

教育部人才培养模式改革和开放教育试点教材

水利水电工程专业系列教材

水轮机·水泵及辅助设备

主编 陈德新 副主编 杨建设

shuilunji shuibeng ji fuzhu shebei



中央广播电视大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

水轮机·水泵及辅助设备/陈德新主编. —北京:中央广播电视大学出版社,2001.1

ISBN 7-304-02004-0

I. 水... II. 陈... III. ①水泵—高等学校—教材②水泵—附属装置—高等学校—教材③水轮机—高等学校—教材④水轮机—附属装置—高等学校—教材 IV. ①TH38②TK73

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 01043 号

版权所有,翻印必究。

水利水电工程专业系列教材

水轮机·水泵及辅助设备

主 编 陈德新

副主编 杨建设

出版·发行:中央广播电视大学出版社

电话:发行部:010-68519502 总编室:010-68182524

网址: <http://www.crtvup.com.cn>

地址:北京市海淀区西四环中路45号

邮编:100039

经销:新华书店北京发行所

印刷:北京诚顺达印刷有限公司 印数:14001~17000

版本:2000年12月第1版 2005年1月第5次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:28.25 字数:645千字

书号:ISBN 7-304-02004-0/TH·46

定价:35.00元

(如有缺页或倒装,本社负责退换)

课程组长：陈德新

主 编：陈德新

副 主 编：杨建设

主持教师：蒋克中

责 编：沈桂芝

水利水电工程专业系列教材

课程建设委员会名单

顾问: 陈肇和(教授 北京水利水电管理干部学院)

主任: 赵中极(教授 华北水利水电学院)

副主任: 葛文辉(教授级高级工程师 水利部建设司建设管理总站)

刘宪亮(副教授 华北水利水电学院)

蒋克中(副主任 中央电大理工部)

委员 (按姓氏笔画排列):

王 圻(副教授 中央电大)

牛文臣(教授 华北水利水电学院)

司马寿龙(教授级高工 河南省水利厅总工)

李光勉(教授级高工 水利部黄委会设计研究院总工)

孙东坡(副教授 华北水利水电学院)

孙明权(副教授 华北水利水电学院)

李国庆(教授 华北水利水电学院)

陈德新(教授 华北水利水电学院)

张立中(教授 华北水利水电学院)

张庆元(副校长 河南电大)

周克己(教授 武汉水利电力大学)

张俊芝(副教授 南昌水利水电高等专科学校)

郭雪莽(教授 华北水利水电学院)

鲁志勇(副教授 华北水利水电学院)

董增川(教授 河海大学)

鄢小平(讲师 中央电大)

秘书: 董幼龙(高级工程师 华北水利水电学院)

内容提要

本书为中央广播电视大学“水利水电工程”专业多媒体一体化教材的文字教材。全书共分两篇,第一篇为水轮机与水泵部分,讲述水轮机的工作原理、水轮机选型与水轮机的主要过流部件。并介绍了水泵的工作原理及其应用。第二篇为辅助设备与水轮机调节部分,重点讲述水力机组油、气、水系统的原理与设计计算。水轮机调节部分讲述了调节系统的基本知识、机械液压和电气液压调速器的组成、结构与工作原理,还简单介绍了微机调速器,调节保证计算。

与本书配合的多种媒体教材有录像教材与计算机辅助教学(CAI)光盘。

前 言

本书是根据 1999 年 7 月由中央电大教务处会同河南省电大及有关学科专家共同审定的“水轮机·水泵及辅助设备”课程教学大纲编写的。本书是中央广播电视大学开放教育“水利水电工程”专业的系列教材之一。

全书共分两篇,第一篇为水轮机与水泵部分,讲述了水轮机的工作原理、水轮机选型与水轮机的主要过流部件,并介绍了水泵的工作原理及其应用。第二篇为辅助设备与水轮机调节部分,重点讲述水力机组油、气、水系统的原理与设计计算。水轮机调节部分讲述了调节系统的基本知识、机械液压和电气液压调速器的组成、结构与工作原理,还简单介绍了微机调速器,调节保证计算。

