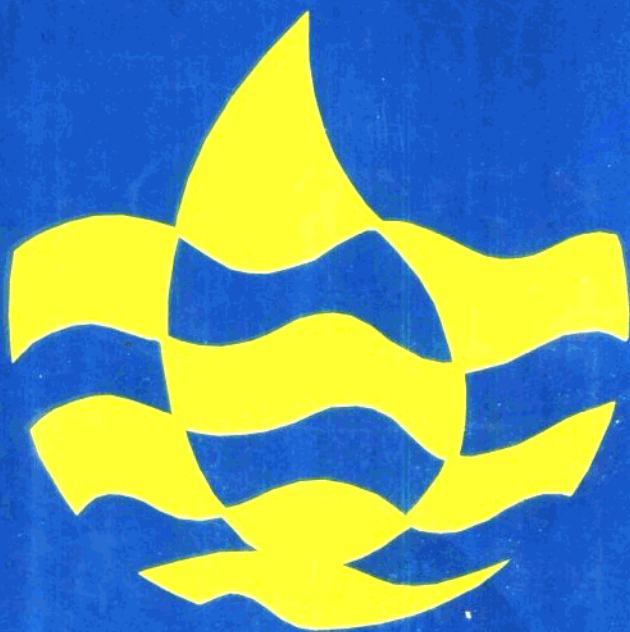


《小水电培训教材》

低压水轮发电设备 运行与维修



河海大学出版社

小水电培训教材(五)

低压水轮发电设备运行与维修

(修订本)

程泾川 编

河海大学出版社

内 容 提 要

鉴于目前缺乏500千瓦以下低压水轮发电设备的实用培训教材和它们的结构较简单、功能齐全的特点,而管理人员却较少等因素,特编写这本综合性的通俗教材。书中集水工、机械和电气知识于一书,以供低压小型水轮发电设备的运行管理和检修人员岗前培训之用,也可供初中以上的机电工自学之用和作为中等技术学校的教学参考书。

原书于1983年经浙江省水利厅水电处审定为全省小水电行业培训及发证考试的通用教材,历经二次内部发行计16000册。曾在1984年全国首次小水电培训工作座谈会上交流展出获好评。嗣后,受原水电部小水电处和浙江省水电开发管理中心的委托,又作了近十万字的修改和补充,使其内容更加充实。

责任编辑:陆文祺

责任校对:张世立

· 低压水轮发电设备运行与维修

(修订本)

程涇川 编

*

河海大学出版社出版

(210024 南京市西康路1号)

河海大学出版社发行

河海大学印刷厂印刷

*

开本 787×1092 毫米 1/16 张印: 11.75 插页: 2 字数: 285 千字

1991年7月第二版

2002年6月第7次印刷

印数: 41001—59000 册

ISBN 7-5630-0280-4/TK·14

定 价: 11.00 元

发展小水电的关键
是培训人才

钱正英
一九九一年十一月廿日

全国政协副主席、原水利电力部部长钱正英同志为《小水电培训教材》题词。

《小水电培训教材》编委会

主 审：单克明

主 任：王经权

副 主 任：查一民 周仲钺 陈彩云

编 委：陈建农 虞 放 李淑勤 方勇耕

李永国 张新干 程泾川 唐文品

余国治 吴俊燕

编委会秘书：吴俊燕

加強專業培訓 提高職工素質

楊振懷

水利部部長楊振懷同志一九九一年二月為《小水電培訓教材》
題詞。

為發展祖國水电
事業而奮鬥

陳紹沂

一九六〇年

浙江省水利厅厅长陈绍沂题词

序

我国幅员广大、山峦起伏、河流纵横、水力资源十分丰富，理论蕴藏量为6.8亿千瓦，可开发蕴藏量为3.7亿千瓦，居世界首位。建国四十年来，我国农村水电事业取得了很大成绩。到1990年底，全国农村水电装机容量已达一千四百万千瓦，年发电量四百八十八亿千瓦时。与此同时，建成了具有相当规模的配套电网，拥有高、低压输、配电线路二百零八万公里，变电设备四千六百万千伏安，担负着全国三分之一以上县(市)的工农业生产和广大人民生活的供电任务。为全国五百二十万平方公里国土上的三亿亩耕地、三亿人口提供了廉价的电力。

