



国家电网公司
电力科技著作出版项目

上册

CHOUSHUI XUNENG DIANZHAN SHEJI

抽水蓄能电站设计

中国水电顾问集团华东勘测设计研究院
张春生 姜忠见 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



电网公司
电力科技著作出版项目

CHOUSHUI XUNENG DIANZHAN SHEJI

抽水蓄能电站设计

(上册)

中国水电顾问集团华东勘测设计研究院
张春生 姜忠见 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

抽水蓄能电站设计: 全 2 册/张春生, 姜忠见主编. —北京: 中国电力出版社, 2012. 3

ISBN 978-7-5123-2744-3

I. ①抽… II. ①张… ②姜… III. ①抽水蓄能水电站-设计 IV. ①TV743

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 028495 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京盛通印刷股份有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 12 月第一版 2012 年 12 月北京第一次印刷

889 毫米×1194 毫米 16 开本 70 印张 1961 千字 1 插页

印数 0001—2000 册 定价 320.00 元 (上、下册)

敬告读者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪
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

《抽水蓄能电站设计》编写人员名单

主编 张春生 姜忠见

篇 章	撰写人	统稿人
上 册		
第一篇 绪 论	张春生	曹克明 计金华
第二篇 抽水蓄能电站规划设计	杨立峰 赵佩兴	计金华 王达邦
第三篇 抽水蓄能电站枢纽布置	姜忠见	张春生
第四篇 抽水蓄能电站水文气象条件	陈美丹	计金华
第五篇 抽水蓄能电站工程地质问题	单治钢 李孙权	吴火才
第六篇 抽水蓄能电站上、下水库	徐建军 王樱峻 李金荣 姜忠见	蒋效忠 徐建军 蒋 遼
第七篇 抽水蓄能电站输水系统	侯 靖 彭六平 陈丽芬 姜长飞 黄东军 张 伟 冯仕能	彭六平 张克钊
第八篇 抽水蓄能电站发电厂房	江亚丽 徐文仙 吴喜艳 戚海峰 徐跃明 鲍利发	江亚丽 郑芝芬
下 册		
第九篇 抽水蓄能电站施工组织设计	周垂一 陈中华 王 勤 蔡建国 胡建华 包 俊	周垂一 施仁忠
第十篇 抽水蓄能电站工程安全监测	王玉洁	姜忠见

篇 章	撰写人	统稿人
第十一篇 抽水蓄能电站机电及金属结构	陈顺义 周才全 王小军 周 杰 严 丽 李成军 羊 鸣 和 扁 方 杰 沈剑初 杨建军 金晓华 胡涛勇 赵 政 曹 平 时雷鸣 李 骅 黄 锐 徐 涵	陈顺义 李渝珍 周才全
第十二篇 抽水蓄能电站建设征地移民安置	徐春海 周建新 仇庆松 卞炳乾 毛振军 韩晓劲	龚和平
第十三篇 抽水蓄能电站环境保护与水土保持	芮建良 李 健 丁明明 陈根兴 詹晓燕 常 勇 廖琦琛	芮建良
第十四篇 抽水蓄能电站水库蓄水与机组调试	郑齐峰 王 红 徐建军 傅新芬 李成军	姜忠见
第十五篇 抽水蓄能电站运行设计	王 红	计金华
第十六篇 抽水蓄能电站经济效益和经济评价	赵佩兴	计金华 王达邦
附 录 抽水蓄能电站工程项目核准工作程序	郑齐峰 陈中华	姜忠见

特邀编辑 费京伟



前 言

抽水蓄能电站发展至今已有 100 多年的历史。20 世纪上半叶，抽水蓄能电站发展缓慢，到 1950 年，全世界建成抽水蓄能电站 28 座，投产容量约 2000MW。20 世纪 60 年代后，抽水蓄能电站开始快速发展，60 年代增加容量 13942MW，70 年代增加 40159MW，80 年代增加 34855MW，90 年代增加 27090MW。到 2010 年，全世界共有 40 多个国家和地区已经建成和正在建设抽水蓄能电站，投入运行的抽水蓄能电站超过 350 座，总装机容量超过 160000MW。目前很多发达国家抽水蓄能电站的装机容量已占相当的比例（例如奥地利 16%、日本 13%、瑞士 12%、意大利 11%、法国 4.2%、美国 2.4%）。

