



问题讨论

矿渣棉纤维对水泥基复合材料性能的影响

龙 跃, 赵 波, 徐晨光

(华北理工大学冶金与能源学院, 华北理工大学现代冶金技术教育部重点实验室, 河北 唐山 063009)

摘要:以玄武岩纤维及聚丙烯纤维为对比, 文章研究了不同掺量的矿渣棉纤维对水泥砂浆抗折、抗压强度以及干缩性能的影响, 并采用 SEM 观察矿渣棉纤维在砂浆中的分布状态。结果表明: 矿渣棉纤维能够提高砂浆试件的抗折、抗压强度, 改善水泥砂浆的干缩性能。试件内的矿渣棉纤维表面粘结大量的水化产物, 与基体有很好的结合形态, 但纤维也受到一定的腐蚀, 性能下降。纤维掺量为 0.48% 时, 玄武岩纤维及聚丙烯纤维增强水泥砂浆后期的力学性能优于矿渣棉纤维。

关键词:矿渣棉纤维; 水泥砂浆; 力学性能; 收缩率; 对比分析

doi:10.3969/j.issn.1000-6532.2017.04.024

中图分类号: TD989; TU528.58 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532(2017)04-0107-05

水泥砂浆是目前土木工程领域主要的建筑材料, 因其具有良好的耐水性, 优异的可加工型及可观的经济性等优势而被广泛使用^[1]。但其自身也存在一些固有的缺陷, 如抗折强度低、韧性差、易开裂等, 使其在使用范围及用途方面受到一定限制^[2-3]。研究发现, 通过掺合纤维能够有效的改善水泥基体各项性能, 纤维作为增强材料已受到材料界与工程界的广泛关注^[4-5]。当前人们对钢纤维、玻璃纤维、玄武岩纤维、聚丙烯纤维等纤维增强水泥基材料的研究已经很多, 但关于矿渣棉纤维增强水泥性能的研究文章较少^[6-9]。矿渣棉纤维是以工业固废高炉渣为原料生产的一种新型无机纤维材料, 其具有质量轻、耐高温、防蛀耐腐蚀、化学稳定性好、价格低廉等优点, 广泛应用于冶金、机械、交通、建筑等领域。随着冶金工业的不断发展, 废渣的无害化、资源化处理是中国乃至世界各国十分重视的焦点, 也是推进循环经济的中心内容之一^[10]。生产矿渣棉是实现高炉废渣高效资源化利用, 提高其附加值的一条有效途径。将矿渣棉纤维用作增强水泥基的材料既提高了高炉渣产品的高附加值, 提高经济效益, 同时符

合国家提出的固废循环利用政策, 并且价格低廉, 原料充足, 在土木工程中将有广阔的应用前景。

试验进行了矿渣棉纤维增强水泥基材料的抗折、抗压强度以及干缩性能的测试与分析, 并以玄武岩纤维和聚丙烯纤维为对比, 旨在为新型无机材料矿渣棉纤维在增强水泥制品及水泥砂浆领域的应用提供科学依据。

1 试 验

1.1 试验原材料

(1) 矿渣棉纤维: 以高炉废渣为主要原料, 经重熔、调质、离心喷吹制备得到的一种新型的无机纤维材料^[11]。此次试验采用矿渣棉纤维由学校重点实验室生产, 其具体的化学成分及物理力学性能指标见表 1、表 2。

(2) 其他材料: 水泥采用唐山某集团有限公司水泥厂生产的 P·S·B 32.5 矿渣硅酸盐水泥; 砂子采用细度模数 2.36, 密度 2650 kg/m³ 的河砂; 减水剂为唐山某厂家生产的 FDN 高效减水剂, 减水率为 10%; 玄武岩纤维及聚丙烯纤维从厂家购买, 性能指

收稿日期: 2016-09-05; 改回日期: 2016-09-18

基金项目: 河北省科技计划资助项目(152101101D)