针对开放教育的特点与需求,教材采用了多种媒体一体化方案,以本文字教材为基础,配合录像教材与计算机辅助教学光盘,有利于自学。

本书由华北水利水电学院陈德新任主编,杨建设任副主编。全书共分十章,第一、二、三、七章由陈德新编写,第四、五、六章由杨建设编写,第八章由赵林明编写,第九章由李光勉编写,第十章由白家骥编写。

本教材由华北水利水电学院北京研究生部张利、陈肇和、清华大学陈乃祥、郑州工业大学马跃先、中央广播电视大学吴铭磊等专家审定,张利为主审。审定专家对本教材进行了认真的审阅,并给予指导和帮助。中央广播电视大学蒋克中同志参加了本书的教学设计。本书有些材料与内容引自有关院校和生产、科研、管理单位编写的教材、专著或文章,编者在此一并致谢。

由于编者水平有限,书中难免有缺点和错误。希望读者给予批评指正。

编 者

2000 年 8 月

使用说明

1. 各专业方向学习内容的选择

本教材针对水利水电工程专业的各不同专业方向所编写。各专业方向可以根据要求,选择不同的学习内容。

(1)水利水电力工程方向:学习本教材中的全部内容。

(2)水利水电建筑工程方向:选学水轮机工作原理与水轮机过流部件部分,其中包括:第1章概论;第2章水轮机的工作原理;第3章水轮机的空化(3.1~3.3);第4章水轮机的相似原理;第5章水轮机的特性曲线;第6章水轮机选型设计;第7章水轮机的过流部件。

(3)农业水利工程方向:选学水轮机工作原理与水泵工作原理部分,其中包括:第1章概论;第2章水轮机的工作原理;第3章水轮机的空化(3.1~3.3);第4章水轮机的相似原理;第5章水轮机的特性曲线;第6章水轮机选型设计;第8章水泵工作原理与应用。

2. 各种媒体在教学中的应用

本教材是多种媒体一体化教材,由文字教材、录像教材与教学辅助光盘(CAI)三部分组成。其中,文字教材是基础,阐述基本理论、基本概念与基本计算。学习者可根据每章前的教学要求与学习指导,了解重点、难点与学习方法。文字教材中的旁注有利于掌握要点和理解教学内容。每章后的小结有助于总结和融会贯通学过的内容。思考题和自测题是测验学习效果的,也是必要的练习,学习者应认真完成自测,对学习效果自行评价。

录像教材是针对本课程中的重点与难点而录制的,学习者在自学文字教材的基础上,再利用录像教材解决文字教材中难以掌握的部分,加深理解。

辅助教学光盘(CAI)是利用计算机多媒体技术的特点,主要针对水轮机、水泵、辅助设备和调速器的结构、工作原理,应用图片或动画形式,形象地描述有关

内容。有多媒体计算机的学习者可有效地利用这种媒体。

3. 文字教材中符号说明

- (1)  : 自学。
- (2)  : 有录像教材。
- (3)  : 有教学光盘。
- (4)  : 提示,说明。
- (5)  : 提问,思考题。
- (6)  : 内容回顾,小结。
- (7)  : 自测。

4. 教学安排

本课程课内学时共 90 学时,其中电视录像 10 学时,实验 6 学时,并提供教学辅助光盘约 3 小时。学习者可自行安排学习时间,合理地利用各种媒体。

学习者应按期完成各章作业(从自测题中选择,由教师指定),并计入平时成绩。本课程为闭卷考试,120 分钟。

目 录

第一篇 水轮机与水泵

第 1 章 概 论	3
1.1 水电厂的动力设备	3
1.2 水轮机的工作参数	6
1.3 水轮机的类型和应用范围	9
1.4 水轮机的牌号及装置型式	15
1.5 水轮机的结构概述	21
第 2 章 水轮机的工作原理	28
2.1 水轮机内水流运动分析	28
2.2 水轮机的基本方程式	34
2.3 水轮机的不同运行工况	37
第 3 章 水轮机的空化	48
3.1 空化与空蚀的机理	48
3.2 水轮机的空化	53
3.3 水轮机的空化系数与吸出高度	58
3.4 水轮机的抗空化措施	67
3.5 水轮机的泥沙磨损	72

