

中国水力发电工程学会电网调峰与抽水蓄能专业委员会 组编

抽水蓄能电站工程 建设文集 2017

CHOUSHUI XUNENG
DIANZHAN GONGCHENG
JIANSHE WENJI 2017



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

中国水力发电工程学会电网调峰与抽水蓄能专业委员会 组编

抽水蓄能电站工程 建设文集 2017

CHOUSHUI XUNENG
DIANZHAN GONGCHENG
JIANSHE WENJI 2017



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

图书在版编目 (CIP) 数据

抽水蓄能电站工程建设文集. 2017 / 中国水力发电工程学会电网调峰与抽水蓄能专业委员会组编. —北京: 中国电力出版社, 2017. 10
ISBN 978-7-5198-1248-5

I. ①抽… II. ①中… III. ①抽水蓄能水电站-建设-文集
IV. ①TV743-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 250815 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号 (邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 安小丹

责任校对: 常燕昆

装帧设计: 张俊霞 赵姗姗

责任印制: 蔺义舟

印 刷: 北京九州迅驰传媒文化有限公司

版 次: 2017 年 10 月第一版

印 次: 2017 年 10 月北京第一次印刷

开 本: 880 毫米×1230 毫米 16 开本

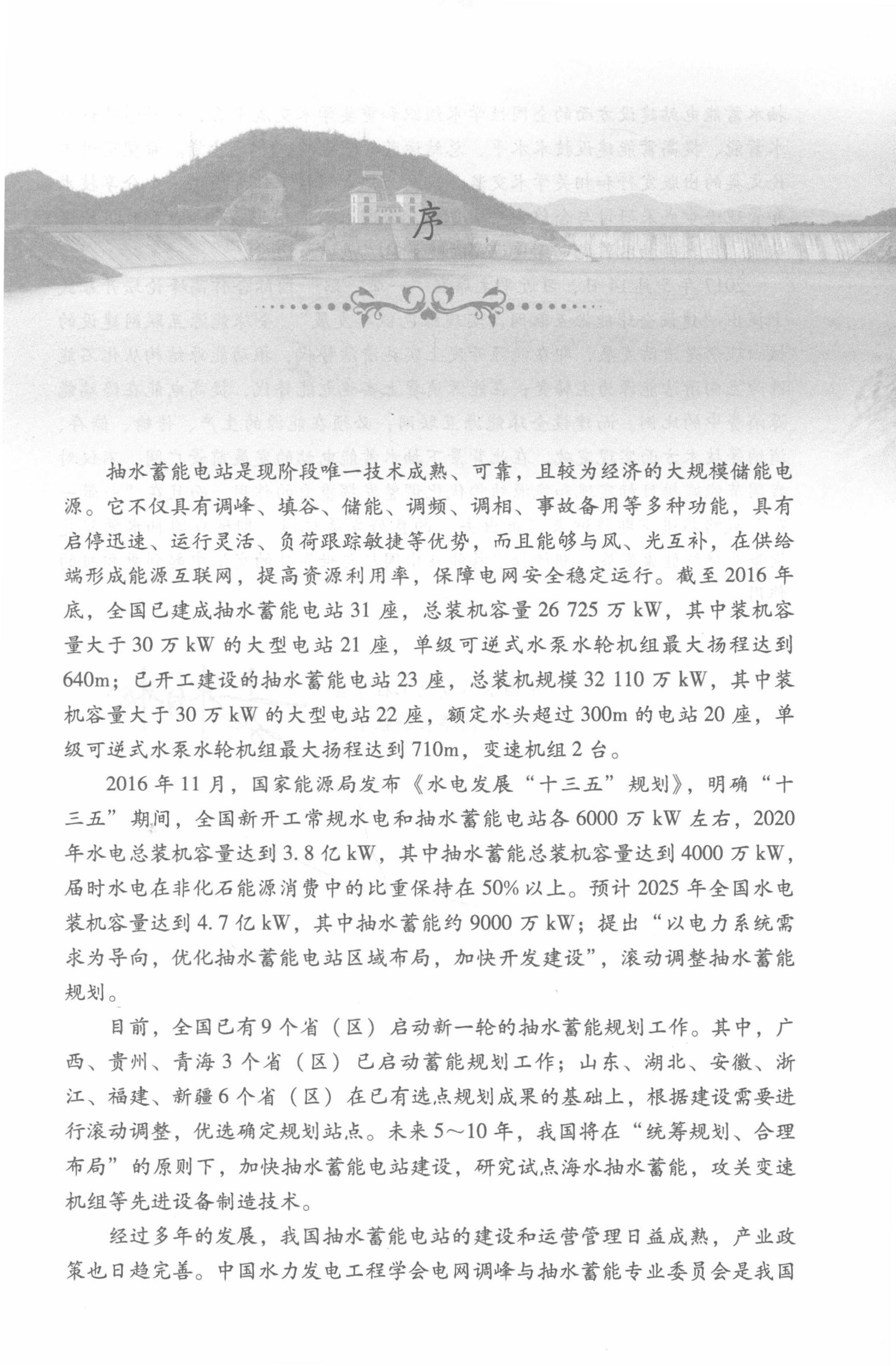
印 张: 30

字 数: 936 千字

定 价: 145.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换



序

抽水蓄能电站是现阶段唯一技术成熟、可靠，且较为经济的大规模储能电源。它不仅具有调峰、填谷、储能、调频、调相、事故备用等多种功能，具有启停迅速、运行灵活、负荷跟踪敏捷等优势，而且能够与风、光互补，在供给端形成能源互联网，提高资源利用率，保障电网安全稳定运行。截至2016年底，全国已建成抽水蓄能电站31座，总装机容量26 725万kW，其中装机容量大于30万kW的大型电站21座，单级可逆式水泵水轮机组最大扬程达到640m；已开工建设的抽水蓄能电站23座，总装机规模32 110万kW，其中装机容量大于30万kW的大型电站22座，额定水头超过300m的电站20座，单级可逆式水泵水轮机组最大扬程达到710m，变速机组2台。