农村水电关系着国民经济中农业和能源两个战略重点，农村水电的建设和地方电网的发展，有力地促进了这些地区的经济发展和精神文明建设，对发展地方工业特别是乡镇企业、改善人民生活、脱贫致富方面起着十分重要的作用。

如何把这些工程设施和机电设备管好用好，使其充分发挥作用，这是摆在我们全国农村水电战线上五十万职工的一项迫切而艰巨的任务，当前最大的问题是管理人员素质偏低，技术水平和技术装备远远赶不上发展的需要。

由浙江省水利部门的领导和专家历经辛苦编写的《小水电培训教材》现已由河海大学出版社出版。

这套培训教材图文并茂，内容简明扼要、生动而丰富，教材实用性强，第一版发行后，经过几期培训班的教学，深受广大职工的普遍欢迎。这套教材可以作为我国农村水电职工学习基本知识和进行岗位培训的教材，这对加强专业培训、提高广大职工的技术素质和岗位生产工作能力将发挥积极的促进作用。

水利部农村水电司司长邓秉礼

一九九一年六月

再 版 前 言

“八五”计划和十年规划的实施，将使我国小水电事业进一步迅猛发展。新形势对小水电提出了新要求，为了提高职工素质和对新职工进行上岗技术培训，就必须进行系统的教育，“百年大计，教育为本”。我们在1990年6月出版了“小型水电站培训教材”，全套书共六本：（一）《水轮机及辅助设备运行与维修》；（二）《调速器调试与故障处理》；（三）《电气一次设备运行与维修》；（四）《电气二次回路运行与维护》；（五）《低压水轮发电设备运行与维修》；（六）《小型水电站运行规程与管理》。本书第一版一万一千余套，时仅数月，即告售罄。各地纷纷要求再版，经水利部农电司邓秉礼司长同意，决定再版后本书为全国小水电系统统一的职工培训专用教材，并指定作为统考命题的根据。有鉴于此，水利电力出版社音像部以这套教材为依据，正在配套制作音像教材。

再版前，水利部老部长、全国政协副主席钱正英同志，水利部杨振怀部长都肯定了这套教材，并分别为本书题了词。

这套书除《低压水轮发电设备运行与维修》一书外，其余都是针对高压机组的机电设备进行编写的，因此全套书可供不同工作类型的水电站职工选用。整套书的内容涉及面广，包括小型水电站全部机电设备的运行、维修和故障处理等。读者依据本教材经过技术培训后，能直接上岗对设备进行操作运行，并能独立进行一般的设备故障处理和完成常规的设备检修工作。

考虑到读者大部分为初中文化程度这一特点，在编写过程中，我们力求“短小精悍，通俗实用”。对必需用到的理论公式一般不作深入的推导，在简明扼要地导出公式后，重点放在公式所揭示的物理意义和应用中需着重解决的问题上。对复杂的设备，我们尽量多地配置插图，并以立体图、透视图作辅助手段，以便于读者看懂图，建立实物空间概念。对运行、维修的常规操作和处理手段，书中提供了较多实例，以便于读者针对工作中遇到的实际问题及时查阅。

本书曾作为浙江省小水电系统统一的职工培训教材和考试发证用书，于1984年前后在浙江省水电系统内部发行了八千余套，得到读者普遍好评。1988年又被定为浙江省小水电行业农民技术职称评定的理论考试用书。1984年10月原水电部在广西恭城县召开的全国小水电培训工作座谈会上，各地选送推荐了一批教材，对这套教材反映较好。会后，根据各方面的反映，原水电部农电司有关负责同志多次函告浙江省水利厅，要求对这套书进一步修改充实后，作为全国小水电统一的职工培训教材。

