



The 2nd International Conference on
Hydropower Technology & Equipment Proceedings

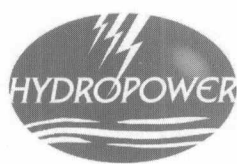
第二届

水力发电技术国际会议 论文集

本书编委会



中国电力出版社
www.cepp.com.cn



The 2nd International Conference on
Hydropower Technology & Equipment Proceedings

第二届

水力发电技术国际会议 论文集

本书编委会



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

图书在版编目 (CIP) 数据

第二届水力发电技术国际会议论文集/《第二届水力发电技术国际会议论文集》编委会编. —北京: 中国电力出版社, 2009

ISBN 978-7-5083-8516-7

I. 第… II. 第… III. 水力发电工程—国际学术会议—文集
IV. TV762-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 024175 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>)

北京盛通印刷股份有限公司

各地新华书店经售

*

2009 年 4 月第一版 2009 年 4 月北京第一次印刷

880 毫米×1230 毫米 16 开本 83.25 印张 2668 千字 1 插页

印数 0001—1000 册 定价 400.00 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

第二届水力发电技术国际会议论文集

编 委 会

顾 问： 张国宝 李永安 潘家铮 陆佑楣 周大兵

晏志勇 匡尚富 梁维燕 卢 强 罗绍基

薛禹胜 郑守仁 张超然 黄其励

主 任： 李菊根 曹广晶 林初学 张 诚 殷 琮

副 主 任： 陈洪斌 刘建明 孙志禹 周尚洁 沈 亮

张博庭

委 员： (按姓氏笔画排列)

王德宽 叶 雷 任景怀 刘永东 刘国刚

刘金焕 许松林 李定中 吴伟章 初日亭

张肇刚 陈云华 欧阳述嘉 金泽华 赵 琨

施 冲 夏 忠 黄张豪 黄景湖 韩志桥

雷定演 裴哲义 戴 波

主 编： 文伯瑜

副 主 编： 傅 伟 邴凤山 杨伟国

主编助理： 古 巍 庞 帆 张晶晶 王 征 王连富

责任编辑： 张 敏 马 琳 柳 璐 郭丽然 鲁 爽

曹 慧 彭莉莉 刘利军 刁晶华 刘亚南

前言

以全新技术装备起来的人类,已跨入了 21 世纪。中国电力工业已步入大电站、大机组、高电压、大电网、自动化和信息化的时代。自 20 世纪下半叶,中国的水电建设掀起了新的高潮,一大批世界顶级的工程、一大批世界顶尖的技术在中国兴起。世界水电在中国,中国水电冠全球。据不完全统计,中国已投产的大中型各类水力发电机组有 500 余台之多,其中混流型机组 320 台,轴流机组 55 台,抽水蓄能机组 35 台,贯流机组 90 台。

在建和拟建的众多巨型水电站和单机容量在 70 万~80 万 kW 的特大机组共计 120 台。国家有关规划数字显示,在 2020 年前,中国将投产的单机容量 70 万~80 万 kW 的混流机组约 150 台,单机容量 30 万~40 万 kW 的抽水蓄能机组约 150 台,单机容量 3 万~6 万 kW 的大型贯流机组约 150 台。由此可见,中国水电建设和发展已进入“黄金时代”。不久的将来,中国水电装机容量就会突破 2 亿 kW,还有 3 亿 kW 的水电装机容量将纳入国家的规划、设计和建设项目中。广阔的中国水电装备市场,众多特大机组的设计、制造和生产运行技术,需要借鉴国际先进技术和先进经验,需要国际同行的合作,携手发展中国的水电装备制造制造业和创新电站经济运行新理论和新模式,以最大限度地发挥水电可再生、清洁、灵活的绿色环保的本土化能源的作用,为保护全球人类绿色家园作贡献。

在国际间的技术合作上,三峡工程有成功的经验。充分发挥国家重大工程对技术创新的带动作用,走出了一条引进技术、联合开发、合作制造、独立自主再创新的成功路子。众所周知,三峡水轮发电机组因国际招标成为世界水电装备技术最高水平的展示和较量,被誉为“全球水电奥运”,达到了世界最先进技术和装备比选的目的。通过三峡右岸电站 12 台机组的合作,哈尔滨电机厂有限责任公司、东方电机股份有限公司凭借自主创新形成的核心竞争力,通过 7 年的时间,使中国大型水电机组在水电大装备的设计、制造、安装水平等方面,实现了 30 年的大跨越。

发展水电和确保大机组的安全稳定运行不仅是电站的经济效益所在,更是电网安全、经济运行的重要保证,也是中国能源结构优化和能源安全的期盼。20 世纪七八十年代末,美国的大古力 III 水电站、巴西的伊泰普水电站建成投产,积累了丰富的制造和生产运行经验。特大型水电站、特大型水电机组的设计、制造和生产技术经验,促进了全球水电装备制造制造业的发展和创新,因此 2006 年 11 月在北京成功举办“第一届水力发电技术国际会议”。水电站建设、水电装备技术的创新、水电站群的优化运行,是人们开发水能资源的基本要求。

水电站群梯级水库调度自动化、网络化、信息化,控制设备智能化,机组运行状态远程诊断技术的实现,也是会议的主要内容之一。据统计,采用状态诊断技术可减少故障停机时间 75%,每年可减少维修费用 25%~50%。如果电站运行系统中的状态监测与故障诊断的获利与投资比达 36:1,如果系统是以可靠性分析技术为基础、以状态监测诊断系统技术为工具,可使发电系统日常维护工作量减少 40%~70%。在电站状态维修系统中,专家知识的集成、监测系统的集成、软硬件的功能集成是核心技术,又是状态检修决策和维护管理的基础,这也是本次会议议题之一。2008 年迎来中国水电改革开放 30 年,长江三峡工程基本建成,左、右岸 26 台机组已建成发电,大坝蓄水已到 173m;广西龙滩水电站建成,小湾、拉西瓦、三峡地下厂房、瀑布沟、构皮滩、金安桥、锦屏一级和二级、官地、金沙江上游的向家坝、溪洛渡等

