

背散射电子图像法分析玻化微珠对加气混凝土的改性机理

王 琴,尹明干,陈 康
(盐城工学院 土木学院,江苏 盐城 224051)

摘要:作为粉煤灰加气混凝土的主要产物,托贝莫来石晶体量的变化对加气混凝土的强度、干密度和保温性能有一定的影响。通过对普通灰加气混凝土和玻化微珠改性灰加气混凝土 BSE 图形的分析处理,计算出两种混凝土中晶体和胶体的体积率,发现玻化微珠改性灰加气混凝土的胶体是普通灰加气混凝土的 1.5 倍。结合 SEM 照片分析可知改性后的加气混凝土中托贝莫来石晶体变小,孔隙分布均匀,从而改善了加气混凝土的保温性能。分析结果从微观上解释了玻化微珠对加气混凝土的改性机理,而图像法则为水化产物的定量分析提供了科学依据。

关键词:加气混凝土;玻化微珠;图像分析

中图分类号:TU528 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-5322(2018)04-0001-05

加气混凝土是将钙质材料与硅质材料在一定条件下进行水热合成反应,经过一系列的反应生成 C-S-H、托贝莫来石、水石榴子石等水化产物,使水化产物具有一定的强度,水化产物的组分对加气混凝土的强度起着决定性的作用。其中,C-S-H 对抗压强度的贡献最大,托贝莫来石次之,而水石榴子石由于与骨料的胶结性能较差而强度最低。在 C-S-H 中穿插一定比例的托贝莫来石晶体,可使加气混凝土制品强度显著提高,所以现在的加气混凝土制品必须要经过蒸压这一工艺流程,使其生成一定量的托贝莫来石^[1]。作为一种绿色环保的建筑材料,加气混凝土得到越来越广泛的应用,但是加气混凝土存在强度低、抗冻性能很差、收缩变形大等问题^[2]。玻化微珠是一种酸性玻璃质熔岩矿物质材料,气孔封闭,具有质轻、保温、绝热、防火等优异性能,是一种环保型高性能无机轻质绝热材料^[3-5]。混凝土中加入一定比例的玻化微珠,可以提高混凝土的保温性、防火性以及耐久性等^[6]。

加气混凝土从 20 世纪 20 年代发展至今已有近百年的历史,国内外研究发现,C-S-H 含量与加气混凝土的收缩成正比,C-S-H 向托贝莫来石转化可有效减小收缩。由此,托贝莫来石晶体与 C-

S-H 凝胶的含量对灰加气混凝土的性能有较大的影响。

本课题基于 BES 图像分析方法对掺入玻化微珠的灰加气混凝土和普通灰加气混凝土体系中的托贝莫来石晶体和 C-S-H 凝胶进行定量分析,计算出这两种加气混凝土体系中托贝莫来石晶体与 C-S-H 胶体的体积率,从而分析玻化微珠对灰加气混凝土的改性机理,提高加气混凝土的性能。

1 试验

1.1 试验原材料

(1)水泥:选用海螺牌 42.5 普通硅酸盐水泥,江苏八菱海螺水泥有限公司生产,化学成分见表 1。

表 1 水泥化学成分		%
Table 1	Chemical composition of cement	
成分	比例	
SiO ₂	18.5	
Fe ₂ O ₃	2.5	
Al ₂ O ₃	3.8	
CaO	70.2	
MgO	1.7	
SO ₃	0.3	

- (2)玻化微珠:河南信阳平桥中原珍珠岩厂生产。
- (3)二水石膏:通常用作发气过程的调节剂。
- (4)石灰:有效氧化钙质量浓度 >60%,有效氧化镁质量浓度 <7%。
- (5)粉煤灰:选用盐城发电有限公司生产的符合《硅酸盐建筑制品用粉煤灰》(JC/T 409—2001)中的二级灰标准的粉煤灰。
- (6)铝粉:分析纯(AR),天津市大茂化学试剂厂。
- (7)稳泡剂:上海鸿锐化工有限公司生产。
- (8)试验用水:自来水。

