

文章编号:1673-5005(2012)03-0032-06

非烃源岩层系断层和砂体对油气运聚的控制作用

沈 朴¹, 张善文^{1,2}, 王永诗^{1,3}, 孙 超³, 王均杰⁴, 安天下³, 石砥石³

(1. 中国石油大学 地球科学与技术学院, 山东 青岛 266580; 2. 中国石化股份胜利油田分公司, 山东 东营 257000;
3. 中国石化股份胜利油田分公司地质科学研究院, 山东 东营 257015; 4. 中国石化勘探南方分公司, 四川 成都 610041)

摘要: 综合运用地震、测井、录井和分析化验等资料,对胜利油田滨海北部新近系断层和砂体对油气运聚的控制作用进行研究。结果表明:断层活动性控制油气分布的规模和层系,断层封闭能力控制油藏的最大含油高度,反向遮挡断层圈闭比顺向遮挡断层圈闭封闭能力强;砂地比小于 0.15 的砂层组不利于油气运聚,砂地比为 0.15~0.5 的砂组有利于油气聚集,大于 0.5 的砂层组有利于油气的输导;主干断层-主河道砂体型组合是最有利的油气运聚组合;“定区-定砂组-定点”的思路可以有效地指导非烃源岩层系河流相油气勘探。

关键词: 非烃源岩层系; 断层; 砂体; 油气运聚; 胜利油田; 新近系

中图分类号: TE 122.1

文献标志码: A

doi: 10.3969/j.issn.1673-5005.2012.03.006

Control of hydrocarbon migration and accumulation by fault and sand body in non-source rocks layers

SHEN Pu¹, ZHANG Shan-wen^{1,2}, WANG Yong-shi^{1,3}, SUN Chao³, WANG Jun-jie⁴, AN Tian-xia³, SHI Di-shi³

(1. School of Geosciences in China University of Petroleum, Qingdao 266580, China;

2. Shengli Oilfield Limited Company, SINOPEC, Dongying 257000, China;

3. Geological Scientific Research Institute, Shengli Oilfield, SINOPEC, Dongying 257015, China;

4. SINOPEC Exploration Southern Company, Chengdu 610041, China)

Abstract: Based on the data of seismic, well logging, mud logging and analysis assay, the control of hydrocarbon migration and accumulation by fault and sand body in the Neogene of northern coastal area, Shengli Oilfield was analyzed. The results show that fault activity controls the size and layers of oil and gas distribution. Fault sealing controls the maximum oil height of reservoir, and the sealing ability of fault-screened trap is better than that of co-dip fault-screened trap. The sand groups whose sand to formation thickness ratios are less than 0.15 are not beneficial to hydrocarbon migration and accumulation, the sand groups whose sand to formation thickness ratios are 0.15~0.5 are considered favorable to hydrocarbon accumulation and the sand groups whose sand to formation thickness ratios are greater than 0.5 are beneficial to hydrocarbon migration. The combination of trunk fault and main channel sand body is the most favorable combination for hydrocarbon migration and accumulation. The petroleum exploration in non-source rocks layers can be effectively guided by the exploration thinking way of "fix district-fix sand group-fix point".

Key words: non-source rocks layers; fault; sand body; hydrocarbon migration and accumulation; Shengli Oilfield; Neogene

断层和砂体是非烃源岩层系油气藏形成的主控因素^[1-3]。前人对断层和砂体的内部结构、输导机制、运移模拟等方面做了大量的研究^[4-9],但总体上偏重理论的宏观分析,在油气勘探中利用油田常规资料如地震和测井等,分析具体地区断层、砂体及其组合如

何控制油气运聚的研究以及对勘探部署有直接指导意义的总结和探讨较少。随着油气勘探的不断深入,要求对断层和砂体控制油气运聚的研究必须从盆地规模的大尺度宏观分析向区块规模的小尺度微观研究、从理论分析向具体方法总结发展。因此,笔者结

收稿日期:2011-09-22

基金项目:国家重大专项课题(2011ZX05006)

