

综合录井在水平井钻井中的导向研究

王立峰 (长庆工程监督处, 陕西 西安 710018)

摘要: 水平井钻井过程的效率与质量, 关系着整体工程的优良, 而综合录井的精准导向则成为关键, 所以有必要对综合录井在水平井钻井过程中的导向开展深入研究。本文在介绍水平井钻井技术的基础上, 深入分析综合录井在水平井钻井过程中的曲线特征、具体的导向分析方法、实现导向的具体技术以及确定油层界线导向的具体步骤, 为相关行业提供可借鉴的参考资料。

关键词: 水平井; 综合录井; 导向

0 引言

随着页岩油气等非常规油藏的开发, 作为较为前沿的水平井钻井技术逐渐被推广应用, 其利用各类设备对地质信息进行详细分析后, 实施定向的钻进, 这其中如何精准的确定井眼轨迹和油水界面, 成为了水平井钻井成功的关键, 故由综合录井决定的精准导向作用就显得尤为重要。本文对水平井钻井技术进行了介绍, 并详细分析了综合录井在水平井钻井过程中的曲线特征和具体的导向功能, 给出了如何实现导向的方法和具体技术, 最后研究了确定油层界线导向的具体步骤, 对综合录井在水平井钻井中的导向功能进行了深入的分析和研究, 为同类行业中综合录井的应用提供了可参考的相关内容。

1 水平井钻井技术概况

在以页岩油气为代表的低渗透油藏或裂缝发育的地层中, 水平井钻井技术能够实现在油层的有效钻进, 这其中水平井的相关工艺及设备是水平井钻井的软硬件保障。

1.1 水平井钻具组合设计

水平井钻井的横向钻进轨迹的精确与否, 在设备因素上主要依靠钻具在水平钻进的稳定能力和造斜能力。这对于钻具组合提出更高的要求, 在稳定钻进的同时, 提高水平井的施工效率和有效延伸距离, 而另一方面则需要较好的造斜能力以抵消滑动钻井的水平轨迹偏离度, 其造斜能力需要通过钻具组合选择最佳程度, 避免过大影响摩擦扭矩和过小降低钻进速度。

1.2 水平井井深设计

水平井的钻井施工顺序由上到下、从内至外, 且要保持钻头的尺寸值低于上层套管直径, 以此保障钻进过程中的套管和井眼环空的合理, 以及顺利进行钻井施工。除此之外, 还有采用高密度钻井液, 在不会出现上层部位开裂的情况下, 加快水平井的钻进速度。此外还需要及时发现溢流的情况, 避免地层压力超过井底的压力值。

1.3 水平井井眼轨迹控制

水平井井眼轨迹控制是其钻井施工成功与否的决定性因素, 主要保障其顺利实现硬件设备为弯接头螺杆钻具, 能够随钻监测螺杆弯角的精准方向, 同时再与稳定器配合, 实现水平井井眼轨迹的精确控制。

1.4 水平井钻井液选择

水平井钻井液的化学凝合力及粘度值要能够满足设计需要, 还要考虑固相含量不能太高, 以免微米颗粒程度过高、导致工期过长, 同时还要有良好的防塌陷、润滑和保护油气层的功能。

1.5 水平井水力参数设计

对于喷射式的钻具使用, 需要合理设计相应的数值组合, 确保钻进时的射流水力能够满足水平井钻进的工作质量及施工进度。

2 综合录井在水平井钻井中的导向功能研究

2.1 水平井钻井中综合录井曲线特征分析

由于水平井的井眼轨迹的非直线性、钻开层的非确定性和产出层的复杂性 (如图 1), 随着钻进部位的延伸, 综合录井曲线具有特殊的表现特征, 本文以砂岩油层水平井钻井为例。

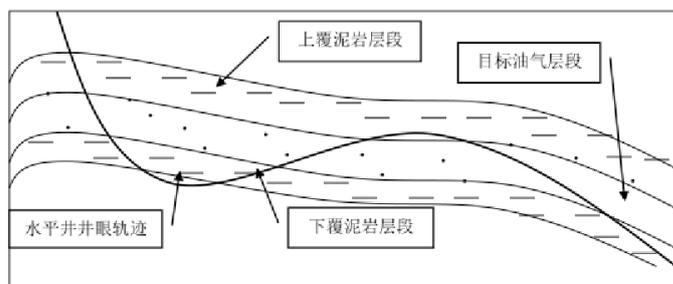


图 1 水平井钻井时井眼轨迹模拟图

从上至下、由上覆泥岩钻入油气层段时, 钻时随之减小, 钻屑中泥岩大幅度减少的同时, 砂岩含量增加, 含油岩屑比例增加, 气测值表现为总烃、组分由低值快速上升, 井斜和垂深双重增加, 自然伽马曲线从较高数值明显降为较低数值, 电阻率曲线则相反、由较低数值升至较高数值。

