科学通报 2010 年 第 55 卷 第 8 期：684 ~ 692
论 文 www.scichina.com csb.scichina.com
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

郯庐断裂带渤海段晚更新世以来的浅层构造变形和活动性

李西双[①②], 赵月霞[①②], 刘保华[①②], 刘晨光[①②], 裴彦良[①②], 韩国忠[①②], 华清峰[①②]

① 海洋沉积与环境地质国家海洋局重点实验室, 青岛 266061;
② 国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266061
E-mail: lxs@fio.org.cn

2009-07-06 收稿, 2009-09-15 接受
国家自然科学基金(批准号: 40606014)和中央级公益性科研院所基本科研业务专项(编号: 2008G12)资助项目

摘要 郯庐断裂带是我国东部一条重要的断裂带, 在华北地区也是一条地震活动带. 利用在渤海最新获得的总长约4000 km的高分辨率浅层地震资料, 对郯庐断裂渤海段晚更新世以来的变形特征和活动性进行了研究. 结果表明: 郯庐断裂带在渤海海域呈不连续展布, 由 14 条北东-北北东向的次级断裂组成, 总体呈北北东走向; 断裂带宽度由南向北变窄, 莱州湾和渤中海域断裂带结构相对复杂, 主要由褶皱和倾向相同或相反的更次一级张性断裂组成, 背斜顶端通常发育微型对称性地堑; 辽东湾内断裂带结构相对简单, 主要有倾向相同或相反的更次一级断裂组成. 断裂与地层的切割关系显示, 辽东湾内郯庐断裂的最新活动时间为晚更新世晚期(Q_3末), 而在莱州湾和渤中海域, 断裂的最新活动时间为全新世早期(Q_4初), 并和地震活动有明显的对应关系. 统计计算结果显示, 晚更新世以来郯庐断裂带的垂向位移量为 6~11 m, 渤中海域具有较大的平均垂向滑动速率, 向南北两侧变小; 不同时期的垂向滑动速率显示, 郯庐断裂带在 2 个时期具有>0.06 mm/a的活动速率, 分别为23~10, 85~65 ka BP. 运动学上, 晚更新世以来断裂带主要表现为张性正断作用. 综合构造变形、活动性和地震活动, 渤海内的郯庐断裂带可划分为莱州湾段、渤中段和辽东湾段.

关键词
郯庐断裂带
构造变形
断裂活动性
晚更新世
渤海

郯庐断裂带是中国东部一条 NNE 向的岩石圈尺度的巨型断裂带, 其形成和演化对于中国东部乃至整个亚洲大陆的构造演化都起着至关重要的作用[1~4], 不仅控制着矿产资源的形成和分布, 也是我国东部一条重要的地震活动带, 特别是其中段(辽宁沈阳-江苏宿迁), 发生多次的强震活动[5,6]. 在渤海地区, 郯庐断裂带是渤海湾新生代盆地的东侧边界, 又称营口-潍坊断裂带, 它与北西向的张家口-蓬莱断裂带渤海段是渤海海域两条控制性的地震断裂带[7,8].

许多学者已利用地球物理场对郯庐断裂渤海段的深部结构进行过探讨[9~20]; 其新生代结构特征、运动学性质和动力学机制更是得到了广泛而深入的研究[21~29]; 相邻陆域更新世-全新世以来的活动特征也有报道[30~33]. 但是, 关于海域部分该断裂带晚更新世以来的活动却鲜有论述, 仅胡政等人[34]在渤海中部、王志才等人[35]在莱州湾获得的少量浅层地震剖面进行过探讨. 为此, 本文利用最近几年在渤海海域获得的约4000 km的浅层地震剖面, 对郯庐断裂带在渤海内的展布、晚更新世以来的浅层构造变形特征以及断裂活动性等进行深入分析和讨论, 得到一些新

英文版见: Li X S, Zhao Y X, Liu B H , et al. Structural deformation and fault activity of the Tan-Lu Fault zone in the Bohai Sea since the Late Pleistocene. Chinese Sci Bull, 2010, 55, doi: 10.1007/s11434-010-0073-y

的认识. 研究结果对郯庐断裂带以及渤海地震构造研究是一个有益的补充; 对渤海地震区划划分、地震危险性评价和灾害评估有一定的科学意义.

1 资料与方法

1.1 资料来源

已有的研究表明, 高分辨率浅层地震探测是研究海底活动构造常用的、有效的方法[36~39]. 本文利用的约 4000 km 的浅层地震剖面(包括 S15 水枪和电火花两种震源剖面资料, 各约 2000 km)(图 1)由国家海洋局第一海洋研究所使用"海监 17" 调查船(2005 年)和"业治铮号" 调查船(2008 年)获得. 调查中采用"双震源双接收缆技术", 同时使用 S15 水枪(工作压力 1800 P.S.I.)和 GEO-SPARK1000 电火花(工作能量 300 J)作为震源; SIG.16.100.125 和 GEO-SENSE 单道电缆接收地震信号; DELPH WIN2.3 双通道控制采集系统记录数据; DGPS 定位信息与地震数据同时记录于数据文件中以保证解译信息空间位置的准确性. 利用 DELPH WIN-2.3 软件进行地震数据的后处理, 处理后以水枪为震源的剖面垂向穿透深度约 300~500 m, 垂向分辨率约 2~3 m, 能够揭示晚更新世地层中断裂的纵向延伸特征; 以电火花为震源的剖面垂向穿透 50~80 m, 垂向分辨率约 0.5~1 m, 能够很好地揭示断裂在沉积物中的上断点位置; 两种剖面形成互补(图 2).

