

# 云南震群型地震中“续发地震”经济损失 评估相关问题的探讨\*

卢永坤, 代博洋, 周光全, 非明伦, 和嘉吉

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

**摘要:** 回顾了云南近年来发生的几组震群型地震中“续发地震”经济损失评估的基本情况、评估方法与结果, 提出了对“续发地震”经济损失评估方法与结果的一些认识: (1) 用“扣除总损失”的方法评估“续发地震”经济损失更易操作; (2) 当震级相当时, “续发地震”经济损失一般不超过“前发地震”经济损失; (3) “续发地震”损失评估时, 可在规范给定的损失比范围内适当提高损失比, 以反映部分建筑“破坏等级饱和”而实际损失可能增加这一事实。

**关键词:** 续发地震; 经济损失评估; 破坏等级饱和

**中图分类号:** P315.9

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2015)04-0629-09

## 0 前言

近年来云南省地震现场工作中碰到这样的情况, 某个地区在几天到数月的时间内连续发生几次震级相当、震中位置相近的地震, 如2003年7月21日大姚6.2级地震、10月16日6.1级地震; 2003年11月15日鲁甸5.1级地震、11月26日5.0级地震; 2006年7月22日盐津5.1级地震、8月25日5.1级地震; 2011年6月20日腾冲5.2级地震、8月9日5.2级地震。这几组地震震级相差最大仅0.1级, 震中位置相距最远为大姚两次地震, 相距7.6 km, 时间间隔最长为大姚两次地震, 间隔87 d。我们在地震现场震害调查时发现, 由于时间间隔短, 第一次地震的恢复重建工作尚未开展, 或仅开展过少量排危工作, 第二次地震与第一次地震的震害难以准确区分, 给灾害损失评估工作带来一定的困难, 本文对这样类型的地震灾害的直接经济损失进行探讨。

关于“前发地震”、“续发地震”, 《防震减灾术语第1部分: 基本术语》(GB/T 18207.1—2008)中并无专门定义, 为了方便叙述, 2003年鲁甸第二次地震灾害直接经济损失评估报告中将该次地震称为“续发地震”, 第一次地震称为“前

发地震”。之后的两组地震灾害直接经济损失评估工作中沿用了这种叙述方法, 本文也采用这一方法进行表述。

《地震现场工作第4部分: 灾害直接损失评估》(GB/T 18208.4—2011, 以下简称“规范”)中第9条介绍了续发地震损失评估方法, 其基本思路是首先将前发地震灾区与续发地震灾区进行区分, 新增灾区单独评估, 重合灾区则严格区分前发地震与续发地震的破坏比, 再进行进行评估。此方法逻辑清晰, 易于理解, 但受震害调查队员变动及队员主观认识偏差影响, 实际评估工作中, 很难获得相对客观的续发地震破坏比数据。另外, 当前后几次地震震中距离相近时, 新增灾区面积较小, 对其单独评估, 抽样调查点可能不足12个(宋立军等, 1998)。

在震害直接经济损失评估中评估的对象可分两类: 一是需进行抽样调查, 确定破坏比、损失比的量大面广的房屋建筑; 二是对破坏情况及次生灾害需逐个进行评估的重大工程设施、构筑物、特殊用途结构、生命线工程设施等。对于第二类对象, 因为大多是逐个进行专项评估, 相比房屋建筑而言, 此类对象量少, 易于调查, 评估其续发地震直接经济损失时, 相对容易操作。而对量大面广的第一类评估对象, 要保证调查得到的续发地震破坏比的准

\* 收稿日期: 2014-04-22.

基金项目: 云南省经济损失评估与调查软件研制(二期)项目资助.

