

陕西省科学进步奖项目公示

一、 项目名称：输电线路结构安全监测与状态评估关键技术及应用

二、 提名者及提名意见（包含提名等级）：

提名者：陕西省教育厅，二等

提名意见：高压输电是解决我国能源资源与生产力分布不均问题的主要途径，输变电设备处于野外环境中，受特殊地理环境和自然条件的影响，其安全运行受到严重的影响。目前，输电线路的结构安全已成为电力运维的重点工作，研究先进的监测技术和状态评价方法也成为电力智能化的重要发展方向。该项目围绕输电线路结构安全问题，针对杆塔沉降、杆塔变形、螺栓松动、导线断股、导线散股等早期隐患，研究了输电线路典型隐患的表征方法，提出不良工况下输电塔结构动力学响应特点及模态识别方法、自然风作用下导线振动特性及损伤识别方法、同时开发了集合杆塔倾斜监测装置、杆塔沉降监测装置、导线微风振动监测装置、导线舞动监测装置、杆塔振动监测装置等系列输电线路结构安全监测装置，取得了一系列核心知识产权。相关技术可以实现输电塔倾斜度 3‰报警、塔腿沉降 1cm 快速反馈、螺栓松动 1m 范围定位、导线断股 1/32 的识别，产品能够在强电磁环境、温度范围-40℃~70℃严酷环境下正常运行。在秦创原及陕西省创新驱动共同体的大力支持下实现了产业化，相关产品应用于新疆、陕西、宁夏等多个地区。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

三、 项目简介：

本项目开展了输电线路结构安全监测与状态评估关键技术研究和应用，包括不良工况下输电塔结构动力学响应特点及模态识别方法研究，自然风作用下导线振动特性及损伤识别方法研究，以及输电线路结构安全监测装置与状态评估系统三方面的工作，并开展了大量的工程应用。完成人团队针对强风区、地质沉降区、交通要道附近等特殊工况下的输电塔开展了动力学响应分析，通过建立等比例力学仿真模型和现场实测分析，掌握了沉降、倾斜、侧滑、螺栓松动、杆件变形等不同隐患模式的振动响应特点。完成人团队针对输电线路断股散股缺陷，首次提出采用振动模态分析的方法实现损伤状态的识别。开展了损伤导线的振动特性的研究，掌握了导线不同损伤程度、防振装置故障情况下的导线各阶振动特征，以及不同负荷状态下温度对其特征的影响，并通过快速时频分析方法建立了导线损伤程度识别模型。完成人团队根据实际输电塔、导线的结构损伤特点和振动响应特点，以及现场长期监测的应用需求，研制了输电线路结构安全监测装置与状态评估系统，实现各电压等级下杆塔、导线的振动信号监测和检测，通过深度学习实现了输电塔线多隐患类型的状态识别，并实现无人区输电塔线的结构安全就地分析及结构安全状态远距离传输。

四、 客观评价：

陕西省自然科学基金项目《输电线路铁塔振动信号特征提取及结构形变识别研究项目》，主要对输电塔在外界激励下产生的振动响应信号进行特征提取，揭示了时变环境下各种工况输电塔模态参数的响应规律，并提出变形识别的具体方法，该项目顺利通过陕西省科技厅验收。西安市科技计划项目《输电线路铁塔结构变形在线监测技术与系统》，建立输电塔有限元仿真模型；研制了抗电磁干扰、耐高低温能力强、灵敏度高的光纤加速度传感器；研制体积小、功率大的太阳能充放电装置；开发了专家软件，可及时了解设备及环境变化，为事故预防及事后分析提供事实依据。该项目完成了科技成果登记，并通过西安市科技局的验收。国网新疆电力有限公司科技项目《强风等不良工况区杆塔模态实验及结构健康状态评估》开展了典型杆塔振动响应力学分析、典型杆塔模态实验及故障识别、强风作用下的杆塔模态实验及状态评估工作。该项目顺利通过国网新疆电力有限公司组织的专家组验收。

项目组研发了输电线路结构安全在线监测系列产品，已取得第三方检测报告。本项目提出的新型监测技术实现了输电塔倾斜度 3‰报警、塔腿沉降 1cm 快速反馈、螺栓松动 1m 范围定位、导线断股 1/32 的识别，能够快速反应出结构安全隐患。项目组的研发成果经专业机构的资产评估，该系列技术在技术市场价格较好。

项目负责人赵隆获 2021 年度第二届陕西省电源学会青年学术贡献奖。此外项目组成员赵隆、袁鹏以首席科学家和首席工程师获批 2024 年陕西省秦创原“科学家+工程师”队伍。项目成果在国家电网报、新疆日报、工人时报、中国日报、搜狐、腾讯、中国青年网、天山网、全国电力设备管理网等各大平台，相继进行 20 余次报道。项目研发了杆塔倾斜监测装置、杆塔沉降监测装置、导线微风振动监测装置、导线舞动监测装置、杆塔振动监测装置等系列输电线路结构安全监测系统，在多家合作企业进行了科研成果转化，申报单位和成果转化单位累计与电网公司、华能集团等能源单位或相关企业签订本课题相关科技产品及技术服务。

