

## 昭通地区地震灾害区域性特征分析<sup>\*</sup>

白仙富<sup>1</sup>, 戴雨茨<sup>2</sup>, 戴靖<sup>3</sup>, 余庆坤<sup>1</sup>, 张方浩<sup>1</sup>, 和仕芳<sup>1</sup>, 邓树荣<sup>1</sup>

(1. 云南省地震局, 云南 昆明 650224; 2. 昆明市西山区防震减灾局, 云南 昆明 650224;  
3. 通海县里山中心学校, 云南 通海 652705)

**摘要:** 通过数理统计和横向对比定量、定性分析昭通地震灾害的区域性特征, 并从地理环境因素进行诠释。统计结果表明, 昭通地震人员伤亡、受灾人口、房屋破坏总面积、直接经济损失与震级总体呈指数关系; 相同地震能量条件下, 地震灾害直接经济损失随年份呈线性增长趋势。从横向对比看, 昭通具有典型的小震大灾特征, 同等条件下, 昭通地震灾害损失是云南其他地区的2~5倍。人口基数大、人口密度高、社会财富总量大但社会经济发展水平低下和房屋抗震性能弱等是造成昭通地震灾害损失大的主要原因。地形起伏大、地表岩石破碎等原因使得昭通地震崩滑次生灾害严重。

**关键词:** 昭通地区; 地震灾害; 区域性特征

**中图分类号:** P315.94

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2013)04-0514-11

### 0 前言

对地震灾害区域性特征的认识, 已有的研究空间上主要着眼于省域尺度或更大尺度, 时间上主要着眼于单次地震事件, 是点状的研究而不是时段的总结。云南省在空间维度上内部差异大、地域分异明显, 地震灾害特征具有显著的区域性; 在时间维度上, 只有基于一定尺度的统计认识才更有普遍性。当前的地震应急处置要求在地震三要素确定后, 能够迅速提供灾区基础地理信息、评估灾区灾害程度, 归纳灾区震害特征, 为指挥部制定合理的应急救援决策提供恰当资讯。基于这样的现实需求, 笔者以云南省昭通市为例, 从数理统计的角度研究昭通市地震灾害的定量化特征, 从横向比较的视角分析昭通市地震灾害的定性化特征, 通过地理环境因素解释昭通地震灾害区域性特征。试图通过本研究, 深入剖析昭通市地震灾害的区域性特征及其原因, 探索应急目标下云南州市尺度地震灾害区域性特征及原因的研究方法。根据统计(去除前震和余震后), 在

1900~2000年的100年间, 昭通地区共发生5.0~5.9级地震14次、平均每50年发生7次5.0~5.9级地震、1次6.0~6.9级地震, 每100年发生1次7.0级以上地震。2000~2012年昭通地区共发生5.0~5.9级地震6次。1900~2012年, 昭通地区共发生5.0~5.9级地震20次、平均每5~6年发生1次5.0~5.9级地震、每50~60年发生1次6.0~6.9级地震, 113年间发生7.0级以上地震1次。昭通市国土面积占云南省国土面积的6.10%, 在1900~2012年昭通地区发生的地震分别占云南地区5.0~5.9级地震的8.81%、6.0~6.9级地震的3.64%、7.0级以上地震的9.09%。昭通是云南地区地震灾害频发, 地震灾害损失严重的区域。

### 1 数据来源

本文采用的数据主要来源3个方面: (1)《云南地震灾害与地震应急》(李永强等, 2007); (2)《(1992~2010)云南地震灾害损失评估及研究》(云南省地震灾害损失评定委员会和云南省地震局, 2012); (3)云南省地震局进行地震灾害损失评估

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2013-05-15.

基金项目: 中国地震应急救援的区域差异性分析(201208018)和云南分区分级烈度衰减模型研究(CEA-EDEM-201306)共同资助.

工作时编写的相应评估报告<sup>①②</sup>。考虑到数据的一致性,分析地震人员伤亡特征时选取了1900年以来的所有数据,对其他地震灾害特征的分析选取了1992年以来的数据。这是因为自1900年以来地震人员死亡数据记录较好,资料可信度较高;其他地震灾害数据从1992年云南正式开始地震灾害损失评定工作后才有系统调查和翔实记载。

2 昭通地区地震灾害特征数理统计分析

2.1 震级与人员死亡

人员伤亡是地震灾害中最受关注的内容,一般分为死亡、重伤和轻伤,地震死亡人员是指地震导致的直接死亡或致伤过重<sup>7</sup>天内死亡的人员。1900年以来昭通地区不同震级人员死亡人数见表1,在统计时去除了前震和余震,群震事件则选取震级最大者,只选取地震死亡人数而没有选取重伤和轻伤人数进行震级与人员死亡特征进行分析,其原因<sup>7</sup>为死亡人数的记录客观、全面、可信,同时又能兼顾数据一致性,更能反映昭通地震震级—人员死亡的普遍特征;地震死亡人数也是国家启动地震应急响应等级的重要指标。考虑昭通地区内部社会经济和自然地理特征总体相似(除昭鲁盆地外),笔者建立了震级与人员死亡的数理统计模型,并选取相

关性最高的指数模型(图1),其关系表达式如下:

$$N_d = 10^{-8} e^{3.7611M} (R^2 = 0.9072).$$
 (1)

式中, $M$ 为地震震级, $N_d$ 为相应的地震死亡人数, $R^2$ 为决定系数。

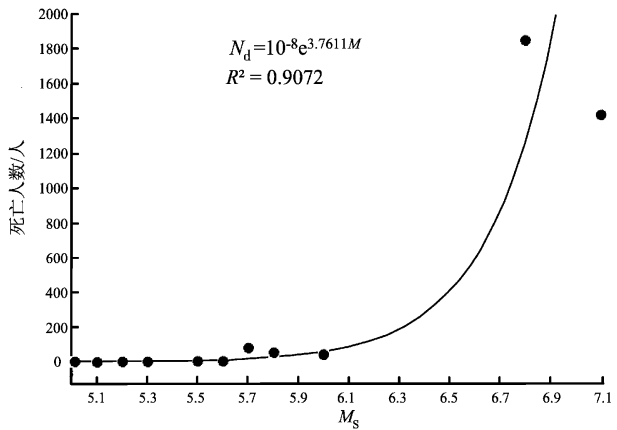


图1 震级与人员死亡关系  
Fig. 1 Relation between earthquake magnitude and death number

以 $N_d = 10^{-8} e^{3.7611M}$ 为计算模型,按照0.1为一个档次计算昭通地区震级从5.0~8.0区间不同震级的人员死亡数量并对计算结果取整(表2)。对比历史数据并结合昭通的实情,笔者认为计算结果比较合理。

