



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 39147—2020

## 混凝土用钢纤维

Steel fiber for concrete

2020-10-11 发布

2021-05-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国钢铁工业协会提出。

本标准由全国钢标准化技术委员会(SAC/TC 183)归口。

本标准起草单位:贝卡尔特应用材料科技(上海)有限公司、马克菲尔(长沙)新型支档科技开发有限公司、上海哈瑞克斯钢纤维科技有限公司、玉田县致泰钢纤维制造有限公司、天津恒沣栩翔金属新材料股份有限公司、上海挚坚工程技术有限公司、冶金工业信息标准研究院。

本标准主要起草人:孙斌、顾海、许福丁、杨政、慕儒、冷明鉴、莫灼庭、张学军、唐文波、王宏君、姚利君、陈波、王勇、汪吉星、王玲君。



# 混凝土用钢纤维

## 1 范围

本标准规定了混凝土用钢纤维的术语及定义、符号、分类与标记、订货内容、要求、试验方法、检验规则、包装、标志、运输及贮存、质量证明文件。

本标准适用于预制、现场浇筑及喷射混凝土用钢纤维(以下简称“钢纤维”)。

## 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 175—2007 通用硅酸盐水泥

GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分:室温试验方法

GB/T 238 金属材料 线材 反复弯曲试验方法

GB/T 700 碳素结构钢

GB/T 3077 合金结构钢

GB/T 4240 不锈钢丝

GB/T 6379.2—2004 测量方法与结果的准确度(正确度与精密度) 第2部分:确定标准测量方法重复性与再现性的基本方法

GB 8076 混凝土外加剂

GB/T 50080—2016 普通混凝土拌合物性能试验方法标准

GB/T 50081 混凝土物理力学性能试验方法标准

JGJ 52 普通混凝土用砂石质量及检验方法标准

JGJ 63 混凝土用水标准

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**钢纤维 steel fiber**

钢材材料经一定工艺制成的、能随机地分布于混凝土中短而细的纤维。

### 3.2

**长度 length**

钢纤维外端部之间的距离。

### 3.3

**伸展长度 developed length**

异型钢纤维在保持横截面尺寸不变的条件下,展直后的长度。

### 3.4

**等效直径 equivalent diameter**

与钢纤维平均横截面积相同的圆的直径。

注:对圆形截面钢纤维,等效直径与钢纤维的直径相同。

GB/T 39147—2020

3.5

长径比 aspect ratio  
钢纤维长度与等效直径的比值。

3.6

纤维形状 fiber shape  
钢纤维外部构造的细节特征,包含纤维纵向、横截面形状。

3.7

抗拉强度 tensile strength of fiber  
钢纤维可以承受的最大拉力对应的应力值。  
注:抗拉强度由纤维可以承受的最大拉力值除以纤维的截面面积计算得到。



3.8

弹性模量 elastic modulus  
材料在弹性变形阶段,其应力和应变的比例系数。

3.9

挠度 deflection  
棱柱体试件受中心负载,测得试件切口处竖向位移值。

3.10

切口张开位移 crack mouth opening displacement;CMOD  
棱柱体三点弯曲试件受中心负载,测得试件下端预切口处张开的水平位移值。

3.11

比例极限弯拉强度 limit of proportionality for flexural strength  
钢纤维混凝土残余抗弯拉强度测试中切口张开位移在 0 mm~0.05 mm 内对应的最大应力值。

3.12

钢纤维混凝土的残余抗弯拉强度 steel fiber concrete's residual flexural strength  
棱柱体三点弯曲试件受中心负载,对应于试件切口顶端张开的水平位移值或切口处竖向位移的截面顶端拉应力。

4 符号

本标准中的符号及说明见表 1。

表 1 符号及说明

符号	说明	单位
$w^a$	宽度	mm
$t^a$	厚度	mm
$d$	等效直径	mm
$R_m$	公称抗拉强度	MPa
$l$	长度	mm
$\lambda$	长径比	—
$l_d$	伸展长度	mm

表 1（续）

符号	说明	单位
$M$	质量	g
$\rho$	密度	kg/m <sup>3</sup>
<sup>a</sup> 用于描述矩形截面的钢纤维。		

5 分类与标记

5.1 分类

5.1.1 钢纤维按原材料分类,类别和代号为:

- 碳素结构钢,CA;
- 合金结构钢,AL;
- 不锈钢,ST;
- 其他钢,OT。

5.1.2 钢纤维按生产工艺分类,类别为:

- Ⅰ类:钢丝冷拉型;
- Ⅱ类:钢板剪切型;
- Ⅲ类:钢锭铣削型;
- Ⅳ类:钢丝削刮型;
- Ⅴ类:熔抽型。

注:Ⅰ类和Ⅳ类为线材型纤维,其他为非线材型纤维。

5.1.3 钢纤维按形状和表面分类,类别和代号见表 2。

表 2 钢纤维按形状和表面的分类及代号

分类	代号	形状	表面特征
平直型	01	纵向为平直形	光滑
	02		粗糙或有细密压痕
异型	03	纵向为平直形且两端带钩或带锚尾	光滑
	04		粗糙或有细密压痕
	05	纵向为扭曲型且两端带钩或带锚尾	光滑
	06		粗糙或有细密压痕
	07	纵向为波纹形	光滑
	08		粗糙或有细密压痕

5.1.4 钢纤维按成型方式分类,类别和代号为:

- 粘结成排型,G;
- 单根散状型,L。

5.1.5 钢纤维按镀层方式分类,类别和代号为:

- 带镀层型,C;



