

# 唐山断裂北段地震分布特征及其构造意义<sup>\*</sup>

张素欣, 边庆凯, 张子广, 王晓山, 曹 筠, 李永庆

(河北省地震局, 河北 石家庄 050021)

**摘要:** 自1976年唐山7.8级地震后40多年的余震时空图像演化显示, 老震区余震的空间分布呈现出不均匀特征, 尤其是1996年以来, 老震区震中附近几乎没有4级以上地震发生, 而在主震发震断裂(唐山断裂)北段赵各庄至榛子镇沿线形成了一个新的NW向4级以上地震密集区, 2012年5.2级、2010年4.8级地震就发生在该区域。针对1996年前、后唐山地震余震空间分布图像对比所呈现的特点, 通过对余震空间分布、前人研究成果、断裂带应力状态以及现场考察等的研究, 综合分析唐山断裂北段地震分布特征及其构造意义, 认为赵各庄到榛子镇的旧断裂存在新活动特征, 未来中等强度以上地震危险区可能是古冶及其邻区。

**关键词:** 唐山断裂北段; 时空演化; 构造展布; 应力状态; 构造意义

中图分类号: P315.72

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2020)02-0270-08

## 0 引言

唐山地区构造环境复杂, 不仅宏观上有太行山隆起、燕山隆起和冀鲁断块拗陷; 微观上也存在复杂的、多种形态的NE, NEE和NW向构造与断层, 诸如不对称形态的开平向斜、丰南拉张断层; 还分布有一条晚第三纪开始发育的、新生的地震构造带, 即唐山—河间—磁县地震带, 1976年唐山7.8级地震、1966年邢台7.2级地震就和该新生断裂活动有关(徐杰等, 1996)。自1976年7月28日发生唐山7.8级地震以来的40多年中, 其余震序列的强度趋于减弱, 频度趋于降低, 但强度衰减较慢且存在较大起伏, 4级以上余震的平面分布图像随时间的演化具有明显的差异特征(唐山主震及强震震级为 $M$ , 其它为 $M_L$ ), 尤其是1996年以来, 唐山7.8级地震震中附近几乎没有发生过4级以上地震, 4级以上地震多发并集中在唐山断裂北段, 呈NW向展布。

1976年唐山7.8级地震后, 有关该地震的发震构造、应力场的研究已有很多成果。张之立等(1980)指出, 由P波初动符号求得的释放应力主压应力轴为NE75°, 这和我东北、华北地区一些较大的浅源地震相类似, 表明我国东北和华北地区处于统一应力场, 地震的孕育和发生是与这个

应力场密切相关的。许多学者认为, 孕育唐山地震的主体构造是开平向斜(李绍柄, 1986), 至少可以认为开平向斜是与地震关系最为密切的构造实体, 并提出发震断层是开平向斜倒转翼不断遭受剪和压的顺势发展的结果(桂昆长, 耿士昌, 1987)。唐山地区局部区域水平力产生的压缩与引张, 不仅与区域水平应力场有关, 而且与深部熔融物质上涌产生的垂直力有关, 浅层构造是深层构造的反映。余震在平面上的分布不仅与断层的走向密切相关, 而且在深度上可能与断层的深部几何展布有关, 因此, 研究余震的几何分布及其与构造的关系, 对未来地震危险地点估计具有重要意义。本文将对唐山地震老震区余震时空分布特征、前人相关研究成果、主要断裂带应力状态以及现场考察等进行研究, 综合分析唐山断裂北段地震分布特征及其构造意义。

## 1 地震构造背景

### 1.1 构造背景与条件

地震的发生是有其区域构造背景和震区构造条件的, 深入研究这些问题对认识地震的形成、孕育和发生及其序列特征, 甚至对预测未来地震危险性是十分有意义的。唐山地区位于EW向阴山

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2019-09-03.

基金项目: 河北地震科技星火计划重点项目(DZ20190424079)资助.

—燕山南缘活动构造带与 NNE 向冀鲁断块拗陷交汇处,是 EW 向与 NE 向重力高值带的相交部位。阴山—燕山断褶带由一系列 EW 向大断裂带及岩浆岩带组成,地壳厚度西段为 40~45 km、东段为 34~40 km,结晶基底为变质的太古代桑干杂岩,褶皱强烈,硬化程度高。唐山吕家坨煤矿在地下 650 m 处存在侵入岩(刘义生,赵少磊,2015),在乐亭—曹妃甸沿线分布的一些相对较浅埋深的高温地热井应该与地下熔融物质上涌有关(现场考察)。盖层由古生代、中生代的海、陆相沉积物组成,其中震旦系地层最发育,最大厚度达万余米<sup>①</sup>。

