

文章编号: 0253-2697(2009)03-0342-05

郯庐断裂带在渤海海域渤海地区的构造特征

万桂梅^{1,2} 汤良杰^{1,2} 周心怀³ 余一欣^{1,2} 陈绪云^{1,2}

(1 中国石油大学盆地与油藏研究中心 北京 102249; 2 中国石油大学油气资源与探测国家重点实验室 北京 102249;

3 中海石油(中国)有限公司天津分公司 天津 300452)

摘要:为了分析郯庐断裂带对渤海海域渤海地区的构造特征、构造演化及油气成藏的控制作用,解释了5条地震剖面,并对其中1条剖面做了平衡恢复。研究结果表明,郯庐断裂在渤海地区表现为3个分支,剖面上发育明显的负花状构造、具有走滑性质的正断层、滚动背斜、垒堑构造、断阶构造等,还可见海豚效应现象。平面上深部走滑断层延伸较远,浅层形成大量的雁列式正断层。郯庐断裂古近纪主要以伸展活动为主,且以渐新世东营组沉积期伸展活动最强,上新世—第四纪以走滑活动为主。因此,渤海地区断裂具有分层差异变形特征,基本上可以分为两套断层系统:①古近系及其下部的伸展断层系统;②新近系—第四系的走滑断层系统。郯庐断裂的晚期强烈活动促使了油气的晚期成藏。

关键词:渤海地区;渤海海域;郯庐断裂带;构造样式;构造演化

中图分类号: TE111.2 文献标识码: A

Tectonic characteristics of the Tanlu fault zone in Bodong area of Bohai Sea

WAN Guimei^{1,2} TANG Liangjie^{1,2} ZHOU Xinhua³ YU Yixin^{1,2} CHEN Xuyun^{1,2}

(1 Basin and Reservoir Research Center, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

2 State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China;

3. CNOOC China Ltd. Tianjin, Tianjin 300452, China)

Abstract: The Tanlu fault zone control the tectonic characteristic, tectonic evolution and hydrocarbon accumulation in Bodong area. The explanation results of five seismic sections show that the Tanlu fault has three branches in this area. There developed the negative flower structures and the normal faults with strike-slipping displacement, rollover anticline, horst and graben, redan, as well as the dolphin effect phenomena on the tectonic sections. The strike-slip fault extended a long distance in the deep part, while lots of en-echelon normal faults were developed in the shallow part. The balanced section analysis of the Tanlu fault zone showed that the extension was the main activity in the Paleogene Period and the most intense extension was in the sedimentary period of Oligocene Dongying Formation, while the strike-slipped activity existed mainly from the Pliocene to the Quaternary. The faults in the Bodong area had evident characteristics of differential delaminating deformation and could be divided into two sets of fault systems, including the normal fault system in the Paleogene System and pre-Paleogene System, and the strike-slip fault system in the Neogene and the Quaternary. The late intense tectonic movement of the Tanlu fault zone enhanced the late-period hydrocarbon accumulation in the Bodong area.

Key words: Bodong area; Bohai Sea; Tanlu fault zone; tectonic types; tectonic evolution

郯庐断裂带是中国东部一条重要的强烈构造变形带,南起湖北广济,经庐江、郯城,横穿山东中部与渤海,向北穿过东北地区进入俄罗斯远东地区,总长度约3 500 km。该断裂是一条大规模的平移断层,具有多期复杂的构造演化历史,贯穿渤海海域,对渤海盆地的形成和演化起到了重要的作用。勘探实践表明,渤海海域油气主要沿郯庐断裂带分布^[1],特别是蓬莱19-3大型油气田的发现,表明郯庐断裂带油气极为富集,有着广阔的勘探前景。郯庐断裂一直是学术界研究的热

点^[2-5],笔者针对渤海海域的渤海地区,分析郯庐断裂在该地区的构造特征。

1 郯庐断裂带在渤海海域的展布

郯庐断裂在渤海海域的展布特征是时隐时现并不连续^[6]。图1展示了郯庐断裂在渤海海域展布的情况。在莱州湾凹陷一带,郯庐断裂分为东西2支,走向为NNE,西支表现为断裂上部近直立并几乎通达海底,两侧地层均显示逆牵引现象,深部断面倾角略缓;