作者简介: 龙跃(1976-), 男, 副教授, 硕士研究生导师, 研究方向为冶金固体废弃物综合利用。

标见表 2;水,采用自来水。

表 1 原料的化学组成/%

Table 1 Chemical composition of the material

CaO	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe _m O _n	MnO	Na ₂ O, K ₂ O
30~40	3~8	10~20	40~50	1~5	>1	>1

表 2 矿渣棉纤维的物理性质

Table 2 Physical properties of the material

纤维 类别	单丝直径 /μm	平均长度 /mm	密度 /(g·cm ⁻³)	抗拉强度 /MPa	断裂延伸 /%
矿渣棉	5	10~150	0.14	30	5.74
玄武岩	13	13	2.7	625	2.99
聚丙烯纤维	20	4~20	0.91	500	19.9

1.2 试件配合比

测试水泥砂浆力学性能的试件配合比为:m(水泥):m(河砂):m(水)=1:2.5:0.5。基准配合比为水泥:河砂:水=450:1125:235;用于测试水泥砂浆干缩性能的试件配合比为:m(水泥):m(河砂):m(水)=1:2:5,基准配合比为水泥:河砂:水=500:1000:235。其中,未掺合纤维的砂浆空白样记为 A0;矿渣棉纤维掺量为 0.24%、0.36%、0.48%、0.6%、0.84%、1% 的砂浆试件记为 A1~A6;玄武岩纤维和聚丙烯纤维掺量为 0.48% 的砂浆试件分别标记为 B1、B2。

1.3 试验方法

参照 JTGE30-2005《公路工程水泥及水泥砂浆试验规程》标准进行抗压、抗折及干缩实验,试件尺寸采用 40 mm×40 mm×160 mm,按配比制备试件后置于标准养护室((20±2)℃,相对湿度 95%)内养护。3d、7d、28d 龄期后分别在 TYE-300B 型压力试验机和 KZJ-500 型电动抗折试验机上进行抗压、抗折强度测试,并用比长仪测试砂浆试件的干缩性能。

2 结果与讨论

2.1 矿渣棉纤维对水泥砂浆抗压、抗折强度以及折压比的影响

矿渣棉纤维增强水泥砂浆的抗压、抗折强度实验结果见表 3,图 1、图 2 分别为试件 28 d 的折压比及纤维水泥砂浆的 SEM 图。在碱性环境下,矿渣棉纤维的吸水性较好,纤维会随着水泥砂浆的流动均匀分布于试件内部。

表 3 砂浆的抗折、抗压强度

Table 3 The result of flexural strength and Compressive strength of the cement mortar

NO.	纤维含量 /%	弯曲强度 (f ₂)/MPa			抗压强度 (f _c)/MPa	
		3d	7d	28d	3d	7d
A0	0	3.96	5.84	7.04	17.58	23.75
A1	0.24	4.10	6.26	7.23	17.39	24.02
A2	0.36	4.33	6.50	7.40	18.52	24.38
A3	0.48	4.73	6.63	7.35	19.79	25.71
A4	0.60	4.97	6.95	7.92	20.44	25.10
A5	0.84	4.15	6.85	7.55	20.01	24.67
A6	1.00	4.41	6.67	7.59	19.86	24.48

由表 3 可知,随着养护龄期的增加,试件的抗压、抗折强度均增大。相比于基准试件,掺量为 0.24%~0.84% 时,其抗压、抗折强度均得到不同的提高,且抗压、抗折强度随着纤维掺量的增加而逐渐增大。当纤维掺量为 0.60% 时,试件的抗压、抗折强度达到最大值,此时矿渣棉纤维为 0.60% 时较为适宜,较基准试件,其 28 d 的抗折、抗压强度分别提高了 12.2%、7.66%。

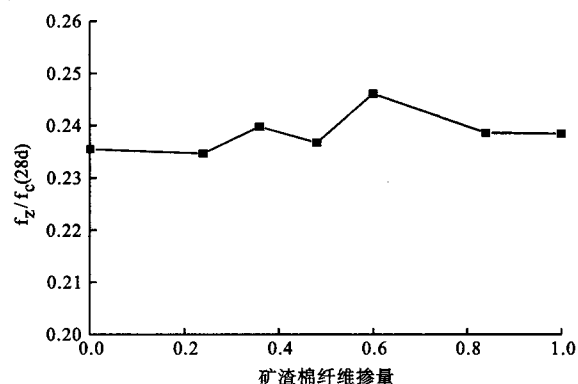


图 1 矿渣棉纤维掺量对水泥砂浆折压比的影响曲线
Fig. 1 Effect of slag wool fiber on flexural compression strength ratio of fiber reinforced cement mortar

