

# 团体标准

T/CSTM 00287-2020

---

## 纤维增强聚合物基复合材料单向层合板平行纤维方向压缩性能试验方法

Test method for parallel fiber direction compression properties of unidirectional fiber reinforced polymer matrix composite laminates

2020-06-19 发布

2020-09-19 实施

---

中关村材料试验技术联盟

发布

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

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。

本标准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。

本标准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 公 布 使 用

# 纤维增强聚合物基复合材料单向层合板 平行纤维方向压缩性能试验方法

## 1 范围

本标准规定了纤维增强聚合物基复合材料单向层合板平行纤维方向压缩性能试验的试验装置、试样、试验环境条件、试验步骤、有效性判定、试验结果及计算和试验报告。

本标准适用于室温条件下高强连续纤维增强聚合物基复合材料单向层合板平行纤维方向的压缩强度和压缩弹性模量测试。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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

## 3 方法概述

将横截面为矩形的正交铺层试样安装到试验夹具中，通过压盘和夹具对试样施加压缩载荷，采集压缩试验过程中的载荷，计算得到正交铺层材料的压缩强度。再通过折算系数计算得到单向复合材料平行纤维方向（0° 方向）的压缩强度。将横截面为矩形的单向铺层试样安装到试验夹具中，通过压盘和夹具对试样施加压缩载荷，采集压缩试验过程中应力-应变曲线的线性段数据，计算得到单向复合材料平行纤维方向（0° 方向）的压缩弹性模量。

## 4 试验装置

### 4.1 材料试验机

材料试验机应符合GB/T 1446的规定。

### 4.2 扭力扳手

扭力扳手应计量合格，扭矩可调，推荐扭矩范围为 $1\text{N}\cdot\text{m}\sim 10\text{N}\cdot\text{m}$ 。

### 4.3 压缩夹具

推荐压缩夹具如图1所示。

### 4.4 游标卡尺和千分尺

游标卡尺精度0.01mm，千分尺精度0.001mm，定期计量并在有效期内使用。

单位为毫米

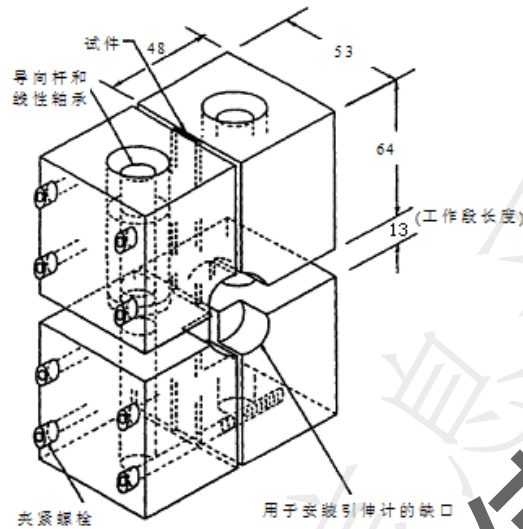


图1 压缩夹具示意图

## 5 试样

### 5.1 试样形状和尺寸

推荐压缩强度试样长度为 $140\text{mm} \pm 0.3\text{mm}$ 、宽度为 $13\text{mm}$ ，厚度约为 $2.5\text{mm}$ ，工作段长度为 $13\text{mm}$ ，试样形状和尺寸如图2所示，加强片应为 $[0/90]$ 铺层（织物或单向带）的复合材料，推荐厚度为 $1\text{mm} \sim 2\text{mm}$ ；推荐压缩模量试样长度为 $140\text{mm} \pm 0.3\text{mm}$ 、宽度为 $13\text{mm}$ ，厚度约为 $2.5\text{mm}$ ，不粘贴加强片，试样形状和尺寸如图3所示。

