

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 2009

CHOUSHUI XUNENG  
DIANZHAN GONGCHENG  
JIANSHE WENJI 2009



中国电力出版社  
[www.cepp.com.cn](http://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 2009

CHOUSHUI XUNENG  
DIANZHAN GONGCHENG  
JIANSHE WENJI 2009



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://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. 2009/中国水力发电工程学会电网调峰与抽水蓄能专业委员会编. —北京: 中国电力出版社, 2009

ISBN 978-7-5083-9506-7

I. 抽… II. 中… III. 抽水蓄能水电站-水力发电工程-文集 IV. TV743-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 179504 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

\*

2009 年 10 月第一版 2009 年 10 月北京第一次印刷

880 毫米×1230 毫米 16 开本 23.75 印张 742 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

新中国成立 60 年来，我国经济社会快速发展，人民生活水平不断提高，能源消费迅速增加，电力系统显著增强。2008 年全国能源消费量已达到 28.5t 标准煤，发电容量达到了近 8 亿 kW。伴随着我国电力的快速发展，作为保障电力系统安全可靠运行重要措施的抽水蓄能电站建设也取得了长足的进步，到 2008 年底，全国已建成抽水蓄能电站 19 座，装机容量 1094 万 kW，为满足电力供应、优化电力结构、保障电力安全、促进经济社会的可持续发展作出了积极的贡献。

我国能源资源分布极不均匀，大规模跨区域输电是我国电力发展的重要特点。随着经济社会发展和人民生活水平提高，全国电力需求还将持续增长，跨区域、长距离、高等级电力输送规模会越来越大，对电力系统的安全可靠运行将提出更高的要求，特别是随着风电和太阳能发电等间歇性发电的快速发展和大规模并网，电源运行的随机性对电网的冲击也将越来越大。抽水蓄能电站的特性注定其将成为解决上述问题的有效手段之一，在电力系统中配置适宜比例的抽水蓄能电站是必要的。经过 30 多年的发展，我国积累了丰富的设计、施工、设备制造和运行管理等方面的经验，为我国进一步加强抽水蓄能电站建设奠定了良好的基础。

抽水蓄能电站产生于西方经济发达国家，历时近百年还在蓬勃发展，这本身就说明其具有极强的生命力和在电网中有不可替代的技术经济作用。随着全球能源资源和能源环境问题的日益突出，特别是由于化石能源大量消费释放二氧化碳所引起的气候变化问题日趋明显，使风能、太阳能等新能源发电受到了国际社会的高度重视。近年来，在《中华人民共和国可再生能源法》的支持和推动下，我国风电等新能源发电步伐明显加快，到 2008 年底，全国风电装机容量达到了 1200 万 kW，今后的建设速度还会加快，在发电装机容量中的比重将不断增加，这给电力系统的运行和管理提出了新的要求。要解决这些随机间歇性能源发电带来的电力系统运行的新问题，加强规模化储电设施建设是重要措施之一，抽水蓄能电站作为技术成熟的大规模蓄能技术将被赋予新的职责。目前，国外已开始对抽水蓄能电站建设进行新一轮规划和研究。为了在新形势下做好我国抽水蓄能电站建设工作，今年 8 月，国家能源局在山东泰安召开了“全国抽水蓄能电站建设工作座谈会”，会议肯定了抽水蓄能电站在国



家能源建设中的作用，明确了抽水蓄能电站在规划布局和站址选择、建设体制、运营管理、设备国产化等方面的要求。

希望电网调峰与抽水蓄能专业委员会坚持以科学发展观为指导，认真落实泰安“全国抽水蓄能电站建设工作座谈会”的要求，组织相关单位和专家全面深入研究抽水蓄能电站规划布局、建设管理、运行调度、辅助服务和经济补偿等方面的问题，提出符合我国实际的建设性的建议，为促进我国抽水蓄能电站健康有序发展作出新的贡献。

国家能源局可再生能源司





## 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）组编，是专委会出版的第14部抽水蓄能学术年会论文集，共收录78篇文章。

本文集内容丰富，涉及对科学建设抽水蓄能电站的宏观认识，对抽水蓄能电站合理布局的探讨，以及对抽水蓄能开发环境的研究。文集中介绍了若干已建、在建抽水蓄能电站的设计实践、优化与研究、施工经验，同时，文集中还收录了介绍当前抽水蓄能机组国产化的进程及一些使用单位、设计单位、科研单位正在进行的机组国产化的研究、试验工作的论文。

论文集编辑过程中，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，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，并希望能有更多的委员亲自动笔，为抽水蓄能工程的健康发展提出真知灼见。

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

2009.9 北京

# 目 录



序  
编者的话

## 抽水蓄能发展规划与建设管理

抽水蓄能电站的发展与规划布局 .....	郝荣国	(3)
新形势下抽水蓄能电站的发展契机 .....	靳亚东 王婷婷	(10)
在以水电为主的电网中兴建抽水蓄能电站必要性探讨 .....	马登清	(14)
蓄能运行和电网调峰 .....	曹楚生	(18)
论科学政策导向下的抽水蓄能事业发展新契机 .....	臧岩峰	(22)
抽水蓄能电厂服务电网评价指标体系及方法研究 .....	王 伟	(25)
浅谈厂网分开条件下抽水蓄能电站投资费用的分摊 .....	刘林元	(30)
响水涧抽水蓄能电站建设的必要性 .....	李茂学 魏 伟 宋 强	(33)
响水涧抽水蓄能电站建设管理的进展与特点 .....	魏 伟	(37)
宜兴抽水蓄能电站工程建设的思考 .....	向邦发	(40)
国内抽水蓄能电站环境影响预测主要内容分析 .....	金 弈 魏素卿	(45)
响水涧抽水蓄能电站工程环境保护对策措施设计 .....	俞士敏	(51)
响水涧抽水蓄能电站水土保持方案设计 .....	周 航	(55)
张河湾抽水蓄能电站上水库的初次充水 .....	胡乡原 姚汉武	(59)