巨型水电站均在积极建设中, 将于 2009~2012 年建成发电, 在这样大好的形势下举办“第二届水力发电技术国际会议”将有重大的意义。本届会议的主要交流内容涵盖以下七个方面:

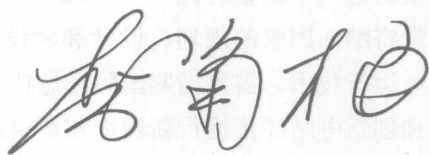
- (1) 大型水轮机设计、制造和运行关键技术。
- (2) 大型水轮机发电机及高压设备技术。
- (3) 大型水电站设备保护和控制技术。
- (4) 大型水电站在线监测及故障诊断技术。
- (5) 大型水电站群梯级调度及水情测报技术。
- (6) 大型水电站机电设备安装及运行管理技术。
- (7) 大型水电站的金属结构、船闸设计和机电安装技术。

本论文集共收录论文 225 篇, 其中国外论文 30 篇, 共计 260 余万字。论文编审工作是在李菊根、周尚洁、傅伟、任景怀等主持下进行的。参加论文审稿的专家有文伯瑜、杨定原、王德宽、李定中、赵琨等。

会议组委会委托中国电力出版社正式出版发行, 以飨读者。

鸣谢!

中国水力发电工程学会常务副理事长兼秘书长
第二届水力发电技术国际会议执行主席



2009 年 3 月

目 录

前言

第一部分 大会发言

中国大型水电机组制造工业的成就与展望	梁维燕 (2)
中国流域梯级水电调度现状与未来趋势分析	曹广晶 蔡治国 (6)
福伊特西门子抽水蓄能技术的最新发展	林延忠 Alexander Jung Martin Giese Winfried Moser (11)
华威大学正在开发的水力发电创新技术	李胜才 (22)
向家坝电站发电机设计	Thomas KLAMT Thomas KUNZ 金东浩 孙星军 (42)
法国电力远程操作的发展	Jean - François BALMITGERE (50)
大型水电机组核心技术在哈电的发展	吴伟章 (61)
改革开放是东方水电设备技术进步的动力	韩志桥 (66)
三峡工程的电力生产管理	张 诚 (69)
混流式水轮机转轮泥沙磨损解析预测	黑泽贞男 松本贵与志 稻垣泰造 德宫健男 (74)
励精图治 开拓创新 为解决大型水电设备难题努力探索 ——龙滩水电站 700MW 空冷机组等设备实施的做法和体会	初日亭 (81)
立足国内设计制造的大型水轮发电机组招标采购实践	陈云华 张肇刚 (85)
乌江流域集控管理模式的探索与实践	金泽华 (92)
ALSTOM 大型贯流机组经验论谈	王志高 Laurent TOMAS 杨忠国 满建玉 (95)
百万千瓦级水电机组应用蒸发冷却技术的可行性分析	阮 琳 顾国彪 田新东 袁佳毅 常振炎 (106)
科学创造奇迹, 创新实现梦想	贺建华 侯小全 石清华 陶喜群 (113)
新式大型水轮发电机定子绕组绝缘的退化及故障	葛雷格·斯通 吴其修 (120)
发电机温度监测的新手段	Marc Bissonnette David Wong (126)
论巨型水轮发电机冷却方式的选择	李定中 (131)
700MW 级全空冷水轮发电机的设计与运行	孙玉田 高清飞 (136)
水电厂自动化技术 30 年回顾	王德宽 孙增义 王桂平 张建明 (146)
特大型水力发电厂计算机监控系统应用技术	王惠民 戎 刚 刘林兴 (152)
流域梯级水电站集中控制调度的必要性及对节能减排的作用	马光文 秦毓毅 朱艳军 (158)
水电标准的现状与展望	刘永东 (161)
故障行波理论及其应用	董新洲 (163)
百万千瓦级水电机组继电保护配置及相关问题的研究	沈全荣 严 伟 张琦雪 (170)
三峡发输电系统安全稳定控制系统	李雪明 薛禹胜 (176)
周 济 许 涛 曹一中 张正勤 邹 健 梁 頌 陈永华 李惠军 姬长安 张长银 (178)	
基于电流故障分量的配电网集成保护研究	薄志谦 施慎行 (185)
电网应急管理体系建设研究	沈 沉 卢 强 (193)

三峡工程设计综述	郑守仁 (198)
三峡工程建设与水电技术发展	张超然 (204)
中国抽水蓄能电站建设	罗绍基 (209)
见证我国大型水电机组蓬勃发展	邴凤山 杨伟国 (215)
依托三峡工程, 促进水电装备技术进步	程永权 (223)

