

绿色电力

—— 21世纪中国发电新趋势



China
power



本书编委会



中国电力出版社

绿色电力

China power 

—— 21世纪中国发电新趋势

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

绿色电力: 21 世纪中国发电新趋势/《绿色电力: 21 世纪中国发电新趋势》编委会编. —北京: 中国电力出版社, 2007

ISBN 978-7-5083-5520-7

I. 绿… II. 绿… III. 发电—技术—国际学术会议—文集 IV. TM6—53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 061795 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>)

北京佳信达艺术印刷有限公司印刷

*

2007 年 5 月第一版 2007 年 5 月北京第一次印刷

880 毫米×1230 毫米 16 开本 48 印张 1507 千字 1 彩页

定价 200.00 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

绿色电力——21 世纪中国发电新趋势

编 委 会

主任委员：李 东

副主任委员：李 斌 齐志强 孙守义 白立江

委 员：赵 伟 傅 伟 阎远红 许光滨

论文集出版：中国电力出版社有限公司

主 编：文伯瑜

副 主 编：赵 伟 傅 伟 杨伟国

审 稿 专 家：黄其励 陆燕荪 文伯瑜

责 任 编 辑：潘宏娟 潘 琳 李慧芳 穆智勇 梁 卉

论 文 编 辑：赵媛媛 舒波平 古 巍 刘惠荣 王连富 金玉琪

监 制：国电信息中心北京中电求真科技开发有限公司

前 言

自改革开放以来,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,中国的电力建设掀起了新高潮,一大批世界顶级的工程和顶尖的技术在中国兴起,中国的电力建设迅速发展。在未来的五年中,中国电力将以大型高效机组为重点,优化发展煤电,在保护生态环境的基础上有序开发水电,积极发展核电,加快发展风能、太阳能、生物质能等可再生能源的发电技术,提高重大技术装备国产化水平,特别是在高效清洁发电领域。可再生能源发电和清洁煤燃烧技术、空冷机组、大型脱硫脱硝环保机组、超超临界机组、等离子点火和特高压交直流输电等先进技术也将得到快速发展和应用,世界一流电力技术在中国具有广阔的市场前景。

会议主题:绿色电力——21 世纪中国发电新趋势,为了交流发电机组的设计、制造和生产技术经验,促进全球发电装备制造业的发展和创新,成为我们举办“中国国际发电技术会议”的主旨。

本届会议有来自德国、法国、英国、日本等国家的专家学者;国内部分高层管理机构和中国工程院院士的代表;部分科研机构、大专院校、学术团体的代表;发电集团的工程技术人员和国内外大型设备制造企业的代表,大家欢聚一堂,共同探讨和交流电力建设装备技术领域的最新技术成果和管理经验。

本论文集共收录论文 131 篇,共计 140 余万字,会议组委会委托中国电力出版社有限公司正式出版发行,以飨读者。

鸣谢!

编者

2007 年 5 月

目 录

前言

鸣谢单位

中国发电设备制造业的发展	陆燕荪 (1)
中国电力技术升级、产业结构调整发电新技术	黄其励 (5)
蓬勃发展的中国可再生能源	李俊峰 时璟丽 (13)
600MWe 机组脱氮装置在 Le Havre 电厂 4 号机组 和 Cordemais 电厂 4 号、5 号机组的实施情况	Sven FOREST Philippe CLARET (19)
等离子点火技术在 1000MW 超超临界锅炉机组上的应用	王雨蓬 唐宏 苗雨旺 王新光 (22)
法国电力公司的工程管理模式 ——核电供应商及设备制造的管理体系	Didier CORDERO 安洪振 (29)
华威大学空化实验室正在研究的几项水力发电关键技术	李胜才 (32)
构建现代数字化发电厂——中国数字化电厂示范模式	章素华 (47)
国内海上风电场发展现状及制约因素分析	李健英 (57)
三峡水电站 700MW 水轮发电机组及其输电系统	陈国庆 (60)
2×1000MW 机组 WFGD 布置优化及主要技术经济指标研究	龙辉 (64)
我国锅炉技术发展的历史回顾、现状与发展	许传凯 周虹光 (69)
引进烟气脱硫装置的国产优化	朱晨曦 (74)
水煤浆 IGCC 发电技术初探	沈建华 张国平 (83)
9FA 燃气—蒸汽单轴联合循环机组调试常见问题分析	李勇辉 杨帆 (87)
整体煤气化联合循环 (IGCC) 特点综述及产业化前景分析	徐强 姚尔昶 王佳祎 (93)
东方锅炉 (集团) 股份有限公司 1000MW 超超临界锅炉技术特点	徐海燕 (103)
汽包水位测量新技术	刘吉川 于剑宇 褚得海 王奇 刘红卫 (114)
TN8000 状态监测系统在三峡左岸电站的应用	郑松远 丁万钦 陈泽阳 (118)
火电机组远程诊断中心的开发与应用	金锐 郑松远 (128)
气体绝缘输电线——发电中心的大规模电力输送	Dr. Dirk Kunze Volker Knierim (138)
干式低 NO _x 燃烧室两种运行模式的数值模拟研究	岳建华 刘吉臻 萨仁高娃 梁志宏 (144)
1000MW 级压水堆核电站核岛设备国产化蒸汽发生器制造	王卫东 刘远彬 杨小杰 (153)
利用脉冲时延鉴别法进行噪声剔除的研究 和现场局部放电信号的分析	臧真波 徐阳 胡晓 杨文虎 (158)
天生桥一级水电厂机组稳定性分析	孙建平 杨为民 郑莉媛 (164)
龙滩水电站 1 号水轮机转轮制造及静平衡试验新方法	徐刚 何帆 (171)
阿尔斯通公司水轮机调速控制系统	苗凯 李宁 (174)
大型可逆式水泵水轮机设计与业绩	J. B. Houdeline M. Francois 刘杰 (184)
电站锅炉图像火焰检测系统	王雨蓬 沈爱国 郑丽丰 王公林 刘鹏 牛涛 (192)
超超临界汽轮机组材料研究	吕智强 鞠凤鸣 (201)
配燃气蒸汽联合循环的发电机	马贤好 沈梁伟 (207)
哈尔滨汽轮机厂有限责任公司空冷汽轮机低压末级系列长叶片研制	李宇峰 黄钢 赵俊明 (215)
超临界双排汽 600MW 空冷汽轮机设计特点	吴其林 潘家成 (220)

