

中国电力科技网

科技学[2014]11号

首届超临界循环流化床锅炉技术研讨会暨高级培训班

国家发展和改革委员会自主研发超临界 600MWCFB 锅炉专家组组长马怀新教授统计：截止 2014 年 8 月投产和在建 350MW、600MW 超临界锅炉分别为 36 台和 3 台。随着更多机组相继筹建，我国更高参数和更高效率的超临界循环流化床技术迎来了发展的春天。

围绕超临界循环流化床工程实践，以解决机组运行与控制实际问题为根本，做好超临界机组投产前期培训工作，促进超临界循环流化床技术的成熟与提高，已成为当务之急。为使后续超临界 CFB 机组工程项目顺利投产、实现安全经济环保运行，拟 2015 年 4 月 9 日在太原举办“首届超临界循环流化床锅炉技术研讨会暨高级培训班”。

一、会议内容主要内容：

- 1、超临界循环流化床锅炉设计注意事项；
- 2、超临界 CFB 锅炉安装、调试技术要点；
- 3、超临界 CFB 锅炉启停过程重要步骤注意事项；
- 4、正常运行中参数调节控制要点；
- 5、超临界 CFB 锅炉运行优化及节能降耗措施；
- 6、超临界 CFB 锅炉脱硫、脱硝技术探讨；
- 7、超临界 CFB 锅炉低值煤燃烧技术与配套辅机；
- 8、超临界循环流化床锅炉的研发与烟风、汽水系统技术特点；

9、典型事故案例分析以及预防、处置措施；

10、防磨技术探讨。

报告人及发言内容详情请浏览中国电力科技网会议专题。

二、日程安排

4月8日报到；9-15日主题演讲、专题报告、技术讲座、案例分析、专家答疑、交流互动。

三、与会须知

为保证会议质量和效率，学以致用，请汇总您单位亟待解决的疑难问题及热点、焦点，并将“疑难问题调查表”发至邮箱，以便专家提前准备，重点解答。

会议面向超临界 CFB 项目相关工程技术、生产准备人员，聘请超临界 CFB 机组设计、施工、调试、运行、维护等方面有丰富经验的专家、生产一线技术主管举办讲座、授课、答疑解惑。

研讨会暨高级培训班举办时间为 7 天，发电集团、发电厂、科研院所和锅炉厂培训费或会务费 3000 元/人，辅机制造厂商 5000 元/人；食宿统一安排，宿费自理。

四、联系方式

魏毓璞主任，18801034448；闫晓英，13905338773；杨伟，18001252968、010-57145071；耿迪，18611825325、010-53015572。

传真：400-6981163 转 26965；邮箱：rd8856@vip.163.com。

详情浏览中国电力科技网 www.eptchina.cn



首届超临界循环流化床锅炉技术研讨会暨高级培训班演讲与讲座信息

序	演讲内容	演讲人	单位/职称/职务
1.	超临界循环流化床锅炉炉型方案开发： a. 开发基础； b. 超临界炉型冷态试验研究； c. 超临界炉型数值模拟计算； d. 超临界炉型方案开发； e. 超超临界炉型方案开发。	孙运凯	中国科学院工程热物理研究所研究员
2.	适用于超临界循环流化床锅炉的新型技术服务与创新体系： a. 新型技术服务与创新体系的设计初衷； b. 专家巡诊制度的保障； c. 《中国循环流化床发电》杂志； d. 中国循环流化床锅炉地理信息系统（GIS）； e. 实施设想与技术保障。	黄中	中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司副所长
3.	超临界燃煤循环流化床锅炉流体动力特性影响的模拟及优化： a. 循环流化床炉膛结构特征点对流场影响的实验研究； b. 大型循环流化床气固流场模拟； c. 600MWe 超临界循环流化床锅炉结构布置方案及其优化（40分钟）。	王勤辉	浙江大学热能工程研究所教授
4.	超临界循环流化床锅炉机组自适应煤质变化协调控制自动寻优控制策略研究： a. 超临界循环流化床锅炉协调控制存在问题； b. 解决办法； c. 掺烧煤泥枪协调控制应对办法； d. 炉内干法脱硫自动控制方法； e. 技术特色（1. 适应中国电网调度方式，不以压力拉回、不使用负荷指令多节惯性环节延迟降低负荷控制精度，确保电网和机组安全； 2. 构建新型锅炉主控指令，实现人机对话，采用智能化负荷静态前馈、负荷指令动态前馈、压力指令动态前馈、压力偏差动态前馈，有效解决“机快炉慢”问题，实现真正意义上的机炉协调控制； 3. 智能处理主汽压力指令、分离器入口温度、锅炉主控指令与给水指令之间、床温指令多节惯性环节时间，实时拟合主汽压力、分离器入口温度、床温时变性、非线性，实现多重解耦； 4. 实现关联调节器、非关联调节器智能化调节作用）； f. 预期效果（时间：60分钟）。	杨军统	国网安徽省电力公司电力科学研究院热控自动化所高级工程师
序	主要讲座内容	报告人	单位/职称/职务
5.	大型超临界 CFB 锅炉基本结构、原理以及主要系统和启停操作及运行中的注意事项： 主要针对新进厂的运行人员，以介绍设备系统主要工作原理及运行中注意事项为主，内容包括流态化原理及在大型 CFB 锅炉上的具体应用；锅炉、分离器、外置床、返料阀基本工作过程；给煤系统、排渣系统、污染物控制系统基本工作原理及运行注意事项（时间：一天）。 超临界 CFB 锅炉的典型结构及设计、安装、运行中应考虑的主要问题和大型 CFB 锅炉启停运行中的注意事项以及运行优化问题的探讨： 主要针对已有 300MWC 运行经验的老运行	卢啸风	重庆大学动力工程学院锅炉燃烧研究室教授

