

附件 2

## 拟推荐国家技术发明奖项目公示

项目名称：燃煤超低排放关键技术及应用

完成人：刘建民（国电环境保护研究院（国电科学技术研究院））

薛建明（国电环境保护研究院（国电科学技术研究院））

曹为民（南京国电环保科技有限公司）

朱法华（国电环境保护研究院（国电科学技术研究院））

王小明（国电环境保护研究院（国电科学技术研究院））

李仁刚（南京龙源环保有限公司）

### 推荐意见：

实现燃煤超低排放是缓解我国大气污染、改善空气质量的重要途径。自2002年起，该项目针对燃煤电厂的节能减排与污染物控制开展系统研发和工程示范研究，发明了同时实现高电压、高频率和大功率的电除尘器供电电源核心技术，形成电除尘器供电高频电源系列产品，发明了湿法脱硫脱硝一体化、双pH值分区控制耦合凹凸环双相提效烟气脱硫技术，发明了中温多孔负载型和低温硫硝汞多效催化剂融合气流分布、氨氮均混和耦合式喷氨控制的烟气脱硝技术，发明了湿式电除尘技术，构建了涵盖除尘、脱硫、脱硝、脱汞的高效低耗燃煤超低排放技术体系，项目成果获得发明专利15项，实用新型专利72项，制定国家与行业标准23项。

该项目核心技术的突破，对引领、促进我国燃煤电厂污染控制技术整体水平提高，和推动我国煤电大气污染防治技术出口提供了技术保障；项目成果形成的系列技术产品在华能、大唐、国电、华电、中电投、神华、国信、浙能、申能等国内主要能源（电力）集团的300余台电站锅炉/工业锅炉得到推广应用，展现出良好的节能减排效果，社会环境效益和经济效益显著。

经核审、研究，建议推荐该项目申报2016年度国家技术发明奖一等奖。

## 项目简介：

我国燃煤量及其污染物排放量世界第一，是影响环境空气质量的主要因素之一。项目聚焦“节能减排与污染物控制”2个主题，在国家863重点项目、国家发改委重大产业技术开发专项、国家环保公益性行业科研专项等支持下，历经十余年攻关，形成了4项处于国际先进或领先的燃煤烟尘、SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>控制技术，建立了2个国内第1的示范工程，实现了燃煤电厂大气污染物超低排放。研究成果引领了燃煤污染物控制的技术进步，实现了环保技术及装备的产业升级。主要发明点如下：

1. 针对传统电除尘器难于进一步提高效率、面临淘汰问题，发明了电除尘器供电电源同时实现高电压、高频率和大功率的核心技术，形成了节能提效型高频电源系列产品，建立了国内第1台1000MW示范工程，实现节能69.5%、提效51.5%。高频电源产品累计已投运4944台，近5年累计节能5.7亿千瓦时。经过5

年多的规范推广，超过 80%的电除尘器供电电源由工频电源升级改造为高频电源，引领了高性能电除尘器技术产业发展。

2. 攻克了双 pH 值分区控制的湿法脱硫核心技术，并与自主研发的凹凸环双相提效装置融为一体，发明了湿法烟气联合脱硫脱氮技术，形成了独特的双 pH 值分区调控高性能脱硫技术。率先融合烟气吸收双膜理论和气液固三相平衡关系，在脱硫塔内设置独特的积液盘、凹凸环双相提效装置，低成本低能耗将脱硫效率由 95%提高到 99%以上，实现  $\text{SO}_2$   $35\text{mg}/\text{m}^3$  以下超低排放。

3. 针对烟气脱硝普遍存在的堵塞问题，发明了中温多孔负载型催化剂和低温硫硝汞多效催化剂，融合气流均布、氨氮均混和耦合式喷氨控制为核心的 SCR 技术。首次成功应用于 320MW 机组脱硝工程，解决了氨逃逸和空预器堵塞等难题，实现了稳定的  $\text{NO}_x$  超低排放。

4. 针对湿法脱硫后“石膏雨”及细颗粒物超低排放问题，率先攻克了适合燃煤湿烟气特征的湿式静电除尘的核心技术，建立了国内第 1 台 300MW 示范工程，消除了“石膏雨”、实现了颗粒物排放由  $20\text{--}30\text{mg}/\text{m}^3$  降至  $5\text{mg}/\text{m}^3$  以下的跨越，开创了污染物超低排放的先河。首次建立了湿电理论模型，揭示了多维度的影响规律，研发出湿环境下的阴阳极优化配置结构，形成了湿电大型化的独特技术及装备，颗粒物、液滴、 $\text{SO}_3$  等脱除率超过 80%。累计建设 72 台 29450MW，颗粒物排放小于  $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。经过近 3 年的规范推广，近 30%燃煤机组建设了湿电。