表1 昭通地区震级—人员死亡一览表(1900~2012年)

Tab. 1 Magnitudes and the related death number of the earthquakes in Zhaotong from 1900 to 2012

| 序号 | 日期<br>/年-月-日 | 发震地点 | 震级<br>$M_s$ | 死亡人数<br>/人 | 序号 | 日期<br>/年-月-日 | 发震地点 | 震级<br>$M_s$ | 死亡人数<br>/人 |
|----|--------------|------|-------------|------------|----|--------------|------|-------------|------------|
| 1  | 1917-07-31   | 大关北  | 6.8         | 1 850      | 12 | 1973-04-22   | 彝良附近 | 5.1         | 2          |
| 2  | 1918-08-14   | 巧家南  | 5.5         | 5          | 13 | 1973-08-02   | 彝良   | 5.4         | 12         |
| 3  | 1919-07-00   | 昭通南  | 5           | 0          | 14 | 1974-05-11   | 大关北  | 7.1         | 1 423      |
| 4  | 1930-05-15   | 巧家南  | 6           | 42         | 15 | 1975-03-08   | 盐津北  | 5.3         | 0          |
| 5  | 1934-05-03   | 东川巧家 | 5.3         | 0          | 16 | 1983-06-04   | 鲁甸西南 | 5           | 0          |
| 6  | 1948-10-10   | 大关   | 5.8         | 55         | 17 | 2003-11-15   | 鲁甸   | 5.1         | 4          |
| 7  | 1948-12-05   | 巧家南  | 5           | 1          | 18 | 2003-11-26   | 鲁甸   | 5           | 0          |
| 8  | 1948-12-14   | 永善附近 | 5.3         | 0          | 19 | 2004-08-10   | 鲁甸   | 5.6         | 4          |
| 9  | 1959-03-11   | 盐津附近 | 5           | 0          | 20 | 2006-07-22   | 盐津   | 5.1         | 22         |
| 10 | 1959-08-03   | 大关附近 | 5           | 0          | 21 | 2006-08-25   | 盐津   | 5.1         | 2          |
| 11 | 1966-10-11   | 永善南  | 5.2         | 0          | 22 | 2012-09-07   | 彝良   | 5.7         | 81         |

① 云南省地震局. 2012. 2012年6月24日宁蒗—盐源5.7级地震灾害直接经济损失评估报告(云南灾区).

② 云南省地震局. 2012. 2012年9月7日彝良5.7级、5.6级地震灾害直接经济损失评估报告(云南灾区).

表 2 昭通地区震级—人员死亡计算结果

Tab. 2 Calculation results of death number corresponding to different magnitudes in Zhaotong

| 震级<br>$M_s$ | 死亡人数<br>/人 | 震级<br>$M_s$ | 死亡人数<br>/人 | 震级<br>$M_s$ | 死亡人数<br>/人 |
|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| 5.0         | 1          | 6.1         | 92         | 7.2         | 5 763      |
| 5.1         | 2          | 6.2         | 134        | 7.3         | 8 394      |
| 5.2         | 3          | 6.3         | 195        | 7.4         | 12 227     |
| 5.3         | 4          | 6.4         | 284        | 7.5         | 17 810     |
| 5.4         | 6          | 6.5         | 414        | 7.6         | 25 943     |
| 5.5         | 9          | 6.6         | 603        | 7.7         | 37 789     |
| 5.6         | 14         | 6.7         | 878        | 7.8         | 55 044     |
| 5.7         | 20         | 6.8         | 1 280      | 7.9         | 80 178     |
| 5.8         | 29         | 6.9         | 1 864      | 8.0         | 116 788    |
| 5.9         | 43         | 7.0         | 2 716      |             |            |
| 6.0         | 63         | 7.1         | 3 956      |             |            |

## 2.2 震级与受灾人口

地震灾区范围内的人口称为受灾人口,通常意义下,地震灾区是指有社会经济破坏的区域(一般选取烈度 $\geq$ Ⅵ度的区域)。影响地震灾区范围的因素较多,其中震级大小、震源深度以及社会经济发展状况是主要因素,云南地区(包括昭通地区)大部分地震的震源深度都在10~20 km,属浅源地震,震级大小在很大程度上决定了灾区范围的大小,因此社会经济发展状况和人口密度成为影响受灾人口数量的重要因素。选取1992年以来昭通地区震级和受灾人口数据,建立震级与受灾人口的数理统计模型,并选取相关性最高的指数模型(图2),其关系表达式如下

$$N_p = 632.43e^{1.1758M} (R^2 = 0.8862). \quad (2)$$

式中, $M$ 为地震震级, $N_p$ 为相应的受灾人口数, $R^2$ 为决定系数。

## 2.3 震级与经济损失

地震经济损失包括直接经济损失、间接经济损失和抗震救灾直接投入3部分。直接经济损失由房屋建筑、室外财产、生命线工程及其他工程结构、重大工程设施、大型企业等的直接经济损失组成<sup>①②</sup>。对间接经济损失当前还没有统一算法。每次政府的抗震救灾直接投入会根据当时情况进行安排。因此本文研究经济损失选取房屋破坏面积和直接经

