

基于地震场地烈度频度的地震 期望损失估计方法^{*}

高孟潭

(中国北京 100081 国家地震局地球物理研究所)

摘 要

在目前流行的地震期望损失方法中,往往忽视了在给定年限内,可能遭受多次同一烈度的影响。在具体计算某地震烈度的发生概率时,常用场地极值影响烈度来代替。这样处理,往往会低估地震的损失,特别是给定年限较长的情况下更是如此。笔者根据地震影响烈度造成损失的实际情况,建立了期望损失的新的框架:给定时间段内,某地震影响烈度的期望损失,等于给期望烈度的期望次数与给烈度下每次地震造成的平均损失之积;总的期望损失等于各场地影响烈度事件造成损失的总和。依据新的全国烈度区划图采用的地震活动性模型,笔者推导了地震期望损失估计和损失估计方差的计算公式。通过计算实例和与目前流行方法的比较表明,采用本文提出的方法不但是可行的,而且是必要的。本文给出的方法,将使地震灾害预测、地震保险和防灾预测建立在更为科学的基础上。

主题词 地震灾害; 烈度预测; 概率

引 言

由于地震事件具有随机性,一个场地的地震影响烈度也具有随机性(鄢家全、贾素娟, 1986; 高孟潭, 1988)。因而,场地地震损失估计往往采用期望损失估计方法。目前使用的方法(国家地震局震害防御司未来地震灾害损失预测研究组, 1990; 地震工程委员会地震损失估计专家小组, 1989)中,首先计算场地在给定年限内发生各种影响烈度的概率 $P(I=i)$, 预测每种烈度造成的损失 $E[Q_i]$ 。总的地震期望损失则等于

$$E[Q] = \sum_{i=5}^{t_{\max}} P(I=i) E[Q_i] \quad (1)$$

由于式(1)中 $E[Q_i]$ 的物理含义是未来场地遭受一次烈度为 i 的地震所造成的平均损失。故 $P(I=i)$ 为一次地震时,其场地烈度恰好等于 i 的概率。上述公式正确地处理了未来地震发生的随机性,但未考虑如果年限较长,且场地位于强震发生频度较高地区,同一影响烈度的地震往往发生不止一次的情况。同一影响烈度的多次地震造成的损失和一次地震造成的损失,可能会有很大差别。因此,笔者认为,考虑一个场点的地震期望损

* 国家自然科学基金资助课题; 国家地震局地球物理研究所论著号 95A0052。
1993 年 12 月 27 日收到初稿, 1994 年 6 月 14 日收到修改稿并决定采用。

失，不仅要考虑地震影响烈度的发生概率，而且要各种地震影响烈度的出现频度及其概率。在考虑总的期望损失时应注意地震损失的累加特征。

目前使用的地震危险性分析的概率方法的结果，往往用超越概率表示。超越概率本身包含了极值影响烈度的含义。在给定年限内 $P(I \geq i) - P(I \geq i+1)$ 表示在给定年限内场地影响烈度的极值为 i 的概率，而不表示场地影响烈度为 i 的概率。一个场地的极值烈度为 i 的概率等于零，也许有两种可能：一种可能是给定年限内场地影响烈度均小于 i ；另一种可能是在给定年限内极值影响烈度肯定大于 i 。在第二种情况下，虽然上述超越概率之差等于零，但场地影响烈度为 i 的概率可能会很大。因此，在地震损失估计时，不应采用超越概率之差来替代场地影响烈度的超越概率（目前期望损失估计计算中，则是以超越概率之差来代替场地影响烈度的概率）。超越概率差概念不能用于地震损失估计。

