

声波测井资料各向异性校正技术研究

安 雷

中石化经纬有限公司华北测控公司 河南 郑州 450042

【摘要】：声波测井资料在地层评价和储层参数反演中具有重要作用，但地层各向异性会导致声波传播速度和波形特征发生系统性偏差，影响测井解释结果的可靠性。围绕各向异性对声波测井响应的影响机理，研究声波在各向异性介质中的传播特征，分析不同类型各向异性对测井参数的影响规律。在此基础上，构建适用于实际测井条件的各向异性校正模型与技术流程，并通过理论分析与实例验证其有效性。研究表明，所提出的校正技术能够有效削弱各向异性对声波测井资料的干扰，提高声波时差等关键参数的准确性，为精细储层评价和岩石物理分析提供可靠数据支撑。

【关键词】：声波测井；各向异性；校正技术；地层评价；测井解释

DOI:10.12417/2811-0536.26.05.060

1 各向异性地层中声波测井响应特征及认识进展

各向异性地层广泛存在于沉积岩系与构造复杂区，其成因主要与层理发育、裂缝定向分布以及原位应力差异密切相关。这类地层中岩石物理性质在不同方向上表现出明显差别，使声波在传播过程中呈现出速度变化、能量衰减差异及波形畸变等特征。声波测井作为基于波动传播机理的探测手段，对介质方向性变化高度敏感，因此各向异性成为影响测井响应的重要因素。

在各向异性介质中，声波传播过程已难以用传统各向同性模型进行描述，纵波与横波速度随传播方向和介质结构发生明显变化，快慢剪切波分裂现象普遍存在，从而使测得的声波时差、波幅及频谱特征表现出显著的方向依赖性。在井中测量环境下，井轴方位、井斜角度、地层倾角以及裂缝优势走向相互叠加，对声波传播路径和波场结构产生综合影响，导致声波测井曲线呈现多因素耦合控制特征^[1]。这类复杂响应容易削弱声波参数与岩性、孔隙结构之间的对应关系，增加测井解释与参数反演的不确定性。

随着测井理论和岩石物理研究的不断深入，对各向异性地层声波响应特征的认识逐步由定性描述向定量分析转变。研究表明，不同类型的各向异性地层在声波时差、波幅衰减及波形结构上具有可识别的响应规律，这为开展针对性的校正研究奠定了基础。同时，结合井中多参数测井资料对声波响应进行综合分析，有助于区分各向异性效应与其他地质因素的影响，提高对声波测井响应机理的整体认识，为后续校正技术的建立提供理论支撑。

2 各向异性影响下声波测井解释偏差与校正思路

各向异性条件下声波测井资料的解释偏差具有系

统性与隐蔽性，往往表现为声波时差、波速比及衰减参数与实际岩性和孔隙结构不匹配，进而引起孔隙度计算、岩石力学参数求取及裂缝识别结果的偏离。在常规解释流程中，声波时差常被视为介质的等效纵波速度响应并用于经验关系或岩石物理模型反演，但当介质存在层理各向异性或裂缝各向异性时，测得时差包含明显的方向性成分，等效化处理会将各向异性效应误判为孔隙度增大、胶结变弱或岩性变细等变化，导致解释结论出现“伪异常”。同时，井眼环境与测井工具姿态对波场具有耦合影响，井径扩大、泥饼发育或偏心等因素会叠加在各向异性响应之上，使波形展宽、首波拾取不稳定，进一步放大关键参数的不确定性。

解释偏差的本质在于测量量与目标地层参数之间缺少各向异性约束，校正思路需要从“把方向性影响显式建模”转向“在可观测量中分离各向异性贡献”。针对层理发育导致的横向各向异性，可将地层视为横向各向同性介质，采用等效弹性参数表征纵波、横波速度随传播角度变化的规律，并将井斜、地层倾角与测井波束几何关系纳入传播方程，建立声波时差的角度修正表达式^[2]。对于裂缝定向引起的方位各向异性，应利用快慢剪切波分裂、波形方位差异等信息构建各向异性强度与主方位的反演指标，再将其用于对纵波时差和衰减参数的补偿。考虑到实际资料常缺少完整波形或方位覆盖，校正流程需要兼顾可实施性与稳健性，通常以质量控制为入口，对首波拾取、频带能量、信噪比及井眼条件进行筛选，避免将井眼效应误当作各向异性。