2016年11月，国家能源局发布《水电发展“十三五”规划》，明确“十三五”期间，全国新开工常规水电和抽水蓄能电站各6000万kW左右，2020年水电总装机容量达到3.8亿kW，其中抽水蓄能总装机容量达到4000万kW，届时水电在非化石能源消费中的比重保持在50%以上。预计2025年全国水电装机容量达到4.7亿kW，其中抽水蓄能约9000万kW；提出“以电力系统需求为导向，优化抽水蓄能电站区域布局，加快开发建设”，滚动调整抽水蓄能规划。

目前，全国已有9个省（区）启动新一轮的抽水蓄能规划工作。其中，广西、贵州、青海3个省（区）已启动蓄能规划工作；山东、湖北、安徽、浙江、福建、新疆6个省（区）在已有选点规划成果的基础上，根据建设需要进行滚动调整，优选确定规划站点。未来5~10年，我国将在“统筹规划、合理布局”的原则下，加快抽水蓄能电站建设，研究试点海水抽水蓄能，攻关变速机组等先进设备制造技术。

经过多年的发展，我国抽水蓄能电站的建设和运营管理日益成熟，产业政策也日趋完善。中国水力发电工程学会电网调峰与抽水蓄能专业委员会是我国

抽水蓄能电站建设方面的全国性学术组织和重要学术交流平台，对科学建设抽水蓄能、提高蓄能建设技术水平、总结运营管理经验，责无旁贷。希望通过本论文集的出版发行和相关学术交流会议，为广大科技工作者提供一个分享技术和管理进步成果研讨与合作的广阔平台，为国家制定相关标准和产业政策出谋划策，为我国抽水蓄能电站建设更快更好地发展贡献力量。

2017年5月14日，习近平主席在“一带一路”国际合作高峰论坛开幕式上提出“建设全球能源互联网，实现绿色低碳发展”。全球能源互联网建设的核心理念是清洁发展，即在能源开发上实施清洁替代，推动能源结构从化石能源为主向清洁能源为主转变；在能源消费上实施电能替代，提高电能在终端能源消费中的比例。而建设全球能源互联网，必须在能源的生产、传输、储存、消纳等技术方面实现突破。在此背景下抽水蓄能电站的发展前景广阔，不仅对我国节能减排目标实现和能源结构优化调整发挥重要的作用，而且在“一带一路”战略推进下即将迎来“走出去”的良好发展机遇。期待我国抽水蓄能建设事业持续健康发展，期待抽水蓄能在中国梦与世界梦的交汇中起到更积极的作用。

中国水力发电工程学会
常务副理事长兼秘书长





编者的话



本书由中国水力发电工程学会电网调峰与抽水蓄能专业委员会（简称专委会）组稿，是专委会出版的第22部抽水蓄能学术年会论文集，共收录论文101篇，93万余字。

本文集包括抽水蓄能发展规划与建设管理、抽水蓄能电站工程设计、抽水蓄能电站机组装备试验与制造、抽水蓄能电站工程施工实践、抽水蓄能电站运行及维护等五个专题。内容涵盖了我国抽水蓄能电站建设和管理领域各个专业的研究探索与经验总结，内容广泛，资料翔实，希望对从事抽水蓄能工程规划、设计、科研、施工和运行管理人员具有指导和借鉴意义。

