

# 上纬NEWS

>>> 2022年 第36期



**上纬新材料科技股份有限公司**  
SWANCOR ADVANCED MATERIALS CO., LTD.  
上海市松江区松胜路618号  
电话: +86 21 5774 6183  
传真: +86 21 5774 6177  
shanghai@swancor.com.cn

**上纬(天津)风电材料有限公司**  
SWANCOR (TIANJIN) WINE BLADE MATERIALS CO., LTD.  
天津经济技术开发区汉沽现代产业区彩云街6号  
电话: +86 22 5991 6567  
传真: +86 22 5991 6568  
tianjin@swancor.com.cn

**上纬兴业股份有限公司**  
SWANCOR HIGHPOLYMER CO., LTD.  
台湾南投市南岗工业区工业南六路9号  
电话: +886 49 225 5420  
传真: +886 49 225 1534  
nantou@swancor.com

**上纬(江苏)新材料有限公司**  
SWANCOR (JIANGSU) NEW MATERIALS CO., LTD.  
江苏省盐城市阜宁县高新产业园纬二路27号  
电话: +86 515 8788 6518  
传真: +86 515 8788 6015

**上纬(马)有限公司**  
SWANCOR IND (M) SDN. BHD.  
PLO 212, Rumbia 5, Kawasan Perindustrian Tanjung Langsat,  
81700 Pasir Gudang, Johor, Malaysia.  
电话: +607-255 6605  
传真: +607-255 7562  
johor@swancor.com

[www.swancor.com.cn](http://www.swancor.com.cn)



股票代码: 688585



# 实力体现！上纬新材料科技股份有限公司荣获“跨国公司研发中心”称号

## CONTENTS



1	实力体现！ 上纬新材料科技股份有限公司 荣获“跨国公司研发中心”称号！	01
2	上纬新材与江苏金风、中材科技、北京鉴衡就 “可回收热固树脂在风机产品上的开发应用” 项目达成合作意向。	02
3	上纬与西门子歌美飒合作可回收风机叶片	03
4	新型EzCiclo可回收热固性树脂体系 在风电叶片领域的应用	04
5	高性能预浸料树脂助力新能源车复合材料轻量化	10
6	夹芯结构材料的性能表征	12

6月15日下午，第三十五批跨国公司地区总部和研发中心颁证仪式举行，上海市市长龚正为新认定的30家跨国公司地区总部和10家外资研发中心颁证，副市长宗明致辞。上纬新材料科技股份有限公司荣获本次“跨国公司研发中心”称号，研发总监王洪荣女士代表上纬新材出席并接受颁证。



作为国内先进的环保新材料供应商，上纬新材（股票代码：688585）成立于2000年，在上海、天津、江苏、台湾南投、马来西亚等地建有工厂，总部设在上海。主营业务为环保高性能耐腐蚀材料、风电叶片用材料、新型复合材料的研发、生产和销售。公司长期坚持技术为本，注重创新研发，先后获得上海市企业技术中心、高新技术企业、上海市“专精特新”企业称号。

未来，上纬新材将持续以在绿能、环保与安全领域提供客户最高价值的产品与服务为使命，提供客户全方位的客制化服务，协助客户提升市场竞争力。



## 上纬新材与江苏金风、中材科技、北京鉴衡就“可回收热固树脂在风机产品上的开发应用”项目达成合作意向。

为了响应国家碳中和、碳达峰的政策，更好的促进风电产业的可持续发展，发挥各自的优势及积极性，6月30日，上纬新材料科技股份有限公司（以下简称上纬新材）与江苏金风科技有限公司（以下简称江苏金风）、中材科技风电叶片股份有限公司（以下简称中材科技）、北京鉴衡认证中心有限公司（以下简称北京鉴衡）就“可回收热固树脂在风机产品上的开发应用”项目达成合作意向，并签订合作意向书。

作为战略合作伙伴，江苏金风、中材科技和北京鉴衡共同就上纬新材的新产品可回收热固树脂“EzCiclo易可收”应用在金风风机叶片产品上进行联合开发合作，包括材料评估、部件/叶片制作，商品化应用等具国内领先示范项目合作，同时包括在市场营销、产业推动，政策推动等多个领域的拓展合作。

上纬可回收热固树脂“EzCiclo易可收”的出现，突破了传统热固性环氧树脂行业认知，此新产品透过CleaVER降解系统得到回收纤维与回收液，回收液可以再次导入风电配方中使用或是应用于其他环氧配方体系，回收纤维亦可整理后用于其他用途，达到循环经济效益，解决风机叶片退役产生的环保问题。除了风力叶片领域针对复合材料风机叶片的制备与应用，“EzCiclo易可收”在运动和汽车复合材料等领域也有发展。蓝天、绿色、环保——共同的志向让上纬新材与江苏金风、中材科技和北京鉴衡强强联手，实现资源共享、优势互补，共同促进各方产品与服务的延伸和发展，共同合作，共同前进！



