

团 体 标 准

T/CI XXX-2024

大丝束碳纤维复丝拉伸性能 试验方法

Test methods for tensile properties of Large-tow carbon fiber

2024-X-XX 发布

2024-X-XX 实施

中国国际科技促进会发布

中国国际科技促进会(CIAPST)是1988年经中华人民共和国国务院科技领导小组批准而成立的全国性社会团体。制定团体标准、开展标准国际化和推动团体标准实施,是中国国际科技促进会的工作内容之一。任何团体和个人,均可提出制、修订中国国际科技促进会团体标准的建议并参与有关工作。

中国国际科技促进会标准按《中国国际科技促进会标准化管理办法》进行制定和管理。

中国国际科技促进会征求意见稿经向社会公开征求意见,并得到参加审定会议的80%以上的专家、成员的投票赞同,方可作为中国国际科技促进会标准予以发布。

在本标准实施过程中,如发现需要修改或补充之处,请将意见和有关资料寄给中国国际科技促进会标准化工作委员会,以便修订时参考。

任何团体和个人,均可对本标准征求意见稿提出意见和建议,牵头起草单位联系方式: hbc@chinacamel.com

中国国际科技促进会

地址:北京市海淀区中关村东路89号恒兴大厦13F

邮政编码:100190

电话:010-62652520 传真:010-62652520

网址: <http://www.ciapst.org>

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 原理.....	1
5 设备和试剂.....	1
5.1 树脂.....	1
5.2 浸胶装置.....	2
5.3 拉伸试验机.....	2
6 试样.....	2
6.1 试样数量、形状及尺寸.....	2
6.2 试样制备.....	2
7 试验条件.....	3
8 试验步骤.....	3
9 试验结果计算.....	3
9.1 拉伸强度.....	3
9.2 拉伸弹性模量.....	4
9.3 断裂伸长率.....	4
9.4 算术平均值、标准差和离散系数.....	4
10 试验报告.....	5
附录 A （资料性） 碳纤维复丝浸渍用树脂胶液配制及浸胶方法	6

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。

本文件由西安康本材料有限公司提出。

本文件由中国国际科技促进会归口管理。

本文件起草单位：西安康本材料有限公司

本文件起草单位：XXXXXX。

本文件主要起草人：XXXXXX

本文件首次发布。

大丝束碳纤维复丝拉伸性能试验方法

1 范围

本文件规定了大丝束碳纤维复丝拉伸性能试验方法的仪器和设备、试样、试验条件、试验步骤、试验结果计算和试验报告。

本文件适用于小于60k的大丝束碳纤维复丝浸胶固化后拉伸强度、拉伸弹性模量、断裂伸长率的测定。

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 1446 纤维增强塑料性能试验方法总则

GB/T 30019 碳纤维密度的测定

GB/T 18374 增强材料术语及定义

GB/T 40724-2021 碳纤维及其复合材料术语

GB/T 3362 碳纤维复丝线密度测定方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 复丝 multifilament

两根及以上的单丝并合在一起的丝束。

[来源：GB/T 40724-2021 碳纤维及其复合材料术语]

3.2 大丝束 largetow; heavy tow

丝束大于 24000 (24K) 根的丝束。

[来源：GB/T 40724-2021 碳纤维及其复合材料术语]

4 原理

碳纤维复丝通过浸渍树脂并固化后获得试样，试样用合适的试验机以恒定的速度加载拉伸直至试样破坏。拉伸强度由破坏载荷除以碳纤维复丝的截面积得到，拉伸弹性模量是通过在定义的两点的应力的变化值除以应变的变化值得到。碳纤维复丝的截面积用线密度除以密度得到。

5 设备和试剂

5.1 树脂

树脂应与碳纤维的表面或表面上浆剂具有良好的相容性，树脂的粘度应能够保证碳纤维复丝充分且均匀浸润，固化后树脂的断裂伸长率应大于碳纤维的断裂伸长率。

5.2 浸胶装置

只要能够得到均匀、平滑的试样，可以采用手工浸胶或机器浸胶的任意方式。通常浸胶装置包括能够调整丝束张力的纱筒固定装置、浸胶槽、浸胶丝束卷绕框架以及能够去除丝束上多余树脂的纸片、毡或织物、辊轮等。

5.3 拉伸试验机

5.3.1 试验机：应符合 GB/T 1446 的规定，并能自动记录载荷-位移曲线，选择试验机时，要保证试样的最大断裂负荷在试验机合适的载荷范围内。

5.3.2 引伸计：引伸计的重量不影响测量精度，其测量精度应符合 GB/T 1446 的规定。引伸计的标距至少为 50mm，最好为 100mm，测量的误差小于 1%，可采用手持式引伸计、全自动引伸计以及光学或激光引伸计等。

