

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 2010

CHOUSHUI XUNENG
DIANZHAN GONGCHENG
JIANSHE WENJI 2010



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

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 2010

CHOU SHUI XUN ENG
DIAN ZHAN GONG CHENG
JIAN SHE WEN JI 2010



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

图书在版编目 (CIP) 数据

抽水蓄能电站工程建设文集. 2010/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, 2010. 10

ISBN 978-7-5123-0938-8

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 (2010) 第 194761 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

*

2010 年 10 月第一版 2010 年 10 月北京第一次印刷

880 毫米×1230 毫米 16 开本 22.5 印张 697 千字

定价 85.00 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


随着社会经济的快速发展，我国能源消耗不断增大，环境污染不断加剧，转变能源结构促进电力系统节能减排已成为全社会共同关注的焦点。温家宝总理在 2010 年政府工作报告中强调：大力开发低碳技术，推广高效节能技术，积极发展新能源和可再生能源，加强智能电网建设。风电太阳能、核电等清洁能源的大规模发展、智能电网建设对电力系统运行方式、调节能力提出了更高要求。抽水蓄能运行方式灵活，负荷调节迅速，是提高电力系统调节能力的有效手段，是适应我国清洁能源大规模发展的最经济、最成熟的工具，是我国智能电网的有机组成部分。

我国政府高度重视抽水蓄能电站的建设工作。2009 年 8 月 7 日，国家能源局在山东泰安召开全国抽水蓄能电站建设工作座谈会明确，要充分认识到当前做好抽水蓄能电站建设工作的重要性，扎实做好已建电站运行管理和各前期项目工作；切实加强规划工作，国家电网公司和南方电网公司要会同水电水利规划设计总院及地方相关部门，认真做好抽水蓄能电站建设布局的研究和规划工作；抓好政策研究和落实工作。

响应会议精神，国家电网公司会同水电水利规划设计总院加大了前期工作力度，积极开展了大范围的抽水蓄能选点规划工作；加强了在建、投运抽水蓄能电站的管理，以满足电力系统需求，适应风电、核电等清洁能源大规模发展，为抽水蓄能的可持续发展创造条件。随着智能电网建设的全面展开，抽水蓄能电站在电力系统发、输、配、用的各个环节将实现分级优化配置，抽水蓄能与其他小型储能装置将互为补充、和谐发展，清洁能源在电力供给中的比例将大幅提升。

多年来，作为抽水蓄能方面的全国性专业学术组织，电网调峰与抽水蓄能专业委员会组织开展相关专题研究，加强学术交流，为政府主管部门出谋献策，发挥了专业学术团体的作用。在此，我代表专委会向长期为抽水蓄能建设坚持奉献的各位领导、委员、学者、社会各界表示衷心的感谢，希望大家继续努力，为我国抽水蓄能的进一步发展作出更大贡献，也希望今年的学术交流，能多出成果、出好成果，为我国抽水蓄能的更好更快发展提供更多支持。

电网调峰与抽水蓄能专业委员会主任





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（以下简称专委会）组编，是专委会出版的第15部抽水蓄能学术年会论文集，共收录74篇文章。

本文集共分5个专题，探讨抽水蓄能建设发展前景、市场环境，与核电、风电联合运营等问题，以及抽水蓄能电站的建设管理经验；总结运行抽水蓄能电站及在建抽水蓄能工程土木设计及机电设计方面的经验教训；论述抽水蓄能机组装备国产化进程及现状水平；介绍抽水蓄能工程施工实践。

本文集是专委会委员及抽水蓄能电站建设、设计、施工、科研各方人士近年的工作成果、经验总结，内容广泛，资料翔实，供从事抽水蓄能工程规划、设计、科研、施工和运行管理人员借鉴、参考。

