

The construction of pumped-storage power station
in China

中国抽水蓄能电站建设

中国水力发电工程学会 编
广东抽水蓄能电站联营公司
潘家铮 何璟 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

1009025

中国抽水蓄能电站建设

The construction of pumped-storage power station
in China

中国水力发电工程学会 编
广东抽水蓄能电站联营公司
潘家铮 何 璟 主编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书总结了近年来我国抽水蓄能电站的建设情况,全面介绍了我国抽水蓄能事业的成就和发展前景。

全书内容分为三部分:(一)综述,概括总结了我国抽水蓄能电站建设的现状及规划、展望;(二)工程概况,以文、图、表并举的形式,分别介绍了我国目前已建和待建项目中国家已批准立项的抽水蓄能电站工程概况;(三)论文,选编了反映我国近年抽水蓄能电站建设中重点技术专题的论文 30 余篇。

本书图书并茂,资料翔实,是从事水电规划、设计、科研、施工和运行管理人员的宝贵资料。

图书在版编目(CIP)数据

中国抽水蓄能电站建设/中国水力发电工程学会,广东抽水蓄能电站联营公司编.-北京:中国电力出版社,2000.1

ISBN 7-5083-0193-5

I. 中… II. ①中… ②广… III. 抽水蓄能水电站-水利建设-概况-中国 IV. TV743

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 67518 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)

实验小学印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2000 年 3 月第一版 2000 年 3 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18 印张 474 千字 24 插页

印数 0001—2000 册 定价 64.00 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

中国能源资源丰富,水、煤、油、气探明的可开发储量约占世界总量的11%,其中,水能居世界第一,约占世界总量的17%;煤炭探明储量居世界第三,约占世界总量11%,而煤炭预测资源为已探明储量的44倍。受资源结构和总量所限,我国电源将长期以煤电为主,目前水电装机容量只约占23%,今后调整电源结构加大水电开发力度,2010年后有可能增加到30%左右。我国煤炭和水能资源的分布极不均衡,煤炭多集中于晋、蒙、宁、陕,仅山西一省就占全国探明储量的1/3;西部水能约占77%,东部沿海发达地区的水能资源仅占7%。几乎半壁江山缺少能源资源。东中部需要靠西部水电东送或北部煤电(煤炭)南送,送电距离多在1000~2000km,为使电网稳定经济运行,在受电的负荷中心,根据负荷特性、电源结构,通过技术经济方案对比论证,建设抽水蓄能电站,以供调峰、填谷、调频、调相及事故备用,是可首选的。据国内、外研究,抽水蓄能机组配置的比重,以所在电网总容量的10%左右为宜。如按此框估,东中部16个省、市电网,2010年就需要3000万kW左右抽水蓄能机组,现已建、在建的可逆式蓄能机组近600万kW,由此可见,我国的抽水蓄能事业方兴未艾,必将在21世纪有更快、更大的发展。

中国的抽水蓄能电站建设起步较晚,70年代只修了几座中小型抽水蓄能电站。80年代以来,随着经济的快速发展,人民生活水平的迅速提高,第三产业比重不断增加,电力需求旺盛。在电量增长的同时,负荷结构有了很大变化,尤其明显的是,最大负荷的增长持续快于电量的增长,调峰的矛盾日益突出。因此,大型抽水蓄能电站应运而生,发展较快。27万kW的潘家口、80万kW的十三陵、180万kW的天荒坪和240万kW的广州抽水蓄能电站,都陆续建成投产,使我国抽水蓄能电站建设迈出了坚实的步伐。

对抽水蓄能事业来说,总结过去、开辟未来是十分重要的。本书编者们不辞辛劳,担起重任,在他们的精心组织下,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事业的成就和发展前景。本书分别介绍了十余座有代表性的抽水蓄能电站的概况、作用及其技术成就。其中包括:岗南——我国第一座抽水蓄能电站的建设;潘家口常规和可逆式机组混合开发的经济效益;广州抽水蓄能电站对保证广东、香港两电网安全、经济运行的重要作用,以及高压岔管、大直径斜井滑模设计、施工的经验;十三陵抽水蓄能电站

对京畿地区电网的重要作用，及其围岩监测，上水库混凝土衬砌和冬季运行措施；天荒坪上库沥青混凝土衬砌技术及滑坡处理技术等。对溪口、羊卓雍湖、响洪甸三个中型抽水蓄能电站建设的必要性、经济性，高海拔地区施工的特殊性和国产机组的生产技术等分别作了阐述。此外，还介绍了以台湾著名的日月潭为水源的明湖、明潭两座抽水蓄能电站的特色及其成就。以上电站代表了中国当今抽水蓄能电站的建设水平。

