

# Study on Field Geosteering in Horizontal Wells

## —A Case Study of Well Jin XXX

Jincheng Zhou, Qingsong Deng, Qiyang Zhou

Logging Company of Sinopec East China Petroleum Engineering Co. Ltd., Yangzhou Jiangsu  
Email: 407429527@qq.com

Received: Mar. 7<sup>th</sup>, 2017; accepted: Jul. 9<sup>th</sup>, 2017; published: Aug. 15<sup>th</sup>, 2017

---

### Abstract

There were two key points in horizontal well geosteering: precise landing in the window and geosteering in the horizontal sections. By taking Well Jin XXX as an example, the key points of geosteering logging in horizontal wells were introduced in detail. Based on the actual drilling logging data, LWD electrical data and logging characteristics of drilled formation and oil and gas reservoirs, the geosteering in horizontal wells has succeeded by choosing the suitable marker beds, fine stratigraphic correlation, and comprehensive identification of the drilled formation.

### Keywords

Horizontal Well, Geosteering, Comprehensive Logging, Landing Window

---

# 水平井现场地质导向应用研究

## ——以金 XXX 井为例

周锦程, 邓青松, 周其阳

中石化华东石油工程有限公司录井分公司, 江苏 扬州

作者简介: 周锦程(1977-), 男, 硕士, 工程师, 现主要从事地质油藏描述方面的工作。

Email: 407429527@qq.com

收稿日期: 2017年3月7日; 录用日期: 2017年7月9日; 发布日期: 2017年8月15日

### 摘要

水平井地质导向有2个关键点, 入窗点精确着陆和水平段地质导向。阐述了水平井地质录井导向技术要点, 以金XXX井为例, 利用现场实钻综合录井资料、LWD电性资料及水平井所钻地层及油气层录井表现特征, 选择合适的标志层, 精细对比地层, 综合判断钻头与地层的钻遇情况, 成功实现水平井地质导向。

### 关键词

水平井, 地质导向, 综合录井, 入窗点

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. 引言

为了提高致密砂岩油气藏、页岩油气藏的油层采收率及单井采油效率, 广泛使用水平井钻井技术, 水平井地质导向技术也随之精益求精, 各种用于地质导向的仪器层出不穷, 如近钻头地质导向仪、深探测方位电阻率测井(AZiTrak)、LWD (Logging While Drilling)仪器、MWD (Measurement While Drilling)仪器、高分辨率随钻电成像测井(StarTrak)等[1] [2] [3]。水平井地质导向有2个关键点, 入窗点精确着陆和水平段地质导向。水平井现场地质导向利用现场综合录井资料、LWD 资料、邻井及导眼井资料, 进行地质综合分析对比, 精确判断目的层“入窗点”, 实现精确着陆和水平段地质导向。

## 2. “入窗点”的判断技术要点

### 2.1. 实钻轨迹跟踪图

在绘图纸上, 按照钻井设计的垂直井深及水平位移绘制出设计井眼轨迹图, 并把入窗点及出窗点的数据标注在图上, 根据设计目的层地层倾角绘出地层走向线。在实钻过程中, 及时绘制实钻井眼轨迹图, 实时跟踪钻头位置(图 1)。

