

# 云南地区中强地震经济损失快速预评估方法研究<sup>\*</sup>

和仕芳, 张方浩, 余庆坤, 吕佳丽, 邓树荣, 杜浩国, 曹彦波

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

**摘要:** 以1992—2016年云南地区破坏性地震经济损失为样本数据, 分析云南地区中强地震人均经济损失特征, 并对云南各州(市)进行分区, 再通过多元线性回归分析, 提出了一个以震级、极震区烈度、人均GDP、人均财政收入、农民人均纯收入为评估指标的地震人均经济损失快速预评估方法。最后使用评估模型对2010—2016年 $M \geq 5.0$ 地震进行了验证分析, 发现地震经济损失快速预评估值与实际值较为接近, 其评估结果满足震后应急黑箱期的地震灾害损失快速评估需求。

**关键词:** 地震经济损失; 中强地震; 快速评估; 云南

**中图分类号:** P315.941

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2018)04-0622-08

## 0 引言

云南省地处印度板块和欧亚板块中国大陆碰撞带东缘, 构造运动剧烈, 地震活动显著, 地震灾害频发(皇甫岗等, 2010)。破坏性地震发生后, 快速地给出地震灾害经济损失预评估结果是政府部门第一时间把握地震灾害程度并启动不同级别应急响应的主要依据。随着经济的发展和公众安全需求, 各级政府高度重视突发事件的应对和处置工作, 对地震灾害损失评估工作提出了更高的要求(周光全等, 2010), 需要在震后2 h(信息黑箱期)内, 做出较为准确的预评估。目前我国对地震直接经济损失评估方法的研究已经日趋成熟, 使用的评估方法众多, 主要包括: 易损性分类清单法(尹之潜等, 1990, 1991, 1996)、基于现场调查统计抽样法(GB/T 18208.4—2011)、遥感图像识别法(王晓青等, 2008; 赵福军等, 2010; 王龙, 2007)、经济模型法(陈棋福, 陈凌, 1997; 刘吉夫等, 2008; 王晓青等, 2009; 刘双庆等, 2010; 杨斌, 马朝晖, 2013)、基于神经网络评估法(郭章林等, 2004; 马亚杰等, 2007; 宗学军等, 2016)、基于GIS分析评估方法(王晓青, 丁香, 2004;

张丽军等, 2009; 周光海等, 2013)、地震灾害损失相关参数统计法(黄敏等, 2011)等。在云南, 现行的地震灾害损失快速评估主要是根据震害矩阵、重置单价、各类建筑物面积以及基础数据库快速统计、计算出来的(周光全等, 2010; 李西等, 2012; 曹彦波等, 2015; 张方浩等, 2018), 评估时需要详细的建筑物资料。随着经济的发展, 地区工程设施、建筑物、室内财产等承灾体的地震易损性、房屋重置单价都在发生变化, 对地震载体数据库质量要求高, 云南很多偏远山区存在基础数据库更新缓慢、缺乏详细资料的问题, 会影响评估结果的时效性和准确性。

笔者根据1992—2016年云南地区中强地震资料, 统计分析人均经济损失时空特征, 人均经济损失与震级、极震区烈度之间的关系, 选取震级、烈度、人均GDP、人均财政收入、农民人均纯收入作为评估指标, 考虑价格变动影响因素, 使用人均GDP增长率将历史地震经济损失值统一换算到2015年的可比价格, 再利用多元线性回归方法, 分区建立云南地区中强地震人均经济损失快速评估模型, 震后可根据地震三要素以及地区宏观经济指标, 结合云南地区地震烈度评估模型(张方浩等, 2016), 快速预估地震经济损失。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2017-08-29.

**基金项目:** 中国地震局震灾应急救援司专题课题“地震应急公共服务平台研究”和地震应急青年重点任务(CEA-EDEM-201507)共同资助.

1 数据源及预处理

1.1 数据来源

本文所说的云南地区中强地震是指宏观震中位于云南省境内，且造成经济损失的破坏性地震。云南地区地震灾害损失评估工作自1992年4月23日中缅交界6.7，6.9级地震开始，此后对发生的绝大部分破坏性地震都进行了灾害评估，并编写相应的灾评报告（周光全等，2011；卢永坤等，2011）。考虑续发地震（强余震或双震）具有震害叠加效应，与单次地震没有可比性，本文只对单次破坏性地震做研究，共收集了1992—2016年云南省内发生的56次地震资料，如表1所示。其中历史震害资料主要来源于《1992—2010年云南地震灾害损失评估及研究》（皇甫岗等，2012）和云南省地震局灾害损失报

告（1992—2016），社会经济数据来源于1991—2016年云南省统计年鉴。

1.2 数据预处理

每次地震造成的经济损失都以当年的物价水平进行统计，但由于各年物价水平不同，不能准确反映不同年份地震人均经济损失之间的关系。因此只有消除随经济发展货币单位实际价值的变化所带来的差异，才能够真正反映可比价损失情况。以1992—2016年云南地区56次地震作为统计样本，由于发震时间跨度大，应考虑经济、人口增长和物价指数变化等因素对地震人均经济损失的影响。人均GDP增长率则衡量一个地区经济发展速度的宏观经济指标，也是一个地区过去与今日经济发展水平纵向比较的重要参照指标。因此采用1992—2015年县级人均GDP增长率将各年的损失统一换算为2015年可比价格，以2015年可比价格对地震人均经济损失做相关统计分析。