第二部分 主 机

白鹤滩水电站 1000MW 级机组额定电压选择	陈 钢 冯真秋 (232)
1000MW 水轮发电机组创新研究思路探讨	邵建雄 刘景旺 陈冬波 (237)
百万千瓦级水轮机关键技术研究	唐 澍 潘罗平 (242)
龙滩 700MW 空冷水轮发电机选型设计	徐立佳 刘昆林 (247)
高水头大容量混流式水轮机研发设计	熊建平 (252)
三峡右岸 840MVA 全空冷水轮发电机技术	刘平安 高清飞 石 冰 (260)
全空冷巨型水轮发电机冷却技术研究	李广德 孙玉田 (266)
三峡右岸电站水轮机的水力开发	李任飞 魏显著 (275)
小湾水电站水轮机招标方式及模型试验研究	朱惠君 王晓龙 张向明 (284)
水轮机的水润滑轴承: 环境和经济增值的产品 Emmanuel GODEC Feng GAO Yves BOUVET Philippe GILSON (288)	
锦屏一级水电站水轮机参数及结构分析	王承勇 张 梁 商长松 何胜明 (295)
锦屏二级水电站水轮机参数选择分析	张 梁 王承勇 商长松 何胜明 (300)
ALSTOM 筒阀在大型混流机组上应用 苗 凯 Jacques BREMOND Gerard VUILLEROD 杨伟华 (304)	
水轮发电机蒸发冷却技术介绍	顾国彪 阮 琳 (310)
溪洛渡水轮机巨型圆筒阀选择和性能分析	孙文彬 蒋登云 田 迅 (315)
金沙江溪洛渡水电站水轮机参数选择	蒋登云 孙文彬 (322)
构皮滩水电站水轮机参数选择研究	王建华 蔡 扬 陈冬波 (331)
梨园水电站水轮机参数选择	杨加明 朱惠君 曾镇铃 (337)
马来西亚巴贡水利枢纽 1 号导流洞下闸初析	何少润 (347)
龙滩水电站 700MW 机组主设备配置及其特性	胡镇良 陆 军 陆迎新 (353)
三峡 18 号发电机定子铁心振动分析与改进 贺建华 陈昌林 铎 林 张成平 周 晖 张天鹏 马志云 骆 林 张景林 (359)	
论变压器液体酯作为矿物油的安全可靠替代品的优越性	Russell Martin Sabine Bowers (362)
可逆式机组水环设计及其发热的认识	陈湘匀 麦景朝 (371)
小湾水电站水轮机主要参数和结构形式	曾镇铃 徐正镐 王晓龙 (375)
水轮发电机组开机过渡过程研究	鲍海艳 杨建东 付 亮 (380)
红石水电站 4 号水轮发电机组转轮更换后的稳定性试验	刘春林 刘延泽 (386)
拉西瓦水电站水轮机主要参数选择设计	苑连军 刘慧凤 田树棠 (391)
高水头混流式水轮机的结构及运行特性	曾镇铃 (396)
高水头工况下水轮机转轮叶片裂纹分析	李 翔 黄万全 李江伟 张冬香 (400)
二滩水电站水轮机活动导叶汽蚀分析与处理	李学林 (404)
800kV GIL 工程设计	桑志强 康本贤 柳晓林 郭廷才 阮全荣 马仲鸣 (409)
船闸闸室底部侧支孔出流 PIV 试验研究	黎贤访 李 云 (417)
TOFD 技术在瀑布沟水电站蜗壳焊缝质量检测中的应用	黄张豪 李 林 (425)
700MW 水轮发电机组优质快速安装技术	王启茂 杨 刚 (430)

自动盘车装置的力学特征及其他	庞子敬 (437)
三峡电站排沙钢管制作	欧乐洲 (440)
混流式水轮机特性曲线的边界条件的研究	杨建东 杨桀彬 (445)
新型大跨度闸门的开发与研究	吕飞鸣 (452)
三峡永久船闸人字门安装	范一林 陈楚贵 (457)
座环工地制造技术	冯黎明 (465)
带有热管冷却系统的发电机断路器	Dieter Braun Martin Lakner Jean-Claude Mauroux (468)
水轮机的一个特征方程及其应用	赵林明 蔡晓磊 王小红 刘 莉 (472)
龙滩水电站机电设计关键技术	徐立佳 (477)
基于轻量级 J2EE 架构的水电工程项目安全管理系统的研究	曲俊华 李浩源 闫 艳 (483)
东芝水电轴流转桨式水轮机的技术发展	陈梁年 (489)
灯泡贯流式水轮发电机组用重载塑料导轴承开发	吴金水 南波聪 三上诚 (496)
基于 .net 和 VBA 的水轮机模型试验的数据处理系统	李友平 易平梅 李国亚 (505)
灯泡贯流机组特殊控制方式研究	陈燕新 (510)
642MVA 全空冷发电机通风系统的改进	汤津茂 (516)
500kV XLPE 绝缘电缆在龙滩水电站的首次国产化应用	杨振先 王鹏宇 胡镇良 刘荣章 (520)

第三部分 控 制 系 统

1000MW 机组 FWL/B—1000 型自并励励磁系统技术方案	朱晓东 霍乾涛 吕宏水 刘国华 (528)
1000MW 水轮机调速系统 SWT—1000 技术方案	邵宜祥 蔡晓峰 蒋克文 蔡卫江 李建华 (536)
大型水轮发电机组励磁系统设计新理念	李基成 (544)
三峡右岸调速系统机械液压部分的特点	毛羽波 朴秀日 (552)
插装技术在水轮机调速器中的应用	张建明 史小杰 吴小林 高振华 (557)
三峡电站计算机监控系统技术引进及其国产化	张润时 (563)
大型同步发电机组 NR—PSS 研究综述	梅生伟 郑少明 刘 锋 (569)
二滩水电站主要机电设备	丁仁山 田开华 (574)
优化水力发电厂无功功率 PI (比例加积分) 控制	G. Robert D. Hurtado (578)
大型水轮发电机组调试技术	郑少平 (586)
大型发电机励磁系统的研制	罗景华 汪大卫 李宇俊 鲁勇勤 周 平 况明伟 杨 伟 (594)
MB 系列 PLC 在大中型水电站的应用	赵雪飞 刘国敏 张红芳 彭文才 (603)
CFD 在三峡右岸机组多声路超声波流量计精度分析中的应用	夏 洲 李友平 蔡付林 朱 辰 (607)
大型水电机组监控系统的关键技术	马 杰 朱 辰 施 冲 (611)
数字化水电站监控平台软件架构	李 斌 庞 敏 (617)
PCC 控制器在水轮机调速器中的应用	张友江 (621)
特大型冲击式水轮机微机调速器的应用	谢安培 向家安 吴建兵 李汶青 王林琦 (625)
大型水轮发电机主保护配置方案的量化设计	王祥珩 桂 林 孙宇光 王维俭 (633)
大型发电机灭磁方案的研究	许其品 朱晓东 赫卫国 (638)
云南澜沧江小湾电站水轮机调速系统设计	蔡卫江 李建华 张新龙 何林波 蔡晓峰 邵宜祥 (643)
一种新的水电企业年发电计划制定方法研究	刘治理 李 凯 刘 伟 (649)
UCS100 励磁调节器设计与实现	吴国兵 许敬涛 李孔潮 (654)
基于单片机的发电机残压测试系统的设计及实现	吴琳君 李海燕 芦家兵 (659)

