

# 四川盆地金秋区块非常规天然气工厂化井作业设想

李 鸱<sup>1</sup> Hii King-Kai<sup>2</sup> Todd Franks<sup>2</sup> 谢明华<sup>1</sup>

1. 中国石油西南油气田公司金秋项目管理部 2. 壳牌中国勘探与生产有限公司

李鸱等. 四川盆地金秋区块非常规天然气工厂化井作业设想. 天然气工业, 2013, 33(6): 54-59.

**摘 要** 四川盆地上三叠统须家河组气藏经历了 50 多年的勘探开发, 存在着“储量大、采出低”的难题。工厂化井作业是降低钻完井、井场建设成本, 提高作业效率的重要手段。为此, 基于北美地区工厂化钻完井作业成功实施的案例, 综合分析了四川盆地金秋区块须家河组非常规天然气资源的特点, 提出了以下工厂化井作业模式: ①采用小井眼结构及单井场最多布 36 口井, 井间地下间距 650 m 的井眼数量优选方案; ②采用单排、多井丛且有备用井眼(井丛)的丛式井布局模式; ③采用 3 项交叉作业(钻井十完井十生产)模式, 缩短井交付周期; ④柔性井场布局设计可以有效地避开地形的限制; ⑤选用定制钻机 and 修井机来完成特定作业目的; ⑥作业过程中合理设计离线作业以提高钻完井效率; ⑦采用批量完井压裂工厂化模式。这种工厂化井作业可为非常规天然气资源高效、低成本开发提供技术思路和实现手段。

**关键词** 四川盆地 金秋区块 工厂化钻井 丛式井 批量钻井 交叉作业 离线作业 欠平衡钻井 低成本开发

DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2013.06.010

## Design highlights of factory-like production of unconventional natural gas wells in the Jinqiu Block, Sichuan Basin

Li Shuang<sup>1</sup>, Hii Kingkai<sup>2</sup>, Todd Franks<sup>2</sup>, Xie Minghua<sup>1</sup>

(1. *Jinqiu Project Department of Southwest Oil & Gasfield Company, PetroChina, Chengdu, Sichuan 610051, China*; 2. *Shell China Exploration and Production Company, Beijing 100000, China*)

NATUR. GAS IND. VOLUME 33, ISSUE 6, pp.54-59, 6/25/2013. (ISSN 1000-0976; In Chinese)

**Abstract:** Although after being explored and developed over the past five decades, the Upper Triassic Xujiahe Fm gas reservoirs in the Sichuan Basin are still facing with the problem of high reserves but low production. The factory-like practice of well production is one of the important means to reduce the cost in drilling and completion & well site construction and improving the operation efficiency. Therefore, based on many successful case histories of factory-like drilling and completion work in the North America, this paper made an integrated analysis of the characteristics of unconventional natural gas resources in the Xujiahe Fm in the Jinqiu Block, Sichuan Basin, and then recommended this factory-like practice of well production for this block. First, an optimal scheme of well structure and well numbers will be adopted; slim-hole structure, 36 wells at the most in a single well pad, and a distance of 650 m between wells. Second, a cluster well pattern was laid out: a single row, multiple wells with back up holes (cluster). Third, the simultaneous operation (SIMOP) mode will be performed in drilling, completion and production to shorten the well's drilling cycle. Fourth, the flexible layout at a well site will avoid being restricted by the landform. Fifth, special operations will be performed by use of the customized drilling and workover rigs. Sixth, drilling and completion efficiency will be improved by an optimal design of off-line operation. Seventh, the factory-like volume production mode will be used in completion and fracturing processes. This study provides a new idea and a reliable technological means to achieve the high-efficiency and low-cost exploitation of unconventional natural gas resources.

