

2026 年度拟提名陕西省科技进步奖项目公示内容

一、项目名称

基于功率传递的电网故障隔离与自愈控制技术研究与应用

二、提名者及提名意见

提名者：

孙安邦（单位：西安交通大学，职称：教授、博士生导师，学科专业：高电压与绝缘技术）

提名意见：

本人认真审阅并核实了项目提名材料的真实性。该项目针对电网同期并列长期依赖人工、被动等待、速度慢且成功率低的难题，以背靠背 VSC-HVDC 为核心，系统开展了基于功率传递的同期并列理论与应用研究。成果技术难度大，相关论文发表于《电工技术学报》、《电网技术》、《IEEE Transactions on Power Delivery》等国内外权威期刊，获同行公开认可。研究成果在陕西省电网公司得到推广应用，并取得了显著的经济效益。研究为智能电网自愈控制与并网自动化提供重要理论依据，对推动学科进步和大电网安全运行意义重大。

鉴于该项目创新性强、科学价值突出、学术公认度高，成果推广应用产生了显著的经济效益，本人同意提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。本人承诺对所提供提名材料的真实性负责，并愿意承担相应的提名责任。

提名者：

宋卫章（单位：西安理工大学，职称：教授、博士生导师，学科专业：电力电子与电力传动）

提名意见：

本人认真审阅了提名材料，确认材料真实、准确、完整。该项目面向大电网互联与智能电网建设需求，完成了基于功率传递的电网间同期并列关键技术及多功能复合装置研究，项目成果可有效减少停电时间、提高供电可靠性，在区域电网互联、微网并网、事故快速恢复及线路融冰等场景应用前景广阔，推广应用取得的经济效益显著，对推动电力行业技术进步和智能电网产业发展具有重要作用。

鉴于该项目技术创新突出、应用前景广阔、经济效益和社会效益显著，本人同意提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。本人承诺对所提供提名材料的真实性负责，并愿意承担相应的提名责任。

三、项目简介

本项目属于电气工程学科，依托国家自然科学基金面上项目《基于功率传递电网间同期并列理论与应用研究》（批准号：51077109），由西安理工大学承担完成。

电网互联是优化能源资源配置、提高供电可靠性的必然趋势。长期以来，电网间同期并列依赖电力调度、调频电厂与并列变电站三方人工配合，并列变电站没有调节频率与电压的手段，只能被动等待同期点，并网速度慢、成功率低，不满足智能电网自愈和可靠控制的要求。面对上述挑战，本项目提出了基于功率传递的电网间同期并列新理论、新方法，研制了实验装置，形成了从原理、方法到装置的成套技术，为电网并网自动化提供了全新的技术途径。项目主要技术内容及创新型成果如下：

(1) 针对传统电网同期并列操作依赖人工调节、并网速度慢且自动化程度低的问题，提出了基于功率传递的背靠背 VSC-HVDC 电网同期并列新方法，明确了功率传递方向的判定准则及传递功率计算公式，配合调度与调频电厂实现待并电网间的快速功率支援。有效解决了并网操作实时性差、人工干预多的问题，实现了同期并网速度显著提升与操作全自动化，为智能电网自愈控制提供了核心并网原理支撑；

(2) 针对系统发生不对称故障时并网装置因负序电流冲击而导致不间断运行能力不足的问题，构建了基于实时检测对称分量的正负序双回路双闭环控制策略，并提出了结构更为简化的负序电压补偿型不平衡控制策略，后者能有效抑制故障期间的负序电流。有效提升了装置在电网故障期间的穿越运行能力，实现了控制参数的自适应优化，保障了并网操作在复杂工况下的可靠性与安全性；

(3) 针对并网完成后设备功能单一、利用率低下且无法参与电网灵活调控的问题，设计了通过倒闸操作将装置转换为 UPFC、STATCOM 及 SSSC 的转换电路，并构建了 UPFC 联合控制体系，将背靠背 VSC-HVDC 并网装置拓展为多功能复合系统。有效解决了设备闲置与投资效益低的难题，实现了同期并网与灵活交流输电功能的有机整合，显著提高了电力系统稳定控制的灵活性与设备综合利用率；

