

郯庐断裂带早新生代的活动性质研究*

徐芹芹¹ 季建清¹ 王金铎² 王振兰¹ 韩文功² 于建国²

(1. 北京大学造山带与地壳演化教育部重点实验室 北京 100871;

2. 中国石油化工股份公司胜利油田有限公司物探研究院 山东东营 257022)

摘 要 郯庐断裂带是新生代以来中国东部大陆大地构造演化中最重要的构造带之一,对郯庐断裂的认识制约了大型盆地的形成演化的认识及油气资源的评价。本文在野外实地调查的基础上,从郯庐断裂带与地层的穿切关系入手,借助最新的地震反射剖面以及第一手野外资料,判定郯庐断裂带在新生代早期经历了强烈的活动,表现为左旋兼具逆冲的性质。通过分析覆盖在郯庐断裂带之上火山岩中的断裂发育样式和地震反射剖面上的地层覆盖关系,认为中新世以来,相当于渤海湾盆地的东营运动之后,构造应力场发生了变化,郯庐断裂带不再有显著的活动,发育了新的断裂体系。郯庐断裂新生代兼有垂向位移的走滑活动奠定了中国东部古近纪盆地形成、沉积演化和油气资源成藏的基本格局。

关键词 左行走滑作用 地表地质 地震反射剖面 早新生代 郯庐断裂带

中图分类号:P542

文献标识码:A

文章编号:0563-5020(2008)02-402-13

1 引 言

中国东部大陆延伸达 2 400 km 以上的郯庐断裂带(图 1A,图 2)被称作是世界上最大的大陆走滑断裂带(国家地震局地质研究所,1987; Xu et al., 1987; 徐嘉炜等,1992; Xu and Zhu, 1994)。从 1957 年航磁资料确认其存在以来的 50 年里,对郯庐断裂带的研究主要集中在燕山期的活动方式上,对其新生代的活动方式研究较少,且观点纷繁,争论颇多。对郯庐断裂带的山东段和安徽段,因其宽度大,露头好,研究相对较多。Lu et al. (1983)根据应力分析认为白垩纪末—古近纪是郯庐断裂左旋走滑活动的时期,新近纪是其右旋走滑活动期。Lin et al. (1998)根据野外露头地质得出郯庐断裂带左旋走滑活动发生在白垩纪到新近纪之间;宗国洪等(1998)推定郯庐断裂在古近纪发生左旋活动。王小凤等(2000)认为郯庐断裂带在白垩纪末—古近纪为右旋平移挤压性质。蔡东生等(2001)根据地震剖面确定其在古近纪右旋活动的特点;刘国生等(2006)根据合肥盆地东部的沉积记录以及同位素年代学的最新研究成果,指出该断裂带晚白垩世—古近纪的伸展运动和新近纪以来的逆冲活动。Grimmer and Enkelmann(1995)在郯庐断裂带南部张八岭地区获得的一系列裂变径迹年龄,绝大多数是 110~50 Ma。万京林等(1997)使用裂变径迹获得了断裂带(山东段)冷却的年龄,集中在古近纪,最新年龄为 F_1 (昌邑—大店断裂): 8 Ma, 次为 F_4 (郯部—葛沟断裂): 28 Ma, F_2 (安丘—莒县断裂)为 32 Ma, F_3

