

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 2008

CHOUSHUI XUNENG
DIANZHAN GONGCHENG
JIANSHE WENJI 2008



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 2008

CHOUSHUI XUNENG
DIANZHAN GONGCHENG
JIANSHE WENJI 2008



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. 2008/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, 2008

ISBN 978-7-5083-7843-5

I. 抽… II. 中… III. 抽水蓄能水电站-建筑工程-工程技术-文集 IV. TV743-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 140059 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

*

2008 年 10 月第一版 2008 年 10 月北京第一次印刷

880 毫米×1230 毫米 16 开本 16 印张 493 千字

定价 45.00 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

党的十七大明确提出了开创中国特色社会主义事业新局面、夺取全面建设小康社会新胜利的战略目标和任务。为适应构建社会主义和谐社会的新要求，发展循环经济，建设资源节约型、环境友好型社会和构建生态文明国家，对我国电力工业的可持续发展和电力的安全可靠供应提出了更高的要求。抽水蓄能电站作为一种特殊的电源，在电力系统中具有削峰填谷、调频、调相、紧急事故急用和黑启动等多种功能，对优化电源结构、保证供电质量，促进资源节约、实现绿色环保，保障电力系统安全、提高电力系统运行的经济性，达到电力系统总体节能降耗、提高总体经济效益等方面发挥着巨大的作用。我国抽水蓄能电站建设起步较晚，改革开放后，在国家有关部门的大力支持和众多水电专家的努力下，抽水蓄能电站建设有了较快的发展，特别是进入 21 世纪以来取得了很大的成绩。到 2007 年底，全国抽水蓄能电站投产规模达到 894.5 万 kW，约占全国总发电装机容量的 1.25%。但与发达国家抽水蓄能电站比重普遍占总装机容量的 5%~10% 相比，国内抽水蓄能电站仍有较大的发展空间。目前全国已建成投产的抽水蓄能电站 17 座，在建的 11 座，在建规模 1276 万 kW，根据“十一五”和 2020 年发展规划，到 2010 年抽水蓄能电站总装机容量将达到 2170.5 万 kW，2015 年总装机容量将达到 3800 万 kW，到 2020 年总装机容量将达到 5000 万 kW。我相信，随着国民经济的发展和人民生活水平的提高，电力运行的可靠性和安全性的要求也将不断提高，为满足电网安全、稳定和经济运行的需要，抽水蓄能电站建设将会有更加广阔的发展前景。

抽水蓄能电站的建设要按照国家的规划有序地开发，要加强前期规划和设计工作，特别是地质条件一定要调研清楚，要严把设计关和施工质量关，从根本上解决电站建设安全问题，最大化发挥抽水蓄能电站的综合效益，同时要努力提高抽水蓄能机组制造的国产化水平。也希望电网调峰与抽水蓄能专业委员会进一步发挥好自身作用，搭建好学术交流的平台，统一认识，扎实工作，推动我国抽水蓄能事业取得更大的发展。

在这里，我也代表中国水力发电工程学会感谢电网调峰与抽水蓄能专业委员会（简称专委会）所付出的辛勤劳动，感谢各位热心抽水蓄能事业的专家为行业提供了大量优秀的论文。专委会自成立以来坚持每年组织学术交流年会和学术论坛，合全国水电专家之力，广泛探讨和交流我国抽水蓄能电站设计、建设、运行、经营和管理等方面的经验，并每年出版论文集，将我国抽水蓄能建设的新技术、新经验、新成果进行收集、整理、总结和传播，使抽水蓄能电站的建设经验得到广泛共享，为促进我国抽水蓄能电站建设健康有序发展出了一份力。

中国水力发电工程学会常务副理事长兼秘书长





前言

本文集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）组编，是专委会出版的第13部抽水蓄能学术年会论文集。根据2007年第二届专委会第一次主任委员工作会议的建议，今年的文集由中国电力出版社正式出版。

本文集共收录53篇文章，根据内容分为三部分：抽水蓄能效益评价与规划研究，抽水蓄能电站土建工程与机电设备设计，抽水蓄能电站建设施工实践。

论文集内容主要涉及对适度建设抽水蓄能电站、合理评价抽水蓄能电站效益问题的探讨，对已建抽水蓄能电站的运行评价，介绍抽水蓄能电站土建工程及其机组的设计实践，以及介绍施工单位（主要是蒲石河抽水蓄能电站建设单位）在抽水蓄能电站建设施工中采用的新技术或有益经验。此外，还收录了几篇专委会委员撰写的有关水电或风电建设的文章。

论文集的编辑过程中，对一些介绍相同工程、内容相近的文章作了适当合并、删减，因时间关系，没有逐一向作者解释，在此一并说明。

秘书处对各位委员支持论文集的征稿工作，踊跃投稿，深表感谢。

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

2008.8 北京



目 录



序
前言

抽水蓄能效益评价与规划研究

抽水蓄能有利于节能减排	曹楚生 (3)
从经济性角度看抽水蓄能电站站址选择	邱彬如 (8)
基于综合效益评估的抽水蓄能电站规划模型研究	国网新源控股有限公司 (14)
新形势下抽水蓄能电站的综合效益	吴毅 李红艳 (19)
抽水蓄能电站事故备用效益评估	娄素华 吴耀武 (23)
抽水蓄能电站的运行和考核	何永泉 林肖男 (28)
回龙抽水蓄能有限公司运营状况分析	张涛 周万峰 (35)
在火电为主的电网中建设蓄能电站合理规模再探讨	左铭 (41)
风电与蓄能电站配套运行问题浅析	唐修波 靳亚东 (45)
价值工程法在抽水蓄能电站评价体系上的应用初探	杨霄霄 左铭 (49)
东北电网抽水蓄能电站规划布局研究	李斯胜 (54)
安徽省抽水蓄能电站建设布局分析	左铭 杨霄霄 (57)
宜兴抽水蓄能电站征地移民工作浅析	郭惠民 (60)