1.2 研究方法

剖面上断层的识别主要基于活动断层探测方法(DB/T152005)中提出的 4 个判据中的第一个, 即"反射波同相轴或波组的错断", 该判据最为常用, 也最为可靠. 地震地层年代的确定主要参考 BC-1 孔的测年资料和 S3 孔的地层划分; 断层最新活动时代的判断根据地层(年代已确定)与断层的切割关系; 断层垂向位移量根据地震剖面上断层两侧同一地震反射界面的时间差(双程反射时间)和沉积层速度(选取平均值 1750 m/s)获得.

2 结果与讨论

2.1 渤海晚第四纪地层及声学反射特征

对我国近海陆架晚第四纪沉积环境的研究表明, 全球性的气候变化控制了沉积环境的变迁[41,42]. 渤海周边及海域钻孔资料表明, 渤海在第四纪期间曾经发生过多次海平面的升降变化, 形成海陆交互相沉积层序[43,44]; 仅晚更新世以来, 渤海海域及周边就发现了 5 次[44]或 6 次[43]规模较大海侵事件. 渤海上第四系厚度约 100~300 m, 这使得构造活动信息得以保留.

郯庐断裂带自南向北跨越渤海内多个凸起和凹陷, 浅层地震剖面揭示晚第四纪沉积层的厚度及声学特征都具明显的变化. 总的来说, 剖面上可以识别出 6 个主要地震反射面: SB(海底面), R0, R1, R2, R3, R4; R0 在部分水枪震源剖面上无法识别出, 电火花剖面上则较为清晰; 同时, R2 和 R1 之间还可识别出 2 个次级反射面 R21 和 R22(图 3).

过孔剖面与渤海 BC-1 孔地层具良好的对比关系. 对比图(图 3)显示: (1) SB 和 R0 反射面之间声学反射特征表现为透明-半透明相, 与 8 ka BP 以来形成的海相沉积对应; (2) R0 和 R1 反射面之间声学反射特征表现为振幅较弱的杂乱相, 局部见侵蚀古河道, 与末次低海面时期形成的陆相沉积对应; (3) R1 和 R2 之间总体表现为杂乱相, 表明沉积以陆相为主, 但电火花震源剖面揭示其上部和底部为规则的平行弱反射, 分别可与 40 和 60 ka BP 左右的海相沉积对应[43,44]; (4) R2 和 R3 以及 R3 和 R4 之间均以相对低频的平行连续强反射为主, 表明沉积是以海相为主, 与 128~70 ka BP 之间形成的以海相为主、海陆交互沉积对应.

2.2 断裂带的组成及展布

根据浅层地震剖面, 结合前人的研究成果[35,45], 并参考渤海新生代构造活动特征, 本文确定了渤海海域郯庐断裂带在晚更新世-全新世沉积地层中的展布. 郯庐断裂带在进入渤海之前由安丘-莒县、鄌郚-葛沟 2 条次级断裂带组成[46], 自莱州湾入海. 海域中郯庐断裂带并不是一条完整的断裂带, 而是由十几条北北东-北东向、具不同产状的次级断裂(编号及名称见图 1)组成: 从莱州湾到渤海中部海域表现为东西两支, 西支由 KL3, BZ28, BZ23-34 等断裂组成, 东支则由龙口和蓬莱 1 号等断裂组成, 东西两支均较为连续; 在渤海中部海域, 断裂带则由一系列近似左阶斜列的北东-北北东向次级断裂组成(6 号~10 号); 在辽东湾海域, 郯庐断裂带则由北北东向的连续性好的辽东 2 号、辽中 1 号、辽西 3 号断裂、辽中 2 号等断裂组成.

