中国科学: 地球科学 2014 年 第 44 卷 第 4 期: 579 ~ 590
www.scichina.com earth.scichina.com
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

论 文

渤海湾盆地构造差异演化与油气差异富集

滕长宇[①], 邹华耀[①], 郝芳[①②*]

① 中国石油大学油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249;
② 中国地质大学构造与油气资源教育部重点实验室, 武汉 430074
* 联系人, E-mail: haofang@cug.edu.cn

收稿日期: 2013-08-18; 接受日期: 2013-11-27; 网络版发表日期: 2014-02-28
国家自然科学基金项目(批准号: 90914006, 41271265)和国家科技重大专项(编号: 2011ZX05023-006-07)资助

摘要 渤海湾盆地是中国东部最富油的新生代含油气盆地. 盆地内各坳陷因区域应力场环境不同而表现出不同的断裂演化过程, 垂向上的油气分布也具有明显的差异. 本文基于各坳陷断层组合样式、发育密度和活动速率(FAR)的分析, 阐述了渤海湾盆地断层发育演化的时空差异性. 并通过区域应力场分析, 探讨了断层活动差异的动力学机制. 研究表明, 渤中坳陷位于活动较强的营口-潍坊与北京-蓬莱走滑断层交会所形成的强烈转换拉张构造区, 其主干断层活动最强, 新近纪以来活动速率最大(FAR>10 m/Ma), 在新构造运动期(上新世至今)甚至超过 25 m/Ma, 大部分油气可以通过这些断层发生垂向运移并在新近系成藏. 远离渤中坳陷的其他坳陷新近纪以来断层活动速率减弱(FAR<10 m/Ma), 新构造运动期近乎停止, 不能成为油气垂向运移通道, 油气主要聚集于古近系. 因此, 渤海湾盆地新近纪以来, 尤其是新构造运动以来断层的差异活动控制了油气垂向的差异富集.

关键词
油气垂向分布
区域应力场差异
断层活动差异
新构造运动
渤海湾盆地

渤海湾盆地是一个新生代裂谷盆地(Allen 等, 1997; Ren 等, 2002). 与典型的裂谷盆地相比(Nøttvedt 等, 1995; Bosence, 1997; Miall, 2002; Webster 等, 2004; Huntsman-Mapila 等, 2009), 盆地的形成演化除了经历裂陷期与裂后热沉降期外, 还受到区域剪切应力场的影响(池英柳等, 2000; 贾志斌等, 2003; 漆家福, 2004; Schellart 等, 2005; 曹忠祥, 2008). 盆地内部发育 4 条区域性走滑断裂带, 我国东部著名的郯庐断裂带自北向南从其东部穿过(池英柳等, 2000; 李文勇等, 2010; Qi 等, 2010). 4 条走滑断裂的不同部位在盆地内的发育程度不同, 有些部位切入新近系甚至贯穿至地表, 有些部位则隐伏于盆地基底(池英柳等, 2000; Qi 等, 2010). 受其影响, 盆地内各个坳陷的断层发育演化具有明显的差异(徐守余等, 2005; 宋景明等, 2009). 渤海湾盆地烃源岩主要发育于古近系的沙河街组与东营组(Hao 等, 2011), 油气也主要分布于古近系, 而渤中坳陷及其周缘区域的油气则主要分布于新近系的馆陶组和明化镇组(李大伟, 2004; 刘小平等, 2009). 断层是油气自古近系烃源岩向新近系储集层垂向运移的主要通道, 龚再升等(2001, 2004a, 2004b)通过对渤中坳陷断层发育演化的研究认为, 上新世以来的新构造运动使得早期发育的主干断层强烈活动, 并控制了该区油气的最终成藏与分布(Gong 等, 2010). 本文在前人研究的

中文引用格式: 滕长宇, 邹华耀, 郝芳. 2014. 渤海湾盆地构造差异演化与油气差异富集. 中国科学: 地球科学, 44: 579–590
英文引用格式: Teng C Y, Zou H Y, Hao F. 2014. Control of differential tectonic evolution on petroleum occurrence in Bohai Bay Basin. Science China: Earth Sciences, 57: 1117–1128, doi: 10.1007/s11430-013-4771-6

基础上, 在盆地尺度阐述各坳陷主要断层活动强度差异, 探讨引起此差异的动力学机制, 并揭示油气垂向分布的差异及其控制因素.

1 区域地质背景与油气分布

渤海湾盆地位于中国东部, 包括华北平原、下辽河平原和渤海海域, 总面积约 20×10^4 km^2. 其北部边界为燕山褶皱带, 西部为太行山山脉, 南部和东部分别被鲁西隆起和胶辽隆起所限, 平面上呈斜体"N"字形(图 1). 盆地在新生代经历了古近纪裂陷和新近纪的裂后热沉降作用, 根据古近系的分布, 整个盆地可划分为下辽河-辽东湾、渤中、黄骅、冀中、临清、济阳、昌潍 7 个坳陷以及沧县、埕宁、邢衡和内黄 4 个隆起(图 1).

渤海湾盆地的油气勘探开始于 1955 年, 自 1961 年东营凹陷华 8 井获得工业油流以来, 该区的油气勘探不断取得重大突破. 截至 2005 年底, 盆地共发现油田 245 个, 累计探明石油地质储量 111.35 亿吨, 其中储量达亿吨级的大油田 25 个(翟中喜等, 2008). 然而, 在各个主要富油坳陷中, 油气在层位上的分布极其不均. 渤中坳陷的油气主要分布在新近系, 占其总探明储量的 95.01%, 在古近系和潜山分布极少; 济阳坳陷和黄骅坳陷分别有 31.50%和 22.93%的油气位

