

前 言

本标准对应于 ASTM D4018-99《碳和石墨连续纤维束性能标准试验方法》，与 ASTM D4018-99 的一致性程度为非等效，主要技术差异如下：

- 本标准中试样的树脂含量为 35%~50%，ASTM D4018-99 为 35%~60%；
- 本标准中加强片为纸片或金属片，ASTM D4018-99 中还可浇铸树脂加强片；
- 本标准中要求至少 6 个有效试样，ASTM D4018-99 中要求至少 4 个有效试样；
- 本标准中试验机拉伸速度为 1 mm/min~20 mm/min，ASTM D4018-99 中为最大允许 250 mm/min；
- 本标准中适用于 1 K 至 12 K 碳纤维复丝的测定，ASTM D4018-99 中未限定碳纤维复丝的 K 数大小。

本标准代替 GB/T 3362—1982《碳纤维复丝拉伸性能试验方法》。

本标准与 GB/T 3362—1982 主要区别如下：

- 增加了适用于“1 K 至 12 K 碳纤维复丝”的测定，“12 K 以上的碳纤维复丝可参照使用”（见第 1 章）；
- 增加了规范性引用文件一章（见第 2 章）；
- 增加了术语和定义一章（见第 3 章）；
- 增加了原理一章（见第 4 章）；
- 增加了试验设备要求（1982 年版的第 2 章，本版的第 5 章）；
- 采用引伸计法测试，不采用横梁位移法测试（1982 年版的第 2 章、5.2、附录 D，本版的第 5 章、第 8 章）；
- 加强片之间的试样长度改为 150 mm，改进了加强片的材料、厚度和结构（1982 年版的第 1 章，本版的第 6 章）；
- 修改了试验环境条件（1982 年版的第 3 章，本版的 7.1）；
- 增加了“仲裁试验加载速度为 2 mm/min”（1982 年版的 4.2，本版的 7.2）；
- 增加了“施加初载”的要求（见第 8 章）。

本标准的附录 C 为规范性附录，附录 A、附录 B 为资料性附录。

本标准由中国建筑材料工业协会提出。

本标准由全国纤维增强塑料标准化技术委员会归口。

本标准主要起草单位：中国航空工业第一集团航空材料研究院。

本标准主要起草人：翟全胜、叶宏军、刘俊仙。

本标准于 1982 年首次发布，2005 年第一次修订。

碳纤维复丝拉伸性能试验方法

1 范围

本标准规定了碳纤维复丝拉伸性能试验方法的设备试样、试验条件、程序、试验结果和试验报告。

本标准适用于将 1 K 至 12 K 碳纤维复丝浸胶后测定其拉伸强度、拉伸弹性模量和断裂伸长率。12 K 以上的碳纤维复丝可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 1446—2005 纤维增强塑料性能试验方法总则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1

复丝 multifilament

长丝的一种,由多孔喷丝板纺出细丝并合而成的有捻或无捻丝束。

4 原理

碳纤维复丝的拉伸强度和拉伸弹性模量通过浸渍树脂固化后纤维的拉伸加载直至破坏来测定。拉伸强度由破坏载荷除以碳纤维复丝的截面积来得到,弹性模量由规定的应变限测定。碳纤维复丝的截面积用线密度除以密度得到。

5 试验设备

5.1 试验机

按 GB/T 1446—2005 中的规定。

5.2 引伸计

引伸计的重量应不影响测量精度,其测量精度应符合 GB/T 1446—2005 中的规定。

5.3 夹具

夹具与试验机相连时,要确保试样受拉时对中。

5.4 鼓风干燥箱

有足够的空间,能加热到需要的温度,使框架上的浸胶纤维固化,温度控制精度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