表1 1992—2016年云南地区中强地震经济损失统计

Tab. 1 Economic losses caused by medium - strong earthquakes in Yunnan from 1992 to 2016

| 序号 | 宏观震中 | 发震日期       | $M_s$ | 极震区<br>烈度 | 人均经济<br>损失/<br>元 | 换算为2015年可<br>比价格的人均<br>经济损失/元 | 2015年人均<br>GDP/<br>元 | 2015年人均<br>财政收入/<br>元 | 2015年农民<br>人均纯收入/<br>元 |
|----|------|------------|-------|-----------|------------------|-------------------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| 1  | 宁洱   | 1993-01-27 | 6.3   | Ⅷ         | 874              | 13 927                        | 22 219               | 1 668                 | 8 125                  |
| 2  | 大姚   | 1993-02-01 | 5.3   | Ⅵ         | 108              | 1 954                         | 20 671               | 1 515                 | 7 960                  |
| 3  | 中甸   | 1993-07-17 | 5.6   | Ⅵ         | 420              | 23 345                        | 56 311               | 3 122                 | 6 557                  |
| 4  | 姚安   | 1993-08-14 | 5.6   | Ⅶ         | 209              | 3 033                         | 17 861               | 1 186                 | 8 175                  |
| 5  | 景谷   | 1994-09-19 | 5.2   | Ⅵ         | 700              | 13 587                        | 29 339               | 1 689                 | 8 348                  |
| 6  | 沧源   | 1995-02-18 | 5.1   | Ⅵ         | 424              | 5 542                         | 18 288               | 1 198                 | 7 899                  |
| 7  | 金平   | 1995-04-25 | 5.6   | Ⅶ         | 1 122            | 17 502                        | 11 414               | 676                   | 6 444                  |
| 8  | 武定   | 1995-10-24 | 6.5   | Ⅸ         | 786              | 10 692                        | 19 957               | 1 795                 | 7 592                  |
| 9  | 丽江   | 1996-02-03 | 7.0   | Ⅸ         | 2 836            | 24 078                        | 22 670               | 3 739                 | 7 924                  |
| 10 | 丽江   | 1996-07-02 | 5.2   | Ⅵ         | 939              | 7 976                         | 22 670               | 3 739                 | 7 924                  |
| 11 | 丽江   | 1996-09-25 | 5.7   | Ⅶ         | 781              | 6 628                         | 22 670               | 3 739                 | 7 924                  |
| 12 | 景洪   | 1997-01-25 | 5.1   | Ⅵ         | 726              | 4 316                         | 33 255               | 2 275                 | 11 409                 |
| 13 | 景洪   | 1997-01-30 | 5.5   | Ⅶ         | 1 421            | 8 445                         | 33 255               | 2 275                 | 11 409                 |
| 14 | 丽江   | 1997-10-23 | 5.3   | Ⅵ         | 723              | 5 378                         | 22 670               | 3 739                 | 7 924                  |
| 15 | 宁蒗   | 1998-11-19 | 6.2   | Ⅷ         | 3 450            | 29 832                        | 11 570               | 673                   | 5 498                  |
| 16 | 宣威   | 1998-12-01 | 5.1   | Ⅶ         | 231              | 1 867                         | 16 665               | 840                   | 9 193                  |
| 17 | 澄江   | 1999-11-25 | 5.2   | Ⅵ         | 1 311            | 10 948                        | 40 454               | 3 330                 | 11 606                 |
| 18 | 丘北   | 2000-01-27 | 5.5   | Ⅶ         | 381              | 3 695                         | 13 174               | 819                   | 7 874                  |
| 19 | 武定   | 2000-08-21 | 5.1   | Ⅵ         | 1 056            | 8 478                         | 19 957               | 1 795                 | 7 592                  |
| 20 | 澜沧   | 2001-03-12 | 5.0   | Ⅵ         | 1 227            | 10 389                        | 11 340               | 978                   | 7 335                  |
| 21 | 施甸   | 2001-06-08 | 5.3   | Ⅵ         | 345              | 2 184                         | 16 015               | 1 419                 | 7 807                  |
| 22 | 楚雄市  | 2001-07-10 | 5.3   | Ⅵ         | 283              | 1 667                         | 50 100               | 3351                  | 8 956                  |
| 23 | 江川   | 2001-07-15 | 5.1   | Ⅵ         | 611              | 3 069                         | 25 371               | 1 890                 | 10 214                 |

