

# The Method for Analysis of Tracking While Drilling in Horizontal Wells Based on Real-time Data

Yuanming Liang, Xiaohui Zhang, Jiali Liu

Xi'an Shiwen Software Co. Ltd., Xi'an Shaanxi  
Email: 459496567@qq.com

Received: Jun. 15<sup>th</sup>, 2017; accepted: Aug. 18<sup>th</sup>, 2017; published: Oct. 15<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

During the process of oil and gas field exploration and development, the horizontal well has gradually become the main drilling technology for oil and gas exploration and development because of its advantages of longer penetrated oil layer, more obtained information and efficient development. How to use the logging data such as lithology, electrical properties, physical properties and oil and gas properties for analysis of tracking while drilling has become the top priority in logging. The analysis of tracking while drilling of horizontal wells included the following three aspects: First, at the early stage of drilling, geological engineering design of the horizontal well based on data of adjacent wells, second, before drilling into the target layer, analysis and correlation of the formation and real-time forecasting, third, after entering the layer, the real-time, visualized and integrated analysis and guidance. Real-time data are used to make detailed geologic correlation and adjust the model timely, and the real drilling and the designed trajectories are compared to ensure that the horizontal well trajectory accurately enters into the target layer. When accidents like horizontal interval deviating from the designed trajectory, drilling out of the target layer, sudden changes in lithology, and abnormal logging data occur, accurate interpretation and evaluation can be made based on well/mud logging data while drilling, regional data, and seismic data, etc., and the trajectory adjustment program can be proposed according to drilling screw parameters, to ensure the reservoir-encounter ratio.

## Keywords

Real-time Data, Horizontal Well Design, Pre-drilling Prediction, Tracking While Drilling, Dynamic Adjustment

---

# 基于实时数据进行水平井随钻跟踪分析的方法探讨

梁远明, 张小会, 刘佳丽

西安石文软件有限公司, 陕西 西安

作者简介: 梁远明(1989-)男, 工程师, 主要从事油气田开发地质方面、油气田勘探开发类信息系统建设方面的研究工作。

Email: 459496567@qq.com

收稿日期: 2017年6月15日; 录用日期: 2017年8月18日; 发布日期: 2017年10月15日

## 摘要

油气田勘探开发过程中, 水平井由于其井眼穿过油层长、获得信息多、开发高效等优势, 逐步成为勘探开发的重点钻井技术。而在水平井钻进过程中, 如何利用随钻过程中获得的岩性、电性、物性及含油气性等录井资料进行随钻跟踪分析成为了录测井工作的重中之重。水平井随钻跟踪分析包括3个方面: 一是钻井前期阶段结合邻井准确进行水平井的地质工程设计技术; 二是钻井进入目的层前的地层分析对比和实时预测技术; 三是进入目的层后的实时性、可视性的综合跟踪分析与导向建议。通过实时数据进行测录井精细地质对比, 及时修正模型, 实钻与设计剖面实时对比, 确保水平井井眼轨迹准确进入目的层。当水平段发生偏离设计轨迹、钻出目的层、岩性突变、气测异常等情况时, 可以利用随钻测井资料、录井资料、区域资料、地震资料等进行精确解释评价, 结合钻井螺杆参数, 给出轨迹调整方案, 保证油气层钻遇率。

## 关键词

实时数据, 水平井设计, 钻前预测, 随钻跟踪, 动态调整

Copyright © 2017 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 前言

随着信息技术的不断发展, 钻井实时数据的采集也越来越完整、及时、可靠, 如何利用好这些数据, 结合水平井区域地质情况进行水平井设计、钻前分析、随钻跟踪、地质导向成为了水平井钻井技术的难点。在水平井实际作业过程中, LWD、MWD 随钻测井技术能够起到指导实际随钻跟踪与导向作用, 但是由于其仪器滞后钻头 8 m 左右的盲区, 导致无法第一时间获得钻头附近的地质资料, 从而造成井眼轨迹偏离油层时已无法快速调整, 降低钻遇率。而钻时、气测、岩屑、荧光显示等录井资料能够第一时间反映钻头位置的岩性及含油气性特征, 借助水平井随钻跟踪分析系统软件, 通过录井数据的综合展示和钻进过程有形化, 能够及时、正确地进行随钻跟踪分析, 从而指导解释及评价地质导向工作, 保障快速

