

陕西省科学技术进步奖提名书

(2026年度)

一、项目基本情况

项目名称	大型燃煤机组低成本直掺生物质降碳关键技术研究及应用
主要完成人	王学斌、李源、张勇、谭厚章、张兰、苏国新、 张志远、高礼、郭隆真、孙锦余
主要完成单位	西安交通大学、国能锦界能源有限责任公司、烟台龙源电力技术股份有限公司、 润电能源科学技术有限公司、河南省锅炉压力容器检验技术科学研究院、 国能寿光发电有限责任公司

二、提名意见（适用于部门、机构提名）

提 名 者	陕西省知识产权局	提名等级	☐ 一等奖 ☒ 二等奖及以上 ☐ 三等奖及以上
提名意见： 燃煤锅炉掺烧生物质是实现火电机组直接降碳的主要路径，但由于我国生物质资源禀赋和碳税政策与国外差异巨大，欧美高成本的掺烧模式无法直接复制，因此亟需发展适应中国国情的生物质掺烧产业模式和技术。本项目针对生物质掺烧成本高制粉输料出力小、粗颗粒燃尽差、高碱氯燃料受热面沾污严重等共性难题开展攻关，率先针对大型燃煤机组提出并建立了“成型燃料利用现役磨煤机制粉”和“原料直接粉碎制粉”两种低成本生物质掺烧模式，形成了“基于原料细粉特性的高可靠性制粉及输送”、“基于宽粒谱燃烧模型的高效低氮靶向掺烧”和“基于机理-数据融合的受热面沾污预测及智能防控”三项关键技术及成套装备。本项目技术成果应用全面覆盖300MW/600MW/1000MW、直流和旋流燃烧的大型燃煤机组，实现了我国最大碳排放行业—燃煤火电的低成本大比例直接降碳，有力推动了煤电绿色低碳转型。 本项目技术创新突出，研发的低成本生物质直掺关键技术能够适配于我国大型燃煤机组的成套技术体系与工程范式，技术水平达到国际领先，并在国内多个电厂实现了规模化应用，产生了重大经济效益与社会效益。项目材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科学技术进步奖提名条件，特提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。 说明：省科学技术奖一、二、三等奖项目，实行按等级标准提名、独立评审表决的机制。提名单者应严格依据省科学技术奖的标准条件，说明提名项目的贡献程度及等级建议。“仅提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖，“提名二等奖及以上”的评审落选项目不再降格参评三等奖。提名项目正式提交后，提名等级建议本年度不得变更。			

三、项目简介

1. 项目背景概述

本项目属于煤炭清洁高效利用领域。煤炭作为我国能源安全和电力保障的“压舱石”，其燃煤发电碳排放占全国总排放量 40%，是我国最大的碳排放来源。在“双碳”目标驱动下，2024 年国家已将生物质掺烧列为煤电低碳化改造的关键路径，明确要求煤电机组具备掺烧 10%以上生物质燃料的能力。我国生物质年可利用量逾 4 亿吨标煤，掺烧潜力巨大，煤电耦合生物质掺烧是当前实现煤电绿色转型与农林生物质消纳的最优路径。然而，现有气化耦合技术投资高昂、成型颗粒直燃技术运行成本居高不下，亟需发展适应国情的低成本直掺技术。同时，我国农林生物质高挥发分、高含水率、高碱金属等独特特性，给制粉输送、炉膛燃烧、受热面沾污防控及掺烧经济性评价等环节带来一系列工程难题，严重制约了掺烧比例的提升与系统运行的安全经济性。因此，突破低成本生物质直掺关键技术、形成适配我国大型燃煤机组的成套技术体系与工程范式，已成为推动煤电行业深度降碳进程中一项具有重大战略与现实意义的紧迫任务。

2. 主要技术内容

项目团队在科技部重点研发等项目支持下，历经十余年的持续研发，针对大型燃煤机组掺烧生物质降碳实施过程中生物质掺烧成本高、制粉输料出力小、粗颗粒燃尽差、受热面沾污严重等难题，创造性提出并发展了“成型燃料利用现役磨煤机制粉”和“原料直接粉碎制粉”两种低成本掺烧模式，构建了“可靠制粉→稳定输送→高效燃烧→智能防控”全链条技术体系，并在国内多个电厂实现了规模化应用。本项目的技术发明主要内容包括以下三个方面：

（1）基于原料细分特性的高可靠性制粉及输送技术：针对生物质制粉出力低、输送易堵磨、计量精度差的难题，通过“小试-中试-样机-示范”四步法，获得了生物质原料脆化及粉碎机制，并基于 300MW/600MW/1000MW 工程试验数据，提出了现役磨煤机 40%~50%安全运行负荷及制粉策略；针对高挥发分生物质在中速磨、高速制粉设备和粉仓中的自燃爆燃问题，提出了一种全周期惰化的制粉系统精细防爆系统。研制了高效混合器与弯头防磨结构，引射效率提升 43%，冲蚀强度降低 16%；开发了料气比 $>3.5\text{ kg/kg}$ 、输距 >500 米的高浓度稀相输送系统，实现了稳定无堵塞连续输送。研制了转子秤计量系统，动态精度 $\leq\pm 2\%$ ，解决了生物质制粉、输送、计量的入炉全流程技术难题。

