

唐山地震序列特征及类型的讨论

胡长和 陈非比* 张嘉延 杨国宝

(河北省地震局)

摘 要

本文根据截止到1978年底的地震资料,分析了唐山地震序列的基本特征。认为唐山地震序列具有强震多、能量衰减慢,起伏大,空间展布规模大等总体特征及各区地震活动差异明显的分区特征。由此出发,对唐山地震序列的类型作了一些讨论。作者强调唐山地震序列中三次最强地震(唐山7.8级、滦县7.1级、宁河6.9级)震级相近似而发震构造各异,以及以它们为首的三个次级地震序列的存在,认为把唐山地震序列称为多主震型地震序列比较合适。

一九七六年唐山地震序列以其强震多、能量衰减慢、起伏大等特征而迥然不同于其他强震序列。因而,有关唐山地震序列的类型,人们有各种不同的认识^[1-3]。本文试图从唐山地震序列总体和分区特征入手,对唐山地震序列的类型作一些讨论。

一、唐山地震序列的总体特征

根据《唐山地震目录》^[4]提供的资料,截止到1979年12月31日,共记到唐山地震序列中 $M_L \geq 2.0$ 级地震14425次,其中包括2—2.9级的地震10841次;3—3.9级地震2688次;4—4.9级地震807次;5—5.9级地震84次;6—6.9级地震3次;7级以上地震两次。全序列中三次最强地震的主要参数见表1。

1. 唐山地震序列的时间分布特性

根据唐山地震后三年半的地震资料,分别作成唐山地震序列的应变释放、月能量释放、月频度、无震日曲线(图1),并计算了频度衰减系数(图2)。分析上述资料可以看出,唐山地震序列以其强震多且持续时间长为主要特征。最晚的一次 $M_s = 6.0$ 级地震发生在1977年5月12日,与7.8级地震相隔289天。 $M_L \geq 5$ 级地震更是延续到1979年9月(实际上是1980年2月)。因而在能量释放曲线衰减的总背景上,呈现出许多散布的高峰,显示出能量衰减慢、起伏大的总体特征。进一步分析图1、2还可以看出,唐山地震序列的活动还呈现

唐山地震序列中三次强震的震源参数〔4〕

表 1

	唐 山 地 震	滦 县 地 震	宁 河 地 震
发 震 时 刻	1976.7.28 03—42—53	1976.7.28 18—45—33	1976.11.15 21—53—02
震 级 (Ms)	7.8	7.1	6.9
震 中 位 置	39°38' 118°12'	39°44' 118°35'	39°24' 117°50'
震源深度 (公里)	9	13	17

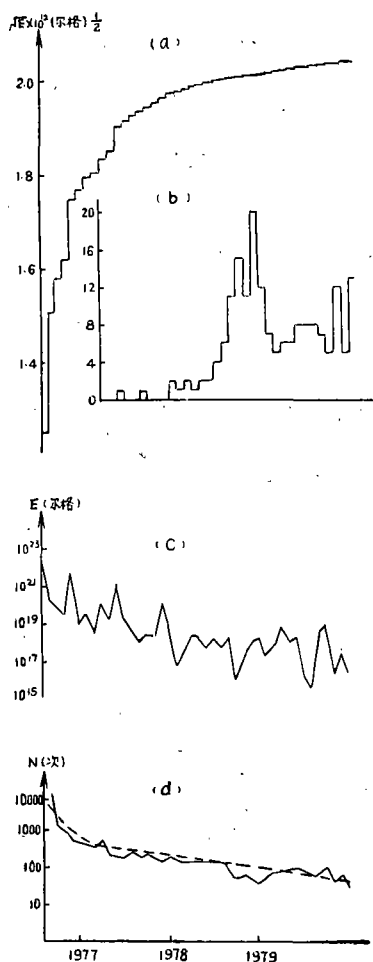


图 1

a. 应变释放曲线; b. 无震日 (每月无 $M_L \geq 2.0$ 级地震的天数) 曲线; c. 月能量曲线;
d. 月频度曲线 ($M_L \geq 1.5$)