## 抽水蓄能电站工程设计

宜兴抽水蓄能电站设计特点 .....	陈顺义 姜长飞 时雷鸣	(65)
宜兴抽水蓄能电站上、下水库工程设计创新 .....	肖贡元 傅方明	(70)
蒲石河抽水蓄能电站的设计特点 .....	王广福 郑光伟 景建伟	(77)
呼和浩特抽水蓄能电站枢纽布置简介 .....	赵 轶 钱玉英 刘 静 莫慧峰	(82)
文登抽水蓄能电站厂房系统布置及特点 .....	杜晓京 王 芳	(86)
抽水蓄能电站上水库库盆防渗形式比选——对沥青混凝土面板防渗的再认识 .....	邱彬如	(91)
惠州抽水蓄能电站高压隧洞渗流及结构计算分析 .....	张 巍 郑晶星 章 鹏	(96)
响水涧抽水蓄能电站枢纽总布置 .....	肖贡元 郑齐峰 成卫忠 傅新芬 李 骅 徐 诚	(100)
响水涧抽水蓄能电站重大设计变更及设计优化 .....	傅新芬 成卫忠 郑齐峰 肖贡元	(105)
响水涧抽水蓄能电站上水库主副坝设计特点 .....	朱爱莉	(109)



响水涧抽水蓄能电站下水库设计及土料利用 .....	赵智华	汪志杰	(114)
响水涧抽水蓄能电站下水库进/出水口设计优化 .....	阮巧根	肖贡元	徐 波 (119)
响水涧抽水蓄能电站上库进/出水口外边界水力学问题研究 .....		张兰丁	(126)
响水涧抽水蓄能电站地下厂房位置选定和支护设计 .....		郑齐峰	(131)
响水涧抽水蓄能电站地下厂房的优化调整设计 .....		谭建梅	(134)
响水涧抽水蓄能电站地下厂房工程地质条件与围岩稳定性评价 .....		施建敏	(136)
响水涧抽水蓄能电站引水压力管道设计 .....	陈益民	陈丽芬	(142)
响水涧抽水蓄能电站水泵水轮机主要参数复核与优化 .....	沈剑初	周 杰	(146)
响水涧抽水蓄能电站机电设计优化和设备招标 .....	李 骅	傅新芬	陈顺义 (151)
宜兴抽水蓄能电站水泵水轮机技术和辅助设备系统设计 .....	严 丽	李成军	(157)
基于 VB 与 Fortran 混合编程的抽水蓄能电站过渡过程仿真 .....	周建旭	黄渝桂	刘文明 (162)
抽水蓄能电站机组保护配置方案探讨 .....		周海燕	(168)
五岳抽水蓄能电站接入方案研究 .....		白宏坤	(171)
响水涧抽水蓄能电站工程金属结构设计 .....	时 勇	张政伟	(176)
响水涧抽水蓄能电站标识系统编码设计 .....	郑 波	王国玉	李成军 (180)
响水涧抽水蓄能电站施工总布置设计 .....		王 勤	(186)
响水涧抽水蓄能电站工程监测设计 .....	郑晓红	曹国福	王玉洁 宋桂华 (189)

### 抽水蓄能机组装备试验与制造

抽水蓄能电站发电电动机的国产化之路 .....		赵 政	(197)
抽水蓄能机组技术引进消化吸收回顾 .....	贺建华	尹国军	陶喜群 (203)
惠州抽水蓄能电站水泵水轮机结构特点 .....	金宗铭	罗远红	李剑云 (208)
响水涧抽水蓄能电站工程机组及辅助设备国产化进展情况 .....	王国玉	吴卫东	秦卫潮 (212)
300MW 级抽水蓄能机组国产化调速器的研究开发 .....	王国玉	秦卫潮	邵宜祥 张新龙 何林波 蔡卫江 (217)
抽水蓄能电站机组的启动调试 .....	何永泉	何 铮	孙洁民 (224)
响水涧抽水蓄能电站水泵水轮机初步模型验收试验及主要水力性能分析 .....	王国玉	秦卫潮	于纪幸 (232)
带非同步导叶混流式水泵水轮机启动的仿真计算 .....		宫让勤	高 欣 (239)
基于 xPC 目标的抽水蓄能机组调速器实时仿真技术 .....	魏 伟	秦卫潮	蔡晓峰 蔡卫江 张新龙 姜达军 (244)
抽水蓄能电站事故演习及培训系统仿真策略的实现 .....	何 铮		贡 献 (248)
抽水蓄能机组 SFC 启动控制系统的 RTDS 建模及仿真 .....	李官军	王德顺	陶以彬 杨 波 冯 炜 (252)
潘家口蓄能电厂 SFC 系统改造设计 .....	杨 波	吕宏水	冯 炜 柴 佳 徐晓楠 (258)
GIS-SF <sub>6</sub> 气体密度在线监测系统在惠州抽水蓄能电厂的应用 .....	赵 磊		李育林 (263)
惠州蓄电站接地网布置及接地电阻测量结果分析 .....	周艳青		陈 涵 (267)
抽水蓄能机组水轮机转轮装焊制造技术 .....	范 潇	冯 涛	尹 襄 张远松 (271)
黑麋峰抽水蓄能电站发电机定子线圈制造工艺 .....			李 军 (277)
抽水蓄能机组推力系统一起重大缺陷的改造 .....	郑建锋	孙育哲	黄建德 (281)
溧阳抽水蓄能电站 110kV 变电站介绍 .....			许 涛 (286)