## 上纬与西门子歌美飒合作可回收风机叶片

上纬与西门子歌美飒致力于提供客户环保产品和回收解决方案，实现绿色循环经济理念。为迈向碳中和、致力新材料的ESG行动创下新的里程碑。

上纬自2015年投入可回收热固型环氧树脂的研究。此次新推出的具绿色循环经济的全球革命性创新产品——可回收热固型环氧树脂“EzCiclo易可收”以及化学降解液“CleaVER可立解”，目前已提供给全球再生能源领导品牌西门子歌美飒进行认证流程。

透过上纬研发的全球创新技术，制成可回收的风机叶片，待风机退役后叶片透过简易降解程序，即可同时回收玻璃纤维及叶片树脂，所回收的材料则能再投入风机叶片生产或其他制程，回收过程不产生废弃溶剂和废气等污染，且回收过程低碳足迹，解决了传统填埋或焚烧产生的环境污染问题，此一创举将可实现风机叶片全回收目标。

上纬董事长蔡朝阳表示：配合西门子歌美飒落实产业落地积极承诺，上纬与西门子歌美飒进行可回收叶片树脂战略合作，透过我们所研发的可回收热固型环氧树脂创新技术，将回收的叶片树脂与复合材料纤维重复应用，助西门子歌美飒于台湾实现全风机机组回收愿景。上纬将持续以“致力碳中和，创生新材料”为使命，并为净零碳排及循环经济做出贡献！

西门子歌美飒亚太区海上风电营运发展董事长倪迩思 (Niels Steenberg)表示：我们的目标是提供客户全风机零组件的资源循环利用解决方案，透过与上纬合作风机叶片可回收树脂技术，将叶片树脂、玻璃纤维、碳纤维等复合材料回收，并再回到风机制程中重复利用，创造永续的风机叶片生命周期，成为台湾于2050年达到净零碳排的强大后盾！



# 新型EzCiclo可回收热固性树脂体系 在风电叶片领域的应用

## 1、前言

热固性树脂具有力学性能好、耐热、耐化学腐蚀等优异性能，已广泛应用于风电叶片领域；但热固性树脂固化后形成交联网状结构，具有不溶不熔的特性，因此其回收难度非常大；目前各国对退役的风电叶片的处理方式主要是以掩埋和焚烧为主，这不仅对环境造成了污染和对资源造成了浪费，而且还增加了碳排放量；风电叶片的设计使用寿命一般为20年左右，随着风电产业的发展，将会迎来大批量风电叶片更新换代，斯特拉斯克莱德大学表示，预计到2030年，每年废弃叶片可能会到40万吨，2050年增加到200万吨，大量退役的风电叶片很难循环利用，这不仅使环境污染、资源浪费问题日趋严重，而且还会阻碍风电产业的健康发展。

国务院2021年出台的《关于加快建立健全绿色低碳循环发展经济体系的指导意见》中指出，应加强废塑料等再生资源的回收利用，特别是为实现我国设定的2030年前“碳达峰”和2060年前“碳中和”的刚性目标；欧洲风能协会Wind Europe倡议欧盟应在2025年起禁止透过掩埋方式处理叶片，目前有德国、奥地利、荷兰与芬兰颁布了垃圾掩埋禁令。

为实现风电叶片回收利用可以达到绿色环保及操作简单的要求，助力我国提出的碳达峰和碳中和目标及国际绿色能源目标，上纬公司研发出了新型EzCiclo可回收热固性树脂；该新型EzCiclo可回收热固性树脂与玻璃纤维及碳纤维复合而成的复合材料用于制造风电叶片，该风电叶片达到使用年限后，可以在上纬公司研发出的Cleaver降解体系的作用下，对纤维和EzCiclo可回收热固性树脂进行有效回收并重复利用，回收过程绿色环保。

## 2、产品回收利用介绍

### 2.1 降解概念



■ 新型EzCiclo可回收热固性树脂发生交联聚合反应后，形成不溶不熔的三维网状结构高聚物；该高聚物在Cleaver降解体系的作用下，降解成小分子量的寡聚物；对该寡聚物进行整理后，可重新得到新型EzCiclo可回收热固性树脂，从降解至重新得到新型EzCiclo可回收热固性树脂过程中，无废液废水产生，可重复循环利用

