

华北地区的应力场及其与地震活动的关系

李钦祖 靳雅敏 于新昌

(河北省地震局)

本文的目的是从已经搜集到的各种资料勾画出华北地区应力场的轮廓,并进而从应力场的角度讨论华北地区地震活动的主要特征。这里说的华北地区,是指地质上的一个块体〔1〕〔2〕。北界是阴山构造带,大体取北纬42°线;南界是秦岭大别山构造带;西界是贺兰山、六盘山构造带,大体取东经105°线;东界目前还不甚清楚,但至少要在海域。

一、华北地区的地壳应力场

目前能够搜集到的与应力场有关的资料,有以下几方面。

1. 震源机制

华北地区由于近年来发生的地震较多,地震台网也较密,所以得到的震源机制资料比较丰富。国家地震局、地球物理所、各省市地震局、队的同志们在这方面都做了大量工作。其中一些地震,做出了断层面解,而一些地震,做出了综合断层面解。这些结果分别列于表1和表2。

在震源机制结果中,压应力主轴P和张应力主轴T一般都倾角不大,如果只统计一下它们随方位的分布,就会发现,压应力主轴P主要都集中于北东东—南西西方位上,张应力主轴T主要都集中于北北西—南南东方位上。震级越大,这一点表现得越清楚,而对于四、五级地震,则表现得有些紊乱。这可能是因为它们较多地受到当地局部条件的影响。

华北地区内地震的断层面解

表 1

编号	时 间	震 中		震 级	深度 (公里)	节 面 A		节 面 B		P		T		N		备 注
		$\varphi^{\circ} N$	$\lambda^{\circ} E$			走向倾向倾角	走向倾向倾角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角			
1	1937.8.1	35.2	115.3	7		43SE80	312NE82	87	13	177	2	275	77			
2	1966.3.8	37°21'	114°55'	6.8	10	21SE75	114SW80	67	4	158	17	327	72			
3	1967.3.27	38.5	116.5	6.3	30	15NW61	287NE85	238	17	335	24	117	61			
4	1969.7.18	38.2	119.4	7.4	35	20SE80	292SW75	246	4	155	18	349	71			
5	1975.2.4	40°39'	122°48'	7.3	16	290NE81	23SE75	66	18	157	4	100	73			•
6	1976.4.6	40°14'	112°12'	6.3	12	6 NW68	95S86	228	19	323	12	83	67			••
7	1976.7.28	39°28'	118°12.5'	7.8	22	30NW90	120NE90	75	0	345	0	210	90			••
8	1976.9.23	39.8	106.6	6.2	18	16SE50	98NE80	49	36	152	19	86	48			

※引自顾浩鼎等的结果

※※引自张之立等的结果

华北地区内小地震的综合断层面解

表 2

台 站	时 间	节 面 A		节 面 B		P		T		N		备 注	
		走向倾向倾角	走向倾向倾角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	初动符号数	矛盾符号比		
红山台	1968.1~1972.12	18SE78	294SW64	246	10	153	28	355	61	231	13.4%		
康二城台	1968~1973	51.5NW86	317.5SW44	285.5	34	175	27.5	55.5	44	30	23%		
沙城台	1971~1972	24SE90	294SW64	253	18	156	18	24	64	45	20%		
昌黎台	1968.3~1974.5	34NW64	288SW60	253	41	161	2.5	67.5	49	47	19%		
陕西淳化	1976.2.3 ₀₃₋₅₄ 06-20	42NW65	121SW66	262	36	172	0	81	53				
陕西韩城	1971~1975.5	56NW35	109SW67	241	58	359	18	98	25	220	37%		
陕西淳化、跃县	1975~1976.11	40.5NW65	140.5NE70	270	3.5	1.5	33	175.5	57.5	68	35%		
陕西陇县地区	1972~1974	77NW55	145SW63	288	47	22	4	116.5	42.5				
北京附近地区	1966.4~1976.7	21NW90	111SW90	66	0	156	0	21	90	498	25.9%		
唐山全区M ^L 7.4	1976.8.3~1976.8.23	32SE83	124SW80	258	2	168	13	358	77	1199	38.7%		
临汾~运城	1971~1972	17.5NW56	94SW71	230	38	328	10	71	50				
海城、辽阳	1974.11.20~1975.2	300SW60	31SE90	260	20	161	20	31	60				
山东苍山台		112SW61	54NW46	253	58	354	9	92	32	36	2.8%		
加祥台		134NE70	31NW58	261	9	356	38	160	51	21	19%		
泰山台		143SW74	29SE35	78	23	198	50	333	31	20	15%		