本次浅层地震资料所揭示的郯庐断裂带位置与

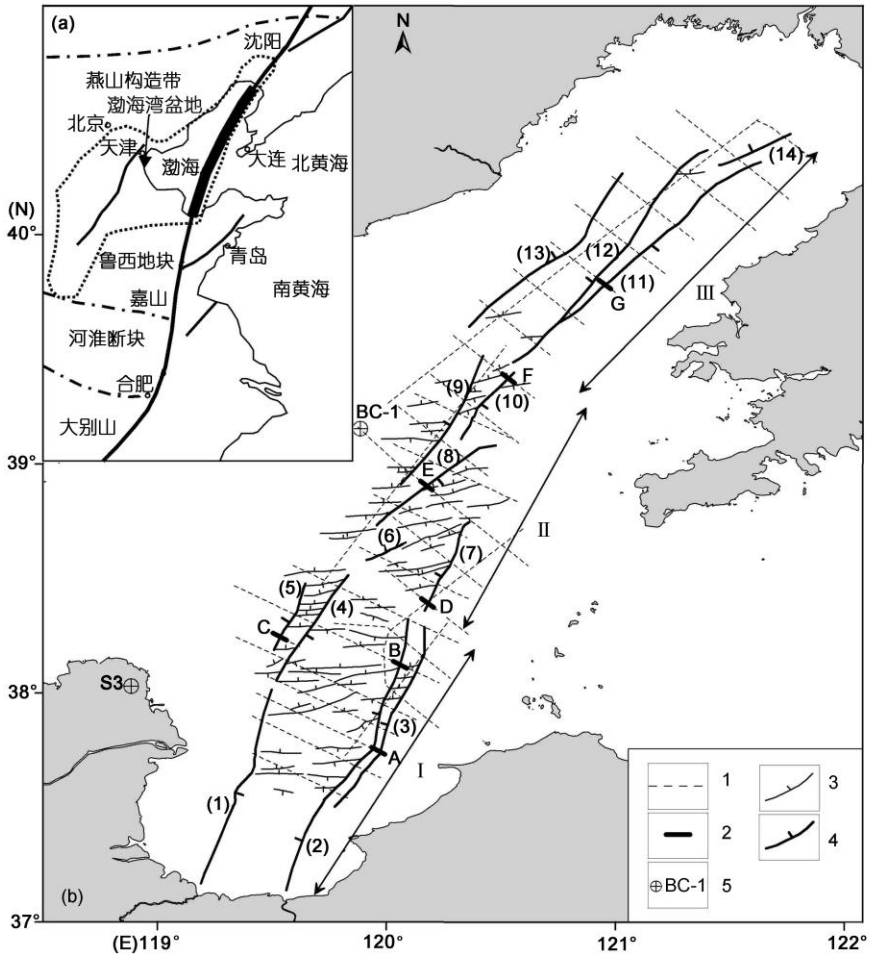


图 1 郯庐断裂带在海域的展布及浅层地震测线位置图

(a) 据文献[40]修改. 1, 地震测线; 2, 引用剖面; 3, 次生小断层; 4, 主要次级断层; 5, 钻孔及编号. 断裂分段编号: I, 莱州湾段; II, 渤中段; III, 辽东湾段. 次级断裂编号: (1), KL3 断裂; (2), 龙口断裂; (3), 蓬莱 1 号断裂; (4), BZ23-34 断裂; (5), BZ28 断裂; (6), PL7-1 断裂; (7), 庙西 1 号断裂; (8), 渤东 1 号断裂; (9), 渤中 1 号断裂; (10), 辽东 1 号断裂; (11), 辽东 2 号断裂; (12), 辽中 1 号断裂; (13), 辽西 3 号断裂; (14), 辽中 2 号断裂

晚第三纪的基本相同[45], 反映了断裂带活动的继承性. 断裂带总体上宽约 10~28 km, 在渤海中部和莱州湾各次级断裂之间发育规模较小的北东东-近东西向的张性断裂, 在中部尤为密集, 这些小断裂与北北东向的断裂带在平面上构成“人”字型(图 1); 辽东湾内各次级断裂之间上述小断裂不发育.

2.3 断裂带的浅层结构及运动学性质

在渤海, 资料表明郯庐断裂带已切穿了整个地壳, 并在深部显示为陡立的走滑构造[19]; 新生代则具有右行走滑性质[21,23,24,26,29,47], 同时还叠加了渤海地区的强烈拉张裂陷作用[7], 表现为构造凸起和凹陷的组合结构[48], 沿断裂带发育一系列花状和负花状构造等伴生构造[21].

晚更新世以来, 各次级断裂主要是对晚第三纪-中更新世断裂的继承和发展, 断裂向上拓展的同时侧向上构造变形范围逐渐加大, 伴生的次级断裂密度不断增大. 横切断裂带的浅层地震剖面显示(图 4), 各次级断裂带向上延伸均穿切上更新统底界(100~300 m); 渤海中部及莱州湾内断裂带的浅层变形复杂, 各次级断裂带(1~9 号)并不是孤立的断裂, 而是由一系列倾向相同或相反、近直立的更次一级张性断裂以及相伴生的褶皱组成, 次级断裂十分密集(可识别的断裂达 1 条/150 m). 断裂带中心位置通常

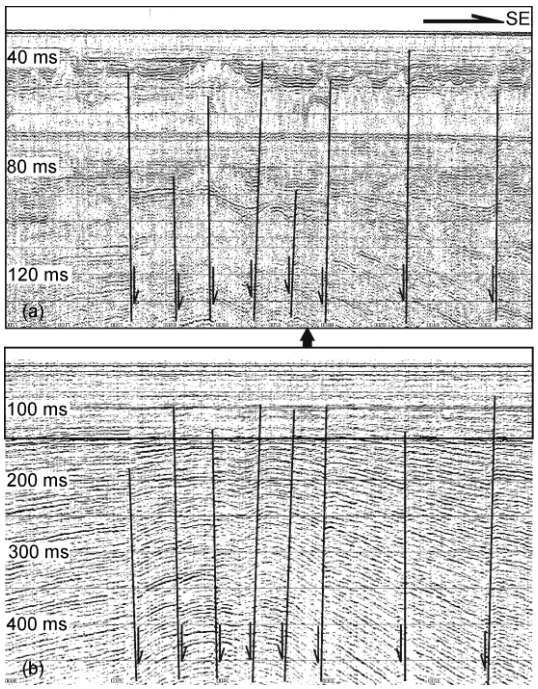


图 2　同一位置上两种震源剖面

(a) 电火花震源剖面; (b) S15 水枪震源剖面

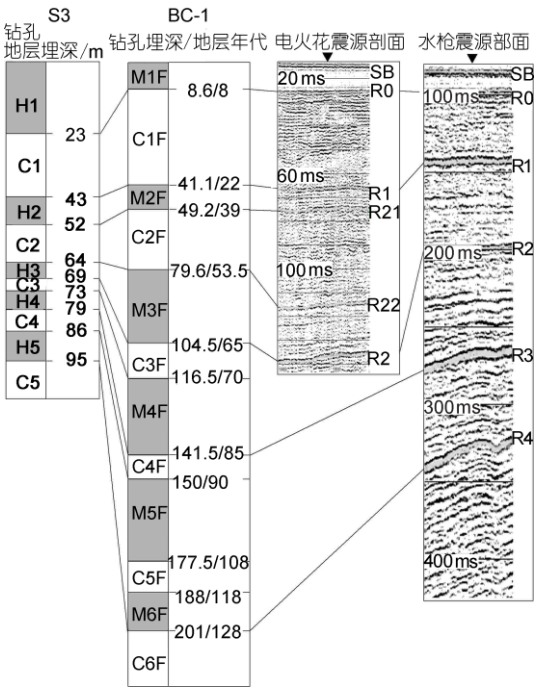


图 3　钻孔地层与浅地层剖面对比

S3 孔地层划分参考文献[44], H 表示海相地层, C 表示陆相地层. BC-1 孔地层划分参考中国科学院海洋研究所海洋地质研究室[43], M 表示海相地层, C 表示陆相地层; 钻孔埋深单位为 m, 地层年代单位为 ka BP. V=1750 m/s 时地震剖面与钻孔地层对应最好

是不对称的背斜或向斜, 断层牵引作用明显, 背斜的顶部中心位置通常可见到微型张性地堑(图 4A, E). 蓬莱 1 号断裂浅层变形较其他断裂强烈, 主断裂位置为一不对称背斜, 沉积物受到强烈的褶皱变形以至于地震波同相轴无法追踪, 缓翼一侧反向正断裂十分发育(图 4A). 辽东湾海域各次级断裂剖面结构相对简单(图 4F, G). 剖面资料表明, 在莱州湾和渤海中部的次级断裂带宽度约 3~4 km, 而进入辽东湾后则为 1~2 km, 这种变化可能与断裂带晚第四纪以来的活动强度有关. 各次级断裂的几何产状、剖面特征见表 1.

