

ICS 27.180  
CCS F 11

NB

中华人民共和国能源行业标准

NB/T XXXX—202X

风力发电机组 风轮叶片用夹芯材料试验方  
法

Wind turbines — Test method of sandwich materials for wind turbine blade

(征求意见稿)

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

国家能源局 发布



## 目 次

前 言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 试样 .....	3
5 试验方法 .....	4
6 试验报告 .....	7
7 其它 .....	8

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由国家能源局提出。

本文件由能源行业风电标准化技术委员会风电机械设备分技术委员会（NEA/TC 1/SC 5）归口。

本文件起草单位：明阳智慧能源集团股份公司等。

本文件主要起草人：

本文件为首次发布。

# 风力发电机组 风轮叶片用夹芯材料试验方法

## 1 范围

本文件规定了风力发电机组风轮叶片用夹芯材料（以下简称“夹芯材料”）的术语和定义、试验方法、结果报告等。

本文件适用于风力发电机组风轮叶片用夹芯材料(如泡沫、轻木)的试验与检验。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 3961 纤维增强塑料术语

ISO 844 硬质泡沫塑料压缩性能的测定（ISO 844 Rigid cellular plastics - Determination of compression properties）

注：GB/T 8813—2020 硬质泡沫塑料 压缩性能的测定（ISO 844:2014，IDT）

ISO 845 泡沫塑料及橡胶 表观密度的测定（Cellular plastics and rubbers – Determination of apparent density）

ISO 1922 硬质泡沫塑料剪切性能的测定（Rigid cellular plastics – Determination of shear properties）

ISO 2896 硬质泡沫塑料吸水率的测定（Rigid cellular plastics – Determination of water absorption）

注：GB/T 8810-2005 硬质泡沫塑料吸水率的测定（ISO 2896:2001，MOD）

ASTM C297 夹层结构或芯子平压性能试验方法（Standard Test Method for Flatwise Tensile Strength of Sandwich Constructions）

ASTM D1781 胶粘剂攀缘卷筒剥离的标准试验方法（Standard Test Method for Climbing Drum Peel for Adhesives）

ASTM C393 夹层结构弯曲性能试验方法（Standard Test Method for Core Shear Properties of Sandwich Constructions by Beam Flexure）

ASTM E2004 夹层结构T剥离性能试验方法(Standard Test Method for Facing Cleavage of Sandwich Panels)

