



中华人民共和国国家标准

GB/T 38515—2020

石英纤维织物增强树脂基复合材料 高温力学性能试验方法

The method for high temperature mechanical properties of quartz fabric-reinforced
resin matrix composite materials

2020-03-06 发布

2021-02-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国建筑材料联合会提出。

本标准由全国纤维增强塑料标准化技术委员会(SAC/TC 39)归口。

本标准起草单位:航天特种材料及工艺技术研究所。

本标准主要起草人:王华琼、周金帅、高增华、周志亮、苏江、薛迪。

石英纤维织物增强树脂基复合材料 高温力学性能试验方法

1 范围

本标准规定了石英纤维织物增强树脂基复合材料高温力学性能试验的一般要求、试验、试验结果和试验报告。

本标准适用于二维编织结构石英纤维织物增强树脂基复合材料在测试温度不高于 500 ℃ 时的拉伸性能、压缩性能、弯曲性能和短梁剪切强度的测试。其他纤维织物增强树脂基复合材料可参照使用。

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 1446—2005 纤维增强塑料性能试验方法总则

GB/T 1447—2005 纤维增强塑料拉伸性能试验方法

GB/T 1448—2005 纤维增强塑料压缩性能试验方法

GB/T 1449—2005 纤维增强塑料弯曲性能试验方法

GB/T 30969—2014 聚合物基复合材料短梁剪切强度试验方法

3 一般要求

3.1 试验设备

3.1.1 试验机

按 GB/T 1446—2005 中 5.1.1~5.1.4 的规定。

3.1.2 变形测量装置

变形测量装置的准确度等级应不低于 1 级。可采用高温引伸计(挠度计)、高温应变片等接触式变形测量装置或高温非接触式变形测量装置。

3.1.3 高温装置

3.1.3.1 高温装置应能满足高温测试的要求,并保证整个试样处于均温区,其温度偏差不应超过 ± 3 ℃、温度均匀度不应超过 4 ℃。当试验温度不大于 300 ℃ 时,高温装置应能保证试样在 10 min 内加热到规定的试验温度;当试验温度大于 300 ℃ 时,高温装置应能保证试样在 20 min 内加热到规定的试验温度。

3.1.3.2 测温传感器应能测试试样工作段或跨距段外表面温度,其允许偏差为 II 级及以上。

3.2 试样

按 GB/T 1446—2005 第 4 章的规定。

3.3 保温时间

保温时间为 2.5 h min。有特殊要求时,可与客户协商确定保温时间。

注: h 为试样厚度,以毫米为单位取值。

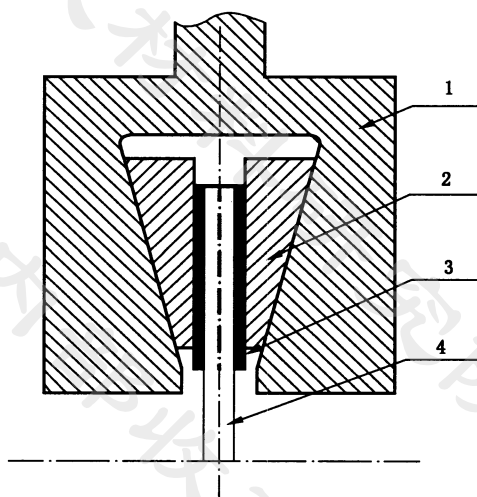
3.4 安全要求

高温试验过程中应注意高温下的防护及有关安全措施。

4 高温拉伸性能试验

4.1 试验设备

试验设备应符合 3.1 的要求。高温拉伸夹具应满足高温性能测试的要求,采用面内加载的机械或液压夹具。典型面内加载夹具的示意图如图 1 所示。



说明:

