

# 德国劳氏集团(GL Group)非金属材料认证中 对风电叶片材料的认证技术规范要求(续)

德国劳氏集团 吴强 赵国彬

**摘要:** 本文阐述了 GL 在叶片“纤维增强复合材料”认证的第二部分“非金属材料的检验要求和试验标准”内容,主要包括胶粘剂、芯材、预浸料、胶衣(油漆)等四种材料,基体树脂与增强材料已在上篇文章中作了详细说明。文中对各种材料的物理性能、机械性能测试以及认证过程中对生产条件和人员管理的要求分别进行了详细阐述。

**关键词:** 风力叶片 复合材料 质量管理 测试

## 引言

国际上,发展可再生能源正式被很多国家提升为新能源战略,目前中国是以风能,太阳能,核能为新能源主要发展思路,而风能以其成本低,见效快而在可再生能源中被中国乃至世界发展最为迅速的新能源。中国政府在能源中长期发展规划中明确提出:2020年可再生能源在能源构成中要达到15%左右,这也正印证了最新报告中预测“风能将在未来12年内提供世界总能源12%,这个比例极有可能在2050年变为30%”。据不完全推算,每kW使用在叶片的复合材料为10kg,由此可看出复合材料在风电市场中的巨大潜力,因此复合材料在很长时期内保持巨大的市场。

## 1. GL 材料认证申请

针对叶片所使用的复合材料, GL 提出特有的要求和测试体系,以期保证材料生产稳定性,并能为叶片生产厂商提供可靠的支持。下面就叶片制造过程中使用的胶粘剂、芯材、预浸料、胶衣(油漆)四种材料进行详细说明。

首先,申请厂方需要有固定的生产场地,通常厂方在生产质量体系通过了ISO9001的基础之上,提供与产品相关的申请材料,至少涵盖以下各项:

- 产品名称及详细描述
- GL 申请表
- 产品技术说明书(TDS)
- 化学品安全说明书(MSDS)
- 存储条件
- 产品使用说明
- 公司信息、产品介绍
- 质量管理体系ISO 9001

## 2. 胶粘剂

目前叶片生产无论是传统的手糊方法还是主流的真空中灌注法,叶片生产都为经过胶粘剂两片和剪切板同时合模,最终粘结成完整叶片,图1为施加胶粘剂后的叶片最终合模过程。叶片在风场运行过程中会因风力情况变化而产生不停振动,因此胶粘剂的抗疲劳性、能韧性是保证叶片使用寿命非常关键的因素。

事实上,若胶粘剂结构开始破坏,胶结层将不能承受任何压力,从而整只叶片破坏,因此在叶片生产

中对其各方面性能要求非常高。目前叶片市场用胶粘剂种类，多为环氧树脂型双组份结构胶。对于触变胶粘剂的双组份材料-树脂和固化剂-必须满足生产中非流挂、可操作时间等工艺要求。(图 2)



图 1 叶片合模



图 2 胶粘剂上胶

对于胶粘剂厂方申请 GL 认证，厂方在申请时准备并提交材料除 1. 中各项外，还包含以下几项：

- 胶粘剂种类
- 固化收缩率
- 玻璃化转变温度 (ISO 11357/2)

若通过材料初步审核后，申请样品会送到具有相关资质的第三方实验室进行测试。测试分为物理性能及机械性能，具体项目以及参考执行标准为：

### 2.1 非固化物理性能

- 密度 (ISO 1675)
- 粘度 (DIN 53019)
- 可操作时间 (Pot Life)

### 2.2 固化后的性能

以下测试项目的测试条件为：分别在温度 23℃，湿度 50% 处理 24±1h 以及 23℃ 蒸馏水下浸泡 1000±12h。

- 拉剪强度 (DIN EN 1465)
- 抗剥离强度 (ISO 11339)
- 热稳定性 (ISO 75-2, Method A)
- 长期蠕变实验 192±2h。本实验为基于 DIN EN 1465 制样，施加外力为拉剪强度的 60%。

以上实验分别在胶层厚度为 0.5mm 和 3mm 两种条件下测试，测试环境要求温度 23℃，相对湿度 50%。拉剪实验项目另增加 50℃ 高温条件测试。

### 3. 芯材

叶片用芯材目前包括两种：硬质泡沫 (Rigid Foam) 和巴沙木 (Balsa Wood)，见图 3 a, b。芯材在叶片中起到降低成本，减少重量的作用。图 4 叶片截面图中为芯材使用部位的示意图。