在论文集编辑中，为使内容精炼，对介绍相同工程文章中有关工程简介的重复内容做了合并、删减，在此一并说明。

中国水力发电工程学会
电网调峰与抽水蓄能专业委员会 秘书处

2010.9 北京

目 录

序 编者的话

抽水蓄能发展规划与建设管理

我国抽水蓄能作用及发展展望	张振有	刘殿海	(3)			
新形势下我国抽水蓄能电站发展前景	张春生	计金华	(11)			
抽水蓄能在南方电网中的作用研究		张滇生	(15)			
华东电网抽水蓄能电站规划及布局分析	赵佩兴	吴世东	(21)			
华东电网抽水蓄能电站合理比重研究		陈晓芬	(25)			
广东抽水蓄能电站建设现状及发展前景	邓雪原	曾德安	(28)			
浅析抽水蓄能电站运营的市场环境		张克	(34)			
抽水蓄能在电力系统的节能减排作用	刘殿海	宗月民	孙勇	(36)		
新能源发展背景下抽水蓄能开发相关问题的探讨	华向阳	宗月民	(39)			
深圳抽水蓄能电站建设与生态环境协调发展研究	潘定才	叶复萌	黄卫华	(43)		
浅析内蒙古电网抽水蓄能电站建设与经营模式		何江	(47)			
黑龙江荒沟抽水蓄能电站建设的必要性	华向阳	孙勇	(49)			
核蓄一体化运营模式的探究	郭滨传	尚大俭	严帆	张杰	高杰	(54)
利用抽水蓄能电站解决蒙西风电基地消纳问题的探讨	唐修波	周文冬	(59)			
精细化生产管理的第一步——抽水蓄能电站 SIS 系统	冯伊平	项捷	(64)			
抽水蓄能电站运行管理模式浅析	马明刚	姜丰	(69)			
优化调度天荒坪电站，保障电网安全经济运行		周坚	(75)			
蓄能电站监控维护模式的探索	秦俊	杨丽君	项捷	宋旭峰	(81)	
抽水蓄能电厂技术监督工作的探索与实践	倪晋兵	陈洪岗	高天云	(86)		
从天荒坪电站运行实践再认识抽水蓄能电站水工管理工作		周祖权	(89)			

抽水蓄能电站工程设计

抽水蓄能电站的土石坝设计	王樱峻	李金荣	(95)
抽水蓄能电站库盆防渗方案综述		王樱峻	(100)
高度重视高水头钢筋混凝土压力管道的风险		邱彬如	(107)

抽水蓄能电站地下厂房内部布置标准化研究及应用	胡万飞	姜忠见	(116)
抽水蓄能电站侧式进/出水口外上方漩涡特性研究新方法		张兰丁	(120)
琅琊山抽水蓄能电站工程设计特点	郝荣国	吴奎	(126)
琅琊山抽水蓄能电站上水库喀斯特渗漏处理	吴吉才	赵轶	(132)
琅琊山抽水蓄能电站地下厂房蚀变岩处理设计	王阳雪	储小钊	刘杰 (140)
某抽水蓄能电站地下厂房围岩劈裂破坏范围预测		刘宁	(145)
宜兴抽水蓄能电站上水库渗控工程设计	肖贡元	傅方明	赵智华
	朱爱莉	康海冬	华鹏飞
	蔡育		(149)
宜兴抽水蓄能电站上、下水库工程节能减排设计		傅方明	(155)
抽水蓄能电站水泵水轮机设计浅析		王泉龙	(158)
东方电机水泵水轮机水力开发的技术进步	傅之跃	刘伟超	郑津生
		胡江艺	(165)
白莲河抽水蓄能电站水泵水轮机结构设计		戴然	(171)
宜兴抽水蓄能电站水泵水轮机性能与结构特点		熊涛	(176)
仙游抽水蓄能电站水泵水轮机水力开发	纪兴英	赖旭	盛树仁
		刘万江	(181)
抽水蓄能电站变频调速机组的应用现状及发展趋势	陈建华	孟庆国	陈振武 (185)
琅琊山抽水蓄能电站电气设计		万凤霞	(189)
蒲石河抽水蓄能电站发电电动机主要参数和型式			
选择研究	朱维志	潘立刚	孙淑芳
	潘虹	刘岳山	(191)
蒲石河抽水蓄能电站发电电动机电压设备选择研究	朱维志	潘立刚	孙淑芳
	潘虹	刘岳山	(195)
蒲石河抽水蓄能电站 500kV 主要设备选择研究	朱维志	潘立刚	孙淑芳
	潘虹	刘岳山	(198)
惠州抽水蓄能电站 525kV 主变压器主要技术参数和结构特点		姜南	(204)
天荒坪抽水蓄能电站部分生产区域增设气体灭火系统及排烟系统改造设计	林志勇	骆育真	(206)
抽水蓄能电站施工辅助企业设计		金珍宏	(209)

抽水蓄能电站机组装备试验与制造

天荒坪抽水蓄能电站十年设备改造综述	李浩良	吕峰	林肖男 (217)
发电电动机的安全稳定运行		赵政	(227)
水泵水轮机转轮动态特性分析研究		吕桂萍	(232)
抽水蓄能水泵水轮机转轮刚强度分析		吕桂萍	(235)
300MW 等级大型可逆式抽水蓄能机组变频启动装置		况明伟	(239)
蒲石河抽水蓄能电站静止变频启动装置 (SFC)			
选择研究	朱维志	潘立刚	孙淑芳
	潘虹	刘岳山	(244)
响水涧抽水蓄能机组水泵水轮机模型试验结果分析	黎辉	赵英男	许建新 (249)
溧阳抽水蓄能电站水泵水轮机模型同台对比复核试验简介	陈忠宾	高从闯	刘徽 (255)
白山电站抽水蓄能机组水泵工况的压力脉动分析	赵英男	赵越	郭全宝 (259)
判定水泵工况模型水泵水轮机转轮叶片初生空化的声学方法	赵越	刘智良	郭全宝 (262)
水泵水轮机球阀活门强度有限元分析		王燕	(270)
广州蓄能水电厂 I 期机变保护的配置与运行	史继莉	钟齐勇	(273)
基于 PLC 的水电机组状态监测系统在广州蓄能水电厂的应用		李昌俊	(277)
广州蓄能水电厂机组运行中滑环过热问题的研究及解决		黄炜	(281)
惠州蓄能水电厂主轴密封浅析	李德武	李恺	(285)
惠州蓄能水电厂 OTN 传输系统的应用	曹锋	陈再雄	(289)