抽水蓄能电站土建工程与机电设备安装

宜兴抽水蓄能电站上水库主坝工程的设计特点	傅方明 (67)
张河湾抽水蓄能电站枢纽总布置	吕明治 李冰 (75)
张河湾抽水蓄能电站上、下水库进/出水口布置与体型设计优化	郭雪 (79)
清远抽水蓄能电站枢纽总布置	刘林军 张巍 郭建设 段自力 (88)
清远抽水蓄能电站下水库的比选研究	郭建设 (94)
蒲石河抽水蓄能电站枢纽布置简介	王广福 郑光伟 张泽明 张东 马龙彪 (97)
蒲石河抽水蓄能电站上水库面板坝设计	景健伟 等 (100)
蒲石河抽水蓄能电站输水系统设计	张建辉 等 (106)
蒲石河抽水蓄能电站地下厂房布置	陈雷 等 (109)
蒲石河抽水蓄能电站地下厂房三维初始应力场反演分析	刘忠富 刘天鹏 郑德湘 (114)
抽水蓄能电站水机电系统计算仿真的若干问题分析	周建旭 蔡付林 胡明 (118)
抽水蓄能电站发电电动机的特点及选型设计分析	徐立佳 (123)

张河湾抽水蓄能电站水泵水轮机主要参数研究	郑冬飞	易忠有	(127)
张河湾电站机组抽水工况启动方式简介		姜树德	(133)
蒲石河抽水蓄能电站计算机监控系统设计	姜海军 新祥林 汪 军 何 云	王惠民	(139)
IGBT 变频器在启动抽水蓄能机组上的应用	何 铮	李 纲	(146)
沙河电站黑启动试验过程及分析	邓剑峰	谈永忠	李德敏 (152)
沙河抽水蓄能电站机组在一次电网事故中的灵敏反应	魏 力	高 骏	(157)

抽水蓄能电站建设施工实践

蒲石河抽水蓄能电站工程施工进度及工期分析简介	林 刚 等		(161)
面板堆石坝翻模砂浆固坡新技术在蒲石河抽水蓄能电站上 水库施工中的应用	张 军 郑 焱 赵淑明	王永兴	(164)
翻模固坡新技术在蒲石河面板堆石坝工程中的应用及其质量控制	金洪志	宗 剑	(169)
蒲石河抽水蓄能电站上水库面板堆石坝趾板施工实践		宗 剑	(172)
蒲石河抽水蓄能电站上水库面板堆石坝趾板混凝土浇筑	马玉增	王盛鑫	(175)
蒲石河抽水蓄能电站上水库大坝趾板基岩灌浆试验段成果分析		王盛鑫	(178)
蒲石河上水库大坝填筑施工反渗水排水施工措施		张轩庄	(182)
蒲石河抽水蓄能电站面板堆石坝施工期垫层坡面沉降变形控制	金洪志		(184)
蒲石河抽水蓄能电站地下工程冬季混凝土施工技术	赵宏斌 孔庆峰	赵全志	(187)
蒲石河抽水蓄能电站地下厂房顶拱开挖及支护施工方法	裴利民 孙 磊	李贵祥	(191)
蒲石河抽水蓄能电站地下厂房岩锚梁施工工期安全监测	刘忠富 蔡洪亮 刘 枫	王辉伟	(196)
蒲石河抽水蓄能电站地下厂房岩锚梁混凝土施工中的温控措施	裴利民 李 颖	秦仲一	(201)
特大断面针梁模板在蒲石河抽水蓄能电站尾水主洞混凝土 衬砌施工中的应用	裴利民 李 颖	王 伟	(204)
浅谈大断面针梁模板衬砌混凝土底板时防治气泡的办法	裴利民 孙 磊 吴金华	杨 骥	(207)
反井钻机在蒲石河抽水蓄能电站长斜井开挖施工中的应用	裴利民 孙 磊 王文博	杨 骥	(210)
西龙池抽水蓄能电站引水系统钢管制造安装工艺		张忠和	(213)

