

中国电力建设企业协会 主编

中国电力建设

科技成果

专辑

(2009年)



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

中国电力建设 科技成果专辑

(2009 年)

中国电力建设企业协会 主编



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本专辑是依据《中国电力建设科学技术成果奖评选办法》的规定编写而成的，共收录了 88 项科学技术成果。

本专辑分为一、二、三等奖，其中一等奖包括 16 项科技成果，二等奖包括 28 项科技成果，三等奖包括 43 项科技成果，针对每一项技术成果分别介绍了其成果名称，完成单位，主要完成人员，成果的主要用途、技术原理，关键技术和创新点，通过查新对比成果与国内外已有同类先进技术的全面情况，已应用、推广情况及推广前景、经济及社会效益情况、必要的图表及照片。

本专辑中各获奖成果可供各级发电、电网公司及相关科研单位、设计院、电建公司等使用，以扩大成果应用面，推进新技术应用。

图书在版编目 (CIP) 数据

中国电力建设科技成果专辑：2009 年 / 中国电力建设企业协会主编. —北京：中国电力出版社，2009

ISBN 978-7-5083-9185-4

I. 中… II. 中… III. 电力工程—科技成果—中国
IV. TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 125145 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

*

2009 年 9 月第一版 2009 年 9 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 33.625 印张 807 千字

印数 0001—1500 册 定价 120.00 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

本书编委会

主 任 尤 京

副 主 任 范幼林

编 委 高德荣 陈发宇 周德福 赵祝人 李鹏庆

韩英明 张所庆 蔡新华 林志华 金 麟

张孝谦 李云浩 梅锦煜 李福生 顾祥圻

冯忠沛 陈秀菊 李 婧 赵舒南

关于表彰 2009 年度 中国电力建设科学技术成果奖的通知

中电建协〔2009〕19 号

各有关单位：

为贯彻落实科学发展观，鼓励电力建设企业技术创新的积极性，中国电力建设企业协会（以下简称“中电建协”）依据《中国电力建设科学技术成果奖评选办法》（中电建协〔2007〕47 号）的规定，经中国电力建设专家委员会评审，中电建协审核、批准，现决定授予上海外高桥第三发电有限责任公司“超超临界机组新型启动方式研究”等 17 项成果中国电力建设科学技术成果奖一等奖；授予中国电力科学研究院“液压提升装置配套用多功能组合架构的研发和在电力建设中的应用”等 28 项成果中国电力建设科学技术成果奖二等奖；授予河北省电力建设第二工程公司“减小中频弯管内弧波浪折皱的方法研究”等 43 项成果中国电力建设科学技术成果奖三等奖（获奖名单详见附件，可登陆中电建协网 www.cepca.org.cn 点击“通知公告”栏下载）。

建议获奖单位参照相关省、部、行业级奖励规定，对获奖的科技成果有贡献的人员给予适当奖励。

附件：2009 年中国电力建设科学技术成果奖获奖名单

中国电力建设企业协会（印）

二〇〇九年三月三十日

前 言

科学技术是第一生产力。放眼古今中外，人类社会的每一个进步都伴随着科学技术的进步。改革开放以来，我国在引进国外先进设备和技术的基础上，予以消化吸收，充分发挥自己的创新能力，伴随着一项项新科技的转化和应用，极大地提高了我国电力建设技术水平，使我国电力建设事业得到了迅猛发展。

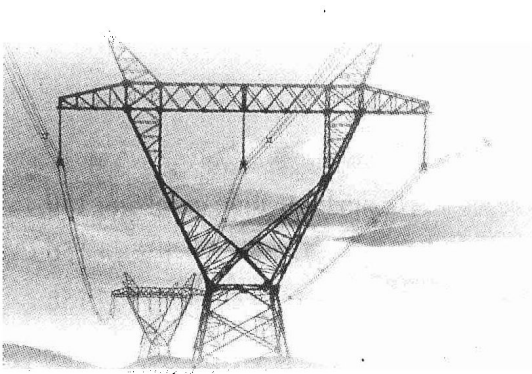
为促进新设备、新工艺、新材料、新技术在电力建设应用中发挥更大的作用，鼓励电力建设企业积极创新，提高电力建设行业自主创新能力，中国电力建设企业协会组织中国电力建设专家委员会对 2009 年电力建设过程中形成的技术创新成果进行了评选。共评出一等奖 17 项（其中一项“创建电力优质工程策划与控制”，书号：ISBN 978-7-5083-7792-6，已单独出版）、二等奖 28 项、三等奖 43 项。评选奖项覆盖了电力建设火电、水电、风电、输变电和新能源。