## 3 术语和定义

GB/T 3961界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

平拉 **flatwise tension**

用专用夹具沿垂直夹层结构面板方向的拉伸。

3.2

**平压 flatwise compression**

垂直于夹层结构面板方向的压缩。

3.3

**平面剪切强度 plane shear strength**

剪力沿着夹层结构面板作用下测得的剪切强度，主要由芯子承受，也称为芯子剪切强度。

3.4

**弯曲面板强度 flexure facing strength**

夹层结构在弯曲载荷作用下，面板破坏时面板所承受的最大应力。

3.5

**弯曲芯子剪切强度 flexure core shear strength**

夹层架构在弯曲载荷作用下，芯子破坏时芯子所承受的最大剪切应力。

3.6

**滚筒剥离强度 climbing drum peel strength**

夹层结构用滚筒剥离试验测得的面板与芯子分离时单位宽度上的抗剥离力矩。

3.7

**尺寸稳定性 dimensional stability**

试样在特定温度和相对湿度条件下放置一定时间后，互相垂直的三维方向上产生的不可逆的尺寸变化。

3.8

**表观密度 apparent core density**

去除模制时形成的全部表皮后，单位体积泡沫材料的质量。

3.9

**双面吸胶量 apparent core density**

同一个厚度下，单位面积芯材吸收树脂的质量。

3.10

**芯材拉伸强度拉伸应变 tensile strain at tensile strength**

芯材拉伸强度对应的应变。

3.11

**芯材的方向 direction of core material**

芯材试样取样的方向，按照1、2、3方向来区分，剪切分为12方向、21方向、13方向和23方向，示意图如图1和图2。

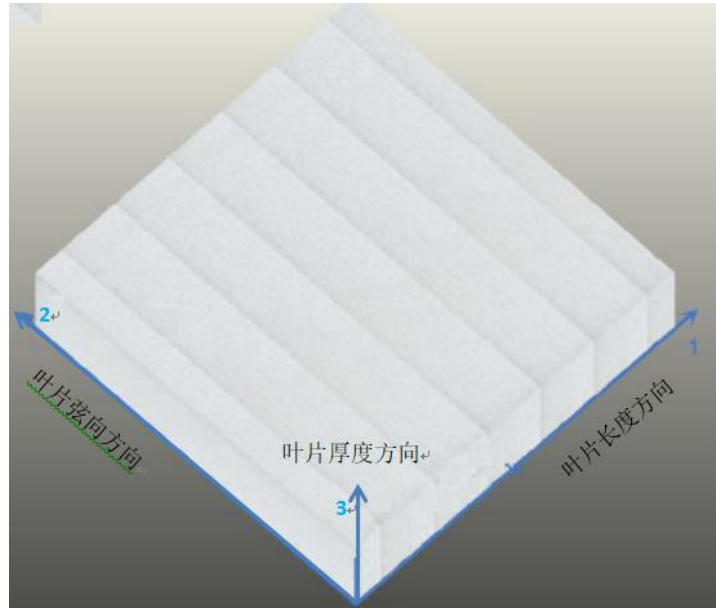


图1 芯材取样方向的示意图

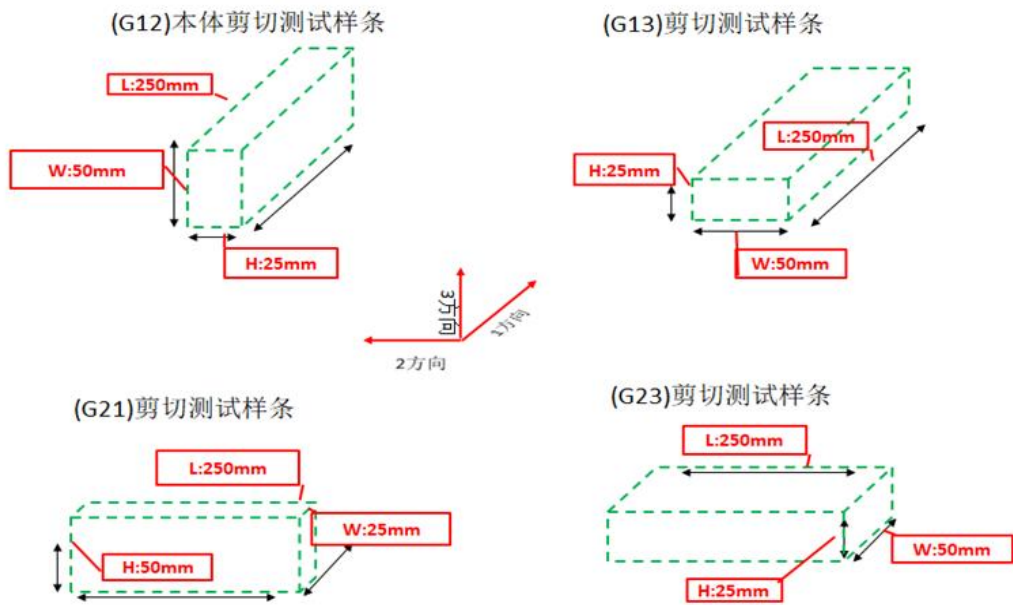


图2 剪切的取样方向示意图

4 试样

- 4.1 试样形状和尺寸按照标准要求执行。
- 4.2 试样加工按 GB/T 1446 的规定，对于吸胶后的试样，芯材尺寸应包含最多的完整的格子/槽。
- 4.3 试样外观检查，试验前，试样需经外观检查，如有缺陷和不符合尺寸及制备要求者，应予作废。
- 4.4 试样数量按各标准要求执行。
- 4.5 试样的状态调节按各标准要求执行。