惠州蓄能水电厂临时接地线闭锁系统的研制和使用	汤雨生 (292)
深蓄电站建设期 VoIP 语音通信方案探讨	李 毅 (295)
对抽水蓄能电站机电安装工程主要质量问题的几点看法	何永泉 (298)

抽水蓄能电站工程施工实践

抽水蓄能电站建设现场高效管理研究	刘亚军 (305)
抽水蓄能电站上水库施工特点概述	潘福营 (311)
响水涧抽水蓄能电站地下厂房下游岩壁吊车梁加固处理	郑齐峰 江根有 (314)
广蓄电厂引水隧洞混凝土衬砌表面防侵蚀处理	何 涛 (318)
溧阳抽水蓄能电站交通隧洞防排水技术与施工工艺	邢 磊 李国权 王 勇 史永方 (321)
溧阳电站⑧施工支洞复杂地质条件下管棚施工技术的应用	邢 磊 陈洪来 王 勇 (325)
客土喷播在溧阳抽水蓄能电站边坡支护中的应用	邢 磊 潘福营 孙念祖 (329)
深圳抽水蓄能电站交通洞高压进洞技术	赵 鑫 (332)

其 他

对抽水蓄能电站工程建设项目评标的研究	周华旭 (337)
刍议水电工程项目招标设置标底的利弊	高 斌 祁 舵 全化强 (344)
让竣工资料顺利转化为工程档案的几点想法	徐 莉 郭惠民 (347)

抽水蓄能电站工程建设文集

2010

抽水蓄能发展规划与建设管理



我国抽水蓄能作用及发展展望

张振有 刘殿海

(国网新源控股有限公司)

【摘要】 本文通过对我国抽水蓄能的重要作用、存在问题以及发展前景的分析,说明我们有足够的空间进一步提高抽水蓄能的可持续发展能力,扩大装机规模,并增加其在系统中所占的装机比重。

【关键词】 抽水蓄能 智能电网 储能功能 节能减排

随着社会经济的快速发展,我国能源消耗不断增大,环境污染不断加剧,转变能源结构、促进电力系统节能减排已成为全社会共同关注的焦点。温家宝总理在 2010 年政府工作报告中强调:大力开发低碳技术,推广高效节能技术,积极发展新能源和可再生能源,加强智能电网建设。抽水蓄能运行方式灵活,负荷调节迅速,是电力系统的重要调节工具,是我国智能电网的有机组成部分。值此中国水电发展百年之际,谨以此文结合工作实践,就我国抽水蓄能的一些认识、作用及未来发展问题发表一点粗浅看法,不当之处希望各位专家和同仁批评指正。

1 正确认识抽水蓄能

抽水蓄能电站是一种具有储能功能的发电方式,兼有发电与储能的特性。与常规发电方式相比,抽水蓄能不能利用一次能源发电,不能增加电力系统的电能供给,具有其他发电方式没有的储能功能。与其他储能方式相比,抽水蓄能是当前技术最成熟、最经济的大规模电能储存装置。抽水蓄能与其他主要发电方式和储能装置的具体比较如下。

1.1 抽水蓄能与其他发电方式的比较

抽水蓄能与其他发电方式在运行特性方面详细对比见表 1。

表 1 各类电站运行特性比较表

项 目	抽水蓄能电站	单循环燃气轮机	联合循环燃气轮机	常规水电站	燃煤火电站	
					降负荷	启停
所承担负荷位置	峰荷	峰荷	峰(基)荷	峰(基)荷	峰(基)荷	峰荷
最大调峰能力(%)	200	100	85	100	50	100
开启(每日启动)	▲	▲	▲	▲		▲
开启(静止→满载)	1.5min	3min	60min	2min		
填谷	▲					
调频	▲	▲	▲	▲	▲	
调相	▲	▲	▲	▲	▲	
旋转备用	▲	▲	▲	▲	▲	
快速增荷	▲	▲	▲	▲		
黑启动	▲	▲		▲		

