

# 区域震群与唐山大震\*

姜秀娥

(国家地震局分析预报中心)

陈非比

(地震出版社)

## 摘要

作者把强震孕育过程中处于一定构造条件下的一系列震群事件,统称为区域震群。分析1967年以来华北区域震群的时空进程发现:大约在唐山大震前5年,在未来大震震中区外围,形成了一个震群活动的空区,在空区外围,则出现了一个震群相对活跃的环形区域。环形区域内的震群表现出与唐山大震孕育过程有关的、逐渐增强的阶跃式活动,并在孕震不同阶段的转折时期相对密集;与此同时,大范围区域震群还经历了远场—近场的往返迁移。大震前后区域震群的这种时空分布与地震活动其它指标的变化有所呼应,它们在一定程度上共同勾画出强震前近场与远场的异常特征。由此认为,研究区域震群的时空特征,有可能为强震预报提供某些线索。

## 一、引言

在大小地震关系的研究中,震群以其时空分布高度集中这一鲜明性,以及活动地区的广泛性,引起了地震学者的关注,并早已注意到它们与强震的发生有关<sup>[1]</sup>。

目前,关于震群与强震关系的研究大致有两种思路:一种是着力于研究单个震群,力图寻求它们与强震孕育有关的特征,这就是前震群或前兆震群的研究<sup>[2-9]</sup>。这方面也已有不少尝试,但离找到确定标志尚远;另一种是从一定区域内众多震群的总体特征出发,研究其空间分布、时间进程等特点,以寻找强震孕育中大范围震群活动的图象。朱传镇等<sup>[10]</sup>、顾浩鼎等<sup>[8]</sup>、宋良玉等在这方面已做了有益的尝试。我们认为,这两种思路都是可取的。应齐头并进,更应互相结合,以获得对前兆信息更全面的认识。

本文试图按上述第二种思路,系统研究唐山大震前华北地区大范围震群活动的时空图象,以加深对震群与强震关系的认识。

## 二、资料

我们把强震孕育过程中处于一定构造条件下的一系列震群事件,统称为区域震群;那

\* 1981年8月3日收到初稿,1982年7月24日收到修改稿。

表 1 华北地区震群目录 (1960—1979)

编号	时 间	地 点	$\varphi^{\circ}$	$\lambda^{\circ}$	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$\Delta T$ (天)	峰 值 日	日 频 度	$b$	$\Delta\sigma$ (巴)
1	1960.1.14	宝 坻	39°43'	117°18'	3.0	3.0	2.7	1	1960.1.14	$M_L \geq 2.7$ 3		
2	2.14	怀 柔	40°16'	116°34'	3.0	2.8	2.1	2	2.14	$M_L \geq 1.0$ 18		
3	1961.2.9	石 景 山	39°54'	116°10'	3.2	2.6	1.7	2	1961.2.9	$M_L \geq 1.0$ 8		
4	1964.1	深 县	37°51'	115°24'	3.5				1964.1.8	有 感 8		
5	1965.1	垣 曲	35°07'	111°38'	$M_5$ 3.5	5.1	4.8	3	1965.1.13—16	$M_5 \geq 4.0$ 4		
6	5	沙 城	40°21'	115°26'	4.7	4.5	4.5	4	5.4	$M_L \geq 3.0$ 7	$0.58 \pm 0.02^{(10)}$	
7	1967.4	昔 阳	37°40'	113°30'	3.6	3.3	2.8	3	1967.4.30	$M_L \geq 2.2$ 5		
8	5	林 县	(36°03'	113°50')					5	林县台 688 (次/月)		
9	10	涿 鹿	40°24'	114°51'	3.8	3.8	3.2	5	10.18	$M_L \geq 1.0$ 33	$0.76 \pm 0.06^{(10)}$	
10	11	怀 柔	40°28'	116°34'	4.5	3.8	2.9	1	11.18—19	$M_L \geq 1.0$ 37	$0.52 \pm 0.14^{(10)}$	
11	1968.6	邢 台	37°245'	114°39'	4.5	3.6	3.2	6	1968.6.22	红山台 409	0.90	
12	12	怀 安	40°37'	114°35'	3.5	2.9	2.2	1	12.22	$M_L \geq 2.1$ 5		
13	1969.4	夏 垫	39°58'	116°58'	2.4	2.2	1.9	2	1969.4.3—4	$M_L \geq 1.0$ 8		
14	5	林 县							5	林县台 869 (次/月)		
15	10	渤海湾	38°45'	117°52'	2.7	2.4	2.4	2	10.18—19	$M_L \geq 1.5$ 5		
16	1970.1	怀 安	40°35'	114°32'	3.5	3.3	2.5	7	1970.1.18	$M_L \geq 2.1$ 6		
17	2	丰 润	39°55'	118°23'	3.6	3.4	2.6	1	2.10—11	$M_L \geq 1.7$ 5		
18	3	通 县	40°02'	116°31'	2.6	2.0	1.5	2	3.19	$M_L \geq 1.0$ 8		
19	5	钟 祥	31°27'	112°30'	3.0	2.8	2.3	1	5.28—29	$M_L \geq 2.3$ 4		
20	9—10	平 遥	37°19'	112°10'	4.1	4.0	3.9	11	9.11	$M_L \geq 1.0$ 39	$0.83 \pm 0.04^{(10)}$	
21	1971.1.9	牟 平	37°14'	121°19'	2.8	2.3	2.0	1	1971.1.9	$M_L \geq 1.0$ 8		

