

文章编号:0253-9985(2012)02-0296-06

大庆油田聚合物驱分注工艺现状

李海成

(中国石油 大庆油田公司 采油工程研究院,黑龙江 大庆 163453)

摘要:根据大庆油田不同开发阶段的需要,形成了3种成熟配套的聚合物驱分注工艺技术。同心分注技术,其井下管柱采用单管同心分注形式,通过同心配注器对分层注入压力的调节,控制各个层段的注入量。偏心分注工艺,其井下管柱采用单管偏心分注形式,通过偏心配注器形成足够的节流压差,调节注入压力,控制限制层注入量。分层分质注入工艺,其井下管柱采用单管偏心形式,通过分子量调节器或压力调节器,控制注入层段的分子量或注入量。同时,详细阐述了这3种分注工艺技术的工艺原理、技术参数、应用规模以及效果等。依据油田实际的注聚阶段,提出了合理的分注时机与原则,并制定了不同的测试周期。此外,针对不同的油层类型,指出了选择分注技术的原则。最后,根据大庆油田的实际情况,对聚合物驱分注工艺技术未来发展方向与攻关思路进行了探讨,认为小卡距聚合物分注技术与聚合物驱分注井高效测调技术应是重点攻关方向。

关键词:聚合物驱;同心分注技术;偏心分注工艺;分层分质注入工艺;开发阶段;大庆油田

中图分类号:TE355.2

文献标识码:A

Overview of separate injection technique for polymer flooding in Daqing oilfield

Li Haicheng

(Research Institute of Production Engineering, PetroChina Daqing Oilfield Company, Daqing, Heilongjiang 163453, China)

Abstract: Three separate injection technologies for different stages of development are developed in Daqing oilfield, including concentric separate-injection, eccentric separate injection, and separate-layer molecular injection. The concentric separate-injection technology controls injection rate of each layer by using concentric injection allocator which regulates injection pressure. The eccentric separate injection technology controls injection rate of each layer by using eccentric injection allocator to generate enough differential choke pressure to regulate injection pressure. The separate-layer molecular injection weight technology controls injection rate of each layer by using molecular weight regulator or pressure regulator chosen according to reservoir property. This paper described in-detail their process principles, technical parameters, application scale and their effects et al. According to the actual stages of polymer injection in the oil field, this paper presents the rational timing and principles of separate injection as well as the corresponding test cycles. In addition, the principles for selection of separate injection technologies are also proposed according to the types of pay zones. Short clamping distance of the polymer injection technology and efficient measurement technology of separate injection wells in the polymer flood oilfield are the key research direction in Daqing oilfield.

Key words: polymer flooding, concentric separate-injection technology, eccentric separate-injection technology, separate-layer molecular weight injection technology, development stage, Daqing oilfield

大庆油田为陆相沉积的大型砂体油田,属于 非均质多油层砂岩油藏,水驱、聚驱开采都需要采

收稿日期:2011-10-10;修订日期:2012-02-26。

作者简介:李海成(1979—),男,工程师,采油工程。

基金项目:中国石油科学研究重大开发项目(2008E-1216)。

取分层注入手段来缓解层间矛盾,以提高整体开发效果。大庆油田聚合物驱技术始于20世纪70年代初,于20世纪90年代中期开始工业化推广应用,目前已成为世界上应用聚合物驱油规模最大的油田^[1-3]。

1 聚合物驱分注工艺

近年来,随着聚合物驱油技术的工业化推广应用,聚合物驱分注工艺技术发展迅速,技术水平不断提高,较好地改善了聚驱效果。根据大庆油田不同阶段、不同驱替对象开发的需要,形成了以下几种成熟配套的聚合物驱分注工艺技术^[4-5]。

1.1 聚合物驱同心分注工艺

1.1.1 工艺原理

聚合物同心分注技术地面采用单泵单管供液,井下管柱采用单管同心分注形式。用封隔器把各层段封隔开后,每一层段对应一级同心配注器。注聚过程中,聚合物溶液流过同心配注器时,可形成足够的节流压差。在地面同一注聚压力下,通过对分层注入压力的调节,控制各个层段的注入量,从而达到分层配注目的(图1)^[6-8]。

