

2022 年度拟提名陕西省技术发明奖项目公示内容

一、项目名称

复合材料整体化壁板结构强度关键技术及应用

二、提名者及提名意见

1) 提名单位：陕西省航空学会

提名意见：航空航天、船舶、汽车等高端制造业的创新发展，离不开新材料、新结构的创新应用，复合材料在结构减重、气动特性改善、飞行性能提升、抗疲劳和耐腐蚀等方面具有不可比拟的优势，但其在高端制造业的大量应用面临巨大挑战，急需解决复合材料整体化壁板优化设计、性能评估、健康监测三大难题，实现精准可控，降低分散性，提升可用性，支撑复合材料在航空航天等结构上的大规模应用。本发明针对复合材料整体化壁板结构设计维度高、约束条件多、实验分散性大、壁板载荷边界复杂、冲击损伤敏感等特征，提出了高维约束空间超大规模变量优化设计技术，发明了高效高精度的多层级复合材料结构力学性能实验技术，创立了整体化壁板损伤监测/检测与评估能力，显著提升了复合材料结构的工程适用性。复合材料整体化壁板设计、实验及检测能力达到国际先进水平，并一举打破国际垄断，实现了我国先进飞行器复合材料用量 30% 的跨越，有力支撑了多个国家重点型号的创新研制。研究成果已广泛应用于 C919、CRJ929、歼 20、运 20、歼 11、系列无人机等 16 个航空型号研制中，推广应用于航天和高铁等 6 大行业 21 型装备研制中，延伸应用于 30 多家企业/高等院校/科研院所科研中，创造了较大的军事、经济和社会效益。本发明申报材料内容真实，材料完整，附件齐全，完成人及完成单位排名无异议。

提名该项目为陕西省技术发明奖一等奖。

三、项目简介

先进航空飞行器是航空强国战略的重要支撑，复合材料用量是衡量航空飞行器先进性的重要指标之一，是实现科技自立自强战略目标的重要途径，也是形成国民经济新增长点的重要体现。复合材料整体化壁板作为航空飞行器机体结构核心组成单元，在复合材料整体用量中占比超 90%。欧美等航空先进国家民机复合材料用量超过结构重量的 50%，与国外相比，国内复合材料的工程应用还存在较大差距，主要原因在于以机身、机翼为代表的复合材料主承力结构整体化壁板强度关键技术尚未突破，核心关键是复合材料整体化壁板强度基本理论适应性差、轻量化优化设计方法缺、大规模优化求解效率低，**结构优化设计难，结构控重极具挑战**；整体化壁板工艺不确定性大、结合界面评估方法缺、真实边界实验能力弱，**力学性能表征难，结构控性极具挑战**；整体化壁板冲击损伤机理不清、损伤监测检测能力弱、剩余强度评估方法缺，**结构健康监测难，结构控用极具挑战**。如何解决以上难点，实现复合材料大规模工程应用，是支撑未来先进飞行器高水

平跨越式发展的必由之路。

针对此问题，在多个渠道项目的支持下，中国飞机强度研究所联合上海飞机制造有限公司和西北工业大学，经过 10 余年持续深入系统研究，通过理论创新、方法突破、装置研发、工程验证，建立了复合材料整体化壁板结构强度关键技术。主要发明点包括：高维约束空间超大规模变量优化设计技术，攻克了复合材料整体化壁板结构减重优化难题，提出了基于大量实验数据的整体化壁板结构许用值确定方法，发明了复合材料整体化壁板多维度约束/超大规模变量优化设计技术，构建了考虑不确定性的复合材料整体化壁板优化设计方法并研发了具有自主知识产权的优化设计软件；材料/元件/壁板力学性能表征方法与实验装置，攻克了复合材料结构力学性能的积木式表征难题，建立了材料/元件级力学性能表征与实验方法和壁板复杂边界载荷模拟与强度实验技术，制定了系列国家和行业标准，发明了系列具有国际先进、国内领先水平的壁板实验装置；复合材料结构损伤表征、精准定位与评估方法及装置，攻克了国产复合材料损伤评估难题，建立了基于冲击损伤目视检查、定位检测、定量评估的复合材料损伤容限可控技术，实现了复合材料结构损伤快速精准定位和评估。