GB/T 39147—2020

——无镀层型,B。

当使用镀层钢纤维时,应标明镀层类型,特征和使用量。

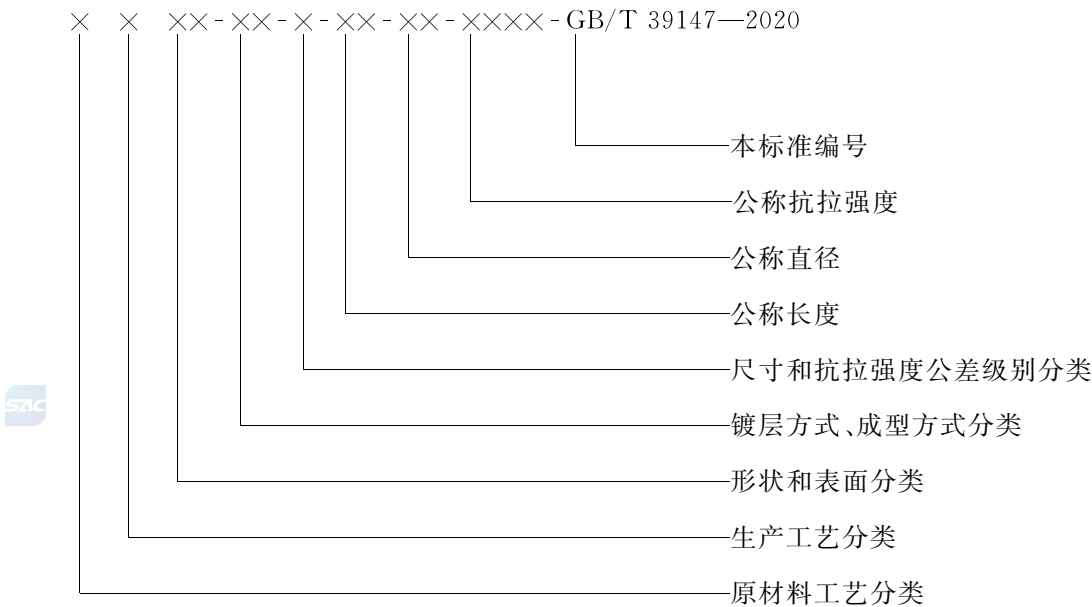
5.1.6 钢纤维的公称抗拉强度( $R_m$ )分为 5 个等级,见表 3。

表 3 钢纤维公称抗拉强度和等级 单位为兆帕

等级	400 级	700 级	1 000 级	1 300 级	1 700 级
公称抗拉强度 $R_m$	400~<700	700~<1 000	1 000~<1 300	1 300~<1 700	≥1 700

5.2 标记

钢纤维的标记方式如下：



示例 1：

碳素结构钢,钢丝冷拉型纤维,外形为纵向平直且两端带钩,表面光滑,粘结成排型,无镀层,尺寸和强度公差级别 A,公称长度 60 mm,公称直径 0.9 mm,公称抗拉强度 1 115 MPa,其标记为：

CAI03-BG-A-60-0.9-1115 -GB/T 39147—2020

示例 2：

合金结构钢,钢板剪切型纤维,外形为纵向平直且两端带锚尾,表面有细密压痕,单根散状型,无镀层。尺寸和强度公差级别 B,公称长度 50 mm,公称直径 1.0 mm,公称抗拉强度 550 MPa。其标记为：

AL II 04-BL-B-50-1.0-550 -GB/T 39147—2020

6 订货内容

按本标准订货的合同应包括下列内容：

- a) 本标准编号；
- b) 重量；
- c) 工艺类别,形状,成型方式,镀层；
- d) 公差级别；
- e) 公称抗拉强度；
- f) 直径或等效直径；

g) 长度。

7 要求

7.1 原料

钢纤维的原料应符合 GB/T 700、GB/T 3077 或 GB/T 4240 的规定。经供需双方协商确定，也可采用其他满足要求的原料。

7.2 产品

7.2.1 尺寸和强度

钢纤维应标明其长度或伸展长度、直径或等效直径、长径比和抗拉强度的公称值，以及公差和级别（A 或 B 或 C）。尺寸和强度允许公差按表 4 规定，对 I 类和 II 类钢纤维，至少应有 95% 的样本达到规定的样本公差要求；对 III 类、IV 类、V 类钢纤维，至少应有 90% 的样本达到规定的样本公差要求。

表 4 钢纤维尺寸及抗拉强度公差

特性	范围	A 级		B 级		C 级	
		样本公差 <sup>b</sup>	均值公差 <sup>c</sup>	样本公差 <sup>b</sup>	均值公差 <sup>c</sup>	样本公差 <sup>b</sup>	均值公差 <sup>c</sup>
长度 <sup>a</sup>	>30 mm	±3 mm	±5 %	±10 %	±5 %	±10 %	±5 %
	≤30 mm	±10 %	±1.5 mm		±1.5 mm		±1.5 mm
(等效)直径 <i>D</i>	>0.30 mm	±0.02 mm	±0.015 mm	±10 %	±5 %	±15 %	±10 %
	≤0.30 mm				±0.015 mm		—
抗拉强度 <i>R<sub>m</sub></i>	所有	±15 %	±7.5 %	±15 %	±7.5 %	±15 %	±7.5 %
长径比 <i>λ</i>	所有	±15 %	±7.5 %	±15 %	±7.5 %	±15 %	±7.5 %
<p><sup>a</sup> 长度 <i>l</i> 和(或)伸展长度 <i>l<sub>d</sub></i>。</p> <p><sup>b</sup> 单个样本允许偏差。</p> <p><sup>c</sup> 总样本平均值允许偏差。</p>							

7.2.2 表面质量

钢纤维表面应保持干燥清洁，不应粘有残留物，包括表面氧化物、油脂、污垢及其他影响钢纤维在混凝土中和易性的物质。

7.2.3 加工碎屑

钢纤维内含有的因加工不良和严重锈蚀造成的粘连片、铁屑及其他杂质的总重量应不超过钢纤维重量的 1%。

7.2.4 弯曲性能

I 类、II 类和 IV 类钢纤维弯曲 2 次试样应不断裂，III 类和 V 类钢纤维向最易弯折方向弯折 90°试样应不断裂，且至少 90% 的样品应达到要求。

## GB/T 39147—2020

### 7.2.5 重量偏差

每个包装内的产品净重偏差应不超过额定重量的 $\pm 1\%$ 。

### 7.2.6 抗拉强度

钢纤维公称抗拉强度应符合表 3。钢纤维抗拉强度公差按表 4 确定。

### 7.2.7 弹性模量

经供需双方协商,可提供钢纤维变形前母材的弹性模量。

## 7.3 应用

### 7.3.1 拌合

钢纤维混凝土应采用强制搅拌。钢纤维混凝土的搅拌工艺应确保钢纤维在拌合料中分散均匀不产生结团。生产者应提供拌合说明,用于指导钢纤维在混凝土中的添加方法、操作程序,避免结团。

### 7.3.2 钢纤维对混凝土的增韧效果

经供需双方协商,结构应用需要时,生产者应提供满足以下增韧效果要求的最低含量值( $\text{kg}/\text{m}^3$ ):

当钢纤维混凝土试件切口位移达到 0.5 mm 时(或同等于试件跨中挠度达到 0.47 mm)的残余抗弯拉强度大于或等于 1.50 MPa 和切口位移达到 3.5 mm 时(或同等于试件跨中挠度达到 3.02 mm)的残余抗弯拉强度大于或等于 1.00 MPa。

