

文章编号:1673-2049(2009)01-0080-04

# 玄武岩纤维混凝土的抗弯冲击性能

邓宗才,薛会青

(北京工业大学 建筑工程学院,北京 100022)

**摘要:**为了研究玄武岩纤维对混凝土抗弯冲击性能的影响,对玄武岩纤维混凝土及素混凝土梁试件进行了系统的抗弯冲击性能试验。结果表明:玄武岩纤维混凝土 B3(纤维掺量为  $2.8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )的初裂冲击次数比 B2(纤维掺量为  $2.1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )、B1(纤维掺量为  $1.7 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )分别提高了 62%和 95%;玄武岩纤维混凝土 B2 的初裂冲击次数比 B1 提高了 21%,玄武岩纤维混凝土 B3 的破坏冲击次数比 B2、B1 分别提高了 59%和 90%,玄武岩纤维混凝土 B2 的破坏冲击次数比 B1 提高了 19%;纤维掺量由 B2 提高到 B3 时,对改善混凝土抗弯冲击性能效果十分显著;玄武岩纤维在合理掺量下可以显著改善混凝土的抗弯冲击性能。

**关键词:**玄武岩纤维混凝土;抗弯冲击性能;配合比;增强机理;冲击延性指标

**中图分类号:**TU528

**文献标志码:**A

## Flexural Impact Behavior of Basalt Fiber Concrete

DENG Zong-cai, XUE Hui-qing

(School of Architecture and Civil Engineering, Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

**Abstract:** In order to research the effect of basalt fiber on the flexural impact behavior of concrete, the flexural impact experiments on basalt fiber concrete and plain concretes were carried out systematically. The results of flexural impact experiment of beams indicate that the initial-crack impact number of basalt fiber concrete B3 (the fiber quality content is  $2.8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) improves 62% and 95% from B2 (the fiber quality content is  $2.1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) and B1 (the fiber quality content is  $1.7 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) respectively, B2 improves 21% from B1; the failure impact number of basalt fiber concrete B3 improves 59% and 90% from B2 and B1 respectively, B2 improves 19% from B1; when fiber quality content improved from B2 to B3, the flexural impact behavior of fiber reinforced concrete is improved significantly. Basalt fibers can remarkably improve the flexural impact behavior of concrete.

**Key words:** basalt fiber concrete; flexural impact behavior; mix proportion; reinforcement mechanism; impact ductility index

## 0 引言

纤维混凝土是近年来在工程领域中发展较快的一种工程复合材料,纤维在混凝土中的主要作用是

阻止混凝土的早期收缩裂缝,改善混凝土内在的品质,提高混凝土的变形能力和耐久性。玄武岩纤维是一种新型材料,其优点有:①耐高温,耐烧蚀,热稳定性好;②耐酸性能良好;③抗拉强度和弹性模量

收稿日期:2008-12-06

基金项目:北京市自然科学基金项目(8082002)

作者简介:邓宗才(1961-),男,陕西扶风人,教授,博士研究生导师,工学博士,E-mail:dengzc@bjut.edu.cn。

高;④性价比高;⑤属于无机材料,与混凝土界面黏结强度高;⑥分散性好。目前,玄武岩纤维已成为各国学者研究的热点问题。

本文中通过试验研究了短切玄武岩纤维混凝土的抗弯冲击性能,为玄武岩纤维在道路、桥梁和机场道面等工程的应用提供了试验数据,研究成果具有较大的理论意义和实用价值。

## 1 试验概况

### 1.1 纤维材性

玄武岩纤维由上海存强建筑科技工程有限公司提供,是一种耐酸碱性能优异的材料。纤维材性如表 1 所示。

表 1 纤维材性  
Tab. 1 Material Behaviors of Fiber

直径/ mm	长度/ mm	密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	抗拉强度/ MPa	弹性模量/ GPa	极限伸 长率/%
0.013	11	2.8	4 100	93	3.1

### 1.2 配合比

混凝土的配合比为:水泥  $360 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,砂  $647 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,水  $170 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,石  $1\,100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ,减水剂  $1.8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。水泥采用 P. O. 32.5 普通硅酸盐水泥。

纤维掺量见表 2,其中 C 代表素混凝土;B1、B2、B3 分别代表不同玄武岩纤维掺量的混凝土。

表 2 纤维掺量  
Tab. 2 Fiber Quality Contents

混凝土类型	C	B1	B2	B3
纤维体积分数/%	0.000	0.060	0.076	0.100
纤维掺量/( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ )	0.0	1.7	2.1	2.8