优质钻录井,提高水平井油气层的钻遇率[1][2]。

## 2. 水平井随钻跟踪分析技术

### 2.1. 水平井设计方法探讨

针对中国地质背景的复杂性和水平井设计研究的资料完整性,目前行业主要采用5种水平井设计方法:参考井组法、投影剖面法、平面布靶点法、二维与三维模型交互法、井震结合法。参考井组法主要是基于区域邻井资料,以设计水平井段两侧的2个以上井组作为参考井,根据构造趋势提取地层、砂层、油气藏关键地质信息,进而在虚拟剖面上进行水平井段设计;投影剖面法主要针对油气藏边部控制井较少的情况,通过邻井油气层信息投影到水平井轨迹剖面上进行设计;平面布靶点法重点针对地质沉积较为稳定(如鄂尔多斯盆地的部分区块)、发育较厚油气层的情况,通过在有效厚度、沉积相等平面图上部署水平段靶点,追踪厚度较大的主力油气层,进而进行水平井设计;二维与三维交互法主要是在区域资料较为详实的情况下,通过建立三维模型,并切取二维剖面,进行水平井设计;井震结合法将井资料与地震资料结合,通过时深转换后选取能反映构造、沉积或者油藏的合适的深度域地震振幅、属性或反演剖面,并在在相关的地震剖面进行水平井段设计。上述5种方法中参考井组法、投影剖面法适用于井距较小、控制程度高的油气田开发区块,平面布靶点法适用于沉积背景稳定、构造简单、有效厚度厚度较大的区块,二维与三维交互法、井震结合法适用于资料详实可靠、地质复杂、研究深入的勘探及开发区块。

### 2.2. 水平井钻前预测分析

借助水平井随钻跟踪分析的专业软件以及设计阶段形成的成果,可以进行多种资料的钻前预测。一是进行钻前地层和砂体预测、轨迹与油层接触关系分析、着陆点预测;二是对于建立三维砂体或油气藏模型的水平井,可依靠专业软件计算沿井轨迹的岩性界面距离的预测值,生成沿井眼轨迹的距离顶面围岩与顶面围岩的距离数据表;三是根据三维模型进行沿井眼轨迹的钻前曲线值预测,如建立气测全烃的三维模型,预测沿井眼轨迹的全烃体积分数曲线。通过上述钻前预测分析技术,实现钻前心里有数、提前预警,以防漏失重点油气层。

