聚氨酯树脂风机叶片解决方案

亚太市场技术资讯

科思创 (上海) 投资有限公司
上海浦东新区平家桥路 36 号，
晶耀商务广场 5 号楼 25 层，
邮编 : 200126
北京联络处
北京市朝阳区建国路 91 号金地中心
B 座 20 层 2003-2008 室
肖双印 : 座机 010-65809503
手机 18601326708
sean.xiao@covestro.com

www.solutions.covestro.com

您对我们的产品、技术协助以及信息（无论是口头上的、书面的或者是生产评估的方式）的使用以及您的使用目的，包括任何建议配方和推荐内容，均不受我们控制。因此，您有必要对我们的产品、技术协助和信息进行测试，以确定其是否满足您的使用需求。具体的应用分析必须至少包含测试，以便从技术、健康、安全和环保的角度来确定其适用性。我方无需进行此类测试。除非我方另行书面同意，否则所有产品都严格按照标准销售条款来出售，如有需要我方可提供这些标准销售条款。我方不对所提供的任何信息和技术协助进行担保或保证，如有变更，恕不另行通知。双方需要明确了解并同意，贵方将承担所有责任，无论该等责任是否与侵权、合同或是与使用我们的产品、技术协助和信息相关，我方概不承担此类责任。此处未包含的任何声明或者推荐都未经授权，对我方不具任何约束力。此处任何信息都不得视为建议使用任何与任何材料及用途相关的任何专利权相违背的产品。此处信息并不暗示或者事实上的授予任何专利权的许可。
本演示资料可能包含科思创股份有限公司基于当前设想和预测所作的前瞻性声明。各种已知和未知的风险、不确定性和其它因素均可能导致公司未来的实际运营结果、财务状况、发展或业绩与本演示资料中所作出的估计产生重大差异。上述因素也包括在科思创集团官方网站 www.covestro.com 上公开的科思创的各项报告中描述的问题。科思创没有责任更新这些前瞻性声明或确保其与未来发生的事件或进展一致。

编辑日期：2020 年 12 月 · 中国印制

科思创-
开创精彩世界

作为全球最大的聚合物制造商之一，科思创于2015年在德国上市，2016年的销售额达119亿欧元。我们拥有全球网络，贴近客户，主要服务于汽车、电子/电气以及建筑、体育休闲行业，前身为拜耳材料科技。科思创致力于通过材料创新，开创精彩世界。

聚氨酯-应用广泛的多动能材料

Otto Bayer博士于1937年发明了聚氨酯。作为一种应用广泛的材料，生活中随处可见它的身影，从冰箱、汽车、家具到建筑等等。它不仅有助于节约能源、提高材料安全性，还为生活增添了舒适度。

跨越极限，推动可再生能源发展

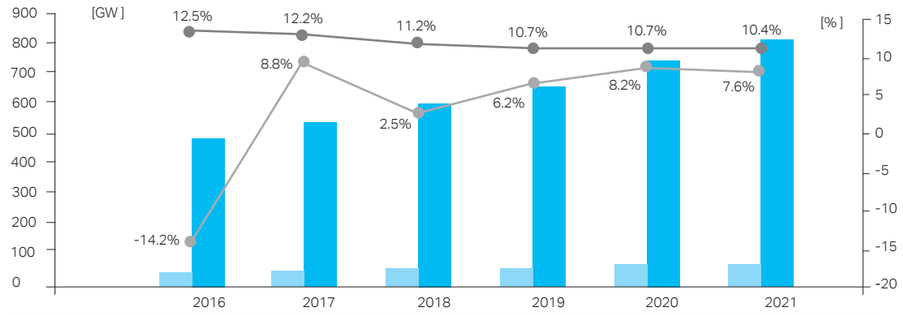
利用可再生能源是应对气候变化的最重要的措施之一。理论上，仅仅利用风能发电已经能满足全球能源需求，但是需要大大提高其发电效率。科思创为风机叶片，塔筒和传输电缆提供创新性的材料，加速实现一个更清洁更低碳的社会。

作为聚氨酯的发明者，科思创与全球合作伙伴共同致力于研发性能优异的聚氨酯风机叶片。秉承其对联合国可持续发展目标的承诺，科思创为风能行业提供了另一种全新材料，开创叶片新时代，推动风能行业的可持续性发展。

全球风电市场发展迅速

据全球风能协会GWEC预测，到2021年，全球累计风电装机将超过800GW，年均新增装机量将达到75GW。与此同时，风电在各国的能源结构中，比例也在不断上升。丹麦的能源供应结构中，风电比例已经超过40%，德国这一比例已经达到了16%。

2017-2021全球风电市场预测



	2016	2017	2018	2019	2020	2021
累计装机容量（千兆瓦）	486.8	546.1	607.0	671.7	741.7	817.0
累计装机容量增长率	12.5%	12.2%	11.2%	10.7%	10.7%	10.4%
全年新增装机容量（千兆瓦）	54.6	59.4	60.9	64.7	70.0	75.3
全年新增装机容量增长率（千兆瓦）	-14.2%	8.8%	2.5%	6.2%	8.2%	7.6%

