

文章编号:0253-9985(2012)03-0424-08

渤海南部海域莱州湾凹陷构造演化与油气成藏

牛成民

[中海石油(中国)有限公司天津分公司 渤海油田 勘探开发研究院,天津 300452]

摘要:莱州湾凹陷位于渤海南部海域,勘探程度较低,油气成藏特征复杂。在近期勘探获得亿吨级油气发现的基础上,通过凹陷构造特征分析,揭示莱州湾凹陷同时具有断陷和走滑反转的双重构造特点;根据断裂活动特点和强度,将凹陷内断层划分为3类,它们分别对凹陷格局形成、沉积体系与输导系统具有不同的控制作用,并将莱州湾凹陷演化进一步划分为3个阶段:孔店组(E_k)至沙河街组三段(E_{s3})的早期断陷、沙河街组一、二段(E_{s1+2})至东营组(E_d)的中期走滑和晚期活化阶段(新近纪以来)。构造演化对凹陷内油气成藏具有重要的控制作用:构造演化控制了各种类型圈闭的形成;控制了凹陷沉积充填、沉降中心迁移以及烃源岩形成演化;另外,由于晚期强烈的构造和火山活动,对莱州湾凹陷的晚期成藏起到了重要的促进作用。

关键词:沉降中心;构造演化;油气成藏;莱州湾凹陷;渤海海域

中图分类号:TE122.2

文献标识码:A

Tectonic evolution and hydrocarbon accumulation of Laizhouwan depression in southern Bohai Sea

Niu Chengmin

(Bohai Oilfield Research Institute of Exploration and Development, CNOOC Tianjin Branch, Tianjin 300452, China)

Abstract: Laizhouwan depression in the southern Bohai Bay is complicated in hydrocarbon accumulation and is low in exploration maturity. An oil discovery with reserves around hundred millions of tons was obtained recently. Laizhouwan depression is characterized by fault depression and strike-slip inversion. According to the feature and strength of fault activity, the faults were divided into three types which have different control on depression pattern, sedimentary system and hydrocarbon migration system. Furthermore, the tectonic evolution of Laizhouwan depression was divided into three stages: the early rifting stage during deposition of the Kongdian Formation to the Member III of Shahejie Formation, the strike-slip stage during deposition of the Member II of Shahejie Formation to Dongying Formation and the late activation stage since the Neogene. The tectonic evolution controls trap formation, sediment filling, subsidence center migration, and source rock formation and evolution. The late strong tectonic and volcanic activities are helpful for late hydrocarbon accumulation in Laizhouwan depression.

Key words: subsidence center, tectonic evolution, hydrocarbon accumulation, Laizhouwan depression, Bohai Sea

莱州湾凹陷位于渤海南部、济阳拗陷东部,郑庐断裂从该凹陷东部和西部通过,是在中生界基底之上发育的新生代凹陷^[1],面积约为1 780 km²(图1)。莱州湾勘探历经30余年,未有实质性突破。直到2008年以来,伴随中海油在该区勘探力

