

# 超声波首波波幅差异与声时测量值的关系

童寿兴,伍根伙

(同济大学 先进土木工程材料教育部重点实验室,上海 200092)

**摘要:**研究了超声波首波波幅对声时测量值的影响程度。结果表明,采用模拟型超声检测仪,随着首波波幅的减小,声时值读数偏大,而且声时值偏长的程度随着首波波幅的缩小而增大。在平测法声时测量中,虽然随首波波幅的减小声时值读数同样偏大,但如在测距步进增大中仍采取等幅读数,时距回归得到的平测声速与首波设定的等幅波幅的取值无关;采用智能型超声检测仪,首波波幅在一定的范围内变动,声时读数重复性好,但首波波幅过大或过小时都会造成读数偏差。

**关键词:**超声波;检测;声时;首波波幅

中图分类号: TG115.28

文献标志码:A

文章编号:1000-6656(2010)05-0367-03

## The Relationship Between the Ultrasonic Head Wave Amplitude Difference and the Measured Sonic Time Value

TONG Shou-Xing, WU Gen-Huo

(Key Laboratory of Advanced Civil Engineering Materials Tongji University, Ministry of Education, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** This paper focuses on the purpose to find out the influence of ultrasonic head wave amplitude on measured sonic time value. With analog type ultrasonic detector, the sonic time value monitored leans towards higher when the ultrasonic head wave amplitude decreases. Furthermore, its degree of increase is higher while the head wave amplitude becomes narrower. In plane test method, the value likewise leans towards higher when the head ultrasonic wave decreases. However, the average measured speed of sonic wave obtained from the time-distance curve is not relevant to the constant set value of the head wave amplitude, adopting constant amplitude value in the increase of test distance step. With the intelligent ultrasonic detector, when the head wave amplitude changes in certain range, the duplication of sonic time reading is satisfactory, but either oversized amplitude or too undersized amplitude of head wave leads to reading deviation.

**Keywords:** Ultrasonic wave; Detection; Sonic time; Head wave amplitude

我国的超声波仪器的研制生产和推广应用经历了模拟型仪器、数字型仪器和智能型仪器三个阶段。目前使用的非金属超声波检测仪主要有模拟型超声仪以及智能型超声仪两类。混凝土超声波检测仪的基本任务是向待测的结构混凝土发射超声波脉冲,然后接收穿过混凝土的脉冲信号。仪器显示超声脉冲穿过混凝土所需的时间、接收信号的波形和波幅等。根据超声声时和测距,即可计算声速;根据波幅

的变化可得知超声脉冲穿越混凝土的能量衰减;根据所显示的波形,经适当处理后可得到接收信号的频谱等信息。

### 1 声时测量及读数精度

#### 1.1 模拟型超声仪

这类仪器一般都可显示波形,该波形为模拟信号,即时间和幅值均为连续变量。模拟型超声仪声时读数主要采用手动游标读,手动游标判读时调节首波幅度使之陡峭,越接近垂直其越易准确捕捉到真正的读数值;幅值较小时游标往往后移,以至声时读数偏大,因此在实际测读时,必须注意应尽可能

收稿日期:2009-07-12

作者简介:童寿兴(1952—),男,副教授,副所长,中国土木工程学会建设工程无损检测技术委员会副主任,专职从事混凝土非破损检测技术的教学和研究工作。

使接收信号的幅值调节到足够大,或调节到特定的某一个统一的高度再开始读数。若测距太长或混凝土质量较差导致衰减严重,或接收信号太弱时,振幅又不能达到特定的等幅,可增高发射电压、增大增益或掌握在幅值较低时起点的正确读法。模拟型超声仪要求声时的读数精度为  $0.1 \mu\text{s}$ ,实际声时读数误差主要取决于信号质量和操作者的水平。

## 1.2 智能型超声仪

随着超声检测技术的发展,将越来越多地运用信息处理技术,以便充分运用波形所携带的材料内部的各种信息,对被测混凝土结构作出更全面、可靠的判断。智能型超声仪具备数据的高速采集和传输、大容量的存储与处理、高速运算能力和配置各种应用软件等条件。智能型超声仪的声时判读方法以自动判读为主,声时自动判读技术通过计算机软件自动捕捉首波并确定首波起点,在停止采样后即可自动读取声时值并用光标显示出判读位置<sup>[1]</sup>。

