

团 体 标 准

T/CI 951—2025

# 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

2025-04-01 发布

2025-04-01 实施

中国国际科技促进会 发 布  
中国标准出版社 出 版

目 次

前言 ..... III

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

6 试样 ..... 2

7 试验条件 ..... 3

8 试验步骤 ..... 3

9 试验结果计算 ..... 4

10 试验报告..... 5

附录 A（规范性） 碳纤维复丝浸渍用树脂胶液配制及浸胶方法 ..... 7

## 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。

本文件起草单位：西安康本材料有限公司、北京航空航天大学、中国石化上海石油化工股份有限公司、常州启赋安泰复合材料科技有限公司、中石油(上海)新材料研究院有限公司、哈尔滨玻璃钢研究院有限公司、北京化工大学常州先进材料研究院、西安源创航空科技有限公司、长春工业大学、浙江理工大学。

本文件主要起草人：徐永花、顾轶卓、顾建国、郭红军、刘中仕、王宝瑞、王晓旭、周蕊、付中禹、程晓颖、郭继荣、沈青楠、都书、刘杰、葛光涛、王春华。

# 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聚丙烯腈基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 60 K 的大丝束聚丙烯腈基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—2005 纤维增强塑料性能试验方法总则

GB/T 3362—2017 碳纤维复丝拉伸性能试验方法

GB/T 30019 碳纤维 密度的测定

## 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。

### 3.2

**大丝束** largetow heavy tow

丝束大于 24 000(24 K)根的丝束。

## 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—2005 中 5.1.1 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的载荷满量程(10~90)%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—2005 中 5.1.5 的规定。引伸计的标距为(50~100)mm,测量误差小于 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,可采用气动夹具。与试验机相连时,应确保试样受拉时对中。

### 5.3.4 烘箱

温度满足试样固化要求,控温精度不低于 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

## 6 试样

### 6.1 试样数量、形状及尺寸

#### 6.1.1 试样数量

每组试验准备 10 个试样。每组试验有效试样应不少于 6 个。

#### 6.1.2 试样形状及尺寸

试样形状及尺寸见图 1。

单位为毫米

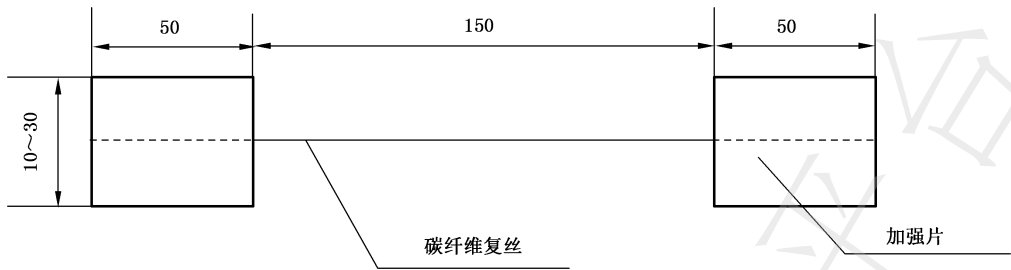


图 1 试样的形状及尺寸示意图

6.2 试样制备

6.2.1 树脂配方

试样由大丝束碳纤维复丝浸渍环氧树脂胶液制成,树脂胶液的配方见附录 A。

6.2.2 浸胶方法

大丝束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见附录 A。

6.2.3 固化要求

浸胶后的大丝束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 试样要求

大丝束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。大丝束碳纤维复丝浸胶制成的试样,树脂含量应控制在 35%~60% 的范围内。

6.2.5 补强方式及要求

用砂纸、砂布、牛皮纸、纸片或纸板作为加强片粘结在试样两端。大丝束碳纤维复丝试验选用 0.3 mm~1.0 mm 厚的砂纸、砂布、纸片或纸板。可用室温固化的环氧类或丙烯酸类胶粘剂粘贴加强片,固化过程可对加强片施加压力,需保证粘贴效果且不损伤加强片和碳纤维。