为了更好地推广这些优秀成果，现将 2009 年中国电力建设科学技术成果奖项目出版专辑发行。希望能为科技资源提供共享平台，促进创新经验的交流，带动广大电力建设工作者共同提高，为今后能有更大的科技突破创造学习和借鉴的机会。成果的所有资料由企业自行提供，仅供参考。

由于时间所限，疏漏与不妥之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

中国电力建设企业协会

2009 年 8 月



中国电力建设科技成果专辑

(2009年)

目 录

前言

一 等 奖

超超临界机组新型启动方式研究	3
国内首例 600MW 机组间接空冷示范工程及技术研究	9
轮胎塔式起重机的研制及在风电建设项目中的应用	13
1000MW 超超临界机组 FCB 试验及运行方式研究	16
CFB 锅炉炉内高效脱硫技术与开发	22
600MW 机组自主知识产权袋式除尘器的工程应用	27
高压电力电缆隧道消防关键技术研究及其应用	38
A335P92 钢中频弯管工艺研发与应用	59
多年冻土地区杆塔基础选型与设计研究	61
$\pm 800\text{kV}$ 特高压直流系统输送容量优化研究	65
1000kV 特高压大跨越工程导线配套金具研制	68
P9PIP 工程质量管理体系	71
大滑坡体中深长防淘墙施工关键技术研究与应用	77
三峡双线五级船闸第一、二闸首完建施工技术研究与应用	99
砾石土心墙堆石坝施工技术研究与应用	106
大直径钢管整体卷制	111

二 等 奖

液压提升装置配套用多功能组合架构的研发和在电力建设中的应用	119
超(超)临界锅炉不熄火降压蒸汽吹洗的研究及应用	125
宁夏 750kV 超高压电网关键技术研究	128
改善抽水蓄能发电机组稳定性的措施研究	144
汽轮机启动过程高中压缸进汽比例优化	146

余热锅炉模块多点同步液压提升施工工艺及设备的研究及应用	150
循环流化床垃圾焚烧锅炉的调试与运行研究	156
移动式电力计量技术研究及实施	158
大型发电机定子绕组介质损耗测量方法的研究	161
穿管敷设式电力电缆故障定位方法的研究	167
换热器管泄漏的超声导波检测工艺研究	173
核电国产管材 WB36CN1 焊接工艺试验及接头性能研究	176
1000MW 汽轮发电机新型基础研究	179
超高加筋土挡墙在山区变电工程中的研究与应用	187
烟囱钢内筒多点同步液压提升施工工艺及设备的研究和应用	192
苏北辐射沙洲地区第一座深水 5 万 t 级码头建设之实践	198
龙滩水电站细微裂隙岩体和断层灌浆处理关键技术研究	203
座地井架配双平臂旋转抱杆组立浙江第一高塔施工新工艺开发	207
1000kV 变电构架试验技术和能力的研究	210
地下变电站大型设备的运输和吊装方案研究	217
四川水电集中上网变压器技术研究和应用	226
电力基建企业 VOIP 电话平台的建设与应用	241
通信网络拓扑资源管理信息系统	244
面板堆石坝翻模固坡技术研究与应用	250
现场“密度桶法”确定大粒径砂砾料压实标准的研究与应用	258
砂砾石筑面板坝技术研究及在寺坪工程中的应用	263
大跨度浅埋深隧洞洞口平顶开挖施工技术研究及应用	284
大坝基础陡坡接触灌浆施工新工艺研究应用	287