济损失两个指标。

地震对房屋的破坏程度一般分为毁坏、严重破坏、中等破坏、轻微破坏。为了数据获取的一致性,采用房屋破坏总面积和震级来分析两者的关系。建立1992年以来昭通地区震级与房屋破坏总面积的数理统计模型,并选取相关性最高的指数模型(图3),其关系表达式为:

$$N_h = 30.62e^{2.1567M} (R^2 = 0.9224). \quad (3)$$

式中, $M$ 为地震震级, $N_h$ 为相应的房屋破坏面积, $R^2$ 为决定系数。

对震级与直接经济损失关系的研究,通常是建立震级与直接经济损失总量的数学模型,推算区域

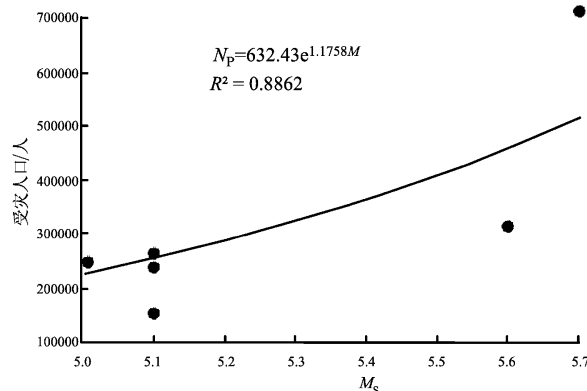


图2 震级与受灾人口的关系

Fig. 2 Relation between the earthquake magnitude and the affected population

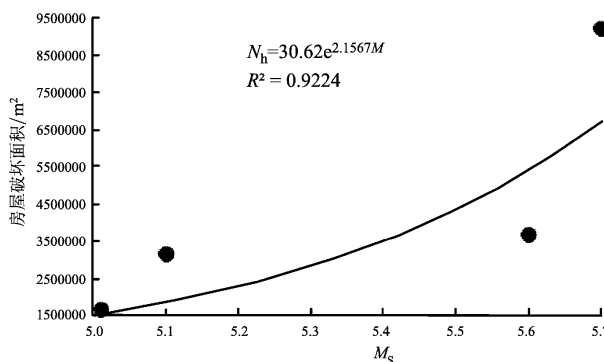


图3 震级与房屋破坏面积的关系

Fig. 3 Relation between the earthquake magnitude and the area of damaged buildings

① 国家地震局. 1997. 地震灾害损失评估规定(试行).

② 国家地震局. 1999. 地震灾害损失评估补充规定.

遭受不同规模的地震时近似的直接经济损失。选取1992年以来昭通地区震级和直接经济损失，建立震级与直接经济损失的数理统计模型，并选取相关性最高的指数模型（图4）：

$$N_e = 0.0001e^{3.6471M} (R^2 = 0.6927). \quad (4)$$

式中， $M$  为地震震级， $N_e$  为相应的直接经济损失， $R^2$  为决定系数。

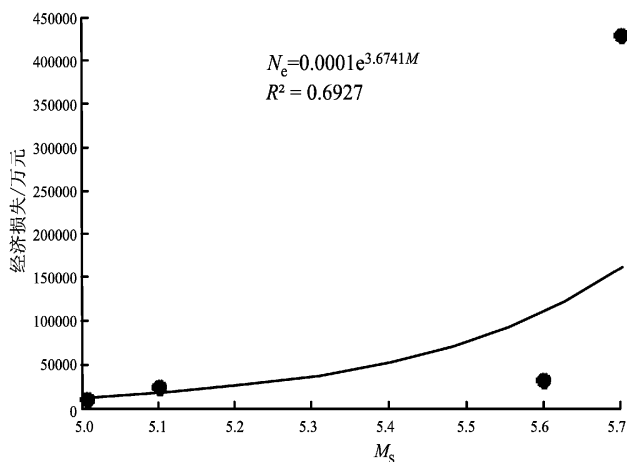


图4 震级与直接经济损失的关系

Fig. 4 Relation between the earthquake magnitude and the economic losses

尽管指数模型是描述震级与直接经济损失关系模型中决定系数最高的，但决定系数只有0.6927，从数学建模的要求看模型不理想，这是因为受金融通胀和社会财富积累等因素的影响，一个区域在不同时段遭受相同震级地震时，直接经济损失是有差别的，时间差别越久，损失结果在数额上差别越大。换言之，昭通地区震级与直接经济损失之间具有指数关系，但是不能简单地用这个指数模型去评估昭通地区其他震级的直接经济损失。为解决这一问题，通过相同地震能量引起的直接经济损失随时间的变化来分析区域地震直接、间接损失特征。换一种理解，社会财富随着岁月得以积累，经济发展水平随时间得到提高，即使震级相同，随着时间变化其经济损失不同。将地震震级进行换算，在等量地震能量条件下，地震灾害损失才更具可比性。在震级选取时，如果是主震型地震以主震为主，如果是群震，选震级最大的两个地震能量之和。对地震震级与地

震释放的能量换算，我们采用 Markus (1979) 的关系式

$$\lg E = 12.24 + 1.44M. \quad (5)$$

式中， $E$  为地震释放的能量 ( $10^{-7}$  J)， $M$  为相应的地震震级。相同地震能量条件下，昭通地区地震灾害损失随年份增长，与其他模型不同的是，单位地震能量的损失量与时间之间为线性关系，2002 ~ 2012 年的拟合式（图5a）为

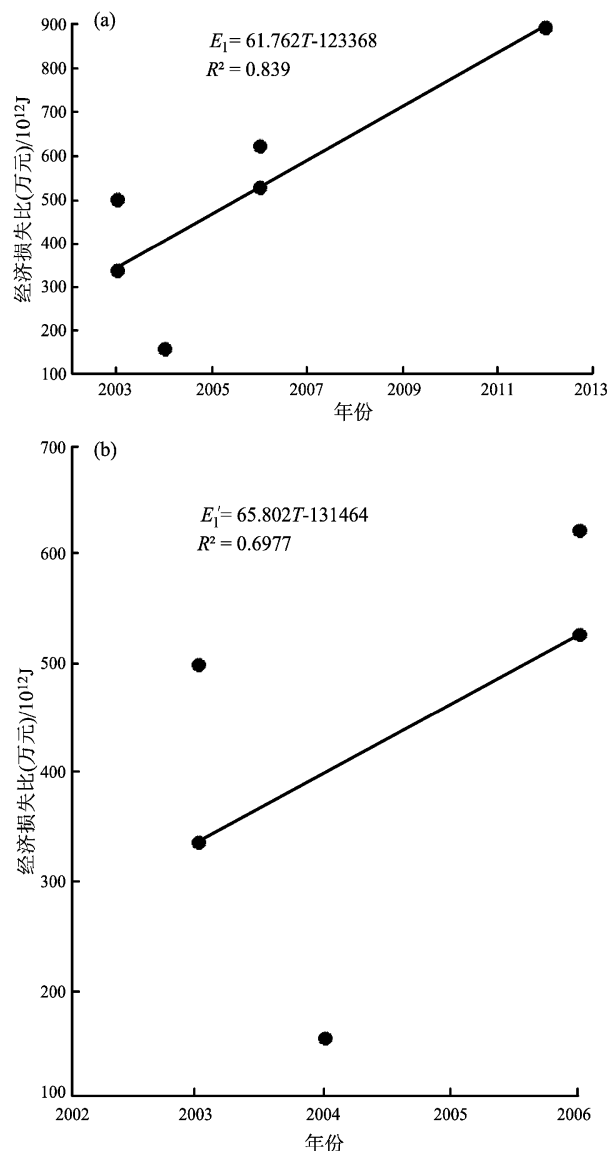


图5 昭通地区相同地震能量条件下地震灾害经济损失随时间的变化

Fig. 5 Variation of earthquake direct economic losses caused by earthquakes with the time under the equal seismic energy in Zhaotong from 2002 to 2012