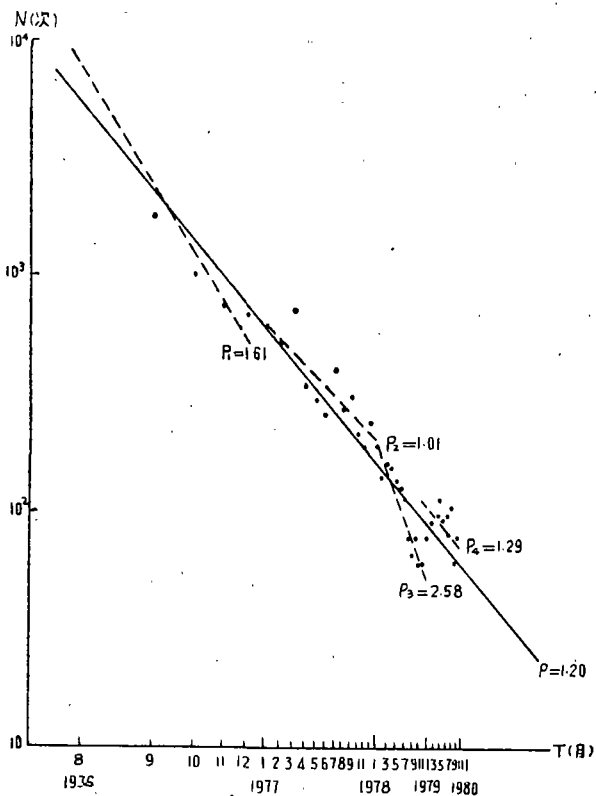


图 2 唐山余震序列频度衰减曲线

(1976.7.28—1979.12.31, 河北目录, $M_L \geq 1.5$)

出明显的阶段性。根据地震能量和地震频度变化的分析, 认为唐山地震序列的时间行程大致经历了以下四个阶段;

应变能高速释放阶段(1976.7.28—12.31) 此期的特点是,地震能量释放最高,而频度衰减较快。全序列中5次6级以上地震有4次发生在这一阶段,中强地震亦持续活动,共发生 $M_L \geq 5$ 级地震75次。上述特点在图1、2中表现为:应变释放曲线急剧上升,能量释放曲线两次出现尖脉冲,地震频度曲线急速衰减, p 值较大(为1.61)。

应变能有起伏地释放阶段(1977) 此期应变释放和频度衰减的速率均减缓, p 值下降至1.02。但能量释放和地震频度在衰减过程中仍有较大起伏,以 $M_L \geq 5.5$ 级地震为标志,在3、5、11月形成三次能量释放的高峰。

应变释放相对减弱阶段(1978) 此期余震活动相对平静,没有 $M_L \geq 5$ 级地震发生,应变释放曲线明显转平,能量释放曲线起伏较小。此期一个显著特点是,地震频度的衰减仿佛比地震能量的衰减更突出。频度曲线远远低于理论平均值,无震日从每月一、二天猛增到20天, p 值上升至2.58,远大于第一阶段。

应变释放回升阶段(1979) 此期地震能量和频度均明显回升,又出现两次 $M_L > 5$ 级的地震,无震日减少,地震频度高出理论平均值, p 值又回降至1.29。

以上特点,特别是1978—1979年所经历的相对平静—明显回升过程,进一步体现出唐山地震序列的起伏性和持久性。

2. 唐山地震序列的空间分布特征

唐山地震序列震中分布的范围较广,西起宁河西,东至卢龙以东,北到迁安以北,南达渤海湾北部。其大致范围为东经 $117^{\circ}40'$ 至 119° ,北纬 $39^{\circ}10'$ 至 40° 。余震密集区呈北东 50° 展布,长轴约150公里,短轴约45公里,余震分布面积约6800平方公里。余震震源深度大致为5—25公里,优势分布为15公里左右。从余震区东北向西南,震源深度有逐渐加深的趋势(图3)。

