

郯庐断裂带中段第四纪活动及其分段特征

施 炜 张岳桥 董树文

(中国地质科学院地质力学研究所 北京 100081)

摘 要 郯庐断裂带是中国东部一条岩石圈尺度的构造不连续带。位于江苏和山东境内的郯庐断裂带中段,在新构造运动时期强烈右旋走滑复活,形成地貌形迹显著的走滑活动断裂带。笔者在断层活动形迹的野外调查和观测的基础上,结合 TM 遥感影像特征解译和地震震源机制解资料,分析了郯庐断裂中段第四纪活动的分段行为特征。位于嘉山-潍坊之间的郯庐断裂带中段可以进一步划分为3段,北段安丘-茅埠亚段,中段汪湖-宿迁亚段,南段宿迁-嘉山亚段,这三段可能分别是独立的地震破裂段。观测表明,新构造变形主要集中在宿迁以北的中、北段,是历史强震的发生段,而南段变形相对较弱。嘉山以南安徽境内郯庐断裂新构造变形更弱。郯庐断裂带新构造走滑变形的走向分段行为是华北地区不同块体新构造运动位移调节的结果。

关键词 郯庐断裂带 新构造变形 断层分段 块体运动

Quaternary Activity and Segmentation Behavior of the Middle Portion of the Tan-Lu Fault Zone

SHI Wei ZHANG Yueqiao DONG Shuwen

(Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing, 100081)

Abstract The Tan-Lu fault zone is one of the major lithospheric discontinuities in eastern China. The middle portion of this fault zone in Shandong and Jiangsu provinces was subjected to strong right-lateral reactivation during Neotectonic era, forming a conspicuous transpressional strike-slip boundary in North China. Based on field observations together with TM imagery interpretation and focal mechanism solutions of earthquakes, this paper describes Quaternary active features and segmentation behavior of the Tan-Lu fault zone. It is pointed out that the middle portion of the Tan-Lu fault zone can be divided into three main segments, i. e., the Anqiu-Maobu segment, the Wanghu-Suqian segment and the Suqian-Jiashan segment in southward succession, and each of them might be ruptured independently. Quaternary strike-slip faulting is prevalent along the central and northern segments, north of Suqian, where two strong historical earthquakes once occurred, whereas the faulting weakens along the southern segment in Jiangsu and Anhui provinces. This along-strike segmentation behavior of the Neotectonic activity of the Tan-Lu fault zone accommodated book-shelf motion of blocks in North China.

Key words Tan-Lu fault zone Neotectonics fault segmentation block kinematics

断裂活动的分段现象和分段行为习性研究已受到广泛的重视(丁国瑜, 1990, 1992), 并日益成为中长期地震预测和重大工程地震危险性评价的理论依据之一(张培震等, 1996)。然而, 对断层分段的概念尚存在不同的理解(丁国瑜, 1992)。《中国活断层图集》将活动断层分段主要分为4种类型: ①断层形态的几何学分段, 主要根据断层的展布、排列、走向变

化等几何学特征进行分段; ②断层的结构分段, 依据断层带内及两盘岩性、地层结构的特征而进行分段; ③断层的活动性分段, 依据断层长期以来活动性差异进行分段; ④断层破裂分段, 主要依据古地震资料, 划分具有独立破裂行为的断层。

郯庐断裂带是中国东部一条岩石圈尺度的构造边界带(徐嘉炜, 1984; 李家灵等, 1984; 方仲景等,

1986 ,Yin 等 ,1993 ;王小凤等 ,1996)。新构造运动时期该断裂带强烈复活 ,在华北东部形成了一条显著的右旋走滑断裂带(IGCP 第 206 项中国工作组 ,1989)。这条断裂带组成了华北地区一条重要的地震构造带(晁洪太 ,1999)。野外新构造调查和地震地质研究表明 ,郯庐断裂带新构造变形沿走向表现不均一 ,新构造变形主要集中在江苏和山东境内的郯庐断裂带中段 ,而在安徽境内则很弱。

1 郯庐断裂带中段第四纪活动特征

郯庐断裂带中段北起莱州湾 ,穿越山东和江苏境内 ,南至安徽嘉山 ,走向 NE5°~20°。地质上由 4 条主干断裂组成 ,从东向西分别为昌邑-大店断裂(F₁)、安丘-莒县断裂(F₂)、沂水-汤头断裂(F₃)、唐吾-葛沟断裂(F₄) ,构成“两堑夹一垒”的构造形态 ,向南逐渐合并为一 ,长约 450 km ,宽约 20~40 km ,最宽达 50 km ,总体呈“Y”形(图 1) ,其主体形成于白垩纪。其地貌、地质、地球物理标志明显。

