

# 地震危险度 $D$ 值在华北中强以上地震前的中期异常变化

戴维乐 王 炜 宋俊高 周云好

(安徽省地震局, 合肥 230031)

**摘要** 用 1972~1992 年期间华北地区地震资料对地震危险度  $D$  值进行了空间扫描. 结果表明, 大部分中强以上地震前 2~3a, 在未来震中周围出现较大范围的  $D$  值中期异常区域. 文中就  $D$  值用于中期预报的方法、预报效能、 $D$  值与实际地震活动的关系、计算结果的稳定性等问题进行了讨论.

**关键词:** 华北 中期异常 地震预报 地震危险度  $D$  值 空间扫描

## 1 引言

较大地震发生前中小地震在时间分布上的丛集现象目前已被不少地震学者发现和承认. 文献[1]和[2]研究了中小地震时间间隔  $\tau$  的统计分布, 认为它服从韦布尔分布, 并利用可靠性理论的研究成果提出将地震危险度  $D$  值用于实际地震预报.

但是上述  $D$  值对震例检验的研究都是选择中强以上地震前震中周围的中小地震进行时间扫描的, 其结果和异常变化形态受区域的选择及区域大小影响较大. 这样对实际地震预报中如何较好地捕捉到较大地震前的异常震兆带来不便. 为此本文将利用文献[1]和[2]中的方法, 使用 1972~1992 年期间大华北(北纬  $29^{\circ} \sim 43^{\circ}$ , 东经  $106^{\circ} \sim 125^{\circ}$ )的地震资料将  $D$  值用于空间扫描以探讨它们在华北地区中强以上地震前的中期异常变化. 研究结果表明, 通常在中强以上地震前 2~3a, 在未来震中周围出现较大范围的  $D$  值异常区域. 文中就异常指标的提取、 $D$  值异常与实际地震活动的关系、计算结果的稳定性等问题进行了讨论.

## 2 资料与方法

文献[1]和[2]研究了小震时间间隔  $\tau$  的统计分布规律, 并经过统计检验认为它服从韦布尔分布, 其概率密度函数为:

$$f(\tau) = \mu \tau^{\rho-1} \exp(-\mu \tau^{\rho} / \rho) \quad (1)$$

定义在单位时间( $\tau=1d$ )内发生地震的概率为地震危险度  $D$  值:

$$D = 1 - \exp(-\mu / \rho) \quad (2)$$

这里  $\mu, \rho$  为待定参数. 参数用非线性最小二乘法来估计.

在将  $D$  值用于空间扫描过程中, 根据华北地区的实际地震控制能力要求各扫描单元应有

较多的地震样本,同时还要求尽可能地避免由于扫描单元过大或资料累积时间过长可能造成对地震异常的平滑.本文选择半径为 150 km 的圆域为扫描基本单元,资料累计时间为 18 个月,起始震级为  $M_L=2.3$ ,而对少数地震个数较少并且地震控制能力较强的地区,在一些时段则取  $M_L=2.0$ .

所用资料取自《中国东部地震目录》.该目录包括了 1970~1979 年期间在东经  $105^\circ$  以东地区发生的 2 万多个地震.对 1980 年后的资料采用国家地震局分析中心编纂的《中国东部地震月报目录》.为消除余震序列对计算的影响,使用时对所有余震进行了剔除.

在 1975~1992 年期间,华北地区 ( $29^\circ \sim 43^\circ \text{N}$ ,  $106^\circ \sim 125^\circ \text{E}$ ) 共发生  $M_s \geq 5.0$  地震 25 次(表 1).对于 1975-09-02 黄海 5.3 级及 1991-01-13 内蒙古自治区阿拉善左旗两次地震,由于震前该区台站较少,主震位置又太偏,该区小震记录不全,因此本文将对其余的 23 次地震进行讨论.为系统研究这些地震前  $D$  值可能出现的中期异常变化,本文以半年时间间隔滑动进行扫描.为便于计算机的输出,在实际运行时,将华北地区分为 4 个区域分别计算,它们是:①华北北部区 ( $35^\circ \sim 43^\circ \text{N}$ ,  $115^\circ \sim 125^\circ \text{E}$ ),②华北西北部区 ( $35^\circ \sim 43^\circ \text{N}$ ,  $105^\circ \sim 115^\circ \text{E}$ ),③华东区 ( $29^\circ \sim 37^\circ \text{N}$ ,  $113^\circ \sim 123^\circ \text{E}$ ),④华中区 ( $29^\circ \sim 36^\circ \text{N}$ ,  $105^\circ \sim 114^\circ \text{E}$ ).根据实际计算以及文献[1]和[2]的结果,选择  $D \geq 0.2$  为异常阈值.通常当出现  $D$  值大于阈值、异常面积大于 4 平方度、持续时间大于 1a 的  $D$  值异常区时,则认为该区为  $D$  值中期异常区.