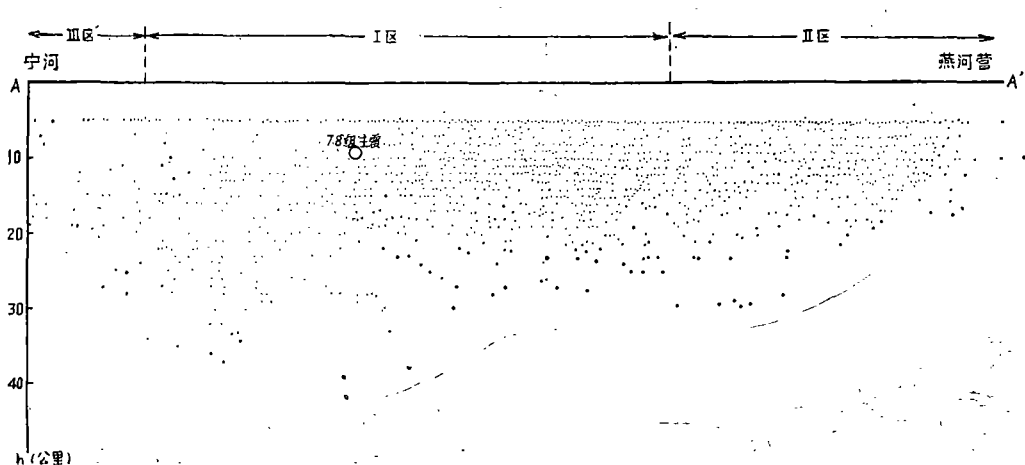


图3 唐山地震序列震源深度剖面图(宁河至燕河营, $M_L \geq 3.0$)

以唐山地震序列中三次最强地震为中心,上述余震区又可进一步划分为三个相对密集区。即唐山7.8级地震所在的中区(唐山—古冶区)、滦县7.1级地震所在的东区(滦县—卢龙区)及宁河6.9级地震所在的西区(宁河—田庄区)。这三个余震密集区虽是一个整体但

各有其特点，而这些正是我们讨论唐山地震类型的出发点，故在下节作专门讨论。

二、唐山地震序列的分区特征

1. 中区（唐山—古冶区） 本区东起古冶以东，西至唐坊以西，呈一北东 40° 走向的矩形区域，长、宽约分别为70和30公里。本区余震平均震源深度约为14.5公里，唐山以东较浅，为5—20公里，唐山以西较深，为15—30公里。

本区局部构造主要是北东走向的开平向斜，它是一个近期仍在下降的新生代断陷盆地。向斜的西翼与北东走向唐山断裂相交。根据现场宏观考察及震源机制结果的分析^[5,6]，唐山7.8级地震是北东走向的唐山断裂，在北东东方向的主压应力作用下产生右旋滑动的结果，为走向北东 30° 的不对称双侧破裂。

图4 a给出1976年7月28日03点42分唐山7.8级，07点17分宁河6.2级，18点45分滦县7.1级三次地震前后不同时段的地震分布。从中可以看出，西区的6.2级和东区的7.1级地震发生前，唐山地震的余震（ $M_L \geq 3.0$ ）主要在中区即唐山断裂附近密集，并未向东区或西区扩展。换言之，西、东两个余震密集区是分别在宁河6.2级、滦县7.1级地震后才出现的。这就进一步表明，本区余震与7.8级地震有更为密切的成因联系，它们是唐山断裂带所积累的巨大能量释放和调整的产物。因而，可把本区地震看作是以唐山7.8级地震为首的一个相对独立的次级地震序列，它是一个典型的主震型序列，最大震级为7.8级，余震中最大震级仅有5.1级， $E_{主}/E_{全} \approx 99.9\%$ 。

