

# JEC COMPOSITES 中国

面向中国的先进复合材料工程技术

# 12

海洋工程  
Marine  
运动  
Sports

复材制造  
Composites Manufacturing  
管道/生物复合材料/自动化  
Pipes/Biocomposites/Automation

革新方案  
Innovation Solutions  
医疗/粘合技术  
Medical/Bonding

ISSN 2707-3459

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

2022.10

# 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 **管道**  
重新定义GRP和GRE管道制造  
Redefining GRP and GRE pipe manufacturing
- 6 **生物复合材料**  
改进皮划艇行业的硬件及户外装备  
Changing the Outdoor Hardware Industry
- 7 **自动化**  
通过自动化配套系统提高生产力和效率  
Improving Productivity and Efficiency with Automated Kitting System

专栏：海洋工程 Marine



- 10 **电动船**  
游艇业向氢气发展  
Yachting Makes the Move to Hydrogen
- 12 **环境**  
使全球航运更具可持续性的有趣方法  
Interesting Approach to Making Global Shipping More Sustainable

专栏：运动 Sports



- 14 **水上运动**  
环氧复合材料的闭环回收  
Closed-Loop Recycling of Epoxy Composites
- 16 **跑鞋**  
复合材料在中国独树一帜  
Composites Make Their Own Mark in China
- 18 **短跑鞋**  
短跑的未来：无钉CFRTP短跑鞋  
Future of Sprinting: Spikeless CFRTP Sprinting Shoe

解决方案 Innovation Solutions



- 20 **医疗**  
开辟医用复合材料的新视野  
Composites for Medical Applications Are Opening Up New Horizons
- 22 **粘合**  
胶层控制技术  
The Bondline Control Technology

# 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  
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

# 重新定义 GRP 和 GRE 管道制造

## Redifining GRP and GRE pipe manufacturing

Smithline Reinforced Composites 采用创新方法制造高质量的 GRP 和 GRE 压力管道和配件，采用双螺旋丝缠绕工艺。该公司是业内少数几家采用双螺旋丝缠绕工艺制造直径达 3000 毫米管道的制造商之一。200 毫米厚的 GRE 背环法兰就是采用这种工艺制造的，它在轴向和环向都提供了最佳的性能，且一致性更高。

Mr. Lal Abdul Salam, CEO, Smithline Reinforced Composites

创新对于 Smithline 在行业中建立声誉、巩固其在市场上的地位和获得成功至关重要。该公司认为，创新是一种平衡行为，在这个过程中，制造技术被转化为生态友好、可持续发展、具有价格竞争力和满足需求的解决方案。

### 制造工艺类型

Smithline Reinforced Composites 采用涉及数控技术的往复式双螺旋绕丝工艺。双螺旋缠绕工艺是为数不多的能够生产高度可复制、高质量部件的自动化工艺之一。该工艺有能力确定纤维方向，以优化复合材料。因此，高纤维体积分数是可能的，而且可以采用成本

较低的简单原材料，如粗纱和树脂。缠绕是准确的、可重复的，并产生高质量的内表面。通过使用数控机床技术，可以通过调整纤维方向来调整管道的强度和刚度，从而优化复合材料的结构。Smithline 管材含有 70% 的玻璃和 30% 的树脂，这是获得最佳管材性能的最佳比例。优化的复合材料性能降低了材料的成本。

### 制造工艺模式

Smithline 使用的是由 GRP 材料制成的不可折叠的圆柱形管心轴。GRP 芯轴是用内部设备制造的，经特殊工艺处理，使其外表面光滑、坚韧、耐磨损。

芯轴的外径符合管道设计者对管道内径的要求。用于管道制造的所有芯轴均经过凝胶涂层处理，以确保外表面无孔隙并具有良好的耐候性。

### 使用玻璃钢芯棒 可以获得哪些优势？

15 年前，Smithline 建立该装置时的最初目标是采用双螺旋缠绕工艺来制造用于工业应用的压力管道，最高可达 DN1600。钢结构和工厂起重设备的设计负载为 15 吨，包括芯轴。过去四年，市场对大口径管材的需求急剧增加。生产高达 DN3000 的大直径管道需要使用轻质芯轴，并且可以使用现有钢结构安全处理，因此该公司决定 GRP 芯轴（玻璃增强热固性管）是最佳解决方案，其重量是钢芯轴的三分之一。

### 如何准备芯轴？

Smithline 设计了一套系统，使用环氧树脂对所有 GRP 芯轴的外表面进行凝胶涂层处理。这样的处理方式使其具有持久性，在管道缠绕过程中可以承受 200°C 的峰值放热温度。这种芯轴的优点是重量轻，易于操作，使用寿命长，易于对表面损伤进行返工，并且由于维护而损失的生产时间最少。

### 为更大直径的芯轴 做准备有多容易？

Smithline 配备的实心 GRP 芯轴直径最大为 1600 毫米，超过这个尺寸，



双螺旋缠绕工艺



上图：GRP 芯轴 - 外表面光洁度  
左图：用 GRP 芯棒缠绕大直径管道

它的可折叠芯轴为 1800 毫米、2100 毫米、2400 毫米、2600 毫米和 3000 毫米。这些可折叠芯轴设计有一个液压系统，以确保圆度，易于脱模，并在 12 米的跨度内有 20 吨的材料负载能力。由多个油缸组成的液压系统是用户友好的，从一端就可以简单操作。因此，花在准备芯轴和脱模上的时间是最少的。

AWWA C950:2013、ASTM D3517:2019、BS EN 1796:2013、BS EN 14364:2013 等国际标准在其最新修订中统一规定了内径系列管道尺寸。现在，内径已经非常接近于管道的申报公称直径，并有严格的公差。所有的 Smithline 机器和管道芯轴都适应这些新的要求。该公司还利用拓扑优化技术，扩大了其制造直径达 3000 毫米、厚度达 55 毫米的双螺旋缠绕工艺的能力。它是世界上为数不多的用双螺旋绕丝工艺

制造大直径管道的公司之一。大多数制造商使用连续管道缠绕工艺，这对高压应用不利。它的大直径管道可用于高达 16 巴的压力应用。

Smithline 可以制造任何非标准直径的管道，在标准的 GRP 心轴上固定膨胀剂和聚氨酯泡沫，以调整芯轴的外径来适应非标准的管道内径。这些泡沫块用数控机床切割，使其外径和内径与所需尺寸完全匹配。由于拥有内部聚氨酯生产设施，我们以有竞争力的价格生产任何特殊内径的管道在经济上是可行的。

Smithline Reinforced Composites 拥有其姐妹公司 Orgi Chemie FZ LLC 的综合服务，Orgi Chemie FZ LLC 是一家为不饱和聚酯树脂、多元醇树脂和其他树脂产品设立的制造工厂。确定了对树脂性能的要求后，Orgi Chemie 专门生产适合 Smithline 管道制造工艺的树脂。

## 连续工艺和双螺旋工艺有什么区别？

在连续绕管工艺中，管子是用由钢带制成的可伸缩芯轴连续生产的。使用与管轴成 90° 缠绕的玻璃丝生产管材，并通过在箍玻璃上随机喷洒短切玻璃获得轴向强度。由于这种方法，轴向拉伸强度不一致，不适合高压应用。

在双螺旋缠绕中，玻璃丝以与管轴成一定角度缠绕在旋转的心轴上，而容纳玻璃和树脂的小车则以同步方式来回移动。整个缠绕过程由数控机床控制，也被称为往复式缠绕工艺。它在一台机器上使用多个芯轴，一次生产多根管材，通过控制纤维的方向，在轴向和环向获得良好的性能。由于这一优势，双螺旋缠绕管比用连续工艺生产的管道更适合于高压管道的应用。

在行业中，终端用户有一个误解，即双螺旋缠绕工艺有时被称为不连续缠绕，这意味着在机器中制造的两组管道之间有一个时间间隔。这并不意味着玻璃丝是不连续的。事实上，只是在连续制管过程中，不连续的玻璃丝（如松散的玻璃丝）被用来产生轴向强度，而在双螺旋缠绕工艺中，玻璃丝是连续的，并以螺旋方式缠绕。因此，双螺旋缠绕工艺具有优越性和灵活性，足以适应产品的变化。

### 更多信息

从 2010 年开始，Smithline 基于对未来全球转型的理解，在世界历史上最激动人心的建筑时期之一，采用了明确的长期愿景。准备创新以应对现代化是不可避免的，适应新的制造方法是其目标和愿景的一部分。公司拥有内部研发设施和符合国际测试标准的世界级实验室。在 2008 年世界经济衰退之后，世界经济花了将近五年的时间才复苏。由于其愿景、战略、创新和研发工作，Smithline 在此期间设法保持其业务运行并保持健康。



连续缠绕工艺



管道内侧——光滑的表面

在双螺旋缠绕工艺中，任何厚度都可以建立起来。例如，Smithline 用这种工艺制造 200 毫米厚的背环法兰，因为它有一个坚固的芯轴，可以处理重量级的管道或环。

更重要的是，通过这个过程，插管端完全由玻璃制成，不添加硅砂，而在其他管道缠绕工艺中，插管端是添加硅砂制成的。这种类型的端部是多孔的，水可能通过这些孔隙从管端厚度中渗出。然后水会沿着管壁厚度移动并导致泄漏。在生产速度方面，双螺旋缠绕工艺大大超过了其他制造工艺的生产速度，这得益于在一台机器上一次缠绕多个芯轴管的新技术。该技术使双螺旋缠绕工艺非

常经济，同时其机械性能也非常优越。因此，客户从高质量材料的成本节约中获益。

### 设计师通常会寻找哪些机械性能？

设计师寻求良好的刚度、轴向和环向拉伸强度。

环向和轴向强度应尽可能均衡。径向缠绕产生非常高的环向强度和较差的轴向强度。由于轴向强度限制了允许压力，因此高的环向强度未被利用。当它以最佳螺旋角缠绕时，轴向强度几乎翻倍，并且材料在所有方向上都有效。因此，对于高压应用，设计者应始终倾向于采

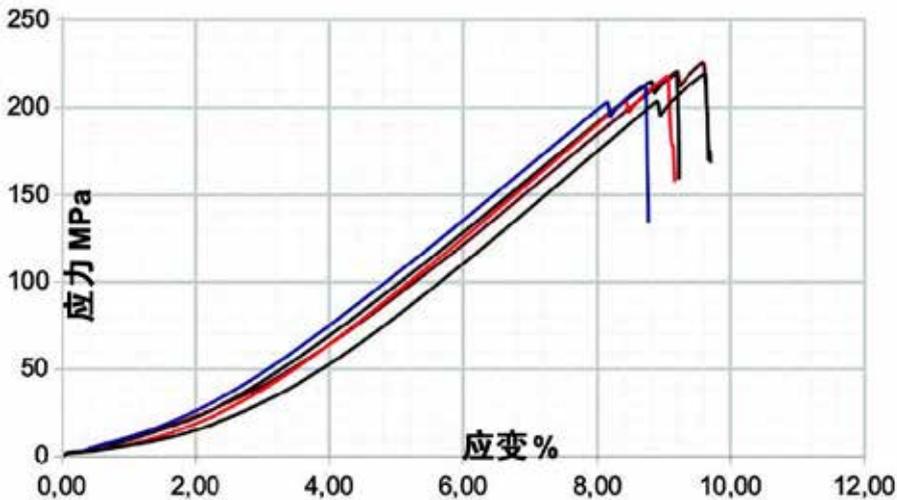
用双螺旋工艺，因为其在轴向和环向的性能得到了优化。

### 生产成本如何？

双螺旋缠绕管的成本低于其他工艺管道，原因如下：

- 初期投资极低，比其他加工机器少 20%。
- 没有直径的限制，因为每台机器可以生产所有范围的管道直径。
- 备件是简单的、标准化的和容易获得的。它们也可以在当地生产，使其成本降低。
- 对于相同的压力等级，由于更高的机械性能，需要更少的厚度。
- 该工艺主要使用树脂和长丝粗纱作为主要粗纱原料，成本较低。
- 不需要最初的机器设置时间。从一种管径更换到任何其他管径都很容易，不需要对机器进行调整。因此，只需要很少的准备时间，一个班次就可以生产少量的不同管径的产品。因此，高度紧急的订单可以快速供应，以满足客户的要求。
- 由于采用了新的技术，即在一台机器上同时缠绕多根芯管，其生产速度高于所有其他工艺，而且更加经济。
- 在这个过程中，由于标准的修订而导致的管道尺寸或公差的任何变化都可以很容易实现，而无需支出额外的投资。