确性,则要求两次地震调查队员调查了相同的抽样调查点,这在实际工作中很难实现。

表 1 中列出了云南近年发生的 4 组 8 次地震的要素、灾区面积、受灾人口及直接经济损失评估结果。

表 1 云南近年几组续发地震基本情况

Tab. 1 The basic situation of several groups of consequent earthquake in Yunnan in recent years

发震地点	发震时间			震级差	震中距/km	灾区面积/km <sup>2</sup>		受灾人口/万人		经济损失/亿元		
	前发地震	续发地震	间隔时间/d			前发地震	续发地震	前发地震	续发地震	前发地震	续发地震	比例 (%)
大姚	2003-07-21	2003-10-16	87	0.1	7.6	3 169	3 359	32.30	28.32	5.92	4.16	70.2
鲁甸	2003-11-15	2003-11-26	11	0.1	3.0	569	600	23.67	24.67	1.92	0.93	48.5
盐津	2006-07-22	2006-08-25	34	0	4.1	890	1 350	15.12	26.25	2.39	2.03	84.8
腾冲	2011-06-20	2011-08-09	50	0	2.5	1 170	1 370	16.27	18.46	2.78	1.50	53.8

1 云南 4 组续发地震损失评估实例

1.1 2003 年大姚两次地震

(1) 基本情况

2003 年 7 月 21 日,云南省大姚县发生 6.2 级地震,10 月 16 日大姚县发生 6.1 级地震,两次地震发震时间间隔 87 d,震级相差 0.1 级,震中距相差 7.6 km,续发地震灾区面积比前发地震灾区面积扩大 190 km<sup>2</sup>,续发地震受灾人口比前发地震少

3.98 万,续发地震直接经济损失是前发地震的约 70.2%。

(2) 烈度分布

图 1 给出 2003 年 7 月 21 日大姚 6.2 级地震与 10 月 16 日大姚 6.1 级地震的烈度分布(云南省地震灾害损失评定委员会,云南省地震局,2012)。续发地震微观震中向东南方向偏移约 7.6 km,烈度圈呈椭圆状,续发地震烈度圈长轴走向与前发地震长轴走向相比稍有偏转。灾区面积见表 1,由图 1 可以看出续发地震灾区大部分与前发地震灾区重叠。

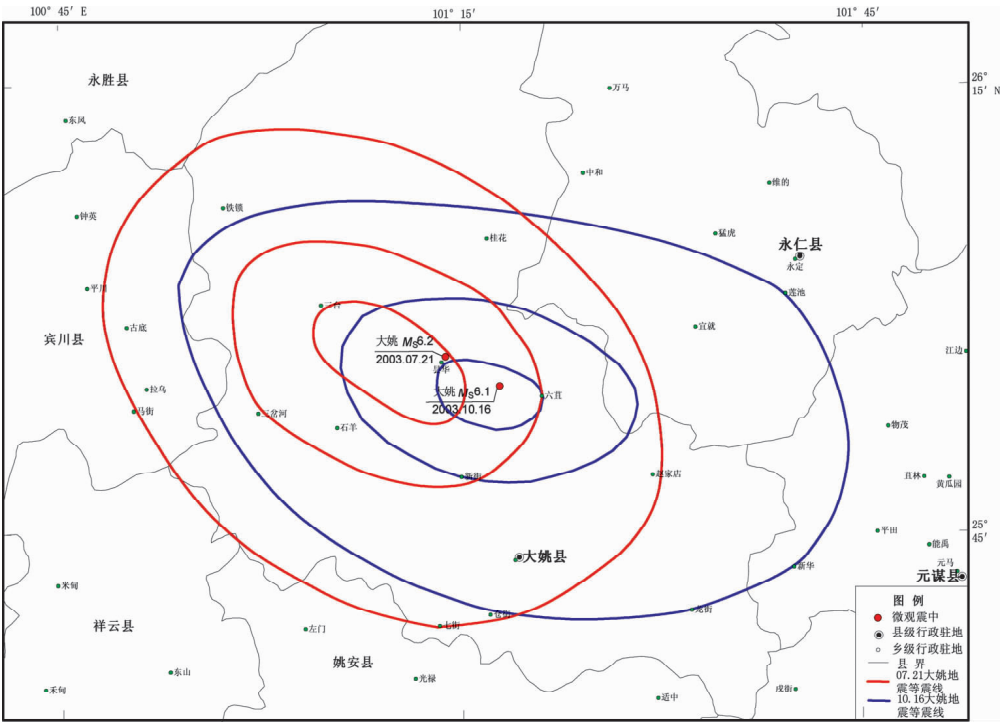


图 1 2003 年 7 月 21 日、10 月 16 日大姚 6.2 级、6.1 级地震烈度分布图  
Fig. 1 Distribution of density of Dayao M6.2 earthquake on Jul. 21, 2003 and Dayao M6.1 earthquake on Oct. 16, 2003

