

徐国栋,薄景山,李巨文,等,2022. 基于双损失指标的地震灾度模型. 中国地震,38(2):304~314.

基于双损失指标的地震灾度模型

徐国栋^{1,2)} 薄景山^{1,2)} 李巨文^{1,2)} 丁一³⁾

1) 防灾科技学院,河北三河 065201

2) 河北省地震灾害防御与风险评价重点实验室,河北三河 065201

3) 应急管理部国家减灾中心,北京 100124

摘要 将地震灾害等级划分为巨灾、大灾、中灾、小灾、微灾等 5 个等级,给出每个灾害等级的灾度下限 D_i 。选取地震灾害的死亡人数和直接经济损失相对值作为计算灾度的 2 个指标,采用“直接经济损失/年人均 GDP”处理方法对直接经济损失进行无量纲化,为不同年代、不同地区的地震灾害灾度大小对比奠定基础。采用椭圆方程作为相邻灾害等级之间的分界线,给出相应参数以确定分界线方程表达式,在此基础上给出合理的地震灾度模型计算公式。利用假设值和中国部分实际地震灾例验证了本文给出的地震灾度模型的科学性、适用性和可比性,给出的地震灾害灾度计算模型可以推广到其他灾害。最后,比较唐山地震和汶川地震的计算灾度值,认为唐山地震的灾度大于汶川地震,并对这一结果的合理性进行了讨论。

关键词: 灾度 灾害等级 死亡人数 直接经济损失 巨灾

[文章编号] 1001-4683(2022)02-0304-11 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

合理划分自然灾害等级是进行灾害评估、灾害分级管理的关键。马宗晋(1990)根据我国自然灾害情况提出了“灾度”(disaster magnitude)的概念,认为灾度是某次灾害所造成的损失大小和影响程度,灾度是灾害等级大小的定量表述,应当依据灾度值对灾害大小进行分级;此外,给出了灾害分级方法,该方法根据死亡人口、直接经济损失、灾损财政收入比、倒房数量、成畜死亡数量等指标,将自然灾害根据灾情划分为巨灾、大灾、中灾、小灾、微灾等 5 个灾度,建议将死亡达 1 万人、直接经济损失达 100 亿元人民币(1990 年价格)以上的划为巨灾,以下每降低一个数量级,降低一个灾度。

“灾度”和“灾害分级”概念的提出,使得我国对灾害等级划分有了明确的标准。于庆东(1993)对灾度等级判别方法进行了改进和完善,明确采用“并”的原则确定灾害等级。高建国(1992)强调采用“灾度”来评估自然灾害造成社会损失的影响程度,认为人员伤亡数量和直接经济损失是评价灾损大小的 2 条主线,建议采用人员伤亡和直接经济损失双重指标体系确定灾害等级。高建国(2008)给出死亡人数和直接经济损失 2 个指标的对数和模型,对灾度进行量化,但某些情况下可能会高估灾度和灾害等级,不同灾害灾度可比性差;

[收稿日期] 2022-03-03 [修定日期] 2022-04-15

[项目类别] 国家重点研发计划(2018YFC1504500、2018YFC1504502)、防灾科技学院校内项目(2171231018)共同资助

[作者简介] 徐国栋,男,1974 年生,博士,主要从事地震工程等方面的研究工作。E-mail:gdXu1850@qq.com

冯利华(2000)对灾害等级的分级及评价进行了全面回顾,提出了灾害等级评价应具备科学性、可比性、实用性等原则。史培军(2005)提出并完善了区域灾害系统,将灾害形成过程划分为突发性灾害过程和渐发性灾害过程,这两类灾害所用指标和划分标准存在差异。地震灾害为突发性灾害,造成的损失表现在多个方面,如人员伤亡、受灾和转移安置人口、成灾面积、房屋倒损、经济损失等。史培军(2009)在此基础上构建了由死亡和失踪人口、房屋倒塌、转移安置人口、平均地震烈度和地质灾害程度等多指标组成的综合灾情指数,并由综合灾情指数来评定汶川地震灾区不同地区的受灾程度。张卫星等(2013)提出巨灾(Catastrophe,包括突发性巨灾和渐发性巨灾)的定义及划分标准,并指出由于每个国家经济发展情况的差异,国际上对灾害等级划分尚没有统一标准和方法,对灾害等级的定量评价也没有成熟或通用的计算模型,多以定性或半定量的指标或模型来确定灾害等级。陶正如等(2021)全面总结了灾害分级标准,用损失比对汶川地震各地区的灾害等级进行了评定。申源等(2021)通过动态地了解和掌握建筑物破坏、人员伤亡、经济损失等关键灾情信息,研发了损失实时动态评估原型系统。

