

烈度的经济意义

工程技术的先进性包括两个方面，即开拓性（创造落后技术所不能创造的产品和成果）和合理性（用更少的物力和人力创造出更多的产品和成果）。在生产过程中，从经济上衡量工程技术的合理性是十分重要的。任何一种科学成果要付之于工程技术以期得到生产应用，首先要考虑其经济效果。

烈度问题的实质是地震学研究成果——中、长期预报在工程决策中的应用，因此也必须赋予其一定的经济意义。

把烈度用于经济决策中，一般有下面几种方法：

1. 极值法

设 $M(I_0)$ 表示建筑物按 I_0 度烈度设防比不考虑地震设防所需增加的投资数。用 $L(I_0, I)$ 表示建筑物按 I_0 度设防后遭受烈度为 I 度的地震所造成的损失。而在建筑物使用寿命期间 Δt 内遭受烈度为 I 度的地震机率为 $W(I)$ ，则 Δt 内可能因地震造成的损失为

$$\sum_{I=6}^{12} L(I_0, I)W(I)$$

因为 $I < 6$ 一般不会造成损失，所以上述求和号从 $I = 6$ 开始，令

$$S(I_0) = M(I_0) + \sum_{I=6}^{12} L(I_0, I)W(I)$$

S 是 I_0 的系数，使 S 为最小的 I_0 就是合理的抗震烈度

2. 衰格期望值法

例如，现有一工程的烈度问题。将其按对应烈度进行工程增加的投资和没有按对应烈度进行投资可能造成的损失列于表1中，由于工艺的改革预计此工程的使用年限为15年，基准贴现率按12%计算，那么，对于此项工程究竟按多大烈度进行设防，其经济效果最好？

表1

烈度	地震超过规定烈度的率概*	地震超过I度烈度所造成的损失**	按I度烈度进行抗震工程的增加投资***
< 6	0.48	0	0
6.0	0.24	100, 000	100, 000
6.5	0.16	150, 000	210, 000
7.0	0.06	200, 000	330, 000
7.5	0.04	300, 000	450, 000
8.0	0.02	400, 000	550, 000

* 来源于地震危险性分析。

** 来源于震害预测。

*** 来源于贴现利息计算。

按6度计算:

烈度资金恢复费用 $100,000 \times (0.1468) = 14,480$

$$A/P_{12,5}$$

年度损失期望值 $= 0.16 \times 100,000 + 0.06 \times 150,000 + 0.04 \times 200,000 + 0.02 \times 300,000 = 39,000$ (元)

$14,480 + 39,000 = 53,480$ (元)

按6.5度计算:

烈度资金恢复费 $= 210,000 \times (0.1468) = 30,828$ (元)

$$A/P_{12,5}$$

年度损失期望值 $= 0.06 \times 100,000 + 0.04 \times 150,000 + 0.02 \times 200,000 = 16,090$ (元)

$30,828 + 16,090 = 46,918$ (元)

对于烈度7.0度、7.5度、8度都进行计算,并将结果列于表2。

表 2

烈度	资金恢复费用(元)	年度损失期望值(元)	年度费用期望值(元)
< 6	0	80,000	80,000
6.0	14,480	39,000	53,480
6.5	30,828	16,090	46,918
7.0	48,444	7,000	55,444
7.5	66,060	2,000	68,060
8.0	80,740	0	80,740

这个地方的最高烈度虽然可达8度,但是以6.5度设防是最经济的。

3. 蒙特卡洛法

实际工程的寿命、投资的效益是不断变化的,地震危险性分析也有极大的不确定性。若把这些变化的随机值当作固定不变的值看待,那么计算结果就可能不符合将来出现的情况,从而带来某种程度的风险。因此注意分析这种风险的程度和可能性,以便使烈度决策比较适合以后的情况。蒙特卡洛法是解决这些问题的十分方便的方法。

蒙特卡洛法的步骤如下:

- (1) 编取伪随机数(可由计算器产生);
- (2) 确定各种方案的概率所占的随机数;
- (3) 进行仿真试验;
- (4) 在大量仿真试验的基础上决定最佳方案。

举例如下:

某市的民用住宅,使用期可能是33年或66年,也可能是100年,其中使用33年的概率是0.25,使用66年的概率是0.5,使用100年的概率是0.25。因为城市位于地震区,需按规定烈度抗震设防。原始投资50亿元,而按6.5度设防原始投资只需要20亿元。根据抗震建筑结构和地震危险性分析预测,按两种烈度抗震设防建筑的平均年度折旧费(包括地震破坏)如表3所示,基准贴现率规定为10%。产生的随机数如下:05、62、00、79、89、69、23、02、72、67、27、29、03、62、17、92、30、3、12、38、33、90、38、82、52、54、47、56。各种方案的概率所占的二位随机数列于表4中。

在进行仿真试验时,首先按所得的随机数计算以8度设防和以6.5度设防相对应使用年限

的资金恢复费用（表5）。其次查出按8度设防的年度折旧费所对应的随机数，列出相应的年度折旧费，将其与所对应的烈度资金恢复费用相加，得到8度设防的年度费用（表6）。其10次试验的年度费用期望值为 $52.43 \div 10 = 5.243$ （亿元）。用同样的方法计算6.5度设防的年度费用（表7），其10次试验的年度费用的平均值为 $33.713 \div 10 = 3.37$ （亿元）。

