

苏鲁造山带北侧构造演化的几何学运动学特征

吴冲龙^{1,2}, 张善文³, 毛小平⁴, 柳忠泉³, 宋立军¹, 佟彦明¹

1. 中国地质大学资源学院, 湖北武汉 430074

2. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家实验室, 湖北武汉 430074

3. 胜利石油管理局, 山东东营 257001

4. 中国地质大学能源学院, 北京 100083

摘要: 横穿诸城凹陷的南北向反射地震剖面揭示, 苏鲁造山带北侧边界的中上地壳中存在着三层结构, 即上部的胶莱盆地沉积盖层、中部的苏鲁楔状地体和下部代表华北板块的胶北地体; 诸城凹陷边缘和内部断裂均显示同沉积正断层性质, 苏鲁楔状地体中发育一组向北仰起的叠瓦状逆冲断层, 而胶北地体显示了向南俯冲的态势. 由此而论, 可能存在着华北板块与扬子板块相向俯冲于苏鲁地体之下的陆陆碰撞机制, 苏鲁地体可能具有与大别地体相似的花状造山带结构.

关键词: 苏鲁造山带; 诸城凹陷; 胶莱盆地; 几何学特征; 运动学特征; 陆陆碰撞; 造山带结构.

中图分类号: P542

文章编号: 1000-2383(2006)06-0817-06

收稿日期: 2006-02-26

Geometry and Kinematics of Tectonic Evolution in Northern Part of Sulu Orogenic Belt

WU Chong-long^{1,2}, ZHANG Shan-wen³, MAO Xiao-ping⁴, LIU Zhong-quan³, SONG Li-jun¹, TONG Yan-ming¹

1. Faculty of Earth Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

2. State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China

3. Shengli Oilfield Co. Ltd., Dongying 257001, China

4. School of Energy, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

Abstract: Three layers are present in the middle and upper crusts in the northern border of Sulu orogenic belt, as revealed by the S-N-strike reflecting seismic profiles that cross the Zhucheng sag. These three layers are the uppermost sedimentary cover of Jiaolai basin, the Sulu sphenoid terrane in the middle layer and the Jiaobei terrane representing North China plate at the bottom. The fringe of Zhucheng sag and the interior fault are characterized by the syndeposit normal fault. A group of imbricated reverse thrust facing upward to the north has developed in Sulu sphenoid terrane, but the Jiaobei terrane has the trend of subducting to the south. As a result, a collision mechanism is perhaps present between continents where North China plate and Yangtze plate subducted to each other below the Sulu terrane which has the same flower-shape orogenic structure as that of Dabie terrane.

Key words: Sulu orogenic belt; Zhucheng sag; Jiaolai basin; geometry characteristics; kinematics characteristics; collision between continents; structure of orogenic belt.

苏鲁造山带夹持于华北与扬子板块之间, 是秦岭—大别造山带的东延部分(曹国权, 1990; 杨天南等, 1997). 它位于郯庐断裂以东, 嘉山—响水断裂以北, 五莲—即墨—牟平断裂以南, 为一北东走向的狭

长高压超高压变质带(王清晨等, 1992; 许志琴等, 1997; Wallis *et al.*, 1999; 索书田等, 2000; Banno *et al.*, 2000). 由北而南包括中低级变质带、苏鲁超高压带、苏北高压带.