续表 1

| 序号 | 宏观震中  | 发震日期       | $M_s$ | 极震区<br>烈度 | 人均经济<br>损失/<br>元 | 换算为 2015 年可<br>比价格的人均<br>经济损失/元 | 2015 年人均<br>GDP/<br>元 | 2015 年人均<br>财政收入/<br>元 | 2015 年农民<br>人均纯收入/<br>元 |
|----|-------|------------|-------|-----------|------------------|---------------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|
| 24 | 景谷    | 2001-09-04 | 5.0   | Ⅵ         | 750              | 6 817                           | 29 339                | 1 689                  | 8 348                   |
| 25 | 永胜    | 2001-10-27 | 6.0   | Ⅶ         | 1 190            | 8 644                           | 16 814                | 949                    | 8 133                   |
| 26 | 大姚    | 2003-07-21 | 6.2   | Ⅷ         | 1 833            | 9 807                           | 20 671                | 1 515                  | 7 960                   |
| 27 | 大姚    | 2003-10-16 | 6.1   | Ⅷ         | 1 468            | 7 854                           | 20 671                | 1 515                  | 7 960                   |
| 28 | 鲁甸    | 2003-11-15 | 5.1   | Ⅶ         | 811              | 5 636                           | 11 690                | 644                    | 7 303                   |
| 29 | 鲁甸    | 2003-11-26 | 5.0   | Ⅶ         | 377              | 2 620                           | 11 690                | 644                    | 7 303                   |
| 30 | 鲁甸    | 2004-08-10 | 5.6   | Ⅷ         | 1 020            | 5 963                           | 11 690                | 644                    | 7 303                   |
| 31 | 保山隆阳区 | 2004-10-19 | 5.0   | Ⅵ         | 545              | 2 537                           | 21 865                | 1 597                  | 9 289                   |
| 32 | 双柏    | 2004-12-26 | 5.0   | Ⅵ         | 1 140            | 6 143                           | 18 291                | 1 565                  | 7 580                   |
| 33 | 思茅翠云区 | 2005-01-26 | 5.0   | Ⅵ         | 1 320            | 5 910                           | 38 469                | 2 416                  | 8 573                   |
| 34 | 会泽    | 2005-08-05 | 5.3   | Ⅵ         | 525              | 1 748                           | 17 437                | 1 155                  | 7 828                   |
| 35 | 文山    | 2005-08-13 | 5.3   | Ⅵ         | 722              | 2 763                           | 38 188                | 3 466                  | 8 484                   |
| 36 | 墨江    | 2006-01-12 | 5.0   | Ⅵ         | 1 835            | 7 470                           | 13 666                | 1 049                  | 7 780                   |
| 37 | 盐津    | 2006-07-22 | 5.1   | Ⅵ         | 1 581            | 4 794                           | 9 983                 | 396                    | 7 351                   |
| 38 | 宁洱    | 2007-06-03 | 6.4   | Ⅷ         | 4 710            | 13 363                          | 22 219                | 1 668                  | 8 125                   |
| 39 | 盈江    | 2008-03-21 | 5.0   | Ⅵ         | 970              | 2 784                           | 23 877                | 1 391                  | 8 151                   |
| 40 | 瑞丽    | 2008-12-26 | 4.9   | Ⅵ         | 1 641            | 4 728                           | 38 628                | 3 656                  | 8 706                   |
| 41 | 姚安    | 2009-07-09 | 6.0   | Ⅷ         | 2 679            | 5 762                           | 17 861                | 1 186                  | 8 175                   |
| 42 | 宾川    | 2009-11-02 | 5.0   | Ⅵ         | 2 215            | 4 561                           | 24 403                | 1 058                  | 11 615                  |
| 43 | 禄丰    | 2010-02-25 | 5.1   | Ⅵ         | 2 153            | 2 985                           | 26 890                | 1 869                  | 9 158                   |
| 44 | 腾冲    | 2011-06-20 | 5.2   | Ⅵ         | 1 711            | 2 792                           | 22 049                | 2 408                  | 8 323                   |
| 45 | 腾冲    | 2011-08-09 | 5.2   | Ⅵ         | 812              | 1 325                           | 22 049                | 2 408                  | 8 323                   |
| 46 | 盈江    | 2011-01-02 | 4.8   | Ⅵ         | 749              | 1 115                           | 23 877                | 1 391                  | 8 151                   |
| 47 | 盈江    | 2011-03-10 | 5.8   | Ⅷ         | 6 747            | 10 044                          | 23 877                | 1 391                  | 8 151                   |
| 48 | 洱源    | 2013-03-03 | 5.5   | Ⅶ         | 5 000            | 6 089                           | 19 680                | 1 126                  | 8 157                   |
| 49 | 洱源    | 2013-04-17 | 5.0   | Ⅶ         | 1 247            | 1 518                           | 19 680                | 1 126                  | 8 157                   |
| 50 | 永善    | 2014-04-05 | 5.3   | Ⅵ         | 3 315            | 3 514                           | 17 429                | 1 086                  | 7 121                   |
| 51 | 鲁甸    | 2014-08-03 | 6.5   | Ⅸ         | 13 095           | 13 943                          | 11 690                | 644                    | 7 303                   |
| 52 | 永善    | 2014-08-17 | 5.0   | Ⅵ         | 2 654            | 2 813                           | 17 429                | 1 086                  | 7 121                   |
| 53 | 景谷    | 2014-10-07 | 6.6   | Ⅷ         | 8 878            | 9 358                           | 29 339                | 1 689                  | 8 348                   |
| 54 | 沧源    | 2015-03-01 | 5.5   | Ⅶ         | 5 553            | 5 553                           | 18 288                | 1 198                  | 7 899                   |
| 55 | 昌宁    | 2015-10-30 | 5.1   | Ⅵ         | 4 263            | 4 263                           | 23 768                | 1 334                  | 7 947                   |
| 56 | 云龙    | 2016-05-18 | 5.0   | Ⅵ         | 3 920            | 3 920                           | 21 805                | 1 521                  | 7 563                   |

