

碱激发剂对DS-ECC稳定性的影响

王 俊, 车佳玲

宁夏大学, 土木与水利工程学院, 宁夏 银川

Email: 457534437@qq.com

收稿日期: 2021年4月2日; 录用日期: 2021年4月21日; 发布日期: 2021年4月28日

摘 要

为研究沙漠砂为细集料制备的高韧性水泥基复合材料(DS-ECC)在碱激发剂作用下基本力学性能的稳定性的影响,对碱激发剂作用后的DS-ECC进行基本力学试验,探究不同模数的碱激发剂对立方体抗压强度、单轴拉伸强度、泊松比以及弹性模量稳定性的影响。结果表明:经激发剂处理后,立方体抗压强度、单轴拉伸强度以及极限拉应变数据波动范围均减小、材料稳定性提高;在碱激发剂模数为1.5时,泊松比与弹性模量的值均有提升,但其数据波动范围基本不变,稳定性基本不变。

关键词

高韧性水泥基复合材料, 沙漠砂, 碱激发剂, 稳定性

Influence of Alkali Activator on the Stability of DS-ECC

Jun Wang, Jialing Che

School of Civil Engineering and Water Conservancy, Ningxia University, Yinchuan Ningxia

Email: 457534437@qq.com

Received: Apr. 2nd, 2021; accepted: Apr. 21st, 2021; published: Apr. 28th, 2021

Abstract

In order to study the stability of the basic mechanical properties of Desert-Sand Engineered cementitious composite (DS-ECC) prepared from the desert sand as fine aggregate under the action of alkali activator, basic mechanical tests were carried out on DS-ECC after the action of alkali activator, exploring the effects of different modulus alkali stimulants on the cubic compressive strength, uniaxial tensile strength, Poisson's ratio and the stability of elastic modulus. The results show that after treatment with the activator, the fluctuation range of the cubic compressive

strength, uniaxial tensile strength, and ultimate tensile strain data is reduced, and the material stability is improved; when the modulus of the alkali activator is 1.5, the values of Poisson's ratio and elastic modulus are improved, but the data fluctuation range is basically unchanged, and the stability is basically unchanged.

Keywords

Engineered Cementitious Composite (ECC), Desert-Sand, Alkali Stimulant, Stability

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

高韧性水泥基复合材料(Engineered cementitious composite, ECC) [1]相较于脆性混凝土具有高韧性、高抗裂性能以及良好的自愈合性能等[2] [3] [4]。除 ECC 的制备工艺相较普通混凝土复杂外, 纤维的掺入使得 ECC 的成本变得昂贵, 这极其不利于 ECC 的推广使用。此外, ECC 不使用粗骨料需要使用大量河砂以及水泥, 这无疑增加了环境压力, 同时也不符合国家可持续发展的战略要求。近年来全国正面临砂资源短缺危机, 据 CNBC 报道, 在过去 20 年里全球的建筑用砂使用量增加了两倍。据联合国统计, 全球建筑用砂使用量是水泥的 10 倍。在建筑工程方面, 全球每年消耗大约 400 亿到 500 亿吨沙。目前, 建筑用砂已远远超过沙子的自然增长速率, 呈供不应求的状况。

为缓解建筑用砂资源短缺的现状, 已有学者采用沙漠砂为细集料制备高韧性水泥基复合材料(Desert-Sand Engineered Cementitious Composite, DS-ECC) [5] [6] [7] [8]。已有研究表明沙漠砂中的极小颗粒存在火山灰效应[9] [10], 为了进一步提高 DS-ECC 性能稳定性, 本文采用碱激发剂对 DS-ECC 进行激发, 增强其自身火山灰效应, 并对其立方体抗压强度、单轴拉伸强度、极限拉应变、泊松比以及弹性模量进行试验研究, 对比碱激发剂作用前后立方体抗压强度、单轴拉伸强度、极限拉应变、泊松比以及弹性模量的数据波动范围, 研究碱激发剂对 DS-ECC 稳定性的影响。