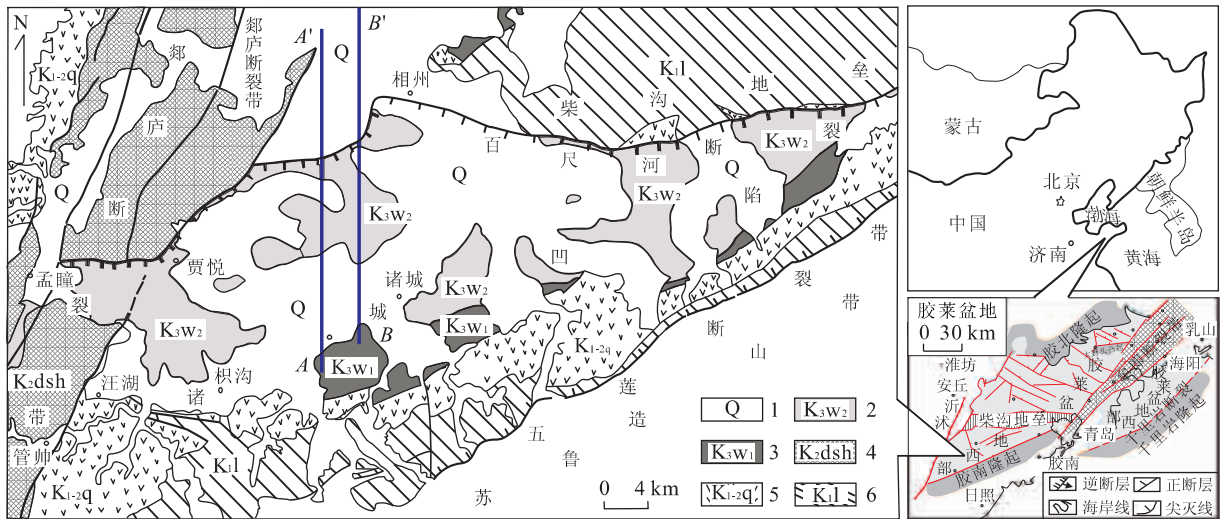


图 1 地震测线位置与诸城凹陷地质简图(据胜利石油管理局地质研究院, 2003)

Fig. 1 Location of seismic lines and the geology map of Zhucheng sag

1. 第四系; 2. 王氏群上部; 3. 王氏群下部; 4. 中白垩统大盛群; 5. 中下白垩统青山群; 6. 下白垩统莱阳群

这一高压—超高压变质带边界构造的几何学和运动学特征,是揭示该造山带形成演化动力学机理的重要依据。但是,由于缺乏可靠的地壳结构证据,对苏鲁造山带北部边界的几何学和运动学特征一直难以达成共识。多数研究者认为该造山带的北部边界是五莲—即墨—牟平断裂(带)(徐贵忠等, 2001),但其中有些研究者根据深反射地震和大地电磁测量结果(杨文采等, 1999, 2003)和地表正滑型剪切带倾向(杨天南等, 1997; 张建新等, 1997)推断,该断裂(带)倾向北西;有些研究者(凌贤长, 1996; 马兆同等, 1997)根据区域重磁异常特征推断,得出该断裂(带)倾向东南,并且向下由陡变缓呈铲状。另有部分研究者(Faure *et al.*, 2001; Faure *et al.*, 2002; Zhai, 2002; 林伟等, 2003; Wu *et al.*, 2004)则认为,苏鲁地体与胶北地体在几何学上是完整的,在运动学特征上是一致的,该断裂(带)不可能作为华北与扬子板块之间的缝合带。

最近,本文作者对苏鲁地体北侧诸城凹陷(图 1)的几条经偏移叠加的反射地震剖面进行重新解释,发现了一些较为可靠的新证据,有助于这个问题的进一步解决。

1 苏鲁地体北侧边界构造演化的几何学特征

692.9 测线(A-A', 图 2)和 696.1 测线(B-B', 图 3、4)均位于胶莱盆地西南部,走向南北,在深部

均延入苏鲁地体中。前者长约 30 km,后者约 36 km。双程走时 6 s,探测深度约 20 km。这两条剖面是胜利油田物探公司近期采用 SEG-d 设备施工(60 次覆盖, 50 m 炮间距, 2 ms 采样),叠后偏移方式处理的。剖面的反射波谱的同相轴连续清晰,所反映的中上地壳空间结构较为可信。

