

The Film-Forming Property and Modification Effect on Ultra-High Performance Concrete of Epoxy Resin Emulsion

Shun'ai He^{1*}, Xiaoyan Zhu^{2#}, Zhao Zheng², Yuxiang Li²

¹Sichuan Institute of Building Research, Chengdu Sichuan

²Sichuan Province Key Laboratory Cultivation Base for Nonmetal Composites and Functional Materials, Southwest University of Science and Technology, Mianyang Sichuan
Email: heshunai@126.com, #zhuxiaoyan@swust.edu.cn

Received: Oct. 29th, 2016; accepted: Nov. 15th, 2016; published: Nov. 18th, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The ultra-high performance concrete (UHPC) was modified by adding different latex contents cement ratios and different S/E ratios (the mass ratio of solidification agent and epoxy resin emulsion, the same below) of polymer; the hydration rate of the modified UHPC was researched; the microstructure of the modified UHPC was observed by SEM and the pore structure of the modified UHPC was analyzed through mercury injection method (MIP). The results show that the polymer accelerates the hydration speed of the modified cement paste in 0 - 6 h, and plays a role of inhibition in 6 - 15 h and after 15 h. When the S/E ratio was 0.5, the epoxy resin emulsion exists as overlapping fibers after being solidified. The average pore diameter of modified UHPC increases with the increase of polymer content, while the porosity increases before decreasing; the flexural strength and the ratio of compressive to flexural strength decrease, and adhesive strength increases. When the content of polymer is 15%, the adhesive strength reaches 2.75 MPa.

Keywords

Epoxy Resin Emulsion, Hydration Rate, Microstructure, Pore Structure, Adhesive Strength

*第一作者。

#通讯作者。

环氧树脂乳液的成膜特性及对超高性能混凝土的改性作用

何顺爱^{1*}, 朱晓燕^{2#}, 郑 召², 李玉香²

¹四川省建筑科学研究院, 四川 成都

²西南科技大学, 四川省非金属复合与功能材料重点实验室, 四川 绵阳

Email: heshunai@126.com, #zhuxiaoyan@swust.edu.cn

收稿日期: 2016年10月29日; 录用日期: 2016年11月15日; 发布日期: 2016年11月18日

摘 要

添加不同聚灰比和不同固脂比(固化剂与环氧树脂乳液的质量比, 下同)的聚合物对超高性能混凝土(UHPC)进行改性, 测定改性水泥浆体的水化放热速率和放热量, 用SEM观察改性UHPC的微观组织结构, 并用压汞法(MIP)分析改性的孔结构。结果表明, 聚合物在水化的0~6 h会加快水泥浆体的水化放热速率, 在水化的加速期6~15 h和15 h以后则起减速作用; 当固脂比为0.5时, 环氧树脂乳液固化后形成相互交错缠绕的纤维状薄膜; 随着聚灰比的增加, 改性UHPC的平均孔径增大, 孔隙率先减小后增大, 抗折强度和压折比不断减小, 粘接强度升高, 当掺量达到15%时, 改性UHPC的粘接强度达到2.75 MPa。

关键词

环氧树脂乳液, 水化速率, 微观形貌, 孔结构, 粘接强度

1. 引言

聚合物改性水泥基材料是指在水泥中掺入分散在水中或能在水中分散的聚合物材料[1]。近年来, 聚合物改性水泥基材料作为修复材料发展极为迅速, 具有很好的应用前景[2] [3]。用于改性水泥基材料的聚合物有很多种, 如丁苯胶乳液、丙烯酸乳液、环氧树脂乳液等[4] [5]。Ohama [6]模型认为, 随着水化的进行, 聚合物颗粒之间最后会形成相互粘接的连续网状结构, 网状结构与水泥水化产物相互贯穿缠绕, 改善水泥石的结构。Park Choonkeun [7]等人研究发胶凝材料与丙烯酸通过多价阳离子交联而形成稳定的化合物, 与单价阳离子交联生成的为不稳定化合物, 这种交联反应可加快水泥水化的速率。肖力光[8]认为, 环氧乳液改性水泥砂浆在水泥水化过程中, 聚合物在羟基、酯基等亲水基的作用下吸附于固-液界面上, 对微粒进行包裹。水泥砂浆和混凝土通过聚合物改性后力学性能将发生较大变化, 与纯水泥混凝土相比, 聚合物改性水泥混凝土的拉伸强度和弯曲强度增大, 弹性模量大幅度减小, 粘接性能增强[9] [10] [11]。Aggarwal [12]等人研究发现, 通过丙烯酸乳液和环氧树脂乳液改性后的水泥混凝土 28 d 强度均比纯水泥混凝土的要小, 而 90 d 强度则高于纯水泥混凝土, 说明加入聚合物后水泥的水化受到抑制, 但当后期水化程度较高时, 力学性能有很大的提高。本文选用双酚 A 型环氧树脂乳液和固化剂(改性胺加成物的一种水性化树脂)作为聚合物对水泥砂浆进行改性, 具体研究改性后水泥浆体在不同水化阶段的水化放热行为, 观察环氧树脂乳液在水泥砂浆中固化后薄膜的微观形貌和分布, 并分析改性砂浆孔径分布、塑性变形能力及粘接强度的变化。