$$E_1 = 61.762T - 123368 (R^2 = 0.839). \quad (6)$$

2002~2006 年的拟合式 (图 5b) 为

$$E_1' = 65.802T - 131464 (R^2 = 0.6977). \quad (7)$$

式中,  $E_1$  ( $E_1'$ ) 表示单位地震能量的经济损失,  $T$  表示时间 (年),  $R^2$  为决定系数。尽管昭通地区在 2006 年之后直到 2012 年才再度出现破坏性地震, 但 2002~2012 年和 2002~2006 年的拟合式的参数比较接近, 从趋势上看斜率也比较一致, 可以初步判定昭通地区单位地震能量的经济损失与时间呈线性关系, (6) 式反映了这种变化的总体规律。

对昭通地震震级与经济损失以及单位地震能量的经济损失随时间变化的数理特征认识对地震应急评估有重要参考意义。通过震级与经济损失的模型可以评估其他震级水平下可能的经济损失水平, 通过单位地震能量的经济损失与时间的模型可以评估不同年份各震级水平下的经济损失; 不仅如此, 当一个地震发生后, 可以通过两个模型分别进行计算, 在此基础上结合专家经验评估得出一个更合理的结果。若单看当前样本下的模型, 单位能量的经济损失随时间变化的模型更能描述昭通地区震级与经济损失的特征。

#### 2.4 地震崩滑次生地质灾害

昭通地区地震崩滑较为普遍, 常造成新的人员伤亡、房屋破坏、交通中断。除了“9·7”彝良 5.7、5.6 级地震崩滑有相对详细的调查外, 其余地震崩滑情况大多只是描述性记录。从现有资料看, 高庆华等 (2011) 将地震滑坡的活动程度用“★”数量表示, 记录相对详细。综合高庆华等 (2011) 的资料和相关地震灾害损失评估报告, 1900 年以来昭通地区 22 次地震中, 有 20 次的地震崩滑记录, 占总数的 90.91%, 无崩滑记录的 2 次地震是 2003 年 11 月 26 日鲁甸 5.0 级地震和 2004 年 8 月 10 日鲁甸 5.6 级地震, 这两次地震发在昭鲁盆地, 地形因素决定了不可能有规模性崩滑次生灾害。从造成危害看, 有翔实记录的震例有 3 个, 2006 年“7·22”盐津 5.1 级地震因地震死亡 22 人, 有明确死亡原因的 20 人中 18 人因地震崩滑致死, 占死亡总数的 81.82%, 占明确死亡原因总数的 90.00%; 2006 年“8·25”盐津 5.1 级地震死亡 2 人, 均系地震崩滑

而死, 占总数的 100.00%; 2012 年“9·7”彝良 5.7、5.6 级地震死亡 81 人, 因地震崩滑死亡 60 人, 占死亡总数的 74.07%。考虑到样本的局限, 难以对昭通地震崩滑进行数学建模分析。但从统计数据仍可以看出, 昭通地区地震崩滑次生灾害现象普遍、灾害程度深、人员伤亡严重。

### 3 昭通地区地震灾害特征横向对比分析

对昭通地区地震灾害特征的数理统计分析是对昭通地区的一种定量认识, 而通过横向对比分析, 能定性地认识昭通地区地震灾害的区域性。在进行横向对比分析时做如下约定: 只与云南省内的其他州市对比; 选择震级与时间较近的震例为地震对进行对比; 数据来源相对一致。

#### 3.1 地震人员死亡比较分析

表 3 列出了 1900 年以来昭通地区地震人员死亡与云南省其他地区地震死亡人数统计结果。地震人员死亡的比较分析选取 1900 年以来的数据。

为了进一步认识昭通地震人员死亡的区域性, 同时考虑到 6.0 级以上地震昭通只有 3 个, 样本较少, 因此按照 0.5 级一个档, 将昭通地区 5.0~5.9 级地震与人员死亡和云南其他区域进行比较 (图 6), 从表 3 可以看出: 昭通地区地震人员死亡人数比云南其他地区多, 伤亡更重, 是典型的小震大灾; 地震崩滑次生灾害是造成昭通地震死亡人数较多的重要原因。

#### 3.2 受灾人口和经济损失比较分析

受灾人口、房屋破坏面积、直接经济损失等数据均选取 1992 年以后的地震灾害损失评估调查结果。考虑到数据的一致性仍然选取房屋破坏总面积, 按照时间震级相对一致性的原则, 选取 8 个地震数据分 3 组进行比较 (表 4)。第 1 组数据中鲁甸 5.0 级地震紧挨上一个 5.1 级地震, 其经济损失和房屋破坏面积因前一个地震的掩盖而相应偏少; 隆阳区是保山市政府所在地, 是保山最大城区和人口、经济、房屋最密集的地方, 这一特征决定了这个地震的受灾人口和经济损失相对较高, 因此第 1 组数据的对比性相对较弱。为了能充分认识昭通地区地震灾害特征的区域性, 将各组数据进行归一化处理获取各组地震灾害的归一化指数

