

掺钢渣-矿渣-粉煤灰复合微粉混凝土 的高温性能研究

吴昊, 陈新星, 周志云, 徐远琛, 罗国友

(上海理工大学 环境与建筑学院, 上海 200093)

摘要: 为了更好、更安全地利用工业废渣, 本文研究了钢渣-矿渣-粉煤灰复合微粉混凝土高温后的性能, 以不同掺量的4种复合微粉混凝土为研究对象, 分析了复合微粉种类和掺量对混凝土高温后性能的影响。试验研究表明: 复合微粉的加入都会使混凝土的失重率变大。对于以钢渣或粉煤灰为主的复合微粉混凝土, 复合微粉掺量与混凝土的残余抗压强度和静弹性模量负相关。对于以矿渣为主的复合微粉混凝土, 复合微粉掺量与混凝土的残余抗压强度和静弹性模量先正相关后负相关。

关键词: 钢渣; 矿渣; 粉煤灰; 掺量; 混凝土; 高温性能

中图分类号: **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-643X(2015)04-0187-05

Research on high temperature performance of composite micropowder concrete mixed by steel slag, slag and fly ash

WU Hao, CHEN Xinxing, ZHOU Zhiyun, XU Yuanchen, LUO Guoyou

(School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: In order to better and safer use the industrial waste slag in architecture, the paper studied the high temperature property of composite micropowder concrete with steel slag, powder slag and of fly ash. Taking four different kinds of composite powders as research object, it analyzed the effect of composite powder type and dosage on the high temperature back properties of concrete. The results show that the addition of composite powder to concrete will increase weight loss rate. For the composite powder concrete mainly with steel slag or fly ash, the mixture amount of composite powder has negative relation with the residual compressive strength of concrete and static elastic modulus. For the composite powder concrete mainly with slag, the composite powder content has positive relation first and then negative relation with the residual compressive strength of concrete and static elastic modulus.

Key words: steel slag; slag; fly ash; mixture amount; concrete; high temperature property

随着绿色混凝土的概念逐步深入人心, 国内外学者在合理使用工业废渣和减少水泥使用上做了大量的研究^[1-6]。其中粉煤灰和矿渣在水泥混凝土中等效替代部分水泥已经得到广泛的应用, 但是钢渣在建筑材料中的应用还很少。虽然钢渣在成分上和硅酸盐水泥熟料比较相似, 也具有水硬活性, 但是钢渣磨细成本较高, 而且钢渣中存在大量的 f-CaO 和 MgO, 如果控制不当易使水泥混凝土产生安定性不良的后果^[7]。目前, 杨钱荣等^[1]已经研究了钢渣-矿渣-粉煤灰复合掺合料对水泥混凝土性能的影响, 但是关于这种复合掺合料对水泥混凝土高温性能的研究还很少, 开展掺钢渣-矿渣-粉煤灰复合掺合料混凝土高温性能的研究, 对于环保和火灾的预防具有重要意义。

响, 但是关于这种复合掺合料对水泥混凝土高温性能的研究还很少, 开展掺钢渣-矿渣-粉煤灰复合掺合料混凝土高温性能的研究, 对于环保和火灾的预防具有重要意义。

1 试验方案

1.1 原材料和配合比

原材料为海螺牌 P. C32.5 复合硅酸盐水泥、上海宝钢的钢渣成品粉(检测结果详见表1)、S95 级的粒化高炉矿渣粉、一级粉煤灰和萘系高效减水剂。

收稿日期: 2015-01-06; 修回日期: 2015-03-25

基金项目: 大学生创新创业训练计划项目(SH2013101)

作者简介: 吴昊(1993-), 男, 安徽安庆人, 本科生, 主要从事混凝土耐久性等方面的研究工作。

通讯作者: 陈新星(1989-), 男, 贵州遵义人, 在读硕士研究生, 主要从事混凝土耐久性等方面的研究工作。

表 1 钢渣的成分										%
SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	FeO	S	P	f. CaO	Mfe	
9.84	11.06	0.98	41.98	8.69	14.88	0.042	0.56	5.68	0.58	