1.2 试验方法

1.2.1 加气混凝土制备

将粉煤灰、氢氧化钙、石灰、石膏称量好后放入搅拌锅中搅拌 60 s,加入 50 ~ 70 ℃ 的水搅拌 60 s,浆体搅拌均匀后加入铝粉,再搅拌 60 s。将料浆加入模具中,用保鲜膜封住模具上表面,将模具放入 50 ℃ 恒温养护箱中静停养护 4 h 后把膨胀出模具表面的面包头切掉,继续养护到 12 h 后拆模。将试块放入蒸压釜中进行蒸压养护,蒸压温度为 180 ℃,养护压力为 1 MPa,养护 10 h。普通加气混凝土和玻化微珠加气混凝土的配合比及性能见表 2 和表 3。

表 2 加气混凝土配合比
Table 2 Mixture ratio of aerated concrete

	粉煤灰	生石灰	水泥	石膏	水	铝粉	玻化微珠
普通加气混凝土	367	123	30	11	297	0.5	0
改性加气混凝土	367	123	30	11	297	0.5	15

表 3 加气混凝土性能
Table 3 Performance of aerated concrete

类别	抗压强度/MPa	干密度/(kg · m ⁻³)	抗折强度/MPa	导热系数
普通加气混凝土	2.52	439.8	0.85	0.108
改性加气混凝土	2.49	463.5	1.09	0.089

1.2.2 微观分析

敲取粒径 8 ~ 10 mm 的试样,在无水乙醇中浸泡 48 h 后,在 105 ± 5 ℃ 烘干至恒重,置入干燥器内备用。试验前,将试样用环氧树脂浸渍,待树脂固化后,经切割、抛光、真空干燥和喷金处理,在 JSM-5610LV SEM 分析仪上进行观察。

2 结果分析与讨论

2.1 玻化微珠对加气混凝土微观形貌的影响

图 1 是两种加气混凝土的 SEM 图,a 图是普通灰加气混凝土,图中可以看出水化产物托贝莫来石晶体成片状,晶体较大,结晶度较高,为试件提供了一定的强度,但是晶体之间孔隙较大且不均匀,结构不致密。b 图是玻化微珠改性加气混

凝土,与 a 图相比 b 图中的水化产物托贝莫来石晶体较小,晶体及晶体之间孔隙分布均匀。

2.2 玻化微珠对加气混凝土水化硅酸钙含量的影响

2.2.1 BSE 分析结果

图 2a 和图 3a 分别是普通灰加气混凝土和玻化微珠改性灰加气混凝土的 BSE 图像,经过 Photoshop 和 MATLAB 软件的处理获得等高线图,见图 2b 和图 3b,不同颜色代表了不同的水化产物以及未反应的物质。提取出图中的托贝莫来石晶体和 C-S-H 凝胶,见图 2 和图 3 的 c 和 d。

