湖南省技术发明奖推荐简表

一、项目名称（限 30 个字以内）

碳纤维复合材料电磁性能调控及其微波构件关键制备技术

二、推荐单位意见（限 600 个字以内）

该项目在总装重大专项、国家 973、航天科工重大创新项目等的支持下，开展了碳纤维本征介电常数提取、预制体结构设计、微结构与电性能协同调控，以及轻质高强碳纤维复合材料微波构件制备技术的研究。通过发明碳纤维介电常数提取方法、创新设计碳纤维阵列式“森林”预制体结构、发明表面 BN 薄膜调控碳纤维电性能、自生碳化硅纳米纤维“桥接”碳纤维与基体碳协同提高承载与吸波性能的界面微结构控制技术，开发超高温（1000℃以上）承载/吸波功能一体化碳纤维复合材料，从技术和关键材料上满足了我国新一代高性能高速飞行器头锥、进气道等高温部件对耐高温结构隐身波材料的迫切需求。为突破国际现役结构隐身材料 1090℃服役上限，大力提升武器装备的生存与突防能力，提高我国防实力和核心竞争力做出了积极的贡献。基于该技术研制的薄壁(≤3mm)异型、大尺寸碳纤维复合材料微波构件已成功应用于我国“风云四号”卫星，具有比传统材料减重 40%、表面电磁波吸收性能强等优点，系国际首次。

该项目申请国家发明专利 16 项，已授权 10 项，形成了系统的超高温(可达 1500℃)碳纤维复合材料微波构件制备技术体系，在 Nature 子刊 Scientific Reports、Carbon 等国际权威期刊发表学术论文 60 余篇，出版出版专著《耐高温结构吸波碳纤维复合材料制备及性能研究》1 部，为我国为武器装备发展提供了有力的技术和材料支撑。

该申报材料属实，同意推荐该项目参评湖南省 2017 年技术发明奖一等奖。

三、项目简介（限 1200 个字以内）

随着军事高新技术的迅猛发展，世界各国防御体系的探测、追踪、攻击能力越来越强，军事目标的生存能力和武器系统的突防能力日益受到严重威胁，发展和应用隐身技术是提高武器装备生存与突防能力最切实可行的方法，是当今世界

军事领域竞相发展的尖端技术之一，是提高国防实力与核心竞争力的重中之重。随着新一代高速飞行器等武器装备朝更高飞行速度（6-7 马赫）发展，某些特殊部位如头锥、翼缘等局部工作温度将会达到 1000℃以上，是显著的雷达暴露源，急需使用耐高温结构隐身材料提高其生存与突防能力。研制多年的 SiC_f/SiC 吸波材料由于 SiC 纤维高温强度衰退快，服役温度难以突破 1000℃。碳纤维服役温度可达 3000℃，军事发达国家一直将碳纤维复合材料列为先进航空航天器热端部件的核心关键材料，目前作为结构隐身材料已在巡航导弹等飞行器上进入实际应用阶段，但其服役温度尚未突破 1090℃。

项目针对我国高性能超高温（1000℃以上）结构隐身一体化碳纤维复合材料的重大需求，在总装重大专项、国家 973、航天科工重大创新项目等的支持下，开展了碳纤维本征介电常数提取、预制体结构设计、微结构与电性能协同调控，以及轻质高强碳纤维复合材料微波构件制备技术的研究。主要发明点和关键技术包括：

(1)发明了碳纤维介电常数提取方法，首次提取了碳纤维本征介电常数，解决了碳纤维复合材料电性能设计缺乏关键数据的共同问题；

(2)首创设计并制备了碳纤维阵列式“森林”结构预制体，解决了承载与吸波难兼容的技术难题；

(3)发明了表面 BN 薄膜协同调控碳纤维和基体碳微结构与电性能技术，突破了高介电碳纤维和基体碳难以阻抗匹配、强反射电磁波的技术瓶颈，实现了阻抗匹配与高效吸收雷达微波；

