

2022 年
第 14 期

先进制造 与新材料

ADVANCED MANUFACTURING
& NEW MATERIALS BRIEFING



上海科学技术情报研究所
上海市前沿技术发展研究中心
技术与创新支持中心(TISC)

航空航天复合材料迎来高速发展新契机

编者按

复合化是当代材料技术发展的重要趋势之一，而大量采用高性能复合材料是航空航天飞行器发展的重要方向。空客超宽体 A-350 XWB 客机和波音 B-787 “梦想” 飞机的复合材料用量分别达到 52% 和 50%，成为航空航天复合材料发展史的一个里程碑。美国科学院在《面向 21 世纪国防需求的材料》研究报告中指出，在未来 20~30 年中，唯一能使飞行器性能提升 20%~25% 的只有复合材料。随着国际航空航天事业的发展，高水平或超高水平的航空航天活动将更加频繁，民用航空市场将迅速扩大，这将有力带动航空航天复合材料的发展。

本期《先进制造与新材料》简报主要介绍国外在航空航天复合材料领域的项目资助、技术进展、应用情况和市场发展现状及趋势。



目 录

研发	1
西班牙开展“热塑性复合材料的高温表征和建模”研究	1
NASA 启动高速复合材料飞机制造项目	2
波音将在日本建立可持续研究中心.....	3
技术	4
新型航天复合材料耐高温又抗氧化.....	4
航空领域复合材料部件的完整解决方案	4
应用	6
法国企业推进复合材料 3D 编织预制件高效制造技术应用.....	6
GE 公司在 XA100 发动机中广泛使用陶瓷基复合材料.....	6
市场	8
2032 年全球复合材料测试市场规模预计将达到 30 亿美元.....	8

研发

西班牙开展“热塑性复合材料的高温表征和建模”研究

西班牙马德里卡洛斯三世大学（UC3M）正在进行欧盟“地平线 2020”（Horizon 2020）计划中的“热塑性复合材料的高温表征和建模”（HITCOMP）项目，主要研究热塑性材料在航空航天工业中的应用。

通常，欧洲航空航天部门在各种应用中使用重量轻、性能高的热固性塑料复合材料（也称为环氧树脂基复合材料）。但相比之下，这些材料的耐热性不如其他金属飞机部件，在达到极端温度的情况下会丧失安全性。

HITCOMP 研究小组提出了一种替代方案：使用基于 PAEK 树脂的新型热塑性材料来提高热固性复合材料在热损伤下的行为。热塑性材料具有重塑、重铸、加工和回收等特性，而无需任何额外的固化过程来硬化和固化，同时与传统的热固性复合材料相比，其价格合理、适应性更强、更环保，并且具有更长的使用寿命。使用热塑性复合材料有助于提高能源效率并减少其排放。由于热塑性塑料在过热时会熔化和变形，因此在航空航天工业中，必须确定这种材料在火、热等环境中以及承受机械负载时的性能。

HITCOMP 项目的协调员 López 介绍，该项目旨在建立一种在机械载荷、火、高温情况下对热塑性塑料进行表征的方法，将通过红外热成像对材料的实际温度进行精确测量，随后通过计算机模拟，并将其性能与传统热固性复合材料的性能进行比较。

目前红外热成像模型和设备已转移到空客公司，以便研究其工业应用。

作为 2020 年研究和创新行动（RIA）提案征集的一部分，HITCOMP 项目得到了 Horizon 2020 计划的财政支持，并且是 2019 年欧盟“清洁天空 2”计划的一部分。同样，该项目得到了西班牙国家航空航天技术研究所（INTA）、高科技 IR 公司、Sensia Solutions 和空客公司消防实验室的支持。

资料来源：西班牙开展“热塑性复合材料的高温表征和建模”研究[EB/OL]. (2022-04-19)

[2022-11-07]. <https://www.cannews.com.cn/2022/0419/342128.shtml>.

NASA 启动高速复合材料飞机制造项目

为了寻找一种快速研制新型可持续飞机的方法，美国航空航天局（NASA）计划开展高速复合材料飞机制造（HiCAM）项目。HiCAM 项目是可持续飞行国家伙伴关系（SFNP）的一部分，NASA 将与其在工业、学术界和政府的合作伙伴携手采用绿色技术推进更加可持续航空的发展。

目前，像波音 737 客机这样由金属结构制成的单通道客机的生产率约为每月 60 架，而相比金属材料飞机的生产率，像空客 A220 客机或更大型波音 787 客机这样由复合材料制成的客机生产率每月不超过 14 架。

