

# 地震灾情快速评估方法和应用： 以玉树地震为例

吴立新<sup>1</sup>, 李志锋<sup>1</sup>, 王植<sup>1,2</sup>, 李金平<sup>3</sup>, 刘纯波<sup>4</sup>

1. 北京师范大学减灾与应急管理研究院, 北京 100875
2. 东北大学资源与土木工程学院, 沈阳 110004
3. 云南师范大学旅游与地理科学学院, 昆明 650092
4. 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101

**摘要** 地震突发性强, 短时间内可造成严重伤亡和损失, 需要进行应急响应和震害快速评估。针对中国震害评估中存在的空间对应性和时间有效性问题, 总结分析了中国大陆地区地震烈度的已有快速评估模型, 提出了考虑震源机制解的带方向的地震烈度图快速生成方法。进而在应急评估模式下, 针对不同的数据完备性, 设计并开发了利用 GIS 空间叠加分析功能的震害快速评估演进模型与方法, 包括震害倒损房屋和受灾人口的定性定量评估, 解决了时间有效性问题。以玉树地震为例, 对倒损房屋和受灾人口进行了定性和定量评估; 与国务院公布的受灾人数对比, 误差为 23.3%, 符合国家减灾应急要求 (误差 < 30%), 表明本文模型合理、评估结果可靠, 有应用前景。

**关键词** 地震灾情; 倒损房屋; 受灾人口; 快速评估; 玉树地震

**中图分类号** P315.9

**文献标识码** A

**文章编号** 1000-7857(2010)24-0038-06

## Rapid Assessment of Earthquake Disaster: With Yushu Earthquake as an Example

WU Lixin<sup>1</sup>, LI Zhifeng<sup>1</sup>, WANG Zhi<sup>1,2</sup>, LI Jinping<sup>3</sup>, LIU Chunbo<sup>4</sup>

1. Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Beijing Normal University, Beijing 100085, China
2. College of Resources and Civil Engineering, Northeast University, Shenyang 110004, China
3. School of Tourism and Geography Science, Yunnan Normal University, Kunming 650092, China
4. Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

**Abstract** The earthquake will result in severe damages in a short time. The emergency response and rapid assessment are necessary. In view of the shortcomings of available earthquake disaster assessment methods in spatial and temporal scales, based on a review of current evaluation models for rapid assessment of seismic intensity, this paper proposes a method for generating seismic intensity map based on seismological mechanism solutions. Using available data, the chains of rapid assessment of earthquake disaster were analyzed, and different models were established for different temporal scales of data sets. By using GIS overlay, the assessment models were mathematically established and software developed, including the qualitative and quantitative assessment of damaged houses and affected population due to earthquake. Finally, taking the Yushu earthquake as an example, the affected population and damaged buildings were qualitatively and quantitatively assessed. As compared to the announced data from the State Council, the error of rapid assessment results on affected population were 23.3%, which is in the range of the demands of national disaster reduction and emergency (with error less than 30%). It shows that the method and models presented in this paper are reasonable and reliable, and is of value for future applications.

**Keywords** earthquake disaster; damaged house; affected population; rapid assessment; Yushu earthquake

收稿日期: 2010-10-09; 修回日期: 2010-11-29

基金项目: 国家减灾委/民政部重大项目 (TC088655-2); 国家重点基础研究发展计划 (973 计划) 项目 (2011CB707102)

作者简介: 吴立新 (中国科协所属全国学会个人会员登记号: E381010119S), 教授, 研究方向为数字减灾与数字矿山、灾变遥感与灾害测量、空间信息理论与算法等, 电子信箱: awulixin@263.net

## 0 引言

地震是突发性重大自然灾害之一,大地震往往造成十分严重的灾害。地震灾害快速评估是地震应急响应与政府决策的重要依据,可靠的地震灾害快速评估对提高地震应急能力有重要意义<sup>[1-2]</sup>。近年,地理信息系统(GIS)技术已被广泛用于震害评估,建立了实用的防震减灾信息系统<sup>[3]</sup>。针对震害快速评估问题,国内学者也做了大量研究,但也存在一些不足。例如,文献[4]将地震灾害损失分为4个级别进行评估,并提出了评估时效性问题;文献[5]基于人口统计方法进行区域震害灾情定性快速评估;文献[6]、[7]利用GIS技术建立了震害快速评估模式,但均未顾及建筑结构及其分类数据的可获性。文献[8]~[12]介绍了应用遥感技术对地震灾情进行评估的基本思想、技术方案与具体措施,但受遥感平台制约和灾害天气影响,遥感数据不能及时获取,数据预处理时间长,难以满足地震快速评估的应急需求。