	人员、专工等技术管理人员，以介绍超临界 CFB 锅炉与亚临界 CFB 锅炉的差异以及运行检修中的注意事项为主，内容包括：典型超临界 CFB 锅炉本体结构与系统布置特点分析；典型超临界 CFB 锅炉汽水系统布置特点分析；典型超临界 CFB 锅炉的辅助系统布置特点（时间：一天）。		
6.	350MW 超临界循环流化床锅炉及炉内脱硫系统设计: a. 350MW 超临界 CFB 锅炉关键技术研究（1. 锅炉燃烧系统特性研究；2. 锅炉炉内受热面磨损特性研究；3. 锅炉冷渣器和循环灰排放装置开发）； b. 350MW 超临界 CFB 锅炉方案设计及结构设计研究（1. 锅炉设计原则；2. 锅炉本体设计方案研究；3. 锅炉设计方案研究；4. 锅炉给煤和排渣系统布置研究；5. 锅炉关键辅助系统设计）； c. 350MW 超临界 CFB 锅炉施工设计研究及工程应用（1. 锅炉材料选择研究；2. 锅炉设计、制造、施工）（时间：一天）。	江建忠	中国华能集团清洁能源技术研究院高级工程师
7.	超临界流化床技术的完善与发展: a. 白马超临界示范电站存在问题与完善； b. 原因分析； c. 改进和效果； d. 超超临界 660MW 循环流化床机组技术展望（时间：一天）。	王大军	四川省电力工业调整试验所副总工程师
8.	白马 600MW 超临界 CFB 锅炉系统及运行情况: 锅炉给煤、汽水、风烟、紧急给水等系统布置及运行情况（时间：半天）。	邝伟	四川白马循环流化床示范电站有限公司发电部副主任
9.	白马 600MW 超临界 CFB 锅炉调试运行情况介绍: a. 白马 600MW 超临界 CFB 锅炉调试运行过程回顾； b. 介绍调试运行初期遇见的问题及解决方法； c. 600MW 超临界 CFB 锅炉运行经验（时间：半天）。	谢雄	四川白马循环流化床示范电站有限公司技术中心专工
10.	600MW 超临界 CFB 锅炉在东方锅炉的最新发展: a. 最新进展； b. 技术特点； c. 开发难点； d. 运行情况与成效； e. 展望未来（时间：半天）。	苏虎	东方电气集团东方锅炉股份有限公司产品开发一部副部长
11.	哈锅超临界循环流化床锅炉技术: a. 哈锅超临界 CFB 锅炉的技术发展概况； b. 超临界 CFB 锅炉水冷壁及水动力的设计； c. 保证超临界 CFB 锅炉性能指标的措施； d. 超临界 CFB 锅炉脱硫和脱硝技术； e. 超临界 CFB 锅炉节能降耗措施； f. 超临界 CFB 锅炉运行控制要点的探讨； g. 循环流化床锅炉技术展望（时间：半天）。	王君峰	哈尔滨锅炉厂有限责任公司锅炉设计开发处设计总工程师
序	相关讲座内容	报告人	单位/职称/职务

12.	大型循环流化床锅炉掺烧煤泥清洁发电技术研究: a. 研究背景; b. CFB 掺烧煤泥燃烧方式综述; c. 煤泥制备系统介绍; d. 煤泥枪的防堵与结构改进; e. CFB 掺烧煤泥后对锅炉运行的影响; f. CFB 掺烧煤泥经济性分析。	刘彦鹏	中国大唐科学研究院高级工程师
13.	330MW 循环流化床机组节能减排改造与优化: a. 混煤燃烧优化与参数控制; b. 高压电机的变频改造; c. SNCR 脱硝系统运行优化; d. 石灰石制备、输送、添加系统改造及优化。	孟洛伟	湖北宜昌东阳光火力发电有限公司副总经理
14.	CFB 锅炉灰循环的探讨: a. 灰循环的设计因素; b. 灰循环的煤种对应性因素; c. 灰循环的筛分因素; d. 灰循环的运行调整因素; e. 灰循环对环保指标的影响。	杨彦卿	神东电力公司萨拉齐电厂副厂长
15.	关于 CFB 卫燃带、落煤口等防磨耐火材料应用的探讨与分析: a. CFB 中的耐磨耐火材料及其应用特点; b. CFB 中耐磨耐火材料在应用中存在的主要问题; c. CFB 中卫燃带、落煤口部位等防磨耐火材料应用探讨与分析; d. CFB 中耐火材料损毁问题的技术解决方案与设想; e. 基本结论 (20 分钟)。	张强	武汉理工大学材料学院陶瓷研究所所长
16.	内模控制在炉内脱硫系统控制中的应用: a. 模糊内模控制算法及在炉内脱硫系统控制中的应用 (1. 模型辨识; 2. 内模 PID 模糊化; 3. 等效 PID 反馈控制器参数计算; 4. PID 参数模糊化; 5. 炉内脱硫控制系统仿真及分析); b. 变滤波器参数的内模控制器及在炉内脱硫系统控制中的应用设计 (1. 内模控制; 2. 内模控制器的等效变换; 3. 变滤波器时间常数内模控制器设计; 4. 变滤波器时间常数的内模控制在炉内脱硫系统中的应用) (30 分钟)。	白建云	山西大学教授
17.	CFB 锅炉防磨表面技术应用现状: a. 表面技术概述; b. CFB 锅炉磨损机理及相关因素和目前常用防磨手段; c. 适用于 CFB 锅炉表面技术-热喷涂技术; d. 防磨技术展望。	吴树辉	苏州热工院教授级高级工程师
18.	灵式滚筒冷渣机-适用于大型 CFB 机组的冷渣: a.; b.; c.; d. ....。	.....	青岛松灵电力环保设备有限公司.....
19.	..... (时间: 半天)。	肖峰	上海锅炉厂有限公司副总工程师
20.	.....: a.; b.; c.; d. ....。	.....	.....
21.	.....: a.; b.; c.; d. ....。	.....	.....

