

# 悬空侧钻技术在红河油田水平井中的应用

解 超

(中石化华北石油局五普钻井公司,河南 新乡 453700)

**摘 要:**在水平井储层钻进中,地层发生突变导致钻头偏出产层的情况时有发生,运用悬空侧钻的方法在储层内侧钻,选择更加有利的井斜角继续在储层内钻进,是一种高效、经济的施工方法。红河油田长 8 储层岩性为砂、泥岩互层,水平井在施工过程中易钻遇泥岩夹层,在水平段施工过程中钻遇泥岩后退至砂岩井段应用了悬空侧钻技术,通过优选侧钻点、侧钻钻头和钻具组合,采用合理的造斜率及侧钻钻压,确保其继续在储层砂岩中钻进,侧钻过程中油气显示良好。采用悬空侧钻技术成功地找到了储层,提高了储量钻遇率,为实现预计产量提供了保障。

**关键词:**水平井;悬空侧钻;侧钻点;轨迹控制;钻遇率;红河油田

**中图分类号:**TE243 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2012)10-0007-05

**Application of Suspended Sidetracking Technology in Horizontal Well of Honghe Oilfield/XIE Chao** (Wupu Drilling Company of North China Petroleum, SINOPEC, Xinxiang Henan 453700, China)

**Abstract:** Bit deviating out from producing formation by formation discontinuity some time happens in reservoir drilling with horizontal well. It is a high efficiency and economic construction method to use suspended sidetracking technology to sidetrack inside the reservoir formation with proper deviation angle. Chang-8 reservoir of Honghe oilfield is sand and mudstone interbed, it is easy to drill into mudstone interbed for horizontal construction. Back to the sandstone section, suspended sidetracking technology was applied, by optimization of sidetracking point, sidetracking bit and bottom hole assembly and with the rational deflection rate and sidetracking pressure, continuous drilling in reservoir sandstone was ensured with good oil gas show.

**Key words:** horizontal well; suspended sidetracking; sidetracking point; trajectory control; drilling-encounter ratio; Honghe oilfield

## 0 引言

红河油田位于甘肃省镇原县—泾川县,北东方向与西峰等油田相邻。红河油田主产层为长 8、9 储层,水平井钻探已经成为了油田开发的主要手段,效果显著。随着开发程度的深入,产层靶区的地质情况愈来愈复杂,水平段钻遇泥岩的情况愈来愈常见,保证储层钻遇率的问题愈来愈突出。红河油田砂体有效厚度薄,地层非均质性强,在多口井遭遇地层突变、面临储层钻遇率无法满足要求的情况下,采用悬空侧钻的方法在储层段选点侧钻,避开非储层段,重新回到储层,大幅度地提高了储层钻遇率,带来了极大的综合效益。本文重点介绍 HH12P21 井悬空侧钻工艺技术应用实践。

## 1 基本工程地质情况

HH12P21 井是鄂尔多斯盆地天环坳陷构造南端红河油田一口以三叠系延长组长 8<sub>1</sub><sup>2</sup> 层段为地质靶体的水平井。该井用 Ø374.7 mm 钻头一开,钻至井深 301 m 后下入 Ø273 mm 套管;二开用 Ø241.3 mm 钻头垂直钻至井深 1790.29 m 开始造斜,增斜

钻进至井深 2260 m 井斜增至 90.29° 着陆于目的层,下入 Ø177.8 mm 套管;使用 Ø152.4 mm 钻头进行三开水平段钻进。水平段在井深 2828 ~ 2975 m 钻遇大段泥岩,对应垂深 2085.60 ~ 2086.00 m。由于泥岩段出现坍塌,造成上提下放遇严重,经长时间划眼处理仍无法正常通过,继续钻进困难;为了加快施工进度,减小继续处理存在的风险,经甲方同意决定上提至上部合适井段进行侧钻。

同时,地质上结合邻井资料,认为轨迹已钻穿砂岩底部,为了确保钻遇好的油气显示,对水平段轨迹也进行了调整,要求自井深 2796 m (垂深 2085.47 m) 开始,在方位不变的情况下,每钻进 100 m 垂深上调 1.5 m,侧钻井眼轨迹数据见表 1。

