

高等学校水利学科教学指导委员会组织编审

高等学校水利学科专业规范核心课程教材·水利水电工程

水电站 (第4版)

主编 河海大学 刘启钊 胡 明

主审 清华大学 马吉明



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高等学校水利学科教学

高等学校水利学科专业规范核心课程教材·水利水电工程

水电站（第4版）

主编 河海大学 刘启钊 胡 明

主审 清华大学 马吉明



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书为教育部水利学科教学指导委员会指定的水利水电工程专业规范核心课程——水电站课程教材。以大中型水电站为研究对象,既照顾全面,又重点突出,重在基本概念。全书共分3篇13章,内容包括水轮机的类型、构造及工作原理,水轮机的蜗壳、尾水管及气蚀,水轮机的特性及选型,水轮机调节,水电站的典型布置及组成建筑物,水电站进水口,水电站渠道及隧洞,水电站的压力管道、水电站的水锤与调节保证、调压室,引水式地面厂房布置设计,其他类型厂房,厂房结构设计原理。

本书可作为水利水电工程专业的教材使用,也可供农水等专业学生,科研和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

水电站 / 刘启钊, 胡明主编. -- 4版. -- 北京 :
中国水利水电出版社, 2010.8
高等学校水利学科专业规范核心课程教材. 水利水电
工程
ISBN 978-7-5084-7832-6

I. ①水… II. ①刘… ②胡… III. ①水力发电站—
高等学校—教材 IV. ①TV7

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第170945号

书 名	高等学校水利学科专业规范核心课程教材·水利水电工程 水电站 (第4版)
作 者	主编 河海大学 刘启钊 胡 明 主审 清华大学 马吉明
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	175mm×245mm 16开本 22.25印张 514千字
版 次	1980年12月第1版 1987年11月第2版 1998年5月第3版 2010年8月第4版 2010年8月第16次印刷
印 数	62911—66910册
定 价	40.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

高等学校水利学科专业规范核心课程教材

编 审 委 员 会

主 任 姜弘道（河海大学）

副主任 王国仪（中国水利水电出版社） 谈广鸣（武汉大学）
李玉柱（清华大学） 吴胜兴（河海大学）

委 员

周孝德（西安理工大学）	李建林（三峡大学）
刘 超（扬州大学）	朝伦巴根（内蒙古农业大学）
任立良（河海大学）	余锡平（清华大学）
杨金忠（武汉大学）	袁 鹏（四川大学）
梅亚东（武汉大学）	胡 明（河海大学）
姜 峰（大连理工大学）	郑金海（河海大学）
王元战（天津大学）	康海贵（大连理工大学）
张展羽（河海大学）	黄介生（武汉大学）
陈建康（四川大学）	冯 平（天津大学）
孙明权（华北水利水电学院）	侍克斌（新疆农业大学）
陈 楚（水利部人才资源开发中心）	孙春亮（中国水利水电出版社）

秘 书 周立新（河海大学）

丛书总策划 王国仪

水利水电工程专业教材编审分委员会

主 任 余锡平（清华大学）

副主任 胡 明（河海大学）

姜 峰（大连理工大学）

委 员

张社荣（天津大学）

胡志根（武汉大学）

李守义（西安理工大学）

陈建康（四川大学）

孙明权（华北水利水电学院）

田 斌（三峡大学）

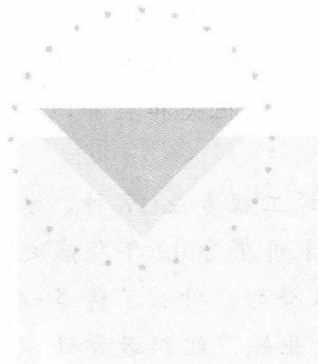
李宗坤（郑州大学）

唐新军（新疆农业大学）

周建中（华中科技大学）

燕柳斌（广西大学）

罗启北（贵州大学）



总 前 言



随着我国水利事业与高等教育事业的快速发展以及教育教学改革的不断深入,水利高等教育也得到很大的发展与提高。与 1999 年相比,水利学科专业的办学点增加了将近一倍,每年的招生人数增加了将近两倍。通过专业目录调整与面向新世纪的教育教学改革,在水利学科专业的适应面有很大拓宽的同时,水利学科专业的建设也面临着新形势与新任务。

