

◀ 钻井完井 ▶

doi:10.3969/j.issn.1001-0890.2014.01.004

“井工厂”技术在我国非常规油气开发中的应用

张金成，孙连忠，王甲昌，臧艳彬

(中国石化石油工程技术研究院,北京 100101)

摘要:“井工厂”技术能大幅度提高作业效率、降低工程成本,在致密油气、页岩油气等低渗透、低品位的非常规油气开发中具有显著的技术优势,因此该技术在北美地区进行了大规模应用,取得了巨大的经济效益。为了使该技术更好地应用于我国非常规油气开发中,在详细阐述“井工厂”技术的概念和特点的基础上,介绍了国外该技术的发展和应用现状,梳理了国内中国石油、中国石化对该技术的探索应用情况,并分析指出,国内配套的装备仪器还不能完全适应“井工厂”作业的需求,还没有实现真正意义上的流水线式施工,还没有形成一套成熟的“井工厂”作业模式。因此,建议树立“全过程低成本”的基本理念,总结我国致密气藏开发的成功经验,有针对性地集成和发展相配套的工程技术,设立“井工厂”技术项目部,规范管理,以形成真正符合我国非常规油气资源类型和开发规律的“井工厂”技术。

关键词:非常规油气 井工厂 钻井 完井 压裂

中图分类号:TE21 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0890(2014)01-0020-06

Application of Multi-Well Pad in Unconventional Oil and Gas Development in China

Zhang Jincheng, Sun Lianzhong, Wang Jiachang, Zang Yanbin

(Sinopec Research Institute of Petroleum Engineering, Beijing, 100101, China)

Abstract: Multi-well pad technology can improve drilling efficiency and save cost, so it has an advantage in developing tight gas, shale gas and unconventional oil and gas, it had been widely used in North America and got huge economic benefits. In order to speed up the popularization of multi-well Pad technology in the development of unconventional oil and gas in our country, this paper analyzed the status quo and application of multi-well pad in other countries by introducing the concept and characteristics of multi-well pad technology. The application of multi-well pad technology in PetroChina and Sinopec were summarized. Comparison and analysis indicated that domestic equipment can not meet the demand of multi-well pad technology now, the production line for drilling is still not perfect, and a set of well-factory operation modes hasn't taken shape. It was recommended that corresponding engineering technology should be integrated and developed, and multi-well pad department should be established based on the low cost concept to form a set of well-factory technologies suitable for developing unconventional oil and gas resources in China.

Key words: unconventional oil and gas; multi-well pad; drilling; well completion; fracturing

1 概述

近年来,国外在非常规油气领域的勘探开发不断取得突破性进展,分析认为,主要归功于以下“三大科技创新”^[1-5]:纳米孔喉系统“连续型”油气聚集地质理论创新、水平井体积压裂“人造渗透率”核心

收稿日期:2013-07-20;改回日期:2013-12-12。

作者简介:张金成(1963—),男,河南社旗人,1985年毕业于华东石油学院钻井工程专业,2007年获中国科学院工程力学专业博士学位,教授级高级工程师,主要从事深井超深井钻井技术及页岩气钻井技术方面的研究工作。

联系方式:(010)84988116,zhangjc.sripe@sinopec.com。

基金项目:中国石化科技攻关项目“页岩气‘井工厂’技术研究”(编号:P13023)部分研究内容。

技术创新、多井平台式“井工厂”低成本开发开采模式创新。

我国非常规油气藏分布十分广泛,无论是中部的鄂尔多斯盆地,西南的四川盆地,西北的塔里木、准噶尔和吐哈盆地,还是东部的渤海湾海域盆地、东北的松辽盆地等均有分布,而且资源潜力巨大。在我国经济快速发展促使油气需求日益旺盛的今天,非常规油气藏勘探开发的重要性日益凸显。然而,因为勘探开发存在工程施工周期长、配套的仪器设备利用率低、开发成本过高等问题,严重制约了我国非常规油气资源的勘探开发进程。

