

地震科学研究

第一辑

地震出版社

《地震科学研究》编辑委员会

主 编 马杏垣

副主编 陈鑫连 马宗晋 刘 艺

委 员 (以姓氏笔划为序)

丁原章 马 瑾 许绍燮 朱凤鸣 李瑞浩 李 珏 刘昌铨 陈运泰
陆远忠 张国民 郭增建 赵国光 徐道一 韩渭宾 殷有泉 黄立人
贾化周 蒋邦本 阚荣举

地 震 科 学 研 究

一九八〇年 第一辑

编 辑 《地震科学研究》编辑部

北京三里河路 54 号

出 版 地 震 出 版 社

北京三里河路 54 号

印刷装订 地 质 印 刷 厂

发 行 新华书店北京发行所

787×1092 1/16 5 3/4 印张 169千字
1980年9月第一版 1980年9月第一次印刷

统一书号: 13180·84 期刊登记号: 327

定价: 0.50元



(1980 年 第 1 辑)

华北地区大地震的成组活动特点	李钦祖、于新昌	(1)
霍山震群前后的波速异常及小震活动特征	王炜、宋俊高、戴维乐	(9)
试论地震的短临趋势前兆	周硕愚、韩健、宋永厚、陈如凤	(11)
盐源—宁蒗地震的前震	刘赛君、杨桂芬	(19)
余震期间的地声观测研究	中国科学院生物物理所十一室地声组	(25)
预测最大地震震级的一种方法	朱成燕	(33)
松潘、平武地震和川青块体的运动	韩渭宾、夏大德	(39)
中宁古地震剖面的发现与初步研究	朱海之、朱淑莲、王立功、陈建英	(48)

华北强震中期预报方案的初步设想.....胡长和、廖均磷、陈非比 (56)

临震地壳波动现象的探讨.....马瑾、向家翠、袁淑荣 (62)

地下水对地球重力场的扰动.....许天铭、管泽霖、侯思聪 (66)

应用蒙特卡罗方法估计地震 b 值精度.....宋良玉、张建中 (69)

关于地震前潮汐因子 δ 异常变化的讨论.....庄茂良 (76)

根据余震的平均断错讨论唐山地震后震源区的调整过程.....胡祚春、刘元壮 (80)

测定 GS 型重力仪记录格值的一种新方法.....马鸿钧、骆鸣津 (84)

《中国地震》及其作者李善邦 宋令 (89)

中比进行重力、固体潮合作研究..... (83)

华北地区大地震的成组活动特点

李钦祖 于新昌

(河北省地震局)

摘 要

通过对华北地区(北纬 30° 至 41.5° , 东经 105° 至 124°)公元1000年以来 $M \geq 6$ 地震的系统分析, 发现大多数地震是成组发生的, 每一组地震仅局限于一定的区域中和一定的期间内。具体划分出16个地震组, 它们的统计结果表明, 有将近70%的地震, 以成组活动的形式发生于20%的时间以内。这个数字充分说明, 成组活动是华北地区6级以上地震的一个重要特点。据此, 我们提出了华北地区6级以上地震成组孕育的概念, 并得到了大地测量资料的支持。最后简要讨论了地震成组孕育概念对于地震预报的意义。

近十余年来, 在从河北平原到辽东半岛的范围内, 相继发生了邢台、河间、渤海、唐山等一系列大地震, 构成了一串地震活动。从历史上看, 这种大地震成串活动的现象究竟是偶然发生的, 还是经常出现的呢? 本文通过对华北地区从古至今 $M \geq 6$ 的大地震的系统分析, 发现这并不是个别的现象。大地震的发生, 往往表现出随时间的分布是成串的, 随地区的分布是成团的特征。我们把二者结合起来, 叫做大地震的成组活动。