我国研究开发抽水蓄能电站始于 20 世纪 60 年代。1968 年，在冀南电网的岗南水电站安装了一台可逆式机组，建成我国第一座混合式抽水蓄能电站。1993 年，安装了三台 90MW 可逆式机组的潘家口混合式抽水蓄能电站建成投产，随后广州抽水蓄能电站（一、二期各 1200MW）、天荒坪抽水蓄能电站（1800MW）、十三陵抽水蓄能电站（800MW）也在 20 世纪 90 年代相继投产发电。

抽水蓄能电站运行具有两大特性：一是它既能调峰又能填谷，其填谷作用是其他任何类型的发电厂所不具备的；二是启动迅速，运行灵活、可靠，对负荷的急剧变化可以作出快速反应。此外，抽水蓄能电站还适合承担调频、调相、事故备用、黑启动等任务。与化学储能、压缩空气储能等相比，抽水蓄能电站是目前最经济的大型储能设施。同时，抽水蓄能电站是智能电网的重要组成部分，也是充分吸纳风电、保障核电运行、促进清洁能源发展的必要手段。

华东勘测设计研究院（简称“华东院”）是国内最早进行抽水蓄能电站研究的设计院之一。从20世纪70年代开始，在华东地区进行了抽水蓄能电站的规划选点和相关项目的勘测设计研究工作，几十年来，华东院的足迹遍及浙江、江苏、安徽、山东、福建、江西、河南、重庆等，先后设计建成了天荒坪、桐柏、泰安、宜兴、宝泉等抽水蓄能电站，目前在建的电站有响水涧、仙游、洪屏、仙居、绩溪等抽水蓄能工程，已建、在建装机规模达到12900MW。已经完成和正在开展可行性研究、预可行性研究的项目包括浙江天荒坪二、江苏句容、福建厦门、福建永泰、安徽金寨等十余座抽水蓄能电站，总装机规模约23600MW。

几十年的技术研究和工程实践，使华东院在抽水蓄能电站的勘察设计、技术发展方面取得了丰硕的成果，涵盖了抽水蓄能电站的站址选择、枢纽总体布置、各功能性建筑物之间的协调和谐布置，以及抽水蓄能电站特有的水库防渗、复杂地形地质条件下的成库与筑坝方式、高压水道设计理论、厂房结构振动控制、厂房内部布置、机电设备的结构与参数选择、水力学过渡过程、电站调洪方式、环境保护与景观设计等，一系列新的设计理念、建设技术在诸多具体工程建设中得到推广和应用，推动了我国抽水蓄能事业的发展，取得了良好的经济效益和社会效益。

本书结合工程实践，对抽水蓄能技术与工程设计的各个方面进行了较为系统的总结介绍，参与编著的人员为华东院抽水蓄能各个专业的技术骨干，许多技术人员也为本书的成稿付出了不懈的努力，本书是集体智慧的结晶。

希望本书能为业内同行们提供参考和借鉴。

编著者

2012年9月



目 录

前言

上 册

第一篇 | 绪 论

第一章 抽水蓄能电站的地位和作用	3
1.1 电力系统的形成和特点	3
1.2 抽水蓄能电站工作原理	5
1.3 抽水蓄能电站的类型	6
1.4 抽水蓄能电站的作用	9
第二章 抽水蓄能电站的发展	15
2.1 国内抽水蓄能电站发展情况.....	15
2.2 世界抽水蓄能电站发展概况.....	18
第三章 抽水蓄能电站工程技术与工程设计的特点	22
3.1 抽水蓄能电站的选点规划.....	22
3.2 抽水蓄能电站的枢纽布置.....	23
3.3 地质勘察.....	23
3.4 抽水蓄能电站的上、下水库.....	24
3.5 抽水蓄能电站的引水发电系统.....	25
3.6 抽水蓄能电站的机电设备.....	26
第四章 我国抽水蓄能电站的发展前景	28
4.1 应解决好抽水蓄能电站发展中存在的一些问题.....	28
4.2 我国抽水蓄能电站的发展前景.....	30