基金项目:中国海洋石油总公司科技项目(SC06TJ-TQL-004)资助。

作者简介:万桂梅,女,1978年12月生,2001年毕业于中国地质大学(武汉),现为中国石油大学(北京)在读博士研究生,主要从事石油地质和含油气盆地分析专业方向研究。E-mail:jwzwgmcup@yahoo.com.cn

东支断面直立；断层两侧地层无法进行对比^[7]。在黄河口凹陷—渤海凸起，郯庐断裂表现为3个分支，走向为NNE，推测西支从垦东凸起西侧进入渤海；中支通过莱北低凸起西侧，并将渤海低凸起错断，表现为雁列式排列的2支断裂；东支位于莱北低凸起和渤海低凸起东侧，表现为2条断裂。渤海低凸起上郯庐断裂表现出入字型构造，雁列式褶皱及断裂，在渤海凹陷，郯庐断裂表现为单支，在凹陷中心通过。在辽东湾，郯庐断裂分为2支，走向NE，东支位于辽东凸起两侧，西支穿过辽东凹陷中部。

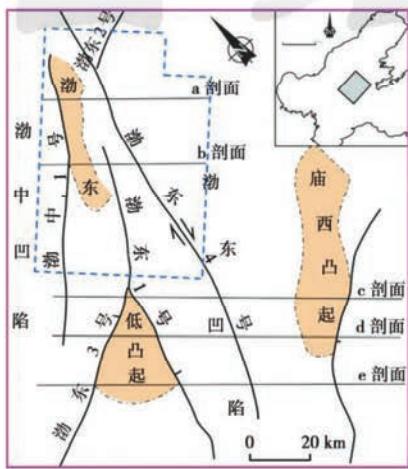


图 1 渤海海域渤海地区构造

Fig. 1 The tectonic units in Bodong area of Bohai sea

2 鄱庐断裂及相关构造样式

郯庐断裂在渤海地区表现为3个分支(图2和图3),其中渤海4号断层穿过渤海凹陷中部,走滑特征明显;渤海1号和渤海1号断层分别位于渤海低凸起两侧,渤海3号断层作为渤海1号断层的分支位于渤海低凸起西侧。其剖面构造样式主要表现为负花状构造、走滑正断层。

2.1 剖面构造样式

(1) 负花状构造。花状构造是走滑断裂的典型标志,走滑断层是岩石圈或地壳体之间的侧向运动,运动过程中,走滑断层常具有一定的倾向分量,形成走滑伸展或走滑挤压变形,走滑伸展变形形成负花状构造,走滑挤压变形形成正花状构造。渤海地区的负花状构造由于郯庐断裂的扭张作用形成,在剖面上表现为断裂向上散开成花状,向下收敛、合并于主干断裂,主干断裂垂直或高角度插入基底,形成“负花状构造”(图2)。负花状构造形态不规则,有的为半花状构造[图2(a)]。穿过渤海凹陷中部的渤海4号断裂走滑特征明显,主干断层直立,垂直断距较小,两侧调节正