可恢复型跨接器的原理与应用	熊 巍	刘作辉	孙新志	刘华伟	王 剑	(664)
励磁功率柜动态均流技术	许敬涛	李孔潮	曹成军	吴国兵	梁永万	(668)
龙滩水电工程接地技术			胡镇良	陆 军	陆迎新	(676)
大型发电机组灭磁装置氧化锌非线性电阻的均能方法				黄冬华	李开明	(680)
高压厂用变压器保护配置的优化与实现				初日亭	农德锋	(686)
NARI—NC2000 计算机监控系统在葛洲坝二江电厂的应用					高 勤	(691)
大唐国际戈兰滩水电站机组起动调试管理综述					施林全	(697)
三门峡水电站 1~3 号发电机—变压器组系统改造及设计优化	史晓梅	范宗方			赵宏伟	(700)
龙滩水电站电气二次系统设计经验		孔德宁			任 畅	(706)
小湾水电站发电机—变压器组单元保护系统设计要点介绍	陈家恒	李 俊			李炳煜	(713)
二滩水电站调速器国产化及技术创新		谭中美			刘小改	(717)
二滩水电站自动电压控制 (AVC) 系统	徐学琴	王文新			许明勇	(723)
浅谈 AGC 投运对二滩水轮发电机组的影响和对策					陈 杰	(728)
创建快速灭磁体系 有效减轻事故损失						
——现代发电机的柔性灭磁技术				黄大可	艾友忠	(731)
大型变压器铁心和夹件接地电流性质的探讨					余维坤	(739)
UNITROL ^R 5000 励磁系统在龙滩电厂的应用	湛德清	凌洪政			张 明	(742)
小浪底水轮机组安全高效运行研究						
.....	刘定友	李明安	肖 明	马新红	肖业祥	王正伟 (750)
高抗污电磁阀的研究						周怀念 (755)
THYRIPOL 励磁系统的运行、维护与经验	周兴华	胡先洪			陈小明	(758)
500kV 宁德变电站主变压器投运后福建电网在线稳控系统的升级	王云茂	苏 毅			黄见虹	(765)
巨型水电机调速器研制及应用						
.....	罗景华	唐 旭	郭廷军	颜晓斌	曹维福	(770)
数字化变电站与 IEC 61850					胡道徐	(779)
1000kV 特高压输电线路保护的现状及发展					徐振宇	(785)
20Hz 定子接地保护在三峡右岸水电机组上的应用	赵 斌	陈海龙	郭宝甫	毕大强	张学深	(791)
龙滩电站检修排水系统设计及其缺陷处理	徐 刚	宋 岩			任长河	(795)
电流行波接地选线技术及其现场试验	施慎行	董新洲			王 侃	(800)
基于行波的高压输电线路高精度故障录波与测距系统						
.....	王 宾	董新洲	崔 韬	刘 琨	曹润彬	黄天啸 (806)
消息中间件在电力调度软件体系结构中的应用			张坤峰	徐海丹	董钟明	(815)
龙滩水电站水轮机调速器的特点和问题分析			郭志斌		杨兴富	(820)
龙滩水电站计算机监控系统的设计			李 力		刘立红	(825)
METROSIL [®] SIC 非线性电阻在灭磁系统中的应用				Jeff Robertson		(832)
大型励磁系统的晶闸管整流装置的设计		李国良			刘志刚	(839)
三峡右岸电站 AVC 功能设计及实现方法	龚传利	黄家志			潘苗苗	(844)
冰灾对江西电网的灾害分析和电网应急平台体系建设						
.....	吴 鹏	梁 文	杨济海	陶振文	蒋 萌	(849)
BSS—3 卫星时钟同步系统在三峡右岸电站中的应用						
.....	袁平路	李 伟	陶 林	李建辉	袁 宏	姚维达 (856)
H9000 V4.0 计算机监控系统的技术特点与应用	姚维达	王桂平	邓小刚	毛 琦	文正国	(860)
H9000 计算机监控系统在吉林通榆风电场的应用						
.....	刘晓波	张卫君	牛晓光	姚维达	毛 琦	胡志斌 (864)

H9000 系统在洪江水电站中的应用	姚维达	杨春霞	黄凤珍	龚传利	周 民	(868)
三峡右岸巨型发电机组数据采集与控制技术研究及实现	杨叶平	袁 宏	张 毅	黄家志		(873)
三峡电厂国内外继电保护设备运行情况对比分析				张 舸		(878)
三峡电站建设与我国水电站计算机监控技术进步	张 毅	王德宽	王桂平	袁 宏		(882)
瀑布沟水电站计算机监控系统的特点和实现			杨春霞	文正国		(889)
流域梯级水电站集中监控设计模式的探索			林 峰	李 伶		(895)
我国水电厂基础自动化的发展和未来	郭 江	王晓晨	贾彦博			(900)
H9000 计算机监控系统双语功能的实现	文正国	迟海龙	张玉平			(906)
SA80 可编程控制器的研制	陈 军	余华武	查银鹏	岳 峰	陈庆旭	(909)

