

# 潜在震源区期望震级和期望 距离及其计算方法<sup>\*</sup>

高孟潭

(中国北京 100081 国家地震局地球物理研究所)

## 摘要

在合成地面运动时程曲线时, 需要确定地震动的持续时间. 确定该参数需要知道对场点起主要作用的潜在震源区的震级和距离. 在讨论地震烈度区划的远场和近场问题时, 也需要知道对场点起主要影响的地震的震级和距离. 本文首先推导了由地震带地震震级分布函数和地震空间分布函数确定潜在震源区的地震震级分布函数的公式, 并建立了潜在震源区内地震烈度超过给定地震烈度值情况下的震级与空间联合概率分布函数, 并据此导出了计算潜在震源区期望震级和期望距离的基本公式. 文中以华北地区的几个场点为例, 给出了几个估计期望震级和期望距离的例子. 结果表明, 期望震级和期望距离不但与场点和潜在震源区的几何关系有关, 而且与给定超越概率的烈度值  $I_d$  有关.

**关键词** 潜在震源区; 地震带; 震级分布函数; 期望震级; 期望距离

## 引言

在合成地震地面运动时程曲线时, 往往需要知道对场点给定地震危险水平的烈度值起主要贡献的潜在震源区的震级和距离, 用来确定场点地震动的持续时间等参数. 在标定烈度区划图远场、近场问题时, 也需要知道确定潜在震源区距场点的距离和相应的震级. 潜在震源区在空间占据了一定的区域, 有的潜在震源区线性尺度非常大. 在以往的工作中, 场点到潜在震源区最近点的距离或场点到潜在震源区中心的距离曾被定义为场点到潜在震源区的距离. 当潜在震源区的线性尺度较小而场点距潜在震源区内任一点都较远时, 此种假定可能还有一定的合理性. 但当潜在震源区较大而场点又在潜在震源区附近时, 上述定义就非常不合情理了. 上述定义的不合理之处, 不仅仅它未考虑潜在震源区各点对场点地震动贡献的实际情况, 也未考虑距离的定义必须与  $I_d$  有关. 关于震级的定义也有类似的不合理之处. 我们认为, 合理地确定场点与潜在震源区的距离, 必须考虑到潜在震源区内各点对超过给定的烈度值的贡献. 而该贡献又与地震的震级有关.

\* 本文系新的地震烈度区划图远场、近场标定研究的一部分, 得到国家地震局震害防御司资助.  
国家地震局地球物理研究所论著 94A0003.

1993 年 3 月 17 日收到初稿, 1993 年 9 月 24 日决定采用.

在地震危险性概率分析方法中, 地震震级是一个随机变量, 遵从特定的概率分布。因此, 要合理地确定场点与潜在震源区之间的距离, 必须建立潜在震源区内部空间与震级的联合概率分布。我们认为, 定义期望距离和期望震级(Campos-Costa *et al.*, 1992)来描述潜在震源区与场点的关系是合理的。在此前提下, 可以通过上述联合分布函数求得期望震级和期望距离, 将期望震级和期望距离作为确定地震动持续时间和确定地震远场和近场问题是合理的。

## 1 给定场点烈度条件下震级与空间联合概率分布

在目前所采用的地震危险性分析方法中, 潜在震源区内地震的空间分布和震级分布是相互独立的, 并且地震在潜在震源区内部的分布是均匀的。首先将潜在震源区划分为一系列面元, 微面元的面积为  $dxdy$ , 并假定潜在震源区的面积为  $As$ , 则地震发生在该面元上概率为  $dxdy/As$ 。地震的震级概率分布在地震带遵从截断的指数分布。由于各级地震在地震带分布的非均匀性, 潜在震源区内的震级分布已经不遵从截断的指数分布。下面首先根据地震带的震级概率分布函数和地震空间分布函数, 推导潜在震源区的震级概率分布函数。为了实用和推导简便, 首先对震级进行分档。分档总数  $N_m$  由震级间隔  $\Delta M$  和地震带的震级上限  $M_{\max}$  和震级下限  $m_0$  确定

$$N_m = \frac{M_{\max} - m_0}{\Delta M} \quad (1)$$

根据地震危险性概率分析的思路, 可以分别确定地震带离散的震级概率分布函数和每个震级档的地震空间概率分布函数(高孟潭, 1988; 时振梁等, 1991; 国家地震局, 1991)。地震带的震级概率分布函数  $P_{sm}(m_j)$  和地震空间概率分布分布函数  $f_{i, m_j}$  可以参照中国地震烈度区划图(1990)说明书介绍的方法确定。在具体确定参数时, 只需注意并考虑震级分档的差异。根据震级和空间联合概率分布的条件分布和边际分布的概念<sup>①</sup>(高孟潭, 1993), 不难导出第  $l$  个潜在震源区的震级分布函数

$$P_{lm}(m_j) = \frac{P_{sm}(m_j) f_{i, m_j}}{\sum_{j=1}^{N_m} P_{sm}(m_j) f_{i, m_j}} \quad (2)$$