7 试验条件

7.1 试验条件

试验环境应符合温度  $23\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;湿度  $50\%\text{RH}\pm 10\%\text{RH}$ 。

7.2 试验速率

加载速率在  $1\text{ mm/min}\sim 20\text{ mm/min}$ 。仲裁试验加载速率为  $10\text{ mm/min}$ 。

8 试验步骤

8.1 试样外观

按 6.2.4 的规定检查试样外观。

## 8.2 试验参数设置

设置试验机测量模式、参数,按 7.2 设置试验机加载速率,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 试样装夹

装夹试样,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。试验过程中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 试样初始载荷设置

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 引伸计要求

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 试样破坏试验

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 10 mm。

表 1 弹性模量测试时应变取值范围

| 复丝断裂伸长率( $\epsilon$ )典型值      | 应变取值范围( $\epsilon_1 \sim \epsilon_2$ ) |
|-------------------------------|----------------------------------------|
| $\epsilon \geq 1.2\%$         | 0.1%~0.6%                              |
| $0.6\% \leq \epsilon < 1.2\%$ | 0.1%~0.3%                              |
| $0.3\% \leq \epsilon < 0.6\%$ | 0.05%~0.15%                            |

## 8.7 试样数量要求

同批有效试样不足 6 个时,应重新进行试验。

# 9 试验结果计算

## 9.1 拉伸强度

拉伸强度按公式(1)计算:

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

式中:

$\sigma_t$  —— 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( $\text{mm}^2$ ),按公式(2)计算:

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

式中:

$t$  ——复丝的线密度,按 GB/T 3362—2017 中附录 B 测定,单位为克每米( $\text{g/m}$ );

$\rho_t$  ——复丝的密度,按 GB/T 30019 测定,单位为克每立方厘米( $\text{g/cm}^3$ )。

9.2 拉伸弹性模量

拉伸弹性模量按公式(3)计算:

$$E_t = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} \times 10^{-3} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$E_t$  ——拉伸弹性模量,单位为吉帕(GPa);

$\epsilon_1$  ——弹性模量测量时应变取值范围的应变下限,%,取值见表 1;

$\epsilon_2$  ——弹性模量测量时应变取值范围的应变上限,%,取值见表 1;

$\sigma_1$  ——应力-应变曲线上  $\epsilon_1$  对应的应力,单位为兆帕(MPa),按公式(4)计算:

$\sigma_2$  ——应力-应变曲线上  $\epsilon_2$  对应的应力,单位为兆帕(MPa),按公式(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  $\epsilon_1$  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( $\text{mm}^2$ )。

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

式中:

$P_2$  ——应力-应变曲线上  $\epsilon_2$  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( $\text{mm}^2$ )。

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,按公式(6)计算:

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

式中:

$\epsilon_t$  ——断裂伸长率,%;

$\sigma_t$  ——应力-应变曲线上  $\epsilon_t$  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) 本文件编号;



- 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

(规范性)

## 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温度  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  ;相对湿度相不大于 50% 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,具有同等效果的其他树脂胶液配方均可使用。

## A.3 树脂胶液的配制及固化工艺

## A.3.1 配方 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 配方 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 配方 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 配方 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 配方 5

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 4 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 120 min。固化后树脂的断裂伸长率为 2.4%(典型值)。

## A.3.6 配方 7

EPOLAM 2040 Resin 环氧树脂每 100 g 加 EPOLAM 2047 Hardener 胺类固化剂 32 g,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 6.7%(典型值)。

### A.3.7 补强配方

加强片用树脂均可采用上述树脂配方体系,但不需要添加溶剂。

## A.4 碳纤维复丝手工浸胶

### A.4.1 手工浸胶

先浸胶后绕丝:剪取一定长度的经状态调节的碳纤维复丝,沿顺直方向放入环氧树脂胶液中浸泡 2 min~4 min。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 A.1。