第二篇 | 抽水蓄能电站规划设计

第一章 建设抽水蓄能电站必要性分析	35
1.1 抽水蓄能电站建设必要性的再认识.....	35
1.2 抽水蓄能电站建设必要性论证的主要工作内容.....	35
1.3 地区社会经济现状及发展.....	36
1.4 地区能源资源开发利用情况.....	36
1.5 地区电力系统现状及电力发展规划.....	37
1.6 抽水蓄能电站建设必要性主要论证分析工作.....	37

1.7	电力系统动态需求分析	45
1.8	抽水蓄能电站建设必要性综合分析和结论	45
1.9	我国抽水蓄能电站建设必要性论证工作内容的变化	46
第二章	抽水蓄能电站选点规划	50
2.1	抽水蓄能电站站址普查	50
2.2	抽水蓄能电站选点规划	55
2.3	福建省抽水蓄能电站选点规划	62
第三章	抽水蓄能电站主要水能参数选择	68
3.1	装机容量选择	68
3.2	上、下水库特征水位选择	77
3.3	输水道尺寸选择	86
3.4	水泵水轮机额定水头选择	91

第三篇 | 抽水蓄能电站枢纽布置

第一章	抽水蓄能电站枢纽的特点	101
1.1	具有上、下两个水库	101
1.2	库水位变幅大、变动频繁，水库防渗要求高	101
1.3	引水发电系统水头高	101
1.4	机组安装高程低	103
1.5	水库泄洪建筑物设计需考虑发电流量和天然洪水叠加的影响	103
1.6	水库初期运行充排水问题突出	104
第二章	枢纽总体布置	105
2.1	布置原则	105
2.2	工程等级及洪水标准	106
第三章	枢纽建筑物总体布置型式	109
3.1	纯抽水蓄能电站枢纽布置	109
3.2	混合式抽水蓄能电站枢纽布置	117
第四章	工程实例——天荒坪抽水蓄能电站	128
4.1	概况	128
4.2	工程地质特点	128
4.3	上水库布置	129
4.4	下水库布置	129
4.5	输水系统布置	129
4.6	厂房系统布置	129
4.7	枢纽布置特点	130

第四篇 | 抽水蓄能电站水文气象条件

第一章	概述	135
1.1	抽水蓄能电站建设特点	135

1.2	抽水蓄能电站水文计算主要内容	135
1.3	抽水蓄能电站水文计算特点	136
第二章	气象条件	137
2.1	气象要素	137
2.2	水面蒸发分析	137
第三章	水文基本资料搜集与复核	138
3.1	基本资料搜集	138
3.2	基本资料复核	139
第四章	径流分析计算	140
4.1	径流分析计算的任务和内容	140
4.2	径流系列及其代表性分析	140
4.3	设计径流分析计算的方法	141
4.4	不同水库类型设计径流分析计算	142
4.5	桐柏抽水蓄能电站径流分析计算	142
第五章	洪水分析计算	144
5.1	洪水分析计算的任务和内容	144
5.2	洪水分析计算方法	144
5.3	根据流量资料推算设计洪水	144
5.4	根据暴雨资料推算设计洪水	146
5.5	地区综合法估算设计洪水	148
5.6	不同水库类型设计洪水分析计算	149
5.7	天荒坪抽水蓄能电站技施设计下水库设计洪水分析计算	149
第六章	泥沙分析计算	152
6.1	泥沙分析计算的任务和内容	152
6.2	悬移质泥沙分析计算	152
6.3	推移质泥沙分析计算	154
第七章	水位流量关系	155
7.1	有实测资料时水位流量关系曲线拟定	155
7.2	无实测资料时水位流量关系曲线拟定	155
	参考文献	157