本文在已有灾度计算模型的基础上,选取地震灾害的死亡人数和直接经济损失相对值作为计算灾度的2个指标,定义了灾害等级及相应的灾度下限 D_i ,采用椭圆方程作为相邻灾害等级之间的分界线和等灾度线,给出了科学、合理、易用的灾度计算模型。相比其他灾度计算模型,本模型通过严格的数学推导得出,对人员死亡人数和直接经济损失等指标进行了无量纲化处理,能定量比较不同灾害的损失程度。最后,通过具体地震灾害实例,证明本文的灾度计算模型具有较好的科学性、适用性和可比性。

1 已有的灾害等级评定模型

根据灾害造成社会损失的数量和程度计算灾度,根据灾度来确定灾害等级。但目前由于灾度计算模型的合理性和适用性问题,往往根据灾害损失的绝对量和相对量,结合分级标准,给出灾害等级。而分级标准,往往考虑多种损失大小及影响程度,采用“并”或“或”的原则进行分级。

1.1 全国重大自然灾害研究组模型

国家科委全国重大自然灾害综合研究组(1994)指出,灾害等级的划分要综合考虑灾种差异、灾害损失表现、货币和物价指数变动等。有些灾种是缓变性的,如旱灾;有些灾害是突发性的,如洪涝、台风、地震等;有些灾害的损失表现在粮食失收上,有些表现在房屋倒塌上。而直接经济损失数值受货币变动和物价指数等影响,可采用某年价格进行计算。

自然灾害分级要求有比较完整的数据,包括发生时间、省份、灾种、受灾面积、伤亡人数、倒塌房屋数、死亡牲畜数、经济损失等。

对于灾害等级的划分标准,简述如下:

(1)特大灾害(一级灾害):死亡人数在1万以上;直接经济损失(按1990年价格计算,下同)100亿元以上(含100亿元);损失超过该省前3年的年平均财政收入100%;干旱或洪涝受灾率70%以上;倒房数30万间以上,牧区成畜死亡100万头以上。凡达到其中二项标准的才可确定其为特大灾害,这类灾害一般每10年左右发生1~2次,典型灾例为1991年江淮大水、1976年唐山地震、1975年河南大水、1963年海河大水、1959—1961年全国性持续

灾害、1954 年长江大水、1950 年淮河大水等。

(2) 大灾害(二级灾害):死亡 1000~10000 人;直接经济损失 10~100 亿元;损失超过该省前 3 年的年平均财政收入 50%~100%;干旱受灾率 50%~70%,洪涝受灾率 30%~70%;倒房数 10~30 万间,牧区成畜死亡 50~100 万头。典型灾例有 1992 年 9216 号台风风暴潮、1989 年 8923 号台风灾害、1987 年大兴安岭特大森林火灾、1985 年辽河洪水、1975 年海城地震、1970 年通海地震、1966 年邢台地震、1956 年 5612 号台风等。

(3) 中等灾害(三级灾害):死亡 100~1000 人;直接经济损失 1~10 亿元。

(4) 小灾害(四级灾害):死亡 10~100 人;直接经济损失 1000 万元~1 亿元。

(5) 轻微灾害(五级灾害):死亡 1~10 人,直接经济损失 1000 万元以下。

从上述表述来看,死亡人数和直接经济损失是自然灾害等级评定的 2 个重要指标。在实际操作过程中,只要超过其中 2 个指标,根据就高的原则判定灾害等级,而且给出的灾情指标比较多,并没有专门强调“并”的条件。这里定义的特大灾害,并没有强调必须死亡超过 1 万人且直接经济损失超过 100 亿元才能判定为特大灾害。

1.2 于庆东模型

于庆东(1993)对灾度等级判别方法进行了改进,以死亡人数(千人)为横坐标 x ,经济损失(亿元)为纵坐标 y ,灾度等级判别标准如下:当 x, y 满足 $x^2 + y^2 \geq 20000$ 时,为巨灾;当 x, y 满足 $200 \leq x^2 + y^2 < 20000$ 时,为大灾;当 x, y 满足 $2 \leq x^2 + y^2 < 200$ 时,为中灾;当 x, y 满足 $0.02 \leq x^2 + y^2 < 2$ 时,为小灾;当 x, y 满足 $0.0002 \leq x^2 + y^2 < 0.02$ 时,为微灾;当 x, y 满足 $x^2 + y^2 < 0.0002$ 时,为无灾。

