

唐山地震后发震断层和周围地区的地壳形变^{*}

谢觉民 王若柏 薄万举 华彩虹

(中国天津 300180 国家地震局第一地形变监测中心)

摘要 介绍了设于唐山地震发震断层地表裂缝的形变台站, 在地震后 18 年间观测到的断层形变. 结果表明, 发震断层的垂直和水平形变都集中在大震之后的 7 年之内; 1983 年是震后形变的转折期. 大面积水准显示的形变与断层形变强度定性相符, 目前呈现出不易于积累应力的松弛状态, 近期不大可能发生较强地震.

主题词 唐山地震 发震断层 断层形变

引言

一次大震之后总会伴随幅度巨大、范围广泛的震时形变, 并在此基础上延续存在旷日持久而复杂多样的地震后的地壳调整运动. 唐山地震之后, 在震中附近地区继续进行了 7 次大面积水准测量. 形变台站对发震断层进行了长达 18 年的连续监测, 为研究这次地震之后发震断层及周围地区的地壳形变提供了宝贵资料. 本文主要介绍和分析了唐山地震后 20 年来, 对发震断层的监测和断层及其周围地区的地壳形变演变过程.

1 唐山地震后发震断层的活动

1.1 唐山地震的发震构造和形变监测

唐山地震后, 刘国栋等(1982)和虢顺民等(1977)等对其发震构造做过深入研究, 但有不同的结论. 许多学者认为, 孕育唐山地震的主体构造是开平向斜(虢顺民, 1977; 李绍柄, 1986), 至少可以说开平向斜是与地震关系最为密切的构造实体(桂昆长, 耿士昌, 1987). 开平向斜东南翼平缓、西北翼倒转, 形成了一系列规模不大、走向北东的正断层. 其中 5 号断层可能是与地震直接有关的断层, 但该断层在地震前并未出露于地表, 而是在地震后沿断层出现了一条长约 8 km 的地表裂缝带. 此裂缝带是深部构造在地表的反映. 有的研究者对小规模的 5 号断层能孕育如此大震是有怀疑的(桂昆长, 耿士昌, 1987). 梅世蓉(1985)认为, 唐山地震属于典型的有别于走滑型地震的“断错型地震”. 总之, 唐山地震的发震构造似乎不能简单地归结于某条地震前已出露地表的断层.

刘国栋(1994)利用深部瞬变电磁法研究唐山地震震源构造及其动力学过程. 指出经过详细的地质调查, 在震中附近并未发现地表浅部有明显活动的断裂存在. 因此, 不能把唐山地震归结于浅部断裂再活动的结果. 但利用深部瞬变电磁法确定了在开平向斜下方 4~9 km 以下存在一条 NE30°的“塔头隐伏深断裂”, 而此断裂上方存在数条倾向 SEE 的浅

^{*} 1996-04-24 收到初稿, 1996-09-12 收到修改稿, 1996-10-07 决定采用.

部断层(5号断层即为其一)。深部逆冲走滑断裂与浅部正断层之间有一个未贯通的闭锁空间,唐山地震就孕育在这个空间之内,并因塔头隐伏深断裂的重新活动导致强烈地震。

唐山地震之后2年,在唐山十中院内出露地表的地裂缝上布设了跨断层的水准和基线监测,至今已持续了18年。根据地质调查和前述关于唐山地震构造的解释,台站的水准和基线不能说是完全反映了地表以下的5号断层的位移,更不是深部“塔头隐伏深断裂”的活动,而是具有一定厚度的覆盖层的地裂缝形变。但是,唐山地震的震源深度为8~10 km,与塔头深断裂的上界大致相当。如果唐山地震确实是孕育在该深断裂之上与浅部断层之间的闭锁空间内,是深部断裂重新活动并继续向上发展的结果。结合地震后大量出现的地裂缝,我们有理由推测地震后闭锁空间已被贯通。因此,唐山台的形变在一定程度上反映了深部的剩余形变。据调查,台站所在的十中院内走向NE30°的地裂缝长达100多米,最大水平错距1.3 m(顺扭),垂直错距0.3 m(杨理华,1982),与之吻合的是在地表之下640 m的采煤巷道内也出现了与地表相近似的错动(王景明,1980)。而且在地裂缝带上的探坑剖面见到地下人防工程水平错开1.1 m,并有压碎现象(杜春涛等,1985)。这些事实证明了唐山十中的地裂缝为构造裂缝,而台站观测到的地震后形变在纵深方向上有一定的代表性,它基本上可以代表5号断层在地震后的活动,也在一定程度上揭示了深部隐伏断裂在地震后的形变信息,但不能用地表的观测结果来解释深部断裂的活动强度和物理特征。