1.1.2 配注工具

同心配注器由井下工作筒和配注芯组成。配注芯坐入井下工作筒后与其内表面形成环形空间过流通道。

1.1.3 技术参数

配注器可控制注入量20~150 m³/d,最大控制压差3.0 MPa,聚合物溶液的粘损率小于4.0%。

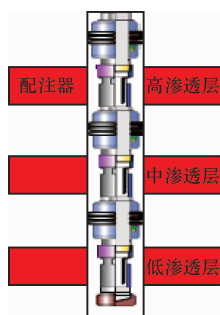


图1 聚合物同心分注工艺

Fig. 1 Concentric separate injection of polymer

1.1.4 应用情况与效果

聚合物驱同心分注工艺在大庆油田应用1 008口井,大港油田、胜利油田、吉林油田应用36口井。现场测试资料表明,分层后吸入层数比例由54.0%上升到63.8%,吸入厚度比例由75.6%上升到85.9%(图2)。

统计11口分注井剖面数据,11口井共射开57个小层,高渗透油层8个(渗透率大于 $1\,000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$),中渗透油层11个(渗透率 $500 \times 10^{-3} \sim 1\,000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$),低渗透油层38个(渗透率小于 $500 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$)。按渗透率由高到低分别统计各层吸水情况,分注前吸水层数分别为7,10和24个,相对吸入比例依次为36.7%,22.0%和41.3%,经分层调整后虽然吸水层数、吸入厚度减少,但是吸入剖面得到改善,高渗透层相对吸水比例下降到16.9%,降低19.8%,低渗透层相对吸水比例上升到56.7%,增加15.47%(图3)。

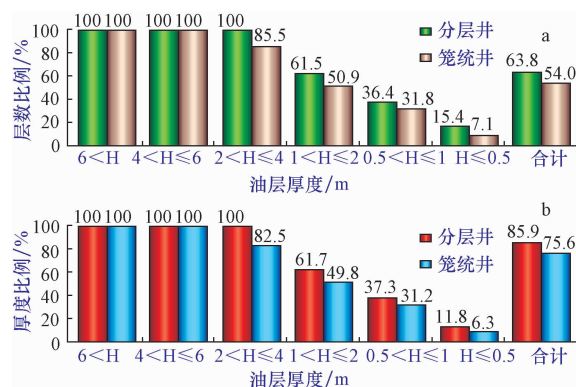


图2 分注后吸水层数比例及厚度比例增加值

Fig. 2 Increase of water in-take layer ration and thickness after separation injection

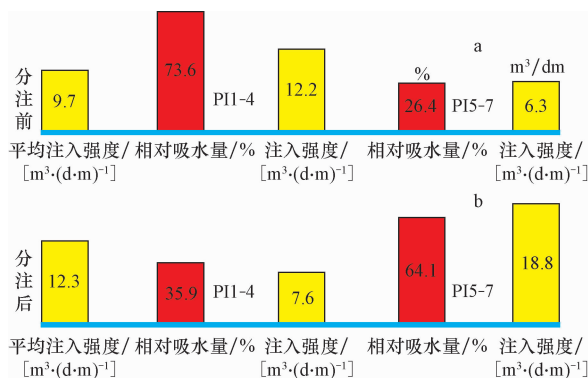


图3 11口分注井分注效果

Fig. 3 Effect of 11 separation injection wells

1.2 聚合物驱偏心分注工艺

1.2.1 工艺原理

地面采用单泵单管供液,井下管柱采用单管偏心分注形式。用封隔器把各层段封隔开,每一层段对应一级偏心配注器(图4)。注聚过程中,聚合物溶液流过偏心配注器时可形成足够的节流压差,在地面同一注聚压力下,通过对分层注入压力的调节,控制各个层段的注入量,从而达到分层配注的目的^[9-10]。

1.2.2 工艺参数

单层控制注入量范围 $10 \sim 50 \text{ m}^3/\text{d}$,最大控制压差 3.0 MPa ,对聚合物剪切降解率小于 15% 。

1.2.3 应用情况与效果

该技术在大庆油田应用了 123 口井。统计其中 3 口分注井与笼统注聚时对比,分注后吸水层段数比笼统注入时增多,吸水厚度增大。3 口井射开小层数 102 个,吸水层数比例由 23.5% 增加到 43.1% 。射开砂岩厚度 112.2 m ,砂岩吸水厚度比例由 34.0% 增加到 58.8% 。射开有效厚度 44.3 m ,有效厚度吸水比例由 49.4% 增加到 65.5% 。对吸水的 44 个层统计表明,表内层占总吸水砂岩厚度 83.3% ,吸水层数占 77.3% 。试验区目前提高采收率 3.36% ,其中聚驱效果较好的两口中心井提高采收率 $4.39\% \sim 5.08\%$ 。

