

[引著格式] 刘兴成, 李东, 刘秀军, 等. 苏53区块丛式井组工厂化作业方法与应用 [J]. 石油天然气学报 (江汉石油学院学报), 2015, 37 (5+6): 30~34.

# 苏53区块丛式井组工厂化作业方法与应用

刘兴成, 李东, 刘秀军, 张精伟 (中石油长城钻探工程公司钻井一公司, 辽宁 盘锦 124010)

冯定 (长江大学机械工程学院, 湖北 荆州 434023)

**[摘要]** 苏里格气田苏53区块具有储层致密、非均质性强、有效砂体规模小、储量丰度低、单井产量低等特点。为提高开发效率、降低开发成本, 采用大组合丛式井组工厂化开发模式和精细化管理, 将钻井、压裂等作业程序流程化、批量化、标准化。从组织模式、资源配置、流程设计、技术支撑、作业管理等多方面进行革新, 集中现有资源和技术优势, 实施专业化施工、流程化作业。采用井身剖面优化设计、三维井眼轨迹控制、PDC钻头优选与应用、防漏和堵漏、摩阻控制、稳定井壁、钻机整体平移、井下事故预防、水力振荡器钻井等技术加快了施工速度, 缩短了投产周期, 满足了低成本开发需求, 形成了具有该区块特色的工厂化钻完井作业模式。

**[关键词]** 苏53区块; 丛式井组; 工厂化作业; 水平井; 批量钻井

**[中图分类号]** TE243      **[文献标志码]** A      **[文章编号]** 1000-9752 (2015) 05+06-0030-05

2011年底, 苏53-4井区作为先导性试验区已建成 $10 \times 10^8 \text{m}^3$ 产能, 为后期开展工厂化作业提供了宝贵经验。通过精细地质研究, 再次优选出一个区域, 继续开展水平井整体开发, 规划年产设计能力 $10 \times 10^8 \text{m}^3$ 。2012年长城钻探为苏53区块工厂化作业项目, 进行了充分的准备工作, 在苏53区块西南侧部署了4个上下层系水平井丛式井组平台, 苏53区块同层系集中部署, 整体开发效果显著<sup>[1]</sup>。

## 1 苏53区块概况

苏53区块位于苏里格气田的西北部, 区域构造属于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡北部中带。苏53区块面积约 $999 \text{km}^2$ , 地质储量 $682.24 \times 10^8 \text{m}^3$ , 目的层为盒8段、山1段。平面上, 盒8段4、5、6小层全区分布, 有效储层厚度大于15m。山1段有效气层主要集中分布在西南部, 厚度大于9m, 区域面积 $59.16 \text{km}^2$ , 储量为 $67.98 \times 10^8 \text{m}^3$ 。纵向上, 山1段与盒8段储层可对比性较好, 盒8段连续性较好, 山1段储层泥岩隔夹层相对发育, 其间泥岩隔层发育, 平均7.8m, 且分布稳定, 具备分层系开发地质条件<sup>[2]</sup>。

## 2 丛式井组工厂化作业设计

### 2.1 工厂化作业设计总体思路

以前期工厂化试验技术储备为依托, 充分借鉴苏里格南项目等单位的工作经验进行工厂化作业项目。针对长城苏里格气田合作区块地质条件与开发实际, 科学优选井位井组, 合理安排钻井与压裂工作运行, 提高工作效率, 降低开发成本, 提升开发效果, 提交优质高效的工厂化示范项目成果<sup>[3]</sup>。

**[收稿日期]** 2014-11-01

**[基金项目]** 中国石油天然气集团公司重大试验专项 (2012F-42)。

**[作者简介]** 刘兴成 (1962-), 男, 高级工程师, 现主要从事钻井技术与现场技术管理工作, lxc\_1962@163.com。

### 2.2 丛式井组井场部署

1) 平台井组井数太少，需要更多土地，体现不出工业化作业意义，井数太多，可能造成工程技术难以实现。

2) 尽可能不存在死气区或过度井间干扰并保持开发井网，确保储量动用程度。

3) 地质认识相对清楚，井控程度相对较高，周边投产井产量较高。

4) 井位在实施过程中，根据地质情况变化，能够做到灵活调整，确保开发效果和钻井成功率。

5) 以提高工作效率，提高气井产能贡献率，降低开发成本为最终工作目标。

苏 53 区块水平井具备工业化作业地质条件。工业化大平台位于苏 53 区块西南部，水平井采用双层系开发，目的层山 1 段和盒 8 段分别部署水平井 4 口和 6 口。区块西南侧盒 8 段与山 1 段气层均发育的区域，工业化作业条件更为优越，如图 1 所示。