注 ▲表示具有该项功能。

从表 1 中可以看出,在所有发电方式中,抽水蓄能的最大调峰能力最大,启动升负荷速度最快,是唯一具有填谷功能的电源,抽水蓄能是各种电源中运行方式最灵活的发电方式。

1.2 抽水蓄能与其他储能装置的比较

抽水蓄能具有储能功能,解决了电能发供用同时进行、不易存储的矛盾,有效地调节了电力系统发供

用的动态平衡。储能功能是抽水蓄能电站调峰填谷、调频、调相、事故备用、黑启动等功能和在电力系统中多种作用发挥的基础。

电力系统中的主要储能技术详见图 1，技术特点比较详见表 2。

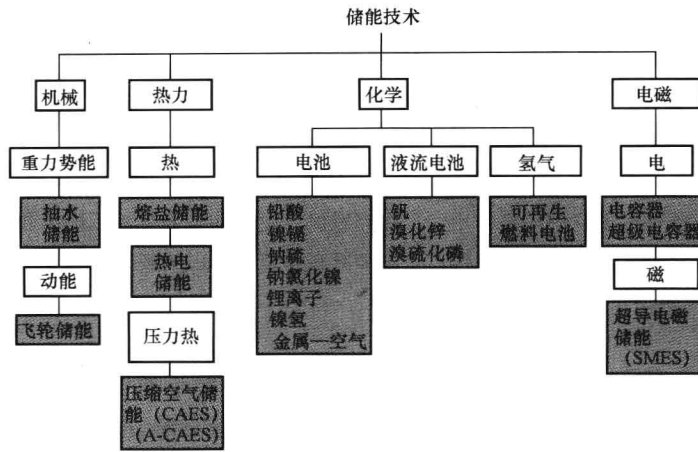


图 1 电力系统主要储能技术分类图

表 2 抽水蓄能与各储能方式的技术特点对比表

储能类型	典型额定功率	额定能量	特点	应用场合	
机械储能	抽水蓄能	100~2000MW	4~10h	用于大规模，技术成熟。响应慢，需要特殊地形条件	日负荷或周负荷调节，频率控制和系统备用
	压缩空气	10~300MW	1~20h	适于大规模。响应慢，需要特殊地形条件	调峰，系统备用
	飞轮	5kW~1.5MW	15s~15min	比功率较大。成本高、噪声大	调峰、频率控制、UPS 和电能质量
电磁储能	超导	10kW~1MW	2s~5min	响应快，比功率高，成本高、维护困难	电能质量控制、输配电稳定，UPS
	电容器	1~100kW	1s~1min	响应快，比功率高。比能量太低	输电系统稳定、电能质量控制
	超级电容	10kW~1MW	1~30s	响应快，比功率高。成本高、储能量低	与 FACTS 结合
电化学储能	铅酸电池	千瓦至 50MW	1min~3h	技术成熟，成本较小；寿命短，环保问题	电能质量、频率控制、电站备用、黑启动、可再生储能
	液流电池	5kW~100MW	1~20h	寿命长，可深放，适于组合，效率高，环保性好，储能密度低	电能质量、备用电源、调峰填谷、能量管理、可再生储能
	钠硫电池	100kW~100MW	数小时	比能量与比功率较高。高温条件、运行安全问题有待改进	电能质量、备用电源、调峰填谷、能量管理、可再生储能
	锂电池	千瓦至兆瓦	分钟~小时	比能量高。成组寿命、安全问题有待改进	电能质量、备用电源、UPS

从表 2 中的数据可以看出，目前大规模的储能装置除抽水蓄能外，仅有压缩空气储能、部分化学电池具有储能装置。大规模压缩空气储能，对地下洞室的地质条件、严密性等要求比较苛刻，同时需要燃气轮机配合运行，在国外处于示范运行阶段，在我国尚没有应用实例。化学储能存在深度充放电时间长、效率

衰减快和单位投资高、工作环境要求较高等问题，且目前批量生产能力有限。各化学储能电池的单位千瓦造价：液流电池 2.5 万元/kW，钠硫电池 2.8 万元/kW，锂电池 1 万元/kW。寿命周期与充放电次数有关，一般不大于 15 年；工作过程中对环境温度有较高要求，必须配备空调降温。

与这些储能装置相比，抽水蓄能电站投资较低，单位千瓦造价 3000~5000 元；使用寿命长，机组使用寿命 25 年，水工建筑物使用寿命达百年以上；能量转换效率稳定，不存在衰减问题。因此，抽水蓄能是目前电力系统中最成熟、最实用的大规模储能方式。

2 新形势下我国抽水蓄能的作用

近年来，世界政治经济形势和能源格局深刻变化，以电力为中心的新一轮能源革命的序幕已经拉开。电网被赋予了更多新的功能定位，除传统的输送功能之外，电网更是资源优化配置的载体，是现代综合运输体系和网络经济的重要组成部分。电网发展面临新的挑战见图 2，为应对新的挑战，迫切需要提高电网运行的灵活性，保障电网安全稳定经济运行。受一次能源条件制约，我国油气资源短缺，常规水电多为径流式且受季节性影响，地处西南，远离负荷中心，以煤电为主的电力系统调峰有最低负荷限制，负荷调节速度慢。大规模开发抽水蓄能已成为我国当前的必然选择。

