

# Experimental Study on Determination of Mortar Setting Time by Ultrasonic Reflection Method

Hui Yang

Shanghai Jianke Technical Assessment of Construction Co., Ltd., Shanghai  
Email: yangh17@163.com

Received: Apr. 8<sup>th</sup>, 2019; accepted: Apr. 23<sup>rd</sup>, 2019; published: Apr. 30<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

The effects of frequency and ranging on the determination of mortar setting time by ultrasonic reflection method were studied. The method of determining the setting time of mortar by ultrasonic reflection method was discussed. The test results show that when the device parameters are set to 54 kHz frequency and 40 mm ranging, clear and reliable ultrasonic signals can be obtained, and the test process is relatively simple. The time corresponding to the starting point of the ultrasonic sound velocity growth is very close to the setting time measured by the penetration resistance method, and can be used for determining the setting time of the mortar by the ultrasonic reflection method.

## Keywords

Ultrasonic Wave, Ultrasonic Reflection Method, Mortar, Setting Time

---

# 超声透射法测定砂浆凝结时间试验研究

杨 辉

上海建科检验有限公司, 上海  
Email: yangh17@163.com

收稿日期: 2019年4月8日; 录用日期: 2019年4月23日; 发布日期: 2019年4月30日

---

## 摘 要

试验研究了频率和测距等因素对超声透射法测定砂浆凝结时间的影响, 并讨论了采用超声透射法确定砂

浆凝结时间的方法。试验结果表明,装置参数设置为54 kHz频率和40 mm测距时,可获得清晰、可靠的超声波信号,且试验过程较为简便。超声波声速增长起点对应的时间与贯入阻力法测得的凝结时间十分接近,可用于超声透射法确定砂浆的凝结时间。

## 关键词

超声波, 超声反射法, 砂浆, 凝结时间

Copyright © 2019 by author 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

凝结时间是水泥基材料重要使用性能之一。现行凝结时间标准测试方法为贯入阻力法。该方法操作简单,但也存在较多缺点,如无法连续监测浆体的凝结硬化过程[1];测试结果与操作者的技巧有关[2],且时常出现平行测试结果差距大,难以准确判断试件的凝结时间[3] [4] [5]。另外,在测试混凝土凝结时间时需先将混凝土中砂浆筛出来,这对于流动度小的混凝土来说是很困难的[2]。

针对现行标准测试方法的不足,人们先后尝试了多种方法用于水泥基材料凝结时间测试,如超声反射法、水化热法、电阻率法等,并取得一系列成果。在这些新方法中,超声反射法因其无损、连续监测、简便易行等特点,具有较大开发潜力。本文以砂浆为测试对象,对超声反射法的试验参数设置及结果判断进行探究。

## 2. 原材料、配合比及试验参数

### 1) 原材料

水泥:安徽海螺水泥股份有限公司产 P·O 42.5 级普通硅酸盐水泥,比表面积 378 m<sup>2</sup>/kg,表观密度 3.01 g/cm<sup>3</sup>;细骨料:普通河砂,细度模数 2.6,表观密度 2618 kg/m<sup>3</sup>;缓凝剂:浙江五龙新材股份有限公司,ZWL 型,粉剂;速凝剂:浙江五龙新材股份有限公司,ZWL 型,粉剂;引气剂:江苏苏博特新材料股份有限公司,GYQ-I 混凝土高效引气剂,液剂;水:自来水。

### 2) 配合比

本文试验采用的配合比如表 1 所示。

Table 1. Test mix ratio

表 1. 试验配合比

配合比编号	水泥, C	砂, S	水, W	外加剂/%
P1	1	3	0.6	/
P2	1	3	0.6	0.6 (速凝剂)
P3	1	3	0.6	0.04 (缓凝剂)
P4	1	3	0.6	0.08 (缓凝剂)
P5	1	3	0.6	0.05 (引气剂)
P6	1	3	0.6	0.10 (引气剂)

## 2.1. 试验设备及装置

砂浆凝结时间测试仪, ZKS-100A 型, 无锡建材仪器机械厂制造;

