

### 推荐国家技术发明奖项目公示

项目名称	高性能碳纤维复合材料构件高质高效加工技术与装备
推荐单位	教育部
推荐单位意见： <p>我单位认真审阅了该项目推荐书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目均符合国家科学技术奖励工作办公室的填写要求。</p> <p>该项目经 10 余年持续研究，揭示了碳纤维复合材料切削机理，发明了高性能碳纤维复合材料构件高质高效系列加工工具和工艺技术，研制出 10 台套数字化加工装备。主要发明点如下：①建立了虑及法向及切向约束以及温度对材料性能影响的复合材料切削模型，发明了加工实验装置，揭示了碳纤维复合材料切削加工的材料去除机理及损伤产生机制；②提出“微元去除”和“反向剪切”的复合材料机械损伤抑制原理，发明了碳纤维复合材料构件铣削、制孔等系列高质高效加工工具；③提出了“适温切削”和“逆向冷却”的复合材料切削热损伤抑制技术，发明了低温气体急速控温、逆向输入的复合材料冷却加工系列工艺。④研发出 10 台套高性能碳纤维复合材料构件数字化加工装备，填补了国内空白。获授权发明专利 8 项、公开发明专利 17 项，发表论文 54 篇。成果已在航天一院、哈飞、沈飞、上飞等单位应用，打破国外封锁，实现了高性能碳纤维复合材料构件的高质高效加工，为我国航空航天高端装备的研制做出重要贡献。近三年新增销售额数千万元、新增利润数百万元，经济社会效益显著。</p> <p>对照国家科学技术发明奖授奖条件，推荐该项目为 2017 年度国家技术发明奖一等奖。</p>	

## 项目简介：

经济和军事竞争加剧迫使航空航天等领域高端装备的工作效能不断提高，采用先进材料是提高装备结构效率和可靠性的根本途径。高性能碳纤维复合材料具有轻质高强、易整体制造等突出优点，可显著提高装备性能。国外先进装备已大量使用高性能碳纤维复合材料，我国也在积极研发并推广使用高性能碳纤维复合材料以提高航空航天装备水平，但由于包括机械加工在内的复合材料构件制造技术不能满足制造质量和效率要求，难以保证服役性能和可靠性，限制了复合材料的使用，制约了航空航天装备性能和竞争力的进一步提升。复合材料构件高质高效加工理论与技术既是国际性难题，亦受国外严密封锁，必须自主研发。项目经 10 余年研究，揭示了高性能碳纤维复合材料切削机理，发明了系列加工工具、工艺及数字化加工装备。主要技术发明如下：

(1) 构筑了碳纤维复合材料切削加工的材料去除和损伤形成理论，实现了碳纤维复合材料切削理论的源头创新。建立了虑及法向及切向约束以及温度对材料性能影响的复合材料切削模型，发明了集“高速切削-高速显微观测-红外测温”于一体的实验装置，揭示了碳纤维复合材料细观纤维断裂及树脂、界面开裂至宏观切屑的去除机理和损伤产生机制，为加工工具与工艺研发提供理论支撑。

(2) 提出“微元去除”和“反向剪切”的复合材料机械损伤抑制原理，发明了碳纤维复合材料构件铣削、制孔等系列高质高效加工工具。提出了“切削能量最小化”与“微刃剪刀切削”的刀具设计思想，发明了具有“微元去除”和“反向剪切”功能的碳纤维复合材料构件铣削、制孔等系列工具。

(3) 提出了“适温切削”和“逆向冷却”的复合材料切削热损伤抑制技术，发明了低温气体急速控温、逆向输入的复合材料冷却加工系列工艺。建立了兼虑纤维方向及后刀面摩擦热分配因子的复合材料切削传热模型，提出了逆向冷却加工工艺策略，研发出吸入低温气体的冷却工艺，发明了自风冷排屑加工工艺及工具，解决了大尺寸大厚度复合材料构件的加工工艺难题。

