

# 抽水蓄能电站

## 输水系统 施工技术

中国水利水电第一工程局 李伟 于文江 沈志松 编著



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

# 抽水蓄能电站 输水系统施工技术

中国水利水电第一工程局 李 伟 于文江 沈志松 编著



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

## 内 容 提 要

本书简要介绍了世界和中国抽水蓄能电站的发展过程及前景,结合北京十三陵、浙江天荒坪、浙江桐柏、河南回龙、河北张河湾、江苏宜兴、湖北白莲河、山东泰安、安徽琅琊山等抽水蓄能电站输水系统工程的设计和施工情况,论述了抽水蓄能电站输水系统地下隧洞的开挖施工、混凝土衬砌施工、高压灌浆施工及高压钢管的制作与安装施工等方法,并较为详细地论述了施工测量控制,同时还介绍了LSD型斜井滑模模体、ALIMAK爬罐等专用施工设备的结构设计、运行原理及使用办法。

本书可供从事水利水电建设的工程设计、施工及监理人员借鉴参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

抽水蓄能电站输水系统施工技术/李伟,于文江,沈志松  
编著. —北京:中国电力出版社,2007  
ISBN 978-7-5083-5996-0

I. 抽… II. ①李… ②于… ③沈… III. 抽水蓄能水电站-给水工程-工程施工 IV. TV743

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第121946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>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2007年9月第一版 2007年9月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 19印张 333千字

印数0001—3000册 定价35.00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

# 序1

抽水蓄能电站担负着调峰和填谷的双重任务，能够大大改善电力系统的运行条件，提高电力系统运行的经济性。世界各国公认抽水蓄能电站是最合理、最经济和最可靠的调峰电源。

中国水利水电第一工程局坚持“科学为先、质量为本、诚信至上、铸造品牌”经营理念，建局近五十年来，独立建成和参与建设了多座大中型水电站，积累了一整套在高寒地质条件恶劣地区建设水利水电工程和抽水蓄能电站工程的施工经验，在常规电站大坝、地下厂房、抽水蓄能电站输水系统工程等方面拥有较高的资质。黑龙江省莲花水电站工程、云南大朝山水电站工程分别荣获 2001、2004 年度中国建设工程质量最高奖——鲁班奖。该局先后参与了北京十三陵抽水蓄能电站、浙江桐柏抽水蓄能电站、天荒坪抽水蓄能电站等 14 座抽水蓄能电站的建设，占全国已建成和在建抽水蓄能电站的 50% 以上。

中国水利水电第一工程局坚持科技是第一生产力的科技管理理念，注重先进技术的研究和开发利用，积累和掌握了具有国内领先水平的各种爆破技术，以及具有国际先进水平的各类型滑模、斜井拉模、碾压混凝土施工、严寒地区混凝土面板堆石坝施工、岩石钻孔灌浆、软基处理、大型水轮发电机组安装和高强钢管管制作安装新技术、新工艺，获得国家专利，拥有自主知识产权的抽水蓄能电站输水系统斜井滑模系统——“LSD 斜井滑模系统”，技术含量达到国际先进水平。

本书是中国水利水电第一工程局的建设者十多年抽水蓄能电站建设实践的一次总结，是汗水和智慧的结晶。本书介绍了世界和中国抽水蓄能电站的发展过程及前景，结合北京十三陵、浙江天荒坪、浙江桐柏等多座抽水蓄能电站输水系统工程的设计和施工情况，系统地论述了抽水蓄能电站输水系统的地下隧洞开挖施

工、混凝土衬砌施工、高压灌浆施工及高压钢管的制作与安装施工等方法，较为详细地论述了施工测量控制，还介绍了 LSD 型斜井滑模模体、ALIMAK 爬罐等专用施工设备的结构设计、运行原理及使用方法。在抽水蓄能电站施工管理和技术研究方面处于前沿位置，为抽水蓄能电站输水系统建设提供了施工管理和技术经验。

