

JEC COMPOSITES 中国

面向中国的先进复合材料工程技术

9

航空航天
Aerospace
仿真
Simulation

复材制造
Composites Manufacturing
工程/回收
Engineering/Recycling

革新方案
Innovation Solutions
维护/表征/轻量化汽车
Maintenance/Characterization/Lightweight Auto

ISSN 2707-3459

www.JECcomposites.com

2022.4

风驰电掣 主力前行

水性脱模剂 更安全 更环保

作为您可靠的合作伙伴，我们坚持以创新为己任，助力解决风电领域面临的生产挑战。肯天Chemlease®品牌提供丰富的产品系列，包括各种类型的封孔剂，脱模剂，底涂和清洗剂，协助客户有效改善生产力，提高生产效率，助力产品拥有理想的表面质量以及高结构完整性。并且能通过消除频繁的停产来有效减少能源浪费，降低VOC排放，同时专用的配套喷雾拖把大幅减少了脱模剂的使用和产品浪费。

请扫描二维码关注肯天微信或访问肯天官方网站，联系我们获取更多信息！



复材制造 Composites Manufacturing



2 工程

集成环路技术为碳纤维复合材料提供了新的高强度接头
Integrated Loop Technology Provides New High Strength Joints for Carbon Fiber Composites

6 回收

世界上第一个可完全回收的热塑性复合材料在航空航天领域的应用
World's First Fully-Recycled Thermoplastic Composite Application in Aerospace

专栏：航空航天 Special Report: Aerospace



8 航天

COMAC展示了其在传统航空和绿色航空领域的雄心壮志
COMAC Displays its Ambitions in Both Conventional and Green Aviation Industries

10 智能复材

F-COM——用于航空工业的功能性复合材料
F-COMP - Functional COMPosites for the Aeronautical Industry

12 热固性材料

织物转台退绕连续预浸料生产
Fabric Turret Unwind Delivers Continuous Prepreg Production

14 航空学

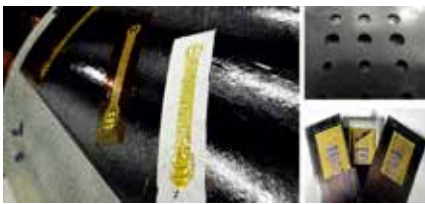
飞机发动机用热塑性复合材料支架
Thermoplastic Composite Bracket for Aircraft Engines

15 飞机内饰

飞机内饰的新型芯填料：节约材料、减轻重量和降低成本
New Core Filler for Aircraft Interiors: Reduced Material, Weight and Manufacturing Costs

17 密封

飞机生产中的优化密封
Optimized Sealing in Aircraft Production



专栏：仿真 Special Report: Simulation



18 建筑与施工

建筑和施工的未来在于项目模拟
The Future of Building and Construction Lies in Project Simulation

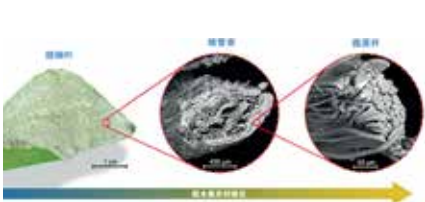
21 片状模塑料

在早期设计阶段做出SMC决策
Making SMC Decisions at an Early Design Phase

22 数据管理

ICME和材料数据管理，实现更灵活的先进材料设计和工程
ICME and Materials Data Management for More Agile Design and Engineering of Advanced Materials

解决方案 Innovation Solutions



24 表征

PVT装置：表征复合材料的体积和线性变形
PVT device: characterizing volumetric and linear deformations of composite materials

26 轻量化汽车

埃及团队开发出第一种纺织棕榈纤维及其增强材料
Egyptian Consortium Develops First Textile Palm Fibers and Reinforcements

27 维护

GFRP盐酸储罐的降解机理及维护
Degradation Mechanism and Maintenance of GFRP Hydrochloric Acid Storage Tanks

JEC COMPOSITES中国

Industrial Communications Group Ltd.

魏斯礼 Bruno Wase-Bailey
董事总经理 Managing Director
www.ChinaEngineeringMedia.com
www.JECcomposites.com/china

艾康商务咨询（上海）有限公司
上海市静安区武定路555号8楼837室
电话 Tel: 21 3251-7225

订阅期刊 Subscription: subs@icgl.com.hk

承印：上海钦钦印刷科技有限公司 Printed by Shanghai QinQin Printing Co. Ltd.

广告业务 Advertising:

中国大陆 China: 21 3251-7225, sales@icgl.com.hk
国际: Raheel Mohammad, +33 1 89 20 40 65, mohammad@jeccomposites.com
Franck Glowacz, Editor-in-Chief/Media Director, glowacz@jeccomposites.com
Nelly Baron: Marketing/Communication Director, baron@jeccomposites.com

2020年版权所有 © Copyright 2020 JEC Composites Magazine. All rights reserved.
JEC集团授权Industrial Communications Group Ltd. 独家出版《JEC Composites中国》。经授权的所有材料都隶属于JEC Composites Magazine. 未经书面许可，不得进行任何形式的复制和转载。
国际发行刊号：ISSN 2707-3459

集成环路技术为碳纤维复合材料提供了新的高强度接头

Integrated Loop Technology Provides New High Strength Joints for Carbon Fiber Composites

将 3D 打印工具与自动连续轴向纤维放置相结合，可以经济高效地生产具有完全集成接头的更轻、更坚固的复合材料结构部件。

Tomáš Ponižil, Mechanical Engineer; Humphrey Carter, Head of Business Development, Compo Tech PLUS, SPOL. S R.O.

对于复合材料来说，一个反复出现的设计工程挑战是，如何避免在结构部件截面之间的受力承重接头处增加重量和降低机械性能。尤其是当过度层压不足，需要机械固定件来实现最终应用所需的连接性能的情况。

机械固定和紧固件系统（有时可以模制）的结合通常是二次制造步骤，这增加了时间和成本。因为粘合不足，复合材料零件通常需要在 FRP 层压板上钻夹具孔。许多设计师面临的困境是，夹具孔的钻孔会切断增强纤维，降低层压板的机械性能。为了克服这种性能损失，FRP 模具设计通常允许在生产过程中，在承重固定点区域将额外的加固层嵌入复合材料零件中。然而，缺点是使组件变得更重，进一步增加了材料成本。

集成环路技术

总部位于捷克共和国的 Compo Tech PLUS, SPOL. S

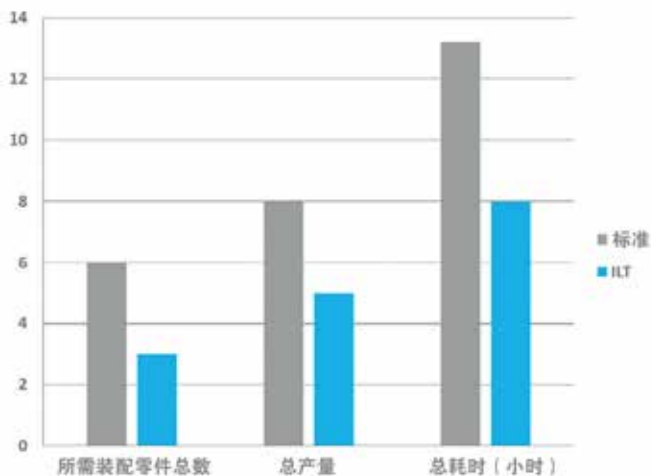


图 1：标准与集成环路技术 (ILT) 生产的比较——CF 环氧树脂材料三级阶梯段的工艺步骤数据

R.O. 公司开发了一种连续轴向纤维集成环路技术 (ILT) 工艺，可以克服接头设计问题。该工艺为制造商提供了一个自动化系统，用于快速、经济高效地生产更轻、更坚固的 FRP 环氧树脂管状结构件，这些部件之间的接头是完全集成的。

关键 ILT 生产和性能优势包括：

- ✓ 高效材料的使用——可以消除碳纤维增强贴片或过度层压接头；
- ✓ 减少加工——在 ILT 灯丝铺设过程中设计的接头孔；
- ✓ 减少整体生产和劳动时间——生产率提高，零件成本降低；
- ✓ 接头更牢固——尤其是具有拉伸或弯曲应力的零件。

CompoTech 正在通过一系列进行中的开发项目来验证其最新的创新技术，以证明 ILT 自动化生产流程的生产力、性能和商业效益。一个关键项目是成功制造内部设计的“enduro”山地自行车车架原型，将其集成环路工艺用于所有互连的环氧碳纤维自行车车架子组件的接头。该项目已经证明，与目前使用的组装方法相比，ILT 环氧碳纤维自行车车架的制造时间可以缩短一半。

除了定制生产碳纤维环氧组件外，该公司还有一个战略业务目标，即向有意使用这种新技术在当地生产和采购产品的制造商提供 ILT 许可证，而不是从其他贸易地区进口产品。

这对于帮助减少整个供应链的碳足迹变得越来越重要。ILT 使自动化生产商的反应速度更快，成本更具竞争力，尤其是在向目前由主要出口商主导的市场供应零部件方面，例如复合材料自行车车架制造商，其手工铺层和组装的人工成本非常低。

不断发展的纤维铺层技术

CompoTech 成立于 1995 年，其生产、设计工程和研发设施位于捷克共和国西南部的 Sušice。该公司目前有 50 多名员工，其中包括 20 多名研发、设计和生产工程技术人员。近年来进行了关键投资，以提供 6 轴光纤铺设和使用 3D 打印的内部快速工具制作能力。

从那时起，高技术团队设计、制造和供应了各种轻质、减振碳纤维 (CF) 环氧复合圆柱和矩形梁。所有部件均使用湿的双组份环氧树脂体系制造，该系统分两个阶段固化，首先在 50°C 的热箱中，然后在烘箱中固化。

该公司最初的成功是建立在使用“针”缠绕自动化生产技术，开发自己的轴向纤维铺层的基础上。其性能优势是，与使用传统的纤维缠绕技术相比，使用真正的 0 度纤维拉伸的碳纤维环氧梁轴向刚度提高了 10 - 15%，弯曲强度提高了 50%。

通过结合 ILT 和轴向纤维铺设工艺，CompoTech 可以经济高效地生产具有三维连续纤维增强的高性能复杂形状薄壁或厚壁 FRP 环氧复合材料零件。经过调整的纤维缠绕技术可以沿组件的长度放置连续的轴向。环路技术用于在梁端精确放置纤维，以创建完全集成的接头连接。

CompoTech 的 CF 环氧树脂组件通常会取代传统的钢和铝，在生产中提供一系列振动、偏转、变形、速度、生产率和节能效益。成功的应用包括：工业机床横梁；驱动轴；自动冲压生产线的吊杆和横木；农作物喷雾器吊杆；航空航天构件；游艇桅杆和桅杆；最近还有自行车车架组件。

新的集成环路制造能力是该公司针对先进复合材料最新的连续纤维铺放自动化的一项加工创新。其成熟的“混合型”自动纤维铺层 (AFL) 加工技术被提升到了一个新的水平，它结合了巧妙的 3D 打印定制纤维销工装，从而创建了一个碳纤维没有断裂的完全集成的连接孔。ILT 工艺无需在夹具区域周围铸造壁较厚的部分，也无需进行任何模后钻孔。它开辟了新的设计方案，并为产品制造商提供了一种更具有成本效益的方式，以发挥采用高性能、轻质管状 FRP 复合材料组件的应用优势。

联合生产能力

ILT 生产工艺可以制造单个大空心集成环端接头或多个单独的环，以适应特定的固定装置和紧固件系统。这两种连接设计方案都是作为主碳纤维环氧管子组件管段的无缝组成部分制造的。在整个设计和生产过程中，采用了严格的 ISO 9001 质量控制认证体系和检查，以确保在每个部件中提供所需性能的可重复性和可靠性。

集成环接头通常是围绕金属工具芯轴形成的。在生产过程

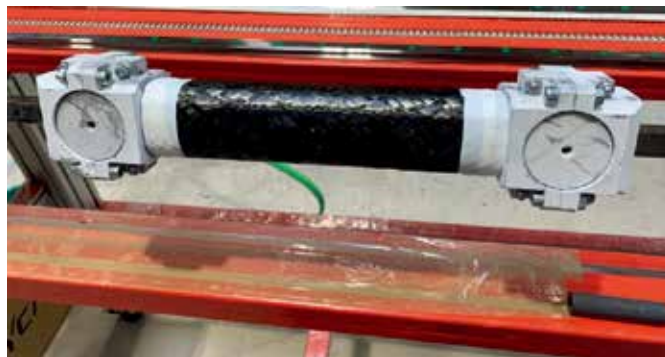


图 2：集成回路技术 (ILT) 生产的狗骨试片。

中，镶件，如金属套筒，也可以并入环形接头部分。连续湿环氧树脂浸渍碳纤维被精准地放置和定向缠绕，以提供所需的刚度、压缩、弯曲和扭转力。一旦单个组件完全固化，就可以组装了。

ILT 零件的优点是装配零件和生产操作需要的更少。通过在集成回路接触区域涂抹合适的双组份环氧结构粘合剂，可以定位子组件部件并将其快速粘合在一起。最终粘合的 ILT 接头提供了优异的性能。

根据需要，可通过在管的一端或两端形成集成环接头制作长不超过 12 米、直径不超过 2 米的椭圆形、圆形和锥形环氧碳纤维复合材料管。CompoTech 使用的 3 D 打印定制工具和工艺编程可以创建指定长度、直径和层压板壁厚度的梁端连接设计。目前，可以生产 60° - 90° 之间的集成环路接头的角度能力。试验正在进行中，以实现更大的锐角下降到 45 度。

生产效益

与通常用于连接管状 FRP 复合材料组件的标准工艺步骤和方法相比，ILT 工艺的生产效益是显著的。ILT 组件不需要机械加工和添加固定件，而是简单地固定到位。通过使用 ILT 设计的零件，可以减少材料费用 (BOMs)，避免昂贵、耗时的 CNC 加工和装配步骤，从而提高生产率并降低直接生产成本。

CompoTech 通过在制造一种非常轻的碳纤维环氧高性能战术梯的对比生产试验中清楚地证明了这一点，该梯常用于应急服务、执法或军事人员。



图 3 (a) 和 (b)：ILT 环氧树脂碳纤维作战梯。



图 4：CompoTech 开发的 CDURO 山地自行车车架的 ILT 零件。

该公司的集成环路技术是为两端带有 ILT 接头的模块化梯子生产“狗骨”设计梯级的理想选择。对于三级梯段，它们能够取消加强件的需求，并在每一端可插入零件，这样所需的装配部件数量减半，并节省成本和重量。关键是，自动 ILT 工艺通过减少一次车削、二次铣削和三次装配操作（见图 1），将总生产时间缩短了 39%，仅为 8 小时。