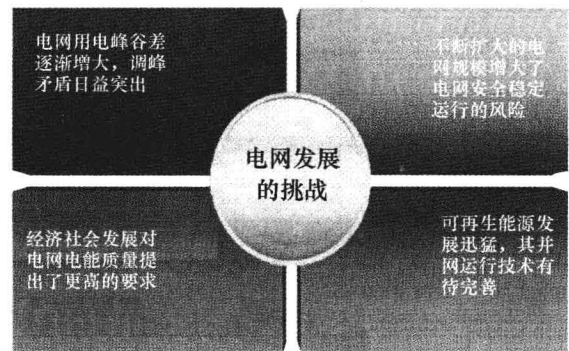


图 2 电网发展面临的挑战

2.1 配合火电机组运行，实现电力系统节能减排

抽水蓄能电站调峰填谷具有明显的节煤作用，一是减少了火电机组参与调峰启停次数，提高火电机组负荷率并在高效区运行，降低机组的燃料消耗；二是在经济调度情况下，低谷电由系统中煤耗最低的基荷机组发出，而高峰电由系统中煤耗最高的调峰机组发出，抽水蓄能电站用高效、低煤耗机组发出的电，来替代低效高煤耗机组发出的电。目前国内先进超超临界机组的供电煤耗在 270g/kWh 以下，考虑抽水蓄能机组的效率（75%以上）影响，如果替代火电调峰机组的煤耗在 360g/kWh 以上，就可以实现电力系统有效节能减排。

据测算，泰安抽水蓄能电站装机 100 万 kW，每年调峰填谷节煤 24 万 t，减少 SO₂ 排放 1.5 万 t，减少氮氧化物排放 2475t，减少烟尘排放 7t，减少 CO 排放 55t，减少燃油消耗 13.3 万 t，每年节省投资及运行费用 5010 万元。如果由泰安抽水蓄能电站来替代山东电力系统的事事故备用容量，则仅此一项年节煤量 44 000t，减少 SO₂ 排放 25.32t，减少氮氧化物排放 326t，减少烟尘排放 1t，减少 CO 排放 7.3t。

2.2 保证电力系统安全稳定运行水平，提高供电质量

我国电力系统装机以煤电为主。煤电机组的调峰幅度相对较小，调峰能力相对较差，虽能满足系统正常运行要求，但远不能保障电力系统事故情况下的快速调节要求。抽水蓄能电站具有适应负荷快速变化的特性，从抽水工况到满负荷运行一般只有 2~3min，可以快速大范围调节出力。抽水蓄能电站对于提高电力系统安全稳定运行水平，保证供电质量具有重要作用。一是抽水蓄能电站启停灵活、反应快速，具有在电力系统中担任紧急事故备用和黑启动等任务的良好动态性能，可有效提高电力系统安全稳定运行水平；二是抽水蓄能电站跟踪负荷迅速，能适应负荷的急剧变化，是电力系统中灵活可靠的调节频率和稳定电压的电源，可有效地保证和提高电网运行频率、电压稳定性，能更好地满足广大电力用户对供电质量和可靠性的更高要求；三是抽水蓄能电站利用其调峰填谷性能可以降低系统峰谷差，提高电网运行的平稳性，有效地减少电网拉闸限电次数，减少对企业和居民等广大电力用户生产和生活的影响。

2.3 配合风电等可再生能源大规模发展，提高电力系统对风电等可再生能源的消纳能力

根据国家风电发展规划，2020 年我国将建成哈密、酒泉、河北、吉林、江苏沿海、蒙东、蒙西 7 个千万千瓦风电基地，各基地规划情况详见表 3。预计到 2020 年，我国风电、太阳能的发展规模将分别达到 1.5 亿 kW 和 2000 万 kW。我国新能源资源与能源需求在地理分布上存在巨大差异，风电、光伏发电

等新能源电源远离负荷中心，必须远距离大容量输送，新能源发电集中开发和集中接入的特点非常明显，风电消纳情况详见表 4。风电受当地风力变化影响，发电极不稳定，对系统冲击非常大。

表 3 我国七大千万风电基地规划情况 万 kW

序号	风电基地	2009 年	2015 年	2020 年
1	新疆哈密	0	460	1080
2	甘肃酒泉	79.5	1271	1271
3	河北	112.5	1078	1643
4	吉林	152.5	658	1018
5	江苏沿海	101.9	698	1038
6	蒙东	200.5	558	1022
7	蒙西	335	1085	1945
合计		982	5808	9017

表 4 我国七大千万风电基地风电消纳规划 万 kW

基地	2015 年				2020 年			
	开发规模	省区消纳	跨区消纳		开发规模	省区消纳	跨区消纳	
			容量	市场			容量	市场
哈密	460	70	390	华中	1080	300	780	华中、华北
酒泉	1271	796	475	华中	1271	796	475	华中
河北	1078	578	500	三华	1643	668	975	三华
吉林	658	658	0	—	1018	1018	0	—
江苏	698	698	0	—	1038	1038	0	—
蒙东	558	558	0	—	1022	656	366	华东
蒙西	1085	350	735	三华	1945	378	1567	三华
合计	5808	3708	2100		9017	4854	4163	