### 7.3.3 钢纤维混凝土和易性

经供需双方协商,应用需要时,供方对 7.3.2 中最低含量的钢纤维混凝土进行维勃稠度值测定和公布。

### 7.3.4 钢纤维混凝土含气量

经供需双方协商,应用需要时,当在基准混凝土中添加钢纤维  $30 \text{ kg}/\text{m}^3$  时,在不增加任何减水剂的条件下含气量增加值应不大于 2%。

## 8 试验方法

### 8.1 形状

采用目视进行检验,对照钢纤维形状模板图,逐根检验钢纤维的形状,判断是否不符合出厂形状的规定。

### 8.2 尺寸

#### 8.2.1 长度

钢纤维长度的测定应使用分度值不大于 0.1 mm 的量具(如:游标卡尺)。

钢纤维长度应按照供方提供的钢纤维形状模板图测定,长度精确至 0.1 mm。当需要测量伸展长度时,应手工展直。若无法手工展直,应在木质平面,塑料平面或铜平面上用相似材质的锤子锤直。整个展直的过程中,纤维截面应不发生变化。



### 8.2.2 (等效)直径

对于圆形截面钢纤维,直径的测量应使用分度值为 0.01 mm 的外径千分尺。在同一横截面内沿两个垂直方向测定直径,精确至 0.01 mm。计算其平均值,结果应修约至 0.01 mm。

对于矩形截面钢纤维,纤维宽度( $w$ )及厚度( $t$ )的测量应使用精度为 0.01 mm 的外径千分尺。钢纤维等效直径按式(1)计算:

$$d = \sqrt{\frac{4wt}{\pi}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$d$  ——等效直径,单位为毫米(mm);

$w$  ——纤维宽度,单位为毫米(mm);

$t$  ——纤维厚度,单位为毫米(mm)。

对于不规则截面的钢纤维,应确定钢纤维的质量之和( $m$ )和伸展长度之和( $l_d$ ),质量应精确到 0.001 g。钢纤维等效直径按式(2)计算:

$$d = \sqrt{\frac{4m}{\rho\pi l_d}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$d$  ——等效直径,单位为毫米(mm);

$m$  ——质量之和,单位为千克(kg);

$l_d$  ——伸展长度之和,单位为毫米(mm);

$\rho$  ——名义密度,单位为千克每立方米( $\text{kg}/\text{m}^3$ )。

注:除不锈钢纤维之外的所有钢纤维,名义密度取  $7\,850\text{ kg}/\text{m}^3$ 。不锈钢纤维名义密度取  $7\,950\text{ kg}/\text{m}^3$ 。

### 8.3 抗拉强度

钢纤维的抗拉强度应按照 GB/T 228.1 的要求进行测量,采用实测最大拉力值除以实测钢纤维横截面积计算。

I 类钢纤维的抗拉强度应由变形前的金属丝或合格钢纤维测定。

II 类钢纤维的抗拉强度应由变形前的金属板或合格钢纤维测定。

III 类、IV 类、V 类钢纤维的抗拉强度由钢纤维测定,试验机夹具间的钢纤维最小长度 20 mm。纤维的公称抗拉强度由实测最大拉力值除以纤维截面积,截面积按实测等效直径计算得来。如使用光学方法测定断面截面的面积,应注明截面面积的测量精度以及由最大拉力值除以断裂处截面面积得到的抗拉强度值。

注:对于较短的钢纤维,可由供需双方协商确定测试方法。

### 8.4 弯曲性能

弯曲试验按照 GB/T 238,在  $10\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$  下进行。弯曲试验宜使用自动弯曲试验机将试样沿直径为 3.0 mm 的支撑轴在同一平面内的两个相反方向做  $90^{\circ}$  的匀速往复弯折,试样弯曲  $90^{\circ}$  并返回到初始位置为一次弯曲,见图 1。弯曲试验也可采用人工弯折,但应有合适的工装来确保钢纤维在同一平面内往返弯折,且每次钢纤维弯折角度应保证  $90^{\circ}$ 。记录最终弯折次数。

GB/T 39147—2020

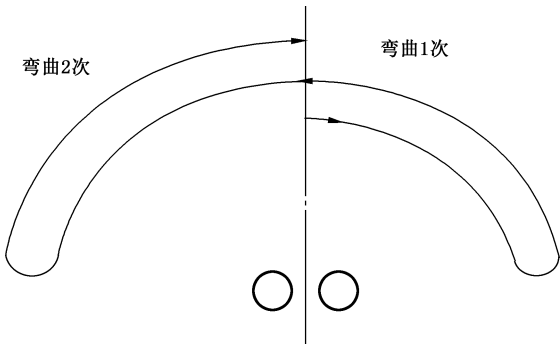


图 1 弯曲试验图解

8.5 弹性模量

钢纤维弹性模量试验使用变形前的母材进行测量,可通过 10%  $R_m$  和 30%  $R_m$  时的母材应力和应变计算得到弹性模量。对 I 类和 II 类钢纤维,可按 GB/T 228.1 的规定来测试其弹性模量。

8.6 表面质量

用目视法进行检验。

8.7 加工碎屑

按表 4 称重取样,记录取样重量为  $m_0$ ,称量仪器的精度不低于 0.1 g。人工挑选钢纤维内含有的因加工不良和严重锈蚀造成的粘连片、铁屑及其他杂质进行称重记录  $m_1$ 。加工碎屑占比按式(3)计算:

$$MS = \frac{m_1}{m_0} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (3)$$


式中:

- MS ——加工碎屑占比,精确至 0.1%;
- $m_0$  ——试样总重量,单位为克(g),精确至 0.1 g;
- $m_1$  ——挑选出的加工碎屑重量,单位为克(g),精确至 0.1 g。

8.8 重量偏差

对随机抽取的样品进行重量检测。称量仪器使用前应调整至水平位置,称量仪器的精度应不大于公称重量的 0.1%。

8.9 钢纤维在混凝土中的增韧效果

按照附录 A 在基准混凝土中加入钢纤维,按附录 B 测定钢纤维在混凝土中满足增韧要求的最低含量。钢纤维混凝土的抗弯性能分级可参照附录 C。钢纤维取样数量应按 7.3.2 中的最低含量。

8.10 钢纤维混凝土和易性

钢纤维混凝土和易性试验方法按 GB/T 50080—2016 的第 6 章执行。按照附录 A 在基准混凝土中加入钢纤维,钢纤维取样数量按 7.3.2 中提供的最低含量。测定次数为 1 次。