断层向上形成负花状，在连续剖面上（图 2），可以看到渤海 4 号断层的倾向不一，在底部断距规模和方向发生变化，这是走滑断层的另一重要特征。

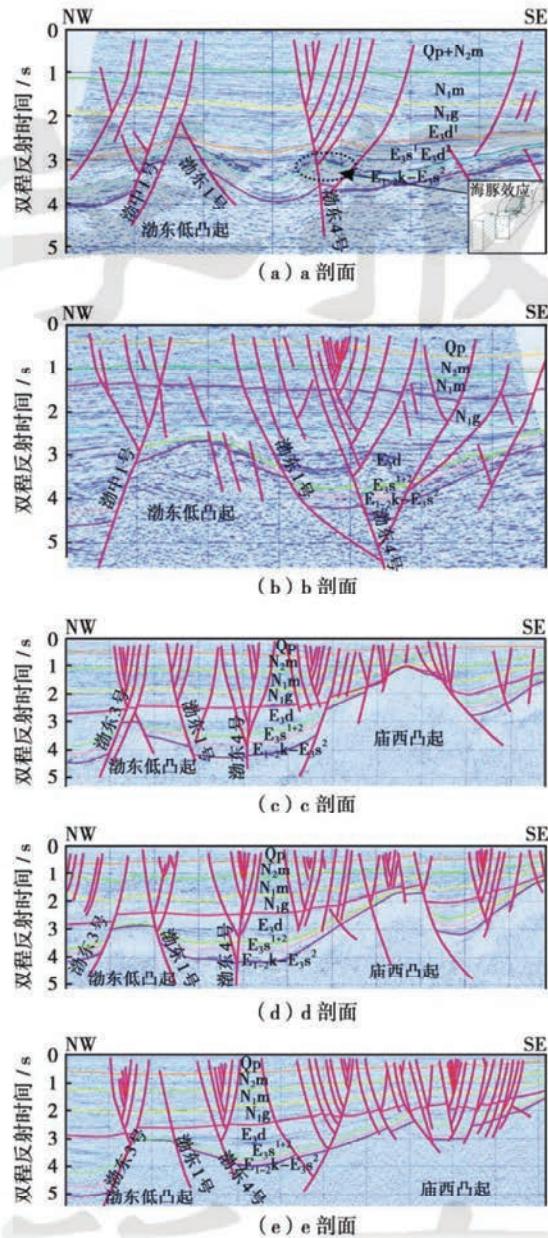


图 2 渤东地区地震剖面解释(剖面位置见图 1)

Fig 2 The interpretation of seismic sections in Bodong area

(2) 滚动背斜。滚动背斜又称逆牵引背斜,为同生铲式正断层边断裂、边沉积、边滚动所形成的,位于断层上盘。滚动背斜一般为小型宽缓不对称短轴背斜,近断层一翼陡,远离断层一翼缓。如渤海4号断层(图2),滚动背斜主要发育在郯庐主干断裂上盘的馆陶组和明化镇组,由于晚期构造活动强烈,该背斜被大量调节断层切割,较破碎,形成断背斜构造,背斜翼部的断块构造应是很好的油气圈闭构造。

(3) 走滑正断层及垒堑构造。除了发育典型负花

状构造外, 郊庐断裂还表现为带有走滑性质的正断层, 由图2可以看出, 渤东低凸起两侧的郊庐断裂, 在孔店组—东营组沉积时期断距较大, 主要为正断层, 形成地垒(渤东低凸起)、地堑构造(渤东凹陷、渤中凹陷)。而在后期垂直断距较小, 在浅部明化镇组及其上部沿着主干断层形成大量的调节断层, 与主干断层一起组成花状构造, 表明后期郊庐断裂以走滑活动为主。

(4) 断阶构造。断阶构造是由一系列产状基本一致的正断层组成, 各条断层的上盘依次向同一方向断落, 构成阶梯式, 断层上下盘断块同向同幅度掀斜运动并使断面发生旋转。阶梯状断层中各条断层可以是平面状[图2(b)], 也可以是弧形的[图2(e)]。根据各条断层的倾向与所夹岩层的倾向, 可分为倾向一致的同向断阶[图2(b)]和倾向相反的反向断阶[图2(e)]。这组断阶将切割倾斜地层形成掀斜断块构造。

(5) 海豚效应。指在走滑断层倾斜方向相同的情况下, 在一个横切剖面上显示为正断层, 而在另一个剖面上显示为逆断层。渤东4号断层就具有这种特征, 表现在其他剖面上为正断层, 而在a剖面上沙河街组到孔店组为逆断层性质[图2(a)], 由于郊庐断裂古近纪为拉张性质, 不可能形成逆断层, 因此认为这种现象

为海豚效应。

2.2 平面构造样式

郊庐断裂在渤海地区的平面表现, 深部为入字型构造, 浅部为大量走向NNE的雁列式排列的断层。

(1) 入字型构造。由剪(扭)性、压扭性或张扭性主干平移断裂或走滑断层与其派生和斜接的分支断裂或褶皱构成的构造体系。形似中文的“入”字, 又称羽状构造。渤海地区这种入字型构造由主干断裂渤东1号和张性或张扭性分支断裂渤东3号组成(图1), 两者之间所夹之锐角尖指向分支断裂所在的一侧对于主干断裂的另一侧相对错动的方向。