单位为毫米

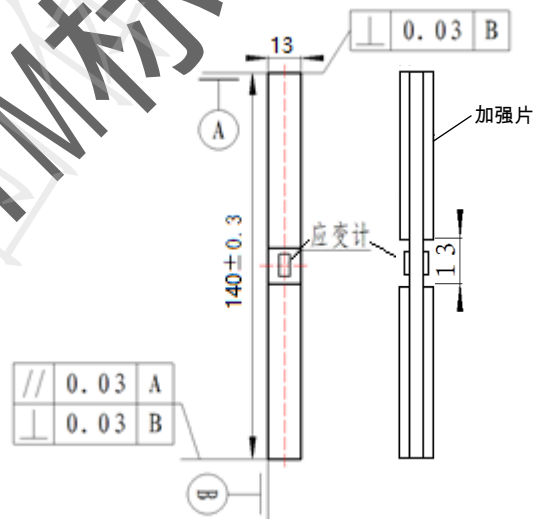


图2 压缩强度试样形状和尺寸

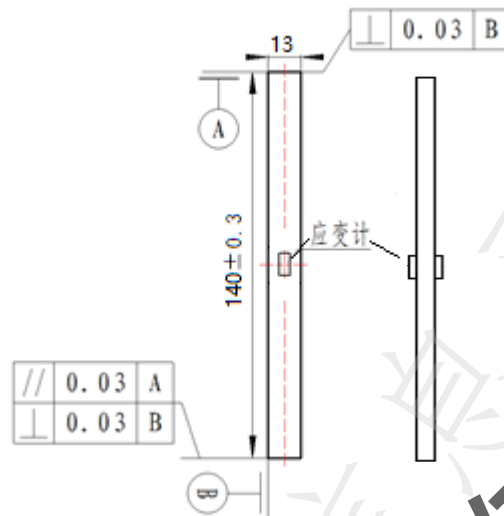


图3 压缩模量试样形状和尺寸

## 5.2 试样制备

5.2.1 试样铺层：测试压缩强度试样为 $[90/0]_{ns}$ ，测试压缩弹性模量试样为 $[0]_{ns}$ 。取样区域距板材边缘应不小于10mm，若取样区有分层、空隙、褶皱、错误铺层等缺陷，则应避免。

5.2.2 试样的具体制备方法参照 GB/T 1446。

## 5.3 试样数量

每组试验有效试样数量至少5个。

## 6 试验环境条件

试验标准环境条件应符合 GB/T 1446 的规定。若采用其他试验条件应在报告中注明。

## 7 试验步骤

7.1 试验前检查试样外观，若有缺陷或不符合尺寸及制备要求的，应报废。

7.2 按 GB/T 1446 规定对试样进行状态调节。

7.3 将试样编号，并测量任意三点的宽度和厚度，取其平均值，宽度采用游标卡尺进行测量，厚度采用千分尺进行测量。

7.4 根据试验环境选择合适的应变片，沿加载方向对试样背对背对称粘贴应变片。

7.5 安装试样，保证试样端面与夹具端面处于同一平面。在拧紧螺钉时，扭矩大小推荐为  $3.0\text{N}\cdot\text{m}$ ，以相同的力矩增量分3次或4次按对角线方向先后拧紧螺钉。

7.6 将安装好试样的夹具放置于对中良好且固定的平台之间。

7.7 对试样进行加载，推荐加载速度为  $1.3\text{mm}/\text{min}$ 。

7.8 在应变为  $1000\mu\epsilon\sim 3000\mu\epsilon$  之间中点  $2000\mu\epsilon$  处监测试样的弯曲百分比，弯曲百分比按照公式（1）计算。若在应力应变曲线线性范围内发现弯曲百分比超过10%，应停止试验调整夹具和试样重新试验，以确保线性范围内弯曲百分比低于10%。

$$B_y = \frac{\varepsilon_f - \varepsilon_b}{\varepsilon_f + \varepsilon_b} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$B_y$ ——弯曲百分比，%；