### 2.3. 随钻跟踪分析

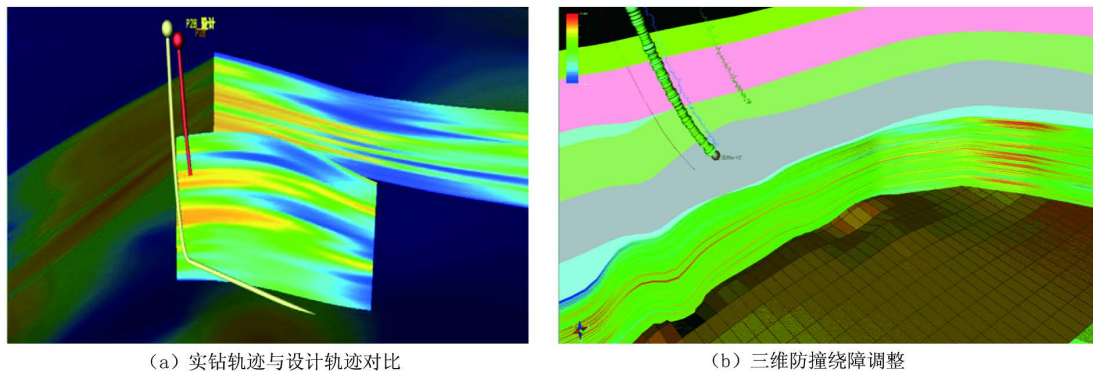
水平井钻进阶段,录井的多项实时数据能够真实反映地下地质特征情况的能力有限,所以地质工程师必须结合设计阶段形成的设计剖面及三维模型,通过多项数据参数的综合对比研究,及时、快速地发现实钻剖面与设计剖面的差别变化,调整轨迹设计参数,更多地钻遇目的层。钻井过程中的地质变化主要反映在岩性变化上,利用钻时、上返岩屑、地层造斜率、钻井工程参数变化、钻井液性能等多因素来综合判断岩性变化[3];在信息化配套方面,采用多窗口随钻跟踪分析技术,接入录测井实时数据,实现随钻过程的综合性、及时性和可视性,克服因某单项因素的影响(如岩屑滞后、失真、仪器误差等)造成钻遇油层损失。

1) 多窗口综合信息分析技术。应用测录井实时数据的多窗口有形化技术实现多参数的综合对比分析。多窗口综合跟踪分析应包括的信息有:录井钻时曲线、岩屑上返、测井曲线、设计与实钻对比、水平井三维地质模型实时跟踪等。对于地震数据较为丰富的区块,可进行叠前、叠后多剖面以及在三维地震体上进行实时随钻跟踪分析。

2) 斜深校直及微构造预测技术。通过复杂轨迹的几何转换实现深度归位,测录井数据的转换选取,实现水平井斜深校直后的综合对比研究,从而在钻进过程中快速与邻井进行精细小层对比。通过研究地层岩性、典型标志层、砂体变化等关键地质信息,实现小层的精细研究及层位的快速卡准。

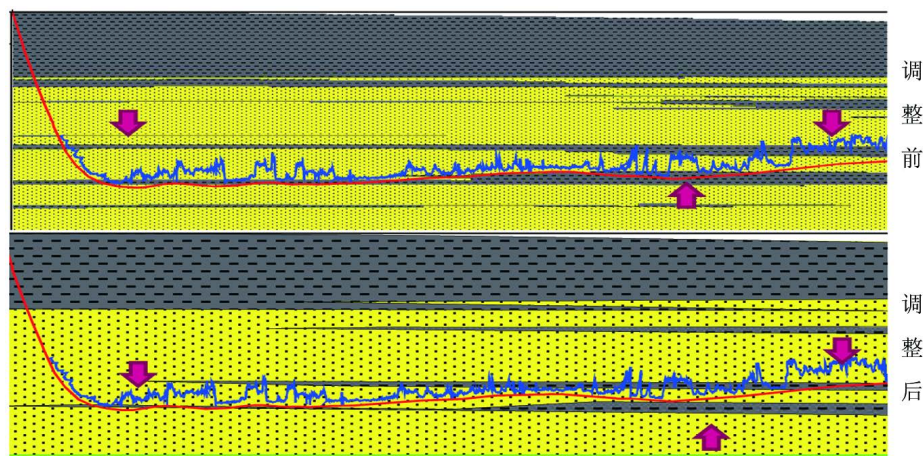
目的层微构造变化提前预测，以往只关心目的层实钻与设计构造变化，然而，当钻到目的层发现其构造发生变化时再进行调整往往浪费进尺和油气层。目的层产状与上覆地层产状多有继承性或者规律性变化，在造斜点之前应当选择分布较为稳定、上下岩性特征变化明显的地层作为标志界面，实时对比钻遇标志界面的深度变化，及时发现地层产状变化及变化趋势，以便提前进行对比调整[4]。

