

一、项目名称

国产碳纤维复合拉挤集成技术开发及能源领域工程应用

二、申报奖种

山东省科技进步奖

三、提名单位

山东大学

四、提名单位意见

我单位认真严格地审阅了该项目的提名书及全部附件材料，确认该项目符合山东省科学技术奖励规定的提名条件，全部材料真实有效，完成人、完成单位排序无异议，提名书相关栏目均符合填写要求。

该项目针对高性能碳纤维复合材料制品在能源开发工业产业化推广应用中的技术瓶颈，以创新生产工艺、配套智能装备等共性关键技术为突破口，开发了碳纤维连续复合拉挤集成工艺技术、装备、专用树脂体系，利用本项目技术开发了电力、油田用碳纤维导线、抽油杆、功能性光纤杆、电热电缆杆、风电碳梁等产品，配套开发了施工及无损探测技术，开发了干喷湿纺工艺高性能低成本碳纤维，为碳纤维复材在能源开发领域的应用推广提供设计、材料、工艺、装备、检测、施工应用于一体的产业应用技术保障体系。

该项目通过对碳纤维产业链终端应用范围的开拓，联合国内碳纤维龙头企业威海拓展公司、中石油吉林石化分公司、国网山东电力研究院，以技术开拓带动产业发展的形式，带动提升国产碳纤的推广应用。该项目的开发应用突破了碳纤维复材制备的共性关键技术问题，解决了产业化生产、应用的标准化、稳定性问题，开拓了碳纤维复材的应用范围，累计折合产值过 10 亿元，推动了我国碳纤维及复材的创新发展。

项目授权发明专利 41 项，登记软著 3 项，出版专著 4 部，起草制定国标、行标各 1 项。

对照山东省科学技术奖授奖条件，提名该项目山东省科学技术进步奖一等奖。

五、项目简介

高性能碳纤维复合材料是作为结构、功能或结构/功能一体化的典型先进复合材料，是世界各国武器装备研发生产不可缺少的国家战略物资，更是未来低碳及先进制造业轻量化、抗腐蚀等科技进步的共性核心技术。碳纤维复合材料以其优异的性能在电力生产和输送、石油开采、压缩天然气储存、氢能源开发应用等能源领域开发中发挥着不可替代的作用。全球工业用碳纤维复合材料技术飞速发展，航空航天等各大领域已大量应用碳纤维复合材料，碳纤维生产能力及成型制造技术不断提高，但相比国外发达国家，我国国内企业仍未完全掌握碳纤维生产的核心技术，碳纤维产品在技术、质量和生产规模等方面均与国外发达国家存在较大差距，碳纤维复合材料制件成型技术落后，过程难以控制，产品质量不稳定，制造成本过大。

项目以能源开发工业用碳纤维复材制件成型共性关键技术开发为突破口，开发了碳纤维复合材料拉挤-缠绕-包绕-热塑性覆层集成工艺技术及装备；开发了高性能树脂体系；利用本项目技术，成功开发了电力和油田开采用碳纤维复合材料导线、碳纤维复合材料抽油杆、功能性碳纤维复合材料光纤杆、电热电缆杆；配套开发了施工技术及产品无损探测技术；开发了干喷湿纺工艺高性能低成本碳纤维，为本项目产品应用提供原材料保障。

项目通过对新技术和方法的研究探索，突破性提出复合工艺技术路线，解决了生产制造过程中的质量稳定可控、制品标准化、智能化的关键技术问题，实现生产制造能力的突破，促使我国复合材料成型技术水平的不断提高。中心自 2000 年开始研究碳纤维在油田领域的应用，2006 年开始碳纤维在电力领域的应用研究，目前已开发十余项电力、油田领域系列化产品应用技术成果，该项技术成果已在十余家单位推广应用，促进了国家电网及中石油等单位对新材料应用技术的

推广，开拓了碳纤维复合材料在能源开发领域的应用范围。

项目技术登记软件著作权 3 项，授权国家专利 41 项，其中发明专利 20 项，另有 9 项发明专利处于实审中状态。出版专著 4 部，起草制定国家标准 1 项、行业标准 1 项。

