

关于测井中若干声学问题研究的探讨

冯绍松 杭汝衡

(中国科学院声学研究所)

作为测井技术中的一个重要组成部分, 声波测井近年来国外在理论研究、新方法使用以及资料解释方面有较快的发展。国内关于这方面的研究, 亦已经有了很大的发展。不论在生产应用上还是在理论研究和新方法探讨中, 关于将来进展的趋势和目前状况的分析, 都是值得探讨的。当然, 这里仅就有关声学的问题谈谈几点看法, 作为提出来与大家共同探讨的题目。

一、超声测井技术从出现到应用于生产中去已30多年。是否可以说, 虽然在生产上发挥了很大的作用, 有很好的效果, 然而在理论的分析上, 却是远没有达到令人满意的程度。正因为如此, 由于理论上工作落后, 从而严重地约束了超声测井在生产应用上发挥更大的作用。例如在固井质量检查中, 仅仅利用首波的信息, 对第一界面的胶结质量判断无论在准确性上和可靠性上, 还存在着很大的不足。有一些问题例如第二界面固井质量问题, 则处于完全无法解决的状态。情况之所以如此, 是因为在井中声波传播的情况十分复杂, 理论上的研究没有十分深透的缘故。电子计算机的应用, 为理论研究提供了有力的工具。利用计算机就可以在井下多种介质, 多层界面及管状几何尺寸的条件下求出满足边界条件的波动方程数值解。例如Chuen Hon Cheng等人的工作(Geophysic, V46, N7 (1981))就是利用计算机求解了井下复杂的弹性介质系统的波场行

为。得到对测具存在作为边界条件的变化对声场产生的影响, 是以前没有人也没有办法解决的问题。这对实际测具设计具有很大的价值。因为在极为复杂的声学环境里只有计算机同理论模型相结合, 才能得出正确的声场描写。这是以简化的或单一的模型, 或者一般的滑行或反射的概念来考虑所不能达到的。

当然, 技术上的进步与发展, 反过来会促使理论研究的深入。近年国外出现所谓长源距数字声波测井, 它可以接收较深的全波波列记录, 从而提取纵波和横波的速度, 克服井眼影响的效果较好。从声学的观点来看, 这相当于增加声场空间相干性的检测, 从而提供更为细致的声场结构特征。这与水声工程中所谓布阵方法相类似。作为一种信号处理方式, 会提高测量系统的检测能力。

二、从国际上近年研究的趋向来看。在加强声测井与勘探、钻井之间综合研究与应用方面, 取得了可喜的成就, 研究集中在声阻抗地震剖面同声阻抗测井相结合的应用方面。由声阻抗测井曲线得出反射系数曲线以及经过子波褶积处理, 获得所谓合成地震记录, 反之通过地震道记录经过反褶积处理建立合成地震测井曲线或类似声阻抗测井曲线。因为地震道不可避免存在着干扰噪声与及子波畸变, 所以通过反演技术对数据的可解释性带来很大的改进。使井筒资料同地震资料互相适当的匹配和结合, 这对研究沉积环境, 评价生

油与储油层，计算储量和预测油气勘探远景等都会有重要的意义，测井资料可以扩大在地质方面的应用范围。再用计算机处理的解释结果，结合岩芯资料，测压资料及地质知识。储集层模拟技术，能对储集层的岩石物性，其生产潜力和特性有更好的了解，在钻井设计中预测异常压力，利用测井或泥浆泵井资料进行检测，在孔隙压力呈梯度增高的场合，结合地震资料，通过以反射时间对应叠加速度绘制的散射图（Scattergram）来预测高压页岩，这种技术在某些地区应用表明是有益的，当然还要对应用地区进行系统调查。这展现了测井技术及资料应用的新前景。

在这里，从声场的角度来看，地震道记录表现出来的反射系数曲线，实际上是散射场的有效反射系数的概念，地层界面的大尺度不平整性如倾斜褶皱，还有粗糙性如砂石的不规则形状起伏等使声波传播现象十分复杂，而测井资料中对于井筒下地层表面的不平整性引起的影响也是不予考虑的。因此，改进这种技术的一个方面，还是在于对地层声波传播时形成声场在时间和空间上的结构分析。通过声场分析，求取地质参数，这就是所谓的声学反演方法。

所谓声学反演方法，也就是在寻找石油和天然气过程中使用地震方法，这种技术属于回声技术，回声技术的目的是在不破坏待探查介质内部结构的情况下了解具体结构的信息。声波是唯一能对地面以下的地层、海底的地层以及人体器官和组织以及金属材料等介质进行探测和评价的工具。

