



中华人民共和国国家标准

GB/T 31290—2022

代替 GB/T 31290—2014

碳纤维 单丝拉伸性能的测定

Carbon fibre—Determination of the tensile properties of single-filament specimens

2022-07-11 发布

2023-02-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

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。

本文件代替 GB/T 31290—2014《碳纤维 单丝拉伸性能的测定》，与 GB/T 31290—2014 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 增加了术语“表观拉伸弹性模量”(见 3.3)；
- b) 增加了取样(见 7.1)；
- c) 增加了试样的预加载荷控制(见 8.2.5)；
- d) 增加了表观拉伸弹性模量的计算方法(见 9.2.1、9.2.2)；
- e) 删除了精密度(见 2014 年版的第 9 章)。

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。

本文件由全国碳纤维标准化技术委员会(SAC/TC 572)提出并归口。

本文件起草单位：南京玻璃纤维研究设计院有限公司、吉林化纤集团有限责任公司、中国石化上海石油化工股份有限公司、威海市产品质量标准计量检验研究院、威海光威复合材料股份有限公司、吉林碳谷碳纤维股份有限公司。

本文件主要起草人：徐琪、王佳庆、王小娟、宋德武、苏瑞、时慧娴、伍三华、张洪池、康宜宇、曹进喜、张海鸥、余可沁、李骏光、杨宇龙。

本文件于 2014 年首次发布，本次为第一次修订。

碳纤维 单丝拉伸性能的测定

1 范围

本文件规定了碳纤维单丝拉伸性能的测试方法。

本文件适用于碳纤维的单根纤维。

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 1040.1 塑料 拉伸性能的测定 第1部分:总则

GB/T 3961 纤维增强塑料术语

GB/T 29762 碳纤维 纤维直径和横截面积的测定

GB/T 40724 碳纤维及其复合材料术语

3 术语和定义

GB/T 1040.1、GB/T 3961 和 GB/T 40724 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

系统柔量 system compliance

K

由加载系统和试样夹持系统引起的指示伸长部分。

3.2

试样衬 specimen mounting

用纸、金属或者塑料制成的带有狭槽的薄片,狭槽长度对应于试样的标距。

3.3

表观拉伸弹性模量 apparent tensile elastic modulus

未经修正的拉伸弹性模量。

4 原理

将单丝试样夹持在拉伸试验机上,匀速拉伸至试样破坏,记录载荷-伸长曲线。

根据载荷-伸长曲线和单丝的横截面积计算拉伸强度和拉伸弹性模量。

拉伸弹性模量以两个指定点的应力差除以对应的应变差计算得到,这两个点可以是两个应力水平(方法 A)或者两个应变水平(方法 B)。应变差按系统柔量修正,横截面积单独测定。

应力和应变可能是非线性关系,因此应定义弦模量。方法 A 和方法 B 由于定义的弦的位置不同,可能得出不同的结果。

5 试验条件

试验前,将试样在温度为 $(23\pm 2)^{\circ}\text{C}$,相对湿度为 $(50\pm 10)\%$ 的标准环境下放置至少 24 h。在同样环境下测试。

6 仪器设备和材料

6.1 拉伸试验机

十字头恒速位移,配有载荷-伸长记录装置。载荷指示的精度应高于测定值的 1%。记录十字头的位移,用以计算试样的伸长。应使用平板夹面。

注:由于碳纤维单丝拉伸断裂载荷较小,尽量避免接触载荷传感器,防止过载。

6.2 试样衬

由薄的纸片、柔性金属片或塑料片制成的带有狭槽的薄片,狭槽长度为 $(25\pm 0.5)\text{mm}$,如图 1 所示。薄片应尽可能薄,以减少夹具中试样偏轴,推荐厚度 0.1 mm。