创新是进步的灵魂，是科技发展的原动力。希望中国水利水电第一工程局的广大技术人员牢牢抓住新一轮抽水蓄能电站建设的契机，在施工实践中不断总结和推广应用新技术、新工艺，创造自己的知识品牌，促进生产力的不断提高；希望中国水利水电第一工程局坚持科技强局，自主创新，为祖国的水电事业作出更大的贡献！

**抽水蓄能电站工程专业委员会**

2007年5月30日

于长春

## 序2

据水利水电有关资料显示，目前，我国已建成投产和正在建设的大中型抽水蓄能电站共有 20 余座，其中，中国水利水电建设集团公司独立承担或主要参与施工的抽水蓄能电站占全国抽水蓄能市场总份额的 90% 以上。尤其在 20 世纪 90 年代开工建设的北京十三陵、浙江天荒坪等 18 座抽水蓄能电站中，中国水利水电第一工程局就参与了其中 14 座抽水蓄能电站的施工，这是非常难能可贵的。

更为难得的是，中国水利水电第一工程局在抽水蓄能电站的“骨头”工程——斜井施工中，自行设计制造了斜井滑模系统——“LSD 斜井滑模系统”，经过实际应用，获得成功并带来可观的经济效益。此项技术荣获国家专利，拥有了自主知识产权。

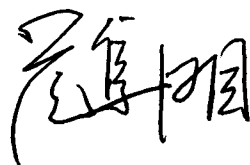
当前，按照集团公司战略发展要求，各工程局逐步向相关多元化方向发展，科技工作面临新的发展机遇与挑战。面对市场竞争，特别是应对后水电时代到来的严峻形势，我们要贯彻落实科学发展观，紧紧围绕产业结构调整和转变经济增长方式的要求，实施科技兴企战略，增强科技创新能力，认真总结工程建设优秀成果，不断促进科技成果的转化、应用与推广工作。业精于勤，天道酬勤。我们只有打造工程局专业技术特色品牌，做强做优做大，提高自主创新能力，提升整体核心竞争力，才能在竞争异常激烈的市场中立于不败之地。

国家“十一五”科技蓝图计划提出以企业为主体的技术创新体系，这要求我们认真总结所取得的成就，融合汇集并加以创新，逐步以科技创新带动管理创新，打造中国水电建设技术第一品牌，开创集团公司科技发展新局面。

打造品牌任重道远。在集团公司首届科技大会胜利闭幕之际，我热诚地期待：中国水利水电第一工程局在抽水蓄能电站的施工和研究领域取得新的突破和进展，为打造集团拳头品牌，为建设持续行业科技领先型集团公司，更快更好地

提升集团核心竞争力作出新的贡献。

中国水利水电建设集团公司

A stylized handwritten signature in black ink, consisting of several fluid, connected strokes. The characters are '王' (Wang) and '建明' (Jianming), which together mean 'Wang Jianming'.

2006年11月

于北京

# 前 言

抽水蓄能电站起始于 19 世纪，已有 120 多年的历史。电站的运行原理是利用电网负荷低谷时富余的电能把水抽至上水库，将电能转化为水能，在电网负荷高峰时再放水至下水库发电，将水能转化为电能。它将电网负荷低谷时的多余电能转变为电网高峰时的高价电能，起到电网调峰的作用。

1978 年以来，我国经济实行改革开放，国民经济发展很快，人民的生活水平普遍提高，用电量逐年递增，电网迅速扩大，电网的峰谷差愈来愈大。为此，我国的抽水蓄能电站有了较快的发展，开始在广东、华东和华北等经济发展较快地区建设了一批大中型抽水蓄能电站。截至 2005 年底，全国建成投产的抽水蓄能电站共 13 座，装机容量达到 5845MW，已超过法国和西班牙等国，位居世界第五。目前在建的抽水蓄能电站 12 座，装机规模为 1290 万 kW。预计到 2010 年，我国抽水蓄能电站装机容量占全国发电装机总量的比例将提高到 2.6% 左右，具有较好的发展前景。