带有 ILT 横档接头的环氧碳纤维战术梯子是一种模块化设计。军用梯子的基本规格特征包括需要尽可能轻、非常高的强度、短距离内可运输，并在现场可快速组装和拆卸。与捷克科技大学 (CTU) 共同测试的狗骨设计 ILT 样件是由 CompoTech 生产，并以此作为新产品开发过程的一部分。军事人员在极端条件下严格执行了承载能力和最终使用性能的指示性测试。

另一个正在进行的内部 ILT 项目也显示出了显著的生产效益，那就是由 CompoTech 设计的“enduro”山地自行车原型，其相对组装时间减少了 50%，并降低了整体车架重量和成本。该项目已经证明，与传统的使用标准设计子框架接头生产车架相比，使用 ILT 接头制造的相同环氧树脂碳纤维自行车车架的组装时间约为一半。

ILT enduro 自行车车架

山地自行车在该地区非常受欢迎，因为它靠近美丽且富有挑战性的 Šumava 山脉，也是在捷克共和国举行欧洲自行车系列赛 (EES) 的场地。

CompoTech 的联合创始人兼研发总监 Ondřej Uher 肩负着



图 5：组装完整的 CDURO 山地车原型。



图 6 (a) 和 (b)：CompoTech 的 ILT 工艺对环氧树脂碳纤维复合材料自行车车架的益处。

使用设计工程的个人使命以及该公司的自动化工艺技术，使高性能自行车制造商能够更经济高效地生产更好的复合材料车架。

山地车是一款引人注目的在极限运动中的应用，它展示了该公司在车架连接方面的创新技术，并验证了产品性能和商业效益。CompoTech 已经参与了捷克技术大学 (CTU) 的一个博士研究项目，该项目成功地创建了数学模型来测量自行车车架节点在拉伸、压缩、弯曲和扭转中性能的可靠性和可预测性。

该公司的研发团队，包括 CTU 的研究生和有竞争力的山地自行车 Tomáš Ponižil，他们设计了自己的 CDURO 环氧碳纤维山地自行车车架。采用专用的纤维缠绕和集成环路工艺技术，制造相互连接的框架分装零件，即底部支架壳体、链条撑杆和顶部、头部、链条撑杆和座椅管状部分。为了在研发实验室之外收集机械性能数据，已完成开发的 CDURO 自行车安装了应变传感器，以便在骑行时收集数据。

Ponižil 在要求苛刻的 Šumava 山 Enduro 赛道上对 ILT 联合开发自行车进行了实地测试，赛道上有跳跃、岩石区域和陡峭路段，这些路段在树木中扭曲和转弯，将自行车和骑手推向极限。Ponižil 解释说：“原型自行车车架测量数据的结果，以及我们的内部测试和 CTU 联合性能研究项目的结果，都将用于帮助验证我们的环路技术。”其目的是为设计师提供有关 ILT 适用性的实实在在的数据，不仅适用于自行车车架，也适用于其他要求苛刻的应用。在这些应用中，分装零件之间的结构接头是一项设计挑战。

最初，CompoTech 计划进行一次性设计框架的小规模生产。但是，主要目标是展示该项技术，并在各种市场上向终端生产商提供服务。该公司希望为公司生产符合其规格的框架，或提供技术和技术支持，使客户能够根据许可证自行生产。

未来的应用

该团队已经开始寻找可能的市场、产品和应用，将使用 ILT 接头连接的复合材料零件增加其价值。最近，一个新的学术项目开始评估轻型移动起重设备和起重机的新设计，以减少货车或卡车的总有效载荷重量，并通过减少框架重量来提高最大起重能力。此外，还可以利用集成回路工艺来减轻传动轴和液压系统的重量。

使用具有集成轴套的框架和结构件的产品被视为关键的重设计目标领域，特别是模块化系统。CompoTech 还将其新的集成环路工艺视为一个机会，可以在工业自动化、搬运和机械系统领域现有成功业务的基础上，帮助 OEM 设计工程师开发更轻的自动化臂和执行器，以满足更小、更低规格的动力装置和驱动系统的需求。对该使用该设备的公司来说，后续的成本、生产率和环境效益非常有吸引力，能够更快地运行生产线，减少磨损和能耗。该公司的期望是，这些优势将为一些制造商提供足够强大的商业案例，以便将这种能力添加到他们的生产工厂中，并投资许可这种高度创新的自动化集成回路连续轴向纤维铺设技术。

www.compotech.com



MagPro

By Brucite+

www.bruciteplus.cn

info@brucite.plus

+7 (495) 789-65-30

用作SMC/BMC工艺生产复合材料制品的 高效增稠剂

MagPro[®]高活性氧化镁，是间接煅烧粉碎的天然氢氧化镁而获得的粉末状产品。MagPro[®]150和MagPro[®]170用作SMC / BMC工艺生产玻璃纤维填充用复合材料的增稠剂。

用于增加复合材料粘度的氧化镁，应具有高比表面积（130m²/g以上）和稳定的粒度分布。选择正确的增稠剂，是获得无成型缺陷、无裂纹、无凹陷的优质零件的最重要条件。

MagPro[®] 的优势

- 不含关键杂质-硫酸盐和氯化物
- 粒径精确且均匀
- 生产、运输及储存过程安全
- 质量稳定
- 采用绿色环保的原材料制成



世界上第一个可完全回收的热塑性复合材料在航空航天领域的应用

World's First Fully-Recycled Thermoplastic Composite Application in Aerospace

研制了一种由回收的热塑性复合材料制成的旋翼机盖板，并成功的进行了飞行试验。利用一种新颖的回收途径，这种面板能更轻，成本更低。

Dr. IR. Ferrie W.J. Van Hattum, Professor Lightweight Structures, TPAC

为了展示一种新型的热塑性复合材料 (TPC) 回收方法，本文选择了一种用于旋翼飞机的盖板进行了详细设计和测试，并进行了实际飞行测试。

盖板

盖板设计、开发和验证都遵循传统的构建块方法。使用的材料是碳纤维增强 PPS，其来自工业用后废料。这种材料是在生产相同旋翼机部件时产生的边角料，而且生产的盖板仍将被安装在上面。该方案有助于控制回收盖板 / 废料的可追溯性。这种应用程序的开发改善了物流以及回收 TPC 的供应和需求。通过力学测试中收集材料数据，并用于预测面板的强度和刚度。利用有限元模拟，就零件刚度和内应力分布对纵梁设计进行了优化。选择了一个关键的设计细节并进行了验证测试，即螺栓接头的弯曲测试。该部分以及其他集成设计功能，如厚度转换和各种类型的加强筋都被包括在了初步的一个制造样品中。所制造的样品使有关设计和加工能力的制造极限测试成为可能。最终设计的面板门已成功生产，并在组件级别进行了测试。

该专有的再制造过程包括以下三步：

- 将废物粉碎成厘米长的薄片；
- 同时加热和低剪切混合；
- 在等温模具中压缩成型

这为保持长纤维提供了机会，从而在等温模压成型的短周期内达到高机械性能。与当前的碳纤维 / 环氧树脂手工铺层方案相比，新产品更轻、成本更低，并且是由可回收材料（纤维和基体）制成的。图 1 为已成功进行飞行测试的回收热塑性盖板。

TPC-Cycle 回收项目

这项创新是 TPC-Cycle 回收项目的一部分，该项目启动于 3 年半前。随着热塑性复合材料应用和生产的增长，产生的废

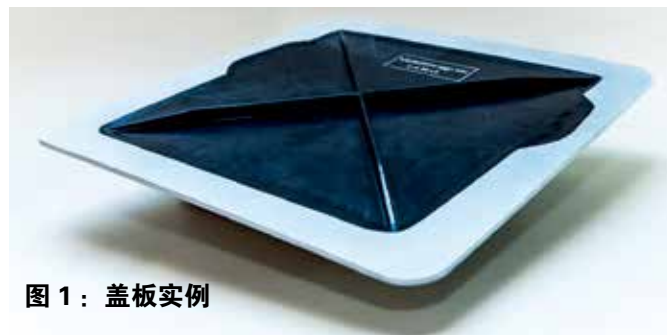


图 1：盖板实例

料数量增加，并达到相当大的数量。虽然热塑性复合材料的回收在理论上被认为是可行的，但在实践中还没有观察到。

由于热塑性复合材料的价值高，以及法律和环境方面的原因，开发针对热塑性复合材料的回收解决方案至关重要。如图 2 所示，该项目以生产废料为目标，为高端和大批量市场开发回收路线。其目标是保持热塑性复合材料的高机械性能，并以可承受的成本减少对环境的影响。该研究项目包括从废料收集到粉碎、再加工和应用的过程。它是与行业合作伙伴合作开发的，并关注每步流程的总价值链。该回收方案的特点是周期短，净型制造，并能生产复杂形状材料。通过采用长纤维可获得较高的机械性能。开发了多个样品，以展示在高价值市场（含航空航天部件）和高销量市场（含安全鞋鞋头）中的可能应用。航空航天样板已经在旋翼机上应用成功。

价值

新的旋翼机盖板比原部件更轻，其生产成本大幅降低。由于采用了节能工艺和回收材料，该产品更具可持续性。在这一应用领域，重量至关重要，因此它是使用这类材料的关键动机。重量的减少不仅来自于材料的机械性能，还来自于由于材料的可加工性，因为可以通过使用桁条优化实现几何加固。桁条的方向选择是为了在产品上更均匀地分布应力，从而减少材料消耗，继而减轻重量。与目前的碳纤维 / 环氧手工铺层组件相比，这些方案可减轻 9% 的重量。

另一个额外的好处是材料和工艺层面上的成本降低。由于当前的废料被丢弃，因此通过再利用回收的材料，实现了大量的材料优化。此外，与使用原始材料相比，回收解决方案的所有步骤都能最大限度地提高成本效率。因此，与原始部件相比，制造回收部件可大幅降低成本。回收路线通过缩短整体制造周

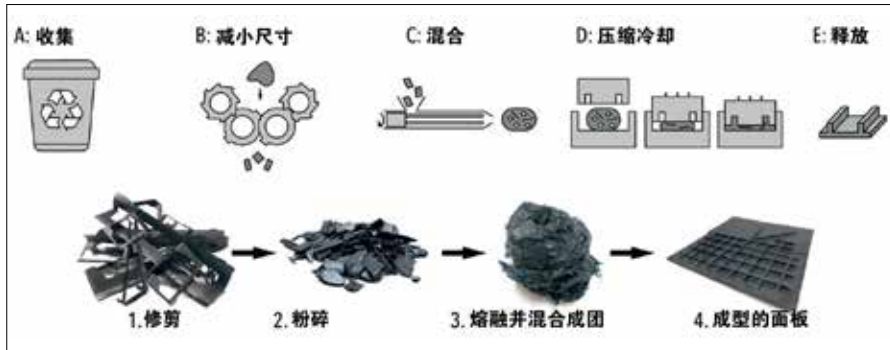


图 2：TPC – Cycle：热塑性复合材料的新回收途径

主要优势：

- 回收热塑性基体和纤维（即完整材料）；
- 成本降低两位数
- 大幅减重；
- 快速的非热压过程，循环时间为分钟级；
- 复杂几何形状的净型制造。

期来进一步降低成本。通过使用等温模具、快速脱模和净型制造的高压釜外工艺，与目前的生产相比，生产工艺时间显著缩短。

影响力

这一创新有利于各个层面的共同利益。正在进行的生命周期分析 (LCA) 的初步结果显示，在材料、制造和使用阶段，二氧化碳显著减少。所述原材料在制造过程中回收利用，从而避免了后处理；因此，比率（航空工业）显著提高。此外，由于碳纤维的生产是一个能源密集的过程，这将使得二氧化碳和能源消耗大幅度降低。与纤维回收工艺不同的是，这种聚合物可以回收，从而减少了浪费，而且不需要清洁、上浆和重新浸渍纤维。回收工艺路线包括以下步骤：缩小尺寸、混合和压缩成型。在回收利用的行业标准中使用的是能耗低的粉碎。在粉碎过程中，在排放物分析中未观察到灰尘。在混合步骤中，有效的熔化材料。压缩成型在等温模具中进行，与需要加热和固化周期的回收工艺相比，这大大降低了能耗和循环时间。当前热固性盖板的制造包括高压釜过程。取消这一步骤将会大大减少能源消耗和二氧化碳排放。与热固性复合材料相比，使用热塑性复合材料时，加工过程中产生的有害挥发性有机化合物 (VOCs) 可以忽略不计。减轻近 10% 的重量可节省使用阶段的燃油消耗量。初步的生命周期评价结果表明，显著降低能耗和二氧化碳排放的主要原因是重量较低、回收材料和脱模过程中的模具等温。可以使用生产过程中回收的各种类型的材料如下，例如预浸料或半预浸料，但也可以使用厚的固化层压板。目前正在调查废料应用面临的挑战，并提出了废料污染的解决方案。通过这种方式，热塑性复合材料正在缩小与循环经济的差距。

进一步发展

开发应用和发展过程表明，类似的解决方案也适用于高端产品。由于周期短，这一过程也适用于比航空航天规模更大的市场。目前正在采取多项措施，以评估批量化生产中的生产过程。目前正在进行更详细的成本和环境研究；质量控制和检测也需要考察。与此同时，一项可行性研究正在进行中，以确定该方法和回收路线是否可以应用于其他航空航天产品，如（非结构）整流罩、盖板和系统支架。对于这几种

类型的零件，降低成本和重量的希望是非常大的。

合作伙伴

该项目涵盖了从尺寸缩减到 OEM 的整个价值链，如图 3 所示。Nido Recyclingtechnologie (Nijverdal, 荷兰) 负责研究工业用后废料的尺寸缩减。Toray Advanced Composites (Nijverdal, 荷兰) 提供对热塑性复合材料和材料的认知。并与 Cato Composites (Rheden, Netherlands) 和 Dutch Thermoplastic Components (Almere, 荷兰) 交流有关于 TPC 材料加工的挑战、解决方案和知识。热塑性复合材料应用中心 (TPAC, Enschede, 荷兰) 正在引领回收路线的发展，并与项目合作伙伴一起生产面板。热塑性复合材料研究中心 (TPRC, Enschede, 荷兰) 参与了与回收路线和复合材料解决方案相关的更为基础的研究。Saxion 大学和其他大学的研究人员和学生参与了下一代 TPC 专业人员的教育和培训。该项目得到了荷兰科学研究组织 (NWO) 下属的 Regieorgaan SIA 的财政支持。GKN Aerospace 设计并测试了盖板。

