

东营凹陷高89地区二氧化碳驱油及封存 过程中断层纵向安全性评价体系

李志鹏

(中国石化胜利油田分公司 勘探开发研究院, 山东 东营 257015)

摘要: 东营凹陷高89地区断层按活动期次可划分为一期活动断层、同生活动断层和多期活动断层3类,其活动停止时间依次变晚,纵向安全性依次降低;断层延伸与盖层的配置关系可划分为嵌入式、下断式和断穿式3种模式,其纵向盖层的结构完整性依次变差,纵向安全性依次降低;断层断距与直覆盖层厚度的配置关系可划分为顶部完整型、盖层见面型和盖层相隔型3种类型,其直覆盖层的完整性依次变差,纵向安全性依次降低。依据断层活动期次、断层延伸与盖层的配置关系、断层断距与直覆盖层厚度的配置关系、盖层粘结段厚度和断层倾角,建立高89地区断层纵向安全性综合评价体系,对研究区二氧化碳驱油及封存过程中断层的纵向安全性进行了综合评价。研究结果表明,高89地区断层主要发育嵌入式和下断式模式,发育顶部完整型和盖层见面型2种类型,断层倾角为 40° ~ 65° ,综合分析认为高89地区断层纵向安全性较高。

关键词: 断层 安全性 二氧化碳驱油 二氧化碳封存 高89地区 东营凹陷

中图分类号: TE112.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-9603(2015)06-0041-06

Evaluation on vertical safety of fault during carbon dioxide flooding and sequestration in the Gao89 area of Dongying sag

Li Zhipeng

(Research Institute of Exploration and Development, Shengli Oilfield Company, SINOPEC,
Dongying City, Shandong Province, 257015, China)

Abstract: The faults were divided into single-stage active fault, growth fault and multi-stage active fault according to the fault activity period in the Gao89 area of Dongying sag. The fault activity of the three types ended in the order mentioned above, so their vertical safety becomes poorer correspondingly. According to the allocation relationship between the regional seal and the vertical extension of fault, the faults were divided into embedded type, lower broken type and broken through type, and the seal completeness of them decrease in the order, so the vertical safety becomes poorer correspondingly. According to the allocation relationship between the fault throw and the thickness of the direct seal, the faults were divided into intact top seal type, seal connected type and seal apart type, and the completeness of their direct seals decrease in the order, so their vertical safety become poorer correspondingly. The comprehensive evaluation system was established to evaluate carbon dioxide flooding and the vertical safety of the fault during carbon dioxide sequestration through analyzing fault activity periods, the allocation relationship between the regional seal and the vertical extension of fault, the allocation relationship between the fault throw and the thickness of the direct seal, the bonding section thickness of the direct seal and the fault dip in the Gao89 area. The results show that the allocation relationships between the regional seals and the vertical extension of faults are mostly embedded type and lower broken type. The allocation relationships between the fault throw and the thickness of the direct seal are the intact top seal type and the seal connected type without the seal apart type. The fault dip is between 40° and 65° . According to the study result, the vertical safety of faults are high in the Gao89 area.

收稿日期: 2015-09-25。

作者简介: 李志鹏(1983—), 男, 山东临沂人, 工程师, 博士, 从事石油勘探与油藏描述方面的研究。联系电话: 13906479952, E-mail: li-zhipeng20020015@126.com。

基金项目: 国家科技支撑计划“大规模燃煤电厂烟气二氧化碳捕集、驱油及封存技术开发及应用”(2012BAC24B03)。

Key words: fault; safety; carbon dioxide flooding; carbon dioxide sequestration; Gao89 area; Dongying sag

