

doi:10.3969/j.issn.0253-4967.2013.02.009

# 辽东半岛中强地震活动及其与构造相关性

万 波 贾丽华 戴盈磊 索 锐

(辽宁省地震局, 沈阳 110031)

**摘 要** 辽东半岛是中强地震活动较多的地区,除 1975 年海城 7.3 级地震外,这一地区还记录了  $\geq 5$  级地震 19 次。区内中强地震分布具有较好的规律性,基本上局限于地震活动条带及其网格的结点部位,空间分布上与金州断裂、鸭绿江断裂等 NE—NNE 向断裂及其共轭的 NW 向构造一致,且多发于 2 组构造交会部位的构造盆地或偏于 NW 向的构造带附近。NE—NNE 向和 NW 向断裂是在现今 NEE 向近水平主压应力作用下所形成的一对平移走滑性质为主的共轭剪切破裂面,NE—NNE 向断裂属于继承性破裂,规模大,对区域地质构造格局及其演化具有控制作用;NW 向断裂多属于新生破裂,其规模通常同与其交会的 NE—NNE 向断裂有一定的相关性。研究表明,辽东半岛中强地震活动受到了 NE—NNE 向断裂的控制,但其发震构造基本上是 NW 向断裂,同时,与 NW 向断裂的规模相关联,中强地震活动存在由 N 向 S、由 W 向 E 逐渐减弱的变化规律,地震强度大致从 7~7.5 级降为 5.5~6 级。

**关键词** 辽东半岛 地震 金州断裂 NE—NNE 向构造 NW 向构造 共轭构造

**中图分类号:** P315.2

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0253-4967(2013)02-0300-15

## 0 引言

辽东半岛地区是中国东北乃至中国东部地震活动水平较高的地区,历史上记录了多次 5~6 级中强地震,现今小震活动也比较频繁。区内已知的最大地震为 1975 年海城 7.3 级,该地震发生在海城东南约 20km 的岔沟附近( $40^{\circ}42'N, 122^{\circ}42'E$ )(朱凤鸣,1980),而 1999—2000 年在岔沟东南的海城、岫岩交界处还分别发生过 5.4 级和 5.1 级地震。如果由上述两地点向 SE 继续延伸至辽东半岛东侧,则 20 世纪初在鸭绿江口曾发生 2 次较强的地震,震级分别为 6.1 和 6.4(表 1,图 1)(国家地震局震害防御司,1995;吴戈等,1992,1994)。根据黄玮琼等(1994)的研究,华北地震区(含辽东半岛) $M_s \geq 4\frac{3}{4}$  的地震记录自 1484 年以来基本是完整的,那么,表 1 实际上涵盖了辽东半岛 500 多年来  $M_s \geq 4\frac{3}{4}$  的地震资料。数据表明,辽东半岛的地震活动具有沿 NE—NNE 向和 NW 向的条带状分布特点,与该地区 NE—NNE 向和 NW 向构造分布具有密切的关联,在地震条带的交会部位,地震活动呈密集的团簇状,中强地震基本上都发生在团簇内或偏于 NW 向的地震条带内。可以认为,辽东半岛中强地震活动是有其内在的构造基础的,通过地质构造的调查研究和活动性分析能够建立地震活动的构造模型,并依此对这一地区的中强地震活动做出中长期预测。

〔收稿日期〕 2012-06-24 收稿,2012-12-26 改回。

〔基金项目〕 科技部科技支撑项目“强震危险区划关键技术研究”(2006BAC13B01)资助。

表 1 辽东半岛中强地震及其与地质构造关系 ( $M_s \geq 5.0$ )

Table 1 Relationship between moderate-strong earthquakes and geological structures in the Liaodong peninsula ( $M_s \geq 5.0$ )

序号	年份	地点	震中位置		震级 $M_s$	深度 /km	地质构造背景	震中附近现今小震分布特征
			$\phi_N/(^{\circ})$	$\lambda_E/(^{\circ})$				
1	1855	金州荞麦山	39.2	121.6	5½		位于金州 NW 向构造带及金州盆地边缘	NW 向条带状分布
2	1856	金州	39.1	121.7	5¼		金州断裂与金州构造带交会部位,金州盆地边缘	同上
3	1861	普兰店东	39.4	122.1	6		金州断裂与普兰店-长海构造带交会部位	同上
4	1885	大洼	40.7	122.2	5		金州断裂上盘	
5	1916	鸭绿江口	39.7	124	5.4		鸭绿江断裂与海城河构造带交会部位及东港盆地边缘	较零散,总体呈 NE 向条带状
6	1917	鸭绿江口	39.7	124	6.1		同上	同上
7	1940	熊岳	40.2	122	5¾		金州断裂与熊岳-庄河构造带交会部位及熊岳盆地边缘	较密集团簇状及 NE、NW 向条带状
8	1944	鸭绿江口	39.7	124.3	6¾		鸭绿江断裂与海城河构造带交会部位及东港盆地边缘	较零散,总体呈 NE 向条带状
9	1975	海城水泉	40.7	122.7	5.5	12	海城河构造带	密集 NW 向条带状
10	1975	海城岔沟	40.6	122.8	7.3	14	同上	同上
11	1975	海城岔沟	40.6	122.9	5.1	33	同上	同上
12	1975	大石桥旗口	40.9	122.4	5.4	16	金州断裂上盘	
13	1975	海城岔沟	40.6	122.9	5.2		海城河构造带	密集 NW 向条带状
14	1975	海城英落	40.6	122.7	5.4	12	同上	同上
15	1975	海城岔沟	40.6	122.8	5.4	11	同上	同上
16	1978	官屯	40.7	122.6	5.9	13	金州断裂与海城河构造带交会部位及下辽河盆地边缘	较密集团簇状及 NE、NW 向条带状
17	1978	大石桥	40.7	122.4	5.2	15	同上	同上
18	1999	岫岩偏岭	40.5	123.1	5.4	10	海城河构造带	密集 NW 向条带状
19	2000	岫岩偏岭	40.5	123.1	5.1	14	同上	同上