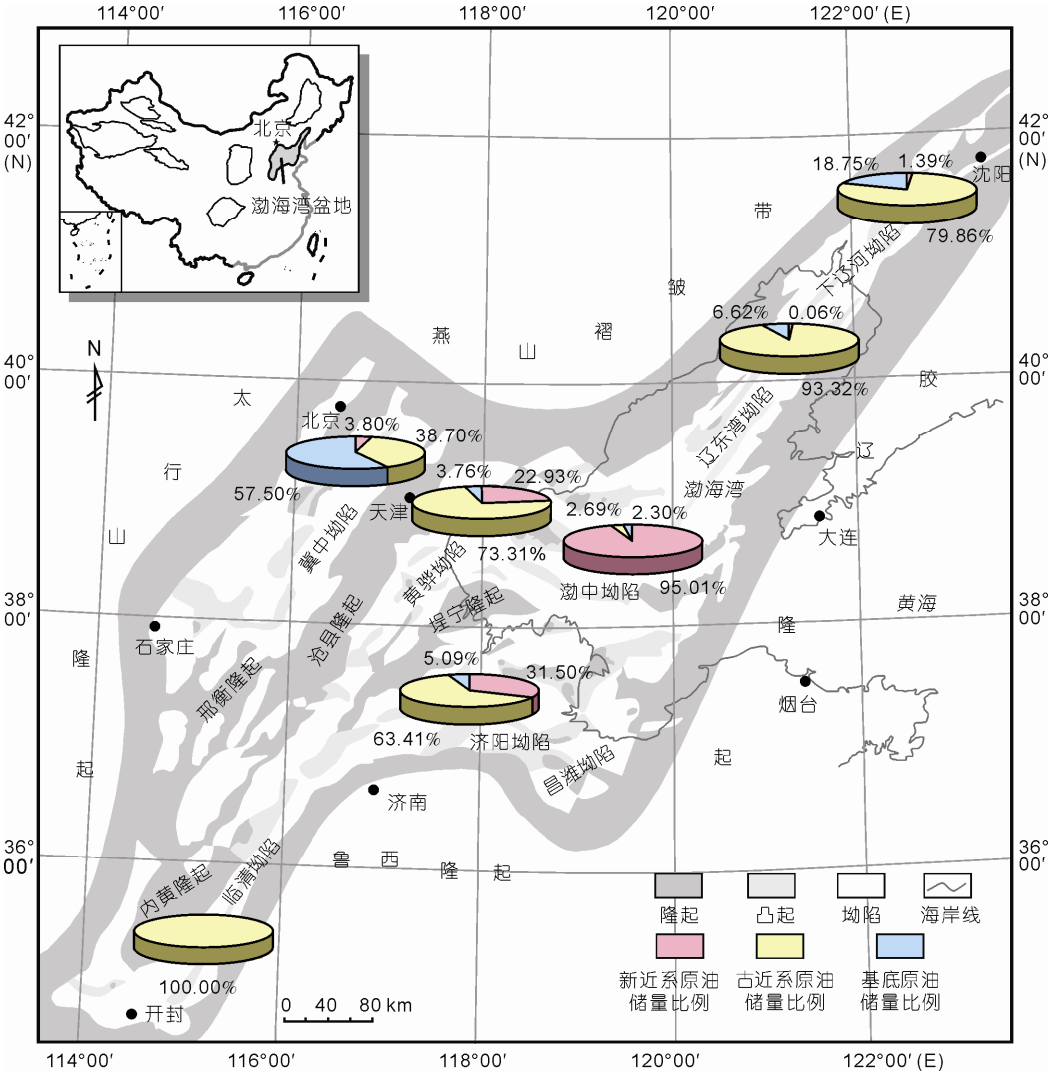

图 1 渤海湾盆地构造单元及各坳陷油气分布

下辽河坳陷、济阳坳陷、黄骅坳陷、冀中坳陷和临清坳陷储量数据据翟中喜等(2008)

于新近系; 冀中坳陷的油气主要分布于基底潜山, 新近系只占 3.80%; 下辽河和辽东湾坳陷也仅有 1.39%和 0.06%油气分布于新近系, 绝大部分都位于古近系; 而临清坳陷在新近系几乎没有油气发现, 已探明油气完全分布于古近系. 总体表现为: 新近系油气所占比例以渤中坳陷为中心, 向周缘逐渐递减(图 1).

2　构造发育演化

渤海湾盆地中侏罗世至始新世早期, 由于扬子板块的向北楔入以及太平洋板块向 NNW 方向俯冲, 使贯穿盆地的 NNE 向郯庐断裂带发生左旋走滑运动(朱光等, 2003; Vergely 等, 2007), 并派生 NW-SE 向张性断层(图 2). 由于古新世地幔上涌导致壳内伸展(李三忠等, 2010), 盆地开始发生裂陷, 发育了大量的小规模断层. 受郯庐断裂带先存断层的影响, 这些小断层在渤中-济阳坳陷断层走向主要为 NNE 和 NW/NWW 向, 而其他坳陷的断层主要表现为 NNE 或/和 NE 向. 在始新世中后期, 盆地裂陷强度达到最大, 小规模断层不断发育扩展并发生连接, 形成了众多弧形断层(任凤楼等, 2008; Su 等, 2011), 进而控制着凹陷与凸起的构造格局(图 2). 渐新世早期, 由于库拉板块消失, 致使太平洋板块向欧亚板块的俯冲方向由原来的 NNW 向转为 NWW 向, 加之印度板块

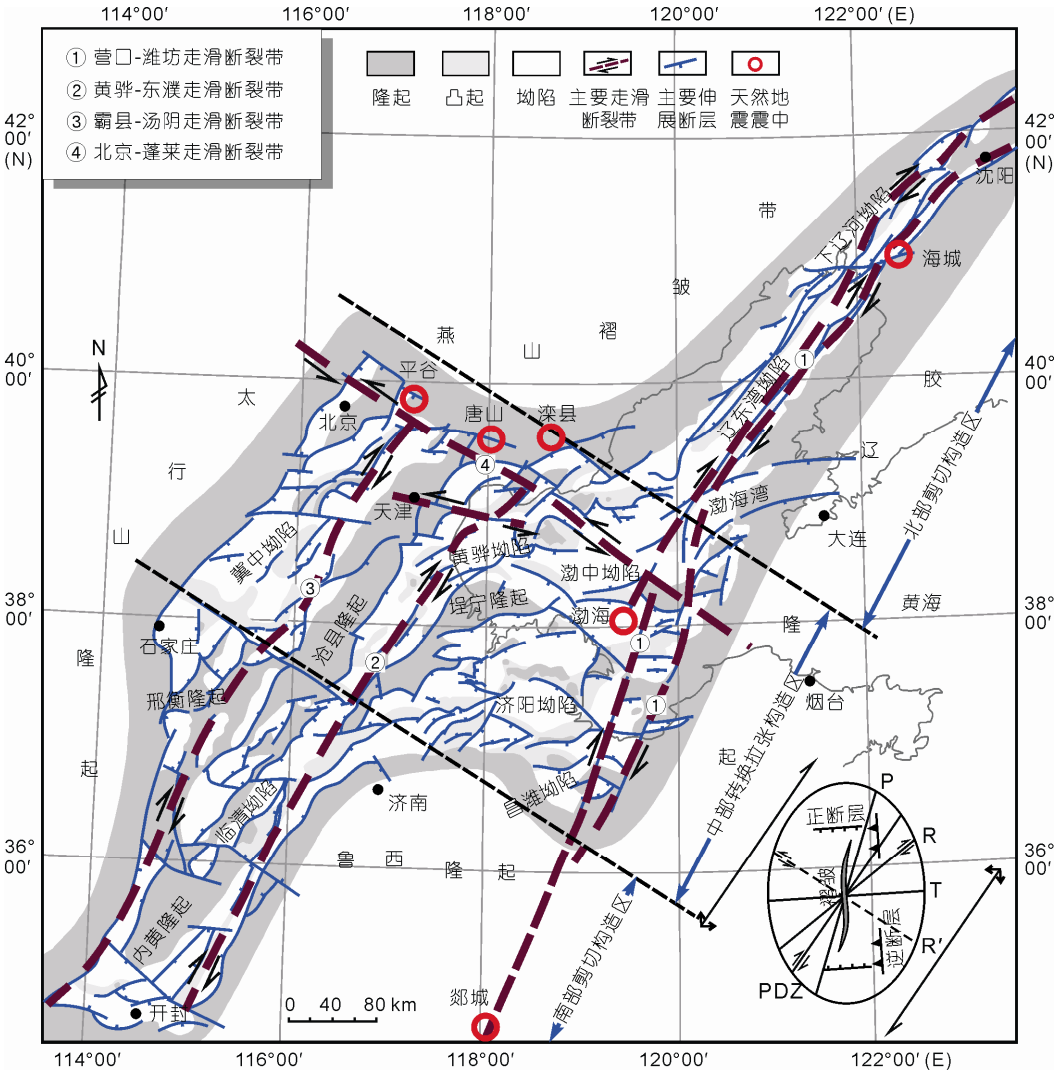

图 2　渤海湾盆地主要断层分布、17 世纪以来 M_S>7.0 天然地震震中分布以及构造区划分

据李西双等(2010)和 Qi 等(2010)修改. PDZ, 走滑主位移带

与欧亚板块碰撞, 郯庐断裂发生右旋走滑运动(侯贵廷等, 2001; 彭文绪等, 2009; 黄雷等, 2012). 现今渤海湾盆地依然处于右旋剪切应力场中(Hsiao 等, 2004). 新近纪以来, 渤海湾盆地整体进入裂后热沉降阶段, 断裂活动大幅度减弱. 然而, 上新世以来由于新构造运动作用, 使得在渤中坳陷及其邻区的沾化凹陷(济阳坳陷)、南堡和歧口凹陷(黄骅坳陷)基底断层活化并在浅层派生密集的次级断层(龚再升, 2004b; 徐杰等, 2009; 余一欣等, 2011).

