

延长油田浅层高密井网水平井防碰绕障技术研究

杨全枝¹, 于小龙¹, 马振锋¹, 徐小龙², 许佳³

(1. 陕西延长石油(集团)有限责任公司研究院, 陕西 西安 710075; 2. 新疆油田公司监理公司, 新疆 克拉玛依 834000; 3. 长城钻探工程有限公司固井公司, 辽宁 盘锦 124010)

摘要:为了经济有效开发浅层(300~600 m)低渗透、低丰度油藏,提高油藏采收率,陕西延长石油(集团)有限责任公司尝试利用旧井场在老井区部署加密浅层水平井进行调整开发,开展了在复杂工程、地质等多种不利限制条件下具有延长油田特色的浅层高密井网水平井防碰绕障技术研究。通过优化井眼轨迹,精细防碰扫描以及配套的现场工程技术措施,有效控制井眼方位,进行主动防碰绕障。现场应用结果表明,在该技术指导下浅层水平井均成功穿越或避开老井网,保证了钻井作业的安全进行,为油田浅层难动用油藏中后期开发提供了一条新的途径。

关键词:低渗透油藏;高密井网;浅层水平井;防碰绕障;延长油田

中图分类号:TE243+.1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)01-0040-04

Study on Anti-crossing Technology of Horizontal Wells in Shallow Infill Wells Drilling in Yanchang Oilfield/YANG Quan-zhi¹, YU Xiao-long¹, MA Zhen-feng¹, XU Xiao-long², XU Jia³ (1. Research Institute of Shaanxi Yanchang Petroleum Group, Xi'an Shaanxi 710075, China; 2. Supervisory Company, Xinjiang Oilfield, Karamay Xinjiang 834000, China; 3. Cementing Company, Great Wall Drilling Engineering Co., Ltd., Panjin Liaoning 124010, China)

Abstract: In order to develop the shallow (TVD 300~600m) low-permeability and low-abundance oil reservoirs and enhance oil recovery, Yanchang Petroleum Group tried to deploy shallow infill horizontal wells for adjustment development in the old well site of oil well area, the study was carried out on anti-crossing technology with characteristics of Yanchang oilfield under the adverse limitation of complex engineering and geological conditions. By wellbore trajectory optimization, precision anti-crossing scanning and the supporting technical measures, the well azimuth can be effectively controlled with active anti-crossing. The field application shows that by this technology, crossing is avoided for shallow horizontal wells and old well net to keep the drilling operation safety, which provides a new way to the development of difficult-to-produce shallow oil reservoir in middle-late stages.

Key words: low-permeability oil reservoir; infill wells; shallow horizontal well; anti-crossing; Yanchang oilfield

鄂尔多斯盆地东部油田区块部分储层埋深浅、物性差、自然产能低,为较难动用的致密砂岩油藏,早期采用大规模丛式井网压裂开发后,产量递减快,已达不到经济有效开发的要求。近年来,随着勘探开发工作的不断深入,延长石油常规水平井技术发展迅速,大大提高油井单井产量和油藏采收率,成为解决常规井开发“多井、低产、低效”的有效手段^[1]。为了经济有效开发浅层(300~600 m)低渗透、低丰度油藏,延长石油尝试利用旧井场在老井区部署加密浅层水平井进行调整开发,以提高油藏采收率。如何在复杂工程、地质等多种不利限制条件下优化轨道设计并有效控制井眼轨迹,穿越或避开老井网,已成为制约水平井加密钻采的关键因素。

由于延长油田特有的复杂条件,目前无论是陆上油田还是海上油田都没有相关借鉴经验,为此积

极开展了具有延长油田特色的浅层高密井网水平井防碰绕障技术研究,通过优化井眼轨迹,精细防碰扫描,有效控制井眼方位,主动防碰绕障,现场应用效果明显,为油田浅层难动用油藏中后期开发提供了一条新的途径,具有重要战略意义。

1 浅层高密井网水平井防碰绕障技术难点

(1) 表层第四系黄土层厚(达200 m),地层疏松,无法造斜,而延长东部油区储层埋深浅(300~600 m),限制了造斜点的选择范围;

(2) 黄土高原地区,地面沟壑纵横,限制了井口位置,为节约投资,选取丛式井旧井场作为浅层水平井井场,靶前距受限,在100~400 m内随机分布;

