锅炉科学技术奖推荐项目

工业锅炉节能与清洁燃烧技术及标准示范研究

项目公示内容

|  |  |
| --- | --- |
| 项目名称 | 工业锅炉节能与清洁燃烧技术及标准示范研究 |
| 主要完成人 | 齐国利(1)，常勇强(2)，张松松(3)，杜谦(4)，吴玉新（5），王乃继（6），董勇（7），王东升（8），李德标（9），高建民（10），吕俊复（11），管坚（12），崔琳（13），丁春辉（14），白丽丽（15） |
| 主要完成单位 | 1中国特种设备检测研究院  2哈尔滨工业大学  3清华大学  4煤科院节能技术有限公司  5山东大学  6煤炭科学技术研究院有限公司  7西安特种设备检验检测院 |
| 推荐单位 | 中国特种设备检测研究院 |
| 申报奖种 | 锅炉科学技术奖 |

**一、项目简介**

我国现有燃煤工业锅炉约 30万台，虽然数量上较以前有所下降，但锅炉总容量依然处于略微增长的状况，而且绝大多数新建燃煤锅炉都是大型锅炉，年用煤量约 6亿吨，约占全国年用煤总量的 20％。燃煤工业锅炉的平均运行效率只有 70-75%，具有平均提高运行效率 10-15 个百分点的节能潜力。燃煤工业锅炉每年的总能源消耗和污染排放均位居全国第二。由于我国油气资源相对短缺，预计燃煤锅炉今后还将长期被应用，而且燃煤工业锅炉由于具备供能灵活、就近输送等优点，在今后很长时间，仍然是我国分散式供能的首选方式。因此其低效、高污染已经成为亟待解决的重要节能和环境保护课题，近年来在燃烧技术、污染治理上都取得一定进步，但总体上没有改变低效、粗放的状况，分析其原因主要有燃料质量、燃烧及装备水平、污染治理及监测、运行管理等多方面的原因。特别是随着锅炉大型化、高效洁净化的发展趋势，导致原有的燃烧和环保技术、成套装备、燃烧设备设计和用煤标准、管理模式等更加不适应现代锅炉的要求。燃煤工业锅炉节能与清洁燃烧技术瓶颈是：如何实现宽负荷范围内高效燃烧与深度低氮、炉内脱硫脱硝过程的相互抑制和促进、35-80℃范围烟气显热与潜热的高效深度回收、工业锅炉系统能效关键参数表征。

本项目通过燃料提质解决燃料源头问题；通过炉内高效燃烧与NOx深度抑制及还原、脱硫增效协同作用降低污染物原始排放；通过末端余热利用提高锅炉效率；通过系统智能化监测及源荷互动仿真提高锅炉运行效率。 本项目开发的关键技术包括：复合固硫剂制备和均质化复合配煤、粒度级配优化及低能耗制粉；层燃炉焦炭层增效、活化煤焦循环的炉内 NOx 控制，调质脱硫剂活化的 SO2控制与NOx 脱除的协同；小炉膛高度条件下循环流化床内气固结构改善以强化还原性气氛，有限空间内的高效燃烧和高效脱硫；保证煤粉流动稳定性的结构设计和控制方法，有限空间低氮燃烧系统技术；冷凝/吸收高湿烟气潜热回收与污染物控制协同技术；传感器自检及智能远程监测技术和能效评价。研究数据形成了NB/T10160-2019《炭化型煤》，支持了GB/T38553-2020《工业锅炉系统节能管理要求》和GB24500-2020《工业锅炉能效限定值及能效等级》的制定。

完成了网络化检测与能效标准及计算平台方面，通过建立工业锅炉能效监测系统，实现对锅炉能效参数进行实时采集、存储，通过互联网远程传输到监测系统计算机上，完成数据处理和分析，再通过视频、短信或电话形式，向监测人员和操作人员反馈，制定合理的节能措施，实现锅炉的安全运行和节能降耗,同时在能效监测系统中可嵌入锅炉运行安全监测系统，实现对锅炉安全的实时监控。研究制定适合于第三方机构进行中美锅炉能效测试方法、计算方法和计算公式，开发了中美锅炉性能试验计算平台。

