

基于熵权法的云南县域历史地震灾害等级评价^{*}

张方浩, 邓树荣, 杜浩国, 吕佳丽, 和仕芳

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

摘要: 对1900—2016年云南省167次破坏性地震事件的灾害损失资料进行空间化处理, 选取地震烈度面积、死亡人数、受伤人数、直接经济损失4个灾害损失指标, 采用客观的灾害损失数据, 运用熵权法确定指标的权重系数, 划分5个等级评价云南省各县(区)历史地震灾害程度。结果表明: 地震灾害较重的区域主要分布在滇西北的丽江市、大理州一带, 滇西的德宏州北部地区, 滇西南的普洱市西北部地区, 滇南的玉溪市南部、红河州北部地区, 滇中的楚雄市北部地区以及滇东北的昭通市一带。

关键词: 地震灾害; 灾害等级; 云南县域

中图分类号: P315.9

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2018)02-0319-09

0 引言

云南省地处印度板块与欧亚板块中国大陆的碰撞带东缘, 地震活动频度高、震级大、分布广(皇甫岗, 2009), 4%的国土范围内承受了全国20%以上的地震灾害。根据历史资料记载, 1900—2016年云南全省遭遇Ⅵ度以上破坏的累计面积约为46.6万km², 大约是全省国土面积的1.2倍。全省129个县(区)约90%的地区遭受过Ⅵ度以上破坏, 其中96个县(区)遭受过Ⅶ度破坏, 58个县(区)遭受过Ⅷ度破坏, 26个县(区)遭受过Ⅸ度破坏, 4个县(区)遭受过Ⅹ度破坏。1992年云南正式开始地震灾害损失评定工作以来, 按2016年GDP的可比价格计算累计造成的可比价格的直接经济损失约为1333亿元, 大约相当于2016年云南全省GDP的9%, 云南地区的地震灾害在一定程度上影响着社会经济的发展。云南省国民经济和社会发展规划纲要^①指出全省经济年均增速为8.5%左右, 到2020年国内生产总值和城乡居民人均收入比2010年翻一番, 同时指出云南省面临地震等自然灾害频发的突出问题, 可见随着区域经济的快速发展, 地震灾害对云南社会经济的影响会越来越大。

云南省地震灾害发生频率高、分布地域广、造成损失重, 往往以突发、群发等形式造成许多重大地震灾害事件, 是国内外自然灾害研究者高度关注的地区之一。许多学者已经对云南地区地震灾害做了大量研究: 周光全等(2003)以1992—2001年云南地区破坏性地震的灾害损失评估资料为基础, 分析了地震灾害损失随时间的变化趋势和基本特征; 周光全等(2006)统计了云南省1992—2005年的56次破坏性地震的灾害损失的情况, 分析地震灾害对云南国民经济发展的影响; 李永强(2012)全面阐述了云南地区人员震亡的各种特征, 并给出了多种方法的地震人员伤亡评估数学模型; 刘桂萍等(2015)统计分析20世纪以来云南地区地震生命损失的空间分布特征, 并分析了其区域性差异的自然环境和社会影响因素; 张方浩等(2016)统计分析1900—2014年云南地区地震烈度的特征, 并给出云南省分区分级的地震烈度评估模型。也有学者对云南省局部区域的地震灾害开展相关研究, 白仙富等(2013)通过数理统计和横向对比定量、定性地分析云南昭通地震灾害的区域性特征。以往的大量研究主要是针对云南省地震灾害特征和评估, 而对某一时间段的地震灾害等级划分和评价, 研究较少。

^{*} 收稿日期: 2018-01-02.

基金项目: 地震科技星火计划专项“云南省地震灾害区域特征研究(XH17032)”和中国地震局震灾应急救援司专项课题“地震应急公共服务平台研究”联合资助。

^① 云南省人民政府. 云南省国民经济和社会发展规划纲要(2016—2020年).

本文收集 1900—2016 年破坏性地震事件的烈度分布、人员伤亡和经济损失等资料,借鉴马宗晋和高庆华(2010)提出的“灾度”概念及划分方法,参考尹之潜等(1991)、冯志泽等(1994)和杨仕升(1997)的地震灾害等级评价的方法,基于县域单元对云南省地震灾害区域差异与等级评价进行研究。

1 数据选取与处理

本文采用的数据资料主要来自于《云南省地震资料汇编》(云南省地震局,1988)、《中国震例》、《云南地震人员死亡研究》(李永强,2012)、《云南地震灾害损失评估及研究:1992~2010》(云南省地震灾害损失评定委员会,2012)、云南省地震局历次地震灾害损失评估报告^①。考虑到历史地震资料记录的翔实性和可信度,烈度和地震人员伤亡信息选取了 1900 年以来的所有数据,经济损失选取了 1992 年以来的数据,这是因为自 1900 年以来云南省地震烈度和人员死亡数据一直记录较好,资料可信度较高,而直到 1992 年云南省正式开始地震灾害损失评定工作后才有经济损失的调查和评估。

