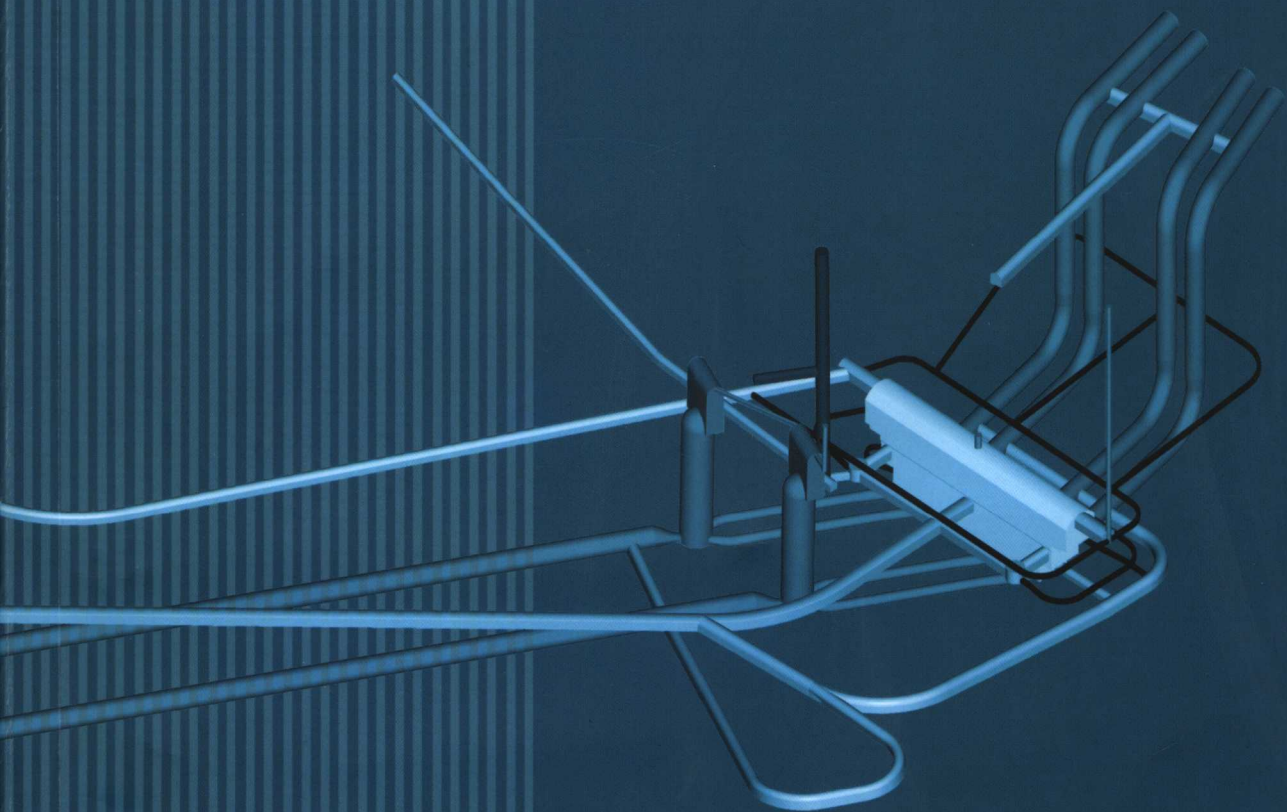


纪念抽水蓄能专业委员会成立十周年

抽水蓄能电站

工程建设文集

中国水力发电工程学会 组编
抽水蓄能专业委员会



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

纪念抽水蓄能专业委员会成立十周年

抽水蓄能电站

工程建设文集

中国水力发电工程学会 组编
抽水蓄能专业委员会

主编 曹楚生 邴凤山 邱彬如
何志华 关 雷
编委 韩 立 何琴雯 陈建苏
刘更新



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

中国水力发电学会抽水蓄能专业委员会自 1995 年成立至今已 10 年。10 年来,在中国水力发电学会、有关领导单位、专业委员会挂靠单位以及各会员单位的支持下,先后开展了 10 次学术交流活动,对我国在这一领域的学术交流和科技进步,促进抽水蓄能电站建设的发展,发挥了有益的作用。目前,我国正在兴建第二批高水头、大容量的抽水蓄能电站,在未来几年里将陆续投产,其建设规模之大居世界之冠。为更好地总结已建、在建工程的经验,推动抽水蓄能电站工程的技术进步,编辑出版本文集。

本文集内容广泛,资料翔实,是从事抽水蓄能工程规划、设计、科研、施工和运行管理人员有益的参考资料。

图书在版编目 (CIP) 数据

抽水蓄能电站工程建设文集——纪念抽水蓄能专业委员会成立十周年/中国水力发电工程学会,抽水蓄能专业委员会组编. —北京:中国电力出版社,2005

ISBN 7-5083-3680-1

I. 抽… II. ①中… ②抽… 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 (2005) 第 126013 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

*

2006 年 1 月第一版 2006 年 1 月北京第一次印刷
377 毫米 × 1092 毫米 16 开本 28.125 印张 690 千字
印数 0001—1000 册 定价 70.00 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

(本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换)

序一

中国水力发电学会抽水蓄能专委会自 1995 年成立至今已届十年。回顾这十年，我国抽水蓄能事业已有了较大的发展，已建抽水蓄能电站由当时 5 座 150.5 万 kW，增加到 13 座 572.5 万 kW，在建规模也由原来的 6 座 405 万 kW，增加到现在的 13 座 1257.6 万 kW，这些电站都将在“十一五”期间发电，为此 2010 年抽水蓄能电站的规模有可能达到 1830 万 kW 左右。这些成绩的取得，除了原电力工业部和国家电力公司的正确领导和支持外，抽水蓄能专委会在统一认识、推动发展方面起了主要作用，功不可没。