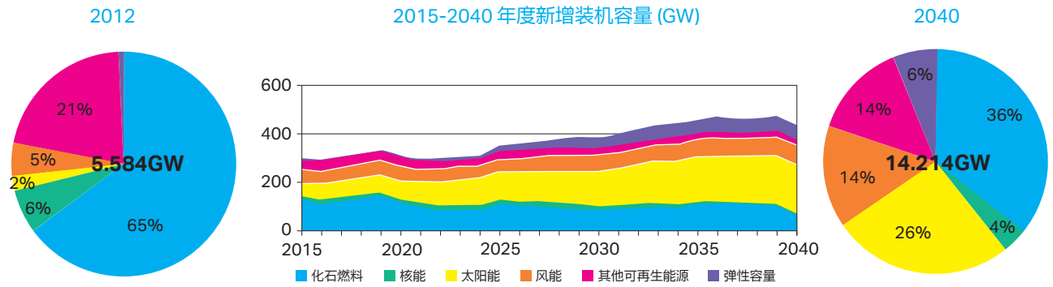
数据来源：全球风能协会（GWEC）

中国连续多年领跑全球风电市场。2016年中国风电累计、新增装机容量均居全球第一。全年新增装机容量占到全球新增容量的43%。据推测，未来可再生能源将占中国能源消费的20%左右。

亚太主要国家都已承诺减少碳排放，尤其在政策和财政补贴等刺激下，未来该地区的可再生能源市场将迎来持续增长和更多投资项目。

全球风能累计装机容量将从2012年的280 GW (5%)增长至2040年的2000 GW (14%)。

2012/2040 全球电力装机容量及预估年度新增装机容量（按不同技术分类）

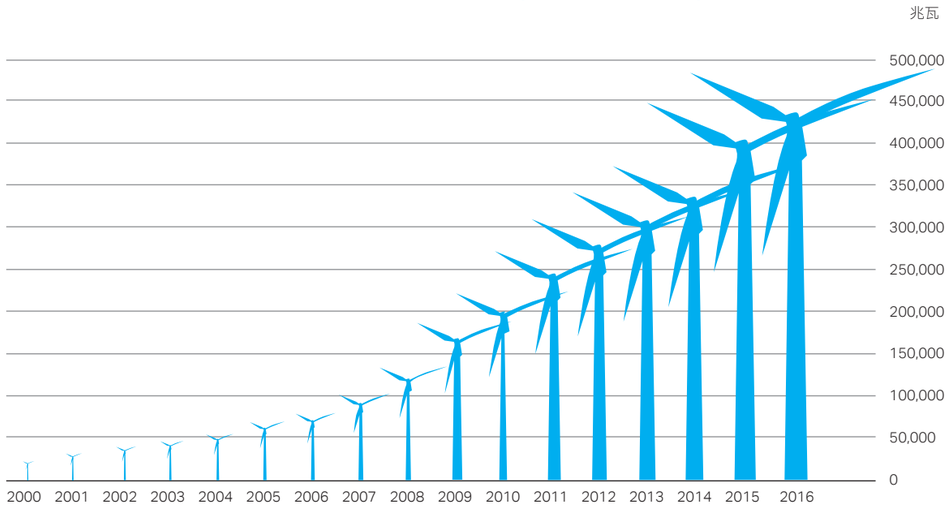


数据来源：彭博新能源财经

风机功率不断增大，挑战材料性能

随着风机功率不断提高，叶片长度也不断增长。由于主机的输出功率与叶片的扫风面积直接相关，更长的叶片就意味着更高的电力输出。但是，更长的叶片对设计和制造提出了新的挑战。科思创通过研发全新聚氨酯材料，突破传统材料局限，满足更高的性能要求。

全球风力发电装机容量（2000-2016）



数据来源：全球风能委员会（GWEC）

海上风电投资持续升温

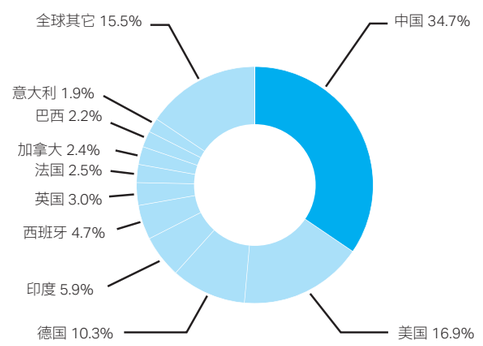
在欧洲，海上风电的成本迅速下降，度电成本降至 100欧元/MWh以下，提前实现了2020年的预期目标。随着成本的下降，风电行业都在讨论如何加速发展海上风电。不仅仅在欧洲，北美和亚洲也掀起了新一轮的海上风电投资热潮。

使用聚氨酯树脂为优化叶片设计，制造更轻更长的叶片提供了机会，尤其适合于海上风场和低风速区域。

中国风电开发不断向低风速区发展

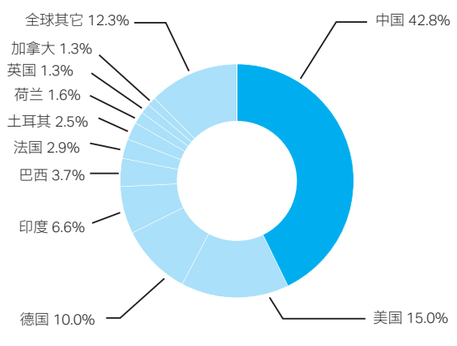
为了解决能源输送的问题，中国的风电开发不断向风速较低的中东部地区发展。为了有效捕捉低速风，提高在低风速条件下的发电效率，塔筒高度及叶片长度不断增加，对叶片材料提出了更高的要求，也给新材料的研发应用带来了机遇。

2016累计装机容量排名前十



数据来源：GWEC

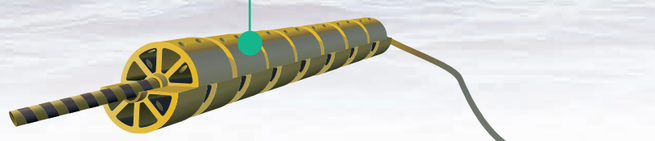
2016新增装机容量排名前十



数据来源：GWEC

聚氨酯在风电行业的应用

聚氨酯弹性体
P26-27



高性能聚氨酯灌注树脂体系
P10-P21

风机用聚氨酯涂料体系
P24-25

双组分聚氨酯配重材料
P22-23

高性能聚氨酯灌注树脂体系

科思创高性能聚氨酯树脂体系主要应用于真空灌注工艺生产大型风机叶片。聚氨酯树脂性能优异，给叶片设计带来无限新可能，还能大大提升叶片生产效率，降低成本，开创叶片新时代。

