

中国动力工程学会水轮机专业委员会
中国电机工程学会水电设备专业委员会
中国水力发电工程学会水力机械专业委员会
全国水利水电水力机械信息网



第十六次中国水电设备 ZHONGGUOSHUIDIANSHEBEIXUESHUTAOLUNHUILUNWENJI 学术讨论会论文集

黑龙江科学技术出版社

中国动力工程学会水轮机专业委员会
中国电机工程学会水电设备专业委员会
中国水力发电工程学会水力机械专业委员会
全国水利水电水力机械信息网

第十六次中国水电设备

学术讨论会论文集

黑龙江科学技术出版社

中国·哈尔滨

图书在版编目(CIP)数据

第十六次中国水电设备学术讨论会论文集—哈尔滨:
黑龙江科学技术出版社,2007.6
ISBN 978-7-5388-5446-6

I.第… II.水力发电站-机电设备-中国-文集
III.TV734-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 096147 号

责任编辑 车承棣

封面设计 洪 冰

第十六次中国水电设备学术讨论会论文集

DISHILUOCI ZHONGGUO SHUIDIANSHEBEI XUESHUTALUNHUI LUNWEIJI

出 版 黑龙江科学技术出版社

(150001 哈尔滨市南岗区建设街 41 号)

电话 (0451)53642106 电传 53642143(发行部)

印 刷 哈尔滨市工大节能印刷厂

发 行 黑龙江科学技术出版社

开 本 787×1092 1/16

印 张 31

插 页 2

字 数 700 000

版 次 2007 年 7 月第 1 版·2007 年 7 月第 1 次印刷

印 数 1-1 000

书 号 ISBN 978-7-5388-5446-6/G·635

定 价 68.00 元

第十六次中国水电设备学术讨论会组织机构

组织委员会

主 席:吴伟章

副主席:唐 澍

委 员:付元初

赵 琨

孙殿湖

陶星明

蒋登云

胡伟明

刘景旺

石清华

曾镇铃

张 强

学术委员会

主 席:曹树良

副主席:黄 凌

委 员:王正伟

马振岳

何国任

李定中

戴 江

刘光宁

吴 刚

吴新润

王泉龙

史毓珍

杨建东

陈顺义

田树棠

陆 力

董在志

江泽沐

罗兴铸

盛树仁

徐正镐

秘书处

秘 书 长:覃大清

副秘书长:徐洪泉

秘 书:刘诗琪

戴康俊

潘罗平

涂东花

张海平

前 言

到2006年底,我国水电装机总容量达到1.29亿kW,居世界第一位。据最新的水电建设规划,未来的10~15年间,我国的水电年均新装机约1300万kW。其中单机70万~80万kW的混流机组约150台,单机30万~40万kW的蓄能机组约150台,单机3万~6万kW的贯流机组约150台。

目前,正在建设的大型混流式电站主要有三峡右岸及地下厂房($18 \times 700\text{MW}$)、溪落渡($18 \times 700\text{MW}$)、小湾($6 \times 700\text{MW}$)、龙滩($7 \times 700\text{MW}$)、拉西瓦($6 \times 700\text{MW}$)、构皮滩($5 \times 600\text{MW}$)、瀑布沟($6 \times 550\text{MW}$)、锦屏I级($6 \times 600\text{MW}$)、水布垭($4 \times 400\text{MW}$)、景洪($5 \times 350\text{MW}$)、彭水($5 \times 350\text{MW}$)等;正在建设的大型抽水蓄能电站主要有惠州($8 \times 300\text{MW}$)、宝泉($4 \times 300\text{MW}$)、白莲河($4 \times 300\text{MW}$)、黑麋峰($4 \times 300\text{MW}$)、蒲石河($4 \times 300\text{MW}$)、西龙池($4 \times 300\text{MW}$)、宜兴($4 \times 250\text{MW}$)、张河湾($4 \times 250\text{MW}$)等;正在建设的大型灯泡贯流式电站主要有康扬($7 \times 40.7\text{MW}$)、长洲($15 \times 42\text{MW}$)、桥巩($8 \times 60\text{MW}$)、炳灵($5 \times 48\text{MW}$)等。另外,向家坝、糯扎渡、锦屏II级、官地、乌东德、白鹤滩等一大批大型水电站也正在建设规划中。我国的水电建设进入了一个新的发展时期。

为了及时了解和掌握水电设备技术的发展,总结和借鉴这些年来水电机组科研、设计、制造、安装、运行的经验,由中国动力工程学会水轮机专委会、中国电机工程学会水电设备专委会、中国水力发电工程学会水力机械专委会、全国水利水电水力机械信息网联合主办的“第十六次中国水电设备学术讨论会”,于2007年8月在哈尔滨召开。会议共收到论文70余篇,经专家审核有60篇论文收入会议论文集中。论文内容涉及水电发展战略、水电机组稳定性、水轮机裂纹、流动分析与水力设计、试验研究、理论研究及电站选型设计、水电设备结构设计、抽水蓄能电站技术、水机磨蚀、水电站自动化等10个方面。我们希望这些论文能够给水电设备工作者提供有益的帮助和借鉴。

感谢论文作者和编审人员为本论文集的出版所付出的辛勤劳动。

祝会议圆满成功!