8.11 钢纤维混凝土含气量

钢纤维混凝土含气量的检验方法按 GB/T 50080—2016 执行。含气量变化量  $\Delta Q$  按式(4)计算:

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2 \dots\dots\dots (4)$$

式中：  
 $\Delta Q$  ——含气量变化量(%)，精确至 0.01；  
 $Q_1$  ——基准混凝土含气量(%)，精确至 0.01；  
 $Q_2$  ——钢纤维混凝土含气量(%)，精确至 0.01。

钢纤维混凝土含气量的检验测定 2 次，取平均值。钢纤维取样数量按 7.3.4 中的规定，取样方式由供需双方协商决定。

注：钢纤维混凝土性能对比对象为基准混凝土性能。该基准混凝土中，除了钢纤维含量为 0 之外，其他配合比参数均与钢纤维混凝土相同，且基准混凝土和钢纤维混凝土制备方式和试验制度均保持一致。

9 检验规则

9.1 检验项目

钢纤维出厂检验项目及取样数量见表 5。

表 5 出厂检验项目

序号	检验项目	取样数量	检验依据	
			要求	试验方法
1	形状	100 根/批	5.1.3	8.1
2	尺寸	100 根/批	7.2.1	8.2
3	抗拉强度	20 根/批	7.2.6	8.3
4	弯曲性能	20 根/批	7.2.4	8.4
5	表面质量	500 g/批	7.2.2	8.6
6	加工碎屑	500 g/批	7.2.3	8.7
7	重量偏差	5 袋(箱)/批	7.2.5	8.8

9.2 判定规则

9.2.1 组批规则

钢纤维的质量由供方进行出厂检验，应按批进行检查和验收，每批由同一类型、同一尺寸规格、同一强度等级的钢纤维组成，供方每批次应不大于 40 t。需方复检可适当增大批量。

9.2.2 复验和判定

检验结果如有一个或一个以上不合格项目，则应取双倍试样进行不合格项目的复验，如复验结果全部符合本标准要求，则该批产品合格，如复验结果有任一项不满足本标准要求，则该批产品判为不合格。

注：生产者工厂生产控制可参考附录 D。

10 包装、标志、运输和贮存

10.1 包装

钢纤维包装可根据用户要求和运输特点，采用相应的包装方式，但应有防潮措施。

## **GB/T 39147—2020**

### **10.2 标识**

包装上应注明供方名称、产品名称、产品代号、本标准编号、重量、生产日期。

### **10.3 运输**

可采用一般装卸运输方式,但应采取必要措施防止雨、水、雪侵袭。

### **10.4 贮存**

钢纤维应存放在清洁通风、干燥的库房内,不应与腐蚀性物品放置一起。

## **11 质量证明文件**

每批交货的产品,应提供产品质量证明书,其中应注明生产厂家、发货日期、本标准编号、产品名称、规格、公称抗拉强度。



**附 录 A**  
**(规范性附录)**  
**基准混凝土的组成和特征**

**A.1 概述**

本附录通过规定基准混凝土的组成及特征来评价钢纤维在混凝土里的使用效果。

注：指定基准混凝土的目的是为了确定钢纤维在混凝土中的一般适用性。

**A.2 一般要求**

A.2.1 试验在标准实验室条件下进行。

A.2.2 基准混凝土的设计应符合表 A.1 的规定。

A.2.3 钢纤维混凝土性能的测定应使用最大粒径符合表 A.1。

A.2.4 混凝土里添加钢纤维时，应确保混合后钢纤维均匀分布在混凝土中。

**A.3 设备**

**A.3.1 混凝土搅拌机**

混凝土的拌合应使用强制式混凝土搅拌机。

**A.3.2 模具**

模具应采用钢质材料，确保试件的尺寸为 150 mm×150 mm×550 mm。

**A.3.3 高频率振动台**

高频率振动台应适用于附录 B 中的梁式混凝土试件的振动压实要求。

**A.4 材料**

**A.4.1 骨料**

骨料应为天然硅质集料，小于 2% 吸水率，使用前应烘干或自然风干。测量骨料级配应符合 JG/J 52 要求。

**A.4.2 拌合水**

拌合水应符合 JGJ 63 要求。

**A.4.3 水泥**

水泥应使用 GB 175—2007 中 P·O 42.5 水泥。

**A.4.4 外加剂**

外加剂应符合 GB 8076 的规定。配制钢纤维混凝土宜选用高效减水剂来控制混凝土的工作性。

A.5 基准混凝土的组成和特性

A.5.1 概述

本章根据弯拉强度、骨料最大尺寸和最大水泥含量定义基准混凝土。应首先采用骨料最大粒径 16 mm 或 20 mm 的基准混凝土进行测试。同时也可以选择其他几种不同最大水泥用量、骨料大小的基准混凝土进行相关测试。基准混凝土的配合比应在符合水灰比、最大骨料尺寸以及和易性的范围内做适当调整,以使得平均弯拉强度处于表 A.1 中所描述的范围。

A.5.2 水灰比

水灰比应满足表 A.1 要求。

表 A.1 水灰比及水泥用量限制

弯拉强度平均值 MPa	水/水泥质量比			最大水泥用量 kg/m <sup>3</sup>
	骨料最大粒径			
	10 mm	16 mm	20 mm	
4.3±0.3 (C30) <sup>a</sup>	0.55 <sup>b</sup>	0.55 <sup>c</sup>	0.55 <sup>c</sup>	350
5.8±0.4 (C50) <sup>a</sup>	0.45 <sup>b</sup>	0.45 <sup>b</sup>	0.45 <sup>b</sup>	400
<sup>a</sup> 混凝土的强度等级。 <sup>b</sup> 选择性混合。 <sup>c</sup> 强制混合。				

A.5.3 最大水泥含量

最大水泥含量根据表 A.1 选取。

A.5.4 和易性

基准混凝土的和易性应符合下列要求:

- a) 根据 GB/T 50080—2016 进行维勃稠度检测,维勃稠度应为 6 s~10 s。
- b) 可以添加复合减水剂或高效减水剂混合物,以使混凝土的水灰比达到表 A.1 的要求。
- c) 混凝土应不泌水或离析。

A.6 样品制备

- A.6.1 准备一批混凝土料,体积宜为搅拌机额定出料容量的 50%~80%。
- A.6.2 将全部干燥骨料倒进搅拌器,加入混凝土配比设计的一半水并搅拌 2 min。
- A.6.3 加入水泥,持续搅拌,并在 1 min 内加入另一半的水(或含外加剂)。
- A.6.4 搅拌时间不应超过 5 min。