随着我国抽水蓄能电站的兴建，锻炼了一批国内专业施工队伍，电站施工技术也日趋完善，特别是抽水蓄能电站输水系统是由断面直径不同、纵横交错、立体布置的地下隧洞组成的洞室群，它的施工技术复杂、施工质量标准高、施工难度大、施工不安全因素多，是电站施工的关键重点项目。中国水利水电第一工程局是多年从事抽水蓄能电站施工的专业施工队伍，参加建成投产的有 4 座抽水蓄能电站，目前在建的 12 座抽水蓄能电站中，参加了 7 座电站的施工，具有自己的一套成型的施工技术，特别是大直径、陡倾角、长斜井施工技术属国内领先。本书的编写人员都是长期从事抽水蓄能电站施工和管理的工程技术人员，具有较强的理论知识和丰富的实践经验。

本书结合北京十三陵、浙江天荒坪、浙江桐柏、河南回龙、河北张河湾、江



苏宜兴、湖北白莲河、山东泰安、安徽琅琊山等抽水蓄能电站输水系统工程的施工情况，阐述了抽水蓄能电站输水系统地下洞室各道施工工序的施工方法及放样方法，对 ALIMAK 爬罐、LSD 型斜井滑模模体等专用设备的结构设计、运行原理及使用方法也作了详细的介绍，为抽水蓄能电站输水系统建设提供了施工管理和技术经验，可供从事水利水电建设的工程施工、工程设计及监理人员借鉴参考。

本书由中国水利水电第一工程局抽水蓄能电站工程专业技术委员会组织编写。在编写过程中得到了各抽水蓄能电站有限责任公司和设计院的大力支持，在此表示感谢。同时感谢中国水利水电集团公司各级领导给予的工作支持。

由于编者水平有限，书中难免有不足或错误之处，敬请读者和同仁们给予批评指正。

**编 者**

2007 年 6 月

于吉林长春

# 中国水利水电第一工程局

## 抽水蓄能电站工程专业技术委员会

主任：刘万海  
副主任：车治中 李 伟  
高级技术顾问：常焕生  
委员：刘忠长 王 征 赵冠群 刘士信 王佳多  
刘 恩 毕成福 艾 民 霍福山 肖 奇  
于文江 张维明 杨树忠 李祥年 梁世泰  
冯兆彤 李志刚 于合春 夏永平 张洪江  
赵录江 王景忠 沈志松 任中林 王振军  
金 晨 潘月梁 李兆昆 李 辉 张 民  
刘光宇 杨学功 李静明 孙 凯 王忠权  
康立志 孟 吉 王显艳 朴永南 曲秀利  
卢洪彦 赵振华 张发林 朱建文 梁忠荣  
李林友 杜晓彬 关景明 孙文秀 徐树文  
陈明鉴 李吉阳 李 冰 刘庆华 张晓伟  
许立利 魏丙礼 陈乃平 钱洪有 姜明杰  
刘玉祥 杨秀方 孙长利 于绪东 林 森  
董立波 吕 刚

