

ICS 83.120

CCS Q 23



# 团体标准

T/CSTM 00485—2022

纤维增强聚合物基复合材料层合板

弯曲性能试验方法

Test method for flexural properties of fiber reinforced  
polymer matrix composite laminates

2022-06-30 发布

2022-09-30 实施

中关村材料试验技术联盟

发布

全国标准信息公共服务平台  
CSTM标准发布使用

## 前 言

本文件参照 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有可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由中国材料与试验团体标准委员会航空材料领域委员会（CSTM/FC53）提出。

本文件由中国材料与试验团体标准委员会航空材料领域委员会（CSTM/FC53）归口。

全 国 标 准 发 布 使 用 网  
CSTM 标准发布使用

全国标准信息公共服务平台  
CSTM标准发布使用

# 纤维增强聚合物基复合材料层合板弯曲性能试验方法

## 1 范围

本文件规定了纤维增强聚合物基复合材料层合板弯曲性能试验的试验设备、试样、试验条件、试验步骤、试验结果计算和试验报告等。

本文件适用于纤维增强聚合物基复合材料层合板弯曲性能的测定。

## 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 3961 纤维增强塑料术语

## 3 术语和定义

GB/T 3961 界定的术语和定义适用于本文件。

## 4 方法概述

在试验机上对矩形均衡对称薄层合板试样采用三点弯曲方式进行加载，在试样中央或中间部位形成弯曲应力分布场，引发试样弯曲破坏，测试试样弯曲性能。

## 5 试验设备

### 5.1 试验机与测试仪器

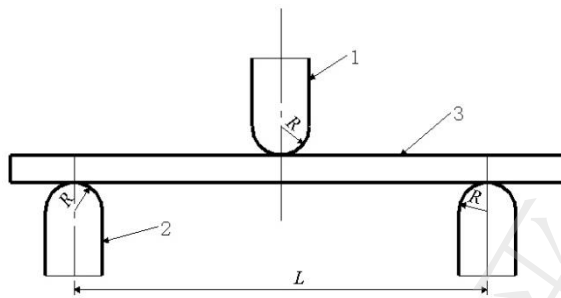
试验机和测试仪器应符合 GB/T 1446 的规定。

### 5.2 环境箱

环境箱的温度控制在所规定温度的 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 范围内，温度均匀度 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ ，经计量检定合格，并在有效期内。

### 5.3 试验加载装置

试验加载装置示意图如图 1 所示，加载头和支座均采用半径  $R$  为 5.0 mm 的圆柱体，硬度满足(40~45) HRC；表面应精细打磨，不应有凹痕和毛刺，并应去除所有锐边。



标引序号说明:

- 1——加载头;
- 2——支座;
- 3——试样;
- $L$ ——跨距;
- $R$ ——压头、支座。

图1 弯曲试验加载装置示意图

## 6 试样

### 6.1 试样形状和尺寸

试样采用直条形试样,试样的形状如图2所示。标准试样宽度一般为13mm,对于织物增强的纺织复合材料,试样的宽度至少应包括两个单胞。试样的厚度一般大于2mm,推荐标准试样的厚度一般为4mm,在材料研制和出入厂复验中,也可以采用不同厚度的试样进行试验。试样的长度与试验中确定的试验跨距 $L$ 有关,试验用跨距 $L$ 通常采用跨距 $L$ 与试样厚度 $h$ 的比值即跨厚比( $L/h$ )确定,试样的长度大约比跨距超出20%,推荐的试验跨厚比及试样长度见表1。

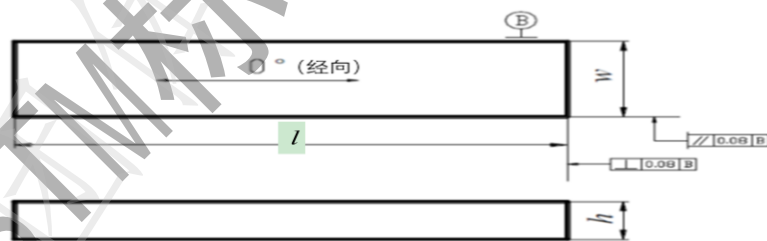


图2 试样形状

表1 推荐试验跨厚比及试样长度

材料类型	跨厚比 ( $L/h$ )	长度 $l$ mm
T300级碳纤维增强复合材料	32: 1	$40h$
T700级碳纤维增强复合材料	32: 1	$40h$
T800级碳纤维 $0^\circ$ 单向纤维增强复合材料	60: 1	$72h$
T800级碳纤维织物增强复合材料	32: 1	$40h$
玻璃纤维增强复合材料	16: 1	$20h$
芳纶纤维增强复合材料	16: 1	$20h$