22	3	榆次	37°38'	112°55'	3.3	2.8	2.8	1	3.8	$M_L \geq 2.8$ 3		
23	3	林县								林县台 120 (次/月)		
24	1971.4.23	汉沽东	39°12'	118°06'	2.4	2.3	2.2	1	1971.4.23	$M_L \geq 1.4$ 7		
25	4—6	和顺	37°26'	113°25'	5.2	4.8	4.3	4	6.5	$M_L \geq 2.0$ 19	$0.77 \pm 0.06^{(10)}$	
26	6	喀喇沁旗南	41°30'	118°35'	3.0	2.9	2.8	2	6.8—9	$M_L \geq 1.9$ 8		
27	10	垣曲	35°01'	111°37'	3.6	2.8	2.7	2	10.6—7	$M_L \geq 1.5$ 5		
28	11.10	谷城	32°05'	111°39'	2.0	2.0	2.0	1	11.10	$M_L \geq 2.0$ 4		
29	11	太谷	37°21'	112°35'	4.5	4.0	4.0	2	11.29	$M_L \geq 2.0$ 5		
30	1971.12—1972.1	平遥	37°05'	112°21'	4.7	3.8	3.5	10	12.24	$M_L \geq 1.0$ 22		
31	1971.12—1972.1	霍山	31°21'	116°13'	3.6	3.6	3.0	2	1972.1.24	$M_L \geq 1.1$ 13		
32	1972.1—2	和顺	37°20'	113°30'	3.6	3.6	3.5	3	1.23	$M_L \geq 1.7$ 18		
33	7	渤海	38°08'	119°20'	2.8	2.8	2.6	1	7.3	$M_L \geq 2.5$ 4		
34	8	太谷	37°18'	112°36'	3.6	3.5	3.4	2	8.12—13	$M_L \geq 3.4$ 3		
35	8.13	大城	38°36'	116°24'	3.3	3.3	3.3	1	8.13	$M_L \geq 1.3$ 7		
36	10.17	即墨	36°24'	120°38'	2.3	2.2	2.2	1	10.17	$M_L \geq 2.1$ 4		
37	1973.3	霍山	31°22'	116°10'	4.9	4.8	3.9	2	1973.3.11	$M_L \geq 1.0$ 162	0.66	
38	11	太原	(37°43')	112°26')	2.0	1.9	1.6	1	11.11	$M_L \geq 1.0$ 7		
39	11	浙川	32°52'	111°31'	5.0	4.8	4.7	2	11.30	$M_L \geq 1.7$ 12	0.77	
40	1974.3	散汉旗	42°24'	120°36'	3.4	3.3	3.2	10	1974.3.10	$M_L \geq 1.0$ 20	$0.74^{(10)}$	
41	4	辽中	41°30'	123°00'	2.7	2.7	2.2	1	4.5—6	$M_L \geq 1.7$ 10		
42	6	邢台	37°36'	115°075'	4.9	4.0	3.0	2	6.6	红山台 57		

续表 1

编号	时 间	地 点	$\varphi N^{\circ}$	$\lambda E^{\circ}$	$M_1$	$M_2$	$M_3$	$\Delta T$ (天)	峰 值 日	日 频 度	$b$	$\Delta \sigma$ (巴)
43	9	渤海	38°30'	120°25'	3.3	3.1	2.5	1	9.28	$M_L \geq 2.5$ 3		
44	12	侵窝水库	41°12'	123°36'	5.2	4.1	3.8	9	12.22	$M_L \geq 1.2$ 54	$0.68 \pm 0.03^{(10)}$	4.7—27(海城地震后) <sup>(10)</sup>
45	1975.2	海城前震	(40°41')	112°35')	5.1	4.8	4.0	1	1975.2.4	$M_L \geq 1.0$ 293	$0.56^{(11)}$	
46	5	居庸关	40°15'	115°58'	2.2	1.8	1.6	1	5.3	$M_L \geq 1.3$ 7		
47	5	太原	37°44'	112°41'	3.0	2.5	1.9	2	5.14—15	$M_L \geq 1.5$ 5		
48	6	盖县	40°22'	122°10'	3.2	3.0	2.9	1	6.17	$M_L \geq 2.4$ 7		
49	6	灵丘	39°28'	113°59'	2.1	2.0	2.0	10	6.17	$M_L \geq 1.0$ 8	$0.86 \pm 0.05^{(10)}$	
50	11	滦县	39°37'	118°45'	3.1	2.9	2.8	1	11.13—14	$M_L \geq 1.5$ 5		49 <sup>(10)</sup>
51	11	霍山	31°26'	116°12'	2.3	2.1	2.1	2	11.17—18	$M_L \geq 1.2$ 12		
52	12.6	渤海	38°08'	119°21'	2.9	2.7	2.5	1	12.6	$M_L \geq 2.5$ 3		
53	1976.2	内乡	33°15'	111°58'	4.0	3.7	3.6	6	1976.2.19	$M_L \geq 2.1$ 20	$0.87^{(10)}$	$0.4-2.0^{(10)}$
54	2	黑山	38°00'	120°31'	4.1	3.3	3.3	1	2.25	$M_L \geq 1.0$ 33	$0.62^{(7)}$	
55	3	盖县	40°20'	122°12'	3.4	3.1	2.7	1	3.1	$M_L \geq 2.5$ 4	0.95	
56	3	砣矶	38°11'	120°52'	3.8	3.8	3.6	1	3.30	$M_L \geq 1.0$ 284	$0.85^{(7)}$	$2.4-15^{(10)}$
57	6	太原	37°55'	112°39'	3.6	3.5	3.2	6	6.19	$M_L \geq 1.6$ 12	$0.81 \pm 0.01^{(10)}$	$6.4^{(10)}$
58	7	菊花岛东	40°33'	121°07'	3.3	3.1	2.7	2	7.28—29	$M_L \geq 2.5$ 5		
59	7—8	义县	41°25'	121°18'	3.7	3.3	3.2	10	8.18	$M_L \geq 2.0$ 7		
60	8	天津东北	39°13'	117°29'	4.9	4.4	4.2	1	8.19	$M_L \geq 2.1$ 6		
61	9	宝坻	39°37'	117°25'	4.4	4.3	4.1	2	9.11	$M_L \geq 1.0$ 22		
62	9.11	高丽营东	40°08'	115°33'	2.5	1.8	1.7	1	9.11	$M_L \geq 1.1$ 7		
63	9	渤海	38°42'	120°14'	3.7	3.4	2.7	2	9.15	$M_L \geq 2.7$ 4		