一、华北地区的大地震资料

在地震的研究和监视预报工作中, 人们发现, 北起阴山南至江淮、西起宁夏东至海域

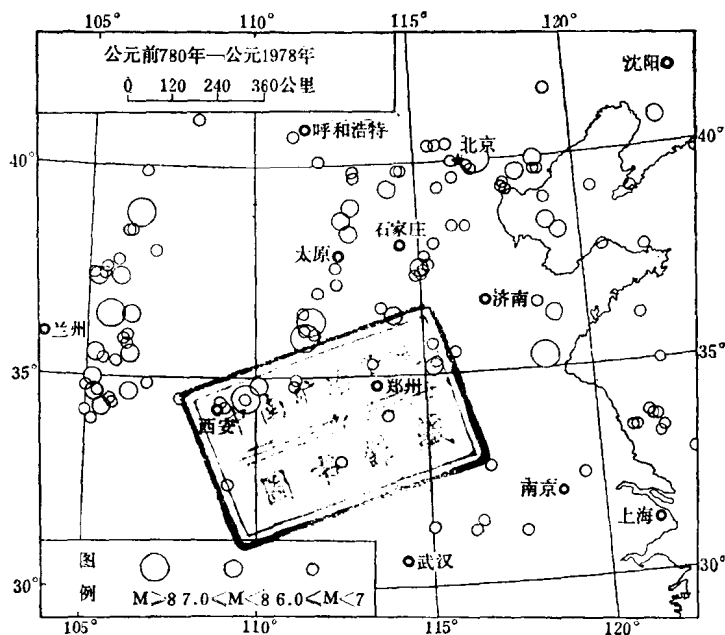


图 1. 华北地区 $M \geq 6$ 地震震中分布图

表 1 华北地区 $M \geq 6$ 地震简目

编号	组别	地震时间 年月日	震中位置		震级	组别	编号	地震时间 年月日	震中位置		震级
			地	名					地	名	
1		780B.C.	陕西岐山		6—7	3	32	1495.4.10	宁夏中卫		6 $\frac{1}{4}$
2		231B.C.	山西临汾、汾阳间		6 $\frac{1}{2}$	3	33	1501.1.19	陕西朝邑		7
3		70 B.C.	山东诸城、昌乐		7		34	1502.10.17	河南濮城		6 $\frac{1}{2}$
4		46.10.23	河南南阳		6 $\frac{1}{2}$		35	1505.10.9	黄海		6 $\frac{3}{4}$
5		128.2.23	甘肃甘谷		6 $\frac{1}{2}$		36	1536.10.22	北京通县南		6
6		143.10.—	甘肃甘谷西		7		37	1548.9.13	山东蓬莱		6
7		512.5.21	山西代县		7 $\frac{1}{2}$	4	38	1556.1.23	陕西华县		8
8		734.3.19	甘肃清水		7	4	39	1561.7.25	宁夏中宁		7 $\frac{1}{4}$
9		777.—.—	河北束鹿、宁晋		6	4	40	1568.4.25	渤海湾		6
10		788.3.8	陕西安康		6 $\frac{1}{2}$		41	1568.5.15	陕西西安东北		6 $\frac{3}{4}$
11		793.5.27	陕西渭南、华县		6		42	1581.5.18	河北蔚县、山西广灵		6
12		876.7.14	宁夏青铜峡南		6 $\frac{1}{2}$		43	1585.3.6	安徽巢县		6
13	1	1022.4.—	山西大同、应县		6 $\frac{1}{2}$		44	1587.4.10	河南修武		6
14	1	1038.1.9	山西定襄、忻县		7 $\frac{1}{4}$		45	1604.10.25	甘肃礼县		6
15	1	1057.—.—	河北固安		6 $\frac{3}{4}$	5	46	1614.10.23	山西平遥、榆社		6
16	1	1068.8.14	河北沧县、河间		6	5	47	1618.5.20	山西介休		6 $\frac{1}{2}$
17		1143.4.—	宁夏银川		6 $\frac{1}{2}$		48	1618.11.16	河北蔚县、山西广灵		6
18		1209.12.4	山西浮山		6 $\frac{1}{2}$		49	1622.3.18	山东郛城		6
19		1219.6.2	宁夏固原		6 $\frac{1}{2}$		50	1622.10.25	宁夏固原		7
20		1290.9.27	辽宁宁城		6 $\frac{3}{4}$		51	1624.2.10	江苏扬州		6
21	2	1291.8.25	山西临汾		6 $\frac{1}{2}$	5	52	1624.4.17	河北滦县		6 $\frac{1}{2}$
22	2	1303.9.17	山西洪洞、赵城		8	6	53	1624.7.4	甘肃庄浪 (旧)		6
23	2	1305.5.3	山西怀仁、大同		6 $\frac{1}{2}$	5	54	1626.6.28	山西灵石		7
24		1306.9.12	宁夏固原南		6 $\frac{1}{2}$	6	55	1627.2.16	宁夏中宁		6
25	2	1314.10.5	河北涉县、武安		6	6	56	1634.1.—	甘肃西和		6
26		1337.9.8	河北怀来		6 $\frac{1}{2}$	5	57	1642.6.30	山西平陆、安邑		6
27		1352.4.18	甘肃会宁		7	7	58	1652.3.23	安徽霍山		6
28		1368.7.8	山西徐沟		6	6	59	1654.7.21	甘肃天水		7 $\frac{1}{2}$
29	3	1477.5.13	宁夏银川		6 $\frac{1}{2}$	7	60	1658.2.3	河北滦水		6
30		1484.1.29	北京居庸关		6 $\frac{3}{4}$	7	61	1665.4.16	北京通县		6 $\frac{1}{2}$
31	3	1487.8.10	陕西蓝田		6 $\frac{1}{2}$	7	62	1668.7.25	山东郛城、莒县		8 $\frac{1}{2}$

续表 1

编号	组别	地震时间 年 月 日	震 中 位 置		震 级	编 号	组别	地 震 时 间 年 月 日	震 中 位 置		震 级
			地 名	$\varphi^{\circ}\text{N}$ $\lambda^{\circ}\text{E}$					地 名	$\varphi^{\circ}\text{N}$ $\lambda^{\circ}\text{E}$	
63	7	1679.9.2	河北三河、北京平谷	40.0 117.0	8	93	14	1921.4.12	宁夏固原	35.8 106.2	6 $\frac{1}{4}$
64	7	1683.11.22	山西原平	38.7 112.7	7	94	13	1921.12.1	黄海	33.7 121.6	6 $\frac{1}{4}$
65	7	1695.5.18	山西临汾	36.0 111.5	8	95		1922.9.29	渤海	39.2 120.5	6 $\frac{1}{2}$
66	8	1704.9.28	陕西陇县	34.9 106.8	6	96	13	1927.2.3	黄海	33.5 121.0	6 $\frac{1}{2}$
67	8	1709.10.14	宁夏中卫	37.4 105.3	7 $\frac{1}{2}$	97	13	1927.2.3	黄海	33.5 121.0	6 $\frac{1}{4}$
68	8	1718.6.19	甘肃通渭	35.0 105.2	7 $\frac{1}{2}$	98	14	1929.1.14	内蒙呼和浩特西	40.7 111.3	6
69	9	1720.7.12	河北怀来	40.4 115.5	6 $\frac{3}{4}$	99	13	1932.4.6	湖北麻城	31°22' 115°04'	6
70	9	1730.9.30	北京西郊	40.0 116.2	6 $\frac{1}{2}$	100	13	1932.8.22	山东青岛海中	36.1 121.6	6 $\frac{1}{4}$
71	8	1739.1.3	宁夏银川、平罗	38.9 106.5	8	101	14	1934.1.21	内蒙五原	41.1 108.3	6 $\frac{1}{4}$
72		1764.6.27	黄海	33.7 121.6	6	102	14	1936.8.1	甘肃天水	34.4 105.8	6
73		1765.9.2	甘肃武山、甘谷	34.8 105.0	6 $\frac{1}{2}$	103	13	1937.8.1	山东菏泽	35.2 115.3	7
74	10	1815.10.23	山西平陆	34.8 111.2	6 $\frac{3}{4}$	104	13	1937.8.1	山东菏泽	35.3 115.4	6 $\frac{3}{4}$
75	10	1820.8.3	河南许昌	34.1 113.9	6	105	15	1944.12.19	辽宁丹东南黄海	39.8 124.1	6 $\frac{3}{4}$
76	10	1829.11.19	山东临朐、益都	36.6 118.5	6	106	15	1945.9.23	河北滦县	39.7 118.7	6
77	10	1830.6.12	河北磁县	36.4 114.2	7 $\frac{1}{2}$	107	15	1948.5.23	山东威海西北海中	37.7 121.9	6
78	10	1831.9.28	安徽凤台	32.8 116.8	6 $\frac{1}{4}$	108	16	1966.3.8	河北隆尧	37°21' 114°55'	6.8
79	11	1846.8.4	黄海	33.4 121.9	6 $\frac{3}{4}$	109	16	1966.3.22	河北宁晋	37°30' 115°05'	6.7
80		1852.5.26	宁夏中卫	37.5 105.2	6	110	16	1966.3.22	河北宁晋	37°32' 115°03'	7.2
81	11	1852.12.16	黄海	33.3 121.8	6 $\frac{3}{4}$	111	16	1966.3.26	河北束鹿	37°36' 115°16'	6.2
82	11	1853.4.14	黄海	33.8 121.5	6 $\frac{3}{4}$	112	16	1966.3.29	河北隆尧	37°21' 115°02'	6.0
83	12	1861.7.19	辽宁金县	39.1 121.7	6	113	16	1967.3.27	河北河间、大城	38.5 116.5	6.3
84	12	1882.12.2	河北滦县	38.1 115.5	6	114	16	1969.7.18	渤海	38.2 119.4	7.4
85		1885.1.14	甘肃天水	34.5 105.7	6	115	16	1975.2.4	辽宁海城	40°39' 122°48'	7.3
86	12	1888.6.13	渤海湾	38.5 119.0	7 $\frac{1}{2}$	116		1976.4.6	内蒙和林格尔	40.1 112.1	6.3
87	13	1910.1.8	黄海	35.0 122.0	6 $\frac{3}{4}$	117	16	1976.7.28	河北唐山	39.6 118.2	7.8
88	13	1917.1.24	安徽霍山	31.3 116.3	6 $\frac{1}{4}$	118	16	1976.7.28	天津宁河	39.2 117.9	6.5
89	14	1920.12.16	宁夏海原	36.5 105.7	8 $\frac{1}{2}$	119	16	1976.7.28	河北迁安、滦县	39.9 118.7	7.1
90	14	1920.12.25	宁夏泾源	35.6 106.3	7	120		1976.9.23	内蒙磴口	39.8 106.6	6.2
91	14	1920.12.28	甘肃静宁	35.5 105.5	6 $\frac{1}{4}$	121	16	1976.11.15	天津宁河	39°28' 117°51'	6.9
92	14	1921.1.7	宁夏吴忠	38.0 107.0	6	122	16	1977.5.12	天津宁河	39°23' 117°48'	6.3