### 1.3 试件

试件用  $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 400 \text{ mm}$  的模具浇筑,试件浇筑 24 h 后脱模,在标准养护室养护 28 d,试验前 3 h 从养护室取出晾干。浇筑素混凝土和每一种纤维掺量的混凝土梁试件各 10 根,用于抗弯冲击试验。

### 1.4 试验方法

试验采用自行研制的自由落锤抗弯冲击装置,如图 1 所示,锤质量为  $1.4 \text{ kg}$ ,自由落锤的冲击高度为  $400 \text{ mm}$ 。梁两端为简支,净跨  $340 \text{ mm}$ 。把应变片和加速度计用导线连接到美国生产的 Wave-book512 动态应变仪上,冲击频率为  $1 \text{ Hz}$ ,由计算机自动采集数据。

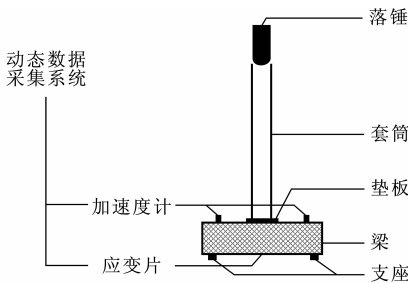


图 1 抗弯冲击试验装置

Fig. 1 Equipment of Flexural Impact Experiment

梁从无裂缝至产生微裂缝,把梁跨中底部混凝土应变值发生突变时的冲击次数定义为梁的初裂冲击次数;把梁横向主裂缝贯穿至梁的上表面时的冲击次数定义为梁的破坏冲击次数;把纤维混凝土梁的破坏冲击次数与初裂冲击次数的比值定义为纤维混凝土的冲击延性指标<sup>[1-11]</sup>。

## 2 试验结果

### 2.1 初裂冲击次数

素混凝土与玄武岩纤维混凝土初裂冲击次数试验结果及其统计分析结果<sup>[12]</sup>见表 3。

表 3 初裂冲击次数统计分析结果

Tab. 3 Statistic Analysis Results of Initial-crack Impact Numbers

混凝土类型		C	B1	B2	B3
初裂冲击次数	最小值	11	16	12	24
	最大值	37	18	34	49
	均值	23.0	17.0	20.5	33.2
	标准差	9.80	1.41	10.28	11.56
	均值标准误差	9.20	11.78	10.04	14.55
离散系数		0.430	0.083	0.501	0.348
95%置信区间	上限	41.40	40.56	40.59	62.30
	下限	4.60	—6.56	0.41	4.10

由表 3 可知,玄武岩纤维混凝土按初裂冲击次数由大到小的排序依次为 B3、C、B2、B1。玄武岩纤维混凝土 B3 的初裂冲击次数比 B2、B1 分别提高了 62% 和 95%;玄武岩纤维混凝土 B2 的初裂冲击次数比 B1 提高了 21%。这表明,随着玄武岩纤维掺量的增多,玄武岩纤维混凝土的抗初裂冲击性能显著提高。玄武岩纤维混凝土 B3 的初裂冲击次数比素混凝土提高了 44%,而 B2、B1 的初裂冲击次数比素混凝土分别降低了 11% 和 26%。结果表明,纤维掺量为  $2.8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  的玄武岩纤维混凝土的抗初裂冲击性能优于素混凝土,纤维掺量为  $1.7 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  和  $2.1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  的玄武岩纤维混凝土的抗初裂冲击

性能低于素混凝土。

### 2.2 破坏冲击次数

素混凝土与玄武岩纤维混凝土破坏冲击次数试验结果及其统计分析结果见表 4。

表 4 破坏冲击次数统计分析结果  
Tab. 4 Statistic Analysis Results of Failure Impact Numbers

混凝土类型		C	B1	B2	B3
破坏冲击次数	最小值	13	17	13	25
	最大值	38	19	35	50
	均值	24.5	18.0	21.5	34.2
	标准差	9.30	1.41	10.28	11.56
	均值标准误差	10.60	12.47	10.53	14.99
离散系数		0.380	0.079	0.478	0.338
95%置信区间	上限	45.70	42.95	42.57	64.18
	下限	3.30	-6.95	0.43	4.22

由表 4 可知,玄武岩纤维混凝土按破坏冲击次数由大到小的排序依次为 B3、C、B2、B1。玄武岩纤维混凝土 B3 的破坏冲击次数比 B2、B1 分别提高了 59%和 90%;玄武岩纤维混凝土 B2 的破坏冲击次数比 B1 提高了 19%。这表明,随着玄武岩纤维掺量的增多,玄武岩纤维混凝土的破坏冲击性能显著提高。玄武岩纤维混凝土 B3 的破坏冲击次数比素混凝土提高了 40%,而 B2、B1 的破坏冲击次数比素混凝土分别降低了 12%和 27%。结果表明,纤维掺量为 $2.8\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 的玄武岩纤维混凝土的破坏冲击性能优于素混凝土,纤维掺量为 $1.7\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $2.1\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 的玄武岩纤维混凝土的破坏冲击性能低于素混凝土。