该区域构造格局复杂,早期由于受到南北向的挤压,多形成 EW 向的断裂和褶皱,之后由于中新世代的构造运动形成了较新的 NE, NNE 和 NW 向的断裂带。新生代时期断裂活动增强,形成了次一级的活动块体,如蓟县隆起、唐山断陷、山海关隆起等。新生代以来阴山和燕山山脉长期处于上升隆起,冀鲁断块长期处于下降拗陷,内部构造复杂,最少存在 3 个方向的构造,其中以 NE 向断裂为主,在这组断裂控制下形成次一级的 NE 向隆起和断陷,如冀中拗陷、沧县隆起、黄骅拗陷(东北部为乐亭拗陷)、埕宁隆起等。新生代以来断块拗陷最大沉降幅度达 8 000 m(黄骅歧口地区),隆起带顶部的新生界减薄至 200~300 m。此外,还有断断续续成带出现的 NW 向构造带,如海河、孙河—南口断裂带,具有明显的新活动。EW 向构造形成时期较早,往往被其它方向构造所切割,新活动较弱。

从地质演变尺度分析,唐山 7.8 级地震后的区域动力过程仍延续地震前的作用机制,所以在持续的区域应力场作用下,唐山的中等地震也反映出准周期的活动特征,如 1996 年以来唐山老震区(唐山、滦县和宁河强震震中周围)发生的 4 级左右的显著地震有:1996 年 3.9 级、1998 年 4.4 级、2000 年 4.4 级、2010 年 4.8 级、2012 年 5.2 级、2016 年 4.6 级、2018 年 3.9 级地震。

## 1.2 局部构造环境

唐山地区位于阴山—燕山断褶带和冀鲁断块拗陷之间的菱形块陷,被深大断裂所包围,块体

中央有一条 NE 向唐山断裂带(图 1)。块体的南界是宁河—昌黎深断裂,北界是丰台—野鸡坨大断裂,二者走向均是 NEE 向;东界是滦县—乐亭大断裂,西界是蓟运河深断裂,二者走向均呈 NW 向。这些断裂有的是前古生代时期形成的(如宁河—昌黎深断裂),有的是古生代时期形成的,中、新生代时期普遍活动强烈(魏顺民,1977)。晚第三纪开始,发育一条新生的地震构造带,即唐山—河间—磁县地震带(徐杰等,1996)。

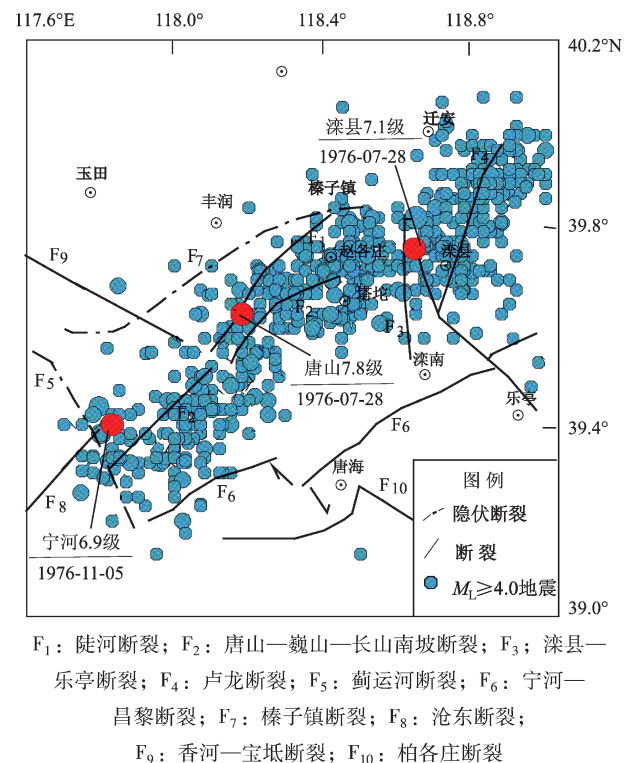


图 1 唐山地震余震分布  
Fig. 1 Distribution of aftershocks of the Tangshan earthquake

阴山—燕山断褶带的重力场特征为(本文只介绍高梯度带):在平泉—秦皇岛以北重力异常带以 NNE 向为主,其以南是一个通过宝坻、唐山、滦县的 EW 向重力高值带,唐山地震就发生在这个块体内部重力高的东南侧 NE 向唐山断裂带上(国家地震局《一九七六年唐山地震》编辑组,1982),该断裂带为倾向 NW 的右旋走滑断层(尤惠川等,2002),唐山主震即是沿 N30°E 的破裂面破裂(张之立等,1980)。

① 中国科学院地质研究所. 1959. 中国大地构造纲要.

