

地震灾害经济损失理论估计及初步讨论

张晓东 朱丽霞

(青海省地震局, 西宁 810001)

摘要 利用文献 [1] 的公式推导出不同烈度区的灾害损失率和地震总损失估计公式, 同时还对抗震加固的合理性进行了讨论. 从而将地震经济损失估计结果与理论烈度衰减关系联系起来, 可以使人们进一步理解灾害损失的实质. 另外还计算了一些实际震例以验证这一理论估计的合理性.

主题词 地震 灾害评估 抗震加固 烈度衰减

1 抗震加固合理性估计

在文献 [1] 中, 我们由核爆炸毁伤值推得地震毁伤值 (单位面积内损失值) 的公式为:

$$H = \frac{10^M}{r^{2+\delta}} \quad (1)$$

$$H = 10^{(I-C_0)C_1} \quad (2)$$

式中 H 是地震毁伤值, M 是震级, r 是震源距, I 为地震烈度, W 为修正系数, 是多种非理想状况引起的综合效应因子, C_0 和 C_1 为烈度衰减关系 $I = C_0 + C_1M - C_2 \ln r$ 中的系数.

当 $I < 5$ 度时, 建筑物基本上无破坏, 只是有感, 但是根据 (2) 式仍可以计算出 H 值, 这就需要建立毁伤阈值的概念. 设烈度 $I < I_0$ 时建筑物无破坏, 则:

$$H_0 = 10^{(I_0-C_0)C_1} \quad (3)$$

式中 H_0 为毁伤阈值, 当 $H < H_0$ 时, 无毁伤. 如果一个地区通过抗震加固, I_0 提高了一度, 则:

$$H'_0 = 10^{(I_0+1-C_0)C_1} \quad \therefore \quad H'_0 = 10^{1/C_1} H_0 \quad (4)$$

一般情况下 $C_1 = 1.5$, 则:

$$H_0 = 10^{-1/C_1} H'_0 = 0.22 H'_0 \quad (5)$$

由 (5) 式可知, 损失将减少 $\frac{H'_0 - H_0}{H'_0} = 88\%$, 但是此时所需的抗震加固费用仅增加 $15\% \sim 10\%$, 所以抗震加固的效益可达 $88\% - (15\% \sim 10\%)$, 即 $73\% \sim 78\%$, 说明抗震加固是可行的. 如果通过抗震加固, 将 I_0 提高 2 度, 则:

$$H_0 \doteq 0.05 H'_0$$

损失可减少 $\frac{H'_0 - H_0}{H'_0} \doteq 95\%$, 但是此时的抗震加固费用将至少增加 $21\% \sim 32\%$ ^①, 抗震加固

收稿日期: 1997-04-04

第一作者简介: 张晓东, 男, 1962 年 8 月生, 研究员, 主要从事地震预报研究工作.

① $[1 + (10\% \sim 15\%)^2] = 21\% \sim 32\%$

的效益为 63% ~ 72%, 可见效益反而下降了. 因此在经济力量不强的情况下, 过分提高 I_0 是不划算的, 在经济力量很强的情况下, 毁伤阈值当然越高越好. 理论上讲当 I_0 提高了 5 度, 抗震加固的效益将趋于 0. 这里抗震加固费用随烈度的增长符合

$$[1 + (10\% \sim 15\%)]^n$$

n 为烈度提高的度数. 实际上, 抗震加固费用比上式的增长要快得多. 当 $n = 3, 4$ 时, 抗震加固效益就可能趋于 0. 这里仅从房屋的破坏来考虑, 没有考虑人的伤亡. 若从人的伤亡来考虑, 毁伤阈值越高越好. 对于生命线工程, 由于次生灾害严重, 适当提高毁伤阈值也是合理的.