打水水泥塞侧钻是常规的侧钻方法,具有侧钻成功率高、夹壁墙坍塌风险小、后期作业安全等优点,但注水泥塞、候凝、探塞面等将耗费 4.5 天左右的辅助时间。为了提高生产效率,缩短钻井周期,决定采取上提至上部合适井段进行悬空侧钻的最经济、最省时、最高效的侧钻方法。但本井实施悬空侧钻面临着以下几个难点:

收稿日期:2012-07-31

作者简介:解超(1965-),男(汉族),河南人,中石化华北石油局五普钻井公司经理、高级工程师,探矿工程专业,主要从事钻井工程技术研究、管理工作,河南省新乡市洪门五普。

表1 HH12P21井侧钻轨迹设计数据

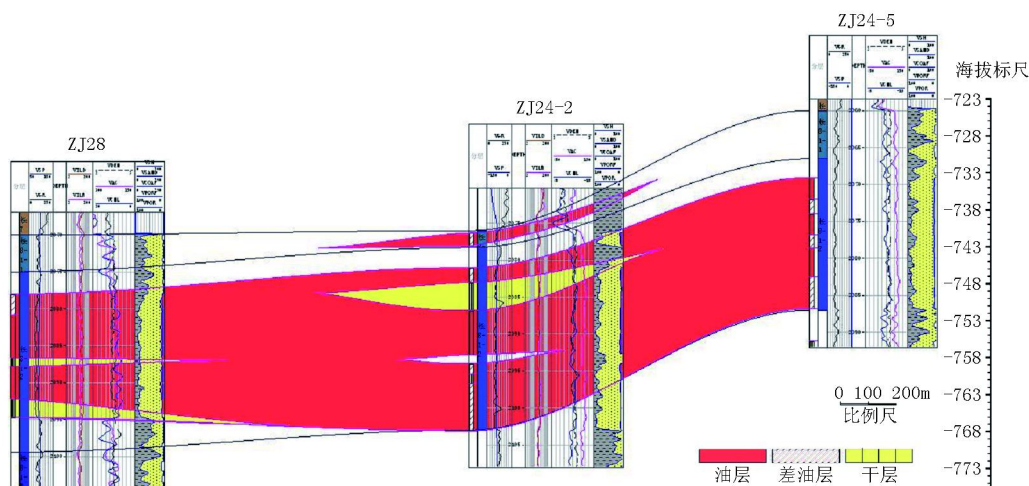
测深/m	井斜角/(°)	方位角/(°)	垂深/m	南北/m	东西/m	闭合距/m	全角/[ (°)·(30 m) <sup>-1</sup> ]
2796.79	90.20	165.03	2085.46	-812.41	219.97	841.66	0.00
2819.60	90.88	168.53	2085.24	-834.61	225.19	864.46	4.68
2832.63	90.88	168.53	2085.04	-847.37	227.78	877.45	0.00
2855.19	90.86	165.00	2084.70	-869.33	232.94	900.00	4.68
2955.20	90.86	165.00	2083.20	-965.93	258.82	1000.00	0.00
3055.21	90.86	165.00	2081.70	-1062.52	284.70	1100.00	0.00
3155.22	90.86	165.00	2080.20	-1159.11	310.58	1200.00	0.00
3255.23	90.86	165.00	2078.70	-1255.70	336.46	1300.00	0.00

(1)侧钻点垂深大、位移大、摩阻大;

(2)从12井区长 $8_1^2$ 油藏剖面图(图1)可知,储层薄、非均质性强,储层纵向上沉积非均质中间存

在一个或多个夹层,侧钻后依然存在钻遇泥岩的风险以及引起的井眼稳定问题;

(3)本井目的层为长 $8_1^2$ 段,属于辫状河流相沉

图1 红河油田12井区长 $8_1^2$ 油藏剖面图

积,岩性呈灰、浅灰色细砂岩,硬度超过5级,研磨性强,地层可钻性差,侧钻难度大;