唐山老震区的主要地震构造为唐山断裂带、滦县—乐亭断裂,参与活动的有蓟运河断裂和卢龙断裂(张四昌,刁桂苓,1992)。唐山断裂带由陡河断裂、巍山—长山南坡断裂和唐山—古冶断裂组成,走向 NE—NNE。横切震区的人工地震测深资料显示,地壳基底存在一条与浅层唐山断裂带相对应的断裂,该断裂在唐山—宁河一带呈 NE 向展布,与蓟运河断裂相交,是一条断距为 2~3 km 的正断层(国家地震局《一九七六年唐山地震》编辑组,1982)。由唐山地震的地表破裂带,以及主震后在矿井下观测到唐山断裂带随着余震活动发生右旋错动的现象,表明深浅构造的密切关系。滦县—乐亭断裂是一条弧形断裂带,由北而南走向为 NNW—NW,龙河往南经卢龙至滦县以南,被卢龙断裂所切。卢龙断裂走向为 NNE,倾向 NW,倾角  $63^{\circ} \sim 75^{\circ}$ ,地质历史时期主要表现为逆冲断层,沿断裂有多处温泉分布,是一条第四纪活动断裂。

## 2 余震序列特征

### 2.1 时间分布特征

唐山地震余震序列是一个由多条断裂参加并逐次活动的复杂构造过程,先后显示活动的断裂及其错动性质为:唐山断裂带右旋剪切、蓟运河断裂左旋剪切、滦县—乐亭断裂右旋或左旋(分段差异)剪切、卢龙断裂右旋剪切, NW 向蓟运河断裂与唐

山断裂带构成一对共轭剪切构造。沿主震破裂很快触发了相邻断裂段上的 3 次强震(图 1):主震后 3.5 h 在蓟运河断裂上发生了天津宁河 6.2 级地震;主震后约 15 h,滦县—乐亭断裂上发生了滦县 7.1 级地震;1976 年 11 月 15 日,即主震后大约 3.5 个月,在主震破裂的 SW 向延伸断裂部位发生了天津宁河 6.9 级地震,它们与主震破裂共同构成了一次复杂的板内地震破裂序列(Robinson, Zhou, 2005)。

图 1 为 1976 年 7 月 28 日—1977 年 12 月 31 日 4 级以上的地震分布图,地震的空间分布范围基本厘定了余震的范围。由图可见,大量余震发生在主破裂面附近,主要集中在主破裂端部,在端部形成与主破裂面偏离  $80^{\circ}$  左右的 2 个扩展分支,即蓟运河断裂和滦县—乐亭断裂附近(刘蒲雄,吕晓健,2011)。40 多年以来,唐山 7.8 级地震的余震序列衰减基本正常,强度趋于减弱,频度趋于减小,但地震强度衰减较慢且存在起伏。1991 年以来强度起伏较大:老震区在 5 级地震平静 5 年半的背景下,在 1991 年 5 月 29 和 30 日分别发生了 5.2 级和 5.6 级地震;之后又平静了 4 年多,于 1995 年 10 月 6 日发生了 5.4 级地震;在唐山 7.8 级地震发生 36 年后,于 2012 年 5 月 25 日发生了 5.2 级地震(图 2a),余震发震时间间隔随时间的演化不断加大(图 2b)。强度衰减较慢的现象在板缘地震中几乎是不存在的,在板内地震也是很少见的,这种现象可能具有一定的构造意义。