由油气层段钻入下覆泥岩层时, 钻时变为增大, 钻屑中泥岩比例开始攀升, 砂岩的含量逐渐减少, 含油岩屑比例减少; 气测值表现为总烃由高值缓慢下降, 组分特征值开始从峰点逐渐回落, 井斜和垂深双重增加, 自然伽马曲线由较低数值升至较高数值, 电阻率曲线则反之降低。

由下覆泥岩层钻进油气层段时, 钻时开始减少, 钻屑中泥岩比例大幅度减少, 砂岩含量开始上升, 含油岩

屑比例增加；气测值表现为总烃由低值快速上升，组分特征值开始从较低数值突升，井斜明显增加，而垂深明显降低，自然伽马曲线从较高数值降至较低数值，电阻率曲线变化则反之升高。

从油气层段再次钻入上覆泥岩层时，钻时变为增加，钻屑中泥岩比例上升，砂岩含量反之降低，含油岩屑比例减少；气测值表现为总烃由高值缓慢下降，组分特征值从较高数值逐渐减少，垂深降低，自然伽马曲线从较低数值逐渐升至较高数值，电阻率曲线变化则反之降低。

持续在泥岩层中钻进，钻时一直表现为较高数值，岩性为单一泥岩，岩屑中没有油气特征表现，气测值为背景值，组分特征值明显减少一直到无显示，自然伽马曲线一直表现为较高数值，电阻率曲线则反之一直保持较低数值。

持续在油气层段中钻进，钻时一直表现为较低数值，岩性为单一砂岩，含油岩屑含量明显较高，气测全量曲线升为高值平台曲线，组分明显增大，自然伽马曲线值持续低值，电阻率曲线略呈持续高值。如油层存在物性差异，气测全量曲线表现为锯齿形，组分时高时低。自然伽马曲线呈低值锯齿形，电阻率曲线持续高值呈锯齿状。

实践证明，综合录井中的岩石性能、荧光特征、钻时、气测全量曲线和自然伽马曲线的协同对应性较好，这就为综合录井发挥水平井钻井中的导向作业奠定了基础。

2.2 确保综合录井在水平井钻井中导向功能的分析方法

在水平井钻进过程中，综合录井的导向功能基于具体的跟踪分析，其后的决策最终体现综合录井的导向功能，而以下几项分析方法，有助于实现综合录井的导向功能。

2.2.1 精细地质对比

通过油层精细地质对比，精准的解释附近砂体的特征及变化规律，结合地震资料和各类曲线特征描述，对尚未触及的砂体进行预测，最终根据沉积相的综合分析，精准解释横向和纵向上的地质发育特征和规模。以上就是实现精细地质对比的具体步骤，能够在相应范围内寻找油气标志层段，结合层序学原理和沉积相，最终实现精准的砂体预测，由此判断地下砂体发育的情况，从而为钻进导向提供可靠依据。

2.2.2 微构造精准定位

油层中含油砂体的顶面和底面在微构造上的差异表现，对水平井钻井过程中井眼轨迹的控制非常关键，这就需要在入窗之后准确、及时和有效的修正实际钻进中砂体顶面界限和底面界限的规律性和非规律性变化，从而掌握油层中产状的精准情况，该项内容是水平井钻井过程中能否精准导向的决定性程序和环节。因为水平井钻井中的井眼轨迹设计方案是紧随着含油砂体的变化而变化，是需要落实精准的砂体顶面和底面的微构造，依靠与特定构造形态紧密相关的井眼轨迹设计，保障水平

