

文章编号:1673-2049(2014)03-0079-06

粗合成纤维活性粉末混凝土抗弯韧性试验

贾方方^{1,2,3}, 贺奎³, 安明喆¹, 王二坡³, 路振宝³

(1. 北京交通大学 土木建筑工程学院, 北京 100044; 2. 北京建工集团有限责任公司 博士后科研工作站, 北京 100055; 3. 北京市建筑工程研究院有限责任公司 北京市功能性高分子建筑材料工程技术研究中心, 北京 100039)

摘要:为研究不同粗合成纤维用量下活性粉末混凝土的抗弯韧性,采用四点弯曲试验对粗合成纤维用量分别为4.75, 9.5, 14.25, 19 kg·m⁻³的纤维活性粉末混凝土试件进行了研究,同时与不掺入纤维的素活性粉末混凝土进行了对比分析。结果表明:不掺入纤维的素活性粉末混凝土弯拉试件发生脆性破坏,试件一裂即断,未得到荷载-挠度曲线的下降段;而粗合成纤维掺入后能够提高活性粉末混凝土的韧性,使弯拉试件转变为明显的延性破坏,荷载-挠度曲线都可得到稳定的下降段,同时曲线还出现了二次强化现象,有2个峰值;随着粗合成纤维掺量的增加,弯拉试件荷载-挠度曲线的下降段愈加平缓,韧性指数增大;粗合成纤维掺量(体积分数)为1.0%~2.0%时,剩余强度在抗折强度的85%以上,此时粗合成纤维对裂后基体具有较强的阻裂能力,能够大大提高弯拉试件开裂后的韧性。

关键词:粗合成纤维;活性粉末混凝土;抗弯韧性;韧性指数;剩余强度

中图分类号:TU528.58 **文献标志码:**A

Experiment on Flexural Toughness of Synthetic Macro-fiber Reinforced Reactive Powder Concrete

JIA Fang-fang^{1,2,3}, HE Kui³, AN Ming-zhe¹, WANG Er-po³, LU Zhen-bao³

(1. School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China; 2. Post-doctoral Research Center, Beijing Construction Engineering Group, Beijing 100055, China; 3. Beijing Engineering Research Center of Architectural Functional Macromolecular Materials, Beijing Building Construction Research Institute, Co., Ltd., Beijing 100039, China)

Abstract: In order to evaluate the flexural toughness of synthetic macro-fiber reinforced reactive powder concrete, beam specimens were tested under four points flexural method. The contents of synthetic macro-fiber were 4.75, 9.5, 14.25, 19 kg·m⁻³, respectively, and plain reactive powder concrete specimens without fiber were analyzed in contrast. The results show that plain reactive powder concrete specimens without fiber are brittleness, specimens breakdown when the crack is appeared, and the descending branch of load-deflection curves cannot be collected. While the failure mode of specimens with synthetic macro-fiber is ductility and a steady descending branch of load-deflection curves is collected. At the same time, the curves all have two peaks, presenting the phenomenon of secondary reinforcement. This means that synthetic macro-fiber can improve the flexural toughness of reactive powder concrete. Descending branch of load-deflection curves is

收稿日期:2014-05-13

基金项目:国家自然科学基金项目(51278039);北京市博士后基金项目(2014ZZ-41)

作者简介:贾方方(1984-),女,山东菏泽人,工学博士,博士后,E-mail:jiafangfang06@163.com。

flatter and toughness index with the increasing of fiber content. The residual intensity is above 85% of flexural strength when the fiber content (volume fraction) is 1.0%-2.0%, which indicates that synthetic macro-fiber has excellent crack resistance, and can improve the ductility of bending-tension specimens after cracking.

