

# JEC COMPOSITES 中国

面向中国的先进复合材料工程技术

# 16

航空航天  
Aerospace  
建筑  
Construction

复材制造  
Composites Manufacturing  
复合/工业  
Compounding/Industry

革新方案  
Innovation Solutions  
工业4.0/功能化/氢能/风叶/回收利用  
Industry 4.0/Functionalization/Hydrogen/Windblade/Recycling

ISSN 2707-3459

[www.JECcomposites.com](http://www.JECcomposites.com)

2023.10

# 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 复合

先进的FDC技术降低了成本和二氧化碳排放  
Cutting-Edge FDC Technology Reduces Costs and CO2 Emissions

5 工业

轻量化结构对汽车工业的重要性  
The Importance of Lightweight Construction for the Automotive Industry

专栏：航空航天 Special Report: Aerospace



8 纤维缠绕

基于隐身飞机喷气发动机喷管几何形状的纤维缠绕工艺  
Filament Winding Process Based on Jet Engine Nozzle Geometry for Stealth Aircraft

10 回收

用于机舱内部的可回收热塑性塑料面板  
Recyclable Thermoplastic Panel for Cabin Interiors

12 非热压罐

创新的融合机身制造系统 (IIAMS)  
The Innovative Infusion Airframe Manufacturing System (IIAMS)

14 轻量化

LAILA: 为系列轻量化生产铺平道路的创新孵化器  
LAILA: An Innovation Incubator Paving the Way for Serial Lightweight Production

专栏：建筑 Special Report: Construction



16 增材制造

三维打印与建筑业的完美结合  
3D Printing and Construction, a winning combination

18 可持续发展

用于建筑和基础设施的可持续金属纤维层压板  
Sustainable Fibre Metal Laminates for Building & Infrastructure

20 定制建筑

蜕变：伯克利大楼 Latitude 采用大胆的新型复合材料外墙  
A Metamorphosis: Latitude, the Berkeley Building with A Bold New Composite Material Facade

解决方案 Innovation Solutions



22 工业4.0

工业4.0提供了更多的可追溯性并减少了浪费  
Industry 4.0 offers increased traceability and reduced waste

24 回收利用

零排放叶片回收  
Zero-emission Blade Recycling

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: 021 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: 021 3251-7225, bruno@icgl.com.hk  
Europe 欧洲: Raheel Mohammad, +33 1 89 20 40 65, mohammad@jeccomposites.com  
Antoine Morel, Deputy Editor-in-Chief, morel@jeccomposites.com  
Nelly Baron, VP Content/Marketing/Communication, baron@jeccomposites.com

2023年版权所有 © Copyright 2023 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

# 轻量化结构对汽车工业的重要性

## The Importance of Lightweight Construction for the Automotive Industry

在欧洲，所生产的 GFRP 材料中，有三分之一用于运输部门。根据德国复合材料公司的第 16 次市场调查，尽管最近大流行病造成了一些困难，但该行业的前景似乎是向阳的：“在上一次调查中，对当前的商业形势作出了极其消极的评估，现在最新的调查看起来要好得多。所有被调查的三个地区（全球、欧洲和德国）都出现了非常积极的趋势。



Carlo Ortenzi,  
Special Projects Director  
Persico

根据意大利汽车工业协会 Anfia 的数据，2021 年意大利汽车市场疲软，但该协会对逐步复苏充满信心。1 月份，传统汽车的汽车注册量减少，而电动汽车的有利趋势继续接近 +121%，可充电汽车比 2020 年 1 月增加 90%，占据 5% 的市场份额。今天的重点放在绿色革命、生态转型和可持续交通上，这些宏观主题首先要通过利用汽车产业链的竞争力加强、支持投资和向新的低排放技术的转换来降低。

电动运输的增长为拥有创新材料和 / 或工艺技术的公司提供了许多机会，这些技术能够提高生产效率和性能，从而提高性能并降低成本。

### 一个意大利的案例

Persico 集团（意大利内姆布罗）成立于 1976 年，是一家意大利跨国公司，以其众多成就而闻名，首先是汽车，工业和海洋行业，其次是航空航天，医疗保健和建筑。最近，随着 Luna Rossa 参加美洲杯比赛，该集团取得了令人难以置信的成绩。2021 年美洲杯的两艘 Luna Rossa 船完全由 Persico Marine 生产。本文的重点是汽车行业，这仍然是 Persico 集团在全球的主要业务。

事实上，汽车行业是 Persico 的重要客户之一，他们的工具、压力机和自动生产线用于加工轻质热塑性复合材料（LFT）、纤维热塑性塑料（D-LFT）和热固性复合材料（CSM、SMC、CPC、RRIM、RTM...）。由于复合材料在使车辆更轻、更省油以及更坚固、更安全方面的优势，材料选择决策和复合材料设计变得越来越重要。同时，设计和工程团队需要更多的专业知识和培训。复杂的设计和模拟系统必须为复合材料做他们已经为金属材料做的事情。复合材料、设备和零部件供应商在汽车生命周期中扮演着越来越重要的角色。

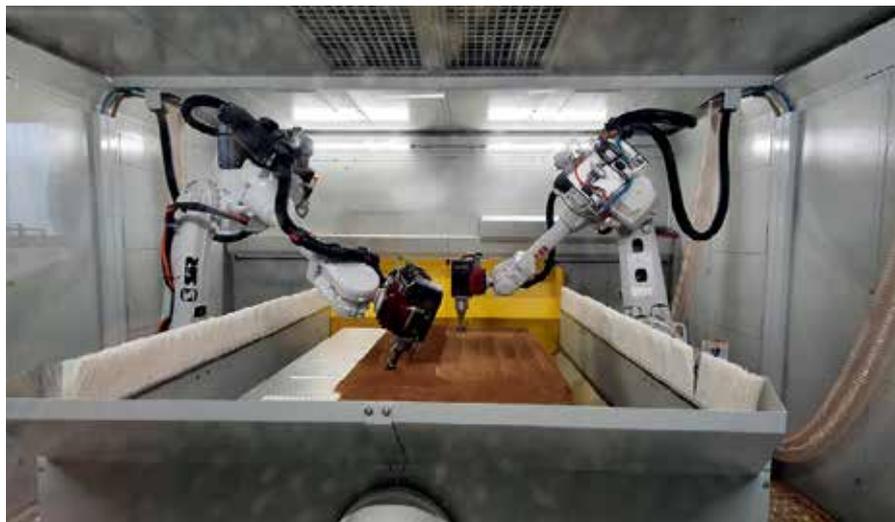
Carlo Ortenzi 是一名机械工程师，在汽车行业工作了 30 多年，自 2005 年以来一直与 Persico 集团合作，并担任

董事会执行成员十年。他回顾了 Persico 的最新技术和当前的发展，创新和正在进行的工作：

Ortenzi 先生：“让我试着指出 Persico 集团在最近一段时间内取得的最突出的进展。尽管疫情严重影响了整个欧洲，特别是我们位于意大利北方的总部所在地区，但从 Persico 业务的角度来看，仍有许多积极的方面需要强调。

本人主要指本集团进行的两项重大收购，这是我们在汽车市场全球化的重要一步，也是我们在复合材料行业具有广泛影响的产品组合的重大扩展。尽管整体市场状况不佳，但我们在传统技术上取得了非常有趣的成果。

Bielomatik GmbH 于 2020 年被收购，今天，我们在德国诺伊芬以及美国



车顶和车身板 © 由 Persico 集团提供



适用于 RTM 和高压釜复合材料的 SMART 滚塑芯 © 由 Persico Group 提供



使用 SMART-H2 © 生产的复合氢气压力容器由 Persico Group 提供

底特律和中国东莞拥有一支熟练的技术人员团队，总共约有 250 名技术人员。2020 年，我们迈出了另一个重要的一步，收购了位于德国弗赖拉辛的 Kiefel Automotive，一个技术团队专注于生产设备（即真空成型）和工具的压合、真空覆盖和边缘折叠。这些措施完全符合我们的主要客户，他们对我们的增长做出了非常积极的反应。

## CSM 从内部转向外部

在过去的十年中，Persico 一直致力于开发复合材料喷涂成型（CSM）技术（蜂窝和纤维上的 PU 滚塑），主要用于生产汽车负载地板和包裹架。到目前为止，该公司已经成为众所周知的内饰板完整生产系统的交钥匙供应商（包括湿喷涂系统，干燥设备，自动化，工具以及面板层压和边缘折叠系统）。

刀具的质量确保了整个项目的长期和准确的边缘切割。

到目前为止，Persico 成功交付了 72 个 CSM 项目，从模具到完整的生产系统（从原材料到成品部件，包括层压，边缘折叠和插入件（如果需要））。在所有交付的生产系统中，模具是一个关键设备，因为它们具有高水平的表面质量和边缘切割精度。这使其有可能在没有任何事先脱模的情况下，对准备好的面板进行模压，对嵌件进行共同模压，并自动应用防水表面膜。

## 车顶和车身板

“现在，我们又上了一个台阶，为全球领先的车顶系统开发了车顶和车身板等外部部件的生产线和工具。

我们在 CSM 技术上又向前迈进了一步，从经典的承载地板转向了车身外板。我们在真空成型技术方面的丰富经验帮助我们实现了这一雄心勃勃的成果：2020 年，我们从 Kiefel 接管了汽车业务，并在德国弗赖拉辛成立了 Persico GmbH。

我们还提供了自动热成型生产线，以生产预制美学衬垫（A 级表面车身面板），在聚氨酯滚塑阶段装入工具。最终的目标是为大批量的 SUV 生产外部车顶和车身面板”，Carlo Ortenzi 说。

一个关键的方面是使用 Baypreg 工艺对外皮进行适当的热成型，第二个具有挑战性的方面是能够在玻璃纤维垫的夹层被堆积起来之前，用高要求的形状对纸蜂窝进行铣削，这一点到目前为止从未以自动化的方式实现。



我们问 Ortenzi 先生，在他看来，未来是否有可能使用由纸板以外的材料制成的蜂窝。他回答说：“对于蜂窝的自动处理和铣削，我们利用了 Persico Marine 在芳纶和铝蜂窝处理和 3D 铣削方面的重要经验，因为这些材料多年来一直用于建造赛车帆船的三明治结构。然而，对于汽车部件来说，纸蜂窝的使用很普遍，因为它成本低，性能好，能够很好地与喷涂的 PU 结合。我们最终建立了一个包括 20 多个机器人、铣削单元和自动夹层制造机的系统”。

流程运行如下：

- 用热膨胀机对蜂窝纸进行膨胀
- 将纸质蜂窝切割成待生产部件的正确尺寸；按照 CAD 数据对蜂窝纸进行 3D 数控铣削
- 用粘合剂制备底部玻璃纤维层，以粘住磨好的蜂窝纸部分
- 将所述第二玻璃纤维层放置在所述蜂窝纸部件上，并使用订书机连接所述两个玻璃纤维层
- 真空热成型和预制美学衬垫
- 将真空成型的内衬和玻璃纸蜂窝夹层装入 CSM 工具中，并用 PU 喷涂进行包覆成型

该工艺的突出特点是能够生产出厚度和拉丝变化较大的 CSM 面板，生产出高质量的美学表面，对生产过程进行全自动化控制，以及生产线效率高。

## 用 SMART-H2 滚塑技术生产的复合氢气压力容器

由于致力于开发促进其使用的解决方案和技术，以及创建简化氢系统在汽

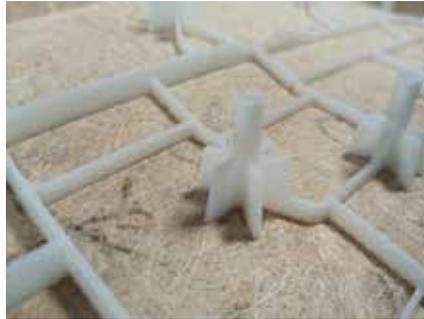
车上安装的组件，因此对氢在汽车行业中使用的兴趣正在增长。其中一个关键问题是氢的储存。

Persico 一直致力于通过开发用于液氢存储的复合罐来达到一个重要的里程碑。由于采用了创新的理念，与传统的圆柱形钢制储罐相比，储罐和配件的重量可减少至三分之一。可适应的形式使其具有高度的灵活性，从而可以显著节省能源。

