

中华人民共和国建材行业标准

JC/T 2461—2018

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 ductile fiber reinforced
cementitious composites

2018-04-30 发布

2018-09-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

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/TC 197)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、安徽皖维高新材料股份有限公司。

本标准参加起草单位：中国水利水电科学研究院、清华大学、东南大学、北京交通大学、北京工业大学、中冶建筑研究总院有限公司、中国建筑科学研究院、中国建筑材料科学研究总院、苏州混凝土水泥制品研究院检测中心有限公司、维特国际新材料(武汉)有限公司、中国石化集团四川维尼纶厂、永安市宝华林实业发展有限公司、成都东蓝星科技发展有限公司、中国建材检验认证集团北京天誉有限公司。

本标准主要起草人：隋同波、周健、张利俊、李志辉、张君、朋改非、兰明章、郝挺宇、刘艳霞、郭丽萍、王祖琦、白杰、范志勇、张亚梅、潘金龙、胡汉桥、吴福胜、邓忠华、王华全、刘自力。

本标准为首次发布。

高延性纤维增强水泥基复合材料力学性能试验方法

1 范围

本标准规定了高延性纤维增强水泥基复合材料的术语和定义、试件制作方法、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。

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 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 245 混凝土试验用振动台

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

高延性纤维增强水泥基复合材料 ductile fiber reinforced cementitious composites

是一种以水泥、矿物掺合料、骨料、纤维和外加剂等为原材料,在轴心拉力作用下极限延伸率不低于0.5%且平均裂缝宽度不大于200 μm的水泥基复合材料。

3.2

初裂抗拉强度 first cracking tensile strength

在轴心拉力作用下,试件出现第一条裂缝的拉应力。

3.3

极限抗拉强度 ultimate tensile strength

在轴心拉力作用下,试件所能承受的最大拉应力。

3.4

极限延伸率 ultimate tensile strain

达到极限抗拉强度时,试件的延伸率。

3.5

平均裂缝间距 average crack spacing

达到极限抗拉强度时,试件上裂缝间的平均距离。

3.6

平均裂缝宽度 average crack width

达到极限抗拉强度时，试件上裂缝的平均宽度。

4 试件制作方法

4.1 试件尺寸、形状和公差

4.1.1 试件尺寸和形状

4.1.1.1 立方体抗压强度试件

边长 $100\text{ mm} \times 100\text{ mm} \times 100\text{ mm}$ 的立方体试件。

4.1.1.2 轴心抗压强度和静力受压弹性模量试件

边长 $100\text{ mm} \times 100\text{ mm} \times 300\text{ mm}$ 的棱柱体试件。

4.1.1.3 抗折强度试件

边长 $100\text{ mm} \times 100\text{ mm} \times 400\text{ mm}$ 的棱柱体试件。

4.1.1.4 拉伸性能用试件

拉伸性能包括初裂抗拉强度、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，试件形状及尺寸见图 1。中部等截面区域为变形测量区，长度为 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在 $40\text{ mm} \sim 80\text{ mm}$ 之间调整。