(4)水平井水平段,钻具粘附下井壁,控时侧钻易粘卡,活动钻具,容易破坏形成的台阶;

(5)水平段裸眼段长,侧钻点处夹壁墙薄,悬空侧钻夹壁墙中空易垮塌,井壁稳定问题突出。

## 2 悬空侧钻基本原理

在大位移井或水平井的裸眼井段,在未打水泥塞的情况下侧钻。把工具面重力高边摆放在井眼低边,依靠钻具的自重,让钻头在老井眼的低边钻出一个新井眼。当新井眼形成后,再改变方位使新井眼逐渐与老井眼分开。然后再通过调整井斜或方位来控制井眼轨迹,使井眼轨迹按照地质上的要求在目的层中延伸。当新井眼与老井眼分开后,悬空侧钻作业结束。

## 3 悬空侧钻主要技术措施

### 3.1 侧钻点的选择

侧钻点的选择要考虑易于侧钻和侧钻成功后井眼轨迹控制问题,是悬空侧钻的第一步,也是成功侧钻的先决条件。要尽量减少报废井段,节约成本;同时也要保证侧钻点地层稳定,防止夹壁墙坍塌,提高目的层砂岩钻遇率。综合以上考虑,结合该井实钻地层情况和轨迹情况,2750~2795 m处岩性为灰、浅灰色细砂岩,可钻性相对较好,因此将侧钻点选择在2783 m处。

### 3.2 悬空侧钻钻具组合力学分析

悬空侧钻钻具组合由钻头、螺杆钻具、稳定器、无磁钻铤、加重钻杆及斜坡钻杆组成,带有小角度单弯螺杆的下部钻具组合,在自重的作用下,将“躺在”井眼低边(如图2所示)。由于单弯螺杆的存在,钻头在初始状态将偏离原有井眼轴心,在近钻头稳定器及钻压的作用下,钻具将发生弯曲弹性变形。在水平井中,随工具面角度的改变,钻具的重力分量沿工具面角也相应随之改变,这两个不同方面的重力分量对造斜能力和扭方位能力的影响也有所不同。

#### 3.2.1 螺杆弯角和造斜能力的关系

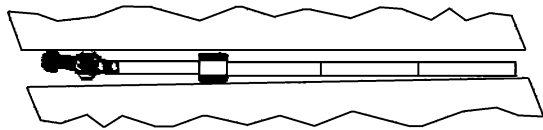


图 2 水平井下部钻具受力变形示意

由图 3 可以看出,随着螺杆弯角的增大,下步钻具组合造斜能力逐渐增大,可根据侧钻井眼轨迹设计及地层情况选用不同弯角的螺杆,进而获得不同的造斜能力,达到一次侧钻成功的目的<sup>[4]</sup>。

