

唐山7.8级强震孕育过程的地震活动性特征

陈章立 薛峰 吕培苓 郑斯华

(国家地震局分析预报中心)

摘要

本文研究了唐山7.8级强震孕育的各个阶段,尤其是中期阶段的区域地震活动性的主要特征。指出1975年后,异常的转折及主震的低应力降等现象表明,强震可能发生于应力峰值之后的下降段。由震前震源周围地温的增高推测,在应力下降的同时,由于热软化作用,介质强度迅速降低,导致强震发生。

唐山强震孕育的早期特征

在华北地震活动性的研究中,多年来人们习惯于将华北构造块体作为一个整体,指出有地震记载以来存在四个活动期。图1展示了近两个活动期地震的空间展布特征。

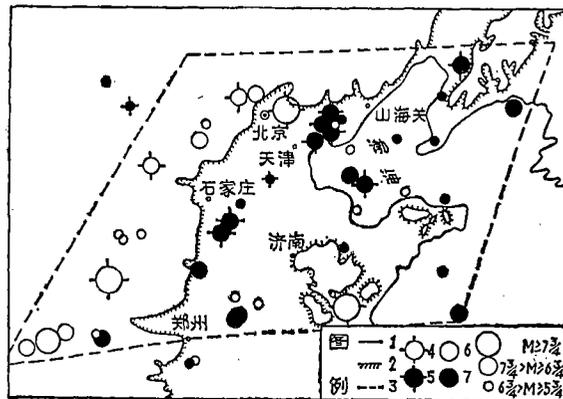


图1 华北第三活动期(1484—1730年)和第四活动期(1815年来) $M_s \geq 5 \frac{3}{4}$ 级地震的空间分布

图例 1.海岸线 2.山区、平原分界线 3.华北块体边界 4.第三活动期大释放阶段地震 5.第四活动期大释放阶段地震 6.第三活动期大释放阶段前地震 7.第四活动期大释放阶段前地震

显而易见，如以海拔 200 米等高线作为山区和平原的分界线，则上一活动期震中主要分布于山区，而本活动期则以华北平原(包括以东海域)为活动的主要区域。马宗晋等人(1980)的研究指出，一个大的地震区往往可以分为若干地震亚区。由于地壳变形和物性等差别，各亚区地震活动性特征也有较明显的差异。华北构造块体也是如此。新生代以来，华北平原下沉，地壳拉薄，盆地向两侧扩张。而山区作为平原下沉的补偿呈拱曲抬升。中国科学院地质所地热组(1978)的工作指出，华北地区大地热流的分布总体上显示出山区较低，平原较高的趋势。山区和平原地体环境的差异，可能是导致华北近二个活动期地震重复率关系明显不同(即1966年以来强震时间间距较上一活动期短得多)的重要原因之一。

在1815年开始的一个新的地震活动中，华北全区中强以上地震明显地向平原地区转移。于1894年开始，在平原亚区内出现了中强以上地震的空白地带(图2)。本世纪二十年代后，

尤其是在三十年代中期至四十年代中期的十余年间，该空白地带外围地区中强以上地震频次异常增高。而空白地带内地震活动却继续保持平静的状态，直至1945年才在该地带北部的滦县附近发生了 $6\frac{1}{4}$ 级地震。其震中正位于1976唐山强震的震源区内。冯德益等人(1976)和关谷博(1977)的研究说明，很多强震的震源区在应变的长期积累过程中，于强震前几年至三十年左右的时间里，有早期的破裂发生。