采用正交的方法对各个微粉按质量比例进行组合,分为 A、B、C 和 D 4 种复合微粉,其中 A 型复合微粉(钢渣粉:矿渣:粉煤灰=2: 1: 1);B 型复合微粉(钢渣粉:矿渣:粉煤灰=1: 2: 1);C 型复合微粉(钢渣粉:矿渣:粉煤灰=1: 1: 2);D 型复合微粉(钢渣粉:矿渣:粉煤灰=1: 3: 1)。混凝土的配合比见表 2。

表 2 混凝土试验配合比								kg/m ³
编号	掺量/%	水泥	钢渣	矿渣	粉煤灰	水	沙	石子
T0	0	440				198	665.4	1085.6
A1	10	396	22	11	11			
A2	20	352	44	22	22			
A3	30	308	66	33	33	198	665.4	1085.6
A4	40	264	88	44	44			
A5	50	220	110	55	55			
B1	10	396	11	22	11			
B2	20	352	22	44	22			
B3	30	308	33	66	33	198	665.4	1085.6
B4	40	264	44	88	44			
B5	50	220	55	110	55			
C1	10	396	11	11	22			
C2	20	352	22	22	44			
C3	30	308	33	33	66	198	665.4	1085.6
C4	40	264	44	44	88			
C5	50	220	55	55	110			
D1	10	396	8.8	26.4	8.8			
D2	20	352	17.6	52.8	17.6			
D3	30	308	26.4	79.2	26.4	198	665.4	1085.6
D4	40	264	35.2	105.6	35.2			
D5	50	220	44	132	44			

1.2 试验设备及试验方案

试块的制作和立方体抗压强度试验按照《GBT50081-2002 普通混凝土力学性能试验方法》^[8]进行。采用型号为 101-A 型电热鼓风恒温干燥箱将混凝土试块进行烘干处理,保持 110℃±5℃下烘干 24 h。仪器如图 1 所示。采用型号为 SMF1900-50 的箱式电阻炉对混凝土试块进行煅烧,升温速率为 2.5℃/min。目标温度为 200、400、600、800℃。达到指定温度后的恒温时间为 3 h^[9-10]。试样随火炉冷却至室温。仪器如图 2 所示。采用 V-METER III 型超声脉冲速度测试仪测量混凝土试块的纵波波速。试验加载采用上海新三

思计量仪器制造有限公司生产的 STH 系列微机控制电液伺服万能试验机。



图 1 电热鼓风恒温干燥箱

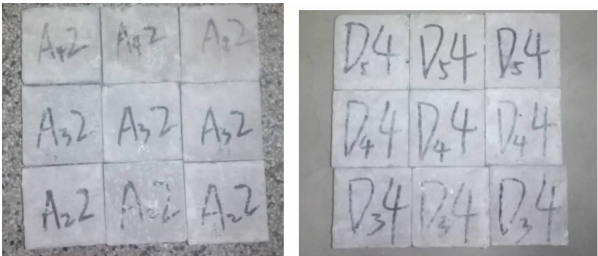


图 2 箱式电阻炉

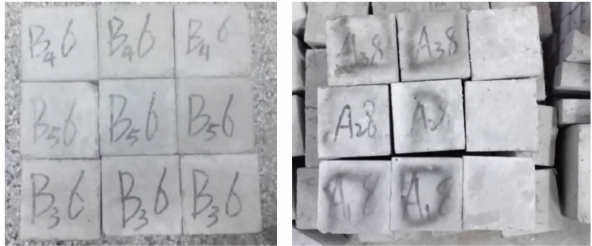
2 试验结果和分析

2.1 试验表面情况及质量损失率

图 3 为试件高温后的外观,图(a)、(b)分别为 200℃和 400℃作用后的试块,试块外观无明显变化。图(c)为 600℃作用后的试块,试块表面无裂缝,外观上略有泛黄。图(d)为 800℃作用后的试块,试块明显发灰,表面有少量的气孔和微裂缝。