2. 试验

2.1. 原材料和配合比

水泥来自宁夏赛马水泥有限公司生产的 P.O42.5R 普通硅酸盐水泥; 粉煤灰采用宁夏本地生产的 I 级粉煤灰; 沙漠砂取自阿拉善·左旗腾格里沙漠; 水玻璃采用安徽蚌埠精诚化工生产的水玻璃(图 1(a)), 水玻璃模数为 3.26; 氢氧化钠为浓度 $\geq 96\%$ 的分析纯(图 1(b)); 高效减水剂为北京慕洋新材料技术研究有限公司所生产。沙漠砂为细集料制备的高韧性水泥基复合材料(DS-ECC)配合比见表 1 所示。

2.2. 碱激发剂的使用

碱激发剂用量为胶凝材料体积的 5%, 模数选用 1、1.5 和 2 三个模数对 DS-ECC 进行处理。具体模数的调配方法为: 首先称取定量水玻璃, 根据水玻璃出产模数计算出物质的量, 其次根据所需要的碱激发剂模数加入适量氢氧化钠, 从而调配出试验用碱激发剂。为防止碱激发剂配置过程中释放的热量导致其不稳定, 碱激发剂调配完成后, 采用保鲜膜将碱激发剂密封(图 2)并静置 24 h 后使用。

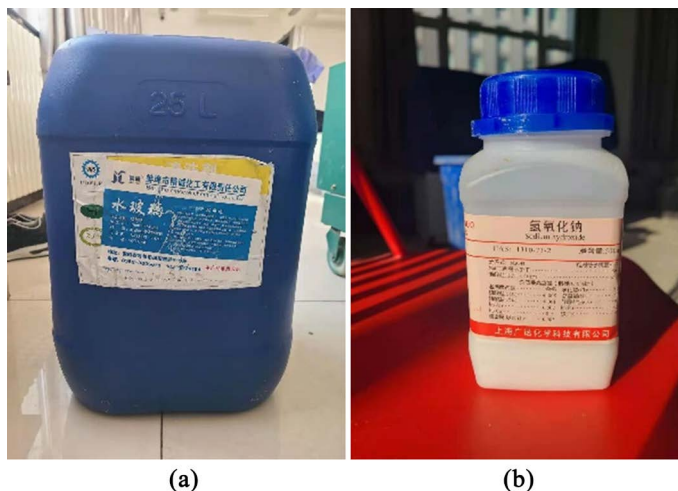


Figure 1. Experiment material (a) Water glass; (b) Sodium hydroxide
图 1. 试验材料(a)水玻璃; (b)氢氧化钠

Table 1. Mix proportion for DS-ECC specimen
表 1. DS-ECC 试件配合比(kg/m³)

Fiber	Water	Sand	Cement	Fly ash	HRWR	Alkali stimulant
26	420.39	552.51	600.55	600.55	1.20	5%



Figure 2. Alkali stimulant
图 2. 碱激发剂

2.3. DS-ECC 的制备

首先将事先称量好的水泥、粉煤灰以及沙漠砂倒入卧式搅拌机中干拌 3~5 min，其次加入碱激发剂、水以及高效减水剂的混合液体快速搅拌 3~5 min 后加入 PVA 纤维，纤维掺量不超过体积质量分数的 2%，最后加入纤维直至水泥砂浆不成团结块。将制备完成的水泥砂浆倒入如图 3 所示的试模中，静置 24 h 后，脱模后放置标准养护室养护至相应龄期，待达到龄期后进行基本力学试验。

2.4. 试验方法

采用 100 t 万能试验机对 DS-ECC 进行试验，各试验加载方式如图 4 所示。单轴拉伸试验采用位移控，

位移收集加载速率为 0.3 mm/min; 立方体抗压采用应力控, 加载速率为 0.5 MPa/s; 泊松比以及弹性模量的测量按照《高韧性纤维增强水泥基复合材料基本力学性能试验方法》(JCT 2461-2018)进行试验。