(3) 储层砂体变化快,限制了单圆弧剖面的使用,为轨迹调整留有余地,优选“直—增—稳—增—

收稿日期:2015-08-12; 修回日期:2015-12-07

作者简介:杨全枝,男,汉族,1986年生,油气井工程专业,硕士,主要从事油气井力学、信息与控制方面的科研工作,陕西省西安市高新区科技二路75号,1007300745@qq.com。

平”的轨道类型,井眼轨迹复杂,水平段一般在 300~600 m,个别浅层大位移井可以达到 1000 m 以上,井眼轨迹控制难度高;

(4)老井数据不全,坐标系统老,浅层水平井在造斜段与密集的丛式井网三维绕障难度大,防碰风险高。

2 浅层高密井网水平井防碰绕障关键技术

2.1 井眼轨道优化

因防碰绕障的需要,浅层水平井轨道设计时不仅要考虑靶前位移、造斜点、连续造斜率等常规设计因素影响,还需要考虑不同方位偏移距、造斜率的影响^[2-4]。针对延长东部油区复杂限制条件,设计时主要关注降低摩阻(保证钻头钻压)和扭矩(保证钻具强度)这 2 方面的问题,采用软杆模型^[5-6],分别对靶前位移、造斜点、连续造斜率和不同方位偏移距等进行数据分析,现取延长东部油区井身结构表层为一开 $\varnothing 311.2$ mm 钻头,套管下深 200 m,二开 $\varnothing 215.9$ mm 钻头完钻,靶点垂深 600 m,水平段长度 450 m,套管内摩阻系数取 0.2,裸眼段摩阻系数取 0.35。

2.1.1 靶前距优选

选取造斜点垂深 270 m,靶前位移分别选 100、150、200、250、300、350 和 400 m,进行井眼轨道优化,结果如图 1 所示。

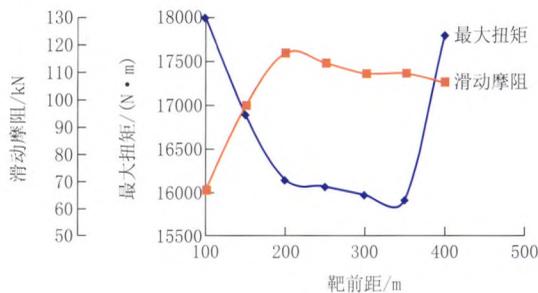


图 1 不同靶前距对应的摩阻和扭矩值

根据图 1 对比结果可知,如果靶前距大,则完钻位移也大,由此可以导致后期摩阻和扭矩增大,施工难度增加;若靶前位移过小,则造斜率较高,钻具与井壁的接触力增大,导致扭矩增加,不利于钻井安全。因此合适的靶前距是浅层水平井轨道设计的关键。

2.1.2 造斜点优选

选取靶前位移 250 m,造斜点垂深 210、240、270、300、330、360 和 390 m,进行井眼轨道优化,结果如图 2 所示。

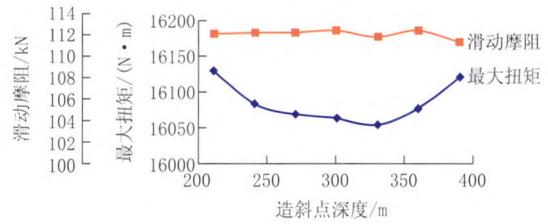


图 2 不同造斜点对应的摩阻和扭矩值

根据图 2 对比结果可知,由于黄土层和储层深度限制,随着造斜点深度变化扭矩、滑动摩阻变化不大,造斜点深度对浅层水平井轨道设计影响不大。

2.1.3 连续造斜率优选

选取靶前位移 250 m,造斜率($6^\circ/9^\circ$)/30 m、($7^\circ/9^\circ$)/30 m、($8^\circ/9^\circ$)/30 m、($9^\circ/9^\circ$)/30 m、($9^\circ/8^\circ$)/30 m、($9^\circ/7^\circ$)/30 m、($9^\circ/6^\circ$)/30 m 进行井眼轨道优化,结果如图 3 所示。