在旋翼飞机项目中，GKN 公司负责设计和制造 V 型尾翼，其中也采用了 TPC 组件。盖板是由这些热塑性塑料尾翼组件在实际生产中的废料（闭环重复使用）创建的。

TPAC 科技总监 Ferrie van Hattum 表示：“目前的项目强调了涉及整个价值链的应用研究在推动从最初的想法到创纪录的工业上可行和经过测试的产品方面的作用。”

关于 TPAC

TPAC 热塑性复合材料应用中心与 SMEs 密切合作，致力于热塑性复合材料的经济高效加工、自动化和回收。TPAC 是一个独立的创新、研发中心，旨在从应用研究层面探究热塑性复合材料及其制造工艺。该中心专注于热塑性复合材料和相关技术的应用，为 SMEs 提供概念验证。它为希望在热塑性复合材料领域进行创新的地区和国家公司提供了一个培育基地，为他们提供专业知识和制造设施。TPAC 与 Saxion 大学直接合作，也积极参与教育，从而为市场提供具有热塑性复合材料的最新技术知识的年轻专业人员。

COMAC 展示了其在传统航空和绿色航空领域的雄心壮志

COMAC Displays its Ambitions in Both Conventional and Green Aviation Industries

在未来几十年里，中国最终将建立一个传统的航空工业。与此同时，中国会在开发未来绿色飞机方面超越西方同行，从设计到基础设施，包括零部件和复合材料，一切都需要发明创新。

最近，中国东方航空公司与国企中国商用飞机有限责任公司 (COMAC) 签署了一份窄体中程客机 C919 的采购合同。首批将引进 5 架飞机，中国东方航空公司宣布，它将成为世界上第一家运营 C919 飞机的航空公司。业内专家表示，多年前 C919 已经和许多中国航空公司签署了合同，包括国有的三大航空公司 (国航、东航和南航)。但这一声明意味着，它现在似乎更有可能在 2021 年或 2022 年投入使用。尽管中国对 C919 寄予厚望，但西方航空公司最终是否会购买这架飞机仍存在不确定性。据全球咨询公司 (AlixPartners) 董事总经理 Pascal Fabre 称，C919 主要采用了西方最新的设备和发动机 (CFM 公司的 LEAP 1C)，与 ARJ 21 相比，它的性能将会有所改进，但是 ARJ 21 不能飞到中国境外。

“但欧洲航空安全局 (EASA) 或美国联邦航空管理局 (FAA)



窄体中程客机 C919 即将投入使用。(来源：新华社)

等其他权威机构的认证目前还没有到手。在中国之外，在不排除 Airbus 或 Boeing 的情况下，它肯定会发挥作用，受中国政治影响力较强的国家中的一些航空公司可能会购买。但中国国内市场已经足够大，除了认证之外，COMAC 还需要确定飞机的可靠性和工业性能，这是需要耗费数年时间的重大过程。” Pascal Fabre 说。

至于远程宽体客机 CRJ929，从俄罗斯和中国利益相关之间的项目管理角度来看，其开发从一开始就极其复杂。在 2030 年前它还没有计划投入使用。

国产碳纤维零件

几十年来，中国一直在发展航空结构能力，最初是为包括空客在内的西方 OEMs 和国内项目工作。中国通过收购几家供应商 (Thompson AERO Seating、AIM、FACC...) 扩大了其客舱能力，并将其建立在 AVIC 客舱系统之下。但是，Pascal Fabre 表示，“发动机仍然是一个门槛极高的领域——全球只有少数几家公司掌握了一流技术的结构和材料。”随着北京和华盛顿之间的贸易战演变为一场争夺科技霸权的战争，并在过去两年内蔓延至航空业，最近的一些举措确实表明了中国实现自给自足的意愿。其中，于 2021 年初在上海洋山自贸区成立的中复神鹰最近启动了一个研发制造项目，旨在开发用于航空的

复合材料是未来可持续发展飞机不可或缺的一部分

根据 JEC Observer 对 2019-2024 全球复合材料市场的概述，复合材料在航空航天行业的增长速度超过了其他材料，市场渗透率达到了 15% 左右。然而，下一代飞机是否会集成高水平的复合材料还存在不确定性。值得注意的是，发动机的改进是提高燃油效率的驱动力，与复合材料的使用相竞争。无论如何，研究人员现在将复合材料纳入绿色技术挑战。前年，中欧合作项目 ECO-COMPASS 完成。该项目旨在通过国际合作评估改善生态复合材料在航空领域的潜在应用。在 19 个参与组织中，中国协调员是宁波诺丁汉大学 (UNNC) 先进复合材料的李达三首席教授益小苏。

益小苏和项目合作伙伴采用了中国特有的植物资源苧麻，成功研制出一种苧麻织物增强复合材料，经证明其具有优异的机械性能。“它的应用可能会加速亚麻产业的升级，并为全球技术发展做出贡献，”他说，“我们的研究和技术应该具有国际竞争力。”



COMAC 宣布其灵雀 H 氢燃料电池样机演示试飞成功。(来源: COMAC)

碳纤维解决方案。这家新公司注册资本 2 亿元 (3040 万美元)，计划投资 5.15 亿元 (7840 万美元)，主要从事航空树脂、航空碳纤维中间体和成品的研发和制造。据中国国有集团 CNBM 旗下的中复神鹰总公司称，“该项目投产后，将进一步增强公司在高端碳纤维应用技术方面的实力，延伸到下游产业链，并为加快大型飞机原材料国产化进程做出积极贡献。”

相同的绿色起始线

另一方面，绿色航空是中国早期进入的新战场。2019 年 3 月，COMAC 宣布其灵雀 H 氢燃料电池样机演示试飞成功。灵雀 H 型飞机的翼展为 6 米，辅以锂电池，可以配备不同的尾翼和起落架类型。据 COMAC 称，作为概念机，该飞机自 2019 年 1 月以来已完成了 10 次试飞，最新的成功意味着新能源民用飞机的开发取得了实质性进展。“灵雀 H”由 COMAC 与国家电网、总部位于深圳的格力以及北京航空航天大学航空科学与工程学院合作开发。

Pascal Fabre 认为，这一突破并不一定能证明中国航空工业在氢燃料电池开发方面领先于西方同行。“与其他提议相比，很难评价他们的成熟度——他们的演示规模较小，我们对进展情况并不完全清楚。许多西方 OEMs 和初创企业都在研究氢能在航空中的应用，包括通过燃料电池的方式，一些瞄准能在 2025 年前的应用，如 Universal Hydrogen，还有一些像 Airbus 他们设定的目标，到那时实现成熟的技术，继而在 2035 年新的绿色飞机投入使用。”

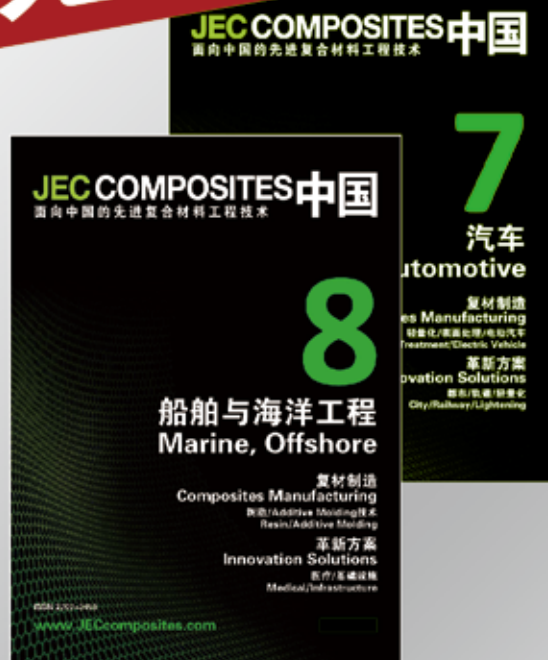
正如在汽车行业所观察到的那样，也许中国最终将无法在传统航空业中领先，但在绿色航空业中将会拥有所有机会。Pascal Fabre 评论说：“他们确实有机会站在绿色航空前沿上，因为每个人都站在同一条起跑线上，而且他们已经明确将氢能作为战略重点。”

在过去的五年里，中国的氢能产业在国家和地方层面都得到了越来越多的监管支持。从 2015 年起，国务院将氢能列为中国制造 2025 计划的关键技术之一，该计划是一项加强和升级中国制造业的国家战略。

www.comac.cc

覆盖海陆空、能源、医疗制造的先进培训

免费订阅



JEC 中国：先进的复材加工技术内容独家授权于扎根业内 25 年的 JEC Composites Magazine。

Advanced composites engineering content licensed from the 25 year old JEC Composites Magazine.

经审核的高层人员可免费订阅本刊。Subscriptions in China are **FREE** to qualified engineering managers.

请将以下信息发送给我们。Email us your

- 姓名 Name
- 职位 Job Title
- 公司名称 Company Name
- 公司地址及邮编 Company Address
- 公司网址 Company Website

并注明“我想订阅J” subs@icgl.com.hk
或登录 www.ChinaEngineeringMedia.com

F-COM—用于航空工业的功能性复合材料

F-COMP – Functional COMPosites for the Aeronautical Industry

在 F-COMP 项目的研究框架中，Naitec、Estia、Microlan 和 Hegan 合作开发了一种在复合材料中嵌入电子器件的解决方案。

Anaïs Domergue, Materials & Additive Manufacturing Engineer, Addimadour

该项目旨在将柔性电子、复合材料和增材制造领域现有技术与精密机械加工结合起来，为航空 / 航天工业生产集成印刷电子的功能性复合材料零部件。Nouvelle-Aquitaine Euskadi Navarra 欧洲区促进和资助了该项目。

背景

大多数现有结构的主要功能是维护一个已定义的配置，并支持它们所承载的元件，同时确保不同部分之间的荷载转移。多功能结构可能还有其他目的。例如，在航空航天应用中，机身具有主要的结构功能，但也提供了保护乘客和机组人员免受外部环境影响的次要功能；商用飞机的机翼产生升力，但也装载了飞机的燃料。一般来说，与单一功能的系统相比，在同一个系统中集成多个功能可以提高性能。航空结构件的效率也与它的重量和体积有关。由于目前的电气系统非常复杂，需要许多支架、机械紧固件、绝缘材料和连接器，因此它们在结构中占了很大的体积和重量。

解决方案

该联盟提出的解决方案为航空航天业提供了具有嵌入物的更轻、更智能的零部件 (图 1):

✓ 轻量化。航空结构件的效率与它的重量和体积有关。当前的电气系统非常复杂，构成了相当大的体积和重量。如果所有需要这些功能的部件都实现了功能化，那么电气功能和结构体积之间的比率就会增加，重量和体积就会显著减少，系统中结构的组装也会简化，从而大大缩短飞机制造的交付周期。

✓ 智能化。将传感器系统集成到复合材料零件中，对于不

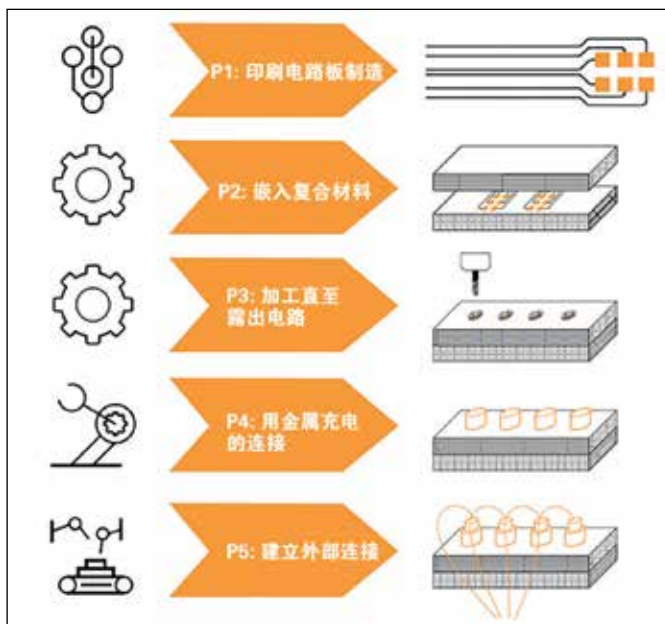


图 1: F-COMP 初始目标。

同的应用来说，比如实时测量某些零件的应力和变形的能力，是很有意义的。它还可以用于恢复零部件寿命期间的材料健康数据 (结构健康监测)。这对于复合材料部件来说尤其重要，因为目前的无损检测方法成本高昂，需要有认证的操作人员，而且还要求结构件在一段时间内停止使用。这在航空结构件方面是一个主要的缺点，但在太空领域，例如在卫星上，也是不可能的。因此，多功能结构件可以降低整体成本：设计、生产计划、



图 2: 不同基板上的印刷传感器。

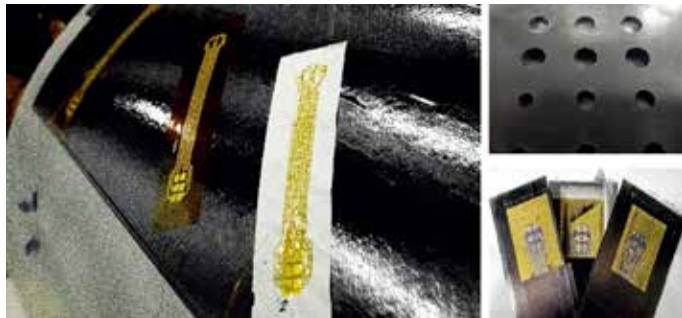


图 3: 将传感器嵌入复合材料中。
图 4: 左侧为精密加工，右侧为磨料水射流加工。



图 5: 传感器的外部连接 (外部电缆)。

测试和生产过程都是针对单个部件进行验证，而不是针对单功能系统的每个组件进行验证。

挑战

在将传感器系统整合到碳纤维复合材料结构中时，需要考虑以下几个问题：

- ✓ 整合体系的电气绝缘（电路必须绝缘，但绝缘应能散热）
- ✓ 在不降低结构性能的情况下，复合材料部件的结构完整性和整合系统的完整性（捕捉和/或触发的能力，但也支持负载）
- ✓ 实施所需的工作时间；
- ✓ 传感器响应均匀性；
- ✓ 传感器响应一致性。

实验

P0. Hegan（Basque 国家航空航天集群协会）帮助促进并代表 F-COMP 项目在航空领域的发展。

P1. Naitec 是 Navarre 的一个技术中心，负责开发柔性电子传感器（印刷），并研究传感器的绝缘性。可以使用许多不同的基材（碳纤维和玻璃纤维、聚酰亚胺、纸张等）。对每个基板的机械冲击进行了表征（图 2）。