## 5 试验方法

### 5.1 夹芯材料的密度

按照ISO 845执行。泡沫试样的总体积至少为100 cm<sup>3</sup>，轻木试样按照整板检测（一般为1210 mm\*610 mm）。

### 5.2 夹芯材料的平压

按照ISO 844 B方法执行，采用引伸计测试模量，模量的取值采用最大载荷的25%和75%之间的区间内最线性最陡区域1。见图3所示。

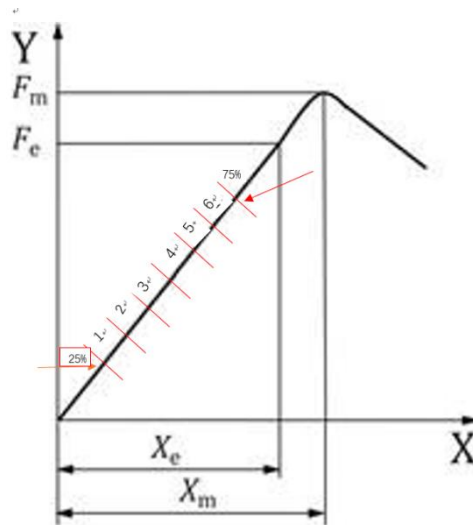


图3 模量的取值方法示意图

注：

- 1) 将最大载荷的25%-75%之前的区域分成至少6个相等的段；
- 2) 采用最小二乘拟合方法确定每一段的斜率；
- 3) 确定每对相邻斜坡的总和（即1+2、2+3、3+4等）；
- 4) 这些总和中的最高值被认为是曲线最陡的线性区域。

### 5.3 夹芯材料的剪切

按照ISO 1922执行，测试剪切模量时，推荐采用双试样剪切，剪切模量的取值同5.2的要求。



#### 5.4 夹芯材料的平拉

按照ASTM C297/C297M执行来测试拉伸强度，采用两个引伸计测试试样的变形，如图4所示，拉伸应变取两个应变的平均值，引伸计标距25 mm，精度±1%。拉伸模量的取值方法同5.2的要求。



图4 芯材拉伸的示意图

#### 5.5 夹芯材料的弯曲

应按照ASTM C393/C393M的规定执行。

#### 5.6 夹芯材料的滚筒剥离

应按照ASTM D1781的规定执行。

#### 5.7 夹芯材料的T剥离

应按照ASTM E2004的规定执行。

#### 5.8 夹芯材料的含水率

若为泡沫材料，推荐按照ISO 2896执行；若为轻木材料，推荐按照ISO 13061-1执行。

#### 5.9 夹芯材料的双面吸胶量

取试样尺寸500 mm\*500 mm的泡沫，并裁取同样大小的玻纤布2层，铺设到泡沫上，采用真空灌注的方式制备夹层材料，同时灌注一块空白试样，空白试样的大小和规格与泡沫上的保持一致。灌注过程中树脂脱泡处理，且灌注过程中无漏气、褶皱现象，起模后的夹芯材料无发白、干丝、空洞、褶皱等缺陷。将飞边切割掉后，然后分别称取夹层结构和空白试样的质量，采用下面的公式计算双面吸胶量D：

$$D = D_1 - D_0 - D_2 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

D——吸胶量，单位kg/m<sup>2</sup>；

D1——灌注后芯材与玻璃钢的面密度，单位kg/m<sup>2</sup>；

D0——灌注前芯材的面密度，单位单位kg/m<sup>2</sup>；

D2——灌注后玻璃钢的面密度，单位kg/m<sup>2</sup>。

### 5.10 夹芯材料的尺寸稳定性

5.10.1 试样尺寸及数量：试样为长方体，试样为(100±1)mm × (100±1)mm × (25±0.5)mm，试样不少于3个。

5.10.2 加热前试样尺寸测试如图7所示，用记号笔在试样的一面画上辅助线，用卡尺（精确度0.01mm）测量样品的三个长度 L<sub>1</sub>，L<sub>2</sub>，L<sub>3</sub>、三个宽度 W<sub>1</sub>，W<sub>2</sub>，W<sub>3</sub>、五个厚度点 T<sub>1</sub>，T<sub>2</sub>，T<sub>3</sub>，T<sub>4</sub>，T<sub>5</sub>。

5.10.3 真空袋压试样并放入烘箱中加热，如图8所示。加热条件条件推荐 100℃/6h，升温速率 1℃/min。加热完成后，将样品取出放置在室温下冷却，放置 1 小时后除去真空袋，将样品取出再次用卡尺测量样品的三个长度 L<sub>1</sub>，L<sub>2</sub>，L<sub>3</sub>、三个宽度 W<sub>1</sub>，W<sub>2</sub>，W<sub>3</sub>，测量五个厚度点 T<sub>1</sub>，T<sub>2</sub>，T<sub>3</sub>，T<sub>4</sub>，T<sub>5</sub> 并记录。