作者简介:沈朴(1984-),男(汉族),安徽六安人,博士研究生,研究方向为油气地质。

合胜利油田滨海北部新近系实例,对非烃源岩层系断层、砂体及其组合对油气运聚的控制作用进行研究。

1 研究区概况

胜利油田滨海北部地区位于渤海湾盆地中部极浅海-浅海区,北部和东部分别与渤中-沙南凹陷和桩东凹陷相连,西部和南部与埕北凹陷西南部的埕子口凸起相接,全区可分为老河口-飞雁滩地区、埕北断裂带西翼、埕岛潜山披覆构造带、埕北断裂带东翼和埕岛东斜坡等区块,包括埕岛、老河口、飞雁滩等油田(图1)。截至2011年底,发现了太古界、古

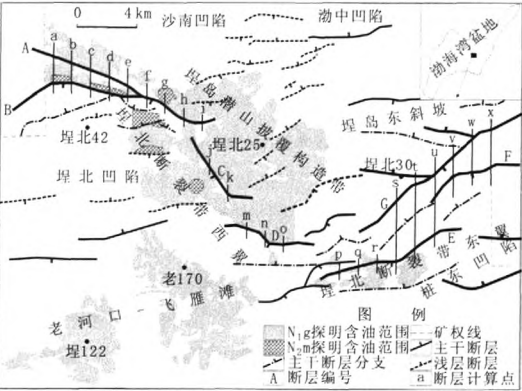


图1 滨海北部断裂及新近系油气分布
Fig.1 Distribution map of faults and Neogene hydrocarbon in northern coastal area

生界、中生界、古近系、新近系等多套含油气层系,探明地质储量约4.7亿t,其中新近系约3.7亿t。研究区新近系包括明化镇组(N_{2m})和馆陶组(N_{1g}),馆陶组又分为馆上段(N_{1g_1})和馆下段(N_{1g_2})两段,其中馆上段自上而下分为1~7砂组。研究区断层和砂体发育,构成了新近系油气运聚的基本地质条件。

2 断层和砂体的发育特征

滨海北部地区断层十分发育,新近系主要发育有近东西向、北西向和北东向3组断裂系统。根据断层的规模、切割层位和组合等,将研究区切割新近系的断层分为规模较大并直接与古近系有效烃源岩直接相连的主干断层、主干断层分支、主要发育于新近系和古近系上部的不直接与有效烃源岩以及主干断层相连的浅层断层3类,后两者又称为次级断层(图1)。

滨海北部地区新近系主要发育河流相砂体,其中馆下段-馆上段7砂组主要是辫状河沉积,馆上段6砂组-明化镇组主要是曲流河沉积。岩性主要以粉砂岩、细砂岩和含砾砂岩为主。以馆陶组为例,纵向上由深到浅砂岩含量降低;平面上砂体总体较为发育,埕岛潜山披覆构造带砂地比最高,埕北断裂带东翼砂地比最低,埕北断裂带西翼、埕岛东斜坡和老河口-飞雁滩地区砂地比居中。研究区新近系砂体物性变化大,但整体上属于高孔高渗型砂体(表1)。

表1 砂体物性和砂地比统计

Table 1 Physical properties of sandstone and the ratio of sand to formation thickness

系	组	段	砂组	物性		各区块砂地比				
				孔隙度 $\varphi/\%$	渗透率 $k/$ $10^{-3} \mu m^2$	老河口- 飞雁滩	埕北断 裂带西翼	埕岛潜山 披覆构造带	埕北断裂 带东翼	埕岛 东斜坡
新 近 系	N_{2m}			8.3~52 33.0(107)	15~9533 1674(45)					
			1+2			0.12	0.20	0.20	0.09	0.17
			3			0.16	0.15	0.19	0.15	0.12
	N_{1g_1}		4	3.3~44.2 33.9(1302)	0.1~14481 2468(662)	0.26	0.19	0.26	0.15	0.22
			5			0.31	0.34	0.36	0.26	0.32
			6			0.39	0.37	0.41	0.32	0.28
			7			0.80	0.69	0.81	0.78	0.81
	N_{1g_2}			20.2~35.6 28.9(187)	82~13837 3249(120)	0.67	0.77	0.75	0.60	0.76