度加大,先后在北部陡坡带和莱东-庙南构造带实施钻探获得超亿吨油气发现,测试均获高产油气流,才真正打开该区勘探局面。

然而,要在该区进行进一步勘探、扩大勘探战果,依然面临诸多难题:首先,区内走滑及相关断

收稿日期:2011-12-10;修订日期:2012-05-10。

作者简介:牛成民(1966—),男,高级工程师,石油地质。

基金项目:国家科技重大专项(2008ZX05023)。

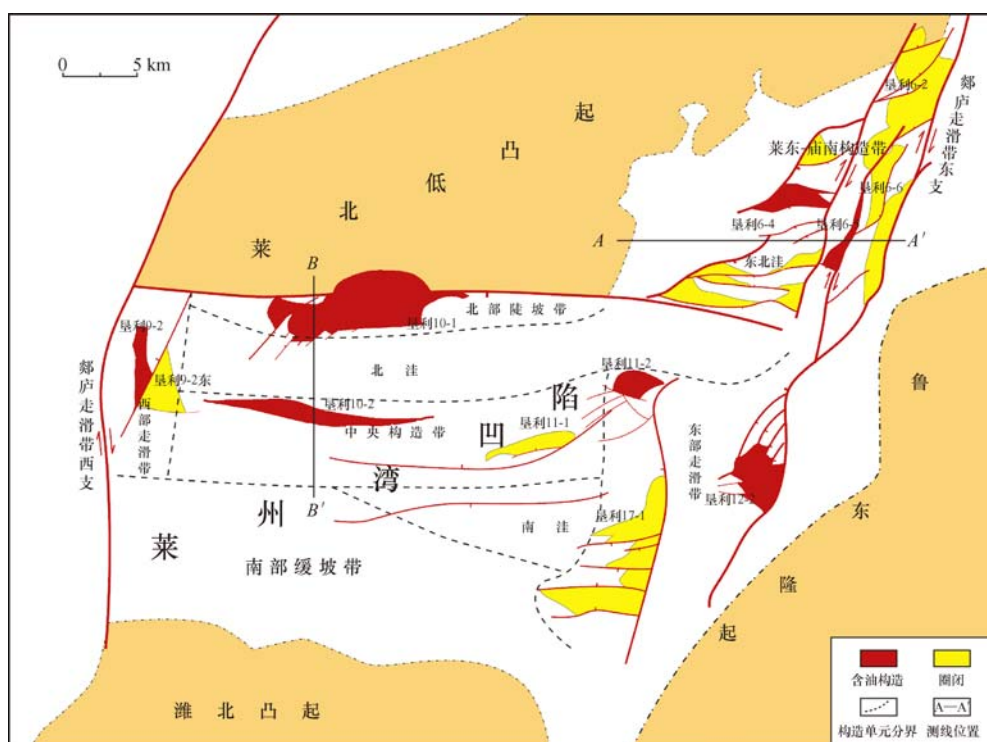


图1 渤海湾盆地莱州湾凹陷区域位置

Fig.1 Regional location of Laizhouwan depression in Bohai Bay Basin

层、盐构造、火成岩等发育,地质情况十分复杂,地震资料品质差;其次,勘探程度低,区带油气富集规律仍不明确。众所周知,构造活动贯穿盆地形成、地层发育和输导体系形成的始终,对油气生成、运移和聚集都有重要的控制作用。因此开展本区构造演化研究,对寻找该区油气有利富集区、确定成藏主控因素都具有重要意义^[2-3];另外,2008年后对莱州湾大部分地区新采集了三维地震资料,为该区展开深入研究工作提供了便利条件。

1 新生代构造特征及演化

1.1 构造特征

莱州湾凹陷在构造单元划分上隶属于济阳坳陷,受北部边界大断层持续活动控制,其在新生代表现为箕状凹陷结构^[4],剖面上,南北向呈北陡南缓、北断南超,东西向呈西深东浅的特点。由于受郯庐走滑断层活动影响,该区又具有不同于一般箕状凹陷的特征。表现为在东部垦利12-2构造附近,古近纪地层具有明显挤压反转特征,而在垦利11-2构造附近,钻井证实发育盐底辟构造,在

地震剖面上第三纪地层均发生明显拱起^[5]。莱东-庙南构造带位于莱州湾东北洼附近,由于处于盆地边缘,同时受三条走滑分支断层活动控制,具有独特的构造特征,东西向上被走滑断层分割为垦利6-4、垦利6-5、垦利6-2和垦利6-6构造,具东断西超的特征(图2),南北向上则被走滑调节断层分割为多个断块,地层向南整体逐渐翘倾抬升。平面上,莱州湾凹陷可进一步划分为北部陡坡带、中央构造带、南部缓坡带、北洼、南洼、东北洼、东西两侧走滑带以及莱东-庙南构造带等九个次级构造单元(图1)。

1.2 断裂构造样式

莱州湾凹陷断裂非常发育,根据断裂性质、活动强度和活动时间可划分出以下3类断裂体系。

1) 莱州湾凹陷东西两侧的郯庐分支断裂、北部陡坡带边界断裂和东北洼西侧莱北低凸起边界断裂,这些断层活动强度大、持续时间长,对于凹陷格局有重要影响(图1和图2中F1—F7)。

2) 郯庐断裂或者边界断裂所派生的断裂,走向多呈东西向和北东向展布,具体分为3种情况:第一种为凹中隆和洼陷分界,主要分布在中央

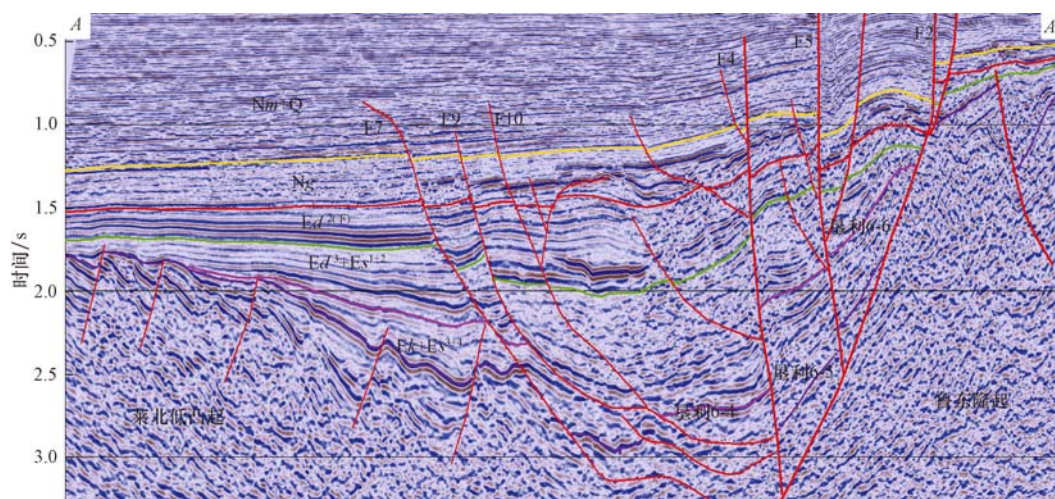


图2 莱东-庙南构造带特征(测线位置见图1 A-A')

