

## 中国石化致密油藏开发面临的机遇与挑战

李 阳

(中国石油化工股份有限公司,北京 100029)

**摘 要:**我国具有丰富的致密油资源,但目前整体上开发规模仍然较小,油藏认识和工程技术处于发展阶段。在介绍致密油藏特征及中国石化致密油开发概况的基础上,分析了致密油开发面临的主要问题及发展机遇,指出地质条件复杂、开发技术需要进一步发展以及在低油价下如何实现致密油的效益开发是我国致密油开发面临的主要挑战,并给出了我国致密油开发技术的 5 个发展方向,即富集规律研究、开发机理研究、进一步发展致密油开发工程技术、加强致密油藏提高采收率技术攻关、创建致密油开发模式和管理模式等。这对于实现我国致密油规模效益开发,保障国家能源供应和能源安全,具有一定的指导意义。

**关键词:**致密油藏 油气开发 工程技术 技术挑战 发展方向 中国石化

**中图分类号:**TE348 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-0890(2015)05-0001-06

## Opportunities and Challenges for Sinopec to Develop Tight Oil Reservoirs

Li Yang

(China Petroleum & Chemical Corporation, Beijing, 100029, China)

**Abstract:** Tight oil resources are abundant in China, but they are only developed in small scale presently, understanding of the reservoir and engineering technologies are still at initial stage of development. On the basis of introducing the characteristics of tight oil reservoirs and Sinopec's current development, the major challenges and opportunities for development of tight oil reservoirs were analyzed. It is indicated that main challenges in developing tight oil reservoir include complex geologic conditions, development technologies need to be improved, and the ways to develop tight oil reservoirs efficiently under the situation of low oil prices. Moreover, it is proposed in five aspects for developing tight oil reservoir in China, i. e. (1) identifying enrichment laws, (2) analyzing development mechanism, (3) further exploring the engineering technologies, (4) making more efforts in EOR technologies, and (5) establishing development and management modes, which will play an important part for efficient development of tight oil reservoirs, and keep national energy supply and security in China.

**Key words:** tight oil reservoirs; oil and gas development; engineering technology; technical challenge; development direction; Sinopec

致密油是一种非常规石油资源,多赋存在低孔低渗的致密砂岩、泥灰岩、白云岩等非常规储层,蕴藏量大。根据美国能源信息署的统计数据<sup>[1-2]</sup>,包括美国在内的 42 个国家的致密油技术可采储量达到约  $548 \times 10^8 \text{ m}^3$  (3 450 亿桶)。致密油已经被视为重要的石油接替资源之一,并成为继页岩气之后全球非常规油气勘探开发的新热点<sup>[3-9]</sup>。

我国致密油资源丰富<sup>[10-11]</sup>,据中国工程院的研

究数据,我国致密油地质资源量超过  $100 \times 10^8 \text{ t}$ ,主要分布在鄂尔多斯、塔里木、渤海湾以及准噶尔等盆

**收稿日期:**2015-09-10。

**作者简介:**李阳(1958—),男,山东东平人,1982年毕业于华东石油学院石油地质专业,2000年获中国科学院沉积学专业博士学位,中国工程院院士,主要从事油气田开发地质、油气田开发及提高采收率技术研究及相关管理工作。

**联系方式:**liyong@sinopec.com。

地。近年来,以中国石化、中国石油为代表的能源公司,加快了我国致密油勘探开发的步伐,相继在渤海湾、鄂尔多斯、准噶尔、塔里木等盆地发现多个亿吨级储量的致密油区块,探明储量在国内陆上新增储量中所占的比例不断增加。中国石化从21世纪初就开始了致密油开发研究与实践,先后在鄂尔多斯盆地南部的红河油田及泾河油田、渤海湾盆地正理庄油田开展了先导试验和产能建设,在致密油富集规律认识、开发技术和配套工程方面取得了重大进展<sup>[12-24]</sup>。但由于地质条件复杂、油藏品质差,尚未形成适应不同油藏条件的中低丰度致密油开发技术,导致我国致密油开发目前还未进入规模效益开发阶段,经济效益差。因此,需要进行致密

