

聚合物基复合材料拉伸性能 数字图像相关试验方法

Digital image correlation test method for tensile properties
of polymer matrix composites

2020-12-04 发布

2021-12-11 实施

目 次

前 言.....	II
引 言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语与定义.....	1
4 试验原理.....	3
5 试验设备.....	3
6 试样.....	4
7 试验条件.....	4
8 试验步骤.....	4
9 数据分析.....	6
10 拉伸强度计算.....	6
11 不确定度.....	7
12 试验报告.....	7
附录 A（资料性） 相机分辨率和测量精度关系.....	9

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》的规则起草。

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。

本文件由浙江省计量测试学会归口。

本文件的主要起草单位：浙江清华柔性电子技术研究院、东南大学、南京航空航天大学、中山大学、浙江大学、中国计量大学。

本文件主要起草人：何小元、马少鹏、刘逸平、徐向阳、陈振宁、王峰、郑跃、曲绍兴、周浩淼、茅海军、张潇悦、马珏、杨鑫淼。

本文件为首次发布。

引 言

本文件的发布机构提请注意，声明符合本文件时，可以使用涉及 6 和有关 ZL 201610615850.1 《实验散斑场的优化制备方法》相关专利。

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构承诺，他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下，就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下联系方式获得：

专利持有人姓名：何小元、陈振宁

地址：江苏省南京市四牌楼2号

请注意除上述专利外，本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

聚合物基复合材料拉伸性能数字图像相关试验方法

1 范围

本文件规定了采用数字图像相关方法测量聚合物基航空复合材料拉伸性能的试验设备、试样、试验条件、试验步骤、数字图像相关计算过程和试验报告等。

本文件适用于常温下采用数字图像相关方法测量聚合物基航空复合材料的拉伸性能。

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 3354 定向纤维增强聚合物基复合材料拉伸性能试验方法

GB/T 27418 测量不确定度评定和表示

3 术语与定义

GB/T 3354 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

相机分辨率 camera resolution

相机传感器包含的像素总数。

3.2

光学分辨率 optical resolution

成像系统对被成像物体细节进行分辨的能力。

3.3

帧率 frame rate

相机每秒采集的图像帧数。

3.4

立体角 stereo angle

两个相机系统光轴之间的夹角。

3.5

视场 field of view

通过镜头投射到成像元件上的物方空间区域。

3.6

图像灰度 gray level

图像采集系统记录的图像强度。

3.7

数字图像相关 digital image correlation

一种基于数字图像匹配的全场变形测量技术。

3.8

标定 calibration

标定数字图像相关双相机系统内外参的过程。

3.9

标定得分 calibration score

标定数字图像相关系统时光束平差优化过程的残差。

3.10

散斑 speckle pattern

试件表面随机分布的黑色圆形特征点。

3.11

散斑粒径 diameter of speckle

散斑图中斑点的直径。

3.12

散斑随机度 random of speckle pattern

散斑图中斑点位置的随机度。

3.13

散斑占空比 rate of speckle pattern

散斑图中斑点和空白区域面积比值。

3.14

匹配准则 match criterion

用于衡量图像子区相关度的数学公式。

3.15

插值函数 interpolation function

用于计算亚像素灰度的函数。

3.16

感兴趣区域 area of interest

用于分析的试样表面区域。

3.17

步长 step size

计算子区位移的像素网格点的间距。

3.18

子区 subset

用于数字图像相关匹配的局部图像单元。

3.19

子区形函数 subset shape function

描述子区内位移场的函数。

3.20

本底噪声 noise floor

静态时测出的应变的标准差。

4 试验原理

对薄板长直条试样，通过夹持端夹持，以摩擦力加载，在试样工作段形成均匀拉力场，通过相机追踪试样表面的散斑图案，得到试样表面位移分布，测试材料拉伸性能。

5 试验设备

5.1 试验机

试验机应符合 GB/T 3354 的规定。

5.2 测试设备

5.2.1 数码相机

数码相机应采用单色工业相机，相机分辨率应不小于2048 pixels×2048 pixels，图像位数应不小于8位。相机分辨率与测量精度关系应符合附录A。

5.2.2 镜头

镜头应满足以下要求：

- 镜头应适配相机芯片；
- 镜头光学分辨率不低于相机分辨率；
- 镜头前应加上与光源适配的带通滤光片；
- 应采用焦距为 50 mm 定焦镜头；
- 光圈环和对焦环应有锁紧装置。