Fig. 2 Characteristics of Laidong-Miaonan tectonic belt (see Fig. 1A-A' for seismic line location)

构造带附近(图1和图3中F8)。第二种位于北部陡坡带附近与边界断裂呈NE向斜交,对陡坡带构造圈闭具有明显分割作用。第三种分布在东部走滑带附近,为走滑派生断层,多沿走滑断层呈东西向展布,莱东-庙南构造带、垦利11-2、垦利12-2和垦利17-1构造附近均广泛发育此类断裂(图2中F9和F10)。由于一级断层的长期继承性活动,导致二级断层亦具有长期活动性质,多断穿古近纪和新近纪地层,断距较大,对圈闭形成、沉积体系分布以及油气输导均具有重要作用。

3) 盆内广泛分布的次级断裂,为某一期构造活动形成,之后便不再活动,其中早期断层对沉积和油气运移均不起任何作用,晚期断层将浅层圈闭复杂化、并对浅层油气起运移再分配作用。这三级断裂在北部陡坡带和中央构造带多构成似

花状构造,在东侧垦利11-2、垦利12-2和垦利17-1构造附近形成花状构造,在莱东-庙南构造带形成大型复杂断块群。

1.3 构造演化特征

根据前人对渤海湾盆地构造活动特征研究,认为区域构造活动基于双动力源^[6]——地幔柱隆起和斜向挤压。莱州湾凹陷整体上是受东西两侧邻庐走滑活动和北部边界断层活动共同作用所形成,具体发育过程可分为以下3个阶段(图4)。

1) 早期断陷阶段(Ek—Es³)

孔店组(Ek)时期为初始裂陷期,此时以莱北一号边界断层为主控断层发生大规模的基岩掀斜运动,形成了半地堑式箕状断陷的雏形,同时,在南部缓坡带靠近北洼部位发育两条东西走向、向

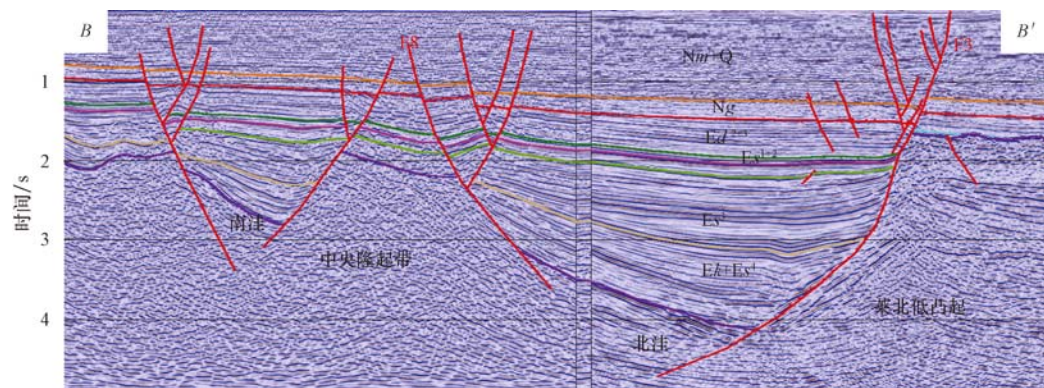


图3 过莱州湾凹陷地震剖面(测线位置见图1 B-B')

Fig. 3 Seismic profile across Laizhouwan depression (see Fig. 1B-B' for seismic line location)