中国一次能源中煤占 70%，其中 60% 用于发电。长期以来电源以煤电为主，按装机容量计约占 75%，以发电量计则高达 82%，这种电源结构给国家的资源、运输、环境，乃至于煤矿的生产安全都造成很大压力。另一方面中国可规模开发的清洁、可再生能源总量丰富，但开发程度低。如常规水电的蕴藏量和技术可开发量都居世界第一，而开发率不及 20%，风电可开发利用的电力更高达 10 亿 ~ 20 亿 kW，但已开发的不足 100 万 kW，开发率小于千万分之一。我国水电已开发建设 100 年，在清洁、可再生能源的开发中更为经济，技术也更为成熟，现在就具备大规模开发的条件。因此“十一五”及以后期间，进一步加快清洁、可再生能源，特别是水电的开发，无论从优化能源结构、促进地区经济、社会的协调发展和环境需求看都是十分必要的。

水电的可开发量由两部分组成：

一是常规水电，按资源计算。技术可开发量实际可达 6 亿 kW，最终开发量以 85% 计，约 5.1 亿 kW；

二是抽水蓄能电站，按需求配置。以我国的水资源状况，完全可以满足各个时期电网调峰、调频、调相和紧急事故备用的配置需要。特别应当指出的是，当常规水电开发完后，抽水蓄能电站仍可满足电网不断增长的需求，而继续发展。此外，大规模风电建设还需要配置相应的抽水蓄能机组，以解决随机电力对电网的冲击。长距离西电东送的负荷区，出于安全和经济的考虑，也需要配置抽水蓄能电站。初步框算，当我国进入全面小康社会时，人均装机容量约 1kW，全国人口约 15 亿，抽水蓄能机组约需 1.5 亿 ~ 2 亿 kW。从而水电装机容量可达到 6.6 亿千瓦以上，约占总装机容量的 44%。可见中国抽水蓄能电站的建设任重道远。目前已建、在建的区区 1830 万 kW（约占 2010 年全国总装机容量的 2.5% 左右），有如万里长征的第一步，切不可对此估计过高，更不应放慢建设的步伐。

抽水蓄能电站要实现均衡、快速、持续的发展，应研究推动以下四方面的工作：

1. 最根本的还是要依靠社会主义市场经济的经济杠杆作用。因此要着力推动电价改革，使其尽快到位。届时除了要同网同价和合理的分时电价外，所有辅助服务（即“动态效益”）也应按质按量付费。

2. 建立有利于抽水蓄能电站发展的建设、管理机制。“众人拾柴火焰高”，这从国家电力公司体制改革已经看出来，增加投资主体是促进抽水蓄能电站发展的动力之一。

3. 研究近期电价改革到位前，电源公司参与建设的管理模式，如何使投资者不亏损、有利润，从现有情况看，似有三种可供研究、选择的模式：

首先是广蓄模式：业主将建成后的电厂租赁给电网公司，收取固定回报。这是现阶段比较简便，风险最小的成功模式。

其次是天荒坪和沙河模式：即政府核定合理的二部制电价，包括提高容量电价和上网的峰谷价差，以及相应的最低电量保证。这在政府和电网公司的支持下也是可行的模式。

第三，个别具备条件的抽水蓄能电站，即在一个电源公司内，蓄能电站与基荷电站（核电、煤电等）距离很近时，可研究两种电站由业主直接连线，联合运营，利用自身的低谷电量转为峰荷提供给电网。这种模式也需要政府和电网公司的支持，因为这类电站除了要有一定的峰谷价差外，在电价改革到位之前不宜多承担其他辅助服务。在国家电力公司体制改革之前，曾研究过盘山煤电和桃花寺抽水蓄能联合运营的可能性，但没来得及实施，只是一种可供探索的模式。

4. 继续推动大型抽水蓄能机组的国产化和本土化。抽水蓄能电站机电设备投资约占总投资的70%，其国产化和本土化必然会明显降低建设成本提高效益，有利于抽水蓄能电站的大规模发展。

此外，有两个问题需引起大家注意：一是目前筹建的项目不多，在建电站结转到“十二·五”的也很少，如不及时调整，抽水蓄能电站的建设将出现“断层”。其次，有一些水电少、水电调节性能差或电网规模不大、风电容量不小的省、区，抽水蓄能尚未起步，至今仍主要以煤电调峰，并承担调频、调相和紧急事故备用的任务。这不大符合中央提出的“建设节约型社会”的方针。如果有的省网对抽水蓄能不太了解，难以下决心建大型抽水蓄能电站，是否可以像浙江、安徽、西藏、湖北、江苏、河南那样，先上一个中型抽水蓄能电站，几万千瓦到十几万千瓦均可，亲自体验一下，如觉得它的确有利于电网的安全、稳定、经济运行，再按需配置。以上6省、区现在已建、在建、筹建的抽水蓄能电站规模至少分别达到308万kW、183.6万kW、39万kW、127万kW、110万kW和132万kW。

国家电力公司电力体制改革后，水电的力量分散，抽水蓄能电站的建设、管理体制和配套政策也有待完善，现在比以往更需要抽水蓄能专委会，充分发挥其学术上、组织上的优势和独特的桥梁作用，继续促进我国抽水蓄能事业的发展。也盼望各电网公司、电源公司能像原国家电力公司的领导一样，关心、支持抽水蓄能专委会的工作，不断推动我国抽水蓄能事业的发展。