二氧化碳驱油及封存作为一种新兴的二氧化碳利用及治理技术,将二氧化碳作为一种有效驱油剂不仅提高了油田的采收率,创造了经济效益,还实现了二氧化碳永久性埋藏,减轻了环境污染^[1-2]。但在二氧化碳驱油及封存过程中仍存在安全风险,其泄漏会影响油田正常生产及自然环境。二氧化碳驱油及封存项目的安全实施主要取决于油气藏的地质封存条件,即油气藏中断层和盖层的封堵能力。断层封堵性一直是油气藏地质研究的热点,已积累了大量油气藏形成与断层封堵性的相关理论和研究方法^[3]。目前断层封堵性研究存在3个特点:①针对断层侧向封堵性的研究方法较多,且系统,从不同角度反映了断层的侧向封堵能力^[4-10];②针对断层垂向封堵性虽已有一些研究方法,但缺乏系统性^[11-13];③注重断层封堵性对油气成藏影响的研究^[14-16],忽视其对油气开发过程的控制及影响。针对二氧化碳驱油及封存过程中断层的纵向安全性,笔者根据断层活动停止时间、断层延伸与盖层的配置关系、断层断距与直覆盖层厚度的配置关系、盖层粘结段厚度及断层倾角等,建立递进式的断层纵向安全性综合评价体系对东营凹陷高89地区断层的纵向安全性进行评价,以期为研究区二氧化碳驱油及封存项目的安全实施提供科学指导。

1 区域地质概况

高89地区位于东营凹陷正理庄油田北部,区域构造位于金家—正理庄—樊家鼻状构造带中部,其油层集中分布在沙四段上亚段纯下次亚段,属滨浅湖滩坝沉积。研究区断层发育,目前构造解释了26条平面上呈行列式展布的北东向断层(图1)。

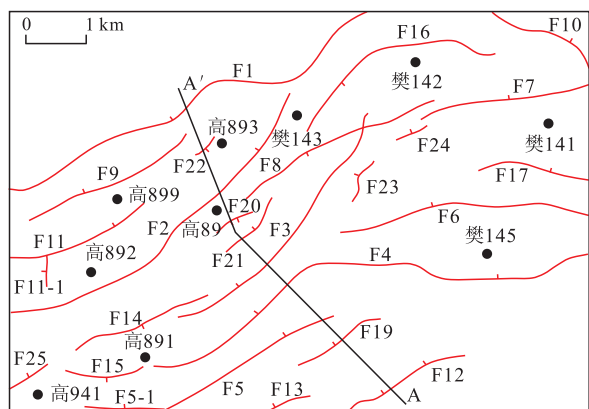


图1 高89地区断裂系统展布

Fig.1 Fault system in the Gao89 area

高89地区纵向上发育2套稳定的区域盖层,第1套是直接覆盖在油气藏之上的由沙四段上亚段纯上次亚段和沙三段下亚段组成的优质盖层,岩性以油泥岩、油页岩和灰色泥岩为主,泥质含量高,厚度大,为460~580 m,是整个东营凹陷的区域盖层和优质烃源岩层;因该套盖层直接覆盖在油气藏之上,故称其为直覆盖层。第2套区域盖层为沙二段上亚段与沙一段组成的优质盖层,岩性以灰色泥岩和油泥岩为主,泥质含量高,厚度较直覆盖层薄,约为200 m;因该套盖层位于油气藏之上1 000 m,故称其为上覆盖层。

2 断层纵向安全性评价因素

二氧化碳驱油及封存过程中存在潜在的安全风险,当二氧化碳注入压力或封存压力突破盖层或断层的封存压力时,会发生泄漏。一般盖层厚度越薄、断层越发育,二氧化碳驱油及封存的安全系数相对越低。高89地区盖层条件非常好,但断层大量发育,其潜在风险主要来自断层,二氧化碳注入及封存压力扰动可能会造成断层重新开启,进而影响二氧化碳驱油及封存项目的安全实施,故分析及评价高89地区断层纵向封堵能力是该项目实施的安全保障。断层在形成过程中受滑动及重力影响会造成地层错位,当盖层发生错断时,破坏了盖层的完整性,削弱了盖层的封堵能力,因此断层的纵向安全性不仅与断层自身因素(断层活动停止时间、断层倾角等)有关,还与断层与盖层的配置关系密不可分。针对东营凹陷高89地区的断层特征,重点研究了断层与盖层的配置关系。将反映断层规模特征的断层活动期次、断层延伸与盖层的配置关系作为一级评价因素,主要反映二氧化碳泄漏到地表的难易程度;将断层断距与直覆盖层厚度的配置关系作为二级评价因素,反映二氧化碳泄漏出油藏的难易程度;将反映断层自身封堵能力的盖层粘结段厚度、断层岩泥质含量及断层倾角等作为三级评价因素,综合建立了递进式的断层纵向安全性综合评价体系。