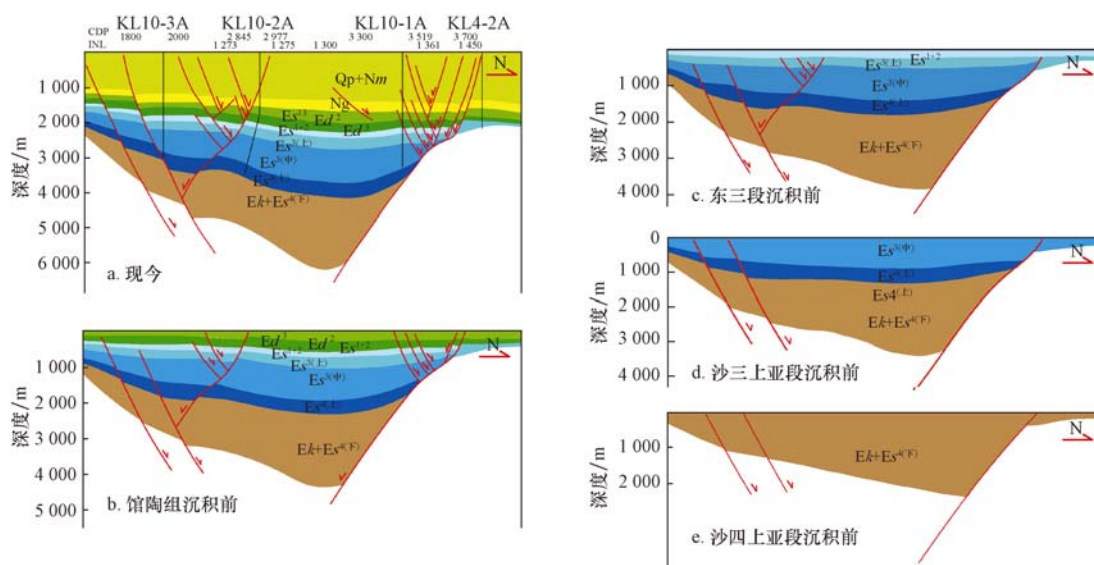


图4 莱州湾北洼构造演化

Fig. 4 Tectonic evolution of the northern sag in Laizhouwan depression

洼陷倾向的断层,与北部边界断层共同控制洼陷的发育。此时最大地层厚度发育在北部洼陷。该时期主要以强烈拉张为主,形成了十分明显的各个次级小“断陷”。

沙河街组四段(Es^4)时期的构造格局基本继承了前一时期的特征。但拉张作用有所减弱,断裂的同沉积活动明显小于孔店组时期,表现为凹陷内地形变缓,次级洼陷的面积较孔店组时期有所扩大,但沉积地层厚度明显变薄。此时,凹陷沉积中心仍在北洼,凹陷南部次级洼陷的水域也有所扩大,出现浅湖相沉积;与此同时,由于莱北低凸起东南侧边界断层活动,在莱州湾东北洼开始接受沉积。

沙河街组三段(Es^3)时期是断陷作用的重要时期,该时期的断陷湖盆范围总体上比孔店组和沙河街组四段沉积时期更大些,并表现为“稳定”伸展盆地的特征。由于北部边界断层的持续活动,北洼持续沉降,沉积了较厚的沙河街组三段;南部的斜坡带继续被整体抬升,坡度变缓,宽度增加;此时,莱州湾东北洼由于边界断层活动水体进一步扩张,沉积了较厚的沙河街组三段。

值得指出的是,此时莱州湾凹陷两侧的走滑断层已具备右行走滑活动特征,其中走滑东支派生为三条走滑断层,该组断层在发生水平位移的同时由于挤压作用导致莱州湾东北洼地层发生挤压反转,同时形成东西向展布的派生断层;在

垦利11-2地区,伴随走滑作用岩盐开始活动,但演化程度较低,主要形成盐枕构造^[7]。总体来说,走滑活动影响相对于断陷作用来说是比较局限的,不占主导地位,该时期凹陷主要为断陷作用。

2) 中期走滑作用阶段(Es^{1+2} — Ed)

渐新世初,由于控凹断层的继承性活动,在先存盆地构造基础上进一步发生渐进裂隙伸展,使断陷湖盆继续发展,并发育了沙河街组一、二段(Es^{1+2})和东营组(Ed)两套地层建造,到渐新世晚期,由于郯庐走滑活动在渤中-下辽河地区整体增强^[8],受走滑挤压应力场影响,在东部垦利12-2构造和莱东-庙南构造带发生地层挤压反转,古近系呈明显上拱特征;而垦利11-2地区的盐底辟作用进一步增强,并在东营组三段(Ed^3)时期形成盐体刺穿^[9]。与此同时,莱州湾凹陷构造格局亦发生质的变化,沉积中心由原来的北洼迁移到东北洼,随着渐新世走滑作用不断增强,加之东北洼西侧边界断层的活动,东北洼范围不断扩大,沉积了厚度较大的沙河街组一、二段和东营组(图5),根据钻井资料,东北洼附近该套地层厚度达1400m,而北洼仅约600m。该时期走滑活动为莱州湾凹陷东北洼沉降创造了重要条件,也是本区不同于邻区(如济阳凹陷)的重要特点。到了渐新世末,由于区域抬升作用,该区东营组普遍遭受剥蚀而与上覆馆陶组形成区域不整合。

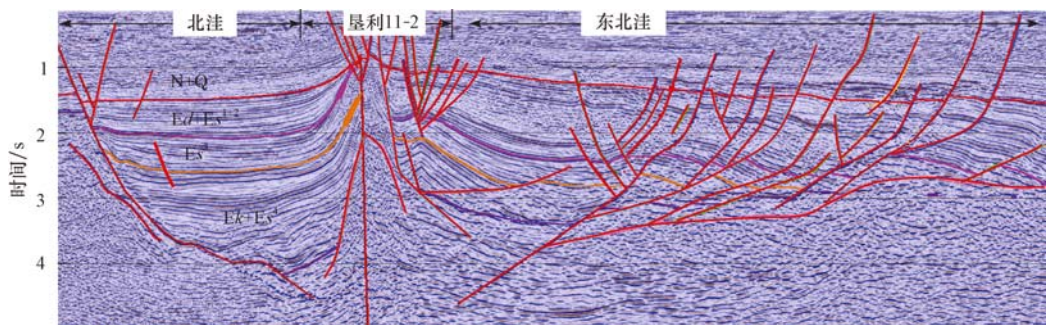


图 5 莱州湾凹陷北洼-东北洼地震剖面

Fig. 5 Seismic profile across the northern sag and northeastern sag in Laizhouwan depression