超声仪, Pundit Lab 型, 瑞士 Proceq 制造;

试验容器, 试样容器包括一个样品腔和两个探头腔, 分别用于盛放待测试样和安放探头。试样容器采用树脂玻璃为材料, 自行设计加工制作。探头放入探头腔时, 需涂抹黄油以保证耦合效果。自制;

砂浆稠度仪, 天津建筑仪器厂制造;

含气量测试仪, LC-615A 型, 日本三洋制造。

## 2.2. 试验方法

### 2.2.1. 超声透射法

将新拌砂浆装入试验装置容器中, 在容器一侧发射超声超声波, 在另一侧接收透射过来的超声波, 由此测得超声波透射样品的声时。根据已知的测试间距, 通过式(1)即可计算得某一时刻下超声波在样品介质中的传播速度。

$$V = \frac{L}{t} \quad (1)$$

式中:  $V$ ——样品的超声波传播速度;

$L$ ——探头测试间距;

$t$ ——超声波传播声时。

超声波波速与水泥基浆体中的总固相和相连固相的体积分数密切相关[1] [5], 这是因为浆体中的固相为超声波的传播提供了更快捷的路径。随着水化反应进行, 浆体中出现越来越多水化产物并相互连接, 超声波的传播速度也因此发生变化。采用超声透射法对样品进行连续监测, 即可通过波速的变化获得水泥基材料水化发展的信息。本文超声波试验研究中, 自砂浆加水后 15 min 开始测试浆体的超声波波速, 设定每 15 min 采集一次数据, 直至加水后 24 h 结束测试。

### 2.2.2. 其他试验方法

砂浆凝结时间(贯入阻力法)和含气量分别参照 JGJ/T 70-2009 《建筑砂浆基本性能试验方法标准》中相关试验方法进行。

## 3. 结果分析及讨论

### 3.1. 试验参数设置研究

超声透射法目前尚无标准可依, 不同的学者使用不同的试验装置进行研究, 因而所获试验数据有一定差异, 甚至出现结论相左的情况。因此, 有必要对主要试验参数如频率和测距展开研究, 以确定最佳试验参数。

#### 3.1.1. 频率

采用配合比 P1 的砂浆样品和 40 mm 测试间距, 在不同测试频率下(54 kHz, 150 kHz, 250 kHz, 500 kHz), 分别测试了超声波波速随时间的变化, 试验编号依次记为 T1~T4。根据试验结果绘制的不同频率下波速-龄期曲线如图 1 所示。

由图 1 可见, 无论何种测试频率, 各曲线的发展趋势均一致。超声波波速在加水后的一段时间变化不大, 这与水泥水化阶段的诱导期相应。随后在某一时间, 波速开始迅速增长。此波速增长起点具有特殊水化意义, 是需要关注的一个重要特征点。波速在经历快速增长后逐渐进入缓慢增长阶段, 这分别与

水泥水化的加速期和减速期相应。图 1 中各频率下的波速-时间曲线几乎重叠，由此也可看出超声透射法的重复性较好。

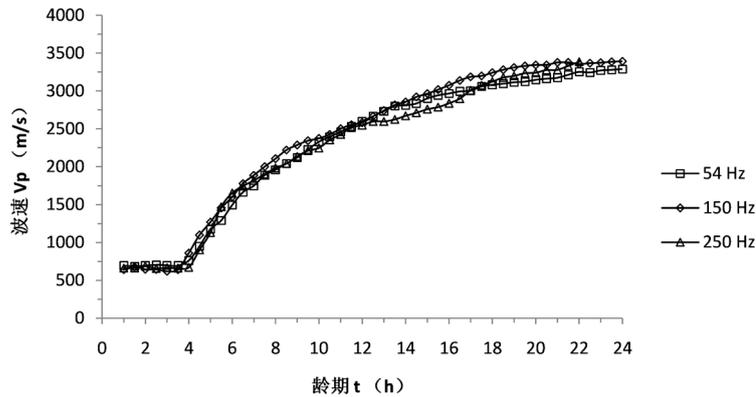


Figure 1. Ultrasonic wave velocity development at different frequencies  
图 1. 不同频率时的超声波波速发展