收集 1900—2016 年云南省 167 次破坏性地震事件的烈度分布、人员伤亡和经济损失等资料,其中 4.5~4.9 级地震 6 个,5.0~5.9 级地震 104 个,6.0~6.9 级地震 45 个,7.0~7.9 级地震 12 个,需要说明的是,经济损失仅有 1992—2016 年 76 次地震数据。在这 167 次地震事件中造成人员伤亡的共计 138 次,其中造成人员死亡的有 98 次。利用 ArcGIS 软件对历史等震线图进行数字化,基于 GIS 平台对历史地震的烈度面积、人员伤亡、经济损失按县域单元进行空间化处理和统计。

2 研究方法

灾害等级划分是根据某一个或多个致灾因子所造成的灾害损失来划分为不同的等级(冯志泽等,1994)。当前国内外尚无关于灾害等级划分统一的划分标准和方法,近年来随着各种学科和理论知识的发展及其交叉应用,很多学者提出了许多评估和划分方法:1988 年马宗晋等提出地震灾

度概念,根据造成的经济损失和人口死亡实况把地震灾害作等级划分并给出五级灾度(马宗晋,高庆华,2010);尹之潜等(1991)以房屋倒塌及严重破坏、经济损失、人员伤亡、恢复期作为划分地震灾害等级的指标,以标志地震对社会经济造成的影响,并将地震灾害按严重程度分为 5 个等级;冯志泽等(1994)用一次地震造成重伤、死亡人数和经济损失 3 个因子计算地震灾害损失的灾害指数,并依据灾害指数将灾害损失划分为 12 级,以此来描述地震灾害的程度;杨仕升(1997)通过对地震时人员死亡、受伤、房屋破坏和直接经济损失 4 个灾害损失指标的函数转换,统一了不同的损失指标判别灾害等级的标准,然后应用灰色聚类方法划分地震灾害等级。

2.1 评价指标的确定

地震灾害是地震对人造成的伤害以及对人类生存的自然环境和社会环境的破坏,而自然环境、社会环境的破坏通常用烈度、经济损失来度量。地震的烈度面积能较好地反映区域自然环境破坏情况,地震直接经济损失不仅反映社会环境破坏和经济损失,也间接地反映房屋破坏面积和震后恢复的难易程度。因此,本文借鉴和参考相关学者关于灾害损失指标选取和地震灾害等级划分的方法,选取地震烈度面积(S_a)、死亡人数(N_d)、受伤人数(N_i)、直接经济损失(L_d)这 4 个灾害损失指标,采用客观的数据和方法确定指标的权重系数,划分为 5 个等级评价云南省 1900—2016 年各县(区)的地震灾害,从而使评价结果能较全面地反映区域历史地震灾害的实际情况。

2.2 评价指标的标准化

以县(区)为评价单元,由于评价指标的量纲不同,为了便于后续计算,需要将评价指标的量值进行标准化处理。本文用极差变换法(李美娟等,2004)对地震灾害评价指标进行标准化处理。一般而言,评价指标可分为正向指标和逆向指标,本文选取的指标没有逆向指标,正向评价指标标准化由式(1)来确定:

$$Y = \frac{X_i - \min(X_i)}{\max(X_i) - \min(X_i)} \quad (1)$$

^① 云南省地震局. 2011—2016 年地震灾害直接经济损失评估报告(云南灾区).

2.3 指标权重计算方法

评价指标的权重大小代表着评价指标对评价结果的影响程度，综合评价中指标权重系数的确定方法常用的有专家经验法和层次分析法等（刘自远，刘成福，2006）。但这 2 种方法受专家主观意愿影响较大，不同专家给出的结果可能大相径庭，不能保证结果的客观性。因此，本文采用熵权法来确定评价指标权重。由于熵权法的信息均来自于客观数据，故能够很好地保证结果的客观性和准确性（方成杰等，2016）。其计算过程如下：

（1）假定有 m 个评价对象，每个对象有 n 个评价指标，用评价指标数据构建标准化矩阵：

$$R = (r_{ij})_{m \times n} \tag{2}$$

（2）各评价指标的熵则为：

$$H_j = - \frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m f_{ij} \ln f_{ij} \tag{3}$$

式中： $f_{ij} = (1 + r_{ij}) / \sum_{i=1}^m (1 + r_{ij}) \tag{4}$

（3）根据各指标的熵计算熵权：

$$w_j = (1 - H_j) / \sum_{j=1}^n (1 - H_j) \tag{5}$$

3 各灾害损失指标分类

3.1 地震烈度面积

将数字化后的烈度数据，结合地震应急基础数据库中的基础地理信息在 GIS 平台下分别计算各县（区）遭受过 VI 度以上破坏的次数和面积，分析云南地区地震灾害频度的分布特征。各县（区）遭遇 VI 度以上破坏的次数如图 1 所示。

烈度是衡量地震的破坏后果和破坏程度的重要指标（郝敏等，2005），上述各县（区）遭遇 VI 度以上破坏的次数，不能充分反映其影响范围和破坏强度。本文进一步统计分析历史地震中各县（区）遭遇各种烈度下的面积，以县区为统计单元，分别计算其在 1900—2016 年遭遇某一烈度破坏的累计面积，云南省各县（区）遭遇 VI 度破坏的累计面积范围为 0 ~ 13 056 km²、VII 度为 0 ~ 4 750 km²、VIII 度为 0 ~ 2 234 km²、IX 度为 0 ~ 829 km²