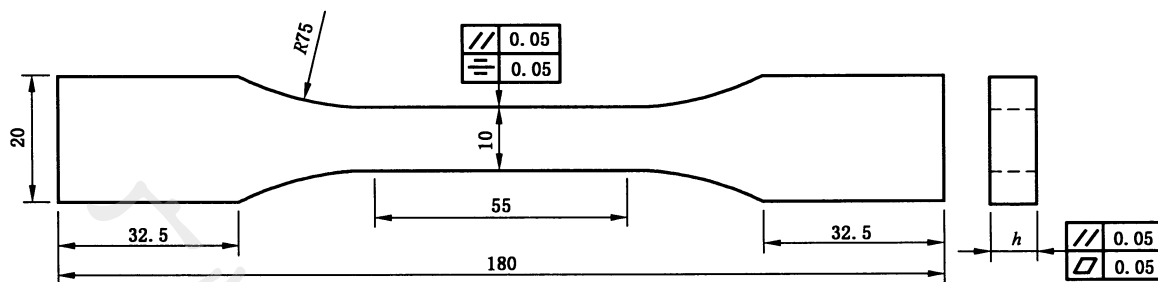
- 1——夹头;
- 2——夹块;
- 3——加强片;
- 4——试样。

图 1 典型面内加载夹具示意图

4.2 试样型式和尺寸

试样分为哑铃型和直条型,哑铃型试样见图 2,直条型试样见图 3,试样厚度为 2 mm~10 mm。

单位为毫米

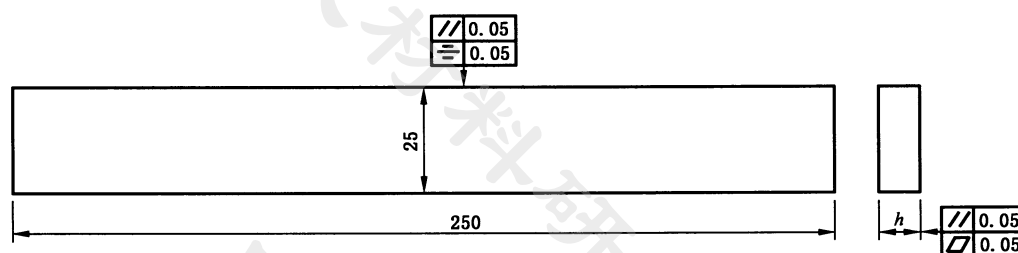


说明:

 h ——试样厚度。

图2 哑铃型拉伸试样

单位为毫米



说明:

 h ——试样厚度。

图3 直条型拉伸试样

4.3 试验速度

拉伸试验速度为 1 mm/min~5 mm/min, 仲裁试验速度为 2 mm/min。

4.4 试验步骤

4.4.1 试样外观检查和状态调节按 3.2 的规定。

4.4.2 将合格试样编号, 测量试样工作段内任意三处的宽度和厚度, 取算术平均值, 结果精确到 0.01 mm。

4.4.3 启动试验机, 预热至少 20 min。安装夹具, 调节试验机载荷零点。

4.4.4 根据试验要求选用合适的高温装置, 根据夹具的工作高度调节高温装置的位置。

4.4.5 设定高温装置的加热参数, 启动高温装置, 升温至目标温度。

4.4.6 打开高温装置的炉门, 装入试样, 使试样中心线与上、下夹具的对准中心线一致。

4.4.7 施加初载(小于破坏载荷的 5%), 检查并调整试样及变形测量装置, 使整个系统处于正常工作状态。

4.4.8 让测温传感器的测温点尽量靠近试样工作段外表面, 关闭高温装置的炉门, 等待高温装置再次达到目标温度, 保温时间按 3.3 的规定。在试样升温 and 保温过程中应不断消除试样和夹具因热膨胀而导致的载荷变化, 以保证试样所受初载小于破坏载荷的 5%。