第四部分 水电机组的在线监测与故障诊断

光声光谱技术在变压器油中气体分析中的应用				邱正辉		(918)
湖北清江水布垭水电站机组状态监测系统简介及运行分析			徐兴友	刘俊峰		(923)
水口水电厂设备状态监测与诊断分析系统	林礼清	陈 伟	任继顺	王利霞		(927)
水轮发电机局部放电甚高频在线监测方法的研究及应用						
.....	喇 元	张征平	杨楚明	胡 晓		(935)
如何定制最佳的局部放电监测计划	Claude Kane	Alexander	Golubev	黄立胜		(940)
三峡水电厂机组振动摆度在线监测系统应用	何振锋	李志祥	刘海波			(949)
发电机空气间隙在线监测技术在三峡右岸电站的应用	张润时	贺建华	郑松远			(953)
局部放电在线监测技术在水轮发电机上的应用			郑松远	吴建辉		(963)
整合资源 信息共享						
——记三峡电厂在线监测技术平台				潘苗苗		(970)
水轮发电机故障诊断技术及其应用	史家燕	陈国庆	刘昌栋	赵肖敏	史源素	(975)
水轮发电机组状态监测技术的现状及展望	潘罗平	周 叶	唐 澍	桂中华		(981)
水轮发电机组在线监测中的瀑布分析技术研究			周 叶	潘罗平		(989)
水轮发电机组轴系运行稳定性及故障分析			刘晓亭	冯辅周		(995)
变压器油色谱在线监测系统分析	郑珊珊	张鹏翔	刘笑梅			(1002)
论在线色谱监测技术在电力设备检修中的应用			王允彬			(1008)
色谱分析在大型水电站的应用			刘锋涛	吴红艳		(1012)
PSTA-H 状态监测系统在水轮发电机组动平衡试验中的应用				张民威		(1019)
发电机气隙动态测量技术在水轮发电机组定转子变形监测诊断方面的应用				任继顺		(1023)
水轮发电机组状态在线监测技术研究及应用				刘春波		(1030)
远程分析诊断中心在水轮发电机组在线监测中的应用				周 刚		(1037)
超大型水电机组状态监测与分析系统的研究						
.....	夏 洲	陈喜阳	潘伟峰	朱 辰	施 冲	(1042)
三峡右岸机组状态监测趋势分析系统的开发与运用			杨廷勇	程 建		(1046)
大型水电厂变电站设备状态检修				吴红艳		(1050)

第五部分 梯级电站调度与控制

水电厂水情自动测报系统和电网水调自动化系统的发展回顾与展望				裴哲义		(1054)
水电机组状态监测与诊断中的分析方法研究				何国春		(1060)
基于合作博弈的水库群联合调度效益分配机制研究			王建军	丁 杰		(1065)
区域性大坝安全监测网络管理系统的构建			彭 虹	刘观标		(1070)
梯级水电站电力调峰经济运行模型研究与应用			李 宁	朱松森	李 颖	(1076)

天生桥一、二级电站和平班电站梯级调度分析	李风华 (1082)
卫星通信在大型水电厂水情自动测报系统中的应用及探讨	刘 阳 (1086)
三峡工程施工期梯级发电调度方式研究	孙开畅 (1090)
基于 .Net 架构的水调自动化平台开发与实现	刘志云 卢毓伟 曾佑聪 (1094)
龙滩水电站厂内经济运行	唐宏芬 李 清 (1102)
三峡—葛洲坝梯调模型的测控系统应用	董红燕 郭红民 (1107)
乌江流域大型复杂水电站群联合优化调控关键技术及其应用研究	罗小黔 邹建国 戴建炜 刘春志 朱 江 (1112)
浅谈流域水电开发与管理中的经验教训和面临的问题与挑战	邹建国 伍 志 (1119)
宝兴河梯级水电站优化调度决策支持系统研究	黄 鹭 马光文 王 黎 (1123)
差分进化算法在水电站短期优化调度中的应用	张志刚 马光文 王 黎 (1128)
基于蓄能耗用最少的梯级水电厂经济运行	陈 尧 马光文 左仁文 曹 伟 (1134)
流域梯级水电站统一上网电价的研究	陆 涛 马光文 王 黎 周 佳 张军良 (1139)
雅砻江下游梯级水电站群中长期优化调度研究	周 佳 马光文 张志刚 陆 涛 (1143)
一种新型的 GPRS/CDMA 水情自动测报系统	曹翊军 曹年红 周 海 熊光亚 程 序 (1148)
三峡水情遥测系统发挥重大综合效益	刘喜泉 肖 舸 梅祥岸 (1152)
三峡左岸电站机组水轮机能量特性分析	姜德政 王 煜 (1157)
节能型电网小水电调度系统建设浅析	李厚俊 (1163)