有了潜在震源区震级概率分布函数, 就可以针对不同的衰减模型推导场点烈度大于某个值  $I_d$  的情况下, 震级与空间位置  $k$  的联合概率分布函数。推导该联合概率分布函数的基本步骤如下:

(1) 将该分布函数分解为给定  $I_d$  条件下的震级边际分布函数(即不管  $(x, y)$  的取值, 该函数可以由上面讨论的潜在震源区的震级分布函数得到)和给定震级和烈度  $\geq I_d$  条件下, 空间位置的概率分布。为表述方便, 本文用微面元的序号  $k$  表示其空间位置, 第  $k$  个面元的中心坐标为  $(x_k, y_k)$ 。这样, 震级与空间位置的概率就可以简化为二维离散联合概率分布。对于一个微面元, 如果在给定的震级情况下, 其烈度大于或等于给定烈度值, 则在给定条件下地震落在该单元的概率为  $1/N_{m_j}$ , 否则为零。  $N_{m_j}$  为当震级处于第  $j$  震级

<sup>①</sup> 高孟潭, 1991. 随机场理论在地震活动性研究中的应用, 国家地震局地球物理研究所博士学位论文。

档时, 潜在震源区内部使场点烈度值等于或大于  $I_d$  的单元总数.

(2) 待求的分布函数等于上述两个概率分布的乘积. 根据地震在潜在震源区内均匀分布的假定, 给定  $I_d$  条件下的震级边际分布函数可以表述为

$$P_{lm}(m_j | I \geq I_d) = \frac{1}{Q} \frac{N_{m_j}}{N_s} P_{lm}(m_j) \quad (3)$$

其中,  $Q$  为归一化系数

$$Q = \sum_{j=1}^{N_m} \frac{N_{m_j}}{N_s} P_{lm}(m_j) \quad (4)$$

式中,  $N_s$  为潜在震源区面元总数.

下面根据不同的衰减关系模型, 推导计算该联合概率分布的基本公式.

1) 圆衰减模型. 圆衰减模型是指等震线的形状可以近似为圆形的情况. 对于中小地震该模型是可取的. 在此种情况下, 若给定地震的震级, 则由衰减关系, 可以求出当烈度为  $I_d$  时, 与其相应的场点与第  $k$  个微单元的空间距离  $R_{kd}$  (如图 1 所示). 很显然,  $I \geq I_d$  就等价于  $R \leq R_{kd}$ . 考虑到潜在震源区内震级与空间变量相互独立和上述条件, 不难导出给定  $I \geq I_d$  条件下, 震级与空间位置  $k$  的联合概率分布

$$P_J(m_j, k | I \geq I_d) = \begin{cases} \frac{P_{lm}(m_j)}{N_s Q} & R \leq R_{kd} \\ 0 & R > R_{kd} \end{cases} \quad (5)$$

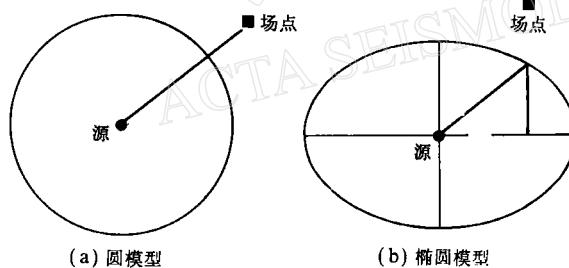


图 1 两种衰减模型的推导  $P_J(m_j, k | I \geq I_d)$

几何关系示意图

相应的纵坐标值  $Y_{kd}$  可以由下式得到:

$$Y_{kd} = R_B \sqrt{1 - \frac{X_k^2}{R_A^2}} \quad (6)$$

由图 1b 可以看出, 如果场点的纵坐标值小于或等于由震级  $m_j$  和给定烈度  $I_d$  得到的值  $Y_{kd}$ , 该场点的烈度值将大于等于  $I_d$ . 由此可知, 在该种情况下, 给定  $I \geq I_d$  条件下, 震级与空间位置的联合概率分布

$$P_J(m_j, k | I \geq I_d) = \begin{cases} \frac{P_{lm}(m_j)}{N_s Q} & Y_k \leq Y_{kd} \\ 0 & Y_k > Y_{kd} \end{cases} \quad (7)$$

