

旋转导向随钻成像测井系统的应用探讨与效果分析

冯欣欣

陕西天成石油科技有限公司 陕西 西安 710021

【摘要】由于靖边气田下古水平井主力开发层位马五₁³厚度普遍较小,且微幅构造发育,在地质导向过程中识别难度大,加之常规定向仪器零长较大,且在井斜调整过程中速度缓慢、人为干扰因素较多,导致钻遇率偏低,无法满足更高精度的钻井导向要求,因此我公司首次引进贝克休斯旋转导向随钻成像测井系统,在靖边气田下古水平井开展了应用试验,并取得了良好的效果,为后续水平井的高质高效开发奠定了强有力的基础。

【关键词】随钻旋转导向系统;水平井钻井;地质导向;轨迹优化;微幅构造识别;提高钻遇率

一、关于常规地质导向的简介

(一)地质导向的意义和方法

1.地质导向的意义

地质导向,顾名思义就是根据地层的变化和地质的要求来控制并眼轨迹的前进方向。地质导向技术可以让工程技术人员随着钻进的进行实时地捕捉到地层变化的信息,从而及时地做出决策,使钻井作业的整个过程能够做到未雨绸缪。

2.地质导向的方法

在目前常规的水平井钻井过程中,主要依靠对区域构造特征的认识来开展地质导向工作。即对比井场主井和沿水平段延伸方向控制井目的层的海拔和厚度,通过计算区域坡降数据来设计水平井的并眼轨迹,同时在现场结合观察返出的岩屑和气测显示来进行导向调整。

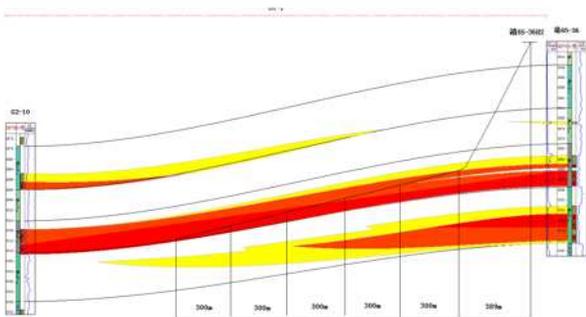


图1 常规地质导向中邻井地层对比及水平段轨迹设计示意图

(二)常规地质导向技术的缺陷

由于对区域地层构造缺乏微观上的认识,而地层的局部微幅构造往往与区域构造存在一定的差异性,在导向过程中难以精准识别,因此不免会出现实际钻遇与认识不一致的情况,引起导向误差,影响水平井的实施效果,甚至可导致回填侧钻、钻井失败等严重后果,造成

巨大的经济损失。同时由于受仪器设备本身的技术限制,传统定向仪器还具有以下无法克服的缺点,对钻井导向工作造成极大影响。

1.测量盲区较大

钻头距测量仪器(伽马、井斜)测点的距离被称为仪器零长,仪器零长的大小会因井底钻具结构的不同而发生变化。由于传统的钻具组合本身的固有特点,仪器零长普遍均在10m以上,部分甚至超过15m,因此测量盲区较大,无法及时探知钻头位置的地层特征,致使导向人员获取的地层信息滞后,常常错过最佳的调整时机,造成过多无效进尺。在以往的钻井过程中,已经有很多井眼因为仪器零长过大,取不到钻头处实时地层数据而在水平段钻出到储层的上部或下部(触顶或触底)。

2.井斜调整较慢

传统定向仪器依靠单弯螺杆进行造斜,并引导钻头钻进。由于受螺杆自身弯曲度的限制,此方法造斜能力十分有限,且钻头位置的井斜基本为估算数据,存在较多的人为影响因素,有时与实际偏差较大,井斜调整速度常常无法及时跟上地层的变化趋势。

3.钻井效率较低

由于每次定向时必须重新摆放工具作业面,以此来控制井斜和方位的增减,并通过滑动钻进来完成造斜趋势,随后才能进行复合钻进,机械钻速较低,尤其在泥岩段中调整并眼轨迹时钻时极度缓慢,导致延长了钻井周期,大大影响施工进度。