注塑成型、吹塑成型和滚塑成型是用于生产氢气容器的聚合物内衬的主要技术。

“Persico 已经成功地参与了许多项目，在欧洲，北美和亚洲提供咨询，原型，模具和机器，并开发了自己的滚塑技术 SMART，” Ortenzi 解释说。

“我们获得了测试几种聚合物的经验，如 HDPE、PA6 和 PA11。在 SMART 公司已经投产的几个项目中，为我们带来了凸台和防漏连接设计的重要经验。此外，由于新收购的 Bielomatik 公司，我们还可以为吹塑和注塑衬垫提供精加工和焊接机。因此，我们是任何氢气船舶内衬项目的理想合作伙伴。由 Persico 开发的 SMART 滚塑技术，使用电加热工具和著名的 SMART 机器（开发了一种完



一步完成面板的层压、后注入和预切割。

全专用于 3500 mm 长 x 800 mm 直径的氢气罐的新版本）可以保证无可比拟的优势。

宝莹公司的下一步将是处理涉及长丝缠绕技术的交钥匙工程，在那里我们可以从我们接触的熟练长丝缠绕供应商的经验中受益，以便提供从 A 到 Z 的完整生产系统。

### 用于 RTM 和高压釜复合材料的 SMART 滚塑型芯

使用 SMART 滚塑技术，还可以开发和生产用于不同技术的滚塑工具和机器，例如用于 HP-RTM 应用的型芯，在注射过程中使用型芯作为背压元件。

为了进一步降低部件的最终重量，



用于 EV 电池盒的 SMC 和铝板的共同成型 © 由 Persico Group 提供

滚塑型芯可用于制造中空和无缝复合结构。芯可以容易地从最终的复合部件中洗掉或移除。

### NFPP 面板层压和预切割在一个步骤中完成 (准备折边)

Persico 开发了解决方案，从原材料开始，一步到位生产可用于折边的 NFPP 部件（天然纤维，如洋麻和热塑性 PP 纤维）。

电磁辐射在电动车辆（EV）中可能是一个严重的问题，并且电池和其他部件也需要被屏蔽，因为电力设备和乘客之间的距离很短。所产生的磁场可能对电气和电子设备以及车辆内的乘客产生不期望的影响。

屏蔽是一种使用由导电或磁性材料制成的屏障来减少电磁场的方法。

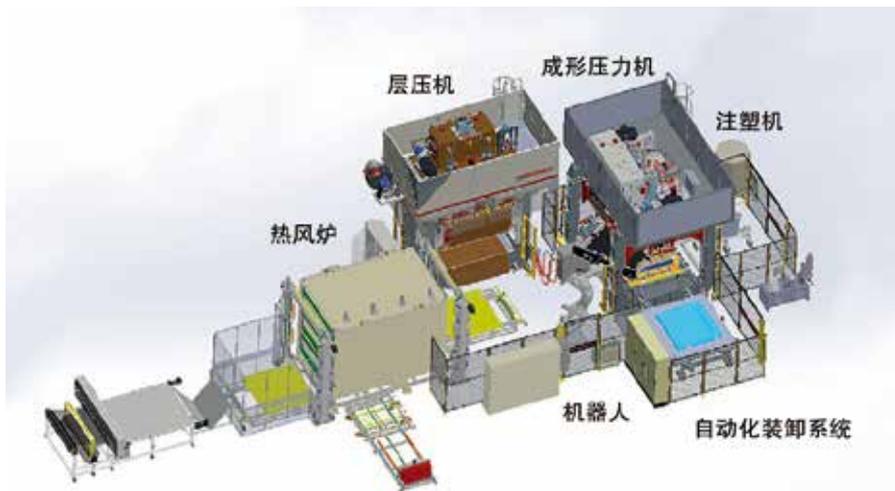
这就是为什么考虑电磁干扰（EMI）并提供对电磁波的适当屏蔽对于复合部件也越来越重要的原因。

Persico 是世界上少数能够在同一平台下开发和提供压缩成型压力机和 SMC 等复合材料模具的供应商之一。

研发团队最近进行了一项有趣的实施，即在一步工艺中将铝层与 SMC 一起共同模制。最后的结果令人吃惊。

这一发展可以为电动汽车的电池盒和电池盖托盘等产品提供许多优势。具有适当厚度和规格的铝层在 SMC 内共同成型，确保电池系统周围有完美的 EMI 保护。

[www.persico.com](http://www.persico.com)



NFPP 工艺 © 由 Persico 集团提供



# 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<sup>®</sup>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<sup>®</sup>150和MagPro<sup>®</sup>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（130m<sup>2</sup>/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<sup>®</sup> 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



# 先进的 FDC 技术实现节能减排

## Cutting-Edge FDC Technology Reduces Costs and CO<sub>2</sub> Emissions

至少从 2012 年开始，阿博格的创新纤维直接复合（FDC）工艺已经成为公认的替代预复合长玻璃填充材料的成型工艺，而且其应用领域正在扩大。它能开发出更好的性能，并能降低成本和二氧化碳排放。其原理是将玻璃纤维股，按长度切割，然后送入注塑机的机筒中，在那里与纯树脂混合，然后将产生的化合物注入模具中。



Manuel Wöhrle,  
Team Manager Industries  
and lightweight expert  
Arburg

FDC 工艺是为生产坚硬的技术部件而设计的 -- 汽车是主要的目标市场 -- 通常是作为金属或技术塑料的替代品，所以在设计时需要考虑该工艺。这意味着需要在设计阶段做出关键决定，涉及供应链上下游的合作。第一台机器在 2016 年开始批量生产。从那时起，越来越多的国际客户在他们的项目中采用该技术。

### 注定用于汽车行业

Deller Plastics 公司（德国 Breckerfeld）是首批将阿博格的轻质结构工艺纳入其产品组合的公司之一。该公司一直使用含有 30% 玻纤的预混聚丙烯（PP），但在 2018 年改用 FDC 系统，使用 Allrounder 630 S 机器生产电缆驱动外壳，用于操作汽车门的电动车窗（图 1）。

FDC 工艺显著降低了材料成本，同时提高了开发和生产的灵活性。通过将 11.2 毫米的玻璃送入工艺，与昂贵的即用型复合长纤维材料相比，Deller Plastics 公司能够将成型件中的玻璃纤维长度增加约 50%，精确地满足产品强

度和稳定性要求。更高的强度使得设计更薄的壁截面成为可能，减少了材料的总用量和重量 -- 这是汽车部件的一个关键目标。该公司每天加工约 193 公斤的玻璃纤维粗纱，以制造约 2 万个零件。在长度约为 11 毫米的情况下，这相当于每天加工约 80 公里的玻璃纤维。在实施 FDC 工艺后，Deller 能够继续在德国生产，同时保持国际竞争力。他们降低了产品和制造成本，以至于能够抵消其全球物流费用。

### 节省资源的轻质结构

在汽车工程中，塑料的纤维增强是针对轻量化结构对部件性能进行有针对性修改的基本工艺。

开发的重点是通过金属替代和用 PP 替代 PA 等技术塑料来降低成本，在提高生产效率的同时改善二氧化碳排放量、可回收性和能源需求。

Arburg 针对不同纤维长度加工的 FDC 技术解决方案包括一台标准 Allrounder 注塑机（锁模力 2500 - 6500

kN），该注塑机配有一个改进的料筒和一个特殊的两级螺杆，以及注塑单元上的一个伺服电动侧进器。

在这个过程中，连续的玻璃粗纱被送入切割器，刀片的数量决定了加固物的长度。在一个自动化的上游过程中，纤维被切割成正确的长度，然后通过料筒中的一个端口送入，在那里它们被纳入熔体中。螺杆的第一级对树脂进行塑化，第二级是在注射前进行混合和均匀化步骤。

### 改善机械性能

使用纤维增强塑料的一个重要原因是它们具有更大的机械承载能力，这与温度无关。变形、蠕变和能量吸收与金属相似，但具有热塑性塑料的优点。玻璃纤维的长度在增加强度和韧性方面起着最重要的作用（图 2）。

虽然几乎所有的玻璃纤维加固都能立即提高刚度，但只有当成品部件中的纤维达到并超过 1 毫米的长度时，才能对强度和韧性产生真正明显的影响。在现实



图 1: 电缆驱动器外壳部件（右上）和显示玻璃纤维的灰化部分（左）。灰化试验证明，在 FDC 过程中，纤维均匀地分布在组件中。

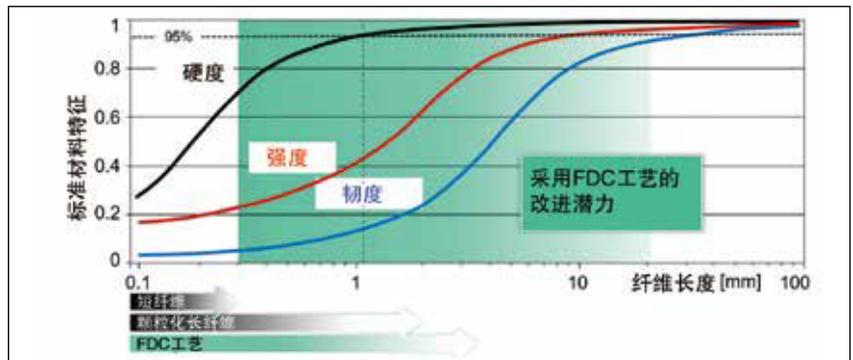


图 2: 成品部件中纤维长度超过 1mm 时，其刚度、强度和韧性均显著增加。

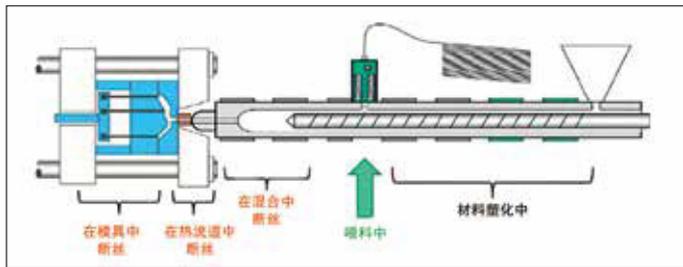


图 3: 该图显示了在加工过程中纤维可能被损坏和缩短的地方。

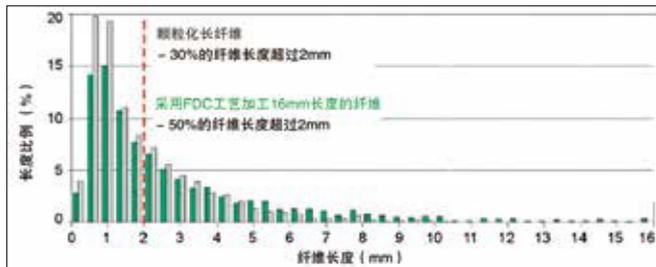


图 4: 对于常规的预复合长纤维材料, 只有约 30% 的纤维长于 2mm。对于 FDC 进料的 16mm 纤维, 至少 2mm 长的纤维的百分比增加到约 50%。



图 5: 博泽电缆驱动器外壳组件 (右) 和显示玻璃纤维的脱落部分 (左)。



图 6: 用不同厚度的热塑复合板作为嵌件的汽车踏板杆成型。通过 FDC 整合了功能和加固元素。

中, 预测最终部件中纤维的长度是非常困难的, 因为它取决于几个因素 (图 3)。

材料特性 (例如熔体流动速率) 和工艺参数 (例如计量速度和计量期间的背压) 尤其重要, 但注射速度也是如此。热流道系统对纤维长度也有重大影响。事实上, 零件、模具和热流道系统的设计都应考虑到长纤维。这意味着, 例如, 大直径热流道, 平滑过渡和大注射浇口都非常重要。根据应用需求, 需要仔细考虑所有这些要素。

### FDC 与长纤维粒料的对比

当查看可以结合在最终部件中的纤维的长度时, 侧面进料 FDC 方法的优点尤其明显。图 4 比较了在 PP 气囊壳体中使用 FDC 与长纤维颗粒的最终纤维长度。显然, 在熔体制备过程中对纤维的损伤要小得多, 部件的强度显著增加, 并且可以通过定制调整纤维长度、纤维含量和材料组合以更有针对性的方式控制性能。例如, 如果 23% 的玻璃装载量满足性能要求, 则可以简单地通过调整玻璃进料器设置来实现精确的装载量。没有必要购买定制的复合颗粒或选择标准的 20% 或 30% 玻璃填充材料。消除配混步骤不仅降低了成本, 更重要的是还降低了 CO2 排放。另一方面涉及回收: 使用 FDC 工艺, 预增强的回收物可以与未增强材料相同的方式升级。单独调节纤维含量和纤维长度的优点在这里得到