2.1 断层活动期次

断层活动停止后,受上覆地层压力和成岩作用的影响逐渐封闭,为油气成藏起遮挡作用。一般断层活动停止时间越早、上覆地层压力越大、成岩作用时间越长,断层的纵向封堵性越好。通过对高89

地区断层发育史的研究,按照活动期次可将其断层划分为3类:①一期活动断层,主要形成于沙三段下亚段沉积早—中期的盆地拉张断陷期,形成后不久即停止活动;该类断层断距较小,不超过50 m,纵向延伸距离短,未切穿沙三段下亚段地层顶面。高89地区主要发育12条一期活动断层。②同生活动断层,主要形成于沙三段下亚段沉积初期的断陷期,其形成后持续活动,在沙三段中亚段—沙二段沉积时期陆续停止活动;该类断层具有同生性,活动持续时间长,断距大于50 m。高89地区发育12条同生活动断层。③多期活动断层,为老断层的继承性断层,在东营组沉积之前具有明显的同生性,属同沉积断层,主要生长期为沙三段下亚段沉积时期的盆地断陷期;东营组沉积后断层同生活动停止,进入停滞期,在馆陶组沉积末期的构造运动中该类断层再次发生活动,断穿馆陶组。高89地区2条规模较大的断层F1和F2属于多期活动断层(图2)。研

究区断层纵向封堵性最好的是一期活动断层,其次是同生活动断层,最差的是多期活动断层。

2.2 断层与盖层配置关系

断层的存在可以破坏多套区域盖层空间结构的完整性,影响区域盖层体系(纵向多套区域盖层空间组合结构)的纵向封堵能力。断层对盖层体系的破坏可分为2个层次,第1个层次是断层对整个区域盖层体系的破坏,其破坏程度可以通过断层延伸与区域盖层的配置关系来反映。第2个层次是断层对直覆盖层的破坏,其破坏程度可以通过断层断距与直覆盖层厚度的配置关系来反映。

2.2.1 断层延伸与区域盖层体系的配置关系

根据高89地区断层纵向延伸高度与区域盖层发育层位,可以将断层延伸与区域盖层体系的配置关系划分为嵌入式、下断式和断穿式3种模式(图3)。嵌入式是指断层延伸短,未断穿直覆盖层顶面,直覆盖层上部残留部分完整段,依然起封盖作用,使二氧化碳难以通过断层突破直覆盖层,更难以突破完整的上覆盖层,因此,研究区二氧化碳不可能通过该模式断层泄漏到地表,断距小于50 m的小规模断层主要发育该模式。下断式是指断层切穿直覆盖层,但未断穿上覆盖层,理论上二氧化碳可以通过断层突破直覆盖层发生泄漏,但受完整上覆盖层的遮挡仍难以泄漏到沙一段以上的地层,更难以泄漏到地表,研究区断距大于50 m的较大规模断层主要发育该模式。断穿式是指断层断穿直覆盖层和上覆盖层,理论上二氧化碳可以通过断层泄漏到馆陶组,2条大规模断层F1和F2主要发育该模式。分析认为,自嵌入式到下断式再到断穿式,断层对盖层体系的破坏程度依次升高,纵向封堵能力依次下降,危害地下地层水及自然环境的可能性增加。通过以上分析,发现3种模式对整个区域盖层体系破坏程度不一,但都不同程度地破坏了直覆盖层的完整性,影响了直覆盖层的封堵能力,因此就有必要进一步研究3种模式条件下二氧化碳通过断层突破直覆盖层泄漏到油气藏以上层位后,进而影响其他生产层位的可能性,为此进一步研究了断层断距与直覆盖层厚度的配置关系。