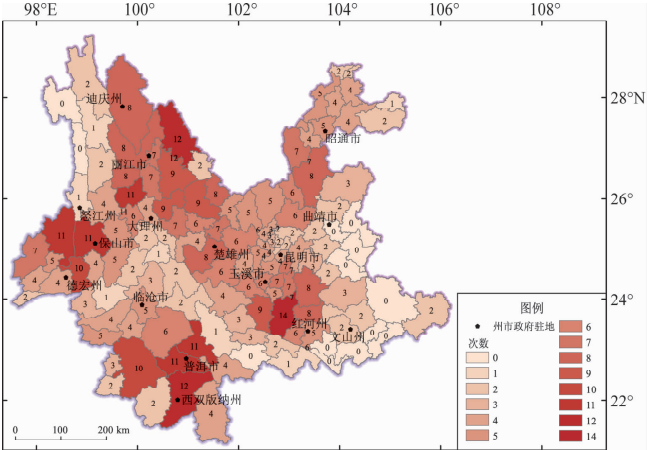


图 1 1900—2016 年云南各县区遭遇 VI 度以上破坏的次数分布

Fig. 1 Amount of over intensity VI earthquakes struck each county/district in Yunnan during the period of 1900—2016

、X 度为 0 ~ 106 km²，可见同一县（区）不同烈度的累计破坏面积的数量差异较大。我们假定历史地震综合烈度面积是某一县（区）在 1900—2016 年遭遇 VI、VII、VIII、IX、X 度的累计破坏面积之和，以历史地震综合烈度面积为单元进行分级评价时，发现不能区分不同烈度破坏之间的差异，需要引入一个能对不同烈度等级进行加权赋值的数字指标，以便对同一县（区）不同烈度破坏面积进行标准化处理。烈度等级是定性描述，不能直接进行数学运算，根据地震动峰值加速度与地震基本烈度对照表中国地震动参数区划图（GB18306—2001）和路鹏（2012）给出的高烈度与地震动峰值加速度对应表，粗略地将地震烈度转换为地震动峰值加速度，同时以地震基本烈度 VI 度值的加速度为本底，分别除 VII、VIII、IX、X 度的加速度，得到各烈度相对 VI 度的倍数，如表 1 所示。

表 1 地震基本烈度与地震动峰值加速度对应表

Tab. 1 Correspondence relations between the basic earthquake intensity and the peak ground acceleration

地震基本烈度值	地震动峰值加速度/g	相对 VI 度倍数
VI	0.05	1
VII	0.1	2
VIII	0.2	4
IX	0.4	8
X	0.8	16

根据表 1, 某一县(区)历史地震综合烈度面积计算式改进为:

$$\text{历史地震综合烈度面积} = \text{VI度累计面积} + \text{VII度累计面积} \times 2 + \text{VIII度累计面积} \times 4 + \text{IX度累计面积} \times 8 + \text{X度累计面积} \times 16 \quad (6)$$

用式(6)分别计算出云南地区 129 个县(区)的历史地震综合烈度面积, 能较好地体现该县域的地震影响程度, 但县域之间没有可比性。为此本文计算各县区历史地震综合烈度面积与国土面积的比例, 其范围为 0~9.39, 数值越高代表区域内遭遇地震灾害累积影响程度越重, 这里的分析数据采用了相对值, 主要考虑了各县(区)国土面积基数之间的差异, 用绝对值会造成大面积地区的灾害总是轻于小面积地区。

自然间距分类方法既能保证类别内部的差异最小, 又能保证类别之间的差异最大, 最大限度地保持了类别的一致性, 是一种较客观的分类方法。采用自然间距分类的方法将历史地震综合烈度面积与国土面积比例按照数值从小到大的顺序依次划分成 [0~0.59]、(0.59~1.74]、(1.74~3.08]、(3.08~4.23]、(4.23~9.39] 共 5 类(本文中“(”表示不包含, “]”表示包含, 下同), 划分结果如图 2 所示。

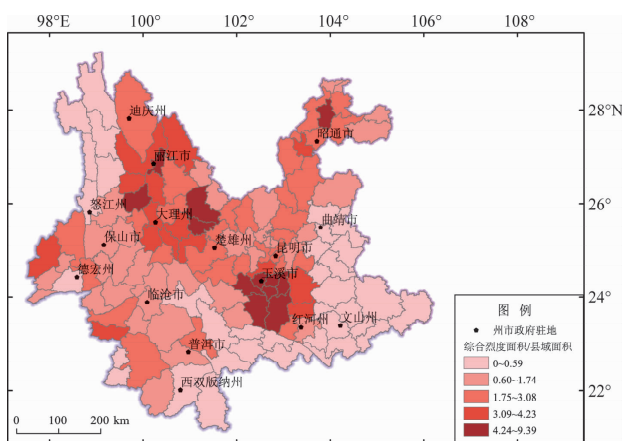


图 2 1900—2016 年云南各县(区)历史地震综合烈度面积与国土面积的比例分布

Fig. 2 Ratio of the accumulated earthquake-stricken area to the total area of each county/district in Yunnan during 1900 and 2016

