

文章编号: 0253-3782(2001)03-0262-06

# 地震活动性图象处理的网格点 密集值计算方法<sup>\*</sup>

王 健

(中国北京 100081 中国地震局地球物理研究所)

**摘要** 通过对我国地震台网观测资料以及地震活动特征的分析, 给出了处理中小地震活动性图象的网格点密集值计算方法。该方法综合考虑一定时空及震级范围内地震的数量和震中分布这两方面因素, 并特别强调了计算参数的选取应充分考虑资料精度的影响。应用该方法得到的地震活动性图象能够准确、合理地反映地震活动特征并具有较好的稳定性。经该方法处理的图象是对地震活动性进行定量分析的基础, 在地震趋势分析、中长期地震预测以及防震减灾等方面有很好的应用前景。

**关键词** 地震活动性 地震趋势分析 中长期地震预测 防震减灾

**中图分类号:** P315.5      **文献标识码:** A

## 引言

研究地震现象是人类了解地震活动规律的重要途径, 是地震学的重要组成部分。地震活动性图象处理的目的就是研究地震的时空分布、概括出地震活动的显著特征, 进而探索地震活动的规律和机制。

人类对地震这一自然现象及其规律的认识是随着观测的不断发展而进步的。最初人们只能感受、记录破坏性地震, 研究所依据的只是强震资料。随着观测技术条件的不断改善, 观测范围不断扩大, 能够观测到的地震震级越来越小, 观测精度不断提高。新中国成立以来, 经过几代地震工作者的努力, 我国已建立了基本覆盖全国的地震观测台网(焦远碧等, 1990), 记录到了大量的中小地震资料。地震学家们要面对的地震活动图象也变得越来越复杂。

在多年的探索中, 人们逐渐认识到了中小地震活动性图象在反映区域应力状态、地壳介质性状以及在地震预测、防震减灾等方面的重要作用。为此, 中外地震学家们提出过多种处理地震活动图象的方法(梅世蓉, 1960; Fedotov, 1965; 陆远忠等, 1982; 陈章立等, 1981; 吴佳翼, 曹学锋, 1983; 谷继成, 魏富胜, 1987; 孙次昌, 章淮鲁, 1989; 陈锦标等, 1994)。这些方法大致可以分为两类: 一类可称为经验性方法, 主要依靠专家的经验来划定。这类方法的缺点是不确定性大, 可重复性差(许绍燮, 1989; 韩渭宾, 席敦礼, 1985);

\* 中国地震局地球物理研究所论著 01AC1011.

2000-05-23 收到初稿, 2001-03-28 收到修改稿并决定采用。

另一类是数值方法。其主要思路是针对经验性方法所存在的问题进行改进，希望以定量的办法确定地震活动性图象。存在的问题包括：震级区间以及计算参数的选取较为随意，缺乏对图象稳定性的分析，以及对图象的物理背景探讨不够等等。观测的发展和资料的积累，为更加深入研究地震现象和规律提供了坚实的基础，同时也提出了挑战，即我们需要探索地震活动性处理的新方法。

## 1 地震资料分析

一般意义上，地震活动性图象就是对地震震中分布图进行某种“变换”，以得到的一种简化的“映射”。地震活动性图象涉及震中定位精度问题，因此，需要对现有地震震中定位精度情况作简要的统计分析。

地震观测台网在测定地震位置时会存在一定的误差，这就存在震中定位精度问题。我国地震观测台网的定位精度大致可以分为4类（表1）。在最好的条件下，测定误差为2~3 km。从记录能力较好的华北地区

表1 华北地区1970~1999年地震资料精度统计表

精度类别	误差范围/km	地震数	所占比例
I	≤5	13 895	55.4%
II	≤10	6 736	26.8%
III	≤30	3 347	13.3%
IV	>30	1 121	4.5%