深部地球物理探测资料证实, 在渐新世以来右旋剪切应力场的作用下, 贯穿渤海湾盆地主要发育 4 条走滑断裂带, 分别是 NNE 向的营口-辽东湾-潍坊右旋走滑断裂带(郯庐断裂带渤海湾盆地段)、黄骅-德州-东濮右旋走滑断裂带、霸县-束鹿-汤阴右旋走滑断裂带, 以及 NW 向的北京-蓬莱左旋走滑断裂带(池英柳等, 2000; Qi 等, 2010) (图 2). 四条走滑断裂带对新生代渤海湾盆地的构造格架具有重要的控制作用(漆家福等, 2008; 宋景明等, 2009; Li 等, 2012), 它们分别在渤中坳陷、黄骅坳陷和冀中坳陷相交产生转换拉张的应力场环境, 发育 NEE 和 EW 向的张性断层, 与右旋走滑应变椭圆分析结果相一致(图 2, 新近系断层展布见图 3(a)); 而下辽河-辽东湾坳陷和临清坳陷只受走滑剪切作用影响, 区内主要发育 NNE 向剪性断层, 近 EW 向次级断层的发育程度大为减少. 根据各坳陷所处的应力场环境, 可以将渤海湾盆地划分为三个构造区, 即: 北部和南部剪切构造区(主要包括下辽河-辽东湾坳陷和临清坳陷)及中部转换拉张构造区(包括渤中坳陷、黄骅坳陷、冀中坳陷、济阳坳陷和昌潍坳陷) (图 2).

2.1 中部转换拉张构造区

中部转换拉张构造区位于 4 条走滑断裂带交会区域, 主要包括渤中坳陷、黄骅坳陷、冀中坳陷和济阳坳陷. 该区自渐新世以来处于转换拉张的应力场环境.

渤中坳陷位于营口-潍坊右旋走滑断裂带与北京-蓬莱左旋走滑断裂带交会点的西北象限(图 2). 受两条走滑断裂的影响, 新近纪以来该区断裂活动强烈, 尤其是上新世以来的新构造运动使得该区在新近系与第四系发育密集的 NEE 和 EW 向的张性断层, 密度达 0.13 条/km^2 (图 3(a)). 该区发育两套断裂系统, 即裂陷期形成的 NNE, NW/NWW 向伸展断层和新构造运动以来由于转换拉张作用所形成的近 EW 向次级断层. 两套断裂系统组合形成花状或半花状构造, 展现出明显的走滑特征(图 3(b)). 那些控制凹陷和凸起边界的伸展断层继承性发育, 并且活动强度大, 新近纪及第四纪平均活动速率>10 m/Ma, 新构造运动期>25 m/Ma; 新构造运动形成的次级断层直通地表, 但活动强度较弱, 新构造运动期平均活动速率<5 m/Ma (图 3(b)).

黄骅坳陷和冀中坳陷分别位于黄骅-东濮和霸县-汤阴右旋走滑断裂带与北京-蓬莱左旋走滑断裂带交会点的东南象限(图 2). 同样受两条走滑断裂的影响在新近系发育 NEE 和 EW 向张性断层. 纵向上可以识别出两套断层系统, 即裂陷期发育的 NNE-SSW 向伸展断层和坳陷期由于转换拉张作用所形成的次级断层(图 4). 与渤中坳陷相比较, 黄骅坳陷新近系断层发育密度较低, 为 0.06 条/km^2, 主干断层在新近纪及第四纪平均活动速率降低, 为 5~10 m/Ma, 新构造运动期平均活动速率一般<5 m/Ma (图 4(a)); 而冀中坳陷新近系断层发育密度更低, 为 0.04 条/km^2, 主干断层在新近纪及第四纪平均活动速率<5 m/Ma, 在新构造运动期几乎全部停止活动(图 4(b)).

济阳坳陷位于渤中坳陷的南部, 北西方向以埕宁隆起与黄骅坳陷相隔, 南部受鲁西隆起所限, 该坳陷东西两侧被营口-潍坊与黄骅-东濮走滑断裂所夹持(图 2). 古新世至早始新世, 受营口-潍坊断裂左旋走滑作用, 该区主要发育 NW-SE 向张性断裂, 至渐新世后期这些断层活动减弱, 甚至停止. 渐新世以来由于营口-潍坊走滑断裂发生右旋走滑活动, 导致坳陷内发育 NE 向、NEE 向以及少量的近 E-W 向张性断层(图 2). 相对渤中坳陷而言, 北部 NE 和 NEE 向主干断层在新近纪活动速率较小, 为 5~10 m/Ma, 个别断层活动速率达到 10 m/Ma; 南部的活动速率则十分微弱, 一般<5 m/Ma. 新近系断层发育密度与活动强度整体具有自北向南逐渐递减的趋势. 在新构造运动期, 该坳陷断层几乎都停止了活动(图 5).

2.2 北部和南部剪切构造区

剪切构造区位于盆地南北两端相对狭窄的区域, 包括下辽河-辽东湾坳陷和临清坳陷(图 2). 渐新世以来主要发生水平剪切作用, 伸展作用微弱.