郯庐断裂带中段第四纪活动断层是一条新生断层 根据 TM 遥感影像活动构造地貌解译 ,第四纪活动断裂发育于东部沭水地堑内(图 2) ,其最明显

的活动地貌特征是呈狭长线状展布的挤压脊。宿迁以北的北段地区 ,河流侵蚀作用相对较弱 ,活动断裂地貌形态保留较好。而中南段 ,由于受到沭水、古黄河、淮河等水系的侵蚀-搬运-堆积作用 ,活动断裂地貌形态受到不同程度的改造而变得走向不连续 ,形成典型的“岛状残丘”构造地貌。

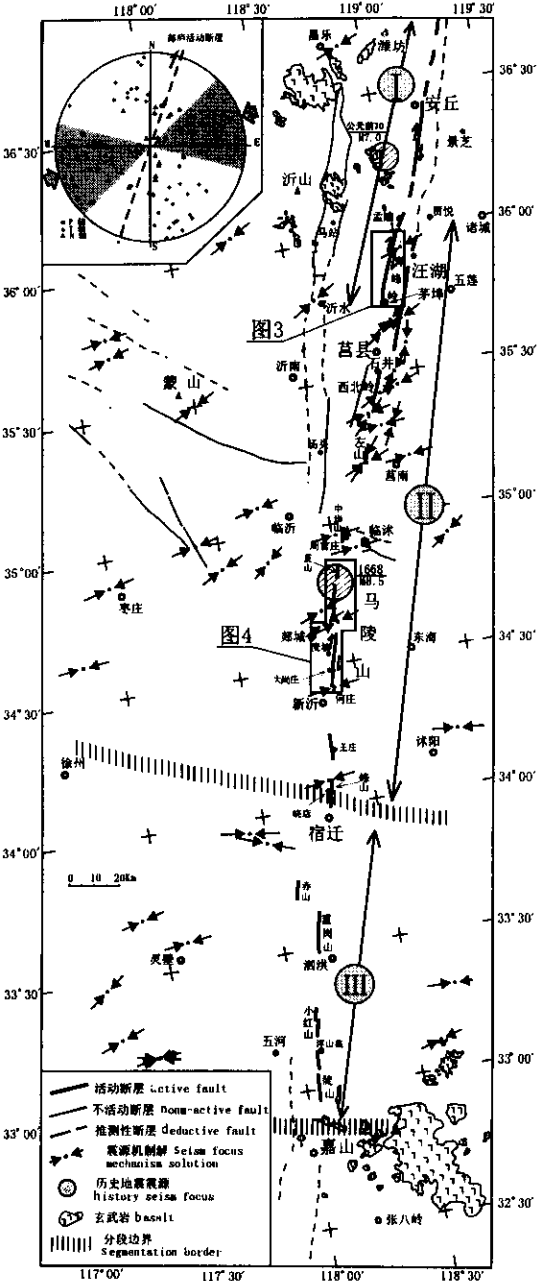


图 2 郯庐断裂带中段第四纪活断层分布 (1:20 万 TM 遥感影像解译)

Fig.2 Distribution of Qarternany active faults along the middle segment of the Tan-Lu fault zone (interpreted from 1:200 000 TM image)

I -安丘-茅坦;II -汪湖-宿迁;III -宿迁-嘉山
I -Anqiou-Maobu ;II -Wanghu-Suqian ;III -Suqian-Jiashan

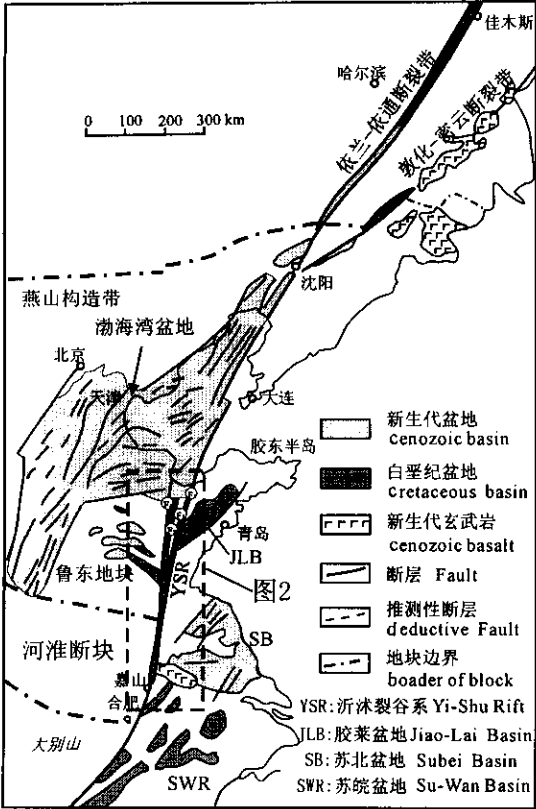


图 1 郯庐断裂带构造简图(据许志琴 ,1984)

Fig.1 Sketch tectonic map of the Tan-Lu fault zone (from Xu Zhiqin ,1984)

区域上以淮河流域为界,郯庐断裂分为 2 段,即潍坊-嘉山段和嘉山-广济段,第四纪断裂活动主要集中在北段的潍坊-嘉山段,而位于安徽境内的嘉山-广济段新构造活动较弱。根据活动断裂的几何形态和活动强度,潍坊-嘉山段又可分为 3 个亚段,自北向南分别为:安丘-茅埠亚段,汪湖-宿迁亚段,宿迁-嘉山亚段(图 2)。