了充分的发挥。这使得更容易达到回收配额, 例如汽车行业的配额。

### 成本更低, 重量更轻

正如德勒塑料公司所发现的, FDC 工艺可以大大降低玻璃填充件的材料成本。纯粹的聚合物比增强型预混树脂的成本要低得多, 而且散装玻璃纤维纱也相当便宜。只需要少量的粘接剂来确保塑料粘附在玻璃纤维上。在某些情况下, 可以在粘接剂中加入着色剂, 从而简化了进料过程。

FDC 工艺的另一个早期用户是德国科堡的 ROS GmbH。2012 年, 该公司还为全球汽车供应商 Brose 模制了一个电缆驱动器外壳 (图 5), 使用玻璃增强聚对苯二甲酸丁二醇酯 (PBT), 这是一种非常昂贵的材料。ROS 正在考虑降低制造成本的潜在方法。因为他们已经开发了大部分模具技术的可能性, 他们更详细地研究了材料成本, 并认识到 FDC 将提供显著的好处。

ROS 开始评估用 PP 和 30% 的玻璃纤维加固来取代 PBT 的想法。对质量的要求很高。除了尺寸稳定性外, 强度是一个特别重要的因素, 要求 50% 的玻璃纤维必须至少有 1 毫米长。结果不言而喻。电缆驱动箱的尺寸约为 200 × 100 毫米, 重量为 50 克, 由 30% 的玻璃纤维增强 PP 制成。它们表现出的韧性、强度和刚度可与 PBT 版本相媲美, 但它

们的重量最多只有 30%, 而且可以在更短的周期内生产。为了表彰这一成就, Brose 选择了 ROS, 以获得 2017 年创新理念实施奖。ROS 每年在他们的 FDC 机器上生产约 150 万个纤维增强的零件。

在一个典型的 "PP LGF" 替代项目中, 注射重量为 800 克, 循环时间为 45 秒, 如果设备使用良好, 项目持续时间为 7 年, 可以节省 140 多万欧元。当然, 必须考虑到机器的个别使用情况和额外的质量保证费用。如果用技术材料来替代, 节省的费用甚至更高。然而, 在这种情况下, 必须对部件设计和模具进行调整。这代表了一个巨大的、经济上可开发的潜力。

### 与 FDC 的混合处理

FDC 是为在传统的注塑机上加工树脂和玻璃粗纱加固而开发的。然而, 它也可以与热塑性复合材料板结合使用, 以实现特殊的强度 - 重量比。图 6 所示的汽车踏板杆就是这样一种高强度、轻质的复合材料应用。

为了提高部件的强度和刚度, 两个不同厚度的热塑性复合材料板块被插入到一个单腔模具中, 在那里使用 FDC 进行成型和覆模, 以增加加强筋和其他功能细节。整个过程是自动化的, 使用一个六轴机器人来处理板材的插入和成品部件的移除。

与单独的 FDC 相比, 复合板在负载下的失效阈值提高了 117%。与金属部件的比较表明, 其重量也有明显的优势。由金属制成的相同零件重 533 克, 而复合材料踏板仅重 202 克。差异在生产过程中变得更加明显: 经过测试的即用型复合材料部件只需 50 秒就能生产出来, 而用金属生产同样的部件则需要几天时间。

www.arburg.com

# 基于隐身飞机喷气发动机喷管几何形状的纤维缠绕工艺

## Filament Winding Process Based on Jet Engine Nozzle Geometry for Stealth Aircraft

在现代战争中，战斗机、轰炸机和无人战斗机（UCAV）的隐身技术通过确保制空权是决定战争胜负的重要因素。隐身是指一种避免被敌方雷达和红外探测器探测到的技术。在通过红外（IR）特征进行探测的情况下，来自飞机本身的热量，尤其是高温发动机和后机身，发出的热辐射量最大。

由于要求飞机发动机喷嘴的设计必须能够抑制红外信号，因此采用了 S 形喷嘴（双蛇形喷嘴），这样就看不到发动机的高温部分。此外，还采用了大直径比出口形状，以降低排出气体羽流温度的红外特征（图 1）。多层复合材料可以满足发动机排气喷嘴制造的功能和结构要求。

喷嘴的最内层由碳纤维增强碳化硅（C-SiC）复合材料制成，具有出色的热稳定性和抗侵蚀性。最外层由碳纤维增强塑料（CFRP）组成，这是一种轻质材料，可在轴向推力和内部压力作用下保持结构强度。最后，C-SiC 和 CFR 材料之间使用陶瓷材料进行粘合和绝缘。

### 非轴对称形状与纤维缠绕技术

对于简单的轴对称喷嘴结构（圆柱形、圆形喷嘴），可以使用纤维缠绕工艺制造飞机部件，这种工艺比其他复合材料预成型工艺成本更低。另一方面，

利用长丝缠绕工艺将带有急弯的非圆柱形制造成实际飞机产品的案例并不多。

因此，为了用传统的纤维缠绕工艺均匀地包裹非轴对称形状的外部，必须事先通过制造（CAD/CAM）设计工具创建精确的纤维位置和缠绕轨迹。

### 通过纤维缠绕工艺制造飞机部件

在本案例研究中，为了了解发动机排气喷嘴形状的可成形性，仅使用碳纤维进行干法缠绕工艺，并要求采用最佳缠绕模式和角度设置，以提前防止纤维在双锯齿形状附近滑移。通过商用纤维缠绕模拟工具（图 2），可以为成功执行非轴对称形状的纤维缠绕工艺提供优化的工艺条件。

### 非轴对称绕组模拟的关键策略

Cadfil 有几种不同的设计策略，用

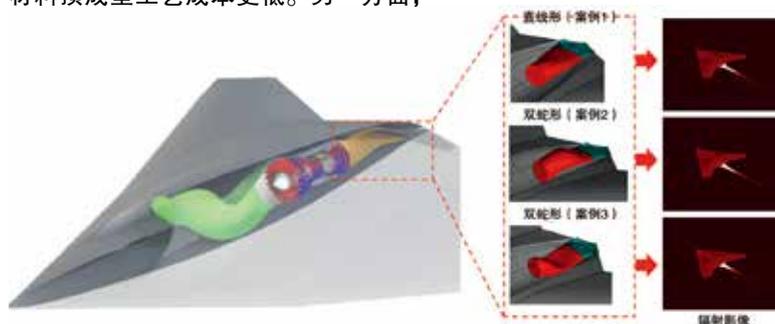


图 1：(a) UCAV 前视图及进气道（绿色）和排气喷嘴（橙色）的三维草图 (b) 3 种不同几何形状的排气喷管。(c) 应用红外信号后的模拟结果



Daeryeong Bae, Senior Researcher, C2ES Korea CO., Ltd.

Shin Kim, Senior Research Engineer, Korea Carbon Industry Promotion Agency  
Andrew Priestley, Director, Crescent Consultants Ltd

Byeong Joo Kim, Senior Research; Doo Hyun Choi, Principal Research; Hyung Ik Lee, Principal Research/Team Leader, Agency for Defense Development

于卷绕非标准几何形状。由于该部件主要是一个复杂的管道（一个可变截面的多弯管），因此使用了一种基于相对于弯曲脊产生的螺旋路径的方法。这类类似于在轴线为直线的普通圆管的轴线上缠绕螺旋线。下面简要介绍在 Cadfil 中创建缠绕路径的过程。

首先，必须在 CAD 中确定部件在卷绕机上的方向，这样部件的 X 轴就是芯轴的旋转轴。第二步是创建脊柱曲线，以便进行研究。图 2a 显示了零件的几何形状和几条脊柱曲线。红色曲线是最初的设计，蓝色曲线是一个小的修改，允许在大直径端有更大的缠绕范围。芯轴表面几何形状通过有限元分析或三维打印格式从 CAD 导出为三角网格。Cadfil

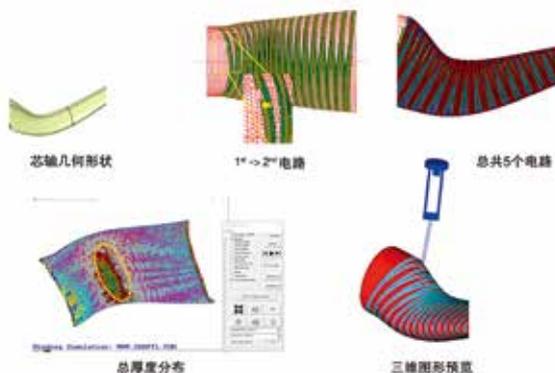


图 2：使用 3D 图形查看器的绕组图案模拟结果（由 Cadfil 提供）

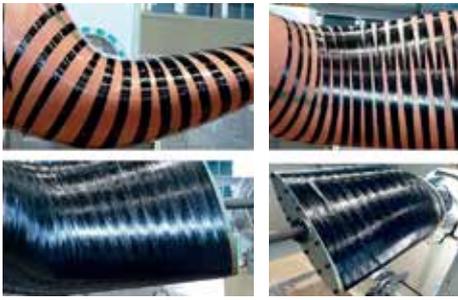


图 3：试验测试生成的卷绕图案图像( K-Carbon 公司提供 )

支持多种标准数据格式。曲线几何图形作为标准 STEP 数据导出，完全是由直线、弧线或复杂花键组成的通用复合曲线。

下一步是用户对话框，为绕线路径创建一组数据参数。这些参数包括表面几何文件、步进文件和选取的曲线、使用的脊柱曲线范围(修剪)、起点的初始方向，以及重要的卷绕螺旋间距。

实际上，间距是指围绕工件的路径每旋转一圈沿脊柱移动的距离。创建路径后，Cadfil 软件会计算路径的摩擦(防滑)要求，以使用户检查是否在可接受的范围内。可以创建一组路径并将其组合成一个绕线层，也可以将一组绕线层组合成一个完整的部件绕线。Cadfil 提供一整套三维分析工具，用于检查绕线机的几何形状、厚度和三维运动。

创建的路径可导出为 CAD、FEM 模型或用于生成各种数控或机器人卷绕机的控制数据。

这项研究的最终目标是通过缠绕工艺使用高价格的碳化硅纤维来制造暴露在高温下的最外层排气喷嘴。

因此，在设计缠绕模式时，可将带与带之间的距离(间距)设置为大于一个纤维带宽，从而使用最少的碳化硅纤维(图 2a)。为了填补带与带之间的间隙，可将第二个回路的起始位置设置为与第一个回路的起始位置相差 10 毫米的位置(图 2b)。

从图 2c 中可以看出，当电路总共重复 6 次时，所有空隙都被填满。

如图 2d 所示，根据预测，纤维会聚集在弯曲部分的起始位置，但在其他区域会形成均匀的厚度分布。

在卷绕过程中，机器和芯轴之间的碰撞可以通过三维图形浏览器进行预测(图 2e)，在这种情况下，机器的运动没有受到芯轴的干扰。

使用相对便宜的碳纤维束来优化缠绕工艺条件。

在实际加工过程中，预计纤维会沿着弯曲表面发生细微滑移。

不过，通过调整纤维张力，可以确认纤维带的位置和角度是根据卷绕模式设计工具准确卷绕的(图 3)。

## 结论

这项研究证实了非轴对称飞机复合材料部件的可行性，与其他复合材料制造工艺相比，采用低成本卷绕工艺可以降低生产成本，同时满足最初的设计目标。

[www.c2eskorea.com](http://www.c2eskorea.com)

[www.kcarbon.or.kr](http://www.kcarbon.or.kr)

[www.cadfil.com](http://www.cadfil.com)

# 我想获取 先进复材业培训

# 免费订阅

**JEC COMPOSITES 中国**  
面向中国的先进复合材料工程技术

**10**

可再生能源  
Renewables  
可持续发展  
Sustainability

复合材料制造  
Composites Manufacturing  
碳纤维生产/设计/制造/回收/回收  
Fibre Manufacturing/Design/Production/Recycling/Reuse

革新方案  
Innovation Solutions

碳纤维/树脂/树脂/树脂/树脂/树脂  
Carbon Fiber/Resin/Resin/Resin/Resin/Resin

**11**

交通运输  
Transportation  
医疗  
Medical

复合材料制造  
Composites Manufacturing  
碳纤维/树脂/树脂/树脂/树脂/树脂  
Carbon Fiber/Resin/Resin/Resin/Resin/Resin

革新方案  
Innovation Solutions  
大规模生产/3D打印/回收/回收/回收/回收  
Mass production/3D printing/Recycling/Recycling/Recycling/Recycling

www.JECComposites.com

**JEC中国：**先进的复材加工内容独家授权于行业顶流刊物JEC Composites Magazine。Advanced composites engineering content licensed from JEC Composites Magazine, the smartest source in the business.