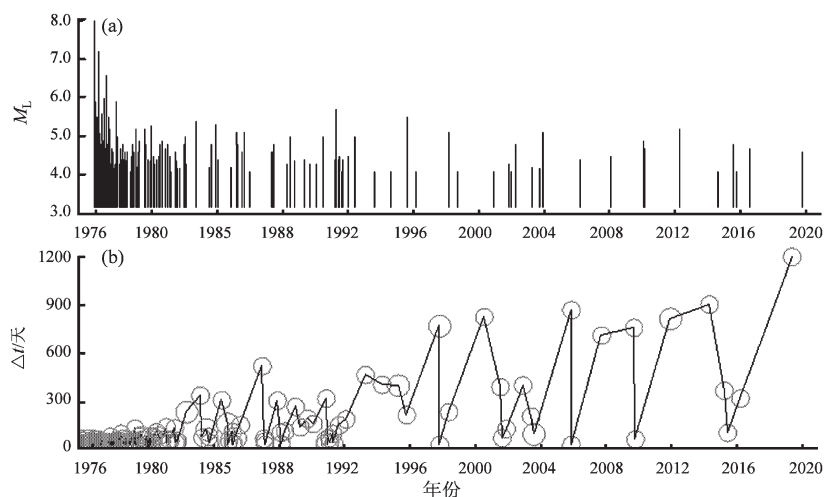


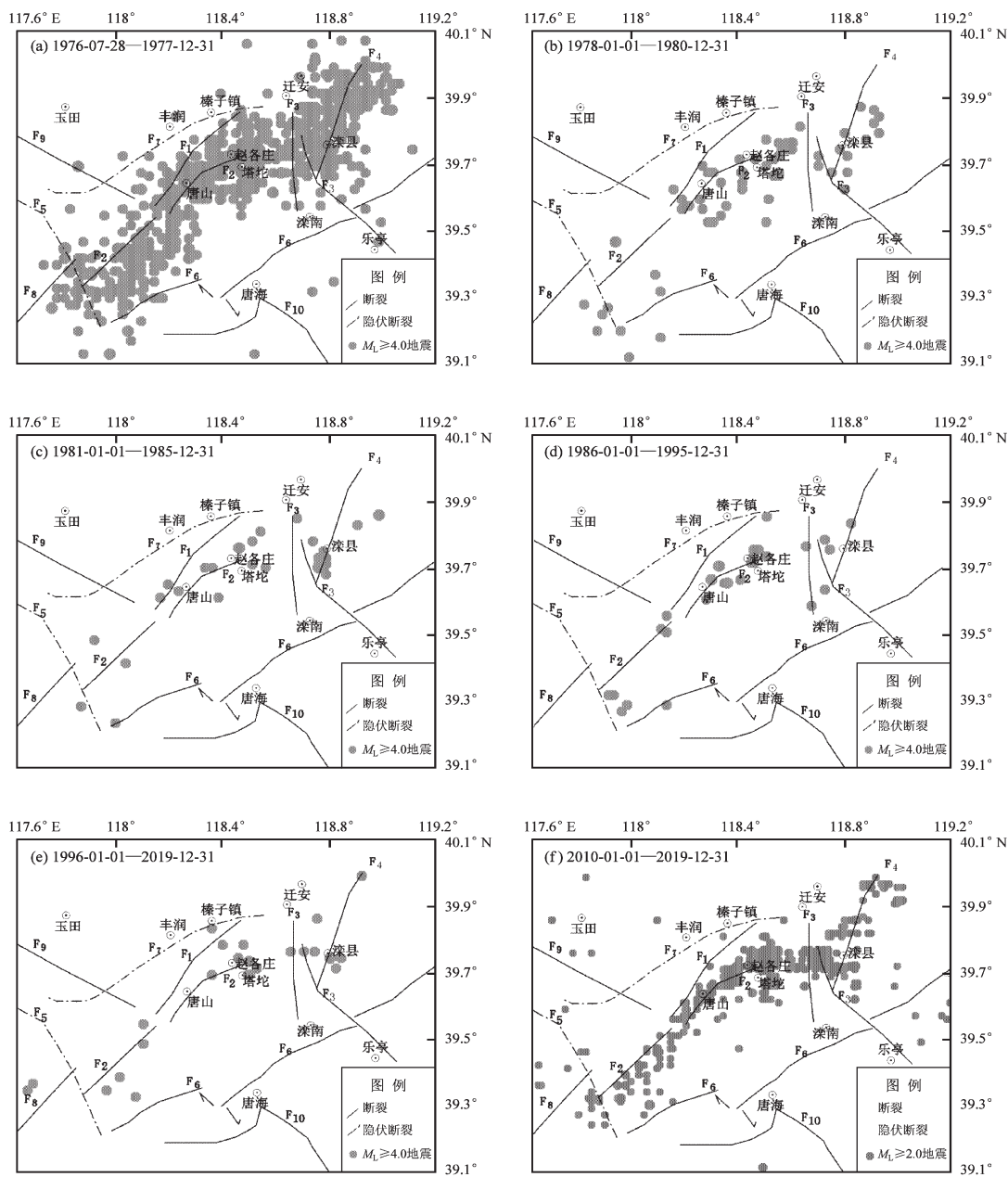
图 2 唐山老震区  $M_L \geq 4.0$  余震时序图 (a) 和发震时间间隔图 (b)  
(主震后 5 个月小震目录存在缺失)

Fig. 2 Sequence of  $M_L \geq 4$  aftershocks (a) and  $\Delta t - T$  (b) map of the Tangshan earthquake region  
(the catalogue of small earthquakes is unavailable five months after the main earthquake)

## 2.2 空间分布特征

主震发生后至1977年12月31日的早期图像(图3a)表明,余震几乎覆盖了菱形块体内的断裂。1978—1980年的余震活动主要分布在唐山7.8级、滦县7.1级和宁河6.9级地震3个不同震源区的较小范围内,频度明显降低(图3b)。1981—1985年的5年小震图像与其之前的3年图像相比,地震活动明显减弱,频度降低,

但空间分布仍位于3个主要地震震源区附近,东区活动明显高于西区(图3c),这种格局持续到1995年底,历时约15年(图3d)。1996年以来的余震图像与之前的比较,发生了明显的空间变化,地震活动虽然衰减明显,但空间上主要集中在老震区东部的2个区域,一个是滦县7.1级震中附近,另一个位于唐山7.8级地震发震断裂的EN段,且呈现NW向排列(图3e)。