在教育部高教司的领导与组织下,从 2003 年到 2005 年,各学科教学指导委员会开展了本学科专业发展战略研究与制定专业规范的工作。在水利部人教司的支持下,水利学科教学指导委员会也组织课题组于 2005 年底完成了相关的研究工作,制定了水文与水资源工程、水利水电工程、港口航道与海岸工程以及农业水利工程四个专业规范。这些专业规范较好地总结与体现了近些年来水利学科专业教育教学改革的成果,并能较好地适用于不同地区、不同类型高校举办水利学科专业的共性需求与个性特色。为了便于各水利学科专业点参照专业规范组织教学,经水利学科教学指导委员会与中国水利水电出版社共同策划,决定组织编写出版“高等学校水利学科专业规范核心课程教材”。

核心课程是指该课程所包括的专业教育知识单元和知识点,是本专业的每个学生都必须学习、掌握的,或在一组课程中必须选择几门课程学习、掌握的,因而,核心课程教材质量对于保证水利学科各专业的教学质量具有重要的意义。为此,我们不仅提出了坚持“质量第一”的原则,而且还通过专业教学组讨论、提出,专家咨询组审议、遴选,相关院、系认定等步骤,对核心课程教材的选题及主编、主审人选和教材编写大纲进行

了严格把关。为了把本套教材组织好、编著好、出版好、使用好，我们还成立了高等学校水利学科专业规范核心课程教材编审委员会以及各专业教材编审分委员会，对教材编纂与使用的全过程进行组织、把关和监督，充分依靠各学科专家发挥咨询、评审、决策等作用。

本套教材第一批共规划 52 种，其中水文与水资源工程专业 17 种，水利水电工程专业 17 种，农业水利工程专业 18 种，计划在 2009 年年底之前全部出齐。尽管已有许多人为本套教材作出了许多努力，付出了许多心血，但是，由于专业规范还在修订完善之中，参照专业规范组织教学还需要通过实践不断总结提高，加之，在新形势下如何组织好教材建设还缺乏经验，因此，这套教材一定会有不足与缺点，恳请使用这套教材的师生提出宝贵意见。本套教材还将出版配套的立体化教材，以利于教、便于学，更希望师生们对此提出建议。

高等学校水利学科教学指导委员会

中国水利水电出版社

2008 年 4 月

第4版

前言

此教材是根据2006年水利学科教学指导委员会规划在“十一五”期间，组织编写、出版与水利学科各专业规范相适应的核心课程系统教材之一。

本教材为水工专业本科必修课程教材，共分3篇。第1篇为水轮机，以水轮机的主要结构、工作原理、特性和选型为重点。第2篇为水电站输水系统，以压力管道、水锤和调压室为重点。第3篇为水电站厂房，以地面厂房为重点，地下厂房也占了不少的篇幅。本教材的特点是在前三版教材的基础上，根据近些年国内和国外水利水电的最新发展，修订更新了旧版书一些引用数据，增加了不少新的图片实例、参考表格和计算公式，对于一些冗长繁琐、较为落后的内容，做了部分删减，也根据我国水电站设计规范的变化，更新了书中引用到的设计规范。本教材以大中型水电站为讲述对象，既照顾全面，又重点突出，重在基本概念。

各院校在使用本教材时，可根据具体情况，进行补充和删减。

本教材的第一版于1980年出版，由华东水利学院、华北水利水电学院两校合编，华东水利学院干世泽主编，华北水利水电学院尚忠昌、华东水利学院王世泽、刘启钊、陈怀先、徐关泉执笔，华东水利学院的郑学智、索丽生等同志协助收集并整理了部分资料。天津大学及合肥工业大学组织有关人员对第一版教材进行了审查。