### (3) 损失评估原理

如前所述,地震灾害直接经济损失包括房屋建筑破坏造成的损失、各类生命线工程结构及其他各行业专项经济损失。生命线工程结构与其他各行业专项经济损失一般采用专项评估方法,近年云南几组续发地震经济损失评估工作中同样采用专项单列方法进行评估,本文不做探讨。

房屋建筑破坏造成的经济损失为

$$L_h = S_h \times R_h \times D_h \times P_h \quad (1)$$

式中,  $S_h$  为房屋建筑总面积,  $R_h$  为房屋破坏比,  $D_h$  为损失比,  $P_h$  为建筑单价。

续发地震房屋建筑经济损失同样采用此原理进行评估,区别在于采用何种办法扣除前发地震影响。式(1)的4个参数,  $D_h$  可以根据灾区实际情况从“规范”中给定的范围取值,重置单价  $P_h$  由灾区当地住建部门提供,经灾评组核实后取值。具体操作中,灾评组根据烈度分布划定评估区后,  $S_h$  可以由灾区各县、区政府或各系统上报房屋建筑基础资料直接统计得到。  $R_h$  则因灾评组选择的不同的评估方法而有所区别。

### (4) 评估区划分与方法

大姚6.1级地震损失评估中,考虑了前发地震

与续发地震震害叠加的特殊性,将震害叠加区与非叠加区分开进行评估,灾区划分为4个评估子区,分别为评估区一、评估区二、评估区三和评估区四(图2),其中一、二、三区为震害重叠区,四区为仅受续发地震影响的评估区。对于震害叠加区,把续发地震震害与前发地震震害相比较,扣除前发地震影响,得出续发地震的破坏比,进而计算灾害损失;对于震害非叠加区,则按通常的抽样调查方法来统计计算灾害损失。

将震害非重叠区单独评估,震害重叠区内再将前发地震的破坏比扣除,  $D_h$  与  $P_h$  基本一致,  $S_h$  需要分别统计,  $R_h$  需要分开统计计算。此方法思路清楚,但实际操作起来较复杂。以本次地震为例,震害非重叠区涉及大姚县、永仁县与元谋县(图2),需分别统计该区域内3个县的房屋建筑面积,本次地震震害非重叠区仅涉及Ⅵ度破坏区,一旦涉及更多的不同程度的破坏区,则工作量会大幅增加。

每一个评估区的破坏比是通过该评估区内不少于12个抽样点的房屋破坏数据计算得到,那么在震害重叠区内扣除前发地震破坏比时有两种方法:一是选择抽样点时续发地震与前发地震抽样点完全重合,填写抽样点房屋破坏调查表时前发

