

# Research on Nondestructive Testing of PVA-DSECC Materials Based on Ultrasonic Technology

Xue An<sup>1</sup>, Jialing Che<sup>1</sup>, Dong Wan<sup>2</sup>, Yixin Zhang<sup>1</sup>, Wenhua He<sup>1</sup>, Guozhen Yang<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Civil Engineering and Water Conservancy, Ningxia University, Yinchuan Ningxia

<sup>2</sup>Jinxin Environmental Science and Technology Co. Ltd., Yinchuan Ningxia

Email: 1248087607@qq.com

Received: July 1<sup>st</sup>, 2019; accepted: July 16<sup>th</sup>, 2019; published: July 23<sup>rd</sup>, 2019

## Abstract

In order to explore the influence factors of ultrasonic velocity and its relationship with the strength of desert sand preparation Engineered Cementitious Composite (ECC), ultrasonic mixing method was used to design different water-to-binder ratio, sand-to-binder ratio, desert sand replacement rate and age. The uniaxial compressive strength test and the ultrasonic non-destructive testing test analyzed the effects of six water-to-binder ratios, three sand-to-binder ratios, four desert sand replacement rates, and two ages on the desert sand Engineered Cementitious Composite (PVA-DSECC) ultrasonic velocity. The relationship between ultrasonic velocity and PVA-DSECC compressive strength at different ages and different mix ratios is determined. The test results show that the water-to-binder ratio, sand-to-binder ratio, desert sand replacement rate and age have different degrees of influence on the ultrasonic non-destructive testing wave velocity of PVA-DSECC. Among them, the water-to-binder ratio and the age are the most significant; the sand-to-gel ratio and the desert sand substitution rate have little effect; linear expression is used to obtain the expression of the relationship between ultrasonic speed and compressive strength. The correlation coefficient is 0.85 and the reliability is good.

## Keywords

Ultrasonic Technology, PVA-DSECC, Nondestructive Testing

# 基于超声波技术的PVA-DSECC材料无损检测研究

安雪<sup>1</sup>, 车佳玲<sup>1</sup>, 万东<sup>2</sup>, 张艺馨<sup>1</sup>, 何文华<sup>1</sup>, 杨国珍<sup>1</sup>

<sup>1</sup>宁夏大学, 土木与水利工程学院, 宁夏 银川

文章引用: 安雪, 车佳玲, 万东, 张艺馨, 何文华, 杨国珍. 基于超声波技术的 PVA-DSECC 材料无损检测研究[J]. 土木工程, 2019, 8(5): 990-996. DOI: 10.12677/hjce.2019.85115

<sup>2</sup>宁夏锦鑫环保科技有限公司, 宁夏 银川  
Email: 1248087607@qq.com

收稿日期: 2019年7月1日; 录用日期: 2019年7月16日; 发布日期: 2019年7月23日

## 摘要

为了探究沙漠砂制备工程水泥基复合材料(简称PVA-DSECC)超声波速影响因素及其与强度的关系, 采用超声回弹综合法, 设计了不同水胶比、砂胶比、沙漠砂替代率、龄期的单轴抗压强度试验与超声无损检测试验, 分析了6种水胶比、3种砂胶比、4种沙漠砂替代率、2种龄期对PVA-DSECC超声波速的影响, 同时通过线性拟合确定不同龄期、不同配合比情况下超声波速与PVA-DSECC抗压强度关系式。试验结果表明: 水胶比、砂胶比、沙漠砂替代率、龄期都不同程度地影响着PVA-DSECC的超声无损检测波速, 其中, 水胶比、龄期影响最为显著; 砂胶比、沙漠砂替代率影响较小; 线性拟合得出超声波速与抗压强度关系表达式, 相关系数为0.85, 可靠性较好。

## 关键词

超声波技术, PVA-DSECC, 无损检测

Copyright © 2019 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

## 1. 引言

工程水泥基复合材料(Engineered Cementitious Composite, 简称 ECC)作为一种高性能混凝土, 在建筑工程中已有所应用, 其复杂的成型工艺等都严重影响着建筑结构的安全性。因此, 在建筑物施工和后期检测中, 混凝土结构材料的检测技术也发挥着巨大的作用[1]。

