

◀钻井完井▶

doi:10.11911/syztjs.2021116

引用格式: 王国娜, 张海军, 孙景涛, 等. 大港油田大型井丛场高效钻井技术优化与应用 [J]. 石油钻探技术, 2022, 50(2): 51-57.

WANG Guona, ZHANG Haijun, SUN Jingtao, et al. Optimization and application of efficient drilling technologies for large-scale well cluster fields in Dagang Oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2022, 50(2): 51-57.

大港油田大型井丛场高效钻井技术优化与应用

王国娜¹, 张海军¹, 孙景涛¹, 张 巍², 曲大孜¹, 郝 晨¹

(1. 中国石油大港油田分公司石油工程研究院, 天津 300280; 2. 中国石油大港油田分公司第五采油厂, 天津 300280)

摘 要: 为了解决大港油田大型井丛场开发过程中井间防碰风险大、轨道优化难和钻井提速难等问题, 根据地质工程一体化研究思路, 进行了井网部署、井眼轨道及防碰设计、井身结构及配套提速工具等关键技术研究, 建立了井口-靶点匹配关系、剖面类型设计优先级层序、造斜点“V”形设计法则、井身结构与一趟钻提速工艺模板, 形成了大港油田大型井丛场高效钻井技术。该技术在大型井丛场进行了现场应用, 其中港西二号大型井丛场作为大港油田陆上最大规模井丛场, 实现了 56 口井的安全规模开发, 节约井场征地、钻井搬迁等费用 1 200 万元, 平均单井钻井周期 4.42 d, 机械钻速 48.64 m/h。研究与现场应用表明, 大型井丛场高效钻井技术在提升井场利用率、缩短钻井周期、提高机械钻速及降低成本方面效果显著, 为大港油田效益开发提供了技术支撑。

关键词: 井丛场; 井网部署; 井眼轨道; 防碰; 地质工程一体化; 大港油田

中图分类号: TE243

文献标志码: A

文章编号: 1001-0890(2022)02-0051-07

Optimization and Application of Efficient Drilling Technologies for Large-Scale Well Cluster Fields in Dagang Oilfield

WANG Guona¹, ZHANG Haijun¹, SUN Jingtao¹, ZHANG Wei², QU Dazi¹, HAO Chen¹

(1. Petroleum Engineering Research Institute, PetroChina Dagang Oilfield Company, Tianjin, 300280, China; 2. The No.5 Oil Production Plant, PetroChina Dagang Oilfield Company, Tianjin, 300280, China)

Abstract: The development of large-scale well cluster fields in Dagang Oilfield encounters problems such as the high risk of collision between wells, difficulties in trajectory optimization and drilling acceleration, etc. According to the idea of integrating geology and engineering, the key technologies involved were studied, including well pattern deployment, wellbore trajectory and anti-collision design, casing program, and supporting drilling acceleration tools. This paper established the wellhead-target matching relationship, the priority sequence of profile type design, the V-shaped design rule for kick-off points, the casing program, and the acceleration process template of one-trip drilling. In this way, efficient drilling technologies were developed for the large-scale well cluster fields in Dagang Oilfield, and were applied to the Dagang Oilfield. The large-scale well cluster field Gangxi No.2 is the largest among the onshore well cluster fields in Dagang Oilfield. In this well cluster field, safe and scaled development of 56 wells were achieved, with a cost saving of CNY 12 million in aspects such as land expropriations for well sites and drilling relocation, and an average single-well drilling cycle of 4.42 d, and rate of penetration (ROP) of 48.64 m/h. The research and applications showed that the developed technologies displayed outstanding performance in raising the utilization rate of well sites, shortening the drilling cycle, increasing ROP, and lowering the costs. The results can provide technical support for the profitable development of Dagang Oilfield.

Key words: well cluster field; well pattern deployment; wellbore trajectory; anti-collision; geology-engineering integration; Dagang Oilfield

收稿日期: 2021-04-14; 改回日期: 2022-01-17。

作者简介: 王国娜 (1983—), 女, 河南洛阳人, 2007 年毕业于中国石油大学 (华东) 资源与勘查学院, 2011 年获中国石油大学 (华东) 普查与勘探专业硕士学位, 工程师, 主要从事钻井工程设计与相关技术研究工作。E-mail: wanggna@petrochina.com.cn。