5. 系统集成燃煤污染物超低排放技术，定量评估了超低排放的环境效益，主持或参与制定国家与行业标准 23 项，推动与规范了超低排放的技术发展与应用。针对燃煤污染物超低排放要求，创新性提出烟尘、SO<sub>2</sub>及 NO<sub>x</sub>控制技术系统集成，成果有力支持了燃煤污染物的环境管理。

项目获专利 87 项（发明 15 项），形成的超低排放关键技术在华能、大唐、国电、华电、中电投、神华、国信、浙能、申能等集团 371 台电站锅炉/工业锅炉得到推广应用，实现累计节能 5.7 亿千瓦时，年减排烟尘 105 万吨，SO<sub>2</sub>110 万吨，NO<sub>x</sub>30 万吨，。近 3 年新增销售额 50.8 亿元、新增利润 5.1 亿元。成果获得省部级一等奖 2 项、二等奖 3 项。

## 客观评价：

### （一）鉴定结论与验收意见

1. 2009 年 6 月 19 日中国电机工程学会组织了“节能提效型电除尘器高频电源的研制与应用”项目鉴定会。鉴定委员会认为：项目开发了高频变压器铁芯用铁基超微晶材料的制造新工艺和大功率高频变压器制造、串联谐振软开关功率变换器设计等新技术，具有显著的节能和提高除尘效率的效果。取得了具有自主知识产权的成果，主要技术达到了国际先进、国内领先水平。（附件 20）

2. 2010 年 4 月 25 日上海外高桥第三发电有限责任公司主持的“电除尘器节能减排优化改造”项目验收会上，由任阵海院士

作为主任委员的验收意见：“鉴于高频电源主要技术处于国际先进、国内领先的水平，且在 1000MW 机组上首次成功应用，节能减排效果显著，建议加大高频电源产品的推广应用”。（附件 24）

3. 2009 年 6 月 13 日宁夏科技厅组织了“WHeart 烟气脱硫技术及其关键设备的研究与应用”项目鉴定会，鉴定委员会认为：项目研究、示范、推广紧密结合，发明了以凹凸板环为特征的气液分配提效技术为核心的、具有自主知识产权的高性能脱硫技术，实现了脱硫提效和节能降耗的双重功能，成果总体处于国际同类技术的先进水平。（附件 21）

4. 2015 年 11 月 25 日中国电机工程学会组织召开了“防治脱硝机组空气预热器堵塞的关键技术研究及应用”项目鉴定会。鉴定委员会认为：项目研究切合燃煤电厂 SCR 生产实际，技术创新明显，保障了机组的安全、清洁、经济运行，整体技术达到了国际先进水平，在解决多煤种宽负荷燃煤机组采用脱硝后空气预热器堵塞技术方面达到国际领先水平。（附件 22）

5. 2013 年 8 月 19 日中国电机工程学会组织了“新型湿式静电除尘除雾技术及应用”项目鉴定会。鉴定委员会认为：项目围绕湿式静电除尘除雾技术，在阳极材料选型、阳极板结构工艺以及整体技术优化等方面开展了系统研究，取得成果并完成工程应用。研究成果工艺新颖，具有原创性，具有良好的经济、社会效益和推广应用前景，达到了国际先进水平，其中，在新型电极材料研究及应用方面居国际领先水平。（附件 23）

## （二）技术检测报告

1. 2009 年 5 月，江苏省产品质量监督检验研究院对南京国电

环保设备有限公司（即南京国电环保科技有限公司）的产品电除尘器用高频高压整流电源进行检测，所检项目符合 Q/3201 NEPS 01-2008 标准规定的要求。（附件 25）

2. 2010 年 4 月，华东电力试验研究院有限公司对上海外高桥第三发电有限责任公司 1000MW 机组 8 号电除尘器电源改造后进行测试，电场运行功耗降低 69.5%，效率提高至 99.8%，除尘器出口烟尘浓度仅 15.4mg/m<sup>3</sup>。（附件 26）

3. 2009 年 3 月，江苏省环境监测中心对华能南京电厂 330MW 机组电除尘器电源改造后进行测试，电场运行总功耗减少 80.7%，除尘器出口烟尘排放浓度减少 44.1%，除尘效率达到 99.885%。（附件 27）