Key words: synthetic macro-fiber; reactive powder concrete; flexural toughness; toughness index; residual intensity

0 引 言

活性粉末混凝土是一种具有超高强度和高耐久性的新型水泥基复合材料,制备过程中通过最紧密堆积理论优选骨料,同时掺入大量活性粉末提高基体致密性^[1]。活性粉末混凝土仍具有混凝土的脆性,且由于胶凝材料较多,容易开裂,因此需要掺入纤维来提高其韧性和抗裂性。目前活性粉末混凝土在配制过程中多通过掺入钢纤维来达到增强增韧抗裂的目的^[2-3],但是钢纤维自重较大,且有锈蚀的隐患,若施工不当造成钢纤维外露则可能发生锈蚀进而导致基体腐蚀。

粗合成纤维(直径大于 0.1 mm)是一种新型的增强增韧材料^[4],与钢纤维相比具有轻质、耐腐蚀、易分散的特点,同时能提高混凝土的抗裂性^[5]、抗冲击性^[6-7]、抗弯韧性和抗疲劳性能^[8-9],在活性粉末混凝土中掺入粗合成纤维可以提高试件的延性^[10]。抗弯韧性是反映纤维增韧效果及基体内部结构性能的一个重要指标。为研究粗合成纤维对活性粉末混凝土的增韧效果,本文中笔者采用四点弯曲试验对粗合成纤维活性粉末混凝土进行了研究。

1 试验方案

1.1 原材料及配合比

本次试验中采用的活性粉末混凝土的原材料有:P.O42.5 普通硅酸盐水泥;超细微硅粉;粒径为 0.625~1 mm 的石英砂;减水率为 29%的高性能减水剂;粗合成纤维和水。其中粗合成纤维为直径 0.91 mm、长度 38 mm 的聚丙烯粗纤维,表面压痕处理,纤维密度为 0.91 kg·m⁻³,抗拉强度大于 450 MPa。粗合成纤维掺量(体积分数,下同)为 0%,0.5%,1.0%,1.5%,2.0% 五种,其用量分别为 4.75,9.5,14.25,19 kg·m⁻³。根据纤维掺量的不同,试验共分 5 组,每组 3 个试件。活性粉末混凝土试验配合比及试件编组列于表 1。

1.2 试件制备及养护

采用 100 mm×100 mm×400 mm 的棱柱体试

表 1 活性粉末混凝土配合比
Tab.1 Mix Proportions of Reactive Powder Concrete

试件 组号	纤维掺 量/%	各材料用量/(kg·m ⁻³)					
		水泥	硅粉	石英砂	水	减水剂	粗合成 纤维
C0	0.0	706	160	1 249	122	75	0
C0.5	0.5	706	160	1 249	122	75	5
C1.0	1.0	706	160	1 249	122	75	10
C1.5	1.5	706	160	1 249	122	75	15
C2.0	2.0	706	160	1 249	122	75	20

件,试件成型过程中,首先将骨料及纤维倒入搅拌机内搅拌 2~3 min,使纤维均匀分布在骨料中,然后掺入胶凝材料继续搅拌 3 min,最后加入水和减水剂搅拌 5 min。搅拌完成后将拌合物装入模具中,振动成型。试件成型后 24 h 脱模,然后放入蒸汽养护箱中 75 ℃ 高温下养护 72 h,随后移到标准养护室养护 28 d 后进行试验。

1.3 试验方法

参考《钢纤维混凝土试验方法》(CECS 14:89),采用四点弯曲方式加载,跨度为 300 mm,加载点间距为 100 mm。试验在 300 kN 的万能试验机上完成,加载速率为 0.1 mm·s⁻¹。采用 100 kN 的荷载传感器量测试验荷载,跨中挠度采用 2 个量程为 30 mm 的位移传感器量测,所有数据由东华测试系统自动采集。

2 试验过程及分析

2.1 试件破坏过程及破坏形态

所有弯拉试件破坏时均在其跨中出现 1 条主裂纹。不掺入粗合成纤维的 C0 组试件表现出明显的脆性,在裂缝出现后随即发生断裂,试件断成两截,与普通混凝土弯曲破坏形式相同。掺入粗合成纤维试件(C0.5,C1.0,C1.5,C2.0 组试件)的破坏形态如图 1 所示。从图 1 可以看出,粗合成纤维掺入后弯拉试件的破坏形态相似,都是在三分点内开裂,有 1 条主裂缝,裂缝处有纤维相连,试件未发生断裂,表现出明显的延性破坏。通过试验发现,在加载过