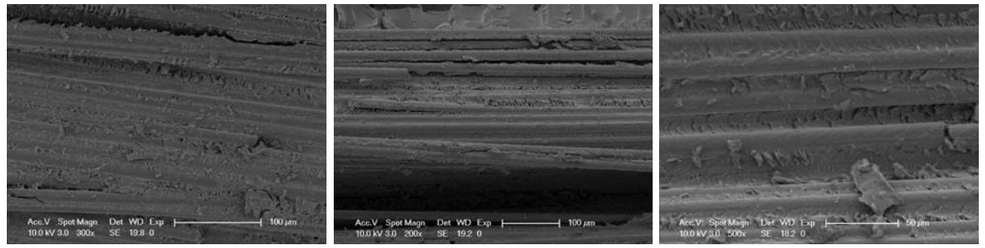
- 更轻质的叶片，更多设计可能
- 更快灌注固化，更高生产效率

更轻质的叶片，更多设计可能

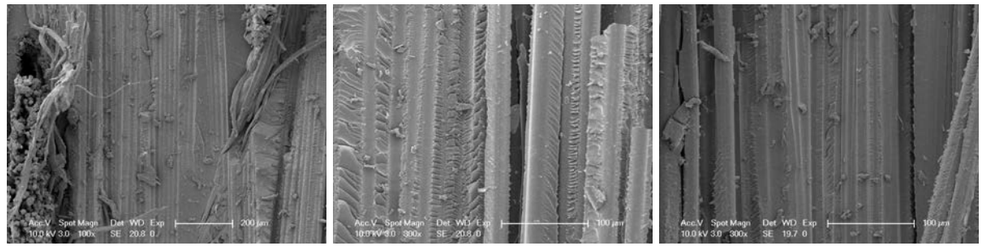
聚氨酯树脂体系性能优异，通过优化叶片设计，可以制造更轻的叶片。其与玻璃纤维有非常好的界面结合力，树脂基体（浇注体）力学性能和玻璃纤维复合材料（FRP）力学性能都比传统环氧树脂有明显的提高。

聚氨酯树脂与玻纤有更好的界面结合力

0度玻纤方向扫描电镜



90度玻纤方向扫描电镜



聚氨酯树脂浇注体性能

性能	单位	数据	测试标准
拉伸强度	MPa	75-90	DIN EN ISO 527-2
拉伸模量	GPa	3.0-4.0	
断裂伸长率	%	4.0-6.0	
弯曲强度	MPa	130-150	DIN EN ISO 178
弯曲模量	GPa	3.0-4.0	

聚氨酯树脂FRP性能 - 单轴向玻璃纤维 TM+ glass（EKU1200(0)PU(TM+)）

性能	测试标准	性能	单位	数据	FWF%
拉伸性能0°方向	DIN EN ISO 527-5 Type A	拉伸强度	MPa	1200-1400	76-78
		拉伸模量	GPa	49-52	
		应变	%	2.0-3.0	
压缩性能 0°方向	DIN EN ISO 14126 Form B	压缩强度	MPa	1100-1200	76-78
		压缩模量	GPa	50-52	
		应变	%	2.0-3.0	
拉伸性能90°方向	DIN EN ISO 527-5 Type B	拉伸强度	MPa	60-70	76-78
		拉伸模量	GPa	16-20	
		应变	%	0.4-0.5	
压缩性能 90°方向	DIN EN ISO 14126 Form B	压缩强度	MPa	200-250	76-78
		压缩模量	GPa	18-22	
		应变	%	2.0-3.0	
层间剪切	ASTM 7078	剪切强度	MPa	70-80	76-78
		剪切模量	GPa	5.0-6.0	

聚氨酯树脂FRP性能 - 单轴向玻璃纤维 E- glass（EKU1150(0)PU）

性能	测试标准	性能	单位	数据	FWF%
拉伸性能0°方向	DIN EN ISO 527-5 Type A	拉伸强度	MPa	1100-1300	76-78
		拉伸模量	GPa	47-50	
		应变	%	2.0-3.0	
压缩性能 0°方向	DIN EN ISO 14126 Form B	压缩强度	MPa	1100-1300	76-78
		压缩模量	GPa	50-52	
		应变	%	2.0-3.0	
拉伸性能90°方向	DIN EN ISO 527-5 Type B	拉伸强度	MPa	60-70	76-78
		拉伸模量	GPa	16-18	
		应变	%	0.4-0.5	
压缩性能 90°方向	DIN EN ISO 14126 Form B	压缩强度	MPa	200-250	76-78
		压缩模量	GPa	18-22	
		应变	%	2.0-3.0	
层间剪切	ASTM 7078	剪切强度	MPa	60-80	76-78
		剪切模量	GPa	4.5-6.0	

聚氨酯树脂FRP性能 - 双轴向玻璃纤维E-glass（EKB800(+45/-45)PU）

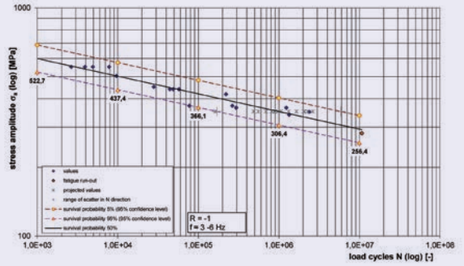
性能	测试标准	性能	单位	数据	FWF%
拉伸性能0°方向	DIN EN ISO 527-5 Type A	拉伸强度	MPa	180-200	76-78
		拉伸模量	GPa	16-78	
		应变	%	12-15	
压缩性能 0°方向	DIN EN ISO 14126 Form B	压缩强度	MPa	200-240	76-78
		压缩模量	GPa	16-18	
		应变	%	5.0-6.0	
±45°剪切	ASTM 7078	剪切强度	MPa	60-80	76-78
		剪切模量	GPa	5.0-6.0	