### 3.2.2 侧钻摩阻扭矩分析

由图 4 所示水平井上行摩阻和下行摩阻实际表示的是轴向力。通过分析狗腿度和法向力可以看出,由于轨迹不同对不同工况下摩阻的影响。法向

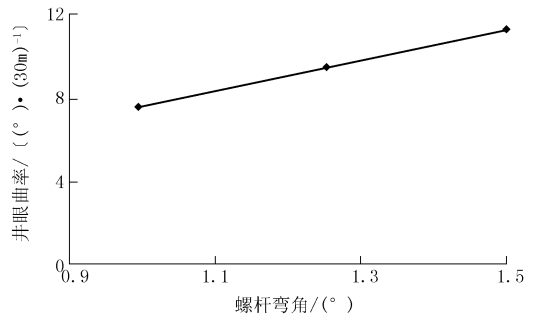


图 3 造斜能力随螺杆弯角变化趋势

力越大,摩擦力越大,即摩阻亦越大。因此,选择合适的侧钻造斜率钻具组合,是保证后续水平段顺利施工的关键。

### 3.2.3 悬空侧钻钻具组合选择

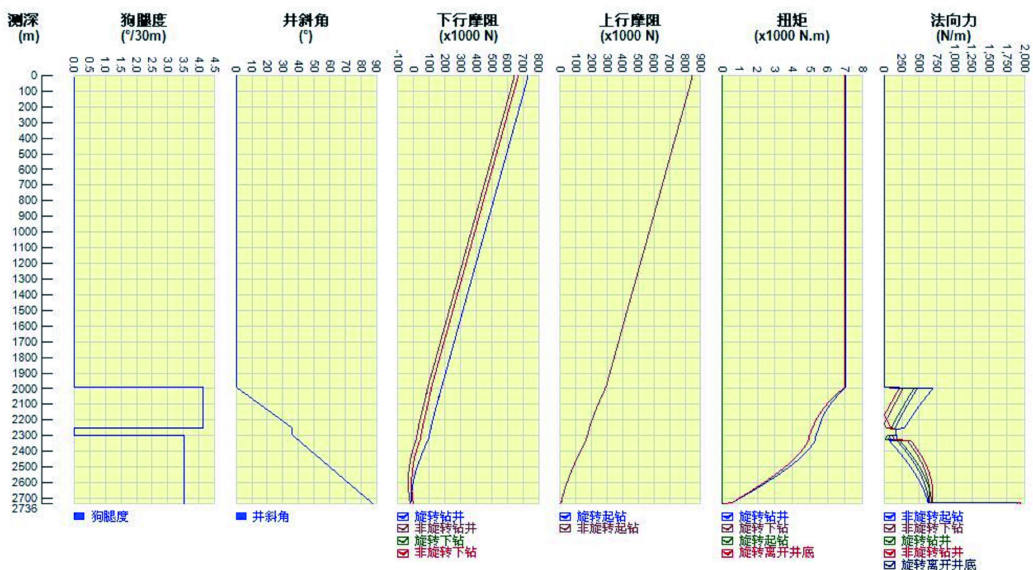


图 4 水平井摩阻、扭矩、法向力

钻具组合的设计主要考虑易于侧钻成功,并在侧钻成功后不用起钻就能继续钻进。老井眼在井深 2768 ~ 2816 m 处井眼曲率在 1.07° ~ 3.2°/30 m(见表 2),根据经验,Ø120 mm 1.25°单弯螺杆在该工区的造斜率在 7.5° ~ 9°/30 m 之间,所以 Ø120

mm1.25°螺杆能满足成功侧钻的需要。采用的悬空侧钻钻具组合为:Ø152.4 mm PDC + Ø120 mm 1.25°单弯螺杆 + Ø148 mm 扶正器 + Ø120 mm 无磁钻铤 + Ø120 mm MWD 悬挂短节 + Ø89 mm。

### 3.3 悬空侧钻钻压控制<sup>[2]</sup>

表 2 HH12P21 井侧钻前部分井段轨迹数据

测深/m	井斜角/(°)	方位角/(°)	垂深/m	南北/m	东西/m	闭合距/m	闭合方位/m	全角/[(°)·(30 m) <sup>-1</sup> ]
2768.08	90.70	164.86	2085.96	-784.71	212.42	812.96	164.85	1.067
2777.65	91.32	164.33	2085.79	-793.94	214.97	822.52	164.85	2.557
2787.21	91.22	165.03	2085.58	-803.15	217.49	832.08	164.85	2.218
2796.79	90.20	165.03	2085.46	-812.41	219.97	841.66	164.85	3.194
2806.44	90.18	165.21	2085.43	-821.74	222.44	851.31	164.85	1.563
2816.03	89.25	165.30	2085.48	-831.01	224.88	860.90	164.86	2.923