北部剪切构造区以辽东湾坳陷为例, 该区发育

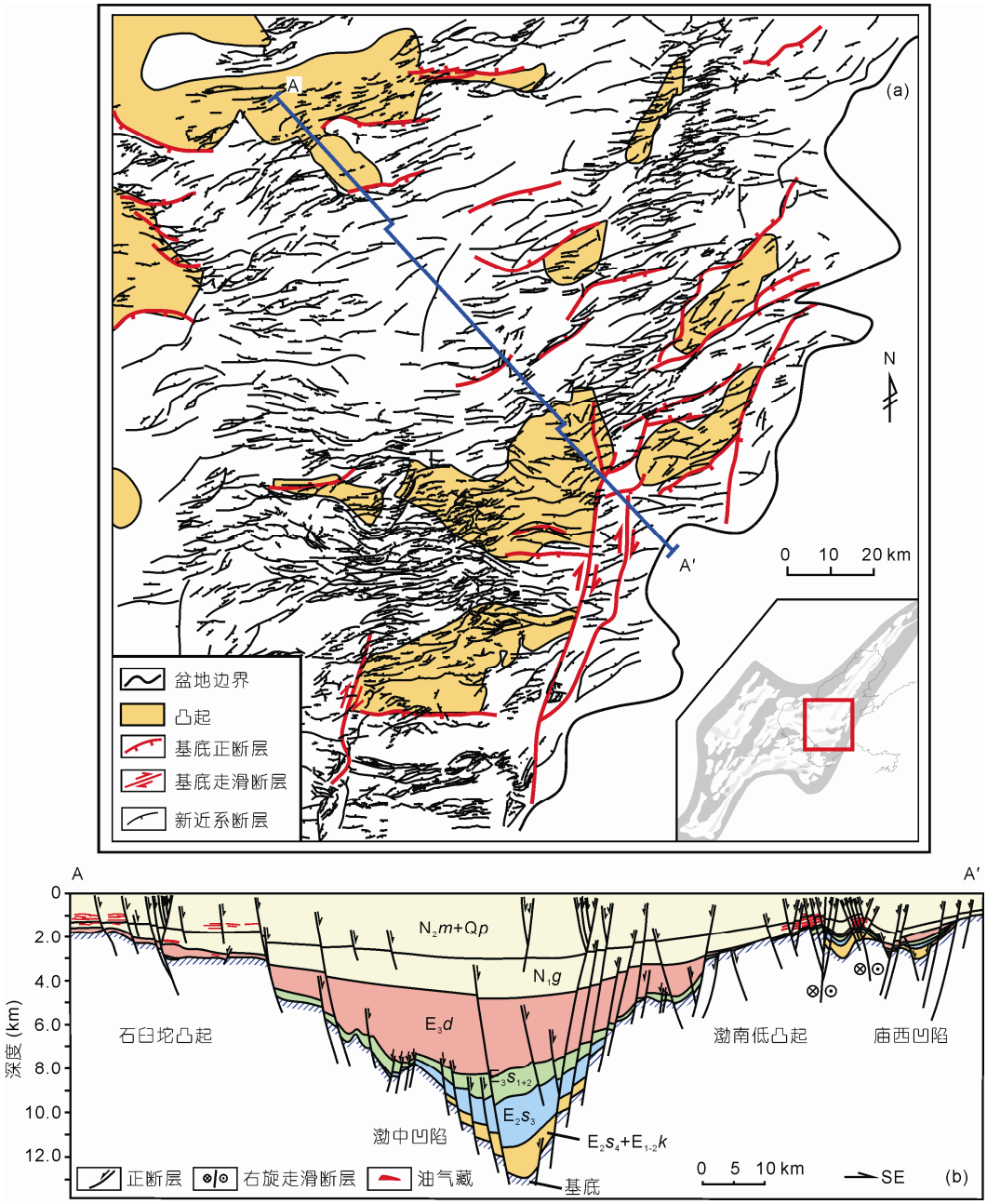

图 3　渤中坳陷新近系断层平面分布与构造、油藏剖面图

(a) 渤中坳陷断层平面分布图; (b) 渤中坳陷构造、油藏剖面图. $E_{1-2}k$, 孔店组(古新统+始新统); E_2s_4, 沙河街组第四亚段(始新统); E_2s_3, 沙河街组第三亚段(始新统); E_3s_{1+2}, 沙河街组第一、二亚段(渐新统); E_3d, 东营组(渐新统); N_1g, 馆陶组(中新统); N_2m+Qp-明化镇组+平原组(上新统+第四系). 下同

营口-潍坊走滑断裂带的两条分支断层(图 6). 主走滑直立破裂面向上直接切入新近系, 走向为 NNE-SSW, 在新近系派生的近 EW 向张性断层紧邻主走滑破裂面分布(图 6(a), (b)). 该区新近系断层发育程度低, 平均密度<0.025 条/km^2. 裂陷期的伸展断层在新近纪初全部停止活动, 只有主走滑断层及其派生的次级伸展断层在新近纪仍有微弱的活动, 活动速率<5 m/Ma (图 6(c)).

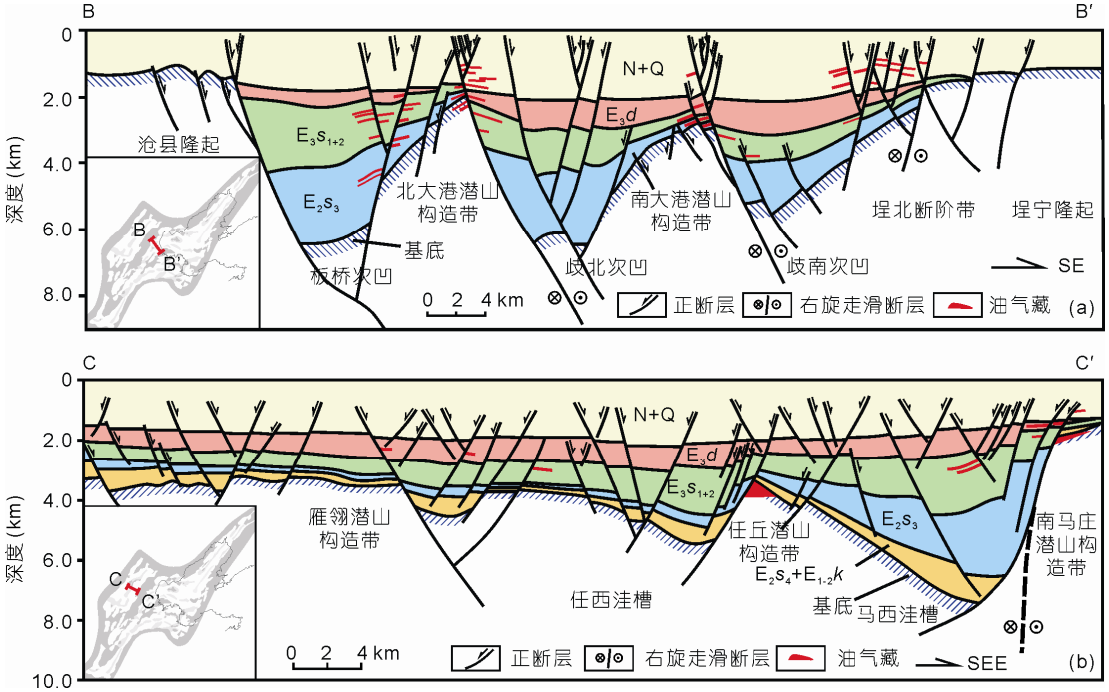

图 4　黄骅坳陷与冀中坳陷构造、油藏剖面图

(a) 黄骅坳陷构造、油藏剖面图; (b) 冀中坳陷构造、油藏剖面图. 图 4(a)据 Zhou 等(2012)修改

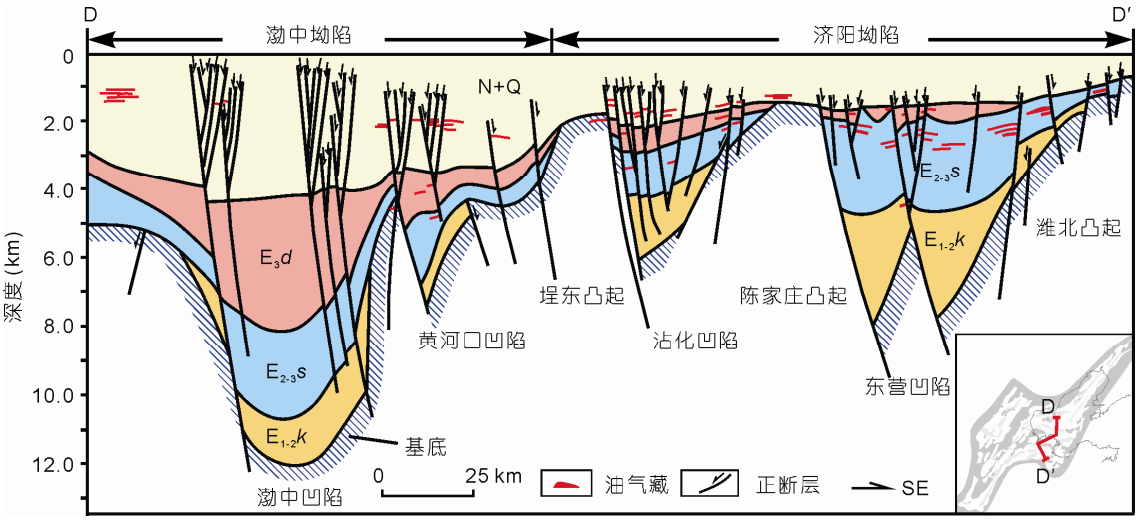

图 5　济阳坳陷构造、油藏剖面图

据王振兰等(2008)和 Hao 等(2011)修改

在南部剪切构造区的临清坳陷, 黄骅-东濮和霸县-汤阴右旋走滑断裂从东西两侧穿过(图 2). 以该区富含油气的东濮凹陷为例, 该凹陷为东断西超的复式半地堑, 自东向西划分为兰聊断裂带、东部次凹带、中央低凸带、西部次凹带和西部斜坡带(图 7). 黄骅-东濮右旋走滑断裂主要隐伏于中央低凸带下的基底中, 没有切入新生界. 裂陷期形成的张性断层在新近纪初几乎都停止了活动; 只有控凹断层切入新近系, 但活动强度微弱, 活动速率<5 m/Ma, 并且在新近系没有派生次级伸展断层(图 7).