**Key words:** Sichuan Basin, Jinqiu Block, factory-like drilling, cluster well, batching drilling, cross operation, off-line operation, underbalanced drilling, low-cost exploitation

**作者简介:** 李鸱, 1980 年生, 博士, 毕业于西南石油大学油气田开发工程专业; 现为中石油壳牌四川金秋天然气作业项目钻井工程师。地址: (610000) 四川省成都市锦江区人民南路二段 1 号仁恒置地广场写字楼 26 层。电话: (028) 65305661。E-mail: lshuangbird1980@163.com

就目前技术而言,针对非常规油气相对低的资源丰度,常采用特殊的钻完工艺及改造措施,如羽状井、丛式井、多段压裂技术等<sup>[1]</sup>。

四川盆地上三叠统须家河组气藏经历了 50 多年的勘探开发,面临“储量大,采出低”的难题。金秋区块位于川中古隆起和龙门山褶皱带沿线的西部前缘之间的单斜扰褶带上。壳牌公司于 2009 年 11 月与中国石油天然气集团公司签署 PSC (产品分成合同) 成为金秋区块作业者后,以盆地中心气(指在特殊地质条件下形成的,具有特殊圈闭机理和分布规律的非常规天然气藏,其分布在盆地深部或构造底部)理念来勘探开发须家河组气藏,以期突破须家河组勘探开发的瓶颈。通过对区块认识的不断加深,如何将北美成功的低成本、高效开发非常规天然气配套工艺、技术——工厂化钻完井作业应用于四川项目中,是作业者致力研究的方向<sup>[2]</sup>。

## 1 工厂化井作业介绍

### 1.1 工厂化井作业的主要特点

工厂化井作业是指在开发阶段,在对油气分布认识清楚的情况下,为降低钻完井、井场建设成本,提高作业效率,以批量钻丛式井、批次完井及压裂、批次生产为手段的钻完井模式。工厂化模式下,钻井设计、井身结构基本采用统一、批量设计,因此在设备定制、物料采购方面以统一规格进行,这样既能缩短长周期设备的交付时间、降低由于不同型号设备采购导致的费用增加、便于统一运输和管理,同时在价格方面能节约大量因设计变动导致的费用增加。

区别于传统井作业,工厂化井作业有其自身特点:丛式井场设计、定制钻机及压裂设备(滑动钻机、车载钻机、高马力压裂车、柔性水罐、集中供电系统、集中返排液处理等)、交叉作业(钻井、压裂、连续油管)等。北美非常规油气开发实践证明,采用工厂化井作业模式,能大幅度降低油气井的交付周期及钻井成本。

图 1 为北美某气田批量压裂实施图。



图 1 北美某气田批量压裂实施图

### 1.2 工厂化井作业主要保证

实现工厂化井作业从技术、管理及合同采购方面需要有其自身的保证。

#### 1.2.1 技术保证

传统常规钻完井设备无法满足工厂化井作业模式的要求,如大部分作业需线上进行、基本不采用交叉作业、搬家等待时间长等,这些都难以满足批量钻井、离线作业的要求。因此工厂化井作业在技术上应满足以下要求:①需定制设备:它需要满足能够快速移动、快速组装功能;②特殊井场要求:作业场地需满足适合工厂化作业要求的井场;③批量作业性能:批量作业包含批量钻井、批量完井、多井批量返排与生产;④离线作业性能:这样能减少传统作业等待时间(如固井作业、立管试压、连接井下工具串、钻杆连接成柱等);⑤进行标准化的井身结构设计,确保使用标准化的钻完井设备及材料。

#### 1.2.2 管理保证

①优选服务商:能够保证高质量、高效的服务,同时拥有价格优势,并且有利于 HSE 管理和项目推进;②一体化服务、资源共享:在资源方面,工厂化井作业有很大的优势,它能够实现地面建设、钻井、完井及生产各学科系统化,同时有利于进行资源整合利用(管线、能源、放空火炬、营地、后勤支持等);③交叉作业:指在同一场地上可以完成同一时间内进行不同井的钻井、完井、连续油管及生产等作业,大幅度提高设备、空间的利用率,进而大幅度提高作业效率;④集中管理:在区块内建立一个或多个集中供给和处理中心,对于能源供给、钻屑的处理、压裂液和返排液的处理可以实现集中收集,集中处理,集中分配。