3) 实钻与设计轨迹对比、三维防撞绕障调整技术。随钻过程中要重点关注实时实钻井与设计井轨迹对比跟踪，并实时计算出实钻井轨迹点与设计井轨迹点的距离、方位。对于井网密集的开发区块，通过三维可视化随钻跟踪，有效地进行水平井三维防撞绕障(图 1)。结合邻井井眼轨迹位置与油气层空间位置，计算出油层损失最小的调整轨迹。



**Figure 1.** The comparative analysis on the tracking while drilling of horizontal wells and 3D obstacle avoidance  
**图 1.** 水平井随钻跟踪对比分析及三维绕障

4) 随钻动态地质模型实时调整。在三维砂体或油气藏模型中沿井眼轨迹提取剖面，在水平井钻进过程中实时采集数据，地质工程师及时结合实时数据进行地质模型的动态调整(图 2)，包括夹层厚度、岩性厚度、位置、长度的实时调整，并实时更新三维地质模型，实现实时掌握。



**Figure 2.** The dynamic adjustment of geologic model while drilling of horizontal wells  
**图 2.** 水平井随钻地质模型动态调整

5) 随钻数字化自动建模技术。数字化自动建模技术应用于水平井随钻导向，实现实时采集数据实时更新修正模型，消除重新建模跟踪的滞后性，使得轨迹调整更快捷、更精确，从事提高水平井钻遇效果，极大降低了研究人员的工作强度(图 3)。

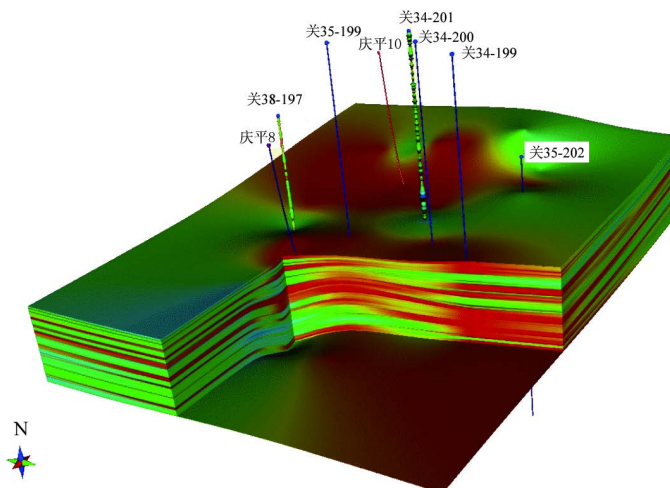


Figure 3. The technology for automatic digitalized modeling while drilling  
图 3. 随钻数字化自动建模技术

6) 随钻过程中实时预警技术。遇到重点关注层位、施工异常、测录井异常等可以快速反应、及时处置，强化风险控制，包括钻遇目的层时进行报警、录井岩性突变预警、钻穿目的层预警、测井曲线异常预警等(图 4)。

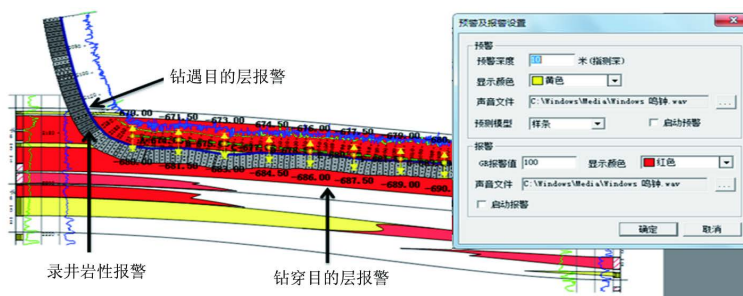


Figure 4. The technology for real-time pre-warning while drilling  
图 4. 随钻过程中实时预警技术

