

华北东部地区的共轭地震破裂与地质构造

满开言

张四昌

(北方交通大学)

(河北省地震局)

摘 要

本文研究了华北东部地区地震与地质构造的关系。对该地区 1966—1976 年发生的 5 次强震的震源机制、地震形变带、余震活动、极震区等震线、地形变测量资料进行了综合分析,发现华北东部地区地震破裂具有在强度上不对称的共轭剪切破裂特征;地震破裂相对于地质构造具有突出的新生性。

关键词: 华北; 地震破裂; 共轭剪切破裂

本文以地震本身的构造表现作为讨论问题的基础。主要利用华北东部地区 1966 年以来的 5 次强震的震源机制解、宏观等震线、地震形变带、余震活动、形变测量等方面的资料,确定地震破裂面的几何结构和运动学特征,进而探讨在地震爆发过程中的断裂构造及其组合关系。并据此讨论地震破裂与地质构造的复杂关系,从中提出某些新的认识。

一、华北东部地区构造背景

1. 地震活动基本图象

一个地区地震构造的展布图象反映出现代构造特征和地震发生的主导机制。图 1 给出了华北东部地区 5 级以上地震的活动图象,9 条地震带包含了绝大多数地震。地震带走向为北东—北北东向和北西—北西西向,它们交汇组成共轭的展布图象,交汇处多有 7 级以上大震发生。

2. 主要的活动断裂系

华北东部地区的地震带主要由三条活动断裂系控制,即以北北东向郯庐断裂带为主干的郯庐断裂系、北东—北北东向河北平原断裂系和北西—北西西向的张家口—威海断裂系。这些断裂系在地质历史时期都经历了复杂的变动,我们主要依据它们的最新活动分析其地震地质条件。

(1) 郯庐断裂系

郯庐断裂是我国东部的一条规模巨大的断裂构造带。狭义的郯城—庐江断裂带是指北北东走向的郯庐断裂本身,广义的郯庐断裂系还包括郯庐断裂两侧一定范围内的次级分枝断裂,特别是与郯庐断裂交汇的一系列北西—北西西向活动断裂,在新构造活动时期它们具有内在联系,形成以郯庐断裂为主干的共轭构造系(图 2)。

郯庐断裂带在第四纪期间,以莱州湾为界的北段和南段均显示活动。北段主要是辽东半岛西麓的海城—金州断裂及其东侧的一组北西—北西西向断裂。从温泉、水系和小震分

图 1 华北东部地区地震带及应力场分布图

I. 郯庐地震带: I₁ 沈阳-海城-金州地震亚带; I₂ 朝阳-海城-丹东地震亚带; I₃ 渤海-潍坊-郯城地震亚带; I₄ 高青-诸城地震亚带; I₅ 长清-郯城地震亚带; II. 张家口-威海地震带; III. 河北平原地震带; IV. 山西地震带; V. 聊考地震带 1. M = 5-5.9; 2. M = 6-6.9; 3. M = 7-7.9; 4. M > 8;

Fig. 1 5. 地震带及编号; 6. M > 6 地震节面解 P 轴方位; 7. 6 > M > 3 地震节面解 P 轴方位; 8. 小震综合解
Distribution of the earthquake zone and the stress field in the eastern part of North China

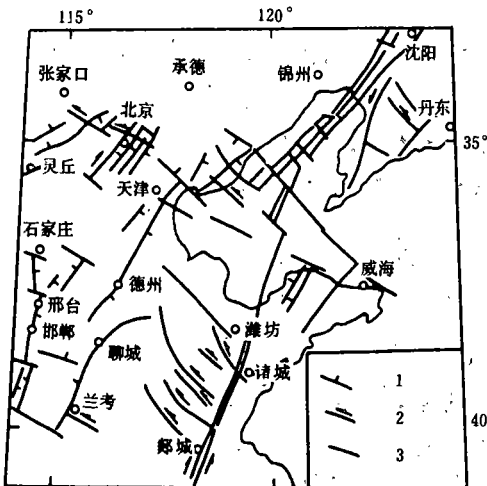
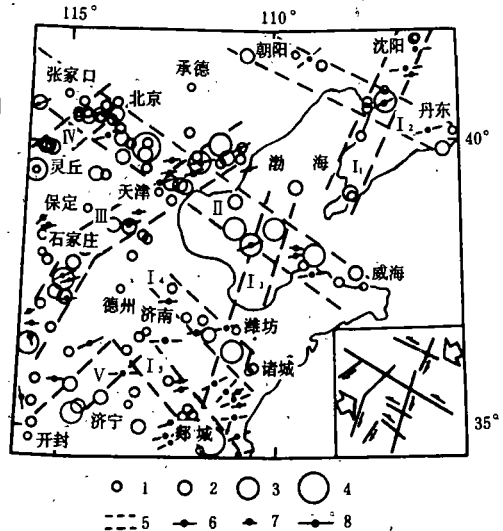


