sampe
Beijing Chapter

Society for the
Advancement of Material
and Process Engineering

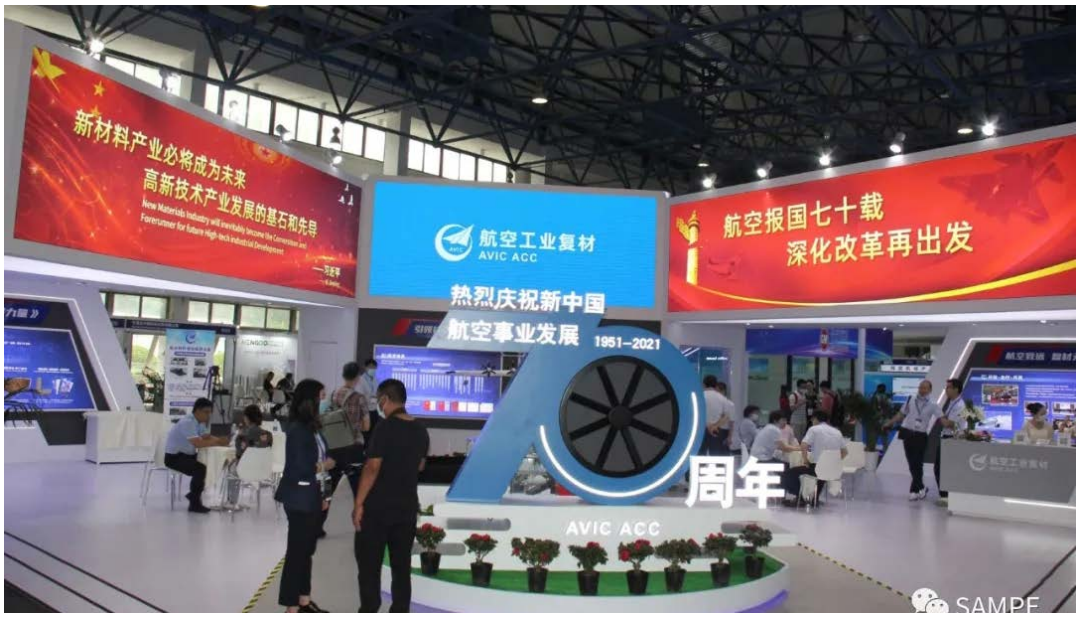
SAMPE BEIJING CHAPTER
SAMPE 北京分会通讯期刊

微信扫码关注 SAMPE 公众号
关注中国先进复合材料行业技术与产业合作平台

第83期
07/08月 2021

本期关注

☆ SAMPE 中国 2021 年会在京隆重举办 03
☆ 首届 SAMPE 中国创新奖名单揭晓 05
☆ SAMPE 中国 2021 年学生竞赛在北京成功举办 07
☆ 会员风采 09
☆ 行业资讯 22
☆ 复合材料加筋壁板弯曲试验的压电 Lamb 波损伤监测研究 29
☆ 打印速度和圆曲率对 3D 打印连续纤维增强复合材料成形精度的影响规律研究 32
☆ Engineering Viscoelastic Properties in Polyurethane Coatings to Reduce Erosion Risks in Wind Turbine Blades 37



生如夏花 燃情绽放

SAMPE 中国 2021 年会在京隆重举办

7 月 6 日，备受行业瞩目的 SAMPE 中国 2021 年会暨第十六届国际先进复合材料制品、原材料、工装及工程应用展览会在北京中国国际展览中心（静安庄馆）开幕。

本届年会为期四天，由 SAMPE 中国大陆总会 、中航复合材料有限责任公司、中国化学纤维工业协会、先进复合材料重点实验室、结构性碳纤维复合材料国家工程实验室主办。年会主题为“先进复合材料，引领绿色产业创新发展”。

发展高性能先进复合材料行业对于实现“碳达峰、碳中和”目标具有举足轻重的作用。今年国内复材原材料及产品产销两旺，已经率先走出疫情阴霾、全面复苏。被誉为国内复材行业晴雨表的 SAMPE 中国年会，展会规模再创新高，展出面积 25000 平米，展商数量近 300 家，同期国际学术会议规模达到千人以上，展览会首日观众数量近万人。

年会内容丰富，集行业展览、学术会议、技术培训、学生竞赛、SAMPE 创新奖发布、新书首发六位一体。6 日首先进行的是 SAMPE 年会传统活动，技术培训。由何鲁林研究员主讲的“复合材料系统知识”技术培训和沈真研究员主讲的“复合材料力学性能表征与应用”技术培训并行举办，一百余名学员参加了本次培训。

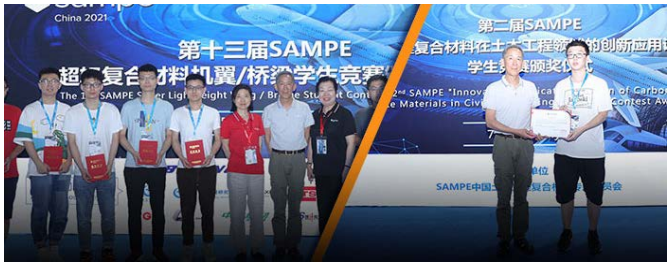
同期国际学术会议连续举办 4 天，共有 29 个分会场。涵盖了复合材料增材制造、涂层、健康检测、工艺与装备、石墨烯、防护、土木工程建设与基础设施、船舶海装、数字与自动化制造、连接装配、智能复材、高性能纤维制备与应用、回收再利用等内容。

SAMPE 中国大陆总会理事长邱夷平教授出席并主持学术会议开幕式，开幕式上颁发了首届 SAMPE 中国创新奖。共有 5 家单位的申报项目获得了 2021 年度 SAMPE 中国创新奖：中航复合材料有限责任公司—内嵌式多自由度吸声降噪蜂窝及其共振吸声结构；西安交通大学—连续纤维增强复合材料结构 3D 打印及其应用；上海波客工业软件有限公司—Matbook 多级材料数据系统；

扬州超峰汽车内饰件有限公司—麻纤维奔驰 206 车座椅背板；中国船舶重工集团第七一一研究所—复合材料高弹性联轴器。SAMPE 全球轮值理事长益小苏教授及颁奖嘉宾为获奖单位颁发了奖杯和证书。

SAMPE 中国创新奖旨在贯彻国家创新驱动发展战略，表彰先进复材领域创新发展和科技进步方面做出杰出贡献的机构和个人，搭建复合材料产业协同创新平台。今年共设立“创新设计”、“创新材料”、“创新制造”、“创新应用”四个奖项。组委会邀请了 38 位国内外行业专家组成国际专家评审团，力求用最前沿的眼光和专业水平洞见未来复材技术的发展趋势，挖掘和引导具有产业化前景的复材创新技术。

展览会全方位地呈现了先进复合材料全产业链的设计软件、原材料、辅助材料、生产装备、装配工装、复合材料结构、检测设备、加工手段、修理工具、回收再利用设备等全套产品。复合材料创新应用展示区展出了国家自行车队征战东京奥运会的上扬式一体把手碳纤维自行车、奔驰汽车 SMC 后尾门、麻纤维座椅背板、碳纤维步行矫形器、3D 打印 ABS+TPU 按钮开关盖、石墨烯玻璃纤维、石墨烯芳纶纤维、单晶石墨烯晶圆及薄膜材料、3D 打印 PEEK 植入物假体、金属复合芳纶纤维等先进复材产品。



第十三届 SAMPE 超轻复合材料机翼 / 桥梁学生竞赛和第二届 SAMPE“碳纤维复合材料在土木工程领域的创新应用设计”学生竞赛同时在年会期间举行。今年共有 50 余个院校的 184 支队伍参加。竞赛旨为普及先进复合材料结构设计及制造工艺知识，培养当代大学生创造力，提升在校学生设计、优化、分析、建模及动手制作复合材料制件的能力，为高校复材相关专业的学生搭建一个施展才华的舞台。

年会现场举行了《复合材料手册》第 5 卷—陶瓷基复合材料的首发仪式，中国航发北京航空材料研究院院长助理梁滨先生和长三角先进材料研究院沈真研究员共同为新书揭幕。该书由中国航发北京航空材料研究院焦健研究员领衔译著，主要介绍了陶瓷基复合材料体系、组分及其制备工艺，给出了陶瓷基复合材料的设计指南、测试方法、数据处理方法及提交 CMH-17 协调委员会的数据格式及部分材料性能数据。

SAMPE 中国 2021 年会一如往届充分体现了国际性、先进性、综合性的特点，发挥行业引领和带动作用，为先进复合材料行业搭建了一个产、学、研、用合作交流的平台。推进先进复合材料服务于更轻，更强，更节能，更环保的绿色产业创新发展。

首届 SAMPE 中国创新奖名单揭晓

2021 年 7 月 7 日，SAMPE 中国 2021 年会国际学术会议开幕式上颁发了首届 SAMPE 中国创新奖。

SAMPE 中国创新奖共设立“创新设计”、“创新材料”、“创新制造”、“创新应用”四个奖项。面向全行业征集复合材料领域的创新成果，表彰其中为先进复材领域创新发展和科技进步方面做出杰出贡献的机构和个人。今年组委会共邀请了 33 位国内评委和 5 位国际评委对申报项目进行评审，力求用最前沿的眼光和专业水平洞见未来复材技术的发展趋势，挖掘和引导具有产业化前景的复材创新技术。经过评委认真筛选和评估从近百个申报项目中遴选出 10 项创新成果入围首届 SAMPE 中国创新奖，其中 5 项创新成果脱颖而出，获得 2021 年度 SAMPE 中国创新奖。

SAMPE 全球总会理事长益小苏教授主持了创新奖颁奖仪式，SAMPE 中国大陆总会理事长邱夷平教授、中航复合材料有限责任公司曹正华董事长、长三角先进材料研究院朱珊研究员、航天海鹰（镇江）特种材料有限公司高志强董事长作为嘉宾为获奖单位代表颁发了证书和奖杯。

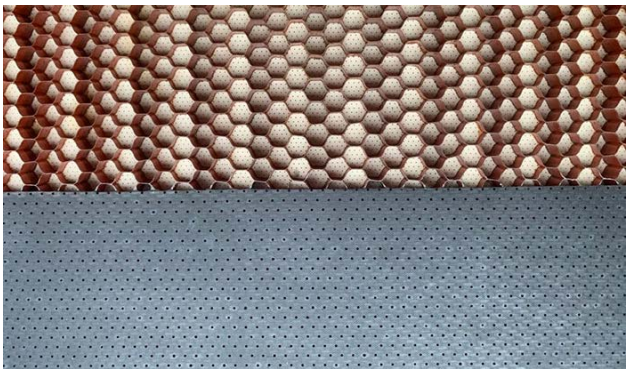
获奖单位及项目介绍

创新材料类

获奖项目：内嵌式多自由度吸声降噪蜂窝及其共振吸声结构

获奖单位：中航复合材料有限责任公司

内嵌多自由度吸声降噪蜂窝是一种新型的宽频吸声材料，其结构是在普通的芳纶纸蜂窝或者铝蜂窝的孔格的特定高度处内嵌一层或多层消隔膜，并采用胶黏剂使声学隔膜与蜂窝孔格壁牢固粘接。该结构形式使其支持“单元处理”，即可以通过改变每个蜂窝孔格内声学隔板的植入深度、层数或声学阻抗值来调整其吸声特性，从而更完美的匹配外部噪声环境。

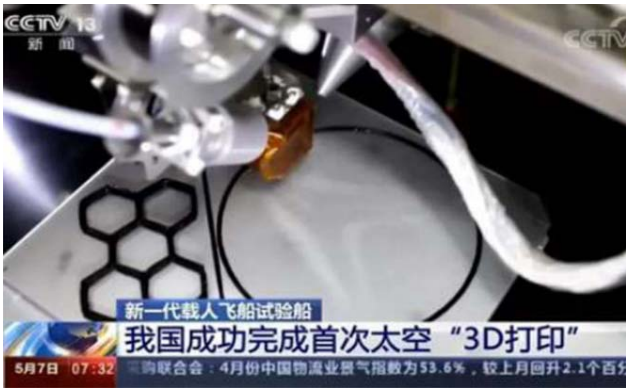


创新制造类

获奖项目：连续纤维增强复合材料结构 3D 打印及其应用

获奖单位：西安交通大学

传统连续纤维增强复合材料构件的制造一般采用模压、铺放等工艺，成本高、周期长，无法实现具有复杂结构的复合材料构件快速制造。与采用碳纤维预浸丝为原材料的连续纤维 3D 打印工艺不同，纤维干丝原位浸渍 3D 打印工艺可通过改变打印路径与工艺参数，实现对复合材料结构中纤维取向和含量的动态调控，为实现复合材料多尺度结构设计与制造一体化提供了一种新方法。



创新设计类

获奖项目：Matbook 多级材料数据系统

获奖单位：上海波客工业软件有限公司

Matbook 多级材料数据系统是由多个应用场景和级别的数据软件组合而成的数据系统，包括材料云平台管理系统，云端数据库、桌面数据软件、嵌入式插件等模块，按照“数据湖 - 数据后台 - 数据中台 - 数据插件 - 数据终端”的理念开发，形成一套类似“水源 - 水厂 - 水龙头”的材料数据加工和管道系统，实现材料数据在行业中的流通，形成材料数据的全数字化链条，解决了数据人工处理、数据孤岛、数据断链等痛点，提供规范的材料数据全数字化、流程自动化的使用便利。

创新应用类

获奖项目：麻纤维复合材料座椅背板

获奖单位：扬州超峰汽车内饰件有限公司

麻纤维复合材料座椅背板相对于 PP 材料注塑成型座椅背板具有：强度高、重量轻、生产工艺简单、综合成本较低等特点，目前已经开始在乘用车上广泛使用。

获奖项目：复合材料高弹性联轴器

获奖单位：中国船舶重工集团第七一一研究所

复合材料高弹性联轴器是高弹性联轴器和复合材料的有机结合，相比传统金属弹性联轴器，可减重 40-50%，不仅大幅减轻了高弹性联轴器的整体重量，提高了位移补偿能力，还具有耐腐蚀、疲劳性好等优点。

SAMPE 中国 2021 年学生竞赛在北京成功举办

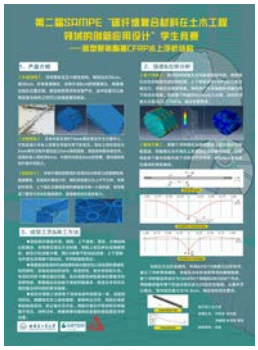
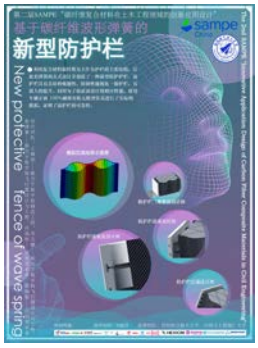
SAMPE 中国 2021 年学生竞赛活动于 7 月 8 日在北京圆满落幕。
今年的学生竞赛分为两个部分：
1、第二届 SAMPE “碳纤维复合材料在土木工程领域创新应用设计” 学生竞赛
2、第十三届 SAMPE 超轻复合材料机翼 / 桥梁学生竞赛

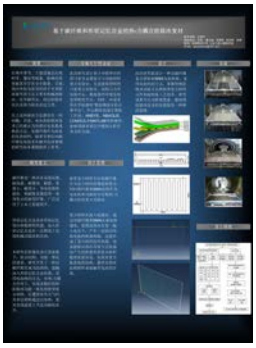
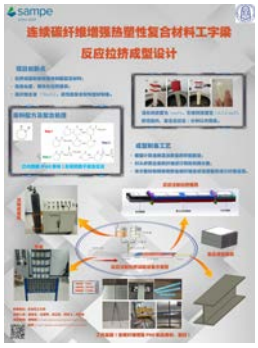
两个竞赛共有 **50 余个院校 184 支队伍**参赛。竞赛旨为普及先进复合材料结构设计及制造工艺知识，鼓励参赛的同学们不拘泥于传统理念，提升设计、优化、分析、建模及动手制作复合材料制件的能力，为高校复材相关专业的学生搭建一个施展才华的舞台。

SAMPE 全球轮值理事长 益小苏教授 为获奖队伍颁奖

01 第二届 SAMPE 碳纤维复合材料在土木工程领域创新应用设计学生竞赛

第二届 SAMPE “碳纤维复合材料在土木工程领域的创新应用设计” 学生竞赛于 7 月 8 日在北京 “SAMPE 中国 2021 年会” 期间举行了颁奖仪式。本届学生竞赛继续由 SAMPE 中国土木工程复合材料专业委员会主办，是土木工程领域的专业交流活动。参赛队需以碳纤维复合材料为主要结构材料，充分发挥碳纤维复合材料性能、提升土木工程结构性能与 / 或服役寿命的创新性应用，并具有规模化应用前景。竞赛选题范围可以包括（但不限于）既有工程结构的加固与新建结构，最终以应用说明、设计分析和 PPT 演示、海报等方式提交展现。

经过评审专家从海报设计与制作、选题背景、设计图纸、设计分析、方案可行性论证、创新性与应用规模化论述等六方面进行评审。在 22 支参赛队伍中，**哈尔滨工业大学获得竞赛特等奖、浙江大学和哈尔滨工业大学获得竞赛一等奖、南京工业大学的 2 支参赛队及北京化工大学获得竞赛二等奖、西南科技大学 2 支参赛队、重庆交通大学和沈阳航空航天大学获得竞赛三等奖。**为感谢指导老师对学生的悉心指导，特设最佳指导老师奖，哈尔滨工业大学的**李承高老师获得最佳指导老师奖。**

美国波音 严鹏程博士 为获奖队伍颁奖

02 第十三届 SAMPE 超轻复合材料机翼 / 桥梁学生竞赛

由 SAMPE 中国大陆总会主办，美国波音公司赞助支持的第十三届 SAMPE 超轻复合材料机翼 / 桥梁学生竞赛于 7 月 7-8 日完成现场测试评定。本届学生竞赛**共有 162 支队伍参赛，其中，预浸料成型机翼 54 支队伍、液体成型机翼 27 支队伍、碳纤维桥梁 53 支队伍、天然纤维桥梁 28 支队伍。**今年的碳纤维桥梁竞赛规则相对于往年进行了较大的修改，整个桥梁的**净高度由原来的 120mm 调整到 180mm**，测试规则也由大于 18kN 按照重量轻排名修改到按照载重比排名，经过现场紧张又激烈的角逐，碳桥最高载重比达到 77.64，创近三年新高。

经过激烈比拼，在四个单项中收获颇丰的有沈阳航空航天大学、西北工业大学和成都航空职业技术学院。

沈阳航空航天大学获奖项目

机翼预浸料成型竞赛：一等奖、二等奖和三等奖各 1 个

机翼预浸料成型视频：二等奖

机翼液体成型视频：三等奖

机翼预浸料成型最佳指导老师奖：贾彩霞老师

西北工业大学获奖项目

机翼液体成型竞赛：一等奖、2 个三等奖

机翼液体成型视频：一等奖、二等奖

机翼液体成型竞赛最佳指导老师奖：许英杰老师

成都航空职业技术学院获奖项目

碳纤维桥梁竞赛：一等奖、2 个二等奖

天然纤维桥梁竞赛：一等奖、二等奖

海报奖：三等奖

视频奖：一等奖

机翼预浸料成型视频：一等奖

碳纤维桥梁竞赛最佳指导老师奖：易磊隽老师

天然纤维桥竞赛最佳指导老师奖：邹在平老师

其他获奖情况

机翼预浸料成型项目
河南工业大学、天津工业大学和东华大学分获竞赛二等奖和 2 个三等奖，中国民用航空飞行学院、同济大学和北京航空航天大学分获海报评选一二三等奖，东华大学获得视频三等奖。

机翼液体成型单项
同济大学获得竞赛二等奖和海报评选三等奖，天津工业大学和西安工程大学分获海报评选一等奖和二等奖。

碳纤维桥梁单项
西安航空学院、中国民用航空飞行学院和同济大学同时获得竞赛三等奖，河南工业大学、天津工业大学和西南科技大学分获海报评选一二三等奖，东华大学、北京工业大学和中国民用航空飞行学院分获视频评选一二三等奖。

天然纤维桥梁单项
国防科技大学的两支参赛队伍同时获得竞赛三等奖，北京航空航天大学和西南科技大学获得海报评选一等奖和二等奖，西安工程大学的两支参赛队伍获得视频评选的二等奖和三等奖。

>> 感谢赞助商 <<

- 美国波音公司
- 中航复合材料有限责任公司
- 航空工业飞机强度研究所
- 美特斯工业系统（中国）有限公司
- 天氏欧森测试设备（上海）有限公司
- 力试（上海）科学仪器有限公司
- 深圳万测试验设备有限公司
- 北京共赢联盟国际科技有限公司
- 连云港神鹰复合材料科技有限公司
- 赢创特种化学（上海）有限公司
- 江苏恒神股份有限公司
- 中航复材（北京）科技有限公司
- 威海宝威新材料科技有限公司
- 东莞麦科斯复合材料有限公司
- 瀚森化工企业管理（上海）有限公司
- 汉高乐泰（中国）有限公司
- 厦门新旺新材料科技有限公司
- 成都航宇康普科技有限公司

CORPORATE MEMBERS

01 企业风采

德州联合拓普复合材料科技有限公司

德州联合拓普复合材料科技有限公司位于山东省德州市运河经济开发区新旧动能转换示范园区，公司占地44,000 平方米，已建成现代化厂房 4 座，在建 1 座；主要产品包括各型碳纤维编织物、高性能碳纤维预浸料、玻璃纤维预浸料以及碳纤维复合材料制品，具备年产预浸料 1200 万㎡、织物 60 万㎡、碳纤维制品 10 万件的生产能力。

公司已认定为国家高新技术企业，为国际先进材料与制造工程学会（SAMPE）中国大陆总会会员单位，现已成立“济大 - 联合拓普复合材料研究院”，依托其重点实验室的科研水平和人才力量助力于公司自身实战优势，紧密将高校技术与产品应用相结合。研发出系列拥有多项自主知识产权的高性能产品，现已获得 3 项发明及 15 项实用新型专利，相关产品通过 EN45545、DIN5510、UL94V0 等多项权威认证。拥有“ISO9001”“ISO14001”、“ISO45001”三体系认证；在工业制品、轨道交通、医疗器械、体育器材等领域广泛应用，久负盛名；已成为中国规模较大、技术领先的高科技复合材料制造商。

“做领先者，不做追随者；做创造者，不做守望者”。联拓科技将以一流的技术、一流的产品、一流的服务为国内外的朋友提供产品个性化解决方案；亦诚邀各界精英的合作，共同开创复合材料行业的美好明天！

湖北珍正峰新材料有限公司

湖北珍正峰新材料有限公司成立于 2012 年，占地面积 50 亩，是一家专业生产耐温型特种环氧树脂系列产品的高新技术企业。公司已快速成为实力较强的 MF 系列多官能耐温环氧树脂生产基地，年生产能力 2000 吨，产销量位居国内前列。

公司专业生产多官能团耐高温环氧树脂，年产能 2000 吨。产品主要用在高端胶粘剂、电气绝缘、碳纤维复合材料等领域。MF-3285 等同于 TDE-85，MF-4101H 和 MF-3102 品质和美国亨斯迈化学的 MY721 和 MY510 相同。