## 抽水蓄能电站工程施工实践

- 响水涧抽水蓄能电站上水库 F<sub>1</sub> 断层防渗处理 ..... 朱爱莉 赵智华 米有明 (293)
- 响水涧抽水蓄能电站主副厂房岩锚梁及屋顶小牛腿混凝土施工定额的分析  
..... 魏宝龙 唐荣君 邓 炼 (299)
- 响水涧抽水蓄能电站下水库围堤填筑土体的沉降变形与控制 ..... 占小星 (303)
- 响水涧抽水蓄能电站下水库库区利用开挖弃土快速固结施工方法研究 ..... 刘 剑 (307)
- 集中供料混凝土系统在响水涧电站工程中的应用 ..... 李 刚 郝 诚 李晓强 (313)
- 响水涧抽水蓄能电站地下厂房爆破质点振动测试 ..... 任王贵 齐 宇 (315)
- 蒲石河抽水蓄能电站上水库面板施工影响混凝土裂缝因素分析及控制对策 ..... 王进平 (319)
- 蒲石河抽水蓄能电站面板坝周边缝沥青砂垫块安装工艺 ..... 罗爱民 (324)
- 高压压水试验在蒲石河抽水蓄能电站中的应用 ..... 孙 政 田作印 杨晓晗 (326)
- 蒲石河抽水蓄能电站引水隧洞下平段两洞间岩体厚度的确定  
..... 张建辉 张喜武 李 欢 吕君卓 王 超 (329)
- 浅议溧阳抽水蓄能电站地下厂房开挖施工技术重点及对策 ..... 王 勇 史永方 (332)
- 宜兴抽水蓄能电站下水库灌浆成果分析 ..... 郭惠民 (336)
- 浅析 RTK 测高技术在响水涧抽水蓄能电站工程测量中的应用 ..... 刘智杰 李建兵 赵亚军 (341)
- 张河湾抽水蓄能电站下水库安全监测工程施工期监测资料初步分析 ..... 杨贵乾 (344)
- 宝泉抽水蓄能电站工程监理工作实践 ..... 张浩臣 (348)
- 在响水涧抽水蓄能电站管理与监控承包人工地试验室的体会 ..... 李玉梅 (355)