图 2 华北东部地区第四纪活动断裂分布图

1. 正断层; 2. 走滑断层; 3. 性质不明断层

Fig. 2 Distribution of the Quaternary active fault in the eastern part of North China

布反映的辽南地区活动断裂具有共轭特征^[1]。沂沭断裂带是郯庐断裂带在鲁南的组成部分, 它由 4 条断裂组成, 形成“两堑夹一垒”的构造格局。据山东省地震局等单位近年的考察结果*, 第四纪活动断裂和 1668 年郯城 8.5 级地震地表形变带均表现为东地堑的右旋压扭性活动。沂沭断裂西侧发育一系列平行的北西—北西西向活动断裂, 它们整体走向北西, 但在近沂沭断裂带处走向转为北西西向, 并与沂沭断裂交汇。北西—北西西向活动断裂第四纪时期主要显示左旋张扭性活动, 主要活动期均在晚更新世末—全新世初, 这与沂沭断裂带一致。因此, 北北东向沂沭断裂带及其西侧的北西—北西西向断裂是在同一构造应力场作用下形成的一套共轭构造系。

(2) 张家口—威海断裂系

北西—北西西向张家口—威海断裂系由北西—北西西向、北东—北北东向两组活动断裂和一系列第四纪凹陷组成。经郑炳华等研究^[2], 北西

向断裂在剖面上呈高角度延伸, 平面上断续延展并密集成带或组合成雁列式排列, 是一组具有一定规模、一定排列、一定切割深度的活动断裂构造, 它们是基底北西西向断裂构造在沉积盖层的反映。第四纪凹陷盆地既迁就北北东向断裂又受北西向断裂限制, 并且组合成雁列式排列, 与北西向活动断裂一起构成一条左旋剪切构造带。

(3) 河北平原断裂系

* 山东省地震局、国家地震局分析预报中心、地球物理研究所、地质研究所, 鲁南地区地震区划综合研究报告, 1988。

北东—北北东向的河北平原断裂系由一系列北东—北北东向活动断裂组成。此外, 还有一组与北东—北北东向断裂交汇或呈汇而不交状态的北西—北西西向活动断裂。由人工地震探测和钻孔资料揭示, 这些断裂均为第四纪活动断裂。

3. 现代构造应力场

利用地震节面解推断现代构造应力场方向, 一直是国内外应用较广的一种方法。我们统计了 1937—1976 年 8 次强震 ($M \geq 6$), 1970—1985 年 35 次中小地震 ($6 > M \geq 3$) 节面解和 1964—1984 年中不同时段的小地震综合节面解^[3-6], 先求得三种不同级别地震的节面和应力轴平均方向, 而后再求出它们的总平均方向, 这些结果列于表 1。

表 1 华北东部地区地震节面解统计

统计个数	参 类 数 型	节面 A		节面 B		P 轴		T 轴	
		走向	倾角	走向	倾角	方位	仰角	方位	仰角
8	强震 ($M \geq 6$)	NE 22.6°	78.5°	NW 68°	81°	NE 67.5°	9.3°	NW 21.9°	11°
35	中小地震 $6 > M \geq 3$	NE 30°	66.9°	NE 60.6°	70.2°	NE 67.8°	18.3°	NW 23.7°	22.4°
31	小震综 合解					NE 67.2°	23.3°	NW 16°	16.1°
67	总平均	NE 26.3°	72.7°	NW 64.3°	75.6°	NE 67.5°	17°	NW 20.5°	16.5°

表 1 的统计结果表明, 华北东部地区现代构造应力场总体特征是: 平均主压应力轴和平均主张应力轴接近水平 (俯角小于 20°), 主压应力轴为北东东向 ($N67.5^\circ E$), 主张应力轴为北北西向 ($N20.5^\circ W$), 这意味着本区的构造形变以断层的走滑型活动为主。