1000MW 级水氢氢冷却发电机	袁建华 梁旭彪 顾守录	(226)
华电邹县发电厂四期 2×1000MW 超超临界机组 DCS 控制系统设计介绍	孔凡义 管宇群	(233)
独特结构的超超临界 1000MW 汽轮机	何阿平 彭泽瑛	(239)
空冷汽轮机 940mm 有效长度末级叶片的开发	金子文治 佐佐木隆 涩川直纪 村上格 川上宏	(243)
智能电气系统在数字化电厂中的应用	徐大可 孙志杰	(248)
9F 级燃气—蒸汽联合循环中的汽轮机控制系统	颜刚	(254)
西门子 V94.3A 燃气轮机简介——结构和安装部分	徐刚 杨国荣	(259)
西门子 V94.3A 燃气轮机简介——调试与运行部分	崔卫	(265)
联合循环机组启停过程中汽轮机转子热应力控制及运行调整	翟春华	(271)
华能玉环电厂现场总线应用及展望	周斌	(276)
西门子技术 1000MW 汽轮机通流部分找中新工艺——碰撞试验详解与分析	陈志强	(281)
华能玉环电厂 4×1000MW 超超临界机组控制技术浅析和燃水比控制	王远平 傅望安	(286)
华能玉环电厂 1000MW 超超临界锅炉技术特点与安装实践	常毅君	(292)
定子拉紧螺杆动态特性分析	王洪锦	(300)
洪江贯流水轮发电机定子分析	张树伟	(303)
索风营水电站水轮发电机设计	任伟	(309)
中国最大容量 300MW 循环流化床 锅炉设计和运行实践	张彦军 李振宇 王凤君 姜义道 于龙	(315)
绿色独立建筑能源系统	赵耀华	(321)
乐滩水轮发电机定子穿芯螺杆结构的设计	王洪锦	(324)
影响汽轮发电机定子铁芯叠压质量的原因分析	王洪锦	(328)
天生桥二级水轮机叶片数控加工工艺技术的研究	张树伟	(331)
龙滩水轮发电机通风模型转子支架强度分析	张树伟	(338)
风力发电的三种主要方式	孟庆和	(342)
邹县发电厂 1000MW 机组励磁系统介绍	卜紫薇 董淑梅	(347)
发电机转子两点接地保护的误判和解决方法	徐健 王翔	(357)
发电机冷却油中气体的检测与控制	同宁远	(362)
论 DEH 一次调频功能	刘康宁	(367)
通过引风机高压变频改造降低发电厂用电率	李富君	(372)
利港电厂 350MW 机组锅炉低氮燃烧改造及优化分析	贾宏禄	(378)
600MW 机组汽包水位测量改造	殷月喜	(385)
唐山热电干除灰系统运行情况分析 & 处理	李金生	(389)
双背压凝汽器真空系统优化管理	孔令华	(393)
网络化的系统图应用系统	张冲先	(396)
200MW 机组烟煤锅炉掺烧褐煤改造研究	马金凤 吴景兴 陈海耿 邹天舒 冷杰	(399)
HG-670/13.7-YM16 型锅炉严重结焦综合治理	马金凤 吴景兴 陈海耿 鲍铁军 朱峰	(405)
大唐华豫电厂小油枪改造及效益浅析	陈涛 李保水 熊康军 湛莉	(411)
高压抗燃油电液伺服系统环保改造	罗作楨	(415)
T91 与 1Cr18Ni9Ti 异种钢焊接	彭欣 曾劲松 单鸿 覃波	(421)
某厂 600MW 超临界直流锅炉高过弯头裂纹分析处理	万方 赵红宇 王双勇 曾劲松 任建文	(425)
等离子点火装置在 600MW 机组的应用, 实现少油启动	李玉昆	(431)
烟囱防腐方案的选择	谢云峰	(437)
全断面桥式火车采样机在下花园发电厂的应用	霍锁军 边成 芦全军	(439)