基于上面的两点考虑，笔者重新建立地震损失估计的框架，并推导了基于目前广泛采用的地震活动性概率模型和损失累加特征的地震损失计算公式。

1 地震期望损失的估计方法

在目前使用的地震活动性模型中，首先将区域划分成若干个地震带，带内划分出若干个潜在震源区。地震带范围内地震次数满足分段泊松分布，震级满足截断的指数分布，带内地震危险性的空间分布用以震级为条件概率的空间分布函数表示。在此地震活动性模型下，某一地震带发生一次地震时，场地影响烈度为 i 的概率表示为

$$P(I = i) = \sum_{l=1}^{N_g} \sum_{j=1}^{N_m} \left(\int \int P_l(I = i | x, y, m_j) dx dy \right) P_M(m_j) f_{l, m_j} / S_l \quad (2)$$

其中， N_g 为地震带内潜在震源区总数， N_m 为震级分档总数， l 为潜在震源区序号， j 为震级档序号， f_{l, m_j} 为地震空间分布函数， $P_M(m_j)$ 为震级落在第 j 个震级档的概率， S_l 为潜在震源区的面积。 m_j 为震级分档的中值。上式中积分的区域为第 l 个潜在震源区的空间展布范围， $P_l(I = i | x, y, m_j)$ 表示给定位置 (x, y) 和震级 m_j 的地震，在场地引起的影响烈度为 i 的概率（高孟潭，1992）。当此函数采用高斯分布时，可考虑地震烈度衰减关系的离散性。此处烈度值取整数。考虑到衰减关系的含义和地震活动性参数选取的不确定性，将由衰减关系计算的数值按“八上七下”的原则（中国地震烈度区划图编委会，1992）取整。

假定地震带发生了 N 次地震，则场地烈度恰好有 n 次等于 i 的概率可以表示为

$$P\{\zeta = n | N, i\} = \frac{N!}{(N-n)! n!} P^n(I = i) (1 - P(I = i))^{N-n} \quad (3)$$

假定场地地震影响烈度相同则地震损失相同，并令场地影响烈度为 i 时地震期望损失为 $E[Q_i]$ ，则 n 次地震的总期望损失为 $nE[Q_i]$ 。因此，地震带发生 N 次地震，场地烈度为 i 时的期望损失为

$$E[Q(N, i)] = \sum_{n=1}^N P\{\zeta = n | N, i\} nE[Q_i] \quad (4)$$

考虑到地震带地震发生次数符合泊松分布，利用式(3)和式(4)不难导出，场地烈度为 i 时，第 k 个地震带引起场地地震损失的期望估计为

$$E[Q_{i,k}^T] = v_k T P(I = i) E[Q_i] \quad (5)$$

其中, v_k 为第 k 个地震带的地震年平均发生率, T 为所考虑的年限. 进一步可以导出场地烈度为 i 的地震造成的损失为

$$E[Q_i^T] = \sum_{k=1}^{N_k} v_k T P(I=i) E[Q_i] \quad (6)$$

式中, N_k 为地震带总数. 可以证明, $\sum_{k=1}^{N_k} v_k T P(I=i)$ 恰好是场地影响烈度为 $P[I=i]$ 的地震事件的期望次数 $E[n_i]$. 因此, 场地影响烈度为 i 的地震事件的期望损失可以概括为:

$$\text{地震期望损失} = \text{场地烈度为 } i \text{ 地震期望次数} \times \text{每次事件的期望损失}$$

总的期望损失则等于不同场地烈度地震事件的期望损失之和, 即

$$E[Q] = \sum_{i=5}^{i_{\max}} E[n_i] E[Q_i] \quad (7)$$

上述结论在物理意义上是明确的, 并具有普遍意义. 采用不同的地震活动性模型, 上述文字表达式和式(7)依然成立. 它可以作为地震期望损失估计的框架. 如果各烈度的期望损失已知, 则求地震期望损失就归结为求给定场地烈度的地震期望次数(与公式(1)相比, 该参数与目前流行损失估计模型中的超越概率差的位置相当). 地震保险和一些其它的工作, 不仅需要期望损失, 还需要损失估计的方差. 建筑物的易损性和地震事件是否发生, 是相互独立的. 在使用本文地震活动性概率模型的前提下, 场地烈度为 i 的地震事件也满足泊松分布, 其均值非标准差均为 $E[n_i]$. 假定场地烈度为 i 时, 损失估计的标准差为 σ_{Q_i} , 则不难得到该场地地震期望损失的方差为

$$\sigma_Q^2 = \sum_{i=5}^{i_{\max}} (E[n_i])^2 (2\sigma_{Q_i}^2 + (E[Q_i])^2) \quad (8)$$