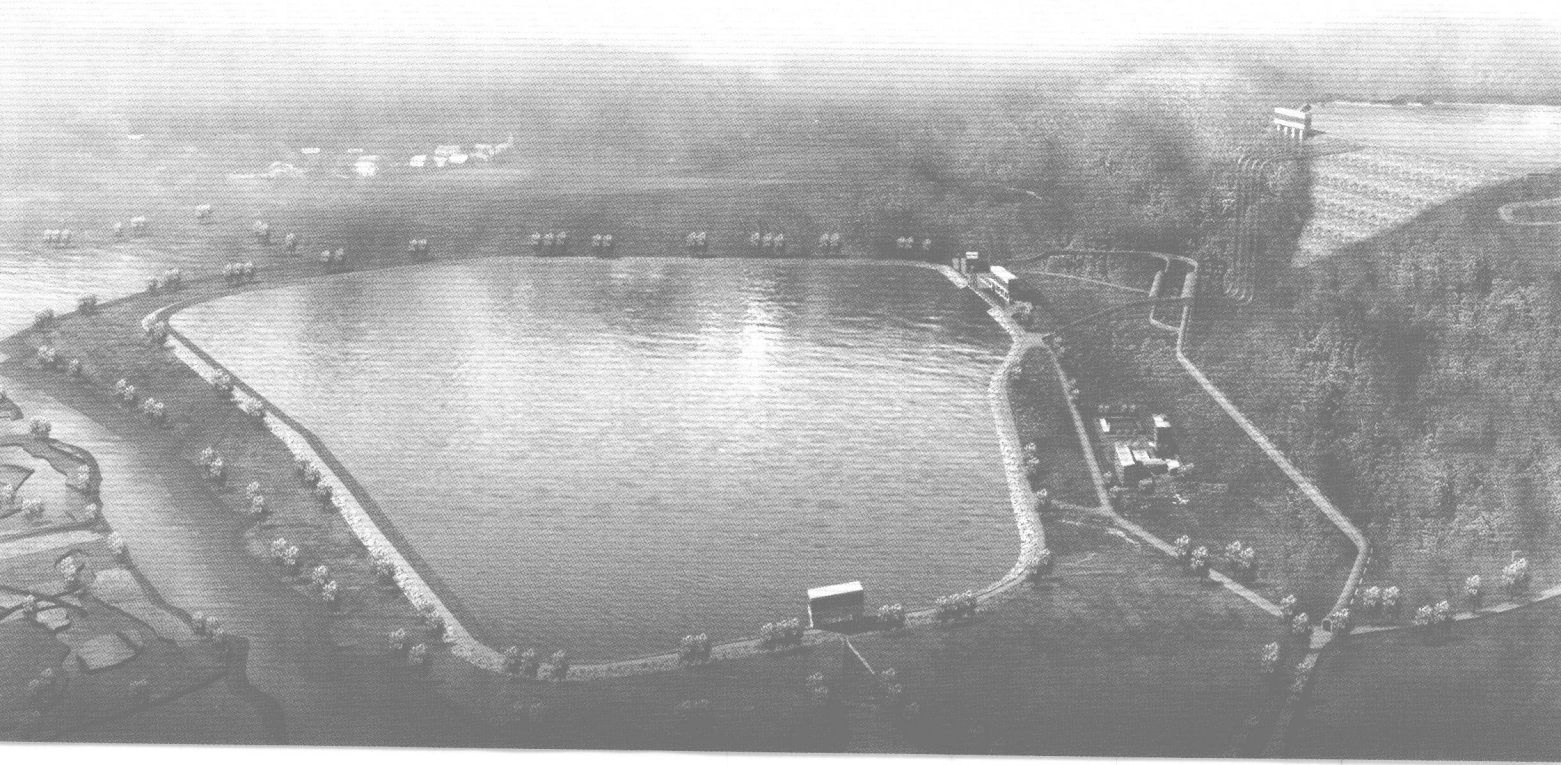
## 其 他

- 基于遗传算法的岩土边坡稳定性分析方法 ..... 毛忠义 张 军 (361)
- 桥巩水电站 57MW 灯泡贯流式水轮机设计 ..... 孙媛媛 罗远红 (365)
- 水电工程中几种破碎机制砂工艺比较 ..... 李 刚 李晓强 (371)

抽水蓄能电站工程建设文集

2009

# 抽水蓄能发展规划与建设管理







# 抽水蓄能电站的发展与规划布局

郝荣国

(中国水电顾问集团北京勘测设计研究院 电网调峰与抽水蓄能专业委员会)

**【摘要】** 本文简要介绍了国内外抽水蓄能电站的发展现状和经营管理模式,结合国内能源建设新的要求,通过对过去抽水蓄能电站有关经验的总结,提出了蓄能电站的规划布局和站址选择等相关方面的建议。

**【关键词】** 抽水蓄能电站 发展现状 规划布局 站址选择

## 1 国内外抽水蓄能电站发展现状

### 1.1 抽水蓄能电站的发展速度

抽水蓄能电站的产生已有 100 多年的历史,其发展历程和社会经济的发展密切相关。在 1973 年世界石油危机前,美欧日等经济发达国家经历了长达 20 余年的经济高速增长期。其间,电力负荷和峰谷差增加迅速,具有良好调节性能的抽水蓄能电站得以迅速发展。20 世纪 70 年代和 80 年代,抽水蓄能电站装机容量年均增长率分别达到了 11.26% 和 6.45%,为火电和常规水电的两倍多。

进入 20 世纪 90 年代后,经济发达国家经济增长速度放缓,GDP 增长率平均从 80 年代的 3.4% 减到 90 年代的 2.3%,降低了近 1/3,相应的电力负荷增长和抽水蓄能电站建设速度放慢。抽水蓄能电站的装机容量年均增长率从 80 年代的 6.45% 降至 90 年代的 1.55%。

20 世纪 80 年代以后的近 30 年内,我国经济处于高速发展期,期间电力负荷增加较快,抽水蓄能电站建设也得以迅速发展。从 90 年代至今,蓄能装机增加了 10 912MW,年增长率为 5%。由于区域经济发展的不平衡性,我国现有抽水蓄能电站主要分布在经济较发达的华东、华北和南部沿海地区。随着全球经济危机及相关政策的影响,近几年抽水蓄能的发展速度有所放缓。

### 1.2 国外抽水蓄能电站装机规模

统计到 2004 年,全世界抽水蓄能电站总装机容量已经达到 1.22 亿 kW,一些国家抽水蓄能电站装机容量见表 1 及图 1。日本、美国及西欧等国抽水蓄能发展较快,部分国家的抽水蓄能机组占全国装机的比重已超过 10%,其中奥地利达到 16%,日本达到 13%,瑞士达到 12%,意大利达到 11%,部分国家抽水蓄能电站容量比重见图 2。

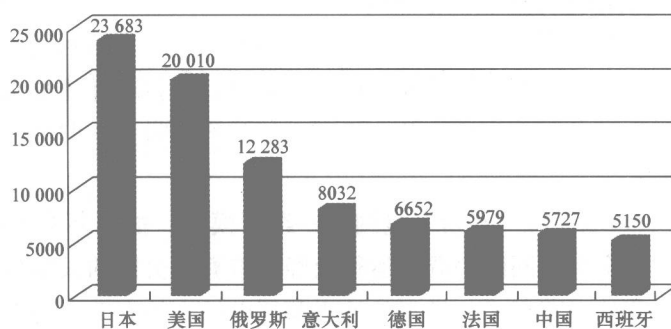


图 1 部分国家抽水蓄能电站装机容量统计

表 1

部分国家抽水蓄能电站容量排行榜 (2004 年)

