

2025 年度山西省科学技术奖励 推荐项目公示

一. 项目名称

复杂环境下输变电工程电磁环境全景精准感知与路径协同优化关键技术及应用

二. 提名者（国网山西省电力有限公司）及提名意见（推荐意见）

项目历时十余年，完成复杂环境下输变电工程电磁环境全景精准感知与路径协同优化关键技术研究，主要技术创新点如下：一是提出了温湿度扰动和空间电荷运动补偿的三维工频电场与直流合成电场校准方法，研制了具备温湿度补偿功能的工频电磁场校准系统及三维带离子直流合成电场校准系统，系统整体校准不确定度均优于3%，构建了复杂环境下交直流电场高精度校准技术体系。二是提出了自主运动型高灵敏度电磁环境监测方法，研制了复杂气象条件下的工频电场、工频磁场、直流合成场和气象参数的自动测量系统，实现了全天候电磁参数的实时动态采集与智能分析，提升了交直流同走廊区域电磁环境的全景精准感知能力。三是构建了环境敏感区结构化数据库，建立了输变电设施与环境敏感区矢量化空间匹配模型，空间矢量识别与避让精度达到米级；提出了交直流通道走廊并行架设的电磁环境评价方法，实现了电力设施在生态脆弱区、人居地理环境等条件下的精准避让和线路路径优化。

三. 项目简介

面对生态环保监管趋严与电网高质量发展的双重挑战，电力设施环境影响控制亟需突破以下关键瓶颈：一是校准装置在复杂环境下的均匀域设计与空间电荷动态补偿机制缺失，难以实现高精度溯源；二是交直流同走廊区域电磁环境全景感知能力不足，缺乏全天候、高灵敏的监测装备与评估标准，高湿度等恶劣条件对工频电场测量的影响机理尚未明晰，狭小空间直流合成电场精准测量技术存在空白；三是环境敏感区识别方法缺失，难以在电网规划阶段实现精准避让与路径协同优化，并行间距设计缺乏科学依据，不仅易引发生态破坏，更造成土地资源严重浪费。项目开展了以下三方面的研究工作：

1) 构建了工频电场准原位校准与综合溯源体系。研发了温湿度精准可控的工频电场全尺寸校准系统。深入研究了工频场强幅值、测量支架、温湿度扰动以及正反向特性等多因子引入的误差规律，创新提出了考虑“现场环境-支架结构-仪器误差”关键要素综合测量状态补偿的校准方法，并采用 GUM 法和蒙特卡洛法（MCM 法）进行了测量不确定度评定，验证了工频电磁场校准系统测量不确定度优于 3%。突破了复杂工况下合成电场三维带离子流校准空白。进一步揭示了空间离子流迁移率随电压的变化规律，攻克了校准场内离子流密度

的自由调控难题；设计了三自由度自动旋转机械臂，研制出三维带离子直流合成电场校准装置，其测量不确定度优于 3%。填补了复杂工况下电场精准校准与高精度溯源能力的空白；

2) 提出了交直流同走廊架设条件下的电磁环境测量方法，设计了基于多参数传感监测的环境敏感区电磁环境监测装置，基于水平振动的直流合成电场高灵敏度传感结构及测量方法，研制出了振动式合成电场测量装置；研发了智能运动机构与绝缘支架结合的空间电磁环境机载智能监测平台，实现了密集电磁通道内多种复杂气象条件下的工频电场、工频磁场、直流合成场等参数自动测量与数据应用。通过在实验室和特高压交直流现场应用验证了智能监测系统的可靠性和高精度，实现了电磁环境参数全景可观可测的智能化重大突破；

3) 提出了输变电设施与环境敏感区矢量化空间匹配模型，建立了基于国产卫星及无人机遥感影像数据的环境敏感区结构化数据库，通过输变电工程电磁环境影响分析计算与预测模型，实现了电力设施在生态脆弱区、人居地理环境等条件下的精准避让和线路路径优化，精度可到米级；建立交直流同走廊并行架设的电磁环境评价方法，辅助路径规划，实现了小尺度区域的精准避让与路径协同优化。

四. 客观评价（鉴定或查新）

项目经中国电力企业联合会鉴定，鉴定结果表明：该项目成果整体达到国际领先水平。项目通过江苏省科技查新咨询中心（国家一级科技查新咨询单位）的查新，查新结论表明：该课题研究的复杂环境下输变电工程电磁环境全景精准感知与路径协同优化关键技术 3 项查新点，在所检文献中未见述及。

