

doi:10.11720/wtyht.2014.4.24
张卫刚,王秋霞,赵振兴,等.过套管偶极横波技术在压裂效果评价中的应用[J].物探与化探,2014,38(4):764-768.http://doi.org/10.11720/wtyht.2014.4.24
Zhang W G, Wang Q X, Zhao Z X, et al. The application of the dipole shear wave crossing casing to the evaluation of fracturing effect[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2014, 38(4): 764-768. http://doi.org/10.11720/wtyht.2014.4.24

过套管偶极横波技术在压裂效果评价中的应用

张卫刚,王秋霞,赵振兴,胡瑞

(中国石油长庆油田分公司 第八采油厂,陕西 西安 710021)

摘 要: 偶极横波可以获得地层的纵波、横波和斯通利波。利用这些地球物理信息可以评价地层的各向异性,尤其是裂缝导致的油气储层的各向异性,从而有效评价压裂施工对储层的改造效果。通过分析对比鄂尔多斯盆地油气井压裂前、后过套管偶极横波测井资料,证明了过套管偶极横波在评价压裂效果的可行性,可以将偶极横波技术作为油气井压裂效果评价、探测油气井裂缝的一种常规技术。
关键词: 偶极横波;各向异性;裂缝检测;压裂
中图分类号: P631.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2014)04-0764-05

在鄂尔多斯盆地中生界低渗油藏、上古生界低渗气藏以及下古生界裂缝性气藏中不断取得勘探突破、发现大量新层系的同时,带来的问题是低渗油气藏的自然产能都很低,几乎每口井都需要进行压裂施工。为了分析评价压裂效果的好坏,并据此提出下一步施工建议,以达到提高经济效益的目的,急需一种能充分分辨地下地质特征的技术方法来评价压裂改造效果,但常规测井仪器难以满足低渗透复杂油气层对压裂改造效果评价的要求。作者在总结测井新技术方法的基础上,利用过套管偶极横波对低渗油气藏进行储层压裂改造效果评价,并在实践中取得了显著的效果。

1 偶极横波探测裂缝原理

偶极横波测井是一种新型的声波测井技术,其发射源由 1 个单极和 1 个偶极交叉组成,可以同时获得单极和偶极两种模式的地层声波数据,因此,能精确地测量各种地层的声波,解决了慢速地层的横波测井问题^[1-2]。其中,单极是由 2 个单极声源和 8 个接收器组成,偶极包括 2 个垂直摆放的偶极声源及 8 个交叉式偶极接收器。在软地层和井眼条件较差的地层环境下,偶极技术可以在软地层中获得地层横波。

偶极子横波测井仪(DSI)由发射器、接收器和

数据采集系统组成,3 个发射探头由上至下依次为单极子发射声源、上偶极子声源和下偶极子声源,其中上下偶极子声源方向相互垂直。无论是在裸眼井中,还是在套管井中,DSI 测井曲线较以前的常规声波测井曲线有明显的不同。常规声波测井仅利用地层中纵波等单一声波响应特征进行储层评价,而偶极横波测井不仅可以获得地层纵波响应,而且可以捕获到地层反射回来的横波以及斯通利波,从而拓宽了声波测井的应用范围。常用的就是利用偶极横波测井对地层的各向异性进行评价,特别是对裂缝导致的储层各向异性进行评价^[3-4]。因为多波多分量的测井数据相对单波测井数据包含了更多的地下地层信息,所以偶极横波测井在储层各向异性的研究和分析中有着明显的优势^[5-6]。在构造应力以及其他因素导致的裂缝性地层中,横波速度通常表现为方位各向异性。质点振动方向平行于裂缝走向而且沿井轴方向向上传播的横波速度,要比质点振动方向垂直于裂缝走向且沿井轴方向向上传播的横波速度快。一旦横波中质点振动方向与裂缝走向有一定角度 θ (不大于 90°),那么入射横波沿井轴向上传播过程中将分裂成质点方向平行和垂直于裂缝走向振动,且以快慢两种速度传播的横波(图 1),快、慢横波之间的能量差或速度差就反映地层的各向异性^[7-9]。