剖面显示, 晚更新世以来各次级断裂主要表现为张性正断作用, 在垂直方向上有较大的位移量, 这与渤海地区强烈的伸展环境[7]相对应. 除张性正断作用外, 断裂带的一些特征显示晚更新世以来郯庐断裂可能还具有右旋走滑运动性质, 如, 断裂带位置次生断裂极其密集以及沉积物的强烈变形, 平面上断裂带两侧次级断裂与主断裂带成“人”字型组合、断裂带的次级断裂呈雁行排列等.

2.4　断裂带的活动性

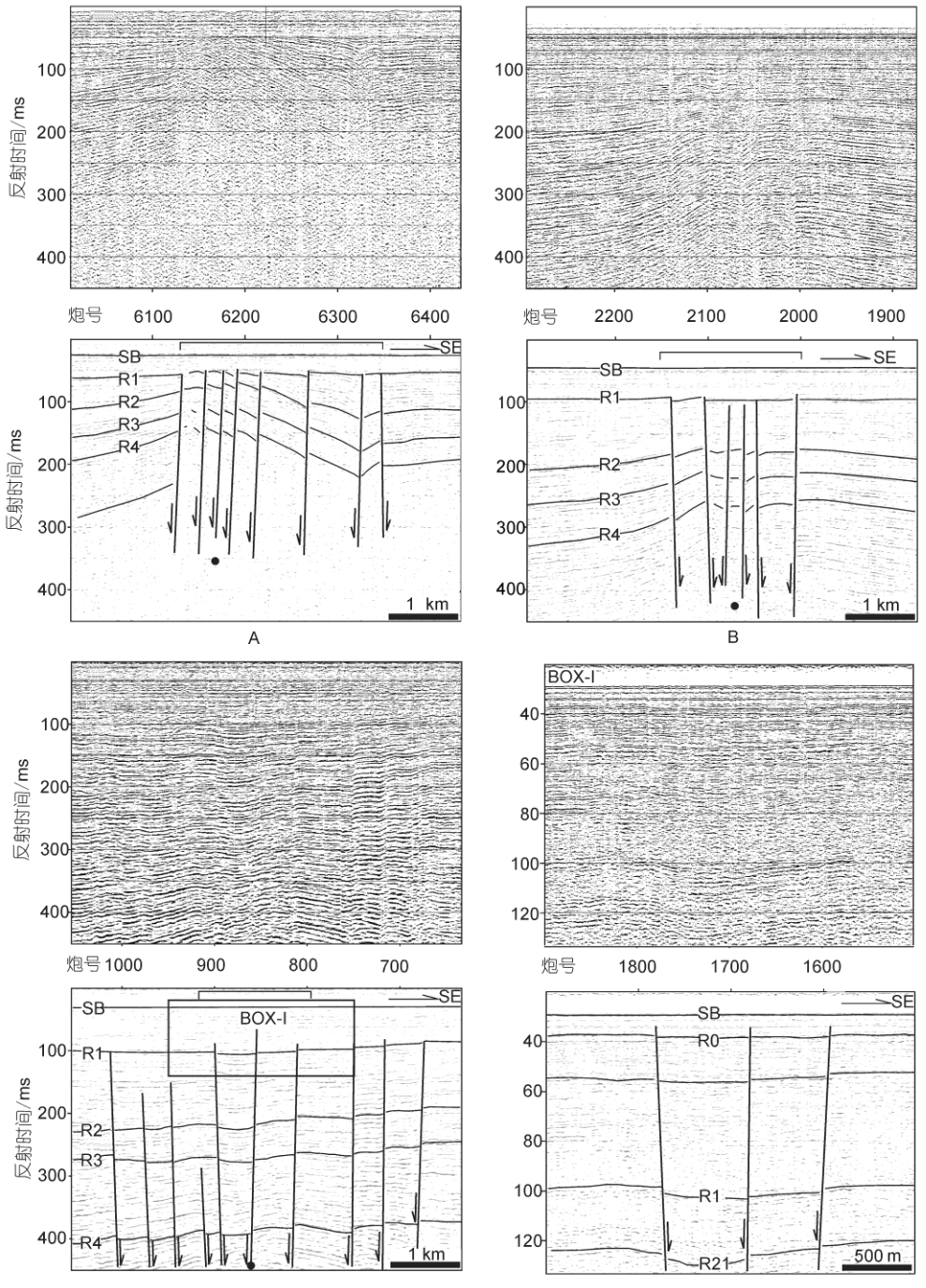
海域断裂最新活动时代的确定主要根据断裂与(地震)地层的切割关系以及地层的时代[49,50]. 利用上述方法确定的各次级断裂的最新活动时间见表 1. 不同次级断裂的最新活动时代显示, 渤海内郯庐断裂带的活动时代北部老而南部新, 辽东湾内为晚更新世中-晚期, 渤中海域及莱州湾则为晚更新世末-全新世早期, 与王志才等人[35]在莱州湾的探测结果相一致. 结果还表明, 位于 1969 年渤海 M_S7.4 地震震中区的 BZ28 断裂的最新活动时代为全新世中晚期, 关于 1969 年渤海地震与 BZ28 的关系作者另有文章论述.

