

模糊数学在地震活动性图象研究中的应用*

冯德益 林命遇 蒋淳 吴国有

(天津市地震局) (上海市地震局) (天津市地震局)

摘要

本文应用模糊数学方法从给定地区的地震目录中识别出地震簇。这些地震簇由一系列时空相关的地震组成，每一次强震前都可能有其地震簇出现。两次地震的函数由以下公式来确定：

$$\epsilon_{ij} = \beta_1 e^{-\alpha_1 \Delta t} + \beta_2 e^{-\alpha_2 \Delta s}$$

计算出某一地区所有 $M \geq M_0$ 地震相互之间的联系强度，并取一个经验参数 λ 之后，就可以根据编网原则识别出地震簇。

利用地震簇，可以把强震的地震活动性图象识别得更清楚，简单和定量化。

此方法曾用于我国大华北及西南地区的地震簇识别与地震活动图象研究。清楚地识别出了 13 次大震 ($M \geq 6.5$) 的地震簇。研究了它们的时空特性。近似建立了 $\lg \Delta t$, $\lg L$, $\lg S$ 与震级 M 间的线性经验关系，此处 Δt , L , S 分别表示地震簇的前兆时间(持续时间)及其震中分布的最大线度与面积。显然，这些关系式对地震预报研究可能有一定用途。

一、引言

如所周知，地震活动性图象的识别在地震预报研究中占有重要的地位。迄今为止，人们已发现大震前小震活动形成空区、条带、密集—平静、定向迁移等多种特殊图象^[1,2]。但是，具体识别这些地震活动性图象时往往要遇到一些困难，甚至出现争议，其主要原因在于，我们所要识别的图象大都具有一定的模糊性，因而在识别时要不同程度地依赖于人的经验。

为了减小地震活动性图象研究中的不确定性，文[3]给出了一种二维时-空模糊识别方法。此方法类似于模糊聚类分析中的编网法，其核心是建立两次地震之间的多值联系强度。将联系强度超过一定阈值的地震合并成“地震簇”，再根据每个“地震簇”中各次地震的时空分布特征对地震活动性图象进行识别与分析，即可使这些图象进一步清晰化。

本文进一步阐述我们在文献[3]中所提出的模糊识别方法，除我国大华北地区以外，还从西南地区的长时间，大面积地震活动资料中识别出一系列大地震的地震簇。以所得的地震簇为基础，对大震前的地震活动性图象进行了统一的分析研究，建立了地震簇的持续时间及震中展布范围等特征量与震级的关系，结果较好。

本文 1985 年 11 月 15 日收到，1986 年 4 月 18 日收到修改稿。

* 本文是国家地震局地震科学基金资助的课题。

二、地震活动性图象的模糊识别方法

众所周知,地震 A_i 和 A_j 是否有联系,在经典的处理中是 0—1 式的,即有联系时取为 1,无联系时取为 0,无法定量表示有联系的程度。这一问题在模糊数学的概念上易于解决,因为可以选用 [0,1] 之间的数——从属度,来描述 A_i 和 A_j 之间的联系的密切程度,简称联系强度。这种联系强度可由物理含义及经验途径来确定,而其“属于”或“不属于”有联系,则取决于一个合理选定的阈值 λ ,大于该阈值时为有联系,小于该阈值时为无联系。这样只要最后把联系强度这个模糊量通过选定阈值来清晰化,就可为识别那些时空分布无明确边界的地震活动性图象提供一种新方法。

1. 地震基本参量构成的模糊集

设有 n 个台站,同时测量一次地震,第 i 个台站的测定结果为震级 M_i ,发震时刻 t_i ,地点 S_i 。显然,这些值就不同的台站而言是离散的,但统计上可假定符合于以平均值 M_0 , t_0 , S_0 为中心的正态分布。从模糊数学观点出发,由多台测定出震级,发震时刻和地点分别构成模糊集 M, t, S ,且可假定它们是正态模糊集,其从属函数为

$$\mu = e^{-\frac{(x-a)^2}{b}},$$

地震目录中发表的地震基本参量,实质上是这些从属函数中的数学期望值(即均值) a ,而测定精度即上式中的均方差 b 。下面我们将略去模糊数学中的讨论,而把 M, t, S 的均值作为模糊数 M, t, S 的代表,直接取用其结果以寻找地震 A_i 和 A_j 的联系。

2. 两次地震之间的联系强度

两次地震 A_i 和 A_j ,如果其发震时刻和震源位置彼此接近,则其内在联系显然强烈;反之就虚弱。由于震源深度的测定误差一般都比较大,通常不予考虑,为此我们只研究地壳内发生的地震。

鉴于在地壳这样的流变介质中,无论应力随时间减弱过程,还是应力随距离衰减过程,都可近似用指数规律来描述,因此,如果我们假定某一地区发生的一次较大地震,与外区应力传递到该区和本区应力随时间变化二者都有关,则可把两次地震之间的模糊联系强度取成指数函数和的形式。在固定震级下限仅考虑时,空二维的情况下有:

$$\begin{aligned} e_{ij} &= \beta_1 y_{\Delta t} + \beta_2 y_{\Delta s} \\ y_{\Delta t} &= e^{-\alpha_1 \Delta t} \\ y_{\Delta s} &= e^{-\alpha_2 \Delta s} \end{aligned} \tag{1}$$

