

ICS:

JC

# 中华人民共和国建材行业标准

JC/T XXX—XXX

## 高延性纤维增强水泥基复合材料 力学性能试验方法

Standard test method for the mechanical properties of  
engineered cementitious composites

(征求意见稿)

201×-××-××发布

201×-××-××实施

中华人民共和国国家发展和改革委员会

发布

# 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 定义与术语.....	1
4 试件的制作方法.....	2
5 立方体抗压强度试验方法.....	4
6 轴心抗压强度试验方法.....	5
7 静力受压弹性模量试验方法.....	6
8 抗折强度试验方法.....	8
9 初裂抗拉强度、极限抗拉强度、极限延伸率试验方法.....	10
10 平均裂缝间距和平均裂缝宽度试验方法.....	11

## 前 言

高延性纤维增强水泥基复合材料具有优异的抗拉、抗剪、抗冲击和抗疲劳性能，在建筑与土木工程、水利工程、交通工程中的抗震、结构补强、维修等领域具有广阔的应用前景。为该材料的研发、生产、检测及工程应用提供统一的材料力学性能评价方法，特制定本标准。

本标准为初次制定。

本标准由中国建筑材料联合会提出。

本标准由全国水泥制品标准化技术委员会（SAC/TC197）归口。

本标准负责起草单位：中国中材国际工程股份有限公司

本标准参加起草单位：

本标准主要起草人：

本标准由中国中材国际工程股份有限公司负责解释。

## 1 范围

本标准规定了高延性纤维增强水泥基复合材料的定义、术语、试件制作方法和力学性能试验方法。

本标准适用于预制和现场浇筑的高延性纤维增强水泥基复合材料的立方体抗压强度、轴心抗压强度、静力受压弹性模量、抗折强度、初裂抗拉强度、极限抗拉强度、极限延伸率、平均裂缝间距和平均裂缝宽度试验。

## 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。其最新版本（包括所有修改单）适用于本文件。

GB/T 2611 试验机通用技术要求

GB/T 3722 液压式压力试验机

JG 244 混凝土试验用搅拌机

JG/T 3020 混凝土试验室用振动台

## 3 定义与术语

下列定义和术语适用于本标准。

### 3.1

**高延性纤维增强水泥基复合材料** **engineered cementitious composites, ECC**

是一种以纤维作为增强材料，以水泥、矿物掺合料、骨料和混凝土外加剂为基体原材料，经加水搅拌、成型、养护制得的，在轴心拉伸荷载下具有多缝开裂特性的复合材料。其基本特性为平均裂缝宽度不大于200 μm且极限延伸率不低于0.5%。

### 3.2

**多缝开裂** **multiple cracking**

纤维与脆性基体组成的复合材料受拉破坏的一种形式。其特征是在受拉破坏时基体多处出现裂缝，改变了脆性材料单缝开裂的突发性破坏形式。

### 3.3

#### **初裂抗拉强度 first cracking tensile strength**

在拉力作用下，应力-应变曲线上应力由直线上升出现拐点时，试件单位截面上所承受的拉力值。

### 3.4

#### **极限抗拉强度 ultimate tensile strength**

在拉力作用下，试件单位截面上所能承受的最大拉力值。

### 3.5

#### **极限延伸率 ultimate tensile strain**

在拉力作用下，达到极限抗拉强度时，试件等截面部分原始标距内的伸长值与原始标距值之比的百分率。

### 3.6

#### **平均裂缝间距 average crack spacing**

在拉力作用下，达到极限抗拉强度时，试件等截面部分原始标距内出现的裂缝间的平均距离。

### 3.7

#### **平均裂缝宽度 average crack width**

在拉力作用下，达到极限抗拉强度时，试件等截面部分原始标距内所有裂缝的平均宽度。

## 4 试件的制作方法

### 4.1 环境

实验室制备试件时，室内温度应保持在  $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 50% 以上。原材料的温度应与实验室温度保持一致。