P2. 该项目得益于 Estia 在复合材料制造方面的专业知识（通过 Compositadour）。他们监督将印刷电路嵌入复合材料，确保材料内部传感器的完整性，并减少其对结构的机械性能影响（图 3）。

P3. Microlan 是一家专门从事精密加工的公司，负责复合加工步骤，目的是在不损坏传感器连接的情况下显示传感器的连接。一种基于磨料水射流加工的替代方案也正在 Compositadour 进行测试，使用超声波分析来检测复合材料内传感器基板的位置（图 4）。

P4&5. 通过冷喷涂对传导区进行重新充电的试验表明，即使在低压、低送粉率和电路与机器喷嘴之间的距离较大（能量影响最小的参数）的情况下，颗粒在连接区域的附着力也非常低。此外，新的充电通道往往会删除之前的通道。由于冷喷的能量太大，因此采用了另一种解决方案，即用耐高温导电胶将外部连接电缆粘接（图 5）。

结论

功能化复合材料的机械性能（拉伸和弯曲）使其能够表征印刷电路的集成度以及其基板对复合材料的影响。这些测试表明，对于所有测试的基板，机械冲击是不可忽略的（降低大于 3%）。纸质基板是机械性能降低最少的基板（图 6）。

在设计和分析阶段，必须尽早考虑传感器的加入，以最大限度地减少材料中的不平衡，以及根据工作模式减少允许负载的影响。

验证了复合材料加工和固化后印刷电路的完整性。结果表明，复合材料的高压釜固化不会降低电路的完整性，但其对电路绝缘的影响并不很清楚：纸质基板会吸收绝缘油墨从而暴露

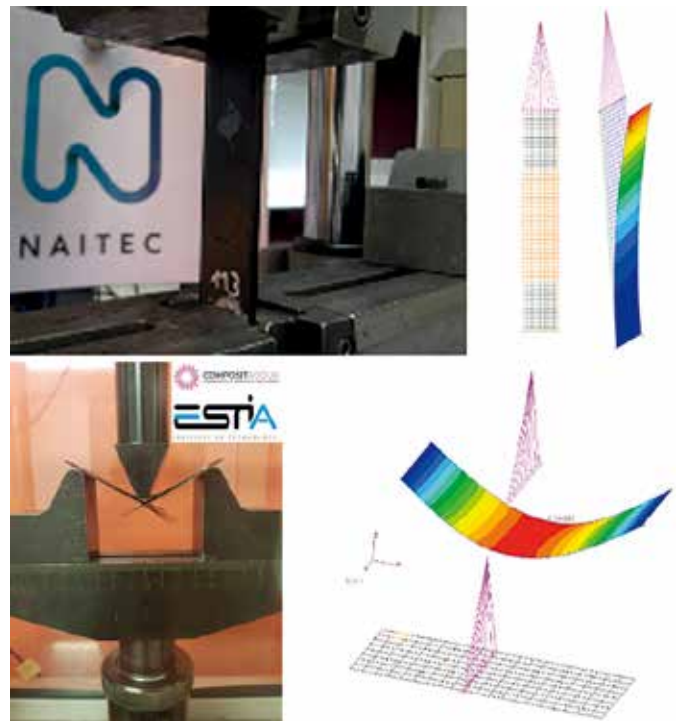


图 6: 功能化复合材料的机械性能特性。



图 7: F-COMP 试样。

出可能在碳纤维复合材料中造成短路的某些电路区域。所有加工过的传感器的固化必须在复合固化阶段之前完成，以避免固化前和固化后电阻之间的变化。

利用超声分析探索了复合材料中印刷电路板的位置，表明主要通过基板检测复合材料中电路的位置是可能的。使用 10MHz 探头时，电路的几何形状不可见。传统的机械加工首先用于显示电路。结论是，从设计阶段开始，就应使用明确的参考点。此外，还对磨料水射流加工进行了测试，结果表明，在加工后，可以在不损坏印刷电路板的情况下加工复合材料，从而形成电气连接。该项目在 TRL-4（技术成熟度级别）上完成了演示，即电子设备和传感器可以嵌入复合材料中，从而产生一个未来具有潜力的多用途轻量级组件（图 7）。

www.twitter.com/FCOMPPROJECT

www.estia.fr

织物转台退绕连续预浸料生产

Fabric Turret Unwind Delivers Continuous Prepreg Production

在过去的十年中，Cygnet Texkimp 已经为航空航天、汽车和工业市场设计并提供了 30 多条 UD 和织物热固性预浸料生产线。

该公司的预浸料加工方法反映了其业务建立的基本工程原则：从包装到加工，我们的首要任务始终是保护纤维或织物的健康和完整性，使用增强织物处理技术，以确保最终材料和部件的最佳性能和连贯性。

Graeme Jones, Product Director for Web Converting, Cygnet Texkimp



Cygnet Texkimp 热固性技术——Cygnet Texkimp 60" 宽预浸料生产线。

这种对纤维处理和过程控制的不懈关注贯穿于 Cygnet Texkimp 的整个产品组合，不仅包括热固性和热塑性预浸料生产线，还包括筒子架、涂层、分切、纤维缠绕和自动化处理和包装技术。

挑战

近年来，Cygnet Texkimp 与 Tier 1

航空航天行业热固性预浸料的主要供应商进行了多次讨论，围绕设计一种解决方案，以帮助他们实现提高生产效率的目标。

他们希望克服由于在原料更换过程中需要停止和重新启动预浸料生产线而导致的时间效率低下和产品的损耗。

预浸料生产过程中频繁的强制停机

时间通常与加工织物预浸料有关，通常发生在需要将新卷织物拼接或连接到该工艺过程中时。UD 预浸料的丝束通常缠绕在长度为 3 到 4 公里的包装上，与此不同，由于织物的相对厚度，织物的缠绕长度要短得多。因此，更换要频繁得多。

这给该行业带来了重大挑战。中途



Cygnet Texkimp 热固性技术——60 宽压实模块。



Cygnet Texkimp 热固性技术——带中心狭缝和双绕组的 UD 预浸料。



Cygnet Texkimp 热固性技术——机织物自动拼接转台退绕。

停止机器可能会对最终产品的效率和性能产生重大影响。当预浸料生产线停止时，预浸料会受到非最佳加工条件的影响，即长时间的加热和压力，这不可避免地会导致产品变化。根据对预浸料的目视检查，这种影响可能不会立即显现出来，但高质量的预浸料材料依赖于可重复性和连贯性，任何工艺中断都会危及这一点。对于用于制造高端应用的关键部件（如飞机零件）的预浸料材料制造商来说，预浸料质量和连贯性的任何可能对安全产生影响的变化都是不可接受的。

因此，制造商被迫废弃一部分被归类为次优的预浸材料，以及相关的树脂和背衬材料，从而导致大量浪费，使得成本高昂。

定期停止预浸料生产的行为也会影

响制造商对树脂的选择。制造商可能会被迫根据树脂的稳定性来选择树脂，并避免使用可能提供优先特性的短寿命树脂。如果材料延迟时间过长，可能需要取消运行，以防止织物预浸料过早固化。

解决方案

为了应对这些挑战，Cygnet Texkimp 公司开发了一种带有自动拼接设备的织物转台退卷或进料系统，以实现热固性预浸料的连续运行，并消除了为了加入新原料而停止生产的需要。自动拼接解决方案旨在减少因工艺转换而造成的浪费，并实现连续供应，以提高生产效率和产品的可靠性。

当一个退绕卷用完时，另一个已经准备好进入系统，而无需停止生产。通

过自动进入进料，该公司的流程可以保持最佳和稳定的生产线速度。等待放卷的过程中，使用自动剪接模块将即将绕完的材料从辊子上剪下，不会降低速度或中断生产。

技术因素

干燥织物的裁剪和拼接，特别是那些开放式组织的织物，可能会造成严重的聚束、钩伤和粘合问题。为了解决在进料过程中实现干净横切的挑战，Cygnet Texkimp 开发了一种独特的切割工艺，将定制刀具技术与许多卷筒处理技术相结合，以确保材料在从一卷到下一卷的切割和拼接过程中不会失去张力、附着力或形态。

www.cygnet-texkimp.com

JEC 中国区总代理

致力打造复材行业整合营销生态圈 洲 | 创 | 集 | 团

ZEN3
EXHIBITION SERVICE
洲创展览
复合材料行业全程供应商

线下商务合作伙伴
线上品牌营销推广
助力中国企业
实现O2O海内外双循环

ALL GREATNESS COMES FROM A BRAVE BEGINNING
Z PLUS EXHIBITIONS, VISUALS, EVENTS
品牌策划服务商

GLOBAL COMPOSITES ZONE
沉浸式交互展示平台
O2O线上线下同步体验

关注官方微信 获取优质行业资讯

一切缘于复材，我们一路相伴

13681680135 kgwang@zzen3.com

飞机发动机用热塑性复合材料支架

Thermoplastic Composite Bracket for Aircraft Engines

热塑性复合材料因其可功能集成、可再加工性、低环境影响和具有吸引力的制造时间等主要优势，在航空领域吸引着越来越多的兴趣。QSP® (Quilted Stratum Process) 技术可以大大降低制造成本，在当前环境下，这似乎是一个关键机会。

Jérémy Viale, PhD, Research & Development Engineer, CETIM Polymers & Composites Engineering; Nicolas Lanfant, PhD, R&D Engineer, Safran Composites; Johan Bellecav e, PhD, R&D Engineer, SAFRAN Aircraft Engines

作为法国最大的工业公司技术中心，CETIM 是一个主要的工业支持方。聚合物复合材料工程部通过三个主要活动来关注热塑性复合材料：由 ETIM 子公司负责上浆计算、工艺开发和测试。

CETIM 位于 Bouguenais 的 Technocampus Composite 工业园区，靠近 Nantes，与 Airbus、Testia、IRT Jules Verne 和 Hexcel 在一起，CETIM 的发展得益于一个非常有利的环境。

它的主要业务领域是汽车、国防、石油和天然气、体育休闲和航空。

CETIM 推广了一种基于多层、多取向热塑性复合材料成型和二次成型的创新复合材料制造技术：QSP®(Quilted Stratum Process)，如图 1 所示。该工艺最初是为汽车行业开发的，最近随着终端用户寻求更低的制造成本，该工艺已适用于航空航天。在过去的几年里，开发了几个示范项目，如直升机队列框架、座椅组件和复合窗口框架。主要的挑战是成功地用以加工高性能材料，如



图 1：CETIM Technocampus Composite 的 QSP 设备。

PPS、PEEK 和 PEKK，直至 PEI。

热塑性复合支架项目

在飞机发动机领域，SAFRAN 要求 CETIM 对热塑性复合桥架的开发进行全面研究。目标是 CETIM 与 PEI (Pinette Emidecau Industry) 共同开发的 QSP®T 技术能达到 TRL4 工艺水平。

该项目的主要目标是优先降低制造成本，并在保持与钛组件相当的机械性



图 2：金属件包含三部分。

	纤维	基材
Porcher 有机板	碳纤维 Teijin HTA 40	PEKK Arkema Kepstan 7003PL
注射级	碳纤维 Hexcel AS4	PEKK Arkema Kepstan 8010C30

表 1：本项目所涉及的材料。

能水平的同时减轻重量。

CETIM 的工作包括三个主要步骤：碳 /PEKK(由 Arkema 开发的 Kepstan 树脂) 的物理和机械性能表征；设计和上浆计算开发热塑性复合材料模型；制造首批原型作为概念验证。

第一步侧重于表征，包括在 ETIM 子公司进行的机械静态试验和物理试验，而疲劳评估（短周期）在 CETIM 的疲劳测试部门进行。所有结果均在聚合物工

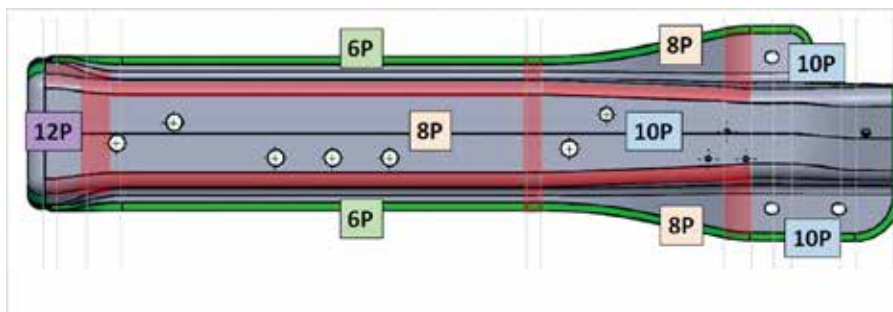
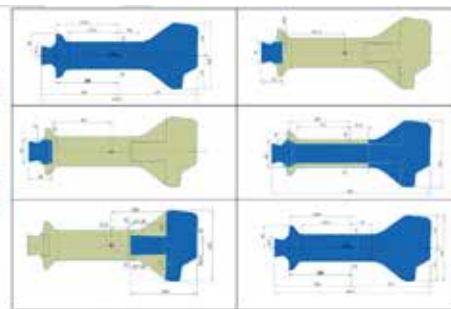


图 3：复合支架的定义，包括铺层补丁。



程部门进行处理，以获得可接受的初步性能水平。C/PEEK 有机板由 Porcher 在碳织物上采用浸渍法制备的。表 1 列出了本项目所涉及的材料。第二步是设计 C/PEEK 复合材料模型，其相当于目前的钛材料解决方案。基于功能集成，将三个由可折叠钛板制成的部件（图 2）组合成一个可以成型和二次成型的复合部件。复合概念基于如图 3 所示的多层零件。由于 QSD® 是由 CETIM 和 ONERA 开发的面向成本的优化软件，可作为 Altair Optistruct® 软件的插件，因此在零部件设计阶段就可以控制铺层脱落。

制造业的挑战

在最后一步中，原型是在工业化前的设备中制造的，用于该工艺的 TRL4。

研究方法设计过模件。

首先，进行过程模拟以准备模具设计和制造步骤。一方面，C/PEKK 成型

模拟在 RADIOSS 上进行了计算，并与 Altair 合作开发了热塑性复合材料的规律。另一方面，采用流变学研究方法设计二次成型零件。

然后，该模具由 CERO 与 CETIM 合作设计制造。第一个试生产的 50 个部件原型显示，制造周期低于 5 分钟，这证实了大幅降低成本的潜力。此外，成型过程中采用的在模具中生成孔的技术有助于生产净型零件，避免任何后处理操作。

由于零件边缘是通过二次成型可注射级短切碳纤维 /PEKK 来制造的，因此也取消了零件修整步骤。最后，通过使用超声波 C 扫描系统进行无损检测，确认材料的完整性。控制铺层脱落和零件半径使其保持最佳材料性能。结果非常令人鼓舞，因为几何结构与预测模型相匹配（0.1mm 的几何散射），并且未检测到显著尺寸的孔隙度。最后一部分是配备附件，如孔中的金属插件或钛线束