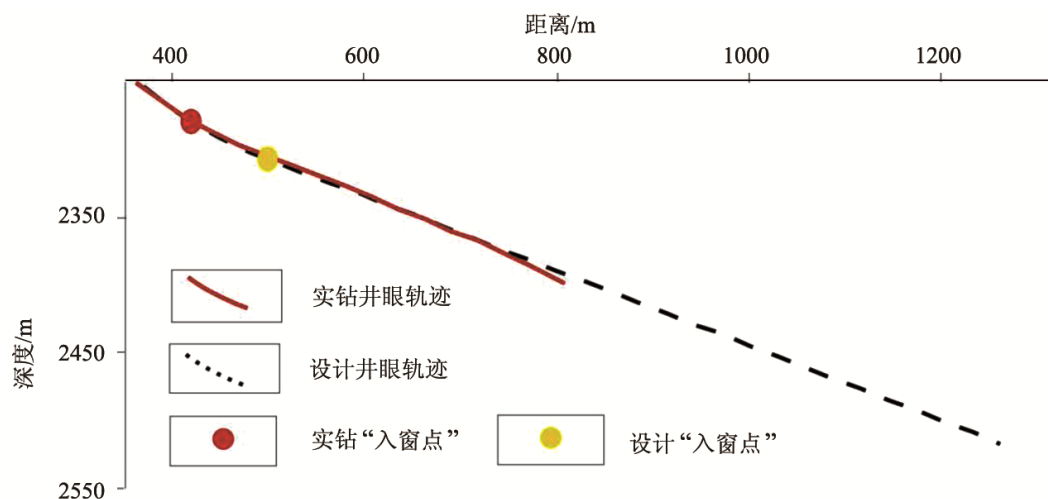


Figure 1. The sketch of well trajectory tracking in Well Jin XXX  
图 1. 金 XXX 井井眼轨迹跟踪示意图

## 2.2. 地层对比工作

熟悉邻井或导眼井资料，掌握该区域的地层组合特征及目的层段的油气、测井曲线特征，精细、准确地做好斜井眼段与邻井或导眼井的地层对比工作。在目的层前选定“标志层”、“标志段”，通过邻井或导眼井岩性及组合特征、电性特征、钻时、气测、含油气性、地质分层及厚度进行地层对比，精确预测目的层“入窗点”，及时、合理调整井眼轨迹，以最佳井斜角进入目的层，保证进入砂层后以最小斜井段、最小垂深的进尺转水平钻进。

## 3. 水平段地质导向的技术要点

水平井的水平段导向要综合利用地震解释剖面、钻时、岩性、气测、井斜、LWD 曲线等资料，进行精确导向，提高油层钻遇率。

### 3.1. 计算地层倾角

由图 2(a)~(c)可知，地层倾角计算公式为

$$\alpha = \arctan(\Delta X_1 / \Delta Y_1) \quad (1)$$

式中： $\Delta X_1$  为垂深差(BC)，m； $\Delta Y_1$  为位移差(AB)，m； $\alpha$  为地层倾角，(°)。

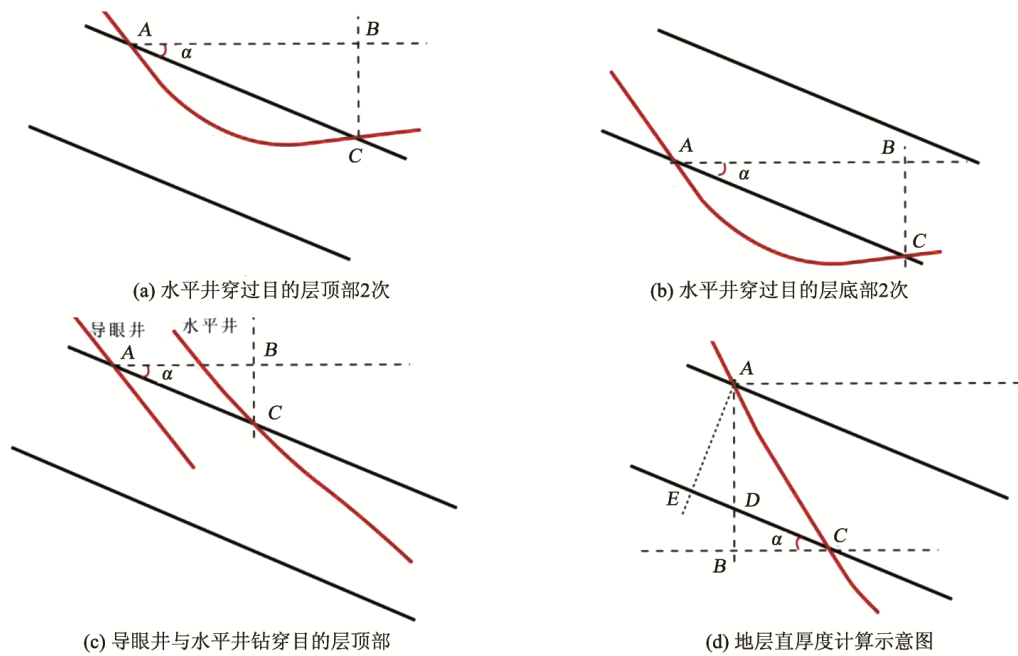
由图 2(d)可知，目的层真厚度计算公式为

$$\Delta H_1 = (\Delta X_2 - \Delta Y_2 \tan \alpha) \cos \alpha \quad (2)$$

式中： $\Delta H_1$  为地层真厚度(AE)，m； $\Delta X_2$  为点 A、C 的垂深差(AB)，m； $\Delta Y_2$  为点 A、C 的位移差(BC)，m； $\alpha$  为地层倾角，(°)。