表 1 1975~1992 年期间华北地区 ( $29^\circ \sim 43^\circ \text{N}$ ,  $106^\circ \sim 125^\circ \text{E}$ ) 发生的  $M_s \geq 5.0$  地震及  $D$  值中期异常情况

序号	发震时间	震中位置				$M_s$	$D$ 值 异常时段	备注
		纬度	经度	地点				
1	1975-02-04	$40^\circ 42'$	$122^\circ 42'$	辽宁 海城	7.3	无		
2	1975-09-02	$32^\circ 54'$	$121^\circ 48'$	黄海 勿南沙	5.3		台站较少,记录不全	
3	1976-04-06	$40^\circ 14'$	$112^\circ 12'$	内蒙 和林格尔	6.3	无		
4	1976-07-28	$39^\circ 38'$	$118^\circ 11'$	河北 唐山	7.8	1974-12~1976-06		
5	1976-09-23	$40^\circ 05'$	$106^\circ 21'$	内蒙巴音木仁	6.2	无		
6	1979-03-02	$33^\circ 11'$	$117^\circ 25'$	安徽 固镇	5.0	1977-07~1978-12		
7	1979-05-22	$30^\circ 06'$	$110^\circ 28'$	湖北 秭归	5.1	无		
8	1979-06-19	$37^\circ 06'$	$111^\circ 52'$	山西 介休	5.1	无		
9	1979-07-09	$31^\circ 27'$	$119^\circ 15'$	江苏 溧阳	6.0	1977-07~1979-06		
10	1979-08-25	$41^\circ 14'$	$108^\circ 07'$	内蒙 五原	6.0	无		
11	1981-08-13	$40^\circ 30'$	$113^\circ 25'$	内蒙 丰镇	5.8	1979-01~1980-12		
12	1983-01-17	$40^\circ 22'$	$107^\circ 01'$	内蒙 磴口	5.1	1981-07~1982-12		
13	1983-11-07	$35^\circ 18'$	$115^\circ 36'$	山东 菏泽	5.9	1981-01~1983-06		
14	1984-05-21	$32^\circ 38'$	$121^\circ 36'$	南黄海	6.2	1982-07~1983-10		
15	1984-11-23	$38^\circ 04'$	$106^\circ 13'$	宁夏 灵武	5.3	无		
16	1985-06-21	$42^\circ 30'$	$112^\circ 24'$	内蒙苏尼特右旗	5.1	1984-01~1984-12		
17	1987-02-17	$33^\circ 25'$	$120^\circ 32'$	江苏 射阳	5.0	无		
18	1987-08-10	$38^\circ 03'$	$106^\circ 17'$	宁夏 灵武	5.5	1985-01~1987-06		
19	1989-10-19	$39^\circ 57'$	$113^\circ 49'$	山西 大同	6.1	1987-01~1988-12		
20	1989-11-02	$35^\circ 58'$	$106^\circ 17'$	宁夏 固原	5.0	1988-06~1989-09		
21	1990-02-10	$31^\circ 41'$	$121^\circ 00'$	江苏 常熟	5.1	无		
22	1991-01-13	$40^\circ 33'$	$106^\circ 03'$	内蒙阿拉善左旗	5.2	无	主震位置偏,记录不全	
23	1991-01-29	$38^\circ 28'$	$112^\circ 32'$	山西 忻州	5.1	1990-01~1990-12		
24	1991-03-26	$39^\circ 58'$	$113^\circ 51'$	山西 大同	5.8	1990-01~1990-12		
25	1992-01-23	$35^\circ 12'$	$121^\circ 04'$	北黄海	5.3	1991-01~1991-12		

