

文章编号:1000-6281(2015)06-0482-05

加密硅灰在净浆和混凝土中的作用对比

冯竟竟,于雷,刘勇,刘洋

(山东农业大学水土学院土木系,山东泰安 271018)

摘要:为了探讨加密硅灰在净浆和混凝土中的作用效果差异,设置了4种不同的加密硅灰掺量(0%、6%、12%、18%),研究加密硅灰对混凝土抗压强度、净浆抗压强度、孔隙特征和微观形貌的影响。研究表明:加密硅灰在净浆硬化浆体中的团簇作用明显,部分硅灰团簇内有明显裂缝,使净浆总孔隙率增大,造成净浆抗压强度降低;加密硅灰在混凝土体系中,由于骨料的磨擦作用,团簇较少,能够相对较好的分散,且硅灰的火山灰反应起到改善界面过渡区的作用,使混凝土抗压强度提高。

关键词:加密硅灰;净浆;混凝土;分散效果

中图分类号: TU528;TU502;TG115.21*5.3 **文献标识码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1000-6281.2015.06.006

随着高层建筑和大跨度结构的发展,对混凝土强度、耐久性和工作性的要求越来越高^[1]。近年来,高强混凝土在土木工程中的应用越来越普遍^[2-3]。高强混凝土能够减小建筑构件的截面尺寸、降低结构的自重、加快施工进度,并且在刚度和耐久性方面性能良好^[4]。

硅灰作为掺合料的一种,现在已经广泛应用于高强混凝土的制备中,它能够减少水泥熟料的使用^[5-7],更重要的是硅灰有很强的活性,在混凝土中能够发生火山灰反应和微集料填充效应^[8-9]。在高强混凝土的制备中掺入硅灰,可以提高混凝土的强度、抗渗性、抗冻性和耐化学腐蚀性,也能抑制或减少碱骨料反应,应用前景非常广阔^[10-11]。

由于硅灰密度较小,约为水泥密度的1/10((150~250)kg/m³),给硅灰生产企业在储存和运输上带来诸多弊端^[12]。因此硅灰生产企业应用加密技术将原状硅灰在压缩空气流的作用下,滚动成小的颗粒团,可将硅灰的容积密度最高提到900 kg/m³^[13]。近年来,我国市场上用于混凝土生产的硅灰大部分已为加密硅灰。

加密硅灰是否能够在混凝土中良好地分散对于加密硅灰在混凝土中的使用至关重要,本文对比了加密硅灰在净浆和混凝土中的分散效果和作用效果的差异。

1 原材料与试验方法

1.1 原材料

实验采用强度等级为42.5的硅酸盐水泥,符合GB 8076—2008,比表面积为350 kg/m²。硅灰为加密硅灰。水泥及硅灰的化学成分如表1所示。混凝土试件所用粗骨料为5~25 mm连续级配的碎石,细骨料为细度模数2.4的天然河砂,II区中砂。减水剂为聚羧酸减水剂(固含量20%)。用MASTER SIZER 2000型激光粒度分析仪测定水泥和硅灰颗粒的粒径分布曲线如图1所示,可以看出,由于团簇作用,加密硅灰的粒径远大于其单个硅灰颗粒的粒径,且大于水泥颗粒的粒径。

1.2 试验方法

试验采用假定容重法进行混凝土配合比设计,通过调节减水剂的掺量使混凝土的坍落度在160~

表1 水泥及硅灰化学成分/(w%)

Table 1 Chemical compositions of cement and silica fume/(w%)

原材料	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O _{eq}	LOSS
水泥	21.58	4.49	2.85	64.00	1.86	2.90	0.68	1.77
硅灰	95.0	0.30	0.80	0.40	0.30	0.50	0.59	-