基金项目: 中国石油科技攻关重大专项“大港油田效益增储稳产关键技术研究与应用 (编号: 2018E-11)”资助。

大港油田以复杂断块油藏为主,经过50多年的注水开发和多轮次调整挖潜,呈现地下开发程度高、地面产能建设用地紧张的局面,同时存在开发成本高难题,常规单井开发模式难以实现效益开发与可持续发展。井丛场钻井将多口(≥ 2)井部署到一个井场或平台,整体规划,集中作业,可缓解地上、地下矛盾,缩短作业时间,满足提高钻井速度、降低钻井成本需求。自2018年以来,大港油田井丛场开发进入快速发展阶段,呈现“大井丛、多层次、多井型、工厂化、立体式”特征^[1-3],同时油区完钻井网密度高,断层、特殊岩性发育易造成气侵、溢流等复杂情况,因此大型井丛场钻井设计中井网部署、井间防碰设计、井身结构优化及钻井提速均受限制,制约了油田高效开发。

国内外学者主要采用理论推导和计算机数值模拟等方法^[4-7],进行丛式井平台位置优选、井口-靶点匹配、井眼轨道设计和井眼轨迹控制等方面的研究。笔者在前人研究的基础上,结合大港油田井丛场开发生产实践,综合考虑地质、工程因素对井丛场钻井的影响,进行了井网部署、单井剖面类型设计、参数优化和防碰设计等关键技术研究,形成了直线法、直线法与圆心法相结合的井口-靶点匹配关系,建立了设计井型优先级排序,提出了相邻设计井造斜点“V”形排列法则,解决了大型井丛场钻井技术难点,现场应用后提高了钻井速度,缩短了钻井周期,降本增效效果显著。

1 大型井丛场钻井技术难点

大港油田主要位于天津市滨海新区和河北省渤海新区,区域内城市化程度高,自然保护区、生态农业保护区众多,环境保护要求高,产能建设用地紧张。该油田的油藏属于典型复杂断块油藏,主力油藏黄骅拗陷储层非均质性强,发育多套含油层系,埋深700~4 300 m,地下靶点分散,整体井网部署难度大;地质情况复杂,特殊岩性地层、断层发育,制约了大型井丛场钻井工程设计优化。同时,该油田进入了开发中后期,开采成本高,产能建设成本年均增长5%以上,钻井工程设计需满足降本增效要求。分析认为,大型井丛场主要存在以下钻井技术难点:

1)设计井数多,井口间距小、排列形式多样,井间防碰设计难度大。大港油田处于勘探开发中后期,大型井丛场多为老区加密井场,为提高井场利用率,单平台设计规模通常在3口井及以上,井口间

距2.50~6.00 m;井场条件受限,井口排列形式存在多样性,如单排排列、双排排列和“L”形排列等方式;地下靶点方位、深度分散错综,导致井间防碰设计难度大。该油田历经多年开发,地下开发程度高,井网密度高,典型区块井网密度达44口/km²,且多数完钻井的年代久远,井身数据可靠性差,单井设计发生碰撞概率在90%以上,设计井与完钻井间防碰问题突出。

2)同平台井型多样,井眼轨道优化设计受制约。为提高单井利用率,实现一井多目标要求,同平台存在常规定向井、大位移井和水平井等多种开发井型。受井口及靶点位置限制,因靶前距不足、偏移距大造成的三维水平井、大斜度井比例增大,且具有设计靶点深度大和水平段、大斜度段长等特点,因此优化设计井眼轨道时,需综合考虑合理消除偏移距、钻具受力和摩阻扭矩等多种因素。目前页岩油开发井丛场设计靶点垂深普遍大于3 500 m,井口偏移距最长达867 m,最长水平段1 700 m,井眼轨道优化空间小,钻井过程中易出现水平段钻具托压严重、摩阻扭矩大和套管下入难等问题。

3)井控风险大,井身结构优化与钻井提速难度大。大港油田浅层大型井丛场主要位于港西地区,深层大型井丛场主要位于沧东页岩油开发区。港西地区经长时间注水注聚合物,高、低压地层并存,地层纵向压力差异大,钻井过程中溢流、漏失频发,大部分为失返性漏失,且存在浅层气,漏失诱发井喷的风险高。沧东页岩油开发井目的层孔二段埋藏较深,普遍在3 800 m左右。沙河街组、孔一段存在广泛分布的生物灰岩、玄武岩及辉绿岩等特殊易漏岩性地层,井漏风险高;目的层孔二段主要为砂泥岩互层和白云质泥岩,钻进水平段时钻头进尺少,机械钻速低。同时,采用常规钻井方式钻进长水平段能量利用率低,机械破岩能量不足。该区块水平井平均机械钻速只有7.06 m/h,整体钻井速度偏低,严重制约了油田的勘探开发。

2 大型井丛场钻井关键技术

针对大型井丛场钻井存在的技术难点,综合地质需求、工程难度和后期工艺因素,以降低防碰风险、施工难度及钻井成本和提高钻井速度为原则^[8-12],进行了地质工程一体化井网部署、井眼轨道设计、井组防碰设计、井身结构优化及一趟钻等技术研究,以保证大型井丛场钻井的施工质量和效率。

