

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 2013

CHOUSHUI XUNENG
DIANZHAN GONGCHENG
JIANSHE WENJI 2013



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 2013

CHOUSHUI XUNENG
DIANZHAN GONGCHENG
JIANSHE WENJI 2013



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. 2013/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, 2013. 11

ISBN 978-7-5123-5092-2

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 (2013) 第 256397 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>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 11 月第一版 2013 年 11 月北京第一次印刷

880 毫米×1230 毫米 16 开本 29.75 印张 932 千字

定价 120.00 元

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



序



近年来，随着电力系统装机规模的不断扩大、第三产业和居民用电比重的不断增加、可再生清洁能源电力的快速发展，调峰矛盾、拉闸限电和弃风弃水弃光等问题突出。因此，必须充分认识抽水蓄能电站在电力系统中的重要性，高度重视抽水蓄能电站运行管理，优化电力调度，有效发挥已建电站在解决电网峰谷运行矛盾、保障电力系统安全稳定运行、提高电网消纳可再生能源电力的能力、保障能源高效利用等方面的作用。


抽水蓄能电站不仅具有运行方式灵活，反应迅速，具备调峰填谷、调频调相、紧急事故备用以及电网黑启动等多种功能，同时它还是一个经济、环保、技术可靠、容量大、寿命长的优质储能装置。因此它不仅在保证电网安全、稳定和经济运行方面有不可替代的作用，同时由于其优越的大容量储能功能，也为电网更多地接收风电、太阳能等清洁能源奠定了坚实的基础。起源于资本主义社会的抽水蓄能电站，经历了一百多年的历史还在蓬勃发展，本身就说明它具有技术经济优势。对于目前我国抽水蓄能电站在建设、调度运行等方面存在的一些问题，只能说明我国的电力体制和电价机制还需要进一步完善，而不能说明抽水蓄能电站本身存在问题。我们相信，随着时间的推移，社会的发展，这些问题终将得到解决。

作为电网中重要调节工具的抽水蓄能电站，在我国电力工业“十二五”规划中，明确要求到2015年其装机规模达到4100万kW。截至2012年底，全国在建抽水蓄能电站8座（装机容量894万kW），建成投产25座（装机容量

2066.75 万 kW), 总装机容量 2960.75 万 kW, 约占全国总装机容量的 1.7%。同时全国 20 多省、区、市的抽水蓄能电站站址规划已完成, 还有多个站址在开展不同阶段的前期工作。尽管我国抽水蓄能建设在迅速发展, 但是抽水蓄能电站区域发展尚不平衡, 其装机容量占系统总装机容量的比重依然偏低, 因此我们的工作任重而道远。

2012 年, 全国抽水蓄能机组运行时间只有 1418.93h, 运行系数仅为 16.15%。使用率非常低, 其运行管理问题受到行业管理部门的高度关注。2013 年 7 月, 国家能源局下发《关于加强抽水蓄能电站运行管理工作的通知》, 针对当前抽水蓄能电站存在的问题, 要求进一步加强运行管理。强调了抽水蓄能电站的重要地位和作用, 明确提出要研究解决运行体制和电价机制等难题, 以促进电站的健康有序发展。随着电力体制改革的逐步推进和电价机制的逐步完善, 抽水蓄能电站的实际作用将会得到充分的发挥, 其本来面目将会得到还原, 其发展也将迎来更为广阔的空间。

A handwritten signature in black ink, appearing to be '郭学成' (Guo Xuecheng), written in a cursive style.



编者的话

《抽水蓄能电站工程建设文集 2013》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）组稿，是专委会出版的第 18 部抽水蓄能学术年会论文集，共收录 93 篇文章。

本文集内容丰富，包括抽水蓄能电站的发展与电价模式、抽水蓄能电站与核电联营探讨、电站建设和运营问题、设计综述与设计优化、机电设备的国产化之路、绿色施工技术、静态效益定量评估与运行优化等。介绍了若干已建、在建抽水蓄能电站的土建工程及其机组的设计实践、设计优化、施工经验，以及采用的新技术等。