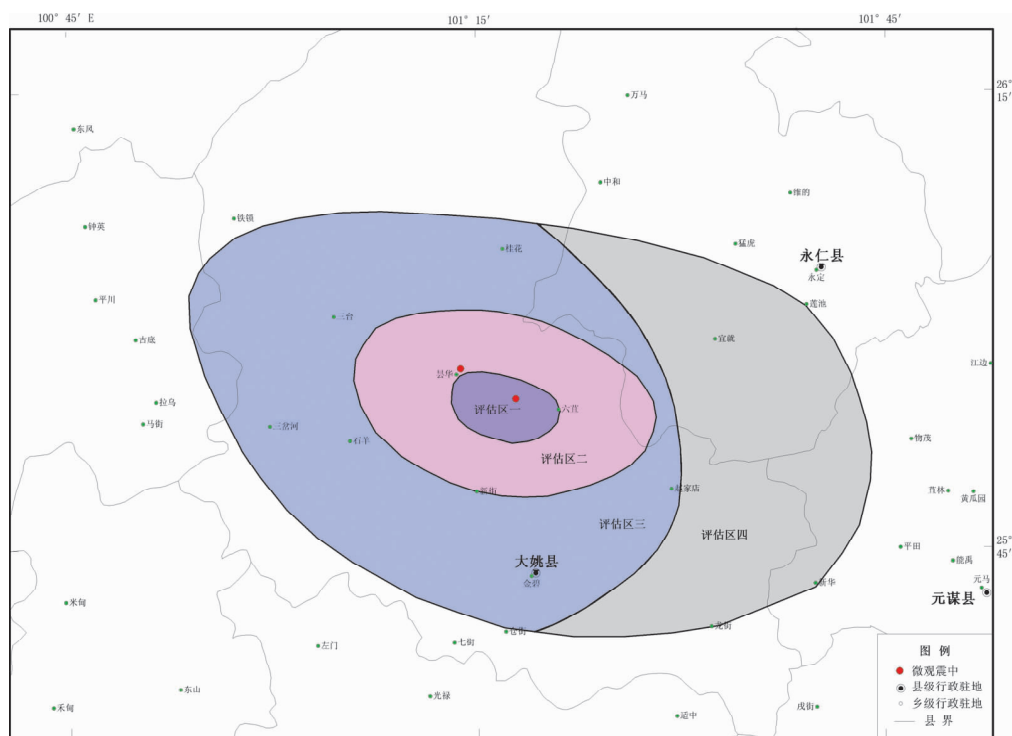


图2 2003年10月16日大姚6.1级地震评估区划分图

Fig. 2 Map of division of assessment area of Dayao M6.1 earthquake on Oct. 16, 2003

地震破坏的房屋不参与统计计算,这种方法几乎不具操作性,因为要求续发地震与前发地震每个调查点由同一名或一组调查队员进行调查,且该名(组)队员对所调查的每个点有详细记录;二是计算出震害重叠区两次地震综合影响后总的破坏比,再减去前发地震与之相对应的破坏比,但如果震害重叠区内烈度在续发地震中发生变化,甚至各烈度区面积发生变化,各破坏比所对应的烈度区区域、烈度值都发生变化,此时不能简单相减以求得重叠灾区对应的续发地震的破坏比。

## 1.2 2003 年鲁甸两次地震

### (1) 基本情况

2003 年 11 月 15 日,云南省鲁甸县发生 5.1 级地震,震源深度 10 km;11 月 26 日,鲁甸县发生 5.0 级地震,震源深度 8 km,两次地震发震时间相隔 11 d,震中相距仅 3 km(非明伦等,2004)。因为发震时间间隔短,震中相距近,前发地震的恢复重建工作尚未启动,两次地震震害难以区分。

### (2) 烈度分布图

图 3 给出鲁甸两次地震的综合烈度分布(非明伦等,2004;云南省地震灾害损失评定委员会,云南省地震局,2012)。续发地震微观震中向东北方向偏移约 3 km。灾区面积见表 1,续发地震后灾

区面积增加 31 km<sup>2</sup>(Ⅶ度区增加 22 km<sup>2</sup>,Ⅵ度区增加 9 km<sup>2</sup>)。

### (3) 损失评估办法

因为两次地震间隔短,震级相近,现场调查时难以区分前发地震与续发地震影响,现场灾评组制定了评估方法,即计算两次地震综合影响的损失,减去前发地震经济损失,即得到续发地震经济损失。

图 4 为续发地震评估区划分图。根据式(1)对灾区房屋建筑直接经济损失进行评估,减去前发地震经济损失即得续发地震经济损失。

此方法思路简单清晰,实际操作时只需计算两次地震总损失,即只需准备一套计算参数即可计算,工作量较之前一种评估方法要少的多。

## 1.3 2006 年盐津两次地震

### (1) 基本情况

2006 年 7 月 22 日,云南省盐津县发生 5.1 级地震,震源深度 9 km;8 月 25 日,盐津县再次发生 5.1 级地震,震源深度 7 km,两次地震发震时间相隔 34 d,续发地震震中向西北偏移 4.1 km。

