

对现行地震危险性分析方法的一点讨论

申 爱 国

(国家地震局兰州地震研究所)

现行地震危险性分析中常用的破裂模型是在以下四点基本假定的基础上建立起来的。即：在震源区域内，地震事件发生于各处的概率是相同的；一定的震级对应一定的破裂长度 L ，并且震焦总是在 L 的中点；地震事件的影响场由场地到 L 的最近距离决定；每一震源的平均深度 h 为已知常数。

以上四点基本假定对地震事件在空间上的特点做了规定。如果其中任一点有了变化，必然导致最终计算结果的变化。

实际上，已经有很多文章谈到了对其中第2点和第3点的修改，以便使之更符合实际情况，但是我们认为有必要对这些基本假定的修改进行进一步的讨论，同时还有必要对一些计算方法进行改进。

关于对原基本假定中第2条的修改，也可以简单地称之为边界条件的修改。因此，按原基本假定，当地震的震焦发生于边界附近时，必然导致破裂延伸出断层以外。然而，根据地震地质、构造地质，尤其是深部构造的特点，再加上历史地震的记载，某些断层不可能出现这种情况。因而，有必要进行适当的修改，限制破裂只能发生在断层以内，不足的破裂长度在相反方向给予补偿。只有两种边界条件综合应用，才能给出更加可信的结果。

而对于第3条基本假定的修正，反映了对影响场的新的考虑。由原基本假定所决定的地震影响场，在某些方面明显地与实际情况和理论结果不符。采用旋转椭球影响场是比较合理的。有的文章提出的破裂两端点到场地的平均距离来决定影响场，我们认为这是切实可行的考虑方法，并且在实际计算中也不很复杂，但其中有些细节问题还需讨论。

以往的地震危险性分析，在对Ⅲ类面源的计算方面还有不尽合理的地方，我们在这篇文章中将给出更合理的计算方法。虽然计算过程较原先的方法复杂一些，但在有计算机的今天，这点复杂性是不成问题的。

下面，我们就以上提出的一些问题逐一进行讨论。

一、采用两种不同的衰减规律和两种不同的边界条件时，计算结果的对比

这里衰减规律仍采用“由最近距离决定”的形式。如果在计算一个线源的超越概率时分别采用两种边界条件，可得到以下几点结果：

(1) 如果场地到线源的垂足落在线源区域以内，对于两种边界条件来说，均可采用分别计算两段然后迭加的方法。如果场地到线源的垂足落在线源区域以外时，对于新的边界条件来说，不能象以前那样采用迭加的方法进行计算。即

$$P_s(Y > y | E_i) \neq P_b(Y > y | E_i) - P_c(Y > y | E_i)$$

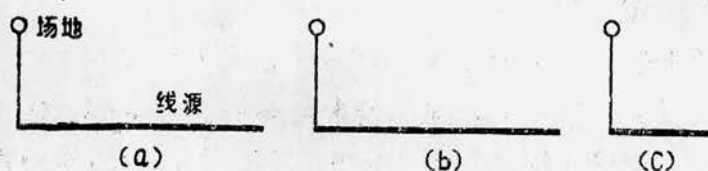


图 1

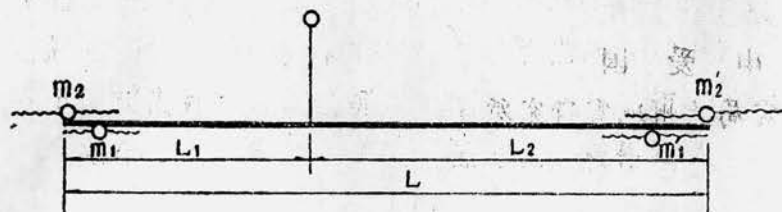


图 2

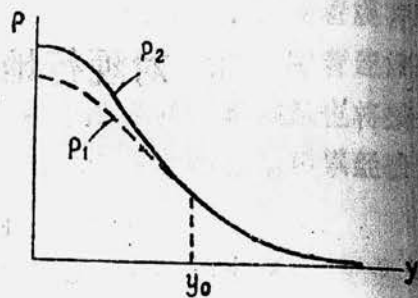


图 3

a、b、c见图1所示。

而对于原来的边界条件来说，上面的式子仍成立。

(2) 对于图2所示的线源，按新的边界条件给出的计算结果总是大于原边界条件下给出的计算结果，尤其是对于较小的地面运动参数。当所考虑的场地地面运动参数逐渐增大时，两种计算结果逐渐趋于一致，并在某一个 y_0 处二者相等，这在图3中可以看到。一般情况下，两种边界条件计算的结果之差如下：