(a) 200℃ (b) 400℃



(c) 600℃ (d) 800℃

图 3 高温作用后的试块

图 4 为高温后空白混凝土的质量损失情况。由图 4 可知,普通混凝土的失重率先减小后增大。分为 3 个阶段:100~200℃时,混凝土的质量有所增

加,可能的原因是烘干后在室内冷却时,室内较潮湿,混凝土吸收了空气中的水分,在加热到 200℃ 的过程中,混凝土与这一部分水进一步发生水化反应,从而导致混凝土质量略有增加; 200 ~ 600℃ 时混凝土的失重率加快,此阶段除毛细水和胶凝水损失之外,结晶水也开始逐渐失去^[11]; 600 ~ 800℃ 时损失略有增加,此时失重率的变化与混凝土中钙质骨料分解产生 CO₂ 的量有关。

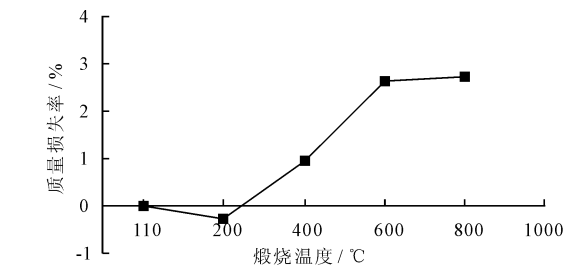


图 4 空白组(T₀)的失重率

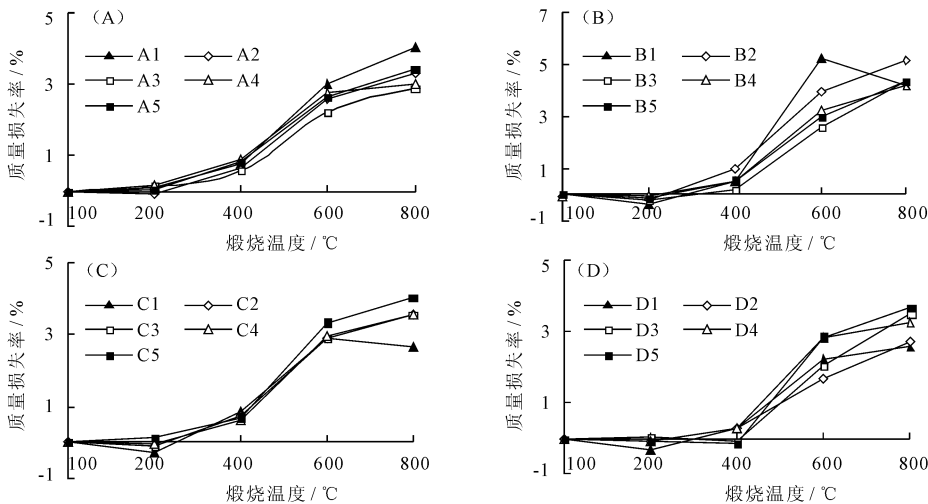


图 5 A、B、C 和 D 组的失重率

图 5 为高温后不同复合微粉混凝土的质量损失情况,由图 5 可以看出,4 组的五条折线基本重合,因此复合掺合料的掺量对失重率折线的趋势基本上没有影响。但是复合掺合料的种类对亚高温(400℃ 以下)下失重率折线趋势有较明显的影响。由于钢渣的活性比矿渣和粉煤灰的活性都低,所以在冷却至室温时的进一步水化反应弱,这就造成了以钢渣为主的 A 组混凝土的失重率没有下降。在亚高温区间,由 B 组和 D 组可以看出,随着矿渣在复合掺合料中所占比列的提高,混凝土的失重率越稳定。

2.2 残余抗压强度

图 6 为 110 和 600℃ 作用后各组的残余抗压强度(当温度为 20、110 和 200℃ 时,复合微粉的种类和掺量对混凝土残余抗压强度的影响规律一样,故取 110℃ 时为代表;当温度为 400、600 和 800℃ 时,复合微粉的种类和掺量对混凝土残余抗压强度的影响规律一样,故取 600℃ 时为代表)。由图 6 可知,A 组和 C 组中随着复合微粉掺量的增加,混凝土的残余抗压强度降低。B 组和 D 组中随着复合微粉掺量的增加,混凝土的残余抗压强度先增加后降低,并且随着矿渣微粉的比重增加,混凝土的残余抗压强度

