

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*

李西^{1,2}, 郭君³, 陈坤华², 卢永坤², 张彦琪², 庞卫东²

(1. 中国地震局地质研究所, 北京 100029; 2. 云南省地震局, 云南 昆明 650224;
3. 昆明理工大学 城市学院, 云南 昆明 650051)

摘要: 在“3·10”盈江 5.8 级及“3·24”缅甸 7.2 级地震发生后, 对比基于 GIS 的地震灾害损失初评估方法, 在震后 1 小时内给出的云南灾区范围、灾区人口、灾害直接经济损失、人员伤亡、失去住所人数的初评估结果与地震现场评估结果, 来验证该方法的可行性和实用性。通过对比分析, 找出基于 GIS 的初评估方法存在的问题, 并期望通过实际地震的检验, 不断发现问题, 并改进、完善该方法, 使之能更好为震后的科学决策和快速应急响应服务。

关键词: GIS; 初评估方法; 直接经济损失; 人员伤亡; 盈江地震

中图分类号: P315.9

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2012)01-0104-06

0 前言

破坏性地震发生后, 往往要一周以上时间才能得到地震灾害总评估结果, 不能及时为政府的科学决策、抗震救灾的部署提供必要的参考数据。如何快速评估地震灾害损失, 进一步发挥社会服务职能作用, 是防震减灾主管部门亟待解决的重要课题^①。多年来, 在规范化灾害损失评估资料不断积累的基础上, 经过深入研究和反复实践, 中国地震局于 2009 年编成《地震灾害损失初步评估规定(试行)》, 并于 2010 年 2 月发布实施, 在该指南的基础上, 笔者及课题组成员开发完成了基于 GIS 的云南地区地震灾害直接经济损失初评估软件。

2011 年 3 月 10 日 12 时 58 分 12 秒, 云南省德宏州盈江县平原镇(24.7°N, 97.9°E)发生了 5.8 级地震; 2011 年 3 月 24 日 21 时 55 分 13 秒, 缅甸(20.8°N, 99.8°E)发生了 7.2 级地震。笔者利用云南地区地震灾害直接经济损失初评估软件对两次地震分别作了灾区范围、灾区人口、灾害直接经济损失、人员伤亡、失去住所人数的初评估,

并均在震后 1 小时内将初评估结果及时提交给了云南省地震局决策人员。

1 初评估软件设计的总体思想

1.1 直接经济损失评估计算

当破坏性地震发生以后, 根据地震三要素(时间、地点、震级), 依据灾区历史地震的震害资料及烈度衰减关系, 同时结合灾区构造背景、震源机制解、震源破裂过程、余震序列分布等资料, 快速将地震烈度等震线绘制出来; 再结合灾区历史地震的震害矩阵、重置单价以及基础资料数据库快速统计、计算出的灾区内各类房屋总面积, 遵照国家标准《地震现场工作第 4 部分: 灾害直接损失评估》(GB/T18208.4-2005)规定, 计算各评估子区各类房屋在某种破坏下的直接经济损失 L_h 为

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

即: 房屋破坏经济损失 = 房屋建筑总面积 × 破坏比 × 损失比 × 建筑单价。

在初评估工作中, 房屋直接经济损失评估的

* 收稿日期: 2011-04-28.

基金项目: 地震行业科研专项“宁洱 6.4 级地震现场综合考察和研究”(200808061)及地震联合基金项目(2007)地震现场灾害损失初评估实用性方法论证联合资助。

① 中国地震局. 2010. 《地震灾害直接损失初评估工作指南》(试行).

模型及原理与现场损失总评估相同，但要在震后数小时或 1~3 天内给出损失评估结果，就要求在不现场调查或有限的现场调查情况下快速获取 (1) 式中的房屋建筑总面积 S 、破坏比 R 、损失比 D 和建筑单价 P 。