其中 e_{ij} 为第 i 个地震 A_i 与第 j 个地震 A_j 的模糊联系强度; β_1 和 β_2 为时,空二维各自的权系数, $\beta_1 + \beta_2 = 1$,由样本学习而定; $y_{\Delta t}$ 为指类型时间联系强度, Δt 为第 i 次地震 A_i 和第 j 次地震 A_j 的时间差,以天为单位; $y_{\Delta s}$ 为指类型地点联系强度, Δs 为第 i 次地震 A_i 和第 j 次地震 A_j 的距离差,以公里为单位; α_1 和 α_2 为经验常数,由样本学习而定,在对数据作了试算后,我们初步取 $\alpha_1 = 0.0005$, $\alpha_2 = 0.015$,这样取值后可使二地震在发生时刻和震中位置稍有变动时, e_{ij} 有足够的“灵敏度”来反映。

由式(1)显然可见, Δt 减小及 Δs 减小都可使 e_{ij} 增大,即是说,两次地震发震时

刻越接近，地点越近，联系也就越紧密，反之联系越弱。此外，式(1)反映时空综合效应，即在两个相距甚远的地方，即使同时发生两次地震，其间也无任何联系；同样，即使在原地重复发生两次地震，当其间隔时间甚远时也毫不相关，而是两个不同阶段的地震。

3. 地震活动性图象的模糊识别

首先，在计算了某一地区地震目录中所得的各次地震两两之间的联系强度 e_{ij} 后，即可把全部数据列成 $n \times n$ 阶方阵 \mathbf{E} ：

$$\mathbf{E} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & \cdots & n \\ 1 & & & & \\ 2 & e_{21} & 1 & & \\ 3 & e_{31} & e_{32} & 1 & \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \\ n & e_{n1} & e_{n2} & e_{n3} & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

对角线上的元素为 $e_{ii} = 1$ 。由于 $e_{ji} = e_{ij}$ ，故上述方阵相对于对角线是对称的，在处理中只要写出对角线左下一半即可。

然后采用模糊聚类分析中的编网法或模糊图^[4,5]。选定一个 λ 截值，凡满足 $e_{ij} \geq \lambda$ 的 i, j 号地震都应联系在一起成为地震对，各地震对之间还可根据 λ 截值互相沟通，所有沟通串联在一起的地震就自然构成“地震簇”。其中 λ 截值为根据样本学习而定的经验常数。

在使用上述方法时，要经历两个过程：第一，根据已有资料进行试验性的学习，定出合适的 λ 值和 β_1, β_2 值，尽量使被研究地区的所有地震簇识别得最为清晰；不同地质单元上的经验参数 λ 和 β_1, β_2 值可能有区别，此时应尽量使得能有最多的样本合于上述思想，其具体作法是由“大震”向前找“簇”；第二，在给定地区重复上述工作，根据取定的 $\lambda, \beta_1, \beta_2$ 值确定新的“地震簇”，并且找出“有大震簇”的时空分布特征，逐步圈定危险区，其思路是由“簇”确定“大震”。

由模糊数学方法识别出地震簇之后，就可以用现有的一般方法来具体研究不同地震簇对应的地震活动性图象，如空区、频度、条带， b 值等大震前地震活动性图象的前兆异常变化特征。值得注意的是，此时的地震活动性图象已经过一定的清晰化处理。

4. 联系强度的极限状态和清晰化的依据

首先，若取阈值或截值 λ ，则 $e_{ij} = \lambda$ 为第 i 与第 j 次地震有联系的最小值，对应着联系强度的极限状态。此时由(1)式可得：

$$\begin{cases} \Delta t = -\frac{1}{\alpha_1} \ln \left(\frac{\lambda}{\beta_1} - \frac{\beta_2}{\beta_1} e^{-\alpha_2 \Delta s} \right) = f(\lambda, \Delta s) \\ \Delta s = -\frac{1}{\alpha_2} \ln \left(\frac{\lambda}{\beta_2} - \frac{\beta_1}{\beta_2} e^{-\alpha_1 \Delta t} \right) = f(\lambda, \Delta t) \end{cases} \quad (2)$$

显然，当 Δs 和 Δt 分别互为参数时，它们都和 λ 有关，表明 λ 截值的大小决定了二地震 A_i 和 A_j 有无联系的临界状态。

作为例子，我们选取经验系数 $\alpha_1 = 0.0005, \alpha_2 = 0.015, \beta_1 = 0.2, \beta_2 = 0.8$ ，并考虑两种极限情况：第一种情况为 $\Delta t = 0$ ，表示同一天发生的两次地震；第二种情况为 $\Delta s = 0$ ，