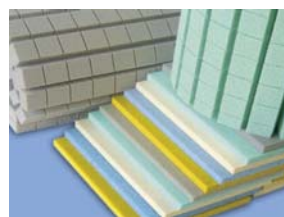


图 3. a. 硬质泡沫

b. 巴沙木

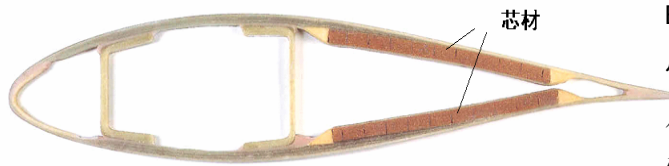


图 4 叶片(一个翼型)截面

在 GL 规范对芯材的要求中，以上两种材料归属为同一体系。针对其它形式的芯材，在经过 GL 讨论并同意后，同样可以进行材料认证。

### 3.1 硬质泡沫 (Rigid Foam)

对于芯材厂方申请 GL 认证，厂方在申请时准备并提交材料除 1. 中各项外，还包含以下几项：

- 主要材料及添加剂
- 适用之树脂体系
- 厂方应提供详细之存贮数据，包括对最大允许加工温度和操作温度、长期操作温度。

若通过材料初步审核后，申请样品会送到具有相关资质的第三方实验室进行测试。具体项目以及参考执行标准为：

- 密度(ISO 845)
- 吸水率 (ISO 2896)
- 压缩强度 (ISO 844)
- 压缩模量 (ISO 844)
- 剪切强度 (DIN 53294)
- 剪切模量 (DIN 53294)

所有试样除去表面保护层，在测试环境温度 23°C，湿度 50%下进行测试。

### 3.2 端面晶粒轻木芯材 ( Cross-Cut or End Grain Balsa Wood)

Balsa 是一种非常轻但是高强度的可用以提高夹心板硬度和强度的芯材。它的密度只有每立方英尺 4 磅到 20 磅，具有耐撞击，不易扯裂，可以经受超量的动态负载、耐疲劳等特性。

申请方提供的资料，除与 3.1 中相同外，还需要提供的申请材料包括：

- 商业名称
- 木材处理方法

第三方实验室测试项目为：

- 原始密度 (DIN 52182)
- 含水率 (ISO 3130)
- 压缩强度
  - 平行  $\parallel$  和 垂直  $\perp$  条件(DIN 52185)
- 压缩模量
  - 平行  $\parallel$  和 垂直  $\perp$  条件 (DIN 52185)
- 剪切强度 (DIN 53294)
- 剪切模量 (DIN53294)

实验过程中所有试验样品必须无裂纹，表面平整并且适当粗糙。在测试环境温度 23°C，湿度 50%下进行测试。

### 4. 预浸料 (Pre-preg)

叶片加工过程除已经熟知的真空灌注法之外，一些工艺也会采用预浸料技术，比较其它工艺具优化快速固化和缩短成型时间的优势. 图 5 所示为预浸料常规加工流程图。

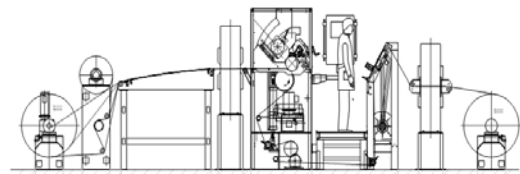


图 5 预浸料常规加工流程图



图 6 预浸料常规加工实图

预浸料生产方法可分为溶剂法和热熔法。预浸料通常应为冷藏保存并且注明保存期限。常规情况下，预浸料在冷藏保存的保存期可为 6 到 18 个月。零下保存的密封预浸料在使用前必须升到室温后才可以打开使用(图 8)。升至室温的长度有预浸料具体的卷的尺寸决定。时间因不同重量会在 2-6 小时。图 7 所示为预浸料冷藏密封保存。