华北东部地区现代构造应力场和活动断裂系决定了地震活动的基本图象。活动断裂带是形成现代破裂系统的介质条件, 划分的 9 条地震带均有同向活动断裂带控制。现代构造应力场是形成现代破裂系统的动力条件, 应力主轴取向与地震构造带走向夹角约为 30° — 50° , 地震构造带走向接近于应力场的最大剪切应力方向, 北东—北北东向地震构造带为右旋剪切带; 北西—北西西向地震构造带为左旋剪切带, 本区形成一幅共轭剪切体系图象 (图 1)。

二、强震发生过程中共轭构造表现

华北东部多数震区具有北东—北北东和北西—北西西两种走向的活动断裂, 震中位于两种共轭方向活动断裂的交汇区或汇而不交区 (图 3)。

1. 现代强震破裂特征分析

1966—1976 年华北东部地区共发生 5 次 6 级以上强震。我们使用它们的震源机制解、地表形变带、余震活动、极震区等震线、地形变测量资料分析破裂特征, 从而确定在强震爆发过程中显示活动的断裂构造及其组合特征。

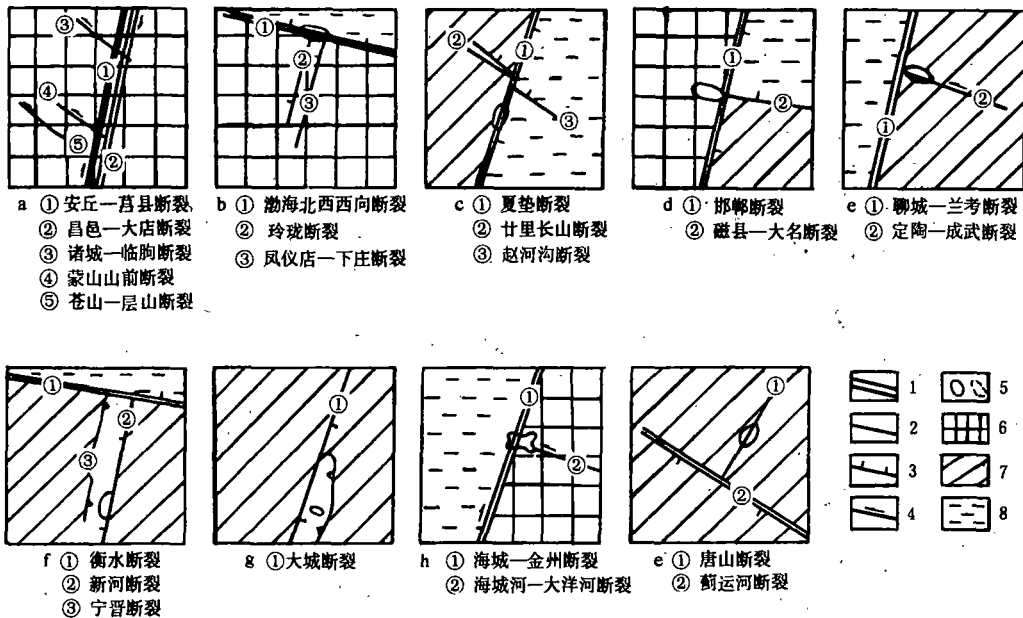


图 3 华北东部地区 10 次强震的构造背景示意图

1.大型活动断裂; 2.一般活动断裂; 3.正断层; 4.走滑断层; 5.极震区及推测极震区; 6.隆起区;
7.盆地中隐伏隆起; 8.沉降盆地; 9.断陷盆地边界; a.公元前 170 年诸城-昌乐 7 级地震和 1668 年
郯城 8.5 级地震; b.1548 年蓬莱 7 级地震; c.1679 年三河、平谷 8 级地震; d.1830 年磁县 7.5 级
地震; e.1937 年菏泽 7 级地震; f.1966 年邢台 7.2 级地震; g.1967 年河间 6.3 级地震; h.1975 年
海城 7.3 级地震; i.1976 年唐山 7.8 级地震

Fig.3 Sketch map of the tectonic back ground of 10 strong earthquakes in the eastern part of North China

(1) 1966 年邢台 7.2 级地震

根据魏光兴、李钦祖、何志桐等人研究^[4, 7, 8, 9], 得出邢台地震序列破裂面为北东向的右旋走滑断层和北西向的左旋走滑断层, 构成一对共轭断层活动图象。

(2) 1976 年河间 6.3 级地震

从主震节面解、极震区等震线和余震活动资料^[3, 10]分析, 得到河间 6.3 级地震的主破裂面为北西西向左旋扭动为主的断层和北北东向以右旋为主的断层, 也显示出共轭破裂特征。

