

一、项目名称

基于激光多参量融合感知的新能源设施安全预警技术及系统

二、申报奖种及等级

山东省科技进步奖二等奖

三、提名者及提名意见

提名者：齐鲁工业大学（山东省科学院）

提名意见：

经审查，该项目申报材料内容真实可靠，成果等材料填写规范，完成人所完成工作量以及在创新点中发挥的作用属实，形式审查合格，完成人排序、承担的任务和创造性贡献无异议。

该项目聚焦新能源设施安全监测领域存在的监测预警技术相对落后的问题，针对动力电池热失控预警可靠性差、储运设施故障感知精度低、大区域新能源场景危险源溯源难等核心难题开展系统性攻关，创新研发了激光多参量融合预警体系，研制了具有自主知识产权的系列化监测装备，构建了全方位的立体辨识溯源系统，显著提升了新能源设施安全监测预警能力。

该项目已授权发明专利 57 项，发表 SCI/EI 论文 49 篇，研制出光纤传感器新产品 8 项。形成国家标准 4 项，部分技术指标国际领先。成果已在新能源停车区、立体车库、聚变堆主机关键系统综合研究设施等地成功推广应用，大幅提升了我国新能源设施安全监测预警技术水平，经济社会效益显著。

该项目符合山东省科技进步奖推荐条件，推荐该项目申报山东省

科技进步奖二等奖。

四、项目简介

该项目属于公共安全与电子信息技术交叉领域。

发展新能源是国家保障能源自主可控与绿色低碳转型的核心举措，新能源设施作为新型电力系统与绿色能源体系的核心载体。当前，预警可靠性差、故障感知精度低及危险源溯源难等问题，已成为制约新能源基础设施安全运行的突出短板。复杂工况下传统监测手段难以满足多参量耦合感知、快速预警响应、精准溯源定位等严苛要求，极易引发热失控连锁反应、气体燃爆事故及次生灾害，亟需进行成套关键技术的升级与创新，为新能源设施的安全稳定运行提供全天候防护保障。

在国家重点研发计划、山东省科技重大专项项目等重大课题的支持下，历经 10 余年产学研联合攻关，建立了国际先进的基于激光多参量融合感知的新能源设施安全预警技术及系统。主要创新如下：

创新点一：研究了动力电池退化规律及热失控监测预警体系。针对动力电池高温服役场景下退化规律表征不统一、热失控早期感知精度低及单一气体预警可靠性差等安全隐患。以温度、形变、CO/CO₂/CH₄ 气体等激光传感器为感知终端，构建了涵盖健康状态评估、热失控早期预警的全链条监测体系，攻克了大规模电池组单体温度场“测不全”、产气特征“判不准”、退化规律“析不透”的行业难题，为动力电池高温工况安全防护提供了系统性解决方案。

创新点二：创制了新能源储运安全无源传感技术及装备。针对新能源

储运过程中痕量气体泄漏感知难、高温应变漂移大及解调环境适应性差的技术瓶颈，通过间歇式脉冲驱动与微透镜组优化，实现了 ppb 级 CO/CO₂/CH₄ 气体检测，开发无胶化封装光纤应变传感器，消除了高温热膨胀干扰，创立了气体吸收波长自校准解调机制，突破了宽温环境光纤多参量高精度测量难题，为极端工况下新能源储运安全运维提供可靠技术支撑。

创新点三：首创了面向大区域新能源场景的危险源立体辨识溯源系统。针对新能源停车区等场景监测范围大、干扰源多、检测手段单一且误报率高等难题，研发了反射式自适应光路激光遥测技术，构建了信号分段重构式高空间分辨率光纤测温网络，并结合双光谱红外热成像建立三维温度场模型，首创了气体-温度-风速-风向的多参量动态反演溯源算法，实现了全域危险源亚米级精确定位与扩散路径快速推演。

该项目已授权发明专利 57 项，发表 SCI、EI 论文 49 篇，研制出激光传感器/装备新产品 8 项，形成国家标准 4 项。激光 CH₄ 传感器检测限值小于 0.01ppm；分布式温度监测系统测温精度优于 $\pm 0.6^{\circ}\text{C}$ ；压力传感器测量精度优于 0.05%F.S。项目整体技术处于国际先进水平，部分技术国际领先。该成果已在新能源停车区、立体车库、聚变堆主机关键系统等地推广应用，产生经济效益 9.24 亿元，显著提升了我国新能源设施安全监测预警技术水平。