### (2) 烈度分布图

图 5 中红色圈为 7 月 22 日 5.1 级地震烈度圈,蓝色圈为 7 月 22 日和 8 月 25 日两次地震综合圈。前发地震灾区最高烈度Ⅵ度,Ⅵ度区面积 890 km<sup>2</sup>。

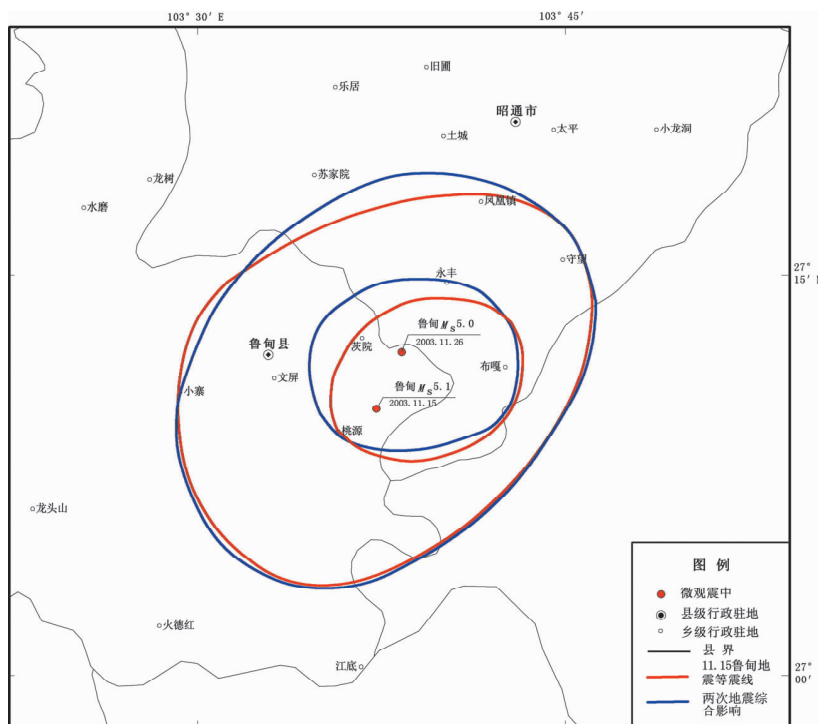


图 3 2003 年 11 月 15 日、11 月 26 日鲁甸 5.1 级、5.0 级地震烈度分布图

Fig. 3 Distribution of density of Ludian M5.1 earthquake on Nov. 15, 2003 and Ludian M5.0 earthquake on Nov. 26, 2003

两次地震综合影响下,灾区达到Ⅶ度破坏,Ⅶ度区面积 501 km<sup>2</sup>,Ⅵ度区面积 849 km<sup>2</sup>,灾区面积扩大了 460 km<sup>2</sup> (非明伦等, 2006; 云南省地震灾害损失评定委员会, 云南省地震局, 2012)。长轴走向与宏观震中基本一致。

### (3) 损失评估办法

因难以准确区分两次地震影响, 本次地震同样采

取鲁甸地震的评估方法,对两次地震的震害进行综合调查和评估,扣除前发地震经济损失,得出续发地震的经济损失。图6为续发地震评估区划分图。

实际上,当受续发地震影响而部分灾区烈度值开高时,新旧灾区的面积发生变化,各组破坏比所对应的灾区也就发生变化,此时就不能简单地用各烈度区破坏比减前发地震的破坏比来进行损失评估。