附件 1

首届超临界循环流化床锅炉技术研讨会暨高级培训班
发言回执表

单位名称:

报告人		职务/职称		部门		手机	
电话		传真		E-mail			
报告题目						报告时间	分钟
报告简介							
有何建议							

注：请将此表传真至：4006981163 转 26965；或发至邮箱 rd8856@vip.163.com

附件 2

首届超临界循环流化床锅炉技术研讨会暨高级培训班
参会回执表

序号	姓名	工作单位	职务/ 职称	电话	传真	手机	电子邮件	住房要求	
								单住	合住
地址、邮编及其他内容:									

单位公章

备注:

- 1、此表复印有效；请务必将各项内容填写完整并加盖单位公章。
- 2、回执请发至传真：4006981163 转 26965；或扫描发至邮箱 rd8856@vip.163.com

循环流化床锅炉技术 2014 年会会议报道

由中国电力科技网主办，神华国神集团协办的“循环流化床锅炉技术 2014 年会”8月27-28日在内蒙古包头召开，22位资深专家、技术高管与来自高等院校、调试院所、电力设计院、锅炉厂、发电厂及配套厂商等单位科技工作者，齐聚一堂，共同探讨、总结、推广循环流化床领域研究成果，探讨未来技术发展方向，有针对性地解决现场存在问题。



会场

会议由中国电力科技网魏毓璞主任致辞，为交流先进技术，面向国内数千台锅炉提供安装、调试、运行、检修、状态监测、节电节煤、防止磨损、低热值煤燃烧典型案例分析及有效解决措施，并对提高燃烧效率，降低粉尘和污染气体排放以及超临界机组研发热点、焦点问题进行研讨，中国电力科技网顺应时势召开“循环流化床锅炉技术 2014 年会”，得到广大同仁积极响应，未来几年将迎来循环流化床飞速发展一个重要时期。

神华国神集团公司生产副总经理/教授级高级工程师刘志强致欢迎辞并发表“CFB 行业发展大有可为”主题演讲。国神集团公司作为资源综合利用发电公司，见证并经历了国内 CFB 锅炉从小型到大型发展的全部历程，经过 20 多年不断探索和实践，走出一条 CFB 健康发展的实践之路，引领我国 CFB 发电行业发展。从

CFB 技术发展、装机规模、可靠性、煤种适应性、环保特性、大型化等方面分析了 CFB 发电行业的现状；基于国家能源形势、生态环境压力，大量煤矸石、煤泥、洗中煤排弃堆存量仍以每年亿吨的速度递增，为 CFB 机组燃烧低热值煤提供了广阔的空间。CFB 机组可以做到和煤粉炉一样可靠：从国家政策支持、CFB 炉内高效脱硫脱硝环保优势、大型化发展、人才队伍培养等方面分析了发展 CFB 机组的优势，认为 CFB 发电行业发展潜力巨大，大有可为；从集中优势资源解决行业发展壁垒、完善相关技术规范和标准、大容量/高参数的 CFB 机组推广、优化经济技术指标、国家政策落实、资源综合利用的认定条件等方面进行深入思考并提出呼吁，助力 CFB 机组的事业发展。



刘志强

清华大学热能工程系教授毛建雄发表“燃烧低阶煤的大容量煤粉炉和循环流化床锅炉的比较”演讲。现在，中国已是超临界和超超临界煤粉炉世界上数量最多，容量最大的国家；同时，我国循环流化床锅炉技术已经发展到大容量超临界的水平，并且在一定程度上能够和煤粉炉竞争。CFB 发展到 600MWe 超临界的这个水平上，不再追求容量和参数，而是在煤种适应性和排放方面和煤粉炉竞争。由于 CFB 低温燃烧、燃料的灵活性、低排放等技术优点，再加上其能够燃用煤价低得多的低阶煤，因而在选用低阶煤为燃料时，无论从其对于燃烧低阶煤的适应性，还是从有吸引力

的低燃料成本，或在比较燃料特性和成本来对锅炉选型时，CFB 锅炉均具有很强的竞争性。现在，CFB 技术正逢其时，成功示范了大容量超临界 CFB 技术。而且，就超临界蒸汽参数的直流锅炉技术而言，CFB 的炉内条件大大优于煤粉炉，CFB 锅炉采用的垂直管低质量流率技术，也优于现在煤粉炉普遍采用的螺旋盘管技术。因此，在燃烧低阶煤的超临界锅炉竞争中，CFB 是不占下风的。对于大容量燃烧低阶煤的电站锅炉选型时，在 600MWe 等级及以下的锅炉容量和 600°C 及以下的蒸汽温度的条件下，CFB 锅炉技术，无论在技术上和经济上，CFB 均不输给煤粉炉，只是 CFB 刚刚开始进入大容量和超临界锅炉的市场，还需要花大力气积累业绩，积累经验，但前途一定是光明的！



毛健雄

哈尔滨北方通用机电设备工程有限公司研发中心研发室主任/高级工程师马君发表“中心给料机在 CFB 机组中的应用”演讲。中心给料机卸料原理按照当前发达国家广泛采用的“先进先出”原则对各种物料进行卸料，主要适用于对储存水分大、易粘结、流动性较差的各种煤仓进行出仓卸料工作，能够完全避免因煤仓内的物料因长时间的堆积滞留或存在不流动区域而产生的堵煤现象，因此用户可以提高煤泥或劣质煤的掺烧比例，进而提高电厂的经济效益。截止目前，哈尔滨北方通用机电设备工程有限公司已经将中心给料机成功用于国内 10 余家 300MW 以上燃煤电厂中，

并得到业内的广泛认可!



魏毓璞



马君

四川白马循环流化床示范电站有限责任公司总工程师雷秀坚发表“600MWCFB 机组设计优化”演讲。分别介绍：(1) 首台 600MW 超临界 CFB 机组投产的重大意义：该机组是目前世界上投运的单机容量最大、技术最先进的超临界 CFB 机组，代表了当今循环流化床发电技术的最高水平，是我国电力工业史上取得的又一重大突破，是“产学研用”紧密结合、协同创新的典范。(2) 机组前期设计优化：锅炉方案的优化、旋风分离器形式选择、外置床的优化、二碎三筛制备系统设计优化、石灰石制备系统、机组控制系统的优化等。(3) 机组运行设备改造优化：旋风分离器超温优化、落煤管防磨优化、石灰石加入系统优化、裤衩腿内部左右侧二次风管优化、机组协调控制优化等。(4) 尚需深度研究课题：机组供电煤耗偏高、环保指标近零排放难度大、水冷壁部分设计存在安全隐患、点火通道设计布置不当等需要深入研究。