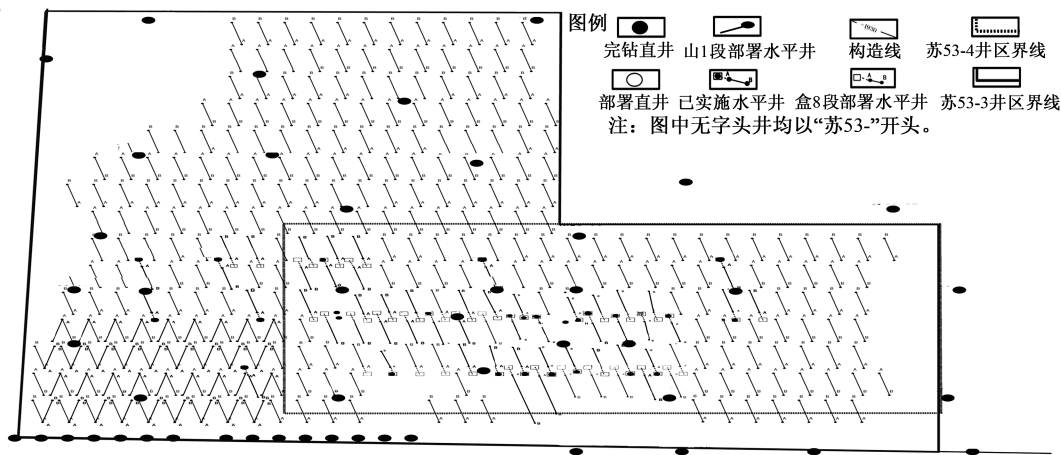


图 1 苏 53 区块井位分布图

井场为 200m×300m，布局分 A、B 两排，排距 50m，井距 15m。为集中压裂需要，排污坑拉开一个井距，分 2 个工作区域，如图 2。

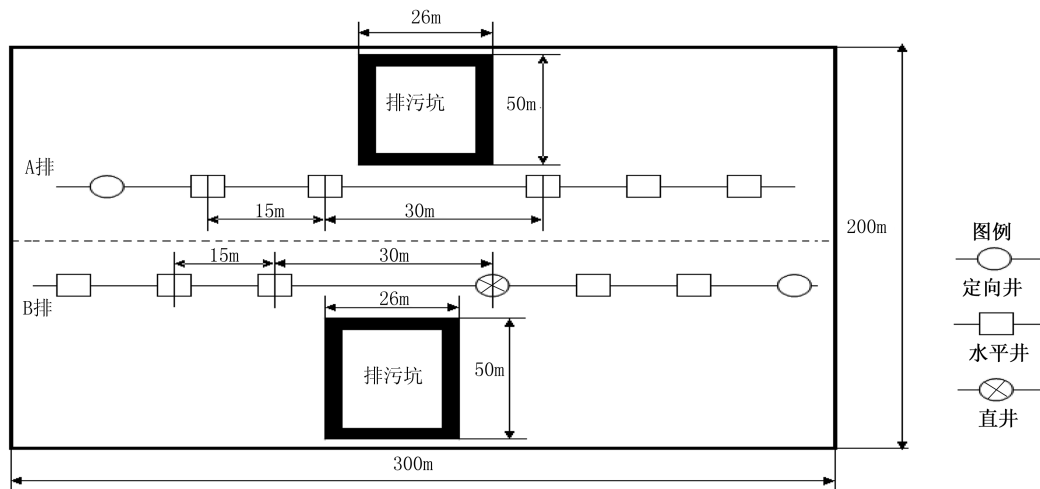


图 2 井场部署图

为了最大限度地提高控制储量和动用程度，应用井网和井距优化技术，在该作业平台部署 13 口井，即 A 排 6 口，B 排 7 口。其中水平井 10 口、定向井 2 口、直井 1 口，控制含气面积 5.76km<sup>2</sup>，控制天然气地质储量 18.5×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>。为了解决平台井的井眼轨迹防碰问题，采用三维绕障技术和随钻地质导向技术控制井眼轨迹，10 口水平井设计轨迹靶前距为 500~680m，偏移距 150~777m。