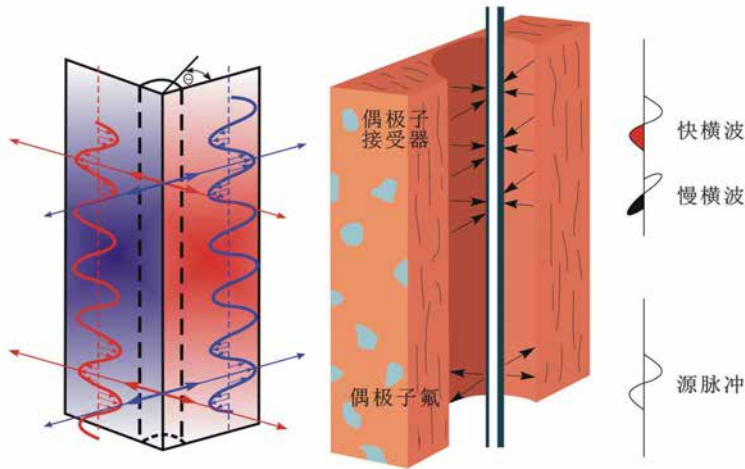


图 1 各向异性地层中横波分裂示意

有多种原因导致地层中产生裂缝,主要有两种:地应力造成的天然裂缝和压裂时形成的人工裂缝^[10-13]。通过实验证明,由人工压裂缝产生的快慢横波的频散曲线平行,而地应力缝产生的快慢横波的频散曲线交叉。根据横波各向异性的对比及频散曲线特征,可以区分裂缝产生的不同原因,确定各向

异性发生明显变化的部位,进而确定压裂缝上下延伸的高度,最终进行压裂效果评价(图 2)。图 2 中 v_s 、 $v_s(r)$ 、 $v_s(r, \theta)$ 和 $v_s(\theta)$ 分别表示声波在均匀各向同性、非均匀各向同性、非均匀各向异性和均匀各向异性地层中的传播速度,与慢度为倒数关系。

