

一、项目名称

超超临界燃煤机组快速启停及灵活调节智能控制技术及工程应用

二、提单位、提名意见及等级

提单位：山东省能源局

提名意见：当前国内主力煤电机组普遍存在控制系统算力不足、变负荷响应精度低、启停自动化程度低、电网考核风险突出等行业共性难题，传统控制技术难以适配新能源高比例并网下机组频繁调峰、大幅变负荷的运行需求，严重制约煤电机组安全高效、灵活低碳发展，亟需实现煤电机组智能控制核心技术的突破。在国家重点研发计划的支持下，依托产学研深度融合攻关模式，立足新型电力系统运行特性，系统构建了适配百万超（超）临界机组的快速启停及灵活调节智能控制技术，创新构建了“五网融合”智能控制架构、无断点自启停控制技术、煤水协同柔性快速变负荷控制技术三大核心功能模块，解决了传统机组智能调控能力弱、启停断点多、宽负荷适配性差、抗扰动能力不足等制约机组高效运行的难点问题，实现了大型煤电机组控制体系的技术突破，是当前火电数智化转型领域的重大创新成果。项目拥有完整自主知识产权，累计授权发明专利 27 件，实用新型专利 12 件，发表论文 10 篇，软件著作权 12 项，形成团体标准 1 项，配套多项权威查新与检测报告。成果已成功应用于华电莱州、华电邵武等 10 余台机组，实现机组 30%-100%负荷段智能稳定运行，大幅提升机组变负荷响应精度与电网适配能力，显著降低人工运维强度与电网考核风险，示范引领作用突出，有力推动了省内乃至全国火电行业数字化、智能化技术进步与产业升级。

拟提名该项目为 2026 年度山东省科学技术进步奖二等奖。

三、项目简介

在我国能源保供体系中，火电作为能源保供“压舱石”，在新型电力系统建设进程中仍将长期发挥基础保障与灵活调峰的双重作用，智能化升级路径已成为电力行业发展刚需。本项目紧扣国家火电数智化升级政策导向，服务山东省绿色低碳高质量发展先行区建设战略。针对当前火电行业传统 DCS 算力不足、调控参数固化、变负荷响应精度低、机组启停自动化水平弱等共性技术痛点，华电莱州发电有限公司联合研究院、高校开展产学研协同攻关，聚焦百万千瓦级煤电机组智能控制领域，开展系统性技术创新与工程示范应用，助力全省电力工业绿色高效转型升级。

本项目在国家重点研发计划项目的支持下，在传统 DCS 基础上迭代升级，

搭建了智能控制系统 ICS，攻克机组启停断点多、宽负荷调节弱、抗扰动能力差等关键难题，形成可复制推广的煤电数智化技术体系，核心创新点如下：

创新点一：提出了 A/B 控制网、C/D 高级应用网、E 视频网“五网融合”的智能控制系统架构，开发了基于快慢任务时序解耦与运算过程韧性保控的智能调控技术，通过实时计算快任务与自适应分级调度、超时自感知和动态看门狗等技术，提升了运行效率和可靠性，支撑了双向通讯，通讯速率高于 10000 点/秒，实现算法-资源秒级匹配、故障分钟级恢复，实时控制周期 10 ms。

创新点二：研制了超（超）临界机组的“无断点”自启停控制技术，基于启停过程多目标动态优化模型与历史运行数据挖掘，根据“时间最优”、“参数最优”自动规划启停路径，在生产 I 区结合视频智能分析技术，自动判断就地设备启停条件并返回控制逻辑，消除启停过程中的逻辑“断点”，机组启停时间缩短 20%以上，提升了自动化水平与启停经济性。

创新点三：构建了基于锅炉燃烧强度的煤水协同快速变负荷控制策略，设计了基于锅炉蓄能和综合温度重构的给水调节补偿回路，解决了过热度失准带来的水煤比失衡问题，实现了机组 30%-100%宽负荷自动巡航，50%以上负荷区间变负荷速率达到 2.2%Pe/min，20%-50%负荷区间达到 1.0-1.5%Pe/min，并设计了柔性变速率自适应控制器，结合爬坡收益和安全边界，动态生成最优变负荷速率曲线，显著提升了机组参与辅助服务市场的响应能力。