现场制备试件时，制作环境宜与现场一致。

### 4.2 试件的尺寸、形状和公差

#### 4.2.1 试件的尺寸和形状

##### 4.2.1.1 立方体抗压强度试件

边长 100 mm 的立方体试件为标准试件。

##### 4.2.1.2 轴心抗压强度和静力受压弹性模量试件

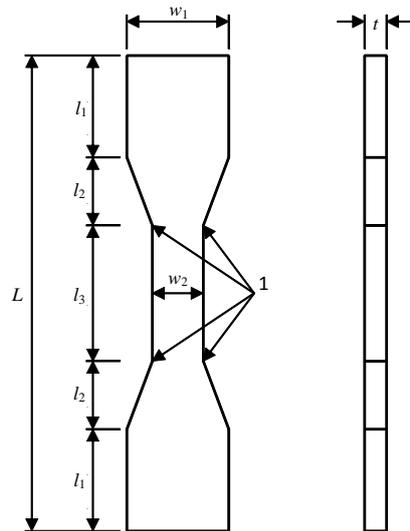
边长 100 mm×100 mm×300 mm 的棱柱体试件为标准试件。

##### 4.2.1.3 抗折强度试件

边长 100 mm×100 mm×400 mm 的棱柱体试件为标准试件。

##### 4.2.1.4 拉伸试验用试件

拉伸试验包括初裂抗拉强度、极限抗拉强度、极限延伸率试验、平均裂缝间距和平均裂缝宽度试验，试件的形状及尺寸见图 1。中部等截面区域为测量区，长度为 50 mm~80 mm，宽度为 30 mm；两端的区域为夹持区，夹持区长度可根据夹持方式调整。



$L$	210 mm~320 mm	$l_1$	40 mm~80 mm
$l_2$	40 mm	$l_3$	50 mm~80 mm
$w_1$	60 mm	$w_2$	30 mm
$t$	13 mm	/	/

说明：

1 —— 半径25 mm的圆弧

图1 拉伸试验用试件

#### 4.2.2 尺寸公差

试件的尺寸公差应符合下列要求：

— 试件承压面的平面度公差不得超过边长的 0.05%；

- 试件相邻面间的夹角公差不得超 0.5°；
- 试件各边长、高、宽的尺寸公差不得超过边长的 1%。

### 4.3 原材料计量、搅拌及试件的成型

#### 4.3.1 试验仪器

搅拌机应符合 JG 244 的规定。振动台应符合 JG/T 3020 的规定。

#### 4.3.2 原材料计量与搅拌

实验室拌合时，原材料和水的计量以质量计，称量精度均为 0.5%。

每盘搅拌量不应少于 15 L，且不应少于搅拌机公称容量的 1/4。最大搅拌时间不超过 20 分钟。

#### 4.3.3 成型

搅拌完成后 10 分钟内完成试件成型工作。

试件成型前，试模内表面应涂一薄层矿物油或其他不与水泥基材料发生反应的脱模剂。每组试件所用的拌合物应从同一盘或同一车中取样。

试件成型时，应将拌合物试样一次性装入试模内，且高出试模上缘，装料时可用捣棒稍加插捣。装料完毕的试模平放在振动台上，开启振动台，振实过程中如拌合物低于试模上缘，应随时添加拌合物，振实时间为 120 秒。振实完毕后，用刮尺将试模上缘的拌合物刮去，表面如有凹陷应填平。待材料临近初凝时，用抹刀抹平。

检验预制或现浇构件的成型方法宜与现场实际采用的方法一致。

### 4.4 试件的养护

试件抹平后，应立即用不透水的薄膜覆盖。采用标准养护时，试件应在温度为  $20 \pm 5^\circ\text{C}$  的环境中静置 3 至 48 小时，去除覆盖的薄膜，然后编号、拆模。拆模后应立即放入温度为  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 95% 以上的标准养护室中养护。标准养护室内，试件应放在支架上，彼此间隔 10 mm~20 mm，试件表面应保持潮湿，并不得被水直接冲淋。