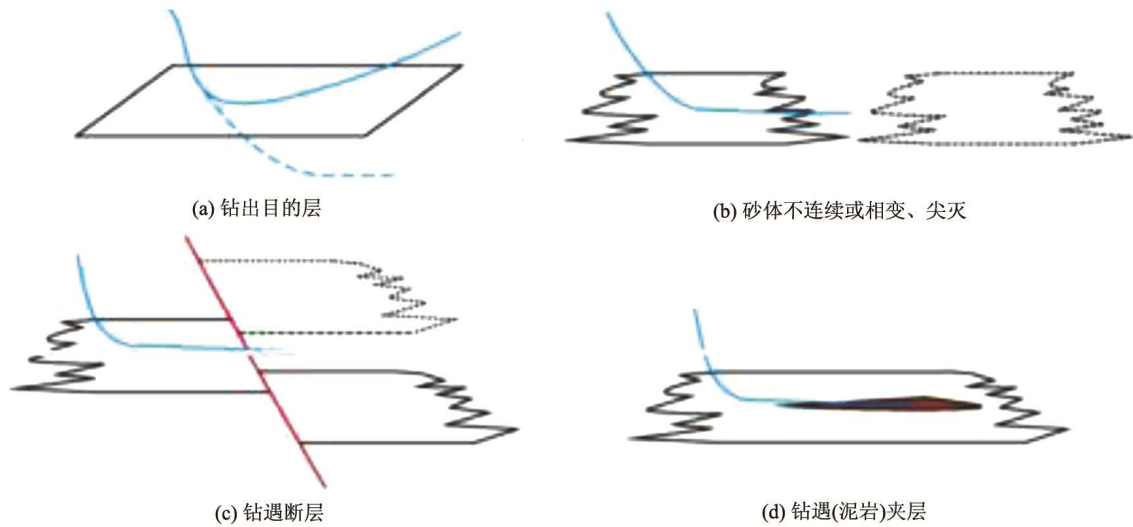
### 3.2. 水平段钻遇非目的层岩性的 4 种情况

如图 3 所示，水平段钻遇非目的层岩性，既有是井眼偏离正确轨迹的原因，也有由于存在地震资料通常无法识别的薄夹层、相变导致的岩性变化和小断层。根据井区资料、地震剖面资料、钻时、岩屑、气测录井资料、随钻测井资料，确调整井眼轨迹，及时回到目的层，或对是否继续钻进作出正确判断。



**Figure 2.** The sketch of formation dip angle calculation and real vertical formation thickness in various situations

**图 2.** 各种情形下地层倾角计算和地层真垂厚计算示意图



**Figure 3.** The 4 situations encountered in drilling of non-target zones in the horizontal sections (modified based on literature [4])

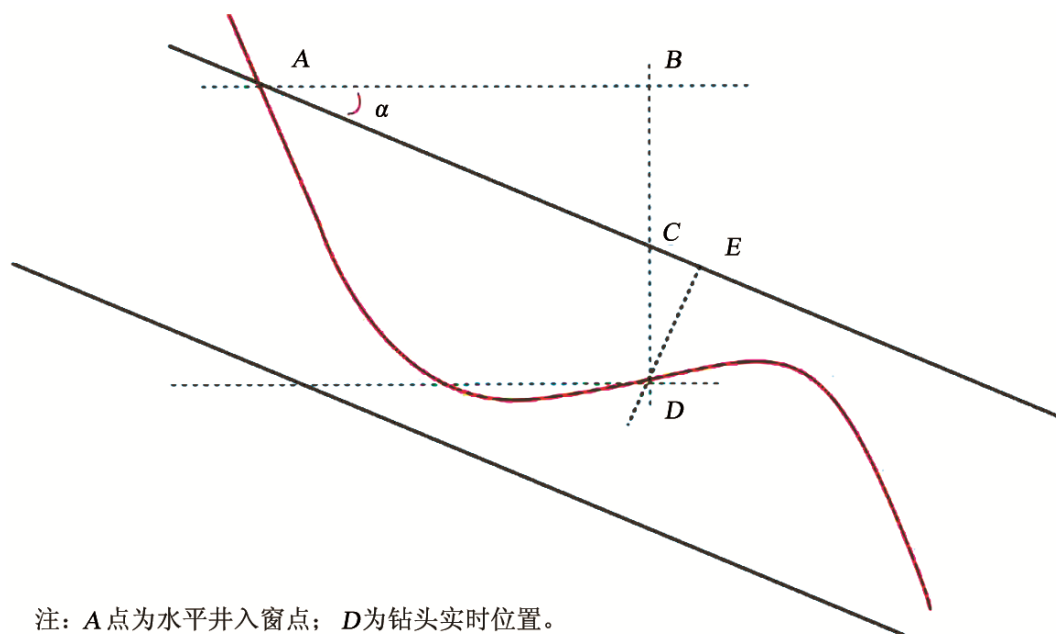
**图 3.** 水平段钻遇非目的层岩性的 4 种情况(根据文献[4], 有修改)