本书出版一年多来，各地反映良好，并提出了不少的宝贵意见，在此基础上，我们又组织原班人马进行了修订，聘请专家作了核实，其中有的还作了较大的改动，使全书的内容更为全面、翔实。

这套书由浙江省水利厅再次组织编写，编写委员会主任为浙江水利水电专科学校王经权，副主任为河海大学出版社查一民，水利电力出版社杭州发行站周仲钺、浙江省水电开发管理中心陈彩云，委员为陈建农、虞放、李淑勤、方勇耕、李永国、张新干、程泾川、唐文品、余国治。浙江省水利水电勘测设计院张道宏、苏孝炆、吕诚源、胡文宝、周宁星 陈家骏负责审稿。

在再版过程中，得到了浙江水利水电专科学校、水利电力出版社杭州发行站、浙江省水电开发管理中心、浙江省水利水电勘测设计院、浙江水电技工学校等单位大力协助，在此表示衷心感谢。

全书再版时虽作了认真的修改，但难免还会存在缺点和错误，热忱希望读者予以批评指正。

单克明

一九九一年七月

注：再版前言作者单克明同志为浙江省水利厅副厅长。

目 录

第一章	概 述	(1)
第一节	小水电站的特点和意义	(1)
第二节	小水电站的建站型式和出力计算	(1)
第三节	小水电站的水工建筑物	(2)
第二章	水轮机及其附属设备	(3)
第一节	水轮机的分类及型号	(3)
第二节	水轮机的系列型谱	(4)
第三节	水轮机的参数	(6)
第四节	冲击式水轮机的构造	(7)
第五节	反击式水轮机的构造	(9)
第六节	水轮机的选择	(12)
第七节	水轮机的附属设备	(12)
第八节	水轮机的允许吸出高度(H_s)的决定和汽蚀影响	(14)
第三章	交直流电路基础知识	(16)
第一节	电流、电压和电阻	(15)
第二节	电阻器、导体、绝缘体和半导体	(17)
第三节	几个常用的电工定律	(18)
第四节	电功率和电能	(20)
第五节	电阻的串连和并联	(20)
第六节	正弦交流电的参数	(22)
第七节	三相交流电势的产生	(25)
第八节	三相交流电源的绕组联接	(26)
第九节	三相负载不同接法的电压和电流关系	(27)
第十节	交流电功率的计算	(28)
第四章	晶体管基础知识	(30)
第一节	半导体	(30)
第二节	PN 结及其特性	(30)
第三节	晶体二极管	(31)
第四节	晶体三极管	(33)
第五节	晶体管的工作状态	(38)
第六节	耦合及阻容耦合放大器	(38)
第七节	电磁振荡和微、积分电路	(39)
第五章	硅整流电路	(41)
第一节	三种单相整流电路	(41)
第二节	三相半波和三相桥式整流	(42)
第三节	滤波电路	(45)
第四节	稳压管及其应用	(47)
第六章	可控硅整流电路	(48)
第一节	可控硅的构造及其表示符号	(48)

第二节	可控硅的工作特性	(48)
第三节	可控硅的主要参数及好坏鉴别	(50)
第四节	可控硅整流电路	(51)
第五节	可控硅的触发电路	(53)
第六节	可控硅励磁实例二则	(56)
第七章	小型水电站常用的发电机和电器设备	(77)
第一节	小型水轮发电机	(77)
第二节	低压电站的一次设备	(84)
第三节	二次设备的功用和代号	(97)
第四节	低压电站常用的几种继电器	(99)
第五节	二次设备中的计量仪表	(102)
第六节	二次回路图的绘制原则和阅读法	(107)
第七节	BKSF型低压配电屏	(113)
第八章	水轮发电机组的运行和维护	(118)
第一节	水轮发电机组的调试和起动	(118)
第二节	水轮发电机组的操作与检查	(119)
第三节	水轮发电机的并车	(120)
第四节	并车的方法	(121)
第五节	Z-1型准同期装置的使用与检修	(124)
第六节	水轮机的运行和维护	(126)
第七节	发电机的异常运行和事故处理	(127)
第八节	发电机的运行和维护	(129)
第九章	变电装置	(133)
第一节	变压器的工作原理	(133)
第二节	变压器的构造和各部件的功用	(134)
第三节	变压器的主要技术数据	(135)
第四节	变压器的许可运行	(136)
第五节	变压器的并联运行	(136)
第六节	无载调压的分接开关倒换方法	(137)
第七节	变压器运行前的检查和运行中的注意事项	(138)
第八节	变电装置的附属设备	(138)
第九节	变电装置的运行操作	(141)
第十章	接地装置和防雷设施	(142)
第一节	接地种类	(142)
第二节	接地装置应遵循的主要规程	(142)
第三节	接地电阻的计算和要求	(143)
第四节	接地装置的选型	(144)
第五节	用接地摇表测量接地电阻的方法和注意事项	(145)
第六节	雷电的基本概念和防范措施	(146)
第十一章	电气事故的预防及其保安技术措施	(148)
第一节	电气着火的原因	(148)
第二节	电气防火的措施	(148)
第三节	灭火装置	(149)