针对上述问题,本文考虑了数据可获性的变化过程,提出了震害灾情快速评估演进模型;并利用GIS空间叠置技术开发了灾情空间分析软件。该软件已在玉树地震灾情快速评估和救灾决策中发挥重要作用,并获得中国地理信息系统协会“玉树抗震救灾GIS服务特殊贡献”表彰。

## 1 地震烈度快速评估

地震烈度图是震害快速评估的基础。最简单、快捷的地

震烈度图是同心圆模式,但它不能反映地震烈度的方向性差异,例如汶川地震烈度的主方向是沿龙门山断裂,而同心圆模式反映不出来。地震发生后,在震害遥感影像尚未获得、地震部门尚未发布地震烈度图的情况下,利用中国地震局快速发布的震级、震中地理坐标和震源机制解等相关参数,快速评估出带方向性的地震烈度分布是地震应急评估的首要任务。地震烈度衰减模型主要有简化的点圆模型、计算的椭圆模型和统计的联合衰减模型<sup>[13]</sup>,本文采用统计的联合衰减模型。

### 1.1 联合衰减模型的衰减方程

因震源深度仅对近场小范围区域有影响,故地震烈度联合衰减回归方程中不考虑震源深度的影响。采用以下地震烈度衰减回归方程<sup>[14]</sup>:

$$I = b_1 + b_2 M + b_3 \ln(R_a + b_4) + b_5 \ln(R_b + b_6) + e \quad (1)$$

式中, $I$ 为烈度; $M$ 为震级; $R_a, R_b$ 为等烈度线长半轴、短半轴(单位一般取km); $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$ 为回归常数; $e$ 为回归分析中表示不确定性的随机变量,通常假定为对数正态分布,其均值为零。

中国大陆不同区域地质构造有一定差异,可选择采用不同区域的地震烈度衰减回归方程。本文对现有研究成果<sup>[13-18]</sup>进行了归纳总结,提出了中国大陆不同分区的地震烈度快速评估实用方程序列(表1)。其中,东部和西部地区衰减方程可供发震地区无具体的地震烈度衰减回归方程时通用。

表1 中国大陆不同区域的联合衰减方程

Table 1 Combined attenuation equation of different regions of Chinese mainland

区域	联合衰减模型的衰减方程	标准差	公式编号
中国东部地区(105°E以东)(文献[14])	$I_a = 5.019 + 1.446M - 4.136 \lg(R_a + 24)$ $I_b = 2.240 + 1.446M - 3.070 \lg(R_b + 9)$	$\sigma = 0.517$	(2)
中国西部地区(105°E以西)(文献[14])	$I_a = 5.253 + 1.398M - 4.164 \lg(R_a + 26)$ $I_b = 2.019 + 1.398M - 2.943 \lg(R_b + 8)$	$\sigma = 0.632$	(3)
上海及邻近地区(上海,江苏,浙江,安徽,福建,南海海)(文献[15])	$I_a = 3.575 + 1.2972M - 3.0988 \lg(R_a + 15)$ $I_b = 2.2339 + 1.2972M - 2.7254 \lg(R_b + 7)$	$\sigma = 0.36$	(4)
大华北地区(山东,山西,陕西,内蒙,河北,辽宁)(文献[16])	$I_a = 3.727 + 1.429M - 1.538 \ln(R_a + 12)$ $I_b = 1.483 + 1.429M - 1.138 \ln(R_b + 4)$	$\sigma = 0.518$	(5)
西南地区(龙门山断裂带以北,安宁河,则木河,小江断裂带以西,四川,云南,甘肃)(文献[17])	$I_a = 7.3568 + 1.2780M - 5.0655 \lg(R_a + 24)$ $I_b = 3.9502 + 1.2780M - 3.7567 \lg(R_b + 9)$	$\sigma = 0.70$	(6)
四川盆地(龙门山断裂带以南,安宁河,则木河,小江断裂带以东,四川,重庆,贵州)(文献[17])	$I_a = 4.0293 + 1.3003M - 3.6404 \lg(R_a + 10)$ $I_b = 2.3816 + 1.3003M - 2.8573 \lg(R_b + 5)$	$\sigma = 0.45$	(7)
华中、华南地区(广东,广西,福建,江西,河南,重庆)(文献[18])	$I_a = 6.6079 + 0.9543M - 3.5688 \lg(R_a + 18)$ $I_b = 4.9540 + 0.9543M - 2.9566 \lg(R_b + 9)$	$\sigma = 0.540$	(8)