本书图文并茂，对从事水电规划、设计、科研、施工和运行管理的人员，对水电院系的师生，都有重要的参考价值。同时也有助于各级电力领导部门和从事电网建设、管理的领导和工作人员了解抽水蓄能电站对电网安全、优质、经济运行的重要作用，从而推动中国抽水蓄能事业的发展。特别是在2000年第二十八届国际大坝会议将在北京召开之际出版本书，更有助于外国同行了解中国水电建设的现在与将来，促进国际间的交流与合作。我相信中国的抽水蓄能事业在总结国内建设、借鉴国外经验的基础上，将逐步建立符合中国国情的经济效益评价和经营管理机制，在电力发展中占有不可或缺的一席之地，随着新世纪的到来，会有更新、更大的发展。

何璟

1999年3月

目 录

序

(一) 综述

- 中国抽水蓄能电站建设 罗绍基 (3)
中国抽水蓄能电站发展前景 郝凤山 李复生 (11)
-

(二) 抽水蓄能电站工程概况

- 岚南混合式抽水蓄能电站 (18)
密云混合式抽水蓄能电站 (20)
潘家口混合式抽水蓄能电站 (22)
广州抽水蓄能电站 (25)
十三陵抽水蓄能电站 (29)
羊卓雍湖抽水蓄能电站 (34)
溪口抽水蓄能电站 (39)
天荒坪抽水蓄能电站 (42)
响洪甸混合式抽水蓄能电站 (46)
沙河抽水蓄能电站 (49)
天堂混合式抽水蓄能电站 (51)
明湖、明潭抽水蓄能电站 (53)
张河湾抽水蓄能电站 (56)
桐柏抽水蓄能电站 (57)
泰安抽水蓄能电站 (60)
白山抽水蓄能泵站 (63)
-

(三) 学术论文

- 岚南水电厂——我国第一座混合式抽水蓄能电站 李 例 (67)

潘家口混合式抽水蓄能电站的设计和再认识·····	曹楚生 (73)
潘家口抽水蓄能电站在华北电网中的运用·····	杨承沪 (76)
充分发挥抽水蓄能机组在电网运行中的作用·····	高永树 (79)
潘家口抽水蓄能机组的变速运行·····	袁森等 (83)
抽水蓄能电站的经济评价·····	罗绍基 (95)
广州抽水蓄能电站建设的科技进步成果·····	叶冀升 (107)
广州抽水蓄能电站斜井施工技术·····	关雷等 (117)
广蓄二期: 抽水蓄能机电技术的进步·····	魏炳漳 (121)
广州抽水蓄能电站地下高压钢筋混凝土衬砌岔管设计与施工·····	叶冀升等 (128)
抽水蓄能电站的运行指标探讨·····	罗绍基等 (144)
广州抽水蓄能电站单级式水泵水轮机·····	马天慈 (151)
广州抽水蓄能电站机组经济调度及运用经验·····	容启民等 (155)
核电站与蓄能电站·····	洪盛治等 (161)
十三陵抽水蓄能电站建设中几个重要技术问题·····	刘连希 (169)
混凝土面板防渗技术在十三陵上水库工程中的应用·····	洪重光等 (188)
十三陵抽水蓄能电站自动化设计·····	梁见诚 (201)
十三陵抽水蓄能电站压力钢管的设计与施工·····	王官振等 (206)
羊卓雍湖三机式抽水蓄能电站的运行方式和过渡工况计算·····	刘保华 (217)
羊卓雍湖抽水蓄能电站高压钢管的设计研究·····	马连升等 (229)
羊卓雍湖抽水蓄能电站环境保护·····	卢红伟等 (234)
溪口抽水蓄能电站建设·····	王炜等 (238)
抽水蓄能电站竖井式厂房的设计·····	林旭新 (244)
溪口抽水蓄能电站机组电动机工况的降压异步启动·····	薛培鑫等 (247)
天荒坪抽水蓄能电站枢纽布置·····	张克钊等 (259)
天荒坪上水库沥青混凝土防渗工程设计·····	姜忠见 (265)
天荒坪电站 3.29 滑坡处理工程设计·····	张克钊等 (278)
XHM-7 型斜井滑模系统的研制与应用·····	熊训邦等 (288)
天荒坪地下厂房洞室群排水系统设计·····	刘郁子等 (294)
响洪甸混合式抽水蓄能电站效益分析·····	王雨生等 (299)
响洪甸混合式抽水蓄能电站工程特点·····	陈文 (304)
天堂抽水蓄能电站规划设计特点·····	杨正广 (310)
水泵水轮机科研设计与制造·····	陶喜群等 (313)
水泵水轮机水力设计研究回顾与展望·····	闫志国等 (319)
加速抽水蓄能电站建设有利于我国电力工业的可持续发展·····	曹楚生 (323)