校正参数的求取应遵循可验证、可迭代的原则，通过多曲线联合约束减少非唯一性。声波参数与密度、自然伽马、电阻率等资料在岩性与孔隙结构表征上具

有互补性，利用交会关系与岩石物理一致性检验，可识别各向异性引起的异常偏移并确定修正幅度。校正结果的目标不是消除所有差异，而是恢复声波测井参数对岩性、孔隙度与力学性质的主控响应，使后续反演模型的输入满足一致性与可解释性要求，从而提升综合解释的可靠程度。

3 声波测井各向异性校正技术应用效果与发展方向

声波测井各向异性校正技术在实际资料中的应用效果，主要体现在测井参数稳定性与地质解释一致性的显著提升。经过校正处理后，声波时差曲线的异常起伏得到有效收敛，与岩性界面和储层发育段的对应关系更加清晰，减少了由方向性传播效应引起的非地质性波动。在复杂地层条件下，校正后的纵波速度与密度、孔隙度等参数之间呈现出更为合理的物理关联，使岩石物理模型拟合精度得到改善，避免了将各向异性效应误判为储层物性变化的问题。这种改进对于低孔低渗储层、裂缝型储层等对声波参数高度敏感的目标层段尤为明显。

在工程应用层面，各向异性校正技术为岩石力学参数计算提供了更加可靠的输入条件。声波测井资料常用于动态弹性模量、泊松比及脆性指数等参数的求取，而这些参数对声波速度的微小偏差具有放大效应。校正处理后，弹性参数在纵向剖面上的变化趋势更加平滑，与地层结构及应力背景保持一致，有利于井壁稳定性评价和压裂设计参数的合理确定。同时，在多井对比分析中，经校正的声波参数减少了方位差异与井斜影响带来的离散性，提高了横向对比的可比性，为区域尺度的储层评价奠定了基础。

从技术发展角度看，声波测井各向异性校正正逐

步由经验修正向物理约束与数据驱动相结合的方向演进。随着多极子声波测井和高采样波形资料的应用，地层各向异性信息的可获取程度不断提高，为构建更精细的校正模型创造了条件^[3]。将各向异性参数引入岩石物理正演与反演框架，通过多参数联合约束实现自洽校正，有助于降低模型假设带来的不确定性。与此同时，校正技术的实用性仍需兼顾不同资料质量与测井条件，简化参数体系、提高算法稳定性仍是重要的发展目标。

面向未来应用需求，声波测井各向异性校正技术将在复杂储层精细表征中发挥更加关键的作用。随着非常规资源开发和深层勘探的推进，地层结构和应力环境愈发复杂，对测井资料真实性的要求不断提高。将各向异性校正结果与地震资料、岩心分析及生产动态信息进行交叉验证，有助于形成多尺度一致的地质认识体系。同时，校正技术与智能化处理方法的融合，将进一步提升处理效率与适应性，为声波测井资料在高精度储层评价和工程决策中的应用提供持续支撑。

4 结语

声波测井资料在各向异性地层中的响应特征决定了其解释结果的可靠程度。针对各向异性对声波传播和测井参数造成的系统性影响，通过引入合理的校正思路与技术方法，可有效改善声波测井资料的物理一致性与解释精度。相关研究表明，在充分认识各向异性作用机理的基础上开展校正处理，有助于恢复声波参数对岩性、孔隙结构及力学性质的真实响应。随着测井技术与数据处理方法的不断发展，各向异性校正将在复杂储层精细评价与工程应用中展现更高的实用价值，为地质解释提供更加可靠的测井依据。

参考文献:

- [1] 孟继昆,漆乔木,李林鑫,等.基于声波测井的含垂直裂缝储层各向异性及裂缝参数预测方法[J].测井技术,2025,49(03):355-364.
- [2] 郭同政,申富豪,饶博,等.各向异性孔隙地层随钻声波测井理论模拟及应用[J].科学技术与工程,2023,23(28):11962-11971.
- [3] 仵杰,雪宇超,路涛,等.各向异性地层中的偶极声波测井响应特性及反演[J].西安石油大学学报(自然科学版),2022,37(04):76-83.