1.2 唐山地震后发震断层的垂直运动

唐山十中院内形变台站的观测场地布设水准测线4条,如图1所示。图2为1978年7月以来跨断层和不跨断层各两条测线的垂直形变。

跨断层观测结果表明,地震后断层的活动以1983年为转折期,前后分为两个阶段:1983年以前主要为逆断层活动,这种活动恰好是震时垂直形变的反弹。它表明断层东南盘强烈下沉的状态有反向恢复,而1983年以后又保持与震时形变一致的变化。

不跨断层的观测反映了断层两侧的掀斜运动。1983年前断层两侧均为向SW方向倾斜,而1983年以后则转为倾向NE。以上两类形变均为1983年前较强,以后减弱,前后两阶段形变总量均在5 mm以内,年速率为1 mm/a以下,数值较低而且有阶段性反复。

1.3 唐山地震后发震断层的水平运动

唐山台除了水准测量外,还布设有4条基线,监测与断层面垂直的张压性活动和断层的扭错变化(图1)。各基线观测的月均值(图3)分别显示了断层的水平形变也以1983年为分界。1983年前以压性顺扭为主,1983年后为微弱的张性反扭,即存在一个与震时形变相一致转为反向变化的过程。根据大地测量结果,唐山地震后主断面两侧水平形变的相对变化约为2.5 m,而垂直差异运动约为0.93 m,仅为水平形变的37%。但4条基线和4条水准的平均形变量分别为5.1 mm和2.9 mm,后者为前者的57%,两者数量相当(表1)。

1.4 唐山地震与其它强震的震后形变比较

唐山地震后18年内断层活动总量在10 mm以内,并以1983年为转折阶段。这种量级较小而有阶段性反复的形变与属于典型的走滑型地震的炉霍地震、通海地震等强震完全不同。表2是3次地震的形变过程比较。由表2可见,唐山地震后发震断层形变仅约为通海、炉霍地震的几分之一甚至几十分之一。出现这种差异是因为后两个地震发生在地壳形变本

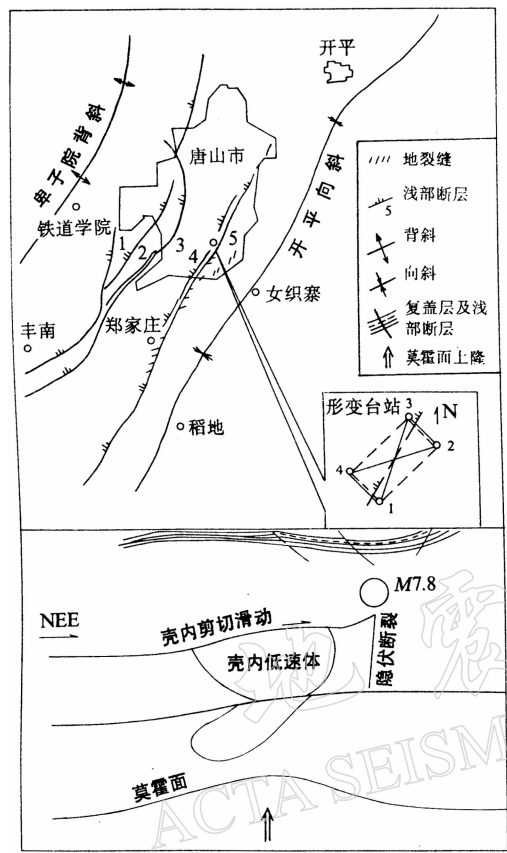


图1 唐山地震震中区构造略图和形变监测场地示意图(深部资料据刘国栋, 1994)