表示同一地方发生的两次地震。当选用不同阈值 λ 时，同一天发生的两次地震有联系的最大距离 ΔS_{\max} 及同一地点重复发生的两次地震有联系的最大时间间隔 Δt_{\max} 如图 1 所示。通过经验途径确定出一个 λ 值后，就可以由图 1 估计出极限值 ΔS_{\max} 和 Δt_{\max} 。

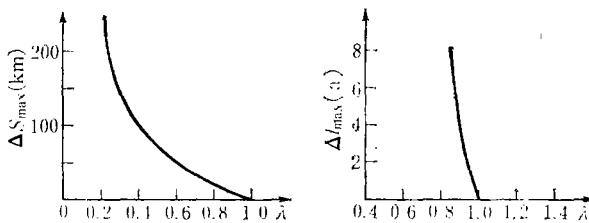


图 1 两次有联系的地震间的最大距离 ΔS_{\max} 及最大时间间隔 Δt_{\max} 与 λ 值的关系

Fig. 1 Relations between maximum distance ΔS_{\max} , maximum time interval Δt_{\max} of two related earthquakes and the λ -value

其次，如前所述，不同阈值 λ 下同一联系强度使 A_i 和 A_j 判为有无联系的结果可能不同。因此， A_i 和 A_j 的联系强度数值本身是确定的，而对它们是否属“有联系”的判定则是模糊的，因而反映在地震的时空分布图上，分时段和分区的边界可随 λ 而变化。由经验样本取 λ 的过程实际上就是把边界清晰出来的过程，也就是模糊集向清晰集的转换。由模糊集理论可知，假如我们把所有对模糊集 A 的从属度达到或超过 λ 的元素都看成是 A 的成员，则模糊集 A 就变成普通的清晰集 A_i 了。这就是本文得以把模糊地震活动图象清晰化的基础。

三、我国大华北地区及西南地区地震簇的划分

作为例子，我们用上述方法来划分我国大华北地区及西南地区的地震簇。研究中使用的地震目录均以文献 [6] 为准，大华北地区的范围则根据文献 [2] 划定，时间起始于 1949 年，震级下限按文献 [6] 取为 $4\frac{3}{4}$ 级。

在具体处理过程中，鉴于每一较大地震一般均有一系列余震，这些余震本身和主震的联系强度当然是很大的。因此，为节省计算量，凡明显属于余震序列的地震可不参加计算，仅以主震为代表。

1. 大华北地区地震簇的划分

文献 [2] 中已给出用计算机对大华北地区得出的 1949 年以来发生的 $M_s \geq 4\frac{3}{4}$ 地震自动成簇的结果。计算中选取的联系强度为 $c_{ii} = 0.2y_{\Delta t} + 0.8y_{\Delta s}$ ，其中 $\beta_1 = 0.2, \beta_2 = 0.8$ 是经计算多种方案比较后得出的最佳值。考虑到大华北地区的西部已包括南北地震带，和东部的地质条件及地震活动性明显不同，故以 110°E 为界，把整个地区分成东、西两部分。在计算了大量样本的基础上，我们得到东部地区 $4\frac{3}{4}$ 级以上地震成簇的 λ 截值为 0.2，大华北西部地区成簇的 λ 截值为 0.3。此外，根据经验，我们初步假定，只有 5 个以

上 $4\frac{3}{4}$ 级地震构成一族时,其后才可能发生7级左右或更大一些的强震。

由文献[3]的结果可知,1949年以来大华北东部出现过三个大的地震簇,即海城簇,邢台-唐山簇和晋豫簇。邢台-唐山簇中已发生过邢台7.2级,渤海7.4级和唐山7.8级地震。海城簇中发生过7.3级地震。唯独晋豫簇中最大只发生过5.5级地震,很可能是今后一定时期内7级左右大震的危险地区。各地震簇的空间分布如图2—图4所示,图中地震编号是按时间顺序由地震目录统一排列的,大圆圈表示7级以上地震;有些编号对应着一些不成簇的地震,图中未列出。利用这些地震簇,我们可以粗略地把邢台地震前的地震活动空区与唐山地震前的晚期空区划分开,但渤海地震前的空区因资料缺乏较难划出(图3)