电力系统建设适当规模的抽水蓄能电站，可以充分发挥抽水蓄能与风电运行的互补性。利用抽水蓄能电站，既平滑风电、太阳能发电出力，减小其随机性、波动性，提高输电线路的经济性，又可以平衡风电发电量的不均衡性、参加电网运行调频的优点，减少风电对电网的冲击，解决当前风电开发送出困难的实际问题。据了解，为适应风电等清洁能源发展，我国计划 2020 年投运抽水蓄能 5300 万 kW，其中国家电网公司经营区域内 4200 万 kW、南方电网公司 1100 万 kW，约占全国总装机（17.56 亿 kW）的 3%。

2.4 配合核电大规模发展，减少系统调峰调频压力

根据国家核电发展规划，2020 年我国核电装机规模将超过 4000 万 kW。根据现有发展趋势，预计 2020 年我国核电装机将达到 7000 万~8000 万 kW。核电适宜长期稳定带基荷运行，大规模发展核电将给以煤电为主的电力系统调峰带来极大压力。建设适当规模的抽水蓄能电站与核电配合运行，可解决核电在基荷运行时的调峰问题，提高核电站的运行效益和安全性。广州抽水蓄能电站对大亚湾核电站的调节是当前我国抽水蓄能与核电配合运行的成功范例。

2.5 是特高压输电的安全保障，是智能电网的有机组成部分

特高压电网是我国优化能源资源配置、保障国家能源安全和促进经济发展的重要工具。在特高压电网的受电端、中间落点，甚至起点建立适当规模的抽水蓄能电站，可以充分发挥抽水蓄能电站独有的快速反应特性，有效防范电网发生故障的风险，防止事故扩大和系统崩溃。

在特高压取得重大突破的基础上，国家电网公司提出加快建设以特高压电网为骨干网架，各级电网协调发展，以信息化、自动化、互动化为特征的坚强智能电网，努力实现我国电网从传统电网向高效、经济、清洁、互动的现代电网的升级和跨越，积极促进清洁能源发展，为实现经济社会又好又快发展提供强

大支撑。抽水蓄能电站启停迅速,运行方式灵活,是实现高度智能化电网调度的可靠保证,是坚强智能电网建设的重要有机组成部分。坚强智能电网建设,迫切需要在不同电压等级、不同电网结构、发输配用的各个环节配置不同调节性能、不同规模大小的抽水蓄能,满足电力系统新的需要,详见图3。

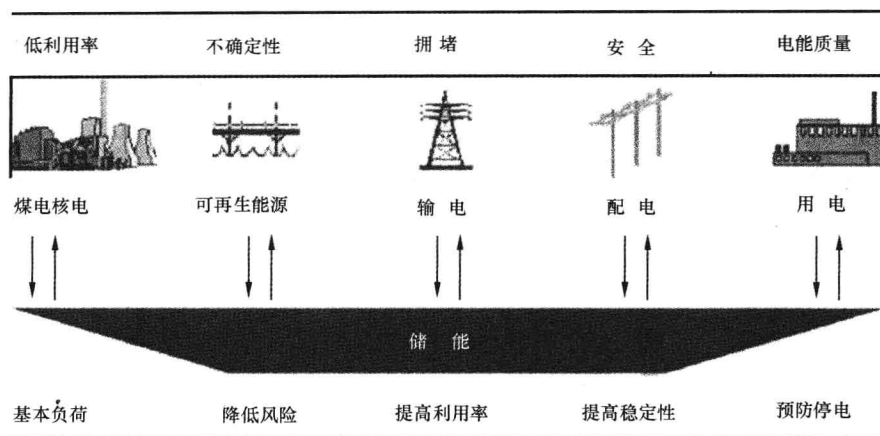


图3 抽水蓄能在智能电网中的作用示意

3 我国抽水蓄能发展现状及存在的问题

3.1 发展现状

我国抽水蓄能发展起步较晚,发展历程曲折,发展成绩巨大。截至2009年底,我国有18座抽水蓄能电站投入运行,装机容量达到1454.5万kW;在建抽水蓄能电站12座,在建容量1114万kW。我国抽水蓄能电站发展速度虽很快,但抽水蓄能装机容量占系统总装机的比重还很低,仅为1.66%。

世界发达国家的抽水蓄能占系统总装机的比重一般在3%~10%之间。2005年,英国、美国、日本等国在燃气机组占本国装机比重33%、22%、25%的情况下,抽水蓄能装机仍分别达到了本国装机比重的4%、2%和10%。与世界发达国家相比,我国抽水蓄能装机明显不足,远不能满足经济社会快速发展和以煤为主电力系统安全稳定经济运行的需要。