相较于基准试件,掺入矿渣棉纤维后,砂浆试件 28 d 的折压比也有所提高,见图 1。当掺入 0~0.60% 的矿渣棉纤维时,试件的折压比呈上升的趋势;当掺入 0.60% 的矿渣棉纤维时,试件的折压比达到最大值,比基准试件增加了;当纤维掺量为 0.6%~1% 时,试件的折压比开始下降,但仍高于基准试件。这也说明矿渣棉纤维掺合到水泥砂浆材料中能够降低砂浆试件的脆性,改善其韧性及裂性能。

图 2 中,(a)(b)分别为试件养护 7 d、28 d 后内

部矿渣棉纤维的显微图像。由图可知,纤维在水泥基体中呈三维随机取向分布,分散较为均匀。较养护 7 d 的试件相比,28 d 的试件内部纤维表面附着更多的水化产物。均匀分布于水泥砂浆基体内部的矿渣棉纤维能够通过改善、优化基体内部的孔结构以及自身的强度,实现力的传递、分散、吸收,避免应力集中,抑制水泥砂浆裂缝产生和发展,从而在一定程度上改善水泥砂浆的力学性能^[12]。而水化产物会破坏纤维内部的网络结构,导致其性能显著下降,所以水泥砂浆试件后期的耐久性以及纤维的耐碱性处理值得深入地研究。

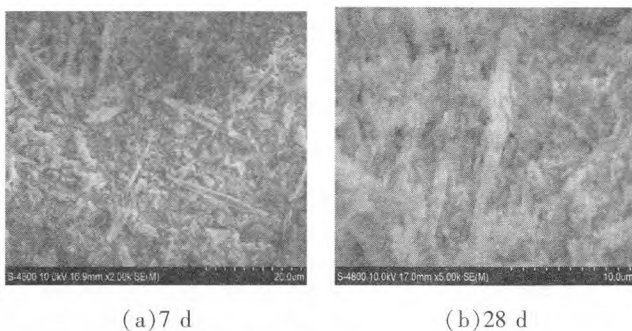


图2 纤维水泥砂浆中的矿渣棉纤维的显微图像

Fig. 2 Microstructure images of basalt furnace slag fibers in fiber reinforced concrete

2.2 纤维对水泥砂浆干缩性能的影响

当水泥砂浆处于未饱和湿度的环境中时,由于水分散失会引起砂浆体积收缩,干缩是一种体积效应。干缩决定于水泥基材料的微观结构,同时也是评价砂浆性能的主要因素。图3为矿渣棉纤维掺量对砂浆收缩率的影响曲线。

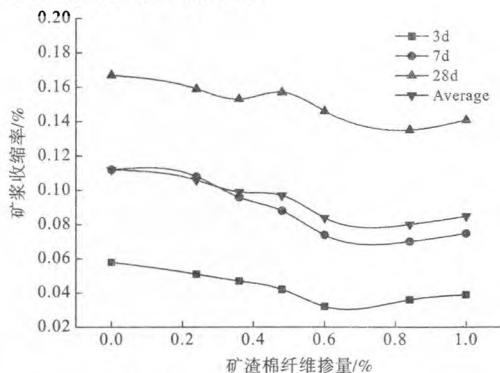


图3 矿渣棉纤维掺量对水泥砂浆收缩率的影响曲线

Fig. 3 Effect of slag wool fiber on shrinkage rate of fiber reinforced cement mortar

图3可知,矿渣棉纤维对砂浆的收缩有明显的抑制作用,尤其是对砂浆的早期收缩;收缩初期各组砂浆试件速率均快,而后期趋于平缓,这说明纤维能有效降低砂浆早期收缩率;砂浆在收缩时,其内部分布的纤维能够吸收力及能量,阻碍其收缩的正常进行。掺量为0.5%~1%时,纤维对水泥砂浆收缩性能的改善比较显著。

