

中国电气工程大典编辑委员会



CHINA ELECTRICAL

# 中国电气 工程大典

ENGINEERING CANON

第 5 卷

## 水力发电工程

主编 梁维燕 邴凤山 饶芳权  
王国海 贺建华

 中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)



---

CHINA ELECTRICAL

# 中国电气 工程大典

ENGINEERING CANON

---

中国电气工程大典编辑委员会

第 **5** 卷

## 水力发电工程

主编 梁维燕 邴凤山 饶芳权  
王国海 贺建华



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

## 内 容 提 要

《中国电气工程大典》是由中国电工技术学会、中国机械工程学会、中国电机工程学会、中国动力工程学会和中国水力发电工程学会共同组织全国电气工程各领域的著名专家、学者编纂而成的。它是一部全面系统反映电气工程各领域最新成就和技术水平的综合性工具书。《中国电气工程大典》包括现代电气工程基础、电力电子技术、电气工程材料及器件、火力发电工程、水力发电工程、核能发电工程、可再生能源发电工程、电力系统工程、电机工程、输变电工程、配电工程、船舶电气工程、交通电气工程、建筑电气工程、电气传动自动化等15卷。

本书为《中国电气工程大典》的第5卷，水力发电工程卷。主要内容包括水力发电工程通论、水轮机、水轮发电机、水电站电气主接线和电气设备、水电站自动控制综合系统与装置、水电站运行、抽水蓄能电站等。

本书主要供电气工程技术人员、技术管理人员及大专院校师生使用。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

中国电气工程大典. 第5卷, 水力发电工程/梁维燕等主编; 中国电气工程大典编辑委员会编. —北京: 中国电力出版社, 2009. 3  
ISBN 978-7-5083-8344-6

I. 中… II. ①梁…②中… III. ①电力工程-中国②水力发电工程-中国  
IV. TM TV752

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 002596 号

中国电力出版社出版发行

(北京三里河路6号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

北京盛通印刷股份有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2010年1月第1版 2010年1月北京第1次印刷

880mm×1230mm 1/16 · 57.875印张 · 2586千字 · 2插页

定价 298.00 元

### 敬告读者

本书封面贴有防伪标签, 加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

# 中国电气工程大典

## 编辑委员会

- 主任：**陆燕荪 原机械工业部副部长、教授级高级工程师  
中国机械工程学会名誉理事长
- 陆延昌 原电力工业部副部长、教授级高级工程师  
中国电机工程学会理事长
- 执行主任：**周鹤良 原机械工业部电工局局长、教授级高级工程师  
中国电工技术学会名誉理事长
- 宋天虎 原机械工业部科技司司长、教授级高级工程师  
中国机械工程学会常务副理事长
- 副主任：**潘崇义 中国电工技术学会副理事长、教授级高级工程师
- 吴玉生 中国电机工程学会秘书长、教授级高级工程师
- 邴凤山 中国水力发电工程学会副理事长、教授级高级工程师
- 严宏强 中国动力工程学会秘书长、教授级高级工程师
- 宗 健 中国电力出版社有限公司董事长、总经理、编审

委 员：(按姓氏笔画排列)

丁 杰	卜广全	于 龙	于坤山	于 明	于新颖	马小亮	马文忠	马伟明	马伟斌
马旭东	马济泉	马晓茜	马隆龙	丰镇平	王之杰	王为民	王正鸣	王占奎	王永骥
王成山	王兆安	王志峰	王作民	王国海	王明渝	王金元	王金华	王学伟	王泽忠
王建生	王建华	王绍武	王春华	王厚余	王泉龙	王炳忠	王 勇	王素英	王振铭
王 乘	王维洲	王景芹	王 强	王锡凡	王新新	王黎明	王德宽	王赞基	文习山
文劲宇	方晓燕	方 磊	尹天文	邓长胜	孔 力	孔伯汉	孔昭年	石萍萍	卢 强
卢澎湖	叶奇蓁	田东强	田培斌	史进渊	史毓珍	付元初	白少林	白俊光	白晓民
白继彬	冯江华	司马文霞	邢馥吏	戎一农	吕征宇	吕鸿达	朱庆明	朱英浩	朱宝田
朱晓明	朱家驹	朱耀泉	仲明振	任兆宏	任修明	任俊生	危师让	邬 雄	刘大明
刘广峰	刘卫宁	刘友梅	刘公直	刘文华	刘平安	刘光宁	刘 伟	刘仲儒	刘希清
刘 杰	刘尚明	刘国林	刘泽洪	刘建飞	刘建明	刘屏周	刘璞岩	刘德志	齐剑波
关志成	江秀臣	江哲生	池 涌	汤 涌	汤蕴林	祁恩兰	许江宁	许忠卿	许洪华
阮江军	阮新波	阮 毅	孙才新	孙凤杰	孙成群	孙 林	孙牧海	严宏强	严陆光
严俊杰	严 萍	苏秀革	杜正春	杜毅威	杨玉岗	杨守权	杨寿敏	杨其国	杨奇逊
杨奇娟	杨怡元	杨俊智	杨 耕	杨维迅	杨 雯	杨道刚	杨德才	李 卫	李文健
李永东	李成榕	李 旭	李兴源	李安定	李 农	李若梅	李杰仁	李宝树	李定中
李 奎	李彦明	李晓明	李颂哲	李朗如	李培植	李盛涛	李崇坚	李道本	李道林
李 鹏	李 新	李肇林	李耀星	邴凤山	肖立业	肖昌汉	肖辉乾	肖湘宁	肖耀荣
吴正国	吴创之	吴运东	吴志坚	吴国平	吴质根	吴晓波	吴培豪	吴新润	邱爱慈
何木云	何阿平	何金良	何梓年	何湘宁	何瑞华	佟为明	余 志	余贻鑫	邹云屏
邹金昌	邹孟奇	应百川	辛德培	辛耀中	汪继强	汪集昶	汪樵生	汪德良	沈小宇
沈 江	沈 兵	沈邱农	沈梁伟	宋文武	宋汉武	宋哲仁	迟 速	张艺滨	张文才
张玉花	张业广	张乔根	张仲超	张兆鹤	张伯明	张冶文	张启平	张 波	张 亮
张洪钟	张祖平	张勇传	张晓江	张晓锋	张 敏	张 望	张景洲	陆永平	陆宠惠
陆俭国	陆剑秋	陆祖良	陆家榆	陆嘉明	陈汉民	陈伟根	陈 仲	陈众励	陈庆国
陈 坚	陈伯时	陈国柱	陈治明	陈建颺	陈 星	陈思铸	陈 勇	陈哲良	陈恩鉴
陈雪梅	陈清泉	陈超志	陈敬超	陈辉明	陈锡芳	陈黎平	陈德昌	陈德胜	陈德桂
邵 岚	苟锐锋	林云生	林公舒	林集明	易学勤	罗永浩	罗景华	金如麟	周小谦
周以国	周双喜	周 平	周仲仁	周远翔	周孝信	周建中	周思刚	周家启	周 娟
周锡生	郑小康	郑云之	郑永红	郑克文	郑明光	宗建华	宓传龙	孟庆东	赵士和
赵玉文	赵光宙	赵 伟	赵红一	赵昌宗	赵治华	赵宗让	赵荣祥	赵相宾	赵 浩