## 2.4. 地质导向方案

当水平井偏离井眼轨迹、钻出储层时，应根据油层损失最小原则，地质导向工程师应当结合螺杆参数快速计算给出钻井导向方案，实现钻井井眼轨迹的软着陆。

## 3. 应用实例分析

随着水平井随钻跟踪分析技术的深入应用，在准噶尔盆地、鄂尔多斯盆地的重点勘探、开发区块起到了良好的效果，主要表现在多资料及时性、可视性的综合应用，实现了水平井关键目的层位的准确卡取、油气层的快速发现落实、钻井轨迹的及时调整等，不仅实现了油层的高钻遇率，也为后期开展区块的开发、技术的积累奠定了基础。

### 3.1. 风南 FNHW400X 井

利用井组法准确地预测水平井轨迹所在关键点的地层(砂层)海拔和展布情况，加入设计轨迹钻前分析，包括待钻水平井钻遇地层海拔、着陆点等信息，指导水平井地质导向(图 5)。

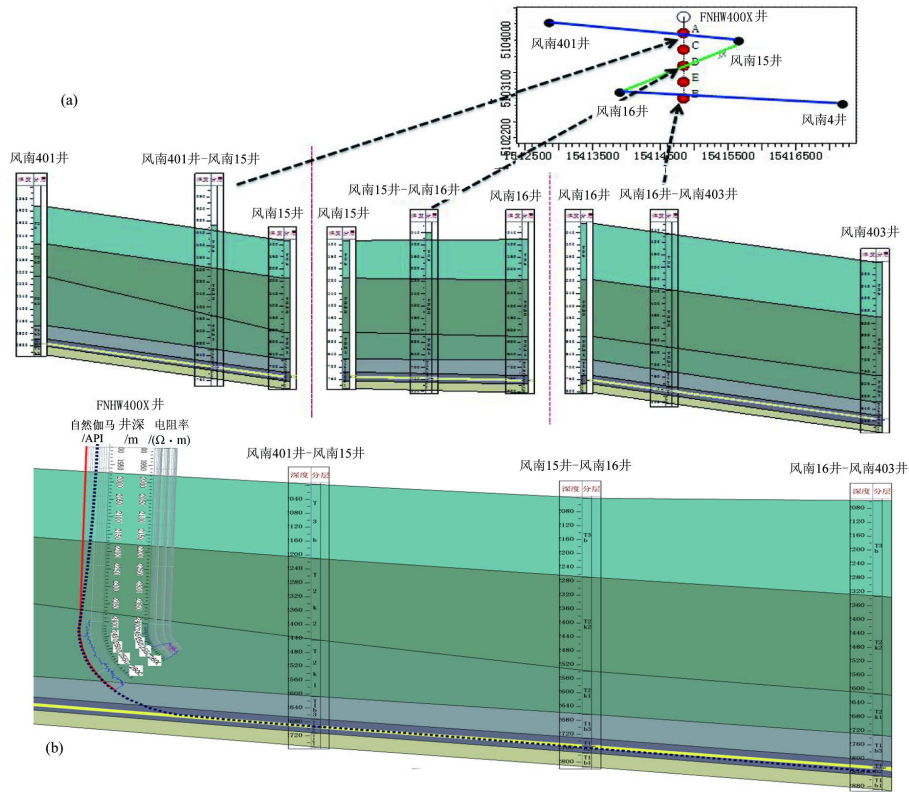


Figure 5. The pre-drilling predictive analysis using well-group method (a) and horizontal well design (b) in well FNHW400x

图 5. FNHW400x井井组法钻前预测分析(a)及水平井设计(b)

### 3.2. 玛湖 MaHW132X 井

根据钻前地层和砂体预测、轨迹与油层接触关系分析、钻前目的层构造趋势分析、水平井一键校直后，在正钻过程中快速与邻井进行精细小层对比。当水平井钻出储层时，根据油层损失最小原则，结合螺杆参数提供钻井导向工程方案，指导现场钻井调整(图 6)。