(4)发明了自生碳化硅纳米纤维(SiCNF)“桥接”碳纤维与基体碳协同提高承载与吸波性能的界面微结构控制技术，显著提高了碳纤维复合材料力学性能和吸波性能；

(5)首次开发了超高温(可达 1500℃)碳纤维复合材料微波构件，填补了国内空白，该构件制备技术在国际上率先成功应用于研制我国“风云四号”卫星用碳基复合材料主次镜光栏和遮阳罩，显著拓宽了碳纤维复合材料的应用领域。

该项目申请国家发明专利 16 项，已授权 10 项，形成了系统的超高温(可达 1500℃)碳纤维复合材料微波构件制备技术体系，在 Nature 子刊 Scientific Reports、Carbon 等国际权威期刊发表学术论文 60 余篇，出版专著 1 部。第三方评价表明，

本项目在耐高温(1000℃以上)结构隐身材料研究领域取得系列重要理论创新与技术突破，为我国为武器装备发展提供了强有力的关键技术和材料支撑。本项目形成的技术正在推广应用于新一代高速飞行器和军机的某些高温部位，如头锥、进气道、翼缘、舵面、尾喷管、调节片等。

四、客观评价（限 2 页）

1.总装重大专项项目验收结论书

2016 年 12 月，本项目任务来源之一的总装重大预研项目“XXX 高温结构/隐身一体化碳 XXX 研究”通过教育部科技司组织的验收，验收专家组组长为我国隐身领域著名专家、航天三院总师戴全辉研究员，巢增明、王金仿等隐身专家为核心组员，验收成绩为优秀。主要成果包括：**形成了以碳纤维复合材料电磁响应特性及其机理，以及碳纤维径向本征介电常数提取方法为代表的理论成果，制备出高温吸波结构样件**，经测试其力学性能、氧化烧蚀性能、吸波性能等技术指标达到了合同要求等等。

2. 国家 973 项目验收意见

2015 年 7 月，本项目任务来源之一的国家 973 计划课题“C/C 复合材料微结构控制及力学与吸波性能协同设计”通过了科技部组织的验收。验收意见认为：“提出了碳纤维介电常数提取方法，提取了碳纤维径向和轴向的本征介电常数，获得了碳纤维复合材料电性能设计的关键基础数据；**设计了阵列式碳纤维复合结构、突破了低电阻、高介电碳纤维难以阻抗匹配、承载与吸波难以兼容的技术瓶颈**；探讨了典型结构碳纤维和基体炭的电磁波响应机制，通过引入 BN、SiC、SiO_2 等耐高温陶瓷组元，实现了对碳纤维和基体炭电磁参数的有效调控；**初步建立了改性 C/C 复合材料吸波性能仿真模型，制备出了在常温和 1050℃高温条件下反射率在 8-18GHz 频段均优于-6dB 的改性 C/C 复合材料**”。

3. 碳基复合材料主次镜光栏用户评价意见

2016 年 12 月 11 号 0 时 11 分，我国在西昌卫星发射中心用长征三号乙运载火箭成功发射“风云四号”卫星。本项目研发的多通道扫描成像辐射计用碳基复合

材料主次镜光栏，在风云四号卫星上得到成功应用。“风云四号”卫星成功传回大量气象探测数据，图像细节清晰、波段光谱特征明晰。其中部分数据是国际气象界迫切期望使用的，除了中国的“风云四号”气象卫星，目前没有任何一颗在轨卫星能够提供。

用户单位中国科学院上海技术物理研究所认为，该碳基复合材料抗杂散主次镜光栏(~φ500mm×1000mm)的主要优点有：(a)**弹性模量低，当光学平台发生热变形时主次镜光栏会吸收大部分形变，而不致令光学平台发生翘曲**；(b) 密度小，利于减轻重量；(c)耐高温，膨胀系数低，尺寸稳定性好；(d)比强度高，利于通过发射环境；(e) 成分稳定，真空高温超低污染；(f) **表面消杂散光性能强。为解决了地球同步轨道气象卫星自旋扫描成像辐射计扫描效率低、无法实现局部区域快速重复观测的问题做出了重要贡献，满足了我国对灾害性天气的实时预报的重大需求**。