4.4.9 测定拉伸强度时, 按 4.3 规定对试样均匀、连续加载直至试样破坏, 记录试样的破坏载荷或最大载荷及试样破坏形式。

4.4.10 测量拉伸模量和断裂伸长率时,应在试样上安装变形测量装置。按照 4.3 的规定对试样加载至破坏,记录载荷-变形曲线等。

4.4.11 测试结果有效性按照 GB/T 1447—2005 中 8.10、8.11 的规定。

4.5 计算

拉伸应力(拉伸断裂应力或拉伸强度)、拉伸断裂伸长率、拉伸弹性模量的计算按 GB/T 1447—2005 第 9 章的规定。

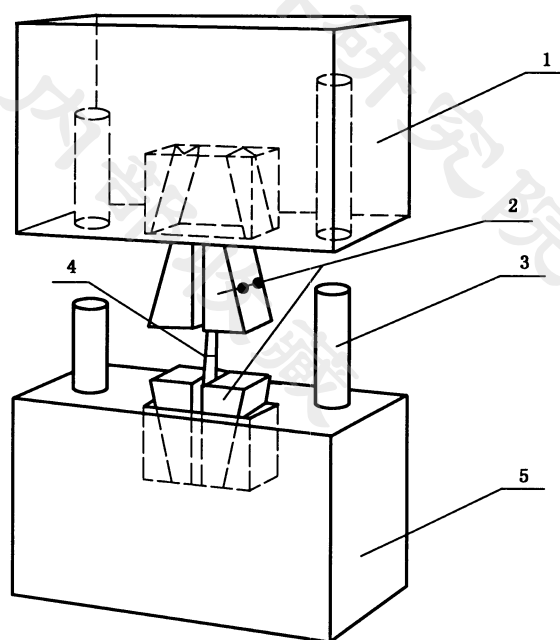
5 高温压缩性能试验

5.1 试验设备

5.1.1 试验设备应符合 3.1 的要求。凡能保证试样在高温轴压载荷作用下工作段不失稳,并呈正常压缩破坏的任何压缩夹具均可用于本方法。

5.1.2 厚板压缩夹具采用普通的压盘夹具。上、下压板工作表面的平行度应优于 0.02,表面粗糙度 (R_a) 应不大于 $0.4\ \mu\text{m}$ 。

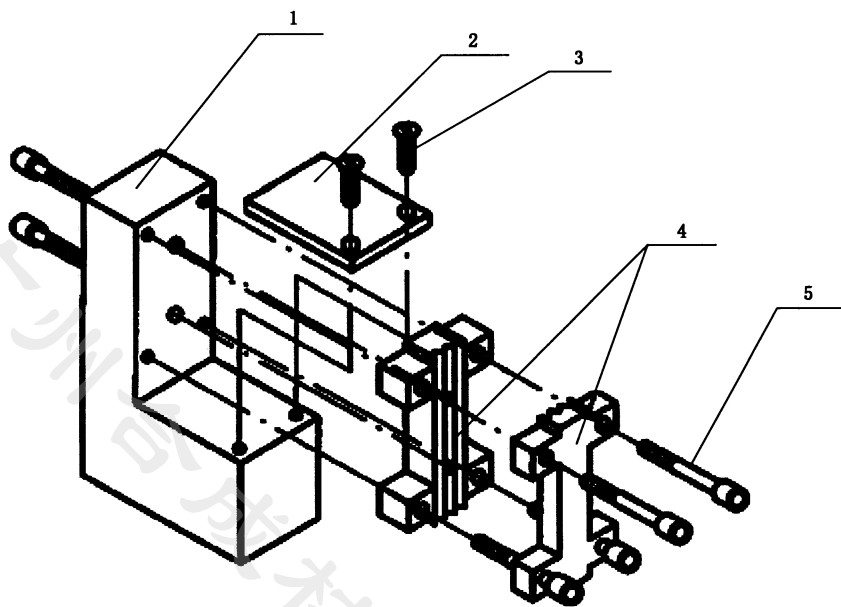
5.1.3 薄板试样采用剪切加载夹具(A 型)或端部加载夹具(B 型)。剪切加载压缩夹具示意图见图 4,端部加载压缩夹具示意图见图 5。



说明:

- 1——压头;
- 2——楔块;
- 3——导向柱;
- 4——试样;
- 5——底座。

图 4 A 型剪切加载压缩夹具示意图



- 说明：
- 1——夹具支座；
 - 2——下垫块；
 - 3——紧固螺母；
 - 4——试样支撑块；
 - 5——紧固螺栓。

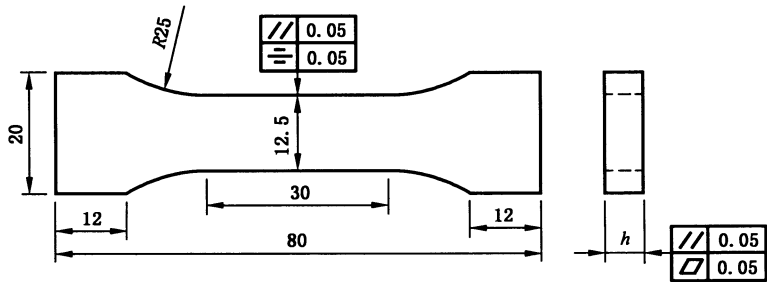
图 5 B 型端部加载压缩夹具示意图

5.2 试样型式和尺寸

- 5.2.1 当试样厚度(h)为 2 mm~4 mm 时,试样的型式和尺寸见图 6。
- 5.2.2 当试样厚度(h)大于 4 mm 时,试样的型式见图 7,试样尺寸见表 1。测定压缩强度时, λ 取 10。若试验过程中有失稳现象, λ 取 6。测定压缩模量时, λ 取 15 或根据变形测试装置确定。

注： λ 为长细比,即等截面柱状体的高度与其最小惯性半径之比。对等截面的矩形试样,惯性半径是横截面最小尺寸的 0.289 倍。

单位为毫米



- 说明：
- h ——试样厚度。

图 6 哑铃型压缩试样

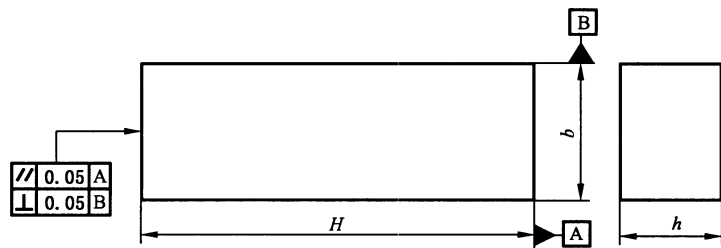


图 7 方柱型压缩试样

表 1 方柱型压缩试样尺寸 单位为毫米

名称	符号	一般试样尺寸	仲裁试样尺寸
宽度	b	10 ± 0.2	10 ± 0.2
厚度	h	$(4 \sim 10) \pm 0.2$	10 ± 0.2
高度	H	$\left(\frac{\lambda}{3.46}h\right) \pm 0.5$	30 ± 0.5

5.3 试验速度

压缩试验速度为 1 mm/min~4 mm/min,仲裁试验速度为 2 mm/min。

5.4 试验步骤

- 5.4.1 试样外观检查和状态调节按 3.2 的规定。
- 5.4.2 将合格试样编号,测量试样工作段内任意三处的宽度和厚度,取算术平均值,结果精确到 0.01 mm。
- 5.4.3 启动试验机,预热至少 20 min。安装夹具,调节试验机载荷零点。
- 5.4.4 根据试验要求选用合适的高温装置,根据夹具的工作高度调节高温装置的位置。
- 5.4.5 设定高温装置的加热参数,启动高温装置,升温至目标温度。
- 5.4.6 打开高温装置的炉门,放入试样或已装好试样的压缩夹具,使试样中心线与上、下夹具的对准中心线一致。
- 5.4.7 让测温传感器的测温点尽量靠近试样工作段外表面,关闭高温装置的炉门,等待高温装置再次达到目标温度,保温时间按 3.3 的规定。在试样升温 and 保温过程中应不断消除试样和夹具因热膨胀而导致的载荷变化,以保证试样所受初载小于破坏载荷的 5%。
- 5.4.8 测定压缩强度时,按 5.3 的规定对试样均匀、连续加载直至试样破坏,记录试样的破坏载荷或最大载荷及试样破坏形式。
- 5.4.9 测量压缩模量和断裂应变时,应在试样工作段内安装变形测量装置。试样应至少预压一次,预压载荷约为试样破坏载荷的 5%,以保证整个测试系统处于正常状态。按照 5.3 的规定对试样均匀、连续加载至破坏。记录载荷-变形曲线等。
- 5.4.10 若试样出现以下情况之一,则压缩强度和断裂应变数据无效:
- a) 哑铃型试样端部呈挤压破坏或在圆弧处劈裂;
 - b) 方柱型试样有明显内部缺陷或端部挤压破坏。
- 5.4.11 同批有效试样不足 5 个时,应重做试验。