本次征文共收到文章近120篇，限于篇幅，同时为使内容精炼，在编辑过程中，对一些相同作者、相似内容以及介绍相同工程的文章做了适当合并和删减，特在此向作者说明。

秘书处对各委员单位及个人支持论文集征稿工作，积极组稿、投稿表示感谢！希望今后能够收集到更多的，为抽水蓄能工程的健康发展提出真知灼见的优秀文章。

中国水力发电工程学会 秘书处
电网调峰与抽水蓄能专业委员会

2017年9月于北京

目 录

序 编者的话

抽水蓄能发展规划与建设管理

中国抽水蓄能“走出去”战略探索	赵 政 吴关叶 陈顺义 傅新芬 胡万飞 赵佩兴 (3)
浅析“十一五”及“十二五”期间抽水蓄能电站造价水平 ...	张菊梅 苏 非 吴 强 息丽琳 (8)
水电工程费用标准中独立费用取值对抽水蓄能工程适用性分析	张菊梅 曹 曦 (12)
EPC 总承包模式下抽水蓄能电站工程招投标模式研究	唐 凯 何 琼 陈 忠 马晓霞 (17)
浅析业主在水电工程 EPC 总承包模式下的安全管理责任及应对措施	宁忠立 陈治锋 (21)
抽水蓄能电站工程 EPC 总承包建管模式下的管理组织体系介绍	韩小鸣 姜润波 (25)
抽水蓄能工程 EPC 总承包合同关键商务条款设置研究	张建龙 江献玉 (29)
抽水蓄能工程 EPC 总承包项目管理影响因素分析	王柏林 马晓霞 张和平 唐 凯 (35)
抽水蓄能电站对新能源发电系统的优化	杨众杰 (38)
抽水蓄能电站工程招标控制价编制方法研究	李泽峰 马 赫 乔天霞 (42)
抽水蓄能电站预可行性研究报告环境保护审查要点总结	马萧萧 姜润波 马喜峰 胡清娟 赵 强 (46)
以自谋职业为主的移民生产安置方式在芝瑞抽水蓄能电站中的适用性研究	刘玉含 (49)
响水涧抽水蓄能电站工程生态环境保护实践	汪业林 (52)
浅谈蟠龙抽水蓄能电站工程融资策划与风险控制	汪万成 蒋岸林 (55)
浅析辽宁电网建设抽水蓄能电站的必要性	陆金琦 张 舰 蔡元启 李怡婧 (59)
基于大数据分析的抽水蓄能电站服务华东电网能力探索	魏 敏 孙 勇 罗 艳 (63)
建设项目环境监理发展研究	游秋森 濮奇浩 张显羽 叶永进 (68)

抽水蓄能电站工程设计

抽水蓄能电站水库溢洪预测及溢洪流量控制	杨众杰 韦志付 许继飞 (73)
宝泉抽水蓄能电站引水隧洞充水过程控制及自动化改进研究	康晓义 蔡元飞 陈昌山 (78)
抽水蓄能电站下水库调洪计算特点分析	曹 飞 王婷婷 (83)
黑麋峰抽水蓄能电站双机甩负荷试验分析	王 君 韩 轲 王 伟 何忠华 (88)
洛宁抽水蓄能电站水库特征水位影响因素分析	郭红永 胡晓冬 殷 康 王 洋 马海龙 (94)

琅琊山抽水蓄能电站上水库防洪安全复核研究	戴莉	左铭	(97)
浅谈洛宁抽水蓄能电站调压室设计优化与调整	龚振如	宋振聪	张剑阳 (102)
仙游抽水蓄能电站“五新”技术应用成果综述	叶永进		濮奇浩 (106)
浑源抽水蓄能电站设计洪水计算方法探讨	石清	向波	刘书宝 (109)
仙游抽水蓄能电站通风空调监控系统设计	钱玉莲		羊鸣 (117)
洛宁抽水蓄能电站下水库泄洪排沙建筑物布置方案复核研究	宋振聪	张建国	杜藏 杜鹏 龚振如 (122)
风光抽水蓄能电站联合运行研究	周婷		唐修波 (128)
清远抽水蓄能电站进水阀结构特点分析	陈泓宇		程振宇 (135)
敦化抽水蓄能电站对正长花岗岩合理利用的试验研究	马春程	王勇	解永泽 姚天家 (142)
河道生态需水计算方法的改进及其应用	茹松楠	吴佳彦	魏春雷 (145)

抽水蓄能电站机组装备试验与制造

南方电网抽水蓄能电站自动发电控制功能研究与应用	巩宇		(151)
浅析抽水蓄能水电厂电容式电压互感器二次电压偏低故障的原因	陈绪滨		(158)
抽水蓄能电站电气五防钥匙置换式闭锁系统3种品牌锁具的对比	喻光明		(162)
抽水蓄能电站静止变频器(SFC)之浅析	林观辉	孙领	王顺超 (166)
浅析句容抽水蓄能电站35kV线路铁塔接地电阻检测	高峰	徐剑飞	蒋明君 (172)
抽水蓄能电站主变压器差动保护区外故障动作典型事件分析	景城	王熙	冯钢声 (176)
基于分布式大数据平台的水电站群设备状态监测与评价系统设计与建设	胡玉梅	桂中华	孙慧芳 (182)
发电工况启机由于导叶空载开度限制导致机组并网超时分析处理	陈小冲	霍献东	常东亮 方书博 王浩 (188)
抽水蓄能机组温度保护跳机逻辑优化	韩轲	王君	任鑫 何忠华 (194)
抽水蓄能机组大型球阀分类及密封结构分析	郭旭东	王小明	朱海峰 高冠群 祁亚静 任刚 温佩佩 (197)
抽水蓄能机组定、转子光纤测温应用研究	李言龙		秦鸿哲 (202)
抽水蓄能电站水泵水轮机导水叶止推装置剖析	陈泓宇	何少润	季怀杰 (206)
抽水蓄能机组导叶接力器缸体划痕原因分析及处理	唐文利	姚尧	储海洋 李磊 王考考 (212)
抽水蓄能机组活动导叶端面磨损浅析	张政		陆婷 (215)
黑麋峰抽水蓄能电站4号机组限负荷运行技术措施必要性探讨	梁起龙		刘康波 (218)
抽水蓄能机组调速器系统故障原因分析及处理	任威	邢红超	窦春朝 王考考 公馨凝 (225)
浅析抽水蓄能机组低功率保护定值整定方式	祝加勇		(230)
仙居抽水蓄能电站SFC系统的运行及故障分析	俞浩飞	朱溪	白云飞 (234)
一起220kV GIS内部故障分析与处理	滕跃	滕巍	王世海 徐金才 (240)
一种简便的TA二次回路开路检测方法的实际应用分析	汪卫平	王鹏宇	郑树青 (243)
合理确定水泵水轮机吸出高度分析	张东		李延丰 (246)
发电电动机转子引线烧毁分析和处理	何忠华	熊一慧	王君 韩轲 吴敏 (251)
时差式超声波流量计误差分析与改善	张大朋		(255)
一起断路器弹簧操作机构故障分析	徐金才		刘福佳 (260)
浅析电站进水球阀基础螺栓松动的影响及应对措施	李政		(264)
溧阳抽水蓄能电站推力轴承运行性能分析	陈忠宾	章存建	高从闯 肖先照 (268)

