

◀ 钻井完井 ▶

doi:10.3969/j.issn.1001-0890.2014.01.012

## 南堡 1-3 人工岛大斜度定向井钻井技术

李云峰<sup>1</sup>, 胡中志<sup>1</sup>, 徐 吉<sup>1</sup>, 祝志敏<sup>2</sup>, 王 攀<sup>3</sup>

(1. 中国石油冀东油田分公司钻采工艺研究院, 河北唐山 063000; 2. 中国石油冀东油田分公司陆上作业区, 河北唐山 063000; 3. 中国石油冀东油田分公司南堡作业区, 河北唐山 063000)

**摘 要:** 为了提高南堡 1-3 人工岛的整体开发进程, 进行了大斜度定向井钻井技术研究。根据井位的分布特点及剖面的防碰设计要求, 进行了密集丛式井井眼轨道整体设计; 针对该区块储层具有强水敏、强盐敏及玄武岩地层易塌易漏的特点, 结合成膜封堵理论, 优选出具有强抑制性和强封堵性的 KCl 成膜封堵低侵入钻井液; 通过分析已完钻井玄武岩地层厚度, 优选高效 PDC 钻头与螺杆钻具配合进行复合钻进。现场应用表明, 大斜度定向井钻井技术合理规避了南堡 1-3 人工岛井眼碰撞的风险, 有效控制了缩径、阻卡等复杂情况, 已完钻井中平均井径扩大率不小于 8%, 且均一次性投产。大斜度定向井钻井技术为南堡 1-3 人工岛油气勘探开发提供了工程技术保障。

**关键词:** 大斜度井 定向井 井身结构 玄武岩地层 南堡 1-3 人工岛

**中图分类号:** TE243<sup>+</sup> **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0890(2014)01-0061-05

## High-Inclination Directional Drilling Technology in Nanpu 1-3 Artificial Island

Li Yunfeng<sup>1</sup>, Hu Zhongzhi<sup>1</sup>, Xu Ji<sup>1</sup>, Zhu Zhimin<sup>2</sup>, Wang Pan<sup>3</sup>

(1. Drilling and Production Research Institute, Jidong Oilfield Company, PetroChina, Tangshan, Hebei, 063000, China; 2. Onshore Oilfield Operation Distric, Jidong Oilfield Company, PetroChina, Tangshan, Hebei, 063000, China; 3. Nanpu Oilfield Operation Distric, Jidong Oilfield Company, PetroChina, Tangshan, Hebei, 063000, China)

**Abstract:** In order to speed up the development process in Nanpu 1-3 artificial island, high-inclination directional drilling was investigated. According to anti-collision design requirements and distribution characteristics of well location, dense cluster well trajectories were designed. In view of strong water sensitivity, salt sensitivity and basalt collapse or leakage in this block, a low filtration drilling fluid, with KCl filming and strong sealing property, was selected based on the theory of film sealing; after analyzing basalt thickness in drilled wells, a highly efficient PDC bit was selected to work together with PDM tools. Field application showed that the comprehensive high inclination directional drilling technologies mitigated the risk of wellbore collision and complexities like tight hole, pipe sticking in the drilling at Nanpu 1-3 artificial island, the drilled wells had an average hole enlargement rate of less than 8%, and all were put into production at once. Directional drilling technologies provide engineering and technical support for exploration and development of Nanpu 1-3 artificial island.

**Key words:** highly deviated wells; directional well; casing program diagram; basalt formation; Nanpu 1-3 artificial island

利用人工岛进行油气田开发目前已成为浅海油气田勘探开发的主要方式之一, 由于人工岛的建造成本与海上平台相比相对较低, 对于水深小于 30 m 的近海油气田, 国内外普遍采用人工岛进行勘探开发。目前国外人工岛开发方面, 布井最多的是美国