图 4：配备金属配件的（C/PEKK）热塑性复合支架。

支架，用于连接管道和电线作为支架的主要功能（图 4）。

综上所述，QSP® 似乎是一种能够显著降低成本的有趣解决方案。对 PEKK 等高性能材料的适应性为航空应用打开了大门。

www.cetim.fr

飞机内饰的新型芯填料： 节约材料、减轻重量和降低成本

New Core Filler for Aircraft Interiors: Reduced Material, Weight and Manufacturing Costs

夹层板结构使用轻质材料，同时提供非常高的稳定性和刚度，在当今复杂的飞机内部结构中经常使用。在天花板或地板、厨房或卫生间墙壁等结构应用中，夹层板可以在材料不变形的情况下承担显著的负载，并具有很高的抗冲击能力。

Fiorenzo Lenzi, Global product manager-composites, Von Roll

夹层板包括由各种材料制成的蜂窝芯，从铝到非金属结构，以及预浸玻璃或碳纤维基预浸料，这些预浸料在蜂窝芯的顶部和底部层压，然后在烘箱、压机或热压罐中固化。

新型芯填料

内部构件设计师通常必须加固夹芯

板的某些局部区域，例如面板边缘或需要在夹芯结构内固定材料嵌件的区域。一个典型的例子是通过螺栓将座椅固定到飞机地板上，这需要在蜂窝芯内插入一系列的嵌件。在这种情况下，使用化合物填充蜂窝芯是有意义的，从而增加夹层板的刚度和强度，并获得最强的固定。为了减轻重量，同时提供最大的局

部刚度，该化合物需要可靠和均匀地填充蜂窝芯。Von Roll 的下一代核心填料优于这些要求，并被视为这种类型的点精密组装中最坚实和耐用的锚点（图 1）。

自动化流程和材料节约

今天的复合材料夹层结构仍然经常由人工生产，而复合材料的应用是



图 1：自动化工艺可降低生产成本 30% 以上。

最耗时的操作之一。这一过程的自动化不仅减少了人工工时，而且在提高质量和可重复性的同时降低了材料报废率，从而可将生产成本降低 30% 以上。当分配灌封材料时，机器人工具的速度受到最大挤出速率的限制，因此与最先进的灌封树脂相比，提供更高挤出速率的材料允许更高的生产吞吐量。由于所用原材料的成本和制造的复杂性，芯部填料是一种昂贵的产品过程。在手工灌封操作中，由于难以填充特定的目标区域或单个电池，制造商传统上大量使用芯填料。

新的芯填料填在 Von Roll 的内部测试中表现非常好。它的主要优点是在环境条件下的长罐和储存寿命以及非常精确的剂量，这使得该材料成为自动化蜂窝封装的理想选择。因此，可以节省高达 20% 的材料，从而从飞机制造价值链的一开始就大幅降低成本，并有助于该行业购买更少的材料，避免报废生产。由于其极低的粘度，有史以来第一次，精确、均匀和可靠的灌装，即使是一个尺寸小到 3mm 的蜂窝状单元也是可能的，也可用于自动化大批量生产。局部加固可以采用圆形、角形或蜂窝状填充。

在环境和健康方面，该公司率先完全排除了引起气味和挥发的酸酐以及卤素和溶剂。此外，虽然目前的核心填料包括两个组成部分，需要在使用前混合，新的芯填料作为一个单一的组件直接准备使用。

制造业的优势

填料的低密度 (0.7 g/cm³ 或更低) 为制造商减轻重量提供了显著优势。标准固化温度介于 125 °C 和 150 °C 之间，这种芯填料与飞机内部应用中常用预浸料的所有类型固化工艺和循环时间兼容。此外，它易于处理和储存。传统的芯填料需要在两到三天内进行处理，而新的填料可以在室温下储存和使用长达五周 (图 2)。

即使在潮湿的环境下，延长的保质期也是有保证的。由于芯填料在热或载荷作用下的膨胀系数接近于零，因此是结构件的首选材料。固定装置芯填料可以用抹刀手动给注入并插入蜂窝芯，也可以使用机器人的高精度自动化计量系统，从而确保最大的工艺可靠性。它的低粘度大大节省了时间：当在自动化应用过程中使用机器人时，挤压速度非常高，在更短的时间内推入更多的材料，从而获得比传统产品更快的生产速度。

通过更精确和可重复的灌封，显著降低了成本，大大减少了材料浪费、制造过程中的人工劳动和不合格率。

数字化解决方案

为了将自动化应用程序提升到一个新的水平，Von Roll 与复合材料制造数字化解决方案的领跑者 Airborne 和中高粘度流体的计量泵和计量系统供应商 Visco Tec 联手，通过本产品的单手计量

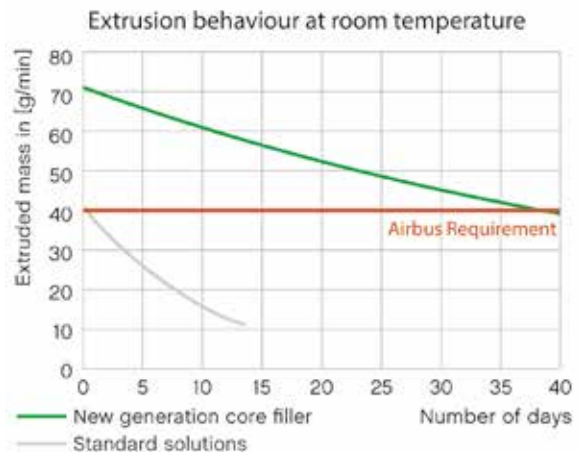


图 2：室温下的性能改善。

系统，确保飞机内板的填充无缺陷。新的芯填料与酚醛树脂和环氧树脂兼容。例如，它与属于 EP200 系列的 Von Roll FST 的新型预浸料兼容，该预浸料在标准蜂窝芯上提供最高的机械性能和表面质量，并可与任何类型蜂窝支架上的芯填料一起加工。

下一代芯填料有两种变体可供选择，即 EP401 和 EP411，以便向市场提供兼容的解决方案，无论是否有专用压力机。

非可燃性和阻燃性

基于数十年的经验和与航空航天工业产品 (如插头或机加工板) 的成功合作关系，该开发符合航空工业的要求和规定，包括非可燃性和防火标准。该公司已经为经过认证的欧洲航空航天行业一级供应商提供了芯填料，目前正在努力快速认证该产品。作为复合材料和电气绝缘领域的全球市场领导者，该公司战略的一部分是帮助航空航天行业实现其二氧化碳减排目标，以更好地遵守环境目标，并开发持久的解决方案，不断提高乘客的安全性和舒适度。凭借位于瑞士最先进的研发设施和现代专用航空实验室，该公司帮助该行业从价值链的一开始就进一步节省重量和成本，减少报废，降低零部件成本，实现更快的生产。Von Roll 将在不久的将来为飞机内饰市场推出更多创新产品。

www.vonroll.com

飞机生产中的优化密封

Optimized Sealing in Aircraft Production

在降低成本的同时保护环境——航空航天行业现有的点胶工艺中只有少数是最先进的。点胶技术，与密封应用相结合，还有很大的提升空间。但是：你必须全面地看待它，并开发一个单独的解决方案。

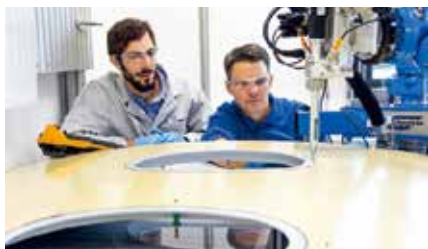
Christophe Lalanne, Business Development Manager, ViscoTec France

这里重点介绍的应用包括帽封、圆角封、界面封和边封。它们主要用于油箱密封和飞机结构部件。

在几乎所有由金属或碳纤维增强塑料制成的元件上都可以找到一种或多种密封。

认识到点胶应用的潜力

对于手动的双组分应用，通常是在小型容器中提供的。在这里，通常使用固化剂棒筒或所谓的“预混冷冻”筒。在这两种情况下，通常会大量产生废料。这里可以通过按需进行点胶来避免，这可以通过 ViscoTec 的双组分分配头 vipro DUOMIX 来实现。因此，用户可



ViscoTec 技术中心的密封点胶测试。



自动化密封在航空航天生产中的应用实例。

以精确地要求所需材料的数量，而不会产生对环境有害或成本昂贵的废料。

总体来说，密封应用的优化过程不仅改善了材料配置，还改善了点胶本身。例如，机器人技术和强大的点胶系统与机器人的行走速度相匹配，可以完全独立工作。

这意味着在没有工人的情况下也可进行压胶。由此不仅可以节省时间，最重要的是，点胶结果质量的提高是显著的。除了对点胶参数进行永久监控外，还可以记录所有数据。

对密封剂进行点胶需要一定程度的专业知识。常用的可压缩多硫化物是双组分流体，必须以精确的比例混合，才能达到充分的性能并满足规范要求。当点胶量特别小时，事情变得非常令人兴奋，这在密封行业很常见。在这里，于使用阀门或时间压力控制的其他点胶系统相比，渐进式空腔技术显示出了优势。

这是由于纯体积点胶，可具有高精度和可重复性，且零件磨损最小。

成为行业标准

在 ViscoTec，标准做法是在内部技

术中心重现和模拟过程和项目，并与客户或相应的材料制造商一起验证它们。

例如，该公司与材料制造商 Chemetall 进行了联合试验，使用了 Naftoseal MC780 B-2 密封材料。该材料在业内非常知名，它含有微小的中空聚合物球体，因此是可压缩的——从点胶的角度来看，这是特别具有挑战性的！来自客机使用的实际组件，重新创建了一个应用程序，以获得进一步的经验并认识潜在的挑战。ViscoTec 公司航空航天业务发展经理 Simon Widderich 说，“我们总是试图获得尽可能多的应用知识。这使我们能够为客户提供自动化流程最好的支持。”

点胶测试的重点是材料应用以及混合材料性能的检查。因此，与 Chemetall 一起对点胶结果进行了分析。Chemetall 的航空航天应用技术经理 Heinz Burock 表示，该技术的突出特点包括“所有点胶量的特定混合比例的精度，以及系统的可扩展性，从墨盒填充到在具有大量墨盒供应的机器人上应用混合头，都是以前无法达到的”。

www.viscotec.com

建筑和施工的未来在于项目模拟

The Future of Building and Construction Lies in Project Simulation

生产率在经历了几十年的缓慢增长后，由于数字技术的发展，建筑行业已经准备好迎接重大发展。设计的模拟及其所有的复杂性是基础。BIM(建筑信息模型)被国家建筑科学研究所定义为“物体物理和功能特征的数字表示”。

BIM 既不是一个产品，也不是一个软件，而是一个“建筑信息容器”，在其中插入图形数据(如图纸)和特定的技术属性(如技术数据表和特征)以及与预期生命周期相关的信息。在设计窗户、地板或墙壁等对象时，可以将图形信息(壁厚、高度等)与热传导、隔音等信息联系起来。

协同设计

在 CAD 项目中，CAD 对象(2D 或 3D)已经以串行方式制作，无需每次都绘制，BIM 项目可以在每个细化阶段使用之前创建的 BIM 对象。

当 CAD 设计使用 2D 或 3D 图纸处理项目时，BIM 设计则不限于视觉信息或渲染，而是指定项目或复杂建筑内部中每个 BIM 对象的功能和性能。事实上，这是一种协同设计方法，因为它可以在设计的每个阶段将有用的信息集成到单个模型中：建筑、结构、设备工程、能源和管理。为此，安装人员、结构工程师、建筑师、建筑工人、装配工、测试人员等都可以使用它。

因此，三维模型包含了体积大小、材质、外观等信息；与其他研究和其他 IT 平台共享时不会丢失的技术特征。

此外，BIM 项目让客户有机会对建筑的生命周期进行模拟

细化，甚至在设计阶段之后也是如此。这样，它更容易监测材料的使用年限，以便更好地规划维护。

成为一个标准流程

BIM 将会成为所有建筑的标准流程，并被纳入整个欧洲的公共合同立法中。事实上，2014/24/EU 公共采购指令明确表示，将在成员国的采购程序中引入建筑信息模型。

BIM 主要传播到英国、美国、澳大利亚、韩国和一些北欧国家，这些国家的公共项目中强制使用 BIM。BIM 对于管理复杂的大型建筑和基础设施很有价值，尤其是考虑到生命周期管理的趋势。它对小型项目也很有用，但最初的投资和培训员工的需求正在减缓设计工作室和小型企业的使用。然而，预计到 2025 年，BIM 在 B&C 行业的先进程度将足以产生 15% 到 25% 的生产增长率。

目前，该行业的公司可分为两类。在“传统”模式中，公司使用 3D CAD 软件进行项目的基本设计工作，而对于更先进的公司，使用 BIM 可以通过将实时技能结合起来，解决协作中心中的问题，从而整合每个人的工作，协作中心可以包括结构的用户和业主。



2015 年米兰世界博览会上 3D 结构的生命之树采用 BIM 设计，由意大利建筑大师 Marco Balich 和 Gioforma 工作室共同设计。



迪拜未来博物馆



Wasp TECLA 启动套件



打印 TECLA

改造建筑行业

通过促进全面协作，BIM 将改变建筑行业。这些项目包括精确的排序，以便每个人都知道什么材料必须到达现场，以及它们将在何时以及如何进入结构。设计、生产、物流与实际施工紧密结合。BIM 可以进一步扩展，包括成本维度、可持续性和设施管理。

例如，新的迪拜未来博物馆采用了创新的方法，被认为是有史以来最复杂的项目之一。它完全采用参数化方法，并借助数千个数据和变量进行开发，非常复杂，如果没有 BIM，就不可能进行设计。博物馆的外部非常光滑，没有接缝，由 890 块不锈钢和 GFRP 板组成。即使是没有柱子的室内设计也带来了一些挑战，包括通过 BIM 创建的自支撑双螺旋楼梯的设计。

该博物馆由 Killa Design 和 BuroHappold Engineering 设计，并受迪拜未来基金会委托，占地面积为 3 万平方米，目前由 BAM 国际公司建设。预计将于 2020 年 10 月世博会期间向公众开放。

意大利的 BIM 和抗震设计

在意大利，土木工程师和建筑师广泛使用 BIM 设计结构和基础设施。然而，BIM 设计过程中根本没有使用地质和岩土数据，尽管事实上，在意大利的大部分领土上，建筑的大部分风险和不确定性源自地震风险区域。最近，Naples Federico II 大学通过对意大利南部 Sant' agata de' goti 历史中心的案例研究，展示了 BIM 设计过程在岩土工程中的应用。