1.3 聚合物驱分层分质注入工艺

层间渗透率级差较大情况下,低渗透率油层

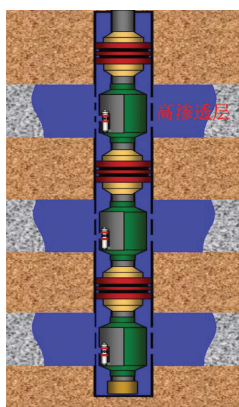


图4 聚合物偏心分注工艺

Fig. 4 Polymer eccentric separate injection technology

的渗透率过低,会造成聚合物堵塞或注不进低渗透率油层,影响聚合物驱效果。

室内研究表明,分质注入比分层注入可多提高采收率 $1.7\% \sim 3.2\%$ 。因此在渗透率级差 ≥ 2.5 时,需要进行分层注入,而当渗透率级差 ≥ 5 时,需要考虑聚合物分质分压注入,即对分层分子量和注入量都进行控制。

1.3.1 工艺原理

聚合物分层分质注入技术地面采用单泵单管供液,井下管柱采用单管偏心形式(图5)。根据层段性质选用分子量调节器或压力调节器。对应高渗透层注入高分子量聚合物,同时通过压力调节器来降低注入压力,限制注入量;对应低渗透油层通过分子量调节器来降低聚合物分子量,增加动用程度^[11-13]。

1.3.2 技术参数

分子量调节器在 $50 \text{ m}^3/\text{d}$ 流量范围内分子量调节范围可达到 $20\% \sim 50\%$,最大节流压差 1.5 MPa 。

压力调节器在 $70 \text{ m}^3/\text{d}$ 流量范围内,最大节流压差可达到 3.5 MPa ,对聚合物溶液粘损率小于 8% 。

1.3.3 应用情况与效果

聚合物分层分质技术共现场应用近 800 口井。分层分质注入后,与正常分层注聚井对比,油层动用得到改善,层数比例由 68.2% 提高到 73.9% ,厚度比例由 73.9% 提高到 80.9% (图6)。

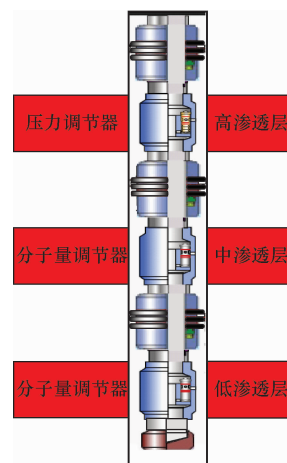


图5 聚合物分层分质注入工艺

Fig. 5 Polymer separate layer and molecular injection technology

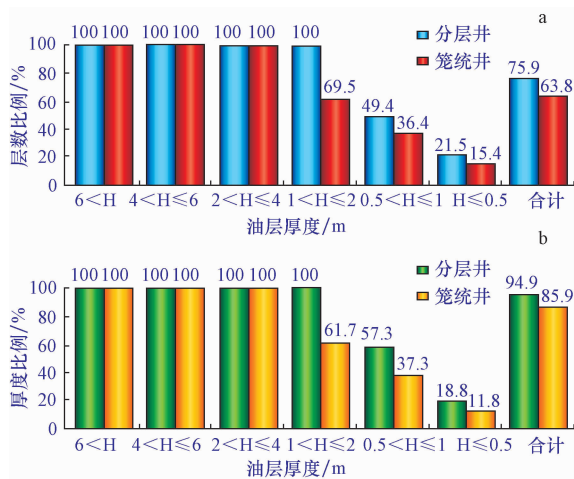


图6 分层分质注入后吸水层数比例及厚度比例增加值
Fig. 6 Increase of water in-take layer ration and thickness after polymer separate layer and molecular injection

北1-丁3-P24井对比分质注入前后脉冲中子氧活化测试资料可以看出,分质注聚后,实现了分层分子量及流量的双重控制,高渗透层吸入量得到限制,低渗透层动用程度明显提高(图7)。