第六部分 抽水蓄能机组

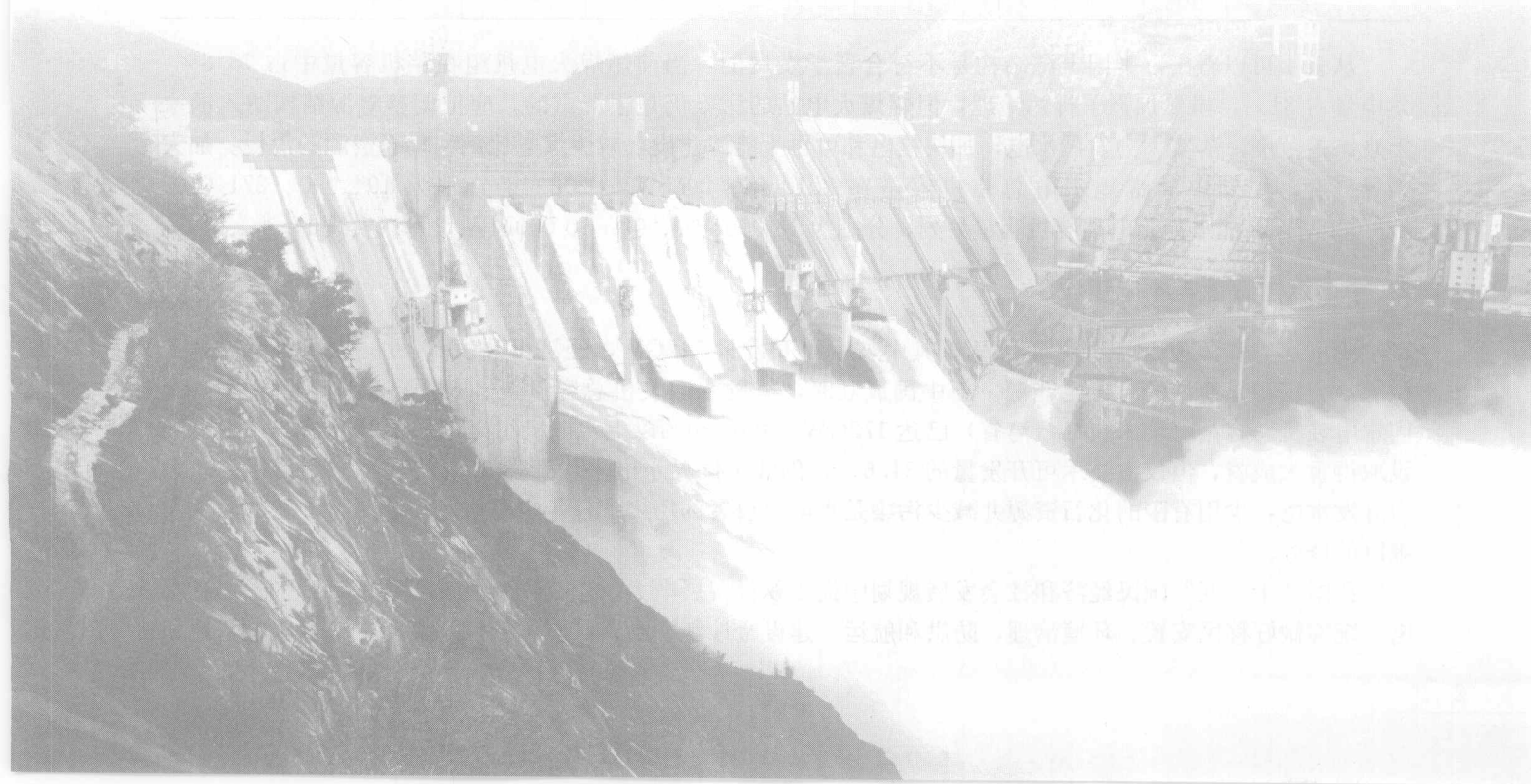
浅谈桐柏失磁保护与欠励限制器的配合	陈灵峰 龚剑超 (1168)
高水头高压力抽水蓄能密封运行及改进	李浩良 赵志文 (1173)
广州蓄能水电厂计算机自动过程控制功能设计及应用	巩 宇 (1179)
抽水蓄能机组调速控制系统特点及其影响	游光华 邓 磊 谢宝星 周喜军 (1183)
抽水蓄能机组转子绕组事故透析	何少润 (1188)
白山抽水蓄能机组投运后的电站运行方式与效益分析	徐珍懋 张雪源 刘春林 冯雁敏 (1195)
大型抽水蓄能机组工况转换与顺序控制	彭煜民 (1200)
一种新的抽水蓄能电站静止变频器控制策略研究	吕宏水 郑 飞 杨 波 陈贤明 (1207)
宝泉抽水蓄能机组事故停机方式浅析	李茂更 (1214)
浅谈可逆式水轮发电机组继电保护的配置要求及特殊问题	罗 胤 王小军 张 建 (1218)
ALIMAK 爬罐在宝泉抽水蓄能电站的应用	杨志锋 (1223)
宝泉抽水蓄能电站首台水泵水轮机组调试中的问题及对策	张 旭 喻鹤之 刘 巍 (1227)
抽水蓄能电站首机首次起动方式的探讨	沙 滨 和 扁 俞 锋 (1232)
抽水蓄能电站首机首次水泵工况起动模式试验研究	许要武 王胜军 张国良 (1239)
荒沟抽水蓄能电站电气主接线方案比较	谢 勇 朱维志 陈喜坤 郭铁成 田树鹏 陈立秋 (1244)
MB40 系列 PLC 在抽水蓄能机组辅助设备上的应用	李志华 (1251)
西龙池抽水蓄能电站关键技术研究	王晓春 王敦厚 (1256)
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 徐抱朴 江泽沐 (1260)
西龙池抽水蓄能电站埋藏式内加强月牙肋岔管监测设计	王晓春 王敦厚 (1267)
抽水蓄能电站发电电动机变频启动原理	姜树德 Jean-Michel CLAUDE 蒋一峰 (1271)
西龙池抽水蓄能电站下水库供水工程控制系统设计及实现	梁国才 贺 涌 (1279)
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 (1283)
300MW 等级大型可逆式抽水蓄能机组变频起动装置	况明伟 (1291)

张河湾抽水蓄能电站机组首次启动方式及上水库初期蓄水方案	魏春雷	孟 贤	朱海峰 (1297)
张河湾抽水蓄能电站超声波流量测量系统及应用	魏春雷	郑 凯	(1302)
白山常规机组与抽水蓄能机组混合监控技术	段振国	文正国	刘晓波 (1307)
NEPTUNE 控制系统在桐柏抽水蓄能电站中的应用			马向锋 (1311)

第二届水力发电技术国际会议 论文集

第一部分

大会发言



中国大型水电机组制造工业的成就与展望

梁维燕

(哈尔滨电站设备集团公司, 哈尔滨 150040)

【摘 要】 中国电力建设加快发展, 水电建设年投产 10GW 以上。三峡水电机组始于自主研发, 奠定了技术基础, 从三峡左岸电站 700MW 大型水电机组引进技术, 消化吸收再创新, 实现三峡右岸和其他大型水电站自主设计制造大型水电机组, 中国水电设备制造工业技术进步受益于改革开放、“三峡模式”。

【关键词】 电力建设 水电机组 三峡模式 市场竞争

1 中国电力工业的现状与远景

改革开放三十年来, 我国电力工业同样取得巨大发展, 特别是 2002 年末, 电力体制改革, 实行电网国家办、电厂大家办, 成立国家电网公司和南方电网公司, 成立全国性五大发电集团, 增加投入, 建设大水电站, 高压输电网, 实现西电东送, 火电站采用超临界、超超临界机组和环保装置, 实现节能减排, 近三年, 年增装机容量 100GW 左右, 做到又好又快的发展, 并为我国水电设备制造工业提供了广阔的市场。