若不考虑给定烈度 i 下地震损失估计的离散性($\sigma_{Q_i}^2 = 0$), 由上式可以导出

$$\sigma_Q^2 = \sum_{i=5}^{i_{\max}} (E[Q_i^T])^2 \quad (9)$$

2 计算实例

本文以几个场点为例, 讨论所提出的模型的使用方法, 并与现在常用的方法进行了比较. 这几个场点分别为: 东川、临汾、奎屯和包头. 计算所使用的地震活动性参数和衰减关系, 均与新的地震烈度区划图相同. 图 1 给出了场点 50 年不同烈度相应的期望地震次数. 应该指出, 虽然高烈度的期望次数小于 1, 但低烈度的期望次数可以大于 1. 在给定的年限较长时更是如此, 这是期望次数与年限成正比的缘故.

为了说明本文提出的模型与原有模型的差别, 定义了比例系数

$$C_i = \frac{\sum_{k=1}^{N_k} v_k P(I=i) T}{P(I \geq i) - P(I \geq i+1)} \quad (10)$$

如果 C_i 大于 1, 则说明原有模型低估了地震造成的损失. 图 2 给出了几个场点的 C_i 值,

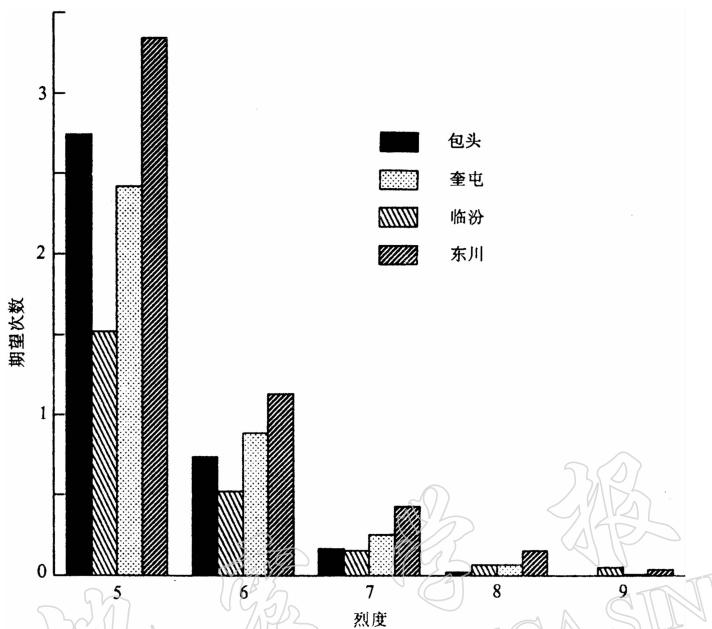
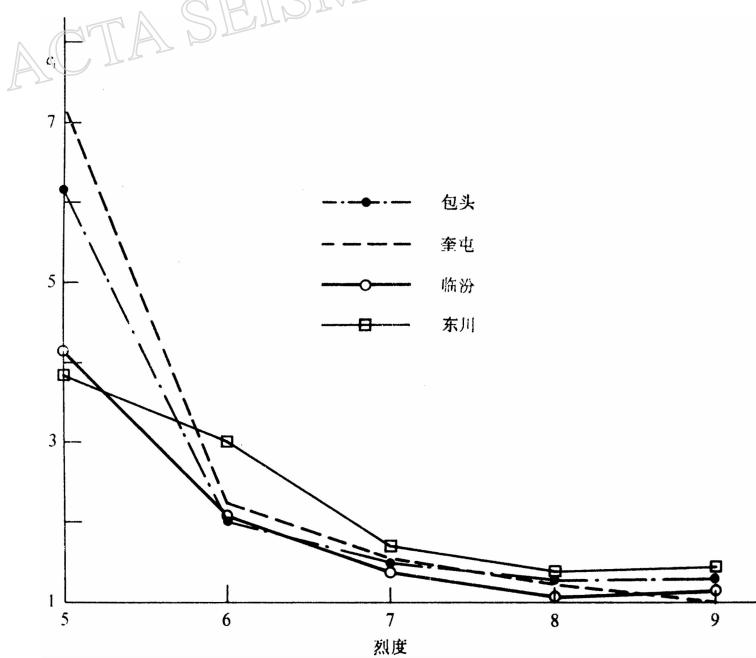
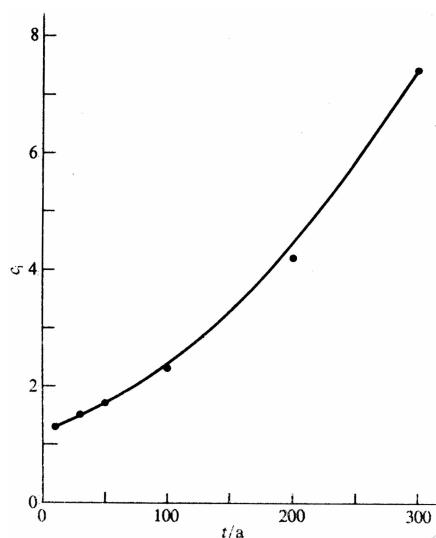