“井工厂”技术已在北美地区得到较大规模的应用^[6-7],既提高了作业效率、降低了作业成本,又便于施工和管理,特别适用于致密油气、页岩油气等低渗透低品位的非常规油气资源的开发作业。在北美地区非常规油气革命进程中,“工厂化钻完井作业模式”作为核心技术,在提高生产效率、降低开发成本方面发挥了巨大作用。目前国内“井工厂”技术尚处于攻关探索阶段,相应的基础理论研究较为薄弱,配套设备不完善,配套工艺技术不成熟,与国外“井工厂”技术相比存在明显的技术差距。为此,笔者从“井工厂”技术的概念及特点入手,重点对国外“井工厂”技术应用情况进行对比分析,提出了国内“井工厂”技术发展建议,以期为促进我国“井工厂”技术的研究与推广应用提供借鉴和参考。

2 “井工厂”技术的概念与特点

2.1 “井工厂”技术的概念

“井工厂”技术起源于北美地区,最早是美国为了降低成本、提高作业效率,将大机器生产的流水线作业方式移植过来用以非常规油气的勘探开发。

“井工厂”钻井完井技术是指,在同一地区集中布置大批相似井,使用大量标准化的装备或服务,以生产或装配流水线作业的方式进行钻井、完井的一种高效低成本作业模式^[6]。即采用“群式布井,规模施工,整合资源,统一管理”的方式,把钻井中的钻前施工、材料供应、电力供给等,储层改造中的通井、洗井、试压等,及工程作业后勤保障和油气井后期操作维护管理等工序,按照工厂化的组织管理模式,形成一条相互衔接和管理集约的“一体化”组织纽带,并按照各工序统一标准的施工要求,以流水线方式,对多口井施工过程中的各个环节,同时利用多机组进

行批量化施工作业,从而集约建设开发资源,提高开发效率,降低管理和施工运营成本^[8]。

2.2 “井工厂”技术的特点

工厂化钻井完井作业模式是井台批量钻井、多井同步压裂等新型钻完井作业模式的统称,是贯穿于钻井完井过程中不断进行总体和局部优化的理念集成,目前仍处于不断发展和改进当中。主要特点可归纳为以下几个方面^[6-9]:

1) 系统化。“井工厂”技术是一项把分散要素整合成整体要素的系统工程,不仅包括技术因素,还包括组织结构、管理方法和手段等。

2) 集成化。“井工厂”的核心是集成运用各种知识、技术、技能、方法与工具,满足或超越对施工和生产作业的要求与期望所开展的一系列作业模式。

3) 流程化。移植工厂流水线作业方式把石油钻完井过程分解为若干个子过程,前一个子过程为下一个子过程创造条件,每一个过程可以与其他子过程同时进行,实现空间上按顺序依次进行,时间上重叠并行。

4) 批量化。通过技术的高度集成,将人和机器有效组合,实现批量化作业链条上技术要素在各个工序节点上不间断。

5) 标准化。利用成套设施或综合技术使资源共享,如定制标准化专属设备、标准化井身结构、标准化钻完井设备及材料、标准化地面设施、标准化施工流程等。

6) 自动化。综合运用现代高科技、新设备和管理方法而发展起来的一种全面机械化、自动化技术高度密集型生产作业。

7) 效益最大化。工厂化作业的最终目的是大幅度降低工程成本和提高作业效率。

3 国外“井工厂”技术现状

自 2008 年美国将“井工厂”技术应用于北美页岩气开发以来,国外通过关键技术攻关与工艺配套,已经形成了一套较为成熟的“井工厂”作业模式。主要技术体现在以下 4 个方面^[1-3,10]:

1) “井工厂”整体部署与工程优化设计。钻前采用三维地震资料、区域钻井地质环境因素描述技术和压裂模拟成果等对平台数量、布井方式和井眼轨道进行整体优化,达到以最小面积的井场实现开发井网覆盖储层面积。其普遍做法是:采用小间距多口井的井

网模式,水平段井眼方位垂直或近似垂直于最大水平主应力方向,水平段间距 300~400 m,从而为后期进行大型体积压裂提供优质平台。目前主要用于井网部署与工程设计的商业化软件有 Schlumberger 公司的 Petrel 和 Halliburton 公司的 DecisionSpace® Desktop 等。