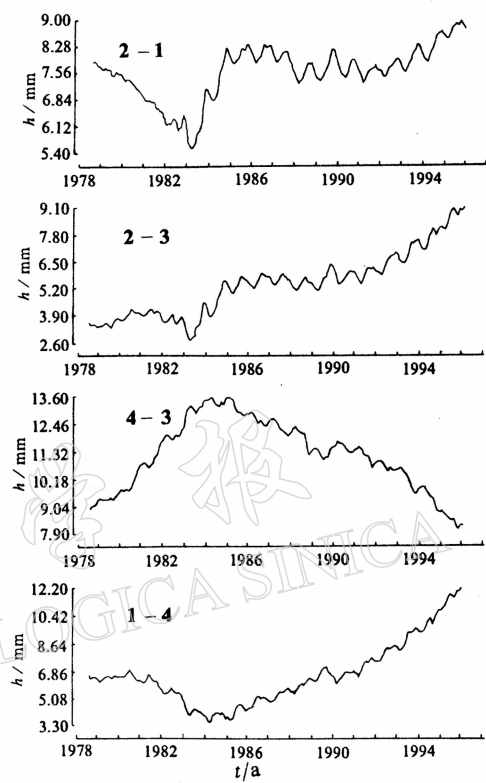


图2 唐山台水准观测值序列图

表1 唐山地震后断层形变观测结果

测线		1978-07~1983-02		1983-03~1995-12	
		形变量/mm	形变性质	形变量/mm	形变性质
水准	2—1	—2.32	倾向 SW	3.19	倾向 NE
	2—3	—0.86	逆断层活动(倾向 NW)	6.33	正断层活动(倾向 SE)
	4—3	4.15	倾向 SW	5.04	倾向 NE
	1—4	2.71	逆断层活动(倾向 NW)	8.17	正断层活动(倾向 SE)
基线	2—3	3.31(1.4×10^{-4})	压性	1.19(5×10^{-5})	张性
	2—4	3.43(7.1×10^{-5})	顺扭	0.36(7.5×10^{-6})	反扭
	1—4	5.86(2.4×10^{-4})	压性	2.82(1.2×10^{-4})	张性
	1—3	1.20(2.5×10^{-5})	顺扭	4.74(9.8×10^{-5})	顺扭

底水平较高的南北地震带并属于“走滑型地震”，震后的形变监测直接反映了发震断层的继续活动；而唐山地震位于地壳形变背景值比较低的我国东部地区，又是典型的断错型地震，

表 2 唐山地震与通海地震、炉霍地震的震后形变比较

地 震	断层垂直形变	断层水平形变	资料来源
	/mm · a ⁻¹	/mm · a ⁻¹	
唐山地震(1976, M=7.8)	0.31	0.26	本文平均值
通海地震(1970, M=7.8)	3.7	3.1	刘玉权(1988)
炉霍地震(1973, M=7.3)	1.0	6.8	刘本培等(1990)

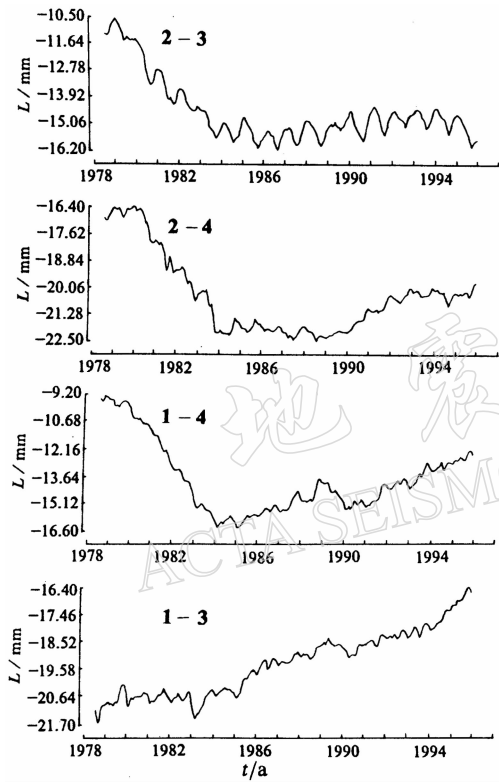


图 3 唐山台基线观测值序列图

台站监测的是浅部地裂缝的形变，它与深部的发震构造形变可能仍有较大的差距。

唐山地震后，我们曾根据大地测量资料讨论了这次地震的地壳弹性回跳特征(谢觉民, 1984)。跨断层的测线高差剖面表明，地震前存在反映应变积累过程的断层两侧形变差异，但因发震断层的浅表部分在地震前极不发育，这种应变积累过程并不突出，它只存在于大范围形变背景之中。但唐山地震后垂直方向和水平方向的震时形变都符合里德(Reid, 1910)根据水平形变资料建立的平移断层弹性回跳模式，这一事实也说明震源深处的形变断错已在地表有充分反映。

唐山地震引起的发震断层附近的垂直和水平方向最大相对错距分别为 0.4 和 4.0 m 左右。两者相差一个数量级，证明唐山地震主要受水平应力场的作用。虽然断层形变监测是 1978 年 7 月才开始的，但可以说至少从地震后两年开始，大规模的地壳调整运动已基本结束，水平形变与垂直形变为同一量级。