单位为毫米

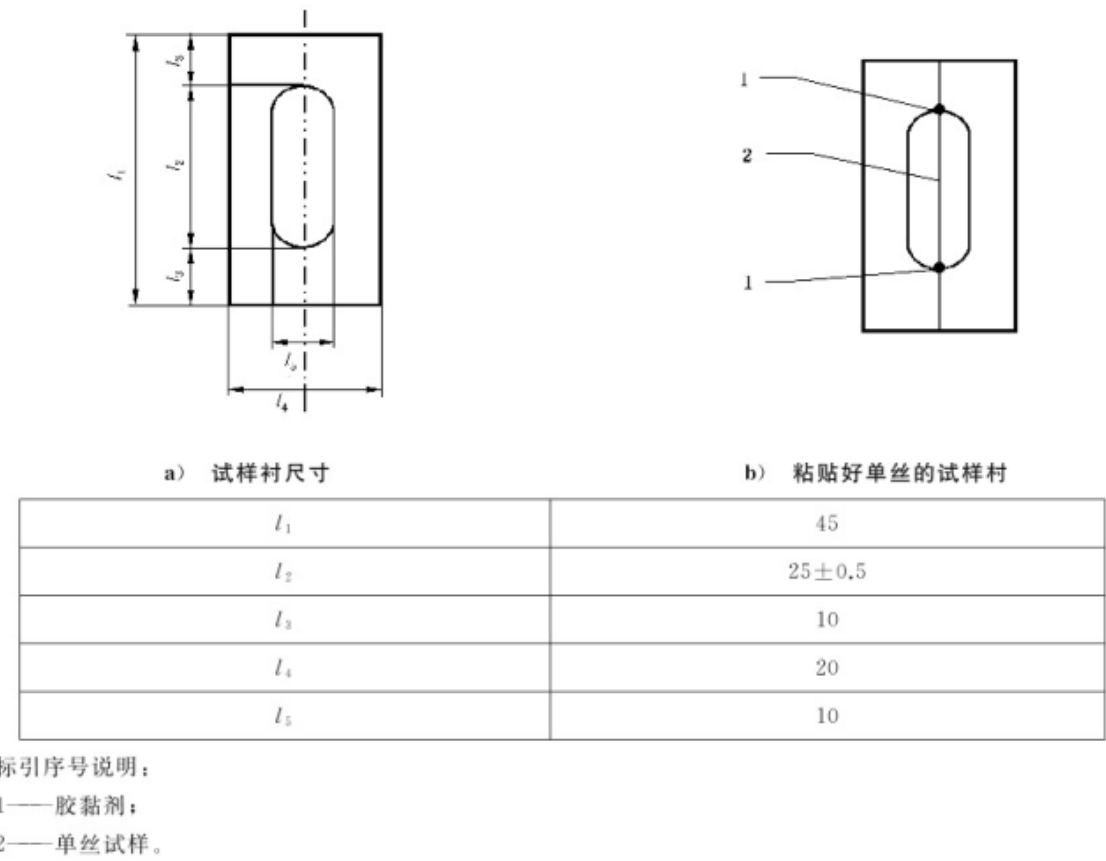


图 1 用于粘单纤维丝试样的试样衬

6.3 胶黏剂

任何能将单丝牢固粘在试样衬上的环氧树脂、松香或者封蜡。

6.4 胶带

能将单丝暂时固定在试样衬上(无特殊要求)。

7 样品

7.1 取样

从单位产品或实验室样品中截取一束约 10 cm 长的丝束,按纤维根数大致分成均匀的 4 份,每份取相同数量的单丝制备试样,至少保证 20 个有效的测试结果。若碳纤维单丝不易分散,可在碳纤维丝束一端用适量乙醇润湿以便于单丝取样。

7.2 截面积的测定

7.2.1 按照 GB/T 29762 规定的方法独立测量单丝的横截面积。当使用光学显微镜法或激光衍射法时,选取的单根纤维试样可以同时用于横截面积和拉伸性能的测试。

7.2.2 若单丝的横截面积差异较大,必要时测试拉伸性能前应先按照 GB/T 29762 规定的光学显微镜法或激光衍射法测量该试样的横截面积。

8 试验步骤

8.1 系统柔量

系统柔量(K)是由于加载系统和试样夹持系统引起的指示伸长部分(见 3.1),经系统柔量修正可以得到标距长度内试样的真实伸长。按照附录 A 的测试方法对系统柔量进行测定。

应对每个不同的拉伸试验机、夹持系统和试样衬的组合测定其系统柔量。用仪器测得的伸长减去柔量即得到标距长度内试样的真实伸长[见 9.2,式(3)和式(5)]。长期测试相同的组合可根据测试频率定期核查系统柔量。

8.2 拉伸性能测试

8.2.1 将单丝放在试样衬(见 6.2)狭槽的中间,拉直试样,暂时用胶带(见 6.4)将单丝的两端固定在试样衬两端,在试样衬两端的单丝上各滴一滴胶黏剂(见 6.3),使单丝与试样衬牢固地结合在一起。