(4) 研发出 10 台套高性能碳纤维复合材料构件数字化加工装备，填补国内空白。发明了碳纤维复合材料加工随动除尘装置和数控加工可调工装，开发出舱段、发射箱、舱段垂直端框、发射筒、旋翼桨叶、调节板、锥筒等大型复合材料构件加工技术与装备，实现了高质高效数字化加工，一次合格率 100%。

成果已在航天一院、哈飞、沈飞、上飞等企业应用，打破了国外封锁。复合材料加工系列刀具和 10 台套数字化装备已成为我国航空航天高端装备相应关键复合材料构件的加工工具和核心装备，为我国航空航天高端装备的研制生产做出重要贡献，经济社会效益显著。已获发明专利 8 项、公开发明专利 17 项，发表论文 54 篇，教育部组织专家鉴定意见：“该成果属国内首创，国外未见报道，达到国际先进水平，其中“微元去除”和“反向剪切”的加工损伤抑制技术居国际领先水平”。

客观评价：

(1) 教育部科技成果鉴定

蒋庄德院士为组长的鉴定专家组对“高性能碳纤维复合材料构件高质高效加工技术”的鉴定意见为：“开发的加工工具、工艺与装备已成功应用于航空航天重点型号项目关键复合材料构件加工，为多个型号装备的研制和批产提供了技术支撑和装备保障。该成果属国内首创，国外未见报道，达到国际先进水平，其中“微元去除”和“反向剪切”的加工损伤抑制技术居国际领先水平。”

(2) 复材加工质量检测报告

采用项目开发的多微刃刀具加工的高性能碳纤维复合材料构件，经英华检测（上海）有限公司检测应用中心检测，检测结论为：“国外进口阶梯钻加工后样品损伤严重，包括孔壁凹槽状损伤、出口分层损伤，大连理工大学自制双阶梯微齿钻加工后样品未见明显损伤”；经宁波至信检测技术有限公司检测，检测结论为：“国外进口匕首钻加工后的孔损伤严重，孔壁层间结构可见明显的凹槽状损伤，出口可见较大的分层损伤，大连理工大学自制微齿匕首钻加工后的孔，孔壁和出口均未见损伤”。

(3) 国内外学术评价

项目研究成果在《Mater Manuf Process》、《Polym Composite》、《J Reinf Plast Comp》、《机械工程学报》、《复合材料学报》等国内外重要期刊上发表学术论文 54 篇，国际会议特邀报告 2 次，机械制造领域有关专家给出了诸如“developed a new technology and new tool named as grinding tool”、“The results would be very useful for industry”、“This model can be used to optimize the cutting parameters and tool geometry for delamination free drilling”、“提出的基于方差的磨料分布均匀性评定方法，对于磨粒均匀性量化是一种非常适用的手段”、“对切削力进行了较为广泛的研究”等正面评价。

(4) 教育部科技查新结论

除该课题组成员公开发表的文献外，建立了基体对纤维法向及切向约束的复合材料切削模型，针对切削力引起的高性能复合材料机械损伤（毛刺、分层），提出了“微元去除”和“反向剪切”原理的切削加工机械损伤抑制技术；建立了考虑纤维方向及后刀面摩擦热分配因子的复合材料切削过程传热模型，提出了“适温切削”和“逆向冷却”方法的高性能复合材料切削加工热损伤抑制技术；研制出微元切削和反向剪切功能的高性能复合材料系列化专用切削刀具、切削工艺与装备，开发出高性能复合材料专用切削工艺数据库；未见公开文献报道。

推广应用情况：

复合材料构件高质高效加工工具、工艺与装备已在航天材料及工艺研究所、哈尔滨飞机工业集团有限责任公司、沈阳飞机工业(集团)有限公司、上海飞机制造有限公司应用。

项目成果自 2010 年陆续应用于航天一院航天材料及工艺研究所，用户单位应用表明，开发的系列刀具与同类进口刀具相比，寿命提高 2-3 倍；研发的数字化加工装备均为国内首台，解决了以前根本无法加工发射筒构件、舱段垂直端框窗口、锥形筒构件的关键难题，首次实现复材柱型舱段、复材发射箱、复材舱段垂直端框窗口、复材发射筒构件、复材锥形筒构件等的全数字化加工，加工质量于加工效率显著提高，解决了长期以来制约重点型号产品研制及批产的加工瓶颈难题，为重点型号装备研发及批产做出重要贡献。