下花园发电厂干除灰系统气源的治理	霍锁军 谢云峰 (442)
水轮机调速器在功率闭环调节模式下的一次调频试验	叶波 孟佐宏 张新华 (446)
系统频率故障下电调机组的问题和处理	杨谦 (452)
浅谈 GXQ-1 型高效湿式除尘器在电厂输煤系统的应用	林华 (456)
梯级水电站联合 AGC 的经济运行	王家华 (459)
浅谈直接空冷凝汽器管排数的选择	韩振国 许亦武 (464)
循环流化床锅炉化学清洗技术	张学发 李兴峰 常健 (467)
“三合一”清洗剂的研制及其在设备清洗中的应用	弓宁满 (472)
工程应用中的膜反污染技术的探讨	郭春禹 郑燕飞 张茂华 邱国柱 (477)
发电厂节水新技术——膜法水处理技术	郑燕飞 (482)
创绿色电力企业 走绿色营销之路	温东辉 吴静 (485)
大型风电场接入系统的若干关键问题的研究	常勇 徐政 (488)
生物质发电及其效益分析	梁宇宏 申仲涛 余英 赵碧光 朱春 (496)
生物质能发电厂综合自动控制技术探讨	王志凯 王乐 徐征 刘婷婷 (500)
我国生物质能直燃发电项目发展的关键问题	王振江 庄会永 肖兵 欧阳华 (508)
广东大亚湾核电站的运行与管理	李晓明 (513)
生物质电厂灰渣成分及利用前景分析	庄会永 徐永进 李军 尹锴 李永庚 李凌浩 肖兵 (522)
关于生物质直燃发电厂硫排放问题的思考	庄会永 蒋高明 徐永进 李军 李永庚 (530)
太阳能热发电系统与常规火电厂联合运行的可行性研究	刘德有 郭苏 冯晓琼 (533)
农村水电工程环境影响分析	陈星 (540)
以可靠性为中心的维修 (RCM) 在大亚湾核电基地的应用与改进	李晓明 武涛 (543)
海洋能利用技术及前景	游亚戈 吴必军 盛松伟 (549)
烟气脱硫系统增压风机入口压力自动调节系统的优化	翟华 (564)
汉川电厂旁路系统分析	魏皂林 刘刚 (568)
水电厂厂用电自动切换控制系统的新设计	周二保 (572)
电站控制工程与 DCS 系统	刘维 (577)
330MW 机组控制系统存在问题分析与对策研究	侯典来 付秀丽 (584)
百叶窗式水平浓淡煤粉燃烧器在燃贫煤 300MW 机组的应用研究	王纪宏 (598)
锅炉汽包水位系统的 MFA 控制方案及其仿真研究	徐爱东 李传庆 陈艳军 刘广生 韩莉 (603)
发电机变压器组非同期合闸引起的和应涌流实例分析	王翔 徐健 韩炜炜 (607)
使用多频段稳定器大范围增进电力系统阻尼	José Taborda Robert Grondin Innocent Kamwa Gilles Trudel (613)
发电企业资产管理系统实施的研究浅析	王永泉 杨艳文 王连忠 浣慧莺 (621)
发电企业燃料管理信息系统中复杂结构数据全向查询功能模块研发	薛朝晖 (624)
水电厂计算机监控系统发展趋势探讨	刘晓波 (627)
300MW 机组循环水泵的在线优化运行	刘福君 田小冬 (632)
1025t/h 锅炉送风机失速原因的分析及解决措施	刘福君 田小冬 (637)
IFS 平台架构浅析	杨艳文 王永泉 王连忠 浣慧莺 (642)
发电企业不同计价方法下的库存物资管理方式探讨	王连忠 王永泉 杨艳文 浣慧莺 (645)
全寿期三维数字化电厂解决方案	胡博 张洪伟 徐爱东 (649)
关于绿色电力的电厂自动化控制	许立昌 (659)
SULZER 旁路系统在 600MW 机组中的应用	包海林 (664)
定子冷却水泵电机保护改造	高翔 (670)

发电厂无功电压自动控制 (AVC) 系统建设	刘斌 李强 (675)
三峡右岸电站计算机监控系统的简介	王德宽 袁宏 张毅 李建辉 (682)
1000MW 机组发电机变压器组保护探讨	严伟 潘仁秋 陈俊 沈全荣 (687)
大型水电机组注入式定子接地保护的应用	陈佳胜 张琦雪 沈全荣 (692)
发电机选择性定子接地保护的研究	陈俊 潘仁秋 沈全荣 (696)
1250kW 高压三电平变频器的研制及其应用	赵争鸣 白华 袁立强 张海涛 杨志 张延安 (700)
水轮发电机组定子和转子的灵敏接地保护技术	Dr. Hans-Joachim Herrmann 高迪军 (706)
龙滩水电站计算机监控系统结构及特点	孔德宁 段中平 李镇江 温柳 (714)
SD8000 水电自动化系统及其在廖坊水电厂的应用	赵振龙 邓素碧 (725)
数据追赶技术在 SD8000 水电自动化系统中的实现	邓素碧 陈军 (729)
Marr 小波在发电机绝缘监测局部放电信号特征提取中的应用	胡星 李书明 (732)
继电保护故障信息系统在三峡水电站的应用	马驰源 葛慧 陈勇 郭效军 (735)
做好电力标准化工作为中国火力发电发展提供技术支撑	许松林 (741)
MEC5230 自动励磁调节器在华能玉环电厂的应用	丁新忠 金玉磊 (744)
法国电力公司集团简介	(753)
国电南京自动化股份有限公司简介	(754)
烟台龙源电力技术有限公司简介	(755)
北京华电南自天元控制系统科技有限公司简介	(756)
东芝中国企业集团简介	(757)
ABB (中国) 有限公司简介	(758)
北京中水科水电科技开发有限公司简介	(759)
中国科学院电工研究所简介	(760)

中国发电设备制造业的发展

陆燕荪

(中国机械工业联合会, 北京 100823)

【摘要】 随着中国经济持续发展, 中国发电设备制造业飞速发展, 2006 年的产量和装机容量达到最高峰。未来中国的发电设备制造业将以提高自主创新能力, 增强国际市场的竞争为主攻方向。

【关键词】 发电设备 制造业 飞速发展 自主创新

中国的发电设备制造业经历了五十余年的奋斗, 已成为能自主装备电力部门、门类齐全的国家战略性新兴产业, 满足了国民经济快速发展所提出的电力需求。特别是执行改革开放政策的二十余年, 引进消化西方国家的先进制造技术, 结合我国国情自主创新, 在一个以煤为主要能源的国家中, 掌握了清洁煤发电技术, 并达到世界同等水平。

1 中国发电设备制造业现状

进入 21 世纪, 中国经济持续发展, 电力消费需求的增长及对保护环境的要求, 迫使发电设备制造业的现代化及产业结构调整进程加快, 2006 年的产量和装机容量达到最高峰, 见表 1 和表 2。