五. 推广应用情况

项目研究成果在输电走廊环境敏感区识别方法、交直流并行输电线路电磁环境移动式测量系统及评价技术等方面，形成了系统化的技术体系，并在山西、陕西、山东等省份的 400 余条输电线路和 600 余座变电站的规划、建设及运维全过程中实现了规模化推广应用。整体技术体系成熟度高，已深度融入我国电网建设与运维的技术服务链条，在输变电工程勘察设计、选址选线优化、电磁场高精度测试与综合评估、电磁兼容分析与防护策略制定等关键业务领域，提供了坚实的技术支撑，有效保障了电网工程的安全、高效建设与稳定运营。同时，项目成果显著提升了输变电工程的环境友好性与兼容性，在推动绿色电网发展、服务国家经济社会发展大局中发挥了积极作用，取得了显著的经济与社会综合效益。

六. 主要知识产权证明目录

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	知识产权状态
--------	----------	--------	-----	------	------	-----	-----	--------

发明专利	一种工频磁场校准装置测量不确定度的评定方法及系统	中国	ZL202110862616.X	2024.9.24	第7394467号	中国电力科学研究院有限公司；国网山西省电力公司电力科学研究院；国家电网有限公司	万皓、张建功、武晓蕊、张业茂、干喆渊、路遥、张学东、倪园、张振宇、王延召、赵军、谢辉春、刘兴发、刘震寰、周兵、胡静竹、李妮、刘健桦、陈玉龙、黄锐、余瑶、徐吉来、滕子涵、赵学成	有效
发明专利	一种工频电场校准装置测量不确定度的评定方法及系统	中国	ZL202110862620.6	2025.3.11	第7789738号	中国电力科学研究院有限公司；国网山西省电力公司电力科学研究院；国家电网有限公司	万皓、张建功、武晓蕊、张业茂、干喆渊、路遥、张学东、谢辉春、张振宇、刘兴发、刘震寰、倪园、王延召、赵军、周兵、胡静竹、李妮、刘健桦、陈玉龙、黄锐、余瑶、徐吉来、滕子涵、赵学成	有效
发明专利	一种用于评定校准系统测量不确定度的方法及系统	中国	ZL202110862992.9	2024.11.26	第7558226号	中国电力科学研究院有限公司；国网山西省电力公司电力科学研究院；国家电网有限公司	万皓、张建功、武晓蕊、王延召、干喆渊、路遥、张振宇、周兵、柳逢春、胡静竹、李妮、刘健桦、谢辉春、刘兴发、刘震寰、倪园、	有效

							张业茂、赵军、陈玉龙、黄锐、余瑶、徐吉来、滕子涵、赵学成	
发明专利	旋转式交流输电线路电磁场测量仪及测量方法	中国	ZL201510653846.X	2018.7.13	第2998197号	国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司	方书博、李牧、张晓琴、叶春勇、王佳婕、何钢、韩晴、陶铃宏	有效
发明专利	一种基于速度闭环控制的软件极性判断直流电场测量系统	中国	ZL201910644300.6	2021.7.20	第4559024号	国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司	张广洲、冯智慧、王海涛、王佳婕、张晓琴、方书博、李牧、韩晴	有效

七. 主要完成人情况

姓名	张振宇		排名	1	
行政职务	副主任	技术职称	高级工程师	所学专业	化学环保
工作单位	国网山西省电力有限公司电力科学研究院				
参加本项目起止时间	2016 年 1 月至 2024 年 12 月				
对本项目的创造性贡献	主持项目研究，确定项目的总体研究思路，对项目提出的各项技术要点及实施方案进行把关，对项目的创新点 1、2、3 均做出重要贡献。				

姓名	冯智慧		排名	2	
行政职务	副主任	技术职称	高级工程师	所学专业	动力与机械工程
工作单位	国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司				
参加本项目起止时间	2014 年 1 月至 2024 年 12 月				
对本项目的创造性贡献	项目技术负责人，对项目提出的各项技术要点及实施方案进行把关，对项目的创新点 2、3 均做出重要贡献。				

姓名	柳逢春		排名	3	
行政职务	/	技术职称	高级工程师	所学专业	光学工程
工作单位	国网山西省电力有限公司电力科学研究院				
参加本项目起止时间	2015 年 1 月至 2024 年 12 月				
对本项目的创造性贡献	项目主要技术人员，提出了基于水平振动的直流合成电场高灵敏度传感结构及测量方法。对本项目的创新点 1、2 做出重要贡献。				

姓名	万皓		排名	4	
行政职务	/	技术职称	高级工程师	所学专业	软件工程
工作单位	中国电力科学研究院有限公司				
参加本项目起止时间	2014 年 1 月至 2024 年 12 月				
对本项目的创造性贡献	项目主要技术人员，构建了工频电场准原位校准与综合溯源体系，对本项目的创新点 1 做出重要贡献。				

姓名	张晓琴		排名	5	
行政职务	/	技术职称	高级工程师	所学专业	电气工程
工作单位	国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司				
参加本项目起止时间	2014 年 1 月至 2024 年 12 月				
对本项目的创造性贡献	项目主要技术人员，设计了基于多参数传感监测的环境敏感区电磁环境监测装置，对本项目的创新点 2 做出重要贡献。				