5.5 计算

5.5.1 压缩强度和压缩弹性模量

按 GB/T 1448—2005 第 9 章的规定。

5.5.2 压缩断裂应变

压缩断裂应变按照式(1)计算：

$$\epsilon_b = \frac{\Delta L_b}{L_1} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

式中：
 ϵ_b —— 压缩断裂应变，%；
 ΔL_b —— 试样断裂时变形量，单位为毫米(mm)；
 L_1 —— 引伸计的标距，单位为毫米(mm)。

6 高温弯曲性能试验

6.1 试验设备

试验设备应符合 3.1 的要求。高温弯曲夹具应满足高温性能测试的要求，弯曲夹具的示意图按 GB/T 1449—2005 中 6.2 的规定，加载上压头半径为 5 mm，下支座半径为 2 mm。

6.2 试样型式和尺寸

试样应符合 3.2 的要求。试样型式见图 8，试样尺寸见表 2。

单位为毫米

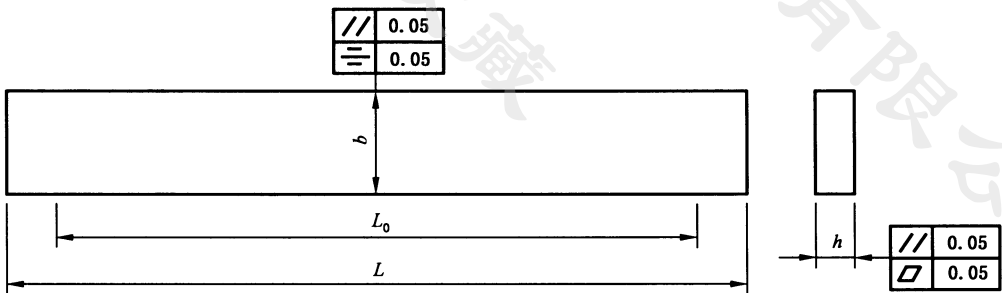


图 8 弯曲试样型式

表 2 弯曲试样尺寸

单位为毫米

名称	符号	试样尺寸
宽度	b	15 ± 0.2
厚度	h	$(2 \sim 10) \pm 0.2$
最小长度	L	$L_0 + 15$
跨距	L_0	$(16 \pm 1)h$

6.3 试验速度

弯曲强度试验速度为 1 mm/min~5 mm/min,弯曲弹性模量试验速度为 2 mm/min,仲裁试验速度为 2 mm/min。

6.4 试验步骤

6.4.1 试样外观检查和状态调节按 3.2 的规定。

6.4.2 将合格试样编号,测量试样中间的 1/3 跨距任意三点的宽度和厚度,取算术平均值,结果精确到 0.01 mm。

6.4.3 启动试验机,预热至少 20 min。安装夹具,调节试验跨距及上压头的位置,准确至 0.5 mm。加载上压头位于支座中间,且使上压头和下支座的圆柱面轴线相平行。调节试验机载荷零点。

6.4.4 根据试验要求选用合适的高温装置,根据夹具的工作高度调节高温装置的位置。

6.4.5 设定高温装置的加热参数,启动高温装置,升温至目标温度。

6.4.6 打开高温装置炉门,将试样对称地放在两支座上。

6.4.7 让测温传感器的测温点尽量靠近试样跨距段的外表面,关闭高温装置的炉门,等待高温装置再次达到目标温度,保温时间按 3.3 的规定。

6.4.8 测定弯曲强度时,按 6.3 的规定对试样均匀、连续加载。在挠度小于 1.5 倍试样厚度下呈现破坏的材料,记录最大载荷或破坏载荷。在挠度等于 1.5 倍试样厚度下不呈现破坏的材料,记录该挠度下的载荷。