2) 设备利用最大化和工程作业流水化作业模式。具体做法主要有:一个平台的多口井依次一开,依次固井,依次二开,再依次固井完井(钻井、固井、测井设备无停待);采用底部能移动的钻机,防喷器挂在井架底座一起移动,移动的动力依靠液压千斤顶,移动方向可以是纵向也可以是横向,钻井泵、钻井液罐、可控硅房无需搬动,节省了钻机搬迁时间;一个平台的多口井各开次钻井液相同,可以重复利用,特别是油基钻井液的重复利用大大降低了钻井液成本。通过上述做法,实现了钻井设备利用的最大化,多个工序并行作业达到无缝衔接,实现了作业工厂化,从而缩短了建井周期并降低了工程成本。

3) 高效配套设备与技术。为了适应“井工厂”钻井作业要求,国外研制开发并采用了移动式模块化钻机。该钻机可以纵向移动也可以横向移动,钻井泵、钻井液罐、可控硅房无需搬动,节省了大量的钻机搬迁、安装时间;形成了井口快速安装技术,井口封井器组作为一个整体安装,每次移动钻机底座只需将连接封井器和套管头的升高短节拆开,然后将封井器和升高短节吊起,挂在底座上一起移至下一井口。围绕“井工厂”水平井井眼轨迹复杂、水平段长、摩阻扭矩大、机械钻速低等问题,BBJ 公司研制开发了液力锤工具以提供轴向冲击力并有效传递钻压,机械钻速提高 30%~50%。NOV 公司研制开发了 DAT(drilling agitator tool)工具,以减小静摩擦力,实现钻压有效传递;配套了巨型固定砂罐(单个容积达到 80 m³)、连续输砂装置(达到 6 750 kg/min)、大型密闭罐车(单次运送 22.5 t 支撑剂,利用风能把支撑剂送到固定砂罐)、水化车(可连续配液)等设备。

4) 多井压裂优化设计技术。开展了“井工厂”水平井组裂缝整体布局、压裂裂缝参数、压裂工艺、压裂顺序、施工参数、作业流程、压后排液管理等多方面的优化研究,核心在于把井组作为整体单元来进行优化,统筹考虑使井组控制储量最大、采出程度最高,提高压裂施工时效与生产效果,降低压裂成本,提高综合开发效益。

美国致密砂岩气、页岩气开发,加拿大致密油气田,英国北海油田,墨西哥湾和巴西深海油田都采用

了“井工厂”技术。其中,美国 Piceance 地区井深 1 500 m 左右的井采用“井工厂”钻井技术后,单井平均钻井周期仅 2.9 d;Marcellus 地区垂深 2 500 m 左右、水平段长 1 300 m 的页岩气水平井平均钻井周期为 27 d,2011 年该地区超过 83% 的井采用“井工厂”钻井技术。随着该技术的推广,美国页岩区钻井数量快速上升,产量也急速攀高。仅 2011 年,在 Barnett 页岩气产区就钻成水平井近 1 万口,Fayetteville 页岩气产区共钻成水平井 650 口。

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,储层平均埋深约 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。通过不断总结、优化学习曲线,最终实现了钻井大提速、成本大幅降低。其单井平均使用钻头从 17 只减少到 2~3 只,单井钻井周期由前期的 40 d 左右缩短至 9.8 d。

4 我国对“井工厂”技术的探索应用

传统的石油勘探开发作业是分散作业模式,单兵作战,效率较低。“井工厂”作业模式,是对分散作业模式最大限度的集约。我国自 2010 年以来开始探索应用“井工厂”技术,主要用于低渗透天然气和页岩气等非常规油气的开发。截至目前,在国内非常规油气领域,中国石油和中国石化做了较多的工作,并取得了一些探索成果^[8~10]。

4.1 中国石油开展的探索应用

2012 年以来,中国石油先后在苏里格南合作区、苏里格气田苏 53 区块以及威远-长宁页岩气示范区等进行了“井工厂”钻井作业模式探索与实践。其中,苏里格南合作区“井工厂”作业模式的探索和应用最为成熟^[10]。