#### 1.2.3 合同与采购保证

在合同及采购策略上进行统一、高效的模式,对于承包商的培养、队伍锻炼也有较大的优势。

①竞争激励机制:允许出现多个优选的承包商进入作业队伍,有利于提高承包商的主动性,提高作业效率和作业质量;②本土化策略:尽可能选用本土化优质承包商、公司员工本土化;③规模化的设备及材料采购:包括井设备(套管、油管、井口设备及采油树等)、消耗材料(压裂砂、压裂液化学药品及水泥等)。

根据工厂化不同指标,不同的区块根据自身特点可以进行筛选,找出适合该区块的工厂化井作业技术及管理指标。表 1 为不同项目选择的工厂化井作业技术指标统计。

### 1.3 工厂化井作业成本降低的策略

①地质/气藏认识提高:通过对地质认识的不断加深,不确定性逐步降低,由它引起的不确定性费用相应

表1 不同项目工厂化井作业技术指标选择表

分类	细化分类	壳牌 Groundbirch 项目	金秋 项目
技术	定制特种设备	✓	✓
	批量作业性能	✓	✓
	离线作业性能	✓	✓
	标准化的井身结构	✓	✓
管理	一体化服务		✓
	优选的服务商		✓
	资源共享	✓	✓
	交叉作业	✓	
	集中管理	✓	✓
合同/ 采购	规模化设备/材料采购	✓	✓
	本土化策略	✓	✓
	激励/竞争机制	✓	✓

降低,如地层压力预测导致的井口设备、泥浆材料、防喷器、压裂层位的简化等;②井设计优化:标准化设计统一后,对井场、钻机、材料等均会达到统一;③新技术、新材料的使用:技术的革新、材料的创新能够将原先技术无法实现的作业变成现实,如同在滑溜水出现以前,压裂费用在整个井费用中占据很大的比重一样。④合同采购策略优化:统一标准的井设计可以减少合同采购的程序、更加具有价格优势,承包商竞争、激励机制可以使承包商更加具有主人翁精神参与项目运行。

#### 1.4 加拿大 Groundbirch 页岩气工厂化井作业绩效表现

加拿大 Groundbirch 页岩气项目位于加拿大英属哥伦比亚省西北部,主要开发 Montney 页岩/泥质粉砂岩层天然气,储层平均深度约 2 500 m,采用工厂化作业模式,钻丛式井,井场尺寸 220 m×200 m,每个井场钻 24 口井。通过不断对学习曲线进行总结、优化,最终实现了钻井大提速、成本大幅降低(图 2、3)。其单井平均使用钻头从 17 个减少到 2~3 个,单井钻井周期由前期的约 40 d 缩短至 9.8 d,单日最大进尺约 1 000 m。