6 试样

6.1 试样数量、形状及尺寸

6.1.1 每组试验测 10 个试样。有效试样应不少于 6 个。

6.1.2 测定碳纤维复丝拉伸性能用试样的形状及尺寸如图 1 所示。

6.2 试样制备

6.2.1 试样由碳纤维复丝浸渍环氧树脂胶液制成。供参考的树脂胶液配方参见附录 A。

6.2.2 碳纤维复丝在浸胶前应预先按 7.1 规定进行状态调节。

6.2.3 碳纤维复丝可用手工法或机器法浸胶。用手工法浸胶参见附录 B。

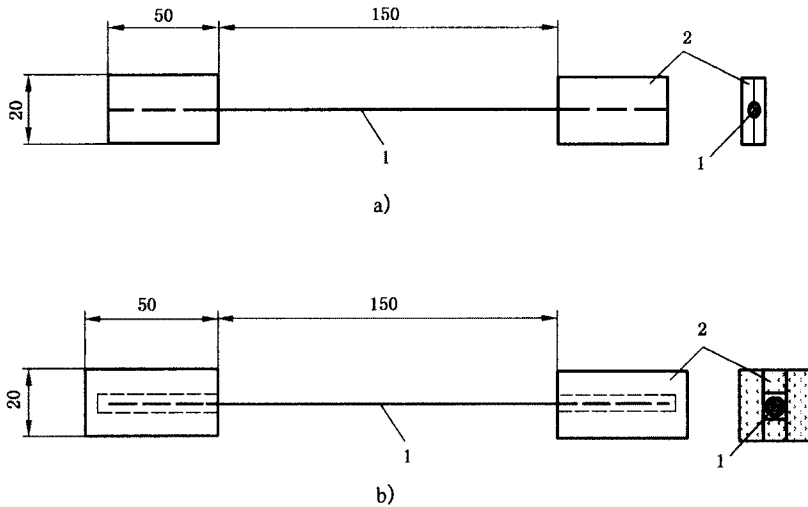
6.2.4 1 K、3 K 碳纤维复丝试样,按图 1a)贴加强片,加强片为 0.2 mm~0.4 mm 厚的纸板。6 K、12 K 碳纤维复丝试样,按图 1b)粘贴加强片,加强片为 1 mm~1.5 mm 厚的纸板或金属板。可用任何室温固化的胶粘剂粘贴加强片。

6.3 试样外观和含胶量

6.3.1 试样应均匀浸胶,光滑,平直,无缺陷。

6.3.2 由复丝浸胶制成的试样,应控制树脂含量在 35%~50%。

单位为毫米



- 1——碳纤维复丝试样;
2——加强片。

图 1 试样的形状及尺寸示意图

7 试验条件

7.1 按 GB/T 1446—2005 中的规定。

7.2 加载速度为 1 mm/min~20 mm/min。仲裁试验加载速度为 2mm/min。

8 程序

8.1 试样外观检查按 GB/T 1446—2005 中的规定。

8.2 试样状态调节按 GB/T 1446—2005 中的规定。

8.3 测量合格试样在加强片之间的试样长度,精确到 0.5 mm。

8.4 设置所用数据记录或采集设备的速度。

8.5 试样装入试验机的夹头,要求复丝和夹头的加载轴线相重合。

8.6 对试样施加初始载荷(约为破坏载荷的 5%),检查并调整试样及应变测量仪表,使系统处于正常工作状态。

8.7 启动试验机和数据记录或采集设备,测试试样直至破坏。记录破坏载荷(或最大载荷),以及试样的破坏形式。

8.8 若试样出现以下情况应予以作废:

- a) 试样破坏在明显内部缺陷处;
- b) 试样破坏在夹具内或试样断裂处离夹紧处的距离小于 10 mm。

8.9 同批有效试样不足 6 个时,应重新进行试验。

9 试验结果

9.1 复丝拉伸强度

拉伸强度按式(1)计算:

$$\sigma_t = \frac{P \times \rho_t}{t} \times 10^{-6} \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中:

σ_t ——拉伸强度,单位为兆帕(MPa);

P ——破坏载荷,单位为牛(N);

ρ_t ——复丝的密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);

t ——复丝的线密度,单位为千克每米(kg/m);

注:复丝的密度、线密度测定方法见附录 C。

9.2 拉伸弹性模量

拉伸弹性模量按式(2)计算:

$$E_t = \frac{\Delta P \times \rho_t}{t} \times \frac{L}{\Delta L} \times 10^{-9} \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

E_t ——拉伸弹性模量,单位为千兆帕(GPa);