4. 碳基复合材料遮阳罩用户评价意见

本项目研发的碳基复合材料已成功应用于“风云四号”气象卫星多通道扫描成像辐射计的薄壁(≤3mm)、异型、大尺寸(~744mm×985mm×896mm)遮阳罩。

地球同步轨道三轴稳定平台卫星遥感仪器遮光罩空间温度环境恶劣，在太阳辐照下，最高温度可达 160℃。在这种温度条件下，常规复合材料会出现真空高温放气污染。用户单位中国科学院上海技术物理研究所认为，碳基复合材料遮阳罩的主要优点有：(a) 成分稳定，真空高温环境条件下超低污染；(b) 耐 200℃以上高温，膨胀系数低，尺寸稳定性好；**(c)表面消杂散光能力优于金属表面；(d) 相对金属材料，密度小，重量轻，相比传统材料单件减重了 7Kg，减重达 40%。碳基复合材料遮阳罩系国际上首次应用于卫星探测系统**。

五、推广应用情况

主要应用单位情况表

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
中国科学院上	碳基复合材料抗杂	2008 年-至今	王淦泉 021-25051176	应用于我国“风云四号”气象卫星，具有弹性模量低、密度小、

海技术物理研究所	散主次镜光栏		18917650152	耐高温、膨胀系数低、尺寸稳定性好、比强度高、成分稳定、真空高温超低污染、表面消杂散光性能强等优点。为解决了地球同步轨道气象卫星自旋扫描成像辐射计扫描效率低、无法实现局部区域快速重复观测的问题做出了重要贡献。
中国科学院上海技术物理研究所	碳基复合材料薄壁、异型、大尺寸主次镜光栏	2012 年-至今	沈霞 021-25051150 13918427639	应用于“风云四号”气象卫星多通道扫描成像辐射计。具有(a)成分稳定，真空高温环境条件下超低污染；(b) 耐 200℃以上高温，膨胀系数低，尺寸稳定性好；(c)表面消杂散光能力优于金属表面；(d) 相对金属材料，密度小，重量轻，相比传统材料单件减重了 7Kg，减重达 40%。碳基复合材料遮阳罩系国际上首次应用于卫星探测系统

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（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	一种承载与吸波兼容的碳纤维吸波结构及其制备方法	中国	ZL2014	2017-03-01		中南大学	肖鹏、洪文	有效
授权发明专利	一种方格带阻型碳纤维吸波结构及其制备方法	中国	ZL2014	2017-03-01		中南大学	肖鹏、洪文、张隽	有效
授权发明专利	一种陶瓷复合材料及其制备方法和应用	中国	ZL201410505544.3	2017-01-11	2341345	中南大学	李专、肖鹏、朱苏华	有效

授权发明专利	一种纳米碳化硅纤维/碳纤维复合吸波材料的制备方法	中国	ZL2013	2015-11-11		中南大学	肖鹏、周伟	有效
授权发明专利	一种氮化硼包覆碳电磁波吸收剂的制备方法	中国	ZL2013	2015-05-20		中南大学	肖鹏、周伟	有效
授权发明专利	一种轻质陶瓷板夹层结构高温吸波材料及其制备方法	中国	ZL2013	2015-12-30		中南大学	肖鹏、周伟	有效
授权发明专利	二氧化硅纤维和碳纤维增强二氧化硅基高温吸波材料及其制备方法	中国	ZL2013	2015-12-30		中南大学	肖鹏、周伟	有效
授权发明专利	一种碳化硅晶须/氮化硅吸波材料及其制备方法	中国	ZL2014	2017-03-01		中南大学	肖鹏、罗衡	有效
授权发明专利	一种纳米碳化硅纤维增强碳/碳复合材料的制备方法	中国	ZL 2011	2013-03-20	1154464	中南大学	肖鹏、卢雪峰	有效
授权发明专利	一种纳米碳纤维增强碳/碳复合材料的制备方法	中国	ZL 2011	2013-02-13	1137788	中南大学	肖鹏、卢雪峰	有效