赵敏	赵婉君	赵琨	赵毅	赵黛青	荣命哲	胡方荪	胡安	胡学浩	胡振岭
胡鉴清	段善旭	段献忠	侯子良	俞忠德	俞智斌	饶芳权	施围	施鹏飞	洪元颐
姚本荣	姚尔昶	姚家祎	姚福生	贺建华	贺益康	贺湘琨	贺德馨	骆仲泱	秦汉军
秦和	秦裕碧	袁余军	袁建生	袁建敏	都兴有	耿英三	莫会成	贾东旭	夏立
夏祥贵	顾四行	顾国彪	钱昌燕	钱宝良	钱照明	倪维斗	徐元辉	徐凤刚	徐永法
徐兆丰	徐国政	徐洪海	徐殿国	徐铎	徐德鸿	殷禄祺	奚大华	高子瑜	高文胜
高光华	高庆国	高京生	高理迎	高培庆	郭天兴	郭国顺	郭保良	郭洁	郭振岩
郭灏	唐任远	唐炬	唐春潮	陶星明	黄少锋	黄仁乐	黄妙庆	黄其励	黄国治
黄学清	黄宝生	黄晓丽	黄崇祺	黄景湖	梅生伟	曹一家	曹惠彬	戚庆成	黄志强
崔翔	康勇	章名耀	章定邦	梁维宏	梁维燕	梁曦东	彭宗仁	葛大麟	葛少云
葛诗慧	葛蓉生	葛溪亭	葛增茂	董卫国	蒋洪德	蒋善定	韩民晓	韩英铎	惠世恩
覃大清	程天麟	程钧培	程时杰	程树康	程浩忠	傅书遏	焦依	焦树建	舒惠芬
曾文星	曾正中	曾明富	曾南超	曾雁鸿	曾嵘	游亚戈	谢开贵	焦秋野	雷银照
雷清泉	满慧文	蔡崇积	管瑞良	廖胜松	廖瑞金	缪鸿兴	樊世英	黎晓晖	颜渝坪
薛以太	戴先中	戴庆忠	戴慧珠	魏光辉					

# 序

电气工程是集发电工程、输配电工程和用电工程，是为国民经济发展提供电力能源及其装备的战略性产业，是国家工业化和国防现代化的重要技术支撑，是国家在世界经济发展中保持自主地位的关键产业之一。电气工程的产业关联度高，对从原材料工业、机械制造业、装备工业以及电子、信息等一系列产业的发展均具有推动和带动作用，对提高整个国民经济效益，促进经济社会可持续发展，提高人民生活质量有显著影响。

经过改革开放 30 年来的发展，我国电气工程已经形成了较完整的科研、设计、制造、建设、运行体系，成为世界电力工业大国之一。至 2007 年底，我国发电装机容量达 7.13 亿 kW，三峡水电及输变电工程、百万千瓦级超超临界火电工程、百万千瓦级核电工程，以及正在建设的交流 1000kV、直流 ±800kV 特高压输变电工程等举世瞩目；大电网安全稳定控制技术、新型输电技术的推广，大容量电力电子技术的研究和应用，风力发电、太阳能光伏发电等可再生能源发电技术的产业化及规模化应用，超导电工技术、脉冲功率技术、各类电工新材料的探索与应用取得重要进展。特别是进入 21 世纪以来，电气工程领域全面贯彻科学发展观，新原理、新技术、新产品、新工艺获得广泛应用，拥有了一批具有自主知识产权的科技成果和产品，自主创新已成为行业的主旋律。我们的电气工程技术和产品，在满足国内市场需求的基础上已经开始走向世界。