第 4 章 水轮机的相似原理	77
4.1 水轮机相似的条件	77
4.2 水轮机的相似律和单位参数	78
4.3 水轮机比转速	80
4.4 水轮机的效率换算与参数修正	85
第 5 章 水轮机特性曲线	91
5.1 水轮机模型试验——模型特性曲线的数据基础	91
5.2 水轮机模型综合特性曲线	94
5.3 原型水轮机特性曲线	103
5.4 水轮机飞逸特性和轴向水推力计算	110
第 6 章 水轮机选型设计	118
6.1 水轮机选型设计的基本任务与方法	118
6.2 装机特征设计	120
6.3 反击式水轮机基本参数的计算	127
6.4 水轮机选型算例	132
第 7 章 水轮机的过流部件	136
7.1 水轮机蜗壳	136
7.2 水轮机的导水机构	161
7.3 水轮机尾水管	167
第 8 章 水泵工作原理与应用	186
8.1 水泵类型与结构概述	186
8.2 叶片泵工作原理	191
8.3 水泵的相似律和比例律	198
8.4 水泵的特性和特性曲线	203
8.5 水泵的参数计算及选型和运行	207
附录 1 反击式水轮机型谱参数及综合特性曲线	217
附表 1-1 大、中型轴流式转轮型谱参数	217
附表 1-2 大、中型混流式转轮型谱参数	217
附表 1-3 中、小型轴流式、混流式转轮型谱参数	218

附图 1-1~1-15 水轮机模型综合特性曲线	220~234
-------------------------------	---------

第二篇 水电站辅助设备与水轮机调节系统

第 9 章 水电站辅助设备系统	237
9.1 水轮机进水阀	237
9.2 油系统	241
9.3 压缩空气系统	257
9.4 技术供水系统	281
9.5 排水系统	309
第 10 章 水轮机调节系统	340
10.1 水轮机调节系统的工作原理	340
10.2 机械液压型调速器	359
10.3 电气液压型调速器	364
10.4 微机调速器	392
10.5 调速器选择	409
10.6 调节保证计算	411
附录 2 水力机械系统图常用图形符号表	433
参考文献	439

第一篇

水轮机与水泵

本篇的主要内容有：水轮机的类型及应用范围，水流在水轮机中的流动及能量转换过程，水轮机的空化，水轮机相似原理，水轮机模型试验及特性曲线，水轮机选型，水轮机引水部件、导水机构及尾水管的工作原理与水力计算。水泵的类型与结构，叶片泵工作原理，水泵相似律，水泵的特性与特性曲线，水泵的选型与运行方式。

1. The first part of the document is a letter from the President of the United States to the Congress, dated January 1, 1861. It is a copy of the original letter, and is signed by Abraham Lincoln.

2. The second part of the document is a copy of the original letter, and is signed by Abraham Lincoln.

第1章 概 论

学习指导

要求:1. 了解水轮机及辅助设备在水电厂中的作用;2. 掌握水轮机的类型及应用范围;3. 重点掌握水轮机的工作参数。

学习方法:本章是这门课程的概论,简单地介绍了水电厂中的主要动力设备,对于在水电厂工作过的学生来说,已经有了对水电厂中主要机电设备的亲身体验,比较容易理解,但对于没有在水电厂工作经验的学生来说,尚没有实践的认识,可通过观看辅助录像,先有一个直观的认识。有条件的可到水电厂现场进行实习,加强感性认识,了解水电厂中机电设备的构成及其作用。

重点:1. 水轮机的工作参数是本章的重点之一,要掌握水轮机基本工作参数的概念及其单位。2. 水轮机的类型及适用范围是本章的另一重点,要理解不同类型水轮机的流动特点,结构特点与性能特点,才能正确理解为什么不同类型的水轮机适用于不同水头的水电厂。



1.1 水电厂的动力设备

1.1.1 水力发电厂电能生产过程

水力发电厂是利用水能生产电能的工厂,把水流的能量转变为旋转机械能的原动机是水轮机,而把旋转机械能转换为电能的机械是发电机,为实现能量转化必须借助水工建筑物和动力设备来完成。其电能生产过程概括为四部分组成(图 1-1 示)。