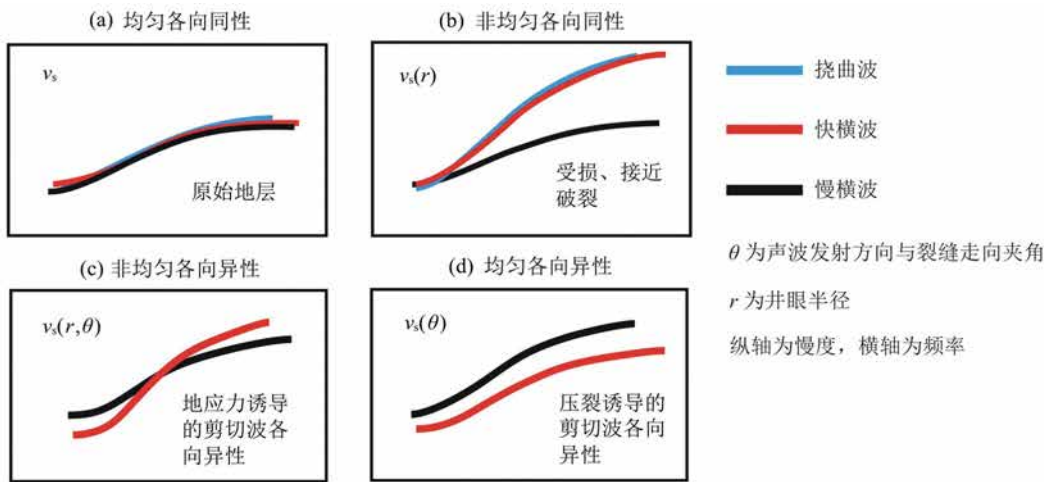


图 2 频散曲线图

2 实际应用

为了验证过套管偶极子横波测井技术的可行性,最直接的验证方法是进行压裂前和压裂后的偶极横波对比测井,前后两次测井响应差别就是储层压裂后形成的裂缝在偶极横波测井上的反映。选取鄂尔多斯盆地 T19 井,对致密的长 6 段含油层进行压裂施工,压裂射孔井段为 1 362~1 368 m (图 3)。由图 3 可知:①偶极横波测井在压裂前无明显的快慢横波能量差显示,说明储层裂缝不发育,由于没有出现快、慢横波分离现象,因此快慢横波能量差较弱。②压裂后在 1 357~1 374 m 井段快、慢

横波表现出较强的能量差,这是因为偶极横波测井在储层改造后形成的裂缝处产生横波分离,表现出较强的快慢横波能量差,根据能量差判断,经过压裂改造后裂缝向上下延伸 10 m 左右。③偶极横波测井在压裂后形成的人工裂缝处显示为快慢横波能量差较强,所以可以利用过套管偶极横波测井对压裂改造后储层裂缝的延伸长度进行定量评价。以 T19 井试验结果为基础,在鄂尔多斯盆地 M19 井中进行了过套管偶极横波测井。M19 井盒 8 段地层 2 214.8~2 222.3 m 处的平均孔隙度为 9.5%,平均渗透率 $0.326 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ (图 4)。通过测井曲线的相关性分析、现场取芯显示为气层,气测数据

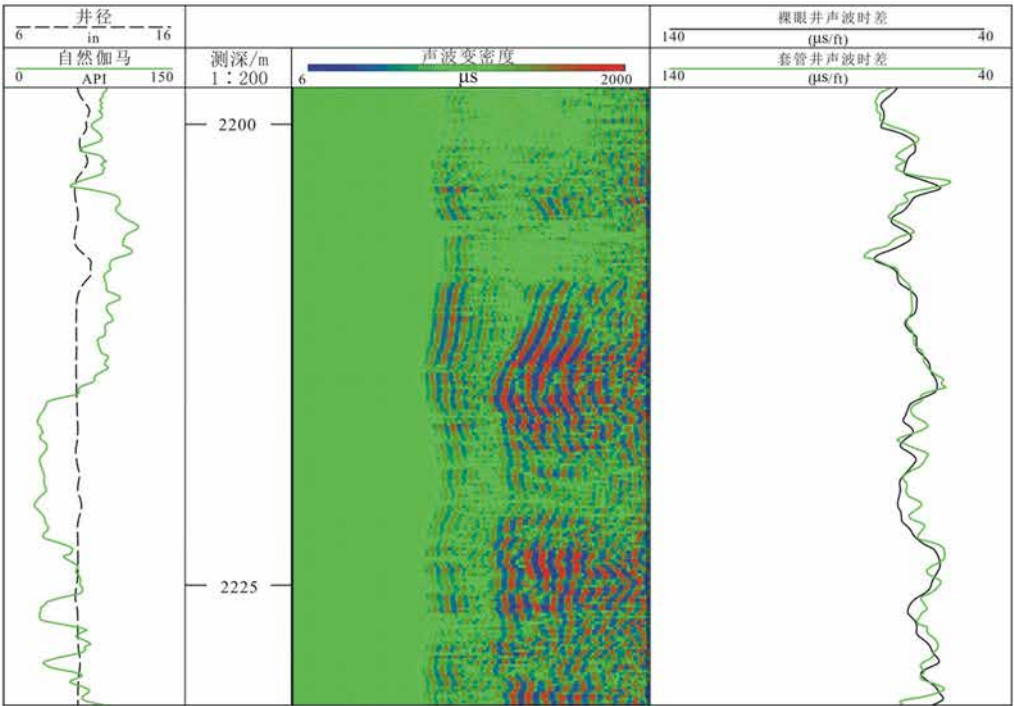


图 5 M19 井声波—密度模式固井质量

偶极子横波测井资料显示:盒 8 段含气层并没有被有效改造,桥塞下移将近 20 m,目的层盒 8 段含气层在第一次施工中未被压开,压后裂缝向下延伸了 17 m,陶粒窜入山 2 段(图 6)。依据偶极子横波测井资料结果,对盒 8 段含气层进行了增补射孔、上移桥塞二次压裂作业,加砂 30 m³。二次施工正