注:孔隙度与渗透率数值为最小值-最大值
平均值(样本数)。

3 断层和砂体对油气运聚的控制作用

3.1 断层活动性控制油气分布的规模和层系

滨海北部地区新近系属于非烃源岩层系,本身不生烃,存在沟通古近系烃源岩和新近系储集砂体

的油源断层是新近系油气成藏的前提,断层的活动规模及期次与油气成藏期次的匹配关系决定了油气源的充足程度^[1,3,9]。断层活动速率法是描述断层活动性常用而有效的方法^[10]。研究区新近系主要是同沉积正断层,其断层活动速率为断层下降盘沉

积厚度与断层上升盘沉积厚度之差与沉积时间之比。该区新近系油气藏主要成藏期是明化镇期至现今^[11],该时期不同断层活动性差异明显,整体上由西往东断层活动性变弱(图1、2)。

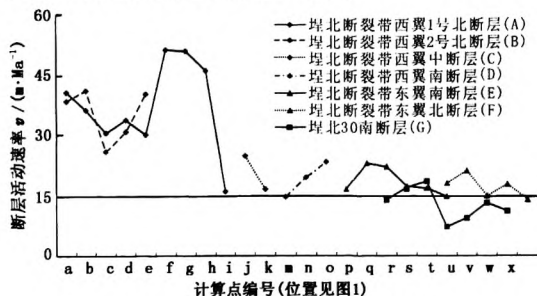


图2 主干断层明化镇期至现今活动速率

Fig. 2 Fault activity rate of the main faults from Minghuazhen formation to nowadays

断层的活动性决定油气的分布规模和层系。油气成藏期断层活动性强的地区油气富集程度高,研究区新近系油气主要富集在活动性强的埕北断裂带东西翼主干断层附近,埕岛东坡地区的断层(如埕北30南断层)明化镇期以来活动性弱,对新近系油气输导作用很弱,新近系油气藏少(图1)。根据主干断层在明化镇期至现今活动速率与目前发现的新近系油气储量的匹配关系(图3),可知主干断层活动速率大于15 m/Ma 是其有效输导油气至新近系

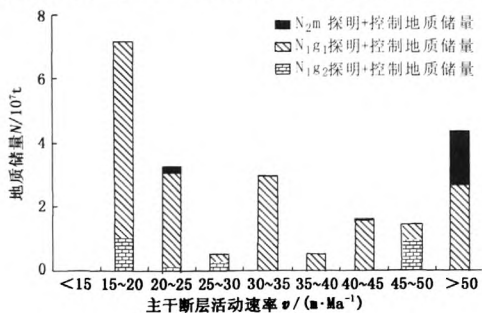


图3 主干断层明化镇期至现今活动速率与附近油气储量关系

Fig. 3 Relationship between fault activity rate of the main faults from Minghuazhen formation to nowadays and oil and gas reserves in its vicinity

的必要条件。断层活动速率越大越有利于油气的纵向输导,油气成藏层位越浅。主干断层活动速率大于20 m/Ma 才可以有效输导油气至新近系上部的明化镇组,目前发现的明化镇组油气藏大部分分布在主干断层活动速率大于50 m/Ma 的地区,而新近

系的下部馆陶组下段(N_1g_2)油气藏主要分布在主干断层活动速率为15~50 m/Ma 的地区。对研究区主要次级断层(主干断层分支断层和浅层断层)活动性与油气分布关系进行统计分析,表明次级断层活动速率大于10 m/Ma 就可以输导油气(图4)。

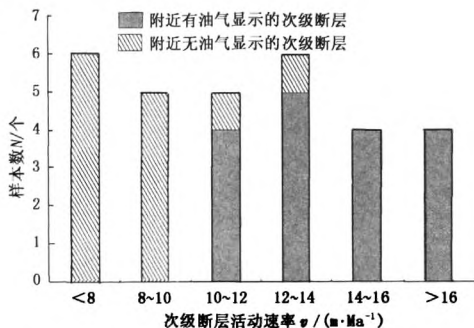


图4 次级断层明化镇期至现今活动速率与附近油气分布关系

Fig. 4 Relationship between fault activity rate of the secondary faults from Minghuazhen formation to nowadays and oil and gas distribution in its vicinity