* 国家自然科学基金资助项目(批准号:40472100)。

徐芹芹,女,1984 年 2 月生,硕士研究生,构造地质学专业。e-mail: qinqin2002dz1@163.com

2007-06-26 收稿,2007-09-27 改回。

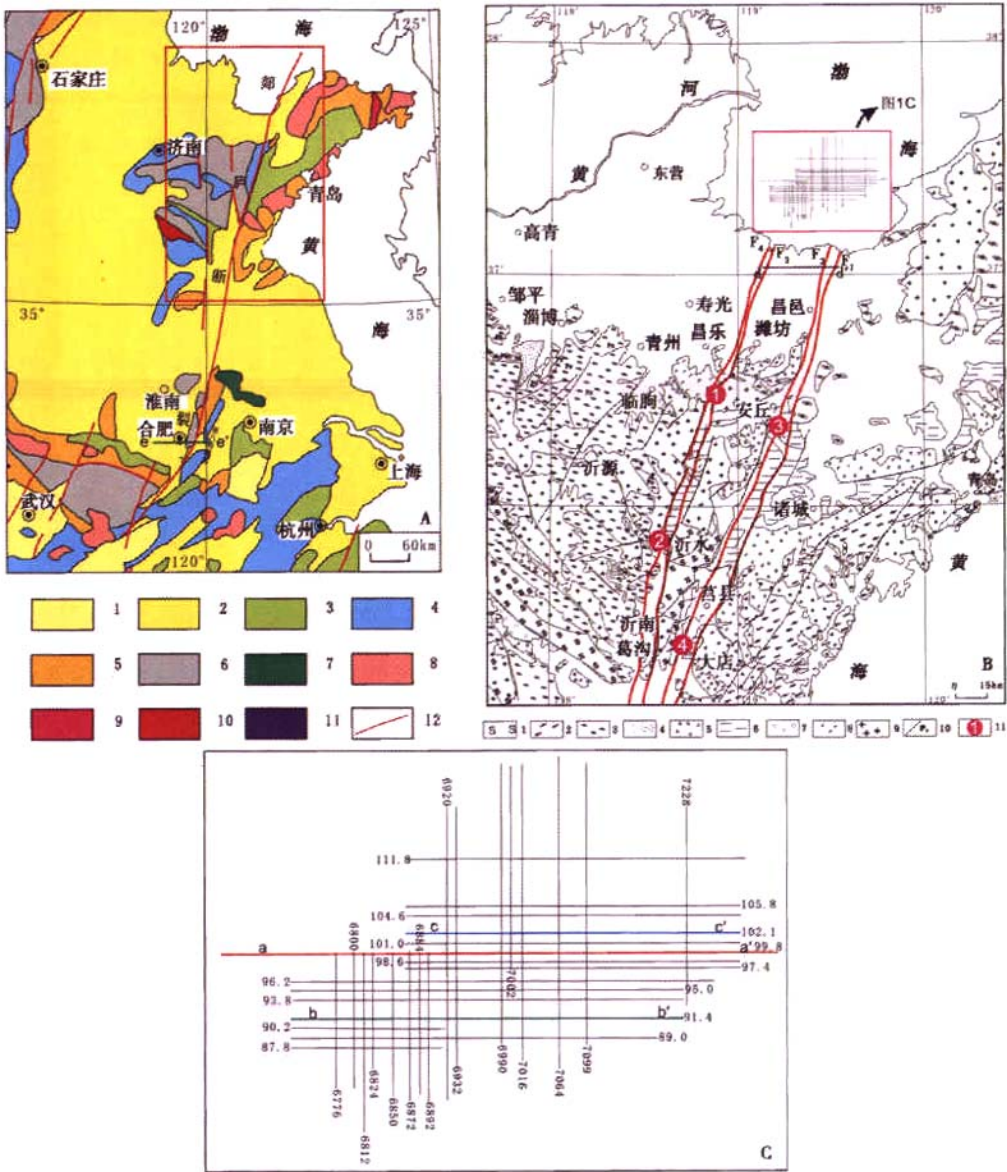
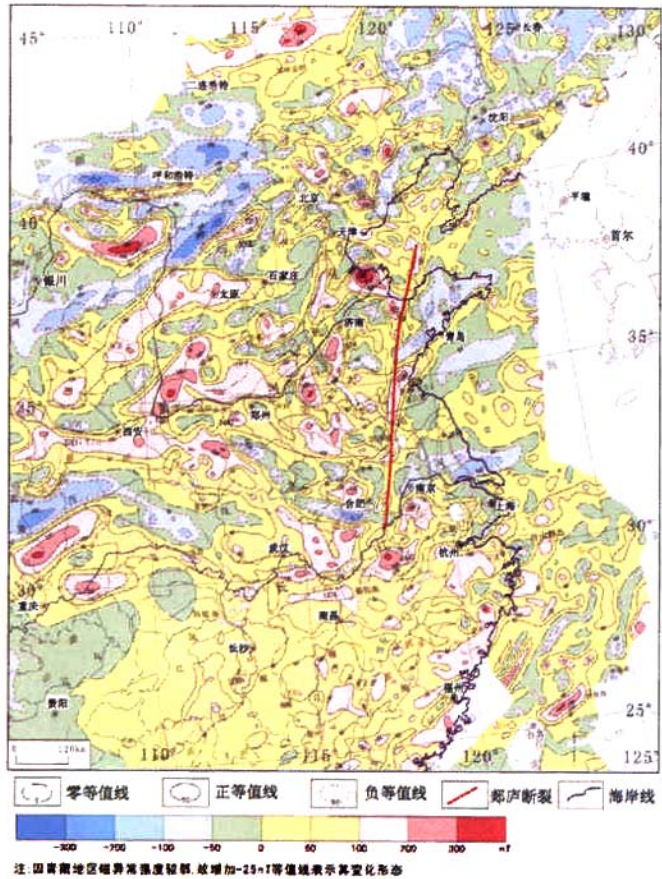


图 1 郯庐断裂带构造简图(示研究区主要断裂和地震剖面位置)

A. 郯庐断裂带及其邻区主要构造体系图(据王治顺等, 2002, 略作修改), e—e'为图 10 的地震剖面位置; 1. 新生代盆地; 2. 中-新生代盆地; 3 中生代盆地; 4. 古生界; 5. 元古宇; 6. 太古宇; 7. 新生代基性喷出岩; 8. 中生代中-酸性侵入岩; 9. 古生代中-酸性侵入岩; 10. 前古生代中-酸性侵入岩; 11. 镁铁质—超镁铁质侵入岩; 12. 断裂; B. 郯庐断裂带山东段地质简图(据韩文功等, 2005; 位置见图 1A 中的方框), d—d'为图 9 的地震剖面位置; 1. 太古宙花岗质片麻岩; 2. 前寒武纪岩石; 3. 元古宇—古生界; 4. 三叠-侏罗系; 5. 下白垩统; 6. 上白垩统; 7. 古近系; 8. 新近纪沉积和火山岩; 9. 不同时期的花岗岩; 10. 断裂构造; 11. 野外观测点(①、②、③和④分别为图 4、图 5、图 6 和图 7 的野外位置); F₁: 昌邑—大店断裂, F₂: 安丘—莒县断裂, F₃: 沂水—汤头断裂, F₄: 郯郡—葛沟断裂; C. 地震反射剖面研究区(位置见图 1B 中的方框)。

Fig. 1 A structural map of the Tan-Lu fault zone, showing main faults in the studied area and location of the seismic reflection profiles

(沂水—汤头断裂)为 56 Ma(图 1B)。王先美等(2007)根据磷灰石裂变径迹数据,认为郯庐断裂带在晚白垩世—早古新世发生了较大规模的左旋挤压活动。吴根耀等(2007)认为:郯庐断裂带是东亚大陆边缘地区的一条构造性断裂,其活动和动力学背景与东亚大陆边缘地区的演化密切相关,因渐新世开始日本海张裂,日本列岛与亚洲大陆分离且发生向南的漂移,导致亚洲大陆东缘地区的北东向断裂(包括郯庐断裂)新近纪内发生右行走滑。



对郯庐断裂的南延即江西境内的赣江断裂,梁兴等(2006a,2006b)认为古近纪是构造平静期,因而鄱阳盆地为拗陷,新近纪内发生差异性升降运动。

对辽渤地区,漆家福(2004)提出该地的北东向断层(郯庐断裂带)古新世—早始新世发生左行走滑活动,渐新世开始表现为右行走滑。韩文功等(2005)对郯庐断裂带古新世—早始新世的左行走滑活动提出了反射地震方面的证据。宗国洪等(1999)根据济阳拗陷内与郯庐断裂带有关的沉积速率和构造样式得出了相似的结论。曹忠祥(2008)提出渤海湾新生代盆地演化经历了 4 个阶段:古近纪孔店组—沙河街组四段沉积期为初始走滑—裂隙阶段,郯庐断裂为左行走滑;沙河街组三段—二段沉积期为主裂陷阶段,郯庐