三 等 奖

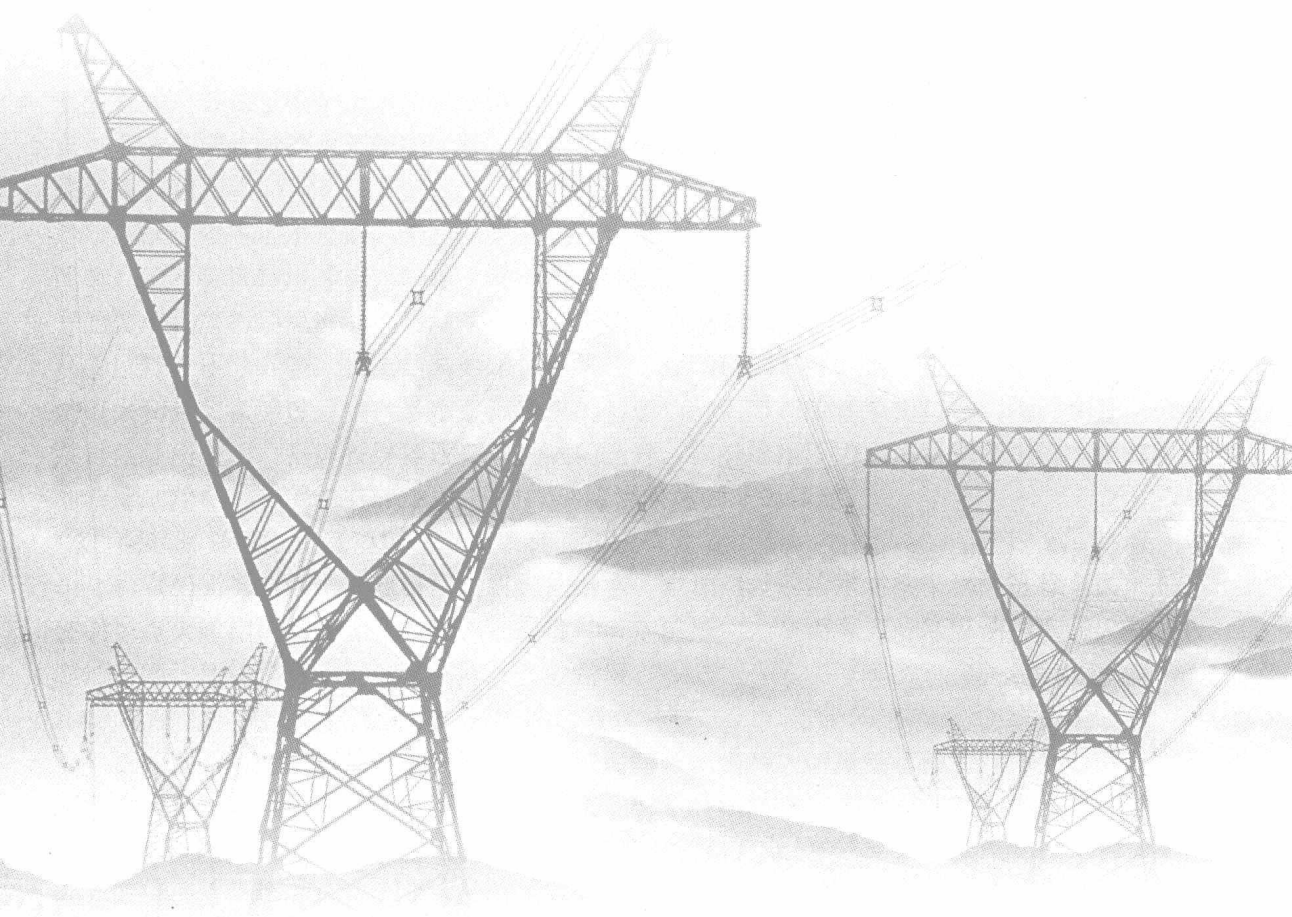
减小中频弯管内弧波浪褶皱的方法研究	293
间接空冷机组凝结水精处理加混床改造	297
河南北网火电厂循环水杀菌灭藻处理研究	300
给水泵汽轮机叶片改进	304
2 号炉少油点火应用	306
蒲城电厂三期微油点火技术改造	308
国产 2060t/h “W” 型火焰锅炉燃烧优化调整	313
转角法高强度螺栓检验方法及施工工艺探讨	318
秸秆直燃机组调试技术	334