1.4 不同类型油层选择分注技术原则

数值模拟研究表明^[14-15],层间渗透率级差越

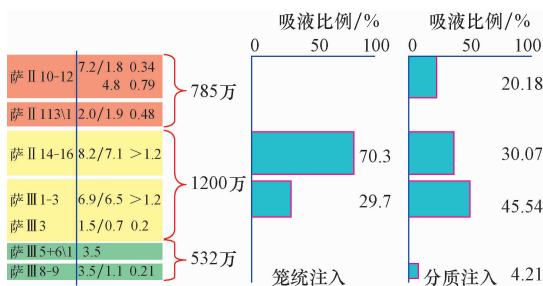


图7 分质注入井剖面动用情况

Fig. 7 Usage of profile of polymer separate molecular injection

表1 大庆油田聚合物分层注入管柱适应性分析

Table 1 Applicability analysis of pipe for polymer separate injection technology

技术名称	技术特点	适应范围
同心分注工艺	1. 对聚合物溶液的粘损率低 2. 管柱适应性强,可实现一趟管柱满足从空白水驱、聚驱到后续水驱的分注要求 3. 不改变地面设备、管网,一次性投入小	适应于主力油层的2~3层分注
偏心分注工艺	在偏心配水器基础上把原偏心堵塞器水嘴部位改为环型降压槽结构,减缓了聚合物在压降过程中的流速	适应于二、三类油层的多层分注
分层分质注入工艺	1. 实现分层分子量及配注量的双重控制:高渗透层注入高分子量聚合物;低渗透层注入低分子量聚合物;在不降低高渗透层聚驱效果的同时,提高低渗透层动用程度 2. 投捞、调配简便 3. 管柱适应性强,可实现一趟管柱满足从空白水驱、聚驱到后续水驱的分注要求	1. 可满足分质分压注入的要求 2. 适应于二、三类油层的多层分注

大,笼统注聚合物的开采效果越差。随着渗透率级差的增大,聚合物驱含水下降幅度降低,最终采收率降低。在薄差层厚度比例为50%时,当渗透率级差由2增加到5时,含水最大下降幅度减少7.08%,而相应的最终采收率下降6.67%。

数值模拟计算还表明,层间渗透率级差较大时,分层注入聚合物效果好于笼统注入方式。分层注聚较笼统注聚最终采收率有不同程度的提高。在层间渗透率级差为2.5时,低渗透率油层厚度占29%时,分层注聚较笼统注聚提高采收率0.23%;在高、低渗透率油层厚度各占50%,分层注入聚合物较笼统注入聚合物提高采收率2%左右。

层间渗透率级差对聚合物驱效果影响较大,在渗透率级差大于2.5时,采收率下降速度加快,但另一方面,聚合物相对分子量与油层渗透率的匹配关系研究表明,当一套层系注入一种聚合物相对分子量时,该层系的层间渗透率级差就不能太大。如果层间渗透率级差较大,低渗透率油层的渗透率太低,就会造成聚合物堵塞或注不进低渗透率油层,从而影响聚合物驱效果。因此认为在厚度比例较大的情况下,渗透率级差 ≥ 2.5 时,需要进行分层注入,而当渗透率级差 ≥ 5 时,需要考虑聚合物分质分压注入。

综上所述,一类油层($70 \text{ m}^3/\text{d}$ 以上,渗透率级差 ≥ 2.5)应采用同心分注技术;二、三类油层(小于 $70 \text{ m}^3/\text{d}$,渗透率级差 ≤ 5)采用偏心分层注入技术;二、三类油层(小于 $70 \text{ m}^3/\text{d}$,渗透率级差 ≥ 5)采用分层分质注入技术。

大庆油田形成的几种成熟配套的聚合物驱分注工艺技术有各自的技术特点(表1),分层分质注入技术可作为聚合物驱分层的发展方向及可规模化推广应用的分注技术。

2 分注时机与原则

2.1 分注时机

二、三类油层在注聚 $200 \text{ mg/L} \cdot \text{PV}$ 时实施分注,即见效初期(聚驱全过程总用量是 $640 \text{ mg/L} \cdot \text{PV}$ 左右);

一类油层渗透率级差小于2的井,在剖面反转后(注聚一年半后的见效初期)进行分注,对于层间渗透率级差大于2的井,应在注聚剖面拐点(10~18个月见效初期)后分注。

2.2 分注原则

对于处于见效期的注入井,应对低渗层增注,对高渗层控制注入。

3 测试周期调整

聚驱的测试周期应依据注聚的不同阶段,制定不同的测试周期(以断西注聚区块为例)。

注聚初期:压力上升快(月均 0.31 MPa),每2个月测试一次。

注聚中期:即见效高峰期,压力上升缓慢(月均 0.13 MPa),3个月测试一次。

注聚后期:压力稳定(月均 0.013 MPa),6个月测试一次。

4 聚合驱分注技术发展思路

4.1 开展小卡距聚合物分注技术研究

聚驱驱替对象转向二、三类油层后,聚合物驱注入井的平均分注层段数将在2.5层/井的基础上进一步加密。分注层段加密后,必然会遇到小卡距分层的问题,现有的偏心分注技术卡距最小为7~8 m,无法实现小卡距分注。