注：经济损失均指直接经济损失；2016 年地震人均经济损失为当年价格。

2 人均经济损失时空特征分析

2.1 时间特征分析

从表 1 可看出，近期发生的地震人均经济损失明显高于早期。例如 1993 年 1 月 27 日宁洱 6.3 级地震人均经济损失为 874 元，2007 年 6 月 3 日宁洱 6.4 级地震人均经济损失为 4 710 元，

同地区、震级相当、极震区烈度均为Ⅷ度的 2 次地震，2007 年地震造成的人均经济损失大约是 1993 年的 5 倍。为了排除震级因素的干扰，选取了 1992—2016 年云南地区 5.0 级地震，分析相同震级的地震的不同发震年份对地震人均经济损失的影响（图 1）。根据图 1 可得，随着云南社会经济的发展、社会财富的积累，地震人均经济损失随年份呈增长趋势。

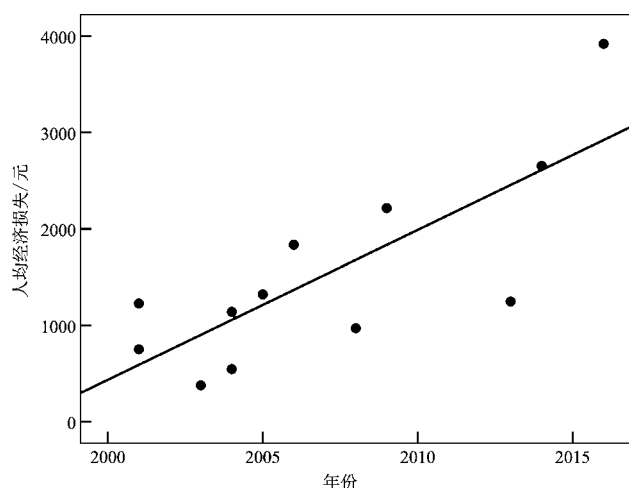


图1 1992—2016年云南地区5.0级地震  
发震年份与人均经济损失关系图

Fig. 1 The relationship between per capita economic losses and occurrence time of  $M5.0$  earthquakes in Yunnan from 1992 to 2016

## 2.2 空间特征分析

对1992—2016年云南地区中强地震人均经济损失值（2015年可比价格）进行分级，如图2所示。1992—2016年云南地区中强地震人均经济损失

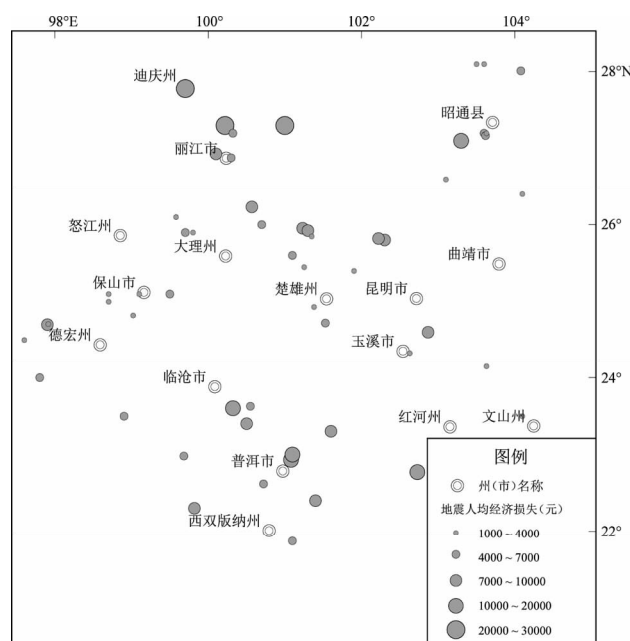


图2 1992—2016年云南地区中强地震人均经济损失空间分布示意图

Fig. 2 Spatial distribution of the per capita economic losses caused by medium - strong earthquakes in Yunnan from 1992 to 2016

具有明显区域差异性，在滇西北香格里拉—丽江地区、滇东北昭通地区、滇西南普洱地区的地震人均经济损失较为严重。例如香格里拉人口密度小、人均房屋建筑面积较高、房屋建筑单方造价高、容易诱发地震地质灾害等因素导致地震人均经济损失偏高。

排除地震破坏强度因素的干扰，选取1992—2016年极震区烈度为VI的震例，以2015年可比价格，统计各州（市）地震人均经济损失均值和GDP总值、人口密度（图3）。地震人均经济损失平均值最高的是迪庆州，均值为23 345元，普洱市、玉溪市、丽江市、临沧市次之，分别为8 834，7 009，6 677，5 542元，最少的是保山市和曲靖市，分别为2 620元和1 748元，昆明市、怒江州和红河州无损失。其中，迪庆州、普洱市、丽江市、临沧市的人口密度低，属于云南边远地区，经济欠发达，地震人均经济损失偏高；大理州和楚雄州人口密度较高，经济较发达，地震人均经济损失较高；德宏州、保山市和文山市的人口密度较高，经济欠发达，地震人均经济损失偏低；昭通市是除昆明市以外人口密度最高的，地震人均经济损失偏低。由此可见，不平衡的经济发展水平和人口分布是各州（市）地震人均经济损失均值存在明显差异的重要影响因素。