2. 实验

2.1. 原材料

P·O42.5R 普通硅酸盐水泥(以下简称为普通水泥), 北川中联水泥有限公司生产; 硅灰, 成都名凌科技公司生产; 超细水泥, 山东荣兴达公司生产。各粉料的粒径采用 Mastersize 2000 进行测定, 其中硅灰的 $D_{50} = 0.16 \mu\text{m}$, 水泥的 $D_{50} = 17.3 \mu\text{m}$, 超细水泥的 $D_{50} = 7.6 \mu\text{m}$; 石英砂, 绵阳石英砂厂; P29 消泡型高效减水剂, 市售工业品; EM618 双酚 A 型水性环氧树脂乳液和 CU600 固化剂(改性胺加成物的一种水性化树脂), 上海爱世博有机硅材料有限公司生产。

2.2. 成型

按设计配比称量物料。先将水、硅灰和减水剂倒入搅拌锅内搅拌均匀, 然后加入树脂和固化剂混合, 最后依次加入超细水泥、普通水泥和石英砂, 搅拌完成后将砂浆浇筑于 $40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 160 \text{ mm}$ 三联试模中, 将试模放入温度为 $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 、相对湿度 $>90\%$ 的养护箱中养护 24 h 后, 脱模, 水养 ($20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$), 备用。

2.3. 测试

2.3.1. 净浆水化热的测定

水泥净浆水化放热速率和水化放热量用美国 TA 仪器公司生产的 TAM air 型热活性微量热仪进行测定, 测试温度为恒温 20°C 。

2.3.2. UHPC 孔结构的测定

UHPC 孔结构采用美国麦克公司产 Micromeritic AutoPore IV9500 型全自动压汞测孔仪进行测定。

2.3.3. UHPC 微观形貌的测定

UHPC 的微观形貌通过德国蔡司仪器公司生产的 Ultra55 型高分辨率场发射扫描电子显微镜系统测定。

2.3.4. UHPC 粘接强度的测定

测试前的样品简单制备过程比如参照《建筑工程饰面砖粘结强度检验标准》(JGJ110-2008)等标准进行的。UHPC 与旧混凝土之间的粘接强度用山东省乐陵市回弹仪厂生产的 ZH-6000C 型饰面砖粘接强度检测仪测定。

3. 结果与讨论

3.1. 环氧树脂乳液改性水泥浆体的水化行为

通过前期研究得出水泥基材料紧密堆积的最优配比为: 普通水泥 72%、硅灰 4%、超细水泥 24% (按质量计, 下同)。研究聚灰比对水泥水化放热速率及放热量的影响, 其中聚灰比分别为 0%、5%、10% 和 20%, 固化剂和环氧树脂的质量比控制为 0.5, 见表 1。

如图 1, 随着聚灰比的增加, 水泥浆体在加速期的水化放热速率不断减小。聚合物对水泥浆体在加速期出现的第二放热峰影响较为明显, 随着聚合物掺量的升高, 水泥浆体在加速期的第二放热峰逐渐消失。由于超细水泥的水化速率较快, 超细水泥附近的水分, 包括聚合物颗粒周围的水分被很快消耗, 附着在超细水泥颗粒表面的聚合物颗粒能够很快的粘接成膜, 超细水泥颗粒表面被聚合物薄膜覆盖之后, 周围水分向超细水泥内部的扩散受到阻碍, 导致超细水泥的水化速率减小, 第二放热峰消失; 同时, 普通水泥颗粒由于聚合物薄膜的覆盖水化速率也大大降低, 故导致整个体系水化速率降低。而诱导前期的情况恰好相反, 随着聚灰比的增加, 水泥浆体的水化速率不断加快, 如图 1 中的放大图。在水化开始后

