

文章编号: 1001-1986(2010)02-0068-03

E-link 电磁波无线随钻测量系统 在煤层气钻井中的应用

施斌全, 亢武臣

(中石化胜利油田钻井工艺研究院, 山东 东营, 257000)

摘要: 简述了 E-link 电磁波无线随钻测量系统的结构、工作原理及性能指标。通过在 WL05-1 井煤层气水平井钻井过程中的成功使用, 表明 E-link 电磁波随钻测量系统在煤层气开发中有广泛的应用前景。

关键词: E-link 电磁波无线随钻测量系统; 煤层气; 应用

中图分类号: P631 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1001-1986.2010.02.017

Application of E-link electromagnetic measurement while drilling system in drilling coal bed methane well

SHI Binquan, KANG Wuchen

(Drilling Techniques Institute, Shengli Oilfield, Dongying 257000, China)

Abstract: The basic principle of E-link is presented in this paper. Through the successful use in WL05-1 CBM horizontal well, it was proved by practice that em-mwd is one of key technologies and can be widely used in CBM development.

Key words: E-link; CBM; application

我国煤储层普遍存在低压、低孔和低渗的特点^[1]。这些特点决定了煤层气开发工程需对煤层实施保护措施。根据煤层气开发的特点, 通常使用空气钻进、雾化钻进、泡沫钻进等由单纯的气体或气液两相流体作为钻进流体的钻进方法。采用这些钻进方法, 钻进速度快, 对流体的目标层有保护作用, 但当泥浆中气体含量超过 20% 时, 作为实时监测和控制井眼轨迹的井下随钻测量仪器的常用设备——泥浆脉冲设备就难以应用^[2]。由于电磁波随钻遥测技术 EMWD (Electromagnetic Wave Measurement While Drilling) 有不受可压缩钻井流体介质影响的特点, 可应用于煤层气开发中。另外, 由于电磁波通道的井下信息传输速度快、易于实现地面与井下的双向通讯等, 也使得电磁波随钻遥测在煤层气开发中有更广泛的应用前景。

1 E-link 结构及工作原理

E-link 电磁波无线随钻测量系统利用低频电磁波将井下数据传递到地面, 并对传输上来的数据进行采集、处理、解码和显示。仪器主要由井下和地面两部分组成。

井下仪器由井下发射部分、流量开关、井下测

量部分组成。井下测量部分测得的数据由井下发射部分发射电磁波传递到地面。井下发射部分由专用电池组供电。采用上下绝缘偶极发射天线的电磁激励方法产生电磁波, 频率有 4 Hz、7 Hz、13 Hz 和 19 Hz 4 种供选择, 可以在仪器下井前使用编程器或者仪器下井后使用不同的泵序组合来改变井下仪器的发射频率, 也可以在仪器下井前使用编程器使仪器锁定在某一特定频率而不受泵开关影响。电磁波发射频率越高功耗越小, 并且信号传输速度越快, 传输的信息量越大, 但发射频率越高信号衰减越快, 传输距离变浅, 所以要根据现场具体施工情况选择合适的频率。

地面仪器主要由信号接收部分、地面接口箱、安装了专用软件的电脑和钻台显示器组成。地面部分接收信号有两种方式: 一是把防喷器和沿井眼延伸方向远离井场插入大地中的一根铜棒作为两极, 分别将两极通过同轴电缆连接到地面接口箱。这种接收方式的信号很强, 但是来自钻机设备的干扰比较大。二是使用沿井眼延伸方向远离井场插入大地的两根铜棒作为两极, 接收信号是两根铜棒电位差, 信号通过一个由电池盒供电的无线发射器发送, 并在地面接口箱一端安装一个天线进行信号接收。这种方式采集的信号偏弱, 但干扰较小。