不同测试频率下，超声波试验简便性均较好。频率为 54 kHz、150 kHz 和 250 kHz 试验时均可获得清晰且稳定超声波信号，而频率为 500 kHz 试验时首次获得的超声波信号相对不清晰，较难判断超声波首波波速。根据波的传播特性，超声波频率越高，信号强度越强，但由于波长小绕射障碍物的能力低，适用于测距较长、障碍物较小较少的情况；超声波频率越低，其波长越大，抗障碍物散射的能力越强，适用于测距较短、障碍物相对较大的情况。砂浆浆体在搅拌制备及填装试验容器时均可能裹入一定量气泡，它们对超声波的传播形成了阻碍。因此，在保持测试信号清晰的基础上，优选较低频率即 54 kHz 作为测试频率，以备待测砂浆中可能存在微小缺陷。

### 3.1.2. 测距

制作了 4 个不同测距的试验容器，测距分别为 20 mm，40 mm，60 mm，80 mm。设置超声仪测试频率 54 kHz，采用配合比 P1 的砂浆样品，分别测试了不同测距下超声波波速随时间的变化，试验编号依次记为 T5，T1，T6，T7。根据试验结果绘制的不同测距下波速 - 龄期曲线如图 2 所示。

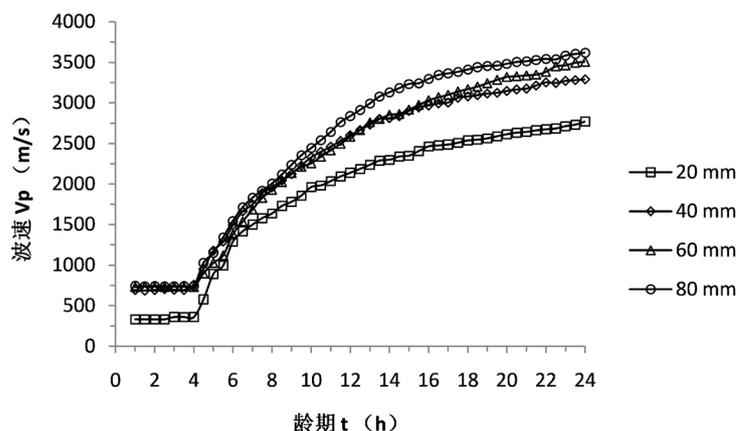


Figure 2. Ultrasonic wave velocity development at different ranging  
图 2. 不同测距时的超声波波速发展

T1~T4 试验的超声波初始声速分别为 333 m/s，693 m/s，730 m/s 和 742 m/s。可见后三者的超声波初

始声速差别不大,但 T5 试验则明显低于它们。考虑到四个试验所用砂浆及其搅拌方式、装填方式均相同,且试验过程中未发现异常,因此认为此过低初始声速为异常情况,这可能是探头间距过小,近场效应使得测试结果的可靠性降低。T7 试验首次测得的超声波信号的不清晰,难以判定首波,这是由于测距过长,超声波信号在新拌砂浆中受到水泥、砂等颗粒及气泡的散射、折射等影响较大所致。四个不同测距的试验容器具有相同截面积(约 200 cm<sup>2</sup>),则测距越大,其所用试验材料越多。试验容器中浆体越多则其内部集聚的热量越大,对水化进程的影响也越大。因此,在满足试验可靠性及信号清晰稳定的前提下,测距宜小较好。但测距不宜过小,否则装填浆体时操作不便。因此,测距优选 40 mm。

通过综合比较各条件下试验可靠性、信号清晰性及试验简便性,得出测试间距优选 40 mm,频率优选 54 kHz。

### 3.2. 凝结时间确定方法研究

采用最佳试验参数(54 kHz 频率和 40 mm 测距),分别以配合比 P2~P6 的砂浆为样品,对每个样品的凝结时间同步采用标准贯入阻力和超声透射法进行测试,结果如表 2 所示。