教材的第二版于1987年出版，是根据水利电力部1983年下达的“1983~1987年高等学校水利电力类专业教材编审出版规划”而修订再版

的。由于《水利水电工程建筑》专业教学计划的改变，本教材定名为《水电站建筑物》，不再包括水力机械的内容。由河海大学王世泽主编。河海大学王世泽、刘启钊、陈怀先、徐关泉执笔。天津大学舒扬荣教授对第二版教材进行了审查。第二版教材获得第二届全国优秀教材一等奖。

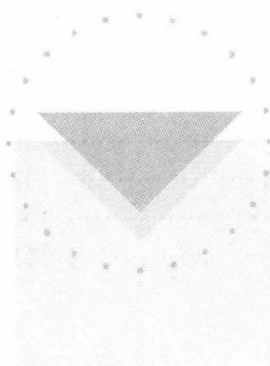
教材的第3版于1998年出版，是根据水利部“1990~1995高等学校水利水电类专业本科、研究生教材选题和编审出版规划”（第一部分）编写的，由河海大学刘启钊主编，河海大学刘德有、刘启钊、索丽生、陈怀先、徐关泉执笔。清华大学谷兆祺教授对本书进行了审查。

第4版教材是教育部水利学科教学指导委员会与中国水利水电出版社共同策划的“高等学校水利学科专业规范核心课程教材”之一。由河海大学刘启钊、胡明主编。第1、2、3章由刘德有执笔，第8、9章由刘启钊执笔，第4、5、6章由蔡付林执笔，第7、10、11、12、13章胡明执笔。编写过程中，得到参与前三版教材编写工作教授们的热情帮助和支持，在此表示衷心的感谢。清华大学马吉明教授对本书进行了认真的审查。

本书如有错误和不妥之处，请读者予以指正。意见请寄南京河海大学水利水电学院水利水电研究所，或发电子邮件至mhu2@hhu.edu.cn。

编者

2010年5月



目 录

总前言

第4版前言

第1篇 水 轮 机

第1章 水轮机的类型、构造及工作原理	3
1.1 水轮机的主要类型	3
1.2 水轮机的工作参数	8
1.3 水轮机的基本构造	11
1.4 水轮机型号	21
1.5 水流在反击式水轮机转轮中的运动	23
1.6 水轮机的基本方程	26
1.7 水轮机的效率及最优工况	28
第2章 水轮机的蜗壳、尾水管及气蚀	32
2.1 蜗壳的型式及主要参数选择	32
2.2 尾水管的作用、型式及其主要尺寸确定	39
2.3 水轮机的气蚀及气蚀系数	46
2.4 水轮机的吸出高度及安装高程	52
第3章 水轮机的特性及选型	55
3.1 水轮机的相似原理及单位参数	55
3.2 水轮机的效率换算及单位参数修正	60
3.3 水轮机的比转速	62
3.4 水轮机的模型试验	64
3.5 水轮机的特性曲线及其绘制	67
3.6 水轮机的选型设计	76