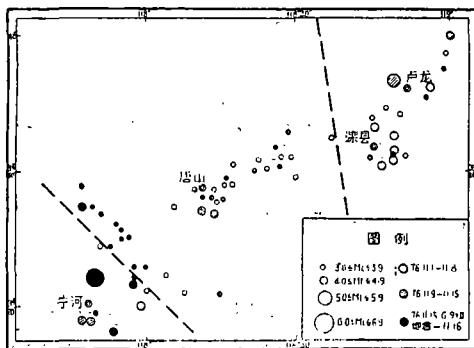
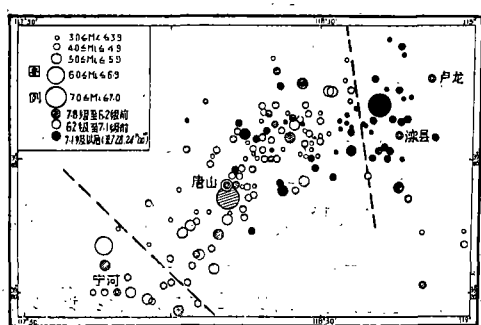


图4 不同时段的地震分布图（ $M_L \geq 3.0$ ）

a. 1976年7月28日

b. 1976年11月1日—11月16日

本区地震活动水平为三区之冠，三年半释放的总能量约为 31.6×10^{22} 尔格。分析三个余震密集区的每月最大震级和地震频度曲线可以看出（图5，点线表示该月最大震级小于3.0级），在7.8级地震后的三年半中，本区地震一直比较稳定地处于较高水平，直到1979年仍保持在 $M_L = 4.5$ 级左右活动。与全区能量（每月最大震级）、频度曲线的对比表明，本区能量释放过程的总趋势与全区比较一致，特别是1978—1979年地震活动的下降—回升过程，二者吻合很好。但在早期（1976—1977年），本区地震的起伏性则比全区小得多。

2. 东区（滦县—卢龙区） 本区大体位于北纬 $39^\circ 40' - 40^\circ 00'$ ，东经 $118^\circ 40' - 119^\circ 00'$

之间, 总体走向近于北东 30° , 长短轴分别为40和30公里, 在迁安—滦县一带呈现出近南北向分布的特点。本区地震震源较浅, 平均为11公里, 变化范围为5—20公里。

本区局部构造为近南北走向的迁安—滦县断陷盆地, 其东界为卢龙断裂, 西界为滦县西断裂。根据宏观考察*和震源机制结果^[6]分析, 滦县7.1级地震是滦县西断裂在北东东向压应力作用下产生右旋滑动的结果, 为走向北东 25.6° 的单侧破裂。

前已指出, 本余震密集区是在滦县7.1级地震之后才明显形成的(图4a), 且其展布方向与滦县—迁安断陷盆地吻合较好。这表明, 本区余震直接受到7.1级地震发震构造的控制, 它们是7.1级地震的直接余震, 连同7.1级地震本身, 都是在唐山7.8级地震的牵动下, 迁安—滦县盆地边界断裂带能量释放和调整的产物。因此, 本区地震也是一个以滦县7.1级地震为首的相对独立的次级地震序列, 它亦属于典型的主震型序列, 最大地震为7.1级, 余震中最大震级为5.6级, $E_{主}/E_{余} \approx 98\%$ 。