本次征文共收到文章 130 余篇，限于篇幅，同时为使内容精炼，在编辑过程中，对一些介绍相同工程、内容相近的文章做了适当合并和删减，特在此向作者说明。

秘书处对各位委员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电网调峰与抽水蓄能专业委员会秘书处

2013 年 10 月



目录



序

编者的话

抽水蓄能发展规划与建设管理

抽水蓄能电站发展与电价模式浅析	张振有	余贤华	(3)
正确认识与发展抽水蓄能	刘殿海	宋欣	葛杨 (7)
论抽水蓄能电站的特殊性及其产业政策——关于我国发展 抽水蓄能电站的再思考	毛三军	胡亚益	汪聿为 吴迪 (11)
运用风险管理技术提升抽水蓄能建设工程合同管理效率	张菊梅	葛杨	(16)
抽水蓄能电站运维一体化管理模式的创新与实践	毕扬	鲍峰	(20)
基于模糊综合评判模型的抽水蓄能电站综合评价问题研究	李雪娇	张晖	(24)
抽水蓄能电站与核电联营可行性研究分析	蔡飞祥		(28)
当前抽水蓄能电站建设的问题研究	常东亮	倪冉	(33)
抽水蓄能电站建设和运营问题的对策及建议	李光伟		(36)
浅析抽水蓄能电站的运行管理	李海波	周文冬	(40)
浅析抽水蓄能企业综合性统计管理的完善	秦晓宇	宋欣	葛杨 (44)
抽水蓄能电站项目调价公式的应用与比较	马赫	周文冬	(48)
山西省抽水蓄能电站建设空间分析	唐修波	戴莉	(51)
连云港抽水蓄能电站建设的必要性及与风景区协调发展分析	崔国华	张丹庆	(56)
湖南电网对抽水蓄能电站的需求分析	刘建雄		(61)
浅议抽水蓄能电站在系统中运行功能发挥	余贤华	秦晓宇	(64)

抽水蓄能电站工程设计

浅谈蒲石河抽水蓄能电站的水库调度	郭红永	韩宏韬	王培杰	胡云鹤	杨凯	(75)
呼和浩特抽水蓄能电站上水库沥青混凝土面板设计	赵轶	任少辉	陈建华	阳春树		(78)
抽水蓄能电站冰情研究展望	赵海镜	靳亚东	郭新蕾			(84)
平江抽水蓄能电站上水库泄水建筑物优选设计				朱友军		(88)
琼中抽水蓄能电站枢纽布置	童恩飞	李登波	王化龙			(91)
清远抽水蓄能电站上水库大坝设计综述	刘林军	郭建设				(97)

绩溪抽水蓄能电站下水库大坝分区设计优化	徐 耿	(103)
敦化抽水蓄能电站地下厂房位置的选择	刘永峰 陈 丹	(109)
中偏尾部开发方式在洛宁抽水蓄能电站中的应用	赵 路 雷谷峰 童恩飞	(115)
抽水蓄能电站地下工程地质灾害风险控制	罗绍基 刘学山	(120)
呼和浩特抽水蓄能电站施工组织设计综述	吴宝隆	(125)
基于混凝土绝热温升计算的碾压混凝土重力坝中热、普硅水泥应用 对比分析及温控措施建议	温家华	(130)
文登抽水蓄能电站电气主接线方案比选分析	李永林	(135)
平江抽水蓄能电站单机容量选择探讨	郑建兴 段慧梅 曾艳梅 吴 胜	(140)
仙居抽水蓄能电站水泵水轮机 S 特性优化设计	刘伟超 郑津生 陈 舰 石清华	(148)
大型抽水蓄能机组跳闸流程及逻辑设计探讨	汪志强 彭煜民	(153)
降低抽水蓄能电站综合厂用电量的方法探讨	全风云 王坤杰	(159)
充水保压蜗壳保压值优化分析	聂金育	(163)
安徽佛子岭抽水蓄能电站动能设计特点	王 平	(168)
1000MPa 级别高强钢模型岔管水压试验研究	王建华 李 明 刘 婕	(173)
广州蓄能水电厂 B 厂尾水事故闸门门叶改造	肖苏平	(180)
钢管展开 CAD 自动成图系统 (PSCAD) 的开发和应用	熊 将 杜英奎 张 杰	(184)

