

# 塔里木盆地 K 区块非常规气藏优快钻井工艺

李双贵<sup>1</sup>, 高长斌<sup>2</sup>, 易浩<sup>1</sup>, 沈青云<sup>1</sup>, 王永洪<sup>1</sup>

(1. 中国石化 西北油田分公司 工程院 钻井所, 乌鲁木齐 830011;

2. 中国石化 华东石油工程公司, 江苏 镇江 212003)

**摘要:**塔里木盆地 K 区块页岩沉积环境、有机质丰度、成熟度、产层连续厚度及页岩中脆性矿物含量等页岩气评价指标良好, 具广阔的勘探开发前景。通过对成熟区块页岩气开发工艺调研, 来研究本区块非常规气藏高效钻井工艺。针对地层特征推荐采用 5<sup>1</sup>/<sub>2</sub>" 套管射孔完井, 确保后期完井、措施作业的顺利进行。由于页岩气藏具有分布广、厚度大的特点, 轨迹控制要求可以适当放宽, 常规的 MWD+ 随钻电阻仪器测量方式可以满足水平井轨迹控制的需要。

**关键词:**非常规气藏; 井工厂钻井; 井眼轨迹优化; 井身结构优化; 塔里木盆地

中图分类号: TE24

文献标识码: A

## Optimized and fast drilling technology for unconventional gas reservoirs in block K in Tarim Basin

Li Shuanggui<sup>1</sup>, Gao Changbin<sup>2</sup>, Yi Hao<sup>1</sup>, Shen Qingyun<sup>1</sup>, Wang Yonghong<sup>1</sup>

(1. Engineering Institute, SINOPEC Northwest Company, Urumqi, Xinjiang 830011, China;

2. SINOPEC East China Petroleum Engineering Company, Zhenjiang, Jiangsu 212003, China)

**Abstract:** In the block K of the Tarim Basin, shale gas evaluation parameters such as shale sedimentary environment, organic matter abundance, maturity, continuous producing layer thickness, and brittle mineral content are favorable, hence show a good potential for exploration. Through the studies of mature blocks for shale gas explorations, effective drilling techniques for unconventional gas reservoirs in the study area were discussed. 5<sup>1</sup>/<sub>2</sub>" casing pipes were recommended for perforation and completion. Due to the wide distribution and big thickness of shale gas reservoirs, borehole trajectory control was not strictly restricted. The conventional MWD+ drilling resistance instruments worked well in the borehole trajectory control of horizontal wells.

**Key words:** unconventional gas reservoir; factory drilling; borehole trajectory optimization; well structure optimization; Tarim Basin

2009 年, 美国的页岩气产量已超过 900×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>, 占全美天然气产量的 12%<sup>[1]</sup>, 比中国天然气总产量(830×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>) 高出 8.4%。目前, 页岩气藏的勘探开发正由北美向全球迅速扩展, 成为全球油气勘探开发的新亮点。与美国东部地区页岩气成藏地质条件进行初步对比, 中国西南及西北均具有有利的页岩气发育条件。据初步估计, 中国页岩气资源量与美国相当, 开发潜力巨大, 页岩气钻井已经提上了日程<sup>[2]</sup>。

中国塔里木盆地 K 区块页岩气沉积环境优越, 页岩埋藏在 3 050~3 520 m, 有机质丰度大, 成熟度高, 页岩产层连续厚度大, 页岩脆性矿物含量高, 脆度大, 易形成人造裂缝。根据邻区分析, 该区块地应力方向为北东方向。为确保该区低成本高

效益开发, 研究形成如下钻井工艺。

### 1 井工厂钻井模式

该工艺在前期 AT9 井区丛式井钻井施工经验基础上, 每个钻井平台使用 1~2 台钻机, 水平段部署在最小主应力方向, 2 排 4~6 口井, 井口间距 8~10 m, 钻机间距 48~50 m。通过改造钻机底座及地面循环、压井连接管线, 将钻机底部改造成滑移式导轨, 液力推动, 左右滑移, 优化作业工序, 减少搬迁安装时间, 提高钻井效率, 单井土地征用面积节约 30% 以上, 实现施工设备利用最大化。

具体施工过程中, 同一钻机施工的所有井依次一开及固井, 依次二开(期间整改井口及测声幅等特种作业), 依次固井, 再依次三开(期间整改井口

及测声幅等特种作业)及固完井作业。钻井、固井、测井等施工作业现场设备无停待。确保高效开发区块井深 1 500 m 左右的致密砂岩气井丛式井单井平均钻井周期仅 2.9 d;垂深 2 500 m 左右、水平段长 1 300 m 的页岩气丛式水平井平均钻井周期仅 27 d。