2.2.2 断层断距与直覆盖层厚度的配置关系

断层断距与直覆盖层厚度的配置关系可划分为顶部完整型、盖层见面型和盖层相隔型3种类型。顶部完整型与嵌入式的断层延伸与盖层配置关系相对应,直覆盖层的顶部没有遭受断层破坏,存在一定厚度的直覆盖层完整段,封堵能力强,二氧化碳难以通过断层泄漏而影响油气藏以上层位

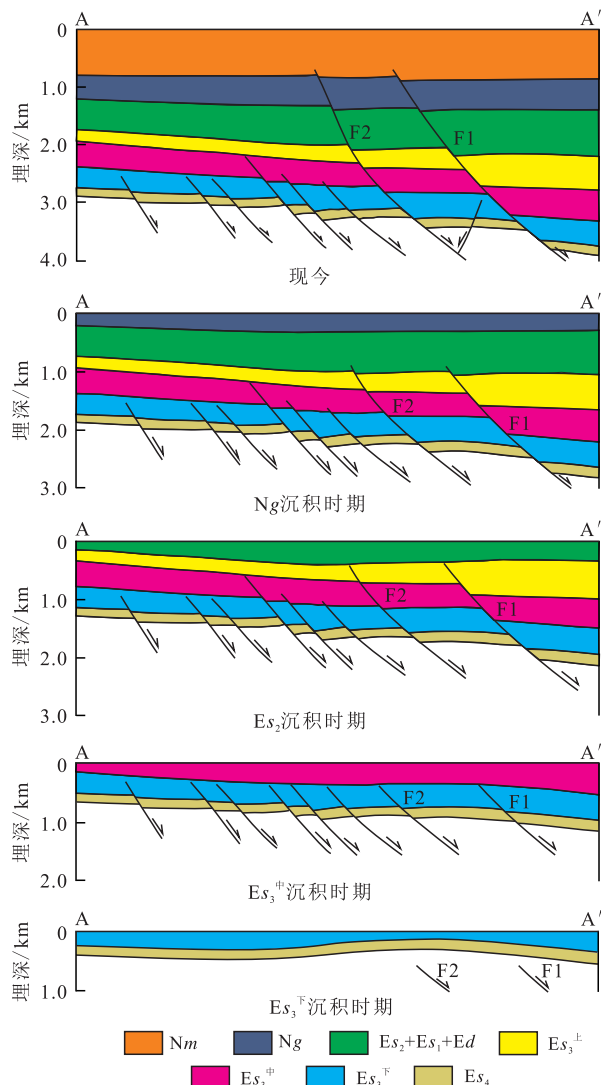


图2 高89地区断裂系统演化

Fig.2 Evolution of the fault system in the Gao89 area

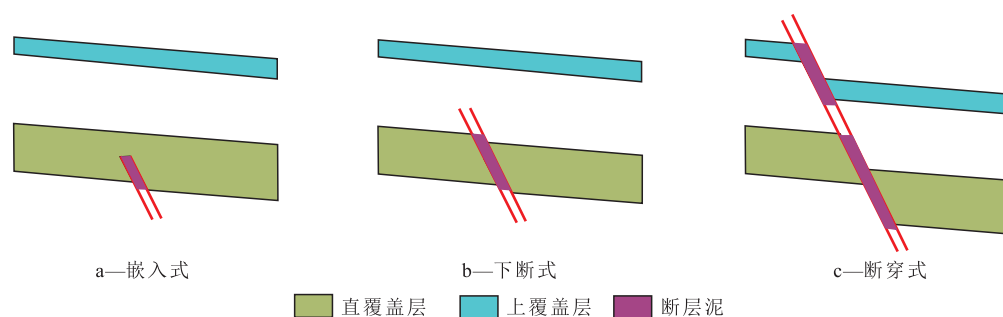


图3 高89地区断层延伸与盖层配置关系

Fig.3 Allocation relationships between the vertical extension of the faults and the regional seals in the Gao89 area