项目已经建立 10 座锅炉示范工程，在配合低温余热回收的条件下，示范工程均满足热效率≥90%，NOx 原始排放≤100mg/Nm3。建立了网络化检测与能效标准及计算平台，实现了锅炉安全运行和节能降耗的同时、实时监控；开发了中美锅炉能效测试协调计算平台，实现了一次锅炉测试可同时出具基于中国和美国性能试验标准的试验报告，为出口企业提供了方便。授权中国发明专利 10 项，授权软件著作权1 项，录用/刊出论文19 篇。

**二、推广应用情况**

项目已经建立 10 座锅炉示范工程，在配合低温余热回收的条件下，示范工程均满足热效率≥90%，NOx 原始排放≤100mg/Nm3。建立了网络化检测与能效标准及计算平台，实现了锅炉安全运行和节能降耗的同时、实时监控；开发了中美锅炉能效测试协调计算平台，实现了一次锅炉测试可同时出具基于中国和美国性能试验标准的试验报告，为中国锅炉出口企业提供了支持。授权中国发明专利 10 项，授权软件著作权1 项，发表论文20篇，其中SCI收录论文10篇。

**三、曾获科技奖励情况**

**无**

**四、主要知识产权证明目录**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **序号** | **知识产权类别** | **名称** | **国（区）别** | **授权号** | **授权公告日** | **发明人** | | **权利人** |
| 1 | 发明 | 一种角度可调的工业层燃锅炉炉拱 | 中国 | ZL201811278398 | 2019 | 张松松，齐国利等 | | 山东大学，中国特种设备检测研究院 |
| 2 | 发明 | 一种锅炉外墙散热损失模拟测试装置 | 中国 | ZL201610768124.3 | 2020 | 齐国利等 | | 中国特种设备检测研究院 |
| 3 | 发明 | 一种膜式壁结构锅炉散热损失测试装置 | 中国 | ZL201510762109.3 | 2020 | 齐国利等 | | 中国特种设备检测研究院 |
| 4 | 发明 | 燃煤流化床锅炉床层温度压降测量探头 | 中国 | ZL201810123902.2 | 2019 | 王林，蔡文健，齐国利等。 | | 哈尔滨工业大学 |
| 5 | 发明 | 基于大数据的安全阀智能校验检测装置及方法 | 中国 | ZL201810976773.1 | 2019 | 李德标等 | | 西安特种设备检验检测院 |
| 6 | 发明 | 一种基于炉内燃烧处理煤化工含盐污水的方法 | 中国 | ZL201510969146.1 | 2018 | 史航，吴玉新等 | | 清华大学 |
| 7 | 发明 | 一种粉体供料方法 | 中国 | ZL201610118459.0 | 2018 | 王乃继等 | | 煤科院节能技术有限公司 |
| 8 | 发明 | 一种全膜式壁水火管锅炉 | 中国 | ZL201610118443.X | 2018 | 王乃继等 | | 煤科院节能技术有限公司 |
| 9 | 发明 | 一种提高湿法脱硫后烟气过热度的装置及使用方法 | 中国 | ZL201510932110.6 | 2018 | 董勇等 | | 山东大学 |
| 10 | 发明 | 一种带有深度除湿功能的湿法烟气脱硫塔及除湿工艺 | 中国 | ZL201510930050.4 | 2018 | 董勇等 | | 山东大学 |
| 11 | 软著 | 中美锅炉性能试验计算平台 | 中国 | 登记号：2019SR1150266 | 2019 | 中国特种设备检测研究院 | | 中国特种设备检测研究院 |
| **序号** | **知识产权类别** | **名称** | **标准类别** | **标准编号** | **标准发布日期** | **标准起草单位** | | **标准起草人** |
| 12 | 标准 | 工业锅炉系统节能管理要求 | 国家标准 | GB/T38553-2020 | 2020.3 | 中国特种设备检测研究院 | | 管坚，冷浩，齐国利等 |
| 13 | 标准 | 炭化型煤 | 行业标准 | NB/T 10160-2019 | 2019.6 | 煤炭科学技术研究院有限公司 | | 王东升等 |
| **序号** | **知识产权类别** | **论文（著作）名称** | **刊名/出版社** | **年卷期 页码** | **发表时间（年月日）** | **通讯作者（含共同作者）** | **第一作者（含共同作者）** | **论文全部作者** |
| 14 | 论文（SCI） | Numerical simulation and optimization of heat-insulation material and structure for CFB boiler | Thermal Science and Engineering Progress | 2020,20:100692 | 2020 | [Qi, GL](http://58.194.172.13/rwt/160/http/MFZHA63PP7TXE55GNNYG875MMWTGP3JPMNYXN/OutboundService.do?SID=7DOUOyinl72EndVtVrZ&mode=rrcAuthorRecordService&action=go&product=WOS&lang=zh_CN&daisIds=2551159); Liu XM | [Qi, GL](http://58.194.172.13/rwt/160/http/MFZHA63PP7TXE55GNNYG875MMWTGP3JPMNYXN/OutboundService.do?SID=7DOUOyinl72EndVtVrZ&mode=rrcAuthorRecordService&action=go&product=WOS&lang=zh_CN&daisIds=2551159) | [Qi, GL](http://58.194.172.13/rwt/160/http/MFZHA63PP7TXE55GNNYG875MMWTGP3JPMNYXN/OutboundService.do?SID=7DOUOyinl72EndVtVrZ&mode=rrcAuthorRecordService&action=go&product=WOS&lang=zh_CN&daisIds=2551159); Liu XM; [Wang, ZW](http://58.194.172.13/rwt/160/http/MFZHA63PP7TXE55GNNYG875MMWTGP3JPMNYXN/OutboundService.do?SID=7DOUOyinl72EndVtVrZ&mode=rrcAuthorRecordService&action=go&product=WOS&lang=zh_CN&daisIds=83543) ; Zhang SS; Guan J; Liu H; Qu ZG |
| 15 | 论文（SCI） | [Combustion adjustment test of circulating fluidized bed boiler](http://58.194.172.13/full_record.do?product=UA&search_mode=GeneralSearch&qid=4&SID=6AJv1ZgCLZO9qRlVQ8p&page=2&doc=14). | APPLIED THERMAL ENGINEERING | 2017, 124: 1505-1511 | 2017 | [Zhang, SS](http://58.194.172.13/rwt/160/http/MFZHA63PP7TXE55GNNYG875MMWTGP3JPMNYXN/OutboundService.do?SID=6AJv1ZgCLZO9qRlVQ8p&mode=rrcAuthorRecordService&action=go&product=WOS&lang=zh_CN&daisIds=1750817) | Qi, GL | [Qi, GL](http://58.194.172.13/rwt/160/http/MFZHA63PP7TXE55GNNYG875MMWTGP3JPMNYXN/OutboundService.do?SID=6AJv1ZgCLZO9qRlVQ8p&mode=rrcAuthorRecordService&action=go&product=WOS&lang=zh_CN&daisIds=2551159) ; [Zhang, SS](http://58.194.172.13/rwt/160/http/MFZHA63PP7TXE55GNNYG875MMWTGP3JPMNYXN/OutboundService.do?SID=6AJv1ZgCLZO9qRlVQ8p&mode=rrcAuthorRecordService&action=go&product=WOS&lang=zh_CN&daisIds=1750817); [Liu, XM](http://58.194.172.13/rwt/160/http/MFZHA63PP7TXE55GNNYG875MMWTGP3JPMNYXN/OutboundService.do?SID=6AJv1ZgCLZO9qRlVQ8p&mode=rrcAuthorRecordService&action=go&product=WOS&lang=zh_CN&daisIds=4532707); [Guan, J](http://58.194.172.13/rwt/160/http/MFZHA63PP7TXE55GNNYG875MMWTGP3JPMNYXN/OutboundService.do?SID=6AJv1ZgCLZO9qRlVQ8p&mode=rrcAuthorRecordService&action=go&product=WOS&lang=zh_CN&daisIds=35037920); [Chang, YQ](http://58.194.172.13/rwt/160/http/MFZHA63PP7TXE55GNNYG875MMWTGP3JPMNYXN/OutboundService.do?SID=6AJv1ZgCLZO9qRlVQ8p&mode=rrcAuthorRecordService&action=go&product=WOS&lang=zh_CN&daisIds=5834011); [Wang, ZW](http://58.194.172.13/rwt/160/http/MFZHA63PP7TXE55GNNYG875MMWTGP3JPMNYXN/OutboundService.do?SID=6AJv1ZgCLZO9qRlVQ8p&mode=rrcAuthorRecordService&action=go&product=WOS&lang=zh_CN&daisIds=1122946) |
