

山西大同一阳高6.1级地震前地震活动特征

安徽省地震局地震预报研究中心*

摘 要 本文根据孕震空区、波速比、地震发生方式参数 ρ 值的空间扫描、震群活动和 N 值、 b 值、 c 值等地震活动性预报指标的变化,分析了大同一阳高6.1级地震前的地震活动性特征。结果表明上述异常大体自1986年下半年陆续出现,有些指标还出现了明显的同步变化。指出该孕震空区晚期所出现的逼近地震到主震发生之间的时间比震例总结所得到的时间要长些。本文最后提出了一条自南黄海、射阳到大同的地震活动带,该带有可能成为华北近年来中强以上地震活动的重要场所。

关键词 大同一阳高 地震活动 预报指标

1 前 言

1989年10月19日1时1分33.6秒在山西大同县和阳高县之间发生了6.1级地震,在此之前的18日22时57分 and 主震后的2时20分还分别发生了5.7级和5.6级两次地震,这次地震序列为震群型。这是自1976年唐山地震以来华北北部发生的最大地震,并且发生在北京地区附近,引起了人们很大关注。

对于这次地震,地震部门曾有过明确的中期预报意见。国家地震局1989年度震情趋势会商会将晋冀蒙交界处划为全国七个重点监视区之一,指出在该地区近一、二年内有发生5—6级地震的可能性,并加强了该区的监测预报力量。由于短期和临震预报的难度相当大,而且每个中强以上地震前的异常显示又不尽相同,我们认为有必要对该震之前的地震活动性异常进行分析和研究,这将会对今后的地震预报工作起到积极有益的作用。

2 大同一阳高地震前的地震活动异常

大同一阳高6.1级地震前,在震中周围附近区域出现了较为丰富的地震活动性异常,现分述如下:

2.1 孕震空区

孕震空区方法^[1]是目前在地震预报中最常用的方法之一,根据国家地震局分析预报中心编纂的《全国地震月报目录》,我们选用几组不同的起始震级和起止时间,由计算机自动识别出该区存在一孕震空区。图1给出了该区从1987年8月至1989年7月期间 $M_L \geq 2.7$ 级地震空间分布图以及两项识别孕震空区指标随时间变化曲线。可以看到空区及其附近地区的地震应变释放及频次比出现明显的上升和加速,满足孕震空区的判据。该空区的长轴约为190公里;根据应变释放加速和频次比出现高值的时间可确定该空区大体于1987年

下半年前后开始形成,至此已有二年时间;空区及邻近区域在该期间所释放的地震应变能约为 1.42×10^6 焦耳 $^{1/2}$ 。由文献[1]中的经验公式可知,根据孕震空区长轴、形成时间和释放的应变能可对今后可能发生的地震震级进行估计,其相应的震级分别为6.0、5.2和5.3,表明该空区内部或边缘存在发生5—6级地震的中期异常。