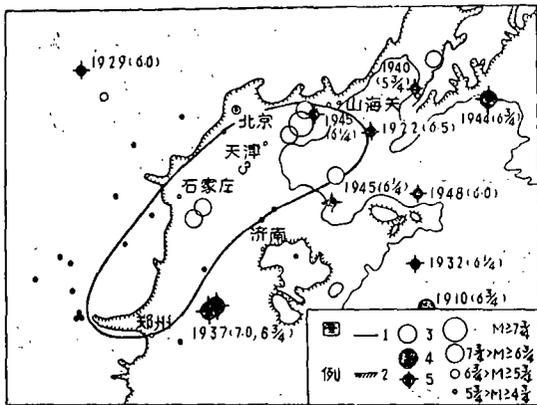


图2 华北1894—1976年 $M_s \geq 4\frac{3}{4}$ 级地震震中分布图

- 1. 海岸线 2. 山区平原分界线 3. 1966年发生的大震
- 4. 1894—1965年地震 5. 加速活动阶段里的地震

区范围内成串强震的孕育，已进入了由长期向中期过渡的阶段。1966年邢台 7.2 级地震的发生，标志着图 2 所示的空区开始解体。亦即平原亚区各地的地体环境可能决定该区强震的时间间隔相对较短。因此邢台地震的发生已预示出空区内其它闭锁地段的大破裂已为期不远。邢台地震后，地震活动明显北迁，先后在空区内部及其边缘地带发生了河间 6.3 级地震和渤海 7.4 级地震。这些地震破裂不仅使唐山地区迭加了一个附加的应力，而且使所在的构造断裂带两侧地壳块体相对滑动的速度增大，从而加速了处于磁县—滦县构造带和渤海—京西北构造带交汇部位附近的唐山地区(闭锁地段)的应变积累。于是邢台地震后，唐山地区地震活动水平逐渐增强，于1970年在丰南发生了 4.6 级地震。这是有台网记录以来在该区发生的最大有感地震。陈培善等人(1978)根据丰南地震资料估计该区剪切应力值约为 870 巴，说明至1970年唐山震源区应力已达到较高的水平。

唐山强震的这种广义前震。滦县地震后，华北平原中强以上地震活动的频度和强度迅速降低。根据作者对地震空区现象的研究，这预示着在上述空区

唐山强震孕育的中期特征

1. 关于地震活动的异常空间分布

自1972年起，尤其是1973年后华北 $M_L \geq 4$ 级地震的频次明显降低，且全区 $M_L \geq 4$ 级地震逐渐向唐山周围迁移、集中，至1973年下半年几乎全部集中于唐山周围。从而形成了图3所示的条带分布。陈章立等人(1979)指出，1974年后京、津、唐、渤、张地区 $M_L \geq 2.0$ 级地震活动出现了自张家口至渤海湾的北西向活动条带。两条带交汇于唐山附近。条带的线度比强震的震源尺度大得多。伴随着条带的形成，唐山震源区地震活动水平显著降低，出现了图4所示的小震活动的空白区。

