

中国建材联合会

提名 2018 年国家技术发明奖项目公示内容

项目名称	高温透波顶锥复杂预制体仿形设计、制备技术及在飞行器的典型应用		
推荐单位	中国建筑材料联合会		
通讯地址	北京市海淀区三里河路 11 号 (100831)	邮政编码	100831
联系人	罗宁	联系电话	010-57811082
电子邮箱	jclhkhjb@163.com	传真	010-57811082
提名单位（专家）意见			
<p>我单位与项目主要发明人及完成单位充分沟通，填写项目提名书并认真审阅了附件，确认全部材料真实有效，填写内容符合国家奖励办规定。</p> <p>针对我国航天飞行器研制陶瓷基复合材料的迫切需要，项目组在石英纤维预制体技术、结构与材料性能研究基础上，开展了高温透波顶锥复杂预制体设计、制备技术研究。突破传统预制体高“刚性”理念，提出并研究了“柔性”预制体结构，发明了仿形设计技术、顶锥复杂预制体制备技术及快速仿形技术，创建了柔性结构设计体系与单元调控仿（塑）形技术平台，实现了复杂预制体结构设计制备的重大突破。研制的产品批产 8 个高速飞行器，满足了多种复合材料高性能多功能要求；相关技术正应用于航空发动机复合材料叶片的研制，推动了我国复合材料行业科技进步，市场前景广阔，社会效益重大。</p> <p>项目获授权发明专利 19 件，拥有自主知识产权，综合技术达到国际先进，部分技术国际领先。典型顶锥复杂预制体（最大高度>1.5m、直径>0.6m；球顶厚与锥壁厚比达 3 倍）率先突破“子弹头套”式复合材料研制难题，为我国飞行器高速机动（速度超 10 多倍音速）、中远距离飞行、追踪移动目标等技术实施发挥了重要作用，实现了我国航天高超音速飞行器技术的追赶与超越。项目成果已获建材行业科技进步一等奖与技术发明奖一等奖。</p> <p>提名该项目为国家技术发明奖二等奖。</p>			

项目简介

项目属无机非金属材料领域，涉及高温透波顶锥复杂预制体仿形设计、制备技术及在飞行器的典型应用。透波材料是集承载、防热、透波于一体的多功能材料，用于高超音速飞行器、航天飞机等领域。随着航天飞行器飞行速度的不断提高，高温透波复合材料承受的温度和热冲击越来越高，陶瓷抗热震性低、可靠性差，纤维增强增韧陶瓷基复合材料是新一代高温透波复合材料最具发展潜力的高温透波材料。但作为增强增韧预制体不满足高温透波复合材料结构性能要求，面临设计、制备挑战，主要问题有：（1）缺少适应复杂预制体的仿形结构与设计技术；（2）缺乏顶锥整体预制体制备技术；（3）支持高温透波复合材料多功能技术升级的组合结构复杂预制体技术鲜有涉及。美、俄等西方大国对我封锁，需独立研发系统技术。

预制体是复合材料的整体骨架，由多根纤维空间交接、多向分布构成，集一维纤维高性能和单元的可设计性，提升复合材料多功能。在多个研究计划支持下，项目组在石英（ SiO_2 ）纤维预制体技术及其复合材料性能研究基础上，重点开展了复杂预制体仿形设计、制备技术与典型应用。获中国发明专利授权 19 项，主要技术发明有：1. 揭示层连单元层连纱跨层、周期弯曲柔性机制，发明性能稳定的稳态层连结构；解析叠层纱“变位”机制，发明形位变化、密度均匀的单元调控技术，突破复杂预制体设计共性关键技术。2. 顶锥复杂预制体制备技术。（1）研究层连编织技术，发明截锥壳体，提高组装式高温透波材料的抗热震性。（2）研究塑形技术，发明顶锥一体预制体，提高高温透波复合材料信号高保真性。（3）研究强层单元技术，发明变厚顶与强层单元组合预制体，支撑飞行器中远距离技术升级。（4）发明正负锥面组合顶锥复杂预制体，实现飞行器气热力电“四重”功能，躲避对方跟踪，提高生存能力。3. 揭示层连柔性层连纱数量关系，发明高柔性层连结构；研究精确控制位置的机织层连套技术，发明复杂预制体快速仿形技术。项目创建了柔性结构、单元调控仿形设计体系与顶锥复杂预制体制备技术平台，破解预制体陶瓷基复合材料研究设计难题。

