

层序—构造对黄河口凹陷新近系油气分布及成藏的控制作用

于海波,王德英,牛成民,曾 萱,黄江波

(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:黄河口凹陷的油气主要分布于新近系明化镇组下段的浅水三角洲沉积体系,从层序—构造角度对其油气分布及成藏进行分析。高分辨率层序地层分析表明,明下段可划分为3个长期基准面旋回和8个中期基准面旋回,基准面上半旋回早期和下半旋回中、晚期是储集砂体发育的有利部位,也是油气分布的主要部位;构造背景控制了油气的运移指向,正向构造带是油气长期运移、聚集成藏的有利地区,纵贯深、浅层的断裂是油气垂向运移至新近系的主要通道,晚期断裂主要对油气起到调整和再分配的作用。层序—构造耦合控制了油气的聚集层位和富集程度,断裂(尤其是油源断裂)与储盖组合的良好匹配关系是油气在明下段富集成藏的主要原因,层序—构造决定了新近系圈闭的有效性,并控制了岩性—构造、构造—岩性和岩性油气藏的形成。

关键词:层序—构造 油气分布 油气成藏 新近系 黄河口凹陷

中图分类号:TE111.1

文献标识码:A

文章编号:1009-9603(2012)06-0042-05

针对中国东部陆相盆地新近系油气成藏方面的研究^[1-11]已经很多,对渤海海域范围内前人也进行了很多研究。如邓运华^[12]提出了断裂—砂体油气运移“中转站”控制油气纵向运移模式;龚再升等^[13-17]分析了新构造运动对油气成藏的控制作用;朱伟林等^[18]认为渤海新近系发育的浅水三角洲沉积体系具有优越的储盖组合、充足的油气供给和畅通的油气运移通道,可形成大中型油气田;田立新等^[19]提出近源晚期快速成藏、浅水三角洲沉积体系及晚期走滑伴生断层是黄河口凹陷新近系油气成藏的主控因素;彭文绪等^[20]总结出近源、晚期、优势成藏是黄河口凹陷新近系油气成藏的主要特点。笔者在前人研究成果的基础上,针对层序—构造对黄河口凹陷新近系油气分布及成藏的控制作用进行分析、总结,以期为渤海湾盆地浅层尤其是黄河口凹陷新近系的进一步勘探提供借鉴。

1 地质概况

黄河口凹陷位于渤海湾盆地济阳拗陷东北部^[20],渤海海域南部。其北侧为渤南低凸起,南侧为莱北低凸起和垦东—青坨子凸起,东接庙西凹

陷,西邻埕北凹陷和沾化凹陷,郯庐走滑断裂西支从黄河口凹陷中央穿过,形成渤中28-34中央隆起带,将凹陷分隔为东、西2个次洼,整体表现为北断南超的箕状凹陷特征,形成北陡南缓、西深东浅、凹中有隆的构造格局(图1)。



图1 黄河口凹陷构造单元纲要

截至2010年底,黄河口凹陷及其周围地区在古生界、古近系和新近系均有良好的油气发现。平面上,其油气主要分布于渤中25-26、渤中28-34及渤中29-35等构造带。三级石油地质储量统计表明,油气主要分布在新近系明化镇组下段(明下段),约占60%,古生界和古近系分别占5%和35%。其中明下段三级石油地质储量主要分布在岩性—构造和构造—岩性油藏,约占85%,而构造油藏和岩性油藏所

收稿日期:2012-09-20。

作者简介:于海波,男,工程师,硕士,从事石油地质与勘探研究。联系电话:(022)25803491, E-mail: yuhb3@cnoc.com.cn。

基金项目:国家科技重大专项“近海大中型油气田形成条件及勘探技术”(2008ZX05023)。

占比例较小,分别为12%和3%。

2 层序—构造对油气分布的控制作用

2.1 高分辨率层序地层对油气分布的控制作用

2.1.1 基准面旋回对砂体发育的控制作用

根据高分辨率层序地层学理论,以钻井岩心、录井剖面和测井曲线分析为基础,结合测井—地震标定结果,进行地震与钻井的层序划分对比。将黄河口凹陷中央隆起带渤中34-1油田明下段划分为3个长期基准面旋回(LSC1—LSC3)和8个中期基准面旋回(MSC1—MSC8),在此基础上建立等时层序地层格架,并将长期基准面旋回LSC2中的最大湖泛面拉平,分析储集砂体分布及与不同级别基准面旋回的关系(图2)。结果表明:①最有利的储集砂体分布于长期基准面旋回LSC2中,且主要分布于中期基准面旋回层序界面附近,由MSC2—MSC5共4个中期基准面旋回叠加组成,主要发育浅水三角洲前缘水下分流河道砂体,连续性好,在层序地层格架中具有很好的等时对比性。在LSC2基准面上升半旋回,可容纳空间持续增加,沉积物供应逐渐减小,砂体呈退积结构,向上砂体厚度逐渐减薄,泥岩含