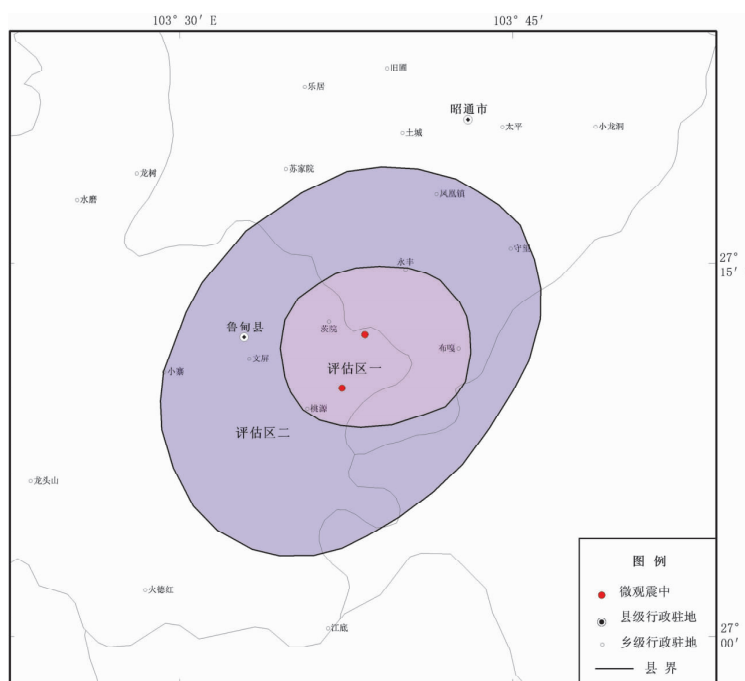


图4 2003年11月26日鲁甸5.0级地震评估区划分图

Fig. 4 Map of division of assessment area of Ludian  $M5.0$  earthquake on Nov. 16, 2003

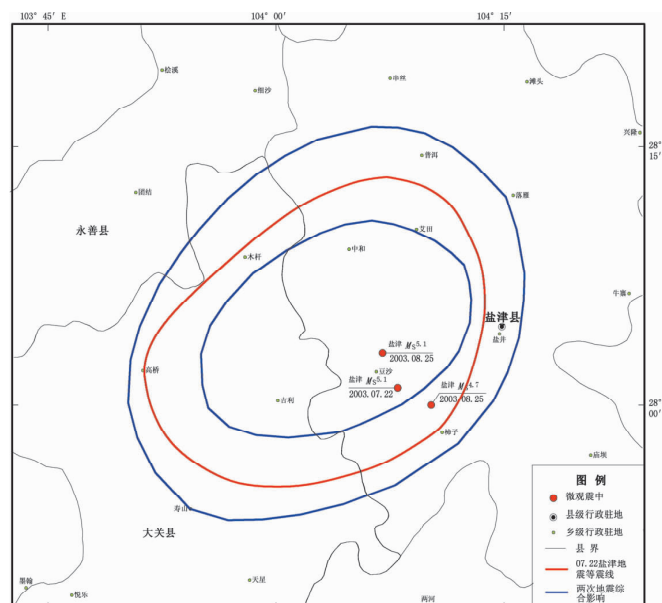


图5 2006年7月22日、8月25日两次盐津5.1级地震综合烈度分布图

Fig. 5 Distribution of comprehensive density of Yanjin *M*5.1 earthquake on Jul. 22 and Yanjin *M*5.1 earthquake on Aug. 25, 2006

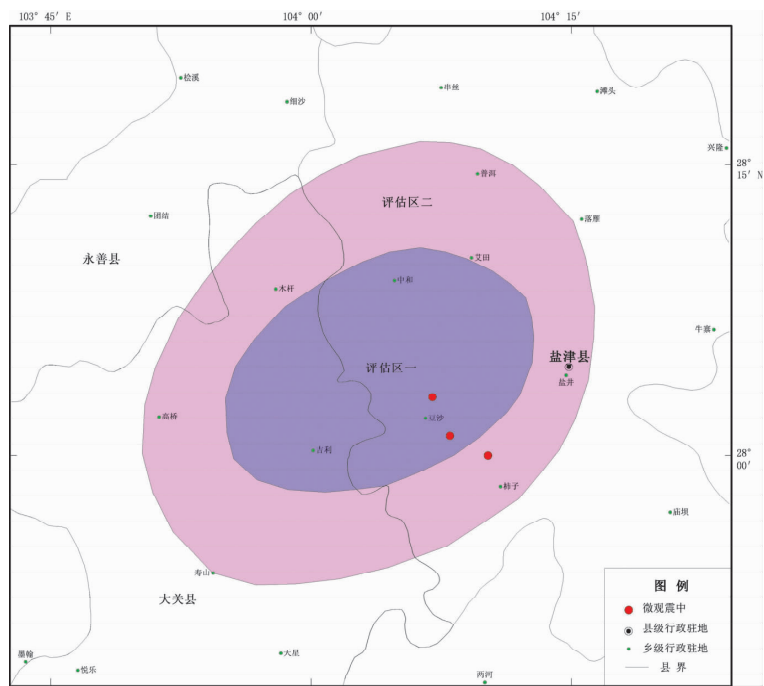


图6 2006年8月25日盐津5.1级地震评估区划分图

Fig. 6 Map of division of assessment area of Yanjin  $M5.1$  earthquake on Aug. 25, 2006