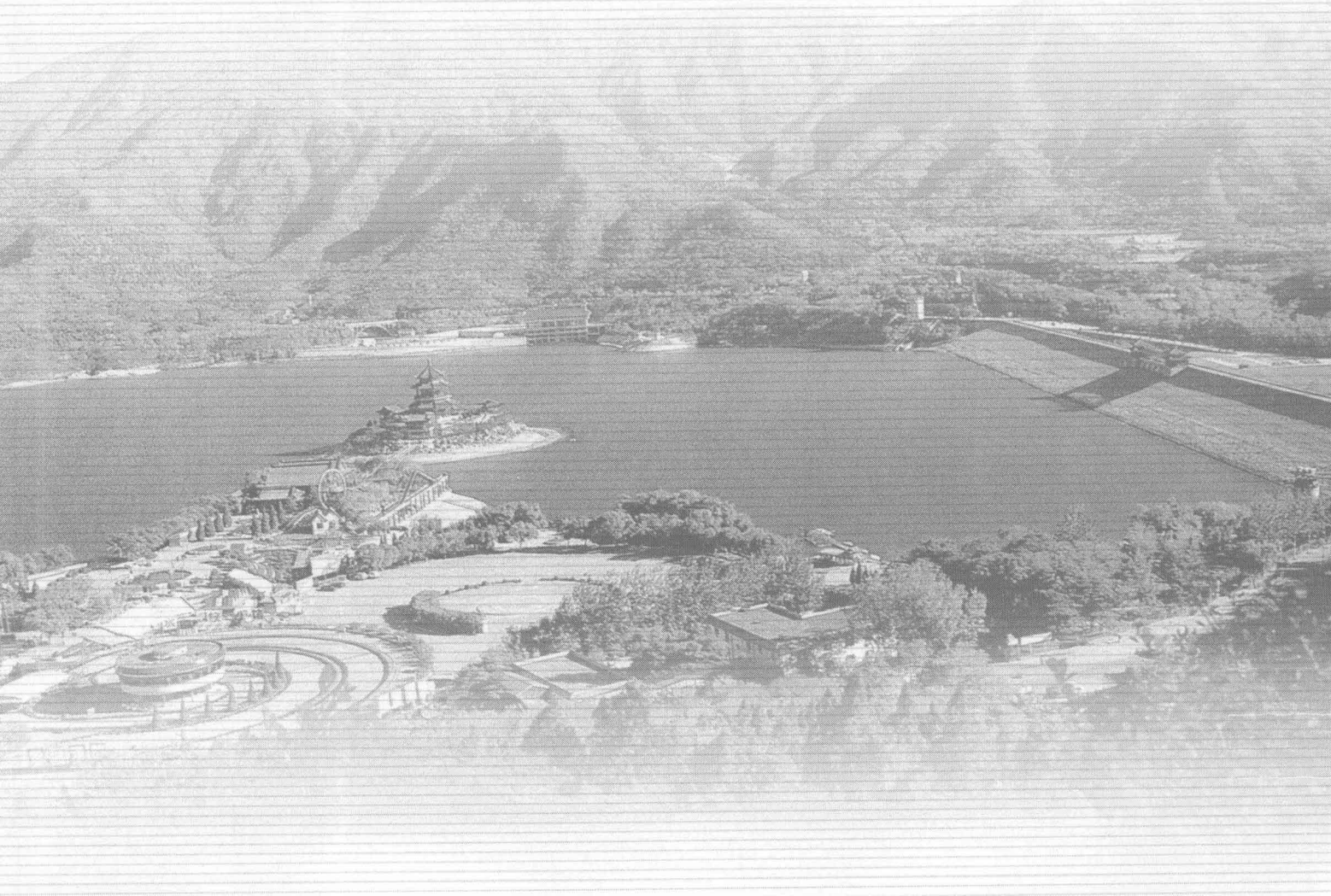
其 他

垫层蜗壳组合结构三维有限元分析	王海军	王日宣	(223)
带狭长上室调压室水面线的非恒定数值仿真计算	华富刚	胡 明	(229)
风电场风速预测的 RBF 神经网络模型	谭志忠	刘德有 王 丰	(233)
风电场风机优化布置数学模型研究	王 丰 刘德有	谭志忠	(239)
混凝土面板堆石坝坝体填筑施工与面板防裂实践	陈 雷	罗爱民	(245)
清水混凝土施工技术在水工建筑物施工中的应用	揭 梅 吴及英 张洪涛	李洪飞	(249)

抽水蓄能电站工程建设文集

2008

抽水蓄能效益评价与规划研究



抽水蓄能有利于节能减排

曹楚生

(天津大学/中水北方勘测设计研究公司)

【摘要】 电网中水电、火电、核电,以及风电、太阳能电等电源考虑联合蓄能电站运行后,对节能减排和保护生态环境十分有利。

【关键词】 水电 抽水蓄能 电网 可持续发展 节能减排

1 能源发展形势

我国电能长久以来以火电为主,据2004年统计,以煤电为主的火电占83%,水电、核电等分别仅占15%和2%,这使我国煤炭石化能源消耗日增。因煤、油、气等燃烧使用后排出的有害气体造成的温室效应而导致的气候变暖已成为全球重大问题。我国排出的CO₂等有害气体在数量上已位居世界前列。欧、美、日等工业发达国家已制订计划在预定的时段内逐步发展清洁能源和洁净煤等发电技术,最终做到趋近零排放。我国政府也已制订了节能减排规划,还提出一系列发展可再生清洁能源如水电、核电、风电、太阳能电的决定。故在电能方面,优化电源组成,积极发展清洁和可再生能源至关重要。现将这方面的发展和前景分述于下:

(1) 水电。我国水能资源蕴藏量6.76亿kW,其中可开发容量3.78亿kW为世界之冠。古称我国有“三江三河”,近悉雅鲁藏布江、澜沧江、怒江水资源也极丰富。故上述可开发容量等尚会有所增加(增加10%~20%)。2020、2030、2050年水电装机分别为2.6亿、3.5亿、4.5亿kW。

(2) 核电。是一种技术成熟可大规模取代化石燃料的清洁能源。在国外发展中曾有起伏,现在核能利用已占各种电能总和的17%。核电在我国起步晚,约占1%,估计到2020年约为0.3亿kW。

(3) 风电。我国风力资源丰富,年均风速大于6m/s的面积达66万km²,按6~8MW/km²,可装机40亿~50亿kW。虽然这种估算偏大,但也可看出风电资源很丰富、发展前景很好。预测到2020年风电装机将达0.3亿kW。

(4) 太阳能。我国2/3国土面积日均辐射量大于4kWh/m²,如按此估算,储量极为可观。但由于采集储存和应用等原因,目前估算至2020年太阳能发电装机仅约0.01亿kW,以后随着技术进步,具有较大的发展前景。

综上所述,上述可再生能源中水电目前尚有较大的开发空间,一些条件较好的站点已在修建中,再过10余年后将逐渐进入尾声。非水能可再生能源(简称可再生新能源)中,风电近年进展迅速、前景看好,太阳能、生物能等正在起步阶段,应发挥各自优势,着力加快这些可再生新能源技术整体的发展。应该指出,随着时间的推移,到2020、2030年和2050年,我国能源缺口将分别达到18%、20%和30%,可再生新能源和核电将主要承担起补充上述能源缺口的任务。由此可见,至2050年,这些可再生新能源已从过去补充或辅助能源进入主导能源,21世纪下半叶将更显示其重要性,逐渐成为电能发展的主力。总之,这些可再生新能源的开发利用可替代日益短缺的煤、油、气和水能资源,对节能减排十分有利,且它们的资源相对丰富,有可靠的保障能力,可大规模开发利用。但其中风能和太阳能等都具有显著的不稳定性和间断性,所在电网必须具有足够的事故备用容量和可靠的蓄能设备。

现今正处于新旧能源交替时期,火电、水电发展迅猛,已达高潮,由于煤炭、石化和水能资源日趋短缺,2020~2030年,这种发展将趋缓,而新能源将逐渐取代前者。结合我国当前情况,节能减排任重道远,除应抓紧可再生新能源的开发,从耗能工业、交通、电力和能源等行业的生产运行分别进行优化外,