在 A-A' 剖面上半部(图 2),百尺河断裂(F_8)左(南)侧的反射波组代表诸城凹陷的沉积盖层,经钻探验证,由下而上可分为莱阳组、青山组和王氏组。凹陷最深处在 3 s 处,大约有 8 km。组与组之间分别由不整合面隔开,反射波组特征清晰。该凹陷的南缘为五莲—即墨断裂带(F_6),北缘为百尺河断裂(F_8)。剖面上半部百尺河断裂(F_8)右(北)侧的弱反射波组是柴沟地垒,经露头观察和钻井资料验证,应属莱阳组沉积盖层。剖面下半部为盆地基底变质岩系。其中,夹于 F_6 - F_3 北段和 F_1 之间的楔状块体为苏鲁地体,内含多条向南倾斜的线性强反射波组(F_2 - F_5),可能是一组叠瓦状断层。在 F_1 下方为胶北地体,反射波组向南倾伏,其形态及速度结构都与苏鲁地体有明显差别。

A-A' 剖面所显示的反射波组特征,在 B-B' 剖面(图 3、4)中同样出现,甚至更清晰。这说明该特征是稳定可靠的,对图 2 所做的解释是合理的。特别是在 B-B' 层速度结构剖面(图 3)上,大致以 F_1 为界,可明显地划分出两个高速异常体。在 F_1 左上方是代表苏鲁楔状仰冲地体的高速异常体,在 F_1 右下方是代表胶北俯冲地体的高速异常体。苏鲁地体的速度明