武汉鑫友泰光电科技有限公司

武汉鑫友泰光电科技有限公司，是一家集研发、生产、销售于一体的高新技术企业，生产经营：石英玻璃纤维及制品（包括石英玻璃纤维纱、石英玻璃纤维布、石英玻璃纤维套管、石英玻璃纤维带、石英玻璃纤维棉、石英玻璃棉毡等）；石英玻璃及制品（包括石英玻璃管、石英玻璃棒、石英玻璃法兰、石英玻璃筒、石英玻璃钟罩等）；特种电光源用石英玻壳（石英球型、鼓型、异型玻壳）等产品，为航天航空、光纤制造、半导体制造、特种电光源等行业配套提供高科技新材料。

公司现建设有 1 座产品研发中心，2 栋综合生产大楼和 11 座标准化工业厂房及辅助设施，总建筑面积约 30000 ㎡。拥有主要生产设备 350 余台（套）。每年可生产石英玻璃纤维及制品 150 吨、石英玻璃及制品 800 吨、特种电光源用石英玻壳 100 万支。公司于 2010 年通过 ISO9001 质量管理体系认证，2014 年获得国家级高新技术企业认定。

公司一贯秉承“严格管理、持续改进、真诚服务、追求卓越”的经营宗旨和“科学先导、质量为本、精益求精、顾客满意”的质量方针，不断提升自身技术研发能力，努力开发新工艺和新产品，以优异的品质和良好的信誉服务社会。

嘉兴雅港复合材料有限公司

嘉兴雅港复合材料有限公司成立于 2010 年，位于浙江省嘉兴市秀洲区国家高新技术产业开发区。公司已通过 AS9100D 及 GJB9001C 质量体系认证，具备三级保密资格证书，各种产品已广泛应用于航天航空、轨道交通、特种车辆、船艇及电子等行业。

公司是一家轻量化复合材料的研发、生产、加工企业，主要从事芯材（芳纶蜂窝芯及特种纸蜂窝芯）、蜂窝夹芯板材（包含多种材料预浸料生产）、复合材料结构件及其它各类高性能复合材料（包括预浸料、胶膜等）的研究开发和批量生产，主要客户为航空工业主机厂和零部件生产单位。

公司致力于立足供应军用航空装备的同时，推进航空复合材料技术在民用飞机、特种车辆、轨道交通和船舶等领域的应用和产业化进程。

CORPORATE MEMBERS

02 企业风采

威海光威复合材料股份有限公司

威海光威复合材料股份有限公司成立于 1992 年，是专业从事碳纤维及其复合材料研发生产的高新技术企业。

公司下辖威海拓展纤维有限公司、威海光威精密机械有限公司、威海光威能源新材料有限公司、山东碳纤维产业研究院有限公司，以高端装备设计制造为支撑，形成了从原丝开始的碳纤维、织物、树脂、预浸料、复合材料制品、复合材料生产装备制造及工装的完整产业链布局，是目前国内碳纤维行业生产品种齐全、生产技术先进、产业链完整的企业之一，产品已应用于国防军工和民用两大领域。

公司发展和整体布局实行“521”发展战略，即：坚持五大产业、两个平台和一个园区的发展战略。五大产业是生产主体，即以碳纤维和织物为主体的拓展纤维板块，以预浸料类为主体的通用新材料板块，以风电和电缆等为主体的能源新材料板块，以航空航天四随和轨道交通为主体的复合材料板块，以精密机械和航空航天武器舱体为主体的光威精密机械板块；两个平台是研发平台，即以碳纤维国家工程实验室和碳纤维技术创新中心为主体的碳纤维研发平台和以国家企业技术中心、工程设计中心、重点实验室等为主体的复合材料研发平台；一个园区是孵化园区，即依托碳纤维产业园设立碳纤维产业孵化园区，对碳纤维及其复合材料制品领域的尖端技术、产品和人才进行开发、孵化和吸收。

江苏鸿赞蜂窝科技有限公司

江苏鸿赞蜂窝科技有限公司是一家专注于蜂窝复合材料应用场景开发的研发导向公司，我们致力于为客户提供蜂窝复合材料和轻量化、产品化、模块化、智能化的技术、工艺、设备、材料的系统开发。

我们聚焦于以铝、镁、钛、不锈钢等为代表的复合材料制品，以及以玻纤、碳纤、HPL、MDF 等为代表复合材料制件。在空天防务领域，以卫星、空间站、飞行器等为代表的轻量化应用；在民用领域，以 3C 电子、5G 通讯、高端装备、太阳能设备、轨道车辆、海陆交通工具、洁净系统、建筑装饰、智能家居等为代表的产品化开发。

我们致力于为客户提供系统的轻量化蜂窝复合材料解决方案！

威海市通联精密机械有限公司

通联精机，一家专注于玻璃纤维及碳纤维复材制品周边设备的研发制造厂商。工厂坐落于风光秀丽的海滨城市——山东省威海市初村工业区昊山路号 15 号，工厂占地 26 亩。专业制造玻纤、碳纤维浸布为原料的卷管成型设备，模压成型设备，缠绕设备，溶剂型编织布预浸机、热熔型碳纤维预浸料设备等各种周边配套设备。通联自 2001 年（通联渔具设备厂）创始以来，沐浴风雨，历经砥砺，坚定的践行诚信、品质、责任、感恩的经营理念，以先进的设计理念、可靠的产品质量和诚信的服务口碑，引领了潮流，在碳纤维复材制品行业内占有一席之地，2016 年为开拓国际市场，成立通联精密机械有限公司，取得独立进出口经营权。产品畅销日本、法国、叙利亚、印度、越南、土耳其、俄罗斯等多个国家和地区，市场占有率稳居行业榜首。技术研发力量雄厚，拥有多项发明专利和新型实用专利。被市中小企业局授予专精特新典型企业称号，机械加工设备先进，被国家示范性高等职业学院—威海职业学院选定为实训实习基地。通联人将以回馈养育“通联”茁壮成长这片沃土的心态，以创新的产品，优秀的品质和崭新的服务理念，服务于国内外玻纤及碳纤维复合材料制品厂商，全力助推行业发展！

西克玛（上海）复合材料有限公司

Sigmatex（西克玛）是一家总部位于英国的领先的碳纤维织物解决方案制造商，拥有最广泛的纺织技术和专有技术制造设备。自 1986 年成立以来，一直致力于帮助全球客户创造尖端碳纤维织物。

西克玛在全球范围内，研发和制造用于复合材料行业的碳纤维织物产品，包括 2D 织物、3D 织物、展开织物、单向织物、多轴向织物以及 Innegra 织物和回收再生织物等。

产品广泛服务于诸多行业领域，依托先进产品技术和设计，为全球航空航天、风能、高端汽车、船舶、工业以及体育休闲等领域转换大量的碳纤维织物。

西克玛公司的织物与设计专家为客户开发先进和创新的碳纤维防止解决方案，从而帮助客户利用碳纤维织物获取最大收益。西克玛公司所提供的碳纤维织物技术开辟了许多新途径，使人们得以通过改进材料的特性来设计出技术性能更为优异的产品。

CORPORATE MEMBERS

03 企业风采

上海模锐化工有限公司

上海模锐化工有限公司（模锐）是一家从事复合材料工艺开发，新材料应用的公司，专注复合材料脱模工艺及其脱模技术的高新企业。

我公司开发研制的常规涂层类脱模剂（包括清洗剂，封孔剂，脱模剂等），我们还针对异形极小的碳纤维产品研发了水溶性模具；针对表面光滑度，我们开发了记忆气囊材料（该材料常温为硬质材料，加热后变软可以使碳纤产品便面光洁平整，同时可以很容易的脱模），为进气道，飞机长桁工艺解决了脱模困难，表面光洁度不高等工艺难题。

通过为客户提供附加值更高的服务和产品满足客户的需要，提高客户在市场上的绝对竞争优势。

模锐化学本着客户第一的原则，从成立之初便建立了完善的销售—售后制度，积极站在客户的角度为其推荐最合适的产品，对客户使用过程中遇到的问题进行分析总结。目前已有一套完整的 Q&A 文件，客户总能在第一时间得到满意的技术支持。

展望未来，模锐将贯穿积极努力的信念，以诚信，团队合作，创新的精神，坚持自主发展，把模锐建设成化工业的新星。

宁波丽成复合材料制品有限公司

宁波丽成复合材料制品有限公司（原名：宁波丽成超级树脂有限公司）创立于 2011 年，是日本 Super Resin 工业株式会社与杉杉集团有限公司的合资企业。

Super Resin 集团于 1957 年成立，在 60 余年的历史中，始终走在先进复合材料发展的前沿。在碳纤维诞生前，既已对纤维强化复合材料进行研究，是世界上历史最悠久的先进复合材料制造商之一。从 FRP 到 CFRP 到未来的生物纤维等新材料，Super Resin 参与到各种领域的复合材料产品的研发与生产，积累了丰厚的经验，以优异的研发能力与生产品质在日本的复合材料业界建立了良好的口碑。

公司产品小至精度要求微米级的半导体生产设备零件，大到需要可靠稳定性的超大液晶显示屏生产设备、实际工作于宇宙空间的人造卫星；近如汽车外观件、电子产品外壳，远至雷达、军工产品……

作为 Super Resin 集团的中国子公司，宁波丽成复合材料制品有限公司延承了日本总部的设计研发与生产管理的精髓，不仅仅根据客户所提供的图纸来简单制造，而作为复合材料的量身定制师，凭借对新材料的长期研究与实际生产经验，为客户提供从金属到复合材料的最佳置换方案，通过有效优化设计而实现产品的功能性要求。

宁波丽成始终保持与日本总部的同样的品质水平，从设计解析、材料选取，到复材成型、机械加工，以及最终的品质管理，提供最佳的一贯式服务。（质量认证：ISO 9001）

常州腾拓机械设备有限公司

常州腾拓机械设备有限公司成立于 2009 年，注册资金 500 万元，建筑面积达 6500 平方，是一家集研发、生产、销售、服务为一体的机械设备制造商。公司注重锐意革新，专注于产品的研发，我们在 2016 年研发成功软瓷连续生产线，2017 年研发成功吉利丁片生产线，2018 年研发成功预浸料生产线。公司已申请了众多专利，并成为细分领域的技术先锋和领导者。

自公司成立以来一直恪守以人为本，精益求精，开拓创新的经营理念，深受广大客户的一致好评，产品畅销国内近三十个省、市及美国、日本、韩国等多个国家。已成功地成为玻纤碳纤、建筑节能、食品添加剂、绝缘等行业的主要设备供应商之一。我们愿与您共创美好未来！

中航工程集成设备有限公司

中航工程集成设备有限公司为中国航空规划设计研究总院有限公司全资子公司，航空工业集团公司成员单位，简称航空工业设备工程。始建于 1951 年，前身为第三机械部第四设计研究院设备设计所。

经过近七十年的发展，我公司承载着航空地面支持专用设备的研发、制造、销售及相关工程服务的使命。以军品技术为依托，研发复合材料、热能工程、精密铸造、表面处理等相关业务。其中复合材料专业能够提供复合材料行业高端咨询、可研初设、勘察设计、工程设计、工程总成、设备总成、智慧工厂等全价值链服务。

我公司专业设置齐全：包括工艺咨询、热能工程、机械设备设计、表面处理、工业噪声治理、电气控制、自动化、压力容器、压力管道设计、信息工程（软件）、采集软件及硬件集成、工程咨询、设计、项目管理等十余个专业。

CORPORATE MEMBERS

04 企业风采

宁波碳谷科技有限公司

宁波碳谷科技有限公司成立于 2020 年，是一家集先进复合材料制品及非金属模具设计、制造、销售于一体的企业，专注于高性能制作工艺、结构复杂等精密加工制品与非金属模具的开发与供应。

公司地处于美丽富饶的东海之滨，模具之乡—浙江省宁波市宁海县长街工业园区。距宁波市中心 90 公里，宁波栎社机场 80 公里，距高速出入口处 2 公里，交通十分便捷。

公司前身是南京甬博数控科技有限公司。拥有 23000*7000*4000；3900*1900*710 多种型号五轴 CNC 加工中心及配套设备。也拥有多年来专业设计制造非金属模具设计研发、各种复材制作工艺的生产实践经验与技术团队。公司员工都具有十年以上从业经历，有着专业扎实的技能，丰富的经验。

公司产品主要涉足行业制品模具有风电叶片、机舱罩、整流罩、豪华游艇壳体、轻量汽车车身、小型飞机、卡车车头、高铁座椅、异形建筑制品、航空航天等产品领域。所有模具、制品均有资深设计师主持开发设计，一流的模具装配技工装配，能充分保证模具的高精度，长寿命，超长稳定性，为客户创造最大价值实现更多投资收益。特别在固定翼无人机模具和制品生产领域，我们拥有独特的丰富的案例和生产经验。

我们期待与您的真诚合作，共创双赢！

卡奔碳纤维技术（东莞）有限公司

卡奔碳纤维技术（东莞）有限公司是一家中奥合资企业，熔合了 Hintsteiner 集团 35 年的欧洲高端碳纤维制品技术经验和深圳 RPS 数十年的 3D 打印、快速成型、快速模具设计制造经验， 将欧洲领先的碳纤维技术用于中国市场，致力于提供高端碳纤维轻量化解决方案。专注于航空、汽车、赛车、医疗以及军工领域，目前主要在产项目有无人驾驶航空器、碳纤维新能源汽车、高铁以及类似的复杂结构件。卡奔从产品试制到中小批量生产，采用稳定可靠的热压罐工艺、模压工艺。成型设计、模具技术、复材连接技术是我们的优势，已为数家国内外高端客户实现了零件轻量化目标。

北京奥星雅博科技发展有限责任公司

北京奥星雅博科技发展有限责任公司是航空航天领域复合材料及蜂窝结构专业配套供应商，公司在北京亦庄设有运营设计中心，在天津武清区京滨工业园设有研发及生产基地。公司拥有先进蜂窝芯材生产线及复合材料生产线，有自动涂布机、自动浸胶机、片切机等蜂窝芯生产设备，有多层热压机、高温真空热压机、固化炉、热压罐、五轴加工中心、超声 C 扫无损检测仪等多台套专用加工设备和检测设备。

公司的芳纶蜂窝芯生产线和铝蜂窝芯生产线持续为客户提供高性价比产品。公司拥有优秀的研发团队，先后研制出国内最高密度耐久铝蜂窝芯材、最小孔格芳纶蜂窝芯、可批量化生产的碳布蜂窝芯材、大尺寸玻璃布蜂窝芯材、柔性蜂窝芯材和特种电磁功能蜂窝芯材等一系列成果。这些成果已经或者正在服务于军用飞机、商用飞机、卫星飞船结构、导弹及火箭结构等细分领域。

在复合材料结构领域，我公司凭借雄厚的技术实力，极强的研发创新能力，已开发出多种适应不同行业市场需求的复合材料产品，广泛应用于航空航天、铁路客车、高能物理、机械电子等行业。特别围绕宇航和商业航天市场，为客户定制提供卫星结构板、太阳翼基板、火箭整流罩、火箭级间段等高性能复合材料产品，为商业航天用户提供标准化、批量化、低成本的解决方案。

公司以“共思，共创，共享”为理念，愿与各行业客户精诚合作，为客户提供更完善的产品和高质量的服务。

帝人（上海）碳纤维有限公司

帝人集团是碳纤维制造商，提供碳纤维纱线，短切纤维，及各种碳纤维为原料的半成品。

基于我们长年生产碳纤维的经验，我们所提供的半成品材料包括各种制造工艺：代表现代化水平的热固性预浸布，特制编织布，使用机器臂的多种碳纤维自动化装置所制造的复合材料预制件，热塑性预浸布及复合层压板。

帝人集团的全球年产能为 13,900 吨，是世界知名优质高性能碳纤维厂家之一。

重量轻，强度高的特点使碳纤维成为加固补强材料的理想原料。用途包括，飞机、航天器上的负重结构件，汽车，机械零件，建筑补强，医疗设备，体育用品，及风力发电，石油开采，化工领域等。

CORPORATE MEMBERS

05 企业风采

芜湖创联新材料科技有限公司

芜湖创联新材料科技有限公司成立于 2020 年 4 月 2 日，是一家集高性能低成本复合材料、芳纶纸蜂窝芯材等新材料产品设计、研发、生产、销售、服务于一体的高新技术企业。公司以军、民用航空复合材料零部件研制、修理及芳纶纸蜂窝芯材研制业务为核心，拓展 3D 打印复合材料技术研发、复合材料回收再利用的研究方向，同时提供优质复合材料技术咨询，努力打造产学研三位一体的研制基地和创新平台。

公司园区占地面积 80000m2，建筑面积达 96000m2，设有研发中心、复合材料研制中心、芳纶纸蜂窝芯材研制中心和新材料重点实验室，公司现已形成以安徽省技术领军人才为首，中高级工程技术人员为骨干的研发团队，研究领域覆盖复合材料产品与原材料设计、研发、制造、检测与验证。

公司贯彻以人为本、创新驱动的发展原则，致力于国防军工、航空航天、轨道交通、风电、生物医药等领域复合材料的研发与制造，秉承诚信、创新、顾客至上的理念，全面提升核心竞争力，努力打造国际一流的科研与技术平台。

惠州市海龙模具塑料制品有限公司

惠州市海龙模具塑料制品有限公司成立于 1996 年，致力于模具设计与制造、注塑产品制造及先进复合材料制品和氢燃料电池关键核心部件开发。

在模具设计与制造领域，公司具有经验丰富的模具设计工程师和模具制造技术员、先进的 CNC 加工中心、电火花机、数控深孔钻及三次元测量臂等加工设备和检测设备，采用主流的模具设计辅助软件，模具产品已出口到欧美等发达国家。在复合材料领域，公司致力于提供先进复合材料快速成型模具和成型工艺技术解决方案，已成功研发了快速固化预浸料模压成型、HP-RTM 成型和湿法模压 (Wet-molding) 成型模具和工艺技术。

海龙公司为国家级高新技术企业，已先后通过了 ISO9001、IATF16949、GJB9001C 及知识产权质量管理体系认证，并予以全面贯彻执行。公司坚持“技术领先、持续创新、卓越管理、品质优异”的经营理念，全方位服务于客户的发展需求。目前公司产品已广泛应用于航空航天、汽车、轨道交通等领域。

江苏奥琳斯邦复合材料有限公司

江苏奥琳斯邦成立于 2004 年，致力于新能源与新材料领域，是一家集研发、设计、生产、销售、服务于一体的环保型企业。奥琳斯邦始终注重核心产品的研发创新，历年来被评为国家高新技术企业、民营科技型企业等，拥有能源工程技术研发中心，压力容器制造许可证，美国 ASME、NB 认证，加拿大 CRN 认证，欧盟 CE 认证等，取得中国船级社 ISO9001 质量管理体系认证，150 余项中华人民共和国授权专利。公司主营产品为蒸压釜、玻璃釜、热压罐（碳纤维釜）及碳纤维复合材料制品，远销海内外 80 余个国家，广泛应用于绿色装配式建材、碳纤维成型工艺、玻璃深加工、航天航空、轨道交通等高精尖行业。

奥琳斯邦研发生产的热压罐，是复合材料（碳纤维 / 树脂芳纶 / 树脂等）结构件高温固化成型的关键设备，公司拥有完整成熟的技术、先进可靠的设备，专业的人才梯队以及严格有序的管理，目前已为国内外百余个行业标杆企业定制专用规格热压罐以及碳纤维制品。

奥琳斯邦坚信“为客户创造价值，为员工创造机会”的企业使命，坚持“诚信务实，开拓进取”的质量方针，在新能源新材料领域深根细作、持续发力，通过差异化竞争、自动化升级、智能化应用、数字化战略等一系列举措，加速企业转型升级，增强核心竞争力，竭诚为新老客户提供更为优质的产品与服务，成为一家能持续发展并回馈社会的百年企业。

主营产品：碳纤维制品 carbon fiber products，热压罐 Composite Autoclave，玻璃釜 Glass Autoclave

商标 LOGO：奥琳斯邦 OLYMSPAN

江苏科达车业有限公司

江苏科达车业有限公司自 1993 年成立伊始，始终坚持“诚信、敬业、创新、感恩”的企业精神，积极贯彻质量和品牌战略。公司现已形成专业化汽车内外装饰件、模塑制品件的研制、生产，年生产能力 100 万台套以上，现已为一汽集团、长安集团、长城集团、江铃集团、北汽集团等主机厂家提供配套服务。

CORPORATE MEMBERS

06 企业风采

广东博汇新材料科技股份有限公司

广东博汇新材料科技股份有限公司成立于 2006 年，公司在高性能环氧树脂改性配方设计及使用加工工艺方面具有丰富的实践经验。能提供与欧洲市场同步的环氧树脂系列产品。我们致力于高性能环氧树脂和固化剂改性的配方设计研发和生产，为环氧树脂在复合材料、风电叶片、航空航天、轨道交通、船舶、轻量化汽车、体育器材等应用领域提供专业解决方案。

企业现状：

→欧洲技术背景，强大技术支持

→是一家同时参与国防，军工，风电，高铁等国家高精尖项目的企业

→国家级国新技术企业，多项发明专利

→发展迅速，每年销售额增长幅度在 30% 左右，人均产值 800 多万

公司生产车间拥有环氧树脂生产自动控制配料系统，整个生产过程从进料、称重计量、反应、输送、包装全电脑控制，确保产品质量的稳定性。生产车间共 30 余条生产线，年产各类树脂 8 万余吨，在同行业中位居前列。

公司的研发中心有一千多平方米，根据不同的实验功能设定二十余间实验室，引进美国、德国、日本及国内各类先进检测设备及测试验证试验设备，在环氧树脂的耐高温、高导热、高韧性、矿物填料添加、阻燃改性等领域具有独到的经验和技术，开发出了具有业内领先水平的碳纤维叶片灌注树脂，TG 高达 200 度且韧性优良，阻燃达到航空标准且适于灌注工艺的环氧体系。拥有“广东省环氧树脂复合材料工程技术研究中心”资质称号，同时公司还获得“广东省守合同重信用企业”、“广东省高成长企业”、“肇庆市创新百强企业”等荣誉资质。

IMA

IMA 是一家欧洲著名的测试服务供应商，总部位于德国东部的第二大城市德累斯顿。公司历史可追溯至上世纪 30 年代。80 年的时间里，IMA 的前身从飞机制造公司改制为材料轻量化应用技术研究所，并在 1993 年成为独立的第三方检测实验室。IMA 承担了德国第一架喷气式客机，以及空客 A380 等机型的全尺寸静态及动态测试。2017 年，IMA 上海正式成立，目前上海实验室可以提供复合材料静态及疲劳测试服务。

IMA 下设多个行业级专业实验室，如复合材料，医疗，金属，建筑，管道等；其中复材测试领域覆盖了航空航天，风能，轨交与汽车行业需要，为各行业的结构轻量化方向提供材料级测试，关键结构测试，部件级测试乃至整机测试。

IMA 拥有专业的复合材料力学性能及理化性能测试能力及团队，致力于为客户解决复合材料专业领域所涉及的各种研发类及认证类测试需求。

IMA 为客户提供一站式测试服务，从测试标准解读，样品制备，力学测试至测试结果分析答疑。通过对各环节细节把控，为客户提供真实的测试数据和精准的测试报告解读，同时满足客户定制化测试方案等需求。

威海东发精工机械有限责任公司

威海东发精工机械成立于 1993 年，位于风景秀丽的城市——威海。

公司主要产品有碳纤维预浸料生产线以及配套设备、碳纤维管材设备、碳纤维管材模具及辊筒制造、碳纤维模压设备。公司自成立至今有二十多年的生产经验，拥有一批高素质人才，形成了完善的研发体系，技术力量雄厚，拥有多项结构专利，多年来产品销售遍及全国，并远销世界各地。