Table 2. Summary of setting time test result

表 2. 凝结时间测试结果汇总

试验编号	含气量/%	贯入阻力法测得 凝结时间/min	波速1400 m/s		波速增长起点	
			对应时间	与贯入阻力法误差 */min	对应时间	与贯入阻力法 误差*/min
U2	2.2	3 h 38 min	5 h 36 min	-118	3 h 45 min	+7
U8	2.4	1 h 48 min	3 h 7 min	+79	1 h 30 min	-18
U9	2.4	7 h 17 min	9 h 2 min	+105	7 h 30 min	+13
U10	2.1	11 h 48 min	15 h 36 min	+228	12 h 15 min	+27
U14	4.3	5 h 20 min	12 h 34 min	+434	5 h 30 min	+10
U15	7.8	6 h 23 min	18 h 3 min	+700	6 h 45 min	+22

\*“-”表示提前,“+”表示延缓。

有学者在研究超声透射法测试水泥净浆凝结时间时发现,超声波波速接近其在水中传播速度时(1400 m/s~1450 m/s)对应的时间可用来十分精确地确定水泥净浆的凝结时间[1]。表 2 同样列出了砂浆浆体其超声波波速在 1400 m/s 时对应时间,可见其与贯入阻力法测得凝结时间有较大差距,且分析发现,两者间拟合曲线的相关系数较小,无拟合意义。这表明,上述水泥净浆超声波凝结时间确定方法并不适用于砂浆浆体。

通过对比贯入法测得的凝结时间及波速曲线上波速增长起点对应的的时间,发现两者十分接近,误差在±30 min 范围内,考虑到贯入法的相对粗放性,可认为此差距较小。超声波波速与浆体固相体积分数密切相关,当超声波波速从相对平稳状态开始迅速增长,反映浆体内部开始形成固相框架体系,为超声波的传播提供便捷路径,此时也正好对于砂浆的凝结时间。因此,可用超声波波速增长起点对应的的时间来确定砂浆的凝结时间。

## 4. 结论

超声透射法可灵敏监测水泥基材料的水化过程,具有测试水泥基材料凝结时间的潜力。本课题以砂浆为研究对象,研究了超声透射法的参数设置和凝结时间的确定方法,得到以下结论:

- 1) 对于砂浆样品, 超声透射法的最佳设置参数是频率为 54 kHz, 测距为 40 mm;
- 2) 特定超声波声速对应的时间与贯入阻力法测得的凝结时间有较大差异, 不适用于超声透射法确定砂浆的凝结时间;
- 3) 超声波声速增长起点对应的时间与贯入阻力法测得的凝结时间十分接近, 可用于超声透射法确定砂浆的凝结时间。

## 参考文献

- [1] Trtnik, G., Turk, G., Kavcic, F. and Bosiljkov, V.B. (2008) Possibilities of Using the Ultrasonic Wave Transmission Method to Estimate Initial Setting Time of Cement Paste. *Cement and Concrete Research*, **38**, 1336-1342. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2008.08.003>
- [2] Ghoddousi, P., Javid, A.A.S., Sobhani, J. and Alamdari, A.Z. (2016) A New Method to Determine Initial Setting Time of Cement and Concrete Using Plate Test. *Materials and Structures*, **49**, 3135-3142. <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0709-0>
- [3] Hofmann, M.P., Nazhat, S.N., Gbureck, U. and Barralet, J.E. (2006) Real-Time of the Setting Reaction of Brushite-Forming Cement Using Isothermal Differential Scanning Calorimetry. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, **79B**, 360-364. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.30550>
- [4] Reinhardt, H.W. and Grosse, C.U. (2004) Continuous Monitoring of Setting and Hardening of Mortar and Concrete. *Construction and Building Materials*, **18**, 145-154. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2003.10.002>
- [5] Trtnik, G. and Gams, M. (2013) The Use of Frequency Spectrum of Ultrasonic P-Waves to Monitor the Setting Process of Cement Pastes. *Cement and Concrete Research*, **43**, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2012.10.002>

### 知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 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)