抽水蓄能电站机组装备试验与制造

抽水蓄能电站机电设备的国产化之路	何永泉	(189)
抽水蓄能机组同期装置特点及其改进	贺儒飞	(198)
抽水蓄能电站发电电动机的过渡过程	赵 政	(203)
基于自适应控制的抽水蓄能机组调速器各工况控制算法研究及应用	巩 宇	(210)
抽水蓄能电站谐振问题的分析	李海波 仇 岚	(217)
抽水蓄能电站过渡过程研究与思考	王伦其 丁景焕	(223)
电气制动原理分析及其在抽蓄机组上的应用	邸海燕 郑树青 陈灵峰 杨文道	(231)
天荒坪抽水蓄能电站设备运行统计与可靠性分析	朱兴兵 吕 峰	(235)
抽水蓄能电站 AGC 成组控制实现	罗华枚	(241)
抽水蓄能电站静止变频器 (SFC) 工作原理分析	易成功	(248)
基于 IGBT 的静止变频器在抽水蓄能电站的应用	金守迁	(255)
天荒坪抽水蓄能电站发电机—变压器组保护改造后轴电流保护整定	姜跃东 危 伟 陈 刚	(262)
面向智能电网抽水蓄能电站成组控制策略优化和应用	范建强	(266)
大型抽水蓄能机组励磁系统特点分析	李潇洛 徐东海	(271)
ELIN 励磁系统在天荒坪抽水蓄能电站的应用	方军民	(275)
抽水蓄能电站通信传输网优化研究与应用	张海华	(278)
响水涧抽水蓄能电站首机首次水泵启动试验研究	张兰丁 吴 征 肖贡元 杨向上	(283)
仙游抽水蓄能电站发电电动机弹性支撑双向推力轴承 研发	杨培平 钟海权 杨仕福 骆 林 黄 群	(293)
仙游抽水蓄能电站机组盘车探讨	李向阳 王 伟 冉小雷	(297)
单导叶接力器在泰山抽水蓄能电站的应用	姜红伟 胡 浩 李立秋	(301)
惠州抽水蓄能电站厂用电系统与设备供货综述	赵盛巍 王 瑶 曲梦泽	(305)
溧阳抽水蓄能电站金属结构设备简介	诸大江 陈忠宾 高从闯	(309)

天荒坪抽水蓄能电站 SFC 功率柜冷却水管电腐蚀原因分析	廖文亮	方军民	(311)
仙居抽水蓄能电站主机设备的招标和设计介绍	何 铮	赵志文	(313)
大型抽水蓄能机组首次启动调试技术应用	蔡 鹏	刘景辉	(317)

抽水蓄能电站工程施工实践

仙居抽水蓄能电站岩壁梁岩台开挖质量控制	吴建宏		(325)
仙居抽水蓄能电站下水库围堰垂直防渗施工技术	王家鹏		(329)
仙居抽水蓄能电站地下厂房岩锚梁区开挖爆破技术浅析	仵海强	陈张华 李亚东	王 波 (335)
仙游抽水蓄能电站尾水调压井滑框倒模施工技术	王增武	喻志洁	郭奇志 (340)
浅谈仙居抽水蓄能电站地下厂房开挖围岩应力应变的控制			叶 林 (345)
仙游抽水蓄能电站 1 号引水隧洞充排水试验	王增武	仲启波	刘占海 (350)
仙游抽水蓄能电站 1 号下斜井高压固结灌浆施工技术	张维国		董珍妮 (358)
仙居抽水蓄能电站上水库主副坝坝体填筑施工质量管理			王宏伟 (361)
西龙池抽水蓄能电站渗流光纤测量系统在沥青面板中的应用	朱小锋		赵 磊 (365)
西龙池抽水蓄能电站引水系统 780 级钢管安装技术			张忠和 (375)
响水涧抽水蓄能电站上水库混凝土施工质量通病及预防措施	袁 丽		付桂生 (380)
响水涧抽水蓄能电站上水库绿色施工技术措施	杨贵仲	尹成福	潘福营 (383)
清远抽水蓄能电站地下厂房土建施工管理浅析			万 晟 (386)
地下厂房岩锚梁锚杆施工质量控制措施分析	王 波	李亚东 陈张华	仵海强 (391)
抽水蓄能机组热拔推力头工艺探讨	孙成玲	李 涛	林永忱 (396)
呼和浩特抽水蓄能电站压力钢管 800MPa 级高强钢焊接工艺评定浅析			张忠和 王世云 (400)
抽水蓄能电站陡倾角斜井测量控制			王永贺 (405)
抽水蓄能电站中化学法检验骨料碱活性的技术探讨	赵晓菊		郑海伦 (409)