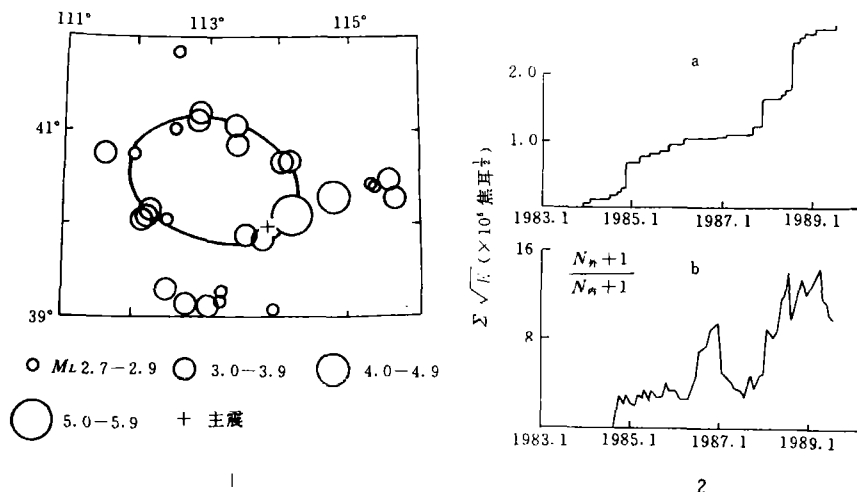


图 1 1)1987年8月—1989年7月在39°—42°N, 111°—116°E 区域内 $M_L \geq 2.7$

级地震的震中分布及孕震空区

2)a. 孕震空区及其邻近地区的应变释放曲线

b. 空区内外地震频次比的变化曲线

2.2 波速比异常

根据文献[2]的波速比方法,使用山西地震局提供的地震台网观测报告,计算处理了1984年至1989年6月发生在北纬38°20′—40°45′、东经112°15′—114°20′范围内135次小震波速比。在波速比时间进程图上可见(图2),1984年1月至1987年7月小震波速比正常,正常值为 1.69 ± 0.02 。在这43个月的正常期中共有96次小震可用以计算波速比,月频次为2.23次/月。自1987年8月22日河北阜平 $M_L 2.1$ 级小震波速比由正常值急剧降至最低值1.53,然后波速比持续处于低值。1988年7月23日阳原 $M_L 5.0$ 级地震发生在波速比低值异常期间,至1988年12月10日灵丘2.4级小震止,波速比仍为1.66低值。异常期自1987年8月至1988年12月止,异常持续时间为17个月,异常期平均波速比值为1.64,异常幅度为-0.095。在异常期间小震频次比正常期低,其小震月频次为0.70次/月。自1989年1月5日山阴 $M_L 2.1$ 级小震波速比回升到1.74高值,此后波速比恢复正常。恢复期间小震活动增强,1989年1月至6月有27次小震可用以计算波速比,其月频次为4.5次/月,大同一阳高6.1级地震正是在小震活动增强、波速比恢复的第十个月内发生的。

由小震波速比空间分布图可见(图3),正常期与恢复期小震很多,小震波速比正常。异常期内小震明显减少,小震波速比值均低于1.69正常值,它们中的最高值为1.68,最低值为1.53。波速比为1.68的地震4次,小于等于1.67的地震8次。它们分布在原平、山阴、灵丘附近,呈明显的低值异常分布区,其形状为一椭圆,长轴约为200公里,北东走向。6.1级主

震发生在该异常区的东北侧。

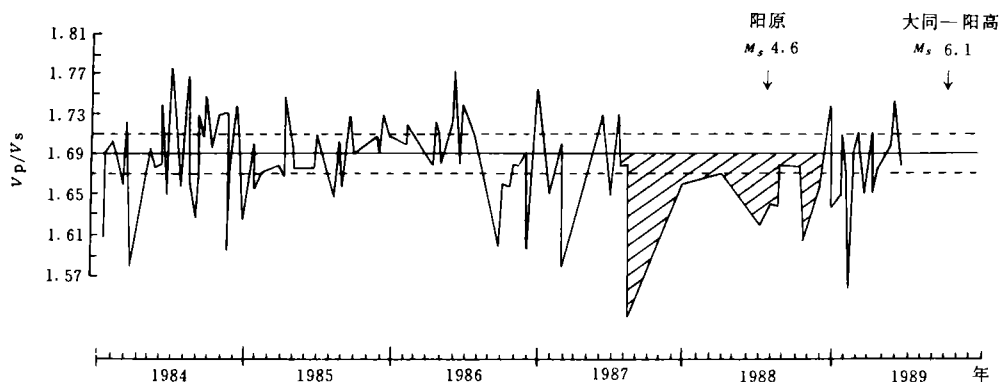


图2 波速比时间进程图

按照冯德益^[3]总结的未来主震震级与异常持续时间 ΔT (月)及异常区最大线度 L (公里)之间的关系:

$$M_s = 4.25 + 1.45 \lg \Delta T \pm 0.7$$

$$M_s = -1.4 + 3.4 \lg L \pm 0.7$$

推算出主震震级分别为 6.03 ± 0.7 和 6.42 ± 0.7 , 这与实际发生的地震震级6.1级基本相符。

2.3 地震发生方式参数 ρ 值

根据统计检验,认为小震时间间隔 τ 服从Weibull分布:

$$f(\tau) = \mu \tau^{\rho-1} \exp\left(-\mu \frac{\tau^\rho}{\rho}\right)$$

式中 μ 、 ρ 为待定参数,并称参数 ρ 为地震发生方式参数。文

献^[4]将 ρ 值空间扫描用于华东地区,结果表明在5次 $M_s \geq 5.0$ 级地震前,震中周围区域会出现明显的低 ρ 值异常区($\rho \leq 0.6$),并且一般在异常恢复后发震。

取1987年1月至1988年12月期间 $M_L \geq 2.3$ 级地震,在北纬 $37^\circ-43^\circ$,东经 $109^\circ-118^\circ$ 区域作地震发生方式参数 ρ 值的空间扫描,可以看到在震中附近地区出现了范围较大的低 ρ 值异常分布,主震位于低 ρ 值区的南部边缘处(图4),而在1987年以前几年内,该区域上未出现低 ρ 值的分布。

2.4 震群活动

1986年11月7日山西运城发生了一次双主震型震群活动^[5],到1987年2月1日共记到

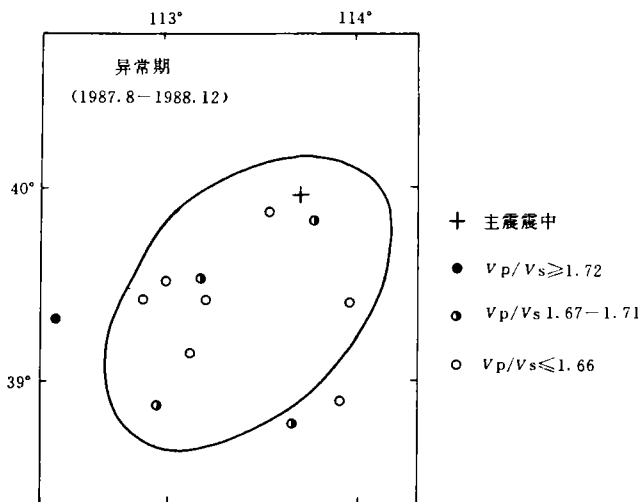


图3 波速比的空间分布图

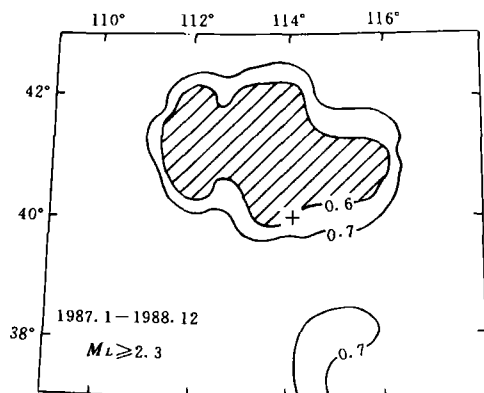


图4 主震前地震发生方式参数 ρ 值空间扫描

$M_L \geq 0.5$ 级地震约800次,其中 $M_L \geq 4.0$ 级地震有三次,最大地震与次大地震分别为 $M_L 4.7$ 和 4.5 。近20年的仪器记录资料表明,运城盆地的地震活动是整个山西地震带最弱的地区之一,而从1984年以来,在该震群区及外围地区的地震活动有所增强,先后发生了几次近4级的地震,这次震群的发生引人注目。

在山西地震带上,运城震群区处于该带的南端,而大同—阳高 6.1 级地震的震中位于该带的北端。运城震群以及之前的地震活动有可能是该地震带地震活动的开始,两端的地震活动有可能存在一定的内在联系。根据文献[6]计算了运城震群的