聚氨酯树脂FRP性能 - 三轴向玻璃纤维E-glass（EKT1250(0,+/-45)PU）

性能	测试标准	性能	单位	数据	FWF%
拉伸性能0°方向	DIN EN ISO 527-5 Type A	拉伸强度	MPa	700-800	74-76
		拉伸模量	GPa	30-31	
		应变	%	3.0-4.0	
压缩性能 0°方向	DIN EN ISO 14126 Form B	压缩强度	MPa	700-800	74-76
		压缩模量	GPa	35-37	
		应变	%	2.5-3.5	

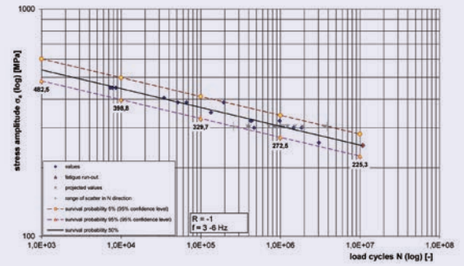
聚氨酯树脂体系的疲劳性能非常优异。

聚氨酯树脂疲劳



Statistical evaluation of the S-N curve,R=-1,test series B027/16-EP02-SNC	
Slope exponent of the S-N-curve:	12, 9
σ_a at 10^6 load cycles (50 % S-N-curve) [MPa]:	351,3
Regression equation (50 % S-N-curve):	$y = 1022{,}5 \cdot x^{-0{,}0773}$
Coefficient of correlation:	r = -0,951
Quantile factor k_s (scatter of unknown) for n = 16:	2,52

环氧树脂疲劳

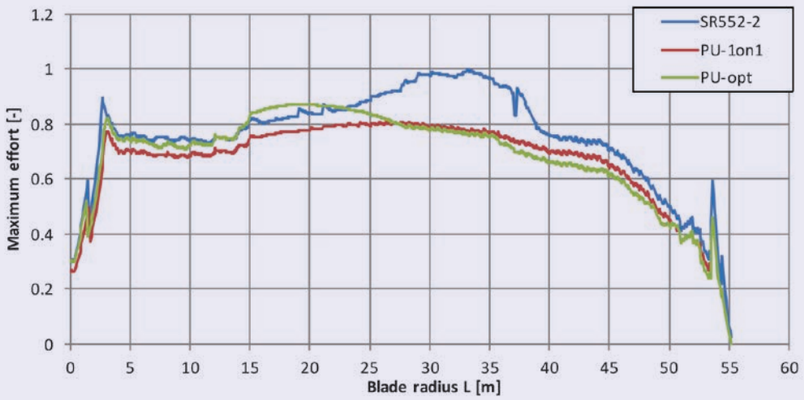


Statistical evaluation of the S-N curve,R=-1,test series B027/16-EP02-SNC	
Slope exponent of the S-N-curve:	12.1
σ_a at 106 load cycles (50% S-N-curve) [MPa]:	304.7
Regression equation (50% S-N-curve):	$y = 954{,}9 \cdot x^{-0{,}0827}$
Coefficient of correlation:	r = -0,972
Quantile factor k_s (scatter of unknown) for n =16	2,52

数据来源： IMA Dresden 测试报告 B027/16.2

通过叶片优化设计，改进玻纤铺层结构，使得生产更轻的风机叶片成为可能。

PU-Tot-1on1-1:1 Substitution PU-Tot-opt-Optimized Design



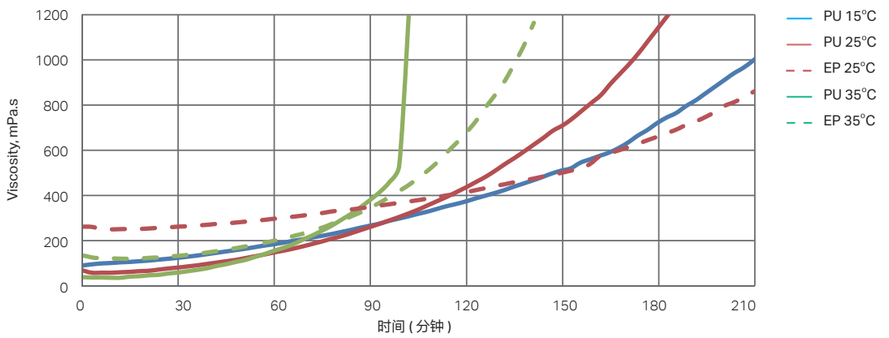
数据来源： Windnovation叶片设计公司

更快灌注固化，更高生产效率

粘度低，更快的灌注速度

与传统的环氧树脂体系相比，聚氨酯树脂体系粘度低，流动性能好，能大幅度提高灌注速度，尤其适用于较厚的铺层结构以及大克重的玻璃纤维织物，在相同时间下灌注的树脂量远远大于环氧树脂。