增加。从 B 组和 D 组中还可以看出,当温度为 110℃ 时,B 组和 D 组的混凝土残余抗压强度基本相等,当温度为 600℃ 时,D 组的混凝土残余抗压强度明显优于 B 组的混凝土残余抗压强度。

2.3 高温前后的弹性模量

图 7 为混凝土的动弹性模量。由图 7 可知,随着温度的增加,混凝土的动弹性模量均降低,掺量不同只会使折线上下移动,不会改变折线的趋势。在图(a)中五条折线基本重合,可以看出,A 型复合微粉的掺量对混凝土动弹性模量影响很小,即使掺量从 10% 变化到 50% 也没有使折线发生很大的变化,结合图(b)、(c)、(d)可以看出,产生这一现象的原因不是钢渣一种微粉导致的,而是钢渣、矿渣和粉煤灰在特殊比例的情况下发生了较为复杂的化学反应导致的。由图(b)、(d)对比可知,随着矿渣微粉的比重增加,掺量对混凝土动弹性模量的影响越小。

混凝土的静弹性模量如图 8 所示,从图(a)、(c)中可看出,对于 A、C 型复合微粉混凝土,随着复合微粉掺量的增加,混凝土的静弹性模量减小。从图(b)、(d)可以看出,对于 B、D 型复合微粉混凝土,随着复合微粉掺量的增加,混凝土的静弹性模量先增大后减小。