为系统研究  $D$  值空间扫描异常随时间的变化以及对应地震和虚报地震的情况, 本文对华北各地区按时间顺序依次进行空间扫描. 这样使用 1972 ~ 1992 年地震资料, 每个地区可得到  $D$  值空间扫描分布图 40 幅. 由于篇幅所限, 本文对各次地震前的  $D$  值异常变化只给出地震所在区域的 3 幅扫描结果. 它们分别是异常尚未出现或异常开始、异常发展和异常区域最大 3 个阶段的变化情况. 当两次地震发震时间间隔较短, 且震中位于同一区域, 则该两次震例只给出一套图件, 如华东区的固镇、溧阳地震, 华北区的忻州、大同地震.

### 3 $D$ 值在华北中强以上地震前的中期异常变化

图 1 按时间顺序给出了 14 次出现  $D$  值中期异常区震例的空间图象变化形态, 可以看到这些地震前的  $D$  值异常变化是明显的, 地震通常发生在异常区内部或边缘地区. 以下将对各扫描区域中地震的  $D$  值中期异常变化情况进行简要介绍.

#### 3.1 华北北部区

由表 1 及图 1 可见, 该区仅在 1975 ~ 1976 年间发生海城、唐山两次 7 级以上地震. 海城地震前未出现  $D$  值中期异常. 唐山地震前约 1.5a, 在主震震中附近出现了大面积高  $D$  值异常区.

#### 3.2 华北西北部区

该区在 1975 ~ 1992 年间共发生  $M_s \geq 5.0$  地震 13 次. 其中丰镇、磴口、苏尼特右旗、1987 年灵武、1989 年大同、固原、忻州及 1991 年大同 8 次地震前约 2a, 在主震震中附近出现了大面积高  $D$  值异常区, 震后异常恢复. 其余 5 次地震前未见  $D$  值中期异常.

#### 3.3 华东区

该区在 1975 ~ 1992 年间共发生  $M_s \geq 5.0$  地震 7 次. 其中固镇、溧阳、菏泽、南黄海及北黄海 5 次地震前约 2a, 在主震震中附近出现了大面积高  $D$  值异常区, 震后异常恢复. 其余 2 次地震前未见  $D$  值中期异常. 该区台网分布较密, 与  $C$  值扫描一样, 取起始震级  $M_L = 2.0$  进行  $D$  值扫描.

#### 3.4 华中区

由表 1 可见, 该区在 1975 ~ 1992 年间只发生了秭归地震, 震前未见  $D$  值中期异常.

## 4 结论与讨论

### 4.1 $D$ 值用于中期预报的方法与预报效果

综上所述, 可将  $D$  值用于中期地震预报. 在实际运用中, 资料的选取应根据华北地区地震台网的实际控制能力, 并保证有一定的统计样本. 通常可取扫描起始震级  $2.3 \geq M_L \geq 2.0$ , 扫描单位圆的半径为 150 km, 资料累积时间间隔约为 1.5a, 而扫描滑动时间步长一般不应超过 0.5a.

当出现持续时间超过 1a、异常范围大于 4 平方度的异常区时, 则认为出现  $D$  值的中期异常区. 对于华北地区,  $D$  值的异常阈值取为 0.2. 由于不同地区地震活动水平不一样, 阈值可有所差异. 若出现  $D$  值的中期异常区后, 则认为其后该区可能发生中强以上地震. 若中期异常区消失后 1a 仍未发生中强以上地震, 则为虚报.