1.1 安丘-茅埠亚段

该段活断层全长约 82 km,走向 NE10°~22°(图 2)。安丘以北,由于受到渤海湾盆地沉降的影响和潍河水系的长期侵蚀-堆积作用,活动断裂地表形迹不清楚。这段活断层主体由 2 条直线型断层组成,安丘地区的老鼠山段全长 21 km,茅埠地区的青峰岭段长约 29 km,之间为石埠子河流侵蚀盆地分隔。活动断层切割上白垩统砖红色和紫红色砂砾岩,线形影象特征非常清楚,地貌上表现为数米高的断层陡崖(照片 1,镜头向 NW)。青峰岭地区活动断裂形迹清楚(图 3),断层的右旋走滑导致上白垩统砖红色泥岩与紫红色砂砾岩层的直接接触,在其近直立主断面上见有一层厚约 3~5 cm 的暗红色假玄武玻璃,其面上发育一组清晰的近水平的擦痕构造(照片 2,镜头向 SW),指示右行走滑运动。假玄武玻璃代表一种超碎裂构造岩,显微镜下观察发现碎粒结构明显,表明是断层在快速滑动时岩石摩擦作用形成的,与断裂的强震活动有关(Sibson,1980,1985;Spray,1992)。

安丘段活动断层在老鼠山地区清晰可见。断面平直,向西倾,倾角 45°~60°,断面上擦痕构造指示右旋走滑兼有逆冲分量。

在孟瞳以东的孙家庄村,该段断层走向近 SN,东盘为一套白垩系大盛群紫色砂砾岩,西盘为一套白垩系王氏群紫红色、砖红色泥岩、粉砂岩,靠近断

层的部分地层发生褶皱,断面近直立(照片 3,镜头向 N)。断面上也残留有与青峰岭段相同的假玄武玻璃薄层,指示断层快速摩擦滑动。断层的右旋走滑导致了 EW 走向的上白垩统王氏群砖红色盆地的错移,初步估计郯庐断裂在该段右旋位移约 2 km。

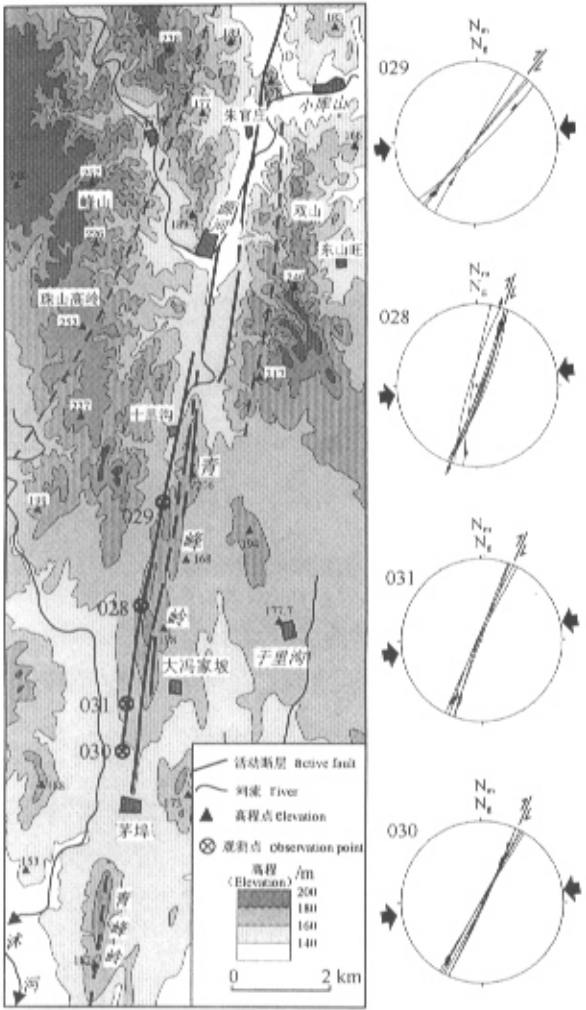
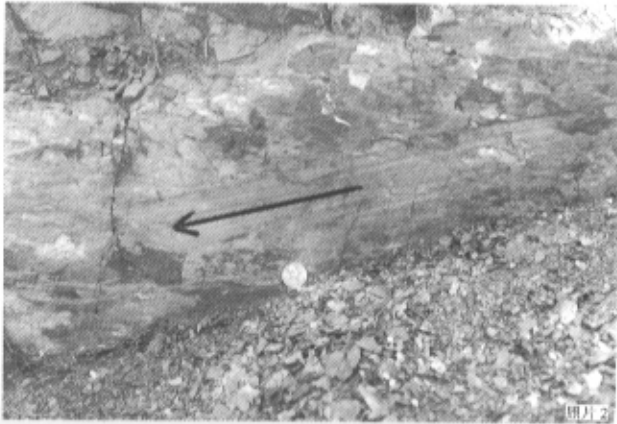