如图 5 所示,假定侧钻点处的岩石具有足够的抗压和抗剪强度,在造台阶的过程中始终不会坍塌。由钻杆所提供的钻压将在钻头上形成均布载荷,假

定钻压  $W$  在钻头上沿其直径宽度  $D$  均匀分布,则其载荷集度  $q$  为:

$$q = X/D \tag{1}$$

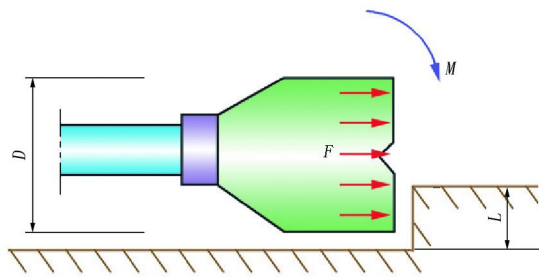


图5 侧钻造台阶时钻头受力情况

造台阶时钻头两侧受力并不相同,其中一侧处于放空状态。设在侧钻过程某一刻台阶的高度为 $L$ ,则在钻头放空一侧形成的弯矩 $M$ 为:

$$M = W(D - L)^2 / (2D) \quad (2)$$

式中: $D$ ——钻头直径宽度, m;  $W$ ——钻压, kN;  $q$ ——钻压沿钻头直径宽度均布时的载荷集度, kN/m;  $L$ ——侧钻台阶的高度, m;  $M$ ——弯矩, N·m。

随着弯矩 $M$ 的增大, 钻具发生弯曲变形, 钻头倾角增大, 方向指向侧钻台阶, 这将增大钻具的造斜能力, 最终可能导致形成的侧钻井眼“狗腿度”较大, 偏离了原本的设计轨迹。从式(2)可以看出, 通过减少钻压 $W$ 或者力臂 $(D - L)$ 能够减少弯矩 $M$ , 因此在侧钻的开始阶段, 台阶较低, 应该采用较小的钻压。而在侧钻过程中钻柱长时间几乎静止躺卧在下井壁, 岩屑容易堆积从而增大摩阻, 因此随着台阶逐步形成应逐渐增大钻压以提高钻速, 相应地增大倾角, 迅速完成滑动造斜阶段。

### 3.4 悬空侧钻技术措施

(1) 钻井液要具有良好的润滑性能, 确保钻具不粘附, 保证悬空侧钻正常顺利进行。

(2) 采取降方位、微降井斜的侧钻技术措施, 主要依靠方位的变化侧钻出新井眼, 侧钻出新井眼后再增井斜, 使实钻轨迹达到设计要求。

(3) 在侧钻过程中要密切注意钻压和工具面的变化, 当逐渐能加上钻压, 且工具面随钻压的增大而逐渐减小时, 说明台肩已形成。

## 4 悬空侧钻施工及效果

### 4.1 施工过程

(1) 划槽: 划槽井段为 2774 ~ 2783 m。下钻至井深 2774 m 处, 将重力工具面摆放在 150°左右, 并保证工具面稳定, 以 5 m/h 的速度反复上下划槽 2 ~ 3 遍。

(2) 划槽结束后将钻具放至深 2783 m, 重力工具面摆放在 220°左右开始控时侧钻, 严格控制送钻

速度在 0.5 ~ 0.6 m/h, 并做到送钻均匀, 操作平稳。按照该工具面和速度控时钻进至 2788 m 后, 逐渐将工具面调整在 260°左右, 速度控制在 0.7 ~ 0.8 m/h 控时至 2793 m, 此时钻压能逐渐加至 40 kN, 工具面也随钻压的增大而减小, 判断已在井眼左下位置形成台肩。于是逐渐增大钻压, 速度控制在 1 ~ 1.2 m/h 钻进至 2797.5 m 时, 返出岩屑明显增多, 钻压也逐渐增至 80 kN, 判断已经侧钻出新井眼。为了保证井眼的平滑, 复合钻进一个单根后, 开始增斜增方位, 将实钻轨迹控制在设计范围内。

### 4.2 应用效果

该井侧钻至井深 2808.17 m, 测点井深 2796.67 m, 井斜 88.68°, 方位 161.96°。与原井眼相比, 井斜降低了 1.52°, 方位减小了 3.07°。通过防碰扫描, 该位置新老井眼夹壁墙 0.5 m; 井深 2808.17 m 处新老井眼夹壁墙已达 1.0 m 以上(见表 3)。悬空侧钻取得了满意的效果。侧钻后部分井段轨迹数据见表 4。悬空侧钻前后实钻井眼轨迹示意图(见图 6)。