表 1 2001~2006 年中国的发电量、装机容量及发电设备产量

年份	年发电量 ^①		当年新增装机容量		发电设备年产量	
	亿 kWh	%	万 kW	% ^②	万 kW	% ^②
2001	14839	8.43	1916.6	6.0	1221.7	1
2002	16541.7	11.47	1808.4	5.34	1927.81	57.8
2003	19052.08	15.18	3483.69	9.77	3400.19	77
2004	21943.52	15.18	5097.95	13.02	6686.61	97
2005	24747	12.80	6602.27	14.92	8635.57	29
2006	28344		113590 ^③		11010.55	28

① 含输配电损失量。

② 与上年比的增长率。

③ 含风电 92 万 kW。

表 2 2006 年发电设备产量构成

	总产量 (万 kW) ^①	占总量的百分数 (%)	与上年比增长的百分数 (%)
水电 ^②	1435.77	12	47
10 万 kW 以上	716.9		
10 万 kW 以下	718.87		
火电 ^③	9568.78	86	25
30 万 kW 以上	7306.50		
20 万 kW 以下	2262.28		
风电 ^④	230	2	82.5
合计	11240.55		28

① 完成的发电设备的总量并不意味着中国国内企业已具备这样大的生产能力, 而是由中国发电设备制造企业组织全球资源共同完成的。

② 水电机组中, 完成三峡右岸机组 (70 万千瓦) 3 套, 龙滩 70 万千瓦机组 3 套。

③ 在火电机组中, 生产了 60 万千瓦超临界机组 40 台, 100 万千瓦超超临界机组 4 台; 燃气轮机完成 33 台, 493.1 万千瓦, 其中 9F 级 15 台。

④ 在风电机组中, 全国已建成 80 个风电场, 装机总容量达到 203 万 kW, 比 2005 年新增装机容量 104 万 kW, 增长率为 82.5%。

中国的发电设备制造业是按照专业化分工、主辅机配套的原则组成完成的产业链，国内的制造业可以提供发电厂所需的全部设备。大容量发电机组主要集中在上海、哈尔滨和四川东方三大集团，产业集中度很高，占全部产量的 80%，见表 3。

表 3

2006 年三大集团的产量

		哈尔滨		东方		上海	
		台数	万 kW	台数	万 kW	台数	万 kW
火电机组	发电机	65	2347	63	2459	74	2901.68
	汽轮机 ^①	68	2111.94	123	2872.15	87	3320.90
	锅炉	52	2137.50	63	2421.5	63	2607.50
水电机组		26	357.6	47	332.4		

① 含 9F 级燃气轮机。

未来 15 年内，中国的电力建设仍将保持较高的发展速度，虽然中国的总装机容量及年发电量都已跃居世界第二位，但到 2005 年，人均用电量（1890kWh）仅为美国的 1/7，日本的 1/4。因此，中国的发电设备制造业在国内仍有很大的市场空间，而且中国的成套发电设备在发展中国家市场上具有很强的竞争力，亦将会成为主要供货商之一。

2 中国发电设备制造业发展历程

中国的火力发电设备制造起步于 20 世纪 50 年代，1956 年上海生产了第一套 6000kW 火电机组，在苏联技术援助下，建设哈尔滨电机厂、哈尔滨汽轮机厂、哈尔滨锅炉厂三个厂，开始生产中压 6000～25000kW、高压 5 万 kW、10 万 kW 及超高压 20 万 kW 火电机组。之后，中国又依靠自己的力量新建东方三厂（电机、汽轮机、锅炉）、扩建上海三厂（电机、汽轮机、锅炉），形成了现在的三大集团。进入 80 年代，中国政府实行开放政策，引进美国制造亚临界参数 30 万、60 万火电机组，分别于 1986、1987 年投运，为形成批量生产能力，投资扩建三大集团，为 21 世纪的快速发展奠定了基础。

由于中国的一次能源是以煤为主，煤电为主的格局在一个相当长的时期内不会改变，因此，发展超临界参数的煤电机组势在必行。2004 年，随着国产第一台 60 万 kW 超临界机组的顺利投运，中国开始加速建设超临界和超超临界机组。百万千瓦的超超临界机组已于 2006 年投运。图 1 所示的火电机组蒸汽参数变化历史

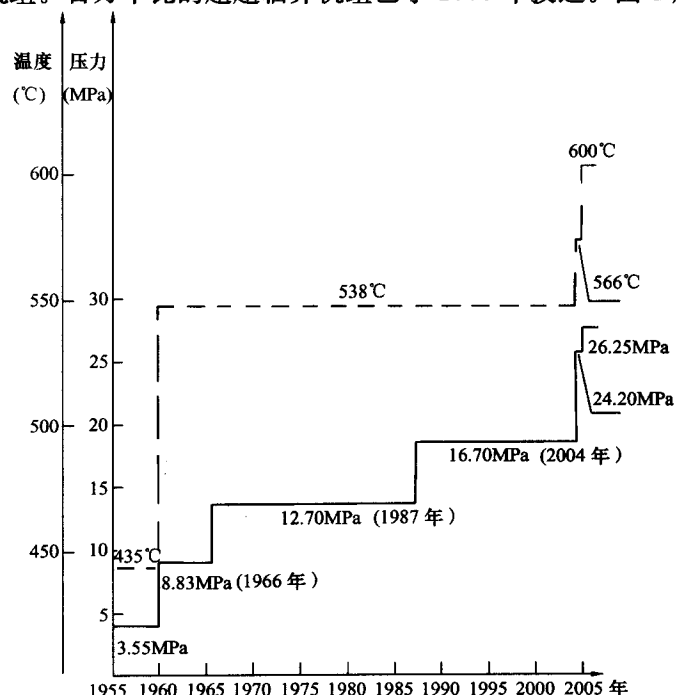


图 1 中国火电机组蒸汽参数变化历史

变化历史清楚地表明中国火电机组发展的历程。

为了减少煤电机组对大气的污染，中国政府规定锅炉尾部烟道气必须安装净化装置，去除 SO_2 和 NO_x ，通过提高煤的利用效率来减少 CO_2 排放。与此同时，努力开发 30 万 kW 以下的循环流化床锅炉，特别是对于中小容量的机组。