（2）基于宽粒谱燃烧模型的高效低氮靶向掺烧技术：针对燃煤机组掺烧宽粒谱生物质燃尽率差的难题，发展了宽粒谱生物质颗粒热解燃烧模型，实现对宽粒谱颗粒燃尽率预测误差 $\leq 5\%$ ；基于多物理场仿真和中试验证，揭示生物质掺烧粗颗粒燃尽差的多因素机制，发展了宽粒谱生物质高效低氮燃烧器设计方法及成套装备；进而面向 300MW/600MW/1000MW 燃煤机组，提出适用于四角切圆与旋流对冲锅炉的大比例掺烧优化技术，突破了宽粒径生物质高比例高效低氮燃烧瓶颈。

（3）基于机理-数据融合的受热面沾污预测及智能防控技术：针对生物质高比例掺烧导致锅炉受热面沾污严重、精准防控难度大的行业难题，构建了基于“机理建模—数值预测—智能防护”的锅炉受热面沾污治理体系，揭示了高碱金属生物质混燃过程中受热面动态沾污机理，建立了融合机理与迁移学习的受热面动态沾污预测模型，实现了锅炉各级受热面洁净因子的精准预测；开发了基于多维度综合评判的锅炉智能吹灰系统，实现了锅炉各级受热面的按需智能吹灰，节约吹灰蒸汽耗量 47.2%，减少受热面超温时长 84.9%，解决了传统吹灰模式下蒸汽“过吹”和“欠吹”严重和受热面频繁沾污的难题，保障了高比例掺烧锅炉长周期安全经济运行。

针对国外高投资和高运行成本的生物质掺烧模式无法适应中国国情的困境，基于以上技术层面的创新和突破，率先在国内提出“成型燃料利用现役磨煤机制粉”和“原料直接粉碎制粉”两种低成本生物质掺烧模式并予以实施推广。

模式 I-“成型燃料利用现役磨煤机制粉”，电厂几乎无需增加额外投资，利用现役磨煤机、输粉系统和燃烧装备，通过制粉系统和燃烧设备运行参数调控，直接实现了机组高负荷下热量掺烧比>18%的生物质成型颗粒安全可靠的制粉-输送-燃烧，最终实现了生物质掺烧初始投资成本最低。

模式 II-“原料直接粉碎制粉”，电厂直接采购生物质原料，针对不同种类的生物质原料采用差异化的粉碎工艺实现了最低能耗的高效规模化制粉，初始投资为“气化耦合间接掺烧”模式的 1/5~1/4，同时实现了掺烧生物质原始燃料运行成本最低。

3. 授权专利和其他知识产权情况

依托本项目研究成果，授权发明专利 20 项、实用新型 6 项、软著 1 项；发布行业标准 2 项、地标 3 项、团标 1 项，发表 SCI 论文 21 篇、中文论文 23 篇。

4. 技术经济指标

（1）实现了燃煤机组 300MW/600MW/1000MW 等级全覆盖、单机掺烧生物质量 20-60 t/h、掺烧热量比 12%~18%；

（2）实现了生物质給料波动偏差<2%，生物质粉体连续稳定输送>500m；

（3）单支生物质燃烧器功率>50MW，实现燃料燃尽率>99.5%，烟气中 NO_x 排放降低 30-50 mg/Nm³；

（4）本技术在燃煤机组应用后可节约吹灰蒸汽 47.2%，减少超温时长 84.9%。

（5）技术成果通过中国电机工程学会等组织鉴定，以吕俊复院士为主任的鉴定委员会认为项目指标达到国际领先水平。

5. 应用推广及效益情况

项目成果已在国家能源和豫能控股等集团推广应用：2010 年在宝鸡二电厂完成国内第一个 300MW 等级燃煤机组利用现役磨煤机对生物质颗粒制粉掺烧的工程示范；2022 年首个 1000MW 掺烧示范（国能寿光电厂）；2023 年南阳天益电厂项目是国内第一个 600MW 等级燃煤机组生

物质原料粉碎直掺的长周期商业运行项目；国能清远电厂生物质掺烧项目是国内唯一的“新一代煤电”生物质直接掺烧降碳示范项目。项目成果应用产生了巨大的经济效益和社会效益，近三年新增销售额 14.08 亿元、新增利润 3.76 亿元。我国燃煤火电年耗标煤近 20 亿吨，若成果全面推广，可实现煤电>10%零碳燃料替代、年降碳 5 亿吨，同时带动生物质预处理装备与每年燃料供给两个千亿级市场。

四、客观评价

1. 相关部门正式作出的技术检测报告、验收意见、鉴定结论等

(1) 鉴定和验收评价

项目形成的大型燃煤机组低成本直掺生物质降碳关键技术，解决了当前煤电耦合生物质领域普遍存在的生物质预处理难度大、宽粒径颗粒燃尽困难、设备沾污严重以及经济性差等行业痛点，建立了适配于我国大型燃煤机组的低成本直掺生物质技术体系，研制了覆盖生物质高效制粉、气力输送、燃烧匹配优化以及设备沾污防控预警等全链条的系列化核心装备产品，在豫能控股、国家能源等大型发电集团完成了多次工程化示范及应用推广，为煤电绿色低碳转型与农业农村现代化协同发展提供了一套可复制、可推广的发展模式，推动了科技创新与产业创新深度融合。依托河南豫能控股股份有限公司南阳天益电厂 600MW 煤电机组建成的 40t/h 国家级生物质掺烧示范工程，成功入选国家发展改革委《绿色低碳先进技术示范项目清单（第二批）》（发改办环资〔2025〕396 号）；依托国家能源集团清远电厂 1000MW 煤电机组建成的 60t/h 生物质掺烧示范工程，成功入选新型电力系统建设能力提升试点名单（第一批）【详见附件 1-1】。

