

ICS 83. 180
G 39
备案号: 60560—2018

HG

中华人民共和国化工行业标准

HG/T 5248—2017

风力发电机组叶片用环氧结构胶粘剂

Epoxy structural adhesives for blades of wind turbine generator system

2017-11-07 发布

2018-04-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

前

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国石油和化学工业联合会提出。

本标准由全国胶粘剂标准化技术委员会（SAC/TC185）归口。

本标准起草单位：上海康达化工新材料股份有限公司、四川东树新材料有限公司、南京海拓复合材料有限公司、金风科技股份有限公司、远景能源（江苏）有限公司、国电联合动力技术有限公司、广东明阳风电产业集团有限公司、中材科技风电叶片股份有限公司、株洲时代新材料科技股份有限公司、连云港中复连众复合材料集团有限公司、中科宇能科技发展有限公司、上海挪华威认证有限公司、上海橡胶制品研究所有限公司。

本标准主要起草人：姚其胜、胡红梅、杨青海、周百能、包兆鼎、张莉莉、刘宝锋、韩淑华、刘伟超、陈淳、冯学斌、武莉萍、陈发桥、荣晓敏、赵国彬、吴海亮、张建庆。

风力发电机组叶片用环氧结构胶粘剂

1 范围

本标准规定了风力发电机组叶片用环氧结构胶粘剂的要求、试验方法、检验规则、包装、标志、运输和贮存。

本标准适用于风力发电机组叶片用环氧结构胶粘剂。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 191 包装储运图示标志 (mod ISO 780:1997)

GB/T 1040.2—2006 塑料拉伸性能的测定 第2部分：模塑和挤塑塑料的试验条件 (idt ISO 527-2:1993)

GB/T 1040.4—2006 塑料拉伸性能的测定 第4部分：各向同性和正交各向异性纤维增强复合材料的试验条件 (idt ISO 527-4:1997)

GB/T 2573—2008 玻璃纤维增强塑料老化性能试验方法

GB/T 2791—1995 胶粘剂 T 剥离强度试验方法 挠性材料对挠性材料

GB/T 2943 胶粘剂术语

GB/T 4612—2008 塑料 环氧化合物 环氧当量的测定 (idt ISO 3001:1999)

GB/T 6682 分析实验室用水规格和试验方法 (mod ISO 3696:1987)

GB/T 7123.1—2015 多组分胶粘剂可操作时间的测定

GB/T 7124—2008 胶粘剂 拉伸剪切强度的测定 (刚性材料对刚性材料) (idt ISO 4587:2003)

GB/T 7750—1987 胶粘剂拉伸剪切蠕变性能试验方法 (金属对金属)

GB/T 13354—1992 液态胶粘剂密度的测定方法 重量杯法

GB/T 19466.2—2004 塑料差示扫描量热法 (DSC) 第2部分：玻璃化转变温度的测定 (idt ISO 11357-2:1999)

GB/T 20740 胶粘剂取样 (idt ISO 15605:2002)

GB/T 27595—2011 胶粘剂 结构胶粘剂拉伸剪切疲劳性能的试验方法 (idt ISO 9664:1995)

GB/T 31113—2014 胶粘剂抗流动性试验方法 (mod ISO 14678:2005)

HB/Z 197—91 结构胶接铝合金磷酸阳极化工艺规范

ISO 1172:1996 纺织玻璃纤维增强塑料、预浸料、模塑料和层压塑料 纺织玻璃纤维和矿物质填料含量的测定 煅烧法 (Textile-glass-reinforced plastics—Prepregs, moulding compounds and laminates—Determination of the textile-glass and mineral-filler content—Calcination methods)

ISO 11359-2 塑料 热力学分析 (TMA) 第2部分：线性热膨胀系数和玻璃化转变温度的测定 [Plastics—Thermomechanical analysis (TMA)—Part 2: Determination of coefficient of linear thermal expansion and glass transition temperature]

ASTM D 5045 塑料平面应力断裂强度和应力能量释放率的试验方法 (Standard test methods

for plane-strain fracture toughness and strain energy release rate of plastic materials)

