

DOI: 10.3724/SP.J.1140.2013.02079

牟平—即墨断裂带白垩纪构造应力场及转化机制

张勇^{1,2,3}, 任凤楼⁴, 龚淑云⁵, 张现荣^{1,2}, 林曼曼^{1,2,3}, 刘珊珊^{1,2,3}

(1. 国土资源部 海洋油气资源和环境地质重点实验室, 青岛 266071;
2. 青岛海洋地质研究所, 青岛 266071; 3. 石家庄经济学院, 石家庄 050031;
4. 中石化 胜利油田分公司西部新区研究中心, 东营 257015; 5. 深圳市地质局, 深圳 518023)

摘要:系统地分析了胶莱盆地内部牟平—即墨断裂带的基本组成特征及空间展布, 利用古构造应力场测量、反演的分析方法, 重塑了该断裂带白垩纪的古构造应力及其演化。结果表明, 该断裂带白垩纪运动历史划分为 5 个阶段: (1) 早白垩世中期莱阳期 NW—SE 向伸展, 为造山后的弱引张; (2) 早白垩世中晚期青山期近 EW 向伸展, 属于陆内断陷构造; (3) 早白垩世末期 NW—SE 向挤压, 这期挤压应力作用发生在早、晚白垩世之间, 古太平洋板块向东亚大陆斜向俯冲汇聚产生的走滑作用占据主导地位, 是区域构造作用的结果; (4) 晚白垩世王氏期近 N—S 向伸展, 可能一直持续到古新世, 是古太平洋板块运动方向发生了变化及中国西部特提斯构造体系远程效应的联合结果; (5) 古新世晚期的 NE—SW 向挤压。

关键词:牟平—即墨断裂; 白垩纪; 应力场反演; 胶莱盆地

中图分类号: P736.1

文献标识码: A

文章编号: 0256-1492(2013)02-0079-07

牟平—即墨断裂带(简称牟—即断裂带)发育于郯庐断裂带东侧的胶东地区, 它由多条 NNE 向、呈雁列展布的断裂组成, 延伸长约 200 km, 宽约 20~40 km, 斜切胶东半岛的胶北地块和苏鲁造山带, 并将胶莱盆地分割为东西两区(图 1)。通常认为该断裂带与五莲断裂带一起, 构成了苏鲁造山带的北界^[1]。作为中国东部郯庐断裂系的重要分支断裂, 前人研究多涉及了该断裂^[2-4]。同时, 牟—即断裂带亦是一条重要的控盆边界断裂带^[5-6]。其晚中生代活动控制了胶莱盆地的形成和发育。由于牟—即断裂带的构造演化历史极其复杂, 其晚中生代运动学演化、变形历史和变形时代不仅记录了中国东部构造体制转换过程, 同时对中国东部构造体制转换机理提供了重要的构造地质学制约, 因此本文基于野外断层运动学分析和古构造应力场反演, 建立了牟—即断裂带晚中生代运动学演化历史和构造应力场转换序列, 确定断裂带从左旋平移向引张伸展构造体制转换的时代, 进而探讨了该断裂带运动学演化对中国东部晚中生代构造体制转换过程的制约作用。

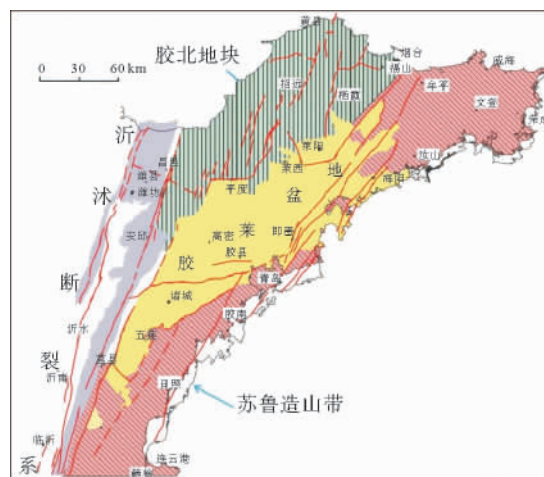


图 1 牟平—即墨断裂带区域位置

Fig. 1 Regional tectonic map showing the locations of the Muping-Jimo fault belt and the Jiao-Lai Basin