七、主要完成人情况（不超过 6 人）

姓名	肖鹏	项目排名	第一	职务/职称	副院长/教授
工作单位	中南大学		完成单位	中南大学	
对本项目技术创新性贡献	本项目的总负责人，对本成果主要发明点中所列第 1、2、3、4 和 5 项发明点做出了创造性贡献。是知识产权证明中所有授权发明专利的主要发明人，总装重大专项、两项国家 973 和航天科工重大创新项目负责人。在该项研究中的工作量占其总工作量的 80%。				
姓名	周伟	项目排名	第二	职务/职称	讲师
工作单位	湖南工业大学		完成单位	中南大学	

<table>
<tr><td>对本项目技术创新性贡献</td><td colspan="5">本项目 BN 薄膜调控碳纤维和基体碳微结构与电性能、表面原位生长碳化硅纳米纤维改性碳纤维技术及性能表征负责人，对本成果主要发明点中所列第 3 项和第 4 项发明点做出了创造性贡献。对技术发明点 3 的主要贡献是采用低成本浸涂法在碳纤维和基体碳表面获得均匀的 BN 薄膜，有效调控其电性能；对技术发明点 4 的主要贡献是采用低成本浸渍法在碳纤维表面获得均匀的 Ni 催化剂，原位生长出了阵列狼牙棒形貌的 SiCNF，获得优良吸波性能的纳米碳化硅纤维/碳纤维复合吸波材料。是主要知识产权证明目录中第 4、5、6、7 项发明专利的主要发明人。该项目研究占平时工作量的 60%。</td></tr>
<tr><td>姓名</td><td>李专</td><td>项目排名</td><td>3</td><td>职务/职称</td><td>副研究员</td></tr>
<tr><td>工作单位</td><td colspan="2">中南大学</td><td>完成单位</td><td colspan="2">中南大学</td></tr>
<tr><td>对本项目技术创新性贡献</td><td colspan="5">本项目 C/C 复合材料制备技术及性能表征负责人，对本成果主要发明点中所列第 1 项和第 5 项发明点做出了创造性贡献。对技术发明点 1 的主要贡献是协助探明了碳纤维介电响应规律，提出了微尺度碳纤维本征介电特性提取方法；对技术发明点 5 的主要贡献是参与了碳基复合材料光栏和遮阳罩的结构设计及材料制备。是知识产权证明中“ 一种陶瓷复合材料及其制备方法和应用”主要完成人， 973 计划课题“C/C 复合材料微结构控制及力学与吸波性能协同设计”的第二参与人。该项目研究占平时工作量的 60%。</td></tr>
<tr><td>姓名</td><td>洪文</td><td>项目排名</td><td>4</td><td>职务/职称</td><td>讲师</td></tr>
<tr><td>工作单位</td><td colspan="2">国防科技大学</td><td>完成单位</td><td colspan="2">中南大学</td></tr>
<tr><td>对本项目技术创新性贡献</td><td colspan="5">本项目碳纤维变尺度介电模型、微尺度碳纤维本征介电特性提取方法、吸波/承载一体化碳纤维结构设计负责人，对本成果主要发明点中所列第 1 项和第 2 项发明点做出了突出贡献。对技术发明点 1 的主要贡献是探明碳纤维介电响应规律，构建碳纤维变尺度介电物理模型，提出微尺度碳纤维本征介电特性提取方法；对技术发明点 2 的主要贡献在于发现碳纤维介电响应仅依赖于极化方向的新现象，利用碳纤维径向低介电特性，创新地设计了吸波/承载一体化碳纤维预制体结构，解决了承载与吸波难兼容的关键技术难题。是主要知</td></tr>
</table>