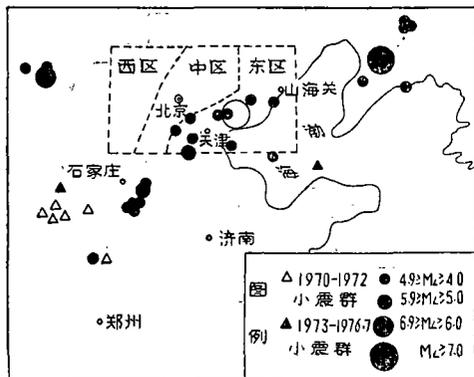


图3 华北1973.7—1976.7 $M_L \geq 4$ 级地震震中分布

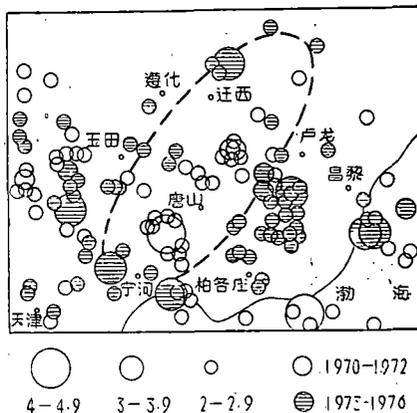


图4 唐山周围地区1973—1976.7 $M_L \geq 2$ 级地震震中分布

2. 关于地震频度、b值和应变释放速率的变化

地震活动性参数的变化特征与统计的区域单元有密切的关系。近十多年来在京、津、唐、渤、张地区的地震预报工作中，人们一直按地质构造和地震活动的空间分布特征将该区分为图3所示的三个区域。其东区为唐山震源区及邻近地区，中区为其外围的北京地区，以及北京以西地区（西区）。本文以此作为统计的区域单元。为减少计算的时间区间内采样数目太少所造成的误差，采用二年累计、半年滑动的方法计算b值和频度N。图5₁和图5₂分别给出了对东区和中区的计算结果。可以看出，东、中二区的情况是明显不同的。其东区正如陈章立等人(1980)所指出的大震前震源区附近三个参数变化所取的特定组合。即从1973年下半年起应变释放加速，b值和较小地震($1.5 \leq M_L \leq 2.0$)频度下降，较大些地震($M_L \geq 3.0$)频度反向上升， $2.0 < M_L < 3.0$ 的地震频度的变化不大。而对中区，这些参数变化的组合形式则为频度(三个 ΔM 区间)和应变释放速率减小，b值增大。但不论是东区还是中区，1975年后上述参数的变化都出现了转折。尤其是b值反映更明显，东区转向回升，中区则由上升转向下降，并低于1972年前的正常值。上述特征可能反映在唐山强震孕育的中期阶段，震源区与外围地区应力的变化同受唐山强震控制。

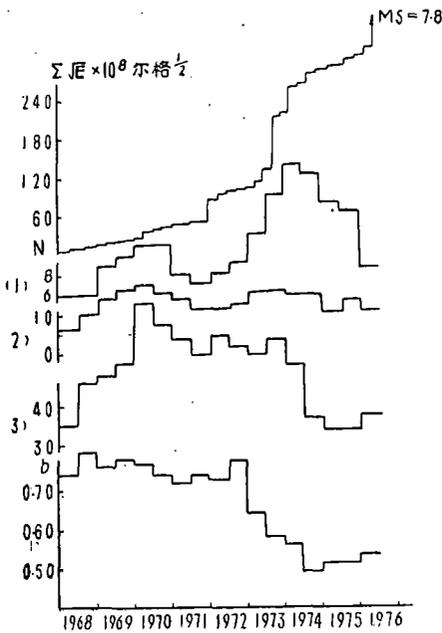


图5.1 东区地震活动性参数随时间的变化
 (1) $M_L > 3.0$ 级地震频度 (2) $2.0 < M_L < 3.0$ 地震频度
 (3) $1.5 < M_L < 2.0$ 地震频度

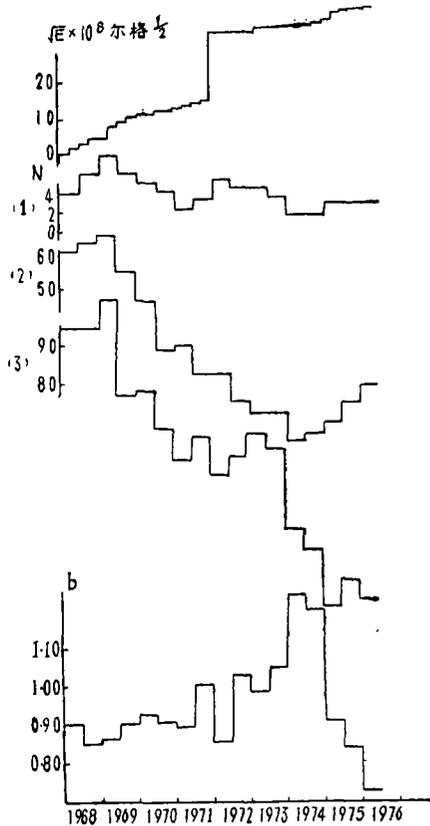


图5.2 中区地震活动性参数
 随时间的变化
 (1)、(2)、(3)同图5.1

3. 昌黎台记录的地震P波的初动符号分布的变化

昌黎台位于唐山震源区的边缘。我们处理了该台 1968—1979 年记录的地震波初动资料* (凡初动符号不清晰或三分向的初动方向与震中相对于台站的方位矛盾的, 均不录用) 所取得的唐山强震前八年多时间里 251 次地震后三年左右时间里 109 次地震 (不包括余震) 的可靠 P 波垂直向初动符号。对震前阶段, 采用三年累计一年滑动的方法, 求得不同时段的小震 P 波初动最佳综合节面解。并将 $\Delta \leq 150$ 公里和 $\Delta > 150$ 公里的分别用不同符号标出。由此得到垂直向 P 波初动符号分布的矛盾比 $K = \frac{N^1}{N}$ 。式中 N 为各张图中所使用的地震数, N^1 为初动