中国的水电设备制造也经历了类似火电设备的过程。20 世纪 50 年代建设的新安江水电站，70 年代建设的葛洲坝电站都是自己研发制造的。90 年代依托三峡工程，消化引进技术再创新，掌握了大容量混流式机组的设计制造技术，迈入国际先进水平行列。图 2 和图 3 为三峡水轮机转轮的制造过程。

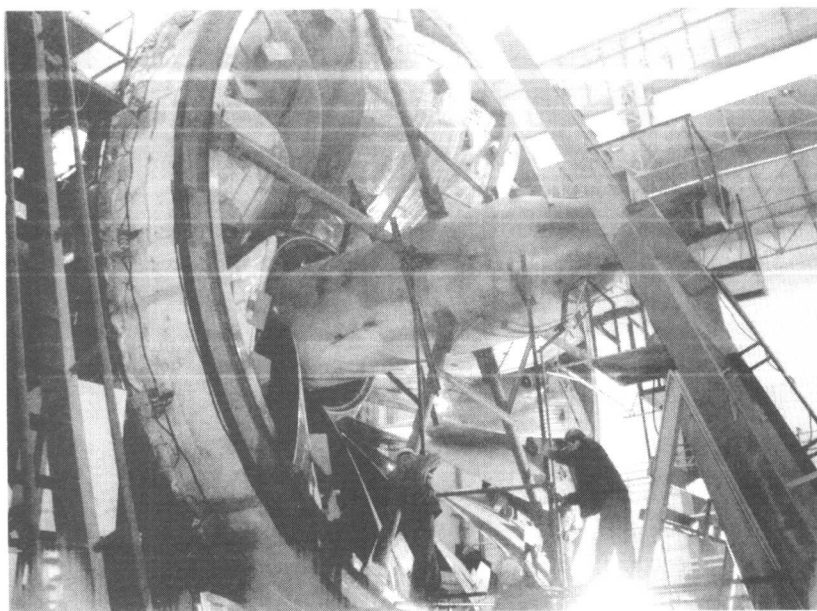


图 2 三峡水电站水轮机转轮正面加工图

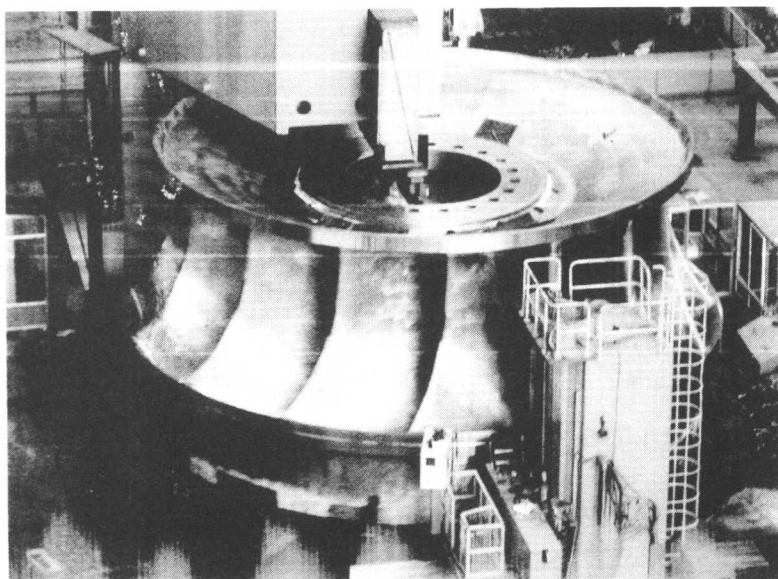


图 3 三峡水电站水轮机转轮侧面加工图

中国的核电设备制造经历了曲折的过程，20 世纪 70 年代就开始筹备核电设备制造业，但中间停顿了一段时间，成为外国制造商的分供货商。21 世纪开始，中国政府决定在未来 20 年内自主建设一批核电站，引进第三代核岛设备制造技术，重新开始扩建核岛设备制造厂。

中国发电设备制造业的发展途径主要是密切与跨国企业合作，利用技贸结合，引进先进设计制造技术消化吸收，结合我国国情共同开发中国市场需要的产品。这也为跨国公司创造了巨大的商机。

3 中国发电设备制造业未来的发展

未来中国的发电设备制造业将以提高自主创新能力，增强国际市场的竞争力为主攻方向。增强技术储备，掌握关键部件的设计、制造及材料毛坯件的核心技术，在大容量、高效、清洁发电和可再生能源、新能源领域研制出高性能、高可靠性的产品。例如：超超临界火力发电机组，100 万 kW 级高水头水电机组，60 万 kW 高效空冷火电机组，兆瓦级变速恒频直驱式风力发电机组，第三代核电机组等。

中国的发电设备制造业内部要建立以企业为主体，产、学、研相结合的技术创新体系，加速对共性技术的研究及其成果的产业化。为此，要重点研究如下的题目：

- (1) 大型锅炉煤燃烧技术及低 NO_x 燃烧技术。
- (2) 燃煤排放污染物的脱除和综合利用技术。
- (3) 汽轮机长叶片（57 英寸和 70 英寸）和气动设计技术。
- (4) 汽轮机强度与振动研究、寿命评估与可靠性技术。
- (5) 汽轮发电机组轴系动力特性技术。
- (6) 汽轮机焊接转子制造技术。
- (7) 超超临界火电机组耐热钢材料研究。
- (8) 低热值燃料燃气轮机干式低 NO_x 燃烧技术。
- (9) 燃气轮机热端部件高温材料、冷却及涂层技术。
- (10) 核蒸汽发生设备制造技术。
- (11) 核电主循环泵设计制造技术。
- (12) 发电机的蒸发冷却技术。
- (13) 直驱式变速变桨双馈/永磁风力发电技术等。