在这个模型中,将巨灾死亡人数的下限定为 10 万人,明显过高。若死亡人数为 11 万、经济损失为 80 亿元,按该模型可判定为大灾而非巨灾。

2 本文给出的评估模型

对于较大的地震灾害,死亡人数与直接经济损失大小具有较大的相关性,但这 2 个损失指标是独立的,各自表述地震灾害在某一方面的影响程度。

本文采用地震灾害造成的死亡人数和直接经济损失相对值 2 个指标,来构建灾度计算模型,根据灾度大小来判断地震灾害等级。

2.1 直接经济损失的无量纲化

直接经济损失是重要的灾情指标之一,如果直接采用该指标,由于不同年份、不同国家的货币值不同,需要进行经济方面的换算,增加模型复杂程度。

本文采用简单的无量纲化处理,将“灾害直接损失值/年人均 GDP”定义为直接经济损失相对值(无量纲)。例如,1990 年由于地震灾害造成了 100 亿元的直接经济损失,1990 年的人均国民生产总值为 1558 元,100 亿元/1558 元 = 6418485.24,即直接经济损失相对值可近似取 6.4185×10^6 ,表示灾害造成的直接经济损失相当于 6.4185×10^6 单位的人均 GDP。

在对直接经济损失进行无量纲化处理时,有时需要考虑本年度大灾或巨灾对人均 GDP 的影响。参考赵阿兴等(1993)的处理方法,对大灾或巨灾使用“灾害年前一年人均 GDP×物价指数”进行无量纲化,即“灾害直接损失值/(灾害年前一年人均 GDP×物价指数)”定义为直接经济损失相对大小(无量纲),这是因为如果是大灾或巨灾,会对灾害年的人均

GDP 产生影响。结合地震灾例, 本文采用更简化的处理方法: 如果大灾或巨灾年人均 GDP 比上一年减少, 可直接采用上一年的人均 GDP (如唐山地震); 如果大灾或巨灾年人均 GDP 依然增加, 可采用这一年的人均 GDP (如汶川地震)。这种处理方法的基础是本文的多指标灾度计算模型, 当经济损失指标或其他指标有 5% 左右的偏差, 对灾度计算值影响不大。

这种无量纲化处理方法的优点是, 消除了空间和时间对直接经济损失值大小的影响, 不需要依据汇率或物价指数对直接经济损失进行处理, 而是直接采用所在地 (国) 当年价格的直接经济损失值。

2.2 灾害等级划分

采用国家科委全国重大自然灾害综合研究组 (1994) 的地震灾害等级划分方法, 将地震灾害分级为巨灾、大灾、中灾、小灾、微灾、无灾; 采用“灾度”值 $D_i (i=1, 2, 3, 4, 5)$ 作为灾害等级之间的划分界线, 设定巨灾灾度下限 $D_5 = 10$, 大灾灾度下限 $D_4 = 8$, 中灾灾度下限 $D_3 = 6$, 小灾灾度下限 $D_2 = 4$, 微灾灾度下限 $D_1 = 2$, 灾度小于 D_1 的为无灾, 无灾也可能有一些小的损失。

相邻灾害等级的 5 条分界线方程可表示为

$$\left(\frac{x}{a_i}\right)^2 + \left(\frac{y}{b_i}\right)^2 = 1, i = 1, 2, 3, 4, 5 \quad (1)$$

其中, x 表示直接经济损失相对值 (无量纲), y 表示死亡人数; x/a_i 和 y/b_i 表示无量纲化处理; (a_i, b_i) 为第 i 条灾害等级分界线所用参数, 物理意义表示第 i 个灾害等级下限所对应的单一指标损失值。

这里给出 a_i, b_i 的一般形式

$$a_i = A \times 10^{m_i}, b_i = B \times 10^{n_i}, i = 1, 2, 3, 4, 5 \quad (2)$$

其中, m_i, n_i 为正整数。

本文中假设对单个灾损的损失值每提高 10 倍, 灾度增加一级, 则有以下式成立

$$\frac{a_{j+1}}{a_j} = 10, \frac{b_{j+1}}{b_j} = 10, j = 1, 2, 3, 4 \quad (3)$$

式中, a_i 表示第 i 级灾度的直接经济损失相对值下限值, 1990 年人均 GDP 为 1558 元, 100 亿元/1558 元 = 6418485.24, 则 a_5 可近似取 6.0×10^6 , 依次地, $a_4 = 6 \times 10^5$ 、 $a_3 = 6 \times 10^4$ 、 $a_2 = 6 \times 10^3$ 、 $a_1 = 6 \times 10^2$; 用 b_i 表示第 i 级灾度的死亡人数下限值, $b_1 = 1 \times 10^0$ 、 $b_2 = 1 \times 10^1$ 、 $b_3 = 1 \times 10^2$ 、 $b_4 = 1 \times 10^3$ 、 $b_5 = 1 \times 10^4$ 。