范围内的地震，互相之间有相当密切的关系。因此，“大华北地区”的说法逐渐多起来。我们这里说的华北地区，大体也是指的这个范围，为进行地震分析的方便，我们给它规定一下经纬度区间，即北纬 30° 至 41.5° ，东经 105° 至 124° 。

关于大地震资料，分别于 1960 年和 1971 年出版过两种版本的《中国地震目录》。1976 年又出版了中国科学院地球物理研究所编的《中国强地震简目》，收进了 1970 年以后发生的地震。按照上面规定的华北地区的范围，参照以上资料和后来的地震快报，我们整理出华北地区 $M \geq 6$ 地震简目如表 1，这些地震的震中分布见图 1。以下的讨论都以表 1 所列地震为依据。

二、华北地区大地震的成组活动现象

一个地震序列，如邢台地震序列或唐山地震序列，其中的所有地震均由同一个孕震过程所决定，表现为一组活动，这是毫无疑问的。但是，我们这里说的地震成组活动，指的不是这个，而是在一定的期间、一定的区域内，若干个地点上相继发生多次 6 级以上地震，构成一组地震活动。这个期间叫做这一组地震的活动期，这个区域叫做这一组地震的活动区。在活动区外的其它地点上，活动期内基本无 6 级以上地震。

构成一个组的各次地震，不但发生时间集中于一个不太长的期间内，而且它们的发生地点，也集中在一个不太大的区域中，它们的破坏范围互相重叠、衔接或靠近，或者它们沿着一条共同的构造带、边界带分布。

考虑到早期资料遗漏较多，我们仅把表 1 中公元 1000 年以来 978 年中的 110 次地震进行了分组，共划分为 16 个组，两个区域互相远离的地震组，活动期可以有所重叠（详见表 1）。图 2 画出了这 16 组地震的震中分布。某些组活动期内的组外地震，即发生时间落在某组活动期内、但因相距太远而未划入该组的地震，在图 2 中也画出震中，并加阴影以示区别。

这 16 个地震组共有地震 84 次，约占地震总数的 76%；共占据时间 313 年，约占总时间的 32%。每个组的活动期，短者几年，长者几十年，但每个组中相对比较密集的活动时间，最长都不超过十几年。如果只对活动比较密集的时段进行统计，则占据时间的和为 195 年，占总时间的 20%，相应地震数为 75，占地震总数的 68%。这就是说，华北地区公元 1000 年以来将近 70% 的 6 级以上地震，是以成组活动的形式发生在 20% 的时间以内。这个数字表明，华北地区大地震的成组活动特点是表现得相当充分的。而且越靠近现在，这个特点表现得越充分，这一点由表 2 可以看得很清楚。

从表 2 的统计还可看出，最前几组之间的时间间隔都较长，且活动期外的地震和活动期内的组外地震数也较多。这说明，即使是公元 1000 年以后，早期的地震记载仍可能遗漏较多。假如资料比较完备，地震成组活动的特点可能表现得更加充分。

有一些地震发生在华北地区的边界以外，但考虑到它们同华北地区内某一组地震在空间和时间上的密切关系，也把它们划入了华北地区的地震组。例如，1927 年甘肃古浪 8 级地震，发生时间落在第 14 组的活动期 1920 年至 1936 年内，发生地点处在 1920 年海原 8 $\frac{1}{2}$ 级地震的破坏范围内，因此，我们认为它们由同一个孕震过程所酿成，从而把它们划入同一地震组。这样的地震未列入表 1，它们是：1927 年 5 月 23 日甘肃古浪 8 级地震（包括两次 6 级余震）、1936 年 2 月 7 日甘肃康乐 6 $\frac{3}{4}$ 级地震（划入第 14 组）；1940 年 1 月