3 术语和定义

GB/T 2943 界定的以及下列术语和定义适用于本标准。

脱模布 peel ply

一种用于复合材料成型的辅助材料。具有保持玻璃钢表面清洁度和增加表面粗糙度的功能。

4 要求

4.1 外观

产品外观为均匀膏状，无外来杂质。

4.2 理化性能

产品的理化性能技术要求应符合表 1 的规定。

表 1 理化性能技术要求

项 目		单位	指 标	
			主 剂	固化剂
黏度		Pa · s	商议	商议
密度		g/cm ³	商议	商议
环氧当量		g/mol	商议	—
总胺值		mgKOH/g	—	商议
下垂度		mm	≤2.0	
23℃放热峰		℃	≤100	
23℃可操作时间		min	≥120	
玻璃化转变温度	起始值	℃	≥65	
	中点值		≥70	
线性热膨胀系数		℃ ⁻¹	≤7.0×10 ⁻⁵	
体积收缩率		%	≤4.0	

4.3 力学性能

产品的力学性能技术要求应符合表 2 的规定。

表 2 力学性能技术要求

项 目			单位	指 标		
				-40 ℃	23 ℃/50 % RH	50 ℃
拉伸剪切强度 (GFRP/GFRP)	常温试验	0.5 mm 胶层 ^a	MPa	≥20	≥20	≥15
		3.0 mm 胶层 ^b		≥15	≥15	≥12
	浸水试验 1 000 h	0.5 mm 胶层		≥20	≥20	≥15
		3.0 mm 胶层		≥15	≥15	≥12
	湿热试验 2 000 h	0.5 mm 胶层		≥20	≥20	≥15
		3.0 mm 胶层		≥15	≥15	≥12
T 剥离强度 (Al/Al)		0.5 mm 胶层	kN/m	≥2.5		
		3.0 mm 胶层		≥3.5		
蠕变 (GFRP/GFRP)		0.5 mm 胶层	mm	≤0.12		
		3.0 mm 胶层		≤0.30		
疲劳性能 (GFRP/GFRP)	静态拉伸剪切强度	1.0 mm 胶层 ^c	MPa	≥20		
	疲劳耐久极限		MPa	≥3.5		
	m 值		—	≥7.0		
本体拉伸性能	拉伸强度		MPa	≥55	≥50	≥30
	拉伸弹性模量		MPa	≥4.0×10 ³	≥3.5×10 ³	≥2.0×10 ³
	断裂拉伸应变		%	≥1.3	≥1.8	≥3.0
	临界应变能释放率		J/m ²	—	≥0.6	—
^a 胶层厚度为 0.5 mm 时, 厚度偏差为±0.1 mm。						
^b 胶层厚度为 3.0 mm 时, 厚度偏差为±0.3 mm。						
^c 胶层厚度为 1.0 mm 时, 厚度偏差为±0.1 mm。						

5 试验准备

5.1 标准环境条件

温度 23 ℃±2 ℃, 相对湿度 50 %±10 %。也可根据要求商议。

5.2 粘接基材

5.2.1 铝片

代号 Al, 推荐型号为 5754, H111, 也可以是其他相当强度的型号。厚度为 0.5 mm±0.02 mm。

5.2.2 玻璃纤维增强环氧树脂

代号 GFRP。由面密度为 1 200 g/m² 的无碱玻璃纤维单向布、真空导入环氧树脂、面密度为 85 g/m² 的尼龙 6 或尼龙 66 的脱模布构成。

制备时铺层为 6 层, 次序为 [0°, 90°]、[0°, 90°]、[0°, 90°]、[90°, 0°]、[90°, 0°]、[90°, 0°]。

切割时沿 0°纱线方向。
性能应符合表 3 的要求。

表 3 GFRP 基材的性能要求

项 目	单位	指 标
0°拉伸弹性模量 ^a	MPa	$\geq 3.9 \times 10^4$
纤维重量含量 ^b	%	72±2
^a 基材（0°拉伸弹性模量）试样符合 GB/T 1040.4—2006 的 2 型试样的规定。性能检测按 GB/T 1040.4—2006 的规定进行。		
^b 纤维重量含量按 ISO 1172:1996 方法 A 的规定测试。		