64	10	邢 台	37°21.1'	114°43.7'	3.6	2.9	2.6	9	10.5	红山台 100	
65	10	锦 县	41°19'	121°34'	2.5	2.5	2.5	1	10.21	$M_L \geq 2.5$ 3	
66	10	朝 阳	41°44'	120°21'	3.5	3.3	3.2	1	10.28—29	$M_L \geq 2.6$ 6	
67	1977.3	宝 应	33°13'	119°31'	3.4	2.5	2.5	2	1977.3.15	$M_L \geq 1.7$ 8	
68	1977.6	宝 坻	39°24'	117°30'	4.6	4.3	4.3	4	1977.6.24	$M_L \geq 1.0$ 10	
69	7	成 武	35°00'	115°48'	4.6	3.6	2.7	4	7.9	$M_L \geq 1.4$ 8	
70	10	永 年	36°49'	114°26'	2.9	2.4	1.8	2	10.26	$M_L \geq 1.1$ 11	
71	12	砭 矶	38°11'	120°52'	2.2	2.2	2.0	1	12.5	$M_L \geq 1.4$ 18	
72	1978.2.15	旅 大	38°50'	121°28'	4.0	3.0	2.7	1	2.15	$M_L \geq 2.7$ 3	
73	9	义 县	41°35'	121°31'	3.3	2.5	2.3	2	9.9	$M_L \geq 1.7$ 7	
74	9	蔚 县	39°53'	114°40'	3.9	3.8	3.4	1	9.12	$M_L \geq 1.3$ 10	
75	10	长 岛	38°12'	120°36'	2.8	2.7	2.5	1	10.1	$M_L \geq 1.3$ 10	
76	11	百 花 山	39°47'	115°32'	2.1	2.0	1.7	2	11.3—4	$M_L \geq 1.2$ 7	
77	1979.4.—5	太 原	37°44'	112°31'	3.4	3.3	3.2	6	5.2	$M_L \geq 1.1$ 7	
78	6	渤 海	38°27'	119°51'	4.5	3.7	3.4	4	6.9—10	$M_L \geq 2.6$ 4	
79	6—7	霍 山	31°24'	116°13'	2.9	2.8	2.7	14	7.13	$M_L \geq 1.0$ 29	
80	7	汾 阳	37°17'	111°53'	2.1	2.0	1.9	2	7.18—19	$M_L \geq 1.6$ 5	
81	9	黄 海	37°56'	121°15'	2.9	2.7	2.7	2	9.29	$M_L \geq 1.8$ 10	
82	10	张 家 口	40°41'	114°44'	3.4	3.3	2.3	4	10.11—12	$M_L \geq 1.0$ 8	
83	10	浙 川	32°45'	111°28'	2.5	2.5	2.2	3	10.22—23	$M_L \geq 1.3$ 9	
84	11	代 县	39°10'	112°53'	3.8	3.5	3.3	3	11.9—10	$M_L \geq 1.0$ 7	

些发生震群事件的地方称为“震群点”。根据唐山大震所处的构造位置,并考虑到华北地块西界及其毗邻的内蒙地区震群活动与南北地震带的复杂关系,我们暂且将研究的范围限定在山西地震带以东,大致包括北纬  $31^{\circ}$ — $43^{\circ}$ , 东经  $111^{\circ}$ — $124^{\circ}$  的地区 (不包括台网控制很差的黄海、东海地区)。

为了尽可能客观和全面,我们按上述地区的各种地震目录整理了资料,并按以下标准选取震群:

1. 在同一地点 (一般为半径 20 公里范围内) 的一群地震中,在不超过半个月的时间  $\Delta T$  内,至少有三个震级相近的主要地震  $M_1 > M_2 > M_3$ , 满足  $\Delta M_{1,2} \leq 1$ 、 $\Delta M_{2,3} \leq 1$  ( $\Delta M_{1,2} = M_1 - M_2$ ,  $\Delta M_{2,3} = M_2 - M_3$ ), 但  $M_1 < 6$ 。

2. 震群活动峰值日 (指连续 24 小时内) 的地震频度  $N_{\text{日}}$  需满足以下条件之一:  $M_L \geq 1.0$ ,  $N_{\text{日}} \geq 7$ ;  $M_L \geq 1.5$ ,  $N_{\text{日}} \geq 5$ ;  $M_L \geq 2.0$ ,  $N_{\text{日}} \geq 4$ ;  $M_L \geq 2.5$ ,  $N_{\text{日}} \geq 3$  (当这三次地震有两次为 3 级以上时,  $M_3 \geq 2.0$  即可)。

3. 对于持续活动数月甚至数年的震群点,先作出月频度曲线,并以活动期内月频度的平均值作基线,凡高于基线且与前一个峰值间隔在半年以上,同时又满足 1、2 两条件者,算作一次震群事件。

4. 对于强震的余震活动区,则以正常衰减曲线作为基线,选取震群的原则同 3。

表 1 汇总了 1960—1979 年的全部震群目录,它包括 56 个震群点的共 84 次震群。

我们粗略地考查了上述地震台网的分布状况。图 1 将 1965 年以来研究地区内的地震台站与区域震群的时空分布作了对比。从中看出,震群展布范围 (纬度) 的变化似与台站的增建过程有关。根据图 1,我们将按下述原则分析讨论问题:

1. 1966 年以前本区地震台很少,故本文对 1966 年以前的震群活动不作系统讨论。

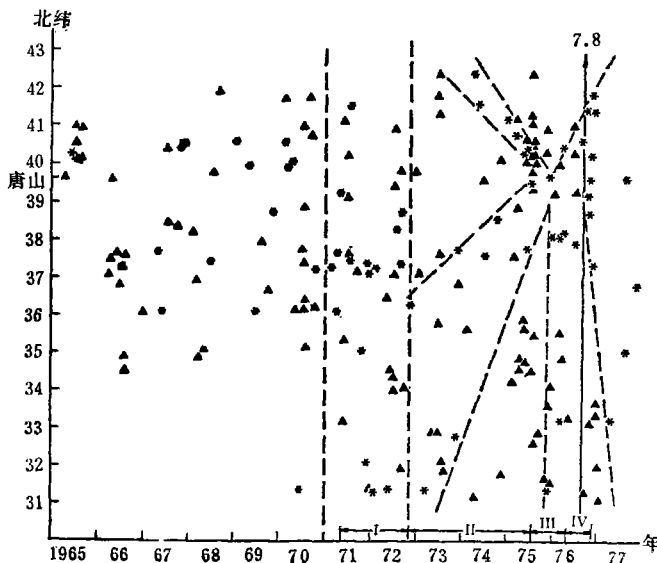


图 1 地震台站与震群的半时空分布图

(三角为地震台站、星号为震群,1977 年只标出震群,虚线表示震群迁移趋势)

2. 若欲考查 1967 年以来震群活动的全过程, 则将空间范围限定在北纬  $36.0^{\circ}$ — $42.5^{\circ}$  的范围内。

3. 若将研究的空间范围扩大到北纬  $31^{\circ}$ — $43^{\circ}$ ; 则只考虑 1971 年以后的资料。

### 三、唐山大地震前后区域震群的时空特征

#### 1. 区域震群时空分布概貌

表 1 所列全部震群的空间分布示于图 2。可以看出, 华北区域震群的总体分布与活动构造带关系密切, 它们主要沿山西地堑、太行山山前断裂带、郅庐断裂带(北段)等 NE 向构造带, 以及张家口—渤海、赤峰—中朝边界等 NWW 带呈多点条带分布, 1966 年以来华北发生的成串强震(包括唐山大地震), 大多处于上述两个方向的震群条带的交汇部位附近。

为了系统考查华北区域震群时间分布的全过程, 我们将 1967—1979 年北纬  $36.0^{\circ}$ —

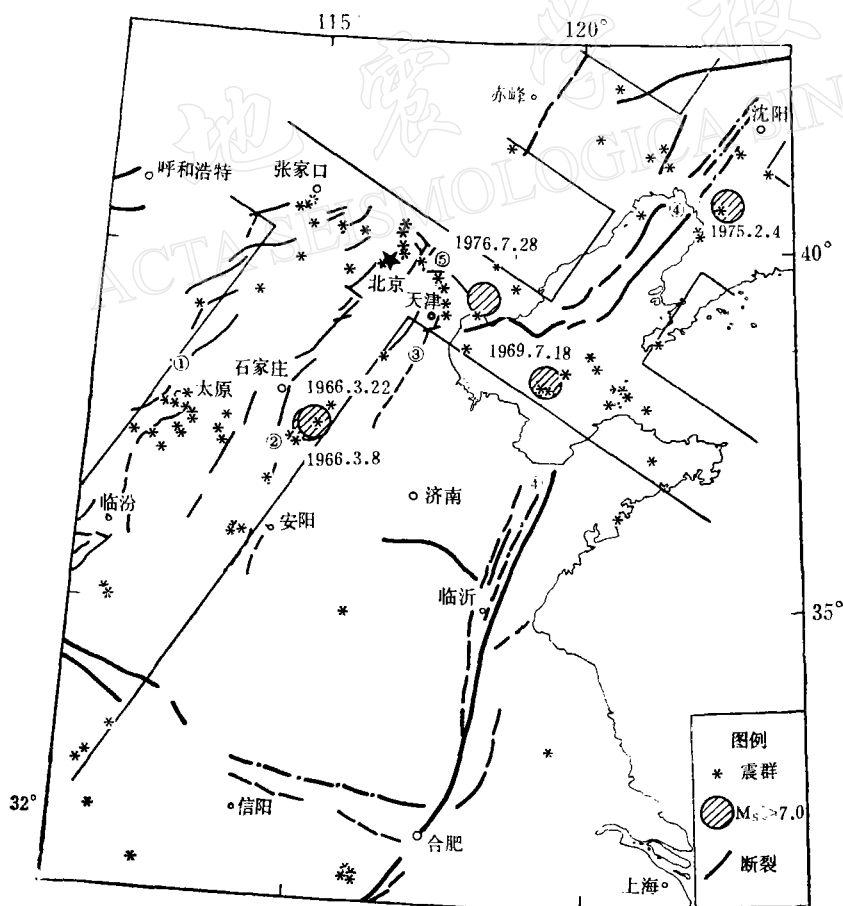


图 2 强震与区域震群的空间分布(1960—1979)

① 山西地堑 ② 太行山山前断裂带 ③ 沧东断裂带 ④ 郅庐断裂带 ⑤ 燕山褶断带

42.5° 范围内的震群作成累积月频度图(参见图 5(a)). 可以看出, 十三年间区域震群可明显地划分为三个阶段: 1967 年 4 月—1971 年 4 月和 1976 年 11 月—1979 年 12 月, 震群活动水平比较稳定,  $\Sigma N-T$  图大致呈斜率相近的直线; 1971 年 5 月—1976 年 10 月,  $\Sigma N-T$  图则呈指数上升, 即震群表现为逐渐增强的阶跃式活动。显然这与唐山大震的孕育和发生不无联系。