2.1 地质工程一体化井网优化

2.1.1 井网部署优化

以满足地质需求、安全健康环保要求为基础, 依照效益最优原则, 整体优化平台井数量、井型。结合大港油田井丛场应用实践, 基于地质工程一体化建立常规定向井、大斜度井、大位移井和水平井等多目标井型井眼轨道优化的优先级排序, 形成复杂多目标井的靶区轨道设计模型, 以实现无关联靶点间的轨道高效设计, 其中常规定向井的井斜角宜控制在 45°以内, 井底位移宜在 700 m 以内。

港西一号大型井丛场原方案设计槽口 30 个, 部署地质目标点 40 个, 井口间距 5.00 m。结合油藏特征, 地质、工程协同将原方案中常规井西 9-14-3 井、西 8-14-2 井优化为水平井西 8-14-2H(见 图 1), 提高单井利用率, 实现一井多目标的目的。原方案中某设计井由于井底位移为 635.44 m, 造斜点优化至 100.00 m, 造斜率优化为 3.5°/30m 后, 井斜角仍达到 62.78°(见 表 1), 存在造斜点浅、井斜角大等难点。该区明化镇组浅层和馆陶组储层疏松易出砂, 井斜

角大对钻进过程中的携岩不利, 且井斜角大易导致后期泵挂位置选择难, 测井、录井费用高, 因此建议取消部署该井。经优化, 最终设计整体方案由 28 口优化为 24 口, 结合该井场 2 口已完钻井, 形成 26 口井规模井丛场, 集中使用 1~26 号槽口, 节省已部署槽口数量, 为后期井场加密及调整预留了空间; 井口间距由 5.00 m 优化为 6.00 m, 利于上部井段进行防碰设计, 降低防碰风险, 保障钻井安全。

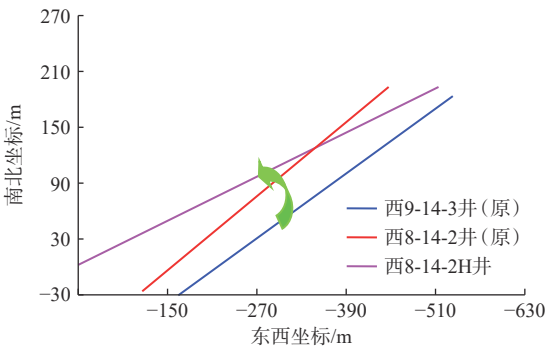


图 1 港西一号平台井型优化示意图
Fig.1 Optimized well type of the Gangxi No.1 Platform

表 1 港西一号平台原部署方案某井设计剖面

Table 1 Design profile for a well of the originally deployed plan on the Gangxi No. 1 Platform

关键点	井深/ m	井斜角/ (°)	方位角/ (°)	垂深/ m	全角变化率/ (°)·(30m) ⁻¹	井斜角变化率/ (°)·(30m) ⁻¹	方位角变化率/ (°)·(30m) ⁻¹	视平移/ m
造斜点	100.00	0	0	100.00	0	0	0	0
造斜终点	251.12	12.09	0	250.00	2.400	2.400	0	-11.19
增斜点	870.65	62.78	140.07	764.71	3.500	2.455	6.783	253.46
增斜终点	1 122.73	62.78	140.07	880.00	0	0	0	476.68
井底点	1 302.02	62.78	140.07	962.00	0	0	0	635.44

2.1.2 井口-靶点匹配优化

按照井口单排、多排的排列形式进行井口-靶点匹配研究, 以满足井网部署优化要求。首先遵循位移最小原则^[13], 单排和多排井口采用直线法, 多排井口采用直线法与同心圆法相结合的方法, 将各井口、靶点划分为不同区域, 同一区域按照靶点位移(距井口排中心点)由大到小的顺序, 由内及外、由近及远依次将其匹配至最近井口(见 图 2)。

实践中, 首先利用专业设计软件, 按照水平位移不相交原则, 快速求出井口与靶点的最优分配结果; 然后结合井场摆放位置、大门方向、生产要求及防碰需求, 进行井口-靶点匹配调整。为避免定向造斜时, 磁性测斜仪由于邻井套管影响产生磁干扰, 形成测量误差, 保障井身质量, 通常优先部署水

平位移大、造斜点位置浅的设计井, 后部署位移小、造斜点深的设计井^[14-16], 为同井场待钻井预留好轨道空间。经初步匹配及调整, 制定出井丛场平台井眼轨道设计方案, 为下一步井眼轨道精细调整与优化奠定基础。