(2) 雁列式正断层。雁列式正断层也是识别走滑断层的重要标志。渤海地区雁列式正断层以浅部最为发育, 深部主要发育3条走滑断层和少量的正断层(图3)。雁列式正断层分布在郊庐断裂的两侧, 与晚期郊庐断裂走滑活动同期形成, 是郊庐断裂走滑作用的结果, 走向NNE, 与郊庐断裂呈大角度相交。这种雁列式断层在渤东4号断层两侧均发育, 而在渤中1号断层和渤东1号断层主要发育在靠近凹陷的一侧, 渤东低凸起上部较少(图3), 雁列式断层以左阶排列, 反映后期走滑断层的走滑方向为右行。深部走滑断层具

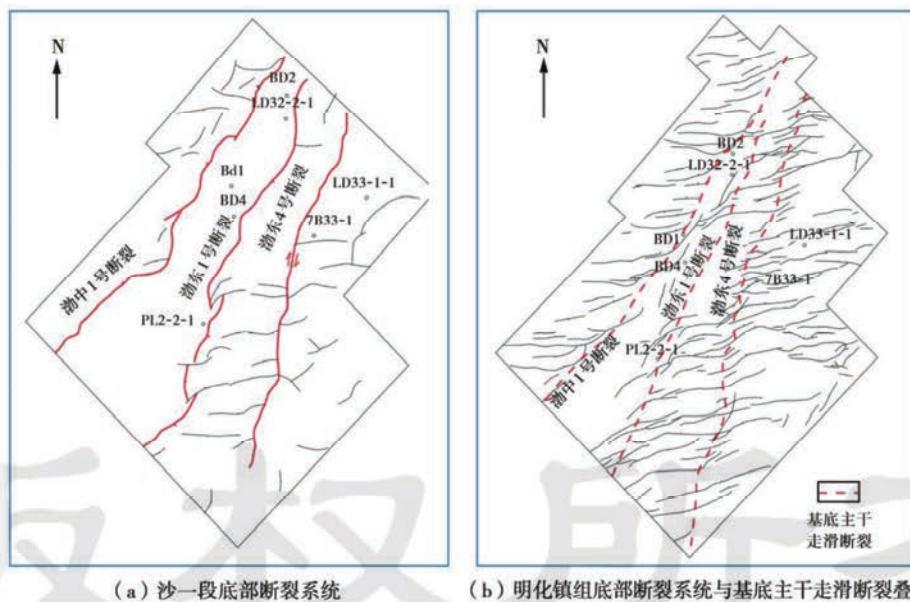


图3 渤东地区断裂系统(位置见图1虚线框)

Fig. 3 The fault systems in Bodong area

有较好的连通性, 浅层雁列式断层延续不远即消失, 深部断层将不同地段并不连接的浅层断层连锁在一起构成走滑连锁断层系统。

3 分层差异构造变形特征

渤海地区断裂具有明显的分层性, 基本上可以分

为两套断层系统: ①古近系及其下部的伸展断层系统, 其断层大而稀[图3(a)]; ②新近系—第四系的走滑断层系统, 其断层小而密[图3(b)]。

伸展断层系统: 主要是郊庐断裂的主干断层及一部分NNE向与郊庐断裂大角度相交的正断层[图3(b)]。古近纪郊庐断裂主要是以伸展活动为主,

兼具有走滑性质。渤中1号和渤东1号断层断距较大(图2), 分别控制了渤中凹陷和渤东凹陷的沉积。渤东4号断层位于渤东凹陷中部, 伸展活动较弱, 断距相对较小。NEE向的正断层为郊庐断裂走滑控制形成的次级断层, 因走滑活动不强烈, 次级断层较少。

走滑断层系统: 剖面上大量的花状构造(图2)和平面上的密集的雁列式排列的正断层[图3(a)], 都表明郊庐断裂新近纪以走滑活动为主, 兼具有伸展性质。剖面上向上分支断层逐渐加密(图2), 说明郊庐断裂晚期走滑活动越来越强烈。古近系形成的正断层在郊庐断裂的扭动作用下继续发生张裂和旋转。新近纪与第四纪地层沿着郊庐主干断裂的两侧形成新的雁列式正断层。