5.3.3 夹具：夹具应适合于夹持带加强片的试样，不会对试样造成损伤，也可采用气动夹具。与试验机相连时，应确保试样受拉时对中。

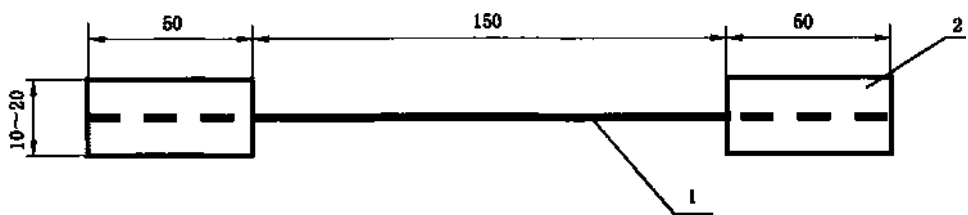
5.4 烘箱：温度满足试样固化要求，控温精度不低于±3℃。

6 试样

6.1 试样数量、形状及尺寸

6.1.1 每组试验准备 10 个试样。每组测试有效试样应不少于 6 个。

6.1.2 试样形状及尺寸见图 1。



说明：

1 —— 碳纤维复丝；

2 —— 加强片。

单位为毫米

图 1 试样的形状及尺寸示意图

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，树脂胶液的配方参见附录 A。

6.2.2 碳纤维复丝可用手工法或机器法浸胶，手工法浸胶和机器浸胶方法参见附录 A。

- 6.2.3 浸胶后的碳纤维复丝的固化必须保证处于拉直绷紧的状态下进行。
- 6.2.4 碳纤维复丝浸胶固化后，按试样尺寸裁剪。试样应浸胶均匀、光滑、平直、无缺陷。复丝浸胶制成的试样，树脂含量应控制在 35%~50%的范围内。
- 6.2.5 用纸片或纸板作为加强片粘结在试样两端。大丝束复丝试验选用 0.3 mm~1.0 mm 厚的纸片或纸板。可用室温固化的环氧类胶粘剂粘贴加强片，固化过程施加压力 3kPa~10kPa。

7 试验条件

- 7.1 试验环境应符合 GB/T 1446 中的规定。
- 7.2 加载速率在 1mm/min~20mm/min。仲裁试验加载速率为 10mm/min。

8 试验步骤

- 8.1 按 6.2.4 的规定检查试样外观。
- 8.2 设置试验机测量模式、参数，可在 1 mm/min~20 mm/min 范围内选择试验机加载速率、设置数据采集和记录模式、参数。检查并调整设备，确保系统处于正常工作状态。
- 8.3 装夹试样，仔细校对试样位置，使得试样在加载块中央，并使试样与上下夹头的加载轴线重合。试验结束后应对夹具定期进行检查，并进行清理，确保夹面清洁平整。
- 8.4 对试样施加初始载荷(约为破坏载荷的 1%)，检查并调整试样。
- 8.5 测试拉伸弹性模量时，在试样上装载引伸计，接触式卡口不应对试样造成损伤。
- 8.6 启动试验机和数据采集设备，当试样应变达到表 1 应变取值范围上限时，卸载引伸计，卸载时不应对试样造成损伤，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。若试样破坏出现以下情况应判定无效：
 - a) 试样部分断裂；
 - b) 试样在加强片处拔出；
 - c) 试样破坏在夹具内或试样断裂处离夹紧处的距离小于 10mm。
- 8.7 同批有效试样不足 6 个时，应重新进行试验。

表 1 弹性模量测试时应变取值范围

复丝断裂伸长率 (ε) 典型值	应变取值范围 (ε 1~ε 2)
ε ≥1.2%	0.1%~0.6%
0.6%≤ε <1.2%	0.1%~0.3%
0.3%≤ε <0.6%	0.05%~0.15%

9 试验结果计算

9.1 拉伸强度

拉伸强度按式(1)计算：

$$\sigma_t = \frac{P}{A_t} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

σ_t——拉伸强度，单位为兆帕 (MPa)；

P——破坏载荷，单位为牛顿(N)；

A_t ——碳纤维复丝截面积，单位为平方毫米(mm^2)，按式(2)计算：

$$A_t = \frac{t}{\rho_t} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

t——复丝的线密度，按附录 B 测定，单位为克每米(g/m)；

ρ_t ——复丝的密度，按 GB/T 30019 测定，单位为克每立方厘米(g/cm^3)。

9.2 拉伸弹性模量

拉伸弹性模量按式(3)计算：

$$E_t = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

E_t ——拉伸弹性模量，单位为吉帕(GPa)