油高产富集规律、开发机理、提高采收率技术及致密油管理模式的攻关研究,实现致密油的规模效益开发。

## 1 致密油藏特征及开发概况

中国石化致密油藏主要分布在渤海湾、鄂尔多斯、准噶尔和塔里木等盆地,已发现三级储量为 $11.3 \times 10^8$  t,其中探明储量为 $5.65 \times 10^8$  t。

### 1.1 致密油藏特征

中国石化致密油藏多为陆相碎屑岩沉积,地质条件复杂(见表1),主要地质特征为:

表1 中国石化主要致密油藏基本特征

Table 1 Basic features of major tight oil reservoirs of Sinopec

盆地	层位/储集体	沉积类型	埋深/m	储量丰度/ ( $10^4$ t · km <sup>-2</sup> )	裂缝发育程度	特点
渤海湾	沙河街组沙4段 滩坝砂体	缓坡扇三角洲- 滩坝相	2 800~4 000	50	不发育	厚度薄,分布零散,跨度大
	沙河街组沙3段 浊积砂体	洼陷三角洲-浊 积扇相	2 500~3 900	73	不发育	砂体单一,厚度大,主力层突出
	沙河街组沙4段 砂砾岩体	陡坡扇三角洲- 砂砾岩相	3 500~3 700	260	不发育	厚度大,成层性差,非均质性 强
鄂尔多斯	三叠系延长组长3 段砂岩	辫状河三角洲 前缘分流河道	550	37	局部发育	断层密度小,微裂缝-孔隙型 为主
	三叠系延长组长7 段砂岩	湖相半深湖浊 流	750~1 380	36	局部发育	—
	三叠系延长组长8 段砂岩	辫状河三角洲平 原-前缘分流河道	870~2 800	35	局部发育	富含油区在裂缝控制下呈条 带状,不连续性、非均质性强
准噶尔	侏罗系西山窑组 煤上2砂组	辫状河道心滩、 河漫滩沉积	5 500~6 280	34	不发育	油藏埋藏深,地层结构复杂, 储层物性差
塔里木	奥陶系	海相	5 500~6 600	66	不发育	—
	志留系柯坪塔格 组下段	滨海相潮下-过 渡带沉积	5 500~5 650	—	不发育	受沉积相控制,非均质性强

1) 多为陆相沉积储层,分布范围较小,稳定性差,多呈条带状、不连续性发育;

2) 裂缝发育程度低,储集空间以残余粒间孔、次生溶孔为主,为孔隙型储层;

3) 储层岩性为粉砂岩—砂砾岩,脆性矿物含量低,压裂裂缝起裂为张开型,易形成两翼对称裂缝;

4) 一般为常压、低压甚至超低压油藏,地下原油黏度较大,溶解气油比低,天然能量低。

### 1.2 开发现状

在常规低渗透油藏开发技术的基础上,中国石

化进行了致密油开发技术攻关,并取得良好的现场试验效果。2007年,胜利油田在致密油开发中试验应用了直井分层压裂技术;2010年,成功研发了水平井分段压裂技术,实现了致密油开发关键技术突破;自2012年起,胜利油田、华北分公司将水平井分段压裂技术在致密油开发中进行了规模化应用,致密油产量快速上升,峰值年产油量 $69.2 \times 10^4$  t。截至2015年6月,中国石化累计动用致密油储量 $1.38 \times 10^8$  t,油井总数1 815口,其中开井783口(直井311口和水平井482口),2014年产油量 $65.4 \times 10^4$  t,采油速度0.44%,累计产油量 $190.76 \times 10^4$  t,采出程度1.29%。

### 1.3 存在的主要问题

开发实践表明,目前致密油藏的采收率低,效益差,存在的主要问题有:

1) 产量低且递减快。采用直井开发,油井基本无自然产能;采用水平井分段压裂开发,初期日产油量 6.7~16.3 t,远低于北美 Bakken 油田水平井初始日产油量(96.0 t);绝大多数油井无稳产期,产量递减趋势符合双曲递减规律,初期递减快,前 6 个月产油量递减率达到 32%~70%。