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](mailto:subs@icgl.com.hk)  
或登录 [www.ChinaEngineeringMedia.com](http://www.ChinaEngineeringMedia.com)

# 用于机舱内部的可回收热塑性塑料面板

## Recyclable Thermoplastic Panel for Cabin Interiors

**Diab 开发出一种 100% 可回收的机舱内饰热塑性塑料 (TP) 板，以应对航空航天市场的挑战。**

与典型的蜂窝板和酚醛预浸料板相比，这种热塑性塑料板的重量减轻了 10%，生产成本降低了 20%，制造周期至少缩短了 70%。此外，它还可完全回收利用，符合 REACH 法规。

Diab 是夹层复合材料解决方案的全球领导者，提供最广泛的芯材、配套材料和饰面材料，以及深厚的复合材料知识。其解决方案惠及众多市场的客户，包括船舶、风能、运输、航空航天和工业。几十年来，公司一直为航空航天领域提供解决方案，应用领域包括公务飞机机身、雷达罩、公务舱座椅、手推车、内衬等。

Diab 致力于使客户的产品更具可持续性。它是第一个加入“科学目标”社区的复合材料公司，每天都在采取具体行动减少二氧化碳排放。

尽管其业务包括提供泡沫芯材解决方案，但该公司开发了一种可回收的热塑性塑料板，以积极促进航空航天市场的可持续发展，并使循环经济受益。Diab 泡沫是这一解决方案的核心，可应对航空航天面临的挑战：可回收性、REACH 法规、低排放和更高的生产率。

这种新一代面板为客舱内部提供了

一种可持续的解决方案，几十年来，酚醛树脂、玻璃纤维表皮和蜂窝芯材组合而成的面板一直被广泛使用。这种热塑面板符合所有 FST 要求，与同等的酚醛预浸料相比，它的表皮与芯材的粘合性更好，使用的热塑表皮也更结实，因此已经符合机舱标准。

与酚醛板相比，热塑板还具有其他优势，例如可回收、符合 REACH 法规（酚醛树脂含有致癌/致突变成分）、重量轻、生产成本低以及制造周期明显缩短。热塑板可用于需要夹层板的客舱内部从地板到地板：侧壁和天花板、顶箱、厨房等。

### 热塑面板

热塑性塑料面板在车厢内部应用中具有许多优势，例如良好的 FST 性能、无 REACH 问题以及在装配过程中不会产生孔隙。这就省去了一般酚醛内饰板在涂饰前打磨表面的时间。

此次开发使用的热塑性塑料表皮由聚碳酸酯 (PC) 或聚醚酰亚胺 (PEI) 基体制成。与相同的典型客舱内饰玻璃纤维织物相结合，热塑性塑料表皮比酚醛树脂替代品轻 7-10%。

Thomas Poumadère,  
Group Senior  
Engineer, Aerospace  
Diab Group



这种表皮与 Diab Divinycell F (聚醚砜) 泡沫芯材是完美的搭配，因为这种聚醚砜泡沫的闭孔无需边缘填充来防止面板吸潮。与蜂窝相比，这种泡沫具有更高的隔热和隔音性能，因此面板也能从中受益。

由于无需固化，表皮到芯材的组装步骤比酚醛表皮快得多。表皮直接焊接在芯材上，无需使用粘合膜。

大多数生产工艺都可以用来组装板材，但压制成型是最好的解决方案，因为它可以最大程度地节省周期时间，并可以生产出更复杂的形状。由于 Divinycell F 泡沫特别适合使用模压机进行挤压夹芯生产工艺，因此它也适用于生产厚度可变的板材。

此次开发所选用的所有材料均已在航空航天领域投入使用，并通过了原始设备制造商的认证，使该面板成为机舱内饰的一个具体的短期解决方案。

### 符合机舱标准的面板

开发过程中使用的参考面板由 Divinycell F50 泡沫芯材 (密度为 50 kg/m<sup>3</sup>) 和两层 7581 玻璃纤维织物 (干重为 300 g/m<sup>2</sup>) 制成，每层都有聚碳酸酯基质。

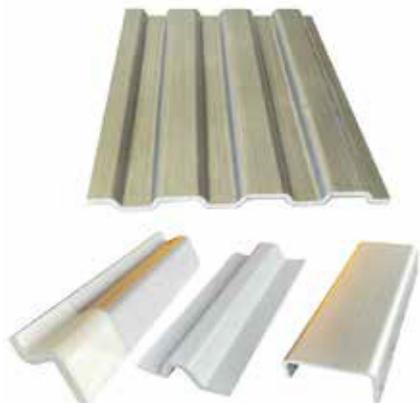


图 1：在单步工艺中制造的 3D 形状的装饰热塑性面板



图 2：热塑性内墙板的地面混合材料

这种热塑面板已经符合机舱标准。它能轻松通过所有机舱内饰防火要求：可燃性（垂直燃烧 60s）、烟密度、烟毒性和热释放（通常被认为是机舱内饰最关键的防火测试）。

所有防火测试均在 Rescoll 测试实验室进行（经空客和波音公司批准）。原始 PC 面板在 5 分钟内的典型 HRRmax 为 52 kW/m<sup>2</sup>（远低于 65 kW/m<sup>2</sup> 的要求），而 THR2min 低于 20 kW min/m<sup>2</sup>（符合 65 kW min/m<sup>2</sup> 的要求）。

带 PEI 面板的 TP 板的 HRRmax 值为 38 kW/m<sup>2</sup>，THR2min 值则更低，这证明 PEI 基体具有卓越的防火性能。

根据 TP 面板所用的制造参数，面板表皮与芯材的粘合力（符合 EN 2243-3 标准的剥离强度）比酚醛预浸料在蜂窝芯材上的典型粘合力高 30-80%。此外，TP 面板的机械性能比使用类似织物的酚醛预浸料平均高出 10-20%。

## 单步制造工艺

这种解决方案最令人印象深刻的优势之一在于，它能够在一个步骤的工艺中制造出三维形状的装饰热塑性塑料板。在同一冲压成型工艺中，实际上可以对泡沫芯材和热塑性塑料表皮进行热成型，然后将表皮焊接到芯材上，再将装饰层压板焊接到表皮上。

Diab 与 AviaComp 合作制作的各

种演示器在 2022 年 JEC 世界展览会的 Diab 展台上展示了这一点（图 1）。

这种独特的工艺大大降低了生产成本，省去了许多手工操作：铺层（压制成型）、表面处理（无气孔）和装饰（一步法）。生产周期至少可缩短 70%，在周期最短的情况下甚至可缩短 95%（使用 Roctool 感应加热装置时仅需几分钟）。

采用阿克苏诺贝尔公司生产的 Intura 8900 热塑性装饰膜的装饰面板仍然符合 FST 标准（12.7mm 装饰面板的热释放测试中 HRRmax = 55 kW/m<sup>2</sup>），这种装饰膜也比同类型典型的装饰膜更容易变形。

## 实现循环经济的完全可回收面板

这种新型热塑面板为航空航天市场提供了一种解决方案，可在机舱寿命结束时对内饰件进行再循环利用。面板的可持续性始于零废弃芯材 Divinycell F 泡沫含有重复使用的 Diab 生产废料。热塑性塑料表皮也采用了类似的方法。Diab 还展示了整个 TP 面板的可回收性，实现了完全的循环经济。与 Rescoll 合作建立的板材回收方案首先对整块板材进行机械研磨，从而得到由泡沫颗粒（聚醚醚酮）、热塑性塑料表皮基质（PC）和纤维（重量占 49%）组成的研磨混合物（图 2）。

然后将混合物挤压成颗粒（图 3），



图 3：挤压研磨混合物（左）和挤压出的颗粒（右）

并成功地自动注塑到封闭的模具中（图 4）。

这证实了这种热塑性塑料板材在车厢内部使用寿命结束后有望被回收利用。

## 转入批量生产

Diab 的目标是通过这项开发，提供一种改变游戏规则的方案，使循环经济受益。

用于机舱内饰的可回收热塑性塑料面板已符合机舱标准。所有材料都已用于航空航天领域，并通过了原始设备制造商的认证。因此，它是应对航空航天所面临挑战的一个具体的短期解决方案。这种面板还可减轻 10% 的重量，降低 20% 的生产成本，至少缩短 70% 的制造周期，100% 可回收，并符合 REACH 法规。此外，与蜂窝芯材相比，Divinycell F 泡沫提高了整个面板的隔热和隔音性能。这种板材可以作为已经装饰过的三维形状进行生产，只需一道工序。由于所有这些独特的功能，该面板在 2022 年的飞机内饰博览会（AIX）上获得了 JEC 创新奖和水晶客舱奖。下一步（目前正在进行中）是支持工业合作伙伴将该技术转化为批量生产。

另一个方面是利用天然纤维（而不是玻璃纤维）和生物基可回收聚合物进行重复开发。要迈出这一步，技术解决方案首先必须成熟，并具备批量生产的可行性。

最后，目前正在开发一种与机舱内饰板类似的可回收热塑性塑料板，用于航空航天和非航空航天领域的二级结构应用。

[www.diabgroup.com](http://www.diabgroup.com)



图 4：用不连续玻璃纤维（49%）增强的 2mm 厚狗骨形 / 4mm 厚板 PES/PC 部件及其注塑模具

# 创新的融合机身制造系统 (IIAMS)

## The Innovative Infusion Airframe Manufacturing System (IIAMS)

**MTorres 与空中客车防务与航天公司合作开发了一种干纤维 AFP 铺层系统，可用于高温热成型和导流技术。该项目被评为本年度 JEC 复合材料创新奖航空航天 - 工艺类别中最具创新性的项目。**

IIAMS (创新导流机身制造系统) 项目从一开始就是一个挑战。根据清洁天空 2 计划，空中客车公司需要一种用于干纤维的 AFP (自动纤维铺放) 铺放系统，该系统应与高温热成型和导流兼容、重量轻、便于携带和节能，以及其他高级要求。最终目的是证明，预浸/高压釜的低成本替代技术可以缩短交付周期，减少对环境的影响，同时达到类似的设计公差和质量水平。

毫无疑问，这是一个挑战，但 MTorres 决定自己申请这个项目。如果他们有能力独立完成所有工作，为什么不呢？毕竟，该公司不久前还开发了 Torreswing 机身，这显然是这一提议的先例。团队知道这将是一个冒险，因为这意味着要面对使用干碳纤维通过液态树脂灌注 (LRI) 制造大型初级结构，以及使用非高压釜技术 (OoA) 的真正挑战。

凭借在复合材料领域的专业知识以及对自身能力的信心，MTorres 公司获得了创新导流机身制造系统 (IIAMS) 项



成型后的 MTorres Spar。

目，该项目由欧盟地平线 2020 计划资助，资助协议编号为 820845。

### 项目

IIAMS 项目与先进的低重量、高性能结构有关。

更具体地说，这一创新系统必须能够为机翼盒碳纤维复合材料结构制造可飞行的部件，而这些部件必须通过导流工艺制造。此外，为了提高质量，所有结构部件都必须采用 AFP 层叠法制造。而这一切都没有忘记我们的主要目标：大幅降低成本。

从图中可以看出，该团队为一架 C-295 涡轮螺旋桨验证机的左右机翼开发了 4 米长的无紧固件外扭矩盒的所有



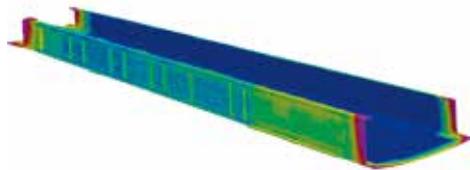
工具和制造设备便于携带和移动，易于在任何地点部署。



利用真空树脂灌注技术，为 C-295 涡轮螺旋桨验证机的左右机翼制作 4 米长的无紧固件外扭矩盒 3D 仿真。

部件，只用了其中一个表皮。这是一个一次成型的过程，包括蒙皮、撑杆、弦杆和加强筋，所有部件的形状和厚度都不相同。翼盒使用窄 (12.7 毫米宽) 干碳纤维带和高温 (180 °C Tg) 固化树脂，并使用节能工具、低成本加热系统以及基于传感器的数字控制和模拟来预测和管理加工步骤。