电气工程技术的快速发展和巨大成就，要求对原有知识的不断更新，广大电气工程领域的工作者们对新的知识愈加渴求。在原机械工业部陆燕荪、电力工业部陆延昌两位老部长的倡议和领导下，由中国电工技术学会、中国机械工程学会、中国电机工程学会、中国动力工程学会和中国水力发电工程学会五个全国性学会，联合组织了电气工程各领域近 2000 位专家和学者，历



时4年多，编撰的《中国电气工程大典》现在出版了。这套内容新颖实用的巨著是电气工程领域一项重要的基础性工作，也是我国电气工程技术人员对社会的一项公益性奉献。这部鸿篇巨著不仅具有电气工程技术的知识魅力，同时也具有鲜明的时代特色，相信会为广大读者营造一个开卷有益的氛围。

电能作为目前使用最方便的二次能源，在推动社会进步、促进科学技术发展和提高人民生活质量方面发挥着越来越重要的作用。随着社会的不断进步和人民生活水平的不断提高，电气工程任重而道远，需要依靠科技进步，并用更新的科学知识武装每一位电气工作者，所以，希望这套著作能对电气工程的教学、科研、设计和管理人员有所裨益。

徐匡迪

二〇〇八年八月十二日





# 前 言

电的产生和应用是人类有史以来最伟大的科学技术成就之一。电力作为目前最清洁和使用最方便的二次能源，在推动社会发展、促进科学技术进步和提高人民生活质量方面发挥着越来越重要的作用。一个多世纪以来，电气技术的不断发展，电力生产及应用的日益增长，迅速改变了人类社会的面貌，也深深影响着人们的生活方式。电气化的程度已成为国家文明程度的重要标志之一。

改革开放 30 年来，我国科学技术取得了突飞猛进的发展，科技创新已成为国家发展的重要战略。在电气工程领域，新原理、新技术、新工艺、新材料得到了广泛应用，涌现出一大批具有自主知识产权的科研成果和产品。三峡电站的建设，大容量高效清洁超临界和超超临界压力机组的迅速发展，特高压交直流输电技术和灵活交流输电技术的发展和运用，先进的核能发电厂及可再生能源发电厂的成功建造，大电网智能化动态稳定监控系统和信息管理系统的广泛应用，具有先进水平的电气装备制造业的高速发展，大容量电能变换与节能节电技术，风力发电、太阳能光伏发电等资源节约、环境友好的新技术的大量应用，计算机和信息网络技术在电气领域的普及，明显改变着电气工程领域技术发展状况。超导电工技术、脉冲功率技术，纳米材料、永磁材料、有机硅材料等各类电工新技术和新材料的探索与应用，都充分展示了中国电气工程领域所取得的骄人业绩，引起了世界的高度关注。其中许多科研成果和产品，已达到国际先进水平。

电气工程从业人员多，涉及面广，技术进步快，科研成果多，许多科研成果需要总结和积累，许多新的知识需要普及和传播。盛世修典，素有遗风。为反映电气工程领域最新的发展成就，总结已有的科研成果，传播工程领域最新的科学技术知识，中国电工技术学会、中国机械工程学会、中国电机工程学会、中国动力工程学会和中国水力发电工程学会五个学会，联合组织了电气工程各领域的约 2000 位专家和学者，编撰了《中国电气工程大典》。

本套书的编写工作于2004年开始启动，编委会多次召开工作会议，精心组织，按照“取材突出新原理、新技术、新工艺、新材料；内容体现新颖性、先进性、实用性；表达力求简明扼要、深入浅出、直观易懂”的原则，反复讨论并修改编写大纲，确定编写内容。经过4年磨砺，数易其稿，终于付梓出版。《中国电气工程大典》共15卷约5000万字，包括《现代电气工程基础》、《电力电子技术》、《电气工程材料及器件》、《火力发电工程》、《水力发电工程》、《核能发电工程》、《可再生能源发电工程》、《电力系统工程》、《电机工程》、《输变电工程》、《配电工程》、《船舶电气工程》、《交通电气工程》、《建筑电气工程》和《电气传动自动化》。

所有组织者和编著者都把编撰本套书当作电气工程领域建设的一项重要的基础性工作，他们认真负责，辛勤耕耘，倾注了大量心血。本套书在编写出版过程中，得到参与编写的各科研院所、企业、高等院校等单位的大力支持，还得到业内有关院士和专家、学者的热心帮助。正是大家的积极参与和无私奉献，才使得这部大典能顺利编写出版，编委会对他们的奉献和支持表示衷心感谢。

这部鸿篇巨著，涉及电气工程设计制造、建设施工、生产运行、科研教学、工程管理等领域，总结了改革开放30年来电气工程各领域的技术发展与成功经验，展示了各专业领域的最新技术数据、设计经验、科技成果和发展动态，汇集了国内外相关的先进理念和成熟经验，体现了科学性、先进性和实用性的结合，是一套可供电气工程领域专业技术人员和管理人员使用的综合性工具书，也可供高等院校相关专业师生参考。

