

# 聚丙烯纤维混凝土动态力学性能试验研究

陈 磊, 陈太林  
(徐州空军学院, 221000)

**摘 要:**通过对素混凝土和聚丙烯纤维混凝土两种材料进行 SHPB 试验, 对动载下两种材料试件的峰值应力、峰值应力对应变、韧性指标进行了系统研究。

**关键词:**混凝土; 动态力学性能; 应变率; Hopkinson 压杆; 聚丙烯纤维

**中图分类号:** TU528.572 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4637(2005)01-41-02

## 0 前言

聚丙烯纤维是一种新型的混凝土增强纤维, 被称为混凝土的“次要增强筋”。随着复合材料科学的发展, 聚丙烯纤维开始被运用于土木工程中。20世纪90年代以来, 我国开始对聚丙烯纤维增强混凝土的特性进行研究, 并且逐渐将其投入了道路、水利及建筑专业的实际工程中。

本文对聚丙烯纤维混凝土动态力学性能进行了研究, 为其在军事领域的应用提供了重要的依据。

## 1 实验装置

本试验采用的变截面大尺寸 SHPB 装置的布置见图1。其中子弹、入射杆及透射杆均采用钢质材料, 子弹及入射杆小端直径为37mm, 入射杆大端及透射杆直径为74mm。子弹长度有800mm及600mm两种, 入射杆总长2700mm, 透射杆为1800mm。灵敏度较高的半导体应变片布置在入射杆及透射杆中部, 且与试件等距离布置。

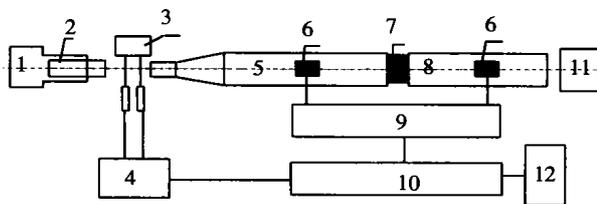


图1 SHPB实验装置示意图

1—轻气炮; 2—子弹; 3—平行光源; 4—光电转换器;  
5—入射杆; 6—应变片; 7—试件; 8—输出杆; 9—信号放大器; 10—数字示波器; 11—缓冲器; 12—计算机

## 2 试验实施方案

本次试验对素混凝土及含量分别为  $0.5\text{kg/m}^3$ 、 $1.0\text{kg/m}^3$  和  $1.5\text{kg/m}^3$  的聚丙烯纤维混凝土试件(共24个), 均进行了两组应变率范围的试验, 两组动态实验的应变率分别控制在  $20\sim 30\text{s}^{-1}$ 、 $60\sim 80\text{s}^{-1}$ 。

试件采用特制孔径  $\Phi 72\text{mm}$  的钢模浇筑, 聚丙烯

纤维平均长度30mm, 制作情况见表1。

表1 试件制作情况

试块类别	试件尺寸(直径×高)/mm	试件数量
素混凝土	72×35	6
聚丙烯纤维混凝土( $0.5\text{kg/m}^3$ )	72×35	6
聚丙烯纤维混凝土( $1.0\text{kg/m}^3$ )	72×35	6
聚丙烯纤维混凝土( $1.5\text{kg/m}^3$ )	72×35	6

## 3 试件破坏形态

在  $20\sim 30\text{s}^{-1}$  应变率范围内, 三块素混凝土中, 一块试件角碎(见图2), 其余两块保持完整但有明显细裂缝; 三块聚丙烯纤维含量  $0.5\text{kg/m}^3$  的混凝土试件中, 一块试件破碎, 其余两块保持完整有明显细裂缝; 聚丙烯纤维含量  $1.0\text{kg/m}^3$ 、 $1.5\text{kg/m}^3$  的试件共6个, 其中仅两块完整有微裂缝, 其余均完整且无裂缝。



图2 混凝土试件破坏形态

在  $60\sim 80\text{s}^{-1}$  应变率范围内, 混凝土试件破碎为松散的尘末、颗粒, 低含量聚丙烯纤维混凝土破碎形态与混凝土试件较为相似, 而高含量聚丙烯纤维混凝土破碎后碎粒由纤维相连成絮状, 见图3。

## 4 测试结果

本次试验的有效试验次数为24次, 四组材料试件每组均在  $20\sim 30\text{s}^{-1}$ 、 $60\sim 80\text{s}^{-1}$  应变率范围内进行了3次试验。在对试验结果进行处理过程中, 对各应变率范

图3 试验后的1.5kg/m<sup>3</sup>聚丙烯纤维混凝土试件

表2 在不同应变率范围内平均后试验结果一览表

试件材料	有效试验次数	平均应变率 $\epsilon_m / s^{-1}$	平均峰值应力 $\sigma_b / MPa$	平均应力峰值应变 $\epsilon_b / \%$
素混凝土	3	25	63.9	0.12
	3	78	92.5	0.36
聚丙烯纤维混凝土 (0.5kg/m <sup>3</sup> )	3	23	58.0	0.17
	3	75	97.7	0.43
聚丙烯纤维混凝土 (1.0kg/m <sup>3</sup> )	3	29	67.8	0.14
	3	79	105.2	0.45
聚丙烯纤维混凝土 (1.5kg/m <sup>3</sup> )	3	24	73.3	0.13
	3	80	115.2	0.48