HiCAM 项目的目标是加速这一生产过程，以达到使用复合材料每月 80 架机的生产率。为了实现这一目标，研究人员正在研究哪些复合材料和制造方法可以加速到如此高的生产率，以更快速度制造出更多的大型飞机部件，比如机翼和机身。这些部件可以由塑料、石墨和陶瓷等定制混合材料制成，可以显著降低复合材料结构的成本，大幅降低飞机的重量，达到节油目标。

NASA 表示，生产率受到制造零件、组装零件以制造大型飞机部件以及检查质量结果所需时间的限制。目前大多数由复合材料制成的飞机部件都是热固性材料，其制造过程是不可逆的。制成每个零件的复合材料通过热压罐的高温高压进行固化而最终变为固体。

整个过程相当漫长，长达 8 小时。要想缩短时长，就要研究哪些复合材料在热压罐中固化最快，哪些材料可以在不使用热压罐的情况下固化，以及是否有其他复合材料可以用于制造等。

HiCAM 项目团队目前还在与先进复合材料联盟的行业合作伙伴合作，开发高速复合材料制造工艺。这些行业合作伙伴包括飞机制造商、设备和软件开发商以及材料供应商。虽然 HiCAM 项目的重点是运输机，但在其他方面也具有很高的应用潜力，包括用于空运的小型飞机结构。

资料来源：NASA 启动高速复合材料飞机制造项目以提高可持续飞机生产速度

[EB/OL]. (2022-08-03)[2022-11-07]. <https://www.caacsri.com/detail.do?id=4958>.

波音将在日本建立可持续研究中心

波音官网发布声明，将通过开设一个新的波音研究与技术（BR&T）中心来加强其与日本的伙伴关系。该设施将专注于可持续发展，并扩大与日本经济产业省（METI）的合作协议。

波音和经济产业省已同意扩大其 2019 年合作协议，包括对可持续航空燃料（SAF）、电动和氢动力系统技术以及促进未来零碳飞行概念的关注。除此之外，还将探索电动和混合动力推进器、电池和复合材料制造，以实现新形式的城市交通。

波音首席工程师兼工程、测试和技术执行副总裁 Greg Hyslop 说：“我们很高兴在日本开设最新的全球研究和技术中心，与经济产业省这样出色的合作伙伴合作，新中心将扩大波音在可持续燃料和电气化方面的举措，并探索数字化、自动化和高性能航空航天复合材料的交叉点，以提高我们未来产品和生产系统的可持续性。”

资料来源：波音将在日本建立可持续研究中心[EB/OL]. (2022-08-01)[2022-11-07].

<http://news.carnoc.com/list/589/589219.html?f=mhs>.

技术

新型航天复合材料耐高温又耐氧化

俄罗斯科研人员基于碳氮化铪，开发出一种用于航空航天领域的新型耐火复合材料。同时，碳化硅的添加提高了复合材料的熔点、导热性和抗氧化性，降低了材料的密度和生产中的能源成本。相关研究结果近日发表在《国际陶瓷》杂志。

在太空探索研究和实践中，当航天器穿过地球大气层时，某些部件必须承受 2000°C 以上的高温负荷。为此，这些部件使用了由复合材料制成的隔热涂层。通常复合材料需要有很高的抗氧化性，而最常见的碳—碳复合材料无法在 1600°C 以上的温度下使用，高于该温度时这种材料的氧化会变得无法控制，氧气的主动供应和气态反应产物的形成会导致涂层完全烧毁。

俄罗斯国家研究型技术大学结构陶瓷材料实验室研究员德米特里·莫斯科夫斯基赫表示，研究发现基于碳氮化铪的新型复合材料既耐高温又耐氧化。通过在氮气中燃烧铪与碳的混合物来合成碳氮化铪，并使用等离子体烧结来获得块状材料。这是一种简单、快速和节能的方法，适用于工业生产。该材料不仅在 2000°C 以上的温度下具有很高的抗氧化性，而且还具有很高的机械和热物理性能。他称，碳化硅的添加提高了抗氧化性，并且几乎使密度降低了一半而机械性能却没有下降。

莫斯科夫斯基赫说，这种材料可用于制造航天火箭。由新复合材料制成的结构段将在经受最大热负载的完全流动停滞点上提供高效的热保护。未来，研究人员打算开发利用新型复合材料生产在高速气流中运行的各种结构元件的技术。

资料来源：新型航天复合材料耐高温又耐氧化[EB/OL]. (2022-07-28)[2022-11-07].
http://digitalpaper.stdaily.com/http_www.kjrb.com/kjrb/html/2022-07/28/content_539233.htm.

