

套管探伤测井技术在威远页岩气井中的应用分析

唐寅旭（中石化经纬有限公司西南测控公司，四川 成都 610100）

摘要：套管损坏是油气井在生产过程中常常遇到的问题，会给油气生产造成巨大的经济损失。电磁探伤（MID-K）和多臂井径（MIT）组合测井技术能够快速、直观的显示出套管损伤、变形等损伤问题，有助于了解井下管柱状况，大大降低施工风险和施工成本，为油气田正常生产提供保障。

关键词：电磁探伤；多臂井径；套管损伤；页岩气

0 引言

在油气勘探开发中，普遍存在由地质、工程及腐蚀等因素造成的油气井套管损伤现象，严重影响和破坏油田的产能，同时给环境保护带来极大的困难^[1-3]。因此，套管损伤的检测和评估对于油气田开发工程具有重大意义。威远页岩气具有埋藏深度大、构造复杂、非均质性强、水平应力差大等特点^[4]，井下套管损伤情况比较普遍。

本文论述电磁探伤和二十四臂井径组合测井技术在威页 9-2HF 井应用情况，为该井后期施工提供了可靠依据。

1 技术简介

1.1 MID-K 电磁探伤测井

MID-K 电磁探伤成像测井仪^[5]属于磁测井系列，其理论基础是电磁感应定律（图 1）。在双层管柱结构下，其感应电动势的函数表达式为：

$$\varepsilon = f(T_1, T_2, \mu_1, \mu_2, \sigma_1, \sigma_2, D_1, D_2, t_c, EX)$$

式中： ε —感生电动势； T_1 、 T_2 —油管、套管厚度； μ_1 、 μ_2 —油管、套管磁导率； σ_1 、 σ_2 —油管、套管电导率； D_1 、 D_2 —油管、套管外径； t_c —井温；EX—内、外管相对位置几何校正系数。

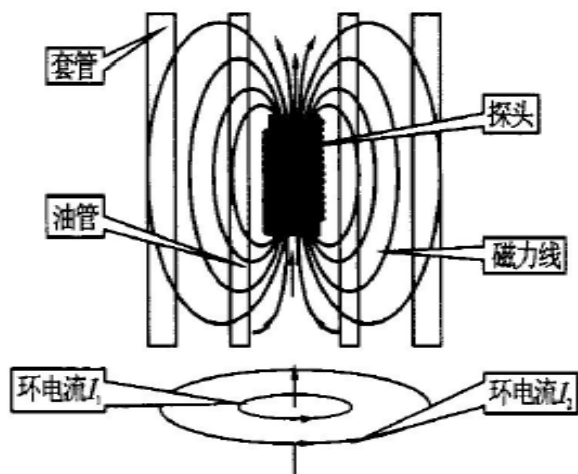


图 1 MID-K 纵横探头接收的磁力线分布图

纵向探头 A 的接收线圈感应电动势时间衰减谱分 3 个不同的时间段进行放大采集，得到 3 个不同放大倍数的时间衰减谱，提高对管柱不同径向范围感应电动势的测量精度（图 2）。横向探头 B、C 是 2 个完全相同的

探头，沿仪器轴心成 90° 角分布。在探测对称性损伤（接箍、环状细槽及断裂）时，会收到完全相同的感应电动势时间衰减谱。在探测非对称性损伤时（纵向裂缝、横向裂缝、穿孔）时，损伤谱会有差别，因为每个探头所成图像因仪器在井中的重复角度不同而不同。因此，可以通过成像图快速、直观地掌握各级管柱的腐蚀情况。

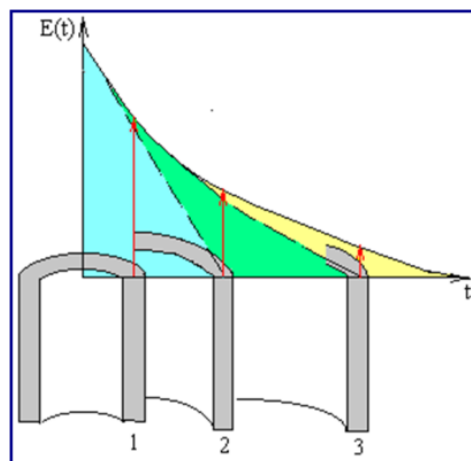


图 2 A 探头三层管柱感应电动势时间衰减谱

1.2 多臂井径（MIT）测井

由 SONDIX 公司生产的 MIT 多臂井径测量测量仪^[5]，主要由电子线路、电动马达及测量探头组成。仪器通过马达供电开腿。在测量中，一旦管柱内径发生变化，测量臂通过铰链将内径变化量传递到激励臂上，激励臂的移动，切割外面的线圈，从而产生随管柱内径变化的感应电动势，通过刻度，将测量到的感应电动势转化为测量半径，从而实现井径的测量。

MIT 多臂井径系列包括 24 臂、40 臂、60 臂及 80 臂等，可根据不同的采集要求选取相应精度的测量仪器。

2 待测井工况

威页 9-2HF 井在后期刮管通径中下钻至井深 2819.14m 遇阻，遇阻吨位 8t（正常摩阻 2~4t），起出刮管器发现本体位置有刮痕，判断实际遇阻点位置井深为 2818.94m，该段井斜约 13°，套管内径为 118.62mm，通径 115.44mm，壁厚 10.54mm。为进一步判断管内情况，下入 $\phi 114$ mm 平底铅模钻具组合，缓慢下探至井深 2818.94m 遇阻，后下压 20kN 打印后起钻。检查出井铅模，铅模侧面有一道宽 40mm，长 35mm 的印痕，铅模底部最小外径为 110mm，底部区域有 2mm 压痕，压