采用同条件养护时，试件的养护方式和拆模时间宜与现场实际采用的方法一致。

标准养护龄期从加水搅拌开始计时。

## 5 立方体抗压强度试验方法

### 5.1 仪器设备

压力试验机应满足GB/T 2611和GB/T 3722的规定。荷载测量精度为±1%或更优，试件最大荷载应介于试验机力传感器量程的20%到80%之间。

## 5.2 试验步骤

试件从养护地点取出后，将试件表面与上下承压板面擦干净。将试件安放在试验机的下压板或钢垫板上，试件的承压面应与成型时的顶面垂直。试件的中心应与试验机下压板中心对准。开动试验机，当上压板与试件或钢垫板接近时，调整球座，使接触均衡。

在试验过程中应连续均匀地加载，立方体抗压强度低于30 MPa时，加载速度取0.3 MPa/s~0.5 MPa/s；高于或等于30 MPa且低于60 MPa时，加载速度取0.5 MPa/s~0.8 MPa/s；高于或等于60 MPa，加载速度取0.8 MPa/s~1.0 MPa/s。加载至破坏，记录破坏荷载。

## 5.3 试验结果

单个立方体试件抗压强度值应按下列式计算：

$$f_{cc} = \frac{F_{cc}}{A_{cc}} \quad (1)$$

式中：

$f_{cc}$  —— 单个立方体试件抗压强度，单位为兆帕（MPa）；

$F_{cc}$  —— 试件破坏荷载，单位为牛（N）；

$A_{cc}$  —— 试件承压面的面积，单位为平方毫米（mm<sup>2</sup>）。

抗压强度试验以三个试件为一组，每组试件的强度值应按下列规定确定：

- 三个试件测值的算术平均值作为该组试件的强度值，精确至0.1 MPa；
- 三个测值中的最大值或最小值中如有一个与中间值的差值超过中间值的15%时，则把最大及最小值一并舍除，取中间值作为该组试件的抗压强度值；
- 如最大值和最小值与中间值的差均超过中间值的15%，则该组试件的试验结果无效。

## 6 轴心抗压强度试验方法

### 6.1 仪器设备

压力试验机应符合本标准第5.1节的有关规定。

### 6.2 试验步骤

试验步骤应符合本标准第 5.2 节的有关规定。

### 6.3 试验结果

单个棱柱体试件轴心抗压强度值应按下列公式计算：

$$f_{cp} = \frac{F_{cp}}{A_{cp}} \quad (2)$$

式中：

$f_{cp}$  —— 棱柱体试件轴心抗压强度，单位为兆帕（MPa）；

$F_{cp}$  —— 试件破坏荷载，单位为牛（N）；

$A_{cp}$  —— 试件承压面的面积，单位为平方毫米（mm<sup>2</sup>）。

轴心抗压强度试验以三个试件为一组。每组试件的强度值应按下列规定确定：

- 三个试件测值的算术平均值作为该组试件的轴心抗压强度值，精确至0.1 MPa；
- 三个测值中的最大值或最小值中如有一个与中间值的差值超过中间值的15%时，则把最大及最小值一并舍除，取中间值作为该组试件的轴心抗压强度值；
- 如最大值和最小值与中间值的差均超过中间值的15%，则该组试件的试验结果无效。

## 7 静力受压弹性模量试验方法

### 7.1 仪器设备

压力试验机应符合本标准第5.1节的有关规定。

微变形测量仪可选用位移传感器或电阻应变仪。当采用位移传感器时，其测量精度为0.001 mm或更优，其固定架标距为150 mm。当采用电阻应变仪时，其测量精度为0.001%或更优。

### 7.2 试验步骤

试件从养护地点取出后，将试件表面与上下承压板面擦干净。

取三个试件按本标准第6章的规定测定轴心抗压强度（ $f_{cp}$ ），另三个试件用于测定静力受压弹性模量。

将两个微变形测量仪分别安装在试件两侧的中线上，并对称于试件的两端，测量标距采用150 mm。当采用电阻应变仪测量变形时，试件从养护室取出后，应尽快在试件两侧中间部位贴电阻片。从试件取出至试验完毕，不宜超过4小时。

将试件安放在试验机的下压板或钢垫板上，试件的承压面应与成型时的顶面垂直。试件的中心应与试验机下压板中心对准。开动试验机，当上压板与试件或钢垫板接近时，调整球座，使接触均衡。