航空领域复合材料部件的完整解决方案

加拿大公司兰普夫复合材料解决方案（Rampf Composite Solutions）提供完整的解决方案，以便在航空航天工业中更好地实现自动化，从而提高复合材料的生产成本效益。为此，公司使用了量身定做的纤维放置技术和液体树脂系统。

兰普夫公司的制造和工艺解决方案包括材料鉴定、综合质量保证和自动化方面等，方案适用于结构件和内部应用。这种方法的好处在具有高度几何复杂性结构（下凹、弯曲、凹陷等）和必须满足难度高的功能规格（电磁屏蔽、静电放电、冲击保护、阻燃）的部件制造中尤其明显。

量身定制的纤维放置包括确定的刚度和强度，通过在需要强度或重量优化的地方有选择地放置和排列碳纤维和玻璃纤维丝来实现最大化。这优化了轻量化部件的结构性能--同时最大限度地减轻重量，减少碳纤维消耗和成本。

特殊的液体树脂系统（具有或不具有 FST 特性）能快速有效渗透到 TFP 预制件中：除了具有良好的润湿特性外，这些系统还适用于低温加工，例如，在 40°C 下进行树脂灌注。此外，关键的工艺步骤，如混合、脱气和计量，基本上都是自动化的。

该公司列举了用几乎完全由碳纤维复合材料制成的轻量化部件替代商业飞机中使用的不锈钢部件作为这种完整解决方案潜力的一个例子。该零件的重量减少到原来零件的五分之一左右，同时没有增加成本。

根据兰普夫公司的说法，用户通过这种显著的减重措施甚至实现了额外的运营成本节约。此外，只需生产 5 个预制板铺设工具。如果采用传统的复合材料设计方法和材料，预制板铺设工具数量将是 75 个。

“通过我们的解决方案，在飞机减重与提高燃油效率方面，过程更加自动化和具有成本效益。从草图到验证，我们的专家团队处理设计复杂的复合材料飞机部件所需的所有任务”。相关人员如此表示。

资料来源：航空领域复合材料部件的完整解决方案[EB/OL]. (2022-01-11)[2022-11-08].

https://m.thepaper.cn/baijiahao_16263809.

应用

法国企业推进复合材料 3D 编织预制件高效制造技术应用

法国圣戈班航宇公司和 Roctool 公司正在法国波尔多的工厂联合为航空、船舶、军事、通信等各种应用和行业提供快速复合材料或热塑性 3D 编织预制件制造能力。3D 自动编织预制层压技术以及提高固化效率的加热/冷却技术为复合材料和热塑性塑料部件的应用开辟了新的机遇。

圣戈班航宇公司于 2018 年 3 月开始应用 3D 自动化编织预制层压技术，能够优化部件的性能和重量，同时提高材料利用率。此外，该技术通过快速可复制的 3D 净成形制造取代了耗时的手工铺层，获得的预成型件可通过液态热固性树脂或在编织过程中掺入热塑性增强纤维进行固化。

为了加快固化过程（通常为 5~10 小时），塑料和复材模具加热和冷却技术企业 Roctool 公司开发了一种成型系统，将复合材料聚合或热塑性部件的热压缩固化效率提高到 15~30 分钟，同时将单个模具的生产能力提高 50 倍。Roctool 公司利用其专利的冷热布局，通过高频电流流过的柔性感应器在模具表面提供快速均匀的加热，并通过具有充分湍流流速的标准冷却通道实现有效冷却。

这两种技术的结合提高了制造速度，并为需要复合材料或热塑性部件的客户提供了应用窗口。同时，这两种技术都极大地改善了环境足迹。例如，编织技术不会产生任何浪费（平均节省 30% 的材料），也不需要任何冰箱来储存原材料（在传统复合材料行业中，预浸料在 -18℃ 下储存一年）。此外，与每条生产线对应 50 吨 CO₂ 的传统烘箱循环相比，快速感应系统可节省高达 50% 的能量（千瓦时）。

资料来源：法国圣戈班航宇与 Roctool 公司联合推进复合材料 3D 编织预制件高效制造技术应用[EB/OL]. (2022-05-10)[2022-11-07]. <https://www.cannews.com.cn/2022/0510/343468.shtml>.

GE 公司在 XA100 发动机中广泛使用陶瓷基复合材料

据 aero-mag 网站报道，GE 航空公司的 XA100 自适应循环发动机计划用于升级 F-35 战斗机，同时为美国空军第六代战斗机计划——“下一代空中主宰”（NGAD）提供动力。

下一代发动机的关键组成部分是陶瓷基复合材料（CMC），目前已经广泛应用于世界各地的商用发动机。GE 公司拥有业界第一个也是唯一一个集成的 CMC 供应链，已经生产数十万个这样的部件。与传统金属材料相比，CMC 在三个方面有利于发动机的性能：耐热性、重量和耐久性。2021 年，GE 公司配装在 CFM LEAP 发动机热端的 CMC 涡轮护罩的飞行时间超过 1000 万小时，生产数量超过十万个。据悉，世界上最大的商用发动机 GE9X 热端配装了五个不同的 CMC 部件。