第4章 水轮机调节 91

4.1 水轮机调节的任务 91

4.2 水轮机调节的基本概念 92

4.3 水轮机调速器的工作原理 96

4.4 水轮机调速器的类型 98

4.5 油压装置 100

4.6 水轮机调速设备的选择 101

第2篇 水电站输水系统

第5章 水电站的典型布置及组成建筑物 107

5.1 水电站的典型布置型式 107

5.2 水电站的基本布置型式及组成建筑物 111

第6章 水电站进水口 113

6.1 进水口的功用和要求 113

6.2 有压式进水口的主要类型及适用条件 114

6.3 有压式进水口的位置、高程及轮廓尺寸 118

6.4 有压式进水口的主要设备 121

6.5 无压进水口及沉沙池 125

第7章 水电站渠道及隧洞 128

7.1 渠道 128

7.2 压力前池及日调节池 131

7.3 隧洞 133

第8章 水电站的压力管道 136

8.1 压力管道的功用和类型 136

8.2 压力管道的布置和供水方式 137

8.3 压力管道的水力计算和经济直径的确定 138

8.4 钢管的材料、容许应力和管身构造 140

8.5 明钢管的敷设方式、镇墩、支墩和附属设备 142

8.6 明钢管的管身应力分析及结构设计 150

8.7 分岔管 158

8.8 地下埋管和坝身管道 166

第9章 水电站的水锤与调节保证 179

9.1 水锤现象和研究水锤的目的 179

9.2 水锤基本方程和水锤波的传播速度 181

9.3 水锤计算的解析法 183

9.4 水锤计算的特征线法 193

9.5	复杂管路的水锤计算	198
9.6	反击式水轮机水锤计算特点	200
9.7	调节保证计算	203
9.8	水锤的计算条件和减小水锤压强的措施	207
9.9	水电站有压引水系统非恒定流数值算法	209
第 10 章	调压室	213
10.1	调压室的功用、要求及设置调压室的条件	213
10.2	调压室的工作原理和基本方程	214
10.3	调压室的基本类型	217
10.4	简单式和阻抗式调压室的水位波动计算	220
10.5	水室式、溢流式和差动式调压室的水位波动计算	225
10.6	“引水道—调压室”系统的工作稳定性	233
10.7	调压室水力计算条件的选择	238
10.8	调压室结构布置和结构设计原理	239
10.9	调压室水力计算的数值算法简介	242

第 3 篇 水 电 站 厂 房

第 11 章	引水式地面厂房布置设计	247
11.1	水电站厂房的功用和基本类型	247
11.2	水电站厂房的组成	250
11.3	下部块体结构	258
11.4	水轮机层及发电机层	263
11.5	装配场	268
11.6	油、水、气系统布置	271
11.7	采光、通风、交通及防火问题	274
11.8	主厂房轮廓尺寸的决定	276
11.9	主厂房的结构布置设计	278
11.10	厂区布置	282
11.11	装置冲击式水轮机的地面厂房	286
第 12 章	其他类型厂房	292
12.1	坝后式、溢流式和坝内式厂房	292
12.2	河床式厂房和泄流式厂房	297
12.3	地下式厂房	302
12.4	抽水蓄能电站厂房和潮汐电站厂房	312
第 13 章	厂房结构设计原理	316
13.1	地面厂房整体稳定和地基应力计算	316

13.2 发电机支承结构和风罩	320
13.3 蜗壳	330
13.4 尾水管	337
参考文献	342

第 1 篇

水 轮 机

第 1 章

水轮机的类型、构造及工作原理

1.1 水轮机的主要类型

水轮机是一种将水能转换成旋转机械能的机械装置。水轮机通过主轴带动发电机又将旋转机械能转换成电能。水轮机与发电机由主轴联接而成的整体称为水轮发电机组，简称机组，它是水电站的主要设备之一。

水轮机种类很多，目前常按其对水流能量的转换特征的不同而将其分为两大类，即反击式和冲击式。其中，每一大类根据其转轮区内水流的流动特征和转轮的结构特征的不同又可分成多种形式，现分述如下。

1.1.1 反击式水轮机

反击式水轮机转轮区内的水流在通过转轮叶片流道时，始终是连续的充满整个转轮的有压流动，并在转轮空间曲面型叶片的约束下，连续不断地改变流速的大小和方向，从而对转轮叶片产生一个反作用力，驱动转轮旋转。当水流通过水轮机后，其动能和势能（包括位能和压能）均大部分被转换成转轮的旋转机械能。

反击式水轮机按转轮区内水流相对于主轴流动方向的不同，可分为混流式、轴流式、斜流式和贯流式四种。此外，根据转轮叶片是否可转动，又将轴流式、斜流式和贯流式分别分为定桨式和转桨式。

1. 混流式水轮机

如图 1-1 所示，水流从四周沿径向进入转轮，然后近似以轴向流出转轮。混流式水轮机也曾被称为辐轴流式水轮机，又因其由美国工程师弗朗西斯（Francis）于 1849 年发明，故又称为弗朗西斯水轮机。混流式水轮机的应用水头范围广（约 20~700m）、结构简单、运行稳定且效率高，是现代应用最广泛的一种水轮机。目前，最高水头已应用到 734m，在奥地利豪依斯林（Hausling）水电站；最大单机容量已达到 716MW，在美国大古力（Grand Coulee）水电站。我国单机容量 700MW 的机组已经在三峡水电站投入运行，设计制造技术已较成熟，建设中的向家坝水电站已采用了单机容量 800MW 的混流式机组。