单位为毫米

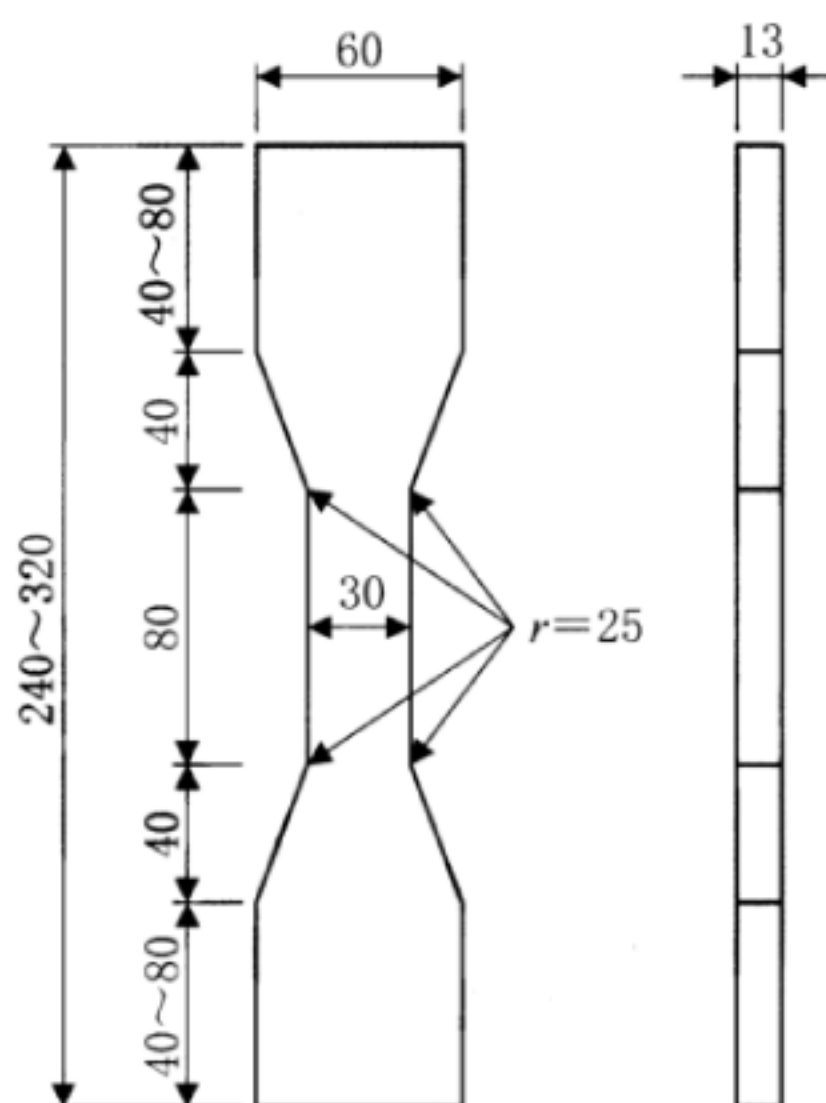


图1 拉伸性能用试件

4.1.2 试件尺寸公差

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应不超过边长的 0.05% ；
- 试件相邻面间的夹角公差应不超过 0.5° ；
- 试件长、高、宽的尺寸公差应不超过 1% 。

4.2 试验室条件

制备试件时，试验室温度应保持在 $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 。所用材料的温度应与试验室温度保持一致。

4.3 原材料计量、拌合和试件成型

4.3.1 试验仪器

试验仪器要求如下：

- a) 搅拌机应符合 JG 244 的规定；
- b) 振动台应符合 JG/T 245 的规定。

4.3.2 原材料计量和拌合

试验用原材料和拌合水以质量计，称量精度均为 0.5%。

每盘拌合量不应少于 15 L，不应少于搅拌机公称容量的 1/4，且不应大于搅拌机公称容量的 3/4。

自加水开始， $(15\pm 5)\text{min}$ 完成拌合。

4.3.3 成型

试件的制作应在拌合完成后 15 min 内完成，并按下列步骤进行：

- a) 试件制作前，将试模擦干净，试模内表面应均匀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；
- b) 试件制作时，应将拌合物一次性装入试模，装料时应用抹刀沿各试模壁插捣，并使拌合物高出试模上缘；
- c) 振动时，试模应固定在振动台上，不得有任何跳动，振动时间为 120 s；
- d) 刮除试模上口多余的拌合物，待拌合物临近初凝时，用抹刀抹平。

4.4 试件养护

试件成型后，应立即用薄膜覆盖。试件应在温度为 $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 的环境中静置 $(24\pm 1)\text{h}$ ，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，且不得被水直接冲淋。

试件养护龄期从加水拌合开始计时。

5 立方体抗压强度

5.1 仪器设备

压力试验机应满足 GB/T 2611 和 GB/T 3722 的规定外，荷载测量精度为 $\pm 1\%$ ，试件破坏荷载应介于试验机力传感器量程的 20%~80%。

5.2 试验步骤

立方体抗压强度试验应按下列步骤进行：

- a) 从养护室取出试件，将试件表面擦干净，并安装到试验机的下压板上；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；
- b) 开动试验机，当上压板与试件接近时，调整球座，使接触均衡；

- c) 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

立方体抗压强度应按公式(1)计算, 精确至 0.1 MPa:

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

式中:

f_{cc} ——立方体抗压强度, 单位为兆帕(MPa);