这种商业上的成功促使工程师和项目负责人看好 CMC 及其对 GE 军用新发动机的影响。

XA100 发动机可在大推力和高效率模式之间切换，使其能够适应军用飞机在空中可能遇到的任何情况。该机 2020 年 12 月首次点火试车，成为第一台三流道自适应循环发动机。XA100 是所有商用或军用发动机中使用 CMC 最广泛的，这种部件有助于减轻重量、提高热效率，并创造了压气机和涡轮组合温度最高的世界纪录。

GE 公司还在 F414 发动机中运行了世界上第一个旋转的 CMC 叶片，通过 1000 次试验验证了该材料承受高性能军用发动机内环境的能力。

对于像 F-35 这样的战斗机，在高温和恶劣条件下提高耐久性至关重要。GE 公司研究中心的研究人员曾进行过使用钢球撞击 CMC 和非 CMC 板的对比试验，并用相机拍摄试验，验证了 CMC 部件的韧性。

资料来源：GE 公司在 XA100 发动机中广泛使用陶瓷基复合材料[EB/OL]. (2022-04-19)

[2022-11-07]. <https://www.cannews.com.cn/2022/0419/342115.shtml>.

市场

2032 年全球复合材料测试市场规模预计将达到 30 亿美元

2021 年全球复合材料测试市场规模达到 16 亿美元，预计 2022 年规模进一步提高到 18 亿美元，同比增长 12.5%。在 2022-2032 年预测期内，该行业预计将实现 5.2% 的复合年增长率，市场规模达到 30 亿美元。

根据市场研究和竞争情报提供商 Fact.MR 的相关数据，从 2015 年到 2021 年，由于复合材料在交通运输、航空航天、国防和风能领域的使用量越来越大，因此复合材料测试的需求以 3% 的复合年增长率增长。

随着复合材料在国防和航空航天工业中的使用日益增多，在现代商用飞机上进行复合材料试验的需求不断增长。飞机结构中使用的大量复合材料需要专门的测试程序，这为行业参与者创造了许多机会。

此外，复合材料的其他终端领域包括基建和建筑、体育用品、电气和电子产品，也在推动复合材料测试需求的增长。复合材料测试市场预计在未来 10 年内将翻一番以上，到 2032 年将达到 30 亿美元以上。

随着各行各业对复合材料需求的增加，复合材料测试的机会在未来几年似乎很有前途。随着航空航天工业对轻质复合材料需求的不断增加，以及质量和安全要求的不断扩大，复合材料测试正在成为一个有利可图且快速增长的商业领域。此外，在亚太地区建设尖端复合材料测试设施的巨额支出正在推动市场扩张。

复合材料测试程序广泛应用于飞机、汽车和航空航天领域，以鉴定复合材料的性能，预计在所有列出的行业中都会有大量投资。复合材料还广泛用于运动、船舶、建筑和其他高性能应用中的关键部件设计，这些应用要求遵守高水平的安全性和耐用性，导致复合材料市场受到严格限制，以满足复合材料测试和制造商的专有测试要求。

由于这一因素，预计未来几年全球对复合材料测试的需求将增加，为发展和盈利创造有利环境。不断扩大的石油和天然气行业，以及不断扩大的化工行业，将进一步推动对复合材料管道和储罐的需求。

各行业复合材料使用量增加、商用飞机产量增加、研发投入增加、各行业安全标准提高以及轻质材料需求增加等各种因素，都将推动 2022-2032 年预测期内复合材料测试的利润增长。



高加工和材料成本、缺乏意识以及缺乏适当的产品标准化是限制复合材料测试服务提供商的一些因素。目前，很少有公司投资研发尖端技术，更多的资金集中在开发相对有用的技术上。

这阻碍了复合材料测试服务的扩展。此外，从事复合材料测试的技术人员严重短缺，这阻碍了市场增长。此外，由于大多数工业活动已经停止，新冠肺炎大流行对复合材料测试的需求产生了重大影响，这反过来又对需求和供应链产生了重大的影响。对市场增长构成重大威胁的另一个方面是复合材料的不可回收性。

许多现有的通用材料回收技术不适用于高端复合材料，而且这些材料经常难以处理。目前正在大量研究，以解决复合材料处置和回收问题，这反过来将解决复合材料行业面临的主要挑战。

资料来源：2032 年全球复合材料测试市场规模预计将达到 30 亿美元[EB/OL]. (2022-10-13)
[2022-11-08]. <https://new.qq.com/rain/a/20221013A066X800>.