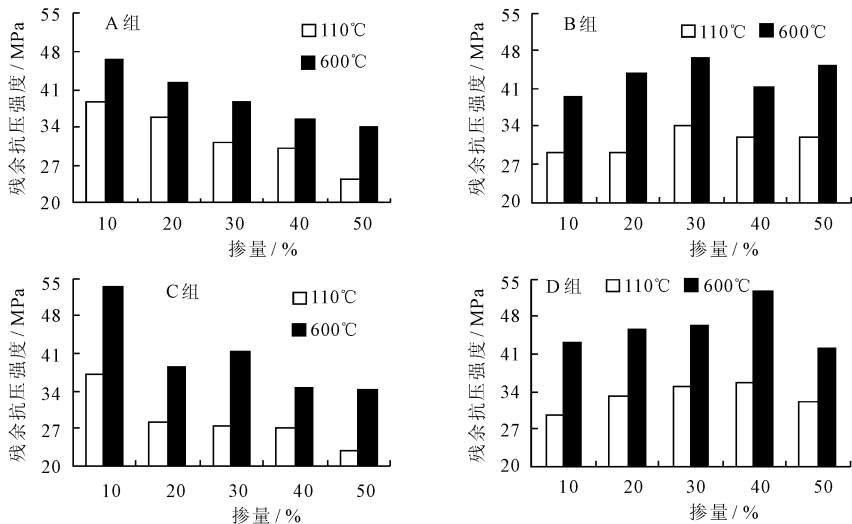


图6 各组的残余抗压强度

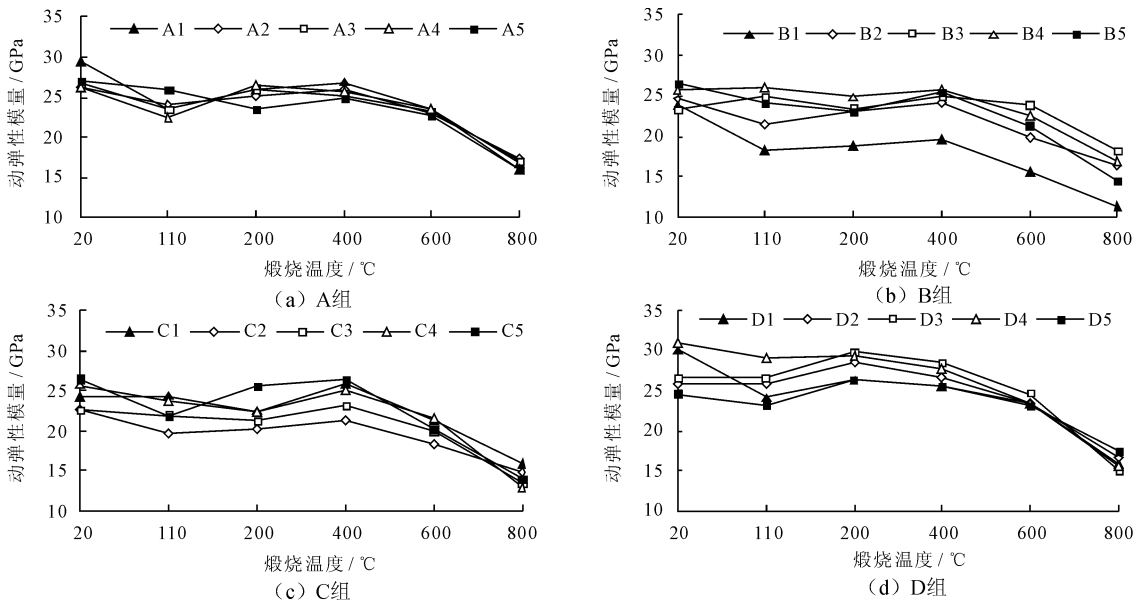


图7 混凝土的动弹性模量

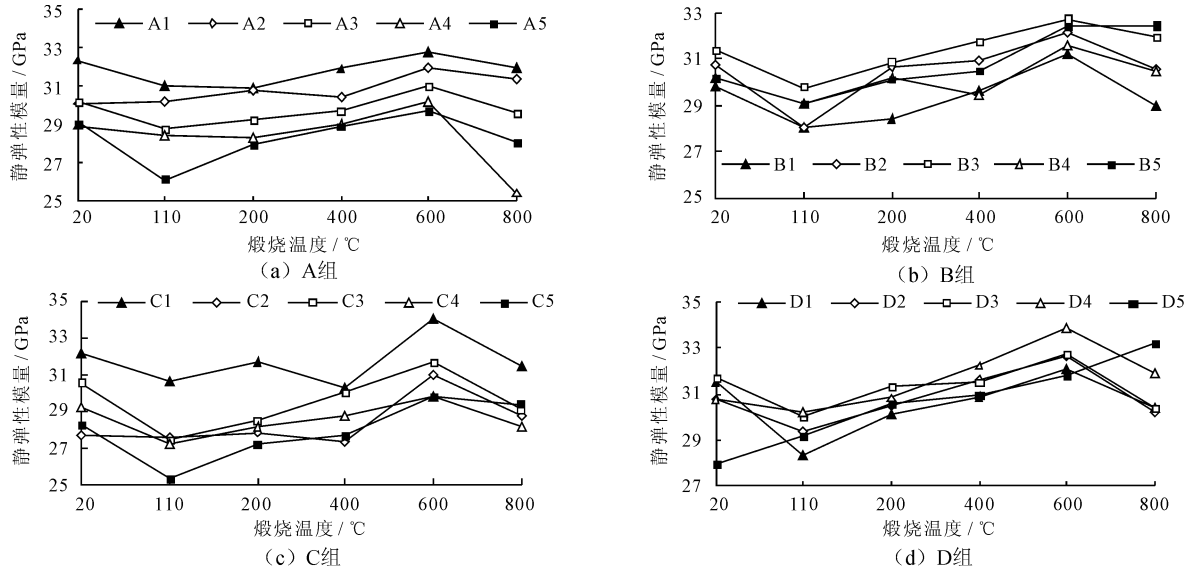


图8 混凝土的静弹性模量

3 结 语

(1) 复合掺合料的加入都会使混凝土的失重率变大。从A组和C组可以看出,复合微粉掺量的变化对混凝土失重率的影响很小。从B组和D组可以看出,随着矿渣比重的增加,混凝土的失重率会降低,并且复合微粉掺量对混凝土的失重率的影响也会降低。

(2) 对于A、C型复合微粉混凝土,随着复合微粉掺量的增加,混凝土的残余抗压强度和静弹性模量均减小。对于B、D型复合微粉混凝土,随着复合微粉掺量的增加,混凝土的残余抗压强度和静弹性模量均先增大后减小。

(3) 对B、D型复合微粉混凝土而言,随着矿渣微粉的比重增加,掺量对混凝土动弹性模量的影响越小。A型复合微粉的掺量对混凝土动弹性模量影响很小。

参考文献:

- [1] 杨钱荣,张树青,杨全兵. 掺钢渣-矿渣-粉煤灰复合微粉混凝土性能研究[J]. 粉煤灰综合利用,2009(4):3-6.
- [2] 刘娟红,宋少民. 大掺量矿物细粉掺和料活性粉末混凝土高温性能[J]. 北京工业大学学报,2012,38(8):1180

-1184.

