

# 2015 年高等学校科学研究优秀成果奖(科学技术)推荐项目公示

推荐奖种：科技进步奖

推荐单位：清华大学

项目名称	600MW 超临界循环流化床锅炉关键技术研究与应用
<b>主要完成单位：</b> 清华大学、神华集团有限责任公司、东方电气集团东方锅炉股份有限公司、华北电力大学、中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司、中国科学院工程热物理研究所、东南大学、浙江大学、华中科技大学、中国科学院过程工程研究所、重庆大学、西安交通大学、山东电力研究院、承德石油高等专科学校	
<b>主要完成人：</b> 吕俊复、杨海瑞、李 政、唐 勇、杨 冬、张 海、李影平、周 棋、孙献斌、那永洁、周 勇、王冬平、王 维、陈汉平、卢啸风、张建胜、王玉召、郝卫东、王大军、高明明、骆仲殃、吴玉新、刘 青、陈晓平、张 楠	
<b>项目简介：</b> 本项目属于工程热物理领域。 煤炭是我国的主要能源，煤炭开采和洗选加工副产大量的低热值燃料，每年超过十亿吨。这些低热值燃料的高效清洁利用是我国能源绿色化不可或缺的一环。大量实践表明，循环流化床(CFB)燃烧因其燃料适应性广、污染控制成本低等优点，成为低热值燃料规模化清洁利用的最佳选择，得到迅速发展和应用，蒸汽参数发展到亚临界(自然循环)。为了进一步提高发电效率，在 863 计划和科技支撑计划的支持下，项目组在国际上率先开展了超临界 CFB 锅炉关键技术研究开发。经过十余年的坚持不懈的努力，取得了系列原创性成果： 1、发现了超高炉膛物料浓度纵向分布和超大床面物料浓度横向分布规律，建立了 CFB 燃烧室受热面局部换热系数半经验计算模型，揭示了低热流密度下超临界水管内流动的换热机制，开发了管内工质换热系数计算模型和流阻系数关联式、壁温预测模型，耦合这些模型获得了 CFB 炉膛的热流分布，解决了超临界 CFB 水冷壁的水动力设计和安全性问题；揭示了 CFB 双床翻动、同床波动和多循环回路并联流动非均匀性机理，提出了相应的控制方法，解决了超大 CFB 流化稳定性和均匀性问题；揭示了 CFB 中循环灰对喷氨脱硝的催化作用，提出了低成本脱硝独特技术路线；开发了超临界 CFB 整体布置技术、性能计算方法和设计技术，形成了我国自己的超临界 CFB 锅炉的整套技术体系。 2、发明了低质量流速一次上升垂直水冷壁、双面受热水冷壁、平行流外置换热器、二次风布置、回灰给煤扩散、超大布风板、多分离器均流等结构，突破了超高炉膛、超大床面和锅炉传热强烈耦合、热量分配等技术瓶颈，研制了 600MW 超临界 CFB 锅炉装备；开发了 600MW 超临界 CFB 锅炉制造工艺和制造设备。 3、开发了 600MW 超临界 CFB 锅炉系统集成设计技术，研发了大出力冷渣机等关键辅机；提出了即燃碳的概念并应用于控制模型中，发现了负荷变化的关键控制参量，实现煤水比调节的精准控制和负荷自动调节；基于机理模型，开发了 600MW 级超临界 CFB 机组仿真机；形成了 600MW 超临界 CFB 锅炉安全运行技术体系，形成了运行维护检修规程和标准。 这些创新成果用于世界首台 600MW 超临界 CFB 锅炉示范工程。性能试验表明：最大连续蒸发量 1903t/h，热效率 91.52%，锅炉原始排放浓度 $\text{NO}_x$ 为 $111.94\text{mg/m}^3$ 、 $\text{SO}_2$ 为 $192.04\text{mg/m}^3$ (脱硫效率 97.12%，Ca/S 为 2.07)，各项指标均优于目前世界其他超临界 CFB。 项目获授权发明专利 33 项、实用新型 70 项、软件著作权 6 项；发表论文 234 篇，其中 EI	

收录 148 篇、SCI 收录 60 篇、ISTP 收录 18 篇。

项目推动了国际 CFB 燃烧技术的发展,提高了我国 CFB 锅炉的国际竞争力,600MW 超临界 CFB 开始走向欧洲、东南亚。项目研发的关键技术推广用于 350MW 超临界 CFB 锅炉的开发,已形成 2 台 660MW 和 48 台 350MW 订单。近三年新增利润 2.17 亿元。中国电机工程学会和中国机械联合会联合组织的鉴定认为:“该项目成果完全自主开发,关键技术创新性显著、设备系统设计合理、制造质量优良、运行安全稳定。研究成果达到国际领先水平。”

### 推广应用情况:

600MW 超临界循环流化床锅炉关键技术成功应用于示范工程,得到了实践检验。600MW 超临界循环流化床锅炉突破了循环流化床锅炉的容量问题和参数问题,是目前世界上投运的最大容量和最高参数的循环流化床锅炉。600MW 超临界循环流化床锅炉采用超临界参数,循环流化床燃烧技术,达到高效清洁发电,具有高发电效率、低成本污染控制、启动运行方便可靠灵活、变负荷适应能力及调峰能力强、维护量低、可用率高、经济性好等优点。示范工程经过两年的运行实践,表明锅炉各项运行参数均达到设计要求,技术水平达到国际领先。

#### 主要应用单位情况

应用单位名称	应用技术	应用的起止时间	应用单位联系人/电话	经济效益(万)
东方电气集团东方锅炉股份有限公司	全部应用	2005.6-2012.4	冯杰 13890008228	21,657.55
四川白马循环流化床示范电站有限责任公司	全部应用	2012.12-至今	雷秀坚 13698308555	5502.70

