

经验交流：钢纤维混凝土轴拉应变特性研究岩土工程师考试  
PDF转换可能丢失图片或格式，建议阅读原文

[https://www.100test.com/kao\\_ti2020/551/2021\\_2022\\_\\_E7\\_BB\\_8F\\_E9\\_AA\\_8C\\_E4\\_BA\\_A4\\_E6\\_c63\\_551545.htm](https://www.100test.com/kao_ti2020/551/2021_2022__E7_BB_8F_E9_AA_8C_E4_BA_A4_E6_c63_551545.htm) 把岩土师站点加入收藏夹 在混凝土基体未开裂前，纤维与混凝土共同处于弹性状态，对材料的变形性能影响很小，但在基体开裂后处于裂纹面的纤维便发挥出其桥联阻裂性能，使材料具有较高的裂后强度、抗拉韧性等。传统的混凝土拉伸试验方法有3种：劈拉试验，轴拉试验和弯拉试验(抗折试验)。劈拉试验因其操作简便，数据稳定的特性，而成为工程人员最易接受的一种方法，但由于复杂的加载条件[2]，破坏断面上材料处于复杂的应力状态(包括拉、压、剪等作用)，不利于对其力学行为进行分析。弯拉试验虽然操作同样简单方便，但只适用于以抗折强度为依据的混凝土结构，同样无法用来测量钢纤维混凝土的应力~应变全曲线。轴拉试验作为最基本的试验方法，其核心是对棱柱体试件进行均匀的轴向拉伸，在整个加载过程中，由于试件断面应力应变分布相对均匀，所测得应力、应变值对应关系明确，故能够直接、准确地测量材料的本构行为。另一方面，由于试件破坏形式简单，破坏准则易于掌握，便于进行钢纤维混凝土机理分析。但该试验的缺点是对试验设备要求较高，操作复杂。对于钢纤维混凝土(SFRC)来说，目前还没有统一的轴拉试验标准可循，国外学者在这方面涉及较早[3~6]，其采用的加载方式主要有两种：一是采用楔形夹具通过摩擦作用于试件两端加载；另一种是采用环氧树脂粘结试件端面加载，其试验对象包括素混凝土以及低、中、高各种纤维体积含率的纤维增强砂浆或混凝土材料。

进入90年代后期，国内有相关的文献报道[7~9]。其中，文献[7]采用大头试件对高掺量(体积含率6%~12%)的纤维砂浆进行了轴向拉伸全过程试验。而文献[8,9]则从另一个角度出发，设计出了环状试件加内水压加载的形式来模拟轴拉试验，并得到了材料的拉伸全曲线。但是，以此方法能否替代轴拉试验还需要进一步的论证。综合上述分析，对纤维混凝土增强机理进行研究，要获得钢纤维混凝土的受拉全过程曲线，采用轴拉方法最为适宜，但是要在试验方法上作一定改进，并且试验机要有足够的刚度，来保证试验过程的稳定。众所周知，在工程实践过程中，由于施工技术及经济条件的限制，SFRC中纤维体积掺率一般不超过2%，而大部分工程实例中，纤维掺量都在1%左右。为此，本文设计了轴拉SFRC材料试验，纤维掺量取1%，并采用不同种类的纤维增强形式，进行对比分析。

1. 试验内容 试验用水为生活用自来水。水泥为525号普通硅酸盐水泥。细砂为河砂，筛除粒径大于5mm的颗粒，粗骨料采用最大粒径为20mm的碎石。钢纤维共采用4种形式，见表1.轴拉试件尺寸为100mm×100mm×300mm，每组浇注试块4个，共4组(包括4种纤维).混凝土配合比为：水 水泥 砂 石=0.42 1 1.5 2.0.试件养护28d后取出，采用切割机把两端面切平，试件长度为24cm左右。试验在清华大学高坝大型结构国家实验室INSTRON 8506伺服疲劳试验机上进行，试验装置如图1.试件端面采用环氧树脂与拉头胶结，并分别采用4个引伸计测量试件的拉伸变形，引伸计均连接在试件的上下拉头上，以确保其破坏面在引伸计测量范围内。4个引伸计中示值最大的通道作为试验机的控制信号[6]。应变初始加载速率为8 μ /min，在软化段后期，应变到

达 $1000\ \mu$  时，加载速率提高至 $50\ \mu$  /min.从试验结果来看，提高加载速率前后，相应载荷略有提高，但对整段曲线的发展趋势影响很小。