采用本发明技术设计研制的产品批产 8 个高速飞行器，典型顶锥复杂预制体（最大高度 $>1.5\text{m}$ 、直径 $>0.6\text{m}$ ；球顶厚与锥壁厚比达 3 倍）突破了“子弹头套”式陶瓷基复合材料研制难题，性能优异，为我国飞行器高速机动（速度超 10 多倍音速）、中远距离、追踪移动目标等技术实现发挥重要作用，实现了我国高超音速飞行器技术的追赶与超越。

项目成果获得鉴定专家的高度评价，以中国工程院院士、著名复合材料专家陈祥宝为组长的鉴定专家组评价本项目“成果综合技术达到国际先进水平，其中预成型体一体化封顶技术居国际领先水平”。本项目涉及到的两项技术成果分获中国建筑材料联合会科技进步一等奖和技术发明一等奖。

项目发明的制备技术还研制了数十种碳纤维复杂预制体/环氧承力件，成功用于我国重大航天器飞行器姿控发动机支架，替代金属减重 32%；仿形设计技术还开始用于航空发动机高性能复合材料叶片的研制。项目成果开辟了复杂预制体设计新体系，推动了预制体制备技术发展，应用前景广阔。

客观评价									
1. 国内外同类技术对比									
项目组查阅相关公开文献报道，将高温透波顶锥复杂预制体仿形设计、制备技术及在飞行器的典型应用与国外先进国家对比见表 1。									
表 1 高温透波复杂预制体及复合材料国内外技术对比表									
对比项目		国外			本项目技术		对比结果		
顶锥复杂预制体仿形设计		未查到研究层连“柔性”、设计复杂形体的技术报道；未查到美俄等西方大国顶锥预制体仿形设计的相关报道			本项目组提出并研究了层连“柔性”机制；研究了顶锥预制体仿形设计技术		中材科技在层连结构复杂预制体设计技术方面处于领先水平		
顶锥复杂预制体制备技术		未查到国外顶锥预制体制备技术的相关报道			本项目组制备了多种顶锥复杂预制体		中材科技在顶锥复杂预制体制备技术方面处于领先水平		
机织工艺快速仿形技术		未查到国外机织工艺高温透波复合材料预制体快速仿形技术报道；但俄罗斯有材料层连机织平幅织物裁剪成复合材料预制体的报道；国外美、法有机织工艺层连结构成功应用于航空商发叶片预制体技术报道			本项目开发了“长周期层连纱”柔性结构，结合机织工艺的快速制备技术，实现了复杂形体的低成本制造		中材科技在高温透波复合材料复杂形体机织工艺快速仿形发明处于先进水平		
层连结构复杂预制体仿形精度		国外层连结构成功用于航空商业发动机叶片复合材料，虽未报道预制体仿形精度，但叶片形面净尺寸仿形，精度应比较高			本项目顶锥复杂预制体近净仿形；用于发动机支架结构件层连结构近净仿形，尺寸偏差 $\leq \pm 0.1\text{mm}$ ，纤维体积分数偏差 $\leq \pm 3\%$		中材科技层连结构预制体仿形精度与国外相当		
复合材料类别		指标类型			国外水平	本项目技术水平	提高比例（%）		
预制体树脂基复合材料（注 1）		拉伸性能	强度（MPa）	层连方向	常温	160.0	172	7.50	
				层连方向	400℃	175.0	187	6.86	
				叠层方向	常温	145.0	152	4.83	
				叠层方向	400℃	160.0	165	3.13	
		模量（GPa）	层连方向	层连方向	常温	18.0	19.1	6.11	
				层连方向	400℃	19.5	20.1	3.08	
				叠层方向	常温	17.0	17.8	4.71	
				叠层方向	400℃	17.5	18.2	4.00	
		压缩性能	强度（MPa）	层连方向	常温	80.0	81.2	1.50	
				层连方向	400℃	/	/	/	
				叠层方向	常温	77.0	78.6	2.08	
				叠层方向	400℃	/	/	/	
			模量（GPa）	层连方向	常温	24.0	25.7	7.08	
				层连方向	400℃	/	/	/	
				叠层方向	常温	24.3	25.2	3.70	
				叠层方向	400℃	/	/	/	