第五篇 | 抽水蓄能电站工程地质问题

第一章	概述	161
第二章	区域构造稳定及地震	164
第三章	上水库(坝)	166
3.1	工程地质特点及主要工程地质问题	166
3.2	地质勘察的主要内容及方法	166
3.3	主要工程地质问题及评价	169
3.4	工程实例	172

第四章 下水库(坝)	178
4.1 工程地质特点及主要工程地质问题	178
4.2 地质勘察的主要内容及方法	178
4.3 工程实例	179
第五章 输水发电系统	181
5.1 工程地质特点及主要工程地质问题	181
5.2 地质勘察的主要内容及方法	181
5.3 主要工程地质问题评价	182
5.4 工程实例	191
第六章 天然建筑材料	205
6.1 工程地质特点	205
6.2 料场选择原则	205
6.3 地质勘探内容及方法	205
6.4 工程实例	207
6.5 料场地质勘察的注意事项	208

第六篇 | 抽水蓄能电站上、下水库

第一章 上、下水库枢纽布置	213
1.1 影响水库布置的主要因素	213
1.2 坝轴线的选择	213
1.3 坝型选择	217
1.4 倾斜地基上的土石坝	223
1.5 泄洪建筑物布置	227
第二章 库盆防渗与排水设计	228
2.1 渗流控制标准	228
2.2 防渗方案选择	229
2.3 垂直帷幕防渗	232
2.4 钢筋混凝土面板防渗	239
2.5 沥青混凝土面板防渗	256
2.6 土工膜防渗	282
2.7 黏土铺盖防渗	296
2.8 库区排水	304
2.9 库岸稳定	305
第三章 上、下水库的泄洪、放空	311
3.1 上水库泄洪设施	311
3.2 上水库放空设施	316
3.3 下水库泄洪设施	317
3.4 下水库放空设施	323
第四章 拦沙排沙设施	325
4.1 设置拦沙排沙设施的必要性	325

4.2 拦沙排沙工程设计	325
--------------------	-----

第七篇 | 抽水蓄能电站输水系统

第一章 总体布置	333
1.1 输水系统的布置	333
1.2 引水系统的布置	335
1.3 尾水系统的布置	336
第二章 进（出）水口	338
2.1 进（出）水口型式及实例	338
2.2 进（出）水口布置设计	353
2.3 水力设计及模型试验	355
2.4 结构设计	356
第三章 压力水道	362
3.1 压力水道的衬砌类型	362
3.2 隧洞围岩承载设计准则及结构设计理念	366
3.3 压力水道经济管径	375
3.4 隧洞、斜（竖）井钢筋混凝土衬砌设计	377
3.5 压力钢管设计	380
3.6 岔管	400
第四章 调压室	425
4.1 调压室的作用及工作原理	425
4.2 调压室设置条件和位置选择	429
4.3 调压室的基本布置方式和基本类型	432
4.4 调压室的稳定断面	435
4.5 调压室的涌波计算	439
4.6 调压室基本尺寸的确定	440
4.7 调压室结构、灌浆、排水等设计	442
第五章 水力—机组过渡过程分析	444
5.1 抽水蓄能电站输水系统过渡过程特点	444
5.2 水道水力学与特征线法	445
5.3 基本边界条件	446
5.4 可逆机组大波动水力过渡过程	450
5.5 小波动水力过渡过程	463
5.6 水力干扰	465
参考文献	466