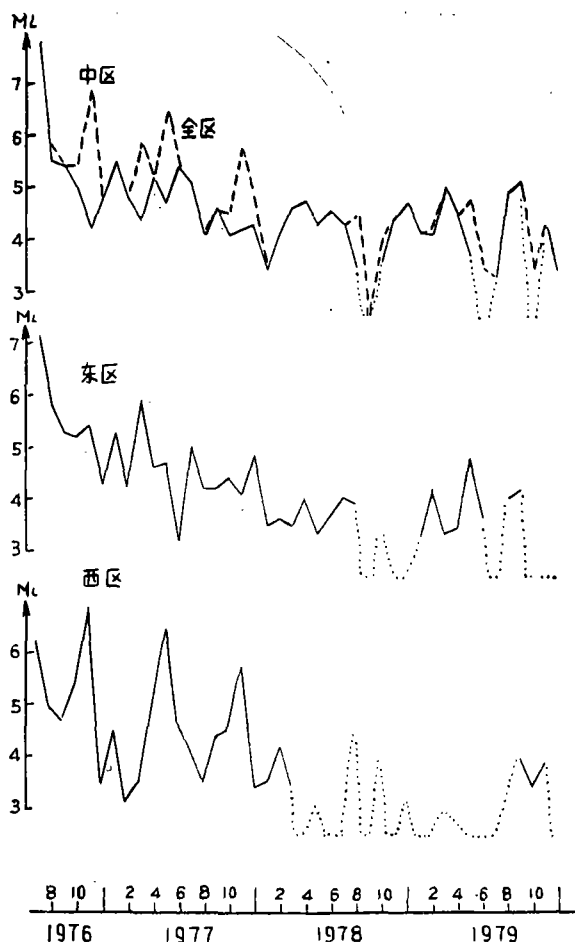


图5 分区每月最大震级曲线

本区地震活动水平与中区相差一个数量级, 释放的总能量约为 2.9×10^{22} 尔格。图5表明, 本区地震能量释放过程与中区比较同步, 但1978年的能量释放减速更为明显, 未出现 $M_L \geq 4$ 级地震。从地震活动的方式来看, 本区地震具有群发性特点, 小地震常成串出现, 尤其是一次中强地震前后, 常伴有一系列中小地震。

3. 西区(宁河—田庄区) 本区位于余震分布区的西部, 其密集区范围大致为 $117^{\circ}42' - 118^{\circ}$, $39^{\circ}08' - 39^{\circ}28'$ 之间, 呈北西走向, 长短轴分别为40和25公里。本区震源较深, 多数为15公里左右, 平均深度为16公里, 最大深度为28公里。

本区局部构造处于北东走向的沧东断裂带与北西走向的宝坻—宁河断裂的交汇部位。后者是一条很新的长期活动的断裂。宏观考察**和震源机制的结果表明, 宁河6.9级地震的实际

* 唐山地震工作队宏观考察组, 1976年7月28日唐山7.8级地震宏观烈度考察报告, 1976。

** 杨理华, 唐山地震区现代构造应力场, 1977。

断层面走向为北东 150° ，它是在南东东向的压应力作用下，北西向宝坻—宁河断裂发生右旋滑动的结果。

本区余震展布方向与宝坻—宁河断裂一致，特别是5—6级较强地震，沿北西方向一直延伸到宝坻附近。分析图4还可以看出，本区余震不仅受宝坻—宁河断裂的控制，而且与本区强震活动直接有关。本余震密集区形成于本区较强地震之后（图4a）。1976年11月15日6.9级地震前后，沿北西向构造明显地呈现出“围空”——“填满”的小震活动图象，与此同时中、东两区地震甚少（图4b）。这表明，本区地震是在7.8级地震的牵动下，北西向断裂带能量释放和调整的结果，它们形成了又一组相对独立的次级地震序列。

本区地震活动水平在三区中最低，但与东区量级相当，约为 1.7×10^{22} 尔格。在地震活动水平较高的1976—1977年，本区较大地震与东区有交替活动的特点，反映了以唐山为轴心，余震区两端地震能量的反复调整过程（表2）。

东西两区的交替活动

表2

西 区	1976.7.28	1976.11.15	1977.5.12	1977.11.27
	07-17 6.2	6.9	6.2	5.5
	↘	↗	↘	↗
东 区	1976.7.28	1977.3.7	1977.7.15	
	18-45, 7.1	5.6	4.6 4.7	

与中、东两区相比，本区自己的个性似乎更突出一些。本区能量释放似接近于震群性特点， $E_{M.x}/E_{余} \approx 83\%$ ，较强地震呈6.2—6.9—6.2—5.5排列。但它们出现的时间却很分散，前后跨越了17个月，且中强地震常以单发式出现，其前后并不伴随众多小震，这都与一般震群型地震序列不同，也与东区活动方式有别。从分区最大震级曲线看出，本区能量释放过程不象中、东两区那样经历了一个前高后低的“马鞍形”，而呈现一个前陡后缓的“鼓包”，其主要活动集中于1977年以前，1978年以后衰减很快，1979年亦未出现回升（图5）。