2 地震经济损失的理论估计

由 (2) 式可知, 在同一烈度区内, 只要 C_0 和 C_1 一定, 则 H 是一个定值. 事实上, 各国的实际地震毁伤值是不一样的, 因此可以说 (2) 式只具有相对损失的概念, 即不同烈度区的比较, 或 (2) 式乘以一个折合的系数, 则

$$H = U \frac{10^M}{r^{2.5w}} \quad (6)$$

$$H = U 10^{(I - C_0)/C_1} \quad (7)$$

U 为折合系数. 对 (7) 式取对数得

$$\ln H = \frac{\ln 10}{C_1} I - \frac{C_0 \ln 10}{C_1} + \ln U$$

因此

$$\ln H = aI - b \quad (8)$$

(8) 式中: $a = \ln 10 / C_1$, $b = \frac{C_0 \ln 10}{C_1} - \ln U$. 由此可见, 地震毁伤值与 I 有对数关系. 以共和地震房屋倒塌率为例^①:

$$\ln H = 1.50I - 9.19 \quad V = 0.99 \quad (9)$$

这里的 V 为相关系数, $I = 6 \sim 9$ 度, H 的单位是人民币万元 / km². 据有关文献^② 所列的西北地区烈度衰减关系

$$I_a = 5.643 + 1.538M - 2.109 \ln(R + 25) \quad e = 0.64$$

$$I_b = 6.005 + 1.363M - 2.067 \ln(R + 25) \quad e = 0.61$$

可知: I_a, I_b 分别为沿长轴和短轴方向的地震烈度值, M 为面波震级, R 是震中距 (km), e 为标准差.

由 (8) 式可知 $a = \frac{\ln 10}{C_1}$, 在长轴方向上, $a = \frac{\ln 10}{1.538}$, $\therefore a = 1.497$

在短轴方向上, $a = \frac{\ln 10}{1.363} = 1.689$, 平均 $a = 1.59$, 与 (9) 式中 $a = 1.50$ 基本一致.

3 不同烈度区灾害损失的理论估计

不同烈度区灾害经济损失可用下式来表述:

$$HH(I) = S(I) H$$

$$HH(I) \propto r^2 H$$

$$\therefore HH(I) = T' H r^2$$

① 青海省地震局. 1990 年 4 月 26 日共和 6.9 级地震考察研究报告. 1990.

② 青海省地震局. 青海温泉水库坝区活动断裂鉴定及地震安全性评价报告. 1995.

这里 $S(I)$ 为 I 度区的面积, $HH(I)$ 为 I 度区的经济损失, T' 为比例常数. 由 (2) 式和关系式 $I = C_0 + C_1 M - C_2 \ln r$ 得:

$$\begin{aligned} HH(I) &= T' \cdot 10^{(I - C_0)/C_1} \cdot e^{2(C_0 + C_1 M - I)/C_2} \\ \therefore HH(I) &= T \cdot e^{(\ln 10/C_1 - 2/C_2)I} \end{aligned} \quad (10)$$

式中: $T = T' \cdot 10^{-C_0/C_1} \cdot e^{2(C_0 + C_1 M)/C_2}$

由 (10) 式可知, 当 $\frac{\ln 10}{C_1} - \frac{2}{C_2} > 0$ 时, $HH(I)$ 为 I 的增函数, 当 $\frac{\ln 10}{C_1} - \frac{2}{C_2} < 0$ 时, $HH(I)$ 为 I 的减函数, 当 $\frac{\ln 10}{C_1} - \frac{2}{C_2} = 0$ 时, $HH(I)$ 为常数 T . 由文献 [1] 可知: $W = \frac{C_2 \ln 10}{C_1} - 2$, 所以 $\frac{\ln 10}{C_1} - \frac{2}{C_2} = W/C_2$, 此时:

$$HH(I) = T \cdot e^{W/C_2 I} \quad (11)$$

由 (11) 式可知: 当 $W \leq 0$ 时, 对应 $HH(I)$ 为增、减和常量函数. (11) 式两边取对数得:

$$\ln HH(I) = \ln T + W/C_2 I \quad (12)$$

(12) 式为用于估计不同烈度区损失值的理论公式.