Table 1. The compositions of polymer modified cement paste
表 1. 聚合物改性水泥浆体组成

Sample NO.	Cement (g)	Silica fume (g)	Superfine cement (g)	Water (g)	Polymer (%)	Epoxy resin (g)	Solidification agent (g)
P0	3.6	0.2	1.2	2.5	0%	0	0
P5	3.6	0.2	1.2	2.37	5%	0.16	0.09
P10	3.6	0.2	1.2	2.24	10%	0.32	0.18
P20	3.6	0.2	1.2	1.97	20%	0.64	0.36

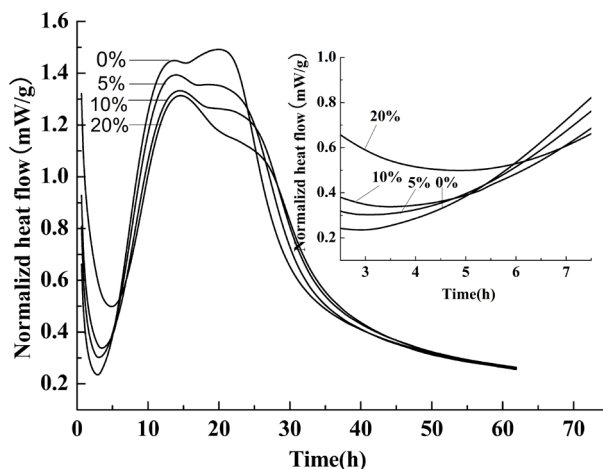


Figure 1. The normalized heat flow of cement paste of different polymer to cement ratios

图 1. 不同聚灰比改性水泥浆体的单位水化放热速率

的 0~6 h 内, P20 组水化速率要明显高于其他三组, 这说明聚合物颗粒在极早期时对水泥的水化具有促进作用。由于在水化的极早期有些微小聚合物颗粒依附在水泥水化产物 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的表面而没有形成薄膜, 只倾向于促进 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的结晶, 环氧树脂中的环氧基和 Ca^{2+} 之间会形成化学键, 增强了 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 晶体颗粒之间的粘接作用, 引起 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的结晶析出, 进而起到促进水泥水化的作用[13]; 另外, 环氧树脂乳液加快了水泥浆体中石膏与铁铝酸四钙的化学反应, 增大了钙矾石的稳定性和生成量, 降低了水化铝酸钙的生成量, 从而加深水泥水化程度, 提高水泥水化放热量[14]。由图 2 可知, 在水化开始之后的 0~15 h 内, P20 组的放热量明显高于其他组, 同一时间点的单位放热量也随着聚灰比的增加而升高, 水化 6 h 之后, 聚合物颗粒成膜后开始对水泥水化起抑制作用, 反映在单位水化放热量上的表现为, 15 h 后 P0 组的水化放热量最高, P5 和 P10 次之, P20 组继续减小, 到 25 h 时, P20 组的单位水化放热量达到最小。

3.2. 环氧树脂乳液改性 UHPC 的微观形貌和孔结构

设计不同聚灰比的 UHPC 配合比, 如表 2, 每组配比中粉料和石英砂的用量为: 水泥 648 g, 硅灰 36 g, 超细水泥 216 g, 细砂 499 g, 粗砂 266 g, 其中减水剂的用量为 3.33 g。

图 3(a)~(c)为不同固脂比时环氧树脂在 UHPC 中的存在形式, 未添加固化剂的 M9 组(如图 3(a))中没有观察到已经成膜的环氧树脂, 只有呈球状的颗粒树脂, 这种未被固化的环氧树脂无粘接作用; 当固化剂与环氧树脂的比例按 1:2 添加时, 环氧树脂固化成膜, 并以相互交错缠绕的纤维状存在[15] [16], 如图 3(b)中的 M2 组; 当固化剂与树脂的比例升高至 1:1 时, 如图 3(c)中的 M6 组, 可以看到 UHPC 中贯穿有较长的类似于纤维状的环氧树脂, 但彼此之间没有连接和交错, 只是单独的存在, 这说明当固化剂

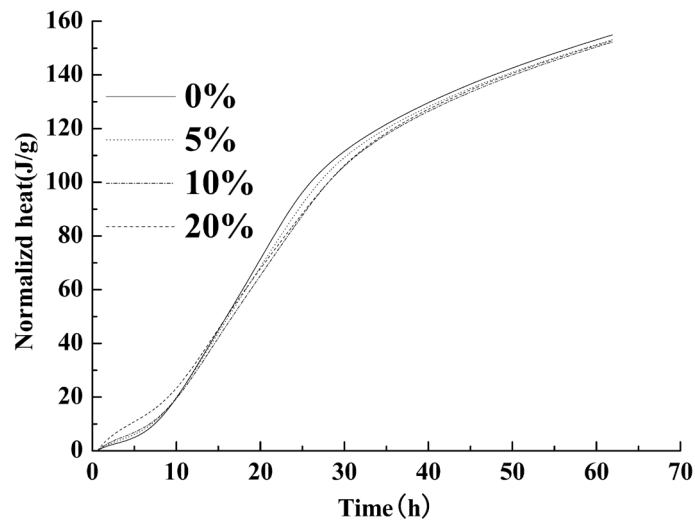


Figure 2. The normalized heat of cement paste of different polymer to cement ratios

