

一、项目名称：

大型燃煤电站烟气多污染物深度脱除关键技术研究及应用

二、提名者及提名意见：

提名者：

中国电机工程学会

提名意见：

煤电在我国电力装机中占据主导地位，对燃煤电站大气污染物进行深度协同治理，实现煤炭清洁高效利用，对改善我国生态环境和保障我国能源安全具有重大意义。

该项目开展了燃煤电站烟尘、SO₂和NO_x和重金属等多污染物深度脱除技术研发和应用，取得了良好的环保效益和社会效益。

项目揭示了燃煤烟气中多种污染物交互作用和定向调控机理，率先建立了多污染物深度协同脱除的关键技术体系；揭示了烟气中SO₃、硫酸液滴和烟尘凝并富集及重金属分布吸附特性，研发了旋汇耦合和管束式旋流分离一体化脱硫除尘净化、新型高效节水湿式电除尘和强化氧化吸附脱汞等多项核心技术及装备。实现烟尘、SO₂和NO_x排放浓度分别低于5、35、50mg/m³并实现大规模应用（部分机组可低于1、10、20mg/m³），重金属得到深度脱除。

项目成果于2014在6、7月分别在神华国华舟山电厂4号新建机组和神华国华三河电厂1号改造机组示范应用，实现稳定连续运行，并在300~1000MW不同等级燃煤机组进行推广，整体技术指标达到国际领先水平，有效促进了我国火电行业烟气高效深度脱除技术的进步和材料、环保、装备制造等相关产业的协同发展，进而引领钢铁、化工、建材等行业的节能减排，为建设天蓝、地绿、水清的美丽中国做出巨大贡献。

经认真审核，我单位确认推荐材料真实有效，相关栏目填写符合要求，并经公示无异议。

推荐该项目申报2018年度国家科学技术进步奖二等奖。

三、项目简介

我国电煤的消耗约占煤炭消耗总量的一半，在雾霾天气频发、生态环境恶化的背景下，实现燃煤电站烟气多污染物的深度脱除，进而引领其他行业节能减排，对改善我国大气环境意义重大。

通过理论与试验研究，攻克了多种污染物协同脱除关键技术难题，研制了多项核心装备，并进行工程示范和技术推广。形成如下科技成果：

(1) 攻克硫氧化物、细颗粒物、重金属深度脱除技术及装备技术难题，率先建立了多污染物深度梯级和协同脱除关键技术体系，形成了烟气多污染物深度控制工程设计规程和运行导则，并实现了大规模产业化应用。

(2) 发明了旋汇耦合和管束式旋流分离装置一体化脱硫除尘净化技术，脱硫效率 99%以上，协同除尘效率 80%以上；实现了脱硫塔内颗粒物深度协同脱除，脱硫塔出口污染物浓度达到燃气机组标准限值。

(3) 研发了新型高效细颗粒物、重金属脱除技术和装备，实现细颗粒物、重金属等多种污染物的深度净化，颗粒物排放浓度可低于 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 。

研究项目共获得授权专利 106 项，发表论文 140 篇，形成 2 项行业标准。由中国电机工程学会组织的院士专家鉴定会认为该研究成果技术路线先进，整体技术达到了国际领先水平。

研究成果已在国内多台 300~1000MW 燃煤机组推广应用，有效促进了我国火电行业烟气污染物减排技术的进步，推动了相关政策的出台和环保法规的制定。

四、客观评价

1. 鉴定意见

2016 年 4 月，中国电机工程学会组织《大型燃煤电站大气污染物近零排放技术研究及工程应用》鉴定，鉴定委员会意见：“...该研究成果技术路线先进，...整体技术达到了国际领先水平。”

2016 年 4 月，中国电机工程学会组织《燃煤电厂烟气重金属排放特征研究》鉴定，鉴定委员会意见：“...该项目具有前瞻性，研究成果为燃煤电厂重金属排放控制提供了重要的技术支撑，具有显著的环境和社会经济效益，整体技术达到国际先进水平。”