4 郊庐断裂的演化

对图2中的c剖面进行了平衡剖面分析(图4), 并计算了每一地质时期剖面的伸展量、伸展率和伸展

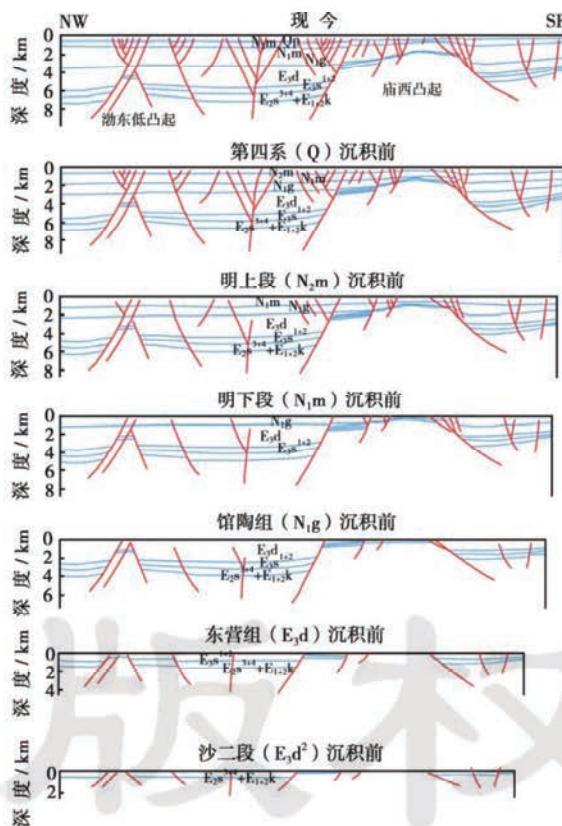


图4 c剖面构造演化

Fig. 4 The tectonic evolution of the section c

速率(表1)。结果表明, 古近纪剖面的伸展量和伸展速率均大于新近纪和第四纪, 且以东营组沉积期伸展量和伸展率最大, 说明郊庐断裂古近纪主要以伸展活动为主, 与朱光等^[8]研究的结果相符。古近纪伸展速率由老至新逐渐变大, 说明构造活动逐渐增强。到馆

陶组沉积期, 伸展速率最小, 构造活动最弱, 处于热沉降状态; 明下段沉积期伸展速率逐渐变大, 构造开始活

表1 c剖面伸展参数统计

Table 1 The extension parameters of the section c

地质层位	底界年龄/ Ma	伸展量/ km	伸展率/ %	伸展速率/ (m·Ma ⁻¹)
平原组(Qp)	2	0.31	1.11	155
明上段(N ₂ m)	5.1	0.32	1.15	103
明下段(N ₁ m)	12	0.29	0.97	42
馆陶组(N ₁ g)	24.6	0.17	0.63	13
东营组(E ₃ d)	32.8	1.65	6.34	201
沙一段—沙二段 (E ₃ s ¹⁺²)	38	0.64	2.54	123
沙三段—孔店组 (E ₃ s ³ —E ₁ z-k)	65	1.03	4.23	38

动; 到明上段沉积期和第四纪伸展速率陡然增大, 说明晚期构造活动强烈, 沿着郊庐主干断裂形成大量的分支断层, 断距较小, 构成花状构造(图2), 浅层地层较破碎, 证明了晚期郊庐断裂以走滑活动为主。

5 郊庐断裂对渤东地区油气成藏的影响

渤东地区现今发现的油田主要位于渤东低凸起上, 郊庐断裂对该区的油气成藏起到了重要的作用, 主要表现在以下几个方面: ①郊庐断裂古近纪的伸展活动控制了渤东低凸起, 渤中凹陷和渤东凹陷的形成和演化, 在凹陷中沉积了沙河街组和东营组烃源岩, 为该区油气的生成提供了源岩基础; ②上新世末期新构造运动对该区影响较大, 郊庐断裂在该区主要为张扭性质, 郊庐断裂的强烈活动在渤东低凸起及渤东凹陷的浅层形成了滚动背斜、张扭背斜及一些断块构造, 这些构造圈闭为油气的储存提供了良好的聚集场所, 像渤东凹陷浅层郊庐断裂扭动形成的背斜构造均是有利的油气聚集场所; ③郊庐断裂沟通了渤中凹陷和渤东凹陷烃源岩与浅层圈闭, 成为有利的油气运移通道, 促进了油气的运移和再分配, 在浅层构造圈闭中成藏。