图 2. 不同聚灰比改性水泥浆体的单位水化放热量

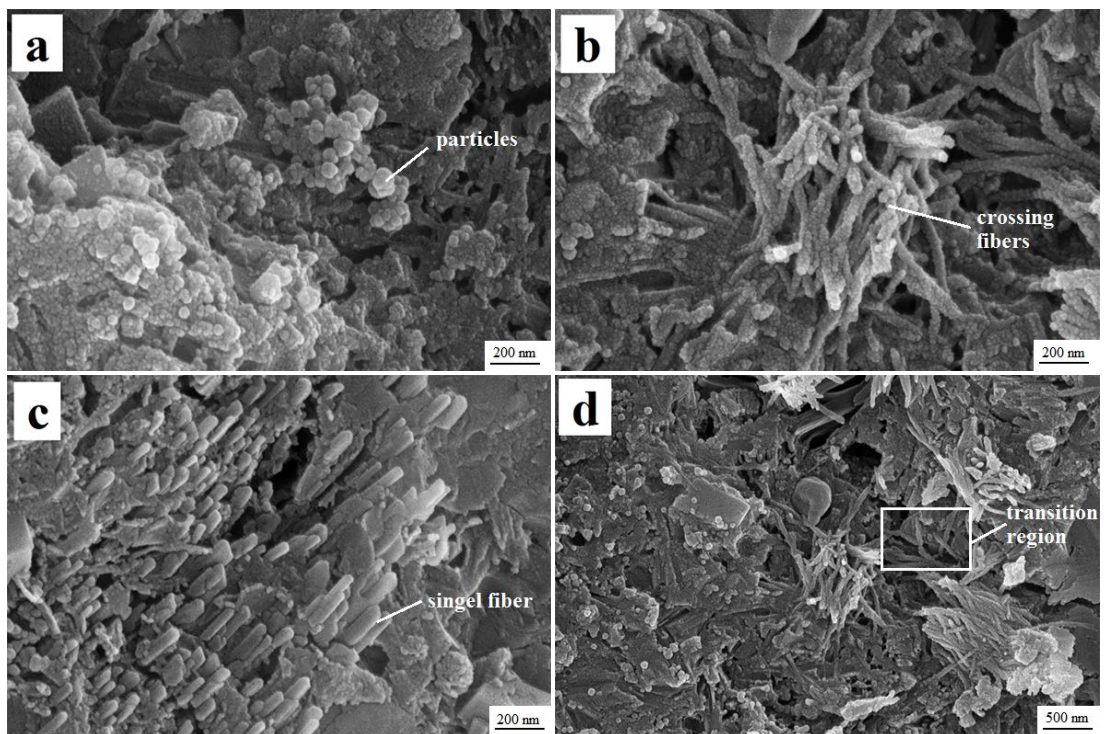


Figure 3. The SEM photographs of modified UHPC of different S/E ratios

图 3. 不同固脂比条件下改性 UHPC 的 SEM 图

在聚合物中的比例过高时，环氧树脂的成膜反而受到抑制，成膜的方向变得单一。而添加环氧树脂乳液的目的就是为了获得图 3(b)中出现的相互交错缠绕的纤维状膜，类似于“爪子形状”，也可称之为“遥爪结构”[17]。这种纤维状膜不仅能提高改性 UHPC 本身的粘接性能和抗弯性能，而且当改性水泥基 UHPC 抹在旧的混凝土表面时，纤维状膜还可以渗透到旧混凝土的空隙中，能像“爪子”一样抓住旧混凝土，提高新老混凝土的粘接作用[9] [11] [18]。

Table 2. The compositions of UHPC of different polymer to cement ratios**表 2.** 不同聚灰比的 UHPC 组成