F<sub>1</sub>: 陡河断裂; F<sub>2</sub>: 唐山—巍山—长山南坡断裂; F<sub>3</sub>: 滦县—乐亭断裂; F<sub>4</sub>: 卢龙断裂; F<sub>5</sub>: 蓟运河断裂;  
F<sub>6</sub>: 宁河—昌黎断裂; F<sub>7</sub>: 榛子镇断裂; F<sub>8</sub>: 沧东断裂; F<sub>9</sub>: 香河—宝坻断裂; F<sub>10</sub>: 柏各庄断裂

图3 唐山7.8级地震后震区地震活动时空演化图像

Fig. 3 Temporal and spatial evolution of seismicity in Tangshan M7.8 earthquake region



2012 年 5 月 28 日 5.2 级地震就发生在该区域,与序列强度衰减趋势相比,震级明显偏高,是在 5 级地震平静 17 年后发生的。中等地震的有序分布,以及 2012 年的 5.2 级、2010 年的 4.8 级地震都发生在这个区域,分析认为该局部区域应力状态较高,构造活动较强。查阅资料得知,4.0 级以上地震分布区域存在一条 NW 向赵各庄到榛子镇的老断裂。2010 年以来,唐山老震区 2.0 级以上地震 (3f),仍然分布在 1976 年唐山 7.8 级、滦县 7.1 级和宁河 6.9 级地震的发震断层附近,自 1996 年以来 4.0 级以上地震 NW 向条状分布区域附近较其他地方更为密集 (图 3d),特别是在赵各庄及其南部区域较为密集。

### 3 余震序列时空演化特征的构造意义

#### 3.1 唐山主震及其强余震的构造应力背景

从地震构造角度分析,唐山地震位于华北东部 NW—NWW 向张家口—蓬莱地震构造带和 NE—NNE 向华北平原地震构造带的交汇部位,它们都表现为活动断裂带、上地壳深断裂带、强地震连延带和中小地震密集带,在现代地壳应力场作用下,构成一对共轭剪切带。根据地表破裂带的位移特征,将唐山地震地表破裂带分为南北 2 段,其南段以东升西降的倾滑活动为主,兼有右旋走滑活动;其北段以右旋走滑为主,兼有西升东降的垂直位移 (郭慧等, 2011a, b)。

分析 1976 年唐山地震序列的 4 次主要地震的震源机制解可知,主震及 2 次发生在宁河附近的强震是在近 EW 向近水平挤压作用下以走滑断层作用为主的破裂结果。滦县 7.1 级地震震源机制解的节面之一与滦县—乐亭断裂北段的实际展布和错动方式一致,反映出该地震是在 NE—SW 向近水平拉张作用下以近 SN 向左旋正断层作用为主的断层错动结果 (国家地震局《一九七六年唐山地震》编辑组, 1982)。Shedlock 等 (1987) 也指出滦县 7.1 级地震的震源机制解表现出明显的正断层作用,该地震破裂作用力导致唐山断裂带表现出分段变形特征的形式。另外,刘桂萍和傅征样 (2000) 的数值计算结果表明:发生 7.1 级地震的滦县断裂段也是唐山主震破裂引起 Coulomb 破坏应力值增加最多的部位。因此可以做出推论:唐山

7.8 级主震破裂发生时沿 NE 向唐山断裂产生较大幅度的右旋同震运动 (陈运泰等, 1979; Huang, Yeh, 1997),由于唐山断裂倾向 NW,对于主震破裂 NE 端部外侧近于正交的滦县—乐亭断裂北段来说,应主要受到唐山断裂 SE 盘突然朝 SW 方向的同震运动而产生的 NE—SW 向近水平拉张作用。这种突发的强烈拉张作用使得滦县—乐亭断裂北段在短时间内发生左旋正断错动,继而造成高强度的 7.1 级地震。这种机理解释符合“动态触发型”断层相互作用理论 (马瑾等, 2002)。马瑾等 (2002) 基于实验岩石力学研究认为交叉断层系统中一条断层失稳会动态地为另一条正交的断层加载,使后者的剪应力瞬时增加并超过其强度,从而发生失稳。与唐山断裂带交叉的具有共轭性质的赵各庄—榛子镇断裂应力强度的增强 (小震活动),应该是由交叉断层系统中一条断层失稳 (唐山断裂带失稳) 造成的。

将赵各庄—榛子镇沿线附近的 3 次地震与 1976 年 3 次强震的震源机制解列于表 1。单独分析 1991 年的 5.1 级和 5.3 级地震,可以认为其发生在唐山—古冶断裂扩展破裂面上,其 2 个节面走向分别为 NE 和 NW, P 轴和 T 轴分别为近 EW 和近 SN 向,与唐山主震的 2 个节面类似,但 2 个节面和 P, T 轴的取向都位于唐山主震相应节面和主应力轴的右方,考虑到多年来特别是 1996 年以来 4 级以上地震在 NW 向的有序分布,不排除有局部应力场改变的可能。2012 年的 5.2 级地震 P, T 轴的取向也位于唐山主震主应力轴的右侧。