每个结果只代表该地点的地壳应力状态,但分布于整个华北地区的所有这些结果,却勾画出了全华北地区的地壳应力场基本轮廓,表明华北地区处于一致性较好的统一应力场中。

2. 大地测量

同地震有关的一个最完美的测量结果是关于1966年邢台地震〔3〕的。这个测量结果指明,邢台地震的最大垂直形变为44厘米,最大水平形变比它大一倍左右。邢台地震以右旋水平形变为主,由测量结果推测的北北东向地震断层面与震源机制符合得很好。对于邢台地震区,1960年才进行过第一次三角测量,因此水平形变的资料时间较短。但垂直形变表明,自1920年有水准测量资料以来,邢台地震前有一个将近半个世纪的地形变长趋势变化,速率为4~6毫米/年。邢台地震区的大地测量结果支持了前面所说的华北地区的应力场轮廓。

从1920年以来就有测量资料的还有穿过1967年河间6.3级地震极震区的沿子牙河的测线〔4〕,以该测线上位于静海县第十一堡的CRC150号测点为例,从1920年至1964年也有一个将近半个世纪的长趋势变化,速率为3~3.5毫米/年。1964年后反向。

1975年2月4日海城7.3级地震造成的地形变,在垂直方向最大为140毫米,在水平方向最大为400毫米,也是以水平形变为主,而且根据三角形边长变化计算出的应变参数、压应力主轴P和张应力主轴T、走向为北西西的以逆时针水平错动为主的地震断层面等,同震源机制结果以及宏观考察所得地震断层面走向和错动方式,符合得很好〔5〕。

1976年7月28日唐山7.8级地震的形变测量表明,地震时的地壳运动以沿北北东向断层的顺时针水平运动为主,水平形变显示的水平错距最大为2.5~2.6米,而垂直错距只有1.2米(东南盘相对西北盘下降)〔6〕。

以上所述大地测量结果都表明施测地区的地壳形变以水平形变为主,而且所反映的应力状态同根据震源机制结果得到的华北地区应力场相符。

湖北丹江口水库地区1974年和1975年两年的形变测量资料〔7〕表明,水平形变为北北西方向伸长,近东西方向缩短,用摩尔圆图解法得出压应力主轴为北东东——南西西向。

我们很希望知道面上的水平形变情况,以便从形变方面导出地壳应力场。可惜,目前还做不到。目前的地壳形变测量工作,大都是垂直形变方面的,而且多数是定点短水准的,这些资料比较复杂,很难由它们给出华北地区地壳运动和应力场的概貌。

3. 大地震的构造裂缝

地震的原生裂缝,是造成地震的地壳运动的直接表现,利用构造地质学的方法对它们进行分析,可以导出震源区应力场的图象。

1976年7月28日唐山7.8级地震的构造裂缝,总体走向为北东30°左右,运动性质以顺时针水平错动为主,最大水平错距为1.53米。由构造地质学的分析知道,其压应力主轴为北东东——南西西向,张应力主轴为北北西——南南东向,它们的倾角都不大。

1975年2月4日海城7.3级地震的主要一组构造裂缝,走向为北西西,以逆时针水平错动为主,表明压应力主轴为北东东——南西西向,张应力主轴为北北西——南南东向,而且倾角都不大,其次,北北东向的一组构造裂缝也较发育。

1966年邢台地震发生在束鹿断陷内,复盖层厚,喷沙冒水现象极为普遍,裂缝多沿河岸。原生裂缝不象唐山地震和海城地震那么明显、那么单纯,但总体看,以沿北北东向断层的顺时针水平错动为主,运动性质以及所反映的力学性质与唐山地震相象。

李四光同志《地质力学概论》中有1952年10月8日山西崞县5 $\frac{1}{2}$ 级地震的地裂缝资料(见该书第48页图版Ⅱ),表现出北北东向顺时针错动与北西西向逆时针错动两组,其力学性质为压应力主轴北东东——南西西向,张应力主轴北北西——南南东向。

1920年12月16日宁夏海原8 $\frac{1}{2}$ 级地震的地裂缝,据郭增建(面告)等同志1977年夏到现场考察所见,仍然清晰存在。在干盐池一带沿北西西向逆时针水平错动达两米多,运动性质以及所反映出的力学性质与海城地震相同。

如果说得更远一些,1957年12月4日蒙古8.3级大地震(震中位置45 $\frac{1}{2}$ °北,99 $\frac{1}{4}$ °东)的构造裂缝也是这种样子,沿北西西向断裂长度约270公里,逆时针水平错距最大达9米左右。还有,1973年2月6日炉霍7.9级地震的构造裂缝走向也是北西西向,长度90公里左右,逆时针水平错动为主,最大错距3.6米。