六、客观评价

1. 科技查新

2018 年，国产碳纤维复合材料拉挤缠绕集成技术开发及能源工程应用项目，通过山东省科学院情报研究所进行科技查新检索，国内未见有与该查新项目研究内容和采用工艺相同的文献报道。

2. 科技成果鉴定

2001 年，柔性连续碳纤维复合材料抽油杆及其接头项目，通过山东省科技厅鉴定，该成果填补国内空白，属国际先进水平；

2006 年，柔性连续耐高温抗腐蚀碳纤维抽油杆研制项目，通过山东省科技厅鉴定，该项目综合技术水平达国际领先；

2009 年，高性能碳纤维复合芯导线芯棒开发及应用项目，通过山东省科技厅鉴定，该项目整体技术达国际领先水平；

2009 年，碳纤维复合芯导线的自主研发及用于提高电网输送能力技术的研究，通过华北电网有限公司评审，项目成果处于国际先进、国内领先水平

3. 第三方检测报告

产品出样后均送至第三方权威单位上海电缆研究所电工材料及特种线缆质检中心检测，检测达标后生产应用

2008 年，ACCC-300/50 型号碳纤维导线检测报告

2011 年，SD-ACCC-240B 型号碳纤维导线检测报告

4. 部分用户及应用报告

4.1 青岛汉缆股份有限公司应用证明

4.2 山东鲁发碳纤维复合材料有限公司应用证明

4.3 江西国电九江发电厂应用证明

4.4 济南供电公司应用证明

4.5 山西阳泉黄北二线应用证明

4.6 山西阳煤二矿应用证明

4.7 江苏易成电力器材有限公司应用证明

4.8 四川众能新材料科技开发有限公司应用证明

4.9 威海光威复材应用证明

5. 评价意见

5.1 2018年7月国网江西省电力公司九江供电分公司李爽在《ELECTRONICS WORLD*技术交流》论文“碳纤维复合芯导线选型研究”中指出：碳纤维复合芯导线产品强度高，具有较高的安全系数。

5.2 2016年10月兰州城市学院同长虹教授在《应用力学学报》论文“碳纤维 T300 力学性能测试与替代刚性抽油杆可行性分析”中指出：朱波对酚醛树脂基碳纤维连续抽油杆特性进行了研究，证明了酚醛树脂基碳纤维材料能够代替刚性抽油杆实现抽油工作。

5.3 2011年8月中国石油吉林石化公司研究院杨晓峰在《化工新型材料》论文“碳纤维复合材料抽油杆研究进展”中指出：朱波等开发了3种不同规格的碳纤维抽油杆，并进行了泵挂深度分别为1200、1500、1800、3000m的矿场应用试验。

5.4 2016年常熟佳发化学有限责任公司工程师梁平辉在《材料导报》论文“架空导线用纤维增强复合芯棒拉挤树脂研制”中指出：与传统架空导线相比，新型导线具有强度高、电导率高、载流量大，运行温度高、线膨胀系数小、弛度小、重量轻、耐腐蚀、使用寿命长、减少电磁辐射和电晕损失、便于导线展放和施工等优点，成为新一代输电方式的发展方向。

七、应用情况

项目完成单位的国产碳纤维及其复合材料应用技术开发涉及广泛，目前在风电生产、电力传输、电能存储、石油开采、油气井勘探、天然气及氢能储运等诸多领域均有开发成果，项目单位通过对碳纤维产业链终端应用范围的不断开拓，联合国内碳纤维龙头企业威海拓展纤维有限公司、中石油吉林石化分公司、国网山东电力研究院，以技术开拓带动产业发展的形式，带动提升国产碳纤维的推广应用。

碳纤维在电力能源的开发应用中，新兴产业与新材料的有机结合促使风电领域碳纤维应用增长迅速，威海光威复合材料股份有限公司自 2016 年起，开始应用威海拓展纤维有限公司生产的国产碳纤维材料，采用拉挤工艺，生产风电叶片用碳纤维主结构材料（碳梁）。经过工艺试验和英国实验室检测，国产碳纤维性能指标和工艺性满足碳梁产品生产需求，能够替代进口碳纤维，按照客户批量生产要求开展后续应用，产生了显著的经济和社会效益。