### 3.3. 判断钻头位置, 计算钻头距目的层底板的垂直距离

由图 4 可知, 计算钻头距目的层底板垂直距离的公式为:

$$\Delta H_2 = (\Delta X_3 - \Delta Y_3 \tan \alpha) \cos \alpha$$

式中:  $\Delta H_2$  为钻头距目的层顶板的垂直距离( $DE$ ), m;  $\Delta X_3$  为钻头位置与入窗点的视垂差( $BD$ ), m;  $\Delta Y_3$  为钻头位置与入窗点的水平位移差( $AB$ )。



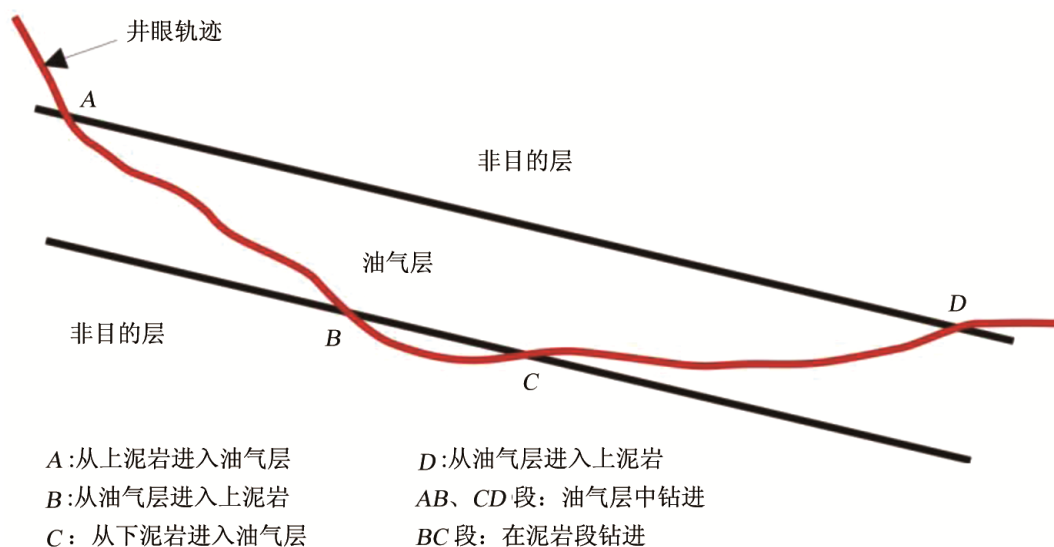
注：A点为水平井入窗点；D为钻头实时位置。

Figure 4. The sketch of real vertical thickness of the calculated distance of drilling bit from the bottom of target zone

图 4. 计算钻头距目的层底板的真垂厚示意图

### 3.4. 水平井所钻地层及油气层录井表现特征

受目的层(油层)的产状和走向的不确定性、钻井工艺及技术的局限性等因素的影响,水平井井眼轨迹不可能呈直线延伸,始终在目的层(油层)中钻进,随时都有可能偏离油层进入上下围岩层。结合金 XXX 井实钻井眼轨迹(图 5)及实钻录井资料,从钻时、岩屑、含油性、气测、自然伽马、电阻率、钻头位置等方面的变化,就水平井在地层中钻进的 6 种情况及其表现出的 7 种特征进行了归纳总结(表 1),从而判断水平井在地层中钻进情况。