本项目攻克了百万机组智能调控、无断点启停、宽负荷高效调峰等关键技术，解决了新型电力系统下煤电灵活适配的行业共性难题。作为省内百万机组数智化升级先行者，项目有效突破山东传统火电调峰偏弱、变负荷能力受限等瓶颈，提升区域能源保供与新能源消纳能力，成果形成可复制、可推广的火电数智化转型方案，有力支撑山东新型电力系统建设与电力产业绿色数字化转型，综合效益显著，对国内同类型机组升级改造具有重要借鉴价值。

四、主要知识产权和标准规范等目录

知识产权（标准）类别	知识产权（标准）具体名称	国家（地区）	授权号（标准编号）	授权（标准发布）日期	证书编号（标准批准发布部门）	权利人（标准起草单位）	发明人（标准起草人）	发明专利（标准）有效状态	第一完成人是否为发明人（标准起草人）	第一完成单位是否为权利人（标准起草单位）
发明专利权	一种分析控制器参数对自动发电控制调节性能影响的方法	中国	ZL 20211 08581 33.2	2021. 07.28	67005 17	华电莱州发电有限公司	曹子飞;杨栋; 吴茂坤	有效	是	是
发明专利权	基于斜坡响应和已知时滞并考虑前馈的闭环系统辨识方法	中国	ZL20 21102 37410 .8	2021. 03.03	55668 23	华电莱州发电有限公司	杨栋;曹子飞: 吴茂坤	有效	是	是
发明专利权	适用于中间仓储式制粉系统的煤质实时检测装置及方法	中国	ZL 20221 15025 63.1	2025. 10.28	83989 78	华电莱州发电有限公司	王荣昌;王俊强;张中伟;邢立军;姚树义; 许良友	有效	否	是
论文	基于主机状态监测的智慧电厂数据计算系统在新型百万燃煤机组的应用	中国	10.13 661/j. cnki.issn100 1-900 6.202 2.01.0	2022. 04.21	/	华电莱州发电有限公司	曹子飞;邢路平;刘征宇	有效	是	是
发明专利权	一种变负荷工况下的前馈控制方法和系统	中国	CN20 23110 50795 .2	2024/ 7/16	71953 63	华电电力科学研究院有限公司	许伟强;周晟阳;李志军;杨超;丁宇鸣;陈世彪;黄一博	有效	否	否

知识产权（标准）类别	知识产权（标准）具体名称	国家（地区）	授权号（标准编号）	授权（标准发布）日期	证书编号（标准批准发布部门）	权利人（标准起草单位）	发明人（标准起草人）	发明专利（标准）有效状态	第一完成人是否为发明人（标准起草人）	第一完成单位是否为权利人（标准起草单位）
发明专利权	一种基于过热器蓄能情况预估的燃烧强度识别方法和系统	中国	CN202311043955.0	2024/8/20	7301678	华电电力科学研究院有限公司	丁宇鸣;许伟强;李志军;周晟阳;黄一博;杨超;陈世彪	有效	否	否
发明专利权	一种基于自启停控制的锅炉给水全程控制方法及装置	中国	CN202211294964.2	2025/11/14	/	华电电力科学研究院有限公司	郑瑞祥;姜海明;刘翔;张方;张莉;吴学崇;周晟阳;许伟强;蔚伟;张瑞臣	有效	否	否
发明专利权	一种热管和导流板结合的烟道分配器换热计算方法	中国	ZL202011094134.6	2020.10.14	5371150	山东大学	辛公明;柳洋;陈岩	有效	否	否
发明专利权	一种根据出口温差控制的烟气分配器及锅炉系统	中国	ZL202011252823.5	2020.11.11	4996738	山东大学	辛公明;柳洋	有效	否	否
论文	A Steganography-Based Scheme for Secure Transmission of Monitoring	中国	10.1109/JIOT.2025.3632928	2025.11.14	/	华电电力科学研究院有限公司	Ruixv Jiang; Yamin Liu; Fang Fang; Le Wei	有效	否	否