$\varepsilon_f$ 、 $\varepsilon_b$ ——分别为试样两个面上应变计的应变指示值。

7.9 以恒定的速率对试样施加压缩载荷直至试样破坏。与此同时记录载荷、位移、应变、弯曲百分比等数据，推荐采样速率至少每秒 2~3 个数据。

7.10 观察并记录试样破坏模式。

## 8 有效性判定

### 8.1 有效试验

仅在工作段破坏；损伤起始在试样端头或夹持部位，然后停止，最终在工作段破坏。典型的有效试验试样失效模式如图4a)所示。

### 8.2 无效试验

典型的无效试验试样失效模式如图4b)所示。试样在非工作段破坏的试验结果无效。

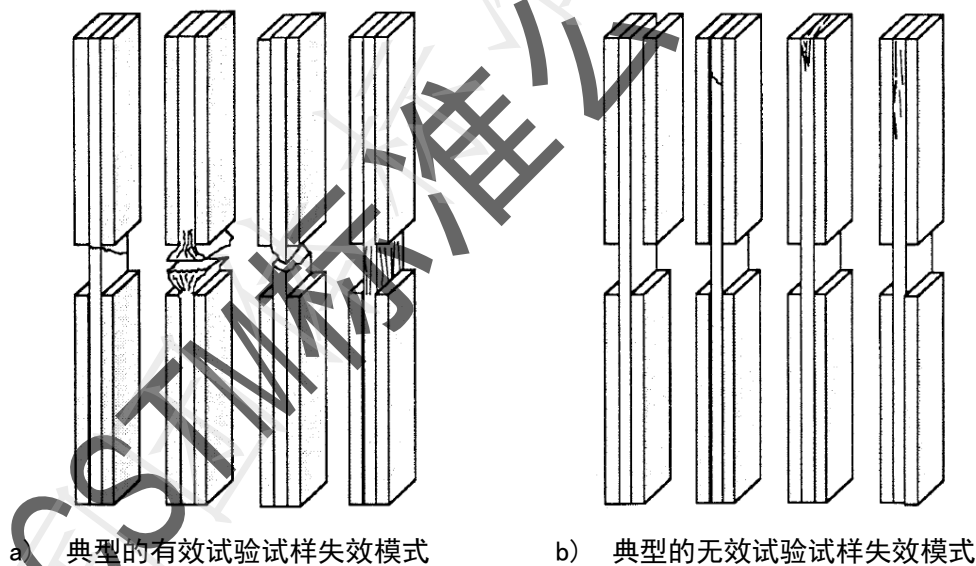


图4 典型失效模式示意图

## 9 试验结果及计算

### 9.1 正交层合板压缩强度

正交层合板压缩强度按公式 (2) 计算，结果保留三位有效数字。

$$\sigma_c^c = \frac{P_c}{wh} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- $\sigma_c^c$  ——正交铺层试样压缩强度，单位为兆帕（MPa）；  
 $P_c$  ——最大压缩载荷，单位为牛顿（N）；  
 $w$  ——试样工作段的宽度，单位为毫米（mm）；  
 $h$  ——试样工作段的厚度，单位为毫米（mm）。

## 9.2 折算系数

折算系数为把正交层压板压缩强度变换为单向板平行纤维方向压缩强度的计算系数，按公式（3）计算，结果保留三位有效数字。

$$k = \frac{2E_{11}}{E_{11} + E_{22}} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- $k$  —— 折算系数；  
 $E_{11}$  —— 单向板平行纤维方向的压缩弹性模量，单位为吉帕（GPa）；  
 $E_{22}$  —— 单向板垂直纤维方向的压缩弹性模量，单位为吉帕（GPa）。  
 单向板平行纤维方向的压缩弹性模量和垂直纤维方向的压缩弹性模量可参照其他试验方法获得。

## 9.3 单向板平行纤维方向压缩强度

按公式（4）计算单向板平行纤维方向压缩强度，结果保留三位有效数字。

$$\sigma_c^{u0} = k \cdot \sigma_c^c \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- $\sigma_c^{u0}$  —— 单向板平行纤维方向压缩强度，单位为兆帕（MPa）。

## 9.4 单向板平行纤维方向压缩弹性模量

单向板平行纤维方向压缩弹性模量根据应力-平均应变（正反面两个应变的平均值）曲线线性段确定，推荐线性段应变范围：1000 $\mu\epsilon$ ~3000 $\mu\epsilon$ ，按公式（5）计算单向板平行纤维方向的压缩弹性模量，结果保留三位有效数字。

$$E_c^{u0} = \frac{P_2 - P_1}{(\epsilon_2 - \epsilon_1)wh} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- $E_c^{u0}$  —— 单向板平行纤维方向的压缩弹性模量，单位为吉帕（GPa）；  
 $\epsilon_2$  —— 线性段范围应变上限值，推荐 3000 $\mu\epsilon$ ，单位为毫米/毫米（mm/mm）；  
 $\epsilon_1$  —— 线性段范围应变下限值，推荐 1000 $\mu\epsilon$ ，单位为毫米/毫米（mm/mm）；  
 $P_2$  —— 平均应变为  $\epsilon_2$  时对应的载荷，单位为牛顿（N）；  
 $P_1$  —— 平均应变为  $\epsilon_1$  时对应的载荷，单位为牛顿（N）。

## 9.5 试验结果统计

按GB/T 1446规定计算每组试样压缩强度的平均值、标准差和离散系数。

## 10 试验报告

试验报告一般包括以下内容：

- a) 本标准编号；
- b) 试样来源及制备情况，材料规格和牌号；
- c) 铺层顺序；
- d) 试样尺寸和状态调节；
- e) 加载速度；
- f) 试验环境温度和相对湿度；
- g) 试验结果，包括单个值、平均值、标准差和离散系数；
- h) 破坏模式和位置的描述；
- i) 试验日期、地点、试验设备及试验人员。

附 录 A  
(资料性附录)

本标准负责起草单位：中国航发北京航空材料研究院。

本标准参与起草单位：中国航空制造技术研究院、中国第一飞机设计研究院、中国航发商用航空发动机有限责任公司、沈阳飞机工业（集团）有限公司。

本标准主要起草人：陈新文、王海鹏、包建文、杨 利、邓立伟、马丽婷、杨国腾、王雅娜、杨 洋、王 翔。

—————

国家标准公告使用