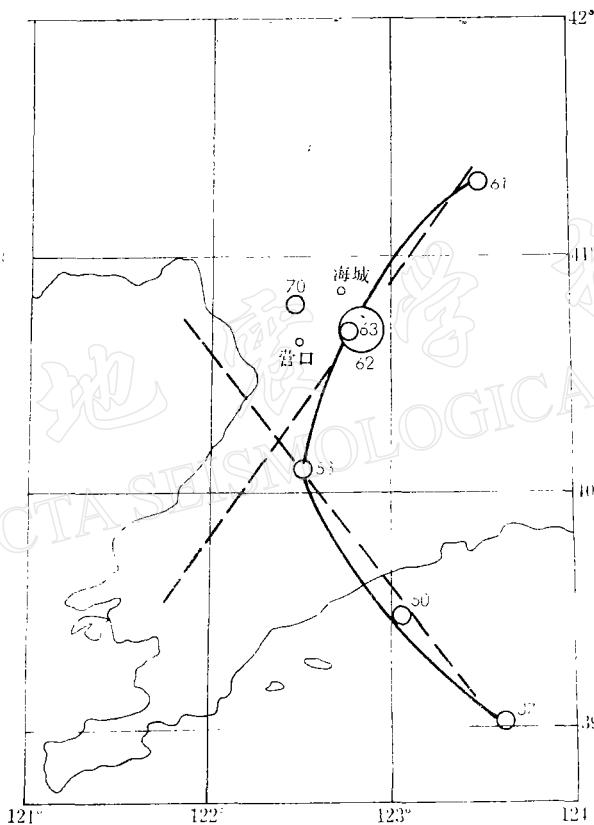


图2 海城地震簇

No. 63为海城主震

Fig.2 The Haicheng seismic cluster

No.63—Haicheng main shock

只划出一小段);海城地震前的空区也只能显示出一侧的大致边界,但却可看出震前有两个交叉的震中迁移方向,主震就发生在离交点不太远的一条迁移路径上(见图2);唐山及邢台地震前也有类似的两条震中迁移路径相交,主震在交点附近的现象(见图3)。图4所示的晋豫地震簇有待今后检验,暂不作进一步讨论。

文献[3]还给出,大华北西部地区1949年以来有四个地震簇,即山丹、康定、民勤、松潘等四个地震簇。这些地震簇中都已发生过大震,除民勤地震为6.9级外,其它均在7级

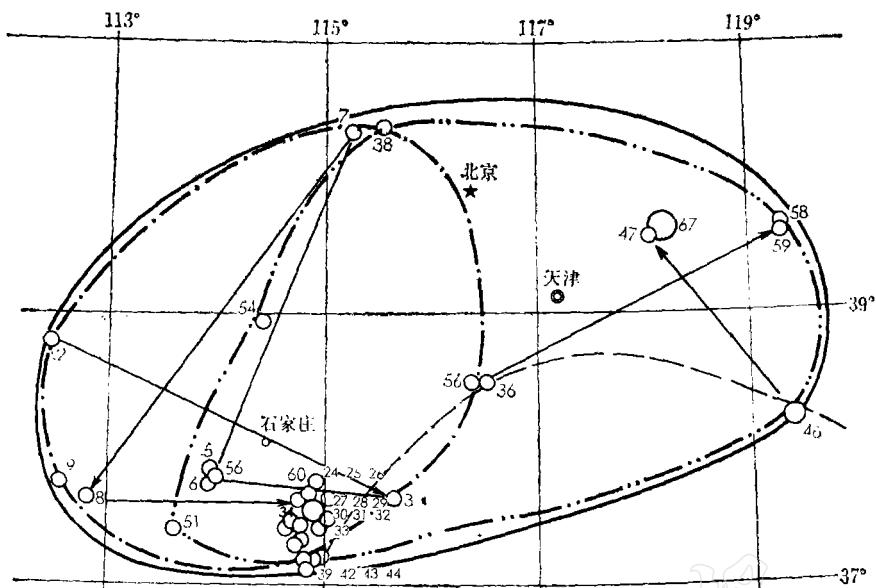


图3 邢台-唐山地震簇

No. 34 为邢台主震 No. 67 为唐山主震 No. 46 为渤海主震

Fig. 3 The Xingtai-Tangshan Seismic cluster

No. 34—Xingtai main shock No. 67—Tangshan main shock No. 46—Bohai main shock

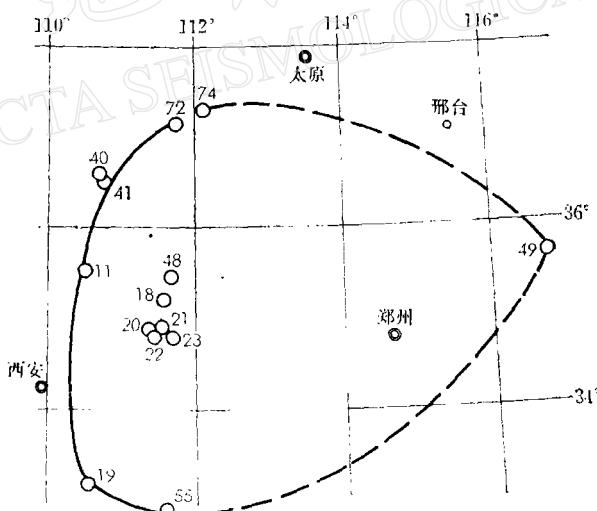


图4 晋豫地震簇

Fig. 4 The Shanxi-Henan seismic cluster

以上。图5—图8给出大华北西部地区四个地震簇的大致地理范围。山丹、康定、民勤三个地震簇由于未选取1949年以前的资料而很不完善，大震前的地震活动图象难于讨论。图8所示的松潘地震簇看来比较完整，既可以发现空区，也可以看出两个相互交叉的优势震中迁移方向。