量增加;基准面下降半旋回早期,可容纳空间增大,沉积物供给增加,砂体呈加积结构,横向分布稳定,连续性好;基准面下降半旋回中、晚期,可容纳空间逐渐减小,沉积物供给逐渐增加,砂体呈进积结构,向上砂体逐渐变厚,横向连续性较好。②在长期基准面旋回LSC1(由MSC1中期基准面旋回组成)和LSC3(由MSC6—MSC8共3个中期基准面旋回叠加组成),自然伽马曲线表现为高值特征,呈现箱形和钟形,以发育曲流河河道砂体为特征,砂、泥岩呈不等厚互层。③中期基准面旋回期间,沉积物供给和可容纳空间的变化对储集砂体和泥岩盖层的发育具有明显的控制作用,其上升半旋回早期和下降半旋回中、晚期为储集砂体发育的有利部位;上升半旋回与下降半旋回的转换期以发育泥岩为主,是盖层发育的有利部位。

2.1.2 层序地层格架内油气分布特征

黄河口凹陷明下段油气主要来自古近系沙河街组的暗色湖相泥岩,有利砂体的发育为油气赋存提供了良好的储集空间。从层序地层格架内油气分布的统计结果来看,基准面旋回对油气分布具有一定的控制作用,中、长期基准面下降半旋回砂体发育,相应的含油气砂体的规模也较大。具体表现为:①油层在各中期基准面旋回均有发育,主要分