3.2 存在的问题

我国抽水蓄能在取得较大成就的同时,也存在着一些问题,这些问题如不能得到及时解决,将影响我国抽水蓄能的持续健康发展。

3.2.1 现有电价机制影响了抽水蓄能发展的积极性,有待进一步完善

2007年,《国家发改委关于桐柏、泰安抽水蓄能电站电价问题的通知》(发改价格[2007]1517号文)明确:《国家发展改革委关于抽水蓄能电站建设管理有关问题的通知》(发改能源[2004]71号)下发后审批的抽水蓄能电站,“不再核定电价,其成本纳入当地电网运行费用统一核定”。在当前输配电价机制尚未建立的情况下,将抽水蓄能电站建设运营成本纳入电网运行维护费用统一核算,无法实现抽水蓄能电站成本有效疏导,抽水蓄能电站的投资成本回收和再投资能力受到影响。一个抽水蓄能电站投资成本动辄几十亿元,给当前抽水蓄能投资者带来较大压力。我国抽水蓄能的可持续发展,迫切需要国家进一步完善抽水蓄能的电价机制。

3.2.2 抽水蓄能前期项目储备不足,不能满足快速发展的要求

抽水蓄能电站开发周期比较漫长,一个抽水蓄能电站从规划到建成投产至少要用8~10年时间,其间不确定性影响因素较多,开发时间一般还要延长。受多种因素影响,我国长期以来一直没有形成有规模、有计划的抽水蓄能前期项目储备机制,造成目前抽水蓄能前期项目储备严重不足,远不能满足风电、核电等清洁能源大规模发展和智能电网建设的迫切需要。抽水蓄能前期项目储备不足表现在前期的各阶段,规划项目不足、预可研项目不足、可研项目不足。2009年国家能源局抽水蓄能电站建设工作座谈会后,我国突击补选出了一批抽水蓄能站站址,解决了抽水蓄能“十二五”规划的燃眉之急,但由于切实开展预可

研、可研工作的抽水蓄能项目非常有限,当前在建抽水蓄能电站投产后,抽水蓄能的投产将断档,不能形成连续开发的态势,影响了我国抽水蓄能发展的速度。建立抽水蓄能电站开发梯队机制,形成滚动开发模式,规划一批、预可一批、可研一批、核准一批,保持抽水蓄能开发的可持续性,已成为我国抽水蓄能发展的当务之急。

3.2.3 国内抽水蓄能设备制造技术薄弱,技术引进消化和创新不够

我国抽水蓄能的需求为设备制造提供了巨大的市场。长期以来,我国抽水蓄能设备设计、制造水平远落后于世界先进国家。为了引进抽水蓄能电站机组设备制造技术,实现我国抽水蓄能电站机组设备制造的自主化,国家制定了打捆招标、技术引进、消化吸收的“三步走”战略,应该说“三步走”战略的实施对提高我国抽水蓄能的设计工艺、制造水平起到了很大作用。但从目前设备应用情况看,抽水蓄能设备制造技术难度较大,我国采用阿尔斯通的惠州抽水蓄能电站设备,采用的三菱、日立、东芝的西龙池抽水蓄能电站设备,机组在运行中均出现了严重故障。我国目前仅依托哈尔滨电气集团公司和东方电气集团有限公司两大设备制造商开展抽水蓄能技术引进,核心控制技术(如SFC等)不掌握,其他方面技术消化和创新也远远不够,国产抽水蓄能设备的可靠性、稳定性方面还比较差,近期先后出现的河南宝泉抽水蓄能电站4号机发电机定子硅钢片烧损、辽宁蒲石河抽水蓄能电站定子穿心线圈绝缘处理等问题,严重制约了我国抽水蓄能快速、安全、健康发展。

4 我国抽水蓄能规划与优化布局

4.1 规划情况

2009年8月7日,国家能源局在山东泰安召开了抽水蓄能电站建设工作座谈会议明确:国家电网公司和南方电网公司要会同水规总院及地方相关部门,认真做好抽水蓄能电站建设布局的研究和规划工作。为落实国家能源局抽水蓄能电站建设工作座谈会议精神,国家电网公司积极部署,与中国水电工程顾问集团联合,组织西北勘测设计研究院、北京勘测设计研究院、华东勘测设计研究院、中南勘测设计研究院,配合“十二五”规划开展了国家电网公司经营区域抽水蓄能的选点规划工作,在不到一年的时间里基本完成了19个省市的抽水蓄能选点规划任务,复核和新选了一大批抽水蓄能站址,具体数据见表5。国家电网公司配套智能电网总体规划完成了“十二五”抽水蓄能发展规划,制定了抽水蓄能发展“三步走”战略。南方电网公司也先后开展了广东、海南两省的抽水蓄能选点规划工作。这些工作的开展为我国抽水蓄能的可持续发展打下了坚实基础。

表5 国家电网公司经营区域抽水蓄能选点规划统计数据表

区域	规划站址		近期推荐站址	
	个数	容量(MW)	个数	容量(MW)
华北地区	23	30 000	12	17 600
东北地区	17	17 600	13	13 500
华东地区	21	29 650	6	9350
华中地区	26	30 410	11	12 510
西北地区	13	12 800	6	5800
合计	100	120 460	48	58 760