(108°~125°E, 30°~43°N)来看，1970~1999年共记录到  $M_L \geq 1$  地震 79 644 次，其中给出精度的共有 25 099 次，仅占总数的 31.5%。对已有的精度资料，我们分别统计各类精度的地震数及其所占比例，列于表1。

未给出精度类别的原因是复杂的，已无法估计其精度分布。如果假定可以用表1中的数据推论全部资料，我们可以得到这样的看法，半数以上的资料误差小于5 km；约80%为10 km；绝大多数(约95%)震中定位精度误差在30 km之内。

## 2 分震级网格点密集值计算方法

### 2.1 分震级处理的原则

处理地震活动性图象首先遇到的就是不同震级地震频数比较的问题。震级是地震能量大小的一种量度。震级每变化一级，能量相差数十倍，因此，将不同震级的地震等同看待是不可取的。现在常用的方法是将各震级地震折合成某一震级的等效频度。这种方法存在两点问题，一是没有一个公认合理的折合系数（王健，时振梁，1993），同时不同震级地震活动的差异不仅仅是能量差别的问题，可能还涉及地壳介质性状和破裂方式的不同。一些研究表明，强震发生之前中小地震序列的  $b$  值（ $b$  值表示大小地震的比例）明显低于余震序列（李全林等，1978；马鸿庆，1978；黄德瑜，冯浩，1981）。岩石实验结果也显示，破裂与摩擦之间声发射能级频度关系有所不同（Scholz，1969；李纪汉等，1987）。不同震级地震活动的差异一定程度上反映着地壳局部应力状态和介质性状的变化。分震级进行地震活动性图象处理的最终目的，是有利分析图象的物理背景。

### 2.2 网格点密集值的定义和计算

对给定的震级和时间段，地震震中分布可能存在的特征是震中的相对密集与稀疏形成的图案。要准确合理地反映这种特征，既要体现地震的数量，也要显示出震中位置的空间

集中程度。为此,本研究定义了一个参量:震中分布分震级网格点密集值  $V_{j, m, t}$ (简称密集值)。该值的具体计算方法是:在研究区内,以一定的空间间隔( $\Delta$ )划网格,并以网格的  $j$  节点为中心。假定在以  $r_m$  为半径的范围内对于给定震级( $m$ )和时段( $t$ )的地震数为  $n$ ,则该点的密集值

$$V_{j, m, t} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\ln(D_i)} \quad e \leq D_i \leq r_m \quad (1)$$

式中,  $\ln$  为自然对数,  $D_i$  为第  $i$  个地震距  $j$  节点的距离。该式的含义是:以地震到节点距离对数的反比累计选震范围内所有地震对  $j$  节点的贡献。密集值与地震次数成正比,与距离成反比,它综合地反映了地震次数和疏密程度。对距离取自然对数,主要是考虑到我国目前地震震中定位精度的实际情况,适当降低距离因子的影响。我国目前地震观测精度最好的就在  $2\sim 3$  km,距离小于此数值已没有意义,因此规定当  $D_i < e$  时,  $D_i = e$ 。

对于整个研究区,所有网格点的密集值组成的等值线,就构成了该时段内给定震级的地震活动性图象。

### 2.3 图象的稳定性分析

图象的稳定性,是指决定图象的因素略有变化时,是否会引起图象的畸变。影响图象的因素包括:计算所用的网格间距( $\Delta$ ),对于每一网格点选取地震的范围大小( $r_m$ ),以及震级的偏差。

网格的设置对地震活动性图象是至关重要的。它是将震中分布图“变换”成图象的“骨架”,每个网格点周围的地震分布特征都将“归结”于该点。网格间隔  $\Delta$  的选取应与地震震中定位精度的总体水平相一致。网格间隔  $\Delta$  取值过小,只是增加计算量; $\Delta$  取值过大,会导致地震活动图象失真。一般应取网格间隔  $\Delta$  略小于地震震中平均定位精度,从本文第一部分内容可知,本研究所用资料的精度基本在 30 km 之内,如网格间隔采用  $0.2^\circ$  或  $0.1^\circ$  经纬度是较为合理的(王健, 1999)。