不同灾害等级之间的分界线在普通坐标系下如图 1 所示。由于分级界限值相差过大, 在普通坐标系下, 只能看到 2~3 条分界线, 为此, 可选用双对数坐标系, 这时灾害等级划分及其分界线如图 2 所示。

对于某一地震灾害, 评定其是否为巨灾, 只需判断损失量 (x, y) 是否落在曲线方程式 (4) 上及以外

$$\left(\frac{x}{6 \times 10^6}\right)^2 + \left(\frac{y}{10^4}\right)^2 = 1 \quad (4)$$

式 (4) 可视为巨灾下限、大灾上限或巨灾和大灾的分界线。

不同灾害等级之间的分界线方程 (式 (1)), 其所用参数如表 1 所示。虽然可以用式 (1)

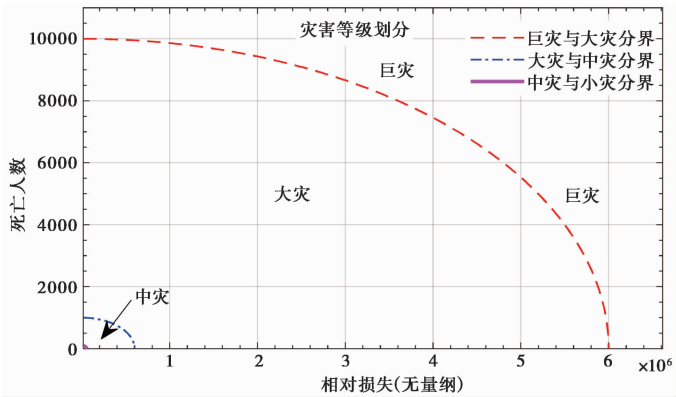


图 1 普通坐标系下灾害等级划分及其分界线

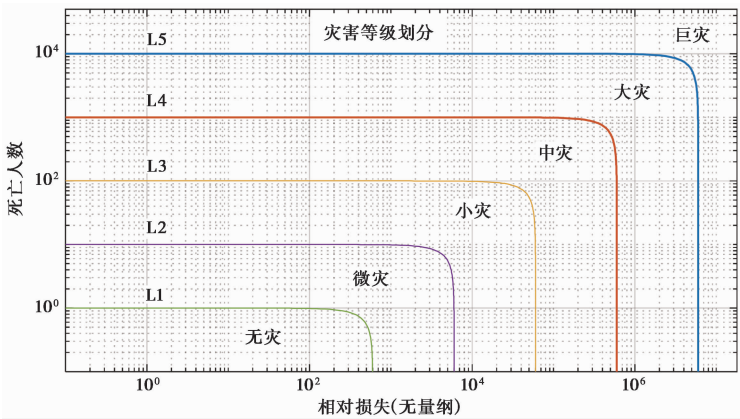


图 2 双对数坐标系下不同灾害等级的划分及其分界线

表 1 灾害等级及其灾度下限 D_i 、灾害等级的分界线及其参数、灾度计算模型的参数

i	灾害等级	灾度下限 D_i	分界线	分界线方程参数		灾度模型参数			
				a_i	b_i	$X_i = Y_i$	X_i/a_i	Y_i/b_i	a_i/b_i
1	微灾	2	L1	600	1	10	0.01667	10	600
2	小灾	4	L2	6000	10	100	0.01667	10	600
3	中灾	6	L3	60000	100	1000	0.01667	10	600
4	大灾	8	L4	600000	1000	10000	0.01667	10	600
5	巨灾	10	L5	6000000	10000	100000	0.01667	10	600

来确定不同灾害等级的分界线,应用时检查灾害损失值 (x, y) 落在哪个区域内,进而确定灾害等级,但这样操作并不方便,因此可构建灾度模型来计算某一实际地震灾害的灾度,根据灾度来确定灾害等级。

2.3 灾度计算模型的构建

式(1)即是灾害等级的分界线,同时也是等灾度线。在式(4)上(巨灾下分界线,在图2

中为 L5 线), 要求在线 L5 上任一点计算出的灾度值 $D=10$; 同样在 L4 线上, 要求在任一点计算出的灾度值 $D=8$; 以此类推。

这里直接给出地震灾害灾度 D 计算模型的一般表达式

$$D = \lg \left[\left(\frac{X_i}{a_i} x \right)^2 + \left(\frac{Y_i}{b_i} y \right)^2 \right] \quad (5)$$

其中, X_i, Y_i 为待定系数(无量纲), 用 x/a_i 和 y/b_i 对灾度计算模型进行无量纲化处理。当 (x, y) 在第 i 级灾度的下分界线上时, 在这条线上任一点计算出的灾度值应当为 D_i 。