断裂主要为伸展;沙河街组一段—东营组沉积期为走滑—裂陷阶段,郯庐断裂(或营口—潍坊断裂)发生右行走滑,新近纪为裂后热沉降阶段。由于缺乏能够提供关键性证据的研究手段,给这一问题的解决带来了困难。

本文在前人工作(韩文功等,2005)的基础上进一步补充资料(图1c),探讨郯庐断裂带新生代早期的活动性质,以期对郯庐断裂带新生代活动的研究和认识有所提高。

2 地表地质

(1) 前人资料与活动时限的判定

1957年航磁资料揭示:郯庐断裂带存在的航磁异常带是北北东(15° — 25°)的延伸方向的正异常带,宽30~40 km,从安徽庐江向北经巢县以西、嘉山、江苏泗洪、宿迁到山东郯城、莒县、安丘至渤海湾南部,将鲁西地块和胶东地块这两个地质发展史截然不同的地质体分隔开来。2002年的航磁资料也有相似的显示特征,但有所不同的是中国东部以北东向的磁异常条带为主,而北北东向的磁异常似乎被北东向的磁异常条带破坏,只有零星的但可以连接的北北东向磁异常(图2)。基于这样的认识,本文研究的郯庐断裂带是上述的北北东向航磁异常带所代表的断裂带。

已发表的野外地质剖面(图3)非常直观而简洁地反映了郯庐断裂带活动与地层发育之间的关系,给郯庐断裂带活动时限的界定提供了最直接的证据。图3为引用的剖面资料,其中图3A和3B为山东段的野外地质剖面,图3A中断裂切穿的最新地层为下白垩统,且被新近系覆盖;图3B中的上白垩统被断裂改造;图3的C、D、E和F是安徽境内郯庐断裂带南段野外剖面,图3的C、E和F中 F_1 (昌邑—大店断裂,图1B)切入到晚白垩世地层;图3D中 F_1 、 F_2 也同样改造了上白垩统。

总之,前人的野外地质剖面资料显示:郯庐断裂带切穿改造的最新地层是上白垩统,没有被断裂改造的最老地层是由火山岩组成的新近系。

(2) 几何学、运动学特点

前人的野外剖面反映出了郯庐断裂带与地层的切穿关系,也验证了断裂带晚白垩世之后的活动时限。为了使资料更加完全,并且有最大的置信度和说明力,我们对郯庐断裂带山东段的野外露头进行了实地观测,获得了证明郯庐断裂带运动性质与活动时限的第一手资料(图4、图5、图6和图7)。

图4为山东段郯庐断裂带野外照片,该野外露头位于沂水县东北部圈里北18 km处,沿安丘到临朐的公路测制剖面,对应的位置大致相当于 F_3 (沂水—汤头断裂,图1B)。照片中灰绿色地层为粉砂岩,时代为晚白垩世末期,紫红色的岩石为断裂破碎的构造岩,由于强烈破碎和氧化作用而呈紫红色,但岩性与灰绿色地层一致,时代也为晚白垩世末期,说明郯庐断裂切穿破坏了上白垩统,其活动时间应该在晚白垩世之后。

图5A中的褶曲发育在上白垩统中,岩性为粉砂岩和薄层泥岩,出露的位置在沂水县北西方向6 km处 F_4 (郯部—葛沟断裂,图1B)附近。褶曲的轴面高角度东倾,枢纽向北缓倾(图5B)。褶曲在垂向面和水平面上的投影见图5B构造解析示意图,分别指示在水平面上的左旋走滑特点和在垂向面上的逆冲特点,是郯庐断裂带新生代早期发生左行逆冲活动的有力证据。

