

邓远立, 卢伟. 基于灰度共生矩阵的震后倒塌房屋遥感信息提取——以2014年云南鲁甸6.5级地震为例[J]. 华南地震, 2019, 39(2): 100–111.
[DENG Yuanli, LU Wei. Remote Sensing Information Extraction of Post-earthquake Collapsed Buildings Based on Gray Level Co-occurrence Matrix—Taking Ludian M 6.5 Earthquake in Yunnan Province in 2014 as an example [J]. South China journal of seismology, 2019, 39(2): 100–111]

基于灰度共生矩阵的震后倒塌房屋遥感信息提取

——以2014年云南鲁甸6.5级地震为例

邓远立^{1, 2}, 卢伟²

(1. 广东省地震局, 广州 510070; 2. 中山大学, 广州 510275)

摘要: 以2014年8月3日云南省鲁甸6.5级地震龙头山镇房屋破坏为例, 采用两种方法对地震前后卫星影像灰度共生矩阵特征参量进行分析研究。结果表明: ①震前无房区对比度值小, 有房区值大; 无房区逆差值大, 有房区值小; 无房区熵值小, 有房区值大。②震后无房区对比度值较小, 基本完好区值较大, 倒塌区居中; 无房区逆差值较大, 基本完好区值较小, 倒塌区居中; 无房区熵值较小, 基本完好区值较大, 倒塌区居中。③地震前后遥感图像灰度共生矩阵特征参量联合分析方法比地震后倒塌区单时相遥感图像灰度共生矩阵特征参量分析方法的提取结果更准确。

关键词: 倒塌房屋; 灰度共生矩阵; 遥感信息; 地震灾害; 鲁甸地震

中图分类号: TU43

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662(2019)02-0100-12

DOI: 10.13512/j.hndz.2019.02.015

Remote Sensing Information Extraction of Post-earthquake Collapsed Buildings Based on Gray Level Co-occurrence Matrix

——Taking Ludian M 6.5 Earthquake in Yunnan Province in 2014 as an example

DENG Yuanli^{1,2}, LU Wei²

(1. Guangdong Earthquake Agency, Guangzhou 510070, China;

2. Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract: Taking the house damage of Longtoushan Town in Ludian after the M 6.5 earthquake on August 3rd, 2014 as an example, the characteristic parameters of gray level co-occurrence matrix of satellite images before

收稿日期: 2018-05-30

基金项目: 中国地震局工程力学研究所基本科研业务费专项资助项目 (2018QJGJ01)

作者简介: 邓远立(1989-), 男, 工程师, 主要从事地震信息与灾害研究工作。

E-mail: 1989dyl@163.com.

and after the earthquake are analyzed and studied by using two methods. The results show that: ① before the earthquake, the contrast value of the non-housing area is small, and the value of the housing area is large; the inverse gap value of the non-housing area is large, and the value of the housing area is small; the entropy value of the non-housing area is small, and the value of the housing area is large. ② After the earthquake, the contrast value of the non-housing area is smaller, the value of the basically intact area is larger, and the collapse area is in the middle; the inverse gap value of the non-housing area is larger, the value of the basically intact area is smaller, and the collapse area is in the middle; the entropy value of the non-housing area is smaller, the value of the basically intact area is larger, and the collapse area is in the middle. ③ The combined analysis method of gray level co-occurrence matrix feature parameters of remote sensing images before and after earthquakes is more accurate than that of the single-temporal remote sensing images in collapse area after the earthquake.

Keywords: Collapsed houses; Gray level co-occurrence matrix; Remote sensing information; Earthquake disaster; Ludian earthquake

0 引言

地震灾害是人类面临最重大的自然灾害之一,严重威胁着人民的生命和财产的安全。强烈的地震具有突发性、毁灭性的特点,它可以在几秒钟至几十秒钟之内摧毁一座城市。

长期以来,灾害调查、灾情信息获取主要依靠实地勘测手段,其获取的数据精度和置信度虽然较高,但存在工作量大、效率低、费用高和信息不直观等缺点。遥感技术手段可在一定程度上克服传统实地勘测手段的缺点,并具有其他实地勘测手段不可比拟的优势。

高分辨率卫星遥感图像能够较好地反映倒塌房屋尺度的地表细节信息,是获取灾后倒塌房屋信息的优质数据源,在震后灾害评估中发挥着重要的作用^[1-3]。人工目视解译和变化检测是通过高分辨率影像识别倒塌房屋的主要方法。目视解译综合影像中地物形状、光谱、纹理等因素实现倒塌房屋信息提取,是应用最早也是发展最成熟的方法^[4-5]。但是,该方法的时间效率很难满足灾害应急救援工作的需求,同时,由于分析人员个体差异等因素,容易造成多人解译结果的不一致性,给之后的信息分析和决策带来困难。

利用高分辨率影像实现快速倒塌房屋自动提取具有很强的现实意义,并逐渐成为一个研究热点^[6-9]。近年来,结合震前背景数据和震后高分辨率影像的变化检测方法被应用于倒塌房屋提取中,通过结合图像处理技术和模式识别算法有效利用震前数据(高分辨率影像、地表高程数据、房屋矢量数据等),变化检测方法能够实现震后倒塌房屋

的高精度快速提取^[3,7-8,10]。

2014年8月3日16时30分,在我国西南地区云南省昭通市鲁甸县龙头山镇(东经103.3°,北纬27.1°)发生6.5级地震,震源深度12 km。云南省昭通、昆明等地区有强烈震感。川南地区宜宾、泸州也震感明显。根据历史资料记载,2014年鲁甸6.5级地震是滇东北40年来最大地震。鲁甸6.5级地震也是2000年姚安6.5级地震之后的14年来云南境内震级最高的一次地震,震源破裂在11秒内集中释放,造成了震中及其附近地区严重的破坏。

这次地震发生在北东向西鱼河-昭通断裂附近,震源机制结果显示为走滑型破裂^[11]。等震线长轴方向总体呈北北西向(图1^[12])。IX度区总面积约90 km²,涉及云南省鲁甸县龙头山镇、火德红镇和巧家县包谷垭乡;VI度区及以上总面积约10350 km²,共涉及云南、四川、贵州3省。截至8月8日15时,地震共造成617人死亡(其中鲁甸县526人、巧家县78人、昭阳区1人、会泽县12人),3143人受伤,112人失踪,23万人紧急转移安置,2.6万户8.1万间房屋倒塌,4.1万户12.9万间严重损坏,15.1万户46.6万间房屋一般损坏。