响水涧电站新、旧两套静止变频启动装置（SFC）切换功能的实现	马 力	朱相如	(272)
发电机转子磁极键松动原因分析及处理	陈 勇	颜广文	(278)
电站水轮发电机组振动原因和处理策略分析	郭 桢	陈 萍	(284)
LSL 连杆式浮球液位开关在宝泉电站调速器系统中的应用	栗庆龙	贾先锋	刘春茹 (289)
溧阳抽水蓄能电站水泵水轮机水力性能开发策划与实践	陈忠宾	章存建	高从闯 (292)

抽水蓄能电站工程施工实践

西北地区抽水蓄能电站施工组织设计中几个问题的探讨	韩建博	权 锋	郭 兴 (301)
抽水蓄能电站库盆沥青混凝土+黏土防渗应用及防渗效果		渠守尚	(305)
抽水蓄能电站高压管道放空过程控制及稳定分析	邱 伟	韩晓涛	李 威 (312)
不良地质条件下大断面尾水主洞混凝土衬砌方式选择与应用	邢 磊	史永方	周 振 (317)
荒沟抽水蓄能电站下水库进/出水口已建结构水下安全鉴定施工技术	唐国峰	鲁恩龙	苑海龙 崔志刚 赵树勇 赵 兵 刘锦程 (321)
溧阳抽水蓄能电站上水库库底防渗土工膜施工技术		潘福营	刘新星 (327)
回龙抽水蓄能电站预应力灌浆试验		张维国	(331)
浅谈沂蒙抽水蓄能电站砂石料加工及混凝土拌和废水处理工艺	冯建彪	何小军	乔卫丽 张 扬 张 强 (334)
混凝土面板堆石坝趾板混凝土裂缝和处理		濮奇浩	(337)
浅谈大口径反井钻机在荒沟抽水蓄能电站长斜井、深竖井导井施工的应用	何万成	刘锦程	唐国峰 苑海龙 崔志刚 纪光磊 鲁恩龙 (340)
浅谈发包人在施工过程中的造价控制管理		龚贵平	(350)
简议数字化大坝在电站建设中使用的优点	杨看迪	苏胜威	张 强 李成玉 (354)
水电站高压引水道衬砌方案选择和实践		濮奇浩	盛 毅 (356)

抽水蓄能电站运行及维护

抽水蓄能电站辅助设备故障识别方法研究与应用	王梓琪	范文捷	崔运进 (361)
大坝监测深层位移曲线的绘制方法	王培杰	张 军	丁占春 (365)
可逆式机组下导上密封盖螺栓断裂原因分析及处理		郁小彬	(370)
蒲石河抽水蓄能电站水情自动测报系统的应用		王培杰	(374)
水力过渡过程仿真软件开发及其在抽水蓄能电站中的应用	李高会	汪德楼	刘子乔 (378)
在抽水蓄能电站应用的基于 GPRS 网络的物联网技术设计	胡德凯	杨 旭	郭首春 赵 帅 胡泽京 (384)
蓄能机组推力瓦温高原原因分析及处理	王 君	韩 轲	王 伟 何忠华 (391)
励磁系统转子温度测量偏差分析以及校正方法	李晟宇	张 斌	吕鹏飞 李申双 (394)
基于灰色综合评价法的抽水蓄能机组检修效果定量评价	孙 勇	龙俊平	魏 敏 王 磊 (399)
关于 2 号机组下导轴承 3 号温度测点温度高报警问题的分析处理		王洪博	王 彬 (403)
天荒坪电站风闸退出异常分析		万晶宇	戴志仁 (406)
蓄能水电厂保护信息子站对时异常问题研究		杜 伟	王 方 (409)
RFID 标签在智慧工具管理系统中应用		朱兴兵	姜 丰 李沈明 (412)
洪屏电站机组状态监测系统振摆保护策略探讨	蔡 龙	王小兵	韩 钊 周霖轩 温锦红 郭效运 (416)