1.1.1 云南地区烈度衰减关系研究

烈度衰减关系的确定是初评估工作中灾区面积、人口以及各类房屋建筑面积统计、计算的基础。汪素云等 (2000) 通过对中国西部历史地震资料研究，得到了中国西部烈度衰减关系。笔者发现，在云南地区 6 级以下地震使用西部烈度衰减模型绘制的烈度等震线，尤其是在开展灾评工作以后得到的烈度等震线范围与实际地震烈度等震线范围有较大出入。李世成等 (2003) 对云南地区烈度衰减关系进行了研究，得到了云南分区烈度衰减关系，李永强和王景来 (2007) 在研究中也引用此衰减关系。但笔者对云南分区烈度衰减关系给定烈度及震级，并计算烈度等震线半径时，发现所得烈度半径值远大于理论及实际调查结果，因此没有采用该模型。

基于以上原因，笔者选用 1913~2008 年在云南省境内及周边发生的 140 个破坏性地震 ($M_s \geq 4.7$)，其中：4.7 ≤ M_s ≤ 4.9 地震 7 个；5.0 ≤ M_s ≤ 5.9 地震 89 个；6.0 ≤ M_s ≤ 6.9 地震 37 个；7.0 ≤ M_s ≤ 7.7 地震 7 个。用 140 个地震的烈度等震线资料进行了回归分析，得到了云南地区的烈度衰减关系如下：

$$I_a = 5.4154 + 1.2792M - 3.8738\lg(R_a + 21),$$
$$\sigma = 0.5204;$$
$$I_b = 3.3421 + 1.1719M - 2.8268\lg(R_b + 7),$$
$$\sigma = 0.4931.$$

(2)

式中， I_a 、 I_b 分别表示长、短轴烈度； M 表示震级； R_a 、 R_b 分别是指烈度为 I 时烈度圈的长、短半轴的长度； σ 为标准差。

1.1.2 震后 1~2 小时内的房屋直接经济损失评估

在震后无现场调查资料的情况下，(1) 式中的破坏比 R 、损失比 D ，可以通过研究灾区或其邻区历史地震震害矩阵得到。建筑单价 P 可以参照近期灾区或邻区地震的各类建筑单价进行取值，对于房屋建筑总面积 S ，可由下式求得

$$S_{ij} = G_i \times \sigma_{pi} \times S_{pj} + G_i \times \sigma_{ci} \times S_{cj}.$$

(3)

式中， S_{ij} 表示第 i 个评估区，第 j 种结构房屋的面积； G_i 表示第 i 个评估区的人口，可由云南地区烈度衰减关系式 (2) 绘制的烈度等震线及基础数据库快速求得； σ_{pi} 表示第 i 个评估区非城镇人口所占评估区总人口的百分比； σ_{ci} 表示第 i 个评估区城镇人口所占评估区总人口的百分比； S_{pj} 表示第 j 种结构非城镇人口人均的建筑面积， S_{cj} 表示城镇人口人均第 j 种结构的建筑面积，其值都可根据课题组成员对云南地区典型区域房屋结构调查资料统计得到。

1.1.3 震后 1~3 天内的房屋直接经济损失评估

在震后 1~3 天内，在现场初步调查的基础上开展初评估时，因在短时间内无法根据现场调查得到 (1) 式中的房屋建筑总面积 S ，同样可以参考式 (2) 计算方法，式 (3) 中的参数可以根据现场调查情况作相应调整；损失比 D 参考现场调查规范取值；建筑单价 P 从灾区现场调查中获得；破坏比 R 的计算方法与总评估时不同，采用加权平均方法确定，首先由评估专家依据抽样点的代表性与抽样质量确定评估区各抽样点的权系数，然后计算该评估区建筑物的破坏比 (王晓青，丁香，2004)。

1.1.4 其他直接经济损失评估

根据历史地震统计其他 (生命线、水利、区外等) 直接经济损失，分析其占房屋直接经济损失的比例关系，从而快速估算出其他直接经济损失，云南地区其他经济损失与房屋总损失的比例见表 1。

房屋直接经济损失与其他直接经济损失之和即为此次地震造成的直接经济损失 (晏凤桐，2003)。

表 1 云南地区其他经济损失占房屋总损失的比例 (1992~2008 年)

Tab. 1 Ratio of the other economic losses to the total buildings losses in Yunnan region from 1992 to 2008

| 震级范围 | 统计个数 | 房屋损失 占总损失 比例 (%) | 其他经济损失占总 损失的比例 (%) | 其他经济损失 占房屋总损 失的比例 (%) |
|---------|------|------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| 4.9~5.3 | 28 | 82.28 | 17.72 | 21.54 |
| 5.4~5.8 | 9 | 75.27 | 24.73 | 32.86 |
| 5.9~6.3 | 6 | 74.93 | 25.07 | 33.46 |
| 6.4~6.8 | 2 | 72.41 | 27.59 | 38.10 |