当 $x=a_i, y=0$ 时, 有

$$\lg \left[\left(\frac{X_i}{a_i} \times a_i \right)^2 + \left(\frac{Y_i}{b_i} \times 0 \right)^2 \right] = D_i \quad (6)$$

可得

$$X_i = 10^{\frac{D_i}{2}} \quad (7)$$

同样, 当 $x=0, y=b_i$ 时, 可得

$$Y_i = 10^{\frac{D_i}{2}} \quad (8)$$

由此本文给出的灾度计算模型为

$$D = \lg \left[\left(\frac{10^{\frac{D_i}{2}}}{a_i} x \right)^2 + \left(\frac{10^{\frac{D_i}{2}}}{b_i} y \right)^2 \right] \quad (9)$$

只要满足本文给出的前置条件, 可以推导出

$$\frac{10^{\frac{D_i}{2}}}{a_i} = \text{与 } i \text{ 无关的常数}, \quad \frac{10^{\frac{D_i}{2}}}{b_i} = \text{与 } i \text{ 无关的常数}, \quad i = 1, 2, 3, 4, 5 \quad (10)$$

由式(9)还可得到

$$\left(\frac{10^{\frac{D_i}{2}}}{a_i} x \right)^2 + \left(\frac{10^{\frac{D_i}{2}}}{b_i} y \right)^2 = 10^{D_i} \quad (11)$$

不难得出式(11)和式(1)有相同的形状, 这是因为

$$\left(\frac{10^{\frac{D_i}{2}}}{a_i} \right) : \left(\frac{10^{\frac{D_i}{2}}}{b_i} \right) = \left(\frac{1}{a_i} \right) : \left(\frac{1}{b_i} \right) = \text{与 } i \text{ 无关的常数}, \quad i = 1, 2, 3, 4, 5 \quad (12)$$

本文中 $X_i = Y_i, X_i/a_i, Y_i/b_i, a_i/b_i$ ($i = 1, 2, 3, 4, 5$) 的值见表 1, 值得注意的是, $X_i = Y_i$ 且 $X_i/a_i, Y_i/b_i$ 这 2 个值为常量, 不随 i 的变化而变化, 这对于灾度计算式(9)是非常重要的。

由式(10)和式(12)可以得出, 灾度计算模型式(9)可应用于 $x \geq 0, y \geq 0$ 的 XOY 平面上。同样, 如果在第 i 级分界线上, 某一点 (x_0, y_0) 满足

$$\left(\frac{10^{\frac{D_i}{2}}}{a_i} x_0 \right)^2 + \left(\frac{10^{\frac{D_i}{2}}}{b_i} y_0 \right)^2 = 10^{D_i} \quad (13)$$

则这个分界线上的任一点 (x, y) , 均有

$$D = \lg \left[\left(\frac{10^{\frac{D_i}{2}}}{a_i} x \right)^2 + \left(\frac{10^{\frac{D_i}{2}}}{b_i} y \right)^2 \right] = D_i \quad (14)$$

进一步通过数据试验验证上述结论,在不同的等灾度线上、等灾度线之间,选取一些点(点的位置及坐标如图 3 所示),计算这些点的灾度,随机选取的点位灾度计算结果如表 2 所示;实际震害灾例的计算结果如表 3 所示。