最后应该感谢抽水蓄能专委会和热心抽水蓄能事业的各位专家，为专委会成立十周年准备了70篇涵盖全面，内容丰富的论文。这为我们总结、交流自己的设计、施工、运行、管理的经验，了解世界发展的趋势、水平，为加快抽水蓄能的发展开拓思路、建言献策，提供了极好的讲坛。本论文集的出版不仅对业内人士有益，也希望能对各级政府能源管理部门的决策，提供一些有价值的参考。

预祝我国的抽水蓄能事业取得更大的发展。

中国大唐集团公司顾问

何璋

二〇〇五年十一月

序二

我国大型抽水蓄能电站建设，始于 20 世纪 80 年代后期。到 2000 年，建成了以广东广州、浙江天荒坪、北京十三陵、河北潘家口为代表的第一批抽水蓄能电站，装机容量约 5700MW。近两、三年，还将有山东泰安、浙江桐柏、江苏宜兴、安徽琅琊山、河北张河湾、山西西龙池以及近期投产的南阳回龙等第二批抽水蓄能电站陆续投产，装机容量将增加 6120MW。根据国家发展计划改革委员会对机电设备采用技术引进的要求，第三批装机容量共 4800MW 的广东惠州、河南宝泉、湖北白莲河等 3 个抽水蓄能电站，已签订设备合同，土建工程正在全面施工，预计 2010 年之前即可投产发电。第四批 6 个抽水蓄能电站也在积极筹建中，装机容量约 7000MW，机电设备由国内制造，国外厂商技术支持。由此可见，我国抽水蓄能电站发展速度是很快的，对从事这个事业的水电工作者是一个鼓舞，也是一个得以发挥才能的机遇。

我国抽水蓄能电站之所以能够快速发展，主要是由于经济发展，电网调峰、安全稳定运行的需要，特别是西电东送情况下，输电线路余地不大，抽水蓄能电站对受端电网是个重要的安全保障工具。抽水蓄能电站对核电不调峰安全稳定运行，增加发电量，使得要求每年定期进行燃料更换和大修的核电站增加经济效益，例如：大亚湾 $2 \times 900\text{MW}$ 电站，由于本身运行良好，加上广州抽水蓄能电站配合，使其年发电量由可研报告计划的 100 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 增加至近年的 145 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。抽水蓄能电站可减少火电调峰负担，提高其发电利用小时数，降低单耗，节约燃料，降低电价。前几年广东电网进行电源结构优化规划，经动能经济研究所和美国哈札公司计算，由于抽水蓄能电站投资便宜、成本低廉，是首选的调峰电源。此外，抽水蓄能电站在减少水电负荷低谷期弃水等方面都发挥了很好的作用。因此只要抽水蓄能电站运行、经营、管理得好，这些效益都是实实在在的。

最近，南方电网中的广东电网在 2020 年的电网调峰规划中，计划抽水蓄能电站将发展到 9000MW 左右，占届时电网容量的 8% ~ 9%。

为纪念抽水蓄能专业委员会成立十周年，专委会组织出版了《抽水蓄能电站工程建设文集》。本文集介绍了许多抽水蓄能电站建设、运行、经营方面的经验，我觉得这是一个很好的交流方式，可使抽水蓄能电站建设经验得到共享。我们大家共同为抽水蓄能电站合理选点、加快建设速度、确保工程质量、降低建设投资而努力，必将使抽水蓄能电站更具竞争力，促进抽水蓄能电站建设健康发展。

中国工程院院士 罗绍基

序一

序二

一、综 述

- 我国抽水蓄能电站发展及抽水蓄能专委会工作十年回顾 李 例 (2)
- 我国抽水蓄能电站建设前景展望 晏志勇 翟国寿 (15)
- 我国水电和电力系统可持续发展的新途径 曹楚生 (20)
- 我国抽水蓄能电站的技术特点 刘连希 (26)
- 世界抽水蓄能电站发展新趋势 邱彬如 (35)
- 抽水蓄能电站作用、效益及经营模式的认识与思考 关 雷 (43)

二、动能规划设计

- 抽水蓄能电站建设规划中的几个问题 许接源 (48)
- 华东电网抽水蓄能规划与展望 陈兆庆 张建平 王 峥 (51)
- 福建电网建设抽水蓄能电站的必要性论证 林章岁 李仪峰 刘 峻 张 英 (56)
- 黑龙江省抽水蓄能电站建设的必要性和可行性 杨霄霄 王朝阳 (62)
- 浅析河南五岳抽水蓄能电站在华中电网及河南电网中的作用 李芳皓 (66)
- 丰宁抽水蓄能电站周调节性能在京津唐电网中的作用 李国栋 何永秀 于忠政 (69)
- 阳江抽水蓄能电站水库调节库容初探 王春辉 (75)
- 惠州抽水蓄能电站洪水调节计算 王春辉 (80)

三、工程布置及设计与施工

- 碾压式沥青混凝土面板防渗技术研究综述 吕明治 (84)
- 抽水蓄能电站进/出水口水力设计 韩 立 (97)
- 宜兴抽水蓄能电站上水库设计的几项决策 肖贡元 (113)
- 宜兴抽水蓄能电站工程应用新技术、新成果、新工艺简介 郭惠民 马芳平 (121)
- 琅琊山抽水蓄能电站工程关键技术问题 张 克 郝荣国 吴 奎 (127)
- 天堂抽水蓄能电站水工建筑物设计情况及运行分析 黄 斌 (131)