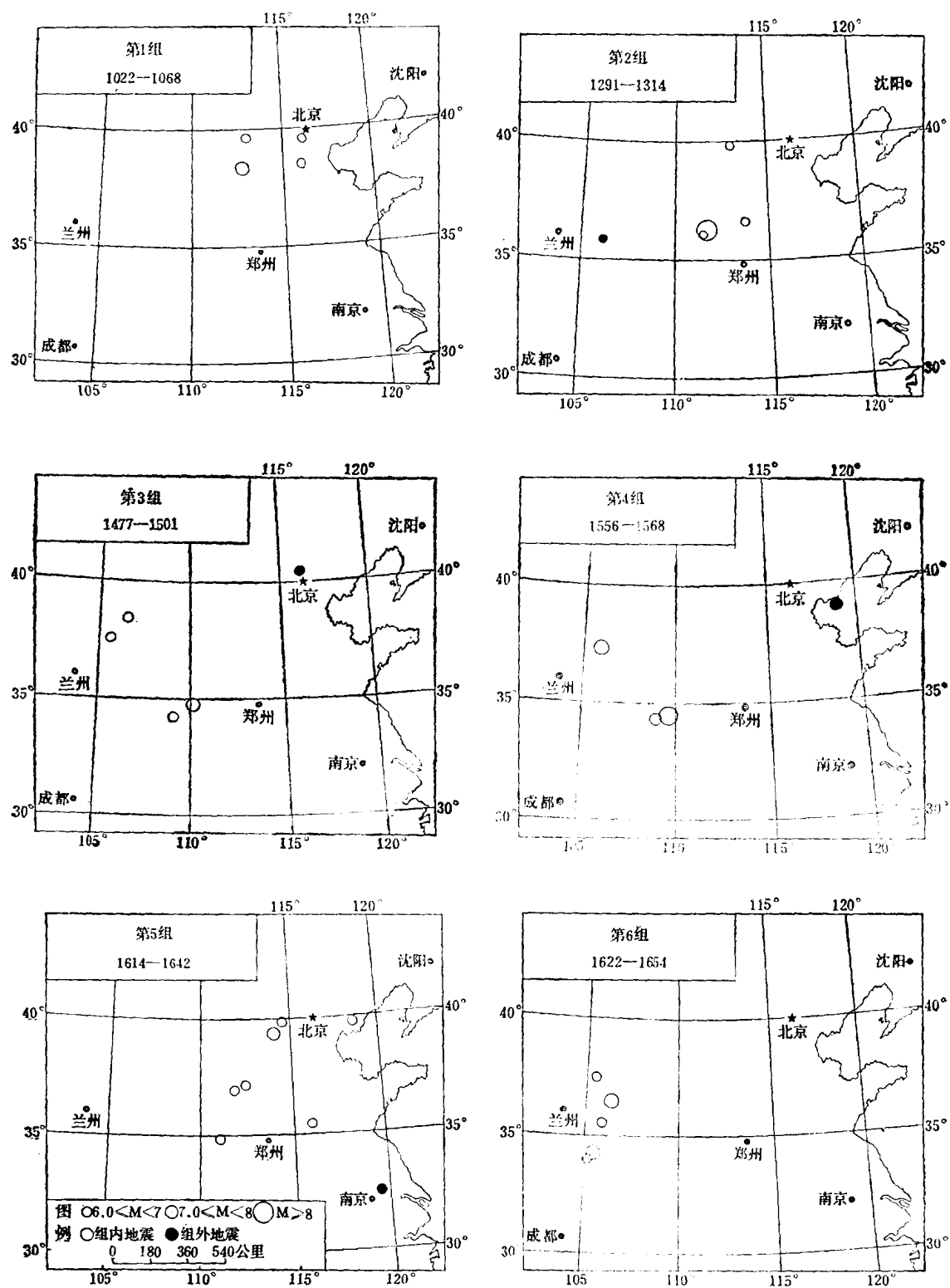
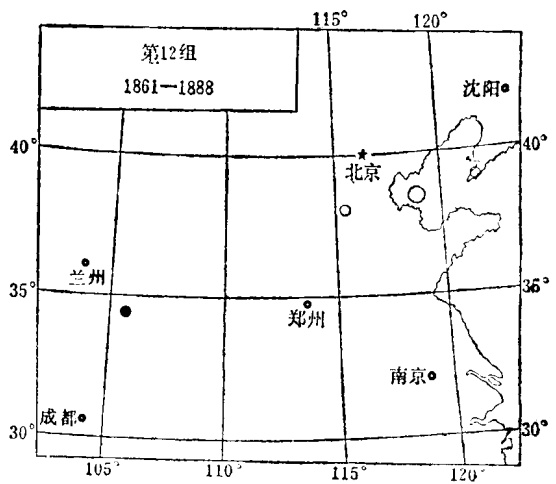
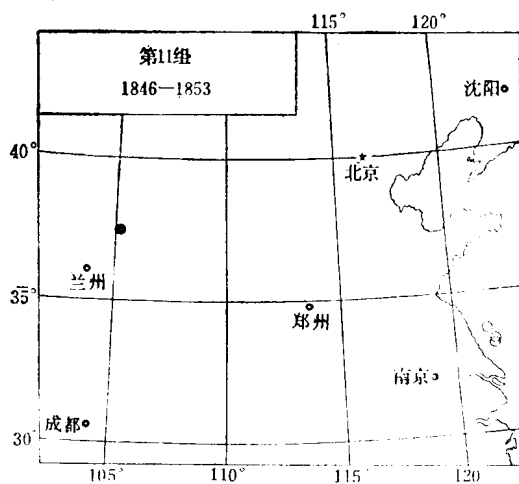
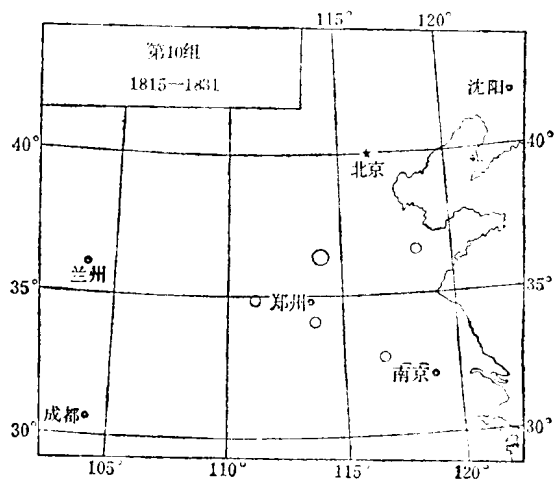
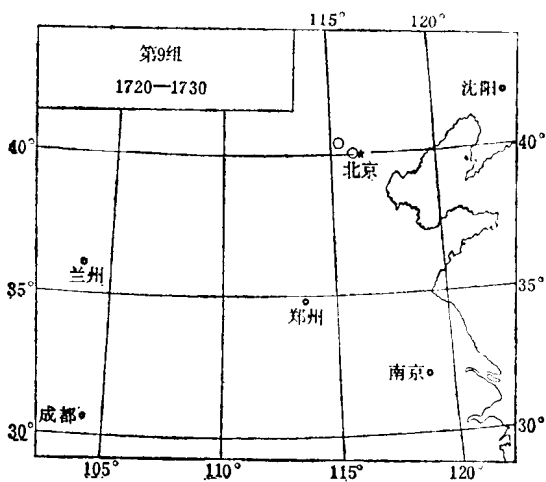
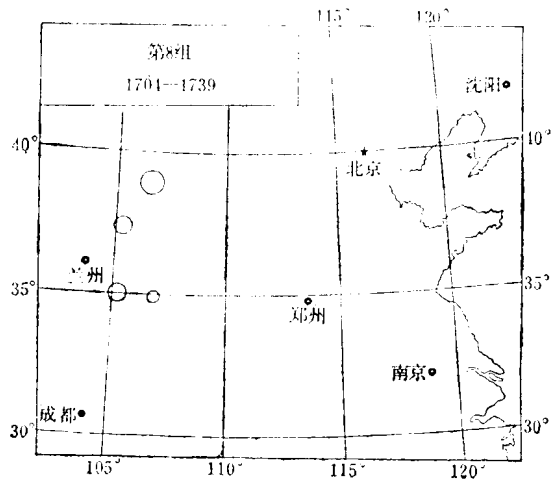
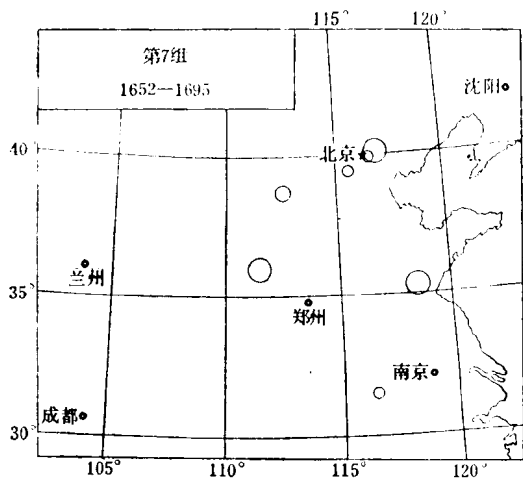
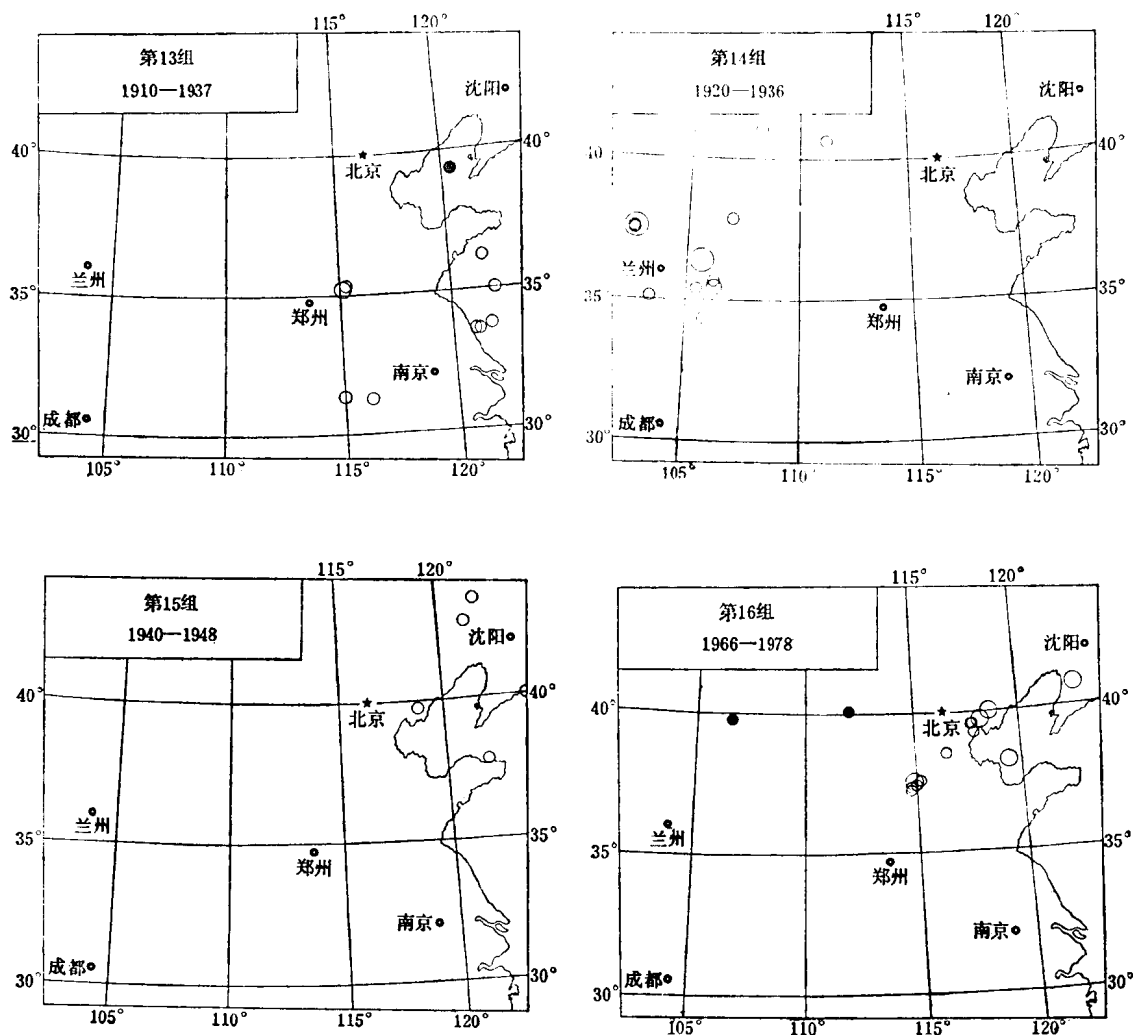