2. 国内外获奖情况

序号	成果名称	奖项	获奖年度
1	《大型燃煤电站大气污染物近零排放技术研究及工程应用》	中国电力科学技术进步奖一等奖	2016 年

五、推广应用情况

本项目成果于 2014 年 6 月和 7 月分别在神华国华舟山电厂、三河电厂进行工程示范并达到燃气轮机机组排放水平,随后开展了大规模推广应用。截至目前,已在多台燃煤机组进行推广应用。

典型应用单位情况表

序号	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	应用情况 (PM、SO ₂ 、NO _x 排放浓度 (mg/m ³))
1	神华舟山电厂 (#4 机组)	350MW 机组烟气协同深度脱除技术 (新建)	2014 年 6 月至今	杨震力 /13587068981	2.46、2.76、19.8
2	神华三河电厂 (#1 机组)	350MW 机组烟气协同深度脱除技术 (改造)	2014 年 7 月至今	郝剑 /13722668092	5、9、35
3	神华柳州电厂 (#2 机组)	350MW 机组烟气协同深度脱除技术 (新建)	2016 年 10 月至今	徐福海 /18307720169	5、10、35
4	神华惠州电厂 (#1 机组)	330MW 机组烟气协同深度脱除技术 (改造)	2014 年 12 月至今	许恒 /13725073797	1.4、8、18
5	神华定州电厂 (#3 机组)	600MW 机组烟气协同深度脱除技术 (改造)	2014 年 12 月至今	孙蓟光/ 18132768701	2、6、17
6	神华孟津电厂 (#2 机组)	600MW 机组烟气协同深度脱除技术 (改造)	2015 年 4 月至今	马全 /18639289332	3.77、12、40
7	神华三河电厂 (#4 机组)	300MW 机组烟气协同深度脱除技术 (改造)	2015 年 7 月至今	郝剑 /13722668092	0.23、5.9、20
8	神华太仓电厂 (#7 机组)	600MW 机组烟气协同深度脱除技术 (改造)	2015 年 11 月至今	高山 /13606247944	0.4、8、19
9	神华万州电厂 (#2 机组)	1000MW 机组烟气协同深度脱除技术 (新建)	2015 年 9 月至今	李贞强 /13609441112	4.6、14、13.3
10	神华徐州电厂 (#2 机组)	1000MW 机组烟气协同深度脱除技术 (改造)	2016 年 10 月至今	王开华 /13912036763	1.12、6.17、15.83
11	神华河曲电厂 (#1 机组)	320MW 机组烟气协同深度脱除技术 (改造)	2016 年 1 月至今	乔旭光 /18035008203	4.53、22.61、38.79
12	神华宁海电厂 (#2 机组)	600MW 机组烟气协同深度脱除技术 (改造)	2016 年 3 月至今	邓晓峰 /13566590483	1、3、27
13	神华锦界电厂 (#3 机组)	600MW 机组烟气协同深度脱除技术 (改造)	2016 年 11 月至今	杨怀忠 /13509126320	3.7、10.3、14.4
14	神华寿光电厂 (#1 机组)	1000MW 机组烟气协同深度脱除技术 (新建)	2016 年 7 月至今	马睿/ 05362239205	1、2、18
15	神华呼伦贝尔电厂 (#1 机组)	600MW 机组烟气协同深度脱除技术 (改造)	2016 年 8 月至今	高冠民 /15849019788	4.9、15、20