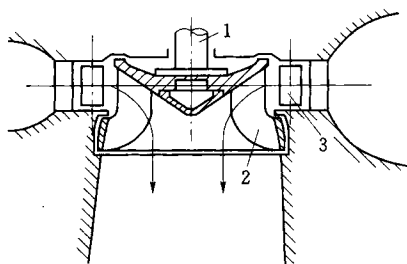


图 1-1 混流式水轮机

1—主轴；2—叶片；3—导叶

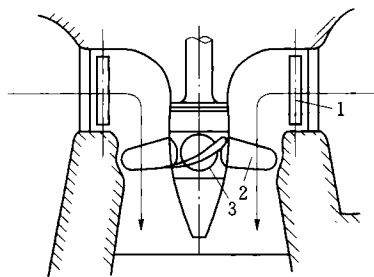


图 1-2 轴流式水轮机

1—导叶；2—叶片；3—轮毂

2. 轴流式水轮机

如图 1-2 所示，水流在导叶与转轮之间由径向流动转变为轴向流动，而在转轮区内水流保持轴向流动。轴流式水轮机的应用水头约为 3~80m，目前最高水头已应用到 88.4m，在意大利那姆比亚水电站；国内已应用的最高水头为 77m，在陕西石门水电站。

轴流式水轮机在中低水头、大流量水电站中得到了广泛应用。根据其转轮叶片在运行中能否转动，可分为轴流定桨式和轴流转桨式两种。轴流定桨式水轮机的转轮叶片是固定不动的，因而结构简单、造价较低，但它在偏离设计工况时效率会急剧下降，因此主要适用于水头较低、出力较小以及水头变化幅度较小的水电站。轴流转桨式水轮机是由奥地利工程师卡普兰（Kaplan）在 1920 年发明的，故又称为卡普兰水轮机，其转轮叶片可根据运行工况的改变而转动，从而扩大了高效率区的范围，提高了运行的稳定性。但是，这种水轮机需要有一个操作叶片转动的机构，因此其结构较复杂、造价较高，一般应用于水头、出力均有较大变化幅度的大中型水电站。目前，

轴流转桨式水轮机最大单机容量为 200MW，在福建水口水电站；最大转轮直径为 11.3m，在湖北葛洲坝水电站，其单机容量为 170MW。

3. 斜流式水轮机

如图 1-3 所示，水流在转轮区内沿着与主轴成某一角度的方向流动。斜流式水轮机的转轮叶片大多做成可转动的形式，具有较宽的高效率区，适用水头约为 40~200m。斜流式水轮机是为了提高轴流式水轮机的适用水头而在轴流转桨式水轮机的基础上改进提出的新机型，

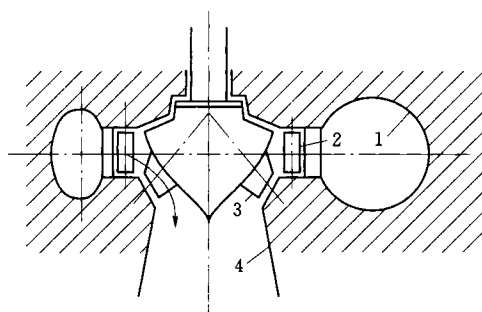


图 1-3 斜流式水轮机

1—蜗壳；2—导叶；3—叶片；4—尾水管

是由瑞士工程师德里亚（Deriaz）于 1956 年发明的，故又称德里亚水轮机，其结构形式及性能特征与轴流转桨式水轮机类似，但由于其倾斜桨叶操作机构的结构特别复杂，加工工艺要求和造价均较高，因此一般只在大中型水电站中使用，目前应用还不普遍。世界上容量最大的斜流式水轮机安装在前苏联的泽雅（Zeya）水电站，单机功