

聚丙烯纤维超高强石渣混凝土的力学性能研究

陈国灿^{1,2}

(1. 福建建科建筑设计院有限公司, 福州 350001; 2. 莆田学院土木建筑工程学系, 福建 莆田 351100)

摘要: 低碳聚丙烯纤维超高强石渣混凝土是利用地方原材料自主研发的强度高达 134.9 MPa 水泥消耗量低至 350 kgm⁻³ 且具有优异抗火性能的新型环境友好型混凝土。文章进行了 11 组立方体试件和 8 组棱柱体试件的抗压试验、9 组劈拉试验和 8 组抗折试验, 初步研究了聚丙烯纤维超高强石渣混凝土的力学性能。试验结果表明, 在试验参数范围内, 聚丙烯纤维超高强石渣混凝土与超高强石渣混凝土的力学特性有其相似之处, 也有其自身的特点: 在受压变形过程中, 泊桑比几乎保持不变, 由于聚丙烯纤维的阻裂效应, 泊桑比小于超高强石渣混凝土, 为 0.244 拉压比在 1/10.3-1/17.8 之间; 折压比为 1/9.9-1/15.5 变形模量与超高强石渣混凝土相近, 在 14 461 MPa-16 339 MPa 之间, 小于超高强混凝土数值。

关键词: 力学性能; 聚丙烯纤维超高强石渣混凝土; 抗压强度; 抗折强度; 劈裂抗拉强度; 单位质量水泥的质强比

中图分类号: TU 528.31

文献标识码: A

超高强高性能混凝土具有承载力高、能源资源消耗少、建筑成本低等优点, 成为近年来的热点^[1-10]。目前超高性能混凝土的配制技术已基本成熟^[4], 但在研究和应用中仍存在着自收缩大、湿胀开裂、高温爆裂等技术难题^[5]。

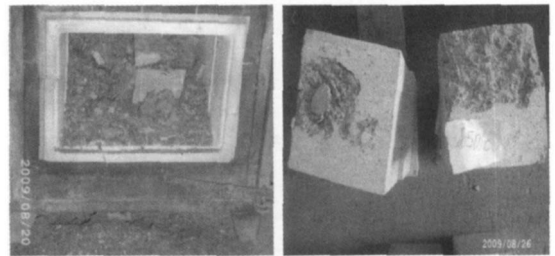
文献[6]以低至 350 kgm⁻³ 的水泥消耗量成功开发了强度超过 130 MPa 的低碳混凝土, 可妥善地解决高水泥用量引发的混凝土自收缩开裂、“湿胀”开裂等问题。但是, 超高强石渣混凝土在高温下抗爆裂性能仍较差(图 1(a))。

在文献[6]的基础上, 作者利用聚丙烯纤维对超高强石渣混凝土利用改性, 成功开发了强度超过 130 MPa 且具有优异抗火性能的低碳混凝土(图 1(b))。

在掌握了聚丙烯纤维超高强石渣混凝土配制技术的基础上, 本文通过试验, 继续研究其力学性能, 为进一步研究这种新型环境友好型低碳混凝土的其它性能奠定基础。

1 试验概况

有关试验材料的选择、试验方法、配合比设计和加载制度等详见文献[6], 试件的配合比见表 1。



(a) 超高强石渣混凝土 400°C 高温后的破坏模式 (b) 聚丙烯超高强石渣混凝土 850°C 高温后的破坏模式

图 1 混凝土高温后的破坏模式

表 1 聚丙烯纤维超高强石渣混凝土的配合比

配比	C	SF	MK	FA	SC	SG	SP	W/c	C1/kg
193	0.36	0.06	0.06	0.12	0.73	1.10	0.03	0.23	350
204	0.36	0.06	0.06	0.12	0.73	1.10	0.025	0.23	350
213	0.4	0.07	0.07	0.135	0.70	1.03	0.025	0.23	380
215	0.42	0.06	0.06	0.12	0.73	1.10	0.02	0.23	410
G102	0.4	0.07	0.07	0.135	0.63	1.10	0.025	0.23	380
G105	0.36	0.06	0.06	0.12	0.73	1.10	0.025	0.22	350
G131	0.36	0.06	0.06	0.12	0.73	1.10	0.025	0.22	350
G133	0.4	0.07	0.07	0.135	0.70	1.03	0.025	0.22	380
G138	0.36	0.06	0.06	0.18	0.73	1.10	0.016	0.25	350
311	0.36	0.06	0.06	0.12	0.73	1.10	0.025	0.22	350
321	0.36	0.06	0.06	0.12	0.73	1.10	0.025	0.22	350