常,测试获无阻流量 54 548 m³/d,二次压裂改造取得成功。M19 井盒 8 段试气的成功,对于准确认识盒 8 段储层特性,扩大了 M19 井所在区块的控制储量面积,为指导下一步的勘探开发部署起到了积极的作用。

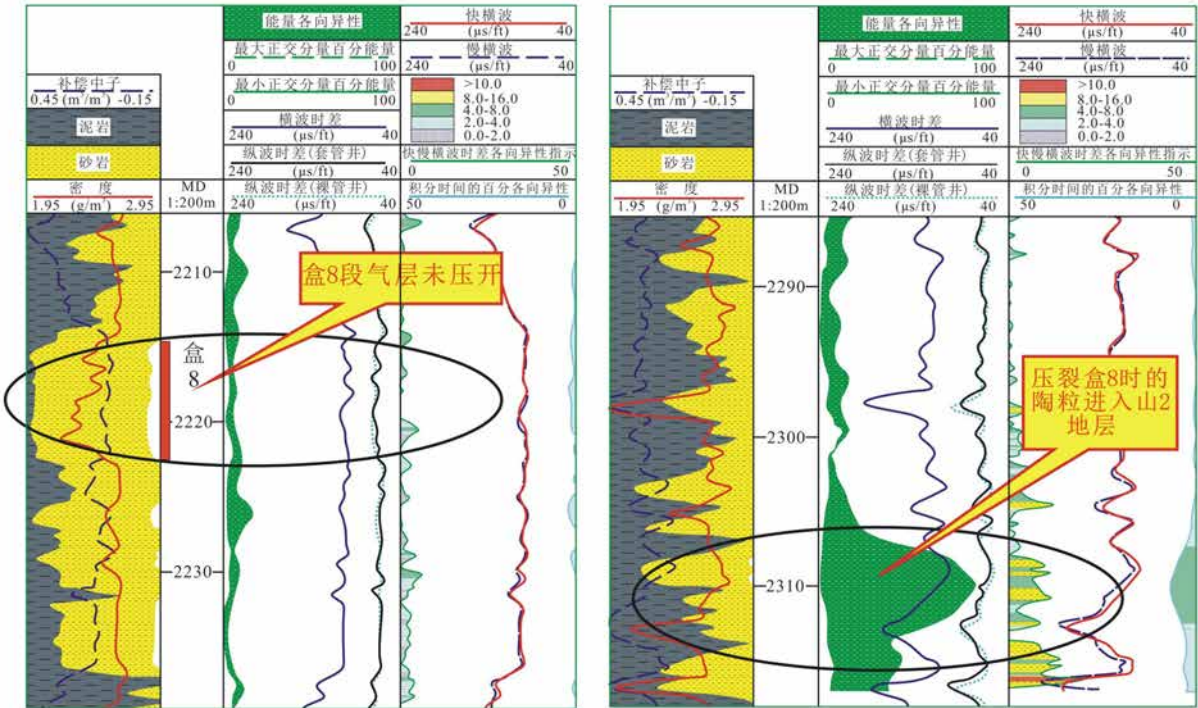


图 6 M19 井盒 8—山 2 段各向异性成果

3 结论

(1) 随着偶极横波测井技术的出现和不断完善, 确定裂缝性储层各向异性成为了可能, 新技术的出现将原来仅仅是对压裂施工后的裂缝参数定性的预测与评估, 提升为定量上的分析评价, 而且常规的偶极横波裸眼井测井应用逐渐扩展到套管井, 开辟了偶极横波测井技术新的应用领域。