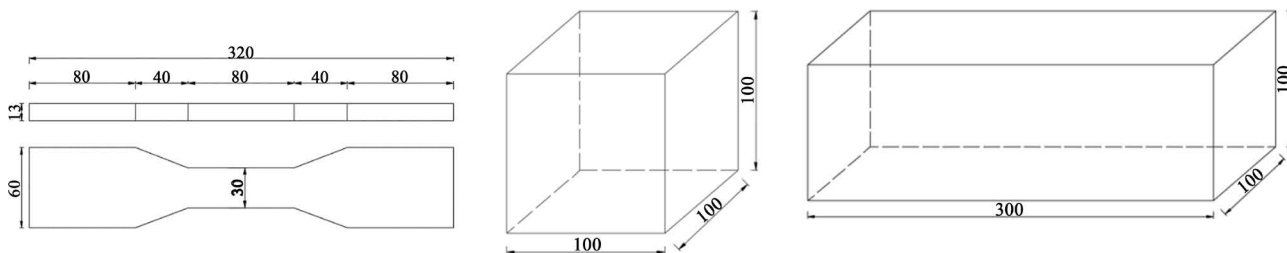


Figure 3. DS-ECC pouring size

图 3. DS-ECC 浇筑尺寸

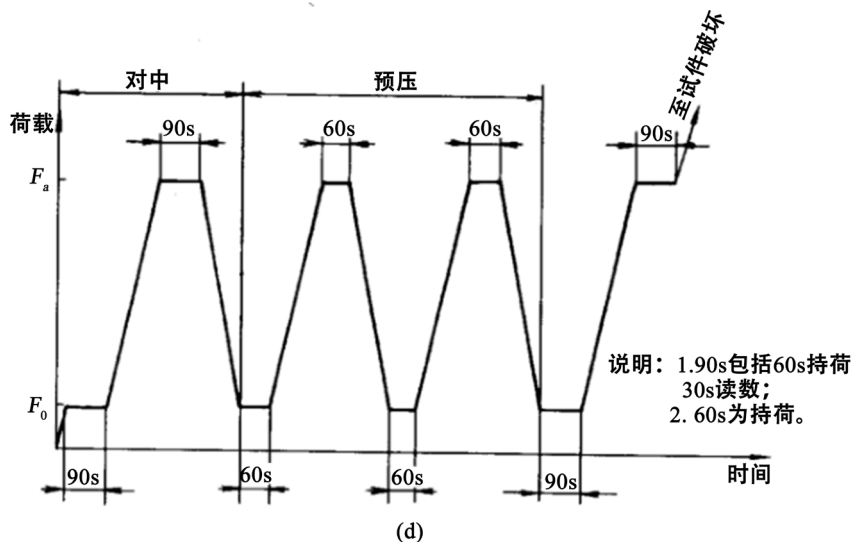
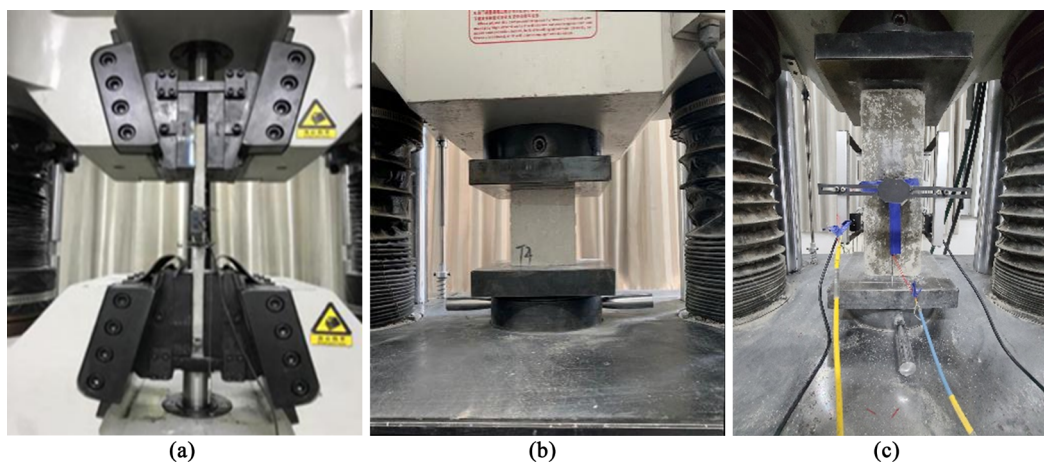


Figure 4. Schematic diagram of loading (a) Uniaxial tension; (b) Compression of cube; (c) Poisson's ratio; (d) Elastic modulus

图 4. 加载示意图(a)单轴拉伸; (b)立方体受压; (c)泊松比; (d)弹性模量

3. 结果与讨论

为更加直观的对比碱激发剂作用下 DS-ECC 基本力学性能及其稳定性得变化, 对 DS-ECC 试验数据

进行整理, 表 2 为碱激发剂作用下 DS-ECC 的拉、压性能, 表 3 为碱激发剂作用下 DS-ECC 的泊松比, 表 4 碱激发剂作用下 DS-ECC 的弹性模量, 图 5 为碱激发剂作用下基本力学性能的范围差(表中范围差为极差, 其中泊松比为 100 倍极差)。其中每组立方体抗压强度、泊松比、弹性模量数据范围取自 3 个试件测试值, 单轴受拉强度及极限拉应变取自 5 个试件测试值。