由图 2 可知, 综合烈度面积与国土面积占比极高的区域是滇西北的丽江市古城区、大理市洱源

县; 滇中楚雄市大姚县、姚安县, 玉溪市通海县、江川区、峨山县、华宁县、红塔区, 红河州建水县、石屏县; 滇东北的昭通市大关县。

3.2 人员伤亡

对收集到的 138 次造成人员伤亡的地震事件, 以县(区)为统计单元, 分别统计各县(区)历史地震累计造成的人员死亡和受伤数量, 分析云南地区地震人员伤亡的分布特征。1900—2016 年云南地区因地震造成人员死亡共计 30 552 人, 人员受伤共计 101 936 人。全省 129 个县(区)有 71 个因地震造成人员死亡, 约占 55%; 有 90 个县(区)因地震造成人员受伤, 约占 70%。为区分是否有人员死亡的差别, 本文将没有造成人员伤亡的划分为一类, 对有人人员伤亡的采取 5 倍等比的划分尺度, 将造成人员受伤数量划分成 0, [1~200], (200~1000], (1000~5000], >5000 共 5 类, 划分结果如图 3a 所示; 将造成人员死亡数量划分成 0, [1~100], (100~500], (500~2500], >2500 共 5 类, 划分结果如图 3b 所示。

由图 3b 可知, 人员死亡极高的区域是滇南的建水县、通海县和峨山县。人员死亡高的区域是滇东北的大关县、永善县、鲁甸县, 滇西北的大理市、弥渡县、巍山县、祥云县, 滇南的澜沧县、石屏县、玉溪市红塔区。根据云南历史地震灾害记载和人口分布资料, 这 13 个人员死亡率高和极高的县(区)均遭遇过 IX 度以上破坏, 其中约 80% 的属于云南人口密集地区。

3.3 直接经济损失

随着社会经济的不断发展, 地区生产总值和物价水平不断增高, 历史地震的直接经济损失不能用当时的经济水平去衡量。为进行科学合理的统计比较, 本文将历史地震的直接经济损失按可比价格进行计算, 即将某一历史地震直接经济损失按地震发生当年至 2016 年当地 GDP 增长率折算, 得到与 2016 年可比价格的直接经济损失数据。对 1992—2016 年有经济损失调查和评估的 76 次地震事件, 以县(区)为统计单元, 分别统计各县(区)历史地震累计造成的可比价格的直接经济损失数量, 分析云南地区地震直接经济损失的分布特征。1992—2016 年, 云南地区因地震造成可比价格的直接经济损失共计 13 334 434 万元, 相当于

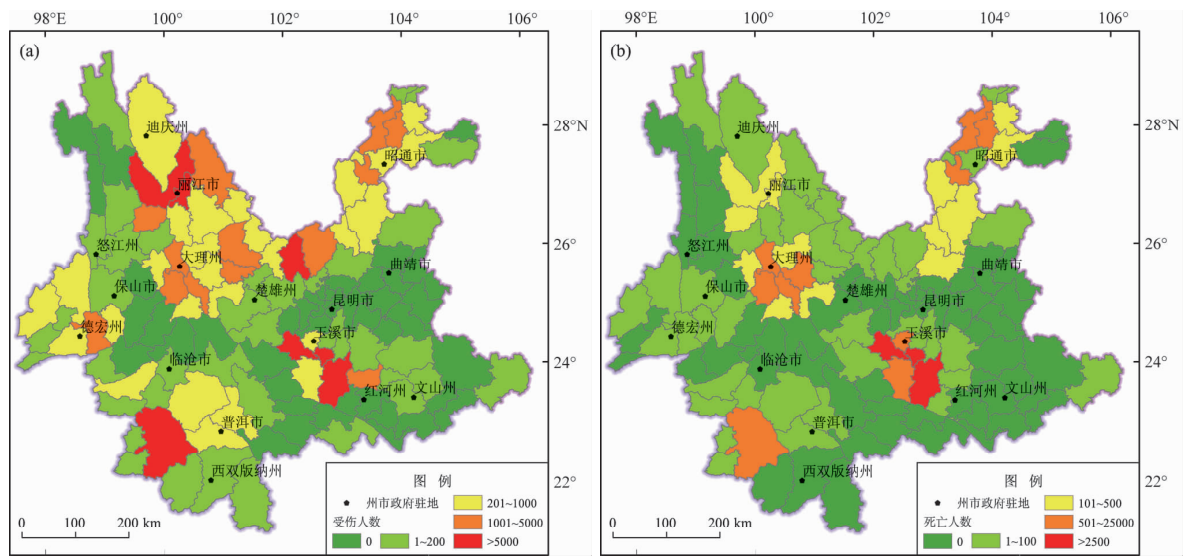


图 3 1900—2016 年云南各县（区）地震人员受伤总量（a）和死亡总量分布图（b）

Fig. 3 Toll of the injured (a) and the dead (b) in each county/district of Yunnan during 1900 and 2016