6.4.9 测量弯曲模量和弯曲应变时,应在试样跨距中点处安装变形测量装置。试样应至少预压一次,预压载荷约为试样破坏载荷的 5%,以保证整个测试系统处于正常状态。按 6.3 的规定对试样均匀、连续加载至破坏。记录载荷-挠度曲线等。

6.4.10 测试结果有效性按 GB/T 1449—2005 中 8.11 的规定。

6.5 计算

弯曲强度(或挠度为 1.5 倍试样厚度时的弯曲应力)、弯曲弹性模量、试样外表面层的弯曲应变的计算按 GB/T 1449—2005 第 9 章的规定。

7 高温短梁剪切性能试验

7.1 试验设备

试验设备应符合 3.1 的要求。高温短梁剪切夹具应满足高温性能测试的要求,加载上压头和下支座尺寸按 GB/T 30969—2014 中 5.2.1 的规定。

7.2 试样型式和尺寸

试样应符合 3.2 的要求。采用直条型试样,尺寸见表 3。

表 3 高温短梁剪切试样尺寸

单位为毫米

试样种类	厚度	跨距	宽度	试样总长
I 型	2 ± 0.2	$4h \pm 0.3$	6 ± 0.2	20 ± 1
II 型	$(2 \sim 10) \pm 0.2$	$4h \pm 0.3$	$3h \pm 0.2$	$\geq 4h + 15$

7.3 试验速度

短梁剪切强度试验速度为 1 mm/min~2 mm/min,仲裁试验速度为 1 mm/min。

7.4 试验步骤

7.4.1 试样外观检查和状态调节按 3.2 的规定。

7.4.2 将合格试样编号,测量试样中间的 1/3 跨距任意三点的宽度和厚度,取算术平均值,结果精确到 0.01 mm。

7.4.3 启动试验机,预热至少 20 min。安装夹具,调节试验跨距及上压头的位置,准确至 0.1 mm。加载上压头位于支座中间,且使上压头和下支座的圆柱面轴线相平行。调节试验机载荷零点。

7.4.4 根据试验要求选用合适的高温装置,根据夹具的工作高度调节高温装置的位置。

7.4.5 设定高温装置的加热参数,启动高温装置,升温至目标温度。

7.4.6 打开高温装置炉门,将试样对称地放在两支座上。

7.4.7 让测温传感器的测温点尽量靠近试样跨距段的外表面,关闭高温装置的炉门,等待高温装置再次达到目标温度,保温时间按 3.3 的规定。

7.4.8 按 7.3 的规定对试样均匀、连续加载直至试样破坏或载荷-位移曲线出现两个及以上峰值。记录载荷-位移曲线。当高温短梁剪切试验的载荷(应力)-位移曲线出现两个及以上峰值时,选取第一个峰值作为短梁剪切最大载荷(应力)值。

7.5 计算

短梁剪切强度的计算按 GB/T 30969—2014 中 9.1 的规定。

8 试验结果

8.1 试验结果包括试样的性能单值、平均值、标准偏差和离散系数。

8.2 强度(或应力)和弹性模量单值和平均值保留三位有效数字,断裂伸长率(或断裂应变)单值和平均值保留两位有效数字。

8.3 平均值、标准偏差和离散系数的计算和修约按 GB/T 1446—2005 中 6.2~6.4 的规定。

9 试验报告

试验报告的内容包括以下全部或部分:

- a) 试验项目名称及执行标准号;
- b) 试样来源及制备情况,材料品种及织物结构;
- c) 试样编号、形状、尺寸、数量及质量情况;
- d) 试样状态调节、试验温度及保温时间;
- e) 每个试样的性能值(必要时,给出每个试样的破坏情况)、算术平均值、标准偏差和离散系数;
- f) 试验人员、日期及其他。