姓名	臧玉魏		排名	6	
行政职务	/	技术职称	高级工程师	所学专业	环境工程
工作单位	国网山东省电力公司电力科学研究院				
参加本项目起止时间	2012 年 1 月至 2024 年 12 月				
对本项目的创造性贡献	项目主要技术人员，提出了交直流通道走廊并行架设的电磁环境评价方法，对本项目的创新点 3 做出重要贡献。				

姓名	杨彬		排名	7	
行政职务	/	技术职称	高级工程师	所学专业	电气工程
工作单位	国网陕西省电力有限公司电力科学研究院				
参加本项目起止时间	2017 年 1 月至 2024 年 12 月				
对本项目的创造性贡献	项目主要技术人员，提出了交直流同走廊架设条件下的电磁环境测量方法，对本项目的创新点 2 做出重要贡献。				

姓名	陆德坚		排名	8	
行政职务	/	技术职称	正高级工程师	所学专业	仪器仪表
工作单位	北京森馥科技股份有限公司				
参加本项目起止时间	2012 年 1 月至 2024 年 12 月				
对本项目的创造性贡献	项目主要技术人员，提出了交直流同走廊架设条件下的电磁环境测量方法，设计了基于多参数传感监测的环境敏感区电磁环境监测装置。对本项目的创新点 2 做出重要贡献。				

八、主要完成单位及创新推广贡献

序号	主要完成单位	主要创新推广贡献
1	国网山西省电力有限公司电力科学研究院	项目牵头实施单位，负责项目的总体组织实施和主要技术路线制定研究工作。具体构建了工频电场准原位校准与综合溯源体系，提出了交直流同走廊架设条件下的电磁环境测量方法，实现了电磁环境参数全景可观可测的智能化重大突破，提出了输变电设施与环境敏感区矢量化空间匹配模型，并且促进了项目技术在山西省的推广应用。对本项目的创新点 1、2、3 均做出了重要贡献。
2	国网电力科学研究院武汉南瑞有限责任公司	项目主要完成单位，负责攻关技术重点难点。提出了基于水平振动的直流合成电场高灵敏度传感结构及测量方法，提出了交直流同走廊架设条件下的电磁环境测量方法，提出了交直流通道走廊并行架设的电磁环境评价方法。对本项目的创新点 1、2、3 做出了重要贡献。
3	中国电力科学研究院有限公司	项目主要完成单位，负责攻关技术重点难点。提出了温湿度扰动和空间电荷运动补偿的三维工频电场与直流合成电场校准方法，构建了复杂环境下交直流电场高精度校准技术体系。对本项目的创新点 1 做出了重要贡献。
4	国网山东省电力公司电力科学研究院	项目主要完成单位。提出了输变电设施与环境敏感区矢量化空间匹配模型，建立了基于国产卫星及无人机遥感影像数据的环境敏感区结构化数据库，提出了交直流通道走廊并行架设的电磁环境评价方法。对本项目的创新点 3 做出了重要贡献。
5	国网陕西省电力有限公司电力科学研究院	项目完成单位。提出了交直流同走廊架设条件下的电磁环境测量方法，实现了电磁环境参数全景可观可测的智能化重大突破。对本项目的创新点 2 做出了重要贡献。
6	北京森馥科技股份有限公司	项目完成单位。提出了交直流同走廊架设条件下的电磁环境测量方法，设计了基于多参数传感监测的环境敏感区电磁环境监测装置，对项目技术成果的转化应用起到了决定性作用。对本项目的创新点 2 做出了重要贡献。

九、完成人合作关系汇总表

序号	合作方式	合作者 (所有完成人至少出现一次)	合作时间	合作成果 (列举 1-3 个成果名称即可)
1	发明专利	万皓、张振宇	2020 年-2022 年	发明专利一种工频磁场校准装置测量不确定度的评定方法及系统等
2	科技项目	张振宇、冯智慧、柳逢春	2021 年-2022 年	科技项目基于振动传感的合成电场测量装置及应用研究等
3	发明专利	冯智慧、张晓琴	2015 年-2024 年	发明专利一种基于速度闭环控制的软件极性判

				断直流电场测量系统等
4	推广应用	张振宇、柳逢春、陆德坚	2022-2024 年	北京北京森馥科技股份有限公司应用证明等
5	发明专利	臧玉魏、冯智慧	2015 年-2024 年	发明专利输变电工程环保监测与敏感区域预测系统及方法等
6	实用新型专利	冯智慧、杨彬、张晓琴	2015 年-2024 年	实用新型专利基于无线通讯的交流线路敏感点畸变电场测量系统等