通过聚合物驱小卡距多层分注管柱及配套测试工艺的研究,将分注管柱最小卡距降低到3.0 m,实现聚合物的细分注入。

4.2 开展聚合物驱分注井高效测调技术研究

聚合物驱分注井在调整分层注入量过程中,需试探性的投捞堵塞器,反复投捞堵塞器-更换节

流元件-流量测试,存在测调周期长、效率低的问题。据不完全统计,分层注聚井单井平均测试调配时间为5天左右。

通过对可调堵塞器、电动测调仪及配套测调工艺的研究,实现聚合物驱注入井各层段注入量的实时测量、调节,为加密测调周期做技术支持。

5 结论

1) 对比分析了3种分注工艺技术的特点及适应范围,分层分质注入技术可作为聚合物驱分层的发展方向及可规模化推广应用的分注技术。

2) 聚合物驱分注井高效测调技术实现注入井各层段注入量的实时测量、调节,提高测调效率,是以后重点攻关目标。

3) 应该统一聚合物驱分注工具及技术标准,界定不同分注工艺的使用范围、使用条件。

参 考 文 献

- [1] 王文明. 测井参数量化技术在榆树林油田葡萄花储层物性解释中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(2): 230-235.
Wang Wenming. Application of log parameter quantification technology to interpretation of the physical properties of the Putaohua reservoir in Yushulin oilfield[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(2): 230-235.
- [2] 刘合, 袁涛, 李金玲. 聚合物驱井下管分注技术[J]. 石油学报, 1999, 20(6): 91-93.
Liu He, Yuan Tao, Li Jinling. Downhole single string Polymer separate injection technology[J]. Acta Petrolei Sinica, 1999, 20(6): 91-93.
- [3] 周建波, 张兴洲, 马志红, 等. 中国东北地区的构造格局与盆地演化[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(5): 530-538.
Zhou Jianbo, Zhang Xingzhou, Ma Zhihong, et al. Tectonic framework and basin evolution in Northeast China[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(5): 530-538.
- [4] 钱晓琳, 耿同谋, 刘琼, 等. 聚合物驱油技术的研究进展[J]. 精细石油化工进展, 2006, 7(2): 26-29.
Qian Xiaolin, Ge Tongmou, Liu Qiong, et al. Research progress in polymer flooding for enhanced oil recovery[J]. Advances in Fine Petrochemicals, 2006, 7(2): 26-29.
- [5] 杨子强, 谢朝阳, 梁福民, 等. 聚合物驱多层分注技术研究[J]. 大庆石油地质与开发, 2001, 20(2): 83-85.
Yang Ziqiang, Xie Zhaoyang, Liang Fumin, et al. Multilayer zonal injection technique of polymer flooding[J]. Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing, 2001, 20(2): 83-85.
- [6] 蒋丽, 马宏伟, 单晶, 等. 聚合物分注工艺技术[J]. 钻采工