第四节	电气火灾的扑灭	(150)
第五节	防火规则	(150)
第六节	10kV以下常用安全用具	(150)
第七节	触电事故及其急救	(152)
第十二章	附录	(156)
第一节	附表	(156)
第二节	规章制度	(156)
第三节	几种常用携带式仪表的用法和使用规则	(158)
第四节	名词解释(书中提到而未作解释部份)	(160)

第一章 概 述

水力发电是利用河流中以水的落差(水头)和流量为特征值所积蓄的势能和动能,通过水轮机变为机械能,然后带动发电机转化为电能,供发展国民经济和人民生活等使用。

按照水电站装机容量的大小分为大、中、小三种类型,我国规定装机在25000kW以下的为小型水电站。因装机在10000kW以上的小水电站与中型水电站有许多相似之处。因此,本书中以讨论低压水电设备的运行与维修为重点。

第一节 小水电站的特点和意义

水力发电所用的水是取之不尽、用之不竭的能源,与其他能源相比,无需昂贵的燃料开采和运输等环节,因而水电的成本低。它不仅可以节约大量的煤炭、石油、天然气和原子能等能源,且有利于保护环境和实现水的综合利用。

小水电与大、中型水电相比,仅不过是规模较小和设备简单一些而已,但作为先进生产力代表之一的小水电与大水电并无本质上的区别。它的特点是简便易建,投资较省,收效较快。它的发展对促进地方乡镇企业的发展和提高城乡人民的物质和文化生活水平等方面,具有明显的作用。它是我国实现农村电气化的主要途径之一。

第二节 小水电站的建站型式和出力计算

按集中落差开发方式,可分为引水式、堤坝式和混合式三种。其中引水式又分为渠道引水和隧洞引水,截弯取直引水以及利用灌溉渠道的陡坡或跌水建站等。

按水力学的推导,得出了水力计算公式为

$$N = 9.81 \eta Q_r H_r = A Q_r H_r (\text{kW}) \quad (1-1)$$

式中: Q_r ——设计流量(M^3/S 或 $\text{米}^3/\text{秒}$),由水文站提供或相邻河流水文资料等办法取得。

H_r ——设计水头(m 或 米),与建站型式和水轮机型式有关。

对引水式电站为

$$H_r = \nabla_{\text{上}} - \nabla_{\text{下}} - (h_{\text{沿}} + h_{\text{局}}) \quad (1-2)$$

式中: $\nabla_{\text{上}}$ 、 $\nabla_{\text{下}}$ ——分别为上游前池水位和下游水位高程,以米计算。

$h_{\text{沿}}$ 、 $h_{\text{局}}$ ——分别为沿程和局部的水头损失,也以米计算。

对于冲击式水轮机的设计水头为压力前池的正常蓄水位与水轮机喷嘴中心的高程差,再减去输水管路的水头损失。其中: $h_{\text{管}}$ 也等于 $h_{\text{沿}} + h_{\text{局}}$,故

$$H_r = \nabla_{\text{上}} - (\nabla_{\text{咀中}} + h_{\text{管}}) = \nabla_{\text{上}} - \nabla_{\text{咀中}} - (h_{\text{沿}} + h_{\text{局}}) \quad (1-3)$$