表3 HH12P21 井侧钻夹壁墙厚度扫描

序 号	参考 井眼	井深 /m	垂深 /m	比较 井眼	井深 /m	垂深 /m	最近距 离/m
1	侧钻	2777.65	2085.79	原井眼	2777.65	2085.79	0
2	侧钻	2787.45	2085.66	原井眼	2787.43	2085.57	0.13
3	侧钻	2796.67	2085.75	原井眼	2796.64	2085.46	0.53
4	侧钻	2806.19	2085.89	原井眼	2806.13	2085.43	1.10
5	侧钻	2815.72	2085.86	原井眼	2815.65	2085.47	1.52
6	侧钻	2825.23	2085.66	原井眼	2825.21	2085.56	1.67

表4 HH12P21 井侧钻后部分井段轨迹数据

测深 /m	井斜 角 /(°)	方位 角 /(°)	垂深 /m	南北 /m	东西 /m	闭合 距 /m	全角 /(°) (30 m <sup>-1</sup> )
2777.65	91.32	164.33	2085.79	-793.94	214.97	822.52	2.557
2787.45	90.23	163.87	2085.66	-803.36	217.65	832.32	3.622
2796.67	88.68	161.96	2085.75	-812.17	220.36	841.54	8.003
2806.19	89.56	161.54	2085.89	-821.21	223.34	851.04	3.073
2815.72	90.79	163.25	2085.86	-830.30	226.22	860.56	6.631
2825.23	91.65	164.92	2085.66	-839.44	228.83	870.07	5.925
2834.78	91.74	165.45	2085.38	-848.67	231.27	879.61	1.688
2844.31	91.68	165.32	2085.09	-857.89	233.67	889.14	0.451
2853.98	91.87	165.15	2084.79	-867.23	236.14	898.80	0.791

红河油田多口水平井水平段通过悬空侧钻技术的成功应用, 诸如 HH37P24 井侧钻 3 次(如图 7 所示), HH37P51 井下切侧钻 1 次(如图 8 所示), 施工效率大幅度提高, 储层平均钻遇率已达 86%, 有效的提高了水平井单井产能, 悬空侧钻技术已成为红河油田水平井提速提效的关键技术之一。

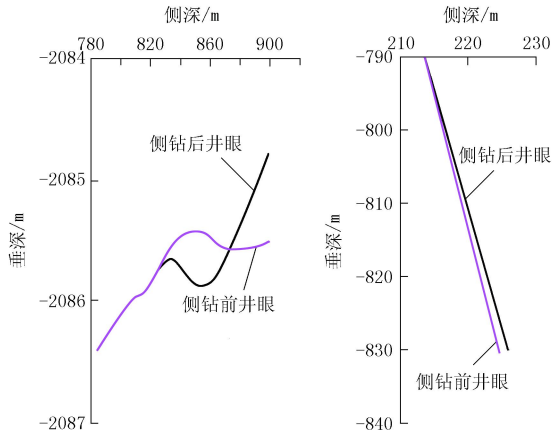


图 6 HH12P21 井侧钻前后实钻轨迹示意

### 5 结论与认识

(1) 在裸眼段实施悬空侧钻,减少了注水泥塞、候凝、多次起下钻等辅助时间,提高了钻井速度和效率,同时在水平段实施也避免了水泥对储层的污染。

(2) 侧钻点的选择非常重要,要对原井眼轨迹数据和侧钻井眼轨迹设计数据进行分析,根据采用的侧钻工艺选择利于侧钻的井段,同时也要考虑地质因素,侧钻段地层稳定很重要。