图 3 青峰岭活断层及断层滑动矢量
Fig.3 Qingfengling active fault and fault slip vectors



万方数据



照片 2



历史记载公元前 70 年诸城发生过 7 级大地震 , 1796 年诸城又发生 5 级地震(国家地震局地质研究所 ,1987) ,这可能是与安丘-茅埠段断层活动有关。

1.2 汪湖-宿迁亚段

该段南起宿迁 ,经新沂、郯城、莒县 ,北至汪湖 ,全长约 230 km ,1668 年 8.5 级强震导致该段地表破裂(强祖基 ,1985)。地表活动断层形迹清楚 ,其主体由 4 条几十公里长的断层右阶斜列组成(表 1) ,之间被 3 个第四纪断陷盆地(莒县、板泉-干沟渊和新沂)分隔。据郑传贝等(1988)研究 ,这些盆地与郯庐断裂第四纪右旋剪切拉分作用有关。第四纪沉积物在莒县盆地厚约 10~30 m ,在板泉-干沟渊盆地约 20~30 m ,局部地区可达 170 m ,在新沂盆地为 40~50 m。

汪湖-宿迁段活断层总体上以右旋走滑为主兼有逆冲活动。跨断层的冲沟、河流、冲积物等发生不同程度和不同级别的右旋错动。黄伟师(1988)认为左山地区横跨断层冲沟的错移所反映的断层位移量分别为 28~34 m、14~20 m 和 4~9 m ,其中 4~9

m 的位移量可能代表郯城地区 1668 年 8.5 级大地震形成的地表错距 ,而 28~34 m 和 14~20 m 水系错移则可能代表晚更新世以来的右旋走滑量。然而 ,关于新构造运动早期郯庐断裂右旋走滑运动 ,目前尚缺乏确切的地质和地貌错动标志。李家灵等(1991)根据在郯城麦坡地区王氏群中发育的基性岩脉错断关系 ,推测郯庐断裂最大右旋位移量为 55 m。根据笔者野外观测 ,基性岩脉在上白垩统地层中很发育 ,很难将断层两侧基性岩脉对应起来。另外 ,黄伟师(1988)根据 50 m 等高线在马岭山地区发生右旋扭曲推测郯庐断裂右旋位移量为 50 km。

但由于缺乏可靠的地质标志 ,郯庐断裂新构造运动时期最大右旋位移量尚难确定。通过对郯城地区马陵山活动断裂南段的地质和地形分析 ,获得了郯庐断裂新构造时期可能的最大右旋走滑位移量。马陵山是郯庐断裂新构造时期压扭作用形成的挤压脊 ,断层北段略呈弧形 ,南段呈直线形 ,两段之间的连接关系不很清楚(图 4)。断层右旋活动的最显著特征是沿断层两侧晚第四纪古冲沟被错移(照片 4 ,镜头向 N) ,古冲沟内保存充填沉积物 ,在小尚庄一带 ,右旋错移达 23 m(李家灵等 ,1991)。尤其值得注意的是 ,位于麦坡-何庄段的断层西盘对应王氏群上部砖红色砂泥岩(区域上称为红土崖组)与活动断层东盘王氏群下部紫红色砂砾岩直接接触 ,二者之间色差十分醒目 ,沿走向接触距离大于 14 km。麦坡以北 ,活动断裂斜切马陵山 ,在观测点 T04 ,断层向西倾 ,倾角约 45° ,指示较大的逆冲分量。一种可能的解释是 ,该断层向北延伸可能与马陵山北段东缘断裂相联。根据马陵山断裂南段两侧上白垩统地层和山体的错移关系 ,推断郯庐断裂可能的最大右旋位移量为 14~16 km。

表 1 汪湖-宿迁段活动断层几何特征

Table 1 Geometric features of the Wanghu-Suqian fault segment

断层段		走向/°	倾向	倾角/°	长度/km	几何特征	位移量/m	错移标志
汪湖-牛家庄段		NE20	SE	70~80	46	直线	—	—
石井-左山段	西北岭段	22	SE	60~80	14	略弯曲	5	冲沟
	左山段	16	SE	70~80	4.8	直线	9	冲沟
周官庄-何庄段	中华山段	15	SE	60~70	6.5	直线	10	洪积扇
	茌山段	15	SE	25~70	6	直线	4~6	冲沟
	马陵山段	10~20	SE	30~60	41	弧形	23	古河道
王庄-晓店段	王庄段	2	SSE	60~80	20	直线	17.3	冲沟
	峰山段	10	SSE	40~60	22	直线	9.6	冲沟