无损检测技术是指在不损伤和破坏材料内部结构情况下, 利用材料本身性质, 对物体组织结构和力学性能进行评定的方法[2]。无损检测技术在检测混凝土导堤[3]、混凝土梁工作应力状态[4]、基础桩[5] [6]等结构强度方面以及混凝土裂缝[7] [8] [9]、混凝土密实性和空洞[10] [11] [12] [13]等缺陷方面应用广泛, 在钢纤维混凝土[14] [15]方面应用较少, 在 ECC 中的应用也仅停留于冻融损伤的研究, 对于超声波检测沙漠砂制备的工程水泥基复合材料的研究更是鲜有报道。因此, 通过超声波技术研究 PVA-DSECC 超声波速影响因素及其与强度的关系显得尤为重要。

本文通过超声回弹综合法, 设计 6 种水胶比、3 种砂胶比、4 种沙漠砂替代率、2 种龄期, 研究了超声波速影响因素及超声波速与强度关系。

## 2. 试验设计

### 2.1. 试验原材料及配合比设计

试验中采用的水泥、沙漠砂、粉煤灰、减水剂、水、日本聚乙烯醇纤维(简称 PVA 纤维)等材料物理力学性能见文献[16], 配合比设计见表 1。

**Table 1.** PVA-DSECC mix design  
**表 1.** PVA-DSECC 配合比设计

Numbering	Water/binder ratio	Sand/binder ratio	Desert sand replacement rate	Fly ash	PVA volumetric content	Age
G1	0.26	0.36	40%	60%	2%	28/90
G2	0.29	0.36	40%	60%	2%	28/90
G3	0.32	0.36	40%	60%	2%	28/90
G4	0.35	0.36	40%	60%	2%	28/90
G5	0.38	0.36	40%	60%	2%	28/90
G6	0.29	0.3	40%	60%	2%	28/90
G7	0.29	0.42	40%	60%	2%	28/90
G8	0.29	0.36	60%	60%	2%	28/90
G9	0.29	0.36	80%	60%	2%	28/90
G10	0.29	0.36	100%	60%	2%	28/90

## 2.2. 试验方法

抗压强度试验的试件形状可分为圆柱体、立方体和棱柱体等多种形状，因圆柱体内部应力较均匀，国外常采用圆柱体试件进行抗压强度试验。

本试验根据文献相关规定[17]，参照文献[18]，采用 $\phi 75 \times 150$  mm 圆柱体试件进行测试，模具是自制钢模具。每组 6 个试件，一次成型，用于进行超声波无损检测试验，每组数据测量均有 3 个试件，结果取平均值。试验依据 GB/T50081-2002《普通力学性能试验方法标准》，养护至 28 d/90 d，取出后擦干表面水分，采用超声，回弹综合法，以凡士林为耦合剂，以上、下底面为测试面，进行超声波无损检测试验，研究超声波速与抗压强度的关系。选用的仪器为 DJUS-05 非金属超声检测仪。

## 3. 试验结果及分析

### 3.1. 水胶比、龄期对超声波速的影响

**Table 2.** Wave speed and compressive strength test results  
**表 2.** 波速与抗压强度检测结果

Numbering	Ultrasonic speed of 28 days (m/s)	Compressive strength of 28 days (MPa)	Ultrasonic speed Of 90 days (m/s)	Compressive strength of 90 days (MPa)
G1	3040	47.3	3170	53.1
G2	2950	42.3	3030	40.3
G3	2900	34.4	2920	39.3
G4	2840	31.1	2920	35.4
G5	2760	29	2880	33.3
G6	2920	38.7	3030	38.8
G7	2960	41.5	3050	47
G8	2970	40.9	3070	43.3
G9	2940	40.2	3060	49.8
G10	2930	36.8	3020	47.9

注：G1, G2, G3, G4, G5 水胶比分别为 0.26, 0.29, 0.32, 0.35, 0.38, 砂胶比为 0.36, 沙漠砂替代率 40%，粉煤灰掺量 60%；G6, G7 水胶比为 0.29, 砂胶比分别为 0.3, 0.42, 沙漠砂替代率 40%，粉煤灰掺量 60%；G8, G9, G10 水胶比为 0.29, 砂胶比为 0.36, 沙漠砂替代率 60%，80%，100%，粉煤灰掺量 60%。