F_{cc} ——试件破坏荷载, 单位为牛顿(N);

A_{cc} ——试件承压面积, 单位为平方毫米(mm²)。

立方体抗压强度试验以 3 个试件为一组, 每组试件的立方体抗压强度应按下列规定确定:

- 3 个试件测值的算术平均值作为该组试件的立方体抗压强度, 精确至 0.1 MPa;
- 3 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剔除, 取中间值作为该组试件的立方体抗压强度;
- 如最大值和最小值与中间值的差均超过中间值的 15%, 则该组试件的试验无效。

6 轴心抗压强度

6.1 仪器设备

压力试验机应符合 5.1 的规定。

6.2 试验步骤

试验步骤应符合 5.2 的规定。

6.3 试验结果

轴心抗压强度应按公式(2)计算, 精确至 0.1 MPa:

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

式中:

f_{cp} ——轴心抗压强度, 单位为兆帕(MPa);

F_{cp} ——试件破坏荷载, 单位为牛顿(N);

A_{cp} ——试件承压面积, 单位为平方毫米(mm²)。

轴心抗压强度试验以 3 个试件为一组, 每组试件的轴心强度值应按下列规定确定:

- 3 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;
- 3 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剔除, 取中间值作为该组试件的轴心抗压强度;
- 如最大值和最小值与中间值的差均超过中间值的 15%, 则该组试件的试验无效。

7 静力受压弹性模量

7.1 仪器设备

- a) 压力试验机应符合 5.1 的规定；
- d) 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 $\pm 0.001\text{ mm}$ ，固定架标距为 150 mm 。当采用电阻应变仪时，其测量精度为 $\pm 0.001\%$ 。

7.2 试验步骤

取 3 个试件按第 6 章的规定测定轴心抗压强度(f_{cp})，另 3 个试件用于测定静力受压弹性模量。静力受压弹性模量试验应按下列步骤进行：

- a) 从养护室取出试件，将试件表面擦干净；
- b) 当采用微变形测量仪测量变形时，将 2 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，测量标距为 150 mm ；当采用电阻应变仪测量变形时，将 2 个电阻片贴在试件两侧中间部位；
- c) 将试件安放在试验机的下压板上，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；
- d) 开动试验机，当上压板与试件接近时，调整球座，使接触均衡；
- e) 对中：以 5.2 规定的加载速加载至基准应力为 0.5 MPa 的初始荷载值 $F_{e,0}$ ，恒载 60 s ，并在之后的 30 s 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为轴心抗压强度 f_{cp} 的 $1/3$ 的荷载值 $F_{e,a}$ ，恒载 60 s ，并在以后的 30 s 内记录每一测点的变形或应变读数；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，应重新对中试件后重复上述步骤；如果无法使其降至 20% 以内，则此次试验无效；
- f) 预压：以与加载速度相同的速度卸载至基准应力 0.5 MPa ($F_{e,0}$)，恒载 60 s ；然后用同样的加载和卸载速度以及 60 s 恒载($F_{e,0}$ 及 $F_{e,0}$)至少进行两次反复预压；
- g) 预压完成后，在基准应力 0.5 MPa ($F_{e,0}$)下恒载 60 s ，并在以后的 30 s 内记录每一测点的变形或应变读数 $\varepsilon_{e,0}$ ；再用同样的加载速度加载至 $F_{e,a}$ ，恒载 60 s ，并在以后的 30 s 内记录每一测点的变形或应变读数 $\varepsilon_{e,a}$ 。加载过程见图 2；
- h) 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，则应在报告中注明。