表3 1900年以来昭通与云南省其他地区地震死亡人数统计表

Tab. 3 Statistic of death number caused by the earthquakes in Zhaotong and other regions of Yunnan Province from 1990

| 震级<br>/ $M_s$ | 云南其他地区          |                      |                |                           | 昭通地区            |                      |                |                           | 备注                           |
|---------------|-----------------|----------------------|----------------|---------------------------|-----------------|----------------------|----------------|---------------------------|------------------------------|
|               | 地震<br>总次数<br>/次 | 造成人员死亡<br>地震次数<br>/次 | 死亡<br>总数<br>/人 | 0人死亡地震<br>事件所占比例<br>/ (%) | 地震<br>总次数<br>/次 | 造成人员死亡<br>地震次数<br>/次 | 死亡<br>总数<br>/人 | 0人死亡地震<br>事件所占比例<br>/ (%) |                              |
| 5.0           | 64              | 3                    | 22             | 90. 60                    | 6               | 1                    | 1              | 83. 33                    |                              |
| 5.1           | 19              | 2                    | 3              | 98. 48                    | 4               | 4                    | 30             | 0                         | 22人因地震滑坡死亡，<br>占死亡总数的70. 00% |
| 5.2           | 20              | 2                    | 3              | 90. 00                    | 1               | 0                    | 0              | 100. 00                   |                              |
| 5.3           | 21              | 2                    | 2              | 90. 48                    | 3               | 0                    | 0              | 100. 00                   |                              |
| 5.4           | 12              | 2                    | 3              | 75. 00                    | 1               | 1                    | 12             | 0                         | 3人因地震滑坡死亡，<br>占死亡总数的25. 00%  |
| 5.5           | 34              | 10                   | 100            | 70. 59                    | 1               | 1                    | 5              | 0                         |                              |
| 5.6           | 6               | 1                    | 1              | 83. 33                    | 4               | 1                    | 4              | 0                         |                              |
| 5.7           | 4               | 2                    | 4              | 50. 00                    | 1               | 1                    | 81             | 0                         | 60人因地震滑坡死亡，<br>占死亡总数的74. 07% |
| 5.8           | 18              | 9                    | 115            | 50. 00                    | 1               | 1                    | 55             | 0                         |                              |
| 6.8           | 3               | 2                    | 101            | 33. 33                    | 1               | 1                    | 1 850          | 0                         | 引发严重山体滑坡<br>并造成大量人员死亡        |
| 7.1           | 0               | —                    | —              | —                         | 1               | 1                    | 1 423          | 0                         | 引发严重山体滑坡<br>并造成大量人员死亡        |

(图7)。从表4和图7可以看出，震级和年份相近的情况下，昭通地区的受灾人口、房屋破坏面积、直接经济损失比云南其他地区高；这种差别有明显的规律性：昭通地震灾害程度比其他地区深，其中受灾人口和直接经济损失程度比其他地区更为严重；昭通地区地震灾害损失可达其他地区的2~5倍。

表4 昭通和云南其他地区近似地震人员伤亡和经济损失

Tab. 4 Casualties and the direct economic losses caused by the approximate earthquakes in Zhaotong and other regions of Yunnan Province

| 时间         | 地点              | 震级<br>/ $M_s$ | 受灾人口<br>/人 | 房屋破坏<br>面积/ $m^2$ | 直接经济<br>损失/万元 |
|------------|-----------------|---------------|------------|-------------------|---------------|
| 2003-11-15 | 昭通鲁甸            | 5.1           | 236 652    | 3 151 871         | 19 190        |
| 第1组        | 2003-11-26 昭通鲁甸 | 5.0           | 246 732    | 1 509 467         | 9 300         |
|            | 2004-10-19 保山隆阳 | 5.0           | 398 327    | 2 361 334         | 21 720        |
|            | 2004-12-26 楚雄双柏 | 5.0           | 35 715     | 524 959           | 4 070         |
| 第2组        | 2006-07-22 昭通盐津 | 5.1           | 151 168    | 1 375 894         | 23 900        |
|            | 2006-01-12 普洱墨江 | 5.0           | 60 273     | 768 824           | 11 060        |
| 第3组        | 2012-09-07 昭通彝良 | 5.7           | 715 713    | 9 222 701         | 430 390       |
|            | 2012-06-24 丽江宁蒗 | 5.7           | 60 286     | 1 355 061         | 50 730        |

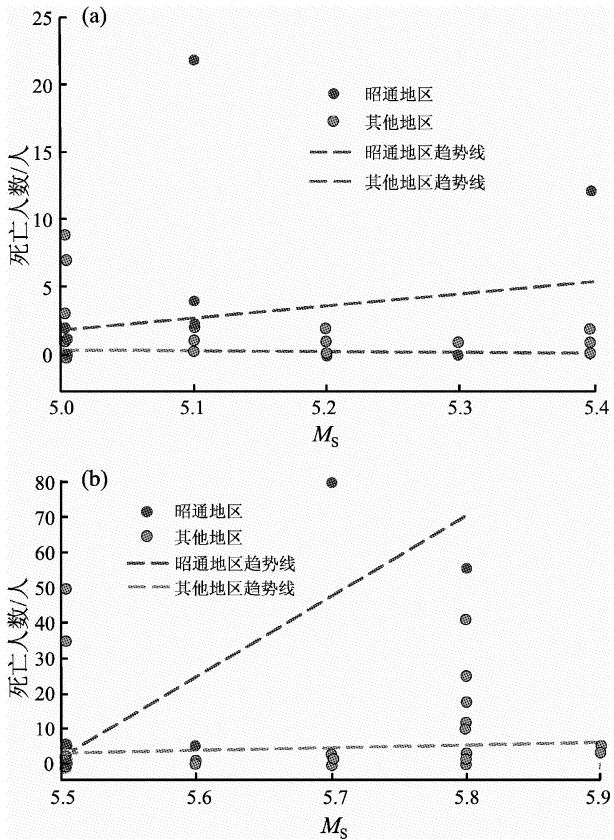


图6 震级和死亡人数分布图（昭通和其他地区）  
Fig. 6 Relation between the death number and the magnitude in Zhaotong and other areas of Yunnan

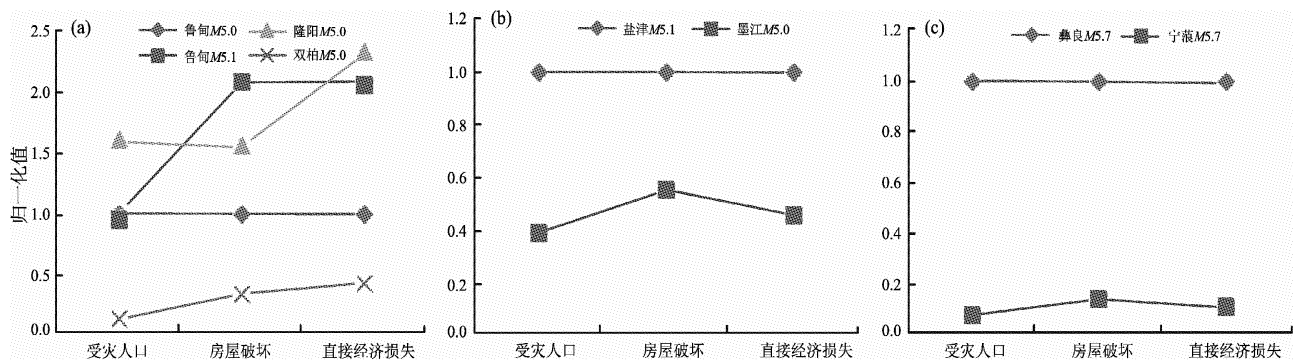


图 7 昭通与其他地区地震灾害归一化指数

Fig. 7 Normalized earthquake disaster indexes in Zhaotong and other regions of Yunnan Province

