第一章 绪论

1.1 超声波在混凝土无损检测的进展

混凝土超声检测是混凝土非破损检测技术中的一个重要方面。目前所采用的这种超声脉冲法是始于 40 年代后期。1949 年，加拿大的莱斯利（Leslide）、切斯曼（Cheesman）和英国的琼斯（Jons）、加特费尔德（Gatfield）首先把超声检测技术用于结构混凝土的检测，开创了混凝土超声检测这一新领域。近三十年来，国外采用超声波检测混凝土质量得到了快速的发展。表现在国际学术交流十分频繁。先后在美国、法国、加拿大、罗马尼亚、保加利亚、德国和前苏联召开过“国际非金属材料无损检测发展讨论会”。1979 年在瑞典召开了第五届应用无损方法检测混凝土质量国际会议，近十年来，第 7、8、9 届国际无损检测会议的召开，这方面的论文增加很快。接着随着这一技术的发展，已成立了国际间学术专业组织。如在国际材料和结构实验室联合会下设置了“非金属无损试验委员会”。美国、英国、罗马尼亚、前苏联、比利时等国纷纷制定了超声法检测混凝土质量规范、规程、标准、指标等。现在国外趋向于将这种无损检测技术作为衡量一国建筑测试水平的重要标志之一。

我国自 50 年代开始开展这项技术的研究，在 60 年代初即已应用于工程检测。随后试制生产了国产超声仪。我国在 1976—1977 年全国工程建设科学技术发展计划中制定了“混凝土强度和缺陷非破损检验技术” 专项计划之后，1978 年原国家建工总局又下达了“混凝土质量非破损检验技术研究”的任务。在统一计划按排下，有建工、水电、交通部门的有关科研、设计施工、高等院校等单位陆续开展了混凝土质量非破损研究工作，并已取得了一定的科研成果，同时在工程检测中得到了推广应用，技术经济效果比较好。为了更好地交流和推广这项新技术，已在全国建筑施工学术委员下成立“混凝土质量控制与检测学组”。1980 年在湘潭市召开了中国应用声学学会岩体、混凝土声波检测学术会议，共有 100 多个单位 120 多名代表参加，收到论文 68 篇[1]。85 年 12 月在成都召开了学组年会，几年来多次召开了学术交流会，同时进行了技术交流，共收到学术论文与交流资料 59 篇，其中有数据处理、统计方法、信号处理等。对提高混凝土检测技术与控制混凝土质量具有指导意义[2]。近十年多来，发展尤为快速。混凝土超声检测技术已应用到建筑、水电、交通、铁道各类工程中。检测的应用范围和应用深度也不断扩大，从地面上部结构的检测发展到地下结构的检测；从一般小构件的检测发展到大体积混凝土的检测；从单一测强发展到测强、测裂缝、测缺陷、测破坏层厚度、弹性参数的全面检测；检测距离从 50 年代的 1m 发展到能探测 20m 的混凝土。

1.2 超声波检测方法发展史

当声波频率超过20kHz时，人耳就听不到了，这种声波就叫超声波。超声波无损检测技术基本原理是用人工的方法在被测材料或结构中激发出一定频率的弹性波，然后以各种不同的频率在材料或结构内部传播并通过仪器接收。通过分析研究所接收的信号，就可了解材料与结构的力学特性和缺陷分布情况。信号中包含了传播的时间（或速度），振幅和频率等。和其他的均匀介质不同,混凝土是一种多相复合体。从宏观上看,为非单相非均匀介质的多孔结构;从力学特性看,是一种弹-粘-塑性体,各相之间有较大的声阻抗差异并存在许多声学介面,所以超声波在其中传播(即透射)时会有较强的反射、散射、吸收和波形畸变等一系列声学现象。对不同的物质性态,其声学现象具有不同的特点。再因为超声脉冲波传播速度的快慢，与混凝土的密实度有直接关系。当有空洞或裂缝存在时，便破坏了混凝土的整体性，超声脉冲波只能绕过或裂缝传播到接收换能器，因此传播的路程增大，测得的声时必然偏大或声速降低。再由于空气的声阻抗率远小于混凝土的声阻抗率，脉冲波在混凝土中的传播时，遇着蜂窝、空洞或裂缝等缺陷，便在缺陷界面发生反射和散射，声能被衰减，其中频率较高的成分衰减更快，因此接收信号的波幅明显降低，频率明显减小或者频率谱中的高频成分明显减小。再者经缺陷反射或绕射缺陷传播的脉冲信号与直达波信号之间存在声程和相位差，叠加后互相干扰，致使接收信号的波形发生畸变。所以说信号仿佛是混凝土内部特性信息的载体,将混凝土内部的材料性质、缺陷、结构等信息传递到物体表面。将接收信号中所携带的信息提取出来,进行反演分析,这就是超声波探测缺陷的全过程。用超声波检测混凝土缺陷时,声时、振幅和频率等超声参量就是我们所要提取的信息,因这些信息的变化与混凝土的密实度、均匀性和局部缺陷的状况有密切的关系,用上述的超声参量作为判断混凝土质量的依据。