上述共性技术领域的突破将进一步提高中国发电设备制造业的竞争力，为国民经济发展提供更多、更好的装备。

作者简介

陆燕荪，原机械工业部副部长，现为中国机械工业联合会顾问，机械设备制造专家。

中国电力技术升级、产业结构调整的发发电新技术

黄其励

(国家电网公司东北电网有限公司, 沈阳 110006)

【摘要】 为了满足中国经济快速发展的更高要求, 电力工业面临着巨大的挑战, 主要有发展与能源消耗和环境保护。中国实施中的发电技术升级新技术主要有: 发展高效洁净的高参数大容量机组, 关停低效的中小机组, 调整发电结构; 发展能源梯级利用的高效联合循环和资源综合利用的多联产发电技术; 推广煤炭洁净燃烧的新一代技术, 推广节水发电技术; 推广资源节约型电力新技术“绿色煤电”工程, 引导中国发电技术向当今国际能源利用技术先进水平前进。

【关键词】 能源消耗 环境保护 发电技术 洁净燃烧

1 中国电力工业面临的新形势

“十五”期间, 中国经济的腾飞拉动了电力工业的快速发展, 是中国电力发展历史的一个重要阶段, 由于“十五”期间电力装机的快速发展, 到 2006 年底, 全国范围内电力供需基本平衡, 彻底结束了 2002 年开始的连续近五年的大面积缺电局面。今后 15 年, 我国电力工业仍将在满足国民经济快速发展的条件下保持适度超前发展的态势 (见表 1)。

表 1 中国电力装机情况表

年代	新增装机 (MW)	年末总装机 (MW)	年代	新增装机 (MW)	年末总装机 (MW)
2001	19166	338487	2006	101170	622000
2002	18084	356571	2007	预计 95000	预计 720000
2003	34837	391408	2010		预计 800000~850000
2004	49292	442387	2020		预计 1100000~1200000
2005	66000	517185			

在中国电力发展中, 出现了几个可喜的“大”:

(1) 大的区域电网形成规模。到 2006 年底, 华东电网装机 151090MW、华中电网 128420MW、华北电网 115710MW、南方电网 109300MW, 形成了几个装机容量超过 100000MW 的区域电网。

(2) 大的发电集团公司实力增强。到 2006 年底, 大唐集团公司、华能集团公司、华电集团公司装机容量超过 50000MW。

(3) 装机容量大的电厂增加迅速。到 2005 年底, 装机 1000MW 及以上的火电厂 105 个, 水电厂 20 个, 它们的装机容量占全国总发电装机容量的 37.3%, 发电量占全国总发电量的 42.01%。

(4) 大容量发电机组屡出不穷。以华能沁北电厂首台国产化 600MW 机组的圆满投产运行为标志, 全国 600MW 国产化机组遍地开花; 华能玉环电厂、华电邹县电厂国产超超临界 1000MW 机组在 2006 年四季度相继投运, 吹响了向国际电力先进水平进军的号角, 目前我国有 10 台 1000MW 和 6 台 600MW 超超临界机组在建设中。中国电力投资集团公司所属的辽宁红沿河一期 2×1000MW 核电站在 2006 年由国家核准, 表明了我国走向发电能源多元化的决心。

现在, 我国进入发展的关键时期——第十一个五年计划。为保证经济社会的可持续发展, 国家“十一五”发展规划纲要中提出了几个重要指标: GDP 年平均增长 7.5%; 2010 年单位产值能耗比 2005 年降低 20%; 污染物排放总量比 2005 年降低 10%; 单位 GDP 用水量比 2005 年降低 20% 以上。“十一五”以后, 通过全国上下进一步的努力, 实现到 2020 年能源消耗翻一番, 保证经济发展翻两番的目标。

2 中国电力发展应对的挑战

由于中国电力工业基础薄弱,为了满足经济快速发展的更高要求,面临着巨大的挑战,主要有以下四个方面。

2.1 发展与能源消耗

目前全国平均发电单机容量偏小,2004 年 6000kW 及以上机组平均单机容量仅为 62.2MW,因而总体发电效率低;电力部门能源自耗高,电厂厂用电和输供电线损占全社会用电量的比例高达 12.39%。我国供电煤耗、输电线损率和火电厂平均装机耗水率比世界先进水平分别高 30~40g/kWh、2.0%~2.5% 和 30%~40%,为此,全国一年用电要多耗标准煤 1.2 亿 t、电量 350 亿 kWh、淡水 15 亿 m³,相当于每年损失一个中等规模省的用电量和一座巨型水库。

2.2 发展与环境保护

2005 年电力工业排放 SO₂ 1328 万 t,占全国 SO₂ 排放总量的 52%,比 2000 年增加 58%;2005 年安装烟气脱硫的燃煤机组仅占总燃煤装机的 14%,SO₂ 超标排放机组多。目前主要采用低 NO_x 燃烧方式减少 NO_x 的排放,少数 300MW、600MW 机组脱硝试点工程正在运行,仅有约 6000MW 烟气脱硝装置在设计和建造中,因此,今后在电力发展中降低 SO₂、NO_x 等污染物排放的任务任重道远。据专家评估,全国允许的环保容量为 SO₂ 排放 1620 万 t,NO_x 排放 1880 万 t,目前,由于污染物排放量超过了大气环境的自洁能力,使全国有 30% 的国土遭受不同程度的酸雨污染,由此产生的经济损失一年可达 1000 多亿元。此外还有 CO₂、重金属、可吸入颗粒物等问题需要解决。电力工业是经济社会发展的动力源,也是环境保护的主力军,因此今后在环境保护中发展,在发展中保持清水蓝天的任务是光荣而艰巨的;