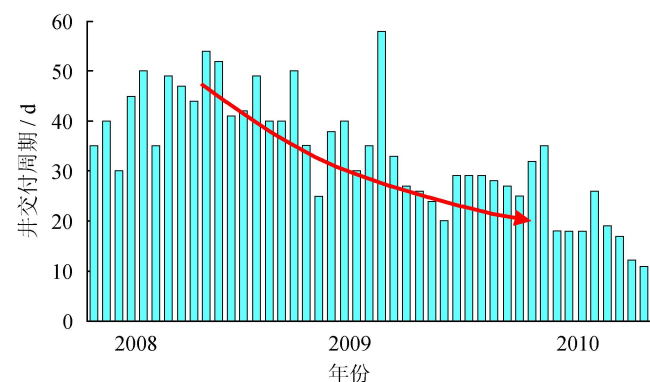


图2 Groundbirch 工厂化井作业交付周期图

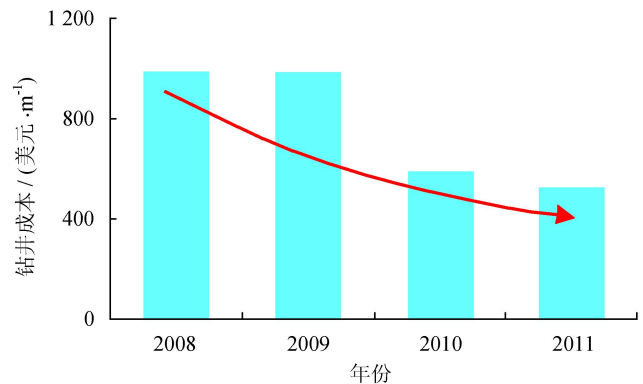


图3 Groundbirch 工厂化井作业每米钻井成本图

## 2 金秋项目工厂化井作业设想

四川盆地须家河组致密砂岩气藏通过多年的开发,面临“储量大,采出低”的现实难题,金秋项目引入壳牌盆地中心气的概念,按照该理念,盆地储层低部位将是开发的主要部位,由于单井控制面积相对较低,需在区块内布大量的开发井进行生产,巨大数量的井规模促使运用工厂化井作业以实现项目的高效低成本开发的目的。

### 2.1 金秋区块工厂化井作业面临的挑战

金秋区块作业区内人口密度高,多丘陵、区域高低不平,虽水源分布较为充足,但分布于社区之中或社区之间,导致社区问题较为突出。在各种受限条件下,在金秋区块开展工厂化井作业具有巨大的挑战。为了解决井场及布井分布,对井眼数量选择、井场分布、作业方式等进行了系统分析,提出了一套适合于这种秋林、低山区实施工厂化井作业的基本模式。

### 2.2 井身结构及井眼数量优选

国内外在小井眼钻井方面已取得重要进展,小井眼井主要通过以下途径降低成本:缩短钻井周期;缩小油管、套管柱尺寸,减少钢材用量;井口装置小、简易,降低成本;减少修井工作液用量等<sup>[3-7]</sup>。在开发阶段才用小井眼井身结构(图4)。

按照工厂化模式进行布井,区块内以尽可能少的井场布合理数量的井,以优化征地费用及钻井费用,钻井主要按照丛式井模式进行。通过分析,在单井场最多布 36 口井,井间地下间距 650 m 为宜(图5)。

### 2.3 丛式井布局

丛式井布局方案采用单排、多井丛且有备用井眼(井丛),一字排开布局模式(图6)。该布局充分考虑作业规模、地质条件(井生产能力)、地面条件限制等因素。地面单排井设计一共有 36 个井眼(16 口主井眼