还应通过其他不同途径予以完善。

2 抽水蓄能的兴起

我国已进入了一个空前繁荣的新时期。国民经济及工农业等的急剧增长,城乡用水及电力的供应时有供不应求的现象,且日趋严重。而水利水电进展神速,一些地区水资源和水能资源已出现开发殆尽现象,再修建新的工程将受到限制,并影响水利水电的可持续发展。甚至有人认为我国水资源和水利水电的开发利用已濒临极限。

水利水电的发展离不开当地电网。一般电网由水电和火电等组成,因水电具有较好的调峰性能,可改善电网输电质量,当该地区水能资源开发殆尽,水电不能与火电同步增长,水电所占比重低下时(小于20%~30%),造成电网中可调峰电能减少,而低谷时又造成电流周波和电压加大,影响输电质量。随着时间的推移,由于国民经济和生活质量的提高,电网的容量往往逐渐由小到大。但当水电发展受水能资源限制,新能源(如核电、风电、太阳能、生物能电等)大量兴起时,电网中水电可调峰电能比重减低。当地区电力负荷急剧变动时,更显示出调峰电源的不足。当水电发展受阻,不能与其他电源同步增长时,电网中峰谷差加大,尖峰时缺电而低谷时又有多余,这种现象将会与日俱增。尖峰时缺电,可临时增设燃气轮机等解决,而低谷时多余电所占比重达一定程度后,将会影响电网输电质量,并增加能耗和有害气体排放量较难处理,使电力系统的进一步发展将受到阻碍。

由于社会对电力的需要日益增长,我国各地区电网中主要能源煤电增加很快,而常规水电受水能资源的限制,往往不能与他种能源成比例地增加,因此电网中水电比重日益降低,这样将导致调峰电源缺乏,造成电网中能源比例失调,在不得已时常采用以下两种措施:①火电机组深度调峰(大于40%~50%),有的甚至采用分班制,不仅造成煤耗能耗增加,并影响火电机组的稳定运行和电网输电的质量;②水电弃水调峰,在我国很多以煤电或火电为主的电网,为不因调峰而使占绝对多数的机组受阻,让水电在洪水期间甚至在需要时弃水调峰。据统计,全国2003年水电平均利用小时数仅为3150h/年(一般水电的设计值常在4000~5000h/年)。

作为水电的补充,抽水蓄能电站使水电重新步入了新的境界。虽然已无新的水能资源供开发,但可利用电力系统低谷电能,通过抽水蓄能储存转换,在尖峰时发电,这样蓄能运行使水利水电的发展增加了新的活力。近十余年来我国已建和在建抽水蓄能电站容量约15000MW。

水电不能与火电等同步增长,电网中的峰谷差日益增加。由于调峰电源的短缺,不仅影响电网的平稳运行和输电质量,更加剧有害气体的排放,节能减排已成为全球关注的问题。节能减排主要应从上述有关工业、交通、能源等着手,而发展抽水蓄能对各种能源可持续发展十分有利的,现将抽水蓄能的优点阐述于下:

(1) 抽水蓄能虽不能生产电能,但可利用低谷剩余电能抽水,在峰荷时发电既可调峰填谷、调频调相、旋转备用和应急事故备用等,故实质上起到了一种能量储存转换和改善优化等功能。当前一些电网总容量日益增加,水电比重日益下降,低谷剩余电能将与日俱增,为抽水蓄能的发展提供必要的动力。

(2) 抽水蓄能与煤电、油电、气电比,跟踪负荷和调峰性能好、开停机灵活并节煤节油;与常规水电比,具有填谷功能,节能减排功效倍增。

(3) 抽水蓄能电站的工程量和投资等指标优于火电和常规水电。若拟建一座百万千瓦级常规水电,常有大坝和大型泄洪、输泄水和导流建筑物,淹没移民数常以数万和数十万人计,而抽水蓄能往往仅以百人或千人计。

3 新形势抽水蓄能

火电出现了超临界和超超临界机组,工业发达国家都在竞相研发中,我国也在引进消化新技术、新设备。据悉,过去我国中高压机组的煤耗约为500~600kg/kWh,而今亚临界、超临界、超超临界机组可降至300~270kg/kWh,这说明煤耗已削减一半,且机组的压负荷运行限制幅度可从过去的20%~30%增

至50%，这对电网调峰是有利的，在技术上是很大的进步。有人说火电也有较好的调峰能力，殊不知火电由于压负荷运行，往往使机组不能在最优或较优工况下稳定运行，对节能减排是不利的。

抽水蓄能是一种较古老的技术，但由于近年来土建开挖填筑技术不断提高，出现了碾压式堆石坝、土石坝和碾压混凝土坝，不但开挖料可作为填筑料的补充，还相应增加了上、下水库库容；此外考虑地下洞室围岩地应力的衬砌设计的理论方法都有较大的革新和改进。这些土建、机电等方面的技术进步和革新为简化工程结构和高水头蓄能电站的发展作出贡献。有人说抽水蓄能4kWh电换3kWh电不合算，殊不知这4kWh电为抽水时所耗用的低谷电，而发出的3kWh电在峰荷，其能耗比前面4kWh电的能耗还低，对节约煤耗是有利的。

抽水蓄能作为水电的补充，可使电网中各种类型机组，如火电水电核电机组等都可较好的工况下平稳运行，可尽量延长上述机组的运行时间和减少启停次数，节约能耗，减少有害气体排放，并保证运行安全，作用巨大，在技术和经济上都是可行和有效的。

核电、风电、太阳能电、生物能电等可再生新能源将迅速发展，电网更应有足够的调蓄能力予以支持。可以预期，配置适当容量的抽水蓄能后，可优化电力系统的组成，理顺能源可持续发展的构图，使原本无法充分利用的部分低谷电能，循环更新、变废为宝，在促进和发展循环经济和节能减排，改善环境等方面作用巨大。