## 2 期望震级和期望距离的定义和算例

根据上述结果, 我们分别用下面两个式子定义潜在震源区的期望震级和期望距离. 令  $\bar{R}$  表示场点烈度  $I$  大于给定烈度  $I_d$  条件下的期望距离,  $\bar{M}$  表示相同条件下的期望震级, 则有

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^{N_S} \sum_{j=1}^{N_m} R_{kj} P_j(m_j, k | I \geq I_d) \quad (8)$$

$$\bar{M} = \sum_{i=1}^{N_S} \sum_{j=1}^{N_m} m_j P_j(m_j, k | I \geq I_d) \quad (9)$$

根据联合概率分布函数的定义不难导出, 期望震级可以简化为如下的表达式:

$$\bar{M} = \sum_{j=1}^{N_m} \frac{m_j N_{m_j} P_{lm}(m_j)}{N_S Q} \quad (10)$$

期望距离可以简化为

$$\bar{R} = \sum_{j=1}^{N_m} \frac{R_j N_{m_j} P_{lm}(m_j)}{N_S Q} \quad (11)$$

其中,  $R_j$  为震级处于第  $j$  震级档时, 所有使场点烈度大于或等于  $I_d$  的面元中心到场点距离的算术平均值.

式(10)和(11)是计算期望震级和期望距离的基本公式. 由此可知, 计算期望震级和期望距离的基本步骤为: ① 震级分档, 分档总数为  $N_m$ ; ② 确定潜在震源区的震级概率分布函数  $P_m(m_j)$ ; ③ 将潜在震源区离散化为一系列面元, 确定面元总数  $N_S$ ; ④ 根据具体的衰减模型, 计算各震级档使场点烈度大于或等于给定值  $I_d$  的面元总数  $N_{m_j}$ , 及相应的平均距离  $R_j$ ; ⑤ 利用式(10)和(11)计算期望震级和期望距离.

以上各个步骤很容易用计算机程序实现. 下面以华北地区郯庐地震带的郯城潜在震源区周围的几个场点为例, 说明上述求取期望震级和期望距离的方法. 图 2 给出了潜在震源区和场点的相对位置分布图. 图中给出的 5 个场点分别代表了场点在潜在震源区内、边界附近和较远距离几种典型情况. 根据郯庐地震带地震震级概率分布密度函数和空间分布函数, 震级按 0.2 级分档得到了该潜在震源区的震级概率分布函数(见图 3). 将潜在震源区划为分  $4 \text{ km}^2$  小面元. 面元总数和震级分档总数分别为 572 和 23. 计算时采用了椭圆衰减模型. 各个场点的  $I_d$  分别取 VI, VII 和 VIII 度. 计算结果列于表 1 中.

表 1 各场点不同烈度值的期望震级和期望距离

场 点	VI 度		VII 度		VIII 度	
	$\bar{R}$	$\bar{M}$	$\bar{R}$	$\bar{M}$	$\bar{R}$	$\bar{M}$
1 号场点	24	6.5	24	6.9	19	7.2
2 号场点	53	6.8	43	7.1	33	7.4
3 号场点	94	7.3	93	8.0	85	8.3
4 号场点	192	8.0	176	8.3		
5 号场点	108	7.3	103	7.8	8.9	8.2