序号	国家	抽水蓄能电站数目 (座)	抽水蓄能装机容量 (MW)
1	日本	43	23 683
2	美国	37	20 010
3	俄罗斯	7	12 283
4	意大利	23	8 032
5	德国	31	6 652
6	法国	24	5 979
7	中国	11	5 727
8	西班牙	22	5 150

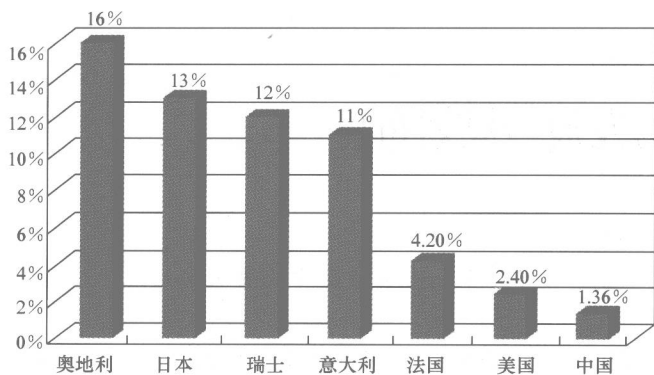


图 2 部分国家抽水蓄能装机容量比重

### 1.3 我国抽水蓄能电站装机规模

我国抽水蓄能电站建设起步较晚, 20 世纪 70 年代末才开始现代抽水蓄能技术的研究工作, 80 年代开始我国第一座混流式大型蓄能电站(十三陵)的设计研究工作, 90 年代先后建成了广蓄一期(1200MW)、十三陵(800MW)和天荒坪(1800MW)等第一批大中型抽水蓄能电站。21 世纪初, 我国抽水蓄能电站建设迎来了一个建设高潮, 有 11 座抽水蓄能电站陆续开工, 总规模达到 11 220MW。近期抽水蓄能电站的开工建设

速度有所放缓。

截至 2008 年年底, 我国抽水蓄能电站投产规模 10 945MW (不含台湾省), 约占全国装机比重的 1.38%。其中东北电网 300MW、华北电网 3103MW、华东电网 4860MW、华中电网 192MW、西藏电网 90MW、南方电网 2400MW, 各区域电网蓄能电站规模见表 2。在建 11 960MW, 开展可研(包括项目申请) 16 080MW, 开展预可研 18 500MW, 规划 12 400MW。

表 2 我国各区域电网抽水蓄能电站规模表 (截至 2008 年底)

项 目	抽水蓄能装机容量 (MW)	区域电网总装机容量 (MW)	占全国总抽水蓄能装机容量比重 (%)	占区域电网总装机容量比重 (%)
东北电网	300	54 760	2.74	0.55
华北电网	3103	188 270	28.35	1.65
华中电网	192	172 280	1.75	0.11
华东电网	4860	176 490	44.40	2.75
南方电网	2400	139 400	21.93	1.72

### 1.4 抽水蓄能电站经营模式

(1) 其他国家的经营模式。世界上一些国家抽水蓄能电站建设及运营时间长、经验多。由于各国的情况不同, 所采用的经营模式也存在差异, 但都确保了抽水蓄能电站在电网中充分发挥削峰填谷、调频、调相、事故备用等作用, 并获得了良好的经济效益。归纳起来有独立经营、电网租赁和电网统一经营 3 种经营模式。

1) 电网统一经营。电网统一经营模式, 抽水蓄能电站不具备企业法人资格, 不对外开展经营活动, 电站完全由电网统一调度运行及经营核算。美国的大部分抽水蓄能电站由电网公司投资建设, 实行电网统一经营的经营模式。日本的抽水蓄能电站大约有 50% 采用这种经营模式。

2) 租赁经营。租赁经营模式, 抽水蓄能电站具有独立法人资格, 抽水蓄能电站的法人将电站租赁给电网或其他经营实体调度使用, 向电网公司收取租赁费, 并服从承租方的调度。租赁者向抽水蓄能电站支付经营费用。电站的贷款偿还、运行成本支付、税金缴纳和利润分配均由电站负责。日本的抽水蓄能电站大约有 50% 采用这种经营模式。

3) 独立经营。抽水蓄能电站以法人身份独立经营, 参与电力市场竞争。其收入来源主要有调峰收费、填谷收费和辅助收费等。采取这种方式的典型代表是英国的迪诺威克抽水蓄能电站。

(2) 国内经营模式。国内已建抽水蓄能电站运营模式, 主要有 4 种:

一是以十三陵蓄能电站为代表的采取电网统一管理, 即由电网统一调度、由电网统一支付电站成本、还贷付息、利润和税收;

二是以广州蓄能电站为代表的采取租赁制经营模式, 即电站独立经营、完全租赁给电网, 以期货的方式与电网签订合同, 租赁费主要为容量费用, 其租赁费要满足电站的还贷付息、运行成本、利润和税收;



三是以天荒坪抽水蓄能电站为代表的两部制电价经营模式，即采用容量价格和电量价格两个价格体系，由政府根据电网还贷付息、运行成本、利润和税收等综合因素合理确定其容量价格和电量价格；