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



轴向拉伸强度试验



# 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



# 改进皮划艇行业的硬件及户外装备

## Changing the Outdoor Hardware Industry

瑞典 Melker 公司在其全系列皮划艇中使用天然技术织物，以加强船体，使其更轻，同时大大降低了皮划艇在生产和生命周期中对环境的影响。

在 2015 年创立 Melker 时，Pelle Stafshee 的大胆野心是要彻底改变户外硬件行业的游戏规则。在研发方面投入了大量的精力，以制造最可持续的皮划艇和户外装备。

该公司将其创新、设计、研究和开发视为对后代和伟大的户外活动的长期投资。制作最好的产品对拯救地球至关重要。

Melker 知道所有商业活动都会产生环境问题——从为计算机供电到向海外运输。公司的可持续发展将是一个长期的过程，他在整个业务实践中不断改进，并与他人分享所学到的东西。

公司的核心价值观还包括享受美好时光，确保其团队始终与分享其理念的朋友、家人和合作伙伴一起做自己喜欢做的事情。

### 研究与开发

为了成功开发可世代使用的创新、实用、可持续和美观的产品，公司不断尝试新的做事方式——打破常规。

其在生物基复合材料和天然纤维增强材料方面的最新研究和开发，与基于机器人的大型快速成型制造相结合，使 Melker 有可能提供一个完全循环的生态系统，在该生态系统中，它可以升级废物流并且回收使用过的材料以继续使用，如图 1 所示。

### 可持续创新

Melker 依靠 Bcomp 的 ampliTex™ 技术面料，采用天然纤维解决方案来制造视觉效果令人愉悦的皮划艇，这些皮划艇可提供最好的可持续性能，如图 2 所示。

得益于亚麻纤维天然出色的阻尼特性，皮划艇能够在提供乐趣的同时提供极佳的舒适度。

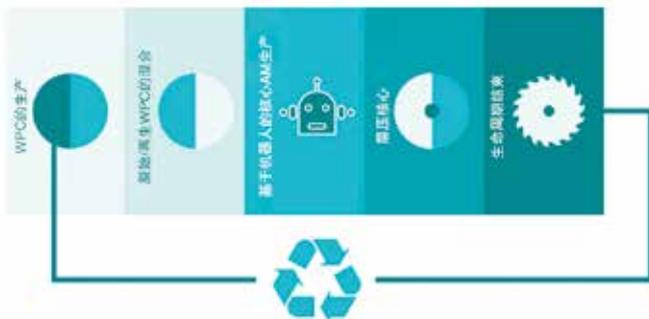


图 1: Melker 的可循环生态系统。



图 2: 与 Bcomp 合作生产的 Melker 皮划艇。(来源: Bcomp)

### 快速成型制造

本着永无止境的创新精神，瑞典的 Melker 目前正在研究一种全新的制造技术，该技术利用基于大型机器人的快速成型制造技术（图 3）与新型生物聚合物相结合。快速成型制造技术的使用允许以较短的交货时间生产具有时间和成本效益的大型产品。

这种新的制造方法还显著简化了新产品的开发过程，并使 Melker 能够在可循环生态系统中运营，在那里他们可以升级废物流并且回收使用过的材料以继续使用。

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



图 3: 采用 ABB 的大型机器人制造。

# 通过自动化配套系统提高生产力和效率

## Improving Productivity and Efficiency with Automated Kitting System

全球航空航天公司 Magellan Aerospace 已经订购并计划整合复合材料工业化专家 Airborne 公司的自动化配套解决方案。向位于加拿大 Winnipeg 的 Magellan Aerospace 交货，标志着 Airborne 向北美市场的全球扩张的起点。该解决方案是根据 Magellan Aerospace 公司的具体要求定制的，并将支持他们的目标，即通过自动化减少材料浪费，提高生产力和可重复性。

Jeff Pastula, Director of Business Procurement and IT, Magellan Aerospace, Arno van Mourik, CEO, Airborne  
Dr Mattia Di Francesco, Business Development Manager, Airborne

Airborne 的自动化配套解决方案通过提高产能、减少手工劳动量和最大程度地减少材料废料来提高切割和配套生产效率。它还支持灵活的数字化工作流程。从嵌套文件到机器控制和排序优化的转换由 Airborne 的专有算法在运行中完全自动化。在任何时候，生产经理都可以改变层套，系统跟随，无需编程。该系统还确保对分拣和排序过程进行全数字跟踪，从而消除配套错误。

自动化配套解决方案计划于 2021 年初安装在 Magellan Aerospace 的 Winnipeg 工厂。根据 Magellan 的独特要求量身定制的几个定制功能将实现灵活使用并进一步提高生产力。最初，该配套解决方案将用于支持 Lockheed Martin 公司 F-35 Lightning II 战斗机的

复合水平稳定器组件的高效且具有成本效益的制造。Airborne 公司的自动化套件解决方案非常适合根据任何生产计划的具体需求和材料要求，为航空航天业、工业应用或其他领域量身定制。

**JEC 复合材料杂志：能否请您简要介绍一下您的公司？**

**Arno van Mourik：** Airborne 刚刚度过了它的 25 周年，但由于许多原因，我们无法庆祝。主要原因是，我觉得我们更年轻了；从我们今天的公司形态来看，我们大约有 5 或 6 岁。25 年前，我们作为一家工程公司，专注于机械和复合材料，我们逐渐转变为复合材料部件的设计者，但与此同时，我们正在为石油和天然气行业开发解决方案。我们主

要是开发生产流程和机器来生产，因为当时还没有这样的技术。从 2012 年到 2014 年，我们建了一个工厂，但石油和天然气已经不属于我们的控股范围。我们决定，最好是与一些战略投资者合作，他们可以推动公司的发展。在 2015 年，我们决定做我们最擅长的事情：将工艺方面的复合知识转化为设备。

当然，就航空航天领域的零件规模和生产而言，我们不是 Magellan 公司，但我们在航空航天领域做了一些工作，所以我们了解公司面临的挑战。特别是西方世界的公司，我们谈论的是生产零件、一般复合材料的生产以及劳动强度和随之而来的资质。我们一直专注于复合材料生产的数字化和自动化。你可以通过从头开始并重新思考一切来做到这一点，就像我们在石油和天然气方面所做的那样，或者通过将流程的某些部分自动化而不将所有事情搁置。这就是我们所要做的，我们关注那些我们可以帮助实现自动化数字化的部分流程，并创建可以帮助我们的客户提高效率的系统，而不对他们的设施或基础设施进行过多的干涉。这就是我们为配套所做的工作，这是我们迄今为止最大的服务，我们相信，不仅可以减少体力劳动，还可以提高效率，减少浪费，提高灵活性。

**Jeff Pastula：** Magellan Aerospace 公司是一家国际公司，有 4200 名员工在 Magellan 旗下工作，遍布北美、欧洲和印度。Magellan 公司的 Winnipeg 分部生产航空发动机和航空结构部件和组件、



机载自动化配套解决方案。

空间产品和火箭产品系列。我们有一个长期协议，为 Lockheed Martin 公司的 F-35 Lightning II 项目提供复合材料和金属组件，该工厂建于 2011 年，占地 14 万平方英尺，用于支持该项目。我们在复合材料领域已经有五十多年的经验，并与其他公司签订了各种合同。这是目前的一个重要合同，是我们在 Winnipeg 的重点。

我们的先进复合材料制造中心是一个完全受环境控制的设施，Magellan 公司为建立一个世界级的设施进行了大量投资。我们在该工厂中有两台精密的机器，用于给产品钻孔，称为精密铣床（PMMs）。我们还拥有一台最先进的激光超声波，是世界上仅有的四台之一。我们用激光来测量复合材料部件并寻找空隙。大多数公司使用液体喷头，在我们这里，激光器的作用就像水柱一样，能够发现零件中是否有任何空隙。

当然，我们也有无尘室和油漆车间，可以像世界上大多数复合材料公司一样制造零件。Magellan 目前在 F-35 水平稳定器计划中全速运行，并已交付了大约 20% 的舰船。由于还有 800 多个组件需要交付，因此仍有时间和机会进一步提高计划效率。到目前为止，Magellan 已经应对了该计划的所有技术和生产挑战，作为回报，该计划也满足了我们的所有期望。该计划的长期性质使我们有机会购买和实施最先进的设备、最先进的工艺；我们已满足客户的要求并继续按时交货。我们还有 800 套舰船要做，所以这是一条很长的路，还

有很多提高效率和生产力的机会。

### JEC: 配套系统的想法从何而来？

J.P.: 事实上，它来自我们的车间。

我们工厂的运营人员在购买新裁剪机的时候看到了这个机会。我们的裁剪机已经有 30 年的历史了，我们想为这个过程购买更有效的裁布机。当我们决定这样做时，我们研究了所有其他的优势，我们可以在此基础上增加，以便我们可以获得最有效的流程。我们把配套和分拣作为一个机会，将其与剪布功能联系起来。我们开始寻找一家真正做这个的公司。我们找到了一家裁剪公司，尽管他们从未制造过结合裁剪分拣机和机器人的机器，但他们提出为我们找到一个解决方案。我们继续寻找一台功能齐全的机器，最后在谷歌搜索中发现了 Airborne。

我们观看了他们的设备和能力的视频，最终联系了 Airborne，并提出了充实整个过程的想法。我们制定了一个规范，并与三个不同的公司合作，以确定最佳解决方案，与之建立良好的工作关系，从而提供最佳价值。我们最终选择了 Airborne 来提供设备，我们的旅程开始了。

### JEC: 定制过程是如何进行的？

A.v.M.: 其中一个关键是，它当然是一台集成机器，但必须处理非常复杂的层。定制更多地与我们处理这些层的方式有关。过去，我们已经看到，如果你做大量数据，主要是具有通用形状的较大层数，很容易预测如何拾取它们。但在我们的例子中，它更复杂。这就是

我们所做的定制，我们还添加了一些其他功能来提高生产力。对我们来说，这种定制非常广泛，这就是我们做这个项目非常有趣的原因。

我们看到了 Magellan 所要求的功能，这些功能是行业内其他公司将寻找的构建块。

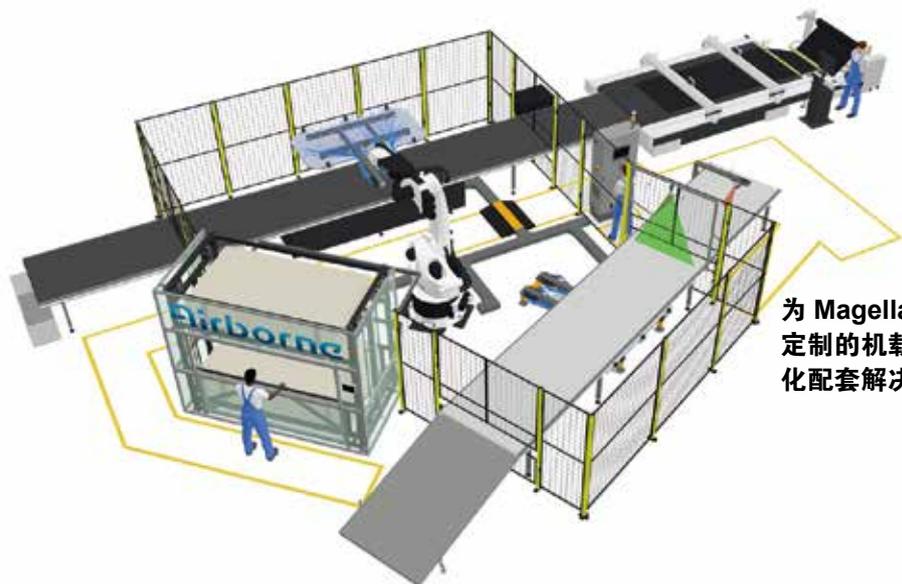
Mattia Di Francesco: 也许只需要补充一点，我们提供的机器是为了满足 Magellan 公司与 Lockheed 公司目前计划的需要。但这台机器很可能会超过这个项目，并将在未来用于其他平行活动。为了方便这一点，我们增加了一个手动送料器，这将使 Magellan 公司能够送入在一个单独的切割器上切割的层。我们希望确保我们提供的设备不仅能在短期内为该计划提供结果，而且还能在长期内提供结果。