2016 年云南全省 GDP 的约 9%。全省 129 个县（区）有 84 个因地震造成直接经济损失，约占 65%。为区分是否有经济损失的差别，本文将没有造成经济损失的划分为一类，对有经济损失的采取 3 倍等比的划分尺度，将各县（区）可比价格的直接经济损失（单位：万元）划分成 0，[1 ~ 100 000]，(100 000 ~ 300 000]，(300 000 ~ 900 000]，>900 000 共 5 类，划分后的各县（区）可比价格直接经济损失总量分布如图 4 所示。

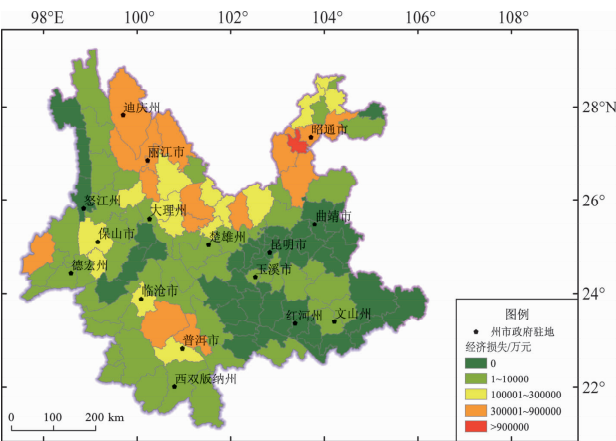


图 4 1992—2016 年云南各县（区）可比价格的地震直接经济损失总量分布

Fig. 4 Total direct economic losses of each county/district of Yunnan at constant prices from 1992 to 2016

1992 年以来，云南地区地震灾害直接经济损失最重的是昭通市鲁甸县（张彦琪等，2017），其次是滇西北的香格里拉市、丽江市古城、玉龙县、宁蒗县、鹤庆县、滇西的德宏州盈江县、滇中的楚雄州大姚县、姚安县和武定县、滇东北的曲靖市会泽县和昭通市巧家县、昭阳区、彝良县以及滇南的景谷县和宁洱县。

4 基于县域单元的地震灾害等级评价

4.1 评价指标分级

将地震烈度面积（ S_a ）、死亡人数（ N_d ）、受伤人数（ N_i ）、直接经济损失（ L_d ）这 4 个灾害损失指标按本文所述的极差变换法进行标准化处理。采用自然间距分类的方法，将标准化后的评价指标按照数值从小到大的顺序依次划分成 5 类，分别代表轻、一般、中等、重、极重 5 个等级，地震灾害评价指标分级如表 2 所示。

表 2 评价指标分级标准				
Tab. 2 Grading criteria for evaluation indexes				
评价指标	地震烈度面积	死亡人数	受伤人数	直接经济损失
轻	[0 ~ 0.06]	[0 ~ 0.01]	[0 ~ 0.02]	[0 ~ 0.03]
一般	(0.06 ~ 0.18]	(0.01 ~ 0.04]	(0.02 ~ 0.08]	(0.03 ~ 0.1]
中等	(0.18 ~ 0.33]	(0.04 ~ 0.1]	(0.08 ~ 0.27]	(0.1 ~ 0.22]
重	(0.33 ~ 0.56]	(0.1 ~ 0.2]	(0.27 ~ 0.54]	(0.22 ~ 0.53]
极重	(0.56 ~ 1]	(0.2 ~ 1]	(0.54 ~ 1]	(0.53 ~ 1]

4.2 计算评价指标的权重系数

为保证结果的客观性,在计算各指标权重时,只选取每个指标均有数值的县域进行计算。利用各评价指标的具体数据,根据式(2)~(5),在 Matlab 软件中进行编程并计算得到各个评价指标的权重系数。经计算权重向量 $W = [0.076\ 4, 0.412\ 3, 0.300\ 9, 0.210\ 4]$,对应的各评价指标权重系数 Sa 为 0.076 4、

Nd 为 0.412 3、 Ni 为 0.300 9、 Ld 为 0.210 4。

4.3 地震灾害等级划分

利用 ArcGIS 的空间分析功能,将标准化后的评价指标值赋予各评价单元,并利用 Overlay 模块的 Weighted Sum 函数,将各指标按权重系数加权叠加分析后得到评价单元历史地震灾害综合损失度如表 3 所示。

表 3 各评价单元历史地震灾害综合损失度

Tab. 3 Compositive loss degree of historical earthquake disasters of all the evaluation units