注: $I_a, I_b$ 分别为长、短半轴上的地震烈度; $M$ 为震级; $R_a, R_b$ 分别为烈度为 $I$ 的椭圆等震线的长轴和短半轴长度, $\sigma$ 为标准差。

Notes:  $I_a$  and  $I_b$  are the seismic intensities along long-axis and short-axis, respectively;  $M$  is earthquake magnitude;  $R_a$  and  $R_b$  are the length of the long-axis and short-axis of the elliptical isoseismal line with intensity- $I$ , respectively;  $\sigma$  is the standard error.

### 1.2 绘制地震烈度分布图

首先,根据震级和震区联合衰减方程,计算得到震中最

大烈度值及震区不同烈度等值线的值;然后,根据地震烈度等值线值反演与之对应的椭圆等震线的长、短半轴长度值

$(R_a, R_b)$ , 并计算局部坐标系下椭圆等震线上点的坐标  $(x, y)$ ; 之后, 根据震中坐标  $(x_0, y_0)$ 、震源机制解 (长半轴  $R_a$  的旋转角  $\theta$ ), 按下式计算相应点的地理坐标  $(X, Y)$ , 连接等震线, 即得到带方向性的地震烈度分布图。

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ x_0 & y_0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

## 2 灾情快速评估

震害应急快速评估需要针对数据的可获性及其完备性发展情况, 从定性到定量分阶段地进行。根据实际操作过程中数据准备与获取的难易程度, 以地震发生时刻为起点迅速启动区域总体应急评估, 随时间推移逐渐逼近数据完备情况下的局地细节精确评估, 如图 1 所示。本文以倒损房屋、受灾人口为震害灾情评估对象, 介绍评估模型序列及其演进情况。

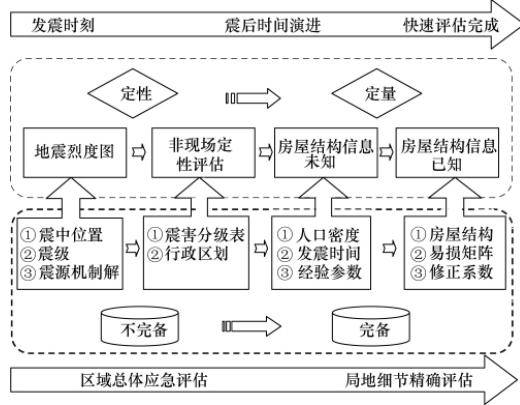


图 1 震害快速评估演进模式

Fig. 1 Evolution of rapid assessments of earthquake disaster

### 2.1 倒损房屋快速评估

房屋倒损快速评估分为定性评估和定量评估。评估过程中, 要充分利用当前可获得的震害烈度图、中国行政区划图、震害分级表、房屋易损矩阵、房屋结构、房屋是否进行抗震设防等基础数据, 采用不同的评估模型进行相应的评估, 如表 2 所示。

#### 2.1.1 房屋倒损定性评估

地震发生短时间内尚无震后遥感影像数据, 则需利用国家基础地理信息 (主要为行政区划图)、震害程度分级表、地震烈度图定性评估灾区房屋倒损情况。为便于计算, 引入平均烈度描述受灾行政单元内 (一般为县) 不同烈度区的面积

表 2 房屋倒损快速评估模型演进关系

Table 2 Evolution of the relationship between models for rapid assessment of damaged house

评估模型	地震烈度图	行政区划图	震害分级表	易损矩阵	房屋结构
房屋倒损定性评估	●	●	●		
房屋倒损定量评估	●	●	●	●	●

注: "●"表示该数据可获得。

Note: "●" expresses that data can be obtained.