六、主要知识产权证明目录（不超过 10 件）

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	发明专利有效状态
实用新型	烟气处理系统和燃煤电站	中国	ZL201620311139.2	2017/1/11	5857810	中国神华能源股份有限公司, 北京国华电力有限责任公司, 神华国华(北京)电力研究院有限公司	王树民, 宋畅, 陈寅彪, 陈杭君, 许定峰, 闫子政, 张晓波, 石朝夕, 韩贵生, 宋岩, 孙平, 朱江涛, 王顶辉, 袁丁	有效
发明专利	一种深度脱尘除雾装置	中国	ZL201410642040.6	2016/12/7	2308713	北京清新环境技术股份有限公司	张开元, 贾双燕, 采有林	有效
发明专利	一种湿法脱硫后湿式电除尘系统	中国	ZL201210590599.X	2015/4/29	1650131	福建龙净环保股份有限公司	林国鑫, 郑岩峰, 黄建华, 罗如生, 陈小利, 林慧鑫	有效
发明专利	湿法烟气脱硫吸收塔	中国	ZL200710120401.0	2011/8/8	1020899	中国神华能源股份有限公司, 神华国华(北京)电力研究院有限公司	霍红瑶, 田君丽, 刘毅, 周洪光	有效
发明专利	用于脱硫吸收塔的溢流装置	中国	ZL200710120403.X	2009/7/29	530824	中国神华能源股份有限公司, 神华国华(北京)电力研究院有限公司	周洪光, 张川英	有效
发明专利	一种高温气溶胶颗粒取样枪	中国	ZL200910093759.8	2011/7/20	809735	清华大学煤燃烧工程研究中心, 清华大学	卓建坤, 李水清, 李庚达, 徐晓光, 宋蕾, 姚强	有效

发明专利	控制烟气重金属污染物排放的大规模吸附剂改性耦合喷射系统	中国	ZL201410261836.7	2018/1/5	2266975	华北电力大学	张永生, 顾永正, 曹晏, 徐鸿, 潘伟平	有效
发明专利	一种复式卧式湿式电除尘器	中国	ZL201310113386.2	2016/6/15	2111354	福建龙净环保股份有限公司	林国鑫, 罗如生, 黄建华, 郑岩峰	有效
实用新型	发电厂排烟系统	中国	ZL201520523258.X	2015/11/18	4773078	中国神华能源股份有限公司, 北京国华电力有限责任公司, 三河发电有限责任公司	张翼, 王树民, 陈寅彪, 刘喆, 刘宏伟, 王雁军, 郝剑, 邵建林, 谢占军, 魏书洲, 徐宇伟, 胡建涛	有效
实用新型	一种脱硫吸收塔	中国	ZL201520706570.2	2016/1/13	4942238	中国神华能源股份有限公司, 北京国华电力有限责任公司, 三河发电有限责任公司	张翼, 魏书洲, 王文杰, 刘喆, 郝剑, 邵建林, 孙灏, 陈志良	有效

七、主要完成人情况表

姓名	排名	职务	技术职称	工作单位	完成单位	对该项目技术创造性贡献
王树民	1	副总裁	教授级高级工程师	中国神华能源股份有限公司	中国神华能源股份有限公司国华电力分公司	项目总牵头人，对项目进行总策划、组织与指导，确立了燃煤电厂烟气污染物深度脱除技术路线，提出了总体目标并制定技术方案，主持示范项目实施，实现了国内首台新建大型燃煤机组达到燃气机组排放水平。获得实用新型专利 3 项，发表论文 7 篇，编写著作 1 部。对创新点 1-3 均有贡献，对创新点 1 有重大贡献。
张 翼	2	总经理	教授级高级工程师	三河发电有限责任公司	三河发电有限责任公司	参与了项目整体技术路线的制定和部分单项关键技术的研究，主持完成三河电厂 1-4 号机组示范工程应用，包括技术路线确定、工程实施、调试运行等，验证了污染物脱除的多种技术路线，为行业发展提供了借鉴。获得实用新型专利 6 项，发表论文 14 篇，对项目创新点 1-3 均有贡献，对 1、3 创新点有突出贡献。
张永生	3	无	副教授	华北电力大学	华北电力大学	开展燃煤电厂重金属污染监测及控制研究，针对重金属脱除开展机理研究、技术开发、示范项目实施、现场测试及验证工作。获得发明专利 1 项，发表论文 8 篇（其中 SCI 收录 6 篇），对创新点 3 有重大贡献。
陈寅彪	4	总工程师	教授级高级工程师	中国神华能源股份有限公司国华电力分公司	中国神华能源股份有限公司国华电力分公司	技术总负责人，组织技术方案的制定和论证，主持关键设备技术标准的编制及审核。获得实用新型专利 6 项，发表论文 3 篇。对项目 1-3 创新点有突出贡献。
宋 畅	5	董事长	教授级高级工程师	神华国能集团有限公司	中国神华能源股份有限公司国华电力分公司	协助项目第一完成人制定总体技术路线和实施方案，主持示范项目的实施、运行工作，负责整体技术的推广应用。对创新点 1 有重大贡献。