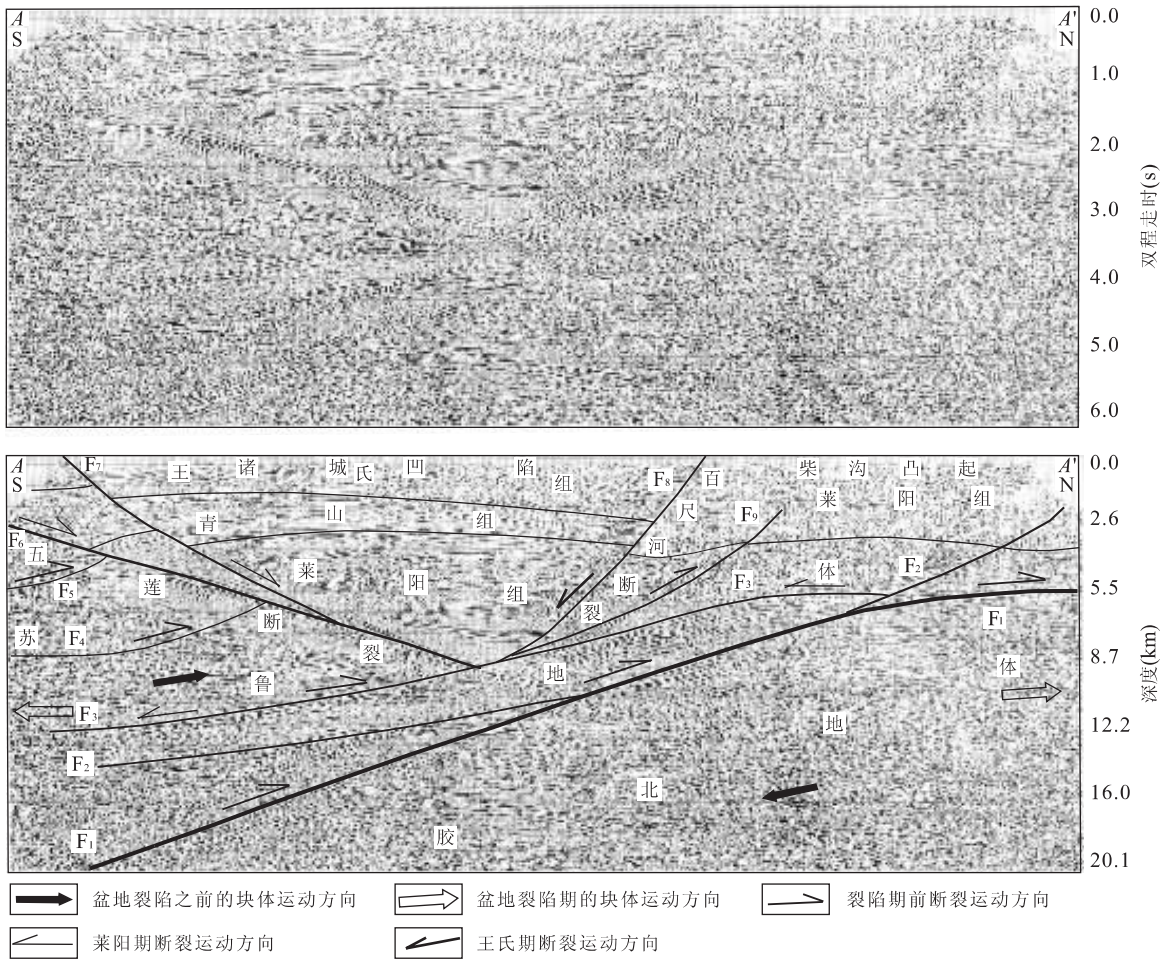


图 2 胶莱盆地西南部南北向 692.9 地震测线(A-A')构造解释剖面

Fig. 2 Structure interpretation profile of S-N-strike seismic line 692.9 (A-A') in the southwest part of Jiaolai basin

显高于胶北地体. 在这两个高速异常体之间有一个低速异常体, 可能是南北地体碰撞接触带的反映.

2 苏鲁地体北侧边界构造演化的运动学特征

从上述地震剖面看, 诸城凹陷内主要发育同沉积正断层, 结合胶莱盆地其他地区的地震剖面解释结果, 推断 3 套沉积盖层均形成于基底拉伸或张扭性的伸展构造背景下.

从图 2 和图 3 上看, 在诸城凹陷边缘的五莲断裂(带)、百尺河断层及凹陷内部发育的“y”字形同沉积正断层, 上盘相对向下滑动. 柴沟地垒主体为莱阳组所构成, 表明在莱阳组沉积期, 胶莱盆地各构造单元为统一的拗陷; 百尺河断层和诸城凹陷内部发育的“y”字形同沉积正断层, 主要控制了王氏组的厚度

变化, 推测为王氏组沉积期的同沉积断层. 古生物标志和火山岩同位素年龄(K-Ar 和⁴⁰Ar-³⁹Ar 法)表明, 莱阳组形成于晚侏罗—早白垩世早期(150~120 Ma), 青山组形成于早白垩世晚期(120~100 Ma), 而王氏组形成于晚白垩世. 显然, 胶莱盆地的形成时间与苏鲁地体强烈隆升造山并产生横向拆离伸展作用时间(陈文寄等, 1992; Eide *et al.*, 1994; 张建新等, 1997)相当. 青山组上下 2 个不整合面的存在, 可能暗示着基底拆离伸展作用有过短暂停顿和逆转. 但三套沉积盖层均较为平直, 褶皱变形弱, 断层反转现象不明显, 表明这两次挤压逆转不很强烈.

在 F₁ 之下向南倾伏的强大反射波组, 反映了华北板块向苏鲁地体之下俯冲的态势, 与秦岭—大别造山带北侧的情况(张国伟等, 1997)一致. 在苏鲁地体北缘所发育的一组叠瓦状断层(F₂-F₅), 均止于五莲断裂而未能穿入沉积盖层中, 表明发育于胶莱盆