公司质量管理体系通过 GB/T 19001-2016 idt ISO9001:2015 质量管理体系标准认证。

威海东发精工将以可靠的质量、优质的服务赢得广大客户的信任与合作。

苏州挪恩复合材料有限公司

苏州挪恩复合材料有限公司成立于 2017 年 5 月，公司专注先进纤维增强复合材料研发及其制品生产，主要服务于为汽车、军工、航空航天、智能装备、医疗等领域，在碳纤维复合材料箱体、碳纤维机器人手臂、热塑性碳纤维复合材料、功能性复合材料领域有独创性的技术能力。公司技术团队涵盖材料开发、结构设计、CAE 模拟、模具设计与加工、制品生产等全制程领域。并引进国外知名大学教授、海归材料学专家等高层次人才，可为客户量身定制最优产品。

CORPORATE MEMBERS

07 企业风采

浩博（福建）新材料科技有限公司

浩博（福建）新材料科技有限公司，位于福建省泉州市出口加工区，致力于高性能泡沫芯材和复合材料结构件，提供完整的研发、生产、销售和技术支持。公司主要产品为 HyboFOAM® 与 HyboCORE® PMI 高性能泡沫系列产品，并且提供完整的后加工服务 HyboFOAM Service®，包括 CNC 数控加工，热压成型，胶结工艺，以及复合材料验证件生产。同时，浩博高性能泡沫应用实验室还向客户提供培训和技术指导服务。

HyboFOAM® 是一种 PMI（聚甲基丙烯酰亚胺）的闭孔刚性泡沫材料，不含卤素。产品的泡沫孔径细小且均匀，其可以耐受最高 180° C 温度和最大 0.5 MPa 的压力。而且适用于各种固化工艺：热压罐，真空袋，RTM，VARTM，VARI，HP-RTM 等。由于具备优异的表面树脂吸收率，工程师可以在剥离强度和轻量化要求之间找到一个完美的平衡。

北京金宇恒利涂装设备有限公司

北京金宇恒利涂装设备有限公司是致力于先进复合材料行业用烘箱 固化炉、喷烤漆房、涂装生产线、废气处理、洁净间、除尘打磨等设备为主导产品的企业。

企业成立以来，坚持以“专业、创新、品质、服务”为企业宗旨，以科研为先导，以技术为保证，以质量为根本，严格遵守标准完整的质量管理体系、环境管理体系、职业健康管理体系，保证了产品的科技创新水平，经过不断的改进产品，融技术先进性，质量可靠性，经济实用性，结构合理性，造型美观为一体，服务于航天航空制造业、军工企业、铁路机车车辆、汽车制造业、机械制造业、科研院校、备受用户青睐。公司长期以来与中国电子科技集团第五十四研究所、中国科学院、中国运载火箭技术研究院、中国航天空气动力技术研究院、吉林华阳集团、山东格瑞德集团、西安神剑嘉业科技有限公司、江苏美龙新材料有限公司、芜湖神剑裕昌新材料有限公司、常州中简科技股份有限公司等多家企业及科研院所建立了长期合作关系。

公司注重“价值引领、服务共赢”的原则，引入领跑行业服务承诺、质量追踪、用户关爱等先进理念，第一时间为客户提供成套设备解决方案，人性化、准时化的优质服务赢得了客户的口碑，提升了企业的品牌价值。

青岛华博机械科技有限公司

青岛华博第一台复材热压成型机于 1989 年 10 月研制成功；HBSCR 系列智能热压机已取得欧盟 CE 认证及质量体系认证，并申请了 14 项热压机的发明专利和实用新型专利。

青岛华博科技公司到目前为止已有 32 年历史，已经开发出用途各异的智能型真空高温热压机 100 多款，压力范围 25-8600 吨，温度：室温 -450℃ -800℃，工作台最大台面 3x12M；

适合高分子材料（PI\PEEK\PEKK\PPO\PBO\LCP 等）、碳纤维复合材料、玻璃纤维复合材料、玄武岩纤维复合材料、金属基复合材料的生产，在航空 / 航天、机车船舶、电力 / 电子等领域的高性能产品及汽车零件等领域得以广泛应用；

已经在北京玻璃钢研究院、北京火箭技术研究院、中国科学院（长春应化所、宁波材料所、福州结构所、太原煤化所、苏州纳米所、大连化物所等）、北京 ABB 研究院、清华大学、北京大学、北京航空航天大学、北京理工大学、哈尔滨工业大学、大连理工大学、湖南大学、同济大学、武汉大学、武汉科技大学、四川大学、重庆大学、西安交通大学、西北工业大学、中国航天科工集团、中国航天科技集团、中国航空工业集团（哈飞、商飞等）、中国船舶工业集团、中核工业集团（天津理化院、上海八所）、天津爱思达、航天和兴、航天合众、航天辰马、江苏恒神、中复神鹰、江苏三强、北京奥星雅博、北京协同创新、北京尚方达、北京航天雷特、北京航空材料研究院、西安远飞、西安嘉业、西安索尔、西安泽达、上海航秦、上海晋飞、上海东华、上海怡鑫、上海华谊、上海跃盛、宁波今山、宁波聚嘉、宁波欧阳、浙江晶盛、浙江全米特等 1200 多家单位使用，并出口到美国、英国、俄罗斯、意大利、印度等国家。

康隆远东有限公司

康隆远东公司是意大利康隆集团的全资子公司。公司总部设在新加坡，负责远东区包括中 国、马来西亚、泰国、越南、菲律宾、印度尼西亚及东南亚地区诸国的业务。为了更贴近 市场，了解国情，以当地的语言沟通及为客户提供及时的技术服务。早在 1980 年代，康 隆（CANNON）聚氨酯发泡设备与生产线已进入中国。今天，远东地区已安装了上千台的 康隆聚氨酯发泡和树脂浇注设备与生产线。设备数量以及在复合材料领域的活跃程度确定了康隆的工艺技术与设备的领先地位。

CORPORATE MEMBERS

08 企业风采

弗锐德天宇环境科技成都有限公司

弗锐德天宇环境科技成都有限公司是专业生产复合材料、蜂窝、专用固化炉及复合材料试验箱，防爆安全烘箱，高低温试验箱，三综合试验箱，快速温度变化试验箱等环境模拟试验设备的提供商和方案提供解决者，公司一直致力于最新科技的试验室仪器和气候环境模拟试验设备的研发、制造和销售，通过消化吸收国外先进技术，使公司拥有世界领先的制冷、加热、真空、防爆等先进技术，已经逐步发展成为国内环境试验设备行业知名高新技术企业。

我公司向国内复合材料生产行业提供大型步入式固化烘箱及特制蜂窝固化烘箱整体解决方案，具有多年的制造经验。我公司生产的设备能更好的提供箱内均匀的温度场和外部换气条件，并设置轨道及手动台车装置，可对大型试件进行外箱装载，适用于对复合材料制品的预热、烘干、吸胶、固化等工艺试验，箱内采用防爆措施，可适用于进行含易燃易爆气体挥发物的物料高温试验。

新开发温度模拟试验箱特色：采用新型 PWM 冷控制技术实现低温节能运行。低温工作状态，加热器不参与工作，通过 PWM 技术控制调节制冷机组制冷剂流量和流向，对制冷管道、冷旁通管道、热旁通管道三向流量调节，实现对工作室温度的自动恒定。此方式在低温工况下，可实现降低 40% 的能耗。

浙江中科恒泰新材料科技有限公司

浙江中科恒泰新材料科技有限公司成立于 2010 年 5 月，由中国科学院化学研究所技术入股，专业致力于高性能聚甲基丙烯酰亚胺 (简称 PMI) 硬质闭孔泡沫的开发与产业化。主要为航空航天、船舶、电子通信、汽车轻量化、轨道交通、风电、医疗设备、运动器材等领域提供轻量化结构泡沫芯材及相关技术服务。

PMI 结构泡沫是一种轻质高强的硬质泡沫塑料，耐温性可达到 190-200℃，是目前耐热性最好的刚性结构泡沫塑料， 在减重设计及优化制造方面具有明显的优势。PMI 泡沫优异的耐热性和抗压缩性，使其能够适用于碳纤维复合材料夹层结构件的制造工艺，承受苛刻性的物理和化学条件，包括高温、高压、化学溶剂等，不但可适于高温热压罐成型工艺，还可适于树脂传递成型工艺，实现泡沫夹层与预浸料的一次性共固化。在航天、航空、舰船、雷达天线、高速机车、新能源汽车等领域获得空前成功的应用。

上海波客实业有限公司

上海波客实业有限公司专注于复合材料工业软件和数字化服务，围绕“数据 + 流程”提供复合材料软件综合解决方案和产品正向研发技术及服务，已通过高新技术企业和专精特新企业认定，率先建立复合材料产品的方案 - 材料 - 设计 - 分析 - 工艺 - 试验一体化正向开发流程和技术体系，自主研发 Matbook 材料云平台和 Xbook 工业软件系列，代理销售西门子 Fibersim 复合材料设计和工艺软件和 Altair HyperWorks 复合材料建模和仿真优化软件。

波客公司技术团队成员参与了中国商飞和中航工业多个民机和军机型号、多个航天产品复合材料部段的研发和改进，积累了数十个工程项目经验，掌握航空航天复材结构设计核心技术，自主研发的 Aerobook 航空航天结构和强度快速迭代设计平台已在多家院所试用和采购。

在车辆复合材料领域，波客公司是泛亚、上汽、北汽、广汽、东风、中汽院等公司的第一批复合材料技术供应商，提供专业的汽车复合材料零部件咨询设计和样件制作服务，并已为中车集团多家公司提供轨道车辆复合材料应用服务和软件产品，自主研发的 Autobook/Trainbook 产品研发流程软件即将推向市场。

北京鼎锐中实商贸有限公司

北京鼎锐公司是德国 HUFSCHMIED 刀具在中国的代表处，公司主要为航空航天复合材料（CFRP\GFRP\KEVLAR 碳纤维玻璃纤维、凯夫拉纤维、凯夫拉蜂窝材料）加工及企业汽车内饰件行业，控制面板、工业用塑料产品提供全方位的六轴数控解决方案。公司提供当今先进的钨钢刀具、高硬材料、PCBN、PCD 等材料高速切削刀具，是美国波音和欧洲空客合格供应商，为中航工业各工厂及各民营企业专业供货商。同时，我司提供德国先进的超声波切削、清洗、焊接设备。

CORPORATE MEMBERS

09 企业风采

罗威斯数控科技（昆山）有限公司

罗威斯数控科技（昆山）有限公司是一家自主科研、生产、销售及售后为一体的高端数控设备生产厂家，来自意大利及台湾的专业技术团队，有着四十年的专业数控设备生产经验，专为全球客户提供数控加工设备及解决方案。

罗威斯中国生产基地座落于江苏昆山高新园区，有数万平米的现代化标准厂房，专业生产高速高精度金属及非金属加工中心机，主要产品有桥式五轴加工中心，全罩式五轴加工中心，龙门式五轴加工中心，动柱式五轴加工中心，型材五轴加工中心，刀臂式型材加工中心，夹臂式型材加工中心，动梁式型材加工中心，板材式加工中心等，产品品种齐全，也为客户提供定制化的加工设备及交钥匙工程。

罗威斯产品已广泛运用于航空航天，轨道交通，风电，游艇船舶，建筑产业，模具模型，绝缘材料等行业。

苏州山德精密工具有限公司

苏州山德精密工具有限公司是一家集研发、生产、销售为一体的高新技术企业，公司成立于 2002 年 12 月，位于江苏省苏州市吴中区珠枫路 98 号。公司引进德国、日本、美国、瑞士先进精密生产及检测设备，共计 80 余台，为生产高端精密工具提供可靠的硬件支持，同时保证了品质的一致性、稳定性。经过近二十年的发展与积累，拥有完善的核心技术和生产团队，包括售前技术服务、研发设计、样品制作、产品应用，具有雄厚的研发技术和科技创新能力。

公司主要生产硬质合金、PCD/PCBN 钻头、铣刀、铰刀、成型刀，PCD/PCBN 刀片，可根据客户需求条件进行非标设计定制，经过市场检验证明和多年来客户的反馈，产品在价格、交期、品质上具备明显的优势，广泛应用于汽车零部件、航空航天、3C 精密电子、重型机械、工业自动化、再生能源等重点行业。

在未来持续发展中，山德人将秉承“研发、创新、服务”的经营理念，“成为航空航天难加工材料加工刀具国产化第一品牌”的企业愿景，专注做高品质切削工具，为广大用户提供优质的产品和完善的技术服务。

超美斯新材料股份有限公司

超美斯新材料股份有限公司，是专业从事以间位芳纶为龙头的各种高性能材料研发、制造和应用的高新技术企业。公司位于江苏省苏州市吴江区，西邻太湖，东依京杭大运河，距离上海虹桥交通枢纽 80 公里，距离杭州 120 公里。公司注册资本 2.1 亿元人民币，在中国香港、上海设有销售公司，在苏州吴江、江苏淮安设有生产基地。

公司主要经营产品有间位芳纶纤维、间位芳纶蜂窝纸及间位芳纶绝缘纸等。产品主要应用于防护服装、高温过滤、电气绝缘、高铁、航空、航天、军工、运动器材和新能源等领域，产品已在航空航天、高速列车、船舶等领域得到广泛应用。

公司拥有业内领先的芳纶生产技术制造能力，产品研发制造具有丰富的科研专利，是国内唯一具有芳纶 1313 自主知识产权的企业，目前拥有 40 余项发明专利和实用新型专利。公司先后荣获过“中华人民共和国国家科学技术进步二等奖”、“教育部科学技术进步二等奖”、“上海市科技进步一等奖”、“江苏省高新技术企业”、“江苏省人民政府认定企业技术中心”、“江苏省著名商标”等 30 多项荣誉，公司建有国家级博士后工作站，与国内多所高校有紧密技术合作。

超美斯新材料股份有限公司，秉持汇融海纳，领创未来的企业理念，真诚期待与国内外相关领域企业完美合作。

无锡市鹏达海卓智能装备有限公司

无锡市鹏达海卓智能装备有限公司是一家立足于绿色产业并提倡技术创新的专业复合材料液压机制造商，企业以设计与研发制造高效节能的液压设备为发展目标，已为众多不同领域的国内外客户提供了先进的行业解决办法。

节能高效、绿色环保、安全可靠、滴油不漏、运行稳定，高端制造是设备的六大产品特点。雄厚的技术力量，完整的质检团队和优秀的售后服务始终贯穿如一，鹏达力求为每一位客户创造最大价值利益。

我们本着“务实、进取、诚信”的原则，真诚面对每一位客户，在不断发展的道路上追求科技创新、技术创新，努力为国内外新老用户提供更多更好的产品服务！

CORPORATE MEMBERS

10 企业风采

东丽国际贸易（中国）有限公司

1960 年东丽启动碳纤维研发，捱过了“十年无产品、无销售额的历程”；1972 年东丽碳纤维被运用在钓鱼竿制造上；1973 年使用东丽碳纤维制作的高尔夫球杆问世；1975 年东丽碳纤维成功用于生产波音 737 客机的次承力结构材料，东丽与波音两家公司之间的超长合作期正式开始...历经 50 多年发展至今，已经拥有遍布全球的运营网络，生产基地遍布日本、韩国、美国及欧洲；从原纱到碳纤维、碳纤维编织布、预浸料、碳纤维制品的垂直开发；拥有先进技术，因而造就质量稳定、品质一流的碳纤维系列产品；在航空领域拥有 40 多年产品供应经验，积累了安全而可靠的质量保证体系；在汽车领域打造出仅重 846 公斤，比钢制汽车减重 53% 的新一代电动汽车；2018 年末推出 TORAYCA® GT Z600, 是一款低成本、高性能，性价比很高的碳纤维...50 年多年来通过不断开发和投入新产品在扩大碳纤维应用领域。

碳纤维具有轻、强、刚的特性。被用于航空领域，如波音 787、空客 380 的尾翼横梁；高端体育用品，如高尔夫球杆、钓鱼竿、球拍、自行车；以及气瓶、抽油杆、石油输送管、风车叶片、电缆、水泥钢筋替代棒等工业领域，还被用于 CT 机、X 光机的天板、机械滚筒、电磁波遮蔽、电脑外壳、燃料电池用气体扩散层等高性能应用领域。

东丽作为世界复合材料领域的先导，通过创造新的价值，为社会做贡献!

襄阳金华联航空科技有限公司

襄阳金华联航空科技有限公司成立于 2008 年，是一家专业从事复合材料及制件研发与生产的高新技术企业。公司通过了 ISO9001 及 GJB9001C 双质量体系认证。产品广泛应用于各型号飞行器、舰船、雷达、高列等领域。

公司复材成型工艺门类齐全，有专业生产及检测设备 60 余台（套）。可为各行业提供金属模具、复材模具设计制造；特种树脂及预浸料的研发；复合材料制件的成型加工。长期服务于中航工业、中电科、中船重工，中车，民航维修等行业。

公司在运行过程中始终坚持质量第一的原则，在全环节实施逆向追踪过程控制，对产品和服务实行唯一码可追溯的全过程记录检查。致力于打造以结果为导向，以过程控制为重点的智能化、信息化工厂。

企业宗旨: 诚信、务实、品质、创新
企业愿景: 和谐共生 发展创新
企业理念: 追求卓越 成就未来
企业准则: 诚实守信 敬业奉献

东莞市新桥联复合材料科技有限公司

公司前身初创于 2007 年，2017 年 12 月重组成立东莞市新桥联复合材料科技有限公司，注册资本 500 万人民币。公司一直至力于热塑 / 热固复合材料热压成型、增强纤维材料（碳纤维 / 玻璃纤维等）热压成型、高温材料热压、复合薄膜材料气压成型设备技术研发创新，是集研发、生产、营销为一体的科技型企业。

公司产品广泛应用于航空航天零配件、航海零配件、医疗器械零配件、3C 电子通讯外壳、汽车轻量化零配件、运动器材、动车高铁零配件、自动化机械手臂、乐器配件、复合增强纤维材料（碳纤维 / 玻璃纤维 / 陶碳等）、蜂窝复合板、导电模块散热模块等领域。

正碳科技（上海）有限公司

正碳科技（上海）有限公司，其生产工厂为江苏韩塑新材料有限公司。韩塑工厂成立于 2013 年，位于中国江苏盐城市，是一家集专业研发、生产销售为一体的高科技企业，主要产品为 100-1000MM 宽幅高性能热塑预浸料复合材料（PEEK,PEI,PES,PEKK,PPS,PES,PA,PC 等等）以及改性工程塑料共 200 多种产品，广泛应用于汽车、高铁、航空、医疗、运动用品等领域。

韩塑具备丰富的高性能材料开发经验，拥有国内一流的智能化生产设备，配备各种进口精密检测仪器，具备完善的产品研究和开发能力，确保客户获得品质优良的产品和及时有效的服务，并满足不同的市场与应用，为客户创造最大的价值。

正碳科技秉承“科技以人为本，品质追求卓越，服务创造完美”的经营理念，以坚实的技术力量、高品质的产品、合理的价格以及周到快捷的服务作为客户和正碳科技双赢的保证。

11 企业风采

CORPORATE MEMBERS

北京量子天地新材料科技有限公司

北京量子天地新材料科技有限公司主营高性能纤维增强复合材料，是专业的复合材料科技公司。公司产品涵盖超高分子量聚乙烯纤维、高性能纤维织物、织物预浸料、高强度复合膜材及打捞浮力气囊，基于先进的工艺技术和创新的解决方案广泛服务于海洋工程、轻量化交通、特种防护、特种建筑、体育休闲和新能源等行业领域，为各领域提供重量轻、韧性好、强度高的复合材料产品和应用解决方案，帮助客户挖掘和提升产品的商业价值。

海格隆™是量子天地研发的一款具有超高强度和优异性能的柔性复合膜材。海格隆™以超高分子量聚乙烯纤维织物为增强材料，拥有超高的比强度和优异的性能，其拉伸强度、撕裂强度和顶破强度都远超出传统纤维增强膜材和橡胶材质，是目前世界上比强度最高的复合膜材。海格隆™使用的改性 TPU 树脂与超高分子量聚乙烯纤维基材结合良好，且具有优秀的耐化性，耐磨性和耐低温性能。

在不同的应用中，海格隆™可以进行阻燃、自洁性、抗黄变和多种颜色的改性定制，满足客户对产品的多样需求。

四川谦宜复合材料有限公司

四川谦宜复合材料有限公司成立于 2019 年 1 月，注册资金 10500 万元，是一家专业生产高性能连续玄武岩纤维及精深加工制品的公司。经营范围：研发、生产、销售玄武岩纤维及其复合材料制品、玄武岩纤维原料、工装设备、配件、玄武岩纤维用化工材料、助剂、技术咨询、技术服务和相关进出口贸易。公司池窑法规模化生产的高性能连续玄武岩纤维 (CBF) 产品，是增强复合材料的基材，高强、高模、重量轻、用途广、节能环保，在新型复合材料、摩擦材料、造船材料、隔热材料、汽车轻量化材料、高温过滤织物材料以及国防、军工等多领域有着广泛的应用。

目前公司已成功突破玄武岩纤维池窑拉丝技术的原料化学成份稳定性及 2400 孔漏板拉丝新技术等领先全球的 6 大工艺，玄武岩纤维池窑法生产工艺及产品性能的稳定性已达到全球领先水平。

中航试金石检测科技（大厂）有限公司

中航试金石检测科技（大厂）有限公司成立于 2015 年 11 月 5 日，是一家服务于航空航天和武器装备等领域，同时面向社会的专业化检验检测机构。公司已经建成国内领先的力学测试平台。现有职工 250 余人，其中博士 3 名，研究生 7 名，高级工程师 2 名，专科及以上学历人数 180 余人，具备完善的实验室管理体系，是一家专业的第三方检测机构。

公司自成立以来，始终坚持“精益求精，客户至上；科学严谨，持续发展”的质量方针，制定了“立足航空、面向国防、服务社会”的发展战略，服务对象涵盖航空、航天、汽车、船舶、轨道交通、矿产等多个行业。公司总投资 4 亿元，拥有疲劳断裂实验室、短时力学实验室、持久蠕变实验室、化学实验室、环境与可靠性实验室、计量校准实验室、紧固件检测实验室、超转破裂实验室、失效分析中心 / 微观物理实验室等，同时配套试样制备车间。

公司技术委员会拥有行业内专家 20 余人，专业涵盖失效分析、材料力学、检测试验、质量管理等等。同时公司打造了一支过硬的技术团队，在力学检测、试样制备等方面处于国内领先水平。

目前已经取得 CNAS、Nadcap、CMA、GB、GJB、军工保密资格证书；并取得特种工艺资质、核能材料产业发展联盟会员单位、复合材料行业分会理事单位、中国新材料测试评价理事单位、高新技术企业、企业技术中心等认证和资格。

杭州清瓷新材料科技有限公司

杭州清瓷新材料科技有限公司是从事高分子量陶瓷前驱体、陶瓷基复合材料、高性能陶瓷纤维的研发、生产及销售的高新科技企业。固态聚氮硅烷系列产品是区别于二元（SiC）陶瓷前驱体聚碳硅烷的三元（SiCN）陶瓷前驱体，元素的多样性造成组成的多样性，组成的多样性带来高温的稳定性。本公司生产的固态聚氮硅烷系列产品在行业内已领先实现量产。

聚氮硅烷产品是 21 世纪的新型尖端材料，是国外垄断、行业空白、军工重点、国家急需的军民两用产品升级换代的新型基础材料，其陶瓷化后的制成品，具有耐高温、高强度、高硬度、高韧度、超薄、耐磨、耐腐蚀、粘接力、防水等多种属性。

CORPORATE MEMBERS

12 企业风采

湖南东邦新材料科技有限公司

湖南东邦新材料科技有限公司位于湖南省邵阳市江北经济开发区，是集沥青基碳纤维生产、市场开发和产品研发于一体的高科技创新型企业。“依托新科技，提供新材料，创造低碳新生活”是东邦科技经营的核心理念。公司以生产沥青基碳纤维为主导产品，并建立了碳纤维技术研发中心，与中南大学、湖南大学、北京化工大学、北京理工大学等众多院校共同研发碳纤维产品。

碳纤维是二十一世纪社会发展和工业进步不可缺少的一种工业材料，代表了一个国家材料科学发展水平。公司拥有各个层次的专业研发团队，年轻的优秀技术队伍为公司的创新注入了鲜活的生命力。

我司建立了覆盖公司生产、管理全流程的质量管理体系。先进的工艺设备，全自动化生产操作，保证了生产的高度稳定。并建立了完善的质量保证体系，按照国际标准的检测方案检测产品，保证产品品质具有世界先进水平。

威海翔茗渔具有限公司

威海翔茗渔具有限公司是一家集产品开发、设计、生产、销售与一体专业从事碳纤维制造生产的企业。其产品覆盖了高强碳纤维制品棒材、管材、支架、碳素鱼竿及其他各种型材。主要产品：高强碳纤维棒材、管材以及各种型材。高强碳纤维棒材及管材等具有强度高，寿命长、耐腐蚀，质量轻、低密度等优点，广泛应用于航空模型飞机、灯用支架、PC 设备转轴、医疗器械、体育器材等机械设备。尺寸稳定、热膨胀系数小、等一系列优异性能.