对图 2 的 c、d 以及图 3 的 c、d 分别进行二值化处理分析,计算出托贝莫来石晶体和 C-S-H 凝胶的体积率,见表 4。

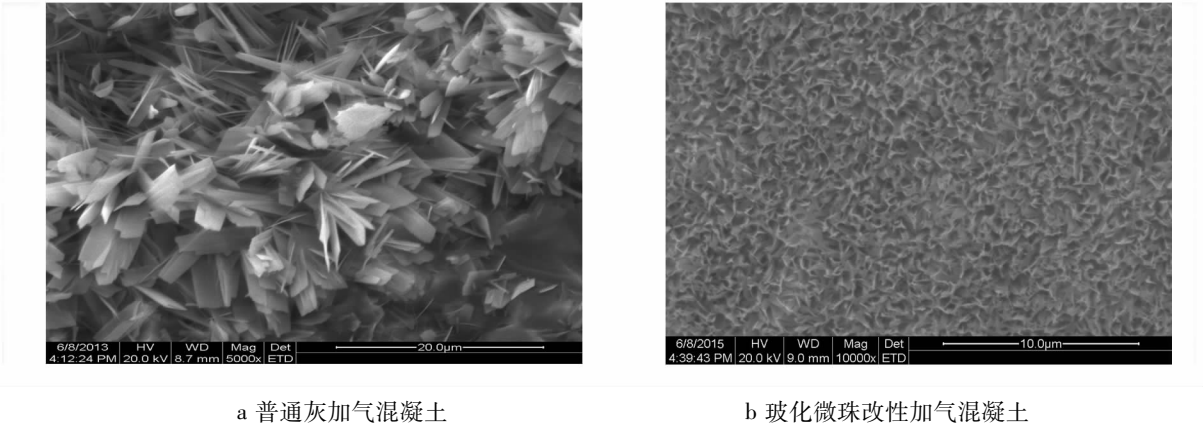


图 1 加气混凝土微观形貌
Fig.1 Microstructure of aerated concrete

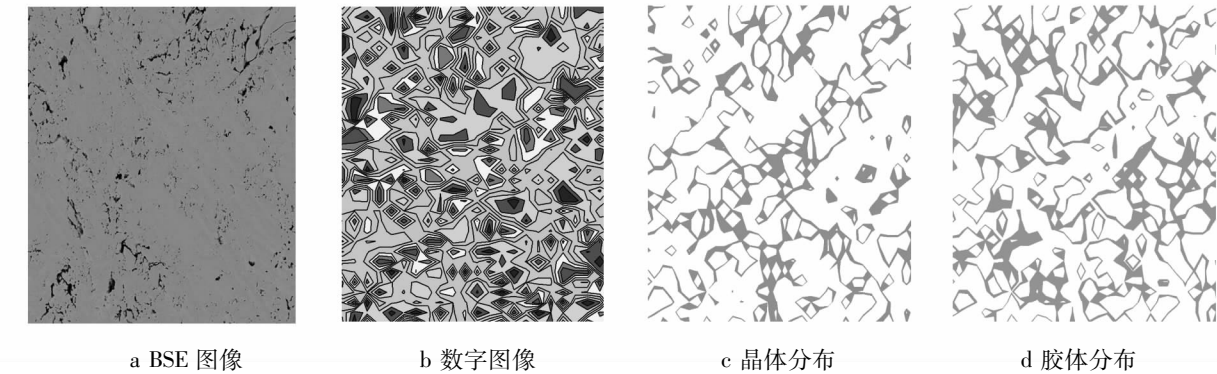


图 2 普通加气混凝土
Fig.2 Common aerated concrete

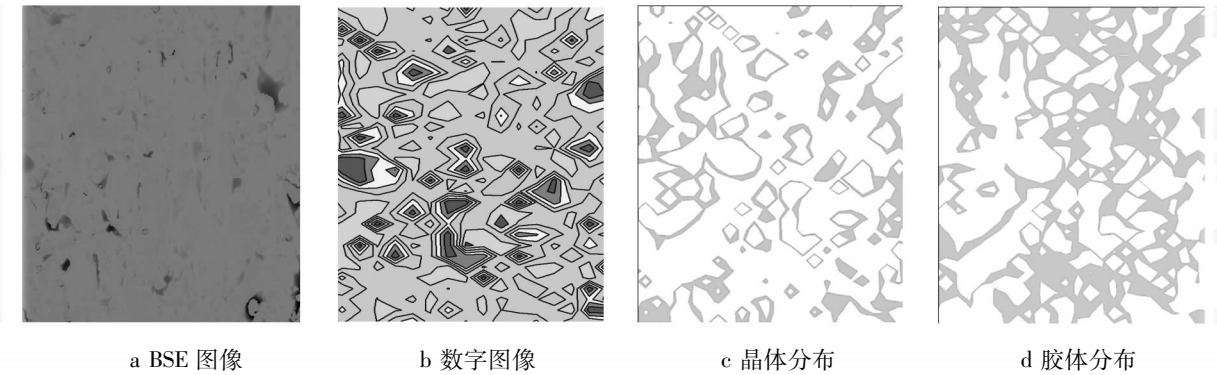


图 3 玻化微珠改性加气混凝土
Fig.3 Vitrified microsphere modified aerated concrete

表 4 加气混凝土水化硅酸钙和托贝莫来石含量
Table 4 Hydrated calcium silicate and tobermorite content in aerated concrete

类别	体积率/%		
	晶体	胶体	总量
普通灰加气混凝土	0.28	0.34	0.62
改性灰加气混凝土	0.31	0.52	0.83

由表 4 可知,普通灰加气混凝土和玻化微珠改性加气混凝土的晶体体积率较为接近,而胶体相差较大,前者为 0.34 后者为 0.52,玻化微珠改性加气混凝土的胶体是普通灰加气混凝土的 1.5 倍。就水化产物的总体积率而言,玻化微珠改性加气混凝土也要高于普通灰加气混凝土。