渤东地区处于渤中和渤东富生烃凹陷中, 加之郊庐断裂晚期的强烈活动, 可以说明该区油气运聚非常活跃, 有很好的勘探前景。

6 结 论

(1) 郊庐断裂在渤东地区表现为3个分支, 其中渤东4号走滑特征明显, 发育明显的负花状构造, 剖面可见海豚效应现象; 渤中1号和渤东1号断层早期伸展特征明显, 晚期具有走滑作用, 表现为具有走滑性质的正断层; 此外走滑断裂带内还形成了滚动背斜、垒堑构造、断阶构造等。平面上, 深部走滑断层延伸较远,

形成八字型构造,浅层形成大量的雁列式正断层。

(2) 渤东地区断裂具有明显的分层差异变形特征,可以分为两套断层系统:①古近系及其下部的伸展断层系统,其断层大而稀;②新近系—第四系的走滑断层系统,其断层小而密。

(3) 平衡剖面分析表明,在渤东地区郯庐断裂古近纪主要以伸展活动为主,且以东营组伸展活动最强,中新世时期构造活动较弱,上新世至第四纪以右行走滑活动为主。

(4) 郯庐断裂对渤东地区油气成藏具有明显的控制作用,古近纪伸展作用控制了凹陷的形成,上新世末期的新构造运动形成了大量的构造圈闭的同时又促进了油气的运移和再分配。

参 考 文 献

- [1] 龚再升,蔡东升,张功成.郯庐断裂对渤海海域东部油气成藏的控制作用[J].石油学报,2007,28(4):1~10.
Gong Zaisheng, Cai Dongsheng, Zhang Gongcheng. Dominating action of Tanlu Fault on hydrocarbon accumulation in eastern Bohai Sea area[J]. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(4): 1~10.
- [2] Fletcher C J N, Fitches W R, Rundle C C, et al. Geological and isotopic constraints on the timing of the movement in the Tan-Lu fault zone, northeastern China [J]. Journal of Southeast Asian Earth Science, 1995, 11(1): 15~22.
- [3] Ross J V, Mercier J C, Xu Y G. Diffusion creep in the upper mantle: An example from the Tanlu Fault, northeastern China [J]. Tectonophysics, 1996, 261(4): 315~329.
- [4] Ratschbacher L, Hacker B R, Webb L E, et al. Exhumation of the ultrahigh-pressure continental crust in east central China: Cretaceous and Cenozoic unroofing and the Tan-Lu fault [J]. Journal of the Geophysical Research, 2000, 105(B6): 13303~13338.
- [5] Zhu Guang, Wang Yongsheng, Liu Guosheng, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of strike-slip motion on the Tan-Lu fault zone, East China [J]. Journal of Structural Geology, 2005, 27(8): 1379~1398.
- [6] 葛建党.郯庐断裂在渤中凹陷的构造特征与油气成藏的关系[J].海洋石油,2001,107(1):14~20.
Ge Jiandang. The tectonic character of Tanlu Fault(TLF) and the relation between TLF and hydrocarbon accumulation in Bohai Sag[J]. Offshore Oil, 2001, 107(1): 14~20.
- [7] 王国纯.郯庐断裂与渤海海域反转构造及花状构造[J].中国海上油气(地质),1998,12(5):1~7.
Wang Guochun. Relationship of Tanlu fault to the inversion and flower structures in Bohai Bay [J]. China Offshore Oil and Gas (Geology), 1998, 12(5): 1~7.
- [8] 朱光,王道轩,刘国生,等.郯庐断裂带的伸展活动及其动力学背景[J].地质科学,2001,36(3):269~278.
Zhu Guang, Wang Daoxuan, Liu Guosheng, et al. Extensional activities along the Tan-Lu fault zone and its geodynamic setting [J]. Scientia Geologica Sinica, 2001, 36(3): 269~278.

(收稿日期 2008-10-28 改回日期 2008-12-10 编辑 张 怡)

版 权 所 有