

# 密集交叉井网井眼轨道精确制导技术的应用

陈 虎, 和鹏飞

(中海油能源发展股份有限公司工程技术分公司, 天津 300467)

**摘要:**本着充分依托原有海上油田设施降本增效原则,渤海Q油田在原有生产平台附近新建井口平台、对原有密集井网成功实施了整体加密调整,作业难度急剧增大。通过老井眼数据再处理、新井轨道设计优化、轨道防碰设计、防碰监测等手段形成密集交叉井网井眼轨道精确制导技术。该技术的成功应用提高了作业时效,有效保障了在老油田密集交叉井网整体加密井眼轨迹的顺利实施,减小了碰撞风险。

**关键词:**交叉井网;井眼轨道;精确制导;防碰;渤海油田

**中图分类号:**TE243 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2017)01-0041-05

**Application of Hole Trajectory Precision Guidance Technology for Dense Cross Well Network/CHEN Hu, HE Peng-fei** (CNOOC EnerTech-Drilling & Production Co., Tianjin 300452, China)

**Abstract:** In line with the original cost reducing and benefit increasing principles for offshore oil field facilities, wellhead platform was newly built near the existed production platform in Bohai Q oil field and the overall density increasing was carried out in the original dense well network, the operation difficulty increased rapidly. By means of the old borehole data processing, new well trajectory design optimization, anti-collision trajectory design and anti-collision monitoring, hole trajectory precision guidance technology for dense cross well network is developed. By the successful application of this technology, the work efficiency is improved, which effectively ensures the smooth implementation of well trajectory density increasing in dense cross well network of old oil field and reduces the collision risk.

**Key words:** cross well network; well trajectory; precision guidance; anti-collision; Bohai oil field

## 0 引言

渤海湾大多数油田目前已经进入大规模调整开发阶段,由于海上油田开发的高投入、高风险的特点,通过单纯的增加油井数量和平台数量来提高产量的方式,受到了项目经济性的制约和限制。针对海上油田开发过程中存在的层间矛盾和定向井开采底水油藏效果差的主要问题,渤海油田结合油层水淹规律及剩余油分布规律的研究结果,提出了井网整体加密以完成在老油田完善注采井网,从而提高油田采收率的设想。但是老油田在产的生产平台设计井槽数量是既定量的,且基本均已经实施了钻井,如果要在老油田继续新钻井则无新的井槽可用。目前的做法有2种途径,一是对部分平台进行扩展外挂部分井槽,二是在老平台旁边(一般不超过50 m)新建槽口平台,两者之间采用栈桥连接,这样既可以增加新的槽口,解决老平台槽口不足的问题,又能有效依托老平台的设备资源、节约开发投资成本。但无论哪种方式,新钻井均在已钻井所在槽口周边或

者附近,相当于在一个丛式井束旁边插入另一个新的丛式井束,由此导致新钻井作业期间的井眼防碰问题极其突出。在这种严峻形势下,如何高效、安全地实现新增调整井钻井任务显得尤为重要,为此开展了密集交叉井网井眼轨迹精准制导技术的研究与应用。

## 1 密集交叉井网作业难点与技术思路

### 1.1 技术现状

二次加密调整井将井间距离缩小至原井间距的一半,与此同时新老平台丛式井网的交叉,井眼轨道在狭小空间中交织,对井眼轨道设计及绕障提出了更高的要求,一方面要保证每口井都要有可实施的空间,另一方面又要互不干扰,难度几何级数提升,井眼防碰也上升为钻井工作中的头等大事。由于老油田井眼轨道的测量精确度不高,各井眼轨道测量仪器不同,测点不连续、测点间距大、以及各种系统误差和计算误差,坐标系统与现用不一致,使得老井

收稿日期:2016-03-14; 修回日期:2016-11-09

作者简介:陈虎,男,汉族,1982年生,工程师,石油工程专业,从事海洋石油钻井技术监督与管理,天津市滨海新区中新生态城悦馨苑4-301,chenhu@cnooc.com.cn。