由前述可知, 该期间华北地区有 14 次中强以上地震前出现  $D$  值空间扫描中期异常 (1976-09-23 巴音木仁 6.2 级和 1979-08-25 五原 6.0 级地震前仅出现约 0.5a 的  $D$  值异常, 1975-02-04 海城 7.3 级地震前仅出现 2 个月左右的  $D$  值异常, 本文图中没有列出). 这样,  $D$

值对华北地区 5 级以上地震预报的对应率为:

$$P = 14/23 = 0.61$$

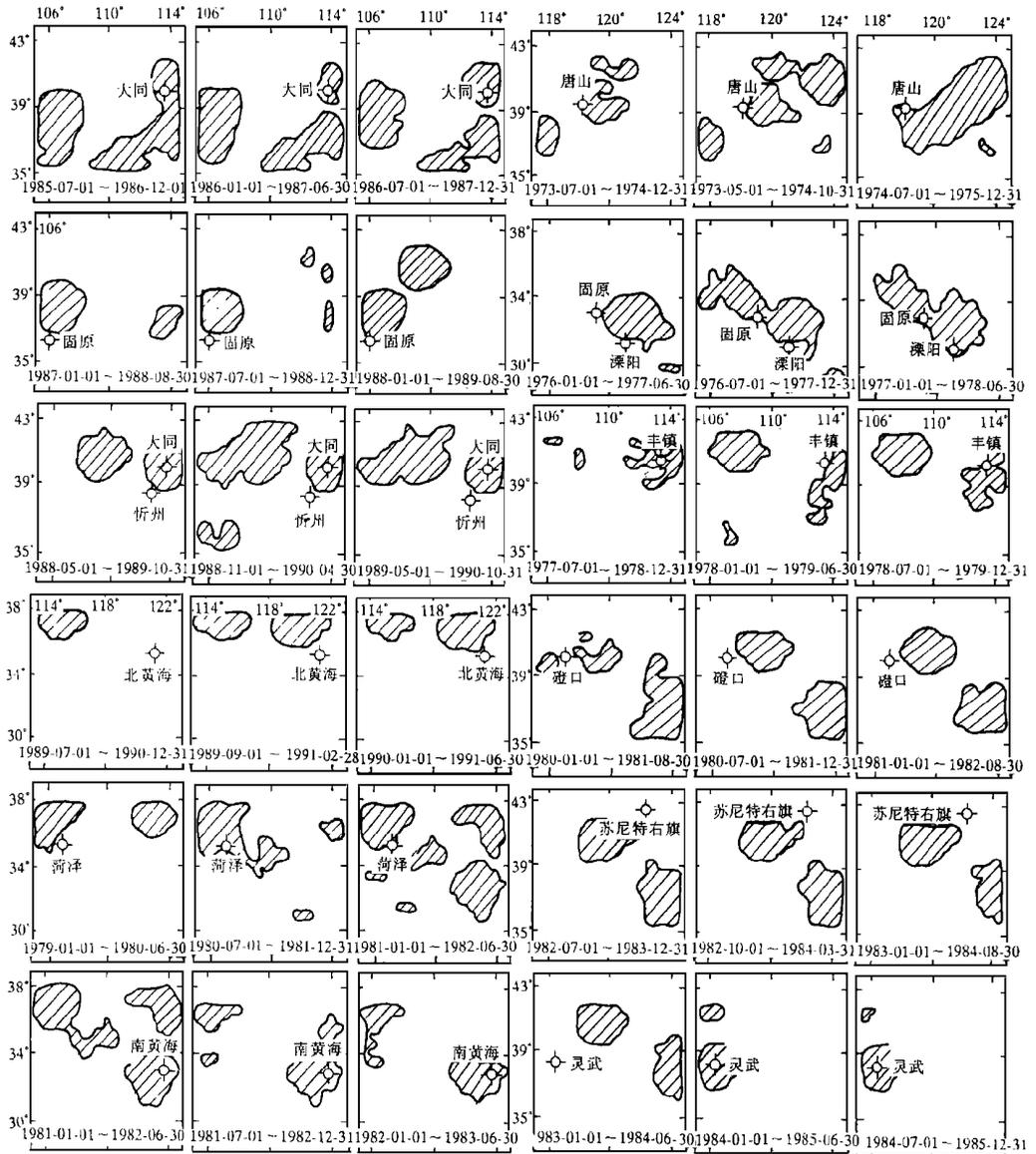


图 1 华北 14 次中强以上地震前 D 值异常分布演变图

Fig. 1 Anomalous distribution of D-value before 14 moderate or strong earthquakes in North China.

