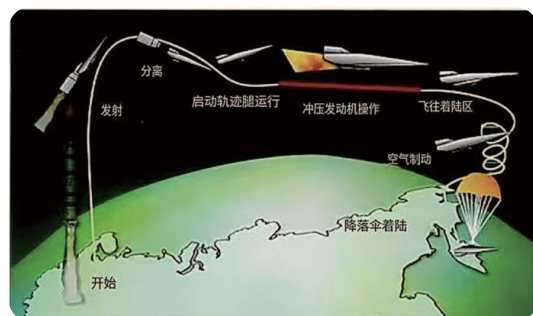


顶锥一体化预制体的构建、调形控性 编织技术及工程化应用

主要完成单位：南京玻璃纤维研究设计院有限公司、航天材料及工艺研究所

主要完成人：朱建勋、朱梦蝶、张大海、阮 见、王 群、瞿书涯、潘 梁、李小欢、秦 霞、赖文恩、高永栓、孙洪强、郑 云、宋 涛、张秀勇

飞行器高机动、强突防、大动能，对追踪、打击高价值海上移动平台，维护国家统一和安全发展起重要作用。透波罩是飞行器核心部件，位于飞行器最前端，既要有良好的气动外形、承受复杂载荷，又要耐高温、耐烧蚀，还要实现高温透波，对材料综合性能、整体结构要求极高。已有研究和应用结果表明，预制体 / 陶瓷基复合材料与纯陶瓷材料相比，提升了透波罩热力学性能。用于打击固定目标的飞行器透波罩，采用顶、锥分体制造、机械组装方案，测试发现，透波性能和力学性能不能完全满足打击移动目标飞行器设计要求，亟待研究突破。



项目组经多年技术攻关，突破了顶锥一体化预制体封顶构建、调形控性、自动化编织及工程化应用等全链条关键技术，形成 3 个创新点：

1. 建立纤维长路径规划与单元多维仿形协同结构设计技术；发明封顶成型和角联锁编织制备技术，创新顶锥一体化预制体设计原理和制造方法。
2. 开发分离轨道式缠结机构，攻克环向密排交织引纬难题；研制浮动加压机构和多参量协同集成系统，首创了容量超 10 万根经向纤维的自动化立体缠结装备。
3. 发明稳态角联锁和增强角联锁结构，陶瓷基复材两方向压缩强度分别提高 131% 和 226%；通过单元重组、结构优化及多种角联锁组合等设计，攻克厚顶薄壁、锥面正负曲率等复杂顶锥一体化预制体编织技术，顶锥中心点偏移误差 $\leq 1\text{mm}$ 。透波罩在 17 个飞行器上定型批产。

项目已获授权发明专利 17 件、软件著作权 1 项，发表论文 12 篇、参与出版专著 1 部。项目研制的顶锥一体化预制体保障了我国高超声速飞行器关键透波罩的自主可控，为飞行器的研制发展、升级换代做出突出贡献。项目研究的相关技术还成功用于航天飞行器发动机喷管、扩张段、结构支架等关键部件的研制与批产，并在航空发动机、舰船螺旋桨等复合材料部件上开展应用研究。

项目首次建立了复杂形状预制体“封顶构建、调形、控性”设计技术体系，形成了工程化制造平台，推动了纺织行业特种织造工艺及三维装备的技术进步，拓展了产业用纺织品的应用领域，促进了纺织技术和复合材料技术的多学科融合与发展。