(a) 试件破坏



(b) 破坏细节

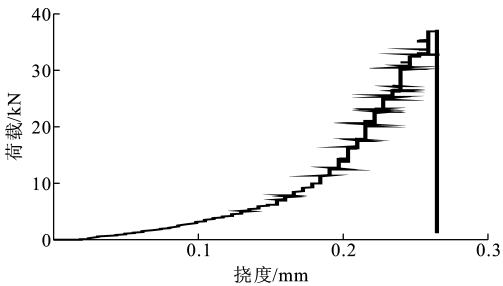
图 1 粗合成纤维试件破坏形态

Fig.1 Failure Modes of Synthetic Macro-fiber Specimens

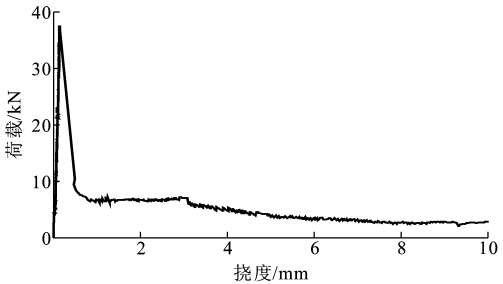
程中,首先在试件底部出现 1 条细而短的裂缝;随着荷载持续增加,裂缝逐渐增大,达到峰值荷载后,荷载开始下降,裂缝继续变宽变长,开始向顶部发展,挠度也越来越大。试验过程中持续发出咯噔的声音,裂缝长度逐渐增大,最后贯通整个试件,直到试验停止时掺入粗合成纤维的试件都未发生断裂,裂缝处有纤维相连。由于裂缝宽度及跨中挠度较大,试验继续进行已无意义,因此在挠度达到 10 mm 时停止试验。试验结束后,观察试件断面发现,大多数粗合成纤维被拔出而不是被拉断,基体断面处可见纤维被拔出的孔洞。

2.2 荷载-挠度曲线

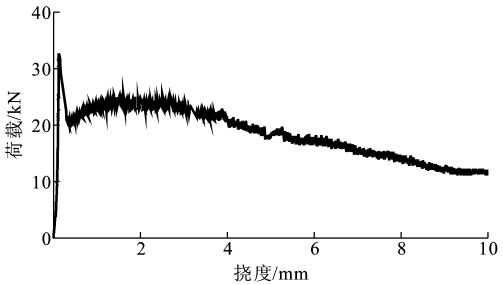
图 2 为根据实际量测得到的荷载及跨中挠度绘制的粗合成纤维掺量为 0%~2.0% 时抗弯韧性试验的荷载-挠度曲线,其曲线均为每组试件的平均值曲线。从图 2 可以看出,除不掺入粗合成纤维的试件(C0 组)外,掺入粗合成纤维的试件都得到了荷载-挠度曲线的下降段,且曲线都出现了二次强化现象[图 2(b)~(e)],即荷载在达到极限值后忽然下降到一定值,随后又开始上升,达到二次峰值后缓慢下降,此现象与粗合成纤维普通混凝土相同^[11]。分析其原因是,粗合成纤维长度及直径较大,掺入到活