3) 晚期活化阶段(N + Q)

受新构造运动影响,凹陷内发育大量晚期断层,这些断层多依附于一级和二级断层发育,一般仅断穿新近系,对早期沉积地层起不到破坏作用,很多浅层圈闭在此时期形成。在凹陷东部,由于走滑活动依然强烈,造成新近系和第四系发生严重挤压变形,这种特征在东部垦利 11 - 2、垦利 12 - 2 以及莱东-庙南构造带等非常清晰;同时在东营组—馆陶组时期东部构造带在走滑活动下伴随强烈的火山喷发活动,火成岩(主要为玄武岩和火山凝灰岩)通过裂隙喷发至地表,在馆陶组和东营组顶部形成大套火成岩,在地震剖面上可进一步识别出火山通道相、爆发相和溢流相等^[10-11]。在垦利 11 - 2 构造区,盐体再次发生活动,明化镇组下段(Nm^F)和第四系向盐体顶部减薄,第四系局部被侵蚀^[9]。

2 构造演化与油气成藏

2.1 构造演化对圈闭的控制

受多期构造运动影响,莱州湾凹陷深浅层主要存在以下 3 种类型圈闭(表 1):①断背斜和断

块型圈闭,二者为本区最主要圈闭类型,其中垦利 11 - 2 圈闭形成与岩盐底辟活动有关^[12];垦利 12 - 2 等圈闭受郯庐走滑活动造成的地层反转与断层共同控制^[13];其余主要受断层活动控制。②岩性-构造圈闭,主要位于新近系明化镇组下段,受浅水三角洲沉积和晚期构造运动共同控制,在浅层形成复杂断块^[14]。③岩性-地层型圈闭,位于莱西边界断层下降盘,储集体类型为低位扇、辫状河三角洲前缘砂体、坡移扇和滑塌浊积扇等四类岩性体,由于地层向西抬升减薄尖灭,形成岩性-地层型圈闭。

2.2 构造演化对烃源岩的控制

根据前述构造演化分析,断陷作用和走滑作用对凹陷的形成以及沉积建造均产生重要影响。在早期断陷阶段,以北部莱北一号边界断层强烈活动为主要特征,此时莱州湾凹陷的主要沉积和沉降中心均为北洼。在边界断层的持续强烈活动下,北洼不断下沉,处于半深湖沉积环境,为烃源岩沉积创造了有利条件^[15];而到了古近纪中后期,由于郯庐走滑东支强烈活动,使莱州湾凹陷东北洼发生剧烈沉降,沉积了较厚的沙河街组一、二段和东营组(表 2)。

表 1 莱州湾凹陷圈闭类型

Table 1 Trap types in Laizhouwan depression

圈闭类型	控制因素	层系	构造
断背斜、断块圈闭	断层	Es,Ed,Ng	垦利 9 - 2、垦利 10 - 1、垦利 10 - 2、 垦利 11 - 1、垦利 6 - 2、垦利 6 - 4、垦利 6 - 6
	盐底辟	Es,Ed,Ng	垦利 11 - 2
	反转作用和断层	Es,Ed,Ng	垦利 12 - 2、垦利 17 - 1、垦利 6 - 5
岩性-构造圈闭	断层和岩性边界	Nm	垦利 10 - 1
岩性-地层圈闭	地层超覆和岩性边界	Es ³	垦利 9 - 2 东

表 2 莱州湾凹陷烃源岩地球化学特征

Table 2 Geochemical characteristics of source rocks in Laizhouwan depression

构造带	层系	$T_{\max}/^{\circ}\text{C}$	TOC/%		$R_o/\%$
			范围	平均值	
北部陡坡带	Es^{1+2}	322 ~ 431	0.34 ~ 0.58	0.46	0.45 ~ 0.63
	Es^3	327 ~ 447	0.24 ~ 7.00	2.13	0.53 ~ 1.40
	Es^4	434 ~ 447	0.52 ~ 4.93	2.13	0.73 ~ 0.91
中央构造带	Es^{1+2}	300 ~ 453	0.13 ~ 1.07	0.44	0.34 ~ 0.46
	Es^3	305 ~ 443	0.29 ~ 10.80	1.82	0.44 ~ 0.65
	Es^4	425 ~ 473	1.03 ~ 3.75	2.45	0.51 ~ 0.66
西部走滑带	Es^{1+2}	304 ~ 425	0.45 ~ 0.71	0.55	0.45 ~ 0.47
	Es^3	304 ~ 434	0.53 ~ 1.42	0.87	0.47 ~ 0.53
东部走滑带	Es^3	300 ~ 442	0.27 ~ 7.15	2.82	0.41 ~ 0.90
	Es^4	313 ~ 431	0.33 ~ 3.33	1.38	0.48 ~ 0.85
南部缓坡带	Es^3	300 ~ 439	0.19 ~ 3.21	1.32	0.38 ~ 0.57
	Es^4	345 ~ 432	0.84 ~ 1.16	0.97	0.6 ~ 0.66
莱东-庙南构造带	Es^3	301 ~ 546	0.19 ~ 3.03	1.42	0.73 ~ 0.78
	Es^{1+2}	306 ~ 450	0.14 ~ 3.05	1.80	0.75 ~ 1.08