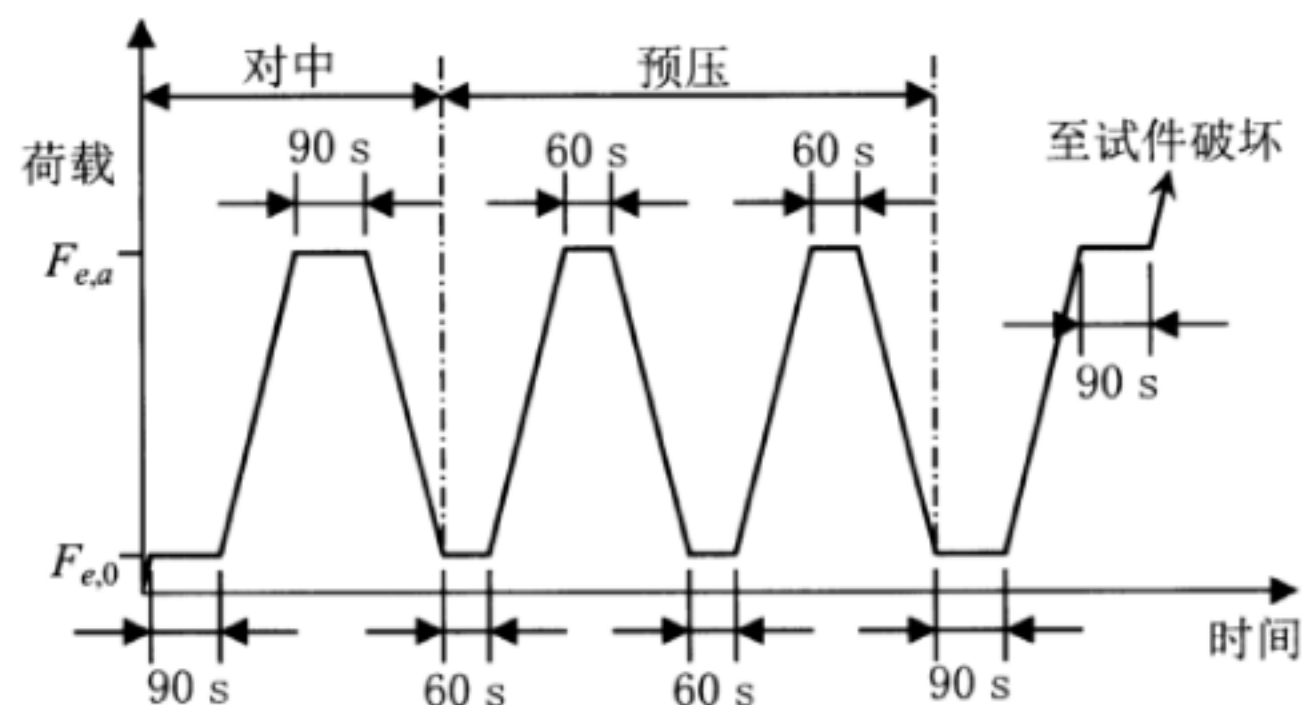


图2 静力受压弹性模量试验加载过程示意图

7.3 试验结果

静力受压弹性模量应按公式(3)计算,精确至 100 MPa:

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

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,单位为牛顿(N);

$F_{e,0}$ ——基准应力 0.5 MPa 时的初始荷载,单位为牛顿(N);

A_{cp} ——试件承压面积,单位为平方毫米(mm²);

$\varepsilon_{e,a}$ —— $F_{e,a}$ 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应按下列规定确定:

——3 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,精确至 100 MPa;

——如果其中有 1 个试件的轴心抗压强度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,则弹性模量按另 2 个试件测值的算术平均值计算;

——如有 2 个或 2 个以上试件超过上述规定时,则该组试件的试验无效。

8 抗折强度

8.1 仪器设备

a) 压力试验机应符合 5.1 的规定;

b) 抗折试验装置见图 3,应符合下列要求:

——试件的支座和加载头应采用直径为 20 mm~40 mm、长度不小于 110 mm 的硬钢圆柱,支座立脚点固定铰支,其他应为滚动铰支;