Sample No.	Water (g)	Polymer (%)	epoxy resin (g)	solidification agent (g)	Average pore diameter(nm)	Porosity (%)
M0	166.5	0	0	0	33.8	6.05
M1	154.8	2.5	15	7.5	50.8	5.55
M2	143.1	5	30	15	60.2	5.31
M3	131.4	7.5	45	22.5	60.6	6.38
M4	119.7	10	60	30	75.4	6.43
M5	108.0	12.5	75	37.5	93.5	7.74
M6	137.4	6.7	30	30	129.3	4.70
M7	140.1	5.8	30	22.5	101.8	4.31
M8	145.5	4.2	30	7.5	48.3	5.21
M9	148.2	3.3	30	0	67.9	4.37

图 3(d)是在比图 3(b)低的放大倍数 M2 组微观形貌。从图中可以看出，环氧树脂成膜后与 UHPC 之间有很好的结合性，纤维状膜和水泥石及骨料之间相互贯穿和包裹，连接较为紧密，没有明显的过渡区；纤维状膜分散均匀，相互连接，没有团聚现象，UHPC 被环氧树脂改性的程度较高。

如图 4(a)，聚合物改性 UHPC 的平均孔径都大于不添加聚合物的水泥基材料，且随着聚灰比的增加，平均孔径呈增大趋势，聚灰比为 12.5% 时的平均孔径达到 93.5 nm，是不加聚合物时的 2.77 倍。由图 4(b)可以看出，孔隙率随着聚合物的增加先降低后升高，当聚灰比为 5% 是改性 UHPC 的孔隙率达到最小值 5.31%，比不加聚合物时减小了 12.2%；大于 100 nm 的有害孔径和 50 nm~100 nm 之间的少害孔随着聚灰比的增加而增多，而小于 50 nm 的少害孔和小于 20 nm 的凝胶孔则先减少后升高，在聚灰比为 5% 时小于 50 nm 的少害孔所占比例最少。从平均孔径和孔隙率来看，聚合物有助于改善 UHPC 的孔结构，但当掺量过大时，水泥水化将受到明显影响，内部结构反而被劣化，改性 UHPC 的聚合物最佳掺量为 5%。如图 5(a)，随着固脂比的升高改性 UHPC 平均孔径先降低后升高，在固脂比为 0.25 时获得最小平均孔径 48.3 nm；由图 5(b)可以看出，而孔隙率先增大后减小，当固脂比为 0.5 时，改性 UHPC 的孔隙率达到最高值 5.31%；大于 100 nm 的有害孔的比例也随着固脂比的升高先增加后减小的趋势，在固脂比为 0.5 时达到最高；掺有固化剂和未掺固化剂相比，50~100 nm 之间的少害孔明显减少；小于 50 nm 的少害孔和小于 20 nm 的凝胶孔所占比例随着固脂比的先升高后降低，在固脂比为 0.25 时达到最大。综上所述，聚合物和固化剂的掺量过大都会造成孔结构的劣化，但为了使环氧树脂乳液能很好的固化形成纤维状薄膜，固脂比应控制在 0.5，聚合物掺量 5%。

3.3. 环氧树脂乳液改性水泥 UHPC 的力学性能

从图 6(a)可以看出，UHPC 的 7 d 抗折强度随着聚灰比的增加而不断减小，到聚灰比为 10% 时达到最小值，而当聚灰比继续增加到 12.5% 时，抗折强度反而略有增加。由上文可知，主要是因为聚合物的加入会抑制水泥的水化作用，水化产物减少，内部结构缺陷增多，而当聚灰比到达一定值时，聚合物本身具有的粘接作用和填充作用大于其对改性 UHPC 内部结构的劣化作用。UHPC 的 28 d 抗折都随着聚灰比的增加而不断减小，这说明聚合物对 UHPC 抗折强度的副作用非常明显，其对改性 UHPC 内部结构的劣化作用远远大于其改善作用。