大型火电机组 RB 控制技术的优化与研究	338
电力电缆故障测试仿真培训系统	344
300MW 纯凝机组增加抽汽供热功能的控制研究	346
通风降温型城市配电网地下排管通道设计研究	349
600MW 发电机组凝结水泵加装高压变频器	354
基于气体成分分析的高压开关柜故障预警系统技术研究	358
CCD 技术在看谱镜上的应用	366
管道自动焊强制回转装置研究	370
高海拔寒冷地区、常年外露大体积混凝土施工技术研究	374
高寒地区冬季混凝土施工	377
SC+DSQ（施工升降机+顶升平桥）工艺研制应用	389
淤泥地基上的双沉井施工	392
输变配电设备管理一体化信息系统	402
输变电路工程远程无线视频监控系统	412
特高压直流试验线段施工工艺研究与应用	417
特高压组塔专用塔式起重的研制及应用	421
国内首条特高压工程施工技术创新研究和应用	431
高海拔超高压变电站防电晕及降噪技术研究	435
变电所三相电子式移相通流、通压模拟带负荷试验	437
330kV 同塔四回输电线路设计研究及应用	440
一牵二多用途牵张两用机的研制和开发	443
索道运输工艺与设备研究	450
现场标准化作业技术研究	453
供电企业工程、物资、资金三大平台管理系统	462
销轴式液压顶升装置研制与应用	473
火电调试工程项目管理研究	476
生物发电项目施工探讨	483
物资集约化经营平台研究与应用	485
国产首台超超临界 600MW 机组设备制造监督评价技术研究	491
山区大型电力设备水陆联运的研究与应用	494
特大型混流式水轮机转轮工地现场制造	505
新型复合掺合料在碾压混凝土中的应用研究	513
天然砂石料在高土石坝筑坝材料中的综合应用研究	521
上置式针梁钢模研究与应用	526

中国电力建设科技成果专辑

(2009年)

一等奖



超超临界机组新型启动方式研究

上海外高桥第三发电有限责任公司

冯伟忠 陈模嘉 俞兴超

1 成果的主要用途、技术原理

1.1 超超临界机组的锅炉静压上水及热态清洗

超超临界直流锅炉静压上水和热态清洗新工艺，其原理是用蒸汽将热力系统中除氧器及除氧水箱内的储水加热到一定的压力（温度），利用除氧水箱中的水自身的位能，加上除氧器内的压力 HP 替代给水泵，直接对锅炉进行连续的进水，并且建立起连续的清洗流量。基于除氧水箱内的水为饱和水，在压力升高的同时，饱和水温对应上升。在进入锅炉后随着压力的降低会产生两相流，因此，其清洗效果将远优于冷态清洗，并能替代相当的热态清洗过程。

1.2 超超临界机组启动过程的汽动给水泵全程调速

为了解决锅炉启动阶段给水泵组耗能高的问题，外高桥三期工程采用除氧器加热静压上水的方式，节约了锅炉上水和循环清洗阶段的给水泵能耗。而对于此后锅炉小流量暖炉、点火以及升负荷阶段给水泵组的运行，采用了汽动给水泵全程调速方式来实现给水泵组耗能的最优化控制。

在锅炉静压上水之后，给水泵暖泵也已结束，给水泵出口调门全开，汽动给水泵启动。此时，给水泵汽轮机冲转，转速上升控制在较低转速，维持锅炉的给水压力和流量。同时，开始使用直流锅炉蒸汽加热启动法，锅炉开始小流量循环加热，小流量给水在锅炉内不断循环的过程中逐渐升温，直至达到给水加热极限，启动风烟系统，锅炉开始点火。随后，在锅炉点火和升负荷的过程中，给水泵汽轮机的转速自动调节，给水泵出口调门阀门全开，给水泵再循环门关闭，锅炉省煤器进口调门阀门全开，锅炉给水压力和流量完全由给水泵汽轮机的转速来控制。在锅炉 BMCR 工况时汽动给水泵达到最高转速。

1.3 超超临界机组直流锅炉蒸汽加热启动方式

利用相邻机组辅汽加热待启动机组的给水，由加热过的给水对整个锅炉进行全面加热，使锅炉点火时已被均匀加热至相当的温度和一定的压力，从而大大降低燃油强度 and 大幅缩短燃油时间，使锅炉启动耗油量下降一个数量级。

1.4 超超临界机组高蒸汽动量带旁路冲洗方式

按德国的带旁路启动及清洗程序，清洗时间长，消耗大，凝结水前置过滤器及精处理系统的负担重，且主蒸汽管等得不到有效冲洗。对于蒸汽温度已高达 600℃ 的超超临界机组，这种工艺也已落伍。另外，考虑到在传统的冲管过程中，汽水分离器内蒸汽处于饱和状态，因此即使当主蒸汽动量达到要求冲管系数时，汽水分离器内的蒸汽动量仍然偏小，这是目前冲管方式存在的一个固有缺陷。为了克服上述问题，外高桥三期工程除配置大容量常规旁路