二、旋转导向随钻成像测井系统的引进及应用试验

为了解决常规地质导向中存在的诸多问题,提高水平井的开发效果,丰富随钻导向技术分析手段,在靖边

气田首次引进了贝克休斯公司的旋转导向随钻成像测井系统，并在靖平 26-19 井水平段钻井过程中开展了应用试验，成功解决了上述问题，取得了良好的应用效果。

(一) 旋转导向随钻成像测井系统的优点

1. 测量仪器前置，确保实时性

旋转导向随钻成像测井系统具有革命性意义的一点就是测量仪器前置，即将数据采集点放在距离钻头极近的位置，使得钻头处的井眼情况和地层信息能够迅速地被测量仪器捕捉到，并及时反馈给现场导向人员，缩短了仪器反应时间，避免了形成过多的无效进尺，方便了导向人员快速做出决策，从而确保了钻井导向的实时性。



图 2 随钻旋转导向系统井下设备组合示意图

2. 推靠肋板控制井眼轨迹，造斜能力突出

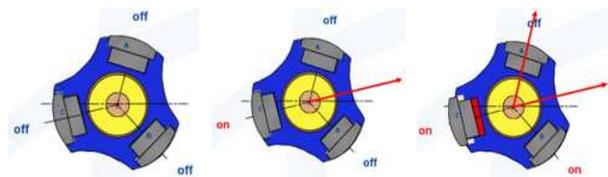


图 3 导向头推靠肋板工作原理示意图

不同于常规的定向仪器采用单弯螺杆进行造斜，该系统利用位于导向头内的三块互成 120° 夹角的推靠肋板以不同大小的力施加在井壁上，以其产生的反作用力的矢量和在控制井斜和方位的增减。造斜能力可达 5° /10m，精度可达 ±0.1°，在造斜能力和对井眼轨迹的控制方便都要明显优于常规仪器。

3. 采用方位成像伽马技术，将地层可视化

旋转导向随钻成像测井系统另外的一个突出优点即是具有独特的方位成像伽马技术，利用双伽马探测器，在钻进的同时采用旋转扫描式 8 扇区 360° 成像，将井眼附近的地层特征变得可视化，全方位观测井眼中的伽马数值变化情况。在上覆地层特征即将发生变化时，成像图的两侧区域会首先获得感知；同理，在下伏地层特征即将发生变化时，中部区域会首先获得感知。

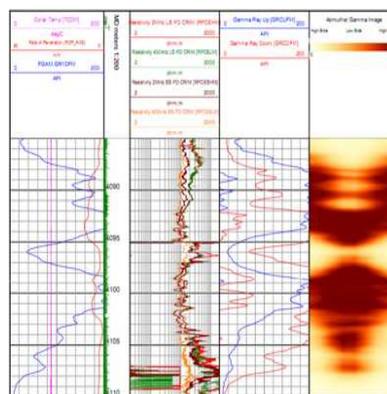
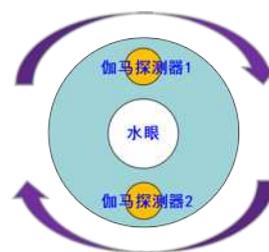


图 4 方位成像伽马原理示意图

(二) 旋转导向随钻成像测井系统应用试验

1. 开钻前区域地层对比分析

在开始实施水平段之前，先结合本井斜井段入靶随钻伽马数据与 2 口已完钻邻井（G26-19、统 61）的电测数据进行了地层剖面连井对比，确认了其沿水平段延伸方向马五₁₊₂主力层整体呈下倾趋势，从宏观上把握住了区域地层的整体特征。