第十六次中国水电设备学术讨论会组织委员会主席:

2007年8月

目 录

水电发展战略

中国水电工程机电技术的发展概况.....	李定中(3)
混流式水泵水轮机及大泵技术在哈电的发展	王泉龙 吴新润(11)

水电机组稳定性

混流式水轮机“强振”原因的研究	徐珍懋(27)
某混流式水轮机稳定性现场试验分析	姚大坤 庞立军 黄 凯(44)
中水头混流式水轮机高部分负荷工况压力脉动的模型研究	 陈金霞 许建新 黎 辉 赵 越(50)
非线性水轮机密封系统自激振动分析	马震岳 杨晓明(55)
大型混流式水电机组运行振摆超标分析及处理	陈 欣(63)
三峡左岸电站水轮发电机组动平衡试验	陈中志 张海平(72)
水轮发电机组动平衡试验相位判断法与实施 ...	何成连 由彩堂 蒋玉华 张智彬(77)
三峡电厂左岸 VCS 机组低水头运行性能分析	 孙建平 符建平 冉毅川 郑莉媛(84)
二滩水电站机组运行稳定性研究	 肖孝锋 冯正翔 丁仁山 华宏举 孙建平 郑莉媛(91)
水电站过渡过程中小波动稳定性分析研究	陈太平(97)

水轮机裂纹

迪什林水电站转轮动应力测试及裂纹原因分析	 潘罗平 唐 澍 唐拥军 张海平 桂中华(107)
混流式转轮裂纹的原因分析与新转轮的设计制造	陶喜群 许 健(114)
珊溪电站转轮叶片裂纹原因分析及处理	顾平良(122)

流动分析与水力设计

基于变频思想的混流式水轮机转轮的水力设计	魏显著 刘万江 吴喜东(129)
混流式水轮机飞逸过渡过程的三维非定常湍流计算	 李金伟 刘树红 周大庆 吴玉林(135)
空化系数对水轮机水力性能的影响	徐洪泉 王万鹏(143)
部分负荷时转轮内部流场特性研究	 罗兴铸 逯 鹏 廖伟丽 郭鹏程 姬晋廷 王 琪(149)
低水头混流式水轮机叶道涡引起的噪声及其消除	石清华 许巍巍 龚 莉(156)
轴流转桨式水轮机含轮缘间隙动力特性的数值研究	 廖伟丽 肖 微 罗兴铸 郑小波 姬晋廷 商 威(165)
高水头贯流式水轮机的全流场解析	宋文武 符 杰 张 青(173)

试验研究

水轮机和水泵水轮机水力性能现场验收试验方法	单 鹰(181)
变时基信号采集在水轮机固有频率和模态测试中的应用	潘罗平 唐 澍 唐拥军(196)
大管径大流量水电厂机组的现场流量测试实践	徐 伟(201)
西霞院电站水轮机的设计特点及模型验收试验	詹奇峰(206)
黄河西霞院水电站水轮机模型验收试验	胡宝玉 张利新 李落林(211)
用标准节流孔板流量计测量水轮机导叶漏水	赵 越 陈金霞 赵英男(218)
华光潭一级电站 1 # 机组导叶漏水测量	王建义 丁国兴(225)

理论研究及电站选型设计

浅谈对原型水轮机的研究方法	黄源芳 刘 洁(233)
水斗式水轮机的选择	汤毅强 汤华诺(247)
桥巩机组的选择及其制造难度分析	郑 彪(252)
水轮发电机组额定转速优化选择	田树棠 朱清飞(260)
关于冲击式水轮机效率的修正	朱清象(268)
再论冲击式水轮机基本理论	周晓泉 周文桐(272)
就水斗式水轮机论相似与空蚀	周晓泉 周文桐(285)
论水斗式水轮机动力性能	周晓泉 周文桐(296)
灯泡混流式水轮机流道系列的设计研究	宋文武 喻华全 符 杰 曾治川(306)
葛洲坝电厂水轮机增容改造参数选择	闫志国 王 威(312)
小水电站水轮机改造设计中需要考虑的几个问题	徐 伟(324)