评价单元	地震烈度面积	死亡人数	受伤人数	直接经济损失	地震灾害综合损失度	评价单元	地震烈度面积	死亡人数	受伤人数	直接经济损失	地震灾害综合损失度
五华区	0.09	0.00	0.00	0.00	0.006 6	新平县	0.18	0.00	0.00	0.00	0.014 2
盘龙区	0.18	0.00	0.00	0.00	0.013 7	元江县	0.12	0.00	0.00	0.00	0.008 8
官渡区	0.26	0.00	0.00	0.00	0.019 8	隆阳区	0.09	0.01	0.01	0.12	0.037 8
西山区	0.22	0.00	0.00	0.00	0.016 5	施甸县	0.16	0.00	0.05	0.09	0.044 8
东川区	0.32	0.04	0.05	0.00	0.057 6	龙陵县	0.28	0.01	0.12	0.02	0.066 5
呈贡区	0.27	0.00	0.00	0.00	0.020 6	昌宁县	0.10	0.00	0.00	0.02	0.011 0
晋宁县	0.41	0.00	0.00	0.00	0.032 2	腾冲市	0.20	0.00	0.02	0.04	0.032 5
富民县	0.14	0.00	0.00	0.00	0.012 1	昭阳区	0.22	0.01	0.01	0.28	0.084 6
宜良县	0.16	0.00	0.00	0.00	0.012 5	鲁甸县	0.38	0.09	0.20	1.00	0.336 0
石林县	0.23	0.00	0.00	0.00	0.017 6	巧家县	0.30	0.02	0.02	0.46	0.134 1
嵩明县	0.25	0.00	0.00	0.00	0.019 2	盐津县	0.24	0.06	0.02	0.13	0.078 6
禄劝县	0.17	0.00	0.27	0.08	0.112 3	大关县	0.45	0.20	0.08	0.06	0.153 4
寻甸县	0.21	0.01	0.00	0.00	0.023 6	永善县	0.22	0.14	0.08	0.16	0.130 7
安宁市	0.16	0.00	0.00	0.00	0.012 0	绥江县	0.12	0.00	0.00	0.07	0.025 9
麒麟区	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000 0	镇雄县	0.10	0.00	0.00	0.00	0.008 1
马龙县	0.13	0.00	0.00	0.00	0.010 1	彝良县	0.25	0.03	0.06	0.32	0.116 1
陆良县	0.04	0.00	0.00	0.00	0.002 8	威信县	0.10	0.00	0.00	0.00	0.007 5
师宗县	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000 0	水富县	0.11	0.00	0.00	0.06	0.021 9
罗平县	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000 0	古城区	0.71	0.03	0.71	0.39	0.361 4
富源县	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000 0	玉龙县	0.36	0.03	0.54	0.43	0.292 1
会泽县	0.26	0.02	0.04	0.29	0.101 0	永胜县	0.22	0.00	0.02	0.16	0.056 7
沾益县	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000 1	华坪县	0.17	0.00	0.02	0.01	0.022 6
宣威市	0.09	0.01	0.01	0.04	0.019 3	宁蒗县	0.37	0.00	0.14	0.28	0.129 8
红塔区	0.52	0.07	0.03	0.00	0.078 3	思茅区	0.16	0.01	0.04	0.12	0.054 0
江川区	0.63	0.00	0.00	0.01	0.051 8	宁洱县	0.27	0.00	0.05	0.27	0.095 5
澄江县	0.26	0.00	0.00	0.02	0.024 5	墨江县	0.00	0.00	0.00	0.03	0.006 8
通海县	1.00	0.62	0.53	0.00	0.494 6	景东县	0.14	0.00	0.00	0.00	0.011 2
华宁县	0.56	0.01	0.01	0.00	0.048 9	景谷县	0.16	0.00	0.02	0.45	0.114 3
易门县	0.26	0.00	0.00	0.00	0.019 9	镇沅县	0.05	0.00	0.00	0.02	0.007 8
峨山县	0.60	0.55	0.37	0.00	0.382 6	江城县	0.03	0.00	0.00	0.01	0.003 4