公司秉承 “服务源自真诚，实力基于匠心”的经营理念，不断追求卓越，坚持走品牌之路、服务之路、质量之路、创新之路，真诚地期待与您合作共同努力，共赢未来!

成都科宜高分子科技有限公司

成都科宜高分子科技有限公司（以下简称科宜）是一家专业以苯并噁嗪树脂为核心产品，同时对环氧树脂、酚醛树脂、双马来酰亚胺树脂等高性能热固树脂进行改性研究、生产销售及技术服务的高新技术企业。科宜成立于 2007 年，由中国苯并噁嗪树脂新材料奠基人顾宜教授创办。顾宜教授是全球苯并噁嗪树脂工业生产与商业应用的开创者，并坚持理论研究与应用推广至今。科宜的核心产品始终保持着世界先进、国内领先水平，在高性能热固性树脂领域有强大的技术领导力与品牌影响力。

科宜秉承专业专注的做事态度。二十余年来致力于苯并噁嗪树脂研发、产业化推动。已服务复合材料行业 25 年，高端电子行业 18 年。团队研究生及以上学历占 60%，化工材料专业人员占 90%，热固性树脂相关领域平均从业时间超过 15 年。

人尽其才，物尽其用。科宜立足自身深厚的技术积累，以市场需求为导向，精准转化技术、高效定型产品。经过十余年坚持不懈的“产 • 学 • 研”产业路线，成功转化专利近 30 项，合成高性能产品上百种。目前科宜拥有年产 20000 吨多品类苯并噁嗪树脂生产线，业务范围覆盖中国大陆、中国台湾、日韩及欧美，应用领域包括 3C 电子、5G 通信、航空航天、轨道交通、工业防腐等。此外，科宜与清华大学、四川大学、西南石油大学、华东理工大学、江苏大学等数十所国内外知名高校深度合作，共建苯并噁嗪树脂人才梯队及美好未来。

2018 年 10 月，“ 科宜高分子，热固树脂的全球领跑者”在全国 65 万个双创项目里脱颖而出，勇夺国赛金奖，充分体现了科宜在国内高性能热固性树脂新材料领域的超强实力。

2019 年 11 月，由科宜牵头，苯并噁嗪树脂产业“产”、“学”、“研”、“用”多维度的五十余家单位联合发起成立中国苯并噁嗪官方协会（CBC）。协会旨在整合及协调苯并噁嗪产业上下游资源，促进健康的发展环境，在政府、企业、高校之间发挥桥梁和纽带作用。在此，诚挚邀请各行业志同道合的朋友加入协会，与我们一同前行，和谐发展，共建苯并噁嗪产业的繁荣昌盛。

CORPORATE MEMBERS

13 企业风采

山东腾跃新材料科技有限公司

山东腾跃新材料科技有限公司坐落于 -- 山东省潍坊市诸城市经济开发区，资质齐全、技术力量雄厚，专业生产热压罐设备、固化炉设备。本公司具有较强的产品设计研发能力，拥有各类齐全的机械加工设备，采用先进的工艺技术，质量稳定可靠，拥有良好市场信誉。满足用户的要求，是我们工作的目标。追求产品质量，是我们前进的动力。欢迎您的莅临与指导，期待您的考察与洽谈，让我们立足新起点，创造新辉煌，携手共创复合材料的美好未来!

宁波霓科新材料有限公司

宁波霓科新材料有限公司是一家专注于航空航天高性能复合材料和生态友好绿色新材料研究与开发的高科技公司，以创新性的技术、产品和服务为国际国内客户提供系统性解决方案。霓科的核心技术领域包括结构 - 功能一体化新材料、生物源绿色复合材 料、复合材料绿色制造技术、以及复合材料的分析、模拟、仿真等。依托国际国内发明专利等自主知识产权，霓科在复合材料“离位”增韧及其应用技术，结构复合材料的“层间功能化”高导电及其应用技术，生物源树脂基绿色复合材料（包括绿色树脂、植物纤维以及绿色混杂化新材料等）及其应用技术，轻量化复合材料设计与制造技术，结构 - 阻燃、结构 - 降噪、结构 - 阻尼等结构 - 功能一体化复合材料及其应用技术等方向具有国际竞争优势。

宁波福瑞科新材料有限公司

宁波福瑞科新材料有限公司专注于连续纤维增强热塑性复合材料的研发与生产，国内第一家规模量产连续纤维织物增强热塑性复合材料，掌握核心技术的我们，正成为本领域的先行者，推动该复合材料的产业化应用，提供创新的解决方案。

厦门新旺新材料科技有限公司

厦门新旺新材料科技有限公司成立于 2004 年 7 月。厂房面积 4000 多平方米。公司拥有一批资深技术人员长期研发复材成型产品。我司追求与时聚进，尤其近年来在产品研发方面有重大突破，并在多项自主研发的尼龙风管类专利产品。是国内首家也是最具规模的复材成型辅材生产厂家。通过多年的生产开发及管理经验，我们建立完善的质量管理体系，通过 ISO9001：2008 质量管理体系认证。正在引进 IATF16949 系统。

本公司针对复合材料热压、真空、缠绕、模压等成型工艺设计开发了相关的尼龙风管系列、真空膜系列、缠绕膜系列、离型膜系列产品，广泛运用在网球拍、羽毛球拍、自行车、钓鱼竿、高尔夫球杆、旗杆、游艇船舶、风电叶片、航空航天部件等。产品规格齐全，可根据客户的不同要求设计生产。

公司自创建以来，秉承专业专注、求实创新的企业精神；以科技发展观为先导，负责、严谨的制造理念为基础；以市场为导向，以客户为中心。不断推出独特全新的、性能优越、品质优良的系列产品；以及时、高效、质优地为广大复材科技企业提供专业的服务。新旺公司愿与各界朋友真诚合作，携手共进。

嘉兴沃尔德金刚石工具有限公司

嘉兴沃尔德金刚石工具有限公司，2016 年在浙江嘉兴注册成立，科创板上市企业 --- 北京沃尔德金刚石工具股份有限公司（股票代码：688028）旗下全资子公司。公司主营产品为超高精密钻石刀轮及其配套产品、高精密 PCD/PCBN/CVDD 切削刀具、整体硬质合金刀具、CVD 金刚石材料及制品、高端激光切割设备等。秉承着“角逐行业巅峰，缔造世界名牌”的企业愿景，沃尔德的产品广泛应用于消费电子、汽车制造、工程机械、航空航天、能源设备等行业。

INDUSTRY NEWS

01 行业资讯

世界首套！我国时速 600 公里高速磁浮交通系统下线：我国在高速磁浮领域取得重大创新突破。7 月 20 日，由中国中车承担研制、具有完全自主知识产权的我国时速 600 公里高速磁浮交通系统在青岛成功下线，这是世界首套设计时速达 600 公里的高速磁浮交通系统，标志着我国掌握了高速磁浮成套技术和工程化能力。

它的成功研制，对于打造我国高端装备产业新引擎，形成轨道交通领跑新优势，抢占科技竞争制高点，加快构建现代化综合立体交通网、支撑“科技强国”“交通强国”战略具有重大而深远的意义。

项目于 2016 年 10 月启动，历时 5 年攻关，时速 600 公里高速磁浮交通系统正式下线，成功攻克关键核心技术，系统解决了速度提升、复杂环境适应性、核心系统国产化等难题，实现了系统集成、车辆、牵引供电、运控通信、线路轨道等成套工程化技术的重大突破。

SABIC 推出可持续的聚碳酸酯薄膜和板材：SABIC 位于荷兰 Bergen op Zoom 的 Functional Forms 工厂已通过国际可持续发展与碳认证（ISCC）PLUS 计划的认证，可提供基于经认证的可再生原料的新型 LEXAN 薄膜和板材产品。长、张毅董事长为爱思达航天科技公司成为天津市航空航天人才创新创业联盟企业技术创新中心揭牌。

新的薄膜和板材产品与该公司现有的 TRUCIRCLE 计划相衔接，满足了全球对日益循环的塑料经济中对进一步可持续材料解决方案的需求。

ISCC PLUS 认证认可了质量平衡核算系统的实施，该系统通过遵循预先定义的透明规则，追踪从原料到最终产品的复杂供应链中的材料流动。这些规则可以确定产品是否可以被归类为可再生或循环产品。对于 SABIC 来说，这意味着每将一吨可再生或循环原料投入到生产过程中并替代化石原料，大约有一吨的产出材料可以被归类为可再生或循环原料。质量平衡方法还允许原始设备制造商记录和量化他们用这些认证材料制成的应用的可持续性。

赢创与联泰科技成立 3D 打印联合实验室：全球领先的特种化学品公司赢创与中国联泰科技公司正式宣布在中国上海成立“联泰科技与赢创联合研发实验室”，并于近期举行了揭牌仪式。

联合实验室依托赢创与联泰科技各自在材料研究和设备工艺、应用研究方面的优势，旨在实现资源优化配置，以市场需求和趋势为导向，合作探索基于高性能光敏树脂配方的 3D 打印创新产品及服务，从而开发出适用于 3D 打印大规模工业级应用的综合解决方案。

根据规划，双方将针对工业、电子电气、消费品、医疗等行业展开高性能材料开发和应用测试。

科学家开发由复合材料制成的坚固自行车头盔 可以更好地保护骑行者：西新加坡南洋理工大学（NTU）的科学家们正在开发一种头盔，其外壳是由碳纤维浸渍称为 Elium 的热塑性树脂制成。

Elium 由法国材料公司 Arkema 制造，在室温下逐渐硬化成固体，而不像其他树脂必须加热才能固化。据报道，这种品质，加上其低粘度，使其能够更彻底地浸渍碳纤维，提高了所产生的复合材料的韧性。

据南洋理工大学研究人员称，其原

INDUSTRY NEWS

02 行业资讯

型头盔的 Elium 外壳比传统的聚碳酸酯外壳更坚韧、更硬，使其能够在更长的时间内吸收更多的冲击能量。

因此，实验室测试表明，聚碳酸酯壳头盔的泡沫衬垫必须吸收总冲击能量的约 75%，而 Elium 壳头盔的衬垫只需要吸收约 35%。此外，这种复合材料外壳的制造成本应该比那些由传统热塑性塑料制成的外壳要低，因为后者必须在高温下成型。

应该注意的是，目前的原型头盔比传统的同类产品要重 20% 左右。研究人员希望通过用更轻的聚丙烯织物取代碳纤维来解决这一缺陷。

空客交付首架在中国完工的 A350: 7 月 21 日，空客公司位于中国天津的宽体完工和交付中心（widebody completion and delivery center，C&DC）成功向东航交付了中国完工的首架复合材料密集型 A350-900 飞机，东航目前是亚洲最大、全球第二大的空客运营商。截至 2021 年 6 月末，东航拥有 413 架空客机队，其中 A320 系列飞机 349 架，A330 系列飞机 55 架，A350 飞机 9 架。

C&DC 与空客天津 A320 系列总装线、空客天津交付中心位于同一地点，涵盖飞机完工活动，包括客舱安装、飞机涂装和试飞生产，以及客户试飞和飞机交付；该中心于 2017 年 9 月落成，可搭载 A33 飞机 0。随后，C&DC 能力进一步扩展到 A350 飞机。

A350 采用空气动力学设计、碳纤维机身和机翼，以及新型节能的劳斯莱斯发动机。空中客车公司表示，这些功能共同转化为无与伦比的运营效率水平，燃油消耗和 CO_2 排放量减少了 25% 。据报道，A350 的 “Airspace by Airbus” 客舱是所有宽体飞机中最安静的，并为乘客和机组人员提供现代机上产品，以获得舒适的飞行体验。此外，截至 2021 年 6 月底，A350 系列收到了来自全球 49 家客户的 915 份确认订单，使其成为空客最成功的宽体飞机之一。

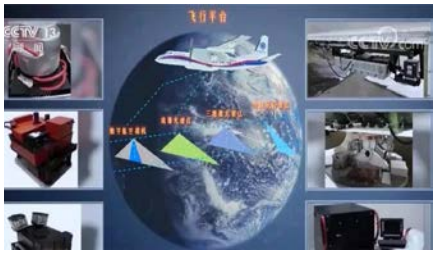
采用 Zoltek 碳纤维的太阳能汽车即将亮相 2021 年美国太阳能挑战赛： 来自美国 Principia College 的太阳能汽车 solar car 团队正在为今年夏天即将举行的 2021 年美国太阳能挑战赛做准备，为了迎接比赛，该团队正在打造全新的太阳能汽车 Ra XI，在此前公司已经完成十代太阳能汽车的研发。

7 月 19 日，该项目成员 Chris Strong 通过公司网站向正好位于其河对岸的 Zoltek 公司表达了谢意，为了满足激烈的竞争，太阳能汽车必须尽可能的采用最轻、最坚固的材料制造，而 Principia College 研制的太阳能汽车选用了 Zoltek 公司碳纤维来提高汽车的强度。

宁德时代发布第一代钠离子电池！常温下充电 15 分钟电量就可达 80%： 7 月 29 日，宁德时代新能源科技股份有限公司成功举行了首场线上发布会，董事长曾毓群博士发布了宁德时代的第一代钠离子电池，同时，创新的锂钠混搭电池包也在发布会上首次亮相。

作为宁德时代创新技术产业化的又一里程碑式成果，钠离子电池将为能源清洁化和交通电动化提供全新解决方案，推动 “碳中和” 目标早日实现。其电芯单体能量密度高达 160Wh/kg；常温下充电 15 分钟，电量可达 80% 以上；在 -20° C 低温环境中，也拥有 90% 以上的放电保持率；系统集成效率可达 80% 以上；热稳定性远超国家强标的安全要求。

第一代钠离子电池既可应用于各种交通电动化场景，尤其在高寒地区具有突出优势，又可灵活适配储能领域全场景的应用需求。



大科学装置航空遥感系统通过国家验收 将对各领域用户开放： 央视网消息：国家重大科技基础设施也就是大科学装置被称为是原始科技创新的国之利器。7 月 22 日，由中国科学院空天信息创新研究院承担的大科学装置航空遥感系统顺利了通过国家验收，投入正式运行，并将对各领域用户开放。

航空遥感系统就是把各种对地观测载荷集成在飞机上，通过航空飞行实现对地观测。经过多年科研攻关，航空遥感系统建设完成了具有 6 种 10 个对地观测窗口的两架国产中型遥感飞行平台，并集成装载了多光谱、高光谱、激光、大气成分等载荷的综合对地观测系统，填补了国内具有长航程、多功能、多观测窗口的中型航空遥感飞行平台研制空白。该系统实现了我国中型航空遥感平台和系统从无到有的跨越，建成了我国目前综合能力最强的航空遥感平台和科学实验平台，实施综合性能达到国际先进水平，为综合遥感技术在农业、林业、应急、水利、海洋、测绘等领域的科学研究与应用研究提供了重要基础。

INDUSTRY NEWS

03 行业资讯

俄罗斯超导电动飞机“雅克 -40LL”完成首次试飞：7 月 24 日，俄罗斯电动飞机雅克 -40LL（Yak-40）开始进入飞行试验阶段，莫斯科国际航展期间完成了首次试飞。

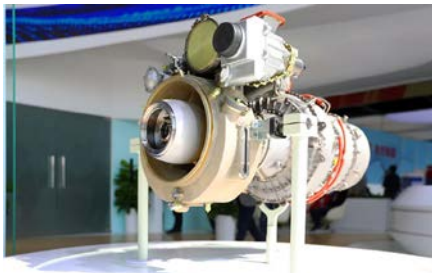
这款飞机装备有以涡轴发动机和超导电动机为基础的混合动力装置，在飞行时飞机打开了电力动力装置。

Superox 公司的专家根据与高级研究基金的合同制造了一种功率为 500 kW 的用于航空的高温超导体电机，用于此款飞机。雅克 -40LL 飞机此前于 2021 年 2 月份在新西伯利亚地区，进行了混合动力飞行测试。

历时五年研发 宾利推 22 英寸碳纤维轮圈：近日，宾利官方发布了一款尺寸为 22 英寸的碳纤维轮圈，该轮圈是目前量产轮圈中最大尺寸的碳纤维轮圈，将专供宾利添越车型使用。据悉，这款碳纤维轮圈将于 2021 年年底开始订购。

该碳纤维轮圈相比现款车型为宾利每个轮圈减重将近 6 公斤的重量，虽然不多，但是对于这样一个将近 3 吨重的车型，每减轻一公斤的簧下质量，都为车辆的各个方面都带来了益处，包括轮圈支撑性能、转向灵敏度以及制动性能等。

该碳纤维轮圈的研发并非一时兴起，宾利与 Bucci Composites 这家碳纤维零部件制造商一起，从立项、设计、研发到测试，历时五年时间最后最终量产。此外，该轮圈是经过了“TüV”认证，TüV 标志是德国 TüV 专为各领域零部件等产品定制的一个安全认证标志，在德国和欧洲得到广泛的接受。

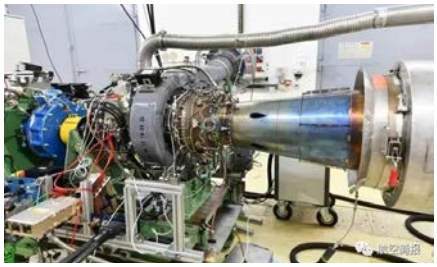


中国航发 AES100 发动机首飞成功：7 月 27 日，中国航发公司宣布：AES100 发动机双发配装直升机首飞成功，我国民用涡轴发动机自主研制迈出坚实一步。

AES100 发动机是我国第一型具有国际竞争力和完全自主知识产权的 1000kW 级先进民用涡轴发动机，可满足 5~6 吨级双发和 3~4 吨级单发直升机动力需求。

该型发动机寿命、耗油率等技术指标达到国际第四代涡轴发动机技术水平，配有独立的健康管理系统；目标价格与国外同等功率发动机相当，运营维护成本低，全寿命期经济性好；严格按适航要求开展研制，平均故障间隔时间超过 550 小时，全包线范围安全可靠。

AES100 民用涡轴发动机采用了先进的压气机、涡轮气动设计及轴承共腔、环下供油、集成化附件传动等结构设计技术，是一款具有国际先进水平的民用涡轴发动机。



赛峰 Arrano 发动机使用生物燃料进行地面运行测试：7 月 5 日，赛峰直升机发动机公司（赛峰）表示，其“阿拉诺”（Arrano）涡轴发动机使用 38% 比例的生物燃料进行了地面运行测试。这种生物燃料是从废弃的食用油中提炼出来的。此次测试标志着该公司在所有工厂发动机测试环节中使用可持续航空燃料 (SAF) 的战略迈出了第一步。该公司的发动机已通过全面认证，可以使用多达 50% 的可持续燃料，包括生物燃料。该公司计划在 2023 年获得使用 100% 生物燃料的认证，可以帮助减少 80% 的二氧化碳排放量。

不到 30 个小时，中国航天再发一星！长三乙成功发射中星 2E 卫星：8 月 6 日 0 时 30 分，长征三号乙运载火箭在西昌卫星发射中心点火升空，随后将中星 2E 卫星送入预定轨道，卫星太阳翼顺利展开，发射任务取得圆满成功。这是继 8 月 4 日长征六号一箭双星发射成功不到 30 个小时后，中国航天成功执行的又一次宇航发射任务。

航天科技集团六院为此次发射用运载火箭提供助推、一级、二级、三级发动机及姿控动力系统，为中星 2E 卫星提供 490N 发动机。

中星 2E 卫星是中国航天科技集团有限公司所属中国卫通的一颗通信广播卫星，由航天科技集团五院研制，可为全国广播电台、电视台、无线发射台和有线电视网等机构提供广播电视及宽带多媒体等传输业务。

长征三号乙运载火箭由航天科技集团一院研制，采用长三甲系列火箭统一构型设计思路，属于“金牌火箭”长三甲系列。

本次任务是长征系列运载火箭的第 383 次发射。

INDUSTRY NEWS

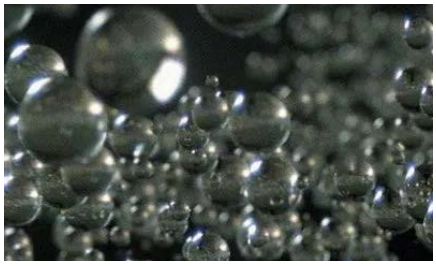
04 行业资讯

索尔维推出新 KetaSpire® PEEK，用于精密 ABS/ESC 制动器和电动车部件制造：近日，索尔维宣布推出新等级的 KetaSpire® PEEK，KT-850 SCF 30，专为精密制动系统和电动车电子泵组件设计。碳纤维填充的 PEEK 一般被用于防抱死制动系统（ABS）和电子稳定控制（ESC）部件，如挺杆、弹片和柱塞。新的 KT-850 SCF 30 等级通过改善材料的流动特性和零件的表面光洁度，可以进一步替代金属（铝）。在 ABS 柱塞等精密部件中取代铝，可以降低总体成本，并提高生产率。KetaSpire® KT-850 SCF 30 提供了填充部件所需的流动性，这些部件的长度约为 15 毫米，同时也满足 ABS/ESC 柱塞所需的严格公差。KetaSpire® KT-850 SCF 30 的加工性能优于现有材料的加工性能，使产量大大增加，表面光洁度提高，使密封和机械性能更好。

德研究员使用天然纤维增强塑料制造电动汽车，整车仅重 550 公斤：据德国特里尔大学报道，大学正在开发一款超轻的电动车 Protron Evolution。由于在承重车辆结构和装饰件中使用了天然纤维增强塑料，成品车的质量只有 550 千克（包括电池的重量）。