中国电机工程学会就本项目形成的低成本直掺生物质技术组织召开项目技术鉴定会，以吕俊复院士为主任的鉴定委员会认为：项目探索了新的燃煤机组掺烧生物质技术，成果有利于促进燃煤机组绿色低碳转型，具有良好的社会效益和推广应用潜力，研发的高水分原生农业生物质直燃掺烧技术及其在百万千瓦机组应用处于国际领先水平【详见附件 1-2】。

中国电力企业联合会针对本项目科学技术成果也组织召开了鉴定会，鉴定委员会一致认为项目科技成果解决了煤电机组生物质规模化、低碳化掺烧利用的行业共性难题，提高了农林废弃物的消纳规模和利用水平，满足煤电低碳化改造和新一代煤电升级指标要求，经济、社会和环保效益显著，推广应用前景广阔，达到国际领先水平【详见附件 1-3】。

(2) 技术检测报告

大唐中南电力试验研究院对南阳天益发电责任有限公司 3 号燃煤机组耦合生物质工程开展性能试验，试验结果表明：机组在 550MW 负荷下掺烧 40t/h 生物质，实现了掺烧能量比 12.14%，掺烧后炉膛出口 NO_x 和 SO_x 均降低，锅炉效率仅下降<0.2%。【详见附件 1-4】

山东中实易通集团有限公司（山东电科院全资子公司）对国内首台套 1000MW 超超临界燃煤电站生物质掺烧示范工程（国能寿光发电有限责任公司#1 锅炉）进行性能测试，测试结果表明：#1 和#2 两台锅炉均在机组负荷 900MW 和 400MW 下实现了生物质掺烧量不低于 25t/h，锅炉效率、炉膛出口 NO_x、锅炉煤粉燃烧性能以及结渣均无明显变化。【详见附件 1-5】

中能建华电电力试验研究院对江阴苏龙热电有限公司 4 号燃煤锅炉耦合生物质掺烧项目进

行性能试验，结果表明：在 110MW 机组负荷下掺烧中药渣类生物质后的锅炉效率下降<0.2%，掺烧前后的烟气臭气、SO₂、NO_x、CO、HCl、烟气中重金属含量、粉煤灰和石膏产品质量均未有显著变化。【详见附件 1-6】

山东东特环境检测有限公司对国能锦界能源有限责任公司 1 号燃煤机组耦合掺烧生物质示范项目开展了锅炉性能试验，结果表明：机组在 590MW 和 450MW 负荷下均实现了生物质掺烧量 30t/h，炉膛出口 NO_x、煤粉燃烧性能及结焦均无明显变化，但炉膛出口 SO₂ 和灰渣含碳量略有降低。【详见附件 1-7】

2. 国内外同行在重要学术刊物、学术专著、重要国际学术会议上公开发表的学术性评价意见等

(1) 美国劳伦斯伯克利国家实验室 LBNL 官方报告对“国内首个 300MW 以上等级生物质掺烧示范项目”的评价

在美国 LBNL 国家实验室 2011 年 6 月的报告 Alternative Energy Development and China's Energy Future【Nina Zheng & David G. Fridley】中指出“截止当前，在中国只有一个 300 MW 等级的煤粉电站锅炉掺烧生物质的示范项目（Wang 等）……”“In China, there is only one biomass co-firing demonstration project for a 300MW pulverized coal-fired furnace plant and large-scale deployment is not expected in the near future due to transport constraints, prohibitively high costs and lack of technological capabilities in biomass pulverization (Wang et al., 2011).”【详见附件 1-8】

(2) 国际能源署 IEA 和国际可再生能源学会 IRENA 官方报告对“国内首个 300MW 以上等级生物质掺烧示范项目”的评价

在 IEA 国际能源署和 IRENA 国际可再生能源学会 2013 年 1 月的官方报告 Biomass Co-firing Technology Brief 中指出“在中国尽管有大量在建的燃煤火电和庞大的生物质资源（每年有 4 亿吨标煤的农林生物质固废），但是截止当时由于有限的生物质掺烧发电的经验（只有 Wang 等），生物质掺烧并未得到广泛实施……”“In China, in spite of massive coal power deployment and large biomass resources (i.e. crops, forestry and woody residues amount to an equivalent of 400 million tonnes of coal per year), co-firing is not widespread because of the limited experience with biomass power generation (Wang 2011).”【详见附件 1-9】

(3) 英国皇家工程院院士、国际能源学会主席、英国利兹大学 Alan Williams 教授对“生物质燃烧烟气中碱金属硫酸化机制”的评价

英国皇家工程院院士、国际能源学会主席、英国利兹大学 Alan Williams 教授撰文大段引用本项目有关生物质燃烧烟气中碱金属硫酸化机制的结果，并特别指出“Wang 等人发现的氯化物硫酸化结果尤其有新意，在实验室观察到的硫酸盐气溶胶与实际锅炉沉积物中的硫酸盐对应，提供了硫酸盐也是导致沾污源头之一的相关直接证据”“These problems have been considered by a

number of research groups. **Of particular interest is the drop tube study by Wang et al. [8]. This provides evidence that the sulphates and especially the chlorides are the decisive species which result in ash deposits.** In that study ash deposits were compared with different amounts of vaporised KCl and SO₂ released during biomass combustion.”【 详见附件 1-10 】

五、应用情况

1. 应用情况

项目形成了燃煤机组低成本直掺生物质成套技术体系与核心装备，在国能、华能、豫能控股、华润和新元热力等完成工程化应用，并在设备制造企业实现产业升级，打造煤电低碳发展典范，为生物质掺烧提供可复制推广模式，推动科技与产业融合。