五、 应用情况：

本项目在输电线路结构安全监测新技术、状态评价新方法等方面取得了大量创新成果，研发的输电线路结构安全监测系统系列产品通过合作单位西安勤创电气有限责任公司、西安昂洲信息技术有限公司、康源电气股份有限公司等单位推广和产业化，相关产品应用于新疆、陕西、宁夏、甘肃、广东等多个地区。

六、 主要知识产权和标准规范等目录：

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	考虑运行温度变化的输电导线模态分	中国	ZL201810751447.0	2023.06.06	第 6027526 号	西安工程大学	赵隆 黄新波 田毅 张烨

		析方法						赵钰
2	发明专利	一种基于超声波换能器的空间风速风向监测方法	中国	ZL202011156867.8	2023.03.14	第 5786514 号	西安工程大学	赵隆 王如水 朱超
3	发明专利	一种基于模态分析的输电铁塔沉降识别方法	中国	ZL201711131257.0	2021.7.30	第 4583712 号	西安工程大学	赵隆 赵钰 黄新波 张晗
4	发明专利	一种输电线路铁塔塔材变形在线监测系统及监测方法	中国	ZL201810311820.0	2019.12.10	第 3627686 号	西安工程大学	赵隆 赵钰 田毅 朱永灿
5	发明专利	基于平行板电容器的输电铁塔形变的监测装置及监测方法	中国	ZL201910434862.8	2019.5.23	第 4047948 号	西安工程大学	赵隆 张甜 黄新波 郑天堂
6	发明专利	基于北斗差分定位的输电杆塔沉降监测装置及监测方法	中国	ZL202010897837.6	2024.3.26	第 6834013 号	西安勤创电气有限公司	赵隆 芦旭东 袁鹏
7	发明专利	用于输电线路微风振动传感器的标定平台及标定方法	中国	ZL201410508725.1	2017.10.3	第 2647123 号	西安工程大学	赵隆 黄新波 朱永灿
8	发明专利	基于冰形建模的输电导线横截面覆冰形状识别方法	中国	ZL 201711470765.1	2021 年 10 月 15 日	第 4736375 号	西安工程大学	张烨 黄新波 刘新慧 张慧莹

9	发明专利	一种基于可见光图像的双防震锤位移识别方法	中国	ZL 2019 1 0989275.5	2023 年 03 月 31 日	第 5835520 号	西安工程大学	张烨 伍逸群 黄新波 章小玲 高玉菡
10	发明专利	基于局部融合频域特征的输电导线覆冰分类方法	中国	ZL 2020 1 1117445.X	2023 年 3 月 14 日	第 5785956 号	西安工程大学	张烨 伍逸群 黄新波 高玉菡 孙苏珍
<p>承诺：上述知识产权无争议且为本项目独有，未曾在往年国家科学技术奖励项目、往年其他省部级（政府）科学技术奖励项目和本年度其他陕西省科学技术奖提名项目中作为支撑材料出现。用于提名陕西省科学技术奖的情况，已征得未列入项目主要完成人和主要完成单位的权利人（专利指发明人）的同意，有关知情证明材料均存档备查。</p>								

七、 主要完成人情况：

主要完成人：（依次列写完成人姓名）

排名	姓名	技术职称	行政职务	工作单位	完成单位	对本项目的贡献
1	赵隆	副教授	无	西安工程大学	西安工程大学	对该项目中所列关键技术中的输电线路模态分析与隐患识别方法、输电线路结构安全监测装置设计、状态评估方法、成果转化落地等方面作出了创造性贡献。
2	董新胜	教授级高工	无	国网新疆电力有限公司电力科学研究院	国网新疆电力有限公司电力科学研究院	对该项目中所列关键技术中的输电塔结构健康状态评估、项目在新疆地区应用等方面作出了重要贡献；负责的研究内容包括：输电塔模态识别方法、监测装置的设计等方面。
3	张烨	副教授	无	西安工程大学	西安工程大学	对该项目中输电线路导线断股散股特征提取，信号分析等方面作出重要贡献。负责的研究内容包括导线动态响应信号识别与分析，覆冰、防振锤异常识别及对模态影响分析。
4	曹雯	教授	系主任	西安工程	西安工程	对该项目中所列关键技术中