1.4 2011年腾冲两次地震

(1) 基本情况

2011年6月20日, 云南省腾冲县发生5.2级地震, 震源深度10 km; 8月9日, 腾冲县再次

发生5.2级地震, 震源深度11 km, 两次地震发震时间相隔50 d, 续发地震震中向东南偏移2.5 km。

(2) 烈度分布图

图7中黑色圈为6月20日5.2级地震烈度圈,

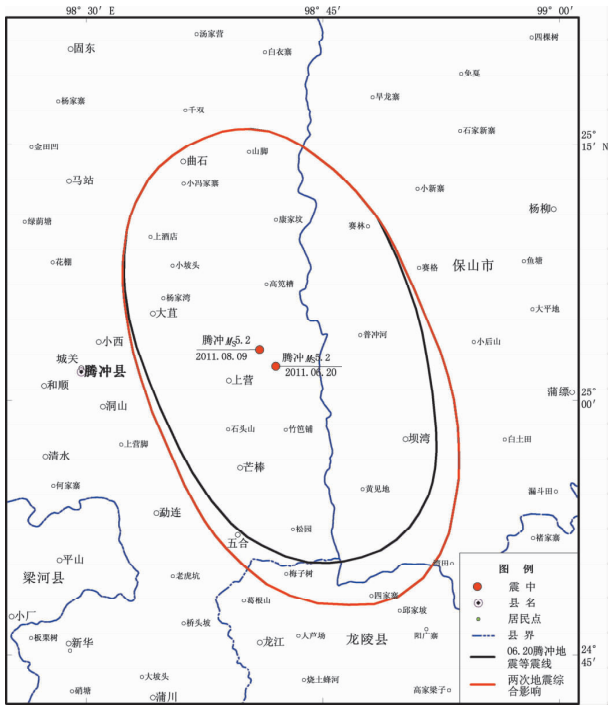


图7 2011年6月20日、8月9日腾冲5.2级地震综合烈度分布图

Fig. 7 Map of division of assessment area of Tengchong  $M5.2$  earthquake on Jun. 20, 2011 and Tengchong  $M5.2$  earthquake on Aug. 9, 2011





图9 破坏等级饱和现象

- (a-1) 2003 年 11 月 15 日鲁甸 5.1 级地震某清真寺; (a-2) 2003 年 11 月 26 日鲁甸 5.0 级地震某清真寺;  
 (b-1) 2003 年 11 月 15 日鲁甸 5.1 级地震文屏小学; (b-2) 2003 年 11 月 26 日鲁甸 5.0 级地震文屏小学;  
 (c-1) 2011 年 6 月 20 日腾冲 5.2 级地震某民房; (c-2) 2014 年 8 月 9 日腾冲 5.2 级地震某民房

Fig. 9 Phenomenon of damage level saturation

- (a-1) the mosque in Ludian  $M5.1$  earthquake on Nov. 15, 2003; (a-2) the mosque in Ludian  $M5.0$  earthquake on Nov. 26, 2003; (b-1) the Wenping Primary School in Ludian  $M5.1$  earthquake on Nov. 15, 2003; (b-2) the Wenping Primary School in Ludian  $M5.0$  earthquake on Nov. 26, 2003; (c-1) the house in Tengchong  $M5.2$  earthquake on Jun. 20, 2011; (c-2) the house in Tengchong  $M5.2$  earthquake on Aug. 20, 2014