ΔP ——由应力-应变曲线初始直线段上截取的载荷值,单位为牛(N);

ρ_t ——同(1)式;

t ——同(1)式;

L ——加强片之间的试样长度,单位为毫米(mm);

ΔL ——加强片之间的试样长度对应于 ΔP 的变形增量,单位为毫米(mm)。

9.3 断裂伸长率

复丝的断裂伸长率按式(3)计算:

$$\epsilon_t = \frac{\Delta L_b}{L} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中:

ϵ_t ——断裂伸长率,%;

L ——同(2)式;

ΔL_b ——断裂伸长,单位为毫米(mm)。

9.4 算术平均值、标准误差和离散系数的计算

按 GB/T 1446—2005 中的规定。

10 试验报告

试验报告应至少包括以下各项内容:

- a) 纤维的生产厂、类型和牌号;
- b) 试验方法和标准号;
- c) 浸渍复丝的树脂、浸胶方法和试样的树脂含量;
- d) 试验机型号、加载速度;
- e) 试验结果,包括线密度、密度、拉伸性能;
- f) 试验人员、试验日期及其他需要说明的情况。

附录 A

(资料性附录)

浸渍碳纤维复丝树脂胶液的配方及固化条件

树脂应与碳纤维及其使用的表面处理剂匹配,固化后树脂的断裂伸长率应是碳纤维断裂伸长率的 2 倍以上。一般满足使用的树脂是双酚 A(或双酚 F)环氧和二乙烯二胺的混合物。

可采用下列配方及相应固化条件中的任何一种:

- A.1 F-48 酚醛环氧树脂每 10 g 加三氟化硼-单乙胺固化剂 0.3 g,以丙酮作溶剂。浸胶复丝晾干后,于 $170\pm 2^{\circ}\text{C}$ 固化不少于 30 min。固化后树脂的断裂伸长率为 2.2%(典型值)。
- A.2 E-44 环氧树脂每 10 g 加三乙烯四胺固化剂 1 g,以丙酮作溶剂。浸胶复丝晾干后,于 $120\pm 2^{\circ}\text{C}$ 固化不少于 30 min。固化后树脂的断裂伸长率为 2.3%(典型值)。
- A.3 E-51 环氧树脂每 10 g 加三乙烯四胺固化剂 1 g,以丙酮作溶剂。浸胶复丝晾干后,于 $120\pm 2^{\circ}\text{C}$ 固化不少于 30 min。固化后树脂的断裂伸长率为 2.1%(典型值)。

附 录 B

(资料性附录)

碳纤维复丝手工浸胶法

- B.1** 剪取一根约 500 mm 长的复丝,用手拿住两端浸入胶液中,根据复丝的粗细及上胶情况,使其在胶液中往返一次或数次,甚至浸泡几分钟。
- B.2** 浸过胶的复丝,抖去多余的胶液,加一定的张力,固定在框架上,使复丝横向拉直绷紧在框架上,在室温下晾干。
- B.3** 把固定着复丝的框架放在鼓风干燥内进行固化。
- B.4** 按图 1 尺寸截取复丝。

附录 C

(规范性附录)

碳纤维复丝线密度和密度测定法

C.1 样品准备

测定纤维复丝线密度和纤维密度用的碳纤维样品试验前应在 3.1 规定的条件下至少放置 24 h。

C.2 复丝线密度的测定

C.2.1 把纤维复丝拉直,截取三根 1 米长的复丝,测量长度精确到 ± 0.5 mm。

C.2.2 用万分之一天平称量样品,精确到 0.000 1 g。取三根复丝样品测量结果的算术平均值,作为复丝线密度(t)。

C.3 纤维密度的测定

测定碳纤维的密度,可用浮沉法,也可用密度梯度法。

C.3.1 用浮沉法测碳纤维密度

C.3.1.1 选择适当溶剂洗去复丝的表面处理剂,干燥后取用。

C.3.1.2 将化学纯的正庚烷和二溴乙烷配成密度和所测纤维密度相近似的混合液,注入带盖量筒内。

C.3.1.3 用剪刀将纤维复丝剪成(0.5~1) mm 长的纤维末,放入带盖量筒内的混合液中,用玻璃棒搅拌,使纤维末分散在混合液中,盖上磨口盖。将带盖量筒放在(25 \pm 1) $^{\circ}$ C 的恒温水浴中,带盖量筒的盖子及颈部要露出水面。