2.3 发展与资源节约

在发展中要大力节约土地、淡水资源和其他资源,按照循环经济、节约社会的模式,充分利用各种资源。

2.4 发展与“三农”问题

要以多种方式实现户户通电,为建设社会主义新农村提供光明、温暖、动力和进步,让农民也能同步进入小康社会。

当然,这些挑战和困难是发展和前进中的问题,一定能在发展和前进中依靠科技进步和技术升级得到解决。

3 我国实施中的发电技术升级的新技术

电力工业是实现国家可持续发展、建设和谐小康社会的先行官,在今后几十年内,努力发展节约、环保、高效、灵活的发电技术是电力工作者必须执行的方针。我国是世界上少数以煤炭为主要一次能源的国家,长期以来,燃煤发电一直是最主要的发电和能源利用方式。到 2006 年底,我国火电装机容量 484050MW,占全国总装机容量的 77.82%;在发电量 28455 亿 kWh 中,火电发电量 23573 亿 kWh,占 83.17%;2006 年一年内火电新增装机 90280MW,占当年新增总装机容量的 89.2%^[1]。到 2020 年,即使发电能源多元化取得大的成绩,预计火电机组的比例也会保持在 70% 以上;到 2020 年,我国煤炭用于发电的比例将由目前的 40% 增加到 70% 以上。因此,抓好以燃煤发电为主的节能降耗、洁净环保是电力工业发展的重中之重。

为实现这个目标,全国制造、运行、产、学、研都要齐心协力,致力于发电新技术的研发和工程实施。

(1) 大力发展高效洁净的高参数大容量机组,关停低效的中小机组,调整发电结构,使高效超临界大机组成为电力舞台的主角、群星,以具体行动贯彻国家的节能降耗方针。

1) 发展以超(超超)临界机组为领衔的高参数大容量机组。图 1 为火电厂蒸汽参数与电厂效率的关系曲线,提高蒸汽初参数,降低终参数,是常规火力发电提高效率的必由之路。

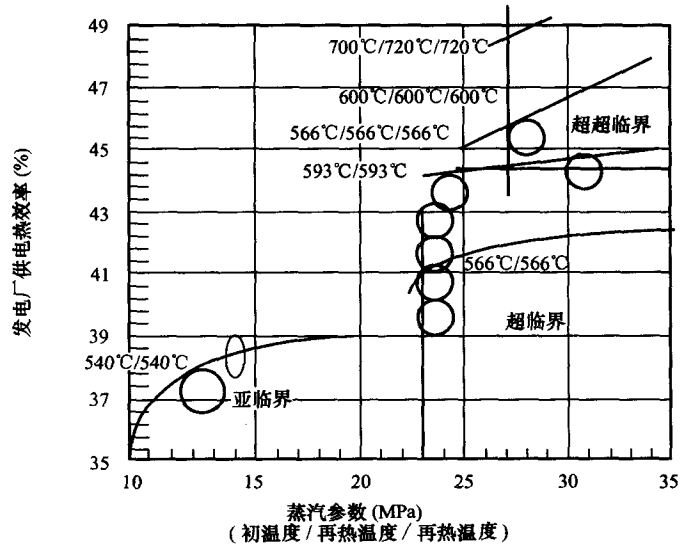


图1 不同蒸汽参数、再热次数和参数对发电厂供电热效率的影响

自1957年美国在费洛(Philo)电厂投运世界上第一台超超临界机组(125MW, 31MPa, 621℃/566℃/538℃)以来,高参数火电机组的发展已经历了半个世纪的历史。伴随着经验积累、技术进步、材料工业发展和特种钢焊接技术的成功,超临界参数机组发电技术以其成熟性、经济性、环保性、灵活性证明了超临界、超超临界机组是最现实、成熟、先进的高效洁净发电技术。据2002年的不完全统计,美国有169台超临界机组,其中500~800MW机组占60%~70%,450MW以上机组全部采用超临界参数,超临界参数机组容量占总装机容量的61%;苏联在凝汽式汽轮发电机组中,超临界机组占48.7%;日本到1984年底超临界机组已占火电装机容量的50%以上,20世纪80年代以后,日本新投运的火电机组全部为超(超)临界机组,丹麦20世纪90年代投运了3台350~400MW超临界机组电站,机组热效率都很高,最高效率已达45.3%,目前燃煤电厂热效率最高的机组是丹麦Nordjyllandsvaerket电厂的3号机组,达47%(海水冷却)。在今后的10~20年,用现代技术武装的火力发电厂将是蒸汽温度为650℃级的机组,运行效率在50%左右。到那时,蒸汽温度上限预计为700℃,效率将达52%~55%。因此,发展以超(超)临界机组领衔的大容量、高参数机组,首先是节能环保的需要,同时也是技术创新、赶上国际电力先进水平、攀登发电技术制高点的需要。

我国电力工业在与国民经济快速增长、同步发展的同时,大踏步地前进,技术水平跨入国际先进行列。2006年我国新投产的火电机组中,300、600MW及以上的大机组占主要地位,据不完全统计,300MW占当年新投产火电机组台数的比例约43%,600MW占34%,包括1000MW机组在内,300MW级及以上的大机组台数占当年投产机组总台数的80%。预计今后这个趋势会继续下去。

但是我们要看到,2006年我国火电机组平均供电煤耗为366g/kWh,比超临界机组高50~60g/kWh,比超超临界机组高70~80g/kWh。如果2020年火电发电量中一半由超(超)临界机组发出,则每年可节约1.4~1.8(2.3)亿t标准煤,相应地节能、节水、节资源和环保效益会更显著。如果说“十五”期间,电力工业是在发展中调整结构,努力做到又快又好发展的话,那么从“十一五”开始,我国电力工业将进入在调整结构中发展,必须做到又好又快的发展。我国计划到2010年,新建火电机组40%以上为超临界和超超临界机组;2010~2020年期间,600MW及以上新建机组将全部建设超临界机组,新建火电机组一半以上为超超临界机组;到2020年,超临界参数机组将占总装机的30%以上。由于华能玉环、华电邹县超超临界1000MW在2006年成功投运,使全国火电大机组市场如火如荼,大有越烧越旺之势。神华集团国华电力的宁海电厂2×1000MW、国电电力泰州电厂2×1000MW机组相继开工。技术的快速升级、市场的渴望需求催动了我国制造业的火热,上海电气电站集团已接下了14台(套)1000MW超超临界机组,东方电气集团公司承接了12台1000MW超超临界机组,哈尔滨锅炉厂有十台1000MW超超临界锅