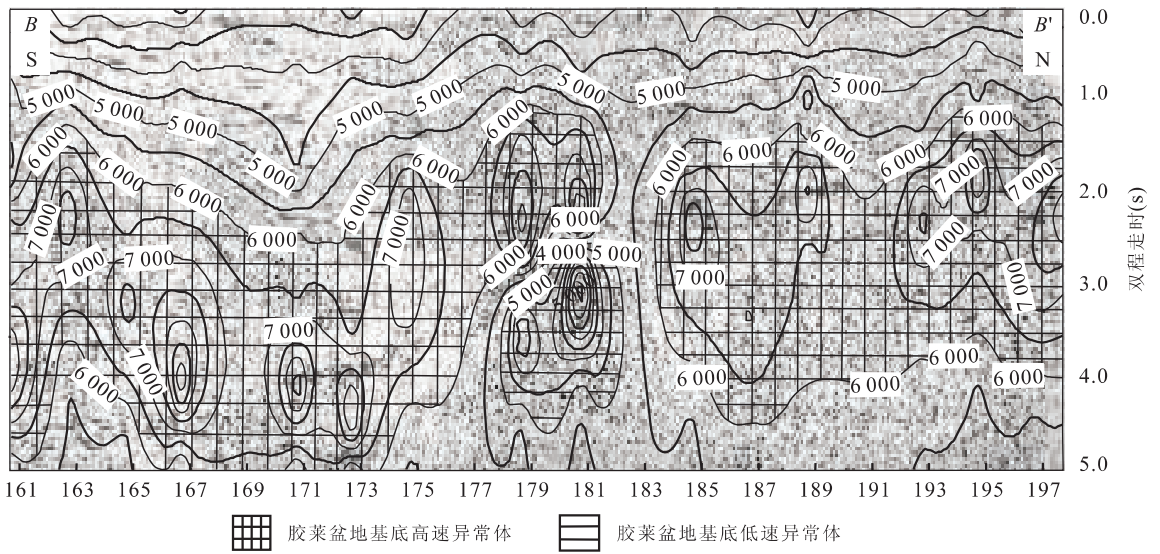


图 3 胶莱盆地西南部南北向 696.1 地震测线(B-B')反射地震叠加偏移剖面与层速度结构(图中等值线单位为 m/s)

Fig. 3 Reflecting seismic migration profile and its velocity structure of S-N-strike seismic line 696.1 (B-B') in the southwest part of Jiaolai basin

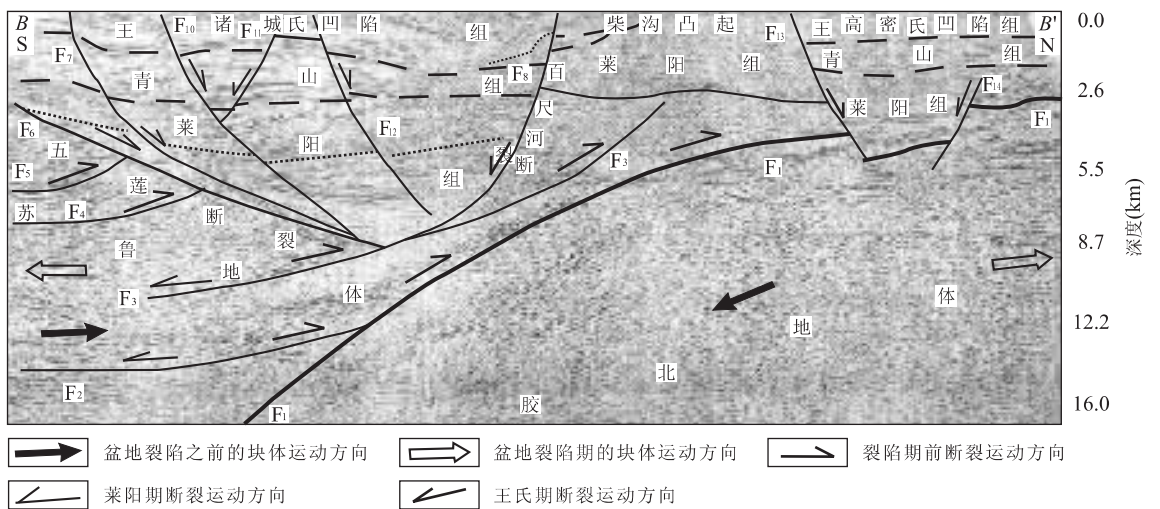


图 4 胶莱盆地西南部南北向 696.1 地震测线(B-B')构造解释剖面(图例同图 2)

Fig. 4 Structure interpretation profile of S-N-strike seismic line 696.1 (B-B') in the southwest part of Jiaolai basin

地形成之前. 这组叠瓦状断层可能是一个逆冲断层系, 推测形成于华北板块向苏鲁地体之下俯冲的事件中. 华北板块的主逆冲断层 F_1 和逆冲断层系在胶莱盆地形成时, 可能曾经伴随着区域性伸展而叠加正断层性质.