1 牟—即断裂带组成及其空间展布特征

该断裂带由一系列 NE 走向的断裂、残留洼陷和隆起组成, 形态复杂。断裂带航磁场特征表现为显著的负异常条带, 指示其具有不同深度的基底组成。断裂带主要断裂有 8 条: 桃村—东陡山断裂、五龙河断裂、郭城断裂、朱吴断裂、海阳断裂、即墨断裂和沧口断裂、百尺河断裂(图 2), 它们呈斜列展布。每条断裂以脆性变形为特征, 破碎带发育, 断层面陡立。这些断裂切割基底变质岩系、燕山期花岗岩体、白垩纪盆地充填序列, 不同地段断裂表现形成和活

基金项目: 1: 25 万海洋区域地质调查(试点)项目(GZH200900501); 国家自然科学基金项目(41202081)

作者简介: 张勇(1970—), 男, 博士, 从事海洋区域地质研究。
E-mail: qimgzy@163.com

收稿日期: 2012-05-11; 改回日期: 2012-07-09。 文凤英编辑

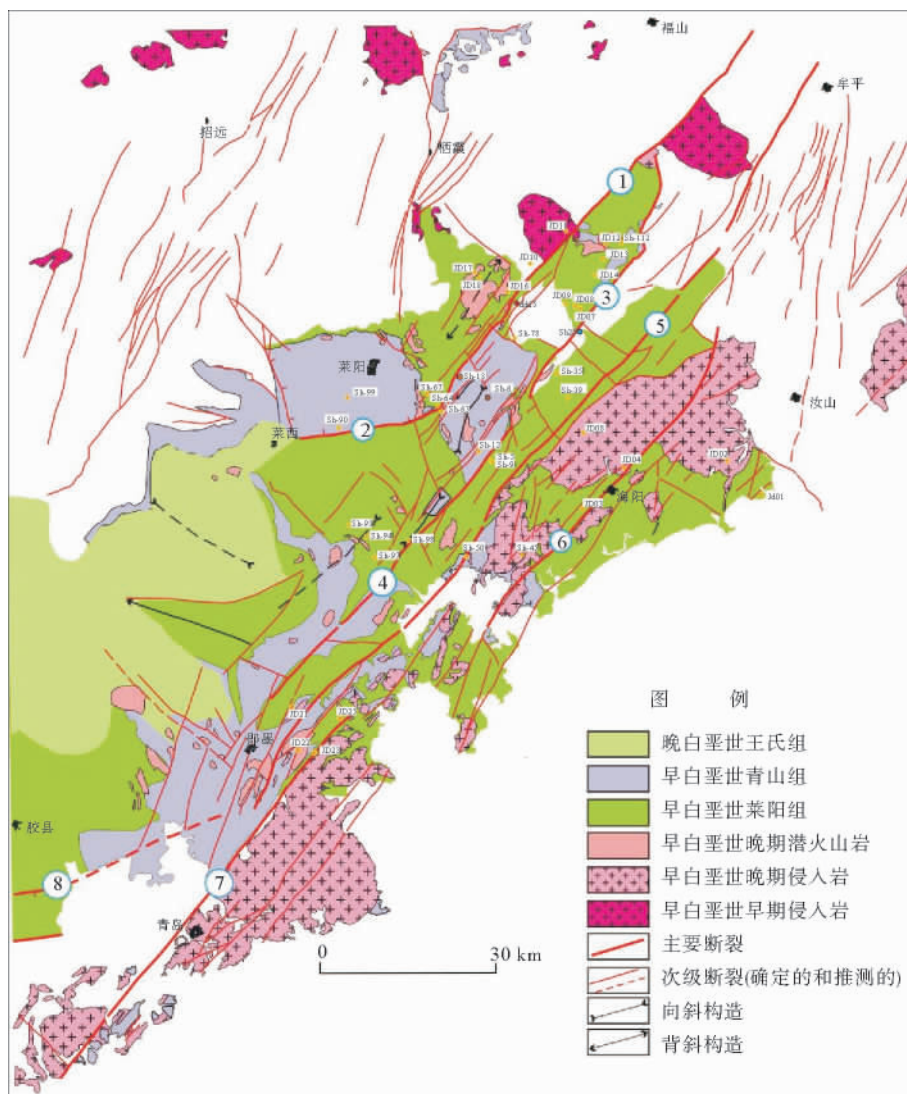


图 2 牟—即墨断裂带构造简图及观测点分布

1. 桃村—东陡山断裂; 2. 五龙河断裂; 3. 郭城断裂; 4. 即墨断裂; 5. 朱吴断裂; 6. 海阳断裂; 7. 沧口断裂; 8. 百尺河断裂

Fig. 2 Tectonic map of Muping-Jimo fault belt with observation points

动方式存在差异,尤其对白垩纪断陷盆地的控制方式不同。