中国水电工程顾问集团公司发表的水电发展规划比较符合实际, 见表 1。

表 1 水 电 发 展 规 划

指标名称	单位	1978 年	2001 年	2005 年	2006 年	2007 年	2008 年	2020 年
发电装机容量	MW	57 120	338 490	517 180	622 000	713 290	792 930	1 350 000
其中: 水电	MW	17 280	83 010	117 390	128 570	145 260	171 520	328 000 +50 000
火电	MW	39 840	253 010	391 380	484 050	554 420	601 320	
核电	MW		2100	6850	6850	8850	8850	
风电	MW			1060	1870	4030	8940	

从表 1 可以看出, 中国电源结构是不符合科学发展的, 当前燃煤火电机组在装机容量中占 75.8%, 发电量占 81%, 虽然加强了排污治理, 但燃煤火电站的污染仍是很严重的, 应把调整电源结构纳入国家宏观调控范围, 落实大力发展水电, 加快核电和可再生能源建设, 减少煤电比例和化石资源的消耗。加大领导力度, 规划中的常规水电总装机容量在 2010 年、2015 年、2020 年分别为 194 000、271 000、328 000MW, 抽水蓄能电站装机容量另列, 分别为 18 000、34 000、50 000MW 是可以实现的。

2 中国水力资源与水电建设

中国水力资源理论蕴藏量 694GW, 其中技术可开发量 542GW, 经济可开发量 402GW, 居世界第一位。水力资源是清洁的可再生能源。新中国成立时, 全国水电装机总容量仅 360MW, 到 2008 年底, 全国水电装机总容量 (均未包括台湾省) 已达 172GW, 其中 80% 以上水电机组是国内设计制造的, 水电建设取得重大成就, 但仅占技术可开发量的 31.6%, 仍低于世界水电平均开发 35% 的水平, 潜力很大。大力开发水电, 少用有限的化石资源并减少污染是水电建设者的历史责任, 也是水电设备制造工业的光荣而艰巨的任务。

我国“十一五”国民经济和社会发展规划中提出积极发展电力, “在保护生态环境基础上有序开发水电, 统筹做好移民安置、环境治理、防洪和航运。建设金沙江、雅砻江、澜沧江、黄河上游等水电基地和

溪洛渡、向家坝等大型水电站。适当建设抽水蓄能电站”。到 2020 年达 328GW, 按技术可开发量达 60%, 即年均水电新装机 12 000MW 以上。我国小水电在水电总装机中约占 1/3, 即大中型水电机组年需量约 8000~10 000MW。

在“八五”计划期间, 水电规划建设十二大水电基地, 后增加怒江流域即十三大水电基地, 其中正在建设装机容量 1000MW 以上的大型水电站 19 座, 总容量约 75 000MW, 其中将安装单机容量 550~800MW 的大型水电机组百余台。2007 年三峡右岸和广西龙滩电站开始发电, 都是单机容量 700MW 的, 这些在建大型水电站将在“十一五”及其后一段时期陆续发电。

为适应电网调峰填谷和改善供电质量的需要, 加快发展大型抽水蓄能电站建设是必要的, 现在只有广州、浙江天荒坪、北京十三陵等总装机容量 9400MW 的抽水蓄能电站在运行, 只占电网总容量的 1.33%, 已收到良好的效果。国外专家认为抽水蓄能电站装机应占电网总容量 10% 左右为宜。在建有 14 座 17 560MW, 预计到 2010 年、2020 年将分别达到 18 000、50 000MW, 平均每年需要单机 300MW 抽水蓄能机组 8~10 台。

3 中国水电设备制造工业发展历程

1950 年 1 月, 中央召开全国电器工业工作会议, 决定在东北建立发电设备制造工厂, 在东北电器工业管理局领导下, 由国外归来的几位工程师带领下, 在哈尔滨电机厂(简称哈电)和沈阳高压开关厂水轮车间于 1951 年底设计制造完成我国第一台 800kW 立式水轮发电机组, 装在四川下碛(现苏雄)水电站, 相继制成四川上碛 3000kW、福建古田 6000kW 水电机组。1953~1960 年学习苏联, 制成北京官厅 10MW、浙江新安江 72.5MW 水电机组。1958 年三线建设在四川德阳成立东方电机厂(简称东电), 分布各省新建或扩建了十座中型水电设备制造厂, 增加水电设备制造能力。1960~1978 年底, 全国贯彻“自力更生、奋发图强”的方针, 自主设计制造了中朝合建云峰电厂 100MW、刘家峡 225MW、白山 300MW、龙羊峡 320MW 等水电机组。至 1978 年末, 全国电站装机总容量达 57 120MW, 其中水电站 17 280MW, 占 30.3%, 水电机组国内制造比例达 80%。

改革开放以来, 全国加强水电规划、勘测、设计前期工作, 提出开发十二个水电基地(后加上怒江为十三个), 实现西电东送, 解决缺电地区发展需要, 充分开发利用清洁可再生水能源, 加快了水电建设。国内自行设计制造了广西岩滩混流式转轮直径 8m, 302.5MW 机组, 青海李家峡 400MW 机组(4 号发电机采用蒸发冷却技术), 先后投入运行, 长江葛洲坝 170MW 和 125MW 世界尺寸最大的转桨式机组在 1981 年投入运行。改革开放, 拓宽了视野, 看到国内外水电机组的技术差距, 一些新建大型水电站采用进口机组, 由国内企业分包制造非核心部件, 没有技术转让项目, 起到了了解世界的作用, 技术上也有收获。包括云南鲁布格 372m 水头 150MW 机组、湖南五强溪混流式转轮直径 8.3m 240MW 机组、河南小浪底 300MW 水轮机、四川二滩 550MW 机组, 还有国内外企业联合中标的福建水口 200MW 当今世界单机容量最大的转桨式机组, 国内水电机组设计制造水平不断提高。