1.2 人员伤亡估计模型

(1) 死亡人数估计模型

$$d_n(I) = A_1d_1\rho + A_2d_2\rho + A_3d_3\rho + A_4d_4\rho + A_5d_5\rho.$$

(4)

式中, $d_n(I)$ 为预测区内地震烈度为 I 时的死亡人数; A_1, \dots, A_5 表示建筑物破坏状态为 D_1, \dots, D_5 的总面积; d_1, \dots, d_5 表示建筑物破坏状态为 D_1, \dots, D_5 时, 建筑物内部人口的死亡率 (表 2); ρ 为单位面积人数 (预测区内总人口/房屋总面积)。各烈度区死亡人数之和即为地震造成的总的死亡人数 (尹之潜, 1995)。

表 2 不同破坏状态房屋的死亡人口比例

Tab. 2 Death proportion of destruction houses in different states

| 破坏状态 | 基本完好 D_1 | 轻微破坏 D_2 | 中等破坏 D_3 | 严重破坏 D_4 | 毁坏 D_5 |
|------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------------|
| 死亡率 | 0 | 0 | 0.000 001 | 0.001 | 1/60 (日) 1/30 (夜) |

(2) 重伤人数估计模型

$$h_n(I) = A_1h_1\rho + A_2h_2\rho + A_3h_3\rho + A_4h_4\rho + A_5h_5\rho.$$

(5)

式中, $h_n(I)$ 为预测区内地震烈度为 I 时的重伤人数; A_1, \dots, A_5 表示建筑物破坏状态为 D_1, \dots, D_5 的总面积; d_1, \dots, d_5 表示建筑物破坏状态为 D_1, \dots, D_5 时, 建筑物内部人口的重伤率 (表 3); ρ 为单位面积人数。各烈度区重伤人数之和即为地震造成的总的重伤人数 (尹之潜, 1995)。

表 3 不同破坏状态房屋的重伤人口率

Tab. 3 Seriously wounded people proportion of destruction houses in different states

| 破坏状态 | 基本完好 D_1 | 轻微破坏 D_2 | 中等破坏 D_3 | 严重破坏 D_4 | 毁坏 D_5 |
|------|---------------|---------------|---------------|---------------|-------------|
| 重伤率 | 0 | 0.000 001 | 0.000 01 | 0.005 | 1/15 |

1.3 失去住所人数预测模型

$$HL_n(I) = (A_5 + A_4 + 7A_3/10) / a - d_n(I).$$

(6)

式中, $HL_n(I)$ 是烈度为 I 时预测区内需安置的人数; a 为预测区内人均居住面积, 单位是 m^2 ; A_5, A_4, A_3 分别表示发生 D_5 、 D_4 、 D_3 级破坏的居住房屋面积, 单位是 m^2 ; $d_n(I)$ 为预测区内地震烈度为 I 时的死亡人数, 由 (4) 式求得。各烈度区需安置人数之和即为地震造成的总的需安置人数 (尹之潜, 1995)。

(4) ~ (6) 式中, D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 、 D_5 分别表示: 基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏和毁坏。

2 初评估软件功能及流程

根据地震灾害损失初步评估的要求, 在云南省各乡镇人口、国土面积、全省构造背景基础数据库图层的支持下, 使用基于 GIS 的云南地区地震灾害直接经济损失软件实现地震烈度等震线图绘