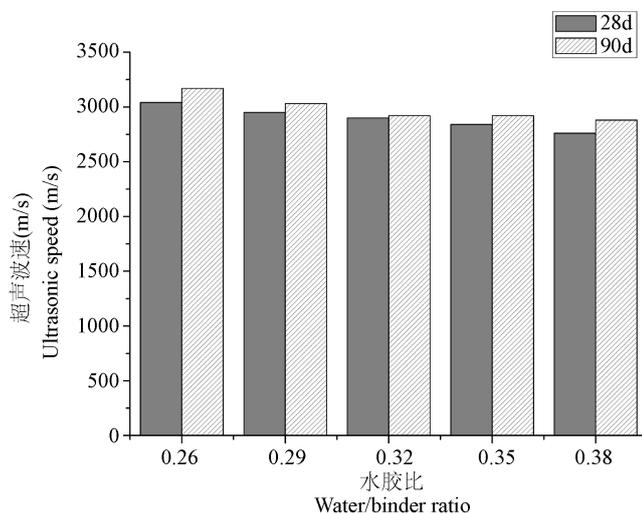


Figure 1. Water/binder ratio-ultrasonic speed

图 1. 水胶比 - 超声波速

表 2 为超声波速与抗压强度检测结果；图 1 为水胶比对超声波速的影响图。由表 2 和图 1 可知，同一龄期下，随着水胶比的增大，试件超声波速逐渐减小；同一水胶比下，90 d 试件超声波速高于 28 d 试件超声波速，与普通混凝土变化规律类似。主要原因为同一龄期，随着水胶比增加，内、外部孔隙数量相应增加[19]。超声波传播时间与结构内部缺陷和密实度有关，水胶比增加，内部孔隙增多。超声波便绕过缺陷向前传播，在探测距离范围内，绕过缺陷传播比直线传播所需时间要长[20]，而超声波波速与超声波传播时间成反比，从而超声波速逐渐减小。同一水胶比下，龄期越长，水泥水化越充分，粉煤灰中玻璃质地的二氧化硅、氧化铝等与水泥水化产物硅酸钙凝胶及氢氧化钙反应，生成水化硅酸钙凝胶[21]，附着于孔隙表面，不需全部填补孔隙，便可为超声波速的传播搭建传播路径，相应减少内部孔隙缺陷，为结构增密，提高后期强度，从而 90 d 龄期试件相比 28 d 龄期试件超声波速增加。

### 3.2. 砂胶比对超声波速的影响

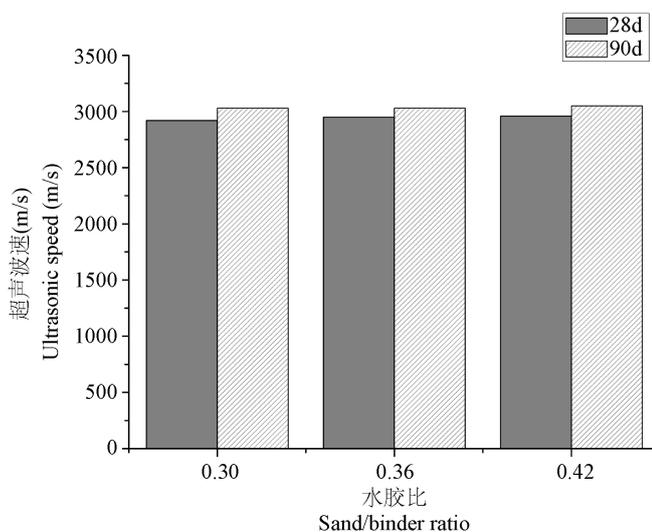


Figure 2. Sand/binder ratio-Ultrasonic speed

图 2. 砂胶比 - 超声波速

图 2 为砂胶比对超声波速影响图。由表 2 和图 2 可知，同一龄期下，砂胶比对超声波速影响较小。但与水泥砂浆规律有一定差距，从文献[22]中可知，砂胶比增加，水泥砂浆强度增加明显。