2 发震断层附近现今形变状态与应力场估计

2.1 大面积形变与断层形变的对应关系

从 1954~1988 年，唐山地区共进行了 19 次精密水准测量，其中地震后 8 次。地震之前的前兆性形变和震时形变已有论述(谢觉民, 黄立人, 1987; 张祖胜等, 1981)。在“八五”课题研究中，结合危险区判定，我们研究了唐山震区形变的进一步发展，图 4 和图 5 是其中的主要结果^①。它们表明在 1983 年以前垂直形变强度较高，高梯度指向以 NE-SW 方向为主，震中区附近主要向 SW 方向倾斜；而 1983 年以后形变梯度大为减弱，下沉区扩

① 王若柏等，形变场地质构造含义及 1~3 年强震危险区的预测方法(85-05-04-04-07 研究报告)。

大，倾斜方向变为 EW 向乃至 NW 向。尽管大面积形变与断层形变性质难以类比，但二者的发展阶段与强度改变是吻合的。二者都表明唐山地区在 1983 年前后有一个转折期。

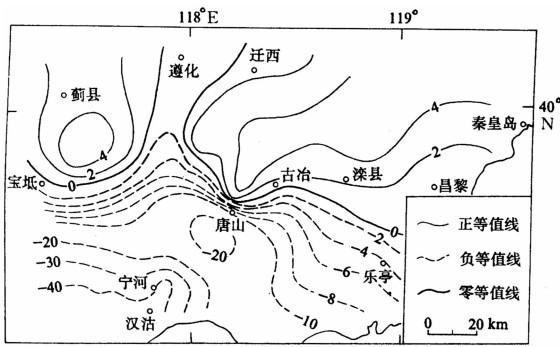


图 4 唐山地区形变速率图(1980~1983)

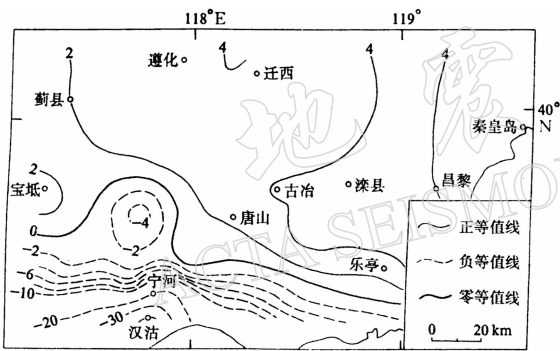


图 5 唐山地区形变速率图(1983~1988)

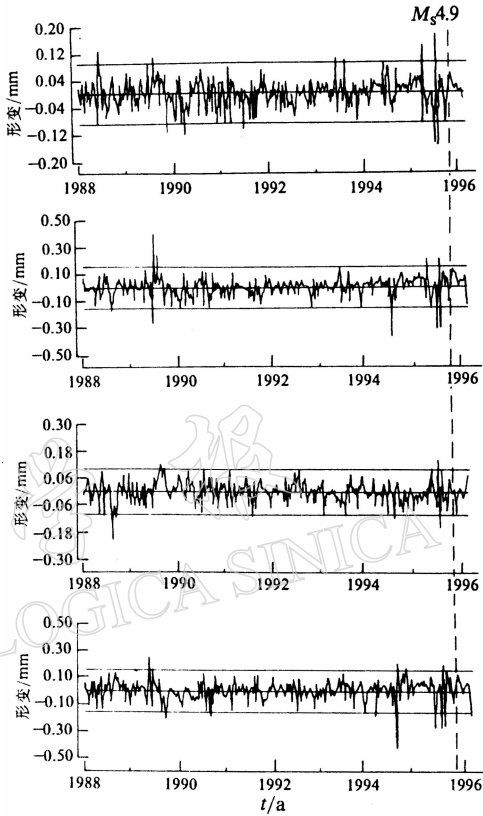


图 6 唐山台水准在 1995 年 10 月 6 日古冶地震之前的前兆变化

2.2 唐山老震区强余震的形变前兆

从大面积形变的角度来看，近几年唐山地区不具有再次发生大震的可能性，但在某些中强震之前断层形变还是出现了有价值的征兆。

1995 年 10 月 6 日古冶附近发生 5.0 级较强地震之前 3~4 个月，唐山台的 4 条水准测线均改变了原有的变化规律，经用自回归方法处理后其余差出现了波动型的前兆现象(图 6)，同时基线也表明了断层处于较强的受压状态。断层形变的波动型前兆在金州台、香河台水准观测中也出现过，属于用大地测量方法可以发现的形变短临前兆现象。