3.2 断层封闭能力控制着油藏的最大含油高度

断层油藏是滨海北部新近系重要的油藏类型,含油高度是评价该类油藏的重要参数。断层侧向封闭能力是控制断层油藏最大含油高度的重要因素。断层侧向封闭能力是有限的,只能对一定高度的油柱起封堵作用,达到最大油柱高度后圈闭中油柱高度将不再增加^[12]。泥岩涂抹能力(CSP)、泥质涂抹因子(SSF)、断层泥比率(SGR)是目前定量评价断层涂抹的常用参数^[13-15],SGR 适合非均质的厚层碎屑岩层序,它是一种标准化的地下描述参数,比其他参数更普遍、更容易标定^[14]。本次研究选取SGR 参数表征断层封堵情况。为了避免圈闭尺度对含油高度的影响,选取含油高度小于圈闭幅度的47个油藏,计算其对应的SGR 值,发现滨海北部新近系油藏的最大含油高度与断层SGR 值存在一定的正相关性,随着断层封闭能力增强(SGR 值的增大),所能封堵的最大油柱高度增大。含油层对应的断层SGR 值均大于40%,故将SGR=40%作为研究区新近系断层封堵油层的下限(图5),利用断层SGR 值定量评价断层封堵性,而且可以估算出所封闭的最大油柱高度。

断层遮挡分为顺向遮挡和反向遮挡,顺向遮挡是指断层倾向和与之相接的砂体倾向相同,反向遮挡是指断层倾向和与之相接的砂体倾向相反。由于

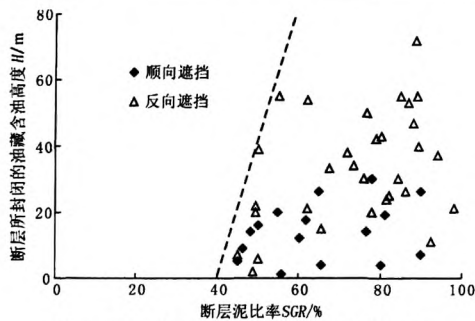


图 5 SGR 与所能封堵的油柱高度的关系

Fig. 5 Relationship between SGR of faults and oil column height can be sealed in traps

断裂带内部结构的差异性,反向遮挡断层圈闭比顺向遮挡断层圈闭封闭性更强^[16],相近泥岩涂抹值的反向遮挡断层圈闭所能封闭的最大油柱高度大于顺向遮挡断层圈闭的(图 5)。

3.3 砂体的宏观发育程度控制油气运聚

在砂泥岩地层中,以砂组为计算单元对砂地比与油气运聚关系进行研究(表 2)。当砂地比极低(小于 0.15)时,砂体少、连通性极差,不利于油气运聚;当砂地比太高(大于 0.5)时,砂体之间广泛连通,有利于油气的输导,但由于缺乏泥岩遮挡层,成藏较难,是输导型砂组;当砂地比适中(0.15~0.5)时,有利于油气聚集,是聚集体砂组。

表 2 砂地比与油气运聚关系

Table 2 Relationship between ratio of sand to formation thickness and hydrocarbon migration and accumulation				
区域	砂组	砂地比	含油气性	
埕北断裂带西翼北部	1+2	0.15	基本无油气显示	
埕北断裂带东翼	1+2	0.09		
	3	0.15		
埕岛潜山披覆构造带-埕北断裂带西翼	4	0.23	油气以聚集为主	
老河口-飞雁滩	4	0.26		
埕岛潜山披覆构造带南部-埕北断裂带西翼南部	6	0.40		
埕北断裂带东翼	5	0.26		
埕北断裂带东翼	6	0.34		
埕岛潜山披覆构造带-埕北断裂带东西翼	7	0.80	油气以输导为主	