(4) 针对并网过程中联络线功率波动冲击系统安全以及冬季线路覆冰威胁运行可靠性的问题，从理论上揭示了功率波动机理并给出了波动峰值的计算方法，同时利用 UPFC 的潮流调控能力，提出了通过增大覆冰线路传输功率进行热力融冰的新型融冰方法。有效解决了并网过渡过程暂态冲击和极端气象条件下线路防冰除冰的工程需求，实现了并网装置在防灾减灾领域的应用功能拓展；

(5) 针对工程实际设计与施工中缺乏换流器容量选型及主电路参数确定依据的问题，系统研究了待并电网容量与并网装置配置容量的匹配关系，给出了换流器容量及主电路关键参数的设计准则与计算公式。有效解决了工程应用阶段参数盲目选取的困难，实现了设计方案的经济性与可靠性的协调统一，为项目实际施工、设备选型及经济性分析提供了完整的理论依据和技术参考。

本项目在电网同期并列技术、柔性直流输电应用拓展及电力系统灵活控制等理论研究、技术研发与工程应用方面取得了多项原创性成果，获授权发明专利 5 件，实用新型 1 件；科学出版社出版专著 1 部；发表学术论文 43 篇。

本项目成果已在陕西省汉中、西安、延安、宝鸡、铜川、渭南、安康等多个地市以及河南省相关区域实现规模化部署应用，成果覆盖 110 千伏变电站数十座、10 千伏馈线及配电线路超过 600 条，部署各类智能配电终端及自愈控制设备超过 1900 台（套），服务电力用户近百万户，涵盖城市核心区、山区县域、工业园区、新能源高渗透区等多种典型应用场景。项目成果已全面融入电网工程设计、设备制造、改造升级、调度监控、故障处置、配网运维、停电恢复全业务流程，实现了从理论研究、仿真验证到规模化工程落地的完整转化。各应用单位均确认系统运行稳定可靠、无技术缺陷、无安全隐患，技术成熟度高、工程适配性强，累计增收节支 3.3 多亿元，产生了显著的经济效益和社会效益，具备极强的行业推广价值，为推动配电网向智慧化、透明化、自愈化方向发展提供了坚实的技术支撑。解决了传统并网操作依赖人工调节、速度慢且自动化程度低，以及并网后设备功能单一、联络线功率波动与线路覆冰威胁系统安全运行等关键技术难题，保障了工业生产与居民可靠用电，降低了山区巡线抢修安全风险与劳动强度；支撑了分布式风光新能源高效消纳；推动了配网智能终端装备技术升级。依托本项目，共培养电气工程硕士 26 名，博士 4 名，为行业输送了一大批掌握智能电网控制、柔性直流输电、配网自愈等前沿技术的高层次人才。

四、客观评价

1. 项目验收情况

项目依托的国家自然科学基金面上项目《基于功率传递电网间同期并列理论与应用研究》（批准号：51077109）已按期完成全部研究内容并通过结题。

2. 国内外学术性成果检索和引用

（1）2018 年，项目负责人在科学出版社出版学术专著《基于功率传递的电网间同期并列原理与技术》（“电网与清洁能源关键技术丛书”），系统汇集了本项目的科学发现与技术成果。

（2）项目研究过程中在国内外重要学术期刊和国际会议上发表学术论文 43 篇，其中 SCI 检索 10 篇；EI 检索 25 篇。多篇论文发表在 International Journal of Electrical Power & Energy Systems 和 IEEE Transactions on Power Delivery 等能源电气类国际权威期刊以及电工技术学报等国内电气类顶级刊物上；授权发明专利 5 项，授权实用新型 1 项。

（3）项目执行期间，项目组参加了国家自然科学基金委员会电工学科基金项目中期交流会，就阶段性研究结果与同行专家进行讨论交流，研究成果得到与会同行专家的极大兴趣和一致好评；项目负责人在校内作学术报告 3 次，并先后受邀在智能电网相关国内学术会议上交流研究成果，项目论文获优秀论文证书。上述学术交流与奖励情况表明，本项目的研究方向和科学发现在国内同行中获得广泛关注与认可。

本项目科学发现的应用价值得到电力行业权威机构的关注：项目负责人受国家电网智能电网研究院邀请参加融冰技术研讨会，就不停电融冰技术进行研

讨；受邀请参加英格兰电网联络线技术问题研讨。这表明本项目提出的并网与融冰新方法已引起国内外电网工程界的重视，具有明确的工程应用前景。

3. 应用效益

本项目技术在多单位规模化应用，成果应用经济效益及社会效益突出，三年累计增收节支约 3.31 亿元。其中，陕西电力建设集团减少停电损失 1.24 亿元、降低运维成本 0.32 亿元、提升新能源消纳收益 0.30 亿元；安塞、汉台、长安三地供电公司累计增收节支约 8639 万元；河南盛煌设备应用实现效益 5860 万元。