由表 2~4 可以看出: DS-ECC 的拉、压性能: 当未使用激发剂时 DS-ECC 的立方体抗压强度随龄期增长而增长, 单轴拉伸强度以及极限拉应变变化不大。当碱激发剂作用 DS-ECC 后, 7 d 龄期试件在激发剂模数为 1.5 时抗压

Table 2. Tensile and compressive properties of DS-ECC under the action of alkali activator

表 2. 碱激发剂作用下 DS-ECC 的拉、压性能

龄期	未激发抗压强度(MPa)	未激发抗拉强度(MPa)	未激发极限拉应变(%)	激发剂模数	激发后抗压强度(MPa)	激发后抗拉强度(MPa)	激发后极限拉应变(%)
7 d	8~14	7~9	3~7	1	12~14	8~9	3~5
				1.5	15~17	7~8	2~4
				2	11~12	7~8	3~4
28 d	30~37	7~9	4~7	1	27~30	7~8	0.7~3
				1.5	33~35	7	2~3
				2	29~30	7~8	1~3

Table 3. Poisson's ratio of DS-ECC under the action of alkali stimulator

表 3. 碱激发剂作用下 DS-ECC 的泊松比

龄期	未激发泊松比	激发剂模数	激发后的泊松比
7 d	0.17~0.20	1	0.20~0.22
		1.5	0.27~0.30
		2	0.22~0.24
28 d	0.19~0.22	1	0.21~0.24
		1.5	0.26~0.29
		2	0.19~0.20

Table 4. The modulus of elasticity of DS-ECC under the action of alkali activator

表 4. 碱激发剂作用下 DS-ECC 的弹性模量

类别	龄期	未激发弹性模量 GPa	激发剂模数	激发后的弹性模量 GPa
DS-ECC	7 d	19~22	1	19~23
			1.5	20~24
			2	20~21
	28 d	20~22	1	19~21
			1.5	21~24
			2	19~21

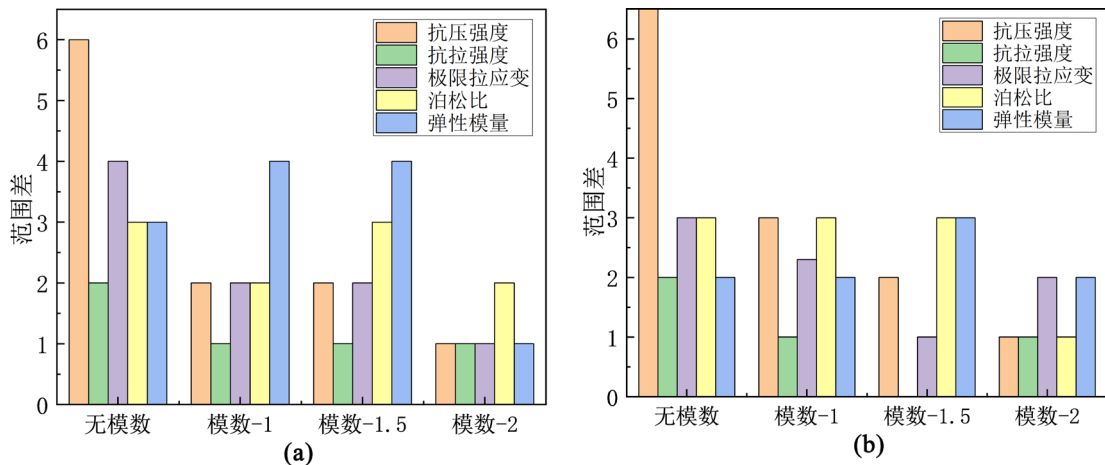


Figure 5. Poor range of basic mechanical properties under the action of alkali activator (a) 7 d Specimen; (b) 28 d Specimen
图 5. 激发剂作用下基本力学性能的范围差(a) 7 d 试件; (b) 28 d 试件