沿牟—即墨断裂带发育一系列白垩纪断陷盆地,其中充填了 3 套地层序列:早白垩世莱阳群河湖相沉积、早白垩世青山群火山喷发岩系、晚白垩世红色河湖相碎屑岩系(图 2)。这 3 套地层代表胶莱盆地白垩纪 3 个显著不同的伸展成盆阶段。

2 白垩纪构造应力场反演

牟平—即墨断裂带充填序列中断层构造发育,其滑动矢量记录了盆地形成和演化过程中不同阶段的构造应力场。在详细的野外观察基础上,对盆地不同地层或岩石单元的断层滑动矢量进行系统的测量,对不同观察点的测量资料进行筛分,其观察和测

量点位置如图 2 所示,并用计算机反演程序计算了各观察点的古应力方向,最后建立该断裂带白垩纪应力场演化序列。

野外断层滑动矢量测量和反演结果表明,下白垩统莱阳群和青山群岩层中记录了 5 期应力作用(图 3、图 4),其中 3 期为引张应力,引张方向分别为 NW—SE、近 EW 向和近 SN 向;另两期为挤压应力,挤压方向分别为 NW—SE 和 NE—SW 向。除此以外,尚发现一期近 EW 向的弱挤压应力作用(图 4 中 Jd13 点),该挤压应力发生在地层褶皱之前,莱阳群地层沉积之后,使莱阳群水南组地层产生共轭节理(图 5 观察点 Sh-25 和 Sh-6),推测是盆地褶皱变形前的初始应力场。

野外观察和分析结果表明(图 3、4),近 EW 向引张应力作用(图 6)和 NW—SE 向挤压应力作用

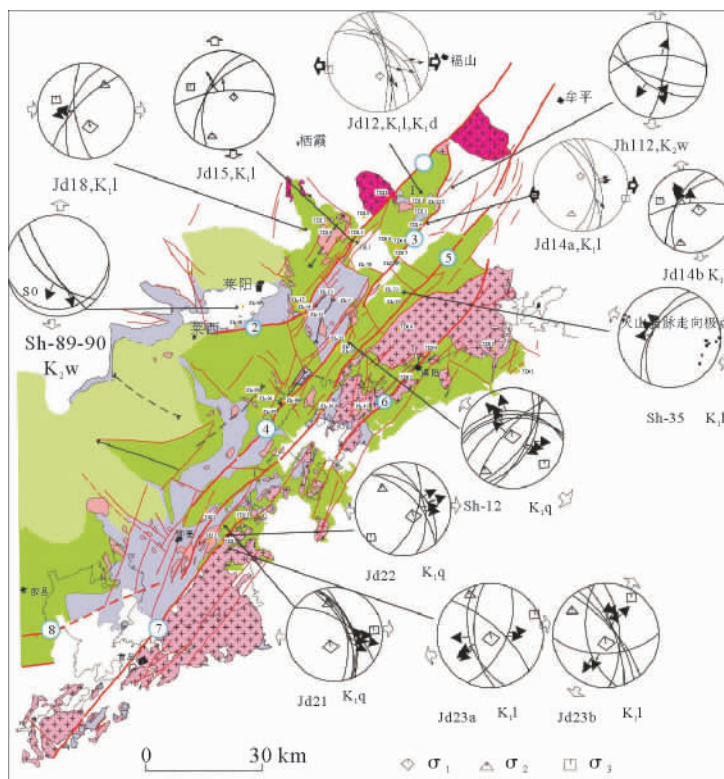


图 3 牟—即墨断裂带白垩纪拉张应力场

Fig. 3 Cretaceous fault-slip vector and the tensional stress field of the Muping-Jimo fault belt