注:含油气性数据结构为油气藏井数占样本数百分数/有显示未成藏井数占样本数百分数/样本数。

3.4 不同类型的断层-砂体的匹配与油气运聚关系

地球物理方法可以有效识别滨海北部新近系河流相砂带^[17]。河道相砂体是研究区新近系重要的油气运聚场所,根据河道的规模将其分为宽度较大的主河道砂带和宽度较小的小河道砂带(图 6)。

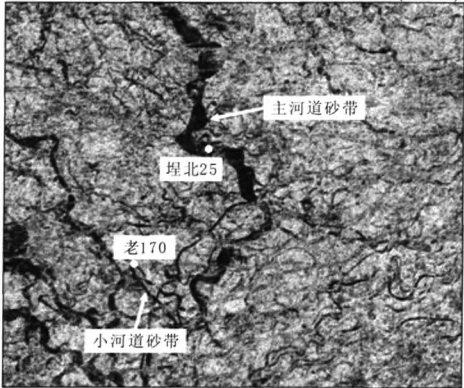


图 6 滨海北部馆上段 4 砂组下部均方根振幅属性图

Fig. 6 Map of root mean square amplitude attribute in the 4th sand group of upper Guantao formation in northern coastal area

对研究区不同类型断层-砂体组合的含油气性

进行统计,表明主干断层-主河道砂体型组合是最有利的油气运聚组合,河道中的含油砂体(测井解释为油层、油水同层和含水水层的砂体)比例可达 84%,油层比例可达 59%,其他依次为次级断层-主河道砂体型组合、主干断层-小河道砂体型组合、次级断层-小河道砂体型组合(表 3)。

表 3 不同类型断层-砂体匹配含油气性对比

Table 3 Contrast graph of petroliferous property in different matching types between fault and sand body							
断层-砂体类型	样本数	各类测井解释结果所占比例/%					
		油层	油水同层	含水层	水层	干层	含油砂体
主干断层-主河道砂体	89	59	6	19	12	4	84
次级断层-主河道砂体	40	54	8	15	13	10	77
主干断层-小河道砂体	73	22	25	22	21	10	69
次级断层-小河道砂体	23	13	17	30	36	4	60

4 对油气勘探的启示

通过上述分析可知断层和砂体如何控制非烃源岩层系油气的运聚,从而可以有针对性地开展勘探部署,提高勘探的成功率。笔者通过研究认为中高

勘探程度地区非烃源岩层系河流相油气藏勘探应采用如下思路和步骤:

(1)分析断层发育特征、组合、断层类型及成藏期活动性等,明确不同层位有效输导断层的分布,确定目的层位有利区带,即“定区”。如要对滨海北部馆上段进行研究,应首先弄清馆上段有效输导断层的分布,即弄清明化镇期至现今活动速率大于 15 m/Ma 的主干断层和活动速率大于 10 m/Ma 的次级断层的分布,通过分析可得到埕北断裂带东西翼的主干断层及其周围的次级断层大多为有效输导断层,其附近地区为馆上段有利区带。

(2)分析目的层位有利区带各砂组砂体发育情况,根据以往资料,区分输导型砂组和聚集型砂组,确定优势砂组,即“定砂组”。如对于埕北断裂带东翼馆上段而言,馆上段5~6砂组砂地比在 $0.15\sim 0.5$ 最有利于油气的聚集。

(3)利用河道砂体描述技术描述有利区带优势砂组中的河流相砂体,与断层相接是河流相砂体运聚油气的前提,并结合构造、河道规模和断层封闭性等因素,确定优势砂体——有利勘探目标,即“定点”。如构造高部位、主干断层—主河道砂体型组合圈闭和反向遮挡圈闭是勘探的优先选择目标,利用断层能力预测断层圈闭潜在的最大含油高度,所布井点应该在油藏潜在最大含油高度之内。