强度有明显的增大, 28 d 龄期试件抗压强度减小, 在模数为 1.5 时抗压强度减小幅度最低。在碱激发剂作用下, 基体内产生 C-S-H 凝胶与 Aft 晶体, 试件立方体强度应提高, 但 28 d 龄期试件强度下降, 这可能是由于振捣过程中振捣不均匀产生的, 具体原因还需进一步探究。此外, 立方体抗压强度波动范围明显减小, 稳定性提高(如图 5 所示)。在碱激发剂作用后单轴拉伸强度变化不明显, 极限拉应变降幅明显, 两者较未激发试件数据波动范围均减小, 稳定性提高(如图 5 所示)。

DS-ECC 的泊松比: 当未使用碱激发剂时, 随龄期增长 DS-ECC 的泊松比略微提高; 当加入碱激发剂后, 7 d 龄期试件泊松比均增大, 在模数为 1.5 时泊松比增大最为明显。28 d 龄期试件泊松比在碱激发模数为 1.5 时有明显增大, 碱激发模数为 1 和 2 时, 泊松比数据波动范围基本不变; 碱激发剂对 DS-ECC 泊松比稳定性影响较小(如图 5 所示)。

DS-ECC 的弹性模量: 当未使用激发剂时, 龄期对 DS-ECC 的弹性模量影响不明显; 当加入碱激发剂后, 在碱激发模数为 1.5 时弹性模量有小幅提升; 碱激发模数为 1 和 2 时, 弹性模量数据波动范围基本不变; 碱激发剂对 DS-ECC 泊松比稳定性影响较小(如图 5 所示)。

4. 结论

- 1) 经过碱激发剂作用后的 DS-ECC 立方体抗压强度波动范围明显减小, 稳定性提高。单轴拉伸强度与极限拉应变数据波动范围均减小, 稳定性提高。
- 2) 经过碱激发剂作用后的 DS-ECC 泊松比在模数为 1.5 时有明显提高, 但其数据波动范围均不大, 稳定性基本无变化。
- 3) 经过碱激发剂作用后的 DS-ECC 弹性模量在模数为 1.5 时有小幅提升, 数据波动范围基本不变, 稳定性基本不变。

基金项目

宁夏自然科学基金资助项目(2020AAC03041)。

参考文献

- [1] Li, V.C. and Leung, C.K.Y. (1992) Steady-State and Multiple Cracking of Short Random Fiber Composites. *Journal of Engineering Mechanics*, **188**, 2246-2264.

-
- [2] Che, J.L., Wang, D., Liu, H.F., *et al.* (2019) Mechanical Properties of Desert Sand-Based Fiber Reinforced Concrete (DS-FRC). *Applied Sciences*, **9**, 1857. <https://doi.org/10.3390/app9091857>
- [3] 徐世焱, 李贺东. 超高韧性水泥基复合材料研究进展及其工程应用[J]. 土木工程学报, 2008(6): 45-60.
- [4] 阚黎黎, 王明智, 史建武, 等. 超高韧性水泥基复合材料自愈合研究进展[J]. 功能材料, 2015, 46(5): 5001-5006.
- [5] An, X., Che, J.L., Liu, H.F., Yang, S.Y. and Shu, I.D. (2020) Study on Freeze-Thaw Resistance with NaCl of Desert Sand Engineering Cement Composites. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, **121**, Article ID: 102954.
- [6] Che, J.L., Li, Q.W., Lee, M.J., *et al.* (2017) Experimental Research on Mechanical Properties of Desert Sand Steel-PVA Fiber Engineered Cementitious Composites. *Functional Materials*, **24**, 584-592. <https://doi.org/10.15407/fm24.04.584>
- [7] 韩冠生, 车佳玲, 李权威, 等. 沙漠砂 PVA-ECC 材料力学性能试验研究[J]. 施工技术, 2018, 47(3): 27-31.
- [8] 谢世光. 乌鲁木齐地区超高韧性水泥基复合材料基本力学性能试验研究[D]: [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2017.
- [9] Guettala, S. and Mezghiche, B. (2011) Compressive Strength and Hydration with Age of Cement Pastes Containing Dune Sand Powder. *Construction and Building Materials*, **25**, 1263-1269. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.09.026>
- [10] 杭美艳, 马刚, 吕学涛. 激发剂对风积沙微粉强度的影响[J]. 长江科学院院报, 2020, 37(1): 156-160.