三、关于唐山地震序列类型的讨论

从前述讨论我们可以看出：

1. 唐山地震序列中三个最大地震既有成因上的联系，又有较大的差别。从它们各自所处的构造条件、发震构造裂缝带的分布、极震区的走向、震源机制解等方面，均可看出它们的发震构造各不相同。唐山7.8级地震为北东走向的唐山断裂在北东东向压应力作用下发生的右旋滑动；滦县7.1级地震为近南北走向的滦县西断裂在北东东向压应力作用下发生的右旋滑动（亦有左旋成份）；宁河6.9级地震为北西走向的宝坻—宁河断裂在南东东向的压应力作用下发生的左旋滑动。

2. 唐山地震序列三个余震密集区的余震活动与本区最大地震有更为密切的成因联系，并各有其序列活动特征，从而分别形成以三个大震为主的三个相对独立的次级地震序列（表3）。

表3还表明，唐山、滦县两次级序列的共性较多，而宁河次级序列的个性较强，这可能与唐山、滦县地震发震构造比较接近，而宁河地震与它们差异较大有关。

三个次级地震序列的活动特征

表3

活 动 特 征		唐 山 序 列	滦 县 序 列	宁 河 序 列
能 量 释 放 特 点	M _{max}	7.8	7.1	6.9
	M _次	5.1	5.6	6.2
	E _{max} /E _全	99.9%	98%	83%
		似具主震型特点	似具主震型特点	似具震群型特点
频度衰减系数(p)		2.03	2.17	2.38
大小地震比例关系(b)		0.81	0.74	0.59
能量衰减方式		能量衰减过程与全区一致, 且衰减较慢呈 $\sim$ 型	能量衰减过程与全区基本一致, 但衰减较快, 呈 $\sim$ 型	能量衰减过程与全区不完全同步且衰减较快呈 $\sim$ 型

3.唐山地震序列三区地震活动各具特色是由各自的应力场所决定的。分析三个区内共24个较强余震的震源机制结果(除文献^[6]所提供的17个地震外,作者又补充了78、79两年的7个地震)后发现,三个区的主压应力方向各不相同。东区以北东—南西向为主,西区以北西—南东向为主,而中区、则无明显的优势方向,显示出处于东、西两区的过渡状态(图6)。

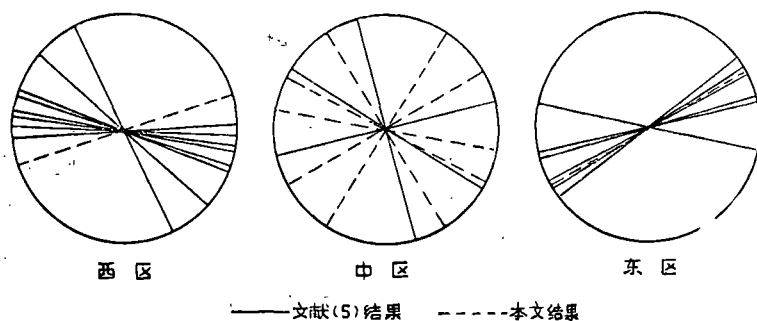


图6 三个余震密集区的p轴走向

4.尽管唐山地震序列中三个余震密集区互相差异,但唐山7.8级地震在全序列中的主导地位是显而易见的。唐山地震序列是以7.8级地震的爆发而开始。7.8级地震所在的中区地震活动水平比东、西两个区高出一个数量级,其能量释放过程勾划出整个序列能量释放的基本面貌。地震活动低于中区的东、西两区相互交替活动,且其能量水平量级相当,显示出以中区为“轴心”两头跳的能量调整方式。

以上事实表明,唐山地震序列是由三组既有成因上的联系,又互有区别的次级地震序列迭加在一起形成的,它是在不同的局部应力条件下,三组结构、走向、规模、力学性质不同的发震构造,受唐山7.8级地震的牵动共同活动的结果。