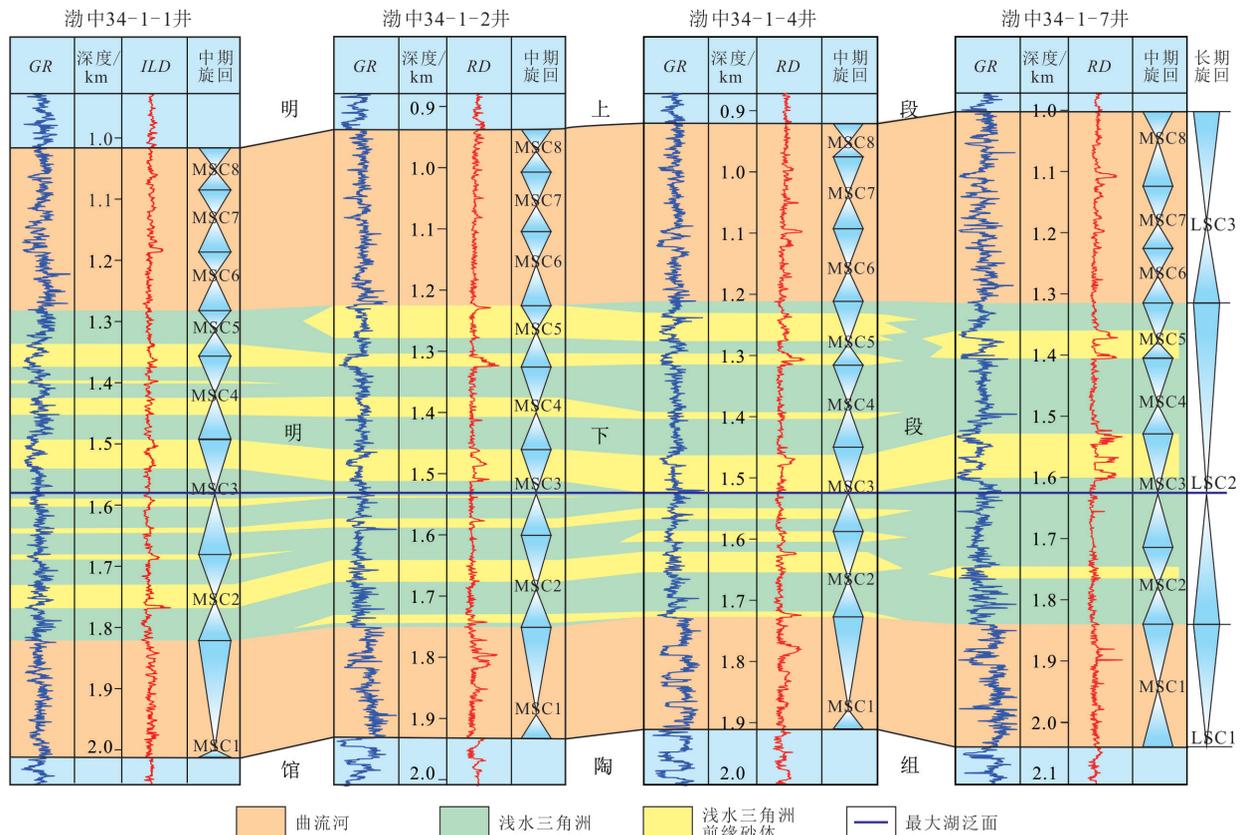


图2 渤中34-1油田层序地层格架内储集砂体展布特征

布在 MSC1, MSC2, MSC3 和 MSC5, 其中 MSC3 油层最为发育; ②中期基准面下降半旋回, 砂体发育规模较大, 含油气砂体的规模也较大, 而基准面上升半旋回的砂体发育规模较小, 油气层发育也较少; ③长期基准面旋回中油层主要分布于 LSC2, 其次为 LSC1 和 LSC3; ④长期基准面旋回 LSC2 中, 长期基准面上升至下降半旋回的转换期或下降半旋回早期 (MSC3 下降半旋回), 油气最为富集, 其次为长期基准面旋回下降半旋回的中、晚期。

2.2 构造特征控制油气分布格局

2.2.1 构造背景控制油气平面展布

宏观上, 构造背景控制了油气的运移指向。在黄河口凹陷, 紧邻生烃洼陷的正向构造带是油气运移的优势指向区, 也是油气聚集成藏的有利地区。研究区新近系油气藏为多次运移、聚集形成的次生油气藏, 渤中 25-26 滚动背斜构造带、渤中 28-34 中央隆起带和渤中 29-35 构造带 (图 1) 等正向构造带是油气长期运移的指向区, 也是油气聚集成藏的有利地区, 目前这 3 个构造带发现的三级石油地质储量占黄河口凹陷新近系石油地质总储量的 85% 以上。

渤中 25-26 滚动背斜构造带是受近东西向边界断层控制形成的, 其浅层整体表现为向渤中 25 构造区抬升、向渤中 26 构造区东部倾没的长而宽缓的斜坡, 是黄河口凹陷西次洼油气运移的主要指向区之一。来自西次洼的油气经断裂、不整合面和渗透性砂体形成的复式输导体系进行运移, 经渤中 26 构造区向渤中 25 构造区方向汇聚成藏, 目前已发现亿吨级的渤中 25-1 油田和中型渤中 26-3 油田。

渤中 28-34 中央隆起带是受郯庐走滑构造运动和新构造运动的共同影响, 在黄河口凹陷中央形成的大型反转构造脊, 位于黄河口凹陷东、西次洼之间, 表现为“洼中隆”的特征, 是油气运移的优势指向区。该构造脊位于生烃洼陷中, 油源条件优越, 已发现以明下段为主力含油层系的渤中 28-2 东、渤中 28-2 南、渤中 34-1 北和渤中 34-1 等油气田。

渤中 29-35 构造带是黄河口凹陷东部斜坡构造背景上形成的构造脊, 是东次洼油气运移的主要指向区。由于断裂发育和砂体展布特征存在差异, 导致其油气分布具有明显的不均匀性, 已发现渤中 29-4 和渤中 29-5 等新近系浅层油气田和渤中 35-2 古近系中深层油田。

2.2.2 断裂控制油气垂向运移及后期调整分配

黄河口凹陷新近系油气藏具有近源、晚期、快

速成藏^[19-20]的特点, 烃源岩主要生烃期为距今 12 Ma 至今, 尤其在新构造运动期 (距今 5.1 Ma 以来)^[20], 其油气充注时间主要在明下段沉积时期之后, 而断裂对来自古近系烃源岩的油气运移至新近系聚集成藏具有重要作用。