本文以鲁甸6.5级地震前后龙头山镇高分辨率卫星影像为例,在目视解译的基础上,选取若干典型地物样本区域,计算各类样本区域灰度共生矩阵的特征参数组合,在单时相样本区域灰度共生矩阵的特征参数分析和地物分类识别的基础上,结合地震前后变化检测,进行倒塌房屋快速提取和分析研究。

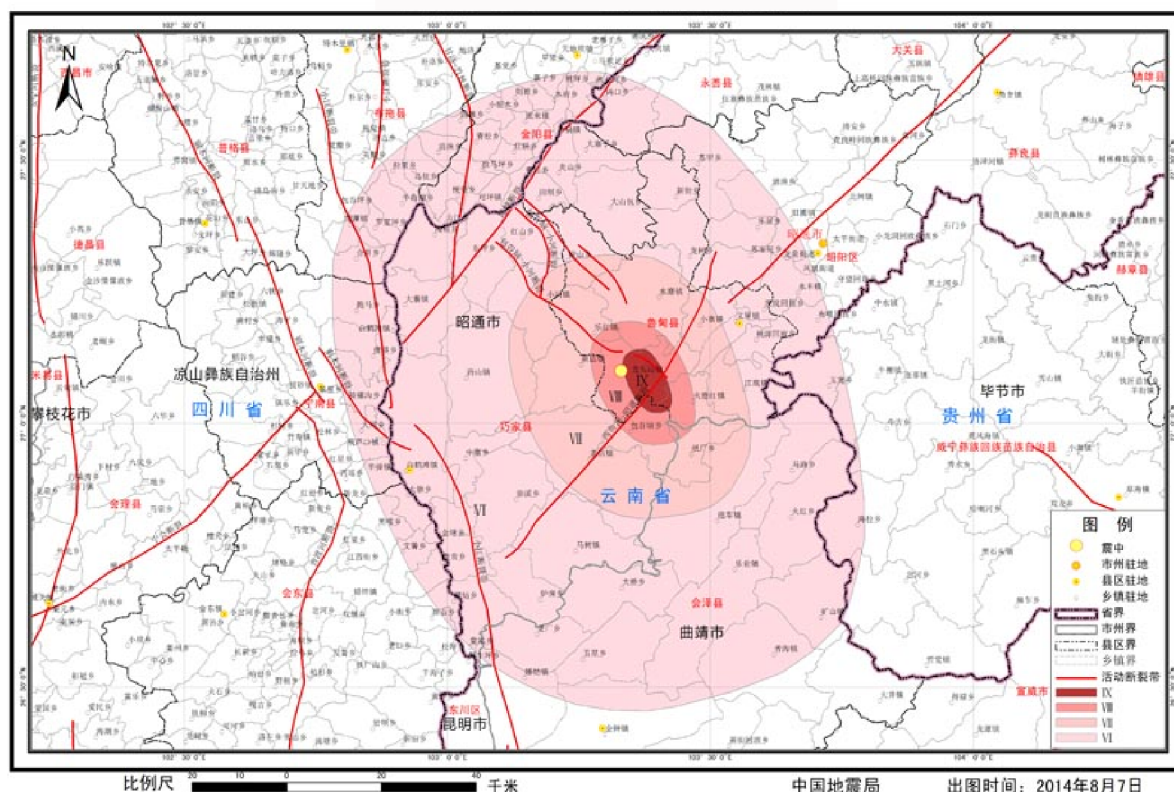


图 1 2014 年鲁甸 6.5 级地震烈度分布图 (中国地震局, 2014)

Fig.1 Intensity Distribution Map of Ludian M6.5 Earthquake in 2014 (China Earthquake Administration, 2014)

1 资料和方法

本研究震后倒塌房屋遥感信息提取主要基于灰度共生矩阵的特征参量分析。所谓灰度共生矩阵是指的是一种通过研究灰度的空间相关特性来描述纹理的常用方法。Haralick 等人(1973)提出了用灰度共生矩阵来描述纹理特征。

由于纹理是由灰度分布 $G(i, j)$ 在空间位置上反复出现而形成的, 因而在图像空间中相隔某距离的两像素之间会存在一定的灰度关系, 即图像中灰度的空间相关特性。

(1) 对比度

$$CON = \sum_{n=0}^{k-1} n^2 \{ \sum_{i=j=n} G(i, j) \}$$

直接反映了某个像素值及其领域像素值的亮度的对比情况。如果偏离对角线的元素有较大值, 即图像亮度值变化很快, 则 CON 会有较大取值, 反映了图像的清晰度和纹理沟纹深浅的程度。纹理沟纹越深, 其对比度越大, 视觉效果越清晰; 反之, 对比度小, 则沟纹浅, 效果模糊。对比度大的像素对越多, 灰度差越大。灰度共生矩阵中远离对角线的元素值越大, CON 越大。

(2) 逆差矩

$$IDM = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \frac{G(i, j)}{1+(i-j)^2}$$

逆差矩反映图像纹理的同质性, 度量图像纹理局部变化的多少。其值大则说明图像纹理的不同区域间缺少变化, 局部非常均匀。

如果灰度共生矩阵对角元素有较大值, IDM 就会取较大的值。因此连续灰度的图像会有较大 IDM 值。

(3) 熵

$$ENT = - \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k G(i, j) \log G(i, j)$$

熵是图像所具有的信息量的度量, 纹理信息也属于图像的信息, 是一个随机性的度量, 当共生矩阵中所有元素有最大的随机性、空间共生矩阵中所有值几乎相等时, 共生矩阵中元素分散分布时, 熵较大。它表示了图像中纹理的非均匀程度或复杂程度。

若灰度共生矩阵值分布均匀, 也即图像近于随机或噪声很大, 熵会有较大值。

本研究使用的卫星影像资料是 Google Earth Pro 提供的 2014 年云南鲁甸 6.5 级地震前后鲁甸县龙头山镇无云层遮挡最近时间点的历史图像, 分

别为地震前 2013 年 3 月 14 日和地震后 2014 年 8 月 20 日的卫星影像(图 2、3), 空间分辨率约为 1.0 m, 图像类型为 TIF。

本研究使用两种方法对 6.5 级地震造成的倒塌房屋进行自动识别, 并进行对比研究和分析讨论。



图2 云南鲁甸龙头山镇 6.5 级地震前卫星影像

Fig.2 Satellite images before the *M* 6.5 earthquake in Longtoushan town of Ludian in Yunnan