4 地震总损失估计

假设震源深度为 h_0 , 震源距为 r , 由 (1) 式可得:

$$\begin{aligned} HZ(r) &= \int_{h_0}^r \frac{10^M}{r^{2+W}} ds \\ &= \int_{h_0}^r \frac{10^M}{r^{2+W}} \cdot r dr \quad (\text{设等震线为圆形}) \end{aligned}$$

$$\therefore HZ(r) = \frac{10^M}{r^{2+W}} [h_0^{-W} - (h_0^2 + r^2)^{-W}] W \quad (13)$$

(13) 式是震源距为 r 时的地震总损失估计公式. 在 $W > 0$ 时的理想情况下, (13) 式可表示为:

$$HZ(r) = \frac{10^M}{r^{2+W}} \ln \frac{r^2 + h_0^2}{h_0^2} \quad (14)$$

当 $r \gg h_0$ 时, (13) 式为:

$$HZ(r)|_{r \gg h_0} = \frac{10^M}{r^{2+W}} W \quad (15)$$

(15) 式为地震总损失估计公式, 此时假定 $W \neq 0$. 当 $W > 0$ 时, 由 (14) 式可知:

$$HZ(r)|_{r \gg h_0} = \frac{10^M}{r^{2+W}} \ln \frac{r}{h_0} \quad (16)$$

(16) 式为理想情况下的地震总损失估计公式. 利用烈度衰减关系 $I = C_0 + C_1 M - C_2 \ln r$, 可以将上述公式转换为仅与烈度有关的表达式, 在这里要设:

$$I_0 = C_0 + C_1 M - C_2 \ln h_0$$

其中 I_0 为震中区烈度.

5 实例

以 1989 年大同-阳高 6.1 级地震为例, 其损失情况如表 1. 由表 1 回归出的不同烈度区的经济损失率符合

$$\ln H(I) = 1.25I - 4.42, \quad r = 0.99$$

表 1 大同-阳高地震灾害统计

烈度	面积 (km ²)	经济损失 (万元)	经济损失率 (万元 /km ²)	房屋破坏率 (%)	每间经济损失 (元)
VIII	1.5	438.33	292.22	97	3560
VII	47.0	2934.20	62.43	73	3818
VI	102.0	2433.80	23.86	27	1900
V	2192.0	13739.90	6.26	13	670

上式中 H 的单位为人民币万元 /km²,由此可以求得:

$$a = \frac{\ln 10}{C_1} = 1.25, \quad \therefore C_1 = 1.84$$

由文献 [2] 可知,华北地区的 $C_1 = 1.69$,可见由此计算的 C_1 偏差不太大,仅为 8%。另外,许多回归公式为 $I = C_0 + C_1 M - C_2 \ln(R + H)$,只有当 H 很小或为 0 时才可与我们的假设一致,这时 C_1 将比 1.69 还要大一些,其误差进一步缩小。

6 结论和讨论

本文利用文献 [1] 的结果,深入讨论了地震灾害损失估计的计算方法和公式,这些讨论为人们深入了解灾害损失与烈度衰减关系间的联系提供了桥梁,但是这里所讨论的仅是理想情况下的,而实际情况则要复杂得多。无论如何本文从理论上讨论了这一问题,并同实际的情况进行了对比。这些计算公式有可能在快速评估中起作用。

参考文献

1 张晓东.由核爆炸毁伤值讨论地震毁伤值.灾害学,1990,(1): 20- 24.
 2 国家地震局震害防御司.中国地震区划文集.北京:地震出版社,1993. 189.

THEORETICAL EVALUATION AND PRELIMINARY DISCUSSION ON ECONOMIC DAMAGE OF SEISMIC HAZARD

ZHANG Xiaodong ZHU Lixia
(Seismological Bureau of Qinghai Province, Xining)

Abstract

In this paper, the theoretical formulas of the damage rate of seismic hazard and the total damage evaluation were deduced by using the formula of document [1], moreover, the rationality of earthquake resistance reinforcement was discussed, finally, the rationality of the theoretical evaluation was tested by calculating some actual cases. This study will conduce to deeply understanding the essence of hazard damage through the relationship between hazard evaluation and theoretical intensity attenuation.

Key words Earthquake, Hazard evaluation, Earthquake resistance reinforcement, Intensity attenuation