#### 3.2 余震演化构造意义

区域应力状态以及作用于唐山菱形块体中各断裂的方式,在 1996 年以来与 1976 年唐山 7.8 级地震前应该是基本相同的,与大震发生后短期内的应力状态不同。图 3a, b 显示,余震大体分布在唐山 7.8 级、滦县 7.1 级和宁河 6.9 级地震 3 个不同震源区的较小范围内,这属于大震发生后短期内的应力状态调整,是因为主破裂发展到这 2 个区域后,被滦县—乐亭大断裂及蓟运河大断裂所阻挡,主破裂面周围及其两端是应力集中部位,尤其是两端扩展分支的地方更为明显,所以大量余震都发生在这 3 个区域。图 3c ~ e 的余震虽然仍分布在余震区范围内,但图 3e 显示的余震明显集中在唐山断裂东段的局部区域。1996 年以来,

表1 唐山地震序列中几次显著地震的震源机制解

Tab. 1 Focal mechanism solutions of several significant earthquakes in the Tangshan earthquake sequence

发震日期	震中位置			节面 I			节面 II			P 轴		T 轴		N 轴		资料来源
	$\lambda$ ✓	$\varphi$ ✓	震级	走向/	倾向/	倾角/	走向/	倾向/	倾角/	方位/	仰角/	方位/	仰角/	方位/	仰角/	
	(°)	(°)		(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	
1976-07-28	118.2	39.5	7.8	30	-	90	300	-	90	75	0	345	0	210	90	张诚等, 1990
1976-07-28	118.5	39.70	7.1	26	116	61	280	10	64	242	40	334	2	66	50	张之立等, 1980
1976-11-15	117.7	39.40	6.9	330	60	60	60	330	90	289	21	191	21	60	60	
1991-05-29	118.4	39.73	5.1	47.2	73	NW	311	NE	72	269	0.7	359	25	177	65	张四昌, 刁桂苓, 1992
1991-05-30	118.4	39.73	5.3	48.6	85	SE	140	NE	71	93	17	186	10	306	70	
2012-05-28	118.5	39.78	5.2	245	87	178	335	88	3	110	1	200	3	6	87	本文计算

7.8 级主震震中附近区域基本没有 4 级以上地震，这说明余震分布已基本不受主震破裂引起的应力状态所制约。图 3e 显示，在唐山断裂东北段 NW 向中等地震的密集分布与 NW 向赵各庄到榛子镇的断裂吻合，该断裂曾通过卫星影像解译（何玉林，强祖基，1990）。这些现象说明 1996 年以来的 NW 向中等地震分布特征是在区域应力场持续作用下唐山断裂带持续的右旋活动，而由于唐山断裂 7.8 级地震震中附近发生了主震和多次余震，地下介质较为破碎，不易积累大的应力，且破碎会发生蠕滑消耗能量，所以断层活动的作用力向 NE 方向传递。对于与唐山断裂交叉的赵各庄—榛子镇断裂来说，受到唐山断裂 SE 盘持续向 SW 向的运动而产生的 NE-SW 向近水平拉张作用，引起与之

共轭的赵各庄—榛子镇旧断裂发生新的活动。

3.3 现场考察资料分析

笔者于 2018 年底和 2019 年年初进行了现场考察和资料收集，资料显示，1996 年以来 NW 向 4.0 级以上地震分布区域存在一条较老的 NW 向的赵各庄—榛子镇断裂。图 4a 为考察场地地理位置示意图，该场地位于赵各庄到榛子镇的迁曹线路上，道路维修地点的道路呈 SN 向，道路西侧墙体出现裂纹（图 4b），墙上还有多处多次维修的痕迹，正在进行道路维修的路边竖井存在 X 型的裂纹（图 4c），在图 4a 中 A 点附近的道路路边有呈现膨出现象的裂缝。现场考察 NS 方向路面，发现只有 300 m 左右的破坏路段（表明不是大卡车碾压造成的），加之赵各庄—榛子镇断裂位置，还有地形