符号矛盾的地震数。K 随时间的变化如图 6 所示。它表明从 1973 年起, 矛盾比 K 显著下降, 特别是 $\Delta < 150$ 公里的结果。1971 年 $K = 41\%$, 之后缓慢下降, 1973 年下降幅度明显增大; 至 1974 年达最低值, 约为 18%。1975 年至 1976 年上半年仍维持在该值附近。直至唐山地震后 K 值才迅速回升。K 的上述变化可能反映在强震前, 局部应力场和构造条件对小震破裂方向的控制作用退居次要地位, 唐山及邻近区域里应力、应变的迅速集中、发展对该区微裂隙的

*震前部分由原国家地震局分析室测震组一些同志 (包括本文部分作者) 完成, 震后部分由本文作者完成。

发育方向起了重要的控制作用。

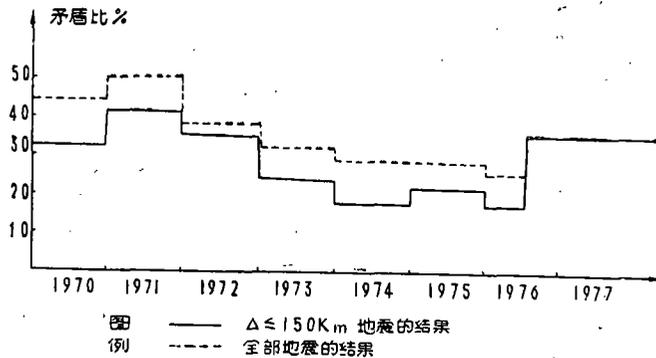


图6 昌黎台记录的地震垂直向P波初动符号矛盾比的变化

4. 京、津、唐、渤、张地区小震活动异常平静是唐山地震孕育的震兆

1966年京、津地区地震台网建成后,在地震预报的实践中人们发现,全区($\varphi: 38.5^{\circ}$ — 41.0° $\lambda: 114.0^{\circ}$ — 120.0°)连续多天无 $M_L \geq 1.0$ 级地震之后发生 $M_L \geq 3.0$ 级有感地震的概率较高(约为60%)。但1973年后则非如此。为说明这个问题,本文拟定,全区连续十天以上的时间里 $1.0 \leq M_L \leq 3.0$ 级小震次数不超过2次,或在30天以上的时间里间歇发生的小震次数不超过5次为一次平静。统计结果表明,从1966年7月至唐山强震前的十年间共出现25次平静。其中前七年有11次,占44%。平静之后十天内发生有感地震的为7次,相应的概率为64%。唐山强震前三年共出现14次平静,占总数的56%。最后一次平静之后伴随着唐山强震的发生。但前13次平静之后,只有2次伴随着有感地震发生,其概率仅为12%。这个统计结果说明,唐山强震前三年全区小震平静的次数明显增加,而平静之后发生有感地震的概率显著下降。尤其是1976年前七个月,平静次数就占十年之内总数的20%。尽管该现象的物理机制尚待进一步探讨,但上述统计数字说明,这种异常平静可能是唐山强震孕育的中、短期震兆。

综上所述,各种震兆的时空分布显示出较好的一致性。在空间上显示出以东区为强震孕育的区域。在东区地震活动水平增强的同时,外围地区地震活动水平减弱,b值上升。可能反映在唐山7.8级强震孕育过程中,震源区周围应力、应变的集中、发展伴随着外围区域应力水平的下降。按照弹性理论,在强震孕育过程中,震源区附近裂缝的串通、扩展意味着裂缝附近应变能的增加。假定作用于华北构造块体上的区域动力是恒定的,则震源区附近能量的增加必然由外围地区能量的减少来补偿。从而导致于震源区附近与外围地区地震活动水平呈反向变化。在时间上,多数异常起始于1973年,至1974年异常基本形成。1975年后各种异常的转折可能是强震的孕育由中期向短期过渡的标志。陈运泰等人1974的研究指出,在这阶段震源区附近有明显的断层蠕动现象发生。这种蠕动引起了应力场的重新分布,震源区附近应力下降,外围地区应力水平则有所增强。因而东区b值上升中区b值下降。陈培善等人(1978)根据1976年4月文安4.4地震测定的该地区剪切应力比1973年9月坝县4.5级地震所给出的剪应力值低得多的结果,以及张之立等人(1980)的研究所给出的唐山7.8级强震的低应力降

