

2018 年度国家科学技术进步奖提名项目 公示材料

一、 项目名称

高效低风速风电机组关键技术研发和大规模工程应用

二、 提名者及提名意见

提 名 者：中国电机工程学会

提名意见：风电已成为我国第三大电源，发展风电是推进能源生产、消费革命和能源转型的重大战略举措。我国低风速区域占可开发风资源面积近 70%，是现阶段风电开发的重点。原有风电机组应用于低风速区时面临发电效能低、度电成本高等难题，在无国外经验借鉴的情况下，亟需自主突破低风速风电机组实现高效率、高效益和环境适应性强等方面的技术瓶颈。

五家单位依托国家“973”计划和国家科技支撑计划项目产、学、研、用协同攻关，实现了低风速双馈风电机组叶片-整机一体化设计、叶片专用翼型研发、轴承研制、整机控制和机械载荷评估共 5 个方面的自主创新。鉴定委员会认为，项目整体达到了国际先进水平，其中在低风速双馈风电机组的叶片-整机一体化设计技术方面达到国际领先水平。

项目成果获得省部级科技进步一等奖 3 项，授权发明专利 61 项、软件著作权 13 项，发表 SCI/EI 论文 53 篇，编写国家标准 6 项。项目研制的全系列高效低风速风电机组已推广应用至 14 家电力集团并出口南非。项目促进了我国风电行业快速发展，为世界绿色能源结构转型做出了贡献，经济效益及社会效益巨大。

经认真审核，我单位确认提名材料真实有效，相关栏目填写符合要求，同意提名项目申报 2018 年度国家科学技术进步奖二等奖。

三、 项目简介

项目属于能源科学技术领域，面向我国能源生产、消费革命和能源转型的迫切需求，依托国家“973”计划和国家科技支撑计划项目，研发的高效低风速风电机组具有发电效率高、整机成本低、环境适应性强的特点。

低风速区域占我国可开发风资源面积近 70%，具有资源分散、地形复杂、环境多变、风湍流度高等特点，大规模开发面临风电机组发电效能低、度电成本高、环境适应性弱等难题。项目团队产、学、研、用协同攻关，突破了低风速风电机组在发电能力、整机成本、环境适应性三个方面的关键技术，主要创新点如下：

（1）建立了低风速风电机组叶片-整机一体化设计平台，研制了 UP1500-97、UP2000-105、UP2000-115 等高效低风速风电机组；研发了高升阻比的叶片专用翼型族，研制了适用低风速风电机组的高效叶片；提出了基于鲁棒稳定准则的变桨距控制策略，开发了桨距角自调节的控制算法，实现了最大风能捕获。

（2）提出了桨距角预补偿、电磁阻尼减振等系列机械载荷控制算法，攻克了高湍流、大叶轮造成的机械载荷控制难题；研制了负游隙、高负载、低摩擦力矩差值的风电偏航、变桨轴承，以及具有整体保持架的高强度、大双列圆锥滚子风电主轴承，实现了风电轴承国产化。

（3）开发了空气密度自适应和桨距角约束冰载运行控制算法，提升了低风速机组在恶劣环境工况下的安全性和发电效益；提出了基于数据挖掘理论和多源信息融合的风电机组关键部件机械载荷实时评估方法，提升了风电机组在复杂环境下运行的安全性。

项目成果获省部级科技奖励一等奖 3 项，获授权发明专利 61 项、软件著作权 13 项，发表 SCI/EI 论文 53 篇，编写国家标准 6 项。

项目经济效益和社会效益巨大。项目成果已相继推广应用到 14 家电力集团，分布在全国 23 个省份的 115 座风电场，对节能减排意义重大。

四、客观评价

（一）鉴定及验收意见

1. 鉴定意见

中国电机工程学会在北京组织召开了项目技术鉴定会。鉴定委员会认为：项目研究成果解决了高效低风速风电机组设计、制造、控制和载荷预测技术的自主化与国产化，整体达到了国际先进水平，其中在低风速双馈风电机组的叶片-整机一体化设计技术方面达到国际领先水平。