通过本项目的实施,成功实现了我国 CFB 发电技术从 300MW CFB 向 600MW 等级以上的大型 CFB 锅炉发展的跨越,为低热值燃料的高效清洁规模化经济利用提供了条件,使我国大型 CFB 设计、制造、运行技术处于世界领先水平;提升了我国洁净煤技术创新能力和国际竞争力,极大的推动了我国洁净煤发电技术行业的科技进步。白马 600MW 超临界循环流化床锅炉的工程应用之后,又签订了山西中煤平朔 2×660MW 超临界循环流化床锅炉设备合同,还有多个国内的 600MW 等级项目正在前期工作中。本项目也得到了国际上的强烈关注,目前正在进行出口到罗马尼亚、土耳其、印尼等国 600MW 等级超临界 CFB 锅炉的前期工作,正在走向世界。

本项目完成后,推动了超临界循环流化床锅炉技术的发展,激发形成了 350MW 超临界循环流化床锅炉市场。本项目的关键技术用于 350MW 等级超临界循环流化床锅炉,已经形成订单 48 台。

1 台 600MW 超临界 CFB 锅炉每年可以利用劣质煤 300 万吨以上,按现有正在制造的 50 台超临界 CFB 锅炉(2 台 660MW, 48 台 350MW)计算,每年可以消纳劣质煤 1.1 亿吨以上。我国的低热值燃料每年 10 亿吨以上,对超临界 CFB 有广泛的需求,因此本项目成果具有广阔的推广应用前景。

### 曾获科技奖励情况

无

### 主要知识产权证明目录

知识产权类别	知识产权具体名称	授权或申请号	权利人	发明人
发明	一种三旋风分离器的循环流化床锅炉炉膛结构	ZL201210123470.8	清华大学	吕俊复,仇晓龙,杨海瑞,吴玉新,张海
发明	裤衩腿结构的流化床	ZL200910088898.1	清华大学	杨海瑞,张攀,刘建民,张

	锅炉一次风调节方法			海,黄宣
发明	一种低质量流率垂直水冷壁布置方法	ZL201110426610.4	清华大学	张大龙,吴玉新,吕俊复,刘青
发明	均流气动换热床	ZL200910022695.2	西安热工研究院有限公司	孙献斌,黄中,时正海,蒋敏华
发明	大型循环流化床锅炉的旋风分离器与炉膛之间的连接	ZL201010162777.X	中国科学院工程热物理所	那永洁,孙运凯,宋国良,高鸣,包绍麟,吕清刚
发明	循环流化床锅炉带二次风喷射的十字受热屏	ZL200910157103.8	浙江大学	程乐鸣,王勤辉,方梦祥,施正伦,余春江,周星龙,周劲松,王树荣,高翔,骆仲决,倪明江,岑可法
发明	一种循环流化床锅炉底渣冷却系统	ZL201010287485.9	清华大学	司小东,吕俊复,杨海瑞,岳光溪
发明	一种排渣分选装置	ZL201010188349.4	重庆大学	卢啸风,曾兵,舒陈
发明	一种过热段外包壳及制造工艺	ZL201310120264.6	东方电气集团东方锅炉股份有限公司	高洁,陈小明,邓科,王冬平,吴勇,张俊,钟力,薛燕辉
实用新型	可防止物料在料仓内架桥的加料装置	ZL200820186853.9	东南大学	陈晓平,刘道银,赵长遂,梁财
实用新型	一种超临界锅炉炉膛受热面	ZL201220047625.X	清华大学	吕俊复,胡南,杨海瑞,吴玉新,岳光溪
实用新型	一种循环流化床锅炉的热量信号监控系统	ZL201420011360.7	神华集团有限责任公司,神华国能集团有限公司,四川白马循环流化床示范电站有限责任公司	李影平,王蜀湘,雷秀坚,陈峰,吴玉平,朱玉文,王勇,莫红军,张奎
实用新型	烟尘取样装置	ZL201320311311.0	神华集团有限责任公司,神华国能集团有限公司,四川白马循环流化床示范电站有限责任公司	王蜀湘,卢啸风,白继亮,杨世明,周勇,刘昌旭,周传坤,张明胜,雷轶怡,严勤
实用新型	一种循环流化床锅炉的布风装置	ZL201320405627.6	东方电气集团东方锅炉股份有限公司	刘行磊,岳鹏飞,龚留升,孟庆松,周棋,郭强,郑兴胜
软件著作权	基于流动网络系统的锅炉通用水动力计算软件[简称锅炉水动力计算软件]V1.0	2013SR0455411	西安交通大学	杨冬,陆启亮,陈功名,潘杰
软件著作权	60万超临界循环流化床电站仿真系统	2013SR051674	四川白马循环流化床示范电站有限责任公司	四川白马循环流化床示范电站有限责任公司
软件著作权	300MWCFB 机组经济运行在线监测与指导系统	2013SR018454	四川白马循环流化床示范电站有限责任公司	四川白马循环流化床示范电站有限责任公司

主要完成人情况:

姓名	吕俊复	排名	1	职称	教授	单位	清华大学
曾获科技奖励情况	2006 年获国家科学技术进步二等奖(4/10):循环流化床锅炉本体和动态仿真关键技术的研究及产业化; 2009 年获中国石油和化学工业协会科技进步一等奖(11/15):非熔渣-熔渣分级气化技术; 2009 年获高等院校科学技术进步一等奖(5/15): 基于流态重构节能型循环流化床锅炉技术; 2010 年获中国电力科学技术二等奖(9/15):基于流态重构的 300MW 循环流化床锅炉节能运行技术。						
对本项目的创造性贡献	863、科技支撑课题负责人, 主持了超临界 CFB 锅炉关键技术的研究工作, 实现了 CFB 锅炉超高炉膛流动特性、双布风板翻床机理、炉内物料浓度分布模型、水冷壁热负荷分布规律、低热流密度下的临界质量流速、燃烧行为、NO <sub>x</sub> 控制、超临界 CFB 锅炉整体布置技术、性能计算方法、水冷壁技术、滚筒冷渣机传热、热惯性分析、超临界蒸发系统统一模型、安全运行技术等系列原始创新, 持有 30 余项相关专利, 对《主要技术创新点》所列创新点 1 至 3 做出创造性贡献。旁证材料: 1、3、7、11、12; 论文 1、2、3、6、7、9、10、12、13、14、15、21、23。						
姓名	杨海瑞	排名	2	职称	教授	单位	清华大学
曾获科技奖励情况	2003 年《DG220/9.8-13 型循环流化床锅炉推广应用》自贡市科技进步一等奖; 2005 年自贡市第三届科技杰出贡献奖(1/2); 2005 年东方电气集团科技进步一等奖(1/7); 2006 年《135MW 循环流化床锅炉》(1/5)机械工业科技进步二等奖/四川省科技进步二等奖(1/7)						
对本项目的创造性贡献	超临界 CFB 锅炉关键技术的研究的主要完成人之一, 发现了超高炉膛物料浓度纵向分布规律, 揭示了双布风板两侧床压的平衡机制和多循环回路并联流动非均匀性机理, 发现了循环灰对喷氨脱硝的催化作用, 分析了无刚性梁支撑的超长双面受热水冷壁结构强度, 提出了滚筒冷渣机的传热计算方法和模块化结构, 提出了弱流化点火技术的启动床料性质优化理论, 持有十余项相关专利, 对《主要技术创新点》所列创新点 1 至 3 做出创造性贡献。旁证材料: 专利 1、2、7、12; 论文 2、3、4、7、9、12、13、15、21、23。						
姓名	李政	排名	3	职称	教授	单位	清华大学
曾获科技奖励情况	“循环流化床锅炉本体和动态仿真关键技术的研究及产业化”—2004 年获教育部科学技术进步一等奖(2/33)/2006 年获国家科学技术进步二等奖(2/10); “火电机组状态及性能全息诊断系统”—2010 获中国电力科学与技术二等奖(1/12)。						
对本项目的创造性贡献	研究建立了 600MW 超临界循环流化床机组关键部件和过程的实时动态数学模型, 包括: 燃烧系统的机理性实时数学模型、直流蒸发系统的机理性实时数学模型、热工控制与保护系统仿真模型、锅炉事故模型、能够描述翻床现象的双布风板型 CFB 炉膛燃烧机理性全工况的动态数学模型、能够统一描述干/湿运行状态的直流蒸发系统的一体化模型等, 形成了 600MW 循环流化床机组全工况动态仿真技术, 组织实施了超临界循环流化床锅炉的仿真平台的研发和投运, 对《主要技术创新点》所列创新点 1、3 做出创造性贡献。旁证材料: 论文 25。						
姓名	唐勇	排名	4	职称	教授级高工	单位	东方电气集团东方锅炉股份有限公司
曾获科技奖励情况	2003 年《DG220/9.8-13 型循环流化床锅炉推广应用》自贡市科技进步一等奖; 2005 年自贡市第三届科技杰出贡献奖(1/2); 2005 年东方电气集团科技进步一等奖(1/7); 2006 年《135MW 循环流化床锅炉》(1/5)机械工业科技进步二等奖—/四川省科技进步二等奖(1/7)						
对本项目的创造性贡献	提出了 600MW 超临界循环流化床锅炉的关键技术研究方向, 发现了采用中、低质量流速垂直水冷壁管均能实现水动力安全性, 证明了超临界 CFB 锅炉炉膛结构和整体实现的技术可行性, 提出了高强度双层水冷布风板结构和炉膛水冷壁的吊挂装置, 主持了整体布置方案论证、600MW 超临界循环流化床锅炉的关键技术在工程设计中的实现和进一步完善, 对《主要技术创新点》所列创新点 1、2 做出创造性贡献。旁证材料: 软件著作权 15b、论文 16。						