2.3 与玄武岩纤维和聚丙烯纤维的对比

图4、图5分别为矿渣棉纤维与玄武岩纤维及聚丙烯纤维对水泥砂浆抗折、抗压强度的影响。其中,图中方框内的标注分别表示基准试件、矿渣棉纤维增强砂浆试件、玄武岩纤维增强砂浆试件、聚丙烯纤维增强砂浆试件,三种纤维的掺量均为0.48%。

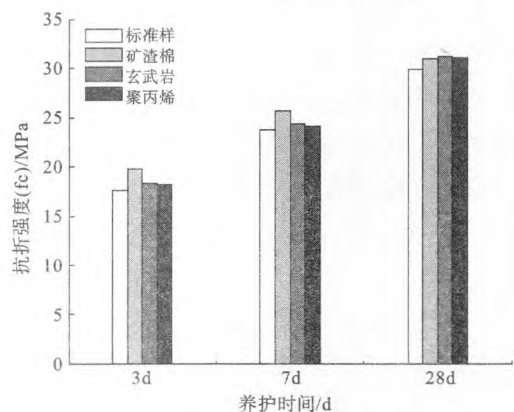


图4 纤维品种对水泥砂浆抗折强度的影响

Fig. 4 Effect of fiber varieties on the flexural strength of cement mortar

由图4可知,不论掺入矿渣棉纤维还是玄武岩纤维或者聚丙烯纤维,砂浆试件3 d、7 d、28 d的抗折强度较基准试件均有不同程度的提高。随着养护龄期的增大,试件的抗折强度逐渐增强。对于试件早期的抗折强度,抗渣棉纤维的增强效果要优于玄武岩纤维和聚丙烯纤维。其在3 d、7 d的抗折强度较基准试件提高了19.44%、13.53%,而玄武岩纤维和聚丙烯纤维则分别提高了18.18%、11.64%,11.36%、8.9%。但到了养护后期,玄武岩纤维和聚丙烯纤维的增强效果要优于矿渣棉纤维,其在28 d的抗折强度分别提高了8.95%、6.11%,而矿渣棉纤维提高了4.40%。

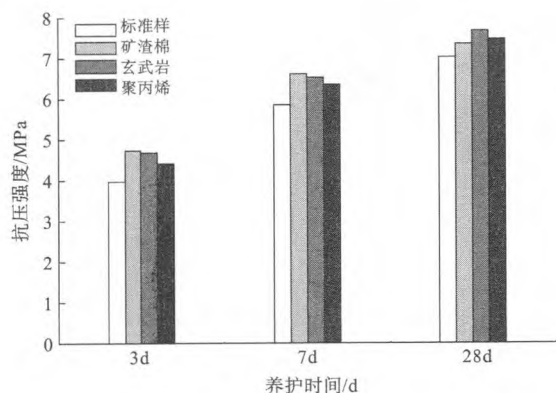


图5 纤维品种对水泥砂浆抗压强度的影响

Fig. 5 Effect of fiber varieties on the compressive strength of cement mortar

由图5可知,掺合适量的纤维同样能够改善不同养护龄期砂浆试件的抗压强度,不同种类的纤维对试件的影响效果不同。矿渣棉纤维早期的增强效果要优于玄武岩纤维和聚丙烯纤维,其在3d、7d的抗压强度较基准试件分别提高了12.57%、8.25%,而玄武岩纤维及聚丙烯纤维则分别提高4.32%、2.65%、3.30%、1.73%。但是,试件在养护28d后,玄武岩纤维和聚丙烯纤维的增强效果要优于矿渣棉纤维。较基准试件,其28d的抗压强度分别提高、4.68%、4.08%,而矿渣棉纤维提高3.88%。早期,由于矿渣棉纤维吸水性更好,在搅拌过程中随着浆体流动作用均匀分布于基体内部,且能减少水分损失,使胶凝材料充分水化,强度增大。矿渣棉纤维的耐碱性能要弱于另外两种纤维,后期在水化产物的腐蚀作用下,造成其性能的下降^[13-15]。