2. 验收意见

2013 年科技部组织对国家“973”计划课题“风力发电系统中关键问题研究”进行验收，专家组验收意见摘要如下：本课题组提出的后掠式风电机组叶片的多目标优化方法，有效的解决了在发电量和载荷之间权衡的难点，为后掠式曲线更好的应用于实际叶片设计中奠定了基础，目前处于同类研究的国内领先水平，具有创新性。

2014 年科技部组织对国家科技支撑课题“2 兆瓦以上风电装备系列轴承关键技术研究与应用”进行验收，专家组验收意见摘要如下：开展了风电轴承的设计理论和方法、制造及检测、热处理工艺、摩擦力矩控制、润滑密封、轴承试验及故障诊断等技术研究，完成了任务书所规定的研究内容和考核指标。

（二）曾获奖励

项目成果获得省部级科技进步一等奖 3 项，包括中国电力科学技术进步奖一等奖、河北省科学技术进步奖一等奖、中国机械工业科学技术奖一等奖。

（三）科技查新

天津市科学技术信息研究所对项目主要技术要点进行了查新，结论为：国内外均未见与该查新项目综合技术特点相同的高效低载风电机组设计、制造和控制关键技术与应用的文献报道。

（四）第三方测试

项目研发的低风速风电机组，获得了国际权威认证机构德国 TUV NORD 认证，

符合德国认证认可委员会 DAKKS 技术要求；通过了国际权威测试机构挪威船级社 DNV-GL 测试；中国海外最大单体南非德阿风电项目通过了南非 RETEC 并网测试验收。

（五）学术杂志及其他评价

2017 年南非德阿风电项目投产发电，是我国在非洲首个集投资、建设、运营为一体的自主风电项目，相关工作在中央电视台新闻频道中得到报道。

五、推广应用情况

产品应用广泛，部分推广应用情况见下表。

表 1 部分应用单位情况表

应用单位名称	应用技术	应用的起止时间	应用单位联系人/电话	应用情况
国电联合动力技术有限公司	高效低风速风电机组整体技术	2014 年 9 月至今	张坤 /15801033572	系列低风速风电机组批量应用
洛阳 LYC 轴承有限公司	轴承技术	2012 年 1 月至今	黄伟 /15236240213	系列风电偏航、变桨和主轴轴承批量应用
湖北能源集团齐岳山风电有限公司	高效低风速风电机组整体技术	2015 年 3 月至今	陈平 /18971884119	应用 UP1500-97 风电机组
云南龙源风力发电有限公司	高效低风速风电机组整体技术	2015 年 3 月至今	张海涛 /18988290379	应用 UP1500-97、UP2000-105 风电机组
国电龙源江永风力发电有限公司	高效低风速风电机组整体技术	2015 年 4 月至今	揭军 /18075938763	应用 UP2000-105 风电机组

六、主要知识产权证明目录

知识产权类别	知识产权具体名称	国家	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人	发明专利有效状态
发明	一种大型风机的大厚度钝尾缘翼型叶片	中国	ZL201310283686.5	2015 年 9 月 2 日	第 1775436 号	国电联合动力技术有限公司	周文明、代海涛、刘丹、	有效
发明	一种风机叶片最优桨距角辨识方法	中国	ZL201310349355.7	2016 年 2 月 3 日	第 1939707 号	国电联合动力技术有限公司	王耀伟、王小虎、范晓旭、王东、张启应	有效