智能型超声仪的判读方法基本上能保证对首波起始点的正确判定,读数精度对首波起始点的判定偏差 $<\pm 2$ 个采样点,对应的声时读数偏差则与采样频率相关。采样频率越高,相邻采样点时间间隔越短,则声时偏差越小。例如,当采样频率为 5 MHz,则相邻采样点时间间隔为  $0.2 \mu\text{s}$ ,当声时偏差为 2 个采样点时,声时读数偏差为  $0.4 \mu\text{s}$ ,若要达到模拟型超声仪可读精度  $0.1 \mu\text{s}$  的要求,则采样频率应为 20 MHz,但此时有些类型的智能型超声仪显示的波形将被拉宽,首波弯曲的弧度增大,其波幅较小时可能致使自动读数的较大误差。

## 2 波幅测量

### 2.1 首波的判定与捕捉

在混凝土声测技术中,首波到达时,首波波峰幅值是重要的参数,因此首先必须准确地判定并捕捉到首波。智能型超声仪设置了专用参数“基线控制线 Wn”,它是在基线上下的一对水平幅度线,距基线间距可调。其作用相当于将固定的关门电平变为可调,只要将 Wn 调至介于首波波幅与噪声之间,均可以快速准确地捕捉到首波。在此基础上,可以实现声时、幅度和主频等声参量的自动判读。

### 2.2 波幅测量

波幅直接反映了超声波传播过程中的衰减程度。在模拟型超声仪中,示波器中显示的模拟波形不能量化,只能采用等幅测量的方法,直读衰减器的

量值,一般动态范围为 80 dB,精度为  $\pm 0.5$  dB。智能型超声仪的分级增益放大与衰减相互配合,通过计算机可作闭环的自动调节,一般动态范围为 133 dB,加之屏幕显示的数字化波形样品的量化范围是 42 dB,波幅总的动态范围达 175 dB,单次采样的波列样品可以用波形文件格式存储,根据波形文件中记录的工作参数和全波列样品点的 LSB 值,可以很容易地计算出全波列所有样本的波幅(dB)值。在仪器、换能器、信号电缆以及发射电压保持不变的条件下,多次测量过程中的波幅值具有相互可比性。

## 3 试验仪器

试验采用 CTS-25 型模拟型超声仪和智博联 ZBL-U510 智能型超声仪。

## 4 波幅与声时测量值的关系

### 4.1 模拟型超声仪

以往的研究表明<sup>[2]</sup>,采用模拟型超声检测仪进行测试时,随着首波波幅的减小,会造成接收波起始点位置向声时延长的方向偏移,从而造成声时值读数偏大,而且声时值增长的程度随着首波波幅的不断缩小而增大。

### 4.2 智能型超声仪

#### 4.2.1 两只换能器直接耦合的检测

智博联 ZBL-U510 超声仪,换能器的频率为 50 kHz,用一对发、收换能器直接耦合对测。设置采样周期为  $0.4 \mu\text{s}$  和电压档为 500 V 时,测定并自动扣除“零读数”  $t_0 = 12.4 \mu\text{s}$ 。检测时均保持对换能器施加相同的压力和良好的耦合状态。在前述仪器参数下,试验步骤依次设置“采样周期”为  $0.4$ ,  $0.2$ ,  $0.1$  以及  $0.8 \mu\text{s}$  时,分别改变首波的幅度在 1 格、2 格、3 格、4 格、5 格、6 格以及 7 格时,其声时读数见表 1。

如表 1 所示,设置采样周期为  $0.4 \mu\text{s}$ (已扣除零读数  $t_0 = 12.4 \mu\text{s}$ ),当首波幅度为 2~6 格时,声时读数为  $0 \mu\text{s}$ ,首波幅度在 1 格和 7 格时,声时读数为

表 1 换能器直接对测时首波幅度与声时关系

采样周期 $\mu\text{s}$	不同首波幅度(格)时的声时读数/ $\mu\text{s}$						
	1 格	2 格	3 格	4 格	5 格	6 格	7 格
0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
0.2	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.8
0.1	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.3	-1.3
0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1.6

0.4  $\mu\text{s}$ ;此时依次改变采样周期为0.2和0.1  $\mu\text{s}$ 时,声时读数为负值;采样周期为0.8  $\mu\text{s}$ 时声时读数均为0.8的整数倍。除采样周期为0.4  $\mu\text{s}$ 以外的读数值均出现了不为0的误差,这可能和改变采样周期的同时未同时调正 $t_0$ 的读数有关。

#### 4.2.2 不同材料试样的检测

分别将两换能器对测圆柱体的标准棒、长方体混凝土试块和匀质环氧树脂试块。统一设置采样周期为0.4  $\mu\text{s}$ ,电压档置为500 V,零读数 $t_0=12.4\mu\text{s}$ 已经扣除,首波幅度不同时与声时的关系见表2。