中国华能集团清洁能源技术研究院副院长/教授级高级工程师肖平发表“新烟气排放标准下 CFB 锅炉 SO_2 、 NO_x 排放控制研究与工程实践”演讲。日益严格的环保标准对 CFB 锅炉技术发展机遇与挑战并存，应针对不同机组类型和运行条件采取不同脱硫、脱硝策略。演讲通过对石灰石品质（石灰石活性及粒度）、石灰石输送系统问题、锅炉运行参数（床温和氧量）等影响 CFB 锅炉炉内脱硫的主要因素的分析 and 神华亿利 $4 \times 200\text{MW}$ CFB 锅炉脱硫改造实践，验证了大型 CFB 锅炉在采用合理的脱硫系统设计配置并优化运行参数条件下，炉内脱硫效率可达到 90% 以上（或

200mg/Nm³以下), 满足国家环保要求。另外, 对于燃用高硫煤的 CFB 锅炉, 其脱硫效率也可以达到 95%以上。对于脱硝, 大部分机组通过燃烧优化, 可实现 NO_x 在 200-250mg/Nm³ 甚至更低; 从 50MW 到 300MW 等级 CFB 锅炉 SNCR 脱硝脱硝效率在 65-85%; 采用炉内优化运行+SNCR 技术可实现 NO_x<100mg/Nm³ 甚至<50mg/Nm³。对现有机组改造 (200mg/Nm³、200mg/Nm³), 宜优先采用炉内脱硫实现 SO₂ 达标, 再视 NO_x 排放情况, 决定是否采用 SNCR; 对新建机组 (100mg/Nm³、100mg/Nm³), 宜采用炉内脱硫+尾部湿法实现 SO₂ 达标, 采用炉内低 NO_x+SNCR 实现 NO_x 排放达标。



雷秀坚

肖平

青岛松灵电力环保设备有限公司总经理郭广龙发表“浅谈冷渣机出口欧盟市场遇到的障碍和对策”演讲。随着青岛松灵的滚筒冷渣机作为中国自主品牌的整机产品第一次出口欧洲, 走向世界, 欧盟用户近乎苛刻的技术要求和配套服务的高端要求也成为包括松灵公司在内的中国企业所共同面临的挑战, 松灵公司整合各方面力量, 依靠技术创新实现客户的产品要求, 积极响应并认真完成海外项目各项严格的认证要求, 认真加强过程管理和提高售后服务质量满足客户要求。并把这些在执行海外项目过程中积累的经验有计划地应用到国内项目中, 比如研发大出力的松灵膜式滚筒冷渣机等技术含量高的新产品。由此提升了松灵公司产品品质, 从而为打造电力设备精品打下了良好的基础。

国家发改委自主研发 600MW 循环流化床专家组成员、四川省电力工业调整试验所副总工程师王大军发表“超临界循环流化床发展”演讲, 介绍了波兰南方电力公

司的Agiszd 电站世界首台超临界 CFB 锅炉和我国神华国能白马电厂世界最大的 600MW 超临界 CFB 锅炉的技术特点，介绍国内超临界 350MW、亚临界 300MW 等级循环流化床锅炉发展现状、存在的问题和解决的措施；强调积极开展项目的前期咨询可以避免设计、制造、施工的缺陷，可以大大提高机组的整体性能，减小机组后期的技术改造；针对现有超临界流化床锅炉水冷壁特点及损坏原因，进行分析，提出修复措施，对后续工程提出采用全新的设计工艺，在制造、包装、运输、现场组合方面的改进，可以从根本上解决超临界水冷壁平整度、角部的垂直度等长期困扰工程技术人员的难题，对炉膛下部水冷壁结构改进，强化耐火材料的固定基面，减小变形量，避免水冷壁的不平整导致耐火材料施工困难、部分脱落与开裂的问题。



郭广龙



王大军

中国科学院工程热物理研究所研究员包绍麟发表“循环流化床锅炉设计再认识”演讲。从旋风分离器的整体优化设计、CFB 锅炉防磨、CFB 脱硫/脱硝、超高压再热锅炉的流程设计、燃烧生物质的 CFB 锅炉设计五个方面提出了对循环流化床锅炉再设计的认识。重点提到 CFB 锅炉脱硫、脱硝：采用尾部脱硫塔可以轻松达到 100 mg/m^3 以下的排放浓度限值；目前 CFB 锅炉已经开始建设尾部湿法脱硫设备，炉内预脱硫只能做为补充。投入 SNCR 之后， NO_x 的排放均可以控制在 100 mg/m^3 的国家标准限值以下；燃烧褐煤时， NO_x 的原始排放浓度较高，达到了 300 mg/m^3 左右，但投入 SNCR 之后， NO_x 的排放也可完全控制在 100 mg/m^3 的国家标准限值以下。但到 50 mg/m^3 有难度。

科盾工业设备制造（天津）有限公司经理徐博发表“液态金属材料在 CFB 锅炉的应用”演讲。科盾工业设备制造（天津）有限公司，作为美国 Liquidmetal 公司的亚太区总部，致力于 ARMACOR 液态金属产品在中国的推广。美国 Liquidmetal 公司是世界上最早拥有非晶技术并将其成熟应用于诸多领域的科技型企业，有着非常雄厚的技术实力，被誉为“液态金属涂层的领导者”。以 ARMACOR 系列为代表的液态金属产品拥有着传统工业材料无法比拟的耐磨、耐腐蚀、抗汽蚀性能，应用领域及其广泛，其在国外电力行业的应用中有着二十年以上的成功经验，尤其在锅炉四管以及脱硫系统的防磨、防腐领域都有着突出的表现，彻底改变了传统工业材料无法在腐蚀、磨损并存工况下长久使用的局面，使设备使用寿命大幅提高至以往 4 倍以上，科盾天津成立以来，已帮助国内 60 余家电厂解决了困扰已久的难题。