# 《抽水蓄能电站输水系统施工技术》

## 编审人员名单

主 审：刘万海 车治中

主 编：李 伟

副主编：于文江 沈志松

### 各章编写、统稿、审核人员分工

章序	章名	主 笔 人	辅 笔 人	统稿人	审核人
第一章	概述	于文江 李剑峰	李亚胜 檀亚华 孙世杰 沈志松	李剑峰	于文江
第二章	设计	吕 慷 李 伟 吕永明	黄永杰 王显艳	李剑峰	吕永明
第三章	典型工程	沈志松 魏丙礼	高 金 曾奇志 相鹏涛 赵艳梅	李剑峰	沈志松
第四章	开挖	李 伟 于文江 关志华 王振军 潘月梁 钱洪有	沈益源 刘 海 陆吉智 董红涛	关志华	李 伟
第五章	混凝土衬砌	李 伟 金 晨 潘月梁 钱洪有	李 雷 康立志 刘 恩 于长江	于文江	李 伟
第六章	抽水蓄能 电站输水 系统灌浆	张维明 姜明杰 曲秀利 纪光磊	李志刚 张发林 庞立宏 黎 明	姜明杰	张维明
第七章	压力钢管 制作安装	朱建文 于合春	王 征 梁 勇 武中元 王立山	朱建文	于合春
第八章	闸门及启 闭机安装	李 伟 朱建文 孙 锐 刘应胜	于合春 刘心刚 余小军 刘 利	朱建文	于合春
第九章	监测工程	陈乃平 李 伟	任中林 曲 杰 王秀芝 王志磊	李 伟	李 伟

校 对：关志华 赵艳梅 庞立宏 相鹏涛 王秀芝 姜程亮

# 目 录

序 1	
序 2	
前言	
■ 第一章 概述 .....	1
第一节 抽水蓄能电站的发展 .....	1
第二节 抽水蓄能电站的任务及运行原理 .....	6
第三节 抽水蓄能电站的布置及主要建筑物 .....	7
■ 第二章 设计 .....	9
第一节 概述 .....	9
第二节 进（出）水口的设计 .....	11
第三节 输水管道的设计 .....	16
第四节 岔管设计 .....	20
第五节 调压室设计 .....	22
第六节 水力机械过渡过程分析 .....	25
第七节 附属工程的设计 .....	27
第八节 工程实例——蒲石河抽水蓄能电站输水系统可行性研究 .....	29
■ 第三章 典型工程 .....	59
第一节 浙江天荒坪抽水蓄能电站 .....	59
第二节 浙江桐柏抽水蓄能电站 .....	60
第三节 河南回龙抽水蓄能电站 .....	62
第四节 河南宝泉抽水蓄能电站 .....	64
■ 第四章 开挖 .....	69
第一节 开挖方案 .....	69

第二节	施工测量	69
第三节	平洞开挖	91
第四节	工程实例——白莲河抽水蓄能电站引水系统平洞开挖、 支护施工	93
第五节	竖井开挖	97
第六节	工程实例——张河湾抽水蓄能电站压力管道竖井工程 开挖施工	99
第七节	斜井开挖	104
第八节	导井开挖	105
第九节	扩挖施工	109
第十节	工程实例——桐柏抽水蓄能电站输水系统斜井开挖施工	117
第十一节	工程实例——宝泉抽水蓄能电站引水岔管段开挖施工	127
第十二节	开挖支护(不良地质段开挖)	133
第十三节	工程实例——宝泉抽水蓄能电站输水系统斜 井古风化壳处理	135
第十四节	开挖施工的质量控制	143
第十五节	重要环节的控制	145
第十六节	ALIMAK 爬罐介绍	145
<b>第五章</b>	<b>混凝土衬砌</b>	<b>155</b>
第一节	衬砌程序	155
第二节	衬砌方法	157
第三节	衬砌模体	163
第四节	平洞衬砌施工	167
第五节	工程实例——白莲河抽水蓄能电站引水平洞衬砌施工	168
第六节	竖井衬砌	170
第七节	工程实例——宜兴抽水蓄能电站上水库闸门竖井滑模工程	173
第八节	斜井衬砌施工	187
第九节	工程实例——桐柏抽水蓄能电站高压支管、引水岔管 混凝土施工	189
第十节	衬砌施工的质量控制	197
第十一节	重要环节的控制	198
第十二节	LSD 液压连续滑模系统	202