超声波无损检测有反射法和透射法。反射法由于探测的深度有限，一般只有几厘米或几十厘米，再加上由于过分的追求单一脉冲信号，于是对采样的原始信号进行过分的加工处理反而使缺陷信号不能正确识别，所以反射法一般用于浅裂缝的检测，表面损伤层的检测，浅层厚度的检测、大口径井径及井斜测试等。但近年来已在克服这些困难取得了一些进展，其一方面研制短余振换能器和组合式换能器，以增强缺陷反射信号及其清晰度，另一方面采用信息处理技术，从繁杂的信号中检出缺陷反射信号。由于透射法的接收信号覆盖面广，处理简单，处理后的信号能很好的反映混凝土的内部的情况，它广泛应用各种领域，但增加了检测工作量，对扩径缺陷及轻微缩径无法判断是其不足之处。本文研究都是以透射式检测为基础。

在混凝土缺陷的无损检测中，通常都根据所接收的信号中的物理量，如声时、振幅和频率、波形、辐射阴影区等超声参量，进行定性的或经验性的判断。这种方法受人的经验因素影响很大，而且也不利于检测的自动化、高速化和智能化，

显然已不适应现代工程检测需要。通过近年来的发展，判断从单一的参数向多因数发展；从定性的或经验性的判断向定量化发展。但基本上是两个方面：其一是采用数值判断，其二是采用信号处理技术。

数值判断，就是根据检测的参数，用适当的数字处理方式，得出一个简明也能判定缺陷存在与否的量值，该量值可作为缺陷判断的普遍适用的依据。由于混凝土存在缺陷,使声时、振幅和频率等超声参量发生变化,但因混凝土材料的不均匀性和施工中不可避免的随机偏差,使构件各处的密实度、强度存在着一定的波动和离散,反映在检测的声学参量上也将是离散的。而符合质量保证率的条件下,这种波动和离散是允许的,不应该当作缺陷来处理,故必须有一个判断混凝土缺陷的标准,这就是概率法。在有一些情况下，概率法不能很好的解决问题，从而湖南大学的吴慧敏提出了“PSD 判别法”。在“概率法”和“PSD 判别法”基础上陈如桂研究了“逆概率解析法”，从而能在有干扰的背景下，分离有用的强弱异常，进一步克服了传统方法中错判和漏判缺陷的缺点。以上都以单一的声学信号判断，但由于混凝土中骨料状况及其分布的随机性,它又是多相的凝聚体和具有弹、粘、塑性的非均质材料,在正常的情况下,这些特性可使单一的某些超声参量的测试值产生波动,一般来说,声速主要反映混凝土的弹性性质,波幅主要反映混凝土的塑性性质。又由于混凝土中粗骨料分布可能不均匀,在声通路上粗骨料较多的情况下,测得的声速偏大,但声能的衰减增大,测得的波幅偏小[3]。因此,在混凝土缺陷的判断中,采用诸超声参量综合分析混凝土的缺陷性质和范围,无疑比单一指标的分析更为合理和有效，从而提出了“多因素概率法（NFP 判别）”。但该综合概率法计算复杂,且对波幅、波频率等参数测量效率较低,难以得到准确的数值,所以此法在实际工作中受到限制。除非对特殊的情况才采取此法进行辅助诊断。多因素概率法虽然综和了三个因素，但对三个因素在判断中的权数分配未予充分考虑。容易造成误判。从而湖南大学就提出“多因素模糊综合判据”。随着缺陷判断理论和实践深化，将会有更多的判据形式出现。

信号处理技术与数值判别不同的，信号处理技术则指检测所获取的信号的变换、分离、滤波、谱分析、存贮、记录等方面的技术。早期的应用运用比较原始，就是利用接收的波形进行缺陷分析。但由于影响的因素很多，很难简单的直接从波形上做出判断。后来又提出了直接在接收波形上测读频率或直接通过波形观察出相位和频率变化点，用以分析一次振源波及二次振源波的叠加信号，作为缺陷判断的依据。近年来计算机在无损检测中已大量运用，因而为进行信息处理打下了基础。一个复杂的周期振动波形可用傅立叶级数分解为许多谐波分量，而每一个谐波分量可由其振幅和相位来表征。各次谐波按其频率高低依次排列成为谱状，这样排列的各次谐波的总体称为频谱。有相位谱、幅度谱和功率（能量）谱。通过频谱分析可以得知超声波信号中的各个频率成分和频率分布的范围；还可得

到振动参量各个频率成分的幅值分布、相位谱和能量分布，从而得到主要幅度、相位和能量分布的频率值。功率（能量）谱密度分析已用于超声脉冲检测，但是国内的文献不多,处于初级阶段，有一定的研究价值。本文对这方面进行了简单的研究。

1.3 本文研究内容及意义

现在国内国外已经出版了几本专著。其中比较著名的为英国的 R 琼斯和罗马尼亚的 I 佛格瓦洛著《混凝土非破损试验法》[3]和李为杜编著《混凝土无损检测技术》[2]以及国家建筑工程质量监督中心主编《混凝土无损检测技术》[4]。本文在这几本书的基础上，进行了大量的文献调研，综合了许多零星的有关资料，主要对超声波的传播以及衰减进行一定的理解以及通过对试块实验来分析和论证数值处理方法。接着简单的尝试在模拟混凝土试块中利用 FFT 频谱分析，进行正演研究，来与有缺陷的桩对比，建立频谱与缺陷的关系，使通常的波形量值化，以达到研究的目的。最后利用高级语言 MATLAB 对实际工作中桩基的检测存在的问题进行处理，很好的排除了检测中发生的漏判、误判、重判、轻判等现象。