白莲河抽水蓄能电站闸门控制电源系统改造	全风云	张 坤	(423)
水机自动控制盘直流接地原因分析与处理		马玉杰	(428)
三台机电调增加测频模块		李剑锋	(434)
关于4号机组球阀工作密封接近开关拒动导致机组启动不成功问题的分析、处理			
.....	王洪博	夏 鑫	(437)
某抽水蓄能电站4F机组定子铁芯振动大故障分析	孙慧芳	夏斌强	桂中华 (441)
宝泉抽水蓄能电站磁极缺陷分析及技术改造	霍献东	李坤鹏	刘鹏龙 方书博 贾瑞卿 (446)
用于电站建设枯水期的水泵控制方法	瞿士才	田 鹏	马信武 侯金良 (450)
宜兴抽水蓄能电站球阀工作密封投退故障分析			胡 坤 (454)
抽水蓄能机组导叶开启故障分析及处理	戴志仁	曾 辉	杨众杰 (459)
某抽水蓄能电站500kV开关控制回路若干起故障分析			
.....	罗 胤	王 坤	董政森 赵俊杰 曹永闯 (462)
数字化抽水蓄能电站建设研究	郝 峰	周 敏	李 涛 (468)

A black and white photograph showing a wide river or reservoir in the foreground. In the middle ground, a large dam stretches across the width of the image. Behind the dam, a hill rises, and on its peak, there is a multi-story building. The background shows more distant mountains under a clear sky.

抽水蓄能发展规划与 建设管理

中国抽水蓄能“走出去”战略探索

赵 政 吴关叶 陈顺义 傅新芬 胡万飞 赵佩兴

(中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江省杭州市 311122)

【摘 要】 对于我国抽水蓄能发展情况, 从抽水蓄能“走出去”的战略意义、优势和国际需求、原则及战略引领、战略实施、风险规避等多方面进行阐述, 对我国抽水蓄能“走出去”进行探索。

【关键词】 抽水蓄能 走出去 战略

1 引言

从 19 世纪 80 年代初期世界上第一座抽水蓄能电站建成至 20 世纪 50 年代, 西欧国家始终领导着世界抽水蓄能电站建设的潮流, 抽水蓄能电站装机容量占世界抽水蓄能电站装机容量的 35%~40%。到 20 世纪 60 年代后期, 美国抽水蓄能电站装机容量跃居世界第一, 并保持了 20 年。进入 20 世纪 90 年代后, 日本后来居上超过美国。中国抽水蓄能电站建设具有后发优势, 经过近 30 年的迅猛发展, 至 2016 年底, 中国建成抽水蓄能电站 26 700MW (不含港澳台地区, 下同), 在建抽水蓄能电站 32 000MW, 已建在建抽水蓄能电站装机规模位列世界第一。中国水电发展“十三五”规划提出, 到 2025 年中国抽水蓄能装机容量将达到 90 000MW。

根据国际水电协会 2017 年 5 月发布的资料, 截至 2016 年底, 世界抽水蓄能电站装机容量约 150GW, 分布如图 1 所示。2016 年世界抽水蓄能新增约 6.4GW, 其中中国新增约 3.7GW, 约占新增总量的 60%。

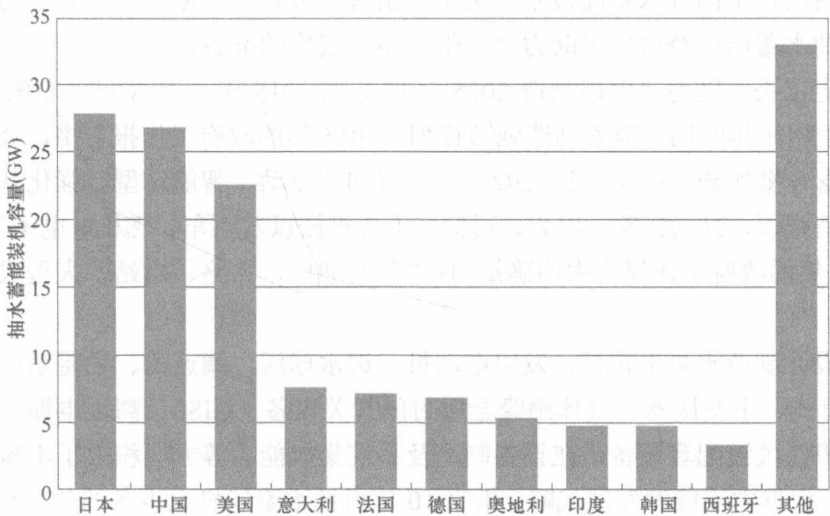


图 1 截至 2016 年底世界抽水蓄能容量分布

中国抽水蓄能建设已成为当今世界抽水蓄能电站建设的排头兵。30 余年来, 中国抽水蓄能经历了技术引进、消化吸收、自主创新等发展历程, 已建成 28 个大型抽水蓄能电站, 枢纽布置和构筑物型式多样, 主机及关键配套设备能力齐全, 电站最高水头大于 700m, 转速达 500r/min, 单机容量达 400MW 级, 世界上最大容量的抽水蓄能电站 (3600MW) 正在建设之中。