苏里格南合作区是中国石油与法国 Total 公司的天然气合作开发区块,2012 年通过借鉴苏里格气田其他区块的开发经验,结合 Total 公司先进的适用技术和精细化管理理念,探索了具有该合作区特色的“井工厂”钻井完井作业模式,实现了“三低”气田的规模效益开发^[10]。该合作区的井型选择以大位移定向井为主,水平井为辅,每座井场布置 9 口井,其中中心直井 1 口,水平位移 1 000 m 的定向井 4 口,水平位移 1 400 m 的定向井 4 口。目前采用的井场面积为 19 125 m²(255 m × 75 m),9 口井呈单

行布置(如图 1 所示),1~4 号井口间距为 15 m,4~5 号井口间距为 30 m,5~9 号井口间距为 15 m。井场布局适合任何型号的 2 台 50 型钻机同时作业。

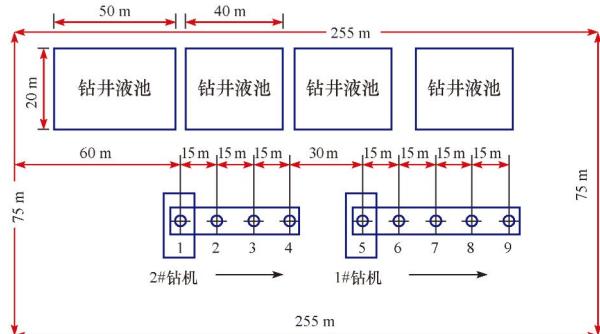


图 1 9 井式“井工厂”井场布置

Fig. 1 The arrangement of wellsite for well pad with nine wells

图 1 中,整个井场 9 口井的上部 800 m 表层,由一台 30 型小钻机完成,只需使用一个钻井液池,并在一个月左右时间内就可以完成,平均单井施工时间只有 3 d,大大降低了施工成本。下部地层采用 50 型双钻机联合作业,即一台钻机施工 1~4 号井,另一台钻机施工 5~9 号井。通过应用钻机平移滑轨系统实现了钻机的快速平移,15 m 井口距离 2 h 内可平移到位,实现了当天搬家当天开钻,与 2011 年的情况相比搬迁安装周期缩短了 3 d。全年完钻直井 10 口,建井周期最短 20.74 d;完钻水平位移 1 000 m 的大位移定向井 56 口、水平位移 1 400 m 的大位移定向井 52 口,9 轮“井工厂”钻井作业后,平均建井周期分别缩短至 32.5 d 和 33.7 d,分别缩短了 10.1 d 和 10.3 d;完钻水平井 3 口,平均建井周期 65 d,较 2011 年的 108 d 缩短了 43 d。压裂采用流水线作业,以 3 口井为一个单元,一个单元压裂完毕后马上开始下一个单元的压裂作业,取得了显著的压裂效果。2012 年,平均井丛压裂入井液量 5 000~7 000 m³,压裂施工周期 6~8 d。井丛压裂试气作业周期从初期的 50 d 缩短至目前的 35 d 左右。

4.2 中国石化开展的探索应用

自 2011 年以来,中国石化分别在鄂尔多斯盆地大牛地和胜利油田非常规区块开展了“井工厂”作业模式探索与研究,初步形成了适合其地区特点的“井工厂”作业模式,为其他地区“井工厂”作业模式的探索和实施积累了经验^[9]。

4.2.1 在大牛地气田的应用

大牛地气田属于典型的致密低渗气藏。为了利用

“井工厂”技术实现经济有效的开发,2011 年 6 月,中国石化在大牛地气田部署了 DP43-H 丛式水平井组,进行了“井工厂”技术应用试验^[9,11]。该水平井组由 6 口井组成,均为双靶点水平井,采用“二维放射形”布置井眼轨道,中间井眼轨道与最小水平主应力方向一致,两侧井眼轨道与最小水平主应力夹角 26.56°。6 口井分为 3 个小组,每组 2 口井之间距离仅 5 m,井组之间相距 70 m。该井组平均设计井深 3 751.93 m,水平段长 1 000 m。该井组井眼轨道如图 2 所示。