3.3 地震次生地质灾害比较分析

云南地区地震次生灾害以滑坡和崩塌为主，可以将两者统称为地震崩滑次生灾害。根据史料记载，云南区域发生 7.0 级以上地震都会伴随大规模的地震崩滑，昭通地区 5.0 级以上地震都会发生较大规模的崩滑次生灾害，且往往造成严重人畜伤亡。参考高庆华等（2011）对云南历史上发生的地震次生灾害规模和伤亡情况进行统计（表 5），从表 5 可以看出，昭通是地震导致崩滑次生地质灾害严重区域，5.1 级地震即可导致中等到严重程度的崩滑次生地质灾害，一个 5.1 级地震崩滑次生灾害的程度（如 2006 年昭通盐津地震）可达到其他地区 7.0 级地震的灾害程度

（如 1941 年耿马地震）。昭通地震崩滑次生地质灾害往往造成严重的人员伤亡，如 2006 年盐津 5.1 级地震崩滑次生地质灾害造成 18 人死亡，占地震死亡总数的 81.82%，2012 年彝良 5.7 级地震崩滑次生地质灾害造成 60 人死亡，占地震死亡总数的 74.07%。横向比较可以看出，昭通地震易发生规模比其他地区更大的崩滑次生地质灾害，并因此造成较为严重的人员死亡。当昭通地震发生后对其进行人员伤亡应急评估时，不仅要考虑震级、建筑物、人口等常规因素，还必须考虑可能的崩滑次生灾害和由此造成的人员伤亡，这样才能为指挥长提供更准确的评估结果，以便即时启动恰当的响应等级。

表 5 云南地震崩滑次生灾害统计表

Tab. 5 Statistics of earthquake-caused secondary disasters: collapse and landslide

| 时间         | 震级<br>( $M_s$ ) | 地点   | 规模 | 死亡人数/人 | 时间         | 震级<br>( $M_s$ ) | 地点  | 规模 | 死亡人数/人 | 时间         | 震级<br>( $M_s$ ) | 地点   | 规模  | 死亡人数/人 |
|------------|-----------------|------|----|--------|------------|-----------------|-----|----|--------|------------|-----------------|------|-----|--------|
| 2006-07-22 | 5.1             | 昭通盐津 | ★★ | 22     | 2000-01-15 | 6.5             | 姚安  | ★  | 7      | 1952-06-19 | 6.5             | 澜沧   | ★   | 0      |
| 2006-08-25 | 5.1             | 昭通盐津 | ★★ | 2      | 2001-10-27 | 6.0             | 永胜  | ★  | 1      | 1966-02-05 | 6.5             | 东川   | ★★  | 350    |
| 2003-11-15 | 5.1             | 昭通鲁甸 | ★  | 4      | 1876-08-04 | 6.0             | 永平  | ★★ | 不详     | 1577-03-22 | 6.7             | 腾冲   | ★★  | 不详     |
| 1990-02-14 | 5.1             | 六库   | ★★ | 不详     | 2009-07-09 | 6.0             | 姚安  | ★  | 1      | 1917-07-31 | 6.8             | 昭通大关 | ★★  | 1 850  |
| 2005-08-05 | 5.3             | 会泽   | ★  | 0      | 1955-06-07 | 6.0             | 华坪  | ★  | 29     | 1979-03-15 | 6.8             | 普洱   | ★   | 11     |
| 1973-08-02 | 5.4             | 昭通彝良 | ★★ | 12     | 2008-08-30 | 6.1             | 攀枝花 | ★  | 38     | 1652-07-13 | 7.0             | 弥渡   | ★★  | 3 000  |
| 1947-06-07 | 5.5             | 昭通巧家 | ★★ | 55     | 1973-08-16 | 6.3             | 普洱  | ★  | 15     | 1941-05-16 | 7.0             | 耿马   | ★★  | 65     |
| 2000-01-27 | 5.5             | 丘北   | ★  | 0      | 1993-01-27 | 6.3             | 普洱  | ★  | 0      | 1925-03-14 | 7.0             | 凤仪   | ★★  | 16     |
| 1950-02-03 | 5.5             | 勐海   | ★  | 0      | 1951-12-21 | 6.3             | 剑川  | ★★ | 423    | 1974-05-11 | 7.1             | 昭通大关 | ★★★ | 1 423  |
| 1941-05-13 | 5.5             | 泸水   | ★★ | 3      | 1839-02-07 | 6.3             | 洱源  | ★★ |        | 1925-03-16 | 7.1             | 大理   | ★   | 5 850  |
| 1947-03-27 | 5.5             | 大姚   | ★  | 1      | 1966-09-28 | 6.4             | 中甸  | ★★ | 12     | 1976-05-29 | 7.4             | 龙陵   | ★   | 58     |
| 2012-09-07 | 5.7             | 昭通彝良 | ★★ | 81     | 2007-06-03 | 6.4             | 宁洱  | ★  | 3      | 1733-08-02 | 7.5             | 会泽   | ★   | 不详     |
| 1996-09-25 | 5.7             | 丽江   | ★★ | 0      | 1884-11-14 | 6.5             | 普洱  | ★★ | 不详     | 1970-01-05 | 7.8             | 通海   | ★★★ | 15 621 |

注：“★”表示中等程度地震崩滑次生地质灾害、“★★”表示严重地震崩滑次生地质灾害、“★★★”表示特重地震崩滑次生地质灾害。

#### 4 昭通地区地震灾害特征原因分析

通过数理统计分析和定性横向对比,可知昭通地震灾害人员伤亡重、受灾人口多、经济损失大、地震次生灾害严重,具有典型的小震大灾特征。究其原因,昭通的地理环境特征是地震灾害特征的重要影响因素,昭通地理环境的区域性决定了地震灾害特征的区域性。