外,还增配了前置附加小旁路。同时对带旁路启动和清洗工艺进行了全面改革。其主导思路是:

(1) 改原来的稳定热负荷为变负荷(其中有一个时段为高负荷)。

(2) 改原来的稳定蒸汽参数为变参数(其中有一个时段为高蒸汽温度),确保系统内的氧化皮能充分剥离并被带出。

(3) 改变原来的固定冲洗途径回路(其中一个时段含主蒸汽和冷再热蒸汽管),确保所有主回路蒸汽管都能得到充分冲洗。而在汽轮机的冲转前,进行高动量冲洗,汽水分离器内工质完全转变为干态,其指导思想是在尽最大可能剥离氧化皮的基础上,将自由状态的氧化皮及颗粒物,包括零流速区的滞留物彻底清除,并直接送至凝汽器。冲洗的原则是蒸汽温度必须达设计温度、蒸汽动量达到或高于吹管动量,以期彻底杜绝机组在高温及高负荷情况下系统内氧化皮及颗粒物的再次析出,从而确保机组的安全性和经济性。

2 关键技术和创新点

2.1 超超临界机组的锅炉静压上水及热态清洗

利用除氧器内的压力向锅炉进水,并达到一定的流速,同时,在锅炉的水侧建立汽水两相流,以保证锅炉热态循环清洗的效果。

2.2 超超临界机组启动过程的汽动给水泵全程调速

外高桥三期工程的锅炉给水泵组采用单台100%汽动给水泵的配置,不设置电动给水泵。汽动给水泵全程调速使得给水泵汽轮机的实际可调转速区域大大增加,可以实现从低转速至高转速的全程调速。同时大大简化了整个给水系统的运行控制方式。

2.3 超超临界机组直流锅炉蒸汽加热启动方式

新技术利用相邻机组的抽汽加热待启动机组的给水,由加热过的给水间接加热锅炉受热面,从而减少预热锅炉的燃油消耗量,降低锅炉启动成本,同时达到改善炉膛燃烧热环境的目的。它具有常见的疏水扩容式和带炉水循环泵式启动方式都不具备的优点,不但大大节约了机组启动时间、改善了锅炉燃烧环境,同时也大大降低了机组启动期间厂用电和燃油的使用量。

2.4 超超临界机组高蒸汽动量带旁路交替冲洗方式

机组在传统意义的大旁路基础上又增加了前置小旁路,大大缓解了锅炉内脱落的氧化皮等异物对高压旁路阀阀芯的冲蚀,提高了主蒸汽管道的暖管效率,减少汽轮机的固体颗粒侵蚀,提高了机组的安全性,缩短了机组启动时间。

氧化皮等固体颗粒状异物,容易在低流速区滞留,为了彻底清洁氧化物堆积死角,高动量冲洗工艺解决了原来最低流速处而导致的氧化皮等固体颗粒异物堆积的现象。

3 通过数据比对和检索证明材料,对比成果与国内外已有同类先进技术的全面情况

3.1 超超临界机组的锅炉静压上水及热态清洗

对于大型超超临界机组启动方式来说,国内外普遍采用电动给水泵进行上水和热态清洗,这使得锅炉启动过程中所使用的厂用电量大大增加。而外高桥三期工程采用除氧器静压给锅炉上水并进行热态冲洗的工艺后,节约了锅炉上水和循环清洗阶段的电动给



水泵能耗。

经过上海科学技术情报研究所查新后,得出结论:在超超临界机组上采用除氧器静压给锅炉上水并进行热态冲洗,未见国内外相同文献报道。该技术具有新颖性。

3.2 超超临界机组启动过程的汽动给水泵全程调速

通常在给水泵汽轮机启动过程中,为了避开临界转速,给水泵汽轮机的转速在低转速区不能停留,直接升至临界转速以上安全区域。随后,给水泵汽轮机的转速才可以根据给水流量和压力的需要进行调节。而在给水泵汽轮机可调最低转速时,给水泵的出口压力和流量已经大大超过了锅炉上水和热态循环冲洗所需要的工质参数。因此,在以往的锅炉启动过程中,给水泵处于低负荷运行区域效率较低,而且给水泵出口调节阀要对进入锅炉的给水进行减压,再循环阀对给水泵出口流量进行分流。这些使得给水泵所消耗的能量中很大一部分都被浪费了。由于给水泵存在最小运行流量,且转速越高,其最小运行流量越大,而此时的锅炉并不需要太多的给水流量,故最小流量阀必须在较高的压力下返回较多的流量,整个给水系统不但损失大,而且控制方式复杂,并且容易造成最小流量阀冲蚀并泄漏,而这种泄漏在运行中是无法处理的,会造成长久的损失。