其中输导断层的确定是前提,河道砂体精确识别描述是关键,有效圈闭的评价是核心。

对于低勘探程度地区非烃源岩层系河流相油气勘探,可以借鉴具有相似地质背景勘探程度较高地区的河流相油气藏勘探思路和技术方法。

5 结 论

(1)明化镇期至现今活动速率大于 15 m/Ma 的主干断层与活动速率大于 10 m/Ma 的次级断层可以输导油气,活动速率越大越有利于油气向浅层输导。断层封闭能力控制油藏的最大含油高度, $SCR=40\%$ 是研究区新近系断层封堵油层的下限,反向遮挡圈闭比顺向遮挡圈闭封闭能力强。

(2)砂地比小于 0.15 的砂组不利于油气运聚;砂地比在 $0.15\sim 0.5$ 的砂组为聚集型砂组,有利于油气聚集;砂地比大于 0.5 的砂组为输导型砂组。

(3)河流相地层中断层—砂体组合运聚能力由强到弱依次为主干断层—主河道砂体、次级断层—主河道砂体、主干断层—小河道砂体、次级断层—小河道砂体型组合。

(4)“定区—定砂组—定点”可以作为非烃源岩层系河流相油气藏的勘探思路。

参考文献:

- [1] 张善文,王永诗,石砥石,等.网毯式油气成藏体系:以济阳拗陷新近系为例[J].石油勘探与开发,2003,30(1):1-10.
ZHANG Shan-wen, WANG Yong-shi, SHI Di-shi, et al. Meshwork-carpet type oil and gas pool-forming system: taking Neogene of Jiyang depression as example[J]. Petroleum Exploration and Development, 2003, 30(1): 1-10.
- [2] 姜素华,李涛,姜雨.东营凹陷网毯式油气成藏体系油气运聚探讨[J].中国石油大学学报:自然科学版,2007,31(5):12-17.
JIANG Su-hua, LI Tao, JIANG Yu. Discussion on petroleum migrating and accumulating of meshwork-carpet type oil and gas pool-forming system in Dongying depression [J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Nature Science), 2007, 31(5): 12-17.
- [3] 邹华耀,龚再升,滕长宇,等.渤中拗陷新构造运动断裂活动带 PL19-3 大型油田晚期快速成藏[J].中国科学: D 辑,2011,41(4):482-490.
ZOU Hua-yao, GONG Zai-sheng, TENG Chang-yu, et al. Late-stage rapid accumulation of the PL19-3 giant oil-field in an active fault zone during Neotectonism in the Bozhong depression, Bohai Bay[J]. Sci China Earth Sci (Ser D), 2011, 41(4): 482-490.
- [4] 宋胜浩.从断裂带内部结构剖析油气沿断层运移规律[J].大庆石油学院学报,2006,30(3):17-20.
SONG Sheng-hao. Analysis of hydrocarbon migration based on the interior structure of fault zone[J]. Journal of Daqing Petroleum Institute, 2006, 30(3): 17-20.
- [5] 罗明高,黄健全,唐洪.油气在储层孔喉中的微观运移机理探讨[J].沉积学报,1999,17(2):269-272.
LUO Ming-gao, HUANG Jian-quan, TANG Hong. A quantitative study on hydrocarbon migration mechanism in pores and throats of reservoir[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1999, 17(2): 269-272.
- [6] 陈伟,吴智平,侯峰.油气沿断裂走向运移研究[J].中国石油大学学报:自然科学版,2010,34(6):12-17.
CHEN Wei, WU Zhi-ping, HOU Feng. Study on hydrocarbon migration along fault strike[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Nature Science), 2010, 34(6): 12-17.
- [7] 张善文,曾骥辉.断层对沾化凹陷馆陶组石油运移和聚集影响的模拟实验研究[J].地球科学——中国地质大学学报,2003,28(2):185-189.