### 3.3. 沙漠砂替代率对超声波速的影响

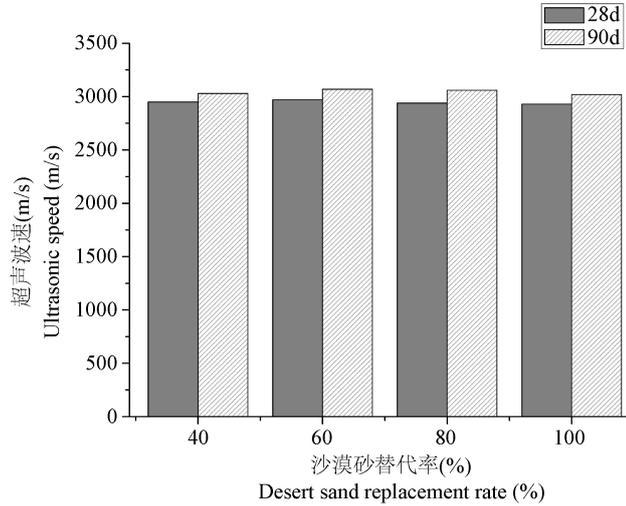


Figure 3. Desert sand replacement ratio-Ultrasonic speed  
图 3. 沙漠砂替代率 - 超声波速

图 3 为沙漠砂替代率对超声波速的影响图。由表 2 和图 3 可以发现，随着沙漠砂替代率的增加，超声波速呈现先增加后减小的趋势，但影响效果不明显。100%沙漠砂超声波速相比 40%沙漠砂超声波速，在 28 d 仅下降 0.7%，90 d 仅下降 0.3%。研究发现：河砂粒径相对于沙漠砂较大，沙漠砂能够更好的填充于 PVA-DSECC 材料内部，使试件内部结构密实度更高，从而增大其强度，进而超声波速有所增加。而沙漠砂为风积沙，由各种岩石风化而成，自身强度略低于河砂强度[23]，替代率超过河砂，便会导致材料强度降低，从而超声波速有所下降。

### 3.4. 超声波速与抗压强度的关系

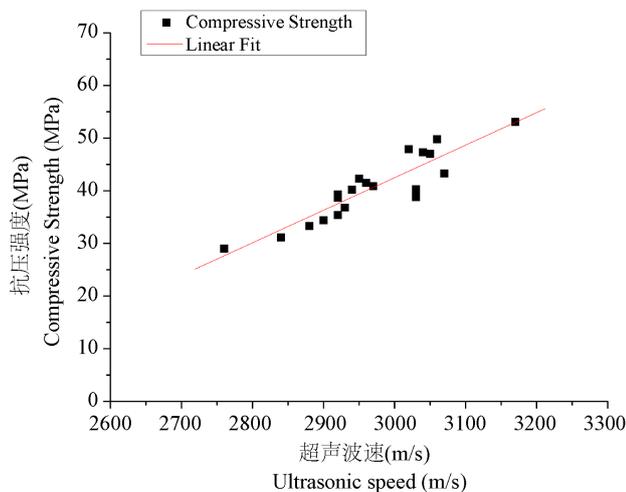


Figure 4. Relationship between ultrasonic speed and compressive strength  
图 4. 超声波速与抗压强度关系

本试验采用超声回弹综合法,测得超声波速与抗压强度见表 2。而超声回弹综合法利用了超声波的衰减和混凝土表面回弹值综合评估的方法用以确定混凝土强度值,可见,超声波速与混凝土强度有密切关系。由表 2 可见,超声波速随着材料强度的增加而增大。为得出超声波速与抗压强度关系,将超声波速与抗压强度进行线性拟合,见图 4。

$$\sigma = 0.0619V_0 - 143.1 \quad (1)$$

通过线性拟合,得出 28 d、90 d 龄期下,PVA-DSECC 超声波速与抗压强度的关系表达式(1),式中, $\sigma$ 为圆柱体抗压强度(MPa), $V_0$ 为超声波速(m/s)线性相关系数  $R^2 = 0.83$ ,线性回归方程可靠性较好。

#### 4. 结论

- 1) 水胶比、砂胶比、沙漠砂替代率、龄期都不同程度地影响着 PVA-DSECC 的超声无损检测波速。其中,水胶比与龄期影响显著,与普通混凝土变化规律类似。
- 2) 砂胶比对 PVA-DSECC 超声波速影响较小。
- 3) 沙漠砂替代率影响相对较小。100%沙漠砂超声波速相比 40%沙漠砂超声波速,在 28 d 仅下降 0.7%,90 d 仅下降 0.3%。
- 4) 通过线性拟合,得出 28 d、90 d 龄期下,超声波速与抗压强度关系式,线性相关系数为 0.85,可靠度较好。