眼轨道数据具有较大的不确定性,使用常规定向井技术导致井眼碰撞事故频发。

## 1.2 作业难点

### 1.2.1 防撞问题

老井井眼轨道数据存在较大的不确定性,新老井网交叉,井间距离小,井眼防撞问题严重。

### 1.2.2 开发目的层性质变化

油田开发进入注水开发的中后期阶段,油层性质也在悄然变化,由于油层薄且存在底水、边水、水淹、加强潜力区域的开发等情况,部分加密调整井往往面临着油柱高度不足,油藏开发对井眼轨道的精准性、油层钻遇率提出了更高的要求。渤海海上油田采用水平井开发明化镇组、馆陶组高孔隙度高渗透性的疏松砂岩油层时,水平段钻进过程中面临着自然降斜严重、造斜率低、稳斜困难,轨道控制难度大,油层钻遇率一旦钻开水层或者不能满足油藏开发要求,轻则造成回填料侧钻,浪费大量的人力物力,重则油井报废,损失不可估量。

## 1.3 技术思路

对老井井眼轨道数据精确再处理,通过优化井眼轨道、加密井防撞绕障技术,利用防撞预警监测技术、可视化井眼轨道精确制导控制技术,是在加密调整井深度挖潜的探索过程中逐步探索出来的一整套密集交叉井网井眼轨道精确制导技术。

## 2 密集交叉井网井眼轨道精确制导控制技术

### 2.1 老井井眼轨道数据精确再处理技术

在密集交叉井网作业中,设计是成功的关键,需要把安全第一的原则贯穿到整个设计中,而在设计中数据的准确性至关重要。由于大部分调整井油田都是20世纪90年代开发的老油田,老井井眼轨道数据存在较大的不确定性,为避免井眼之间发生碰撞,需要对存在碰撞风险的井在生产阶段进行井斜数据的精确再处理。Q油田已完钻井眼209口分布在A/B/C/D/E/F 6个采油平台,QHD32-6油田综合调整项目作业130多口井,新老井网交叉,防撞问题严重。在设计及钻井实施阶段,采用了老井井眼轨道数据精确再处理技术,保证了钻井作业的顺利进行。

首先,新旧轨道数据基础必须保持一致,包括坐标系(从WGS72到WGS84坐标系统的转换)、坐标原点、参考北、井口海拔补心高度、轨道计算方法、地

磁计算更新等。

其次,丛式井网防撞绕障的方案及措施必须建立在新旧井具有准确、可靠的轨道数据基础之上,包括更精确仪器复测轨道、加密测点等手段。对于存在严重防撞风险的老井进行了陀螺复测,共涉及Q油田64口老井。

第三,老井数据是防撞扫描是否准确的基础,同时还要注意仪器精度参数、深度等误差选择。

### 2.2 井眼轨道优化设计技术

密集交叉井网整体加密应以整体规划防撞设计为关键,主要考虑平台与部署井的相对位置关系、油藏对开发顺序的要求、后期采油作业各开发层系对泵挂深度的不同要求、井身轨道设计的科学性与可行性等多个方面。Q油田综合调整项目,依托利用原有设施、减少改动的基础上新建了4个平台WH-PG、WHPH、CEPI、CEPJ(图1),通过栈桥连接到老平台。新老平台之间的距离近,槽口间距均为 $2.0\text{ m} \times 1.8\text{ m}$ 的小间距,且调整加密井近90%为水平井,老井井网密集,交叉井网井眼轨道空间交错,防撞问题突出,作业难度极大。