注:如拉伸试验机能直接夹持单丝且测试过程中不打滑并对单丝不造成损伤,能够正常断裂,可不粘贴试样衬。

8.2.2 设定拉伸试验机(见 6.1)十字头移动速度,范围为 1 mm/min~5 mm/min。

8.2.3 夹紧试样衬时,应使单丝与加载轴线同轴。

8.2.4 加载前,剪断或烧断试样衬的两侧。如采用烧断的方法,单丝不应接触到火焰。

8.2.5 对试样施加预载荷。按表 1,通过预估模量和横截面积来确定预载荷范围。

表 1 最大预加载荷

%	
标称断裂应变 ϵ	最大预载荷对应应变
$\epsilon \geq 1.2$	0.02
$\epsilon < 1.2$	0.01
注:标称断裂应变(最大载荷时的伸长率)可由碳纤维的商业代号中的标称拉伸强度和标称拉伸弹性模量值来计算。	

8.2.6 启动试验机加载至单丝破坏,记录载荷-伸长曲线。

8.2.7 若单丝在夹具中破坏,则判为无效数据,应舍弃该试验结果,重新取样测试。

9 试验数据处理

9.1 拉伸强度

按式(1)计算每根单丝的拉伸强度 σ_f 。

$$\sigma_f = \frac{F_f}{A_f} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

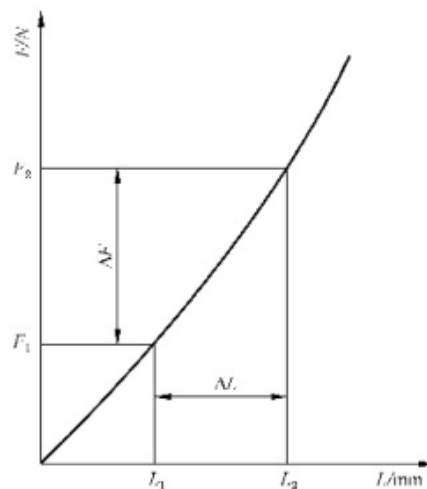
σ_f ——拉伸强度,单位为兆帕(MPa);

F_f ——最大拉伸载荷,单位为牛(N);

A_f ——单丝的横截面积(见 7.2),单位为平方毫米(mm^2)。

9.2 拉伸弹性模量

9.2.1 方法 A(见图 2)



标引符号说明:

L ——伸长;

F ——载荷;

ΔL ——弹性段的伸长增量;

ΔF ——弹性段的载荷增量。

图 2 拉伸试验载荷-伸长曲线

按式(2)计算表观拉伸弹性模量 E_A 。

$$E_A = \left(\frac{\Delta F_A}{A_f} \right) \left(\frac{L}{\Delta L_A} \right) \times 10^{-3} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

E_A ——表观拉伸弹性模量,单位为吉帕(GPa);

ΔF_A ——在 400 mN/tex~800 mN/tex 两点之间的载荷增量,单位为牛(N);

A_f ——单丝的横截面积(见 7.2),单位为平方毫米(mm^2);

L ——试样的标距长度,单位为毫米(mm);
 ΔL_A ——对应于 400 mN/tex~800 mN/tex 两点之间的伸长增量,单位为毫米(mm)。
按式(3)计算拉伸弹性模量 $E_{t,A}$ 。

$$E_{t,A} = \frac{E_A}{1 - K \left(\frac{\Delta F_A}{\Delta L_A} \right)} \dots\dots\dots (3)$$

式中:
 $E_{t,A}$ ——拉伸弹性模量,单位为吉帕(GPa);
 E_A ——表观拉伸弹性模量,单位为吉帕(GPa);
 ΔF_A ——在 400 mN/tex~800 mN/tex 两点之间的载荷增量,单位为牛(N);
 ΔL_A ——对应于 400 mN/tex~800 mN/tex 两点之间的伸长增量,单位为毫米(mm);
 K ——系统柔量,单位为毫米每牛(mm/N),计算方法见附录 A。

9.2.2 方法 B(见图 2)

按式(4)计算表观拉伸弹性模量 E_B 。

$$E_B = \left(\frac{\Delta F_B}{A_f} \right) \left(\frac{L}{\Delta L_B} \right) \times 10^{-3} \dots\dots\dots (4)$$