五、主要知识产权和标准规范等目录

| 知识产权（标准）类别 | 知识产权（标准）具体名称 | 国家（地区） | 授权号（标准编号） | 授权（标准发布）日期 | 证书编号（标准批准发布部门） | 权利人（标准起草单位） | 发明人（标准起草人） | 发明专利（标准）有效状态 | 第一完成人是否为发明人（标准起草人） | 第一完成单位是否为权利人（标准起草单位） |
|------------|-----------------------|--------|------------------|------------|----------------|-----------------|------------------|--------------|--------------------|----------------------|
| 发明专利 | 气体传感器、电池单体、电池和气体浓度检测 | 中国 | ZL202311080571.6 | 2023.12.29 | 证书号第6594348号 | 宁德时代新能源科技股份有限公司 | 吴凯;张继君;朱翠翠等 | 有效 | 否 | 否 |
| 发明专利 | 一种光纤分布式电池多点测温系统及应用 | 中国 | ZL202311191167.7 | 2023.01.31 | 证书号第5718051号 | 广东感光激光科技有限公司 | 刘统玉;宁雅农;刘振亚;李德虎 | 有效 | 否 | 否 |
| 发明专利 | 电池模组、电池、用电装置及电池放电控制方法 | 中国 | ZL202311580718.8 | 2024.04.19 | 证书号第6924622号 | 宁德时代新能源科技股份有限公司 | 张继君;王少飞 | 有效 | 否 | 否 |
| 发明专利 | 一种混合能源系统及其控制方法 | 中国 | ZL202311467316.7 | 2024.04.12 | 证书号第6897783号 | 宁德时代新能源科技股份有限公司 | 孙娟娟;张继君;王少飞等 | 有效 | 否 | 否 |
| 发明专利 | 一种低功耗本安型激光一氧化碳传感控制方法 | 中国 | ZL202311556182.7 | 2024.02.20 | 证书号第6717549号 | 山东微感光电子有限公司 | 胡杰;马春飞;刘统玉;宁雅农;魏 | 有效 | 否 | 否 |
| 发明专利 | 高精度光纤MEMS法珀传感器自适应解调方法 | 中国 | ZL202410953941.0 | 2024.07.17 | 证书号第7360212号 | 山东省科学院激光研究所 | 王纪强;吴国秀;李振;赵林 | 有效 | 是 | 是 |
| 发明专利 | 一种光纤应变传感器预紧封装结构及方法 | 中国 | ZL202311107304.3 | 2023.12.05 | 证书号第6538936号 | 山东省科学院激光研究所 | 赵林;王纪强;李振等 | 有效 | 是 | 是 |
| 发明专利 | 一种气体激光吸收光谱的基线拟合及降噪方法 | 中国 | ZL202410171508.1 | 2024.05.03 | 证书号第6963323号 | 山东省科学院激光研究所 | 张秦端;张宇;李艳芳等 | 有效 | 否 | 是 |
| 发明专利 | 一种应用于光纤拉曼分布式系统的温度测量方法 | 中国 | ZL202310368462.8 | 2026.06.27 | 证书号第6094599号 | 山东省科学院激光研究所 | 王纪强;李硕;刘海涛等 | 有效 | 是 | 是 |
| 发明专利 | 提高分布式测温系统采样率的方法及系统 | 中国 | ZL202111269709.0 | 2021.03.05 | 证书号第4286190号 | 山东翼派普光学科技有限公司 | 侯墨语;王纪强;吴新文等 | 有效 | 是 | 否 |

六、主要完成人情况表（姓名、国籍、身份证号、排名、技术职称、工作单位、二级单位、完成单位、参加本项目的起止时间、对本项目技术创造性贡献、曾获省级以上科技奖励情况）

1. 姓名：王纪强；国籍：中国；排名：1/10；技术职称：研究员；行

政职务：无；工作单位：齐鲁工业大学（山东省科学院）；二级单位：山东省科学院激光研究所；完成单位：山东省科学院激光研究所；参加本项目的起止时间：2014.01 至今；具体贡献：项目总负责人，制定项目的整体方案和实施计划，提出项目研究思路和技术路线，组织实施和推广应用，对创新点 1、2 和 3 做出了创造性贡献；曾获奖励情况：“光纤综合检测系统研发及应用”，山东省科技进步三等奖，2012 年，第三位，证书编号：JB2012-3-32-R03；“大型流体储运设施安全无源监测预警关键技术与装备”，山东省科技进步二等奖，2021 年，第一位，证书编号：JB2021-2-5-R01。