包绍麟

徐博

京能集团内蒙古华宁热电有限公司总经理助理李瑞东发表“480t 循环流化床锅炉防磨防爆经验浅谈”演讲。据统计某电厂近三年的非计划停运 70%以上的是由锅炉问题导致的，而锅炉四管泄漏占机组因锅炉问题非计划停运事件的 70%以上，因此减少锅炉四管泄漏次数，将直接提高机组的可靠性和经济性。通过对受热面泄漏原因分析得知，导致该电厂受热面泄漏的主要原因为设计煤种的变化、炉内屏式受热面变形以及防磨覆盖层脱落。针对以上要因，提出了具体的预控措施，通过近两年的实施，彻底解决了受热面的泄漏问题，截止目前该电厂两台锅炉均已实现了近 600 天未发生受热面泄漏记录。

重庆大学动力工程学院锅炉燃烧研究室主任/教授卢啸风发表“CFB 锅炉燃烧低热值煤矸石应注意的问题及应对措施研究”演讲。根据我们长期的试验研究及工程经验，低热值煤矸石锅炉需要重点解决以下关键问题：燃烧低热值煤矸石使锅炉热效率降低；炉内受热面磨损严重，尾部烟道受热面磨损、积灰严重；煤矸石热值的绝对值的小幅变化，会引起锅炉运行参数（如炉温）的大幅波动；煤矸石流化床锅炉受热面布置与常规锅炉有差异；辅机设备的选型配套以及环保排放问题。研究表明，一定条件下，800-1000kcal/kg 的煤矸石，完全可以在循环流化床状态下燃烧；低热值煤矸石燃烧的稳定性、受热面布置、高温底渣热量回收等问题，在具体锅炉设计时应高度重视，认真考虑。掺烧低热值煤矸石后，尤其要注意煤矸石的破碎质量。煤矸石破碎后的粒径不能大于入炉煤的粒径，且最好是将煤与煤矸石分别破碎后，再混合送入炉内。CFB 锅炉是个系统工程，掺烧煤矸石后，应综合考虑运行参数的控制问题。



李瑞东

卢啸风

中国华能集团清洁能源技术研究院高级工程师黄中发表“CFB 锅炉节能环保一体化改造研究与工程应用”演讲。由于 CFB 锅炉及其辅助系统在设计、制造、安装、调试、辅机选型不当，相当数量的锅炉投运后出现过运行不稳定、参数不合理、燃烧效果差、热效率低、辅机电耗高、炉内磨损严重等问题。“CFB 锅炉节能环保一体化改造技术”是以理论设计为基础，以节能减排为目的，以实践经验为保障，以工程改造为手段，“辩证施治，标本兼治”：第一步：诊断试验，全面掌握待改造

CFB 锅炉真实运行数据和实际问题；第二步：方案设计，编制改造可行性研究报告，结合设计软件完成设计优化；第三步：改造实施，EPC 方式完成改造；第四步：深度优化，结合改造优化锅炉运行方式；第五步：后评价，总结改造经验，推动技术不断进步。“一体化改造”是华能清能院原创性提出的 CFB 锅炉节能环保新技术，显著降低了在役 CFB 锅炉烟气的 SO₂ 和 NO_x 排放浓度，减少了石灰石消耗量，改造后满足环保指标，显著提高锅炉效率，改善锅炉的煤种适用性和运行特性，大幅度延长锅炉连续运行周期。

国电豫源发电有限责任公司发电部主任/高级工程师张继武发表“循环流化床机组改造项目及运行技术”演讲。重点介绍了国电豫源公司 CFB 锅炉运行近 10 年来成功的改造项目，能为兄弟单位提供借鉴，避免走弯路。同时将改造的运行效果进行了较详细的介绍。比如给煤线改造、输灰系统改造、防止回料阀膨胀节烧坏改造、锅炉防磨、锅炉风帽脱落后防漏渣等都进行了介绍。



黄中

张继武

专家答疑环节，与会代表积极提出自己遇到的热点、疑难问题，专家一一给出解答。通过这个平台，权威专家与电厂生产一线工作人员多交流、多探讨，促进我国循环流化床锅炉技术的发展，为国家电力建设做出更大贡献。

中国电力报发电部主任冯义军发表讲话：很高兴有这样一个机会跟大家学习交流循环流化床锅炉技术最前沿的动态、最新的思想。通过一整天的学习，听国神刘志强副总经理，清华大学毛健雄教授，华能清洁院的肖平副院长及其他专家的演讲，

又学到一些新观点，简单的梳理，也是对会议的一个整体观察。

说到循环流化床的发展首先应该说一下当前的整个能源形势，今年上半年国家有两个对能源行业比较重要的会议，一是中央排净领导小组召开的专门针对能源的国家能源局汇报工作，对能源工作提了一些要求，谈到四个革命和一个合作，四个革命：能源的消费革命、能源的供给革命、能源的技术革命和能源的体制革命，一个合作是国际合作。二是新一届国家能源委员会的第一次会议，对当前的能源发展提了一些要求。前不久国家能源局局长吴新雄，在一三五能源规划的一个座谈会上谈了一些当前包括未来对一三五能源发展的意见，总体来看，煤炭的清洁高效利用提到了重要议事日程。今年两会期间采访国家能源局副局长、全国政协委员史玉波，他谈到一个观点，把煤炭的高效清洁利用同发展新能源摆在同等重要的位置。刚才我说的这几次会议，还有当前一些对能源行业的分析，大家可以看出，不仅仅要大力发展新能源、风电、光伏，还有史局长提出的把煤炭的高效清洁利用跟发展新能源摆在同等重要的位置。前不久能源发展“十三五”规划，能源局局长有这样一句话，也是跟循环流化床的发展紧密相关的，他提到，清洁高效开发利用煤炭，在今后较长一段时期，煤炭作为我国主体能源的地位不会改变，清洁高效利用煤炭资源是保障我国能源安全的重要基石，又提到对一三五规划编制当前的要求，新建的燃煤机组供电煤耗要低于每千瓦时 300 克，污染排放接近燃气机组排放水平，现役的 60 万千瓦及以上的机组，力争五年内供电煤耗降至每千瓦时 300 克标准。在这样一个大的形势下，毛健雄教授、刘志强副总经理、肖平副院长，他们提到了一个宏观的、整个的煤炭利用，循环流化床发展是当前能源领域一项重要的技术。通过今天的交流，刘副总提到 2013 年 4 月 14 日 600MW 白马电站的投运，可以说是超临界循环流化床的一个新阶段，在他的报告中也提到 2013 年整个装机达到 1.2 亿千瓦，单机以及总的容量居世界第一，循环流化床到了一个大容量超临界的阶段。下一步的发展，我跟毛教授交流，他提到实际上现在可以在 60 万等级多积累一些经验，并不急于到大的机组去推进。从长远来讲，国家在《洁净煤技术科技发展的“十二五”专项规划》里提到，下一步还是要推动超超临界循环流床的发展，刘总提到国神正在申请 660MW 超超临界示范项目。通过目前整个循环流化床锅炉技术达到的层面，以 600MW 一年多来的运行情况来看，会上专家和电厂代表发表的一些观点，我总结出以下四个方面：