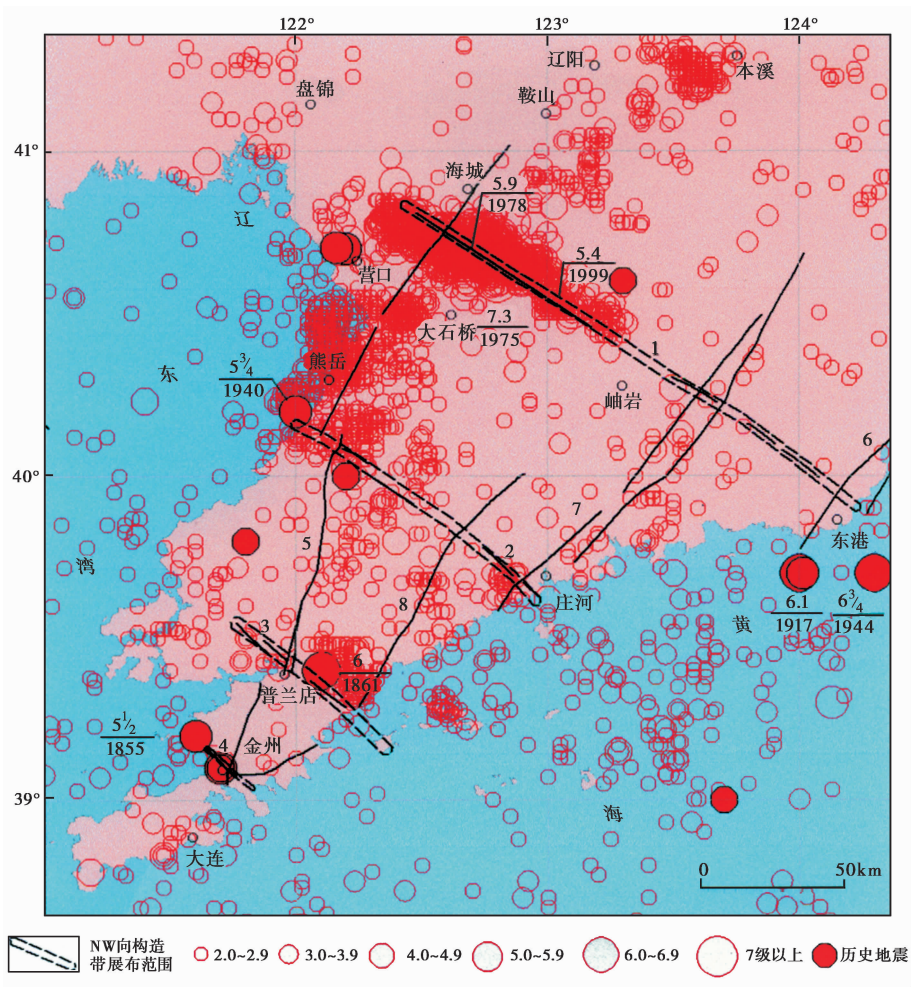


图 1 辽东半岛地震震中分布图

Fig. 1 Epicenter distribution map in the Liaodong peninsula area.

- 1 海城河 NW 向构造带; 2 熊岳-庄河 NW 向构造带; 3 普兰店-长海 NW 向构造带;  
4 金州 NW 向构造带; 5 金州断裂; 6 鸭绿江断裂; 7 庄河断裂; 8 皮口断裂

1 辽东半岛中强地震活动习性

从地震空间分布图像来看,辽东半岛地区的地震活动主体上沿金州断裂呈 NE—NNE 向分布,在鸭绿江断裂、庄河断裂附近也存在相似的条带状分布现象(图 1)。在这一背景下,地震尤其是现代仪器记录的小震活动还呈现出清晰的 NW 向分布特征,其空间分布密度甚至高于同为仪器记录的 NE—NNE 向小震空间分布,沿金州断裂分别在海城、熊岳、普兰店、金州和旅顺等地形成 NW 向的密集地震条带,NE—NNE 向、NW 向地震条带在其交会部位形成地震团簇;此外,沿鸭绿江断裂、庄河断裂等也分别在鸭绿江口和庄河附近形成 NW 向的地震条带及地震团簇。在空间形态上,NE—NNE 向和 NW 向地震条带构成了区内共轭的网格状分布及准对称特征。所不同的是,NW 向地震条带规模和密度具有较大的差异,总体而言,由北部的海城—东港

一线向南端的金州和旅顺一带其规模趋于减小、密度降低;而由金州断裂附近向鸭绿江断裂和庄河断裂附近地震条带的规模也趋于减小、密度降低。活动最强的 NW 向地震条带为海城—东港的海城河 NW 带,该带 NW 端衔接金州断裂,SE 端衔接鸭绿江断裂,不仅带内小震活动最为密集,1975 年海城 7.3 级地震和 1917 年、1944 年鸭绿江口 6.1 级、6 $\frac{3}{4}$ 级地震就发生在该带两端,1999—2000 年岫岩偏岭 5.4 级和 5.1 级地震也发生在该带上;普兰店—长海 NW 带也是一条中强地震活动较多的地震条带,曾发生 1861 年普兰店东 6 级地震(钟以章等,1986,1991),小震活动具有清楚的 NW 向分布(李宇彤等,2010),这一 NW 带向两端分别与金州断裂、皮口断裂附近的 NE—NNE 向地震条带交会。由表 1 可以看出,辽东半岛 1484 年以来共记录到  $M_s \geq 5$  地震 19 次(含海城 7.3 地震的余震),主要沿金州断裂集中分布在海城、大石桥、金州、熊岳、普兰店东以及鸭绿江口、岫岩等地,中强地震基本上分布在现代仪器记录的小震密集分布区域,处在小震条带的交会点附近,表明这一地区的中强地震活动与现代小震是处在相同的地应力释放场背景下,并具有原地重复发生或沿 NE—NNE 向、NW 向规律性迁移的特征。

同时具有 NE—NNE 向和 NW 向网格状分布的地震活动图像显示辽东半岛地震活动主要与 NE—NNE 向和 NW 向 2 组构造相关。已有研究表明(谢新生等,2002),海城 7.3 级地震具有双向共轭的破裂特征,其地震前兆沿 NE—NNE 和 NW 2 个方向发展,余震活动也沿这 2 个方向迁移,其构造地裂缝主要表现出 NE—NNE 和 NW 2 个优势方向(朱凤鸣,1980),NW 向裂缝显示反扭,NE—NNE 向裂缝为顺扭,具有 2 组共轭的剪切破裂面。NE—NNE 向地震条带所围绕的 NE—NNE 向断裂构造(如金州断裂)在地表的出露是清楚的,而若干个 NW 向地震条带指示这里存在着相应的 NW 向构造。同时,综合分析已有的地震烈度资料可知,辽东半岛中强地震等震线通常呈现出 NW、NE—NNE 向的双向优势分布,几乎所有的中强地震都表现出受到了金州断裂等 NE—NNE 向构造的影响,同时又与 NW 向构造具有更紧密的关系(表 1),如 1940 年熊岳 5 $\frac{3}{4}$ 级地震的极震区(VIII 度区)长轴延伸方向为 NW 向,但其 VII 度区的长轴延伸方向却明显地表现为 NNE 向(吴戈等,1992;图 2);1975 年海城 7.3 级地震极震区(IX 度区和 VIII 度区)长轴延伸方向分别表现为 NNE 向和 NW 向,VII 度区也明显地具有 NE—NNE 向和 NW 向的优势延伸(朱凤鸣,1980;图 3),显示地震与金州断裂及 NW 向构造相关,而实际上该地震的发震构造为 NW 向海城河断裂,金州断裂则为控震构造,而其后岫岩偏岭地震的发震构造也为海城河断裂(万波,2000);1861 年普兰店东 6 级地震发生在金州断裂东侧附近的普兰店东一带,与金州断裂共轭的普兰店—长海 NW 向构造为发震构造(万波等,2010),

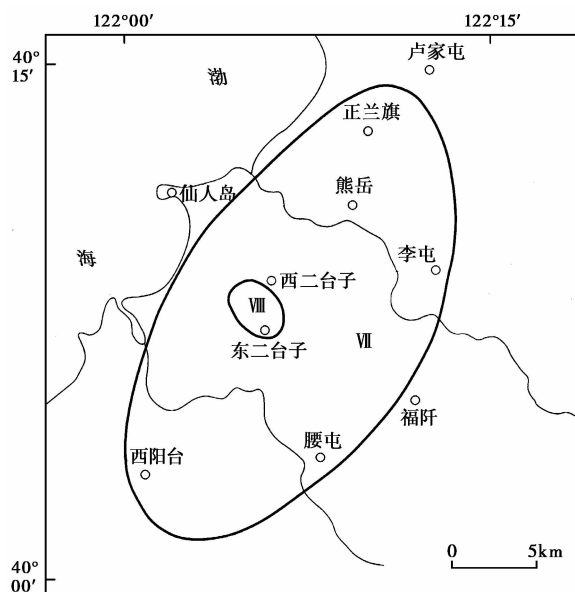


图 2 1940 年熊岳 5 $\frac{3}{4}$ 级地震等震线图(据吴戈,1992)

Fig. 2 Isoseismal map of the 1940  $M_{5\frac{3}{4}}$  Xiongyue earthquake (after Wu Ge, 1992).