第八篇 | 抽水蓄能电站发电厂房

第一章 抽水蓄能电站厂房的形式	471
1.1 抽水蓄能电站的厂房形式	471

1.2	国内外部分已建、在建抽水蓄能电站厂房形式	474
第二章	抽水蓄能电站地面厂房的布置与设计	475
2.1	地面厂房的布置	475
2.2	厂房整体稳定、地基应力	478
2.3	抽水蓄能电站地面厂房结构设计	479
2.4	地面厂房工程实例	480
第三章	半地下式厂房布置与设计	484
3.1	半地下式厂房的布置形式	484
3.2	工程实例	485
第四章	地下厂房的布置与设计	489
4.1	地下厂房的位置、轴线选择	489
4.2	地下厂房的厂区布置	492
4.3	厂房内部布置	504
4.4	地下厂房洞室群围岩稳定分析与支护设计	511
4.5	厂房主要结构	521
4.6	厂房结构动力分析	534

下 册

第九篇 | 抽水蓄能电站施工组织设计

第一章	抽水蓄能电站施工组织设计的主要任务	545
第二章	施工期水流控制	547
2.1	上、下水库施工导流标准	547
2.2	施工导流（排水）方式与布置	548
2.3	利用或改建水库施工导流	550
2.4	施工期度汛	551
第三章	库盆防渗工程施工	553
3.1	土工膜施工	553
3.2	钢筋混凝土面板施工	557
3.3	黏土铺盖施工	559
3.4	沥青混凝土面板施工	561
第四章	斜（竖）井施工	568
4.1	引水系统斜井、竖井施工	568
4.2	斜井、竖井施工程序	568
4.3	斜井、竖井施工实例	572
第五章	地下厂房系统施工	576
5.1	地下厂房系统工程施工特点	576
5.2	施工程序及开挖分层原则	576

5.3	施工通道规划与布置	577
5.4	地下厂房洞室群开挖与支护	579
5.5	地下厂房混凝土施工	583
5.6	施工通风	585
5.7	施工排水	585
第六章	场内交通设计及施工总布置	586
6.1	场内施工道路设计	586
6.2	施工总布置	590
第七章	施工期供水	593
7.1	抽水蓄能电站施工供水的水源条件和供水特点	593
7.2	抽水蓄能电站的施工供水实例	593
第八章	施工总进度	601
8.1	施工总进度编制原则	601
8.2	施工总进度编制	601

第十篇 | 抽水蓄能电站工程安全监测

第一章	上、下水库大坝安全监测	607
1.1	监测项目的选定	607
1.2	变形	608
1.3	渗流监测	618
1.4	应力、应变及温度监测	621
1.5	环境量监测	623
第二章	输水系统安全监测	625
2.1	进/出水口	625
2.2	引水隧洞	627
2.3	高压明管	633
2.4	高压岔管	633
2.5	调压室	635
第三章	电站厂房监测	636
3.1	围岩稳定监测	636
3.2	围岩渗流监测	641
3.3	蜗壳应力应变监测	643
3.4	结构振动监测	645
第四章	监测仪器设备	646
4.1	耐高压仪器的现状	646
4.2	电缆的防水密封	646
4.3	耐高压仪器的埋设	647
第五章	主要监测项目的监测频次	648
5.1	蓄水初期	648

5.2 输水系统冲排水试验期	649
----------------------	-----

第十一篇 | 抽水蓄能电站机电及金属结构

概述	653
第一章 水泵水轮机及其附属设备	655
1.1 序言	655
1.2 水泵水轮机机型选择	655
1.3 水泵水轮机主要技术参数选择	657
1.4 水泵水轮机模型试验	675
1.5 水泵水轮机结构选型	692
1.6 调速系统	698
1.7 进水阀及其附属设备	702
1.8 机组运行工况及工况转换	705
第二章 水力机械辅助设备系统	713
2.1 技术供水系统	713
2.2 渗漏及检修排水系统	717
2.3 机组压水供气系统	719
2.4 透平、绝缘油系统	731
2.5 上水库和上游水道充水设备	734
第三章 接入系统和电气主接线	736
3.1 接入系统	736
3.2 电气主接线	738
第四章 发电电动机及其附属和辅助设备	747
4.1 发电电动机技术参数和结构选择	747
4.2 励磁系统	763
4.3 发电电动机电压设备	764
4.4 变频启动装置	767
第五章 主变压器和高压配电装置	777
5.1 主变压器	777
5.2 高压配电装置	780
5.3 高压电缆	781
第六章 电气辅助和公用设备系统	784
6.1 厂用电系统	784
6.2 过电压保护和接地系统	792
第七章 抽水蓄能电站控制系统	796
7.1 抽水蓄能电站运行控制方式	796
7.2 电站计算机监控系统	797
7.3 机组和辅机控制	803
7.4 机组状态监测系统	808