宝泉抽水蓄能电站取消尾水调压井的研究	吴毅 王洪玉 杜景灿 周家聰	(136)
西龙池抽水蓄能电站内加强月牙肋岔管围岩分担内水压力设计	王志国	(143)
西龙池抽水蓄能电站高压岔管考虑围岩分担内水压力设计现场结构模型试验研究	王志国 段云岭 耿贵彪	(151)
西龙池抽水蓄能电站内加强月牙肋岔管水力特性研究	王志国	(161)
抽水蓄能电站厂房振动研究	严旭东 杜晓京 杨静 王阳雪	(169)
抽水蓄能电站厂房结构振动分析与结构优化研究	杨静 严旭东	(179)
抽水蓄能电站厂房振源浅析	王阳雪 马震岳	(187)
十三陵抽水蓄能电站地下厂房支撑结构振动观测研究	齐俊修 刘凤成 邢国良 彭涛	(194)
响洪甸抽水蓄能电站水下岩塞爆破新技术的研究与应用	陈文	(206)
惠州抽水蓄能电站高压隧洞沿线山体稳定性评价	陈云长	(219)
堆石料新型大型现场直剪试验在宜兴抽水蓄能电站中的应用	杨建州 郭惠民	(223)
日本抽水蓄能电站的信息化施工	邱彬如	(229)
抽水蓄能电站年均降水量—高程变化规律研究	白文博 王春辉	(237)
惠州抽水蓄能电站工程地应力测试成果的应用	吴国荣	(243)
深圳抽水蓄能电站施工组织设计要点	潘伟 范丽芳	(249)
宝泉抽水蓄能电站进厂交通洞Ⅳ、Ⅴ类围岩的洞挖施工	王洪玉 李作舟	(254)
宝泉电站陡崖、危崖处理	王洪玉 宋绪国	(258)
浅谈白山抽水蓄能电站工程实施阶段投资控制	李志远 秦绪富 潘菲	(263)

四、机电设计与研究

抽水蓄能机组设备选型的几个问题	魏炳漳	(268)
宝泉、惠州、白莲河抽水蓄能电站机组统一招标中的技术引进	盛树仁	(276)
正确对待抽水蓄能机组变频启动过程的谐波问题	梁见诚	(279)
十三陵抽水蓄能电站计算机监控系统国产化研究	姜海军 汪军	(286)
桐柏抽水蓄能电站蜗壳座环安装及水压试验	彭来忠	(293)
抽水蓄能电站水泵水轮机过机含沙量的确定方法初探	白文博 王春辉	(297)
蒲石河抽水蓄能电站电气主接线可靠性计算评估	朱杰民	(302)
天津市发电设备厂抽水蓄能机组国产化回顾	高道扬	(314)

五、经营模式探讨与经济评价

两部制电价在抽水蓄能电站的运用	范斌	(320)
对抽水蓄能电站经营模式的思考	巢兆荣	(326)
深圳抽水蓄能电站经营模式探讨	王春辉	(329)
“厂网分开”后抽水蓄能电站的经营模式与配套政策探讨	李仪峰 林章岁 刘峻 张英	(336)

白山抽水蓄能电站工程经济效益分析	李志远	秦绪富	潘菲	(341)
抽水蓄能电站经济运行的设想	王冲	汪军	徐群	(344)

六、运行与维护

关于抽水蓄能电站安全稳定运行的几点思考	冯伊平	林肖男	(350)	
抽水蓄能电站进口机电设备运行中的问题	何永泉	(355)		
天荒坪抽水蓄能电站高压输水系统运行异常涌水的分析	周民权	吴宏炜	(362)	
十三陵抽水蓄能电站2号水道首次例行放空检查总结	王文芳	王建华	彭涛	(365)
对十三陵抽水蓄能电厂机组运行时高瓦温问题的研究和改进	李国和	(373)		
十三陵抽水蓄能电厂电气故障继电保护动作分析及故障处理预防	王东文	任志武	(382)	
机组状态监测系统在十三陵抽水蓄能电厂的应用	吴张建	(386)		
纯抽水蓄能电站上水库和高压管道首次充排水问题的探讨	周益	(391)		

附：在建、拟建的部分 抽水蓄能电站简介

广东省院抽水蓄能电站设计回顾	黄建添	(396)		
南阳回龙抽水蓄能电站特点	李东辉	(401)		
西龙池抽水蓄能电站工程及建设进展	张沁成	王晓春	(405)	
惠州抽水蓄能电站工程枢纽布置特点	廖建强	(408)		
黑麋峰抽水蓄能电站简介	魏永新	(411)		
广东阳江抽水蓄能电站简介	黄立财	(414)		
桓仁抽水蓄能电站枢纽站址选择及布置	王常义	刘丽	谷玲	(418)
深圳抽水蓄能电站前期设计工作特点	黄勇	(423)		
佛子岭抽水蓄能电站的设计特点及有关问题探讨	陈香朋	(428)		
贵州乌江抽水蓄能电站建设近期设想	范国福	(433)		

抽水蓄能电站工程建设文集

——纪念抽水蓄能专业委员会成立十周年

一、综 述



我国抽水蓄能电站发展及抽水蓄能专委会工作十年回顾

李 例

(北京勘测设计研究院 抽水蓄能专业委员会副主任)

抽水蓄能专业委员会成立于1995年3月。十年来,专委会在大家的积极支持下,为抽水蓄能电站的发展做了大量工作,这期间,我国抽水蓄能电站的发展取得了可喜成绩。自从笔者参加我国第一个混合式抽水蓄能电站——岗南电站的建设以来,就一直十分关心抽水蓄能电站的发展,看到这些成绩,内心感到十分高兴,很愿意和大家共享。

