

混凝土公路路面的超声测厚

董胜林 严碧歌

(陕西师大应用声学研究所)

1989年1月4日收到

本文讨论了在混凝土公路路面的超声测厚中所遇到的有关问题及解决方法,研制了实验用的换能器及测试电路,通过实验取得比较满意的结果

一、引言

本文应用超声波脉冲反射原理对混凝土公路路面厚度进行了快速无损测量。对实测过程中出现的问题进行了分析研究,研制出实用的换能器及电子设备,通过实测得到了验证。为进一步研究新型实用超声高速公路路面厚度检测设备提供了依据。

二、原理

如图1所示, T 为发射探头, R 为接收探头, L 为两探头之间距离, D 为待测厚度。

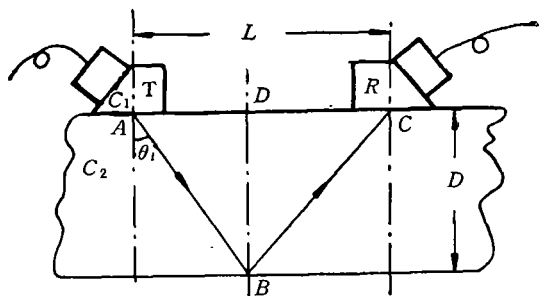


图1 测厚原理图

当超声波由发射探头以一固定声束向待测件深处传播,然后又从待测件底面反射回来由接收探头接收所用时间为 t , 待测混凝土中声速为 C_2 , 则有:

$$AB = C_2 \frac{t}{2} \quad (1)$$

假定 θ_i 为入射角, C_1 为有机玻璃楔形块中声速, θ_r 为混凝土中折射角, 由斯奈尔定律有:

$$C_2 = \frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_r} \cdot C_1$$

由几何关系可得:

$$D = \sqrt{\frac{t}{2} \cdot \frac{C_1}{\sin \theta_i} \cdot \frac{L}{2} - \left(\frac{L}{2}\right)^2} \quad (2)$$

由式②可知: C_1 、 θ_i 均为已知条件, 只须测出两探头之间距离 L 及波在混凝土中传播时间 t 即可由式②求出待测厚度 D , 关键问题是如何精确测量出 t 值来。

三、混凝土路面超声测厚中的两个问题

根据混凝土路面的结构特性, 通过实验分析, 现讨论下述两个问题:

1. 换能器最佳频率的选择^[1]

超声波在混凝土中传播时, 振幅随距离减小的主要原因是声束的发散和散射衰减, 在较近距离时则以声束的发散最为重要。因路面厚度不致超过 30cm, 所以为了提高接收信号幅度及提高探测精度, 必须使换能器的发散角 α 尽可能减小。由 $\alpha = \sin^{-1} 1.22\lambda/\Phi$ 可知, 发散角是波长 λ 和晶片直径 Φ 的函数, 要减小 α 应减

小 λ 和增大 Φ 。换能器的直径不可能太大, 否则将失去实用意义, 如取 Φ 为 10cm, 则为使 α 不致太大, 波长 λ 应不大于 6cm, 按混凝土中的声速为 4500m/s 计算, 频率的最低值为 75kHz。另一方面, 混凝土中最大石子粒径不超过 6cm, 最小石块粒径为 1.5cm, 且这种小粒的石块数量较多而分布均匀, 若取平均直径为 2cm, 并为了使散射衰减不致太大而按波长不应小于 2cm 计算, 则对应的最高频率为 225kHz。通过实验分析, 最后选定换能器最佳频率为 200kHz, 并选定换能器的直径为 13cm, 其电阻抗的实测值为 860 Ω 。

2. 探头入射角的选择

选定探头入射角的依据主要有两点。由图 2 可知, 当 $\beta = 90^\circ$ 时, 则在混凝土中无纵波存在, 令此时入射角 α 为 α_1 , 因有机玻璃中的声速 C_{L1} 为约 2640m/s, 则:

$$\sin \alpha_1 = \frac{C_{L1}}{C_{L2}} = \frac{2640}{4500} = 0.59$$

$$\alpha_1 = 36^\circ$$

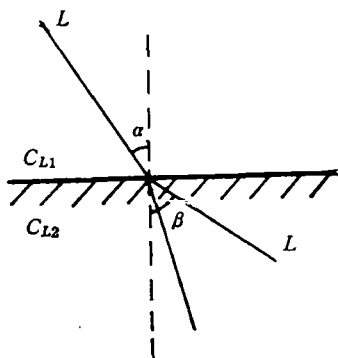


图 2 入射与折射角关系

我们在混凝土中应用纵波, 因而入射角不能大于 36° 。对于声波在混凝土与路面底层 (砂土层) 界面反射状态, 由于两介质中声阻抗相差不太大, 因而必然有部分声能损失于砂土层中。

其次, 对于探头入射角选择还应根据不同路面的厚度而定。如图 3 所示, 设路面厚度取 30cm。为了尽量减少声波在混凝土中传播的声程, 设测量时两探头之间的距离不超过 50cm, 如果距离正为 50cm, 则由图 3 可知