### 6.2 试样制备

试样制备应符合GB/T 1446的规定。

### 6.3 试样数量

每组至少5个有效试样。

## 7 试验条件

### 7.1 试验环境条件

#### 7.1.1 实验室标准环境条件

温度： $(23\pm 2)$ ℃；相对湿度： $(50\pm 10)$ %。

#### 7.1.2 非实验室标准环境条件

##### 7.1.2.1 高温试验

首先将环境箱和试验夹具预热到规定的温度，在试验过程中，每一根试样单独进入环境箱开展试验，采用热电偶监控试样工作段表面的温度。对于干态试样，当试样达到试验温度后，保温（5~10）min开始试验；对于湿态试样，在试样达到试验温度后，保温（2~3）min开始试验。试验中试样温度保持在规定的试验温度的 $\pm 3$ ℃范围内。

##### 7.1.2.2 低温（低于零度）试验

首先将环境箱和试验夹具预热到规定的温度，在试验过程中，每一根试样单独进入环境箱开展试验，采用热电偶监控试样工作段表面的温度。对于干态试样，当试样达到试验温度后，保温（5~10）min开始试验，试验中试样温度保持在规定的试验温度的 $\pm 3$ ℃范围内。

### 7.2 试样状态调节

#### 7.2.1 干态试样状态调节

试验前，试样在实验室标准环境条件至少放置24h。

#### 7.2.2 湿态试样状态调节

7.2.2.1 试验前，应在规定的温度和湿度条件下使试样达规定的吸湿状态。一般推荐的吸湿方式为：在 $(71\pm 5)$ ℃去离子水中浸泡 $(336\pm 6)$ h，采用其他吸湿方式应在报告中注明。

7.2.2.2 湿态试样状态调节结束后，应将试样用湿布（纱布或脱脂棉）包裹放入密封袋内，直至进行力学试验，试样在密封袋内的储存时间应不超过14d。

## 8 试验步骤

### 8.1 试验前准备

8.1.1 按GB/T 1446的规定进行试样外观检查，对每个试样编号。

8.1.2 按6.2的规定对试样进行状态调节。

8.1.3 在状态调节后，测量并记录试样中心区内3个不同截面的宽度 $w$ 和厚度 $h$ ，分别取平均值，精度为0.01mm。

## 8.2 试验

8.2.1 根据材料种类按表 1 推荐确定跨厚比，计算并调整跨距，也可以选择不同跨厚比，但应在试验报告中注明。加载头和支座的尺寸应能覆盖试样的宽度，且应至少超过试样宽度 2.0mm。试样在夹具上的放置位置如图 3 所示。对跨距小于 63mm 的试验，测量跨距精确到 0.1mm，对跨距等于或大于 63mm 的试验，测量跨距精确到±0.3mm。

8.2.2 将试样放入试验夹具中，试样贴模面与支座接触，对于 T800 级碳纤维 0° 单向纤维增强复合材料在试样和压头之间应增加柔性衬垫，推荐采用 P120 砂纸（砂粒面向上）或 2 层打印纸。将试样相对加载线对称放置，使其长轴与加载头和支座垂直。

8.2.3 在试样中点下方安装挠度计并与试样接触，挠度计相对于试样支座应没有相对位移。对于大跨距试样也可采用经过标定的试验机的横梁位移测量试样弯曲挠度。

8.2.4 试验速率可按 5mm/min 进行，也可按公式（1）确定试验速率：

$$R = \frac{ZL^2}{6h} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$R$ ——横梁的移动速率，单位为毫米每分钟（mm/min）；

$Z$ ——外层纤维的应变率，等于 0.01，单位为毫米每毫米每分钟（mm/mm/min）

$L$ ——跨距，单位为毫米（mm）；

$h$ ——试样厚度，单位为毫米（mm）。

8.2.5 按规定的加载速率对试样连续加载，直到达到最大载荷，且载荷从最大载荷下降 30% 停止试验。连续测量并记录载荷-挠度数据。

8.2.6 记录试样的破坏模式和破坏区域，可能出现的破坏模式如图 4 所示，图 4a)、图 4b) 和图 4c) 分别为试样下表面拉伸破坏、上表面压缩破坏和中间区破坏，为有效的弯曲破坏模式。试样上表面出现局部碎裂或凹坑、外表面破坏之前出现层间分层、试样不破坏仅出现大的塑性变形，均为无效的失效模式，弯曲强度数据无效，如图 4c) 和图 4d) 所示。