以本标准第5.2节规定的速度预压，加载至基准应力为0.5 MPa的初始荷载值 $F_{e,0}$ ，保持恒载60秒，并在之后的30秒内记录每测点的变形或应变读数。然后连续均匀地加载至应力约为轴心抗压强度 $f_{cp}$ 的1/3的荷载值 $F_{e,a}$ ，保持恒载60秒，并在之后的30秒内记录每一测点的变形或应变读数。预压过程中，两个微变测量仪测得变形值或应变值之差与它们算术平均值之比大于20%时，应重复上述预压。如果无法使其减少20%以内时，则此次试验无效。预压至少反复进行三次。

在最后一次预压完成后，在基准应力0.5 MPa ( $F_{e,0}$ ) 持荷60秒，并在之后的30秒内记录每一测点的变形或应变读数；再以同样的加载速度加载至 $F_{e,a}$ ，持荷60秒，并在之后的30秒内记录每一测点的变形或应变读数。试验用加载过程见图2。

当采用微变形测量仪时，卸除微变形测量仪。以同样的速度加载至破坏，记录破坏荷载；如果试件的轴心抗压强度 $f_{cp}$ 之差超过 $f_{cp}$ 的20%时，则应在报告中注明。

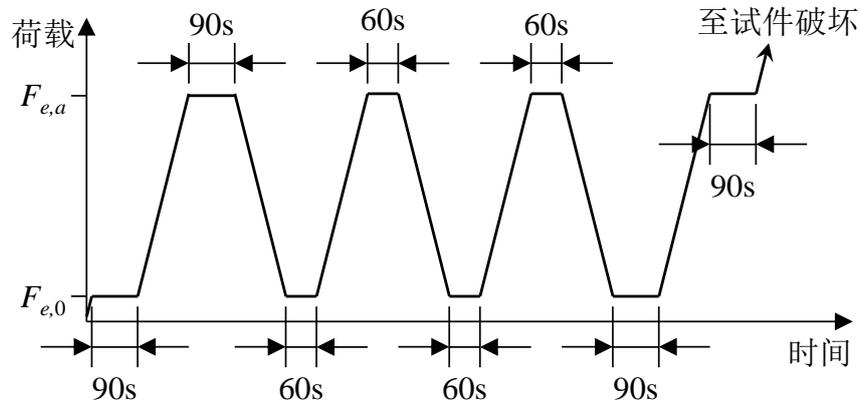


图2 弹性模量试验加载过程示意图

### 7.3 试验结果

单个棱柱体试件的静力受压弹性模量值应按下列式计算：

$$E_c = \frac{F_{e,a} - F_{e,0}}{A_{cp} (\varepsilon_{e,a} - \varepsilon_{e,0})} \quad (3)$$

式中：

$E_c$  —— 静力受压弹性模量，单位为兆帕 (MPa)；

$F_{e,a}$  —— 1/3轴心抗压强度时的荷载，单位为牛 (N)；

$F_{e,0}$  —— 0.5 MPa时的初始荷载，单位为牛（N）；

$A_{cp}$  —— 试件承压面的面积，单位为平方毫米（ $\text{mm}^2$ ）；

$\varepsilon_{e,a}$  ——  $F_{e,a}$ 时两个微变形测量仪测得试件两侧应变的算术平均值；当采用位移传感器时，单个应变值由 $\Delta l_{e,a}/L_{pg}$  计算得出，其中 $\Delta l_{e,a}$ 为 $F_{e,a}$ 时位移传感器的读数， $L_{pg}$ 为测量标距，两个值的单位均为毫米（mm）；当采用电阻应变仪时，应变值由电阻应变仪直接测得；

$\varepsilon_{e,0}$  ——  $F_{e,0}$ 时两个微变形测量仪测得试件两侧应变的算术平均值；当采用位移传感器时，单个应变值由 $\Delta l_{e,0}/L_{pg}$  计算得出，其中 $\Delta l_{e,0}$ 为 $F_{e,0}$ 时位移传感器的读数，单位为毫米（mm）；当采用电阻应变仪时，应变值由电阻应变仪测得。