A: 从上泥岩进入油气层

B: 从油气层进入上泥岩

C: 从下泥岩进入油气层

D: 从油气层进入上泥岩

AB、CD 段: 油气层中钻进

BC 段: 在泥岩段钻进

Figure 5. The sketch of the drilled well trajectory of Well Jin XXX

图 5. 金 XXX 井实钻井眼轨迹示意图

**Table 1.** The characteristics of drilled formations and oil and gas logging in the horizontal well [5]**表 1.** 水平井所钻地层及油气层录井表现特征[5]

钻头进入地层情况	地质录井				气测录井		电测曲线		钻头至油层顶板位置
	钻时	岩屑体积分数		含油砂岩体积分数	全烃	组分	自然伽马	电阻率	
		泥岩	砂岩						
A: 从上泥岩进入油气层	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↓	↑	下行
B: 从油气层进入下泥岩	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↑	↓	下行穿底
C: 从下泥岩进入油气层	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↓	↑	上行
D: 从油气层进入上泥岩	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↑	↓	上行穿顶
BC 段: 泥岩中钻进	持续高值	单一泥岩	无	无	背景值	下降直至消失	持续高值	持续低值	—
AB、CD 段: 油气层中钻进	持续低值	无	单一砂岩	高	高值	高值	持续低值	持续高值	—

#### 4. 应用实例

金南油田位于金湖凹陷石港断裂中段金南构造,北临三河次凹,南连龙岗次凹,蕴藏丰富的油气资源。金南油田构造复杂,断层发育,有利圈闭小,油层薄,物性差,岩性致密,属低孔低渗致密砂岩油气藏。

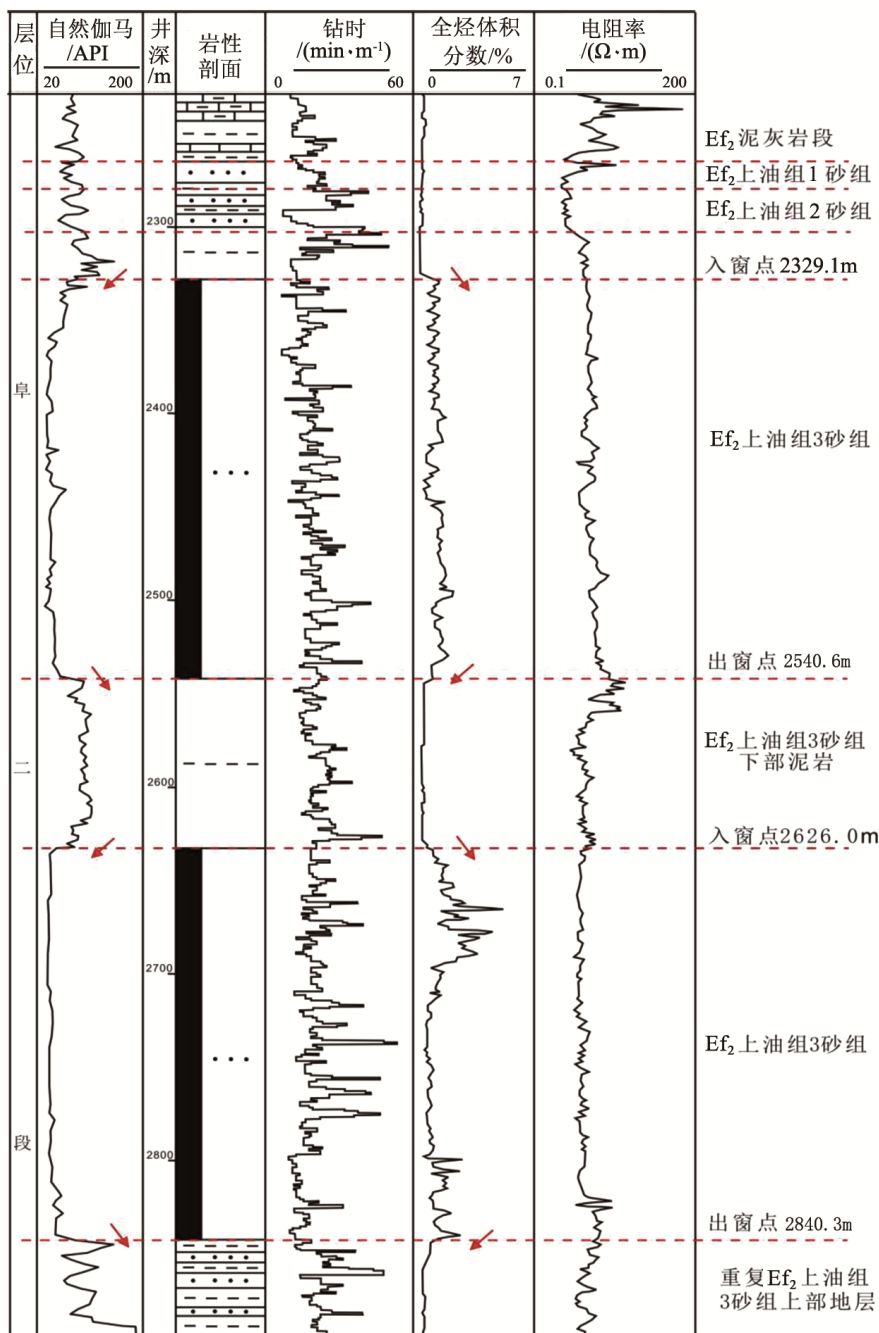
金 XXX 井是部署在金湖凹陷中部石岗断裂带中段金南油田 1 号区块上的一口水平井,水平段目的层是阜新组二段(Ef<sub>2</sub>)上油组 3 砂组。设计入窗点为靶点垂深 2195 m,闭合方位 125.58°,闭合位移 285.53 m,井斜 74.12°,斜深 2328.79 m,要求水平段在目的层顶界以下 1 m 按稳斜角 74.12°钻进。该井录井项目有气测录井和岩屑录井,LWD 带自然伽马和电阻率测井(见图 6)。