综

述

1

中国抽水蓄能电站建设

广东抽水蓄能电站联营公司 罗佑基

(一) 现状

1968年,我国首次在河北省石家庄附近的岗南水库安装了一台由日本引进的抽水蓄能机组,容量为1.1万kW。1972年又在北京郊区的密云水库安装了两台单机1.2万kW国产的抽水蓄能机组。由于灌溉水库调度和机组质量问题,加以水头低,容量很小,这些机组都没有很好发挥作用,也未得到电网重视。

1978年以后,我国经济实行改革开放,国民经济发展很快,电网迅速扩大,人民生活水平普遍提高,家用电器迅速普及,电网的峰谷差愈来愈大;随着一大批电厂尤其是燃煤电厂的建成发电,社会上缺电局面,已由电量缺乏转为调峰容量缺乏,负荷低谷期高频率运行,负荷高峰期拉闸限电的作法也为用户所不满;另外,80年代后期我国核电开始起步,抽水蓄能电站建设事业在这些条件下得以兴起。最早建设的河北省潘家口混合式抽水蓄能电站是利用已建的潘家口水库为上水库,在已建1台15万kW常规机组之外,安装3台单机容量为9万kW的抽水蓄能可变速运行的机组,由意大利和瑞士厂商供货,在1992年前后陆续投产,为华北电网服务。

位于我国南部的广东电网,调峰问题尤为突出,加上与香港合资的大亚湾核电站(2×90 万kW)已先行于1987年开工建设,水头为535m的广州抽水蓄能电站一期工程(4×30 万kW),以与核电同步建设为目标,于1988年开始施工准备,1994年全部建成投产,为广东电网和香港九龙电网服务。运行实践证明:大亚湾核电站得以实现不调荷安全稳定运行,1994~1997年四年总发电量440亿kWh,较设计电量(360亿kWh)增加22.2%,同时提高了电网供电质量,广州抽水蓄能电站的建设和运行经验得到了国内外好评。目前,广东岭澳核电站(2×100 万kW)已在建设,广州抽水蓄能电站二期工程(4×30 万kW)也于1994年开工,计划1998年底首台机组发电,2000年前全部建成,届时它将是世界上容量规模最大(8×30 万kW)的抽水蓄能电站。

华北电网目前水电装机不足全网装机容量的5%,调峰困难,尤其是首都北京市供电质量、可靠性要求很高。因此,在距北京40km处,建设十三陵抽水蓄能电站,装机 4×20 万kW,水头430m,1989年开始施工准备,1995年底首台机组投产,1997年6月四台机组全部建成发电。电站利用原有的十三陵水库为下水库,上水库系人工挖填而成,用钢筋混凝土护面防渗。投产以来为华北电网的调峰填谷、调频、调相、事故备用起到了显著的作用。

天荒坪抽水蓄能电站是利用世界银行贷款于1994年开工建设的,装机 6×30 万kW,水头570m,电站位于杭州西北80多公里的安吉县境内,上下水库之间的引水洞长为1428m, $L/H=2.5$ 较小。下水库水源丰富,上水库为人工开挖库盆,利用沥青混凝土护面

防渗, 首台机组已于 1998 年 9 月投产, 由上海市和江苏、浙江、安徽三省一市分配容量运用, 作为华东电网调峰容量, 并保障秦山一期核电站 (2×30 万 kW) 安全稳定运行。

位于西藏拉萨市西南方 86km 处的羊卓雍湖蓄能电站, 上库为高原湖泊, 湖面海拔高程 4440.5m, 常年储水量 150 亿 m^3 , 天然落差 840m, 下库为天然雅鲁藏布江, 装机 4×2.25 万 kW, 1991 年开工, 1996 年首台机组投产, 是西藏自治区的主力电厂。浙江宁波溪口抽水蓄能电站 2×4.0 万 kW 于 1997 年投产。安徽响洪甸抽水蓄能电站装机 2×4.0 万 kW, 是在响洪甸常规水力发电厂基础上扩建而成的混合式电站, 这些电站的容量虽小, 但启停灵活, 为地区电网服务发挥了可观的效益。