井钻井中含油砂体的高钻遇率。

2.2.3 含油砂体平面的规模预测

在油层发育分析的基础上，结合综合录井的资料确定含油砂体的分布广度和深度，尤其是根据地质中的精细砂体对比、周围层段及相邻油井的关系对比沉积相图的差异、和砂体响应的差异表现，最终描述出砂体在平面上的差异变化点，从而指导井眼轨迹中砂体变化的精准分析。其分析的砂体在平面上的精准差异表现，就是提高含油砂体钻遇率的基础性工作，需要在水平井井眼轨迹方案设计之前，就要准确落实到位。

2.2.4 入窗靶点的精准定位

水平井钻进过程采用三维立体模型进行地下情况全景模拟展示，结合综合录井信息，实时动态模拟和调整，这对精准定位井眼轨迹、保障精准入窗有着直观的控制作用。该项工作基于构建精准程度最大化的地质三维立体模型，并根据地层发育的变化能够及时准确的对靶点进行修正，确保入窗靶点的精准定位。

2.2.5 水平井钻进中水平段的精准跟踪

确保水平段的精准导向，需要采取垂深、井斜和方位等精准分析法。其中垂深精准分析法用来保障水平井钻井时的井眼轨迹是在砂体内穿行，其主要依靠实际钻进轨迹的垂深作为分析判定的依据；而井斜精准分析法是依靠水平角的变化情况进行精准判定，用来给水平井的钻进提供指导性标志；而对于分支水平井的钻进过程，则需要方位精准跟踪分析法，以方位为参数，确定钻进过程是否按照最初设计方案钻进的关键方法。

2.2.6 钻进实时对比分析

在最初设计方案的基础上，要对钻进时获取的钻时数据进行分析对比，依据气测、岩屑等反馈出的地下特征，最大程度进行井眼轨迹的控制分析，最大程度预测目标油层的位置距离，以便调整钻进方向和垂深，以确保水平井钻井在目标油层中的准确前进。

2.3 确保综合录井在水平井钻井中导向功能的具体技术

传统的水平井钻进时，钻井液中的润滑剂携带的油质成分，给综合录井资料精准反馈油层情况带来了较大困难。而MWD（随钻测量）和LWD（随钻测井）都有资料录入盲区，只有钻屑和气测等录井资料能够近距离跟踪钻井情况。所以为了确保综合录井的资料能够准确发挥导向作用，相关的具体技术就逐渐发展起来。

2.3.1 荧光录井

前面提到钻井液中存在的润滑剂、沥青质等相关成分容易污染钻屑，容易扰乱常规荧光设备的判定和识别。近年来定量荧光分析仪逐渐得到应用，其能够分析钻井液中已经添加的各类润滑剂、沥青质等相关荧光特征，把具有典型污染类别和程度的钻屑作为背景，通过差异图谱作用，排去背景图谱，消除钻井液中各类其他液体的异体性影响，只留存钻屑中的结果，能够较为精准的判定油层具体情况，从而为综合录井提供精准的数据资料。

2.3.2 气测录井

气测录井曲线随着井眼轨迹脱离油层而变化。而气测录井也同样受到钻井液中其他添加剂的影响,但是经过研究发现,真实气测显示和失真气测显示的油层相关特征能够逆向用来判定地下情况。例如在钻进过程中,钻井液中原油的存在导致气测全烃曲线的基线明显提升,这就造成油层中的含油显示明显失真,也就失去了全烃曲线不间断监控含油显示的功能,而重组分的特征值持续显示较高数值,也造成该组分的失真。这时可以利用轻组分的变化来分析,随着钻井液的循环彻底后,轻组分会逐渐减少直至接近零值,一旦钻遇油层时,轻组分就会突升,以此可以判定油层已钻进。所以对轻组分、尤其是甲烷的监测设备(例如快速色谱分析仪)测定的曲线,可以用来辅助全烃曲线判定油层的钻遇情况。

2.3.3 岩屑录井

钻屑的循环方式在水平井和直井中表现不同,水平井中的钻屑有呈现悬浮状态、旋转滚动流动和波动式流动等状态,钻屑循环出地面也与垂深不符,存在滞后情况,这对于水平井的钻井、尤其是薄差层发育的油层来说发挥导向功能困难。针对该项问题,近年来精准钻屑录井方法逐渐推广。该方法在钻时和气测值分析的基础上,定位施工范围内地下物性差异性较小、对比性高的地层,对于钻入的目标层段上覆各个地层的性质和特异性色彩的显示,都可以用来判定是否达到目标层段的垂深,是控制井眼轨迹、避免脱轨的重要方法。

