

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

电力开关装备状态感知与智能诊断关键技术及应用

二、提名者及提名意见

提名者：

王成山，天津大学教授，中国工程院院士，电气工程

提名意见：

由西安交通大学、中国西电电气股份有限公司、河南平高电气股份有限公司、国网陕西省电力有限公司、西安西电开关电气有限公司、西安高压电器研究院股份有限公司、平高集团有限公司共同完成的“电力开关装备状态感知与智能诊断关键技术及应用”项目，针对开关状态特征量测不到、传感器原位供电难、故障诊断算不准三大难题，开展了系统性研究，提出了高精度在线感知方法，开发了温差、磁能原位供电器件，研发了电力开关“电瞳”大模型。研究成果整体达到国际领先水平，相关成果应用于国家重大工程。

申报材料齐全、规范，符合陕西省科学技术奖推荐条件，同意推荐该项目为陕西省科学技术进步一等奖。

三、项目简介

2023 年 5 月，习近平总书记在深入推进京津冀协同发展座谈会上指出，要把电力装备与生物医药、集成电路等作为战略型新型产业的重中之重加快发展。电力装备是电力系统的物理基石，其运行状态感知和智能诊断直接影响电力系统的安全经济运行。尤其是电力开关装备，在电力系统中地位重要且特殊，因此，电力开关装备的状态感知和智能诊断一直以来都是国内外电气工程领域的热点。已有研究存在如下三大难题：①状态特征量“测不到”；②传感器原位“供电难”；③故障诊断“算不准”。

项目组历经 13 年协同攻关，攻克了上述 3 大难题，取得的创新如下：

1. 针对状态参量“测不到”，发明了材料晶面调控的电力嗅觉传感技术，提出了多光谱动态配准的电力视觉传感方法，以及多参量关联的电寿命预测方法。

2. 针对传感器原位“供电难”，发明了新型热电材料合成方法，提出了磁场自适应最大功率点跟踪方法，研制了基于温差、空间杂散磁场微能量收集的 2 种原位供电器件。

3. 针对故障诊断“算不准”，开发了电力开关装备“电瞳”大模型，率先

实现了基于人工智能大模型的电力开关装备运维智能决策。

基于以上创新，授权发明专利 50 余项，形成国家标准 3 项，发表期刊论文 80 余篇。

本项目研究成果已通过中国计量科学研究院、西安高压电器研究院股份有限公司等第三方检测，已在核电重大工程、水电重大工程、特高压输电重大工程和风电光伏发电及送出重大工程得到应用，经济和社会效益显著，对陕西省经济发展具有重要推动作用。

以王成山院士为主任的鉴定委员会认为“项目成果整体达到国际领先水平”。

四、客观评价

1. 鉴定意见

2026 年 8 月 11 日，中国电工技术学会组织召开了“电力开关装备状态感知与智能诊断关键技术及应用”项目科技成果鉴定会，以王成山院士为主任的鉴定委员会一致认为，项目成果整体达到国际领先水平。

2. 项目验收

项目依托国家自然科学基金委创新群体项目“电力设备绝缘与放电”获滚动支持、国家自然科学基金联合基金重点项目“高压 GIS 寿命评估中的多参量传感技术及智能诊断算法研究”优秀结题。

3. 科技查新

中国科学院上海科技查新咨询中心于 2026 年 7 月对本项目所有创新点进行了国内外检索查新。查新结论表明：在以上国内外文献检索中，除本查新项目单位公开的专利和报道的文献外，未见相同文献报道。因此，本项目具有新颖性。

4. 检验报告

1) 电力开关装备综合监测系统通过了国家继电保护及自动化设备质量检验检测中心测试，电磁防护、防水、高低温湿热、振动试验指标，全部满足或超过国家行业的相关检测标准。

2) 温差自供电温度传感器通过了国家继电保护及自动化设备质量检验检测中心全套功能与性能测试，能在温差 8.4℃ 条件下实现自我供电。

3) 在国家网信办已备案的电力开关“电瞳”大模型，通过了西安高压电器研究院股份有限公司测试。

5. 学术评价

1) 美国发明家科学院院士、纽约州立大学 Paras N. Prasad 教授在顶级期刊 Chemical Reviews 上评价“几乎具备气体传感器的所有理想性能”。