				大学	大学	的导线振动信号处理方法方面作出了重要贡献；负责的研究内容包括：导线振动信号的时域、频率分析，导线振动模态特征参数提取等方面。
5	刘志成	无	无	西安工程大学	西安工程大学	对该项目中输电杆塔结构动力学响应规律、杆塔模态识别方法与状态评估方法做出了重要贡献，负责研究的内容包括：杆塔动力学响应规律、杆塔模态参数提取与状态评估
6	纪超	副教授	无	西安工程大学	西安工程大学	对该项目所列关键技术中的输电塔损伤特征提取、安全状态评价等方面作出了创造性贡献。负责的研究内容包括：螺栓松动、杆塔变形特征信号提取，杆塔异物识别及对振动模态影响分析。
7	袁鹏	工程师	总经理	西安勤创电气有限公司	西安勤创电气有限公司	对该项目所列关键技术中的输电线路结构安全监测和状态评价系统开发、市场推广等作出了创造性贡献。并作为主要成员完成了无线传感器开发、监测主机开发的工作。
8	范晨阳	无	无	西安勤创电气有限公司	西安工程大学	对该项目所列关键技术中的输电导线结构模态分析方法做出了贡献。负责研究内容包括：导线的动态响应模型，振动仿真分析和模态识别。
9	赵冀冠	工程师	无	国网新疆电力有限公司电力科学研究院	国网新疆电力有限公司电力科学研究院	对该项目新疆地区应用等方面作出了贡献。负责的研究内容包括：监测装置的设计。
10	杜燕	讲师	无	西安工程大学	西安工程大学	对该项目所列关键技术中的输电线路结构健康监测及状态评价系统研制作出了重大贡献。负责研究内容包括：传感器信号采集、嵌入式数据分析处理等方面。

八、 主要完成单位及创新推广贡献：

主要完成单位：（依次列写单位名称）

排 名	完成单位	创新推广贡献
1	西安工程大学	（1）项目总体设计；（2）导线不同损伤程度、防振装置故障情况下的导线各阶振动特征分析，导线损伤程度的状态评估（3）不良工况下输电塔结构动力学响应分析，复杂振动信号重构和特征寻优，输电塔隐患模态识别方法研究；（4）输电线路结构安全监测装置与状态评估系统架构设计，监测数据的分析与处理。
2	国网新疆电力有限公司电力科学研究院	（1）采空区、地震带、强风区以及交通要道附近等特殊区域输电塔的动力学响应分析；（2）输电塔结构健康监测装置设计；（3）输电塔防风灾治理办法研究；（4）该项目成果在新疆地区的应用。
3	西安勤创电气有限责任公司	（1）输电线路结构安全监测装置与状态评估系统设计，包括无线传感器、低功耗监测主机、上位机后台三个部分；（2）输电线路导线、杆塔振动检测方法、信号识别方法、状态评价方法研究；（3）产品的型式试验；（4）产品及检测技术的大规模应用。

九、 完成人合作关系说明：（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等。下表中的“项目排名”指在本次报奖中的完成人排序。）

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	合作起始时间	合作完成时间	合作成果名称
1	共同完成科研项目	赵隆/1、张烨/3、曹雯/4、纪超/6、袁鹏/7	2019	2020	陕西省自然科学基金基础研究计划：输电线路铁塔振动信号特征提取及结构形变识别研究
2	共同完成科研项目	赵隆/1、张烨/3、曹雯/4	2018	2020	西安市科技计划项目：输电线路铁塔结构变形在线监测技术与系统

3	共同完成科研项目	赵隆/1、董新胜/2、袁鹏/7、赵冀冠/9	2021	2022	国网新疆电力有限公司科技项目：强风等不良工况区杆塔模态实验及结构健康状态评估
4	共同完成科研项目	赵隆/1、刘志成/5	2022	2023	基于多参数感知的输电塔运行状态智能评估技术研究
5	共同完成科研项目	赵隆/1、刘志成/5、范晨阳/8、杜燕/10	2023	2024	基于多模态参数的架空导地线损伤辨识研究与应用
6	共同知识产权	赵隆/1、张烨/3	2018	2023	发明专利：考虑运行温度变化的输电导线模态分
7	共同知识产权	赵隆/1、袁鹏/7	2020	2024	发明专利：基于北斗差分定位的输电杆塔沉降监测装置及监测方法
8	产业合作	赵隆/1、袁鹏/7	2019	2024	产业合作：合作开展输变电设备智能化监测与诊断等技术的产业合作和技术推广，成立并运营了西安勤创电气有限公司，分别担任执行董事、法人等职务。
9	论文合著	赵隆/1、刘志成/5、杜燕/10	2023	2023	SCI 论文：Method for extracting the free vibration response of transmission tower

10	论文 合著	赵隆/1、范晨阳/8	2021	2024	合作发表论文:考虑水平和 竖直方向振动作用的 导线疲劳损伤检测方法 研究
----	----------	------------	------	------	---