2) 投产初期含水。致密油储层孔喉半径细小,毛管力大,油水重力分异作用小,基质孔隙中含水饱和度高,生产过程中油水同出。例如,红河油田长 8 井投产即见水,该油田在裂缝相对发育区的油井投产初期含水率达 30%,而在裂缝不发育区的油井投产初期含水率高达 80%;胜利油田致密油油井初期含水率 40%~60%。

3) 一次采收率低。通过数值模拟预测结果发现,红河油田长 8 段致密油藏天然能量开发采收率平均为 3.6%,其中非甜点区采收率 2.3%,甜点区采收率 6.0%;胜利樊 154 区块浊积岩致密油藏采收率仅 9.6%。

4) 能量补充难度大。由于天然裂缝和人工裂缝的存在,使致密油藏补充能量成为巨大挑战。红河油田长 8 段和长 9 段油层以及渭北长 3 段油层开展了注水、注气先导试验,水(气)窜现象非常严重,能量补充效果差,增油效果不明显。

5) 开发效益差。根据数值模拟预测,在油价为 70 美元/桶条件下,红河油田致密油藏水平井开发的单井极限初期日产油量为 13.8 t,极限累计产量要达到  $1.4 \times 10^4$  t。从红河油田目前的生产情况看,大部分水平井的初期日产油能力小于 10.0 t,难以满足目前低油价下经济效益开发的要求。

## 2 致密油开发面临的机遇

### 2.1 致密油开发是我国石油供应安全的战略需求

当今世界政治、经济格局深刻调整,能源供求关系深刻变化,能源仍是国际政治、金融、安全博弈的焦点。我国作为发展中的大国,随着“新四化”深入推进和人民生活改善的需求,未来一个时期能源需求还会增长。据中国工程院研究报告,2020 年、2030 年我国进口原油量将分别达到  $3.5 \times 10^8$  t 和  $4.5 \times 10^8$  t,

对外依存度进一步加大,因此,我国高度重视能源供应和能源安全。2014 年 4 月,国务院总理李克强主持召开新一届国家能源委员会首次会议,提出了以科学发展为主题,立足当前、深谋远虑、积极有为的能源发展方针,要立足国内,着力增强能源供应能力,促进页岩气、页岩油、煤层气、致密气等非常规油气资源开发。致密油作为非常规资源,国家积极推动开发建设。科技部把致密油勘探开发技术列为“十三五”油气重大专项的攻关项目,以加强基础研究、技术攻关和产业扶持,为致密油规模效益开发提供科技攻关支持。

### 2.2 美国致密油的成功开发为我国提供了借鉴

成藏规律和储集特征决定了致密油开发要经历长期攻关过程。美国 Bakken 油田自 1953 年发现以来,历经直井、未压裂水平井、笼统压裂水平井等开发试验与实践,直至 2006 年,水平井分段压裂技术取得突破,Bakken 油田才实现了整体规模开发。随着 Eagleford 等致密油藏的规模化效益开发,2010—2014 年,美国致密油产量以每年增加 40% 以上的速度快速发展,2014 年致密油产量达到  $2.7 \times 10^8$  t,约占美国原油总产量的 36%。致密油产量的增加降低了美国进口原油的需求,美国进口原油比例从 2012 年的 40% 降至 2014 年的 32%,根据美国能源信息署的预测,未来 5 年该比例会进一步降低到 25%。

从近几年北美致密油开发成本变化情况来看,随着技术进步和管理模式不断创新,致密油开发成本呈现逐渐下降的趋势。美国 HESS 公司<sup>[25-26]</sup>致密油水平井钻井及压裂时间从 2011 年的 45 d 降至 2014 年的 22 d,缩短了 51%,单井钻井完井成本下降了 45%。2015 年,Hess 公司对 Bakken 油田 1 200 余口生产井进行分析后认为,油价 40~50 美元/桶时公司仍可以盈利,并且即使未来 5 年油价持续低迷,也依旧可以维持生产。