加权值, 其对应的房屋倒损率、受灾人口比例见震害程度分级表<sup>[10]</sup>(表 3)。

表 3 平均地震烈度与房屋倒损率、受灾人口比例的对应关系

Table 3 Relationship between seismic intensity affected population proportion and damaged building proportion

平均地震烈度	房屋倒损率/%	受灾人口比例/%	地震灾害级别
>8	>70	>80	严重
7~8	50~70	50~80	重
6~7	20~50	30~50	中
5~6	<20	<30	轻

#### 2.1.2 基于易损矩阵房屋倒损定量评估

若已获得受灾区域的房屋分布图和房屋结构信息, 即可利用 GIS 空间叠加技术, 将地震烈度图、房屋分布图和行政区划图进行空间叠加运算, 统计出不同行政区、不同地震烈度区的房屋面积分布情况; 进而可利用房屋易损矩阵<sup>[19-20]</sup>计算出各灾区的倒损房屋面积。

倒损房屋评估公式为

$$H = \sum_i \sum_j M_{ij} S_{ij} \quad (10)$$

式中,  $M_{ij}$  为  $i$  ( $i \geq 6$ ) 级烈度区  $j$  型结构的房屋易损矩阵,  $j = 1, 2, \dots, 5$ , 分别代表框架结构、钢混结构、砖混结构、砖木结构及其他结构;  $S_{ij}$  为  $i$  ( $i \geq 6$ ) 级烈度区  $j$  型结构房屋面积 ( $m^2$ );  $H$  为倒损房屋面积 ( $m^2$ )。

#### 2.2 地震受灾人数快速评估

在房屋倒损评估的基础上, 根据地震烈度图、行政区划图、震害分级表、历史经验参数、人口密度图、发震时间、房屋倒损、修正参数等数据, 以及已具备的灾情数据, 确定演进模型序列中适合当前数据状态的评估模型进行快速评估, 见表 4。

表 4 受灾人数快速评估模型演进关系

Table 4 Evolution of the relationship between models for the rapid assessment of affected population

评估模型	地震烈度图	行政区划图	震害程度分级表	人口密度图	历史经验参数	发震时间	房屋倒损	修正参数
受灾人口定性评估	●	●	●					
基于人口密度图的定量评估	●	●	●	●				
基于烈度/人口密度/发震时间的定量评估	●	●	●	●	●	●		
基于房屋倒损的定量评估	●	●	●	●	●	●	●	●

注: "●"表示该数据可获得。

Note: "●" expresses that data can be obtained.

2.2.1 受灾人数定性评估

与倒损房屋快速评估类似,在人口密度图、房屋结构分类信息未知的震害紧急情况下,可将得到的地震烈度图与区域行政区划图叠加,参照震害程度分级表(表3),定性评估出受灾区域内各行政单元的受灾人数情况(即受灾人口比例)。

2.2.2 基于人口密度图的定量评估

震后若进一步获得人口密度图,但房屋信息依然未知,则可利用地震烈度和人口密度图进行叠加,区域统计出不同行政区以及不同烈度区下的受灾人口及其分布情况:

$$P_i = DA_i \quad (11)$$

式中,  $i$  为不同烈度区,  $A_i$  为  $i$  烈度区的面积 ( $\text{km}^2$ ),  $P_i$  为  $i$  烈度区内的受灾人数,  $D$  为人口密度 ( $\text{km}^{-2}$ )。

2.2.3 基于烈度/人口密度/发震时间的定量评估

在震后获得人口密度图的基础上,可实现对地震伤亡人数的快速评估。利用人口密度图和地震烈度图,通过历史经验公式进行地震伤亡人数的快速评估。评估算法为<sup>[21]</sup>

$$\begin{aligned} \ln ND_d &= -22.73 + 10.6 \ln I_j + 0.34 \ln D \\ \ln ND_n &= -11.35 + 5.77 \ln I_j + 0.36 \ln D \end{aligned} \quad (12)$$

式中,  $ND_d$ 、 $ND_n$  分别为发震为昼、夜时烈度为  $I_j$  的死亡人数,  $D$  为人口密度 ( $\text{km}^{-2}$ )。一般地,地震受伤人数取为死亡人数的3倍<sup>[21]</sup>。

2.2.4 基于房屋易损矩阵和修正系数的定量评估

随着震后数据获取的不断完备,一般已可根据房屋易损矩阵计算得到不同烈度灾区的房屋倒损率,进而计算出死亡率;继而依据人口密度修正参数(考虑人口密度对伤亡比例的影响)和时间修正参数<sup>[21]</sup>(考虑昼夜震害差异),对所得死亡人数进行修正。经验公式如下<sup>[21]</sup>:

$$\begin{aligned} \lg RD &= 9 \cdot RH^{0.1} - 10.07 \\ ND &= f_i \cdot f_p \cdot RD \cdot N \end{aligned} \quad (13)$$