1.1 应用推广情况

① 工程应用

依托原国电宝鸡二电 300MW 机组（2010 年），完成国内首个 300MW 级掺烧生物质成型颗粒示范，燃煤替代率 18.6%，国际能源署等报告其为国内首个 300MW 以上掺烧项目。

依托南阳天益电厂 600MW 机组，建成 40t/h 国家级示范工程（2023 年），入选国家发改委《绿色低碳先进技术示范项目清单（第二批）》，为国内商业化运营标杆。

依托国能清远电厂 1000MW 机组，建成 60t/h 示范工程，入选新型电力系统建设能力提升试点名单（第一批），为国内首个厂内制粉直掺的百万机组掺烧项目。

依托陕西新元发电 55MW 热电联产机组（2018 年），建成 7t/h 粉碎直掺工程，为国内首个报道采用中储式热风送粉系统实现生物质粉料长周期掺烧项目。

依托国能寿光电厂 1000MW 机组（2022 年），完成国内首台套百万千瓦生物质掺烧示范，单台掺烧量达 25t/h。

② 技术装备应用

支撑郑州众安环保、郑州东宏、无锡杰钛、山东诺泰、招远汇潮等企业实现生物质预处理装备标准化规模制造，完成核心技术转化与产业化升级，相关产品已在豫能控股、国能、华能等成功应用，为民营企业开拓新市场。

③ 经济效益

项目核心技术自 2010 年起陆续投入工程应用，截至 2024 年 6 月已有多台机组稳定运行。近三年新增销售额 14.08 亿元，新增利润 3.76 亿元，经济和社会效益显著。

1.2 预期应用前景

我国燃煤火电年耗标煤约 20 亿吨，而生物质年产量约 4 亿吨标煤，掺烧潜力巨大，若技术逐渐推广，可实现燃煤火电 10%以上的最低成本降碳，并带动生物质预处理装备和燃料双千亿级市场，助力乡村振兴。

主要应用单位情况表					
序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人/电话
1	河南豫能控股股份有限公司	燃煤机组低成本直掺生物质技术	600MW 燃煤机组直掺生物质国家级工程示范项目：建立了 40t/h 的生物质处理生产线，年消纳秸秆、树皮、花生壳等生物质约 20 万吨。	2023 年 3 月 -2025 年 12 月	赵新军 /13525575526
2	国能寿光发电有限责任公司	燃煤机组低成本直掺生物质技术	1000MW 燃煤机组直掺生物质工程示范项目：年掺烧生物质燃料量可达 25 万吨，每年节省标煤 12.5 万	2022 年 12 月至今	马翔 /13013513960

			吨，年减少 CO ₂ 排放 28 余万吨。		
3	陕西新元发电有限公司	燃煤机组低成本直掺生物质技术	2×55MW 燃煤热电联产锅炉直掺生物质技术工程应用项目：建成 7 t/h 粉碎直掺改造工程，每年处理果木剪枝等农林废弃物 2-4 万吨。	2019 年 1 月 -2025 年 12 月	冯旭明 /15291372396
4	润电能源科学技术有限公司	燃煤机组低成本直掺生物质技术	完成生物质直掺技术的产学研研发，并在不同等级燃煤机组的工程示范及推广，构建了面向生物质掺烧的技术服务、工程咨询、装备研制及工程示范等全链条业务体系。	2021 年 1 月 -2025 年 12 月	杜莹 /13526539330
5	烟台龙源电力技术股份有限公司	燃煤机组低成本直掺生物质技术	完成生物质直掺技术的产学研研发，并在不同等级燃煤机组的工程示范及推广，构建了面向生物质掺烧的技术服务、工程咨询、装备研制及工程示范等全链条业务体系。	2021 年 4 月 -2025 年 12 月	张勇 /18353514320
6	郑州众安环保技术有限公司	燃煤机组低成本直掺生物质技术	完成技术成果产业化应用，形成了生物质掺烧成套装备核心产品。	2022 年 9 月 -2025 年 12 月	黄乾涛 /19513333655
7	郑州东宏机械设备有限公司	燃煤机组低成本直掺生物质技术	研制生物质预处理及输送成套技术装备。	2022 年 1 月 -2025 年 12 月	邢子良 /13676956456
8	无锡杰钛机械制造有限公司	燃煤机组低成本直掺生物质技术	研制了规格齐全、适用不同种类生物质预处理全套技术装备。	2021 年 1 月 -2025 年 12 月	李维柱 /18306182636
9	山东诺泰环保科技有限公司	生物质预处理技术	采用工业化烘焙预处理成套装备，实现农林废弃物规模化、连续化提质制粉生产。	2023 年 1 月至 今	孙崧淘 /13793500007
10	招远市汇潮新能源科技有限公司	生物质预处理技术	配套专用预处理成套装备，实现农林废弃物连续化规模加工制备及原料处置、制粉加工、锅炉燃烧等环节综合效益提升。	2023 年 4 月至 今	解样栋 /13999929938