η ——机组的总效率,它包括水轮机效率 $\eta_{\text{水}}$ 、发电机效率 $\eta_{\text{发}}$ 和传动效率 $\eta_{\text{传}}$ 。对堤坝式水电站的设计水头取最高水位和最低水位的平均值再减去水头损失,即:

$$H_r = \frac{1}{2} (H_{\text{max}} + H_{\text{min}}) - (h_{\text{沿}} + h_{\text{局}}) \quad (1-4)$$

式中: $H_{\max}$ ——最高毛水头;

$H_{\min}$ ——最低毛水头。

A ——出力系数, 为9.81与 η 的乘积。

表1-1 出力系数

水轮机与发电机传动方式	系 数 A
同 轴 联 接	7.0—8.0
皮 带 传 动	6.5—7.5
齿 轮 传 动	6.3
两 次 传 动	6.0

当单机容量 $N \geq 500\text{kW}$ 时, 取 $A=7.5$

~8, 反之按下表选取之。

第三节 小水电站的水工建筑物

水工建筑物与建站的形式有关。对于坝式水电站, 一般分挡水、进水、泄水建筑物和厂房等四部分。引水式电站分为有压引水 and 无压引水两种, 主要建筑物包括: 进水、输水、尾水和厂房四部分。混合电站则两者兼而有之。为简便起见, 特列表1-2。

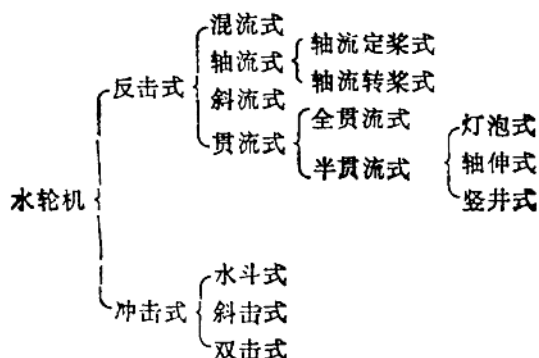
表1-2 小水电站的水工建筑物

名 称	种 类	作 用
挡水建筑物	坝 浆砌条石坝、土坝、堆石坝、土石混合坝	拦截河流、小溪和山沟的水流, 形成上下游的落差, 蓄存水量以形成水库。
泄水建筑物	溢洪道 宽浅式(正堰布置)、侧槽式	排走洪水, 宣泄多余水量, 使上游水位不超过设计最高水位, 以确保安全。
进水建筑物	进水口 开敞式(无坝或有坝取水)、深孔式	将发电用水量平稳通畅而水头损失最小地引入渠道。进水口设有闸门、冲砂孔和拦污栅。
输水建筑物	渠道 明渠、暗渠、隧洞	给水轮机输送水量和形成电站落差。
	压力前池	渠道末端的扩大部分, 连接渠道和压力管道, 调节蓄水位和蓄水量(蓄水或弃水)及拦阻漂浮物。
	压力水管 钢管、铸铁管、混凝土管、预应力钢丝网管、陶瓷管、木管	将水库或压力前池的水引入水轮机。

第二章 水轮机及其附属设备

第一节 水轮机的分类及型号

水轮机是一种将水能转换为旋转机械能的机器。按其水流作用原理和结构特征可分为两大类：一类仅利用水流动能的叫做冲击式；另一类以利用水流的势能为主和动能为辅的称为反击式。属于这二类的各种型式有：