四是以溪口、响洪甸蓄能电站为代表的单一电量电价独立经营方式，即电站仅以加工电量为盈利途径，低价电抽水，在负荷高峰时段发电，收取峰电价格，靠电价差盈利来支付电站成本、还贷付息、利润和税收。

## 2 我国抽水蓄能区域规划布局及影响因素

### 2.1 抽水蓄能电站的区域规划布局

抽水蓄能电站在各个区域电网中如何布局和规划是一个需要全面和动态研究的问题，其在电网中的合理比重，主要取决于电网负荷水平、负荷特性、电源组成以及电力系统安全稳定运行等方面。

日本是目前蓄能电站发展最快、装机容量最多的国家，其抽水蓄能电站建设规模始终根据电网总体经济最优确定，占装机总容量的比例也一直保持在 10% 左右。日本学者曾用规划论方法分析，认为抽水蓄能机组在电网中的比例在 8%~14% 比较合理。

国内有专家学者认为，从我国目前的电源构成和布局看，抽水蓄能电站的比重达到 5% 基本符合我国国情。

依据现有能源政策，根据对我国部分电网 2020 年及 2030 年电源优化配置分析，不同电网电源最优配置方案中抽水蓄能电站占全网比例见表 3。

由表 3 可以看出，仅从电源优化配置方面分析，在我国，以火电为主的电网，抽水蓄能电站的合理规模应在电力总装机容量的 6%~10% 之间，而水电比重较大的电网，其合理规模应在 4%~7% 之间。

表 3 我国部分电网电源优化配置分析表 %

地 区	2020 年		2030 年	
	抽水蓄能比例	火电比例	抽水蓄能比例	火电比例
华北电网	6.64	86.06	7.15	85.60
京津唐电网	7.28	90.94	6.37	92.34
河北南部电网	6.14	93.86	7.11	92.89
山西电网	7.42	88.48	6.90	90.19
蒙西电网	7.21	88.42	6.20	90.94
山东电网	7.82	88.17	7.82	89.29
河南电网	7.32	80.42	9.54	82.01
湖北电网	4.79	50.79	6.42	62.70
湖南电网	5.01	48.14	7.28	84.58
重庆电网	3.96	39.50	5.31	56.82
东北电网	8.10	79.34	8.05	81.58
辽宁电网	7.26	86.02	8.37	87.37
吉林电网	8.40	80.95	8.11	81.37
黑龙江电网	6.84	89.31	6.79	89.60
华东电网	7.34	67.77	7.49	70.35
上海电网	7.35	64.49	7.22	67.87
江苏电网	6.51	76.47	6.61	78.54
浙江电网	7.64	63.29	7.89	64.91
安徽电网	7.71	84.42	7.71	80.82
福建电网	6.41	56.62	6.32	63.82
广东电网	4.57	48.38		

随着经济社会的发展及对供电质量要求的提高，经济发达国家抽水蓄能电站已从主要作为能量存储的

工具(调峰填谷)逐步发展成为主要用于电力系统灵活的动态管理工具。随着我国经济社会发展、经济结构调整和人民生活水平的提高,用电侧的要求在不断提高;随着风电、太阳能发电及核电的发展,电源侧的调控更加复杂,因此,电力系统对抽水蓄能电站在电网中所占比重的要求会更高。

## 2.2 影响抽水蓄能电站区域规划布局的因素

由于抽水蓄能电站具有调峰填谷、调频、调相、黑启动、紧急事故备用、运行灵活等功能,因而可以大大改善系统的运行条件,提高电网的安全运行水平。其在电网中配置的比例及站址选择的位置需要从以下几个方面考虑:

(1) 电源结构。我国能源资源布局不均衡,全国电网以火电为主,但不同区域电源构成有较大差异,西南水电较丰富,“三北”地区风能资源较好,东南沿海一带核电配置较多。由于能源资源分布与电力需求市场呈逆向分布,电力资源主要集中在经济不甚发达的西部地区,用电负荷主要集中在经济比较发达而能源短缺的东部地区,这样决定了未来我国电力发展必须坚持“一特四大”的发展战略,即:积极发展以特高压电网为骨干网架的坚强电网,促进大水电、大煤电、大核电、大可再生能源基地的建设。大型核电、水电、太阳能和风电基地的集约化开发,将带来电网调峰和电网运行调控方面的一系列问题,因此,需要根据区域电源结构的不同配置不同比例的抽水蓄能电站。

(2) 区域经济发展。我国地域广大,各地区、各省(区)电网所在地区经济发达程度不同,由此影响到负荷特性也有较大的差别。

从目前我国已建和在建抽水蓄能电站布局分析,抽水蓄能电站主要分布在华南、华中、华北、华东、东北等以火电为主、经济相对发达的地区。这些地区经济发展较快,电力负荷和峰谷差增加迅速,用电高峰时段,在短时间内负荷增加的幅度大,增加速率快,完全依靠火电机组适应这种负荷变化难度较大,也不经济。因此,在这些地区需要建设一定比例的蓄能电站。

(3) 电网安全。随着特高压电网建设和全国联网工程的推进,电力资源优化配置的范围将进一步加大,抽水蓄能电站已不只是在局部电网发挥作用,而是在区域电网及跨区互联电网中发挥互补性整体作用。