图 2 公元 1000 年以来华北地区 16 个地震组活动期内 $M \geq 6$ 地震震中分布。



续图 2 (一)



续图 2 (二)

19 日吉林库仑旗 6 级地震、1942 年 7 月 9 日吉林通辽 6 级地震 (划入第 15 组)。

三、华北地区的大地震是成组孕育的

华北地区 6 级以上大地震的成组活动表明, 华北地区的大地震不是东一个西一个孤立散乱地孕育成的, 而是一组一组地孕育成的。每一组地震局限于一定的区域内, 由同一次孕震过程基本酝酿成熟之后, 相继发生于一定的期间内。

地震之所以发生, 是因为地壳介质在其不停息的运动中积累起来的应力和应变, 超过极限强度而造成突然破裂。但是, 各个小区域之间是不平衡的, 由于种种原因, 不同区域的地壳介质, 在结构方面和物性方面都有着差异, 使得介质应变的积累速度、介质本身的强度以及以任何时间为起算点的初始状态都不同。因此, 各个区域中的地壳应变接近破裂强度的时间就不同。一旦某个区域中的地壳应变接近了这种强度, 便将相继发生一连串地震, 直到这个区域中可释放的应力和应变基本释放完毕为止。这样, 便形成发生于一定区

表2

公元1000年以来华北地区 $M \geq 6$ 地震分组情况统计

组 号	起 止 时 间	活动期长 (年)	成组地震数	组内相对密集活动		活动期内的 组外地震数	两活动期间 的地震数
				时间(年)	地 震 数		
1	1022—1068	46	4	11 11	2 2	0	4
2	1291—1314	23	4	11	3	1	3
3	1477—1501	24	4	14	3	1	4
4	1556—1568	12	3	12	3	1	4
5	1614—1642	28	7	12	6	1	0
6	1622—1651	32	5	12	4	0	0
7	1652—1695	43	7	10 16	3 3	0	0
8	1704—1739	35	4	14	3	0	0
9	1720—1730	10	2	10	2	0	2
10	1815—1831	16	5	16	5	0	0
11	1846—1853	7	3	7	3	1	0
12	1861—1888	27	3	6	2	1	0
13	1910—1937	27	9	16	7	1	0
14	1920—1936	16	8	16	8	0	0
15	1944—1948	4	3	4	3	0	0
16	1966—1977	11	13	11	13	2	17
合 计		313*	84	195	75	9	17

*仅从数字相加,为361年,扣除某些组之间的重叠时间,实际占据时间和为313年。

域中、一定期间内的一组地震活动。换一个区域,换一个时间段,又重复上述过程,从而又形成另一组地震活动。

地震成组孕育的概念,得到了大地测量资料的支持。1966年邢台地震和1967年河间地震之前,自1920年有测量资料以来,经历了将近半个世纪的长趋势地壳垂直形变^[1](1920年以前的情况不得而知)。1976年唐山地震的水平形变很大,地面上约为2.5米,在地下约为4.6米^[2],但1971年相对于1960年基本无变化。1971年至唐山地震发生的短短几年中,不可能积累起这么大的形变,那么,只能说这个形变的积累是在1960年就已基本完成了。也就是说,唐山地震的形变积累早在邢台地震之前就基本完成了。1969年渤海地震和1975年海城地震,比邢台地震的震级稍大,估计其孕震时间应与邢台地震大体相当;它们发生的时间比唐山地震早,估计其酝酿成熟的时间不会比唐山地震晚。所以,在邢台地震发生前,这些地震都已基本酝酿成熟,其孕震过程至少经历了半个世纪左右的时间。可能由于束鹿断陷的具体构造条件,使地壳介质比较破碎,强度比较低,所以首先发生邢台地震,然后其它地震相继发生,构成一组地震活动。

地震成组孕育的概念对于地震预报有何意义呢?因为华北地区的6级以上大地震,大多数是成组孕育的,所以,如果一个地点发生了6级以上地震,而它又不属于已有的地震组,则需要警惕在该地震周围一定区域中、在其后几年到十几年内,相继发生若干个6级以上大地震的可能性,因为一次6级以上地震的发生,很可能是一定区域中一组大地震已基本酝酿成熟的标志。比如,1976年4月6日内蒙和林格尔6.3级地震和1976年9月23日内蒙磴口6.2级地震,不属于从邢台到唐山这一组地震,它们是否是另一组地震的先