传统电力传输领域应用以碳纤维复合芯导线系列技术为代表，与国网山东电力研究院、国网北京电力研究院、广东电科院等单位合作开发，项目单位按照企业需求输出产业化技术，期间与河北硅谷化工有限公司、山东鲁发碳纤维复合材料有限公司、内蒙古浩源新材料股份有限公司、四川省众能新材料开发有限公司、江苏易成电力器材有限公司、河南科信电缆有限公司六家企业合作建立产业化基地，使碳纤维导线技术在全国范围内推广应用。省内本技术于 2012 年首次在济南刘长山 220KV 输电线路成功挂网应用，线路运行状况良好。2018 年省内首条超高压莱阳—昆嵛 500KV 线路碳纤维导线工程架线成功，标志着我省在碳纤维导线技术应用处于国内领先地位。为保证碳纤维导线的生产及施工质量，项目单位开发了无损在线检测技术，对淄博和青州运行中碳纤维导线进行检修，验证了配套技术的可行性，同时持续提升综合应用技术水平。项目单位开发的碳纤维复合芯导线应用技术突破国际垄断，综合水平国际先进。项目技术现国内挂网里程过

万公里，折合产值超过 8 亿元。

碳纤维油田领域应用，以碳纤维复合材料抽油杆系列产品为代表，项目单位自 2000 年开始研究碳纤维在石油开采中的应用，2012 年被中石油总公司列为重大推广实验项目，在胜利油田、新疆油田、延长油田下井测试应用。项目单位自 2011 年起与中石油吉林石化分公司连续签订多项应用技术开发协议，合作开发了抽油短杆、光杆、扶正器等油田系列技术，并下井测试。2016 年与渤海钻探油气公司合作开发了碳纤维测井电缆、光纤杆产品。项目单位在碳纤维石油开采领域应用技术开发填补国内空白，达到国际先进水平。

同时，为了确保终端产品安全、稳定、有效的现场应用，项目单位与行业内技术权威单位合作开发了配套施工装备、无损检测技术，匹配油田现场数据监测平台软件及导线弧垂设计软件和碳纤维智能生产应用软件，形成了产品的理论研究、设计开发、生产配套、检验、监测于一体的成果研究、转化、提升技术体系。

八、主要知识产权和标准规范等目录

序号	知识产权名称	知识产权类别	发明人	知识产权人	知识产权号	取得日期
1	一种带有耐磨防护层的连续碳纤维抽油杆及其制备方法	发明专利	朱波 曹伟伟 王永伟 乔琨 赵圣尧	山东大学	ZL20151082 91404	2017. 6. 27
2	一种高韧性抗劈裂碳纤维复合材料导线芯棒及其制备方法	发明专利	朱波 曹伟伟 乔琨 王永伟 于宽	山东大学	ZL20161082 20278	2017. 12. 26
3	一种新型碳纤维风力发电机及其制备方法	发明专利	朱波 蔡珣 王成国	山东大学 山东山大天 维新材料有 限公司	ZL20121013 9536. 2	2014. 3. 12
4	一种碳纤维用界面增强型碳纳米管上浆剂及其制备方法	发明专利	乔琨 朱波 赵圣尧 袁晓 敏	山东大学	ZL20151079 04726	2017. 12. 26
5	一种带有复合螺旋耐磨层的抽油杆及制备装置和制备方法	发明专利	朱波 王永伟 曹伟伟 乔琨	山东大学	ZL20151043 18446	2018. 3. 2
6	一种防静电碳基纤维及其制备方法与应用	发明专利	王成国 于美 杰 于博 张 姗 马婕	山东大学	ZL20121037 0218. 7	2014. 6. 18
7	一种碳纤维接地电极	发明专利	朱波 蔡珣	山东大学	ZL20121023	2014. 10. 22