其 他

关于抽水蓄能项目前期工作费用风险控制一点讨论	孙 勇	葛 杨	宋 欣 (415)
基于索赔管理为主的竣工结算梳理业务实践与探索	王志峰	江根友	翟海燕 (420)
抽水蓄能项目执行概算编制探讨			周 堃 (425)
输配电管制模式与定价方法研究	王卿然	周文冬 张 晖	王玉成 (429)
广州抽水蓄能电站静态效益定量评估与运行优化			刘国中 (433)
发电侧峰谷分时电价机制促进抽水蓄能电站投资回收研究	郭大军	张丹庆	陈振虹 (439)
抽水蓄能电站通风兼安全洞工程赶工索赔分析			柴小龙 (445)
浅析响水涧抽水蓄能电站监控系统机组顺序控制流程			魏 李 (447)
基于 Maximo 平台的抽水蓄能电站基建期机电设备数据采集系统 建设	陈泓宇	李 华	王靖宇 (452)
浅谈天荒坪抽水蓄能电站统计工作的开展	朱兴兵		吕 峰 (457)
响水涧抽水蓄能电站土建工程资料整编与档案验收			何颖珊 (461)
翻译工作在抽水蓄能电站工程技术引进来和走出去中作用的探讨			齐 文 (464)

抽水蓄能电站工程建设文集 2013



抽水蓄能发展规划与建设管理

抽水蓄能电站发展与电价模式浅析

张振有 余贤华

(国网新源控股有限公司)

【摘要】 本文通过剖析新源公司抽水蓄能电站投资、电价、电费结算和规划等情况,对我国抽水蓄能电站发展和电价模式进行研究。在对当前抽水蓄能电站情况总结的基础上,结合国外发展经验,提出关于抽水蓄能电站发展和电价模式等几个问题的认识和相关建议。

【关键词】 抽水蓄能电站 现状 发展 电价模式

1 引言

国网新源控股有限公司(简称新源公司)是负责国家电网经营区域内抽水蓄能电站开发、建设和经营管理的专业化公司。截至2013年6月底,运行抽水蓄能电站共17座,装机容量14570MW,在建机组容量9660MW。

发展抽水蓄能对保障电力系统安全稳定经济运行、提高供电质量,促进我国经济结构调整和能源结构优化具有重要意义。抽水蓄能在缓解电力系统调峰矛盾、提高电网新能源接纳能力、保障电网安全稳定运行和供电质量方面发挥了积极作用,其重要性已得到业内公认。

本文通过剖析新源公司抽水蓄能电站发展和现状,对我国未来抽水蓄能电站发展和电价模式进行简要分析。

2 现有抽水蓄能电站概况

2.1 现有电站投资模式

新源公司现有运行和在建抽水蓄能电站共23座,不同历史时期逐渐形成以下3种投资模式。

(1) 电网内外合资建设。电网公司和地方投资企业共同出资成立项目公司,在项目所在地注册。主要包括泰安、张河湾、西龙池、天荒坪、桐柏、宜兴、响洪甸、琅琊山、响水涧、宝泉、蒲石河、仙游、仙居、洪屏等抽水蓄能电站。采取电网与地方合资建设抽水蓄能电站,主要基于项目建设征地移民困难和地方政府实际需求,更快更好地推进抽水蓄能电站项目建设。

(2) 电网内部合资建设,并在项目所在地注册,成立项目公司。主要包括白莲河抽水蓄能电站,由新源公司和湖北省电力公司共同出资。采取这种方式既解决了抽水蓄能电站发展资本金不足的问题,也可以很好地解决项目与地方税收和跨区服务电站的费用传导难题。

(3) 电网独资建设,在项目所在地成立非法人性质的分公司。包括十三陵电厂、潘家口电厂、白山和回龙电站等抽水蓄能电站。

2.2 现有运营电站电价模式

新源公司已投运抽水蓄能电站共17座,目前主要执行4种电价模式:

- (1) 单一电量电价。包括十三陵、响洪甸和回龙3座抽水蓄能电站。
- (2) 两部制电价。为天荒坪抽水蓄能电站。
- (3) 容量电费制。包括泰山、桐柏、琅琊山、宜兴、张河湾、西龙池和宝泉7座抽水蓄能电站。
- (4) 实行电网内部结算。包括潘家口、白山、白莲河、响水涧和蒲石河等抽水蓄能电站。

2.3 现有运营电站电费结算方式

目前,新源公司抽水蓄能电站电费结算主要有2种方式:

- (1) 控股公司、全资子公司。回龙和白山抽水蓄能电站,由电站直接与相应网省公司结算。电站作为

法人单位,直接与网(或省)电力公司签订并网调度协议,购售电协议也与网(或省)公司签订,并根据购售电协议进行结算管理。抽水蓄能电站直接与签订协议的网(或省)电力公司收取电费。其中涉及多省承担电费的,由区域分部(公司)负责从相应省公司收取后,区域分部(公司)统一支付给电站。

(2) 实行分公司管理。十三陵、潘家口抽水蓄能电站,由新源公司直接与相应网(省)电力公司结算。其中涉及多个省电力公司承担电费的,由区域分部(公司)负责从相应省电力公司收取,并电费结算至新源公司本部,电站实行内部核算管理。

2.4 电站建设开发规划情况

国家电网公司高度重视抽水蓄能电站建设,并对抽水蓄能发展进行专题研究,提出到2020年国家电网经营区域内抽水蓄能机组投产装机容量达到36000MW。为此,新源公司对抽水蓄能发展规划进行了调整,除目前已经进行核准筹备开工的项目外,2013年计划开工4200MW,2014年计划开工5150MW,2015年计划开工5600MW。

根据国家电网公司统一部署,新源公司正在加快抽水蓄能电站建设开发力度。截至2013年6月底,新源公司配合水电水利规划设计总院(简称水规总院)已完成19个省份的抽水蓄能规划审查,其中13个省份抽水蓄能规划已得到国家能源局批复。结合国家发展和改革委员会、水规总院开展的抽水蓄能规划选点规划工作,新源公司已启动20个项目预可研工作。

3 关于抽水蓄能电站几个问题的认识

随着我国经济结构调整和能源结构优化,全国用电增长逐渐趋缓,但用电峰谷差逐渐增大,系统调峰矛盾日益突出。同时,风电、大型光伏电站、分布式能源以及核电等清洁能源迅猛发展,对电网安全稳定运行带来新的挑战,迫切需要通过提高电力系统运行的灵活性,抽水蓄能电站通过为系统提供可靠的调峰、调频、紧急事故备用等辅助服务,能有力保障电力系统安全稳定经济运行。

3.1 电网企业统一建设和运营抽水蓄能电站的必要性

(1) 电网企业统一建设和运营抽水蓄能电站,有利于实现抽水蓄能电站建设的统一规划,促进抽水蓄能产业有序发展需要。

随着我国电力工业的发展,抽水蓄能服务的电力系统已不再只是局部电网,而是在区域电网及跨区互联电网中发挥优化、平衡作用。同时,不同省份之间经济发展的差异、站址资源的约束、电网结构和负荷特点的不同等客观因素,决定我国抽水蓄能电站的规划必须以电力发展需要为前提,充分结合目前及未来电源的结构优化、电网发展、电源与电网布局、负荷潮流变化、负荷变化特点等因素进行统筹规划,确保抽水蓄能电站选点规划与电网发展规划保持一致,才能够有效实现国家能源局提出的“根据各电力系统负荷分布情况和站址资源条件,合理布局各省网、区域电网的抽水蓄能电站”的规划要求,实现我国抽水蓄能产业有序发展。