图3 云南鲁甸龙头山镇 6.5 级地震后卫星影像

Fig.3 Satellite Images after the *M* 6.5 Earthquake in Longtoushan town of Ludian in Yunnan

2 地震后倒塌区遥感图像灰度共生矩阵特征参量分析

本研究识别地震破坏倒塌房屋的第一种方法是从震后遥感图像中选取典型的无房区、倒塌区和基本完好区三种类型样本，分析各自的对比度、逆差矩和熵值的分布规律，计算相应的平均值和标准差，确定倒塌区对比度、逆差矩和熵值的阈值范围，筛选可能的地震倒塌房屋分布。

研究中为了保证样本的代表性，每种类型选两个区域，共计 6 个样本区(图 4)。无房区 A 和无房区 B 主要为山地、庄稼地、树林区和少量道路。倒塌区 C 为严重破坏，房屋几乎全部倒塌；倒塌区 D 也为严重损坏，但存在部分未倒塌房屋。基本完好区 E 为房屋大部分未倒塌，但局部也可能存在部分房屋损坏；基本完好区 F 为大型建筑较多，建筑物主体没有倒塌，但局部也可能存在少量建筑物损坏。

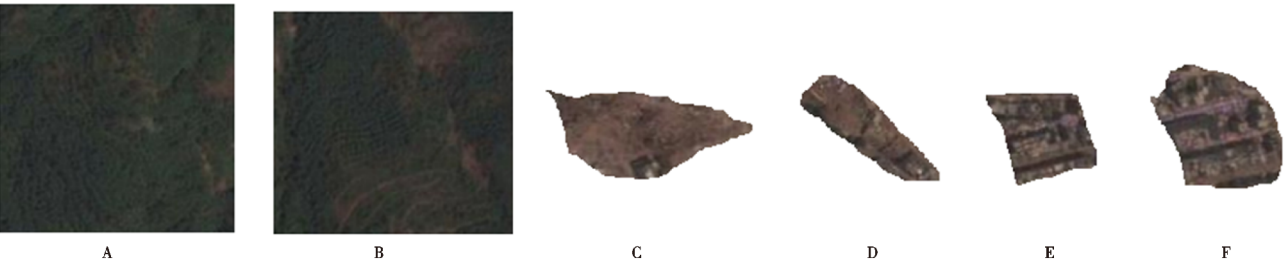


图 4 云南省鲁甸县龙头山镇地震后图像样本区分布图
(A、B 为无房区，C、D 为倒塌区，E、F 为非倒塌区)

Fig.4 Distribution map of image sample area in Longtoushan town of Ludian in Yunnan after the earthquake
(A and B are non-housing areas, C and D are collapse areas, and E and F are non-collapse areas)

6 个样本区的灰度共生矩阵对比度分布见图 5a~图 5f。从图中可见，无房 A 区对比度主要分布在 2.0~4.0 之间，呈偏对称分布，无房 B 区对比度主要分布在 2.0~4.0 之间，呈偏对称分布。倒塌 C 区对比度主要分布在 4.0~10.0 之间，呈偏对称分布，倒塌 D 区对比度主要分布在 5.0~27.0 之间。基本完好 E 区对比度主要分布在 12.0~34.0 之间，呈基本对称分布，基本完好 F 区对比度主要分布在 15.0~35.0 之间，呈基本对称分布。

6 个样本区的灰度共生矩阵逆差矩分布见图 6a~6f。从图中可见，无房 A 区逆差矩主要分布在 0.43~0.55 之间，呈基本对称分布，无房 B 区逆差矩主要分布在 0.42~0.53 之间，也呈基本对称分布。倒塌 C 区逆差矩主要分布在 0.31~0.45 之间，呈基本对称分布，倒塌 D 区逆差矩主要分布在 0~0.45 之间。基本完好 E 区逆差矩主要分布在 0~

0.28 之间，基本完好 F 区逆差矩主要分布在 0.~0.26 之间。

6 个样本区的灰度共生矩阵熵值分布见图 7a~7f。从图中可见，无房 A 区熵值主要分布在 3.08~3.66，呈偏对称分布，无房 B 区熵值主要分布在 3.08~3.74 之间，也呈偏对称分布。倒塌 C 区熵值主要分布在 3.74~4.16 之间，呈偏对称分布，倒塌 D 区熵值主要分布在 4.08~4.24 之间。基本完好 E 区熵值主要分布在 4.16~4.24 之间，基本完好 F 区熵值主要分布在 4.16~4.24 之间。

6 个样本区的灰度共生矩阵对比度、逆差矩和熵值的计算结果见表 1，倒塌区各特征值的均值和标准差统计结果见表 2。对于对比度来说，无房区值较小，基本完好区值较大，倒塌区居中；对于逆差矩来说，无房区值较大，基本完好区值较小，倒塌区居中；对于熵值来说，无房区值较小，基本完好区值较大，倒塌区居中。

表 1 震后典型样本区灰度共生矩阵特征值计算结果

Table 1 Calculation of eigenvalues of gray level co-occurrence matrix in typical sample areas after the earthquake

样本	无房区 A	无房区 B	倒塌区 C	倒塌区 D	基本完好区 E	基本完好区 F
像素点数	27 161	25 917	3218	1657	3750	3393
对比度	3.07	3.4	9.04	21.15	26.22	30.53
逆差矩	0.5	0.49	0.38	0.3	0.25	0.23
熵	3.36	3.41	3.9	4.1	4.21	4.25

表 2 震后倒塌样本区灰度共生矩阵特征值的均值和标准差统计结果

Table 2 Statistical results of mean and standard deviation of eigenvalues of gray level co-occurrence matrix in post-earthquake collapse sample area