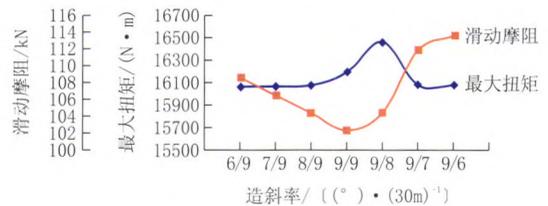


图 3 不同造斜率变化趋势对应的摩阻和扭矩值

根据图 3 对比结果可知,采用增造斜率的双增剖面设计的双增剖面可以有效降低摩阻和扭矩,而且造斜率数值相差不大的时候存在最小滑动摩阻和最小扭矩,在选取造斜率的时候,针对工具的造斜能力和入靶控制难度,需要对造斜率变化趋势进行优选。为了降低入靶时造斜率压力,可采用微增斜率方式进行井眼轨道优化设计。

2.1.4 不同方位绕障优选

选取水平段长度 450 m,靶点垂深 600 m,靶前位移 250 m,方位 0° 、 15° 、 30° 、 45° 、 60° 和 75° ,套管内摩阻系数取 0.2,裸眼段摩阻系数取 0.4,进行井眼轨道优化,结果如图 4、图 5 所示。

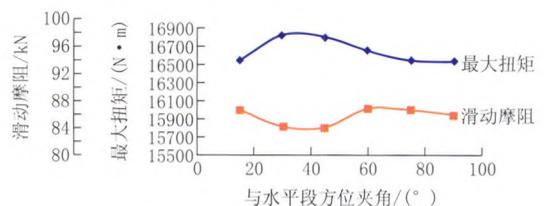


图 4 水平段方位夹角变化对应的摩阻和扭矩值

由图 4 中对比结果可知,在同象限内,与水平段方位夹角变化对应的滑动摩阻和扭矩值变化不大,

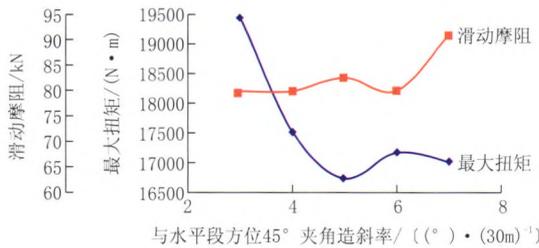


图5 同水平方位夹角不同造斜率对应的摩阻和扭矩值

说明绕障方向对摩阻和扭矩的影响不大;由图5中对比结果可知,相同绕障方向内,不同造斜率对摩阻和扭矩的影响大,如果造斜率太小,绕障时轨道垂深变化大,导致后续入窗作业井眼曲率大,钻具扭矩高,如果造斜率太高,上部井眼曲率变化大,容易形成“狗腿”,钻具与井壁的接触力增大,必然导致摩阻增加。

2.2 精细防碰扫描

2.2.1 老井井眼轨迹数据精确再处理技术

延长东部油区丛式井网大部分是20世纪90年代开发的老油田,井眼轨迹测量结果精确度不高,采用复测老井井口坐标,并斜数据根据相对坐标统一校正到高斯克吕格坐标下,对风险高的老井,利用陀螺复测轨迹,保证数据准确性。

2.2.2 防碰预警参数优选

目前流行的最小井间距离计算采用最近距离扫描实现^[7],其原理如图6所示,以参考井上的一点A为圆心,作数个半径不同的同心球,如果同心球此时恰好与对比井相切于一点B,则A和B之间的距离即是最近距离。