### 3 钻井施工情况

#### 3.1 施工总体要求

A排钻井施工周期：2013年4月26日~12月30日。B排钻井施工周期：2013年4月11日~12月30日。分2轮施工，第1轮（A、B排）共7口井（图3（a）），于2013年9月15日完成，搬迁到第2轮钻井施工现场（图3（b））。在第1轮压裂施工同时，进行第2轮钻井施工。

为圆满完成长城钻探承担苏53区块工厂化作业示范项目，加快工厂化作业钻井施工速度，制定了批量施工措施：①表层批量施工，动用1部ZJ30车载钻机，一次性完成大平台13口井表层施工。②技术套管批量施工，动用2部50L钻机分2轮施工，每轮先批次钻到A点下技术套管，钻机整体平移。③水平段批量施工，50L钻机在分2轮批次中完，每轮集中批量施工水平段。④压裂批量施工，50L钻机第1轮钻井施工完成后，集中压裂施工；第2轮井完成后，再第2次集中压裂<sup>[4]</sup>。

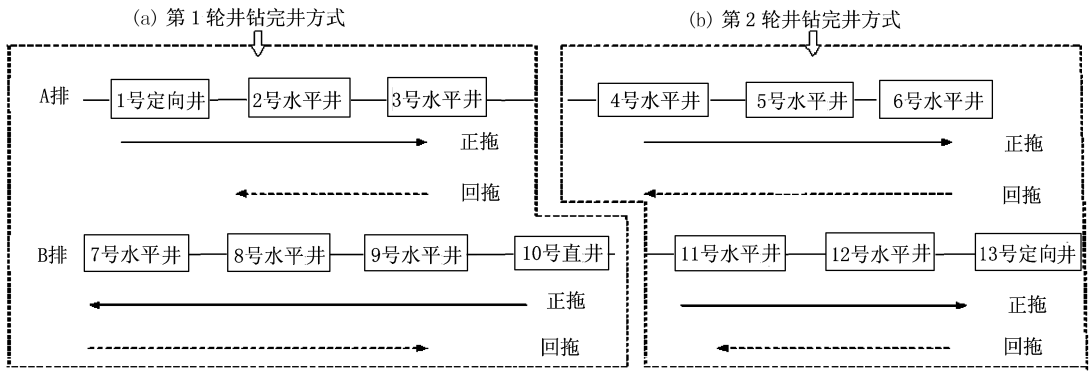


图3 施工流程图

#### 3.2 施工难点

苏53区块水平井作业施工难点：①延安组和延长组地层，易缩径，起钻困难，遇阻遇卡；②刘家沟地层易漏失，严重时只进不出，影响正常施工进度；③“双石层”、水平段泥页岩易垮塌，井壁稳定问题突出；④刘家沟、石千峰地层可钻性差，机械钻速低；⑤特殊水平井三维空间旋转，井眼轨迹控制困难，托压严重；⑥特殊水平井中完技术套管下入困难，需通井扩孔；⑦水平段钻遇泥岩易掉块，易出现卡钻事故。

针对上述难点，制定了苏53区块水平井施工技术模板、防漏、堵漏、稳定井壁、润滑防卡、摩阻扭矩控制等措施，以防止井下事故和复杂情况的发生<sup>[5~7]</sup>。

#### 3.3 钻井实施情况

2013年长城钻探钻井一公司在苏53区块工厂化大平台推进工厂化钻完井作业试验，形成了新的作业模式。苏53区块工厂化大平台开钻13口、交井13口，完成钻井总进尺56702m。其中完成常规井3口、水平井10口。同时，完成表层批量施工7口。技术套管中完批量10口，水平段批量10口，压裂批量施工4口。A排4月26日开钻，11月13日完井，开钻6口、交井6口，完成钻井进尺26653m，运行201d；B排4月11日开钻，11月10日完井，开钻7口、交井7口，完成钻井进尺30042m，运行213d。

完成3口常规井钻井总进尺10860m，平均完钻井深3620.00m，平均钻井周期17.29d，平均建井周期20.48d，平均机械钻速13.26m/h，平均钻机月速5342.65m/台。完成10口水平井总进尺45842m，平均完钻井深4584.20m，平均机械钻速11.48m/h，平均钻井周期29.10d，平均建井周期34.57d，平均水平段长932.00m，平均钻机月速4055.64m/台。