2.2.2 二次电子图像灰值分布

对图 1 所示二次电子图像进行灰值分析,结果如图 4 所示。图 4 中横坐标表示灰度级,纵坐标表示某个灰度对应的像素,主要反映图中某一种灰度出现的频率^[7]。灰度值由高至低分别对应的是未水化熟料、水化产物和孔隙^[7-8]。图 4

的 a 图中灰值 192 后还有峰,而 b 图中在灰值 192 后峰已经完全消失,说明改性后的加气混凝土未水化熟料减少。与图 4a 不同,图 4b 中灰值 80 之前的峰消失,可见改性后加气混凝土的孔隙率有所降低。

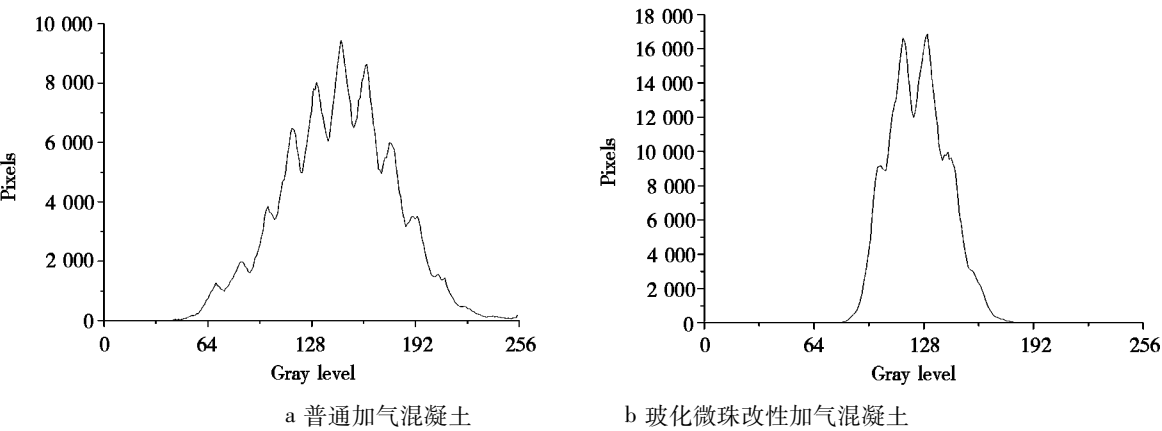


图 4 加气混凝土 10 000 倍二次电子图像的灰值分布
Fig. 4 Grey value distribution of 10 000 times secondary electron image of aerated concrete

2.2.3 玻化微珠对灰加气混凝土的改性机理

结合表 4 中晶体和胶体的体积率和图 1 所示的两种加气混凝土的 SEM 图像可知,两种加气混凝土的水化产物中托贝莫来石晶体的体积率相差不大,虽然玻化微珠加气混凝土的产物中胶体量是普通灰加气混凝土的 1.5 倍,但是玻化微珠使得托贝莫来石晶体变小,故普通灰加气混凝土与玻化微珠加气混凝土的抗压强度差距较小。玻化微珠加气混凝土中凝胶量增大,晶体较小,分布均匀,使得试件的干密度增加,导热系数减小,提高了保温性能^[9]。

从试验结果可知,玻化微珠的加入使得产物中的晶体量有所提高,但晶体变小,而凝胶量有较大的提高,从而,提高了加气混凝土的保温性。

3 结论

掺入玻化微珠与不掺玻化微珠的加气混凝土相比,干密度提高较多,导热系数有明显的降低,而抗压强度变化不明显。从微观角度分析,掺入玻化微珠后水化产物中的托贝莫来石晶体变小,总量略有提高,所以抗压强度变化不明显;而 C-S-H 凝胶量的增加,晶体分布均匀,孔隙分布均匀,表现为干密度的提高,导热系数降低,抗折强度也有所增加。但是,由于加气混凝土的不均匀性,在微观实验中要注意不同部位取样,SEM 扫描也要注意多扫几个点,以降低试验结果的离散性。总之,掺入玻化微珠后,加气混凝土的保温性能和抗折强度有所提升,而抗压强度未受到太大影响。这种新型建筑材料能够解决保温节能的问题,提高经济效益,值得推广应用。