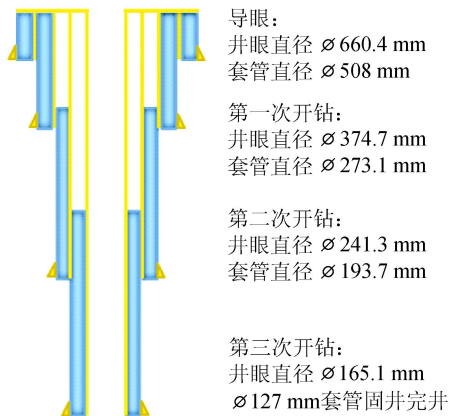


图 4 金秋项目致密气井身结构优化图

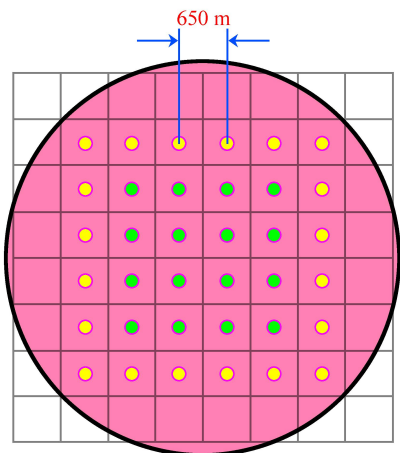


图 5 丛式井地下布井图



图 6 地面井眼模型选择示意图

十 20 口备用井眼), 备用井眼设计主要考虑利用丛式井眼之间 15 m 间距可再钻 4 口井眼。该设计较为灵活, 并非是一口井完钻后, 就在旁边井眼继续钻进, 而可以根据实际通过滑动钻机, 在临近几个井眼处开始钻进, 前期完钻井仍然进行压裂作业, 随着钻井效率的提高, 也可灵活改变每一批次丛式井眼的数量。同时, 在三次开钻、四次开钻井段钻进过程中使用 MWD (无线随钻测量), 实时监控井眼轨迹, 保证及时纠斜, 达到防碰的目的。

### 2.4 交叉作业优化

交叉作业是工厂化作业又一特色, 它通过精细化的 HSE 管理、质量及过程控制得以实现。根据当地条件, 通过分析优选工厂化井作业交叉作业项目, 结合

设备、场地及 HSE 考虑, 认为 3 项交叉作业 (钻井+完井+生产) 具有更好的适应性。其主要特点是: 钻井效率更高、钻机搬家次数更少、需定制钻机、更早实现产气、减少生产延迟。

### 2.5 井场设计

由于四川丘陵地区多山丘, 人口稠密, 平地多为耕地, 征地面面临的挑战很大。如何建立适合该区域的井场模型是能否顺利开展工厂化井作业的另一关键因素。通过分析认为, 狭长 (最大宽度不超过 60 m)、各设备分区的井场模型较为适合丘陵地貌。营房区域、设备材料存放区域、压裂泵 (液) 摆放区、钻井井场、燃烧火炬场地、生产区域以管线连接, 考虑到作业情况, 各个作业区以立体、方便建设的方式进行合理布置, 如将压裂泵车作业区安排在相对高处。该柔性设计能够较好地避开地形的限制, 在设备性能保证的条件下, 可以保证工厂化井作业的顺利进行 (图 7)。

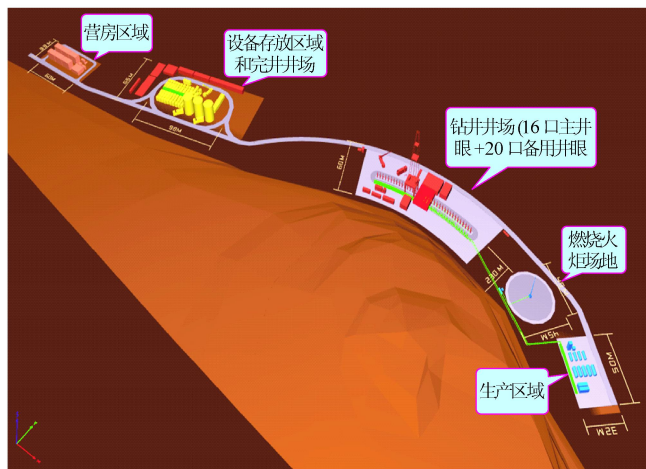


图 7 柔性的井场设计布置示意图

### 2.6 钻机选型

一口井的钻井周期主要由钻进、下套管、固井、起下钻、试压等组成 (图 8), 斜线段为纯钻进阶段, 水平

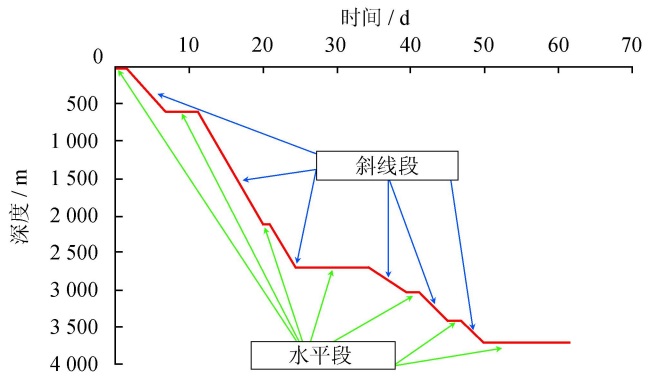


图 8 钻井周期示意图

段为其他作业时间。通过钻机优选,能够很大程度上缩短整个钻井周期,提高钻井效率。金秋项目开发阶段钻机应具有以下性能:

1)导眼段、表层段,选择车载钻机进行批量钻进及批量交付的模式,技术段、储层段利用其他井离线安装调试时间推移搬迁进行钻进,修井过程中同样选择可滑动式定制修井机,结合套管旋转下入工具等来缩短水平段周期。

2)自动钻进系统、高性能的顶驱配备壳牌的软扭矩和管柱减震系统、优化钻井参数、欠平衡钻井技术加 Saraline 合成基钻井液、51.7 MPa 泥浆泵满足大水马力、优化的 PDC 钻头+ERT(等壁厚)螺杆或低转速高扭矩螺杆钻具组合<sup>[8-9]</sup>,它将延长钻头使用寿命,而且避免使用昂贵的旋转控制系统,可以缩短纯钻进时间<sup>[10-12]</sup>。

## 2.7 离线作业

离线作业是指可独立完成而不需要使用钻机完成的作业。定制钻机保证了部分作业可采用离线模式进行。通过合理安排丛式井钻井程序,可以进行多口井之间的离线、线上作业,进而保证了高效利用钻机,提高钻井效率。

金秋项目工厂化井作业选择以下离线作业:防喷器测试、防喷器操作、立管试压、钻杆连柱、上提钻杆到钻台、下放钻杆到地面、安装导管、固井、安装固井设备、套管连接、安装防喷器、安装电缆作业设备、井下工具串连接。

## 2.8 完井压裂工厂化作业

北美在非常规油气开发上采用批量压裂工艺大大降低了完井试油成本。金秋项目将引入北美的先进经验,在优选本地制造商及服务队伍的基础上,应用恰当的压裂设备,作业方面采用批量压裂、优化压裂方案(包括压裂等级、砂量及压裂液)、进行 24 h 作业等。技术、设计、管理、合同及采购多方面的保证,能够实现低成本、高效压裂的目的。

## 2.9 工厂化井作业成本分析

目前在勘探阶段,钻井、完井试油成本仍处于较高的水平。在开发阶段,引入工厂化井作业技术,结合壳牌学习曲线分析,实现降低 70% 钻完井作业成本的目标是完全可行的。

## 3 结束语

1)系统介绍了工厂化井作业模式,分析了其主要

特征及基本技术、管理及合同采购策略保证。

2)结合本地特点,提出将北美非常规油气成功的工厂化作业经验引入金秋项目开发阶段的设想,包括在区块内以丛式井的模式进行钻完井作业,制定出适应四川金秋区块区域特征的井场及井眼分布,在适合作业要求的钻机、压裂及修井设备的保证下,采用交叉作业、离线作业、批量钻井、批量压裂模式,进而实现在金秋区块的工厂化井作业。

3)金秋项目致密气开发地面及地质条件复杂,工厂化井作业技术的进行仍需建立在对地质条件、控制储量认识较为充分成熟的基础上,并且作业过程中仍有大量技术问题有待解决,因此笔者仅提出了工厂化井作业的设想,需通过项目进一步推进得到验证。