- 艺,2005,(9):112-113.
- Jiang Li, Ma Hongwei, Shan Jing, et al. Polymer separate injection technology [J]. Drilling & Production Technology, 2005, (9):112-113.
- [7] 单晶, 马宏伟, 袁云, 等. 聚合物驱井下单管多层分注工艺 [J]. 石油钻采工艺, 2005, 27(3):35-37.
- Shan Jing, Ma Hongwei, Yuan Yun, et al. Study on downhole separate layer injection of polymer in multi-layer reservoirs [J]. Oil Drilling Production Technology, 2005, 27(3):35-37.
- [8] 李晶, 王耀东, 邱振伟, 等. 分层注聚管柱的研究与应用 [J]. 石油矿场机械, 2004, 33(增刊):100-102.
- Li Jing, Wang Yaodong, Qiu Zhenwei, et al. Research and application on the separated layer polymer 2 injection pipe string [J]. Oil Field Equipment, 2004, 33(supplement):100-102.
- [9] 陈章清, 李霖, 钱彧, 等. 聚合物分层注入相关问题探讨 [J]. 西南石油大学学报, 2007, 29(3):100-103.
- Chen Zhangqing, Li Lin, Qian Yu, et al. A probe on related problems of layering polymer injection [J]. Journal of Southwest Petroleum University, 2007, 29(3):100-103.
- [10] 王玲, 梁福民, 高瑞林, 等. 聚合物单管多层分质分压注入技术 [J]. 石油钻采工艺, 2007, 29(2):73-75.
- Wang Ling, Liang Fumin, Gao Runlin, et al. Polymer separate injection technology with separate mass and pressure [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2007, 29(2):73-75.
- [11] 裴晓含, 梁福民, 崔海清, 等. 聚合物驱偏心分质注入技术 [J]. 大庆石油地质与开发, 2006, 26(5):65-66, 70.
- Pei Xiaohan, Liang Fumin, Cui Haiqing, et al. Polymer flooding eccentric quality sorting injection technology [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development In Daqing, 2006, 26(5):65-66, 70.
- [12] 陈晓红, 段宏. 聚合物单管多层分注技术原理及应用 [J]. 大庆石油地质与开发, 2004, 23(4):53-55.
- Chen Xiaohong, Duan Hong. Principle and application of separate zone polymer flooding in multi zone reservoirs [J]. Petroleum Geology & Oilfield Development In Daqing, 2004, 23(4):53-55.
- [13] 赵健. 松辽盆地西斜坡泥岩地层压实规律 [J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(4):486-492.
- Zhao Jian. Laws of mudstone compaction on the west slope of the Songliao Basin [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(4):486-492.
- [14] 陈伟, 李鹏, 彭承文, 等. 大庆油田肇35区块葡萄花油层储层特征及控制因素 [J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(6):802-809.
- Chen Wei, Li Peng, Peng Chengwen, et al. Characteristics and controlling factors of pore features in the Putaohua oil reservoir in the B lock Zhao-35, Daqing oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(6):802-809.
- [15] 李军, 宋新民, 薛培华, 等. 扶余油田杨大城子组曲流河相油藏单砂体层序细分及成因 [J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(1):119-125.
- Li Jun, Song Xinmin, Xue Peihua, et al. Hierarchical subdivision and origin of single sandbody in the reservoirs of meandering river facies in the Yangdachengzi Formation of Fuyu oilfield [J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(1):119-125.

(编辑 董立)

(上接第276页)

- [26] 顾家裕, 方辉, 贾进华. 塔里木盆地库车坳陷白垩系辫状河三角洲砂体成岩作用和储层特征 [J]. 沉积学报, 2001, 19(4):517-523.
- Gu Jiayu, Fang Hui, Jia Jinhua. Diagenesis and reservoir characteristics of Cretaceous braided delta sandbody in Kuqa Depression, Tarim Basin [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19(4):517-523.
- [27] 何幼斌, 高振中. 海南岛福山凹陷古近系流沙港组沉积相 [J]. 古地理学报, 2006, 17(3):366-368.
- He Youbin, Gao Zhengzhong. Sedimentary facies of the Liu shagang Formation of Paleogene in Fushan Sag of Hainan island [J]. Journal of Palaeogeography, 2006, 17(3):366-368.

(编辑 张亚雄)

(上接第295页)

- [12] Munz I A, Wangen M, Girard J P, et al. Pressure-temperature-time-composition (p-t-t-x) constraints of multiple petroleum-charges in the Hild field, Norwegian North Sea [J]. Marine and Petroleum Geology, 2004, 21:1043-1060.
- [13] 高先志, 陈发景. 应用流体包裹体研究油气成藏期次——以柴达木盆地南八仙油田第三系储层为例 [J]. 地学前缘, 2000, 7(4):548-554.
- Gao Xianzhi, Chen Fajing. Application of fluid inclusions in oil and gas accumulation period—Nanbaxian Oilfield Qaidam Basin Tertiary reservoir for example [J]. Geoscience Frontiers, 2000, 7(4):548-554.
- [14] Kelly J, Parnell J, Chen H H. Application of fluid inclusions to studies of fractured sandstone reservoirs [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2000, 69-70:705-709.
- [15] Rossi C, Goldstein R H, Marfil R, et al. Diagenetic and oil migration history of the Kimmeridgian Ascla Formation, Maestrat Basin, Spain [J]. Marine and Petroleum Geology, 2001, 18(3):287-306.

(编辑 董立)