由图 6(b)可以看出，7 d 龄期时，压折比随着聚灰比的升高先增加后减小，在聚灰比为 7.5% 时改性

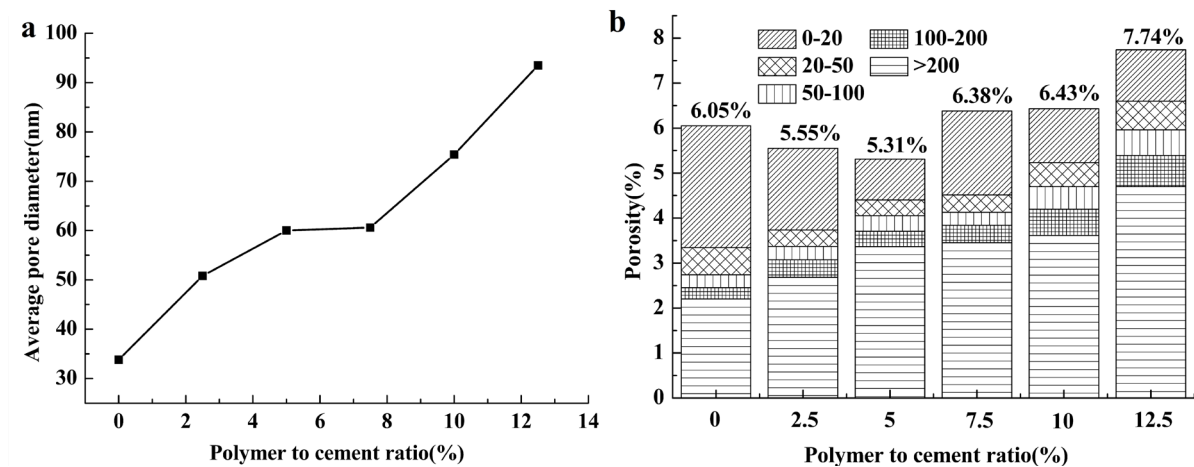


Figure 4. The average pore diameter and porosity of modified UHPC of different polymer to cement ratios

图 4. 不同聚灰比改性 UHPC 的平均孔径和孔径分布图

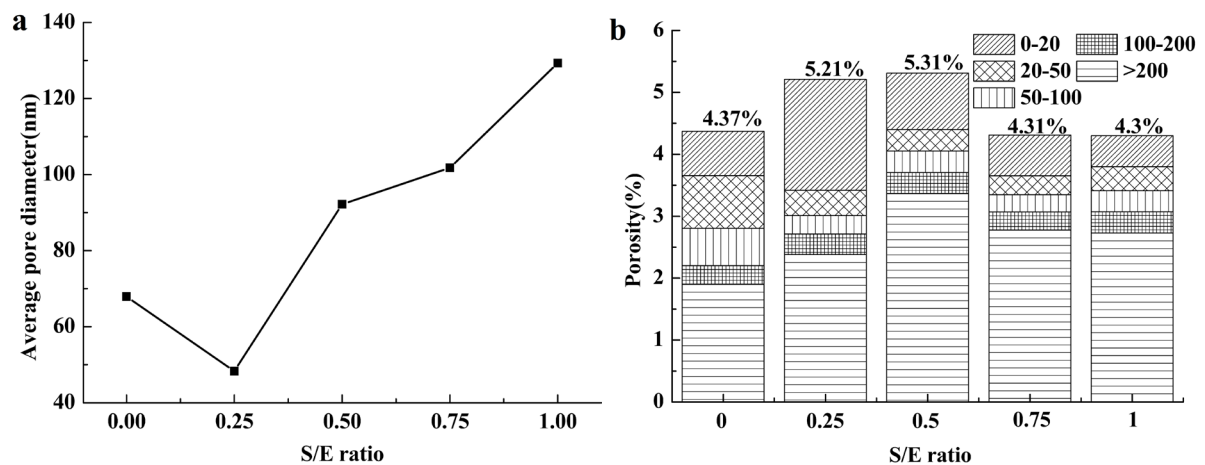


Figure 5. The average pore diameter and porosity of modified UHPC of different S/E ratios

图 5. 不同固脂比改性 UHPC 的平均孔径和孔径分布图

UHPC 的压折比最大, 继续增加聚合物的掺量压折比开始降低, 但当聚灰比为 12.5% 时, 改性 UHPC 的压折比仍然比未掺聚合物时大 15.58%, 说明在 7 d 龄期时, 环氧树脂乳液固化还不够完全, 没有起到改善改性 UHPC 塑性的作用; 28 d 龄期时, 改性 UHPC 的压折比随着聚灰比的升高不断减小, 当聚灰比为 12.5% 时取得最小值 4.17, 与未掺聚合物时相比降低了 15.13%。图 6(c) 为改性 UHPC 与旧混凝土的粘接强度与聚灰比的关系, 7 d 龄期时, 粘接强度的变化幅度不大, 而到 28 d 龄期时, 环氧树脂固化成膜已经完成, 且与 UHPC 间的结合非常紧密, 在聚灰比为 15% 时, 改性 UHPC 的 28 d 粘接强度达到 2.75 MPa, 较未掺聚合物的空白组升高了 48.08%。在聚灰比为 5% 时, 7 d 和 28 d 粘接强度都出现了一定程度的降低, 主要是因为此时聚合物的掺入还不能很好的发挥粘接作用, 反而使改性 UHPC 的内部结构劣化。综上所述, 聚合物的掺入会使改性 UHPC 的抗折强度减小, 但抗压强度减小的幅度更大, 压折比减小, 改性 UHPC 的塑性提高, 变形抗弯能力得到明显的改善; 同时聚合物中环氧树脂的固化成膜大大提高了改性 UHPC 的粘接强度, 使修复材料与旧混凝土的粘接作用得到提高。