(3) 1969 年渤海 7.4 级地震

1969 年渤海 7.4 级地震节面解的两个节面走向分别为北 20° 东和北 68° 西^[3], 与此相应, 在北 40° 东左右和北西方向有两条余震条带, 也同样显示出共轭破裂特征。

(4) 1975 年海城 7.3 级地震

1975 年海城地震是以北西西向为主的共轭破裂。多种资料^[3, 11, 12]表明, 它有一对共轭方向的余震带, 其总体呈北西向和北东向。

(5) 1976 年唐山 7.8 级地震

唐山地震节面解的两个节面走向分别为北 30° 东和北 60° 西^[3]。极震区内出现了长8公里的地表形变带, 总体走向北北东, 显示右旋扭动性质。地震断层面总体走向北东, 长110公里, 以右旋为主略带张性^[13]。在北西西向节面方向上, 也有显著活动。

2. 历史大地震破裂特征的推断

历史地震破裂特征依据历史记载和现今进行考察得到的某些宏观现象(如烈度分布和地表形变带)进行推断。此外, 由于大地震具有“长期活动”特征^[14], 我们利用仪器记录的现今中小地震活动图象与大地震破裂面的相关性来反推历史大震的破裂特征。

(1) 1668年郯城8.5级地震

根据历史记载和现今考察勾划出来的1668年郯城8.5级地震极震区为北北东向。大震时沿沂沭断裂带东地堑发育长120公里的地表形变带, 这是一条右旋走滑为主的破裂带。地表形变带南北两端的北西向断层也表现出一定的活动, 两者的运动学和力学性质相互配套。据方仲景等考察结果^[15], 沿北西方向有一条裂缝带, 是与昌邑—大店断裂相交的北西向隐伏断裂活动的地表显示。总之, 1668年郯城8.5级地震也显示出一定的共轭破裂特征。

(2) 1679年三河、平谷8级地震

1679年三河、平谷8级地震震中位于夏垫、潘各庄一带, 沿夏垫断裂发育有10余公里的形变带, 它由若干北东—北北东走向的断层陡坎、坡折带和断陷槽地左列组成, 构成一条右旋张扭性破裂带^[16]。沿夏垫断层发育有两条共轭地震条带, 北西向地震条带是张家口—威海现今小地震密集带的组成部分, 北东向地震条带反映的三河、平谷8级地震破裂面是北西西向张家口—威海活动断裂带中的北东向右旋张扭性破裂。

(3) 1830年磁县7.5级地震

磁县地震震中位于磁县西, 极震区呈北西西向。由磁县向西经过极震区到涉县, 现今小地震密集成北西西向条带, 它与极震区走向一致, 进一步证明磁县地震主破裂面为北西西向。围绕邯郸地区有北北东向地震条带发育, 这是河北平原小地震带的组成部分。实际上磁县地震和河间地震一样, 都是北东—北北东向河北平原地震构造带控制的北西西向分支破裂。

三、地震破裂与地质构造的关系

我们确定了地震爆发过程中地震破裂面的几何结构和运动学特征, 其中震源机制和余震活动揭示的是地壳深处断裂活动状况; 地表形变带和地形变测量揭示的是地表断裂活动状况。地表破裂是现代构造应力场驱动下的现代构造变动, 它们与长期复杂地壳运动中形成的地质构造的关系比较复杂, 存在着不同的对应关系。

1. 继承性地震破裂。此类地震破裂是地质构造带新构造活动的继续, 地震破裂沿着地质构造进行, 两者在几何结构和运动学方面基本一致, 地震主破裂面与强烈活动的大型断裂带符合, 几乎所有反映破裂的地震现象均与地质构造为正常对应。沂沭断裂系上的地震活动属于此类, 北北东向沂沭断裂带及其两侧北西—北西西向断裂的第四纪活动性质、现代构造应力场、历史强震空间分布特征、现今中小地震活动特征全部一致。带内两次7级以上大震主破裂面与沂沭断裂符合, 而且都发生在两组断裂的交汇处。1668年郯城8.5