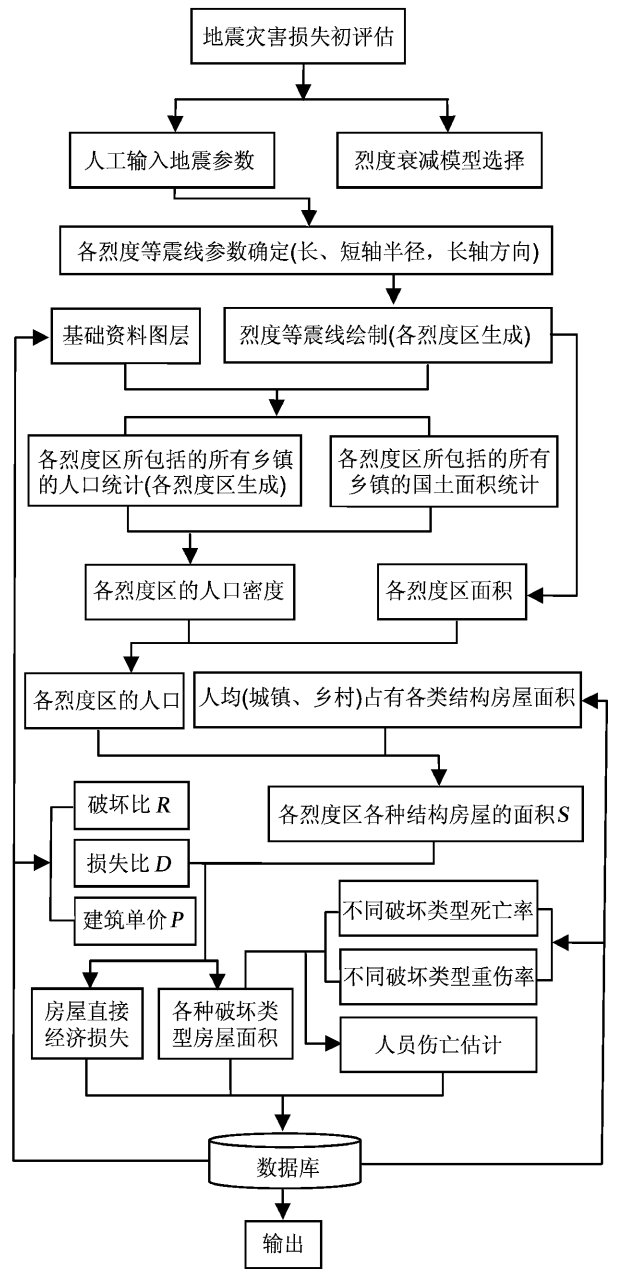


图 1 软件功能及流程图

Fig. 1 Software function and flow chart

制、灾区基础资料统计、经济损失及人员伤亡初步评估计算和输出等功能，其主要功能模块及流程如图1所示（李东平等，2006；李西等，2005，2007，2009）。

3 初评估方法应用

3.1 盈江5.8级地震后云南灾区初评估结果

2011年3月10日，盈江发生5.8级地震后，笔者选择了基于云南及邻区1913~2008年历史地震资料回归分析出的烈度衰减模型，对此次地震的灾区面积作了预测（图2），并遵照国家标准《地震现场工作第4部分：灾害直接损失评估》（GB/T 18208.4—2005）规定，依据预测的灾区面积和基础数据库资料，同时结合云南地区历史震害矩阵、云南地区典型区域的人均各类房屋占有面积、震区（邻区）近期地震所取房屋重置单价（见图3计算窗口），使用图1流程，对此次地震

进行了初评估，评估结果为：灾区面积（国内）：4 400 km²；死亡人员（国内）：10人以上；受伤人员（国内）：500人左右；灾区人口（国内）：38~44万人；失去住所人数（国内）：10万人左右；直接经济损失（国内）：20~25亿元人民币。

3.2 缅甸7.2级地震后云南灾区初评估结果

2011年3月24日，缅甸发生7.2级地震后，笔者运用云南地区烈度衰减模型，使用图1流程，就此次地震对云南造成的影响进行了初评估，评估结果为：灾区面积（国内）：3 000~3 500 km²；死亡人员（国内）：0；受伤人员（国内）：10人左右；灾区人口（国内）：15~20万人；直接经济损失（国内）：5~10亿元人民币。

4 结果对比

盈江5.8级地震损失初评估结果与现场损失评估结果进行对比：初评估与现场评估烈度等震线的长轴方向基本相同，图4中粉红色线为现场调查烈度等震线，初评估Ⅵ、Ⅶ、Ⅷ度烈度等震线分别为图中淡绿色、黄色、紫色椭圆（环）外边界线，都与大盈江断裂的走向基本一致。现场评估的国内灾区总面积约4 180 km²，与初评估的4 400 km²相差约220 km²；盈江5.8级地震死亡人员25人，初评估为10人以上；此次地震受伤人员中重伤134人，轻伤180人，合计314人，初评估