2.2 井眼轨道与防碰设计优化

井眼轨道优化是在满足现场工具能力与防碰安全要求的前提下, 通过优化剖面类型及轨道参数, 取得最优钻井进尺及扭矩/摩阻, 实现钻进过程中降低施工难度和减少井下故障, 达到缩短钻井周期, 降低钻井成本及保障后续完井、测试、修井和采注等作业顺利实施的目的。

2.2.1 剖面类型优选

大型井丛场井眼轨道设计时, 为保障防碰安

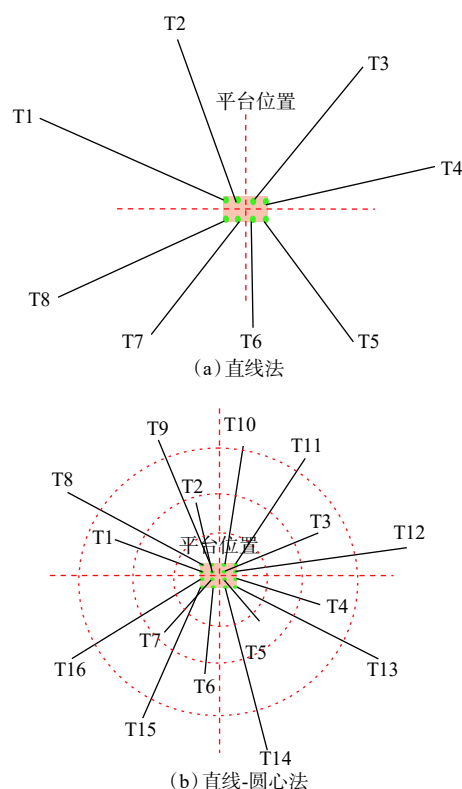


图2 井口-靶点的匹配关系

Fig.2 Wellhead-target matching relationship

全,降低施工难度,剖面设计力求简单化。针对靶前位移较小的井,优先考虑单增剖面(直—增—稳);针对靶前位移充足的设计井,可优化为双增剖面(直—增—稳—增—稳)或者五段制剖面(直—增—稳—降—直),实现在上部井段提前造斜,减少设计井上部直井段与邻井并行的长度,以降低防碰风险。

羊三木一号井丛场的某水平井井眼轨道设计过程中,该井靶点位移 640 m,预设单增剖面与双增剖面进行比较分析(见表2),以优选剖面类型。

表2 羊三木一号平台某井不同剖面参数对比

Table 2 Parameters comparison of different profiles for a well on the Yangsanmu No. 1 Platform

剖面类型	造斜点/m	造斜率/ $(^{\circ}) \cdot (30\text{m})^{-1}$	井斜角/ $(^{\circ})$
单增剖面	785.25	2.67	90.00
双增剖面	270.00	3.60	20.08
	1 199.52	3.00	90.00

从表2可以看出:1)双增剖面在两增斜段间加入稳斜段作为调整段,便于钻进时调整井眼轨迹,使其与井眼轨道相符,有利于安全钻进;2)单增剖面造斜点深,与邻井并行井段长,不利于井间防碰,

双增剖面则可通过提前造斜把并行防碰井段优化在最小范围内,便于钻进时调整井眼轨迹,使其符合井眼轨道,有利于安全钻进;3)双增剖面的钻井进尺相对于单增剖面减少 104 m,因此推荐选择双增剖面井眼轨道。

2.2.2 造斜点、全角变化率和井斜角优化

造斜点、全角变化率和井斜角的设计直接影响实钻过程中井眼轨迹控制难度。造斜点过浅,造斜率过大,易出现方位不稳定,发生漂移;造斜点过深,造斜率过小,则容易出现井斜角过大,钻井过程中易导致扭方位困难,转盘扭矩大,井眼清洁效果差等问题,并易出现井壁坍塌等现象。若井斜角过大,后期测井和完井作业施工难度大,对采注举升等工艺造成困难。从防碰安全角度分析认为:井丛场轨道防碰多在上部井口,造斜点浅,设计井与邻井防碰关系安全;随造斜点增深,与同井场设计井防碰分离系数降低。因此,造斜点不宜过深,以避免增大上部井段的防碰难度。结合大港油田地层特征,进行多因素条件下的井眼轨道参数研究,井丛场常规定向井在井深 150~1 100 m 造斜最优,造斜率 $(1.5^{\circ} \sim 3.6^{\circ})/30\text{m}$ 、井斜角 $15^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 最优。