| 16 | 论文（SCI） | [COMBUSTION ADJUSTMENT AND OPERATION OPTIMIZTION OF A 240 T/H CFB BOILER](http://thermalscience.vinca.rs/online-first/3767) | Thermal Science Journal | 2020, 24(5): 2689 - 2698 | 2020 | Qi, GL | [Liu, XM](http://58.194.172.13/rwt/160/http/MFZHA63PP7TXE55GNNYG875MMWTGP3JPMNYXN/OutboundService.do?SID=6AJv1ZgCLZO9qRlVQ8p&mode=rrcAuthorRecordService&action=go&product=WOS&lang=zh_CN&daisIds=4532707) | [Liu, XM](http://58.194.172.13/rwt/160/http/MFZHA63PP7TXE55GNNYG875MMWTGP3JPMNYXN/OutboundService.do?SID=6AJv1ZgCLZO9qRlVQ8p&mode=rrcAuthorRecordService&action=go&product=WOS&lang=zh_CN&daisIds=4532707); [Zhang](http://thermalscience.vinca.rs/authors/7819) SS; Chang YQ; Wang ZW; Qi GL |
| 17 | 论文（SCI） | Numerical simulation of flow behavior of topped gas-particles jet in a bubbling fluidized bed | POWDER TECHNOLOGY | 2019, 348(51-64) | 2019 | Qi, GL；Lu，HL | [Wang, L](http://58.194.172.13/rwt/160/http/MFZHA63PP7TXE55GNNYG875MMWTGP3JPMNYXN/OutboundService.do?SID=7DOUOyinl72EndVtVrZ&mode=rrcAuthorRecordService&action=go&product=WOS&lang=zh_CN&daisIds=11242382) | [Wang, L](http://58.194.172.13/rwt/160/http/MFZHA63PP7TXE55GNNYG875MMWTGP3JPMNYXN/OutboundService.do?SID=7DOUOyinl72EndVtVrZ&mode=rrcAuthorRecordService&action=go&product=WOS&lang=zh_CN&daisIds=11242382); [Qi, GL](http://58.194.172.13/rwt/160/http/MFZHA63PP7TXE55GNNYG875MMWTGP3JPMNYXN/OutboundService.do?SID=7DOUOyinl72EndVtVrZ&mode=rrcAuthorRecordService&action=go&product=WOS&lang=zh_CN&daisIds=2551159);  [Li, ZJ](http://58.194.172.13/rwt/160/http/MFZHA63PP7TXE55GNNYG875MMWTGP3JPMNYXN/OutboundService.do?SID=7DOUOyinl72EndVtVrZ&mode=rrcAuthorRecordService&action=go&product=WOS&lang=zh_CN&daisIds=31452328); [Zhang, SS](http://58.194.172.13/rwt/160/http/MFZHA63PP7TXE55GNNYG875MMWTGP3JPMNYXN/OutboundService.do?SID=7DOUOyinl72EndVtVrZ&mode=rrcAuthorRecordService&action=go&product=WOS&lang=zh_CN&daisIds=1750817); [Hassan, M](http://58.194.172.13/rwt/160/http/MFZHA63PP7TXE55GNNYG875MMWTGP3JPMNYXN/OutboundService.do?SID=7DOUOyinl72EndVtVrZ&mode=rrcAuthorRecordService&action=go&product=WOS&lang=zh_CN&daisIds=31501990); [Liu, XM](http://58.194.172.13/rwt/160/http/MFZHA63PP7TXE55GNNYG875MMWTGP3JPMNYXN/OutboundService.do?SID=7DOUOyinl72EndVtVrZ&mode=rrcAuthorRecordService&action=go&product=WOS&lang=zh_CN&daisIds=4532707); [Lu, HL](http://58.194.172.13/rwt/160/http/MFZHA63PP7TXE55GNNYG875MMWTGP3JPMNYXN/OutboundService.do?SID=7DOUOyinl72EndVtVrZ&mode=rrcAuthorRecordService&action=go&product=WOS&lang=zh_CN&daisIds=32022083) |