每组试件的静力受压弹性模量值应按下列规定确定：

- 三个试件测值的算术平均值作为该组试件的静力受压弹性模量值，精确至100 MPa；
- 如果其中有一个试件的轴心抗压强度值与用以确定检验控制荷载的轴心抗压强度值相差超过后者的20%时，则弹性模量值按另两个试件测值的算术平均值计算；如有两个或两个以上超过上述规定时则此次试验无效。

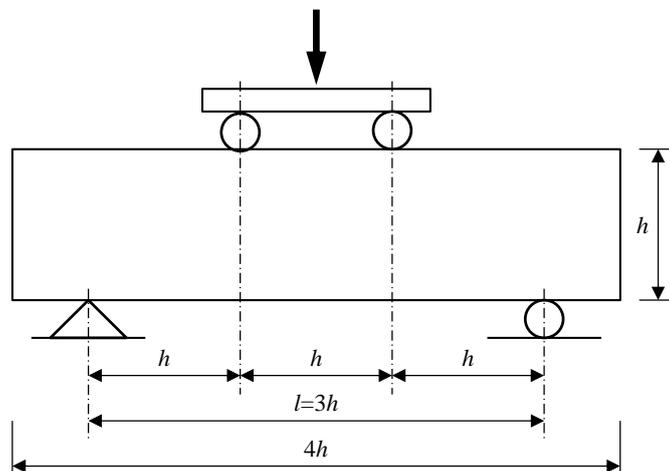
## 8 抗折强度试验方法

### 8.1 仪器设备

压力试验机应符合本标准5.1节的有关规定。

抗折试验装置应符合下列要求：

- 能使二个相等荷载同时作用在试件跨度3分点处，见图3。
- 试件的支座和加载头应采用直径为20 mm~40 mm的硬钢圆柱，硬钢圆柱的长度应至少比试件宽度长10 mm，支座立脚点固定铰支，其它应为滚动铰支。



说明:

$h$  —— 100 mm。

图3 抗折试验装置

## 8.2 试验步骤

试件从养护地点取出后，将试件表面与上下承压板面擦干净。

试件的承压面应为试件成型时的侧面，支座及承压面与圆柱的接触面应平稳、均匀，否则应垫平。

在试验过程中应连续、均匀地加载。立方体抗压强度低于30 MPa时，加载速度取0.03 MPa/s~0.05 MPa/s；高于或等于30 MPa且低于60 MPa时，加载速度取0.06 MPa/s~0.08 MPa/s；高于或等于60 MPa，加载速度取0.08 MPa/s~0.1 MPa/s。

加载至破坏，记录破坏荷载。

## 8.3 试验结果

单个棱柱体试件抗折强度值应按下列公式计算：

$$f_f = \frac{F_f l}{bh^2} = \frac{3F_f}{bh} \quad (4)$$

式中：

$f_f$  —— 棱柱体试件抗折强度，单位为兆帕（MPa）；

$F_f$  —— 试件破坏荷载，单位为牛（N）；

$l$  —— 支座间跨度，单位为毫米（mm）；

$b$  —— 试件截面宽度，单位为毫米（mm）；

$h$  —— 试件截面高度，单位为毫米（mm）。

每组试件的强度值应按下列规定确定：

- 三个试件测值的算术平均值作为该组试件的抗折强度值，精确至0.01 MPa；
- 三个测值中的最大值或最小值中如有一个与中间值的差值超过中间值的15%时，则把最大及最小值一并舍除，取中间值作为该组试件的轴心抗压强度值；如最大值和最小值与中间值的差均超过中间值的15%，则该组试件的试验结果无效；
- 三个试件中若有一个折断面位于两个集中荷载之外，则抗折强度值按另两个试件的试验结果计算。若这两个测值的差值不大于这两个测值的较小值的15%时，则该组

试件的抗折强度值按这两个测值的算术平均值计算，否则该组试件的试验无效。若有两个试件的下边缘断裂位置位于两个集中荷载作用线之外，则该组试件试验无效。

## 9 初裂抗拉强度、极限抗拉强度、极限延伸率试验方法

### 9.1 仪器设备

拉伸试验机应采用符合GB/T 2611的有关规定，且应满足下列要求：

- 荷载测量精度为±1%或更优，试件最大荷载应介于试验机力传感器量程的20%到80%之间；
- 应具有位移控制功能，并能均匀连续地加载；
- 试件通过两个夹具同试验机连接，一个夹具与试验机固定连接，另一个夹具与试验机铰链连接。