金州断裂充当了控震构造。根据史料(吴戈等,1995)和相关研究(钟以章等,1991),1855年、1856年的金州5½级、5¼级地震具有“地震由西北而来”的相关记载,震中位于金州西北的金州湾附近,距金州断裂稍远(20km左右),2次地震及现今小震具有NW向的分布特点;1944年鸭绿江口6¼级地震发生在海域,陆地上破坏较轻,陆地等震线形态呈椭圆形(吴戈等,1995;国家地震局科技发展司,1999),长轴方向为NE向,但长、短轴差很小。以上分析表明,辽东半岛的中强地震活动具有较好的空间分布规律性,基本上局限于地震活动条带及其网络的结点部位,与区域地质构造有着密切的关系,受到了金州断裂等NE—NNE向断裂以及NW向断裂的共同制约。

## 2 辽东半岛基本地质构造格局和NE—NNE向构造的主导性

辽东半岛处在太平洋板块向欧亚板块下部俯冲的大陆边缘,即所谓“三隆三拗”的第2隆起区,构造走向以NE—NNE向为主。以区域性的金州断裂、鸭绿江断裂为界,辽东半岛及其两侧分属于不同的新构造运动单元,其中金州断裂以西为下辽河—渤海沉降区,鸭绿江断裂东南为朝鲜北部强上升隆起区,2条断裂之间为辽东上升隆起区(万波等,1997),断裂(尤其是金州断裂)两侧新构造差异升降运动显著,客观上金州断裂、鸭绿江断裂成为辽东半岛地应力易于积累的场所。区内广泛发育的NE—NNE向断裂也称为辽东断裂系,该断裂系的形成一般很早,在燕山构造旋回强烈活化,第四纪以来继续活动(辽宁省地质矿产局,1989)。除金州断裂、鸭绿江断裂展布在半岛东、西两侧以外,其间的庄河断裂、青堆子断裂、皮口断裂等均属于辽东断裂系的一部分(图4),它们总体上控制了辽东半岛的构造形态。另外,通过卫星遥感解译、水系等地貌变化、地震空间分布、形变测量、野外调查以及金州断裂分段性的综合研究,确认辽东半岛还发育一系列的NW向断裂(构造带)(张裕明,1987;钟以章等,1999),包括海城河、熊岳—庄河、普兰店—长海、旅顺和金州、辽阳等NW向构造带,其中规模较大、与中强地震活动较为密切的主要是海城河、熊岳—庄河、普兰店—长海和金州NW向构造带。NE—NNE向和NW向2组构造的共同活动形成了NE—NNE向成条、NW向成块的构造格局。

辽东半岛广泛发育太古宇和元古宇混合岩及燕山期、印支期侵入花岗岩等,地壳介质具有相对均匀性,海城7.3级地震的前震—主震—余震型模式也反映了地壳介质的均匀性(平田隆幸等,1990;焦明若,2003)。从地壳厚度的分布来看,辽东半岛上地幔拗陷区地壳厚度为35km左右,两侧的辽东湾(渤海)和北黄海沿岸地壳厚度分别为29~32km和31~32km,地壳等厚线总体上呈NE—NNE向(辽宁省地质矿产局,1989),金州断裂充当了辽东半岛西侧幔隆和幔拗的过渡带,而在辽东半岛东侧沿鸭绿江断裂和庄河断裂附近也显现出地壳厚度的梯度变化;岩石

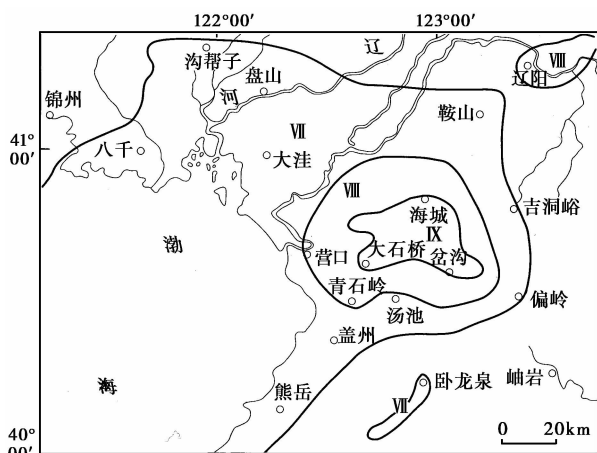


图3 1975年海城7.3级地震等震线图(据朱凤鸣,1980)

Fig. 3 Isoseismal map of the 1975  $M_s$  7.3 Haicheng earthquake (after to ZHU Feng-ming, 1980).



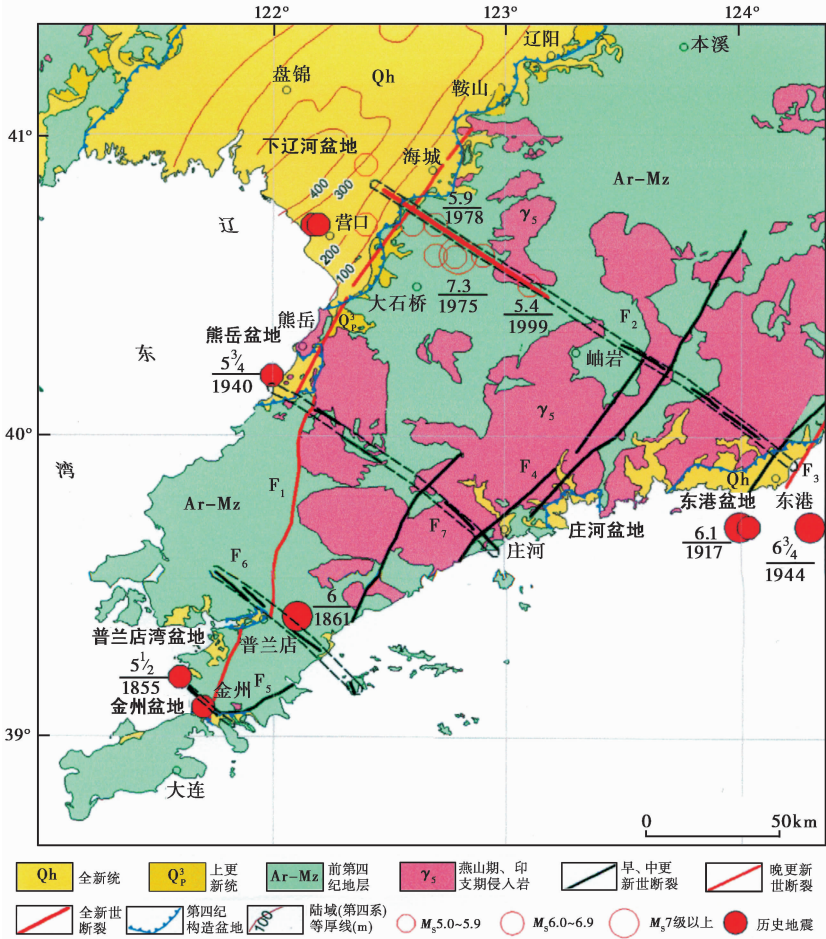


图 4 辽东半岛第四纪盆地及其边界断裂分布图

Fig. 4 Distribution of Quaternary basins and their boundary faults in the Liaodong peninsula area.