2. 中国西南地区

西南地区的范围取在 84°E — 106°E , 20°N — 37°N 之间，选用 1949 年以来

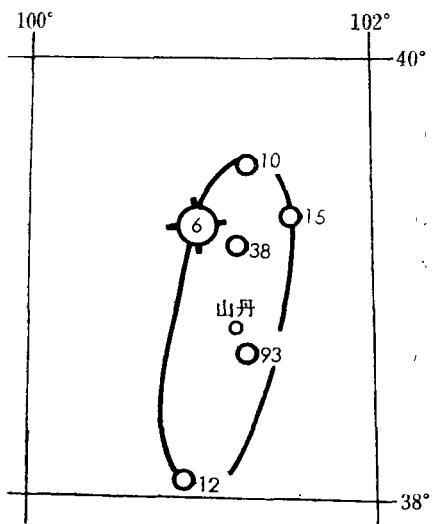
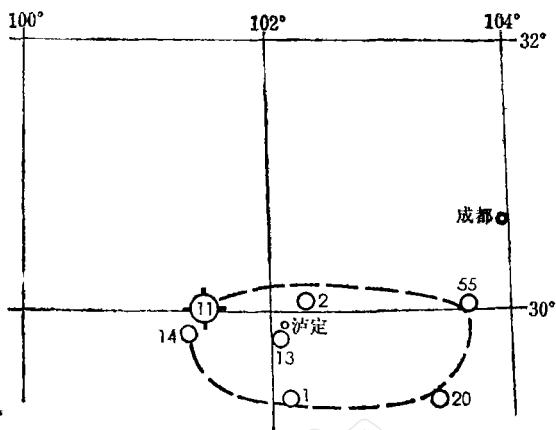


图 5 山丹簇
No. 6 为山丹主震
Fig.5 The Shandan seismic cluster
No.6—Shandan main shock



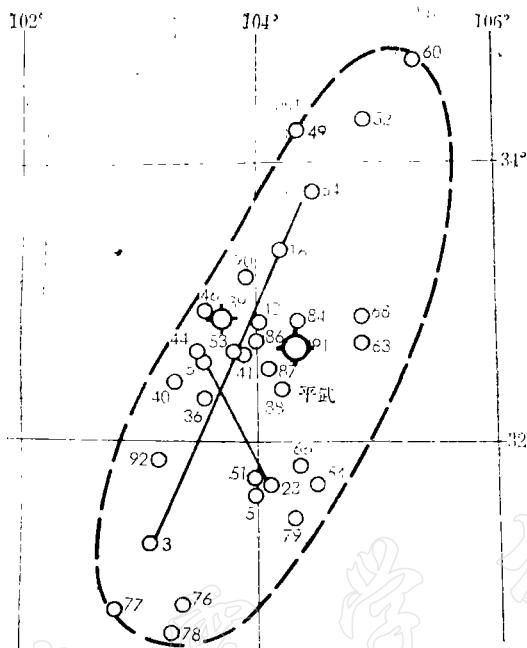


图 8 松潘簇

No. 91 为松潘主震

Fig.8 The Songpan seismic cluster

No.91—Songpan main shock

表 1 西南地区 $M_s \geq 4\frac{3}{4}$ 级地震成簇情况表 ($\lambda = 0.34$)Table 1. Fuzzy clustering of $M_s \geq 4\frac{3}{4}$ earthquakes in Southwest China ($\lambda = 0.34$)

不成簇情况	<p>单个震: 3, 5, 10, 14, 16, 17, 21, 22, 23, 29, 30, 43, 47, 48, 59, 61, 62, 64, 72, 73, 98, 148, 157, 174, 213, 217, 219, 221, 222, 231, 240, 242, 253, 272, 287, 295, 303, 304, 310, 325, 337, 343, 369, 380, 381, 405, 419。</p> <p>几个一组但不成簇:</p> <p>[1, 245, 294], [2, 93, 94], [11, 131], [26, 50, 70, 210], [39, 81, 104, 398], [41, 46], [42, 91], [56, 74], [63, 223, 190], [65, 322], [78, 79, 90], [92, 114, 191, 413, 406, 164], [95, 109, 110, 111], [125, 294], [136, 204, 208, 334, 300], [137, 171, 319], [139, 144, 145, 147], [143, 420, 264, 364], [154, 175, 181, 215], [159, 244], [160, 225, 233, 306, 401], [168, 274, 412, 270], [184, 308, 425], [185, 341], [216, 232], [259, 261, 433], [280, 302], [281, 329], [326, 399]。</p>
成簇情况	<p>(1) 4, 15, 18, 31, 37, 87, 99, 100, 105, 106, 107, 116, 141, 142, 163, 169, 173, 177, 183, 186, 194, 197, 198, 200, 207, 211, 220, 238, 243, 252, 269, 271, 283, 307, 410, 426, 431。</p> <p>(2) 6, 24, 25, 27, 44, 54, 60, 88, 96, 103, 108, 126, 140, 146, 149, 193, 201, 226, 257, 267, 273, 284, 290, 297, 301, 318, 320, 331, 332, 333, 336, 345, 346, 350, 357, 359, 362, 367, 370, 373, 374, 377, 382, 383, 388, 391, 392, 394, 396, 400, 402, 409, 411, 414, 416, 432。</p> <p>(3) 7, 8, 20, 53, 67, 71, 75, 124, 132, 195, 236, 248, 258, 263, 265, 278, 279, 311, 312, 321, 323, 339, 347, 352, 353, 355, 361, 365, 372, 385, 424, 428, 434。</p> <p>(4) 9, 12, 13, 40, 45, 51, 52, 57, 69, 76, 77, 83, 85, 89, 90, 97, 101, 112, 115, 127, 130, 138, 150, 151, 156, 161, 187, 203, 206, 209, 212, 228, 230, 235, 239, 247, 250, 260, 266, 268, 276, 282, 288, 289,</p>