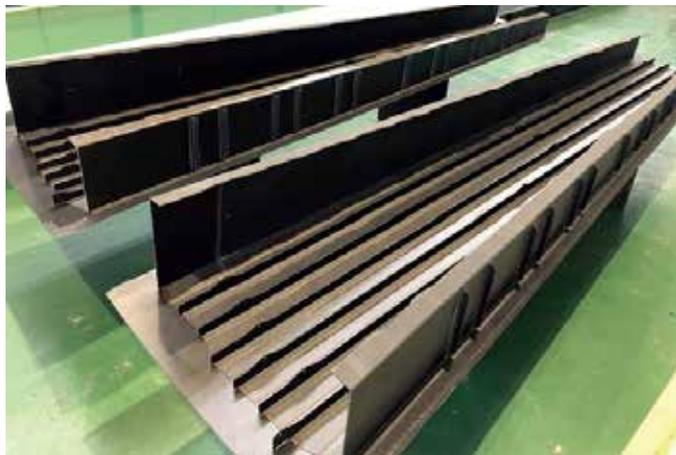
该项目最苛刻的要求之一是便携性。所有的工具和制造设备都必须具有便携性和灵活性，以便于在任何制造现场进行部署。此外，为了不影响现有的生产流程，制造过程不能使用天车等现有工具。为此，设计了热灌注自动化中心 (ACTI)，该中心可对纵梁和横梁 (包括加强筋) 进行热垂线成型；对纵梁、横梁、加强筋和蒙皮进行灌注；以及在不压力、仅有真空的情况下进行固化循环。此外，为了实现轻量化和公差精度，还使用了 CFRP 材料制作模具。



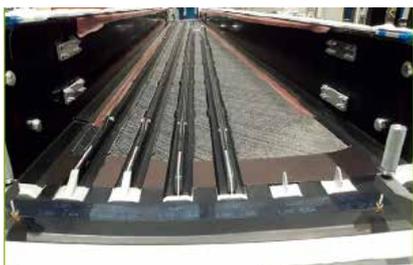
显示灌注过程中树脂流动模拟的填充图。



AFP 用于铺设翼盒蒙皮以及弦杆、撑杆和撑杆加劲件的二维坯料。



MTorres 开发的创新型复合材料部件制造新工艺。



在输液前的整合阶段，将 Stringer 和 spar 预制件置于下部皮肤上。

该公司申请该项目的优势之一是在其制造干纤维胶带的自产材料和技术方面的经验。

在开发阶段，他们使用三菱丽阳 50K 高强度（HS）纤维制成的 12.7 毫米宽、300 克 / 平方米的 TorresTape® 干碳纤维胶带进行工艺设置和调整，因为这种胶带不仅在灌注过程中具有良好的性能，而且在使用他们的 AFP 头进行铺层过程中也具有良好的性能，因此对于该项目而言，使用这种胶带更加方便，成本也更低。

最后，但并非最不重要的一点是，团队必须应对具有挑战性的一次注入工艺。他们使用定位器、填料板和数字技术来监控一切，并将它们全部放入 ACTI，在那里将工具加热到 120 °C。Hexcel RTM6 环氧树脂被加热到 70 °C，并在通过单个树脂进料点灌注之前进行脱气。尽管工艺复杂，但灌注过程相对较快，随后在 180 °C 下仅使用热空气进行两小时固化，与热垂帘成型 (HDF) 使用的设备相同。

## 结果

第一个原型在不到 16 个月的时间内建成（工程，过程定义，测试，工具和原型制造）。下盖、前、后梁集成到单元飞行演示使用一个单一的，低成本的便携式过程。

IIAMS 项目代表了欧洲首个使用 LRI 和 OoA 复合材料制造的可飞行且可能获得认证的碳纤维翼盒产品案例。

[www.mtorres.com](http://www.mtorres.com)

## KARL MAYER GROUP



## COMPETENCE IN TECHNICAL TEXTILES

Sustainable Fibre Composites – read more:



[www.karlmayer.com](http://www.karlmayer.com)

**STOLL**  
**KARL MAYER**  
**·KM.ON**

# LAILA：为系列轻量化生产铺平道路的创新孵化器

## LAILA: An Innovation Incubator Paving the Way for Serial Lightweight Production

汉堡赫尔穆特-施密特大学 ( Helmut Schmidt University Hamburg ) 与空中客车公司 ( Airbus ) 轻量化技术和创新中心 CTC GmbH 之间的一个联合项目被称为 LAILA ( 智能轻量化生产实验室 )。LAILA 致力于提高轻量化生产的成本效益和可持续性。

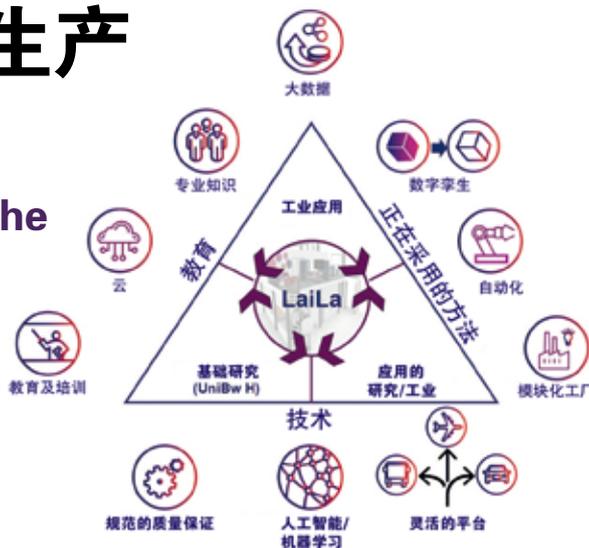
该项目计划从 2021 年 6 月至 2024 年 12 月，为期 4 年。其目标是在斯塔德的 CTC 工厂建立一个数字轻量化生产实验室。在 1230 万欧元的财政支持下，LAILA 一直在应对因大流行病而可能出现的创新积压。CTC GmbH 首席执行官

Marc Fette 表示，在航空、轻质结构和复合材料领域，LAILA 计划是独一无二的。

JEC 复合材料杂志采访了三位发起人：首席执行官 Marc Fette 和 CTC GmbH 工业系统与装配负责人 Joachim Piepenbrock，以及德国汉

堡赫尔穆特施密特大学的 Alexander Fay 博士工程师。

当今航空业面临的巨大挑战是如何提高工业生产的效率，使生产流程更能适应不断变化的需求。鉴于生产中更大程度的横向一体化，需要新的商业模式。



JEC 复合材料杂志：LAILA 的想法是如何产生的？

Joachim Piepenbrock：我们空客公司在生产数字化方面遇到了巨大的知识需求和经验匮乏问题。因此，大约 3 年前，我们在 CTC 制定了一项战略，建立一个智能工厂，为我们的工程师提供一个应用数字化和体验各种机会的场所。突然间，我们遭遇了大流行病。作为一家以盈利为目的的公司，自筹资金已不再可能，我们认为可能不得不暂时搁置这一有趣的活动领域。后来，我们想到了一个办法，即由武装部队和联邦国防部提供资金，帮助我们渡过难关，提供有针对性的支持，并保证工作的连续性。

Marc Fette：事实上，这已经是武装部队的现有概念。他们运营着一个数字研究中心，以扩展德国的关键技术，并在这一艰难时期为经济提供支持，总预算约为 5 亿欧元，为期 4 年。

由于之前的接触以及我们两家机构之间良好的双边关系，我们最终确定了这一共同项目。Alexander Fay 博



Marc Fette

CTC GmbH ( 空中客车公司 ) 首席执行官，德国工程师协会 VDI 航空航天技术部主席。

汉堡赫尔穆特-施密特大学 / 联邦武装部队大学制造技术实验室增材制造与轻量化技术负责人。

复合材料联合集群 NORD 董事会主席

"在航空、轻质设计和复合材料技术方面，LAILA 项目是独一无二的。" Marc Fette 说。



Joachim Piepenbrock

CTC GmbH 工业系统与装配主管。

7 年前，他创建了工业系统与装配部门；此前，他参与了 AIRBUS 公司第一架碳纤维飞机的研发工作，并从 2010 年起在 CTC GmbH 建立了装配部门。

"通过与空中客车公司的直接联系，我们处于一个理想的位置，可以不断调查行业的实际需求，并相应地调整我们的活动。"

士、Oliver Niggemann 博士和 Jens P. Wulfsberg 博士三位教授以及 10 名博士生将参与创建一个针对不同航空用途的智能轻量化生产实验室。该实验室位于

斯塔德，可使用我们现有的工厂工程和生产系统，并可生成实时数据和验证工业规模的结果。我认为，在航空、轻质设计和复合材料领域，该项目是独一无



**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay**

赫尔穆特 - 施密特大学 / 汉堡联邦武装部队大学，机械与土木工程学院。  
VDI/VDE 测量和自动化技术协会科学顾问委员会成员。

二的。在项目框架内建立的实验室还将成为知识转让、工业验证和继续教育的平台，以确保整体稳定化进程。大学教学和跨部门培训可以与实验室理想地结合起来。

Joachim Piepenbrock: 通过与空中客车公司的直接联系，我们处于一个理想的位置，可以不断调查行业的实际需求，并相应地调整我们的活动。我们成立了一个指导委员会，以确认工业以及学术和基础研究的需求和要求。我们致力于不断提高空中客车公司的专业技能。

**除航空业外，是否还能向其他行业部门转移知识？**

Joachim Piepenbrock: 这正是我们的目标。从基础研究、以应用为导向的研究和开发，到主要用于航空领域的工业应用，但也包括其他领域，例如国防。从这个意义上说，CTC 起着孵化器的作用。虽然在航空领域的制造和汽车领域的数百个注塑模具零件的制造中，要求极为不同，但原则上工艺流程是可比的，成果也是可移植的。生产流程背后的数字化模式也非常相似。

**到 2024 年能否取得显著成果？**

Joachim Piepenbrock: 我的第一个回答是肯定的。不过，我们的主要目标



**用于质量保证和流程改进的人机界面 ©CTC GmbH**

是稳定项目，并继续进一步开发技术。机器学习和利用人工智能优化生产流程是新的课题，希望这些课题能引导我们开展示范项目，向人们展示什么是可能的。2024 年只是迈向未来数字化路线图上的一个里程碑。我们选择了 10 个以应用为导向的使用案例，在未来 3 年内，我们将研究出切实可行的解决方案，然后提供给空中客车公司。在 Stade 工厂，我们将建立一条巨大的数字化生产线，而 CTC 主要负责为该生产线提供数字孪生系统。另一个应用案例是为航空业开发智能钻孔机。

**您如何看待 10 年后的航空业？这个雄心勃勃的项目在哪些方面最能打动您？**

Joachim Piepenbrock: 航空业的发展和生命周期总是一个长期的过程。在航空领域，我们的思维是以十年为单位的。以 2006 年推出的 A350 型飞机为例，从那时起，该机型经历了数次改头换面。15 年过去了，它仍然是最新的机型。我们的零排放目标是一个真正的进步，也是我们对未来 10 年的巨大挑战。与此同时，空中客车公司正在经历巨大的转型过程，以实现更可持续的衍生产品和更高效的高性能纤维复合材料生产。当然，我们的宏伟目标取决于政治框架。合成燃料是实现零排放的桥梁技术。

Marc Fette: 这也非常符合我个人的观点。总的问题是要产生效用。我们总是要对我们所取得成就的最终效益提出质疑。如何优化价值链和产品质量 -- 这些才是真正改变游戏规则的因素。我们始终需要看到全局，看到整个价值链。网络化生产系统中的完美数据评估将成为未来的通行证。那些能够对所有相关

**关于 dttec.bw-Zentrum für Digitalisierungs- und Technologieforschung der Bundeswehr:**

dttec.bw 是一个科学研究中心，由联邦国防军两所大学（位于汉堡和慕尼黑）共同运营，并由德国联邦国防部提供资金支持。<https://dttec.bw.de/home/forschung/hsu/projekt-laila>

**关于 CTC:**

复合材料技术中心 (Composite Technology Center / CTC GmbH) 是德国领先的技术创新中心，致力于采用干法纤维和预浸料技术轻量化设计和制造大型复杂部件。它与来自不同领域的合作伙伴合作，紧跟最新发展，并不断提出新的想法。[www.ctc-composites.com](http://www.ctc-composites.com)