收稿日期: 2013-01-22; 改回日期: 2013-10-15。

作者简介: 李云峰(1981—), 男, 陕西安康人, 2006年毕业于西安石油大学石油工程专业, 工程师, 主要从事钻井技术方面研究工作。

联系方式: (0315)8768040, liyunfeng1981@163.com。

基金项目: 国家科技重大专项“渤海湾盆地黄骅坳陷滩海开发示范工程”(编号: 2011ZX05050)资助。

长滩岛,该岛设计井口 390 个,主要采用模块钻机施工及旋转地质导向技术钻进,其技术先进,但成本较高。国内人工岛开发方面有大港油田庄海  $4 \times 1$  岛,设计井口 76 个,主要采用井丛排+常规钻机钻进,开发层位主要集中在浅层的油气藏。

南堡 1-3 人工岛位于冀东南堡滩海地区,是利用海床粉砂吹填而成的滩海人工岛,水深 5 m 左右,全岛长 495 m,宽 298 m,岛体呈近似椭圆形,计划部署 130 多口井,井型以定向井、大斜度定向井为主,主要采用井丛排+常规钻机钻进,开采层位主要集中在中深层及深层油气藏,目前已完钻井 104 口,创造了国内单岛数量最多、密度最高的丛式井记录。

## 1 人工岛钻井技术难点分析

1) 受人工岛面积的限制,钻井可用地面面积狭小,井口密集,井口间距为 4 m,井眼轨道防碰设计及轨迹控制难度大。

2) 位移大、大斜度定向井段长,位移超过 1 500 m 的井 51 口,位移大造成摩阻扭矩大、钻井过程中防卡润滑难度大<sup>[1-3]</sup>。

3) 大斜度定向井井段不利于钻井液携砂<sup>[4-5]</sup>。研究表明井斜角大于  $45^\circ$ ,岩屑极易沉积形成岩屑床<sup>[4]</sup>。南堡 1-3 人工岛井斜角大于  $45^\circ$  的井 50 口,这些井在钻井过程中存在卡钻的风险。

4) 馆陶组玄武岩地层厚度大,厚度 220 ~ 792 m,平均厚度为 466.95 m,可钻性级值为 5~8 级,可钻性较差,限制了钻井速度的提高,延长了钻井液的浸泡时间,导致井壁稳定性差<sup>[6-7]</sup>。

## 2 大斜度定向井钻井技术对策

针对以上难点,对南堡 1-3 人工岛大斜度定向井钻井开展技术攻关,提出了以下技术对策。

### 2.1 钻井井场整体布局最优化

南堡 1-3 人工岛井口布置采用井丛排方式<sup>[8]</sup>,即井口呈线形排列,分成若干组,排间距一般为 20~60 m,同一排内井口间距一般为 2.5~5.0 m,该方式主要适用于海上人工岛使用常规钻机整体拖动施工。南堡 1-3 人工岛分南北共布置 2 排丛式井,井口间距为 4 m,排间距 60 m,共布置 26 组丛式井,每组 5 口井,全岛共计划布置 130 口井(见图 1,蓝图和绿图均代表钻井基础)。

### 2.2 密集丛式井井眼轨道设计与控制技术

南堡 1-3 人工岛井口区面较小,且井网密集,设计井眼轨道时首先对井口进行整体优选,再进行轨道防碰设计。施工中要整体优化部署井位,优化钻井实施顺序,并根据施工实测数据对各井进行轨道防碰优化。

井眼轨道防碰设计原则是:造斜点深度大于 300 m,同一井组内各井之间的造斜点应交错分布,深度差应大于 30 m,造斜率为  $(1.5^\circ \sim 2.1^\circ)/30\text{m}$ ,造斜方位为井口与靶点连线的方向,尽量设计为二维轨道,以减少空间的占用,为轨道调整预留空间。如果相邻 2 口井上直平行井段过长、或井口与靶点的连线交叉严重无法进行优化,此时必须对轨道进行防碰绕障设计;防碰绕障轨道设计的预造斜方位应尽量偏移井口连线方向,以获得最大的井眼有效间距。一般中心井口预造斜方位应垂直于井口连线方向,其右侧井口预造斜方位应自左至右依次增加  $3^\circ \sim 5^\circ$ ,反之亦然,预造斜方位可根据完钻邻井的施工情况进行调整<sup>[9]</sup>。