5.3 基材的表面处理

- 5.3.1 铝片的表面处理按 HB/Z 197—91 的规定进行。
- 5.3.2 玻璃纤维增强环氧树脂的表面处理采用粘接前去除脱模布方式。

5.4 固化条件

试样制备时置于鼓风干燥箱中，在 75℃下固化 5 h，或按双方商议条件固化。

6 试验方法

6.1 外观

取适量样品于纸上，涂成均匀薄层目测。

6.2 黏度

试验前各组分温度调节至规定温度，通常试验温度为 25℃±1℃。
用玻璃棒取适量样品于流变仪的底板上，选择合适的转子类型。
选择平板体系时，建议样品量为 0.4 mm±0.1 mm 的转子间距，也可选择其他合适的样品量。
刮除挤出的余样。转子的剪切速率通常为 0 s⁻¹~50 s⁻¹，读取 50 s⁻¹ 的黏度值作为测试值。
取两次平行测定值的平均值为结果值。
注 1：填料含量较多或颗粒较大通常选择平板体系。
注 2：根据胶粘剂特性选择是否需要进行预剪切，并选择合适的预剪切速率。
注 3：流变仪的具体操作参照其使用说明书。

6.3 密度

按 GB/T 13354 的规定进行测试。装填样品时需充分排泡。

6.4 环氧当量

按 GB/T 4612—2008 的规定测试。通常用电位滴定法。

6.5 总胺值

按附录 A 的规定测试。

6.6 下垂度

按 GB/T 31113—2014 中方法 1 的规定测试。胶条的长、宽、高尺寸分别为 100 mm×20 mm×20 mm。取 30 min 的下垂值。

6.7 放热峰值

按 GB/T 7123.1—2015 中方法 5 的规定测试。盛样容器约为 350 mL，内径约 75 mm±2 mm，高度约 95 mm±2 mm。按照商议配比称量样品的主剂和固化剂并混合搅拌均匀，填满盛样容器并刮平，记录试样所达到的最高温度。

6.8 可操作时间

按 GB/T 7123.1—2015 中方法 5 的规定测试。盛样容器为 350 mL，内径约 75 mm±2 mm，高度约 95 mm±2 mm。按照商议配比称量样品的主剂和固化剂并混合搅拌均匀，填满盛样容器并刮平，记录从混合开始至反应温度达到 50 ℃的时间。

6.9 玻璃化转变温度

按 GB/T 19466.2—2004 的规定测试。样品量约 10 mg~15 mg，试样为规整片状。取第一次升温扫描获得的起始温度和中点温度。

6.10 线性热膨胀系数

按 ISO 11359—2 的规定测试。试样厚度为 8 mm±0.2 mm。取玻璃化转变温度前的测试值。

6.11 体积收缩率

按附录 B 的规定测试。

6.12 拉伸剪切强度

按 GB/T 7124—2008 的规定测试。进行高低温试验时，当试样达到试验温度后保温 10 min 测试。

6.12.1 常温试验

试验环境为温度 23 ℃±2 ℃，相对湿度 50 %±10 %。

6.12.2 浸水试验

按 GB/T 2573—2008 中 4.3 的规定进行。

6.12.3 湿热试验

按 GB/T 2573—2008 的规定进行。温度为 85 ℃±2 ℃，相对湿度为 85 %±3 %。

6.13 T 剥离强度

按 GB/T 2791—1995 的规定测试。胶层厚度为 0.5 mm 和 3.0 mm；试验速率为 100 mm/min。

6.14 蠕变

按 GB/T 7750—1987 中方法 1 的规定测试。胶层厚度为 0.5 mm 和 3.0 mm；试验载荷为 60 %

的最大拉伸载荷，试验时间为 $192\text{ h} \pm 2\text{ h}$ 。

6.15 疲劳性能

按 GB/T 27595—2011 的规定测试。胶层厚度 1.0 mm ；应力比 R_t 为 0.1 ，频率为 30 Hz ，绘制 $S-N$ 曲线，以幂函数式表示并取对数。结果以静态拉伸剪切强度、疲劳耐久极限和 m 值表示。

6.16 本体拉伸性能

本体拉伸性能为拉伸强度、拉伸弹性模量和断裂拉伸应变。

按 GB/T 1040.2—2006 的规定测试。采用 I 型试样，试验速度为 2 mm/min 。进行高低温试验时，当试样达到试验温度后保温 10 min 测试。