根据烃源岩热解分析,不同洼陷烃源岩热演化程度存在较大差异。北洼分东、西两个次洼,其中西次洼在莱西边界断层下降盘,在埋深约2 500~2 700 m时,正构烷烃奇偶优势消失,此时 R_o 值达到0.5%,表明烃源岩进入成熟阶段;东次洼位于垦利11-2构造附近靠近莱东走滑带,生烃门限较浅,在大约1 300~1 700 m之间,分析认为与东部走滑断层及岩盐活动有关;东北洼生烃门限为2 500 m左右。

盆地模拟结果表明,北洼沙河街组四段烃源岩在东营组末期开始大量生烃,馆陶期进入生排烃高峰,现今部分烃源岩应已进入生气阶段;沙河街组三段烃源岩在馆陶组末期开始生烃,现今为生排烃高峰期。沙河街组一、二段烃源岩目前处于低熟阶段;东北洼沙河街组三段—沙河街组一段烃源岩现今已成熟进入大量排烃阶段。流体包裹体分析结果显示,莱州湾凹陷主成藏期为上新世以来(图6)。

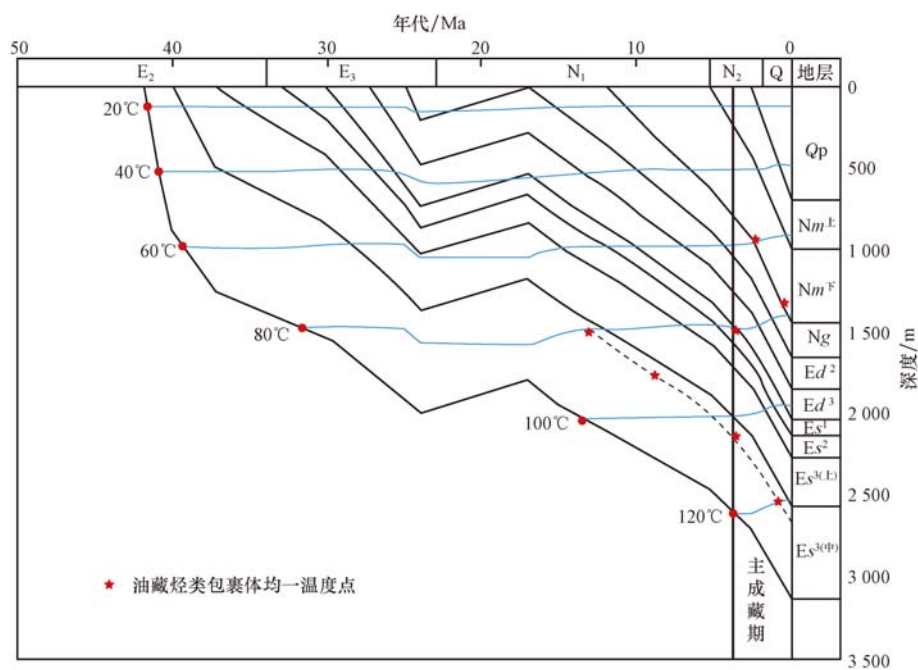


图 6 垦利 10-1A 井烃源岩热演化史

Fig. 6 Thermal history of source rocks in KL10-1A well

2.3 构造活动与晚期成藏

根据前述分析,三期构造演化对莱州湾凹陷断裂系统以及圈闭形成均产生重要影响,其中在环北洼的北部陡坡带和中央构造带附近,长期继承性活动的大断层和晚期调节断层均十分发育,并在这些断层控制下形成深浅层圈闭,为油气运移和复式成藏提供有利条件;而在莱东-庙南构造带,受走滑作用影响,在古近系和新近系均形成继承性发育的圈闭,但是,由于东营组-馆陶组时期大规模的岩浆活动,形成区域性大套火成岩,该区钻井均钻遇火成岩,厚度为100~521 m。从目前已发现油气来看,莱州湾凹陷油气发现主要分布在环北洼(垦利10-1、垦利9-2、垦利10-2、垦利11-2和垦利12-2构造)和东北洼附近(垦利6-4和垦利6-5构造),表现为源控的特征;在层位上,环北洼附近呈现油气复式成藏特点,古近系沙河街组各层段、东营组和新近系馆陶组和明化镇组均有油气分布,而东北洼附近的莱东-庙南构造带油气仅分布在古近系(东营组、沙河街组一、二、三段),可见这套火成岩对油气成藏起到了区域性盖层的作用,反映晚期成藏特征。

同时,根据原油性质分析,莱州湾凹陷已发现油气既有高成熟原油,又存在低熟原油,既有沙河街组三段的原油,也有沙河街组一、二段贡献的原油。从油源对比结果看(图7),已发现大部分原油为晚期沙河街组三段油源充注的结果,呈现晚期成藏特征,早期充注成藏的原油规模很小,且多