六、主要知识产权和标准规范等目录（限 10 条）

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家（地区）	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	发明专利	一种电厂规模化消纳生物质的处理系统及其操作方法	中国	CN114738784B	2025/9/19	证书号第 8279720 号	西安交通大学；江苏天煜通环保科技有限公司；江苏中能电力设备有限公司	王学斌；丁为平；周澳；陈克祥；陈太文；顾斌；奚莹；张达建；戴永志
2	发明专利	一种煤与生物质耦合燃烧系统及锅炉	中国	CN112815303B	2024/9/27	证书号第 7407398 号	烟台龙源电力技术股份有限公司	范燕荣；方永旭；刘鹏飞；张勇；张超群；武学谦；庞明军；张冲；李强；于强；秦学堂
3	英文论文	Experimental investigation on biomass co-firing in a 300 MW pulverized coal-fired utility furnace in China	欧洲	DOI:10.1016/j.proci.2010.06.055	2010/8/6	Proceedings of the Combustion Institute	西安交通大学	王学斌；谭厚章*；牛艳青；穆罕默德；马林；陈二强；刘洋；刘正宁；徐通模
4	发明专利	一种锅炉受热面结渣沾污实时监测及吹灰方法和系统	中国	CN114754370B	2025/5/16	证书号第 7941833 号	润电能源科学技术有限公司	郭隆真，任利明，毛睿，杜学森，李源，廖静
5	发明专利	一种全周期惰化的制粉系统精细防爆系统	中国	CN105170296B	2018/4/17	证书号第 2885497 号	河南省锅炉压力容器安全检测研究院	李文广；张兰；王学斌；刘原一；张占奎；谭厚章；郭朝令；李占斌；崔

								晓威；韩保生；刘群安
6	发明专利	一种生物质炉和煤粉锅炉的灰渣耦合利用系统及方法	中国	CN111964094B	2025/4/25	证书号第7896108号	西安交通大学；藤县鑫隆源生物质能热电有限公司；南电能源综合利用有限公司赤水分公司；阳山南电生物质发电有限公司	孙锦余；赵小军；王学斌；薛东发；王鹏；戴高峰；毕武林；刘义
7	实用新型专利	一种生物质燃烧器布料装置	中国	CN223360681U	2025/9/19	证书号第23344198号	国能锦界能源有限责任公司；烟台龙源电力技术股份有限公司	高礼；冯宝；李平；冯伟龙；刘小波；艾宇；郭振宇；孙好英；王君；石清泉；马引生；张勇
8	实用新型专利	一种燃煤与生物质耦合发电系统	中国	CN216924337U	2022/7/8	证书号第16909988号	国能寿光发电有限责任公司（原：神华国华寿光发电有限责任公司）；烟台龙源电力技术股份有限公司	张志远；张勇；范燕荣；王锋；薛文华；高健；邢宝刚；潘振艳；单国锋；杨天亮；杜永斌
9	软件著作权	燃煤电厂掺烧生物质能耗计算与经济性分析软件 V1.0	中国	2025SR1246813	2025/7/14	软著登字第15902011号	润电能源科学技术有限公司	李源；冯灵杰；陈崧

10	中文 论文	1000 MW 燃 煤机组掺烧 沙柳成型燃 料制粉和燃 尽特性	中国	DOI: 10.1322 6/j.issn. 1006-67 72.MD DT2504 0101	2025/ 4/1	洁净 煤技 术	西安交通 大学; 国 电电力双 维内蒙古 上海庙能 源有限公 司	郭兴超; 董帅; 苏 国新; 李 磊; 李小 东; 郭海 军; 杨富 鑫; 谭厚 章; 张良; 王学斌*
----	----------	---	----	--	--------------	---------------	--	--

七、主要完成人情况表

姓 名	王学斌	排 名	1
行政职务	热能工程系副主任		
技术职称	教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 技术负责人，针对大型燃煤机组低成本直掺生物质降碳工艺在生物质原料直接粉碎制粉、燃烧组织优化和结焦腐蚀机理防控方面的主要关键核心技术，完成了国内第一个 300MW 等级燃煤机组利用现役磨煤机对生物质颗粒制粉掺烧的工程示范，并参与豫能南阳天益电厂和国能清远电厂生物质掺烧项目的部分研发工作。 对创新点 1、2、3 做出突出贡献，支撑材料：主要知识产权 1、3、5、6、10。			

姓 名	李源	排 名	2
行政职务	无		
技术职称	高级工程师		
工作单位	润电能源科学技术有限公司		
完成单位	润电能源科学技术有限公司		
对本项目主要学术贡献： 研究核心人员，负责完成了豫能南阳天益电厂作为国内第一个 600MW 等级燃煤机组生物质原料粉碎直掺的长周期商业运行项目，发展了燃用高沾污燃料的电站锅炉受热面的在线监测和智能防控技术，提出了燃煤电厂掺烧生物质能耗和经济性的计算分析方法。 对创新点 2 和 3 做出突出贡献，支撑材料：主要知识产权 4 和 9。			

姓 名	张勇	排 名	3
行政职务	研发主管		
技术职称	高级工程师		
工作单位	烟台龙源电力技术股份有限公司		
完成单位	烟台龙源电力技术股份有限公司		
对本项目主要学术贡献： 研究核心人员，提出了生物质原料粉碎直掺的工艺，研发了生物质燃烧器及炉膛适配技术，并负责完成了国能清远电厂作为国内第一个“新一代煤电”生物质直掺降碳示范项目建设和运行。 对创新点 1 和 2 做出突出贡献，支撑材料：主要知识产权 2、7、8。			

姓 名	谭厚章	排 名	4
行政职务	无		
技术职称	教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 研究核心人员，提出现役磨煤机磨制生物质颗粒燃料制粉的模式和工艺，参与生物质燃烧器和适配技术的研究，设计方案并指导现场生物质掺烧试验的开展。 对创新点 1 和 2 做出突出贡献，支撑材料：主要知识产权 3、5、10。			