如图 6 所示,井深 2265 m 之上为 Ef<sub>2</sub> 上部泥岩灰岩段,泥岩颜色灰黑色,呈片状,有机质丰富,泥灰岩颜色深灰色,呈片状,滴酸反应剧烈,局部可见裂缝含油,电性特征为高阻灰岩尖子,可将其作为目的层上部的远处控制标志层。

Ef<sub>2</sub> 上油组的 1、2 砂组可作为目的层上部标志层。实钻至井深 2302 m,垂深 2182.31 m,井斜 70°,发现井深 2265~2277 m 是 Ef<sub>2</sub> 上油组的 1 砂组,井深 2277~2302 m 是 Ef<sub>2</sub> 上油组的 2 砂组,判断目的层顶部深度 2190 m(垂深),控制好井眼轨迹,钻达目的层的井斜可达 73°~74°,能保障进入目的层的水平轨迹(如图 6、表 2)。

钻至井深为 2329.1 m(垂深 2190.61 m),实钻录井资料与 LWD 资料的变化特征(如图 5、图 6、表 2)与表 1 所示基本一致。即自然伽马降低,电阻率升至 10~13 Ω·m,气测值升高,砂岩增多,含油岩屑增多,泥岩减少,井斜 73.9°,钻头下行,综合判断钻达目的层,比设计垂深提前了 4.39 m,实钻与设计基本符合。

地层倾角设计为 15.88°,为了获得准确的地层倾角,下探目的层底板,判断目的层真垂厚,井斜角低于设计井斜角,钻至井深 2540.6 m(垂深 2249.09 m),自然伽马升高,气测值降低,砂岩减少,含油岩屑减少,泥岩增多,井斜 73.42°,钻头下行,以地层倾角为 15.88°计算,目的层真垂厚才 0.98 m,而周边邻井资料表明目的层厚度约 3 m 左右。因此,现场又下探 2 根,结合实钻录井资料及自然伽马、电阻率



**Figure 6.** The sectional sketch of integrated logging of Well Jin XXX  
**图 6.** 金 XXX 井综合录井剖面示意图

资料，将井眼轨迹投影在地震剖面上看，综合判断钻头在油层底部，钻达目的层底部。采取增斜措施，钻至井深 2626 m (垂深 2271.34 m)，井斜增至 76.02°，自然伽马降低，气测值升高，砂岩增多，含油岩屑增多，泥岩减少，综合判断钻头上行，钻出目的层底板，返回目的层(如图 5、图 6、表 2)。

根据 2 次钻穿目的层底板的数据，利用上述的计算地层倾角及地层真厚度方法，计算出目的层的实际地层倾角为 15.1°，地层真厚度约为 3.5 m。根据钻头距目的层顶板的距离也可直观地判断出钻头有没有出目的层(表 2)。