注 据吴洪波等 ,1994 ,1992 ,1999 ;李家灵等 ,1991 ;吴少武等 ,1988。

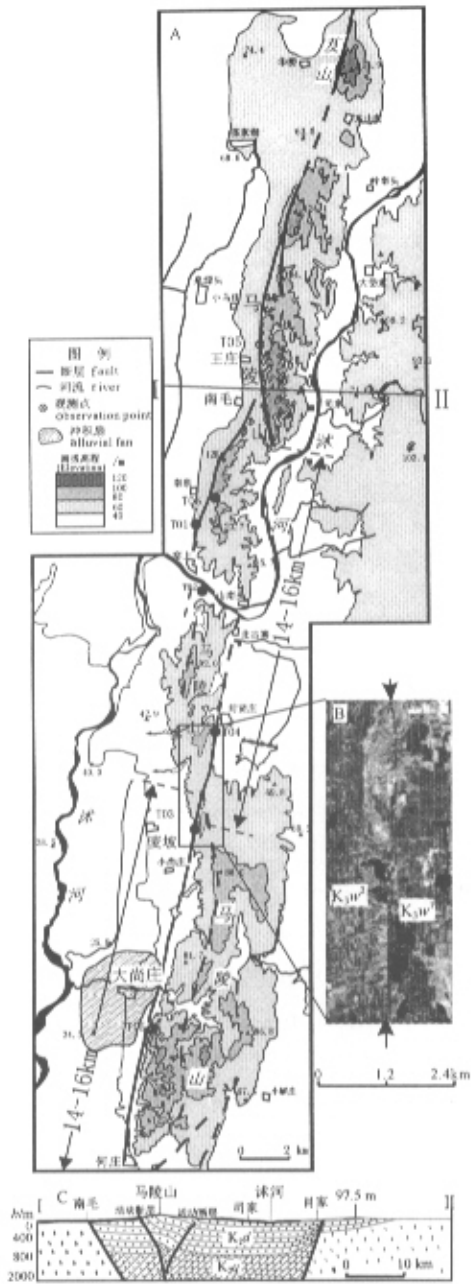
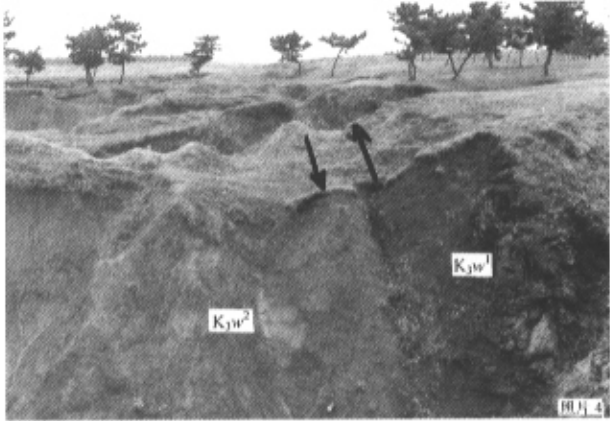


图 4 郯城地区马陵山活动断裂构造地貌特征及右旋错动关系

Fig.4 Tectono-morphologic characteristics and right strike-slipping of Malingshan active fault in Tancheng
A-马陵山段活断层分布 双向箭头指示可能的最大右旋走滑分量 ;
B-郯庐活动断层麦坡段 TM 影像特征 C-马陵山-大埠岭地质剖面图示意图 ;Pt-元古代 ;K₂q-中白垩系青山群火山喷发岩 ;
K₂d-中白垩系大盛群砂砾岩 ;K₃w¹-上白垩系王氏群下部砂砾岩 ;
K₃w²-上白垩系王氏群上部(红土崖组)砂砾岩

A-distribution of active fault along Malingshan ,double arrow show largest distance of right strike-slipping ;B-TM characteristics of Maipo active fault ;C-cross section of Malingshan-Dabuling ;Pt-Poterozoics ; K₂q-Qingshan group in Middle Cretaceous ;K₂d-Dasheng group in Middle Cretaceous ;K₃w¹-gravel of Wangshi group in Late Cretaceous ; K₃w²-mudstone of Wangshi group in Late Cretaceous



古地震研究表明(晁洪太,1999),全新世以来,该段至少发生过 4 次强震,它们分别是 1668 年 8.5 级地震、距今 3 500 年、6 000~7 000 年和 10 000 年(林伟凡等,1987)。该段活动断层平均地震滑动速率约 2 mm/a(王华林,1988)。

1.3 宿迁-嘉山亚段

由于受古黄河、淮河流域长期侵蚀作用的影响,该段活动断裂形迹断续延伸,在 TM 卫星影象上清晰可见,由 5 条不连续的断层组成,全长约 92 km(图 1)。该段以逆冲为主兼具右旋走滑活动。其中,赤山段走向 NE10°~15°,长约 7.5 km,发育于赤山东坡,地表现迹略呈弧形。王氏群紫红色砂砾岩逆冲到灰黄色亚粘土(Q₃)之上(朱永正等,1982;汤有标等,1993),冲沟沿断层发生右旋错动,错距达 12.5 m(汤有标等,1993)。重岗山段走向 NE10°~13°,长约 13 km,略带弧形展布,见白垩系砖红色砂岩逆冲于晚更新世黄色粘土之上(李起彤,1994),以逆冲为主。小红山段由 2 条直线形断层左阶错列而成,走向 NE15°,长约 13 km,该段早更新世豆冲组砂层(Q₁d)逆冲在晚更新世戚帮组黄土(Q₃q)之上,属逆冲断层(李起彤,1994)。浮山集段走向 NE3°~10°,长约 6.5 km,平面上略呈弧形。陡山段走向 NE4°,长约 11 km。