续表 1

成 簇 情 况	292, 298, 309, 313, 315, 317, 324, 330, 344, 378, 389, 390, 395, 403, 404, 421, 441.
	(5) 19, 84, 165, 196, 299, 314, 338, 342, 360.
	(6) 28, 66, 86, 33, 135, 162, 180, 218, 234, 237, 246, 251, 254, 348, 351, 371, 422, 430.
	(7) 32, 256, 285, 291, 293, 296, 316, 379, 407, 417, 423.
	(8) 34, 35, 36, 38, 49, 55, 82, 102, 122, 152, 155, 363.
	(9) 58, 68, 113, 129, 158, 166, 170, 172, 178, 182, 189, 262, 275, 286, 328, 375, 384, 397, 408, 442.
	(10) 117, 118, 119, 120, 121, 128, 133, 134, 167, 202, 340, 354, 356, 358, 418, 427, 440.
	(11) 123, 199, 205, 214, 224, 227, 229, 241, 255, 366.
	(12) 153, 327, 349, 368, 386, 387, 393, 439.
	(13) 176, 179, 376, 435, 436, 437, 335, 438.
	(14) 188, 192, 277, 305, 415, 429.

分簇试算,发现取 $\lambda = 0.34$ 时分簇效果最佳,即每一次大震都有相应的地震簇与之对应。分簇结果见表 1。

由表 1 可知,1949 年以来我国西南地区 $M_s \geq 4\frac{3}{4}$ 地震 5 个以上成簇的共有 14 簇,其



图 9 西南地区 $M_s \geq 4\frac{3}{4}$ 级地震的震中分布及地震成簇图

Fig.9 The distribution of epicenters and seismic clusters of $M_s \geq 4\frac{3}{4}$ earthquakes in Southwest China

分布如图 9 所示。这些地震簇中发生大于 6.5 级地震的有 10 个。其中 No.4 簇里的 1950 年 8 月 15 日西藏察隅 8.6 级地震和 No.8 簇里的 1951 年 11 月 8 日西藏那曲 8.0 级地震时间较早, 由于未选取 1949 年以前的资料, 这些大震前的地震活动图象难以讨论。其他每一簇都有相应的地震发生, 并在时间、空间上基本符合以往的经验规律。至于 No.10, No.11, No.12, No.14 地震簇中目前还无大于 6.5 级地震发生, 有的可能对应小于 6.5 级的地震, 有的尚待今后检验。

当同一地区发生两次以上大震时, 相应的地震簇可参照地震序列特征来划定。图 10 给出了一个实例。

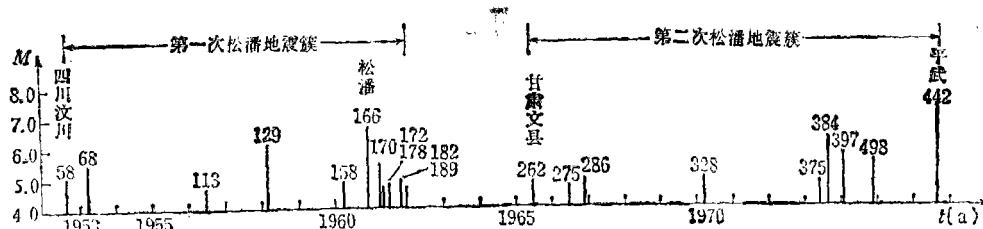


图 10 松潘地区两次地震簇的地震序列

Fig.10 The earthquake sequences of two seismic clusters in the Songpan region

四、大震前模糊地震活动图象的某些定量特征

在用上述方法得出和各大震有联系的地震簇之后, 我们不仅可以分析它们的图象特征, 如空区, 条带等, 而且还可以进一步确定这些地震簇的一些基本特征量。首先, 若以每一簇的第一个地震作为该簇中最大地震明显孕震期的开始, 直到主震发生, 则可得出大震的地震活动性前兆异常时间简称前兆时间。其次, 根据每一簇地震的空间展布形态, 就可以得出大震前地震活动展布地区(可视为明显前兆异常区)的最大线度及其所包围的面积。大华北地区及西南地区 13 次大震的地震簇时空特征量见表 2。表 2 中龙陵地震的地震簇空间分布范围较小, 可能是由于没有考虑国境线外的地震所致, 故有关数据仅供参考。