<b>姓名</b>	<b>杨冬</b>	<b>排名</b>	<b>5</b>	<b>职称</b>	<b>教授</b>	<b>单位</b>	<b>西安交通大学</b>
<b>曾获科技奖励情况</b>	300MW、600MW 亚临界锅炉启动过程研究—2005 年获黑龙江省科学技术进步三等奖(3/7); 300MW-600MW 高参数褐煤锅炉研制及产业化—2011 年获黑龙江省科学技术进步一等奖(5/11)。						
<b>对本项目的创造性贡献</b>	实验获得了低质量流速垂直光管与内螺纹管内水换热与流动特性,得到了水冷壁传热恶化的判断准则及安全运行界限。提出了低热流密度下的水冷壁设计技术。开发了基于流动网络系统的超临界循环流化床水动力计算及壁温安全分析软件,并对水冷壁水动力进行核算,对《主要技术创新点》所列创新点 1、2 做出创造性贡献。旁证材料:软件著作权 15a; 论文 11。						
<b>姓名</b>	<b>张海</b>	<b>排名</b>	<b>6</b>	<b>职称</b>	<b>教授</b>	<b>单位</b>	<b>清华大学</b>
<b>曾获科技奖励情况</b>	循环流化床锅炉本体和动态仿真关键技术的研究及产业化—2004 年获教育部科学技术进步一等奖(15/33); 基于流态重构节能型循环流化床锅炉技术—2009 年获高等院校科学技术进步一等奖(3/15); 基于流态重构的 300MW 循环流化床锅炉节能运行技术—2010 年获中国电力科学技术二等奖(11/15)						
<b>对本项目的创造性贡献</b>	建立了双布风板型翻床的机理,发现了超高炉膛物料浓度纵向分布规律,提出了超临界 CFB 锅炉双部风板床压波动的物理机制及控制方法,揭示了宽床面床压摆动的发生条件和抑制手段,建立了基于局部物料浓度的床向水冷壁的局部传热系数半经验计算模型,发现了循环灰对喷氨脱硝的催化作用,提出滚筒冷渣机传热计算方法,申请十余项发明专利,对《主要技术创新点》所列创新点 1 至 3 做出创造性贡献。旁证材料:专利 2; 论文 2、3、6、9、14、23。						
<b>姓名</b>	<b>李影平</b>	<b>排名</b>	<b>7</b>	<b>职称</b>	<b>高级工程师</b>	<b>单位</b>	<b>神华国能集团有限公司</b>
<b>曾获科技奖励情况</b>	300MWCFB 锅炉机组示范工程及国产化—2009 年获得国家能源局科技进步三等奖; 循环流化床高硫高钙粉煤灰综合利用研究—2011 年获国网能源开发有限公司科学技术进步三等奖; 世界首台 600MW 超临界 CFB 国家示范工程关键运行控制技术研究及应用—2014 年获神华集团第四届科技进步一等奖。						
<b>对本项目的创造性贡献</b>	主持了 600MW 超临界 CFB 锅炉示范工程的建设和超临界循环流化床锅炉关键技术研究的应用,组织实施了 600MW 超临界 CFB 锅炉系统集成工程设计技术开发、大出力滚筒冷渣机等关键辅机设备研制,并对关键技术的应用中出现的问题进一步完善,参与了基于启动床料性质优化的大床面弱流化点火技术,组织 600MW 超临界 CFB 锅炉调试运行技术的研究,对《主要技术创新点》所列创新点 1 至 3 做出创造性贡献。旁证材料:专利 12、软件著作权 15b、15c。						
<b>姓名</b>	<b>周棋</b>	<b>排名</b>	<b>8</b>	<b>职称</b>	<b>高级工程师</b>	<b>单位</b>	<b>东方电气集团东方锅炉股份有限公司</b>
<b>曾获科技奖励情况</b>	燃煤洁净高效利用技术试验平台开发及应用—2015 年获得四川省人民政府科技进步二等奖(1/8); 135MW 循环流化床锅炉—2006 年获得机械工业科技进步二等奖(4/5)、获得四川省科技进步二等奖(4/7)						
<b>对本项目的创造性贡献</b>	发现了超高炉膛物料浓度纵向分布规律,提出了控制方法主持了水冷壁热流密度的现场测量,提出了管束平行于灰流向的新型外置换热器结构,可以减少灰对管屏的冲击、方便维护和检修,并研制了外置床受热面管屏的支吊结构,完成了超临界 CFB 锅炉的关键技术研究的实际应用,主持了现场调试、工程设计中实现和进一步完善,对《主要技术创新点》所列创新点 1 至 3 做出创造性贡献。旁证材料:专利 14; 论文 26。						
<b>姓名</b>	<b>孙献斌</b>	<b>排名</b>	<b>9</b>	<b>职称</b>	<b>教授级高工</b>	<b>单位</b>	<b>中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司</b>
<b>曾获科技奖励情况</b>	循环流化床锅炉关键技术的自主研发及应用-2006 年获国家科学技术进步奖二等奖(2/10); 大容量循环流化床锅炉自主研制-2010 年获国家能源科技进步二等奖(2/10)。						
<b>对本项目的创造性贡献</b>	通过试验研究,获得了紧凑式换热床灰的流动特性及受热面的传热特性,提出了 600MW 超临界循环流化床锅炉紧凑式外置换热床设计及控制策略,并将受热面防磨防振结构设计方法应用于实际工程; 研究制订了大型换热床设计导则及控制系统的设计导则,对《主要技术创新点》所列创新点 1、2 做出创造性贡献。旁证材料:专利 4; 论文 22。						