水电因来水有丰有枯，保证出力一般在20%~30%，而对火电无此类规定。但因燃料供应跟不上需要，火电的出力也受限。如前所述，抽水蓄能有调峰填谷的作用，还有应急事故备用的作用，其替代容量的比值很高。抽水蓄能本身的作用明显，而且还可相应增加该系统中水、火电机组的出力，可以通过计算知其效益。国内外实践和分析研究认为，当抽水蓄能占该电网总装机的10%左右时，可使电网中各种机组均可在各自最优或较优工况下运行，可使各种机组均得益，使水电机组的替代容量增至80%~90%，而火电机组在低谷时也不必进行深度调峰，故增加出力 and 尖峰发电量的效益十分巨大。

4 抽水蓄能的特殊功能

水利水电发展往往受限于水资源和水能资源，火电受限于矿石资源和有害气体的排放，核电无调峰能力，而可再生新能源风能、太阳能既不稳定，会随机跳动，而且有间歇性。在上述电源发展受阻时，如考虑蓄能运行即增设抽水蓄能后，情况往往会有大的改观，呈现新的发展空间。抽水蓄能的特殊功能阐述于下：

(1) 储存转换、更新利用、以丰补歉、循环再生。可再生新能源和水电火电发展都离不开其他资源和行业的相互支持、共同提高。抽水蓄能作为水电的补充，可弥补水能资源和能源的不足，使电网中低谷时剩余电能转换成尖峰时的电能。实质上其作用相当于使电网中日益增长的、如不用反会带负面影响的剩余电能转换成为可再次利用的电能，和再生能源一样，再次使用。这样水利水电和其他资源通过抽水蓄能和电网载体可以和谐共处，共谋发展，形成可持续发展的循环机制，如图1所示。低谷抽水存入上水库，可供尖峰时再发电和需要时供水，形成了可持续发展的循环链，电和水可重复再生利用。抽水蓄能作为水电的补充可以促进水利水电和能源的可持续发展。如不设抽水蓄能，不能形成循环链，阻止了可持续发展，往往只能采用“火电深度调峰”，“水电弃水调峰”或“以水定电”等不合理措施，导致电能和水能的大量流失。

(2) 新的发展空间。考虑蓄能运行后，提出以下新途径：

1) 江河入海口水域的开发。利用水下地形修建较长的挡潮闸坝以围海造地并拦蓄海水，并考虑蓄能运行，荷兰长达十数公里的East Schelt闸，不仅对发展沿海滩涂，并对整条河流的水量调蓄都很有好处。我国长江、珠江等海口等正在进行这种研究和设计。

2) 江河上游山区河源段的开发利用是又一个新的开发空间。河源段集雨面积一般很小，只能修建小型或中型水利水电枢纽。但从我国和欧美等国经验，某一流域面积内有了抽水蓄能的参与，容量会有大幅度的增加，有时会从数万千瓦增至百万千瓦。

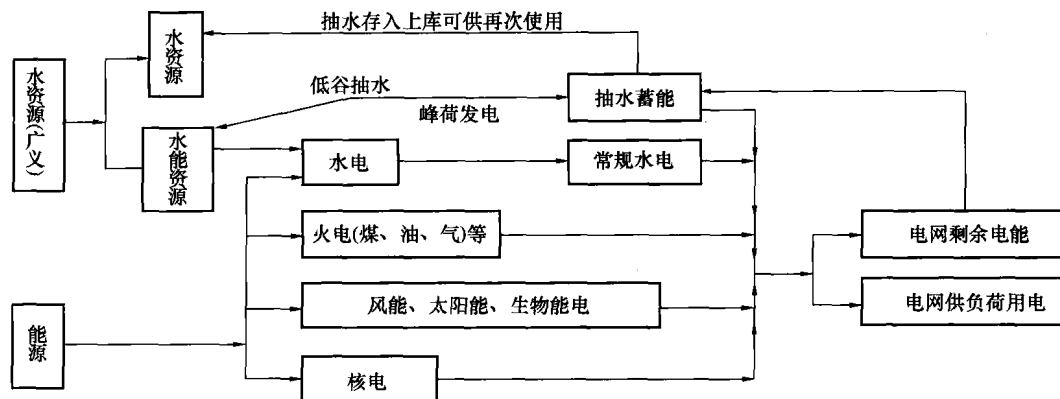


图1 通过抽水蓄能形成循环链——能源可持续发展构图

3) 跨流域引水, 跨地区送电。必要时可考虑抽水蓄能, 这样在引水和送电范围内进行水量及电量调度, 使水资源的开发利用达到更高水平。

5 能源发展新形势下应关注的问题

当前我国火电、水电发展迅猛, 已达高潮, 由于煤、油和水能资源日趋短缺, 预计至 2020 年它们的进展将减慢, 届时, 我国总装机容量将达约 11 亿 kW, 其中火电、水电、核电和风电依次为 8 亿、2.6 亿、0.3 亿、0.3 亿 kW。至 2050 年, 总装机将达 24 亿 kW。预计进入 21 世纪下半叶, 核电和风电、太阳能电等新能源将逐渐成为主力。当前正处于新旧能源交替时期, 要针对具体进程关注以下问题:

(1) 节能减排。我国耗能工业、交通、能源等行业飞速发展, 散发出的有害气体总量已居世界前列。此外电网中峰谷差达 40% 以上, 水电比重极低, 可调峰电源短缺, 不仅影响电网内各种机组的平稳运行和输电质量, 更加剧了有害气体的排放, 已成为重大问题。我国政府对此已制订了规划, 要发展清洁和可再生能源, 并规定了具体的节能减排要求。

(2) 优化能源结构。以煤电为主的火电占 8 成以上的局面亟需改变, 但也不能操之过急。在建设中, 清洁和可再生新能源要尽量采用新技术, 必要时可通过引进、消化、研发; 火电也要逐渐淘汰旧机组, 采用新的超超临界机组。而抽水蓄能作为水电的补充, 既可在低谷时作为耗电用户以抽水蓄能, 在尖峰时发电, 在优化能源结构中应一并予以考虑。

