第二章 混凝土超声波无损检测

2.1 超声波混凝土检测方法原理

2.1.1 混凝土中超声波传播的特点

混凝土是由水泥石、砂、碎石或卵石以及充水或空气的孔隙等部分构成的多相凝聚体。这些组成物具有不同的声阻抗，使弹性波在混凝土中传播能量衰减比相同声径的金属材料中的传播能量衰减大得多。这是混凝土中超声波传播的特点之一。其次是弹性波在混凝土中传播的方向性较差。

声能衰减有三个方面的原因：

(1) 散射衰减：由于混凝土的组成物几何尺寸的差异，小至几μm 的未水化水泥颗粒，大到 5~40mm 的粗骨料，存在在组成部分界面上的反射、折射现象，使弹性波发生不规则的散射；另一方面，这些颗粒各具有固有频率。当各种频率成分的弹性波通过混凝土介质时，相应自振频率的各种颗粒便产生共振，形成新的球面波源使超声波的能量不断减弱。散射衰减与散射颗粒的形状、尺寸、数量和性质有关，其过程是很复杂的。通常认为，当颗粒的尺寸远小于波长时，散射衰减系数与频率的四次方成正比；当颗粒的尺寸远与波长相近时，散射衰减系数与频率平方成正比。

（2）扩散衰减：通常的声波辐射器（发射换能器）发出的超声波束都有一定的扩散角。因波束的扩散，声波能量逐渐分散，从而使单位面积的能量随传播距离的增加而减弱。声波的声压和声强均随距声源距离的增加而减弱。在混凝土超声检测中所采用的低频超声波，其扩散角很大。当超声波传播一定距离后，在混凝土中的超声波已近于球面波。远距离声源的球面波的声压与至声源的距离 r 成反比，即 r 越大，声压越小。

（3）吸收衰减：在弹性波传播的过程，由于混凝土质点间产生相对运动、互相摩檫（即粘滞性）和热传导引起的衰减，它由于质点间产生相对运动、互相摩檫，使部分超声波能量转为热能，通过混凝土和钢筋的热传导，热能向周围传播，导致超声波能量的损失。介质的这种衰减称为吸收衰减，以吸收衰减系数来表示。通常认为，吸收衰减系数与超声波频率的一次方，频率的平方成正比。

如果提高超声波在混凝土中传播的距离，除增大发射功率之外，必须采用较低频率的超声波，因为当波长大于混凝土中骨料粒径或孔隙时，它能绕过颗粒或空隙继续前进，减小因散射的能量衰减。

弹性波在混凝土中传播的方向性较差，原因共有下列三点：

(1) 超声波束的扩散角与频率成反比。在混凝土中往往采用较低的频率（40~100kHz）的超声波，因而波束的扩散角增大。

(2)在骨料与水泥石的界面，以及其它声阻抗发生变化的界面上超声波被反射，这种反射往往是杂乱的，因而使入射波束向周围散射，降低了束射的方向性。

(3)混凝土中颗粒的几何尺寸大小不一，它们的固有频率几乎是一个连续的波谱，因而任何入射波的频率都可能激起某种颗粒的共振，可以说在混凝土中颗粒的共振现象几乎是经常存在的。由于发生共振的颗粒向四周射出球面波，使入射波束的传播方向大为混杂而降低了束射方向性。

由于超声波在混凝土中传播的方向性差和能量衰减大，因而，混凝土的检测一般不采用反射法，通常采用低频的绕射法。

混凝土缺陷的探测频率选择，应兼顾穿透的测距和检测灵敏度。若采用较低频率的超声波检测，能量衰减小，穿透的距离长。但由于波长长，传播的方向性下降，在绕射的过程中，检测的灵敏度将有所下降；若采用较高频率的超声波检测，超声波波长短而传播的方向性较好，检测的灵敏度将相应提高，但由于能量衰减大，所以探测的距离短。

于是，混凝土缺陷的超声波检测的频率选择，在保证接受到明晰的探测信号的前提下，选取较高的探测频率则可以提高检测的灵敏度。混凝土材料的超声波检测的频率一般采用 50~200kHz，最适用的频率为 25～100kHz.

2.1.2.检测的方法

混凝土缺陷是指因技术管理不善和施工疏忽，造成结构混凝土内部存在空洞、疏松、施工缝，或由于工艺违章、配料错误造成的低强度区；严重的分离离析造成组织构造的不均匀性；使用过程产生裂隙以及化学侵蚀、冻害、火烧的损坏层等。混凝土缺陷的超声波检测系统如图 2—1 所示。发射的电声换能器将来自脉冲发生器的触发电信号转换成机械振荡的低频超声波。通过声耦合层进入试体，接受的电声换能器则将传来的超声纵波（诸型波中纵波传播的速度最快）转换为电脉冲信号，经放大后在示波屏上显示出接受信号的波形。示波屏上发射脉冲至信号首波起始点的时间标度，即为超声脉冲在试体中通过距离 L 的传播时间，以微秒（μs）为单位（$1\mu s=10^{-6}s$），首波的幅度高低与被测材料的性能、密实度和穿透的距离有密切的关系。

硬化的混凝土中如果存在缺陷，超声波脉冲通过该介质传播的声速比相同材料通条件下的无缺陷混凝土的传播的时间要大（即声速要小），能量衰减大，接受信号的波形平缓甚至发生畸变，而且接受信号的主频也发生变化，综合这些声学参量，则可评定混凝土的质量情况。

2.1.3．构混凝土缺陷的声时—振幅—波形综合分析方法。

用超声波检测混凝土缺陷时，声时、振幅和波形等超声参量的变化与结构混凝土的密实度、均匀性和局部缺陷的状况有密切关系。用上述的超声参量作