由以上几次地震的原生裂缝推断出的震源区应力场同震源机制以及大地测量结果是完全一致的。

这几次地震的原生裂缝资料以人们肉眼在地震现场直接所见的地壳运动,沟通了震源机制、大地测量、原生地裂缝和等震线形状之间的联系,证实了所有这些都是一个统一的震源过程在不同方面的表现。

4. 大地震的等震线

我国历史地震的记载大约有三千年的历史〔8〕。从这些地震的等震线资料中可以提取震源信息。根据资料〔9〕〔10〕以及大地震的现场考察结果,内圈等震线长轴方向严格受地震破裂面走向控制,而地震破裂面又与震源机制结果中的节面相符,以水平剪切错动为主。因此,等震线长轴方向就代表着地壳应力场中最大剪切应力的方向。我们把华北地区所有历史和现代地震的等震线进行了审查,发现有史以来6 $\frac{1}{2}$ 级以上、1900年以后6级以上地震的内圈等震线可显示出明确可靠的长轴方向。但是其中有些地震(如1965年临汾8级地震等)的等震线

呈现三角形,而不是椭圆形,资料本身给不出等震线长轴方向。还有的地震(如1967年河间6.3级地震)内圈等震线与外圈等震线长轴方向基本正交,或者(如1975年海城7.3级地震)等震线是个菱形,这反映了地震破裂面可能不是一个简单面,而是两个或两组破裂面。因此,取两个等震线长轴方向数据(表3)。

华北地块内地震(1900年以前 $M \geq 6\frac{1}{2}$)的等震线长轴方位 表3

编号	时 间	地 点	震 级	等 震 线 长 轴 方 位 (度)
1	143.10—	甘肃甘谷西	7	315
2	788.3.8	陕西安康	6 $\frac{1}{2}$	304
3	1022.4—	山西大同、应县	6 $\frac{1}{2}$	2
4	1038.1.9	山西定襄、忻县一带	7 $\frac{1}{4}$	20
5	1303.9.17	山西洪洞、赵城	8	20
6	1337.9.8	河北怀来一带	6 $\frac{1}{2}$	294
7	1477.5.13	宁夏银川	6 $\frac{1}{2}$	25
8	1501.1.19	陕西朝邑	7	298
9	1502.10.17	河南濮城	6 $\frac{1}{2}$	354
10	1556.1.23	陕西华县	8	70
11	1561.7.25	宁夏中宁	7 $\frac{1}{4}$	304
12	1568.5.15	陕西西安东北	6 $\frac{3}{4}$	285
13	1618.5.20	山西介休	6 $\frac{1}{2}$	45
14	1622.10.25	宁夏固原北	7	302
15	1626.6.28	山西灵丘	7	69
16	1654.7.21	甘肃天水	7 $\frac{1}{2}$	18
17	1665.4.16	北京通县	6 $\frac{1}{2}$	18
18	1668.7.25	山东莒县郯城	8 $\frac{1}{2}$	16
19	1679.9.2	河北三河平谷	8	40
20	1683.11.22	山西原平定襄	7	355
21	1709.10.14	宁夏中卫南	7 $\frac{1}{2}$	277
22	1718.6.19	甘肃通渭	7 $\frac{1}{2}$	358
23	1720.7.12	河北沙城	6 $\frac{3}{4}$	285
24	1739.1.3	宁夏平罗银川	8	29
25	1765.9.2	甘肃武山、甘谷	6 $\frac{1}{2}$	358
26	1815.10.23	山西平陆	6 $\frac{3}{4}$	90
27	1830.6.12	河北磁县	7 $\frac{1}{2}$	280
28	1879.7.1	甘肃武都	7 $\frac{1}{2}$	23
29	1888.6.13	渤海湾	7 $\frac{1}{2}$	8
30	1917.1.24	安徽霍山	6 $\frac{1}{4}$	45
31	1920.12.16	宁夏海原	8 $\frac{1}{2}$	300
32	1927.2.3	江苏黄海	6 $\frac{1}{2}$	(25)一半在海里
33	1932.4.6	湖北麻城北	6	5
34	1937.8.1	山东菏泽	7	30
35	1966.3.8	河北隆尧马兰	6.8	26
36	1966.3.22	河北宁晋东旺	7.2	25
37	1966.3.26	河北束鹿南	6.2	10
38	1967.3.27	河北河间大城	6.3	290, 25
39	1975.2.4	辽宁海城	7.3	290, 35
40	1976.4.6	内蒙和林格尔	6.3	18
41	1976.7.28	河北唐山	7.8	46