**五、主要完成单位及对本项目技术创新和应用的贡献**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 主要完成单位 | 排序 | 对本项目技术创新和应用的贡献 |
| 中国特种设备检测研究院 | 1 | 作为项目负责单位，中国特检院主要开展了我国锅炉标准与ASME PTC4等国外标准的比对研究，建立了中美锅炉能效测试平台；研究了温度、压力和烟气成份浓度变化时相互之间的耦合关系，开发基于运行数据处理的传感器自检技术，解决传感器的长周期运行精度递减或失效问题；开展锅炉调试技术的研究，研发了大型锅炉实现高效与低排放运行技术。提出了项目的研究内容、整体技术路线整体，协调了项目整体示范应用。 |
| 哈尔滨工业大学 | 2 | 负责层燃炉节能与清洁燃烧技术研究及工程示范。研发耦合炉膛结构协同煤焦层增效的氮氧化物控制技术；研究煤焦改性关键技术和改性煤焦-NO 反应特性，形成煤焦循环还原 NO 技术，实现脱硫与 NOx 脱除的协同。 |
| 清华大学 | 3 | 负责循环流化床工业锅炉节能与清洁燃烧技术研究及工程示范。研究小尺度炉膛空间气固两相流过程参数、燃烧气氛对NOx生成的影响规律，形成炉内NOx 低排放技术；探索小尺度炉膛还原性气氛对脱硫的影响，解耦低氮燃烧与高效脱硫两个过程，形成低氮燃烧条件下的高效炉内脱硫技术。 |
| 煤科院节能技术有限公司 | 4 | 负责煤粉工业锅炉节能与清洁燃烧技术研究及工程示范 。开发基于煤粉流动稳定性的结构设计和控制方法；开发基于 MILD（中度和深度低氧稀释）燃烧理念的小空间煤粉低氮燃烧器；研究分级送风、烟气再循环还原对NOx 排放的影响规律，形成低 NOx 燃烧和炉内脱硝的系统低氮技术。 |
| 山东大学 | 5 | 负责工业锅炉低温余能高效换热技术及装置研究与应用。研究基于露点控制的间接换热技术；研究不凝结气体分压条件下，饱和湿烟气中水蒸气间壁/接触式的冷凝特性及接触式的溶液吸收换热特性，形成协同污染物控制的低位热能高效换热技术；形成烟气余热高效回收系统集成技术及装置。 |
| 煤炭科学技术研究院有限公司 | 6 | 负责燃料提质技术与标准应用示范。开发适用于层燃炉的复合固硫剂制备技术；建立基于调质钙基脱硫剂孔隙结构优化的脱硫剂再活化技术；形成均质化复合配煤技术；开发煤粉粒度级配优化及低能耗制粉技术；研发煤粉固硫-助燃多功能制剂；研制工业锅炉燃料提质标准。 |
| 西安特种设备检验检测院 | 7 | 研究宽负荷条件下煤质、燃烧设备、辅机、烟气净化设备、余热利用装置的能效表征，建立协同安全与能效的在线监测平台。 |