《中国电气工程大典》的编撰出版工作涉及面广，参与人员多，写作难度大。尽管编撰人员尽心尽力，倾注了无数心血，但书中难免存在缺点和不足之处，恳请读者指正。

中国电气工程大典编辑委员会主任



陆燕荪 陆延昌

## 本卷前言

人类利用水能已有几千年的历史，由于电气技术发明较晚，直到 1878 年才在法国建成世界上第一座水电站。早期工业发达国家较快地利用水力发电，到 19 世纪末期，在欧美已成立了一些水轮机和发电机的制造企业。我国最早的水电站是 1904 年在台湾建成的龟山水电站和 1912 年在云南昆明建成的石龙坝水电站，安装进口机组；1943 年发电的吉林丰满水电站是我国最早的大型水电站，解放后成为我国培养水力发电工程人才的重要基地。1949 年以前，全国还建设了一些小型水电站，大部分机组设备是进口的，国内自制最大水电机组是卧式 750kW 的。到 1949 年，全国水电可运行机组总装机容量为 36 万 kW。

新中国成立后，水力发电事业得到重视和发展，1950 年 1 月中央召开全国电器工业工作会议，期间决定在东北建立发电设备制造工厂，1950 年 8 月中央召开全国水力发电工程会议，建立领导机构，安排水电工程项目，拉开了我国水电建设的序幕。到 1978 年，全国水电站总装机容量达 17277MW，取得重大成就。

改革开放以来，又两次全面普查全国水力资源，提出重点开发 13 个（含后加怒江流域）大型水电基地，实现流域梯级滚动开发，西电东送，制定了水电项目开发计划。特别是经过多次论证由全国人大通过兴建中国长江三峡工程项目，成立了中国长江三峡工程开发总公司，实行业主负责制、招标投标制、工程监理制、合同管理制和资本金制，17 年建成当今世界最大的水电站，这是中国人民的伟大创举。在规划、勘测、论证、枢纽设计、工程标准、施工、设备监理与安装、调试等方面积累了丰富的经验；三峡左岸电站 14 台 700MW 水电机组和输变电设备采取国际招标，国内制造企业在已有技术基础上，消化吸收引进技术，增添先进的试验与加工装备，分包部件和整机制造的设备质量均达到和进口产品相同的水平。三峡右岸电站 12 台 700MW 设备招标时，国内制造企业在引进技术基础上有所创新，自主设计产品参与投标，获得 8 台机组和部分输变电设备合同，全都经受了安装运行的考验，表明完全满足合同要求，达到国际先进水平，称为“三峡



模式”，实现了国家通过重点工程建设带动国内重大技术装备自主化的预期目标。三峡工程建设的同时，在红水河、澜沧江、金沙江、黄河上游等开工建设一批特大型水电站，安装单机容量为 550~800MW 的大型水机组。通过成立五大发电集团，增加投资建设水电站，使常规水电年装机容量达 10 000~20 000MW；国家电网公司和南方电网公司在加快电网建设同时，增加抽水蓄能电站建设，发挥调峰填谷作用，并显著改善电网质量。到 2008 年末，全国水电站装机总容量达 172GW，居世界首位，其中抽水蓄能机组已达 1 1545 MW，实现了加快水电建设的期望。

本卷侧重于水力发电工程中的电气工程，仅在第一篇水力发电工程通论中对水电工程做了综述。水轮机与水泵水轮机是水力机械，属于动力工程，水力机械与发电机制造企业在欧美是分设的，日本是在一起的，我国建国初期考虑大型机床的利用率而将其设在一起，实践证明是合适的，至今已近六十年，因此将有关水力机械部分写入本卷。

目前，国内有中国水电工程顾问集团公司及各地区和省级水电设计单位负责规划与电站勘测设计工作；有中国水利水电建设集团公司和中国葛洲坝集团等单位负责水电站建设和设备安装调试工作；有大型发电设备研发设计制造骨干企业，有遍布各省制造中小型水电设备的企业；有培养技术骨干的大学和学校，有广大的科研单位，因此才有可能集合全国优秀人才，齐心协力完成本卷编写工作，在此谨表衷心感谢。文中由于编写人员及资料遍布全国，时间较为仓促，书中难免有疏漏之处，热诚希望读者不吝指出，以便再版时改进。