不同温度下聚氨酯树脂和环氧树脂的粘度曲线



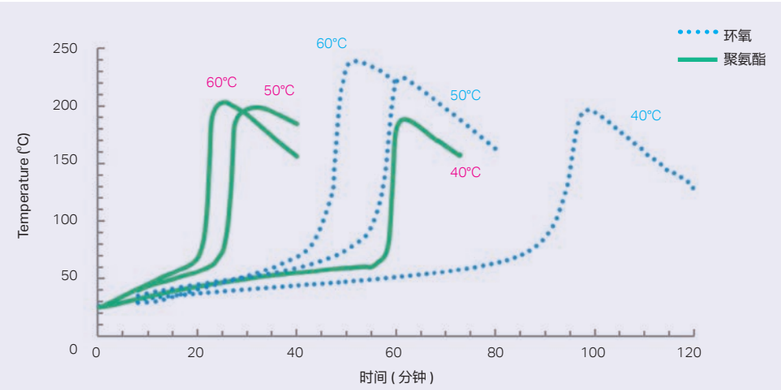
100克树脂混合后放置在恒温水槽中进行测试

固化快，提高生产效率，降低成本

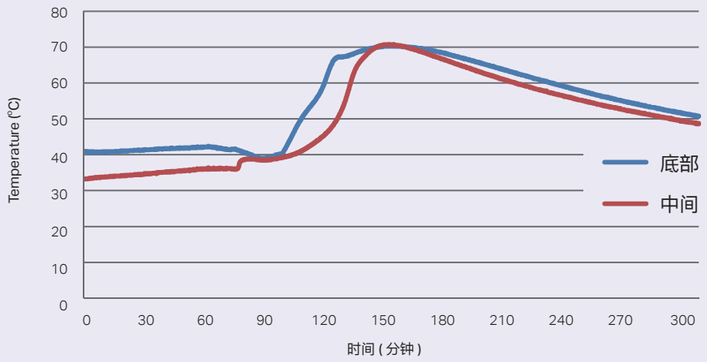
聚氨酯树脂体系固化速度快，而且不需要后固化，可以提高风机叶片的生产效率。例如，从叶片大梁的生产工艺上可以明显看出使用聚氨酯可以节约整体工时。

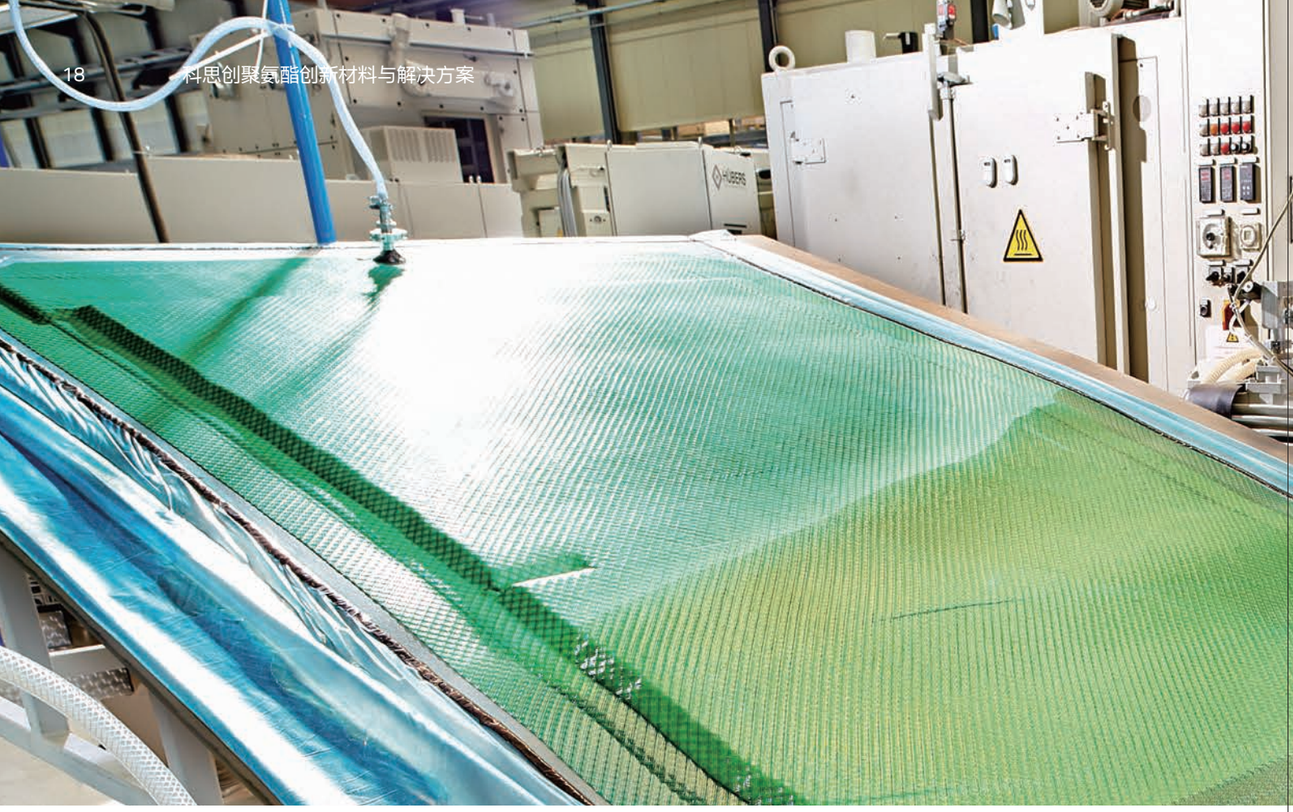
聚氨酯树脂体系固化快，但是树脂反应放热依然低于环氧树脂，可以降低树脂放热对泡沫芯材的影响。