倒塌区特征值	对比度	逆差距	熵
均值	11.6716	0.3662	3.9371
标准差	8.1807	0.0671	0.1984

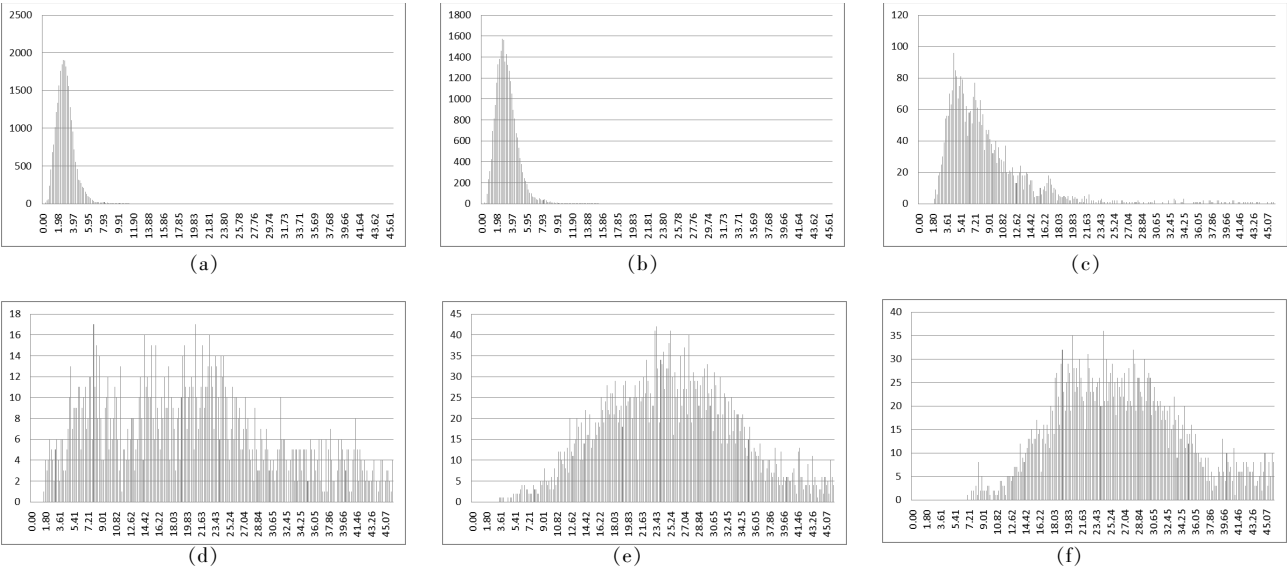


图 5 各样本区灰度共生矩阵对比度分布图(横轴: 对比度, 纵轴: 像点数)

(a: 无房 A 区; b: 无房 B 区; c: 倒塌 C 区; d: 倒塌 D 区; e: 基本完好 E 区; f: 基本完好 F 区)

Fig.5 Gray level co-occurrence matrix contrast distribution of each sample area (horizontal axis: contrast, vertical axis: image points)
(a:no room A area;b:no room B area;c:collapse C area;d:collapse D area;e:basically intact E area;f:basically intact F area)

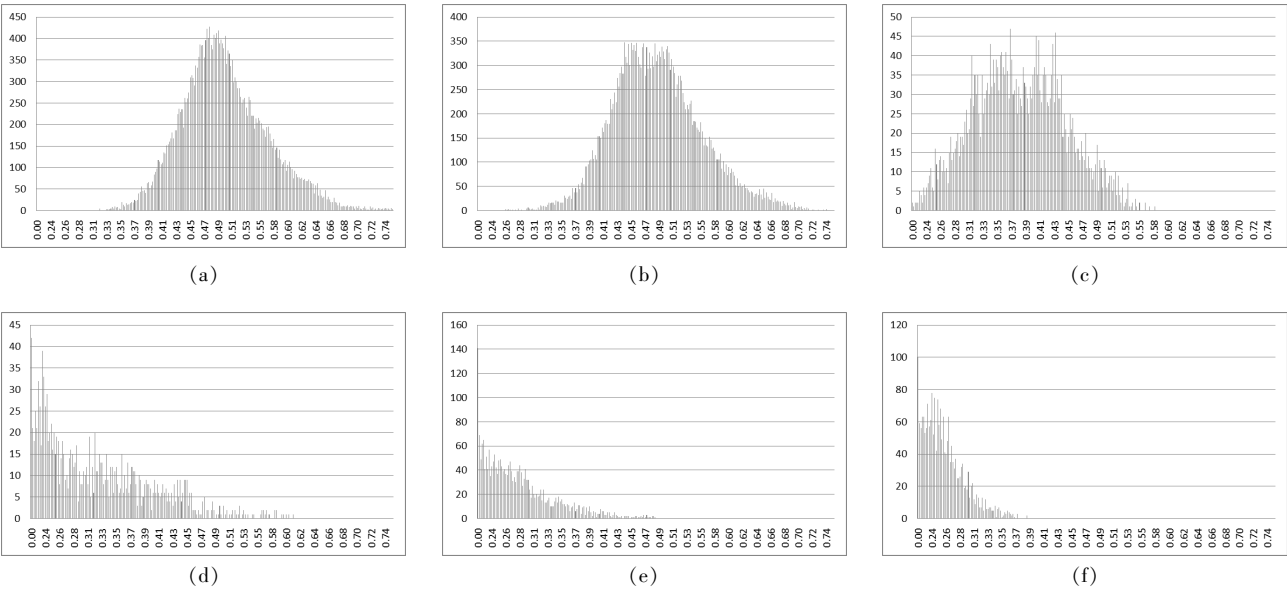


图 6 各样本区逆差距分布图(横轴: 逆差距, 纵轴: 像点数)

(a: 无房 A 区; b: 无房 B 区; c: 倒塌 C 区; d: 倒塌 D 区; e: 基本完好 E 区; f: 基本完好 F 区)

Fig.6 Inverse gap distribution map of sample areas (transverse axis: inverse gap, longitudinal axis: image points)
(a:no room A area;b:no room B area;c:collapse C area;d:collapse D area;e:basically intact E area;f:basically intact F area)

本研究使用平均值加减 1 倍均方差作为倒塌区的判定阈值, 得到倒塌区灰度共生矩阵对比度、逆差距和熵值的阈值范围。以同时满足倒塌区的

对比度、逆差距和熵值的阈值条件作为倒塌房屋的判别条件, 得到震后可能的倒塌房屋分布图像(图 8)。

从图 8 可以看出，倒塌房屋主要分布在城镇中心地带的老城区。此外，一些道路、方块地、陡壁等区域也可能被判定为房屋倒塌区，需要进一步具体分析。

3 地震前后遥感图像灰度共生矩阵特征参量联合分析

本研究识别地震破坏倒塌房屋的第二种方法

是首先从震前遥感图像中选取典型的有房区和无房区两种类型样本，分析各自的对比度、逆差矩和熵值的分布规律，计算相应的平均值和标准差，确定有房区的对比度、逆差矩和熵值的范围，筛选可能的房屋范围；再联合无房区特征值的范围，排除房屋范围中包含的树木和道路等；通过房屋范围的像点坐标对应确定有房范围；最后结合第一种方法的特征值的取值范围，联合筛选出可能的地震倒塌房屋范围。