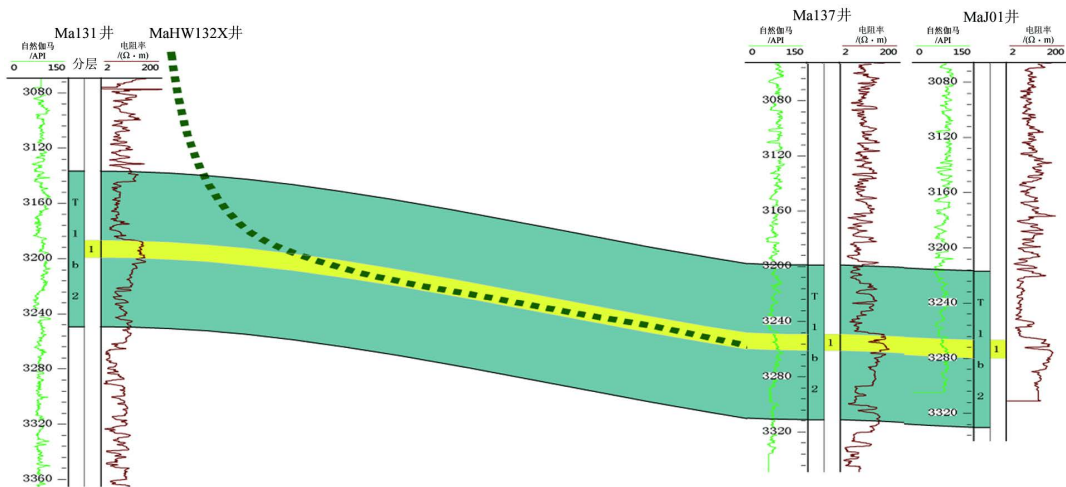


Figure 6. The comparative analysis on the horizontal well prediction and calibration of deviation and depth in sublayers

图 6. MaHW132X 井水平井预测及斜深校直小层对比分析

### 3.3. 陆梁 LUHW172X 井

通过邻井资料建立三维构造模型,对水平井钻遇油层情况进行预测;通过邻井资料建立三维油藏、自然伽马和电阻率模型,在三维模型中随设计轨迹切片,放入二维中实现水平井导向。

LUHW172X 井三维模型预测油顶比地质设计油顶低约 0.8 m,与随钻测井实测结果相符。在 1994~1997 m 井段,气测全烃体积分数低于 1%,疑钻遇泥岩夹层。考虑到该段深度接近砂泥分界面,电阻率较油层中下部低,建议轨迹下调,最终实现了油层钻遇率 100%。

## 4. 结语

随钻跟踪分析利用现场实时远传资料,通过地质数据、实时数据的二维、三维可视化与综合对比分析,进行水平井地质综合研究、钻井设计、钻前分析、随钻跟踪、导向建议等研究,为现场提供及时可靠的水平井钻井支持。通过鄂尔多斯盆地、准噶尔盆地重点区块的应用,取得了提高录井解释符合率、卡准了关键目的层位、及时发现油气层等成绩,经济效益显著,在勘探开发过程中实现快速钻井、找寻油气层、规模开发生产中将具有广泛的应用前景。

## 参考文献 (References)

- [1] 王升永,宋庆田,李富强,等.综合录井在水平井钻井过程中的作用[J].大庆石油地质与开发,2004,23(3):29-30.
- [2] 苏义脑.水平井井眼轨道控制[M].北京:石油工业出版社,2000.
- [3] 于爱华.随钻地质动态分析技术在录井中的应用[J].录井工程,2010,21(2):55-57.
- [4] 范志军,李玉城.水平井随钻地质跟踪导向技术应用实践[J].录井工程,2007,18(4):22-25.

[编辑] 龚丹

**Hans** 汉斯

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2471-7185, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>  
期刊邮箱: [jogt@hanspub.org](mailto:jogt@hanspub.org)