这一研究使得在保持相同范围的情况下使用较小的电池来驱动车辆成为可能，并在提供驱动能源和制造过程中减少二氧化碳排放。

目前，特里尔大学研究项目进一步的工作内容涉及到了一个新开发的单体结构的完整车辆结构以及通过驱动组振荡器的驱动装置。集成在后悬架后臂中的轻量化车轮专用电动机通过扭矩矢量控制实现了对驾驶稳定性的控制，同时通过进一步的电制动实现了高的能量回收效率。



3M 中空玻璃微珠赋能 5G 通信更快、更稳、更经济：近日，3M 推出了适用于 5G 领域的中空玻璃微珠新产品。作为 3M 高强度中空玻璃微珠产品系列的最新一员，新品是一种性能优异、低信号损耗的高频高速（HSHF）树脂添加剂，可用于 5G 设备和组件的复合材料中。在 5G 不断普及的背景下，3M 中空玻璃微珠新品能够帮助研发人员设计出满足苛刻信息传输要求和更高功率的通信产品，同时降低单位体积的原材料成本。

适用于 5G 通信行业的 3M 中空玻璃微珠能够助力高频高速（HSHF）覆铜板（CCL）的设计人员打造出光滑、轻质的 5G 基板，进而产出 5G 无线通信使用的印刷电路板（PCB）。全新 3M 玻璃微珠还可应用于 5G 通信产品的塑料复合材料，例如基站组件、天线罩，甚至手机外壳。

我国最大通用无人机成功实现首飞，意义重大：7 月 20 日 8 时 02 分，内蒙古莫旗机场，由航空工业所属单位——航空工业通飞研制的运 5 通用无人机轻盈接地，平稳滑回，顺利完成了它的空中首秀。

运 5 通用无人机飞行可靠，低空低速性能好，有效载荷高、机舱空间容积大，可在土跑道、草地跑道、简易机场等进行短距起降，使用维护成本低、购置使用经济性好，是一款理想的大吨位多用途通用无人机。

作为我国在研的最大通用无人机，运 5 通用无人机配备先进的电传操纵系统、信息传输系统和地面指挥控制系统，系统安全裕度大，在搭载智能化空投空送系统和先进光电转塔等任务载荷后，可承担物资投送、快递运输、灾情监控救援等多类综合保障和应急救援使命任务，在军、民用市场具备良好的应用前景。

NASA 资助电动超短距起降飞行器研发：7 月 28 日，美国宇航局（NASA）与 Electra.aero 公司签署合同，资助该公司开展电动超短距起降（eSTOL）飞行器研发工作，未来有望在先进空运中得以应用。

该机应用了所谓“Blown Lift”效应，通过分布式电推进技术和机翼设计，起降距离可短至约 46 米（150 英尺）。由于翼面气流非常复杂，在设计中需要快速、可靠、低阶的方法进行快速评估设计，该公司将通过本次合同的支持开发相关方法。

该机计划于 2022 年开展全尺寸 eSTOL 飞行器演示验证，搭载 2 人，采用混合电推进系统，使用 150 千瓦涡轮发电机和电池组共同提供能源，动力系统采用 8 台电机；计划 2026 年生产型获得美国联邦航空管理局（FAA）适航认证，搭载 1 名飞行员和 7 名乘客，航程 800 千米（500 英里），服务于城市和城际空运、中程货运、空中医疗等市场。

INDUSTRY NEWS

05 行业资讯

McConaghy 首艘 24 米碳纤维双体动力艇 MC82p 开建：澳大利亚船厂 McConaghy 已经开始建造其 23.9 米的 mc82 双体动力艇系列的第一艘船体。

MC82p 是该公司多船体系列中最大的型号，第一艘 MC82p 已出售给经验丰富的船主，计划于 2023 年 3 月交付。

这艘游艇外观由该公司内部设计，采用碳纤维制成，船尾板可储存一艘 5.7 米长的附属艇，由船尾液压平台布放。当附属艇下水后这个平台可可以用作游泳平台。动力来自双 250 马力的 Yanmar 发动机，最高速度 17 节，巡航速度 10 节。由于船体轻量化的特点，制造商称，与同级其他船只相比，它的燃料使用量将减少 30-50%。

俄罗斯 MC-21 飞机将采用两种发动机配置选项：7 月 23 日，俄罗斯伊尔库特公司研制的 MC-21 飞机计划在中短途航线上与空客 A320 和波音 737 系列飞机进行竞争。有趣的是，这架飞机将配备两种动力选项——普惠公司的 PW1400G 发动机和彼尔姆公司（Aviadvigatel）的 PD-14 发动机。

去年年底，MC-21 首次使用 PD-14 发动机进行飞行，此前两年半前则完成了配装 PW1400G 发动机的首飞。

PD-14 采用耐用的钛和镍合金，以及聚合物复合材料，可以减轻重量，起飞推力达到 14 吨，发动机的油耗相较前几代降低 10-15%。该产品是自 20 世纪 90 年代初以来首台俄罗斯完全自主设计生产的民用涡轮风扇发动机。

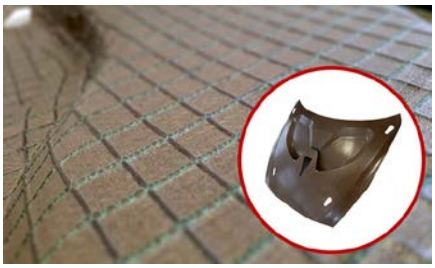
尽管如此，俄罗斯设计师并没有放弃美国的发动机产品，这有助于开拓国际市场。俄罗斯国家技术集团（Rostec）国际合作和地区政策部的 Victor Kladov 表示，“这使我们的飞机更具竞争力。某些海外客户可能更喜欢普惠公司产品，但在本地，我们将使用 PD-14，它具有非常好的燃油效率，具有绿色技术，二氧化碳排放更少，这是 21 世纪的生态发动机。”

欧空局证明用碳纤维增强塑料打造火箭燃料罐是可行的：欧空局在其未来发射器准备计划中取得了突破性进展，他们发现碳纤维增强塑料罐对火箭而言是可行的。这项新工作建立在早期研究的基础上，并展示了一种由独特的碳纤维增强塑料（CFRP）制成的小规模燃料罐的新设计。这种材料在使用液态氢时是防漏的，并且在不使用金属衬垫的情况下也能与液氧直接接触。

项目研究人员指出，完全由 CFRP 制成的燃料罐比金属材质的要轻得多，而且建造起来更快、更便宜。通常储存液氧和液氢等低温推进剂需要具有金属衬里的罐子，以使其在有或没有复合材料外包层的情况下都能防漏。

之所以需要金属衬里，是因为推进剂被冷却到零下 253 摄氏度。燃料储存罐是推进系统的关键元素，该研究提供了证明，用 CFRP 制成的高性能压力罐可以承受低温压力。研究人员认为，未来使用 CFRP 高性能压力罐将使火箭的发射更加安全，同时提供比金属压力罐低得多的质量。

使用重量较低的部件建造火箭，使火箭能够产生相同的推力，意味着更高的运载有效载荷能力。研究人员说，他们发现了一种非常特殊的碳复合材料和加工方法，使他们能够考虑新的架构和功能组合，以创建使用金属不可能实现的火箭上面级。



Composites Evolution 推出了新型带有增强网状加强筋的 Evopreg ampliTex 系列亚麻环氧树脂预浸料：Composites Evolution Ltd 与领先的天然纤维增强专家 Bcomp 合作，推出了一系列新的亚麻环氧树脂预浸料，旨在不影响性能的情况下提供增强的可持续性。

Evopreg ampliTex ™ 预浸料将 Composites Evolution 的高性能 Evopreg 环氧树脂系统与 Bcomp 获奖的 ampliTex ™亚麻增强材料相结合，提供了一系列提高组件卓越性能的材料。

为了实现天然纤维的全部性能，Evopreg ampliTex™预浸料经过了定制，以与 Bcomp 的 PowerRib ™增强网状加强筋兼容，实现与薄壁整体碳纤维部件相同的刚度和重量，同时将二氧化碳排放量减少 85% 并提高了安全性，这得益于没有危险的杂物或锋利的边缘钝化制动性能。

Composites Evolution 的销售和市场总监 Ben Hargreaves 进一步解释道：“对我们的许多客户来说，可持续性是一个越来越重要的因素，特别是那些涉及赛车运动和高性能汽车应用的客户。不过，正如您在这些领域所期望的那样，可持续性不能以牺牲性能为代价 -- 两者必须齐头并进。这是其他预浸料生产厂很难做到的，因为天然纤维的性能与碳或玻璃截然不同。”

INDUSTRY NEWS

06 行业资讯

斯洛伐克 Aircar 飞行汽车首次完成 80 公里飞行：7 月 1 日，斯洛伐克汽车设计师、工程师斯蒂芬·克莱因（Stefan Klein）驾驶自己研制的 Aircar 飞行汽车，首次完成了从斯洛伐克城市尼特拉到布拉迪斯拉发两个国际机场之间的飞行，距离 80 公里。据克莱因称，两城之间的飞行共用时 25 分钟，而这段路沿公路开车则需要三倍多的时间。

在天空中，他的车能够以高达每小时 170 公里的速度飞行约 1000 公里，最大高度约 2500 米。

之后，克莱因打算建造第二架原型机，改进结构并配备更强大的发动机，这将大幅提高飞行速度。该车已准备好申请欧洲航空安全局 (EASA) 颁发的国际认证。

美国 Hyzon 推出成本减半的复合材料新型车载储氢系统：Hyzon 汽车近日公布了一项新的车载储氢系统，能够减少重量和制造成本，将在该公司的氢燃料电池商用车上使用。

据这家汽车制造商表示，正在申请专利的车载储氢系统将轻质复合材料与金属框架相结合，可将系统的总重量降低 43%，总成本降低 52%。

除了降低重量和成本，新系统还可以配置容纳不同数量的氢罐。最小的版本可以容纳 5 到 7 个氢罐，单独的版本可以容纳 10 个氢罐，适合长途行驶的卡车。虽然这两个选项都安装在驾驶室后面，但第三种方式允许在卡车的每一侧安装额外的两个储氢罐，从而在不减小载货容积的情况下扩展车辆的行驶里程。

这项技术的开发是 Hyzon 欧洲和 Hyzon 美国之间的跨大西洋合作，该公司计划在纽约罗彻斯特和荷兰格罗宁根的工厂生产这种新系统。该技术将在 Hyzon 全球范围内的车辆中实施。

Hyzon 还希望将这一新系统授权给其他商用车公司。作为活跃在氢价值链上的全球公司联盟——“Hyzon 零碳联盟”的一部分，原始设备制造商 (OEM) 有望获得该技术。

日本首创 30 秒内完成固化并在室温下储存的碳纤维预浸料：7 月 15 日，日本新能源产业技术综合开发机构 NEDO 宣布已开发出一种可快速固化的碳纤维增强预浸料片材，可在 30 秒内固化，是目前世界上最短时间，并可在室温下储存。

在项目研发过程中，DIC 株式会社利用其高分子设计技术开发了“高速固化树脂”，Seiren 株式会社利用树脂成膜和涂层技术开发了“高精度浸渍技术”，福井县工业技术中心开发了快速展薄纤维束的“空气展纤技术”。使碳纤维增强预浸料片材实现了固化时间最短 30 秒，达到世界最快水平；大幅缩减工艺周期，成型时间是普通环氧树脂基产品的三分之一至六分之一，降低生产成本；另外，一般环氧基预浸料需要在冷冻 / 冷藏仓库等存放，但本次开发的快速固化预浸料可以在常温下存放，减少存储设备和管理负担。

快速固化碳纤维增强预浸料片材已建立量产工艺，为了满足更多样化的需求，NEDO 分别针对模压成型、双带压成型和片材卷绕成型设定了推荐的成型条件。从 2021 年 7 月起，NEDO 将开始利用在 Seiren 运行的示范线提供片材样品。

未来，NEDO 将在这条示范线上进行预浸料片材的批量生产，继续为客户提供试用样品，并通过提高生产率促进预浸料片材在汽车等领域中的商业化普及。

国内首款全碳纤维车身纯电动乘用车上市：日前，由江苏国新新能源乘用车有限公司自主研发生产的国内首款全碳纤维车身纯电动乘用车——国新翼刻 ET300 正式上市销售。

翼刻 ET300 是江苏省唯一的由本土投资、拥有自主知识产权、自主品牌的整车项目。该车采用全碳纤维复合材料车身、铝合金底盘，合理布局动力电池和车载增程器的空间及配重，整车重量较同类车型减轻 30%-60%，大大降低了能耗，续航里程可达 300 公里以上。目前，该车顺利通过各项检测，正式上市销售，首批订单 60 台车辆已陆续交付客户，今年底将大批量上市。

江苏国新新能源乘用车有限公司副总经理 王谦：“我们也针对这个市场，利用我们这个全新轻量化的技术，开发出来了我们 ET300 这个车型，这个车型现在我们正在做相应的一些市场适应性的试验。做完之后今年底明年初我们会推向租赁和个人市场。”

INDUSTRY NEWS

07 行业资讯

人体 3D 扫描一体化解决方案助力康复辅具数字化升级：近日，先临三维与 TechMed 3D 达成合作，双方将基于彼此研发上的优势，共同推出人体 3D 扫描一体化解决方案。

人体 3D 扫描一体化解决方案囊括先临三维旗下革新产品 EinScan H 双光源彩色手持 3D 扫描仪和 TechMed 3D 的 MSoft 3D 测量软件，通过双方产品的优势组合，旨在更好地服务更多希望转向三维数字化的矫形器具和假肢市场的客户。

通过此次相互结合技术特点的合作，先临三维与 TechMed 3D 将携手推进 3D 数字化技术在矫形器具、假肢等医疗康复器具等领域的应用，助力医疗辅具产业的方案向着智能化、精准化、高效化方向转型升级。

国内首支 102 米长碳纤维风电叶片震撼来袭：近日，中国船舶集团洛阳双瑞风电叶片有限公司（以下简称洛阳双瑞）的 10MW-SR210 型叶片引起关注，102 米长，6.6 米宽的庞然大物蔚为壮观震撼众人，引来全国运维参观代表纷纷赞叹。

作为国内首款超百米柔性碳纤维叶片，“大”是为了实现更高效率也是一个显著特征：为满足转运翻转，车间跨度可并排停放三架 737-700 飞机；弯矩超过国内已生产最长 91 米叶片最大弯矩的 5 倍，测试承载台建设高度超过 8 层住宅楼。

该叶片作为一款高度定制化产品，匹配中国船舶集团海装风电股份有限公司（以下简称中国海装)平价海上风电机组，兼顾叶片轻量化、机组载荷最小化，实现与机组最佳匹配。

铺层、灌注、气动组件预制成型及安装、叶根尺寸收缩控制等工序在大型化后呈现的各个工艺难关均有效突破，在保证优异气动性能的同时，采用复合梁、后缘预制气动组件等创新设计、创新工艺，既保证了叶片的安全可靠，又实现了重量最优。

中车株洲电机使用玻璃纤维等新型复合材料制造动车组：由中国最大的机车车辆制造商中国中车（CRRC）的子公司中车株洲电机制造的首列用于出口的双层动车组列车从其位于湖南株洲的基地下线。该列车最高运营时速可达 200 公里，将出口奥地利，用于奥地利、德国、匈牙利等 5 个欧洲国家的铁路线上。

由中车株洲电机制造的首列用于出口的双层动车组列车从其位于中国中部湖南省的基地下线。

据介绍，由中国公司自主研发的双层动车组符合 TSI 标准，即欧盟铁路互联互通技术规范。

列车采用 6 节编组，座席载客 571 人，最大载客 1280 人。中国中车总裁兼董事长孙永才表示，该列车的运量比单层车高出 35%，从而可缓解欧洲繁忙线路运力紧张的问题。

列车采用轻量化设计，使用了大量轻质、高强度、耐腐蚀的碳纤维及玻璃纤维等新型复合材料，整列火车的重量只比单层车多 10% 左右。

列车采用轻量化设计，使用了大量轻质、高强度、耐腐蚀的碳纤维及玻璃碳纤维等新型复合材料。

东丽美国复合材料公司推出用于航空航天领域的 2700 型预浸料系统：7 月 20 日，碳纤维材料和高级复合预浸料的生产商和供应商——美国东丽复合材料公司（Toray Composite Materials America Inc.，TCMA）宣布推出 Toray 2700 预浸料系统。环氧树脂基 2700 是一种高性能的专利树脂技术，适用于新兴的航空航天项目。TCMA 表示，它满足了严格的航空航天结构设计要求，能够制造出高质量、大批量、低成本的复合材料零件。

据航空航天销售副总裁蒂莫西·柯克介绍，Toray 2700 系统不仅在小批量环境下表现良好，而且对自动化和其他高速生产过程的适应性也很强，它专为耐热性和低吸湿性而设计，可适用于零件暴露于高热和高湿度环境（即热 / 湿条件）的应用。它适应灵活的固化温度（250-350ºF/121-177ºC），并满足航空航天结构驱动因素如压缩性能。

Toray 2700 的最终产品配置包括将其与各种 Torayca 单向碳纤维和其他编织碳纤维或玻璃纤维相结合。也可用于压缩成型的大批量小型零件。

复合材料加筋壁板弯曲试验的压电 Lamb 波损伤监测研究

王霞光，杨宇，刘国强，杨海龙，王莉
中国飞机强度研究所，陕西西安，710065

摘要：压电 lamb 波损伤监测是结构健康监测的一种重要手段。本文通过复合材料加筋壁板弯曲试验，将压电 lamb 波损伤监测方法引入整个加载过程以及后续的破坏试验中，对加载过程进行逐级监测，并在后续的破坏试验中进行压电信号进行测量。通过信号分析得到基于能量以及相关系数的两种损伤指数。研究发现，两种能量指数均与载荷级数呈正相关，且两种指数均对破坏试验产生的损伤敏感。本研究表明，压电 lamb 波损伤监测方法应用于弯曲载荷下复合材料加筋壁板的结构健康监测是有效的。

关键词：复合材料 结构损伤 压电 lamb 波 损伤指数 结构健康监测

1 引言

复合材料是工程中常见的结构材料，其所具有的强度高、模量高及整体加工成型性能好等优点使其在航空航天领域得到越来越多的应用。然而，复合材料在使用过程中可能出现如基体开裂、纤维断裂、分层、脱粘 [1] 等损伤，这些损伤会使复合材料结构力学性能下降或丧失，严重影响结构的运行安全。为了及时获取复合材料结构的损伤信息，评估整个结构的健康状态与安全运行能力，需对结构进行健康监测。

结构健康监测是利用预先布置在结构外表面或内埋于结构中的传感器进行信号采集，并对采集的信号进行特征提取和模式识别，获得被监测结构的健康状态和损伤信息的过程。相比于传统试验无损检测，结构健康监测具有时效性强、效率高的特点。

结构健康监测主要有压电、声发射、光纤、智能涂层等 [2-4] 方法，其中基于压电 lamb 波监测是结构健康监测（SHM）的一种重要手段，因其灵敏度高，结构简单，同时能兼容主动与被动两种监测模式，从而在结构健康领域被广泛采用 [5-8]。本文将基于压电 lamb 波监测引入复合材料加筋壁板弯曲试验，，研究试验中载荷和损伤对 lamb 波信号的影响，并通过两种损伤指数对 lamb 波信号的变化进行量化分析，最终获得两类损伤指数与载荷及损伤的响应关系。

2 压电 lamb 波监测原理

2.1 lamb 波概述

Lamb 波由英国科学家 Lamb[9] 在研究自由边界平板波动问题时提出，是一种由纵波和横波组合而成的应力波。根据平板上下面质点相对振动关系，lamb 波可分为对称模式（S 波）和反对称模式（A 波）。式（1）和式（2）分别为 Lamb 波对称模式和反对称模式的解析方程。

$$\frac{\tan(qh)}{\tan(ph)} = -\frac{4k^2qp}{(k^2-q^2)^2} \tag{1}$$

$$\frac{\tan(qh)}{\tan(ph)} = -\frac{(k^2-q^2)^2}{4k^2qp} \tag{2}$$

式（1）～（2）中：h 为半厚度；

$$p^2 = \frac{\omega^2}{c_L^2} - k^2;\ q^2 = \frac{\omega^2}{c_T^2} - k^2;\ k = \omega/c_p;$$

C_P 为 lamb 波的相速度；C_L 为纵波波速；C_T 为横波波速。

lamb 波的对称和非对称模式含有多阶分量，如对称模式中含有 S0，S1，S2，...等分量；而反对称模式含 A0，A1，A2，...等分量，即两种模式均具有频散现象（如图 1）。

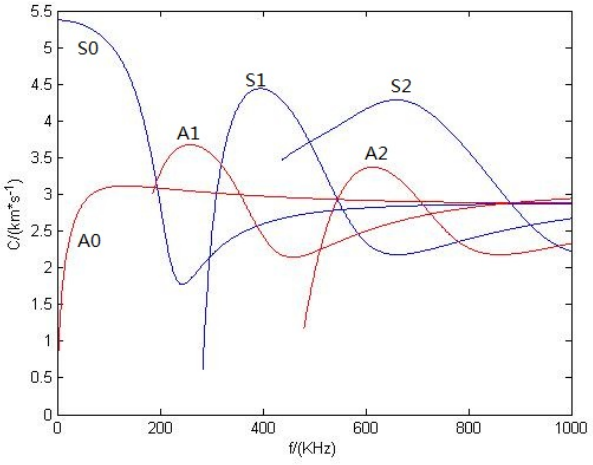


图 1 lamb 波的频散曲现象

2.2 损伤指数监测

Lamb 波在结构中以波包形式传播，因其本身具有的对称和反对称模式以及频散效应，使得其波形复杂多变，难以直接在时域中分析 lamb 波的信号。为了降低信号的复杂程度，提高信号的可辨识度，本文将通过希尔伯特变换对 lamb 波提取包络线进行分析。

对于给定信号 x(t)，其相应的希尔伯特变换公式为：

$$H[x(t)] = \frac{1}{\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{x(t)}{t-\tau}d\tau \tag{3}$$

在此条件下得到的解析信号 z(t)=x(t)+jH[x(t)] 的模即是原信号 x(t) 的包络线。

当结构发生状态变化（如损伤、载荷等）时，lamb 波会在变化区域产生散射信号，散射信号携带者结构变化信息传播到压电传感器时，即被监测到。两次 lamb 波信号的差异反映出该段时间内结构损伤状态变化情况。对简单平板结构，lamb 波结构损伤监测信号的表征一般将幅值、飞行时间、频率和相位等作为特征参数。由于 lamb 波影响因素较多，当面对复杂结构时，lamb 波的信号特征较为复杂，对结构损伤表征的准确性和可靠性较差。相比之下，从能量和相关性角度通过 lamb 波信号进行处理得到损伤指数来表征结构损伤有更高准确性和可靠性，因此本文将利用损伤指数对结构损伤进行表征，从而通过损伤指数的大小对损伤进行判断。因此本文将对基于信号时域的损伤指数进行研究，并将其用于复合材料结构损伤的判断。为了量化 lamb 波的损伤信号，引入两种损伤指数：

$$DI_1 = \frac{\int_{t1}^{t2}(b-d)^2 dt}{\int_{t1}^{t2} b^2 dt} \quad (4)$$

$$DI_2 = 1 - \frac{Cov(b,d)}{\sqrt{Var[b]Var[d]}} \quad (5)$$

式（4）~（5）分别又称作能量损伤指数和相关系数损伤指数，式中：b 为基线信号的包络；d 为当前信号的包络；t1 为信号传播开始时间；t2 为信号传播结束时间；Cov(b,d) 为 b 和 d 协方差；Var[b] 为 b 的方差；Var[d] 为 d 的方差。