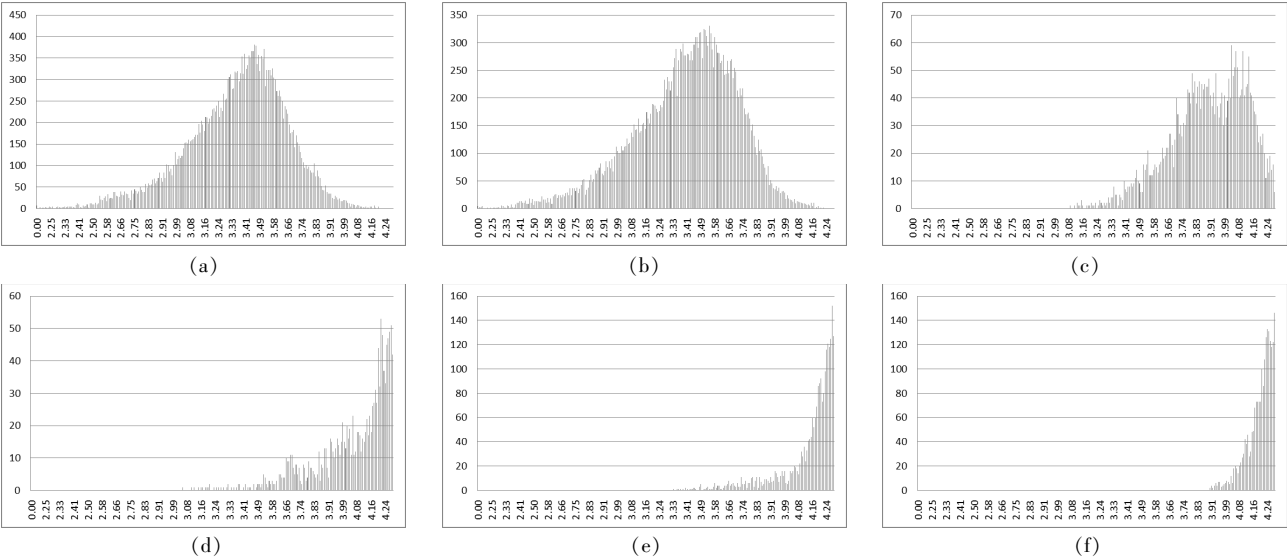


图 7 各样本区灰度共生矩阵熵值分布图 (横轴：熵，纵轴：像点数)
(a: 无房 A 区; b: 无房 B 区; c: 倒塌 C 区; d: 倒塌 D 区; e: 基本完好 E 区; f: 基本完好 F 区)
Fig.7 Entropy distribution of gray level co-occurrence matrix in each sample area (horizontal axis: entropy, vertical axis: image points)
(a:no room A area;b:no room B area;c:collapse C area;d:collapse D area;e:basically intact E area;f:basically intact F area)

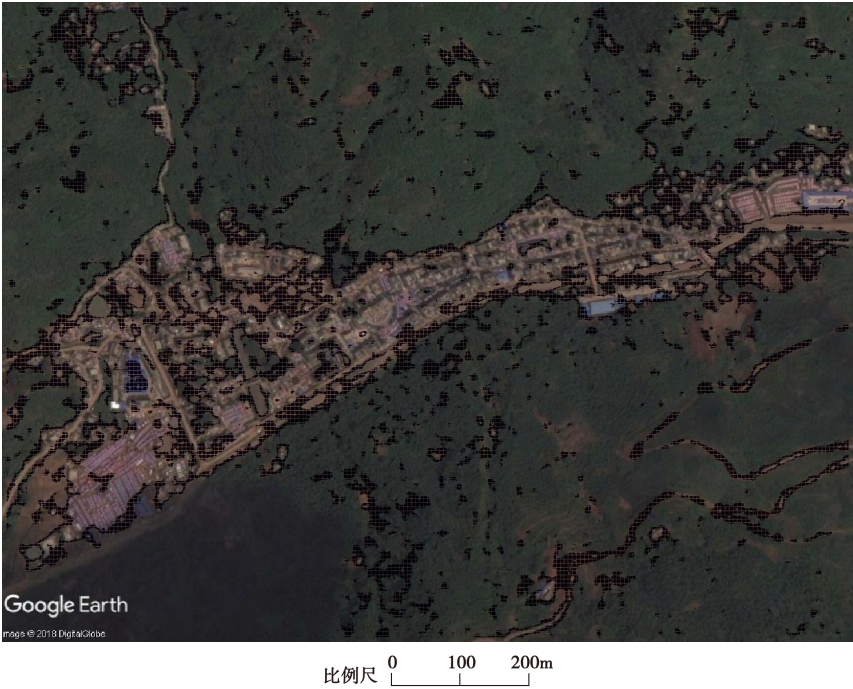


图 8 震后倒塌房屋提取结果分布图
Fig.8 Distribution map of extraction result of collapsed buildings after the earthquake

研究中在震前图像中分别选取有房区和无房区各2个样本区域(图9)。其中,无房区与前文第一种方法的A区和B区对应,有房区与前文第一种方法的C区和D区对应。

地震前无房区和有房区的灰度共生矩阵对比度分布见图10a~10d。从图中可见,无房区A对比度主要分布在3.0~10.0之间,呈偏对称分布,无房区B对比度主要分布在3.0~10.0之间,也呈偏对称分布。有房区C对比度主要分布在20.0~60.0之间,呈偏对称分布,有房区D对比度主要分布在10.0~80.0之间,呈基本对称分布。

地震前无房区和有房区的灰度共生矩阵逆差距分布见图11a~11d。从图中可见,无房区A逆差距主要分布在0.4~0.6之间,呈基本对称分布,无房区B逆差距主要分布在0.35~0.6之间,也呈基本对称分布。有房区C逆差距主要分布在0~0.27之间,呈左偏分布,有房区D逆差距主要分布在0~0.31之间,也呈左偏分布。

地震前无房区和有房区的灰度共生矩阵熵值分布见图12a~12d。从图中可见,无房区A熵值主要分布在3.69~4.16之间,呈基本对称分布,无房区B熵值主要分布在3.66~4.16之间,呈偏对称分布。有房区C熵值主要分布在4.2~4.35之间,呈右偏分布,有房区D熵值主要分布在4.2~4.35之间,也呈右偏分布。