从人口环境看,昭通地区人口基数大、人口密度高,是云南省人口高聚集区域。2010年昭通地区人口密度为226人/km<sup>2</sup>,在云南16个州市中居第2位,同期云南省平均人口密度为116人/km<sup>2</sup>,昭通人口密度是云南平均水平的2倍;昭通人口总数为521万,占云南总数的11.34%,居云南省第3位;昭通的国土面积为23 021 km<sup>2</sup>,占云南总数的6.10%,居云南第9位。通常,烈度和灾区范围一定时,灾区人口基数越大、人口密度越高则受灾人口数量越大、伤亡人数也越多。昭通人口基数大、人口密度高的背景是震受灾人口数量大、伤亡人员多的重要原因,从人口密度和人口总数的数量特征看,可以到达云南平均水平的2倍,从实际比较的情况(图7)也可看出,相同震级条件下,昭通地区受灾人口和伤亡人员可以达到其他地区的2~5倍。

从经济环境看,昭通地区经济发展水平较低,但经济总量大。2010年昭通人均国民生产总值7 193元,云南省平均水平为15 760元,在云南居第16位;昭通人均财政收入391元,云南省平均水平为1 532元,在云南居末位;昭通农民人均纯收入2 769元,云南省平均水平为4 026元,在云南居第15位。这些指标说明昭通地区经济发展水平在云南居末位,社会经济发展水平低。一般经济发展水平低下的地区其房屋抗震水平较低,在遭受同等地震时更容易造成破坏,所造成的经济损失占房屋价值总量的比例也相应较高。但从社会经济总量看,2010年昭通地区GDP为3 024 304万元,在云南居第7位,约为最低州市的5倍。昭通地区社会财富总量在云南16个州市中相对较大,在损失率一定的条件下,社会财富总量越大,损失总量越大。昭通地区经济发展水平较低,但经

济总量大的背景是昭通地震经济损失总量较大的根本原因。

从房屋面积及抗震能力看,昭通市房屋面积总量大、房屋结构抗震能力低。受灾人口基数大等因素的影响,昭通地区房屋面积总量大,根据六普统计情况看(图8),昭通市房屋面积总量在云南16各州市中居第2位,仅次于曲靖市。但是受经济发展水平等原因的影响,昭通地区房屋结构差,抗震性能低。根据六普房屋结构分类看,钢及钢混结构的房屋属于抗震结构房屋,昭通市这一类房屋总量居云南第4位(图8),但占房屋总量比例却排在第9位(图9),说明昭通抗震结构的房屋相对较少。根据六普房屋结构分类看,砖木结构的房屋属于不抗震结构房屋,昭通市这一类房屋总量居云南第3位(图8),房屋总量比例居第4位(图9),昭通不抗震结构的房屋总量

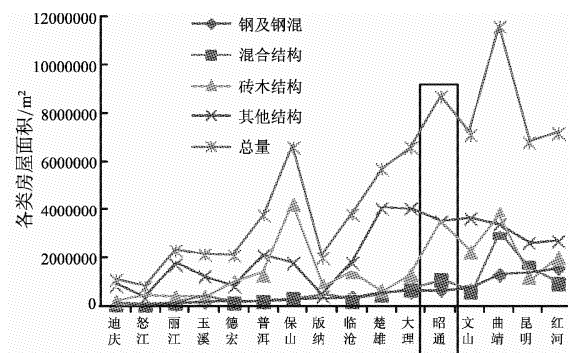


图8 云南各州市房屋面积统计图

Fig. 8 Areas statistic of different type of buildings of 16 prefectures and cities in Yunnan

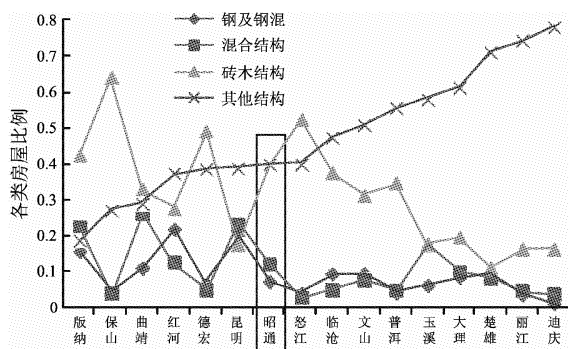


图9 云南各州市不同结构房屋类型所占比例

Fig. 9 Ratios of different type of buildings of 16 prefectures and cities in Yunnan



大、相对数量也大。其他结构类型的房屋在云南地域差异大,昭通地区其他结构多为夯土墙和垒石墙加简易人字屋顶,抗震性能差。根据多年地震灾害评估现场调查情况看,昭通地区其他结构类型的房屋比云南其他州市其他结构类型的房屋抗震性更差,昭通市的这一类房屋总量居云南第3位。在其他条件一定时,房屋总量越大,抗震水平越低,房屋损失量越大。昭通地区房屋面积总量大、房屋结构总体抗震能力低的背景是昭通地震经济损失总量较大的重要原因。

从地质地貌环境看,昭通山高坡陡、岩石破碎,崩塌滑坡普遍,且地处四川盆地到云贵高原抬升的过度地带,地势西南高、东北低,属典型的山地构造地形,山高谷深,海拔高差大,最高海拔4 040 m(巧家县药山),最低海拔267 m(水富县滚坎坝)。从地质构造来看,四川西部一直到云南和贵州交界地区的地震能量主要来自于青藏高原由西向东的推挤,由于受到四川盆地阻挡,能量发生拐弯,从东拐向南东方向,而昭通就位于能量的拐弯的地方。位于这个特殊构造带上的昭通地区断层密集,断层受降水等外营力作用加上受金沙江、牛栏江等江河的纵横切割,境内悬崖峭壁耸立,山箐深邃,群山起伏(图10),地形起伏度仅次于滇西横断山脉,居云南前列,全市山地面积占72.2%,坝区面积占27.8%(主要为昭鲁盆地)。板块运动的强烈挤压加之多个方向的断层交织在一起,地质复杂,地表岩石支离破碎(图11)。昭通山高坡陡、岩石破碎程度高的地质地貌环境,一旦遭遇地震动强烈作用时就非常容易引发严重山体滑坡、滚石等次生地质灾害,并因此造成新的人员伤亡、交通破坏、房屋受损,加重地震灾害和损失。昭通地形破碎山高坡陡的地质地貌特征是昭通地震滑坡次生灾害严重的根本原因、是地震损失大、人员伤亡重的重要影响因素。