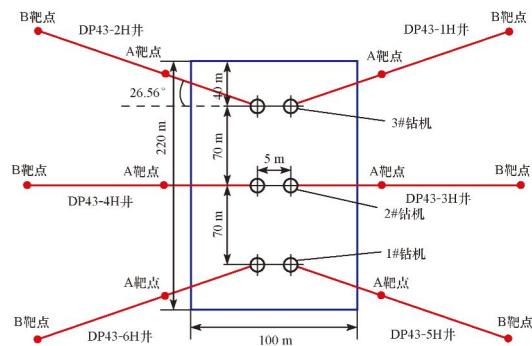


图 2 DP43-H 丛式水平井组井眼轨道

Fig. 2 Wellbore trajectories of cluster horizontal wells DP43-H

6 口井分成 3 组进行钻进:DP43-1H 井与 DP43-2H 井一组,DP43-3H 井与 DP43-4H 井一组,DP43-5H 井与 DP43-6H 井一组,每两口井共用一台钻机,当一口井钻完后采用轨道式整体运移方式将钻机运移至另一口井,大大节省了钻机拆卸搬运时间。丛式水平井组在大牛地气田的试验取得了成功。DP43-H 水平井组实钻平均井深 3 710.64 m,平均水平段长 991.00 m,单井平均钻井周期 47.02 d,建井周期 55.10 d,平均机械钻速 8.28 m/h。与常规单井相比,钻井周期缩短 16.3%,建井周期缩短 26.9%,机械钻速提高 12.8%。DP43-H 水平井组井场面积为 22 000 m²,而一口常规井面积为 12 000 m²。不考虑生活区和重复挖钻井液池的工作量,相当于 6 口井征用了 2 口井的井场,大大节约了征地面积。通过“井工厂”作业模式的实施,有效缩短了压裂周期,丛式水平井组 6 口井压裂施工共用时 13 d,与 6 口水平井单压累计 30 d 相比,节约了超过一半的时间。其中备液时间比常规单口水平井缩短 1.5 d,累计节约 9 d。通过整体压裂,平均单井无阻流量达 12.94×10^4 m³/d,几乎是 2012 年之前水平井无阻流量(6.95×10^4 m³/d)的 2 倍,压裂效果显著。同时,6 口井统一入网,不但节省了入网管线,更便于后期集中管理。

4.2.2 在胜利油田盐 227 区块的应用

胜利油田东辛盐 227 区块致密砂砾岩油藏埋藏深、厚度大、渗透率低。2012 年在盐 227 区块开始探索应用“井工厂”钻井完井作业模式。首先部署了试验井盐 227-1HF，该井于 2012 年 5 月开钻，2013 年 1 月完井投产，完钻井深 4 591 m，水平段长 1 032 m，钻井周期 200 d，平均机械钻速 4.41 m/h。共压裂 11 段，日产液 24.1 m³，日产油 13.1 t。钻井费用 5 006.02 万元，完井费用 2 096 万元，单井开发总成本 7 102 万元，应用常规开发技术，单井开发效益差。盐 227 水平井组由 9 口井组成（如图 3 所示），成“品”字形布置，盐 227-1HF 井与盐 227-2HF 井、盐 227-6HF 井、盐 227-7HF 井为一组，盐 227-4HF 井、盐 227-5HF 井、盐 227-3HF 井为一组，盐 227-8HF 井、盐 227-9HF 井为一组。使用 3 台全电动 70 型钻机，每台钻机负责施工一组。采用放射型布井方式，靶前距为 400~500 m，井距 220~430 m，水平段长 700~1 100 m。目前已经完成 3 口水平井，平均钻井周期 90 d。由于实施了井架整体拖移，搬迁费不到原来的 20%。而且钻井液与压裂液等物资循环利用，又节省了一些费用。