3 结 论

(1)水泥砂浆中掺合矿渣棉纤维能够增强其抗折、抗压强度,改善折压比。矿渣棉纤维为0.60%时较为适宜,较基准试件,其28d的抗折、抗压强度分别提高了12.2%、7.66%。

(2)掺量为0.5%~1%时,纤维对水泥砂浆收缩性能的改善比较显著。

(3)纤维掺量为0.48%时,玄武岩纤维及聚丙烯纤维增强水泥砂浆后期的力学性能优于矿渣棉纤维。

参考文献:

- [1] MEHTA P K, PAULO J M. Monteiro Concrete Microstructure, Properties, and Materials[M]. New York, The McGraw-Hill Companies, 2006.
- [2] 张水, 李国忠, 陈娟, 等. 化学改性芳纶纤维增强水泥基复合材料的性能[J]. 复合材料学报, 2011(03): 109-114.
- [3] 张礼和, 谈慕华, 马一平, 等. PP纤维水泥界面粘接与抗干缩开裂性能研究[J]. 建筑材料学报, 2001(01): 17-21.
- [4] Sim J, Park, Moon D Y. Characteristics of Basalt Fiber as a Strengthening Material for Concrete Structure[J]. Composites Part B, 2005(36): 504-512.
- [5] 艾珊霞, 尹世平, 徐世焱. 纤维编织网增强水泥砂浆的研究进展及应用[J]. 土木工程学报, 2015, 48(1): 27-40.
- [6] 张浩, 蒋华, 何勇. 钢纤维再生水泥砂浆研究现状与应用前景[J]. 四川建材, 2015(01): 3-5.
- [7] 王海良, 钟耀海, 杨新磊. 玄武岩纤维水泥砂浆研究进展与建议[J]. 工业建筑, 2013, 43(S1): 639-643.
- [8] 何文敏, 陈拴发, 张学钢. 聚丙烯纤维增强水泥砂浆研究进展[J]. 化工新型材料, 2013(3): 130-132.
- [9] 乔欣元, 张会霞, 许玲, 等. 矿物纤维增强水泥砂浆抗冻性能研究[J]. 低温建筑技术, 2014(10): 7-10.
- [10] 王旭, 袁守谦, 李海潮. 矿渣棉生产发展现状的综述[J]. 中国冶金, 2014(08): 18-21.
- [11] 肖永力, 李永谦, 刘茵, 等. 高炉渣矿棉的研究现状及发展趋势[J]. 硅酸盐通报, 2014, 33(7): 1689-1694.
- [12] 廉杰, 杨勇新, 杨萌, 等. 短切玄武岩纤维增强水泥砂浆力学性能的试验研究[J]. 工业建筑, 2007(06): 8-10.
- [13] 李晓光, 刘云霄, 马昕. 碱性环境中复合改性矿渣纤维的结构变化[J]. 建筑材料学报, 2013(06): 955-961.
- [14] 黄凯健, 邓敏. 玄武岩纤维耐碱性及对混凝土力学性能的影响[J]. 复合材料学报, 2010(01): 150-154.
- [15] 何文敏, 陈拴发, 张学钢. 聚丙烯纤维增强混凝土研究进展[J]. 化工新型材料, 2013(03): 130-132.

(下转 110 页)

参考文献:

- [1] 狄燕清, 崔孝炜, 庞华, 等. 掺尾矿新型轻质建筑保温材料的制备[J]. 混凝土与水泥制品, 2016(6): 66-69.
- [2] 狄燕清, 崔孝炜, 李春, 等. 掺钼尾矿发泡水泥保温材料的制备[J]. 新型建筑材料, 2016(4): 10-13.
- [3] 王长拼, 张凌燕, 白丽丽, 等. 钼尾矿综合回收利用试验[J]. 矿产综合利用, 2016(1): 71-75.
- [4] 肖竣, 李晓东, 陈代雄, 等. 某钼尾矿氧化钼选矿试验研究[J]. 中国钼业, 2016(1): 7-12.
- [5] 崔孝炜, 狄燕清, 南宁, 等. 钼尾矿骨料混凝土的试验研究[J]. 混凝土与水泥制品, 2016(8): 84-87.
- [6] 狄燕清, 崔孝炜. 掺尾矿高性能混凝土的制备[J]. 商洛学院学报, 2015(6): 32-36.
- [7] 刘龙. 钼尾矿-粉煤灰-炉渣承重蒸压砖的研制[J]. 硅酸盐通报, 2011, 30(4): 961-965.
- [8] 李建涛, 王之宇. 利用商洛钼尾矿制备混凝土保温砌块的试验研究[J]. 新型建筑材料, 2015(3): 80-85.
- [9] 张冠军. 钼尾矿作为铁质原料配料烧制水泥熟料的研究[J]. 应用研究, 2015(3): 79-81.
- [10] 崔兴兰, 倪文, 刘倩. 高效减水剂对铁尾矿高性能混凝土性能的影响[J]. 2011(1): 158-161.
- [11] 霍雷. 减水剂对混凝土工作性和强度的影响[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2012.
- [12] Yang Q. Inner relative humidity and degree of saturation in high-performance concrete stored in water or salt solution for 2 years[J]. Cement and Concrete Research, 1999(1): 45-53.
- [13] 崔孝炜. 养护工艺对尾矿混凝土微观结构的影响[J]. 商洛学院学报, 2014, 28(4): 54-57.
- [14] 吴辉. 掺入热闷钢渣制备低收缩铁尾矿轨枕混凝土研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2014.
- [15] 贾艳涛. 矿渣和粉煤灰水泥基材料的水化机理研究[D]. 南京: 东南大学, 2005.

Preparation of high performance concrete with molybdenum tailings of Shangluo

Cui Xiaowei, Di Yanqing, Liu Xuan, Nan Ning, Zhou Chunsheng

(College of Chemical Engineering and Modern Materials, Shaanxi Key Laboratory of Comprehensive Utilization of Tailings Resources, Shangluo University, Shangluo, Shaanxi, China)

Abstract: Cementitious materials were prepared with molybdenum tailings, slag, clinker and desulfurization gypsum. The influence of dosage of molybdenum tailings, dosage of water reducing agent and curing process on compressive strength was researched. The hydration products of gelled material were analyzed with XRD and SEM. The results show that when the mass ratio of molybdenum tailings in cementitious materials is 15%, dosage of PC super plasticizer is 0.4% amount of cement, curing process is wet and heat curing at 60 °C, the highest compressive strength of molybdenum tailings concrete is 73.2 MPa. The hydration products of gelled material prepared with molybdenum tailings are mainly ettringite and C-S-H gel. The intertwining of ettringite and C-S-H gel, has enhanced the strength of concrete.

Keywords: Molybdenum tailings; Cementitious materials; Compressive strength; Hydration products

(上接 106 页)

Effect of Slag Wool Fiber on Properties of Cement Based Composite

Long Yue, Zhao Bo, Xu Chenguang

(College of Metallurgy and Energy, North China University of Science and Technology, Ministry of Education Key Laboratory of Modern Metallurgy Technology, North China University of Science and Technology, Tangshan, Hebei, China)

Abstract: Compared with basalt fiber (BF) and the polypropylene fiber (PP), the influences of slag wool fiber on the compressive, flexural performances of cement mortar and the distribution pattern of fibers in cement mortar by SEM were studied and discussed. The results show that the flexural and compressive strengths of mortar specimens and the dry shrinkage performance of cement mortar could be improved by slag wool fiber. In the sample, a large number of hydration products are adhered on the surface of the slag wool fiber and show great combination pattern with cement mortar, but the fiber is also subjected to certain corrosion so that its performance is decreased. The mechanical properties of basalt fiber and polypropylene fiber reinforced cement mortar are better than that of slag wool fiber when the fiber content of fiber is 0.48%.

Keywords: Slag wool fiber; Cement mortar; Mechanical property; Shrinkage rate; Comparative analysis