

2026 年度山东省自然科学奖提名公示信息

项目名称	规模化海上风电场雷击演化物理机制		
提名者	山东大学	提名等级	二等奖
提名意见	我单位认真审阅了该项目提名书及相关附件材料，确认该项目符合山东省自然科学奖提名条件，材料真实有效，完成人和完成单位排序无异议，相关栏目符合填写要求。 海上风电是新能源规模化开发的重要方向，但风机大型化、叶片复合材料化及海洋盐雾环境，使其雷击连接、接闪附着和电弧损伤过程更加复杂。长期以来，风机叶片上行先导起始判据不清、旋转叶片接闪规律不明、接闪器拦截失效机理及复合材料雷击损伤演化机制认识不足，制约了海上风电雷电防护理论的发展。 该项目围绕规模化海上风电场雷击演化物理机制开展研究，取得了三方面重要科学发现：一是揭示了风机叶片上行先导起始与发展机制，提出稳定起始临界长度判据和动态临界长度判据，建立负极性上行先导梯级发展模型；二是揭示了叶片接闪过程对旋转状态、电压极性、侧向来袭、海洋盐雾及碳纤维主梁导电性的响应规律，提出接闪器拦截失效典型模式；三是揭示了雷击电弧作用下叶片热损伤、机械爆裂与气爆效应演化机制，建立了热-电-磁-气流多场耦合模型。 项目成果深化了对海上风电机组雷击全过程的基础认识，推动了雷电先导物理、叶片接闪理论和复合材料雷击损伤机理的发展。相关成果发表于《中国电机工程学报》《高电压技术》以及 Wind Energy、Journal of Applied Physics、Physics of Plasmas 等国内外重要学术期刊，并被国内外同行引用和借鉴，体现出较高的学术影响和科学价值。 提名该项目为 2026 年度山东省自然科学奖二等奖。		

项目简介	海上风电是实现能源结构转型和“双碳”目标的重要支撑。海上风机具有高耸旋转结构、长柔性复合材料叶片、金属接闪器、碳纤维主梁以及长期服役于高湿、高盐雾海洋环境等特征，雷击过程涉及下行先导、叶片上行先导、接闪附着、电流传导、电弧烧蚀、材料热解和结构爆裂等多阶段耦合过程。现有风机防雷理论多借鉴输电线路和避雷针模型，难以准确解释大型海上风机雷击连接、接闪偏移和叶片损伤的特殊规律。因此，揭示规模化海上风电场雷击演化物理机制，是发展大型风电装备雷电防护理论、提升海上风机安全运行能力亟需解决的基础科学问题。 项目围绕上述问题开展研究，取得了三方面主要科学发现：（1）揭示了风电机组雷击连接过程中风机叶片上行先导起始与发展的关键物理机制，提出了风机叶片稳定上行先导起始的临界长度判据及动态临界长度判据，建立了基于上行先导起始物理机制的风机叶片雷击概率评估模型。 （2）揭示了风机叶片接闪过程对旋转状态、电压极性、侧向来袭位置和海洋盐雾附着等因素的响应规律，发现接闪器保护范围随叶片姿态和侧向距离发生不对称变化，旋转会诱发放电通道偏移和接闪器附近叶片表面拉弧损伤；海洋盐雾附着会改变叶片表面电荷积聚和局部电场分布，提高污染区域雷击概率。（3）揭示了雷击电弧作用下风机叶片材料热损伤、机械爆裂与气爆效应的演化机制，利用分子动力学方法阐明了典型叶片材料在雷击热冲击下的热解路径、产气规律和机械强度损伤机制，说明热解产气和内部气体膨胀是诱发材料爆裂和分层损伤的重要来源。 相关成果被国内外同行在风机雷击概率评估、叶片接闪系统优化、海上盐雾环境雷击风险分析、复合材料雷击损伤机理等研究中引用，为大型海上风电机组雷电防护理论完善和安全运行提供了重要科学依据。							
	代表性论文专著目录							
	序号	论文（专著）名称	刊名（出版社）	Doi/ISBN	发表时间	作者（按刊物发表顺序）	通讯作者（含共同）	第一作者（含共同）
	1	A new method for spatial allocation of turbines in a wind farm based on lightning protection efficiency	Wind Energy	10.1002/we.2357	2019	Li Zhang; Huanjing Lao; Guozheng Wang; Liang Zou; Tong Zhao; Zhiyang Fang	Li Zhang	Li Zhang
2	基于雷电物理的风机叶片动态击距与电气几何模型	中国电机工程学报	10.13334/j.0258-8013.pcsee.170080	2017	王国政; 张黎; 郭子炘; 马宇飞; 李庆民; 闫江燕; 赵彤; 邹亮; SIEW Wah	张黎	王国政	
3	风机叶片材料雷击热损伤特性及损伤机	中国电机工程		2020	张黎; 姜力杨; 盖歆楠;	张黎	张黎	