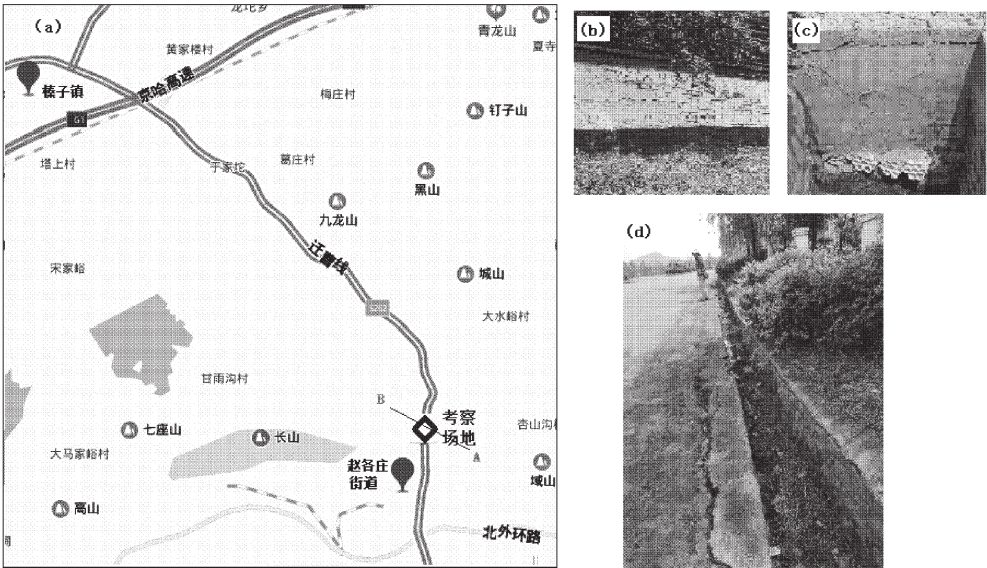


图4 现场考察场地示意图 (a) 及墙体裂缝 (b)、路旁竖井 X 裂纹 (c)、路面裂纹 (d) 实拍照片  
Fig. 4 Investigation site (a), photos of wall crack (b), X crack of roadside shaft (c) and crack of road surface (d)

地貌的河沟形态,由此认为断裂带沿图 4a 中的 A 和 B 点通过,迁曹线在考察场地与断裂交叉。道路 A 点的膨出现象说明断裂处于拉张状态,而与之相交叉路面竖井的 X 裂纹所呈现的剪切状态也给予了佐证,这些都证实该断裂具有新活动的特点。由于此处及其附近没有地震形变观测台站,因此无法用形变资料做相关分析。

## 4 结论与讨论

本文针对 1976 年唐山 7.8 级地震余震序列的时空演化特征,特别是 1996 年以来 4.0 级以上地震在唐山断裂带北段呈 NW 向分布的特征,通过现场考察,对比分析以往研究成果和老旧断裂图件,结合老震区的构造背景、主要断裂的应力状态以及几次显著地震的震源机制解,进行了综合分析,得到以下主要结论:

(1) 唐山老震区的余震在 1995 年以前大体分布在唐山 7.8 级、滦县 7.1 级和宁河 6.9 级 3 个不同震源区的较小范围内,与大多数的余震分布规律是一致的,这主要是由 7.8 级主震破裂引起的震后应力调整所致。1996 年以来,唐山 7.8 级震中附近区域基本没有发生 4 级以上地震,笔者认为出现这种现象的原因一是主震南边近 EW 向的丰南断裂起到吸纳能力和阻隔的作用;二是主震附近区域地壳介质较破碎,未积累到发生 4 级以上地震所需的应力,且地下介质较破碎会发生蠕滑,消耗能量。

(2) 1996 年以来,4 级以上地震集中分布在唐山 7.8 级主震发震断裂——唐山断裂的东北段,呈 NW 向分布,与 NW 向的赵各庄—榛子镇断裂相吻合,该断裂与唐山断裂带呈共轭分布。唐山断裂持续活动的作用力向 EN 向传递。对于与唐山断裂交叉的赵各庄—榛子镇断裂来说,受到唐山断裂 SE 盘持续向 SW 向的运动而产生的 NE—SW 向近水平拉张作用,引起与之共轭的赵各庄—榛子镇旧断裂发生新的活动。由于唐山断裂带上发生了 7.8 级地震及其多次余震,地下介质较为破碎,不易积累大的应力,又由于破碎会发生蠕滑消耗能量;而赵各庄—榛子镇的断裂介质破碎程度低,能够积累较高的能量,与该断层可能相关的 2010 年 3 月 6 日 4.7 级以及 2012 年 5 月 28 日 5.2 级这

2 次较高强度的地震可能说明了这一点。

(3) 现场考察赵各庄—榛子镇的破碎路段,在赵各庄附近路边约 300 m 长的墙上裂缝、柏油路面竖井剪切破裂形态、5 个月内该路段维修 2 次、地面向外突出的位置和形态以及 1996 年以来 NW 向 4 级以上地震和 2010 年以来 2 级以上地震的密集分布,都证实了 NW 向的赵各庄—榛子镇断裂具有新活动的特点。对比 NW 向 4 级以上地震的震源机制的 2 个节面与唐山主震的 2 个节面,是否存在两个节面和 P, T 轴的取向都位于唐山主震相应节面和主应力轴的右方,是否存在局部应力场的改变,还有待深入研究。