F<sub>1</sub> 金州断裂；F<sub>2</sub> 海城河断裂；F<sub>3</sub> 鸭绿江断裂；F<sub>4</sub> 庄河断裂；F<sub>5</sub> 大和尚山山前断裂；  
F<sub>6</sub> 普兰店-长海 NW 向构造带；F<sub>7</sub> 熊岳-庄河 NW 向构造带

层厚度从半岛内向两侧也有减薄的变化趋势,与地壳厚度变化基本同步;金州断裂在磁场、重力场上也表现为明显的梯级带。在地貌上,金州断裂东侧为辽东山地,而西侧主要为下辽河-渤海海域。依据震源机制解、小震综合断层解、原地应力测量和有限元分析等资料,已经确定辽东半岛处在 NEE 向近水平的主压应力场作用下(高常波等,1998),基于相对均匀的地壳介质以及新近纪以来比较稳定的构造应力作用,作为传播地震弹性波的散射体,形成了区内 NE—NNE 向和 NW 向 2 组以平移走滑为主的共轭剪切破裂面并相互错切(钟以章等,1999; Zhong *et al.*, 2000),构成具有共轭破裂特征的棋盘格式构造(李四光,1969),海城 7.3 级地震中 NW 和 NE—NNE 向节面即是这一作用的结果(李荣安,1985),而其中的地震断层面(A 节面)为 NW 向(朱凤鸣,1980)。地震活动空间分布与构造之间较好的对应性反映出 NE—NNE 向、NW 向构造实际上就是一对共轭剪切破裂面(陈金海,1995)。

总的来看,NE—NNE 向构造属于继承性破裂,规模大、延伸连续性好、切割深,多为壳断裂或岩石圈断裂,对区域地质构造格局及其演化具有控制作用;NW 向构造多属于新生破裂,规模小、多呈平行状或雁行状、断续展布、切割浅。分析表明,区内 NE—NNE 向和 NW 向构造具有一定的等间距分布特征,NW 向构造规模还同与其交会的 NE—NNE 向构造有一定的相关性,如海城河 NW 向构造带两端分别衔接金州断裂和鸭绿江断裂,因金州断裂和鸭绿江断裂是半岛两侧的主干断裂,因而海城河构造带的规模也最大;熊岳—庄河构造带衔接金州断裂、庄河断裂,规模次之;普兰店—长海构造带衔接金州断裂、皮口断裂,规模再次;金州构造带衔接金州断裂、大和尚山前断裂,规模最小。另外,金州断裂对区域地震的控制作用还表现在金州断裂与中地壳上部的低速层之间存在密切关系(卢造勋等,1990),金州断裂附近低速层的发育最为明显,而低速层在垂直方向上对中强地震具有明显的控制作用。已有研究表明(卢造勋等,1993),辽东半岛的大多数地震震源集中在低速层附近,典型的范例如海城地震区的低速层和普兰店东低速层,其深度范围多在易于地壳应力积累和释放的 14~22km。

金州断裂全长 200km 以上,是辽东半岛规模最大、切割最深、延伸稳定、活动性强、构造形迹最为清楚的断裂构造,它除了控制新构造运动格局外,还对区域岩浆活动、变质作用、混合岩化以及区域地层分布和其他构造体系的演化与活动性产生重要影响。沿断裂在 NE—NNE 方向上地壳介质均匀,跨断裂的 NW 方向上介质均匀性则相对较差。断裂线性特征明显,两侧构造走向和地貌形态差异明显,跨断裂水系流向发生变化,沿断裂多温泉、地震分布。金州地震台 1972—1983 年跨断裂水准测量结果表明东盘上升、西盘下降,两盘相对运动速率为 0.7mm/a。金州断裂具有多期活动特征,第四纪时期活动明显,断裂带内普遍发育断层泥,也有压碎岩、挤压扁豆体、挤压片理、构造角砾岩等。沿断裂数十个地质剖面上有断层泥和第四纪地层的近百个 TL、SEM 样品的综合测年数据(样品由原国家地震局地质研究所、北京大学等测试),显示断裂中更新世时活动较强,晚更新世早、中期仍有活动(高常波等,1998;表 2),断裂错断了中—上更新统,断裂运动方式为粘滑兼蠕滑,最新活动性质为右旋走滑兼倾滑。如在熊岳金家沟见到太古宇逆冲于上更新统之上;在金州七里村南,断裂错断了中更新统紫红色含砾黏土层(TL 年龄为 330ka),但其上覆的上更新统上部及全新统未被错切,断层泥 SEM 时代为  $Q_p^2$ — $Q_p^3$ (图 5)。金州断裂可以划分为金州—普兰店、普兰店—九寨、九寨—盖州北和盖州北—鞍山南等 4 个不同的段落,在不同段落的接合部位或端部,有 NW 向构造带发育,金州断裂与各 NW 向构造带之间具有共轭交错的展布特征。

鸭绿江断裂陆域总长度约 300km,其中展布于辽东半岛东缘、与辽东半岛地震活动关系密切、活动性最强的是其水丰—东港段和东港以南段。这 2 段断裂由东、西两支近平行的次级构造组成,东支长 80km,西支长 110km。断裂线性影像十分清晰,控制了鸭绿江的发育,沿断裂发育断层陡崖,构造线平直,方向稳定。由于断裂拉张,在新义州、东港等地形成第四纪断陷盆地。断裂破碎带由碎裂岩、糜棱岩、挤压扁豆体、断层泥等组成,片理、劈理发育。跨西支断裂形成于全新世—晚更新世的河流冲积扇未发生构造变形,断裂没有错切晚更新世 II 级河流阶地,但东支两侧形成于中—晚更新世的 I—III 级的同级海成阶地高度却存在明显落差,地质剖面上数十个断层泥和第四纪地层的综合测年数据显示,断裂最新运动性质为右旋走滑兼倾滑(夏怀宽等,1993),西支最新活动时代为中更新世,地震活动较少;东支最新活动时代为晚更新世,地震活动较多。在鸭绿江断裂水丰—东港段和东港以南段的接合部位即东港盆地附近向 NW 方向延

表 2 金州断裂活动性判别表 (据高常波等,1998)

Table 2 Activity features of the Jinzhou Fault(after GAO Chang-bo *et al.*, 1998)