续表 3

评价单元	地震烈度面积	死亡人数	受伤人数	直接经济损失	地震灾害综合损失度	评价单元	地震烈度面积	死亡人数	受伤人数	直接经济损失	地震灾害综合损失度
孟连县	0.00	0.00	0.01	0.06	0.016 5	砚山县	0.02	0.00	0.00	0.00	0.002 2
澜沧县	0.43	0.17	0.53	0.05	0.270 4	西畴县	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000 0
西盟县	0.06	0.00	0.01	0.04	0.015 3	麻栗坡县	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000 0
临翔区	0.12	0.00	0.00	0.07	0.023 9	马关县	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000 0
凤庆县	0.12	0.00	0.00	0.00	0.009 5	丘北县	0.03	0.00	0.00	0.01	0.006 8
云 县	0.11	0.00	0.00	0.00	0.008 9	广南县	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000 0
永德县	0.14	0.00	0.00	0.00	0.010 7	富宁县	0.01	0.00	0.00	0.00	0.001 0
镇康县	0.12	0.00	0.00	0.01	0.011 5	景洪市	0.05	0.00	0.00	0.03	0.010 0
双江县	0.11	0.00	0.00	0.03	0.016 0	勐海县	0.09	0.00	0.00	0.06	0.020 0
耿马县	0.33	0.01	0.06	0.04	0.058 5	勐腊县	0.03	0.00	0.00	0.01	0.004 1
沧源县	0.35	0.00	0.01	0.02	0.034 0	大理市	0.42	0.19	0.13	0.00	0.150 7
楚雄市	0.20	0.00	0.00	0.01	0.017 0	漾濞县	0.30	0.05	0.02	0.02	0.053 5
双柏县	0.23	0.00	0.00	0.01	0.020 2	祥云县	0.34	0.07	0.06	0.07	0.089 5
牟定县	0.20	0.00	0.00	0.07	0.030 8	宾川县	0.30	0.03	0.03	0.08	0.059 9
南华县	0.34	0.05	0.03	0.06	0.069 5	弥渡县	0.40	0.18	0.12	0.00	0.142 8
姚安县	0.53	0.00	0.17	0.27	0.149 7	南涧县	0.26	0.06	0.05	0.00	0.059 1
大姚县	0.47	0.00	0.07	0.36	0.134 8	巍山县	0.43	0.16	0.12	0.00	0.134 6
永仁县	0.14	0.00	0.02	0.12	0.040 7	永平县	0.19	0.00	0.00	0.01	0.015 4
元谋县	0.25	0.00	0.04	0.12	0.057 9	云龙县	0.11	0.00	0.00	0.02	0.013 6
武定县	0.30	0.01	0.67	0.26	0.282 3	洱源县	0.48	0.01	0.01	0.10	0.066 4
禄丰县	0.16	0.00	0.00	0.03	0.019 4	剑川县	0.44	0.06	0.11	0.03	0.098 2
个旧市	0.24	0.00	0.00	0.00	0.019 0	鹤庆县	0.36	0.00	0.03	0.21	0.081 6
开远市	0.37	0.00	0.08	0.00	0.053 9	瑞丽市	0.10	0.00	0.00	0.03	0.014 7
蒙自市	0.08	0.00	0.00	0.00	0.006 2	芒市	0.04	0.00	0.01	0.01	0.009 2
弥勒市	0.39	0.00	0.00	0.02	0.034 1	梁河县	0.10	0.00	0.00	0.03	0.013 6
屏边县	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000 0	盈江县	0.37	0.00	0.04	0.53	0.155 0
建水县	0.66	1.00	1.00	0.00	0.764 0	陇川县	0.09	0.00	0.00	0.05	0.017 3
石屏县	0.53	0.10	0.05	0.00	0.098 8	泸水县	0.03	0.00	0.00	0.00	0.002 5
泸西县	0.04	0.00	0.00	0.00	0.003 3	福贡县	0.02	0.00	0.00	0.00	0.001 4
元阳县	0.02	0.00	0.00	0.00	0.001 3	贡山县	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000 0
红河县	0.04	0.00	0.00	0.00	0.002 9	兰坪县	0.03	0.00	0.00	0.00	0.002 5
金平县	0.01	0.00	0.00	0.01	0.002 1	香格里拉市	0.21	0.00	0.02	0.22	0.068 3
绿春县	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000 0	德钦县	0.06	0.00	0.00	0.05	0.016 2
河口县	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000 0	维西县	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000 4
文山市	0.04	0.00	0.00	0.02	0.007 0						

采用 3 倍等比的划分尺度将各评价单元历史地震灾害综合损失度从小到大划分为 $[0 \sim 0.01]$ 、 $(0.01 \sim 0.03]$ 、 $(0.03 \sim 0.09]$ 、 $(0.09 \sim 0.27]$ 、 >0.27 共 5 类，分别代表轻、一般、中等、重、

极重 5 个灾害等级，得到研究区历史地震灾害等级分布，如图 5 所示。

由图 5 可知，历史地震灾害极重的区域是滇西北的丽江市古城区、玉龙县，滇中的楚雄市武定

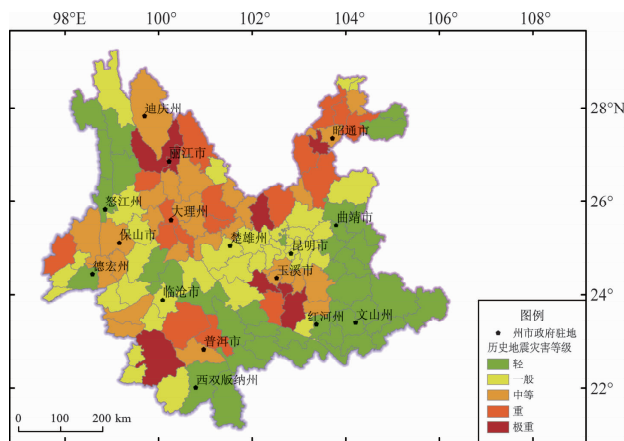


图5 各县(区)地震灾害等级划分图

Fig. 5 Grading of the earthquake damages to the counties/districts of Yunnan province

县,玉溪市通海县、峨山县,红河州建水县,滇西南的普洱市澜沧县,滇东北的鲁甸县。历史地震灾害重的区域是滇西北的丽江市宁蒗县,大理州的剑川县、大理市、弥渡县、巍山县、祥云县,滇西的盈江县,滇中的楚雄市大姚县、姚安县,昆明市禄劝县,红河州石屏县,滇西南的普洱市景谷县、宁洱县,滇东北的曲靖市会泽县,昭通市巧家县、大关县、彝良县、永善县。