<b>姓名</b>	<b>那永洁</b>	<b>排名</b>	<b>10</b>	<b>职称</b>	<b>研究员</b>	<b>单位</b>	<b>中国科学院工程热物理研究所</b>
<b>曾获科技奖励情况</b>	无						
<b>对本项目的创造性贡献</b>	通过在 135、200、300MW 实际大型循环流化床锅炉系列大型旋风分离器上的性能测试和分析总结、数值分析,突破了旋风分离器直径不能超过 8 米的限制,提出了旋风分离器的入口通道的内侧式和外侧式的本质差别,解决了多个大型旋风分离器并联布置时流量分配均匀性难题,提出了 600MW 超临界循环流化床锅炉的旋风分离器设计导则和基本设计原理,对《主要技术创新点》所列创新点 1、2 做出创造性贡献。旁证材料:专利 5;论文 8。						
<b>姓名</b>	<b>周勇</b>	<b>排名</b>	<b>11</b>	<b>职称</b>	<b>中级</b>	<b>单位</b>	<b>四川白马循环流化床示范电站有限责任公司</b>
<b>曾获科技奖励情况</b>	世界首台 600MWCFB 国家示范工程建模与仿真研究—2014 年获神华集团第四届科技进步二等奖。						
<b>对本项目的创造性贡献</b>	参与了超高炉膛流动性现场试验、超临界循环流化床锅炉关键技术的工程应用与完善,参与了基于启动床料性质优化的大床面弱流化点火技术,参与 600MW 超临界 CFB 锅炉调试运行技术的研究,主持运行规程的编制,对《主要技术创新点》所列创新点 3 做出创造性贡献。旁证材料:专利 13、软件著作权 15b、15c。						
<b>姓名</b>	<b>王冬平</b>	<b>排名</b>	<b>12</b>	<b>职称</b>	<b>高级工程师</b>	<b>单位</b>	<b>东方电气集团东方锅炉股份有限公司</b>
<b>曾获科技奖励情况</b>	无						
<b>对本项目的创造性贡献</b>	主持了 600MW 超临界 CFB 锅炉制造工艺和设备开发,掌握了 600MW 超临界 CFB 锅炉制造工艺技术并在应用实践中,确保了 600MWCFB 锅炉设备关键部件的制造质量,对《主要技术创新点》所列创新点 2 做出创造性贡献。旁证材料:专利 9。						
<b>姓名</b>	<b>王维</b>	<b>排名</b>	<b>13</b>	<b>职称</b>	<b>研究员</b>	<b>单位</b>	<b>中国科学院过程工程研究所</b>
<b>曾获科技奖励情况</b>	循环流化床反应装置的 CFD 多尺度动态仿真关键技术、EMMS 软件及产业化—2015 年获中国科协求是杰出青年成果转化奖;2014 年获化工学会侯德榜化工科技青年奖;2008 年获中科院“卢嘉锡青年人才奖”						
<b>对本项目的创造性贡献</b>	提出了大型循环流化床燃烧室气固流动特征的数值方法,描画了多个尺度上的时空不均匀性。成功开发 EMMS 多尺度软件,并和计算流体力学工具结合,在国际上首次实现了锅炉全循环系统的三维动态模拟,燃烧室两相流动及温度分布的模拟结果与实验数据定量吻合,准确度远超普通商业软件,为优化锅炉的设计和运行提供了基础指导,对《主要技术创新点》所列创新点 1 做出创造性贡献。旁证材料:论文 5。						
<b>姓名</b>	<b>陈汉平</b>	<b>排名</b>	<b>14</b>	<b>职称</b>	<b>教授</b>	<b>单位</b>	<b>华中科技大学</b>
<b>曾获科技奖励情况</b>	高效低耗流化床燃煤工业设备关键技术及应用—2013 年国家科学技术进步二等奖(1/10);循环床下排气旋风分离技术及其应用—2004 教育部技术发明一等奖(1/6)						
<b>对本项目的创造性贡献</b>	基于热粒子示踪方法,开展给煤扩散特性的实验和数值模拟研究,建立了循环床内燃煤颗粒二维扩散数学模型,为优化大型循环床给煤点的布置、实现均匀性给煤提供了科学依据;提出了考虑扩散能力的单个给煤点对应的最大床面积,以及 600MW 超临界 CFB 的给煤方案,对《主要技术创新点》所列创新点 1、2 做出创造性贡献。旁证材料:论文 19。						
<b>姓名</b>	<b>卢啸风</b>	<b>排名</b>	<b>15</b>	<b>职称</b>	<b>教授</b>	<b>单位</b>	<b>重庆大学</b>
<b>曾获科技奖励情况</b>	采用喷气再燃技术降低燃煤锅炉 NOx 排放---2006 年获重庆市科学进步三等奖(1/5)						
<b>对本项目</b>	获得了大型循环流化床锅炉实炉工况下炉内复杂气固流动物料平衡的关键参						

的创造性贡献	数，建立了物料平衡与热平衡的关系，提出了大型循环流化床电站锅炉散热计算以及一、二次风机选型计算的修正方法，提出了分选式流化床冷渣器和返料换热的思路并得到验证，对《主要技术创新点》所列创新点 1 至 3 做出创造性贡献。旁证材料：专利 8；论文 18。						
姓名	张建胜	排名	16	职称	教授	单位	清华大学
曾获科技奖励情况	2006 年获国家科学技术进步二等奖(7/10)：循环流化床锅炉本体和动态仿真关键技术的研究及产业化；2009 年获中国石油和化学工业协会科技进步一等奖(2/15)：非熔渣-熔渣分级气化技术；2013 年获高等院校技术发明一等奖(2/15)：水煤浆清华炉煤气化技术及应用。						
对本项目的创造性贡献	建立了基于局部物料浓度的床向水冷壁的局部传热系数半经验计算模型和炉内物料浓度三维分布模型，提出了超临界直流蒸发系统模型与亚临界蒸发系统模型的统一描述方法，提出了超临界 CFB 锅炉双部风板床压波动的物理机制及控制方法，揭示了宽床面床压摆动的发生条件和抑制手段，对《主要技术创新点》所列创新点 1 做出创造性贡献。旁证材料：论文 6。						
姓名	王玉召	排名	17	职称	副教授	单位	承德石油高等专科学校
曾获科技奖励情况	循环流化床锅炉中秸秆与煤混合燃烧发电技术的研究 —2010 年获承德市科学技术进步三等奖(1/5)						
对本项目的创造性贡献	采用数值模拟和试验测量的方法，揭示了旋风分离器内气固流动流场特性和分离机理。研究了气流反窜对分离器内部流场的影响，提出了返料装置对旋风分离器的分离效果的影响机制。分析评价了结构参数和运行参数对分离器性能的影响，提出了分离器性能模型预测方法，对《主要技术创新点》所列创新点 1 做出创造性贡献。旁证材料：论文 4。						
姓名	郝卫东	排名	18	职称	高级工程师	单位	山东电力研究院
曾获科技奖励情况	超高压再热循环流化床锅炉优化运行技术研究与应用—2005 年获山东省科技进步二等奖(7/9)						
对本项目的创造性贡献	提出了水冷壁热流密度二维分布模型的特点，建立了水冷壁热流密度测量及其修正方法，主持了实际锅炉的热流密度现场测试，发现了操作条件对燃烧行为的影响，对《主要技术创新点》所列创新点 1 做出创造性贡献。旁证材料：论文 12。						
姓名	王大军	排名	19	职称	高级工程师	单位	国家电网四川省电力公司
曾获科技奖励情况	循环流化床机组大容量石灰石粉制备系统研究和应用—2015 年获电力建设科学技术进步二等奖(6/8)；采用喷气再燃技术降低燃煤锅炉 NO <sub>x</sub> 排放—2006 年获重庆试科学技术进步三奖(4/5)；刀刃铠装热电偶高温测试技术—1996 年获四川省科学技术进步三等奖(1/2)						
对本项目的创造性贡献	参加本工程技术方案论证，主持现场调试、性能测试工作和工程后期完善。开发并成功应用了大床面弱流化点火新技术和大床面非均匀给煤技术、投煤断油蓄能降压稳压综合吹管新技术、锅炉酸洗与低温烘炉同步综合新工艺、超临界 CFB 锅炉运行控制策略优化，解决了大床面升温速率低、容易结焦的问题，保证燃烧器安全，吹管效果好，缩短工期，并节约燃油，对《主要技术创新点》所列创新点 3 做出创造性贡献。旁证材料：软件著作权 15c；论文 27。						
姓名	高明明	排名	20	职称	副教授	单位	华北电力大学
曾获科技奖励情况	世界首台 600MW 超临界循环流化床机组自动控制系统研制及应用研究项目—2014 年获得中国国电集团公司科学技术进步二等奖(6/10)。						
对本项目的创造性贡献	提出了即燃碳的概念，参加控制系统锅炉模型的建立和实施，对循环流化床锅炉的燃烧特性包括静态蓄热特性、动态响应特性、燃烧发热量动态模型进行分析，建立即燃碳量计算模型、动态热量计算模型、床温模型、氧量预测模型，基于即燃碳量的风煤优化配比模型，对模型进行仿真和验证；建立活性石灰石计算模型，SO <sub>2</sub> 预测模型，基于活性石灰石的钙硫优化配比模型，对模型进行仿真和验证，对《主要技术创新点》所列创新点 3 做出创造性贡献。旁证材料：软件著作权 15c；论文 24。						