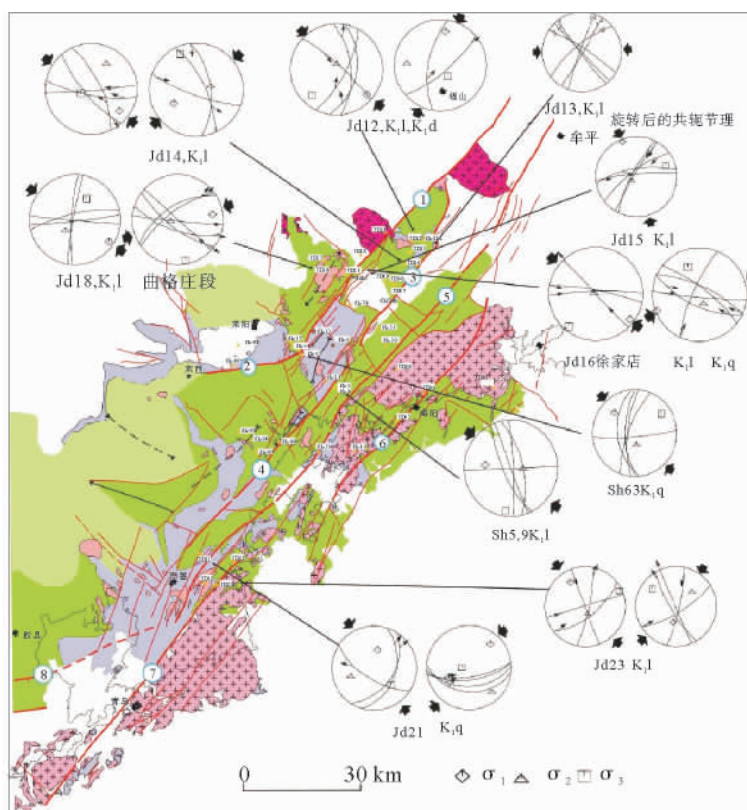


图 4 牟—即墨断裂带白垩纪挤压构造应力场

Fig. 4 Cretaceous fault-slip vector and the compressive stress field of Muping-Jimo fault belt



图 5 莱阳期末东西向挤压产生的共轭节理

左图为发育于莱阳群水南组水平层理上的共轭节理,指示近 W—E 向挤压(观察点 SH-25);

右图为发育于莱阳群砂岩地层上的共轭节理,指示近 W—E 向挤压(观察点 SH-6)

Fig. 5 Conjugate joints in the Laiyang Formation resulted from W—E compression

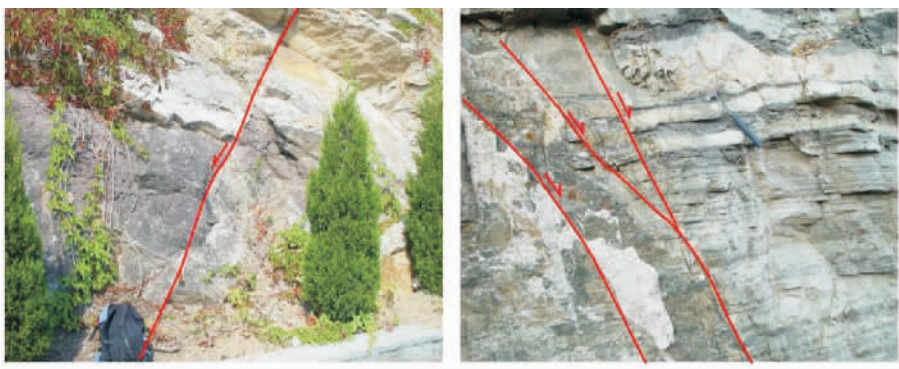


图 6 莱阳群地层中的正断层指示 E—W 向引张(左 Jd-13,右 Jd-23)