故障自愈正确率达 97.9%-98.6%，故障定位时间由 45 分钟缩短至 30 秒以内，非故障区复电由 2 小时缩至 1 分钟内，供电可靠率提升至 99.9%以上，户均停电时间下降超 50%，故障抢修出动次数减少 34%-65%。有效降低一线人员巡线抢修安全风险与劳动强度，提升新能源消纳能力，保障居民与工业可靠用电，带动配网智能化设备升级，培养一大批专业技术人才，为电力系统自愈控制提供了可推广的工程范本。

4. 获奖情况

项目“基于功率传递电网同期并列理论与应用研究”获得陕西省高等学校科学技术奖二等奖（项目编号：16J07，获奖单位：西安理工大学，获奖者：刘家军，第 1 完成人）

五、应用情况

1. 应用情况

本项目成果“基于功率传递的电网故障隔离与自愈控制技术”已在多类应用主体、多种工程场景中实现规模化落地应用，覆盖了从设备制造、工程设计到电网直接运营的全产业链条，形成了完整的技术转化与应用生态。项目成果在多个应用单位累计产生直接与间接经济效益合计约 3.31 亿元，经济效益和社会效益显著。

（1）工程建设与设计单位应用

陕西电力建设集团有限公司作为项目成果的工程化设计与系统集成应用单位，自 2023 年 3 月起，将本成果全面融入陕西省宝鸡、延安、铜川、渭南等地的电网新建、改造及运维工程设计中。该公司全程牵头完成了技术方案架构设计、工程适配优化、现场落地迭代及标准化体系搭建工作，将成果应用于城市核心配网、地市县域电网、老旧台区互联、工业园区微网等多类实际工程。通过故障功率主动阻断、零序电流抑制及故障范围精准隔离技术，应用区域故障隔离时间缩短 90%以上，非故障区域实现不间断供电，三年累计产生直接经济效益 1.86 亿元。

（2）电网直接运营单位应用

国网陕西省电力有限公司下属三家供电分公司作为成果的直接运营应用单位：

汉中市汉台区供电分公司：成果覆盖 12 座 110 千伏变电站供区、86 条 10

千伏馈线，部署配电自动化终端 540 余台、配电变压器 2100 余台，服务电力用户 28.6 万户，其中含分布式光伏接入馈线 32 条、接入容量约 6.8 万千瓦。故障平均定位时间由 45 分钟缩短至 30 秒以内，非故障区域平均复电时间由 2 小时缩短至 1 分钟以内，户均故障停电时间下降 52%，自愈控制正确率达 98.1%，三年累计新增售电 5500 万 kWh，增收节支 2350 万元，同时降低人员安全风险，提升新能源消纳能力。

西安市长安区供电分公司：成果应用于郭杜、韦曲及常宁新区等核心区域配电网。自愈控制功能累计启动 240 次，正确动作 235 次，正确率 97.9%，未发生因误动导致的停电扩大事件，供电服务质量和用户用电体验明显改善。三年累计减少停电约 1630 万时·户，新增售电 5650 万 kWh，增收节支 2520 万元。

延安市安塞区供电分公司：成果全面融入山区复杂配电网、工业集中负荷及分布式新能源多点并网特殊运行工况。故障识别准确率由 82.3%提升至 96.7%，平均故障恢复时长压缩至 2.2 分钟，区域分布式风光新能源消纳率由 92.1%提升至 96.2%，供电可靠率由 99.81%提升至 99.94%，故障抢修出动次数同比下降 34%，累计经济效益 3769 万元。

（3）设备制造与产品应用单位

河南盛煌电力设备有限公司将本成果技术方案纳入智能配电终端、配网自愈控制系统及故障自愈保护装置等二次设备产品的研发设计与出厂校验流程。截至目前，应用该成果的二次设备已在汉中、安康地区配电网改造及汉中兴元汉文化生态新城镇建设示范区等工程中投入运行，累计应用智能配电终端 1368 台（套）、覆盖馈线及配电线路 520 回；累计产生经济效益约 5860 万元。