(约为12巴)的数值,也说明临近强震前东区应力水平有下降的趋势,唐山强震可能发生于应力峰值之后下降段内。

但是,在强震孕育的后期,震源区附近裂缝的发育为深部热物质的上涌造成了有利的通道。因此,在应力下降的同时,由于热软化作用,介质的强度迅速降低,以导致强震的发生。作者处理了京、津、唐、张地区一些气象台的地温资料,采用一年累计,半年滑动的方法消除年变化。鉴于唐山强震前多数震兆异常起始于1973年,因此取1967—1972年的年均值作为基值 \bar{T} ,并求得相应的均方差 σ_n 。规定1973年后80厘米深的地温年均值 T_i 与 \bar{T} 的差值 $|\Delta T_{80}| = |T_i - \bar{T}| \geq 2\sigma_n$,且 $|\Delta T_{80}| \geq |\Delta T_{40}|$ (ΔT_{40} 为40厘米深地温的变化量)的为异常。下表给出了一些台的统计结果。凡有 $|\Delta T_{80}| \geq 2\sigma_n$ 出现的台,均同时给出40厘米深的地温变化实况,以作比较。表中加方括号的表示增温异常。可以看出,1975年下半年后或1976年上半年在唐山、昌黎、玉田、坝县由深部原因所引起的增温现象是明显的。其外围地区则无明显的异常显示。可见异常区范围与震前地震活动增强的区域大体上是一致的。

一些台站地温变化情况

台名 站称	深 度	1967— 1972		1973		1974		1975		1976		1977		1978	
		\bar{T} °C	σ_n	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下	上	下
$\Delta T = T_i - \bar{T} (^\circ\text{C})$															
唐 山	80Cm	12.8	0.31	0.6	0.2	-0.5	-0.5	0	0.7	[1.0]	0.2	-0.8	-0.3	0.1	0.3
	40Cm	12.6	0.37	0.8	0.3	-0.4	-0.4	0.1	0.9	1.0	0.1	-0.7	-0.2	0.2	0.4
玉 田	80Cm	13.3	0.50	0.2	0	-0.6	-0.3	0.5	[1.0]	[1.1]	0	-1.0	-0.2	0.6	0
	40Cm	14.1	0.92	-1.0	-1.1	-1.9	-1.9	-0.8	0.3	0.3	-0.9	-2.4	-1.6	-0.7	-1.3
昌 黎	80Cm	12.1	0.32	0.5	0.6	0.1	0.1	0.5	[0.8]	0.5	-0.1	-0.4	0	0.4	0.5
	40Cm	12.0	0.29	0.5	0.5	-0.3	-0.3	0.2	0.5	0.2	-0.5	-0.7	-0.2	0.2	0.2
坝 县	80Cm	12.7	0.32	0.9	0.9	0.1	-0.1	0.3	0.6	[1.0]	[0.7]	-0.1	0.1	0.4	0.4
	40Cm	12.6	0.58	1.0	1.1	0.8	0.6	0.2	0.6	0.8	0.4	-0.1	0.2	0.5	0.4
青 龙	80Cm	10.7	0.44	0.6	0.6	0	-0.4	0.1	0.9	0.9	0.4	-0.2	-0.1	0.2	-0.2
	40Cm	10.6	0.50	0.6	0.4	-0.2	-0.3	0.3	1.2	1.1	0.3	-0.3	-0.1	0.3	0.8
南 宫	80Cm	15.0	0.24	0.3	0.3	-0.6	-0.7	-0.3	0.2	0.1	-0.5	-0.6	-0.1	0.1	0
黄 骅	80Cm	13.6	0.34	0.2	0.3	-0.1	-0.1	0.1	0.5	0.6	0	-0.6	0	0.5	0.3
秦 皇 岛	80Cm	11.4	0.39	0.4	0.4	0	-0.2	0	0.5	0.2	-0.2	-0.5	-0.1	0.5	0.5
承 德	80Cm	10.8	1.66	0.1	-0.2	-0.9	-1.2	-0.8	-0.4	0.1	-0.2	-0.8	-1.0	-1.3	-1.7
北 京	80Cm	12.7	0.55	1.3	0.9	0.4	0.5	0.7	1.3	1.3	0.4	-0.4	0.1	0.3	0.2
	40Cm	12.6	0.51	1.4	0.9	0.4	0.5	0.7	1.4	1.4	0.3	-0.5	0.1	0.2	0.1
怀 来	80Cm	10.6	0.68	1.0	0.7	0.1	0.1	0.3	0.8	0.9	-0.1	-0.5	0.1	0.7	0.7