2) 中国科学院程廷海研究员评价“有效解决了现有磁能收集器在低初级电流时输出功率不足、高初级电流时出现磁芯饱和等问题”。

6. 成果拓展

应用本项目开发的热电器件性能表征科学仪器，我国学者北京航空航天大学赵立东等在 Science 正刊发表高水平论文，并在论文中特别致谢本项目成果。

7. 技术性能比对

表 1 本项目技术性能与国内外同类技术比较结果

创新点	核心对比指标	与国内外技术比较结果
创新点 1	SF ₆ 分解产物监测	填补了两种关键分解产物的测量空白
	电寿命关联传感	实现了电寿命评估从定性到定量的跨越
创新点 2	热电材料	优值系数提升 24%
	温差供电器件	最小工作温差降低 75%
	磁能收集器件	功率密度提升 5.8 倍
创新点 3	电力开关大模型	首次实现了基于人工智能大模型的电力开关装备智能运维

五、应用情况

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	西安西电开关电气有限公司	状态感知、原位供电与智能诊断技术	研发的系列智能监测装置及智能开关产品,应用于大型核电、水电、特高压输电及风电光伏发电及送出重大工程,经济效益显著。	2023 年 1 月 2025 年 12 月	孟晨
2	平高集团有限公司	状态感知、原位供电与智能诊断技术	研发的系列智能监测装置及智能开关产品,应用于特高压交流输电工程、特高压直流输电工程等,经济效益显著。	2023 年 1 月至 2025 年 12 月	段晓辉
3	山东泰开高压开关有限公司	分解产物监测、电寿命监测与智能诊断	研发的智能监测装置和智能化系统应用于 3 条±800kV 特高压直流输电工程。	2023 年 1 月至 2025 年 12 月	从猛
4	正泰电气股份有限公司	分解产物监测、电寿命监测与智能诊断	研发的 550kV、800kV 智能开关产品应用于甘肃兰州秦川 750kV 输变电工程变电站、江苏桃花港 500kV 变电站。	2023 年 1 月至 2025 年 12 月	袁志兵
5	国网陕西省电力有限公司咸阳供电局	姿态感知与电机电流监测系统	咸阳 110kV 乐育变电站应用,实现了 2 间隔隔离开关异常的识别。	2018 年 1 月至今	李旭辉
6	国网陕西省电力有限公司	传感器与开关大模型	在 750kV 朔方变等 20 余座变电站应用。	2016 年 1 月至今	李良书

7	国网安徽省电力有限公司超高压分公司	原位供电技术及传感器	应用于世界唯一的±1100kV特高压直流输电工程古泉站。	2022年1月至今	陈庆涛
8	国网河北省电力有限公司电力科学研究院	电力开关装备状态诊断算法	在民生站、前卫站、市中站等变电站应用。	2018年5月至今	李晓峰
9	国网宁夏电力有限公司电力科学研究院	气体检测与多光融合检测	西夏 220kV、凯歌 330kV 等变电站 GIS 设备的隐患排查工作中，发现了开关内部局部放电、外绝缘老化和局部温升超标等 65 起故障缺陷。	2021年1月至今	闫振华
10	国网上海市电力公司电力科学研究院	电力嗅觉、电力视觉与大模型技术	练塘站、枫泾换流站等 500kV 及以上 GIS 设备的隐患排查工作中，发现了分合闸不到位、局放和过热缺陷 85 起。	2019年1月至今	司文荣

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	一种基于虚拟交流阻抗的半导体气体传感器测量方法	中国	ZL202110086136.9	2022.04.05	5054094	西安交通大学	荣命哲，王大伟，杨爱军，王小华，潘健彬，黄贤博，褚继峰，袁欢
2	发明专利	用于热电材料性能参数表征的探针	中国	ZL202410168246.3	2024.11.19	7535856	西安交通大学	荣命哲，何海龙，纽春萍，李友群，吴翊
3	发明专利	一种碲化铋基热电材料、制备方法及其应用	中国	ZL202310294320.1	2024.04.05	6864173	西安交通大学	何海龙，吴翊，熊涛，纽春萍，荣命哲
4	发明专利	一种 GIS 内部绝缘缺陷分类与定位方法及其系统	中国	ZL201611213656.7	2020.06.09	3835527	西安交通大学	王小华，李锡，谢鼎力，荣命哲，刘定新，杨爱军，吴翊
5	发明专利	GIS 中绝缘气体放电分解产物的质谱检测系统及方法	中国	ZL201811329801.7	2021.11.30	4821648	平高集团有限公司，西安交通大学	张友鹏，荣命哲，刘庆，马庆，李永林，王小华，赵晓民，杨爱军，韩桂全，刘家霖，韩国辉，傅熊雄，毕迎华，李旭旭
6	发明专利	一种电子式电流互感器与断路器的集成装置	中国	ZL201310330162.7	2015.11.25	1849574	中国西电电气股份有限公司	朱琦琦，王传川，林巍岩，权帅峰，李振青，张伟
7	美国专利	Electromagnetic Induction	美国	US12081033B2	2024.09.03	US012081	Xi' an	Aijun Yang, Xiaohua