外高桥三期过程通过对给水泵汽轮机全程调速的控制,使给水泵组的能耗得到了最优的控制。

经过上海科学技术情报研究所查新后,得出结论:超超临界机组锅炉给水泵组采用单台100%汽动给水泵的配置,不设置电动给水泵,在锅炉启动阶段可实现从低转速至高转速的全程调速,未见国内外相同文献报道。该技术具有新颖性。

3.3 超超临界机组直流锅炉蒸汽加热启动方式

(1) 启动系统极大简化:新型启动方式不再需要使用炉水循环泵,分离器疏水可根据水质情况直接排入凝汽器或进入除氧器。在燃烧系统上,不需要使用等离子点火或小油枪点火。这些设备的省去,不但极大地简化了系统,而且大大降低了设备的初期投资。以百万机组为例,粗略估计单台机组能降低设备投资约1500万元。

(2) 启动时间大大缩短:传统的冷态启动方式,仅依靠油枪的热量加热给水,不仅启动时间长,而且锅炉受热不均匀,水动力性差,而且在油枪的燃烧过程中,风机将大部分的热量带走,造成了无谓浪费,在燃油价格日趋上涨的今天,这是一种“奢侈”的启动方式。而新型启动方式在锅炉均匀预热的情况下启动风烟系统开始点火,从油枪的投用到风温满足投磨要求仅1h。

(3) 大大提高锅炉的安全稳燃特性:新型启动方式使炉膛在还未点火前就已处于热态,水冷壁的均匀加热使得锅炉膨胀均匀,减小了金属的疲劳损耗。一次风和二次风温经过空气预热器加热变成热风后进入炉膛,使得锅炉的不投油最低稳燃负荷达到19%BMCR,大大减轻了空气预热器和电除尘的结露和积灰情况。对于投用脱硝机组也彻底解决了催化剂的低温中毒问题。

(4) 启动经济性最优:燃油节省量相对常规启动方式达到90%左右。

经过上海科学技术情报研究所查新后,得出结论:除委托单位(即外高桥第三发电有限责任公司)自行公开的专利外,检索范围内未见其他与该委托项目涉及的超超临界机组蒸汽加热启动方式相同的文献报道。

3.4 超超临界机组高蒸汽动量带旁路交替冲洗方式

采用大旁路小旁路的系统配置方式,充分保证了系统带旁路大流量热态清洗的清洗效果。

新型的旁路配置方式,保证了主蒸汽管道和冷再管道的冲洗效果,使此段管道内蒸汽与炉内产生蒸汽品质基本上可以达到同步,缩短了机组启动时间,彻底解决了最低流速处而导致的氧化皮等固体颗粒异物堆积的问题。

经过上海科学技术情报研究所查新后,得出结论:针对超超临界火电机组提出一种旁路配置和控制方法,研究方向与国际上该领域的前沿热点一致;其中,100%大旁路+20%小旁路的系统配置方式,80%负荷高动量冲洗结合 50%负荷旁路交替冲洗方式等内容,未见国内外相同文献的述及,具有新颖性。

4 已应用、推广情况及推广前景

目前,超超临界机组新型启动方式研究的成果包括以下四项主要技术:

- (1) 超超临界机组的锅炉静压上水及热态清洗。
- (2) 超超临界机组启动过程的汽动给水泵全程调速。
- (3) 超超临界机组直流锅炉蒸汽加热启动方式。
- (4) 超超临界机组高蒸汽动量带旁路交替冲洗方式。

以上技术已经在外高桥三期工程两台 1000MW 超超临界机组的调试和商业运行期间得以使用,相关调试和运行实践证明,采用该项新型启动方式,使得机组的启动系统大大简化,设备投资显著降低,启动过程节能、快速、安全,锅炉燃烧稳定性大大增强,燃油消耗量仅为常规运行方式的 1/10 左右。