围内相同材料试件的应力应变曲线进行了平均处理,表2给出了七组试件处理后得到的平均应变率、平均峰值应力以及平均应力峰值应变。

### 5 三种材料动态应力应变曲线形态分析

混凝土力学性质与其组分配比、施工过程、养护等因素有很大的关系,因此它的力学性能试验数据存在相当大的离散性。

尽管试验数据存在较大离散性,仍可以从试验结果中看出一些规律性。由表2可以看出,对于三组聚丙烯纤维混凝土试件,在三种应变率下纤维含量最低和最高的两组试件峰值应力均较小,含量1.0kg/m<sup>3</sup>、1.5kg/m<sup>3</sup>峰值应力值较为接近,相比之下,1.5kg/m<sup>3</sup>的峰值应力最大。对于素混凝土和聚丙烯纤维混凝土两种材料,总体看,含量1.5kg/m<sup>3</sup>的聚丙烯纤维混凝土的峰值应力要明显大于素混凝土,在60~80s<sup>-1</sup>应变率范围内,含量1.5kg/m<sup>3</sup>的聚丙烯纤维混凝土峰值应力最大,含量1.0kg/m<sup>3</sup>的聚丙烯纤维混凝土次之,素混凝土最低。由此可见,高应变率试件完全破坏的情况下,含量1.0kg/m<sup>3</sup>和1.5kg/m<sup>3</sup>的聚丙烯纤维混凝土极限抗压强度均比素混凝土有所提高。

从应力峰值应变的总体情况看,聚丙烯纤维混凝土的应力峰值应变值较大,素混凝土最小。在20~30s<sup>-1</sup>应变率范围内,含量1.0kg/m<sup>3</sup>、1.5kg/m<sup>3</sup>聚丙烯纤维混凝土的应力峰值应变分别是素混凝土的116%、108%,而在60~80s<sup>-1</sup>应变率范围内,含量1.0kg/m<sup>3</sup>、1.5kg/m<sup>3</sup>聚丙烯纤维混凝土的应力峰值应变分别是20~30s<sup>-1</sup>应变率范围内的应力峰值应变的322%、369%。由此可见,在应变率不大的时候,试件刚刚出现裂缝,并没有达到临界破坏状态,此时聚丙烯纤维的增韧效果并未明显发挥,在应变率较高的情况下试件完全破坏,此时,聚丙烯纤维的增加延性效果完全发挥。

### 6 结论

(1)对素混凝土及含量分别为0.5kg/m<sup>3</sup>、1.0kg/m<sup>3</sup>、1.5kg/m<sup>3</sup>的聚丙烯纤维混凝土这四类试件均进行了两组应变率范围的SHPB试验。从试件破坏形态可以明显看出,相同应变率条件下,素混凝土试件破坏程度最大,聚丙烯纤维混凝土较好。

(2)SHPB试验中三种含量聚丙烯纤维混凝土试件,两种应变率下纤维含量最低和最高的两组试件峰值应力均较小,含量为1.0kg/m<sup>3</sup>、1.5kg/m<sup>3</sup>的试件峰值应力值较为接近;从材料增韧特性指标分析结果看,三种含量的聚丙烯纤维混凝土韧性随纤维含量增大而增大,含量1.0kg/m<sup>3</sup>、1.5kg/m<sup>3</sup>的两组混凝土韧性较为接近,其中含量1.5kg/m<sup>3</sup>的聚丙烯纤维混凝土韧性值最大,因此实际工程应用聚丙烯纤维含量取1.5kg/m<sup>3</sup>较为适宜。

(3)从各材料试验结果对比情况看,在60~80s<sup>-1</sup>应变率范围内,1.5kg/m<sup>3</sup>的聚丙烯纤维混凝土峰值应力最大,含量1.0kg/m<sup>3</sup>的聚丙烯纤维混凝土次之,素混凝土最低;应力峰值应变的总体结果表明,聚丙烯纤维混凝土的应力峰值应变值较大,素混凝土最小;从韧性指标分析结果看,由于素混凝土破坏应变比纤维混凝土要小,因此在0~0.005应变范围内其吸收能量要高于纤维混凝土,随应变范围进一步加大,纤维混凝土的韧性才逐渐得以体现,这说明聚丙烯纤维对混凝土吸能能力主要在达到峰值应力后材料开始破坏的过程中得以表现。

收稿日期:2004-11-24

作者简介:陈磊(1981.4-),男,硕士研究生。

通讯地址:江苏省徐州市,徐州空军学院机场工程系

联系电话:0516-7837304;13815342236