从现场钻孔中获取的数据被导入 BIM 软件，以创建整座山

的土层和 3D 几何结构之间的界面。强调了 BIM 过程中岩土工程设计的优势，包括模型精度、复杂信息的易于检索和管理，以及在各个设计阶段使用的软件之间的互操作性。

由于减少了不可预见的问题和更容易更新的数字模型，节省了成本和时间，从而优化了数字模型，并提高了设计过程和实现过程中涉及的不同技能之间的互操作性。同时，BIM 工艺在岩土工程领域的应用进展较慢，尽管许多土木工程问题是因为未知的土壤条件引起的。

只有少数岩土工程实例采用基于 BIM 的方法进行设计，在大多数情况下，它们包括地质和岩土数据的归档和更新。当然，数据共享是 BIM 的核心，但也可以利用岩土工程领域的多个方面。

研究表明，BIM 方法在整个设计过程中是可行的，并强调了对复杂的山体及其分层地形几何结构建模的优势，以及与采用的 2D 和 3D 数值软件的互操作性。

建筑信息模型 (BIM) 正在成为土木工程项目基础设施、施工、运营和流程管理的重要手段。大多数情况下，许多具有重要岩土方面的结构和基础设施项目在 BIM 方法中似乎被忽视了。

在这种情况下，在 BIM 环境中再现了原始设计和加固措施，突出了在此过程中岩土工程设计的优势。一旦山体加固项目完成，就可以估算材料数量和成本。

复合材料行业的机遇

建筑材料行业生产各种类型的材料：结构材料、装饰材料、传统材料或现代材料，从粘土到铁，再到复合材料。在建筑行业，



打印墙面部分



Wasp-Crane 3D 打印的土屋和起居室

公司通常生产一种或另外一种材料，并通过分销商开展工作，因此，如果不将 BIM 作为各种标准和格式的对象库，为客户提供完整的服务，他们对 BIM 不太感兴趣。在意大利，小型专业工作室专注于发展基本的数字化技能，但对 BIM 不感兴趣，因为他们不认为这是一个机会。相反，处理复杂项目的大型工作室对此非常感兴趣并使用 BIM。

通过提供项目在各个领域所需的实时信息，BIM 使材料公司能够提供以前在技术上不可能提供的产品和服务。机会是巨大的，例如在其他地方生产的组件，可运输到施工现场并现场组装。使用 BIM，制造商可以获得能够在施工现场快速组装的组件。

在复合材料的特殊情况下，预组装模块到达现场的可能性是一个很大的优势。BIM 保证了严谨的设计和完善的场地规划，使模块仅在必要时到达。该系统已广泛用于欧洲和世界其他地区的大型项目。

3D 打印

甚至 3D 打印也可以从使用 BIM 中获得巨大的效果，因为材料公司可以将其用于复杂建筑的部分，甚至整个结构。在这种情况下，BIM 可以生成与项目中指定内容完全匹配的打印机就绪的对象文件。3D 打印房屋在中国已经成为现实。

一些意大利制造商已经开发出用于建筑的 3D 打印材料。自 2012 年以来，WASP（世界先进节能项目）一直在开发基于循环经济原则的建筑工艺，能够在尽可能短的时间内以最可持续的方式创建 3D 打印房屋。Tecla 是第一个同时使用多台 Crane-WASP 协同打印机建造的栖息地，为新的建筑场景提供了机会。在一个更大的住宅区背景下，Tecla 有可能成为完全自

给自足的生态区的建设模式。

Mario Cucinella 建筑事务所 (MCA) 和 WASP 之间的合作得到了 Mapei 的支持，Mapei 对粘土材料进行了研究，并确定了原始土壤混合物中的关键成分，从而创建出高度优化的最终可打印产品。结构测试是在米兰的一家工程咨询公司 Milan Ingegneria 进行的，该公司致力于形状的优化，以创建一个自支撑的结构。定制的高效框架则由 Capoferri 公司设计和生产，该公司专门从事建筑框架，始终处于技术进步的前沿，而景观设计则由 Frassinago 公司策划，该公司是一家多学科公司，其中包括一家景观设计工作室，和一家专门从事园艺和户外行业的公司。RiceHouse 为从水稻种植废弃物中提取的生物材料提供了技术咨询，提高了建筑围护结构的热性能和生活舒适度。照明项目由内部和外部共同开发，旨在实现最大的灵活性和可持续性。

在传统的建设过程中，许多不同的专家都在他们自己的相关部门为项目贡献，每个人的工作都会根据他从前任那里得到的东西进行工作，而忽略了概述。像 Tecla 项目这样的复杂案例中，用 BIM 模型所能获得的优势是显著的，因为所有相关方都可以同时在一个模型中工作。事实上，BIM 也是一个 workflow，一个需要许多协作方的过程，而不仅仅是个简单的软件。这意味着所有各方都可以理解并实现整个工作流程。

创新促进了新型建筑材料的发展。最近，建筑行业发生了重大变化，复合材料发挥了重要作用。建筑信息模型 (BIM) 软件将帮助 B&C 行业更有效地使用这些材料，同时提高生产效率，并降低成本。

www.ec.europa.eu/jrc/en/publication/building-information-modelling-bim-standardization

在早期设计阶段做出 SMC 决策

Making SMC Decisions at an Early Design Phase

当考虑轻量化工业应用复合材料时，什么是最重要的事情？首选标准是总体成本、过程自动化、可重复性和生产率。在这些方面，板模复合材料 (SMC) 在这些方面是一个很好的候选材料。然而，对于一个工程师来说，能够在产品开发的早期阶段做出设计决策是至关重要的。本文提出了一种解决这一挑战的创新方法，以进一步实现 SMC 的工业和优化使用。

Mathilde Chabin, Manufacturing Solutions Director; Sebastian Muller, Composites Performance Team Leader; David Prono, Composites Solutions Manager, ESI Group

SMC 是一种成熟的技术，可用于大批量生产制造坚固的复合材料零件。与连续纤维复合材料相比，其关键优势之一是显著降低了模具和原材料成本。此外，自动压缩成型工艺允许创建非常复杂的形状，否则需要组装多个金属零件。与短纤维增强材料 (SFRP) 相比，纤维长度越长，其具体机械性能越高。因此，SMC 是多用途轻量化工程的关键推动者，包括高性能工业应用。然而，SMC 广泛应用的一个主要困难是在产品开发的早期阶段预测材料性能的能力。SMC 零件的机械性能高度依赖于局部材料结构，如局部纤维取向，这是制造过程的结果。因此，通过在静态和碰撞载荷下的模拟，对零件行为的可靠预测只能通过考虑整个制造史来实现。

到目前为止，由于制造史的原因，要获得精确的局部特性，依赖于复杂且耗时的建模方法，而且这些方法不能满足工程部门的约束条件。因此，大多数时候工程部门在设计 SMC 零部件时都会考虑到它们的整体材料特性，即使他们知道这些特性是不现实的，但他们会用额外的设计裕度进行补偿。几年前，这一声明不仅阻止了 SMC 的进一步部署，也阻止了 SMC 的优化使用，这促使 ESI 集团启动了一项开发计划，旨在产品设计的早期阶段向工程部门提供准确的局部材料特性。这种创新方法的第一个工业版本现在可供 SMC 设计师和制造商使用。

一种创新的制造模拟方法

标准 SMC 制造模拟是基于复杂的实体建模方法 (3D 网格)，这是第一个先决条件，需要专业知识和大部分时间。在处理 SMC 真正受益的复杂工业形状时，3D 网格的创建需要数小时甚至数天的时间。3D 网格也需要符合模拟需求，因此 SMC 制造建模专业知识是这一初始步骤所必需的。这个复杂而耗时的切入点也使迭代变得复杂：任何网格错误或几何体中的微小变化都会增加所消耗的时间，使迭代成为一场噩梦。一旦创建实体网格，由于所用元素的性质，计算时间为小时（如果不是天）单位，这里再次乘以过程参数的迭代次数。这些观察结果与设计部门内的实践分析相结合，提高了现有 SMC 制造模拟工具与设计部门挑战之间的价值差距。因此，ESI 集团致力于在早期设计阶段，即 SMC 制造工艺尚未确定时，采用一种创新的方法，能够轻松快速地获取精确的 SMC 局部特性。这种创新方法基于壳体网格建模步骤，该步骤具有半自动网格创建功能，摆脱了标准方法中所有复杂且耗时的先决条件。壳体网格建模方法极大地减少了压缩阶段所需的计算时间，使得设计或工艺参数的迭代易于快速处理。在当前的工业版本中，使用 Folgar-Tucker 定律计算纤维方向。此外，还计划整合创新法则，以提高纤维行为的准确性。

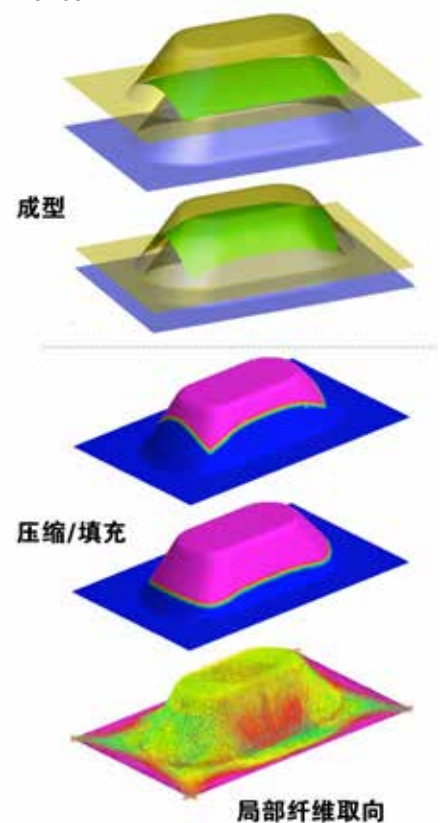


图 1：ESI SMC 制造链

从完整的制造史到产品验证

所提出的模拟 SMC 过程压缩阶段的创新方法也得益于无缝连接，这对用户来说是透明的，与 ESI PAM-COMPOSITES 中集成的久经验证的复合材料成形模拟工具相结合。因此，整个 SMC 过程，从初始成型或将负荷折叠到工具上，然后压缩变形的负荷，都可以在一次模拟中进行计算 (图 1)。一

一旦计算出 SMC 产品的局部材料性能 (例如纤维分布), 考虑到完整的制造模拟链 (成型和压缩), 让设计工程师快速、轻松地分析静态或碰撞分析对结构性能的影响变得至关重要。由于后者需要不同的有限元网格和材料模型, 可靠的数据传输和能够考虑制造信息的材料建模技术是关键的关键模块。为此, 在 ESI 虚拟性能解决方案 (ESI VPS) 中实施了数据导入和映射组件, 结合分析均匀化技术, 以预测工业 CPU 周转时间内结构分析的有效局部非弹性材料行为 (图 2)。

综上所述, 该技术的创新主要在于用于 SMC 过程压缩阶段的方法, 该方法与标准方法一样, 代表了工程部门在早期设计阶段部署的阻塞点。这种创新方法通过与之前的成型模拟无缝连接, 并通过直接将数据传输到 ESI VPS (将扩展到其他结构代码) 来完成。

为优化 SMC 设计提供进一步提高精度目标

本文提出的方法旨在提供一个工业仿真工具, 使设计工程师在产品开发的早期阶段就可能做出决策, 同时考虑到整个制造史。该工具易于使用, 不需要任何特定的制造专业知识, 并在几分钟内运行以促进迭代。

与现有的标准方法一样, 它使用了 Folgar-Tucker 定律, 该定律提供了可靠的纤维取向, 但忽略了一些现象。几年前, 为了提高工具的精度, ESI 与 ENSAM 合作, 启动了一个由 ESI 集团科学委员会主席、科学部主任 Francisco Chinesta 教授领

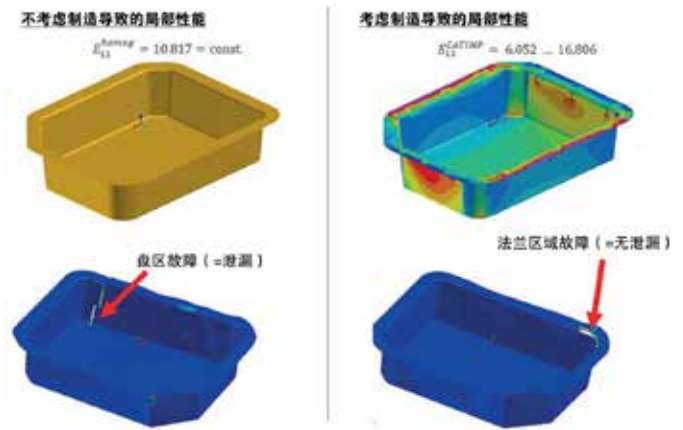


图 2: 电动汽车电池盒上的 ESI VPS 压缩负荷试验。

导的研发项目。这项研究开发了一种先进的模型, 该模型考虑了流动前锋附近的纤维分离或稀释对树脂整体流动、装料、与模具之间边界处的特定纤维行为的影响, 以及在进入连接处 (如肋条) 时对纤维取向和浓度的特殊考虑。这项先进的建模研究还包括开发离线参数解决方案, 能够使用基于 PGD 的模型降阶技术计算所有可能的场景。

这种先进的建模方法目前正在进行工业验证, 这是 ESI 的商业模拟工具可用之前的最后一步。

www.esi-group.com

ICME 和材料数据管理, 实现更灵活的先进材料设计和工程

ICME and Materials Data Management for More Agile Design and Engineering of Advanced Materials

减少复合材料的开发时间和成本是所有制造商保持竞争力和打入市场的首要任务。实现这一目标的一个强有力的方法是集成计算材料工程 (ICME) ——或者更简单地说——一种集成设计方法, 将材料、加工和最终产品通过各种程度连接起来。当组织将这种方法应用于复合材料时, 他们会迅速意识到需要捕获和验证的材料数据量, 无论这些数据是由虚拟测试还是物理测试生成的。

Philippe Hebert, Product Marketing Manager, e-Xstream engineering, part of Hexagon Manufacturing intelligence division

模拟结果与模拟输入一样准确可靠。在模拟产品开发上花费了大量的精力、时间和金钱, 以减少开发时间和物理测试。然而, 许多组织面临着挑战, 尤其是在使用复合材料等先进材料时, 如何生成与现实相符的准确结果。

因此, 模拟的可信度和投资回报 (ROI) 都会受到很大影响。此外, 由于复合材料的多相特性, 需要对其成分特性、多尺度

可追溯性和可变性进行表征和管理, 从而进行重要的物理测试。当这与来自 ICME 的模拟设计数据相结合时, 将会创建大量的数据, 这需要一个适当的策略来捕获、管理和分析整个组织的数据 (图 1)。