大港油田王官屯油区某平台 J23-52 井上部平原组底界深度 320 m,地层松软,造斜过程中易垮塌,不适合进行定向作业。该油区开发井表层套管通常封固平原组,为避免在一开大尺寸井眼造斜,在二开井深 350 m 处开始造斜,以提高定向效率和钻速,预设多条井眼轨道进行剖面参数优选。随着造斜点增深,全角变化率增大,井斜角呈增大趋势(见图3)。结合防碰设计需求,在井深 600 m 处造斜时,设计井 J13-41 井与邻井 J17-47 井的防碰分离系数已降至 1.0(见图4),因此造斜点继续加深,存在与邻井相撞的风险,施工风险增大,因此该井最优造斜点在井深 320~550 m。

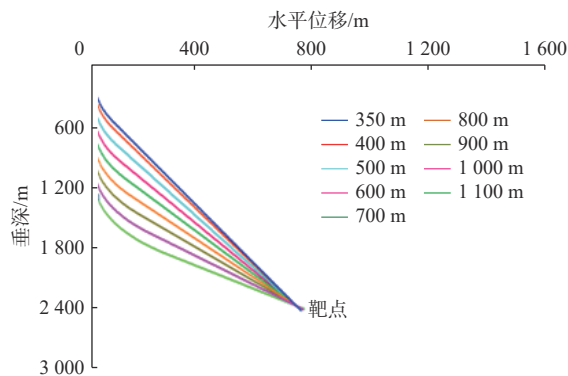


图3 J23-52 井井眼轨道优选

Fig.3 Wellbore trajectory selection of Well J23-52

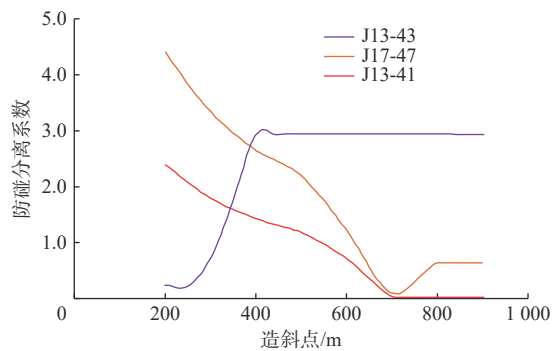


图 4 J23-52 井防碰分离系数随造斜点变化情况

Fig. 4 Variation of anti-collision coefficients with kick-off points of Wwell J23-52

2.2.3 防碰技术

浅层大型井丛场, 井间防碰在各设计井间上部垂直井段尤为突出, 常规井型通过相邻设计井造斜点“V”形设计(见图 5), 即相邻设计井造斜点深度错开 30~50 m, 进行上部防碰设计, 及时优化防碰距离, 保证在上部井段最近距离不小于相邻设计井间井口距, 避免设计井在空间上存在轨道交叉, 降低防碰风险^[17-18]。

为解决水平井、大位移井组井口间距小、直井段并行距离长和防碰井段深难题, 采用上部提前小角度预斜、下部双增七段制三维剖面优化防碰设计。某区块页岩油开发水平井组井丛场部署 6 口水

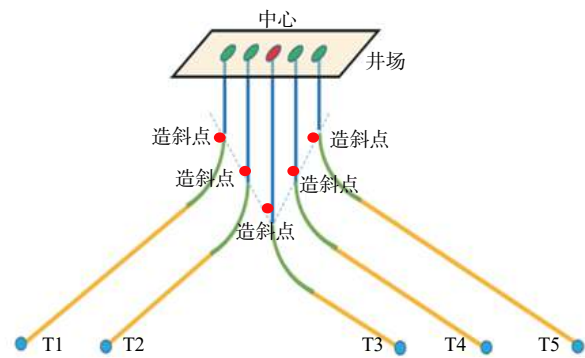


图 5 造斜点“V”形法则图示

Fig. 5 V-shaped rule for kick-off points

平井, 最大偏移距 494 m, 平均井深 5 017 m, 平均水平段长 1 421 m, 井口间距 6.00 m, 目标层位深, 上部直井段并行距离长, 考虑后期工厂化压裂作业需求, 水平段呈平行排列方式, 深部目标点入窗前存在空间交叉。结合轨道优化与地层发育特征, 进行防碰设计: 进入二开井段后设计井斜角 5°~10°, 使上部井段之间避开防碰; 下部采用“V”形设计法则, 三开入窗前相邻设计井间的造斜点错开 30~50 m, 降低入窗前井段的防碰难度, 通过优化防碰设计, 使各井间防碰分离系数均大于 1.0 或防碰距离大于 15 m, 降低相碰风险; 地层发育玄武岩和断层, 设计稳斜通过这些特殊岩性地层, 以避免定向调整井段, 保障井身质量, 提高机械钻速(见表 3)。

表 3 某页岩油井场井眼轨道参数设计结果

Table 3 Design results of wellbore trajectory parameters for a shale oil well field