姓 名	张 兰	排 名	5
行政职务	副院长（已退休）		
技术职称	正高级工程师		
工作单位	河南省锅炉压力容器检验技术科学研究院		
完成单位	河南省锅炉压力容器检验技术科学研究院		
对本项目主要学术贡献： 研究核心人员，提出了易燃易爆固体燃料制粉过程的精细防爆技术和使用生物质燃料后受热面的结焦沾污腐蚀机理及防控技术。 对创新点 1 和 3 做出突出贡献，支撑材料：主要知识产权 5。			

姓 名	苏国新	排 名	6
行政职务	副总经理		
技术职称	高级工程师		
工作单位	国能锦界能源有限责任公司		
完成单位	国能锦界能源有限责任公司		
对本项目主要学术贡献： 研究骨干，主要负责 1000MW 燃煤机组直掺生物质颗粒的工程试验和运行技术优化，作为现场试验总体负责人牵头完成了现场生物质掺烧试验。 对创新点 1 和 2 做出突出贡献，支撑材料：主要知识产权 10。			

姓 名	张志远	排 名	7
行政职务	无		
技术职称	高级工程师		
工作单位	国能寿光发电有限责任公司		
完成单位	国能寿光发电有限责任公司		
对本项目主要学术贡献： 研究骨干，主要负责国能寿光电厂 1000MW 燃煤机组直掺生物质粉体的工程项目建设、调试和现场运行优化，试验和运行技术优化，作为现场试验总体负责人牵头完成了现场生物质掺烧试验。 对创新点 1 和 2 做出突出贡献，支撑材料：主要知识产权 8。			

姓 名	高礼	排 名	8
行政职务	技术总监		
技术职称	高级工程师		
工作单位	国能锦界能源有限责任公司		
完成单位	国能锦界能源有限责任公司		
对本项目主要学术贡献： 研究骨干，主要负责国能锦界电厂 600MW 燃煤机组直掺生物质粉体的工程项目建设、调试和现场运行优化，试验和运行技术优化，作为现场试验总体负责人牵头完成了现场生物质掺烧试验。 对创新点 1 和 2 做出突出贡献，支撑材料：主要知识产权 7。			

姓 名	郭隆真	排 名	9
行政职务	无		
技术职称	高级工程师		
工作单位	润电能源科学技术有限公司		
完成单位	润电能源科学技术有限公司		
对本项目主要学术贡献： 研究骨干，参与了豫能南阳天益电厂作为国内第一个 600MW 等级燃煤机组生物质原料粉碎直掺的长周期商业运行项目，主要完成了强沾污受热面在线监测和吹灰智能控制优化方面的工作。 对创新点 1 和 3 做出突出贡献，支撑材料：主要知识产权 4。			

姓 名	孙锦余	排 名	10
行政职务	总经理		
技术职称	高级工程师		
工作单位	广州智都新能源有限公司		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 研究骨干，完成了生物质预处理工艺和装备开发以及掺烧适配技术的研究，并参与了国能清远电厂作为国内第一个“新一代煤电”生物质直掺降碳示范项目的技术研发。 对创新点 2 和 3 做出突出贡献，支撑材料：主要知识产权 6。			

八、主要完成单位情况表

单位名称	西安交通大学
对本项目主要学术贡献： 针对大型燃煤机组耦合掺烧生物质过程中普遍存在的降碳成本高、制输粉适应性差、燃烧不匹配和沾污结焦等行业难点，西安交通大学牵头组织国内相关高校科研院所开展技术攻关研发，在本项目的整体研究工作中主要负责整体项目的统筹规划、理论研究和技术研发、技术落地实施和推广应用，在科技创新及推广应用中的主要贡献体现在以下方面： （1）首次在国内完成了利用现有燃煤电厂磨机系统来磨制生物质颗粒制粉的研究，提出约束现有磨煤机磨制生物质颗粒制粉的最大上限通用负荷比例，提出利用现有磨煤机磨制生物质粉料的运行优化策略；针对不同种类生物质原料提出了差异化的预处理技术，指导相关生物质预处理设备企业在国内 300MW、600MW 和 1000MW 三个等级燃煤机组上实现了全覆盖应用。 （2）负责完成了多种类宽筛分生物质燃烧和燃尽特性研究，发展了宽筛分粒径生物质燃烧模型，并基于提出的生物质燃烧模型进一步开展生物质燃烧器以及与现有燃煤锅炉的适配优化技术，通过匹配生物质燃料种类、粒径、燃烧器结构、匹配掺烧位置和燃烧运行优化，实现了煤粉电站锅炉掺烧生物质的高效燃尽和低氮排放。 （3）负责完成了生物质掺烧与污染物控制技术研发，提出了生物质大规模、全链条掺烧技术方案，集成协同优化生物质全过程环节，大幅提升生物质掺烧规模，改善生物质掺烧效率与污染物生成。率先在国内开展大型燃煤机组直接掺烧生物质降碳的工程示范，牵头完成和参与原国电宝二电厂、国能布连电厂、国能胜利电厂、国能上海庙电厂、陕西新元热力、国能清远电厂等 10 余个燃煤机组耦合生物质项目的方案设计和工程示范。 对创新点 1、2、3 做出突出贡献，支撑材料：主要知识产权 1、3、5、6、10。	

单位名称	国能锦界能源有限责任公司
对本项目主要学术贡献： 国能锦界能源有限责任公司根据实际需要和自身发展战略，落地实施应用大型燃煤机组直掺生物质降碳技术，负责完成了 600MW 燃煤锅炉直掺沙柳生物质技术与工程示范项目，组织完成了生物质直掺工程示范应用项目的可行性论文、方案设计和工程建设，对项目的研发和技术推广应用起到关键作用。 对创新点 1 和 2 做出突出贡献，支撑材料：主要知识产权 7。	