	识产权证明目录中第 1 和第 2 项发明专利的主要发明人。该项目研究占平时工作量的 60%。				
姓名	罗衡	项目排名	5	职务/职称	博士后
工作单位	中南大学		完成单位	中南大学	
对本项目技术创新性贡献	本项目碳纤维复合材料微结构调控负责人，对本成果主要发明点中所列第 4 项发明点做出了创造性贡献。对技术发明点 1 的主要贡献是发明了碳纤维和基体碳微结构与电性能协同调控技术，突破了高介电碳纤维和基体碳难以阻抗匹配、强反射电磁波的技术瓶颈。是主要知识产权证明目录中第 8 项发明专利的主要发明人。该项目研究占平时工作量的 60%。				
姓名	卢雪峰	项目排名	6	职务/职称	副教授
工作单位	江南大学		完成单位	中南大学	
对本项目技术创新性贡献	本项目碳纤维表面原位生长碳化硅纳米纤维技术负责人，对本成果主要发明点中所列第 4 项发明点做出了创造性贡献。对技术发明点 1 的主要贡献是探明了化学气相渗透过程中 SiCNF 对 PyC 形核-生长的诱导机制，形成了 CF/ SiCNF /PyC 复合界面结构控制技术。是知识产权证明目录中第 9 和第 10 项发明专利的主要发明人。该项目研究占平时工作量的 60%。				

八、主要完成单位及创新推广贡献（不超过 3 个）

单位名称	中南大学	排名	1
对本项目科技创新和推广应用情况的贡献	中南大学是本项目的唯一承担单位， 2005 年开始开展碳纤维复合材料微结构与电性能协同控制技术研究，承担了国家 973 计划、总装重大专项项目和航天科工重大创新项目等五个课题，是本项目 16 项申请专利和 10 项授权专利的唯一申请人。提出了微尺度碳纤维本征介电特性提取方法，解决了碳纤维碳纤维复合材料电性能设计缺乏关键数据的共同问题；开发了超高温（1000℃以上）承载/吸波功能一体化碳纤维复合材料，从技术和关键材料上满足		

	了我国新一代高性能高速飞行器头锥、进气道等高温部件对耐高温结构隐身波材料的迫切需求。研制的薄壁异型、大尺寸、高精度碳基复合材料抗杂散光栏(~φ500mm×1000mm) 和遮阳罩(~800mm×800mm×1000mm)，已定型于我国“风云四号”气象观测卫星，满足了我国对灾害性天气的实时预报的重大需求。

九、主要人合作关系说明

完成人合作关系说明

项目第一完成人肖鹏与其余五位完成人为师生/同事关系。

肖鹏与周伟： 2008.09-2014.06 师生关系

双方共同立项、共同确定研制方案、拥有共同知识产权 4 项

肖鹏与李专： 2005.09-2010.06 师生关系

2010.09-至今 同事关系

双方共同立项、共同确定研制方案、拥有共同知识产权 4 项

肖鹏与洪文： 2008.09-2015.06 师生关系

双方共同立项、共同确定研制方案、拥有共同知识产权 2 项

肖鹏与罗衡： 2008.09-2015.06 师生关系

双方共同立项、共同确定研制方案、拥有共同知识产权 1 项

肖鹏与卢雪峰：2006.09-2012.06 师生关系

双方共同立项、共同确定研制方案、拥有共同知识产权 2 项

第一完成人签名：

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作时间	合作成果	证明材料	备注
1	共同立项、共同知识产权	肖鹏/1 周伟/2	2008.09-2014.06	专利	专利证书	
2	共同立项、共同知识产权	肖鹏/1 李专/3	2005.09－至今	专利	专利证书	
3	共同立项、共同知识产权	肖鹏/1 洪文/4	2008.09-2015.06	专利	专利证书	
4	共同立项、共同知识产权	肖鹏/1 罗衡/5	2008.09-2015.06	专利	专利证书	
5	共同立项、共同知识产权	肖鹏/1 卢雪峰/6	2006.09-2012.06	专利	专利证书	

承诺：本人作为项目第一完成人，对本项目完成人合作关系及上述内容的真实性负责，特此声明。

第一完成人签名：