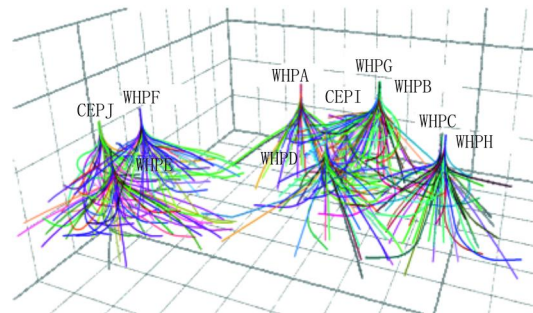


图1 Q油田交叉井网分布图

确定交叉井网总体防撞与钻井顺序优化原则时,整体考虑平台布井,以三维可视化软件为支持,做好轨道优化设计。分析影响钻井顺序优化、防撞控制的不利因素,与油藏开发部门加强沟通交流,优化调整靶点,避免井眼立体交叉,造斜点的选取里深外浅且错开邻井30m、多数加密井浅层就进行预斜绕障钻进;根据方位依次布井合理使用槽口,优化钻井顺序,为后续作业井留下足够的空间。运用三维模拟轨道优化设计技术,进行了整体调整设计并进行了优化,为实现总体防撞与钻井顺序优化做了大量的工作:23次优化调整平台位置;约1500井次轨迹调整设计;进行了2300井次防撞统计分析。

### 2.3 三维可视化井眼轨道控制技术

在石油钻井作业中,由于所钻地质条件复杂多变,实钻井眼轨道不可避免地与设计井眼轨道产生各种偏差,为了更直观地观察和控制钻井作业时的井眼轨道,防止实钻井眼间的碰撞,研究并实现井眼轨道三维可视化是很有必要的。

可视化井眼轨道控制技术可以更好地优化定向井设计剖面数据,比较直观地显示井眼之间的相对位置,起到井眼防撞预警的作用。同时,这种可视化井眼轨道,直接反应实时轨道与设计轨道的偏差,有利于井眼轨道的精准控制,配合地质导向技术,提高油田产量。

## 2.4 交叉井网防撞绕障技术

密集交叉井网防撞监测与绕障技术已经成为了海上调整井安全作业的关键技术之一。交叉井网在浅层及中深层均存在比较严重的井眼防撞问题,在设计阶段就要高度重视,采用表层预斜提前进行井眼分离,中深层进行防撞绕障设计,如图2,规避碰撞风险。

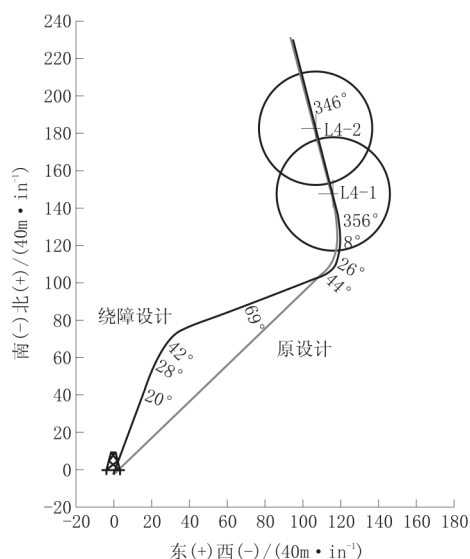


图2 井眼轨道原设计及绕障设计对比

其次,在现场精确实施“定向井防撞措施”:防斜打直技术;牙轮绕障,细化防撞措施;陀螺、MWD、旋转导向相结合;表层防斜打直;表层预斜,尽早和邻井分立;二开增强防撞意识,强化防撞措施。存在深层防撞的井(测深 $>1000$  m)设计的分离系数:两井轨道在水平方向要 $>1.5$ ,在垂向上要 $>1.0$ ;对防撞风险大的井应提前对相关邻井用陀螺复测其 $9\frac{5}{8}$  in (1 in = 25.4 mm,下同)套管实际轨道,根据复测数据及时进行绕障设计。