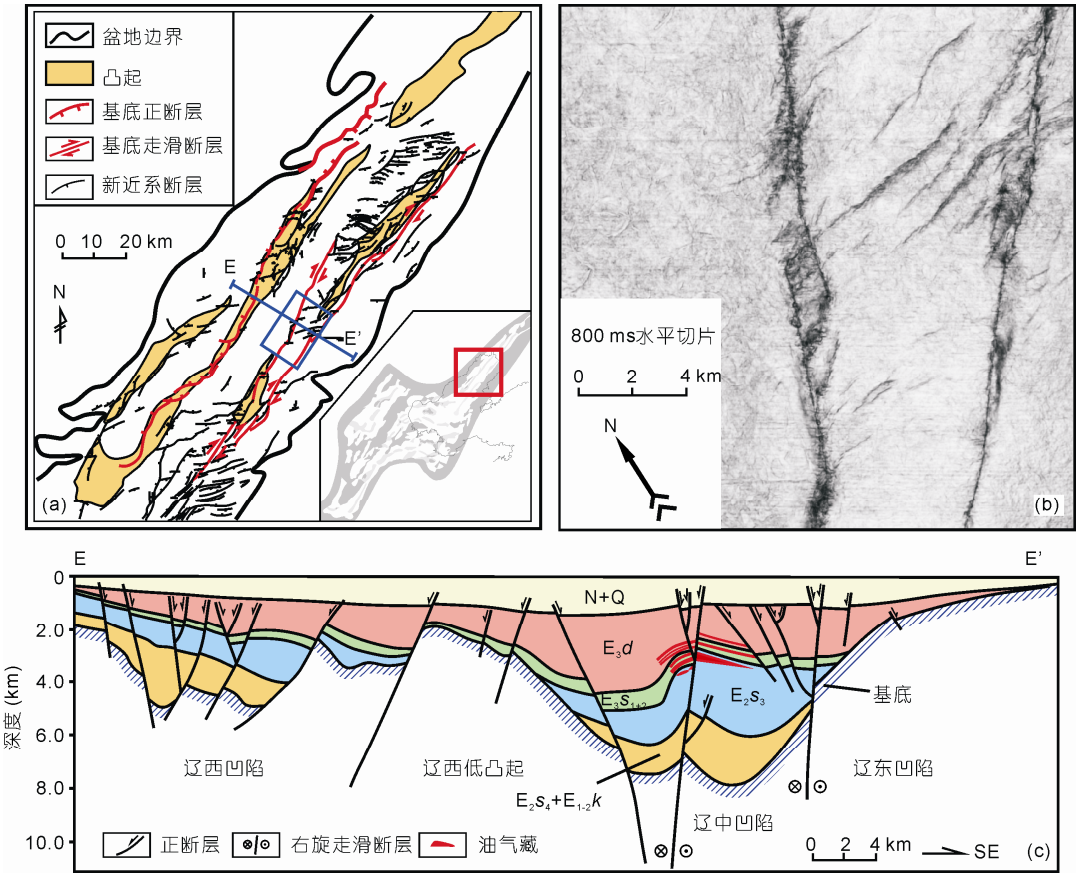

图 6　辽东湾坳陷新近系断层平面分布与构造、油藏剖面图

(a) 辽东湾坳陷断层平面分布图; (b) 辽东湾坳陷局部相干体 800 ms 水平切片; (c) 辽东湾坳陷构造、油藏剖面图. 图 6(b)位置见图 6(a)蓝色方框

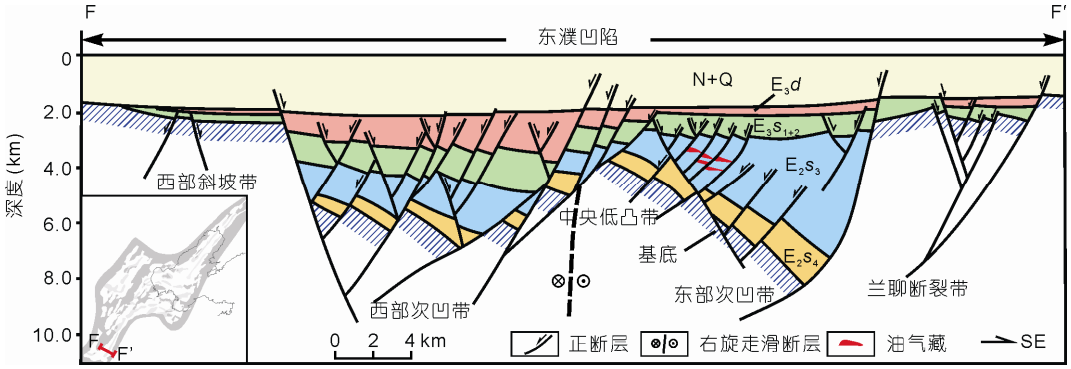

图 7　临清坳陷东濮凹陷构造、油藏剖面图

据程秀申等(2010)修改

3　讨论

3.1　新近纪以来区域应力场与沉降的差异

渤海湾盆地各坳陷沉降的时空差异是区域应力场、深部过程共同作用的结果(任凤楼等, 2008). 古近纪裂陷期盆地具有多个沉降中心分布于各个坳陷; 新近纪坳陷期以来盆地成为一体, 沉降中心位于渤中坳陷(图 8). 新近纪渤中坳陷基底沉降速率最大,