(3) 要根据现场实际情况制定合理的施工技术措施,侧钻时要控制好工具面,要根据钻压、扭矩和工具面角的变化及时对侧钻情况做出判断。

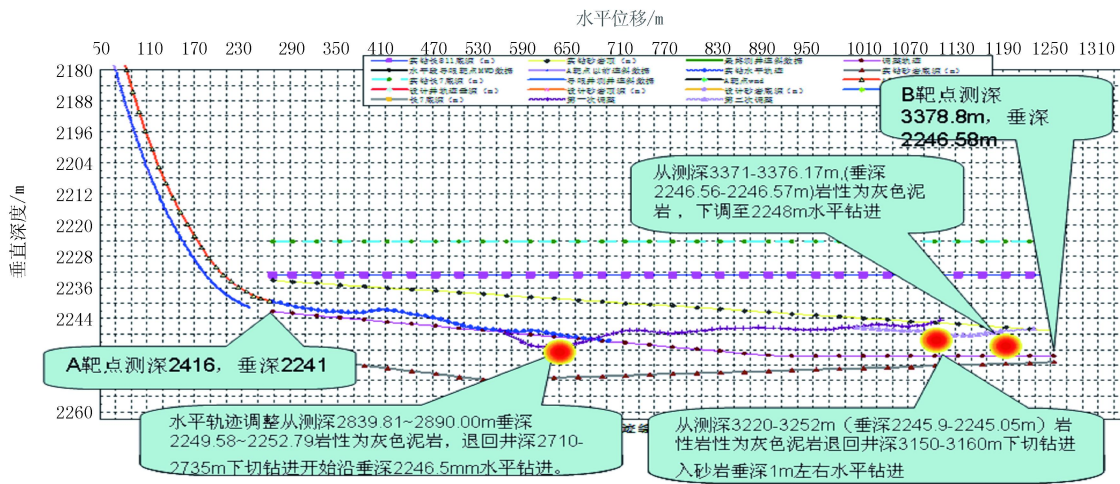


图 7 HH37P24 井侧钻轨迹图

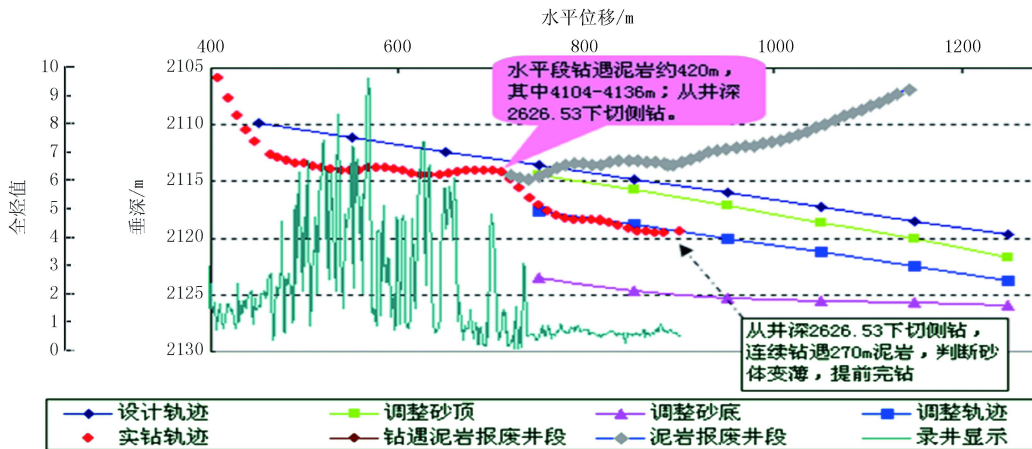


图 8 HH37P51 井侧钻轨迹

### 参考文献:

[1] 周井红,陈友生,陈其学,等.磨溪气田研磨性硬地层水平井悬空侧钻技术应用实践[J].天然气勘探与开发,2009,32(3):45-47.

[2] 杨仲涵,何世明,郑锋辉,等.悬空侧钻技术在大牛地气田DP22水平井的应用[J].石油钻采工艺,2012,34(3):20-23.

[3] 李功强,赵永刚,陈利雯.镇泾油田长8\_1段储层测井相研究[J].石油地质与工程,2011(5).

[4] 李维,李黔,李生林.鱼骨型分支井开窗下部钻具力学性能分析[J].石油钻采工艺,2009,32(3):30-33.

[5] 刘文兵.DP6水平井Ø311.15mm井眼侧钻技术探[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(12):27-31.