井号	造斜点/m			井斜角/(°)				靶前位移/m	井底位移/m	井深/m
	第一	第二	第三	第一	第二	第三	第四			
1-1H	650.00	3 280.00	2 482.00	6.00	0	23.41	84.35	84.35	781.52	4 300.00
1-2H	400.00	3 225.75	3 385.56	7.00	0	10.41	86.45	393.88	794.00	4 300.00
1-3H	500.00	3 000.00	3 507.79	8.00	0	27.01	85.47	521.38	858.29	4 293.00
1-4H	600.00	3 100.00	3 633.63	8.50	0	86.93	90.13	560.00	2 126.53	5 526.00
1-5H	900.00	3 000.00	3 654.02	5.00	9.52	85.79	87.87	432.66	1 442.62	4 990.00
1-6H	800.00	2 900.00	3 489.64	6.00	0	18.39	84.69	470.99	1 418.81	4 934.00

2.3 井身结构优化

针对浅层大型井丛场港西地区注水注聚异常高压与易漏同存的矛盾, 基于精细油藏描述, 利用油藏工程数值模拟及注采平衡关系, 分析了地层压力平面分布规律, 发现在临近断层和油藏边部存在异常高压的概率较大。按照地层压力分布, 将地层分为一、二和三类区域: 一类区域地层压力系数大于 1.30, 二类区域地层压力系数在 1.20~1.30, 三类区

域地层压力系数小于 1.20。统计分析前期钻井资料得知, 该油区明化镇组断层漏失压力系数 1.20~1.25, 坍塌压力系数 1.15~1.20。因此, 一类区域保障井控安全的钻井液密度设计为 1.35 kg/L, 若采用二开井身结构, 二开井段将出现涌漏同存的复杂情况, 于是将井身结构优化为三开, 二开封固上部高压地层, 三开采用低密度钻井液钻进; 二类区域的安全钻井液密度窗口为-0.05~0.10 kg/L, 因此采用

预留一层技术套管的二开井身结构,应用常规控压钻井技术,保证低密度钻井液下的井控安全;钻遇异常高压地层,需将钻井液密度提高至 1.30 kg/L 以上才能压稳地层时,则补下技术套管;三类区域采用常规二开井身结构。

针对深层大型井丛场沧东页岩油开发区特殊岩性易漏、注水异常高压导致油气水侵问题,根据特殊岩性地层的厚度、与断层的位置关系,评估井漏风险,配合随钻防漏堵漏技术,降低井漏风险^[19],将孔一段高压注水层置于三开井段,分隔易漏特殊岩性地层与孔一段高压地层,二开采用低密度钻井液钻进,三开采用高密度钻井液钻进,既能保障井控安全,又能保证储层井壁稳定。

2.4 一趟钻提速技术

一趟钻技术是利用一只钻头、一套钻具组合完成一个开次或一个井段的钻进,减少起下钻次数,是大型井丛场提高机械转速、缩短钻井周期的主要技术措施。大港油田完钻井一开封固平原组及部分明化镇组地层,深度一般为 240~1 000 m,地层松软,易垮塌,采用牙轮钻头、塔式或钟摆钻具组合,配合钻压 40~60 kN 防斜打直,解决防碰难题。

浅层大型井丛场二开、三开井段采用螺杆+MWD 动力钻具,满足定向井段稳斜、绕障和井眼轨迹调整要求,一趟钻完钻造斜、扭方位、降斜及稳斜井段;深层大型水平井组井丛场储层埋藏深,二开直井段较长,且要穿过馆陶组底部砾岩,常规钻头磨损大、易崩齿。优选使用异形齿 PDC 钻头,采用大扭矩螺杆+水力振荡器钻具组合,完成大段直井段及部分定向井段,防止托压,降低成本。针对三开水平段钻井速度慢的问题,结合大港油田钻井实践,形成了水平井一趟钻提速模板:水平段大于 800 m 的水平井采用高效 PDC 钻头+旋转导向(近钻头地质导向)的一趟钻钻具组合,水平段小于 800 m 的水平井则采用高效 PDC 钻头+导向马达+LWD+水力振荡器的经济性一趟钻钻具组合,配合钻压 78.4~98.0 kN、转速 90~100 r/min、排量 32~35 L/s、扭矩 20~30 kN·m 和泵压 30~33 MPa 的强化钻井参数,保障钻井提速。

3 现场应用效果

2018 年以来,大港油田大型井丛场应用以上技术,共建成 6 口井以上的井丛场 28 个,井丛场钻井数量占产能井总数 68.2%,井场土地征用面积减少

了 5.885 km²,钻井周期缩短了 11.9%。其中,港西一号井丛场成为中石油示范井丛场,2020 年实施的港西二号大型井丛场为目前大港油田陆上最大规模井丛场。