Fig. 6 Normal faults(E—W) of Muping-Jimo fault in the Laiyang Formation

仅在莱阳群和青山群地层中有记录,在王氏群中没有记录;近 SN 向引张应力和 NE—SW 向挤压应力作用不仅在下白垩统中有良好记录,同时也影响到了王氏群地层。NW—SE 向张应力只在莱阳群有记录。另外,莱阳群地层发育近 N—S 走向、胶结良好的构造破碎带,一般宽 1~2 m,长数十米,推测是同沉积时期地震破裂的产物,属于震积岩^[7-8]。根据断层滑动矢量叠加关系,并结合凹陷沉积充填序列推断,近 EW 向引张应力与青山组沉积时期同时, NW—SE 向挤压作用发生在青山群沉积末期或王氏群沉积之前,对应于早、晚白垩世之间构造变动事件的构造应力场;近 S—N 向引张发生在晚白垩世王氏群沉积时期,而 NE—SW 向挤压则发生在白垩纪末期或古近纪初期。

上述古应力分析结果显示,早白垩世中晚时期,牟即断裂带处于近 W—E 向引张伸展作用下,火山喷发活动强烈,是青山群火山碎屑沉积期;早白垩世末期,遭受 NW—SE 向挤压,早白垩世地层发生褶

皱和断裂变形,这期挤压应力作用使东西两侧边界断裂左旋走滑活动;晚白垩世,构造应力转换为近 S—N 引张,受到凹陷两侧断裂的右旋剪切作用的影响,牟—即断裂发生拉分陷,北部地区发生沉降,堆积了王氏群砂砾层。白垩纪末期或古近纪初期,在 NE—SW 向挤压应力作用下,再次发生收缩变形,从而结束了沉积,进入了长期隆升和剥蚀阶段。此时,牟即断裂带运动方向发生相应的转换,从青山期引张伸展到早白垩世晚期的左旋走滑,再到晚白垩世的右旋伸展走滑和白垩纪末期的右旋挤压走滑。

3 牟—即断裂带构造演化的区域动力学背景

区域研究成果表明,中国东部晚中生代经历了以挤压为主到伸展为主的构造体制重大转换,岩石圈从古生代的 120~180 km 减薄到现今的 70~80

km^[9-11]。这个过程的深部机理和区域动力学背景早已引起了我国地学界的高度重视,成为中国东部大地构造研究的热点^[12-14]。牟—即断裂带运动学演化历史较完整地记录了中国东部晚侏罗世—白垩纪时期构造体制重大转换过程,并对构造体制转换过程的动力学背景提供了重要的构造地质学制约。

晚侏罗世挤压左旋平移作用的动力主要来自于板块之间汇聚产生的边界动力。这个时期古太平洋板块(伊泽奈崎板块)向北北东方向运动,在东亚大陆边缘产生一个南北向剪切力偶,从而导致了我国东部 NNE 向巨型郯庐左旋走滑断裂系统的发育^[15-17]。同时由于古太平洋板块与亚洲大陆斜向汇聚,引起东亚大陆边缘地壳收缩变形和岩石圈增厚作用,这期挤压应力作用在胶东地区胶北隆起亦有记录^[18-19]。

早白垩世时期,随着古太平洋板块向亚洲大陆俯冲作用加强和海沟向大洋方向的后退,板块边界动力条件发生变化,东亚大陆岩石圈深部构造-热体制发生深刻的变化,引张构造应力体制占主导地位,岩石圈拆沉、地幔底辟等深部作用过程主导了地表伸展构造的发育和岩浆活动,东亚岩石圈发生巨量减薄。研究表明,早白垩世早期的伸展作用往往与碰撞造山带构造塌陷有关,而真正的大规模陆内裂谷作用和岩浆活动发生在早白垩世中晚期(青山期),其最显著的特征是沿郯庐断裂带发生。早白垩世末期,岩石圈减薄作用基本告一段落,而古太平洋板块向亚洲大陆斜向俯冲汇聚产生的走滑应力场又占据主导地位,在我国东部产生 NW—SE 向挤压,郯庐断裂系以左旋走滑活动为主,这期走滑构造在胶北亦有记录^[18-19]。