水电设备结构设计

光照水电站圆筒阀的设计与试验	王泉龙 覃大清 王国清 朴春光(331)
白山抽水蓄能电站蝴蝶阀的结构分析	高洪军(342)
各种水轮机进口阀的结构特点及应用	靳卫华 李志鹏 沈宗沼 秦 武 金志渊 余中华(348)
水润滑弹性金属塑料水导轴承的研制与应用	王焕栋(356)
小龙门大型竖井贯流式水轮机结构设计	曾明富 孙媛媛 程 海(363)
高效率斜击式水轮机转轮的研制	朱清象(370)
水电站桥式起重机选择设计研究	朱清飞(377)
葛洲坝水轮机转轮密封改造方案探讨	邓 键 黄 明 涂阳文 卢进玉(383)
水轮机轴承功能与结构分析	汤毅强(388)

抽水蓄能电站技术

西龙池电站水泵水轮机模型验收试验及性能分析	吕 田 贺 涌 徐洪泉 徐报朴 江泽沐 潘旭龙(393)
桐柏抽水蓄能电站水泵水轮机模型验收及主要水力性能分析	胡忠启 汤一波 孟晓超 陈顺义 周 杰(402)

回龙抽水蓄能电站水泵水轮机..... 宫让勤 高 欣(413)

水机磨蚀

水轮机泥沙磨损的综合治理..... 刘光宁 陶星明 刘诗琪(423)

涉及水轮机磨损评定的几个问题..... 姚启鹏(434)

冷竹关水电站水轮机泥沙磨蚀报告..... 雷 军 江 雄(438)

葛洲坝水轮机过流部件磨蚀与防护..... 王茂海 王建忠 涂阳文(448)

新型铬锰氮抗磨蚀用钢的研制和应用..... 王者昌 陈怀宁(454)

GB1 系列抗磨蚀堆焊焊条的研制和应用..... 王者昌 陈前淮(465)

水电站自动化

基于 VB 的图像滚屏技术在水电机组监控系统开发中的应用..... 唐拥军 潘罗平(477)

三峡左岸电站 ALSTOM 机组调速器三段关闭规律调整..... 陈中志(483)

水电发展战略

中国水电工程机电技术的发展概况

李定中

(中国水电工程顾问集团公司)

【摘要】 本文回顾了我国水电开发的概况,展望了新世纪我国水电发展的美好前景;指出我国水电工程机电设计、安装和制造技术已逐步赶上和达到世界一流水平;介绍了近年来我国大型水电站规划设计简况、机组国产化进程以及水电站机电设备近年来选型的新特点和新趋势;为迎接水电开发的历史机遇和挑战、取得双赢,提出了对国内、外制造厂家的期望和要求。

【关键词】 水电;机电工程;技术;设备;制造;国产化

1 我国水电开发概况

据 1980 年全国普查结果,中国水电资源理论蕴藏量为 6.8 亿 kW,年发电量 5.9 万亿 kW·h,技术可开发容量 3.78 亿 kW,蕴藏量和可开发容量均居世界首位。从 2000 年开始至 2004 年,中国水电工程顾问集团公司按国家发改委指示组织了全国水力资源复查,水电资源理论蕴藏量为 6.94 亿 kW,年发电量 60 829 亿 kW·h,其中技术可开发容量 5.42 亿 kW,经济可开发容量 4.02 亿 kW。目前我国实际开发的水能资源仅为 20% 左右,大大低于发达国家 50% ~ 70% 的开发利用水平。

我国剩余可开采储蓄仅 1 390 亿 t 标准煤,按我国 2003 年的开采速度 16.67 亿 t/年,仅能维持 83 年。由于我国电源结构以火电为主,对煤炭的依存度过高,现在电力发展的主要矛盾正在从装机容量不足转向煤炭供应能力不足,并存在着环境承载力的问题。

我国石油资源不足,对石油进口的依赖已越来越大。到 2003 年年底,我国进口原油 9 000 万 t,成品油 2 000 万 t,已成为世界第二大石油进口国,是美国的 1/4。2006 年 1~8 月,我国石油净进口量最高达 7 600 万 t,对外依存度上升到 40%。如果我石油进口还高速增长,将面临与美国等在国际市场争夺石油的局面,势必带来国际政治、经济方面一系列重大问题。

百年之后,中国的能源将成为很大的问题,所以看来水电开发确实是当务之急。否则,每年白白地流走 12 亿 t 煤,6 亿 t 石油。

至 2004 年底,我国常规水电机组的装机容量达到 1.045 亿 kW,已超过美国(9 973 万 kW)跃居世界首位。应当指出,水电是我国的利润大户:1980 年到 1999 年这 20 年来,水电的发电量占全国总发电量的 15.3%,利润却占总售电利润的 64%。