研究成果获授权发明专利 33 项，实用新型专利 12 项，软件著作权 13 项，制订/修订标准 31 项，其中国标 16 项，行标 15 项，发表论文 112 篇，其中 SCI/EI 论文 36 篇（他引 279 次）。研究成果成功应用于 C919、CRJ929、歼 20、运 20、歼 11、系列无人机等 16 个飞机型号的研制中；推广应用于民航、航天、兵器、高铁、石油、汽车等行业的 21 型装备研制中；延伸应用于 30 多家企业、高等院校和科研院所的科研生产中。累计实现新增产值近 11 亿元，取得了显著的经济、社会和军事效益。

四、客观评价

1. 用户评价

（1）上海飞机制造有限公司的客观评价

在大型客机 C919 飞机研制过程中，应用了中国飞机强度研究所发明的复合材料整体化壁板结构强度关键技术，对后机身复合材料壁板结构开展了多约束布局 / 尺寸优化，典型壁板强度分析，以及从材料、元件、壁板到全尺寸的积木式试验验证，并在试验中进行了损伤实时监测和检测工作，其中**复杂载荷下的曲板试验，准确表征并验证了整体化壁板稳定性、承载能力及损伤容限性能，为 C919 复合材料后机身壁板结构性能提升和强度评定提供了有力支撑。**

（2）西安爱生技术集团公司的客观评价

在某型飞翼布局无人机的研制过程中，应用了中国飞机强度研究所研制的复合材料整体化壁板结构强度关键技术，完成了复合材料机翼强度、刚度、振动、静弹、颤振等多约束下的精细化优化设计，取得了 6.7% 的减重效益。开展了复合材料性能表征、全机结构静力实验以及实验过程中损伤检测等强度评估工作，为该型先进布局无人机总体性能的提升提供了有力支撑。

应用结果表明，该技术能够很好的解决特殊布局复合材料无人机研制过程

中的结构减重、强度验证和损伤检测等问题。

(3) 顺丰航空有限公司的客观评价

本项目中所研发的结构状态与损伤监测技术及装置已应用于我单位“757-200 安装卫星电话增强装置”项目中，实现了货运飞机运营过程中重点监控结构状态信息的可靠感知与健康状态的实时监测。在飞机运营过程中监测数据准确、可靠、稳定，监测数据与理论计算结果一致性好，为 757 飞机卫星电话改装方案的优化设计和验证提供了有效可靠的监测数据支持。

该项目所形成的结构状态与损伤监测技术及系统可在其他民用飞机上进行推广应用，能够为民用飞机结构的修理/改装设计和验证提供数据支持。可拓展应用到军用飞机、航天器、轨道交通等领域的安全监测、运行监控等。相关技术成果对提高装备结构安全性具有重要意义，在实际工程中具有重要应用价值和广泛的应用前景。

(4) 中国航天科工集团三院三〇二所的客观评价

在某型飞翼布局无人机的研制过程中，应用了中国飞机强度研究所研制的复合材料整体化壁板结构强度关键技术，对机体主要承载结构（梁、肋、长桁、框、蒙皮）开展了强度、刚度及稳定性约束下布局 and 尺寸优化设计，稳定性计算考虑了材料参数的分散性。开展了复合材料性能表征、全机结构静力实验以及实验过程中损伤检测等强度评估工作，为该型先进布局无人机总体性能的提升提供了有力支撑。