发明	一种基于风电场流动相关性的风电场机组分组方法	中国	ZL201310324260.X	2015 年 12 月 9 日	第 1874925 号	华北电力大学	阎洁、韩爽、刘永前、李莉、张晋华	有效
发明	一种浮式组合风力发电机组	中国	ZL201410366805.8	2017 年 9 月 29 日	第 2642802 号	国电联合动力技术有限公司	褚景春、贾法勇、李明辉、代海涛	有效
发明	一种实现双馈式风电机组低电压穿越的风机改造方法	中国	ZL201010277598.0	2013 年 5 月 1 日	第 1187302 号	国电联合动力技术有限公司	潘磊、李佳奇、孙黎翔、袁凌、张大同、秦明	有效
发明	一种风力发电机组传动链	中国	ZL201110039699.9	2016 年 7 月 13 日	第 2145654 号	国电联合动力技术有限公司	刘卫、王文亮	有效
发明	一种风电场噪声测试方法	中国	ZL201410065862.2	2017 年 6 月 23 日	第 2528602 号	国家电网公司、中国电力科学研究院、中国科学院声学研究所	薛扬、管鲁阳、马晓晶、王瑞明、焦渤、付德义、边伟、李松迪、贾利峰	有效
发明	一种风电叶片可调外形成型模具及其使用方法	中国	ZL201210152980.8	2014 年 8 月 6 日	第 1456898 号	国电联合动力技术有限公司	刘伟超、代海涛、闫文娟	有效
发明	基于有限时间鲁棒/保成本稳定的风电机组变桨距控制器设计方法	中国	ZL201210347946.6	2014 年 11 月 19 日	第 1521457 号	河北工业大学	张磊、张琨、刘卫朋、赵微微、高惠娟、穆显显、王伟朋	有效
发明	一种防锈油氧化结胶性能试验方法	中国	ZL201310106367.7	2015 年 1 月 7 日	第 1562243 号	洛阳 LYC 轴承有限公司	邹燕珍、佟予松、文婧、董汉杰、卢振伟、俞继瑶、牛丽丽	有效

七、主要完成人情况

姓名	褚景春	排名	1	行政职务	风电设备及控制国家重点实验室主任
技术职称	高级工程师		工作单位	国电联合动力技术有限公司	
完成单位	国电联合动力技术有限公司				
对本项目贡献： 项目总负责人，负责低风速双馈风电机组设计平台、载荷控制和运行控制的研发和产业化。对创新点 1、2 和 3 均做出创造性贡献，支撑材料见发明专利、获奖证书等。					

姓名	袁凌	排名	2	行政职务	风电设备及控制国家重点实验室常务副主任
技术职称	高级工程师		工作单位	国电联合动力技术有限公司	
完成单位	国电联合动力技术有限公司				
对本项目贡献： 提出了桨距角预补偿、电磁阻尼减振等系列机械载荷控制算法，开发了空气密度自适应和桨距角约束冰载运行控制算法。对创新点 2 和 3 做出突出贡献，支撑材料见发明专利、获奖证书等。					

姓名	王小虎	排名	3	行政职务	技术中心总体所副所长
技术职称	高级工程师		工作单位	国电联合动力技术有限公司	
完成单位	国电联合动力技术有限公司				
对本项目贡献： 参与建立了低风速双馈风电机组叶片-整机一体化设计平台。对创新点1做出突出贡献，支撑材料见发明专利、获奖证书等。					

姓名	刘永前	排名	4	行政职务	——
技术职称	教授		工作单位	华北电力大学	
完成单位	华北电力大学				
对本项目贡献： 参与建立了低风速双馈风电机组叶片-整机一体化设计平台。对创新点1做出重要贡献，支撑材料见发明专利等。					

姓名	董汉杰	排名	5	行政职务	技术中心主任
技术职称	教授级高级工程师		工作单位	洛阳 LYC 轴承有限公司	

完成单位	洛阳 LYC 轴承有限公司
对本项目贡献： 研制了负游隙、高负载、低摩擦力矩差值的风电偏航和变桨轴承，研制了具有整体保持架的高强度、大双列圆锥滚子风电主轴承。对创新点 2 做出重要贡献，支撑材料见发明专利、国家标准等。	

姓名	王文亮	排名	6	行政职务	技术中心控制所副所长
技术职称	高级工程师		工作单位	国电联合动力技术有限公司	
完成单位	国电联合动力技术有限公司				
对本项目贡献： 开发了空气密度自适应和桨距角约束冰载运行控制算法。对创新点 1、3 做出突出贡献，支撑材料见发明专利、获奖证书等。					