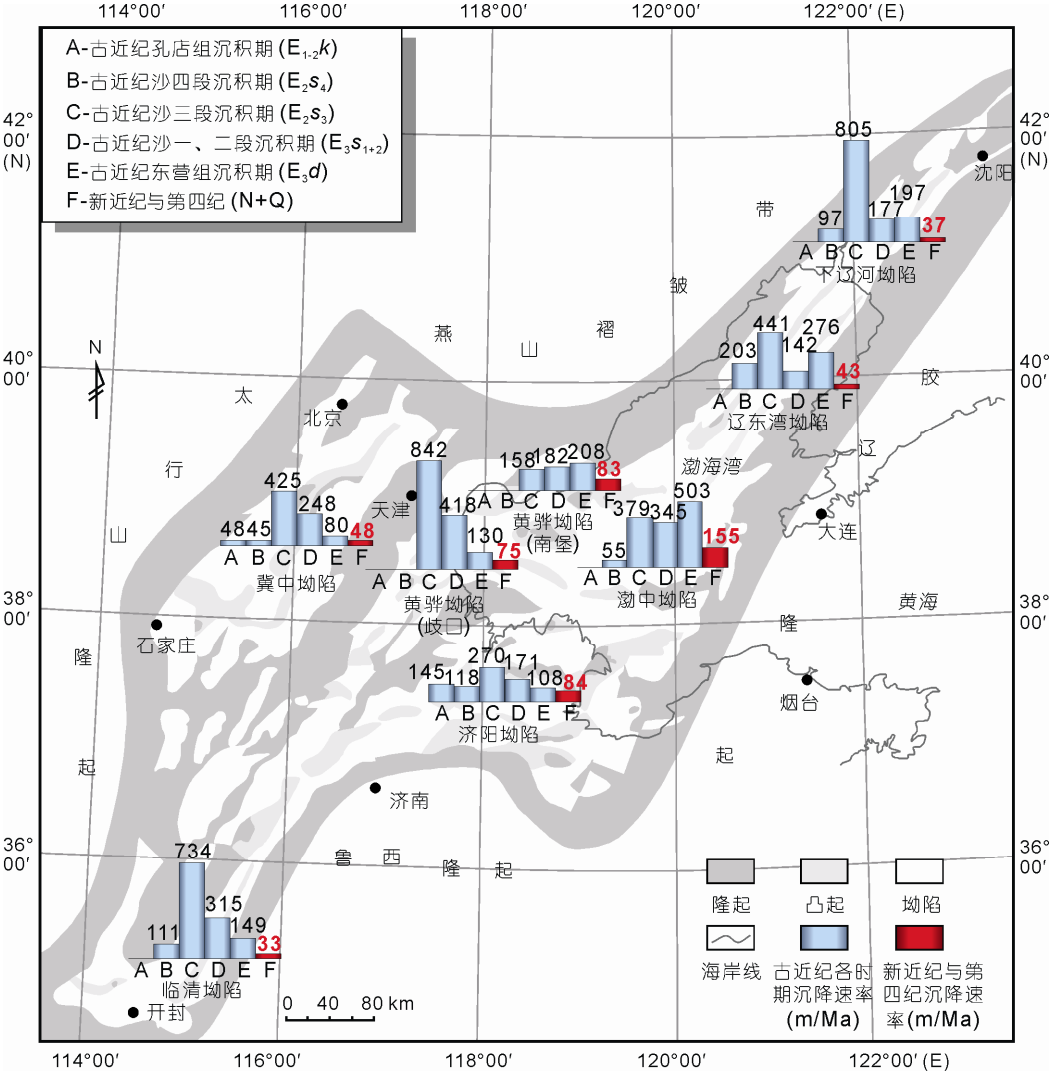

图 8　渤海湾盆地各坳陷不同时期基底沉降速率图

为 155 m/Ma; 向西黄骅坳陷(79 m/Ma)和冀中坳陷(48 m/Ma)沉降速率则依次减小; 向南济阳坳陷沉降速率为 84 m/Ma. 而南北剪切构造区, 由于在新近纪以来主要发生水平剪切作用, 因此基底沉降速率较低, 北部下辽河-辽东湾坳陷为 43~37 m/Ma; 临清坳陷最低, 为 33 m/Ma (图 8). 区域上沉降速率表现为以渤中坳陷为中心向周缘坳陷逐渐降低的趋势. 渤中坳陷新近系厚度达 4000 多米, 而其他坳陷相应地层的厚度一般在 2000 m 左右(图 3(b), 4, 5, 6(c), 7).

新近纪以来渤中坳陷的沉降主要包括裂后热沉降(高祥林, 2005)和区域剪切应力场产生的转换拉张作用所引起的沉降, 有学者认为可能还有拉张作用诱发地幔再次隆起所引起的沉降(滕吉文等, 1997; 徐杰等, 2004; 郭兴伟等, 2007). 但是导致渤中坳陷成为新近纪沉降中心的主要原因是区域剪切应力场的作用(任凤楼等, 2008). 盆地内发育的 4 条区域性走滑断裂带中, 最著名的是郯庐断裂带与北京-蓬莱断裂带. 这两条断裂带新近纪以来, 尤其是新构造运动期强烈活动(Huang 等, 1996; Fu 等, 2004; 李西双等, 2009, 2010), 近几百年 7 级以上的强烈地震主要与这两条断裂带的走滑活动有关, 包括 1668 年郯城地震(8.5 级)、1679 年平谷地震(8 级)、1969 年渤海地震(7.4 级)、1975 年海城地震(7.3 级)、1976 年唐山地震(7.8 级)以及 1976 年滦县地震(7.1 级) (图 2). 东部

营口-潍坊走滑断裂带发育 2 条主走滑断层, 且都切入新近系; 而西部的黄骅-东濮与霸县-汤阴走滑断裂带主断层则隐伏于基底或古近系, 在新近系派生的次级断层主要以雁列式的形式出现, 因此推断新近纪以来 3 条 NNE 向走滑断裂带活动性自东向西逐渐减弱(肖尚斌等, 2000; 郭兴伟等, 2007; Qi 等, 2010). 相交的两条走滑断层可以产生拉张作用, 引起构造沉降. 渤中坳陷位于活动较强的营口-潍坊和北京-蓬莱走滑断裂带的交会区域, 受拉张作用的影响, 该坳陷在新近纪以来发生强烈的构造沉降, 现今的渤海海域正位于这一沉降区域(图 2).

3.2　新近纪以来断层活动的差异

根据应变椭圆分析, 渤海湾盆地在新近纪以来受区域剪切应力的作用主要表现为近 SN 向的伸展, 其所受主要应力方向: σ_1 为垂直方向, σ_2 为水平近 EW 方向, σ_3 为水平近 SN 方向(图 9(a)). 位于转换拉张构造区的渤中坳陷新近纪以来发生快速沉积与沉降, 使得σ_1 急剧增大, 同时 SN 向伸展导致σ_3 减小, 其结果是应力莫尔圆半径变大. 当莫尔圆与剪切破裂线相切的时候即形成断层, 而且随着沉降与伸展作用的增强, 断层活动强度增大(图 9(b)). 而位于剪切构造区的下辽河-辽东湾坳陷和临清坳陷水平伸展和垂向沉降相对较弱, 因此断层相对不发育或活动强度很弱.

因此, 渤海湾盆地新近纪以来渤中坳陷断层活动强度最大, 主干断层(主要指切穿古近系或新生界的断层)活动速率基本上>10 m/Ma (图 10). 黄骅坳陷中北部断层活动速率个别>10 m/Ma, 主要介于 5~10 m/Ma; 南部通常<5 m/Ma. 冀中坳陷个别断层活动速率达到 5~10 m/Ma, 一般都<5 m/Ma. 济阳坳陷断层的活动强度自北向南逐渐减弱, 并且 NE 向的断层活动强度大于 NW 向的断层. 坳陷北部个别 NE 向断层或断层的某一段活动速率>10 m/Ma, 一般为 5~10 m/Ma; 坳陷南部断层通常<5 m/Ma. 在南北剪切构造区, 下辽河-辽东湾坳陷东部断层活动比西部强, 东部的活动速率为 5~10 m/Ma, 西部的<5 m/Ma; 临清坳陷断层活动速率都<5 m/Ma, 并且大部分停止活动(图 10). 渤海湾盆地晚期新构造运动使得渤中坳陷主干断层活动性增强, 活动速率>25 m/Ma; 而其他坳陷断层几乎都停止活动.

3.3　油气垂向分布的差异

渤海湾盆地的烃源岩发育于古近系, 新近系的油气成藏主要通过断层发生垂向运移. 流体沿断层向上运移具有周期性, 活动期断层可以作为流体垂向运移的通道, 静止期断层垂向起封闭作用(Hooper, 1991; Czauner 等, 2011). 基于渤海海域新构造运动期断层活动强度与油气分布之间的统计规律发现, 活动速率>10 m/Ma 的断层垂向主要起输导油气的作用, 活动速率<10 m/Ma 断层主要起封闭油气的作用(周心怀等, 2009).

因此, 只有新近纪以来, 尤其是新构造运动期断层活动速率>10 m/Ma 的主干断层才能成为新近系油气成藏的垂向通道. 前已述及, 新近纪以来只有渤中坳陷及其邻近区域的主干断层活动速率>10 m/Ma (图 10), 而且其中大部分的断层新构造运动期活动速率>25 m/Ma, 这些断层可以起到垂向输导油气的作