7.5 公用设备控制	811
第八章 继电保护	813
8.1 抽水蓄能机组特点对继电保护的影响	813
8.2 主要机电设备继电保护的基本配置	815
8.3 保护装置选型及保护跳闸方式选择	818
8.4 电流互感器 (TA) 和电压互感器 (TV) 配置及选择	819
8.5 典型配置	820
第九章 直流电源、通信和工业电视系统	822
9.1 直流电源系统	822
9.2 通信系统	824
9.3 工业电视系统	825
第十章 金属结构	827
10.1 金属结构工程布置	827
10.2 抽水蓄能电站上、下水库拦污栅	835
10.3 输水系统闸门及启闭机	839
参考文献	843

第十二篇 | 抽水蓄能电站建设征地移民安置

第一章 建设征地处理范围的拟定	847
1.1 水库淹没影响区	847
1.2 枢纽工程建设区	851
第二章 建设征地影响实物指标的调查	852
2.1 实物指标分类	852
2.2 调查组织与程序	853
2.3 调查方法和要求	853
第三章 移民安置总体规划	855
3.1 规划依据和原则	855
3.2 移民安置任务	856
3.3 规划目标和安置标准	857
3.4 移民环境容量	858
3.5 移民安置总体方案	859
3.6 后期扶持	860
3.7 移民生产生活水平预测总体评价	860
第四章 农村移民安置规划设计	861
4.1 农村移民安置规划设计原则	861
4.2 生产安置规划设计	861
4.3 搬迁安置规划设计	864
4.4 后期扶持措施	869
4.5 移民生产生活水平预测	869
第五章 城市集镇迁建规划设计	870

5.1	城市集镇人口和机关企事业单位搬迁安置	870
5.2	城市集镇设施复建规划设计	870
第六章	专业项目处理规划设计	872
6.1	规划设计的主要内容	872
6.2	专业项目处理方式	872
6.3	专业项目处理原则	872
6.4	专业项目处理规划设计工作深度	873
6.5	专业项目处理规划设计工作思路	873
第七章	水库库底清理设计	874
7.1	抽水蓄能电站水库特点	874
7.2	抽水蓄能电站清库特点	875
7.3	水库库底清理设计	876
第八章	利用已建水库的处理	878
第九章	建设征地移民安置补偿费用概算编制	879
9.1	抽水蓄能电站特点	879
9.2	基础价格和项目单价的编制	880
9.3	概算编制	880
9.4	其他	881
第十章	建设征地移民安置规划设计工作程序	882

第十三篇 | 抽水蓄能电站环境保护与水土保持

第一章	环境保护概述	885
1.1	基本概念	885
1.2	抽水蓄能电站主要环境影响及其对策	886
1.3	抽水蓄能电站各阶段环境保护工作要求	888
第二章	主要环境影响及评价	891
2.1	水环境影响	891
2.2	生态环境影响	897
2.3	景观影响	903
第三章	环境保护设计	920
3.1	选址与布局优化	920
3.2	污染防治技术	924
3.3	生态环境保护措施	933
3.4	环境管理	944
3.5	环境监测	949
第四章	水土保持设计	951
4.1	设计内容与特点	951
4.2	水土流失防治目标	952
4.3	水土流失防治分区	954