——试验时,通过 4 根硬钢圆柱的 4 个竖向平面应保持平行、等距。

单位为毫米

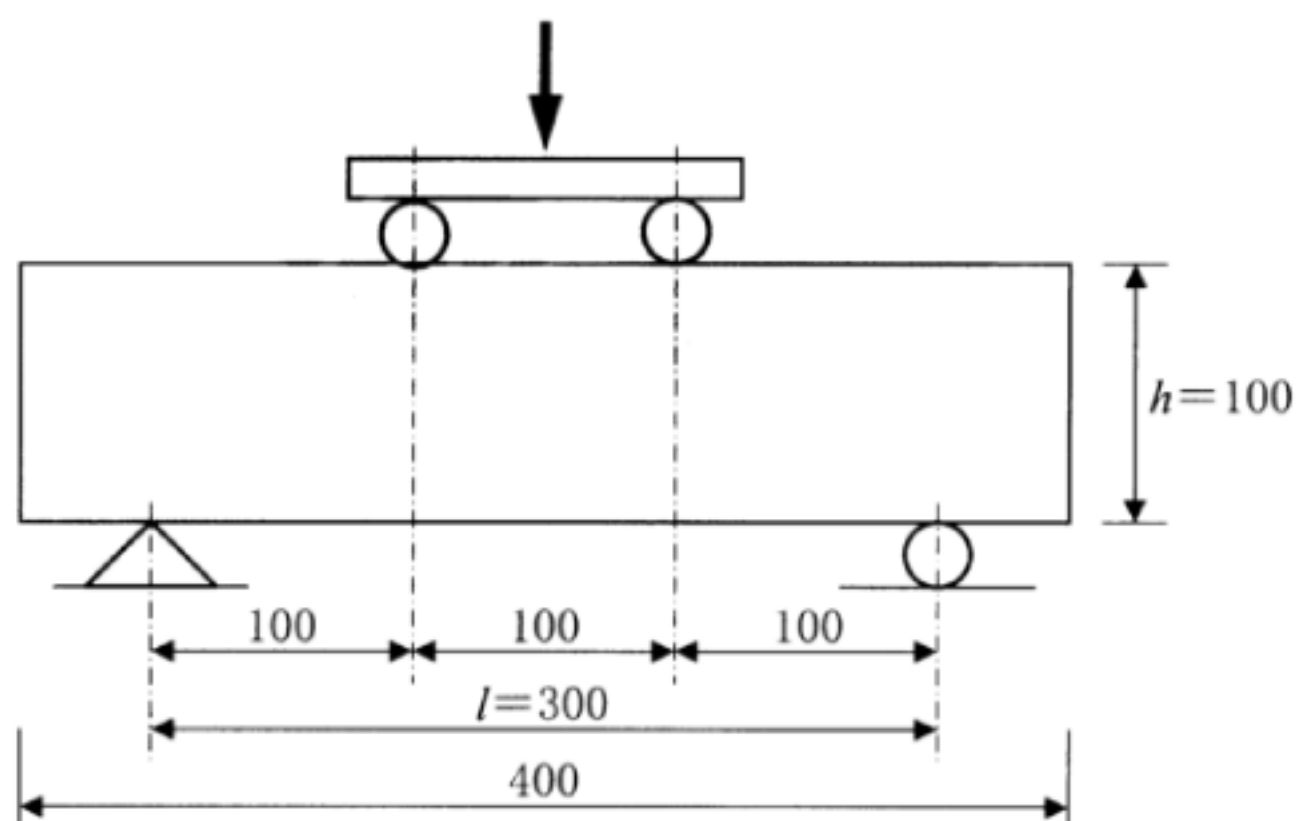


图3 抗折强度试验装置

8.2 试验步骤

抗折强度试验应按下列步骤进行:

- a) 从养护室取出试件, 将试件表面擦干净;
- b) 按图 3 安装试件, 安装尺寸偏差应不大于 1 mm; 试件的承压面应为试件成型时的侧面, 支座及承压面应与硬钢圆柱充分接触;
- c) 加载过程应保持均匀、连续; 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 时, 加载速度取 0.08 MPa/s~0.1 MPa/s;
- d) 加载至试件破坏, 记录破坏荷载及试件下边缘断裂位置。

8.3 试验结果

抗折强度应按公式(4)计算, 精确至 0.01 MPa:

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

式中:

f_f ——抗折强度, 单位为兆帕(MPa);

F_f ——试件破坏荷载, 单位为牛顿(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)。

抗折强度试验以 3 个试件为一组, 每组试件的抗折强度应按下列规定确定:

- 3 个试件测值的算术平均值作为该组试件的抗折强度, 精确至 0.01 MPa;
- 3 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剔除, 取中间值作为该组试件的抗折强度;
- 如最大值和最小值与中间值的差均超过中间值的 15%, 则该组试件的试验无效;
- 3 个试件中若有 1 个折断面位于两个集中荷载之外, 则抗折强度按另 2 个试件的试验结果计算; 若这 2 个测值的差值不大于这 2 个测值的较小值的 15% 时, 则该组试件的抗折强度按这 2 个测值的算术平均值计算, 否则该组试件的试验无效;
- 3 个试件中若有 2 个试件的下边缘断裂位置位于两个集中荷载作用线之外, 则该组试件的试验无效。