## 2. 特征图形与唐山大震的源和场

按照上述震群时间分布的阶段性和, 并考虑到唐山大震的影响, 我们分别按 1967 年 4 月至 1971 年 4 月, 1971 年 5 月至 1976 年 7 月唐山大震前, 1976 年 7 月唐山大震后至 1979 年 12 月三个时段作区域震群的空间分布图, 以寻求唐山大震前后不同时期区域震群的空间分布特点(图 3)。可以看出, 1971 年 4 月以前, 区域震群主要沿 NWW 向构造带西段分布, NE 条带不明显, 郅庐带上震群极少, 在唐山大震的近震中区和远震中区, 亦看不出空间分布上的明显差异(图 3(a)). 1971 年 5 月以后, 区域震群向华北东部和东北部发展; 与此同时, 除在唐山大震震中区有个别震群(50 号震群)外, 近震中地区震群“消

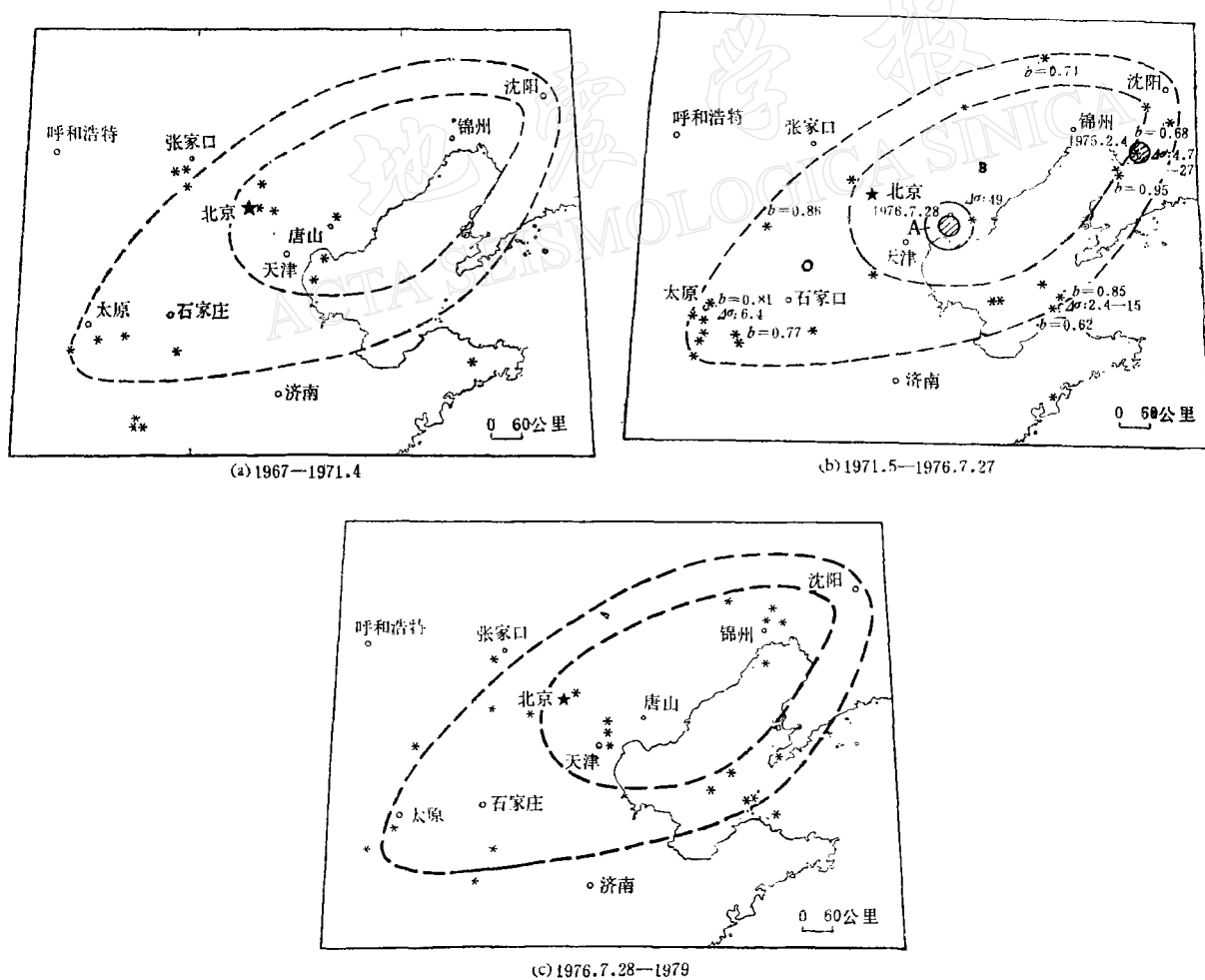


图 3 不同时段震群分布图



失”,外围地区震群活跃。总起来看,以唐山为中心,形成了震群活动环(C区)包围震群空区(B区)的特征图形。此期震群主要在 NWW 构造带东段(渤海一带)活动,且 NE 条带亦比较明显,当然,这里也不排除与 1975 年 2 月 4 日海城大震的发生有关(图 3<sub>(b)</sub>)。唐山大震后,震群空区“恢复”了活动,特征图形消失, NWW 构造带西段的震群条带再现(图 3<sub>(c)</sub>)

