

井孔声学研究和声波测井技术的发展 ——《井孔的声场和波》评述

声波测井是井孔地球物理勘探(或称地球物理测井)的重要分支,已经广泛应用于金属矿井、煤矿井、石油天然气井地层剖面的岩性识别、产层认定与评价及储量计算,还应用于各类井的工程质量评价,在矿产资源的勘探开发中有重要作用。

声波测井的物理基础是岩石声学性质的研究。20 世纪 50 年代, M.A.Biot 提出了在孔隙介质中建立波动方程,以后发展了求解方法并展望了应用前景,将声学研究扩展到有孔隙、多相态的介质中去,发展成为孔隙介质声学;70 年代发展了在井孔中、圆柱状分层介质中建立各种声场的物理模型的方法,据此提出了相关的本构方程的建立方法、解析解法和数值解方法,特别是 80 年代以后,随计算机技术发展,将有限元法和有限差分法应用于井孔声场的数值模拟,使声波测井的理论研究成为应用地球物理学中一个活跃的分支。同期,声波测井技术也有明显的发展:声源从简单的单极子源发展到偶极子和多极子源,从使用单一频率的声波信号发展到使用多种频率的声波信号,井下声波信号的接收也发展成多个声学探头的阵列接收。

由于从事声波测井理论研究和实际应用的专业人员有不同的知识结构背景,长期以来,有关声波测井理论考察和数值模拟的文章虽不少,但能为从事地球物理测井的专业人员所理解、接受并能够应用的则寥寥。因此编写一本在理论上系统和完整,数学方法上严谨又简略,在对井孔中声场物理图象说明准确的专著,是十分需要的。张海澜、王秀明、张碧星的专著:《井孔的声场和波》(科学出版社,北京,2004 年)就是在这样的背景下应运而生的。该书对井孔中声场建立及所涉及的数学方法有系统而简洁的讨论,并在附录中对有关的数学方法做了详尽的说明:该书对由井孔中波动方程引申出来的解,都给出了清晰的物理说明,张海澜首先应用的、通过计算给出的、在井孔及其附近介质中各个不同时间声场的图形的方法,在该书中又得到发展(笔者还想说一句:张海澜所倡导的这种方法,在其早期论文中应用后,很快就在国外有了回应,以致一些外国测井公司在其声波测井仪器的广告上,都用

完全类似的方法绘出了井孔及其附近声场的图形)。

该书所讨论的内容,从最简单的井孔模型(井内为流体,井壁为刚性介质)中单极子源的声场到比较复杂的井孔模型(有套管和管外水泥环及地层的圆柱状多层介质情况);从单极子声源到偶极子声源;从声源在井轴上的圆柱对称的、可当成二维问题处理的模型到声源偏离井轴的三维模型;从用实轴积分求解的解析方法到依托计算机的数值计算方法都有系统的、完整的说明和讨论。尤其是在声源偏离井轴时的井孔中三维声场的计算方法,则是著作者独立的研究成果。但著作者特别重视对物理实质和图象的说明,应该说,这是该书的重要优点,并使该书有比该研究方向上的论文具有更高的可读性。

还要提到的是,张海澜等三位作者参加了我国井孔中声场研究和声波测井发展的实践活动,因此对学界在某些问题上的争论知之甚详,如 1984 年前后,国内几所大学的理论研究工作对井内是否存在不衰减的共振模式纵波问题,曾经有过十分激烈的争论,当时双方以擂台的形式充分地陈述了各自的观点,按照学术讨论的规则,没有做结论,也没有“统一思想”,现在 20 年过去了,张海澜在本书中以十分平和的语气对当时争论的焦点做了中肯的说明和分析,并对在井孔声场研究中应用数学方法的体会做了说明(见该书第 43 页)。笔者作为那次讨论会的主持人,对张海澜在 20 年后对此问题的回顾和总结表示欣慰和感谢。

应该说,张海澜等的专著:《井孔的声场和波》是系统总结和发展井孔中声学研究的重要著述。由于著作者的专业背景,该书侧重于对井孔声场的数学方法和物理讨论,而对声波测井所涉及的地质和工程背景的讨论略嫌不足,对在井孔内某些波导的群速度和相速度关系的讨论也有欠充分的地方。但是这些都是:“瑕不掩瑜”。相信这本书的出版将会为我国井孔声学科和地球物理测井技术的发展起到里程碑的作用。在这里,我认为这是一本值得向从事声波测井研究的专业技术人员以及高等学校中从事地球物理测井和岩石物理研究的教师和研究生推荐的好书。

(中国石油大学(北京)教授 楚泽涵)