将上述等震线长轴方向进行一下统计，得到图 1。由图 1 清楚看到，虽然这些地震很多，分布范围很广，跨越时间也较长，但等震线长轴方向不乱，主要集中在北北东和北西西两个方位上。其中 1556 年华县地震和 1626 年灵丘地震与上述不符，需做专门讨论。

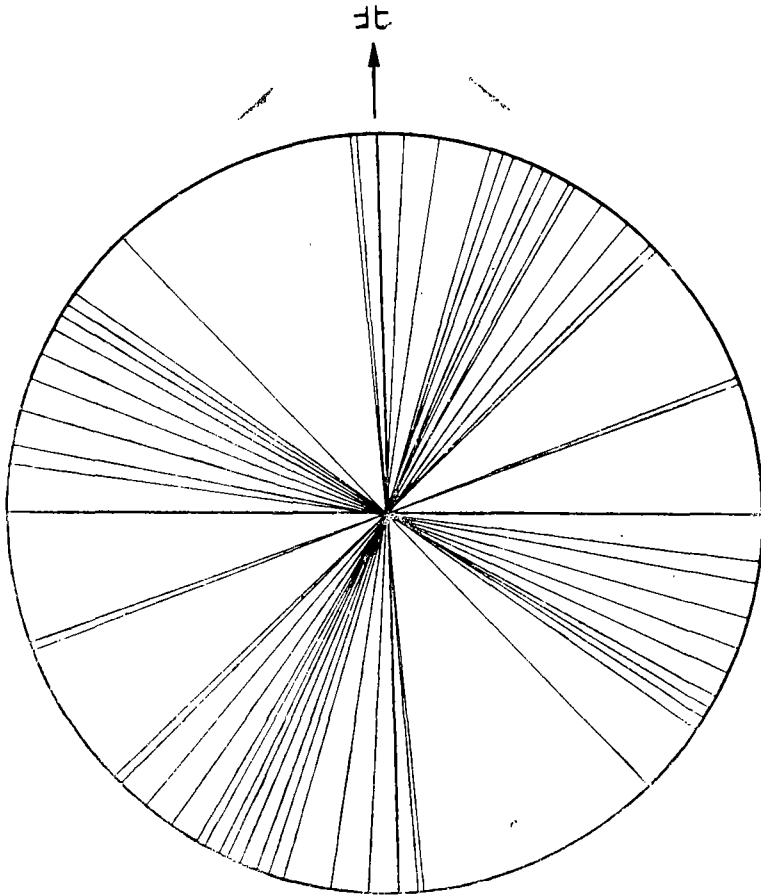


图 1 华北地块内地震(1900 年以前 $M \geq 6.5$
1900 年以后 $M \geq 6$) 的等震线长轴方位

考虑到这两个方位正是华北地震震源机制结果中两个节面的走向，华北大地震都是走滑型以及等震线长轴方向受地震破裂面走向控制等事实，所以，这些等震线资料也证实华北地区是处于一致性很好的统一应力场中，并与震源机制结果一致。这样就导出这个应力场所依据资料的时间推到大约两千年前。

5. 新构造运动

许多垂直形变测量资料表明，新构造运动目前仍在继承性活动，但关于水平运动继承性活动的资料较少。讨论较为详细的一个例子是丹江口水库地区〔7〕，资料〔7〕在分析了一些具体事实后指出：“其挤压应力方向是来自南西西——北东东，该组应力活动时间主要反映在早第三纪末期最强烈，晚第三纪至第四纪时期仍然有反映，表现在新地层变形和断层复活特征方面，从近期地震活动及近期地壳形变资料来看，表明该组应力场至今仍在继续活动。

中国东部新华夏凹陷带内，除了存在一套受新华夏应力场控制的北北东向构造形迹外，

还有一组北北西向构造形迹，这在很多盆地内是可以找到的”。

时振梁等和邓启东等指出，山西雁列式盆地是山西及其周围地壳介质沿北北东向发生右旋剪切运动造成，约克等^[11]根据地球资源卫星——1影象的镶嵌图指出，中国东部“以北东走向的新生代的山西地堑和大体平行的右旋走向滑动断层为主。”

河北省地震局关于河北地区应力场演变的初步结果^[12]曾指出，喜马拉雅运动以前，河北地区应力场的压应力轴为北西——南东向，以后则改为北东东——南西西向。

关于用新构造运动确定应力场，我们需要学习和搜集更多的资料。由以上所述，我们的初步印象是，就华北地块而言，新生代以来的构造运动一直在持续，其应力场与现在震源机制所得结果是相符的，新生代以前，可能与现在的不一样。