单位名称	烟台龙源电力技术股份有限公司
对本项目主要学术贡献： 烟台龙源电力技术股份有限公司围绕大型燃煤机组低成本直掺生物质降碳关键技术研究及应用，在科技创新及推广应用中的主要贡献体现在以下方面： （1）在本项目的整体研究工作中主要负责生物质的制粉输送特性和高效清洁燃烧等相关研究，发展了基于生物质零碳燃料的燃煤电站掺烧系统工艺包，负责大型燃煤机组低成本直掺生物质技术的落地实施和工程示范项目； （2）完成了国能寿光电厂 1000MW 机组和国能锦界电厂 600MW 机组直掺生物粉料的工程示范项目建设，并完成了国能清远电厂作为国内第一个“新一代煤电”生物质直掺降碳示范项目建设和运行。目前烟台龙源电力技术股份有限公司已将该技术推广至涵盖农林废弃物（秸秆、甘蔗叶、蔬菜秸秆废弃物和树皮树根等）、畜禽粪污（牛粪和猪粪）、固体废弃物（污泥、生物滤渣和中药渣等）等。 对创新点 1 和 2 做出突出贡献，支撑材料：主要知识产权 2、7、8。	

单位名称	润电能源科学技术有限公司
对本项目主要学术贡献： 润电能源科学技术有限公司围绕大型燃煤机组低成本直掺生物质面临的技术瓶颈及工程难点，在本项目的整体研究工作中主要承担了生物质掺烧项目的规划、实施与推广，在科技创新及推广应用中的主要贡献体现在以下方面： （1）负责提出了生物质高比例掺烧系统集成与协同调控方法，完成了技术开发、装备研制系统集成、工程验证与推广应用，实现了生物质掺烧策略的动态优化，提升了掺烧机组运行稳定性、经济性与环保性。 （2）牵头建设了豫能南阳天益电厂生物质掺烧示范工程项目，该项目是国内第一个 600MW 等级燃煤机组生物质原料粉碎直掺的长周期商业运行项目。 （3）负责建立了锅炉受热面沾污预测与智能防控模型，完成算法开发、工程验证与推广应用，有效解决了锅炉高比例掺烧生物质过程中受热面沾污问题，保障了掺烧机组安全稳定、经济运行。 对创新点 1 和 3 做出突出贡献，支撑材料：主要知识产权 4 和 9。	

单位名称	河南省锅炉压力容器检验技术科学研究院
------	--------------------

对本项目主要学术贡献：

河南省锅炉压力容器检验技术科学研究院发挥自身行业优势针对大型燃煤机组耦合掺烧生物质过程中普遍存在的生物质粉体易燃易爆和受热面沾污腐蚀等行业难点，联合西安交通大学开展了10余年的攻关研究，围绕本项目开展了煤和生物质粉体爆燃特性的研究并发展了高挥发分生物质燃料制粉过程抑爆相关技术，建立了高碱高氯生物质燃料燃烧烟气在锅炉受热面的沾污机理模型并有针对性的发展了高碱高氯燃料的高温腐蚀防控技术。

对创新点1和3做出突出贡献，支撑材料：主要知识产权5。

单位名称	国能寿光发电有限责任公司
------	--------------

对本项目主要学术贡献：

国能寿光发电有限责任公司根据实际需要和自身发展战略，落地实施应用大型燃煤机组直掺生物质降碳技术，负责完成了1000MW超超临界燃煤锅炉直掺生物质技术与工程示范项目，组织完成了国内首台百万机组生物质直掺工程示范应用项目的可行性论文、方案设计和工程建设，对项目的研发和技术推广应用起到关键作用。

对创新点1和2做出突出贡献，支撑材料：主要知识产权8。

完成人合作关系说明

“大型燃煤机组低成本直掺生物质降碳关键技术研究及应用”是由西安交通大学、国能锦界能源有限责任公司、烟台龙源电力技术股份有限公司、润电能源科学技术有限公司、河南省锅炉压力容器检验技术科学研究院、国能寿光发电有限责任公司通过“产、学、研、用”的合作模式共同攻关完成的技术成果。主要完成人包括：西安交通大学王学斌、谭厚章、孙锦余，润电能源科学技术有限公司李源、郭隆真，烟台龙源电力技术股份有限公司张勇，河南省锅炉压力容器检验技术科学研究院张兰，国能锦界能源有限责任公司苏国新和高礼，国能寿光发电有限责任公司张志远。

(1) **西安交通大学王学斌、谭厚章和孙锦余**是师生和同事关系，自 2009 年开始，谭厚章和王学斌在完成国内第一个 300MW 等级燃煤机组利用现役磨煤机磨制生物质颗粒制粉掺烧的工程示范，后续孙锦余作为博士生在两位老师指导下完成了生物质燃料受热面结焦腐蚀和掺烧技术的研究；三人合作完成的部分核心知识产权包括：**成果 3、成果 5、成果 10**。

(2) **西安交通大学王学斌/谭厚章团队与河南省锅炉压力容器检验技术科学研究院张兰**自 2014 年起，在与本项目相关的煤粉电站锅炉爆燃/高温腐蚀、生物质燃烧受热面沾污机理及防控、煤粉电站锅炉协同处置有机固废开展了 5 个项目合作（见附件 2-1 至附件 2-5）；共同形成与本成果相关的专利和论文 10 余项，**纳入本项目共同完成的核心知识产权有成果 5**。