(2) 电网企业统一建设和运营抽水蓄能电站,有利于抑制盲目开发,实现我国抽水蓄能产业的有序适度发展。

抽水蓄能的发展,需要在规划选址的基础上,根据国家区域战略部署和电力系统负荷预测,结合地方经济承受能力等因素进行适度开发,以发挥电力系统的整体经济性。

由于抽水蓄能的投资对当地经济的积极拉动作用,以及当地政府对电站良好的社会和财务收益预期,大大激发了多方建设抽水蓄能电站的热情。近年来,按照国家能源局统一部署,新源公司在配合水规总院进行规划选点的过程中,不同程度地出现了各地方政府抢项目的现象,部分省份甚至出现县县争项目进规划的局面。2004年“71号文”出台以前,一些地方政府上报和规划的抽水蓄能项目远远超过了电力系统的实际需求,各种投资主体竞相抢占资源,造成无序开发的局面。“71号文”出台后,国家对抽水蓄能电站的建设管理进行了规范,有力地促进适度开发的局面形成。随着水电、火电常规项目开发节奏放缓,核电建设门槛的提高,电力行业的投资需求与有限空间的矛盾进一步加剧,部分发电企业也开始进行抽水蓄能项目的开发。电网企业有条件立足于电力系统的客观需求,理性开发建设抽水蓄能电站,实现我国抽水

蓄能的有序适度发展，避免国家资源浪费。

(3) 从国外发展历程和管理模式看，抽水蓄能电站仍是以电网统一建设和运营管理为主，发展经验值得借鉴。

目前，世界上抽水蓄能电站开发规模和装机容量较大的主要国家有 5 个，包括美国、法国、英国、日本和德国，这些国家抽水蓄能电站的功能从早期单纯的调峰填谷已发展成为电网的综合管理工具。虽然抽水蓄能电站的建设投资体制和经营方式与本国电力市场化改革建设的完善程度有关联，但从各国抽水蓄能电站投资主体和电价机制来分析，抽水蓄能电站投资体制没有随电力体制变化而发生根本性的改变，法国、日本、美国、英国等发达国家仍然以电网企业为主，统一投资和运营抽水蓄能电站，其中法国比较典型。

法国经过国内多年的讨论后，抽水蓄能电站从 2000 年开始作为独立竞争性电厂参与市场竞争，由于市场化运营后，电站成本得不到补偿，法电 (EDF) 在 2000~2004 年期间曾经考虑将所有抽水蓄能电站停止运营。2004 年之后，抽水蓄能电站重新作为电网管理工具，由电网统一投资和运营管理，才使原有抽水蓄能电站实现正常运营。

同时，独立发电商投资建设抽水蓄能，主要在已建立比较完善的电力市场竞价机制和完备的辅助服务定价标准的国家，我国目前并不具备这些政策环境和价格体系基础。因此，从国外抽水蓄能电站发展历程和经验来看，抽水蓄能电站电网企业统一建设和经营更为有利。

(4) 电网企业统一建设和运营抽水蓄能电站，有利于调度运行关系的协调，实现系统效益最大化。

相对常规电源，抽水蓄能电站的突出特点是运行灵活，能快速适应系统多种紧急功能需要，由此带来电站运行方式的复杂多变，进而对调度机构和运行方式的依赖更加紧密，同样，电网安全稳定也对抽水蓄能电站的可靠运行更加依赖，这种独特的厂网联动与相互依赖，客观上需要基于利益一体化的投资与运营模式，能充分发挥电站的综合效益，由电网企业统一建设和运营抽水蓄能电站，可以低成本平衡利益关系，能确保调度机构能灵活、快捷地调用电站，对更好保障系统安全，提高供电质量，实现系统效益最大化。

3.2 抽水蓄能电价机制应能体现促进产业发展和投资的合理收益

(1) 抽水蓄能电价模式，要促进抽水蓄能产业健康发展。

从目前新源公司抽水蓄能电站采用的几种电价模式来看，电量电价完全与发电量挂钩，由于抽水蓄能电站与常规电源相比较，电量不是电站效益的主要体现，电量电价模式既不能充分发挥抽水蓄能的综合功能，也不能实现电站正常电费回收。目前新源公司运营 3 家单一电量电价制单位，十三陵和响洪甸处于盈亏平衡水平，而回龙抽水蓄能电站已累计亏损 2.24 亿元，超过资本金 2 倍，已严重资不抵债。

容量电费是新源公司抽水蓄能电站采用的主要电价模式，由于容量电费完全与电量、设备利用状况脱钩，不利于充分发挥电站的调峰、调频等动态效益。容量电费模式下企业经营期收入基本固定，无有效增收空间和手段，也不利于调动电站的积极性，在成本上涨的情况下影响电站收益。