$$D = \sqrt{(N_A - N_B)^2 + (E_A - E_B)^2 + (D_A - D_B)^2} \quad (1)$$

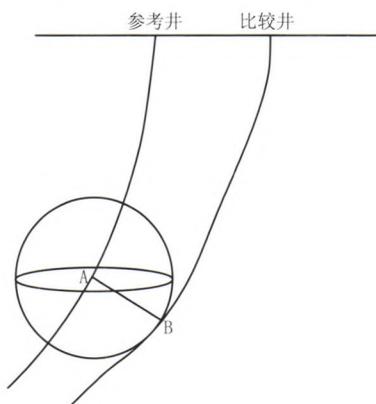


图6 最小距离扫描原理图

在采用最小距离防碰扫描计算时,充分考虑误差椭圆的形状与方向,使用定向分离系数(OSF)代替传统的分离系数(SF)来计算井眼碰撞风险,提高

风险识别能力。定向分离系数(OSF)的定义如公式(2)、图7所示。

$$OSF = \frac{R - r_1 - r_2}{L} \quad (2)$$

式中: R ——最近距离扫描半径; r_1 、 r_2 ——分别为邻井与主井眼井筒半径; L ——A、B两点之间距离。

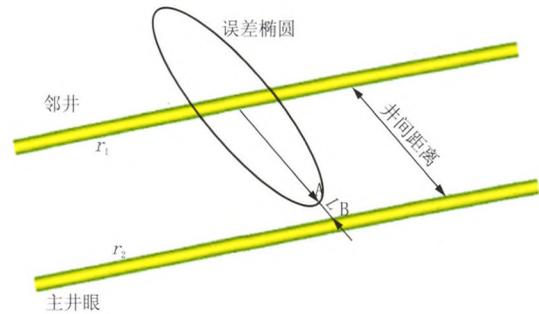


图7 定向分离系数示意图

2.3 现场工程技术措施

(1)防碰风险井段采用牙轮钻头钻进,利用MWD随钻测量获取实钻井眼轨迹参数,并根据相应算法拟合出井眼轨迹曲线,然后利用防碰扫描计算得到在钻井与风险邻井的井眼轨迹间的位置关系,在相对距离小于安全距离处预警,现场定向井工程师采取相应措施绕障。

(2)风险井井口指定专人监听是否有撞击套管的异常声音,钻台指定定向井工程师监视钻压、钻速、排量、泵压、扭矩等参数,如果钻速越来越慢,钻压突增,钻具振动,扭矩变化异常,应立即停钻检查。

(3)风险段加密捞砂,清楚判断钻遇地层情况,钻井液出口专人监视钻屑情况,返出岩屑中水泥含量越来越高,出现铁屑,应立即停钻,钻头提高井底,复核轨迹数据^[8]。

3 现场应用

浅层高密井网水平井防碰绕障技术在延长油田东部油区下寺湾、西区、七里村等采油厂取得了成功应用,目前共完钻七平1、蒲平5、泉59平1等18口浅层水平井的防碰绕障工作,成功率100%。本文仅以泉59平7井为例对上述防碰关键技术进行说明。泉59平7井为下寺湾油田泉59平台多口浅层水平井的一口,靶前距268 m、目的层垂深608 m,水平段长433.9 m,有A、B、C三个控制靶点,由于泉59平台已经分布6口定向井和3口水平井,周边邻近泉65平台,井网密集,常规二维设计防碰风险严

峻(如图 8、表 1 所示),必须对该井进行防碰绕障作业,以增加对泉丛 5917-6 井及其他井的防碰距离。

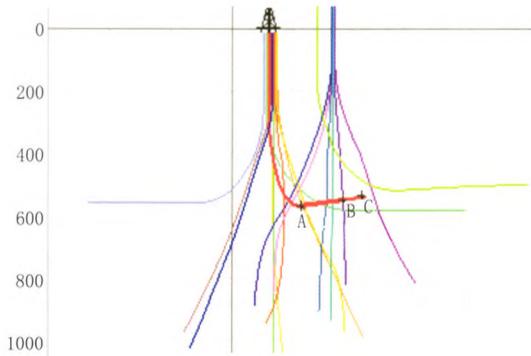


图 8 泉 59 平 7 井防碰绕障示意图

表 1 泉 59 平 7 井常规二维设计防碰计算

相邻井号	泉 59 平 7 井 深/m	邻井井深/ m	最近距离/ m	OSF 分离 系数
泉丛 5917-1	648.15	606.68	20.16	2.649
泉丛 5917-2	403.38	386.04	51.18	29.047
泉丛 5917-3	369.04	363.38	39.40	23.687
泉丛 5917-4	442.79	433.86	8.13	3.052
泉丛 5917-5	402.65	396.74	9.66	3.253
泉丛 5917-6	369.33	369.88	0.61	0.370