霍山震群前后的波速异常 及小震活动特征

王 炜 宋俊高 戴维乐

(安徽省地震局)

摘 要

本文分析了1973年3月安徽省霍山4.5级震群前后的地震资料。发现震前 V_P/V_S 出现了两个月左右的负异常,且波速比异常的时间进程与震源附近区域的小震活动,以及P波初动符号空间分布的变化比较同步,这说明可能存在某种孕震机制的统一作用。

一、霍山地震前后的波速异常

有关中小地震前的波速异常现象在国内仅有少量报道,这主要是由于在震源附近区域台站较少的缘故。而霍山震群发生在安徽省台站较密的地区,在距4.5级地震震中45公里范围内有霍山(佛子岭)、金寨和舒城三个地震台,1973年2月以来又先后在其周围架设了独山、漫水河、桐城和庐江四个临时台(图1),这就为我们研究该震群前后是否存在波速及小震活动的异常变化提供了有利条件。

本次震群活动自1973年3月4日开始至3月24日,共发生零级以上地震520次。其中 $M_s \geq 4.0$ 级地震有3次,其震源参数如下:

日 期	发震时间	纬 度	经 度	M_s	深度(公里)
11/3	16-32-47	31°22'	116°11'	4.3	7
11/3	16-40-08	31°22'	116°10'	4.5	6
12/3	16-21-08	31°23'	116°10'	4.0	7

驱?现在无法完全否认这种可能性,所以,这个问题应该引起充分的重视。如果一组地震正在进行活动,则需要警惕该组活动尚未结束、后面还有大地震的可能性。

同一组内各地震震中之间的距离可达几百公里远,所以整个孕震体积应该更大。从时间上看,在同一组中的第一个地震发生之前,全组地震都已基本酝酿成熟,而不是前一个地震发生之后,后一个地震才开始孕育的,所以,整个孕震过程应该经历很长的时间。这就是说,我们在寻找和研究地震前兆时,应该把空间尺度和时间尺度都放得足够大,来考察和分析一些问题。

(1979年4月20日完稿)

参 考 文 献

- [1] 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,1975,3期。
- [2] 陈运泰等,用大地测量资料反演得到的1976年唐山地震的位错模式,地球物理学报,1979,3期。

该震群的震中分布基本集中在北纬 $31^{\circ}22' - 31^{\circ}29'$ 、东经 $116^{\circ}09' - 116^{\circ}13'$ 、面积约48平方公里的区域内（图1）。震源深度大体在5—10公里范围内。

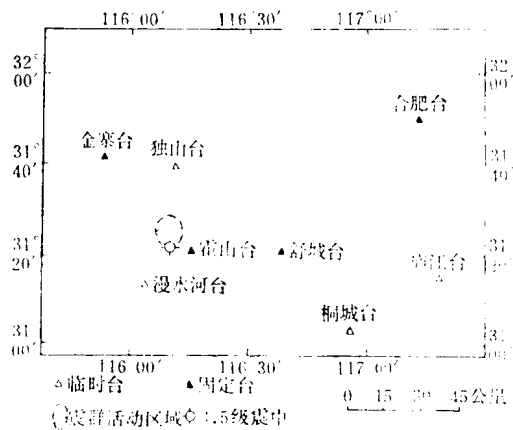


图 1 霍山地区的台站分布

采用和达法^[1]计算了该区小震的 V_P/V_S 。用该法所得的 V_P/V_S 与台站相对于孕震区的位置有关，由图 2 可以看出，在 V_P/V_S 正常期间的两个地震，和达直线（a 和 b）的线性关系很好；而在 V_P/V_S 异常期间的两个地震，距孕震区较远的台站明显地偏离和达直线（c 和 d）。这说明该震群的孕震区并不很大，因此用最小二乘法拟合和达直线求 V_P/V_S 时，离震中太远的台站，资料就不宜使用。在本文的计算中，所取各台的 $S-P$ 一般小于 8.0 秒。

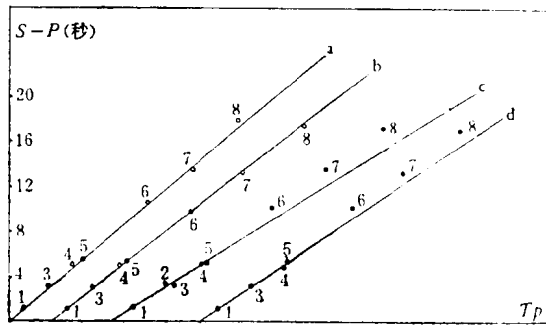


图 2

a, b—在 V_P/V_S 正常期的和达直线；c, d—在 V_P/V_S 异常期的和达直线
 1—霍山台；2—漫水河台；3—独山台；4—金寨台；5—舒城台；6—桐城台；
 7—合肥台；8—黄梅台

根据上述原则，我们计算了这次震群及其邻近区域自1972年1月至1973年5月的140个地震的 V_P/V_S 。对于1973年3月7日以前，凡有3个以上台较清楚记到的地震我们都进行了计算；对于3月7日以后，则要求4个以上台记录到，且 V_P/V_S 的标准偏差为 $\sigma_s \leq 0.05$ 。取1972—1977年霍山地区 V_P/V_S 正常期间的平均值 $\nu_0 = 1.71 \pm 0.05$ 为正常值。

自1972年至震群发生前，霍山地区的小震基本上都集中在北纬 $31^{\circ}17' - 31^{\circ}32'$ 、东经

116°05'—116°22'的范围内, 霍山震群就发生在这里。该区波速比随时间的变化示于图3。

由图3可见, 其变化过程可大致划分为以下四个阶段:

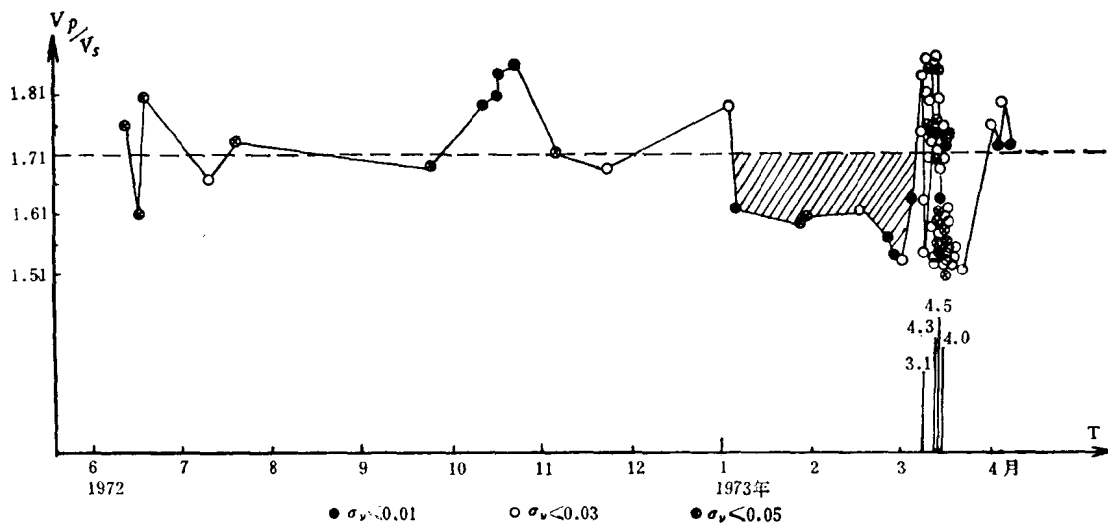


图3 霍山地区波速比随时间变化图

1. 震前正常期 (1973年1月4日以前):