北美致密油开发技术和经验做法给我国致密油开发提供了借鉴,只要坚持不断的技术创新与工程技术集成,我国致密油开发的成本一定会大幅降低,定将进入大规模开发阶段。

### 2.3 我国致密油开发已具备一定基础,正处于开发技术快速发展阶段

近几年,通过引进吸收与自主研发,我国致密油开发技术持续发展,围绕“提高产量”和“降低成本”两大致密油工程技术核心目标,在水平井钻井完井、

分段压裂一体化设计、水平井优快钻井、水平井钻井液、高效压裂液、多段压裂储层改造等方面取得了突破性进展,初步形成了具有自主知识产权的致密油开发工程技术体系。

围绕提高单井产量,建立了以储层、含油性等要素为核心的甜点表征体系与甜点评价标准,形成了致密油藏甜点筛选评价技术及流程,提高了“甜点”预测精度。针对甜点开发形成了三个方面的优化设计技术:1)井位、井距、井网、开发方式等开发方案设计优化,实现对甜点区的有效开发;2)基于井眼轨道、水平段长度的钻井方案优化设计,增大储层接触面积并实现储层保护;3)压裂完井方案设计,增大改造体积、改善改造效果。针对低成本开发工程技术,通过对致密油藏开发整体设计与优化、井工厂、优快钻井、个性化设计施工、推广应用国产化设备,大幅降低了致密油开发成本。胜利油田盐 227 块应用“井工厂”作业模式 34 d 完成 4 个井组 8 井次、87 段压裂施工,压裂施工周期缩短了 50%。2014 年红河油田通过优化钻头及动力钻具组合,直井段应用“PDC+螺杆+MWD”复合式钻进方式的“一趟钻”优快钻井技术,钻井周期缩短至 29.6 d、机械钻速达到 11.63 m/h,与 2012 年相比分别下降了 47%、提高了 50%。

同时,这些年来我国通过致密油开发技术研发与实践,培养了一批专业化技术人才队伍,目前正借助于国家重大专项、企业重点项目开展技术攻关研究,使我国致密油开发技术研究进入了快速发展阶段。

### 3 我国致密油藏开发面临的挑战

#### 3.1 致密油藏地质条件复杂,开发难度大

与北美致密油藏相比,我国致密油藏地质条件更加复杂,主要表现在以下 5 个方面:

一是致密油储层埋藏深。我国致密油藏埋深为 2 400~3 500 m,最深达 7 000 m,而北美致密油藏埋深多在 2 000 m 以浅。

二是储量丰度低。我国致密油藏储量丰度多为  $(30\sim 50)\times 10^4$  t/km<sup>2</sup>,占总储量的比例为 74%;储量丰度高于  $100\times 10^4$  t/km<sup>2</sup> 的储量占总储量的比例仅为 12%。

三是储层分布零散。已完钻直井钻遇致密油储层的厚度统计结果表明,平均钻遇油层厚度 5~10 m 的直井占 45.9%,钻遇油层厚度 10~15 m 的

直井占 24.4%,而北美致密油储层厚度达几十米,甚至上百米。

四是脆性矿物含量低,对工程技术要求更高。统计表明,渤海湾盆地和鄂尔多斯盆地的致密油藏岩石脆性矿物含量分别为 47%和 55%,比北美巴肯油田低 30%~40%。

五是地层压力低。红河油田致密油层的地层压力系数为 0.8,渤海湾盆地致密油层的地层压力系数约为 1.0,而北美致密油层的地层压力系数为 1.2~1.8。

这些复杂的地质条件,增加了我国致密油开发的难度,具体表现为砂泥岩交互地层的可钻性差,钻头选型难度大,机械钻速低;部分地层井壁稳定性差,钻井安全风险大;套管完井储层易污染,长水平段固井质量难以保证;脆性矿物含量低、主应力差小,压裂过程中不易形成网状裂缝系统。因此,需要注重研究增大致密油储层的接触面积以及改善致密油流动性的钻井完井技术。

#### 3.2 开发技术需要进一步发展

我国致密油藏的地层特点与北美致密油藏的的巨大差异,决定了我国致密油藏开发不能照搬北美致密油藏的开发经验,开发技术主要存在以下问题:

一是尚没有形成大幅度提高单井产能的开发技术。致密砂岩储层主要储集空间为微米-纳米级孔隙,喉道更加细小( $<1\ \mu\text{m}$ ),致密油渗流需要更大的驱动力,原油“流不远”和“流不动”问题非常突出,导致单井产能低。因此,在工程技术方面,需要进行大规模体积压裂技术攻关,增大改造体积,大幅度提高水平井段内动用储量,同时能在远井地带形成有效裂缝,改善致密储层渗流条件,缩短微孔隙中流体流入裂缝的距离,提高流体流速和产出量,从而提高单井产能。目前地质工程技术整体优化、油层保护、体积压裂技术还不能满足我国中低丰度储量致密油开发的需要。

二是补充能量和大幅度提高采收率技术尚未形成。补充能量、提高采收率是提高致密油储量开发利用程度、实现效益开发的主要手段,目前尚处于试验阶段。

#### 3.3 在低油价下如何实现致密油的效益开发是当前主要困难

低油价给致密油开发提出了新的技术要求,低成本开发技术是实现致密油效益开发的关键。因



此,需要发展低成本工程技术和作业模式,特别是要大幅度提高钻井和压裂效率。美国 Bakken 油田典型井垂深 3 048 m(井深 6 096 m),2014 年单井钻井时间约 22 d,而我国红河油田典型井垂深约 2 200 m(井深约 3 200 m),2014 年单井钻井时间约 31 d;济阳樊 154 区块典型井垂深约 2 850 m(井深约 4 500 m),2013 年单井钻井时间约 80 d。可见,我国的钻井效率与北美相比仍有很大差距。目前致密油开发技术尚不能完全满足我国致密油多样性的需要,需进一步加强技术的研发和集成,发展地质导向、随钻测量、旋转导向等技术,进行钻井液及压裂液无害化处理与循环利用技术、耐高温耐压压裂工具以及超低密度支撑剂等的技术攻关研究。

#### 4 致密油开发技术发展方向

抓住机遇,迎接挑战,加快致密油开发应加强以下攻关研究:

一是深化富集规律研究,有效描述甜点。要按照不同的油层类型进行储层和裂缝研究,认识富集规律,加强岩石力学试验、地应力测试、测井评价及可压性评价,确定甜点的影响因素,进一步发展甜点描述技术,应用综合地球物理等技术精确描述评价地质甜点。

二是加强开发机理研究,指导优化开发方案。深化致密油开发机理研究与表征,建立流动和产能预测模型,认识影响产能的主要因素,根据不同的甜点分布优化开发方案设计,确定合理的井网、井距,使井网与天然裂缝和压裂裂缝有效匹配,提高储量的动用率,为补充能量提供条件。

三是进一步发展致密油开发工程技术,提高单井产能。做好储层保护,实现钻井和压裂的整体优化,提升钻井技术水平,深化对水平井分段压裂机理的认识,实现有效体积压裂,研究裂缝导流能力在高闭合条件下的影响因素及作用机制,加强裂缝监测,攻关裂缝导流能力识别与表征技术,提高压裂的成功率,开展老井重复压裂,提高段间剩余油的动用程度。

四是加强致密油藏提高采收率技术攻关。研究降低致密油相渗流阻力、降低致密油相启动压力及降低致密油黏度的开发技术,解决致密孔隙原油流动问题,提高驱油效率;研究有效补充能量的开发方式,通过增大驱替压差,提高基质内流体渗流能力,让微孔隙中致密油能够“流得动、流得出”。

五是创建致密油开发模式和管理模式。致密油开发不仅需要开发技术的突破,更是开发理念的革命。需要加强创新,技术成熟后,工程技术转变为围绕提高效率、降低成本、消除浪费、增加价值的创新管理,通过采用信息化、流程化、标准化手段,提高效率、缩短施工时间,应用井工厂、一体化设计等工程开发模式,这也是目前油价低迷期仍可继续有效开发致密油的关键。