6.17 临界应变能释放率

按 ASTM D 5045 的规定测试。采用单边缺口弯曲试样，试样制备见附录 C。

7 检验规则

7.1 组批与抽样

在相同原料、相同配比和相同工艺的条件下，生产的同一釜产品为一个组批。抽样按 GB/T 20740 进行。

7.2 检验分类

产品检验分为出厂检验和型式检验。

7.3 出厂检验

产品出厂时应进行出厂检验，检验合格后方可出厂。

出厂检验项目如下：

- a) 外观；
- b) 黏度；
- c) 密度；
- d) 环氧当量；
- e) 总胺值；
- f) 下垂度；
- g) $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ 放热峰；
- h) $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ 可操作时间；
- i) 玻璃化转变温度；
- j) 常温拉伸剪切强度 (0.5 mm 胶层)。

7.4 型式检验

型式检验项目包括本标准所列的全部技术要求，至少每年检验一次。同时，有下列情况之一时也应进行型式检验：

- 正式生产时，应每年进行一次型式检验；
- 正式生产后，如原料、工艺、环境有较大改变，可能影响产品性能时；

- 产品停产超过半年后，恢复生产时；
- 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异时；
- 国家质量监督机构提出型式检验要求时；
- 仲裁检验或客户有合同要求时。

7.5 判定和复检规则

按 7.3 规定的出厂检验项目全部检验合格后，则判断产品检验合格。如有一项或多项检验结果未达到本标准的技术要求，应取双倍样品量进行复验，复验结果仍未达到本技术规范要求时，该产品为不符合本标准要求。

8 包装、标志、运输和贮存

8.1 包装

外包装为圆形铁桶，内包装为 PE 薄膜塑料袋，物料上表面均用等桶口面积的塑料薄膜覆盖封存。

8.2 标志

产品包装件上应有清晰、牢固的标志，其内容包括产品名称、产品规格、主剂和固化剂的配比、产品批号、净重、生产日期、贮存期、本标准编号、生产企业名称和详细地址，并附有合格证。

产品包装储运图示标志应符合 GB/T 191 的规定。

8.3 运输

运输、装卸工作中，应轻装、轻卸，防止撞击，避免包装破损，防止日晒、雨淋，应按照货物运输管理规定进行。

8.4 贮存

本产品应密封存放在通风、干燥的库房内，常温存放，防止日光直接照射，并应隔绝火源、远离热源。本产品应有贮存期的规定，一般从生产之日起原包装主剂和固化剂贮存期为 24 个月。

附 录 A
(规范性附录)
总胺值的测定

A.1 试剂

- A.1.1 冰乙酸：分析纯。
- A.1.2 邻苯二甲酸氢钾基准试剂。
- A.1.3 碳酸钠：分析纯。
- A.1.4 乙酸酐：纯度>96 %。
- A.1.5 高氯酸：分析纯。
- A.1.6 高氯酸冰乙酸标准溶液：0.1 mol/L。
- A.1.6.1 配制

移取 8.5 mL 质量分数为 70 %~72 %的高氯酸，在搅拌下加入由 500 mL 冰乙酸和 30 mL 乙酸酐组成的混合溶液中，搅拌至溶液均匀，冷却后转移至 1 000 mL 容量瓶中，用冰乙酸稀释定容，混合均匀，放置过夜。

A.1.6.2 标定

称取 0.15~0.2 g（精确至 0.1 mg）的邻苯二甲酸氢钾基准试剂（使用前在 105℃~110℃干燥至恒重）于滴定杯中，加入 50 mL 冰乙酸，用电位滴定仪标定该标准溶液，记录该标准溶液的温度 t_s 。同时做空白试验。

标定必须双人试验，各做四平行，每人的四平行测定结果极差相对值不大于 0.15 %，两人共八平行测定结果极差相对值不大于 0.18 %。

A.1.6.3 浓度计算

$$c = \frac{m}{(V_1 - V_0) \times 0.20422} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

- c ——高氯酸冰乙酸标准溶液的浓度的数值，单位为摩尔每升（mol/L）；
- m ——邻苯二甲酸氢钾的质量的数值，单位为克（g）；
- V_1 ——测定时消耗高氯酸冰乙酸标准溶液的体积的数值，单位为毫升（mL）；
- V_0 ——空白试验时消耗高氯酸冰乙酸标准溶液的体积的数值，单位为毫升（mL）。