式中,  $RD$  为死亡率,  $ND$  为某城市或地区人员死亡数,  $RH$  为房屋的倒损率,  $N$  为震区城市或地区的总人数,  $f_i$  为该地区人口密度修正系数,  $f_p$  为时间修正系数。

文献[21]指出,在其他条件相同的情况下,人口密度越大则死亡人数越多,并提出了受灾区域人口密度修正系数<sup>[21]</sup>(表5)。根据灾区人口密度乘以相应的修正系数即可得到实际的死亡人数。

表5 人口密度修正系数(单位:  $\text{km}^{-2}$ )  
Table 5 Revised coefficient of population density (units:  $\text{km}^{-2}$ )

人口密度	<50	50~200	200~500	>500
修正系数	0.8	1.0	1.1	1.2

因人的室内活动与时间有关,地震发生在不同的时间段所致死亡人数会有很大的不同,即夜晚发震死亡人数比白天发震死亡人数多;但随着地震烈度增大,夜间地震的人员死

亡率与白天地震的差别越来越小。文献[21]提出将白天的时间修正系数取1,对应出不同烈度区夜间的死亡人数时间修正系数<sup>[21]</sup>(表6),对死亡人数进行修正。

表6 发震时间修正系数  
Table 6 Revised coefficient of earthquake time

地震烈度	VI	VII	VIII	IX	X
时间修正系数(夜)	17	8	4	2	1.5

3 应用实例:玉树地震

2010年4月14日07:49am,青海省玉树县发生7.1级地震,震源深度14km,震中位于33.1°N,96.7°E。采用本文应急评估方法与模型,对房屋倒损和受灾人数进行快速评估。

3.1 烈度图快速生成

震后第一时间,课题组获得玉树震中、震级和震源机制解信息。利用上文介绍的地震烈度模型(表1),选择中国西南地区地震烈度衰减方程(式(6))进行计算,并叠加当地行政区划图、活动断裂分布图(来自科学数据共享工程,1:4000000),快速生成了玉树地震烈度图,并在震后2h内提交民政部减灾中心,如图2所示。

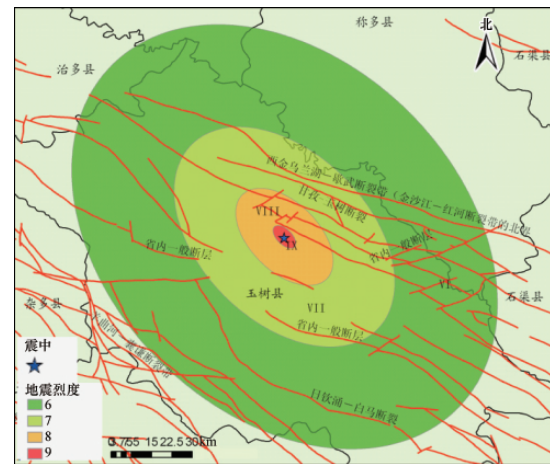


图2 震后快速评估的玉树地震烈度分布图  
Fig. 2 Distribution of Yushu earthquake intensity rapidly assessed after shocking

3.2 定性评估

根据地震烈度图和区域行政区划图,利用GIS空间叠加分析功能,确定出此次地震主要受灾区为玉树县。根据表3,定性评估出8度以上烈度区内房屋倒损70%以上,受灾人数比例80%以上,震害级别为严重;结古镇位于青海南部,是玉树自治州的首府,地理位置跨7度和8度烈度,50%~70%的房屋倒损,50%~80%人口受灾;称多县、石渠县、玉树县、治多县、囊谦县等位于6度及以下地区的房屋倒损和受灾人数比例较低,震害程度较低。

### 3.3 定量评估

#### 3.3.1 房屋倒损情况

随着房屋结构信息的获取,并综合地震局正式公布的地震烈度图,可对灾情房屋倒损情况进行定量评估。以玉树自治州首府结古镇为例,按式(10)定量评估出此次地震房屋倒损情况,如表7所示。

表7 结古镇倒损房屋面积(单位:m<sup>2</sup>)

Table 7 Area of damaged house of Jiegu town (unit: m<sup>2</sup>)