4 来之不易的“三峡模式”, 带动大型水电机组的国产化

1983 年国务院成立重大技术装备领导小组, 设办公室负责组织日常工作, 将三峡工程机电设备列为十二个重大技术装备项目之一。回顾 1958 年论证三峡工程蓄水位 200m 高程时, 由机械工业部哈尔滨大电机研究所等单位研究提出《三峡枢纽水力机组容量论证初步意见》, 有单机容量 300~1000MW 五个方案, 因此由一所两厂[哈尔滨大电机研究所(简称大所)、哈尔滨电机厂、东方电机厂]负责三峡机组的科技攻关, 符合科技创新以企业为主体、产学研相结合的原则。“六五”计划建设符合 IEC 标准的水力试验台, 大所、东电、天津电气传动所先后建成, 开展水轮机水力设计与模型试验, 实现科研与模型转轮验收; “七五”计划期间建成 1000t 和 3000t 推力轴承试验台, 做到计算与实验相结合, 保证推力轴承以及机组的可靠性; 1986 年, 国内进行蓄水高程 175m 三峡工程 14 个专题论证, 机电设备形成可行性专题报告; 并到国外大型水电站考察了解机组的技术及运行情况; 还得到了国家自然科学基金的赞助, 先后开展机组轴系稳定性、结构件的强度与刚度、发电机电磁方案、通风冷却系统等基础性课题研究, 1994 年两

厂分别提出三峡机组的方案设计,并得到有关专家的评审,作为技术论证和电站设计的参考或依据,这是开展自主研发工作的基础。

1992年4月3日全国人大七届五次会议通过《关于兴建三峡工程决议》后,国务院成立三峡工程建设委员会并设办公室和成立中国长江三峡工程总公司,1993年7月批准三峡水利枢纽初步设计,装机26台700MW世界最大的水电机组。年末开始邀请国外有设计制造大型水电机组经验的企业来华技术交流,随后国内又组团出国考察。三峡建委多次会议讨论,最后确定左岸14台机组国际招标,技术与经济全部由中标外商负责,与中方有资格制造企业联合设计、分包制造,并向中方转让技术,最后两台以中方制造为主。技术转让内容由国内制造部门提出清单,反复与外商谈判,直到同意转让包括外商自己开发软件的全部设计制造技术,签订技术转让协议,作为供货合同的内容。三峡总公司委托长江水利委员会设计院为电站设计总成单位,编制招标文件,1996年6月公开招标,形成国际竞争局面,有五个联合体投标,经过议标,Alstom采用挪威Kvaerner水力设计和ABB中标8台,与哈电合作;VGS(Voith、GE、Siemens)中标6台,与东电合作,1997年9月三峡总公司与外商签订合同。按技术转让协议,哈电、东电分别选派工程师到国外培训,将计算机软件连同源程序带回在厂内计算机运算得到相同结果,并运行一年以上,制造厂签字后,三峡总公司向外商支付技术转让费用,由于两厂有前期技术工作的基础,比较顺利地接受技术转让内容,掌握三峡机组的设计制造技术。20世纪末,我国开工建设一批大型水电站,三峡右岸和地下电站、广西龙滩、云南小湾、贵州构皮滩、青海拉西瓦等。在三峡机组引进技术后,国内自主设计制造,不断创新。水轮机水力设计和模型试验新成果应用于三峡右岸700MW机组,压力脉动值小于左岸进口机组,消除了高部分负荷区的压力脉动带,提高了机组稳定性;开发了200m水头段的构皮滩水电站转轮,模型最高效率经瑞士洛桑中立试验台认定达到95.17%。

水轮机转轮上冠、下环、叶片在国内重机厂分别用精炼超低碳的铬镍钢铸造,完全达到国外供货的技术条件,用数控机床加工、特别是叶片两面按模型程序和焊接坡口在五坐标联动数控机床上铣削,型线准确,在制造厂内或工地焊接、热处理、加工、静平衡,完全达到国际一流水平。大部件广泛采用先进焊接技术和严格的无损探伤,保证结构可靠,用大型数控机床加工,提高互换性。哈电经过通风冷却计算和模型试验,自主开发700MW全空冷水轮发电机,没有定子绕组内冷系统,结构简单,利于安装维护,做到定子线棒和铁心温差小,提高了可靠性,已在龙滩和三峡右岸电站投入运行,是当今世界最大的全空冷水发电机组。发电机定子线棒主绝缘国内多年来包括三峡、龙滩等机组,采用环氧玻璃多胶粉云母带(GE流派),模压工艺是成熟的。有用户要求采用少胶真空压力浸渍VPI工艺(西屋、Siemens、ABB流派),东电已经生产,哈电正在准备生产,改变了工艺习惯,都能达到F级高压绝缘技术要求。

综上所述,在中央领导的亲切关怀下,有三峡总公司大力支持,有哈电、东电等厂院校共同努力,在自主研发的基础上,经过三峡左岸机组的技术引进、消化、吸收再创新,以及两厂的技术改造,完成分包制造机组的合同,到自主设计制造三峡右岸机组达到国际先进水平,被称为“三峡模式”,可以为我国重大装备的发展作为借鉴。“三峡模式”还有一个含义就是竞争,三峡左岸机组招标时,促使技术开发,模型转轮最高效率从当时93%提高了1.5个百分点,竞争促进了技术进步,起到了很好的作用。

5 水电建设的机电设备实现立足于国内

经过各方二十多年的齐心努力,我国水电设备制造工业取得长足的进步,技术上达到国际先进水平,提高市场竞争能力,适应水电建设的需要。

国内现在只有隶属于哈尔滨电站设备集团公司控股的哈尔滨动力设备股份有限公司的哈尔滨电机厂有限责任公司和隶属于东方电气集团公司控股的东方电气股份有限公司的东方电机有限公司两家具具有研究开发能力,开展水轮机水力设计与模型试验和发电机试验研究,正在设计制造单机容量800MW级的大型水电机组,2007年分别生产总容量6030MW和5190MW水电机组,是国内自主开发设计,制造大型发电设备的国有骨干企业。另有中外合资企业:上海福依特西门子水电设备有限公司、天津阿尔斯通水电设备有限公司、杭州通用电气亚洲水电设备有限公司和东芝水电设备(杭州)有限公司四家,具有较强的焊接加工能力,依托其母公司的技术开发与管理的支持,能够制造大型水电机组;还有国内50余家中小型水电