收稿日期:2015-10-18

基金项目:山东省自然科学基金资助项目(No. ZR2012EEQ014);山东农业大学青年科技创新项目。

作者简介:冯竟竟(1981-),女(汉族),山东淄博人,副教授。E-mail:jingjing_feng@163.com

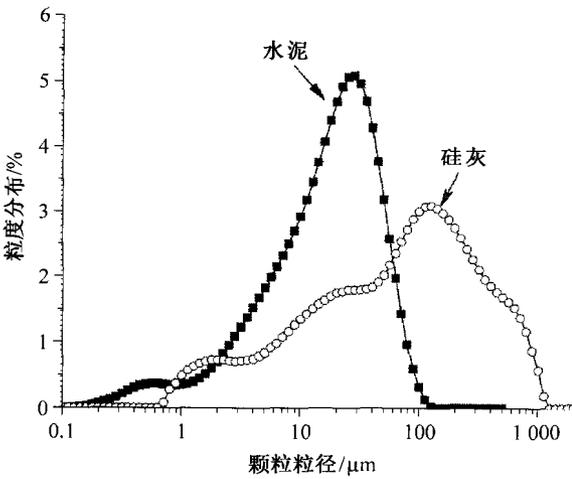


图1 水泥和硅灰颗粒的粒径分布曲线。

Fig.1 Particle size distributions of cement and silica fume.

180 mm 之间,配合比如表 2 所示。混凝土试件尺寸为 100 mm × 100 mm × 100 mm。

净浆(由胶凝材料和水拌合而成)实验编号同混凝土试验,各组胶凝材料中硅灰含量分别为 6%、12%、18%。净浆试件尺寸为 40 mm × 40 mm × 40 mm。混凝土与净浆试件的养护方式均为标准养护(温度(20 ± 2)℃、相对湿度 95% 以上),养护至龄期进行测试。

表 2 混凝土配合比

Table 2 Mix proportions of concretes

编号	密度/(kg·m ⁻³)				
	水泥	水	硅灰	砂	石子
pc1	400	120	0	811	1119
ps1	376	120	24	811	1119
ps2	352	120	48	811	1119
ps3	328	120	72	811	1119

混凝土抗压试验测试按照《普通混凝土力学性能试验方法标准》(GB/T 50081—2002)要求进行测试,加载速度 1 kN/s。净浆试件抗压强度测试采用类似的方法,加载速度为 2.4 kN/s。

硬化浆体的形貌采用扫描电子显微镜(SEM)在高真空的模式下观察。胶凝材料净浆的孔隙特征包括孔隙率和孔径分布采用 AUTOPORE II 9220 压汞仪测定,可测定的最小孔径为 3.2 nm。

2 结果与讨论

2.1 抗压强度

4 组净浆试件标准养护 28 d、90 d 抗压强度见图 2。从结果可知,掺入加密硅灰后净浆试件

抗压强度低于纯水泥组,且随掺量增加抗压强度降低,随龄期增长掺加密硅灰组抗压强度降低愈发明显。可见,在净浆体系中加入加密硅灰会使强度降低。

4 组混凝土试件标准养护 28 d、90 d 抗压强度见图 3。相较于纯水泥组,掺入加密硅灰后混凝土抗压强度提高,但提高不明显。掺加密硅灰混凝土抗压强度随硅灰掺量增加,先提高后下降。

对比掺入加密硅灰的净浆和混凝土抗压强度,发现加密硅灰在两种体系中对抗压强度的影响规律不同。两种体系本身的最大不同之处在于,净浆体系近似于均相体系,而混凝土则是多相体系,存在界面过渡区。硅灰进行火山灰反应会消耗界面过渡区的 Ca(OH)₂,改善界面过渡区,提高强度。加密硅灰会使净浆试样抗压强度降低,是因为加密硅灰在净浆体系中不能良好的分散,以下的实验会进一步论证这一观点。