J.P.: 我们在寻找解决方案时确定的主要要求之一是一揽子解决方案——一站式服务。我们不想从一家公司购买切割器，从另一家公司购买测序器，也许会遇到问题，所有的东西都不像我们想象的那样好用。我们真的想走一站式服务的道路，一家公司，将承诺给我们，并提供我们需要的服务，并保持机器运行在其生命周期，无论是切割机或测序仪或机器人。这就是 Airborne 公司对我们作出的承诺。

这对我们作为生产设施很重要，车间的操作人员需要机器运行，由一家公司负责整个系统的维护非常有帮助。找到能够承担这一责任的人是关键。

### JEC: 合作进行得如何？Airborne 派了一个团队去 Magellan 吗？

J.P.: 双方都为这个项目投入了很多精力。合作非常棒，我希望它会继续向前发展。Airborne 来到这里，然后我们去 Airborne 参加演示日。我们花了一些时间正式见面，我们继续这样做。我们每周会见两个团队（一个技术团队和一个管理团队），以确保我们在整个项目中保持一致。这是 Airborne 和我们的第一次，他们正在扩展他们已经拥有的



为 Magellan 定制的机载自动化配套解决方案。

构建模块，但最终我们正在构建一个复杂的设备，我们对其功能抱有很高的期望。

Magellan 和 Airborne 希望确保我们能够到达那里，我们对结果非常满意。我们的信念是，您合作的越多，您就越有可能达到相同的终点。Mattia 和我们都坚持这一点，我们正在与团队密切合作，以确保它发生。

**M.D.F.:** 在签订合同之前和之后，我们一直与 Magellan 合作得很好。我有机会看到了当前的制作，看到了现场团队在切割过程中面临的一些挑战。其中一些材料和层板形状很难手动处理。

这帮助我们将这种洞察力传递给工程团队，以改进自动化系统，以确保机器在车间时能够以用户友好的方式工作。

**A.v.M.:** 对我们来说，了解车间对机器的期望是非常重要的。因此，Magellan 公司对我们的信任是巨大的。这就是为什么对我们这样的公司来说，有这种互动是非常重要的。作为一个客户，我们对 Magellan 非常满意。

**JEC: Magellan 对这种配套系统提高生产力有何看法?**

**J.P.:** 我们每周有超过 3000 个层，需要一直按正确的顺序排列，以便切割该材料和创建套件的人能够传递给布局人员，制造复合材料部件。

这是一项重复性的工作，容易出错。我们将此视为提高质量的机会；自动化将消除单调的活动，并且比人类更快地完成。我们正在寻求显著的生产力改进，这不仅会降低产品成本，还会为我们提供更多机会来增加未来的产能。我们的目标是实现零缺陷，并为我们的员工提供更多令人兴奋的工作。我们不怕投资，并愿意在我们的工厂采用更多的自动化。

**JEC: Airborne 是如何管理北美的航空航天的法规的?**

**M.D.F.:** 甚至在与 Magellan 敲定协议之前，我们就与加拿大的一家公司达成了协议，它是一家专注于工业自动化但针对不同的流程的公司。我们正在与他们合作审查机器，包括核心部件和我们专门为 Magellan 设计的新部件，以确保该系统符合当地的监管环境。他们与我们并肩而行，以确保认证。同一家公司将在安装后为 Magellan 提供售后服务。这为我们提供了一种在当地存在的方式，而不必从欧洲一路飞过来。

**JEC: 您的目标是北美吗?**

**A.v.M.:** 实际上，我们的目标是在那里，对我们来说，这是第一步。我们希望在北美有我们的立足点，也许有两到三个立足点。特别是在目前的情况下，在当地存在的重要性变得非常明显。我们认为北美是一个重要的市场，有许多公司以西方的价格生产复合材料。我们的目标是成为一个公认的供应商，并能够在北美为我们自己的设备提供服务。

[www.magellan.aero](http://www.magellan.aero)

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

# 我想获取 先进复材业培训

# 免费订阅



**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)

# 游艇业向氢气发展

## Yachting Makes the Move to Hydrogen

9月，Hynova 游艇参加了 Ever 展览会，这是一个可再生能源的重要聚会场所。在那里，他们展示了氢燃料船的第一个系列模型，并在2020年摩纳哥太阳能和能源船挑战赛中获得了评审团颁发的“展示者”奖。

Hynova Yachts 是世界上第一艘配备由氢燃料电池驱动的电动发动机的游艇的发明者，参加了2020年9月在摩纳哥举行的 Ever 展览会，他们在那里向市场展示了这一创新。

### 氢气，无污染航行的解决方案

由 Chloé Zaied 发明，法国 Hynova Yachts 创始人兼总经理也是一名职业船长。Hynova 40 交通船是一个独一无二的概念，因为它是第一艘使用储存在船上的氢气进行无污染航行的游艇。EODev (Energy Observer 的研发子公司) 为配备 REXH2 (氢气增压器) 的这艘船设计了该技术，这是一种零排放的过程，它是无声的，是氢和电的混合体。

这种生态创新对于为电动发动机提供绿色能源是安全且可持续的。

Hynova 40 配备了三个 Hexagon 四型储氢瓶，由聚合物内衬和碳纤维体组成，适用于 350 巴的工作压力，并获得 EC79 认证。

它们还配备了三个 EVE 系统电池，总容量为 120kWh，该技术已通过法国国际检验局认证，可用于船舶应用。

### 绿色氢，清洁能源的最佳途径

Hynova 项目源于其创始人 Chloé Zaied 的意志和毅力，



摩纳哥游艇俱乐部露台上的 Hynova 40

他对海洋充满热情，并亲自参与保护环境。

她能够从游艇和创新领域的知名人士中召集一批合作伙伴，例如 EODev、CLYD 的 Exequiel Cano Lanza、10-6 DeSign 的 Fabrice Pouille、Syroco 和丰田。但除了船舶推进方面的创新之外，Hynova Yachts 的雄心是推广绿色氢作为一种新的无污染能源。

绿色氢构成了存储可再生能源的有效解决方案，使来自风能、太阳能或潮汐能的剩余产量能够在任何其他时间可靠地使用。

采访：

Chloé Zaied,  
Hynova Yachts 总经理兼创始人；  
Laetitia Vichy,  
Hynova Yachts 营销和传播总监



**JEC 复合材料杂志：你能告诉我们你的职业道路并解释你是如何想到氢燃料游艇的吗？**

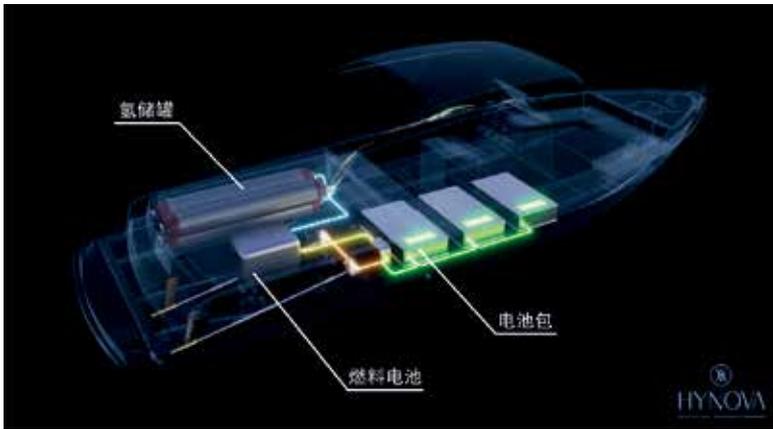
**Chloé Zaied：**我当了十年的专业船长，经营家族企业已有八年，带人们去马赛海湾进行一日游。我知道自己在如此壮丽的生态系统中工作是多么幸运，并且知道我的工作增加了国家公园的污染。几年来，我一直在寻找一种方法，将我的职业(也是我的爱好)与对保护海洋环境的日益关注相结合。

**JEC：你没有建造模型船的经验，也没有氢能的经验。你是如何组织起来的？**

**C.Z.：**我在研究期间遇到了我需要认识的人，我做了一个更环保的日间船。绿色氢对我来说是一个启示，我很了解我自己。我能够说服投资者和合作伙伴，尤其是 EODev，我们有勇气完成这个项目。

我扮演了项目经理的角色，并搁置了我的其他工作，全身心地投入到建造游艇上。该公司于1月开业，我在2月聘请了 Laetitia，因为她在管理、营销和传播方面的经验，以及她的生态信念与我的一致。

今天，我很高兴能够谈谈 Hynova 40。这是一款独特的模型，专门为那些正在寻求创新、美观，且尊重环境的先驱者而设计。除了技术创新之外，我还想提供一款具有时尚和未来主义线条的高端船型。这就是为什么我选择与 CLYD 的 Exequiel Cano Lanza 合作的原因，他将他的专业知识、风格和特征带到了这个项目的设计中。



船上技术的透明解析



HYNova 40 的“高级时装”

**JEC:** 在获得这个原型之前，你遇到的主要障碍是什么？

**C.Z.:** 显然，经验是个主要问题，但我们能够在商业计划、商业模式、编辑风格指南、营销计划、拨款申请、演示文稿、规格等方面提供可靠的可交付成果，这支持了我们无论如何都要推进项目的能力和愿望。我必须非常耐心，表现出自信，并运用我的外交技巧，以便将许多有时相距甚远的项目利益相关者聚集在一起并促进合作。在时机方面，我也必须迅速做出反应，特别是在我们发现自己处于微妙的健康状况方面，这多次阻碍了我们的计划。

**JEC:** 你是否被迫改变船的设计以适应氢动力的解决方案？

**Laetitia Vichy:** 是的，船上有 4.5 公吨的材料用于氢推进系统，非常庞大。

仅燃料电池就占了一立方米。Hynova 40 没有船舱，但这不是唯一的原因。我们打赌客户不会在船上睡觉，因为我们的目标客户通常不会这样做。这只是一艘日间船，一艘大型游艇的交通船，或者说是一艘探险船，所以真的没有理由过夜。

**JEC:** 你能告诉我们更多关于制造这艘船的材料和工艺，你选择与哪个造船厂合作，为什么？

**L.V.:** 我们选择与 La Ciotat 的造船厂合作，因为 Chloé 曾在那里生活和工作，这很有意义。至于材料，除了氢解决方案，这艘船上的一切都很普通。

下一艘游艇，我们将与研发回收和可回收材料的学校合作。为什么不考虑从海中回收的材料呢？第一个将于 12 月获得批准的 The New Era 未能从这些发展中受益。它采用创新技术，包括由 EODev 开发的远洋氢燃料电池解决方案 REXH2。它还拥有三个 LiFePo 电池、两个相当于 500 hp 的电动发动机和三个用于储存氢气的 Hexago 罐。甲板表面光洁度本身就是一项创新，可减轻船的重量。它由包装材料和树脂在水相中的独特组合组成，从未在游艇上使用过。

**JEC:** 复合材料是否也用于储存氢气？使用基于复合材料的解决方案有什么优势？

**L.V.:** 具体而言，机载技术已经非常先进，我们必须把赌注押在非常非常可靠的东西上，即带有聚合物内衬和碳纤维主体的 Hexagon 4 型罐。它们适用于 350 巴的工作压力，并通过了 EC79 认证。

**JEC:** 未来，您是否预见到该产品线的进一步发展，或者您是否将精力集中在 Hynova 40 上？

**C.Z.:** 我相信你会明白，我们现在不能把所有东西都泄露出去。可以这么说，我们已经收到了很多这方面的要求，也收到了很多融资提议，以及合作开发其他使用氢电推进模型的提议。

**JEC:** 你认为这一个解决方案可以推广到休闲帆船吗？

**C.Z.:** 我们正在认真考虑这个问题，就目前而言，帆船上使用的热解决方案与水手的环境观并不协调。除了发明和设计对环境影响最小的交通船外，我还想宣传、推广和促进绿色氢在未来世界中的份额。我希望 Hynova Yachts 成为这一切的一部分，就像改变新行为模式的纽带一样。这是我参与生态转型的方式。