A.2 仪器

- A.2.1 自动电位滴定仪：带磁力搅拌器，配非水电极。
- A.2.2 分析天平：精确至 0.1 mg。

A.2.3 温度计：精确至 0.1℃。

A.2.4 移液管：10 mL。

A.2.5 容量瓶：1 000 mL。

A.2.6 量筒：50 mL，100 mL。

A.2.7 滴定杯：100 mL。

A.3 测试步骤

A.3.1 称取 0.15 g 左右 [也可按公式 (A.2) 计算称样量] 的样品 (精确至 0.1 mg) 于滴定杯中，用量筒量取 50 mL 冰乙酸加入其中。

A.3.2 开动机械搅拌装置，搅拌至样品完全溶解分散。

A.3.3 用高氯酸冰乙酸标准溶液滴定，以电位突跃最大为滴定终点，计算消耗高氯酸冰乙酸标准溶液的体积，记录高氯酸冰乙酸标准溶液的温度 t 。

A.3.4 平行测定两次，同时进行空白试验。

A.4 试验结果

A.4.1 数据处理

试验数据按公式 (A.2) 计算：

$$S = \frac{c(V - V_0) \times 56.1}{m} \left(1 - \frac{t - t_s}{1\,000} \right) \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

S ——总胺值的数值，单位为毫克氢氧化钾每克 (mgKOH/g)；

c ——高氯酸冰乙酸标准溶液的浓度的数值，单位为摩尔每升 (mol/L)；

V ——滴定过程到达终点消耗的高氯酸冰乙酸标准溶液的体积的数值，单位为毫升 (mL)；

V_0 ——空白滴定消耗的高氯酸冰乙酸标准溶液的体积的数值，单位为毫升 (mL)；

m ——样品的质量的数值，单位为毫克 (mg)；

t ——测定时高氯酸冰乙酸标准溶液的温度的数值，单位为摄氏度 (℃)；

t_s ——标定时高氯酸冰乙酸标准溶液的温度的数值，单位为摄氏度 (℃)。

A.4.2 结果表示

总胺值的试验结果修约至小数点后第 3 位，结果值保留至小数点后第 2 位。

两平行测定结果之差不大于 3 mgKOH/g。

附 录 B
(规范性附录)
体积收缩率的测定

B.1 试样

按照商议配比称量样品的主剂和固化剂，混合搅拌均匀。混合样品需充分脱泡，建议采用真空脱泡方式，也可用其他合适的方式进行。按照 5.4 的规定固化。

取固化后的试样，推荐试样尺寸：

长度： $25\text{ mm}\pm 2\text{ mm}$ ；

宽度： $10\text{ mm}\pm 0.2\text{ mm}$ ；

厚度： $4\text{ mm}\pm 0.2\text{ mm}$ 。

B.2 仪器

B.2.1 密度组件。

B.2.2 天平：精确至 0.1 mg 。

B.2.3 温度计：精确至 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

B.2.4 烧杯： $1\ 000\text{ mL}$ ，或其他规格。

B.3 试验步骤

B.3.1 混合样品密度

按 GB/T 13354—1992 的规定测试。按照商议配比称量样品的主剂和固化剂，混合搅拌均匀。混合样品进行充分脱泡，建议采用真空脱泡方式，也可用其他合适的方式。避免脱泡引起样品温度的升高。

B.3.2 试样密度

B.3.2.1 按照密度组件说明书将组件（见图 B.1）安装到天平上。

B.3.2.2 将温度为 $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，符合 GB/T 6682 的三级水注入烧杯，确保待测固体能被液体完全浸没。