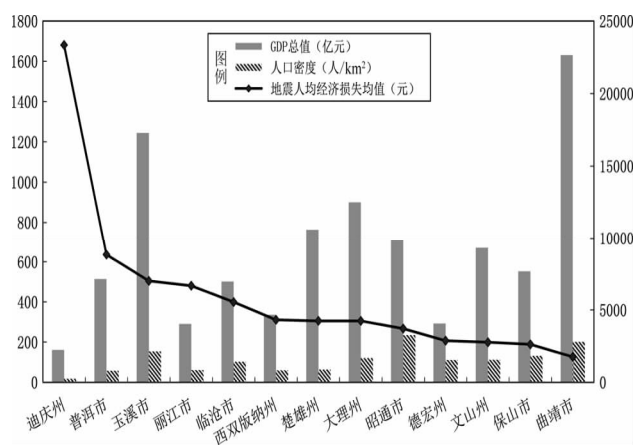


图3 1992—2016年云南各州（市）极震区  
烈度为VI度的地震人均经济损失均值、  
GDP总值及人口密度统计图

Fig. 3 Statistics of mean value of per capita economic losses, GDP value and population density of meizoseismal area with VI intensity in prefectures/cities in Yunnan from 1992 to 2016

3 评估关键指标分析

3.1 地震人均经济损失与震级的关系

采用 2015 年可比价格,按照 0.2 级分档,统计不同震级档人均经济损失最小值、最大值、平均值(表 2),并通过最小二乘拟合法进行回归得到地震:

$$\ln Y = 0.7915M + 4.44 \quad (R^2 = 0.774) \quad (1)$$

式中:  $Y$  是地震人均经济损失;  $M$  是地震震级;  $R^2$  是决定系数。根据图 4,可得云南地区地震人均经济损失与震级总体呈线性增长关系,5.8 级以上地震的样本较少,其地震人均经济损失的离散度较大。

表 2 1992—2016 年云南地区中强地震不同震级  
人均经济损失统计表 (以 2015 年可比价格计)

Tab. 2 Per capita economic losses in different magnitudes of  
medium - strong earthquakes in Yunnan from 1992 to 2016  
(calculated at constant price in 2015)

| 震级分级      | 地震<br>次数 | 地震人均经济损失/元 |        |        |
|-----------|----------|------------|--------|--------|
|           |          | 最大值        | 最小值    | 平均值    |
| 4.8 ~ 4.9 | 2        | 4 728      | 1 115  | 2 921  |
| 5.0 ~ 5.1 | 21       | 10 389     | 1 518  | 4 687  |
| 5.2 ~ 5.3 | 12       | 13 587     | 1 325  | 4 653  |
| 5.4 ~ 5.5 | 4        | 8 445      | 3 695  | 5 945  |
| 5.6 ~ 5.7 | 5        | 23 345     | 3 033  | 11 294 |
| 5.8 ~ 5.9 | 1        | 10 044     | 10 044 | 10 044 |
| 6.0 ~ 6.1 | 3        | 8 644      | 5 762  | 7 420  |
| 6.2 ~ 6.3 | 3        | 29 832     | 9 807  | 17 855 |
| 6.4 ~ 6.5 | 3        | 13 943     | 10 692 | 12 666 |
| 6.6 ~ 6.7 | 1        | 9 358      | 9 358  | 9 358  |
| 7.0 ~ 7.1 | 1        | 24 078     | 24 078 | 24 078 |

3.2 地震人均经济损失与震中烈度关系

以 2015 年可比价格,计算不同极震区烈度的地震人均经济损失均值(表 3),并通过最小二乘拟合法进行回归,得到:

$$\ln Y = 0.4004I + 6.083 \quad (R^2 = 0.934) \quad (2)$$

式中:  $Y$  是地震人均经济损失;  $I$  是地震极震区烈度;  $R^2$  是决定系数。根据图 5,可得云南地区地震人均经济损失与震中烈度总体呈线性增长关系。

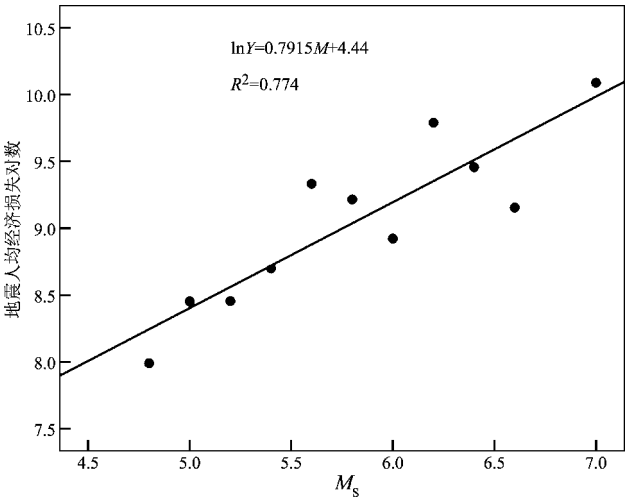


图 4 云南地区地震人均经济损失与震级关系图  
Fig. 4 Relation between per capita economic losses  
and the earthquake magnitude in Yunnan