2005 年我国电力装机(包括火电在内)在建规模达 2.8 亿 kW,年底全国总装机已达 5.084 亿 kW(美国为 8 亿 kW;英、德、法三国加起来不过 3 亿 kW;日本仅 2.8 亿 kW,但其 GDP 比中国高得多)。

据我集团公司最新统计,2006 年我国电力新增装机 1.01 亿 kW,其中水电 971 万 kW,

火电 9 048 万 kW, 风电 92 万 kW, 全国电力装机容量达 6.22 亿 kW, 其中水电装机达 1.28 亿 kW。连续两年全国电力新增装机突破一亿 kW。

应当看到, 2004 ~ 2005 年 7 月, 发改委核准电站项目 168 项, 建设总规模为 12 100.15 万 kW, 其中水电 13 项计 1 153.85 万 kW, 仅占总规模的 9.5%。这几年, 尽管电力装机规模增加迅猛, 但水电在能源结构中的比例从 2003 年的 24.2% 降至 2006 年的 20.58%。大规模新增的火电机组, 大大地增加了对已趋紧张的煤炭生产及其运输的压力, 更是不利于减少二氧化硫的排放(全国二氧化硫排放量中, 发电约占 40%) 和大气环境的改善。因此, 火电比重过高, 水力资源开发滞后, 这种不合理的电力结构急需采取强有力的措施加以改善。

目前规划建设 13 个大型水电基地, 即: 金沙江、雅砻江、大渡河、乌江、长江上游、南盘江红水河、澜沧江、黄河上游、黄河中游北干流、湘西、闽浙赣和东北地区以及新增的怒江中下游。

截至 2006 年底, 全国在建大型水电项目 31 项, 装机容量 8 524 万 kW; 已经完成或正在开展预可行性研究的大型水电项目 59 项, 装机容量 8 213 万 kW; 已经完成或正在开展可行性研究及前期建设筹备的大型水电项目 34 项, 装机容量 5 027 万 kW。

随着党中央和国务院确定的“西部大开发”和“西电东送”战略的实施, 温家宝总理 2005 年 3 月 3 日主持国务院常务会议, 分析当前电力供求形势, 研究电力工业发展问题。会议指出: “要调整电源结构, 大力开发水电, 优化发展煤电, 积极推进核电, 适度发展天然气发电, 鼓励新能源发电”; “要大力推进技术进步和产业升级, 提高关键设备制造和供应能力”。这为我国进一步加快水电开发和促进水电设备的技术进步创造了难得的历史机遇。

“十一五”对水电开发新的表述为: “在保护生态的基础上有序开发水电”, 这丝毫没有减少对水电的关注, 反而是更加重视水电的健康、可持续发展。

根据国家的绿色能源发展规划, 我国将增加水电和核电的建设规模, 2010 年和 2020 年, 全国电力装机将分别达 6.9 亿 kW 和 9.5 亿 kW, 其中常规水电装机将分别达到 1.8 亿 kW 和 2.46 亿 kW 左右(其中, 2010 年, 2015 年和 2020 年抽水蓄能电站装机容量将分别达到 1 440 万 kW, 2 800 万 kW 和 4 000 万 kW); 核电装机容量分别达到 1 250 万 kW 和 4 000 万 kW。

2 我国水电工程机电设计、安装和制造技术已逐步赶上和达到世界一流水平

新中国成立 58 年来, 我国水电工程机电技术在 20 世纪五六十年代期间努力学习前苏联的先进经验, 自 20 世纪 80 年代对外开放以来又积极开展对外技术交流, 认真吸取了欧、美、日本等国的先进技术, 我国水电机电设计、制造、安装和运行的技术水平已明显进步, 实现了较大的飞跃。

继刘家峡、龙羊峡之后, 岩滩、漫湾、隔河岩、广蓄、天荒坪等一批 300MW 左右单机容量的大型水轮发电机组和蓄能机组相继投产发电, 单机 400MW 的 4 台李家峡机组、单机 550MW 的 6 台二滩机组, 特别是单机容量为 700MW 的三峡左岸 14 台机组均全部成功投运, 加上以龙滩、拉西瓦、小湾、锦屏一二级、溪洛渡、向家坝等巨型水电站为标志的机电工程规划、设计以及机电设备招标采购工作的深入开展, 已充分表明, 我国水电工程机电设

计正逐步全面达到世界先进水平。

邓小平同志说得好:“科学技术是第一生产力”。遵循我国“改革开放”、“引进技术、合作生产”和自主创新战略决策,水机电设计水平在设备选型、布置等方面的大跨越,也大大地拉动了国内机电制造业和机电安装技术的跨越式发展。