3 讨论与总结

在东海科学深钻选址过程中, 曾对大别—苏鲁岩石圈开展了深反射地震和大地电磁调查和研究.

该项目组通过深反射地震剖面分析发现(杨文采等, 2003), 在地壳—上地幔的位置上有上下两组近似平行的倾斜反射体, 指示在超高压变质带折返之后发生过扬子克拉通向北的典型的陆内俯冲. 其中, 上部反射体(AA)从江苏涟水县北部高沟镇开始向北西下插, 穿过整个苏鲁地体, 到山东胶南下方时穿过莫霍面, 继续插入上地幔. 他们根据所有地质与地球物理资料的综合解释结果综合推断, 上部反射体(AA)为区域性的逆断层, 称为苏鲁主逆断层(MST), 向北倾斜且在空间上与苏鲁地体南沿一致, 其北部为

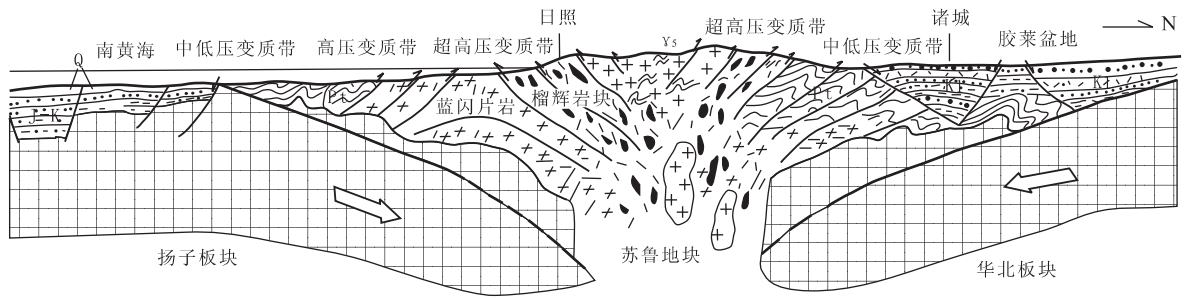


图5 苏鲁花状造山带结构和南北两侧的双俯冲模式

Fig. 5 Structure of Sulu orogenic belt and both dive pattern in its south and north

高电阻率的地壳,与经超高压变质的苏鲁地体对应。因此,MST应为侏罗纪向北俯冲到苏鲁地体下方的扬子块体地壳顶部的反映。下部反射体(BB)位于南段的新莫霍面之下,很可能是侏罗纪俯冲扬子地壳的底面,即老莫霍面。扬子板块的俯冲是典型的A型俯冲,主逆断层AA的平均倾角为 20° ,而俯冲扬子地壳的厚度约为35 km。从地震层析成像资料中可以看到,低速的陆间俯冲块体可达到130~170 km的深度。根据构造年代学研究,这次俯冲并形成MST的年代,可能在超高压块体折返与秦岭带碰撞之后、胶莱盆地形成之前,大约是180~150 Ma。

将本文苏鲁造山带北侧构造演化的几何学运动学特征研究成果,与东海科学深钻课题组的上述研究成果综合起来,推测大别地体的花状造山带结构(张国伟等,1997;王清晨和从柏林,1998)有可能在苏鲁造山带再现,即在燕山中期可能存在过华北板块和扬子板块在苏鲁地体两侧相向低角度双俯冲体制(图5)。

综上所述,横穿胶莱盆地南部诸城凹陷的南北向反射地震剖面,揭示了苏鲁地体北侧边界的几何学和运动学特征,为检验、鉴别和确立对苏鲁造山带形成演化动力学机理的认识提供了新的证据。根据这些新证据,我们可以得到如下几点认识:

(1)苏鲁地体与胶北地体是在几何学特征上相互分离、在运动学特征上相向仰冲和俯冲的两大块体,而且苏鲁地体内还出现叠瓦状逆冲断层系,胶北地体中却无此现象。

(2)五莲—即墨—牟平断裂(带)倾向NW,倾角约为 40° ,应属于造山作用后期在苏鲁地体北侧伸展垮塌形成的裂隙边界,不能简单地作为华北与扬子板块之间的缝合带。

(3)苏鲁地体北侧边界的主要几何学特征是存

在着三层结构,即上部的胶莱盆地南部 J_3-K_1 沉积盖层、中部代表苏鲁地体的胶南楔状体和下部代表华北板块的胶北地体。

(4)诸城凹陷边缘和内部断裂均显示同沉积正断层性质,胶南楔状地体中发育一组向北逆冲(仰冲)的叠瓦状断层,而胶北地体显示向南俯冲的态势。

(5)胶北地体向南俯冲的角度在近地表处较缓,约 20° ,向下有变陡的趋势;胶南楔状地体向北仰冲的角度在近地表处较陡,约 60° ,向下有变缓的趋势。

(6)苏鲁地体可能具有与大别地体相似的花状造山带结构,在 J_3-K_1 胶莱盆地形成之前,可能存在着华北板块与扬子板块相向俯冲于苏鲁地体之下的陆陆碰撞机制。

致谢:感谢胜利油田管理局地质科学院和物探研究院提供宝贵的资料,感谢张国伟院士对本文撰写所给予的帮助,感谢审稿人所提出的宝贵意见和建议。

References

- Banno, S., Enami, M., Hirajima, T., et al., 2000. Decompression P-T path of coesite eclogite to granulite from Weihai, eastern China. *Lithos*, 52: 97-108.
- Cao, G. Q., 1990. Preliminary discussion on "Jiaonan terrane". *Geology of Shandong*, 6(2): 1-10 (in Chinese with English abstract).
- Chen, W. J., Harrison, T. M., Heizerler, M. T., et al., 1992. The cooling history of mélangé zone in North Jiangsu-South Shandong region: Evidence from multiple diffusion domain $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ thermal geochronology. *Acta Petrologica Sinica*, 8(1): 1-17 (in Chinese with English abstract).
- Eide, E. A., McWilliams, M. O., Liou, J. G., 1994. $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ geochronology and exhumation of high-pressure to ultra high pressure metamorphic rocks in East Central China. *Geology*, 22: 601-604.