式中:
 E_B ——表观拉伸弹性模量,单位为吉帕(GPa);
 ΔF_B ——对应于表 2 中标称断裂应变给出的应变范围内的载荷增量,单位为牛(N);
 A_f ——单丝的横截面积(见 7.2),单位为平方毫米(mm²);
 L ——试样的标距长度,单位为毫米(mm);
 ΔL_B ——按表 2 中标称断裂应变给出的应变范围内的伸长增量,单位为毫米(mm)。
按式(5)计算拉伸弹性模量 $E_{t,B}$ 。

$$E_{t,B} = \frac{E_B}{1 - K \left(\frac{\Delta F_B}{\Delta L_B} \right)} \dots\dots\dots (5)$$

式中:
 $E_{t,B}$ ——拉伸弹性模量,单位为吉帕(GPa);
 E_B ——表观拉伸弹性模量,单位为吉帕(GPa);
 K ——系统柔量,单位为毫米每牛(mm/N);
 ΔF_B ——对应于表 2 中标称断裂应变给出的应变范围内的载荷增量,单位为牛(N);
 ΔL_B ——按表 2 中标称断裂应变给出的应变范围内的伸长增量,单位为毫米(mm)。

表 2 应变范围的选择

%

标称断裂应变 ϵ	应变范围
$\epsilon \geq 1.2$	0.1~0.6
$0.6 \leq \epsilon < 1.2$	0.1~0.3
$0.3 \leq \epsilon < 0.6$	0.05~0.15

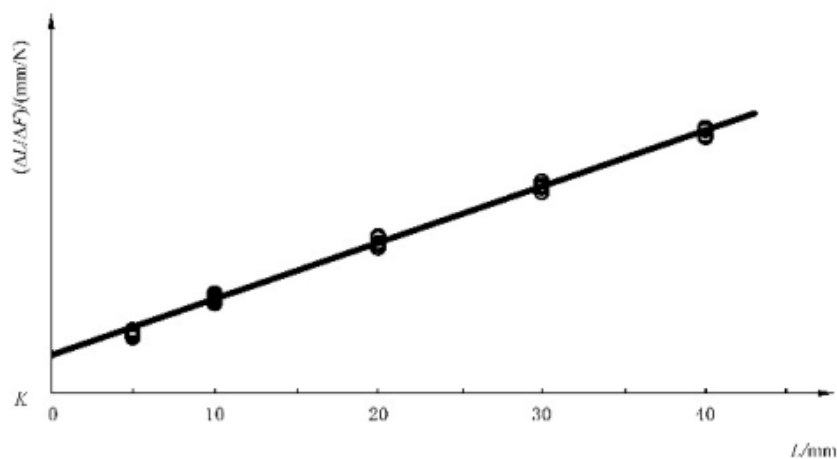
10 试验报告

试验报告应包括以下内容:

- a) 本文件编号；
- b) 识别所测样品的必要详情；
- c) 单丝的横截面积及测定方法；
- d) 所用的胶黏剂和试样衬；
- e) 拉伸试验时十字头的移动速度；
- f) 系统柔量(K)，包括测定时间、 $(\Delta L/\Delta F)$ - L 曲线和测定值；
- g) 试样数量，包括舍弃的试样数；
- h) 拉伸强度、表观拉伸弹性模量和拉伸弹性模量的单值、平均值和变异系数；
- i) 计算拉伸弹性模量的方法，即方法 A 或方法 B；
- j) 试验日期；
- k) 试验环境条件；
- l) 可能影响结果的任何偏离。

附录 A
(规范性)
系统柔量的测定

- A.1 准备不同狭槽长度的试样衬,以制备不同标距长度的试样,这些试样衬应由相同材料制成。狭槽的长度分别是 5 mm、10 mm、20 mm、30 mm 和 40 mm。每种狭槽长度至少准备 5 个,且狭槽长度的偏差应小于±0.5 mm。
- A.2 将单丝粘贴到试样衬上,应确保试样的标距长度偏差小于±0.5 mm,按 8.2 测定每个试样的载荷-伸长曲线。
- A.3 按以下步骤获得系统柔量:
- a) 从载荷-伸长曲线上读出 ΔF 和 ΔL (见图 2);
 - b) 按图 A.1 所示,以 $\Delta L/\Delta F$ 为纵坐标,试样的标距长度 L 为横坐标,绘制 $(\Delta L/\Delta F)$ - L 曲线;
 - c) 系统柔量(K)是将直线外延至标距长度为零时的纵坐标值(即纵坐标轴上的截距),单位为毫米每牛(mm/N)。



标引符号说明:

$\Delta L/\Delta F$ ——弹性段的伸长增量/载荷增量;

L ——标距长度。

图 A.1 系统柔量的测定