晚白垩世时期,古太平洋板块运动方向发生了变化,俯冲方向从 NNW 向转为 NW 向,东亚大陆的构造属性也随之发生变化,以俯冲为主,大陆边缘构造应力场以右旋走滑应力场占据主导地位,这个应力场可能一直持续到古近纪。产生这个构造应力场转变的动力来源早期可能主要与古太平洋向亚洲大陆俯冲作用有关,而晚期,特别是新生代以来更多地与中国西部特提斯构造域地块碰撞产生的远程效应有关^[12-14],这个转变时期两者的联合共同主导了东亚大陆边缘晚白垩世构造演化。

4 结论

综上所述,白垩纪以来牟—即断裂带经历了多期不同性质和不同方向的构造应力作用,断层运动

性质也相应发生变化。结合胶莱盆地沉积充填序列和岩浆作用,将牟—即断裂带白垩纪以来运动历史划分为以下 5 个阶段:

(1)早白垩世早—中期 NW—SE 向伸展:该期伸展控制了莱阳群沉积,但伸展应力方向主要基于沉积盆地的轴向推断,没有找到莱阳群同沉积断层。但在莱阳群沉积之后和青山群发育之前,存在一期轻微的近 W—E 向挤压,在莱阳群沉积地层中形成一组初始共轭节理。

(2)早白垩世中晚期近 EW 向伸展:这期伸展发生在青山群火山岩喷发作用的晚期,与沂沭裂谷系大盛组沉积时期的伸展构造应力场一致。牟—即断裂带以正断滑动为主。

(3)早白垩世末期 NW—SE 向挤压:这期挤压应力作用发生在早、晚白垩世之间,是区域构造作用的结果,挤压作用导致牟—即断裂带左旋走滑复活,并使早白垩世地层发生褶皱变形。这次构造挤压事件使胶莱盆地产生东、西分异,东部海阳凹陷整体抬升,并处于隆升剥蚀状态。

(4)晚白垩世近 SN 向伸展:晚白垩世时期,伸展作用主要发生在桃村—东陡山断裂带以西的莱阳凹陷和郭城凹陷的局部地区,伸展方向为近 N—S 向,伸展与牟—即断裂带的右旋剪切拉分作用有关。根据莱阳凹陷地层记录,推断这期伸展作用可能一直持续到古新世(金岗口组)。

(5)古新世晚期的 NE—SW 向挤压:这期挤压作用记录在所有白垩纪地层中,它使 NE 向牟—即断裂发生右旋走滑活动,但走滑量很小;同时,这期挤压作用结束了胶莱盆地的沉积历史,使盆地整体隆升,并遭受剥蚀。

参考文献 (References)

- [1] 陈柏林,王小凤,李中坚. 苏胶地块北界应是五莲—即墨—牟平断裂[J]. 地质力学学报, 1996, 2(3): 23-24. [CHEN Bolin, WANG Xiaofeng, LI Zhongjian. The north boundary of Jiangsu-Shandong block is the Wulian-Jimo-Muping fracture[J]. Journal of Geomechanics, 1996, 2(3): 23-24.]
- [2] 吴福元,孙德有. 中国东部中生代岩浆作用与岩石圈减薄[J]. 长春科技大学学报, 1999, 29(4): 313-318. [WU Fuyuan, SUN Deyou. The Mesozoic magmatism and lithospheric thinning in eastern China[J]. Journal of Changchun University of Science and Technology, 1999, 29(4): 313-318.]
- [3] 肖文交,周兆秀,杨振宇. 大别—郯庐—苏鲁造山带复合旋转拼贴作用[J]. 地球科学进展, 2000, 15(2): 147-153. [XIAO Wen-jiao, ZHOU Yaoliu, YANG Zhenyu. Multiple rotation and amalgamation progresses of Dabie-Tanlu-Sulu orogen[J]. Ad-