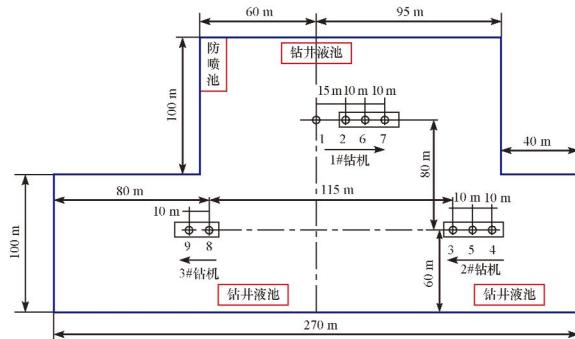


图 3 盐 227“井工厂”井场布置

Fig. 3 The arrangement of wellsite for Yan227 well pad

4.3 我国“井工厂”技术应用中存在的不足

近几年，我国在“井工厂”技术方面开展了不少研究与应用探索，取得了不少成绩和有益的认识，但与国外相比，还处在探索应用阶段，还存在着明显的不足，主要体现为：

1) 配套的装备仪器还不能完全适应“井工厂”作业的需求。如钻机迁移系统还不能满足快速搬迁的要求，美国钻机的运移系统非常先进，能够实现前后左右快速移动，搬迁时间一般为 2~3 h；而我国的钻机一般只能前后移动，搬迁时间需要 1 d 以上。

2) 还没有真正实现流水线式施工作业。国外实现了一个平台的多口井依次一开，依次固井，依次二开，再依次固井完井，实现钻井、固井、测井设备不停待流水线式施工作业；而我国目前虽然采用了一个平台布多口井，但基本上还是钻完一口井再去钻另一口井，未实现流水线式施工作业，相同井段的钻井液也无法做到重复利用。

3) 还没有形成一套成熟的“井工厂”作业模式。我国在“井工厂”技术方面进行了积极的探索，在一些方面取得了显著效果，但还没有进行真正意义上的“井工厂”应用，配套的技术规范还有待于制定。

5 我国“井工厂”技术发展建议

1) 树立全过程低成本的基本理念。非常规油气的本质特性是低品位资源、边际资源，即“贫矿”。开发该类资源，必须树立全过程从简、节省、适用的低成本基本理念：从简是指根据非常规油气资源单井产气量低、开发投资大的实际，从简制订开发方案、简化地面工艺流程；节省是指在勘探研发投入上要精打细算，努力节约每一分钱；适用是指不追求最新最好的技术，经济划算即可。只有以这样的理念研究形成的“井工厂”作业模式，才能最大程度地压缩成本，实现非常规油气资源的经济有效开发。

2) 借鉴我国致密气藏开发的成功经验。国外已经形成了成熟的“井工厂”技术，值得参考借鉴，但也不能盲目照抄照搬，在学习国外“井工厂”技术的同时，也要充分总结、优化中国致密气藏开发的成功模式。如苏里格气田通过 10 多年的探索，开发技术不断升级，工程技术持续优化，单井产量稳步提高，开发成本逐年下降，已经实现了规模开发（2012 年产气量已经达到 $1.35 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ），成为了我国产气量最高的气田，形成的苏里格工厂化开发模式更值得学习借鉴。

3) 集成和发展相应配套技术。在常规石油天然气勘探开发中形成的现有工程技术，不能完全满足非常规油气藏“井工厂”技术的需求，需要针对“井工厂”技术的特点匹配成套的对应技术。如：为了适应多井平台钻机的快速移动需求，配备可移动的模块化钻机；为了保持页岩地层钻进过程中的井壁稳定，使用油基钻井液；等等。

4) 设立“井工厂”技术项目部。为了加快页岩气等非常规油气的开发步伐，中国石油、中国石化都设立了非常规油气资源开发示范区。“井工厂”技术

涉及到技术、管理等很多方面,是一个需要参与各方积极配合的系统工程,因此建议在非常规油气资源开发示范区设立“井工厂”技术项目部,全面负责“井工厂”技术的研究与试验应用,这样才能尽快地从技术示范、管理示范、产业化示范、监管示范等方面,形成符合我国国情的“井工厂”技术。