同时，目前执行的容量电费需要从发电侧、销售侧和电网环节等多种渠道回收，执行难度较大，突出的问题表现在两方面：

1) 发电侧电费落实困难。目前，在全国煤价高涨的环境下，发电企业发电积极性普遍不高，导致抽水蓄能电站由发电侧承担的容量电费部分难以通过招标抽水电量的方式足额疏导。特别是煤价上涨后，抽水电量指导价与标杆上网电价价差逐年增大，加剧抽水蓄能电站发电侧承担的容量电费落实难度。

2) 运行损耗承担主体不明确。现行容量电费由发电、电网、用户各消纳 25%、50%、25%，但由于抽水蓄能电站运行损耗电费的承担问题没有明确，在没有发电侧峰谷上网电价的情况下，运行抽水蓄能电站将直接增加电网经济负担，影响电站的正常使用。

(2) 抽水蓄能电站电价水平，要确保电站合理的成本需要和投资收益的合理回收。

近年来，新源公司抽水蓄能电站经营较为困难。从总体情况看，抽水蓄能电站经营情况呈现出以下特点：

1) 整体盈利水平偏低。实际利润水平远低于国家核价的收益率水平。

2) 利润结构分布不均衡。新源公司目前运行抽水蓄能电站中, 利润主要集中在极少数运行年份偏长的抽水蓄能单位, 近几年新投产电站资产规模大, 特别是实行容量电费的 7 家抽水蓄能电站, 大部分电站处于亏损或盈亏平衡状态。

导致抽水蓄能电站经营效益差主要原因是物价上涨引起的成本刚性增长、国家信贷政策调整。同时, 原有容量电费核价参数偏低, 特别是资本金收益率、修理费和折旧率等明显低于项目实际需求, 也是一个重要原因。近几年, 随着国产化抽水蓄能机组陆续投产, 机组运行维护成本也较几年前投产的纯进口机组增加, 因此, 抽水蓄能电站电价水平, 要通过设置合理参数, 确保电站合理的成本需要和投资收益的合理回收。

(3) 抽水蓄能电站电价机制要适当体现对电站管理行为的激励。

目前, 我国发电企业的电价核定, 采取经营期算法, 主要考虑企业成本和投资收益需要。相对于火电、常规水电、核电和其他新能源企业而言, 抽水蓄能电站在采取固定容量电费模式下, 多年收入基本固定, 电站本身设备健康状况好坏、自身运行水平高低和对电网(系统)贡献付出多少, 不能及时体现在电站电费收入中, 现有定价方式在体现对电站贡献大小的激励方面, 需要深化完善。

4 结论及建议

从发达国家的抽水蓄能发展历程看, 经济发展水平、电源结构、新能源及水资源的开发程度等因素, 都会对抽水蓄能产业的发展产生一定的影响。我国经济发展形势向好, 新能源开发步伐加快、资源大范围优化配置的发展趋势下, 抽水蓄能电站的重要作用将愈加凸显。

因此, 为了保证抽水蓄能电站的快速发展和健康运营, 建议政府主管部门加强以下有关工作:

(1) 现阶段应坚持由电网经营企业统一规划建设和管理抽水蓄能电站, 采用由电网企业全资或地方适当参股共同投资建设抽水蓄能电站的管理方式。

(2) 对抽水蓄能电站应以合理方式单独核定电价, 并在销价疏导时进行统筹考虑, 便于抽水蓄能企业进行电费收入结算, 确保电站建设对地方经济社会发展贡献力量。

(3) 核定抽水蓄能电站电价时, 建议适当兼顾电站正常成本需求、物价上涨和合理投资收益, 适当提高现有核价参数水平。

参考文献

- [1] 潘家铮, 何璟. 中国抽水蓄能电站建设[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.
- [2] 邱彬如. 世界抽水蓄能电站新发展[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.
- [3] 朱美芳, 姚瑜. 现有抽水蓄能电站电价机制及经营模式的研究[J]. 华东电力, 2007, 35(5): 65-67.