级大震的极震区与沂沭断裂带一致, 并且夹在北西—北西向蒙山山前断裂和苍山—尼山断裂之间, 可以认为郯城大震发生在共轭活动构造的交汇区 (图 3a)。该震也有一对共轭的地表形变带, 其错动性质也与地质构造一致。

2. 新生性地震破裂。地震的主要破裂面是现代构造应力场作用下新生的破裂, 它们可以是地质构造新的发展, 也可以完全是新产生的破裂, 在震区沿主破裂方向不存在已有的相应规模的断裂, 能反映破裂的地震现象与地质构造多为非正常对应。1830 年磁县 7.5 级地震、1967 年河间 6.3 级地震、1975 年海城 7.3 级地震的破裂现象都属此类。这三次地震的主破裂面均为北西西向左旋断层面, 实际上至少在极震区范围内并不存在相应规模的活动断层。相反, 在主破裂面共轭方向上, 却都有较大规模的活动断裂存在, 而在主震爆发过程中只有较弱的活动显示。1830 年磁县 7.5 级地震发生在太行山隆起区与华北平原拗陷区交界线西侧隆起区的边缘, 分割隆起与拗陷的北北东向邯郸断裂在极震区东端通过 (图 3d)。北西西向磁县—大名断裂东起朝城以南, 西至临漳附近。这条断裂并未西延穿过震区, 而与邯郸断裂呈汇而不交的状态。表明磁县大震北西西向破裂面是磁县—大名断裂新的发展, 具有鲜明的新生性。1975 年海城 7.3 级地震的构造背景与磁县地震相似, 它发生在下辽河拗陷与辽东隆起分界线东侧的隆起区边缘, 两个构造单元之间的海城—金州断裂从极震区的西部通过 (图 3h)。北西西向的海城河—大洋河断裂是与海城—金州断裂呈汇而不交的活动断裂, 它未能西延至极震区。然而极震区内的一系列北西西向破裂现象以及自岫岩经极震区直至朝阳地区的北西西向余震带及长达 250 公里的地裂缝带*, 反映出海城地震主破裂面的延展情况, 说明它是海城河—大洋河断裂的新发展, 具有新生性。1967 年河间 6.3 级地震发生在沧县隆起上, 由北北东向大城断裂控制的里坦断陷内 (图 3g)。而根据极震区等震线和余震活动确定的主破裂面是北西西向的左旋扭动断层, 这与北北东向的里坦断陷并不一致, 说明河间 6.3 级地震主破裂面的新生性。北北东向大广安—西城小震带的出现, 说明大城断裂作为主破裂面的共轭构造也参加了主震的孕育与爆发过程。

3. 准继承性地震破裂。这类地震主破裂面沿着某些活动构造发生, 反映地震破裂的地震现象在平面上与地质构造符合, 表现出继承性的一面。而当分析破裂面的错动性质和应力场时, 地震破裂与地质构造间又是不协调的, 地震破裂又有新生性的一面。在华北平原拗陷区内多发生此类地震破裂。在华北平原断陷区迭加的地震剪切破裂带, 就是地震破裂新生性的体现。1966 年邢台 7.2 级地震是准继承性地震破裂的实例, 该震序列发生在新河及其控制的束鹿断陷内 (图 3f)。与地震破裂相关的极震区等震线、序列震中分布及形变测量确定的地震断层面与新河断裂及其控制的束鹿断陷基本符合, 反映出地震破裂继承性的一面。然而北北东向地震主破裂面的右旋扭动性质以及余震活动表现出来的共轭破裂特征, 对照新河铲形正断层性质及束鹿断陷盆地形态, 邢台地震破裂又具有新生性的一面。

* 辽宁地震二队, 海城 7.3 级地震地质背景与基本烈度评定, 1975.

四、主要地震构造带特征

1. 郯庐地震构造带。在构造上是北北东向郯庐断裂带和某些规模较大的北西—北西西向断裂组成的共轭构造系, 历史强震与现今中小地震都相应地形成共轭带状图象, 共轭构造是7级以上大震发生的重要条件, 带内7级以上大震都发生在共轭带的交汇处, 郯庐断裂既是发震构造又是控震构造。

2. 张家口—威海地震构造带。该带的构造特征是在长700多公里, 宽80公里的地带内部发育的北西—北西西向和北东—北北东向的先存共轭方向的构造系统。带内地震活动的特点是震中沿北西西向连延成带, 而以北东—北北东向破裂为主(如1679年三河、平谷8级地震、1969年渤海7.4级地震、1976年唐山7.8级地震等)。北西—北西西向断裂带是控制该带走向的控震构造; 北东—北北东向断裂是主要的发震构造。