基本完好	轻微破坏	中等破坏	严重破坏	倒塌
1491519	505449	493211	560376	677670

#### 3.3.2 受灾人数情况

##### 1) 房屋结构信息未知情况

基于本系统制作的快速评估地震烈度图、叠加人口密度图,利用式(11)评估出玉树地震的受灾人数及其分布(图3),玉树县、治多县、称多县、石渠县、囊谦县受灾人数分别为58083,2928,24646,1671,708,合计88036人。中国地震局正式发布地震烈度图后,采用新的烈度图重新评估出受灾人数及其分布(图4),玉树县、治多县、称多县、石渠县、囊谦县、曲麻莱县受灾人数分别为57342,3108,27812,5521,21561,102,合计115446人。

此次应急评估过程中,使用了国家向社会公众开放的基础数据。人口数据采用国家科学数据共享工程提供的2000年的1km网格的人口密度数据,其中,玉树县和玉树州2000年人数分别为6.6万和19.5万,而玉树县和玉树州2010年的实际人数已达到9.54万和35.7万<sup>[21]</sup>。利用2010与2000年玉树县及玉树州人口数据及其10年间人口数之比(玉树县及玉树州分别为1.445,1.831),对基于地震局烈度图评估的受灾人口进行修订,修订后的受灾人数为18.926万(玉树县82885人、治多县5690人、称多县50917人、石渠县10107人、囊谦县39473人、曲麻莱县187人)。与国务院6月9日公

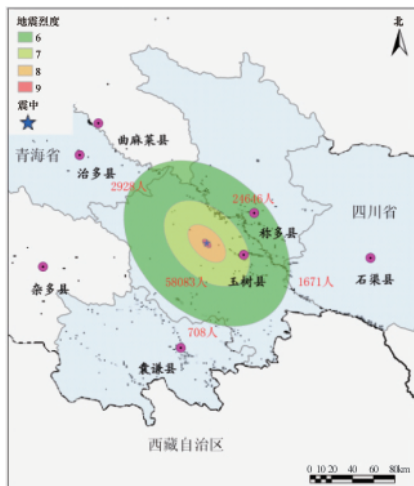


图3 基于快速评估烈度图评估的受灾人数分布  
Fig. 3 Distribution of affected population based on rapidly assessed seismic intensity

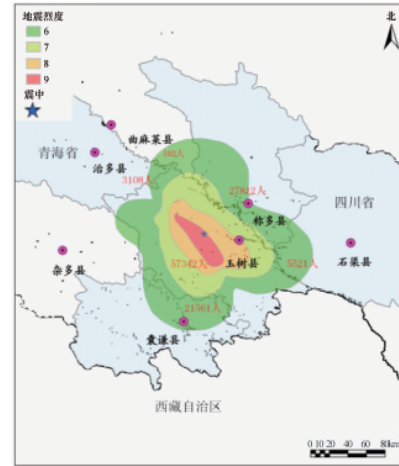


图4 基于中国地震局烈度图评估的受灾人数分布  
Fig. 4 Distribution of affected population based on seismic intensity map from Chinese Earthquake Administration

布的受灾人数24.68万<sup>[23]</sup>相比,误差为23.3%,符合国家减灾委员、民政部减灾中心对灾情快速评估的误差(30%)的要求。

基于烈度/人口密度/发震时间,对玉树地震伤亡人数进行快速评估。考虑到发震时间为07:49am,该地区居民多数均在室内,故采用式(12)中的晚上发震公式进行评估。基于快速制作的地震烈度图、2000年1km人口密度分布图和玉树地震发震时间,评估出此次地震死亡3038人、受伤9109人;在地震局正式公布地震烈度图后,可据此烈度图对伤亡人口进行重新评估,得死亡6500人、受伤19500人。

##### 2) 房屋结构信息已知情况

利用上文评估的结古镇房屋倒损情况,基于房屋易损矩阵和修正系数的评估模型,利用式(13)进一步评估伤亡人数。基于房屋易损矩阵和修正系数的评估模型,并考虑到发震时(07:49am)居民多在室内,故采用夜间发震时间修正系数对评估结果进行修正。按不同区的人口密度乘以表5中的相应修正系数,并结合表6的发震时间修正系数,对不同烈度区评估人数乘以相应修正系数,叠加分析得到结古镇死亡人数为6390人。