		Type Magnetic Energy Collector Based on Capacitive Energy Storage and Power Improvement Method				033B2	Jiaotong University	Wang, Mingzhe Rong, Zhu Liu, Pengbo Zhao, Kai Ye, Huan Yuan
8	美国专利	Measuring Method for Semiconductor Gas Sensor Based on Alternating-current Impedance	美国	US11630074B2	2023.04.18	US011630074B2	Xi' an Jiaotong University	Xiaohua Wang, Dawei Wang, Aijun Yang, Mingzhe Rong, Jianbin Pan, Xianbo Huang, Jifeng Chu, Huan Yuan
9	国家标准	《3.6 kV~40.5 kV 交流金属封闭开关设备和控制设备》	中国	GB/T 3906-2020	2020.03.31	/	国家标准化管理委员会	张晋波（第1）
10	国家标准	《额定电压 72.5kV 及以上气体绝缘金属封闭开关设备》	中国	GB/T 7674-2020	2020.11.19	/	国家标准化管理委员会	张晋波（第1）

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
荣命哲	1	无	教授	西安交通大学	西安交通大学	对创新点 1、2、3 作出了贡献。负责项目总体技术方案的制定、核心理论的突破、关键技术的发明与工作协调实施，发表了与本项目创新点关联的发明专利、论文等。
何海龙	2	无	教授	西安交通大学	西安交通大学	对创新点 1、2 作出了贡献。共同提出了开关断口弧压在线测量方法，共同发明了高性能热电半导体材料合成方法，共同开发了温差供电的传感器产品，并主导开发了热电半导体器件性能测试系统，发表了与本项目创新点关联的发明专利、论文等。
袁 欢	3	无	副教授	西安交通大学	西安交通大学	对创新点 1、2、3 作出了贡献。共同发明了基于交流阻抗的气体传感器测量方法及磁场能量收集器功率提升方法，并主导了电力开关多参量数据关联分析、电力开关设备多物理场建模等工作，发表了与本项目创新点关联的发明专利、论文等。
朱琦琦	4	党委副书记、总经理	正高级工程师	中国西电电气股份有限公司	中国西电电气股份有限公司	对创新点 1、3 作出了贡献。以合作项目技术为基础，共同承担了开关设备有关测量技术与数据分析，并参与了智能监测系统、智能监测模块等智能化产品开发及产业化工作。
张友鹏	5	党委委员、副总经理	正高级工程师	河南平高电气股份有限公司	河南平高电气股份有限公司	对创新点 3 作出了贡献。共同承担了智能监测装置、高压智能开关装备研发及产品推广应用。

张晋波	6	党委书记、 董事长、总 经理	正高级 工程师	西安高压电器研 究院股份有限公 司	西安高压电器研 究院股份有限公 司	对创新点 1、3 作出了贡献，以合作项目技术为基础，共同参与了开关设备有关测量技术与数据分析。制定了与本项目创新点关联的国家标准等。
褚继峰	7	无	副教授	西安交通大学	西安交通大学	对创新点 1、3 作出了贡献，共同发明了气体传感器温湿度漂移修正方法，承担了高选择性机器嗅觉传感中气体传感器的研制。发表了与本项目创新点关联的发明专利、论文等。
孟 晨	8	党委书记、 董事长	正高级 工程师	西安西电开关电 气有限公司	西安西电开关电 气有限公司	对创新点 1、3 作出了贡献。以合作项目技术为基础，共同参与了开关设备有关测量技术与数据分析。
迟 清	9	首席专家	正高级 工程师	国网陕西省电力 有限公司	国网陕西省电力 有限公司	对创新点 1 作出了贡献。以合作项目技术为基础，共同承担了高压开关中 SF6 电弧磁流体建模以及电弧对触头烧蚀的理论分析，参与了电力开关状态监测传感器产品开发及产业化工作。
杨爱军	10	无	教授	西安交通大学	西安交通大学	对创新点 1、2、3 作出了贡献。共同提出了高压开关 SF6 气体分解产物的理论分析方法，共同发明了电磁感应式磁能收集器件及功率提升方法。发表了与本项目创新点关联的发明专利、论文等。
王小华	11	未来技术学 院执行院长	教授	西安交通大学	西安交通大学	对创新点 1、2、3 作出了贡献。共同提出了高压开关内部分解气体含量的高精度检测方法，共同发明了高压开关内部绝缘缺陷分类及定位方法。发表了与本项目创新点关联的发明专利、论文等。
赵晓民	12	智慧电气装 备技术研究 院副院长	正高级 工程师	河南平高电气股 份有限公司	河南平高电气股 份有限公司	对创新点 1、3 作出了贡献。共同承担了电力开关装备状态监测装置产品开发与产业化工作。
段晓辉	13	科信部主任	正高级 工程师	河南平高电气股 份有限公司	河南平高电气股 份有限公司	对创新点 1、3 作出了贡献。以合作项目技术为基础，共同承担了多参量融合、高灵敏检测技术研究及开关