## 2.5 防撞预警装置及监测系统

对于部分加密调整井井眼误差椭圆相交的情况,现有井眼轨道设计、轨道测量、绕障施工等常规防撞手段受井眼轨道计算方法的影响存在一定的计算误差,依靠现有技术仍不能完全满足丛式交叉井网调整井对防撞监测的要求,影响了井筒安全和钻井施工。实践证明防撞扫描结果显示碰撞风险较高的井实钻时可能相对安全,而防撞扫描结果显示碰撞风险相对较低的井却出现了比较明显的趋近乃至刮蹭现象,甚至部分井在出现碰撞征兆之后,通过常规防撞手段难以确定具体的碰撞井是哪一口。

基于振动波原理的防撞地面监测及预警系统通过建立时域信号振幅强度标准,如图3、图4所示,监测实钻过程中本井套管和有防撞风险的邻井的井口套管的振动波强度(图5),通过对比,判断钻头碰撞(趋近)风险邻井的趋势如何,在钻头碰到邻井套管之前或碰到的瞬间及时发出预警或报警,避免或减轻钻井施工对邻井套管可能构成的伤害,为钻井防撞作业增加了“一双眼睛”,能够有效确保邻井井筒的安全和海上油田丛式井网整体加密钻采项目的顺利实施。

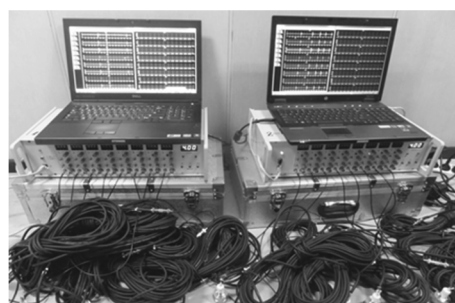


图3 地面软件、硬件设备



图4 套管传感器

## 2.6 井眼轨道精确制导控制技术

### 2.6.1 螺杆马达造斜钻具组合轨道控制技术

使用螺杆马达进行 $12\frac{1}{4}$  in 井眼水平井着陆作业,保证造斜率、顺利着陆和井眼平滑是海上密集交叉井网整体加密井眼轨道控制的重点,具体措施如下。

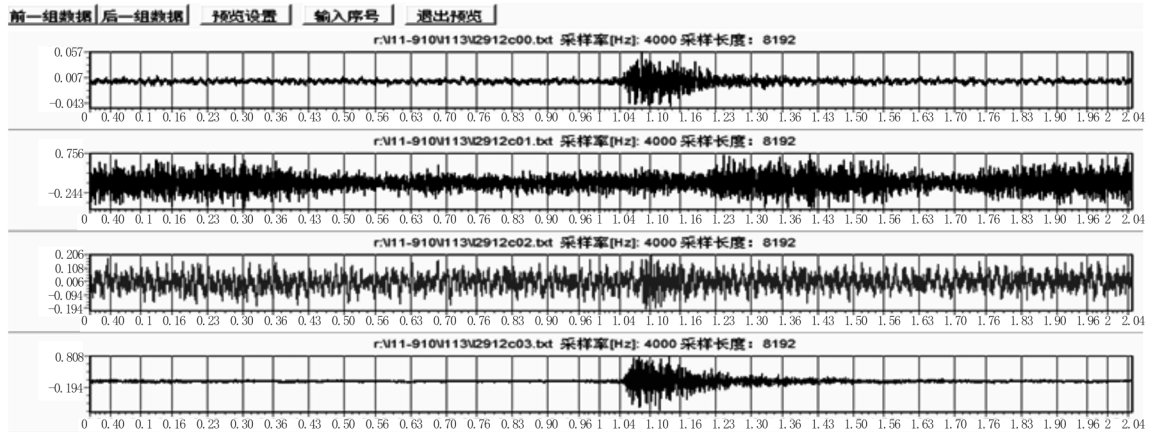


图5 监测波示意图

(1)扶正器尺寸可考虑适当偏大 $\frac{1}{8}$  in 或 $\frac{1}{4}$  in,以保证钻进过程中可高钻压、高机械钻速,稳斜段钻进以高机械钻速为目标,轨道方面一般通过滑动进行调整,勤调少滑,保证井眼平滑。