目中承担人机交互与人工智能设计、碳纤维拉挤工艺控制系统设计、集成及无损探伤图像处理，产品生产及应用过程中软件开发、软件著作权凝练提报工作等。

3、姓名：王成国 排名 3

行政职务：无 技术职称：教授

工作单位：山东大学

完成单位：山东大学

对本项目技术创造性贡献：完成人主要研究领域是高性能碳纤维及其原丝，在项目推进过程中，负责国产高性能碳纤维制备攻关及碳纤维复合材料制品应用组织、协调、管理工作。

4、姓名：乔琨 排名 4

行政职务：无 技术职称：讲师

工作单位：山东大学

完成单位：山东大学

对本项目技术创造性贡献：完成人主要研究内容包括树脂基体的合成与改性、纤维增强树脂基复合材料成型工艺研究与优化。通过树脂基体及工艺开发方向研究，开展碳纤维复合材料在能源开发领域的产品制备应用开发工作。在项目推进过程中，负责树脂基体开发、复合材料成型工艺开发、产品型式试验，产品生产规范及标准制定，碳纤维导线芯规模化生产现场指导等。

5、姓名：陈洞 排名 5

行政职务：技术总监 技术职称：工程师

工作单位：威海拓展纤维有限公司

完成单位：威海拓展纤维有限公司

对本项目技术创造性贡献：完成人发明碳纤维原丝凝固浴装置，提出了碳纤维低温碳化过程中组分演变规律，研究确定了 PAN 预氧丝在低温碳化过程中的线密度变化过程，进一步优化了低温碳化工艺参数，实现国产碳纤维的批量生产

及风电叶片筋梁制备技术指导与攻关。

6、姓名：张贵贤 排名 6

行政职务：科长 技术职称：高级工程师

工作单位：中国石油天然气股份有限公司吉林石化分公司

完成单位：中国石油天然气股份有限公司吉林石化分公司

对本项目技术创造性贡献：完成人负责项目产品在油田开采领域的具体应用，任吉林石化公司碳纤维厂复合材料项目组副组长，负责中国油石重大工业化试验项目碳纤维复合材料连续抽油杆制造技术开发与油田应用试验项目并担任课题经理，负责抽油杆施工技术攻关及现场施工协调。

7、姓名：刘洪正 排名 7

行政职务：副院长 技术职称：研究员

工作单位：国网山东省电力公司电力科学研究院

完成单位：国网山东省电力公司电力科学研究院

对本项目技术创造性贡献：完成人作为电力科技项目的负责人，在项目产品实际应用中，组织落实项目实施，推动新型碳纤维复合芯导线技术在山东省内的应用，促进无损检测技术在碳纤维复合芯导线维护检修中的应用。

8、姓名：曹伟伟 排名 8

行政职务：无 技术职称：副教授

工作单位：天津工业大学

完成单位：天津工业大学

对本项目技术创造性贡献：完成人主要研究方向为高性能碳纤维及复合材料成型设计及制备工艺开发，长期从事碳纤维复材设计及成型工艺的理论研究与企业技术转化具体工作，在能源开发工业应用中主要开展了碳纤维复合材料制备技术提升、专利撰写、产品性能检测及生产指导，产业化技术推广工作等。

9、姓名：王永伟 排名 9

行政职务：技术经理 技术职称：无

工作单位：山东山大天维新材料有限公司

完成单位：山东山大天维新材料有限公司

对本项目技术创造性贡献：完成人主要研究碳纤维复合材料成型设计及产业化工艺研究，侧重于拉挤工艺制品开发及连续化生产研究，在项目推进过程中，负责材料材料成型工艺研究、产业化工艺提升及现场施工技术支持工作。

10、姓名：王宝铭 排名 10

行政职务：科研管理部部长 技术职称：高级工程师

工作单位：威海拓展纤维有限公司

完成单位：威海拓展纤维有限公司

对本项目技术创造性贡献：完成人发明了 PAN 纤维后处理装置，发明了碳纤维原丝上油装置，对碳纤维表面处理工艺做出创造性贡献，并负责碳纤维筋梁的生产及应用指导。

11、姓名：赵新刚 排名 11

行政职务：科长 技术职称：高级工程师

工作单位：中国石油天然气股份有限公司吉林石化分公司

完成单位：中国石油天然气股份有限公司吉林石化分公司

对本项目技术创造性贡献：完成人负责项目产品在油田开采领域的具体应用实施，负责中国油石重大工业化试验项目碳纤维复合材料连续抽油杆制造技术开发与油田应用试验项目的实施具体工作。