下面,我们对图 3<sub>(b)</sub> 所示的三个特征区域作进一步分析。

A区: 只有个别震群的地区。事实上,自 1972 年 2 月丰润震群以来,仅在唐山大震前 8 个月(即 1975 年 11 月),在滦县出现了一组规模不大的小震群。按这次小震群到唐山的距离来估计,本区半径约 50 公里。

B区: 震群空区。该区包围在 A 区之外,大体为北东走向的椭圆环,其外径长、短轴半径分别为 320 和 170 公里。在唐山大震前的 5 年内(1971 年 5 月—1976 年 7 月)此区无一次震群发生。

C区: 震群活跃区。本区为包围在 B 区之外的北东向椭圆环,其外径的长、短轴半径约为 460 和 230 公里。该环带的面积约为 B 区的两倍,但两区震群次数之比却为 24:0;即使扣除海城地震之前的全部震群,也为 10:0。可见,本区震群的相对活跃是十分明显的。

为了认识以上特征图形与唐山大震的关系,我们将其他作者的工作与本文结果作了比较。所使用的资料大致有两类:一类是单个震群的研究结果,包括震群序列的  $b$  值<sup>[7,10,11]</sup>、震群序列中较大地震的应力降等<sup>[10]</sup>;一类是面上中小地震的研究结果,包括大面积  $b$  值时空扫描<sup>[12-14]</sup>、波速比<sup>[15,16]</sup>、应力降<sup>[17]</sup>、平均断错<sup>[18]</sup>等,前一类资料,我们在表 1 中给出,并在

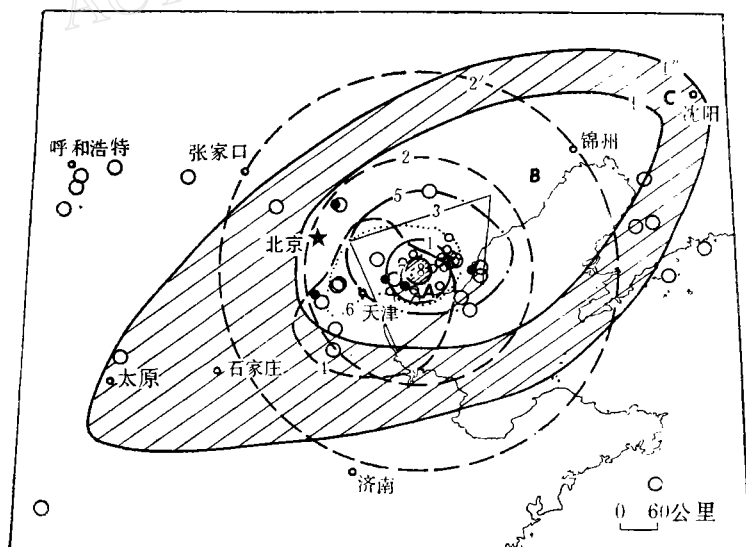


图 4 震群分区与其它测震学参数的比较

1. 震群 A 区外界; 1'. 震群 B 区的外界; 1'', 震群 C 区的外界; 2. 文献[13]低  $b$  值区的外界; 2'. 文献[13]高  $b$  值区的外界; 3. 文献[12]的低  $b$  值区; 4. 文献[14]的低  $b$  值区; 5. 文献[15]的低  $V_p/V_s$  区; 6. 文献[16]的低  $V_p/V_s$  区; 空心圆为文献[17]的高应力降地震 ( $\Delta\sigma \geq 15$  巴), 实心圆为文献[18]的高  $\bar{F}$  值地震 ( $\bar{F} \geq 3.8$ ); 大空心圆为  $M_s \geq 3.5$  级地震(1971.5—1976.7.27)。

图 3(b) 中注明;后一类资料,我们将其综合表示在图 4 中,该图同时给出了同期华北地区  $M_s \geq 3.5$  级地震震中分布。

初步对比表明,不同作者用不同方法得到的各种参数空间分布的状况,与本文震群的特征性分区吻合较好。综合图 4、表 1 得到的震群的分区特征列于表 2。不难看出,唐山大震前区域震群的分布图象与唐山大震的孕育过程有关: A 区与唐山大震余震区的分布大体一致,它是唐山大震的震源区; B 区虽超越了震源区的范围,但与 A 区同样以低  $b$  值、低波速比、高应力降、高  $\bar{F}$  值等为特征,说明其介质亦处于高应力状态,我们称之为蕴震区, A、B 二区统称为近场地区;而以高  $b$  值和低应力降为主要特征的 C 区,我们称之为远场地区。唐山大震前,华北区域震群恰恰活跃在强震外围的远场地区,这个分布图象是耐人寻味的。

表 2 唐山大震前区域震群的分区特征

	近 场		远 场 C 区
	A (震源区)	B (蕴震区)	
震群事件	少	无	多
空间图形	半径约 50 公里	北东向椭圆环带外径 长轴半径约 320 公里 短轴半径约 170 公里	北东向椭圆环带外径 长轴半径约 460 公里 短轴半径约 230 公里
其它特征	地 震 空 区 ( $M_s \geq 3.5$ )	地 震 活 跃 区 ( $M_s \geq 3.5$ )	地 震 较 少 区 ( $M_s \geq 3.5$ )
	低 $b$ 值 (0.4—0.6 <sup>[12,13]</sup> ) 低波速比 (1.40—1.60 <sup>[12]</sup> ) 高 $\Delta\sigma$ (15 巴—55 巴 <sup>[10,17]</sup> ) 高 $\bar{F}$ 值 (4.0 $\pm$ 1 <sup>[18]</sup> )		高 $b$ 值 (0.6—1.1 <sup>[7,10,12,13]</sup> )  低 $\Delta\sigma$ (几巴—十几巴 <sup>[10]</sup> )