研究区受郯庐走滑断裂和晚期构造运动的影响, 断裂非常发育。受中生代末期燕山构造运动和始新世—渐新世喜马拉雅构造运动的影响, 发育北北东—北东向和北东东—近东西向 2 组断裂。新近纪, 在南北拉张构造运动的作用下, 导致部分早期断裂再次活动, 并产生众多新的近东西向断裂, 同时走滑构造运动也派生出众多新的近东西向断裂, 部分晚期断裂和再次活动的早期断裂贯通深、浅层, 沟通古近系烃源岩与新近系储层, 形成源岩—圈闭的油气垂向运移路径, 在地震泵^[21-24]作用机制下, 油气发生快速穿层运移, 对于晚期快速充注成藏具有十分重要的作用。

宏观上, 研究区的油气分布受构造控制, 有利的正向构造背景是油气分布的主要区域, 构造高部位油气层发育, 低部位油气层发育相对较差; 微观上, 油气的富集受砂体发育程度的影响, 而砂体发育受基准面旋回控制, 因此, 油气的富集与基准面旋回具有密切关系。新近系油气藏为次生油气藏, 油气主要通过沟通古近系烃源岩的断裂向上运移, 最终在新近系构造背景较好的圈闭内聚集成藏, 因此断裂对油气垂向运移以及后期调整、分配十分重要, 对新近系油气成藏具有关键的“桥梁”作用。总之, 在具有构造背景、发育沟通烃源岩的断裂以及砂体的基准面旋回内, 油气成藏的可能性大, 油气层相对较发育。

3 层序—构造对油气成藏的控制作用

3.1 对油气聚集层位及富集程度的控制作用

层序—构造对研究区油气聚集层位及富集程度的控制作用, 集中体现在砂体与断裂对其的共同控制, 主要表现在 3 个方面: ①主油源断裂的活动期次、强度与储盖组合的匹配关系控制了油气的垂向聚集层位; ②晚期断裂的活动性对油气富集成藏具有调整和再次分配的作用; ③断裂 (尤其是油源断裂) 与砂体的接触面积和方式控制了油气的富集程度。

渤中 25-26、渤中 28-34 和渤中 29-35 等构造带

的勘探实践证明,浅层油气主要分布于明下段浅水三角洲沉积体系中,分流河道砂体是油气聚集的主要场所。明下段主要表现为厚层泥岩夹砂岩的沉积特征,浅水三角洲前缘砂体席状化程度高,横向连通性较好,滨浅湖相泥岩厚度稳定、分布范围广,可作为良好的封堵盖层,与浅水三角洲前缘砂体形成有利的储盖组合,为油气成藏提供优越的条件。长期活动性断裂(油源断裂)因其具有活动时间长、强度大的特征,能够直接沟通明下段储层与古近系烃源岩,油气主要沿断裂垂向运移;晚期受新构造运动影响,次级断裂发育,并与长期活动性断裂相连通,对油气进行调整和再分配,最终油气在明下段储盖组合较好的区域聚集成藏。断裂(尤其是油源断裂)与储盖组合的良好匹配关系,成为黄河口凹陷油气在明下段聚集成藏的主要原因。

对主力含油层段明下段 I—V 油组的砂岩含量和油气层厚度统计表明(图3):①部分砂岩含量与油气层厚度正相关,油气成藏主要受砂体发育控制,即砂岩含量高、厚度大,相应的油气层厚度大、富集程度高^[25]。②部分砂岩含量与油气层厚度呈线性相关,油气成藏受断层活动性与砂体发育双重因素控制。在砂体发育、断层活动强度大的情况下,油层厚度大,油气富集程度高;相反,在砂体欠发育、断层活动强度小的情况下,油层厚度小,油气富集程度低。③部分砂岩含量与油气层厚度呈杂乱关系,油气成藏主要受断层活动性控制。断层活动期内,在砂岩发育程度(砂岩含量)相似的情况下,断层活动强度大,油气层厚度也大,油气富集程度高;反之,断层活动强度小,油气层厚度也小,油气富集程度低。