电网规模越大,保证电网稳定和安全运行就越重要,一旦出现事故,造成的损失也越大。比如2003年美国、英国、瑞典、丹麦和意大利5个经济发达国家相继出现的大面积停电事故,这些事故说明,除要求加强电网建设即统一调度外,都强调要保证电网有足够的快速启动的备用容量;在大范围联网及远距离输电情况下,为了应对输电线路事故,就需要在受电端靠近负荷中心的地区设置必要的备用容量;由于事故发生时延续时间很短,为避免或减少事故发展成灾难性的系统崩溃事故,在事故后,应有能快速投入的事故备用容量及黑启动措施等,以便能迅速恢复供电,减少事故损失。抽水蓄能电站的快速反应和调频、调相,尤其是黑启动等功能,可以对电网的稳定和安全运行起重要作用。

(4) 国家智能电网建设。国家电网公司2009年上半年提出了建设智能电网的计划。智能电网是以坚强网架为基础,以通信信息平台为支撑,以智能控制为手段,包含电力系统的发电、输电、变电、配电、用电和调度各个环节,覆盖所有电压等级,实现“电力流、信息流、业务流”的高度一体化融合,是坚强可靠、经济高效、清洁环保、透明开放、友好互动的现代电网。通过其建设来实现提高电网大范围优化配置资源能力,实现电力远距离和大规模输送,满足经济快速发展对电力的需求。

智能电网的建设目标要求电网本身具有高度的灵活性、适应性、安全性和经济性。这样就需要在电网中配置一定数量能够快速响应的调节和事故备用电源,以应对电源侧(核电、太阳能和风电、水电等)和用电侧(用户的随机用电需求)的不稳定性对电网造成的冲击。

## 3 抽水蓄能站址选择的影响因素

影响抽水蓄能电站站址选择的因素很多,主要包括地理位置、水头、地形地质、环境和水库淹没等方面。

(1) 距离负荷中心的距离。抽水蓄能电站主要的工作任务为削峰填谷、调频、调相等,因此蓄能电站

一般多分布在负荷中心或电源中心附近。根据对国内近 90 座抽水蓄能电站相关资料的统计分析（详见表 4），抽水蓄能电站站址距离负荷中心或电源中心 67.9% 不超过 100km，近 93% 不超过 200km，超过 200km 的不到 7%。从调度、潮流和送出工程等方面来考虑，抽水蓄能电站站址距负荷中心或者电源中心一般不宜超过 200km。

表 4 距负荷中心或电源中心距离范围统计表

站址距负荷中心距离 (km)	<50	50~100	100~200	200~300	>300	合计
数量	31	26	20	5	2	84
比重 (%)	36.9	31.0	23.8	6.0	2.4	100

(2) 距高比。距高比是指蓄能电站上、下水库水平距离与垂直高度的比值，该比值可大致说明抽水蓄能电站引水建筑物的相对长度。各站址距高比（见表 5）的统计资料表明：我国抽水蓄能电站的距高比集中分布在 2~7 之间，占总数的 70%。一般来说，距高比越小，电站引水系统长度和投资越小，对电站指标较有利，但是距高比值和电站投资之间关系不是很敏感，如果距高比值太小往往也会对电站布置产生不利影响。

表 5 我国主要抽水蓄能电站距高比范围统计表

距高比	<2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	>10	合计
数量	1	7	10	21	12	11	3	5	8	9	87
比重 (%)	1.1	8.0	11.5	24.1	13.8	12.6	3.4	5.7	9.2	10.3	100

(3) 水头段。统计资料（见表 6）表明：我国抽水蓄能电站利用水头主要集中在 300~600m 之间，占总数的 62.9%。一般来说，利用水头越高，相同出力所需的流量就越小，所需上、下水库库容就小，从土建工程量来看，水头越高越有利，但影响有限。统计资料显示，其对投资影响不明显。

表 6 我国主要抽水蓄能电站水头范围统计表

利用水头 (m)	<200	200~300	300~400	400~500	500~600	600~700	>700	合计
数量	10	12	15	22	19	8	3	89
比重 (%)	11.2	13.5	16.9	24.7	21.3	9.0	3.4	100

但若水头过高，给机组制造带来一定困难。从目前的蓄能机组制造技术来看，单级蓄能机组水头在 700m 以下，在制造技术上基本上没有问题。我国的蓄能电站机组制造技术水平，目前仅限于中等水头段，单机容量 300MW 以下。

(4) 主体工程投资因素的影响。通过对我国已经建成的 11 座抽水蓄能电站主体工程的统计资料分析，可以得出如下规律：

1) 上水库的选择对抽水蓄能电站的经济性影响最大，首先要关注库盆的渗漏性，优先选择不需要全库盆防渗的上水库；其次，要选择地形条件有利于形成库盆、而不是主要靠筑坝围成水库的上水库。

2) 下水库的选择对抽水蓄能电站的经济性有相当影响，重点关注河流的含沙量，应选择含沙量低，不需要筑拦沙坝的下水库；利用已建水库作下水库时要重视综合利用水库在水量分配（包括经济补偿）及水库调度上的协调。

3) 水道系统的选择对抽水蓄能电站的经济性也有一定影响，关键是围岩的工程地质条件是否允许采用钢筋混凝土衬砌。对于补水较困难的地区，围岩的渗漏性会影响高压管道衬砌形式的选择。