通过上述对比分析可知,随着纤维掺量的增多,玄武岩纤维混凝土的初裂冲击性能的提高幅度与其破坏冲击性能的提高幅度相当。

玄武岩纤维混凝土 B3 比 B1 的抗弯冲击性能的提高幅度远高于玄武岩纤维混凝土 B2 比 B1 的抗弯冲击性能的提高幅度。这表明,玄武岩纤维掺量由 $2.1\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 提高到 $2.8\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 时,对改善混凝土的抗弯冲击性能效果十分显著。由此可知,纤维掺量过低并不能很好地发挥玄武岩纤维在混凝土中的抗初裂冲击性能,对混凝土阻裂增韧的效用甚微。

### 2.3 冲击韧性

玄武岩纤维混凝土冲击延性指标试验结果及统计分析结果见表 5。

冲击延性指标反映了混凝土的冲击韧性。由表 5 可知,按纤维混凝土的冲击韧性的改善效果,冲击延性指标由大到小的排序依次为 B1、B2、B3。这表

表 5 冲击延性指标统计分析结果  
Tab. 5 Statistic Analysis Results of Impact Ductility Indexes

混凝土类型		B1	B2	B3
冲击延性指标	最小值	1.056	1.029	1.020
	最大值	1.063	1.083	1.042
	均值	1.059	1.058	1.033
	标准差	0.005	0.026	0.010
	均值标准误差	0.734	0.599	0.453
离散系数		0.464	2.457	0.980
95%置信区间	上限	2.526	2.256	1.938
	下限	-0.409	-0.139	0.128

明:随着玄武岩纤维掺量的增多,玄武岩纤维混凝土的冲击韧性稍有降低;玄武岩纤维混凝土 B1、B2 的冲击韧性效果相当。

## 3 玄武岩纤维的增强机理

上述试验结果证明,掺入适量的玄武岩纤维可有效地阻止混凝土裂纹的产生和扩展,从而有效地改善混凝土的抗弯冲击性能,提高混凝土的耐久性和抗动载性能。

玄武岩纤维在混凝土中具有明显的阻裂增韧效用,主要表现在:①弹性模量和抗拉强度高,在混凝土中起微观加筋增强作用,在裂缝处起联结作用,抑制裂缝的扩展,增加了混凝土能量吸收,提高了混凝土的韧性;②属于无机材料,与混凝土界面黏结强度高;③玄武岩纤维在混凝土中有良好的分散性,纤维和混凝土的黏合异常优越,使纤维混凝土具有更好的增强效果和限制纤维拔出的能力<sup>[13-14]</sup>。

## 4 结 语

(1)玄武岩纤维显著改善了混凝土的抗弯冲击性能,可用于机场道面、桥面等工程,也可用于对抗裂性能要求高的输水管道等预制构件。

(2)随着玄武岩纤维掺量的增多,玄武岩纤维混凝土的抗初裂冲击性能和破坏冲击性能显著提高。玄武岩纤维混凝土 B3 的初裂冲击次数比 B2、B1 分别提高了 62%和 95%,玄武岩纤维混凝土 B2 的初裂冲击次数比 B1 提高了 21%;玄武岩纤维混凝土 B3 的破坏冲击次数比 B2、B1 分别提高了 59%和 90%,玄武岩纤维混凝土 B2 的破坏冲击次数比 B1 提高了 19%。

(3)随着纤维掺量的增多,玄武岩纤维混凝土的初裂冲击性能的提高幅度与其破坏冲击性能的提高幅度相当。

(4)玄武岩纤维混凝土 B3 比 B1 的抗弯冲击性

能的提高幅度远高于玄武岩纤维混凝土 B2 比 B1 的抗弯冲击性能的提高幅度。这表明,玄武岩纤维掺量由  $2.1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  提高到  $2.8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  时,对改善混凝土的抗弯冲击性能效果十分显著。