(3) 清洁和可再生新能源开发。核电、风电和太阳能电等的开发利用终将取代日益短缺的火电和水电资源, 对节能减排十分有利, 且它们的资源相对丰富, 有可靠的保障能力, 可大规模开发利用。但它们无调峰能力, 且风电和太阳能电还有显著的不稳定性和间断性, 必须有可靠的蓄能措施和足够的备用容量予以支持。如以水电为主的电网, 有调节性能较好的水电, 可以提供必要的备用容量来应对风力等出力的无规律变化。而以火电为主的电网, 只能依靠压负荷运行, 使电能的燃料消耗和排放废气增加从而损失风力发电所获的效益, 导致成本增加。故节能减排不能只从某一电站单独衡量, 而是要从整体(全电网)的实效和数据判断。

(4) 开发模式和电价。抽水蓄能有独立开发和联合开发两种模式: ①在各种火电水电等站点外独立兴建抽水蓄能电站, 利用低谷电抽水, 峰荷时发电, 即填谷削峰功能通过电网载体完成(见图 1); ②因电力体制改革, 在某种意义上抽水蓄能与电网已联为一体。抽水蓄能与某一电厂联合开发模式, 可融蓄能、电网、电厂于一体。

电价如何制订, 是单一制还是二部制, 一直困扰着抽水蓄能的发展。合适的分时分项电价有利于抽水蓄能的健康发展。对一般蓄能电站, 当峰谷电价一时不易制订得很合理时, 也有摈弃独立自主经营而采用租赁模式, 或联合开发模式。经实践证明, 后两种模式都是可行的, 对双方都有利, 呈双赢局面; 电网都可以根据需要, 安排抽水蓄能进行填谷削峰、调频调相和事故备用等任务, 而抽水蓄能电站无需单独考虑经济盈亏问题, 化解了制订电价的难题。以上租赁和联合开发都有成功实例, 天津桃花寺抽水蓄能电站由

于地理环境和建设条件优越,是一座较好的联合开发的范例。

6 结语

抽水蓄能作为水电的补充时,有利于节能减排,而节能减排是目标,同时又是衡量工作的判据,建议:

(1) 优化配置、合理调度。设计、施工、业主等各方视实际情况针对各种能源特点,结合抽水蓄能,对电源组成做优化配置,合理调度运行,这样节能减排的效果才能在整个电网中体现出来。不能仅凭某一可再生新能源电站在节能减排中的作用就立项建设,若其所需电网提供的事事故备用容量和必要的配套设施未予考虑,则原设计提出的经济和节能减排效益将落空。如核电、风电和太阳能电等都有它们各自配套要求和设施。

(2) 加速修建大、中、小型抽水蓄能站,对高水头河流梯级水电站可考虑设置或部分改用,或预留可逆式蓄能机组的可能性,否则会给增建和扩建增加很多困难,如美国大古力、胡佛等电站;或事后多次扩建水泵和可逆式机组,或至今还在研究利用下游梯级扩建抽水蓄能的可能性。此外,通过发电和抽水蓄能使上下诸梯级起到联合调度,可增加总的调蓄作用,对水利水电可持续发展有利。

(3) 抽水蓄能规划选点工作,要做到布局合理、规模适度。在电网中应优先发展一些调节性能显著的抽水蓄能,上、下水库选择有利地形使具有较大库容。

(4) 为应对火电和核电的迅猛增长,并预期不久风能、太阳能、生物能等清洁可再生间歇性能源将迅速兴起,电网须有足够的调蓄能力予以支持,否则过大的峰谷差将影响网内机组的平稳运行。建议配置适当的抽水蓄能等设施,可优化电力系统的组成,理顺能源可持续发展的循环机制。应该着重指出:电力系统中各种电源(水电、火电、核电、风电、太阳能电等)要优化配置,要在技术经济上作整体考虑,并具体考虑各自机组的运行特性曲线,务求都在较优工况下运行。

(5) 我国在20年前建成的水电水利工程已大大超出了原定的设计水平年,由于国民经济的提高,往往显出水库库容和装机容量和供水要求偏低。我国修建大坝达8万多座,居世界首位,但水库总库容仅约6000亿 m^3 ,仅为美国 and 原苏联的一半。故建议在新建、改建、扩建中注意考虑增建抽水蓄能和扩大水库库容,以增加电网和水库的调蓄能力。

综上所述:在当前能源发展新形势下,可再生新能源等正在兴起,并将逐渐取代当前正在迅猛发展的火电和水电。在新、旧能源交替的各个时段,要及时考虑各种电能连同抽水蓄能的优化配置、合理调度运行,同时所在电网还必须具备与各种新旧电能相配套的事事故备用容量,以保证安全运行并发挥节能减排的预期效果。

参考文献

- [1] 钱正英. 中国水利. 北京: 中国水利水电出版社, 1989.
- [2] 潘家铮, 何璟. 中国大坝50年. 北京: 中国水利水电出版社, 2000.
- [3] 曹楚生. 抽水蓄能的开发模式和电力的发展. 水力发电, 2000(5).
- [4] Cao Chusheng. The Ideas & Exploration Paths of the Retainable Development of China Small & Medium Water Power, China Small l Hydropower Hongzhou Conf, 2006, 4.
- [5] 抽水蓄能专委会, 新源公司. 再认识抽水蓄能电站. 积极推进我国抽水蓄能发展高层论坛, 北京, 2006, 12.