<b>姓名</b>	<b>骆仲决</b>	<b>排名</b>	<b>21</b>	<b>职称</b>	<b>教授</b>	<b>单位</b>	<b>浙江大学</b>
<b>曾获科技奖励情况</b>	“工程气固两相流动若干关键基础问题的研究” 2005 年国家自然科学奖二等奖(5/5); “电厂锅炉多种污染物协同脱除半干法烟气净化技术” 2008 年国家技术发明奖二等奖(1/6); “湿法高效脱硫及硝汞控制一体化关键技术与应用” 2012 年国家科学进步二等奖 (2/10); “基于循环流化床技术的低品位燃料洁净综合利用” 2005 年教育部科学技术奖二等奖 (1/14)						
<b>对本项目的创造性贡献</b>	组织实施开展了二次风在流化床高浓度气固相背景条件下射流射程的试验研究、大型循环流化床中二次风射程和二次风对炉膛燃烧温度的影响研究, 提出了超大炉膛二次风口布置设计原则和 600MW 超临界循环流化床锅炉二次风设计的工程方案; 进行了大型超临界循环流化床锅炉方案设计研究, 对《主要技术创新点》所列创新点 1、2 做出创造性贡献。旁证材料: 专利 6; 论文 17。						
<b>姓名</b>	<b>吴玉新</b>	<b>排名</b>	<b>22</b>	<b>职称</b>	<b>副教授</b>	<b>单位</b>	<b>清华大学</b>
<b>曾获科技奖励情况</b>	基于流态重构节能型循环流化床锅炉技术—2009 年获高等院校科学技术进步一等奖(12/15); 基于流态重构的 300MW 循环流化床锅炉节能运行技术—2010 年获中国电力科学技术二等奖(7/15)。						
<b>对本项目的创造性贡献</b>	参加多分离器并联的流动均匀性研究, 提出并联回路流量分布的多值性问题与单值性条件; 参与超临界直流蒸发系统模型的建立和水动力计算, 发现了喷氨脱硝的催化机制, 提出了滚筒冷渣机的传热计算方法, 对《主要技术创新点》所列创新点 1、2 做出创造性贡献。旁证材料: 专利 1、3; 论文 13、15、23。						
<b>姓名</b>	<b>刘青</b>	<b>排名</b>	<b>23</b>	<b>职称</b>	<b>副教授</b>	<b>单位</b>	<b>清华大学</b>
<b>曾获科技奖励情况</b>	循环流化床锅炉本体和动态仿真关键技术的研究及产业化—2004 年获教育部科学技术进步一等奖(9/33)、2006 年获国家科技进步二等奖(9/10); 基于流态重构节能型循环流化床锅炉技术—2009 年获高等院校科学技术进步一等奖(7/15); 基于流态重构的 300MW 循环流化床锅炉节能运行技术—2010 年获中国电力科学技术二等奖(13/15)。						
<b>对本项目的创造性贡献</b>	发现了超高炉膛物料浓度纵向分布规律, 揭示了双布风板两侧床压的平衡机制和多循环回路并联流动非均匀性机理, 提出了低热流密度垂直管圈水冷壁质量流速下限, 对《主要技术创新点》所列创新点 1、2 做出创造性贡献。参见专利 3; 论文 2、3、21。						
<b>姓名</b>	<b>陈晓平</b>	<b>排名</b>	<b>24</b>	<b>职称</b>	<b>教授</b>	<b>单位</b>	<b>东南大学</b>
<b>曾获科技奖励情况</b>	江苏省“333 高层次人才培养工程”中青年科学技术带头人; 2013 年教育部自然科学二等奖(6): 钙基载体循环煅烧/碳酸化反应捕集 CO <sub>2</sub> 的基础研究; 2013 年江苏省科技进步三等奖(7): 75t/h-110t/h 国产化生物质直燃锅炉系列产品; 2009 年教育部科技进步二等奖(4): 生物质大规模直燃资源化利用的关键技术研发及工程应用。						
<b>对本项目的创造性贡献</b>	探明了循环流化床锅炉回灰在流化床密相区内的扩散及其与床料的混合规律, 建立了相应的理论模型和数学模型, 实现了超临界循环流化床锅炉回灰在密相区内的扩散及其与床料混合过程的数值预报, 为大容量超临界循环流化床锅炉回灰系统以及给煤系统的优化设计和运行提供了理论指导, 对《主要技术创新点》所列创新点 1、2 做出创造性贡献。旁证材料: 专利 10; 论文 20。						
<b>姓名</b>	<b>张楠</b>	<b>排名</b>	<b>25</b>	<b>职称</b>	<b>副研究员</b>	<b>单位</b>	<b>中国科学院过程工程研究所</b>
<b>曾获科技奖励情况</b>	无						
<b>对本项目的创造性贡献</b>	参与 600MW 级大容量循环流化床锅炉内流动和反应分布情况的预测和模拟。提出了大型循环流化床燃烧室气固流动特征的多尺度模型, 形成亚网格层次的多尺度计算方法, 合理定量预测循环流化床内的两相流动分布和温度分布, 并对多个旋风分离器存在时入口固相通量的非均匀性进行了研究, 对《主要技术创新点》所列创新点 1 做出创造性贡献。旁证材料: 论文 5。						