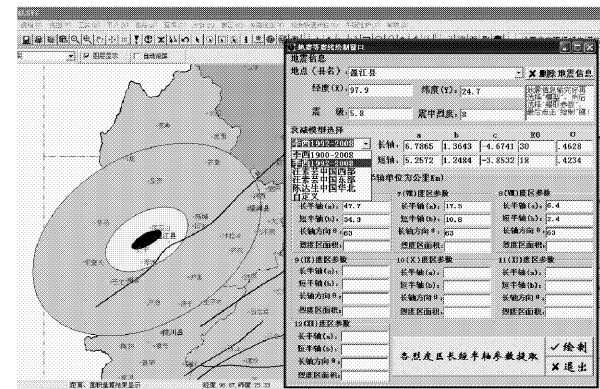


图2 初评估烈度等震线的绘制

Fig. 2 Isoseismal drawing of seismic intensity in primary assessment

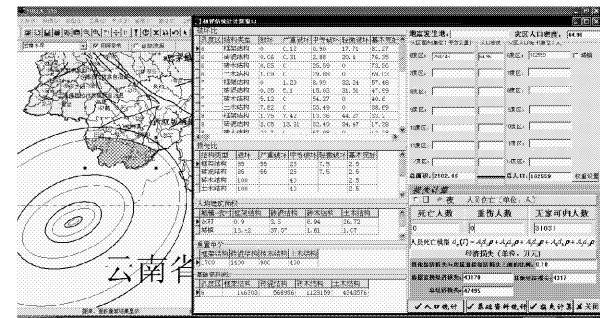


图3 缅甸7.2级地震初评估窗口

Fig. 3 Primary assessment window of the Myanmar $M_s7.2$ earthquake

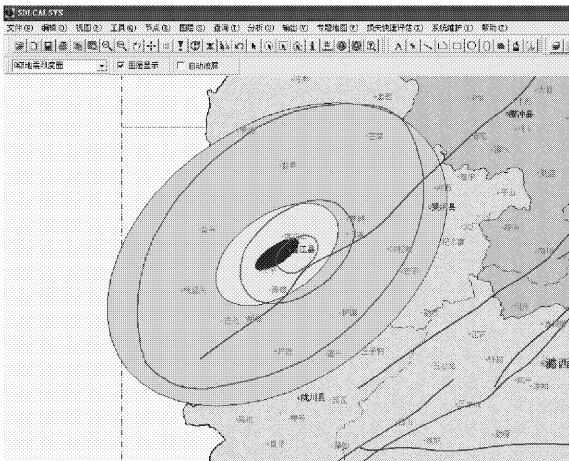


图4 盈江5.8级地震初评估烈度等震线
与现场调查烈度等震线对比

Fig. 4 Comparison isoseismal of seismic intensity between primary assessment and field investigation of Yingjiang $M_s5.8$ earthquake

为 500 人左右;灾区人口为 35.3 万余人,初评估结果是 38 ~ 44 万人;此次地震造成的失去住所人数为 12.3 万余人,初评估结果为 10 万人左右;此次地震造成的直接经济损失约为 23.8 亿元人民币,初评估结果为 20 ~ 25 亿元人民币。

缅甸 7.2 级地震在云南灾区损失初评估结果与现场损失评估结果进行对比:缅甸 7.2 级地震造成中国境内 VI 度破坏区面积约 3 970 km²,如图 5 中粉色方格填充区域,初评估预测区域为红色等震线所圈,中国境内 VI 度区面积约 3 500 km²;本次地震国内灾区人口约 23.3 万人,初评估结果 15 ~ 20 万人;此次地震中国境内无人员死亡,12 人受伤,其中 3 人重伤,初评估结果是无人员死亡,受伤人员 10 人左右;此次地震造成国内直接经济损失约 3.37 亿元,初评估结果为 5 ~ 10 亿元。