表 3 1992—2016 年云南地区中强地震不同极震区烈度  
地震人均经济损失统计表 (以 2015 年可比价格计)

Tab. 3 Per capita economic losses and corresponding mezo-seismal  
intensity of medium-strong earthquake in Yunnan from 1992  
to 2016 (calculated at constant price in 2015)

| 极震区烈度 | 地震<br>次数 | 地震人均经济损失/元 |        |        |
|-------|----------|------------|--------|--------|
|       |          | 最大值        | 最小值    | 平均值    |
| VI    | 32       | 23 345     | 1 115  | 5 369  |
| VII   | 12       | 17 502     | 1 518  | 5 936  |
| VIII  | 9        | 29 832     | 5 762  | 11 768 |
| IX    | 3        | 24 078     | 10 692 | 16 238 |

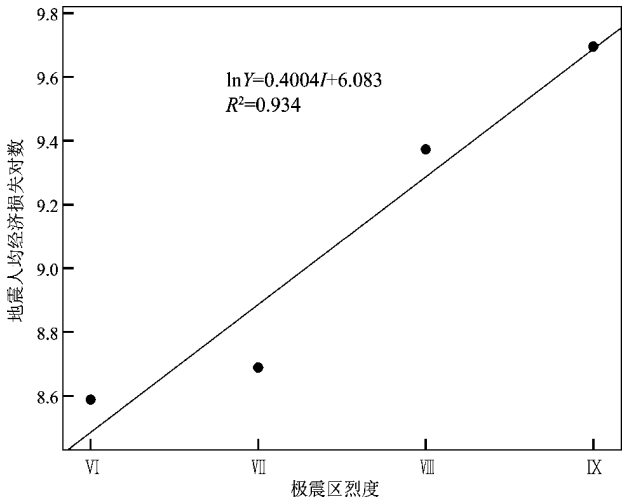


图 5 云南地区地震人均经济损失与极震区烈度关系图  
Fig. 5 Relationship between per capita economic losses  
and the mezo-seismal intensity in Yunnan

4 地震人均经济损失快速预评估方法研究

4.1 评估指标选取

综上所述，地震灾害人均经济损失值受发震时间、震级、极震区烈度、区域人口密度、社会经济发展水平等因素影响。利用人均 GDP 增长率将人均经济损失换算为可比价格，消除了不同发震导致的人均经济损失值差异。地区人均 GDP、人均财政收入、农民人均纯收入是衡量地区个人财富的重要指标，不仅可以反映当地的社会经济发展水平，还可以从侧面反映建筑物抗震水平，并且都是以单位人口进行描述，包含了人口密度信息。因此选取震级、极震区烈度、人均 GDP、人均财政收入、农民人均纯收入等震后容易获得的参数作为地震人均经济损失快速评估指标。

4.2 评估模型

由于云南省各地的自然环境千差万别，社会经济发展水平参差不齐，地震造成的经济损失具有显著的区域差异性。所以，为了提高评估的准确性，根据各州（市）人口密度、GDP 总值和灾害损失特征，把云南地区分为 6 个子区域，利用 1992—2016 年 56 次震例样本，使用震级、极震区烈度和 2015 年宏观震中所在县的人均 GDP、人均财政收入、农民人均财政收入作为自变量，以地震人均经济损失作为因变量，通过多元线性回归建立各区域的地震人均经济损失评估模型：

$$\ln Y = a \times M + b \times I + c \times \ln X_1 + d \times \ln X_2 + e \times \ln X_3 + f$$

(3)

式中： $Y$  是地震人均经济损失； $M$  是震级； $I$  是地震极震区烈度； $X_1$  是地区人均 GDP； $X_2$  是人均财政收入； $X_3$  是农民人均纯收入； $a, b, c, d, e$  是系数； $f$  是常数，取值如表 4。

表 4 云南地区地震人均经济损失评估模型的计算参数

Tab. 4 Parameters of the pre-assessment model of per capita economic losses caused by medium – strong earthquakes in Yunnan

| 分区 | 州（市）                | 样本数 | $a$    | $b$    | $c$    | $d$    | $e$    | $f$      | $R^2$ |
|----|---------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|----------|-------|
| 1  | 迪庆州、丽江市、普洱市、怒江州     | 15  | 0.131  | 0.186  | 0.424  | -0.162 | -2.99  | 31.002   | 0.744 |
| 2  | 曲靖市、玉溪市、红河州、文山州、昆明市 | 7   | 8.071  | -0.413 | 5.786  | -4.204 | 4.109  | -96.086  | 0.603 |
| 3  | 昭通市                 | 7   | 1.353  | -0.333 | 0      | 1.028  | 48.032 | -430.178 | 0.89  |
| 4  | 西双版纳州、楚雄州           | 12  | -0.828 | 0.738  | -3.952 | 3.429  | 2.375  | 0.718    | 0.799 |
| 5  | 保山市、德宏州、大理州、临沧市     | 15  | 2.826  | -0.584 | 3.007  | -1.283 | -0.657 | -17.534  | 0.662 |