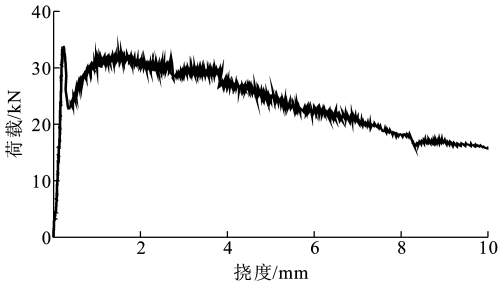
(a) C0组试件



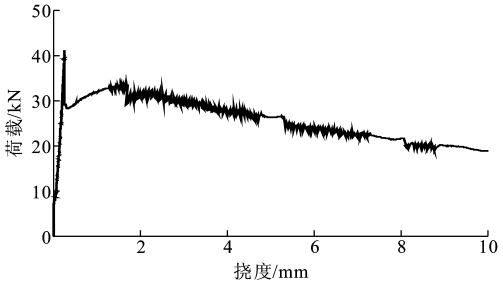
(b) C0.5组试件



(c) C1.0组试件



(d) C1.5组试件



(e) C2.0组试件

图 2 荷载-挠度曲线

Fig.2 Load-deflection Curves

性粉末混凝土中单位面积上的纤维数量较少,但是纤维与基体间紧密结合。试件出现裂缝后试验机卸载,荷载下降,当裂缝发展到有纤维处时,纤维与基

体紧密结合且具有较强的粘结力,因此将粗合成纤维由基体内拔出需要耗费很大的能量,荷载增大。随着荷载继续增大,粗合成纤维慢慢被拔出,之后荷载再次缓慢下降,荷载-挠度曲线下降段中荷载反复上升、下降呈现锯齿状即为纤维拔出过程。随着纤维掺量的增加,荷载-挠度曲线的二次强化效应愈加明显,同时曲线下降段更加饱满,与 x 轴所围面积增大,表明试件的抗弯韧性提高。

掺入粗合成纤维后能够提高活性粉末混凝土试件抗弯韧性的主要原因是,本次试验中采用的粗合成纤维表面进行了压痕处理,纤维与基体间具有很高的粘结强度。当基体发生裂缝破坏时,裂缝处的纤维开始承受拉力,并通过与基体间的粘结力将荷载传至裂缝两侧混凝土基体,阻止裂缝的发展,同时提高基体的能量吸收能力。纤维拔出过程中需要吸收很大的能量,能量吸收过程与纤维和基体间的粘结强度有关,随着纤维掺量的增加,裂缝处纤维数量增大,大量纤维的桥联作用可有效提高基体的韧性。当外部荷载产生的弯拉应力大于纤维与基体间的粘结强度时,纤维即被拔出。由于粗合成纤维在拔出前会发生极大变形,因此即使开裂基体变形值(挠度)很大也不破坏,从而大大提高活性粉末混凝土的断裂韧性,以此达到增韧的目的^[12]。纤维拔出过程主要体现在荷载-挠度曲线的下降段,纤维掺量越大,纤维拔出所需要的能量就越大,相应的荷载-挠度曲线也越加平缓。

3 试验结果及分析

采用《钢纤维混凝土试验方法》(CECS 14:89)中的公式(1),(2)计算初裂强度及抗折强度,即

$$f_{fc,cr}=P_{cr}L/(bh^2)$$
(1)

$$f_{fc,m}=P_{max}L/(bh^2)$$
(2)

式中: P_{cr} 、 P_{max} 分别为试件初裂荷载和极限荷载; $f_{fc,cr}$ 、 $f_{fc,m}$ 分别为初裂强度和抗折强度; L 、 b 、 h 分别为支座间距、试件截面宽度和试件截面高度。

对于低弹性模量纤维,剩余强度可真实地反映纤维混凝土裂后强度的特性^[13],因此,本文中采用美国 ASTM 建议的韧性指数 I_5 、 I_{10} 、 I_{30} 及剩余强度分析抗弯韧性,其中剩余强度 S_{AR} 及相对剩余强度 S_{IR} 可按以下公式进行计算

$$S_{AR}=\frac{L}{bh^2}\frac{P_{0.5}+P_{0.75}+P_{1.0}+P_{1.25}}{4}$$
(3)

$$S_{IR}=\frac{S_{AR}}{f_{fc,m}}\times 100\%$$
(4)