参数进行最佳评估并建立正确关联的企业，将在不久的将来创造巨大的附加值。

**您认为 LAILA 项目的研究面临哪些挑战？您认为该项目有哪些独特之处？**

ALEXANDER FAY: 作为一所大学，我们始终致力于在研究工作中为社会创造附加值。研究越早越好应用于现实生活越好。有了 LAILA，我们就有了实现这一目标的独特机会。研究与产业正在紧密互动，CTC 正在承担起一种铰链功能。我们经常参与政府资助的项目。然而，LAILA 提供了一个独特的机会，让我们能够在跨学科的学术团队中进行互动，该团队结合了机械工程、自动化和信息学等多个学科。事实上，我们位于一个企业园区内，这为我们提供了一种非常特殊的精神，特别是增强了我们博士生的能力。

[www.hsu-hh.de](http://www.hsu-hh.de)

# 三维打印与建筑业的完美结合

## 3D Printing and Construction, a winning combination

德克萨斯州建筑公司 ICON 自 2017 年成立以来，已经展示了 3D 打印如何成为建筑业的完美盟友。凭借其技术和材料创新成果 Vulcan 和 Lavacrete，该公司正在各条战线上不断前进。

在美国，ICON 已经为有需要的人在瞬间建造了 3D 打印房屋，在得克萨斯州创建了整个社区，并且正在开展一个项目，涉及支持人类外太空探索的建筑系统。在这篇文章中，我们将向您介绍一家在面对外太空建筑挑战时仍脚踏实地的公司。

ICON 公司将机器人技术、软件和新型建筑材料融为一体，为住宅建设提供了一种新方法。这家美国公司开发了名为“火神”的三维打印龙门系统和名为“Lavacrete”的专有复合材料混合物，通过将可持续性、定制化、快速性和简化施工现场管理相结合，为住宅市场提供了具体的答案。

### 革新住宅建筑技术

ICON 公司总部位于德克萨斯州，成立于 2017 年，已逐步证明了 3D 打印在建筑领域的可行性。创立之初，联合创始人兼首席信息官 Jason Ballard 十多年来一直致力于将建筑与可持续发展结合起来。在参与了世界各地的许多房屋建筑项目后，他注意到该领域的项目设计和执行已经停滞了一段时间。经过几

个月的研究，他仔细研究了 3D 打印技术，认为这项技术最具颠覆性，最有希望改变这一市场。Ballard 与他的朋友 Evan Loomis 合作，开始开发龙门悬挂式增材制造打印机的初始原型。亚历克斯·勒鲁克斯 (Alex Le Roux) 刚从大学毕业，手握工程学学位，他也在研究同样的想法，并已开发出一种原型，可以使用挤压砂浆打印小型房屋。这三个具有远见卓识的人的相遇将成为 ICON 公司发展历程中的一个决定性转折点。

### 快速部署和高性能

从此，三人的事业迅速发展起来。2019 年 3 月，在创立 ICON 两年后，他们推出了名为“火神”的 3D 打印机。“火神”这个名字是为了纪念罗马的火神，同时也是对 ICON 先进材料的部分成分源自火山的玄武岩的赞美。他们的打印机是同类产品中的第一台，也是该公司能够如此迅速地建造出设计别致、舒适宜居的房屋的关键所在。

ICON 开发的全套解决方案由龙门悬挂式 Vulcan 打印机、专门用于混合 Lavacrete 并将其输送到打印头的集装

### 性能和规格

火神总高度：3.5 米 (15.5 英尺) 高  
最大打印高度：2.6 米 (10.5 英尺) 高  
最大打印宽度 打印宽度：8.5 米 (36.5 英尺) 宽  
打印珠 2.5x5 厘米 (1 英寸高 x 2 英寸宽)  
打印速度：12-18 厘米/秒 (5-10 英寸/秒)

箱式系统 (Magma) 组成。最后，还有一个专有的集成软件程序，可以对建造过程进行精确跟踪。

典型的建造过程遵循以下步骤。地基打好后，ICON 团队为支撑印刷系统的龙门起重机结构安装两根导轨。在对软件进行编程并准备好 Lavacrete 混合材料后，Vulcan 就可以开始工作了，操作员只需接受最低限度的培训即可进行监控。之所以如此容易上手，是因为设备实现了自动化，并配备了专门的操作系统，可完全通过平板电脑使用专用应用程序进行控制。效果显著。据该公司称，打印机可以打印的房屋面积最大可达 280 平方米 (2000 平方英尺)。该公司已经在短短的 24h 内，分几天打印出了 37 至 46 平方米的房屋墙壁。

### 应对当地市场紧张的挑战

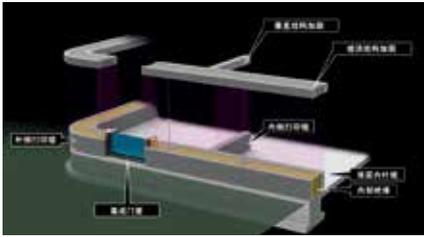
根据穆迪分析公司 (Moody's Analytics) 2021 年 4 月发布的分析报告，美国住宅建设行业高度紧张，因为需要约 180 万套新住宅才能满足需求。需求增加了价格压力，无论是租房还是出售房，价格都在上涨，因为这些地方的房产十分稀缺。新建房屋的速度赶不上潜在买家的数量，导致许多人无家可归。



3 Strands ICON 首批主流 3D 打印住宅于 2021 年 8 月在美国售出



ICON 3D 打印房屋社区第一村外观  
奥斯汀 (德克萨斯州) 无家可归者  
图片来源：Regan Morton 摄影



ICON 一般墙面系统效果图示例

这已经成为美国政府面临的一个现实困境，因为福利和补贴的成本已经开始对国家住房政策造成沉重的压力。

此外，原材料领域也出现了压力。美国建筑市场历来以木材和木料为基础，这种材料仍然是房屋建筑的主要特征。面对目前的短缺情况，几乎没有迹象表明未来的项目会很快扭转这一趋势。最后，金属和塑料的生产也出现了问题。

更糟的是，气候变化给建筑结构带来了极端条件。飓风、龙卷风和火灾呈上升趋势，对现有社区和住宅构成了真正的威胁。在这种情况下，当务之急是寻找和采购能够应对这些限制因素的新材料。这就是 ICON 新材料发挥作用的地方：Lavacrete。

## 作为工艺核心的 建筑材料 Lavacrete

虽然 ICON 没有透露这种建筑材料的成分，但现有信息表明，Lavacrete 是用波特兰水泥、环氧树脂和玄武岩制造的。因此，它具有独特的性能，如 413 巴（6000 磅 / 平方英寸）的抗压强度、弹性和高热质量。

熔岩混凝土的设计还能抵御极端天气条件，其蛋白霜状质地可防止表



ICON 首次获准使用 3D 打印房屋  
奥斯汀（德克萨斯州）2018 年 3 月  
照片来源：Regan Morton 摄影

面形成泡沫。与熔岩一样，Lavacrete 重量轻、耐腐蚀、干燥快。这种材料的另一个主要特点是，用它建造的建筑具有很强的抗震能力 -- 比如在 2020 年 6 月的地震中，ICON 建造的单元就经受住了 7.4 级地震的考验，没有明显的损坏迹象。

ICON 公司告诉建筑与设计杂志《Dezeen》，该公司成熟的 3D 打印技术可提供更安全、更坚固的房屋，与传统房屋相比，这些房屋能更好地抵御火灾、洪水、风灾和其他自然灾害。可以理解的是，这些房产对美国当局很有吸引力，并为 ICON 赢得了符合美国全国现行标准的认证。

最后，Lavacrete 在可持续发展方面也很突出。一方面，增材制造特有的“从底到顶”技术优化了所需材料的使用和数量。另一方面，通过在当地采购原材料，公司还减少了活动的碳足迹，控制了材料的运输距离。

## 创作、合作和大量项目

ICON 开发的解决方案很快引起



ICON Vulcan 建筑系统 3D 打印住宅

了合作伙伴的兴趣，首先是美国海军陆战队。在 2019 年的第一个项目中，Vulcan 打印机被用于生产车辆隐藏结构，以隐藏用于观测危机地区敌方导弹发射情况的卫星。接受培训的海军陆战队队员对这一成果充满热情，称这些装置是“即时掩体”。

2018 年，ICON 已通过参与非营利组织“新故事”（New Story）项目表达了善意。

该项目旨在想象、设计和实施一种新的住房建设经济模式。团队一起完成了一项壮举：为有需要的家庭或无家可归的人，在 24 小时内建造了面积达 75 平方米的房屋，单价为 6500 美元。

然而，ICON 并没有止步于此，而是继续利用 3D 打印技术提供的全方位设计能力，丰富其产品组合。2021 年，ICON 为 Logan Architecture 设计的东 17 街住宅项目建造了更多住宅。在这里，ICON 的目标是提供两居室和四居室的住宅，展示其技术解决方案的性能，巩固其中档住宅市场的地位。同样是在 2021 年，ICON 和 Lennar 集团与建筑工作室 BIG 合作，为德克萨斯州奥斯汀的一个社区建造了 100 套 3D 打印住宅。该项目将于 2022 年动工，是该领域最具雄心的项目。

但冒险并不局限于地球上的住所。这家德克萨斯企业还将目光投向了星空。它的解决方案最近引起了美国国家航空航天局（NASA）对奥林巴斯项目的关注，并因此获得了包括资金在内的小企业创新研究（SBIR）合同。

[www.iconbuild.com](http://www.iconbuild.com)



ICON Lennar 大型 100 公顷社区正在建设中（施工概念效果图）

# 用于建筑和基础设施的 可持续金属纤维层压板

## Sustainable Fibre Metal Laminates for Building & Infrastructure

与其他创造价值的行业一样，建筑和基础设施行业对可持续材料的需求也与日俱增。可持续建筑材料应由可再生原材料制成，易于回收利用，生产方式既能节约资源，又能满足行业特定标准。

建筑钢材、铝材、混凝土或木材是传统的建筑材料，在建筑和基础设施领域占有很高的市场份额。另一方面，复合材料在建筑业中相对较新，但由于其轻质潜力，最近已变得越来越重要。据估计，到 2030 年，复合材料在建筑领域的复合年增长率 (CAGR) 将达到 7%。然而，欧洲绿色交易和政府法规鼓励使用更具可持续性的材料进行替代。

### 生物基金属纤维层压板 ( Bio-FML ) 的优势

由天然纤维增强聚合物 (NFRP) 和金属制成的混合材料通过协同结合每种材料的优点，为广泛的应用提供了巨大的潜力，尤其是在建筑领域。与单片材料和传统的玻璃钢相比，纤维金属层压板 (FML) 可以提供更多功能、更好的绝缘能力和更高的特定重量机械性能，如冲击强度和损伤耐受性。天然纤维 (如亚麻) 与铝板的结合可提供隔热和隔音效果，以及将机械振动能量转化为热能



图 1：由亚麻增强聚乳酸芯材和铝表层制成的热成型 Bio-FML

的高能力 (高比阻尼系数)，同时还具有涂漆能力和金属的表面坚固性。夹层结构的另一个优点是，根据 Huygens-Steiner 定理，弯曲刚度与芯层厚度成二次方比例增加，因此 FML 具有很高的轻质潜力。同时，生物基塑料和植物纤维的使用消除了石化原料，有助于减少产品生命周期中的碳足迹。由于采用热塑性基体且不使用粘合剂，生物 FML 易于回收利用，并可进行各种深加工，例如热成型 (见图 1)。

### 铝与热塑性复合材料的连接

关于芯层和顶层之间的粘合，我们必须区分由微观配合或互锁引起的机械粘合和特定粘合，例如使用化学粘合剂时的粘合。要在核心层和顶层 FML 之间实现牢固的粘合，通常采用后一种方法。不过，Fraunhofer IPT 采用激光结构化工艺来生产 FML。

这是一种既经济又灵活的金属表面处理解决方案，它不需要任何研磨介质来进行结构化处理，并且消除了 FML 中可回收性差的粘接剂。此外，在金属类型方面也没有已知的限制。

在 Fraunhofer IPT 的预试验中，铝板采用不同的图案和激光参数，以确定与热塑性生物聚合物牢固粘合的适当设置。生产的热压加固层压板的铝板厚度为 0.2mm，层压板厚度为 1.5mm，并通过四点弯曲试验 (4PB) 对其进行测试，以观察是否出现分层并比较其机械



Jonathan von Helden, M.Sc.,  
Research Fellow; Malena Schulz,  
M.Sc., Group Leader; Dr.-  
Ing. Henning Janssen, Head of  
Department, Fraunhofer Institute for  
Production, Technology IPT, Aachen