## 参 考 文 献

- [1] BOWKER K A .Barnett Shale gas production, Fort Worth Basin:Issues and discussion[J].AAPG Bulletin,2007,91(4):523-533 .
- [2] 胡进科,李皋,孟英峰.页岩气钻井过程中的储层保护[J].天然气工业,2012,32(12):66-70 .  
HU Jinke, LI Gao, MENG Yingfeng .Reservoir protection in the process of shale gas drilling[J].Natural Gas Industry,2012,32(12):66-70 .
- [3] 杨杰,张颖.国外小井眼钻井技术的发展及启示[J].国外石油机械,1996(12):33-37 .  
YANG Jie, ZHANG Ying .The development and enlightenment of slim well drilling technology abroad[J].Foreign Petroleum Machinery,1996(12):33-37 .
- [4] 周英操,焦洪柱.小井眼直井钻柱力学分析及应用[J].石油钻探技术,2000,28(5):17-19 .  
ZHOU Yingcao, JIAO Hongzhu .The analysis and application of drill string mechanics of vertical slim well[J].Petroleum Drilling Techniques,2000,28(5):17-19 .
- [5] 陈在君,黎金明,杨斌,等.长北气田长水平井段裸眼钻井完井液技术[J].天然气工业,2007,27(11):49-51 .  
CHEN Zajun, LI Jinming, YANG Bin, et al .Drilling and completion fluid technology for long horizontal openhole completion in Changbei Gas Field[J].Natural Gas Industry,2007,27(11):49-51 .
- [6] 姜智博,周英操,王倩,等.实现窄密度窗口安全钻井的控压钻井系统工程[J].天然气工业,2011,31(8):76-79 .  
JIANG Zhibo, ZHOU Yingcao, WANG Qian, et al .Managed pressure drilling system used in narrow density window drilling scenarios[J].Natural Gas Industry,2011,31(8):76-79 .
- [7] 余晟,王东波,何勇,等.苏里格气田苏 5-1H 井大井斜套管

- 内垂直向上开窗钻井技术[J].天然气工业,2012,32(3):74-77.
- YU Cheng, WANG Dongbo, HE Yong, et al. A vertical casing-exit operation in the high-inclination cased hole of Well Su5-1H, Sulige Gas Field[J]. Natural Gas Industry, 2012, 32(3):74-77.
- [8] 韩来聚,周延军,唐志军.胜利油田非常规油气优快钻井技术[J].石油钻采工艺,2012,34(3):11-15.
- HAN Laiju, ZHOU Yanjun, TANG Zhijun. Unconventional oil and gas fast drilling technology in Shengli Oilfield [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2012, 34(3): 11-15.
- [9] 杨春旭,唐洪林,崔海林,等. DP19井小井眼欠平衡长水平段水平井的钻井技术[J].天然气工业,2012,32(11):76-80.
- YANG Chunxu, TANG Honglin, CUI Hailin, et al. Technology for drilling prolonged horizontal section in an unbalanced slim hole: A case history of DP19 well, Dariudi Gas Field, Ordos Basin[J]. Natural Gas Industry, 2012, 32(11):76-80.
- [10] 曾凌翔,李黔,梁海波,等.控制压力钻井技术与微流量控制钻井技术的对比[J].天然气工业,2011,31(2):82-84.
- ZENG Lingxiang, LI Qian, LIANG Haibo, et al. Comparison between managed pressure drilling (MPD) and micro-flux control (MFC) drilling[J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(2):82-84.
- [11] 张伟,杨洪,蒋学光,等.快速钻井液技术的研究与应用——以准噶尔盆地车排子—中拐地区为例[J].天然气工业,2012,32(2):60-62.
- ZHANG Wei, YANG Hong, JIANG Xueguang, et al. Research and application of fast drilling fluids: A case study of Chepaizi-Zhongguai area in the Junggar Basin[J]. Natural Gas Industry, 2012, 32(2):60-62.
- [12] 崔贵涛,金祥哲,董宏伟,等.苏里格气田桃7井区水平井斜井段和水平段适用钻井液体系[J].天然气工业,2011,31(3):66-69.
- CUI Guitao, JIN Xiangzhe, DONG Hongwei, et al. Drilling fluid system applicable to deviated and horizontal intervals in the Tao7 wellblock of the Sulige Gas Field[J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(3):66-69.

(修改回稿日期 2013-05-22 编辑 赵勤)