式中: $P_{0.5}$ 、 $P_{0.75}$ 、 $P_{1.0}$ 、 $P_{1.25}$ 分别为跨中挠度为 0.5、0.75、1.0、1.25 mm 时对应的荷载。

由于粗合成纤维混凝土的韧性较好,挠度为 2 mm 时,纤维的增韧作用仍比较明显,为此邓宗才等^[14]提出在计算剩余强度时,采用挠度为 2 mm 作为结束标准,剩余强度可采用下式计算

$$S_{AR}=\frac{L}{bh^2}\frac{P_{0.5}+P_{1.0}+P_{1.5}+P_{2.0}}{4}$$
(5)

式中: $P_{1.5}$ 、 $P_{2.0}$ 分别为跨中挠度为 1.5、2.0 mm 时对应的荷载。

从图 2 还可以看出,粗合成纤维掺入后活性粉末混凝土弯拉试件的荷载-挠度曲线有 2 个峰值,同时曲线的下降段斜率较小,即荷载达到最大值后,随着挠度的增加,荷载降低幅度较小。剩余强度主要考察试件开裂后特征,若在挠度较大的情况下,荷载降低较小,说明纤维对裂缝出现后增韧效果越明显。为此,本文中采用公式(3),(5)两种方法计算剩余强度,从而更好地反映粗合成纤维的增韧效果。

根据公式(1)~(5)及荷载-挠度曲线积分,计算得到粗合成纤维掺量为 0%~2.0%时活性粉末混凝土抗弯韧性结果见表 2。

从表 2 可以看出:

(1)粗合成纤维的掺入对活性粉末混凝土初裂强度无明显影响,粗合成纤维掺量在 0%~2.0%之间变化时,初裂强度都集中在 8.6 MPa 左右。粗合成纤维掺量小于 1.5%时,抗折强度都在 10 MPa 左右,当粗合成纤维掺量增加到 2.0%时,抗折强度有

表 2 抗弯韧性试验结果
Tab. 2 Experiment Results of Flexural Toughness

试件组号	$f_{fc,cr}$ /MPa	初裂跨中 挠度/mm	$f_{fc,m}$ /MPa	峰值跨中 挠度/mm	韧性指数			式(3)计算的 S_{AR} /MPa	式(3)计算的 S_{IR} /%	式(5)计算的 S_{AR} /MPa	式(5)计算的 S_{IR} /%
					I_5	I_{10}	I_{30}				
C0	8.73	0.228	9.94	0.254	1.00	1.00	1.00				
C0.5	8.52	0.140	10.07	0.193	4.18	5.88	11.97	3.18	31.61	3.25	32.24
C1.0	8.64	0.118	10.05	0.237	5.07	8.50	15.52	8.65	86.03	8.70	87.54
C1.5	8.66	0.210	9.83	0.289	5.52	11.63	15.94	9.55	97.12	9.80	99.66
C2.0	8.60	0.158	11.52	0.263	5.64	11.77	17.89	10.38	90.09	10.73	93.13

注:所有数据均为 3 个试件的平均值。

明显提高,与不掺入纤维试件相比,约提高15.90%。粗合成纤维为有机纤维,其弹性模量远小于活性粉末混凝土,因此,将粗合成纤维掺入到活性粉末混凝土中,并不能像掺入钢纤维一样起到明显的增强作用^[15]。

(2)粗合成纤维掺量为0.5%~2.0%时活性粉末混凝土的弯曲韧性指数 I_5, I_{10}, I_{30} 均随粗合成纤维掺量的增加而增大。粗合成纤维掺量为0.5%时,韧性指数 I_5, I_{10}, I_{30} 分别为4.18, 5.88, 11.97,粗合成纤维掺量增加到2.0%时, I_5, I_{10}, I_{30} 增加到5.64, 11.77, 17.89,分别提高了34.93%, 100.17%, 49.46%,说明掺入粗合成纤维能够大大提高活性粉末混凝土的抗弯韧性。