4) 厂房的条件对抽水蓄能电站的经济性影响较小，只要地质条件满足基本要求，选址时不必过多考虑。但对于地质条件比较复杂，特别是构造比较多的地下厂房，有可能会对电站投资产生一定影响。地下厂房辅助洞室，如通风洞、交通洞长度的不同，对投资影响较小；但直接影响发电工期，也需引起注意。

5) 机电设备投资对抽水蓄能电站的经济性影响也较小，但在选址时，泥沙对水泵水轮机磨蚀的影响，以及上、下水库水位变幅对机组稳定性的影响等因素仍应重视。



(5) 环境影响。抽水蓄能电站的水头较高,上、下水库库容较小,输水系统和厂房一般布置在地下,因此,其对自然环境的影响比常规水电站要小。蓄能电站在施工建设过程中会对环境问题产生一定的影响,但通过采取相关工程措施,可以避免或减少对环境的影响。蓄能电站建成后,通过对渣场等的治理,一般还可以提升当地的环境质量。如十三陵、天荒坪、广蓄、泰安等抽水蓄能电站的上、下水库均已成为旅游景点,有的渣场已经改建为公园。

由于抽水蓄能电站的位置大多靠近负荷中心和大城市,因此,在选点时应高度关注其与周围环境等敏感区域的协调问题,应尽量避免风景名胜区、自然保护区等敏感区域。

(6) 建设征地和移民安置。抽水蓄能电站建设征地与移民和常规水电相比较,根据对我国已建和在建的 11 座抽水蓄能电站的资料统计,电站平均征用耕地 0.91 亩/MW,移民 0.68 人/MW,此两项指标均比较小,建设征地和移民安置工作相对易于解决。但是,在当前形势下,征地移民工作是水电工程建设中一个重要问题,处理不好会直接影响工程建设能否成立。尽管抽水蓄能电站征地和移民工作量不大,但在站址选择时必须高度重视这些问题,尽量避免村庄和耕地,减少占地范围。

#### 4 我国蓄能电站的设计和施工技术水平

通过近 30 年来建成的一批抽水蓄能电站的实践,我国抽水蓄能电站的建设在设计和施工等方面积累了丰富的经验,在技术上取得了丰硕的成果。

(1) 上、下水库库盆防渗衬砌方面。上、下水库全库盆防渗是抽水蓄能电站区别于常规水电站,最有特色的水工建筑物之一。上、下水库形式我国已经成功实践了多种方案,包括全库防渗、局部防渗。全库防渗又包括钢筋混凝土全库防渗,沥青混凝土全库防渗,钢筋混凝土和沥青混凝土组合防渗,钢筋混凝土和土工膜组合防渗等多种形式。有些防渗技术处于世界先进水平。

(2) 大型地下洞室的建设。广州抽水蓄能电站宽 21m 的大型地下厂房采用喷锚支护,其支护参数在国内外同类工程中是比较先进的。天荒坪蓄能电站地下厂房也是采用喷锚支护,并根据岩石和地质构造条件局部使用了预应力锚索,厂房支护设计和施工也是很成功的。西龙池抽水蓄能电站,利用预应力锚索,解决了在水平底层中开挖大跨度地下厂房的先例。琅琊山成功建成了以Ⅲ类围岩为主并有大规模Ⅳ~Ⅴ石变岩带的地下厂房。工程实践证明,我国在建设大型地下厂房方面已经有了丰富的成功经验。

(3) 岩壁吊车梁设计方面。广蓄电站厂房 400t 天车和天荒坪电站厂房 500t 天车均采用岩壁吊车梁,利用岩壁锚杆支撑,浇筑钢筋混凝土形成岩壁吊车梁,取代传统的柱式支承吊车梁,既减少厂房宽度,节约投资,又缩短了工期。通过更多工程的实践应用,我国已完全掌握了岩壁吊车梁的设计理论和施工技术。

(4) 水工隧洞及岔管设计方面。在高压引水水洞的衬砌方面,已经成功地实践了钢板衬砌和钢筋混凝土衬砌方案,解决了大型钢岔管的现场制安和混凝土岔管的施工问题。这些工程经验为今后建筑物方案的技术经济比较提供了很好的基础。

(5) 其他方面。经过几十年的工程实践,我们既有在零下 40 多℃的寒冷地区建成的工程,也有在高温地区建成的工程;既有在水量充沛地区建成的工程,也有在缺水地区建成的工程;利用水头段从 100 多 m 到 700m。这些成功的经验为我国今后抽水蓄能电站的布局选点和工程建设奠定了坚实的基础。

#### 5 结论及建议

(1) 社会经济的发展需要适当增加蓄能电站的规模。随着我国社会经济结构的调整和生活水平的提高,用电侧对电网的要求越来越高;随着大容量火电机组和核电机组的投产,太阳能和风电等间歇性可再生能源的高速发展和大规模并网,电源侧的不确定性和随机性对电网的冲击会越来越大;随着跨区域大规模长距离高等级电力输送规划的逐步实施,电网的安全保障问题会越来越突出;智能电网建设的目标又要求电网具有高度的安全性、灵活性、适应性和经济性。抽水蓄能电站的特性注定其将成为解决上述问题的有效手段之一,电网中配置合适比例的抽水蓄能电站是非常必要的。