图 1 各场点地震期望次数示意图

图 2 各场点 C_i 值

结果表明，原有的损失估计模型和方法低估了地震造成的损失。对较低的场地影响烈度和较长的年限更是如此。图 3 给出了 C_i 与 T 的关系(以东川场地、场地影响烈度为Ⅷ度

图 3 C_i 值与 T 关系示意图

为例), 表明当年限较长时两种方法会有相当大的差别. 由公式(6)可知, 年平均发生率与年限为相乘关系. 若 T 不变, 当地震年平均发生率较高时, 两种方法得到的结果也会有相当大的差异. 因此, 在强震活动非常强烈的地区, 原有模型会远远低估实际的地震损失. 为了说明此问题, 对台湾花莲场地进行了计算, 结果表明, V 度地震的 C_i 值为无穷大, VII 度地震 C_i 值为 2 680, VII 度地震 C_i 值为 16.1, VIII 度地震的 C_i 值为 2, IX 度地震的 C_i 值为 1.7. 此例说明了使用本文提出模型的必要性.

本文给出了地震期望损失估计的框架, 并推导了以目前地震危险性估计所采用的地震活动性模型为前提的地震期望损失估计计算公式. 由于目前使用的地震期望损失模型, 低估了地震造成实际损失, 因此建议在地震损失

预测工作中, 采用本文提出的方法. 对于其它的地震活动性模型, 可按本文提出的框架, 建立相应的计算公式. 如果各次相同烈度地震造成的平均损失不同, 则应推导与此相关的计算公式, 进一步改进本文提出的计算模型.

参 考 文 献

- 地震工程委员会地震损失估计专家小组(编), 国家地震局震害预测防御司(译), 1989. 未来地震的损失, 100pp. 地震出版社, 北京.
- 国家地震局震害防御司未来地震灾害损失预测研究组, 1990. 中国地震灾害损失预测研究, 19—23. 地震出版社, 北京.
- 高孟潭、贾素娟, 1988. 极值理论在工程地震中的应用. 地震学报, 10, 317—326.
- 高孟潭, 1992. 基于均匀空间、强度随机场的地震区划方法. 第一届两岸地震学术讨论会文集, 324—337. 地震出版社, 北京.
- 鄢家全、贾素娟, 1986. 场地影响烈度的频次特征及其工程地震的意义. 国际地震动态, 7: 3—7.
- 中国地震烈度区划图编委会, 1992. 中国地震烈度区划图(1990)及其说明. 中国地震, 8, 4, 1—11.