一、专委会工作成果

抽水蓄能专业委员会成立之时,我国抽水蓄能电站发展还处于起步阶段。已发电的抽水蓄能机组容量只有1500MW,其中广蓄的1200MW,是专委会成立的前几个月才建成的,开工的项目也不多。因而决定了抽水蓄能专业委员会的主要任务是推动抽水蓄能电站的建设。当时,主要是要解决两方面的问题,一是对抽水蓄能电站经济效益的认识问题,因为它的效益不像常规电站那么直观,而且还容易产生误解,如4度电换3度电的概念,直接阻碍了抽水蓄能电站的发展,需要有一个正确的认识进行引导;二是如何提高我们的管理和技术水平,降低成本,缩短工期,保证建设的圆满成功。十年来,抽水蓄能专业委员会的工作就是围绕这两方面进行的,为此,采取了多种方式开展工作。

1 召开学术交流会

专委会成立以来,我们开了13次大会(包括本次大会),每次会议都有中心议题,在会议前广泛征求稿件,并打印成册。提交会议交流的文章达486篇,参加的人数近1300人次(见表1)。交流会有以下特点:①论文内容来自实践,有较大的参考价值和可操作性;②大会交流和小会讨论相结合,可以面对面的探讨问题;③会议地址附近有可学的实例,每次会议都组织到现场参观;④参加会议的成员有做具体技术工作的人员,也有管理人员和各级领导,便于相互沟通。

表1 专委会召开的专题会议概况表(未包括本次会议)

序号	日期	中心议题	地址	单位 (个)	人数 (人)	论文 (篇)	注
1	1993.11	专委会成立筹备会	天津			54	
2	1995.3	专委会成立大会	滁县	45	77		为琅琊山电站规划提建议
3	1996.1	探讨机组国产化	哈尔滨	24	54	25	参观哈尔滨电机厂
4	1996.8	建设经验交流	北京	36	80	53	参观十三陵抽水蓄能电站
5	1997.6	经济效益研讨	广蓄	36	70	20	参观广州抽水蓄能

续表

序号	日期	中心议题	地址	单位 (个)	人数 (人)	论文 (篇)	注
6	1998.4	经济评价办法讨论	杭州		90	11	专委会为参加单位
7	1998.11	建设经验和规划的交流	杭州		90	40	参观天荒坪、溪口抽水蓄能电站
8	2000.10	面向 21 世纪发展战略研究	上海	58	100	55	参观希科设备厂、沙河抽水蓄能电站
9	2001.5	水电比例大的地区发展抽水蓄能电站的必要性	武汉	74	156	40	参观天堂抽水蓄能电站和白莲河站址
10	2002.11	建设经验技术交流及机组国产化	福州	60	100	40	参观仙游抽水蓄能电站的站址
11	2003.11	对抽水蓄能电站发展中热点问题的讨论	宁波	50	103	40	参观溪口、桐柏抽水蓄能电站的建设
12	2004.11	对抽水蓄能电站现状和前景的讨论	南京	60	150	44	参观宜兴、琅琊山抽水蓄能电站建设

十年来,通过一系列的学术活动,一方面对抽水蓄能电站的经济和社会效益进行了广泛深入宣传,另一方面对工程建设中出现的具体问题开展交流与探讨,从而对我国抽水蓄能电站的发展起到了一定的推动作用。

2 定期出版刊物

1995年专委会成立后,为了及时报道情况,决定出版《抽水蓄能电站信息动态》,当时,国家电力公司主管水电的汪恕诚副部长,还为它写了发刊词。这个刊物是年会的一个补充,因为参加年会的人受各种条件限制,参加的人是少数,而刊物发行的范围遍布全国各有关单位;《抽水蓄能电站信息动态》一年出版两期,及时地报道抽水蓄能电站建设的动态信息;同时还组织一些专题讨论。迄今为止,刊物已经出版21期,共刊登了260多篇文章。

3 组织编写《中国抽水蓄能电站建设》一书

1999年,由抽水蓄能专委会组织,广东抽水蓄能电站联营公司出资组织编写《中国抽水蓄能电站建设》一书。这本书分中、英文两个版本,由中国电力出版社正式出版。该书总结了二十几年来我国抽水蓄能电站的建设;全面介绍了我国抽水蓄能电站的成就和发展前景;介绍了我国已建的十余座具有代表性的抽水蓄能电站概况、作用及其技术成就,是我国第一本全面介绍中国现今抽水蓄能电站建设水平的书。该书于2000年出版,正值第二十届国际大坝会议在北京召开,有助于国际同行了解中国抽水蓄能电站的发展,促进国际间的合作和交流。

4 进行专题研究,为领导部门当好参谋

阻碍抽水蓄能电站发展,主要是对抽水蓄能电站经济效益的认识问题和一套计算办法。为此,1997年6月,专门在广州召开了“经济效益研讨会”,在会上提出应加快抽水蓄能电站经济评价方面的研究。会后,经国家电力公司计划部和水电水利规划总院的推动,1998年完成了《抽水蓄能电站经济评价暂行办法》,专委会是积极参与单位。

为了解决决策部门对抽水蓄能电站的认识问题,在有关领导的指点下,专委会组织专家收集了大量资料,写出了有分量的有关抽水蓄能电站经济效益和作用的文章,提交给2000年4月国家电力公司战略规划部召开的优化调峰电源的战略研讨会,经过会上会下的研讨,战略规划部给国家电力公司领导的报告中,明确提出:“没有水电或很少水电的电网,需要