1. 拦河大坝形成水库,以获得集中的水能。为此,水电厂相应设置有各种功能的水工建筑物,如大坝或压力前池、引水管道、排水管道等。

2. 转化水能为电能。将具有一定落差和流量的水能,通过水轮机转化为固体的旋转机械能,进而驱动发电机把机械能转换为电能。

3. 输配电能。把发电机发出的电能经过变压器、高压输电线路变换电压等级,送给电力系统或电能用户。

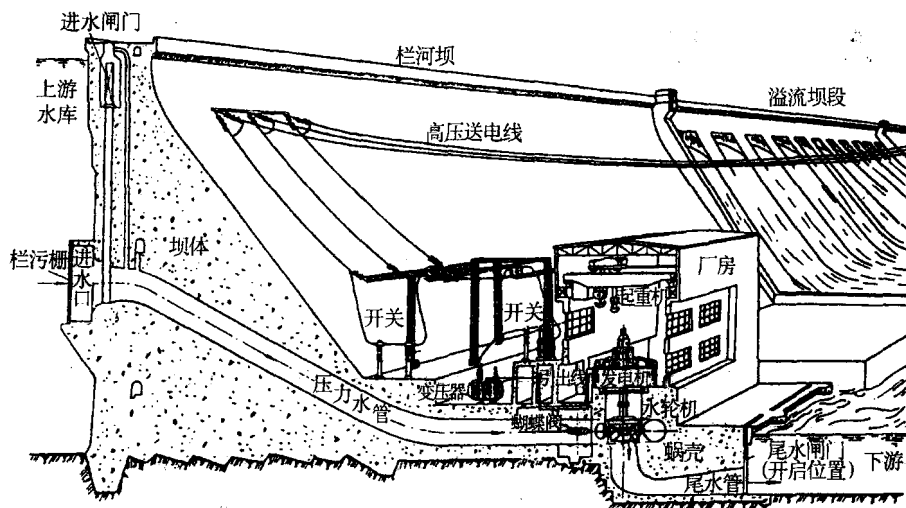


图 1-1 水力发电厂示意图

1.1.2 水电厂的动力设备

水电厂承担电能生产任务的设备称为水电厂的动力设备。水电厂的动力设备由主机、调速系统及辅助设备系统所构成。

1. 主机设备

水电厂中水能转换为电能的过程中,水轮机和发电机是最主要的动力设备,因此,把水轮机和发电机称为“主机”。水轮机是水电厂的“心脏”,它是一种水力原动机。具有势能或动能的水流通过水轮机时,把能量传递给水轮机转轮,产生一种旋转的机械能,这种旋转机械能通过水轮机主轴带动发电机旋转,产生电能。水电厂的发电机一般采用三相交流同步发电机,它所产生的电能以固定的频率与电压输送到电力系统或电力用户。水轮机与发电机相组合,称为水轮发电机组。

□ 把水能转变为机械能的机械是水力原动机。

2. 水轮机调速器及其系统

水轮发电机组在运行过程中,将水能转换为电能供给用户使用。用户不仅要求供电安全可靠,而且也要求必须保证电能的质量。电能质量主要以电压和频率来衡量。频率与水轮发电机组的转速有关,所以,水轮机的转速是否稳定直接影响着电能质量。电网或电用户的电力负荷实际上是在不断地改变的,这必然会影响到电网频率的变化,要保持供电频率不变就必须通过水轮机调速器改变导水叶开度,调节进入水轮机的流量,使水轮发电机组不断适应外界负荷的

□ 调速器是控制水轮机的自动装置。

变化。同时,水轮机调速器还担负着开、停水轮发电机组的任务。

3. 水电厂的油、水、气系统

□油、水、气系统是水电厂安全运行来说是必不可少的。辅助系统。

水电厂中的油、水、气系统称为水轮发电机组的辅助设备系统,它们对水电厂安全运行来说是必不可少的。

(1)油系统

油系统在水电厂生产过程中的主要作用有:水轮机、发电机及其他转动设备轴承的润滑;调速器、接力器、主阀等油压设备的操作;变压器、油断路器的绝缘与灭弧。按油的作用可分为透平油和绝缘油两大类。水电厂的油系统一般包括油罐、油泵、滤油机和管路等。