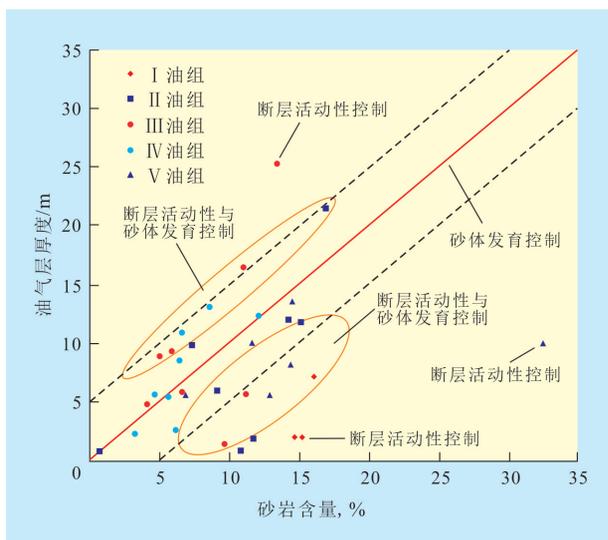


图3 渤中34-1油田明下段砂岩含量与油气层厚度关系

断层活动性与砂体的匹配关系控制着油气的富集程度。纵向上,来自古近系烃源岩的油气经“中转站”砂体沿断层向上运移聚集成藏^[12];薛永安等^[26]认为下倾—上抬型、下倾—下倾型、上抬—上抬型和上抬—下倾型4种断层—储层组合样式,决定了油气沿断层运移时能否进入储层中汇聚成藏;彭文绪等^[20]提出新近系河道砂体与油源断层可形成正向正断层式、反向正断层式、反屋脊式和屋脊式4种断层—岩性组合样式,其中反屋脊式对浅层油气的聚集最为有利。平面上,断层和砂体的接触面积与油气聚集成一定的正相关;与断层平行的砂体,因其孤立性不利于油气充注成藏;斜交或正交于断层的砂体,因与断层(尤其是油源断层)充分接触,油气容易充注,有利于油气聚集成藏,且砂体与断层的接触面积越大油气充满程度越高^[20]。因此,在砂体和断层发育且活动性强的构造内,油气充注能力强,富集程度高。

3.2 对圈闭有效性及油气藏类型的控制作用

层序—构造对黄河口凹陷新近系圈闭有效性的控制作用主要表现在3个方面:①砂体的发育程度是形成新近系有效圈闭的前提条件。明下段是研究区油气富集的主要层位,中期基准面旋回层界面附近是砂体发育的主要部位,长期基准面旋回控制了砂体的展布。浅水三角洲沉积体系表现为“泥包砂”特征,有利的储盖组合条件为构造和岩性圈闭的发育提供了良好的物质基础。②断层的开启与封闭是形成新近系有效圈闭的关键因素。断层开启与封闭的双重性导致其在油气运聚成藏过程中具有通道与封堵的双重作用。研究区受郯庐走滑断层和晚期构造运动尤其是新构造运动的影响,断层发育,在新近系多形成断块型、断背斜型、断鼻型、断裂—岩性型等由于断层遮挡作用形成的圈闭;晚期断层与长期活动的早期断层形成油气从古近系烃源岩运移至新近系圈闭的良好输导通道,成为新近系圈闭内油气能否聚集成藏的关键因素。③断层与砂体的接触方式是形成新近系有效圈闭的保障。油气主要沿断层进行垂向运移,沿储集砂体进行侧向汇聚,断层与砂体的接触关系决定了油气能否在圈闭内富集成藏。

黄河口凹陷新近系为次生油气藏,来自古近系烃源岩的油气,经长期活动的油源断层进行垂向运移,通过晚期断层重新调整、分配,沿砂体进行侧向汇聚成藏。宏观上,具有正向构造背景的区域是油气运移聚集的优势指向区,形成浅层油气沿脊运聚

的特征,表现为新近系油气主要分布于渤中25-26、渤中28-34和渤中29-35等构造带,在层序—构造双重因素控制下发育岩性—构造、构造—岩性和岩性油气藏。岩性—构造油气藏主要受构造圈闭控制,构造圈闭的闭合高度控制了油气藏的边界;构造—岩性油气藏在区域构造背景上形成,主要受砂体发育程度控制,高部位为构造型圈闭,其油气藏边界主要受岩性圈闭控制;岩性油气藏主要为上倾尖灭型和古河道型油气藏。

4 结论

层序地层分析表明,黄河口凹陷新近系明下段可划分为3个长期基准面旋回和8个中期基准面旋回。长期基准面旋回LSC2是明下段浅水三角洲前缘砂体发育的最有利部位,其控制了含油砂体的规模,中期基准面下降半旋回是油气聚集的主要部位;构造背景控制了油气的运移指向,正向构造带是油气长期运移、聚集成藏的有利地区,纵贯深、浅层的断层直接沟通古近系烃源岩与新近系储层,并与晚期断层共同控制形成烃源岩—圈闭的油气垂向运移通道。层序—构造的耦合关系是油气在明下段富集成藏的主要原因,断层的活动性与砂体的匹配关系控制了新近系油气的富集程度;砂体的发育程度、断层的开启与封闭、断层与砂体的接触关系等共同控制了新近系圈闭的有效性;在层序—构造双重因素的控制作用下,主要形成岩性—构造、构造—岩性和岩性油气藏。