的生产,研究区断距小于50 m的小规模断层主要发育该类型。盖层见面型是指断层断穿直覆盖层,但断距小于直覆盖层厚度,该类型断层两盘的直覆盖层存在对接段,断层停止活动后,对接段粘土矿物在地层水、油气藏温度和上覆地层压力的作用下容易形成盖层粘结点,具有良好的纵向封堵能力;一般断层倾角越小,断面的正应力越大,粘结层的厚度越大,粘结层的压实作用越强,纵向封堵能力越强,该类型断层由于盖层粘结点的存在,二氧化碳通过断层泄漏而影响油气藏以上层位生产的可能性较小。盖层相隔型是指断层断穿直覆盖层且断距大于直覆盖层的厚度,断层两盘直覆盖层不对接,断层的纵向封堵性弱,其封堵性主要取决于断层倾角和断裂带中断层岩的性质,当断层倾角小且断层岩的泥质含量高、厚度大时,断层纵向封堵能力相对要强,该类型断层由于缺失直覆盖层粘结点,二氧化碳较容易通过断层泄漏出油藏,影响油藏以上生产层位的可能性较大。在高89地区16条断穿直覆盖层的断层中规模最大的是F1断层,该断

层垂直断距最大达350 m,而油气藏直覆盖层的厚度为460~580 m,因此,高89地区发育下断式和断穿式断层延伸与盖层配置关系的断层主要发育盖层见面型断层断距与直覆盖层厚度的配置关系,且至少存在110 m的盖层粘结点,纵向封堵能力强,二氧化碳通过断层突破直覆盖层泄漏出油气藏的可能性较小。

3 断层纵向安全性评价体系

根据高89地区断层特征及断层与盖层配置关系,结合断层活动期次、断层延伸与盖层配置关系、断层断距与直覆盖层厚度配置关系、盖层粘结点厚度、断层岩泥质含量和断层倾角,建立了高89地区断层纵向安全性综合评价体系(表1)。该评价体系为递进式评价体系,自断层活动期次到盖层粘结点厚度、断层倾角,评价因素级别依次降低,断层纵向安全性受各级评价因素的综合控制。当断层延伸与盖层配置关系为嵌入式时,断层未断穿直覆盖

表1 高89地区断层纵向安全性综合评价体系

Table1 Comprehensive evaluation system for the vertical safety of faults in the Gao89 area

一级评价因素		二级评价因素		三级评价因素		级别	综合评价
断层活 动期次	断层延伸与 盖层配置关系	断层断距与直覆 盖层厚度配置关系	盖层粘结 段厚度/m	断层岩泥 质含量,%	断层倾 角/(°)		
一期	嵌入式	顶部完整型				很高	F5-1, F11-1, F15, F16, F17, F19, F20, F22, F23, F24
				> 100	≤45	高	F3, F4, F7—F14, F21, F25
			盖层见面型	50 ~100	45~75	较高	F5, F6
同生	下断式		0 ~50	> 75		中等	
		盖层相隔型		≥50 < 50	≤45 > 45	较低 低	
			> 200	≤45	较高	F2	
多期	断穿式	盖层见面型	100~200	45~75		中等	F1
			0~100	> 75		较低	
		盖层相隔型		≥50 < 50	≤45 > 45	低 很低	