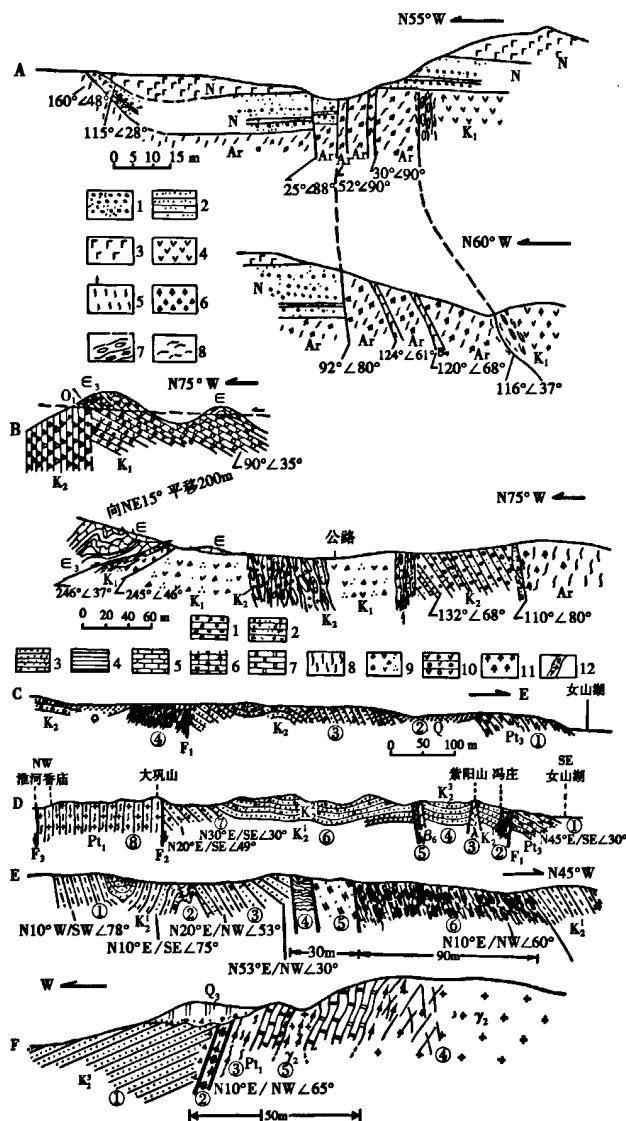


图3 郯庐断裂带典型地质剖面图

A. 沂水马站至郯都—葛沟断裂剖面(据王小凤等,2000): 1. 砂砾岩; 2. 砂岩; 3. 玄武岩; 4. 安山岩; 5. 混合岩; 6. 碎裂岩; 7. 挤压破裂带; 8. 断层泥; B. 沂水县圈里哨虎峪村南沂水—汤头断裂剖面(据王小凤等,2000): 1. 角砾岩; 2. 砂砾岩; 3. 砂岩; 4. 页岩; 5. 灰岩; 6. 竹叶状灰岩; 7. 白云质灰岩; 8. 混合岩; 9. 安山质角砾熔岩; 10. 火山集块岩; 11. 碎裂岩; 12. 破碎带; C. 嘉山紫阳镇冯庄东 0.5 km F_1 剖面(据国家地震局地质研究所,1987): ①. 绿泥片岩; ②. 砂土; ③. 砂砾岩; ④. 挤压破裂带; D. 五河县香庙—嘉山县冯庄郯庐断裂结构剖面图(据国家地震局地质研究所,1987): ①. 绿泥石英片岩; ②. 挤压透镜体; ③. 流纹岩; ④. 砂岩; ⑤. 玄武岩; ⑥. 砂砾岩; ⑦. 泥质粉砂岩; ⑧. 片麻状花岗岩; E. 肥东古城集东南 1.5 km 小河沟 F_1 剖面(据国家地震局地质研究所,1987): ①. 灰绿色薄层页岩夹灰绿色薄层粉砂岩; ②. 向南东倒转的“M”形小褶皱; ③. 同①; ④. 灰绿色薄层页岩、粉砂岩揉皱带; ⑤. 挤压糜棱岩带,发育一系列 $N10^\circ E$ 小断层,具水平擦痕; ⑥. 灰绿色页岩、砂岩组成的挤压透镜体带,透镜体产状为 $N10^\circ E/NW \angle 60^\circ$; F. 肥东山王集岗村东北十八衡水库坝右侧 F_1 剖面(据国家地震局地质研究所,1987): ①. K_2^3 砖红色砂岩、含砾砂岩; ②. K_2^3 的挤压破碎带,有的呈角砾嵌于 Pt_1 中,断面有紫红色断层泥,为 K_2^3 和 Pt_1 的混合挤压带; ③. Pt_1 的大理岩压碎扁豆体带; ④. γ_2 片麻状花岗岩,近断层处成角砾,劈理发育; ⑤. γ_2 的挤压破碎带

Fig. 3 Some typical geological sections across the Tan-Lu fault zone



图 4 沂水县东北部圈里北 18 km 处断裂破碎带野外露头
位置见图 1B 中的①
Fig. 4 Outcrop photographs of faulted zone at 18 km north of Quanli, Yishui county

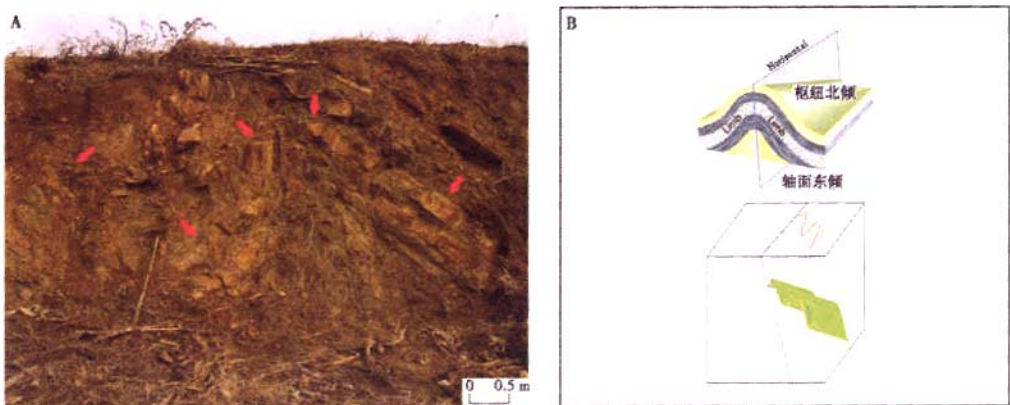


图 5 沂水县北西方向 6 km 处 F_4 断裂一侧褶皱野外剖面 and 构造解析示意图
位置见图 1B 中的②
Fig. 5 Field photographs and structure analysis of fold in one side of the F_4 fault at 6 km northwest of Yishui county

另外,在山东诸城市西与莒县交界地段,也可见到露头很好的郯庐断裂破碎带(图 6),对应的位置相当于 F_2 (安丘—莒县断裂,图 1B)。断裂带通过紫红色粉砂岩层中近直立的破碎带表现出来,由或大或小的断层角砾岩组成。如图 6 所示,断裂带宽 8 ~ 10 m,中间变形强烈,向两侧逐步减弱,被郯庐断裂带左旋走滑活动所改造的地层为上白垩统。

图 7A 是郯城东北方向所见露头的线理野外照片,对应 F_2 位置(安丘—莒县断裂,图 1B)。断层面近直立指示了断裂走滑运动的特征,其上擦痕由粗深向细浅方向指示了左旋运动方向(图 7B)。被断裂破坏改造的地层为侏罗系。线理在面理上的侧伏角为 12° ~ 13°,并且这一角度从肥东到山东郯城几乎是保持不变的,显示了断裂在垂向上的运动分量。



图 6 山东诸城西与莒县交界处郯庐断裂野外露头
镜头向北,位置见图 1B 中的③;红线所示区域为强烈变形区,
两侧红绿线所示区域为弱变形区,断裂破坏的地层为上白垩统

Fig. 6 Outcrop photographs of Tan-Lu fault at border region of western Zhucheng and Juxian, Shandong