配置抽水蓄能机组，比较合适的比例是10%左右。”通过各种宣传和沟通，使一些决策部门的领导，对需要发展抽水蓄能电站有了比较一致的认识。

5 沟通工作，推动项目上马

当有些地区在发展抽水蓄能电站的过程中碰到问题时，他们会找专委会协助解决。比如琅琊山在列项之前，请专委会在现场开会，进行咨询，协助联系参观已建抽水蓄能电站，用实际事例解决决策人的疑虑等；又如白莲河的列项过程，请专委会与有关领导进行沟通，并找专委会在该地区召开研讨会。专委会对这些工程的列项建设起到了一定的推动作用。

十年来专委会做了不少工作，这是在各委员单位的大力支持下所取得的，值得一提的是两个挂靠单位——天津院和北京院，他们在人力和资金上都给了大力支持，专委会的秘书长姜梦清、韩立、何琴雯同志做了大量具体工作。

二、十年来国内抽水蓄能电站建设的发展

回顾十年来国内抽水蓄能电站的发展，确实令人欢欣鼓舞。这十年的成绩主要表现在：发展速率高；在系统中发挥了重要作用；取得了较为成熟的设计、施工和管理经验；机组国产化已启动；建立了可行的经营模式等。

1 容量增幅大，发展速率高

世界上第一座抽水蓄能电站于1882年诞生在瑞士的苏黎士，至今已有一百多年的历史。但世界上抽水蓄能电站得到迅速发展，还是20世纪60年代以后的事。1960年，全世界抽水蓄能电站总装机容量只有3500MW，2000年达到113280MW，40年间增加了32倍。

我国抽水蓄能电站建设起步较晚。20世纪60年代后期才开始研究抽水蓄能电站的开发，1968年和1973年先后建成岗南和密云两座小型混合式抽水蓄能电站。1984年华北电网开始建设潘家口混合式抽水蓄能电站，并于1993年建成投入运行。蓄能电站的发展，有段时间几乎处于停顿状态。20世纪90年代才开始有了新的发展，全国（不计台湾）已建及在建抽水蓄能电站共26座（见表2）。至2002年底，已建抽水蓄能电站总装机容量达到5725MW，遍布全国14个省市，约占全国总装机容量的1.6%。从1994年至2003年的十年间，增加了19倍。在建的抽水蓄能电站装机容量11376MW，预计至2010年，这些电站都将建成，届时抽水蓄能电站的总装机容量可到17101MW。

表2 我国已建及在建抽水蓄能电站一览表

序号	电站名称	建设地点	开发形式	装机容量 (MW)	主体工程开工时间	投产时间	竣工时间
1	岗南	河北平山县	混合式	1×11	1967	1968.5	1968.5
2	密云	北京密云县	混合式	2×11	1973	1973.11	1974.12
3	寸塘口	四川彭溪	纯蓄能	2×1	1991.2	1992.11	1993.5
4	潘家口	河北迁西县	混合式	3×90	1984.5	1991.9	1992
5	广州一期	广东从化县	纯蓄能	4×300	1989.5	1994.3	1994.12
6	十三陵	北京昌平区	纯蓄能	4×200	1992.9	1995.12	1997.6
7	羊卓雍湖	西藏贡嘎县	纯蓄能	4×22.5	1991.5	1997.5	1997.5

续表

序号	电站名称	建设地点	开发形式	装机容量 (MW)	主体工程 开工时间	投产时间	竣工时间
8	溪口	浙江奉化县	纯蓄能	2×40	1994.2	1997.12	1998.6
9	广州二期	广东从化县	纯蓄能	4×300	1994.9	1999.4	2000.6
10	天荒坪	浙江吉安县	纯蓄能	6×300	1994.3	1998.9	2000.12
11	响洪甸	安徽金寨县	混合式	2×40	1994.12	2000.1	2000.7
12	天堂	湖北罗田县	纯蓄能	2×35	1998.8	2000.12	2001.5
13	沙河	江苏溧阳市	纯蓄能	2×50	1998.9	2002.6	2002.7
14	回龙	河南南阳市	纯蓄能	2×60	2001.6	在建	
15	西龙池	山西五台县	纯蓄能	4×300	2003.9	在建	
16	张河湾	河北井陘县	纯蓄能	4×250	2003.12	在建	
17	琅琊山	安徽滁州市	纯蓄能	4×150	2002.7	在建	
18	泰安	山东泰安市	纯蓄能	4×250	2000.2	在建	
19	桐柏	浙江天台县	纯蓄能	4×300	2001.12.31	在建	
20	白山	吉林桦甸市	纯蓄能	2×150	2000	在建	
21	宜兴	江苏宜兴市	纯蓄能	4×250	2003.8	在建	
22	宝泉	河南辉县	纯蓄能	4×300	2003.3	在建	
23	白莲河	湖北罗田县	纯蓄能	4×300	2004.9	在建	
24	惠州	广东惠州博罗县	纯蓄能	8×300	2004	在建	
25	佛磨	安徽	混合式	2×78	2004	在建	
26	蒲石河	辽宁宽甸县	纯蓄能	4×300	2004	在建	