### 2. 试验结果

4种钢纤维混凝土的典型拉伸应力-应变曲线可以看出：在轴拉条件下，1%掺量的钢纤维远远没有达到使混凝土材料实现应变强化的地步，大部分试验曲线都在达到峰值后，出现荷载骤降段。但是，随着变形的增加，有两条曲线有明显的第二峰值出现，而另外两条则没有，正是根据这种现象，可以将其分为增强和增韧两大类钢纤维混凝土，有第二峰值的为增韧类，无第二峰值的为增强类。通过比较试验结果，可以得出以下结论：增强类钢纤维混凝土比增韧类钢纤维混凝土的强度平均提高13%；而由基本开裂至裂缝宽度为0.5mm区间(相应的应变约 $2000\ \mu$  )的断裂能积分则显示：增韧类钢纤维混凝土比增强类钢纤维混凝土的断裂能平均提高20%.由表3还可以看出，大部分SFRC第一峰值对应的极限拉应变值与素混凝土相当，在 $100\ \mu$  左右，这说明低含率纤维的掺入对提高混凝土的极限拉应变作用不很明显。而增韧类SFRC第二峰值对应的应变则大大提高，可达 $1000\ \mu$  ，由此可知第二峰值的出现大大提高了材料的韧性。DRAMIX型纤维因为长度是其它三种纤维长度的2倍，其断裂韧性更好，在试验曲线中可以看出在应变达到后，其荷载强度仍然保持较高水平，直到 $10000\ \mu$  应变时荷载仍可保持其峰值水平的50%左右。

### 3. 钢纤维作用机理分析

试验过程中，在基体开裂后，试件的拉伸变形主要来自初始裂缝的不断张开，在断裂面处SFRC通过纤维继续把载荷传递给未开裂的部分，这样，材料的力学性能就完全取决于纤维与基体界面的结合强度。随裂缝不断张开，纤维桥联纤维也不断

被拔出，基体在阻碍纤维拔出的过程中，主要靠纤维-基体界面间的粘结力(包括粘着与剪摩约束两种作用)及纤维的异形造成的机械抗力。HAREX纤维由于是铣削工艺制作的，表面粗糙，而武东纤维的波纹状体形也相当于增大了纤维拔出过程中的摩擦，故在这两种纤维拔出过程中，摩擦力(包括动摩擦与弹性剪摩约束两种作用)起主要阻抗作用；而DRAMIX和浙萧纤维两种弓形纤维，由于其存在的弯钩段，在纤维拔出过程中又额外提供了机械抗力。取单根直线型短纤维(HAREX及武东)分析，假设断裂面垂直于拉应力方向，纤维沿拉应力方向分布，其拔出过程主要包括两步：首先，随裂缝不断地张开，纤维-基体界面首先从基体断裂面处产生破坏，随后沿纤维表面向基体内部扩展，此时基体通过粘结破坏段的动摩擦作用与未破坏段的弹性剪摩作用来对纤维的拔出实施阻力。当界面破坏至纤维端点后，纤维与混凝土之间的粘结已完全失效，纤维进入动态拔出过程，此时纤维只受到基体给予的动摩擦作用，故在我们观察到的SFRC试验全曲线后期，载荷与裂缝张开度之间有很好的线性关系。而对于弓形纤维(DRAMIX及浙萧)，当纤维-基体界面粘结破坏至纤维端点时，由于纤维末端存在异形弯钩，纤维在继续拔出过程中，要克服该弯钩段拔出所需的机械抗力，而且该作用力是在拔出后期起主要作用的，所以该类SFRC在破坏后期能够表现出较大的韧性。从试验结果来看，试件断裂面形状极不规则，分布有几十根沿各种方向分布的纤维。纤维-基体界面上除了上述3种作用(动摩、剪摩、机械抗力)外，由于纤维与裂缝面不正交造成的纤维自身弯曲变形，同样增加了基体对纤维的机械阻拔作用[10]。然而从另一个角度上说，纤维对断

裂区域混凝土的局部作用也因此大大增强了，再加上纤维的交错分布，使断裂面附近区域混凝土材料受力极不均衡，由此而形成的应力集中不断造成骨料和砂浆碎片的剥落损伤现象(对于增韧型纤维尤甚)，第二峰值的出现过程很有可能与大颗粒骨料的剥落有关。这虽然形成了一定的能量消耗，但同时也造成了断裂区域处应力、应变的释放，减弱了纤维的增韧效果。一般情况下，该区域的厚度与所掺纤维长度的半长以及所用骨料的粒径有关。详细、定量的机理分析，是作者研究工作的后续。

#### 4. 结论

- (1)在分析钢纤维混凝土受拉全过程力学行为时，采用轴拉试验最为适宜；
- (2)按照纤维作用机理的不同，可以把SFRC划分为增强和增韧两大类；
- (3)通过增大纤维与基体的摩擦作用，可以提高纤维混凝土初裂时的承载力；而通过弯钩等异型纤维，可以提高纤维混凝土的后继承承载力，有利于SFRC韧性的提高；
- (4)不同于单根纤维的拔出试验，在SFRC的拉伸试验中，混凝土基体产生大量的砂浆及骨料剥落现象，造成一定的载荷释放，减弱了纤维的增强增韧效果。

100Test 下载频道开通，各类考试题目直接下载。详细请访问 [www.100test.com](http://www.100test.com)