U 、 K 、 ρ 等值(列于表1),得到所计算的指标值符合前兆震群的要求,但该震群与大同地震之间的时间间隔要比前兆震群所规定的大,由于华北地震活动处于非活跃期阶段,这可能是该震群之后近三年才发生中强地震的原因之一。但不管怎么说,这次运城震群活动的出现,预示着山西地震带上地震活动上升和加强的趋势。

表1 山西运城震群 U 、 K 、 ρ 等指标值及有关参量

起止日期	总次数	最大震级 M_L	U	K	ρ	b	h
86.11.8—12.16	423 ($M_L \geq 1.0$)	4.7	0.73	0.90	0.47	0.68	0.8

2.5 地震频次 N 值

取震中周围250公里范围内 $M_L \geq 2.5$ 级地震,计算地震频次并绘制其随时间变化曲线,可以看到1986年8月至1987年9月期间的地震频次明显增高(图5)。

2.6 震级—频次关系 $\lg N = a - bM$ 中的系数 b 反映了大小地震的比例关系,在进行 b 值时间扫描时,一般以高 b 值作为异常。取震中周围区域(北纬 $38^{\circ}30' - 42^{\circ}$ 、东经 $111^{\circ} - 116^{\circ}$)内 $M_L \geq 2.3$ 级地震,根据最小二乘法,用一年累计、逐月滑动所得到的 b 值,大体从1986年11月至1987年底期间,出现明显的高值异常(图6)。

2.7 地震空间集中度 C 定义为 $C = 1 - \exp(-\mu/\rho)$,式中 μ 和 ρ 为地震之间最短距离的Weibull分布的两个参数。文献[7]指出地震空间集中度 C 值在中强震前有一异常上升趋势。取震中周围250公里范围内 $M_L \geq 2.5$ 级地震,作 C 值随时间变化曲线,可以看到在1987年1月至12月期间 C 值出现异常上升图象(图7)。

2.8 地震危险度 D 值定义为单位时间内发生的地震概率,表示为 $D = 1 - \exp(-\mu/\rho)$ 。取震中周围250公里范围内 $M_L \geq 2.3$ 级地震,计算地震危险度 D 值。图8中的曲线表明,从1986年8月至1987年8月 D 值出现了明显的高值变化。

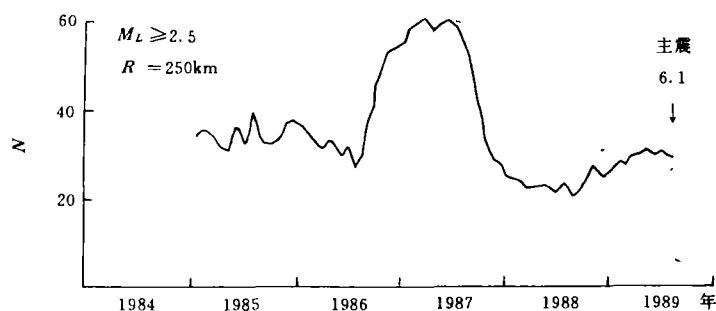


图5 空区及其周围(主震震中为中心,半径为250公里, $M_L \geq 2.5$)地震频次 N 变化曲线

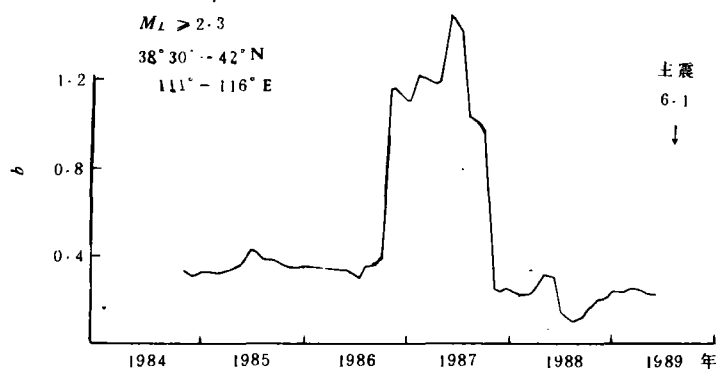


图6 空区及其周围($38^{\circ}30' - 42^{\circ}N$, $111^{\circ} - 116^{\circ}E$, $M_L \geq 2.3$)地震 b 值变化图