从经济性角度看抽水蓄能电站站址选择

邱彬如

(中国水电顾问集团北京勘测设计研究院)

【摘要】 本文试图从近年建设的 11 个大型抽水蓄能电站投资分析入手, 从经济性的角度讨论抽水蓄能电站站址选择中需考虑的主要因素。

【关键词】 抽水蓄能电站 站址选择 经济性

对于抽水蓄能电站站址选择, 国外流行一种观点: “站址选择决定一切”, 认为抽水蓄能电站建设投资费用的多少有 70%~80% 取决于站址的优选。因此, 在抽水蓄能电站建设中对站址选择赋予高度重视。以往我国抽水蓄能电站站址选择主要学习国外抽水蓄能开发较早的国家的经验, 但由于我国自然条件的特点, 例如北方地区有些河流泥沙含量较大, 对抽水蓄能电站枢纽布置影响较大, 需要总结适合我国实际的选址原则。本文试图从近年建设的 11 个大型抽水蓄能电站投资分析入手, 从经济性的角度讨论抽水蓄能电站站址选择中需考虑的主要因素。

通常认为抽水蓄能电站的经济性与电站水头关系密切, 水头较高的站址较有利, 因为同样规模的抽水蓄能电站, 水头高的电站所需上、下水库库容, 水道直径和厂房尺寸都可小些。因此, 为便于不同规模电站的比较, 本文以额定水头作为主要变量, 以单位容量投资作为考察对象。将各电站投资均按 2005 年下半年的价格水平予以调整。

1 静态总投资

近年建设的 11 个大型抽水蓄能电站简况详见表 1。

表 1 抽水蓄能电站基本情况

项目名称	资料编制年限	装机容量 (MW)	额定水头 (m)	工程静态总投资 (万元)	上水库类型	下水库类型	上水库库盆防渗	下水库库盆防渗	高压主管衬砌型式
泰安	1998 年 9 月	1000	253	351412	新建水库	大河水库	全库盆土工膜 + 混凝土衬砌 + 灌浆帷幕	—	钢筋混凝土
西龙池	2000 年 12 月	1200	640	443471	新建水库	新建水库	全库盆沥青混凝土衬砌	沥青混凝土衬砌 + 混凝土衬砌	钢管
张河湾	2002 年 3 月	1000	305	370906	新建水库	张河湾水库	全库盆沥青混凝土衬砌	—	钢管
宜兴	2002 年 3 月	1000	353	391825	新建水库	会坞水库	全库盆钢筋混凝土衬砌	—	钢管
桐柏	2002 年 4 月	1200	244	353019	桐柏水库	新建水库	—	2 号 堰口帷幕	钢筋混凝土
琅琊山	2002 年 7 月	600	126	193971	新建水库	城西水库	灌浆帷幕 + 黏土铺填 + 溶洞混凝土回填	—	钢筋混凝土 + 钢管
宝泉	2002 年 8 月	1200	510	370745	新建水库	宝泉水库	全库盆库坡沥青混凝土衬砌 + 库底黏土铺盖	—	钢筋混凝土

续表

项目名称	资料编制年限	装机容量 (MW)	额定水头 (m)	工程静态总投资 (万元)	上水库类型	下水库类型	上水库库盆防渗	下水库库盆防渗	高压主管衬砌型式
蒲石河	2003年1月	1200	308	356608	新建水库	新建水库	库盆基本不做防渗, 仅两岸坝肩帷幕		钢筋混凝土
惠州	2003年11月	2400	517.4	705606	新建水库	新建水库	坝口及单薄分水岭设灌浆帷幕	副坝及坝口设帷幕	钢筋混凝土
白莲河	2004年4月	1200	195	353549	新建水库	白莲河水库	低缓分水岭+坝口防渗墙+灌浆帷幕	—	钢筋混凝土
呼和浩特	2005年12月	1200	513	490363	新建水库	新建水库	全库盆钢筋混凝土衬砌	帷幕(左岸全部+右岸90m)	钢管

从图1所示的11个电站单位容量静态总投资可见, 白莲河抽水蓄能电站单位容量静态总投资最小为3110元/kW, 宜兴抽水蓄能电站最大为4550元/kW, 两者相差1440元/kW, 后者为前者的1.46倍。说明抽水蓄能电站自然条件不同, 抽水蓄能电站单位容量静态总投资差别较大, 优选站址很重要。

图2所示为单位容量静态总投资与额定水头的关系, 从趋势线看, 水头高时单位容量静态总投资不降反升。说明抽水蓄能电站单位容量静态总投资与额定水头的关系并不明显, 还有一些更重要的因素影响着抽水蓄能电站的投资。

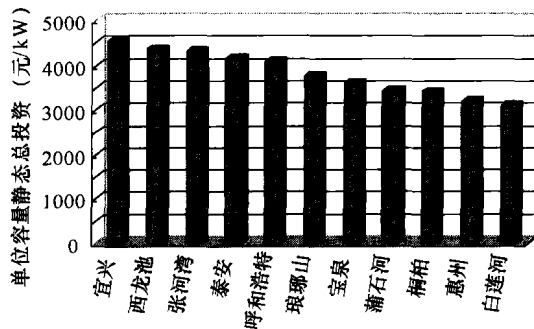


图1 抽水蓄能电站单位容量静态总投资

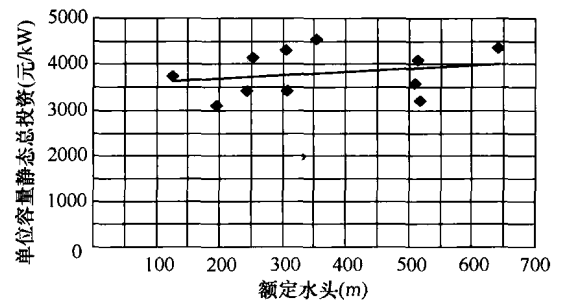


图2 单位容量静态总投资与额定水头关系

2 机电与建筑物

图3所示为单位容量机电投资与额定水头的关系, 各工程单位容量机电投资都在 (1400 ± 150) 元/kW, 最小的桐柏抽水蓄能电站为1252元/kW, 最大的白莲河抽水蓄能电站为1543元/kW, 两者相差仅291元/kW。可见机电投资主要取决于电站装机容量, 与各个工程的自然条件关系不大。

单位容量机电投资与额定水头的关系也不明显。分析其原因, 首先, 水头变化主要影响主机设备, 而电气设备的投资与水头高低无关, 因此水头变化对总的机电投资影响较小。其次, 随水头增加, 机组尺寸减小, 重量相应减轻, 但制造难度有所增加, 使单价提高, 两者有所抵消。因此, 在抽水蓄能电站站址选择中不必过多考虑机电投资的因素。