2. 姓名：张继君；国籍：中国；排名：2/10；技术职称：高级工程师；行政职务：无；工作单位：宁德时代新能源科技股份有限公司；二级单位：宁德时代 21C 创新实验室；完成单位：宁德时代新能源科技股份有限公司；参加本项目的起止时间：2021.09 至今；具体贡献：提出利用温度、应变和产气量三个参数综合表征电池性能退化，解决了锂离子电池性能退化规律表征不统一的问题，提出一种基于多气体协同监测的融合预警方法，实现热失控前 15-30 分钟的精准预警，对创新点 1 做出了创造性贡献。；曾获奖励情况：无。

3. 姓名：颜亮；国籍：中国；排名：3/10；技术职称：助理工程师；行政职务：无；工作单位：山东微感光电子股份有限公司；二级单位：无；完成单位：山东微感光电子股份有限公司；参加本项目的起止时间：2016-03 至今；具体贡献：参与提出一种分布式多点测温预警方法，负责在新能源停车区部署高密度分布式光纤测温网络(DTS 系统)，

结合双光谱红外热成像技术应用，实现停车区内多维度、全天候的温度监测，对创新点 1、3 做出了创造性贡献。；曾获奖励情况：无。

4. 姓名：陈维如；国籍：中国；排名：4/10；技术职称：高级工程师；行政职务：科技创新中心主任；工作单位：山东港口烟台港集团有限公司；二级单位：无；完成单位：山东港口烟台港集团有限公司；参加本项目的起止时间：2022-02 至今；具体贡献：负责新能源停车区危险源立体辨识溯源系统的总体规划及设计，督办项目的开发设计、应用推广，对创新点 3 做出了创造性贡献。支持本人贡献的旁证材料：附件 43。；曾获奖励情况：无。

5. 姓名：张秦端；国籍：中国；排名：5/10；技术职称：助理研究员；行政职务：无；工作单位：齐鲁工业大学（山东省科学院）；二级单位：山东省科学院激光研究所；完成单位：山东省科学院激光研究所；参加本项目的起止时间：2021-10 至今；具体贡献：提出了通过激光器间歇式脉冲驱动连续扫描调制检测技术降低中红外激光器的功耗和体积；开展了反射式自适应光路设计，研制了大区域自适应激光气体遥测仪，对创新点 2、3 做出了创造性贡献。；曾获奖励情况：无。

6. 姓名：许永建；国籍：中国；排名：6/10；技术职称：副研究员；行政职务：无；工作单位：中国科学院合肥物质科学研究院；二级单位：等离子体物理研究所；完成单位：中国科学院合肥物质科学研究院；参加本项目的起止时间：2020-10 至今；具体贡献：负责温度、耐高温应变传感器的示范应用推广，对创新点 2 做出了创造性贡献，共同组织成果转化和推广应用；曾获奖励情况：无。

7. 姓名：倪奉尧；国籍：中国；排名：7/10；技术职称：工程师；行政职务：副董事长；工作单位：山东东宏管业股份有限公司；二级单位：无；完成单位：山东东宏管业股份有限公司；参加本项目的起止时间：2020-06 至今；具体贡献：参与了新能源储运安全无源传感技术及装备的研发及工程化，开展了安全无源传感技术及装备的推广应用，对创新点 2 做出了创造性贡献；曾获奖励情况：无。

8. 姓名：王一；国籍：中国；排名：8/10；技术职称：高级工程师；行政职务：技术信息中心副主任；工作单位：山东港口烟台港集团有限公司；二级单位：烟台港股份有限公司汽车码头分公司；完成单位：山东港口烟台港集团有限公司；参加本项目的起止时间：2022-02 至今；具体贡献：协调新能源停车区危险源立体辨识溯源系统项目的总体调度、方案策划、技术设计，参与项目需求分析、功能研究，以及质量控制、进度工作，对创新点 3 做出了创造性贡献；曾获奖励情况：无。

9. 姓名：赵林；国籍：中国；排名：9/10；技术职称：副研究员；行政职务：无；工作单位：齐鲁工业大学（山东省科学院）；二级单位：山东省科学院激光研究所；完成单位：山东省科学院激光研究所；参加本项目的起止时间：2014-01 至今；具体贡献：研制了耐高温无胶化光纤光栅应变传感器，发明了“螺旋预紧+玻璃焊接”无胶化封装方法，消除了高温热膨胀引起的零点漂移，提出了一种基于参考气体吸收峰动态标定波长方法，解决了多通道光栅波长自动校正的技术难题，对创新点 2 做出了创造性贡献。；曾获奖励情况：2021 年山东省