对于我国目前严峻的节能减排形势,以及国内大量超临界、超超临界机组陆续建设和投产来说,推广前景十分广阔。同时该项新型启动方式的推广,对于我国电力工业来说,将带来巨大的经济效益和社会效益。

5 经济及社会效益情况

(1) 利用除氧器加热进行锅炉上水和热态循环清洗,无需启动给水泵,可以节省大量的能耗。新型静压热态清洗不用启动给水泵,也不用点火加热,节约了大量的燃料和厂用电,并且操作简单,可控性好。由于冲洗的水温高,且整个被冲洗受热面内的冲洗介质均处于汽水两相流,极大地改善了冲洗效果。而已被清洗水洗出并携带的污垢不会因为炉内燃烧加热而在向火侧内壁再出现二次沉淀(结垢)。由于锅炉水质的迅速改善,在冲管过程中就能对汽水分离器的疏水进行回收,大大减少了系统的热量和工质损失。而且,由于锅炉受热面和给水泵同时得到了相当程度的预热,大大改善了启动和运行条件,缩短了锅炉的点火启动加热过程,也显著提高了系统的启动安全性。

由于给水压力高,常规管板卧式高压加热器的管板极厚(1000MW 超超临界双列高加的管板厚度为 565/600mm,单列高加的管板厚达 680/800mm),其抗热应力冲击的能力差,对投运的操作要求很高。而在静压上水和热态清洗过程中,相当于在对给水泵进行预热的同时,实际对高压加热器也进行了预热,这对后续投入高压加热器极为有利,可大大减少高压加热

器投运时的热应力冲击，确保了高压加热器的安全性。

(2) 启动系统极大简化。在汽水系统上，新型启动方式不再需要使用炉水循环泵，分离器疏水可根据水质情况直接排入凝汽器或进入除氧器。在燃烧系统上，不需要使用等离子点火或小油枪点火。

(3) 启动时间大大缩短，从油枪的投用到风温满足投磨要求仅 1h，大大提高锅炉的安全稳燃特性。

(4) 启动经济性最优，极大地节省了燃油使用量。以下以新型启动方式改造前和改造后为例进行比较：

改造前启动一次耗油量为 200t；改造后启动一次耗油量仅为 20t。则一台机组启动一次的节油量为 180t，一年的节油量为 4500t。外高桥三期两台 1000MW 超超临界燃煤机组可节省调试用油 9000t，1t 燃油以 5500 元人民币计算，机组调试期间的平均启动次数按 25 次计算，可节省发电机组调试成本人民币约 5 千万元。

(5) 到了机组正式投入商业运营以后，除了每年常规检修需要停炉外，机组都处于发电状态。以每年检修停炉 3 次，热态启动 4 次为例：改造前冷态启动一次耗油量为 220t，热态启动一次耗油量为 110t。改造后冷态启动一次耗油量为 20t，热态启动一次耗油量为 10t；则一台机组冷态启动一次的节油量为 200t，热态启动一次的节油量为 100t，一年的节油量为 1000t。外高桥三期有两台百万千瓦的机组，则两台机组一年可节省燃油量 2000t，1t 燃油以 5500 元人民币计算，一年可节省发电成本人民币 1100 万元。

(6) 大大提高汽水系统清洁度。高蒸汽动量带旁路冲洗克服冲管过程中分离器蒸汽动量不足，避免了机组高负荷高参数阶段的氧化物析出，同时也彻底解决了氧化物在低流速区的死角堆积，基本解决了汽水系统的清洁度问题，为汽轮机的冲转创造了极佳条件。