对比青海玉树地震灾害评估报告<sup>[23]</sup>:玉树地震遇难2698人,失踪270人,可见结古镇死亡人数评估结果误差较大。分析认为主要原因是:虽然结古镇地处西部,居民起床较晚,但发震时已有部分居民起床外出活动。若按式(13)采用白天计算模型进行计算,则结古镇死亡人数仅为868。因此,实际评估过程时,应充分考虑当地的作息习惯和发震时间,尤其是早晨、傍晚两个昼夜分界点,应采用加权评估而非绝对划分。

### 4 结论与讨论

结合震后不同阶段可获数据的具体情况,利用GIS空间叠加分析技术,可采用不同方法和演进模型对震害灾情进行不同时效的快速评估,包括倒损房屋和受灾人数的定性

量评估。玉树地震快速评估实践表明:灾情房屋结构信息未知的情况下,将人口密度图分别与本系统快速生成的地震烈度图、地震局公布的地震烈度图进行空间叠加分析,以及按实际人数进行修正后,玉树地震受灾人数快速评估结果分别为 88036,115446 和 189260 人,最后结果与国务院公布的 246800 人的误差为 23.3%,满足国家减灾委应急保障要求(误差<30%)。可见,本文方法与模型评估效果好,为震害不同阶段的应急评估提供了一套实用技术。所开发的软件已具体应用到国家减灾委、民政部“环境与灾害监测预报小卫星星座减灾应用系统”的“灾情快速评估分系统”中。

中国幅员辽阔,地质、地貌差异大,应结合中国自然灾害空间分布特征、区域差异和数据完备性情况,逐步建立具有地域特色的、覆盖完整的灾情评估演进模型库。进而,集成并整合灾区多源空间信息,根据可获数据情况自动选择评估模型,利用 GIS 空间分析技术实现震害应急情况下的灾情空间分布快速评估。但是,不同地区的房屋类型、结构、质量差异大,房屋易损矩阵不同,还需针对不同区域建立不同的易损矩阵,该方面的研究还有待完善。中国人口流动性大,灾区实际居住人口往往与人口密度图不一致,需根据两者之比对地震伤亡人数的评估结果进行修正;早、晚时间的分界问题应与地区、城乡、季节、生活习惯等相适应,基于房屋倒损情况进行死亡人口评估时需具体问题具体分析,建议采用昼、夜加权方式进行评估。