滑动速率是活动构造的一个非常重要的运动学参数[51]. 本文利用浅地层剖面资料统计计算了渤海区郯庐断裂带晚更新世以来主要时间阶段的平均垂向滑动速率. 计算的前提依据是: (1) 每个界面的位错量代表形成该界面后垂向断距的累积; (2) 两个界面的位错量之差则代表形成这两个界面的地质时间内断裂的垂向位移量; (3) 忽略沉积物压实作用. 通过统计主要地层界面如 R0, R1, R2 等的垂向位错量, 然后结合每个界面对应的时代便可以计算断裂不同时代的平均垂向滑动速率. 统计计算结果见表 2, 由表 2 的统计计算结果可知: (1) 断裂带内晚更新世沉积底界垂向位错量为 6~11 m, 部分断裂错动全新世

沉积底界 0.4~0.9 m 不等; (2) 各次级断裂在晚更新世晚期(23~10 ka BP)和中期(85~65 ka BP)具有较大的垂向滑动速率(>0.06 mm/a); (3) 靠近渤海沉降中心(渤中凹陷)的次级断裂晚更新世具有较大的滑动速率, 向南、向北总体上变小; (4) 晚更新世以来的平均垂向运动速率总体上要高于新生代的平均垂向运动速率(0.012~0.11 mm/a)(据邓起东等人[7]统计计算).

2.5 断裂带的分段性

断裂分段在活动断裂研究中具有重要意义[52~54].



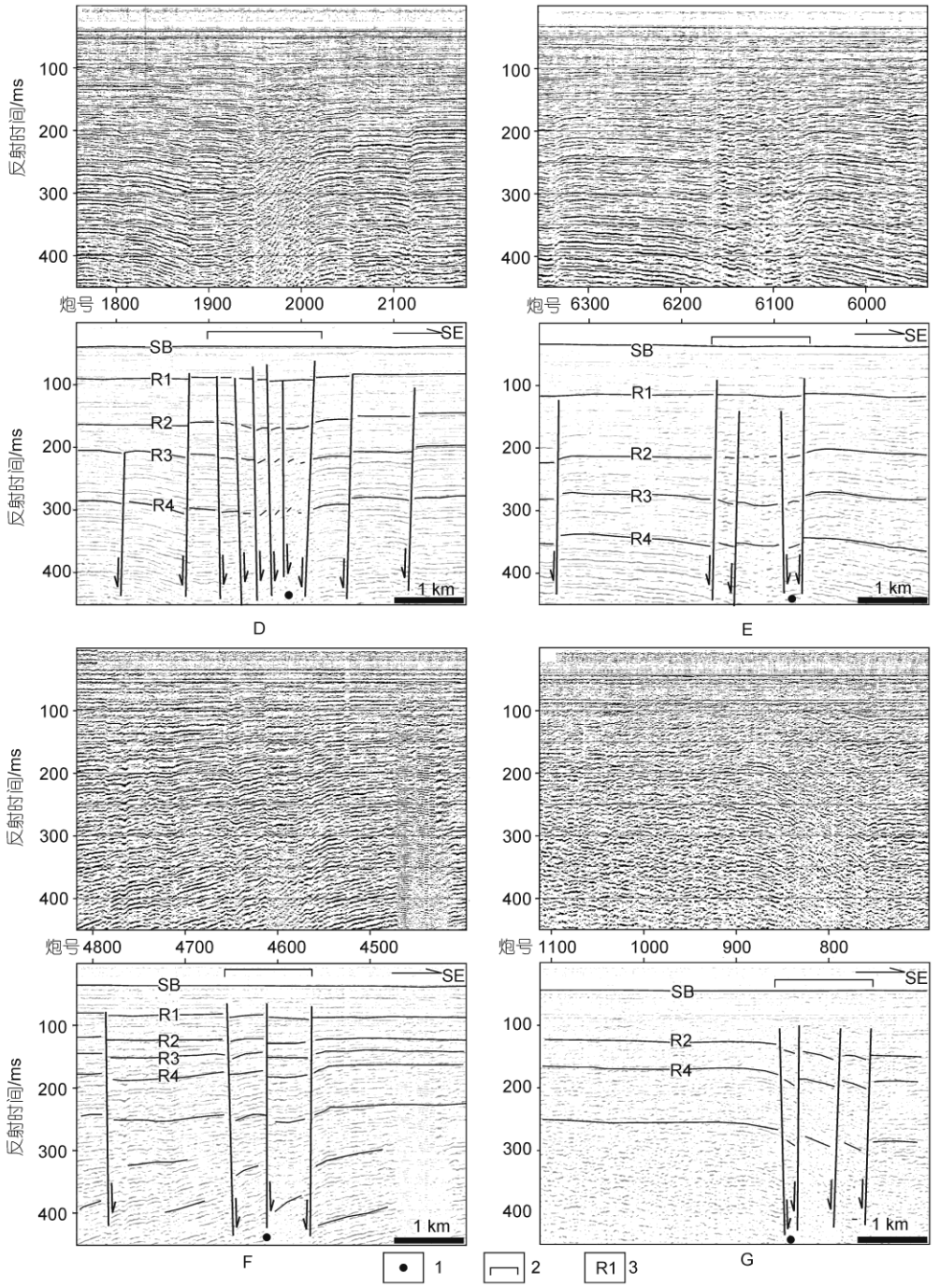


图 4　海域横切郯庐断裂带的时间解释剖面

A~G 为水枪震源剖面编号, BOX-I 为电火花剖面, 位置见图 1; 黑色圆点为主断裂位置; 向下的中括号表示断裂带及宽度; SB 为海底面, R0~R4 表示主要地震反射面, 地质年代见正文说明

陆域山东-江苏境内郯庐断裂的分段性已有较深入的探讨[30,33,55]. 本文根据断裂带的空间分布、结构、产状、活动性以及沿断裂带的地震活动特征, 将渤海内郯庐断裂划分为 3 段: 莱州湾(I), 渤中段(II)和辽东湾段(III)(见图 1).

