**附件**

**项目简介：**

项目属复合材料领域，涉及碳纤维预成型体的结构设计、控制、制备及在耐烧蚀复合材料中的应用。

高性能复合材料是支撑航空航天飞行器的重要物质基础。如各种类型的飞机，复合材料的用量逐步增加；再如极速飞行在几千度甚至超过万度高温环境的航天飞行器，需烧蚀型复合材料，通过升华方式，烧蚀外部防热材料带走大量热量，保证内部材料免受毁坏。针对国外碳纤维（碳布）缠绕树脂基复合材料层间力学性能低，易出现烧蚀剥落、冲刷分层问题，国内设计了碳纤维三方向垂直正交的预成型体树脂基复合材料，在航天飞行器上获得了应用。随着战略飞行器增加射程和飞行速度，防热材料需减薄防热层厚度，减轻总质量，研制耐烧蚀更优的纤维多方向斜交预成型体，故碳纤维三维五向预成型体成为耐烧蚀复合材料的研究重点。为适应复杂形状，基于三维五向成型工艺设计的变单元预成型体内部存在单元缺失，复合成的耐烧蚀材料布满贯穿性富树脂区，容易形成烧蚀通道。为此，研究三维五向预成型体结构与性能关系，构建单元数量不随外形变化的预成型体设计技术，控制复杂形状单元缺陷，提高纤维体积百分含量均匀性成为研制耐烧蚀复合材料的关键、共性技术难题。

针对上述研究背景和技术难题，以航天飞行器耐烧蚀复合材料碳纤维三维五向预成型体研究设计为目标，基于可变单元技术，系统解决预成型体结构设计、控制、制备及应用技术难题，研制成功具有优异耐烧蚀性能的锥形预成型体和组合形状空气舵预成型体，成功用于航天重点工程，获得如下技术发明：

1、研究并掌握三维五向预成型体碳纤维纱束运动规律，发明了逐渐递减纱束细度和非逐渐递减纱束细度改变单元尺寸、大小端单元数量不变的锥形预成型体结构设计技术。

2、基于发明的递减纱束细度单元结构设计技术，揭示变径纱束单元在预成型体中的分布与规律，获得各单元纤维体积百分含量计算方法，开发了纱束轨迹与单元构成、纤维体积百分含量计算和预成型体密度分布的结构优化设计软件，发明不同形状预成型体单元与密度数字化、可视化控制技术。

3、为实施并控制发明的优化设计结果，开发了制备预成型体的设备，建立了质量保障体系，实现了碳纤维锥形预成型体和石英纤维方向舵预成型体的研制与批量供货。合格率达100%。

项目研制的碳纤维三维五向锥形预成型体首次成功用于航天战略飞行器耐烧蚀复合材料，取代原有三向预成型体，纤维体积百分含量提高约10%、耐烧蚀层厚度减薄约1/4，密度分布均匀（≤±3%），为飞行器小型化、增程50%发挥了关键作用。

项目发明的技术提高了我国飞行器耐烧蚀复合材料材料的研究水平，打破了国外技术垄断，增加了国防防御能力和威慑力量，意义深远，效益巨大；项目建成了三维五向预成型体研制批产生产线，近三年获得直接经济收益7077.52万元。申请发明专利8项，授权发明专利5项，登记软件著作权4件；发表研究论文10余篇。成果通过中国建筑材料联合会组织的鉴定，以中国工程院院士、航天飞行器设计专家刘连元为组长的专家组认为：综合技术达到国际先进水平，其中开发的可变单元技术居国际领先。预成型体制备技术成果通过国防科工局组织的鉴定：综合水平达到国际先进。其中，减细纤维束编织技术，锥形预成型体微结构研究，纤维体积百分含量计算与可视化技术，锥形预成型体均匀性控制技术处于国际领先水平。