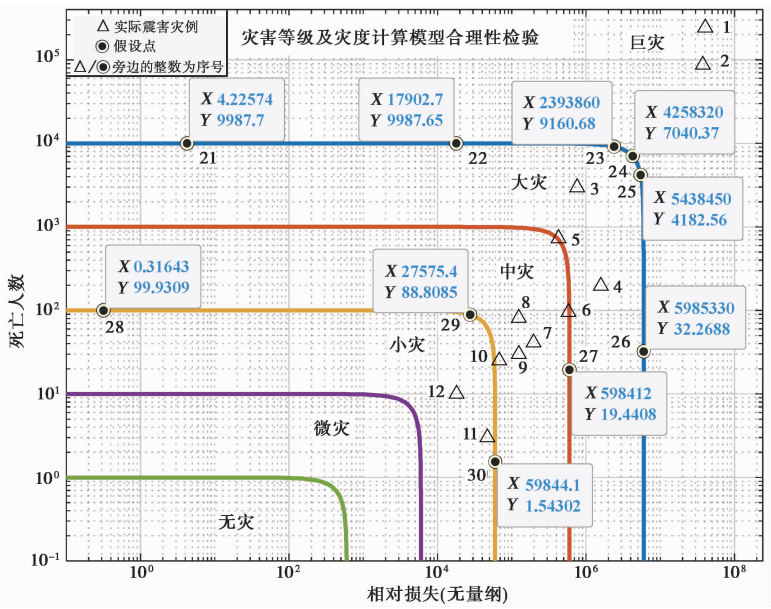


图 3 灾害等级及灾度计算模型合理性验证

表 2 用假设的随机试验点来验证灾度计算模型及灾害等级划分

序号	直接经济损失相对值 x (无量纲)	死亡人数 y	灾度	灾害等级
21	4.23	9988	9.9989	巨灾
22	17902.70	9988	9.9989	巨灾
23	2393860.00	9161	9.9993	巨灾
24	4258320.00	7040	9.9997	巨灾
25	5438450.00	4183	9.9985	巨灾
26	5985330.00	32	9.9979	巨灾
27	598412.00	19	7.9979	大灾
28	0.32	100	5.9994	中灾
29	27575.40	89	6.0000	中灾
30	59844.10	2	5.9978	中灾

注:这些点均选在相邻灾害等级的分界线上,由于数值计算的截断误差,计算灾度值比理论值稍小,考虑截断误差的影响,确定灾害等级时可认为这些试验点在相应分界线上。

考察灾度表达式(5)或式(9),损失指标 x 、 y 和灾度 D 均应大于等于 0。但当 x 和 y 值很小时,灾度 D 有可能小于 0; 当 $x=y=0$ 时,灾度 $D=\lg(0)$ 无意义; 根据实际灾情,当损失指标 $x=0$ 和 $y=0$ 时,灾度 D 应为 0,故将灾度表达式(5)或式(9)写为更严格的形式,即



表 3 我国部分地震灾例的损失、灾度及灾害等级评定

年份	震级	参考地点	死亡失踪人数	经济损失 /10 ⁶ 元	人均 GDP /元	相对损失值 (无量纲)	灾度	灾害等级
1976	7.8	唐山	242000	13275.00	329	40349544.1	12.80	巨灾
2008	8.0	汶川	87150	852300.00	22698	37549563.8	12.06	巨灾
2010	7.1	玉树	2968	22847.41	29992	761783.5	9.02	大灾
2013	7.0	芦山	196	66514.00	41908	1587143.3	8.85	大灾
2014	6.5	鲁甸	729	19849.00	46629	425679.3	8.01	大灾
2013	6.6	岷县漳县	95	24416.00	41908	582609.5	7.98	中灾
2008	6.1	攀枝花	41	4461.87	22698	196575.5	7.04	中灾
2012	5.7	彝良	81	4771.04	38420	124181.2	6.69	中灾
2017	7.0	九寨沟	30	8043.00	64644	124419.9	6.64	中灾
2011	5.8	盈江	25	2385.00	35181	67792.3	6.13	中灾
2013	5.9	香格里拉	3	1966.70	41908	46929.0	5.79	小灾
2008	6.6	当雄	10	411.37	22698	18123.6	5.01	小灾

注：①唐山地震采用的人均 GDP 是 1975 年的数据(329 元)，也可以采用 1976 年的数据(318 元)，计算出的灾度基本相同；②汶川地震用的人均 GDP 是 2008 年的数据，2008 年的人均 GDP 高于 2007 年的人均 GDP；③汶川地震相比唐山地震，灾度上的差距非常明显，不大的经济数据上的修正难以改变或缩小这种差距；④2014 年鲁甸地震和 2013 年岷县漳县地震灾度值接近，鲁甸地震灾度稍大，2 个地震灾度均在灾度等级分界线附近；⑤灾害损失数据源自郑通彦等(2021)，经济数据源自中华人民共和国国家统计局(2009)。

$$D = \lg \left[\left(\frac{X_i}{a_i} x \right)^2 + \left(\frac{Y_i}{b_i} y \right)^2 + 1 \right] = \lg \left[\left(\frac{10^{\frac{D_i}{2}}}{a_i} x \right)^2 + \left(\frac{10^{\frac{D_i}{2}}}{b_i} y \right)^2 + 1 \right] \quad (15)$$

在表达式中增加 1，对灾度值的影响很小，可忽略不计。

2.4 灾度模型建立的一般工作流程

灾度模型建立的一般工作流程为：

- (1) 确定计算某一类灾害灾度的 2 个灾情指标，如直接经济损失相对值和死亡人数。
 - (2) 进行灾害等级的划分，并以式(1)为不同灾害等级的分界线方程，根据灾害特点确定 (a_i, b_i) 的取值，取值要符合式(2)和式(3)的形式。在此基础上确定 D_i 的取值， D_i 应取为偶数值，每级加减 2。
 - (3) 构建式(5)形式的灾度计算模型，并用边界条件得到待定系数 X_i, Y_i 。
 - (4) 检查灾度计算模型是否适用于 XOY 第 1 象限平面，即式(10)是否为常数。
 - (5) 检查式(11)是否与分界线方程式(1)有相同的形状，即式(12)是否满足。
- 本文给出的地震灾害灾度计算模型同样易于推广到其他类型灾害的灾度计算。