各组织在实施更好的材料建模和数据管理战略方面处于不同的阶段。有的处于认识和分析问题的阶段, 有的处于前沿。

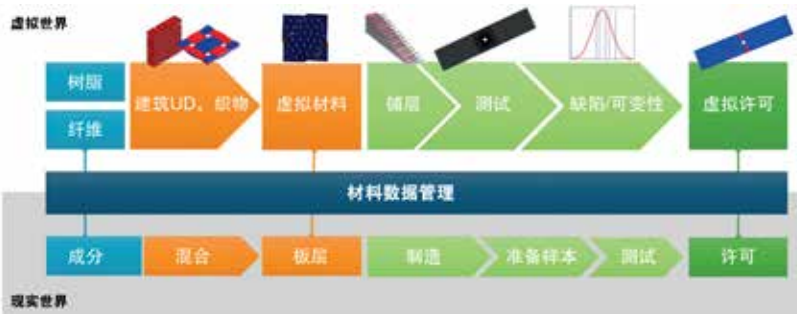


图 1: 复合 ICME 将材料数据管理集成到所考虑的各个程度。

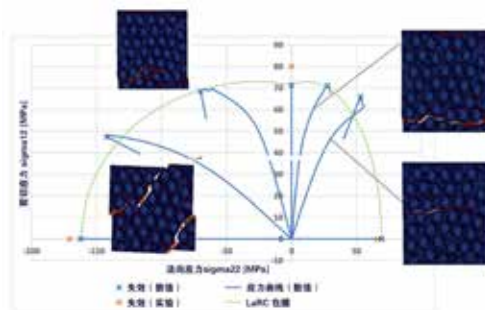


图 2: 使用 Digimat 进行全场均匀化以预测复合材料失效包膜。

本文的目的是提供一些关键见解，以了解一些组织是如何应对这些挑战的，并实施战略来缓解材料风险和缩短开发时间。

本文将首先讨论使用先进的材料建模来开发模拟许可，然后研究如何以及为什么跨组织对材料数据进行先进管理是至关重要的。

先进材料建模和模拟容许量

为了开发模拟容许量，需要从材料的组分性能出发，建立一个完全数字孪生材料。从树脂和纤维的性能来看，适当的均质化技术可以表征等效的铺层性能。

图 2 显示了如何使用全场均质化来识别复合材料多轴 S12-S22 失效包膜。

一旦模拟复合材料根据其微观结构进行了适当建模，就可以将其应用到更高的尺度，并可以通过有限元分析预测试样的响应。由于多尺度方法，可变性或缺陷可以在分析中以受控的方式引入，使模拟容许量的预测成为可能。

使用 Digimat 2019.1 软件对各种单向 (UD) 材料系统的验证结果如图 3 所示。通过在模拟方法中使用适当的物理水平，无论是缺口或无缺口，模拟允许的强度都可以达到 10% 的一般精度水平，为其可靠和广泛的应用打开了大门。

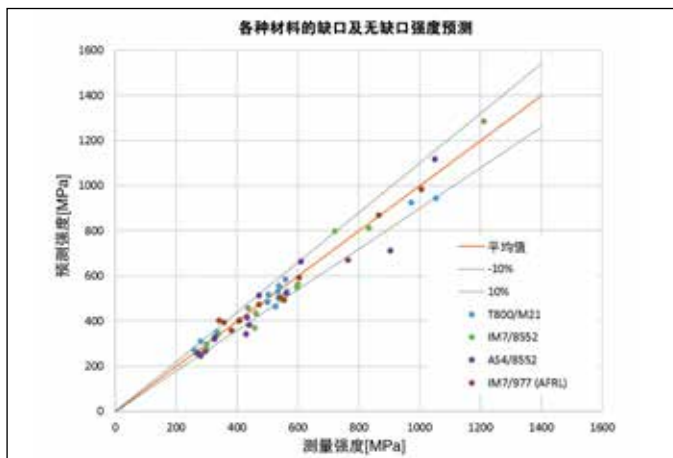


图 3: 使用 Digimat 2019.1 验证 UD 强度预测。

一个捕获所有物理和模拟复合材料信息的平台

复合材料的物理和模拟测试会产生大量的材料数据。因此，对于组织来说，以系统和战略性的方式管理这些材料信息是至关重要的 (图 4)。

在纸质副本和 Excel 表格中管理这些内容可能会变得非常困难，因为出错和数据丢失的风险很高。此外，在整个组织内，尤其是在需要访问可靠设计和仿真数据的设计和仿真团队内，无法轻松访问材料数据的本地副本。数据管理不善的风险和让数据可用的好处对领先的组织来说变得显而易见，在这些组织中引入软件平台是不可避免的。材料管理系统创建了一个数字数据库，该数据库具有专门的应用程序，用于查看、访问、比较和浏览整个组织的材料数据，并提供加密、访问控制权限和定制搜索工具，以帮助不同角色访问所需的数据，以提高生产效率。

对于复合材料 ICME，这样一个平台管理每个材料的数据以及各尺度之间的链接，支持数字孪生方法。每种材料的物理测试数据和模拟数据都存储在一起，以便进行验证比较。这也意味着，当物理数据不可用或获取成本太高时，可以轻松访问模拟数据以及时补充物理数据。

使用该平台，可以在围绕材料做出复杂决策时，提高整体效率、设计流程和灵活性。www.e-xstream.com

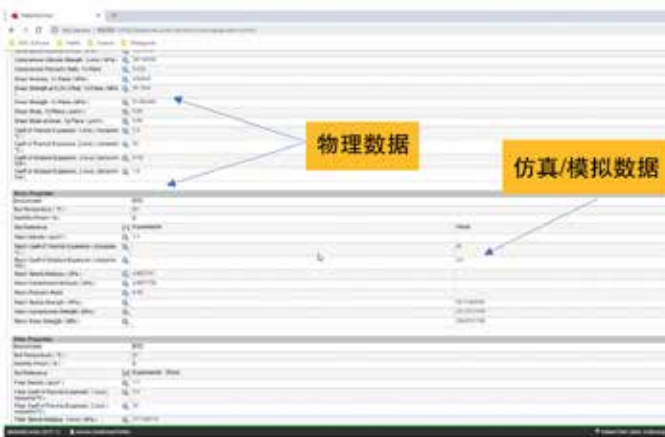


图 4: 管理物理和虚拟数据的示例。

PVT 装置：表征复合材料的体积和线性变形

PVT Device: Characterizing Volumetric and Linear Deformations of Composite Materials

在膨胀计和热量计之间，PVT（压力 - 体积 - 温度）器件为复合材料制造商提供了一种确定材料性能的可靠方法，以帮助他们模拟整个成型过程中发生的热、化学和机械现象。

Violaine Le louët, Dr Research Engineer; MaxiMe Villiere, Dr Research Engineer; Vincent Sobotka, Professor – Nantes University Capacités

Capacités 是南特大学的一个私人子公司，它提供研究和开发服务。该公司的一个业务部门，位于南特的传热和能源实验室 (LTEN)，在复合材料热性能相关的表征问题上有着坚实的专业知识。

预测和控制尺寸行为确实是制造高端热固性复合材料零件的基石。大多数缺陷出现在固化阶段，此时材料因热胀冷缩和化学收缩而发生重大变形。

化学收缩和热膨胀系数 (CCS 和 CTE) 描述了这两种现象引起的材料变形。它们的变化是由压力和温度驱动的，但也取决于材料的状态 (未固化、固化)，这使得它们的表征更加复杂。实际上，这些重要参数和热固性树脂的固化动力学都需要进行数值模拟。

PVT (压力 - 体积 - 温度) 设备就是为了解决这些问题而开发的。通过监控在设定的固化周期 (温度和压力) 内热变形、化学变形和机械变形期间，材料体积和温度的变化可以精确量化。

体积变化表征：PVT- α 设备

PVT- α 器件是由 LTEN 开发的多功能系统，用于在热固性树脂的整个固化过程中同时进行量热和容量分析。

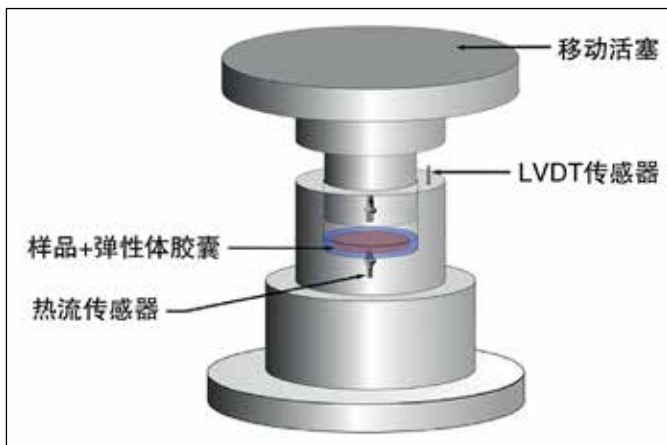


图 1: PVT- α 设备

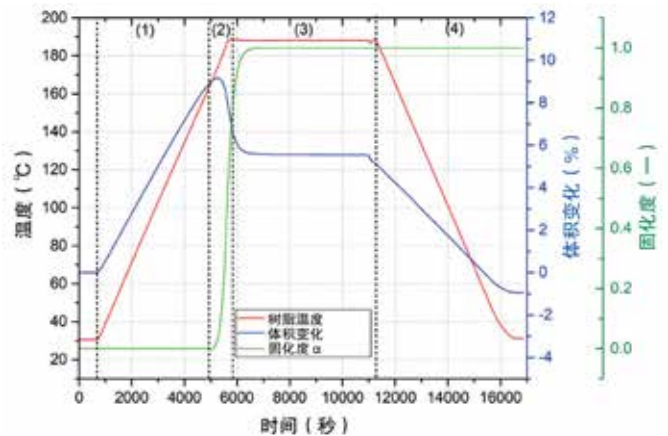


图 2: 在加工过程中，随着温度和固化度的改变，Hexcel RTM6 树脂的相对体积变化趋势。

工作原理

该设备是一个钢制模具，带有直径为 50 毫米的空腔，空腔内的样品 (树脂或复合材料) 在活塞作用下受压 (图 1)。

通过几个嵌入式加热器确保加热，并通过模具和活塞内循环的压缩空气进行冷却。热传递通过位于样品两侧的非侵入式热流量传感器进行表征。对测量结果进行分析，尤其是在交联过程中，以确定样品表面温度和流出热流量。

使用 LVDT 传感器评估整个固化过程中样品体积的变化，该传感器测量活塞相对于模具型腔的位移。

在整个固化过程中，样品体积的变化是通过 LVDT 传感器来评估的，该传感器测量了模具腔体内活塞的位移。

该器件测量的温度和压力范围接近热固性材料的加工条件：分别高达 200° C 和 100 bar。

应用：分析 RTM6 树脂的热化学性能

图 2 展示了随着设定温度循环 (红色曲线) 固化的 RTM6 树脂的相对体积的变化规律。固化程度， α (绿色曲线)，是根据测量的总热流作时间函数的积分来确定的。

几个关键步骤如下：

- (1) 在加热段，树脂是液体 ($\alpha = 0$)，根据 $CTE_{uncured}$ ，相对体积随温度呈线性变化。
- (2) 树脂开始固化。在这一阶段，热膨胀和化学收缩同时发生，有必要对这些现象进行具体分析。
- (3) 在恒温停留过程中，随着反应的进行，体积变化仅由化学收缩引起。
- (4) 在冷却阶段，反应完成 ($\alpha = 1$)，根据 CTE_{cured} ，体积收缩与温度呈线性关系。

样品的体积可以用下式计算得出：

$$v = (CTE(\alpha)\Delta T) - V\alpha / V_0 CCS\Delta\alpha$$

式中， V_0 和 $V\alpha$ 分别为初始时间和反应开始时的树脂体积。

许多研究都证实了该设备的性能 [1]。Capacités 的团队为航空和汽车行业的领导者成功地对各种热固性树脂进行了表征。

最近，PVT- α 设备的性能已扩展到包含机械性能表征。通过对样品施加振荡约束，可以确定树脂的体积模量，以及其随固化度的变化。

PVT- α 用于表征树脂等各向同性材料。然而，体积测量不足以充分确定表现出各向异性的增强热固性材料。从 PVT- α 的开发中获得的经验有助于设计一种新的多功能装置。

各向异性变形的表征：PVT-HADDOC

PVT HADDOC (多相各向异性变形和固化度监测) 装置用于表征复合材料层压板在固化过程中面内和面外的尺寸变化 [2]。

其工作原理如图 3 所示，将预浸料样品放置在钢板和移动活塞之间，放置在充满加压硅油的透明腔中。然后可以对样品施加静水压。

通过随样品移动的活塞位移来评估整个厚度的层压板应变。用扫描样品侧面的非接触式轮廓仪测量纵向变形。

通过测量随试样运动的活塞的位移来计算层压板应变。纵向变形是用非接触式轮廓仪扫描试样侧面来进行的测量。

图 4 描述了 Hexcel M21 UD 预浸料 [3] 的三维应变，以及在类似于图 2 所示的四阶段温度循环 (红色曲线) 中测量的固化度。

层压板的性能显然是正交异性的。纵向应变不受复合材料热化学转变的影响，而横向和贯穿厚度的变形则相反。

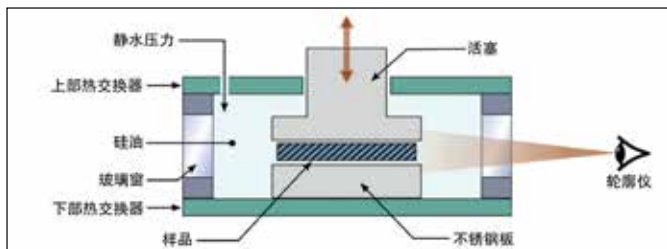


图 3: PVT HADDOC

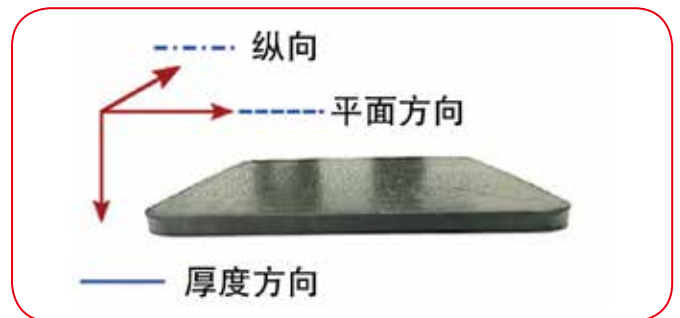
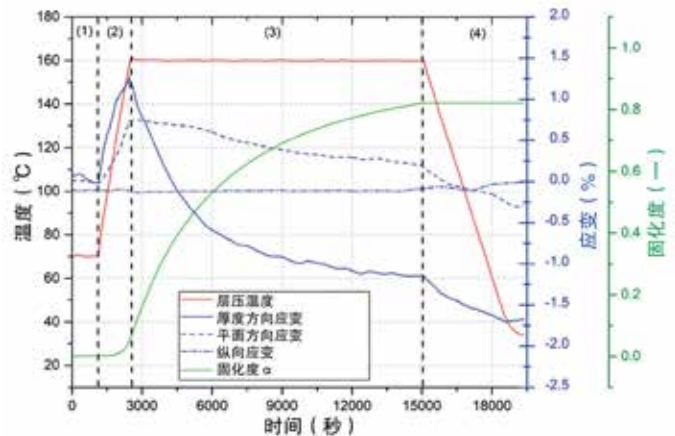