姓名	薛扬	排名	7	行政职务	风力发电试验与检测室 副主任
技术职称	高级工程师		工作单位	中国电力科学研究院有限公司	
完成单位	中国电力科学研究院有限公司				
对本项目贡献： 提出了基于数据挖掘理论和多源信息融合的风电机组关键部件载荷实时评估方法。对创新点 3 做出重要贡献，支撑材料见发明专利等。					

姓名	刘伟超	排名	8	行政职务	技术中心副总工程师
技术职称	工程师		工作单位	国电联合动力技术有限公司	
完成单位	国电联合动力技术有限公司				
对本项目贡献： 研发了高升阻比的叶片专用翼型族。对创新点 1 做出突出贡献，支撑材料见发明专利、获奖证书等。					

姓名	张磊	排名	9	行政职务	——
技术职称	教授		工作单位	河北工业大学	
完成单位	河北工业大学				
对本项目贡献： 提出了基于鲁棒稳定准则的变桨距控制策略，参与开发了桨距角自调节的控制算法。 对创新点 1 做出重要贡献，支撑材料见发明专利、获奖证书等。					

姓名	周文明	排名	10	行政职务	技术中心叶片所副所长
技术职称	工程师		工作单位	国电联合动力技术有限公司	
完成单位	国电联合动力技术有限公司				
对本项目贡献： 参与研发了高升阻比的叶片专用翼型族。对创新点 1 做出重要贡献，支撑材料见发明专利、获奖证书等。					

八、主要完成单位及创新推广贡献

（一）国电联合动力技术有限公司 第一完成单位

建立了低风速双馈风电机组叶片-整机一体化设计平台，研制了 UP1500-97、UP2000-105、UP2000-115 等系列高效低风速风电机组；研发了高升阻比的叶片专用翼型族，研制了适用低风速风电机组的高效叶片；提出了桨距角预补偿、电磁阻尼减振等系列机械载荷控制算法，攻克了高湍流、大叶轮造成的机械载荷控制难题；开发了空气密度自适应和桨距角约束冰载运行控制算法，提升了低风速机组在恶劣环境工况下的安全性和发电效益。对创新点 1、2 和 3 有创造性贡献。

负责推广研发的系列低风速风电机组应用到 14 家电力集团公司，分布在全国 23 个省份的 115 座风电场。

（二）中国电力科学研究院有限公司 第二完成单位

提出了基于数据挖掘理论和多源信息融合的风电机组关键部件机械载荷实时评估方法，提升了风电机组复杂环境运行的安全性。对创新点 3 有创造性贡献。

（三）华北电力大学 第三完成单位

参与建立了低风速双馈风电机组叶片-整机一体化设计平台。对创新点 1 做出重要贡献。

（四）洛阳 LYC 轴承有限公司 第四完成单位

研制了负游隙、高负载、低摩擦力矩差值的风电偏航、变桨轴承，研制了具有整体保持架的高强度、大双列圆锥滚子风电主轴承。对创新点 2 做出重要贡献。

（五）河北工业大学 第五完成单位

提出了基于鲁棒稳定准则的变桨距控制策略，参与开发了桨距角自调节的控制算法。对创新点 1 做出重要贡献。

九、完成人合作关系说明

本项目的完成人包括：国电联合动力技术有限公司褚景春、袁凌、王小虎、王文亮、刘伟超、周文明；中国电力科学研究院有限公司薛扬；华北电力大学刘永前；洛阳 LYC 轴承有限公司董汉杰；河北工业大学张磊。本项目成果主要由国电联合动力技术有限公司牵头，与中国电力科学研究院有限公司、华北电力大学、洛阳 LYC 轴承有限公司、河北工业大学深入合作，围绕高效低风速风电机组关键技术研发和大规模工程应用中的关键问题开展研究，共同完成本项目成果的研究与应用推广工作。