3 对我国部分地震灾例的评定

用本文的方法，对我国的部分地震灾例进行了灾度计算和等级评定，以验证模型的合理性和实用性，评定结果见表 3。可以认为灾度计算结果和灾害评定等级科学合理，便于在实际震灾中使用。

使用本文的灾度计算模型,唐山地震的灾度值高于汶川地震。浅源地震破坏力的高低主要受震级、震源深度和震中烈度等参数控制,汶川地震为 8.0 级,高于唐山地震,而震中烈度均为 IX 度;汶川地震中,中国 30 个省(自治区、直辖市)和东南亚地区均有强烈震感,波及范围最大;而唐山地震的有感范围没有汶川地震大。

从灾度分析,唐山地震要高于汶川地震:①唐山地震死亡人数远远高于汶川地震;②唐山地震的直接经济损失相对值(即直接经济损失/人均 GDP)高于汶川地震;③唐山地震灾度值 12.80 明显大于汶川地震灾度值 12.06。

灾度值能定量说明灾害造成的损失程度,也可以反映灾害对社会影响程度。唐山地震对社会影响程度高于汶川地震:①唐山地震引起人均 GDP 和国民生产总值(GDP)下降明显。唐山地震发生的 1976 年,人均 GDP 和国民生产总值 GDP 均比 1975 年出现下降,如 1975 年国民生产总值为 3013.1 亿元,1976 年为 2961.5 亿元;1975 年人均 GDP 为 329 元,1976 年为 318 元;而 1968—1975 年国民生产总值与人均 GDP 均为正增长,相关数据参见《新中国六十年统计资料汇编(1949—2008)》(国家统计局国民经济综合统计司,2010)。相比之下,汶川地震发生的 2008 年,人均 GDP 和国内生产总值相比 2007 年增幅明显,如 2007 年国民生产总值为 257305.6 亿元,2008 年为 300670.0 亿元;2007 年人均 GDP 为 19524 元,2008 年为 22698 元;只不过增幅由 2007 年的 12%~13%降至 2008 年的 8%~9%,降低了约 4 个百分点。②影响程度不同。唐山地震发生在京津唐地区,摧毁了重工业城市唐山,并对北京和天津造成了明显的影响;而汶川地震对汶川、北川和都江堰市等地区造成严重灾害,对成都市造成了明显影响。③从恢复重建方面,1976 年唐山大地震发生后,我国政府花费了 10 年的时间重建被大地震所摧毁的唐山市,经过 10 年的努力和大量的投资(中央财政投资 25 亿元人民币)才使之达到大震前的经济水平。1976 年的大地震等于迫使唐山市的经济生活瘫痪和停顿了 10 年之久。而汶川地震发生后,在国内外的援助下,仅用 3 年左右时间灾区经济社会发展达到或超过震前水平。

温玉婷等(2010)从地震损失和灾害救助等方面认为唐山地震所造成的灾害比汶川地震严重。根据以上分析,本文构建的灾度模型,得出唐山地震的灾度值高于汶川地震是合理的。

4 结论

本文在前人工作的基础上,明确灾害等级可划分为巨灾、大灾、中灾、小灾、微灾,对应的灾度下限分别取为 10、8、6、4、2,灾度小于 2 则损失很小,可认为无灾。

采用死亡人数和直接经济损失相对值 2 个指标来确定灾害等级。对直接经济损失,采用无量纲化处理,将“灾害直接损失值/年人均 GDP”定义为直接经济损失相对大小(无量纲)。这种处理方法消除了空间和时间对直接经济损失值大小的影响,不需要依据汇率或物价指数对直接经济损失进行处理,而是直接采用所在地(国)当年价格的直接经济损失值。

国家科委全国重大自然灾害综合研究组(1994)年提出的巨灾划分标准:死亡人数达到或超过 10000 人,或直接经济损失达到或超过 100 亿元(按 1990 年价格),巨灾标准符合中国国情,本文采用该巨灾判定标准的下限值。在此标准基础上,灾害损失每减小 1 个数量级,灾害等级降低 1 级。本文采用直接经济损失相对值,如 1990 年的人均国民生产总值为

1558 元, 100 亿元/1558 元 = 6418485.24, 直接经济损失相对值取 6×10^6 作为巨灾损失下限值, 表示灾害直接经济损失相当于 6×10^6 单位的人均 GDP。