本文也系统研究了 D 值的虚报问题. 在剔除了一些特殊情况后(海城、唐山等强震的余震活动可能造成该区 D 值的长期偏高), 还出现过 8 次 D 值中期异常区, 其后并未发生中强以上地震. 这样 D 值对 5 级以上地震的虚报率为:

$$P_{虚} = 8 / (14 + 8) = 0.36$$

根据预报评分 R 值计算公式:  $R = \frac{\text{报对的地震次数}}{\text{应预报的地震总次数}} \frac{\text{预报占用时空范围}}{\text{预报研究的总时空范围}}$

其 R 值为:  $R = 0.61 - 0.09 = 0.52$

### 4.2 D 值与实际地震活动的关系

在地震活动图象的研究中,不少文献指出,中强以上地震发生前,在震中周围区域可能出现地震活动增强、频次增高现象,出现一些前兆震群或大范围震群活动增多现象.这种图象将造成地震在时间上的丛集现象,由于 D 值表征了地震在时间上丛集程度的大小,因此在中强以上地震前未来震中附近可能出现 D 值异常.

文献[1]根据岩石试验的结果分析指出,D 值是应与力有关的参量.在中强以上地震孕育的过程中随着区域应力场的增强,D 值将可能出现较大范围的增高.因此,D 值的异常增高图象可能反映了区域应力场的增强现象.由于震前中小地震活动图象的复杂性,因此未来地震有时位于异常区的边缘.同样,D 值与其它预报参数(如 b 值、C 值等)空间扫描异常的时间段及其在空间上的分布往往也并不一致,并非所有地震前都一定会出现异常.在以上论述的 23 次中强以上地震前,D 值和 C 值都出现异常的情况仅占 10 次,其比例为  $10/23 = 0.43$ .通常当未来中强以上地震震中周围发生地震次数较多的显著震群时,C 值、D 值往往大体同步地出现异常.

### 4.3 异常时间和最大面积与主震震级无明显关系

图 2 为 D 值各次异常的持续时间 T(月)和异常过程中的最大异常面积 A(平方度)与主震震级的关系.图中也列入了部分异常时间少于 1a 的资料.由图可知,异常时间和最大异常面积与未来主震震级无明显关系.

### 4.4 不同计算参数的比较

本文所提出的 D 值空间扫描方法是否具有实用价值,应考虑在不同计算参数情况下 D 值异常图象是否具有稳定性.

4 个工作区内出现 D 值异常的 14 次地震, 3 种时间窗( 15、18、21 个月) 3 种空间窗( 150、180、200 km )( ), ( $M_L \geq 2.0, M_L \geq 2.3$ ) D 值空间扫描. : , D 值异常区出现,

. 3 为 1975 年 2 月 4 日海城地震前取不同起始震级时的 D 值异常分布图,

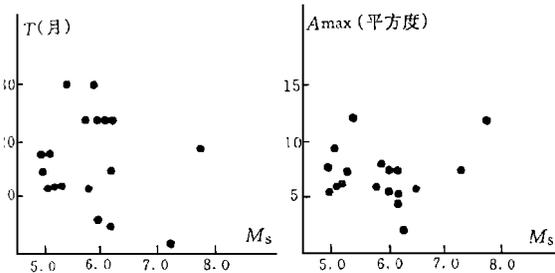


图 2 D 值异常时间 T(月)和最大异常面积  $A_{max}$  与主震震级的关系

Fig. 2 The relation of anomalous duration T(month) and maximum anomalous area  $A_{max}$  to mainshock magnitude.

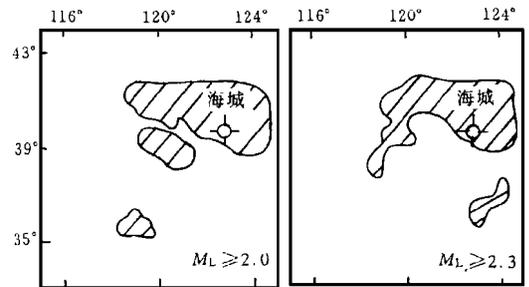


图 3 海城地震前取不同起始震级时的 D 值异常分布

Fig. 3 Abnormal distribution of D-value with different threshold magnitude before the Haicheng  $M_S 7.3$  earthquake.