注 以上结果仅为选点规划初步成果,尚未经审查。

4.2 优化布局情况

抽水蓄能是电力系统的重要调节工具,但不能增加电力系统的电能的绝对供给量,这就决定了抽水蓄能在电力系统中的装机规模必须适度,布局必须合理。为最大限度发挥抽水蓄能在智能电网安全稳定经济运行中的作用,各相关单位在抽水蓄能的选点规划过程中,重点考虑了抽水蓄能的安全性原则、经济性原则、清洁高效原则和社会环境敏感性原则,对抽水蓄能的合理布局进行了优化。

4.2.1 安全性原则

安全性主要体现在电源装机能够满足系统负荷需求并留有合理备用,各类电源的出力能够互相调剂、

实时满足负荷需求并及时跟踪负荷变化,保证电力系统安全稳定运行。体现安全性原则,在火电比重大、水电资源缺乏的地区优先布置抽水蓄能;对承担大容量电力转送任务的电网,考虑建设规模适当的抽水蓄能电站;对特高压、智能电网,配套建设规模适当的抽水蓄能电站;在核电大规模接入的电网,配套建设规模适当的抽水蓄能电站进行电网调峰;在三北地区可再生能源大规模并网侧,配套建设规模适当的抽水蓄能电站,减少可再生能源发电对电网的冲击。

4.2.2 经济性原则

电源发展布局应充分考虑其投资和运行成本水平,结合跨区输电线路的投资和运行成本,考虑煤电的外部成本,以全社会电力供应总成本最低为目标,在电源整体结构优化的基础上,研究抽水蓄能电站的合理规模及布局。体现经济性原则,抽水蓄能电站应靠近峰谷差较大的负荷中心地区,便于系统接入,避免远距离输电。

4.2.3 清洁高效原则

清洁高效性主要体现在通过优化电源装机结构和布局,加大清洁能源发电的装机比重;在大规模可再生能源并网侧,平滑可再生能源发电出力,减少输送容量,提高输电利用小时;充分利用调峰电源的调节能力,尽量增大风电等清洁能源的消纳规模,减少电力行业的化石能源消耗及环境污染物和温室气体排放,促进电力工业的绿色发展。体现清洁高效性原则,结合我国风电等可再生能源资源情况和送出规划,配套建设适当规模的抽水蓄能电站。

4.2.4 社会环境敏感性原则

社会敏感性原则主要体现在抽水蓄能的布局过程中,重点考虑影响抽水蓄能发展的社会性因素,减少移民和林地、耕地淹没,避开环境、自然保护区、自然遗产保护区等敏感因素,减少与水利、灌溉、养殖、旅游等其他社会功能的交叉,功能单一,站址本身地理位置优越,技术经济条件较好。

5 我国抽水蓄能发展展望

进入 21 世纪以来,尤其是 2009 年国家能源局抽水蓄能电站工作座谈会后,各方对抽水蓄能的认识逐步统一,全国范围抽水蓄能选点规划和布局优化研究、抽水蓄能规划、专业人才培养和经验积累等,为我国抽水蓄能下一步发展打下了坚实基础。未来我国抽水蓄能的发展将重点体现在以下几个方面。

5.1 人们对抽水蓄能在节能减排、智能电网建设、电源结构调整中作用的认识进一步统一

随着我国节能减排要求的不断提高,产业结构和能源结构调整步伐逐步加快,高耗能企业用电逐渐减少,电力系统峰谷差不断增大,风电、核电等清洁能源的大规模发展,电源结构调整逐步深入,智能电网建设全面展开,人们对抽水蓄能在节能减排和电力系统调节中重要作用的认识将获得广泛的、高度的统一,抽水蓄能是我国当前实现电力系统节能减排和清洁化发展的必然选择。

5.2 国家对抽水蓄能的政策环境不断完善,抽水蓄能电价政策享受可再生能源补贴或税收减免,引导抽水蓄能投资

由于抽水蓄能在电力系统中的巨大作用,国家会逐步完善抽水蓄能政策环境,着手解决影响抽水蓄能发展的种种问题,给予抽水蓄能合理投资回报,引导抽水蓄能开发的积极性。由于我国电源结构以煤电为主,煤电调峰不能满足风电和核电大规模发展的需要,抽水蓄能在解决影响风电大规模发展的消纳问题及核电大规模并网带来的调峰压力,提高智能电网运行的灵活性和安全性方面具有重要作用,国家极有可能出台政策使抽水蓄能电站享受可再生能源补贴或税收减免,提高抽水蓄能投资回报率,引导加大抽水蓄能投资力度。

5.3 智能电网建设为抽水蓄能发展提供了难得的机遇

抽水蓄能作为一种重要调节工具,是智能电网的有机组成部分,智能电网建设为抽水蓄能发展提供了难得的机遇。为最大限度提高智能电网的安全稳定性和供电灵活性,抽水蓄能将根据装机容量及其在系统中的作用定位,优先规划建设大容量、有重大影响作用的抽水蓄能电站,进而规划建设较小容量的抽水蓄能电站进行局部甚至配电网的精细化调节,使不同抽水蓄能有选择接入不同电压等级电力系统,实现分级