(1) 国家科技部 863 计划课题（项目编号：2002AA305505）验收结论

“攻克了整体封顶织物编织成型、满足不同功能、尺寸要求的织物增减纱及变化、复杂曲面体织物纤维体积含量的建模”，“研究出了一套……设计、编织及控制技术，使我国在整体封顶技术方法上处于国际领先水平。”“整体封顶、层间联结的织物结构和编织工艺具有独创性和先进性”，“单元结构分析和密度计算方法、纱线增减纱技术及织物整体密度均匀性控制技术具有实用性和创新性。”“对增加新技术储备，缩小与国外的差距至关重要，具有重要的政治军事意义和社会效益。”

(2) 项目编号：XXXXXX20108

“攻克了立体织物结构设计及优化；……整体封顶、加减纱、结构变化等组合编织等关键技术”；“提高结构均匀性，有效改善了透波特性”；“研制的工程尺寸预制体，已在……成功应用，通过了多次飞行试验考核，综合性能优异，现已批量生产；参与了多个预研型号透波材料方案阶段的研制……通过了地面试验考核”。

(3) 项目编号：XXXX-115-2-XX

“攻克了净尺寸、渐变壁厚、织物尖顶精确定位控制等关键技术；……无缝、封顶整体编织和接缝补强机织工艺技术具有创新性。”“通过了地面和飞行试验考核”。

(4) 江苏省自然科学基金创新学者攀登项目（项目编号：BK2009002）验收意见

“为进一步优化设计与制备陶瓷基复合材料预制件奠定基础”。

4. 鉴定意见

(1) “xxxxx2.5D 封顶法向增强织物结构与制备技术”项目鉴定意见

2012 年 12 月，由国防科工局协作配套中心组织、以杜磊为组长的专家组一致认为：“该项目形成了一套完整的以连续纤维层连单元为基础，形状尺寸可调控的高温透波复合材料用织物的结构与制备技术。”“已用于多个飞行器的研制批产，满足使用要求。”“织物结构与制备技术属国内首创，具有自主知识产权，综合水平达到国际先进，封顶结构与制备技术达到国际领先水平。”

(2) “机织 2D/2.5D 仿形织物设计与制备技术研究”项目鉴定意见

2013 年 6 月，由中国建筑材料联合会组织、以中国兵器首席专家魏化震为组长的专家组一致认为：“缩短了仿形织物的研发周期，已用于航天科工集团、航天科技集团四个型号七种产品的研制和批产，降低了制造成本。……综合技术达到国际先进水平，其中机织 2.5D 织物曲面锥体仿形设计技术居国际领先。该成果对推动我国新型战术武器装备的发展具有重要意义。”

(3) “纤维层连结构与塑型技术研究及其应用”项目鉴定意见

2015 年 6 月，由中国建筑材料联合会组织，以陈祥宝为组长、李少育为副组长的专家组一致认为：“已应用于五十余种预成型体产品，并实现了批量生产，质量稳定。……力学性能优异，满足我国重点国防工程的使用要求。成果对推动纤维预成型体技术发展、提升高性能复合材料水平具有重要意义，经济社会效益显著，市场前景广阔。成果综合技术达到国际先进水平，其中预成型体一体化封顶技术居国际领先水平。”

5. 获奖情况

(1) 2012 年，“机织 2D/2.5D 仿形织物设计与制备技术研究”获建材联合会科技进步一等奖。

(2) 2015 年，“纤维层连结构与塑型技术研究及其应用”获建材联合会技术发明一等奖。

6.科技查新

2017 年项目组委托江苏省科技查新咨询中心进行了项目查新，出具的查新报告结论为：……但本委托项目所述陶瓷基透波材料单元形位可调控的稳态层连结构设计技术，在所检文献中未见报道；……上述文献均是通过平面铺放或缠绕的方式制备的二维预制体，本委托项目所述顶锥一体化（子弹头套式）透波材料用预成型体调整柔性结构、复杂形体采用层连结构整体化技术制备，在所检文献中未见报道；……上述文献均是通过单层布缠绕的方式制备成立体织物，本委托项目所述平幅锥套仿形曲母线锥体快速仿形技术，在所检文献中未见述及。