姓名	排名	职务	技术职称	工作单位	完成单位	对该项目技术创造性贡献
卓建坤	6	\	副研究员	清华大学	清华大学	系统研究了煤燃烧过程细颗粒的形成机理和重金属元素在燃烧过程中的富集规律，为污染物协同治理提供了理论依据。获得 1 项发明专利，发表 2 篇 SCI，3 篇 EI 文章，对创新点 3 有突出贡献，对创新点 1 有较大贡献。
周洪光	7	高级主任工程师	教授级高级工程师	神华国华(北京)电力研究院有限公司	神华国华(北京)电力研究院有限公司	负责制定高效脱硫协同除尘和湿式电除尘技术方案；负责项目可行性研究、重点技术方案审核；参与技术标准的编制及审核；参与脱硫、除尘、脱硝技术示范。获得发明专利 5 项、实用新型专利 6 项、发表论文 9 篇。对 1、2 创新点有较大贡献。
贾双燕	8	副总裁，总设计师	工程师	北京清新环境技术股份有限公司	北京清新环境技术股份有限公司	作为脱硫除尘一体化技术的研发及设计技术带头人，全程参与理论分析、关键设备研制、工业示范项目的落地及运行数据的分析总结修正等。在二氧化硫和烟尘治理方面做出了较大贡献。获得授权发明专利 1 项，对创新点 2 有贡献。
罗如生	9	副总经理	高级工程师	福建龙净环保股份有限公司	福建龙净环保股份有限公司	研发湿式电除尘器，主持湿式电除尘创新系统、大型化应用等关键核心技术攻关，指导样机开发及工程实施。对创新点 3 有重大贡献。
陈招妹	10	研发部部长	教授级高级工程师	浙江菲达环保科技股份有限公司	浙江菲达环保科技股份有限公司	主持开发湿式电除尘技术，负责多项工程湿式电除尘器的设计、制造及测试，对创新点 3 部分技术有较大贡献。

八、主要完成单位及创新推广贡献

排序	单位名称	主要贡献
1	中国神华能源股份有限公司	项目牵头单位，负责各参与单位之间的总体协调、整体技术路线的研究制定并合作开展部分关键技术的研发。通过开展试验与示范研究，揭示了燃煤电站烟气中单一污染物在多个污控设备中梯级脱除和多污染物在同一污控设备中协同脱除规律，研发了技术、经济可行的燃煤电站污染物深度脱除集成创新路线和技术方案。组织进行工程示范和大规模推广应用。 项目完成过程中，共取得授权发明专利 14 项，实用新型专利 53 项，在国内外主要刊物发表论文 93 篇。 对项目 1-3 创新点均有较大贡献。
2	神华国华（北京）电力研究院有限公司	参与燃煤电站烟气多污染物深度脱除整体技术路线的研究制定及部分关键技术的研发，负责工程项目可行性研究审核，参与编制烟气多污染物深度脱除关键技术系列标准规范，为烟气单项污染物梯级脱除和多种污染物协同脱除技术体系建立和推广应用做出重要贡献。 对项目 1-3 创新点均有贡献，对 1、3 创新点贡献较大。
3	中国电力工程顾问集团华北电力设计院有限公司	开展燃煤电站污染物深度脱除系统设计、参数匹配、设备选型、布置优化研究，完成示范工程可行性研究与工程设计，取得授权实用新型专利 8 项，在国内外主要刊物发表论文 13 篇。 对项目创新点 1 有贡献。
4	清华大学	研究了煤燃烧过程细颗粒物的形成机理及主要污染物控制设备的对颗粒物的脱除规律，开发含挥发性易凝结成分烟气中颗粒物取样技术，为多污染物综合治理技术路线研究和高湿、挥发性环境中颗粒物的精确取样和测量提供技术支持。取得授权发明专利 1 项，发表 SCI 论文 2 篇、EI 论文 3 篇。 对项目创新点 3 有贡献。
5	北京清新环境技术股份有限公司	研发适应复杂多变煤质的单塔一体化脱硫除尘深度净化技术与设备，实现烟气中 SO_2 排放浓度$<35\text{mg}/\text{m}^3$、颗粒物排放浓度$<5\text{mg}/\text{m}^3$ 或者更高的要求。在 300MW 以上燃煤电站中推广应用超过 300 台套。取得授权发明专利 1 项，实用新型专利 12 项。