不同温度下聚氨酯树脂和环氧树脂的放热峰



厚铺层树脂放热峰（50层UD玻纤织物）

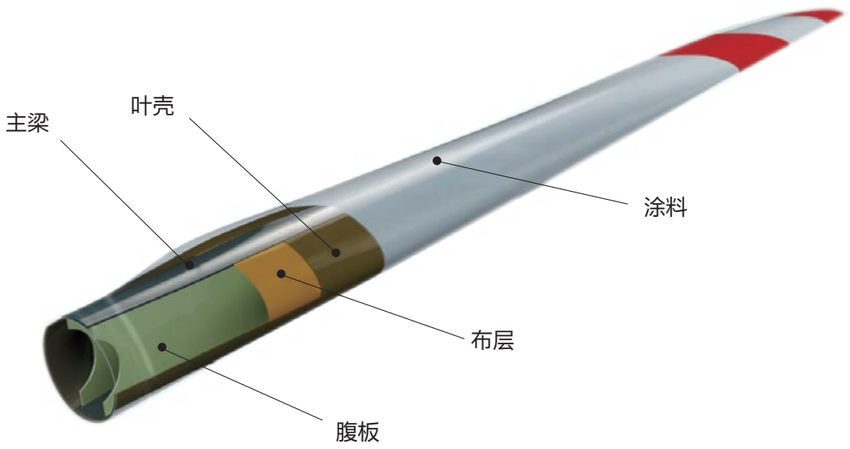




聚氨酯的兼容性

聚氨酯树脂兼容性强，可以与各种材料匹配。聚氨酯与环氧树脂、结构胶和夹芯材料相匹配，其力学性能优异。

叶片结构示意图

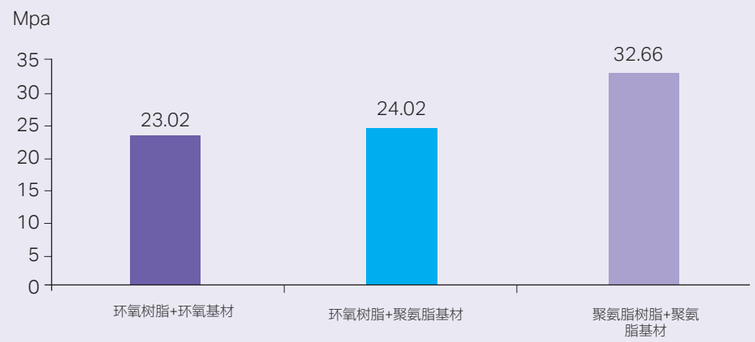


聚氨酯树脂与环氧树脂之间具有良好的粘接性能

聚氨酯树脂在风电叶片上的应用可以根据客户的技术条件灵活选择。除了用聚氨酯生产完整的叶片以外，也可以用聚氨酯生产大梁、腹板或其他预制件，其他部分仍然采用环氧树脂。

聚氨酯树脂与聚氨脂基材有着非常优异的界面剪切强度。聚氨脂树脂与环氧基材的界面剪切强度依然优于环氧树脂与环氧基材。

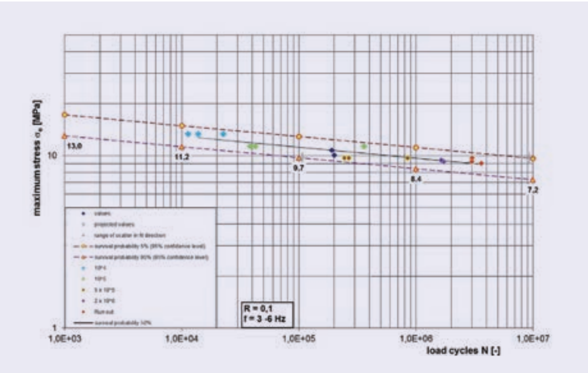
不同树脂界面剪切强度



数据来源：科思创材料测试中心

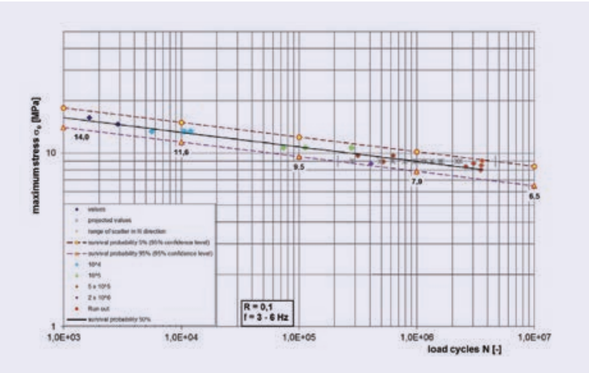
聚氨酯树脂与环氧基材的界面剪切疲劳性能也优于环氧树脂与环氧基材

界面剪切疲劳（聚氨酯树脂+环氧树脂）



Slope exponent of the S-N-curve:	15,7
σ_o at 10^6 load cycles (50% S-N-curve) [MPa]:	9,7
Regression equation (50% S-N-curve):	$y = 23{,}2 \cdot x^{-0{,}0635}$
Coefficient of correlation:	r = -0,913
Quantile factor ks (scatter of s unknown) for n=16:	2,52