C.3.1.4 观察混合液。如纤维在混合液里上浮或下沉,则需要相应加入正庚烷或二溴乙烷,以调节混合液密度,直至纤维末在混合液内均匀分布。在(25 \pm 1) $^{\circ}$ C 的水浴中放置 4 h,如纤维末在混合液内仍均匀分布,即可认为混合液的密度与纤维的密度已经相同。

C.3.1.5 用比重计测量该温度下混合液的密度,测得的混合液密度的数值就是纤维的密度值(d)。

C.3.2 用密度梯度管法测碳纤维密度

C.3.2.1 密度梯度管的配制

将四氯化碳(密度 1 596 kg/m³)与三溴甲烷(密度 2 890 kg/m³)两种液体,按比例配制成密度不同的混合液体。重液和轻液可以是纯的溶剂,也可以是两种液体的混合液,按容积法确定四氯化碳和三溴甲烷的体积,计算公式如下:

$$\rho_m \cdot V = \rho_1 \cdot a + \rho_2 (V - a) \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中:

ρ_m ——混合液的密度,单位为千克每立方米(kg/m³);

V ——混合液的体积,单位为立方米(m³);

ρ_1 ——重液的密度,单位为千克每立方米(kg/m³);

ρ_2 ——轻液的密度,单位为千克每立方米(kg/m³);

a ——重液的体积,单位为立方米(m³);

($V - a$)——轻液的体积,单位为立方米(m³)。

不同密度的混合液体,用精度为 0.001 的比重计,检查混合液的密度,如密度和所需密度有偏差,可以补加轻液或重液,直至达到所要求的密度为止。然后由轻到重依次将各组分的混合液,通过一个带漏斗的直径为(0.8~1) mm 的毛细管加入带刻度的带盖梯度管中,梯度管见图 C。当加完最后一组混合液后,轻轻取出毛细管,将梯度管的盖子盖上,置于(25 \pm 0.5) $^{\circ}$ C 的恒温水浴中,静止 24 h,稳定后即可

使用。



图 C.1 密度梯度管

C.3.2.2 密度梯度管的校验

将特制标准密度小球(4~5)粒,按密度由大到小依次投入管中。经平衡4 h后,通过测高仪求得各标准球的相对高度。借助已知标准球密度求得该梯度管的高度-密度曲线,在曲线中接近直线部分的高度要不小于50 mm,并且直线部分每10 mm高液柱的密度相差在 2 kg/m^3 以内方可使用。

C.3.2.3 试样的准备

先将复丝整理成束,然后抽出小束打成4只直径约为5 mm的圆形小圈,要求小圈形试样表面光滑,无毛丝。对各种上胶纤维用适当方法脱去表面处理剂,一般用丙酮浸泡4 h左右。在 60°C 烘箱中烘干2 h,然后在干燥器中冷却0.5 h。将干燥纤维试样浸没在与纤维密度相近的混合液中,放在离心机的试管里,以每分钟2 000转的速度离心脱泡15 min,排除试样中的空气。

C.3.2.4 密度的测试

将离心脱泡后的试样,迅速移入梯度管,平衡4 h,用测高仪测出试样的高度以及与相对应的标准球的高度。

C.3.2.5 密度的计算

根据标准球的已知密度,用内插法按相对高度比值求得复丝的密度值,计算公式如下:

$$\rho_t = \frac{X-b}{a-b}(\rho_a - \rho_b) + \rho_b \quad \dots\dots\dots(\text{C.2})$$

式中:

ρ_t ——复丝的密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);

X ——试样的高度,单位为毫米(mm);

a ——重球的高度,单位为毫米(mm);

b ——轻球的高度,单位为毫米(mm);

ρ_a ——重球密度,单位为千克每立方米(kg/m^3);

ρ_b ——轻球密度,单位为千克每立方米(kg/m^3)。