主要完成单位及创新推广贡献:

序号	完成单位	贡献
1	清华大学	<p>600MW 超临界循环流化床锅炉关键技术和关键部件的主要完成单位，是国家科技部 863 计划（2002-2005）“超临界循环流化床”和国家科技支撑计划（2006-2011）“超临界循环流化床”项目的牵头单位，是“600MW 超临界循环流化床锅炉关键技术与应用”的主要完成单位。完成了超临界循环流化床锅炉技术可行性研究、超高炉膛物料浓度纵向分布和超大床面物料浓度横向分布规律、双布风板两侧床压的平衡机制和多循环回路并联流动非均匀性机理及控制方法、CFB 锅炉局部换热系数半经验计算方法、水冷壁热流密度分布模型、低热流密度下超临界水在光管和内螺旋管内的临界质量流速、快速床条件下床质量对 NOx 生成量的影响规律、CFB 锅炉燃烧中床质量对 NOx 排放的影响、循环灰对喷氨脱硝的催化作用、超临界 CFB 锅炉整体布置技术和性能计算方法、超高炉膛超大床面和锅-炉传热耦合关系、滚筒冷渣机的传热计算模型与结构实现、超临界 CFB 锅炉负荷控制的物理基础与控制核心因素、超临界 CFB 整体动态模型与仿真、安全运行等关键技术的系列原始创新，对本项目做出创造性贡献。</p>
2	神华集团有限责任公司	<p>600MW 超临界 CFB 锅炉示范工程业主单位，负责 600MW 超临界循环流化床锅炉工程技术研究开发和系统集成、示范工程项目建设、调试运行等。组织对锅炉方案的论证，确定锅炉总体布置设计方案；通过实炉实验，经多方对比，确定锅炉核心技术参数；针对超临界循环流化床锅炉工程项目特点，组织开发锅炉系统设计和系统集成、工程技术研究、主要辅机设备的研发、控制策略研究和优化、调试运行技术和优化等；并将相关研究成果推广应用到神华神东电力河曲电厂超临界循环流化床锅炉等项目，对本项目科技创新和推广应用做出了重大贡献。</p>
3	东方电气集团东方锅炉股份有限公司	<p>600MW 超临界循环流化床锅炉研制的主体单位。通过冷、热态试验研究、数值模拟、理论分析、制造工艺开发等相结合，进行了系统的研究和技术开发，掌握了超高炉膛中物料浓度分布规律双布风板床压不稳定规律、多回路并联流动非均匀性机理及控制方法，解决了超大容量循环流化床锅炉和超临界蒸汽参数所面临的总体布置问题、各运行工况的水动力安全性和热力系统经济性问题、6 个非对称布置汽冷旋风分离器均匀性问题、关键部件的结构设计及制造等问题，研发了低质量流速一次上升垂直水冷壁、双面受热水冷壁、外置换热器等结构，突破了超高炉膛、超大床面和锅-炉传热强烈耦合、热量分配等技术瓶颈，确保锅炉性能良好。本项目的研究成果，不仅为 660MW 超临界 CFB 锅炉研发提供技术基础，也应用于 350MW 等级的超临界 CFB 锅炉。东方锅炉积极推动产业化应用，目前除首个示范工程白马外，已有 2 台 660MW 超临界 CFB 锅炉订单，取得 350MW 等级的超临界 CFB 锅炉批量订单，从而成为世界上最大的循环流化床锅炉供应商。</p>