参 考 文 献

References

- [1] Olof Hummes, Paul Bond, Anthony Jones, et al. Using advanced drilling technology to enable well factory concept in the Marcellus shale[R]. SPE 151466, 2012.
- [2] Brown K M, Beattie K A, Cory Kohut. High-angle gyro-while-drilling technology de delivers an economical solution to accurate well-bore placement and collision avoidance in high-density multilateral pad drilling in the Canadian oil sands[R]. SPE 151431, 2012.
- [3] Ogochukwu Azike. Multi-well real-time 3D structure modeling and horizontal well placement: an innovative workflow for shale gas reservoirs[R]. SPE 148609, 2011.
- [4] 蒋廷学.页岩油气水平井压裂裂缝复杂性指数研究及应用展望[J].石油钻探技术,2013,41(2):7-12.
Jiang Tingxue. The fracture complexity index of horizontal wells in shale oil and gas reservoirs[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013,41(2):7-12.
- [5] 薛承瑾.页岩气压裂技术现状及发展建议[J].石油钻探技术,2011,39(3):24-29.
Xue Chengjin. Technical advance and development proposals of shale gas fracturing[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2011, 39(3):24-29.
- [6] 胡文瑞.页岩气将工厂化作业[J].中国经济和信息化,2013 (7):18-19.
Hu Wenrui. The factory-like production will coming in shale gas[J]. China Economy & Informatization, 2013 (7):18-19.
- [7] 葛洪魁,王小琼,张义.大幅度降低页岩气开发成本的技术途径[J].石油钻探技术,2013,41(6):1-5.
Ge Hongkui, Wang Xiaoqiong, Zhang Yi. A technical approach to reduce shale gas development cost[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013,41(6):1-5.
- [8] 李鹏,Hii King-Kai, Todd Franks,等.四川盆地金秋区块非常规天然气工厂化井作业设想[J].天然气工业,2013,33(6):1-6.
Li Shuang, Hii King-Kai, Todd Franks, et al. Design highlights of factory-like production of unconventional natural gas wells in the Jinqiu Block, Sichuan Basin[J]. Natual Gas Industry, 2013,33(6):1-6.
- [9] 张文彬.大牛地气田 DP43 水平井组的井工厂钻井实践[J].天然气工业,2013,33(6):36-41.
Zhang Wenbin. Drilling practice of a well plant in the cluster horizontal wells of DP43 in the Daniudi Gas Field, Ordos Basin [J]. Natural Gas Industry, 2013,33(6):36-41.
- [10] 刘社明,张明禄,陈志勇,等.苏里格南合作区工厂化钻完井作业实践[J].天然气工业,2013,33(8):64-69.
Liu Sheming, Zhang Minglu, Chen Zhiyong, et al. Factory-like drilling and completion practices in the joint gas development zone of the South Sulige Project[J]. Natural Gas Industry, 2013,33(8):64-69.
- [11] 李克智,何青,秦玉英,等.“井工厂”压裂模式在大牛地气田的应用[J].石油钻采工艺,2013,35(1):68-71.
Li Kezhi, He Qing, Qin Yuying, et al. Application of “well plant” fracturing mode in Daniudi Gas Field[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2013,35(1):68-71.

〔编辑 令文学〕

高温高压高应力页岩气井丁页 2HF 井成功压裂

丁页 2HF 井位于贵州省习水县寨坝镇,构造位置处于川东南地区林滩场—丁山北东向构造带丁山构造北西翼,完钻井深 5 700.00 m,垂深 4 417.43 m,水平段长 1 034.23 m,是中国石化勘探南方分公司为在深层海相页岩气勘探领域取得战略突破而部署的一口页岩气重点预探井。

该井采用 φ177.8 mm 套管完井,储层埋藏深,破裂压力高达 92.8 MPa,闭合压力高达 109.0 MPa,温度高达 145 ℃,施工泵压 81.0~95.0 MPa。施工压力窗口很窄,加砂非常困难,国内外无成功经验借鉴。中国石化石油工程技术研究院的技术人员在前期焦石坝等页岩气压裂技术研究的基础上,根据深层页岩气的特点,采取“设计一段、施工一段、总结一段、优化一段”的措施,通过不断完善、调整,提出了四步走的压裂模式,从前置液用量、胶液造缝时机、起步砂比等方面对分段压裂逐步优化:第 1 段,施工泵压高,加砂难度大,初步认识地层属性;第 2~3 段,探索加砂量、最高砂比及段塞量的关系;第 4~5 段,初步提出合适的加砂压裂泵注程序;第 6~12 段,形成适合该井的加砂压裂模式。

该井压裂后,放喷口燃起 8~10 m 高的火焰,表明压裂成功。

〔供稿 贾长贵 卞晓冰〕