推广应用情况

高速飞行器是提升经济实力、占领航空航天等高新技术领域的重要手段。在飞行器速度超过数倍音速后，高温透波材料必须依靠更高热震断裂性能的预制体增强陶瓷复合材料。本项目在层连结构与透波复合材料相关性能研究基础上，开展了高温透波顶锥复杂预制体仿形设计、制备技术研究。由授权的 19 项发明专利构成的完整技术拥有自主知识产权，在公司内部完全转化。公司作为技术持有人，在国家相关部门的支持下创建了柔性结构、单元调控仿形设计体系与顶锥复杂预制体制备技术平台，建有专用研制生产线，成为该领域国内唯一的批量研制、生产基地，采用该技术生产的多种复杂预成型体近三年经济效益为 10662.2 万元。

采用本项目技术研发的产品提供给国内多家复合材料研制单位，突破了系列关键技术，高温透波复合材料综合性能优异于陶瓷或树脂体系罩，产品批产 8 个飞行器，均通过了飞行试验考核，性能满足应用要求。

目前，XX-21X 截锥体，XX-21X、XX-11X、XX-2X 等顶锥复杂预制体完成工艺定型，实现批量生产。其中典型顶锥复杂预制体（最大高度>1.5m、直径>0.6m；球顶厚与锥壁厚比达 3 倍）突破了“子弹头套”式陶瓷基复合材料研制难题，为我国飞行器高速机动（速度超 10 多倍音速）、中远距离、追踪移动目标等技术实现发挥重要作用。

层连结构复杂预制体技术还成功应用于 XX-4X 等重大航天飞行器姿控发动机复合材料系列支架的研制，替代金属，减重 32%；用于某飞行器复合材料战斗部，彻底解决了原先纤维缠绕技术分层开裂的问题，产品批量生产。

基于美、法已成功研制出碳纤维、碳化硅纤维复合材料航空发动机叶片，项目组正参与国家相关科技计划项目，采用层连结构开展相关技术的应用研究。

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
发明专利	一种新型纤维层连结构预成型体	中国	ZL201610313472.1	2017.12.8	2730964	中材科技股份有限公司	朱建勋、唐亦囡、张立泉、马文锁、朱梦蝶、郭洪伟	有效专利
发明专利	一种纤维层连结构预成型体的塑型制备方法	中国	ZL201610349885.5	2017.12.12	2737137	中材科技股份有限公司	朱建勋、张立泉、马文锁、郭洪伟、朱梦蝶、唐亦囡	有效专利
发明专利	一种机织2D+2.5D仿形织物组合织物及成型方法	中国	ZL201310183497.0	2014.12.31	1556892	中材科技股份有限公司	朱建勋、朱梦蝶、张立泉、郭洪伟、唐亦囡	有效专利
发明专利	厚顶转薄壁封顶织物的仿形编织成型方法	中国	ZL201210586502.8	2014.1.29	1341273	中材科技股份有限公司	朱建勋、郭洪伟、张立泉、朱梦蝶、唐亦囡	有效专利
发明专利	一种截锥体织物的编织方法	中国	ZL201210592506.7	2014.5.7	1395374	中材科技股份有限公司	朱建勋、戴尚芹、张立泉、朱梦蝶、郭洪伟	有效专利
发明专利	2.5D多向可扩展编织方法	中国	ZL201210586474.X	2014.3.5	1354259	中材科技股份有限公司	朱建勋、朱梦蝶、张立泉、郭洪伟、唐亦囡	有效专利
发明专利	XX用组合结构立体织物制备方法	中国	ZL201218007016.7	2015.9.2	国防专利36716	中材科技股份有限公司	朱梦蝶、张立泉、郭洪伟、梁素兰、阮见	有效专利
发明专利	一种角度可调整的法向纱增强的2.5D织物及其织造方法	中国	ZL201310215391.4	2015.3.25	1616414	中材科技股份有限公司	朱建勋、唐亦囡、张立泉、朱梦蝶、郭洪伟	有效专利
发明专利	一种圆管加斜翻边层连结构织物的制备方法	中国	ZL2015101951403	2016.11.23	2297208	中材科技股份有限公司	朱建勋、朱梦蝶、张立泉、郭洪伟、唐亦囡	有效专利
发明专利	一种带有加强筋的层连结构板状织物及其制造方法	中国	ZL201510291126.3	2017.1.18	2355193	中材科技股份有限公司	朱建勋、郭洪伟、张立泉、朱梦蝶、赵敬、乔志炜	有效专利