收稿日期: 2010-11-26

基金项目: 福建省自然科学基金计划资助项目 (2007J0163); 莆田市科技计划项目 (2007G26)

作者简介: 陈国灿(1963), 男, 福建仙游人, 高级工程师, 硕士, 主要从事低碳超高强混凝土的研发与应用方面的研究。http://www.cnki.net

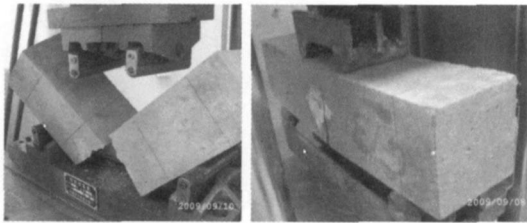
注: (1)表中所示的为各组分的质量比; (2)聚丙烯纤维的掺量 $0.9 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$; (3)由于同时进行其它试验,所以编号不连续(余同); (4) c-水泥; SF-硅粉; MK-偏高岭土; FA-粉煤灰; SC-石渣; SG-石子; sp-高效减水剂; W/c-水胶比; c1-单方混凝土的水泥用量; (5) 养护条件: G 开头的试件采用绝湿养护,其余的试件在冷水中养护。

2 试验结果及分析

2.1 抗折试验

2.1.1 破坏现象

试验过程观察表明,未掺入聚丙烯纤维的超高强石渣混凝土在达到极限荷载时,试件瞬间被折断,呈现高脆性的破坏特征(图 2(a)),而聚丙烯纤维超高强石渣混凝土小梁在破坏时,尽管小梁下部的裂缝宽度比较大,但仍未完全被拉断(图 2(b))。



(a)超高强石渣混凝土 (b)聚丙烯纤维超高强石渣混凝土
图 2 抗折试件的破坏形态

因此,不难得出结论:在超高强石渣混凝土中掺入聚丙烯纤维后,混凝土的韧性性能在一定程度上得到了改善。

2.1.2 抗折强度

本文共进行了 8 组抗折试验,结果见表 2。

表 2 聚丙烯纤维超高强石渣混凝土的抗折试验结果

编号	f_{cu} / MPa	f_{fl} / MPa	f_{fl} / f_{cu}
213	120.4	12.2	1/9.9
215	116.8	11.8	1/9.9
311	134.7	11.4	1/11.8
G102	113.7	9.7	1/11.7
G105	93.4	9.4	1/9.9
G131	122.6	9.5	1/12.9
G133	134.9	8.7	1/15.5
G138	103.4	7.6	1/13.6

注: (1) f_{cu} —混凝土的立方体抗压强度; (2) f_{fl} —混凝土的立方体劈裂抗拉强度; (3) 编号为 311 的混凝土试件龄期为 380 天,其余的均为 60 天。(余同)

试验结果表明,聚丙烯纤维超高强石渣混凝土折压比在 1/9.9-1/15.5 之间,与超高强石渣混凝土的^[6](在 1/8.9-1/15.1 之间)相当,明显小于超高强混凝土的数值(折压比为 1/7.6-1/10.6)^[7]。