钻井过程中选用质量可靠、性能稳定的定向工具,同时强化井眼轨迹监测与控制,采取勤监测、小调整、微调的措施,提高旋转钻进比例,保证井眼

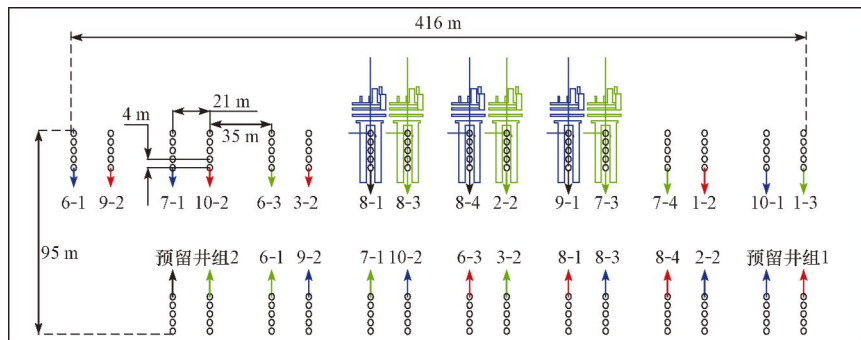


图1 南堡 1-3 人工岛井口布置

Fig. 1 Wellhead layout on Nanpu 1-3 artificial island

轨迹圆滑;同时,根据井内情况采取简化钻具组合及选用欠尺寸稳定器等技术措施,以保证大斜度定向井精确中靶和施工安全顺利。

### 2.3 井身结构设计

通过分析南堡 1-3 人工岛实测地层压力和破裂压力,结合该区块注采动态分析和根据测井资料获得的地层岩石力学参数,建立了适合南堡 1-3 人工岛定向井的三压力梯度预测模型。在三压力梯度预测模型及井壁稳定技术研究的基础上,综合考虑井深、水平位移及钻井难度,确定了南堡 1-3 人工岛定向井井身结构,即井深小于 4 000 m 或水平位移小于 3 000 m 的井采用三开井身结构(见图 2),反之采用四开井身结构(见图 3)。

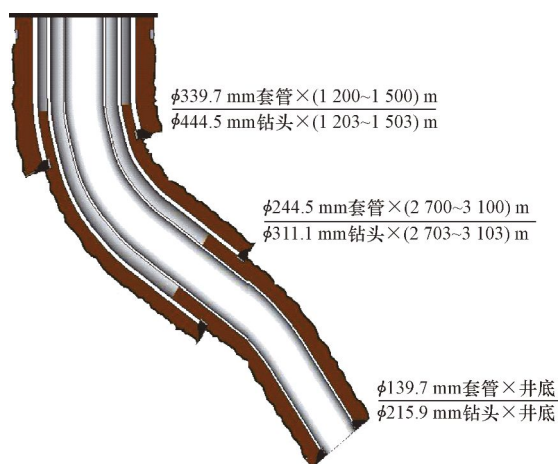


图 2 南堡 1-3 人工岛定向井三开井身结构

Fig. 2 Casing program for drilling three sections in Nanpu 1-3 artificial island

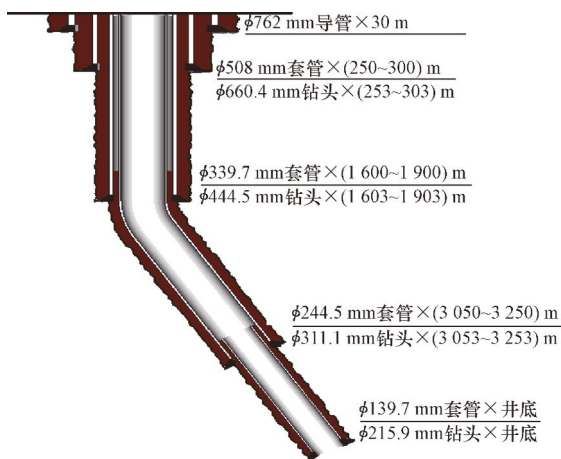


图 3 南堡 1-3 人工岛定向井四开井身结构

Fig. 3 Casing program for drilling four sections in Nanpu 1-3 artificial island

该井身结构的主要特点是:1)  $\phi 339.7$  mm 套管下至稳斜段,封固明化镇组上部地层,为下部安全施工提供条件;2)  $\phi 244.5$  mm 套管封固馆陶组地层,缩短下部裸眼段长度,降低摩阻和扭矩。