地震前4个样本区的灰度共生矩阵对比度、逆差距和熵值的计算结果见表3,无房区和有房区各特征值的均值和标准差统计结果见表4。对于对比度来说,无房区值较小,有房区值较大;对于逆差距来说,无房区值较大,有房区值较小;对于熵值来说,无房区值较小,有房区值较大。

本文首先使用各特征参量的平均值加减1倍均方差作为有房区的初判阈值,然后以无房区对比度平均值加1倍均方差为下限,逆差距平均值减1倍均方差为上限,熵值平均值加1倍均方差为下限,进一步排除干扰信息,得到地震前可能的有房区分布图像(图13)。

从图13可以看出,有房区比较好地被提取出来,大部分道路、空地、陡壁和楼间树木分布区被较好地剔除了。

最后把有房区与方法一提取的可能倒塌房屋区进行空间影像点对点叠加,即可剔除道路、空地、陡壁和楼间树木分布区的干扰,得到较好的倒塌房屋分布区范围(图14)。

4 结语

本研究通过对高分辨率卫星遥感图像的应用,分析不同时间不同区域类型卫星影像灰度共生矩阵特征参量分类特征,快速获取极震区和高烈度

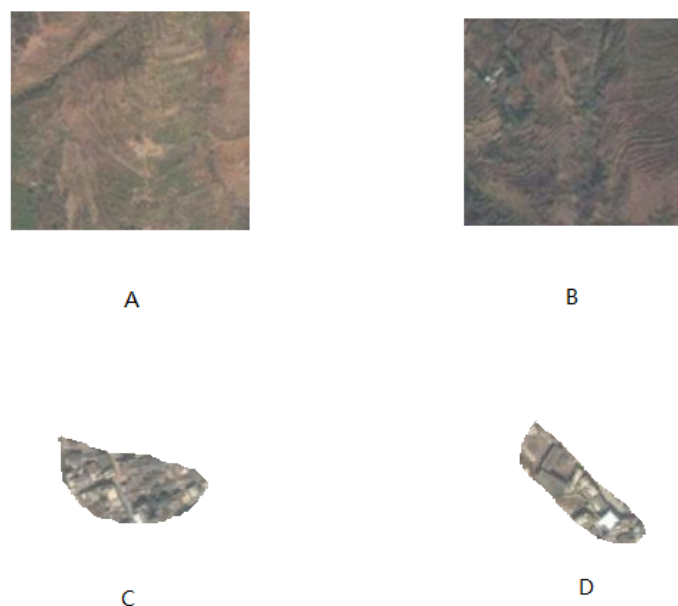


图9 鲁甸6.5级地震前龙头山镇有房与无房样本区分布图
(A、B为无房区,C、D为有房区)

Fig.9 Distribution map of sample area with and without housing in Longtoushan town before Ludian M6.5 Earthquake
(A, B are non-housing areas, and C, D are housing areas)

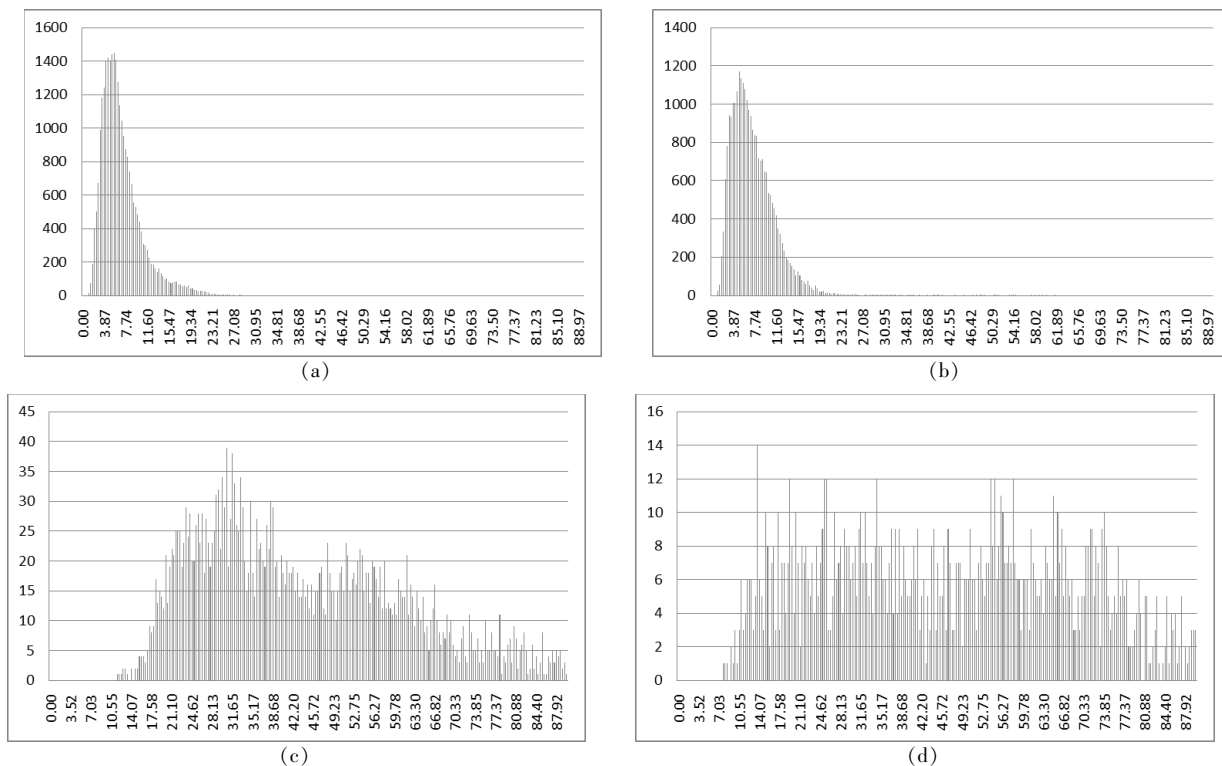


图 10 震前各样本区灰度共生矩阵对比度分布图(横轴:对比度,纵轴:像点数)

(a:无房 A 区;b:无房 B 区;c:有房 C 区;d:有房 D 区)

Fig.10 Contrast distribution map of gray level co-occurrence matrix in sample areas before the earthquake (horizontal axis: contrast, longitudinal axis: image points)