遭受后期改造破坏^[16]。

3 结论

1) 莱州湾凹陷北断南超、西深东浅,为一早期箕状凹陷,受东部走滑断层活动影响,东部构造具明显挤压反转和盐底辟特征,莱东-庙南构造带受3条走滑分支断层活动控制,分割为多个断块,为走滑断层和调节断层共同影响形成的大型复杂断块群;平面上,凹陷共划分为北部陡坡带、中央构造带、南部缓坡带、北洼、南洼、东北洼、东西两侧走滑带以及莱东-庙南构造带等9个次级构造单元。

2) 莱州湾凹陷发育三级断裂体系:第一级为东西两侧走滑断层和北部边界断层;第二级为一级断层所派生断层,活动时间长、对圈闭形成和油气运移均具重要影响;第三级为晚期断层,对浅层油气运移起到再分配作用。

3) 莱州湾凹陷构造演化分为3期:孔店组-沙河街组三段时期的断陷作用阶段、沙河街组二段-东营组时期的走滑作用阶段和馆陶组时期以来的晚期活化阶段。

4) 该区构造演化对成藏具有重要的控制作用:首先控制圈闭形成,凹陷内所发育的构造圈闭、岩性-构造圈闭以及岩性-地层圈闭的形成均受构造演化和断层活动控制;其次控制烃源岩形成和发育,形成北洼和东北洼两个主力生烃洼陷和沙河街组各层段有利生烃层系;再次对莱州湾地区晚期成藏具有重要的意义。