通过分析泉 59 平 7 井与周边防碰井的相对位置关系,钻井工程设计在 270 m 处进行防碰绕障,方位与水平段方位夹角 32.44°,由于上部造斜段井网密集,优选 5°/30 m 造斜率、19°小稳斜角稳斜 60.7 m,既保证了绕障距离,又满足避开上部老井网的要求。同时为避开下部井网,在 395.5 m 扭 7.9°方位,保证下部双增轨迹在合适方位穿出下部井网,下部轨迹采用 6°/30 m、7.2°/30 m 的微增造斜率双增剖面,减少滑动摩阻,降低施工难度,保证准确入靶。井队在整个钻井过程严格按照防碰绕障设计操作,确保泉 59 平 7 井与周边防碰井有较远的防碰距离,司钻密切注意钻井参数变化,并派经验丰富的钻井班人员在井口监听是否有套管撞击声,录井人员实时监视井口返出物,定向人员 MWD 随钻测量井眼轨迹参数并实时模拟轨迹变化,整个钻井防碰绕障作业过程顺利无异常,轨迹扫描结果如表 2、图 9 所示。

4 结论

- (1) 靶前位移、连续造斜率以及绕障造斜率的选取对浅层高密井网水平井防碰绕障轨道优化设计影响大,造斜点位置影响不大;
- (2) 现场在上部直井段选用优化绕障造斜率、

表 2 泉 59 平 7 井防碰绕障优化设计后防碰计算

相邻井号	泉 59 平 7 井 深/m	井深/ m	最近距离/ m	OSF 分离 系数
泉丛 5917-1	611.12	660.00	20.85	2.710
泉丛 5917-2	579.62	685.00	150.95	19.475
泉丛 5917-3	385.09	395.00	48.10	25.797
泉丛 5917-4	467.20	475.00	15.89	7.080
泉丛 5917-5	420.35	425.00	12.95	6.669
泉丛 5917-6	378.28	376.52	4.03	2.432

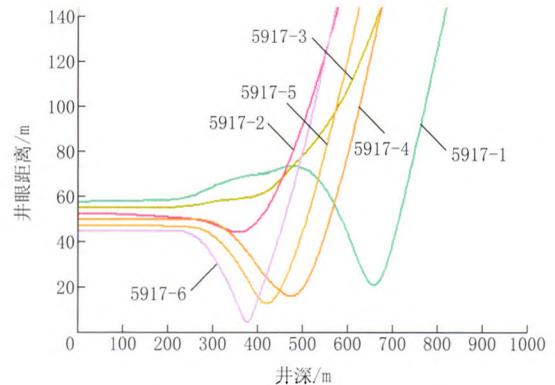


图 9 泉 59 平 7 井防碰绕障设计后扫描图

小角度稳斜,下部井段选用微增斜率方式的浅层高密井网水平井防碰绕障轨道设计是可行的;

(3) 精确处理老井数据,采用最小距离防碰扫描计算,实时跟踪井眼轨迹,优选的定向分离系数可以有效地定量评价井眼碰撞风险;

(4) 防碰绕障作业过程中需要钻井、定向、录井各方密切配合,确保绕障作业安全进行。

参考文献:

- [1] 陶红胜,杨全枝,于小龙.鄂尔多斯盆地东部低浅层渗透油藏大位移水平井钻井实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(2):37-40.
- [2] 韩志勇.定向井设计与计算[M].北京:石油工业出版社,1989.
- [3] 董德仁,齐月魁,何卫滨,等.大位移井钻井摩阻预测及井眼轨道优选[J].石油钻采工艺,2005,27(7):14-16.
- [4] 王万庆,田逢军.长庆马岭油田水平井钻井防碰绕障技术[J].石油钻采工艺,2009,31(2):35-38.
- [5] 曹传文,薄珉.最小曲率法井眼轨迹控制技术研究与应[J].石油钻采工艺,2012,34(3):1-6.
- [6] 唐洪林,唐志军,闫振来.金平 1 井浅层长水平段水平井钻井技术[J].石油钻采工艺,2008,30(6):11-15.
- [7] 刘修善,苏义脑.邻井间最近距离的表述及应用[J].中国海上油气(工程),2000,12(4):31-34.
- [8] 姜维.海上密集丛式井组再加密调整井网钻井技术探索与实践[J].天然气工业,2011,31(1):69-72.
- [9] 胥豪,董志辉.长水平段水平井井眼轨道优化设计方法[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(3):35-37,41.
- [10] 杨全枝.基于钻头振动信号分析的井间距离识别方法研究[D].山东青岛:中国石油大学(华东),2013.