$r_m$  体现着不同震级地震的影响范围,  $r_m$  应随震级的增大而增大。震级相同的情况下,范围大,所选地震数多,密集值高。但考虑到扩大范围所增补的地震距节点距离较远,对密集值的贡献较小;同时,所有节点都按统一标准计算,密集值都有不同程度的增加,对图象总体特征的影响不大。 $r_m$  分别取 30 和 50 km 进行计算,结果显示, $r_m$  取 50 km 的同等密集值的等值线范围比  $r_m$  取 30 km 的要大,有的地方形状也略有不同,但没有实质上的变化(王健, 1999)。经试验表明,对于  $r_m$  取 50 km、密集值取 1.8 时,其等值线与  $r_m$  取 30 km、密集值取 1.0 时的等值线相仿。由此也可看出,密集值仅具有相对的意义,它与  $r_m$  有直接的关系。当我们对一定时空范围进行密集值计算时,所采用的条件应是统一的(王健, 1999)。

地震观测中由于各种因素可能造成震级的误差。以 0.2 作为震级的误差量,分别考虑震级变大和变小的情况。以 3 级地震为例,除对  $M_L 3.0\sim 3.9$  地震作计算外,将震级分别增加 0.2 和减少 0.2 重新选震进行格点密集值计算,即分别计算  $M_L 2.8\sim 3.7$  地震、 $M_L 3.2\sim 4.1$  地震的格点密集值。这 3 种图象有些差异,震级范围取  $M_L 3.2\sim 4.1$ ,地震数减少,同等密集值的等值线范围要小;震级范围取  $M_L 2.8\sim 3.7$ ,地震数增大,同等密集值的等值线范围要大。如果震级确实存在这类误差,对一定时空范围,会被归为系统误差(王健, 1999)。

### 3 应用前景

以大华北地区( $105^{\circ}\sim 125^{\circ}$ E,  $30^{\circ}\sim 43^{\circ}$ N)为例, 取1972~1974年 $M_{L3}$ 地震为样本, 网格间距取 $0.2^{\circ}$ 经纬度, 选震范围半径 $r_3$ 为30 km, 按式(1)分别计算各格点的密集值, 并绘成等值线。等值线以3为间距递增, 即分别绘出密集值为1, 4, 7, 10…的等值线(如图1中实线所示)。图1中还同时绘出了震中分布。可以看到, 密集值较好地反映出震中分布的特征。图1中还显示了网格间距取0.1的密集值等值线(以虚线表示)。可以看出, 网格间距越小, 图象则越细腻, 但总体图象没有大的变化。上述图象显示, 只要网格间隔 $\Delta$ 与地震震中定位精度的总体水平相一致, 使用式(1)计算得到的地震活动性图象具有较好的稳定性。