**JEC:** 您现在正在进行哪些改进？

**L.V.:** 正如我所说，我们正在寻找对环境 and 人类影响最小的材料和工艺，无论是在设计、使用还是使用寿命结束时。我们还在努力开发水翼艇，使我们能够增加重量并因此增加航程。

**JEC:** 您想对所有休闲水手和复合材料行业的专业人士说一句话，他们可以在未来开始类似的冒险吗？

**C.Z.:** 对于巡航爱好者：我们的愿望是为他们带来完美的用户体验和轻松的导航，符合他们对海洋的尊重。致复合材料专业人士：我们要求他们继续努力和研究，以便公众充分了解他们可用的新可能性。我们还鼓励他们继续改进这一过程，以提出创新，让我们尽可能地按照我们的生态信仰生活。

[www.hynova-yachts.com](http://www.hynova-yachts.com)

# 使全球航运更具可持续性的有趣方法

## Interesting Approach to Making Global Shipping More Sustainable

全球航运约占温室气体排放总量的 3%。和其他任何行业一样，要求加大节能力度的呼声越来越高。Airborne 正在采取一种有趣的方法。



复合材料转子产生额外的推力以减少燃料消耗。©Anemoi



Airborne 的自动层压解决方案是一个多功能系统，它结合了自动铺带、预制件切割和取放。

根据国际能源署 (IEA) 《2019 年世界能源展望》报告，预计到 2040 年，全球一次能源需求将以每年 1% 的速度增长。2017 年 10 月的 ICCT (国际清洁交通委员会) 报告表示，从中长期发展来看，将需要新的船舶推进技术以及低碳和零碳燃料来实现该行业的碳减排。国际船队正在稳步增长。从 2013 年到 2015 年，用于国际贸易的世界船队增加了 1.5%。

Airborne 的一个答案是他们与 Anemoi Marine Technologies 的合作，后者正在开创风力辅助船舶推进技术，以显着降低 10% 至 17% 的电力消耗。

第一个例子可以追溯到德国发明家 Anton Flettner 和他于 1921 年在一艘船上的转子帆。从那时起，几个 Flettner 转子设计被开发出来，然而直到现在都没有取得商业成功。Anemoi 聘请 Airborne 公司开发结构设计，制造模具，并生产第一批商业示范产品，这些产品目前正在航行中。Anemoi 这个词来自希腊神话，意思是“风之神”。Anemoi 的

复合材料转子产生额外的推力，以减少燃料消耗。

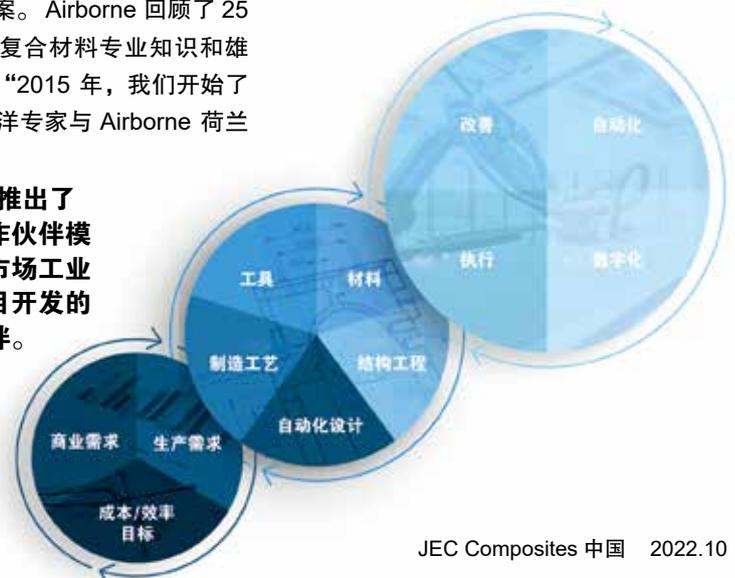
转子风帆安装在轨道系统上，可以在甲板上移动而不影响货物操作。

“Airborne Group 因其以往在潮汐涡轮叶片方面的经验而享誉世界。我们针对海水对材料特性和水下可再生能源技术的影响有着深刻的理解，并拥有一个庞大的特性数据库，可用于表征海水下的降解”，Joe Summers 评论道。世界各地的行业都在寻找更高效、更具成本效益的解决方案。Airborne 回顾了 25 年来在深海中的复合材料专业知识和雄心勃勃的应用。“2015 年，我们开始了 Airborne 英国海洋专家与 Airborne 荷兰

总部先进复合材料自动化和数字化制造专业知识之间的完美匹配。我认为我们在市场上是独一无二的，能够为任何客户的任何市场应用提供咨询和支持。”该公司有能力利用他们在热固性和热塑性材料方面的广泛技能，在任何市场上实现新结构的工业化。

### 欧盟项目 RAMSSES：可持续和高效船舶的先进材料解决方案

**Airborne 最近推出了新的工业化合作模式，成为所有市场工业化和自动化项目开发的一站式合作伙伴。**





由欧盟资助的 RAMSSES 项目。©RAMSSESlarge

由 Damen Schelde 海军造船厂 (DSNS) 和 Damen Gorinchem (DSGo) 与 InfraCore 公司、赢创公司、英国航空公司和 TNO 合作，在 RAMSSES 示范项目中开发了一个 6 米高的复合材料船体部分。核心理念是生产长达 85 米的完整复合材料容器并扩大输液技术。该项目将展示大型复合材料船作为可持续航运解决方案的可行性。像 RAMSSES 合作伙伴正在研制的复合材料容器的重量将比同等钢材轻 40%。然而，这并不是唯一的好处，因为复合容器可以降低全球变暖潜力、气溶胶形成潜力、富营养化潜力、酸化潜力和高达 25% 的燃料消耗。

来自行业不同领域的大约 30 个合作伙伴组成的财团正在致力于这个复杂的欧盟资助项目。一个独特的目标是垂直注入高达 6 米的船体结构。

RAMSSES 的合作伙伴赢创一直在开发树脂，重点是在不同灌注温度下的流动特性和韧性等机械性能之间取得最佳平衡。

“我们在这里所做的工作对航运的未来很重要。可持续性是目前每个行业的主要关注点，造船也不例外，”研究与技术支持部 DSNS 的高级工程师 Marcel Elenbaas 说。“在大型船舶上使用复合材料会对船舶的整个设计产生重大影响。如果它更轻，船舶使用的燃料更少，产生的排放也更少。

该船还需要更小的发动机，这意味着更多的空间可以容纳额外的系统，从而形成一个更通用的平台。当然，与钢容器相比，复合材料需要的维护要少得多。通过 RAMSSES，我们有机会展示大型复合材料造船的有效性和可行性。

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

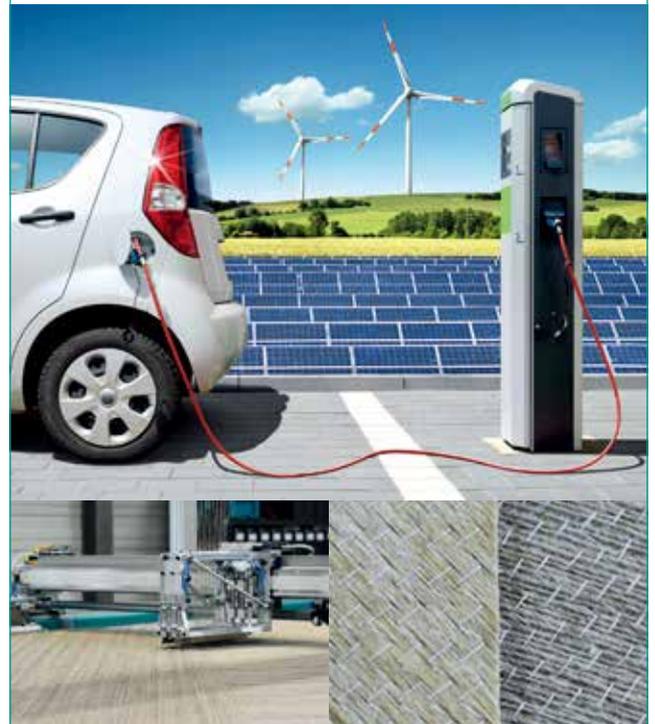


Joe Summers,

Managing Director, Airborne UK

JEC 与过去 20 年一直在复合材料行业工作的 Joe Summers 进行了交谈。他是 Airborne UK 的常务董事、Airborne 的商务总监，以及全国贸易协会 Composites UK 的董事。曾担任的职位包括 North Thin Ply Technology 的销售总监，以及 Gurit 的各种管理职位，包括产品管理主管和业务发展总监。

## KARL MAYER GROUP



## COMPETENCE IN TECHNICAL TEXTILES

Sustainable Fibre Composites – read more:



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

**STOLL**  
**KARL MAYER**  
**!KM.ON**

# 环氧复合材料的闭环回收

## Closed-Loop Recycling of Epoxy Composites

**Cobra 和 Aditya Birla Chemicals 为 Starboard 和 MFC 的灌注环氧树脂模具工具和热固性环氧树脂 RTM 水上运动鳍片提出了一个可持续的解决方案，进行闭环回收。**

Paolo Cecchetti, Chief Innovation Officer, Cobra; Amit Dixit, Assistant Vice President, Aditya Birla

通过与合作伙伴 Aditya Birla、MFC 和 Starboard 合作，Cobra 通过将可回收的环氧树脂热固性系统纳入生产，在可持续发展方面取得了巨大的飞跃。使用 Aditya Birla 的可回收环氧树脂系统 Epotec YDL5552-THR9351 注入水上运动鳍模具和可回收环氧树脂 RTM 系统 Epotec YDL5540-THR9151 生产组件，Cobra 及其合作伙伴启动了一个可持续的闭环回收过程，该过程将显著减少复合材料的废物量。

### 低温回收工艺

Aditya Birla 基于专有 Recyclamine® 技术的 Epotec YDL5552 树脂和 Epotec THR9351 硬化剂的新型可回收环氧树脂系统被用于注入鳍片工具，在工具使用寿命结束时能够回收和回收增强材料和基体。Cobra CNC 使用注入的玻璃纤维堆块加工鳍片工具。

该模具由两块 25 毫米厚的 E 玻璃板组成，在 40° C 下注入，然后在 60° C 下固化 3 小时，然后在 80° C 下进行最终后固化 8 小时。层压板堆栈在零件表面使用 100 层 100gsm 平纹玻璃织物，以 22 层 160gsm 平纹织物和 16 层 1200gsm 缝合三轴 E 玻璃布作为支撑。Cobra 使用该工具制造 MFC 和右舷鳍，并使用 Aditya Birla 的可回收 RTM 系统 Epotec YDL5540-THR9151 进行 RTM 工艺。

通常，鳍片使用编织玻璃和碳纤维织物预制件，其中一些部件也使用芯材。

新颖的 Aditya Birla 树脂技术使复合材料中的环氧树脂基体能够使用低温回收工艺进行裂解。

通过在大约 80-90° C 的酸性溶液中调节选定的组件或模具两小时，触发裂解机制，破坏固化的热固性键。

当基体溶解时，可以去除增强材料，然后过滤和中和树脂溶液，使可重复使用的热塑性聚合物凝结并从溶液中去掉。

### 工业规模回收

环氧热固性塑料是一种高性能聚合物，具有卓越的机械强度、非常好的耐化学性和粘合性能；因此，它们被用于许多不同的复合材料应用。环氧树脂热固性树脂市场的数量目前约为每年 270 万吨，预计未来八年的复合年增长率为 5.5%。

不幸的是，密集的三维交联使环氧树脂热固性材料传统上不可回收，这对在其使用寿命结束时处理零件或产品构成了巨大挑战。根据世界经济论坛的数据，到 2050 年，塑料垃圾总量可能达到 120 亿吨，海洋中的塑料含量超过鱼类——显然必须减少塑料产量，增加回收利用。现有的热能、机械和化学回收技术通常用于防止废物进入垃圾填埋场或水体。

然而，这些技术具有包括经济可行性在内的缺点和局限性。与不可回收的传统热固性塑料不同，本文提出的创新允许热固性复合材料的回收和循环利用。回收利用在 80-90° C 的乙酸溶液中进行约 2-3 小时的低能量调节。

该工艺已被验证用于热固性复合材料的工业规模回收和再利用，Cobra 证明可回收原材料可用于替代现有材料，而无需对设备或加工方法进行复杂的调整。回收的增强材料可以重新用于制造新的复合材料部件，而不需要再加工成垫子、短切纤维或研磨纤维。