3 复合材料加筋壁板弯曲试验

试验件为 1454mm*620mm 复合材料加筋壁板，在第二和第三加强筋两侧 70mm 处各粘贴两个 P-51 型压电 PZT 传感器，传感器直径 8mm，厚度 0.45mm，试验件及传感器布置见图 2，共设置两条压电 lamb 波扫查路径：以传感器 1 → 2 为路径 1；传感器 3 → 4 为路径 2。试验前经无损检测设备检验，复合材料加筋壁板不含结构损伤。将整个试验件通过加载装置夹持在 MST 公司 50T 试验机上进行加载（图 3）。本文所用的压电信号采集设备为南京航空航天大学 SHM 压电结构健康测试仪。

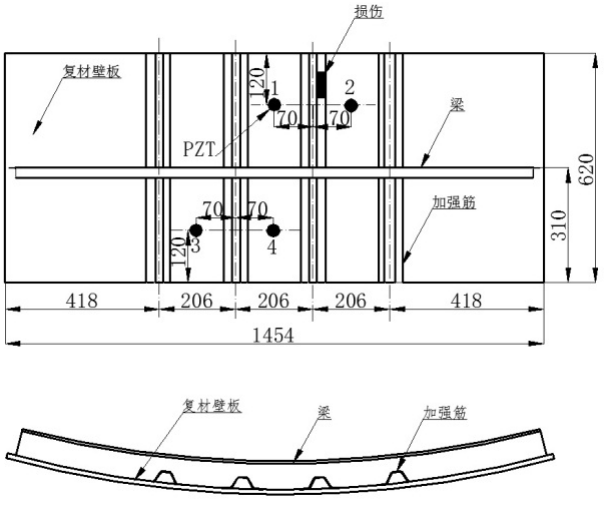


图 2 试验件及传感器示意图

图 3 试验件加载图

试验过程分两部分：第一部分为重复性载荷试验，即三次逐级加载至 100% 设计许用载荷；第二部分为极限加载试验，直接加载至 120% 设计许用载荷。

在重复性载荷试验中，对路径 1 进行信号采集分析。在加载试验前，采集了一组导波信号，作为基线信号，然后每加载至一个载荷级数再各采集一组信号，作为当前信号。整个试验中，加载至 20% 采集一组当前信号，随着试验的加载，每隔 5% 进行一次信号采集，利用这些信号，分析 100% 载荷的加载试验对试验件的影响。图 4 为基线信号和 100% 载荷状态下的信号变化，由图 4 可知，载荷的变化会引起 lamb 波信号的变化。

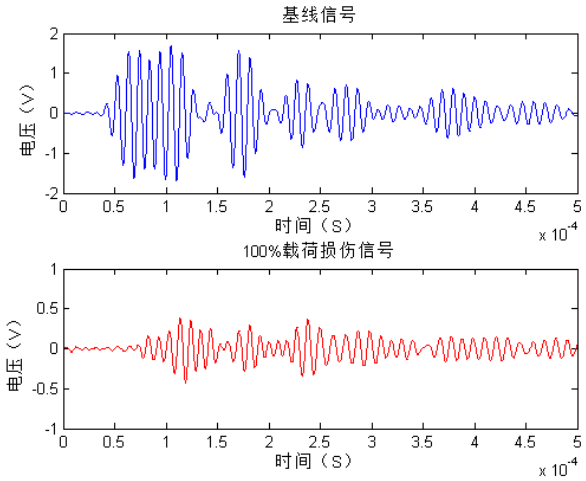


图 4 为基线信号和 100% 载荷下损伤信号

为了进一步分析载荷对损伤信号的影响，对逐级测得的 lamb 波信号进行损伤指数分析，结果如图 5 所示。由图 5 可知，在整个加载过程中，两种损伤指数均呈现明显的变化，其中能量损伤指数曲线见图 5（a），图中可见在 20% 时损伤指数出现明显的增大，这说明在此时出现了较为显著信号能量变化，随着载荷的继续增加，能量损伤指数经历了突然回落而后平稳增加的趋势，当载荷加到 100% 时，能量损伤指数达到最大值 0.33。整个加载过程中，除去 20% 载荷下的测量值后，整个数据基本满足三阶多项式拟合，其拟合曲线见图 5（a）中蓝线；相关系数损伤指数曲线见图 5（b），整个加载过程中损伤指数增加较为平稳，进出现几次小的波动，加载至 100% 时，相关系数损伤指数达到最大值 0.06，试验过程损伤数据基本满足三阶多项式拟合，其拟合曲线见图 5（b）中蓝线。

对比两种损伤指数结果，可知试验过程中能量损伤指数的整体水平和变化水平较高，波动性也较大，相比之下，相关系数损伤指数整体水平和变化水平相对较低，信号平稳性较好，能更好地反映载荷的变化情况。

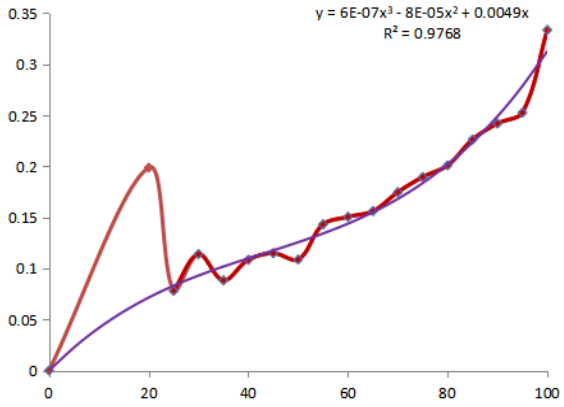
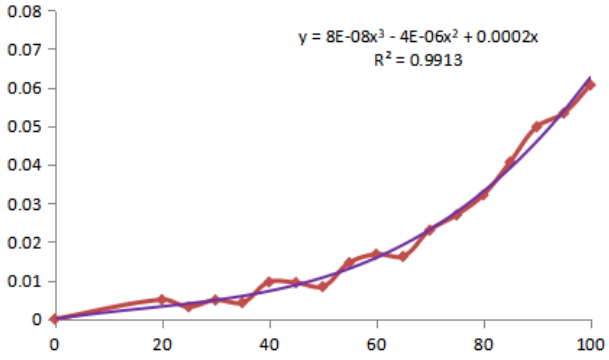


图 5（a）能量损伤指数曲线图



5（b）相关系数损伤指数曲线

图 5 损伤指数—载荷曲线

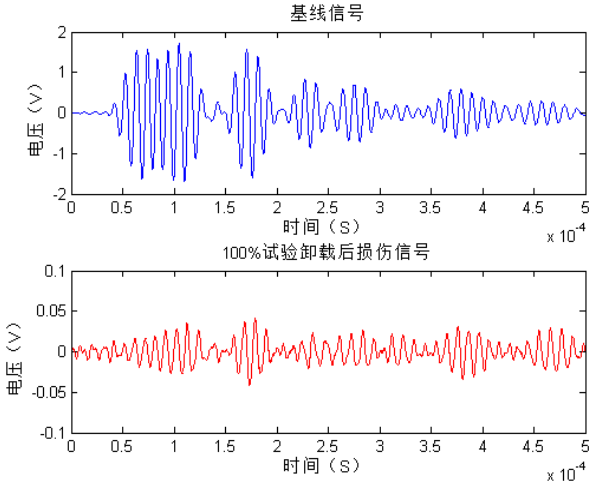


图 6 重复载荷试验前后信号对比图

试验卸载后再次进行 lamb 波信号测量，试验前后信号对比图见图 6，信号曲线显示，重复载荷试验前后损伤信号极小，基本可以认定为设备噪声信号，因此，100% 重复载荷试验整个过程中，试验件结构未发生结构性损伤。

随之进行的 120% 极限加载试验中，对两个压电信号路径均进行测量，加载开始时测量一组基线信号，加载过程中不再逐级测量。整个加载过程是连续加载，试验即将加载至 120% 载荷时，试验件出现较为明显的响声，卸载后，进行一次测量，两次测量损伤指数见图 7。

对极限加载试验前后，路径 1 和路径 2 损伤指数对比，可以看出，两种损伤指数均显示路径 1 的损伤指数值较大，但两条路径中两种损伤指数的比例不同，路径 1、2 的能量损伤指数，整体相差不悬殊，而相关系数损伤指数相差较为悬殊。根据路径 1、2 的损伤指数推断，路径 1 附近极有可能发生了损伤。试验完成后经无损检测发现，路径 1 附近发生脱层现象，具体脱层损伤位置见图 2 标识的损伤区域。

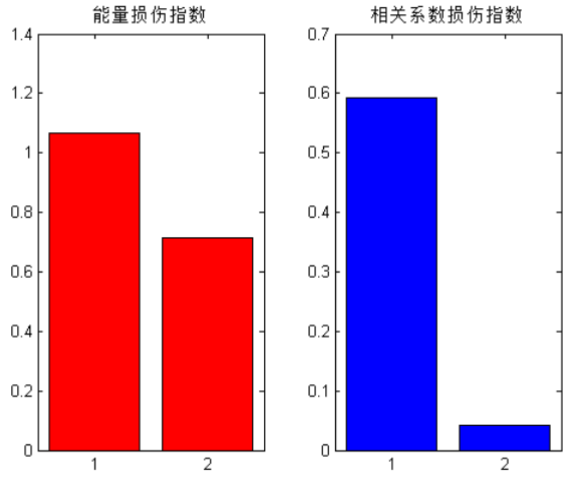


图 7 极限加载试验损伤指数

整个试验中，通过两种损伤指数的应用可知，两种指数均能应用于损伤监测，相比之下，相关系数损伤指数能更好的反映载荷和损伤情况。

4 结论

本文通过将压电 lamb 波监测方法应用于复合材料加筋壁板弯曲试验中，通过数据分析得出以下结论：

1 压电 lamb 波监测方法可以有效应用于弯曲形式的复合材料加筋壁板的结构健康监测中，无论载荷监测还是结构损伤监测均能取得较好的效果。

2 通过对比能量和相关系数两种形式的损伤指数，发现相关系数损伤指数对弯曲载荷的响应更加平稳，效果更好。

3 两种损伤指数均能有效反应可能的损伤位置，可应用于实际工程结构的健康监测中。

5 参考文献

[1] 赵奕斌 复合材料结构损伤修理 [M]. 化学工业出版社，2001

[2]Ansari F.Fiber Optic Health Monitoring of Civil Structures using Long Gage and Acoustic Sensors[J].Smart Materials and Structures,2005,14:S1−S7.

[3]Giurgiutiu V,Zagrai A. Characterization of Piezoelectric Wafer Active Sensors[J].Journal of Intelligent Material Systems and Structures,2000,11:959−975.

[4]Kwun H,Kim S−Y,Light G M. Magnete strictive Sensor Guided−wave Probes for Structural Health Monitoring of Pipelines and Pressure Vessels[C].Proceedings of the 5th International Workshop on SHM, Stanford University,2005

[5]Kessler S,Spearing S,Soutis C.Damage Detection in Composite Materials using Lamb Wave Methods[J].Smart Materials and Structures,2002,11:269−278.

[6]Qing X,Chan H,Beard S,Kumar A. An Active Diagnostic System for Structural Health Monitoring of Rocket Engines[J].Journal of Intelligent Material Systems and Structures,2006,17:619−628.

[7]Ihn J,Chang F−K.Detection and Monitoring of Hidden Fatigue Crack Growth using a Built−in Piezoelectric Sensor/actuator Network:I.Diagnostics[J].Smart Materials and Structures,2004,13(3):609−620.

[8]Giurgiutiu V,Zagral A,Bao J J. Piezoelectric Wafer Embedded Active Sensors for Aging Aircraft Structural Health Monitoring[J]. Structural Health Monitoring,2002,1(1):41−61.

[9]H. Lamb. On the waves in an elastic plate. Pro. R. Soc. London Ser, 1917,A93: 114 ~ 120

打印速度和圆曲率对 3D 打印连续纤维增强复合材料成形精度的影响规律研究

闫东东 单忠德 * 战丽 范聪泽 孙启利 陈意伟
机械科学研究总院集团有限公司先进成形技术与装备国家重点实验室，北京，100083

摘要：为研究连续纤维增强复合材料 3D 打印制造精度和效率的影响规律，本文建立了圆半径值、打印速度与制造误差的关系模型，打印速度与可成形圆半径值的关系模型，并分析了误差的产生机理。研究表明：圆半径值和打印速度影响复合材料成形精度；根据误差关系模型预测圆半径误差并进行误差补偿，可将打印误差减小到 0.1569mm；

关键词：3D 打印 复合材料 成形精度 误差补偿 连续纤维

0 引言

连续纤维增强复合材料具有比强度高、比刚度大、质量轻、抗疲劳、耐腐蚀等一系列优异的性能，广泛应用于航天飞行器、飞机、汽车、船舶等领域 [1-3]。连续纤维增强复合材料 3D 打印技术结合了复合材料优异的性能和 3D 打印自动化程度高、加工工序少、生产周期短的加工优势 [4]，为多功能、复杂结构连续纤维复合材料低成本、高效率、高精度制造提供了可能。

目前国内外多主要采用熔融沉积 (Fused Deposition Modeling, FDM) 打印工艺制造连续纤维增强复合材料，其中增强材料采用碳纤维、玻璃纤维、芳纶纤维和黄麻纤维 [5,6] 等，树脂基体材料采用环氧树脂、聚乳酸 (PLA)、聚醚醚酮 (PEEK)、ABS [7-9] 等；朱伟东等采用有限元计算的方式研究了复合材料开孔板中纤维沿曲线方式铺放比纤维单向铺放拉伸性能高 26.9%[10]；Zhang 等人采用有限元计算的方式发现纤维沿主应力方向铺放的开孔板样件受到拉伸载荷作用时应力更小更均匀 [11]；因此保证连续纤维增强复合材料中纤维曲线打印精度，对提升构件力学性能具有重要影响。

Ming 等采用环氧树脂预浸碳纤维丝材打印了正方形、三角形和圆形结构，测量了正方形、三角形和圆形结构的几何尺寸，通过优化打印参数构件的尺寸误差均小于 2%[12]；Blok 采用 MarkOne 3D 打印机打印了圆形、正方形和三角形的结构，发现打印后的丝束在拐角处存在缝隙，缝隙的存在会影响复合材料的力学性能 [13]；Yamawaki 等采用 PA6 树脂和 1K 和 3K 碳纤维打印了圆形构件发现 1K 碳纤维复合材料圆形构件的表面更加光滑、精度更高 [14]。

本文通过 FDM 打印工艺制造不同半径的圆，研究连续纤维预浸丝材 FDM 打印工艺制造精度的影响规律、打印速度对可成形圆半径值的影响规律，分析了打印误差的产生机理，最后通过误差补偿和优化打印速度提升了复合材料构件的制造精度和制造效率。

1 材料与方法

1.1 试验材料及预浸丝材的制备

纤维采用日本东丽公司生产的 T300 系列 1K 碳纤维丝束，其中碳纤维的拉伸强度为 3530MPa，弹性模量为 230GPa。树脂采用美国 Nature Works 公司生产的聚乳酸（PLA）4032D 颗粒，熔点为 175℃。使用自主研制的预浸丝材成形设备制备连续纤维预浸丝材，连续纤维预浸丝材如图 1 所示，丝材直径为 0.7mm，预浸丝材的纤维体积分数为 10%。

如图 2 所示为连续纤维预浸丝材制造过程示意图，PLA 粒料加热融化后经过螺杆送料机构进入纤维 / 树脂共混挤出头，同时纤维在收卷装置的牵引作用下从挤出头后端进入纤维 / 树脂共混腔室，纤维和树脂在经过共混腔室后进入一定直径挤出头，最后得到连续纤维预浸丝材，经过喷淋冷却后包裹着纤维的 PLA 树脂凝固，通过收卷装置将预浸丝材缠绕到收线辊上完成预浸丝材的制备。纤维 / 树脂共混腔室的温度为 210℃，挤出头口模的直径为 1mm，预浸丝材辊的转速为 3m/min。

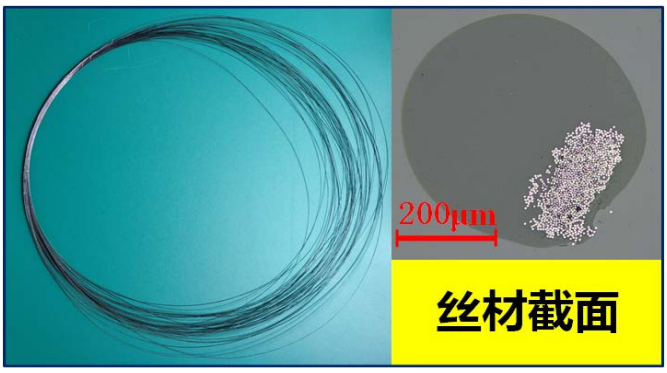
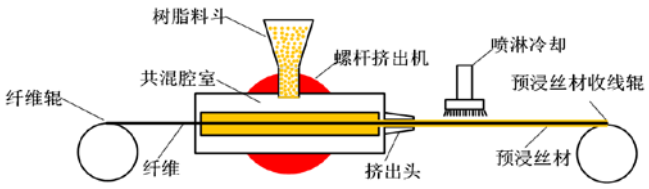


图 1 连续纤维预浸丝材



2 连续纤维预浸丝材制造过程示意图

1.2 测试样件的打印

连续纤维预浸丝材打印原理如图 3 所示，连续纤维预浸丝材从线辊经过喉管进入打印喷头，在打印喷头的加热作用下 PLA 树脂融化，纤维随融化的树脂经过喷嘴打印在基板上，树脂冷却后将纤维一同固定在基板上，连续纤维预浸丝材在纤维的拖拽下从线辊经过喉管不断送入打印喷头，喷头随运动执行机构沿一定路径运动实现连续纤维增强复合材料圆环的打印，打印过程如图 4 所示。

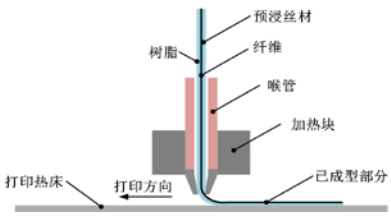


图 3 连续纤维预浸渍丝材打印原理

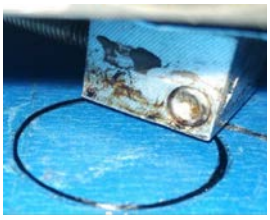


图 4 实际打印过程

为减少构件内部孔隙将打印喷头末端设计为平台状，打印喷头结构示意图如图 5 所示，在实际打印过程中喷头的平台结构可以对预浸丝材提供微压实作用，在喷头微压实作用下连续纤维预浸丝材在基板上被展开为片条状，成形后的单束预浸丝材如图 6 所示。

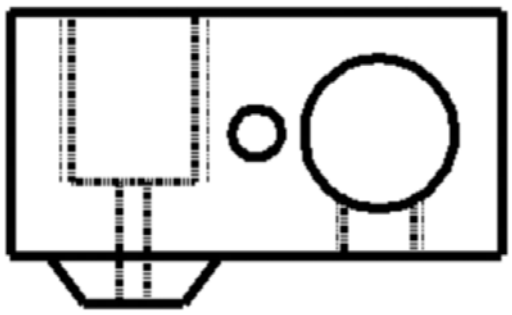


图 5 打印喷头结构示意图

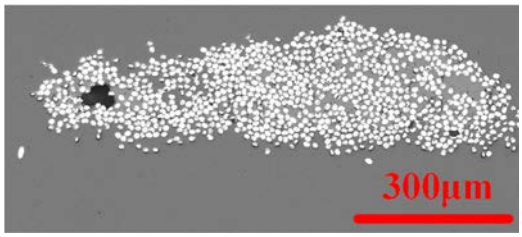


图 6 单丝打印断面

1.3 实验方法

连续纤维增强复合材料 3D 打印参数包含打印温度、打印层高和打印速度，但圆半径值和打印速度直接影响着成形精度和成形效率，因此本文选定最优打印温度和层高将打印速度和圆半径值作为研究变量，通过对比实际打印圆半径值与设定圆半径值之间的误差，开展连续纤维增强复合材料 3D 打印制造精度和效率研究。分别采用 1mm/s、2mm/s 和 3mm/s 的打印速度完成如图 7 所示半径为 4mm、5mm、6mm、7mm、10mm、15mm 和 20mm 圆的打印，打印参数如表 1 所示。如图 8 所示，预浸丝材在平台状喷嘴微压实的作用下被展开为片条状。将圆环外侧圆半径记为 r_o，圆环内侧圆半径记为 r_i，打印圆半径记为 r_c 其中

$$r_c = \frac{r_o + r_i}{2}$$

表 1 连续纤维预浸丝材打印参数

打印参数	参数值
喷头温度（℃）	210
打印层高（mm）	0.2
打印速度（mm/s）	1、2、3
预浸丝束直径（mm）	0.7
设定圆半径（mm）	4、5、6、7、10、15、20

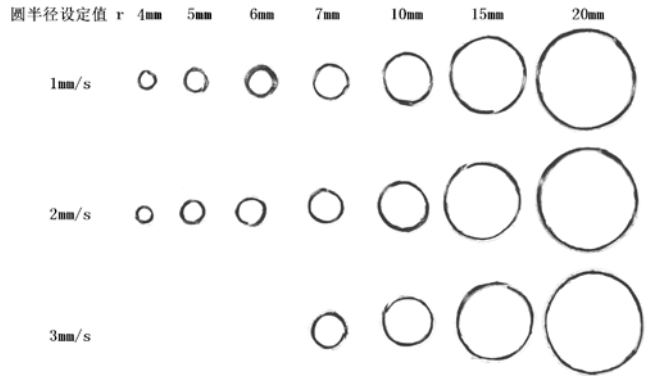


图 7 连续纤维增强复合材料 3D 打印圆

采用图像处理的方式对打印圆的半径值进行测量，通过摄像机对每个打印圆拍照采集图像信息，利用 MATLAB 计算工具提取图像信息中的像素作为采样点对圆环进行拟合，如图 8 所示为拟合得到的打印圆内外包络圆。

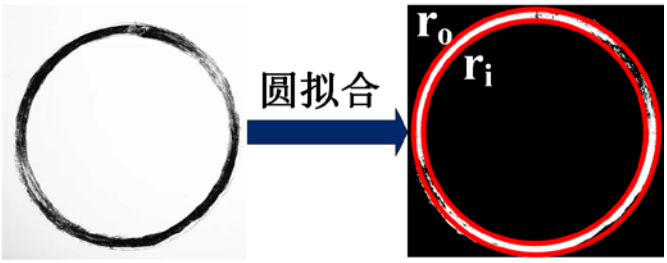


图 8 内外圆拟合

由于最小二乘法拟合得到的曲线具有唯一性，采用最小二乘法拟合圆的方式对打印圆进行拟合，r_o 为圆环的外圆半径，r_i 为圆环的内圆半径。最小二乘法拟合圆的原理如下: 如图 9 所示，对离散点进行圆拟合，其中 P_i（x_i, y_i）为第 i 个采样点的坐标（i =1,2,3,…，n；n 为采样点的个数），O_1（x_c, y_c）为拟合得到的圆心，R 为拟合得到的圆半径值。