### 2.2 降解程序

**1.准备样品**  
 ■规格：UD1200/6 Layer  
 ■尺寸：8cm\*8cm

**2.把FRP放进反应槽**

**3.把Cleaver™溶液放进反应槽**

**4.确保样品完全浸泡在溶液里**

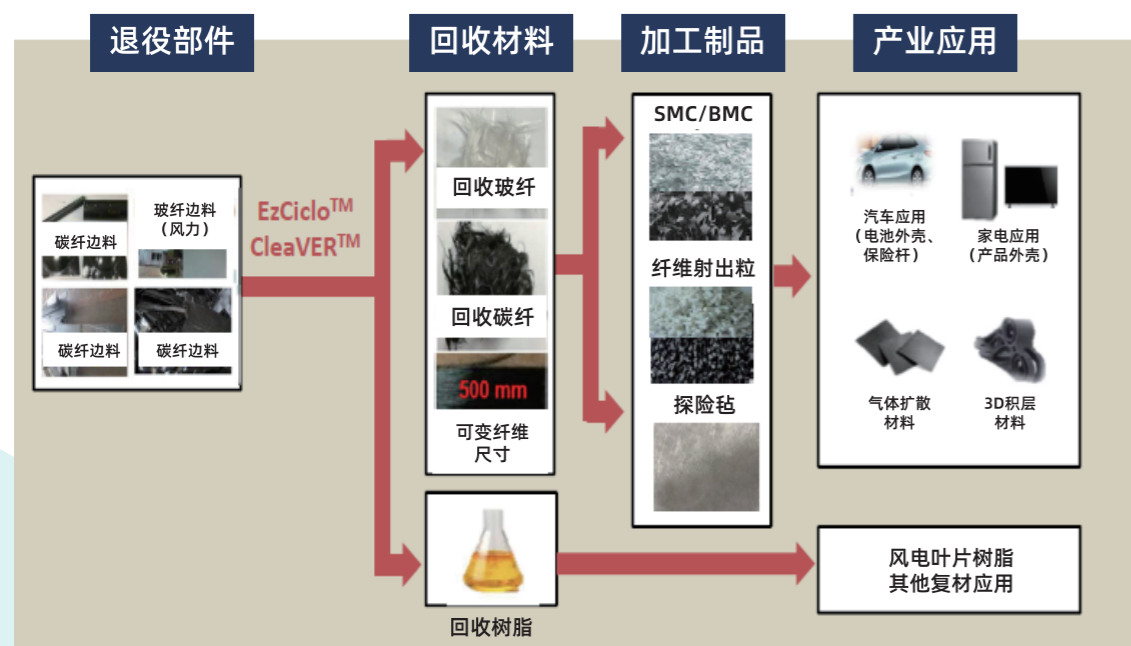
**5.加热反应槽**  
 ■加热至130°C开始降解  
 ■等待2-3小时

**6.将反应槽从加热器移开**

**7.把FRP从反应槽取出**

■规格：UD600/20 Layer  
 ■尺寸：6cm\*6cm\*0.8cm

## 2.3 回收利用图解



## 2.4 回收方法比较

方法	热裂解法	传统化学降解回收	EzCiclo / CleaVER
回收物	短切纤维、研磨纤维	长纤维、聚合物	长纤维、寡聚物
工作温度 (°C)	500 - 800	80 - 120	100 - 150
工作环境	常压、氮气	常压、酸性溶剂 (含过氧化物)	常压 (不含过氧化物)
优点	少数国家已实现商业化运营 (透过政府补贴)	1. 降解时间短 2. 回收纤维强度与新料相当 3. 回收复材可无须先粉碎, 操作方便	1. 树脂可回收再使用于原产业 2. 降解时间短 3. 碳足迹最少 4. 回收纤维强度与新料相当 5. 回收复材可无须先粉碎, 操作方便
缺点	1. 燃烧过程产生粒状物、SOx、NOx、VOCs与二恶英等空气污染物, 对环境有害 2. 无法100%回收	1. 废溶剂造成再次污染 2. 无法100%回收	还没有完整产业链

## 3、产品力学性能介绍

### 3.1 EzCiclo RB519-A/BS灌注树脂浇注体性能

■ EzCiclo RB519-A/BS灌注树脂力学性能优异

测试指标	测试条件	单位	EzCiclo RB519-A/BS	行业技术要求	测试标准
Tg	DSC法	°C	≥80	≥75	ISO 11357-2
拉伸强度	23±3°C	MPa	≥69	≥65	ISO 527-2
拉伸模量	23±3°C	GPa	≥3.28	≥2.76	ISO 527-2
断裂延伸率	23±3°C	%	≥7	≥5	ISO 527-2
弯曲强度	23±3°C	MPa	≥118	≥110	ISO 178
弯曲模量	23±3°C	GPa	≥3.2	≥2.7	ISO 178
冲击强度	23±3°C	MPa	≥80	≥70	ISO 179

### 3.2 EzCiclo RB519-A/BS灌注树脂FRP力学性能

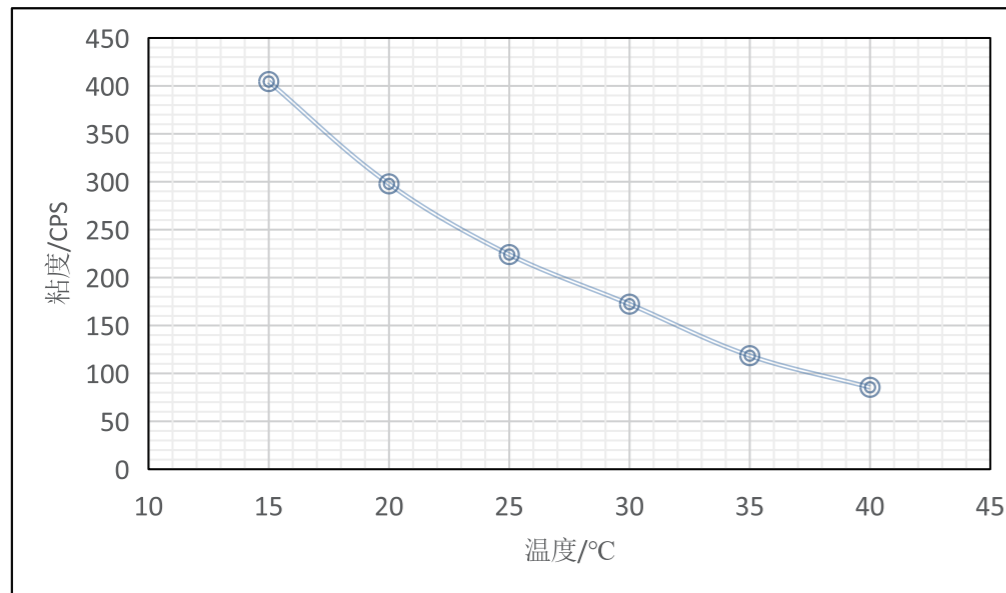
■ EzCiclo RB519-A/BS灌注树脂与玻璃纤维有良好的浸润性, 界面结合力强, FRP性能优异, 可以满足大型风电叶片的设计需求