12、姓名：张敏 排名 12

行政职务：检验经理 技术职称：无

工作单位：山东山大天维新材料有限公司

完成单位：山东山大天维新材料有限公司

对本项目技术创造性贡献：完成人主要研究碳纤维复合材料拉挤缠绕成型

设计及生产工艺研究，侧重于电力、油田拉挤工艺制品开发及测试研究，在项目推进过程中，负责原材料检验测试、成型工艺研究、产品性能检验、油田系列产品开发及连续化生产。

十、主要完成单位及创新推广贡献

1、山东大学 排名：1

山东大学作为本项目的第一完成单位，负责总体技术方案制定、技术内容分析、可行性研究、技术路线确定，技术优化和产品定型等。针对我国电力、油田领域实际情况及需求，与应用单位、行业内科研院所及生产单位合作开发，组建了创新研发团队，联合研发了碳纤维复合材料电力油田领域的应用制品，并进行推广应用。

山东大学碳纤维工程技术研究中心作为本项目的完成部门，隶属于山东大学材料科学与工程学院，培养了一支素质高、业务能力强的科研团队，中心研究人员的专业涉及高分子材料、复合材料、材料物理与化学、材料加工、热处理和计算机控制等多个学科，在国内外形成了较大的学术影响。学院为本项目研究提供了精良的教学科研平台，建成了多个碳纤维研究开发平台，设计定制或购置了一批性能优良的用于开展碳纤维及其复合材料研究的仪器设备，为项目开展配备了国内领先或国际先进水平的分析测试仪器。

本项目研究开发了碳纤维复合材料在能源开发领域的系列化应用技术，为碳纤维材料在工业领域的推广奠定了基础，技术成果在全国范围内推广应用，取得了巨大的社会效益。

2、威海拓展纤维有限公司 排名 2

威海拓展纤维有限公司是专业从事高性能碳纤维研发与生产的高新技术企业。在本项目中，威海拓展主要开展高性能碳纤维的研制和在风电碳梁的制备及推广应用。

3、中国石油天然气股份有限公司吉林石化分公司 排名 3

中国石油吉林石化公司是集炼油、烯烃、合成树脂/合成橡胶、合成氨/合成气于一体的特大型综合性石油化工生产企业。在本项目中承担协调、组织、推进碳纤维在中石油科研项目的应用实施，促进配套施工装备的完善，推进碳纤维复合材料抽油杆在油田中的应用和推广，推进国产碳纤维的应用。

4、国网山东省电力公司电力科学研究院 排名 4

国网山东省电力公司电力科学研究院是国网山东省电力公司的科学技术创新中心、技术服务中心、检验检测中心和科学技术信息中心。在本项目科技创新推广应用中，具体负责推动新型碳纤维复合芯导线技术在山东省内的应用，促进无损检测技术在碳纤维复合芯导线维护检修中的应用。

5、天津工业大学 排名 5

天津工业大学复合材料与工程专业是国内较早期从事复合材料研究的科研单位，在国内复合材料领域具有很大的影响力。在本项目科技创新中，开展了碳纤维电力领域应用产品的设计开发工作，为企业提供技术支持，完成技术成果提炼及转化实施。

6、山东山大天维新材料有限公司 排名 6

山大天维公司是山东大学产业集团控股企业，是山大碳纤维中心的产学研用联合推广技术转化平台，在本项目中负责技术宣传、应用推广、现场对接，以及成果转化等具体事务性工作。

十一、完成人合作关系说明

该成果由山东大学朱波、蔡珣、王成国、乔琨和威海拓展纤维有限公司陈洞、王宝铭，国网山东省电力公司电力科学研究院刘洪正，中国石油天然气股份有限公司吉林石化分公司张贵贤、赵新刚，天津工业大学曹伟伟，山东山大天维新材料有限公司王永伟、张敏共同完成。项目第一完成人朱波与其他所有完成人均有合作专利申请，第一完成人朱波与第 7 完成人刘洪正合作开展碳纤维导线电力领域应用技术研究，第一完成人朱波与第 6 完成人张贵贤、第 11 完成人赵

新刚合作开展碳纤维在油田开采中的多项应用技术研究, 第一完成人朱波与第 5 完成人陈洞、第 10 完成人王宝铭合作开展国产碳纤维制备技术开发及碳纤维制品风电应用技术研究。