二、华北地区地震活动的应力场基础

现在我们试图从应力场同介质这一对矛盾的发展变化这个角度，来解释华北地区地震活动在总体上所表现出的一些主要特点，并从中引伸出中长期地震预报应予考虑的问题。

1. 华北地震活动为什么出现高潮期与低潮期？

华北地区象其它地区一样，地震活动随时间的分布不是均匀的，而是时高时低，表现出所谓高潮期与低潮期的现象。这是为什么呢？

我们知道，整个地壳物质处于永不停息的运动之中，在介质中造成应变和应力，并逐渐积累增大，当超过介质可以忍受的强度时，便发生突然破裂，将应变能释放出来，然后又进行积累。积累是缓慢的，可近似看作匀速的，释放是突然的，爆发式的。在华北地块的整体运动过程中，应力的积累和释放交替地表现为主要方面，这便是地震活动交替地出现低潮期与高潮期的应力场基础。自公元1000年以来，华北地区的地震活动已出现四个高潮期，现正处于第四高潮期中^[13]。

2. 在同一高潮期中为什么地震呈现分区交替活动？

由于地壳运动速度在空间上不均匀，各处介质强度不同，以任何时间为起算点的初始状态在各地也不同，因此，各处介质达到破裂强度的时间就不同。而一旦某处发生一个大地震，将破坏周围介质的平衡条件，并在地震破裂面附近，特别是破裂端部附近，造成一个附加应力场，促使这些地方提前发震。所以，在某一个区域一旦发生地震，往往不是一个，而是连续一串，直到这个区域内的应变能基本释放完毕为止。换一个时间段，换一个区域，又重复上述过程。于是，在同一个高潮期中，地震活动就呈现出分区交替集中活动的特点。例如，在第四高潮期中从1966年到现在发生的邢台、河间、渤海、海城、唐山地震就是典型的这种现象。在以前的高潮期中，从地震的时空分布也可以看到这种情况。

3. 震中迁移为什么很有规则？

仍以上述邢台、河间、渤海、海城、唐山地震为例。总体看，震中由西南向东北方向迁移。若细分，则可分为两组，一组是邢台、河间、唐山，每后面一个地震是在前一个地震破裂面的延伸方向上，三个地震的破裂面走向都是北北东，并且大致可以连成一条直线。另一组是渤海、海城，海城地震发生在渤海地震破裂面的延伸方向上。海城地震与唐山地震的关系也类似上述。海城地震的主要破裂面是北西西向，如果纯粹作几何延长线，当然唐山地震的位置不在其延长线上，但考虑到东西向构造带比华北地区的北东向构造远为复杂，它是由

许多北东向、北西向小构造组成的锯齿状的大构造带，海城地震破裂面是在东西向构造带上，因此，从这种意义上说，唐山地震也是发生在海城地震破裂面的延伸线上，只不过不是几何延长线，而是构造延长线。

从邢台到唐山这五个地震，空间上相连，时间上相继，而且明显地表现出有规则的震中迁移现象。这说明这一大片区域的地壳介质处在同一个孕震过程中，根据测量资料看，经过至少半个世纪的积累，在邢台地震前，应力值都达到了相当高的水平，由于东鹿断陷中地壳介质的强度可能比较低，所以首先发生地震，在一定的范围内释放了应力，而在破裂面端部以外的附近，造成附加应力场，促使下一个地震发生。

郭增建等同志的工作^[14]也指出，沿震源机制节面方向，是震中迁移最可能的方向。

4. 地震破裂面的走向分布为什么很有规则？

根据已做过震源机制和考察过原生裂缝的地震来看，华北大地震都是走向滑动型的。等震线长轴方向严格受地震破裂面控制，历史地震等震线长轴方向与现代地震等震线长轴方向一致，集中分布在北北东和北西西两个方向上。而这两个方向正是前面所述应力场中的两个最大剪切应力方向。所以，华北大地震都是在压应力主轴为北东东向，张应力主轴为北北西向的一致性很好的统一应力场作用下，地壳介质沿最大剪切应力方向发生水平错动的结果。若沿北北东向的最大剪切应力方向，则发生顺时针水平错动，如唐山地震；若沿北西西向的最大剪切应力方向，则发生逆时针水平错动，如海城地震。

华北地震破裂面走向和等震线长轴方向的这种规则分布，看来不是一个偶然现象，而是一种规律性的表现，今后如再发生大地震，仍将遵从这一规律。

在中长期地震预报中，地震活动处于高潮期还是处于低潮期，这是截然不同的两种背景。如果处于低潮期，则几十年甚至上百年内没有6级以上地震；如果处于高潮期，则6级以上地震的时间间隔短则几个月，长则十几年，一般平均为几年。