图 2：金属表面处理激光成型工艺 (左) 和经 4PB 测试的 FML 试样横截面

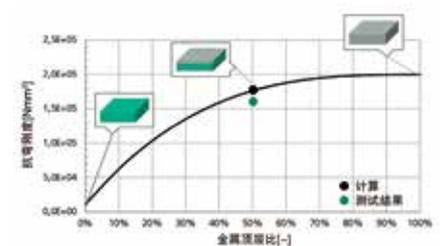


图 3：与 4PB 试验结果相比，2mm 厚的铝 - 聚乳酸夹层的计算弯曲刚度是顶层比率的函数

表 1：建筑材料性能与 AI-PLA 夹层的比较

材料	杨氏弹性模量 E [GPa]	密度 ρ [g/cm³]	比刚度 Φ = E / ρ [10⁴ Nm/g]
AI-PLA 三合板 (A)	17,5	1,55	1,1
混凝土 [3]	20,0..40,0	2,40	0,8..1,6
橡木 [4]	13,0	0,65	2,0
AI-PLA 三合板 (B)	48,5	1,85	2,6
结构钢 [5]	210	7,85	2,7
铝材 [5]	60,0..78,0	2,70	2,2..2,9

性能。芯层使用了非增强聚乳酸，以避免受到天然纤维的影响。4PB 试验的结果表明，所有图案都具有很强的粘合力，只有芯层在某些情况下会发生断裂。断裂面垂直于层压板层，其原因是拉伸应力超过了聚乳酸的抗拉强度。在测试的

所有 120 个试样中，材料界面保持完好（见图 2），因此无法观察到临界分层。

## 机械性能

在夹层结构方面，通过 4BP 测试了两种不同的夹层结构，并通过分析计算进行了验证，以确定适用于特定应用的正确材料成分：(A) 1.5mm 厚夹层，0.2mm 厚金属面层；(B) 2.0mm 厚夹层，0.5mm 厚金属面层。如图 3 所示，4PB 试验的结果是：夹层 A 为 17.5 GPa（比刚度  $\Phi = E / \rho$  等于  $1.1 \times 10^4 \text{ Nm/g}$ ），夹层 B 为 48.5 GPa（ $\Phi = 2.6 \times 10^4 \text{ Nm/g}$ ），与分析计算结果相符。与铝、混凝土或橡木等传统建筑材料的比刚度相比，铝-PLA 夹层材料的性能更具竞争力，例如比建筑钢材低 4%（见表 1）。由于天然纤维的轻质潜力，用亚麻增强后，特定刚度有望进一步提高。然而，混合材料的主要优势在于其良好性能的

组合。它具有铝材的良好耐候性和混凝土的低导热性。与木材不同，它不易燃，但温室效应较低（导热性和易燃性测试尚未完成）。

## Fraunhofer IPT 的整合过程

目前，热塑性 FML 的生产要么基于非连续或半连续生产工艺（如压缩成型），要么基于成本高昂的浸渍压力机（如双带压力机）。Fraunhofer IPT 已开发出一种连续、低成本的加固工艺，用于制造热塑性生物基 FML，并与其合作伙伴 DIRKA 共同建立了样机。该机器由四个区域组成：材料进料区（可用于预干燥天然纤维）、浸渍区（如图 4 所示）、冷却区和包括材料切割机在内的出料区（下游顺序）。在浸渍和连接过程中，薄金属带作为热量和压力传递的工具，在最后一步形成夹层材料的顶层。与双带工艺不同的是，这种工艺不需要分隔



图 4：现场的机舱

层，分隔层在工艺温度升高时容易磨损，而且成本较高。该设备最近已投入使用，其可行性已在较低的加工速度下得到验证。Fraunhofer IPT 目前正在优化该工艺，以提高产量，并将与项目合作伙伴一起验证该材料在货运或住宅集装箱中的应用。

## 致谢

该项目由欧盟 NeueWerkstoffe.NRW 领先市场的 EFRE.NRW 资助计划资助（资助代码 EFRE0801475）。特别感谢 PtJ、项目管理 Jülich 以及财团的所有学术和工业合作伙伴。

[www.ipt.fraunhofer.de](http://www.ipt.fraunhofer.de)



中国区  
总代理

缘于复材 一路相伴



复材全球汇 Z-WORLD



展位选择  
现场宣传  
展商手册



优惠方案  
运输指南  
申请补贴



**线上+线下 推广活动**  
ONLINE+OFFLINE ACTIVITY LINKAGE

国内知名展会现场推广  
CIBS|GCE|CCE-SHANGHAI|SHENZHEN|EDRR  
CWP|SHANGHAI AIR SHOW|ICIE|AMS

海外知名展会现场推广  
ICERP SHOW|JEC WORLD|COMPOSITE-EXPO  
FELPLAR COMPOSITES|EURASIAN COMPOSITES SHOW

多形式、多渠道、多样化推广宣传形式

短视频推广: WeChat, Tiktok, Bilibili  
平台数据推广: EDM (380000+ data)      线上媒体推广  
搜索引擎推广: Baidu, Google  
线下媒体推广: 20000+      线上内容推广

平台短信推广      在线直播推广      会员互动推广

致力打造复材行业整合营销生态圈  
复材新天地

GLOBAL COMPOSITES | 全球复材产业链  
ZEN3 | 数字化交互平台



关注官方微信  
扫码注册会员

WWW.GLOBALCOMPOSITESZONE.COM    WWW.GLOBALCOMPOSITESZONE.COM.CN

# 蜕变：伯克利大楼 Latitude 采用大胆的新型复合材料外墙

## A Metamorphosis: Latitude, the Berkeley Building with A Bold New Composite Material Facade

纬度大厦位于巴黎拉德芳斯商业区，与标志性的 CNIT 大厦仅两步之遥，经过三年的施工，将于 2022 年初迎来新的入住者。这座 70 年代的伯克利大楼(图 1)经过了重大的结构调整，并加长了 32 米。



Hakim Bouhouita, Works Director,  
Bouygues Bâtiment Ile-de-France  
Rénovation Privée

Samuel Durand, Calculation &  
Materials Engineer, co-owner, MECA  
Design Office

Jérôme Duclos, Support Team Director,  
Industry Division, SIKA France

为了创造一个独特的轮廓，并从拉德芳斯垂直的矿物景观中脱颖而出，Studios Architecture 设计了“流动、弯曲的水平标志”，其波浪形的丝带将建筑包裹起来。在布依格法兰西岛私人住宅翻新公司（Bouygues Bâtiment Ile-de-France Rénovation Privée）、工程设计事务所 Meca 和材料供应商西卡工业公司的紧密合作下，这 1500 平方米的大胆衔接完全由复合材料制成。在不影响质量和美观的前提下，技术壁垒被逐一打破。

### 从建筑项目到技术 解决方案的转变

只需看一眼项目概览，就足以了解建筑师眼中的丝带状衔接所代表的挑战。2018 年 8 月获得合同的 Bouygues

Rénovation Privée 团队在仔细观察后发现，这些缎带形态各异，每一条都不相同。他们立刻想到了材料的选择。招标文件提到了热成型和内部金属结构的设计原则。但这一方案与所选择的外墙施工技术并不相符。为了迎接挑战，他们开始寻找替代方案。

在对赛艇模型和模具所用材料进行研究时，布依格公司的施工经理 Hakim Bouhouita 与西卡工业公司的 David Angeli 取得了联系。西卡为该项目提供了复合材料专业技术、材料和潜在分包商名单。

使用可加工聚氨酯泡沫板似乎很合适。在参观了西卡技术实验室后，使用西卡 Biresin F180-1 快铸聚氨酯树脂粘合和锚固的各种密度的 Labelite 泡沫板成为了不二之选。这些泡沫板将以三维方式加工成独一无二的部件，并涂上环氧树脂 SikaBiresin CR82 和玻璃纤维，使其兼具耐磨和轻质的特性（图 2）。

项目的所有利益相关者（建筑师、外墙技术设计办公室和客户）是否会相信复合材料解决方案是可行的，这还有待观察。

2018 年 11 月，Bouygues Rénovation Privée 公司咨询了 Meca 公司，该公司已经进行过几次覆盖元件或复合材料外墙的工程研究。这个新项目是一个巨大的挑战，因为必须在很短的时间内从头开始制定技术解决方案。挑战被接受：2018 年 12 月底，第一个展示外观的原型组装完成并获得批准。

### 细致的三维设计

2019 年初，外墙研究已经开始，许多技术细节必须提供给外墙施工方 Goyer。

根据施工现场的限制条件，对玻璃纤维加固材料进行了调整。我们确定了四级加固，以覆盖每个部分。对于应力较小的部分，两根 200 克 / 平方米的切碎玻璃纤维条就足够了，而对于高 10 米、跨度 7.5 米的长肋骨，则采用四根 1200 克 / 平方米的四轴向玻璃纤维条。由 CTBX 海洋石膏板制成的部件将在加工前穿插其中。

这些部件将支撑泡沫和金属连接件之间的过渡，并提供固定带所需的刚度。Meca 公司的 Samuel Durand 对组件和紧固件进行了计算。作为负责欧洲复合材料规范 (TS19101) 项目的 CEN TC250/WG4 的成员，即使在未来的欧洲法规正式发布之前，也可以根据该法规完成验证。

衔接部分完全采用三维建模。尽管



图 1：交付时的 Latitude 大楼



图 2：玻璃和复合元件的细节图

BIM 技术不断进步，但为了避免二维工作包的汇总 / 合成，外墙工程师调整了所使用的设计工具，并在三维中集成了最新的组件（图 3）。

## 使用经 ATE<sub>x</sub> 验证的复合材料

在项目的这一阶段，欧洲复合材料规范尚未公布。这意味着复合材料结构的使用仍被认为是一种不常见的建筑技术，没有统一的标准，也不符合 CPR 所要求的任何欧洲技术评估。因此，必须执行 ATE<sub>x</sub> 程序，以便为外墙处理投保。

索科泰克检验局和 CSTB 都根据一项资格鉴定计划进行了评估，该计划包括研究和测试，工程和设计局 Meca 为其制定了规格。该计划强调了两个关键参数：耐用性和制造质量（图 4）。

它规定在热冲击、雨水和饱和湿度等代表性条件下，对分层材料、夹层区域和紧固件进行加速老化试验（1000 h）。目的是验证材料的兼容性以及老化对其



图 4：泡沫 - 玻璃 - 环氧树脂带的疲劳测试

强度和抗性的低影响。此外，还进行了疲劳测试，以验证部件和紧固件在风中的振动性能。

在 Thomas Delhaye 的协助下，所有的机械测试都在西卡工业公司的实验室内进行，从而大大缩短了就程序作出决定所需的时间。

## 外墙装饰的工厂化生产

实验室测试得到验证后，项目剩下的工作就是生产复合材料部件。由于西卡提供了所有彩带材料，因此质量控制和材料可追溯性都得到了简化。随后，项目合作伙伴将技术转让给制造商 Le Prince Borel 和 SMM Technologies。

西卡工业公司的 Patrick Noirclerc 指导采用树脂灌注技术来制造公共走廊和通道的敷料（112 个部件，32 个不同

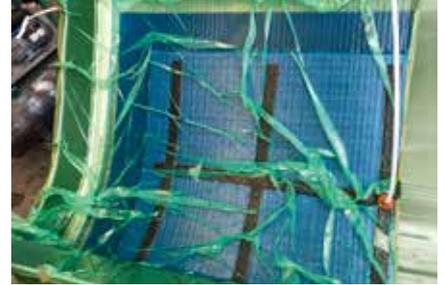


图 5：注入走廊元素

的模具）- 图 5。

一些细节也已敲定，比如丝带的角度，在加工前已重新填充，以免在运输和安装过程中变钝。

CSTB 为该项目制定了专门的质量计划，并在对生产商进行审核时使用该计划对合规情况进行监督。特别关注的是色带的后固化过程。Bougyues 施工团队成员对 ATE<sub>x</sub> 文件中规定的生产控制进行了监督。2019 年 9 月，第一条色带出厂。

不久之后，ATE<sub>x</sub> 委员会的专家批准了复合材料外墙的设计、制造和安装技术。他们在技术鉴定中特别提到了该集团提交的技术文件的质量。

## 现场陪同

第一条缎带于 2020 年 4 月安装在大楼上。Bougyues Bâtiment Ile-de-France Rénovation Privée 公司的 Edouard Jaffre 负责组装物流。考虑到每个部件都是独一无二的，项目的复杂性可以通过材料和工厂预制来弥补。每件家具的制作精度高、重量轻，使得组装更加简单。