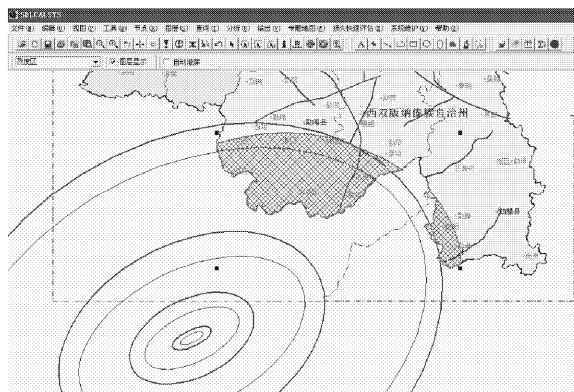


图 5 缅甸 7.2 级地震初评估烈度等震线与现场调查烈度等震线对比

Fig. 5 Comparison seismic intensity between primary assessment and field investigation of Myanmar M_s 7.2 earthquake

5 讨论及结论

从实际应用情况来看,基于 GIS 的初评估方法

在这两次地震后的初评估结果与现场评估的结果基本吻合,尤其是在人员伤亡、烈度等震线长轴方向预测方面。在直接经济损失方面,盈江 5.8 级地震的初评估结果比缅甸 7.2 级地震造成的云南灾区的直接经济损失的初评估结果理想。主要原因是:盈江是一个近期地震活动较为频繁、震区及周边震例较多,历史地震资料较为丰富,所以评估的结果较为理想;而缅甸 7.2 级地震影响区的中国境内震例相对较少,在损失计算模型的参数(如破坏比)取值上与实际调查结果相差较大。由此可见,基于 GIS 的初评估方法在多震地区的初评估结果较少震区更为理想,为了进一步做好云南省的初评估工作,还应加强该方法在少震区的研究。

参考文献:

- 李东平,赵锦慧,沈晓健,等. 2006. 基于 GIS 技术的浙江省地震应急指挥演练系统[J]. 地震研究, 29(3): 290 - 293.
- 李世成,崔建文,韩新明. 2003. 云南地区地震烈度衰减特征研究[J]. 中国地震, 19(3): 287 - 294.
- 李西,崔建文,郭君. 2007. 基于 MapX 的云南省数字强震台站管理地理信息系统的设计及开发[J]. 地震研究, 30(2): 201 - 204.
- 李西,高建国,郭君. 2005. 矿区多媒体地理信息系统设计[J]. 昆明理工大学学报(理工版), 30(2): 7 - 10.
- 李西,周光全,郭君,等. 2009. 地震灾害损失评估软件开发[J]. 地震研究, 32(1): 84 - 88.
- 李永强,王景来. 2007. 云南地震灾害与地震应急[M]. 昆明: 云南科技出版社.
- 汪素云,俞言祥,高阿甲,等. 2000. 中国分区地震动衰减关系的确定[J]. 中国地震, 16(2): 99 - 106.
- 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.
- 晏凤桐. 2003. 地震灾情的快速评估[J]. 地震研究, 26(4): 382 - 387.
- 尹之潜. 1995. 地震灾害及损失预测方法[M]. 北京: 地震出版社.
- GB/T18208.4 - 2005, 地震现场工作第 4 部分: 灾害直接损失评估[S].

Application of Primary Assessment Method Based on GIS after the Yingjiang $M_s5.8$ and Myanmar $M_s7.2$ Earthquakes

LI Xi^{1,2}, GUO Jun³, Chen Kun-hua², Lu Yong-kun², Zhang Yan-qi², Pang Wei-dong²

(1. *Institute of Geology, CEA, Beijing 100029, China*)

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

(3. *City College, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650051, Yunnan, China*)

Abstract

We apply the primary assessment method based on GIS for the Yingjiang $M_s5.8$ earthquake on Mar. 10, 2011 and the Myanmar $M_s7.2$ earthquake on Mar. 24, 2011 to verify its feasibility and practicality through comparing the primary assessment and the field assessment on areas, population, direct economic losses, casualties, and number of homeless of disaster areas in one hour after earthquake. Through comparative analysis, we find problems of the primary assessment method, then modify and improve it through seismic testing, so that the method can better serve the scientific post-earthquake decision-making and rapid emergency response.

Key words: GIS; primary assessment method; direct economic losses; casualties; Yingjiang earthquake