$$P_2(Y > y | E_i) - P_1(Y > y | E_i)$$

$$= \int_{m_1(y)}^{m_2(y)} \frac{L_1 - X}{L} f_M(m) dm + \int_{m_1'(y)}^{m_2'(y)} \frac{L_2 - X}{L} f_M(m) dm + \frac{L_1}{L} (1 - F(m_2)) + \frac{L_2}{L} (1 - F(m_2'))$$

$$m_2, m_2' \leq m_u$$

如果图2中的 L_1 和 L_2 足够长，使得 $m_1(y)$ 和 $m_2(y)$ 均大于或等于 m_u 时，有

$$P_2(Y > y | E_i) - P_1(Y > y | E_i) = 0$$

式中 P_2 为新的边界条件下计算的结果， m_1 和 m_1' 为新的边界条件下所决定的积分上限， m_2 、 m_2' 则为原边界条件下所决定的积分上限。上式反映了边界条件的不同从而在端点引起的计算结果的差别。

(3) 当场地到线源的垂足落在线源以外时（见图4），两种计算结果之差为：

$$P_2(Y > y | E_i) - P_1(Y > y | E_i)$$

$$= - \int_{m_2}^{m_1} \frac{X}{L} f_M(m) dm + \int_{m_3}^{m_4} \frac{L - X}{L} f_M(m) dm \quad m_4 \leq m_u$$

当 $m_3(y) \geq m_u$ 时

$$P_2(Y > y | E_i) - P_1(Y > y | E_i) = - \int_{m_1}^{m_2} \frac{X}{L} f_M(m) dm$$

式中在 (m_1, m_2) 内的积分反映了近端点的差别，而在 (m_3, m_4) 内的积分反映了远端

处的差
项逐渐
示的情

算然

始
况下
减形

环
用

面
应
制
其
计

处的差别，一般情况下，对于较小的地面运动参数，第二项大于第一项。随着 y 的增加，两项逐渐接近，在某一个 y_0 处二者相等。当 $y > y_0$ 以后，第一项大于第二项。因此，对于图4所示的情况，在较大的 y 值处，二种边界条件的计算结果有不可忽视的差别。

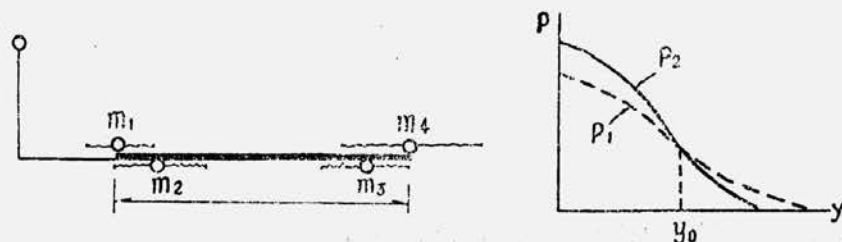


图 4

若采用椭圆形衰减规律时，所有的讨论与前面的讨论基本相同。不同之处仅在于：

(1) 对新的边界条件来说，任何一种场地与线源的相对状况都不能应用简单的分段计算然后进行迭加的方法；而对原边界条件来说的仍可按迭加的方法进行计算。

(2) 前面所给出的计算公式仍有效，但积分式中出现的上下限的确定方法不同。一般情况下，按椭圆衰减规律确定的上下限要较原来的衰减规律确定的值大一些。因此，按新的衰减规律计算的最终结果较原衰减规律给出的结果要小一些。

二、Ⅲ类面源计算方法的改进

以前在计算Ⅲ类面源的贡献时，是将Ⅲ类面源分割成一系列同心圆环，然后将每一个圆环在外边缘处压缩成环形线源，计算出每一线源的贡献再迭加便得到总的结果。如果我们采用下面的公式进行计算，效果较以前的方法要好一些。