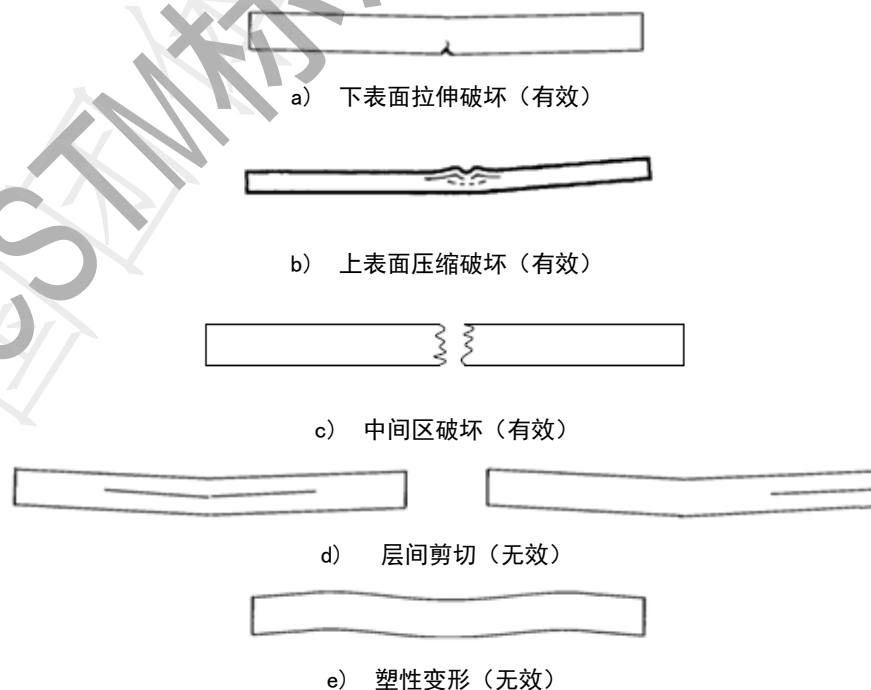


图3 弯曲试验可能出现的破坏模式

## 9 试验结果计算

### 9.1 弯曲强度

弯曲强度按公式 (2) 计算, 结果保留三位有效数字。

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2wh^2} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$\sigma_f$ ——弯曲强度, 单位为兆帕 (MPa);

$P$ ——最大载荷, 单位为牛顿 (N)。

### 9.2 弯曲应变

弯曲应变按公式 (3) 计算, 结果保留三位有效数字。

$$\varepsilon_f = \frac{6\delta h}{L^2} \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$\varepsilon_f$ ——加载点处试样下表面弯曲应变, 单位为毫米每毫米 (mm/mm);

$\delta$ ——试样挠度, 单位为毫米 (mm)。

### 9.3 弯曲模量

9.3.1 试验过程中或试验结束后根据公式 (2) 和公式 (3) 将连续记录的载荷-挠度数据转换成连续的弯曲应力-弯曲应变数据, 并绘制弯曲应力-弯曲应变曲线。

9.3.2 弯曲模量按公式 (4) 计算, 推荐线性范围应变起点为  $1000\mu\varepsilon$  (0.1%), 终点为  $3000\mu\varepsilon$  (0.3%)。若实测数据显示推荐范围发生了线性偏离, 应调整范围使其保持良好线性后再行计算。

$$E_f = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$E_f$ ——弯曲模量, 单位为兆帕 (MPa);

$\Delta\sigma$ ——与  $\Delta\varepsilon$  对应的应力差, 单位为兆帕 (MPa);

$\Delta\varepsilon$ ——线性范围内推荐的两个应变点对应的应变差。

### 9.4 统计

对于每一组试验, 按GB/T 1446的规定计算每一种测量性能的平均值、标准差和离散系数。

## 10 试验报告

试验报告一般包括下列内容:

- a) 本文件编号;
- b) 材料名称、牌号;
- c) 试样编号、尺寸及数量;
- d) 试验设备及仪器的型号、规格及计量情况;
- e) 试验环境温度、试样状态调节参数及结果;
- f) 与本文件的不同之处;
- g) 试验时出现的异常情况;

- h) 试验结果, 包括:
  - 1) 每个试样的最大载荷值;
  - 2) 每个试样的弯曲强度、弯曲模量及样本的算术平均值、标准差和离散系数;
  - 3) 每个试样的失效模式。
- i) 试验人员、试验日期等。

## 附录 A

(资料性)

本文件负责起草单位：中国航发北京航空材料研究院。

本文件参与起草单位：中国航空制造技术研究院、中国直升机设计研究所

本文件主要起草人：王海鹏、陈新文、钟翔屿、何志平、邓立伟、马丽婷、王雅娜、王翔、杨洋。

全 国 标 准 发 布 使 用

### 参 考 文 献

- [1] GB/T 3356-2014 定向纤维增强聚合物基复合材料弯曲性能试验方法；
- [2] GB/T 1449-2005 纤维增强塑料弯曲性能试验方法；
- [3] ASTM D 790-2017 Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials ;
- [4] ASTM D 7264-2017 Standard Test Method for Flexural Properties of Polymer Matrix Composite Materials;
- [5] DOT/FAA/AR-00/47 Material qualification and equivalency for polymer matrix composite material systems。
-