到 2000 年底, 我国将建成抽水蓄能电站 557 万 kW (未含台湾), 约占全国当时发电装机容量的 1.9%, 占世界目前已建和在建抽水蓄能电站容量 (1.1 亿 kW) 的 5%, 比重均较少。我国可利用的抽水蓄能资源很多, 尤其是东南沿海地区以及内地一些纯火电电网更有必要, 也有条件加速发展这一事业, 优化这些地区的电源结构。

在台湾岛, 明湖蓄能电站是该省建设的第一座抽水蓄能电站, 装机 4×25 万 kW, 上水库为天然旅游胜地日月潭, 下水库在水里溪筑坝形成, 上下水库天然落差为 321m, 1979 年开工, 1985 年竣工。同样以日月潭为上水库, 水里溪另一处筑坝形成下水库, 装机 6×27 万 kW 的明潭抽水蓄能电站, 1987 年开工建设, 1995 年竣工。台湾省电网 1997 年总装机 2574 万 kW, 其中核电 514 万 kW, 抽水蓄能 262 万 kW, 抽水蓄能容量占系统总装机容量的 10.1%, 为核电容量的 50.9%, 从而保证了电网的安全、经济运行。

(二) 建设经验

我国抽水蓄能电站建设虽然起步较晚, 但长时间以来大规模常规水电建设积累的经验, 加上近 20 年来我国改革开放政策引进的国外先进技术和管理经验, 使我国抽水蓄能电站建设能够有较高的起点。虽然, 目前已建的这类电站数目不多, 总装机规模也不算大, 但单个电站规模已居世界前列, 例如广州抽水蓄能电站, 当二期工程两年后竣工时, 它将是当今世界上装机规模最大的抽水蓄能电站。在建设速度方面, 广蓄一、二期, 十三陵, 天荒坪等电站主体工程的实际施工工期, 从地下厂房开挖至首台机投产试运行, 历时为 49~54 个月, 广蓄一期工程全部竣工仅 58 个月, 与世界经济发达国家相比毫不逊色。在单位千瓦装机容量投资方面, 天荒坪、十三陵两个电站约为人民币 4000~5000 元 (相当 500~600 美元), 而广蓄电站一、二期更低, 平均约在 2500 元以内 (相当 300 美元), 都明显低于世界同类电站水平, 特别是广蓄不但比国内同期建设的常规水电站低, 还远低于具有一定调峰能力的燃煤电厂, 这种高速度、低造价的建设经验, 对今后我国各电网电源优化比选, 对抽水蓄能电站的发展, 都提供了一些很好的范例。

通过近十年来建成的我国第一批抽水蓄能电站实践, 在技术上积累了较为成熟的经验。

(1) 建设管理: 广蓄、天荒坪、十三陵等抽水蓄能电站, 实行了以项目法人责任制为中心, 以建设监理制和招标承包制相配套的建设管理模式。业主对电站的筹资、建设、经营和还贷全过程负责, 拥有较大的决策和经营权。业主以项目经济效益最优为目标, 合理配置和使用社会资源, 大胆采用新技术和新工艺, 对设计、施工和监理全面实施合同管理, 依靠科技进步和科学管理提高电站建设效益。因而取得工期短、质量好、投资省、环境美

的成果，这个经验在广蓄电站尤其得到了很好的证明。

(2) 上水库防渗：西藏羊卓雍湖电站的上水库是个不漏水的高山天然湖泊。广州抽水蓄能电站上水库是利用天然高山盆地筑坝而成，由于地形地质条件优越，钢筋混凝土面板堆石坝施工质量良好，渗漏量每秒不足 1L。这两个例子说明，选好上水库是抽水蓄能站址选择的重要因素。

十三陵与天荒坪两个电站的上水库，都是人工开挖填筑而成，天荒坪电站的防渗措施，系与德国 Strabag 公司合作，与世界上许多抽水蓄能电站上水库人工库盆类似，采用沥青混凝土衬护，渗漏很少。十三陵电站上水库，库盆采用钢筋混凝土面板防护，由于面板刚度较大，加上地处我国北部寒冷地区，施工时曾出现裂缝，经修补后，已正常运行，目前渗漏量夏天很少，但冬天稍大，但它的优点是不必引进国外材料和设备，投资较省。这两个工程说明，人工库盆防渗，我国也积累了一定的经验。

(3) 地下厂房轻型支护：广蓄电站宽 21m 的大型地下厂房，采用喷锚支护，其中顶拱锚杆长 3.7~5.0m，边墙锚杆长 4.3~7.0m，顶拱和边墙均挂筋网，喷 15cm 混凝土，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。实践证明，我国在地下厂房喷锚支护设计和施工方面都有成功的经验。