表2 不同首波幅度对声时测量值的影响

试件品种	不同首波幅度(格)时的声时读数/ $\mu\text{s}$						
	1格	2格	3格	4格	5格	6格	7格
φ45 mm 标准棒	27.2	26.8	26.4	26.4	26.4	26.4	26.0
160 mm 混凝土试块	37.6	37.6	37.2	37.2	37.2	37.2	37.2
93 mm 环氧树脂	37.6	37.2	37.2	37.2	37.2	37.2	36.8
387 mm 环氧树脂	156.8	156.4	156.4	156.4	156.4	156.4	156.4

对于不同材质的声时检测,首波幅度越高(低)则声时读数值越小(大)。因为标准棒的标称测量值为26.3  $\mu\text{s}$ ,以此为标准,当首波幅度为3~6格时,视声时读数为正常。即首波幅度为1~2格时声时读数偏大、7格时声时读数值偏小,其读数误差为采样周期±0.4的倍数。

#### 4.2.3 单面平测法试验结果分析

采用模拟型超声仪平测法检测150 mm×150 mm×600 mm混凝土试件的声速值。平测时测距每步进50~300 mm,反复检测4次,每次的检测置首波幅度分别等幅为1,2,3和4 cm。如表3所示,由首波幅度的等幅幅值不同,所得的声时值明显存在差异的现象,这同样也是由于接收波起始点后移所引起的。但由于平测法声速的计算运用了最小二乘法(即一元线性回归直线的斜率即是声速值)来求得,将表3的数据经回归处理得直线方程: $L_4$

表3 单面平测法不同首波波幅试验结果

测距 /mm	不同首波幅度时的声时读数/ $\mu\text{s}$			
	4cm	3 cm	2 cm	1cm
50	15.0	15.1	15.3	15.7
100	26.1	26.2	26.5	27.0
150	37.0	37.3	37.4	38.0
200	49.6	49.8	50.0	50.8
250	59.6	59.8	60.0	60.6
300	73.6	73.7	73.8	74.1

$=-12.1+4.302t$ ;  $L_3=-12.7+4.301t$ ;  $L_2=-13.9+4.309t$ ;  $L_1=-16.2+4.310t$ 。 $(4.302, 4.301, 4.309$ 和 $4.310 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ )四个波幅对应的声速值都比较接近。因为平测法和对测法计算声速方法的区别,所以首波波幅对最终得到的声速值影响不大。在平测法的声时测量中,虽然随首波波幅的减小,声时值读数偏大,但如在测距步进增大时仍采取等幅读数,时距回归得到的平测声速与首波波幅的取值无关。

模拟型超声仪平测法检测混凝土的声速,不同首波波幅的检测结果其直线的斜率基本相同。在X,Y直角坐标系中,4条直线为截距不同的平行线。由此可见,为了得到正确的平测声速值,只须在测距步进增大的检测过程中,相对保持等幅读数即可,兼顾长测距波幅宜衰减,首波波幅取2或3 cm为宜。

## 5 结论

(1) 智能型超声仪开始检测前扣除零读数 $t_0$ 时,应同时相应设置采样周期和电压档。这些仪器设置的初始数值,在同一工程(试件)的检测中,不宜随意改变。一旦任意改变采样周期等设置,其零读数应重新测量设置,否则将会产生采样周期倍数的误差。

(2) 模拟型超声仪的声时读数与超声波首波的幅度取值有关。其规律为所测到的声时值随着首波波幅值的减小而增大。

(3) 智能型超声仪当首波幅度为2~5格时,超声声时的测量一般不会产生误差;当波幅太小,首波幅度<2格时声时读数不稳定,声时读数误差偏大;反之首波幅度>6~7格时,声时读数有偏小的倾向,容易产生和采样周期相应的误差。建议智能型超声仪取首波幅度3~5格时声时读数为宜。

(4) 与对测法相同,平测法随首波波幅减少声时值增大,虽然同一测距的声时值随着首波波幅的不同取值而变化,但由于平测法采用时距法回归计算声速值,如当测距步进增大时仍采取等幅检测,首波波幅等幅取值不同的检测所得的声速值、即一元线性回归求各点的平均斜率,并没有明显差异。

## 参考文献:

- [1] 林维正.土木工程质量无损检测技术[M].北京:中国电力出版社,2008:36~38.
- [2] 吴慧敏.结构混凝土现场检测技术[M].长沙:湖南大学出版社,1988:65~66.