检验项目	单位	EzCiclo RB519-A/BS +CTG-SUL1240	参考设计值	检验标准
纤维体积含量	%	56.5±2	56.5±2	ISO 1172
0°拉伸强度 (平均值/特征值)	MPa	1363 (1213)	1100	ISO 527-5
0°拉伸模量 (平均值)	GPa	52.53	51	
0°压缩强度 (平均值/特征值)	MPa	898 (808)	800	ISO 14126
0°压缩模量 (平均值)	GPa	51.37	51	
90°拉伸强度	MPa	53.5	53	ISO 527-5
90°拉伸模量	GPa	14.62	13.3	
90°压缩强度	MPa	183.9	160	ISO 14126
90°压缩模量	GPa	16.85	13.3	
V型剪切强度	MPa	60.76	59	ASTM D7078
V型剪切模量	GPa	5.07	4.2	

注: 特征值按照体积含量56.5%换算

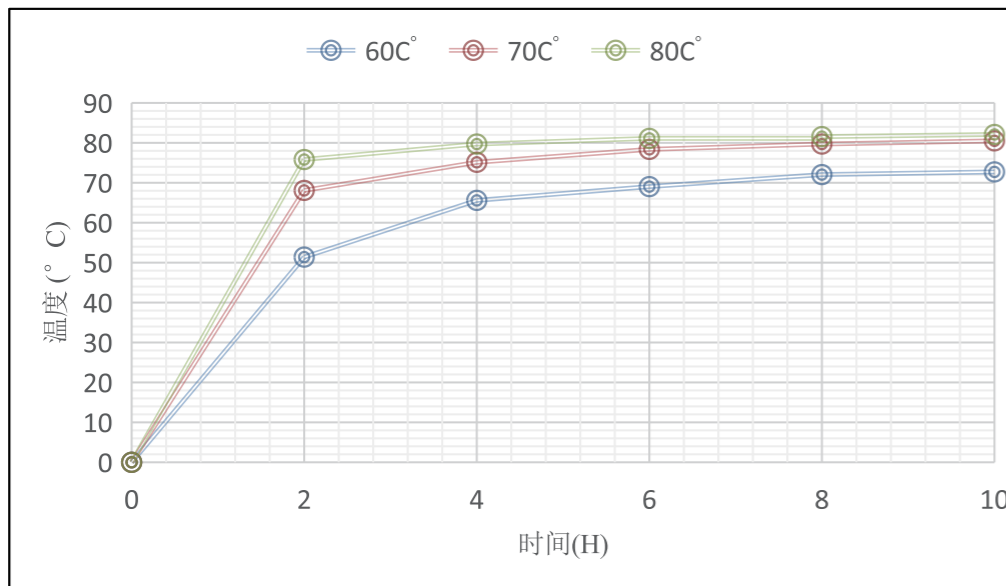
### 3.3 EzCiclo RB519-A/BS灌注树脂混合粘度变化曲线

■ EzCiclo RB519-A/BS灌注树脂的粘度适中，流动性能好，灌注时，与玻纤及碳纤均有很好的浸润性。



### 3.4 EzCiclo RB519-A/BS灌注树脂Tg建立曲线

■ EzCiclo RB519-A/BS灌注树脂Tg建立速度快，可缩短风电叶片占模时间，提升生产效率。



### 3.5 EzCiclo RB519-A/BS灌注树脂拉剪性能

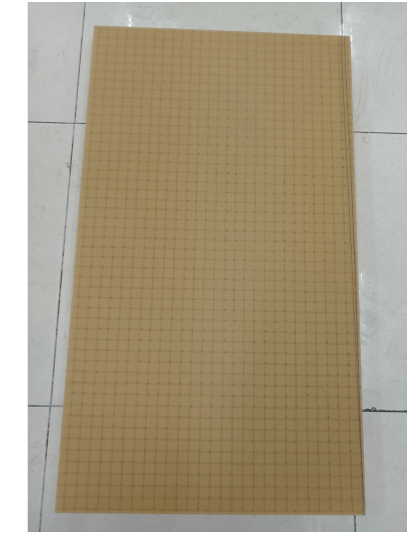
固化条件	环氧结构胶厚度	拉剪强度
70°C/4h	3mm	25.22 ± 1.11 MPa