几点认识

1. 唐山7.8级强震是有长、中、短期震兆的。长期震兆至少起始于震前八十多年，以平原区内中强以上地震空白区的出现为其主要特征。邢台、渤海、唐山强震都发生在这一空白区内，共同经历了长期的应变积累过程，这可能是成串强震时间间隔较短的原因之一。中期异常开始于1973年。从1975年起开始向短期阶段过渡。在此期间，由于震源区附近断层蠕动加速，震源区周围应力下降。另一方面由于发育的裂缝为深部热物质的上涌提供了有利的条件，因此介质的温度增高，强度迅速降低。1976年初开始进入了短期阶段，以全区小震平静次数的显著增多为主要的震兆特征。

2. 与近十多年来我国一系列大震比较^[5]，唐山强震中期异常的参数明显区别于5~6级地震，而符合于7级以上强震的震兆特征。

3. 大范围内四级以上地震活动随时间向某区域的迁移、集中可能是该区域强震孕育中期阶段的重要特征。依此进一步研究集中区和外围区地震活动性参数变化的时间进程，可能有助于对强震孕育的阶段作出更确切的判断。

4. 根据区域地震活动的“平静”进行临震预报，其成功的概率可能是较低的。但平静次数的增加则可能与强震的孕育有关。尤其是平静次数的急剧增加，可能是强震孕育已进入短期阶段的标志之一。

5. 在强震孕育的中短期和临震阶段或许可能存在断层蠕动的加剧和热软化作用。对这个问题作进一步的调查和研究将有助于深化对孕震过程的认识和某些震兆的识别。

(本文1981年2月28日收到)

参 考 文 献

- [1] 马宗晋、陈章立、付征祥、薛峰，亚欧地震系的地震构造特征，中国科学，No. 9，1980.
- [2] 中国科学院地质所地热组，华北大地热流，地热研究论文集，科学出版社，1978.
- [3] 冯德益、郑斯华、盛国英、付征祥、高世磊、罗瑞铭、李炳灿，我国西部一些强震及中强震前后波速异常的初步研究(一)，地球物理学报，Vol. 19, No. 3, 1976.
- [4] 关谷溥，地震发生前 ϕ 地震活动 ϕ 地震预知，地震，Vol. 29, No. 2, 1977.
- [5] 陈章立、刘蒲雄、黄德瑜、郑大林、薛峰、王志东，大震前区域地震活动性的主要特征，国际地震预报讨论会(1979、4、2—6)论文集，地震出版社，1981 (将出版)

CHARACTERISTICS OF SEISMICITY ASSOCIATED WITH DEVELOPMENT
OF TANGSHAN EARTHQUAKE ($M_s = 7.8$) OCCURRED ON JULY 28, 1976

Chen Zhang-li Xue Feng
Lü Pei-ling Zheng Si-hua

(Center of Analysis and Prediction, State
Seismological Bureau)

Abstract

In this paper, we have discussed the principal characteristics of the regional seismicity before the Tangshan earthquake ($M_s = 7.8$), in particular during the mid-^{term} range of the development of the strong earthquake. After 1975 year, the anomalous variations undergo transition and recovery. These phenomena and low stress drop of main shock may show that during a period before the strong earthquake, the stress decreased with the further development of the strain. Analysing the anomalous increasing of ground-temperature near the seismic centre since 1975 year, it is suggested it is possible that as hot matter gush up from the deep of the earth, the strength of the medium decrease, so that the strong earthquake takes place.