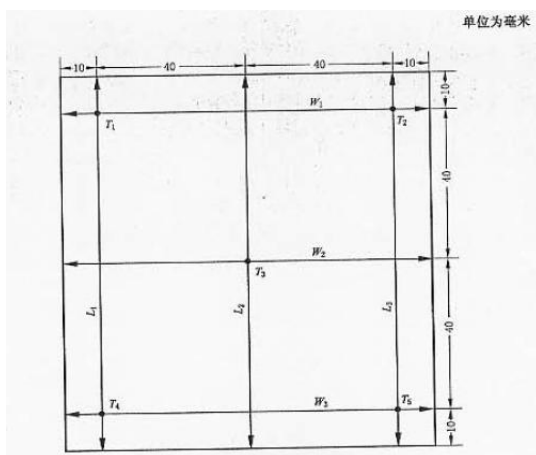


图7 样品测量位置

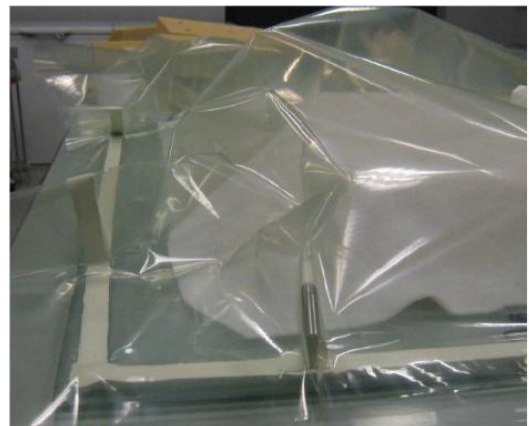


图8 封袋示意图

5.10.4 结果计算：按照式(3)、(4)、(5)计算试样的尺寸变化率：

$$\varepsilon_L = \frac{L_2 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\varepsilon_w = \frac{W_2 - W_0}{W_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\varepsilon_\tau = \frac{T_2 - T_0}{T_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$\varepsilon_L$ ,  $\varepsilon_w$ ,  $\varepsilon_t$ ——分别为试样的长度、宽度及厚度的尺寸变化率，单位为 %；

$L_2$ ,  $W_2$ ,  $T_2$ ——分别为试样抽真空加热后的长度、宽度及厚度的均值，单位为 mm；

$L_0$ ,  $W_0$ ,  $T_0$ ——分别为试样的原始长度、宽度及厚度的均值，单位为 mm。

### 5.11 夹芯材料的疲劳

采用四点弯曲法测试疲劳，参考ASTM C393和ISO 13003执行。应注意以下要求：

1) 试样尺寸如图9所示：

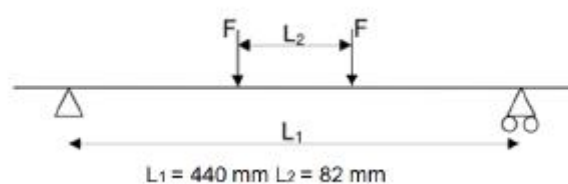


图9 试样尺寸

表1 试样尺寸

长度 L	$\geq 550$
宽度 B	$B > 2t_{\text{total}}$
芯材厚度 $t_{\text{core}}$	25
面板厚度 $t_{\text{face}}$	$2 \times 2.5$

2) 面板采用 ( $0^\circ$  /  $90^\circ$  /  $+45^\circ$  /  $-45^\circ$ ) 编织的纤维增强塑料；

3) 试样和支架之间放置垫片，推荐垫片的厚度为3 mm，硬度60；

4) 应力比为0.1；

5) 目标疲劳寿命 $N_1=10^3 \sim 10^4$ 次，3个有效试样；目标疲劳寿命 $N_2=10^4 \sim 10^5$ 次，3个有效试样；目标疲劳寿命 $N_3=10^5 \sim 5 \times 10^5$ 次，3个有效试样；目标疲劳寿命 $N_4=10^6 \sim 2 \times 10^6$ 次，3个有效试样；

6) 测试频率应保证过程中试样不会因为发热导致提前破坏，且用于绘制SN曲线的测试，频率相同。

## 6 试验报告

试验报告应包括以下全部或部分內容：

1) 试验依据；

2) 试样名称、牌号、编号；

3) 试样来源、送样日期；

4) 测试环境；

5) 制样条件；

6) 测试项目及测试仪器型号、编号；

- 7) 测试结果;
- 8) 测试人员、日期。

## 7 其它

若用户对机组有特殊要求，可与制造商协商确定。

---