## 4 应用效果分析

### 4.1 大平台水平井完成情况对比

2012 年完成苏 53 块水平井开钻 15 口、交井 13 口, 钻井总进尺 63994m; 2013 年大平台水平井开钻 10 口、交井 10 口, 钻井总进尺 45842m。由表 1 可看出, 相对于 2012 年, 工业化大平台水平井平均钻井周期缩短 25.06d, 建井周期缩短 31.02d, 机械钻速提高 52.86%, 钻机月速提高 72.97%。

表 1 2013 年工业化大平台水平井组与 2012 年常规水平井数据对比

年度	开钻-交井 /口	平均井深 /m	钻井周期 /d	建井周期 /d	机械钻速 / (m·h <sup>-1</sup> )	钻机月速 / (m·台 <sup>-1</sup> )	平均水平段 /m
2012	15-13	4744.54	54.16	65.52	7.51	2344.73	1185.54
2013	10-10	4584.20	29.10	34.50	11.48	4055.64	932.00

### 4.2 钻井新工艺、新技术应用

为保证工业化大平台钻井施工顺利进行, 总结和改善了水平井钻井综合配套技术, 不断实现安全提速, 并形成了三维井眼轨迹控制、PDC 钻头优选与应用、防漏和堵漏、钻机整体平移、水力振荡器等 10 项钻井技术。

1) 井身剖面优化设计 由于大平台施工作业特殊要求, 10 口水平井都存在偏移距和井眼轨迹三维空间旋转。经过优化井身剖面, 以及优选钻井液体系和简化钻具结构, 解决了定进托压严重的技术难题, 确保施工安全、顺利<sup>[8]</sup>。

2) 三维井眼轨迹控制技术 使用恒泰 MWD 仪器和 Navigator 水平井计算软件, 精确控制三维井眼轨迹, 保证井眼轨迹平滑, 准确落靶<sup>[9]</sup>。

3) PDC 钻头优选与应用 分井段优选 PDC 钻头, 全井配合使用单弯螺杆钻具, 按“1+2+2”技术模板施工, 即在苏 53 区块的水平井施工中用 1 只钻头完成直井段, 2 只钻头完成造斜井段, 2 只钻头完成水平段, 取得了良好的效果。直井段选择全面快速钻进 $\varnothing 222\text{mm}$  迪普 PDC 钻头; 造斜、扭方位井段选择强径、机速快的 $\varnothing 215\text{mm}$  四川深远 PDC; 水平段选择哈里伯顿 $\varnothing 152\text{mm}$  PDC 钻头<sup>[10]</sup>。

4) 防漏、堵漏技术 通过优化钻井液体系, 密度从  $1.25\text{g}/\text{cm}^3$  降低到  $1.15\sim 1.18\text{g}/\text{cm}^3$ , 同时加入随钻堵漏剂 SQD-98 (细)。在刘家沟组存在不同程度的漏失, 其中严重井漏的 5 口井均采用复合堵漏成功。

5) 摩阻、扭矩控制技术 使用新型有机硅聚合物钻井液体系, 增强钻井液封堵性、防塌能力、润滑能力, 加入渣油和新型液体润滑剂, 有效缓解托压问题, 降低摩阻与扭矩<sup>[11]</sup>。在苏 53-82-18H1 井使用效果较明显, 该井偏靶距 650m, 1850m 定向, 定向进入后期托压问题得到了有效缓解。

6) 清砂携砂、稳定井壁技术 在定向、水平井段, 坚持短程起下钻, 定期稠塞清扫、加大排量携带岩屑, 尤其在水平井段使用井眼清岩工具, 达到清岩携砂、清洁井眼的目的。合理控制钻井液密度, 达到  $1.18\text{g}/\text{cm}^3$  左右, 控制高温高压失水小于 3mL, 使泥岩地层井眼稳定, 延长泥岩垮塌周期, 避免长井段划眼<sup>[12]</sup>。

7) 钻机整体平移技术 钻机平移装置由导轨和液压移动控制系统组成, 在不甩钻具情况下, 可实现钻机在导轨上前后移动, 3h 可完成平移。

8) 井下事故和复杂情况预防技术 平台施工采取三维绕障防撞技术做好防撞工作; 优化钻井液体系与性能, 达到清岩携砂、润滑降阻和稳定井壁目的; 井控设备按规定标准化安装、试压, 岗位落实, 防止井喷; 加强钻具倒换与探伤, 专人观察泵压; 钻遇泥岩, 遇阻、卡按技术规定正确划眼, 预防卡钻事故。

