位用“ $\text{kW} \cdot \text{h}$ ”表示, 则河段 1-2 中的能量 E_{1-2} (表示 T 时段内流过水量 W 的作功能力) 为

$$\begin{aligned} E_{1-2} &= 9.81 QH_{1-2} \left(\frac{T}{3600} \right) = \frac{1}{367} WH_{1-2} \\ &= 0.00272 WH_{1-2} \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \end{aligned} \quad (1-2)$$

上面两式便是用以计算水流出力 and 能量的基本公式。用这两个公式算出的天然水流出力和能量, 是水电厂可用的输入能量, 而水电厂的输出能量指发电机定子端部引出线送出的出力和发电量, 因而在从天然水能到生产电能的过程中, 不可避免地会有种种能量损失: 一是水电厂所利用的水能不可能是全部的天然来水量, 它必须减去水库的蒸发、渗漏等损失的水量和用水部门从水库取走的水量; 二是所利用的水头也不可能是两断面的高程差, 它必须减去由于库面形成上翘的回水曲线而引起的回水水头损失和从引水管到蜗壳进水口处的水头损失; 三是由水能转换为机械能再转换为电能的功率损失。一般用水轮机效率 (η_T) 和发电机效率 (η_G) 来表示水电厂效率, 即水电厂效率 $\eta = \eta_T \eta_G$ 。

因此，水电厂的出力和发电量的计算公式为

$$P = 9.81 \eta QH \quad (\text{kW}) \quad (1-3)$$

$$\begin{aligned} E &= 9.81 \eta QH \frac{T}{3600} = \frac{1}{367} \eta WH \\ &= 0.00272 \eta WH \quad (\text{kW} \cdot \text{h}) \end{aligned} \quad (1-4)$$

式中的 W 、 Q 和 H 均是指有效利用量。

水电厂机组的效率因水轮机和发电机的类型和参数的不同而不同，且随其工况而改变。在初步进行水能计算时，常假定效率为常数，并令 $K = 9.81 \eta$ ，可得水电厂出力的简化计算公式为

$$P = KQH \quad (\text{kW}) \quad (1-5)$$

式中： K 为出力系数，一般对大型水电厂机组， $K = 8.0 \sim 8.5$ ，对中型水电厂， $K = 7.0 \sim 7.5$ ，对小型水电厂， $K = 6.0 \sim 6.5$ 。

二、水能资源的开发方式及水电厂类型

根据上述的水力发电原理可见，要利用一个河段的水能，首先必须把分散的落差集中起来，形成可被利用的水头。其次，由于河中天然流量变化甚大，需要采取人工措施如修建水库等，用以调节流量。所以，开发利用水能的方式表现为集中落差和利用流量的方式，但集中落差是首要的。由于被开发河段的水文、地形、地质等条件的不同，集中落差主要有以下几种基本形式。

1. 抬水式开发

在河流狭窄处，拦河筑坝，抬高上游水位，形成河段的集中落差，这种开发方式称为抬水式或坝式开发。按坝与电厂厂房的布置不同可分为以下两种形式：

(1) 河床式水电厂

河床式水电厂的厂房与坝一起建筑在河床中，成为坝体的一部分，因而厂房本身应能承受上游水压力，起挡水作用，厂房结构与坝体相同。这种水电厂适用于水头较低而所挡水建筑物很长的情况下，通常是在平原河段上。我国的葛洲坝、富春江、大化、西津等水电厂都是河床式的，如图 1-2 所示。

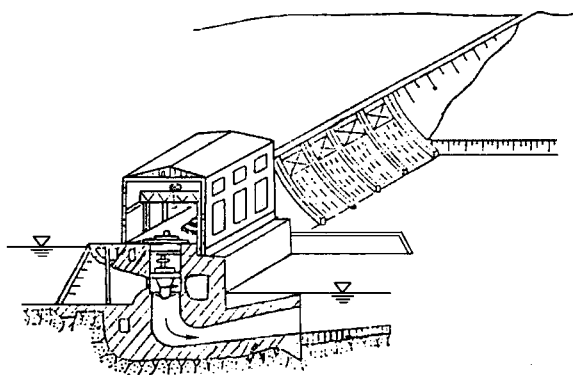


图 1-2 河床式水电站

(2) 坝后式水电站

坝后式水电站的厂房建筑在坝后，厂房不挡水，因而也称坝下式水电站。其特点是水头较高，厂房本身不承受上游水压。如我国的丹江、新安江、陆水等都是坝后式水电站如图 1-3 所示。抬水式开发的特点是由于形成蓄水库，可用以调节流量，故坝后式水电站引用流量大，电厂规模也大，水能的利用程度较充分，

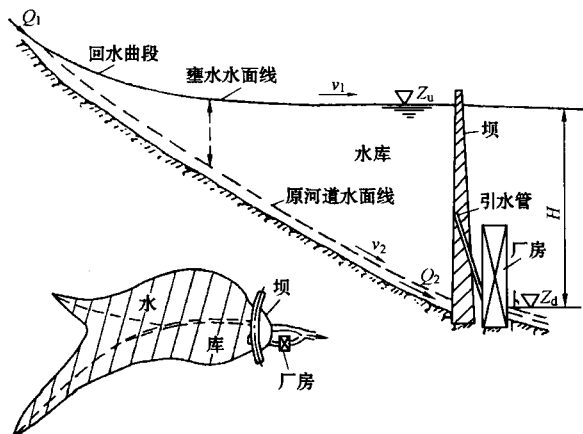


图 1-3 坝后式水电站