作为热塑性聚合物回收的树脂组分可以单独使用或与常规热塑性塑料复合以制造用于消费或工业应用的物品。

### 实验室规模→中试→商业规模

自 2016 年以来，Aditya Birla Chemicals 一直是 Recyclamine® 胺构建块的发明者的技术合作伙伴，并于 2019 年年中完全收购了其合作伙伴 Connora Technology 的业务和技术。

在最初的开发阶段，公司致力于开发流程和技术，以从实验室规模过渡到中试和商业规模。



可回收环氧树脂鳍片和模具

随后，他们利用自己的技术平台开发用于复合材料应用的新型系统，并与 Cobra 合作开发用于运动和休闲应用的环氧复合材料的可持续闭环回收。

## 热固性复合材料市场潜力巨大

该创新具有巨大的市场潜力，不仅在体育用品复合材料领域，而且在更广泛的热固性复合材料市场。

Aditya Birla 和 Cobra 为这一制造发展带来的优势与他们利用材料和生产技术达到工业规模的能力有关。

该领域以前的工作已经生产出有趣的组件，但通过 Aditya Birla 和 Cobra 的系列生产线生产原材料的工业能力现在可以为真正的大批量生产提供可回收的热固性部件。通过提供与现有系统具有同等性能的树脂系统，无需重新设计部件，并且可以轻松集成到现有生产线中而没有重大成本劣势，这项创新为减少热固性复合材料的废物量提供了巨大的潜力。

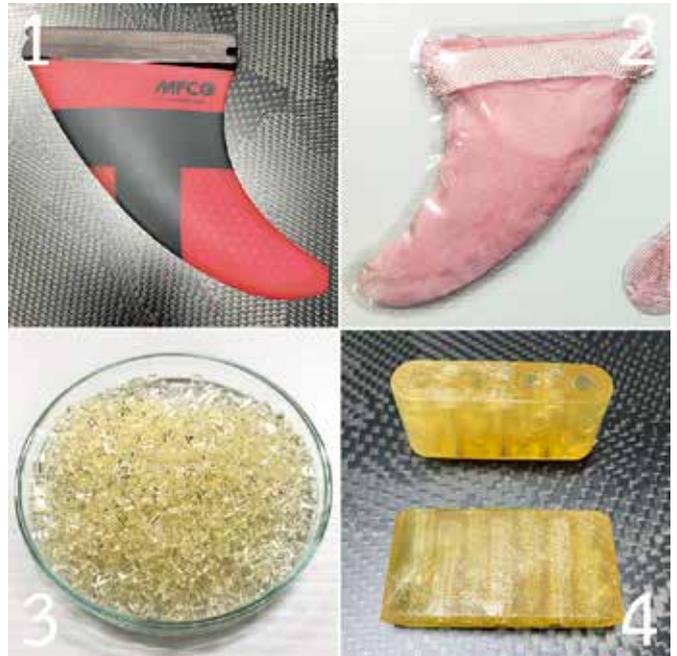
## 对循环经济的贡献

新型可回收环氧树脂系统适用于所有典型的复合材料制造工艺，例如湿法铺层、树脂灌注、RTM、预浸料、长丝缠绕和拉挤。因此，转向可回收热固性塑料变得更加容易，易于使用和易于采用，消除了改变的关键障碍。

Cobra 和 Aditya Birla Chemicals 的创新还提供了节约能源的重要机会，无论是在回收过程本身所需的能源方面，还是通过允许重复使用历史上被丢弃的复合材料和生产的新材料。使用 Aditya Birla 的树脂分解固化的热固性键的裂解机制仅需要在 80-90° C 的酸性溶液中调节大约 2-3 小时，从而无需能量和资本支出的裂解炉的热解过程即可恢复增强织物。通过完整地恢复增强材料，这项创新使制造商能够将这些纺织品保持在制造周期中，而无需使用新的原生纤维增强材料。

可回收树脂技术有望为 PPP（人、工厂和利润）增加巨大价值，并通过消除垃圾焚烧过程中的温室气体排放，减少垃圾填埋和海洋倾倒，通过实现垃圾的回收和循环利用，为循环经济做出贡献。

在体育和娱乐复合材料领域，对劳动密集型工艺制造的部件使用可回收的基体系统，将使车间的废物管理更加出色。在使用寿命结束时，部件的回收也将允许从部件上回收和重新使用昂贵的插片。



Recylamine 工艺

## 积极的环境影响

这项创新对环境产生的主要影响涉及到以前被认为不可回收的材料类型的回收和再利用，以及由于不需要将复合材料用于新部件的再制造而节省的二氧化碳。由于增强材料被完整地回收，而不是在重新使用前需要进行切割或铣削处理，因此有了更多的再利用用途。Cobra 和他们的客户现在能够回收环氧树脂工具块，并随着部件设计的发展将回收的纺织品重新用于新的部件或模具生产。

较小的鳍片是第一个目标，该公司的目标是在不久的将来将其较大的板材模具转换为可回收的环氧树脂模具。行业数据表明，一吨碳纤维的生产会排放大约 20 吨二氧化碳，而一吨玻璃纤维的熔化和生产会产生大约一吨的二氧化碳排放，即使在考虑原材料运费之前，其好处也是非常显著的。此外，所展示的相对低成本的回收方法可以被制造商在现场采用，而不需要一个广泛的废物收集网络，从而进一步提高了可用的减排量。

通过承诺将 Aditya Birla Chemicals 的可回收环氧树脂热固性材料整合到 Cobra 的系列生产工艺中，该公司及其客户 MFC 和 Starboard 致力于复合材料生产技术的巨大转变。

热固性塑料现在可以成为循环经济的一部分，提高它们对更可持续世界的贡献，并有助于为子孙后代保持海洋清洁。这一激动人心的发展对整个热固性复合材料市场具有巨大潜力，Cobra 和 Aditya Birla Chemicals 将在 2020 年展示其工作的更多细节，以及由回收热塑性聚合物成型的鳍片、模具和塑料部件。

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

### 创新的主要优势

- 为循环经济和可持续发展的世界做出贡献。
- 突破性的热固性复合材料回收解决方案。
- 复合材料部件的报废回收利用。
- 闭环回收过程。
- 生产工具内部回收利用。



科思创的 Maezio 被用于中国运动服饰品牌必迈限量版跑鞋 42K Lite 的鞋帮。（图片来源：必迈）

# 复合材料在中国独树一帜

## Composites Make Their Own Mark in China

通过与中国运动服装初创公司 Bmai 的合作，科思创开发了采用 Maezio™ 复合材料的高规格跑鞋。其目的是制造能够吸引重要运动员的产品，但价格也同样具有吸引力。

自从第一双跑鞋问世以来，一直在争夺更轻、更强、更好的缓冲材料。例如，耐克公司长期以来一直将碳纤维热固性复合材料用于鞋帮和鞋底。但是，根据德国材料制造商 Covestro 的说法，“这些材料由于缺乏具有成本效益和可扩展的制造工艺而受到阻碍，导致价格上涨，并使其难以集成到大批量产品中”。

该公司以 Maezio™ 品牌销售连续纤维增强热塑性复合材料 (CFRTP)，“这种材料与金属一样坚固且重量轻，可自由成型，并且可以在其使用寿命结束时回收。该品牌为我们提供了清晰而强大的标识，以进一步扩大我们在热塑性复合材料方面的专业知识。”科思创成长风险投资高级副总裁 David Hartmann 说，“我们相信，新品牌能够以当今先进材料无法达到的规模提供轻质结构、特定强度和表面处理的组合，真正为跨行业的下一代产品带来价值。”

### 大规模生产成为可能

Maezio™ 基于浸渍有聚碳酸酯、热塑性聚氨酯 (TPU) 或其他热塑性树脂的连续碳纤维或玻璃纤维。科思创在德国南部 Markt Bibart 的生产基地利用这些组件生产单向增强胶带和片材，供客户进一步加工。然而，Maezio™ 热塑性复合材料的重心在亚洲，在全球经济衰退之后，该公司意识到中国是其产品最大的单一市场。因此，它于 2011 年在上海开设了全球总部。

“当我发现科思创的热塑性复合材料时，我很快就意识到这些材料在技术性能和可制造性方面是非常有价值的”，中国运动服创业公司（必迈）的设计主管

刘铮说。该公司成立于 2014 年，其中英文名称可翻译为“前进！”，中文音译为“做我自己”。公司位于北京最大的休闲公园中央，每个员工都有一个跑步目标。其设计工作室汇聚了一个具有丰富行业经验的设计师团队，其中包括了曾起步于中国体育用品巨头李宁公司的刘铮。在必迈，他坚定地引导团队努力设计生产既能吸引严肃认真的运动员，也同时具有价格竞争力的产品。

我们迅速制定了计划，设计了一款限量版 Mile 42K Lite，在鞋帮中使用 Maezio™——一种楔入鞋内底和外底之间的支撑，帮助稳定跑步者的脚。我们的商业模式是围绕着为尽可能多的消费者提供最好的运动装备。我们做到这一点的部分原因是避开了传统的分销渠道。必迈没有很多零售店——我们 70% 的销售都在网上。我们所拥有的少数商店被称为“体验中心”，为客户提供产品解说。为降低成本，我们在广告上的花费也非常少，并将节省下来的费用受惠于消费者。但这也意味着我们在做决定之前要非常仔细地研究材料和制造工艺。综合来说，Maezio™ 满足了这些要求。我们高端的 Mile 42K Lite 狩猎跑鞋售价仅为 399 元人民币，约 53 欧元，可满足不断增长的休闲马拉松跑步群体的需求。

### 两位数增长的应用市场

中国国家媒体《人民日报》的体育专栏和舆情数据中心最近公布了一份 2018 年中国顶级马拉松赛事名单，该名单是根据对回答全国各地比赛活动问题的跑者的调查得出的。该名单列出了去年在中国举行的 300 多场马拉松赛事中

的前 100 名。排名第一的是在北京、上海和兰州（甘肃省）举行的马拉松赛事。

不出所料，中国服装和运动鞋市场正在蓬勃发展。欧睿国际估计其 2017 年的增长率为 12%，达到 2121 亿元人民币（280 亿欧元）。直到 2022 年，这一步伐才会放缓，而中国政府提倡运动和更积极的生活方式，并在 18-30 岁年龄段中越来越受欢迎。

其他中国运动品牌也在其跑鞋中开始使用复合材料。361° 是中国主要的服装和运动集团之一，与安踏体育用品（去年 3 月收购芬兰集团 Amer Sports）和李宁一起，开发了独特的材料组合。该品牌表示，“QUIK Spine 是一种碳纤维板，可增加中足的完整性并提供稳定性和支撑。Stone Shield 岩石板是一种玻璃纤维保护装置，可在前掌下方增加值得信赖的保护”。并补充说 361° 还为某些外底开发了碳纤维增强橡胶，以防止磨损。

### 量体裁鞋

与耐克等使用复合材料的其他品牌相比，必迈除了以比 Nike Vaporfly 4% 便宜得多的价格出售之外，在跑鞋性能方面还有什么优势呢？“鞋帮主要是保护鞋子免受扭转。然而，中底（如 Vaporfly 4%）主要增加刚度以提供推进/能量回馈的感觉”，科思创营销传播经理 Yvonne Qian 解释道。耐克最初设计这个模型是为了帮助打破两小时马拉松的障碍。该公司声称他们在该鞋中使用了复合材料和其他技术，使所需的跑步

能量减少 4%。

“就必迈跑鞋而言，Maezio™ 带来了轻薄设计和量身定制的抗扭强度的结合，” Yvonne Qian 继续说道，“与其说是增加性能，不如说是根据不同品牌和不同类型鞋子的性能要求来定制属性。以鞋帮为例，品牌可能对产品的抗扭性有不同的要求，而在鞋型上，篮球鞋一般需要比跑鞋更高的抗扭性。然后，我们使用不同的铺层设计定制解决方案——这一切都归结为纤维取向、零件厚度以及使用哪种树脂基体。”

中国之所以能从其他市场中脱颖而出，是因为中国人普遍愿意接受和尝试新技术。科思创公司已经与其他几个中国运动服装品牌合作，将 Maezio™ 用于跑步鞋和篮球鞋——这些项目正在开发中。这些市场特点为公司提供了很多新的机会，它可以用来学习和快速迭代，并推动热塑