除1972年10月的几个地震 V_p/V_s 值较高外, 本期小震的波速比基本都在 1.71 左右波动, 这些小震的空间分布见图4a。

2. 震前负异常期 (1973年1月4日至3月2日):

本期记录清楚的8个地震, V_p/V_s 值全部小于1.66, 最低值为 1.54, 平均值为 1.60, 低值持续时间约两个月, 大体符合惠特科姆所得到的 $\lg T = 0.68M_s - 1.31$ 的关系。在此期间, 小震震源深度与波速正常期相同, 均为 5—10 公里, 故可以认为 V_p/V_s 的下降不是深度变化造成的。与正常期相比, 小震空间分布的状态也发生了相应的改变: V_p/V_s 下降的小震大体呈北东向条带分布, 长轴约30公里 (图4b)。

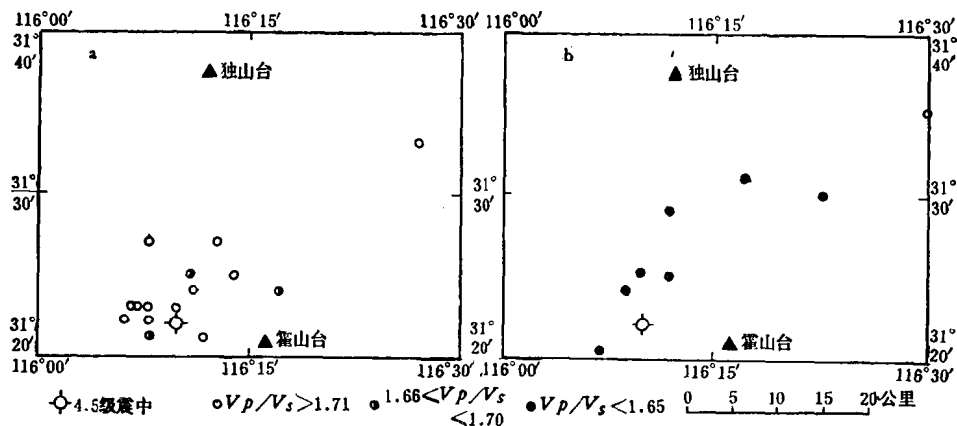


图4

a. V_p/V_s 正常期小震的空间分布, b. V_p/V_s 负异常期小震的空间分布

3. 震群发生期 (1973年3月4日至3月12日4级地震):

3月4日震群开始活动后, V_P/V_S 便很快恢复正常。3月7日3.1级地震后, 小震明显减少, 直到3月11日4.3和4.5级地震发生后, 小震才又逐渐增多。因此, 对4.3、4.5级地震前的波速变化难以判断; 但可以看出, 在3月12日4.0级地震前, V_P/V_S 曾出现了大约持续8小时的短时间下降, 4.0级地震发生在波速比稍有恢复之后 (图5)。

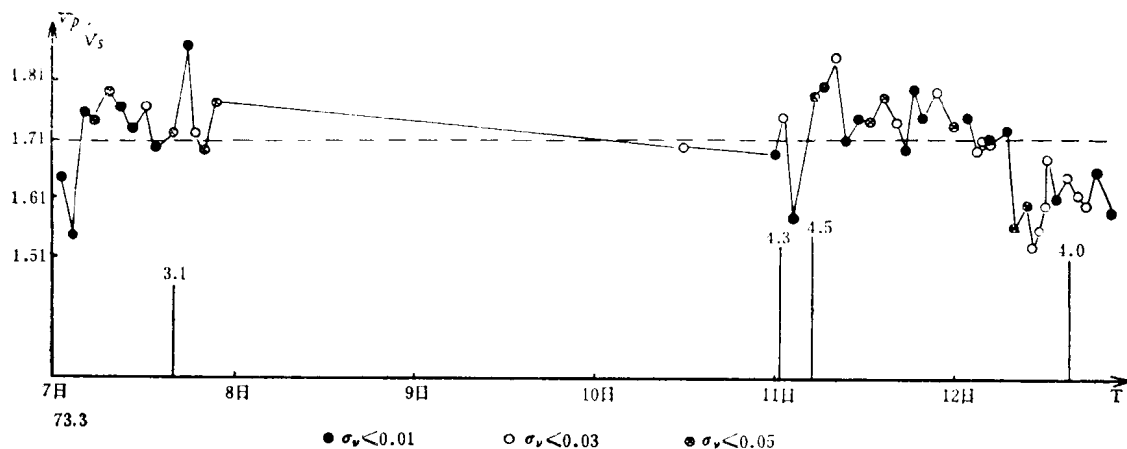


图5 震群发生期波速比随时间的变化

4. 震后负异常期 (3月12日4.0级地震至3月21日):

在此期间, V_P/V_S 值全部小于1.67。此后, 地震明显减少, 震群活动逐渐结束。

二、霍山震群前后小震活动的特征

在霍山震群发生前的两个月里, 除出现波速比的持续低值外, 该区小震活动还表现出以下的同步变化:

1. 小震空间分布的变化 (图6):

从霍山震群发生前后小震的空间分布可以看出, 在波速正常期间, 小震分布区域不大, 且在将来震群区内外分布较均匀 (图6a)。但在波速出现异常的两个里, 大部分小震都发生在将来震群区域的外围, 且分布范围较广, 大体呈北东向展布 (图6b)。震群活动开始后, 小震又都集中在很小的区域里活动 (图6c、d)。

2. 霍山台小震初动的变化:

图6同时标明了各期小震在霍山台的P波初动符号。可以看出, 在波速正常期, 虽然小震空间分布的区域不大, 但P波初动却是无规则的 (图6a); 而在波速异常期内, 虽然小震的空间分布比较离散, 但可大体看出P波初动呈现出象限分布, 并可以粗略画出NE和NW走向的两条节线, 其中节线A通过未来的震群活动区域。因此可知霍山地区的发震应力场主压应力大体呈NEE走向 (图6b)。随着3月4日震群的出现, P波初动分布便呈现出另一种图象, 除极个别未能定震中的小震初动向上外, 霍山台所记到的小震初动全部向下 (图6c)。由于小震在空间上很集中, 很难用简单的方法确定应力场的方向, 但可粗略看出, 此期节线A的位置相对于上期偏转了一定的角度。由此估计, 该期霍山地区主压应力方向发生了一定的偏转。4.5级地震发生后, 霍山台的小震P波初动分布又明显变