(2) 过套管偶极横波成像测井可以对储层压裂效果进行评价, 但该技术还具有进一步发展的空间: 如果同时增加方位测井, 便可以确定压裂缝延伸的方位, 判断地应力方向; 结合斯通利波吸收衰减分析, 可以对裂缝横向延伸情况进行评价, 为开发注水提供依据; 结合岩石物理分析, 可以从目前的裂缝高度“一维”检测发展到裂缝高度和深度的“二维”检测。

(3) 过套管偶极横波测井具有直观、快速、准确且测井时间不受限制等优点, 在储层压裂设计过程中预测压裂缝在井眼中的上下延伸高度、确认压裂步长和规模有重要的指导作用, 可以成为压裂裂缝检测的一种常规技术, 为油田的稳产上产提供强有力的技术保障。

参考文献:

- [1] 雍世和, 张超谟. 测井数据处理与综合解释[M]. 北京: 石油工业出版社, 1996.
- [2] 方云, 乔梁, 燕学峰. 地球物理探测技术在大足石刻保护中的应用[J]. 物探与化探, 2013, 37(1): 138-142.
- [3] 楚泽涵. 声波测井理论[M]. 北京: 石油工业出版社, 1985.
- [4] 吴庆曾, 李洪涛, 杨进平. 声波检测穿透信号波形变化规律和量化的探讨[J]. 物探与化探, 2012, 36(1): 144-148.
- [5] 罗省贤, 李录明. 基于横波分裂的地层裂缝预测方法与应用[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2003, 30(1): 52-59.
- [6] 戴黎明, 陈永良, 刘鑫. 基于 RBF 神经网络的矿产资源潜力预测模型[J]. 物探与化探, 2011, 35(1): 103-108.
- [7] Esmersoy C, Koster K, Williams M. Dipole shear anisotropy logging[J]. Oilfield Review, 2009, 2(4): 9-12.
- [8] 郑淑芬. 地层速度各向异性及其应用[J]. 测井技术, 2000, 24(3): 223-226.
- [9] 苏云, 李录明, 唐娟. 2.5 维各向异性介质中多波场正演模拟与波场分析[J]. 物探与化探, 2010, 34(2): 262-265.
- [10] 白大鹏, 赵铁虎, 顾雪晴. 横波测井技术在海洋工程中的应用[J]. 物探与化探, 2011, 35(3): 409-413.
- [11] Alford R M. Shear data in presence of azimuthal anisotropy[C]//Expanded Abstracts of 62th Annual international SEG Mtg, 1986: 476-479.
- [12] Mueller M C, Boyd A J, Esmersoy C. Case studies of the dipole shear anisotropy log[C]//Expanded Abstracts of 70th Annual international SEG Mtg, 1994: 1143-1146.
- [13] 张景和, 孙宗新. 地应力、裂缝测试技术在石油勘探开发中的应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001.

The application of the dipole shear wave crossing casing to the evaluation of fracturing effect

ZHANG Wei-Gang, WANG Qiu-Xia, ZHAO Zhen-Xing, HU Rui

(The Eighth Oil Extraction Factory of CNPC Changqing Gas Field Branch Company, Xi'an 710021, China)

Abstract: The dipole shear wave can get the primary wave, shear wave and Stoneley wave in the formation, and the geophysical information obtained can be used to evaluate the anisotropy of formation, especially the anisotropy of oil-gas reservoir caused by fracturing, and to diagnose the formation reconstruction effect of fracturing operation. Contrasting the logging data of the dipole shear wave before fracturing with those after fracturing in oil-gas well of Ordos basin shows that the dipole shear wave crossing casing can be used to analyze the actual effect of fracturing. It will become a conventional logging technology to evaluate fracturing effect of oil-gas well and to detect cracks of oil-gas well.

Key words: dipole shear wave; anisotropy; crack detection; fracture

作者简介: 张卫刚(1975-), 男, 工程师, 2002年7月毕业于石油大学(北京), 获构造地质学硕士学位, 主要从事油气田开发方面的生产、管理和科研工作。