B.3.2.3 悬挂温度计于烧杯壁上，记录水的温度。

B.3.2.4 放置挂篮于固定支架上，确保其表面无气泡并不碰到烧杯或温度计。

B.3.2.5 开启天平开关，关闭防风门，清零。

B.3.2.6 打开防风门，将试样放置在固定支架的称量臂上，关闭防风门，记录试样在空气中的质量，精确至 0.1 mg 。

B.3.2.7 打开防风门，取下试样，关闭天平防风门，清零。

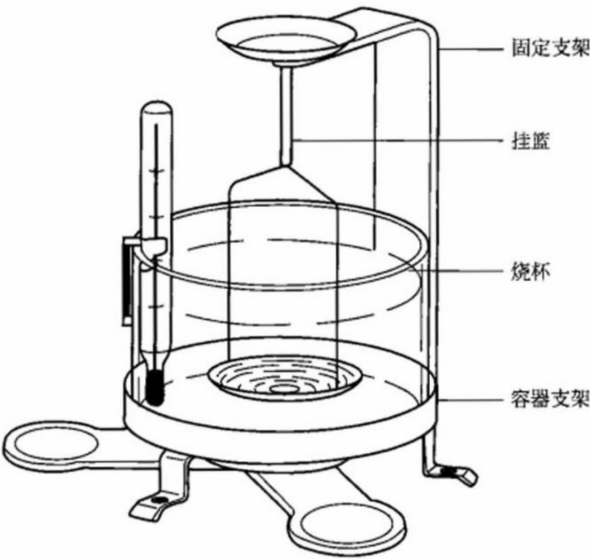


图 B.1 密度组件组装示意图

B.3.2.8 将试样放置在挂篮的称量网内，确保试样表面无气泡，关闭防风门，记录试样浸渍在水中的表观质量，精确至 0.1 mg。

B.4 试验结果

B.4.1 试样密度按公式 (B.1) 计算：

$$\rho_S = \frac{m_{S,A} \rho_{IL}}{m_{S,A} - m_{S,IL}} \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

- ρ_S ——试样密度的数值，单位为克每立方厘米 (g/cm³)；
- $m_{S,A}$ ——试样在空气中的质量的数值，单位为克 (g)；
- $m_{S,IL}$ ——试样浸渍在三级水中的表观质量的数值，单位为克 (g)；
- ρ_{IL} ——23℃时三级水的密度的数值，单位为克每立方厘米 (g/cm³)。

B.4.2 体积收缩率按公式 (B.2) 计算：

$$\text{体积收缩率} = \frac{\text{试样密度} - \text{混合样品密度}}{\text{试样密度}} \times 100 \% \dots\dots\dots (B.2)$$

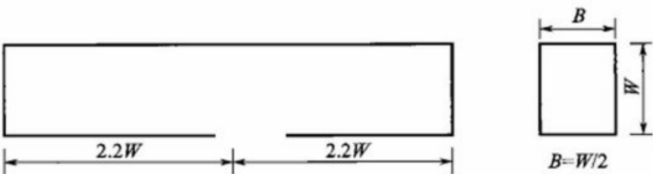
B.4.3 结果表示

混合样品密度和试样密度结果值保留 4 位有效数字，体积收缩率结果值保留 3 位有效数字。

附 录 C
(规范性附录)
单边缺口弯曲试样的制备

C.1 试样尺寸

试样厚度 B 为 4 mm~6 mm，试样宽度 W 等于 2 倍试样厚度 B ，试样长度等于 4.4 倍试样宽度 W ，裂纹长度 a 需满足 $0.45 < a/W < 0.55$ 。尺寸示意图见图 C.1。



说明：
 a ——裂纹长度；
 B ——试样厚度；
 W ——试样宽度。

图 C.1 单边缺口弯曲试件示意图

C.2 试样制备

C.2.1 轻敲法

按 ASTM D 5045 中 7.4 的规定制备。

C.2.2 预埋刀片法

先用液体脱模剂处理厚度为 0.25 mm 的新刀片和模具，再将刀面固定在模具上。调整刀面位置，获得图 C.1 规定的裂纹长度。按照商议配比称量样品的主剂和固化剂，混合搅拌均匀。混合样品需充分脱泡。小心地把混合样品浇铸在模具中，按照 5.4 的规定固化，冷却至室温脱模。如果试样有毛刺等缺陷，可用 1 000 目砂纸打磨至表面平整光滑。

中华人民共和国
化工行业标准
单组份热固化和风力发电机组叶片用
环氧结构胶粘剂
(2017)

HG/T 5247~5248—2017

出版发行：化学工业出版社

(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

北京科印技术咨询服务公司海淀数码印刷分部

880mm×1230mm 1/16 印张2½ 字数54.8千字

2018年3月北京第1版第1次印刷

书号：155025·2411

购书咨询：010-64518888

售后服务：010-64518899

网址：<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定价：36.00元

版权所有 违者必究