### （三）其他评价

1. 2012 年 5 月国家科技部、环保部、商务部、质检总局认定“HF-01 节能提效型电除尘器高频电源为国家重点新产品”。（附件 28）

2. 2011 年 10 月江苏省科技厅认定“HF-01 节能提效型电除尘器高频电源”为高新技术产品。（附件 29）

### （四）查新报告

1. 江苏省科技查询咨询中心对本项目研发的节能提效型高频电源进行查新，结论为“国外见有输出电流 1.2A 以上，功率在 86kW 以上的电除尘器高频电源的报道，国内未见有自主研发的达到以上指标的高频电源的报道。本委托项目所提到的在 300MW 以上火电机组大型电除尘器全部使用高频电源，每个电场功率小于 3kW 的指标在所检相关文献中均未见述及。”

2. 国网信息通信有限公司对本项目研发的以凹凸环双相提效为核心的脱硫技术进行查新，“在所检出的国内外相关文献中未见报道”。

3. 江苏省科技查询咨询中心对本项目研发的新型电极湿式电除尘技术进行查新，“在所检出的国内外相关文献中未见报道”。

#### **(五) 国内重要科技奖励**

1、燃煤氮氧化物排放与控制-环保部 2015 年一等奖（附件 48）

2、WHeart 烟气脱硫技术及其关键设备的研究与应用-宁夏回族自治区 2010 年一等奖（附件 49）

3、燃煤电厂粉尘超低排放湿式静电除尘技术研究与应用-环保部 2015 年二等奖（附件 50）

4、大型燃煤电站锅炉湿法烟气脱硫脱硝一体化技术与示范-江苏省 2013 年二等奖（附件 51）

5、节能提效型电除尘器高频电源的研制与应用-中国电机工程学会 2010 年二等奖（附件 52）

#### **推广应用情况:**

本项目成果广泛应用于燃煤电厂主要污染物二氧化硫、氮氧化物和烟尘的治理工程，创造了显著的经济与社会效益，近 3 年新增销售额 50.8 亿元、新增利润 5.1 亿元。截止 2015 年 11 月，累计签订脱硫、脱硝、湿除项目共计 199 台机组，总装机容量 55764MW；高频电源已投运总数达 4944 台，其中 1000MW 级共 25 台炉、600MW 级共 83 台炉、300MW 级共 172 台炉。

1000MW 机组应用的电厂主要有：上海外高桥第三发电有限责任公司、浙江北仑发电有限责任公司、江苏谏壁发电有限公司、江苏泰州发电有限公司，山东莱州发电有限公司，广东海门发电有限公司，湖北汉川发电有限公司等。

600MW 级机组应用的电厂主要有：江苏常州发电有限公司，上海吴泾第二发电有限公司，安徽蚌埠发电有限公司，安徽铜陵发电有限公司，江西黄金埠发电有限公司，山东聊城发电有限公司，河北龙山发电有限公司，陕西宝鸡第二发电有限公司，河南民权发电有限公司，河南荥阳发电有限公司，湖北荆门发电有限公司，湖南宝庆发电有限公司，贵州织金发电有限公司，贵州都匀发电有限公司，广西南宁发电有限公司，黑龙江双鸭山发电有限公司，福建泉州发电有限公司，广西钦州发电有限公司，安徽六安发电有限公司，江苏南京发电有限公司，江苏扬州第二发电有限公司，河南鹤壁发电有限公司，辽宁庄河发电有限公司等。

300MW 级机组应用的电厂主要有：华能南京发电有限公司，山东菏泽发电有限公司，广西永福发电有限公司，内蒙古东胜发电有限公司，云南阳宗海发电有限公司，江西九江发电有限公司，贵州安顺发电有限公司，山西长治发电有限公司，江苏利港发电有限公司，湖南益阳发电有限公司，天津北塘热电有限公司，广东肇庆发电有限公司，海南乐东发电有限公司，陕西灞桥热电有限公司，新疆红雁池发电有限公司，新疆克拉玛依发电有限公司，新疆库车发电有限公司，陕西韩城第二发电有限公司等。

表 1、主要应用单位情况表

应用单位名称	应用技术	应用的起止时间	应用单位联系人	应用情况
--------	------	---------	---------	------



			/电话	
国电环境保护研究院	脱硫、脱硝、湿除三项污染控制技术	2005.9-至今	惠润堂 /13815872836	2005年至今，累计签订71台机组，26455MW。
南京国电环保科技有限公司	节能提效型高频电源	2008-至今	王强 /13705183880	高频电源已投运总数达4944台，其中1000MW级共25台炉、600MW级共83台炉、300MW级共172台炉
南京龙源环保有限公司	脱硫、脱硝、湿除三项污染控制技术	2009.9.1-至今	顾永明 /13851792945	2009年至今，累计签订128台机组，29306MW。