层,为顶部完整型的断层断距与直覆盖层厚度配置关系,断层以上存在部分完整直覆盖层,断层的纵向封堵能力强,安全性高,断层纵向安全性与盖层粘结段和断层倾角关系不大。当断层延伸与盖层配置关系为下断式和断穿式时,则需要考虑断层断距与直覆盖层厚度的配置关系,如果两者配置关系为盖层见面型,断层纵向安全性与盖层粘结段的厚度和断层倾角密切相关,盖层粘结段越厚、断层倾角越小,断层纵向安全性越高。如果两者的配置关系为盖层相隔型,由于不存在盖层粘结段,断层的纵向封堵性受断层岩泥质含量及断层倾角的双重控制,断层岩泥质含量越高、断层倾角越小,断层纵向安全性相对越高,总体上该类型配置关系的断层纵向封堵能力较弱,一般为油气藏中规模较大的断层,纵向延伸长,对上覆盖层的破坏严重,在二氧化碳注入过程中受压力扰动作用容易被激活,所以该类断层纵向安全性低,二氧化碳容易通过断层泄漏,造成危害。

高89地区62%的断层断距小于50 m,该类断层活动时间始于沙三段下亚段断陷初期,不久停止活动。由于断层停止活动时间早,断层纵向延伸距离短,主要形成嵌入式的断层延伸与盖层的配置关系和顶部完整型的断层断距与直覆盖层厚度的配置关系,纵向封堵能力强,安全性很高。断距大于50 m的较大规模断层大部分在沙二段沉积之前陆续停止活动,属下断式的断层延伸与盖层的配置关系和盖层见面型的断层断距与直覆盖层厚度的配置关系,盖层粘结段厚度为230~430 m,断层倾角约为40°~60°,断层纵向封堵能力强,安全性较高。高89地区F1和F2这2条断层延伸距离长,为断穿式的断层延伸与盖层的配置关系;其中F2断层最大垂直断距为150 m,倾角约为45°,F1断层最大垂直断距为350 m,倾角也在45°左右,都属盖层见面型的断层断距与直覆盖层厚度配置关系,但2条断层的盖层粘结段厚度差别较大,F1断层盖层粘结段厚度最小为110 m,F2断层最小盖层粘结段厚度为364 m。根据断层纵向安全性评价标准,F2断层纵向安全性较高,F1断层纵向安全性中等。

在控制注入井与断层的距离和注入井井底流压的条件下,高89地区二氧化碳通过断层泄漏出油藏的可能性较小。考虑安全性,须控制注入井与F1和F2这2条断层的距离,使其在一个井距以上。同时要控制盖层见面型断层两侧的井别,采油井和注入井不能同时部署于断层的两侧,断层两侧均为注入井的情况也要尽量避免,以免断层两边压力不平

衡,断层重新开启,再次造成安全隐患。

4 结论

根据断层活动期次将东营凹陷高89地区的断层划分为一期活动断层、同生活动断层和多期活动断层3类。一期活动断层形成于沙三段下亚段沉积时期的断陷期;同生活动断层主要生长期为沙三段下亚段沉积初期的断陷期,在沙三段中亚段到沙二段沉积时期陆续停止活动;多期活动断层在东营组沉积时期同生活动结束,在馆陶组沉积末期再次继承性活动。研究区断层延伸与盖层的配置关系可划分为嵌入式、下断式和断穿式3种模式,以嵌入式和下断式为主,断穿式主要是规模大的F1和F2这2条断层,其纵向安全性由嵌入式—下断式—断穿式依次降低。断层断距与直覆盖层厚度的配置关系可划分为顶部完整型、盖层见面型和盖层相隔型,其安全性依次降低,其中盖层见面型的纵向安全性主要受盖层粘结段厚度和断层倾角的控制,盖层粘结段越厚,断层倾角越小,断层的纵向安全性越高,高89地区只发育顶部完整型和盖层见面型2种类型。在此基础上建立了高89地区递进式的断层纵向安全性综合评价体系,研究区断层纵向安全性以很高、高和较高为主,在控制注入井与断层的距离和注入井井底流压的条件下,高89地区二氧化碳通过断层泄漏的可能性较小。