(a:no-room area A;b:no-room area B;c:with-room area C;d:with-room area D)

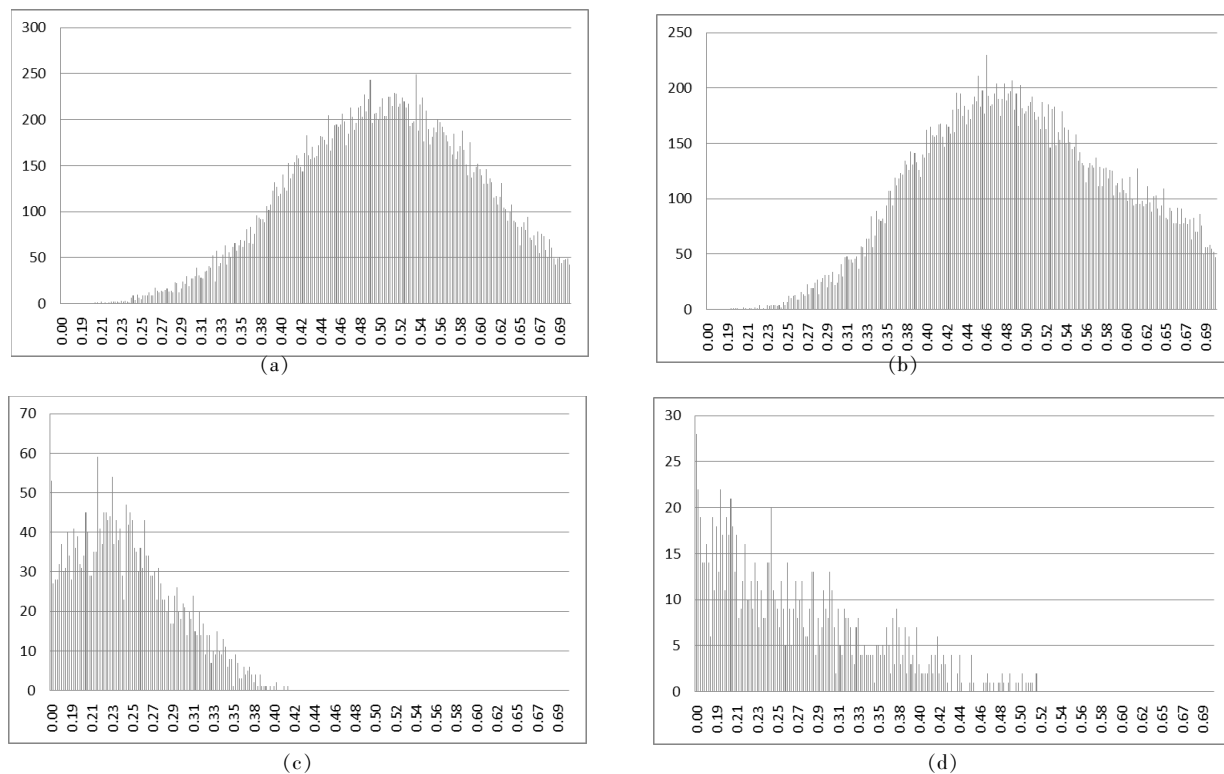


图 11 震前各样本区灰度共生矩阵逆差距分布图(横轴:逆差距,纵轴:像点数)

(a:无房 A 区;b:无房 B 区;c:有房 C 区;d:有房 D 区)

Fig.11 Inverse gap distribution map of gray level co-occurrence matrix in sample areas before the earthquake (transverse axis: inverse gap, longitudinal axis: image points)

(a:no-room area A;b:no-room area B;c:with-room area C;d:with-room area D)

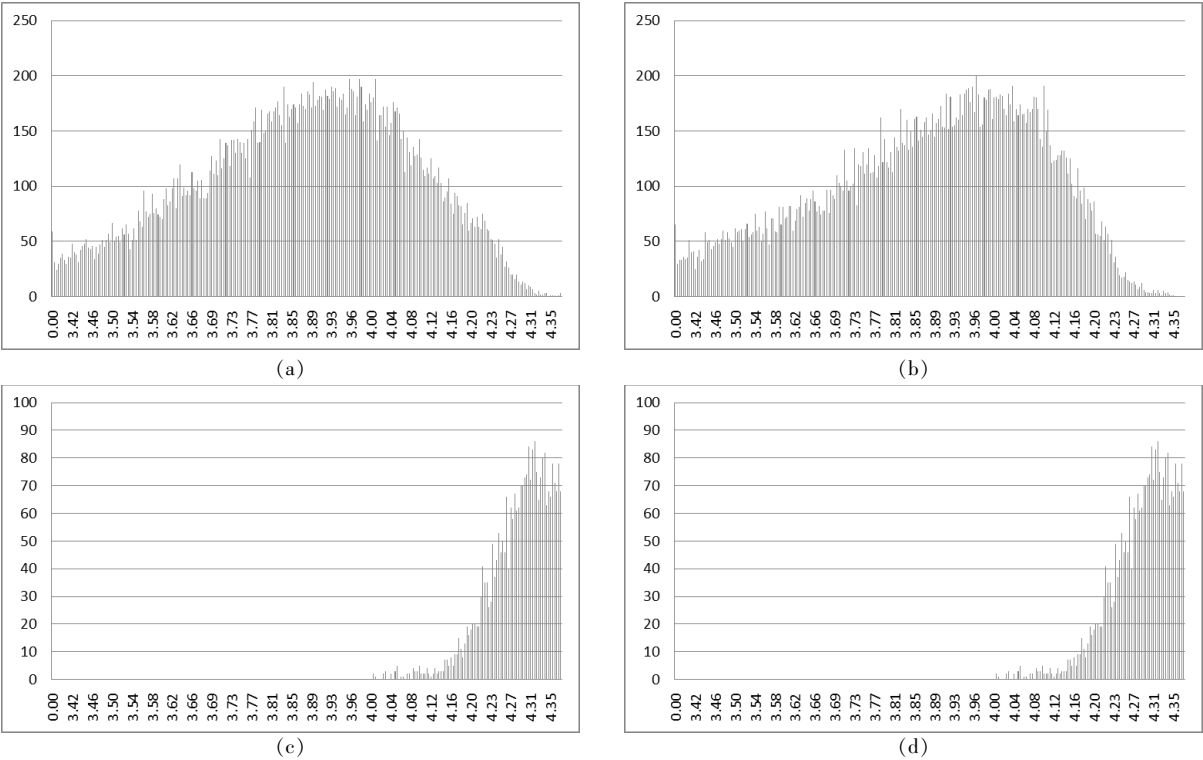


图 12 震前各样本区灰度共生矩阵熵值分布图 (横轴: 熵值, 纵轴: 像点数)
(a: 无房 A 区; b: 无房 B 区; c: 有房 C 区; d: 有房 D 区)