(2)水系统

水电厂因生产、消防及生活的需要必须设置水系统。水系统包括供水和排水两个系统。

供水系统:水电厂可用上游水库或下游尾水作为供水系统的主要水源和备用水源。当河水不能满足用水设备要求时,可考虑地下水源。供水系统主要供给机组运行时所需要的冷却水、润滑用水、消防和生活用水。生产用水在水量、水温、水压、水质等方面都有一定的要求。因此,供水系统可根据具体情况采用合供或分开供水的方式。

排水系统:为保证机组的安全运行,便于过水部分的检修,防止厂房过度潮湿,水电厂必须设置排水系统。主要排除的水有3种:

1)生产中用过的水,如机组的冷却水或机组漏水等。

2)检修排水,如蜗壳、尾水管及部分钢管的排水。检修之前,需将这些设备中的水排空。

3)厂房和各用水设备的渗漏水,利用排水沟汇至集水井中,用水泵抽走。

(3)压缩空气系统

压缩空气在水电厂中有着广泛的用途,如水轮机调速系统压力油箱的充气、机组的制动、水轮机或进水阀密封用空气围带的充气、空气断路器的操作和灭弧、各种风动工具用气、北方水电厂的防冻吹冰等。由于用途不同,所需空气的压力也不同。其中水轮机调节系统的油压装置和空气开关操作及灭弧用气,气压在 $1.96 \times 10^6 \text{ Pa}$ 以上,属于高压系统。而机组制动等用气的气压在 $6.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 以下,属于低压系统。高、低压系统可单独设置,也可只设高压系统,部分高压空气经减压后供给低压系统用气。

1.2 水轮机的工作参数

水流流经水轮机时,水流能量发生变化的过程就是水轮机的工作过程。反映水轮机工作特征的一些物理量称为水轮机的工作参数,这些参数的意义分别叙述如下:

1. 工作水头 H

水电站水轮机装置如图 1-2 所示。

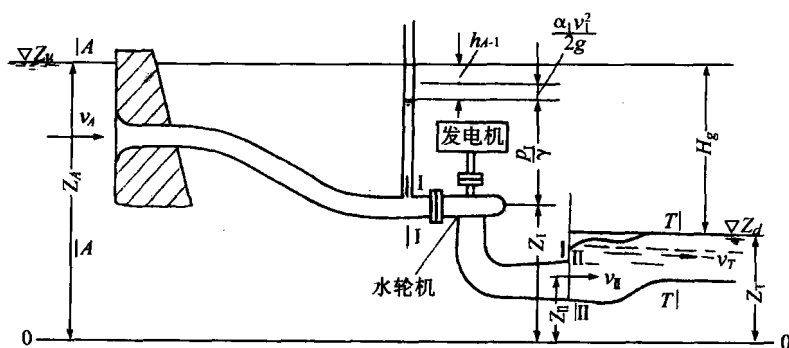


图 1-2 立轴反击式水轮机的工作水头

水轮机的工作水头是水轮机的进口和出口处单位重量水流的能量差值,单位为 m。 □ 水轮机工作水头的定义。

对反击式水轮机,进口断面取在蜗壳进口处 I—I 断面,出口断面取在尾水管出口 II—II 断面,则水轮机的工作水头 H 为

$$H = \left(Z_I + \frac{p_I}{\gamma} + \frac{\alpha_I v_I^2}{2g} \right) - \left(Z_A + \frac{p_A}{\gamma} + \frac{\alpha_A v_A^2}{2g} \right) \quad (1-1)$$

式中 Z ——相对于某基准的位置高度(m);

p ——压强(N/m² 或 Pa);

v ——过流断面的平均流速(m/s);

α ——过流断面速度分布不均匀系数;

γ ——水的重度,9810 N/m³;

g ——重力加速度。

H 又称净水头,是水轮机做功的有效水头。水轮机工作水头又可表示为

$$H = H_g - \Delta h_{A-I} \quad (1-2)$$

式中 H_g ——水电站毛水头;

Δh_{A-I} ——水电站引水建筑物中的水力损失。

□ 注意电站毛水头与水轮机工作水头的区别。

水轮机的工作水头随水电站的上下游水位的变化而改变,一般用几个特征