- [3] Khaliq W, Kodur V. Behavior of high strength fly ash concrete columns under fire conditions[J]. Materials and Structures,2013,46(5):857-867.
- [4] 马红侠. 粉煤灰混凝土高温后力学性能与龄期的关系[J]. 工业建筑,2013,43(1):80-84.
- [5] Khaliq W, Kodur V. High temperature mechanical properties of high strength fly ash concrete with and without fibers[J]. ACI Materials Journal. 2012,109(6):665-674.
- [6] Khan M S, Prasad J, Abbas H. Effect of High Temperature on High - Volume Fly Ash Concrete[J]. Arabian Journal for Science and Engineering, 2013,38(6):1369-1378.
- [7] 施惠生,郭晓潞,阚黎黎. 钢渣-水泥硬化浆体体积稳定性的改性研究[J]. 水泥,2007(12):1-4.
- [8] 中华人民共和国建设部,国家质量监督检验检疫总局. GB/T 50081-2002. 普通混凝土力学性能试验方法标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [9] 肖明辉,时旭东,邢万里. 不同等级混凝土强度高温衰退性能试验研究[J]. 建筑结构,2009(7):113-115.
- [10] 中华人民共和国工业和信息化部. YB/T4252-2011. 耐热混凝土配合比设计及性能检验规程[S]. 北京:冶金工业出版社,2011
- [11] 高丹盈,李 晗,杨 帆. 聚丙烯-碳纤维增强高强混凝土高温性能[J]. 复合材料学报,2013,30(1):187-193.

(上接第186页)

3 结 语

(1) 随着再生粗骨料取代率的增加和冻融循环次数的增多,混凝土的质量损失率增大,相对动弹性模量和抗压强度降低。

(2) 一定量的钢渣掺量可以提高混凝土的密实性,随着钢渣掺量的增多使得再生混凝土的质量损失率增大,相对动弹性模量和抗压强度降低。钢渣掺量20%对再生混凝土的质量损失,动弹性模量和抗压强度影响不大,掺量低于20%为宜。

(3) 硅灰极大的提高再生混凝土的抗冻性。硅灰掺量10%的再生混凝土的相对动弹性模量和抗压强度与硅灰掺量5%的再生混凝土相比提高不明显,从经济角度考虑,掺量5%为宜。

(4) 复掺硅灰和钢渣合适的比例可以提高再生混凝土的抗冻性,复掺硅灰5%+钢渣15%的再生混凝土的抗冻等级达到F100。

参考文献:

- [1] 魏应乐. 再生混凝土的耐久性及控制措施研究[J]. 混凝

土,2010(1):81-85.

- [2] Matias D, de Brito J, Rosa A, et al. Durability of concrete with recycled coarse aggregates: influence of superplasticizers[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2014, 26(7):615-621.
- [3] Salem R M, Burdette E G, Jackson N M. Resistance to freezing and thawing of recycled aggregate concrete[J]. ACI Materials Journal, 2003, 100(3):216-221.
- [4] 肖建庄,雷 斌. 再生混凝土耐久性性能研究[J]. 混凝土, 2008(5):83-89.
- [5] 曹万林,梁梦彬,董宏英,等. 再生混凝土冻融后基本力学性能试验研究[J]. 自然灾害学报,2012,21(3):184-190.
- [6] 廖国胜,曾三海. 土木工程材料[M]. 北京:冶金工业出版社,2001.
- [7] 邹超英,范玉辉,胡 琼. 冻融循环后再生混凝土基本力学性能试验[J]. 建筑结构,2010,40(Z1):434-438.
- [8] 刘娟红,梁文泉. 土木工程材料[M]. 北京:机械工业出版社,2013.
- [9] 王 洪,陈伟天,陈昌礼. 硅灰对高强混凝土强度影响的试验研究[J]. 混凝土,2011(7):74-76.