**六、主要完成人情况表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 主要完成人 | 排序 | 对本项目主要科学技术贡献 |
| 齐国利 | 1 | 项目负责人，研究了温度、压力和烟气成份浓度变化时相互之间的耦合关系，开发基于运行数据处理的传感器自检技术，解决传感器的长周期运行精度递减或失效问题；开展锅炉调试技术的研究，研发了大型锅炉实现高效与低排放运行技术。提出了项目的整体技术路线整体，协调了项目整体示范应用。 |
| 常勇强 | 2 | 主要申请人，负责中美能效计算平台建设。 |
| 张松松 | 3 | 项目联系人，负责开发长周期在线监测技术与平台建设，负责课题间协调与示范工程。 |
| 杜谦 | 4 | 主要申请人，研发了耦合炉膛结构协同煤焦层增效的氮氧化物控制技术；研究煤焦改性关键技术和改性煤焦-NO 反应特性，形成煤焦循环还原 NO 技术，实现脱硫与 NOx 脱除的协同。 |
| 吴玉新 | 5 | 主要申请人，研究小尺度炉膛空间气固两相流过程参数、燃烧气氛对NOx生成的影响规律，形成炉内NOx 低排放技术；探索小尺度炉膛还原性气氛对脱硫的影响，解耦低氮燃烧与高效脱硫两个过程，形成低氮燃烧条件下的高效炉内脱硫技术。 |
| 王乃继 | 6 | 主要申请人，开发基于煤粉流动稳定性的结构设计和控制方法；开发基于 MILD（中度和深度低氧稀释）燃烧理念的小空间煤粉低氮燃烧器；研究分级送风、烟气再循环还原对NOx 排放的影响规律，形成低 NOx 燃烧和炉内脱硝的系统低氮技术。 |
| 董勇 | 7 | 主要申请人，研究基于露点控制的间接换热技术；研究高不凝结气体分压条件下，饱和湿烟气中水蒸气间壁/接触式的冷凝特性及接触式的溶液吸收换热特性，形成协同污染物控制的低位热能高效换热技术；形成烟气余热高效回收系统集成技术及装置。 |
| 王东升 | 8 | 主要申请人，开发适用于层燃炉的复合固硫剂制备技术；建立基于调质钙基脱硫剂孔隙结构优化的脱硫剂再活化技术；形成均质化复合配煤技术；开发煤粉粒度级配优化及低能耗制粉技术；研发煤粉固硫-助燃多功能制剂；研制工业锅炉燃料提质标准。 |
| 李德标 | 9 | 主要申请人，研究宽负荷条件下煤质、燃烧设备、辅机、烟气净化设备、余热利用装置的能效表征，建立协同安全与能效的在线监测平台。 |
| 高建民 | 10 | 层燃锅炉高效低氮燃烧技术指导，提出了宽负荷条件下层燃工业锅炉的低氮燃烧与SCR技术，解决了层燃锅炉宽负荷运行下超低排放难以实现的问题，协调了工程示范。 |
| 吕俊复 | 11 | 循环流化床锅炉清洁燃烧技术指导，提出了工业锅炉条件下的循环流化床高效低排放技术，协调示范工程。 |
| 管坚 | 12 | 锅炉在线监测技术指导，提出了中美锅炉能效平台建设总体技术路线，组织制定了《工业锅炉系统节能管理要求》国家标准。 |
| 崔琳 | 13 | 参与冷凝/吸收高湿烟气潜热回收与污染物控制协同技术研发 |
| 丁春辉 | 14 | 负责国内外能效标准对比，对建立中美能效平台提供了技术数据支持。 |
| 白丽丽 | 15 | 负责国内外能效标准对比，对建立在线监测平台提供了数据支持。 |