2.2 劈拉强度

立方体试件的劈拉试验结果见表 3

试验结果表明,聚丙烯纤维超高强石渣混凝土拉压比在 1/10.3-1/17.8 之间,小于普通混凝土的拉压比

表 3 聚丙烯纤维超高强石渣混凝土的劈拉试验结果

编号	f_{cu} / MPa	f_{t2} / MPa	f_{t2} / f_{cu}
193	98.3	9.5	1/10.3
213	120.4	8.4	1/14.3
215	116.8	9.3	1/12.6
G102	113.7	7.5	1/15.2
G105	93.4	7.9	1/11.8
G131	122.6	8.3	1/14.8
G133	134.9	7.6	1/17.8
G138	103.4	7.1	1/14.6
321	129.5	8.2	1/15.8

注: f_{t2} —超高强石渣混凝土的抗折强度。

(约为 1/10-1/13),与超高强混凝土的拉压比(约为 1/16-1/18)^[7]接近。

2.3 棱柱体的抗压试验

2.3.1 试验现象

棱柱体的抗压试验观察表明,聚丙烯超高强石渣混凝土轴心试件受压破坏时没有任何预兆,呈现脆性破坏的特征(图 3),破坏面摩擦粉化后呈灰白色,呈现剪切破坏的特征。

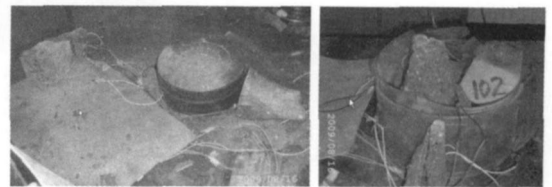


图 3 聚丙烯纤维混凝土棱柱体试件受压破坏形态

2.3.2 轴心抗压强度

棱柱体试件轴心抗压试验结果见表 4

表 4 棱柱体抗压试验结果

编号	f_{cu}	f_{c10}	f_{c10} / f_{cu}	ν	E_c / MPa
204	130.5	125.3	0.96		
213	120.4	118.4	0.98	0.281	15851
215	116.8	104.8	0.90	0.246	14461
311	134.7	116.8	0.87	0.203	16339
G102	113.7	102.5	0.90	0.231	16772
G131	122.6	105.1	0.86	0.246	14614
G133	134.9	110.5	0.82	0.247	15053
G138	103.4	93.9	0.91	0.253	14666

注: (1) f_{c10} —超高强石渣混凝土轴心抗压强度; (2) ν 、 E_c 分别为超高强石渣混凝土的泊桑比和变形模量。

从试验结果可以得出,聚丙烯超高强石渣混凝土轴心抗压强度与立方体抗压强度之比约为 0.82-0.98 之间,高于普通混凝土 0.76 和 0.77-0.82 的数值。

为了便于比较,本文采用与文献[6-7]相同的计算变形模量的方法,

$$E_c = (0.4f_{c10} - 0.2f_{c10}) / (\epsilon_2 - \epsilon_1) \quad (1)$$

其中, ε_1 为应力 - 应变关系曲线中与 $0.2f_{c,10}$ 对应点的应变值; ε_2 为应力 - 应变关系曲线中与 $0.4f_{c,10}$ 对应点的应变值; 即应力 - 应变关系曲线中 $0.2f_{c,10} - 0.4f_{c,10}$ 之间割线的斜率, 计算结果见表 4。从表 4 看出, 聚丙烯纤维超高强石渣混凝土的变形模量在 14 461 MPa - 16 339 MPa 之间, 与超高强石渣混凝土的相当, 但小于超高强混凝土的数值^[7]。

2.3.3 泊桑比

(1) 横向应变: 聚丙烯纤维超高强石渣混凝土、超高强石渣混凝土的横向平均应变与纵向平均应变关系曲线对比如图 4 所示。可以看出, 两者的横向应变与纵向应变基本相似, 在受压变形过程中大致成线性关系, 只是到了后期这曲线略微向纵坐标方向弯曲, 说明聚丙烯纤维超高强石渣混凝土的泊桑比在试验过程中基本不变, 只是在应变比较大时略有增大, 但增幅极其有限。