(4) 岩壁吊车梁：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。通过广蓄、天荒坪等电站岩壁吊车梁实践，我国已完全掌握了岩壁吊车梁的设计理论和施工技术。

(5) 水工隧洞及岔管钢筋混凝土衬砌：广州及天荒坪蓄能电站水工隧洞及高压岔管均为钢筋混凝土衬砌，充分利用岩石承担大部分内水压力，以减少衬砌厚度和钢筋用量。隧洞采用单层钢筋，混凝土衬砌厚度 40~60cm。广蓄一期高压岔管是国内第一个高水头、大直径钢筋混凝土岔管，由国内设计人员与美国哈扎公司联合设计，国内自行施工。天荒坪和广蓄二期高压钢筋混凝土岔管完全由国内自行设计和施工。广蓄一期水工隧洞及岔管，经过 5 年运行实践，地下工程总渗漏量每秒不足 1L，而且经历了三次放空检查，衬砌完好无损，裂缝很少，证明隧洞及岔管钢筋混凝土衬砌设计和施工是非常成功的。

(6) 斜井施工技术：抽水蓄能电站的引水道有竖井或斜井两种布置形式，与竖井相比，斜井水道长度短，水力过渡条件好，具有节省投资、提高电站效率等优势。但斜井的施工难度较大，施工技术比竖井复杂，我国目前已建的广蓄、天荒坪、十三陵等蓄能电站，引水道均采用斜井布置，通过这些斜井施工，已形成了较为成熟的斜井安全快速施工成套技术。在斜井开挖方面，广蓄、天荒坪采用爬罐，十三陵采用反井钻先开挖溜渣导井，再由上至下扩挖（十三陵是利用反井钻从下而上）的方法施工。广蓄一、二期和天荒坪斜井钢筋混凝土衬砌采用滑模施工，其中广蓄是与国外技术合作，采用以中梁导向的间歇式滑模，施工速度一期为 4m/d，二期为 6m/d；天荒坪是国内自行设计和制造的以轨道为导向的连续式滑模，同样取得了很好的施工效果。

(7) 运行管理：广蓄一期工程，在利用法国政府贷款引进设备的同时，也引进了法国

电力公司运行管理经验,结合我国具体情况和其他国家(包括香港中华电力公司)经验,实践出一套无人值班,少人值守的运行管理模式,一期电厂 4×30 万kW,运行管理88人,折合每万千瓦0.73人,计划二期工程 4×30 万kW投产后,将实行8台机集中管理控制,全电厂每万千瓦运行管理在0.6人以内。一期工程电厂在全部机组投入商业运行后,还执行国际认可的五星级安全管理标准。为了推行广蓄电厂管理经验,电厂已编出成套教材,接受对天荒坪、溪口、松江河、二滩等水电厂的培训任务。

台湾明湖、明潭两个抽水蓄能电厂,虽同属一个上水库,但下水库是分开的,故两个电厂分别管理,其人数每万千瓦在1人左右,台湾电网计划将两厂集中调度,实行减人增效。明湖电厂运行十年机组才开始大修。

我国抽水蓄能电站起步不久,投产的电厂不多,但启、停十分频繁,广蓄一期、十三陵两个电厂每年每台机启动分别在1000次与500次左右,各种工况合计的运行小时每年每台机在2500h左右,虽然电厂人数少,但都能保证正常运行和维修,机组可用率和启动成功率都保持在较高水平上。台湾明湖、明潭也类似,且其运行小时还要多。

(三) 经济评价

抽水蓄能电站的技术性能容易被人们认同,但建设抽水蓄能电站的经济效益评价和建成后如何经营取得合理利润,却是一个十分重要而又尚未得到妥善解决的课题。

我国通过已建电站的实践中对国外电网和同类电站的考察,对建设抽水蓄能电站经济可行性研究的规范化工作已经开始。在论证必要性的基础上,已在开发一套电力系统电源结构优化数学模型及相应的计算软件,对电网负荷发展进行较为准确的预测,将不同电源结构方案在预测的负荷曲线上运行,以寻求经济上最有利的电源组合方案,这是最为有效的经济论证方法。建设抽水蓄能电站,使已有煤电提高使用率,减少或推迟新增煤电或其他电源,从而达到电网成本降低的目的,所以规划建设抽水蓄能电站的经济性在于:对比其他电源方案,它不是增加电网成本,提高电网电价,而是降低电网成本,降低电网电价。从实时运行情况看,广州抽水蓄能电站同时为广东电网和香港九龙电网服务,运行几年来也证明:对已有电源优化调度后,将煤电多发的低谷电通过抽水蓄能转换为高峰优质电,虽然电量少了,但减少煤电调峰单位电度煤耗和开停次数减少而节约的煤耗,或者替代成本较高的燃气轮机和燃油机组调峰,使电网总体燃料得以节省,降低了电网成本。台湾电网明湖、明潭蓄能电站的实践也得出同样结论,这是个重要的概念,是发展抽水蓄能电站的经济基础。