(3)利用公式(3), (5)计算得到的剩余强度差别不大。粗合成纤维掺量为1.0%~2.0%时,剩余强度都在抗折强度的85%以上,说明掺入粗合成纤维具有较高的阻裂能力,使得试件在达到峰值荷载后还可保持较高的荷载,有效提高了活性粉末混凝土的韧性。粗合成纤维掺量为0.5%时,荷载达到极限值后急剧下降,所以剩余强度相对较小,但是裂缝处的纤维仍然能够起到一定的增韧作用,改变了试件的破坏形式。

4 结 语

(1)不掺入纤维的素活性粉末混凝土弯拉试件发生脆性破坏,粗合成纤维掺入后能够提高活性粉末混凝土试件的韧性,使破坏形态转变成成为明显的延性破坏。

(2)粗合成纤维掺入后活性粉末混凝土弯拉试件的荷载-挠度曲线具有稳定的下降段,同时出现了二次强化现象,曲线有2个峰值,且随纤维掺量的增加,曲线的下降段更加饱满,与 x 轴所围面积增大。

(3)粗合成纤维不能提高弯拉试件的抗折强度,但是能够阻止试件开裂后裂缝的发展,从而有效提高了活性粉末混凝土弯拉试件的韧性,随着纤维掺量的增加,试件的韧性指数增大,纤维掺量为2.0%时,韧性指数 I_5, I_{10}, I_{30} 相比纤维掺量为0.5%时的韧性指数分别提高34.93%, 100.17%, 49.46%。

(4)粗合成纤维对弯拉试件基体开裂后的增韧效果明显,纤维掺量为1.0%~2.0%时,抗弯试件的剩余强度均在抗折强度的85%以上。

参考文献:

References:

[1] RICHARD P, CHEYREZY M. Composition of Reac-

tive Powder Concrets[J]. Cement and Concrete Research, 1995, 25(7): 1501-1511.

[2] BAYARD O, PLE O. Fracture Mechanics of Reactive Powder Concrete: Material Modeling and Experimental Investigations[J]. Engineering Fracture Mechanics, 2003, 70(7/8): 839-851.

[3] JI T, CHEN C Y, ZHUANG Y Z. Evaluation Method for Cracking Resistant Behavior of Reactive Powder Concrete[J]. Construction and Building Materials, 2012, 28(1): 45-49

[4] 邓宗才. 高性能合成纤维混凝土[M]. 北京: 科学出版社, 2003.

DENG Zong-cai. High Performance Synthetic Fiber Reinforced Concrete [M]. Beijing: Science Press, 2003.

[5] 常洪雷, 金祖权, 任鹏程. 有机仿钢纤维增强混凝土断裂韧性及抗裂性能研究[J]. 混凝土, 2013(2): 46-49.

CHANG Hong-lei, JIN Zu-quan, REN Peng-cheng. Study on Fracture Toughness and Crack Resistance of Steel-wire-like Organic Fiber Reinforced Concrete[J]. Concrete, 2013(2): 46-49.

[6] 邓宗才, 李建辉, 王现卫, 等. 粗合成纤维增强混凝土的冲击动载特性[J]. 混凝土, 2006(10): 27-30.

DENG Zong-cai, LI Jian-hui, WANG Xian-wei, et al. Dynamic Properties of Synthetic Macro-fiber Reinforced Concrete[J]. Concrete, 2006(10): 27-30.

[7] 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.

[8] 邓宗才, 李建辉, 王现卫, 等. 粗合成纤维混凝土抗弯韧性及疲劳特性试验研究[J]. 新型建筑材料, 2006(7): 8-10.

DENG Zong-cai, LI Jian-hui, WANG Xian-wei, et al. Experimental Study on Flexure Resistance and Fatigue Characteristic of Coarse Synthetic Fiber Concrete[J]. New Building Materials, 2006(7): 8-10.

[9] HSIE M, TU C, SONG P S. Mechanical Properties of Polypropylene Hybrid Fiber Reinforced Concrete[J]. Materials Science and Engineering: A, 2008, 494(1/2): 153-157.