目前, 中国在抽水蓄能电站规划、设计及建设方面已积累丰富的经验, 形成完整的勘测设计、水工建筑物建造、机电设备制造及安装调试、建设管理及运行维护的标准体系, 在复杂条件下抽水蓄能电站建设、抽水蓄能机组及成套设备关键技术及工程应用方面已达到国际领先水平。在抽水蓄能建设的能力及产能上

达到高峰,已具备“走出去”的条件和竞争优势,迎来“走出去”的重要历史机遇期。

2 抽水蓄能“走出去”的战略意义

中国抽水蓄能“走出去”,具有重要的战略意义。

2.1 有利于提升行业影响力、促进经济发展

(1) 向世界展示中国抽水蓄能核心能力。中国抽水蓄能的快速发展,使中国不仅在能源基础设施建设领域,而且在大型装备制造业、电网及电站运行管理方面均走在世界前列。抽水蓄能发展所激发的全行业的技术创新,对其他关联产业发展的带动,对经济活动方式产生的影响,将是能源相关行业未来实现经济持续稳定增长的重要推动力。

(2) 抽水蓄能走出去将促进中国的出口贸易结构的改变。抽水蓄能走出去将有利于我国出口贸易结构的优化。一是推动中国出口产品由低技术、低附加值产品向高技术含量、资本密集的高端制造产品转型;二是推动中国出口贸易由产品贸易向技术贸易转型;三是推进中国出口贸易由产品贸易向服务贸易转型。

(3) 抽水蓄能走出去将提升中国在行业中的话语权。通过实施抽水蓄能走出去战略,加速推进中国抽水蓄能标准的国际化,一定程度上输出中国标准,这不仅可以提升中国在国际抽水蓄能领域的地位,同时也将提升中国在未来国际经济秩序中的地位。通过实施抽水蓄能走出去战略,中国可以向全球投资制造业,建立以中国为核心的全球生产体系。还可以带动长期资本输出,使中国获得其他国家的抽水蓄能及新能源的参股权。

2.2 全面对接、深度融合国家战略

(1) 能源国际合作迈向更高水平,抽水蓄能助力“一带一路”。我国建设丝绸之路经济带和 21 世纪海上丝绸之路(简称“一带一路”)战略正步入务实合作阶段。深入实施“一带一路”建设和国际产能合作,推动能源领域更大范围、更高水平和更深层次的开放交融,有利于全方面加强能源国际合作,形成开放条件下的能源安全新格局。

经过多年苦练内功,中国抽水蓄能技术经历了“引进、吸收、再创新”的发展历程,抽水蓄能技术走在世界前列,中国抽水蓄能已经做好了助力“一带一路”战略的准备。

(2) 抽水蓄能走出去,助力“中国制造 2025”。国务院 2015 年 5 月 8 日颁布的“中国制造 2025”战略规划中,提出力争用十年时间,迈入制造强国行列。2015 年的政府工作报告中,李克强总理针对产业发展提到了一个新概念:要实施“中国制造 2025”,坚持创新驱动、智能转型、强化基础、绿色发展,加快从制造大国转向制造强国,推动铁路、电力、通信、工程机械以及汽车、飞机、电子等中国装备走向世界。李克强总理在 2014 年的政府工作报告中明确提出:“鼓励通信、铁路、电站等大型成套设备出口,让中国装备享誉全球。”

目前中国已能设计制造水泵水轮机、发电电动机、进水球阀、调速器、励磁系统、静止变频启动装置(SFC)、离相封闭母线、主变压器、气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)、高压电缆、监控系统、继电保护等抽水蓄能电站主机及关键配套设备,在设备制造及系统集成能力等方面积累了丰富的经验,技术水平已达到国际先进水平。根据中国能源发展战略,未来 10 年内抽水蓄能机电设备的年产值将超过 100 亿元,中国正从抽水蓄能电站设备制造大国,逐步迈向制造强国。

随着中国国内电力建设开发需求的下降,中国制造业的产能还有很大的富裕,因此,迫切需要走出去,逐鹿国际市场。

(3) 促进能源结构优化,推进新能源的开发,提高电网运行的安全稳定性。中国以大型能源基地为依托,建设由 1000kV 交流和 ± 800 kV 直流构成的特高压电网,形成电力“高速公路”,促进煤电、水电、核电、可再生能源基地的集约化开发。为了保障电力系统安全、稳定和经济运行,保证核电的安全运行,吸纳出力不稳定且具有间歇性的风能、光伏发电等电站,必须配套建设一定规模的抽水蓄能电站。

抽水蓄能电站是电力系统中最可靠、最经济、寿命周期长、容量大、技术最成熟的储能装置。通过配套建设抽水蓄能电站,可降低核电及火电机组运行维护费用、延长其机组寿命。

根据全球应对气候变化行动计划,世界各国都在大力推动清洁能源的利用,随着风电及太阳能电站的建设成本下降,全球对新能源的开发力度加大,适时配套建设抽水蓄能电站将进一步推动新能源的开发及提高其利用率,有效减少风电机组并网运行对电网的冲击,提高风电机组和电网运行的协调性,同时 will 有力带动装备制造、新能源、新材料等新兴产业的发展。