#### 基金项目

宁夏大学大学生创新试验项目(2019107490602)(2019107490625)。

#### 参考文献

- [1] 李俊如,高建光,王耀辉.超声波检测混凝土裂缝及裂缝成因分析[J].岩土力学,2001(3):291-293.
- [2] 彭永恒,宋凤立.混凝土无损检测技术的发展与应用[J].大连民族学院学报,2003(3):52-54.
- [3] 王颖轶,左自波,于凯,黄醒春.超声波法在检测导堤表面混凝土结构中的应用[J].上海交通大学学报,2015,49(7):988-992.
- [4] 赵岩,徐晓,郝文秀.超声波检测混凝土梁工作应力状态研究[J].河北农业大学学报,2019,42(1):122-125.
- [5] 渠继显,胡永录.研究超声波检测法在基桩检测中的应用[J].建材与装饰,2019(15):61-62.
- [6] 苏海.桩基检测中桥梁混凝土超声波检测技术的应用[J].建筑技术开发,2019,46(2):93-94.
- [7] 刘祥民.超声波检测混凝土裂缝深度的方法与比较[J].福建建筑,2013(3):30-32.
- [8] 田晖,辛纯涛,张坤.超声波单面平测法检测混凝土构件裂缝深度可靠性分析[J].兰州理工大学学报,2013,39(6):133-136.
- [9] 方德伟.超声波检测技术在无缝钢管质量缺陷检测中的应用研究[J].科技视界,2019(12):37-38.
- [10] 王建军,廉向东,何建乔.新型高性能自密实无收缩混凝土在钢管混凝土拱桥中的应用[J].公路,2018,63(5):187-191.
- [11] 黄湘平,史承明.超声波检测混凝土不密实区和空洞[J].陕西工学院学报,2005,21(2):59-61+65.
- [12] 许明耀.超声波在巨型钢管混凝土密实性检测中的应用[J].山西建筑,2016,42(12):211-213.
- [13] 田寿.超声波检测哑铃型钢管混凝土密实度[J].山西建筑,2014,40(30):179-181.
- [14] 张成均,徐冬梅.负温钢纤维混凝土超声波检测的试验研究[J].西部探矿工程,2006(12):260-262.
- [15] 陈华艳,徐银芳,熊学忠,张红兵.超声波检测在钢纤维混凝土中的应用[J].商品混凝土,2005(2):6-9+39.
- [16] Che, J., Wang, D., Liu, H. and Zhang, Y. (2019) Mechanical Properties of Desert Sand-Based Fiber Reinforced Concrete (DS-FRC) under Uniaxial Tension/Compression Test. *Applied Science*, 5, 3-4.
- [17] 朱晓红,刘东.混凝土应变软化性能的单轴抗压测试方法[J].水利水电快报,2001,22(6):9-12.

- [18] 高淑玲. PVA 纤维增强水泥基复合材料假应变硬化及断裂特性研究[D]: [博士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2006.
- [19] 张建智, 蔡志达, 李隆盛, 叶叔通, 黄兆龙. 骨料裹浆厚度对混凝土性质影响之研究[J]. 建筑材料学报, 2009, 12(4): 384-389+427.
- [20] 刘品旭. PVA 纤维增强水泥基复合材料的耐久性能研究[D]: [硕士学位论文]. 天津: 河北工业大学, 2014.
- [21] 曹诚, 孙伟, 秦鸿根. 粉煤灰对碾压高掺量粉煤灰砗强度的贡献分析[J]. 东南大学学报, 1999, 29(5): 137-141.
- [22] 周继凯, 金龙, 丁宁. 含砂量对水泥砂浆强度与孔结构的影响[J]. 科学技术与工程, 2013, 13(20): 5855-5860.
- [23] 付杰, 马菊荣, 刘海峰. 粉煤灰掺量和沙漠砂替代率对沙漠砂混凝土力学性能影响[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2015, 40(1): 93-98.

#### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;  
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

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

期刊邮箱: [hjce@hanspub.org](mailto:hjce@hanspub.org)