应用结果表明，该技术能够适用于飞翼布局无人机结构的设计与验证中，很好的解决了特殊构型机体结构的优化减重、强度评估和损伤检测等问题，取得了显著的经济和社会效益。

(5) 江苏恒神股份有限公司的客观评价

在下一代全复合材料地铁研制过程中，应用了中国飞机强度研究所研制的复合材料整体化壁板结构强度关键技术，在设计阶段完成了地铁车体强度、刚度、保形及整车频率等多约束优化设计、材料性能表征和典型壁板失效分析工作，实现整车减重 10.47%。在验证阶段开展了典型构件、整车强度验证及损伤评估工作，为我国首列全复合材料地铁车体的性能提升和强度评定提供了重要保障，支撑了国产轨道交通车体研制水平的持续提升。

应用结果表明，该技术能够适用于大型客机复合材料机身整体化壁板结构的强度设计与验证中，很好地解决了整体化壁板结构强度的设计、分析与验证关键问题，节约了研制成本，缩短了验证周期，取得了显著的经济和社会效益。

2. 国家级/省部级人才计划支持与学术奖励佐证

项目第一完成人入选国家科技创新领军人才，百千万人才国家级人选，国务院政府特殊津贴专家，国家有突出贡献中青年专家，陕西省“特支计划”杰出人才，国防科技创新团队带头人，陕西省三秦学者等。

项目第四完成人入选上海市科技领军人才。

五、应用情况和效益

1. 应用情况

研究成果成功应用于 C919、CR929、歼 20、运 20、歼 11、系列无人机等 16 个航空型号研制，推广应用于民航、航天、兵器、高铁、石油、汽车等行业的 21 型装备研制中，延伸应用于 30 多家企业、高等院校和研究院所的科研生产中，有力保障了我国先进飞行器复合材料用量 30% 的跨越发展。主要情况如下：

主要应用单位情况表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人/电话
1.	航空工业西安飞机设计研究所	发明点 2	XX 飞机机翼壁板压剪承载特性摸底试验	2020.12-2021.04	徐荣章 19991952703
		发明点 2	XX 飞机复材机翼整体壁板压剪复合稳定性试验	2020-至今	徐荣章 19991952703
		发明点 2	MA700 飞机活动面复合材料结构设计许用值实验	2019-2021	李苗 13227786835
2.	航空工业沈阳飞机设计研究所	发明点 1	XX 飞机全机结构优化设计	2021-2022	陈殿宇 18640365969
		发明点 2	歼 11 外翼壁板、垂尾壁板等压剪复合试验	2017.09-2019.12	钟小丹 13840543953
		发明点 3	国产 T300、T800 碳纤维复合材料设计许用值实验	2017-2019	朱亮 18640256175
3.	航空工业成都飞机设计研究所	发明点 3	与初始缺陷假设有关的损伤容限设计方法	2010-至今	辜良勇 13881997494
4.	中国商飞上海飞机设计研究院	发明点 1	CR929 机翼和机身等直段布局及尺寸优化	2014-2016	彭雷 18910565707
		发明点 2	C919、CR929 飞机机翼壁板、机身曲板组合载荷静强度、疲劳及损伤容限试验	2015.01-2019.12	李真 13370216721
		发明点 2	CR929 材料工艺实验及许用值实验	2020-2021	任瀚韬 15921562154
5.	上海飞机制造有限公司	发明点 2	C919 后机身壁板压剪复合稳定性实验	2020.12-2021.04	张晔 18019263919
6.	中国航天科工集团三院三〇二所	发明点 1	飞翼布局无人机全机	2015-2016	陈鹏 13581716759
7.	江苏恒神股份有限公司	发明点 1	碳纤维复合材料地铁车体优化设计	2016	陈海军 15850473225
		发明点 2	国产 T300、T800 碳纤维复合材料力学性能评定	2020-2021	王亚军 1562932132
		发明点 3	复合材料结构元件/组件级结构便携式超声 C 扫描	2011	陈海军 15850473225
8.	顺丰航空有限公司	发明点 3	运营飞机卫星电话增强结构状态与损伤监测	2019.01-2019.12	蔡志强 13688803283