		对项目创新点 2 有贡献。
6	华北电力大学	开展燃煤电厂汞及其他重金属脱除机理研究，发明规模化脱汞技术及装备，并实现工程应用。取得授权发明专利 1 项，在国内外权威刊物发表论文 8 篇。 对创新点 3 有重大贡献。
7	福建龙净环保股份有限公司	自主研发湿式静电除尘器，通过特有喷淋机制实现除尘效率 80% 以上。通过多场作用与相变、团聚等机理，共同促进烟气含尘微粒高效凝并增大，实现 PM _{2.5} 和 SO ₃ 协同高效捕集。推广应用近 80 台套。取得授权发明专利 2 项，实用新型专利 11 项。 对项目创新点 3 有贡献。

九、完成人合作关系说明

第一完成人王树民、第二完成人张翼、第四完成人陈寅彪、第五完成人宋畅是中国神华能源股份有限公司本项目团队的核心成员，长期致力于高品质绿色发电工程研究，是大型燃煤电站烟气多污染物深度脱除并优于燃气机组排放水平思想的提出者，确立了项目技术路线和系统集成技术方案，组织实施了国内首台达到燃气机组排放水平的新建大型燃煤机组示范项目。第三完成人张永生是华北电力大学本项目团队的核心成员，长期开展燃煤电厂重金属污染监测及控制研究，是本项目重金属脱除关键技术、装备的主要发明人。第六完成人卓建坤是清华大学本项目团队的核心成员，系统研究了煤燃烧过程中细颗粒物的生成机理和重金属元素的富集规律，为污染物协同治理提供了理论依据。第七完成人周洪光是神华国华（北京）电力研究院有限公司本项目团队的核心成员，长期从事烟气脱硫关键技术研发和工程设计，是本项目关键技术方案的主要制定者。第八完成人贾双燕是北京清新环境技术股份有限公司本项目团队的核心成员，是脱硫除尘一体化技术的研发及设计技术带头人。第九完成人罗如生是福建龙净环保股份有限公司本项目团队的核心成员，主持新型高效湿式电除尘器大型化应用等关键技术攻关；第十完成人陈招妹在湿式电除尘器部分关键技术研发和制造方面做出较大贡献。

长期以来，在第一完成人王树民、第三完成人张永生、第六完成人卓建坤和第九完成人罗如生等人的推动下，中国神华能源股份有限公司与华北电力大学、清华大学、福建龙净环保股份有限公司合作承担了国家和企业一些燃煤污染控制重大研发课题，研究成果成功应用于本项目，如国家 863 课题“燃煤烟气中多种重金属污染物联合控制技术与示范”、“燃煤电站 PM2.5 新型湿式电除尘技术与装备”等。北京清新环境技术股份有限公司、福建龙净环保股份有限公司是本项目关键环保装备研发和制造单位，中国电力工程顾问集团华北电力设计院有限公司负责本项目系统集成与工程设计单位，共同构成了以企业为主体，以市场为导向，产学研深度融合的技术创新体系。经过本项目团队的协同创新，攻克了多种污染物深度脱除关键技术难题，研制了多项核心装备，完成了系统技术集成，成功应用于工程示范和大规模推广，实现项目预期目标。