莱州湾包括 1~5 号断裂, 其主要特征是: (1) 总体上由明显的呈北北东向延伸的两支构成(东支和西支); (2) 剖面结构复杂, 断裂带宽且沉积物发生强烈

表 1 各次级断裂(带)几何产状及剖面特征

断裂带及编号	走向	视倾向	视倾角	断层带剖面结构特征	最新活动时代
KL3 断裂(1)	17°	E	近直立	多条倾向相反断裂, 顶部发育微地堑	Q_4 早期
龙口断裂(2)[a)]	19°	W	近直立	次级断裂倾向相同, 褶皱发育	Q_4 早期
蓬莱 1 号断裂(3)	21°	W	近直立	次级断裂倾向相同, 地层变形强烈	Q_4 早期
BZ23-34 断裂(4)	29°	E	近直立	多条倾向相反断裂, 中心发育微地堑	Q_4 早期
BZ28 断裂(5)	24°	W	近直立	多条倾向相反断裂, 中心发育微地堑	Q_4 末期
PL7-1 断裂(6)	61°	NW	近直立	3 条倾向相反断裂组成	Q_3 末期
庙西 1 号断裂(7)	21°	W	近直立	多条倾向相反断裂, 中心发育微地堑	Q_4 早期
渤东 1 号断裂(8)	47°	SEE	近直立	多条倾向相反断裂, 中心发育微地堑	Q_4 早期
渤中 1 号断裂(9)	28°	W	近直立	多条倾向相反断裂, 中心发育微地堑	Q_3 末期
辽东 1 号断裂(10)	32°	E	近直立	3 条倾向相反断裂组成, 中心发育微地堑	Q_4 早期
辽东 2 号断裂(11)	43°	E	近直立	多条倾向相反断裂, 中心发育微地堑	Q_3 中期
辽中 1 号断裂(12)	34°	W	近直立	多条倾向相反断裂, 中心发育微地堑	Q_3 末期
辽西 3 号断裂(13)	39°	W	近直立	1 条断裂组成	Q_3 中期
辽中 2 号断裂(14)	61°	NW	近直立	3 条倾向相反断裂组成	Q_3

a) 资料来自文献[35]

表 2 各次级断裂对晚更新世-全新世主要界面的错动量及不同时期平均垂向滑动速率

断裂及编号	主要反射面垂向位错/m						平均垂向滑动速率/mm·a^{-1}					统计断点个数
	SB	R0	R1	R2	R3	R4	10~0 ka BP	23~10 ka BP	65~23 ka BP	85~65 ka BP	128~85 ka BP	
KL3 断裂(1)	0	0.90	3.07	3.71	5.12	6.53	0.09	0.2	0.02	0.07	0.04	2
龙口断裂(2)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1
蓬莱 1 号断裂(3)	0	0.69	2.3	4.82	5.96	7.85	0.07	0.13	0.06	0.06	0.05	11
BZ23-34 断裂(4)	0	0.5	2.43	5.51	7.81	9.67	0.05	0.17	0.07	0.12	0.05	4
BZ28 断裂(5)	0	0.70	2.56	7.04	8.45	10.88	0.07	0.17	0.11	0.07	0.07	2
PL7-1 断裂(6)	0	/	3.84	5.12	6.66	8.71	/	0.30	0.03	0.08	0.06	1
庙西 1 号断裂(7)	0	0.40	2.30	4.78	6.49	7.85	0.04	0.15	0.06	0.09	0.04	3
渤东 1 号断裂(8)	0	0.70	2.05	5.12	8.96	11.14	0.07	0.13	0.07	0.19	0.06	3
渤中 1 号断裂(9)	0	/	1.73	3.97	6.27	9.22	/	0.13	0.05	0.12	0.08	4
辽东 1 号断裂(10)	0	0.35	1.88	5.12	6.32	8.28	0.04	0.13	0.08	0.06	0.06	3
辽东 2 号断裂(11)	0	/	/	4.99	/	7.11	/	0.08		0.04		4
辽中 1 号断裂(12)	0	/	/	5.97	6.40	9.82	/	0.07	0.11	0.06	0.08	5
辽西 3 号断裂(13)	0	/	/	3.07	/	7.00	/	0.05		0.07		3
辽中 2 号断裂(14)	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	2

变形; (3) 最新活动时间为全新世, 滑动速率介于其他两段之间; (4) 地震活动西支多, 东支少.

渤中段位于渤海中部, 包括 6~10 号断裂, 其主要特征是: (1) 次级断裂走向变化大, 呈北北东-北东向; (2) 剖面结构复杂, 断裂带变窄; (3) 最新活动时间在晚更新世末-全新世初期, 垂向滑动速率最大; (4) 地震活动多.

辽东湾段位于渤海辽东湾, 包括 11~14 号断裂, 其主要特征是: (1) 次级断裂走向一致, 呈北北东向; (2) 剖面结构简单, 断裂带最窄; (3) 最新活动时间在晚更新世中晚期, 垂向滑动速率小; (4) 地震活动少.