断裂段	剖面位置	断层泥测年数据		活动性质	错切最新地层
		TL/ka BP	SEM		
金州—普兰店段	七里村南	200	$Q_p^2-Q_p^3$	蠕滑为主	$Q_p^2$
	金州地震台		$Q_p^1$	粘滑兼蠕滑	
	落凤沟		$Q_p^2-Q_p^3$	蠕滑为主	
	泉眼沟		$Q_p^2-Q_p^3$	蠕滑为主	
	大王村		$Q_p^2-Q_p^3$	蠕滑为主	
	石河东		$Q_p^2-Q_p^3$	粘滑兼蠕滑	
普兰店—九寨段	北山根底东	120	$Q_p^2-Q_p^3$	粘滑兼蠕滑	$Q_p^2$
	九寨东		$Q_p^2-Q_p^3$	蠕滑为主	
	西二台子东		$Q_p^1-Q_p^2$	粘滑兼蠕滑	
	张山咀				
	瓦房店西		$Q_p^3$	蠕滑为主	
	金家沟				
九寨—盖州北段	小岭子	188	$Q_p^1-Q_p^2$	粘滑为主	$Q_p^3$
	烙铁山				
	李家		$Q_p^2-Q_p^3$	粘滑为主	
盖州北—鞍山南段	虎庄东	79	$Q_p^2-Q_p^3$	粘滑为主	
	锅底山东	400	$Q_p^3$		

伸,其与金州断裂之间发育海城河 NW 向构造带。

庄河断裂全长超过 130km,控制了局部河谷的分布,断裂以西在地貌上表现为低丘陵和台地,以东地势较低,第四纪地层发育,断裂控制了庄河盆地的发育。断裂破碎带中既有早期韧性变形的糜棱岩,又有脆性破裂的挤压片理、碎裂岩、断层泥等,最新运动性质为右旋走滑兼逆倾滑,最新活动时代主要为中更新世(张裕明,1987)。在断裂南端即庄河盆地附近与金州断裂之间发育熊岳-庄河 NW 向构造带。

皮口断裂长约 80km,由一系列 NNE 向的分支断裂斜列组成,沿断裂发育沟谷和线状山地。断裂带内发育挤压片理、碎裂岩、断层泥等,实际调查发现断裂未错切Ⅱ、Ⅲ级海蚀阶地(刘国海等,1993;万波等,2010),其最新活动限于早更新世—中更新世早期。在皮口断裂南端与金州断裂之间发育普兰店-长海 NW 向构造带。

金州断裂、鸭绿江断裂、庄河断裂等 NE—NNE 向断裂在与 NW 向断裂(构造带)的交会部

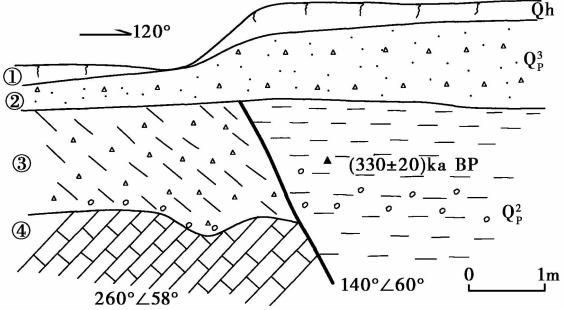


图 5 金州断裂七里村南剖面 (据高常波,1998)

Fig. 5 Profile of the Jinzhou Fault at south of Qilicun.

- ①现代土壤层;②上更新统碎石土层;
- ③中更新统含砾黏土层;④上元古界灰岩



位多有第四纪盆地发育,如下辽河盆地处在金州断裂的西侧,第四系最大厚度可达 450m,长轴方向为 NE 向,盆地内第四系等厚线与金州断裂平行;熊岳盆地、普兰店湾盆地、金州盆地分别处在金州断裂与熊岳-庄河、普兰店-长海和金州等 NW 向构造带的交会处附近,长轴方向多与金州断裂或 NW 向构造带平行;庄河盆地、东港盆地分别处在庄河断裂与熊岳-庄河构造带、鸭绿江断裂与海城河构造带交会点附近,盆地发育受到了上述 2 组构造的制约。总的来看,区内盆地的规模、活动特点等与 NE—NNE 向断裂、NW 向断裂的发育和活动特征是密切相关的。已有研究表明(马杏垣主编,1989),NE—NNE 向、NW 向断裂的交会区地震应力易于积累和释放,而实际上,辽东半岛的第四纪盆地区历史上就是中强地震的多发区,现今仪器记录也显示地震活动明显较其他地区密集,5 级以上中强地震多发生在盆地的边缘地带。

### 3 关于 NW 向构造带

辽东半岛的 NW 向构造带属于“新生断层”的范畴(丁国瑜等,1979),其发育历史较 NE—NNE 向构造要晚得多,断裂规模和地表断错形态也较 NE—NNE 向构造差得多。遥感影像分析和野外调查结果表明,该组构造通常表现为一系列近平行或斜列状的 NW 向断裂束,断裂束的宽度一般为几 km 至十几 km。NW 向构造有着比较明确的深部构造背景,如沿海城河构造带的重力异常等值线在总体上呈 NE—NNE 向延伸的趋势下发生了扭曲和畸变(高常波等,1998);熊岳-庄河构造带南侧的重力异常等值线间隔宽、变化平缓,以正异常为主,负异常较弱,而北区重力异常等值线较密集、局部异常发育,以负场为主,起伏较大。与之相似,南侧磁场以负的平静场为主,强度弱、变化平稳;北区则为一个正、负异常相互交替的多变场,两侧的磁性体埋深也存在差别;沿金州断裂呈 NE—NNE 向延伸的地壳等厚线在海城河构造带附近发生了辗转曲折,出现局部不均匀的变化,深部构造条件趋向复杂化,而熊岳附近地壳厚度的变化也较为剧烈。

NW 向构造带的发育是较为局限的,基本上囿于金州断裂、鸭绿江断裂之间或外侧附近,而金州断裂基本上贯通了各条 NW 向构造带。前已提及,NW 向和 NE—NNE 向构造之间具有共轭破裂特征,2 组构造的共轭性还在区域温泉、地貌、第四系分布等方面有较明显的反映。辽东半岛温泉较多,排列方向总体为 NE—NNE 向,但次级的涌水点常呈 NW 向排列,如熊岳温泉的涌水点是沿 NW 向的熊岳河出露的;区内网格状水系的网格形态分别表现为 NW 向和 NE—NNE 向;金州断裂沿线盆地构造众多,但经过详细调查,在 NW 向构造带内沿河谷还有一系列成串珠状的微型盆地发育(万波等,2010)。NW 向构造的发育程度较 NE—NNE 向构造要差得多,地表出露形态并不完整。在野外实际调查中发现,海城河构造带由多条分支断裂组成,除了 7.3 级地震震中区的构造地裂缝以外,还能见到断续出露的破碎带,断裂带宽度最大可达 10m,但断层泥宽度仅几 cm,断裂性质为左旋走滑兼正倾滑并错切了全新世地层(江娃利等,1999;表 3);熊岳-庄河构造带由多条分支断裂组成,其地表出露在两端的金州断裂、庄河断裂附近比较清楚,断裂宽度可达数 m,一般由 2~4 条挤压片理、断层泥、碎粉岩等组成,单条破碎带宽度 2~30cm,最大可达 50cm。断层泥呈薄层状,疏松未胶结,断层没有错断上更新统,运动性质为左旋走滑兼倾滑,最新活动时代为中更新世。普兰店-长海构造带由多条小型分支断裂组成,断层带宽 0.2~1.5m,一般发育 2~4 条挤压片理、断层泥、碎粉岩条带等,单条破碎带宽度仅 2~10cm(万波等,2010),疏松未胶结,断层泥 ESR 年龄为中更新世,运动性质主要为左旋走滑。