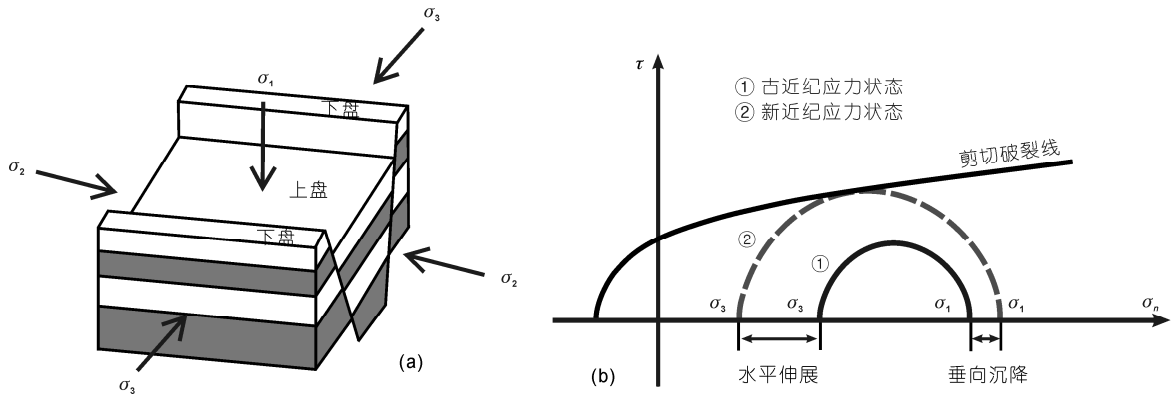

图 9　转换拉张构造区新近纪以来的应力状态

(a) 转换拉张构造区新近纪以来应力分布; (b) 水平伸展与垂向沉降引起的应力莫尔圆变化. σ-正应力, τ-剪切应力

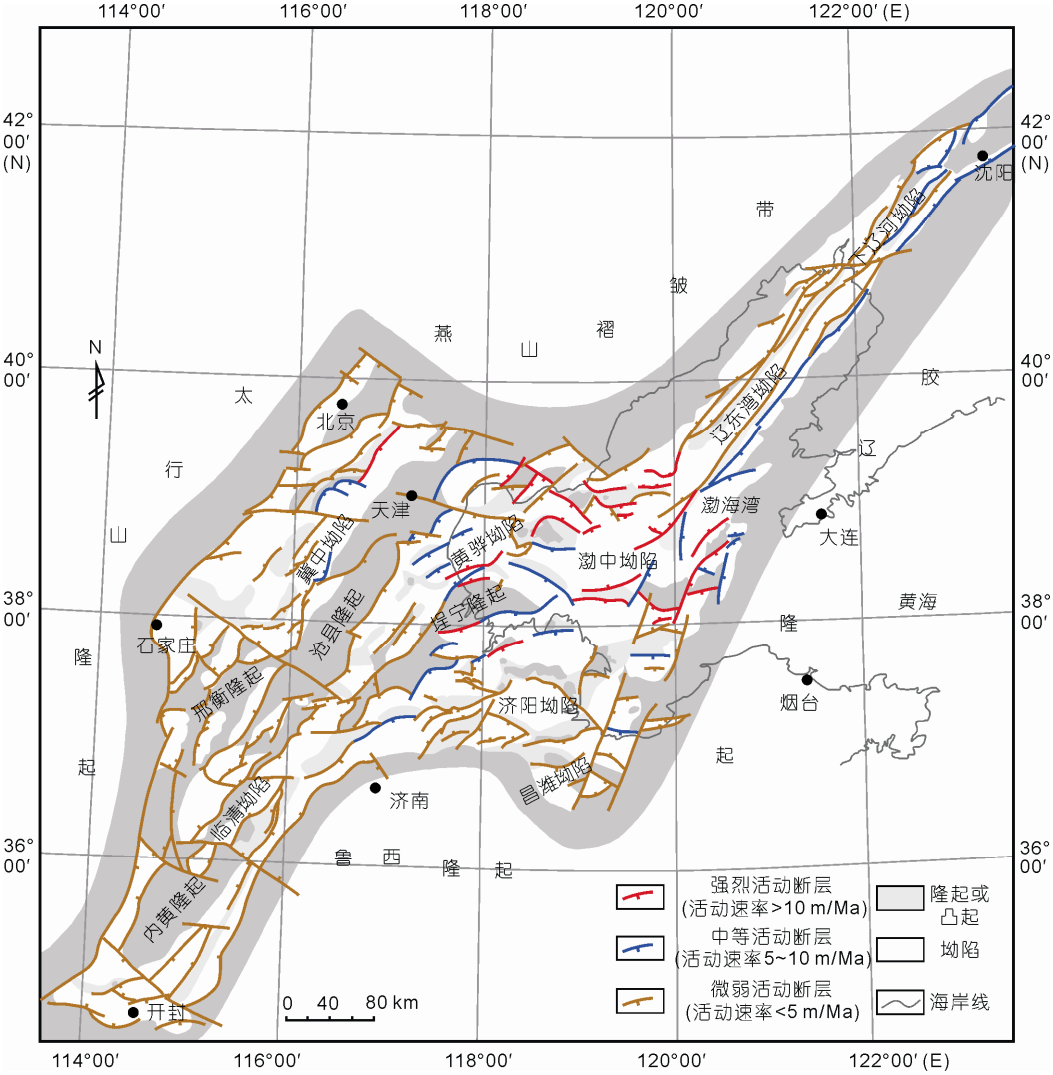

图 10　渤海湾盆地主干断层新近纪及第四纪活动速率分布图

用(邹华耀等, 2010, 2011; Hao 等, 2012). 其结果是, 渤中坳陷及其邻近区域油气主要分布于新近系, 而远离渤中坳陷的其他坳陷油气主要分布于基底与古近系(图 1, 3(b), 4, 5, 6(c), 7).

4　结论

(1) 渤海湾盆地各坳陷油气在层位上的分布具有明显的差异性. 渤中坳陷油气主要分布在新近系, 随着远离渤中坳陷, 新近系油气所占比例逐渐减小, 至北部的下辽河坳陷、西部的冀中坳陷和南部的临清坳陷油气基本分布于基底与古近系.

(2) 基于渐新世以来, 尤其是新近纪盆地进入裂后热沉降以来剪切应力作用下走滑断裂带的展布, 盆地可以划分为 3 个构造区, 即中部转换拉张构造区、北部和南部剪切构造区. 渤中坳陷位于郯庐断裂带与北京-蓬莱断裂带引起的转换拉张区域, 成为新近纪以来盆地的沉降中心, 其主干断层活动最强, 远离渤中坳陷, 断层活动减弱.

(3) 新近纪以来, 尤其是新构造运动以来断层活动强度控制了油气的垂向分布. 渤中坳陷主干断层活动速率>25 m/Ma, 主要起到垂向输导油气的作用. 其它坳陷断层活动速率<5 m/Ma, 主要起到封堵油气的作用.

致谢　感谢审稿专家对论文初稿提出的建设性修改意见. 研究过程中得到了许多专家的帮助, 包括中海油研究中心龚再升, 中海油天津分公司夏庆龙、田立新、周心怀、周东红、王根照、李建平、王应斌和徐长贵等, 中石油华北油田分公司赵贤正、金凤鸣等, 辽河油田分公司李晓光, 以及中国石油大学(北京) 庞雄奇、汤良杰、漆家福、吕修祥和余一欣等, 在此表示衷心的谢意.