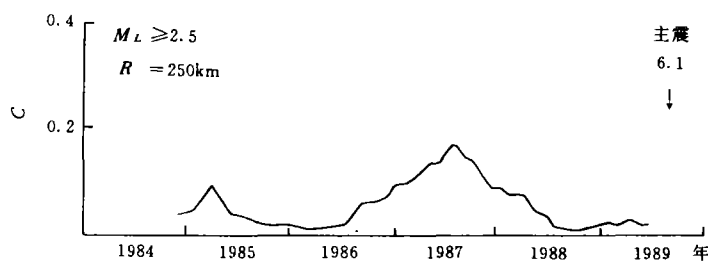


图7 空区及其周围(主震震中为中心,半径为250公里, $M_L \geq 2.5$)地震空间集中度 C 值随时间变化图

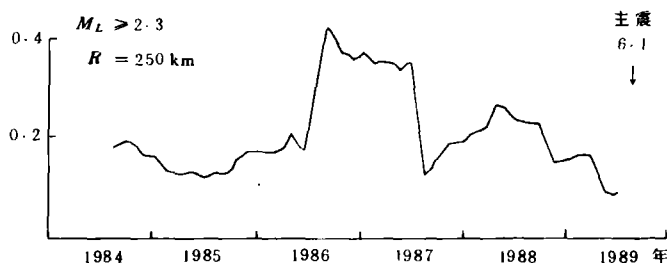


图8 空区及其周围(主震震中为中心,半径为250公里, $M_L \geq 2.3$)地震危险度D值随时间变化图

3 讨论和结论

3.1 以上我们对大同一阳高6.1级地震前的地震活动性变化作了分析。上述预报方法和参数反映了地震活动在时、空、强三个不同方面的特征。由此可知,该地震前,震中周围区域的地震活动在时空强三个方面都表现出地震活动性的异常。这些异常大体自1986年下半年起陆续出现,先后出现了地震频次N值、D值、b值、C值、 ρ 值、震群活动、孕震空区和波速比等预报指标的异常,在1987年11月前后有一些异常指标开始恢复。图9为该区地震活动性异常综合空间分布图和时间进程图。如果能及时把握这些异常变化,将有助于我们对该区域的震情趋势作出精确的判断。

3.2 文献[8]认为逼近地震发生在孕震空区的晚期,一般在震前几天到半年内发生。但事实上,有些空区上的逼近地震发生得更早,如菏泽5.9级地震前的逼近地震,距主震有一年多的时间^[9]。本文所讨论的孕震空区中,1988年7月23日阳原 $M_s 4.6$ 级地震似可认为是大同、阳高6.1级地震的逼近地震,因为该震是孕震空区形成期间最大的地震,具有显著性,在其之后一直到主震没有发生任何 $M_L \geq 4.0$ 级地震。但这一段时间相当长,达一年零三个月,这要比文献[8]中得到的时间长得多。但是我们对阳原4.6级地震的发生所带给人们的震兆信息没有引起足够的注意,没有及时掌握该逼近地震之后其周围区域上地震活动的短临异常。

3.3 随着地震仪器的改进,其时间服务系统也得到相应的改善,甚至有的台站还配备了自动校正钟差的设备,这对波速比精度的提高起到了明显的推动作用。通过地震预报实用化攻关工作,波速比从以往的时间扫描发展到现今的空间扫描,根据大量震例总结,其异常判据具有一定的预报效能。建议将波速比方法普遍应用于震情监测工作中,这样,波速比时空扫描的异常变化可为确定未来中强震的三要素提供可靠的依据。