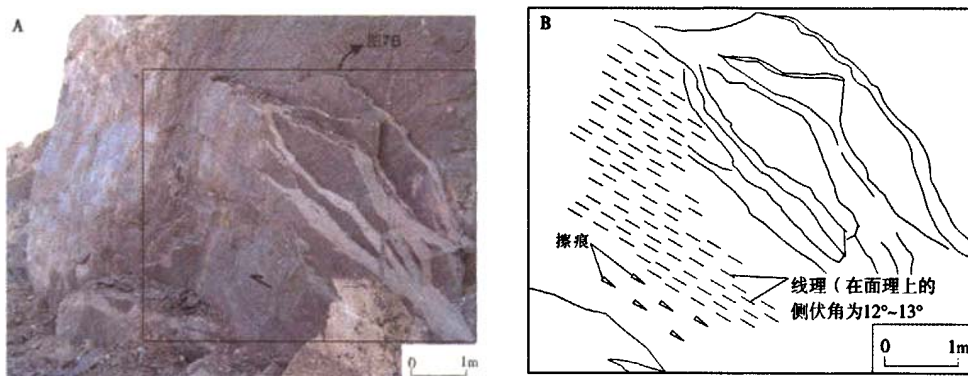


图 7 山东郯城断层面的线理野外照片与素描图

图 A 中镜头指向东北,位置见图 1B 中的④

Fig. 7 Field photographs and sketch map of lineation at northeast of Tancheng, Shandong

3 地震反射资料

地震反射波中蕴涵着地下地质体的多种信息,只要这些信息发生变化,就会导致反射波的变化。反之,地震反射波的变化,也是地质体变化的反映。因此,地质体中断层的存在会在地震反射剖面上有一定的显示特征。根据断层在地震反射剖面中的基本特征(反射波同相轴的错断、增加、消失、分叉或合并等),可以识别出断层的存在,再通过地层的标定,确定断层与地层的(切穿地层或被其覆盖),就可以获得断层的运动性质与活动时限。本文利用在渤海南部莱州湾的青州东地区、潍北凹陷、合肥盆地一张八岭地区获得的横切郯庐断裂带的高精度反射地震剖面资料,进一步探讨郯庐断裂带的活动性质及走滑运动时限。

图 8 的 A—A'、B—B' 和 C—C' 展示了济阳拗陷青州东地区内切过郯庐断裂带的 3 条东西向的反射地震剖面。从这 3 条剖面以及其它获得的 31 条剖面(东西向 15 条,南北向 19 条,本文只列出东西向 3 条)上来看,有 4 个地震反射界面(层)较为清楚: T_1 为新近系馆陶组上段底面,波组为 2 个相位,能量强; T_2 为古近系沙河街组四段底面, 2~3 个相位; T_3 为古近系孔店组二段下部, 2 个较强相位; T_4 为中生界底面不整合面反射面, 2



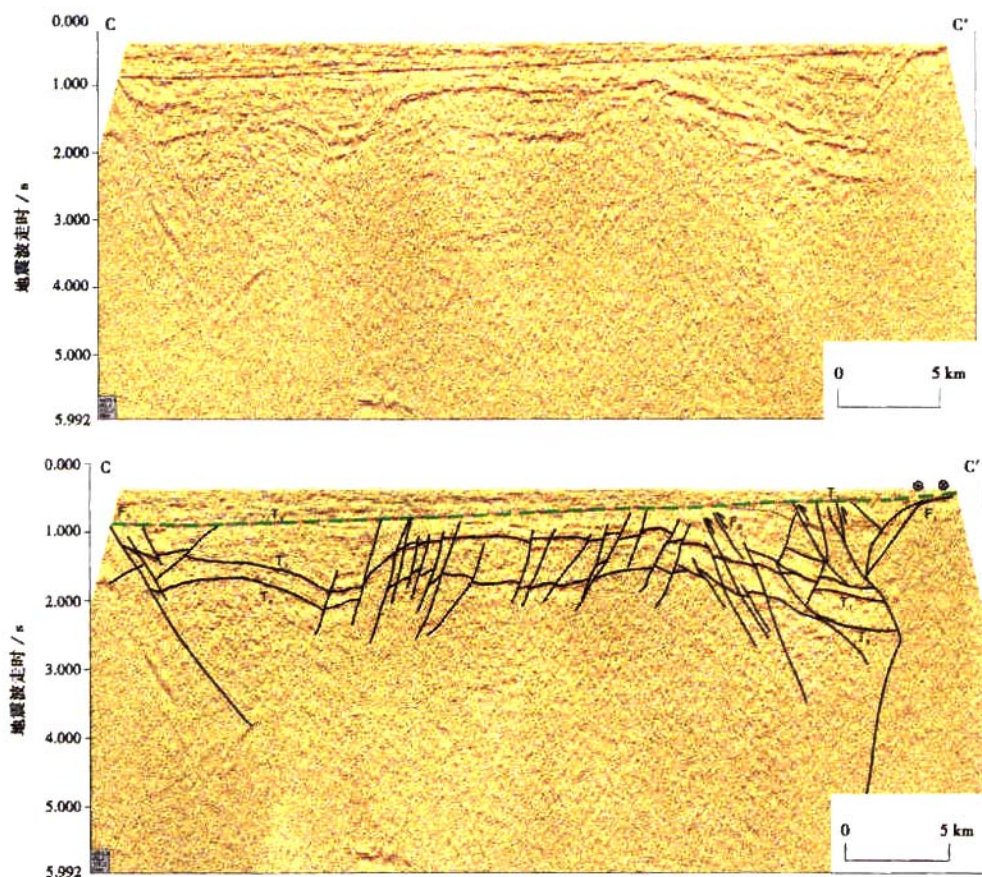


图 8 济阳拗陷青州东地震反射剖面

A—A'(99.8)、B—B'(91.4)和C—C'(102.1)的剖面位置见图1C中的a—a'、b—b'和c—c',上图为原始的地震资料,下图为构造解释图;T₁·新近系馆陶组上段底面;T₇·古近系沙河街组四段底面;T₈·古近系孔店组二段下部;

T₉·中生界底面不整合面(图9同);F₁、F₂、F₃和F₄同图1B

Fig. 8 Seismic reflection profiles of eastern Qingzhou area in the Jiyang Depression