图4所示为单位容量建筑物投资与额定水头的关系, 此处“建筑物”仅包括上水库、下水库、厂房、水道(含压力钢管)的投资, 不包括交通和房屋建筑等其他建筑物的投资。由图4可见, 各工程单位容量建筑物投资差别很大, 最小的白莲河抽水蓄能电站仅560元/kW, 而最大的宜兴抽水蓄能电站为1814元/kW, 两者相差1254元/kW, 后者为前者的三倍多。显然影响电站静态总投资差别的主要因素是各电站土建工程的差别, 也即是各个电站站址自然条件的差别。下面讨论各部位建筑物对投资的影响, 找出站址选择中应考虑的主要影响因素。

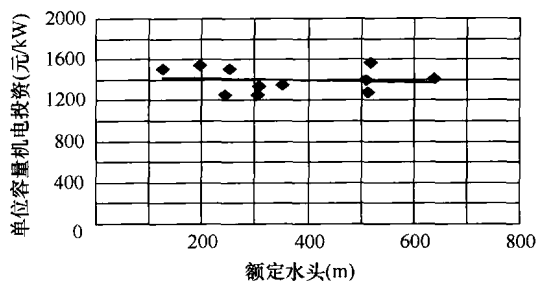


图3 单位容量机电投资与额定水头关系

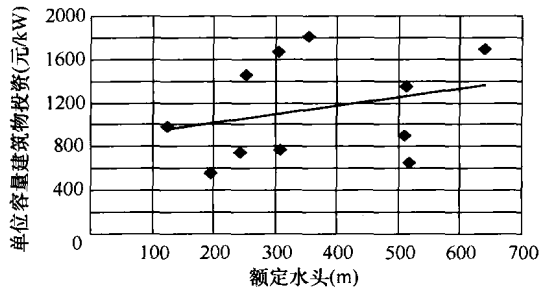


图4 单位容量建筑物投资与额定水头关系

3 上水库

图5所示为单位容量上水库投资与额定水头的关系,各电站上水库单位容量投资差别很大,如桐柏和白莲河抽水蓄能电站仅为42元/kW和49元/kW,而张河湾和宜兴抽水蓄能电站为959元/kW和942元/kW,最大相差达900元/kW以上。这是影响工程静态总投资差别的最大因素,因此,上水库应成为选址时考虑的重点。

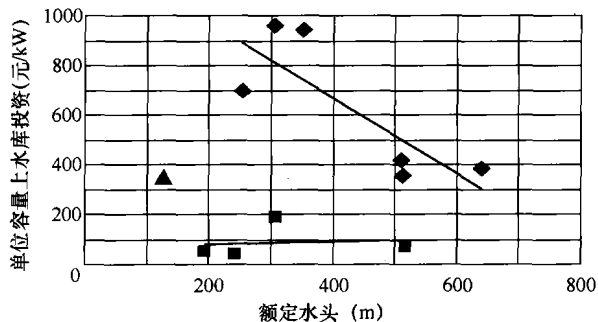


图5 单位容量上水库投资与额定水头关系

◆—全库盆防渗; ■—一库盆局部帷幕防渗; ▲—琅琊山

由图5可见,当不需要做全库盆防渗,只做局部帷幕灌浆防渗的情况下,上水库单位容量投资不超过190元/kW,与新建下水库投资相当。当然,一般上水库地形地质条件不如下水库,单位容量投资较下水库要稍高些。这种条件下,上水库单位容量投资与额定水头几乎不相关。

当需要做全库盆防渗时,上水库单位容量投资大大增加,从呼和浩特抽水蓄能电站的356元/kW至张河湾抽水蓄能电站的959元/kW。全库盆防渗面积与库容大小关系密切,在同等规模下,水头愈高,所需库容愈小,全库盆防渗面积相应就小。因此,全库盆防渗的上水库,其单位容量投资与额定水头关系较密切。

全库盆防渗时衬砌型式影响不如水头影响大。西龙池抽水蓄能电站采用沥青混凝土衬砌,上水库单位容量投资为385元/kW(额定水头640m);呼和浩特抽水蓄能电站采用钢筋混凝土衬砌,上水库单位容量投资为356元/kW(额定水头513m);宝泉抽水蓄能电站采用库坡沥青混凝土衬砌+库底黏土铺盖,上水库单位容量投资为416元/kW(额定水头510m);泰安抽水蓄能电站采用土工膜+混凝土衬砌+灌浆帷幕,上水库单位容量投资为696元/kW(额定水头253m)。宝泉与呼和浩特抽水蓄能电站额定水头相当,宝泉电站库底采用黏土铺盖,单位容量投资并不省。泰安抽水蓄能电站采用土工膜等复合防渗,由于额定水头比其他电站低得多,单位容量投资反而高许多。

琅琊山抽水蓄能电站额定水头才126m,上水库防渗措施介于全库盆防渗与局部帷幕防渗之间,采用2290m长的灌浆帷幕+库底局部黏土铺填+溶洞混凝土回填,单位容量投资为351元/kW。

全库盆防渗的抽水蓄能电站上水库单位容量投资高,不只是因为增加了防渗衬砌的费用,还由于此类上水库通常库容较小,又要求库盆形状较规整,因此石方开挖量较大(见图6)。如无天然库盆条件,还要靠筑坝围成水库时,单位容量上水库坝体填筑量也较大(见图7)。如张河湾和宜兴抽水蓄能电站上水库单位容量投资分别为959元/kW和942元/kW,不仅比不做全库盆防渗的工程高700~800元/kW,也比其他全库盆防渗的工程高得多。除了因为额定水头较低(分别为305m和353m),相对需要较大库容,库盆防渗衬砌面积大之外;还由于上水库地形条件不利,需要靠大量开挖和填筑坝体取得库容。两者上水

试读结束:需要全本请在线购买: www.ertongbook.com