4.3 实例验证分析

利用评估模型对 2010—2016 年云南地区  $M \geq 5.0$  地震进行地震经济损失预测评估，结果如表 5 所示，约 70% 的地震经济损失快速预评估值与实际值的偏差在 20% 以内，除个别宏观震中在边境地区或单次地震灾害较为特殊的地震的人均经济损失评估值与实际值偏差较大外，地震经济损失快速预评估值与实际值总体较为接近。例如 2011 年 8 月 9 日腾冲 5.2 级地震，由于同年 6 月 20 日该地区发生 5.2 级地震后，灾区政府针对危房做了排危修复，加上震害饱和现象，该次地震直接经济损失较同等级地震偏低。另外，由于大震的震例样本较少，统计回归模型评估的结果偏差较大。

5 讨论和结论

本文利用 1992—2016 年云南地区发生的 56 次破坏性地震资料，对地震人均经济损失时空特征进行了统计分析，通过分区，建立云南地区中强地震人均经济损失快速评估模型，并使用 2010—2016 年  $M \geq 5.0$  地震，对该模型进行了验证，主要得出以下结论：

（1）地震人均经济损失受震级、极震区烈度、人口密度、地区经济发展水平等因素的影响，其中，地震人均经济损失与震级、极震区烈度呈指数增长关系；随着经济的发展，社会财富的积累，地震人均经济损失随时间呈增长变化。并且，

表 5 实际经济损失与快速预评估经济损失对比 (以 2015 年不变价格计)

Tab. 5 Comparison between the real economic losses and pre-assessed ones (calculated at constant price in 2015)

| 序号 | 发震日期       | 宏观震中 | $M_s$ | 极震区烈度 | 直接经济损失/(万元) |           | 绝对偏差<br>(%) |
|----|------------|------|-------|-------|-------------|-----------|-------------|
|    |            |      |       |       | 实际值         | 快速预估      |             |
| 1  | 2010-02-25 | 禄丰县  | 5.1   | VI    | 49 108      | 54 833    | 11.7        |
| 2  | 2011-06-20 | 腾冲县  | 5.2   | VI    | 45 426      | 40 094    | 11.7        |
| 3  | 2011-08-09 | 腾冲县  | 5.2   | VI    | 24 459      | 45 488    | 86.0        |
| 4  | 2011-03-10 | 盈江县  | 5.8   | VIII  | 354 999     | 384 442   | 8.3         |
| 5  | 2013-03-03 | 洱源县  | 5.5   | VII   | 86 211      | 86 713    | 0.6         |
| 6  | 2013-04-17 | 洱源县  | 5.0   | VII   | 25 423      | 24 965    | 1.8         |
| 7  | 2014-04-05 | 永善县  | 5.3   | VI    | 47 182      | 52 088    | 10.4        |
| 8  | 2014-08-03 | 鲁甸县  | 6.5   | IX    | 2 510 502   | 2 561 619 | 2.0         |
| 9  | 2014-08-17 | 永善县  | 5.0   | VI    | 32 066      | 29 467    | 8.1         |
| 10 | 2014-10-07 | 景谷县  | 6.6   | VIII  | 538 651     | 779 209   | 44.7        |
| 11 | 2015-03-01 | 沧源县  | 5.5   | VII   | 83 760      | 69 883    | 16.6        |
| 12 | 2015-10-30 | 昌宁县  | 5.1   | VI    | 24 200      | 29 065    | 20.1        |
| 13 | 2016-05-18 | 云龙县  | 5.0   | VI    | 13 560      | 8 993     | 33.7        |

由于云南各州(市)的经济发展水平和人口分布不同,地震人均经济损失有明显区域差异性。

(2) 本文提出的基于震级、极震区烈度和易于收集的宏观经济指标的经济损失预评估方法相比传统易损性分类清单法、现场调查法、遥感影像识别法等其他地震直接经济损失评估方法,时效性更强,分区进行评估的结果与实际现场评估值较为接近,在震后缺少详细资料的短时间内具有一定的参考价值,而在后续救灾中则需要更准确的灾情评估报告。

(3) 由于各地区不同的地理环境、房屋抗震性能和各次地震的特殊性导致快速预评估结果与实际值存在一定的偏差。针对云南地震灾害显著的地域差异,更小尺度的典型区域研究以及更精细的本地化模型修正方法研究将有助于改善评估结果的准确性。

#### 参考文献:

- 曹彦波,李兆隆,李永强,等. 2015. 云南地震应急快速评估模型本地化集成研究[J]. 地震研究, 38(1): 148-154.
- 陈棋福,陈凌. 1997. 利用国内生产总值和人口数据进行地震灾害损失预测评估[J]. 地震学报, 19(6): 83-92.
- 郭章林,刘明广,解德才. 2004. 震灾经济损失评估的遗传神经网络模型[J]. 自然灾害学报, 13(6): 92-96.
- 皇甫岗,陈颢,秦嘉政,等. 2010. 云南地震活动性[M]. 昆明: 云南科技出版社, 2-3.
- 皇甫岗,周光全,非明伦,等. 2012. 1992—2010 年云南地震灾害损