### 3.6 EzCiclo RB519-A/BS灌注树脂工艺验证

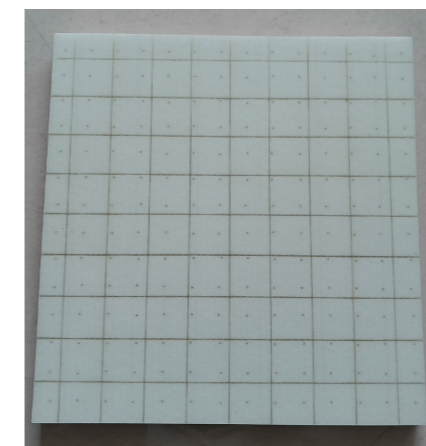
■ 模拟叶片现场工艺条件，验证EzCiclo RB519-A/BS灌注树脂与纤维及芯材结合的工艺稳定性，样品浸润良好，质量符合要求。



与玻璃纤维匹配工艺验证



与PVC芯材匹配工艺验证



与PET芯材匹配工艺验证



与巴沙木芯材匹配工艺验证

### 3.7 EzCiclo拉挤树脂及EzCiclo手糊树脂力学性能

■ 应用于风电叶片的EzCiclo拉挤树脂及EzCiclo手糊树脂的力学性能表现与EzCiclo RB519-A/BS灌注树脂一样，同样比较优异，符合百米级大型风电叶片的设计需求。

## 4、结论

- ◆ 新型EzCiclo可回收热固性树脂体系（灌注树脂、拉挤树脂、手糊树脂）应用于风电叶片时，不需要改变现有的风电叶片制造工艺；
- ◆ 新型EzCiclo可回收热固性树脂力学性能优异，符合DNV与百米级叶片规格要求；
- ◆ 由新型EzCiclo可回收热固性树脂所制成的风电叶片复合材料部件，搭配上纬公司CleaVER降解体系，回收过程简易，且无废液废水产生，回收过程极低碳足迹；能有效达到树脂、纤维分离回收，增加材料重复利用和再循环的可能性，为整个生产过程带来巨大的附加价值。

## 高性能预浸料树脂助力 新能源车复合材料轻量化

自开始制造汽车以来，复合材料就以各种形式被应用在汽车中。其中分为两大类，包括天然复合材料和人工复合材料。早在1908年，福特汽车的部分车身就采用了天然复合材料—木头。汽车行业发展时至今日，对于能耗的考虑以及越来越全面。汽车的各个零部件都在考虑减重，以此来减少能源消耗，在新能源汽车上这一问题愈发被重视。轻质高强的复合材料也逐步登上了历史舞台。复合材料为增强材以及基体结合而成的材料，目前市场上一般使用玻纤/碳纤做为增强材，以树脂做为基体。复合材料的主要生产工艺包含：灌注、手糊、拉挤、缠绕、预浸料、SMC、喷射等，其中使用预浸料能达到最佳的综合力学性能。

复合材料板簧及电池壳作为汽车的重要组成部分，其在汽车轻量化发展中有着难以替代的作用。由于其可靠性好、结构简单、制造工艺流程短、成本低而且结构能大大简化等优点，从而得到广泛的应用。

上纬新材根据新能源汽车轻量化需求，开发出一款专注于汽车板簧轻量化的预浸料树脂SWANCOR 2554-10及电池壳用阻燃预浸料树脂SWANCOR 2558。

SWANCOR 2554-10为预浸料用热熔型环氧树脂，树脂与各种增强纤维材料的兼容性佳，含浸性好，具有良好的力学性能。应用SWANCOR 2554-10制备的复合材料板簧相对于钢制汽车板簧可减轻重量60%~70%，在汽车轻量化发展中有着难以替代的作用。而且复合材料的可设计性使得板簧的结构更合理，同时也有着机械强度更高、抗紫外线、耐候性好、耐化学腐蚀性、防潮性好的性能。

SWANCOR 2554-10基本性能如下：

项目	SWANCOR 2554-10
外观	微黄色膏状物
年度 (@70°C)	5,000-8,000cps
玻璃转移温度 *1	120-130°C
放热量 *2	200-400J/g
胶化时间 (mins) *3	12-18 mins
建议固化时间 *4	150°C: 30mins
	150°C: 60mins

\*1 Tg点乃以DSC测试完全固化后的树脂所得结果，此资料会因树脂固化的成度而有所不同。

\*2 放热量测试方法：根据ISO11357-5。升温速率10°C/mins。

\*3 胶化时间测试方法：以流变仪恒温测试。取储能模量与损耗模量的交点。

\*4 建议固化时间为实验室测试结果，生产固化参数可依据制程、部件种类调整。



SWANCOR 2558 为预浸料含浸用热熔型用阻燃环氧树脂，配方中不含有毒挥发性成份，使用上更安全、更健康。树脂与各种增强纤维材料的兼容性佳，含浸性好，可达更佳的机械强度。其制成的玻璃纤维或碳纤维预浸材料可通过UL94-V0阻燃等级，提供较低的流失率以及较快的固化速度。可应用在汽车轻量化、轨道交通等领域，