抽水蓄能电站有着容量、电量效益和动态效益。它和一般发电厂不同,蓄能电站的效益主要不在于发电量多少,容量、动态等效益比电量更为重要,因为它担任电网历时很短的尖峰负荷,虽然容量充分使用了,电量是不多的,而动态效益经常是使机组处于待命状态,也是从容量取得,尤其是事故紧急备用发生的电量虽然很少,却是极为珍贵的,因此不应当将电量作为它的主要经济评价和经营效益指标。现在国内大多数电力工作者已接受这种观点,我国的两部制电价及峰谷电价政策也应随着社会主义市场经济发展而科学地得到调整,增加容量电价在总电价中的比重,使电价体系与市场供需相符合。供用电需求的综合电力、电量平衡,是供电经营者(电网)的责任,因此由电网自己建设、经营抽水

蓄能电站是理所当然的。已经运行的潘家口、十三陵就是由华北电网筹集资金建设且由华北网经营、运行的抽水蓄能电站，这种方式是可行的。

多家办电，筹集社会资金办电是我国发展电力工业的成功经验，尽管抽水蓄能的经营市场离不开电网，但作为独立发电厂（公司）集资自主建设、经营抽水蓄能电站同样是可行的，也是符合电力体制改革方向的。广州抽水蓄能电站一期就是这种模式，它以容量计费为基础，60万kW使用权出售给香港抽水蓄能发展有限公司，由中华电力公司（CLP）使用。60万kW租赁给广东电网使用，由电网保证大亚湾核电站不调峰稳定运行，而租赁费则由电网与核电共同承担，实践结果是电网满意，核电满意，蓄能电站投资者满意。这种租赁模式在国外也不乏存在，如德国南部 Schluchseewerk 公司拥有的五座总容量为184万kW抽水蓄能电站和卢森堡 SEO 公司拥有的万丹抽水蓄能电站（100万kW）都是采用租赁方式经营的独立发电公司。租赁经营模式的最大好处是避开难以量化的动态效益费用计算问题。对技术上不宜调节（如核电）或经济上不愿付出调节代价的大型核电、煤电机组，联合循环机组等独立电厂（公司）参加租用抽水蓄能电站容量由电网保证其安全、稳定运行，增加了本身发电量，提高了本身经济效益的同时付出相应代价，也是租赁经营模式的一种发展。因此，租赁经营模式不失为市场经济中建设抽水蓄能电站的一种好经验。

（四）发展展望

2000年前，可以预见我国将建成557万kW的抽水蓄能电站。今后12年（2010年以前），建设规模将会较前十年成倍增加，这是因为：

（1）我国是经济发展较快的国家，2010年全国电力装机容量计划较目前增长一倍，达5亿kW左右，随着用电负荷结构的改变，全国各电网调峰容量需求的增长将程度不同地大于用电量增长，加上一些用于调峰的小型火力发电厂大量退役（1998~2000年即计划退役1086万kW），而已投产抽水蓄能电站运用频繁，使用效率高，运用这种电站从理论到实践已在我国证明是电网最佳调峰手段，所以发展的必要性是十分明显的。

（2）我国推行社会主义市场经济，《电力法》已颁布实施，随着模拟电力市场的试行，电力市场将逐步完善，两部制和峰谷分时电价也将按“同网、同质、同价”的原则越来越规范。作为一个公用事业，用户对供电质量要求也越来越高，而抽水蓄能电站的起动迅速、跟踪负荷、事故备用、调频、调相等优越性能，将成为电网提高供电质量的可靠容量，电网也愈来愈愿意为这种服务付出代价。

（3）2010年，我国计划达到5亿kW的装机容量中，70%~80%是属于调峰能力不佳的基荷容量，按照台湾的研究，抽水蓄能电站容量占基荷电厂装机容量的10%是合理的，考虑到我国有调峰能力的常规水电将有很大发展，抽水蓄能电站比重可以减少，但即使减少到5%，也应在1500万kW以上。我国东南部经济发达资源缺乏的地区应当比重更大。