9.	西安爱生技术集团公司	发明点 1	某无人机全机及部件轻量化设计及优化	2015-2018	刘斌 13609200339
10.	北京航空航天大学	发明点 3	便携式超声 C 扫描系统核心技术研究	2013	程小全 13810390249

2. 经济效益

单位：万元

自然年	效益明细	
	新增产值	新增利润
2019	16380	1236
2020	17420	1306
2021	18830	1339
累计	52630	3881

主要经济效益指标的有关说明：本项目关键技术为航空、高铁等领域提供了大量必要的技术支撑和服务。近三年新增产值累计 52630 万元，新增利润累计 3881 万元。以上数据来源于财务决算数据。

六、主要知识产权目录

知识产权 (标准) 类别	知识产权(标准) 具体名称	国家 (地 区)	授权号 (标准编 号)	授权(标准 发布)日期	证书编号 (标准批准 发布部门)	权利人 (标准起 草单位)	发明人(标准起 草人)	发明专利 (标准)有 效状态
发明专利	一种拉压剪复合载荷作用的加筋壁板屈曲预测方法	中国	ZL202010724994.7	2021年12月28日	证书号第4870488号 国家知识产权局	中国飞机强度研究所	王彬文、陈向明、王喆、成李南、杨钧超、柴亚南	有效专利
发明专利	一种拉压剪复合载荷作用的加筋壁板失效预测方法	中国	ZL202010725125.6	2021年11月19日	证书号第4805729号 国家知识产权局	中国飞机强度研究所	王彬文、陈向明、王喆、成李南、杨钧超、柴亚南	有效专利
发明专利	一种曲板综合试验装置	中国	ZL202010575697.0	2020年10月9日	证书号第4020163号 国家知识产权局	中国飞机强度研究所	柴亚南、李崇、高敏、陈丽敏、彭新未、王彬文、陈向明、林亮亮	有效专利
发明专利	一种加筋壁板极限载荷计算修正方法	中国	ZL201711230871.2	2021年2月26日	证书号第4274944号 国家知识产权局	中国飞机强度研究所	聂小华、吴存利	有效专利

发明专利	一种飞机大型壁板剪切加载装置	中国	ZL201510243266.3	2018年6月12日	证书号第2955581号 国家知识产权局	中国飞机强度研究所	柴亚南、陈丽敏、李崇、邓凡臣、陈向明	有效专利
发明专利	一种机身壁板复合载荷试验装置	中国	ZL201510221528.6	2018年1月30日	证书号第2796572号 国家知识产权局	中国飞机强度研究所	柴亚南、邓凡臣、李崇、陈向明、陈丽敏	有效专利
发明专利	一种三点弯曲试验装置	中国	ZL201510933035.5	2018年7月13日	证书号第2998866号 国家知识产权局	中国飞机强度研究所	乔永乐、李磊、沈薇、程鹏飞	有效专利
实用新型专利	一种复合材料形成的翼盒以及一种飞机的翼	中国	ZL201320007395.9	2013年11月27日	证书号第3285429号 国家知识产权局	中国商用飞机有限责任公司	刘兴宇、周良道、赵荃、刘衰财、丛昊、刘长玮、何翔	有效专利
发明专利	一种三维蒙皮设计方法	中国	ZL202010545536.7	2020年10月23日	证书号第4044681号 国家知识产权局	中国飞机强度研究所	王彬文、吕帅帅、杨宇、王志刚	有效专利
发明专利	一种漏气检测装置、系统及方法	中国	ZL201910590280.9	2021年10月01日	证书号第4712929号 国家知识产权局	中国飞机强度研究所	田媛、杨宇、黄博、王倩、白生宝、张盛	有效专利