表3

按8度设防		按6.5度设防	
房屋折旧费	概率	房屋折旧费	概率
0.1亿元	1/6	0.6亿元	1/6
0.15亿元	1/2	1.25亿元	1/3
0.25亿元	1/3	1.5亿元	1/3
		2.0亿元	1/6

表4

	可能的情况	概率	随机数
使用年限	33Yr.	1/4	00-24
	66Yr.	1/2	25-74
	100Yr.	1/4	75-99
按8度抗震设防年使用费(烈度投资)	0.1(10 ⁹ dollar)	1/6	00-16
	0.15	1/2	17-66
	0.25	1/3	67-99
按6度抗震设防年使用费(烈度投资)	0.6	1/6	00-16
	1.25	1/3	17-49
	1.5	1/3	50-82
	2.0	1/6	83-99

表5

次数	随机数	使用年限	按8度设防烈度资金恢复费用	按6.5度设防烈度资金恢复费用
1	05	33	5.225	2.09
2	82	100	5.0	2.0
3	00	33	5.225	2.09
4	79	100	5.0	2.0
5	89	100	5.0	2.0
6	69	66	5.01	2.004
7	23	33	5.225	2.09
8	02	33	5.225	2.09
9	72	66	5.01	2.004
10	67	66	5.01	2.004

表6

试验次数	随机数	年使用费	烈度资金恢复费用	年费用
1	27	0.15	5.225	5.375
2	29	0.15	5.0	5.15
3	03	0.1	5.225	5.375
4	62	0.15	5.0	5.15
5	17	0.15	5.0	5.15
6	92	0.25	5.01	5.260
7	30	0.15	5.225	5.375
8	38	0.15	5.225	5.375
9	12	0.1	5.01	5.11
10	38	0.15	5.01	5.16

表7

试验次数	随机数	年使用费	烈度资金恢复费用	年费用
1	33	1.25	2.09	3.34
2	90	2.0	2.0	4.0
3	38	1.25	2.09	3.34
4	82	1.5	2.0	3.5
5	52	1.5	2.0	3.5
6	09	0.6	2.004	2.604
7	52	1.5	2.09	3.34
8	54	1.5	2.09	3.34
9	47	1.25	2.004	3.254
10	55	1.5	2.004	3.504

表8

年度费用	8度设防		6.5度设防		
	100次中出现的次数	概率	年度费用	100次中出现的次数	概率
2.9083	4	0.04	1.5945	4	0.04
3.0048	13	0.13	1.8716	9	0.09
3.1977	9	0.09	2.6287	9	0.09
4.0843	8	0.08	2.7052	4	0.04
4.1808	22	0.22	2.9058	17	0.17
4.3737	18	0.18	3.0268	8	0.08
7.6217	5	0.05	3.3036	11	0.11
7.7182	13	0.13	3.7395	7	0.07
7.9112	8	0.08	3.8224	4	0.04
			4.0991	8	0.08
			4.1372	8	0.08
			4.9327	5	0.05
合计	100	1.00		100	1.00

从年度费用的10次平均值来看,按8度设防年花费5.243亿元,而按6.5度设防是3.371亿元,似乎是6.5度比较优越,可以节约1.872亿元。但是仅10次计算的结果不能作为判断的依据,要证明6.5度设防确实优于8度设防,至少要做100次,甚至1000次,然后作出判断。

8度设防的年度费用均值和方差如下:

$$E_8 = 0.04 \times 2.9083 + 0.13 \times \dots + 0.13 \times 3.0048 + \dots + 0.08 \times 7.9112 \\ = 4.213 \text{ (亿元)}$$

$$q_8^2 = 0.04 \times 2.9083^2 + 0.13 \times 3.0048^2 + \dots + 0.08 \times 7.9112^2 - 4.213^2 \\ = 8.962 \text{ (亿元}^2\text{)}$$

6.5度设防的年度费用期望和方差如下:

$$E_{6.5} = 0.04 \times 1.5945 + 0.09 \times 1.8716 + \dots + 0.05 \times 4.9327 \\ = 3.195 \text{ (亿元)}$$

$$q_{6.5}^2 = 0.04 \times 1.5945^2 + 0.09 \times 1.8716^2 + \dots + 0.05 \times 4.9327^2 - 3.195^2 \\ = 0.641 \text{ (亿元}^2\text{)}$$

无论从方差还是从期望值看,6.5度设防都优于8度。因此可以认为,虽然该市最高烈度为8度,但对民房以6.5度设防为优。例如,西安、天水、兰州三市基本烈度都为8度,但从危险程度考虑,则天水大于兰州,兰州大于西安,而从设防的经济意义考虑,则西安大于兰州,兰州大于天水,这就需要在设防时很好地权衡。

最后应当说明,本文涉及的烈度经济决策计算不包含有可能产生次生灾害的重大工程和生命线工程,亦仅仅提供经济意义上的决策。因此这里烈度完全用于决策之中。

(本文1987年3月5日收到)

(国家地震局兰州地震研究所 丁伯阳)

参 考 文 献

- [1]徐果明、周蕙兰,地震学原理,科学出版社,1982。
 [2]黄渝祥、邢爱芳,工程经济学,同济大学出版社,1985。
 [3]B.L.Amstadr, Reliability Mathematics, Mcgraw-Hill, 科学出版社,1978。

THE ECONOMIC SIGNIFICANCE OF INTENSITY

Ding Boyang

(Seismological Institute of Lanzhou, State Seismological Bureau)