### 主要知识产权证明目录:

表 2、项目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	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
发明专利	超微晶变压器铁芯制作方法及专用模具	中国	ZL 20091002 4859.5	2013.7 .24	7598 88	南京国电环保科技有限公司	朱红育、曹为民、朱林、陈祥	有效
发明专利	一种伺服电机的基于微分器的直接神经网络控制方法	中国	ZL 20121003 5873.7	2013.7 .24	1242 356	南京国电环保科技有限公司	刘建民、王强、刘金琨	有效
发明专利	大功率高频高压整流变压器	中国	ZL 20111010 8164.2	2012.1 2.5	1093 661	南京国电环保科技有限公司	朱红育、陈祥、曲震、刘宇芳等	有效
发明专利	一种基于谐振抑制的直流电机控制方法	中国	ZL201210 035873.7	2013.7 .24	1466 433	南京国电环保科技有限公司	刘建民、王强、刘金琨	有效
发明专利	一种低温烟气脱硝SCR催化剂及制备方法	中国	ZL 20101061 1242.6	2012.1 0.24	1066 156	国电科学技术研究院	刘建民、胡宇峰、王小明、薛建明等	有效

发明专利	高活性纳米级烟气脱硝催化剂及其低温液相制备方法	中国	ZL201310079432.1	2015.3 .27	1657 052	国电科学技术研究院	胡宇峰、薛建明、王小明	有效
发明专利	一种 SCR 催化剂的制备方法	中国	ZL201210131143.7	2014.4 .9	1377 519	国电科学技术研究院	董月红、王田禾、刘建民等	有效
发明专利	湿法烟气联合脱硫脱氮方法	中国	ZL201110120480.1	2013.1 .8	1149 598	国电科学技术研究院	李忠华、王小明、薛建明等	有效
发明专利	湿法脱硫防积水烟道补偿器	中国	ZL200910184151.6	2010.6 .2	7291 92	国电环境保护研究院	李忠华、王小明、薛建明等	有效
发明专利	一种高强度高效率的低温 SCR 催化剂及其制备方法	中国	ZL201210131142.2	2014.1 0.1	1490 066	国电科学技术研究院	董月红、王田禾、刘建民等	有效

## 主要完成人情况:

刘建民, 第一完成人, 教授级高工, 国电环境保护研究院(国电科学技术研究院)。项目负责人, 组织协调项目研究、示范、推广的全面工作, 提出湿式电除尘、高频电源、烟气脱硝技术研发总体思路, 指导湿式电除尘示范工程、高频电源示范工程等现场工作。作为第一编著完成《火电厂氮氧化物控制技术》、第三编著完成《湿法烟气脱硫设计及设备选型手册》。对项目第1、2、3、4、5发明点做出了重要贡献, 是3项发明专利(ZL 201210035873.7、ZL201210035873.7、ZL 201010611242.6)第一发明人。支撑材料: 附件3、4、5、41、42、48、50。

薛建明, 第二完成人, 研究员级高工, 国电环境保护研究院(国电科学技术研究院)。负责研究了高性能脱硫技术、湿式电除尘器技术、防堵塞烟气脱硝技术研究开发的技术路线, 参与指导湿式电除尘示范工程、脱硫示范工程等现场工作。作为第一编著完成《湿法烟气脱硫设计及设备选型手册》、第二编著完成《火电厂氮氧化物控制技术》。对项目第1、2、3、4发明点做出了重要贡献, 是4项发明专利(ZL 201010611242.6、ZL 201310079432.1、ZL201110120480.1、ZL200910184151.6)主要发明人。支撑材料: 附件3、6、8、9、33、34、35、38、39、41、42、49、50、51。

曹为民, 第三完成人, 高级工程师, 南京国电环保科技有限公司。负责研究了高频电源技术及产品研究开发的技术路线, 指导高频电源示范工程及推广等工作。对项目第1、3发明点做出了重要贡献, 是1项发明专利(ZL 200910024859.5)主要发明人。

支撑材料：附件1、52。

朱法华，第四完成人，研究员级高工，国电环境保护研究院（国电科学技术研究院）。参与提出项目研发总体思路，指导研究成果的示范与推广工作，主持与参与制定了《燃煤电厂污染防治最佳可行技术指南》，《火电厂除尘技术规范》，《烟气湿法脱硫用石灰石粉反应速率的测定》等标准。对项目第1、3、5发明点做出了重要贡献。支撑材料：附件30、31、32、33、36、40、43、44、48、54。