#### 参考文献 (References)

- [1] 杨天青,姜立新,杨桂岭.地震人员伤亡快速评估.地震地磁观测与研究[J]. 2006, 27(4): 39-43.  
Yang Tianqing, Jiang Lixin, Yang Guiling. *Seismological and Geomagnetic Observation and Research*, 2006, 27(4): 39-43.
- [2] Erdik M, Sesetyan K, Demircioglu M B, et al. Rapid earthquake loss assessment after damaging earthquakes[J]. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 2010, doi: 10.1016/j.soildyn.2010.03.009.
- [3] 汤爱平,谢礼立,陶夏新.基于 GIS 的城市地震应急响应系统[J]. 东北地震研究, 2001, 17(2): 35-40.  
Tang Aiping, Xie Lili, Tao Xiaxin. *Seismological Research of Northeast China*, 2001, 17(2): 35-40.
- [4] 兰青龙,安卫平,赵文星.地震灾害损失的分级评估[J]. 华北地震科学, 1999, 17(4): 46-53.  
Lan Qinglong, An Weiping, Zhao Wenxing. *North China Earthquake Sciences*, 1999, 17(4): 46-53.
- [5] 危福泉,蔡宗文,焦双健,等.基于人口统计数据区域震害快速评估方法[J]. 地震学报, 2008, 30(5): 518-524.  
Wei Fuquan, Cai Zongwen, Jiao Shuangjian, et al. *Acta Seismologica Sinica*, 2008, 30(5): 518-524.
- [6] 刘欣,谢庆胜.基于 GIS 技术的快速震害评估方法 [J]. 灾害学, 2002, 17(3): 26-29.  
Liu Xin, Xie Qingsheng. *Journal of Catastrophology*, 2002, 17(3): 26-29.
- [7] 王景来,宋志峰.地震灾害快速评估模型 [J]. 地震研究, 2001, 24(2): 162-167.  
Wang Jinglai, Song Zhifeng. *Journal of Seismological Research*, 2001, 24(2): 162-167.
- [8] 李萍,陶夏新,颜世菊.基于 3S 技术的震害快速评估 [J]. 自然灾害学报, 2007, 16(3): 110-114.  
Li Ping, Tao Xiaxin, Yan Shiju. *Journal of Natural Disasters*, 2007, 16(3): 110-114.
- [9] 王龙,王晓青,丁香,等.基于遥感和 GIS 的建筑物震害损失评估方法研究与实现[J]. 地震, 2007, 27(4): 77-84.  
Wang Long, Wang Xiaoqing, Ding Xiang, et al. *Earthquake*, 2007, 27(4): 77-84.
- [10] 范一大,杨思全,王磊,等.汶川地震应急监测评估方法研究[J]. 遥感学报, 2008, 12(6): 858-864.  
Fan Yida, Yang Siqian, Wang Lei, et al. *Journal of Remote Sensing*, 2008, 12(6): 858-864.
- [11] 赵福军,蔡山,陈曦.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, 2010, 19(1): 1-7.  
Zhao Fujun, Cai Shan, Chen Xi. *Journal of Nature Disasters*, 2010, 19(1): 1-7.
- [12] 陈文凯,何少林,周中红.基于多源数据的震害快速评估方法探讨[J]. 西北地震学报, 2010, 32(1): 76-82.  
Chen Wenkai, He Shaolin, Zhou Zhonghong. *Northwest Seismological Journal*, 2010, 32(1): 76-82.
- [13] 胡聿贤.地震安全性评价技术教程[M]. 北京:地震出版社, 1999.  
Hu Yuxian. *The technology of seismic safety evaluation* [M]. Beijing: Earthquake Publishing House, 1999.
- [14] 汪素云,俞言祥,高阿甲,等.中国分区地震动衰减关系的确定[J]. 中国地震, 2000, 16(2): 99-106.  
Wang Suyun, Yu Yanxiang, Gao Ajia, et al. *Earthquake Research in China*, 2000, 16(2): 99-106.
- [15] 石树中,沈建文.上海及邻近地区地震烈度衰减规律研究[J]. 防灾减灾工程学报, 2003, 23(1): 50-54.  
Shi Shuzhong, Shen Jianwen. *Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering*, 2003, 23(1): 50-54.
- [16] 沙海军,吕悦军,彭燕菊,等.地震烈度椭圆衰减的限定模型及其在华北地区的应用[J]. 防灾减灾工程学报, 2004, 24(1): 28-36.  
Sha Haijun, Lu Yuejun, Peng Yanju, et al. *Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering*, 2004, 24(1): 28-36.
- [17] 雷建成,高孟潭,俞言祥.四川及邻区地震动衰减关系 [J]. 地震学报, 2007, 29(5): 500-511.  
Lei Jiancheng, Gao Mengtan, Yu Yanxiang. *Acta Seismologica Sinica*, 2007, 29(5): 500-511.
- [18] 王继,俞言祥.华中、华南中强地震区地震烈度衰减关系研究[J]. 震灾防御技术, 2008, 3(1): 20-26.  
Wang Ji, Yu Yanxiang. *Technology for Earthquake Disaster Prevention*, 2008, 3(1): 20-26.
- [19] 徐国栋,方伟华,史培军,等.汶川地震损失快速评估[J]. 地震工程与工程振动, 2008, 28(6): 74-83.  
Xu Guodong, Fang Weihua, Shi Peijun, et al. *Journal of Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 2008, 28(6): 74-83.
- [20] 尹之潜.结构易损性分类和未来地震灾害估计 [J]. 中国地震, 1996, 12(1): 49-55.  
Yin Zhijian. *Earthquake in China*, 1996, 12(1): 49-55.
- [21] 马玉宏,谢礼立.地震人员伤亡估算方法研究[J]. 地震工程与工程振动, 2000, 20(4): 140-147.  
Ma Yuhong, Xie Lili. *Journal of Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 2000, 20(4): 140-147.
- [22] 中国统计出版社. 2010 青海统计年鉴 [M]. 北京:中国统计出版社, 2010.  
Chinese Statistic Publishing House. 2010 Statistical yearbook of Qinghai[M]. Beijing: Chinese Statistic Publishing House, 2010.
- [23] 国务院关于印发玉树地震灾后恢复重建总体规划的通知[EB/OL]. [2010-06-13]. <http://www.qhys.gov.cn/html/40/47547.html>.  
State Council on the issuance of Yushu earthquake recovery and reconstruction master plan notified[EB/OL]. [2010-06-13]. <http://www.qhys.gov.cn/html/40/47547.html>.

(责任编辑 朱宇)