~3个相位,凹陷内近断层处连续性变差。而且,剖面上(图8)层位齐全,反射层可连续追踪,波组特征较明显,T₁、T₇、T₈和T₉各反射界面都能有效追踪。

地震反射研究结果显示:平面上的郯庐断裂带在渤海海域内的延伸方向基本与根据重力和航磁资料推定的延伸情况一致,也发育东、西两支,共4条断裂,分别对应陆上的F₁—F₄(图1B);垂向上郯庐断裂带深部的延伸在剖面上虽没有清楚的反射层显示,但从反射地震剖面可清晰识别两侧地质体之间的界线,断裂构造面近直立,自下而上分叉撒开,成花状构造,构造样式与拉张背景下形成的犁状正断层构造截然不同,显示其走滑运动的特点。所有的剖面一致显示断裂带东盘的鲁东隆起区花岗质片麻岩在断裂带活动时持续上冲,与西盘垂直断距达到至少3 km以上(如果把剥蚀的厚度考虑在内,垂直位移达6~7 km),并在后期经受了剥蚀作用的改造;根据地震反射界面(T₇、T₈和T₉)的特

点,可以确定断裂带西盘断陷盆地沉积的是孔店组—沙河街组四段地层。这种东断西超的地层发育反映了孔店组—沙河街组四段同构造沉积的特点,即沉积凹陷的形成与断裂带活动过程中的垂向运动分量有关系。在潍北凹陷的东西向剖面(图 9,剖面位置见图 1B 中的 $d-d'$, T_g 为古生代地层与太古宙片麻岩的分界))上也可以识别出同样的现象。从剖面上看,潍北凹陷是一个东断西超的孔店组—沙河街组四段沉积时期的凹陷,这样的形态特征由郯庐断裂带在古新世—早始新世的活动所造成,与青州东地区的情形非常相似。

穿过合肥盆地的剖面(图 10,剖面位置见图 1A 中的 $e-e'$)显示:郯庐断裂带的主要构造形迹并没有沿着合肥盆地的东部边界,其主要构造线从张八岭隆起上穿过,并且该构造不仅改造了中生代合肥盆地的构造格局,而且切穿了白垩纪地层,并可能控制了古近纪地层的发育。另外,新近纪以来,郯庐断裂带普遍存在逆冲构造现象(刘国生等, 2002),反映了盆地东缘郯庐断裂带在新近纪以来发生了逆冲挤压活动(刘国生等, 2006)。依此可以判定:郯庐断裂的安徽段在早新生代有强烈的活动,这与山东境内的地震剖面解释结果以及野外地表地质认识相一致。

此外,在所有的剖面上,以 T_1 地震反射层为标志,馆陶组和明化镇组不整合覆盖在郯庐断裂带及其相关的孔店组—沙河街组四段地层之上,指示郯庐断裂带在馆陶组和明化镇组沉积期及以后已经不再有较明显的活动,故新近纪的辽河地区发育拗陷盆地(崔向东等, 2007)。

4 结束语

除江西境内赣江断裂的构造活动趋于平静外,在安徽、山东境内,包括渤海湾南部海域陆架,新生代的郯庐断裂带是脆性断裂,根据地表地质和地震反射剖面可以判定,郯庐断裂带的主体在早新生代(古近纪早期)表现为左行走滑(可能兼有逆冲),与早白垩世郯庐断裂活动的相似之处甚少。从剖面上看,常见断裂带被新近纪沉积层连续覆盖,王先美等(2007)还报道了郯庐断裂带被中新统火山岩所覆盖。据此可以推断:可能与古近纪明显不同的是郯庐断裂带在新近纪以后停止了明显的剪切走滑活动。郯庐断裂带现代仅发生中-小地震说明断裂的活动性不强,且主要集中在山东境内即沂沭断裂带(刘东旺等, 2006)。

郯庐断裂带左旋走滑活动过程兼具较大幅度的垂向运动分量,使得以郯庐断裂为西边界的鲁东隆起区快速抬升,与当时的济阳拗陷区形成千米以上的地形高差。这一古高程差异一直延续至沙河街组沉积期,是济阳拗陷在古近纪前后一直保持为较稳定的湖相沉积区的原因,并且至少在孔店组和沙河街组沉积期,鲁东隆起区是济阳拗陷最主要的物源区,控制了东营凹陷沙三段沉积期巨型三角洲由东向西发育,使渤海湾盆地最大规模的油气聚集层位得以形成。这也是鲁东(胶东地区)没有早新生代地层发育,鲁西有遍布全区的下新生界发育的原因。或者说,鲁东与鲁西地区新生代区域演化的差异是郯庐断裂带活动在沉积格局上的体现。因而,认识郯庐断裂带在早新生代的活动为兼具逆冲的左旋走滑运动,对中国东部大地构造演化、盆地的形成发育以及油气资源评价有非常重要的意义。

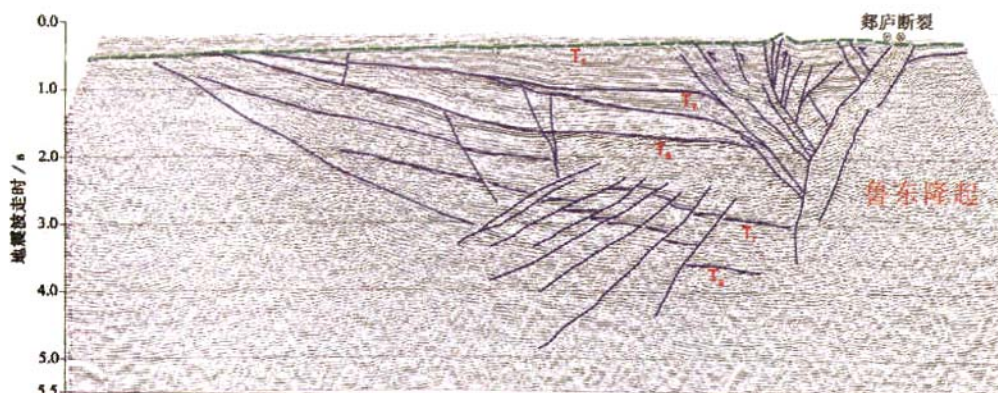


图 9 潍北凹陷东西向地震反射剖面

Fig. 9 East—West trend seismic reflection profile of the Weibei Depression

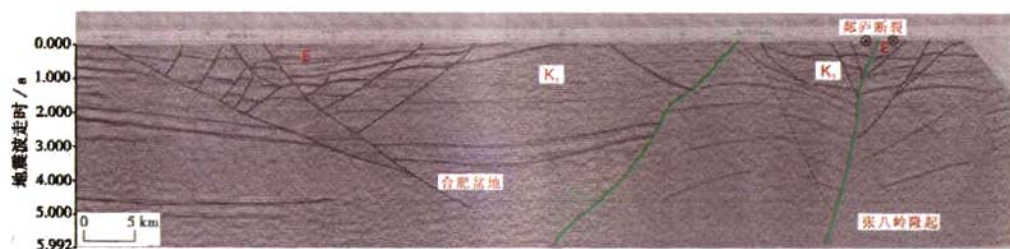


图 10 合肥盆地张八岭东西向地震剖面

Fig. 10 East—West trend seismic reflection profile of Zhangbaling across the Hefei Basin