表 3 NW 向构造活动特征判别一览表  
Table 3 Activity features of the NW-trending structures

序号	名称	长度 /km	宽度 /km	与 NE—NNE 向 构造的共轭关系	共轭 NE—NNE 向 构造发育特征	第四纪 活动性
1	海城河构造带	> 200	10	NW、SE 端分别与 金州断裂、鸭绿江 断裂共轭	金州断裂盖州北—鞍山南段晚 更新世活动,鸭绿江断裂水丰— 东港段、东港以南段西支中更新 世活动、东支晚更新世活动	全新世
2	熊岳—庄河构造带	120	10	NW、SE 端分别与 金州断裂、庄河断 裂共轭	金州断裂普兰店—九寨段、九 寨—盖州北段为晚更新世活动, 庄河断裂中更新世活动	中更新世
3	普兰店—长海构造带	70	15	与金州断裂、皮口 断裂共轭	金州断裂金州—普兰店段、普兰 店—九寨段晚更新世活动,皮口 断裂中更新世活动	中更新世
4	金州构造带	40	5	与金州断裂共轭	金州断裂南端附近,金州—普兰 店段晚更新世活动	中更新世

金州构造带破碎带较宽,达十几 m 至几十 m,但断层泥宽度仅几 cm 至几十 cm(高常波等,1998),疏松未胶结,TL、SEM 结果为中更新世,未见断层错断上更新统,运动性质为左旋走滑兼正倾滑。由于 NW 向断裂的地表发育形态较差,除曾发生 7.3 级地震并产生明显地表破裂的海城河构造带以外,其他的 NW 向构造带目前只能获得中更新世活动的地质地貌证据,但对于处在中国东部的辽东半岛来说,NW 向构造仍具备发生中强地震的危险性(闻学泽等,2007)。

4 结论与讨论

综合分析辽东半岛中强地震活动及地质构造特征,可以认为,区内中强地震活动与地质构造之间有着密切的关系。辽东半岛本身作为一个相对独立、完整的构造单元,其构造基础为中朝准地台胶辽台隆。新近纪以来,早期形成的 NE—NNE 向金州断裂、鸭绿江断裂等区域性深断裂复活且活动强烈,断裂两侧新构造运动显示差异性,金州断裂、鸭绿江断裂在这一构造演化中起着主导作用,同时,在这 2 条主干的 NE—NNE 向断裂之间发育了一系列次级平行断裂,而庄河断裂、皮口断裂等是其中发育形态良好、第四纪以来活动特征清楚、与地震活动关系密切的断裂。具有鲜明特征的是,与 NE—NNE 向断裂相伴活动的 NW 向构造大致等间距展布,在这 2 组构造的共轭交会部位普遍发育第四纪盆地,与之相对应的是,总体上呈 NE—NNE 向和 NW 向的地震活动条带在盆地附近交会,地震分布表现出团簇状特征。

从辽东半岛中强地震的发震背景上来看,中强地震多发于 NE—NNE 向和 NW 向构造的交会处附近,均与金州断裂、鸭绿江断裂等 NE—NNE 向断裂及其共轭的 NW 向构造相关,而其发震构造主要为 NW 向断裂。从地震强度分布与构造的关系来看,7 级左右地震与海城河构造带关系密切,辽东半岛及附近所记录到的最大 2 次地震即海城 7.3 级地震和鸭绿江口 6 $\frac{3}{4}$  地震均发生在该构造带的端点附近,而鸭绿江口 6.1 级地震也发生在海城河 NW 向构造带的 SE 端;熊岳—庄河、普兰店—长海和金州 NW 向构造带所记录到的地震强度均为 5~6 级,基本上发生

在它们与金州断裂的交会处附近。应该注意的是,NE—NNE 向构造与 NW 向构造在发育程度、规模等方面具有差异,金州断裂、鸭绿江断裂等 NE—NNE 向构造规模大、切割深、延伸稳定并控制了地球物理场、深部构造和新构造运动,NW 向构造则具有新生性特征,发育程度较弱。同时,NE—NNE 向构造之间也有不同,金州断裂与鸭绿江断裂相比,其新构造运动差异性更为显著、活动性更强,而其他的 NE—NNE 向断裂与金州断裂、鸭绿江断裂相比又有明显差距。分析认为,NW 向构造的规模、活动性同与其衔接的 NE—NNE 向断裂是相关的,总体上从北到南规模趋于减小,活动性减弱。北端的海城河构造带在其两端分别与金州断裂和鸭绿江断裂共轭衔接,活动性最强,规模超过了 200km;南端的金州构造带规模仅 40km 左右,而熊岳—庄河构造带、普兰店—长海构造带分别为 120km 和 70km 左右。从已记录到的地震发生情况来看,海城河构造带发生过的最大地震为 7.3 级,普兰店—长海构造带发生过 6 级左右地震,金州构造带发生过 5.5 级左右地震,以 NW 向构造为发震构造的中强地震活动存在由 N 向 S、由 W 向 E 逐渐减弱的分布特点,表现出清楚的规律性,地震强度从 7~7.5 级降为 5.5~6 级,即沿海城河 NW 向构造带具有发生 7~7.5 级地震的可能,沿熊岳—庄河 NW 向构造带具有发生 7 级左右地震的可能,沿普兰店—长海 NW 向构造带具有发生 6~6.5 级地震的可能,沿金州 NW 向构造带具有发生 5.5~6 级地震的可能。辽东半岛断层活动性、规模和发震条件与华北地震区中强地震的统计结果是吻合的(环文林等,1995),NW 向构造一般呈未完全贯通的斜列状,也符合华北地震区发震断层的一般结构特征。

总之,金州断裂、鸭绿江断裂等 NE—NNE 向构造与 NW 向构造之间的共轭组合模式影响并控制了辽东半岛的地震活动,中强地震多发于 NE—NNE 向构造和 NW 向构造共轭交会部位的盆地附近或偏于 NW 向构造带一侧。考虑到海城河构造带 NW 端的海城地区 1975 年曾发生 7.3 级地震,地震应力得到了有效的释放,那么在未来的一定时间内(50~100a),中强地震发生于东港、熊岳、普兰店和庄河等构造盆地附近的危险性较高,或者向 NW 或 SE 有一定的迁移。

## 参 考 文 献

- 陈金海,刘赛君.1995.中国东部大陆板内地震的共轭破裂特征[J].世界地震译丛,26(4):39—45.
- CHEN Jin-hai,LIU Sai-jun.1995. Conjugate fracture features of continental intraplate earthquakes in eastern China [J]. Translated World Seismology,26(4):39—45(in Chinese).
- 丁国瑜,李永善.1979.中国地震活动与地壳现代破裂网络[J].地质学报,3(1):22—34.
- DING Guo-yu,LI Yong-shan.1979. Seismicity and the recent fracturing pattern of the earth crust in China [J]. Acta Geologica Sinica,3(1):22—34(in Chinese).
- 高常波,钟以章.1998.东北输油管道场地断层活动性与地震危险性研究[M].北京:地震出版社.103—159.
- GAO Chang-bo,ZHONG Yi-zhang.1998. Fault Activity and Seismic Risk Research for Petroleum Transmission Pipeline in NE China [M]. Seismological Press,Beijing. 103—159(in Chinese).
- 国家地震局科技发展司.1999.中国近代地震目录( $M_s \geq 4\frac{3}{4}$ ,公元1912—1990年)[M].北京:中国科学技术出版社.81—102.
- Science and Technology Development Department,State Seismological Bureau.1999. Catalogue of Chinese Earthquakes ( $M_s \geq 4\frac{3}{4}$ ,1912—1990)[M]. China Science and Technology Press,Beijing. 81—102(in Chinese).
- 国家地震局震害防御司.1995.中国历史强震目录[M].北京:地震出版社.57—75,288—323.