- 失评估及研究[M]. 昆明: 云南科技出版社, 121-552.
- 黄敏,王健,王慧彦,等. 2011. 地震损失经济学评估模型灾损参数的统计研究[J]. 自然灾害学报, 20(2): 126-130.
- 李西,郭君,陈坤华,等. 2012. 基于 GIS 的初评估方法在盈江 5.8 级及缅甸 7.2 级地震后的应用[J]. 地震研究, 35(1): 104-109.
- 刘吉夫,陈颢,史培军,等. 2008. 中国大陆地震风险分析模型研究[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 44(5): 520-523.
- 刘双庆,邱虎,王晓青. 2010. 一种基于宏观经济指标的地震灾害快速评估方法及实现[J]. 灾害学, 25(3): 16-19.
- 卢永坤,代博洋,庞卫东,等. 2011. 云南地区房屋建筑面积的统计和调查结果[J]. 地震研究, 34(4): 533-537.
- 马亚杰,李永义,韩秀丽. 2007. 基于人工神经网络的地震经济损失评估[J]. 世界地震工程, 23(1): 146-150.
- 王龙. 2007. 基于遥感影像的地震灾害损失评估方法研究与实现[D]. 北京: 中国地震局地震预测研究所.
- 王晓青,丁香,王龙,等. 2009. 四川汶川 8 级大地震灾害损失快速评估研究[J]. 地震学报, 31(2): 205-211.
- 王晓青,丁香. 2004. 基于 GIS 的地震现场灾害损失评估系统[J]. 自然灾害学报, 13(1): 118-125.
- 王晓青,王龙,王岩,等. 2008. 汶川 8.0 级大地震应急遥感灾害评估研究[J]. 震灾防御技术, 3(3): 251-258.
- 杨斌,马朝晖. 2013. 灾害损失宏观预测模型震后快速评估[J]. 地震地磁观测与研究, 34(S2): 213-216.
- 尹之潜,李树桢,杨淑文,等. 1990. 地震与地震损失评估方法[J]. 地震工程与工程震动, 10(1): 99-107.
- 尹之潜. 1991. 地震灾害损失预测研究[J]. 地震工程与工程震动, 11(4): 87-96.
- 尹之潜. 1996. 结构易损性分类和未来地震灾害估计[J]. 中国地震, 12(1): 49-55.
- 张方浩,邓树荣,杜浩国,等. 2018. 基于熵权法的云南县域历史地震灾害等级评价[J]. 地震研究, 41(2): 319-327.

- 张方浩,蒋飞蕊,李永强,等. 2016. 云南地区地震烈度评估模型研究[J]. 中国地震,32(3):511–521.
- 张丽军,刘亮,潘家伟. 2009. 基于GIS的地震灾害损失快速评估系统开发[J]. 科技创新导报,(25):128–129.
- 赵福军,蔡山,陈曦. 2010. 遥感震害快速评估技术在汶川地震中的应用[J]. 自然灾害学报,19(1):1–7.
- 周光海,洪亮,刘纯. 2013. 基于GIS的地震建筑直接经济损失评估研究[J]. 测绘与空间地理信息,36(10):56–59.
- 周光全,非明伦,毛燕,等. 2011. 云南地震灾害特征及经济损失评估技术研究[M]. 昆明:云南科技出版社,32–33.
- 周光全,卢永坤,非明伦,等. 2010. 地震灾害损失初步评估方法研究[J]. 地震研究,33(2):208–215.
- 宗学军,李强,杨忠君,等. 2016. 基于灰色关联分析与SA–PSO–Elman结合的地震直接经济损失评估[J]. 安全与环境工程,23(2):19–22.
- GB/T 18208.4—2011,地震现场工作第4部分:灾害直接损失评估[S].

## Study of the Rapid Pre-assessment of Economic Losses Caused by Medium – strong Earthquakes in Yunnan Area

HE Shifang, ZHANG Fanghao, YU Qingkun, LYU Jiali, DENG Shurong, DU Haoguo, CAO Yanbo  
(Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, Yunnan, China)

### Abstract

In this paper, we choose the economic losses caused by medium – strong earthquakes in Yunnan from 1992 to 2016 as sample data to analyze the characteristics of the per capita economic losses. According to the population density, the GDP value, and the economic losses in each county and city in Yunnan province, we divide it into six sub-regions. Then, through multiple linear regression analysis, we propose a rapid pre-assessment model of per capita economic losses caused by earthquakes. The model includes parameters like magnitude, intensity of the mezo-seismal area, per capita GDP, per capita revenue, and per capita net income of farmers. Finally, we compute economic losses of the  $M \geq 5.0$  earthquakes since 2010 with our model, and compare the results with the corresponding actual ones. We find they are close to each other. This proves that our model is practical for a rapid pre-assessment of economic losses in the Black-box stage of post – earthquake emergency.

**Keywords:** seismic economic losses; medium-strong earthquake; rapid assessment; Yunnan Province