3 抽水蓄能“走出去”的优势及国际需求

3.1 中国的优势

由于受建设条件的限制,20 世纪建造的抽水蓄能电站中,美国抽水蓄能电站基本为中大容量、中低水头的电站,日本有部分大容量、高水头电站,欧洲则多为中等容量、中高水头的电站。

而中国得益于地缘辽阔及科学技术的发展,有许多建设条件优越的站址可供选择,已投运的电站均为大容量机组、涵盖低、中、高水头的抽水蓄能电站。目前中国各区域电网抽水蓄能电站装机容量分别为东部 8560MW、南部 6080MW、中部 4990MW、北部 5470MW,东北 1500MW,承担电网调峰、调频、紧急事故备用及黑启动的需求。由于站址分布在不同的地区,抽水蓄能电站的设计、建设及运行经验中包括严寒冰冻、温带潮湿及亚热带地区的不同经验。中国在根据不同地貌地质条件进行枢纽布置,抽水蓄能特有的成库与筑坝技术、水库综合防渗结构(沥青/土工膜/钢筋混凝土面板/黏土覆盖/帷幕灌浆等多种防渗方案)、高压输水道设计理论及结构设计、地下厂房围岩稳定支护设计及厂房振动控制、机电设计及厂房三维布置等抽水蓄能建设关键技术领域已达到国际领先水平,具有理论基础扎实及实践经验丰富的特质。

中国抽水蓄能电站建设方式主要有电网经营企业独资建设、电网经营企业控股建设和其他投资方投资建设等模式。电站经营管理主要有电网统一经营、租赁经营、独立经营和委托经营四种经营管理方式。2016 年开始探索抽水蓄能电站 EPC 总承包管理模式,如新疆阜康、辽宁清原抽水蓄能电站工程等。为国际市场抽水蓄能 EPC 及更为前期的项目开发打下一定的基础。

随着中国经济实力和综合国力的不断增强,中国拥有近 4 万亿美元的外汇储备,为中国抽水蓄能走出去提供有力的资金支持。

中国在电站投资管理、设计、制造、运营方面的丰富经验以及强大的融资能力等,已为抽水蓄能“走出去”打下坚实的基础。

3.2 发展需求及市场机会

抽水蓄能电站的规模配置主要与地区经济发达程度、区域负荷特性、电源结构、电网系统调峰能力等有关,国际上主要发达国家的抽水蓄能电站比例接近或超过电力总装机容量的 5%,根据中国“十三五”能源战略,2025 年中国抽水蓄能电站的比例将接近电力总装机容量的 4%。从全球抽水蓄能的需求来看,据德国伊科布鲁格(Ecoprog)工业咨询公司的研究表明,2013~2023 年,世界范围的抽水蓄能市场将较以前具有强劲的增长。2014~2020 年,全球将新建 100 多座抽水蓄能电站,装机容量将达 74GW,投资将达 560 亿欧元。如果再考虑已建电站的维修等工作,投资量将进一步增至超过 730 亿欧元。世界能源消费重心加速东移,发达国家能源消费基本趋于稳定,发展中国家能源消费继续保持较快增长,亚太地区成为推动世界能源消费增长的主要力量。亚洲是最大的增长市场,尤其是中国。中国抽水蓄能市场将占全球市场总量的三分之一左右。另一强大的市场就是欧洲、美国及新能源急剧发展国家,那里的可再生能源的发展及能源结构调整将是主要的市场因素。再则,由于美国及欧洲的一些抽水蓄能电站已投运时间较长,因此,更新改造也将是一块越来越大的市场。

4 “走出去”的原则及战略引领

抽水蓄能走出去应与我国对外改革开放的总体战略相一致:坚持实施新一轮高水平对外开放,坚持实施“走出去”战略,坚持企业主体、市场原则、国际惯例、政府引导,坚持实行以备案制为主的对外投资管理方式,把推进对外投资便利化和防范对外投资风险结合起来,规范市场秩序,按有关规定对一些企业对外投资项目进行核实,促进我国对外投资持续健康发展,实现互利共赢、共同发展。

抽水蓄能走出去，应遵循以下原则：

一是综合利益最大化原则。充分考虑我国抽水蓄能全产业链的特点，考虑社会效益和经济效益，平衡长远利益与当前利益，以抽水蓄能为龙头开展全产业链和新能源合作。

二是合作共赢原则。即通过生产要素在不同国家之间的流动与重新配置实现平等、优势互补，形成双赢与多赢局面，促进合作可持续。不仅要实现抽水蓄能的技术出口，也为目标国培训人才，发展当地的抽水蓄能产业，实现共赢发展。