地震地质研究表明,该段在全新世时期曾发生 2 次地震破裂事件,分别为距今 9.6 ka 和晚更新世早、中期(谢瑞征,1990)。断层滑动速率为 0.018 mm/a(方仲景,1986)。

2 郯庐活动断裂分段边界构造性质

断裂活动的分段行为受分段边界构造性质影响。存在两类构造边界:一类与基底横向构造有关,另一类与活动断裂本身排列的几何形态特征有关。

根据区域地质、地球物理资料推断,位于嘉山以南、安徽境内的郯庐断裂带南段和位于嘉山以北、江

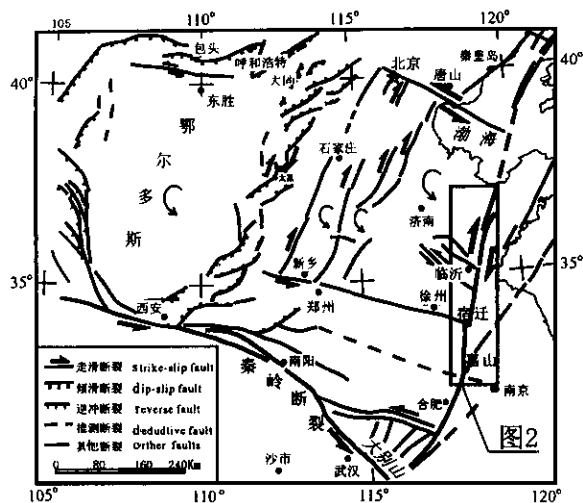


图 6 华北地区活动断裂与块体运动模式图

Fig. 6 Active faulting pattern in North China and block kinematic model

弥散性特征使得用单一的块体挤出构造模式来解释郯庐断裂带新构造活动变得困难。

4 结论

郯庐断裂带第四纪新构造运动时期发生强烈的右旋走滑复活, 断裂活动存在不同尺度的走向分段行为特征。右旋剪切变形主要集中在嘉山以北的北段, 而南段断裂新构造变形显著减弱。根据活动断裂几何组合特征和断裂运动方式, 将江苏和山东境内的郯庐活动断裂带划分为 3 个亚段, 位于中间的汪湖-宿迁亚段和北段安丘-茅埠亚段活动性最强, 向南活动性减弱。从区域新构造变形角度考虑, 郯庐断裂第四纪断裂活动强度的走向分段行为是对华北地区不同块体之间新构造运动位移调节的结果。南华北与北华北块体新构造运动的差异性是导致郯庐断裂带中段与南段之间第四纪断裂变形强度分段行为的动力学主因。

致谢 野外工作得到了 Lothar Ratschbacher 教授、J. Schmid 博士等协助, 在此致谢。

参考文献

- 晁洪太, 李家灵, 崔昭文等. 1992. 郯庐断裂带腾马-窑上活断层的几何形态与破裂特征. 活动断裂研究 (2): 208~217.
- 晁洪太, 李家灵, 崔昭文等. 1994. 郯庐断裂带中段全新世活断层的特征滑动行为与特征地震. 内陆地震, 18(4): 297~304.
- 晁洪太. 1999. 郯庐断裂带下辽河-莱州湾段与潍坊-嘉山段地震构造和地震活动特征对比. 东北地震科学, 17(2): 36~42.
- 陈国星, 高维明. 1988. 沂沭断裂带现代活动特征及其强震构造的关系. 中国地震 (5): 130~135.