- Faure, M., Breton, N. L., Lin, W., et al., 2002. Where is the North China-South China block boundary in eastern China? Reply. *Geology*, 30: 668.
- Faure, M., Lin, W., Le Breton, N., 2001. Where is the North China-South China block boundary in eastern China? *Geology*, 29: 119—122.
- Lin, W., Michel, F., Wang, Q. C., 2003. Mesozoic geometry and kinematics in the Jiaodong Peninsula and its tectonic evolution. *Chinese Journal of Geology*, 38(4): 495—505 (in Chinese with English abstract).
- Ling, X. C., 1996. Basic characteristics and boundaries of Ludong orogenic belt. *Journal of Harbin University of Civil Engineering and Architecture*, 31(5): 116—121 (in Chinese with English abstract).
- Ma, Z. T., Liu, H. Q., Ma, Z. X., 1997. Features of gravity and magnetic fields and geological explanation of the Jiaonan orogenic belt and its neighbour areas. *Geology of Shandong*, 13(1): 92—102 (in Chinese with English abstract).
- Suo, S. T., Zhong, Z. Q., You, Z. D., et al., 2000. Relic UHP structures in Dabie-Sulu region, China: Structural expression and geodynamic significance. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 25(6): 557—563 (in Chinese with English abstract).
- Wallis, S., Hirajima, T., Banno, S., 1999. The Sulu UHP terrane: A review of the petrology and structural geology. *International Geol. Rev.*, 41: 906—920.
- Wang, Q. C., Cong, B. L., 1998. Tectonic framework of the ultra-high pressure metamorphic zone from the Dabie Mountains. *Acta Petrologica Sinica*, 14(4): 481—492 (in Chinese with English abstract).
- Wang, Q. C., Zhang, R. Y., Cong, B. L., et al., 1992. Eclogites in eastern Shandong-northern Jiangsu region: Their structure and exhumation mechanism. *Acta Petrologica Sinica*, 8(2): 153—160 (in Chinese with English abstract).
- Wu, Y. B., Zheng, Y. F., Zhou, J. B., 2004. Neoproterozoic granitoid in northwest Sulu and its bearing on the North China-South China blocks boundary in east China. *Geophysical Research Letters*, 31, L07616, doi: 10. 1029/2004GL019785.
- Xu, G. Z., Zhou, R., Yan, Z., et al., 2001. Discussion on the evidences of Mesozoic lithosphere thinning and its dynamic mechanism in Jiaodong area. *Geotectonica et Metallogenia*, 25(4): 368—380 (in Chinese with English abstract).
- Xu, Z. Q., Zhang, J. X., Xu, H. F., 1997. Ductile shear zone and dynamics of main continental mountain chain in China. Geological Publishing House, Beijing (in Chinese).
- Yang, T. N., Xu, H. F., Song, M. C., et al., 1997. Uplift-extension structure of the Jiaonan block. *Geology of Shandong*, 13(1): 67—76 (in Chinese with English abstract).
- Yang, W. C., Chen, Z. Y., Cheng, G. J., et al., 1999. Geophysical investigations in northern Sulu UHPM belt, Part I: Deep seismic reflection. *Chinese Journal of Geophysics*, 42(1): 41—52 (in Chinese with English abstract).
- Yang, W. C., Cheng, Z. Y., Zhang, C. H., 2003. Geophysical investigation for site-selection of Chinese Continental Scientific Drilling and Dabie-Sulu lithosphere. *Acta Geoscientia Sinica*, 24(5): 391—404 (in Chinese with English abstract).
- Zhai, M. G., 2002. Where is the North China-South China block boundary in eastern China? Comment. *Geology*, 30: 667.
- Zhang, G. W., Meng, Q. R., Liu, S. F., et al., 1997. Huge intra-continental subduction zone at south margin of North China block and present 3D lithospheric framework of the Qinling orogenic belt. *Geological Journal of China Universities*, 3(2): 129—143 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, J. X., Yang, T. N., Xu, Z. Q., et al., 1997. Extension of Jiaonan area in Shandong. *Acta Geoscientia Sinica*, 18(2): 122—128 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 曹国权, 1990. 试论“胶南地体”. *山东地质*, 6(2): 1—10.
- 陈文寄, Harrison, T. M., Heizerler, M. T., 等, 1992. 苏北—胶南构造混杂岩冷却历史的多重扩散域⁴⁰Ar-³⁹Ar 年代学研究. *岩石学报*, 8(1): 1—17.
- 林伟, Michel, F., 王清晨, 2003. 胶东半岛中生代构造演化的几何学和运动学. *地质科学*, 38(4): 495—505.
- 凌贤长, 1996. 鲁东造山带基本特征及边界确定. *哈尔滨建筑大学学报*, 31(5): 116—121.
- 马兆同, 刘慧勤, 马兆祥, 1997. 胶南造山带及邻近地区的重磁特征及地质解释. *山东地质*, 13(1): 92—102.
- 索书田, 钟增球, 游振东, 等, 2000. 大别—苏鲁区残余超高压构造及其动力学意义. *地球科学——中国地质大学学报*, 25(6): 557—563.
- 王清晨, 从柏林, 1998. 大别山超高压变质带的大地构造框架. *岩石学报*, 14(4): 481—492.
- 王清晨, 张儒瑗, 从柏林, 等, 1992. 鲁东—苏北榴辉岩的构造特征及其折返机制. *岩石学报*, 8(2): 153—160.