港西二号井丛场位于港西地区四区断块,开发明化镇组、馆陶组 2 套层系,槽口呈双排四组排列,排间距 8.00 m,井口间距 5.00 m,共部署 56 口井,其中水平井 6 口。该井丛场所在区域井网密集,老井众多,前期涉及完钻邻井 200 余口,井间防碰形势严峻。针对目标点位移较大和防碰困难的常规井,利用井间防碰技术,采用双增剖面 and 三维绕障剖面,其中三维绕障井占比 19.6%;针对靶前位移充足的水平井,采用双增剖面,设计进尺缩短 170 m;地质目标优化 50 井次,井眼轨道优化 200 余井次,整体方案调整 9 轮次,实现井间最小安全距离 3.20 m,最小分离系数 0.878。

通过优化钻井技术,该平台钻井总进尺缩短 505 m,钻井液重复利用 180 m³。钻井过程中采用“工厂化”钻井模式,2 台大型钻机的搬迁和安装时间错开,多口井依次进行一开、固井、二开和固井,所有设备在钻机上协同运行,钻井、固井和测井设备无停待,提高了设备利用率和人员的施工效率,缩短了整体钻井时间,提速效果明显。与港西二区相比,单井钻井周期缩短了 17.6%,机械钻速提高了 45.1%。

4 结论与建议

1)综合地质需求、钻井难度、后期工程工艺和建设成本等要求,开展了地质工程一体化大型井丛场井网部署研究,建立了井口-靶点匹配关系,并进行井丛场实施井数量、井型和施工顺序优化,满足了大井丛效益最优化需求。

2)井眼轨道设计及优化是大型井丛场高效钻井工艺优化的关键环节,通过剖面类型优选、轨迹参数精细优化,解决了大型井丛场井间防碰难题,降低了钻井风险;通过优化钻井进尺,降低钻井难度,为安全、高效、经济钻井提供量良好的轨迹空间。

3)结合区域构造及地质发育特征,进行了适合各井丛场的井身结构、一趟钻钻具组合和钻井参数等配套技术研究,降低了发生钻井故障的概率,提高了机械钻速。

4)针对大型井丛场的具体情况,通过优化钻井技术解决了地上和地下的矛盾,在提高钻井速度、

降低钻井成本方面效果显著;但受复杂断块油藏地质特征影响,需要进一步研究深层水平井组大型井丛场平台规模与提速技术,以扩大深层水平井组大型井丛场技术推广范围和提高其应用效果。