4	华北电力大学	<p>承担了世界首台 600MW 超临界循环流化床 (CFB) 机组自动控制系统研制及应用研究项目中锅炉动态模型分析及燃烧优化的研究工作。基于 600MW 超临界 CFB 机组非线性控制模型研究, 运用基于机理分析与运行数据的复合建模方法进行建模; 基于 600MW 超临界 CFB 机组控制策略优化研究, 提出机组节能优化与减少污染物排放的控制理论与实现技术。基于循环流化床锅炉的燃烧特性分析, 对锅炉的静态蓄热特性、动态响应特性、燃烧发热量动态过程进行了研究; 建立即燃碳量计算模型、动态热量计算模型、床温模型、氧量预测模型, 提出了基于即燃碳量的风煤优化配比模型, 对模型进行仿真和验证, 应用于控制系统; 建立活性石灰石计算模型, SO<sub>2</sub> 预测模型, 提出了基于活性石灰石的钙硫优化配比模型, 对模型进行仿真和验证, 应用于控制系统。</p>
5	中国华能集团清洁能源技术研究院有限公司	<p>针对 600MW 超临界 CFB 锅炉的研制需要, 系统的研究了大型换热床技术, 在冷、热态试验研究的基础上, 研究提出了气动式换热床技术方案; 在国产 210MW 及 330MW CFB 锅炉上, 研究了 CFB 锅炉大型换热床的分流特性、调节特性、壁温特性, 取得了大量的工程技术数据, 为 600MW 超临界 CFB 锅炉换热床的设计提供了重要技术支撑; 研究了 CFB 锅炉大型换热床的传热过程, 提出了包括循环灰中碳燃烧过程的换热床热力计算方法; 通过对换热床及控制系统的研究开发, 形成了 600MW 超临界 CFB 锅炉换热床和控制系统的的设计方案, 编制了大型换热床和控制系统设计导则。</p>
6	中国科学院工程热物理研究所	<p>通过在 135~200~300MWe 实际大型循环流化床锅炉系列大型旋风分离器上的性能测试, 通过分析总结旋风分离器的直径从 5m—7m—8m 再到 9m 逐步放大的工程实践和设计经验, 通过在大型高效旋风分离器和料腿试验装置的性能试验研究, 通过大型旋风分离器内流场的数值分析, 突破了旋风分离器直径不能超过 8 米的限制, 明确提出了旋风分离器的入口通道的内侧式和外侧式的本质差别, 解决了多个大型旋风分离器并联布置时流量分配均匀性难题, 提出了具有自主知识产权的国产 600MW 超临界循环流化床锅炉的旋风分离器设计导则, 提供了能够满足 600MWe 超临界循环流化床锅炉性能要求的大型高效旋风分离器的基本设计原理。</p>
7	东南大学	<p>探明了循环流化床锅炉回灰在流化床密相区内的扩散及其与床料的混合规律, 建立了相应的理论模型和数学模型, 实现了超临界循环流化床锅炉回灰在密相区内的扩散及其与床料混合过程的数值预报, 为大容量超临界循环流化床锅炉回灰系统以及给煤系统的优化设计和运行提供了理论指导。</p>
8	浙江大学	<p>负责建立了大型超临界循环流化床锅炉二次风设计原则, 解决了大型超临界循环流化床锅炉设计过程中二次风配置的相关问题, 提供 600MW 超临界循环流化床锅炉二次风设计的工程方案。进行了超临界循环流化床锅炉炉膛热力计算方法和循环流化床锅炉过/再热器壁温计算方法研究, 编制完成循环流化床锅炉过/再热器壁温计算软件和循环流化床锅炉炉膛计算程序, 进行了 600MW 超临界循环流化床锅炉炉膛热力计算和 600MW 超临界循环流化床锅炉方案设计研究, 进行了循环流化床锅炉烟风阻力计算导则研究。</p>

9	华中科技大学	建成一套可用于研究流化床内流动和扩散规律的三维实验台，采用热示踪粒子方法研究颗粒横向扩散系数随给煤口高度、流化风速和静止床高等的变化；在二维扩散流动模型的基础上建立密相区二维颗粒扩散燃烧模型，得到单个给煤点燃料供给面积、截面燃煤颗粒分布情况、影响燃煤扩散的主要因素等。研究成果为优化大型循环流化床给煤点的布置提供了科学依据，有助于实现均匀性给煤，提高锅炉效率和降低事故率。
10	中国科学院过程工程研究所	600MW 级大容量循环流化床锅炉炉膛内的多相流动、混合、燃烧反应与温度分布在时间和空间的分布上都呈现明显的不均匀性，进而严重影响锅炉的正常运行。本人及领导的课题组借助于 EMMS 多尺度分析和计算流体力学 (CFD) 工具，在国际上首次实现了锅炉全循环系统的三维动态模拟，燃烧室两相流动及温度分布的模拟结果与实验数据定量吻合，准确度远超普通商业软件，为优化锅炉的设计和运行提供了基础指导。
11	重庆大学	完成大型循环流化床电站锅炉高温循环灰回路复杂气固流动过程的物料平衡与热平衡现场实炉试验研究，获得了大型循环流化床锅炉炉内复杂气固流动过程物料平衡关键参数，建立了高温循环灰回路物料平衡与热平衡关系，提出了大型循环流化床锅炉一、二次风风机选型计算与循环流化床电站锅炉散热计算的修正方法。研制开发了用于大型循环流化床锅炉和煤矸石循环流化床工业锅炉的分选式流化床冷渣器技术以及适用于低品位燃料的循环流化床工业锅炉技术。
12	西安交通大学	负责超临界循环流化床垂直管圈水动力特性实验、动态特性研究等工作。针对首台 600MWe 超临界循环流化床锅炉研制需要，在高温高压汽水实验平台上搭建了超临界循环流化床锅炉水动力及动态特性实验系统；在宽广的亚临界、近临界和超临界参数范围内，对四种水冷壁管型进行了深入的水动力特性和动态特性实验研究，获得了膜态沸腾发生规律以及流动传热数据库，为水冷壁管子选型及确定安全设计运行参数提供了依据；开发了基于流动网络系统的超临界循环流化床锅炉水动力集成计算技术和分析软件，解决了我国目前常用串并联方法中存在的精度低、不适合复杂炉膛结构的缺点，具有完全的自主知识产权；提出了低热流密度下的水冷壁设计技术。完成了五种超临界循环流化床锅炉设计方案的水动力和动态特性计算分析，为炉膛优化设计和安全运行提供了依据。
13	山东电力研究院	提出了水冷壁热流密度二维分布模型的特点，建立了水冷壁热流密度测量及其修正方法，主持了实际锅炉的热流密度现场测试。
14	承德石油高等专科学校	采用数值模拟和试验测量的方法，揭示了旋风分离器内气固流动流场特性和分离机理。研究了气流反窜对分离器内部流场的影响，提出了返料装置对旋风分离器的分离效果的影响机制；分析评价了结构参数和运行参数对分离器性能的影响，提出了分离器性能模型预测方法。