### 2.4 钻井液技术

针对南堡 1-3 人工岛储层具有强水敏、强盐敏、严重不均质及玄武岩地层易塌易漏的特点,应用具有强抑性和强封堵性的 KCl 成膜封堵低侵入钻井液。该钻井液将极压润滑剂、石墨和原油等多种润滑处理剂进行复配,以达到减摩减扭的效果。同时,根据井斜角大小选择润滑剂:若井斜角小于  $40^\circ$ ,选择极压润滑剂和改性石墨作为防塌润滑剂,若井斜角大于  $40^\circ$ ,选择原油作为润滑剂,并将其与不同润滑机理的润滑剂进行复配<sup>[10]</sup>。

钻至玄武岩地层前 200~250 m,在钻井液中加入足量的磺化沥青、聚合醇、单向压力封堵剂等添加剂,提高钻井液的抑制性。同时控制其 API 滤失量低于 4 mL、高温高压滤失量低于 10 mL。通过提高钻井液的抑制性和封堵性,能够在一定程度上降低复杂岩性地层的坍塌压力,保持玄武岩井段的井壁稳定<sup>[11]</sup>。

### 2.5 井眼净化

为有效清除大斜度定向井钻井过程中形成的岩屑床,在钻井过程中采取以下井眼清洁技术措施:钻井液的动塑比大于 0.6,以提高其携岩性能;适当增大喷嘴直径,同时增大钻井液排量, $\phi 311.1$  mm 井眼排量大于 50 mL/s, $\phi 215.9$  mm 井眼排量大于 30 mL/s;每次起钻前泵入 100 m 长的稠浆塞推砂;提高固控设备使用率,尤其是双离心机的使用,控制  $\phi 311.1$  mm 井眼的固相体积分数小于 12%、 $\phi 215.9$  mm 井眼的固相体积分数小于 18%;PDC 钻头和牙轮钻头间隔使用,以 PDC 钻头为主,应用牙轮钻头修整井壁,清理井眼,进行短程起下钻。

### 2.6 摩阻、扭矩的预测与控制

由于大斜度定向井裸眼稳斜段长,因此,降低摩阻、扭矩是大斜度定向井钻井工程的核心问题。应用 Landmark 软件模拟不同施工阶段的摩阻、扭矩变化情况(见表 1),为选择低摩阻的井眼轨道、钻机型号、钻井液类型以及下套管方式提供依据,并且在钻进过程中根据预测情况,在部分井段使用减

表1 南堡13-斜1046井预测与实测摩阻、扭矩对比

Table 1 Comparison of predicted and actual drilling torque and drag in NP13-X1046 wells

井眼尺寸/ mm	大钩最大载荷/kN		最大扭矩/(kN·m)	
	预测	实际	预测	实际
311.1	1 240	1 200	29.0	27.0
215.9	1 490	1 460	42.5	42.0

摩减扭工具,以降低钻井过程中的摩阻和扭矩。

## 2.7 玄武岩地层钻井方案优化

根据邻井或邻区块施工资料,对该区块完钻井玄武岩地层厚度进行分析,南堡1-3人工岛馆陶组玄武岩地层厚度约为220~792 m,平均厚度为466.95 m,从东北—西南先变厚、再逐渐变薄,层位逐渐上移,岩性逐渐变复杂,下部层位分散淹没。

表2 南堡1-3人工岛不同井型钻井效果

Table 2 Drilling effect of different well types in Nanpu 1-3 artificial island

井型	井数	平均井深/ m	平均位移/ m	平均井斜角/ (°)	平均位垂比	平均机械钻速/ (m·h <sup>-1</sup> )	平均钻井周期/d
中斜度定向井	54	3 292	1 085	32.43	0.38	15.25	26.23
大斜度定向井	46	3 860	2 380	67.72	0.83	17.01	29.26
水平井	4	3 547	1 669	92.95	0.72	11.89	48.15