收稿日期: 2009-08-10

作者简介: 施斌全(1972—), 男, 上海人, 硕士, 工程师, 从事随钻放射性测井方法研究。

2 仪器的性能和精度

用于现场施工的 E-link 电磁波随钻测量系统可以连续监测井底井斜角、方位角和工具面装置角、地层伽马值以及井底温度等参数。仪器的性能和指标见表 1。

表 1 E-link 井下仪器技术参数表
Table 1 E-link downhole tool parameters

| 技术参数项 | 技术参数值 |
|-------------|--------------------------|
| 井斜测量范围/精度 | 0°~180°/±0.1° |
| 方位测量范围/精度 | 0°~360°/±0.5° |
| 工具面角测量范围 | 0°~360°/±1.0° |
| 最大狗腿度、旋转/滑动 | 8°/30 m; 15°/30 m |
| 最大耐压 | 103 Mpa |
| 抗冲击能力 | 1 000 g/0.5 ms |
| 最高温度 | 125 |
| 允许最大排量 | 2 400 L/min; 20 g (均方根值) |
| 抗振动能力 | 30~300 Hz (random) |

3 WL05-1 井水平井基本情况

WL05-1 井位于陕西省韩城市王峰-龙亭地区, 是一口煤层气水平井, 用于评价采用水平井开采煤层气的技术经济可行性, 目的在于获取较高的产能。WL05-1 井水平井工艺集成了泡沫钻井液体系、E-link 地质导向技术、连通井等先进钻井技术。

3.1 WL05-1 井煤层气的主要地质特征

WL05-1 井含煤地层为石炭-二叠系。石炭系太原组为海陆交互沉积, 地层厚度 50.00 m 左右, 含煤 3~9 层, 可采煤层累计厚度最高达 17.19 m, 一般为 7.50~8.00 m。二叠系山西组为陆相沉积, 含煤 1~4 层, 可采及局部可采煤层 1~2 层, 可采煤层累积厚度一般 4.00~6.50 m。区内煤变质程度较高, 煤类以瘦煤、贫煤为主, 其次为焦煤, 深部为无烟煤。煤层气含量平均为 8~12 m³/t, 最高达 26 m³/t; HS-01 井的 3、5、11 号煤储层压力为 8.29~10.47 MPa, 煤层渗透率较高, 为(1.956~16.17)×10⁻³ μm²。

3.2 WL05-1 井泡沫钻井液体系

由于煤储层具有松软、割理发育、表面积大、吸附性强、压力低等特性, 钻井液不仅必须满足良好的造壁和悬携砂作用以及润滑防卡, 而且更重要的是必须与储层配伍性良好, 从而尽可能地降低由于外来液体的侵入对煤层带来的伤害。

WL05-1 井在三开应用泡沫钻井液体系。该体系泡沫流体具有低流体柱静压力和紧密结合的气泡结构, 而使其具有以下独特优点: a. 机械钻速快, 减少了侵入低压地层的外来流体对气层的损害, 有利于保护气层; b. 泡沫流体的粘度、切力高, 携带钻屑和洗井能力强, 可大大避免岩石的重复破碎, 减少流体对井壁的冲蚀作用, 井眼规则; c. 该流体不

污染岩心, 有利于地质分析, 可以通过易漏、低压地层等。故而, 该泡沫流体是低压气层钻井完井以及井下作业的理想循环介质。该泡沫体系中细小颗粒(1~5 μm)分散吸附于气液界面上, 而形成直径大于 50 μm 的胶团。这些胶团的主要特点之一是强度高、不易分散, 不仅增加了气液界面的强度, 也凝聚了细小颗粒, 同时还吸附了液体。胶团的体积相对较大, 不会进入岩石孔隙, 同时胶团是相互排斥的, 在地层表面形成的滤饼较薄, 因而对地层的伤害少, 保护气层效果好。根据本区块地层储层压力, 使用泡沫钻井液(与储层压差为 1.3 MPa)相对于一般水基钻井液(与储层压差为 2.9 MPa), 对地层的产生的压差减少一倍以上, 相应地对煤储层的污染也要减小。如果在井下条件允许的情况下, 适当降低钻井液密度, 对煤层压差会进一步减小。