### 3. 阶跃式活动与唐山大震的孕育过程

下面,我们对唐山大震前后区域震群的时间分布作进一步讨论。前已指出,大约在唐山大震前后的 6 年中,区域震群的累积频度曲线以逐渐增强的阶跃式活动为特征,活跃—平静多次交替出现。从 1971 年 5 月至 1976 年 10 月,大致可分为如图 5(a) 所示的四个阶段: 一个震群活动增强段(第 I 段,累积频度曲线斜率随时间有明显抬升);三组平静—活跃段(第 II—IV)。进一步分析图 5(a),(b) 还可以看出,每个活跃段又往往在震群相对密集后突然结束,从而形成活跃—平静的明显转折。重要的是,远场震群的这种转折,往往与近场孕震过程不同阶段的转折相一致。随着大震的临近,区域震群平静与活跃的时间均逐渐缩短,活跃段斜率亦逐渐增大,活跃—平静的转折与近场孕育过程的对应关系也愈加明显。例如 1975 年 6 月和 1976 年 3 月,分别为第 II、III 组平静—活跃段结束之前震群最密集的时段,前者与唐山地震震中区附近波速比和  $b$  值下降异常的恢复时间一致,后者又与波速比的二次下降及  $\bar{F}$  值异常的恢复时间吻合。第 IV 组平静—活跃段中震群最密集的 8—10 月,正是唐山大震后波速比极不稳定,  $b$  值急剧升高的时段,显然,它们都与唐山大震的震后影响有关,此后,区域震群活动水平降低,逐渐恢复到与 1971 年以前相近的水平。1979 年以后,区域震群的活动水平又有抬升,这是否意味着另一强震孕育过程的

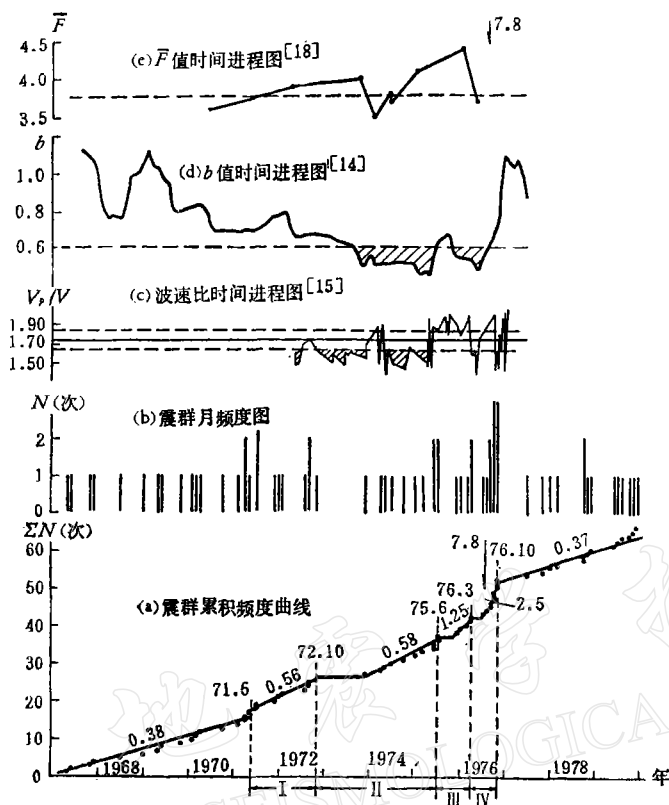


图5 远场震群活动与近场孕震过程的对比

(图5(a)中数字为震群的月速率, 单位: 次/月, 1967—1979年的长期平均月速率为0.42次/月)

到来, 还要看其以后的发展。

与唐山大震前各类“前兆”的对比表明, 本文区域震群活动密集—平静的转折时间(1972年10月、1975年6月、1976年3月), 不仅与近场地震活动多种参数的转折变化一致, 也与唐山地震前大范围“前兆场”长、中、短异常的起始时间大体符合<sup>[29]</sup>; 1976年6月, 区域震群的频度虽不算高, 但该月发生的太原震群规模很大, 数以百计, 它的发生又与“临震前兆”的时间一致。换句话说, 在区域震群阶跃式逐渐增强的过程中, 震群活动每经历一个密集过程跨入一个新的“台阶”, 往往对应着一个新的孕震阶段的开始, 这表明, 唐山大震前远场地区的震群活动与近场大震的孕育过程关系是十分密切的。

#### 4. 时空演变

将以上震群时、空分布联系起来分析, 还可看出唐山大震前区域震群的演变过程。图1用虚线表示出1971年以后华北区域震群的迁移图象可以看出, 在相应于图5(a)的第I阶段, 震群分布较分散; 在第II阶段, 区域震群似有从远场向近场转移的趋势, 当然, 仍受阻于B区之外; 1975年底, A区出现个别小震群, 故在第III阶段后期至唐山地震前, 区域震群则表现为由近场向远场扩展; 唐山地震后, 震群再次向外围迅速扩展(参见图1)。

## 四、结 语

由于占有资料和研究深度的局限,我们并不苛求对上述区域震群的时空特征作出全面的解释,仅就造成上述特征的可能原因作些讨论。

关于震群与强震相关的原因,人们已注意到区域构造应力的作用,认为强震孕育过程中区域应力的加强,造成地壳介质局部薄弱部位的应力集中,是震群活动增强的原因<sup>[1,8,10]</sup>。本文作者在1972年就注意到邢台余震区小震群活动与华北地震相关这一事实,并在文献[20]中进一步讨论了邢台震群的应力场“窗口”效应。试图从众多“窗口”所表现出来的总体特征中寻找强震的信息,这曾是我们进一步研究区域震群的出发点。