三是差异化原则。针对不同国家的发展水平、能源结构及不同的需求，实施不同的走出去策略，发挥抽水蓄能优势，抓住市场需求，实现产业对接。

抽水蓄能走出去遵循以下的战略引领：亚欧并进，新建及改造工程兼顾，有效整合资源，实现互利共赢。

5 抽水蓄能“走出去”的战略实施

5.1 做好顶层设计，制定总体战略

中国抽水蓄能走出去，首先应加强战略谋划，制定中国抽水蓄能国际化的总体战略。如依托国家能源水电工程技术研发中心等机构开展相应的研究工作，制定总体战略，研究最佳路径，为中国抽水蓄能走出去提供决策咨询，开展抽水蓄能国际工程管理、运营服务、投资经营等研究，适应国际抽水蓄能市场需求，大力培养多层次、多类型的国际化人才；推动中国抽水蓄能技术体系建设，为打造中国抽水蓄能国际品牌，提高国际认可度，促进国家文化软实力的提升等工作服务。

5.2 发挥政府、企业和金融机构的作用

坚持以政府为主导、企业为主体、金融部门支持的市场化运作模式。政府应为企业“走出去”指引好方向、完善支持“走出去”的政策、不断强化保障服务；金融机构要帮助企业解决融资困难，为企业提供必要的资金支持和风险保障。

5.3 积极创新投融资模式

抽水蓄能电站具有初期投资大、建设周期长、投资回收慢等特点。抽水蓄能走出去必将面临不同国情、不同经济发展水平等复杂的外部环境，因此必须探讨中国抽水蓄能走出去的投融资问题，积极创新海外抽水蓄能项目投融资模式，根据海外抽水蓄能项目的不同情况设计不同的投融资方式，以保障抽水蓄能建设资金的供给、回收和利润的获得。

5.4 依托平台，通力协作，共同参与

中国电建集团等大型水电工程公司具有强大的前期咨询、勘测设计、施工及管理力量，国家电网公司和南方电网公司等单位具有丰富的建设、运行管理经验，大批机电设备制造厂家具有丰富的设备制造经验。抽水蓄能走出去，应依托有效的运作平台，各方通力协作，强强联合，编队出海。

5.5 注重融入本土化实现共赢

中国抽水蓄能要想顺利进入海外市场，必须注重本土化发展，适应当地的文化、法律、标准等，充分利用当地资源，加速人才的属地化进程，这样才能有效融入国际市场。

5.6 构建面向国际的技术体系和产业体系

构建面向国际的抽水蓄能技术体系和产业体系，做好抽水蓄能机电装备发展战略规划，打造面向国际市场的抽水蓄能产业链，构筑产业国际化竞争新优势。在国家创新驱动战略指引下，深化研究抽水蓄能产业链包括环境评估和风险效益评估在内的规划咨询、投资融资、设计施工、研发制造、运营维护、教育培训、系统集成与项目管理等产业环节，明确它们之间的相互关系，做好管理集成、技术集成和产业链集成。

5.7 与国外设计、咨询及监理机构的合作

国际水电行业知名的工程公司，如美国美华（MWH）、芬兰贝利（POYRY）、法国电力集团（EDF）、澳大利亚雪山公司（SMEC）等公司通常为工程概念设计和招标文件的编制单位，或为施工图阶段的咨询或监理单位。因此，在国外抽水蓄能项目投标及工程实施过程中，应做好与他们的相互交流、合作工作，

做到共同切磋、共同提高。

5.8 练内功，努力提升竞争力

目前，中国投运及在建的抽水蓄能电站容量已达世界第一，但在抽水蓄能新技术（如变速机组及海水抽水蓄能）、先进施工方法、前瞻性技术研究上还有待进一步深入探索。为此，我们应以开放、包容的姿态，积极借鉴其他抽水蓄能强国的经验和做法，补足我们自身的短板，提升我国抽水蓄能的技术水平。同时，我们要进一步深化抽水蓄能安全性技术研究，提升安全性能；开展绿色生态设计技术研究，实现抽水蓄能可持续发展。提升自身的核心竞争力，从而提升我国抽水蓄能的国际竞争优势。

6 “走出去”的风险规避

抽水蓄能“走出去”，将面临一系列的风险。关键风险包括设计风险、合同风险、审批风险、用工风险、进度/成本风险、业主风险、分包商风险、供货商风险、投融资及电价风险、国家政治风险等。我们应针对关键风险进行分析及评估，判断容忍度，提出风险预案与监控，制定应对策略和应对措施。只有这样，才能使走出去的步伐更稳健，走得更远。

7 结束语

伴随着中国水电走出去的步伐，水电明珠抽水蓄能也开始迈向世界。“一带一”路沿线，中国已相继参与了以色列、菲律宾、澳大利亚、越南、埃及、罗马尼亚、乌克兰、希腊等 10 多个国家的抽水蓄能电站在建及前期工作，目前以色列 Kokhav Hayarden 抽水蓄能电站 EPC 合同已开始前期工程施工。有着国家政策的引领，充分发挥企业的主观能动性 & 金融机构的保障作用，有效规避风险，抽水蓄能走出去的明天必将更美好。

参考文献

- [1] 邱彬如. 世界抽水蓄能电站新发展. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [2] 郑凯锋, 等. 中国高铁走出去的积极意义和应对措施. 西安交通大学学报 (社会科学版), 2014 (1).