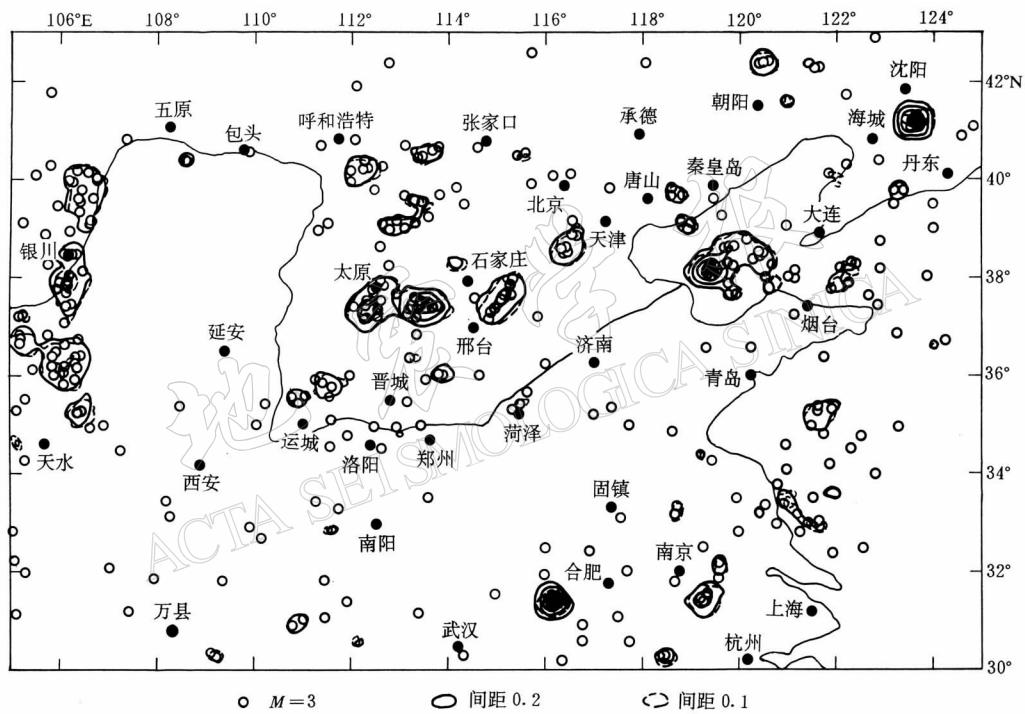


图1 地震活动性定量图象及稳定性分析

这样的地震活动性图象能够定量反映出地震活动的密集程度, 是进一步定义密集和密集区的基础, 也是定量研究地震活动性特征的基础。有了这一定量方法, 我们就可以系统对比分析不同地区、不同时期地震活动的相对变化, 从一个侧面反映区域应力场的变化, 进而分析其与强震的关系, 以用于地震活动趋势分析。通过对密集区内不同震级地震数量构成的分析, 可引入震级结构的概念, 以分析局部地壳介质的性状, 进而寻找强震发生地点的判据(王健, 1999)。

### 4 讨论与结论

分震级网格点密集值计算方法综合考虑了网格点周围的地震频数和地震距网格点的距

离,能够较准确合理地反映震中分布的特征.强调网格间隔 $\Delta$ 选取应与资料精度相协调以及对震中距节点距离取自然对数,符合资料的实际情况,得到的图象具有较好的稳定性.应用该方法处理中小地震活动图象是定量分析地震活动特征的基础,在地震趋势分析、中长期地震预测方面具有广泛的应用前景.

1) 地震活动性图象还应有“还原性”的概念,因为图象是从震中分布图演变而来,图象应与震中分布对比,不能差别太大.但目前还没有好的定量方法来表示这种差异.

2) 在进行地震活动性图象处理之前,首先就要分析给定震级和时空范围内资料的完整性.计算密集值时,应注意 $r_m$ 要大于等于 $(\Delta/\sqrt{2})$ ,以免出现漏计地震的现象.但 $r_m$ 也不宜取得过大,以免重复计算的地震太多.

3)  $M_L \geq 4$  地震的震中分布特征与  $M_L 2$  和  $M_L 3$  地震存在显著差异,一般不宜用式(1)来处理.

4) 处理地震活动性图象的过程中,不要去余震.原因有两个:一是至今为止还没有一个公认合理、普适的原则和方法;再就是所谓的“余震”带给我们的有关区域应力状态和局部地壳介质性状的信息是非常丰富的.余震区的密集与其它密集的区分,通过分析其震级结构特征可以得到(王健, 1999).

感谢金严研究员和胡聿贤院士的指导和帮助.