2.3 唐山地区近期不具备发生强震的危险

除邢台地震外，华北地区几次 6 级以上地震的形变前兆都是以大面积形变上升为主要特征的。大面积形变上升是孕育强震的一个定性指标，但还没有一个共同的数量标准。海城地震、唐山地震前，震中区附近的垂直形变速率或梯度都不很高，但震中附近相对来说是上升的。唐山地震后较强的地壳调整运动已经结束，断层形变也渐平稳。本区 1988 年以来主要处于下沉状态，断层形变和大面积形变都显示本地区不存在孕育大震的条件。

本文通过研究唐山地震后断层及其周围地区的形变状况，提供了华北地堑盆地地区强

震后地壳调整运动过程的一个例证,说明了这种地区此类型地震序列后期形变特点.但通过分析我们也发现了应进一步探讨的问题:

(1) 唐山大震后至今大面积形变仍处于下沉为主的松弛状态,近期内无强震的危险性;但晚期强余震仍时有发生.晚期强余震是在大震后形变调整背景之下发生的,其前兆特点应与未发生大震的孕震区有所不同,亟待深入研究.

(2) 本文认为,通过对唐山地震地表破裂的研究可以探索深部发震断层的活动,而深部活动代表着华北地区地震构造活动的最新信息.因此,唐山震区形变可作为一个“窗口”监视其邻区甚至华北其它地区的形变场动态,这也可能是一个重要的课题.

因此,本文的意义不仅在于阐明唐山地区未来的地震危险性,更重要的是试图找到新生代板内地堑盆地地区强震前后地形变的规律,为这种类型的强震监测预报提供经验.

3 结论

(1) 设于唐山断层上的形变台站,用经典的大地测量方法,可以观测到性质确定的大震后断层运动.观测结果揭示了纵深方向上深部隐伏断裂地震后多年的形变信息.地震之后,断层的变形主要出现在最初 7 年之内,此后进入形变的减弱和转折阶段.

(2) 大地测量资料证实,唐山地震后主断面两侧的震时形变以水平方向为主,发震断层在地震后多年的形变过程中,水平形变量也占主导地位.

(3) 类似唐山地震这样的一次断块破裂型强烈地震,它所涉及的地壳形变是大幅度而范围广泛的,不可能将形变归结于某条断层.只有对定点形变和大面积大地形变进行综合分析,才能了解强震前后形变的全过程.唐山地区的监测表明,强震之后经 21 年的演变,地壳形变已趋于平稳,没有再次强化或积累能量的迹象.大面积形变显示以下沉为主的格局.本地区在未来较长时间内不存在孕育强烈地震的条件.

参 考 文 献

- 杜春涛,孟宪梁,陈书贤,1985.唐山地震的地裂缝.唐山大地震震害.北京:地震出版社.174~189
- 桂昆长,耿士昌,1987.值得再三思考的唐山地震构造.中国地震,3(增刊):79~84
- 虢顺民,1977.唐山地震区域构造背景和发震模式的讨论.地质科学,(4):25~32
- 刘国栋,虢顺民,刘昌铨,1982.地震地质背景.1976年唐山地震.北京:地震出版社.71~130
- 刘国栋,1994.唐山地震震源构造及动力学过程研究.现今地球动力学研究及其应用.北京:地震出版社.70~83
- 刘玉权,彭兴宽,黄震民,等,1988.通海地震震后地形变研究.地震研究,11(4):369~375
- 李绍柄,1986.唐山地震的发震构造与成因的探讨.华北地震科学,4(2):56~62
- 梅世蓉,1985.地震前兆的地区性.中国地震,1(2):17~22
- 王景明,1980.1976年唐山地震地下工程震害的分布规律.地震学报,2(3):314~320
- 谢觉民,1984.唐山地震地壳弹性回跳的某些特征.地震研究,7(2):137~146
- 谢觉民,黄立人,1987.唐山地震前后的地壳垂直运动.地震地质,9(3):1~19
- 杨理华,1982.烈度与震害.1976年唐山地震.北京:地震出版社.1~32
- 张祖胜,谢觉民,徐峰壮,等,1981.唐山 7.8 级地震的地壳垂直形变.地球物理学报,24(2):182~191
- Reid H F, 1910. *The California Earthquake of April 18, 1906, 2. The Mechanics of the Earthquake*. Washington D C: Carnegie Institution of Washington. 192