另外，我国前期工作进展较深的抽水蓄能电站共计有 40760MW（详见表 3）。

表 3 我国规划抽水蓄能电站一览表

序号	电站名称	建设地点	开发形式	装机容量 (MW)	台数×单机 (台×MW)
1	深圳	广东深圳市	纯蓄能	1200	4×300
2	丰宁一期	河北丰宁县	纯蓄能	1800	6×300
3	丰宁二期	河北丰宁县	纯蓄能	1800	6×300
4	板桥峪	北京密云县	纯蓄能	1000	4×250
5	桃花寺	天津蓟县	纯蓄能	500	2×250
6	呼和浩特	内蒙古呼市	纯蓄能	1200	4×300
7	双沟	吉林扶松县	纯蓄能	500	2×250
8	荒沟	黑龙江海林市	纯蓄能	1200	4×300
9	文登	山东文登市	纯蓄能	1800	4×450
10	仙居	浙江	纯蓄能	1200	4×300
11	太平峪	陕西户县	纯蓄能	1000	4×250
12	纯阳坞	江苏吴县	纯蓄能	120	2×60

续表

序号	电站名称	建设地点	开发形式	装机容量 (MW)	台数 × 单机 (台 × MW)
13	象山	浙江象山县	纯蓄能	600	4 × 150
14	双峰	浙江宁波市	纯蓄能	160	4 × 40
15	乌龙山	浙江建德	纯蓄能	2400	8 × 300
16	响水涧	安徽繁昌市	纯蓄能	1000	4 × 250
17	平江	湖南平江市	纯蓄能	2400	8 × 300
18	洪屏	江西靖安市	纯蓄能	2400	8 × 300
19	天池	新疆阜康市	纯蓄能	600	4 × 250
20	竹海	江苏宜兴	纯蓄能	1800	6 × 300
21	溧阳	江苏溧阳	纯蓄能	1500	5 × 250
22	仙游	福建仙游县	纯蓄能	2400	8 × 300
23	句容	江苏句容	纯蓄能	1200	4 × 300
24	马山	江苏无锡	纯蓄能	700	2 × 350
25	天荒坪二期	浙江安吉	纯蓄能	2400	8 × 300
26	黑麋峰	湖南长沙	纯蓄能	1200	4 × 300
27	盘龙	重庆綦江	纯蓄能	1200	4 × 300
28	遥桥峪	北京市密云县	纯蓄能	1000	4 × 250
29	木格措	四川	纯蓄能	280	2 × 140
30	桓仁	辽宁桓仁		800	2 × 400
31	前进		纯蓄能	1200	4 × 300
32	涂山		纯蓄能	1000	4 × 250

广东和华东电网是近几年发展抽水蓄能电站比较快的两个电网，到 2002 年底，两个电网已建成的抽水蓄能电站装机容量达 4460MW，占全国蓄能电站总装机容量的 77.9%，在建的抽水蓄能电站达 5200MW，占全国在建的 45.7%。

2 在系统中发挥了重要作用，改变了人们对抽水蓄能电站的认识

众所周知，抽水蓄能电站运行具有几大特性：一是它既是发电厂，又是用户，它的填谷作用是其他任何类型发电厂所没有的；二是启动迅速，运行灵活、可靠，除调峰填谷外，还适合承担调频、调相、事故备用等任务；三是启动成功率高，运行可靠，是系统的最佳调峰和事故备用电源之一。目前，我国已建的抽水蓄能电站在各自的电网中都发挥了重要作用，使电网总体燃料得以节省，降低了电网成本。现举几个电站的运行情况，说明抽水蓄能电站在系统中的作用。

(1) 潘家口、十三陵抽水蓄能电厂。它们所在的京津唐电网是一个以火电为主的电网，电站在电网中的作用主要体现在调频、调峰、填谷、事故备用、调相、黑启动及保证首都政治用电等方面。

1) 调频。按照国家规定电网频率要求控制在 $50 \pm 0.2\text{Hz}$ ，而目前京津唐电网内部考核为 $50 \pm 0.1\text{Hz}$ 。京津唐电网在没有抽水蓄能电站投入以前，电网主要依靠燃煤火电机组调

频,其中陡河火电厂和大同第二火电厂分别为京津唐电网的第一和第二调频厂。由于燃煤火电机组受设备的限制,对电网频率的急剧变化适应能力差。1993年以前,京津唐电网频率合格率在98%左右。目前电网调频主要以十三陵、潘家口抽水蓄能电厂为主。1995年十三陵抽水蓄能电厂投入运行后,电网频率合格率每年均达到99.99%以上,除了电网供电状况有所好转外,抽水蓄能电站参与电网调频起了很大作用。

2) 调峰、填谷。由于电网相继投入潘家口和十三陵抽水蓄能电厂,电网的调峰手段在一定程度上得以加强,有力地缓解了京津唐电网的调峰紧张状况,改善了燃煤火电机组的运行条件。为了节约燃料费用,降低电网成本,电网中燃油机组和燃气轮机通常很少发电,仅作为电网的冷备用容量。

由于有抽水蓄能电站的投入和“9511工程”的顺利实施,京津唐电网拉路限电情况总体趋势逐年好转。以十三陵抽水蓄能电厂投产前的1995年和建成后的1998年进行比较,结果见表4。

表4 京津唐电网拉路限电情况统计

项目	累计拉路次数		累计拉限负荷(MW)	
	京津唐电网	北京地区	京津唐电网	北京地区
1995年	81830	19231	114910	27990
1998年	966	0	183	0

3) 事故备用。在电网发生故障和负荷快速增长时,要求抽水蓄能机组能起紧急事故备用和负荷调整的作用。比较典型的例子如:

1999年3月12~17日,首都出现连续十多天的大雾阴雨天气,使北京供电线路造成电网雾闪、线路闪络掉闸等事故不断出现,此时十三陵蓄能电站做出快速反应,开机48次,发电1948万kW·h,紧急启动成功率100%。3月20日,北京晨报以《大雾中击退“雾闪”狙击》——十三陵蓄能电厂立了大功、中国电力报以《十三陵蓄能电厂关键时刻显身手》报道了此事。

4) 保证首都政治用电。由于投入系统运行的火电机组容量日趋增加,且单机容量也较多为200MW以上。一旦出现机组甩负荷,抽水蓄能电站在开机备用状态下,可在数秒内使出力增至最大,以确保系统的安全稳定运行,在近年的重要节日和重大会议召开期间,十三陵蓄能电厂对于保证首都政治用电起到了重要作用。

5) 黑启动。随着电力系统的发展,系统的稳定性与可靠性会因局部的问题波及邻近区域而引起重大系统事故,而黑启动已成为事故后系统恢复正常运行的重要措施之一。1999年5月4日,十三陵抽水蓄能电厂进行了黑启动功能试验,并取得成功,可为电力系统提供有效的黑启动服务。

(2) 广州抽水蓄能电站。从1994年一期工程投入运行,至2000年6月26日二期工程全部建成投入运行,广州抽水蓄能在系统中发挥了重要作用。

1) 使核电实现不调峰稳定运行。广蓄电站的调峰填谷作用使香港中华电力公司无需多开两台660MW煤机,而且在负荷低谷期可以更多接受核电。

大亚湾两台900MW核电机组于1994年投入商业运行,分别向广电和中电两个电网供电。由于两个电网都有抽水蓄能容量供调度使用,为核电创造了良好的运行环境,使核电不

作调峰,实现稳定运行。1994~2000年核电机组超出力运行,年均发电量达到120.6亿kW·h,超过两台机组全年运行合同电量100亿kW·h的21%。

2) 事故备用。广东电网内火电机组最大单机容量达660MW,核电单机容量900MW,西南省份经500kV天广线路供电约800MW,广东电网还与香港电网相联,无论火电站、核电站跳机或西电解列等事故均对该电网安全影响巨大。广蓄自投入运行以来,平均每年紧急启动17.9次。当出现西电跳机事故、大亚湾核电站机组跳机、沙角C厂两台660MW机组跳机、电网与西电解列等事故时,都是广蓄机组迅速启动带负荷,使系统频率短时间内恢复正常。2002年4月4日21时25分天广直流双级闭锁甩1300MW负荷,系统频率降至49.37Hz,事故前,广东抽水蓄能电站运行发电380MW,事故后21时30分,广东抽水蓄能电站运行增至1120MW,即在5分钟内增加了740MW,使系统频率得以恢复正常。据不完全统计,自1995年至2003年9年中,广蓄为事故备用紧急启动共161次。

3) 稳定电网电压。广蓄自投产运行以来,1994年至1997年,4年间共发无功21878万kvar·h,年均发出无功5469.5万kvar·h;吸收无功72928万kvar·h,年均吸收无功18232万kvar·h,为广东电网平衡无功、稳定电压起了较大的作用。

4) 为电网作特殊负荷运行。由于抽水蓄能机组既可作电源又可作负荷,因此对电网调度组织功率特别方便简易,如大功率核电、火电机组调试期间甩负荷实验、满负荷振动试验,都需要有蓄能机组配合,大亚湾电站900MW机组、沙角C厂660MW煤电机组甩负荷试验时都由广蓄机组水泵运行作为负荷,一旦它们甩负荷,广蓄机组就低周切机和自动关机,使核电、沙角C厂试验得以顺利进行。

(3) 天荒坪抽水蓄能电站。天荒坪抽水蓄能电站自1998年至2001年共计发电45.34亿kW·h,抽水电量56.30亿kW·h,综合效率达80.5%。电站自1998年首台机组投产以来,对保证华东电网的安全、稳定运行发挥了重要作用。如2001年2月10日北仓1号联变及三台600MW机组同时跳闸,天荒坪电站在3分钟内紧急开机2台;同年7月30日扬州二厂600MW机组跳闸,天荒坪电站也在3分钟内紧急开机2台;2002年6月4日南桥变葛沪直流双极跳闸,天荒坪2号机紧急并网发电;2003年4~5月三峡龙政直流先后三次跳闸,天荒坪电站蓄能机组紧急启动发电,由于天荒坪电站机组的快速启动,使电网频率在短时间内迅速恢复正常,保证了电网的安全、稳定运行。天荒坪电站自1998年投产至2003年6月底,已为电网应急调频或事故备用23次。

天荒坪抽水蓄能电站还被电网指定为系统瓦解时,恢复电网的黑启动电源。同时,电站也成为系统调试的重要工具,如在华东与福建联网调试过程中,为系统提供了极为方便的调节手段。天荒坪抽水蓄能电站投入华东电网运行后,对保证华东电网的安全稳定、经济运行发挥了不可替代的作用。

(4) 溪口和天堂抽水蓄能电站。溪口抽水蓄能电站自1998年5月2台机组投运以后,提供的削峰填谷电量,解决了宁波电网约40%的峰谷差调节问题。

天堂抽水蓄能电站自投运后启动频繁,为系统调峰、填谷、事故备用起了重要作用。从2002年至2004年分别启动2106、2207、2174次,旋转备用占总运行时间分别为7.35%、7.62%、7.11%。

综上所述,已建的抽水蓄能电站不管是大型还是中型,在实际运行中都很好地发挥了调峰、填谷、调相、调频、事故备用和替代燃煤机组的作用,取得了良好的信誉和经济