其经济损失在续发地震后没有增加。

笔者将此现象称之为破坏等级饱和, 并认为正是由于这一现象, 续发地震经济损失要低于前发地震经济损失。破坏等级饱和现象是在续发地震且烈度影响基本一致的情况下出现的, 但续发地震可以是多次, 因此, 这些建筑一定也会遵循“疲劳”破坏超过阈值而突破“饱和”。

### 3 讨论与总结

(1) 云南省的地震灾评工作中, 评估区的划分基本与烈度分布挂钩, 即按烈度划分评估区。上述 4 组评估实例中, 仅大姚组地震确定了前发地震与续发地震烈度分布, 其它 3 组地震因新老震害

难以严格区分,续发地震后仅给出了综合烈度影响。评估经济损失时,仅大姚组地震采用了扣除前发地震破坏比的方法进行评估,其它3组地震都采用总损失减前发地震损失的方法来评估续发地震经济损失。笔者认为先计算两次地震综合影响下的房屋建筑总损失,再扣除前发地震损失即得到续发地震的房屋建筑经济损失这一方法更易操作。而对于前发地震与续发地震灾害不重叠区域即新增灾区,笔者认为若新增灾区面积较小可不用单独划分评估区。

(2) 从表1中给出的4组续发地震经济损失评估结果来看,续发地震经济损失占前发地震经济损失的50%~80%,当续发地震震级不超过前发地震震级时,其经济损失一般不超过前发地震经济损失。当烈度值不发生变化时,续发地震经济损失仅占前发地震经济损失的50%左右。

(3) 基于对破坏等级饱和现象的认识,部分房屋建筑虽然续发地震中破坏等级未发生改变,但实际破坏状态可能有所加剧,其修复费用也会相应增加。笔者认为续发地震损失评估时,可以

在前发地震评估的基础上,在规范给定的损失比取值范围内,适当提高损失比取值,以客观反映“破坏加剧、修复费用增加”这一实际情况。如云南省灾评工作损失比一般取各破坏等级的中值(周光全等,2011),在续发地震时可取高值。

#### 参考文献:

- 非明伦,付正兴,谢英情,等. 2004. 云南鲁甸 5.1、5.0 级地震震害分析[J]. 防灾减灾工程学报,24(4):432-440.
- 非明伦,周光全,谢英情,等. 2006. 盐津 5.1 级地震现场调查与烈度分布[J]. 地震研究,29(4):411-417.
- 宋立军,张勇,伊力亚尔·阿不利孜,等. 1998. 续发性地震震害损失评估方法探讨[J]. 内陆地震,12(3):268-273.
- 云南省地震灾害损失评定委员会,云南省地震局. 2012. (1992~2010)云南地震灾害损失评估及研究[M]. 昆明:云南科技出版社.
- 周光全,非明伦,毛燕,等. 2011. 云南地震灾害损失评估及研究[M]. 昆明:云南科技出版社.
- GB/T 18207.1—2008,防震减灾术语第1部分:基本术语[S].
- GB/T 18208.4—2011,地震现场工作第4部分:灾害直接损失评估[S].
- GBT 24335—2009,建(构)筑物地震破坏等级划分[S].

## Discuss on Relative Problem of Economic Loss Assessment of Consequent earthquake from Several Groups of Swarm-type Earthquake in Yunnan

LU Yong-kun, DAI Bo-yang, ZHOU Guang-quan, FEI Ming-lun, HE Jia-ji  
(Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China)

#### Abstract

After reviewing the basic situation, assessment method, and the corresponding result of economic loss assessment caused by consequent earthquake from several groups of swarm-type earthquake, we proposed some understanding about the assessment method and its result of economic loss assessment of consequent earthquake: (1) Using the method of “deducting the total loss” to assess the economic loss of consequent earthquake is easier. (2) When the magnitudes of the two earthquakes from the swarm-type earthquake are close, the economic loss of the consequent earthquake is smaller than that of the first earthquake. (3) When we assess the economic loss of the consequent earthquake, we could appropriately raise the loss ratio in the range of loss ratio reasonable specified by the standard, which could reflect “damage gradation saturation” of some buildings and induce the increasing of real economic loss.

**Key words:** consequent earthquake; economic loss assessment; damage gradation saturation