在设备选型、参数研究和设计布置上,我国已有最大容量 840MVA、推力轴承负荷达 5 500t、转轮直径达 10.6m 的三峡混流式机组;最大水头 189.2m、单机最大持续出力 610MW、空冷每极容量达 14.57MVA、转轮直径 6.247m 的二滩混流式机组;五强溪转轮直径达 8.3m,居世界第三;最大水头 57.8m、额定容量 200MW、转轮直径 8.0m、推力负荷达 4100t 的世界单机容量最大的高水头轴流式水口机组;最大水头 27.3m、额定容量 45MW、转轮直径 5.46m 的洪江灯泡式机组;最大水头 637.2m、额定容量 120MW、转轮直径 2.6m 的冶勒冲击式机组(田湾河冲击式机组额定容量已达 140MW);定子绕组采用蒸发冷却技术的单机容量 400MW 的李家峡水轮发电机;孔口尺寸 6.4m×7.5m,设计水头 120m,最大承压水头 130m,总水压力 87 000kN 的天生桥一级放空洞深孔弧形工作闸门;2005 年建成并已成功投运的水口水电站湿运全平衡式垂直升船机,通航船舶吨位 2×500t,提升高度 59m,承船厢带水最大重量 5 500t,其主参数规模名列世界第二;广蓄 500kV 200m 高差的充油电力电缆;二滩 500kV 200m 高差的挤包绝缘电力电缆;二滩、龙滩、三峡等多个百万 kW 级以上水电站的 500kV GIS 开关站;二滩 18kV,120kA,22 000A 发电机出口断路器;水电站的过电压保护和接地技术等均已处于世界一流或世界领先水平。

水轮发电机蒸发冷却技术,是我国具备自主知识产权的自主创新技术之一,中央领导对此非常重视。2005 年初,胡锦涛主席亲自到中国科学院电工所视察了蒸发冷却实验室,做了十分重要的讲话和批示,对我国装备工业自主创新战略有很重要的指导意义。

3 我国大型水电站的规划设计和机组国产化进程简介

3.1 混流式机组

长江流域:三峡电站一共是 26 台单机 70 万 kW 机组,为 1 820 万 kW,加上右岸地下厂房的 6 台 70 万 kW,共 32 台机、总装机容量 2 240 万 kW,名列世界第一。

金沙江流域:溪洛渡电站是 18 台,70 万 kW 的机组,总装机容量 1 260 万 kW;向家坝是 8 台,75 万 kW 的机组,总装机容量 600 万 kW。两电站均已开工建设,机组设备即将招标。

乌东德(总装机 900 万 kW)和白鹤滩(16 台 75 万 kW,共 1 280 万 kW)电站现分别处于预可行性和可行性研究设计阶段。白鹤滩机组容量正在可行性研究阶段论证中,其最大容量 80 万 kW 左右,将是世界第一、单机容量最大的机组。

国外 70 万 kW 级的水电机组,如大古力、伊泰普、古里等电站,在 30 年前就成功投运了。我国三峡工程及其后的小湾、龙滩、拉西瓦电站,都是单机容量 70 万~75 万 kW 这一等级的,而且已逐步过渡到以我们哈电、东电为主设计、生产,外商当我们的分包商。随着未来几年龙滩、小湾、拉西瓦等机组的投运,通过认真总结经验,特别是进行水轮机水力设计、大型铸锻件制造和发电机通风冷却、推力轴承、高压定子绕组等关键技术的攻关和创新,单机容量在 70 万 kW 的基础上,再增加一二十万 kW,完全是可行的;100 万 kW 的世界更高水平,经过认真努力,在不久的将来也是可以实现的。潘家铮院士讲的好:“世界水

电在中国,中国水电冠全球。”不要妄自菲薄,要敢为天下先。既要有争世界第一的勇气,又要一步一步、脚踏实地地攀上顶峰。

虎跳峡电站,从环保考虑,我们水电工程技术人员为把著名的景观——虎跳石保留下来,已对电站站址和装机规模作了相应调整。上虎跳峡电站初拟6台70万kW机组,总装机420万kW;避开虎跳石景观区,在其下游侧布置两家人电站,总装机是180万kW;两个电站加起来容量约600万kW。金沙江上还有金安桥电站,4台60万kW,总装机容量240万kW,已于2004年12月份通过可行性研究报告审查。还有龙开口电站,6台30万kW,装机180万。观音岩现在是5台60万kW,装机300万kW,也在可行性研究阶段。