南堡1-3人工岛大斜度定向井应用高效PDC钻头+导向钻具+MWD进行复合钻进,有效提高了不同尺寸井眼的机械钻速(见表3)。

表3 南堡1-3人工岛不同尺寸井眼钻头应用效果

Table 3 Application result of bit in different size holes in Nanpu 1-3 Artificial Island

井眼尺寸/ mm	钻头 类型	数量/ 只	进尺/m		机械钻速/(m·h <sup>-1</sup> )	
			平均	最大	平均	最大
444.5	SKG124	30	627	1 060	30.00	72.60
	SKW121C	3	455	959	35.50	79.40
311.2	FX1951	8	1 102	1 954	23.66	42.74
	TH1954D	3	2 006	2 317	37.96	42.65
215.9	F3115	25	538	1 686	17.36	39.17
	F4194J	3	1 419	1 485	45.82	46.56
	FX12N	4	455	895	11.04	18.26
	TH1954D	2	359	444	11.06	14.64

南堡13-斜1042井深4 305 m,水平位移3 043.08 m,最大井斜角58.28°,位垂比1.11,为一

利用测井资料分析玄武岩地层的可钻性,结果为:南堡1-3人工岛馆陶组玄武岩地层可钻性级值5~8,平均7.29;抗压强度5.00~193.10 MPa,平均61.56 MPa,硬度与可钻性级值均比较高,属中硬到硬质地层。

因此,钻进玄武岩地层时应用高效PDC钻头+导向钻具+MWD进行复合钻进,以达到提高机械钻速、缩短钻井周期的目的。

## 3 现场应用效果分析

南堡1-3人工岛从2009年进入开发阶段,经过4年多的勘探开发,目前已完钻104口井,其中大斜度定向井46口,平均完钻井深3 860 m,平均井斜角67.72°,平均位垂比0.83,平均机械钻速17.01 m/h,平均钻井周期29.26 d(见表2)。

口四开三段制单靶点井。根据先期摩阻、扭矩预测结果和钻柱强度校核,选用工作扭矩60 kN·m的ZJ70D型钻机和 $\phi 139.7$  mm钻杆。该井井眼曲率不大于2.1°/30 m,馆陶组玄武岩井段采用高效PDC钻头+导向钻具+MWD进行复合钻进,并从钻井液密度、滤失量、抑制性、封堵性和循环措施等方面采取维持井壁稳定的措施,该井段平均井径扩大率6.13%,达到了玄武岩井段的优快钻进和井壁保护的目的。与同类型井北堡西3斜1井相比,该井平均机械钻速提高了52.84%,钻井周期缩短16.06 d,缩短了26.78%(见表4)。

## 4 结论与建议

1) 开展了南堡1-3人工岛大斜度定向井钻井技术研究,有效解决了该人工岛各项钻井技术难点,特别是在人工岛密集丛式井井眼轨道设计与轨迹控制、玄武岩地层钻井技术优化、井身结构优化设计、KCl成膜封堵低侵入钻井液技术方面,总结出了适



表 4 南堡13-斜 1042井与北堡西 3 斜 1 井施工参数对比

Table 4 Comparison of drilling parameters of Well NP13-X1042 and BPX3X1

井号	井深/m	最大井斜角/(°)	最大水平位移/m	位垂比	井身结构	机械钻速/(m·h <sup>-1</sup> )	钻井周期/d
南堡13-斜 1042	4 305	58.28	3 043.08	1.11	四开	21.52	43.92
北堡西 3 斜 1	4 189	67.18	3 049.79	1.24	四开	14.08	59.98

合南堡 1-3 人工岛大斜度井的钻井技术,推动了南堡 1-3 人工岛勘探开发的进程。

2) 南堡 1-3 人工岛采用密集丛式井并眼轨道设计与轨迹控制技术,解决了人工岛密集丛式井防碰问题,规避了人工岛钻井施工中存在的风险,保证了人工岛钻井的安全。

3) 高效 PDC 钻头+MWD+螺杆复合钻井技术是精确控制井眼轨迹、提高机械钻速的一种重要手段,应进一步提高钻井过程中复合钻进比例。

4) 针对南堡 1-3 人工岛勘探开发逐步深入,深井(井深>5 000 m)、大位移井(水平位移>3 500)增多,应进一步开展人工岛大斜度定向井井身结构优化设计研究,实现人工岛的安全顺利施工。