Latitude 大楼已于 2021 年 9 月交付。

## 结论

为了在很短的时间内将一座 20 世纪 70 年代的建筑改造成 2021 年的美观建筑，Bou-ygues Bâtiment Ile-de-France Rénovation Privée、MECA 和 SIKA 三家法国公司走到了一起，各自贡献出了自己的专业技术。这一联盟以大量使用复合材料为基础，使建筑师最初的图纸得以实现，同时确保了造型的轻盈和耐用性。

[www.sika.com](http://www.sika.com)

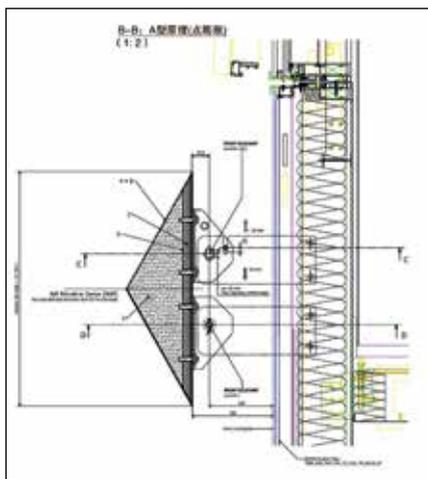


图 3：外墙处理设计细节

## Berkeley/latitude 的复合外墙团队

- Bougyes Bâtiment Ile-De-France
- Rénovation Privée: Hakim Bouhouita (cap.), Edouard Jaffre,
- MECA: Samuel Durand, Gaël Cloarec, Kevin Brunellière, Stéphane Guelzec
- Sika: David Angeli, Thomas Delhaye, Patrick Noirclerc, Jérôme Duclos
- Leprince Borel: Claude Borel, Yann Sanson
- SMM Technologies: Olivier Kerdoncuff
- ALV: Steeve PRUNIER

# 工业 4.0 提高了可追溯性并减少浪费

## Industry 4.0 Offers Increased Traceability And Reduced Waste

复合材料的世界从未像现在这样智能。工业 4.0 的引入使得尽可能有效地管理产品寿命成为可能，为供应链管理和套件切割提供更智能的解决方案，并减少多达 20% 的材料和操作浪费。



Jon Bridges, CEO  
Velocity Composites

工业 4.0 正在彻底改变复合材料制造。多年来，各公司一直在谈论将决定日常生活的技术应用于制造业，使其更智能、更精简和更环保。Velocity 复合材料公司的目标是站在利用这一机会改变复合材料制造管理方式的最前沿，以便尽可能高效地简化流程。

智能技术是工业 4.0 的本质 -- 它正在影响着制造过程中的每一次互动。事实上，工业 4.0 的宗旨和技术有助于改造复合材料供应链。从实时跟踪在世界各地交付到您家门口的订单，到记录 IT 或设施提供商的工作和支持票证，并看到它们得到妥善解决。

### 全资的供应链管理创造了 20% 的节约

Velocity 复合材料公司生产工程结构和工艺材料套件，主要用于航空航天领域，在英国的工厂已经做了 15 年。作为首席执行官，我有超过 25 年的制造套件的经验和见证了行业的转变、适应不断变化的市场和技术发展。

自成立以来，公司一直是不仅仅关注切割形状。它已经开发了内部技术，以提供工具包，减少复合材料供应链中所有形式的浪费。

我们的管理服务允许公司将复合供应商管理从他们的供应链中完全移除，将整个过程外包给我们，我们可以在我们的专业团队和数字流程中管理每一个

步骤，同时提供完整的可追溯性，创造运营成本的节约和现金流的改善。锦上添花的是，通过我们的需求管理和排版操作，实现了材料的节约，使我们向客户及时提供成套的产品。

这使公司的客户能够专注于他们的核心部件制造业务，更好地应对新飞机项目、更高的生产率和有效的成本控制等全球性挑战，以支持航空航天复合材料的发展。

Velocity 复合材料公司的企业资源规划 (ERP) 软件旨在完全拥有复合材料供应链的每一个环节，以帮助在每一个环节寻找效率和减少浪费。其专有的 VRP 和 Hypernest 系统包括先进的实时排版、批次控制、寿命控制、材料利用率报告、质量管理、机器集成、变更管理和新产品开发 - 引进等。

我们还与领先的设备供应商合作，根据我们提供的服务开发我们的加工机械，为结构性复合材料提供全自动切割床和增强型数字识别系统，以及焊接和缝制工艺的专用设备。

因此，公司的客户已经能够减少高达 20% 的材料浪费，同时还能以支持员工更有效的方式创造运营、库存和工艺效率。Velocity 复合材料公司目前在其所有项目中的运营浪费水平远低于 1%。

这些节约不仅有助于公司提高效率和竞争力，而且可以帮助减轻材料成本上升的影响，同时缩小与实现航空航天部门非常现实的环境目标的差距，即到 2030 年达到 15%，到 2040 年达到 40%，到 2050 年实现净零。

### 工业 4.0 为客户提供更大的可追溯性

航空航天供应链中对全面可追溯性

的需求从来没有像现在这样必要。从项目管理零件的制造和供应以适应 "及时" 和 "按顺序" 的生产计划，到跟踪单个产品的旅程、寿命和可行性。工业 4.0 为制造商提供了必要的工具，以提供高水平的可追溯性和实时管理。

我们的使命是使航空航天复合材料供应链尽可能地透明和具有前瞻性。我们的专利软件现在可以跟踪层压板或材料的整个生命周期，从冷冻库到车间到交货，而我们的新数字制造单元等附加流程可以减少材料和运营成本。

该单元是一系列数据驱动的技术进步中的最新成果，旨在为客户全面跟踪和追溯航空航天供应链，提高效率，并节省材料和运营成本。

Velocity 复合材料公司自己的 VRP 技术旨在管理整个价值流，从客户需求管理、原材料管理、批次追踪、复杂排版、套件制造和套件物流，所有领域都连接起来并共享实时数据以推动效率最大化。

此外，该公司的软件解决方案允许客户从实时数据中受益，这有助于从最初的接受和规划到交付前的每一步的资源规划，以优化操作，减少浪费，并提供合理的信息，据此做出决定。

因此，数字制造单元的诞生是由于为客户降低运营成本和创建一个智能、精益的制造过程的目的。该单元将 Velocity 复合材料公司的定制软件与全自动三轴传送床 Zund 切割机以及一系列智能堆放、排序和包装区域结合起来。它允许对每一个单独的层进行唯一的识别，从而可以测量其进度。然后使用独有的 Hypernest 软件对层压进行嵌套，确保在切割时最大限度地利用材料和减少浪费。



**在切割之后，每层都会被扫描以进行唯一的验证。**

在层板切割步骤之后，该过程结合了对每层板的自动视觉检查( AVISoCS )，以进行独特的验证，同时采用逐光技术进行套件整理，包含数字功能，向操作员和 VRP 系统展示并确认套件的进展。这些都是为了增强人们在生产过程中无与伦比的灵巧性，并在使用多个辊子进行大长度排版时提高效率。

模块化整理系统 ( MCS ) 是由机架上的多个套件位置组成的，可根据所需的工作规模进行扩展。每个 MCS 由 1,500 个 LED 灯组成，实时跟踪层的位置和套件参考，并将完成进度反馈给 VRP。在整理之后，对产品进行数字排序，以减少客户在拆开交货包装时的时间，每个部件都能按照组装所需的顺序提供。

除了提供可追溯性和效率方面的好处外，数字制造单元的固有技术还能改善内部流程，并允许显著提高规模。我们对最小的浪费和最终的效率感到自豪，这一设施使我们能够优化我们的工作流程，同时管理包含数千层的单个套料的切割操作，灵活地管理每项工作并为客户提供最终价值。

## 增强结构和消耗品套件的保质期

复合材料浪费的一个关键因素，以及在供应链中可以节省的费用，都与过期材料有关。Velocity 复合材料公司使用最新的软件来管理和优化材料寿命，以减少浪费。

对结构和消耗品套件暴露在环境温度下的时间缺乏跟踪和管理不善，会导致产品过早过期和使用时间缩短。这种信息的缺乏导致了材料的丢弃和浪费，要么是因为材料无法在规定的制造周期



**轻量级拣选技术有助于 Velocity 客户进行试剂盒整理和排序。**

内消耗，要么是无法满足航空航天等高度管制行业所要求的可追溯性标准。

结构材料包的供应使得处理高价值、高性能的部件成为可能，如机身、机翼、发动机短舱和副翼部分在一个高度规范的过程中按照高公差建造。这些原材料套件是在专有的无尘室环境中制造的，以管理其使用寿命并保护其不受污染。由于预浸渍树脂，原材料卷在 -18℃ 下储存在现场的冰柜中，以保护其保质期，直到生产需要。

在射频识别技术 ( RFID ) 和数字系统的帮助下，冷冻和常温的原材料和成品部件都可以在单个卷筒和套件层面上进行实时追踪，以实现完整的层级追踪，这意味着原材料的剩余寿命可以被准确追踪，以减少浪费并为客户提供更多的可追溯性。

使用数字技术的 Velocity 流程确保了材料进出冷冻库的完全可追溯性，所有的移动都有完整的历史和审计，包括与母卷和供应商有关的材料批号，由 RFID 技术支持。因此，该公司的服务确保材料在切割和供应时仍在规定范围内，从而减少因保质期过期而造成的浪费风险。

## Hypernest 软件将运营浪费降低到远低于 1%

在任何结构套件项目开始时，客户发送的初始 CAD 数据通常由 Hypernest 软件重新配置，以确保正确的格式，并保证详细的设计能够被数控切割机处理。这一逆向工程步骤对于在整个过程中创建正确的软件语言是必要的，也是完全可追溯的，并利用公司的数字层检测平台来审核工程工作，确保所有形状数据与原始客户数据完全一致。



**在 Velocity 复合材料公司的数字制造单元制备板层。**

同样，Hypernest 软件通过确保在生产过程中最大限度地利用材料和减少材料的浪费，在数字切割台上提供最大的效率。这包括更大、更复杂的形状巢，有些形状巢的长度远远超过一公里，在这里，软件可以识别机会。

辊子只根据客户需求和商定的操作原则从冷冻仓库中提取，以保持其材料的保质期。一旦发放到无尘室，软件通过识别精确的辊子尺寸和所需的辊子更换来进一步提高操作效率。

Velocity 的切割设备、Hypernest 和 VRP 系统的数字共生是最重要的，它允许实时更新制造性能和材料利用效率的数据，不仅确保关键业务指标处于正轨，而且进一步让客户了解公司商定合同的长期服务绩效。

## 对技术的影响没有限制

在实时数据驱动流程的支持下，我们可以将这项技术应用到任何地方，为我们和我们的客户提供决策所需的宝贵信息，这是没有限制的。事实上，随着我们继续发展和完善我们的流程，代表我们的客户和更广泛的供应链提高效率，我们相信其他行业可以从这种适应性强、灵活的技术中受益。

Velocity 的流程和软件并不局限于航空航天领域。汽车、风能、体育和休闲行业已经在寻找可能的机会。在汽车行业，由于持续的发展，零件通常数量较多且不断变化，因此灵活的成套解决方案非常适用，而且流程本身也可以转移。

这项技术可以被调整和利用，以彻底改变所有行业的复合材料供应链，这将确保工业 4.0 的影响可以继续不受阻碍。

[www.velocity-composites.com](http://www.velocity-composites.com)



# JEC WORLD

2024 国际领先的复合材料展  
巴黎北郊维勒班展览中心

2024年3月5日至7日



参加全球领先的专注复合材料、  
技术和生产工艺及其应用领域的国际大型展会。

[www.jec-world.events](http://www.jec-world.events)



# 亚什兰复合材料： 英力士的智慧之选

和您一样，英力士一直高度信赖亚什兰复合材料。他们凭借卓越的专业能力解决每一个难题，完美应对强腐蚀工作环境。

当您需要设计制造能经受恶劣环境考验的设备时，他们即刻行动；当您需要有人视您的业务成功为己任并不懈努力时，他们挺身而出。

我们意识到，他们不仅仅是极富价值的资源，更是您团队的一份子。而现在，他们加入了英力士。这意味着您将得到更多支持，英力士作为科学和化学行业全球领导者将竭诚为您服务。若您有任何困难，请联系我们。英力士复合材料将与您携手前进，共创未来。



了解英力士集团和复合材料前景的更多信息，请访问：  
[ineos.com/composites](https://ineos.com/composites)

**INEOS** Composites

广告