参考文献

曹忠祥. 2008. 营口-潍坊断裂带新生代走滑拉分-裂陷盆地伸展量、沉降量估算. 地质科学, 43: 65–81
程秀申, 陈发景, 漆家福, 等. 2010. 东濮凹陷伸展连锁断层系统及其演化作用. 现代地质, 24: 735–743
池英柳, 赵文智. 2000. 渤海湾盆地新生代走滑构造与油气聚集. 石油学报, 21: 14–20
高祥林. 2005. 新生代渤海中部强烈沉降的物理条件和深部过程. 地球物理学进展, 20: 889–896
龚再升, 王国纯. 2001. 渤海新构造运动控制晚期油气成藏. 石油学报, 22: 1–7
龚再升. 2004a. 中国近海含油气盆地新构造运动与油气成藏. 地球科学——中国地质大学学报, 29: 513–517
龚再升. 2004b. 中国近海盆地晚期断裂活动和油气成藏. 中国石油勘探, 9: 12–19
郭兴伟, 施小斌, 丘学林, 等. 2007. 渤海湾盆地新生代沉降特征及其动力学机制探讨. 大地构造与成矿学, 31: 273–280
侯贵廷, 钱祥麟, 蔡东升. 2001. 渤海湾盆地中、新生代构造演化研究. 北京大学学报(自然科学版), 37: 845–851
黄雷, 周心怀, 刘池洋, 等. 2012. 渤海海域新生代盆地演化的重要转折期——证据及区域动力学分析. 中国科学: 地球科学, 42: 893–904
贾志斌, 田新琦, 孟祥顺, 等. 2003. 渤海湾盆地成因机制与油气评价. 石油地球物理勘探, 38: 62–66
李大伟. 2004. 新构造运动与渤海湾盆地上第三系油气成藏. 石油与天然气地质, 25: 170–174
李三忠, 索艳慧, 戴黎明, 等. 2010. 渤海湾盆地形成与华北克拉通破坏. 地学前缘, 17: 64–89
李文勇, 周坚鑫, 熊盛青, 等. 2010. 从航空重力看郯庐断裂系(渤海)及其围区构造几何学特征. 地球学报, 31: 549–556
李西双, 刘保华, 华清峰, 等. 2009. 张家口-蓬莱断裂带渤海段晚第四纪活动特征. 海洋科学进展, 27: 332–341
李西双, 赵月霞, 刘保华, 等. 2010. 郯庐断裂带渤海段晚更新世以来的浅层构造变形和活动性. 科学通报, 55: 684–692
刘小平, 周心怀, 吕修祥, 等. 2009. 渤海海域油气分布特征及主控因素. 石油与天然气地质, 30: 497–502
彭文绪, 史浩, 孙和风, 等. 2009. 郯庐走滑断层右旋走滑的地震切片证据. 石油地球物理勘探, 44: 755–759
漆家福, 邓荣敬, 周心怀, 等. 2008. 渤海海域新生代盆地中的郯庐断裂带构造. 中国科学 D 辑: 地球科学, 38(增刊Ⅰ): 19–29
漆家福. 2004. 渤海湾新生代盆地的两种构造系统及其成因解释. 中国地质, 31: 15–22
任凤楼, 柳忠泉, 邱连贵, 等. 2008. 渤海湾盆地新生代各坳陷沉降的时空差异性. 地质科学, 43: 546–557
宋景明, 何毅, 陈笑青. 2009. 对渤海湾盆地断裂体系的认识. 石油地球物理勘探, 44(增刊 1): 154–157
滕吉文, 张中杰, 张秉铭, 等. 1997. 渤海地球物理场与深部潜在地幔热柱的异常构造背景. 地球物理学报, 40: 468–480
王振兰, 王金铎, 季建清, 等. 2008. 鲁西隆起与济阳坳陷箕状断陷形成时代研究. 石油学报, 29: 206–212
肖尚斌, 高喜龙, 姜在兴, 等. 2000. 渤海湾盆地新生代的走滑活动及其石油地质意义. 大地构造与成矿学, 24: 321–328
徐杰, 马宗晋, 邓起东, 等. 2004. 渤海中部渐新世以来强烈沉陷的区域构造条件. 石油学报, 25: 11–16
徐杰, 牛嘉玉, 吕悦军, 等. 2009. 营口-潍坊断裂带的新构造和新构造活动. 石油学报, 30: 498–505
徐守余, 严科. 2005. 渤海湾盆地构造体系与油气分布. 地质力学学报, 11: 259–265
余一欣, 周心怀, 徐长贵, 等. 2011. 渤海海域新生代断裂发育特征及形成机制. 石油与天然气地质, 32: 273–279
翟中喜, 白振瑞. 2008. 渤海湾盆地石油储量增长规律及潜力分析. 石油与天然气地质, 29: 88–94
周心怀, 牛成民, 滕长宇. 2009. 环渤中地区新构造运动期断裂活动与油气成藏关系. 石油与天然气地质, 30: 469–475
朱光, 刘国生, 牛漫兰, 等. 2003. 郯庐断裂带的平移运动与成因. 地质通报, 22: 200–207
邹华耀, 周心怀, 鲍晓欢, 等. 2010. 渤海海域古近系、新近系原油富集/贫化控制因素与成藏模式. 石油学报, 31: 885–893
邹华耀, 龚再升, 滕长宇, 等. 2011. 渤中坳陷新构造运动断裂活动带 PL19-3 大型油田晚期快速成藏. 中国科学: 地球科学, 41: 482–492
Allen M B, Macdonald D I M, Xun Z, et al. 1997. Early Cenozoic two-phase extension and late Cenozoic thermal subsidence and inversion of the Bohai Basin, northern China. Mar Petrol Geol, 14: 951–972
Bosence D W J. 1997. Mesozoic rift basins of Yemen. Mar Petrol Geol, 14: 611–616
Czauner B, Mádl-Szőnyi J. 2011. The function of faults in hydraulic hydrocarbon entrapment: Theoretical considerations and a field study from the Trans-Tisza region, Hungary. AAPG Bull, 95: 795–811
Fu Z X, Liu J, Liu G P. 2004. On the long-term seismic hazard analysis in the Zhangjiakou-Penglai seismotectonic zone, China. Tectonophysics, 390: 75–83

Gong Z S, Zhu W L, Chen P P. 2010. Revitalization of a mature oil-bearing basin by a paradigm shift in the exploration concept: A case history of Bohai Bay, Offshore China. Mar Petrol Geol, 27: 1011–1027

Hao F, Zhou X H, Zhu Y M, et al. 2011. Lacustrine source rock deposition in response to co-evolution of environments and organisms controlled by tectonic subsidence and climate, Bohai Bay Basin, China. Org Geochem, 42: 323–339

Hao F, Zhou X H, Zou H Y, et al. 2012. Petroleum charging and leakage in the BZ25-1 field, Bohai Bay Basin. J Earth Sci, 23: 253–267

Hooper E C D. 1991. Fluid migration along growth faults in compacting sediments. J Petrol Geol, 14: 161–180

Hsiao L, Graham S A, Tilander N. 2004. Seismic reflection imaging of a major strike-slip fault zone in a rift system: Paleogene structure and evolution of the Tan-Lu fault system, Liaodong Bay, Bohai, offshore China. AAPG Bull, 88: 71–97

Huang W, Gao W, Ding G. 1996. Neogene volcanism and Holocene earthquakes in the Tanlu fault zone, eastern China. Tectonophysics, 260: 259–270

Huntsman-Mapila P, Tiercelin J J, Benoit M, et al. 2009. Sediment geochemistry and tectonic setting: Application of discrimination diagrams to early stages of intracontinental rift evolution, with examples from the Okavango and Southern Tanganyika rift basins. J African Earth Sci, 53: 33–44

Li S Z, Zhao G C, Dai L M, et al. 2012. Cenozoic faulting of the Bohai Bay Basin and its bearing on the destruction of the eastern North China Craton. J Asian Earth Sci, 47: 80–93

Miall A D. 2002. An introduction to rift basins and their sediments. Sediment Geol, 147: 3–8

Nøttvedt A, Gabrielsen R H, Steel R J. 1995. Tectonostratigraphy and sedimentary architecture of rift basins, with reference to the northern North Sea. Mar Petrol Geol, 12: 881–901

Qi J F, Yang Q. 2010. Cenozoic structural deformation and dynamic processes of the Bohai Bay basin province, China. Mar Petrol Geol, 27: 757–771

Ren J Y, Tamaki K, Li S T, et al. 2002. Late Mesozoic and Cenozoic rifting and its dynamic setting in Eastern China and adjacent areas. Tectonophysics, 344: 175–205

Schellart W P, Lister G S. 2005. The role of the East Asian active margin in widespread extensional and strike-slip deformation in East Asia. J Geol Soc, 162: 959–972

Su J B, Zhu W B, Wei J, et al. 2011. Fault growth and linkage: Implications for tectonosedimentary evolution in the Chezhen Basin of Bohai Bay, eastern China. AAPG Bull, 95: 1–26

Vergely P, Hou M J, Wang Y M, et al. 2007. The kinematics of the Tan-Lu Fault zone during the Mesozoic-Palaeocene and its relations with the North China-South China block collision. Bull Soc géol Fr, 178: 353–365

Webster R E, Chebli G A, Fischer J F. 2004. General Levalle basin, Argentina: A frontier Lower Cretaceous rift basin. AAPG Bull, 88: 627–652

Zhou L H, Fu L X, Lou D, et al. 2012. Structural anatomy and dynamics of evolution of the Qikou Sag, Bohai Bay Basin: Implications for the destruction of North China Craton. J Asian Earth Sci, 47: 94–106