参考文献:

- [1] 张烈辉,杨军,熊钰,等.不同注采方式下CO₂埋存与驱油效果优化评价[J].天然气工业,2008,28(8):102-104.
Zhang Liehui, Yang Jun, Xiong Yu, et al. Optimizing evaluation of CO₂ storage and flooding effect under different injection-production modes[J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(8): 102-104.
- [2] 沈平平,廖新维,刘庆杰.二氧化碳在油藏中埋存量计算方法[J].石油勘探与开发,2009,36(2):216-220.
Shen Pingping, Liao Xinwei, Liu Qingjie. Methodology for estimation of CO₂ storage capacity in reservoirs[J]. Petroleum Exploration and Development, 2009, 36(2): 216-220.
- [3] 单亦先,劳海港.基于物理实验模拟研究地层组成对断层结构的影响[J].油气地质与采收率,2015,22(2):24-27.
Shan Yixian, Lao Haigang. A research on the impact of stratigraphic composition on fault structure based on physical simulation experiment[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(2): 24-27.
- [4] 王大华,陈世悦.沾化凹陷多元供烃成藏单元研究及勘探意义[J].油气地质与采收率,2015,22(5):28-33.
Wang Dahua, Chen Shiyue. Research on multi-source-supply reservoir-forming units in Zhanhua sag and its exploration signifi-

- cance[J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2015, 22(5):28-33.
- [5] 康晏,邹灵,刘志勇,等.青城凸起中生界内幕断层及油气运聚特征[J].油气地质与采收率,2014,21(6):45-48.
Kang Yan, Zou Ling, Liu Zhiyong, et al. Faulted structure and its effect on oil-gas reservoir forming in Qingcheng arch [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(6): 45-48.
- [6] 胡慧婷,王龙,刘岩,等.超压泥岩盖层中断层垂向封闭能力研究方法及其应用[J].石油与天然气地质,2014,35(3):359-364.
Hu Huiting, Wang Long, Liu Yan, et al. Research method of fault vertical sealing capacity in overpressure mudstone caprock and its application [J]. Oil & Gas Geology, 2014, 35(3): 359-364.
- [7] 徐海霞,赵万优,王长生,等.断层封闭性演化史研究方法及应用[J].断块油气田,2008,15(3):40-42.
Xu Haixia, Zhao Wanyou, Wang Changsheng, et al. A method for study on evolution history of fault sealing property and its application [J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2008, 15(3): 40-42.
- [8] 赵密福,李阳,李东旭.泥岩涂抹定量研究[J].石油学报,2005,26(1):60-64.
Zhao Mifu, Li Yang, Li Dongxu. Quantitative study of shale smear [J]. Acta Petrolei Sinica, 2005, 26(1): 60-64.
- [9] 张立宽,罗晓容,廖前进,等.断层连通概率法定量评价断层的启闭性[J].石油与天然气地质,2007,28(2):181-189.
Zhang Likuan, Luo Xiaorong, Liao Qianjin, et al. Quantitative evaluation of fault sealing property with fault connectivity probabilistic method [J]. Oil & Gas Geology, 2007, 28(2): 181-189.
- [10] 杨满平,王正茂.微小断层野外地质调查及作用初探[J].特种油气藏,2013,20(2):29-33.
Yang Manping, Wang Zhengmao. Outdoor geology investigation on micro-fault and its function [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2013, 20(2): 29-33.
- [11] 王珂,戴俊生.地应力与断层封闭性之间的定量关系[J].石油学报,2012,33(1):74-80.
Wang Ke, Dai Junsheng. A quantitative relationship between the crustal stress and fault sealing ability [J]. Acta Petrolei Sinica, 2012, 33(1): 74-80.
- [12] 吕延防,沙子萱,付晓飞,等.断层垂向封闭性定量评价方法及其应用[J].石油学报,2007,28(5):34-38.
Lü Yanfang, Sha Zixuan, Fu Xiaofei, et al. Quantitative evaluation method for fault vertical sealing ability and its application [J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(5): 34-38.
- [13] 付广,李玉喜,张云峰,等.断层垂向封闭油气性研究方法及其应用[J].天然气工业,1997,17(6):22-25.
Fu Guang, Li Yuxi, Zhang Yunfeng, et al. Methods of research on fault-vertically-sealed oil & gas and its applications [J]. Natural Gas Industry, 1997, 17(6): 22-25.
- [14] 付晓飞,潘国强,贺向阳,等.大庆长垣南部黑帝庙浅层生物气的断层侧向封闭性[J].石油学报,2009,30(5):678-683.
Fu Xiaofei, Pan Guoqiang, He Xiangyang, et al. Lateral sealing of faults for shallow biogas in Heidimiao Formation of the southern Daqing placanticline [J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(5): 678-683.
- [15] 王勋杰.塔河油田志留系油气成藏特征研究[J].石油实验地质,2014,36(2):171-175.
Wang Xunjie. Reservoir characteristics of Silurian in Tabe Oil Field [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(2): 171-175.
- [16] 李旭兵,陈绵琨,刘安,等.雪峰山西侧埃迪卡拉系陡山沱组页岩气成藏体系评价[J].石油实验地质,2014,36(2):188-193.
Li Xubing, Chen Miankun, Liu An, et al. Evaluation of accumulation system for shale gas of Doushantuo Formation in western Xuefeng Mountain [J]. Petroleum Geology & Experiment, 2014, 36(2): 188-193.