界面剪切疲劳（环氧树脂+环氧树脂）



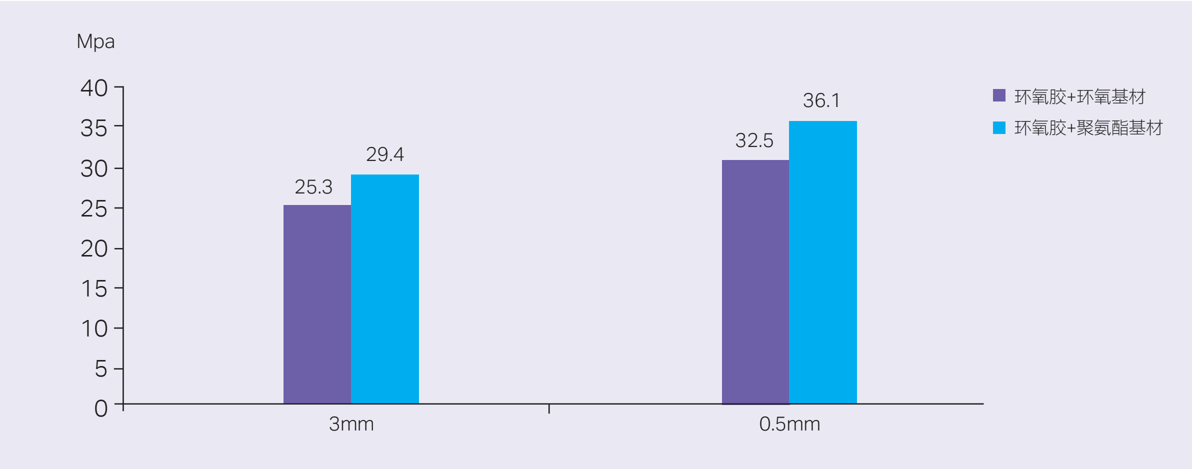
Slope exponent of the S-N-curve:	11,9
σ_o at 10^6 load cycles (50% S-N-curve) [MPa]:	8,9
Regression equation (50% S-N-curve):	$y = 28{,}6 \cdot x^{-0{,}0841}$
Coefficient of correlation:	r = -0,973
Quantile factor ks (scatter of s unknown) for n=14:	2,61

数据来源：IMA Dresden 测试报告 B173/16

聚氨酯树脂与环氧结构胶具有更好的粘结强度

聚氨酯树脂本体强度更高，与玻纤结合更好，环氧结构胶和聚氨酯树脂基材粘结强度更高

树脂基材和环氧结构胶的搭剪强度



数据来源：科思创材料测试中心

产品认证及测试

材料认证

科思创新型聚氨酯树脂材料获得DNV GL认证

DNV·GL

TYPE APPROVAL CERTIFICATE

This is to certify:
That the Polyurethane (PUR) Systems

Issued to
Covestro Polymers (China) Company Limited
Shanghai, China

Application :
Laminating resin for construction of laminates made of fibre reinforced plastics.

Issued at Hamburg on 2017-02-22
This Certificate is valid until 2022-02-21.
DNV GL local station: Hamburg Materials & Welding
Approval Engineer: Guido Michalek

for DNV GL
Thorsten Lohmann
Head of Section

DNV·GL

TYPE APPROVAL CERTIFICATE

This is to certify:
That the Polyurethane (PUR) Systems

Issued to
Covestro Polymers (China) Company Limited
Shanghai, China

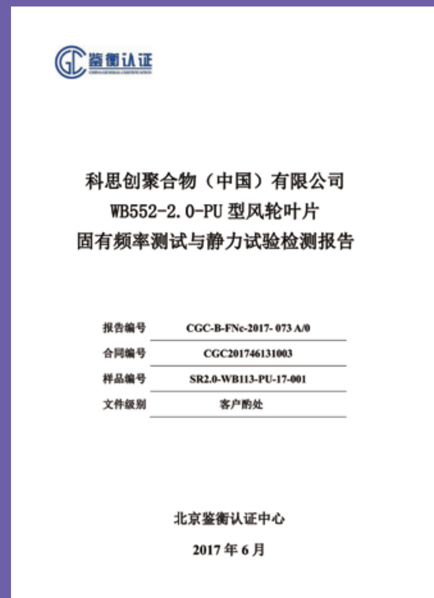
Application :
Laminating resin for construction of laminates made of fibre reinforced plastics.

Issued at Hamburg on 2017-02-22
This Certificate is valid until 2022-02-21.
DNV GL local station: Hamburg Materials & Welding
Approval Engineer: Guido Michalek

for DNV GL
Thorsten Lohmann
Head of Section

叶片测试

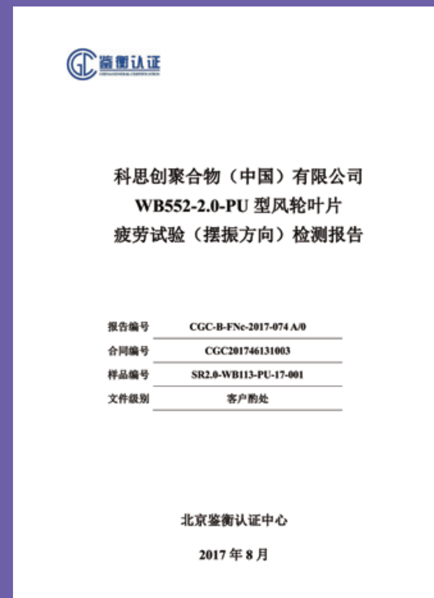
使用聚氨酯灌注主梁和腹板的2MW叶型上，叶片已通过了静力和疲劳实验。


鉴衡认证

科思创聚合物（中国）有限公司
WB552-2.0-PU 型风轮叶片
固有频率测试与静力试验检测报告

报告编号	CGC-B-FNc-2017- 073 A/0
合同编号	CGC201746131003
样品编号	SR2.0-WB113-PU-17-001
文件级别	客户酌处

北京鉴衡认证中心
2017 年 6 月


鉴衡认证

科思创聚合物（中国）有限公司
WB552-2.0-PU 型风轮叶片
疲劳试验（摆振方向）检测报告

报告编号	CGC-B-FNc-2017-074 A/0
合同编号	CGC201746131003
样品编号	SR2.0-WB113-PU-17-001
文件级别	客户酌处