## 参 考 文 献

### References

- [1] 李克向. 我国滩海地区应加快发展大位移井钻井技术[J]. 石油钻采工艺, 1998, 20(3): 1-9.  
Li Kexiang. Our country should speed up the development of beach area big displacement well drilling technology[J]. Oil Drilling & Production Technology, 1998, 20(3): 1-9.
- [2] 靳金荣, 滕春鸣, 刁意舒, 等. 赵东平台 C/D 区块水平井钻井完井配套技术[J]. 石油钻探技术, 2011, 39(5): 27-30.  
Jin Jinrong, Teng Chunming, Diao Yishu, et al. Integrated drilling and completion technology of Zhaodong Platform in C/D Block[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(5): 27-30.
- [3] 蒋世全. 大位移井技术发展现状及启示[J]. 石油钻采工艺, 1999, 21(2): 14-23.  
Jiang Shiquan. Current development of extended reach drilling and its implication[J]. Oil Drilling & Production Technology, 1999, 21(2): 14-23.
- [4] 张洪泉, 任中启, 董明健. 大斜度大位移井岩屑床的解决方法[J]. 石油钻探技术, 1999, 27(3): 7-8.  
Zhang Hongquan, Ren Zhongqi, Dong Mingjian. Methods to solve cuttings bed in high-inclination, long-reached well[J]. Petroleum Drilling Techniques, 1999, 27(3): 7-8.
- [5] 陈庭根, 管志川. 钻井工程理论与技术[M]. 东营: 石油大学出版社, 2004: 68-70, 251-253.  
Chen Tinggen, Guan Zhichuan. Drilling engineering theory and technology[M]. Dongying: Petroleum University Press, 2004: 68-70, 251-253.
- [6] 朱宽亮, 冯京海, 赵正庭, 等. 北堡西 3X1 大位移井钻井技术[J]. 石油钻采工艺, 2003, 25(2): 9-13.  
Zhu Kuanliang, Feng Jinghai, Zhao Zhengting, et al. Extended reach drilling technology in Well BPX-3X1[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2003, 25(2): 9-13.
- [7] 陈玉峰, 徐小峰, 吴艳, 等. 优快钻井技术在南堡 1-3 人工岛的应用[J]. 天然气技术, 2010, 4(3): 29-32.  
Chen Yufeng, Xu Xiaofeng, Wu Yan, et al. Application of optimized and fast drilling to man-made island 1-3, Nanpu Oilfield[J]. Natural Gas Technology, 2010, 4(3): 29-32.
- [8] 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.
- [9] 胡中志, 徐小峰, 侯怡, 等. 基于概率分析的密集丛式井组造斜窗口确定方法[J]. 石油钻采工艺, 2011, 33(1): 23-26.  
Hu Zhongzhi, Xu Xiaofeng, Hou Yi, et al. Method for determining the kick off window of dense cluster well group based on probability analysis[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2011, 33(1): 23-26.
- [10] 朱宽亮, 卢淑芹, 邢韦亮, 等. 南堡 1-3 人工岛钻井液技术[J]. 石油钻探技术, 2010, 38(3): 56-58.  
Zhu Kuanliang, Lu Shuqin, Xing Weiliang, et al. Drilling fluid system in Nanpu 1-3 artificial island[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2010, 38(3): 56-58.
- [11] 刘小龙, 靳秀兰, 张津, 等. 冀东 3 号岛大斜度井钻井技术[J]. 石油钻采工艺, 2012, 34(4): 7-11.  
Liu Xiaolong, Jin Xiulan, Zhang Jin, et al. Drilling and completion technique for high angle deviated wells in 3rd island of Jidong Field[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2012, 34(4): 7-11.

[编辑 滕春鸣]