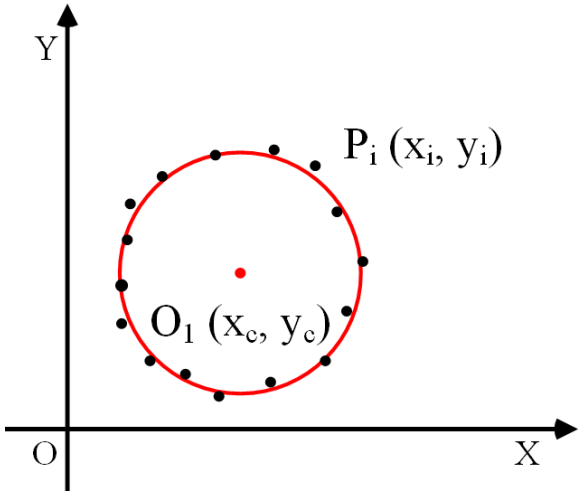


图 9 最小二乘法拟合圆原理图

$$\delta_i = (x_i - x_c)^2 + (y_i - y_c)^2 - R^2 = x_i^2 + y_i^2 + a*x_i + b*y_i + c \quad (1)$$

式中：δi 为采样点到的圆心距离与半径的平方差；令

$$Q(a,b,c) = \Sigma \delta_i^2 = \Sigma (x_i^2 + y_i^2 + a*x_i + b*y_i + c)^2 \quad (2)$$

由于 Q(a,b,c) 大于 0，因此函数存在大于或等于 0 的极小值，分别对 a,b,c 求偏导数，令偏导数为 0 得到极值点。

$$\left.\begin{aligned} \frac{\partial Q(a,b,c)}{\partial a} &= \Sigma 2(x_i^2 + y_i^2 + ax_i + by_i + c)x_i = 0 \\ \frac{\partial Q(a,b,c)}{\partial b} &= \Sigma 2(x_i^2 + y_i^2 + ax_i + by_i + c)y_i = 0 \\ \frac{\partial Q(a,b,c)}{\partial c} &= \Sigma 2(x_i^2 + y_i^2 + ax_i + by_i + c) = 0 \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

令

$$\left.\begin{aligned} C &= n\Sigma x_i^2 - \Sigma x_i \Sigma y_i \\ D &= n\Sigma x_i y_i - \Sigma x_i \Sigma y_i \\ E &= n\Sigma x_i^3 + n\Sigma x_i y_i^2 - \Sigma(x_i^2 + y_i^2)\Sigma x_i \\ G &= n\Sigma y_i^2 - \Sigma x_i \Sigma y_i \\ H &= n\Sigma x_i^2 y_i + n\Sigma y_i^3 - \Sigma(x_i^2 + y_i^2)\Sigma y_i \end{aligned}\right\} \quad (4)$$

解得

$$\left.\begin{aligned} a &= \frac{HD - EG}{CG - D^2} \\ b &= \frac{HC - ED}{D^2 - CG} \\ c &= -\frac{\Sigma(x_i^2 + y_i 2) + a\Sigma x_i + b\Sigma y_i}{n} \\ R &= \frac{1}{2}\sqrt{a^2 + b^2 + 4c} \end{aligned}\right\} \quad (5)$$

2 结果与讨论

2.1 打印速度和圆半径值对打印精度的影响

打印圆设定半径值 r 与实际测量半径值 r_c 对比如图 10 所示，结果表明在 1mm/s、2mm/s 和 3mm/s 打印速度下，半径为 4mm、5mm、6mm、7mm、10mm、15mm 和 20mm 的圆实际测量半径值 r_c 均小于设定值 r，同时圆半径值越小实际测量圆半径 r_c 值和设定圆半径值 r 之间误差越大。不同打印速度下圆设定半径值 r 与打印误差 Err 的关系如图 11 所示，打印速度 v 和圆设定半径值 r 对打印误差 Err 的影响具有一致的变化趋势，打印误差 Err 随圆设定半径值 r 的增加而减小，且圆设定半径值 r 越大打印误差 Err 的变化率越小；打印误差同时受到打印速度 v 的影响，打印速度 v 越大打印误差 Err 越大，因此打印误差 Err 受到圆设定半径值 r 和打印速度 v 的耦合作用影响。如图 12 所示为打印误差 Err 随圆设定半径值 r 和打印速度 v 的变化关系，通过数据拟合的方式对数据点进行拟合，获得式 (6) 所示打印误差随打印速度 v 和圆半径值 r 变化的二元二次曲面函数 f(v,r)，相关系数 R^2=0.9739，其中 4mm <r<20mm, v<3mm/s。

$$f(v,r) = A + Bv + Cr + Dv^2 + Evr + F \quad (6)$$

式中 A, B, C, D, E, F 为模型参数系数 A=0.6418, B=0.09953, C= -0.2663, D=0.01849, E= -0.03629, F=0.07595。

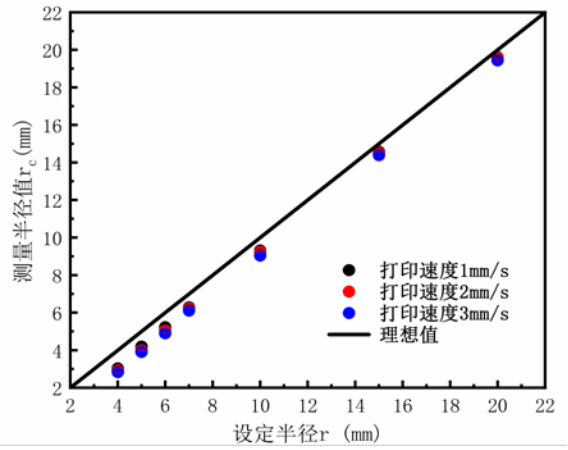


图 10 圆设定半径值与实际值对比

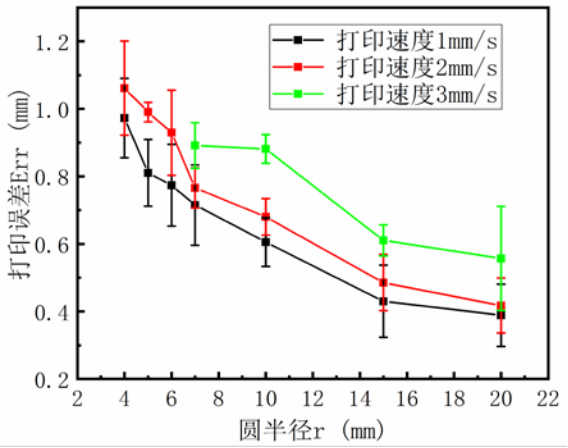


图 11 打印速度与圆打印误差的关系

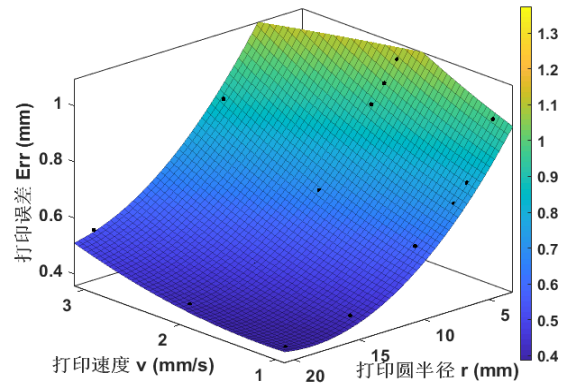


图 12 打印误差随打印速度和圆设定半径值的变化关系

为了有效提升构件的打印精度，对圆的半径值 r 进行误差补偿处理。分别以 1mm/s、2mm/s 和 3mm/s 的打印速度打印半径为 9mm、12mm 和 17mm 的圆，通过公式 (6) 计算打印误差并分别对圆半径值进行误差补偿，如表 2 所示。由表可知，设定圆半径值 r 与实际打印圆半径值 r_c 之间的误差显著降低，最大圆半径偏差量不超过 0.1569mm，打印速度越小打印误差也越小。

表 2 误差补偿后的打印误差

打印速度 (mm/s)	打印圆半径 (mm)		
	9	12	17
1	-0.00314	-0.1366	-0.0349
2	-0.1462	-0.1569	-0.118
3	-0.0728	-0.1395	-0.108

2.2 打印速度对可成形圆半径值的影响

分别打印设定半径值 r 为 4mm、6mm、8mm、10mm、12mm、14mm、16mm 和 20mm 的圆，如图 13 所示为不同半径值的圆与最大可打印速度之间的关系曲线，曲线左侧为不可打印区，即当打印速度过大或圆半径值过小时所成形的圆会出现如图 14 所示的纤维脱粘现象；曲线右侧为可打印区，最大可打印速度随圆半径值的增加而增加，当打印速度达到 7.5mm/s 时，最大可打印速度不再增加，利用数据拟合的方式获得式 (7) 所示最大可打印速度 v_{max} 和打印圆半径 r 之间的关系式，相关系数 R^2=0.9859，其中 4mm/s ≤ r ≤ 20mm/s。

$$f(v)=M+Nr+Pr^2+Qr^3 \quad (7)$$

式中 M, N, P, Q 为模型参数系数 M=-2.315，N=1.368，P=-0.05679，Q=0.006373。

由于打印速度直接影响到打印效率，因此在满足可成形性和打印精度的前提下应尽量提高打印速度。采用固定打印速度的方式成形图 15 所示变截面构件时，打印时间为 16570s，通过优化不同截面圆打印速度后，打印时间缩减到 7953s，打印效率提升了 48%。

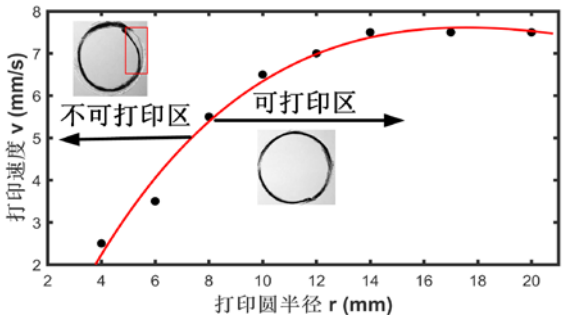


图 13 圆半径值与最大可打印速度关系

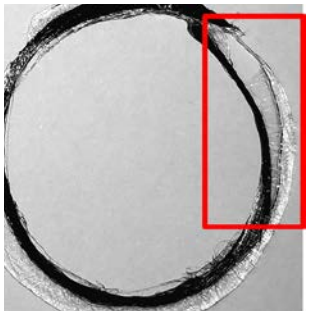


图 14 纤维脱粘现象

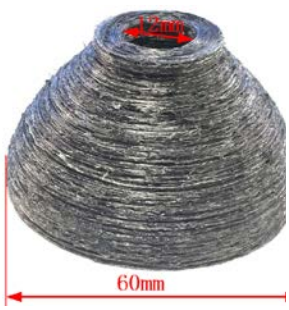


图 15 变截面构件

2.3 误差产生机理

当采用预浸丝材打印圆特征结构时，会产生如图 16 所示的打印误差，甚至如图 14 所示纤维脱粘现象。如图 17 所示，连续纤维预浸丝材熔融沉积打印过程中，A 点的误差由纤维径向拉力 Fr 和树脂的粘附力 Fv 共同作用产生，径向拉力 Fr 为正在成形部分（B 点）纤维牵引力 F 的分力，牵引力 F 在 A 点产生的径向拉力 Fr=F*sinθ，其中偏转角 θ 为纤维由 A 点到 B 点转过的角度。当圆半径值不变时，打印速度越大，打印喷头绕过的偏转角 θ 越大，牵引力 F 在 A 点的分力 Fr 越大；当打印速度不变时，圆半径值越小，打印喷头绕过的偏转角 θ 越大，同样牵引力 F 在 A 点的分力 Fr 越大。在打印过程中当 Fv < Fr 时，纤维将向心滑移导致打印误差的产生，当速度越大、圆半径值越小时打印误差越大。

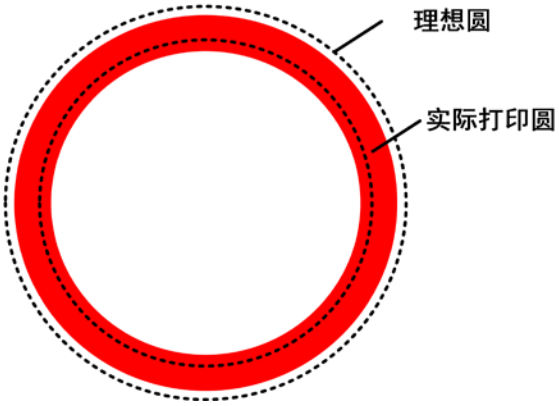


图 16 实际打印圆与设定圆

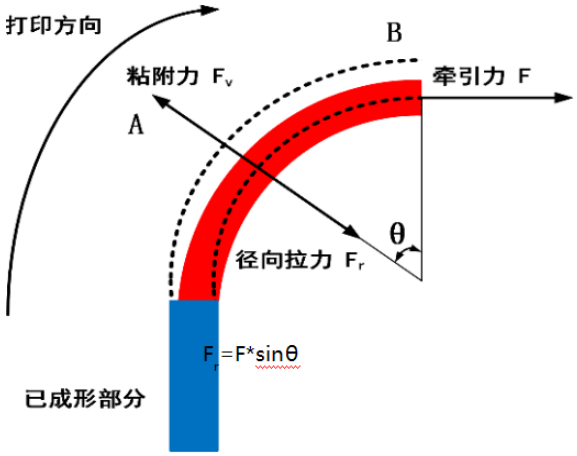


图 17 误差产生机理

3 结论

(1) 通过研究圆半径值 r、打印速度 v 与打印误差 Err 之间的关系，发现圆半径值 r 越大、打印速度 v 越小时打印误差 Err 越小，建立了误差函数模型，使用误差模型对圆半径值 r 进行误差补偿，可将打印误差减小到 0.1569mm 以内。

(2) 通过研究打印速度对圆可成形性的影响，发现打印速度越小可成形的圆半径值范围越大，打印速度高于 7.5mm 后脱粘现象明显；在成形变截面构件时通过优化不同半径圆的打印速度，可有效提升打印效率。

(3) 通过分析连续纤维预浸丝材熔融沉积打印机理发现：打印速度越大、圆半径值越小纤维径向拉力 Fr 越大，打印误差越大。

4 参考文献

[1] 杜善义 . 先进复合材料与航空航天 [J]. 复合材料学报 ,2007(01):1−12.

[2] 范子杰 , 桂良进 , 苏瑞意 . 汽车轻量化技术的研究与进展 [J]. 汽车安全与节能学报 ,2014,5(01):1−16.

[3] 施军 , 黄卓 . 复合材料在海洋船舶中的应用 [J]. 玻璃钢 / 复合材料 ,2012(S1):269−273.

[4] 卢秉恒 , 李涤尘 . 增材制造 (3D 打印) 技术发展 [J]. 机械制造与自动化 ,2013,42(04):1−4.

[5] Matsuzaki, R., Ueda, M., Namiki, M. et al. Three−dimensional printing of continuous−fiber composites by in−nozzle impregnation. Sci Rep 6, 23058 (2016). https://doi.org/10.1038/srep23058

[6] Dickson, Andrew N., Barry, James N., McDonnell, Kevin A., & Dowling, Denis P. . Fabrication of continuous carbon, glass and kevlar fibre reinforced polymer composites using additive manufacturing. Additive Manufacturing, 16, 146−152.

[7] Hao W , Liu Y , Zhou H , et al. Preparation and characterization of 3D printed continuous carbon fiber reinforced thermosetting composites[J]. Polymer Testing, 2018, 65:29−34.

[8] Nakagawa Y , Mori K I , Maeno T . 3D printing of carbon fibre−reinforced plastic parts[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2017, 91(5−8):2811−2817.

[9] Yang C , Wang B , Li D , et al. Modelling and characterisation for the responsive performance of CF/PLA and CF/PEEK smart materials fabricated by 4D printing[J]. Virtual & Physical Prototyping, 2017, 12(1):69−76.

[10] 朱伟东 , 张笑 , 齐德胜 , 徐强 . 变刚度复合材料开孔板拉伸行为数值模拟及试验验证 [J]. 复合材料学报 ,2018,35(03):599−606.

[11] Zhang, H., Yang, D., & Sheng, Y. (2018). Performance−driven 3D printing of continuous curved carbon fibre reinforced polymer composites: A preliminary numerical study. Composites Part B−engineering, 256−264.

[12] Yueke, Ming, Yugang, et al. A Novel Route to Fabricate High−Performance 3D Printed Continuous Fiber−Reinforced Thermosetting Polymer Composites.[J]. Materials (Basel, Switzerland), 2019.

[13] Blok L G, Longana M L, Yu H, et al. An investigation into 3D printing of fibre reinforced thermoplastic composites [J]. Additive manufacturing, 2018, 22(8): 176−186.

[14] amawaki, M., & Kouno, Y. (2018). Fabrication and mechanical characterization of continuous carbon fiber−reinforced thermoplastic using a preform by three−dimensional printing and via hot−press molding. Advanced Composite Materials, 27(2), 209−219.

WIND TURBINE BLADES

Engineering Viscoelastic Properties in Polyurethane Coatings to Reduce Erosion Risks in Wind Turbine Blades

Imad Ouachan[1*], Kirsten Dyer[2], Ian Hamerton[1] and Carwyn Ward[1]
[1]Bristol Composites Institute (ACCIS), Department of Aerospace Engineering, School of Civil, Aerospace and Mechanical Engineering, University of Bristol, Bristol, UK.
[2]Offshore Renewable Energy (ORE) Catapult, Glasgow, UK
*Email: Imad.Ouachan@Bristol.ac.uk

ABSTRACT

The dynamic mechanical response of a commercial prototype Leading Edge Protection (LEP) coating based on polyurethane (PU) chemistry is analysed using Dynamic Mechanical Thermal Analysis (DMTA) as a function of temperature and frequency. The temperature range chosen reflects the operating range used in offshore wind turbines, with the damping characteristics of the coating maximal at 25 ° C. The Time Temperature Superposition (TTS) methodology was applied to the DMTA data to predict the viscoelastic behaviour of the PU LEP at frequencies (10^{-2} - 10^{10} Hz) consistent with the predicted strain rates induced by the impact of rain droplets on wind turbine blades (106 - 109 Hz). A Young' s modulus is reported for the PU of 2.78 x10^{6} GPa at 10^{8} s^{-1}, compared with 278 MPa at 1 s^{-1} i.e. the equivalent of quasi-static testing. This method presents a potential for improved understanding of LEP material at high strain rates and a test methodology for generating material properties for coating lifetime prediction.

INTRODUCTION

Erosion of materials due to impact has been a topic of research in the wind industry over the last 10 years with Herring et al.1 publishing an recent review detailing the area. It can be caused by rain, hail, sea spray and other particulate debris e.g. sand impact; it has become a significant problem as the wind industry (mainly offshore) continues to increase blade lengths (currently at 107 m for GE's Haliade–X 12 MW) and installations move into areas of extreme conditions[1]. Blade erosion via liquid droplet impingement results in reduced aerodynamic efficiency which in turn decreases energy capture. The latter is especially detrimental for the uptake of wind as an energy source as the most significant barrier to the use of renewables is cost. Energy is often compared solely on its cost per unit disregarding other benefits, such as CO_2 reduction[2].

Current offshore wind turbine blades are expected to remain in operation with minimal maintenance for a minimum service life of 25 years. However, it is estimated that up to £1.3 million is spent on each turbine during its lifetime due to Leading Edge Erosion (LEE) from the impact of rain droplets with existing coating systems (see Figure 1)[3,4] .

Figure 1. Selected photos of leading–edge erosion on wind turbine blades from published literature.[5] Not to scale.

There are a number of protection solutions available that attempt to mitigate LEE and prolong the lifetime of turbines1. The most common are protective coatings and are applied either in–mould or post mould. Post–mould coatings, which this work focuses on, generally consist of a elastomeric and durable polyurethane or polyurea material which are designed to absorb the impact energy[5].

This rain droplet impact causes three shockwaves to pass through the coating: the initial longitudinal compressional stress wave, the preceding transverse shear wave and a third Rayleigh wave. The impact pressure generated is referred to as the water hammer pressure and the magnitude is dependent on the difference in acoustic properties between the droplet and the coating material surface. The speed at which these waves travel through a material, known as acoustic impedance, is used as a key parameter in predicting the lifetime of coatings in both accelerated testing and in the field and is related to the density and modulus of the material.

To resist the forces generated by the droplet impact post–mould LEP coatings are typically ductile, possess low acoustic impedance, high flexibility and high strain rates to failure to reduce the stress from the water hammer pressure at the impact surface. This also effectively dampens the oscillating stress waves, ensuring that the energy of the impact is dissipated[1]. The current materials used tend to be viscoelastic, this is where the relationship between stress and strain also depends ontime.Viscoelastic materials demonstrate various phenomena such as strain rate dependence, energy dissipation and acoustic wave attenuation. This adds complexity to analysing and predicting the behaviour of the coating materials responses in rain erosion which is associated with high strain rates (10^6 – 10^9 Hz) predicted from FEA models of rain droplet impacts[6]. The predicted high strain rates bring into question the validity of using conventional mechanical tests used to analyse for studying a material's erosion properties e.g. modulus as they operate at much lower strain rates.

The Wind Blade Research Hub[7] is developing fundamental understanding to combat the LEE experienced resulting from rain erosion by modifying base coating formulations and connecting the changes to erosion behaviour. The aim of this present work is to develop a greater understanding of the influence of the viscoelastic response of the polymer coating that constitutes the LEP. In doing so, we will be able to improve the lifetime of existing LEPs.

Consequently, in this paper we present a study of the viscoelasticity of a polyurethane–based LEP using dynamic mechanical thermal analysis (DMTA) to access the 10^6 – 10^9 Hz frequency domain compatible with the impact of rain droplets on a wind turbine blade, through the time temperature superposition principle. The DMTA technique allows for the viscoelastic behaviour of a material to be characterised. A small cyclical deformation is applied to a material and the

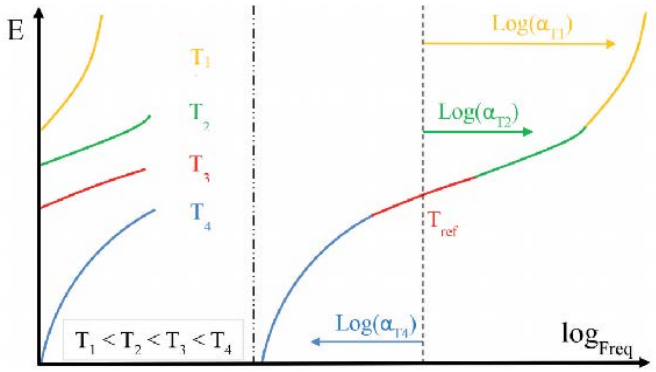


Figure 2. Schematic representation of the time temperature superposition methodology, and construction of the master curve from frequency sweep data at varying temperatures. Shift factors calculated from equation 1. Adapted from[11].

material's response is measured as a function of stress, strain, temperature and frequency which can be varied to explore the effect of operating and impact conditions on protective coating systems. This allows an expression for the modulus to be

formulated containing an in–phase component, i.e. the storage modulus (E') representing the elastic behaviour, and an out of phase component, the loss modulus (E''), representing the viscous behaviour. The ratio of E''to E' is known as tan δ and is a measure of damping, this indicates how good a material will be at absorbing/dissipating energy. A higher tan δ indicates greater damping behaviour whereas a lower value means that it will absorb more energy. This value usually falls between zero and one and is dependent on the state of the material, its temperature and the applied frequency of oscillation.