- ZHANG Shan-wen, ZENG Jian-hui. An experiment study on influence of fault on petroleum migration and accumulation in Guantao formation, Zhanhua depression [J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 2003, 28(2): 185-189.
- [8] 曾贱辉,王洪玉. 层间非均质砂层石油运移和聚集的模拟实验研究[J]. *石油大学学报:自然科学版*, 2000, 24(4): 108-111.
- ZENG Jian-hui, WANG Hong-yu. Experimental study on oil migration and accumulation in the heterogeneous sand beds of different porosity and permeability [J]. *Journal of the University of Petroleum, China (Edition of Natural Science)*, 2000, 24(4): 108-111.
- [9] 姜丽娜,邹华耀. 郑庐断裂带中-渤南段新构造运动期断层活动与油气运聚[J]. *石油与天然气地质*, 2009, 30(4): 462-468.
- JIANG Li-na, ZOU Hua-yao. Fault activities and hydrocarbon migration and accumulation during the Neotectonic period in the Bozhong Bonan segment of the Tanlu fault zone[J]. *Oil & Gas Geology*, 2009, 30(4): 462-468.
- [10] 吴智平,李伟,郑德顺,等. 沾化凹陷中、新生代断裂发育及其形成机制分析[J]. *高校地质学报*, 2004, 10(3): 405-417.
- WU Zhi-ping, LI Wei, ZHENG De-shun, et al. Analysis on features and origins of the Mesozoic and Cenozoic faults in Zhanhua sag[J]. *Geological Journal of China Universities*, 2004, 10(3): 405-417.
- [11] 孔凡仙,郭汝泰,王永诗,等. 埕岛油田地质与勘探实践[M]. 北京:石油工业出版社, 2000: 42-43.
- [12] 李宏义,姜振学,董月霞,等. 断层封闭能力的有限性研究及模拟实验[J]. *石油实验地质*, 2010, 32(6): 583-587.
- LI Hong-yi, JIANG Zhen-xue, DONG Yue-xia, et al. Geological study and physical simulation experiment on the limitation of fault-sealing[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2010, 32(6): 583-587.
- [13] BOUVIER J D, SUPESTEUN K, KLUESNER D F, et al. Three-dimensional seismic interpretation and fault sealing investigations, Nun Ricer field, Niggeria [J]. *AAPG*, 1989, 73(11): 1397-1414.
- [14] YIELDING G B, FREEMAN, NEEDHAM D T. Quantitative fault seal prediction[J]. *AAPG*, 1997, 81(6): 897-917.
- [15] LINDSAY N G, MURPHY F C, WALSH J J, et al. Outcrop studies of shale smear on fault surfaces[J]. *International Association of Sedimentologists Special Publication*, 1993, 15(1): 113-123.
- [16] 陈伟,吴智平,侯峰,等. 断裂带内部结构特征及其与油气运聚关系[J]. *石油学报*, 2010, 31(5): 774-780.
- CHEN Wei, WU Zhi-ping, HOU Feng, et al. Internal structures of fault zones and their relationship with hydrocarbon migration and accumulation[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2010, 31(5): 774-780.
- [17] 杨凤丽,印兴耀,吴国忱. 埕岛油田河流相储层地震描述方法[J]. *石油学报*, 1999, 20(4): 24-28.
- YANG Feng-li, YIN Xing-yao, WU Guo-chen. A study on seismic description method of the fluvial facies reservoir in Chengdao Oilfield [J]. *Acta Petrolei Sinica*, 1999, 20(4): 24-28.

(编辑 徐会永)

(上接第31页)

- [13] 卢双舫,刘晓艳,付晓泰,等. 未熟—低熟油生成机理的化学动力学研究及其初步应用[J]. *沉积学报*, 2001, 19(1): 130-135.
- LU Shuang-fang, LIU Xiao-yan, FU Xiao-tai, et al. Chemical kinetics study on the generation mechanism of immature to low-mature oil and its initial application [J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2001, 19(1): 130-135.
- [14] 卢双舫,付广,王朋岩,等. 天然气富集主控因素的定量研究[M]. 北京:石油工业出版社, 2002: 14-49.
- [15] 周海燕,庞雄奇,姜振学,等. 石油和天然气运聚效率的主控因素及定量评价[J]. *石油勘探与开发*, 2002, 29(1): 14-18.
- ZHOU Hai-yan, PANG Xiong-qi, JIANG Zhen-xue, et al. Key factors controlling migration and accumulation efficiency of oil and gas and their quantitative evaluation [J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2002, 29(1): 14-18.

(徐会永)