### 参 考 文 献

- 陈锦标, 沈萍, 郑治真. 1994. 数字图象处理方法在确定地震空间分布中的应用[J]. 地震学报, 16(4): 504~510
- 陈章立, 刘蒲雄, 黄德瑜, 等. 1981. 大震前区域地震活动性特征[A]. 见: 丁国瑜, 马宗晋主编. 国际地震预报讨论会论文选[C]. 北京: 地震出版社, 197~205
- 谷继成, 魏富胜. 1987. 论地震活动性的量化: 地震活动度[J]. 中国地震, 3(增刊): 12~22
- 黄德瑜, 冯浩. 1981. 强震前大范围地震活动性参数的时空扫描[J]. 地震学报, 3(3): 283~291
- 韩渭宾, 席敦礼. 1985. 炉霍 7.9 级地震前兆性弱震空区的不同画法——研究前兆空区的不同思路[J]. 地震, 6: 16~19
- 焦远碧, 吴开统, 杨满栋. 1990. 我国地震台网监测能力及台网观测条件质量评定[J]. 中国地震, 6(4): 1~7
- 李纪汉, 刘晓红, 郝晋升, 等. 1987. 岩石摩擦滑动的声发射  $b$  值[J]. 西北地震学报, 9(4): 34~38
- 李全林, 陈锦标, 于渌, 等. 1978.  $b$  值时空扫描——监视破坏性地震孕育过程的一种手段[J]. 地球物理学报, 21(2): 101~125
- 陆远忠, 沈建文, 宋俊高. 1982. 地震空区与“逼近地震”[J]. 地震学报, 4(4): 327~336
- 马鸿庆. 1978. 华北地区几次大震前的  $b$  值异常变化[J]. 地球物理学报, 21(2): 126~141
- 梅世蓉. 1960. 中国的地震活动性[J]. 地球物理学报, 9(1): 1~19
- 孙次昌, 章淮鲁. 1989. 强震前的地震空区与其前兆特征[A]. 见: 国家地震局科技监测司主编. 地震监测与预报方法清理成果汇编, 测震学分册[C]. 北京: 地震出版社, 23~33
- 王健. 1999. 地震活动性震级结构及其应用研究[D]: [学位论文]. 北京: 中国地震局地球物理研究所, 1~120
- 王健, 时振梁. 1993. 相对应变及其在地震活动时间非平稳性研究中的应用[A]. 见: 国家地震局震害防御司编. 中国地震区划文集[C]. 北京: 地震出版社, 105~111
- 吴佳翼, 曹学锋. 1983. 地震活动性的量化问题[J]. 地震, 6, 13~16
- 许绍燮. 1989. 地震预报的地震活动前兆清理总结[A]. 见: 国家地震局科技监测司主编. 地震监测与预报方法清理成果汇编, 测震学分册[C]. 北京: 地震出版社, 1~11
- Fedotov S A. 1965. Regulation of the distribution of strong earthquakes in Kamchatka, the Kurile island and northeast Japan[J]. Tr Inst Fiz Zemli, Akad Nauk, USSR, 36(203): 66~93 (In Russian)

Scholz C H. 1969. The frequency-magnitude relation of microfracturing in rock and its relation to earthquake[J]. *Bull Seism Soc Amer*, 58: 399~415

## SEISMIC PATTERN TREATMENT METHOD THROUGH CALCULATION OF SEISMIC DENSITY AT GRID NODES

Wang Jian

(Institute of Geophysics, China Seismological Bureau, Beijing 100081, China)

**Abstract:** Analysis of seismic data and seismicity characteristics in China, we gave a method to deal with seismic patterns by calculating density at grid nodes. Number of earthquakes and epicenter distribution are considered synthetically in this method. Effect of datum accuracy is stressed on parameter confirmation. Seismic patterns from this method are stable and can reflect seismic characteristics reliably. These seismic patterns are the base of quantitative analysis of seismicity. It can be applied in seismic tendency analysis and medium-long term earthquake prediction, earthquake countermeasure and risk mitigation.

**Key words:** seismicity; seismic tendency analysis; medium-long term earthquake prediction; earthquake countermeasure and risk mitigation