## A.7 混凝土养护和存储

A.7.1 混凝土试件浇筑后应在 $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 、聚丙烯薄膜覆盖的条件下带模养护 24 h。

A.7.2 随后拆模,并在 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 的饱和氢氧化钙溶液中或者标准养护室中继续养护 27 d。

A.7.3 养护阶段完成后,试件即可用于测试。

## A.8 报告

任一组基准混凝土测试应记录以下信息:

- a) 配合比,包括干燥骨料、外加剂的量( $\text{kg}/\text{m}^3$ )以及具体的搅拌过程;
- b) 水灰比;
- c) 生产日期及时间;
- d) 骨料的粒径级配;
- e) 养护和存储条件;
- f) 弯拉强度值精确到 0.01 MPa(平均值及个体值);
- g) 本标准编号。

附 录 B  
(规范性附录)  
钢纤维混凝土残余抗弯拉强度测试方法

B.1 概述

本附录规定了在标准实验室条件下进行钢纤维混凝土残余抗弯拉强度测试方法,通过测定残余抗弯拉强度值来评价钢纤维在混凝土里的增强、增韧效果。

B.2 原理

试验将一集中荷载作用在简支带切口的长方体试件的跨中位置,测得切口张开处的水平位移与荷载变化的曲线或竖向挠度与荷载变化的曲线,根据曲线计算得出的残余抗弯拉强度来评价钢纤维对混凝土的增强、增韧效果。

B.3 设备

- B.3.1 液压伺服试验机:试件破坏载荷应大于压力机全量程的 20%且小于压力机全量程的 80%。相对误差不大于量程的 1.0%,试验机应具有足够刚度,并具有位移控制功能。
- B.3.2 位移传感器:量程不小于 5 mm,精度不低于 0.01 mm。
- B.3.3 力传感器:量程 200 kN,精度不低于 0.1 kN。
- B.3.4 动态数据采集系统:应能确保实时采集力与挠度的数值,采集频率不低于 5 Hz。
- B.3.5 夹式引伸仪:量程不小于 5 mm,精度不低于 0.01 mm。
- B.3.6 挠度测量架,应包括水平安装的铝板,固定钮,位移传感器触头顶板等。
- B.3.7 力传递到试件和支承试件装置应分别由两个支承辊轴和一个荷载辊轴组成,见图 B.1。辊轴的直径为 30 mm~50 mm,长度比试件宽度长 10 mm。三个辊轴可以万向滚动和前后(垂直于试件轴线方向)自由倾斜。两个辊轴中心线之间的间距为 500 mm。辊轴应调整到正确的位置,所有距离应精确到±1.0 mm。

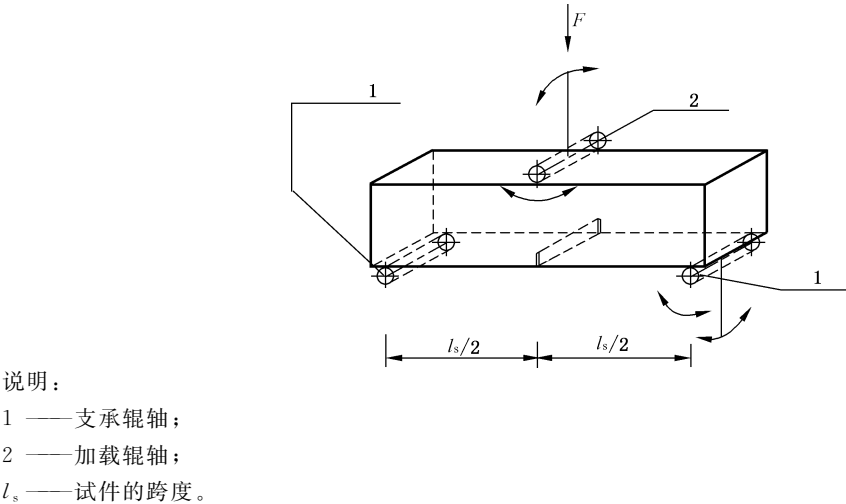
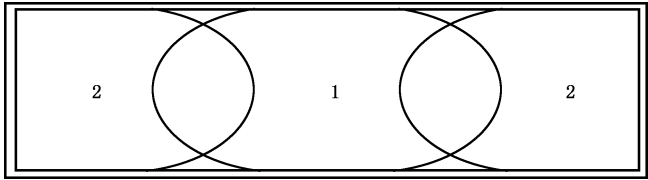


图 B.1 试件加载位置



B.4 试件的制作和养护

- B.4.1 试件制作养护应按照 GB/T 50081 规定。
- B.4.2 试件尺寸:150 mm×150 mm×550 mm，跨度为 500 mm。
- B.4.3 试件的浇筑步骤见图 B.2,先浇筑区域 1 再浇筑区域 2,区域 1 的面积应是区域 2 的二倍。当模具里的混凝土达 90%的试件高度时可进行振实,做到边振实边加满和整平混凝土。振实采用外部振动法。



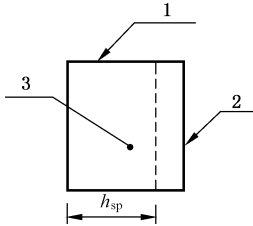
说明：

1——浇筑区域 1；

2——浇筑区域 2。

图 B.2 试件浇筑步骤示意图

- B.4.4 将试件成型时的侧面作为支承面,在支承面的跨中预留开口见图 B.3,开口宽度不大于 5 mm，深度为 25 mm±1 mm。标准养护 28 d 后进行湿切。