（4）我国的核电将有一个很大的发展，预测至2010年，将由目前的260万kW增加至2000万kW，其中广东省规划即有600万~800万kW。根据国内外经验，为保证核电安全稳定运行，须配套相当规模的抽水蓄能电站。举世瞩目的三峡巨型水电站，由于水库要提供库容调节洪水，电力调节能力不高，为充分利用三峡电能减少弃水，也需在其供电区内配置抽水蓄能电站。

(5) 我国抽水蓄能电站资源丰富,可供选择的站址很多,它具有移民淹没少,工期短、投资省等优点,只要充分利用国内外先进而成熟的管理和技术经验,它在电力市场电源结构优化中将具有强大竞争力,并且必将能为电网提供良好的经济效益。

当前,装机各为100万kW的河北省南部电网张河湾,山东省电网泰安已获国家批准立项建设,装机120万kW的浙江省桐柏抽水蓄能电站为配合秦山核电站二、三期工程建设与江苏省的沙河抽水蓄能电站(2×5万kW)即将获得国家批准。全国许多电网都在积极选点和开展前期工作,可以预见,我国第二批抽水蓄能电站即将陆续开工,而且在建设过程中将不断有新项目加入这个行列。例如:安徽省琅琊山(60万kW),山西省西龙池(120万kW),辽宁省蒲石河(120万kW),江苏省铜官山(120万kW),河南省宝泉(120万kW),内蒙古呼和浩特(120万kW),黑龙江省荒沟(120万kW),新疆自治区天池(60万kW),北京市板桥峪(100万kW),广东省博罗(约120万kW)都在酝酿建设中。一些利用已有水库开发的混合式抽水蓄能电站和一些为解决当地地区电网需要的中型抽水蓄能电站也将不断增多。我国抽水蓄能电站指标见附表。

(五) 研究与探讨

我国抽水蓄能事业虽然具有巨大发展前景,但毕竟起步不久,能形成规模为电网服务的大型抽水蓄能机组1992年(潘家口)、1993年(广蓄一期)才投入生产,人们对这类电站的作用尤其是经济效益的认识还不完善;我国电力市场经济还没有健全;国产大型抽水蓄能机组还没有成功的制造经验;如何按照项目法人责任制建设、经营管理抽水蓄能电站亦需进一步完善。下面拟就上述几个问题研究探讨如下:

(1) 抽水蓄能电站容量占电网总容量比重:我国地域广大,各地区、各省(区)电网经济发达程度不同,影响到负荷特性有较大差别,资源条件、电源结构也有较大差异,而各地抽水蓄能资源开发的经济性也很不相同。因此,对抽水蓄能电站需要的迫切性和容量比重应当是因网而异,不宜直接套用国外经验或全国相同的统一比重。我国各地区各电网应立足于本身条件,并考虑全国电网逐步联网后的互补情况,通过科学周密的规划分析,探求本地区本电网的合适比重和开发程序,以实现经济的电力发展目标。

(2) 制定公平、公正、完整、合理的电力价格体系:在我国进行厂网分开,竞价上网改革进程中,电力作为一个商品,其售电价格再不应按行业区分。我国的容量电价一直是偏低的,而且许多地方都没有实行峰谷分时电量价。现在和将来都将是调峰容量缺乏,所以应当提高容量电价的比重,拉开高峰电量和低谷电量价格的差距。不但在售电端如此,在受电端的上网电价也应如此。为了提高电网供电质量,制定电厂为电网进行辅助服务(如事故备用、调频、调相、负荷跟踪等动态效益)的价格是十分必要的,包含了上述因素,才可以认为这个价格体系是公平、公正、完整和合理的,各种电厂才可以进行平等竞争,抽水蓄能电站在这种价格体系上应当是不畏竞争的,只有这样,在电网内建设合适容量的抽水蓄能电站才能吸引国内外投资,抽水蓄能电站建设才能健康发展。

(3) 积极推进抽水蓄能机组的国产化进程:我国目前已建抽水蓄能机组,大多数都是从国外引进,但在引进过程中,采用了技术贸易结合方式,我国的机电设备制造部门通过监造、验收、分包等途径吸收了不少技术经验。目前国外一些著名厂商也在我国组建了一