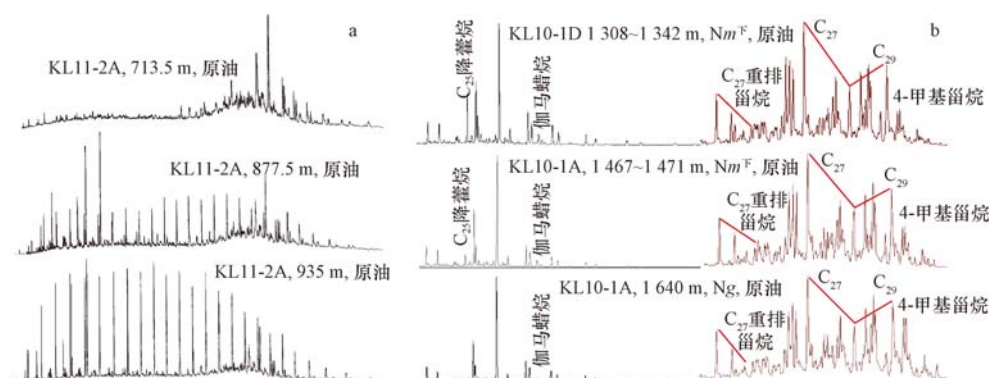


图7 莱州湾凹陷原油特征

Fig. 7 Analysis of oil characteristics in Laizhouwan depression

a. 垦利11-2A井原油饱和烃气相色谱, m/z191; b. 垦利10-1构造油源对比, m/z217

参 考 文 献

- [1] 蔡东升, 罗毓晖, 姚长华. 渤海莱州湾走滑拉分凹陷的构造研究及其石油勘探意义[J]. 石油学报, 2001, 22(2): 19-25.
Cai Dongsheng, Luo Yuhui, Yao Changhua. Strike-slip and pull-part structure study and its significance to petroleum exploration on Laizhouwan Sag Bohai Area[J]. Acta Petrolei Sinica, 2001, 22(2): 19-25.
- [2] 张仲培, 刘士林, 杨子玉, 等. 塔里木盆地麦盖提斜坡构造演化及油气地质意义[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(6): 909-919.
Zhang Zhongpei, Liu Shilin, Yang Ziyu, et al. Tectonic evolution and its petroleum geological significances of the Maigaiti Slope, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(6): 909-919.
- [3] 胡望水, 吴婵, 梁建设, 等. 北部湾盆地构造迁移特征及对油气成藏的影响[J]. 石油与天然气地质, 2011, 32(6): 920-927.
Hu Wangshui, Wu Chan, Liang Jianshe, et al. Tectonic transport characteristics and their influences on hydrocarbon accumulation in Beibuwan Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2011, 32(6): 920-927.
- [4] 周小进, 倪春华, 杨帆. 华北古生界原型-变形构造演化及其控油气作用[J]. 石油与天然气地质, 2010, 31(6): 779-794.
Zhou Xiaojin, Ni Chunhua, Yang Fan. The Paleozoic prototype basins and their tectonic deformation in North China and their controlling effects upon hydrocarbon accumulation[J]. Oil & Gas Geology, 2010, 31(6): 779-794.
- [5] 彭文绪, 辛仁臣, 孙和风, 等. 渤海海域莱州湾凹陷的形成和演化[J]. 石油学报, 2009, 30(5): 654-660.
Peng Wenxu, Xin Renchen, Sun Hefeng, et al. Formation and evolution of Laizhou Bay Sag in Bohai Bay[J]. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(5): 654-660.
- [6] 吴时国, 余朝华, 邹东波, 等. 莱州湾地区郯庐断裂带的构造特征及其新生代演化[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26(6): 101-110.
Wu Shiguo, Yu Zhaohua, Zou Dongbo, et al. Structural features and Cenozoic evolution of the Tanlu fault zone in the Laizhou-bay, Bohai Sea[J]. Marine Geology & Quaternary Geology, 2006, 26(6): 101-110.
- [7] 余一欣, 周心怀, 汤良杰, 等. 渤海海域莱州湾凹陷 KL11-2 地区盐构造特征[J]. 地质学报, 2008, 82(6): 731-736.
Yu Yixin, Zhou Xinhui, Tang Liangjie, et al. Salt structural features in KL11-2 area of the Laizhouwan depression, Offshore Bohai Bay basin[J]. Acta Geologica Sinica, 2008, 82(6): 731-736.
- [8] 慕德梁, 孟卫工, 李成, 等. 断陷盆地陡坡带构造样式与油气聚集——以渤海湾盆地辽河坳陷西部凹陷陡坡带为例[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(5): 635-642.
Mu Deliang, Meng Weigong, Li Cheng, et al. Structural style and hydrocarbon accumulation in the steep slope zone of faulted basin—an example from the western sag of the Liaohe Depression, the Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(5): 635-642.
- [9] 孙和风, 周心怀, 彭文绪, 等. 莱州湾凹陷东部走滑带盐相关构造特征[J]. 地球科学与环境学报, 2008, 30(4): 380-384.
Sun Hefeng, Zhou Xinhui, Peng Wenxu, et al. Characteristics of salt-related structures in the eastern strike-slip zone of Laizhou Bay Sag[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2008, 30(4): 380-384.
- [10] 贺电波, 牛成民, 史浩. 莱东-庙南构造带东营组火山岩相的地震识别[C]//陈壁. 渤海油田上产 3 000 万吨成果论文集. 北京: 中国石化出版社, 2011: 145-150.
He Dianbo, Niu Chengmin, Shi Hao. Seismic recognition of Dongying Formation volcano rock facies in Laidong-Miaonan tectonic belt[C]//Chen Bi. Papers collection of Bohai oilfield achievements for 30 million tons of oil and gas production in 2010. Bei Jing: Sinopec Press, 2011, 145-150.
- [11] 金春爽, 乔德武, 淡伟宁. 渤海湾盆地中、新生代火山岩分布及油气藏特征[J]. 石油与天然气地质, 2012, 33(1): 19-29.
Jin Chunshuang, Qiao Dewu, Dan Weining. Meso-Cenozoic volcanic rock distribution and reservoir characteristics in the Bohai Bay Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2012, 33(1): 19-29.
- [12] 付兆辉, 秦伟军, 李敏. 渤海湾盆地垦东凸起构造演化及对沉积的控制作用[J]. 石油地质与工程, 2011, 25(4): 7-10.
Fu Zhaohui, Qing Weijun, Li Min. Tectonic evolution and its controlling effect on sedimentation of the Kendong uplift in Bohai Bay Basin[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2011, 25(4): 7-10.
- [13] 万桂梅, 周东红, 汤良杰. 渤海海域郯庐断裂带对油气成藏的控制作用[J]. 石油与天然气地质, 2009, 30(4): 450-454, 461.
Wang Guimei, Zhou Donghong, Tang Liangjie. Control of the Tan-Lu fault zone on hydrocarbon accumulation in the Bohai Sea waters. [J]. Oil & Gas Geology, 2009, 30(4): 450-454, 461.
- [14] 牛成民, 周心怀, 杨波, 等. 创新地质认识, 精细研究, 快速落实垦利 10-1 亿吨级油田[C]//陈壁. 渤海油田上产 3 000 万吨成果论文集. 北京: 中国石化出版社, 2011, 3-10.
Niu Chengmin, Zhou Xinhui, Yang Bo, et al. Innovating geological understanding and studying carefully, quickly implementing the millions of tons of Kenli 10-1 oil field[C]//Chen Bi. Papers collection of Bohai oilfield achievements for 30 million tons of oil and gas production in 2010. Bei Jing: Sinopec Press, 2011, 3-10.
- [15] 王亮, 牛成民, 杨波, 等. 莱州湾凹陷沙三段含油气系统与有利勘探方向[J]. 断块油气田, 2011, 18(5): 545-548.
Wang Liang, Niu Chengmin, Yang Bo, et al. Petroleum system and favorable exploration targets of the third member of Shahejie formation in Laizhouwan depression[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2011, 18(5): 545-548.
- [16] 董立, 李鹏, 陈伟, 等. 蒙古国塔木察格盆地塔南凹陷西部次凹构造特征分析[J]. 石油地质与工程, 2011, 25(3): 33-36.
Dong Li, Li Peng, Zhang Wei, et al. Tectonic characteristics of West subsag of Tanan sag in the Tamsag Basin, Mongolia[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2011, 25(3): 33-36.

(编辑 张亚雄)