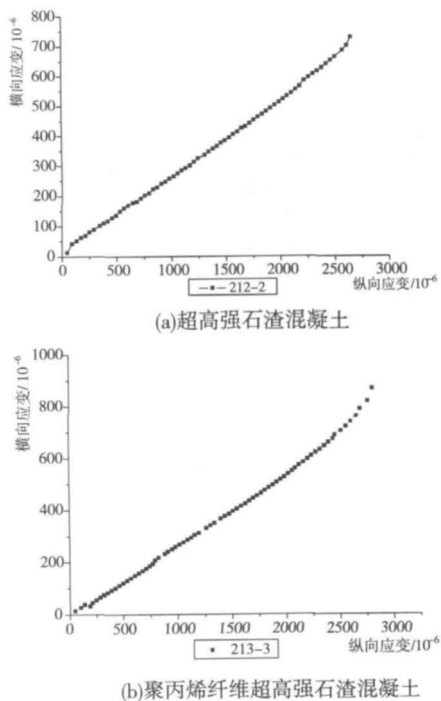


图 4 聚丙烯纤维混凝土棱柱体试件受压破坏形态

对试件的横向应变与纵向应变关系进行线性回归分析, 得出拟合直线的斜率, 即表 4 中的泊桑比。

(2) 泊桑比: 聚丙烯纤维超高强石渣混凝土泊桑比与抗压强度的关系如图 5 所示, 从图 5 可以看出, 泊桑比有一定的离散性。根据线性回归分析, 得出聚丙烯超高强石渣混凝土的泊桑比为 0.244, 略小于超高强石渣混凝土的数值^[6]。

3 分析与讨论

通过聚丙烯纤维超高强石渣混凝土的试验研究, 可

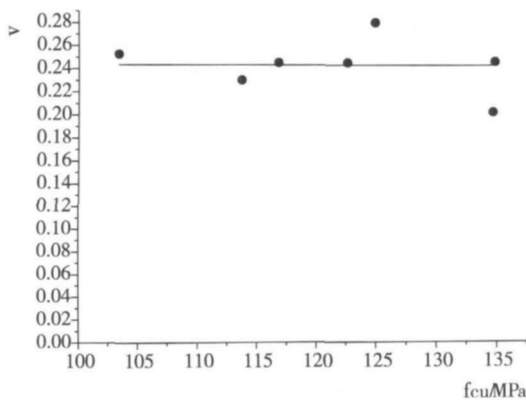


图 5 泊桑比与混凝土立方抗压强度关系曲线

以得出结论:

(1) 聚丙烯纤维超高强石渣混凝土拉压比在 1/10.3 - 1/17.8 之间, 与超高强石渣混凝土的^[6] (在 1/8.9 - 1/15.1 之间) 相当, 明显小于超高强混凝土的数值 (折压比为 1/7.6 - 1/10.6)^[7]。这说明掺入聚丙烯纤维并不能显著地改善混凝土的抗拉性能。

(2) 聚丙烯纤维超高强石渣混凝土折压比在 1/9.9 - 1/15.5 之间, 与超高强石渣混凝土的折压比^[6] (在 1/8.9 - 1/15.1 之间) 相当, 小于超高强混凝土的折压比 (1/7.6 - 1/10.6)^[7]。

(3) 聚丙烯纤维超高强石渣混凝土的变形模量在 14 461 MPa - 16 339 MPa 与超高强石渣混凝土的^[6] 相当, 但小于超高强混凝土、高强度混凝土的数值^[7]。

究其原因, 是因为作为采石厂的下角料石渣颗粒多呈层片状, 细骨料的比表面积大于河砂的比表面, 根据 Li G Q 等人的研究成果^[11], 在相同集料体积率的前提下, 集料比表面积增大将降低混凝土的变形模量。

(4) 由于聚丙烯纤维的阻裂作用, 在受压变形过程中, 聚丙烯纤维超高强石渣混凝土的横向变形受到抑制, 因此聚丙烯纤维超高强石渣混凝土的泊桑比小于超高强石渣混凝土的泊桑比^[6] (约为 0.256), 约为 0.244。

(5) 聚丙烯纤维超高强石渣混凝土轴心抗压强度与立方体抗压强度之比在 0.82 - 0.98 之间, 远高于普通混凝土 0.76 和高强混凝土 0.77 - 0.82 的数值。