七、主要完成人情况

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
王彬文	1	主任	研究员	中国飞机强度研究所	中国飞机强度研究所	项目负责人,主持建立了高维约束空间超大规模变量优化设计技术体系,攻克了复合材料平板/曲板复杂耦合载荷精准施加技术,研发了复合材料强度评估和损伤检测系列装置。是知识产权第1、2、3、9项的发明人。对发现点1、2、3做出了创造性贡献。
柴亚南	2	战略咨询专员	研究员	中国飞机强度研究所	中国飞机强度研究所	提出了壁板结合界面性能评估方法,发明了复杂载荷作用下的整体化壁板结构强度实验装置。是知识产权第1、2、3、5、6项的发明人。对发现点2做出了创造性贡献。
聂小华	3	副总师	研究员	中国飞机强度研究所	中国飞机强度研究所	参与构建了高维约束空间超大规模变量优化设计技术。是知识产权第4项的发明人,登记软件著作权多项。对发现点1做出了创造性贡献。
周良道	4	副总师	研究员	上海飞机制造有限公司	上海飞机制造有限公司	完成了复合材料整体化壁板结构多层次试验矩阵的规划、设计与制造。是知识产权第8项的发明人,对发明点2做出了创造性贡献。
李磊	5	副总师	研究员	中国飞机强度研究所	中国飞机强度研究所	提出了复合材料力学性能表征与实验方法,制定了系列国家和行业标准,建立了剩余强度估算方法,并研发了相应装置与软件。是知识产权第7项的发明人,对发现点2、3做出了创造性贡献。
杨宇	6	副总师	研究员	中国飞机强度研究所	中国飞机强度研究所	参与发明了整体化壁板结构健康监测与损伤评估技术及装置。是知识产权第9、10项的发明人,对发明点3做出了创造性贡献。

八、主要完成单位情况

完成单位	排名	对本项目主要贡献（限 600 字）
中国飞机强度研究所	1	<p>牵头完成了“复合材料整体化壁板结构强度关键技术及应用”项目，提出了 3 项技术发明，具体包括发明点 1：发明了高维约束空间超大规模变量优化设计技术及软件，发明点 2：发明了整体化壁板力学性能多层次实验表征技术及装置，发明点 3：发明了整体化壁板结构健康监测与损伤评估技术及装置。已获授权发明专利 33 项，实用新型专利 11 项，软件著作权 13 项，制订/修订标准 31 项，其中国标 16 项，行标 15 项，发表论文 112 篇，其中 SCI/EI 论文 36 篇（他引 279 次）。</p>
上海飞机制造有限公司	2	<p>负责复合材料整体化壁板结构多层次试验矩阵的规划、设计与制造，与中国飞机强度研究所共同完成了复合材料整体化壁板结构强度关键技术的突破。在大型客机 C919 飞机研制过程中对本发明进行了应用推广。</p>
西北工业大学	3	<p>参与了多层次试验的高精度分析研究，在层间/层内细节失效的新型准则建立等创新技术方面做出了创造性贡献。</p>

九、完成人合作关系说明

本项目由第一完成人王彬文与柴亚南、聂小华、周良道、李磊、杨宇等人合作完成，其中周良道属于上海飞机制造有限公司成员，其余均属于中国飞机强度研究所研究团队成员。项目完成人在工信部、科技部国际合作、科工局及陕西省专项计划等多个渠道项目的支持下，开展了深入、持续的合作，通过理论创新、方法突破、装置研发、工程验证，建立了复合材料整体化壁板结构强度关键技术。

第一完成人与其他完成人共同取得以下成果：

1) 王彬文与聂小华等自 2002 年至今，提出了高维约束空间超大规模变量优化设计技术，研发了自主可控的复合材料结构优化设计软件，获发明专利 9 项，论文 35 篇。

2) 王彬文与柴亚南、周良道、李磊等自 2002 年至今，提出了整体化壁板多层级力学性能表征方法，发明了力学性能实验装置，获发明专利 9 项，实用新型专利 1 项，论文 36 篇。

3) 王彬文与柴亚南、李磊、杨宇等自 2002 年至今，发明了整体化壁板结构健康监测与损伤评估技术及装置，，获发明专利 15 项，发表论文 41 篇。