3. 河北平原地震构造带。由数条北东—北北东向活动断裂连延而成, 表现为强震连延带和中小地震密集带。带内地震有顺向的北东—北北东向的右旋剪切破裂, 也有北西西向的左旋剪切破裂, 前者如1966年邢台7.2级地震, 后者如1830年磁县7.5级地震和1967年河间6.3级地震。北东—北北东向构造带既是发震构造又是控震构造。

五、主要结论

以强震发生过程中的构造表现为出发点, 分析地震与地质构造的关系, 得到如下几点认识:

1. 华北东部地区地震活动集成北东—北北东和北西—北西西向共轭带状分布图象, 它们受控于某些活动构造带和现代水平构造应力场。各地震构造带均位于(或接近于)水平应力场的最大剪切应力方向, 形成一幅共轭剪切活动背景。

2. 多数大震位于两组共轭方向断裂的交汇或汇而不交的部位。地震破裂多表现为在表现强度上不对称的共轭剪切破裂特征, 表明现代构造应力场中的共轭断裂活动是大地震孕育的重要条件。

3. 地震破裂相对地质构造的新生性是本区的突出特征, 主要表现在: 主破裂面是新产生的断层面或是地质断裂的新延展; 地震破裂与地质构造的不正常对应; 地震剪切破裂迭加在张性正断层上及其控制的断陷盆地内。

(本文1993年4月16日收到)

参考文献

- [1] 钟以章等, 辽南地区共轭性活动构造与地震关系的初步研究, 中国活动断裂, 地震出版社, 1982.
- [2] 郑炳华等, 燕山地区北西向和北西西向断裂构造基本特征初步探讨, 地震地质, Vol.3, No.2, 1981.
- [3] 李钦祖, 华北地壳应力场的基本特征, 地球物理学报, Vol.23, No.4, 1980.
- [4] 魏光兴等, 华北地区中小地震应力场的优势方向, 地球物理学报, Vol.25, No.4, 1982.
- [5] 靳雅敏、于新昌, 华北地区小震综合断层面解的动态变化, 地震地质, Vol.9, No.4, 1987.

- [6]周翠英、魏光兴, 沂沭断裂带现代构造应力场与地震活动, 华北地震科学, Vol.5, No.2, 1987.
- [7]国家地震局地震测量队, 1966年邢台地震的地形变, 地球物理学报, Vol.18, No.3, 1975.
- [8]李钦祖等, 由单台小地震资料所得两个区域的应力场, 地球物理学报, Vol.16, No.1, 1973.
- [9]何志桐、谢挺, 邢台地震系列的空间分布、构造应力场及其发生过程的探讨, 地球物理学报, Vol.20, No.2, 1977.
- [10]顾功叙等, 中国地震目录, 科学出版社, 1983.
- [11]国家地震局地震测量队, 海城7.3级地震的地形变, 地球物理学报, Vol.20, No.4, 1977.
- [12]朱凤鸣等, 一九七五年海城地震, 地震出版社, 1982.
- [13]《一九七六年唐山地震》编辑组, 一九七六年唐山地震, 地震出版社, 1982.
- [14]王泽皋, 大地震的“长期活动”, 地震学报, Vol.7, No.2, 1985.
- [15]国家地震局地质研究所, 郯庐断裂, 地震出版社, 1987.
- [16]向宏发等, 三河—平谷8级地震的构造背景与大震重复性研究, 地震地质, Vol.10, No.1, 1988.

CONJUGATE EARTHQUAKE FRACTURE AND TECTONICS IN THE EASTERN PART OF NORTH CHINA

Man Kaiyan

(Northern Jiaotong University, Beijing, China)

Zhang Sichang

(Seismological Bureau of Hebei Province, Shijiazhuang, China)

Abstract

The relation between earthquake and tectonics in the eastern part of North China was examined. The starting point of examination is to analyze the tectonic appearances in occurrence processes of the strong earthquakes. By the data of focal mechanisms, surface deformations, aftershocks, isoseismals and geodetic measurements for 5 strong earthquakes occurred in 1966–1976, it was found that the earthquake fractures appear as conjugate shear fractures with asymmetric amount. There is a predominant new-bornness in the relation of earthquake fracture to tectonics.

Key Words: Conjugate Shear Fracture; North China; Earthquake Fracture