EXPERIMENTATION

Materials and Manufacturing

A polyurethane (PU) based LEP which contains pigments, polyol chain extenders, and antioxidants was used without further purification. Mixing of the components was conducted with care to not entrap air and to result in an optimal thickness, where no voids were visible in the specimen. Specimens were cast into silicon moulds forming rectangular samples (60 mm x 10 mm x 2 mm) and cured under atmospheric pressure and temperature following the manufacturer’s recommended procedure. The chosen dimensions were determined to be the optimal geometry range for the DMTA dual cantilever clamping setup. Samples with visible voids or surface curvature were discarded. Specimens were left for a further two weeks under constant extraction to allow for any further cure to occur.

Dynamic Mechanical Thermal Analysis

The cured samples were analysed in dual cantilever mode using a TA Q800 with an ACS chiller. The linear viscoelastic region was determined by strain sweeps defined by a 5% decrease in E' and all subsequent tests were performed within this range. Temperature sweeps were carried out from –50℃ to +90℃ at 10℃ /min, with an amplitude of 50 μm, and an oscillation frequency of 1 Hz. Frequency sweeps for Time Temperature Superposition (TTS) were performed between –50℃ and +60℃ , with an amplitude of 15 μm. The oscillation frequency was varied between 0 – 100 Hz.

Application of The Time Temperature Superposition Principle

Having acquired the data using DMTA experiments, the time temperature superposition (TTS) method can be applied, as this allows the viscoelastic behaviour of linear polymers to be studied over a wider range of temperatures and frequencies than could be obtainable directly from experimental results[8]. The TTS methodology states that there is a mutual correspondence between the frequency and temperature effects. Consequently, the observed change in mechanical properties induced by a variation of temperature can be identical to the one produced by a variation in frequency if the material can be defined as thermorheologically simple[9,10].

This means that all the retardation/relaxation mechanisms of the material have the same temperature dependence and stress magnitudes at all times. Most amorphous polymers fulfill these criteria however crystalline polymers and many composite materials do not as each of the phases can possess different temperature dependencies and relaxation mechanisms. Furthermore, if any phase transitions (e.g. freezing or melting) occur during the area of interest the material will not be considered thermorheologically simple. Analysis temperatures above the reference temperature shift to lower frequencies, while observed temperatures below shift to higher frequencies. The value of the shift distance is dependent on the reference temperature selected and the material properties of the polymer being tested (Figure 2).

This process of transposing the data across the log frequency axis is called the frequencytemperature shift factor a_T and is defined by Equation 1:

$$\alpha_T = \frac{f_0}{f_T} \quad [1]$$

where f_0 is the frequency at which the material displays the same response as the reference temperature T and f_T is the frequency at which the material reaches a particular response at temperature T. These shift factors are determined from the experimental data by shifting the curves obtained at different temperatures along the frequency axis. This should result in either partial or complete overlap depending on the temperature intervals tested and creates a curve that displays the predicted behavior of the polymer as a ‘master curve’.

RESULTS AND DISCUSSION

The Influence of Temperature on Viscoelastic Behaviour

The initial experiments were performed by subjecting the PU LEP to a dynamic mode analysis with a sweep from –40 ℃ to +50 ℃ to determine the influence of temperature on the dynamic moduli. The temperature range was selected to represent a realistic working range for an offshore wind turbine in colder and warmer climates. The storage modulus (Figure 3) is maximal at the lowest measured temperature of –40℃ at approximately 3660 MPa, but begins to fall almost immediately (–40℃) as the PU undergoes a glass transition, associated with a significant increase in chain segmental motion (correspondingly the maximum response in the loss modulus is observed at –20 ℃). In this temperature regime, the PU changes from a more rigid glassy state to a more compliant rubbery state and is accompanied with a loss a mechanical performance as the storage modulus falls to approximately 37 MPa. The tan δ reflects the intrinsic ability of the material to dissipate energy and the response reveals two transitions: a maximum at around 34℃ , where the damping is maximal, and a lower temperature shoulder from –20℃ to 30℃ . The mechanical damping response doubles over a typical working temperature range (i.e. –20℃ to +34℃) from 0.20 to 0.48, which could offer the greatest protection to impacts.

The Influence of Frequency On Viscoelastic Behaviour

Frequency sweeps were conducted which involved varying the frequency of the oscillation from 1 to 100 Hz to yield the

frequency dependent data (Figure 4). As with other viscoelastic materials, the higher frequencies induce more elasticlike behaviour where the storage modulus is maximised at 1200 MPa. Lower frequencies induce more viscous–like behaviours indicating strain rate sensitivity, as expected for a viscoelastic material. The combination of viscous and elastic behaviour can be visualised using the Kelvin–Voight model involving a combination of a dashpot and spring respectively[12].

Figure 3. DMTA Temperature sweep data for the PU LEP acquired over –50℃ to +60℃ and amplitude of 50 μm and frequency of 1 Hz: storage modulus (red), loss modulus (blue), and tan δ (orange) acquired as a function of temperature.

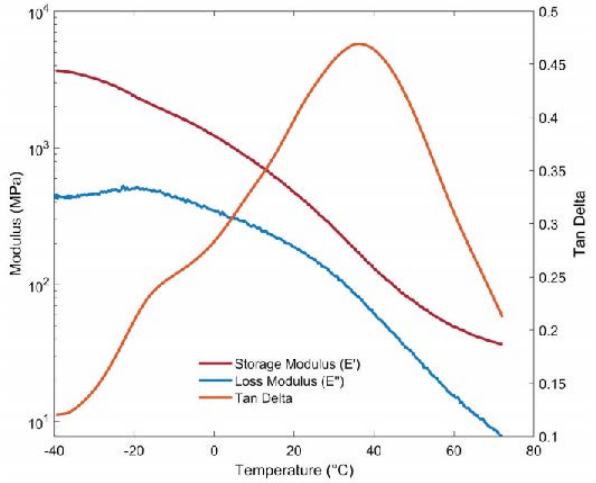
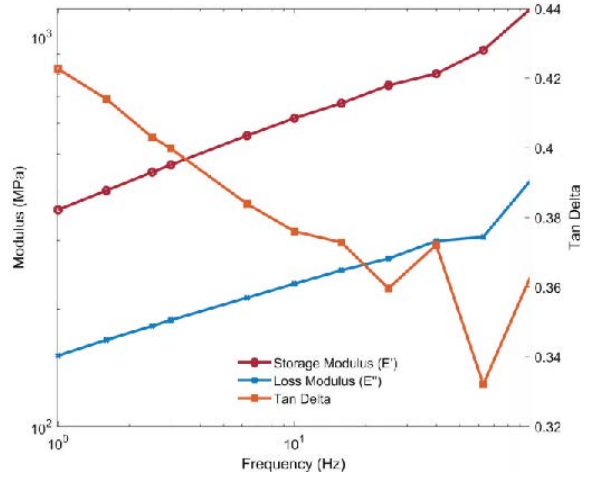


Figure 4. DMTA frequency sweep data for the PU LEP acquired over 1 to 100 Hz, amplitude of 15 μm and at constant 10℃ : storage modulus (O), loss modulus (*), and tan δ (□) acquired as a function of frequency.



Application of The Time Temperature Superposition Principle

The frequency sweep over the temperature were combined to create the master curve (Figure 5) over the range 10^{-2} – 10^{10} Hz.

An increase in the storage modulus was observed over the extended frequency range. However the loss modulus begins to plateau and decrease at approximately 106 Hz. This results in a tan δ peak at approximately 1 Hz followed by a decrease in the value. This is potentially important for rain erosion performance as this value is related to the damping behaviour of the material. A change in this value will affect a number of key parameters such as the ability of the material to dissipate energy and the speed at which sound passes through a material. These data show that there is a significant difference between the dynamic properties of a material at low frequency testing when compared to higher frequency testing which is predicted to be applicable to rain impacts and highlight that these factors should be considered in lifetime prediction modelling of rain impact erosion.

The data presented displays repeating peaks which could be attributed to resonance of the material. During resonance, the instrument cannot collect sensible data as the strain measured by the instrument will be out of phase with the stress and will not reflect the mechanical properties of the material. The larger variations below 1 Hz could be due to the temperature exceeding the Tg of the material causing the validity of the TTS to breakdown at these frequencies. To mitigate this in the future, replicates of these sweeps could be conducted to identify these points or as in this work smoothing can be used to fit the data, decreasing the weight of outliers in an attempt to reduce their effect on fitting the data.

The rationale for employing DMTA was to access a frequency domain compatible with the impact of rain droplets on a wind turbine blade, which is predicted to be 10^6 – 10^9 Hz. Notably, using this master curve prediction, in this frequency regime the damping is of a significantly lower magnitude compared with the value obtained using the quasi–static condition of conventional testing, i.e. 1 Hz, which yields higher damping (tan δ) and lower modulus. However, it is important to note that these measurements were undertaken at a reference temperature of 10℃ and varying this analysis temperature also shifts the peaks, resulting in a change in material behaviour.

Comparison of Modulus Against Strain Rate

A transformation of data was performed according to a previously reported method by Zeltmann et al.[13], wherein the material response was taken from the master curve (in the frequency domain) and translated into the time domain in order to obtain the relaxation modulus (Figure 6). From E', the time domain relaxation modulus E(t), an expression representing the gradual decrease of stress when held at constant strain, can be found using:

$$E(t) = \frac{\sigma(t)}{\varepsilon_0} = \frac{2}{\pi}\int_0^{\infty} \frac{E'(\omega)}{\omega}\sin(\omega t)d\omega \quad [2]$$

where σ is a constant stress, ε_0 is the initial strain, ω is the angular frequency and t time.

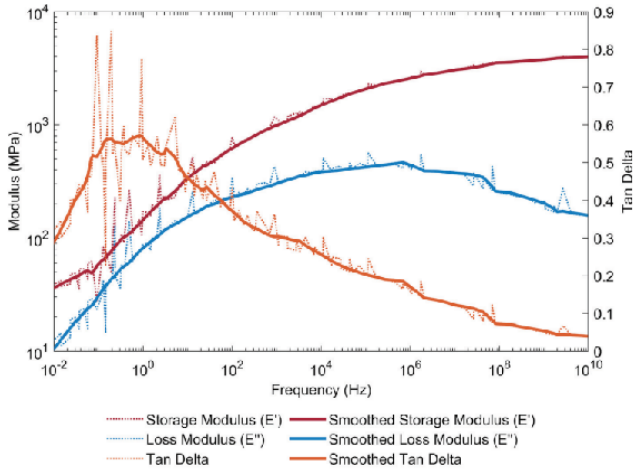


Figure 5. DMTA master curve constructed using the TTS principle for the PU LEP acquired over 1 to 100 Hz, amplitude of 15 μm and a T_{ref} of 10 ℃ : storage modulus (red), loss modulus (blue), and tan δ (orange) acquired as a function of frequency. Data smoothed using 'Lowess' robust local regression smoothing.

The relaxation modulus E(t) is a characteristic of material viscoelasticity as used to describe the stress relaxation of materials with time. Stress relaxation describes the material's tendency to decrease its load generation when held under a constant strain or deflection.

As viscoelastic materials have significant molecular mobility at the temperatures of interest they have the ability for coordination motion along the chain backbone[14]. Under conditions where the test rate is fast relative to this relaxation time the molecules do not have time to displace during loading. Under conditions where the test rate is very slow the material can relax to the loading resulting in sigmoidal curves. The relaxation modulus is variable and depends on both the strain rate and temperature, which in this case is 10 ℃ . In terms of rain erosion behaviour this demonstrates the importance of the timescale of the stress applied as it results significantly differing responses. This also raises the question if the coatings themselves undergo any stress relaxation over their lifetimes due to residual stress from cure or flexure of the blades.

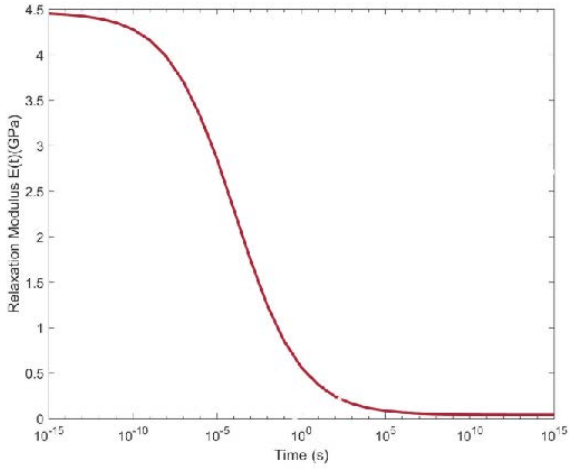


Figure 6. Time domain relaxation function converted from master curve and equation 2 for the LEP.

Following Zeltmann's method the predictions of elastic modulus are evaluated as the secant modulus at 2.5% strain from the stress–stain values generated from the relaxation function using:

$$\sigma(t) = \dot{\varepsilon} \int_0^t E(\tau) d\tau \quad [3]$$

where σ, ε' and t represent stress, strain rate and a time variable used for integration, respectively.

Using this procedure, the elastic modulus at any strain rate can be calculated. The relaxation modulus was finally used to yield a linear relationship predicting the actual Young's modulus of the PU LEP over a range of strain rates (Figure 7). Owing to the manner in which the data are calculated, the relationship breaks down at the extremes as there may be other mechanisms that occur outside of our testing ranges and so are not entirely reliable.

Young's moduli obtained using conventional quasi–static test methods for selected commercial PUs and it is clear that the Young's modulus varies significantly from quasi–static test conditions (0.278 GPa at 1 s^{-1}) to more representative high strain rate impacts (10^6 GPa at 10^8 s^{-1}). These differences could have implications on the lifetime prediction of coating systems such as the calculation of the water hammer pressure in the Springer damage model15. Increases in modulus result in increased water hammer pressures that may exceed the yield strength of the material. Alternatively this may cause mismatches between layers that alter the ratio of wave reflected and transmitted thought the multilayer system.

However, it must be noted that this transformation assumes a linear material and relies upon the master curve data which can also be inaccurate due to the assumption of TTS such as missing certain transition outside the temperature range tested. This work requires validation using high strain rate methods such as Split–Hopkinson pressure bar which can operate at strain rates of up to 10^5 s^{-1}.

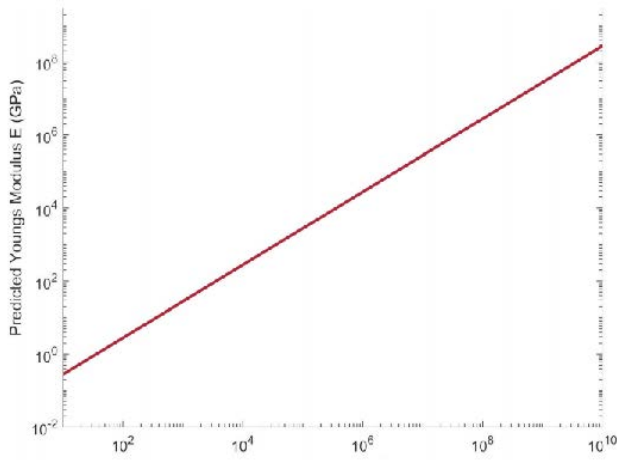


Figure 7. Predicted Young's modulus of the PU LEP as a function of strain rate.

Risks and Limitation Of Data

While the data obtained may not offer absolute accuracy, they do offer an indication of the trends that might be expected to occur for viscoelastic materials and are thus of potential use when characterising new materials or conducting lifetime predictions of LEP coatings. This method uses conventional equipment that is common in material laboratories to obtain the dynamic responses. Potential limitations are the sensitivity and operating ranges (stresses, strains, temperatures) of the equipment, but most modern equipment should be adequate. Treatment of the raw data can either be conducted using manufacturer supplied software to obtain master curves data or computed using other software. Future work will aim to improve the accuracy of this method and extend the data set. To the knowledge of the author this method has not been combined with lifetime prediction modelling of the rain erosion for LEP coatings in literature.

CONCLUSIONS

This paper presents dynamic mechanical data for a commercial prototype Leading Edge Protection (LEP) material when characterised using the Dynamic Mechanical Thermal Analysis (DMTA) method, to identify key parameters, reflecting the performance of a Polyurethane (PU) LEP under representative frequency conditions. The data have been used to predict higher frequency responses more representative of a PU LEP in-service condition, by using the Time Temperature Superposition methodology. This Time Temperature Superposition (TTS) result was then transformed to yield first relaxation data, and a prediction for the Young's Modulus as a function of strain rate. Simulations predict that rain droplet impacts on wind turbine blades can result in extreme strain rates (105to 109 s−1) through the water hammer phenomenon. However, with the use of viscoelastic materials, changes in their mechanical behaviour are observed due to the dependence on time (strain rate/frequency), temperature and amplitude of deformation. These findings offer an additional design tool to predict and modify the damping response, to achieve optimum damping characteristics. However, improvements to the method, accuracy and validation of approach are required.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by the Engineering and Physical Sciences Research Council through the EPSRC Centre for Doctoral Training at the Advance Composites Centre for Innovation and Science (ACCIS, Grant number EP/L016028/1), and The Future Composites Manufacturing Hub (Grant number EP/P006701/1). This project was also funded by the BLEER project, a joint industry project led by ORE Catapult.

REFERENCES

1. R. Herring, K. Dyer, F. Martin, and C. Ward, "The increasing importance of leading edge erosion and a review of existing protection solutions," Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 115, p. 109382, 2019.

2. T. M. Letcher, Wind Energy Engineering. Elsevier, 2017.

3. I. Ouachan, M. Kuball, D. Liu, K. Dyer, C. Ward, and I. Hamerton, "Understanding of Leading-Edge Protection Performance Using Nano-Silicates for Modification," J. Phys. Conf. Ser., vol. 1222, p. 012016, May 2019.

4. A. Kay, "Blade Leading Edge Erosion Programme (BLEEP): Reducing the Cost Impacts of Wind Turbine Blade Erosion," Glasgow, 2016.

5. M. H. Keegan, D. H. Nash, and M. M. Stack, "On erosion issues associated with the leading edge of wind turbine blades," J. Phys. D. Appl. Phys., vol. 46, no. 38, 2013.

6. M. H. Keegan, "Wind Turbine Blade Leading Edge Erosion: An investigation of rain droplet and hailstone impact induced damage mechanisms," 2014.

7. "Wind Blade Research Hub | Our Collaborations | ORE Catapult." [Online]. Available: https://ore.catapult.org.uk/work-with-us/our-collaborations/wind-blade-researchhub/. [Accessed: 01-Jun-2020].

8. G. Arena et al., "Solid particle erosion and viscoelastic properties of thermoplastic polyurethanes," Express Polym. Lett., vol. 9, no. 3, pp. 166 176, 2015.

9. R. Li, "Time-temperature superposition method for glass transition temperature of plastic materials," Mater. Sci. Eng. A, vol. 278, no. 1 2, pp. 36 45, Feb. 2000.

10. W. P. Hernández, D. A. Castello, N. Roitman, and C. Magluta, "Thermorheologically simple materials: A bayesian framework for model calibration and validation," J. Sound Vib., vol. 402, pp. 14 30, Aug. 2017.

11. K. S. Cho, "Time-temperature superposition," in Springer Series in Materials Science, vol. 241, Springer Verlag, 2016, pp. 437 457.

12. R. S. Lakes, Viscoelastic Solids (1998). CRC Press, 2017.

13. S. E. Zeltmann, K. A. Prakash, M. Doddamani, and N. Gupta, "Prediction of modulus at various strain rates from dynamic mechanical analysis data for polymer matrix composites," Compos. Part B Eng., vol. 120, pp. 27 34, Jul. 2017.

14. B. Love, Property Assessments of Tissues. 2017.

15. G. S. Springer, "Erosion by liquid impact," John Wiley & Sons Inc, 1976, p. 264.

sampe

Live & Virtual Conference 21 Baden/Zürich

Innovating towards Perfection

Date 29th - 30th September 2021
Location TRAFO Conference Center - Baden, Switzerland
Organization SAMPE Switzerland and SAMPE Europe

DON'T MISS IT!

Registration starts June 15th.

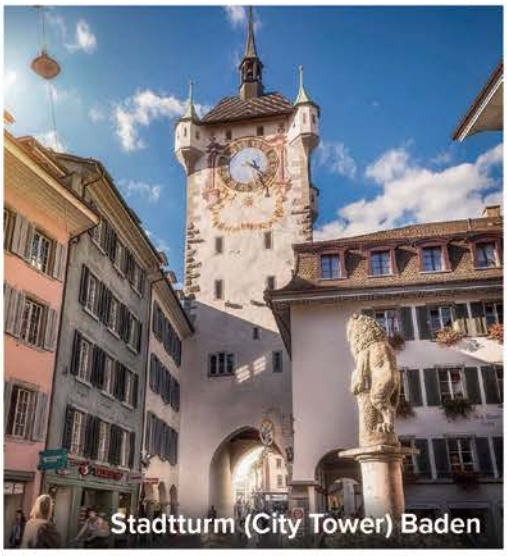
SAMPE Europe presents high-quality technical papers from both Industry and Science that focus on Challenging Applications in advanced composites materials, their processes, research, and development at the SAMPE Europe 2021 Conference in Baden / Zürich, Switzerland from 29th - 30th September 2021.

The conference programme also will include:

- 36th SAMPE Europe Student Seminar
- Tutorials & Showcases
- Plant Excursions
- Exhibition of sponsors
- Table Tops

Special Sessions:

- Smart , Affordable & Sustainable Lightweight Transport Solutions - chaired by ELA
- Construction & Infrastructure - chaired by EMPA
- Sustainable & cost efficient high-performance composite structures - SuCoHS, -, chaired by FHNW


Stadtturm (City Tower) Baden

TRAFO Conference Center

Trafo Hall

Main stream Applications
- Aerospace and Space
- Automotive and Transport
- Civil Engineering and Architecture
- Energy
- Marine
- Sports and Leisure

Main stream Raw Materials and Semi-finished products
- Fibers and Interfaces
- Thermoset resins
- Thermoplastics

Main stream Manufacturing
- 3D printed composites
- Automation
- Joining, Bonding and Repair
- Manufacturing and Tooling

Main stream "Specialties"
- Design and Modeling
- Hybrids and Sandwiches
- Structure and Process Simulation
- Sustainable solutions
- Testing and Characterization
- Textile composites
- Industrial Innovations
- Start-up companies

MAIN SPONSORS

suprem
Thermoplastic Composite Materials

ANNUAL PARTNERS 2020/2021

AIRBUS · JEC GROUP · AIRTECH ADVANCED MATERIALS GROUP · Fokker · coexpair · TEIJIN · dtc · SURFACE GENERATION · EVONIK INDUSTRIES · LEICHTBAU BW · BOEING

SAMPE Europe: Where industry meets science! www.sampe-europe.org

创造轻快的世界

Make a Light and Brisk World

医疗

高铁

汽车

航空

复合材料轻量化解决方案

利用航空领域积累的技术和经验，为汽车、轨道交通、船舶、能源、医疗等工业领域提供材料、设计、工艺、制造、检测、服务等完整的、定制化的应用解决方案。以“低成本、快节拍、智能化”的创新及服务，创造轻快的世界！

扫码浏览官网
www.acc.avic.com

中航复合材料有限责任公司
AVIC COMPOSITE CORPORATION LTD.