(3) **西安交通大学王学斌/谭厚章团队与润电能源科学技术有限公司李源/郭隆真团队**在 2021 年起就共同针对华润菏泽电厂生物质耦合发电研究技术的研究（合同见附件 2-7），形成的技术方案后续用于国内第一个长期商业运行的 600MW 等级生物质直接粉碎直掺项目-豫能天益电厂，双方共同发表相关领域论文和团体标准多项，**双方合作完成的技术成果于 2025 年经中国电力联合会完成鉴定：国际领先（鉴定文件见附件 1-3）；李源和郭隆真纳入本项目共同完成的核心知识产权有成果 4**。

(4) **西安交通大学与烟台龙源电力技术股份有限公司**自 2021 年开始先后共同针对国能寿光发电有限责任公司、国能锦界能源有限责任公司的生物质掺烧项目开展了联合攻关（西安交通大学与烟台龙源的合作见附件 2-8；西安交通大学与锦界电厂的合作见附件 2-6；烟台龙源分别与寿光电厂和锦界电厂的合作见附件 2-10、附件 2-11 和附件 2-9）；基于合作项目，西安交通大学王学斌和谭厚章与烟台龙源共同完成了关于电站锅炉掺烧生物质导则的电力行业标准，西安交通大学王学斌和谭厚章与锦界电厂苏国新共同完成的核心知识产权为**成果 10**，烟台龙源张勇与锦界电厂高礼和寿光电厂张志远共同完成的核心知识产权为**成果 7 和成果 8**。几方形成的技术成果于 2024 年通过了中国电机工程学会组织的鉴定：国际领先（鉴定文件见附件 1-2）。

完成人及完成单位排名严格按照对成果的实际贡献大小依次排名，人员和单位具体贡献已经在表七和表八中说明。经项目组成员充分协商，按完成人承担完成研究任务、创新点贡献、推广应用工作量等综合实际绩效依次排名，各完成人及所在单位一致同意其排序。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/ 项目排名	合作 起始时间	合作 完成时间	合作成果	证明材料
1	论文	王学斌/1 谭厚章/4	2010 年	2011 年	英文论文： Experimental investigation on biomass co-firing in a 300 MW pulverized coal-fired utility furnace in China	主要知识产权 3
2	共同知识产权	李源/2 郭隆真/9	2022 年	2025 年	发明专利：一种锅炉受热面结渣沾污实时监测及吹灰方法和系统	主要知识产权 4
3	共同知识产权	王学斌/1 谭厚章/4 张兰/5	2015 年	2018 年	发明专利：一种全周期惰化的制粉系统精细防爆系统	主要知识产权 5
4	共同知识产权	王学斌/1 孙锦余/10	2020 年	2025 年	发明专利：一种生物质炉和煤粉锅炉的灰渣耦合利用系统及方法	主要知识产权 6
5	共同知识产权	张勇/3 高礼/8	2024 年	2025 年	实用新型专利：一种生物质燃烧器布料装置	主要知识产权 7
6	共同知识产权	张勇/3 张志远/7	2021 年	2022 年	实用新型专利：一种燃煤与生物质耦合发电系统	主要知识产权 8
7	论文	王学斌/1 谭厚章/4 苏国新/6	2025 年	2025 年	中文论文：1000 MW 燃煤机组掺烧沙柳成型	主要知识产权 10
8	产业合作	王学斌/1 谭厚章/4 张兰/5 孙锦余/10	2015 年	2016 年	项目合同：大型电站煤粉锅炉炉膛爆燃预警机制及监测系统	附件 2-1
9	产业合作	王学斌/1 谭厚章/4 张兰/5 孙锦余/10	2015 年	2016 年	项目合同：燃煤锅炉炉膛高温腐蚀特性研究	附件 2-2
10	产业合作	王学斌/1 谭厚章/4 张兰/5 孙锦余/10	2017 年	2018 年	项目合同：生物质锅炉受热面结焦和腐蚀机理及防控研究	附件 2-3
11	产业	王学斌/1	2018 年	2019 年	项目合同：先进	附件 2-4

	合作	谭厚章/4 张兰/5 孙锦余/10			高效低氮煤粉燃烧技术研究	
12	产业合作	王学斌/1 谭厚章/4 张兰/5 孙锦余/10	2023 年	2024 年	项目合同：燃煤机组灵活协同处置多源有机固废的无氧热解低碳耦合技术研究	附件 2-5
13	产业合作	王学斌/1 谭厚章/4 苏国新/6 高礼/8 孙锦余/10	2021 年	2022 年	项目合同：生物质（沙柳）掺烧试验及方案研究合同	附件 2-6
14	产业合作	王学斌/1 李源/2 谭厚章/4 郭隆真/9 孙锦余/10	2021 年	2022 年	项目合同：菏泽生物质耦合发电研究技术服务外委合同	附件 2-7
15	产业合作	王学斌/1 张勇/3 谭厚章/4 孙锦余/10	2025 年	2025 年	项目合同：国能清远生物质能掺烧项目生物质燃烧特性研究技术服务	附件 2-8
16	产业合作	张勇/3 苏国新/6 高礼/8	2023 年	2025 年	项目合同：沙柳生物质破碎磨粉耦合燃煤机组降碳发电技术研发与应用合同	附件 2-9
17	产业合作	张勇/3 张志远/7	2021 年	2023 年	项目合同：1000MW 超超临界燃煤机组掺烧生物质发电技术创新研究合同	附件 2-10
18	产业合作	张勇/3 张志远/7	2022 年	2024 年	项目合同：1000MW 超超临界燃煤锅炉直接掺烧生物质燃料技术研究工程示范	附件 2-11