综合分析认为,赵各庄—榛子镇的断裂中强地震危险性较高。建议重点监测新生地震带区域,并对赵各庄—榛子镇断裂开展地质、地球物理、地球化学等不同手段探测及进一步深入研究。

## 参考文献:

- 陈运泰,黄立人,林邦慧,等. 1979. 用大地测量结果反演唐山 7.8 级主震位错模型[J]. 地球物理学报,22(2):201-217.
- 桂昆长,耿士昌. 1987. 值得再三思考的唐山地震构造[J]. 中国地震,3(增刊1):79-84.
- 郭慧,江娃利,谢新生. 2011a. 钻孔与探槽揭示 1976 年河北唐山  $M_s7.8$  地震发震构造晚第四纪强震活动[J]. 中国科学:地球科学,41(7):1009-1028.
- 郭慧,江娃利,谢新生. 2011b. 对 1976 年河北唐山  $M_s7.8$  地震地表破裂带展布及位移特征的新认识[J]. 地震地质,33(3):506-524.
- 国家地震局《九七六年唐山地震》编辑组. 1982. 一九七六年唐山地震[M]. 北京:地震出版社,4-23.
- 魏顺民. 1977. 唐山地震区域构造背景和发展模式的讨论[J]. 地质科学,12(4):25-32.
- 何玉林,强祖基. 1990. 卫星影像发现唐山北西向断裂及其意义[J]. 华北地震科学,8(4):1-9.
- 李绍柄. 1986. 唐山地震的发震构造与成因的探讨[J]. 华北地震科学,4(2):56-62.
- 刘桂萍,傅征样. 2000. 1976 年 7 月 28 日唐山 7.8 级地震触发的区域地震活动和静应力场变化[J]. 地展学报,22(1):17-26.
- 刘蒲雄,吕晓健. 2011. 唐山地震序列空间分布复杂性原因研究[J]. 地震,31(4):1-13.
- 刘义生,赵少磊. 2015. 开平向斜地质构造特征及其对瓦斯赋存的控制[J]. 煤炭学报,40(增刊1):164-169.
- 马瑾,马胜利,刘力强,等. 2002. 断层相互作用型式的实验研究[J]. 自然科学进展,12(5):503-508.
- 徐杰,牛爱芳,王春华,等. 1996. 唐山—河间—磁县新生地震构造带[J]. 地震地质,18(3):193-198.



- 尤惠川,徐锡伟,吴建平,等. 2002. 唐山地震深浅构造关系研究[J]. 地震地质 24(4):571–582.
- 张诚,曹新玲,曲克信. 1990. 中国地震震源机制[M]. 北京:学术书刊出版社.
- 张四昌,刁桂苓. 1992. 唐山地震序列的构造过程[J]. 中国地震,8(2):73–80.
- 张之立,李钦祖,谷继成,等. 1980. 唐山地震的破裂过程及其力学分析[J]. 地震学报,2(2):111–129.
- Huang B S, Yeh Y T. 1997. The fault ruptures of the 1976 Tangshan earthquake sequence inferred from coseismic crustal deformation [J]. Bull Seism Soc Am, 87(4):1046–1057.
- Robinson R, Zhou S Y. 2005. Stress interactions within the Tangshan, China, earthquake sequence of 1976 [J]. Bull Seism Soc Am, 95(6):2501–2505.
- Shedlock K M, Baranowski J, Xiao W, *et al.* 1987. The Tangshan aftershock sequence. J Geophys Res, 92(B3):2791–2804.

## Seismic Distribution and Tectonic Significance of the Northern Segment of the Tangshan Fault

ZHANG Suxin, BIAN Qingkai, ZHANG Ziguang, WANG Xiaoshan, CAO Jun, LI Yongqing  
(Hebei Earthquake Agency, Shijiazhuang 050021, Hebei, China)

### Abstract

The spatial evolution of 40 years after the Tangshan  $M7.8$  earthquake shows that the aftershock distribution is uneven. There was no  $M4$  earthquake near the epicenter region since 1996. The  $M4$  earthquake has formed a new dense area near Zhaogezhuang to Zhenzizhen in the eastern end of the main seismic fault, and the  $M5.2$  earthquake in 2012, the  $M4.8$  earthquake in 2010 occurred in this region. In view of these characteristics shown in the aftershock spatial distribution images before 1996, through the aftershock spatial distribution, previous research results, stress status of the fault zone, and site inspection and other works, we comprehensively analyze the seismic distribution characteristics and tectonic significance of the northern segment of the Tangshan fault. At the same time, the old faults from Zhaogezhuang to Zhenzi Town have new activity characteristics. In the future, moderate earthquake may occur in Guye and its adjacent areas.

**Keywords:** northern segment of the Tangshan fault; temporal and spatial evolution; tectonic distribution; stress state distribution; tectonic significance