在高潮期中，如果某处发生了一个6级以上地震，根据前面所述的事实与理由，需要警惕在一定的区域内可能将要发生一连串，而不是孤立的一两个6级地震。因为一个6级以上地震的发生，可能是相当大范围地壳相对介质强度而言已达高应力状态的标志。

当一个6级以上地震发生后，下一个地震将发生在什么地方？中长期地震预报必须研究并回答这个趋势问题。根据上述，我们认为在地震破裂面的延长线或其构造延长线方向上发生的可能性最大。而且沿这种方向考虑每一个具体位置是否具备发生地震的各种条件时，其中要考虑的一个条件是，有没有北北东向或北西西向断裂或其它低强度构造。因为这两个方向是华北地区地壳应力场中的最大剪切应力方向，而华北地区的大地震，就是地壳介质沿这两个最大剪切应力方向发生水平错动的结果。

三、从唐山地震的过程看一次地震所经历的几个主要阶段

由应力场和介质这一对矛盾的发展变化看，一次大地震大体上经历下述几个主要阶段：

1. 弹性积累阶段

一个大地震如果发生，则一定得具备在相当大范围内积累足够高应力的条件。如果积累不起足够高的应力，则根本不能发生地震；如果虽然应力足够高，但范围不够大，则只能发生小地震，地震的有无取决于应力值相对于介质强度的高低，地震的大小取决于积累足够高

应力的范围大小。

由于上述条件的存在,在应力开始积累并逐步增大的相当长时间中,介质主要是在积累应力,并且基本上是弹性性质。在此过程中的表现应该是周围发生地震而这个范围内基本无震,形成地震活动的空白区。同时,还应该保持大致不变速率的长趋势地壳形变。前面已经提到,邢台地震区两个测点和静海县第十一堡测点,从1920年有测量资料直到1964年,将近半个世纪,有一长趋势垂直地壳形变,速率为4~6毫米/年。1920年以前没资料。海城地震区附近的长趋势垂直形变最早到1973年,再早也无资料。邢台和河间地震之前的长趋势地壳形变的时间至少有将近半个世纪,渤海、海城、唐山地震比这两个地震大,长趋势地壳形变的时间应该更长。这几个地震之间相隔的时间都很短,而地区上也很近,并且同处在一个大围空区中,互相之间密切相关。因此,这几个地震是属于同一个围空区中的经历了半个多世纪的同一个孕震过程。所有这个区域内这个时期中的测量资料应该作为这同一过程的反映。

唐山地区1960年至1971年这个期间,垂直地壳形变非常明显,但水平形变基本在测量误差以内,没有什么显示^[6]。而地震时的地壳运动水平错距远远大于垂直错距,这表明唐山地震弹性阶段水平应变的积累远在1960年以前就早已完成了。而在非弹性阶段的变化,由于测量周期太长,尚不得而知。

在这个阶段中,由于介质密度分布进行着持续的改变,所以,在重力观测中应该反映出长趋势的变化。

2. 非弹性变化阶段

当应力积累到弹性限度时,介质将开始出现非弹性变化。以唐山地震前的情况而言,进入非弹性变化阶段后的具体表现有:①在原来的地震围空区内未来将要发生大地震的地点的周围,出现较多较大的地震,1970年以来,河北北部4级以上地震大都发生在唐山地区及其周围;②与此相应,地震重复率曲线的b值降低,据资料^[15],从1972年初开始,唐山地区b值随时间变化曲线上出现低值;③地壳形变偏离原来的变化速率,出现加速或反向,渤海北岸唐山地区垂直地壳形变,1954年至1969年呈趋势性变化,年变率3毫米,1969年出现反向或加速变化,沧州,大灰厂,牛口峪水准在1973~74年显示出加速变化。当然,在非弹性变化阶段地壳形变既然已偏离原来的速率,那么加速或反向等现象就可能不止一次;④小地震的应力升高,根据朱传镇等同志的工作结果,唐山和海城地震前小震的应力降都比震后的为高。按照理想,如果小地震的应力降能反映出真实的应力背景,那么最好能有从应力开始积累一直到发生大震后的一整套小震应力降数据,勾画出应力积累和释放的全过程,但目前还无法做到这一点。