3.4 1977年—1979年前后华北出现了一条引人注目的深阳—固镇—介休—五原的中强地震活动带^[10],该期间华北发生的一系列中强震均发生在此带上,该带自1983年11月菏泽5.9级地震后无中强以上地震的发生。1984年5月南黄海6.3级地震后,除原有的燕山带、太行山山前地震带和邢台、唐山、海城余震区 $M_L \geq 4.0$ 级中等地震比较活跃外,似乎存在一条自南黄海、射阳到大同的地震活动带(图10)。1984年以来华北所发生的一系列中强以上地震(邢台、唐山余震除外)全都发生在该带上,先后发生了南黄海 $M_s 6.3$ 、射阳5.1、阳

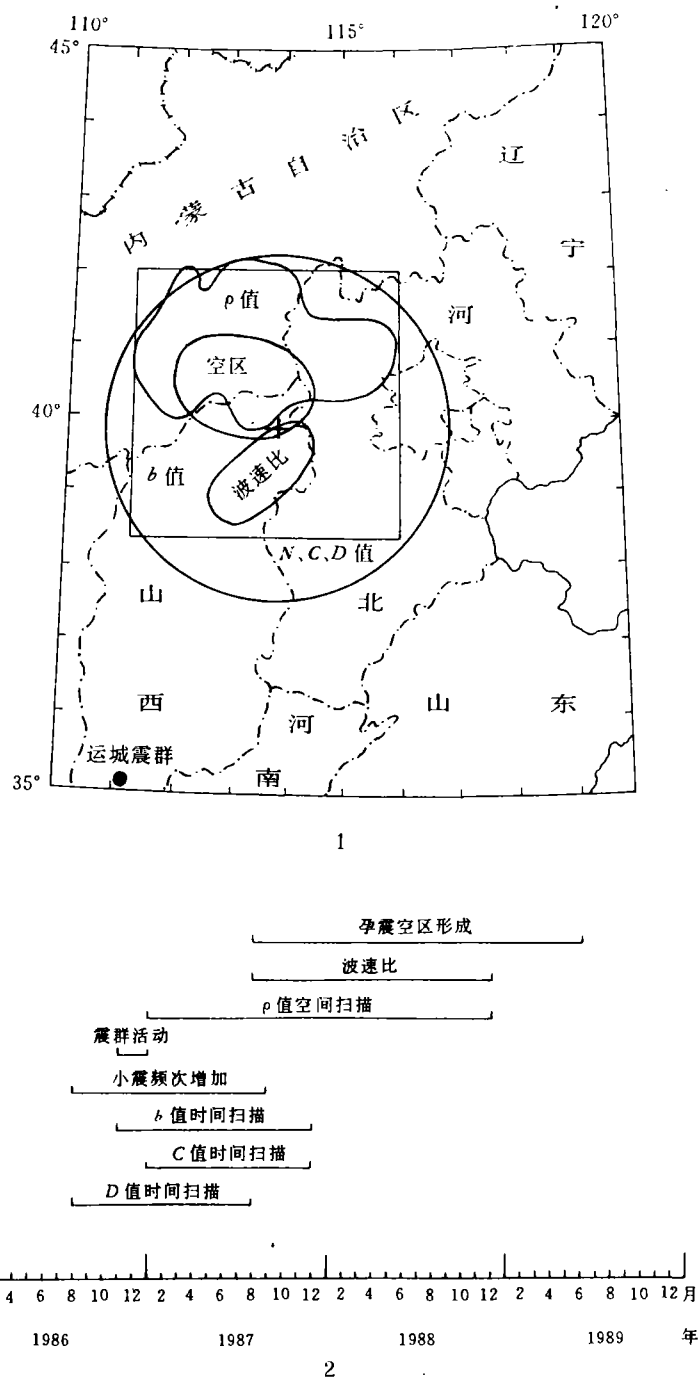


图9 1)地震活动性异常综合空间分布图
2)地震活动性异常综合时间进程图

原4.6、大同6.1级等地震。此外,1981年8月丰镇5.8级地震也发生在该带上。这些中强地震主要发生在该带的两端,而在中部仅有一些4级以上的中等地震。若这一地震活动带确实存在,则该带可能会成为华北近年来中强以上地震活动的重要场所。