(2)水平井进入二次造斜段后建议控制轨道在设计线上 $0.5 \sim 1$  m,以随时应对水平井着陆层位深度的变化,运用三维可视化井眼轨道控制技术,实时监测轨道变化情况,及时调整,确保轨道按设计钻进,并结合邻井地层情况和作业规律进行轨道预测,至少预测 $100$  m以上。

(3)水平井着陆阶段,针对储层上部的盖层较硬且可钻性差,常规螺杆马达容易憋压造成工具面不稳、影响造斜率,容易造成着陆井斜不足而不能满足开发的需要最终回填侧钻的后果,为了改善螺杆钻具使用性能和提高其系统效率,引进了立林的等壁厚定子螺杆马达。等壁厚定子螺杆马达的研究与应用表明,与常规相比等壁厚定子具有以下优点:①良好的散热特性,提高了定子工作寿命;②均匀的橡胶膨胀,提高了定子工作稳定性;③单级承压高,提高了系统效率;④增加了橡胶与金属粘结面积,增强了粘合强度。

### 2.6.2 旋转导向钻具组合轨道控制技术

旋转导向钻井技术由于其摩阻与扭阻小、钻速高、井眼质量高、井眼净化效果好、成本低、建井周期短、井眼轨迹平滑易调控并可延长水平段长度等特点,能有效降低压差卡钻风险,代表了现代导向钻井技术的发展方向。

旋转导向工具通过近钻头井斜数据能够精确控制井眼轨道,及时对实钻轨迹进行优化调整,实现井

眼轨道的精确制导。能在稳斜模式下进行轨迹控制作业,体现出旋转导向工具相对于螺杆马达钻具组合稳斜作业时的优越性及更加良好的井眼清洁效果,近钻头井斜为轨迹控制及油藏储层对比判断提供了重要参考数据。

斯伦贝谢公司研发的第三代旋转导向系统 Power Drive Archer(下文简称 PD Archer)具有类似常规螺杆马达的可调弯角( $0.6^\circ$ 、 $0.8^\circ$ 、 $0.9^\circ$ 、 $1^\circ$ ),通过本体弯角与内部导向偏移可产生理论最高可达 $15^\circ/30$  m的高造斜率,能够满足软硬不同地层以及夹层时的高造斜率要求,并可实现疏松地层的裸眼悬空侧钻等作业,如图6所示。同时通过近钻头连续井斜、方位,随钻测井曲线,可以轻松实现轨道控制和地层特性实时监控。

实钻数据显示,该工具储层疏松砂岩井段全力造斜,全角变化率可达到( $7^\circ \sim 8^\circ$ )/ $30$  m,局部井段可达 $10^\circ/30$  m,且平均分布于造斜段,轨道相对平滑,降低了后续完井作业风险。PD Archer工具在Q油田的成功运用,平均钻速由 $50$  m/h提高到 $90$  m/h。对该油田后续钻井作业,特别是加密井的轨道控制和薄油层的开发具有重大意义,同时对渤海油田其他类似井施工提出了新的思路。

### 2.6.3 地质导向钻具组合轨道控制技术

选用先进的地质导向工具,可以实现满足油藏“贴油顶”钻进的要求,保障储层砂岩钻遇率,有效避免了钻出油层、钻开底水层的风险。斯伦贝谢公司的 Periscope 地质导向工具(可探油水边界)为水平段更好地钻遇储层同时避免钻遇底水提供了保障。