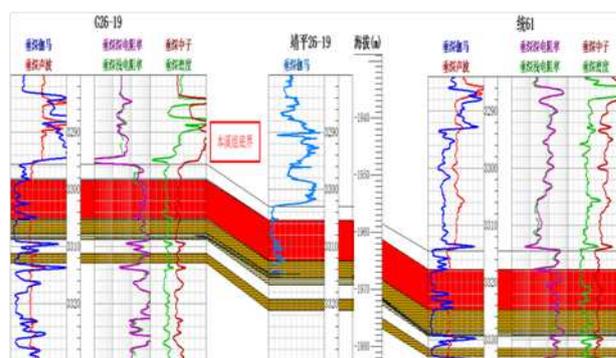


图 5 ** 井邻井区域地层剖面对比图

经对应标志层进行垂深对比后，计算其地层倾角约为 0.2°，地层坡降约为 4m/km，明确水平段钻进过程中的总体实施策略。

表 1 统 61 井与靖平 26-19 井标志层垂深对比表

位置	统 61			靖平 26-19		位移 (m)	坡降 (m/km)	地层倾角 (°)
	斜深 (m)	垂深 (m)	海拔 (m)	垂深 (m)	海拔 (m)			
太原组顶	3314.0	3239.9	-1895.2	3237.4	-1892.7	1235.2	2.1	0.1
9# 煤层顶	3356.0	3260.8	-1916.1	3263.2	-1918.5	1248.6	-1.9	-0.1
马家沟顶	3482.0	3302.1	-1955.5	3294.5	-1949.8	1298.3	4.3	0.2
马五 13 顶	3520.0	3307.2	-1964.8	3305.0	-1960.3	1315.8	3.4	0.2

2. 实钻导向中的应用过程

2016年5月3日靖平26-19井于井深3543m(垂深3308.73m)开始实施水平段,在水平段钻进过程中存在着5个重要的关键控制点,分别在井深3925m、4109m、4461m、4695m、4877m处,使即将偏离储层的井眼轨迹重新回到储层中穿行,调整后的实际钻遇情况与系统仪器的判定结果高度吻合,从而验证了其可靠的使用性。

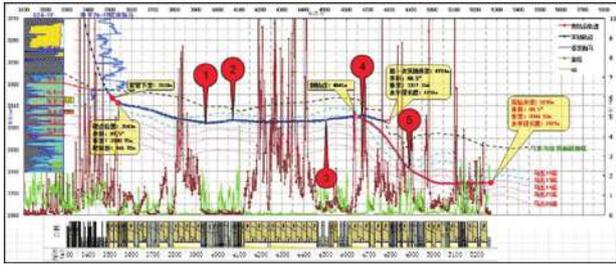


图6 靖平26-19实钻轨迹跟踪图

在该过程中经历的5次构造变化,随钻方位伽马成像图中均有明显的预测反应。在储层中触底高伽马地层时成像图显示呈“▲”型;在储层中触顶高伽马地层时成像图显示呈“▽”型;在上探进入低伽马储层时成像图显示呈“▼”型;在下探进入低伽马储层时成像图显示呈“△”型。伽马成像图准确地预测到了每次构造变化的趋势,为现场人员提供了明确的导向思路。

(1)井深3925m:构造下倾,在储层马五₁³中下探,由于局部构造微幅上倾,触底高伽马泥岩层段。

(2)井深4109m:在泥岩层段中上探,重新进入低伽马储层马五₁³。

(3)井深4461m:构造平缓,在储层马五₁³中平追,由于局部构造微幅上倾,触底高伽马泥岩层段。

(4)井深4695m:在储层马五₁³中调整井斜,由于局部构造急剧变化,为保证井眼轨迹平滑,逐步调整井斜,触顶高伽马泥岩层段。

(5)井深4877m:构造下倾,在储层马五₁³中下探,由于局部构造小幅上倾,触底高伽马泥岩层段。

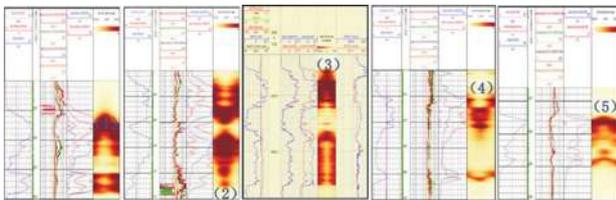


图7 五个关键调整点随钻方位伽马成像图

三、应用效果分析评价

(一) 钻井效果

靖平26-19井最终完钻井深5270m,水平段长度

1727m,钻遇储层长度1517m,储层钻遇率为87.84%;钻遇气层长度992m,有效储层钻遇率为57.44%,钻遇效果良好。同时显示出旋转导向随钻成像测井系统在该井钻井导向过程中具有以下突出效果。

1. 实现了精确导向

基于近钻头井斜、方位成像伽马等技术,较常规导向方法提前预判地层,多参数开展综合研究,加入了前端控制、实时调整、可视化引导等新型钻井导向手段,根据导向人员的需求将井眼轨迹严格控制在储层范围内,真正实现了精确导向。