五、主要完成人情况

1、曹子飞，技术职称：高级工程师，工作单位及完成单位：华电莱州发电有限公司，排名：1/10。项目负责人，对本项目科技创新点 1、2、3 均作出了较大贡献。

2、辛公明，技术职称：教授，工作单位及完成单位：山东大学，排名：2/10。对本项目科技创新点 2、3 有贡献。

3、许伟强，技术职称：正高级工程师，工作单位及完成单位：华电电力科学研究院有限公司，排名：3/10。对本项目科技创新点 1、2、3 有贡献。

4、王荣昌，技术职称：高级工程师，工作单位及完成单位：华电莱州发电有限公司，排名：4/10。对本项目科技创新点 1、2、3 有贡献。

5、曹善勇，技术职称：正高级工程师，工作单位及完成单位：华电莱州发电有限公司，排名：5/10。对本项目科技创新点 1、2 有贡献。

6、刘亚敏，技术职称：工程师，工作单位及完成单位：华电电力科学研究院有限公司，排名：6/10。对本项目科技创新点 1、2、3 有贡献。

7、杜文静，技术职称：教授，工作单位及完成单位：山东大学，排名：7/10。对本项目科技创新点 2、3 有贡献。

8、张建立，技术职称：高级工程师，工作单位及完成单位：华电莱州发电有限公司，排名：8/10。对本项目科技创新点 1、2 有贡献。

9、吴学崇，技术职称：工程师，工作单位及完成单位：华电电力科学研究院有限公司，排名：9/10。对本项目科技创新点 1、2、3 有贡献。

10、丁宇鸣，技术职称：高级工程师，工作单位及完成单位：华电电力科学研究院有限公司，排名：10/10。对本项目科技创新点 1、2、3 有贡献。

六、主要完成单位情况

1、第一完成单位：华电莱州发电有限公司

该完成单位对本项目贡献：对创新点一、创新点二和创新点三均做出了贡献，主要科技贡献包括：完成五网融合 ICS 智能架构全周期现场测试，验证时序解耦、高实时通讯、快速故障自愈等技术可靠性，牵头无断点自启停技术现场落地，完成 30% - 100%全负荷区间变负荷速率实机校验，攻克低负荷水煤比失衡难题，形成适配区域电网的成熟控制方案。该单位所完成的研究方法、技术原理和相关的技术方案，推动了本项目产出的关键技术应用于华电莱州、华电邵武、华电襄阳等 10 余台 1000MW、600MW 主力机组，机组各项性能指标达到优良，在行

业内起到了技术引领作用。

2、第二完成单位：山东大学

该完成单位对本项目贡献：对创新点二和创新点三均做出了贡献，主要科技贡献包括：针对锅炉机组中的关键能源装备-空气预热器等，建立了含多孔换热元件的全尺寸热力学模型和动力学模型，获得了不同工况下转子热变形特性、间隙变化特征及其对漏风量影响的理论计算公式，获得了变负荷下空预器运行特性及其对整个锅炉机组热效率的影响规律，为实现变负荷工况下机组的智慧控制提供了理论依据和数据支撑。该单位所完成的研究方法、技术原理和相关的技术方案，推动了本项目输出的关键技术应用于国内百万千万超超临界机组，推动技术在华电莱州公司 $2 \times 1000\text{MW}$ 超超临界机组技术等 20 余个电力机组热力系统性能提升改造工程中应用，机组各项性能指标达到优良，在行业内起到了技术引领作用。

3、第三完成单位：华电电力科学研究院有限公司

该完成单位对本项目贡献：对创新点一、创新点二和创新点三均做出了贡献，主要科技贡献包括：本项目研发团队优化五网融合 ICS 智能架构，拓展多源异构信息 GPU 算力处理模块与专用网络，完成了现场测试、调试、优化。研发智能视频分析技术，通过设备运行状态智能识别，根除了机组启停依赖人工确认、存在操作断点的行业痛点，实现无断点自启停技术工程落地。同时，设计基于锅炉蓄能与综合温度重构的给水补偿调节回路，完成机组 30% - 100% 全负荷变负荷实机校验，有效攻克低负荷水煤比失衡、调节稳定性差等技术难题，形成适配区域电网的成熟智能控制方案。