利用回声技术的基本物理图象是声波在不同介质交界面上的散射或反射，根据接收到的散射波或反射波来获知散射体或

反射体特性的信息。实质上是求解散射场的逆问题，众所周知，工程方面的大量问题已经成功地通过求解逆问题的方法作出了分析，物理学中为了从实验数据中估计介质的特征，在其各个分支领域中发展了这种方法。显然，从原则上讲，一个领域中适用的方法可以运用到其它领域中去。

例如地球物理学中目前已把反演方法应用于地震勘探。方法的实质就是运用波动方程式的偏移，把不同位置处震源所产生的地震脉冲到达时间来反演地层结构，这种对波动方程式的偏移可看作是频率域的空间褶积过程。地震垂直剖面是标量方法的一种推广，可以看作是反射和折射地震学的反演解。

三、当前有人认为，现代医学上和非破坏性测试上已经成功地使用的图象重现技术，必将在地震技术上得到应用，我们认为在测井技术中同样存在应用的可能性，并且将导致新的巨大进展。

在医学成象领域内，反演的方向始终起着越来越显著的和重要的作用。X射线计算机重建断层技术（X—CT）就是反演方法的一个重要成果。此外超声成象亦是如此。目前反演方法在医疗诊断中发展迅速。其所需成象程序从数学上来讲是波在强非均匀介质中传播的逆问题。类似的进步在超声检测技术中同样在发展。目前已经不仅是检测有无疵点而是要求转测出疵点的形状大小和取向等。这些参数无疑对评价材料的寿命起着决定性的作用。

超声测井是声学技术在测井中的具体应用，毫无异议超声成象或超声检测中发展起来的技术可以用于超声测井。测出井壁的不均匀性大小，范围、形状和取向以及声阻抗变化的大小等，这是声学反演方法在超声测井中的应用效果。

声学反演方法在超声测井中的应用，从物理上讲就是超声在不均匀体上的散射问题的反演。换言之即散射的逆问题。所谓逆问题，迄今为止尽管已经作过若干描述，但尚无为人们普遍接受的定义。这里就主要的区别说一下。

所谓正问题系指已知散射体的大小，形成和组成物质的参数以及与入射场的几何关系求出整个频段内或时域中各处的散射场；而逆问题则是根据入射场和由之产生的散射场数据来重建未知散射体的大小，形状和物质参数。显然，由于界面条件和组成关系的复杂性，严格地普遍适用的逆散射理论看来还有不少困难，因此利用近似分析方法和简化物理模型将是一种有效的办法。

若要予以重建的目标的形状为任意形式的情况下，大致有若干种逆散射算法。例如，所谓严格的逆散射理论（EIS），物理光学远场逆散射（POFFIS），Born近似法，不随频率变化的远场逆散射（FIFFIS），合成孔径聚焦技术（SAFT），多频全息术（MFH），瑞利—索末菲全息术（R—SHOL）等，这都需要录取合成孔径下的数据。另一方面在收—发合置或收发分置的简单方式下，则要求对散射进行瞬态激发，这样对接收信号经数学处理估算到达时间（脉冲后续响应技术（SIM））或相应的谱共振，从中选取确与散射几何关系有关的特征。

四、从声学方法上来说，超声测井近年出现了一种新的形式，如果说原来一直使用的方法是从声源造成入射场，然后接

收散射场的声学反演方法称为主动方式的话，那么新的噪声测井技术可以称为被动式的测井。被动式声探测的应用，在许多领域中均已经得到广泛的应用。例如材料检测中的“声发”检测，用来确定材料裂缝，缺陷的位置；在机械制造中的所谓“声学诊断”，根据齿轮，传动轴等发声的异常来判断故障及其位置，在水声学中被动声呐就是依靠对海中艇船或生物群发出的噪声来进行检测和定位的。近年来，通过监听海洋下的噪声，也以预报和估计出海面的风速和气象。在井下由于各种原因，例如井管裂缝，高压地层的空隙存在等，都会产生噪声，这些噪声源就是噪声测井的探测对象，例如当井管有裂纹产生漏失时，就能根据噪声听测确定漏失的层位，漏失量和漏失流体的类型等。

要提高噪声测井的应用范围，研究地层的结构以及其可能产生噪声的机理是首要的问题。从物理上来看，这时所要检测的对象包括了源和场在内。这就需要建立一些物理模型。因为噪声源物理模型及参数的确定，直接表现在对测量结果的分析 and 有用信息的提取上面。例如。如果高压流体经裂孔喷射时产生的幅射噪声，就可以用 Lighthill 的四偶极子源来描述。从而可以计算噪声的声级和频谱，作为测量资料分析的对比，

此外，噪声检测的信号处理方法在水声学 and 空气声学中已经发展得比较有成效，如谱分析技术，等等，是可以在噪声测井中加以借鉴 and 应用的。