澜沧江流域:在建工程为6台70万kW、总装机420万kW的小湾电站;下游梯级为景洪(5台30万kW,总装机150万kW)和糯扎渡(9台65万kW,总装机585万kW),机组及主要机电设备已招标或正在招标中。

大渡河流域:瀑布沟电站6台55万,装机330万kW,根据国家有关主管部门指示,在“以人为本”,进一步落实和细化库区移民工作和政策后,2005年9月已复工,现主机及主要机电设备均已顺利完成招标工作。龙头石电站,机组已招标,为4台17.5万kW,总装机70万kW;大岗山电站是4台机组,装机260万kW;深溪沟电站还有4台16.5万kW的轴流转桨式机组,总装机66万kW。处于可行性研究阶段的长河坝电站为4台650MW的混流式水轮发电机组,总装机容量2600MW;猴子岩电站为4台425MW,装机容量1700MW。

雅砻江流域:锦屏一级6台60万kW机组,总装机360万kW,机组已招标。锦屏二级8台60万kW机组,总装机480万kW,机组正在招标中。两河口电站系龙头水库,装设4~6台机,共300万kW,正在预可行性设计阶段。

黄河上游:拉西瓦电站6台70万kW共420万kW,机组已于2004年招标,800kV主变和GIS等电气设备也已招标。

通过二滩、三峡等大型水电机组引进技术、合作生产,以及龙滩、小湾、拉希瓦等水电机组的技术合作、科研攻关,哈电和东电在特大型混流式机组的设计、制造能力上有了大幅提高,已具备立足国内设计和制造700MW级机组的能力。

(1)灯泡贯流式机组。通过引进技术、合作生产,哈电、东电的设计、制造水平也都上来了。四川红岩子电站,单机3万kW,我通过主持该机组在东电的鉴定和现场考察,亲身体验到我国在贯流式机组设计制造上长足的进步。广西长洲电站机组水头3~16m,单机4万kW,转轮直径7.5m,已达世界一流水平;广西桥巩电站8台5.7万kW,额定水头13.8m,转轮直径7.5m,单机容量世界排名第二,其设计、制造难度的综合指标已达世界最高水平。两电站的机组已招标,正在制造中。

(2)抽水蓄能机组。2003年4月,国家发改委指示:“为了提高我国机电装备工业的水平,促进我国抽水蓄能电站建设的健康发展,经研究,现决定以河南宝泉和广东惠州两座抽水蓄能电站(后增补了白莲河)为依托工程,通过统一招标和技贸结合的方式,引进抽水蓄能电站机组设备设计和制造技术,逐步实现我国抽水蓄能电站机组设备制造的自主化”,同时明确:“成立技术引进工作专家组,负责技术引进方面的具体工作和技术引进标书的编制。专家组组长由中国水电工程顾问集团公司李定中副总工程师担任,副组长由哈尔滨电机厂有限责任公司和东方电机股份有限公司各推荐一名技术主管担任。”

通过近一年多的招议标工作,哈电、东电两厂和三个业主与中标的法国 ALSTOM(阿尔斯通)公司于 2004 年 8 月在北京钓鱼台国宾馆签订了技术转让和设备采购合同。

第二阶段,2005 年 5 月 8 日,国家发改委又指示:“为了支持技术转让接受方哈电和东电全面掌握、吸收和应用已经引进的技术,巩固技术引进的成果,实现抽水蓄能电站机组设备国产化目标,经研究,决定将辽宁蒲石河、桓仁、广东深圳、内蒙古呼和浩特、福建仙游和湖南黑麋峰抽水蓄能电站作为抽水蓄能电站机组设备国产化后续工作的依托项目,机组设备采用招议标方式在哈电和东电之间进行采购”,并进一步明确:“成立招议标工作专家组,对国产化中的重大问题提供技术咨询和支持。专家组组长由中国水电工程顾问集团公司李定中副总工程师担任,专家组成员由哈电和东电各推荐的一名技术主管和有关设计、科研和运行管理方面的专家组成。”

这 6 个抽水蓄能电站主机设备的采购,将以哈电、东方两厂为主进行招议标,有资质的外国厂商作为技术支持方参与技术合作,哈电、东方各提出三个与外商合作的投标方案供业主选择。

同时,为促进和实施抽水蓄能机组关键辅机设备的国产化,对调速器、励磁系统、SFC 等附属设备和计算机监控系统、进水阀等设备的采购,业主单位可通过招议标择优选定,将所选的辅机设备投标人作为抽水蓄能机组主机投标人的指定分包商;鼓励国内有相当资质和业绩的上述设备生产厂家与国外厂商联合设计、合作生产,并可直接参加上述设备的投标。