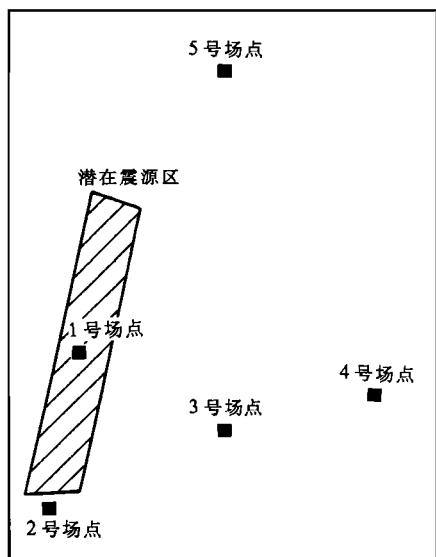
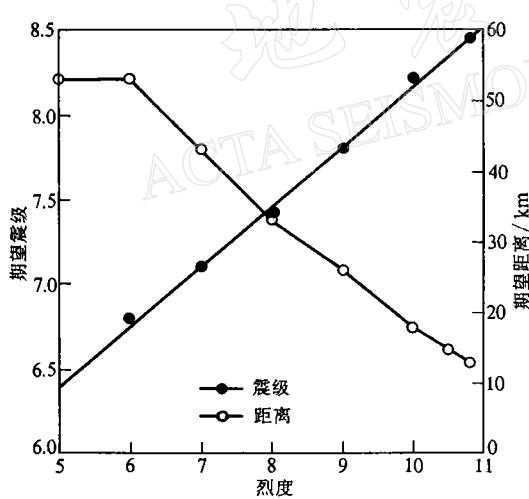


图 2 潜在震源区和场点相对位置分布图

图 4 不同  $I_d$  对应的期望震级和期望距离

在确定不同概率水平的地震动时程曲线时, 应采用不同的期望震级和期望距离。

### 3 讨 论

本文采用与目前地震危险性分析相同的概率分析方法, 严格地定义了期望震级和期望距离及其计算方法。所得到的计算公式具有明确的物理含义。通过对郯庐地震带上郯庐潜在震源区附近几个场点的计算分析, 认为本文提出的方法是合理可行的。影响潜在

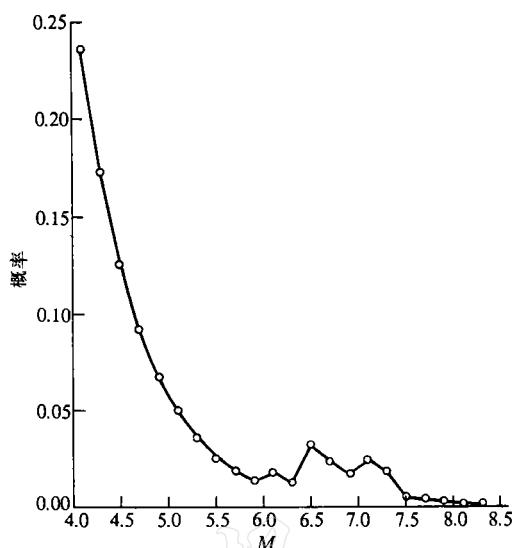


图 3 郊城潜在震源区震级概率分布

计算结果表明, 场点与潜在震源区的几何关系对期望震级和期望距离有很大影响。潜在震源区内任意一点发生地震都不会在 4 号场点造成 VIII 度烈度的影响, 显然此种情况下根本不存在期望震级和期望距离的问题。此时, 计算公式的  $Q$  为零。程序自动给出判断。这说明本文提出的方法是合理的。为研究期望震级和期望距离与  $I_d$  的关系, 对给定场点(2 号场点)计算了不同  $I_d$  所对应的期望震级和期望距离(结果见图 4)。不同  $I_d$  所对应结果的差异相当大。对给定场点而言, 不同  $I_d$  意味着不同的超越概率。低超越概率水平对应的  $I_d$  较大, 高超越概率水平对应的  $I_d$  较小。

震源区期望震级和期望距离的因素很多,如潜在震源区内地震震级的概率分布、场点与潜在震源区的几何关系、场点给定的烈度值以及地震动衰减关系等。忽略其中的任何一个因素都是不合理的。本文提出的方法对确定地震动时程的持续时间、烈度区划图的远场标定等具有一定的实用意义。

## 参 考 文 献

- 高孟潭, 1988. 关于地震年平均发生率的讨论. 国际地震动态, 1: 1—5.
- 高孟潭, 1993. 关于地震带震级概率分布与潜在震源区震级概率分布的讨论. 中国地震, 9, 1, 15—19.
- 国家地震局, 1991. 中国地震烈度区划图说明书, 10pp. 地震出版社, 北京.
- 时振梁、鄆家全、高孟潭, 1991. 地震区划的原则和方法——以华北地区为例. 地震学报, 13, 180—189.
- Campos-Costa, A. , Oliveira, C. S. and Sousa, M. L. , 1992. Seismic hazard-consistent studies for Portugal, *Proceedings of The Tenth World Conference on Earthquake Engineering*, Vol. 1, 477—479. Madrid Spain.