第一、这次会议的亮点，也是近年来涌现的新趋势、新动向，整个的循环流化床发电机组可以跟煤粉炉一样的可靠。刘总提的是一样可靠，毛教授重点是把煤粉炉跟循环流化床机组燃烧褐煤进行比较，这是我想总结的第一点。本次会议交流的一个新观点，或者新动向，循环流化床机组可以跟煤粉炉机组去竞争，刘总提到可靠性不断提高，像米东电厂的1号机组达到387天，上湾电厂1号机组达到381天，可以看出可靠性不断在提高，在国家相关规划里对煤粉炉和循环流化床机组也是有要求的，同样是《洁净煤技术科技发展“十二五”专项规划》，研究循环流化床可以参考这个规划，它里面对在“十二五”期间循环流化床发电的重点任务，也是这次大会上归纳出来的亮点。说到“十二五”期间，循环流化床发电的重点任务是技术经济指标接近同容量相近燃料煤粉炉机组，通过今天尤其是刘总、毛教授的演讲，有些指标不光是接近，有的是像毛教授提到的完全可以跟它去PK，优势非常显著，安全性、环保方面不断地探讨，毛教授的一个归纳非常好，对大容量燃烧低阶煤的选型，在600MW等级及以下的和600度及以下的蒸气温度条件下循环流化床技术无论在技术和经济上均有明显优势，毛教授的研究成果，是对煤粉炉和循环流化床目前一个新的动向的判断。在比较煤粉炉和循环流化床机组整体性能时，毛教授尤其提出燃烧褐煤，燃烧褐煤应该大力发展，这也是要因地制宜的。国家褐煤主要在内蒙、云南，褐煤运输不便，长距离运输，适于就地消化，当前循环流化床达到大容量超临界水准时，像内蒙褐煤比较多的地带，发电技术应该大力提倡，这是第一点。

第二、主要对循环流化床发展环保方面进行了探讨。华能清洁院的肖平副院长、黄中高工，以及其他一些专家，今天对循环流化床的环保进行了论述。肖平副院长提到，电力报、人民日报也报道过，华能自主研发的脱硝技术首次应用于大型循环流化床锅炉，是一个创举，他还提出针对不同的机组类型和运行条件采取不同的策略，在新的烟气排放标准下，对排放控制进行的一些研究和工程实践成果，进行了分享。黄中提出他们院对节能环保创造一项新技术，电力报也进行过报道，节能环保一体化发行，改善锅炉煤种的中电投山西铝业，是首例发行。这样一些环保的梳理，可以看出，循环流化床整体性能不断提高。专家也提到当前整个节能减排领域超低排放应该是下一下，研究应用的，去年年会也有一些专家、电厂代表提出当前不是急于研究探索继续推进，当前重要的是把循环流化床环保指标，符合当前标准，今天会上也作了介绍，也有一些非常好的探索。

第三、整个会议对一些比较具体的问题进行了解答，像王总、倪教授及其他一些专家，对一些循环流化床机组的设计以及相关的疑难杂症问题进行了解答。倪教授提到四大恶性事故，华宁热电李工提到防爆防磨，掺烧煤泥的问题，包教授提到锅炉设计等，我觉得比较有借鉴意义的是白马雷总对首台 600MW 循环流化床机组的运行优化，是非常好的参考，整个设计方面，包括具体的相关问题。

第四、概括整个会议也可以看出推进技术存在一些问题。刘志强副总提的比较多，他说到电厂的资源综合利用，一些相关的电量调试优先，有待大家去呼吁争取，建议小于 3000 大卡的认定。雷总说运行一年多的首台 600MW 的电站，下一步有很多问题需要研究，当前机组煤耗偏高，环保指标近零排放，任重道远。权威专家王大军说到，整个电站的系统集成方面，在整个行业来看比较缺乏，没有整体优化，需要关注和思考。一些行业协会也在努力去解决这些问题，八月中旬中电联华能清洁两项标准的编制，一个是 135MW，也制定这样一些标准。黄中说到，发电技术现在是一个发展中的技术，这个是与时俱进的，下一步发电技术大家应该注意的是将涌现出来的优势发挥好。总而言之，新形势新情况的状态下，整个的发展像毛教授讲的，他的春天已经来临，整个技术的发展带来的优势，下一步，是一个光明的前途，给在座的从事这个行业的，一个非常亮的前程。

两天来在座的各位，听的非常认真，相信收获也非常大，接下来咱们共同把循环流化床事业往前推进，媒体发挥宣传功能，在座发现新的问题，反映新的问题，解决新的问题。



冯义军

28日，首先哈尔滨锅炉厂有限责任公司锅炉设计室主任/高级工程师高新宇发表“哈锅超临界流化床技术”演讲。十五期间，哈锅就与清华大学联合，对有关超临界循环流化床锅炉主要关键问题进行了深入详细的探索研究，形成了我国自己的超临界循环流化床锅炉设计思路，完成了600MW超临界循环流化床锅炉概念设计和关键技术的研发工作。演讲介绍了哈锅350MW、600MW超临界CFB锅炉方案，并介绍了水动力设计原则、煤泥燃烧方案、旋风分离器及回料阀选型、一次风布置方案选择、给煤及排渣的方案选择、空气预热器方案选择、控制NO_x排放的措施等哈锅超临界锅炉技术特点。