随着蓄能和潮汐电站的开发，出现了可逆式机组。常见的可逆式有混流、斜流和轴流等型式。一般水轮机的转轮工作原理示意图如图2-1-a~g所示。

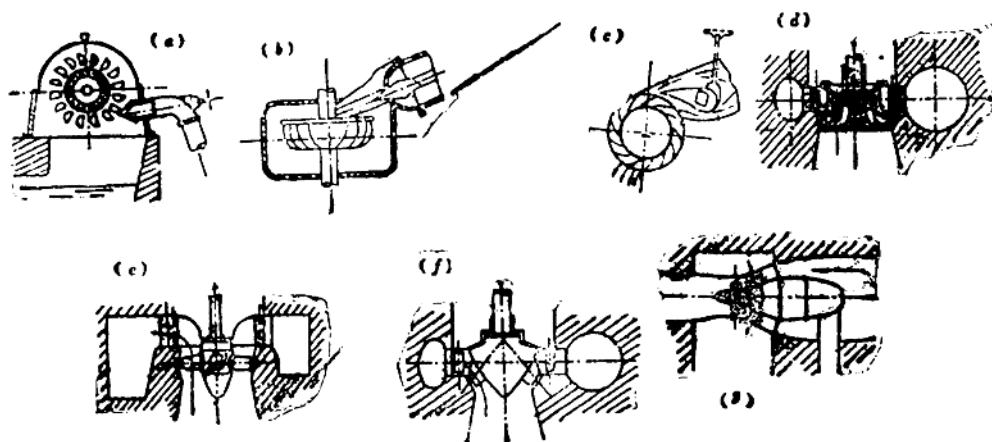


图2-1 各式水轮机的转轮工作原理示意图

(a) 切击式(冲击式)水轮机；(b) 斜击式水轮机；(c) 双击式水轮机；(d) 混流式水轮机；(e) 轴流式水轮机；(f) 斜流式水轮机；(g) 贯流式水轮机。

水轮机的型号由三部份组成，各部份之间用破折号分开。第一部份表示水轮机的型式和转轮型号，用汉语拼音字母和阿拉伯数字表示；第二部份表示主轴布置形式和引水室特征；

第三部份以数码表示转轮的标称直径(厘米)。对于冲击式机组因无引水室而不须表示,但其第三部份的分母数字分别代表喷嘴个数和喷嘴的有效射流直径(也以厘米计)。

水轮机型号中各字母的含义及主轴布置型式与引水室特征见表2-1和表2-2。

表2-1 水轮机型式符号表

型 式	代 号	型 式	代 号
混流式	HL	贯流转桨式	GZ
斜流式	XL	水斗式	CJ
轴流定桨式	ZD	斜击式	XJ
轴流转桨式	ZZ	双击式	SJ
贯流定桨式	GD		

表2-2 水轮机轴布置及引水室特征表

名 称	代 号	名 称	代 号
立 轴	L	明槽式	M
卧 轴	W	罐 式	G
金属蜗壳	J	竖井式	S
混凝土蜗壳	H	虹吸式	X
灯泡式	P	轴伸式	Z

可逆式水轮机在代号后加“N”以表可逆之意。

为便于初学者识别二种类型的水轮机型号表示含义,特举二例以示说明。

1. 反击式水轮机

HL 260-WJ-42			
混流式		转轮标称直径42(厘米)	
转轮型号		金 属 蜗 壳	
		卧 轴 式	

2. 冲击式水轮机

CJ 22-W-55/1×7			
水斗式		设计射流直径7(厘米)	
转轮型号		一个喷嘴	
卧轴式		转轮标称直径55(厘米)	

第二节 水轮机的系列型谱

按照功率的大小分为大中型和中小型二部分,在此,我们只介绍中小型部分。

一、反击式水轮机转轮暂行系列型谱(摘自1974年第一机械工业部和水电部批准的有关内容)

1. 使用范围

- (1) 本型谱仪包括轴流式和混流式水轮机。其他型式水轮机暂不作规定;
- (2) 本型谱分大中型和中小型两部分,对于转轮直径为1.4m及1.4m以上的轴流式水轮机和转轮直径为1米及1米以上的混流式水轮机按大中型型谱执行,其它按中小型型谱执行。

2. 转轮型谱参数和直径尺寸系列

- (1) 中小型轴流式和混流式转轮型谱参数如表2-3所示;