由上述这些现象看,唐山地震前的非弹性变化阶段似乎是从1970年前后开始的。但如前面所说,1971年相对1960年没有测量出明显的水平形变,如果真的没变化,那说明至少从1960年就进入非弹性变化阶段了。也许1960年以后虽然有变化,但后来(比如也是1970年前后)又反向了,使得1971年和1960年这两者之间没有多大差异,但是,我们倾向于认为,即便有一些起伏变化,也只是大地震前地壳不稳定状态的一种反映,而不可能构成水平形变积累的主要部分。何况中间的时间没有测量资料,不好断定。

3. 临震前地壳介质的大规模蠕动

这个时间指唐山地震前几个月。具体表现有:①北京天文台的测时测纬从1976年5月开

始出现异常变化,张国栋、李致森等同志指出^[16]：“这可能是由于震前短时间内,震区附近的地下物质发生大规模的急骤的运动,使观测点垂线方向变化和水平位移引起的观测值的变化共同造成的”。如果完全归之于水平位移,位移量应有好几米,比唐山地震断层的水平错距还大一倍以上,似乎是不合理的。看来一定有垂线方向偏移,这就表明,地壳介质的蠕动造成了物质的重新分布。与此相应,应该引起重力场的变化。②大灰厂、牛口峪等形变台站1976年5月表现出加速变化。这两个台站和天文台同处北京市,出现变化的时间同是5月,似非偶然。③许多井孔的水氦值原来上升,在1976年4月由高值转为低值。由上述几种手段看,1976年5月是个明显的时间界限。但在其前前后后还有一些值得注意的现象。④1976年上半年内,华北多处发生小震群活动,如山东庙岛、山西太原北格以及东西向阴山构造带上等。⑤青县小牛庄一口石油干井在唐山地震前约40天喷油,管头平射达25米远。⑥任丘县李家庄一口石油干井在7月17日下午开始喷油,像公园里的喷水龙头一样,喷高20米。这表明由于地壳介质蠕动,产生的裂缝沟通了储油构造和井壁。⑦唐山地震后普查了唐山地区地下水宏观前兆,共有868起发生水位升降、变色、变味、发浑、冒泡等变化,其中73.7%在震前1至2天才出现^[17]。⑧唐山地震没有前震,与此相应,许多前兆手段的观测中没有突跳现象,或者至少可以说象海城地震前的突跳现象那么普遍那么明显。

以上这些现象说明唐山地震前,相当大范围内的地壳介质确实有蠕动,并且越临近地震时越强烈,越明显

4. 震后地壳介质的松弛

由于地震时应变能被释放掉,所以地壳介质变得松弛,这是显然的。问题是这个松弛的区域有多大,时间有多长,这对我们判断今后的地震趋势是重要的。我们先来看一看松弛现象的一些具体表现。

①唐山地震时在地表可以看到产生的构造裂缝,地壳介质的破裂使该处震前积累的应变得到较为彻底的释放。由地震断层的水平错距可以大致推算出断层两盘之间在地震前的形变量。

②大地震后小地震的应力降变小。这是由于大地震后整个应力背景降低的结果,也是一种松弛现象。

③邢台老震区的小震活动与唐山地震有呼应关系。根据王泽皋同志的工作,邢台老震区的小震频度,在唐山地震后比震前升高。并且邢台较大余震和它前后各20小时内的唐山最大余震在红山台记录上的初动符号具有一致性^[18],表明在一推一拉的过程中,从唐山到邢台的地壳介质是一个整体,既然唐山震区的地壳介质产生了松弛,邢台老震区内剩余的一些应力也被抖搂了出来,产生进一步的松弛。

④许多前兆观测在唐山地震后恢复了正常值,有一些则表现出不可恢复原值的永久性变化。这些永久性痕迹,在本质上类似于地裂缝,是一种松弛现象。

⑤所说大港油田在唐山地震后增产。这可能是地下产生了许多裂缝,增大了相当多油井的有效截面。

⑥河南省安阳县一口已经干了的民用水井,唐山地震后冒气并可燃,当地把井口封住用管子将气引出烧开水,直到1977年秋仍在燃用,后来没再进行了了解。这表明,地表下有储气部位,震前该部位与井底或井壁不通,震后产生的裂缝将它们沟通了。这种裂缝也是一种松弛现象,不过它是在土层内,更下的岩层中情况如何,不清楚。

从上述这些现象,我们得到的印象是,由于唐山地震的发生,在一定的范围内产生了不同程度的松弛,越靠近震中程度越高。关于松弛程度,目前还给出不了定量的表示方法。

关于松弛时间将会有多长,更需进一步做工作,但有一点是肯定的,就是对于离唐山稍远一些的地点来说,松弛时间是短暂的,而且离唐山越远,这个时间越短。

四、建 议

根据上面关于地震孕育和发生过程的设想,为了做好今后的地震预报工作,我们向地震部门的各级领导和地震战线上的全体战友,提出如下建议:

1.现在还没有测量地壳深部应力的手段,通过测定震源参数来研究应力背景是一条有希望的途径。为此,除加强理论上的研究工作外,特别需要地震观测系统有一个大改进,地震仪要配套,时间服务要高,地震仪的静态参数和动态参数都要准确稳定。

2.地震的事实表明,水平形变是主要的。为了通过地壳形变观测工作监视地震的孕育和发生过程。从而达到准确预报,建议扩大水平形变观测力量,增加观测面积,缩短观测周期。

3.地壳中应力场与介质的矛盾决定着地壳的运动,运动的形式之一是地震。因此:我们必须从地壳的运动过程中来认识地震、把握地震、预报地震。邢台和海城地震前有丰富的前震,因而地壳大破裂之前的小爆裂引起人们的重视。唐山地震改变了人们的看法。而且仔细审查一下,河间、渤海、和林格尔和磴口地震,也象唐山地震一样,没有明显的前震活动。也就是说,华北地区的大地震,百分之七十是没有前震的。临震预报不能完全指望前震,那么又靠什么呢?我们坚信地震都是有前兆的,根据唐山的情况看,这些前兆是由临震前大范围大规模的地壳长周期运动和蠕动引起的。因此,我们建议尽快研制、生产长周期地震仪和蠕变仪,积极开展地壳长周期运动和蠕动过程的观测和研究。

(本文1980年7月2日收到)

参 考 资 料

- [1] 曾融生 莫霍界面的重力补偿和地壳结构的基本模式· 地球物理学报, 16, 1973
- [2] 杨理华 在中国陆台划分板块 1974
- [3] 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 18, 3 1975
- [4] 中央地震工作小组办公室地震测量队 华北部分地区地壳形变汇丛 1970
- [5] 国家地震局地震测量队 海城7.8级地震的地形变 地球物理学报 20, 4, 1977
- [6] 国家地震局地震测量队 地震与地壳形变(2) 1977
- [7] 武汉地震大队 丹江口水库区及其周缘地区北北西向构造发育的特征 1976
- [8] 中央地震工作小组办公室 中国地震目录 1971
- [9] 陈培善 震源机制与烈度分布的关系(一)(二)地球物理学报 18,1,1975,20,1,1977
- [10] 陈颀 测定浅震震源参数的宏观方法 地球物理学报 18, 4, 1975
- [11] 约克等 中国的地震活动性和第四纪断层 国外地震, 1978, 2
- [12] 河北省地震队地震地质组 河北地区应力场的发育和演变 1974
- [13] 河北省地震队 河北省地震危险区初步探讨 地震技术资料汇编, 1973
- [14] 兰州地震大队 宁夏地震队 1920年12月16日的海原大地震 地球物理学报19, 1,

1976

- [15] 李全林等 b值时空扫描—监视破坏性地震孕育过程的一种手段 地球物理学报
21, 2, 1978
- [16] 张国栋 李致森等 大震前天文测时测纬结果异常1977
- [17] 唐山地震工作队 唐山地震的地下水变化 地震战线 1977, 3
- [18] 王泽皋 1966年以来华北强震活动 1978

above mentioned data

STRESS FIELD AND ITS RELATION TO SEISMISITY IN NORTH CHINA

Li Qin-zu, Jin Ya-min and Yu Xin-chang
(Seismological Bureau Of Hebei Province)

Abstract

North China is delineated here by a geological block roughly from 30° to 42° north latitudes and from 105° east longitudes toward east up to sea area. The data of focal mechanisms, geodetic results, ground fractures during earthquakes, isoseismals and new tectogenesis were gathered and analysed. The conclusion that the basic stress field in the crust of North China is quite consistent with compressional axis in the northeast-east direction and tensile axis in the north-northwest direction and these axes are nearly horizontal was drawn. The relation between the stress field and the medium defines the crustal movement. One of results of the movement is the occurrence of earthquake. From this point of view, the general features of seismicity of North China was discussed. The high and low tides, the alternately concentrative activities in various areas, the regular orientations of fault planes and the regular migrations of epicenters appeared in the seismic activity. They are useful for the long-term earthquake prediction.

The general features of seismogenic process for a great earthquake has been discussed combining with the various phenomena appeared before the Tangshan Earthquake. There were no foreshocks for the most of $M \geq 6$ earthquakes of North China. It seems that the long period movement or creep is probably a more universal basis of precursors. On the basis of this, some suggestions concerning the future work have been proposed.