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	陕西电力建设集团有限公司	基于功率传递的电网故障隔离与自愈控制技术	陕西省宝鸡、延安、铜川、渭南等地电网新建、改造及运维工程	2023 年 03 月 01 日—2025 年 12 月 31 日	梁俊
2	国网陕西省电力有限公司汉中市汉台区供电分公司	基于功串传递的电网故障隔离与自愈控制技术	汉台供电区所辖 12 座 110 千伏变电站供区、86 条 10 千伏馈线	2023 年 06 月 01 日—2026 年 05 月 01 日	杨汉军

3	国网陕西省电力有限公司西安市长安区供电公司	基于功率传递的电网故障隔离与自愈控制技术	西安市长安区郭杜、韦曲及常宁新区等配电网	2023 年 06 月 01 日—2026 年 05 月 01 日	郭军炜
4	国网陕西省电力有限公司延安市安塞区供电公司	基于功率传递的电网故障隔离与自愈控制技术	国网延安市安塞区供电公司管辖电网	2023 年 06 月 01 日—2026 年 05 月 01 日	梁万军
5	河南盛煌电力设备有限公司	基于功率传递的电网故障隔离与自愈控制技术	累计应用智能配电终端 1368 台、覆盖馈线 520 回	2023 年 06 月 01 日—2026 年 05 月 01 日	崔振兴

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	一种能实现电网自愈的电路及控制方法	中国	ZL201811399281.7	2022 年 07 月 22 日	第 5325923 号	西安理工大学	刘家军、刘悦、谭雅岚
2	发明专利	一种用于多联络线的电网自愈电路及方法	中国	ZL202111161049.1	2024 年 01 月 30 日	第 6659838 号	西安理工大学	刘家军、孙骥、刘悦、冯欣玉、林皓琨、苗淼
3	发明专利	低惯量电力系统大停电事故后的黑启动方法	中国	ZL202210032394.3	2024 年 12 月 13 日	第 7597831 号	西安理工大学	刘家军、孙骥、熊磊、刘悦、郭超龙、苗淼
4	专著	基于功率传递的电网间同期并列原理与技术	中国	ISBN978-7-03-055322-5	2018 年 06 月 01 日	(2017)第 281180 号	科学出版社	刘家军
5	论文	平行双回线中串补电容对零序电抗型距离保护的影响	中国	2011 年 26 卷 264-270 页	2011 年 07 月 26 日	电工技术学报	西安理工大学	刘家军、闫泊、姚李孝、梁振锋
6	论文	基于功率传递并网方式的联络线	中国	2012 年 40 卷 125-128, 144 页	2012 年 02 月 16 日	电力系统保护与控制	西安理工大学	刘家军, 闫泊, 姚李

		功率波动研究						孝, 刘博, 刘栋, 薛美娟
7	论文	电网间同期并列复合系统控制策略	中国	2015 年 39 卷 1933-1939 页	2015 年 07 月 05 日	电网技术	西安理工大学, 国网陕西省电力公司西安供电公司	刘家军、 刘昌博、 徐银凤、 薛美娟
8	论文	An identification method for vulnerable lines based on combination weighting method and GraphSAGE algorithm	中国	2023 年 149 卷 109035 页	2023 年 04 月 06 日	International Journal of Electrical Power & Energy Systems	西安理工大学	孙骥、刘 家军、李 晨婧、支 娜
9	论文	Yolov7-DRROT:Rotation Mechanism Based Infrared Object Fault Detection for Substation Isolator	中国	2025 年 40 卷 50-61 页	2024 年 10 月 24 日	IEEE Transactions on Power Delivery	西安理工大学	林皓琨、 刘家军、 支娜

10	论文	基于云模型的动态调整拓扑限制短路电流快速开关布点决策综合评价方法	中国	2025 年 40 卷 24 期 8093-8107, 8122 页	2025 年 12 月 01 日	电工技术学报	西安理工大学	刘家军、王紫童、孙骥、林皓琨、李晨婧
----	----	----------------------------------	----	------------------------------------	------------------	--------	--------	--------------------