其中，SWANCOR 2558应用于汽车电池壳不仅满足了强度等力学性能要求，还有着轻质高强的特点；减少了能源的消耗的同时，还提高了相关制件的使用寿命。

SWANCOR 2558基本性能如下：

项目	SWANCOR 2558
外观	黑色膏状物
黏度 (@70°C)	30,000-60,000cps
玻璃转移温度 *1	150°C
放热量 *2	250-350J/g
建议固化时间 *3	150°C: 10mins
阻燃等级	UL94 V0

\*1 Tg点乃以DSC测试完全固化后的树脂所得结果，此资料会因树脂固化的成度而有所不同。

\*2 放热量测试方法：根据ISO11357-5。升温速率10°C/mins。

\*3 建议固化时间为实验室测试结果，生产固化参数可依据制程、部件种类调整。

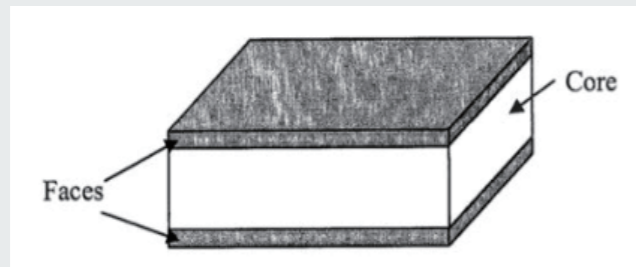
SWANCOR 2554-10和SWANCOR 2558是上纬新材针对汽车行业推出的两款复合材料用树脂，在新能源汽车轻量化领域能有效助力提升新能源汽车安全性、操作性、续航里程及节能减排。随着工业的发展，我们相信，复合材料将大面积被推广使用。我们的愿景是，帮助国内外市场填补复合材料在汽车行业的空白及不足，我们将竭诚为您服务。

# 夹芯结构材料的性能表征

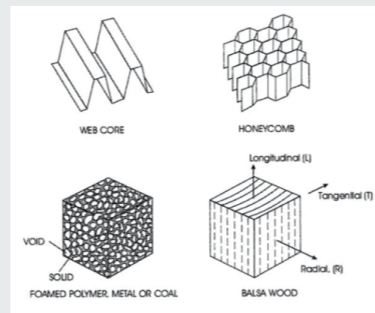
## 1、前言

复合材料夹芯结构由于其结构合理、重量轻、力学性能优越等特点被广泛应用。

夹芯结构通常由三个部分构成，即两个强度和刚度较大的薄面板和轻质较厚的芯子，如图一所示，芯子采用低密度材料从而降低夹芯结构的整体重量，芯子的作用是增加整体结构的转动惯量从而使结构可以有效抵抗弯曲变形，上下面板通过粘接或灌注等方式紧密结合在一起，从而实现载荷在面板及芯子之间的连续传递；夹芯结构力学性能依赖于面板及芯子的材料以及它们的几何形状，面板主要有金属面板及复合材料面板，而多孔泡沫、轻木（巴萨木）、波纹板及蜂窝是常见的夹芯结构的芯子，如图二所示；材料的多样性促进了对其力学性能的研究，如何准确的评估其力学性能已成为一个火热的话题，包括拉伸、压缩、弯曲、剪切、剥离、疲劳等性能测试。



图一 夹芯结构



图二 夹芯结构中常见的几类芯子

## 2、实验材料及样条制备

### 2.1 原材料

芯子：维赛(江苏)复合材料科技有限公司生产的PVC、PET、轻木等

灌注树脂：SWANCOR 2511-1A/BS

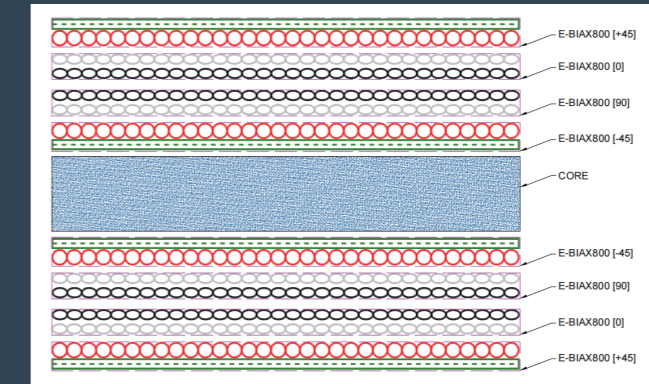
玻纤：CTG-EBX808双轴布

胶粘剂：SWANCOR 2535-A/BS

### 2.2 样条制备

#### 2.2.1 制板

按照图三的铺层方向进行灌注制板，其中两侧面板各四层玻纤（非唯一），保证面板在0°、45°、-45°、90°方向上纤维分布均匀，芯子与面板可一体成型，也可用胶粘剂粘接成型，若需撕除蒙皮，在芯材上下面加一层隔离膜即可，此时面板为纯树脂层。



图三 芯材制板铺层示意图

#### 2.2.2 拉伸样条制备

按照ASTM C297的尺寸对试样进行裁切，裁切时按照最大面积孔槽分布原则或者按照指定的孔槽分布原则。

表1 ASTM C297拉伸样条尺寸（mm）

最小晶胞尺寸（mm）	最大晶胞尺寸（mm）	最小横截面积尺寸（mm <sup>2</sup> ）
-	3	625
3.0	6.0	2500
6.0	9.0	5625