编辑 单体珍

(上接第35页)

- [18] 罗家群.泌阳凹陷核桃园组未熟—低熟油地球化学特征及精细油源对比[J].地质科技情报,2008,27(5):75-86.
Luo Jiaqun. Geochemical characteristics and oil-source correlation of the immature to low-mature oil in the Biyang Depression [J]. Geological Science and Technology Information, 2008, 27(5): 75-86.
- [19] 刘建,虞显和,杨俊红,等.西藏伦坡拉盆地地热史模拟[J].江汉石油学院学报,2001,23(增刊):19-22.
Liu Jian, Yu Xianhe, Yang Junhong, et al. Geothermal history simulation in Lunpola basin (Tibet) [J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 2001, 23(supplement): 19-22.
- [20] 段传丽,陈践发.生物降解原油的地球化学特征及其意义[J].天然气地球科学,2007,18(2):278-283.
Duan Chuanli, Chen Jianfa. Geochemical characteristics of biodegraded crude oil and their significances [J]. Natural Gas Geoscience, 2007, 18(2): 278-283.
- [21] 范小军,潘磊,李凤,等.西藏伦坡拉盆地古近系油藏成藏机理及有利区带预测[J].石油与天然气地质,2015,36(3):362-369.
Fan Xiaojun, Pan Lei, Li Feng, et al. Hydrocarbon accumulation mechanism and play fairways of the Paleogene in Lunpola Basin, Tibet [J]. Oil & Gas Geology, 2015, 36(3): 362-369.
- [22] 郝雪峰,尹丽娟.陆相断陷盆地油气差异聚集模式探讨——成藏动力、输导、方式的关系[J].油气地质与采收率,2014,21(6):1-5.
Hao Xuefeng, Yin Lijuan. Discussion on hydrocarbon differential accumulation mode in continental rift basins—relationship of dynamics, conduit and pattern [J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2014, 21(6): 1-5.
- [23] 周伟建,施小荣,王贵文,等.红浅1井区砂砾岩稠油储层特征与主控因素[J].特种油气藏,2015,22(4):65-68.
Zhou Weijian, Shi Xiaorong, Wang Guiwen, et al. Features and major controlling factors of glutinite heavy oil reservoirs in the HQ-1 well block [J]. Special Oil & Gas Reservoirs, 2015, 22(4): 65-68.

编辑 单体珍