迄今,黑麋峰、呼和浩特和蒲石河蓄能电站机组及其附属设备的招议标工作已圆满完成,相关设备的采购合同已先后签订。

根据目前水电建设的规划,平均每年大型水电机组投产将达到 800 万~1 000 万 kW 左右。哈电、东电各自的年生产能力约 300 万~400 万 kW,还有近 200 多万 kW 需国内合资或独资企业共同努力完成。

4 我国近年来水电机电设备选型的特点和趋势

(1)水轮发电机组。向高水头、大容量、高参数发展:如锦屏二级电站机组系世界上 320m 在高水头段容量最大的混流式水轮发电机组,对国内、外制造厂家在水力设计、机械设计和制造经验上均是强有力的挑战。

特大容量空冷水轮发电机:三峡定子水冷发电机每极容量仅 10.5 MVA。近年来,随着发电机空冷技术的进一步成熟,继每极容量 15.29MVA 的二滩发电机成功投运之后,每极容量分别为 14.4MVA,17.45MVA 和 18.52MVA 的龙滩、小湾和拉西瓦水轮发电机均采用了空冷方式,并通过了业主在制造厂家通风模型试验的验收,即将经受今后几年投产运行的原型验证,并为设计制造更大容量的机组积累经验。

水轮机转轮散件运输、现场组焊加工方式:受大西南高山峻岭运输条件的限制,加之转轮散件运输、现场组焊技术在小浪底、岩滩等机组的成功应用,目前龙滩、小湾和糯扎渡等电站均因地制宜地采用了转轮散件运输、现场组焊的方案,而不仅仅局限于转轮分半运输、现场组焊这一种方式。

水轮机圆筒阀:圆筒阀对多泥沙河流而言,可一定程度上减轻泥沙磨蚀。随着水头增高,机组尺寸加大,导叶高度及分布圆尺寸也加大,顶盖充水后的变形也必然增大,完全靠

活动导叶做到停机无泄漏的难度已越来越大。这种高强度的间隙气蚀对导叶密封的损坏将难以抗拒,而将导叶难以胜任的截断水流的封水功能交由圆筒阀来分担和完成,不失为水轮机结构选型的明智之举。圆筒阀的设计、制造属常规技术,其增加了一道快速可靠地防电站机组飞逸的安全措施,减少漏水正符合当今节能的政策,有利于减少运行维护工作量、增加电站经济效益和水轮机寿命。

圆筒阀已先后在我国漫湾、大朝山和小浪底等工程成功投运,现越来越多的业主和工程技术人员认识到其具有一定的技术经济效益而因地制宜地选用。小湾、瀑布沟、锦屏等电站也将采用圆筒阀。

特大型水电站控制保护系统:随着二滩、三峡等大型、巨型电站的投运以及龙滩、小湾、拉西瓦等机电设备招标工作的开展,急需总结和推广大容量机组和巨型电站控制保护系统的经验、教训,以及时指导后继溪洛渡、向家坝、锦屏梯级等水电站控制保护系统的设计技术。例如如何考虑计算机监控系统适当的冗余配置及脱离监控系统的应急方案,以及对常规设计的使用及硬布线的保留等。

蒸发冷却技术:在国家有关部委和三峡工程开发总公司的积极支持下,东电和哈电近期积极进行了巨型水轮发电机蒸发冷却技术的试验研究工作。三峡右岸地下厂房将由东电和中科院合作设计和制造两台 840MVA 蒸发冷却水轮发电机,并为日后 1 000MW 级水轮发电机的设计和制造打下基础。

(2)电气主接线。对电气主接线方案的比较,传统上一直沿用静态技术经济评价方法。近年来,我国各大水电设计院在可靠性计算技术的应用上进展较快,已广泛采用了定量分析方法。根据修订后的《水力发电厂机电设计规范》,对 750MW 及以上装机容量的大型水电站,需进行可靠性计算的评估,特别是要考虑到 30 年事故停电损失和检修、运行维护等费用进行动态分析,以便对各种接线方案的技术经济指标进行全面的分析和评价。

(3)主变压器。考虑到水电站地处深山峡谷、交通条件差且大件运输的代价高昂,巨型变压器采用单相变压器、特殊三相组合式和组合三相式低压侧(接线在主变顶部箱内)变压器都是可行的。三相组合式变压器从国内外制造水平分析,技术上已渐趋成熟,且其布置较为简单,现已逐步得到选用和推广。如我国沈阳变压器厂制造的龙滩电站 550kV、780MVA 组合三相式变压器已于 2007 年 5 月投运,西安变压器厂也正在制造瀑布沟电站 550kV、667MVA 的组合三相式变压器,后继一些巨型电站如溪洛渡、向家坝等也将选用。