#### 2.2.3 压缩样条制备

按照ASTM C365或ISO 844的尺寸对试样进行裁切，裁切时按照最大面积孔槽分布原则或者按照指定的孔槽分布原则。

表2 ASTM C365试样尺寸（试样横截面为正方形或圆形）

最小晶胞尺寸（mm）	最大晶胞尺寸（mm）	最小横截面积尺寸（mm <sup>2</sup> ）
-	3	625
3.0	6.0	2500
6.0	9.0	5625

试样横截面积不超过10000 mm<sup>2</sup>



表3 ISO 844试样尺寸（试样横截面为正方形或圆形）

首选正四棱柱试样尺寸 (mm)		其他试样尺寸 (横截面积) (cm <sup>2</sup> )
长度	100±1	
宽度	100±1	25-230 (厚度最小为20±1)
厚度	50±1	

### 2.2.4 剪切样条制备

按照ASTM C273或ISO 1922的尺寸对试样进行裁切，裁切时按照最大面积孔槽分布原则或者按照指定的孔槽分布原则。

表4 ASTM C273和ISO 1922试样尺寸

标准	厚度 (mm)	长度W (mm)	宽度h (mm)
ASTM C273	-	≥12h	≥50
ISO 1922	25±0.5	250 <sup>0</sup> <sub>-5</sub>	50 <sup>0</sup> <sub>-5</sub>

### 2.2.5 剥离样条制备

按照ASTM D1781的尺寸对试样进行裁切，裁切时按照最大面积孔槽分布原则或者按照指定的孔槽分布原则。

表5 ASTM C273和ISO 1922试样尺寸

标准	中间剥离长度l (mm)	长度L (mm)	宽度W (mm)	夹持区面板长度 (mm)
ASTM D1781	≥254	≥305	76	25

### 2.2.6 弯曲样条制备（静态及疲劳）

按照ASTM C393或DNV的尺寸对试样进行裁切，裁切时按照最大面积孔槽分布原则或者按照指定的孔槽分布原则。

表6 ASTM C393试样尺寸 (mm)

		S	S	b	l
standard	3point(Mid-span)	150	0	75	200
Non-Standard	4point(Quarter-span)	S	S/2	(2~6) *d	L+50或L+ 0.5d
Non-Standard	4point(Third-span)	S	S/3	(2~6) *d	L+50或L+ 0.5d

$$S \leq \frac{2k\sigma t}{F_s} + L$$

## 3、芯材测试方法

### 3.1 拉伸测试方法

拉伸强度计算公式  $F = P_{max}/A$

式中：F—拉伸强度(MPa)；P<sub>max</sub>—最大载荷 (N)；A—试样横截面积 (mm<sup>2</sup>)；

- ◆ 拉伸模量：使用引伸计或者位移计测量试样拉伸过程的变形量，取应力-应变曲线上直线段的斜率为拉伸模量；注意引伸计和位移计的标距不同，测量的变形区域不同，故测量的模量存在差异。
- ◆ 拉伸应变：取最大载荷时的应变为拉伸应变。

### 3.2 压缩测试方法

①ASTM C365压缩强度计算公式  $F = P_{max}/A$

式中：F—拉伸强度(MPa)；压缩弹性模量计算公式：P<sub>max</sub>—最大载荷 (N)；A—试样横截面积 (mm<sup>2</sup>)；

$$E = ((P_{0.003} - P_{0.001}) * t) / ((\sigma_{0.003} - \sigma_{0.001}) * A)$$

式中：E—平压弦模量(MPa)；t—试样厚度(mm)；A试样横截面积(mm<sup>2</sup>)；

σ—两压盘变形量(mm)，可用LVDT位移计和引伸计测量；

σ<sub>0.003</sub>—记录的挠度值δ/t最接近0.003；σ<sub>0.001</sub>—记录的挠度值δ/t最接近0.001。

注：根据材料的特性，σ<sub>0.003</sub>和σ<sub>0.001</sub>可取其他值，如δ/t<0.006时，取极限挠度的25%-50%等。

② ISO 844计算方法

- ◆ 压缩应变：方法A以试样厚度为标距来计算，方法B以引伸计标距来计算。
- ◆ 压缩强度：1、压缩应变在10%时试样未屈服，此时以10%压缩应变对应的压缩应力为压缩强度。  
2、压缩应变在10%时试样发生屈服，以最大压缩应力为压缩强度。
- ◆ 压缩模量：取应力-应变曲线上线性段斜率或者取最大载荷的25%-75%最陡峭线性段数据，用最小二乘法拟合，得出斜率值。（试样在10%压缩应变前发生屈服）