- Earthquake Damage Prevention Department, State Seismological Bureau. 1995. Catalogue of Historical Strong Earthquakes in China [M]. Seismological Press, Beijing. 57—75, 288—323 (in Chinese).
- 环文林, 张晓东, 宋昭仪. 1995. 中国大陆内部走滑型发震构造的构造变形场特征 [J]. 地震学报, 17(2): 139—147.
- HUAN Wen-lin, ZHANG Xiao-dong, SONG Zhao-yi. 1995. Characteristics of tectonic deformation field about strike-slip earthquake-generating structure in the Chinese mainland [J]. Acta Seismologica Sinica, 17(2): 139—147 (in Chinese).
- 黄玮琼, 李文香. 1994. 中国大陆地震资料完整性研究之一: 以华北地区为例 [J]. 地震学报, 16(3): 273—280.
- HUANG Wei-qiong, LI Wen-xiang. 1994. Research on the completeness of earthquake data in the Chinese mainland (I): North China [J]. Acta Seismologica Sinica, 16(3): 273—280 (in Chinese).
- 焦明若, 唐春安, 张国民, 等. 2003. 细观非均匀性对岩石破裂过程和微震序列类型影响的数值试验研究 [J]. 地球物理学报, 46(5): 659—666.
- JIAO Ming-ruo, TANG Chun-an, ZHANG Guo-min, *et al.* 2003. Numerical test of influence of mesoscopic heterogeneity on macroscopic behavior of rock failure and seismic sequence types [J]. Chinese Journal of Geophysics, 46(5): 659—666 (in Chinese).
- 江娃利, 李咸业, 张英礼, 等. 1999. 辽宁海城 NW 向构造全新世活动特征及古地震研究 [A]. 见: 中国地震局地壳应力研究所编. 地壳构造与地壳应力文集. 北京: 地震出版社. 33—42.
- JIANG Wa-li, LI Xian-ye, ZHANG Ying-li, *et al.* 1999. Study on Holocene activity characteristics of NW-trending structure and paleo-earthquakes in Haicheng, Liaoning [A]. In: Institute of Crustal Dynamics, CSB (ed). Corpus of Crustal Structure and Crustal Dynamics. Seismological Press, Beijing. 33—42 (in Chinese).
- 李荣安. 1985. 海城地震双向构造活动的研究 [J]. 地震学报, 7(4): 385—397.
- LI Rong-an. 1985. A study on the bidirectional tectonic activity of the Haicheng earthquake [J]. Acta Seismologica Sinica, 7(4): 385—397 (in Chinese).
- 李四光. 1969. 地质力学概论 [M]. 北京: 科学出版社. 74—81.
- LI Si-guang. 1969. Introduction to Geomechanics [M]. Science Press, Beijing. 74—81 (in Chinese).
- 李宇彤, 万波, 等. 2010. 利用现代小地震分布研究 1861 年辽宁普兰店东 6 级地震的震中位置和发震构造 [J]. 地震地磁观测与研究, 31(1): 17—24.
- LI Yu-tong, WAN Bo, *et al.* 2010. Research about the east of Pulandian  $M_6$  earthquake and its causative structure in 1861 in Liaoning Province by the distribution of modern small earthquakes [J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 31(1): 17—24 (in Chinese).
- 辽宁省地质矿产局. 1989. 辽宁省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社. 665—691.
- Bureau of Geology and Mineral Resources of Liaoning Province. 1989. Regional Geology of Liaoning Province [M]. Geological Publishing House, Beijing. 665—691 (in Chinese).
- 刘国海, 韩慕康. 1993. 大连半岛地貌、新构造运动与市区安全性 [J]. 地理学报, 48(3): 227—234.
- LIU Guo-hai, HAN Mu-kang. 1993. Geomorphology, neotectonic movements and the safety degree of the city on the Dalian peninsula, Northeast China [J]. Acta Geographica Sinica, 48(3): 227—234 (in Chinese).
- 卢造勋, 刘国栋, 等. 1990. 中国辽南地区地壳与上地幔介质的横向不均匀性与海城 7.3 级地震 [J]. 地震学报, 12(4): 367—378.
- LU Zao-xun, LIU Guo-dong, *et al.* 1990. Lateral inhomogeneity of crust and upper mantle in south Liaoning, China and its relationship with the  $M_7.3$  Haicheng earthquake [J]. Acta Seismologica Sinica, 12(4): 367—378 (in Chinese).
- 卢造勋, 夏怀宽. 1993. 内蒙古东乌珠穆沁旗至辽宁东沟地学断面 [J]. 地球物理学报, 36(6): 765—772.