9 初裂抗拉强度、极限抗拉强度和极限延伸率

9.1 仪器设备

- a) 拉伸试验机应符合 GB/T 2611 的有关规定, 且应满足下列要求:
 - 荷载测量精度为 $\pm 1\%$, 试件最大荷载应介于试验机力传感器量程的 20%~80%;
 - 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。
- b) 微变形测量仪可选用位移传感器或引伸计, 测量精度为 ± 0.001 mm;
- c) 游标卡尺, 测量精度为 ± 0.05 mm。

9.2 试验步骤

初裂抗拉强度、极限抗拉强度和极限延伸率试验应按下列步骤进行：

- 试件从养护室取出后，将试件表面擦干净；
- 使用游标卡尺测量试件变形测量区的厚度和宽度，计算初始横截面积 A_t ；
- 采用位移传感器时，两个位移传感器应分别安装在试件变形测量区两个宽面或两个侧面的中线上；采用引伸计时，引伸计应固定在试件变形测量区宽面的中线上；标距应为 50 mm～80 mm，准确数值应使用游标卡尺进行测量，并记录；
- 采用位移控制的方式进行加载，位移控制速度为 0.5 mm/min；当试件承受的拉力下降至最大拉力的 80% 时，停止加载。

9.3 试验结果

9.3.1 初裂抗拉强度

初裂抗拉强度应按公式(5)计算，精确至 0.01 MPa：

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

式中：

f_{fc} ——初裂抗拉强度，单位为兆帕(MPa)；

F_{fc} ——应力-应变曲线上应力上升过程中出现拐点时的拉力峰值，单位为牛顿(N)；

A_t ——试件变形测量区的初始横截面积，单位为平方毫米(mm²)。

初裂抗拉强度试验以 6 个试件为一组，6 个试件测值的算术平均值作为该组试件的初裂抗拉强度，精确至 0.01 MPa。

9.3.2 极限抗拉强度

极限抗拉强度应按公式(6)计算，精确至 0.01 MPa：

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

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，单位为牛顿(N)；

A_t ——试件变形测量区的初始横截面积，单位为平方毫米(mm²)。

极限抗拉强度试验以 6 个试件为一组，6 个试件测值的算术平均值作为该组试件的极限抗拉强度，精确至 0.01 MPa。

9.3.3 极限延伸率

极限延伸率应按公式(7)计算，精确至 0.01%：

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

式中：

ε_{tu} ——极限延伸率，%；

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)。

极限延伸率试验以 6 个试件为一组，6 个试件测值的算术平均值作为该组试件的极限延伸率，精确至 0.01%。试验报告中应注明微变形测量仪的种类和标距长度。

10 平均裂缝间距和平均裂缝宽度

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

按第 9 章的规定测定试件的极限延伸率，然后该试件用于平均裂缝间距和平均裂缝宽度试验，试验步骤如下：

- a) 在试件两个宽面中轴线上画一条直线；
- b) 使用光学显微镜在放大 100 倍下，数出试件两个宽面标距内穿过中轴线的裂缝数，并记录。

10.3 试验结果

10.3.1 平均裂缝间距

平均裂缝间距应按公式(8)计算，精确至 0.01 mm：

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

式中：

S_a ——平均裂缝间距，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)；

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。

平均裂缝间距试验以 6 个试件为一组，6 个试件测值的算术平均值作为该组试件的平均裂缝间距，精确至 0.01 mm。试验报告中应注明标距长度。

10.3.2 平均裂缝宽度

平均裂缝宽度应按公式(9)计算，精确至 0.1 μm：

$$w_a = \frac{\varepsilon_{tu} L_{tg}}{N_c} \times 1000 \dots\dots\dots (9)$$

式中：

w_a ——平均裂缝宽度，单位为微米(μm)；

ε_{tu} ——极限延伸率，%；

L_{tg} ——微变形测量仪的测量标距，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。

平均裂缝宽度试验以 6 个试件为一组，6 个试件测值的算术平均值作为该组试件的平均裂缝宽度，精确至 0.1 μm。试验报告中应注明标距长度。