东方电气集团东方锅炉股份有限公司产品开发一部副部长/教授级高级工程师苏虎发表“趋零排放形势下大型超临界循环流化床锅炉的开发与设计”演讲。东方锅炉在世界上最大的超临界CFB锅炉四川白马示范电站正式投入商业运行以后，通过多方的数据收集，掌握了大量超临界CFB锅炉的一手收据，通过对这些数据的对比分析，东方锅炉正在研制更高效、更环保、更经济的环保型、节能型、经济型的大型超临界350MW-1300MWCFB锅炉，通过对CFB锅炉本体及相关系统的优化设计完全可以满足用户更为严格的环保要求，东方锅炉开发设计的350MW超临界CFB锅炉即将在今年年底投运运行，届时将给CFB清洁燃烧领域注入新的活力。



高新宇



苏虎

国投盘江发电有限公司运行管理部锅炉专工陈东阳发表“300MWCFB 机组大比例掺烧煤泥应用实践”演讲。盘北低热值煤发电厂（ $2 \times 300\text{MW}$ ）是国家开发投资公司在贵州省开发建设的第一个 30 万千瓦等级的低热值煤发电厂。项目投产后，每年可以消纳煤矸石、煤泥等低热值煤约 200 万吨，提供 33 亿千瓦时的清洁电能，减少煤矸石、煤泥堆积占地 100 亩，且产生的粉煤灰渣经过加工，每年还可以提供 200 万方新型建材，变废为用，变废为宝，吃干榨净。发电、粉煤灰渣综合利用合计年产值约 18 亿元。盘北低热值煤发电厂 30 万机组经运行实践，通过技术改造，煤泥综合利用量达机组耗煤总量的 60%，煤矸石利用率达机组耗煤总量的 20%。盘北低热值煤发电厂大比例掺烧煤泥实践的成功，打开了煤泥、煤矸石综合利用的瓶颈，为大容量循环流化床锅炉火力发电厂提供了实践经验。

上海锅炉厂有限公司设计处副总工程师肖峰发表“上海大型超临界循环流化床锅炉的技术方向及设想”演讲。在 350MW 超临界 CFB 锅炉的基础上进行放大技术经验，充分发挥已有的技术基础与研究成果，稳步推进 600-660 超（超）临界循环流化床锅炉的开发与市场开发，这是上锅开发 600-660 超（超）临界 CFB 锅炉方案的技术路线。炉膛布风均匀性保证、大直径旋风分离器分离效率的保证、二次风穿透对锅炉燃烧的影响是需要解决的主要问题。上锅首台 350MW 超临界 CFB 锅炉计划于 2014 年底运行，该锅炉运行的经验将为上海锅炉厂开发结构简单、性能可靠的 600-660MW 超（超）临界 CFB 锅炉提供更加有力的技术支撑。



陈东阳

肖峰

哈尔滨电力职业技术学院教授倪忠福发表“循环流化床四大恶性事故分析及解决措施”演讲。针对 CFB 锅炉灭火、结焦、爆炸、尾部再燃烧这四大恶性事故，分析其成因，通过案例分析，得出防止此类事故发生的最佳技术环节保证措施。

中国电力顾问集团公司研发中心副主任/教授级高级工程师龙辉发表“循环流化床锅炉两级脱硫脱硝案例分析”演讲。经调研，国内 300MW 循环流化床 SO_2 排放波动范围 $200\text{--}500\text{mg}/\text{m}^3$ ， NO_x 排放浓度在 $65\text{--}150\text{ mg}/\text{m}^3$ 之间，CFB 电厂仅依靠炉内脱硫和低温燃烧，已经很难满足严格的排放要求。在新的《火电厂大气污染物排放标准》下，循环流化床机组需要对烟气污染物进行协同控制，才能实现达标排放。烟气循环流化床脱硫+SNCR 脱硝+布袋除尘的技术路线是目前较为可行的一种控制方案。该方案在华能白山电厂、中石油广州分公司热电站 CFB 锅炉得到应用，系统的运行状况良好，可将 SO_2 、 NO_x 、粉尘和汞控制在新标准的限值以下。



倪忠福

龙辉

内蒙古京能总工程师郭俊发表“大比例掺烧煤泥存在的问题及采取的措施”演讲。近年来由于一次能源不断减少，煤炭价格不断飙升，环保要求日益严格，从经济环保角度考虑，循环流化床锅炉掺烧煤泥发电将是循环流化床锅炉资源综合利用的下一个重要发展方向。京泰发电有限责任公司两台 300MW 煤矸石发电机组，掺烧部分煤泥作为燃料项目，降低原料成本，增加经济效益，真正意义上实现了煤泥的综合利用。掺烧煤泥量计划为每年 70-80 万吨。2013 年达 100 万吨，显著提高能源利用效率，有利于生态环境的保护和经济效益的提高。演讲介绍了京泰发电公司煤泥掺烧情况和存在的问题及影响，并提出改进措施。

神华国神神东电力公司萨拉齐电厂副厂长杨彦卿发表“300MWCFB 锅炉炉内一体化耦合脱硫结束技术研究及应用”演讲。萨拉齐电厂 2 × 300MWCFB 锅炉是由哈尔滨锅炉厂引进 ALSTOM 技术自主研发生产的第一代产品，投产后面临燃用煤种偏离设计、AGC 投入且波动较大等困境，锅炉存在磨损、受热面超温、风量大、床温高、循环灰量不足、环保指标难以控制等问题，在神华国能（神东电力）集团公司的正确指导下萨拉齐电厂对锅炉进行了炉内一体化耦合脱硫脱硝技术改造，通过降床温改造、脱硫脱硝改造、烟气再循环改造、运行优化调整、污染物达标排放的改造及调整，取得了显著的经济效益，提升了机组的可靠性，使之更适应燃烧低热值煤，为节能减排做出了贡献。通过对现役的 CFB 锅炉采用炉内一体化耦合脱硫脱硝技术改造实现了新的环保达标排放要求，也充分证明了 CFB 锅炉特有的环保优势，促进