采用该钻机模式可实现钻井泥浆的重复利用,减少泥浆的交替。多口井一开泥浆体系相同,重复利用;二开泥浆体系相同,重复利用。尤其是三开油基泥浆的重复利用在降本增效方面效果明显。

## 2 井身结构优化设计

该区主要钻遇新生界、中生界及古生界地层,无异常高压,邻井实钻的主要复杂情况为奥陶系地层垮塌掉块(最大井径扩大率超过 120%),坍塌掉块地层阻卡严重;中生界、古生界地层交界面附近地层易斜,前期完钻最大井斜达到  $16^\circ$ 。

为确保储层改造的顺利实施,完钻井眼尺寸优化设计为  $8\frac{1}{2}$ " , 下入  $5\frac{1}{2}$ " 套管固井完井。针对钻遇地层的复杂情况,将井身结构优化设计为三开三完,即:

(1) 20" 导管下深 50 m, 封隔第四系浅表疏松地层, 建立一开井口。

(2) 一开  $13\frac{3}{8}$ " 表层套管封固新近系上部欠压实地层, 为二开钻进提供安全井口, 水泥浆返至地面。

(3) 二开  $12\frac{1}{4}$ " 钻头钻至距奥陶系储层顶部之上 8~10 m 结束, 下入  $9\frac{5}{8}$ " 技术套管封固目的层以上不稳定地层, 为目的层安全钻进提供技术支撑, 水泥浆返至地面。三开设计使用  $8\frac{1}{2}$ " 造斜及水平段钻进, 完钻下入  $5\frac{1}{2}$ " 套管固井完井作业。

## 3 三维井眼轨迹优化设计

为确保安全成井及长位移水平井地质目的的顺利实现, 各水平段井眼间距 300~400 m, 井眼轨迹优化设计原则为: 二开造斜, 造斜点优选在 2 700 m 左右地层较稳定且井斜未严重自然增斜井段, 设计造斜率 ( $4^\circ\sim 5^\circ$ )/30 m, 稳斜段下入  $9\frac{5}{8}$ " 技术套管, 下入井段井斜小于  $35^\circ$ 。三开设计造斜率 ( $5^\circ\sim 6^\circ$ )/30 m, 水平段设计 1 500 m 左右。优化设计的井眼轨迹较常规轨迹摩擦阻力较低, 可有效确保  $8\frac{1}{2}$ " 井眼轨迹的有效延伸(图 1)。

为确保井眼轨迹在优势储集体穿行, 根据直导眼取心井段及岩电曲线分析, 推荐采用随钻 GR 确保井眼轨迹在优质页岩段顺利穿行<sup>[3]</sup>。针对三维轨迹井, 可考虑采用水力振荡器或清岩钻杆确保井

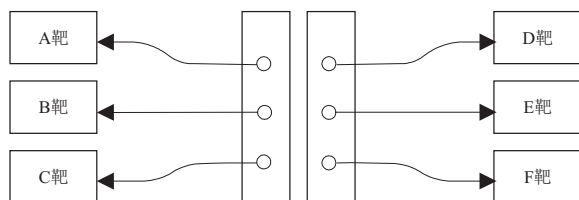


图 1 塔里木盆地 K 区块井工厂模式钻井平台及井眼轨迹优化

Fig.1 Factory drilling platform and borehole trajectory optimization in block K, Tarim Basin

眼轨迹的有效延伸并提高钻井效率。

## 4 钻井液体系优化设计

区域探井钻井周期相对较长, 考虑地层坍塌压力较高, 因此, 对钻井液的抑制封堵防塌要求高。同时, 三开属于主要目的层井段, 应最大限度地降低钻井液对地层的伤害, 降低外来固相粒子和滤液进入地层, 减少储层污染。针对三开地质要求和井壁稳定需求, 三开井段可选用 2 套体系方案: 钾胺基聚磺钻井液体系、油基钻井液体系。

(1) 考虑气层的顺利发现, 直导眼设计采用钾胺基聚磺钻井液体系保障井下安全。采用聚胺、KCl 增强体系的抑制防塌能力; 以无荧光沥青、超细钙、非渗透处理剂和聚合醇形成复合封堵, 确保井壁稳定并减少储层污染。但由于地层致密泥页岩发育, 且三开钻井周期相对较长, 结合邻井情况来看, 可能会发生井壁失稳引起复杂的钻井问题。