正确认识与发展抽水蓄能

刘殿海¹ 宋欣² 葛杨³

(1 国网新源控股有限公司; 2 国网物资有限公司; 3 国网山东省电力公司德州供电公司)

【摘要】 本文总结了世界和我国抽水蓄能发展的最新成果, 对比分析了我国抽水蓄能发展的不足。通过深刻分析新能源、分布式发电、大用户对电力系统带来的影响, 阐述了新形势下抽水蓄能在电力系统中的重要作用, 结合国家政策要求, 对我国抽水蓄能的未来发展进行了展望。

【关键词】 抽水蓄能 正确认识 发展展望

1 引言

从 1968 年岗南抽水蓄能电站投产至今, 经过几代人的不懈努力, 我国已在抽水蓄能机组制造、设计、施工、运行、管理机制等多方面积累了丰富的经验, 取得了巨大的成就。抽水蓄能已成为保障我国电力系统安全稳定经济运行的重要工具。当前, 随着新能源的大规模发展, 分布式发电的接入, 以及国家取消大用户直购电试点审批, 电网的可靠性和智能化程度需求不断增强, 电力系统对抽水蓄能的需求不断增加。2013 年 6 月, 《国家能源局关于加强抽水蓄能电站运行管理工作的通知》(国能新能〔2013〕243 号) 对新形势下我国抽水蓄能效益的发挥提出了更高要求。现就新形势下, 我国抽水蓄能的一些认识问题和未来发展方向进行一些探讨, 以便更好促进我国抽水蓄能发展, 更好服务坚强智能电网建设和经济社会发展。

2 世界及我国抽水蓄能的发展情况

2.1 世界抽水蓄能发展情况

20 世纪 50 年代, 西欧各国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总装机容量的 35%~40%。到 60 年代后期, 美国抽水蓄能电站装机容量跃居世界第一。进入 90 年代后, 日本后来居上, 超过美国成为抽水蓄能电站装机规模最大的国家, 保持至今, 见表 1。

表 1 2009 年世界部分国家的抽水蓄能装机容量比例

国家	装机容量 (MW)	比例	国家	装机容量 (MW)	比例
日本	25 460	10.7%	西班牙	5350	5.56%
波兰	1410	4.49%	意大利	7540	7.9%
德国	6670	4.9%	英国	2740	3.55%
法国	4300	3.8%	美国	22160	2.22%
挪威	1310	4.37%	澳大利亚	1490	2.78%

2.2 我国抽水蓄能发展情况

截至 2012 年底, 我国共有抽水蓄能电站 34 座, 其中投运 26 座 (容量 20 645MW)、在建 8 座 (容量 8940MW), 总装机容量达 29 585MW, 约占全国总装机容量的 1.7%。

2.3 我国与世界抽水蓄能发展的差距

抽水蓄能在电力系统中的合理规模与电力系统的电源结构、网架结构、负荷特性等多种因素有关。2009 年, 英国、美国、日本等国在燃气机组占本国装机比重较大的情况下, 抽水蓄能装机仍分别达到了本国装机容量的 3.55%、2.22% 和 10.7%。世界发达国家的抽水蓄能占系统总装机容量的比重一般在 3%~10%。与世界发达国家相比, 我国抽水蓄能装机明显不足, 远不能满足我国经济社会快速发展和以煤为主的电力系统安全稳定经济运行的需要, 不能满足电力系统节能减排、清洁能源大规模远距离输送、

分布式发电大规模接入, 以及智能化电网建设的需要。

3 正确认识抽水蓄能

(1) 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。在所有发电方式中, 只有常规水电与单循环燃气轮机的调峰速度能与抽水蓄能相比, 但受资源条件限制, 常规水电资源已经开发殆尽; 单循环燃气轮机燃气价格较高, 调峰成本较大, 且受通流部分温度变化影响, 不可能像抽水蓄能这样频繁启停调峰。如蒲石河抽水蓄能电站, 2013年上半年机组启动 1900 台·次, 发电运行 1080 台·次, 抽水运行 786 台·次, 抽水调相运行 175 台·次。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。

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、在作环境要求较高、废旧电池电解液对环境污染大等问题, 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为液流电池 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, 造价 3000~5000 元/kW; 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, 对环境影响小。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) 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, 从而实现电力系统有效节能减排。

(3) 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, 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 and 居民等广大电力用户生产和生活的影响。

(4) 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。

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。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。

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, 既能平滑风电、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。