参 考 文 献

- 蔡东升, 罗毓晖, 姚长华. 2001. 渤海莱州湾走滑拉分凹陷的构造研究及其石油勘探意义. 石油学报, 22(2):19—25.
- Cai Dongsheng, Luo Yuhui and Yao Changhua. 2001. Strike-slip and pull-apart structure study and its significance to petroleum exploration on Laizhouwan Sag, Bohai area. *Acta Petrolei Sinica*, 22(2):19—25.
- 曹忠祥. 2008. 营口—潍坊断裂带走滑—拉分裂陷盆地伸展量、沉降量估算. 地质科学, 43(1):65—81.
- Cao Zhongxiang. 2008. Calculation of extension and subsidence of the Cenozoic pull-apart and rift basins along the Yingkou-Weifang fault zone. *Chinese Jour. Geol.*, 43(1):65—81.
- 崔向东, 王仁厚, 石敦久, 袁清秋, 马宏斌. 2007. 辽河坳陷滩海月东油田新近系馆陶组底界研究. 地质科学, 42(3):455—468.
- Cui Xiangdong, Wang Renhou, Shi Dunjiu, Yuan Qingqiu and Ma Hongbin. 2007. Basal beds of the Neogene Guantao Formation in Yuedong Oilfield, beach area of the Liaohe Depression. *Chinese Jour. Geol.*, 42(3):455—468.
- 国家地震局地质研究所. 1987. 郯庐断裂. 北京: 地震出版社. 1—210.
- Institute of Geology, State Seismological Bureau. 1987. The Tan-Lu Fault. Beijing: Seismological Press. 1—210.
- 韩文功, 季建清, 王金铎, 于建国, 张新钰, 于绍立. 2005. 郯庐断裂带古新世—早始新世左旋走滑活动的反射地震证据. 自然科学进展, 15(11):1383—1388.
- Han Wengong, Ji Jianqing, Wang Jinduo, Yu Jianguo, Zhang Xinyu and Yu Shaoli. 2005. Seismic reflection evidence for sinistral strike-slip movement of Tan-Lu fault zone from the Paleocene to the Early Eocene. *Progress in Natural Sci-*

- ence, 15(11):1383—1388.
- 梁 兴, 吴根耀. 2006a. 赣江断裂带中生代的演化及其地球动力学背景. 地质科学, 41(1):64—80.
- Liang Xing and Wu Genyao. 2006a. Mesozoic evolution of the Ganjiang fracture zone and related geodynamic settings. *Chinese Jour. Geol.*, 41(1):64—80.
- 梁 兴, 叶 舟, 吴根耀, 郑华平, 徐克定, 张廷山, 刘家铎. 2006b. 鄱阳盆地构造—沉积特征及其演化史. 地质科学, 41(3):404—429.
- Liang Xing, Ye Zhou, Wu Genyao, Zheng Huaping, Xu Keding, Zhang Tingshan and Liu Jiaduo. 2006b. Sedimento-tectonic features and geological evolution of the Poyang Basin. *Chinese Jour. Geol.*, 41(3):404—429.
- 刘东旺, 夏瑞良, 刘泽民, 沈小七, 李敏莉, 闫素萍. 2006. 郯庐断裂带安徽段现代地震活动及应力场特征. 地质科学, 41(2):278—290.
- Liu Dongwang, Xia Ruiliang, Liu Zemin, Shen Xiaoqi, Li Minli and Yan Suping. 2006. Characteristics of recent seismicity and stress fields in Anhui sector of the Tan-Lu fault zone. *Chinese Jour. Geol.*, 41(2):278—290.
- 刘国生, 朱 光, 宋传中, 牛漫兰, 王道轩. 2002. 郯庐断裂带新近纪以来的挤压构造与合肥盆地的反转. 安徽地质, 12(2):81—85.
- Liu Guosheng, Zhu Guang, Song Chuansong, Niu Manlan and Wang Daoxuan. 2002. Compressional structures of the Tan-Lu fault zone and inversion of the Hefei basin since Neogene. *Geology of Anhui*, 12(2):81—85.
- 刘国生, 朱 光, 牛漫兰, 宋传中, 王道轩. 2006. 合肥盆地东部中-新生代的演化及其对郯庐断裂带活动的响应. 地质科学, 41(2):256—269.
- Liu Guosheng, Zhu Guang, Niu Manlan, Song Chuansong and Wang Daoxuan. 2006. Meso-Cenozoic evolution of the Hefei Basin (eastern part) and its response to activities of the Tan-Lu fault zone. *Chinese Jour. Geol.*, 41(2):256—269.
- 刘寿彭, 朱凤英, 蒋春艳, 章尔静. 2002. 中国地质图集, 中国及毗邻海区航空磁力异常图(1:12 000 000). 北京:地质出版社. 65—68.
- Liu Shoupeng, Zhu Fengying, Jiang Chunyan and Zhang Erjing. 2002. Geological Atlas of China, Aeromagnetic Anomaly of Sea Area of China and Adjacent Regions(1:12 000 000). Beijing: Geological Publ. House. 65—68.
- 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(1):15—22.
- Qi Jiafu. 2004. Two tectonic systems in the Cenozoic Bohai Bay basin and their genetic interpretation. *Geology in China*, 31(1):15—22.
- 万京林, 王庆隆. 1997. 郯庐断裂活动年龄及热历史的裂变径迹研究. 地球学报, 18(1):74—76.
- Wan Jinglin and Wang Qionglong. 1997. Fission track analysis on the active ages and thermal histories of Tancheng-Lujiang fault. *Acta Geoscientia Sinica*, 18(1):74—76.
- 王先美, 钟大赉, 张进江, 季建清, 王雪松. 2007. 沂沭断裂带晚白垩世—早古新世左行走滑的低温年代学约束. 地质学报, 81(4):455—465.
- Wang Xianmei, Zhong Dalai, Zhang Jinjiang, Ji Jianqing and Wang Xuesong. 2007. Low-temperature thermochronological constraints on sinistral strike-slip movement of the Yi-Shu fault zone between the Late Cretaceous and Early Paleogene. *Acta Geologica Sinica*, 81(4):455—465.
- 王小凤, 李中坚, 陈柏林, 陈宜华, 董树文, 张 青, 武红岭, 邢历生, 张 宏, 董法先, 邬红梅, 霍光辉, 林传勇, 白嘉启, 刘晓春. 2000. 郯庐断裂带. 北京:地质出版社. 1—222.
- Wang Xiaofeng, Li Zhongjian, Chen Bailin, Chen Xuanhua, Dong Shuwen, Zhang Qing, Wu Hongling, Xing Lisheng, Zhang Hong, Dong Faxian, Wu Huamei, Huo Guanghui, Lin Chuanyong, Bai Jiaqi and Liu Xiaochun. 2000. The Tan-Lu Fault Zone. Beijing: Geological Publ. House. 1—222.
- 王治顺, 李贵书. 2002. 中国地质图集, 中国主要构造体系图(1:12 000 000). 北京:地质出版社. 45—48.
- Wang Zhishun and Li Guishu. 2002. Geological Atlas of China, Major Structural Systems of China(1:12 000 000). Beijing: Geological Publ. House. 45—48.
- 吴根耀, 矢野孝雄. 2007. 东亚大陆边缘的构造格架及其中-新生代演化. 地质通报, 26(7):787—800.
- Wu Genyao and Yano T. 2007. Tectonic framework and Meso-Cenozoic evolution of the East Asian continental margin. *Geological Bulletin of China*, 26(7):787—800.
- 徐嘉伟, 马国锋. 1992. 郯庐断裂带研究的十年回顾. 地质论评, 38(4):316—324.