炉投运和合同执行中。600MW 超临界机组如虎生双翼、雨后春笋般的发展,哈尔滨锅炉厂自从 2005 年 4 月第一台超临界锅炉(常熟电厂)投运以来,不到两年的时间,就有 22 台投运,另有 28 台在安装、设计中;东方电气集团公司已承接了 24 台 600MW 超临界机组;华能集团 2004 年底第一台国产 600MW 超临界机组在沁北电厂投运以来,短短两年就有 12 台 600MW 超临界机组投运和建设。据统计,全国在建和订货的 600、1000MW 超(超)临界机组有 150 台,预计在超超临界参数机组发展中,1000、600MW 机组都会得到快速发展。但是从电网安全运行、设备国产化水平和成熟程度等方面考虑,600MW 超超临界机组可能会发展得更快,应当在近 10~15 年内,600MW 超超临界机组会尽快成为煤电总装机中占主导地位的主力机组,以便对全国发电行业的经济性、环保性产生更大的影响。

2) 关停低效的中小机组,实施“上大压小”政策。“十一五”期间,在发展大容量火电机组同时,决心的加大关闭小火电的力度。我国目前有 100MW 及以下的小火电机组 1.15 亿 kW,占火电装机的 29.4%,它们煤耗高、污染重、人员多、自动化水平低、安全隐患多,它们在我国电力发展史上的辉煌业绩已经载入史册。国家经济社会发展形势的需要,电力技术升级换代的发展,使发电技术升级、电源结构调整成为当前最主要的任务。通过“上高效机组停低效机组”“上环保大机组停污染重小机组”,优化电源结构,从根本上实现节能、节资源、减少污染排放、在保护环境科学发展的目的,国家决定在“十一五”期间,关停小燃煤机组 40000MW,燃油小机组 7000~10000MW。涉及到 1200 台机组,最小容量为 1.5MW,平均容量为 30MW。在“十一五”期间,五大发电集团公司计划关停近 20000MW 的中小低效机组,成为实施这个战略方针的先锋和主力。包括全国其他发电厂业主和地方电站关闭的小机组在内,如果关停小火电 40GW 的发电量,用 2006 年全国平均煤耗 366g/kWh 的当量机组替代,按年运行 5000h 计,年可节约 2000 万 t 标准煤;如果用超(超超)临界机组替代,每年可节约 3000 (4000) 万 t 标准煤,减少 SO₂ 排放 160 万 t,还有相应的安全、节能、节水、节资源、提高技术管理水平和其他环保效益。

3) 实施以节能环保为目的的发电机组经济调度。在电网运行方面,要综合考虑供电煤耗、污染排放和上网电价等因素,优化发电机组的调度,让高效、节能、环保的大机组优先上网发电,提高它们对节能降耗的群体效益和贡献率;对国家已明确关停的小机组,调度不得让其上网和收购其电量。通过政策引导、市场规则、运行调度等多种手段,保证“上高效机组停低效机组”政策的实施。

(2) 发展能源梯级利用的高效联合循环和资源综合利用的多联产发电技术,推广资源节约型电力新技术,实现单位产值能耗下降 20%。这方面的新技术有蒸汽燃气联合循环机组(GTCC)、整体煤气化蒸汽燃气联合循环(IGCC)、热电冷多联产、以煤气化为基础的多联产技术等。这些能源利用系统有能源梯级利用、按质利用、综合利用、清洁利用和灵活利用等特点,是先进的能源系统,而以整体煤气化蒸汽燃气联合循环(IGCC)和以煤气化为基础的多联产技术等为代表,是 21 世纪能源利用的升级换代技术。

1) 蒸汽燃气联合循环发电技术。该技术能源利用高效率,目前最高可达 60%;高洁净,低污染排放;节约水资源;运行灵活,特别适于做电网的调峰机组、环保要求高地区的发电机组,并且可以做可再生能源(如风能、太阳能)发电的互补电源。后者由于受气候的影响,具有不稳定的缺点,在有条件的地方,可以用联合循环(或其他形式的发电方式)与可再生能源发电结合,解决电网运行要求稳定和接入电网的可再生能源发电不稳定的矛盾,以充分发挥洁净的可再生能源的作用。

我国实施“以市场换技术”“技贸结合”的方式,三次打捆招标,由三菱重工、GE、西门子等中标方提供蒸汽燃气联合循环机组共 55 台,其中 F 级 51 台、E 级 4 台,联合循环机组总容量为 20500MW,到目前为止,已有约一半的机组投入运行。重型燃气轮机、余热锅炉等关键技术的引进,使我国基础薄弱的燃气轮机及相关关键设备的设计、制造能力有大幅度提高,使东方电气集团公司、哈尔滨电站设备集团公司、上海电站电气集团、南京汽轮机集团等大型制造企业在重型燃气轮机的设计制造技术上产生了跨越,形成了四个国内外制造商联合体,取得了运行、制造部门的双赢。蒸汽燃气联合循环使用的燃料为气体燃料,但我国是天然气资源贫乏的国家,天然气储量占世界储量的 1.2%,人均天然气储量仅为世界人均平均值的 4%,加之天然气是很好的化工原料,因此在发展规划上,可以根据国内外两个气体燃料资源的具体情况,综合考虑民用、化工和发电使用,并在进行经济技术比较后,因地制宜的发展。但是,