说明：

1 ——浇筑的顶面；

2 ——切口面；

3 ——试件截面；

$h_{sp}$  ——试件有效高度。

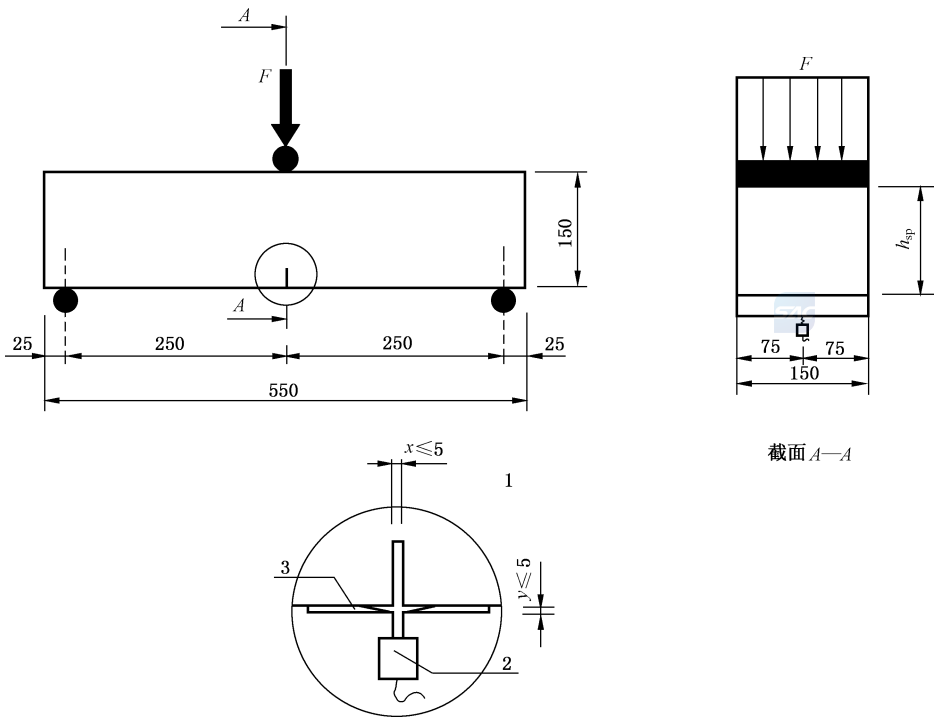
图 B.3 试件切口位置

B.5 试验步骤

- B.5.1 进行试件尺寸测量,并标记安装位置和测试仪表位置。
- B.5.2 将试件无偏心的放置于试验支座上,以试件预开口面作为支承面。位移传感器安装在沿试件长度方向的中心位置。预开口张开的水平位移的试验装置见图 B.4,挠度测试的试验装置见图 B.5。
- B.5.3 挠度测试装置应配有型钢或铝材制作的横梁,固定横梁与试件侧面的螺栓,横梁的一端应可以滑移,另一端可以转动(如图 B.2 中标示的 1 和 2)。

GB/T 39147—2020

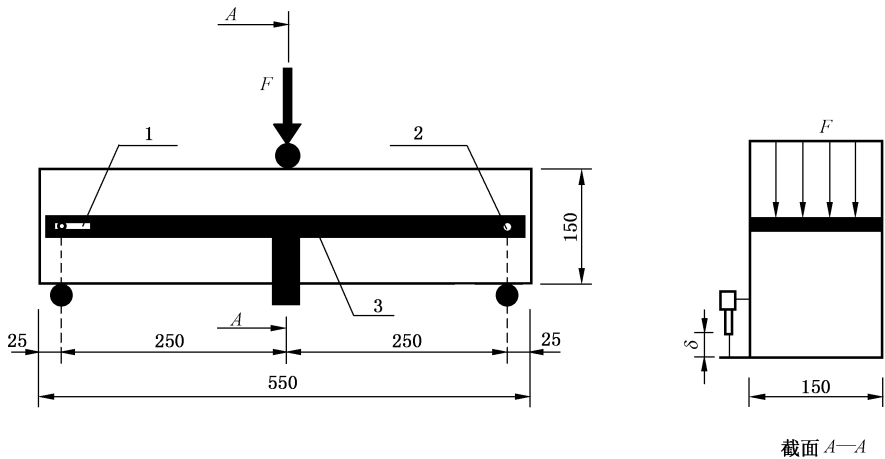
单位为毫米



说明：  
1 ——切口细节；  
2 ——传感器；  
3 ——刀口；  
 $h_{sp}$  ——试件从切口顶端到试件顶部的高度。

图 B.4 水平位移测试试验装置和测量仪表位置

单位为毫米



说明：  
1 ——滑动固定装置；  
2 ——转动固定装置；  
3 ——刚架。

图 B.5 挠度测试试验装置和测量仪表位置

- B.5.4** 采用单点加载,作用点距支座距离为跨度的二分之一。加载前,试件、加载装置以及铰支座应充分接触。
- B.5.5** 启动试验机,采用闭环等速位移控制,开口速率为 0.05 mm/min,当 CMOD 为 0.1 mm 时,调整速率为 0.2 mm/min。
- B.5.6** 实验应进行至 CMOD 不小于 4 mm。
- B.5.7** 若测得在 CMOD<sub>FL</sub> (0 到 CMOD=0.05 mm 范围内出现的最大荷载  $F_L$  对应的切口张开位移值) 到 CMOD=0.5 mm 范围内的最小荷载小于 CMOD=0.5 mm 的对应荷载的 30%,则试验为不稳定,应重新进行试验。
- B.5.8** 若裂缝未出现在试件的预开口处,则应舍弃该试验结果。

**B.6 计算结果表述**

- B.6.1** 当采用挠度测试试验时,上述的 CMOD 值应换算为等效挠度值  $\delta$ 。换算见式(B.1):
- $$\delta = 0.85\text{CMOD} + 0.04 \quad \dots\dots\dots (\text{B.1})$$

表 B.1 给出了常用的 CMOD 与对应的等效挠度值  $\delta$  供参考使用。

表 B.1    CMOD 与对应的等效挠度值  $\delta$ 单位为毫米

CMOD	$\delta$
0.05	0.08
0.1	0.13
0.2	0.21
0.5	0.47
1.5	1.32
2.5	2.17
3.5	3.02
4.0	3.44

- B.6.2** 比例极限弯拉强度  $f_{ct,L}^f$  计算方法见式(B.2):
- $$f_{ct,L}^f = 3F_L l / 2bh_{sp}^2 \quad \dots\dots\dots (\text{B.2})$$

式中:

$f_{ct,L}^f$  ——比例极限弯拉强度,单位为牛顿每平方米(N/mm<sup>2</sup>);

$F_L$  ——对应于比例极限弯拉应力的最大荷载,单位为牛顿(N);

$l$  ——试件跨度,单位为毫米(mm);

$b$  ——试件宽度,单位为毫米(mm);

$h_{sp}$  ——试件从切口顶端到试件顶部的高度,单位为毫米(mm)。

图 B.6 给出了荷载  $F_L$  与切口张开位移值 CMOD 的 a)、b)、c)、d) 四种情况。荷载  $F_L$  为 0 到 CMOD=0.05 mm 范围内出现的最大荷载。