5.2.3 固定系统

相机固定系统应有锁紧装置，且在试验过程中保持稳定。

5.2.4 立体角

相机立体角应设置在 $35^\circ \pm 5^\circ$ 。

5.2.5 光源

光源应采用波长为450nm~480nm的均匀蓝色LED光源。

6 试样

6.1 散斑样式

散斑粒径为 4 ± 1 像素。试样表面采用的散斑样式见图1。该样式随机度为0.3，占空比为0.5。

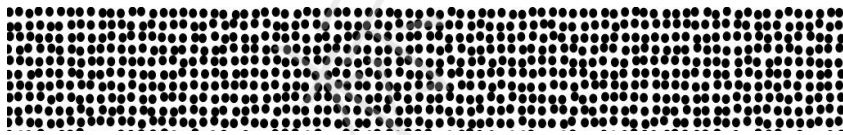


图 1 散斑样式图

6.2 散斑制作方法

试样表面散斑宜用UV平板打印机打印（打印分辨率应不小于300 dpi）。先打印胶层，再打印白底，最后打印散斑点。

注：其他能够将该样式散斑印制到试件表面，且能保证分辨率的散斑制作方法也可以用于散斑制作，例如水转印等。

7 试验条件

试验条件应符合 GB/T 1446 规定。

8 试验步骤

试验步骤应符合 GB/T 3354 规定。

8.1 清洁

试验前应清洁镜头、成像元件和标定板，镜头上不应有污垢、灰尘或其他异物。

8.2 相机架设

感兴趣区域应在两个相机图像中部, 见图2。

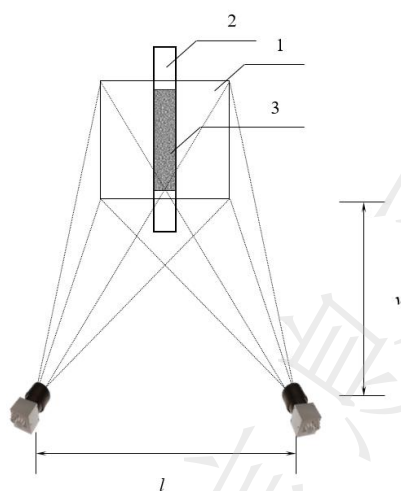


图2 相机架设示意图

标引序号说明:

1——图像视场范围;

2——加强片;

3——感兴趣区域。

注: l : 相机间距; v : 物距。

针对50 mm镜头以及传感器尺寸为11.264 mm×11.264 mm的相机, 相机间距和物距应符合表1。

表1 相机架设几何尺寸

单位为毫米

参数	几何尺寸
l (相机间距)	576 ± 20
v (物距)	959 ± 20

8.3 相机对焦

应保证感兴趣区域在两相机中全部清晰。

8.4 帧率

应设置相机帧率不低于10 Hz。

8.5 光圈

两个相机的光圈大小应相同, 应设置在 $f/5.6 \sim f/11$ 。

8.6 曝光时间

曝光时间应设置不大于10 ms, 并调节光照强度使感兴趣区域平均图像灰度为 130 ± 10 。

8.7 预热

将相机设定到采集帧率，预热时间不小于两小时，使相机处于稳定的工作温度。

8.8 标定

标定图应不少于20组。

8.9 标定板

应采用内角点个数为 11×8 、网格边长为7 mm的棋盘标定板。

8.10 标定得分

标定得分应小于0.1。

8.11 采集本底噪声

应不少于100组静态图像，计算本底噪声。

9 数据分析

9.1 感兴趣区域

感兴趣区域应包含整个试件拉伸段，并符合图2的规定。

9.2 子区形函数

应选用一阶形函数。

9.3 子区大小

子区应大于11像素 \times 11像素。

9.4 步长

宜设置在4~10像素。

9.5 相关准则

应采用归一化最小平方距离相关准则（ZNSSD）。

9.6 阈值

匹配准则阈值应设为0.8；极线阈值应设为0.5像素。

9.7 插值方法

应采用双三次样条插值函数。

9.8 应变计算

应采用工程应变。

10 拉伸强度计算

应符合GB/T 3354 规定。

10.1 拉伸弹性模量

90° 试样拉伸弹性模量在0.0005~0.0015的纵向应变范围内按式（1）计算，其他试样拉伸弹性模量在0.001~0.003的纵向应变范围内按式（1）计算，结果保留3位有效数字：

$$E_t = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon_{yy}} \dots\dots\dots (1)$$

$$\Delta\sigma = \frac{\Delta P}{wh} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

E_t ——拉伸弹性模量，单位为兆帕（MPa）；

$\Delta\sigma$ ——拉伸应力增量，单位为兆帕（MPa）；

$\Delta\varepsilon_{yy}$ ——感兴趣区域纵向平均应变增量，单位为毫米每毫米（mm/mm）；

ΔP ——荷载增量，单位为牛顿（N）。

10.2 泊松比

泊松比在与拉伸弹性模量相同的应变范围内按式（3）计算，结果保留3位有效数字：

$$\mu_{12} = \left| \frac{\Delta\varepsilon_{xx}}{\Delta\varepsilon_{yy}} \right| \dots\dots\dots (3)$$

式中：

μ_{12} ——泊松比；

$\Delta\varepsilon_{yy}$ ——感兴趣区域纵向平均应变增量，单位为毫米每毫米（mm/mm）；

$\Delta\varepsilon_{xx}$ ——感兴趣区域横向平均应变增量，单位为毫米每毫米（mm/mm）。

10.3 拉伸破坏应变

试样破坏瞬间感兴趣区域平均纵向应变，结果保留3位有效数字。

10.4 统计

统计按照GB/T 3354的规定。

11 不确定度

不确定度计算应符合 GB/T 27418 要求。

由于安装偏差、测试环境以及操作等因素，本文件规定的数字图像相关方法在 0.0005~0.003 应变区间的应变测量的 A 类不确定度为 0.00005 应变。

12 试验报告

试验报告应符合 GB/T 3354 要求且应包含以下内容：

a) 数字图像相关的硬件参数：

- 1) 相机制造商、型号以及图像分辨率；
 - 2) 镜头制造商、型号和焦距；
 - 3) 立体角；
 - 4) 图像采集频率。
- b) 数字图像相关的软件参数：
- 1) 数字图像相关软件名称和制造商；
 - 2) 标定得分；
 - 3) 子区大小；
 - 4) 步长；
 - 5) 插值函数；
 - 6) 匹配准则；
 - 7) 本底噪声均值。

附录 A
(资料性)
相机分辨率和测量精度关系

表 A.1 不同相机分辨率对应的本底噪声标准差均值

相机分辨率 (pixels×pixels)	本底噪声均值 ($\mu\epsilon$)
2048×2048	50
4096×4096	25

注1：对于长条形试件，相机竖向分辨率起决定作用；

注2：该本底噪声均值还受现场光照、振动等环境因素影响，故本表列出的数值只作为参考。本底噪声大于该数值时，应重新调整设备。