(7) 根据与同类型机组的比较，采用新型冷态启动方式一次，仅给水泵能耗一项即可省电 50kWh，经济效益显著。

6 必要的图表及照片

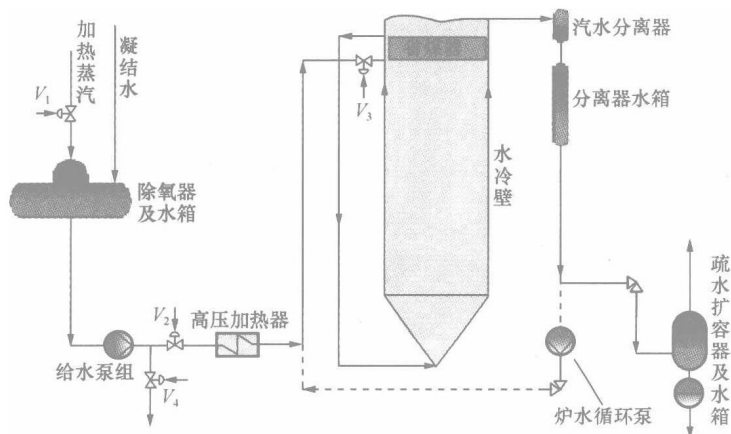


图 1 锅炉静压上水和热态清洗新工艺流程图

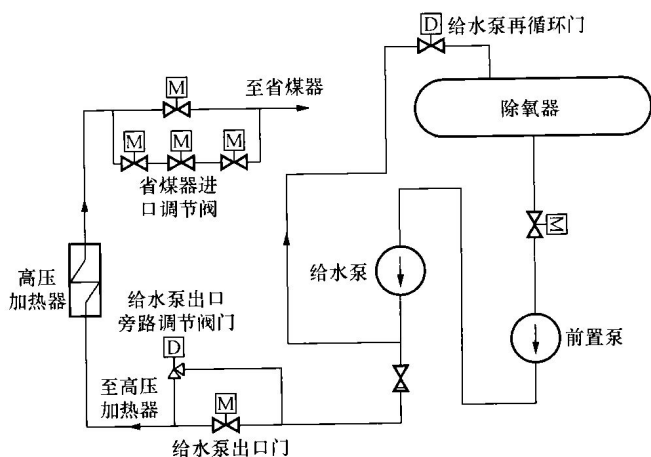


图2 给水泵汽轮机全程调速流程图

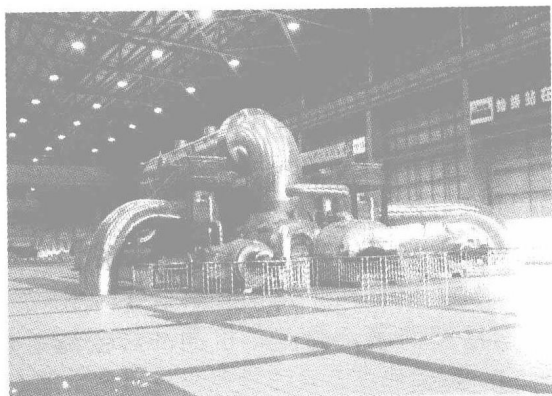


图3 上海外高桥第三发电厂首台 1000MW
发电机组汽轮机主厂房

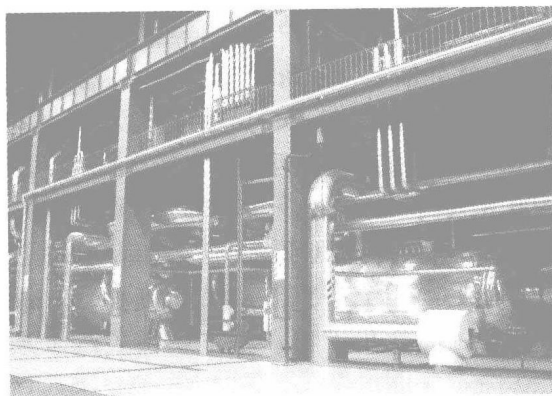


图4 单列高压加热器（17m 运转层的 A7 和
A6 高压加热器）

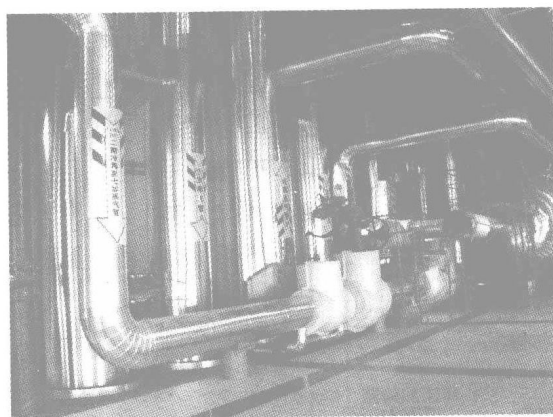


图5 外高桥二期冷再至外高桥三期 7 号机组直流锅炉蒸汽加热系统管阀