北京鉴衡认证中心
2017 年 8 月

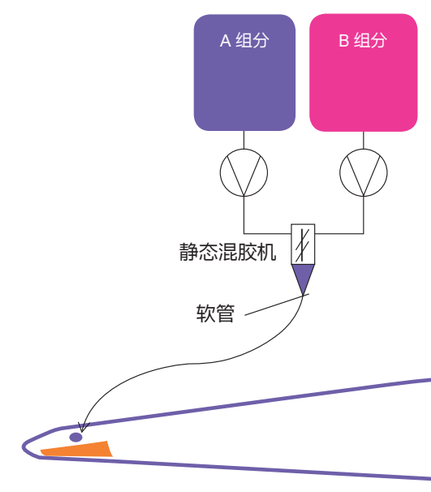
双组分聚氨酯配重材料

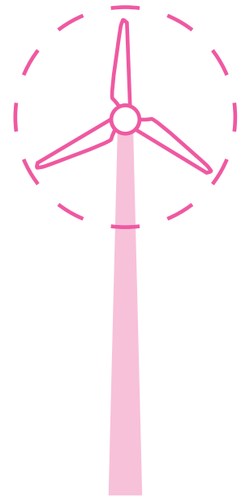
叶片结构精确，机组平稳运行

叶片安装之前，必须进行平衡，否则主机就会产生明显的振动并可能导致最终破坏。传统的配重材料使用铅或钢等金属材料，但存在诸多不足之处，尤其是其导电性能，在雷雨天气可能会导致灾难性后果。

科思创提供的双组分聚氨酯体系可以有效克服上述问题，其主要优势是:

- 使用简单
- 配重精确
- 无需重金属
- 混合比例可以根据设备调整





BAYFLEX® 1860-A-53D

动力性能	数值	单位	标准
密度	2.36 ±0.02	g/cm³	
玻璃转化温度	-28±2	℃	DIN EN 61006
线性热膨胀系数			
-30℃ to 30 ℃	153.7	ppm/k	ASTM D 696-91
23 ℃ to 55℃	165.0	ppm/k	ASTM E 831
-20℃ to 100℃	164.3	ppm/k	TM 900026
机械性能			
硬度	53 ±2	SHORE D	DIN 53505
拉伸强度	3.2	Mpa	DIN EN ISO 527
最大伸长率	21.8	%	DIN EN ISO 527
断裂拉伸强度	3.2	Mpa	DIN EN ISO 527
断裂伸长率	22.3	%	DIN EN ISO 527
弹性模量（拉伸）	31.6	Mpa	DIN EN ISO 527

风机用聚氨酯涂料体系

风力发电设施长期暴露在外部环境下，对表面防护有非常高的要求。我们开发了有针对性的涂料体系，以满足不同的应用条件。

叶片涂料

卓越性能

- 可通过直升机雨蚀测试
- 耐磨性好，抗风沙
- 与基层具有牢固的附着力
- 硬且柔韧
- 长久的耐候性

高效经济

- 涂层间的重涂间隔时间短
- 每次涂装可达到较高的无泡膜厚度

安全环保

- 基于双组份水性聚氨酯和Pasquick™
- 超低的挥发性有机化合物含量

叶片前缘保护

在复杂的运营条件下，叶片前缘是最容易出现侵蚀的区域。一旦侵蚀发生，不但会影响发电效率，严重时甚至可能影响叶片安全。因此，必须对叶片的前缘进行防护处理。科思创联合我们的合作伙伴，开发了专业的前缘防护涂料体系。

- 通过直升机雨滴测试20h（ASTM G73-2010）
- 优异的耐候性能
- 取代传统保护膜，更贴合3D结构，更易维护

塔筒涂料

- 更高的生产率：通过缩短涂料的干燥时间而大幅提高生产效率。
- 降低30%的挥发性有机化合物排放。
- 满足高品质性能要求

聚氨酯弹性体

可靠的弹性体系

海上风机通常被安装在距离海岸线10公里以外的海域。海底电力电缆把所有的风机连接起来然后传输到内陆电网。

科思创提供的弹性体原料适用于这一要求严格的海洋应用领域，可实现高效的连接和持久的电缆保护。

量身定制的浇注型弹性体解决方案

科思创拥有Desmodur®和 Baytec®原料体系可以帮助实现安全可靠的风力发电。成熟的原料体系可适用于极端恶劣的海洋环境。科思创致力于为生产高性能的海底电缆连接和保护装置提供独特的原料体系和合适的加工工艺。

浇注型弹性体应用

电缆保护解决方案包括一些应用，例如用于缓冲的保护套，用于提供锁定保护的弯曲限制器和起稳固作用的对开管部件等。

优势

科思创Desmodur®和Baytec®产品与其他塑料树脂相比，在物理性能方面有卓越的优势，例如抗冲击性和耐水解性。由Desmodur®和Baytec®原料生产的部件具有服务期限长维修成本低的优势，这对一个高度依赖可靠性，高效和成本管理的行业来说是非常重要的属性。

博雷® 浇注设备

博雷®浇注机融合了经过证实的内部技术和浇注经验。操作员在浇注聚氨酯弹性体时，使用这种高效设备，可以大大提高效率，节约成本。

科思创为风能发电的部件生产特别开发了一款设备。所有的博雷®浇注机都满足成功浇注聚氨酯的需求：可靠的材料准备，精确计量，高效的混合技术以及最大可能的工艺控制。科思创提供一整套的机器和外围设备可满足各种规模的浇注型聚氨酯制品的生产。博雷®设备拥有特有的设计可用于加工广泛的热浇注聚氨酯体系原料。博雷®浇注机包含康派、万能型、精英型浇注机系列，涵盖了从高性价比到最精密的机器设备。

科思创一直致力于提升博雷®设备的性能。大量的可选购辅助设备不仅可以满足技术和加工需求，同时也增加了设备的灵活性和提升了设备产能。