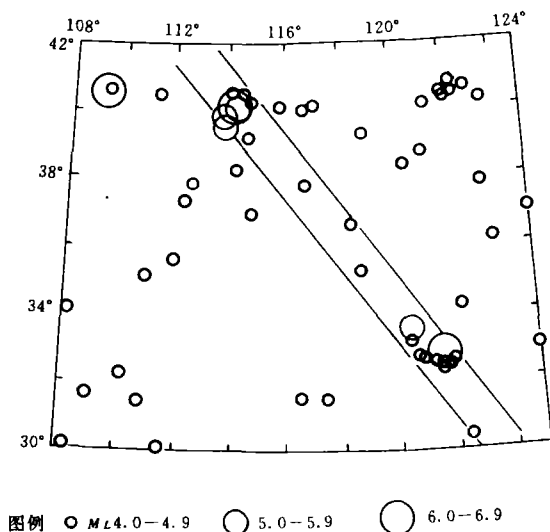


图10 华北地区1984年1月至1989年7月期间 $M_L \geq 4.0$ 级地震空间分布图

(1990年6月5日收到初稿)

参 考 文 献

- 1 王伟等. 孕震空区在地震预报中的应用及其效能的研究. 地震预报方法实用化研究文集(地震学专辑). 北京: 学术书刊出版社, 1989. 1—24.
- 2 戴维乐等. 波速比用于地震预报的实用程式研究. 地震预报方法实用化研究文集(地震学专辑). 北京: 学术书刊出版社, 1989. 329—394.
- 3 冯德益. 地震波速异常. 北京: 地震出版社, 1981.
- 4 王伟. 地震发生方式参数 ρ 值的空间扫描. 地震, 1989, (1).
- 5 刘巍. 运城震群活动小结. 山西地震, 1987, (2).
- 6 宋俊高等. 震群用于地震预报的实用程式研究. 地震预报方法实用化研究文集(地震学专辑). 北京: 学术书刊出版社, 1989. 204—228.
- 7 王伟. 地震空间集中度 C 值在华北几次大震前的异常变化. 地震研究, 1986, 9, (2).
- 8 陆远忠, 宋俊高. 地震空区与地震预报. 北京: 地震出版社, 1989.
- 9 宋俊高, 陆远忠. 应用孕震空区进行中期中地震趋势估计的一次尝试. 地震, 1984, (4).
- 10 林邦蕙等. 溧阳—介休—五原北西地震带强震的破裂特征. 地震学报, 1982, 4(2).

STUDY ON THE CHARACTERISTICS OF SEISMICITY BEFORE THE DATONG— YANGGAO MS 6.1 EARTHQUAKE

Research Center for Earthquake Prediction,
Seismological Bureau of Anhui province

Abstract

In this paper, based on some predicting criteria of seismicity, such as preparation gap, seismic velocity ratios, spatial scanning of values, activity of earthquake swarm, N values, b values, C values etc., the characteristics of seismicity before the Datong—Yanggao Ms 6.1 earthquake are analyzed. The results show that, the anomalies of these criteria above-mentioned occurred in succession in the later six months in 1986. It is pointed out that the duration between the imminent earthquake appeared in the later period of the preparation gap and the mainshock is longer than that obtained in some earthquake cases. Finally in this paper, we present a seismically active belt from south Yellow Sea, through Sheyang to Datong, which is possible to be a important zone in which some moderate and strong earthquakes may occur next years.