先绕丝后浸胶:将待测的碳纤维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 A.2。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。

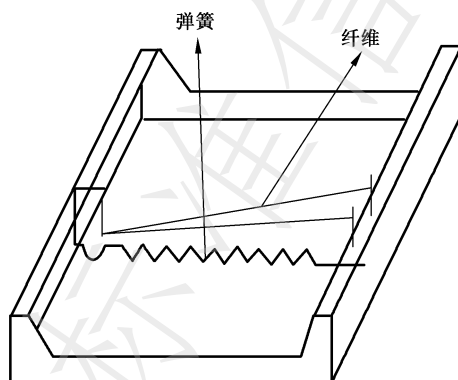


图 A.1 手工制样框架

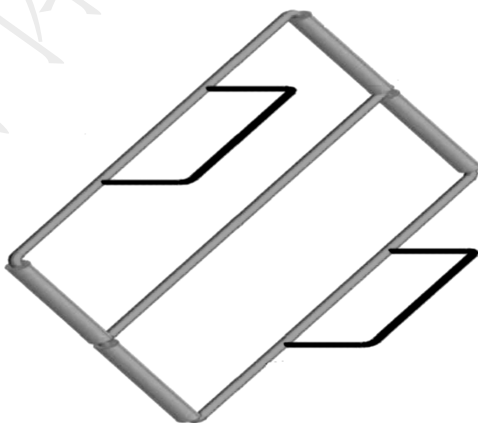


图 A.2 手工制样缠绕架

### A.4.2 固化

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 裁剪要求

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 机器浸胶

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,使复丝在一定张力下拉直绷紧在框架上。浸胶装置示意图如图 A.3~图 A.6。

A.5.2 固化

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 裁剪要求

碳纤维复丝浸胶固化后,图 1 尺寸截取复丝。

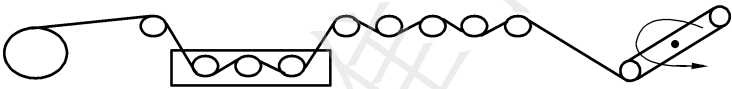


图 A.3 机器浸胶装置示意图



图 A.4 机器浸胶装置示意图



图 A.5 机器浸胶装置示意图

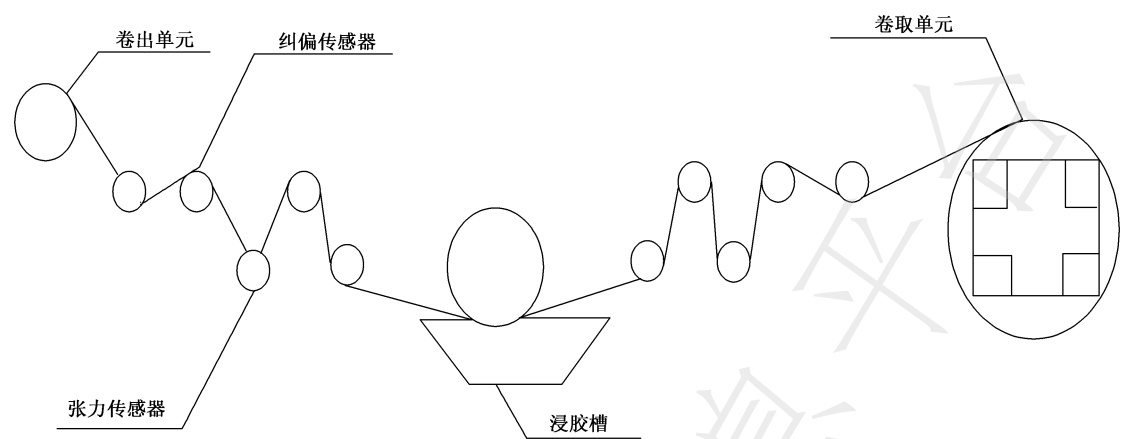


图 A.6 机器浸胶装置示意图