- LU Zao-xun, XIA Huai-kuan. 1993. Geoscience transect from East Ujimqinqi, Nei Mongol, to Dongguo, Liaoning, China [J]. Chinese Journal of Geophysics, 36(6): 765—772 (in Chinese).
- 马杏垣主编. 1989. 中国岩石圈动力学地图集 [M]. 北京: 中国地图出版社. 32—33.
- MA Xing-yuan (ed). 1989. Atlas of Chinese Lithosphere Dynamics [M]. Sinomaps Press, Beijing. 32—33 (in Chinese).
- 平田隆幸, 孙永华. 1990. 断层与分数维 [J]. 地震地质译丛, 12(1): 53—56.
- Hirata Takako, SUN Yong-hua. 1990. Faults and fractal dimension [J]. Translated Works on Seismogeology, 12(1): 53—56 (in Chinese).
- 万波. 2000. 岫岩—海城 5.6 级地震地质背景及其发震构造 [J]. 东北地震研究, 16(2): 27—32.
- WAN Bo. 2000. Seismological features and seismogenic structure of the Haicheng-Xiuyan  $M_{\text{s}}5.6$  earthquake [J]. Seismological Research of Northeast China, 16(2): 27—32 (in Chinese).
- 万波, 李宇彤, 郑双成. 2010. 1861 年普兰店东 6 级地震发震构造判定 [J]. 中国地震, 26(3): 304—313.
- WAN Bo, LI Yu-tong, ZHENG Shuang-cheng. 2010. Determination of seismogenic structure for the east of Pulandian  $M$  6.0 earthquake in 1861 [J]. Earthquake Research in China, 26(3): 304—313 (in Chinese).
- 万波, 廖旭, 翟文杰, 等. 2010. 大连市活断层探测与地震危险性评价 [M]. 大连: 大连出版社. 20—35, 64—81.
- WAN Bo, LIAO Xu, ZHAI Wen-jie, *et al.* 2010. Active Fault Survey and Seismic Hazard Evaluation for Dalian City [M]. Dalian Publishing House, Dalian. 20—35, 64—81 (in Chinese).
- 万波, 钟以章. 1997. 东北地区的新构造运动特征分析及新构造运动分区 [J]. 东北地震研究, 13(4): 64—75.
- WAN Bo, ZHONG Yi-zhang. 1997. Analysis on the features and division of neotectonic movement in Northeast China [J]. Seismological Research of Northeast China, 13(4): 64—75 (in Chinese).
- 闻学泽, 徐锡伟, 龙锋, 等. 2007. 中国大陆东部中—弱活动断层潜在地震最大震级评估的震级—频度关系模型 [J]. 地震地质, 29(2): 236—253.
- WEN Xue-ze, XU Xi-wei, LONG Feng, *et al.* 2007. Frequency-magnitude relationship models for assessment of maximum magnitudes of potential earthquakes on moderately and weakly active faults in eastern China mainland [J]. Seismology and Geology, 29(2): 236—253 (in Chinese).
- 吴戈, 等. 1994. 东北大陆历史地震研究 [M]. 成都: 地图出版社. 15—70.
- WU Ge, *et al.* 1994. Research on Historical Earthquakes in NE China [M]. Chengdu Cartographic Publishing House, Chengdu. 15—70 (in Chinese).
- 吴戈, 刘昌森, 翟文杰, 等. 1995. 黄海及其沿岸历史地震编目与研究 [M]. 北京: 地震出版社. 58—68.
- WU Ge, LIU Chang-sen, ZHAI Wen-jie, *et al.* 1995. Catalogue Research for Historical Earthquakes around the Yellow Sea [M]. Seismological Press, Beijing. 58—68 (in Chinese).
- 吴戈, 房贺岩, 李志田, 等. 1992. 东北地震史料辑览 [M]. 北京: 地震出版社. 148—155.
- WU Ge, FANG He-yan, LI Zhi-tian, *et al.* 1992. General Survey of Historical Earthquakes in Northeast China [M]. Seismological Press, Beijing. 148—155 (in Chinese).
- 夏怀宽, 许东满. 1993. 鸭绿江断裂(南段)的特征、活动性与地震 [J]. 地震研究, 16(4): 391—400.
- XIA Huai-kuan, XU Dong-man. 1993. Features of Yalujiang River Fault(south segment) activity and seismicity [J]. Journal of Seismological Research, 16(4): 391—400 (in Chinese).
- 谢新生, 王维襄. 2002. 地震共轭破裂及极限主应力随地壳深度的变化: 以 1975 年海城 7.3 级地震为例 [J]. 中国地震, 18(2): 166—174.
- XIE Xin-sheng, WANG Wei-xiang. 2002. Seismic conjugate ruptures and limiting principal stresses accompanying variation of depths in the crust: Take 1975 Haicheng earthquake with  $M$  7.3 as an example [J]. Earthquake Research in China, 18(2): 166—174 (in Chinese).

- 张裕明, 国文秀, 汪良谋. 1987. 确定辽东半岛潜在震源区的断层活动性研究 [J]. 地震地质, 9(1): 35—41.
- ZHANG Yu-ming, GUO Wen-xiu, WANG Liang-mou. 1987. Research on the fault activity for determination of the potential hypocentral area for the Liaodong peninsula [J]. Seismology and Geology, 9(1): 35—41 (in Chinese).
- 钟以章, 白云. 1999. 辽东半岛及两侧海域深部构造、活动构造与地震关系研究 [J]. 华北地震科学, 17(2): 59—65.
- ZHONG Yi-zhang, BAI Yun. 1999. Study on deep tectonics, active tectonics and their relation with earthquakes in Liaodong peninsula and its surrounding sea area [J]. North China Earthquake Sciences, 17(2): 59—65 (in Chinese).
- 钟以章, 马宗顺. 1991. 再考辽宁金州 1861 年 6.0 级地震震中位置 [A]. 见: 郭增建编. 中国历史地震研究文集. 北京: 地震出版社. 181—184.
- ZHONG Yi-zhang, MA Zong-shun. 1991. Epicenter retest for the Jinzhou  $M$  6.0 earthquake in 1861 [A]. In: GUO Zeng-jian (ed). Corpus of the Chinese Historical Earthquakes. Seismological Press, Beijing. 181—184 (in Chinese).
- 钟以章, 王立功, 朱海之. 1986. 关于 1861 年金州 6 级地震震中位置讨论 [J]. 地震地质, 8(7): 71—75.
- ZHONG Yi-zhang, WANG Li-gong, ZHU Hai-zhi. 1986. Investigation of epicenter of Jinzhou  $M = 6.0$  earthquake of 1861 [J]. Seismology and Geology, 8(4): 71—75 (in Chinese).
- 朱凤鸣. 1980. 1975 年海城地震 [M]. 北京: 地震出版社. 165—195.
- ZHU Feng-ming. 1980. The Haicheng Earthquake in 1975 [M]. Seismological Press, Beijing. 165—195 (in Chinese).
- Zhong Y, Gao C. 2000. Seismic tectonics in the northeast of China [J]. Bull Seism Asso Far East, 14(1): 70—85.



# MODERATE-STRONG EARTHQUAKES AND THEIR TECTONIC CORRELATION IN THE LIAODONG PENINSULA

WAN Bo JIA Li-hua DAI Ying-lei SUO Rui

(*Earthquake Administration of Liaoning Province, Shenyang 110031, China*)

## Abstract

Moderate-strong earthquakes happened very frequently in the Liaodong peninsula. In addition to the Haicheng  $M7.3$  earthquake in 1975, there are also 19 earthquakes of  $M \geq 5$  recorded in this area. The earthquakes are distributed regularly, mainly restricted to seismic belts or to the grid nodes. The spatial distribution is accordant to the NE – NNE trending faults such as the Jinzhou Fault, the Yalujiang Fault, and to the NW-trending conjugated ones. Moderate-strong earthquakes happened mostly near the tectonic basins where two sets of faults intersect, or close to the NW-trending tectonic belt. The NE – NNE and NW-trending faults are a pair of conjugate sheer fracture planes characterized mainly by lateral strike-slip movement under the action of the contemporary NEE-directed near-horizontal principal stress. The NE – NNE faults belong to the inheritance fault, which control the regional geological tectonic pattern and its evolution, often large in size; while the NW ones mostly belong to newly-generated fault, and their size is usually related to the size of NE – NNE faults they conjugate with. The study shows that the moderate-strong earthquakes in the Liaodong peninsula are controlled mainly by the NE – NNE structures, and the seismogenic structures are basically the NW faults. Meanwhile, correlated with the size of the NW faults, the moderate-strong earthquake activities show a trend of decreasing gradually from north to south and from west to east, and the magnitude of them decreases roughly from  $M7 \sim 7.5$  to  $M5.5 \sim 6$  or so.

**Key words** Liaodong peninsula, earthquake, Jinzhou Fault, NE – NNE-trending structure, NW-trending structure, conjugate structure

---

〔作者简介〕 万波,男,1966年生,1988年毕业于北京大学地貌学与第四纪地质学专业,1995年在辽宁师范大学获得硕士学位,副研究员,现主要研究方向为活动构造、地震地质灾害等,电话:024-86580189,E-mail: wwwanbo@126.com。