本卷主编



## 目 录

序	
前言	
本卷前言	
<b>第 1 篇 水力发电工程通论</b> ·····	1
<b>第 1 章 水力发电及水力资源</b> ·····	3
1 水力发电·····	3
1.1 水力发电原理·····	3
1.2 水力发电特点·····	3
1.3 水力发电简史·····	4
2 水电开发方式·····	6
2.1 开发方式综述·····	6
2.2 坝式开发·····	7
2.3 引水式开发·····	7
2.4 混合式开发·····	7
2.5 纯抽水蓄能电站·····	7
3 水电站的主要特征参数·····	8
3.1 水位与库容·····	8
3.2 水电站水头与引用流量·····	9
3.3 装机容量与保证出力·····	9
3.4 多年平均年发电量与装机容量年利用小时数·····	9
4 水力资源及开发情况·····	9
4.1 水力资源量计算·····	9
4.2 中国水力资源情况·····	10
4.3 世界水力资源情况·····	13
4.4 水力资源的开发情况·····	14
<b>第 2 章 水电站的水工建筑物</b> ·····	17
1 概述·····	17
2 挡水建筑物·····	17
2.1 挡水建筑物的类型·····	17
2.2 常用坝型·····	18
2.3 大坝统计·····	20
3 泄水建筑物·····	20
3.1 泄水建筑物的作用与组成·····	20
3.2 主要泄水建筑物介绍·····	21
4 引水系统建筑物·····	24
4.1 引水系统建筑物的作用与组成·····	24
4.2 主要引水建筑物介绍·····	24
5 水电站厂房·····	27
5.1 水电站的厂房及厂区·····	27
5.2 水电站厂房布置·····	27
5.3 水电站主厂房结构·····	29
6 工程等级及建筑物级别·····	29
6.1 工程等级·····	29
6.2 水工建筑物级别·····	29
<b>第 3 章 水电工程与环境</b> ·····	31
1 前言·····	31
2 水电开发与环境的关系·····	31
2.1 水电工程的主要环境效益·····	31
2.2 水电工程可能的不利环境影响·····	33
2.3 环境影响问题的对策与措施·····	36
3 水电建设的环保工作·····	37
3.1 水电工程的环境影响评价·····	37
3.2 水电工程的环境监测·····	37
3.3 水电工程竣工环境保护验收·····	38
4 水库移民及淹没处理·····	39
4.1 水库移民安置·····	39
4.2 水库库底清理及库区防护工程·····	41
4.3 库区综合开发·····	41
<b>第 4 章 水电工程勘测设计</b> ·····	43
1 水电开发的阶段与勘测设计·····	43
1.1 水力资源普查(复查)·····	43
1.2 河流(段)规划·····	44
1.3 工程项目的研究设计·····	45
1.4 工程建设与验收·····	46
2 水电枢纽工程设计·····	47
2.1 水电枢纽的类型和布置·····	47
2.2 挡水建筑物(坝)的勘测设计·····	48
2.3 泄水建筑物设计·····	49
2.4 输水系统设计·····	50
2.5 水电站厂房设计·····	50
2.6 过坝设施设计·····	51
2.7 机电设计·····	51
2.8 水资源综合利用·····	52
3 主要勘测设计专业工作简介·····	53
3.1 水文、泥沙专业·····	53
3.2 水能规划及动能经济专业·····	53
3.3 地质勘测和测量专业·····	53
3.4 水工建筑专业·····	53
3.5 机电及金属结构专业·····	54
3.6 施工专业·····	54
3.7 水库专业·····	54
3.8 环保与水保专业·····	54
3.9 定额编制和概预算专业·····	54
3.10 经济评价专业·····	54
<b>第 5 章 水工建筑物施工</b> ·····	56
1 概述·····	56
1.1 施工主要工序和工艺·····	56
1.2 中国水工建筑物的施工水平·····	57
2 施工导流·····	58
2.1 导流·····	59
2.2 截流·····	60
2.3 施工导截流典型案例·····	60
3 混凝土工程施工·····	61
3.1 混凝土生产·····	61
3.2 混凝土浇筑与养护·····	62
3.3 碾压混凝土施工·····	63
4 土石方工程施工·····	64
4.1 土石方明挖·····	64
4.2 土石坝工程·····	66
5 地下工程施工·····	68
5.1 隧洞开挖、支护与衬砌·····	68

5.2 大型地下洞室开挖与衬砌	69	6.2 地质问题测试技术	120
5.3 斜井、竖井施工	69	6.3 工程物探技术	121
<b>第6章 水电站的机电设备</b>	<b>71</b>	<b>7 大型水轮发电机组先进技术</b>	<b>122</b>
1 概述	71	7.1 机组设计先进技术	122
1.1 水电站机电设备的配置	71	7.2 机组制造先进技术	123
1.2 水电站机电设备的特点	71	8 水电建设应重点研究的问题	125
2 水电设备制造	72	8.1 水工水力学研究发展趋势	125
2.1 中国的水电设备制造业	72	8.2 混凝土结构研究的热点问题	125
2.2 当代世界水电设备工业的特点	81	8.3 岩土工程中值得研究的问题	126
2.3 国外主要水电设备制造商	81	8.4 其他应重点研究的问题	126
3 水电站机电安装	85	<b>第9章 水电技术标准</b>	<b>127</b>
3.1 现场安装的主要内容	85	1 概述	127
3.2 主要安装工作简介	85	1.1 标准化的基本概念	127
3.3 我国水电机电安装的发展情况	89	1.2 我国的标准化工作	127
<b>第7章 水电站金属结构</b>	<b>91</b>	1.3 我国水电标准化工作情况	129
1 概述	91	1.4 国际标准化活动简况	129
1.1 泄水建筑物金属结构	91	2 国内主要的水电技术标准	130
1.2 引水发电建筑物金属结构	91	2.1 有关水电的国家标准	130
1.3 通航建筑物金属结构	94	2.2 有关水电的行业标准	135
2 主要金属结构布置与设计	97	3 国际主要的水电技术标准	145
2.1 拦污栅	97	3.1 IEC的水电技术标准	145
2.2 闸门	98	3.2 其他常用的有关水电的技术标准	148
2.3 钢管	102	<b>第10章 国内外著名水电站简介</b>	<b>149</b>
2.4 启闭机	104	1 中国著名水电站简介	149
3 水电站金属结构制造与安装	108	1.1 已建著名水电站简介	149
3.1 闸门	108	1.2 在建著名水电站简介	156
3.2 钢管	109	2 国外著名水电站简介	160
3.3 启闭机	109	参考文献	167
3.4 我国水电站金属结构制作与安装水平	109	<b>第2篇 水轮机</b>	<b>169</b>
4 水电站金属结构防腐蚀	110	<b>第1章 概论</b>	<b>171</b>
4.1 涂料涂装	110	1 水电站与水轮机	171
4.2 热喷金属涂装	110	1.1 水电站	171
4.3 埋件涂装	110	1.2 水轮发电机组	171
<b>第8章 水电科学技术</b>	<b>111</b>	2 水轮机	171
1 概况	111	2.1 水轮机分类	171
2 水工水力学的科技进步	111	2.2 水轮机型号	171
2.1 高拱坝大流量泄洪消能技术研究	111	2.3 水轮机公称直径	172
2.2 导流洞改建(内消能)技术的研究与应用	112	2.4 水轮机基本性能	172
2.3 几种新型消能工的研究与应用	112	2.5 各型水轮机的性能和特点	173
2.4 大流量、大落差、深水河道截流技术	112	3 水轮机的研发	177
3 水工材料的科技进步	112	3.1 水轮机研发的内容	177
3.1 混凝土耐久性研究	112	3.2 水轮机研发的软件方法	177
3.2 混凝土外加剂与高性能混凝土	113	3.3 水轮机研发的硬件条件	178
3.3 高分子材料研究进展与应用	113	4 水轮机的选型	178
3.4 水工结构修补及加固材料	114	5 水轮机结构	179
4 坝工技术的进展	114	5.1 反击式水轮机的组成	179
4.1 土石坝筑坝技术	114	5.2 冲击式水轮机的组成	179
4.2 碾压混凝土坝筑坝技术	115	6 水轮机的发展趋势	179
4.3 高拱坝的结构研究	116	6.1 高水头、大容量	179
4.4 高拱坝抗震技术研究	117	6.2 高质量、高效率	179
5 岩质高边坡与地下工程技术研究进展	118	6.3 稳定性、可靠性	180
5.1 岩质高边坡技术研究	118	6.4 综合治理水轮机磨蚀问题	180
5.2 地下工程研究	119	6.5 由追求最高效率的提高到总体运行范围内效率的最优	180
6 水电勘测科技进展	120	6.6 加速老水电站的改造	180
6.1 钻探新技术	120		