- 丁国瑜. 1990. 全新世断层活动的不均匀性. 中国地震, 10(1): 1~9.
- 丁国瑜. 1992. 有关活断层分段的一些问题. 中国地震, 12(2): 1~9.
- 方仲景, 丁梦林, 向宏发等. 1986. 郯庐断裂带的基本特征. 科学通报, (1): 52~55.
- 国家地震局地质研究所. 1987. 郯庐断裂. 北京: 地震出版社, 1~254.
- 黄伟师. 1988. 从地质地貌标志看沂沭断裂带的新构造活动特性. 中国地震, 8(3): 143~150.
- IGCP 第 206 项中国工作组. 1989. 中国活断层图集. 北京: 地震出版社.
- 李家灵, 晁洪太, 崔昭文等. 1994. 郯庐活断层的分段及其大震危险性分析. 地震地质, 16(2): 121~126.
- 李家灵, 晁洪太, 崔昭文等. 1991. 郯庐断裂带郯城新沂段活断层研究. 活动断层研究 (1): 164~173.
- 李家灵, 高维明, 孙竹友. 1984. 沂沭裂谷消亡与华北裂谷新生的构造应力场. 见: 构造地质论丛 (三). 北京: 地质出版社, 318~325.
- 李起彬. 1994. 郯庐断裂带江苏段全新世活动新证据. 中国活动断层研究, 140~145.
- 林伟凡, 高维明. 1987. 沂沭断裂带大地震复发周期. 中国地震, 7(1): 35~40.
- 强祖基, 叶士忠. 1985. 1668 年山东莒县-郯城 8.5 级大震区的活动断裂特征. 地震地质, 7(2): 19~26.
- 孙武城, 刘昌钊, 祝治平等. 1984. 揭示郯庐大断裂地壳深部的某些特征—连云港-临沂-泗水人工地震测深资料的初步解释. 见: 构造地质论丛 (三). 北京: 地质出版社, 238~251.
- 汤有标, 姚大全, 张杰. 1993. 郯庐断裂五河-嘉山段新活动性的初步研究. 活动断裂研究 (2): 218~223.
- 汤有标, 姚大全. 1990. 郯庐断裂带赤山段晚更新世以来的活动性. 中国地震, 10(2): 63~68.
- 王华林, 贾占岭, 苏孟如. 1988. 鲁南地区活动断层近期动态观测与分析. 中国地震, 8(3): 137~142.
- 王小凤, 李中坚, 陈柏林, 董树文等. 1996. 郯庐断裂带. 北京: 地质出版社, 23~28.
- 吴少武, 张绍治, 刘仲芳. 1988. 郯庐断裂带江苏段活动特征. 中国地震, 8(3): 158~161.
- 谢瑞征. 1990. 郯庐断裂带中段全新世活断层的特征滑动行为与特征地震. 内陆地震, 14(4): 297~304.
- 徐嘉炜. 1980. 郯庐断裂带平移运动及其地质意义. 见: 国际交流地质学术论文集 (一). 北京: 地质出版社, 129~142.
- 许志琴, 卢一伦, 汤耀庆等. 1988. 东秦岭复合山链的形成、变形、演化及板块动力学. 北京: 中国环境科学出版社, 1~193.
- 张培震, 毛凤英. 1996. 活动断裂定量研究与中长期强地震危险性概率评价. 活动断裂研究——理论与应用 (5): 12~31.
- 张岳桥, Vergely P, Mercier J L. 1999. 华北地区上新世至第四纪断裂作用型式与左旋扩展. 地质力学学报, 5(3): 40~46.
- 郑传贝, 郑朗荪. 1988. 沂沭断裂带第四纪盆地. 中国地震, 8(3): 162~167.
- 中国科学院地质研究所, 国家地震局地质研究所. 1980. 华北断块区的形成与发展. 北京: 科学出版社, 12~14.
- 中国科学院地质研究所. 1958. 中国大地构造纲要. 北京: 科学出版社, 22~27.
- 朱永正, 谢瑞征, 陈晓明等. 1982. 郯庐断裂带江苏段的新活动与地震. 中国活动断裂. 北京: 地震出版社, 106~111.