前已述及,唐山地震序列的时空规模很大,不仅与华北近年来几次7级以上强震相比是如此^[7],与炉霍、通海等震级相近的强震相比也很突出(表4)。我们认为,主要原因在

于, 炉霍、通海等强震的发震构造规模虽然很大, 但它们毕竟是以单一发震构造活动为主的〔8—9〕。而唐山地震则不同, 它是三组不同发震构造几乎同时活动的结果。分析图5不难看出, 唐山地震序列在1976—1977年的多次起伏, 显然与西区宁河—宝坻断裂及东区滦县西断裂的强震活动有关。因此, 把唐山地震序列看成是三组发震构造不同的次级地震序列相互迭加的结果, 就不难解释唐山地震序列强震多、衰减慢、起伏大的总体特征。

三个强震序列的比较

表4

活 动 特 征 地 震 序 列	1970.1.5通海〔9〕	1973.2.6炉霍〔8〕	1976.7.28.唐山
最大震级 M_1	7.7	7.9	7.8
次大震级 M_2	5.7	6.3	7.1
M_1-M_2	2.0	1.6	0.7
6级以上地震次数	1	2	5
末次6级地震与主震相隔天数	/	1.5	289
衰减系数(p)	1.37	1.20	1.08
余震区长轴(公里)	80	158	150

因此我们认为, 唐山地震序列既不同于炉霍、通海等典型的主震型地震(它们具有单一发震构造), 又不同于邢台那样的典型的强震群型地震(它以基本稳定的应力场, 基本一致的破裂面为特征)。为了强调唐山地震序列中有三个震级相近而发震构造不同的强震, 称它为多主震型地震比较合适。我们认为, 单从序列活动特征本身来划分震型是很不够的, 因为它仅限于现象的描述。以主要地震的发震构造(包括应力场)的特征作为划分震型的主要依据似乎更为合理。因为它才是决定一个地震序列活动特征的最本质的因素。

本文由刁桂苓, 戴英华同志提供部分P波初动资料, 姚法章同志参加深度剖面制图工作, 谨致谢意。

参 考 资 料

- 〔1〕邱群, 1976年7月28日河北唐山7.8级地震的发震背景及其活动性, 地球物理学报, №. 4, 1976.
- 〔2〕魏群, 地震序列, 地震战线, №. 1, 1977.
- 〔3〕阚荣举等, 龙陵地震序列的震源机制特征, 地震研究, №. 4, 1979.
- 〔4〕河北省地震局, 唐山地震目录, 地震出版社, 1980.
- 〔5〕唐山地震工作队, 唐山大震地震构造, 地震战线, №. 2, 1977.
- 〔6〕张之立等, 唐山地震的破裂过程及其力学分析, 地震学报, №. 2, 1980.
- 〔7〕陈非比等, 唐山地震, 地震出版社, 1979.
- 〔8〕蜀水, 炉霍7.9级地震特征和该区的地震活动性, 地球物理学报, №. 2, 1974.
- 〔9〕张淑荣, 1970年1月5日通海地震序列特征, 地震研究, №. 2, 1980.

CHARACTERISTICS OF TANGSHAN EARTHQUAKE SEQUENCES AND DISCUSSION ON ITS TYPE

Hu Chang-he Chen Fei-bi* Zhang Jia-yan Yang Guo-bao

(*Seismological Bureau of Hebei Province*)

Abstract

The basic characteristics of Tangshan earthquake sequences have been analysed in this paper according to the seismic data by the end of 1979. The authors suggest that the Tangshan earthquake sequences are characterized by many macroquakes, slow attenuation of energy, great fluctuation, large size extension and so on in the general and it is of obvious regional features showing the different seismicities in various areas. From this, the authors have discussed the type of the Tangshan earthquake sequences. The authors emphasise that the magnitudes of the three strongest earthquakes ($M=7.8$ in Tangshan, $M=7.1$ in Luanxian and $M=6.9$ in Ninghe) were almost similar to each other but different in seismotectonics and the existence of three sub-sequences headed by the three earthquakes. It is reasonable to name it as a sequence of multi-main shock type.