6.7	提高自动化监测和保护水平	180	7.8	顶盖取水	191
6.8	水轮机在新能源领域和节能 领域的应用	180	7.9	自润滑轴套	191
6.9	环保趋势	180	7.10	环保型轴流转浆式转轮技术的研究	192
<b>第2章</b>	<b>水轮机的研发</b>	<b>181</b>	7.11	轴向水推力减少的结构	192
1	概述	181	7.12	导水机构部件	192
1.1	水轮机的基本参数	181	7.13	补气结构	192
1.2	相似原理	181	<b>第3章</b>	<b>水轮机选型</b>	<b>193</b>
1.3	模型与原型的关系	181	1	概述	193
1.4	水轮机的研发与模型试验、计算流体力学 (Computational Fluid Dynamics, CFD) 的关系	182	2	水轮机基本参数的选择和确定	197
2	水轮机主要特性	182	2.1	水轮机的选型流程说明	197
2.1	能量特性	182	2.2	水位与水头分析	197
2.2	空化特性	182	2.3	额定转速和比转速的确定	197
2.3	泥沙磨损	183	2.4	转轮直径的确定	198
2.4	水轮机稳定性	184	2.5	电站安装高程的确定	198
2.5	水轮机的可靠性	185	2.6	原型效率的确定	199
3	水轮机的模型开发	185	2.7	单位转速的确定	199
3.1	水轮机通流部件的水力设计 及计算流体力学 (CFD) 计算	185	2.8	单位流量的确定	199
3.2	水轮机的水力部件强度计算	187	2.9	飞逸转速的确定	199
4	水轮机的模型试验的条件及内容	187	2.10	水推力的确定	199
4.1	试验的标准	187	2.11	水轮机性能的综合分析	199
4.2	模型试验台	187	3	水轮机通流部件尺寸的确定	199
4.3	模型装置	187	3.1	水轮机流道	199
4.4	成像观察	188	3.2	固定导叶	200
4.5	流场测试	188	3.3	活动导叶	200
4.6	试验内容一览表	188	3.4	蜗壳	201
4.7	水轮机综合特性曲线	188	3.5	尾水管	201
5	水轮机的现场试验	188	3.6	电站厂房布置及机组控制尺寸的确定	202
5.1	现场试验标准	188	4	调节保证 (过渡过程) 计算	202
5.2	相对效率试验	190	4.1	大波动过渡过程计算	202
5.3	绝对效率试验	190	4.2	机组间动态大波动过渡过程的 相互影响计算	203
5.4	水力稳定性试验	190	4.3	小波动过渡过程计算	203
5.5	机械稳定性试验	190	4.4	计算方法、模型试验和现场 试验的情况介绍	203
5.6	叶片动应力测试	190	5	质量估算	203
5.7	水轮机在线监测	190	5.1	水轮机净质量的估算	203
5.8	空蚀检查	190	5.2	金属蜗壳质量	204
6	材料及工艺研究	190	5.3	混流式水轮机转轮质量	204
6.1	抗空蚀材料的研究	190	5.4	轴流转浆式水轮机转轮质量	204
6.2	抗磨损材料的研究	190	6	冲击式水轮机的选型	204
6.3	抗磨蚀材料的研究	191	6.1	水斗式水轮机	204
6.4	抗裂纹、抗疲劳、高寿命材料的研究	191	6.2	斜击式水轮机	207
6.5	铸造工艺的计算机过程模拟	191	6.3	双击式水轮机	207
6.6	叶片热弯成型工艺的计算机过程模拟	191	<b>第4章</b>	<b>混流式水轮机的结构设计</b>	<b>208</b>
6.7	焊接工艺的计算机过程模拟	191	1	概述	208
6.8	数控工艺的计算机过程模拟	191	2	混流式水轮机的总体布置及典型实例	208
7	新结构的研究	191	2.1	总体布置	208
7.1	长短叶片转轮	191	2.2	典型实例	208
7.2	圆筒阀	191	2.3	轴系稳定性计算	209
7.3	转轮与主轴连接结构	191	3	蜗壳的结构设计	209
7.4	大转轮结构	191	3.1	蜗壳种类	209
7.5	双平板座环结构	191	3.2	混凝土蜗壳	209
7.6	轴承结构	191	3.3	金属蜗壳	209
7.7	主轴密封结构	191	4	座环的结构设计	210
			4.1	座环的种类	210
			4.2	碟形边座环	210