References

- Chao Hongtai, Li Jialing, Cui Zhaowen et al. 1992. Geometric patterns and fracture characteristics of the active fault along the Tengma-Yaoshang segment of the Tan-Lu fault zone. *Research on Active Fault* (2): 208~217 (in Chinese).
- Chao Hongtai, Li Jialing, Cui Zhaowen. 1994. Characteristic slip behavior of the Holocene fault in the central section of the Tan-Lu fault zone and the characteristic earthquakes. *Inland Earthquake* 8 (4): 297~304 (in Chinese).
- Chen Guoxing, Gao Weiming. 1988. Relationship between the recent activity and strongly seismic tectonics of the Yishu fault. *Earthquake Research in China* 4 (3): 130~135 (in Chinese).
- Ding Guoyu. 1990. The inhomogeneity of faulting in Holocene. *Earthquake Research in China* 6 (1): 1~9 (in Chinese).
- Ding Guoyu. 1992. Some discussions on fault segmentation. *Earthquake Research in China* 8 (2): 1~9 (in Chinese).
- Fang Zhongjing, Ding Menglin, Xiang Hongfa et al. 1986. The basic feature of Tan-Lu fault zone. *Chinese Science Bulletin* (1): 52~55 (in Chinese).
- Huang Weishi. 1988. Characteristics of the geotectonic activity along the Yishu fault based on its geologic geomorphic indicators. *Earthquake Research in China* 4 (3): 143~150 (in Chinese).
- IGCP Project 206 China Working Group. 1989. China active fault atlas. Beijing: Seismological Press (in Chinese).
- Institute of Geology of Academia Sinica and Institute of Geology of State Seismological Bureau. 1980. Formation and development of the north China fault block region. Beijing: Science Publishing House (in Chinese).
- Li Jialing, Chao Hongtai, Cui Zhaowen et al. 1991. Geometric research on the active fault of Tancheng-Xinyi segment in the Tan-Lu fault zone. *Research on Active Fault* (1): 164~172 (in Chinese).
- Li Jialing, Chao Hongtai, Cui Zhaowen. 1994. Segmentation of active fault along the Tancheng-Lujiang fault Zone and evaluation of strong earthquake risk. *Seismology and Geology* 16 (2): 120~126 (in Chinese).
- Li Jialing, Gao Weiming, Sun Zhuyou et al. 1984. The extinction of Yishu rift valley field of the rift valley in north China. In: *Collection of structural geology*. Beijing: Geological Publishing House. (3): 318~315 (in Chinese).
- Li Qitong. 1994. New evidence for the Holocene movement along the Jiangsu segment of the Tancheng-Lujiang fault zone. In: *Research on Active Fault in China*. Beijing: Seismological Press, 140~145 (in Chinese with English abstract).
- Lin Weifan, Gao Weiming. 1987. The recurrence intervals of large earthquake in the Yishu fault zone. *Earthquake Research in China* 3 (3): 34~40 (in Chinese).
- Qiang Zuji, Ye Shizhong. 1985. The charactics of the active faults in the 1668 great earthquake ($M=8.5$) area Juxian-Tancheng, Shandong province. *Seismology and Geology* 7 (2): 19~26 (in Chinese).
- Sibson R H. 1980. Transient discontinuities in ductile shear zones. *Jour. of Structural Geology* (2): 165~171.
- Sibson R H. 1985. Stopping of earthquake ruptures at dilational fault jogs. *Nature* (316): 248~251.
- Spray J G. 1992. A physical basis for the frictional melting of some rock-forming minerals. *Tectonophysics* 204: 205~221.
- State Seismological Bureau. 1987. The Tan-Lu fault. Beijing: Seismological Press, 1~254.
- Sun Wucheng, Liu Changquan, Zhu Zhiping et al. 1984. Some features in the deep crustal structure on the Tancheng-Lujiang great fault zone—a brief account of the deep seismic sounding profile along Lianyungang-Linyi-Sishui. In: *Collection of structural geology*. Beijing: Geological Publishing House (3): 238~251 (in Chinese).
- Tang Youbiao, Yao Daquan, Zhang Jie. 1992. Preliminary research on tectonic activity along the Wuhe-Jiashan segment of the Tancheng-Lujiang fault zone. *Research on Active Fault* (2): 218~223 (in Chinese).
- Tang Youbiao, Yao Daquan. 1990. Activity of the Chishan segment in the Tancheng-Lujiang fault zone since the upper Pleistocene. *Earthquake Research in China* 6 (1): 63~69 (in Chinese).
- Wang Hualing, Jia Zhanling, Su Mengru. 1988. Observation and analysis on recent dynamic state of the active faults in south Shandong province. *Earthquake Research in China* 4 (3): 137~142 (in Chinese).
- Wang Xiaofeng, Li Zhongjian, Chen Boling et al. 2000. On Tan-Lu fault zone. Beijing: Geological Publishing House, 23~28 (in Chinese with English abstract).
- Wu Shaowu, Zhang Shaozhi, Liu Zhongfang. 1988. Active characteristics and earthquakes of Jiangsu segment of the Tan-Lu fault. *Earthquake Research in China* 4 (3): 158~161 (in Chinese).
- Xu Jiawei. 1980. The horizontal displacement of Tancheng-Lujiang fault zone and its geological significance. In: *Geological Paper Collection for International Exchange* (1), Beijing: Geological Publishing House, 129~142 (in Chinese).
- Yin An, Nie Shangyou. 1993. An indentation model for the north and south China collision and the development of The Tan-Lu and Honam fault systems Eastern Asia. *Tectonics* 12 (4): 801~813.
- Zhang Jingwen, Peng Gui, Jiao wenqiang et al. 1980. The newly activated segment of Tancheng-Lujiang fault belt near Zhangshanzhen, Xinyi county, Jiangsu province. *Seismology and Geology* 2 (2): 70 (in Chinese).
- Zhang Peizhen, Mao Fengying. 1996. Active faulting and fault specific probabilistic seismic hazard assesement. *Research on Active Fault*, (5): 12~31 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yueqiao, P Vergely, J L Mercier. 1999. Pliocene-Quaternary faulting pattern and left-slip propagation tectonics in north China. *Journal of Geomechanics* 5 (3): 40~46 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yueqiao, Vergely P, Mercier J L. 1995. Active faulting in and along the Qinling range (China) inferred from SPOT imagery analysis and extrusion tectonics of south China. *Tectonophysics*, 243: 69~95.
- Zheng Chanbei, Zheng Langsun. 1988. Quaternary basins along the Yishu fault. *Earthquake Research in China* 4 (3): 162~167 (in Chinese).
- Zhu Yongzheng, Xie Ruizheng, Chen Xiaoming et al. 1982. The new activity and seismicity of the Tancheng-Lujiang fault zone (Jiangsu segment). In: *The active faults in China*, Beijing: Seismological Press, 106~111 (in Chinese).