了社会整体减排；CFB 锅炉将会进一步促进产业的健康发展。



郭俊



杨彦卿

会议接近尾声，与会嘉宾纷纷上台表达自己参会学习的心得体会，介绍本单位和个人情况，就循环流化床锅炉技术提出宝贵的意见和建议，表示通过两天的学习获益匪浅，不虚此行。



左起：武汉理工大学材料学院陶瓷所所长/教授张强，山西国峰煤电有限责任公司总经理柳成亮，云南华电巡检司发电有限公司生技部副主任李永平，华润电力控股有限公司火电建设部锅炉主任张玉杰。

下午，应与会嘉宾的响应，邀请国家发改委自主研发 600MW 循环流化床专家组、中国电力科技网流化床首席专家王大军发表“超临界机组专题技术讲座”，邀请中国电力科技网流化床调试专家倪忠福发表“中小型机组专题技术讲座”。参会代表就以上专题提问，专家释疑解惑，台上台下互动研讨，形成良好的学术氛围。

29 日，与会嘉宾来到神华国神萨拉齐电厂收看视频、参观现场。由生产厂长杨彦卿、各部门领导和专工带队分路参观，代表认真听取介绍，与技术人员进行讨论、交流。整个参观井然有序。萨拉齐电厂整洁的厂容、职工良好的精神风貌和热情的接待给大家留下了难忘的印象。



部分代表参观萨拉齐电厂合影留念

会议由山东电视台进行全程实况录像，并制作标清 DVD 光盘和高清硬盘，以便各发电集团及所属电厂、电力设计院、科研院所、制造单位组织未参会者收看专家精彩讲演和答疑，弥补缺憾。

中国电力报

发电

特别关注

编者按 循环流化床(CFB)是清洁煤发电技术,也是我国特有的产业,也是国家能源技术创新工程的重要组成部分。2019年,我国燃煤发电装机容量新增1.1亿千瓦,其中煤电新增装机容量约0.5亿千瓦,煤电装机占比约45%。随着国家“双碳”目标的提出,煤电行业将面临更加严峻的挑战,如何提升煤电机组效率,降低排放,实现煤电的清洁化、低碳化,成为行业关注的焦点。

循环流化床发电技术迈进新时代

本报记者 冯文军



循环流化床发电技术迈进新时代

“循环流化床发电技术迈进新时代”是2019年中国电力报“特别关注”系列报道的第四篇。在上一篇报道中,我们介绍了循环流化床发电技术的原理和特点。在这一篇中,我们将重点介绍循环流化床发电技术的最新进展和未来发展。

循环流化床发电技术是一种清洁煤发电技术,具有燃烧效率高、污染物排放低、负荷调节能力强等优点。近年来,随着国家对清洁能源的重视,循环流化床发电技术得到了快速发展。目前,我国已经建成了多座大型循环流化床发电机组,装机容量达到数千万千瓦。

整体性能可与煤粉炉相媲美

循环流化床发电技术的整体性能已经可以与煤粉炉相媲美。在燃烧效率方面,循环流化床发电技术的燃烧效率可以达到90%以上,与煤粉炉相当。在污染物排放方面,循环流化床发电技术的污染物排放水平远低于煤粉炉。此外,循环流化床发电技术还具有负荷调节能力强、启动时间短等优点。

随着技术的不断进步,循环流化床发电技术的整体性能将进一步提升。未来,循环流化床发电技术将成为我国清洁能源发电的重要组成部分。

红河发电:环保底线不可逾越

红河发电集团在推进绿色发展的过程中,始终坚守环保底线,将绿色发展理念贯穿于生产经营的全过程。通过加大环保投入,采用先进的环保技术,红河发电集团实现了经济效益和社会效益的双赢。

红河发电集团积极响应国家“双碳”目标,大力推进节能减排工作。通过优化生产工艺,提高能源利用效率,红河发电集团实现了单位发电量的能耗和排放量的持续下降。同时,红河发电集团还加大了对环保设施的投入,确保各项环保指标达标排放。

金山热电:破解难题靠创新

金山热电公司面对能源供应紧张和环保要求日益严格的挑战,通过技术创新,成功破解了多项技术难题,提高了发电效率和环保水平。公司自主研发的新技术,不仅降低了生产成本,还有效减少了污染物排放。

金山热电公司坚持走创新驱动发展之路,不断加大研发投入,引进和培养了一批高水平的研发人才。通过产学研合作,金山热电公司攻克了多项关键技术难题,实现了技术突破。这些创新成果的应用,显著提升了公司的核心竞争力。

欢迎拨打发电编辑部新闻热线

告知新闻线索和员工的服务,建立及时、畅通的沟通渠道,欢迎广大新闻稿件,热忱欢迎读者来稿。新闻热线:(010)63416423 或(010)63416425 联系人:冯文军 李 倩

做优做强循环流化床发电企业

——重庆能源电力CFB科研攻关纪实

重庆能源电力集团作为我国循环流化床发电技术的重要研发基地,近年来在循环流化床发电技术的研发和应用方面取得了显著成果。通过加大科研投入,优化生产工艺,重庆能源电力集团不断提升了循环流化床发电企业的竞争力。

重庆能源电力集团坚持走产学研相结合的道路,与多家科研院所建立了紧密的合作关系。通过联合攻关,重庆能源电力集团攻克了多项关键技术难题,实现了技术突破。这些成果的应用,显著提升了循环流化床发电企业的整体水平。

专家观点

循环流化床发电技术作为清洁能源发电的重要组成部分,具有广阔的发展前景。未来,循环流化床发电技术将朝着更高效、更环保、更智能的方向发展。通过技术创新和产业升级,循环流化床发电企业将实现高质量发展。

专家认为,循环流化床发电技术的研发和应用,对于推动我国能源结构的优化和清洁能源的发展具有重要意义。未来,应进一步加大研发投入,突破关键技术,提升循环流化床发电企业的核心竞争力。

清华大学能源与动力工程系教授 李 平

中国科学院重庆绿色智能技术研究院研究员 刘 颖

中国电力科研院副院长 李 倩