根据表 2 中的数据, 我们可以作出大震前地震簇的前兆时间 $\Delta t(a)$, 空间展布的最大线度 $L(km)$, 面积 $S(km^2)$ 与震级的关系, 如图 11—图 13 所示。图中地震序号与表 1 相符。由这些图可以看出, $\lg \Delta t$, $\lg L$, $\lg S$ 均近似与震级 M 呈直线关系。用最小二乘法得出的经验公式如下:

$$\begin{cases} M = 1.77 \lg \Delta t + 5.34 \\ M = 2.11 \lg L + 1.76 \\ M = 1.13 \lg S + 1.81 \end{cases} \quad (3)$$

显然, 这些经验公式与以往由各前兆手段取得的类似经验公式基本一致。利用这些经验公式, 我们可以大致推测一次大震的明显孕震时间及孕震区范围, 并估计未来大震的震级。至于主震震中位置, 则一般都不在地震簇展布区(明显孕震区)的中心, 而往往在其边缘部位。

表 2 大华北地区及西南地区几次大震的地震簇的时空特征量

Table 2. Temporal-spatial characteristics of seismic clusters in North China
and Southwest China

序号	起始震			终止震			长轴 (km)	面积 (km ²)	ΔT (a)			
	时间	地 点	M_s	时间	地 点	M_s						
	(年.月.日)			(年.月.日)								
1	1949.7.15	西藏察隅	5	1955.9.23	四川会理	6.9	405	57226	6			
2	1949.11.13	四川康定	5.5	1973.2.6	四川炉霍	7.9	702	198385	24			
3	1952.6.19	云南澜沧	6.5	1970.1.5	云南通海	7.7	495	105127	18			
4	1967.9.23	西藏丁青	4.7	1971.4.3	西藏丁青	6.5	198	13988	4			
5	1958.11.24	西藏定日	5.2	1965.1.12	西藏定结	6.5	315	33030	7			
6	1965.1.21	西藏申扎	5.5	1973.7.14	西藏申扎	7.2	252	41146	8			
7	1952.8.31	四川汶川	5	1960.11.9	四川松潘	6.7	225	19160	8			
8	1965.6.24	甘肃文县	4.8	1976.8.16	松潘	7.2	360	50868	11			
9	1961.6.12	云南腾冲	5.8	1976.5.29	云南龙陵	7.3	(180)	(16673)	15			
10	1967.6.8	辽宁长海	4.7	1975.2.4	海城	7.3	263	36474	8			
11	1952.10.8	山西原平	5.5	1966.3.22	邢台	7.2	396	95123	14			
12	1952.10.8	山西原平	5.5	1969.7.18	渤海	7.4	540	122083	17			
13	1952.10.8	山西原平	5.5	1976.7.28	唐山	7.8	648	192281	24			

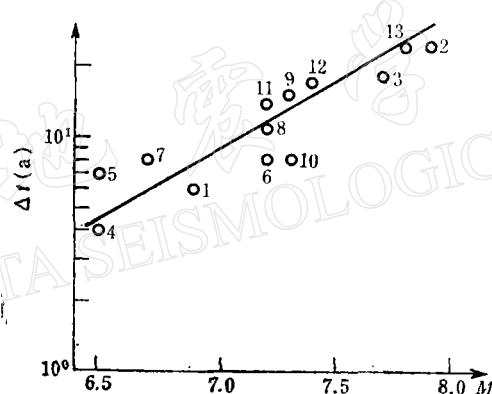


图 11 地震簇前兆时间与主震震级的关系

Fig.11 The relationship between premonitory time Δt (years) of seismic cluster and the main shock magnitude

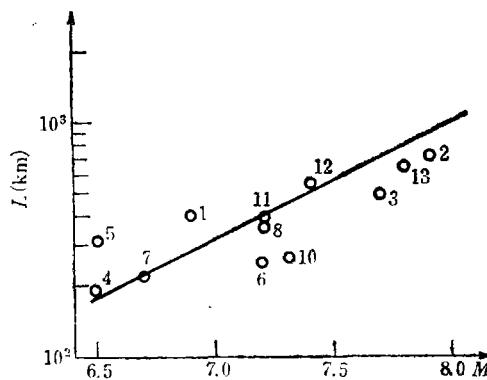


图 12 大震所在地震簇空间展布最大线度与主震震级的关系

Fig. 12 The relationship between maximum linear dimension L (km) of seismic cluster region and main shock magnitude

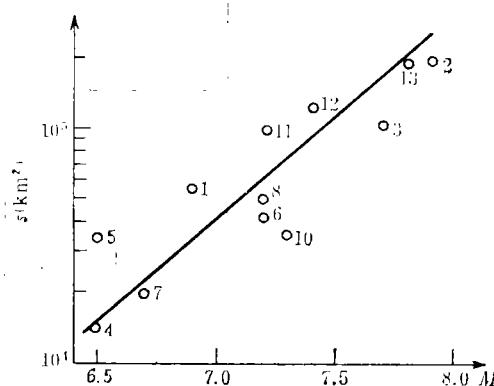


图 13 大震所在地震簇空间展布面积与主震震级的关系

Fig. 13 The relationship between area $S(\text{km}^2)$ of seismic cluster region and the main shock magnitude