4 WL05-1 井水平井现场试验过程

WL05-1 井一开由 311.15 mm 钻头钻至井深 100.00 m, 下入 244.5 mm 套管至 99.50 m, 固井水泥返至地面。二开用 215.9 mm 钻头钻至井深 430.00 m, 定向点 430.00 m 开始造斜, 钻至井深 813.84 m, 井斜 85°, 方位 328.13°, 下入 177.8 mm 套管至 811.84 m, G 级水泥固井, 水泥返至地面。三开用 152.4 mm PDC 钻头, 主井眼钻至井深 1 438.81 m; 5 号煤层中进尺达到 624.97 m。三开阶段用 E-link 定向, 根据测量情况调整方位, 保证井眼轨迹符合设计, 确认钻头在煤层中穿行, 防止钻头钻出煤层, 保证煤层穿透率达到 80%以上。

4.1 E-link 电磁波无线随钻测量现场试验过程

E-link 电磁波无线随钻测量施工方案: 根据仪器操作手册和外方现场工程师的指导, 排除井场上有可能存在的电磁干扰, 选择合适的位置安装电极, 合理布置信号传输线; 在地面多次测试整套井下仪器确保其工作正常; 同时准备好备用仪器, 若仪器损坏及时更换。制定仪器使用要求和操作规程并与井队及工程人员进行技术交底。测量时使用 E-link 最低频率发射电磁波, 在地面同时使用 BOP 方式和 DES 方式进行信号接收对比。井下钻具组合为 φ152.4 mm PDC 钻头+磁接头+φ120 mm 螺杆+φ120 mm MWD+φ120 mm 无磁钻铤+φ121 mm 随钻震击器+φ89 mm 钻杆。仪器组合: 发射天线+驱动电路+ELINK 电池+SEA 电池+SEA 探管 0991+GAMMA 电池+GAMMA1102。

2009 年 6 月 7 日在泥浆中下入海蓝公司的泥浆脉冲仪器, 此时井深 830 m, 套管下到 829.5 m, 信号正常。钻进 60 m, 此时井深 890 m。接着替换泡沫钻井液, 开始 E-link 生产试验。下井前地面测试正常, 钻台串接好仪器后测试正常。E-link 仪器在

套管中无信号，下出套管后，仪器信号正常，仪器到底后信号正常。各个测试点测试结果与定向井公司泥浆脉冲 MWD 系统数据基本吻合。

仪器下到底后以频率为 19 Hz 开始工作。仪器信号正常工作到 1 355.44 m。此时距联通仪器还有 100 m，开始起钻接联通仪器，并把探管频率改到 4 Hz。14 :00 到底，做完全测量后准备定向，但只要一开泵信号就很乱，0.5 h 左右发出一两组工具面，可是无法定向。拆下一个单根后测试同样如此。把地线拉到山下，开泵测试信号没有好转。怀疑邻井顿钻有影响，邻井所有设备都停下来测试还是一样。仪器上提到 1 150 m 处开泵测试正常。复合和滑动信号均很好。基本认为是地层原因，此时井深为 1 355.44 m。上提了 2 个单根信号明显变好。改手动调节信号继续钻进，2 个单根后，信号变好，之后开始正常钻进。在离直井 30 m 处，联通仪器发现信号，此时方位偏小。23 :00 上提 3 个单根开始侧钻联通。22 日 13 :10 联通成功，开始起钻。此时井深 1 458 m，井斜 88°，方位 317.8°，水平位移 885 m。

4.2 试验结果分析

WL05-1 井井设计轨道和实钻轨迹图如图 1 所示。E-link 电磁波随钻测量仪器下井后，1 355 m 之前正常施工，系统工作正常，在地层中有效发送和接收数据，测量数据可信度高、重复性强、传输速率快，得到的井眼几何空间参数与泥浆脉冲式 MWD 数据一致。1 355.44 m 处测试，信号不正常，现场分析可能为煤层电阻率过高所致。由于煤层气大部分以吸附态存在于煤的微孔隙(基隙)内表面，从而使其中的离子运动受阻，导致煤层视电阻率提高。仪器上提和继续钻进 20 m 后均表示仪器正常。另外仪器回检正常。