例如不同颜色的泥岩在不同垂深的位置可以用来确定钻进的具体垂深,分析钻头是否脱离设定轨迹。在自然伽马曲线显示数值突升时,钻屑没有显示突破顶面和底面的参考物,结合各层垂深判定是受地层中泥岩条状分布带的影响,此时微调上移井眼轨迹,自然伽马曲线就变回砂岩的特性显示状态。而相反的情况,当钻屑显示触及顶面和底面的状态时(触及顶面或底面岩层、返出相应颜色的钻屑),就向下或向上调整井眼轨迹,确保轨迹在有效油层内部延展。可以说精准钻屑录井方法是有效保障了水平井钻井精准导向功能的重要措施之一。

2.4 实现综合录井确定油层界线导向功能的具体步骤

精准定位水平井钻入的油层界线,最大程度精准预测钻入油层的差异分布,以精准推进水平井的钻进,这是综合录井在水平井钻井中导向功能的具体体现。目前较为成熟的综合录井导向功能判定步骤已逐渐被认可,其主要包含以下几个环节:

一是做好初判工作。采用直井综合录井资料、先行定位目标油层顶面和底面的初始位置,作为水平井钻井方案的初始依据。

二是实时钻进、实时分析。采取前文所述的荧光、气测等录井技术措施,精准判定油层物性和具体位置,采用LWD(随钻测井)井斜数值分析垂深,利用LWD(随钻测井)监测自然伽马曲线特征以确定各类界面,尤其

是当井眼轨迹持续触底或突破顶面时,此步骤可以精准综合判定含油层段的准确界线。

三是精准对比、确定规模。准确对比相邻油水井的实际钻井资料,在横向上和纵向上分析目标油层的含油规模变化。

四是采取多方资料联合分析。相应的沉积相图、纵向剖面图、整体构造模拟图等,都可以对分析目标油层有效厚度、具体差异性变化形式等进行准确的反应。

上述钻前精准预测、实钻时精准调整的方法,能够有效实现水平井钻井时的导向功能。

3 结语

水平井钻井工程的优劣程度是高度依赖于综合录井工作的精准程度。而综合录井工作资料的精确录取、方法的精确分析和钻进的精确执行,最终决定了其能否给水平井钻井提供精准的导向功能。所以采取可靠的数据分析方法,对获取的综合录井资料开展精确分析,按照可靠的流程步骤,对钻进中的油层触及情况进行准确分析,由此最大程度发挥综合录井在水平井钻井过程中的导向功能,这一方面提高了水平井实钻效果,另一方面也保障了井眼轨迹控制的精准程度。由此可见采取保障导向功能的分析方法、录井技术和可靠的流程,这对大幅度提升水平井钻井效率和质量起着至关重要的作用。目前综合录井技术在水平井钻井中的导向功能是从施工实践中得来的,随着钻井技术的不断发展,获取资料的精准性和分析方法及技术的先进性都会大幅度提升,届时综合录井还会对包括水平井钻井工程在内的钻井施工,发挥出更高、更精准的导向作用。

参考文献:

- [1] 齐振勤,周风艳,姜萍,陈代厚.录井在水平井地质导向中的作用与应用实例[J].录井工程,2013,23(4):7-9.
- [2] 任菊玲,陈俊男,张以军.应用综合录井技术进行水平井地质导向[J].中国石油和化工标准与质量,2011(4):230.
- [3] 柳斌.综合录井在钻井工程中应用现状[J].化工设计通讯,2019,45(12):2.
- [4] 孙海钢.综合录井数据采集系统研究及在钻井工程中的应用[D].大庆:东北石油大学,2015.
- [5] 金晓波.综合录井技术在川西水平井钻井中的导向作用[J].中外能源,2009,14(10):4.
- [6] 孙树胜.综合录井地质导向在水平井钻井中的应用[J].中国科技博览,2014(11):1.
- [7] 杨明华,雷波涛.综合录井在水平井钻进中的导向作用[J].录井技术,2003(1):53-58.
- [8] 王保鑫.水平井导向的助手——综合录井[J].民营科技,2012(7):1.
- [9] 段旭东,王振华.录井技术在大牛地气田水平井钻井中的发展及应用[J].化工管理,2014(23):80-80.
- [10] 刘伟.地质录井在水平井施工中的地质导向[J].工程技术(文摘版),2016(01):52-52.