Maezio CFRTP 复合材料 (图片来源: 科思创)

性复合材料在许多不同行业的应用。海尔，中国主要的白色家电品牌之一，在其卡萨帝品牌下推出了一款最先进的空调，该产品的主要外壳就是采用 Maezio™。“我们在开拓中国市场的同时，”Yvonne Qian

说，”也致力于其他市场和国际品牌，因为我们试图在全球范围内将热塑性复合材料推向主流。”

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

[www.bmai.com](http://www.bmai.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

ALL GREATNESS COMES FROM A BRAVE BEGINNING  
Z PLUS: EXHIBITIONS VISUAL 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

一切缘于复材，我们一路相伴

13681680135 kgwang@zzen3.com

# 短跑的未来：无钉 CF RTP 短跑鞋

## Future of Sprinting: Spikeless CF RTP Sprinting Shoe

使用预成型的随机导向超薄 CF RTP 带的突破性塑形技术，现在可以用 CF RTP 实现最精细的细节塑形，正如 Asics 公司开发的无钉短跑鞋所完成的那样。

Dr. Norihiko Taniguchi, Manager, Institute of Sports Science, Asics Corporation

Asics 公司在这个项目中选择了这种类型的复合材料，因为无规纤维复合材料有可能实现鞋底结构的精细可塑。然而，使用目前随机的纤维复合材料制造高质量的薄壁鞋底是相当困难的。

### 创新技术

该团队开发了五个关键的创新技术。1) 精确铺展，制造超薄丝束；2) 高速制造高质量的超薄单向 (UD) 带；3) 均匀分散短切的 UD 带；4) 适用于所有鞋底形状的独特预成型技术；以及 5) 适当控制纤维长度和树脂性能。

精确的铺展技术使碳纤维束更薄，厚度为 0.03 毫米。采用原位聚合的热塑性环氧树脂作为基体。由于热塑性环氧树脂在聚合前的粘度很低，树脂浸渍到铺展的碳纤维束中是相当有效的。此外，如果采用该公司独创的浸渍技术，树脂浸渍变得更加有效，因此可以高速制造出无空隙的超薄 UD 带。然后，UD 带被均匀地分散和贴合。短跑鞋底的预制件是通过独特的预制技术自动制造的，鞋底的厚度可以专门设计为 20 个独立的区域，精确度为 0.2g。此外，减少材料浪费也得到了改善，纤维长度和树脂性能也得到了调整，以便制造短跑鞋底结构。

### 成功的伙伴关系

这项创新是通过产学研合作开发的。产品、复合材料和基质树脂制造商以及大学都面临着创造开箱即用的短跑鞋的挑战。起初，Asics 公司提出了一个使用碳纤维增强热塑性塑料 (CF RTP) 的独特概念，主要是基于与各种运动员和科学家的交谈。然后，他们利用参数化设计和有限元分析来设计短跑鞋底。在原型制作完成后，对该鞋在运动员的生物力学值和机械性能方面的表现进行了评估。在各种跑道表面和天气条件下，对世界级运动员进行了穿着试验。在原型设计阶段，复合材料制造商开发了基于随机导向超薄带的 CF RTP 材料，用于短跑鞋。他们通过与大学的基础研究，调整了带子的长度，以获得



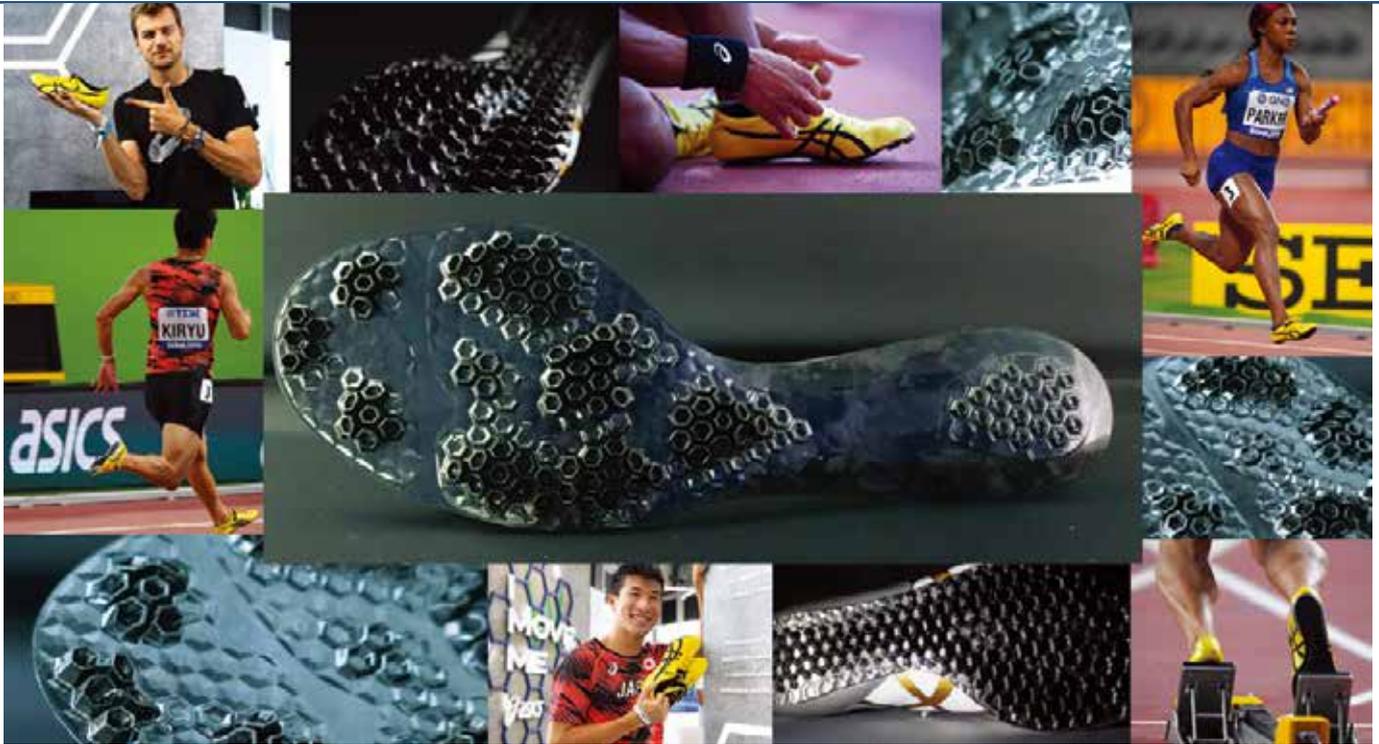
CF RTP 无钉短跑鞋鞋底的制造工艺，及传统短跑钉鞋与 CF RTP 无钉短跑鞋制造后的横截面比较。

良好的可塑性和耐久性。基体树脂制造商重新设计了基体的玻璃转化温度，以防止短跑鞋因鞋与地面的摩擦热而融化。

### 带给短跑运动员的好消息

短跑鞋在运动员提供牵引力和有效地将力量传递到地面方面发挥着重要作用，因为它们是运动员与地面之间的唯一接口。因此，它们需要重量轻，同时保持理想的弯曲刚度分布和足够的牵引力。一般来说，短跑鞋的鞋底底部有几个金属钉。然而，根据现有数据和来自不同运动员的见解，Asics 公司假设如果将钉鞋的穿透和拔出行为最小化，则可以提高冲刺性能，因为 1) 当穿着钉鞋冲刺时，可能需要太长以通过将钉子刺入轨道表面来产生足够的牵引力，2) 钉子穿透产生的牵引力可能过大，以及 3) 通过增加接触面的接触面积，可以在没有钉子的情况下增加牵引力鞋底与地面。

在开发新的短跑鞋时，挑战是双重的。第一个挑战是开发 CF RTP 无钉鞋底结构。在原型制作过程中，所有金属钉子



世界级运动员在比赛中穿着原型的典型照片。

都被一组由碳纤维增强热塑性塑料制成的六角形“抓手”元件所取代。使用传统的片状模塑料 (SMC) 制造这种复杂的结构是不可能的，因为它们的柔韧性较低。因此，由随机取向的超薄 UD 胶带制成的 CFRTP 被用来有效地加强从底部到顶部的“夹具”。第二个挑战是保持新的短跑鞋的轻质和弯曲刚度分布的良好平衡。利用参数化设计、计算机模拟和 3D 打印技术，CFRTP 被应用于鞋底的整个区域，并且设计原型以实现当前短跑鞋所实现的弯曲刚度分布和轻质特性的最佳平衡。

## 由世界级运动员测试

无钉短跑鞋原型于 2018 年 5 月 15 日在庆祝 Asics 公司创始人 Kihachiro Onitsuka 100 周年的活动中首次推出。目前的开发阶段是世界级运动员的产品测试阶段。许多运动员在几个月的训练中一直穿着无钉 CFRTP 短跑鞋的原型，其中一些运动员已经在比赛中使用了原型，包括在多哈举行的 2019 年世界田径锦标赛。该公司目前正在收集磨损、疲劳强度和牵引性能数据，特别是在各种天气和表面条件下的牵引性能，以及最重要的是，运动员对无钉短跑鞋感觉的反馈。由于采用了独特的超薄碳纤维切带预成型技术，这种 CFRTP 随机板的可塑性比典型的 SMC 复合材料的限制要小得多。这使得灵活地设计“抓手”的几何形状和方向以及制造复杂的三维结构成为可能。此外，无钉短跑鞋底的弯曲刚度分布可以通过控制 CFRTP 的数量来灵活地修改。下一步，将考虑结合机械/性能数据和运动员的反馈，使短跑鞋变得更好，并为每个运动员进一步优化。

## 不断增长的市场

2018 年全球运动鞋市场价值接近 190 亿美元，预计未来

将出现显著增长。许多运动鞋企业都在专注于创新产品的开发，并试图利用碳纤维等各种原材料来生产高级鞋，以满足消费者的各种需求。构建大规模生产技术是 Asics 公司占领运动鞋市场的重要任务之一。该公司已经开始了无钉短跑鞋底的大规模生产测试，不仅可以满足顶级运动员的期望，也可以满足大学运动员等普通消费者的期望。由此产生的大规模生产过程可以扩展到其他类别的运动鞋，如足球鞋。

## 社会和环境意义

世界各地的健康意识都在增长，体育的社会意义也在现代社会中比以往任何时候都重要。体育是让人活得更长久、更健康、更有成就感的一个重要因素。Asics 公司的使命是提供商品和服务，促进全世界健康和充实的生活方式。无钉的 CFRTP 短跑鞋最初是为田径运动员研发的，以最大限度地提高他们的短跑成绩。许多运动员普遍使用原型鞋进行训练，一些运动员通过创造个人最好成绩证明该产品对提高他们的成绩做出了重大贡献。事实表明，这种创新产品有助于满足运动员的生活。如果有一天大规模生产过程得到充分发展，该公司希望为普通消费者提供同样的优势。

环境影响方面的意义在于，该开发中使用的 CFRTP 基体是一种热塑性环氧树脂，预计在用于复合材料时不仅具有足够的界面粘合性能，而且具有较高的成型和回收效率。因此，在长期使用后通过重新压制成型来重复使用无钉 CFRTP 短跑鞋底提供了巨大的潜力。此外，独特的 CFRTP 预成型方法有助于减少废料。这也应该对全球环境问题产生积极影响。

[www.corp.asics.com](http://www.corp.asics.com)

# 开辟医药复合材料的新视野

## Composites for Medical Applications Are Opening Up New Horizons

根据位于印度 Pune 的 Quince Markets Insights 最近的一项研究，全球复合材料市场预计在 2028 年前将以 5.2% 的复合年增长率增长。随着 COVID-19 大流行病的全球影响，整个市场由于汽车和航空业的减少，估值略低，2020 年为 317.8 亿美元。

Composites Germany 公司在 2021 年 2 月发布的全球市场调查报告或多或少地证实这种经济低迷。在全球范围内，GFRP 是增长的动力，其次是 CFRP，占 28%。人们的期望主要集中在亚洲，而德国和欧洲正在“失守”。

最糟糕的预测与航空业有关，而作

为复合材料部件的最大市场的建筑业仍未受到大流行病的影响。与建筑业一样，医疗行业似乎受疫情造成的放缓影响较小。医疗技术是复合材料的一个不断增长的应用领域。GFRP 和 CFRP 固有的特性，如高强度和高刚性、轻质和设计自由度，注定了它们在医疗领域的各种