5 结论与讨论

本文通过对1900—2016年云南省167次破坏性地震事件的灾害损失数据进行空间化处理和数理统计,基于县域单元开展区域地震灾害等级评价研究,得出以下结论和认识:

(1) 从历史地震灾害等级评价结果来看,地震灾害较重的区域主要分布在滇西北的丽江市、大理州,滇西的德宏州北部地区,滇西南的普洱市西北部地区,滇南的玉溪市南部、红河州北部地区,滇中的楚雄市北部地区以及滇东北的昭通市一带。

(2) 客观的灾害等级评价方法,受历史地震资料的局限性影响。云南省从1992年正式开始地震灾害损失评定,早期地震事件的经济损失无从考证,本文的经济损失数据没有涵盖全部研究时间段,经济损失指标的评价难免有偏颇。

(3) 地震灾害评价指标的选取与权重的确定

有待完善。地震灾害对自然环境和社会经济的影响面广,除上述4个损失指标之外,还包括房屋破坏面积、次生灾害、经济发展水平、应急准备和救灾能力等指标,由于历史地震的房屋破坏和次生灾害缺乏详细资料,无法一一量化,在今后的研究中待进一步完善。

参考文献:

- 白仙富,戴雨芾,戴靖,等. 2013. 昭通地区地震灾害区域性特征分析[J]. 地震研究,36(4):514-524.
- 方成杰,钱德玲,徐士彬,等. 2016. 基于可拓学和熵权的中巴公路泥石流易发性评价[J]. 自然灾害学报,25(6):18-26.
- 冯志泽,胡政,何钧. 1994. 地震灾害损失评估及灾害等级划分[J]. 灾害学,9(1):13-16.
- 郝敏,谢礼立,徐龙军. 2005. 关于地震烈度物理标准研究的若干思考[J]. 地震学报,27(2):230-234.
- 皇甫岗. 2009. 云南地震活动性研究[D]. 合肥:中国科学技术大学.
- 李美娟,陈国宏,陈衍泰. 2004. 综合评价中指标标准化方法研究[J]. 中国管理科学,12(S1):45-48.
- 李永强. 2012. 云南地震人员死亡研究[M]. 昆明:云南科技出版社,1-232.
- 刘桂萍,李纲,张小涛,等. 2015. 云南省地震生命损失的区域特征研究[J]. 震灾防御技术,10(1):25-38.
- 刘自远,刘成福. 2006. 综合评价中指标权重系数确定方法探讨[J]. 中国卫生质量管理,13(2):44-46.
- 路鹏. 2012. 曲线连续刚构桥地震响应分析研究[D]. 西安:长安大学.
- 马宗晋,高庆华. 2010. 中国自然灾害综合研究60年的进展[J]. 中国人口·资源与环境,20(5):1-5.
- 杨仕升. 1997. 应用灰色系统理论进行地震灾害等级划分和灾情分析比较[J]. 地震工程学报,(2):49-57.
- 尹之潜,李树桢,赵直,等. 1991. 地震灾害预测与地震灾害等级[J]. 中国地震,(1):9-19.
- 云南省地震局. 1988. 云南省地震资料汇编[M]. 北京:地震出版社.
- 云南省地震灾害损失评定委员会. 2012. 云南地震灾害损失评估及研究:1992~2010[M]. 昆明:云南科技出版社,121-552.
- 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.
- 张彦琪,陈维锋,卢永坤,等. 2017. 2014年云南3次 $M>6$ 地震灾害特征对比分析[J]. 地震研究,40(1):144-152.
- 周光全,非明伦,施伟华,等. 2006. 1992—2005年云南地震灾害损失与主要经济指标研究[J]. 地震研究,29(2):198-202.
- 周光全,施卫华,毛燕. 2003. 云南地区地震灾害损失的基本特征[J]. 自然灾害学报,12(3):81-86.
- GB 18306—2001,中国地震动参数区划图[S].

Grading of the Historical Earthquake Disasters in the Counties of Yunnan on the Basis of the Entropy Weight Method

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

Abstract

In this paper we first spatialized the area of seismic – intensity zone (S_a), the death toll (N_d), the injury toll (N_i), and the direct economic losses (L_d) resulting from 167 devastating earthquakes which occurred from 1900 to 2016 in Yunnan Province. Then, using the Entropy Weight Method, we determined the weight coefficients of these 4 indexes: S_a , N_d , N_i , and L_d . According to the weight coefficients, we further proposed 5 levels for the historical earthquake disasters in each county of Yunnan. We found that the earthquake – disaster losses are much more severe in Lijiang city and Dali county of northwest Yunnan, north part of Dehong county of west Yunnan, northwest part of Pu'er city in southwest Yunnan, south part of Yuxi city and north part of Honghe county of south Yunnan, north part of Chuxiong city in central Yunnan, and Zhaotong city of northeast Yunnan.

Keywords: earthquake disasters; disaster grading; counties of Yunnan