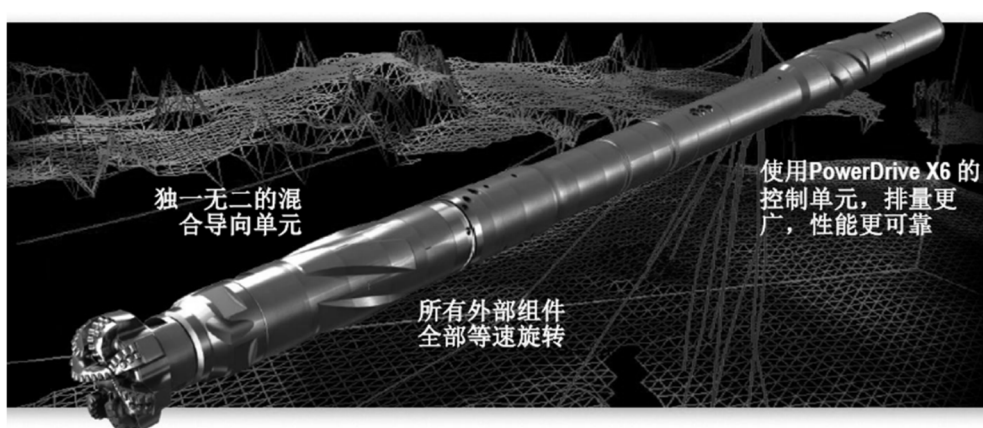


图6 第三代旋转导向系统 Power Drive Archer

### 3 技术应用情况

(1)海上油田密集交叉井网整体加密井眼轨道精确制导技术在Q油田调整井作业中得到应用并取得了显著的成效,130口调整井累计作业386.11d,比设计工期提前184.31d,并有多口井打破了中海油最新钻井单项纪录。有效地对油藏变化调整,缩短陆地随钻小组的决策时间,规避地质风险,保证顺利着陆。井身质量控制优秀,井眼报废事故和井眼碰撞事故均为零。

(2)海上密集的丛式井网中,再钻调整加密的第二套加密井网,在思路和钻井技术上取得成功和突破,特别是在定向井井眼轨道和防碰绕障等方面,技术水平大大提高。

(3)防碰预警装置及监测系统与三维可视化井眼轨道控制技术互为补充,丰富了海上油田井眼防碰的监控手段。

(4)成功引进使用了等壁厚螺杆马达、旋转导向工具和高造斜率工具PD Archer,补充丰富了工具选型,提升了技术适应性,使用效果良好。

### 4 结语

渤海湾大多数油田目前已经进入大规模调整开发阶段,调整井工作量逐年增大。海上油田密集交叉井网整体加密井眼轨道精确制导技术不仅能够有

效降低密集丛式交叉井网的防碰风险,为低效井的改造和动用程度较低的层位的开采提供了技术保障,有效提高油田的最终采收率、完善注采井网、提高整体开发效益,在渤海湾老油田中后期的大规模综合加密调整开发中有着广阔的应用前景。

### 参考文献:

- [1] 张晓诚,刘亚军,王昆剑,等.海上丛式井网整体加密井眼轨迹防碰绕障技术应用[J].石油科技论坛,2010,29(5):13-17.
- [2] 姜伟.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.
- [3] 刘峰,刘宝生,范白涛,等.海上老油田丛式井网再加密钻井技术研究应用[J].内蒙古石油化工,2013(21):121-124.
- [4] 韩雪银,付建民,钟帆,等.丛式井防碰技术在金县1-1油田的应用[J].中国海上油气,2014,26(5):70-75.
- [5] 刘亚军,张海,张晓诚,等.基于振动波原理的钻井防碰监测及预警技术[J].石油科技论坛,2010,29(5):32-33.
- [6] 魏刚,张春琳,邵明仁.小井距密集丛式定向井防碰技术[J].内蒙古石油化工,2010,36(2):99-101.
- [7] 张凤久,罗宪波,刘英宪,等.海上油田丛式井网整体加密调整技术研究[J].中国工程科学,2011,13(5):34-40.
- [8] 孙晓飞,韩雪银,和鹏飞,等.防碰技术在金县1-1-A平台的应用[J].石油钻采工艺,2013,35(3):48-50.
- [9] 和鹏飞,孔志刚.Power Drive Xceed指向式旋转导向系统在渤海某油田的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(11):45-48.
- [10] 刘鹏飞,和鹏飞,李凡,等.Power Drive Archer型旋转导向系统在绥中油田应用[J].石油矿场机械,2014,43(6):65-68.