参 考 文 献

References

- [1] 赵平起,李东平,唐世忠,等.大港油田井丛场建设管理创新与实践[J].国际石油经济,2020,28(12):95-100.
ZHAO Pingqi, LI Dongping, TANG Shizhong, et al. Management innovation and practice of well cluster field construction of Dagang Oilfield[J]. International Petroleum Economics, 2020, 28(12): 95-100.
- [2] 李兴科,孙超,许建国.大井丛集约化效益建产开发方案优化与技术创新[J].特种油气藏,2018,25(2):169-174.
LI Xingke, SUN Chao, XU Jianguo. Development program optimization and technology application in multi-well cluster intensification benefit production[J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2018, 25(2): 169-174.
- [3] 赵贤正,赵平起,李东平,等.地质工程一体化在大港油田勘探开发中探索与实践[J].中国石油勘探,2018,23(2):6-14.
ZHAO Xianzheng, ZHAO Pingqi, LI Dongping, et al. Research and practice of geology-engineering integration in the exploration and development of Dagang Oilfield[J]. China Petroleum Exploration, 2018, 23(2): 6-14.
- [4] 李治衡,虞海洋,王文,等.渤海油田表层大尺寸井眼预斜技术探索与应用[J].非常规油气,2020,7(1):87-92.
LI Zhiheng, TUO Haiyang, WANG Wen, et al. Exploration and application of preventive oblique technology for large-scale borehole in surface of Bohai Oilfield[J]. Unconventional Oil & Gas, 2020, 7(1): 87-92.
- [5] 崔月明,史海民,张清.吉林油田致密油水平井优快钻井完井技术[J].石油钻探技术,2021,49(2):9-13.
CUI Yueming, SHI Haimin, ZHANG Qing. Optimized drilling and completion technology for horizontal wells in tight oil reservoirs in the Jilin Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021, 49(2): 9-13.
- [6] 张伟国,严德,陈彬,等.惠州区块深层火成岩地层钻井提速技术[J].石油钻采工艺,2020,42(5):583-586.
ZHANG Weiguo, YAN De, CHEN Bin, et al. ROP improvement technologies used in the deep igneous formation of Huizhou Block[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2020, 42(5): 583-586.
- [7] ABRAMOV A. 丛式井平台设计及井丛分组优化[J].石油勘探与开发,2019,46(3):588-593.
ABRAMOV A. Optimization of well pad design and drilling-well clustering[J]. Petroleum Exploration and Development, 2019, 46(3): 588-593.
- [8] 许军富,徐文浩,耿应春.渤海人工岛大型丛式井组加密防碰优化设计技术[J].石油钻探技术,2018,46(2):24-29.
XU Junfu, XU Wenhao, GENG Yingchun. Anti-collision optimization design technology for large-scale infill drilling for cluster well groups in the artificial island of the Bohai Sea[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2018, 46(2): 24-29.
- [9] 刘衍前.涪陵页岩气田加密钻井关键技术[J].石油钻探技术,2020,48(5):21-26.
LIU Yanqian. Key drilling technologies of infill wells in the Fuling Shale Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2020, 48(5): 21-26.
- [10] 范红康,刘劲歌,臧艳彬,等.涪陵页岩气田焦石坝区块调整钻井井技术[J].石油钻探技术,2021,49(3):48-54.
FAN Hongkang, LIU Jingge, ZANG Yanbin, et al. Drilling technology for adjustment wells of the Jiaoshiba Block in the Fuling Shale Gas Field[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021, 49(3): 48-54.
- [11] 秦文政,党军,臧传贞,等.玛湖油田玛18井区“工厂化”水平井钻井技术[J].石油钻探技术,2019,47(2):15-20.
QIN Wenzheng, DANG Jun, ZANG Chuanzhen, et al. Factorization drilling technology of the horizontal well in the Ma18 Well Block of the Mahu Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2019, 47(2): 15-20.
- [12] 倪华峰,杨光,张延兵.长庆油田页岩油大井丛水平井钻井提速技术[J].石油钻探技术,2021,49(4):29-33.
NI Huafeng, YANG Guang, ZHANG Yanbing. ROP improvement technologies for large-cluster horizontal shale oil wells in the Changqing Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021, 49(4): 29-33.
- [13] 闫铁,徐婷,毕雪亮,等.丛式井平台井口布置方法[J].石油钻探技术,2013,41(2):13-16.
YAN Tie, XU Ting, BI Xueliang, et al. Wellhead arranged method of cluster well pad[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(2): 13-16.
- [14] 葛云华,鄢爱民,高永荣,等.丛式水平井钻井平台规划[J].石油勘探与开发,2005,32(5):94-100.
GE Yunhua, YAN Aimin, GAO Yongrong, et al. Drilling pad optimization for oilfield development by cluster horizontal wells[J]. Petroleum Exploration and Development, 2005, 32(5): 94-100.
- [15] 谭玮,房舟,罗成波,等.致密高应力水平井优快钻井完井难点与对策[J].断块油气田,2020,27(5):653-656.
TAN Wei, FANG Zhou, LUO Chengbo, et al. Difficulties and solutions of optimized fast drilling and completion of horizontal well in tight and high stressed formation[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2020, 27(5): 653-656.
- [16] 陈新勇,徐明磊,马樱,等.杨税务潜山油气藏大位移井钻井完井关键技术[J].石油钻探技术,2021,49(2):14-19.
CHEN Xinyong, XU Minglei, MA Ying, et al. Drilling and completion technologies of extended-reach wells in the Yangshuiwu buried hill reservoir[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2021, 49(2): 14-19.
- [17] 李琪,刘毅,王六鹏,等.密集井网直井段井眼轨道交碰风险计算新方法[J].石油钻采工艺,2021,43(1):29-33.
LI Qi, LIU Yi, WANG Liupeng, et al. A new method for calculating the wellbore collision risk of vertical sections of dense cluster wells[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2021, 43(1): 29-33.
- [18] 胡中志,侯怡,李卓静,等.密集丛式井上部井段防碰设计关键参数临界值计算分析[J].石油钻采工艺,2019,41(4):448-454.
HU Zhongzhi, HOU Yi, LI Zhuojing, et al. Calculation and analysis of key parameter critical values in anti-collision design for upper sections of dense cluster wells[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2019, 41(4): 448-454.
- [19] 李奎周,陈树民,赵海波,等.松辽盆地青山口组泥页岩孔隙压力预测方法及其应用[J].大庆石油地质与开发,2018,37(6):7-12.
LI Kuizhou, CHEN Shumin, ZHAO Haibo, et al. Predicting method of the pore pressure in Qingshankou-Formation mud shale of Songliao Basin and its application[J]. Petroleum Geology & Oil-field Development in Daqing, 2018, 37(6): 7-12.