	制的分子动力学研究	学报	10.13334/J.0258-8013.PCSEE.181425		赵彤；邹亮		
4	风力发电机接闪系统失效风险定量评估方法研究	中国电机工程学报	0258-8013	2019	于万水；李庆民；张敏昊；郭子炘；刘亮；Siew Wah Hoon；王健	李庆民	于万水
5	A comprehensive lightning surge analysis in offshore wind farm	Electric Power Systems Research	10.1016/j.epsr.2022.108259	2022	Qiuqin Sun; Lei Yang; Zhi Zheng; Jiahuan Han; Yizhu Wang; Lei Yao	Qiuqin Sun	Qiuqin Sun

主要完成人情况

位次	姓名	工作单位	完成单位	对本项目贡献
1	张黎	山东大学	山东大学	负责项目总体学术构思、研究路线设计和成果凝练，系统开展海上风电场雷击连接、接闪附着和电弧损伤研究。参与科学发现 1 中风机叶片上行先导起始、动态击距与电气几何模型研究；参与科学发现 2 中多风机雷电屏蔽、防雷布置及接闪概率评估研究；主持科学发现 3 中风机叶片材料雷击热损伤机制研究。
2	李庆民	华北电力大学	华北电力大学	围绕雷电先导物理、风机叶片雷击概率评估和接闪附着机制开展系统研究。参与科学发现 1 中上行先导起始物理机制、初始流注区临界长度判据及风机叶片雷击概率模型研究；参与科学发现 2 中旋转状态下风机叶片接闪特性、海洋盐雾附着条件下雷击概率变化规律及接闪系统失效风险研究。
3	王健	华北电力大学	华北电力大学	围绕风机叶片接闪概率、接闪系统失效风险及风电装备防雷评价方法开展研究。参与科学发现 2 中风力发电机接闪系统失效风险定量评估、风机叶片雷击概率分布和接闪特性研究，支撑接闪点偏移、接闪器拦截效率下降和非设计区域接闪等现象的机理解释。
4	孙秋芹	湖南大学	湖南大学	参与海上风电场雷击暂态过程、雷击过电压传播及风电装备绝缘响应相关研究。参与科学发现 1 中雷击上行先导及雷电通道发展对风电装备雷击风险影响的学术分析；参与科学发现 2 中海上风电场复杂环境下雷击附着、雷电暂态过电压及风电场防雷边界条件研究。

主要完成单位情况

山东大学、华北电力大学和湖南大学作为本项目主要完成单位，围绕规模化海上风电场雷击演化物理机制开展了系统性协同研究。山东大学作为第一完成单位和项目主要依托单位，负责项目总体学术构思、研究路线设计、科学发现凝练和提名材料组织工作，重点开展了风机叶片雷击连接、动态击距与电气几何模型、多风机雷电屏蔽、风电场防雷布置以及风机叶片材料雷击热损伤机制等研究，在科学发现 1 中参与上行先导起始机制、动态击距模型和风机叶片引雷能力分析，在科学发现 2 中参与风机叶片接闪概率、多风机雷电屏蔽和风电场防雷布置规律研究，在科学发现 3 中主持风机叶片材料雷击热损伤及损伤机制的分子动力学研究，是项目科学发现形成和成果集成的核心完成单位。华北电力大学作为主要完成单位，围绕雷电先导物理、风机叶片雷击概率评估、旋转叶片接闪特性和海上盐雾环境雷击风险开展系统研究，在科学发现 1 中重点参与雷电上行先导起始物理机制、初始流注区临界长度判据及风机叶片雷击概率评估模型研究，在科学发现 2 中重点参与旋转状态下风机叶片雷击接闪实验、海洋盐雾附着条件下叶片雷击概率变化规律及接闪系统失效风险研究，是项目科学发现 1 和科学发现 2 的重要支撑单位。湖南大学作为主要完成单位，依托其在电力系统过电压、先进电能传输、新能源装备安全运行和电力设备绝缘方向的研究基础，参与海

上风电场雷击演化过程中雷电过电压、电磁暂态及风电装备绝缘响应相关研究，主要围绕科学发现 1 和科学发现 2 提供系统层面的学术支撑，将风机叶片雷击物理机制与海上风电场电磁暂态、过电压和新能源装备安全运行问题相结合，促进项目科学发现向风电场系统层面拓展。