#### 5 结束语

我国拥有巨大的致密油资源潜力,正面临前所未有的发展机遇,但因复杂特殊的地质条件无法复制北美致密油成功开发模式。现阶段中国致密油勘探开发面临着更多的挑战,需要继承大庆油田建设的“两论起家”精神,运用“矛盾论”、“实践论”的辩证唯物主义观点,分析、研究、解决致密油开发的问题,不断加强基础研究和科技攻关,千方百计降低成本,实现致密油规模效益开发,为将来我国致密油开发跨越式发展、保障国家能源安全做出贡献。

#### 参 考 文 献

#### References

- [1] EIA. Annual energy outlook 2013[R]. [2015-08-25]. <http://www.eia.gov/forecasts/archive/aeo13/>.
- [2] EIA. Annual energy outlook 2014[R]. [2015-08-25]. <http://www.eia.gov/forecasts/archive/aeo14/>.
- [3] Leonardo Maugeri. The shale oil boom: a U. S. phenomenon [M]. Cambridge: Belfer Center for Science and International Affairs, Harvard Kennedy School, 2013.
- [4] Jim Sorensen. EOR in tight oil [R]. [2015-08-25]. <http://ptrc.ca/media-centre/tooc>.
- [5] 郭永奇,铁成军. 巴肯致密油特征研究及对我国致密油勘探开发的启示[J]. 辽宁化工, 2013, 42(3): 309-312, 317.  
Guo Yongqi, Tie Chengjun. Study on characteristics of Bakken tight oil and its revelation for exploration and development of tight oil in China[J]. Liaoning Chemical Industry, 2013, 42(3): 309-312, 317.
- [6] 窦宏恩,马世英. 巴肯致密油藏开发对我国开发超低渗透油藏的启示[J]. 石油钻采工艺, 2012, 34(2): 120-124.  
Dou Hongen, Ma Shiyong. Lessons learned from oil production of tight oil reservoirs in Bakken play[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2012, 34(2): 120-124.
- [7] 张威,刘新,张玉玮. 世界致密油及其勘探开发现状[J]. 石油科技论坛, 2013, 32(1): 41-44.  
Zhang Wei, Liu Xin, Zhang Yuwei. Worldwide tight oil and its current exploration & development conditions[J]. Oil Forum, 2013, 32(1): 41-44.