应用。它们的潜在应用范围广泛，从预防到诊断、治疗和康复，以及物流。

JEC 复合材料杂志对不同的终端产品进行了考察，并研究了复合材料部件的供应商和制造商之间有趣的互动关系。我们想强调的一个最佳实践是 Sunrise Medical 和 Munich Composites

**JEC 复合材料杂志: Sopur/Quickie Krypton R 是贵公司生产的最轻的碳纤维框架的全可调轮椅。与 Sunrise Medical 的这种成功合作是如何开始并获得发展的?**

**Felix Fröhlich:** 几年前，作为自动化 48 CFRP 组件的开发商和制造商，我们正在寻找高性能复杂变形中空纤维组件的新应用领域。Sunrise Medical 意识到了我们创新编织处理技术的潜力，并且与 Felix Ott 合作，我们有一位知识渊博的联系人。在过去的几年里，我们建立了信任的伙伴关系。我们的全自动编织工艺和管道工程专业知识，结合 Sunrise Medical 开发的特殊粘合工艺，完美匹配。Sopur/



**Felix Fröhlich** 在斯图加特大学学习航空和航天技术。他曾在慕尼黑工业大学的飞机设计研究所担任科研人员，后来在慕尼黑工业大学担任碳纤维复合材料主席，然后在 2011 年成立了自己的公司，作为慕尼黑工业大学的附属公司。

**“碳的温暖触感对轮椅使用者来说是一个非常宝贵的好处”**

Quickie Krypton 的车架比传统的铝管轻约 40%，刚度显著提高。这种工程技术必须经受严寒和沙漠炎热条件下 (-20°C 至 +70°C ) 的严苛测试条件。

**这种特殊轮椅模型中碳材料的主要优点是什么?**

**F.F.:** 除了重量大幅减轻和迷人的设计方案外，驾驶特性显然特别是在冬季，由于材料的硬度，非常有说服力。驾驶过程中的振动明显得到了缓和。另一个非常积极的方面是，由于材料的导热性差，所以触感温暖。碳可以防止令人不快的冷却效果。轮椅使用者总是对这种积极的材料方面进行讨论，尤其是在冬天的时候。

**当谈到您的 CFRP 组件的未来应用领域时，您的愿景是什么?**

**F.F.:** 整个放射成像和 CT 成像领域在未来可能对我们很有意义，走向自动化生产过程，这是我们的核心竞争力。



Sopur Krypton R——超轻碳框架 ©Sunrisemedical

之间的成功合作，开发了市场上最轻的可完全调整的刚性轮椅，重量仅为 6.2 公斤，以及全球最轻的折叠式轮椅，重量 8.2 公斤起。JEC 采访了 Munich Composites (德国慕尼黑) 的总经理 Felix Fröhlich 和 Sunrise Medical (德国) 的产品经理 Felix Sebastian Ott。

Munich Composites 公司成立于 2011 年，是慕尼黑工业大学的附属公司，曾两次获得 JEC 集团创新奖，一次是在 2012 年的运动与休闲类中，一次是在 2015 年的交通类中。2020 年，该公司的 CFRP 零件产量超过 15000 件，主要



“尽可能强，  
尽可能轻”

**Felix Ott 自 2015 年以来一直在 Sunrise Medical 担任成人手动轮椅和运动轮椅的产品经理。他是一位轮椅使用者，在轮椅行业拥有十多年的经验。**

Sunrise Medical 是开发、设计、制造和分销创新的高品质手动轮椅、电动轮椅、电动滑板车、标准和定制的座椅和定位系统以及日常生活辅助设备的全球领导者。

[www.sunrisemedical.de](http://www.sunrisemedical.de)



**Sunrise Medical 的信条：  
“改善人们的生活”  
© sunrisemedical**

服务于体育与休闲、汽车、航空和医疗领域的客户。Munich Composites 公司是中欧地区领先的碳纤维自行车轮辋制造商，年产量超过 1 万件。

Sunrise Medical 的产品经理 Felix Sebastian Ott 从一开始就支持 Sopur/Quickie Krypton 系列的开发。他强调了与碳材料相关的驾驶性能。“我们的目标是建立一个新的标准：最轻的、可完全调和可配置的轮椅”。由于 Felix Ott 本人是一名轮椅使用者，因此他非常了解如何改善人们的生活。他的个人愿景是根据“尽可能强，尽可能轻”的座右铭，始终在需要的地方提高稳定性。“以用户为中心”的方法对他特别重要。他花了近两年时间对这个辅助设备的各个方面进行微调，并最终创造出他所说的“我所使用过的最好的轮椅时期”。

GFRP 的一个有趣应用是 COVID-19 疫苗的冷藏运输，这在过去几个月中已成为一个紧迫的话题。运输主要集中在陆路……和航空路线上，而不是慢得多的航运路线。在恒温下进行

安全、卫生的运输需要特殊的运输车辆和集装箱。Lamilux 正在应用一种最初为要求严格的运动器材市场—滑雪板、滑雪橇和风筝浪板—开发的 GFRP，作为疫苗运输容器内壁和外壁的面板。这种材料是由连续长丝的玻璃粗粒和特殊改性的环氧树脂混合而成，产生了一种极其坚固的无腐蚀、非常轻和易于清洁的表面。“另一个选择是抗菌整理，它可以选择性地应用于玻璃纤维增强塑料，提供抗菌和消毒性能。为活跃的体育产业的高度复杂的需求而开发的材料，现在正被转移到其他领域，例如超轻型配送和运输车辆”，Sascha Oswald 解释道。“最近的大流行推动了送货上门的物流以及轻质结构和可持续性的趋势。我们的出口率约为 80%，主要销往美国、欧洲和亚洲。当使用我们的 GRP 轻质材料时，一辆较小的货车可以节省大约 50 公斤。这相当于一个大城市的总运输量节省了几十万公斤。燃料消耗的节省是相当可观的。”

[www.lamilux.de](http://www.lamilux.de)



**Sascha Oswald, Lamilux 复合材料公司的产品管理和新业务开发，在霍夫大学 - 应用科学大学学习商业工程，特别是材料工程。在 2010 年加入 Lamilux 复合材料公司之前，他曾在 Gemballa Sportscars 的发动机开发部门工作。**

Lamilux 复合材料有限公司生产纤维增强聚合物已有约 70 年的历史。这家中型公司凭借其技术先进的连续生产工艺、庞大的制造能力和广泛的产品范围，成为欧洲领先的生产商。Lamilux 为全球各行各业的客户提供产品，例如建筑行业、汽车和休闲车行业、冷藏室和单元建设。2019 年，公司实现营业收入 2.93 亿欧元，员工 1200 人。



**使用安全卫生的 GFRP 材料运输车辆和容器 ©Lamilux**

# 胶层控制技术

## The Bondline Control Technology

粘合线控制技术 (BCT) 包括几种创新的方法, 以证实粘合接头的适当粘合质量。它开启了粘合剂在安全关键应用中的使用, 并为玻璃钢的实验室测试、生产和粘合修复提供了各种好处。

Dipl.-Ing. LennertHeilmann, Research Associate, German Aerospace Center (DLR)

通过粘合剂连接纤维增强塑料 (FRPs) 可实现最佳材料利用率并在制造、空气动力学和重量方面优化设计。然而, 在航空领域, 这种连接技术的使用受到限制, 因为使用无损检测方法 (NDT) 无法可靠地检测粘合缺陷。在关键接头的情况下, 故障安全设计以附加螺栓或结构冗余的形式实施, 导致飞机制造和运营效率降低。为了解决这个问题, DLR 发明了 BCT, 这是一种用于粘合层测试和表面预处理的新方法 (正在申请国际专利)。验证测试能够以非常高的灵敏度检测粘合界面中存在的任何缺陷。并且表面处理产生了保证可粘合的连接表面, 并且对于形成关键的粘合缺陷具有高度的鲁棒性。验证测试和表面预处理可以结合或单独进行, 以满足各种应用场景的要求。

### 新颖的验证测试

粘合剂和固体粘合剂之间的连接质量和性能是通过新的验证测试来评估的。机械测试是通过将网状织物粘合到粘合剂上并连续将其从固化粘合剂中剥离来进行的, 参见图 1。织物的剥离会产生高机械应力, 无论其原因如何, 都会显示存在的任何粘合层缺陷。通过无效的断裂模式或与标称抗剥

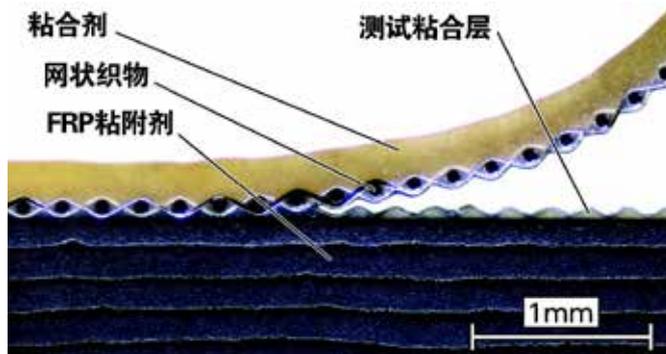


图 1: BCT 剥离试验的横截面图。

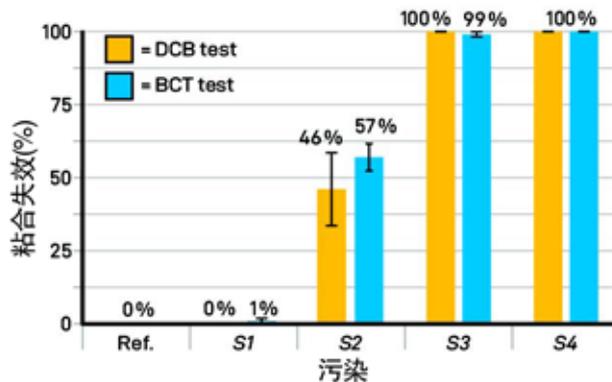


图 2: 缺陷键的测试结果: BCT 与 DCB。

离性的偏差来识别缺陷。在适当粘合的情况下, 抗剥离性达到参考值并且被测粘合剂薄层留在被粘物上。由于网眼织物的柔韧性和悬垂性, 测试可以在具有平面或曲面的刚性材料上进行, 甚至可以在复杂形状的表面上进行, 例如阶梯式修复几何形状。

在德国联邦经济和技术部支持的 FACTOR 项目框架内, 进行了几个测试项目, 以评估 BCT 在检测不同类型的粘合缺陷方面的敏感性。图 2 显示了 BCT 和双悬臂梁测试 (DCB 或 "GIC 测试") 之间的比较分析结果, 后者被认为是最敏感的界面缺陷测试。测试是在连接表面有不同程度的预粘合污染的 CFRP 面板上进行的 (S1 至 S4)。污染物是一种硅基脱模剂, 通过 Fraunhofer IFAM 研究所的浸涂法均匀地涂抹。结果显示, 对于每一种程度的污染, 两种方法检测到的粘合失效量是相当的。对于其他类型的粘合线缺陷, 如粘合剂的内聚力缺陷和基材的表面近似缺陷, 也获得了类似的积极结果。

发现 BCT 剥离测试的灵敏度非常高, 以至于它可以检测到干燥样品条件下的缺陷, 而 DCB 测试只能在湿样品条件下检测到这些缺陷。同时, 由于没有在基板中引入弯曲应力, BCT 不太容易受到基板损坏。

### 坚固的表面预处理

网状织物可以通过粘合剂粘合到固体结构上以进行剥离测试, 也可以在初始制造过程中应用 FR 组件。在这两种情况下, 嵌入织物的剥离都是一种高效的表面预处理方法, 该方法可重复且与操作员无关。以这种方式创建的连接表面为后续的粘合过程提供了最佳性能, 而无需任何进一步的处理步骤。

进行了几个测试程序来验证表面预处理对各种材料组合的有效性, 包括高温、中温和室温固化环氧树脂粘合剂和基质树脂。DCB 试样和开槽单搭接剪切试样结合了由网状织物剥离产生的界面, 在与航空航天应用相关的所有条件下都表现出优异的性能。这包括在低温、环境温度和高温下测试干燥和潮湿