(4)发电机断路器。考虑到水电站多处于峰、腰荷的运行位置,开、停机频繁,同期并网操作要求简便,可提高厂用电供电的可靠性和灵活性,可有选择性地可靠保护价格高昂的发电机和主变压器,因此,不少水电站在发电机出口均设置了发电机断路器。这是我国水电站多年来设计和运行的成功经验。

(5)高压引出线。地下厂房主变压器高压侧 220kV 和 500kV 高压引出线,水电站采用过充油电力电缆、交联聚乙烯(XLPE)挤包绝缘电力电缆和低密度聚乙烯(LDPE)挤包绝缘电力电缆。经我国 10 多年来的运行实践证明,XLPE 交联聚乙烯挤包绝缘电力电缆的可靠性较高,故障率较小。

近年来,SF₆ 气体绝缘管道母线(GIL)由于其传输容量大,且价格逐步降低,已率先在我国岭奥核电站和张河湾抽水蓄能电站得到采用,后继一批大型水电站如溪洛渡、锦屏一级等也将改用 GIL,相应地将 500kV GIS 开关站由地面布置改为地下布置。拉西瓦电站已

招标采用了 800kV 的 GIL。

(6)高、低压配电装置。对高压配电装置的选型,近年来大、中型水电站已趋向于选用 GIS,而较少采用敞开式,也不拟采用 H-GIS 的布置方案。这是因为考虑到水电站地形、地质的特点和机电设备的合理布局,GIS 具有如下优点:随 GIS 国产化程度加大,其价格已有逐步下降的趋势,GIS 可靠性高,尽可能减少高边坡滚石等对设备安全运行的威胁,占地面积和土建工程费用可大为减少,可大大减少运行维护工作量和管理费用,利于向“无人值班”方式过渡,对环保有利等。

10kV 和 400V 低压配电装置的选型,也趋向于采用质量一流、价格合理的国内外名牌产品。

近年来对机电设备的评标方法多采用综合评分法评标,对设备性能、参数、制造质量、运行可靠和业绩等技术评价的权重已适当加大,而不仅仅考虑商务上评标价最低这一个因素。

5 对国内、外制造厂家的希望和要求

5.1 制造业的国际转移已成为新的趋势

目前,制造业的发展已成为发展中国家工业化的中心环节。在经济全球化的背景下,由于贸易、投资的自由与便利化,使得资本有条件向生产成本低、资本利用率更高的地方集中。一方面,由于发达国家劳动力成本不断上升,迫使其劳动密集型制造业纷纷转向发展中国家;另一方面,由于发达国家生活质量的提高,对环境保护与污染的防治提出更高的要求,使其将资源和劳动密集型产业转移到发展中国家。

经济全球化的外部环境各国发展的内在要求结合在一起,使得制造业出现了生产全球化、消费全球化、服务全球化和研发全球化。以跨国公司为主导,以产业链细分为特征的制造业国际转移已成为新的趋势。伴随经济的全球化,制造业的国际分工正由垂直分工发展到水平分工,甚至网络分工。

应当看到,一些世界著名的机电设备制造厂家已经并正在与中国制造业进行成功的技术引进、技术合作或本地化的工作。如三峡左岸工程的 14 台水轮发电机组,哈电和东电分别引进了 ALSTOM 公司和 SIEMENS 公司的技术,分包了不小于 30% 的份额,并各制造了一台套整机;保变和沈变引进了 SIEMENS 公司 840MVA 主变压器技术,并分包了 6 台主变的制造;西高和沈高参与了 ABB 公司 500kV GIS 的技术引进,并分包了 8 个 GIS 间隔的制造。ALSTOM 公司和 VOITH 公司在龙滩和小湾等电站 700MW 级大型水轮发电机组的设计和制造中,分别与哈电和东电进行了技术合作等等。历史将证明,ALSTOM、ABB 等公司的决策是正确的,是符合中外双方的长远战略的,一定能取得双赢的丰硕成果。

5.2 重在“自主创新”和引进技术的消化吸收

我国要扩大引进外资的规模,提高引进外资的水平和层次。重在引进技术和管理,重在引进技术的消化、吸收、创新、提高和扩散。

我国自主创新受到两方面的干扰:一是强调“完全自主的知识产权”,一切都从头做起,表面上维护民族利益,是“爱国主义”,实际上是为维护其小单位和集团的利益,不对外开放、不学习国外的先进技术,其结果只能是多走弯路;二是缺乏自信心,看不起我国的自主开发能力,完全把希望寄托在技术引进和进口设备上,看不到某些西方发达国家技术上