4.3 双平板座环 .....	210	2.3 轴系稳定性计算 .....	226
5 导水机构的结构设计 .....	210	3 灯泡体及其支撑结构的结构设计 .....	226
5.1 导叶 .....	210	4 水轮机引水室、管形座 .....	226
5.2 导叶传动机构 .....	211	5 锥形导水机构的结构设计 .....	226
5.3 导叶接力器 .....	211	5.1 导叶 .....	226
5.4 顶盖 .....	212	5.2 导叶传动机构 .....	226
5.5 底环 .....	212	5.3 导叶接力器 .....	229
5.6 控制环 .....	212	5.4 外配水环 .....	229
6 转轮的结构设计 .....	212	5.5 内配水环 .....	229
7 尾水管的结构设计 .....	213	5.6 控制环 .....	229
8 主轴设计 .....	213	6 转轮的结构设计 .....	230
9 主轴密封设计 .....	214	7 尾水管的结构设计 .....	231
10 导轴承 .....	215	8 受油器及操作油管 .....	231
10.1 稀油润滑油浸式分块瓦水导轴承 .....	215	9 主轴设计 .....	232
10.2 稀油润滑筒式水导轴承 .....	215	10 主轴密封设计 .....	232
10.3 水润滑橡胶轴承 .....	215	11 水轮机导轴承设计 .....	233
11 附属装置的结构设计 .....	215	12 附属装置的结构设计 .....	233
11.1 补气装置 .....	215	12.1 轴承润滑油系统 .....	233
11.2 取水装置 .....	216	12.2 油水气管路系统 .....	233
11.3 排水阀 .....	216	12.3 测量仪表管路系统 .....	233
11.4 真空破坏阀 .....	216	12.4 地板扶梯栏杆 .....	233
<b>第5章 轴流式水轮机的结构设计</b> .....	217	12.5 安装工具 .....	233
1 概述 .....	217	<b>第7章 冲击式水轮机的结构设计</b> .....	234
2 轴流式水轮机的典型实例 .....	217	1 概述 .....	234
3 蜗壳的结构设计 .....	217	2 冲击式水轮机的总体布置及典型实例 .....	234
3.1 蜗壳种类 .....	217	2.1 总体布置 .....	234
3.2 混凝土蜗壳 .....	217	2.2 典型实例 .....	234
3.3 金属蜗壳 .....	217	2.3 轴系稳定性计算 .....	234
4 座环的结构设计 .....	217	3 配水环的结构设计 .....	234
4.1 座环的种类 .....	217	4 机壳的结构设计 .....	235
4.2 与金属蜗壳连接的座环 .....	219	5 喷管部件的结构设计 .....	236
4.3 与混凝土蜗壳连接的座环 .....	219	5.1 喷管的结构设计 .....	236
5 导水机构的结构设计 .....	220	5.2 折向器 .....	236
5.1 导叶 .....	220	5.3 制动喷嘴 .....	236
5.2 导叶传动机构 .....	220	6 转轮的结构设计 .....	237
5.3 导叶接力器 .....	220	7 主轴设计 .....	237
5.4 顶盖和支持盖的结构型式 .....	220	8 主轴密封设计 .....	237
5.5 底环 .....	221	9 导轴承 .....	237
5.6 控制环 .....	221	10 进气阀 .....	237
6 轴流式水轮机转轮的结构设计 .....	221	<b>第8章 水轮机进水阀门的设计</b> .....	238
6.1 轴流定桨式转轮 .....	221	1 概述 .....	238
6.2 轴流转桨式转轮 .....	221	1.1 作用 .....	238
6.3 转桨式转轮主要部件设计 .....	221	1.2 型号 .....	238
7 尾水管的结构设计 .....	222	1.3 水轮机进水阀门的特点及应用范围 .....	239
8 受油器及操作油管 .....	222	2 蝶阀 .....	239
9 主轴及操作油管设计 .....	223	2.1 蝶阀结构 .....	239
9.1 主轴的结构 .....	223	2.2 蝶阀操作的方式、控制机构的 组成部分及控制原理 .....	240
9.2 操作油管 .....	224	3 球阀 .....	241
10 主轴密封设计 .....	224	3.1 球阀结构 .....	241
11 导轴承 .....	224	3.2 球阀操作的方式、控制机构 的组成部分及控制原理 .....	242
12 其他辅助设备的结构设计 .....	224	4 圆筒阀 .....	243
<b>第6章 贯流式水轮机的结构设计</b> .....	225	4.1 圆筒阀直径的选择 .....	243
1 概述 .....	225	4.2 圆筒阀的分类 .....	243
2 贯流式水轮机的总体布置及典型实例 .....	225	4.3 圆筒阀的结构 .....	243
2.1 总体布置 .....	225		
2.2 典型实例 .....	225		