参考文献:

- [1] 赵文智,池英柳.渤海湾盆地含油气层系区域分布规律与主控因素[J].石油学报,2000,21(1):10-15.
- [2] 陈伟,吴智平,侯峰.临南洼陷临商断裂带与油气成藏的关系[J].油气地质与采收率,2010,17(2):25-28.
- [3] 张善文,王永诗,彭传圣,等.网毯式油气成藏体系在勘探中的应用[J].石油学报,2008,29(6):791-796.
- [4] 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.
- [5] 李丕龙,张善文,宋国奇,等.济阳成熟探区非构造油气藏深化勘探[J].石油学报,2003,24(5):10-15.
- [6] 孙和风,曾选萍,贺电波,等.莱州湾凹陷温压系统与油气成藏[J].油气地质与采收率,2010,17(1):19-21.
- [7] 彭存仓.新滩地区馆陶组油气成藏规律研究[J].成都理工学院学报,2002,29(5):493-498.
- [8] 李敏,赵勇,杨志伟.渤海湾盆地陈家庄凸起浅层气成藏规律[J].石油实验地质,2005,27(4):399-403.
- [9] 蒋有录,翟庆龙,荣启宏,等.东营凹陷博兴地区油气富集的主要控制因素[J].石油大学学报:自然科学版,2003,27(4):11-14.
- [10] 盛秀杰,赵乐强,向立宏,等.济阳拗陷古近系—新近系地层油气藏油气输导方式[J].油气地质与采收率,2010,17(3):31-33.
- [11] 米立军,段吉利.渤中拗陷中浅层油气成藏特点及其聚集规律[J].石油学报,2001,22(2):32-37.
- [12] 邓运华.断裂—砂体形成油气运移的“中转站”模式[J].中国石油勘探,2005,10(6):14-17.
- [13] 龚再升,王国纯.渤海新构造运动控制晚期油气成藏[J].石油学报,2001,22(2):1-7.
- [14] 龚再升.中国近海含油气盆地新构造运动和油气成藏[J].石油与天然气地质,2004,25(2):133-138.
- [15] 龚再升.中国近海盆地晚期断裂活动和油气成藏[J].中国石油勘探,2004,9(2):12-19.
- [16] 邓运华.郯庐断裂带新构造运动对渤海东部油气聚集的控制作用[J].中国海上油气:地质,2001,15(5):301-305.
- [17] 米立军.新构造运动与渤海海域上第三系大型油气田[J].中国海上油气:地质,2001,15(1):21-28.
- [18] 朱伟林,李建平,周心怀,等.渤海新近系浅水三角洲沉积体系与大型油气田勘探[J].沉积学报,2008,26(4):575-582.
- [19] 田立新,余宏忠,周心怀,等.黄河口凹陷油气成藏的主控因素[J].新疆石油地质,2009,30(3):319-321.
- [20] 彭文绪,孙和风,张如才,等.渤海海域黄河口凹陷近源晚期优势成藏模式[J].石油与天然气地质,2009,30(4):510-518.
- [21] 阎福礼,贾东,卢华复,等.东营凹陷油气运移的地震泵作用[J].石油与天然气地质,1999,20(4):295-298.
- [22] 华保钦.构造应力场、地震泵和油气运移[J].沉积学报,1995,13(2):77-85.
- [23] Hooper E C D. Fluid migration along growth faults in compacting sediment[J]. Journal of Petroleum Geology, 1991, 14(2): 161-180.
- [24] Sibson R H, Moorer J M C, Fankin A H. Seismic pumping— a hydrothermal fluid transport mechanism[J]. Journal of Geological Society of London, 1975, 131: 653-659.
- [25] 于海波,牛成民,彭文绪,等.黄河口凹陷新近系断裂—砂体控藏分析——以垦利3-2构造为例[J].中国海上油气,2010,22(3):149-154.
- [26] 薛永安,邓运华,余宏忠.渤海海域近期油气勘探进展与创新认识[J].中国石油勘探,2008,13(4):1-7.

编辑 邹澍滢