ε_1 ——弹性模量测量时应变取值范围的应变下限，%，取值见表 1；

ε_2 ——弹性模量测量时应变取值范围的应变上限，%，取值见表 1；

σ_1 ——应力-应变曲线上 ε_1 对应的应力，单位为兆帕(MPa)，按式(4)计算：

σ_2 ——应力-应变曲线上 ε_2 对应的应力，单位为兆帕(MPa)，按式(5)计算：

$$\sigma_1 = \frac{P_1}{A_t} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

P_1 ——应力-应变曲线上 ε_1 对应的载荷，单位为牛顿(N)；

A_t ——碳纤维复丝截面积，单位为平方毫米，(mm^2)。

$$\sigma_2 = \frac{P_2}{A_t} \dots\dots\dots (5)$$

P_2 ——应力-应变曲线上 ε_2 对应的载荷，单位为牛顿(N)；

A_t ——碳纤维复丝截面积，单位为平方毫米，(mm^2)。

9.3 断裂伸长率

断裂伸长率由拉伸强度和拉伸弹性模量计算得到，按式(6)计算：

$$\varepsilon_t = \frac{\sigma_t}{E_t} \times 0.1 \dots\dots\dots (6)$$

式中：

ε_t ——断裂伸长率，%；

σ_t ——应力-应变曲线上 ε_t 对应的应力，单位为兆帕(MPa)；

E_t ——拉伸弹性模量，单位为吉帕(GPa)。

9.4 算术平均值、标准差和离散系数

按 GB/T 1446 的规定计算算术平均值、标准差和离散系数。

10 试验报告

试验报告中应至少包括以下内容：

- a) 本标准编号；
- b) 纤维的生产厂家、类型和牌号；
- c) 试验环境条件；
- d) 加载速率；
- e) 试验结果，包括拉伸强度、拉伸弹性模量、断裂伸长率以及线密度、密度等；
- 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

碳纤维复丝浸渍用树脂胶液配制及浸胶方法

A.1 环境

树脂胶液配制和手工浸胶制样应在 GB/T 1446 中的规定的环境下进行。

A.2 树脂胶液选择原则

树脂应与碳纤维表面或其表面上浆剂相容性良好，固化后树脂的断裂伸长率应大于碳纤维的断裂伸长率。通常使用环氧树脂体系，推荐的六种树脂胶液及其配制和固化工艺见 A.3。

A.3 树脂胶液的配制及固化工艺

A.3.1 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，配制得到均匀的碳纤维浸渍胶液。胶液的固化条件为 $(170 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，不少于 30 min。固化后树脂的断裂伸长率为 2.2%(典型值)。

A.3.2 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，配制得到均匀的碳纤维浸渍胶液。胶液的固化条件为 $(120 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，不少于 60 min。固化后树脂的断裂伸长率为 2.3%(典型值)。

A.3.3 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，配制得到均匀的碳纤维浸渍胶液。胶液的固化条件为 $(120 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，不少于 60 min。固化后树脂的断裂伸长率为 2.1%(典型值)。

A.3.4 E-44(或 E-51)环氧树脂每 10 g 加醚胺类固化剂 3 g，以丙酮作溶剂，配制得到均匀的碳纤维浸渍胶液。胶液的固化条件为室温固化不少于 24 h。固化后树脂的断裂伸长率为 2.6%(典型值)。

A.3.5 ERL 4221 树脂每 10g 加 0.30g 三氟化硼-单乙胺固化剂，以丙酮或乙醇为溶剂，配制得到均匀的碳纤维浸渍胶液。胶液的固化条件为 $(130 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，不少于 30 min。固化后树脂的断裂伸长率为 2.6%(典型值)。

A.3.6 4,5-环氧环乙烷-1,2-二甲酸二缩水甘油酯环氧树脂每 10 g 加对,对-二氨基二苯甲烷固化剂 4g，以丙酮作溶剂，配制得到均匀的碳纤维浸渍胶液。胶液的固化条件为 $(120 \pm 5)^\circ\text{C}$ ，不少于 120 min。固化后树脂的断裂伸长率为 2.4%(典型值)。

A.3.7 加强片用树脂均可采用上述 A.3.1、A.3.2、A.3.3、A.3.4、A.3.5、A.3.6 树脂配方体系，但不需要添加溶剂。

A.4 碳纤维复丝手工浸胶

A.4.1 先浸胶后绕丝：剪取一定长度的经状态调节的碳纤维复丝，延顺直方向放入环氧树脂胶液中浸泡 2~4min。浸过胶的复丝，除去多余的胶液，固定在挂丝架上，使复丝在张力(2~5) N 下保持拉直绷紧在框架上，框架的示意图见图 2a。