5 进水阀的附属设备 .....	244	3.8 集电装置 .....	298
5.1 旁通阀 .....	244	4 推力轴承 .....	299
5.2 伸缩节 .....	244	4.1 推力轴承支撑结构型式 .....	299
5.3 连接管 .....	244	4.2 扇形瓦推力轴承润滑计算 .....	304
5.4 空气阀 .....	244	4.3 推力轴承的油压顶起减载装置 .....	307
<b>第3篇 水轮发电机</b> .....	245	4.4 推力轴承油循环冷却 .....	310
<b>第1章 概述</b> .....	247	4.5 推力轴承主要结构部件 .....	317
1 水轮发电机分类 .....	247	4.6 磁力减载装置 .....	323
1.1 常规型式水轮发电机 .....	247	5 导轴承 .....	324
1.2 灯泡贯流式水轮发电机 .....	247	5.1 导轴承结构型式 .....	324
1.3 发电电动机 .....	250	5.2 导轴承设计与计算 .....	325
2 水轮发电机型号 .....	250	5.3 导轴承主要结构部件 .....	328
<b>第2章 水轮发电机主要参数</b> .....	251	6 机架 .....	331
1 电气参数设计 .....	251	6.1 机架结构型式与分类 .....	331
1.1 电负荷 $A$ .....	251	6.2 机架主要结构部件 .....	332
1.2 空载气隙磁通密度 $B_g$ (磁负荷) .....	251	6.3 机架适应变形的结构 .....	333
1.3 电、磁负荷的匹配 .....	251	6.4 上机架与基础的传力方式 .....	333
1.4 短路比 .....	251	6.5 机架允许振动值 .....	333
1.5 直轴同步电抗 $X_d$ .....	251	6.6 负荷机架的计算 .....	333
1.6 直轴瞬变电抗 $X_d'$ .....	252	7 灭火系统 .....	335
1.7 直轴超瞬变电抗 $X_d''$ .....	252	7.1 灭火方式 .....	335
1.8 磁路设计 .....	252	7.2 水灭火系统 .....	336
1.9 其他参数 .....	253	7.3 不同灭火系统的应用 .....	336
1.10 损耗与效率 .....	253	8 发电机中性点接地装置 .....	336
2 尺寸参考设计 .....	255	8.1 大型发电机中性点基本接地方式 .....	336
2.1 定子铁心内径 $D_1$ 和定子铁心 长度 $l_1$ 的选择 .....	255	8.2 水轮发电机中性点接地特点 .....	337
2.2 气隙长度 $\sigma$ 的选择 .....	255	8.3 经消弧线圈接地 .....	337
2.3 定子槽数的选择 .....	256	8.4 经高电阻接地 .....	338
2.4 定子绕组设计 .....	256	8.5 设计原则与计算 .....	338
3 运行特性 .....	257	9 制动器及制动系统 .....	339
3.1 空载特性 .....	257	9.1 制动系统功能及制动器结构 .....	339
3.2 短路特性 .....	258	9.2 制动器计算 .....	340
3.3 功率运行特性 .....	258	9.3 电制动 .....	340
3.4 V形曲线 .....	259	9.4 制动力矩与转速的关系 .....	341
3.5 短路运行 .....	260	9.5 机组转速与时间的关系 .....	341
<b>第3章 水轮发电机结构</b> .....	262	9.6 计算各种制动力矩 .....	341
1 水轮发电机总体结构 .....	262	9.7 制动耗气量计算 .....	341
1.1 水轮发电机结构型式 .....	262	<b>第4章 水轮发电机通风冷却系统</b> .....	342
1.2 水轮发电机总体结构 .....	262	1 水轮发电机通风系统分类及特点 .....	342
1.3 悬式和伞(半伞)式结构的判断 .....	267	1.1 按循环方式分类 .....	342
1.4 全伞式机组稳定性 .....	267	1.2 按空气在发电机内的流动路径分类 .....	342
2 定子 .....	267	1.3 按空气进入发电机的路径分类 .....	343
2.1 定子机座 .....	268	1.4 按有无风扇分类 .....	343
2.2 定子铁心 .....	270	1.5 按空气循环起因分类 .....	343
2.3 定子绕组 .....	276	2 典型大型立式水轮发电机通风系统 .....	343
2.4 定子装配 .....	281	2.1 典型立式水轮发电机双路进风径向 通风端部回风系统 .....	343
3 转子 .....	291	2.2 其他普通立式水轮发电机双路进风径向 通风端部回风系统 .....	343
3.1 转轴 .....	291	2.3 典型抽水蓄能水轮发电机通风系统 .....	344
3.2 转子支架 .....	294	2.4 典型灯泡贯流式水轮发电机通风系统 .....	344
3.3 磁轭 .....	294	3 水轮发电机通风系统设计与计算 .....	345
3.4 制动环 .....	296	3.1 通风系统基本要求 .....	345
3.5 旋转挡风板 .....	296	3.2 通风计算的目的 .....	345
3.6 磁极 .....	296	3.3 风路计算 .....	345
3.7 风扇 .....	298	4 水轮发电机通风冷却的数值分析 .....	346