### 3.3 剪切测试方法

剪切强度计算公式： $\tau = P/(b * l)$

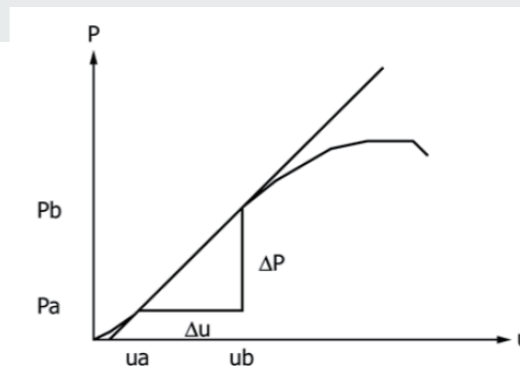
式中：τ—剪切应力(MPa)；P—载荷 (N)；b—试样宽度(mm)；l—试样长度(mm)；

剪切应变计算公式： $y = u/c$

式中：y-剪切应变mm/mm；u-两加载板偏移位移；c -芯材厚度，c=d-t<sub>1</sub>-t<sub>2</sub>；t<sub>1</sub>，t<sub>2</sub>为两加载板的厚度。

剪切模量计算公式： $G = (\Delta P / \Delta u) * c / (l * b)$

注：根据材料的特性，ΔP/Δu取曲线上直线段斜率，如下图所示：



### 3.4 剥离测试方法

剥离强度计算公式： $\bar{T} = [(r_o - r_i)(F_p - F_o)] / W$

式中： $\bar{T}$ —单位宽度剥离力矩(mm.kg/mm)； $r_o$ —法兰半径，包括法兰外圈半径加上加载带厚度的一半；

$r_i$ —滚筒半径加上剥离面板厚度的一半； $F_p$ —克服面板弯曲、剥离等阻力矩(kg)； $F_o$ —空白面板阻力矩(kg)；

$W$ —试样宽度(mm)。

### 3.5 弯曲测试方法

①三点加载：芯材剪切应力： $F1 = P_{max} / (b * (d+c))$

面板剪切应力： $\sigma_1 = P_{max} * S / 2 * t * (b * (d+c))$

②四点加载：芯材剪切应力： $F2 = P_{max} / (b * (d+c))$

面板剪切应力： $\sigma_2 = P_{max} * S / 2 * t * (b * (d+c))$

式中： $F$ —芯材剪切应力(MPa)； $\sigma$ —面板剪切应力，MPa； $P_{max}$ —最大载荷(N)； $b$ —试样宽度(mm)；

$d$ —夹层结构总厚度(mm)； $c$ —芯子厚度(mm)； $t$ —面板厚度(mm)； $S$ —支持间距长度，mm；

$L$ —加载间距长度，mm；

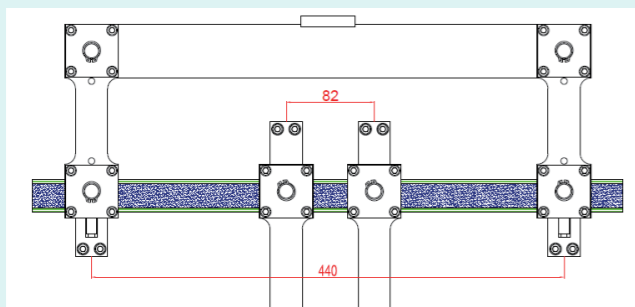
### 3.6 疲劳测试方法

以四点弯曲疲劳为例，以芯材剪切应力为设定值，评估芯材的抗疲劳性能。

芯材剪切应力： $F2 = P_{max} / (b * (d+c))$

#### 3.6.1 试样及夹具尺寸

试样尺寸长\*宽\*厚：550\*60\*30 (mm)



图五 疲劳测试图

#### 3.6.2 疲劳强度计算

对所有的试样根据试样的尺寸、芯材剪切应力计算公式、应力比R等设置不同的加载载荷，得到不同剪切应力下对应的疲劳寿命，对这些疲劳寿命要求如下：

- 1.至少有3个数据在 $10^4$ 循环次数附近；
- 2.至少有3个数据在 $10^5$ 循环次数附近；
- 3.至少有3个数据在 $5 * 10^5$ 循环次数附近；
- 4.至少有3个数据在 $2 * 10^6$ 循环次数附近。

用 $y = a * X^b$ 方程拟合S-N曲线（y剪切应力，X为疲劳寿命），利用应力变量进行回归计算，计算出S-N曲线图斜率、回归值等参数。

显示拟合曲线生存概率为P=95%，置信水平为95%的P95-S-N曲线以及生存概率为P=5%，置信水平为95%的P5-S-N曲线；给出不同应力下的疲劳寿命预测值及不同寿命下的疲劳强度等。

## 4、总结

本文以夹芯结构为主题，分别对其力学性能测试方法展开详细叙述，包括拉伸、压缩、剪切、弯曲、剥离、疲劳等测试，以此标准化方法可准确的评估芯材的优劣性及与其他材料的匹配性等。

上纬具有经DNV认证和中国合格评定国家认可委员会（CNAS）认可的标准实验室，并拥有一支硕士及本科毕业的具有丰富检测经验的专业检测团队，已建立一套完善的制样及测试方案，为夹芯结构复合材料性能研究提供了有利的保障。



此产品说明书上之各项数据皆为准确及可靠的，但客户在使用本产品前仍应先进行检验及测试，以确认本产品可符合客户端之应用。

上纬新材料科技股份有限公司保留一切涉及知识产权等权利。