但是,仅仅用区域应力的变化,还难以解释唐山大震前数年区域震群所出现的特征图形——区域震群在近场“消失”。而这一点似可用震源应力场的影响来解释。张郅珍等的计算结果表明:若震源区介质弹性模量降低到小于周围介质的1/3时,受震源区影响造成剪应力上升的范围约为震源尺度的1—2倍,最远可达4—5倍;唐山地震孕育所造成的剪应力上升区,西达八宝山断裂北段,南至渤海及沧东断裂,这个范围恰与本文震群“消失”的B区大致相符。可见,B区出现的波速比、 $b$ 值的下降及 $\bar{F}$ 值、应力降的上升,均可能与震源应力场有关;而该区以小地震为主的小震群的“消失”和中强地震的增强,也正是震源应力场影响范围内应力水平提高,大小地震比例关系失调的表现之一。

综上所述,唐山大震前区域震群与强震孕育的关系主要表现在:围绕未来大震震中,形成了震群活动环包围下的震群空区的特征图形,其空间尺度约为数百至近千公里,时间尺度约为五年;活动环内的震群表现为与孕震阶段性相应的阶跃式活动,在强震孕育不同阶段的转折时期相对密集;大震前区域震群经历了远场—近场—远场的时空演变。这表明,研究强震制约下区域震群的时空特征,并与其它方法相配合,有可能为预报强震提供某些线索。但是,这项研究仅仅是开始,还有许多问题有待解决。例如,渤海地震前后,区域震群活动水平似无明显变化,这究竟是台网控制造成,还是个客观事实?若确实如此,又怎样认识成串强震中各次强震前震群活动的关系?特别对于象海城地震—唐山地震这样间隔时间很短的强震,如何区分两次强震孕育和发生所造成的影响?本文所述区域震群的特征有没有普遍意义?等等。这些都有待继续深入研究。

汤淮同志参加了本文部分工作。工作中得到马宗晋同志的具体指导和帮助,在此一并致谢。

## 参 考 文 献

- [1] 金森博雄,构造应力、大地震和震群三者之间的关系, *Tectonophysics*, **14**, 1, 1972.
- [2] 末广重二、关谷博,前震与地震预报, *Tectonophysics*, **14**, 3—4, 1972.
- [3] B. C. Papazaches, Foreshocks and earthquake prediction, *Tectonophysics*, **28**, 4, 1975.
- [4] 金严等,辽宁省海城地震前震震源错动方式的一个特点, *地球物理学报*, **19**, 3, 1976.
- [5] 陈颢,用震源机制一致性作为描述地震活动性的新参数, *地球物理学报*, **21**, 2, 1978.
- [6] F. F. Evison, Precursory seismic sequences in New Zealand, *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, **22**, 1, 1977.
- [7] 魏光兴等,1976年春季山东庙岛群岛两次小震群, *地震学报*, Vol.2, No. 3, 1980.

- [8] 顾浩鼎、曹天青, 前兆震群和 S 波偏振, 地震学报, Vol.2, No. 4, 1980.
- [9] 许绍燮等, 海城地震前兆系列与震群——兼论前震系列在地震预报中的一种功能, 地震学报, **3**, 1, 1981.
- [10] 朱传镇等, 震群与大地震关系的研究, 地震学报, **3**, 2, 1981.
- [11] 吴开统等, 海城地震序列的特征, 地球物理学报, **19**, 2, 1976.
- [12] 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.
- [13] 马鸿庆, 华北地区几次大震前的  $b$  值异常变化, 地球物理学报, **21**, 2, 1978.
- [14] 黄德瑜、冯浩, 强震前大范围地震活动参数的时空扫描, 地震学报, **3**, 4, 1981.
- [15] 姜秀娥、陈非比, 用单台四震相法讨论唐山大震的波速异常, 地球物理学报, **24**, 1, 1981.
- [16] 金安蜀等, 北京地区的波速比变化, 地震学报, **2**, 3, 1980.
- [17] 朱传镇等, 唐山 7.8 级地震前后微震震源参数, 地球物理学报, **20**, 4, 1977.
- [18] 郑治真、胡祚春, 大地震前后平均断错的时空变化, 地球物理学报, **21**, 1, 1978.
- [19] 汪成民、陈非比、许心同, 对唐山地震前兆现象的几点认识, 唐山地震考察与研究, 地震出版社, 1981.
- [20] 姜秀娥、陈非比、汤淮, 邢台震群的应力场“窗口”效应, 地震, **2**, 1981.

## REGIONAL EARTHQUAKE SWARMS AND THE 1976 TANGSHAN EARTHQUAKE

JIANG XIUE

(Analysis and Prediction Center, State Seismological Bureau)

CHEN FEIBI

(Seismological Press, State Seismological Bureau)

### Abstract

A regional earthquake swarm is defined as a series of earthquake swarm events occurred under a similar geological environment during the seismogenetic stage of a major earthquake. In analysing the temporal and spatial development of regional earthquake swarms in North China since 1967, it may be seen that about 5 years before the Tangshan Earthquake of 1976, a ring-like region of earthquake swarm quiescence or gap appears around the epicentral area, outside which is a ring-like belt of relatively active earthquake swarms. In this belt of earthquake swarm activity, certain connection with the seismogenetic process of the Tangshan Earthquake could be observed by the gradual increase of earthquake swarms in steps and at the turning points of different stages, it becomes highly intense. At the same time, within a still vast surrounding area, regional earthquake swarms migrate alternately between the farther and nearer areas.

Before and after the Tangshan Earthquake, such temporal and spatial distribution of regional earthquake swarms, correlate also with the change of other indications of seismic activity to a certain extent. They combine together may constitute the anomalous features of the far and near surrounding regions before the great earthquake. It is therefore supposed that study of the characteristics of the temporal and spatial distribution of regional earthquake swarms might possibly give some clue to the prediction of the earthquake.