- vance in Earth Sciences, 2000, 15(2): 147-153.]
- [4] 李三忠, 王金铎, 刘建忠, 等. 鲁西地块中生代构造格局及其形成背景 [J]. 地质学报, 2005, 79(4): 487-497. [LI Sanzhong, WANG Jiduo, LIU Jianzhong, et al. Mesozoic structure and its Tectonic setting in the western Shandong block [J]. Acta Geologic Sinica, 2005, 79(4): 487-497.]
- [5] 李三忠, 张国伟, 周立宏, 等. 中、新生代超级汇聚背景下的陆内差异变形: 华北伸展裂解和华南挤压逆冲 [J]. 地学前缘, 2011, 18(3): 79-107. [LI Sanzhong, ZHANG Guowei, ZHOU Lihong, et al. The opposite Meso-Cenozoic intracontinental deformations under the superconvergence: Rifting and extension in the North China Craton and shortening and thrusting in the South China Craton [J]. Earth Science Frontiers, 2011, 18(3): 79-107.]
- [6] LI Sanzhong, ZHAO Guochun, DAI Liming, et al. Cenozoic faulting of the Bohai Bay Basin and its bearings on the destruction of the eastern North China Craton [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2012b, 47: 80-93.
- [7] LI Sanzhong, ZHAO Guochun, DAI Liming, et al. Mesozoic Basins in eastern China and their Bearings on the deconstruction of the North China Craton [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2012, 47: 64-79.
- [8] 廖远涛. 胶莱盆地的盆地样式及构造演化 [J]. 新疆石油地质, 23(4), 2002, 345-347. [LIAO Yuantao. The pattern and tectonic evolution of Jiaolai Basin [J]. Xinjiang Petroleum Geology, 2002, 345-347.]
- [9] 吴智平, 李凌, 李伟, 等. 胶莱盆地莱阳期原型盆地的沉积格局及有利油气勘探区选择 [J]. 大地构造与成矿学, 2004, 28(3): 330-337. [WU Zhiping, LI Ling, LI Wei, et al. Sedimentary pattern of Prototype Basin in the deposition period of Laiyang Formation and the advantageous areas for oil and gas exploration of JiaoLai Basin [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2004, 28(3): 330-337.]
- [10] 乔秀夫, 宋天锐, 李海兵. 碳酸盐岩振动液化地震序列 [J]. 地质学报, 1994, 68(1): 16-34. [QIAO Xiufu, SONG Tianrui, LI Haibing. Seismic sequence in carbonate rocks by vibrational liquefaction [J]. Acta Geologic Sinica, 1994, 68(1): 16-34.]
- [11] 乔秀夫, 李海兵, 高林志. 华北地台震旦纪—早古生代地震节律 [J]. 地学前缘, 1997, 4(3-4): 155-160. [QIAO Xiufu, LI Haibing, GAO Linzhi. Sinian-Early Paleozoic seismic rhythms on the north china platform [J]. Earth Science Frontiers, 1997, 4(3-4): 155-160.]
- [12] 吴福元, 孙德有, 张广良, 等. 论燕山运动的深部地球动力学本质 [J]. 高校地质学报, 2000, 6(3): 379-388. [WU Fuyuan, SUN Deyou, ZHANG Guangliang, et al. Deep geodynamics of Yanshan movement [J]. Geological Journal of China Universities, 2000, 6(3): 379-388.]
- [13] ZHOU Xinhua, YANG Jinhui, ZHANG Lianchang. Metallogenesis of superlarge gold deposits in Jiaodong region and deep processes of subcontinental lithosphere beneath North China Craton in Mesozoic [J]. Science in China, 2002, 46 (Supp.): 14-25.
- [14] 翟明国, 朱日祥, 刘建明, 等. 华北东部中生代构造体制转折的关键时限 [J]. 中国科学 D 辑, 2003, 33(10): 913-920. [ZHAI Mingguo, ZHU Rixiang, LIU Jianming, et al. Mesozoic tectonic regime inversion in eastern North China [J]. Science in China (Series D), 2003, 33(10): 913-920.]
- [15] XU Jiawei, ZHU Guang, TONG W X. Formation and evolution of the Tancheng—Lujiang wrench fault system: A major shear system to the northern of the Pacific Ocean [J]. Tectonophysics, 1987, 134: 273-310.
- [16] 朱光, 牛漫兰, 刘国生, 等. 郯庐断裂带早白垩世走滑运动中的构造、岩浆、沉积事件 [J]. 地质学报, 2002, 76(3): 325-324. [ZHU Guang, NIU Manlan, LIU Guosheng, et al. Deformation, magmatism and sedimentary events during Early Cretaceous strike-sliping in the Tanlu Fault [J]. Acta Geologic Sinica, 2002, 76(3): 325-324.]
- [17] 朱光, 刘国生, W J Dunlap, 等. 郯庐断裂带同造山走滑运动的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年代学证据 [J]. 科学通报, 2004, 49(2): 190-198. [ZHU Guang, LIU Guosheng, W J Dunlap, et al. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronological constraints on syn-orogenic strike-slip movement of the Tan-Lu fault zone [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(2): 190-198.]
- [18] 张宏远, 侯泉林, 曹代勇. 胶东东部中生代走滑逆冲构造带的构造年代学制约 [J]. 中国科学 D 辑, 2006, 36(6): 497-506. [ZHANG Hongyuan, HOU Qianlin, CAO Daiyong. Jiaodong Mesozoic strike slip thrust belt tectonic geochronology [J]. Science in China (Series D), 2006, 36(6): 497-506.]
- [19] 张宏远, 侯泉林, 曹代勇. 胶东东部中生代逆冲推覆构造研究 [J]. 中国科学 D 辑, 2006, 36(7): 593-600. [ZHANG Hongyuan, HOU Quanlin, CAO Daiyong. The study of Mesozoic thrust nappe structure in eastern Jiaodong [J]. Science in China (Series D), 2006, 36(7): 593-600.]