[10] 曹小霞, 郑居焕. 钢纤维和聚丙烯粗纤维对活性粉末混凝土强度和延性的影响[J]. 安徽建筑工业学院学报: 自然科学版, 2011, 19(2): 58-61.

- CAO Xiao-xia, ZHENG Ju-huan. The Effects of Steel Fiber and Polypropylene Coarse Fiber on the Compressive Strength and Ductility of Metakaolin RPC [J]. Journal of Anhui Institute of Architecture & Industry: Natural Science, 2011, 19(2): 58-61.
- [11] 尹机会. 钢-合成纤维混凝土强度与韧性的试验研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2006.
- YIN Ji-hui. Experimental Study on Strength and Toughness Characteristics of Steel-synthetic Fiber Reinforced Concrete [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2006.
- [12] 华 渊, 刘荣华, 曾 艺. 纤维增韧高性能混凝土的试验研究 [J]. 混凝土与水泥制品, 1998(3): 40-43.
- HUA Yuan, LIU Rong-hua, ZENG Yi. Experimental Study on Fiber Toughness of High Performance Concrete [J]. China Concrete and Cement Products, 1998 (3): 40-43.
- [13] 戴建国, 宋玉普, 赵国藩. 低弹性模量纤维混凝土剩余弯曲强度的力学意义 [J]. 混凝土与水泥制品, 1999 (1): 35-38.
- DAI Jian-guo, SONG Yu-pu, ZHAO Guo-fan. Post-peak Flexural Strength of Low Elastic-modulus Fiber Reinforced Concrete [J]. China Concrete and Cement Products, 1999(1): 35-38.
- [14] 邓宗才, 师亚军, 曹 炜. 聚烯烃粗合成纤维混凝土抗弯韧性试验 [J]. 建筑科学与工程学报, 2013, 30(1): 19-24.
- DENG Zong-cai, SHI Ya-jun, CAO Wei. Experiment on Flexural Toughness of Polyolefin Macro-fiber Reinforced Concrete [J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2013, 30(1): 19-24.
- [15] 张明波, 阎贵平, 闫光杰, 等. 200 MPa 级活性粉末混凝土抗弯性能试验研究 [J]. 北京交通大学学报, 2007, 31(2): 81-84.
- ZHANG Ming-bo, YAN Gui-ping, YAN Guang-jie, et al. Experimental Research on the Flexing Resistance of 200 MPa Reactive Powder Concrete [J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2007, 31(2): 81-84.

《土木建筑与环境工程》2015 年征订通知

《土木建筑与环境工程》是重庆大学主管、主办的学术期刊, 是中国科学引文数据库 (CSCD 核心数据库)、中文核心期刊要目总览等收录期刊, 被 Elsevier Scopus 数据库、日本科学技术振兴机构中国文献数据库等国际数据库收录, 为中国精品科技期刊、中国高校优秀科技期刊。

《土木建筑与环境工程》主要报道土木工程、市政与环境工程、暖通工程与建筑物理、建筑材料等学科领域的最新研究成果, 以促进学术交流、培育土木建筑和环境工程方面的高级人才、推动土木建筑学科繁荣发展为目标。

《土木建筑与环境工程》的主要读者对象为: 土木建筑与环境工程领域的科研人员及工程技术人员、相关专业大专院校师生、相关政府部门及事业单位从业人员。

《土木建筑与环境工程》为双月刊, 双月出版, 大 16 开本, 144 页, 每期定价 20 元 (含邮寄费), 全年共 120 元, 国内外公开发售, 邮发代号: 78-48, 各地邮局、本编辑部均可订阅。欢迎国内外读者订阅!

地 址: 重庆市沙坪坝区沙正街 174 号重庆大学期刊社

邮 编: 400044

电 话: (023) 65111322, 65111863

E-mail: xuebao@cqu.edu.cn

在线投稿: <http://qks.cqu.edu.cn/cqdxxbc/ch/index.aspx>