微变形测量仪可选用位移传感器或引伸计，测量精度不得低于0.001 mm。

### 9.2 试验步骤

试件从养护地点取出后，将试件表面擦干净。测量试件截面尺寸。将试件安装到试验机上。

微变形测量仪应分别安装在试件测量区宽面或两侧的中线上。测量标距应为50 mm~80 mm。

采用位移控制的方式进行加载，加载速度为 0.4 mm/min。当试件承受的拉力下降至最大拉荷载的80%时，停止加载。卸下微变形测量仪和试件。

### 9.3 试验结果

#### 9.3.1 初裂抗拉强度

单个试件初裂抗拉强度值应按下列式计算：

$$f_{fc} = \frac{F_{fc}}{A_t} \quad (5)$$

式中：

$f_{fc}$  —— 初裂抗拉强度，单位为兆帕（MPa）；

$F_{fc}$  —— 应力-应变曲线上应力由直线上升出现拐点时的拉力值，单位为牛（N）；

$A_t$  —— 试件测量区横截面面积，单位为平方毫米（mm<sup>2</sup>）。

### 9.3.2 极限抗拉强度

单个试件极限抗拉强度值应按下式计算：

$$f_{tu} = \frac{F_{tu}}{A_t} \quad (6)$$

式中：

$f_{tu}$  —— 极限抗拉强度，单位为兆帕（MPa）；

$F_{tu}$  —— 试件所能承受的最大拉力值，单位为牛（N）。

### 9.3.3 极限延伸率

单个试件的极限延伸率应按下式计算：

$$\varepsilon_{tu} = \frac{l_{tu} - l_0}{L_{tg}} \times 100\% \quad (7)$$

式中：

$\varepsilon_{tu}$  —— 极限延伸率，用百分数表示；

$l_{tu}$  —— 最大拉力时微变形测量仪的读数，单位为毫米（mm）；

$l_0$  —— 加载前微变形测量仪的读数，单位为毫米（mm）；

$L_{tg}$  —— 微变形测量仪的测量标距，单位为毫米（mm）。

初裂抗拉强度、极限抗拉强度、极限延伸率试验以六个试件为一组。每组试件的极限抗拉强度和极限延伸率应按下列规定确定：

- 变形测量标距内没有出现多缝开裂特征试件的试验结果剔除；
- 有效数据试件不得少于四个，否则该组试验无效；
- 有效试件的初裂抗拉强度、极限抗拉强度和极限延伸率的算术平均值分别为该组试件的初裂抗拉强度、极限抗拉强度和极限延伸率的试验结果，分别精确至0.01 MPa、0.01 MPa、0.01%。并计算每组结果的标准差。

## 10 平均裂缝间距和平均裂缝宽度试验方法

### 10.1 仪器设备

光学显微镜，放大倍数不低于100倍。

### 10.2 试验步骤

采用极限延伸率测量完毕的有效试件。在放大100倍下，沿试件两个宽面中轴线观测标距内的裂缝数量。

### 10.3 试验结果

#### 10.3.1 平均裂缝间距

单个试件的平均裂缝间距应按下式计算：

$$S_a = \frac{L_{tg}}{N_c} \quad (8)$$

式中：

$S_a$  —— 平均裂缝间距，单位为毫米（mm）；

$N_c$  —— 试件两个宽面中轴线上标距内裂缝数量的算术平均值。

#### 10.3.2 平均裂缝宽度

单个试件的平均裂缝宽度应按下式计算：

$$w_a = \frac{\varepsilon_m L_{tg}}{N_c} \times 1000 \quad (9)$$

式中：

$w_a$  —— 平均裂缝宽度，单位为微米（ $\mu\text{m}$ ）。

有效试件平均裂缝间距和平均裂缝宽度的算术平均值分别为该组试件的平均裂缝间距和平均裂缝宽度试验结果，分别精确到0.1 mm和0.1  $\mu\text{m}$ 。