本次电磁波随钻测量仪器携带伽马仪器，该井伽马测量图如图 2。

在实钻过程中，当钻进至井深 1 221 m(垂深 690.6 m)时，实时伽马曲线就有煤层气显示(实时伽马值开始变低，预计即将进入煤层)。经现场地质师、定向井工程师和其他施工人员分析研究，并与岩屑录井核实，确认目的层，决定继续钻进。定向井工程师将轨迹调整到煤层后，根据实时伽马曲线，尽量使水平段轨迹在产层的最佳部位穿行，以获取最佳的经济效益。

5 结论

E-link 无线随钻测量仪在 WL05-1 井煤层气水平井钻井过程中成功接收到从地下发射的电磁波信号，各个参数的测量结果准确，达到施工目的。这次施工克服了在煤层气开发中使用欠平衡钻井的井下信号传输问题，表明电磁波传输方式将在煤层气开发中获得更广泛的应用。

a. E-link 电磁波无线随钻测量系统在 WL05-1

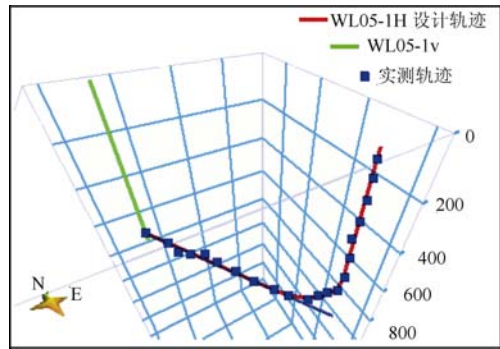


图 1 WL05-1 井设计轨道与实钻轨迹图

Fig. 1 Designed and actual trajectories of well WL05-1

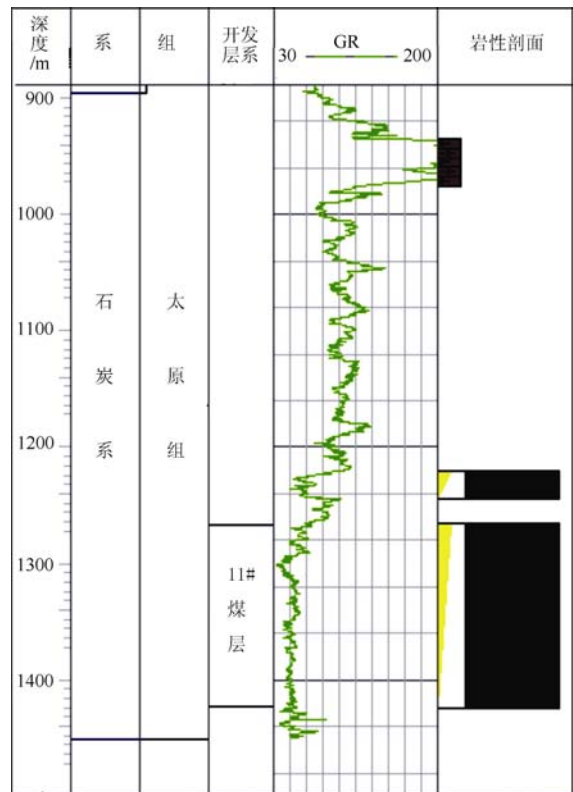


图 2 WL05-1 井随钻伽马测井图

Fig. 2 MWD gama log of well WL05-1

井煤层气水平井中得到的井眼几何空间参数与泥浆脉冲式 MWD 数据一致，测量数据可靠。

b. WL05-1 井三开阶段替换泡沫钻井液，开始应用 E-link 进行定向，工作、测试正常。根据测量情况调整方位，保证井眼轨迹符合设计，确认钻头在煤层中穿行，防止钻头钻出煤层。

c. 对于地层电阻值小于 1 Ω·m 的地层和地层电阻值大于 200 Ω·m 的地层不能使用 E-link 电磁波无线随钻测量仪器。当地层电阻值太低时，电磁波信号易于发散，地面系统无法接收到信号；当地层电阻值太高时，电磁波信号被地层吸收，地面系统也无法接收。而煤层气由于部分地层电阻率过高会

(下转第 75 页)