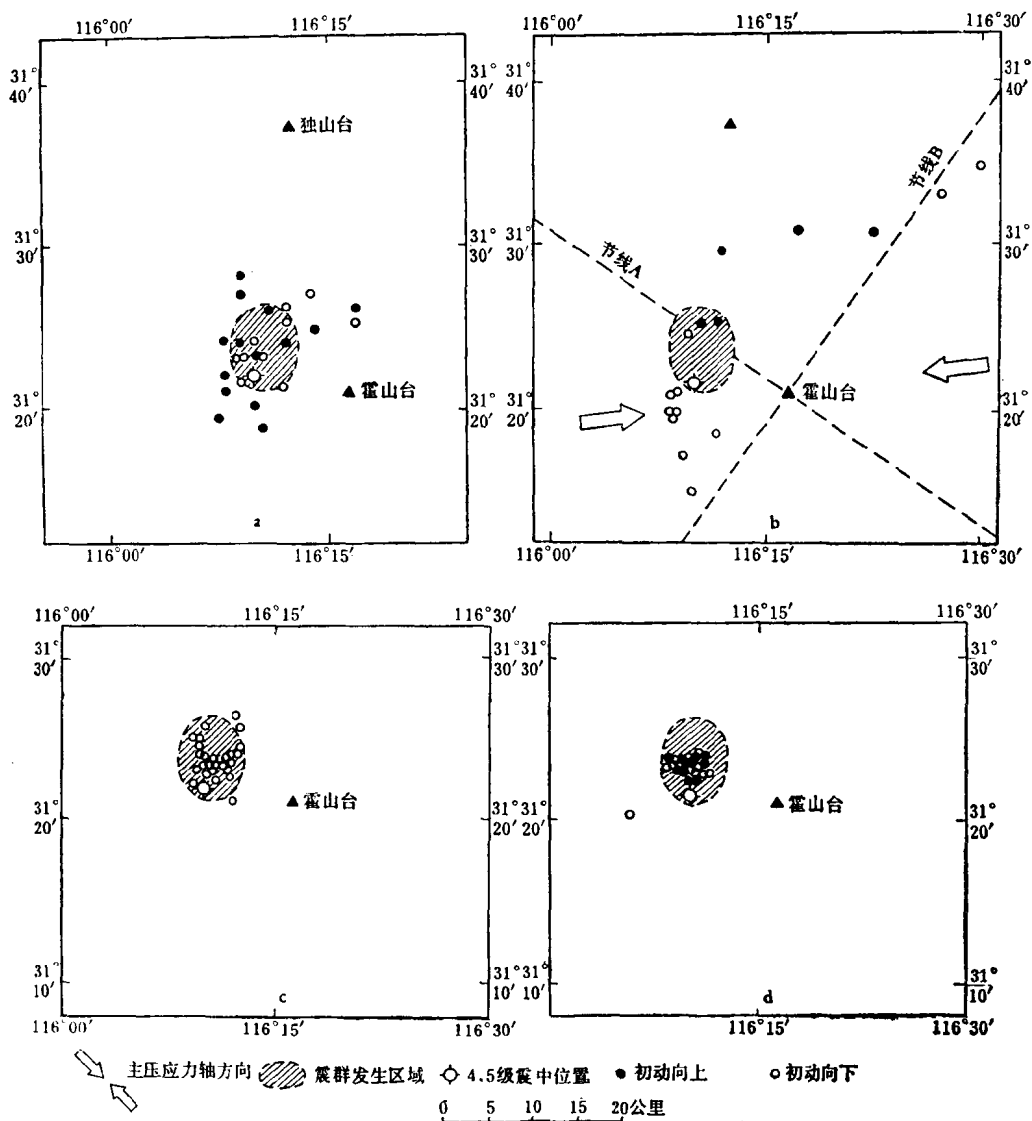


图 6 霍山震群前后小震的空间分布及初动分布

a. 1972年6月—12月, b. 1973年1月4日—3月2日, c. 1973年3月4日—4.5级地震前, d. 4.5级地震后—3月底

乱 (图6 d)。

三、讨 论

上述波速异常与小震活动特征的变化在时间上比较同步, 这表明它们可能是受同一孕震机制所控制, 而不同时期的变化则可能反映了孕震的不同阶段。

在1972年底以前, 震源附近区域的介质处于弹性形变阶段, 因此波速比在正常值附近波动。由于岩石的微破裂具有一定的随机性, 故小震的破裂机制比较杂乱, 虽然其震中位置比较集中, 但P波初动方向却是混乱的。

在1973年1月初至3月初期间,随着震源区所受应力的增强,介质发生扩容,造成波速比下降。由于此时岩石中的微破裂不再具有随机性^[2],故小震P波初动方向便呈现出象限分布。同时,在近东西向主压应力作用下,北东方向为可能的破裂面之一,因此小震在空间上便呈现出北东向条带分布。此外,由于未来震源区的介质出现塑性硬化,所以在未来震群活动区内地震反而较少。

3月4日震群活动开始后至4.5级地震发生前所出现的震兆,似与包体理论^[3,4]所推测的结果相仿。按照包体理论,随着应力增强并接近岩石的破裂强度,可能在未来主破裂附近形成裂丛区。由于应力进一步向裂丛区集中和其邻近区域的卸载,会造成裂丛区及邻近区域扩容时张开的裂隙闭合,并使震源应力场发生改变。这样,就出现了小震在一个很小的区域里集中、波速比回升、主压应力方向发生偏转等现象。

最后,由于应力的进一步集中及裂隙的扩展贯通,便导致主破裂即4.5级地震的发生。

通过霍山4.5级震群前后波速比等的变化可以看出,在4—5级地震的孕育过程中,由于震源及邻近区域介质性质及应力状态的变化,也可能在地震活动性或其它方面表现出孕震的异常特征。

参 考 文 献

- [1] 冯锐,海城地震前后地震波速比的变化,地球物理学报,1976,4期。
- [2] V. I. Mjachkin, W. F. Brace, G. A. Sobolev, J. H. Dieterich, Two models for earthquake forerunners, Pure and Applied Geophysics, 113, 1—2, 1975.
- [3] B. T. Brady, Theory of earthquake I. Inclusion theory of crustal earthquakes, Pure and Applied, Geophysics, 112, 4, 1974.
- [4] B. T. Brady, Theory of earthquake II. Inclusion theory of crustal earthquake, Pure and Applied Geophysics, 113, 1—2, 1975.

试论地震的短临趋势前兆

周硕愚 韩 健 宋永厚 陈如凤

(国家地震局地震研究所)

摘 要

本文对我国近年来强震的前兆资料做了初步的综合分析,发现在力武常次划分的前兆类型之外,还存在着一种重要的前兆类型,即短临趋势前兆。论证了这种前兆类型的客观存在和形态特征,给出了前兆时间与震级的统计方程: $\lg \Delta T = 0.267 M_s - 0.11$, 并和其它类型的统计方程进行了比较和讨论。

引 言

从大量的观测资料出发,对地震前兆现象进行分类,是一项重要的基础工作。它不仅对地震预报有直接的意义,同时也是前兆理论研究不可缺少的依据。力武常次^[1-4]用统计