在地震灾害等级依据死亡人数和直接经济损失相对值 2 个指标划分的基础上, 采用椭圆方程作为等灾度线方程, 结合地震灾害等级与其灾度下限的对应关系, 确定了不同灾害等级对应的灾度值下限, 并给出了灾度计算模型, 最后通过具体地震灾害实例, 表明本文的灾度计算模型具有较好的科学性、适用性和可比性。

参考文献

- 冯利华, 2000. 灾害等级研究进展. 灾害学, 15(3): 72~76.
- 高建国, 1992. 确立灾害评估标准是我国“国际减灾十年”目标的重要问题. 自然灾害学报, 1(1): 48~56.
- 高建国, 2008. 灾害对社会影响和损失大小的一个可量化值-灾度. 见: 中国可持续发展研究会. 2008 中国可持续发展论坛论文集(2). 济南:《中国人口·资源与环境》编辑部, 285~287.
- 国家科委全国重大自然灾害综合研究组, 1994. 中国重大自然灾害及减灾对策(总论). 北京: 科学出版社.
- 国家统计局国民经济综合统计司, 2010. 新中国六十年统计资料汇编(1949—2008). 北京: 中国统计出版社.
- 马宗晋, 1990. 自然灾害与减灾. 北京: 地震出版社.
- 史培军, 2005. 四论灾害系统研究的理论与实践. 自然灾害学报, 14(6): 1~7.
- 史培军, 2009. 五论灾害系统研究的理论与实践. 自然灾害学报, 18(5): 1~9.
- 申源, 梁厚朗, 郑逸, 2021. 基于多源灾情数据的地震灾害损失实时动态评估系统设计与实现. 中国地震, 37(3): 586~598.
- 陶正如, 陶夏新, 2021. 借助汶川地震损失数据探讨自然灾害等级划分标准. 灾害学, 36(4): 31~36, 47.
- 温玉婷, 李宁, 刘雪琴, 等, 2010. 汶川地震与唐山地震损失与救助之对比. 灾害学, 25(2): 68~72, 111.
- 于庆东, 1993. 灾度等级判别方法的局限性及其改进. 自然灾害学报, 2(2): 8~11.
- 张卫星, 史培军, 周洪建, 2013. 巨灾定义与划分标准研究——基于近年来全球典型灾害案例的分析. 灾害学, 28(1): 15~22.
- 赵阿兴, 马宗晋, 1993. 自然灾害损失评估指标体系的研究. 自然灾害学报, 2(3): 1~7.
- 郑通彦, 文鑫涛, 陈雅慧, 等, 2021. 中国大陆地震灾害时空分布特征及地形影响因素分析. 中国地震, 37(3): 599~609.
- 中华人民共和国国家统计局, 2009. 2009 中国统计年鉴. 北京: 中国统计出版社.

Seismic Disaster Magnitude Model Based on Double Loss Indicators

Xu Guodong^{1,2)}, Bo Jingshan^{1,2)}, Li Juwen^{1,2)}, Ding Yi³⁾

1) Institute of Disaster Prevention, Sanhe 065201, Hebei, China

2) Hebei Key Laboratory of Earthquake Disaster Prevention and Risk Assessment, Sanhe 065201, Hebei, China

3) National Disaster Reduction Center of China, Beijing 100124, China

Abstract In this paper, earthquake disaster degree is divided into five classes: catastrophe, major disaster, medium disaster, small disaster and micro disaster, in which the lower limit D_i of disaster magnitude of each disaster class is given. The death toll of earthquake disaster and the relative value of direct economic loss are selected as two indicators to calculate the disaster magnitude. By “(direct economic loss)/(annual per capita GDP)” processing method we adopted the dimensionless direct economic loss, in order to lay a foundation for the comparison of earthquake disaster severity in different years and regions. The elliptic equation is used as the boundary between adjacent disaster classes, and the corresponding parameters are given to determine the expression of the boundary equation. On this basis, strict mathematical derivation is carried out, and a reasonable calculation formula of seismic disaster magnitude model is given. The scientific applicability and comparability of the seismic disaster magnitude model given in this paper, which are verified by hypothetical values and some actual seismic disaster examples in China. The calculation model of earthquake disaster magnitude can be extended to other disasters. By comparing the calculated disaster magnitude values of Tangshan earthquake and Wenchuan earthquake, we find that the disaster magnitude of Tangshan earthquake is greater than that of Wenchuan earthquake, and the rationality of this result is discussed.

Keywords: Disaster Magnitude; Disaster Grade; Death Toll; Direct Economic Loss; Catastrophe