先绕丝后浸胶：将待测的碳纤维丝束经状态调湿后放置在纱筒固定装置上，沿其顺直方法抽取一定长度碳纤维束丝，用缠绕架在（2~5）N张力下，手工卷绕碳丝，并做好标记，避免样品混淆，缠绕架的方式见图 2b。将绕好的碳丝放在环氧树脂渍液浸渍（3~5）min。取出浸渍好绷架，除去多余胶液，在丝束两端用张力夹保持丝束绷直。

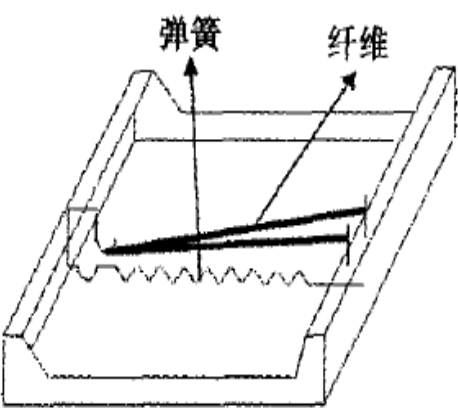


图2a

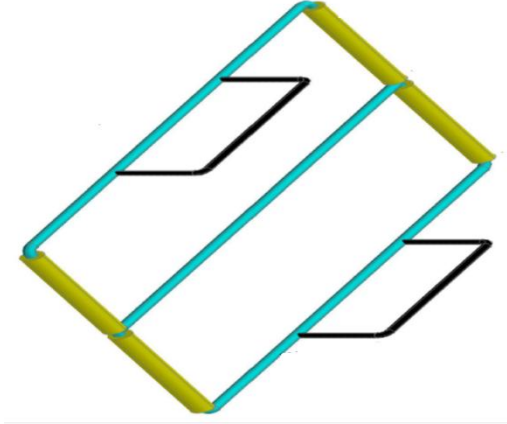


图2b

A. 4. 2 把固定在挂丝架的复丝放入烘箱内固化，固化条件由树脂体系决定。

A. 4. 3 碳纤维复丝浸胶固化后，按图 1 尺寸截取复丝。

A. 5 碳纤维复丝机器浸胶

A. 5. 1 经状态调节的碳纤维放置在纱筒固定装置上，丝束通过引丝，进入浸胶槽，再通过引丝，由牵引机将浸好胶的碳纤维复丝，通过导轮牵引至缠绕架处，固定在缠绕架上, 使复丝拉直绷紧在框架上。浸胶装置示意图如图 3。

A. 5. 2 把固定在挂丝架的复丝放入烘箱内固化，固化条件由树脂体系决定。

A. 5. 3 碳纤维复丝浸胶固化后，图 1 尺寸截取复丝。

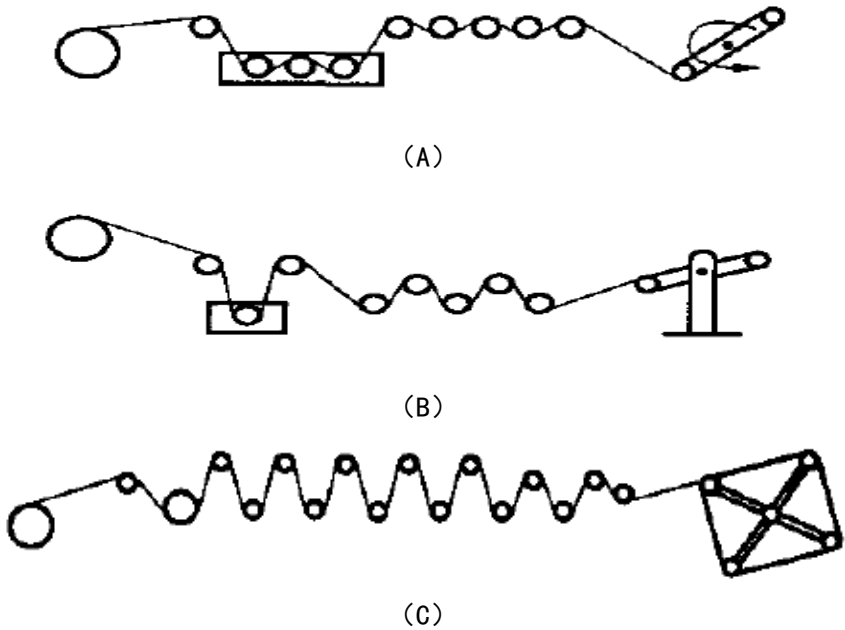


图 3 各种机器浸胶装置示意图