4. 结论

- 1) 聚合物在水化的 0~6 h 会加快水泥浆体的水化放热速率, 在水化的加速期 6~15 h 和 15 h 以后则起

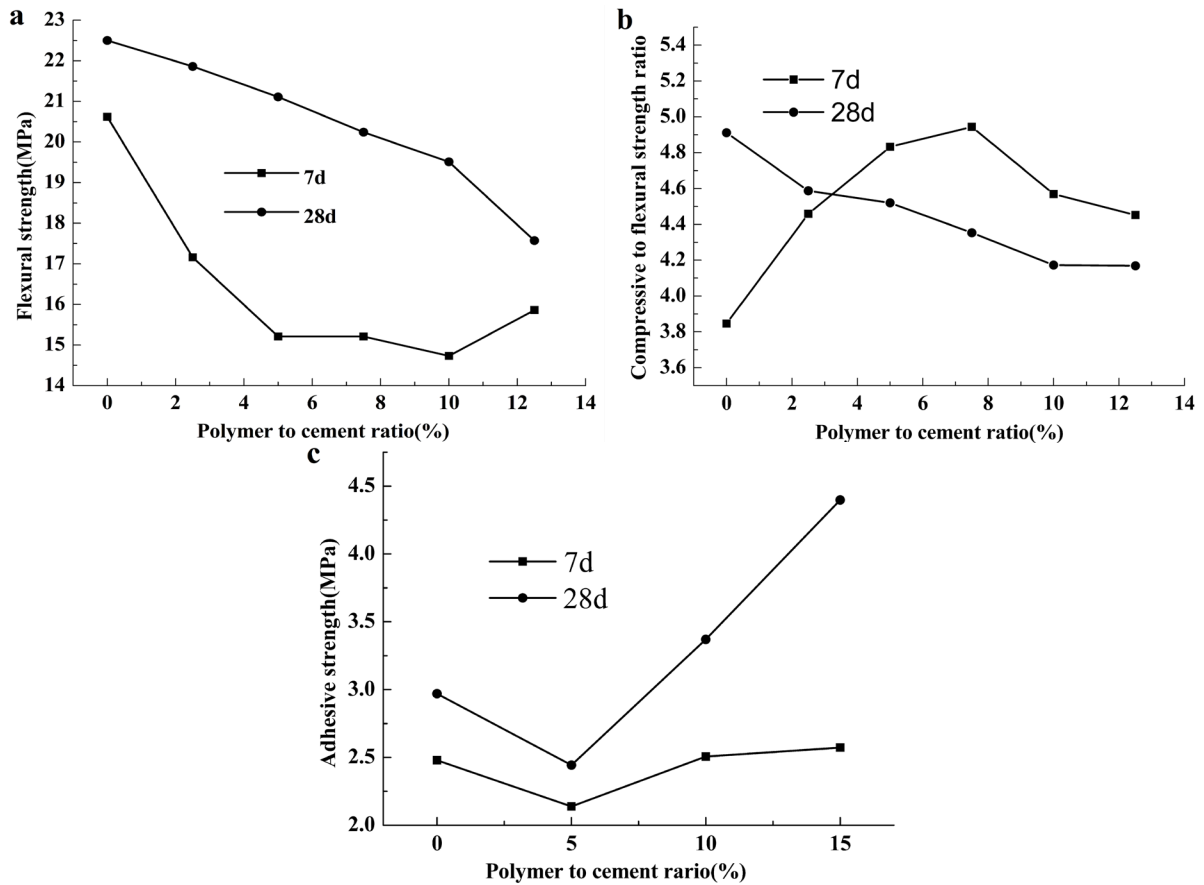


Figure 6. The mechanical properties of modified UHPC of different polymer to cement ratios
图 6. 不同聚灰比改性 UHPC 的力学性能

减速作用。

2) 当固化剂与环氧树脂按 1:2 添加时, 环氧树脂固化成膜后以相互交错缠绕的纤维状存在, 分散均匀, 相互连接, 没有团聚现象。

3) 改性 UHPC 的平均孔径随着聚灰比的增加而增大, 孔隙率先减小后增大, 大于 100 nm 的有害孔和 50 nm 至 100 nm 的少害孔随着聚灰比的增加而增多, 而小于 50 nm 的少害孔则先减少后升高, 确定最佳掺量为 5%, 固脂比为 0.5。