(6) 超高强石渣混凝土中掺入聚丙烯纤维后, 韧性得到有限的改善, 要彻底改变其脆性性能, 尚需与金属材料复合共同承受荷载。

(7) 由于所用的原材料不同导致聚丙烯纤维超高强石渣混凝土具有与超高强混凝土迥然不同的力学特性, 这是导致其与钢管复合后显示出不同于钢管超高强混凝土柱的力学性能的主要原因。

参考文献:

- [1] Richard P, Cheyrezy M. Composition of Reactive Powder Concrete [J]. Cement and Concrete Research, 1995, 25(7): 1501-1511.
- [2] 陈国灿, 徐志胜. 高温后钢管超高强石渣混凝土短柱的轴压性能 [J]. 三峡大学学报: 自然科学版, 2010, 32(6): 36-41.
- [3] 陈国灿. 钢管约束的低碳超高强石渣混凝土的力学性能 [J]. 武汉工程大学学报, 2010, 32(12): 56-59.
- [4] 朱春银, 张云升, 高建明. 超高性能混凝土的制备与物理力学性能研究 [J]. 混凝土与水泥制品, 2010(1): 13-15.
- [5] 冯乃谦. 高性能混凝土与超高性能混凝土的发展和应 [J]. 施工技术, 2009(4): 1-6.
- [6] 陈国灿. 低碳超高强石渣混凝土的抗火性能研究 [J]. 武汉工程大学学报, 2010, 32(11): 36-41.
- [7] 蒲心诚. 超高强高性能混凝土 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2004.
- [8] 陈国灿. 低碳超高强石渣混凝土的力学性能试验研究 [J]. 佳木斯大学学报: 自然科学版, 2010(5): 693-697.
- [9] 陈国灿, 徐志胜. 预制钢管超高强石渣混凝土叠合柱的轴压试验 [J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2010(6): 819-825.
- [10] 陈国灿. 钢管聚丙烯纤维超高强石渣混凝土短柱的静力特性研究 [J]. 武汉大学学报: 工学版, 2010(5): 617-622.
- [11] Li G Q, Zhao Y, Pang S S et al Effective young's modulus estimation of concrete [J]. Cement and Concrete Research, 1999, 29(9): 1455-1462.

Experimental Studies on Mechanical Properties of Polypropylene Fibre Reinforced Super High Strength Concrete Used Stone-chip

CHEN Guo-can^{1, 2}

(1. Fujian Jianke Institute of Architecture Design, Fuzhou 350001, China)

(2. Civil Engineering Department of Putian University, Putian 351100, China)

Abstract Polypropylene fibre reinforced super high strength concrete used stone-chip (abbreviated to PFRSHSCUS) is a new kind of environmentally friendly concrete with both ultra-high strength being as high as 134.9 MPa and excellent anti-spalling resistance performance at the lower consumption of 350 kg m^{-3} of cement developed by using local raw materials. Based on the compressive experiment of 11 groups of cubes, 8 groups of prism specimens and splitting tensile tests of 9 groups and flexural strength experiment of 8 groups of GSHSCUS, this paper discusses the mechanics properties such as the split-tensile strength, the flexural strength, the prism compressive strength, modulus of deformation etc of PFRSHSCUS. It was found that within the factor scope of this test, PFRSHSCUS exhibits the characteristics different from that of super high strength concrete (abbreviated to SHSC), with the ratio of its splitting strength and flexural strength to compressive strength ranging from 1/10.3-1/17.8 and 1/9.9 to 1/15.5 respectively, and Poisson ratio is about 0.244 higher than that of SHSC or HSC/HPC, and modulus of deformation ranging from 14461-16339 MPa is lower than that of SHSC/HSC, which is the result substituting the stone-chip for sand with the lower specific surface areas than that of the former.

Key words mechanical properties; polypropylene fibre reinforced super high strength concrete used stone-chip (abbreviated to PFRSHSCUS); compressive strength; flexural strength; split-tensile strength; specific strength of per unit cement