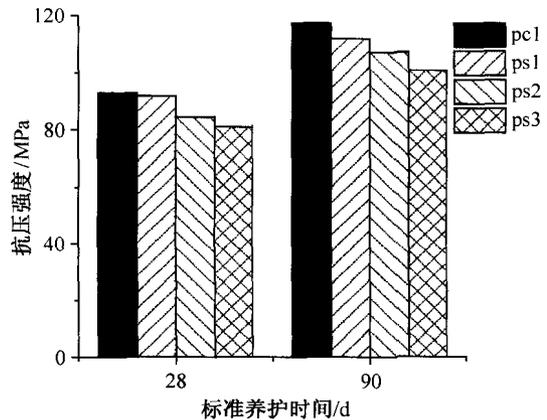


图 2 净浆试件各龄期抗压强度。

Fig.2 Compressive strength of paste

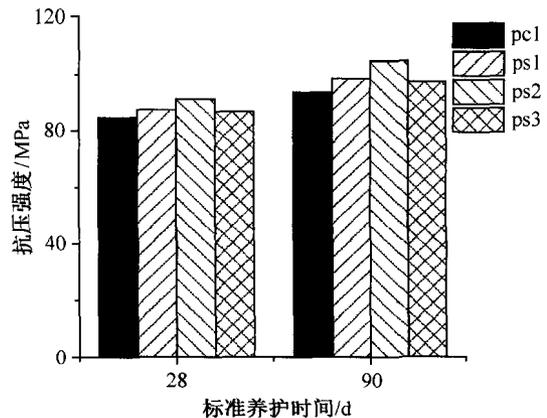


图 3 混凝土试件各龄期抗压强度。

Fig.3 Compressive strength of concrete.

2.2 净浆孔隙特征

4 组净浆试件标准养护 28 d 后的累积进汞体积曲线如图 4 所示。累积进汞体积大致反映了该硬化浆体的总孔隙累积体积变化。Mehta 认为大于 100 nm 的孔为有害孔,影响混凝土的强度和渗透性^[5]。从图中可以看出,掺入加密硅灰后,各组累积进汞体积增大,尤其是孔径小于 100 nm 的微孔明显增多;当加密硅灰掺量为 12% 时,孔径大于 100 nm 的孔略有减少,加密硅灰掺量为 18% 时,孔径大于 100 nm 的孔明显减少。

从净浆累积进汞体积结果可知,一方面虽然加密硅灰的颗粒粒径较大,但还是可以起到一定的填充效应,降低体系有害孔体积,且掺量较大时填充效果更明显;另一方面由于加密硅灰在净浆体系中不能良好地分散,会使体系微孔体积明显增大。总体看后者对体系影响较大,加密硅灰会使净浆体系总孔隙率增大,对体系总孔隙率有不利影响,这也是造成掺加密硅灰净浆试样抗压强度降低的原因之一。

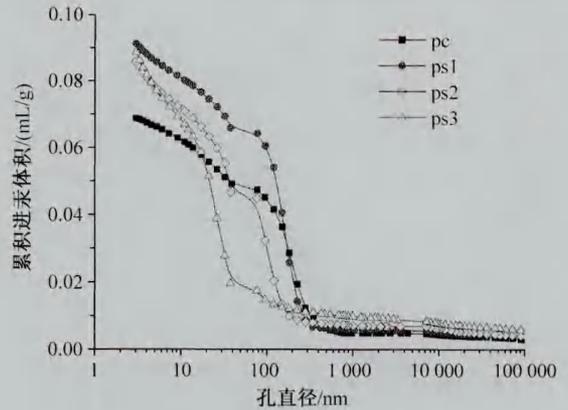


图 4 净浆试件 28 d 龄期累积进汞体积曲线。

Fig. 4 Cumulative pore volume of paste at 28 d.