图 4: 固化期间随着温度和预估的固化度的变化 M21 预浸料沿三个方向的应变。

在阶段 (2) 和阶段 (3) 中，通过分离热膨胀和化学收缩对每个测量应变的影响，成功地估计了原始复合材料在三个方向上所有的 CTE 和 CCS。最后，在阶段 (4) 中评估固化层压板的三维 CTE。

参考文献

[1] Nawab Y, Shahid S, Boyard N, Jacquemin F. Chemical shrinkage characterization techniques for thermoset resins and associated composites. *J Mater Sci.* 2013;48(16):5387-5409. doi:10.1007/s10853-013-7333-6

[2] Péron M, Cardinaud R, Lefèvre N, et al. PVT-HADDOC: A multi-axial strain analyzer and cure monitoring device for thermoset composites characterization during manufacturing. *Compos Part A Appl Sci Manuf.* 2017;101:129-142. doi:10.1016/j.compositesa.2017.06.004

[3] Sfar Zbed R, Sobotka V, Le Corre S. A Three-Dimensional Thermo-Chemical Characterization During the Whole Curing Cycle of a Carbon/Epoxy Prepreg. In: *Esaform 2021.* Liège, Belgium; 2021:0-7

埃及团队开发出第一种纺织棕榈纤维及其增强材料

Egyptian Consortium Develops First Textile Palm Fibers and Reinforcements

一个由五名埃及研究人员组成的团队（PalmFil）开发了世界上第一种从枣椰树修剪的副产品，如从叶子和果枝中提取的高性能纤维增强材料。这种纤维不仅是可持续的，而且在制造上也很经济，与纺织和复合材料加工兼容，并为未来的轻量化汽车提供了所需的性能。

Dr. MohamadMidani, Partner, PalmFil Consortium; Ms. Lobna A. Elseify, Researcher, PalmFil Consortium; Dr. AhmedHassanin, Partner, PalmFil Consortium; Dr. Tamer Hamouda, Partner, PalmFil Consortium

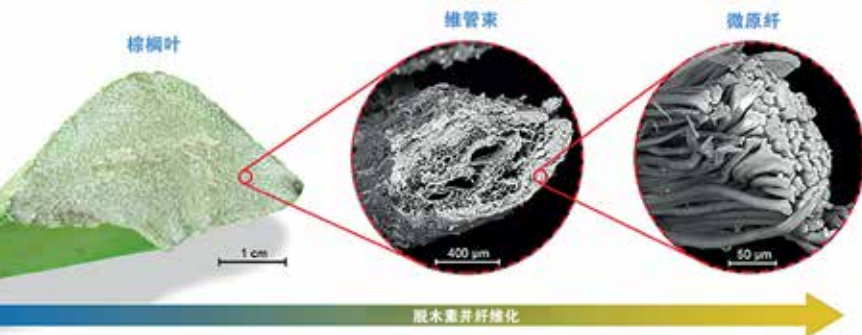


图 1: PalmFil 技术将枣椰树叶子脱木素并纤维化为细纤维。(所有图片: PalmFil)



图 2: 枣椰树修剪后的副产品中纺织纤维和增强材料。

在 20 世纪 80 年代，从天然纤维到人造纤维的转变主要是为了弥补对纺织纤维日益增长的需求和有限的天然纤维供应之间的差距。为了扭转这一转变，有必要探索更多的天然纤维来源，并增加纤维作物的生物多样性。

130 万吨 / 年天然纺织纤维

该团队的实际工作如下——有超过 1 亿 4000 万个椰枣，主要集中在中东和北非，每年产生超过 480 万吨（干重）的被视为农业废弃物的修剪副产品。这是棕榈树种植者的负担，也是火灾事故和危险昆虫侵扰的主要原因。这些副产品可以转化为 130 万吨 / 年的天然纺织纤维，仅次于棉花和黄麻。

此前，人们曾多次尝试通过粉碎和研磨从枣椰树的副产品中提取纤维，从而得到生物质而不是纺织纤维。

PalmFil 团队成功地从如图 1 所示的副产物中提取出第一种长纤维，并将其转化为纤维束、短切纤维、纺纱 / 粗纱、无纺布垫、机织物和图 2 所示的单向带。

这种新型纤维为广泛的工业应用提供了可持续的材料基础，包括汽车和体育用品中复合材料的天然增强材料、建筑中的石膏增强材料、包装用麻袋、绳索和麻线、非木质纸和其他消费产品。

根植于中东的文化

枣椰树的副产品在中东已经使用了几个世纪，是一种文化遗产，在这些国家的文化中根深蒂固，但可能在现代被遗忘了。该团队最近进行的研究证明了枣椰树纤维的潜力以及它在现代环境和工业系统中的应用。

中东纤维行业的复兴需要 奉献精神和国家承诺。

使用枣椰纤维不是问题所在，使用大多数天然材料，如枣椰纤维，有助于维持生物多样性，提供就业和收入，并实现总体上的可持续发展。然而，其复兴的关键将是国家的意愿和支持，以鼓励发展可靠的供应链，以服务于可以使用纤维的各个生产部门。

五年马拉松

这是一场漫长的、为期五年的自我支持研究马拉松，完全依靠该财团的个人资金，并受到对此类创新对农村社区可持续发展及其生计的影响的坚定信念的推动。研究人员希望重新发现这种未充分利用的资源，并向全世界证明，他们可以在不遵守任何资助机构议程的情况下，从其中经济地提取纺织纤维。

这种新的枣椰纤维是从可再生生物资源中获得的，它不会造成森林砍伐或与粮食生产竞争。它是 100% 可生物降解和可堆肥的，拉伸强度比钢高 5 倍，与亚麻、大麻和剑麻的拉伸强度相当。它的减震和隔声性能优于玻璃和碳，隔热性能高于碳纤维。此外，它可以很容易地与其他长纤维混合，如亚麻、剑麻和阿巴卡，也能切碎后与大麻、红麻和黄麻混纺。

汽车用枣椰复合材料

该团队进行了一项综合研究，优化了提取工艺，并对新纤维进行了深入的表征。研究成果受到了科学界的好评，并在该领域一些最著名的科学期刊上发表了研究和评论文章，如《Industrial Crops and Products》(Elsevier) 和《Cellulose》(Springer)。这种新纤维也得到了埃及工业界的广泛认可，并在埃及亚麻工业中心的一条全工业规模的纺丝生产线上进行了加工。研究人员目前正在与欧洲领先的汽车制造商建立联系，他们正在对汽车用枣椰纤维复合材料进行专项研究。PalmFil 技术对循环生物经济的贡献还体现在“从摇篮到摇篮”的闭环循环中，如图 3 所示。此外，提取技术还可应用于油棕、糖棕、豆豆棕等其他棕榈品种的副产物以及高粱等其他农业副产物。



图 3: PalmFil 对循环生物经济的贡献。

该团队在纤维学科、纺织技术和复合材料工程方面拥有 50 多年的综合研究经验，目前正在寻求合作伙伴进一步开发、扩大和商业化 PalmFil 技术。他们最近建立了一个网站，商业上宣布这一创新，并为有兴趣投资这项创新的组织准备了详细的发展和商业计划。

www.palmfil.com

GFRP 盐酸储罐的降解机理及维护

Degradation Mechanism and Maintenance of GFRP Hydrochloric Acid Storage Tanks

GFRP 作为储存盐酸的储槽，其化学降解表现出非常独特的机理。正确判定 GFRP 的劣化，并根据对其机理的技术认识，采取相应的修复和返工方法，对化工厂安全生产具有重要意义。

Masashi Sato, CTO, FRP Kaji Co., Ltd.

由于玻璃纤维增强塑料 (GFRP) 具有较强的耐化学性和防水性，长期以来在化工行业中作为酸类等化学品的储罐材料使用。

然而，由于盐酸的强氧化能力，甚至 GFRP 材料也会发生降解，因此需要定期进行劣化诊断、修复和返工。为了确保更长的设备寿命，适当的维护和检测在化工行业是必不可少的。

在操作这些储罐时，不当的劣化诊断可能会导致坍塌事故。这主要是因为，在储存盐酸时，缺乏对 GFRP 化学降解的了解，而且缺乏技术知识，无法采用与其他酸不同的方法。在本文中，FRP Kaji 介绍了 GFRP 劣化的机理和判定，以及基于以上结果对应的修复和返工方法，并将盐酸与其他酸进行了比较。

常见的降解诊断和修复程序

在第一步中，FRP Kaji 先进行目视检查，以识别并记录

因化学劣化而导致的裂纹或剥落的位置。其次，该公司测量 GFRP 壁的厚度，并对照图纸进行检查，以确定因劣化而导致的 GFRP 壁厚减薄量。也在怀疑有劣化的位置进行硬度测量。降解诊断不限于储罐壳体。第四步，从抗震角度对支撑 GFRP 储罐的支架数量和形状进行了校核。第五步，创建降解检查报告，确定 GFRP 化学品储罐需要维修、返工或更换的位置。第 6 步是基于报告的维修流程。修复和返工是将劣化的 GFRP 材料去除，然后将新的 GFRP 材料叠加其上 (覆盖层)。最后，创建并提交返工 / 修复报告，完成过程 (图 1)。

盐酸储罐

降解诊断、维修和更换程序适用于用于储存液体药品的标准 GFRP 罐。当储存的化学品为盐酸时，GFRP 储罐会经历特定的劣化机制。东京理工工业大学和日本大学的研究人员对一个储存盐酸的 GFRP 储罐进行了综合分析，结果如下：

- 在由 GFRP 制成的 35 wt.% 盐酸储罐中，安装十年后，与盐酸接触的下侧部分对比，液位以上的强度降低的更多。这意味着导致强度损失的因素可能是盐酸蒸气 (气体)，而不是盐酸溶液。



图 1: GFRP 化学品储罐的常规降解检查流程。



图 3: GFRP 盐酸储罐降解检测工艺。

● 对储罐上的 GFRP 进行的 EDS 分析（能量色散 X 射线光谱）发现，盐酸的氯在侧面渗透约为 3mm，在罐顶约为 5mm。此外，罐顶上几乎没有发现钙。可以得出结论是，盐酸对 GFRP 的渗透作用是通过盐酸蒸气，但在顶板层面上，渗透进一步加深，怀疑玻璃纤维中的钙在该位置被洗脱。

● 从这些观察结果可以推断出，当 GFRP 盐酸储罐的顶部暴露在盐酸蒸汽中时，盐酸渗透，因此，钙从玻璃纤维组分中被洗脱，导致纤维和树脂之间的界面粘合力丧失。这就是 GFRP 降解的机理。

这些结果表明，储存盐酸的 GFRP 液体药品储罐表现出以罐顶为中心的单一降解机制，该降解过程在化学液体表面的上部进行。



图 2: 圆柱形储罐顶部的典型倒塌。

事故实例

已经宣布了几起事故，证明了上述降解机制的相关性。据日本厚生劳动省（Ministry of Health, Labor and Welfare in Japan）称，从 2002 年到 2011 年，共报告了五起与玻璃钢盐酸储罐有关的伤亡事件。原因是工人的体重导致圆柱形储罐顶

部（图 2）倒塌。发生此类事故的原因是，当侧壁或底部没有异常时，就忽略了劣化诊断。

精准的降解诊断和维修程序

基于这些特定降解特性的过程，FRP Kaji 对 GFRP 盐酸储罐进行维护，监测，返修，返工和替换。主要工艺是图 3 中的前两个步骤。

这些过程基于这样一个假设：当储存盐酸时，GFRP 降解是由盐酸气体而不是盐酸溶液引起的。对顶板和液面以上的内壁进行彻底的诊断，以防止人们忽略损坏的部分。为了将坍塌事故的风险降至最低，还采取了其他安全措施，如使用脚手架。从第 3 步开始，流程与标准 GFRP 药液储罐相同。

结论

该公司的一些经验丰富的工程师在处理玻璃钢化学储罐时表达了他们的观点：“当储存液体为盐酸时，顶板坍塌事故是一个事件

该公司的一些经验丰富的工程师在处理玻璃钢化学储罐时表达了他们的观点：“当储罐的液体是盐酸时，顶板坍塌事故是一个不可理解的事件，无论材料选择多么错误，降解到崩溃的地步都是不可想象的。”此外，基于化工行业的普遍想法，即“由于设计厚度或制造过程中的厚度设置不正确，无法保证强度”，预防事故的常见解决方案是增加包括罐顶在内的层厚。

www.frpkaji.co.jp

JEC WORLD

2022 国际领先的复合材料展 巴黎北郊维勒班展览中心

2022年5月3-5号



加入复合材料行业领先的一站式展会

www.jec-world.events



AOC力联思树脂 我们携手 /



专业专注，持续创新，造就卓越性能

AOC力联思集团是全球领先的高品质树脂供应商，为全球增强复合材料和非增强浇铸聚合物行业供应高品质聚酯树脂、乙烯基酯树脂、胶衣、着色剂、专用添加剂。产品广泛应用在管罐防腐，电子电气，娱乐设施，船艇和海上设施，汽车和轨道交通等诸多领域。

AOC力联思集团美洲区总部位于美国田纳西州科利尔维尔，欧洲及亚洲区总部位于瑞士沙夫豪森，中国区总部金陵力联思公司设于南京，其工厂和研发中心位于南京化学工业园区。

通过分布于全球的制造和物流网络，AOC力联思为世界各地客户供应成熟全面的产品，提供高效服务和定制化解决方案，以及全程供应链管理。

欢迎致电025-85493888，或访问www.aocaliancys.com，详细了解AOC力联思集团的产品、技术、服务和应用案例。



AOC力联思官方网站



AOC力联思中国微信公众号



aliancys