(2) 考虑长位移水平段施工安全及井眼轨迹的有效延伸, 优化设计为油基钻井液体系。油基钻井液体系具有很强的井壁稳定能力和良好的储层保护性能, 但是对于地质资料的采集带来一些难度, 尤其是对气测录井、岩屑录井以及色谱数据的采集和解释影响较大。

针对本井钻井地质目的是评价页岩气地质资料, 以油气层发现和评价为主。经综合考虑, 直导眼段推荐选用钾胺基聚磺钻井液体系, 若施工水平井, 则定向段设计使用油基钻井液体系确保井下安全。

## 5 提高固井质量工艺

页岩气井固井难点是提高储层段固井质量问题, 面临页岩段长(超过 2 000 m)、管串及水泥石的整体密封性要求高。尤其是后期的大型压裂作业措施增产对水泥环性密封完整性要求高。长水平段套管下入难度大, 套管居中度低, 水泥浆水平段易窜槽, 影响水泥浆顶替效率和固井质量。采用

套管射孔完井,射孔枪瞬时冲击对水泥环破坏大,对水泥环韧性要求高。

为解决上述难题,固井施工重点考虑如下技术措施:

(1)下套管之前进行地层承压试验,要求地层承压能力满足下套管及固井施工作业。

(2)控制好套管下放速度,严禁猛提猛放,防止过大压力激动造成井漏问题。

(3)采用表面活性驱油隔离液体系,有效冲洗油膜,冲洗时间不小于 20 min,改善壁面水润湿环境,提高壁面胶结质量;做好隔离液、水泥浆和钻井液的相容性实验,保障施工安全。

(4)为了预防固井漏失,提高泥页岩段和水平段固井质量,保障井口水泥环固井质量和密封能力,设计三凝水泥浆体系,领浆设计弹塑性水泥浆体系,控制析水和沉降稳定性;中浆设计粉煤灰低密度水泥浆体系,降低液柱压力,预防固井漏失;尾浆封固储层及以上 200 m,设计韧性膨胀防气窜短候凝水泥浆体系,严格控制失水、析水和稠化时间,稠化时间=施工时间+(30~45) min,呈“直角”稠化, $n > 0.6$ ,水泥环弹性模量低,柔韧性强,能经受住射孔和大型压裂作业的考验。

(5)井口 2 根套管设计刚性扶正器,扶正片最大外径需与上层套管通径保持一致,确保井口套管居中。

若施工长水平段考虑在管鞋之上接套管扶正短接及扶正器的套管抬头工艺,中完固井结束后可考虑加入漂浮接箍,确保管串顺利下入。为了预防固井漏失,提高页岩气井段和井口固井质量、水泥

环密封完整性,领浆设计弹塑性水泥浆体系,尾浆设计韧性膨胀防气窜水泥浆体系。

## 6 结论与建议

(1)页岩气钻井过程中由于经济效益的问题,更加注重降低钻井成本,工厂钻井模式的实施可有效降低开发成本,减少征地面积,缓解环保压力。

(2)页岩气水平井钻井中,井壁稳定问题要比常规油气井突出,考虑井壁稳定及降低施工摩阻扭矩,设计使用油基钻井液体系。

(3)页岩气水平井完井有多种工艺方式,针对地层特征推荐采用 5 $\frac{1}{2}$ "套管射孔完井,确保后期完井、措施作业的顺利进行。

(4)水平井钻井已经成为页岩气钻井的主导技术,由于页岩气藏具有分布广、厚度大的特点,轨迹控制要求可以适当放宽,常规的 MWD+随钻电阻仪器测量方式可以满足水平井轨迹控制的需要。

(5)下步需进一步开展 K 区块地应力大小及方向等地应力研究,优化设计井眼轨迹,确保井壁稳定及储层改造需要,为页岩气进一步开发提供有效支持。

### 参考文献:

- [1] Waters G, Dean B, Downie R, et al. Simultaneous hydraulic fracturing of adjacent horizontal wells in the Woodford Shale [R]. Texas: SPE119635, 2009.
- [2] 张林晔,李政,朱日房,等. 济阳拗陷古近系存在页岩气资源的可能性[J]. 天然气工业, 2008, 28(12): 26-29.
- [3] 黄玉珍,黄金亮,葛春梅,等. 技术进步是推动美国页岩气快速发展的关键[J]. 天然气工业, 2009, 29(5): 7-10, 44.

(编辑 黄娟)