2.3 硬化浆体微观形貌

利用扫描电子显微镜观测 90 d 龄期的净浆体系硬化浆体的微观形貌如图 5 所示。

在 150 倍下观察到图 5a,从图像中可以明显看到有大量聚集成团的硅灰未发生反应,最大的硅灰团簇直径接近 400 μm ,大部分硅灰团簇直径都在

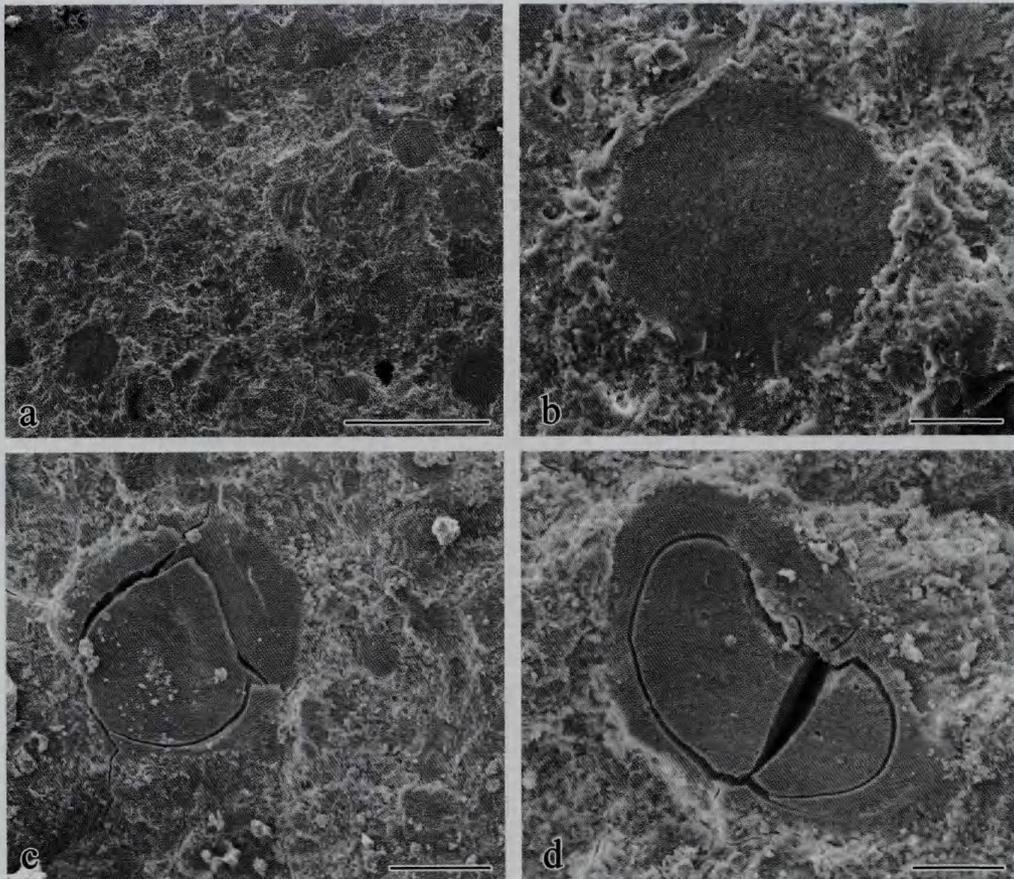


图 5 净浆试件 90 d 龄期硬化浆体微观形貌的 SEM 像。a: Bar = 400 μm ; b: Bar = 50 μm ; c: Bar = 100 μm ; d: Bar = 50 μm

Fig. 5 SEM images of Morphologies of the hardened paste at 90 d.

100 μm 以上,参照加密硅灰的粒径分布,可知聚集成团、未反应的硅灰颗粒主要为加密硅灰中粒径较大的颗粒。图 5(b~d)为进一步增大扫描电镜观测倍数观察到的图像,从形貌上观察,硅灰团簇边缘和水接触,与水泥水化生成的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 发生反应,没有明显缝隙;但硅灰团簇结构略有不同,有些聚集成致密的球体,有些硅灰团簇内部有明显缝隙,外围聚集的硅灰形成一个球壳,紧密程度较差;还有些团簇中存在贯穿的裂缝,这些裂缝有可能成为净浆体系中的薄弱部分,对强度造成不良影响。

混凝土中取硬化浆体在扫描电子显微镜下观察,未观察到硅灰聚集成团现象。这可能是因为在混凝土在搅拌的过程中,由于砂、石等骨料的摩擦作用强烈,使得硅灰在混凝土中的分散效果比在净浆中的分散效果好。

3 结论

本文对比加密硅灰在净浆和混凝土两种不同体系中的作用效果,并对其孔隙特征、微观形貌进行了研究,得出以下结论:

- (1) 掺入加密硅灰会降低净浆抗压强度,但使混凝土的抗压强度有所提高;
- (2) 加密硅灰使净浆硬化浆体的孔隙率增大;
- (3) 加密硅灰在净浆硬化浆体中的团簇现象非常明显,但在混凝土中很难发现团簇现象。

参考文献:

- [1] 吴中伟,廉慧珍.高性能混凝土[M].北京:中国铁道出版社,1999:1-2.
- [2] WU Z. Green high performance concrete-The development trend of concrete[J]. Chinal Concrete & Cement Products,1998,6(1):3-5.
- [3] 中国工程建设标准化协会.高强混凝土结构技术规范,1999.
- [4] 陶培渝.现代混凝土的特点[J].混凝土,2009,(1):3-5.
- [5] MEHTA P K. Greening of the concrete industry for sustainable development [J]. Concrete International, 2002, (7): 23-28.
- [6] SHI C J, QIAN J S. High performance cementing materials from industrial slags-A review[J]. Resources, Conservation and Recycling, 2000, 29(3): 195-207.
- [7] SIDDIQUE R. Utilization of silica fume in concrete: review of hardened properties [J]. Resources, Conservation and Recycling,2011,55(11): 923-932.
- [8] ACI Committee 234. Guide for the use of silica fume in concrete (ACI 234R)[J]. Materials Journal,1995, 92(4): 437-40.
- [9] ALMUSALLAM A A, BESHAR H, MASLEHUDDIN M. Effect of silica fume on the mechanical properties of low quality coarse aggregate concrete [J]. Cement and Concrete Composites,2004,26(7): 891-900.
- [10] WILD S, SABIR B B, KHATIB J M. Factors influencing strength development of concrete containing silica fume[J]. Cement and Concrete Research, 1995, 25(7): 1567-1580.
- [11] SOBOLEV K. The development of a new method for the proportioning of high-performance concrete mixtures[J]. Cement & Concrete Composites,2004, 26(7): 901-907.
- [12] POON C S, KOU S C, LAM L. Compressive strength, chloride diffusivity and pore structure of high performance metakaolin and silica fume concrete[J]. Construction and Building Materials, 2006, 20(10): 858-65.
- [13] 汪发红,李宁,钱觉时,等.新型增密硅灰对混凝土性能影响的研究[J].新型建筑材料,2010(1):13-15.

Comparison of the roles of densified silica fume in paste and concrete

FENG Jing-jing, YU Lei, LIU Yong, LIU Yang

(Department of Civil Engineering, Shandong Agriculture University, Taian Shandong 271018, China)

Abstract: This study investigates the differences of the roles of densified silica fume in paste and concrete. Four silica fume adding amount were set: 0%, 6%, 12% and 18%. The influences of densified silica fume on the compressive strength of concrete and paste, and the pore structure and micro-morphology of paste were measured. The results show that there are many densified silica fume clusters in the hardened paste and there are even large cracks in some clusters, which increases the total porosity and reduces the compressive strength of hardened paste. The attrition of aggregates during mixing makes densified silica fume better dispersed, and the pozzolanic reaction of silica fume improves the interfacial transition zone, which lead to the increase of the compressive strength of concrete.

Keywords: densified silica fume; paste; concrete; dispersion effect

* 获奖照片介绍 *

守望:我一直在你身边从未走远

吴杭隆

(浙江大学电子显微镜中心,材料科学与工程学院,浙江 杭州 310027)

在纳米世界里,两只可爱的小鸡在嫩绿的草地上无忧无虑地欢快嬉戏,他们不知道他们的鸡妈妈正在远处慈祥看着他们,留心他们会不会一不小心摔倒,会不会因为抢一条小虫子而吵架,会不会有黄鼠狼出没……鸡妈妈时刻准备着随时去帮助孩子们。孩子在长大的过程中,母亲都会在一旁或者远处默默守望。即使孩子长大了,母亲口头上说对我们有一百个放心,但在母亲眼中孩子永远是长不大的。其实这也很像我们的导师,虽然平时很忙,但是导师还是会留心大家的科研生活情况,及时给出中肯的建议和指导。就像王菲在《传奇》中唱的那句,“我一直在你身边从未走远”。

一般结晶条件下,晶体总能够自发地呈现规则的多面体外形,而具有弧形表面的单晶材料则在科学界鲜有报道。弧面单晶材料因其特殊的表面结构,较传统的平坦表面具有更加优异的表面活性以及非传统的晶体生长机制已经逐步引起人们越来越多的关注。作品中的样品为通过水热法制得的弧形金红石型氧化钛单晶,其弧面上附着着“母鸡”和“小鸡”状的锐钛矿性氧化钛纳米颗粒。作者利用高分辨透射电镜去研究弧形氧化钛颗粒的表面结构,进而去探究其生长机理。目前,该工作相关论文已经在审稿或撰写中。