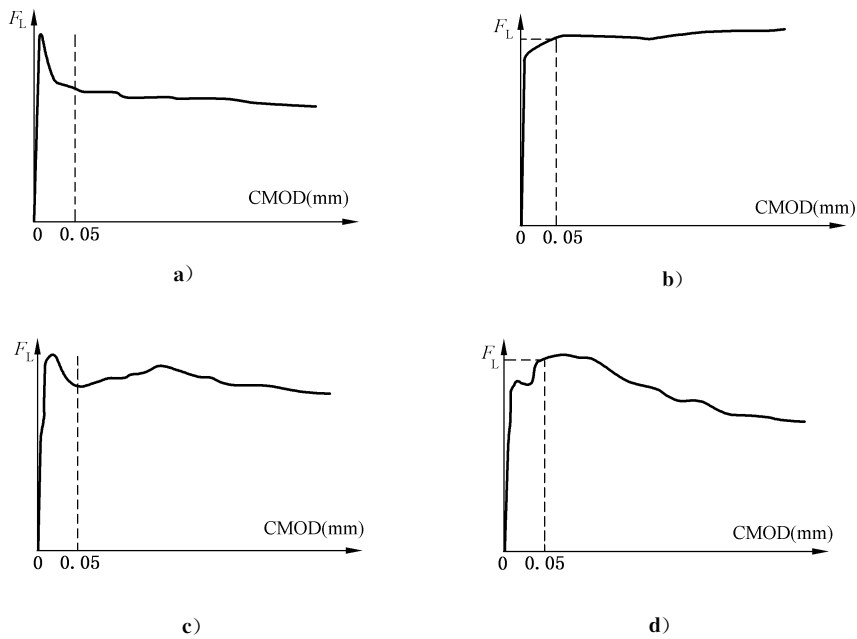


图 B.6 荷载  $F_L$  与切口张开位移值  $CMOD$

B.6.3 残余抗弯拉强度( $f_{Rj}$ )计算见式(B.3)：

$$f_{Rj} = 3F_j l / 2bh_{sp}^2 \dots\dots\dots (B.3)$$

- 式中：
- $f_{Rj}$  ——对应切口张开位移值  $CMOD_j$  或挠度值  $\delta_j$  ( $j=1,2,3,4$ ) 的残余抗弯拉强度,单位为牛顿每平方毫米 ( $N/mm^2$ )；
  - $F_j$  ——对应切口张开位移值  $CMOD_j$  或挠度值  $\delta_j$  ( $j=1,2,3,4$ ) 的荷载值,单位为牛顿 (N)；
  - $l$  ——试件跨度,单位为毫米 (mm)；
  - $b$  ——试件宽度,单位为毫米 (mm)；
  - $h_{sp}$  ——试件从切口顶端到试件顶部的高度,单位为毫米 (mm)。

图 B.7 给出了切口张开位移值  $CMOD_j$  对应荷载  $F_j$  ( $j=1,2,3,4$ ) 的情况。

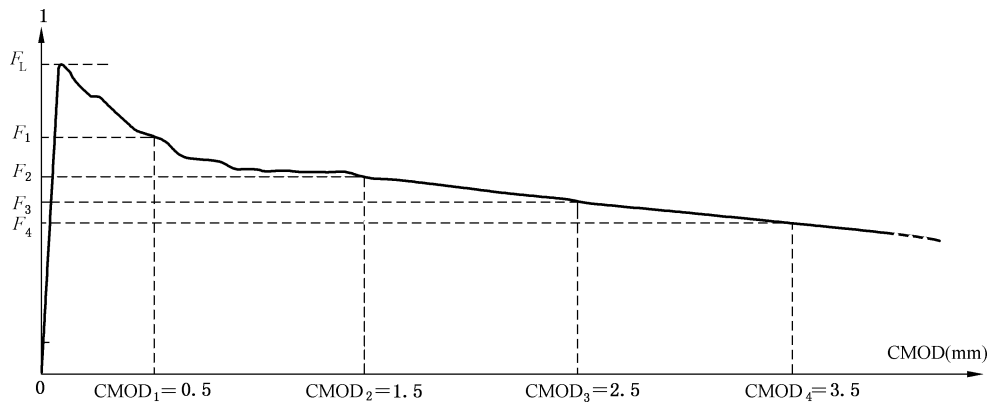


图 B.7 荷载  $F_j$  与切口张开位移值  $CMOD_j$  ( $j=1,2,3,4$ ) 曲线



## B.7 试验报告

试验报告应包括下列内容：

- a) 试件标号；
- b) 混凝土配合比标注；
- c) 试件制作日期；
- d) 试件切口日期；
- e) 试验日期；
- f) 试件的数量；
- g) 试件养护情况记录(含养护环境的相对湿度情况)；
- h) 试件平均宽度值(精确到 0.1 mm)；
- i) 试件从切口顶端到试件顶部的平均高度值(精确到 0.1 mm)；
- j) 跨度(精确到 0.1 mm)；
- k) 加载控制速率；
- l) 荷载和 CMOD 或挠度曲线图；
- m) 比例极限弯拉强度值(精确到  $0.01 \text{ N/mm}^2$ )；
- n) 残余抗弯拉强度值(精确到  $0.01 \text{ N/mm}^2$ )；
- o) 实验人员签名。

## B.8 评估

利用附录 A 所描述的基准混凝土制作 12 根掺入钢纤维的开口梁,尺寸为  $150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \times 550 \text{ mm}$ 。在第 28 天时,对 12 根梁的 500 mm 跨度中心点进行测试。

应制作具有不同纤维掺量的一系列的混凝土试件并测试,直到达到 7.3.2 规定的强度性能。

纤维的数量确定是否能达到  $\text{CMOD} = 0.5 \text{ mm}$ (相当于  $0.47 \text{ mm}$  跨中挠度)时的平均残余抗弯拉强度  $\geq 1.50 \text{ MPa}$ ,以及  $\text{CMOD} = 3.5 \text{ mm}$ (相当于  $3.02 \text{ mm}$  跨中挠度)时的平均残余抗弯拉强度  $\geq 1.00 \text{ MPa}$ 。

计算 12 根梁的平均性能时,任何异常值(非代表性的)均应排除。异常值的判定方法按照 GB/T 6379.2—2004 的格拉布斯(Grubb)试验法误差在 5% 以内,置信水平 95%。