1. 衰减规律采用以往的由最近距离决定的衰减规律

对于Ⅲ类面源这一特殊情况，我们仍采用边界无约束的条件。当我们适当地进行了Ⅲ类面源的划分以后，如果我们要计算其中某一个环的贡献，可分别计算这个环的内外半径所对应圆的贡献，然后大圆的贡献减去小圆的贡献，便可得环的贡献。这里要注意在计算圆的贡献时，由于我们采用的是“由最近距离决定”的衰减规律，所以，要将圆划分为四个部分。其中第四部分无贡献，而前三部分由于震焦的位置不同，其贡献不同（见图5）。下面给出计算圆的贡献的公式：

$$P(Y > y | E_1) = \int_{m_0}^{m_1} \frac{\pi R_{m_1}^2}{S} f_M(m) dm + \int_{m_0}^{m_1} \left[\int_{R_{m_1}}^{R_{m_2}} \frac{2\pi R}{S} \cdot \frac{\alpha}{\pi} dR \right] f_M(m) dm \\ + \int_{m_0}^{m_1} \left[\int_{R_{m_2}}^{R_{m_3}} \frac{2\pi R}{S} \cdot \frac{\beta}{\pi} dR \right] f_M(m) dm + (1 - F_M(m_1))$$

对于给定的震级来说， R_{m_1} 、 R_{m_2} 、 R_{m_3} 是这样决定的：当震焦发生在 R_{m_1} 以内时，无论破裂发生在任何方向，都能在场地产生产生 $Y \geq y$ 的影响。当震焦发生在 R_{m_1} 和 R_{m_3} 之间时，破裂只有发生在特定方向上才能在场地产生产生 $Y \geq y$ 的影响。

而 m_1 是这样的震级，当其震焦发生在圆的最边缘时，无论其破裂在任何方向都能在场地产生产生 $Y \geq y$ 的影响。

2. 衰减规律采用由破裂两端点到场地的平均距离决定的椭圆衰减规律

这时仍然与前面一样，先计算圆后计算环。不过，由于衰减规律不同，只能将圆划分成三

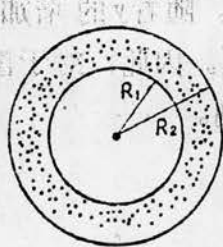


图 5

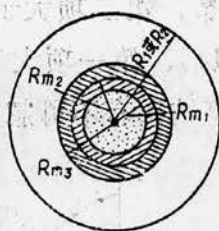
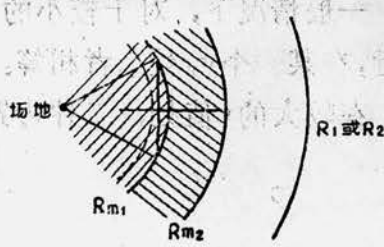


图 6



部分, 其中第三部分无贡献, 见图 6。计算公式如下:

$$P(Y \geq y | E_i) = \int_{m_0}^{m_1} \frac{\pi R_{m1}^2}{S} f_M(m) dm + \int_{m_0}^{m_1} \left(\int_{R_{m1}}^{R_{m2}} \frac{2\pi R}{S} \cdot \frac{\pi}{\alpha} dR \right) f_M(m) dm + (1 - F_M(m_1))$$

三、椭圆衰减规律的改进

前面所说的由破裂两端点到场地的平均距离决定的椭圆衰减规律, 使用时是很方便的, 但是还存在一些细节问题应该考虑。如果按这个规律计算影响场, 当震级较大时, 高烈度的区域将被夸大很多, 这不符合实际情况。因此, 在处理较高烈度的区域时, 要么另给出衰减规律, 要么将原衰减规律进行适当的修改, 使之适用于所有区域。例如是否可以将计算平均距离的起点不要放在破裂的两端点, 而是向内移。移进去的长短与震级有关, 这样也许会解决上述矛盾, 但这需要具体的资料进行统计分析。

总而言之, 我们对现行地震危险性分析方法进行讨论的目的, 是希望能够更有效地将地震地质等多方面的工作结合进去, 使地震危险性分析的工作建立在更稳固的基础上。

宝
杂。历
文从地
(
了主要
(
深部
了深

可能
西

卫片
范围
裂, 动
研

(频
则带
龄