						产品研制, 参与了共同承担了电力开关装备状态监测装置产品开发与产业化工作。
牛 博	14	国网陕西省电力有限公司电力科学研究院科技部主任	正高级工程师	国网陕西省电力有限公司	国网陕西省电力有限公司	对创新点 3 作出了贡献。共同发明了一种高压开关设备可靠性运维方法及系统, 以合作项目技术为基础, 共同承担了基于多维信息融合的开关弧触头烧蚀评估方法研究。发表了与本项目创新点关联的发明专利。

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 (限 600 字)
西安交通大学	1	项目负责单位，制定研究路线及方案，并进行具体实施，解决了项目中的关键理论与技术问题。在本项目中的重要贡献如下： 1. 系统深入地研究了电力开关设备在线感知方法。 2. 研发了基于温差、磁场取能的原位供电器件及产品。 3. 开发了电力开关装备“电瞳”大模型。 4. 参与了电力开关装备监测装置及智能化开关产品的研发。
中国西电电气股份有限公司	2	1. 负责西安西电开关电气有限公司、西安西电高压开关有限责任公司、西安高压电器研究院股份有限公司等下属公司与西安交通大学项目合作的组织、管理和协调。 2. 以合作项目为依托，共同参与了开关设备有关测量技术与数据分析。 3. 共同完成了本项目产品开发及工程应用。
河南平高电气股份有限公司	3	1. 以合作项目为依托，共同承担了电力开关多参量融合、高灵敏检测技术研究。 2. 参与完成了智能监测系统、智能监测模块等智能化产品开发及产业化工作。 3. 共同完成了本项目产品开发及工程应用。
国网陕西省电力有限公司	4	1. 以合作项目为依托，共同承担了基于多维信息融合的开关弧触头烧蚀评估方法研究。 2. 共同完成了本项目产品工程应用及技术迭代。
西安西电开关电气有限公司	5	1. 以合作项目为依托，共同承担了智能化高压开关产品开发。 2. 共同完成了本项目产品开发及工程应用。
西安高压电器研究院股份有限公司	6	1. 主持了本项目创新点相关的国家标准制定。 2. 以项目合作为依托，共同承担了开关设备有关测量技术与数据分析。
平高集团有限公司	7	1. 负责平高集团有限公司及下属单位与西安交通大学合作的组织、管理和协调。 2. 共同完成了本项目产品开发及工程应用。

九、完成人合作关系说明

西安交通大学荣命哲（第 1 完成人）作为科研团队负责人，所在团队固定成员包括何海龙（第 2 完成人）、袁欢（第 3 完成人）、褚继峰（第 7 完成人）、杨

爱军（第 10 完成人）、王小华（第 11 完成人），长期保持紧密的合作，共同发表论文多篇，授权专利多项；中国西电电气股份有限公司朱琦琦（第 4 完成人）与西安高压电气研究院股份有限公司张晋波（第 6 完成人）、西安西电开关电气有限公司孟晨（中国西电电气股份有限公司开关事业部，第 8 完成人）一起，参与了与荣命哲教授团队合作的开关设备断口电弧微观参数测量技术与数据分析项目，另外，朱琦琦在本项目执行期间曾任职于平高集团有限公司及河南平高电气股份有限公司，与段晓辉（第 13 完成人）一起与荣命哲教授团队共同立项，合作开发了可见光+红外融合传感器装置及高压开关集总式数据处理平台等；河南平高电气股份有限公司张友鹏（第 5 完成人）、赵晓民（第 12 完成人）与荣命哲教授团队一直共同从事智能监测系统、智能监测模块等智能化产品开发及产业化工作，并合作取得发明专利；国网陕西省电力有限公司迟清（第 9 完成人）、牛博（第 14 完成人）与荣命哲教授团队共同立项，合作完成了电力开关设备状态监测技术及产品技术迭代。