项目成果自 2012 年已应用于哈尔滨飞机工业集团有限责任公司，大型复合材料旋翼桨叶均采用项目研发的刀具、工艺及装备加工完成，生产效果表明：刀具切削力小，寿命为进口刀具的 2-3 倍，显著优于进口刀具；加工出的旋翼桨叶无毛刺和撕裂等缺陷，加工质量稳定。

项目成果自 2010 年应用于沈阳飞机工业(集团)有限公司，实现了复合材料飞机调节板的数字化加工，解决制约先进战机批产中关键零件的高质高效加工问题。

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(地区)	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
授权发明专利	一种碳纤维复合材料切削的实验装置	中国	ZL201410071620.4	2015-12-30	1886322	大连理工大学	贾振元;王福吉;宿友亮;杨睿;孙士勇;刘巍.	有效
授权发明专利	一种对树脂基碳纤维复合材料制孔的刀具	中国	ZL201410066658.2	2016-01-13	1920375	大连理工大学	贾振元;王福吉;付饶;高航;刘巍;马建伟.	有效
授权发明专利	一种具有自风冷排屑功能的套料加工工具	中国	ZL201110149876.9	2014-04-23	1390835	大连理工大学	高航;郭东明;王奔;王晓放;刘沛禹.	有效
授权发明专利	一种直升机复合材料旋翼桨叶数控加工用可调夹具	中国	ZL201310300617.0	2015-10-28	1825826	大连理工大学	高航;吴茂庆;王奔;贾振元;宋文娟;孙伟.	有效
授权发明专利	一种钻铣削碳纤维复合材料随动除尘装置	中国	ZL201410014623.4	2015-07-15	1725412	大连理工大学	贾振元;殷俊伟;宿友亮;王福吉;杨睿;牛斌.	有效
授权发明专利	一种直升机复合材料桨叶数控加工装置	中国	ZL201310301691.4	2015-12-23	1886155	大连理工大学	高航;杨楠楠;贾振元;王奔;宋文娟;戴希林;温泉.	有效
授权发明专利	小直径孔内壁垂直小孔加工装置	中国	ZL201310303044.7	2016-03-09	1976290	大连理工大学	高航;雷建华;郭东明;鲍永杰;张松鹏.	有效
授权发明专利	一种磨削硬脆材料小孔螺纹成型砂轮	中国	ZL201210487711.7	2015-10-28	1828018	大连理工大学	高航;郭东明;杨安强;鲍永杰;曹波;黄均亮.	有效

主要完成人情况:

1. 贾振元, 排名 1, 副校长, 教授, 工作单位: 大连理工大学, 完成单位: 大连理工大学, 是该项目主要负责人, 对项目发明点 1、2、3、4 做出创造性贡献。建立了复合材料切削模型, 发明了一种碳纤维复合材料切削的实验装置, 揭示了复合材料切削加工的材料去除行为及加工损伤产生机制, 发明了一种对树脂基碳纤维复合材料制孔的刀具, 提出了“适温切削”的复合材料加工工艺策略, 发明了一种钻铣削碳纤维复合材料随动除尘装置、一种直升机复合材料桨叶数控加工装置。
2. 高航, 排名 2, 副所长, 教授, 工作单位: 大连理工大学, 完成单位: 大连理工大学, 是该项目主要负责人, 对项目发明点 2、3、4 做出创造性贡献。发明了一种具有自风冷排屑功能的套料加工工具、一种磨削硬脆材料小孔螺纹成型砂轮, 研发出具有内外循环和自排屑特点的“逆向冷却”工艺, 发明了一种直升机复合材料旋翼桨叶数控加工用可调夹具、一种直升机复合材料桨叶数控加工装置、小直径孔内壁垂直小孔加工装置。
3. 王福吉, 排名 3, 教授, 工作单位: 大连理工大学, 完成单位: 大连理工大学, 是该项目技术骨干, 对项目发明点 1、2、3、4 做出创造性贡献。发明了一种碳纤维复合材料切削的实验装置, 提出“微元去除”和“反向剪切”的复合材料切削机械损伤抑制原理, 发明了一种对树脂基碳纤维复合材料制孔的刀具, 建立了兼顾纤维方向及后刀面摩擦热分配因子的复材切削过程传热模型, 发明了一种钻铣削碳纤维复合材料随动除尘装置。
4. 鲍永杰, 排名 4, 高级工程师, 工作单位: 大连理工大学, 完成单位: 大连理工大学, 是该项目技术骨干, 对项目发明点 3、4 做出创造性贡献。发明了一种磨削硬脆材料小孔螺纹成型砂轮, 开发出典型高性能碳纤维复材构件加工工艺, 发明了小直径孔内壁垂直小孔加工装置。
5. 李兰柱, 排名 5, 研究员, 工作单位: 航天材料及工艺研究所, 完成单位: 航天材料及工艺研究所, 是该项目技术骨干, 对项目发明点 4 做出创造性贡献。参与高性能碳纤维复合材料构件数字化专用加工装备调试, 加工工艺试验及工程应用。
6. 刘建波, 排名 6, 副总工程师, 研究员, 工作单位: 哈尔滨飞机工业集团有限责任公司, 完成单位: 哈尔滨飞机工业集团有限责任公司, 是该项目技术骨干, 对项目发明点 4 做出创造性贡献。参与高性能碳纤维复合材料构件数字化专用加工装备调试, 加工工艺试验及工程应用。

完成人合作关系说明：

大连理工大学贾振元（项目第 1 完成人）、高航（项目第 2 完成人）、王福吉（项目第 3 完成人）、鲍永杰（项目第 4 完成人）合作开展了高性能碳纤维复合材料构件高质高效加工工艺与装备关键技术攻关，获得 2016 年教育部高等学校科学研究优秀成果奖技术发明奖一等奖“高性能碳纤维复合材料构件高质高效加工技术”。

大连理工大学贾振元（项目第 1 完成人）、高航（项目第 2 完成人）、鲍永杰（项目第 4 完成人）合作开展了高性能碳纤维复合材料构件高质高效加工工艺与装备关键技术攻关，获得 2013 年中国机械工业科学技术奖一等奖“大型 C/E 复合材料构件高质高效加工关键技术及其工艺装备”、2013 年辽宁省科学技术奖一等奖“航空航天 C/E 复合材料低损伤高效加工技术与应用”。

大连理工大学王福吉（项目第 3 完成人），参与高性能碳纤维复合材料系列加工刀具研制、试验装置研制、加工工艺开发等。与该项目第 1 完成人合作申请授权了多项发明专利、发表了多篇学术论文。

航天材料及工艺研究所李兰柱（项目第 5 完成人），参与项目复合材料构件数字化专用加工装备调试，加工工艺试验及工程应用。与该项目第 1、2、4 完成人合作获得 2013 年中国机械工业科学技术奖一等奖“大型 C/E 复合材料构件高质高效加工关键技术及其工艺装备”。

哈尔滨飞机工业集团有限责任公司刘建波（项目第 6 完成人），参与项目复合材料构件数字化专用加工装备调试，加工工艺试验及工程应用。2011 年，作为大连理工大学与哈尔滨飞机工业集团有限责任公司签订的《复合材料旋翼数控切边工艺与装置研制》的委托技术服务项目的委托方技术负责人，与该项目第 2 完成人合作，负责复合材料旋翼桨叶数控加工设备的调试及工程应用。