## 参考文献:

## References:

- [1] GUPTA P, BANTHIA N, YAN C. Fiber Reinforced Wet-mix Shotcrete Under Impact[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2000, 12(1): 81-90.
- [2] 邓宗才, 李建辉, 孙宏俊, 等. 新型纤维增强混凝土梁的抗弯冲击特性[J]. 公路, 2004(12): 163-169.
- DENG Zong-cai, LI Jian-hui, SUN Hong-jun, et al. Flexural Impact Behavior of Concrete Beams Reinforced with New Type Fibers [J]. Highway, 2004 (12): 163-169.
- [3] 邓宗才, 李建辉, 孙宏俊, 等. 纤维混凝土的抗弯冲击性能[J]. 公路交通科技, 2005(6): 24-26
- DENG Zong-cai, LI Jian-hui, SUN Hong-jun, et al. Flexural Impact Performance of Steel and Glass Fiber Reinforced Concrete Beams [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2005 (6): 24-26.
- [4] 史小飞, 王艳英. 混杂纤维混凝土抗弯冲击性能[J]. 山东建材, 2006(12): 31-34.
- SHI Xiao-fei, WANG Yan-ying. Flexural Impact Behavior of Fiber Reinforced Concrete [J]. Shandong Building Materials, 2006(12): 31-34.
- [5] 李建辉, 邓宗才, 张建军, 等. 异型塑钢纤维增强混凝土的抗弯韧性[J]. 混凝土与水泥制品, 2005(6): 32-35.
- LI Jian-hui, DENG Zong-cai, ZHANG Jian-jun, et al. Flexural Toughness of Concrete with Synthetic Macro-fiber [J]. China Concrete and Cement Products, 2005(6): 32-35.
- [6] 邓宗才, 张鹏飞, 李建辉, 等. 预应力 AFRP 加固混凝土梁的疲劳与静载特性[J]. 中国公路学报, 2007, 20(6): 49-55.
- DENG Zong-cai, ZHANG Peng-fei, LI Jian-hui, et al. Fatigue and Static Behaviors of RC Beams Strengthened with Prestressed AFRP [J]. China Journal of Highway and Transport, 2007, 20(6): 49-55.
- [7] 郭乃胜, 赵颖华. 纤维沥青混凝土的粘弹性分析[J]. 交通运输工程学报, 2007, 7(5): 37-40.
- GUO Nai-sheng, ZHAO Ying-hua. Viscoelastic Performance Analysis of Fiber Reinforced Asphalt Concrete [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2007, 7(5): 37-40.
- [8] 宋兵, 王湛. 高强混凝土自收缩对钢管混凝土轴压力学性能的影响[J]. 建筑科学与工程学报, 2007, 24(2): 59-62.
- SONG Bing, WANG Zhan. Influences of Autogenous Shrinkage of High-strength Concrete on Axial Compression Mechanics Behavior of Concrete-filled Steel Tube [J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2007, 24(2): 59-62.
- [9] 李建波, 林皋, 陈健云, 等. 混凝土损伤演化的随机力学参数细观数值影响分析[J]. 建筑科学与工程学报, 2007, 24(3): 7-12.
- LI Jian-bo, LIN Gao, CHEN Jian-yun, et al. Meso-scope Numerical Influence Analysis of Random Mechanical Parameter of Concrete Damage Evolution [J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2007, 24(3): 7-12.
- [10] 李建辉, 张科强, 邓宗才. 粗合成纤维混凝土抗弯冲击强度的分布规律[J]. 建筑科学与工程学报, 2007, 24(4): 54-59.
- LI Jian-hui, ZHANG Ke-qiang, DENG Zong-cai. Distribution Regularity of Flexural Impact Resistance of Synthetic Macro-fiber Reinforced Concrete [J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2007, 24(4): 54-59.
- [11] 张建仁, 王磊. 既有钢筋混凝土桥梁构件承载力估算方法[J]. 中国公路学报, 2006, 19(2): 49-55.
- ZHANG Jian-ren, WANG Lei. Estimated Approach to Carrying Capacity of Existing Reinforced Concrete Bridge Member [J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 19(2): 49-55.
- [12] SONG P S, WU J C, HWANG S, et al. Statistical Analysis of Impact Strength and Strength Reliability of Steel-polypropylene Hybrid Fiber-reinforced Concrete [J]. Construction and Building Materials, 2005, 19: 1-9.
- [13] 崔毅华. 玄武岩连续纤维的基本特性[J]. 纺织学报, 2005, 26(5): 120-121.
- CUI Yi-hua. Primary Properties of Basalt Continuous Filament [J]. Journal of Textile Research, 2005, 26(5): 120-121.
- [14] 李为民, 许金余, 沈刘军, 等. 玄武岩纤维混凝土的动态力学性能[J]. 复合材料学报, 2008, 25(2): 135-142.
- LI Wei-min, XU Jin-yu, SHEN Liu-jun, et al. Dynamic Mechanical Properties of Basalt Fiber Reinforced Concrete Using a Split Hopkinson Pressure Bar [J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2008, 25(2): 135-142.