CRETACEOUS STRESS FIELD OF THE MUPING-JIMO FAULT BELT AND ITS IMPLICATION FOR TECTONIC EVOLUTION

ZHANG Yong^{1,2,3}, REN Fenglou⁴, GONG Shuyun⁵,
ZHANG Xianrong^{1,2}, LIN Manman^{1,2,3}, LIU Shanshan^{1,2,3}

(1. Key Laboratory of Marine Hydrocarbon Resources and Environment Geology, Ministry of Land and Resources, Qingdao 266071, China;

2. Qingdao Institute of Marine Geology, Qingdao 266071, China;

3. Western District Research Center, Shengli Oil field, Dongying 257015, China;

4. Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang 050031, China; 5. Geology Bureau of Shenzhen, Shenzhen 518023, China)

Abstract: Cretaceous is a key period for tectonic transformation in eastern China. Comparing to the Tan-Lu fault belt, the Jimo-Muping fault belt is another large-scale tectonic boundary in the east part of China. Many geologists have devoted to the studies of the structural characters and evolution history, especially those in Cretaceous, in the past decades. This time, we, based on the measured data, calculated the Cretaceous tectonic stress fields of the Muping-Jimo fault. The results indicate that the evolutionary history of the fault can be classified into five stages, i. e. 1) the Laiyang stage of Early Cretaceous dominated by NW—SE extension, under the control of the post-orogenic extension; 2) the Qingshan stage of Early Cretaceous dominated by W—E extension caused by a rifting process; 3) the NW—SE compression stage at the end of Early Cretaceous due to the oblique subduction of the Paleo-Pacific Plate under the East Asian continent; 4) the Wangshi stage of Late Cretaceous dominated by N—S extension, controlled by the Tethys system and the direction change of the subduction of the Paleo-Pacific Plate; 5) the stage of Late Paleocene dominated by NE—SW compression.

Key words: Muping-Jimo fault; Cretaceous; paleo-stress field inversion; Jiao-Lai Basin