2.6 郯庐断裂与渤海地震分布

渤海中部和莱州湾海域小震密集, 中强震多, 地震分布和郯庐断裂带次级断裂 BZ28, BZ23-34, 庙西 1 号以及渤东 1 号断裂有较好的对应关系(图 5), 1969 年渤海 7.4 级地震位于 BZ28 断裂的南端, 上述断裂的最新活动时间均为全新世. 辽东湾内地震活动较弱, 小震较少, 几乎没有中强震, 地震和各次级断裂没有明显的对应关系, 各次级断裂活动时间为晚更新世中-晚期. 在莱州湾海域, 与其南北两侧沿郯庐

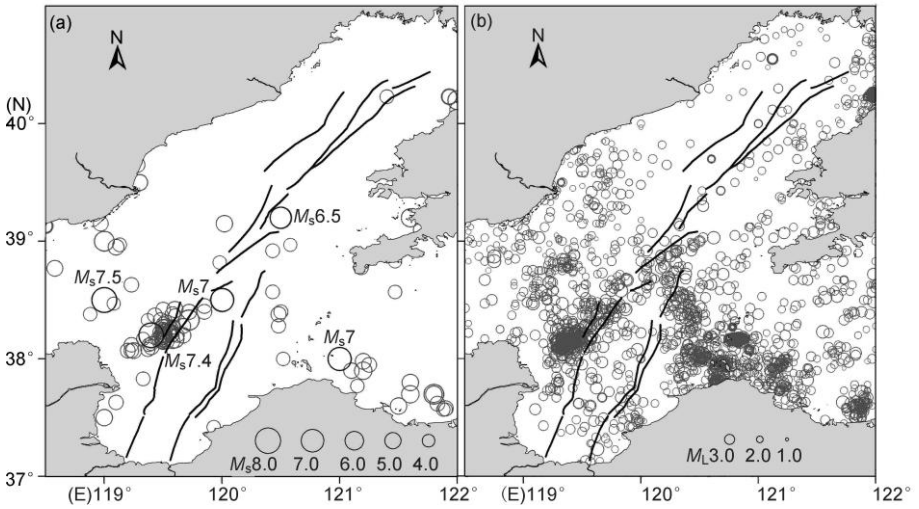


图 5　渤海中强震(a)和小震活动分布(b)与郯庐断裂带的对应

地震目录由邓志辉研究员提供

断裂带的强烈地震活动形成明显对比的是现代小震活动较弱，中强震也少，徐杰等人[22]曾认为该断裂段处于不活动状态，但实际资料表明 KL3、蓬莱 1 号、龙口断裂等在全新世早期有明显的活动，晚更新世-全新世地层变形是海域各段中最强的.

3　结论

通过上述研究，对郯庐断裂渤海段晚更新世以来的构造活动特征得到一些新的认识:

(1) 郯庐断裂带在渤海海域不连续分布，与早期断裂带位置基本相同；晚更新世以来断裂带变形南部复杂，由褶皱和倾向相反或相同的张性断裂组成，而北部则相对简单；晚更新世以来主要表现为张性正断作用，是对早期断裂的继承和发展.

(2) 断裂带北部最新活动时间老(Q_3 中-末期)，垂向滑动速率小；中部和南部最新活动时间新(Q_4)，垂向滑动速率相对大.

(3) 根据空间分布、结构、产状、活动性以及沿断裂带的地震活动特征，郯庐断裂渤海段可以划分为莱州湾段，渤中段和辽东湾段.

致谢　感谢参加外业调查的科学家和船员以及提供渤海地震目录的邓志辉研究员；感谢邓起东先生和李三忠教授给予的指导.

参考文献

1　徐嘉炜. 郯城庐江平移断裂系统. 构造地质论丛, 1984, 3: 18—32
2　Xu J W, Zhu G, Tong W X, et al. Formation and evolution of the Tancheng-Lujiang wrench fault system: A major shear system to the northern of the Pacific Ocean. Tectonophysics, 1987, 134: 273—310
3　Grimmer J C, Jonckheere R, Enkelmann E, et al. Cretaceous-Cenozoic history of the southern Tan-Lu fault zone: Apatite fission-track and structural constraints from the Dabie Shan (eastern China). Tectonophysics, 2002, 359: 225—253
4　Li Y H, Graham S A, Tilander N. Seismic reflection imaging of a major strike-slip fault zone in a rift system: Paleocene structure and evolution of the Tan-Lu fault system, Liaodong Bay, Bohai, offshore China. AAPG Bull, 2004, 88: 71—99
5　吴大铭, 张裕明, 方仲景, 等. 论中国郯庐断裂带的活动. 地震地质, 1981, 3: 15—24
6　晁洪太, 王志才, 刘西林. 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, 1999, 17: 36—42
7　邓起东, 闵伟, 晁洪太, 等. 渤海地区新生代构造与地震活动. 见: 卢演俦, 高维明, 陈国星, 等, 主编. 新构造与环境. 北京: 地震出版社, 2001. 218—233
8　环文林, 汪素云, 常向东, 等. 渤海地震活动特征. 地震研究, 1989, 12: 1—9
9　刘元龙, 王谦身, 赵建华. 根据重力资料探讨北京-天津及其邻近地区的地壳结构. 地球物理学报, 1978, 21: 9—17