**Table 2.** The well deviation data of horizontal section in Well Jin XXX  
**表 2.** 金 XXX 井水平段井斜数据表

井深 /m	井斜角 /(°)	垂直井深 /m	闭合位移 /m	闭合方位 /(°)	钻头离顶板 距离/m	井深 /m	井斜角 /(°)	垂直井深 /m	闭合位移 /m	闭合方位 /(°)	钻头离顶板 距离/m
2292.87	67.80	2179.20	244.33	125.43		2582.71	74.70	2260.69	522.34	126.23	4.35
2312.35	72.40	2185.83	262.64	125.55		2611.44	76.80	2267.72	550.19	126.22	3.86
2329.10	73.90	2190.61	278.72	125.63	0.00	2626.00	76.02	2271.34	564.34	126.15	3.50
2351.20	72.80	2196.86	299.87	125.77	0.58	2640.23	76.40	2274.55	578.16	126.21	3.14
2380.26	73.76	2205.27	327.66	125.96	1.48	2669.23	74.00	2281.91	606.21	126.21	2.94
2409.56	74.00	2213.49	355.77	126.11	2.11	2698.16	74.60	2289.92	634.00	126.18	3.45
2438.71	74.80	2221.30	383.85	126.22	2.34	2727.16	75.20	2297.51	661.99	126.21	3.48
2467.48	74.80	2228.82	411.62	126.27	2.37	2756.14	75.60	2304.81	690.03	126.23	3.22
2496.29	74.30	2236.43	439.40	126.32	2.48	2775.60	76.00	2309.62	708.89	126.24	2.94
2525.33	73.08	2244.65	467.25	126.29	3.19	2795.05	76.20	2314.31	727.76	126.26	2.54
2540.60	73.42	2249.09	481.90	126.21	3.67	2840.30	80.28	2323.54	772.09	126.19	-0.22
2563.51	74.04	2255.50	503.86	126.25	4.14	2871.85	81.60	2328.73	803.16	126.34	-3.43

注：实钻数据计算出地层倾角为 15.1°。

钻至井深 2840.3 m (垂深 2323.54 m)，井斜为 80.28°，自然伽马升高，气测值降低，砂岩减少，含油岩屑减少，泥岩增多，钻头距目的层顶板距离为-0.22 m，表明钻头已钻穿目的层顶板(如图 5、图 6、表 2)。井深 2841~2910 m 的岩性组合特征及 LWD 电性特征与目的层上部地层基本符合，更证实井眼轨迹进入目的层上部。至此水平井段长 511 m，有效油层段达 425.2 m，达到设计目的。结合现场钻井实际情况，决定于井深 2915 m 完钻。

## 5. 结语

先进的随钻测井技术为做好水平井地质导向提供了有力保障，但仅应用 LWD 资料有一定的局限，只有实钻资料(录井)和 LWD 资料的有效结合才能使地质导向更精确、更有实效。一旦出现地层构造复杂、目的层地层倾角不稳定、目的层相变的情况，不应仅研究分析随钻测井、录井资料，还必须结合地震资料，实现宏观与微观的结合、构造与沉积相的结合、岩性与电性的结合、物性与含油气性的结合，做到精细对比，准确预测，合理解释，科学决策，做好进入目的层前的地层对比和靶深预测以及进入目的层后的地质解释与钻头导向工作。此外，还必须利用先进的石油工程技术，才能实现提高水平井井身质量和油层钻遇率的目标。

## 参考文献 (References)

- [1] 张吉, 陈凤喜, 卢涛, 等. 靖边气田水平井地质导向方法与应用[J]. 天然气地球科学, 2008, 19(1): 137-140.
- [2] 费世祥, 王东旭, 林刚, 等. 致密砂岩气藏水平井整体开发关键地质技术——以苏里格气田苏东南区为例[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(10): 1620-1628.
- [3] 吴宗国, 梁兴, 董健毅, 等. 三维地质导向在地质工程一体化实践中的应用[J]. 中国石油勘探, 2017, 22(1): 89-97.
- [4] 李一超, 王志战, 秦黎明, 等. 水平井地质导向录井关键技术[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(5): 620-625.
- [5] 杨明华, 雷波涛. 综合录井在水平井钻进中的导向作用[C]. 录井技术文集(第四辑). 2004.

[编辑] 邓磊



**期刊投稿者将享受如下服务：**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[jogt@hanspub.org](mailto:jogt@hanspub.org)