## 5 结论与认识

### 5.1 主要结论

从统计结果看:(1)昭通地震人员死亡、受灾人口、房屋破坏总面积、直接经济损失与震级

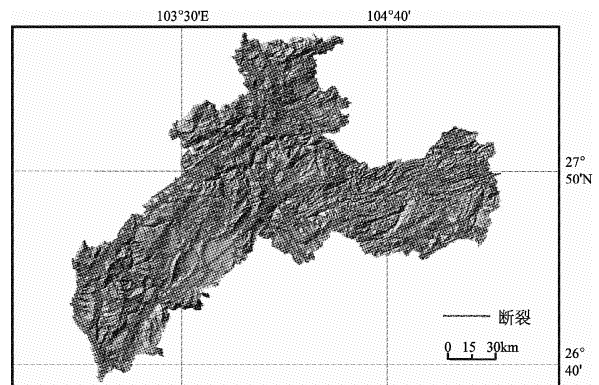


图10 昭通断裂分布和地形阴影图

Fig. 10 Distribution of the faults and terrain shadow map in Zhaotong



图11 昭通典型破碎地质照片

Fig. 11 Typical broken rocks in Zhaotong

呈指数关系,总体模型较好,以震级—人员死亡的指数模型计算昭通不同震级下的人员死亡数取得较好的检验结果。对昭通地震人员死亡、受灾人口、房屋破坏总面积、直接经济损失与震级呈指数关系的地震灾害特征的认识与周光全等(2003)对云南区域的认识有很大不同,周光全等(2003)认为云南地震人员死亡、受灾人口、房屋破坏总面积、直接经济损失与震级主要为多项式和乘幂的关系。(2)相同地震能量条件下,地震灾害直接经济损失随年份呈增长趋势,两者呈线性关系。随着社会经济的不断发展,经济状况日益改善,社会财富不断积累增多,等同地震能量所造成的经济损失相应增大。这一特征的认识与周光全等(2003)对云南区域的认识比较一致。(3)昭通地震崩滑次生灾害严重,5.0级以上的地

震都会伴随强烈山体崩滑并常造成人员死亡。地震崩滑次生灾害是昭通地震人员死亡人数多的主要原因。

从横向对比看:(1)同等条件下,昭通地震人员伤亡、房屋破坏、直接经济损失比云南其他地区重,其灾害程度达到其他地区的2~5倍,可以初步判断,同等条件下昭通是云南地震灾害损失最严重的地区。(2)昭通具有典型的小震大灾特征,仅从人员死亡数看,昭通5.0级水平的地震造成的人员死亡是其他地区的数倍,死亡数量可达到其他区域6.0级或更高水平的地震造成的结果。(3)同等条件下,昭通地区的地震多诱发严重滑坡次生灾害,并因此造成大量人员伤亡。

小震大灾特征的原因分析:(1)人口基数大、人口密度高、经济总量大而社会经济发展水平低和房屋结构抗震性能弱使得昭通地震人员伤亡数目大、受灾人口多、房屋破坏总面积和直接经济损失大。(2)地表岩石破碎、地形起伏大的地貌特征使得昭通地震崩滑次生灾害普遍,规模较大,常造成新的人员死亡和加重地震灾害损失。

## 5.2 基本认识

(1)昭通地区地震灾害特征及原因有其明显的区域性,对云南区域的总体认识不能推广到昭通地区。对地震应急而言,若昭通再次发生地震灾害,需要针对昭通的区域性选取符合昭通区域的评估模型进行评估并提出针对昭通区域特征的

针对性对策建议,使得评估结果更科学、对策建议更合理。

(2)通过对昭通地震灾害区域性特征和原因的分析,面向云南这样地域差异显著的地区,省域尺度的研究可能过于宽泛,值得进一步细化研究。从长远考虑,应该开展地震灾害特征和应急对策的区划研究,但从发生在昭鲁盆地2个地震造成的结果与昭通其他地区的地震差别较大的情况看,在进行地震灾害特征和应急对策区划研究中可能不能简单地按照行政区划展开而应从地理环境的综合特征着手。同时必须尊重地震影响范围相对宽广的事实,对地震灾害特征和应急对策区划研究必须注意区划等级,并非越细越好。

## 参考文献:

- 高庆华,刘慧敏,李晓丽,等.2011.中国地震次生地质灾害区域风险评估[M].北京:气象出版社.
- 李永强,王景来,曹刻,等.2007.云南地震灾害与地震应急[M].昆明:云南科技出版社.
- 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,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.
- Markus B.1979.Introduction to Seismology[M].Switzerland:Birkhauser Verlag.

## Study of the Main Regional Features of Earthquake Disasters in Zhaotong

BAI Xian-fu<sup>1</sup>, DAI Yu-qian<sup>2</sup>, DAI Jing<sup>3</sup>, YU Qing-kun<sup>1</sup>,

ZHANG Fang-hao<sup>1</sup>, HE Shi-fang<sup>1</sup>, DENG Shu-rong<sup>1</sup>

(1. *Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China*)

(2. *Earthquake Administration of Xishan District, Kunming City, Kunming 650118, Yunnan, China*)

(3. *Lishan Center School of Tonghai County, Tonghai 650118, Yunnan, China*)

### Abstract

We analyze quantitatively and qualitatively the regional features of the earthquake disaster in Zhaotong area by mathematical statistics and horizontal comparison. By mathematical statistics, we find that the casualties, the affected population, the total area of the damaged buildings, and the direct economic loss are generally in an exponential relation with the earthquake magnitude. In the condition of the same earthquake energy, the direct economic losses caused by the earthquakes have a linear increase relation with year. By horizontal comparison, we find that the earthquake disaster in Zhaotong area are featured as ‘small earthquake causing serious disaster’, for example, on the same condition, the disaster loss in Zhaotong may be 2 to 5 times of those in other earthquake disaster areas in Yunnan. The factors such as large population base, high population density, large amount of social wealth, low level of socio-economic development, and weak seismic performance of buildings, etc., mainly caused serious disaster loss. In Zhaotong area, the factors such as the large-scale topographies, broken surface rock etc. caused serious secondary disasters such as collapse and landslide.

**Key words:** Zhaotong area; earthquake disaster; regional features