参考文献:

[1] CHUNG S Y, HAN T S, KIM S Y, et al. Evaluation of effect of glass beads on thermal conductivity of insulating concrete using micro CT images and probability functions[J]. Cement and Concrete Composites, 2016, 65: 150-162.
[2] 徐洛屹. 加快新型墙体材料产业发展 为改善人类居住环境做出新贡献[J]. 中国建材, 2014(1): 25-26.
[3] 杨戈. 蒸压加气混凝土自保温体系的发展及应用现状[J]. 河南建材, 2013(5): 198-200.
[4] 王蕊. 我国加气混凝土制品应用现状及前景[J]. 科技创业家, 2012(23): 264.

[5] 杨洁,孙振平,黄晖皓,等.若干主要因素对蒸压加气混凝土性能的影响[J].新型建筑材料,2012(4):70-73.

[6] 廖国玺,许道远.关于加气混凝土强度的探讨[J].加气混凝土,2002(4):24-25.

[7] 胡曙光,袁盼,王发洲,等.背散射电子图像分析法在水泥基材料孔结构研究中的应用[J].建筑材料学报,2017,20(4):316-320.

[8] 张倩倩,魏亚.基于背散射电子图像的矿渣-水泥复合体系反应程度的定量分析[J].硅酸盐学报,2015,43(5):563-569.

[9] 闫京勇,宋远明,王志娟,等.钙硅比对固硫灰蒸压混凝土性能的影响[J].材料导报,2015,30(27):416-423.

Backscattered Electron Image Analysis of the Modification Mechanism of Vitrified Microspheres on Aerated Concrete

WANG Qin, YIN Minggan, CHEN Kang

(College of Civil Engineering, Technology Institute of Yancheng, Yancheng Jiangsu 224051, China)

Abstract: As the main product of fly ash aerated concrete, the change of crystal quantity of tobermorite has certain influence on the strength, dry density and thermal insulation performance of aerated concrete. By analyzing and processing the BSE pattern of ordinary gray aerated concrete and vitrified microbead modified ash aerated concrete, the volume fraction of crystal and colloid in two concretes was calculated. It is found that the colloid of vitrified microbead modified ash aerated concrete is 1.5 times that of ordinary aerated concrete. Combined with the SEM photo analysis, it can be seen that the tobermorite crystals in the modified aerated concrete become smaller and the pore distribution is uniform, thereby improving the thermal insulation performance of the aerated concrete. The analysis results explain the mechanism of vitrified microsphere on aerated concrete from the microscopic point of view, while the image rule provides a scientific basis for quantitative analysis of hydration products.

Keywords: aerated concrete; vitrified microsphere; image analysis

(责任编辑:张英健)

2018 先进复合材料结构国际学术研讨会在我校召开

2018 年 10 月 27 日,2018 先进复合材料结构国际学术研讨会在我校召开,共有来自国内外的 200 多名专家学者出席会议。

南方科技大学副校长、中国科学院院士滕锦光教授,加拿大工程院院士、多伦多大学 Shamim A. Sheikh 教授,日本工程院外籍院士、东南大学吴智深教授,美国国家基金复合材料在基础设施中应用技术协同创新中心主任、美国西弗吉尼亚大学梁瑞凤教授,美国佛罗里达州交通部 Steven Nolan 首席结构工程师、新加坡南洋理工大学自然灾害中心主任李兵教授等知名专家,围绕“复合材料及其结构体系”“复合墙材及其装配式围护结构”“纤维增强混凝土(FRC)与织物增强混凝土(TRC)”等专题进行了 50 场精彩报告,盐城工学院土木工程学院教授荀勇作题为《TRC-RC 装配整体式叠合 nT 板初步研究》、材料学院副教授丁亮作题为《不同拓扑结构功能性聚合物的构建及其杂化纳米复合材料的研究》、纺织服装学院副教授陆振乾作题为《剪切增稠液浸渍高性能织物柔性复合材料的防护性能研究》的学术报告。美国西弗吉尼亚大学梁瑞凤教授对本次会议做了总结发言。会议安排紧凑,内容更是精彩纷呈,引起了与会者浓厚兴趣,会场展开了深入的交流与讨论,学术氛围十分浓烈。

(供稿:徐桂中)