七、主要完成人情况

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
刘家军	1	无	教授	西安理工大学	西安理工大学	项目负责人，提出基于功率传递的同期并列新方法，总体构想装置功能转换复合系统，提出线路融冰新原理。
梁俊	2	三级职员	正高级工程师	陕西电力建设集团有限公司	陕西电力建设集团有限公司	将同期并列技术应用于电力建设工程，验证成果有效性并提供真实工程数据。
李晨婧	3	无	博士研究生	西安理工大学	西安理工大学	参与控制参数随功率与工况自适应调整的机制设计。
孙骥	4	无	博士研究生	西安理工大学	西安理工大学	参与联络线功率波动机理与波动峰值计算方法研究。
林皓琨	5	无	博士研究生	西安理工大学	西安理工大学	参与同期并列数学建模与仿真验证。
姚李孝	6	无	教授	西安理工大学	西安理工大学	参与同期并列机理研究与数学建模，参与联络线功率波动机理分析。
刘悦	7	无	博士研究生	西安理工大学	西安理工大学	参与控制策略与算法优化，在简化运算量、提升实时性方面作出贡献。
安源	8	无	副教授	西安理工大学	西安理工大学	参与并网装置向 UPFC/STATCOM/SSSC 功能转换的拓扑与倒闸策略研究。
王紫童	9	无	硕士研究生	西安理工大学	西安理工大学	参与联络线功率波动峰值计算方法的推导与验证。
闫泊	10	无	硕士研究生	西安理工大学	西安理工大学	参与线路融冰数学模型建立与仿真分析。

八、主要完成单位情况及创新推广贡献

完成单位	排名	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献
西安理工大学	1	(1) 科研条件支撑：依托电气工程一级博士点、博士后流动站及省部级重点实验室，为国自然面上项目（51077109）提供配套经费、电力系统动态模拟实验平台及跨学科人才梯队，保障了背靠背 VSC-HVDC 同期并列理论、控制策略优化与功能转换拓扑等核心创新研究的顺利开展。 (2) 组织管理：学校科研管理部门全过程组织、协调项目执行，确保按期高质量结题，并支持出版专著《基于功率传递的电网间同期并列原理与技术》（科学出版社 2018 年）。 (3) 成果推广：支持项目负责人 2012 年参加国网智能电网研究院专题研讨会并作报告，推动成果在行业内传播；将研究成果融入本科及研究生教学，培养了大批电力行业技术人才。
陕西电力建设集团有限公司	2	陕西电力建设集团有限公司全程牵头完成了项目成果在宝鸡、延安、铜川、渭南等多地电网的工程落地工作，涵盖技术方案架构设计、现场适配优化、系统联调及运行迭代全过程。同时，公司组织编制了相关技术标准与运行规程，构建了涵盖设计、施工、调试、运维各环节的标准化应用体系，为项目成果的规模化复制推广奠定了制度基础。在三年应用期间，该公司推动成果成功应用于城市核心配网、地市地域电网、老旧台区互联、工业园区微网等多类实际工程场景，累计产生直接经济效益 1.86 亿元，有效推动了陕西省新型电力系统自愈控制领域的技术进步，填补了省内柔性功率协同故障处置的工程应用空白，对电力行业智能化、绿色化高质量发展起到了重要示范引领作用。

九、完成人合作关系说明

西安理工大学刘家军（第 1 完成人）、李晨婧（第 3 完成人）、孙骥（第 4 完成人）、林皓琨（第 5 完成人）、王紫童（第 9 完成人），通过论文合著方式合作，研究成果为发表于《电工技术学报》的论文《基于云模型的动态调整拓扑限制短路电流快速开关布点决策综合评价方法》。

刘家军（第 1 完成人）与姚李孝（第 6 完成人）、安源（第 8 完成人）通过共同立项方式合作，共同承担国家自然科学基金面上项目《基于功率传递电网间同期并列理论与应用研究》。

刘家军（第 1 完成人）与孙骥（第 4 完成人）、林皓琨（第 5 完成人）、刘悦（第 7 完成人）通过共同知识产权方式合作，合作成果为发明专利《一种用于多联络线的电网自愈电路及方法》。

刘家军（第 1 完成人）与姚李孝（第 6 完成人）、闫泊（第 10 完成人）通过论文合著方式合作，合作成果为发表于《电力系统保护与控制》的论文《基于功率传递并网方式的联络线功率波动研究》。

刘家军（第 1 完成人）与梁俊（第 2 完成人）通过产业合作方式合作，合作成果为基于功率传递的电网故障隔离与自愈控制技术研究与应用项目产出成果应用。