附表 中国抽水蓄能电站参数指标表

序号	电站名称	所在地	电站类型	装机容量 (台×MW)	水头 (m)	蓄能运用 库容量 (万 m ³)	输水道长 (m)	厂房型式	机组类型	机组生产厂商	机组转速 (r/min)	建设 状态	首台机组 投产年份
1	岗南	河北省	混合式抽水蓄能	1×11	47	250	529	地面厂房	斜流可逆式	日本	双速 250/273	建成	1968
2	密云	北京市	混合式抽水蓄能	2×12	70			地面厂房	斜流可逆式	中国天津	双速 250/273	建成	1973
3	潘家口	河北省	混合式抽水蓄能	3×90	36~86	700		地面厂房	混流可逆式	意大利 TIBB	双速 125/142.8	建成	1992
4	广蓄一期	广东省	纯抽水蓄能	4×300	514~552	850	3900	地下厂房	混流可逆式	法国 CEGELEC	500	建成	1993
5	十三陵	北京市	纯抽水蓄能	4×200	476	422	2097	地下厂房	混流可逆式	美国 VOITH; 奥地利 ELIN	500	建成	1995
6	羊卓雍湖	西藏自治区	混合式抽水蓄能	4×22.5	840		8991.9	地面厂房	三机一体式	美国 VOITH; 奥地利 ELIN	750	建成	1996
7	溪口	浙江省	纯抽水蓄能	2×40	242~276	67	1100	半地下竖井式	混流可逆式	瑞士 SEM, ABB	600	建成	1997
8	天荒坪	浙江省	纯抽水蓄能	6×300	523~614	805	1423	地下厂房	混流可逆式	加拿大 GE, 挪威 KE	500	在建	1998
9	广蓄二期	广东省	纯抽水蓄能	4×300	514~552	850	4436.7	地下厂房	混流可逆式	德国 SIEMENS, VOITH	500	在建	1998
10	响洪甸	安徽省	混合式抽水蓄能	2×40	33~64	440	586.5	地下厂房	混流可逆式	中国东方	双速 107.14/125	在建	
11	沙河	江苏省	纯抽水蓄能	2×50	93~123	230	908	半地下竖井式	混流可逆式	法国 ALSTHOM		在建	
12	天堂	湖北省	混合式抽水蓄能	2×35	38~52		416	地面厂房	混流可逆式	中国杭州	157.9	在建	
			1-12 合计	5725									
13	明湖	台湾省	纯抽水蓄能	4×250	309	790	3147	地下厂房	混流可逆式	日本	300	建成	1984
14	明潭	台湾省	纯抽水蓄能	6×267	380	1220	4087	地下厂房	混流可逆式	美国 VOITH; 法国 ALSTHOM	400	建成	1994
			13-14 合计	2602									
15	张河湾	河北省	纯抽水蓄能	4×250	344	720	874	地下厂房	混流可逆式			待建	
16	泰安	山东省	纯抽水蓄能	4×250	245	890	1927.9	地下厂房	混流可逆式			筹建	
17	桐柏	浙江省	纯抽水蓄能	4×300	255	1062	1277.9	地下厂房	混流可逆式			待建	
18	白山	吉林省	蓄能泵站	2×150	101~129		453.3	地下厂房	单级混流泵			待建	
			1-18 合计	11827									

注:本表及本书中只收入了已建的和待建项目中国家已批准立项的蓄能电站。

批合资企业，他们在使用国际金融组织贷款国际竞争性投标中，不但有投标资格还有价格优惠。为了节约电站投资和发展我国机电制造工业，逐步实现抽水蓄能机组国产化是十分必要的，我国机电制造部门应在提高技术水平、装备和材料方面积极努力，提高信誉，逐步推进国产化进程。

(4) 提高建设水平，使抽水蓄能电站做到进度快、投资省：抽水蓄能电站与常规水电站相比，容量大、土建工作量较少，水库淹没与综合利用矛盾也少得多。从已建电站实践证明，实行项目法人责任制，实施良好的建设管理是可以实现进度快、投资省的目标的。项目法人责任制明确了项目法人是业主，它和设计、监理、施工是甲、乙方关系，但在社会主义条件下，只是分工不同，业主的责任是团结各方将建设目标变成大家共同的目标，而不是凌驾于各方之上，随意发号施令。一个大型抽水蓄能项目，承担重大责任的项目法人应当具有良好的道德、敬业精神和严谨的工作作风，较强的管理能力和水电技术经验，对待重大技术、进度问题既要善于听取不同意见，又能及时作出正确的决断，保证工程顺利进行，不留隐患。因此，及时总结已建电站的管理经验和教训，聘好项目法人，给予与工程效益相联系的较高待遇，而又有机制加以约束，这对工程实现进度快、投资省的目标是十分重要的，也只有实现这个目标，电站在电力市场才能竞争生存，并获得应有的回报。