- Xu Jiawei and Ma Guofeng. 1992. Review of ten years(1981 ~ 1991) of research on the Tancheng-Lujiang fault zone. *Geol. Rev.*, 38(4):316—324.
- 宗国洪,施央申,王秉海,王捷. 1998. 济阳盆地中生代构造特征与油气. *地质论评*, 44(3):289—294.
- Zong Guohong, Shi Yangshen, Wang Binghai and Wang Jie. 1998. Mesozoic structures and their relations to hydrocarbon traps in the Jiyang Basin. *Geol. Rev.*, 44(3):289—294.
- 宗国洪,肖焕钦,李常保. 1999. 济阳坳陷构造演化及其大地构造意义. *高校地质学报*, 5(3):275—282.
- Zong Guohong, Xiao Huanqin and Li Changbao. 1999. Evolution of Jiyang Depression and its tectonic implications. *Geological Journal of China Universities*, 5(3):275—282.
- Grimmer J C and Enkelmann E. 1995. Transpressional basin—a case study of Mid-Late Triassic basin around Yangtze River, lower Yangtze. *Chinese Science Abstracts, Series B*, 14(4):55—56.
- Lin A, Miyata T and Wan T F. 1998. Tectonic characteristics of the central segment of the Tancheng-Lujiang fault zone, Shandong Peninsula, eastern China. *Tectonophysics*, 293:85—104.
- Lu Huafu, Yu Hongnian, Ding Youwen and Zhang Qinglong. 1983. Changing stress field in the middle segment of the Tan-Lu fault zone, eastern China. *Tectonophysics*, 98(3—4):253—270.
- Xu J and Zhu G. 1994. Tectonic models of the Tan-Lu fault zone, eastern China. *International Geol. Rev.*, 36:771—784.
- Xu Jiawei, Zhu Guang, Tong Weixing, Cui Kerui and Liu Qing. 1987. Formation and evolution of the Tancheng—Lujiang wrench fault system; a major shear system to the northwest of the Pacific Ocean. *Tectonophysics*, 137(4):273—310.

Active mode of the Tan-Lu fault zone in Early Cenozoic

Xu Qinqin¹ Ji Jianqing¹ Wang Jinduo² Wang Zhenlan¹ Han Wengong² Yu Jianguo²

(1. Key Laboratory of Orogenic Belts and Crustal Evolution in Ministry of Education, Peking University, Beijing 100871;

2. Institute of Geophysical Exploration of Shengli Oilfield Company Ltd., China Petroleum and Chemical Corp.,

Dongying, Shandong 257022)

Abstract

The Tan-Lu fault zone, which played a key role in tectonic evolution of East China continent during Cenozoic, and controlled the formation and deformation of the large basins and their evaluation of petroleum resource, was one of the most important tectonic belts in eastern marginal areas of Asia. According to the geometrical features, the latest seismic reflection profiles and field survey, the paper considered that the Tan-Lu fault zone had undergone intense movement in Early Cenozoic, revealed by sinistral strike-slipping as well as thrusting. Based on the analysis of deformed Cretaceous covered by undeformed volcanic rocks in age of Neogene, and the relation between the fault and cover strata in seismic reflection profiles, it was thought that the Tan-Lu fault zone was not mobile remarkably from Miocene or Dongying Movement in area of the Bohai Bay Basin, since the tectonic stress field changed obviously. The strike-slipping, with oblique thrusting, of the Tan-Lu fault zone in Early Paleogene, founded the tectonic framework of creation and deformation of the sedimentary basins, and formation and secondary generation of hydrocarbon reservoirs of Cenozoic in East China.

Key Words Sinistral strike-slipping, Surface Geology, Seismic reflection profiles, Early Cenozoic, The Tan-Lu fault zone