Fig.12 Entropy distribution map of gray level co-occurrence matrix in each sample area before the earthquake (horizontal axis: entropy value, vertical axis: image points)
(a:no-room area A;b:no-room area B;c:with-room area C;d: with-room area D)

表 3 震前有房和无房样本区灰度共生矩阵特征值计算结果

Table 3 The eigenvalue calculation results of gray level co-occurrence matrix in sample areas with and without houses before the earthquakes

震前特征值	无房区 A	无房区 B	有房区 C	有房区 D
对比度	7.13	7.63	47.45	62.05
逆差距	0.39	0.38	0.21	0.2
熵	3.84	3.85	4.3	4.3

表 4 震前有房和无房样本区灰度共生矩阵特征值的均值和标准差统计结果

Table 4 Statistical results of mean and standard deviation of eigenvalues of gray level co-occurrence matrix in sample areas with and without houses before the earthquakes

震前特征值	有房区		无房区	
	均值	标准差	均值	标准差
对比度	63.7511	26.7876	7.38	3.8768
逆差距	0.205	0.0276	0.385	0.0525
熵	4.3127	0.0970	3.845	0.0448



图 13 震前有房区提取结果图

Fig.13 Pre-earthquake extraction result map of housing areas



图 14 震后倒塌房屋分布区提取结果图

Fig.14 Extraction of distribution area of collapsed buildings after the earthquake

区的房屋破坏的信息,为震害快速评估及抢险救灾提供快速、准确的决策依据,也可为其它自然灾害的快速分区识别提供借鉴。本研究的初步认识主要有如下几个点:

(1)对震后卫星影像分析结果表明,无房区对比度值较小,基本完好区值较大,倒塌区居中;无房区逆差距值较大,基本完好区值较小,倒塌区居中;无房区熵值较小,基本完好区值较大,倒塌区居中。震后单时相图像提取方法(方法一,即依据倒塌房屋样本特征值范围判别)使用平均值加减1倍均方差作为倒塌区的判定阈值,得到了鲁甸6.5级地震后龙头山镇可能的倒塌房屋分布图像。倒塌房屋提取结果主要分布在城镇中心地带的老城区与实际情况吻合,但一些道路、方地、陡壁等区域也可能被判定为房屋倒塌区,需要进一步具体分析。此方法的缺点是震后倒塌房屋区样本人工判读选择比较耗时,并且对最终结果影响较大。

(3)对震前卫星影像分析结果表明,无房区对比度值小,有房区值大;无房区逆差距值大,有房区值小;无房区熵值小,有房区值大。本研究首先使用各特征参量的平均值加减1倍均方差作为有房区的初判阈值,然后以无房区对比度平均值加1倍均方差为下限,逆差距平均值减1倍均方差为上限,熵值平均值加1倍均方差为下限,进一步排除干扰信息,得到震前可能的有房区分布图像,最后把有房区与方法一提取的可能倒塌房屋区进行空间影像点对点叠加(方法二),得到鲁甸6.5级地震后较准确的倒塌房屋分布区范围,相比前一方法较好地剔除了道路、空地、陡壁和楼间树木分布区的干扰。此方法是对“方法一”的改进,倒塌房屋的提取结果更准确。

(3)随着遥感观测技术和信息分析技术的不断提高,高精度的遥感观测数据越来越丰富,对地震后倒塌房屋遥感影像特征的认识不断深化,震例资料积累越来越丰富多样,倒塌房屋遥感信息提取软件将不断升级,倒塌房屋信息提取也将会越来越自动、智能和快速。

由于时间、资料和水平等的限制,有些问题分析不够充分,例如遥感图像分辨率、观测时次、灰阶划分等问题仍有待将来进一步研究。

参考文献:

- [1] 柳稼航,单新建,尹京苑. 遥感图像自动识别城市震害房屋——以2001年印度库奇地震和1976年唐山地震为

例[J]. 地震学报,2004,26(6):623-633+678.

- [2] 王晓青,王龙,王岩,等. 汶川8.0级大地震应急遥感震害评估研究[J]. 震灾防御技术,2008,3(3):251-258.
- [3] Turker M, Emre S. Building-based damage detection due to earthquake using the watershed segmentation of the post-event aerial images [J]. Int J Remote Sens, 2008 (29): 3073-3089.
- [4] 张德成. 建筑物震害航空照片目视判读标志的初步研究[J]. 地震, 1993, 13(1): 26-30.
- [5] 雷莉萍,刘良云,张丽,等. 汶川地震房屋倒塌的遥感监测与分析[J]. 遥感学报, 2010, 14(2): 333-344.
- [6] 郭华东,鹿琳琳,马建文,等. 一种改进的地震灾害倒塌房屋遥感信息自动识别方法[J]. 中国科学通报, 2009, 54(17): 2581-258.
- [7] Vu T, Ban Y. Context-based mapping of damaged buildings from high-resolution optical satellite images[J]. International Journal of Remote Sensing, 2010, 31(13): 3411-3425.
- [8] 李祖传,马建文,张睿,等. 利用融合纹理与形态特征进行地震倒塌房屋信息自动提取[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2010, 54(4): 446-450.
- [9] 曾招城,李利伟,王正海,等. 基于监督分类的震后高分辨率影像倒塌房屋快速识别[J]. 遥感信息, 2011, 26(5): 76-80.
- [10] 张景发,谢礼立,陶夏新. 建筑物震害遥感图像的变化检测与震害评估[J]. 自然灾害学报, 2002, 11(2): 59-64.
- [11] 徐锡伟,江国焰,于贵华,等. 鲁甸6.5级地震发震断层判定及其构造属性讨论 [J]. 地球物理学报, 2014, 57(9): 3060-3068.
- [12] 中国地震局. 2014年8月3日云南鲁甸6.5级地震烈度分布图 [EB/OL]. (2014-08-07)[2019-05-05]. http://www.gov.cn/xinwen/2014-08/07/content_2731360.htm.