图 7 预浸料存储包装图

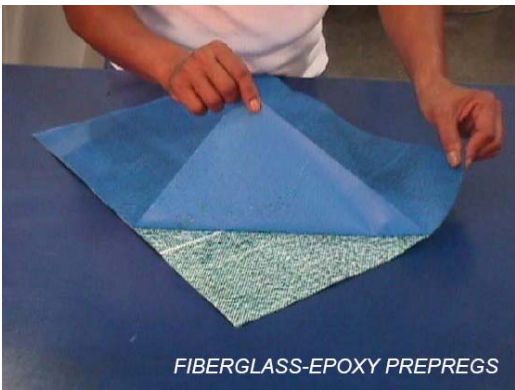


图 8 预浸料展开

对于预浸料厂方申请 GL 认证，厂方在申请时准备并提交材料除 1. 中各项外，还包含以下几项：

- 树脂体系
- 纤维体系
- 增强类型
- 固化工艺
- 固化类型

单向布和织物预浸料被归类为同一类体系。其它规格的预浸料同样可以在与 GL 沟通后进行认证。另外，预浸料可分为玻璃纤维类与碳纤维类，二者在测试项目中有一定得差别。

#### 4.1 预浸料-玻璃纤维体系

预浸料样品送到具有相关资质第三方实验室进行测试，测试项目及相关执行标准如下：

##### a. 树脂的体系

- 树脂密度
- 拉伸性能
- 玻璃化转变温度 Tg

##### b. 纤维体系-玻璃纤维/碳纤维

- 纤维直径
- 编制类型
- 浸润剂类型

##### c. 非固化预浸料物理性能

- 克重 (DIN53584)
- 树脂含量 (DIN 29971)
- 厚度(DIN 5084)
- 挥发物含量 (EN 2330)

##### d. 固化后预浸料性能

- 拉伸强度，杨氏模量 (ISO 527)

- 弯曲强度 (ISO 14125)
- 压缩强度, 压缩模量 (ISO 14126)
- 纤维体积含量 (ISO 1172)
- 复合材料空隙率

碳纤维预浸料的测试区别为

- 压缩强度、压缩模量 (DIN EN 2850 A1)

## 5. 胶衣

胶衣的主要作用为保护叶片表面, 起到防老化, 防风沙的作用。

对于胶衣厂方申请 GL 认证, 厂方在申请时准备并提交材料除 1. 中各项外, 还包含以下几项:

- 制版工艺
- 存贮条件

### 5.1 非固化体系

- 密度 (ISO 1675)
- 粘度 (ISO 2555)
- 凝胶时间 (ISO2535)

### 5.2 固化体系

- 密度 (ISO 1183 A)
- 吸水率 (ISO 175)
- 拉伸强度, 模量, 延伸率(ISO 527-2 1B)
- 热变形温度 (ISO 75-2)
- 耐磨性 (ISO 9352)
- 抗海水、汽油、液压油、弱酸和弱碱性 (ISO 175)
- 附着力测试

## 6. 油漆(涂料)

风力叶片多在气候恶劣的周围环境下运行, 比如紫外线照射强烈, 昼夜温差大, 风沙侵蚀严重, 沿海

滩涂。因此叶片表面防护用油漆承担着保护作用, 在使用类别上也定为 CM-5 级 参照 ISO12944-2。另外根据一些国家的法律, 超过一定高度的“建筑”必须以颜色来起警示作用, 因此叶片有时漆成颜色, 如红色. (图 9, 图 10)



图 9 部分漆成红色的叶片



图 10 叶片车间油漆

对于油漆(涂料)厂方申请 GL 认证, 厂方在申请时准备并提交材料除 1. 中各项外, 还包含以下几项:

- 制版工艺
- 产品名称
- 施工说明

主要测试项目

- 粘度 (ISO 2884)
- 密度 (ISO 2811)
- 非挥发份含量 (ISO 3251)
- 硬度 (ISO 1519)
- 弯曲 (ISO 9352)
- 耐磨性 (ISO 7784)
- 耐老化性能 (11341)

-附着力测试 (ISO 4624)

其中附着力测试在两种条件下进行 a. 玻璃钢样板 24h; b. 钢板盐雾 480h 与水凝 720h。

## 7. GL 认证证书 (Statement of Compliance)

德国劳氏, GL Wind 自 1977 年进入风能领域以来, 以其 30 多年的经验在世界风能领域中扎实的技术、严谨的模式, 总结形成对风能材料独特的要求和测试体系。

材料经过测试合格并且工厂审核(Workshop Approval) 通过的情况下, GL 会对所申请产品颁发产品证书, 此证书是在世界范围内具有较强的公认性。



图 9. 证书样本

## 参考文献

1. “Rules for Classification and Construction II Materials and Welding-Non-metallic Materials”, Germanischer Lloyd, Edition 2006.
2. <http://www.lmglassfiber.com/>
3. Adhesives for bounding wind turbine blades, Reinforced Plastics, 2009, p.26-29
4. <http://www.diabgroup.com>

5. Prepreg Technology, Hexcel

6 张凤翻, 复合材料用预浸料, 高科技纤维与应用, Vol 25 No.4, 2000.4, p29-32

7. <http://www.cavitec.ch/en>

8. <http://www.pageranknet.com/mechanical-engineer/mechanical-engineer-archives/92-Thermoset-Prepregs,Thermoplastic-Prepregs.html>.

9. Joseph A. Grande, “Wind Power Blades Energize Composites Manufacturing”, Plastic technology, Oct. 2008

10. A.P. Schaffarczyk, Aerodynamics and Aero-Elastics of Large Wind-Turbines. 2007