第六章	抽水蓄能电站输水系统灌浆	207
第一节	概述	207
第二节	灌浆试验	207
第三节	回填灌浆	211
第四节	高压固结灌浆	212
第五节	高压环向帷幕灌浆	214
第六节	钢衬接触灌浆	214
第七节	斜井、平洞、岔管及竖井灌浆	215
第八节	施工支洞封堵	218
第九节	质量和安全保证措施	222
第七章	压力钢管制作安装	224
第一节	压力钢管制作	224
第二节	压力钢管安装	236
第三节	焊接	244
第四节	钢管防腐	249
第五节	工程实例——张河湾抽水蓄能电站 400m 竖井钢管安装施工	251
第六节	工程实例——张河湾抽水蓄能电站抗拉强度为 800MPa 级 内加月牙肋钢管新技术应用	255
第八章	闸门及启闭机安装	263
第一节	闸门安装	263
第二节	启闭机安装	264
第三节	工程实例——琅琊山抽水蓄能电站尾水调压室 事故闸门及启闭机安装	267
第九章	监测工程	272
第一节	安全监测的目的和意义	272
第二节	引水隧洞安全监测设计	272
第三节	监测项目的选择和仪器选型	273
第四节	隧洞的监测布置	274
第五节	观测仪器设备的安装埋设	276
第六节	工程实例——回龙抽水蓄能电站引水系统工程监测	281
	参考文献	289

## 概 述

## 第一节 抽水蓄能电站的发展

抽水蓄能电站起始于 19 世纪, 至今已有 120 多年的历史。世界上第一座抽水蓄能电站于 1882 年建成于瑞士的苏黎士, 装机容量 515kW, 水头 150m。世界装机容量最大的抽水蓄能电站是于 1986 年投产的美国巴斯康蒂抽水蓄能电站, 装机容量 2280MW。20 世纪上半叶, 抽水蓄能电站发展缓慢, 20 世纪 50 年代是抽水蓄能电站开始迅速发展的起步阶段, 年均增加装机容量不足 300MW。1960 年, 全世界抽水蓄能电站装机容量 3420MW, 仅占世界总装机容量的 0.64%。70~80 年代是抽水蓄能电站快速发展的十年, 兴建抽水蓄能电站的国家已由欧美少数工业发达国家发展到世界各地, 年均增加装机容量达到了 4036MW, 到了 1990 年, 全世界抽水蓄能电站容量增至 86879MW, 占世界总装机容量的 3.15%。到 2005 年, 全世界抽水蓄能电站总装机容量已经达到 1.2 亿 kW, 平均年增长 9.1%, 比常规水电的发展速度快得多。

抽水蓄能电站发展最快的是日本、美国和意大利。20 世纪 60 年代之前, 西欧的抽水蓄能电站容量始终占据世界抽水蓄能电站总装机容量的 35%~40%。60 年代之后, 美国的抽水蓄能电站装机容量跃居世界第一。90 年代以后, 日本后来居上, 超过了美国成为抽水蓄能电站装机容量最大的国家。日本是一个动力资源十分贫乏的国家, 水力资源已开发殆尽, 非常重视抽水蓄能电站的开发利用, 到 2003 年底, 已运行的抽水蓄能电站有 44 座, 总装机容量 24245MW, 约占水电装机容量的 11%, 约占电力总装机容量的 10%。目前在建的抽水蓄能电站共有 6 座 (见表 1-1), 包括世界总装机容量最大的神流川抽水蓄能电站和单机可逆式抽水蓄能电站机组扬程最高的葛野川抽水蓄能电站。

美国于 1929 年建成第一座抽水蓄能电站——落基河抽水蓄能电站, 由于受第二次世界大战的影响, 到 1960 年才建成了 3 座抽水蓄能电站。进入 20 世纪 60 年代后, 美国抽水蓄能电站迅速发展, 年均增长率高达 45.5%, 每年约增加 360MW, 至 1970 年装机容量已达 3690MW, 跃居世界第一。到了 1990 年, 由