9) 水力振荡器钻井技术 为进一步提高水平井定向段钻井速度, 在苏 53-82-21H1 井、苏 53-82-22H 井使用水力振荡器+斯伦贝谢 Slimpulse MWD, 机械钻速有较大提高。定向段运行时间

同比缩短3d左右,机械钻速提高22%~35%<sup>[13]</sup>。

### 4.3 新工艺存在的问题

苏53区块工厂化作业的成功应用,减少了搬迁作业次数,节约了钻井、压裂、地面建设费用;采用交叉作业,提高了建产速度,加快了井位移交。但仍存在一些问题:①大平台施工水平井偏移距大,井眼轨迹控制困难,造成托压严重、施工难度大;②刘家沟地层漏失严重,影响正常施工进度;③定向段井眼尺寸小,泥岩地层易掉块、垮塌,造成技术套管下入困难,固井质量优质率低;④入靶垂深有不确定性,气层厚度小于1m,可能随时调整垂深,造成入靶前部分井段曲率大幅度增大;⑤水平井段易钻遇泥岩,泥岩地层可钻性差,易垮塌造成划眼。

## 5 结论

1) 苏53区块工厂化作业,大幅度缩短建产周期。减少了搬迁作业次数;减少钻井、压裂、地面建设费用;采用交叉作业,提高了建产速度,加快了井位移交;有利于采气集中管理及维护;合理发挥钻机工作能力及效率,降低开发成本。

2) 准确把握储层特点和钻井作业条件,实现科学高效开发。大面积含气背景下存在富集区是苏里格气田典型的地质特征,储层存在极强的非均质性,有效开发难度较大。含气富集区局部储层却具有相对的稳定性和规律性,准确把握这一规律优势,通过大量前期开发试验,取得相关数据资料,选择水平井整体开发模式,改善气田开发效果。

3) 总结完善了苏53区块开发关键技术。经过4年的前期水平井开发试验及2年的整体开发建设,已经初步形成开发技术体系。地质选区选井技术基本成熟,特别是井位优选与水平井设计技术;地质、工程工艺设计体现了气藏储量最大动用的开发理念;工程技术实现钻井提速,改造技术攻关提高了单井产量;水平井开发动态规律研究理念与方法逐步形成。

### [参考文献]

- [1] 刘乃震,柳明.苏里格气田苏53区块工厂化作业实践[J].石油钻采工艺,2014,36(6):16~19.
- [2] 王国勇.致密砂岩气藏水平井整体开发实践与认识——以苏里格气田苏53区块为例[J].石油天然气学报(江汉石油学院学报),2012,34(8):153~157.
- [3] 刘乃震.苏53区块“井工厂”技术[J].石油钻探技术,2014,42(5):21~24.
- [4] 何明舫,马旭,张燕明,等.苏里格气田“工厂化”压裂作业方法[J].石油勘探与开发,2014,41(3):349~353.
- [5] 刘兴成.苏75区块大位移定向井钻井提速成果报告[R].长城钻探工程有限公司科学技术报告,2011.
- [6] 刘兴成,任飞,张凤江.海油陆采大位移井钻井技术[J].石油钻探技术,2001,29(5):28~30.
- [7] 张国海.苏里格53区块水平井综合提速技术[J].石油地质与工程,2011,25(5):92~95.
- [8] 苏义脑.水平井井眼轨道控制[M].北京:石油工业出版社,2000.
- [9] 冯定,袁咏心,李汉兴,等.井眼轨迹控制工具发展现状及趋势[J].石油机械,2011,39(3):70~73.
- [10] Ernst S, Pastusek P, Lutes P. Effects of RPM and ROP on PDC bit steerability[J].SPE105594,2007.
- [11] Cheng E, Polak M A. Theoretical model for calculating pulling loads for pipes in horizontal directional drilling[J].Tunnelling and Underground Space Technology Journal,2007,22(5):633~643.
- [12] 易先中,魏慧明,刘兴成.钻井岩屑粒径分布规律的研究[J].石油机械,2007,35(12):1~4.
- [13] 石崇东,党克军,张军,等.水力振荡器在苏36-8-18H井的应用[J].石油机械,2013,40(3):35~38.

[编辑] 帅群