五、结语

综上所述,我们认为,地震活动性图象的内容是丰富的,但却具有一定的模糊性,因此可用各种模糊数学方法来处理。地震有成簇的特点,一簇内的地震两两之间的联系强度较大。用本文的方法可以把全部地震目录输入计算机,并选定一个适当的 λ 截值,由机器自动地划分出不同的地震簇,每簇地震一般应由 5 个以上地震组成,每一大震(不计其余震序列)基本上均有自己的地震簇。地震簇内的地震可以表现为空区,也可以表现为条带或其他活动图象。对有大震的簇,以大震为结束,而不计其余震,新的地震簇将重新开始搜索。

关于 λ 截值,肯定具有地区性,并随地质构造和地震活动性而有所变化。一般说来,在地震活动强烈的地区 λ 值高,反之就低。通过各方案试算表明,在我国大华北地区 110°E 以东可取 $\lambda = 0.2$,以西取 $\lambda = 0.3$;西南地区可取 $\lambda = 0.34$ 。 λ 值还和震级有关,下限震级高时 λ 值低,反之则高。在大华北东部地区下限震级为 $4\frac{3}{4}$ 级时 λ 值为 0.2,下限震级为 3 级时 λ 值就可能达到 0.4 以上。这样,在通过各类样本学习后,掌握了各地区,各下限震级的 λ 值,就可以找出各震级的地震簇,从而达到以“簇”报“震”的目的。

本文提出的方法,在原则上是可行的,其效果依赖于若干经验系数的选取,这些系数的选定应当通过样本学习。本文取的常数值或许还可以变通,这是应进一步考虑的。

本文的 e_{ij} 仅取了时、空二维。我们认为,有联系的地震还应有其他的内在联系,因此需进一步寻找物理上的内在联系,若能找到更多的联系, e_{ij} 就转化为多维问题,这样效果可能会更好一些。当然,在数学处理的方法上也可以进一步深化。最后,在采用模糊识别方法之后,就可以探索每一地震簇的时空分布特征量,并得出地震簇持续时间及震中展布范围(长轴,面积等)与震级的经验关系式,从而逐步使大震前地震活动图象的分析定

量化, 规格化。

参 考 文 献

- [1] 国家地震局《一九七六年唐山地震》编辑组, 一九七六年唐山地震, 地震出版社, 1982.
- [2] 马宗晋、傅征祥、张郢珍、汪成民、张国民、刘德富, 1966—1976年中国九大地震, 地震出版社, 1982.
- [3] 冯德益、林命週、蒋淳、吴国有, “地震串”图象的模糊识别, 地震预报的地震学清理攻关论文集, 地震出版社(待出版).
- [4] 汪培庄, 模糊集合论及其应用, 上海科学技术出版社, 1983.
- [5] 冯德益、楼世博、林命週、陈化成、顾瑾平、钟廷姣, 模糊数学方法与应用, 地震出版社, 1983.
- [6] 中国地震历史资料编辑委员会总编室编, 谢毓寿主编, 中国地震历史资料汇编, 5, 科学出版社, 1983.

APPLICATION OF FUZZY MATHEMATICS IN THE RESEARCH OF SEISMICITY PATTERN

FENG DEYI

(Seismological Bureau of Tianjin)

LIN MINGZHOU

(Seismological Bureau of Shanghai)

JIANG CHUN AND WU GUOYOU

(Seismological Bureau of Tianjin)

Abstract

A method of fuzzy mathematics has been applied to the recognition of seismic clusters from earthquake catalogues in a given region. A seismic cluster consists of a series of earthquakes related to each other in time and space. Every strong earthquake may be preceded by its seismic cluster. The fuzzy relative degree between two earthquakes has been determined as a function of time interval Δt and distance Δs by the formula:

$$e_{ij} = \beta_1 e^{-\alpha_1 \Delta t} + \beta_2 e^{-\alpha_2 \Delta s}$$

After calculating the degrees of relatedness of all earthquakes with $M \geq M_0$ in some region and taking an empirical parameter λ , the seismic clusters can be recognized according to the principle of fuzzy netting.

By use of seismic clusters the seismicity patterns of strong earthquakes can be recognized and studied more clearly, simply and quantitatively.

This method have been applied to the recognition of seismic clusters and the study of seismicity pattern of earthquakes in North China and Southwest China. The seismic clusters of 13 large earthquakes ($M \geq 6.5$) have been recognized clearly, and their temporal and spatial distributions studied. The linear empirical relationships between $\lg \Delta T$, $\lg L$, $\lg S$ and earthquake magnitude M have been constructed approximately, where ΔT , L and S are the premonitory time (duration), maximum linear dimension and the area of epicenter distribution of the seismic cluster respectively. Obviously, these relationships may be useful to earthquake prediction researches.