于多种原因, 美国的抽水蓄能电站建设开始减缓, 装机容量比重下降, 已为日本所超越。目前运行的抽水蓄能电站有 50 余座 (见表 1-2), 2002 年装机容量为 20184MW, 约占水电装机容量的 24.9%, 约占电力总装机容量的 2.45%。

表 1-1 日本在建的抽水蓄能电站

电站名称	开发形式	机组台数	单机容量 (MW)	额定水头 (m)	装机容量 (MW)	开工时间 (年·月)	计划投入时间
葛野川	纯抽水蓄能式	4	400	714	1600	1997.8	3、4号 2014 年以后
神流川	纯抽水蓄能式	6	470	653	2820	1997.2	1号 2005 年 7 月, 2号 2010 年 7 月, 3~6号 2014 年以后
小丸川	纯抽水蓄能式	4	300	646.2	1200	1999.2	1号 2007 年 7 月, 2号 2010 年 7 月, 3~4号 2014 年以后
德山	混合式	2	200	121.2	400	1997.2	2014 年
京极	纯抽水蓄能式	3	200	369	600	2001.9	1号 2010 年 10 月, 2~3号 2019 年以后
川浦	纯抽水蓄能式	4	325	578	1300	1997.12	2021 年以后

表 1-2 美国抽水蓄能电站

电站名称	机组台数	单机容量 (MW)	水头 (m)	装机容量 (MW)	运行年份
落基河	2	30	70	60	1929
佛拉提倍	1	9	88.4	9	1954
海瓦斯	1	59.5	58	59.5	1956
刘易斯顿	2		22.9	240	1961
汤姆索克	2	220	241	440	1963
雅兹溪	3	112.5	200	337.5	1965
史密斯山	2	65	55	130	1965
	1	102	51.8	102	
卡宾溪	2	150	363	300	1967
泥流	8	100	108	800	1967
圣路易斯	8	34	67	272	1968
萨利那	3	44	68.5	132	1968
爱德瓦特	3	89.3	152	268	1968



续表

电站名称	机组台数	单机容量 (MW)	水头 (m)	装机容量 (MW)	运行年份
热母里托	3	27.5	25.9	82.5	1968
底格雷	1	32.2	52.1	32.2	1969
塞尼卡	2	198	250	396	1970
莫曼佛拉特	1	42.3	39.3	42.3	1971
荷斯麦沙	1	86.8	79	86.8	1972
布龙郝姆—吉尔博	4	250	306	1000	1973
卡斯泰克	6	212.5	274	1275	1973
乔卡西	4	170	89.6	680	1973
路丁顿	6	267.25	97.5	1657.5	1973
北田山	4	257	227	1028	1973
贝尔斯万普	2	300	228.3	600	1974
大古力	2	50	81	100	1974
	4	47.5	110.3	190	1980
克拉伦斯坎罗	1	31	22.5	31	1974
卡特斯	4	65	105	260	1975
艾尔伯特山	1	200	119	200	1975
平野	8	62	45.7	496	1976
瓦拉斯	4	54	27.2	216	1978
腊孔山	4	347.5	287	1390	1979
赫尔姆斯	3	351	495	1053	1984
罗塞	4	92.75	47.9	371	1984
巴斯康蒂	6	380	329	2280	1986
巴尔沙赫道	1	235	402	235	1987
巴德溪	4	257	308.8	1028	1992
洛基山	3	282	210.3	846	1995

意大利抽水蓄能电站的建设起步较早, 1908 年建成第一座抽水蓄能电站后发展较快, 20 世纪 60 年代前, 抽水蓄能电站装机容量为世界第一, 60 年代后, 先后为美国和日本所超过, 但始终位于欧洲第一、世界第三, 目前装机容量已达到 7030MW (见表 1-3)。

表 1-3

意大利的大型抽水蓄能电站

电站名称	类型	机组形式	机组容量 (MW)	最大水头 (m)	建成年份
德留湖	纯抽水蓄能式	三机式	8×130	753	1971
法达多		三机式	2×105	114.5	1972