痕变形位置边缘外径为 102mm (图 3)。



图 3 铅模出井照片

遇阻点通过性检测：井内下入 $\phi 96\text{mm}$ 通径规（外径 96mm，长度 1.6m），通径规在遇阻位置处指重表有轻微闪动，继续下放钻具无遇阻情况。后下放至井深 2820.54m 遇阻，钻具已通过遇阻点 1.6m， $\phi 96\text{mm}$ 通径规可完全通过遇阻点。

为取得该井井下套管实际损伤部位及损伤状况，对该井进行“MID-K 电磁探伤 + 二十四臂井径 (MIT)”组合测井作业。

3 应用效果

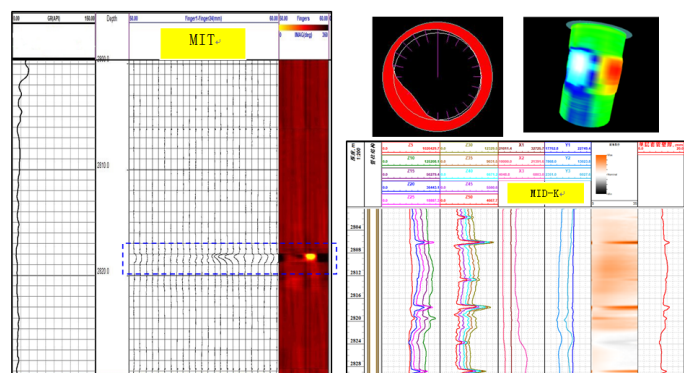


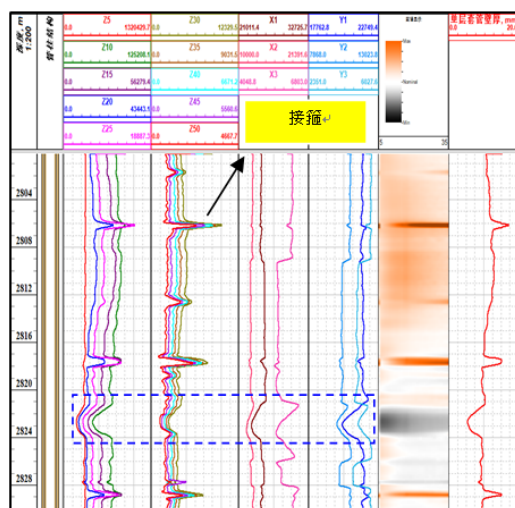
图 4 威页 9-2HF 井 2800.0-2830.0m

电磁探伤 + 二十四臂井径组合测井响应图

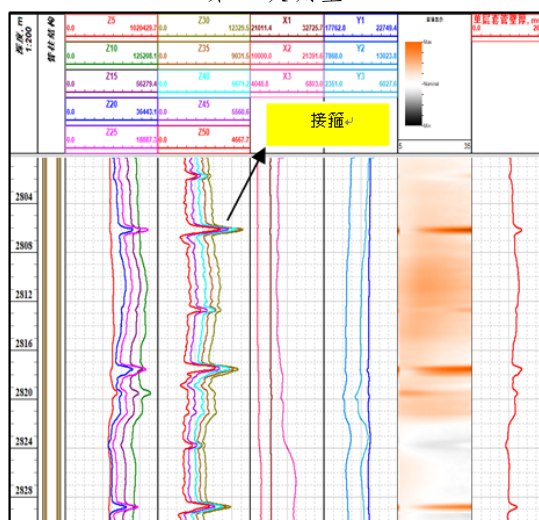
二十四臂井径测井结果显示在 2817.9-2818.8m 套管内径同时发生扩径与缩径现象 (图 4 蓝色方框内)，且 3D 井筒图和套管截面图可以直观看看到套管严重扭曲变形，两臂井径最小为 101.36mm，比套管通径缩小 14.08mm。MID-K 资料纵向探头近、中、远区次生感应电动势曲线无明显变化，横向探头电动势曲线有一定变化，分析认为套管无破损。综合判断 2817.9-2818.8m 套管存在变形。

4 影响因素分析

该井第一次测量的 MID-K 资料纵向探头近、中、远区次生感应电动势曲线在 2821.0-2824.0m 之间发生衰减 (图 5 蓝色方框内)，第二测量的资料无明显异常变化，分析认为第一次测量施工未加扶正器，造成在仪器在 2821.0m (井斜约 13°) 发生偏心，导致曲线测量值存在误差，但两次测量资料均能准确反映出套管接箍信号。



第一次测量



第一次测量

图 5 威页 9-2HF 井 2800.0-2830.0m 电磁探伤测井响应图

5 结束语

电磁探伤和多臂井径测井能有效的评估套管损伤情况，MID-K 和二十四臂井径测井在该井获得较好应用效果，准确识别出套管接箍，并通过井下 3D 井筒图和套管截面图较为形象直观地反映了套管变形位置，与前期工程作业遇阻位置基本一致，为该井后期具体施工方案制定提供了参考依据。此外，在进行套管测井施工时，应加扶正器避免仪器偏心。

参考文献：

- [1] 王仲茂. 油田油水井套管损坏的机理及防治 [M]. 北京：石油工业出版社, 1994.
- [2] 刘丽, 李根生. 水力射孔对套管强度的影响研究 [J]. 天然气工业, 2006, 26(8): 83-85.
- [3] 张晶. 东濮凹陷套管检测技术的解释与应用 [D]. 东营：中国石油大学 (华东), 2016.
- [4] 刘乃震, 王国勇, 熊小林. 地质工程一体化技术在威远页岩气高效开发中的实践与展望 [J]. 中国石油勘探, 23(2): 59-68.
- [5] 董震, 何传亮. 元坝气田套管探伤测井技术应用分析 [J]. 国外测井技术, 2015(5): 53-57.