的样品。图 3 说明了高压釜外修复配置的标准化 DCB 测试结果。数据结果强调，用 BCT 生产的试样具有非常高的断裂韧性，超过了参考值。即使在潮湿的条件下和在低温下，粘合的试样也具有优异的性能。观察到的断裂模式主要是内聚型的，在 BCT 生产的界面上没有断裂。所得到的出色的测试结果强调了由 BCT 产生的优化连接面的性能。

图 4 显示了网状织物剥离后断裂树脂的典型表面拓扑结构。BCT 产生的表面具有高度纹理，真实表面积是几何面积的 2 到 3 倍，具体取决于所使用的织物规格。表面扩大促进了强粘合的形成，因为更多的位点可用于与粘合剂聚合物相互作用。表面的升高部分由内聚破碎的树脂组成，由于官能团和自由基的存在，该树脂保证清洁并准备形成共价键。测试结果证实，围绕内聚断裂区域的光滑纤维印记在与环氧树脂粘合剂接触时也能够形成强共价键。

这一点通过其他一系列的 DCB 试样得到了验证，这些试样是用一种新型的剥离箔（专利申请中）预处理过的基材面板制成的，这种剥离箔是由类似于网状织物的材料组成。这些剥离箔留下了一个准无限的印记，没有内聚断裂、纹理或底切，仍然实现了完美的粘合质量的形成。对这一点的解释是，液体树脂和具有高表面能的箔材料之间的相互作用导致了单体的极性官能团向箔的表面定向。通过将铝箔从固化的树脂上剥离，暴露出一个能够与连接步骤中使用的粘合剂交联的反应性表面。这样一来，就像在共固化过程中一样，形成了一个强大而持久的结合。

图 5 说明了通过 BCT 生产的共粘结合头的横截面。根据所使用的织物规格，残留在预固化粘附物上的树脂层可以相当厚，也可以非常薄，平均厚度小于 30 微米。在预处理步骤中产生的凹槽和下切口使粘结线产生强大的机械互锁，这通过剪切和最终接头的剥离方向的正配合提供载荷传递。在预处理污染的 BCT 表面上进行的 DCB 测试，在没有强粘性的情况下，仍然达到足够高的断裂韧性值。这表明，替代性的负载转移机制在粘合线中提供了固有的冗余，使粘合层本身具有故障安全性。结果表明，由 BCT 提供的表面预处理使粘合过程具有非常高的工艺可靠性，弥补了局部粘合缺陷的关

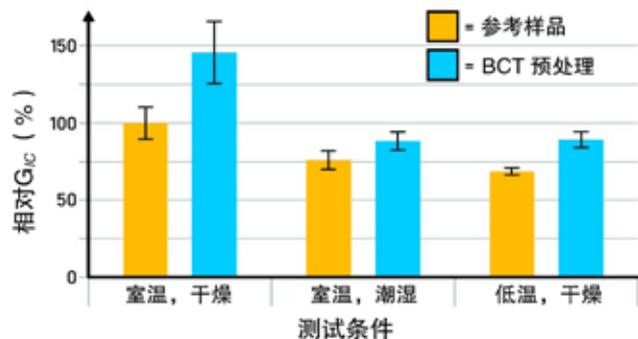


图 3: DCB 试样的测试结果。参考与 BCT 预处理的对比。

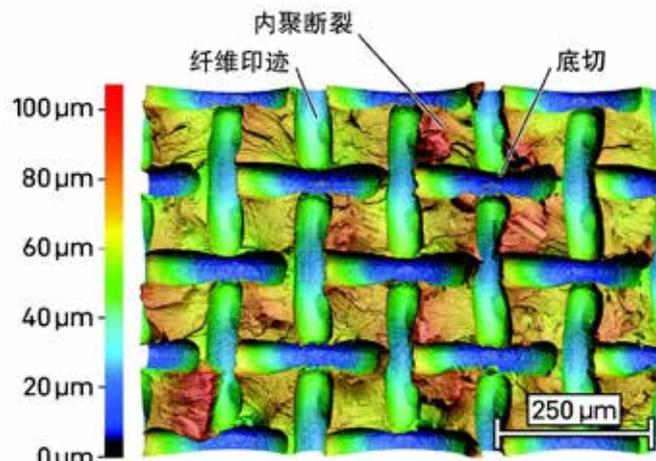


图 4: 通过 BCT 预处理的表面拓扑，激光扫描共聚焦显微镜图像。

键性。这有可能使无螺栓粘结合头的认证在航空航天领域的安全关键应用成为可能。

### 在材料和工艺鉴定中的应用

基于新颖的验证测试开发了高性能测试试样。该粘合线控制试样 (BCS) 用于粘合剂粘合的实验室测试，与最先进的测试方法（如 DCB 测试或浮动辊剥离测试 (EN 2243-2)）相比，具有许多技术和经济优势。试样是按照浮动滚筒剥离试验的方式制作的，见图 6。然而，网状织物被粘结在刚性基材上，而不是金属板。根据 EN 2243-2 标准，试样由人工或测试设备进行剥离。

BCS 可以使用任何刚性基底材料（例如 FRP 或金属），使用薄膜粘合剂、糊状粘合剂和液体粘合剂来制造。与最先进的方法相比，可以测试单向和准备向同性层压板的弯曲、阶梯和斜接表面。这对于开发用于修复 FRP 的预处理和粘合程序尤其重要。

新的测试试样只需要一个基板面板，制造简单快速，因此可以显著节省样品制备。样品的手动测试可以快速显示测试结果，与 DCB 样品测试相比，符合 EN 2243-2 的仪器测试便宜又简单。

对总共 94 个样品的 18 个测试系列的统计分析表明，抗剥离性具有极低的分散性。在几个测试程序中发现，由于测试结果的高度一致性和可重复性，即使是对粘合过程的微小影响也可以非常好地分析。最重要的是，断裂模式的解释简单明了。虽然 DCB 试样通常会混合模式失效，包括由于弯曲应力导致的基板损坏，但 BCS 在适当的粘合质量的情况下会导致纯内聚失效，请参见图 6。

然而，新试样最重要的优势之一是显著减少了介质饱和和所需的时间。BCS 的粘合线没有被第二层粘合剂屏蔽，因此暴露在环境中。虽然金属剥离试样需要 6 周，而 DCB 试样通常需要大约 30 周的时间才能完全饱和水分，但 BCS 在恒温室中经过 2 至 4 周的调节后即可进行测试。这一优势可以显著缩短

新制造工艺和材料组合的开发时间。

## 在零件制造中的应用

除了材料和工艺鉴定之外，BCS 还可用作生产规模粘合剂粘合工艺质量评估的工艺控制手段。通过在制造流程中实施具有代表性的剥离样本面板，可以检查粘合组件的生产是否存在系统粘合错误。为了实现 BCS 和零件之间的代表性，试样由相同的材料批次、相同的表面预处理和与实际零件相同的固化条件生产。

为了获得更大的代表性，可以直接在结构件上进行剥离试验。在这种原位过程控制中，网状织物片粘合到与结构接头相邻的零件表面上。测试粘附和结构粘附在相同条件下平行产生，具有高代表性。质量检查是通过手动剥离网眼织物或借助移动测试设备进行的。在结构部件上留下一层非常薄的经过测试的粘合剂，作为适当粘合质量的证据。

通过 BCT 进行的表面预处理可以被应用到粘合组件的生产中，以达到无可比拟的质量保证程度。它使粘合过程非常坚固，并能排除不可检测的弱粘附的发生。针对此应用场景优化的织物规格被层压到部件的连接区域作为外层。在粘合操作之前，织物被剥离以产生优化的连接表面。通过剥离层进行传统的表面预处理，通常只有在使用高温、高压灭菌的粘合剂系统时，才能实现符合航空航天要求的强而持久的粘合剂粘合。环氧树脂粘合剂在环境温度或中等温度下固化，以及在节省成本的高压釜外固化过程中，通常需要其他耗时的预处理方法，如研磨或喷砂，那些由于目前的技术限制而需要耗时的预处理过程的制造过程，或像激光烧蚀或等离子体处理等技术上的复杂方法。这些表面预处理方法都不能形成足够强的机械联锁，可以被视为二级负载路径。

BC 创造的表面的最佳性能使其与在环境、中等和高温以及压力等条件下固化的环氧树脂兼容。事实上，到目前为止，

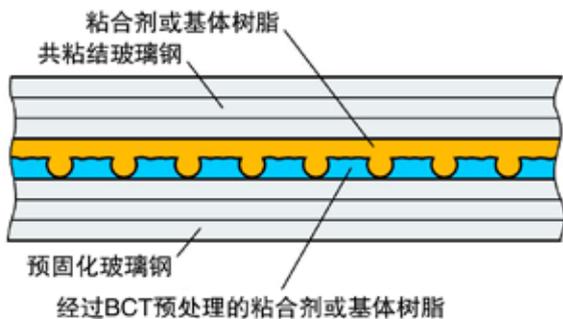


图 5: 通过 BCT 形成的共粘接头示意图。

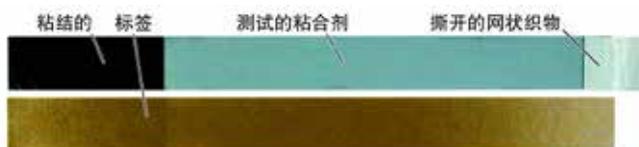


图 6: 剥离和未剥离状态下的粘层对照试样。

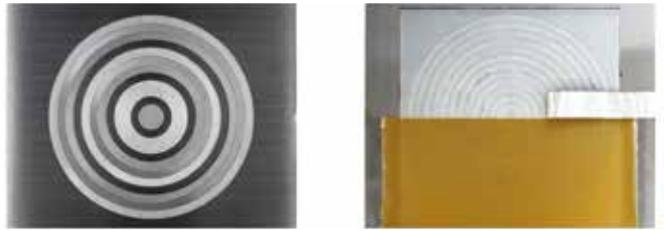


图 7: BCT 在阶梯状 CFRP 表面的修复场景中的应用。

还没有发现不相容的环氧树脂组合。

由于 BCT 表面预处理的简单性和鲁棒性，实现了技术和经济优势。该方法特别适用于对所生产接头的质量和安全性要求较高的应用，也适用于由于当前技术限制而需要耗时的预处理过程的制造过程。

## FRP 修复中的应用

在维修和改造的情况下，FRP 结构的可粘合性并不完全可以预测。这是由于材料已经受到了使用环境的影响。与抑制粘附力的介质的接触，手工的表面处理和预处理，以及在非最佳条件下执行粘合过程，都会导致局部和整体的粘附缺陷，而这些缺陷是无法通过传统的无损检测来检测的。

通过在应用修复补丁之前对整个连接表面进行 BCT 验证测试，验证了结构的可粘合性。图 7 说明了这一点，其中测试是在阶梯式修复表面上进行的。用于此应用的网片以大片形式应用，随后可以以规定宽度的条状剥离。网格的特性导致剥离力相对较低，可防止对脆弱结构造成任何损坏，而不会影响检测灵敏度。

如果测试结果是肯定的，则连接表面会覆盖一层新的粘合剂，该粘合剂与结构的粘附强度已得到证实。同时，涂层表面如前所述经过预处理、清洁和均匀。随后通过粘合剂粘合的修复贴片可以以高度的工艺可靠性进行，并且肯定不会导致不可检测的弱粘附的形成。

有了这种方法，FRP 的无螺栓粘合修复可以非常有把握地进行，并且可以通过安全关键案例的认证。

## 总结与展望

BCT 的各种应用对飞机的整个生命周期都有积极的影响。

在开发阶段，新型试样是研究新材料组合和粘合制造工艺的一种廉价而有效的手段。凭借 BCT 表面预处理的可靠性和坚固性，可以实现无螺栓粘合组件，从而实现先进的结构设计。与螺栓结构相比，这些粘合结构需要更少的材料和更少的装配步骤，从而节省能源和资源。更好的空气动力学性能和更低的结构重量对运行期间的燃料消耗和排放产生积极影响。先进维修工艺的扩展确保了最大的使用寿命和持续的效率。报废后，粘合结构中没有金属紧固件，这有助于拆卸并支持按材料类型进行分离。

总而言之，可以说 BCT 所取得的进步有助于更实惠和可持续的流动性，同时提高产业竞争力。

www.dlr.de

# JEC WORLD

## 2023 国际领先的复合材料展 巴黎北郊维勒班展览中心

2023年4月25日至27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)



# 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](http://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



alianscys