注:统计学上,假设 25% 的变异系数,置信水平为 90%,则 12 根梁测试系列的平均值将不会偏离分布模型均值 10% 以上。

附 录 C  
(资料性附录)  
钢纤维混凝土抗弯性能

C.1 钢纤维混凝土的抗弯性能分级

钢纤维混凝土的抗弯性能分级按照表 C.1 的规定。

表 C.1 钢纤维混凝土的抗弯性能等级

抗弯性能分级	$f_{R1k}/\text{MPa}$	残余抗弯拉强度分级	$f_{R3k}/f_{R1k}$
1	$1.0 \leq f_{R1k} < 1.5$	a	$0.5 \leq f_{R3k}/f_{R1k} < 0.7$
1.5	$1.5 \leq f_{R1k} < 2.0$	b	$0.7 \leq f_{R3k}/f_{R1k} < 0.9$
2	$2.0 \leq f_{R1k} < 2.5$	c	$0.9 \leq f_{R3k}/f_{R1k} < 1.1$
2.5	$2.5 \leq f_{R1k} < 3.0$	d	$1.1 \leq f_{R3k}/f_{R1k} < 1.3$
3	$3.0 \leq f_{R1k} < 3.5$	e	$1.3 \leq f_{R3k}/f_{R1k}$
3.5	$3.5 \leq f_{R1k} < 4$	—	—
4	$4 \leq f_{R1k} < 5$	—	—
5	$5 \leq f_{R1k} < 6$	—	—
N	$N \leq f_{R1k} < N+1$	—	—
N+1	$N+1 \leq f_{R1k} < N+2$	—	—

注： $f_{R1k}$ 、 $f_{R3k}$ 为残余抗弯拉强度，其中  $f_{R1k}$  对应于  $\text{CMOD}=0.5\text{ mm}$  时的残余抗弯拉强度标准值， $f_{R3k}$  对应于  $\text{CMOD}=2.5\text{ mm}$  时的残余抗弯拉强度标准值。

- 示例 1：  
钢纤维混凝土的抗弯性能等级为 3b，表示其  $f_{R1k}$  为 3 MPa~3.5 MPa， $f_{R3k}/f_{R1k}$  为 0.7 ~0.9。
- 示例 2：  
钢纤维混凝土的抗弯性能等级为 2c，表示其  $f_{R1k}$  为 2 MPa~2.5 MPa， $f_{R3k}/f_{R1k}$  为 0.9 ~1.1。  
用于部分或全部取代钢筋的钢纤维混凝土，其材料性能宜为  $f_{R3k}/f_{R1k} > 0.5$  和  $f_{R1k}/f_{ct,L}^f > 0.4$ 。

C.2 钢纤维混凝土的抗弯性能检验

钢纤维混凝土的抗弯性能检验可按照附录 B 进行。

**附 录 D**  
**(资料性附录)**  
**工厂生产控制(FPC)**

### D.1 总则

生产商应建立文件管理制度并持续维护工厂生产控制(FPC)系统以保证产品的性能符合本标准要求,及其自身的性能要求。FPC 系统应包括程序,定期检验及测试和(或)评估,并运用这些结果对原材料、其他材料或组件、设备、生产流程和产品进行控制。

任何影响产品性能及使用的原材料、生产流程以及控制计划的重要更改,都应该和纤维新特征参数的试验数据一同记录在手册或相关文件中。

对检查、测试或评估结果应进行记录归档,同时,所采取的措施也应记录下来。当控制值与标准不相符时采取的措施也应记录。

### D.2 设备

所有称量,测量及测试设备,应按照相关文件规定的程序和标准定期检查和校准。

### D.3 原材料

为确保来料的一致性,所有来料的规格及检验计划应形成文件。

### D.4 设计程序

工厂生产控制系统应记录产品设计的各个阶段,明确检查程序和各个设计阶段的负责人。

在设计过程中,应记录所有的检查结果和纠正措施。该记录应当充分详细和准确地记录每个设计阶段和检查结果。

### D.5 产品测试和评估

生产商应当建立相关程序以确保产品性能标称值的稳定。应当控制的特性包括:

- 形状;
- 纤维涂层;
- 尺寸和公差;
- 抗拉强度;
- 弯曲要求。

最小测试频率及测试量要求见表 D.1。

表 D.1 生产控制最小测试频率和数量单位

检验项目	试验方法	控制模式		
		严格控制(T)	正常控制(N)	简化控制(R)
		最小频率和数量单位		
形状	8.1	12 根纤维/10 t/机器	12 根纤维/50 t/机器	3 根纤维/周/机器
涂层	由供需双方协商确定	交货量小于 15 t 时至少 3 次检测;每 5 t 增加一次	每 5 t 一次	每 10 t 一次
尺寸和公差	8.2	12 根纤维/10 t/机器	12 根纤维/50 t/机器	3 根纤维/周/机器
抗拉强度	8.3	12 根纤维/10 t/机器	12 根纤维/50 t/机器	3 根纤维/周/机器
抗弯要求	8.4	每 1 t 一次	每 5 t 一次	每 10 t 一次
注:机器指生产过程中成品工序的机器设备。				

数据、详细资料及检查、测试和实验的结果应记录。控制模式的转换见 D.8。在可能并适用的情况下,对检测结果和试验运用统计属性或变量予以解释,以确定其对应的产品是否和本标准的要求以及产品标称值相符。

D.6 可追溯性

来料及材料使用的控制和制成品的库存管理系统应在手册或相关文件中说明。

D.7 不合格品纠正措施

当来料或成品不符合规定的要求时所采取的应急措施应进行说明和记录。这些措施包括必要的纠正步骤,修改手册或相关文件,识别和隔离有缺陷的原料、成品和其他来料并确定它们是否应丢弃或者根据特惠制度让步接收。

D.8 T-N-R 控制模式的转换条件

- 新工厂在至少 6 个月内应使用 T 模式。
- 以下所有条件均适用时,生产商可以从 T 模式转换到 N 模式:
- 检测在 T 模式下进行了至少 6 个月。
  - 最后 3 个月里生产的钢纤维全部符合规范要求。
- 以下所有条件适用时,生产商可以从 N 模式转换到 R 模式:
- 钢纤维属于 I 类,II 类。
  - 检测在 N 模式下进行了至少 12 个月。
  - 最近 12 个月内生产的钢纤维符合规范要求。
  - 由 3 个月的生产数据计算得出的抗拉强度和尺寸的 Cpk 值在最近的两个连续季度内均大于 1。



如有一个季度的抗拉强度或外形的  $C_{pk}$  值小于或等于 0.67, 则生产商应从 R 模式转换回 N 模式。如果下一个季度的结果符合规定的要求, 且抗拉强度和外形的  $C_{pk}$  值再次大于 0.67, 则允许转换回 R 模式。

注:  $C_{pk}$  表示过程能力指数。

---