王小明，第五完成人，研究员级高工，国电环境保护研究院（国电科学技术研究院）。组织开展了高性能脱硫技术、湿式电除尘器技术、防堵塞烟气脱硝技术研究开发、示范及应用，指导湿式电除尘示范工程、脱硫示范工程等现场工作。作为第二编著完成《湿法烟气脱硫设计及设备选型手册》、第三编著完成《火电厂氮氧化物控制技术》。对项目第2、3、4发明点做出了重要贡献，是4项发明专利（ZL 201010611242.6、ZL 201310079432.1、ZL201110120480.1、ZL200910184151.6）主要发明人。支撑材料：附件3、6、8、9、34、35、38、41、42、45、46、49、51。

李仁刚，第六完成人，高级工程师，南京龙源环保有限公司。组织开展高性能脱硫技术的研究开发、工程示范和推广应用，开发了双pH值循环控制石灰石-石膏湿法脱硫新技术，推动了该技术的示范与应用。对项目第2、4发明点做出了重要贡献。支撑材料：附件13、54。

## 完成人合作关系说明:

项目主要完成人刘建民、薛建明、朱法华和王小明是国电环境保护研究院(国电科学技术研究院,是在国电环境保护研究院的基础上成立,目前实行一套人马、两块牌子的运作模式)员工,主要从事燃煤大气污染物控制技术的研究和工程应用。曹为民为南京国电环保科技有限公司的技术总工,李仁刚是国电南京龙源环保有限公司的总经理。2002年国电环境保护研究院开始开展燃煤大气污染物控制技术的研究,2008年与国电南京龙源环保有限公司合作,共同开展高性能、高可靠性、高适用性脱硫核心技术的研发,2008年国电环境保护研究院控股组建南京国电环保科技有限公司,实现科技成果产业化。

此后,主要发明人作为项目负责人和技术骨干共同申请和完成了国家863重点项目、国家发改委重大产业技术开发专项、国家环保公益性行业科研专项等项目。发明人刘建民、薛建明、朱法华、王小明主要开展了脱硫、脱硝、除尘关键技术的研发,曹为民负责高频电源技术成果的转移和产业化,李仁刚负责脱硫、脱硝技术的产业化。六位主要完成人合理分工,从核心技术研发、关键设备研制、系统集成、工程示范、产业推广等开展了全面合作,发明了4项处于国际领先或先进水平的燃煤烟尘、SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>控制技术,建立了2个国内第一的示范工程,并在电力等行业全面推广。

主要发明人的专利均为职务发明,他们依托所在单位很好的开展了从实验室研究-核心技术-发明创造-工程示范-产业推广的创新产业链。

主要发明技术成果引领了燃煤污染控制技术及产业的发展，实现了环保技术及装备的产业升级，为电力行业超低排放的全面实施奠定了坚实的技术和工业化基础，正持续产生巨大的经济和社会环境效益。

表 3、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	合作时间	合作成果	证明材料	备注
1		刘建民/1				
2	共同获奖	薛建明/2	2008年10月-2012年12月	燃煤电厂粉尘超低排放湿式电除尘技术研究与应用	见附件 50	
	专著合著			湿法烟气脱硫设计及设备选型手册，火电厂氮氧化物控制技术	见附件 41、42	
	共同知识产权			一种低温烟气脱硝 SCR 催化剂及制备方法 (ZL 201010611242.6)	见附件 3	
3	产业合作	曹为民/3	2008年10月-2012年12月	高频电源已投运总数达 4944 台，其中 1000MW 级共 25 台炉、600MW 级共 83 台炉、300MW 级共 172 台炉	见附件 11、14、15	
4	共同获奖	朱法华/4	2008年10月-2012年12月	燃煤氮氧化物排放与控制	见附件 48	
5	专著合著	王小明/5	2008年10月-2012年12月	湿法烟气脱硫设计及设备选型手册，火电厂氮氧化物控制技术	见附件 41、42	
	共同知识产权			一种低温烟气脱硝 SCR 催化剂及制备方法 (ZL	见附件 3	

				201010611242.6)		
6	共同立项	李仁刚/6	2008年3月 -2012年12 月	共同开展高性能、高 可靠性、高适用性脱 硫核心技术研发	见附件 47	
	产业合作			2009年至今，累计签 订 128 台机组， 29306MW。	见 附 件 13、16、 17	