10 刘国栋, 顾群, 史书林, 等. 京津唐渤和周围地区地壳上地幔电性结构与地震活动性关系. 地球物理学报, 1983, 26: 149—157
11 解政文, 吴乾蕃, 张汝惠, 等. 渤海及其临近地区热流值的初步分析. 地震地质, 1980, 2: 57—63
12 郝书俭, 王春华. 渤海水域居里面分析. 地震地质, 1982, 4: 39—43
13 李嘉琪. 郯庐断裂在渤海海域的地球物理场特征. 构造地质论丛, 1984, 3: 219—237
14 陈墨香, 黄歌山, 汪缉安, 等. 渤海地温场特点的初步研究. 地质科学, 1984, 4: 392—400
15 孙若昧, 赵燕来, 梅世蓉, 等. 渤海及其邻区的地震层析成像. 地球物理学报, 1993, 36: 44—54
16 刘光夏, 赵文俊, 张先. 郯庐断裂带渤海段的深部构造特征——地壳厚度和居里面的研究结果. 长春地质学院学报, 1996, 26: 388—391
17 滕吉文, 张中杰, 张秉铭, 等. 渤海地球物理场与深部潜在地幔热柱异常构造背景. 地球物理学报, 1997, 40: 468—480
18 卢造勋, 蒋秀琴, 白云, 等. 胶辽渤海地区地壳上地幔结构特征与介质的横向非均匀性. 华北地震科学, 1999, 17: 43—51
19 宋国奇. 郯庐断裂带渤海段的深部构造与动力学意义. 合肥工业大学学报, 2007, 30: 663—667
20 张岭, 刘劲松, 郝天珧, 等. 渤海湾盆地及其邻域地区地壳与上地幔层析成像. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2007, 37: 1444—1455
21 王国纯. 郯庐断裂与渤海海域反转构造及花状构造. 中国海上油气(地质), 1998, 12: 289—295
22 徐杰, 高战武, 宋长青, 等. 营口-潍坊断裂带新生代活动特征. 地震地质, 1999, 21: 289—300
23 蔡东升, 罗毓晖, 姚长华. 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, 2001, 22: 19—25
24 李宏伟, 许坤. 郯庐断裂走滑活动与辽河盆地构造古地理格局. 地学前缘, 2001, 8: 467—470
25 韩文功, 季建清, 王金铎, 等. 郯庐断裂古新世-早始新世左旋走滑活动的反射地震证据. 自然科学进展, 2005, 15: 1383—1387
26 徐佑德, 柳忠泉. 郯庐断裂带营潍段走滑断裂特征. 石油天然气学报, 2006, 28: 12—15
27 吴时国, 余朝华, 邹东波, 等. 莱州湾地区郯庐断裂带的构造特征及其新生代演化. 海洋地质与第四纪地质, 2006, 26: 101—107
28 周建勋, 周建生. 渤海湾盆地新生代构造变形机制: 物理模拟和讨论. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2006, 36: 507—519
29 漆家福, 邓荣敬, 周心怀, 等. 渤海海域新生代盆地中的郯庐断裂带构造. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2008, 38(增刊Ⅰ): 19—29
30 郑朗荪, 高维明, 郑传贝. 郯庐断裂带的分段与沂沭断裂的活动性. 中国地震, 1988, 4 : 123—129
31 李家灵, 晁洪太, 崔昭文, 等. 郯庐断裂带郯城-新沂段活断层研究. 活动断裂研究, 1991. 164—173
32 晁洪太, 李家灵, 崔昭文, 等. 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, 1992, 1: 208—217
33 晁洪太, 李家灵, 崔昭文, 等. 郯庐断裂带中段全新世活断层的几何结构与分段. 活动断裂研究, 1994, 3: 180—190
34 胡政, 丁东. 渤海地震震中附近地区浅层地质构造特征. 地震学刊, 1990, 3: 26—32
35 王志才, 邓起东, 杜宪宋, 等. 莱州湾海域郯庐断裂带活断层探测. 地震学报, 2006, 28: 493—503
36 中田高, 岛崎邦彦. 海底の地震の巢を探る. 科学, 1993, 63: 593—599
37 Okay A I, Kaslilar-Ozcan A, Imren C, et al. Active faults and evolving strike-slip fault basins in the Marmara Sea, northwest Turkey: A multi-channel reflection study. Tectonophysics, 2000, 312: 189—218
38 Demirbag E, Rangin C, Le Pichon X. et al. Investigation of the tectonics of the Main Marmara Fault by means of deep-towed seismic data. Tectonophysics, 2003, 361: 1—19
39 陈宇坤, 郑彦鹏, 高武平, 等. 声学探测技术在天津隐伏断层探测中的应用. 震灾防御技术, 2007, 2: 116—127
40 许志琴. 郯庐裂谷系概述. 构造地质论丛, 1984, 3: 39—46
41 杨子赓, 林和茂, 雷祥义, 等. 中国第四纪地层与国际对比. 北京: 地质出版社, 1996. 1—150
42 Berne S, Vagner P, Guichard F, et al. Pleistocene forced regressions and tidal sand ridges in the East China Sea. Mar Geol, 2002, 188: 293—315
43 中国科学院海洋研究所海洋地质研究室. 渤海地质. 北京: 科学出版社, 1985. 161—190
44 庄振业, 许卫东, 刘东生, 等. 渤海南部 S3 孔晚第四纪海相地层的划分及环境演变. 海洋地质与第四纪地质, 1999, 19: 27—35
45 蔡东升, 罗毓晖, 武文来, 等. 渤海浅层构造变形特征、成因机理与渤中坳陷及其周围油气富集的关系. 中国海上油气(地质), 2001, 15: 35—42
46 山东省地质矿产局. 中国人民共和国地质矿产部地质专报——山东省区域地质志. 北京: 地质出版社, 1991. 453—457
47 魏光兴, 刁守中, 周翠英. 郯庐带地震活动性研究. 北京: 地震出版社, 1993. 1—193
48 漆家福, 杨桥, 陈发景, 等. 辽东湾-下辽河盆地新生代构造的运动学特征及其演化过程. 现代地质, 1994, 8: 34—42
49 邓起东, 晁洪太, 闵伟, 等. 海域活动断裂探测和古地震研究. 中国地震, 2002, 18: 311—315
50 李西双, 刘保华, 赵月霞, 等. 海底活动断裂研究方法及我国近海活动断裂研究. 海洋地质动态, 2008, 24: 8—13
51 邓起东, 陈立春, 冉勇康. 活动构造定量研究与应用. 地学前缘, 2004, 11: 383—392
52 丁国瑜. 全新世断层活动的不均匀性. 中国地震, 1990, 6: 1—9
53 丁国瑜. 有关活断层分段的一些问题. 中国地震, 1992, 8: 1—9
54 张培震, 毛凤英. 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, 1996, 5: 12—31
55 施炜, 张岳桥, 董树文. 郯庐断裂带中段第四纪活动及其分段特征. 地球学报, 2003, 24: 11—18