科学技术奖二等奖“大型流体储运设施安全无源监测预警关键技术与装备” JB2021-2-5-R05；2016 年山东省科学技术奖一等奖“基于光纤传感网络的煤矿安全综合监控系统” JB2015-1-10-R12。

10. 姓名：金光贤；国籍：中国；排名：10/10；技术职称：高级工程师；行政职务：总工；工作单位：山东微感光电子股份有限公司；二级单位：无；完成单位：山东微感光电子股份有限公司；参加本项目的起止时间：2014-06 至今；具体贡献：提出了“光源→微气室→探测”传感关键部件一体化的高度集成设计方案，利用微透镜组构建了小尺寸、易便携的微样本气室，用于小型化、低功耗中红外痕量气体传感器的研发，对创新点 2 做出了创造性贡献；曾获奖励情况：无。

七、主要完成单位情况表（单位名称、排名、对本项目科技创新和推广应用情况的贡献）

1. 单位名称：山东省科学院激光研究所；排名：1/7；对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：对创新点 1、2、3 均做出了重要贡献，主要完成了：参与提出了一种分布式多点测温预警方法，基于光纤长度一致性构建高密度定位网络，实现数千单体电池的精准空间定位与亚秒级响应监测；开发了高性能中红外痕量激光 CO、CO₂、CH₄ 传感器，研发了一种耐高温无胶化光纤光栅应变传感器，解决了多通道光栅波长自动校正的技术难题；研制了大区域自适应激光气体遥测仪，开发了多层次立体化的光纤分布式测温系统。是本项目主要知识产权证明目录中 4 项专利的专利权人。

2. 单位名称：山东港口烟台港集团有限公司；排名：2/7；对本项目

科技创新和推广应用情况的贡献：对创新点 3 做出了重要贡献，包括：首创了新能源停车区危险源立体辨识溯源系统，建立了基于多参数传感网络的新能源车场危险源动态溯源模型，消除了环境变化对危险源溯源准确性的干扰，系统地改善了危险源溯源的准确性，并在烟台港新能源停车区推广应用，解决港区新能源汽车堆存的安全问题。

3. 单位名称：宁德时代新能源科技股份有限公司；排名：3/7；对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：对创新点 1 做出了重要贡献，包括：构建了多参数动力电池退化失效模型，提出了利用温度、应变和产气量三个参数综合表征电池性能退化，解决了锂离子电池性能退化规律表征不统一的问题；提出了基于多气体协同监测的动力电池热失控预警模型，实现了热失控前 15-30 分钟的精准预警，并在动力电池产线安全监测推广应用。是本项目主要知识产权证明目录中 3 项专利的专利权人。

4. 单位名称：山东东宏管业股份有限公司；排名：4/7；对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：参与了新能源储运安全无源传感技术及装备的研发及工程化，开展了安全无源传感技术及装备的推广应用。该研究成果已在核能供暖管道获得应用，有力提升了管道的风险防范预警能力，减少了管道本体、关键设备的维护费用，为应用单位创造了显著的经济效益和社会效益。

5. 单位名称：中国科学院合肥物质科学研究院；排名：5/7；对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：负责温度、耐高温应变传感器的示范应用推广，目前已在聚变堆主机关键系统综合研究设施所属的中

性束注入装置上应用，形成了针对中性束注入器关键部件运行风险及安全隐患的多参数监测预警体系，取得了良好的应用效果。

6. 单位名称：山东微感光电子股份有限公司；排名：6/7；对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：对创新点 1、2、3 均做出了重要贡献，包括：参与提出了一种分布式多点测温预警方法，基于光纤长度一致性构建高密度定位网络，实现了数千单体电池的精准空间定位与亚秒级响应监测；利用微透镜组构建了小尺寸、易便携的微样本气室，用于小型化、低功耗中红外痕量气体传感器的研发；在新能源停车区内部署了高密度分布式光纤测温网络（DTS 系统），结合双光谱红外热成像技术应用，实现了停车区内多维度、全天候的温度监测。是该项目主要知识产权证明目录中 2 项专利的专利权人。

7. 单位名称：山东翼派普光学科技有限公司；排名：7/7；对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：对创新点 3 做出了重要贡献，研发了本质安全型高空间分辨率分布式测温装置，是该项目主要知识产权证明目录中 1 项专利的专利权人。