2. 提高了机械钻速

该系统无需滑动定向,全程动力马达复合钻进,避免了使用常规定向仪器托压和工具面摆放困难等问题,水平段机械钻速相比邻井提高0.81m/h。

3. 丰富了侧钻工艺技术

该井填井侧钻时先后采用了1.25°、1.5°常规单弯螺杆侧钻均未成功,采用旋转导向随钻成像测井系统侧钻一次成功,显示出其突出的侧钻能力。

(二) 试气成果

2016年11月29日开始对靖平26-19井分7段开展水力喷射酸化改造,并于12月9日采用“一点法”进行了测试求产。该井在24.65MPa的流压下测得日产气量 $22.2280 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$,获得无阻流量 $112.0049 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$,为当年产建任务中唯一一口“百万方”气井。

表2** 井测试求产数据表

静压 (MPa)	流动时间 (h)	稳定时间 (h)	测试稳定压力		流压 (MPa)	日产气量 ($10^4 \text{m}^3/\text{d}$)	日产水量 (m^3/d)	无阻流量 ($10^4 \text{m}^3/\text{d}$)
			油压 (MPa)	套压 (MPa)				
26.8000	24	6	19.10	19.50	24.6500	22.2280	0.0	112.0049

(三) 生产动态

靖平26-19井于2017年9月12日开井投产,开井前油/套压均为22.96MPa,投产配产 $15.0 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$,10月1日提产至 $20.0 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 生产。目前该井日产气量 $20.1535 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$,日产水量 15.7m^3 ,水气比0.7,油/套压分别为10.0/12.0MPa,总体生产稳定,压降趋势平缓。

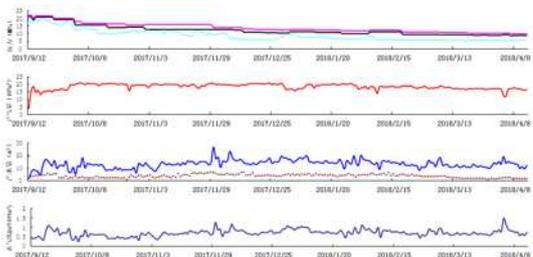


图8 靖平26-19井生产动态曲线图

(四) 对比分析

靖平26-19井截至目前生产日历天数为214天,累

计产气量 $3985.0481 \times 10^4 \text{m}^3$ ，累计产水量 2792.71m^3 。按照投产时间拉齐进行对比，投产 214 天内单井累计产气量在靖边气田已投产 42 口下古水平井中位列第四。

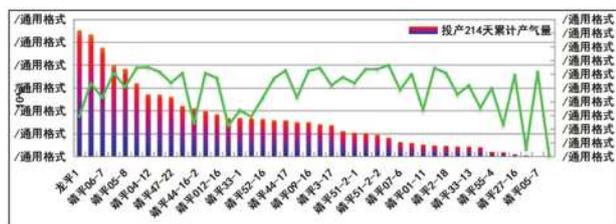


图9 已投产42口下古水平井投产最初214天累计产气量柱状对比图

四、结论与认识

(一) 提供有力的导向依据

引导钻头在储层中最佳位置钻进，当岩性出现变化时可以当机立断做出调整决策。对于微幅构造的识别能力强大，可提供强有力的导向依据。

(二) 大大提供施工效率

增加机械钻速，井眼轨迹平滑，消除托压现象。持续供电，减少起下钻；缩短摆放工具面、定向划眼等无

效等停时间，大大提高施工效率。

(三) 对井斜的高精度控制

消除了人为的影响因素，达到对井斜的高精度控制；展示了突出的造斜能力，在水平段侧钻及斜井段入靶方面都具有很好的应用前景。

(四) 应用前景及建议

仪器随钻携带多参数配置，实现了钻测一体化，弥补了传统水平井水平段不进行电测的空白，为水平井的改造试气提供了更加有力的依据支撑。

【参考文献】

- [1] 刘永胜. 曙三区块调整定向井钻井工艺技术应用[J]. 化工管理, 2019(04):206~207.
- [2] 郭启华, 权迎军, 权春阳. 欠平衡充气钻井工艺技术应用及展望[J]. 化工设计通讯, 2018,44(12):239.
- [3] 刘丁丁. 旋转地质导向钻井工艺技术应用研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2020(11):191~192.
- [4] 杨明清, 杨凡, 杨一鹏. 俄罗斯旋转导向系统研发进展[J]. 录井工程, 2019(2):79~82.