主要完成人情况

1. 姓名：朱建勋

排名：1

行政职务：副总裁

技术职称：教授级高级工程师

工作单位：中材科技股份有限公司

完成单位：中材科技股份有限公司

对本项目的贡献：项目负责人，是核心发明专利 1、2、3 的第 1 发明人，发明专利 4、5、6、8、9、10 的第一发明人。发明点 1，提出纱线层位移的构想，发明稳态结构编织技术；发明点 2，提出纱线形位调控调整预成型体密度均匀性的思想，发明了塑型制备技术；发明点 3，提出“平幅锥套仿形空间锥体的快速仿形”技术思路。

2. 姓名：张立泉

排名：2

行政职务：/

技术职称：教授级高级工程师

工作单位：中材科技股份有限公司

完成单位：中材科技股份有限公司

对本项目的贡献：项目主要参加人员，是核心发明专利 1、2、3 的发明人，专利 4~10 的发明人。发明点 1，参与层连结构层位移的研究，开发了层连编织技术；发明点 2，制定了层连单元形位调控机制；发明点 3，提出了异型截面预制体的制备方法。

3. 姓名：朱梦蝶

排名：3

行政职务：/

技术职称：工程师

工作单位：中材科技股份有限公司

完成单位：中材科技股份有限公司

对本项目的贡献：项目主要参加人员，是核心发明专利 1、2、3 的发明人，专利 4~10 的发明人。发明点 1，发现纱线层位移现象，开发出锥形层连结构编织工艺；发明点 2，提出了变厚度球顶与强层锥体组合预制体的编织技术方案，为实现纤维连续顶锥一体化制备提供了技术支撑；发明点 3，共同开发了机织组合结构预制体的制备方法。

4. 姓名：郭洪伟

排名：4

行政职务：/

技术职称：高级工程师

工作单位：中材科技股份有限公司

完成单位：中材科技股份有限公司

对本项目的贡献：项目主要参加人员，是核心发明专利 1、2、3 的发明人，专利 4~10 的发明人。发明点 1，实施了锥体制备；发明点 2，提出了厚顶转薄壁封顶锥体的制备方法；发明点 3，发明了异型截面预制体的制备方法。

5. 姓名：马文锁

排名：5

行政职务：/

技术职称：教授

工作单位：河南科技大学

完成单位：中材科技股份有限公司

对本项目的贡献：项目主要参加人员，是核心发明专利 1、2 的发明人。发明点 1，负责完成锥体单元结构与纤维体积百分含量的计算；发明点 2，提出并分析层连结构纱线受力状态；发明点 3，提出建立三维曲面与二维平面之间的映射关系的方法。

6. 姓名：唐亦囡

排名：6

行政职务：/

技术职称：工程师

工作单位：中材科技股份有限公司

完成单位：中材科技股份有限公司

对本项目的贡献：项目主要参加人员，是核心发明专利 1、2、3 的发明人，发明专利 4、6、8、9 的发明人。发明点 1，发明了使叠层纱移位的制备方法；发明点 2，发明强层纤维层连结构预成型体的制备方法；发明点 3，实施了组合结构预成型体的制备

完成人合作关系

本项目完成人朱建勋、张立泉、朱梦蝶、郭洪伟、唐亦因均为中材科技股份有限公司员工，已进行了长期的合作。朱建勋是本项目的负责人，是本项目 ZL201610313472.1 等 9 项专利的第一发明人，是建材联合会技术发明一等奖项目“纤维层连结构与塑型技术研究及其应用”和科技进步一等奖项目“机织 2D/2.5D 仿形织物设计与制备技术研究”的第一完成人。张立泉、朱梦蝶、郭洪伟、唐亦因均是上述两个项目的主要完成人，张立泉是本项目 ZL201610349885.5 等 10 个专利的主要发明人，朱梦蝶是 ZL201218007016.7 等 10 个专利的主要发明人，郭洪伟是 ZL201210586502.8 等 10 个专利的主要发明人，唐亦因是 ZL201610313472.1 等 7 个专利的主要发明人。

完成人马文锁是河南科技大学教授，以项目组成员的形式参与了本项目。作为本项目的主要完成人，完成了锥体单元结构与纤维体积百分含量的计算，建立了三维曲面与二维平面之间映射关系的方法；是本项目 ZL201610313472.1 等 2 个专利的主要发明人，与朱建勋等共同发表了论文《纤维层连预成型体结构研究》。