4) 随着聚灰比的增加, 改性 UHPC 的 28 d 抗折强度不断减小, 压折比也减小, 塑性升高, 当掺量达到 15% 时, 改性 UHPC 的粘接强度达到 2.75 MPa。

基金项目

国家“863”计划(2015AA034701)。

参考文献 (References)

- [1] 钟世云. 聚合物在混凝土中的应用[M]. 北京: 化学工业出版社材料科学与工程出版中心, 2003.
- [2] Seo, Y. and Noguchi, T. (2012) Water Absorption and Constraint Stress Analysis of Polymer-Modified Cement Mortar Used as a Patch Repair Material. *Construction & Building Materials*, **28**, 819-830.
- [3] Fowler, D.W. (1999) Polymers in Concrete: A Vision for the 21st Century. *Cement & Concrete Composites*, 449-452. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(99\)00032-3](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(99)00032-3)

- [4] 王茹, 王培铭. 苯丙乳液水泥砂浆横向变形与压折比及其关系[J]. 建筑材料学报, 2008, 11(4): 464-468.
- [5] 钟世云, 李晋梅, 韩冬冬, 等. 聚合物乳液在水泥颗粒表面吸附的影响因素 - 乳液类型及聚灰比[J]. 建筑材料学报, 2013, 16(5): 739-743.
- [6] Ohama, Y. (1998) Polymer-Based Admixtures. *Cement & Concrete Composites*, **20**, 189-212. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(97\)00065-6](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(97)00065-6)
- [7] Choon, P. and Dongw, C. 硅酸盐水泥基无大孔胶凝材料中金属离子的作用[J]. 硅酸盐学报, 1996(4): 382-388.
- [8] Xiao, L.G. (2009) Preparation and Properties of a New Composite of Epoxy Emulsion (EEM) Modified Cement. *Journal of Wuhan University of Technology—Materials Science Edition*, **24**, 843-845. <https://doi.org/10.1007/s11595-009-5843-5>
- [9] Jenni, A., Holzer, L., Zurbriggen, R., et al. (2005) Influence of Polymers on Microstructure and Adhesive Strength of Cementitious Tile Adhesive Mortars. *Cement & Concrete Research*, **35**, 35-50. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.06.039>
- [10] 陈友治, 李方贤, 王红喜. 水乳环氧对水泥砂浆强度的影响[J]. 重庆大学学报: 自然科学版, 2003, 26(12): 48-50.
- [11] Park, D., Park, S., Seo, Y. and Noguchi, T. (2011) Water Absorption and Constraint Stress Analysis of Polymer-Modified Cement Mortar Used as a Patch Repair Material. *Construction & Building Materials*, **28**, 819-830. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.06.081>
- [12] Aggaewal, L.K., Thapliyal, P.C. and Karade, S.R. (2007) Properties of Polymer-Modified Mortars Using Epoxy and Acrylic Emulsions. *Construction & Building Materials*, **21**, 379-383. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2005.08.007>
- [13] Sugama, T., Kukacha, L.E. and Horn, W. (1979) Hydrothermal Stability of Vinyl-Type Polymer Concrete Containing Tricalcium Silicate (C₃S). *Cement & Concrete Research*, **9**, 461-471. [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(79\)90043-7](https://doi.org/10.1016/0008-8846(79)90043-7)
- [14] Wang, R., Li, X.-G. and Wang, P. (2006) Influence of Polymer on Cement Hydration in SBR-Modified Cement Pastes. *Cement & Concrete Research*, **36**, 1744-1751. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.05.020>
- [15] Afridi, M.U.K., Ohama, Y., Demura, K. and Iqbal, M.Z. (2003) Development of Polymer Films by the Coalescence of Polymer Particles in Powdered and Aqueous Polymer-Modified Mortars. *Cement & Concrete Research*, **33**, 1715-1721. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)01094-3](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)01094-3)
- [16] Knapen, E. and Gemert, D.V. (2009) Effect of under Water Storage on Bridge Formation by Water-Soluble Polymers in Cement Mortars. *Construction & Building Materials*, **23**, 3420-3425. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2009.06.007>
- [17] 卞新声. 遥爪液体聚合物改性环氧涂料. 涂料工业, 1987(06): 32-35.
- [18] Maranhao, F.L. and John, V.M. (2009) Bond Strength and Transversal Deformation Aging on Cement-Polymer Adhesive Mortar. *Construction & Building Materials*, **23**, 1022-1027. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.05.019>

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hice@hanspub.org