- [8] 林森虎,邹才能,袁选俊.美国致密油开发现状及启示[J].岩性油气藏,2011,23(4):25-30.  
Lin Senhu, Zou Caineng, Yuan Xuanjun, et al. Status quo of tight oil exploitation in the United States and its implication [J]. Lithologic Reservoirs, 2011, 23(4): 25-30.
- [9] 张映红,路保平,陈作,等.中国陆相致密油开采技术发展策略思考[J].石油钻探技术,2015,43(1):1-6.  
Zhang Yinghong, Lu Baoping, Chen Zuo, et al. Technical strategy thinking for developing continental tight oil in China [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2015, 43(1): 1-6.
- [10] 赵政璋,杜金虎.致密油气[M].北京:石油工业出版社,2012: 2-12.  
Zhao Zhengzhang, Du Jinhui. The tight oil and gas [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2012: 2-12.
- [11] 秦伟军,付兆辉.中国石化特低渗砂岩油和致密砂岩气资源勘探潜力[J].当代石油石化,2012,20(2):13-16, 22.  
Qin Weijun, Fu Zhaohui. Sinopec's resources exploration potential of extremely low permeability sandstone oil and tight sand gas [J]. Petroleum & Petrochemical Today, 2012, 20(2): 13-16, 22.
- [12] 魏海峰,凡哲元,袁向春.致密油藏开发技术研究进展[J].油气地质与采收率,2013,20(2):62-66.  
Wei Haifeng, Fan Zheyuan, Yuan Xiangchun. Review on new advances in foreign tight oil development technology and their enlightenment [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(2): 62-66.
- [13] 赵学军,樊154区块致密砂岩非常规水平井钻井技术[J].中国高新技术企业,2013(5):112-114.  
Zhao Xuejun. Unconventional horizontal well drilling technology of tight sandstone in Fan 154 Block [J]. China High-Tech Enterprises, 2013(5): 112-114.
- [14] 廖腾彦,余丽彬,李俊胜.吉木萨尔致密砂岩油藏工厂化水平井钻井技术[J].石油钻探技术,2014,42(6):30-33.  
Liao Tengyan, Yu Libin, Li Junsheng. A factory-like drilling technology of horizontal wells for tight sandstone reservoirs in the Jimusaer Area [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42(6): 30-33.
- [15] 王聪.胜利油区致密砂岩油藏水平井开采技术[J].油气地质与采收率,2013,20(3):86-88.  
Wang Cong. Study on horizontal well for development of tight sandstone reservoir in Shengli Oilfield [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2013, 20(3): 86-88.
- [16] 戴荣东,颜小兵,肖洲,等.胜利油田致密砂岩长水平井钻井实践及认识[J].钻采工艺,2015,38(3):16-18.  
Dai Rongdong, Yan Xiaobing, Xiao Zhou, et al. Practices for long displacement horizontal wells drilling in tight sandstone reservoirs of Shengli Oilfield [J]. Drilling & Production Technology, 2015, 38(3): 16-18.
- [17] 葛磊.樊家地区致密砂岩油气藏钻井关键技术[J].石油钻采工艺,2014,36(3):27-32.  
Ge Lei. Key technology on drilling oil and gas reservoirs of tight sandstone in Fanjia area [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2014, 36(3): 27-32.
- [18] 马兴芹,刘岳龙,张永刚,等.红河油田空气泡沫驱实验[J].东北石油大学学报,2014,38(6):109-115.  
Ma Xingqin, Liu Yuelong, Zhang Yonggang, et al. Experimental studies of air-foam flooding in dual media reservoir [J]. Journal of Northeast Petroleum University, 2014, 38(6): 109-115.
- [19] 常兴浩.红河油田致密裂缝性油藏水平井分段压裂设计优化[J].石油天然气学报,2013,35(9):131-137.  
Chang Xinghao. Optimization design of horizontal well step-wise fracturing in tight sandstone fractured reservoirs of Honghe Oilfield [J]. Journal of Oil and Gas Technology, 2013, 35(9): 131-137.
- [20] 常兴浩.富县区块浅层致密油藏压裂裂缝扩展形态研究[J].石油钻探技术,2013,41(3):109-113.  
Chang Xinghao. Fracture propagation in shallow tight reservoirs of Fuxian Block [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2013, 41(3): 109-113.
- [21] 胡艾国,熊佩,姚昌宇,等.红河油田长8油藏压裂水平井产能影响因素分析[J].石油钻采工艺,2013,35(3):69-72.  
Hu Aiguo, Xiong Pei, Yao Changyu, et al. Influencing factor analysis of fractured horizontal well productivity in Chang 8 reservoir of Red River Oilfield [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2013, 35(3): 69-72.
- [22] 林彦兵,胡艾国,陈付虎,等.红河油田水平井压窜原因分析及防窜对策建议[J].油气藏评价与开发,2013,3(4):56-61.  
Lin Yanbing, Hu Aiguo, Chen Fuhu, et al. Horizontal well fracturing channeling cause analysis and channeling prevention countermeasures in Honghe Oilfield [J]. Reservoir Evaluation and Development, 2013, 3(4): 56-61.
- [23] 李克智,闫吉曾.红河油田水平井钻井提速难点与技术对策[J].石油钻探技术,2014,42(2):117-122.  
Li Kezhi, Yan Jizeng. Difficulties and technical countermeasures for improving penetration rate of horizontal wells in Honghe Oilfield [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42(2): 117-122.
- [24] 杨俊峰. Bakken 致密油藏储层特征与多段压裂水平井开发技术研究[D].北京:中国地质大学(北京)能源学院,2012.  
Yang Junfeng. Research on Bakken tight oil reservoir characteristics and multi fracturing horizontal well development technique [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), School of Energy Resources, 2012.
- [25] Malcolm E Allan, David K Gold, Dyke W Reese. Application of Toyota's principles & lean processes to reservoir management: more tools to overload the toolbox or a step change in our business [R]. SPE 165331, 2014.
- [26] Steven R Charles, Robert Deutman, David Keith Gold. Implementing lean manufacturing principles in new well construction [R]. SPE 157907, 2012.