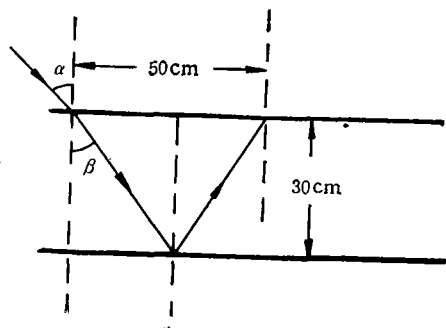


图 3 入射角与探头间距关系

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{25}{30} = 0.83$$

$$\beta = 39.8^\circ$$

这样:

$$\sin \alpha = \frac{C_1}{C_2} \sin 39.8^\circ = 0.375$$

$$\alpha = 22^\circ$$

因而, 角 α 应小于 22° 。为了尽可能减少超声波在混凝土中经过的路径, 在本检测设备中选用入射角 $\alpha = 15^\circ$ 。

四、电路原理^[1]

在原理图 4 中, 200kHz 晶体振荡器除作为计数脉冲源外, 又经 10^4 分频产生 20Hz 的同步脉冲, 加至高压发射电路, 产生发射脉冲送至换能器向待测介质辐射超声脉冲, 由界面反射回波加至接收放大电路, 放大后的信号经逻辑电路的不同工作方式进行相应的信号处理后, 才能得到待测路面的厚度方波, 这一方波经时间放大开关电路进行时间放大, 由放大后的厚度方波和 200kHz 计数振荡器讯号同时加入计数脉冲门控电路, 产生门控计数脉冲, 加至显示电路直接显示出厚度值。由于采用倒同步技术, 用 200kHz 晶振作计数频率, 加以 10^4 分频, 产生 20Hz 同步脉冲, 再去控制发射电路, 这就解决了晶振难以靠外同步精确锁相问题, 保证了检测精度。

设计中采用时间放大电路, 即取出一个厚度方波后, 按一定倍率加以扩展, 然后用较低频

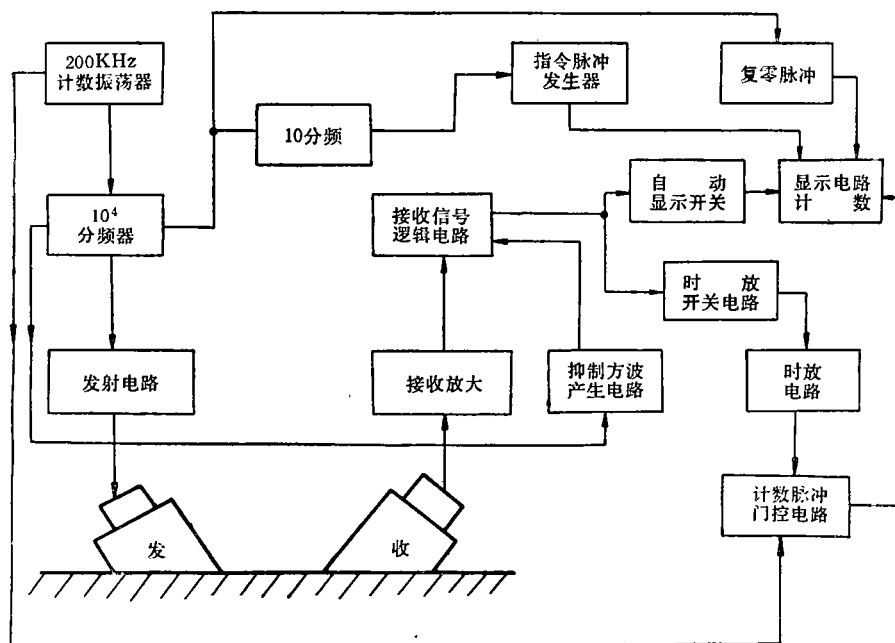


图 4 超声混凝土路面厚度检测原理图

率的计数脉冲进行计数, 输入的厚度方波控制电子开关, 使其在脉宽期间打开, 对电容快速充电, 待厚度方波过去后, 进行慢速放电, 从而使电容上形成一个三角波, 其宽度正比于输入方波, 再经三角波-方波转换, 则输出放大一定倍数的厚度方波。

时间放大器的关键,一是线性要好,使输出与输入完全成线性正比关系。要求恒流充放电,而一般 RC 电路充放电是指数关系,是非线性的,只有恒流源充放电才能实现线性关系。二是对于温度漂移,采用了充电与放电温漂相抵消的方法来防止温漂所产生的误差。

五、实测结果和讨论

经过对所选探头参数(直径 13cm, 入射角 15°)进行探头的加工研制后, 与实验电路进行匹配, 即构成了混凝土公路路面厚度的超声无损测量设备。曾分别对同一种混凝土的两种不同厚度的试件进行实测。由于在换能器设计中抑制了其它波型, 只有纵波产生。至于在界面处出现波型转换, 我们在测试过程中, 改变收、

发两换能器之间距离,由接收幅度和时间上来确定反射的纵波信号,并由试件实测进行了验证.其测试结果见表 1,实验中用黄凡士林油作耦合剂.表中, D_0 是试件的厚度值, L_m 是测试时两头间距离, t_m 是声波在混凝土中传播时间, D_m 是实测试件厚度值.

表 1 测试结果

D_o	L_m	τ_m	D_m
16 cm	9.0 cm	$73\mu s$	15.8 cm
30 cm	16.0 cm	$137\mu s$	29.8 cm

由于试块很少,上述测试结果还不能说明这种实验设备的测厚精度究竟是多少,但至少说明这种测厚设备的换能器和电子线路,能够提供厚度信息,为进一步研制新型实用的超声路面测厚设备提供了依据.

参考文献

- [1] Hugh Mailer, *British Journal of NDT*, 1(1986), 20.