

四川芦山 M_s 7.0 级地震灾情快速评估与反思

李志锋¹, 吴立新^{1,2}, 王 然³, 王秋玲¹, 郑 硕¹, 许志华¹, 李 京¹

1. 民政部/教育部减灾与应急管理研究院; 北京师范大学, 北京 100875

2. 中国矿业大学(徐州)环境与测绘学院, 江苏徐州 221008

3. 中国矿业大学(北京)地球科学与测绘工程学院, 北京 100083

摘要 在四川芦山 M_s 7.0 级地震震后第一时间启动了灾情快速评估, 对地震烈度图、受灾人口分布及比例、房屋倒损分布及比例、伤亡人口分布、道路损毁等灾情进行了演进式 4 次评估。评估过程充分考虑数据的完备性, 从数据不完备情况下的初步定性评估到数据较完备情况下的定量评估, 并将第 4 次评估结果与 2013 年 4 月 23 日民政部公布数据相比: 受灾人口评估准确度为 95%、房屋倒损评估准确度为 73.3%。继玉树地震灾情评估之后, 再次验证了本项目组开发的地震灾情快速评估体系(模型、方法、软件)的实用性。分析灾情评估过程中存在的问题, 本文对其进行了反思并指明了解决办法和工作方向。

关键词 灾情演进; 快速评估; 受灾人口; 芦山 M_s 7.0 级地震

中图分类号 P315.9

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.12.005

Rapid Assessment of Earthquake Disaster and Rethink of M_s 7.0 Lushan Earthquake

LI Zhifeng¹, WU Lixin^{1,2}, WANG Ran³, WANG Qiuling¹, ZHENG Shuo¹, XU Zhihua¹, LI Jing

1. Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Ministry of Civil Affairs & Ministry of Education; Beijing Normal University, Beijing 100875, China

2. School of Environment Science and Spatial Informatics, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, Jiangsu Province, China

3. College of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China

Abstract We initiated the disaster assessment of Lushan M_s 7.0 earthquake immediately after the shocking. The disaster situations including the ratio and distribution of affected population, the ratio of damaged houses, the distribution of casualties and the damaged roads were estimated for four times after seismic intensity was mapped. The whole assessment procedure, referring to the availability of data, was developed from qualitative assessment to quantitative assessment. As compared to the announced data from the Ministry of Civil Affairs, the accuracy of rapid assessment on affected population was 95%, that of damaged houses was 73.3%. The assessment system, including the models, methods and softwares, was validated to be practical after the successful assessment of Yushu earthquake, 2010. In addition, The problems existed in the assessment were rethought, and the solution and direction of the earthquake situations assessment were also put forward.

Keywords evolution of the disaster; rapid assessment; affected population; Lushan M_s 7.0 earthquake

收稿日期: 2013-04-25

基金资助: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2011CB707102); 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(105565GK)

作者简介: 李志锋, 博士研究生, 研究方向为数字减灾, 电子信箱: lizhifengemail@gmail.com; 吴立新(通信作者, 中国科协所属全国学会个人会员登记号: E381010119S), 教授, 研究方向为数字矿山与数字减灾、灾变遥感与灾害观测、空间信息理论与方法等, 电子信箱: awulixin@263.net

0 引言

中国是世界上地震灾害多发国家之一,重大地震灾害造成人民生命与财产巨大损失,防灾减灾已成为维护国家安全和保持社会稳定的重要议题^[1]。灾情快速评估是中国政府应急响应与灾害管理的重要业务内容之一,也是应急救援、物资调配与救灾资金拨付的重要依据^[2]。空间信息技术的快速发展,为地震灾害的大范围、快速评估提供了新手段^[3,4]。然而在紧急应对重大地震中暴露出来的基础地理数据获取难、多源空间信息整合难^[5]、数据快速处理难等问题,影响了中国灾情快速评估与震害救灾工作。国家减灾委员会设立“环境与灾害监测预报小卫星星座减灾应用系统:灾情评估分系统”开发项目,旨在利用小卫星星座及其他卫星数据、地面观测和上报数据等灾害相关的非完备信息,根据救灾需求对各类灾害损失进行快速评估,为建立中国重大自然灾害灾情应急响应系统提供支持,进而为应急救援及灾后重建规划提供决策依据。该项目由北京师范大学民政部/教育部减灾与应急管理研究院空间信息科学与技术研究所完成,软件系统已在云南宾川地震、青海德令哈地震、青海玉树地震^[6]等重大地震灾情评估中发挥作用。

2010年4月14日青海省玉树地震发生后,项目组立即

展开灾情快速评估工作,依据数据到位及其完备性情况进行了3个阶段的评估:应急评估阶段、快速评估阶段、综合评估阶段。震后1h20min,制作了玉树地震烈度图,初步评估出不同烈度区范围内受灾人口分布与数量,并及时递交给民政部国家减灾中心和科技部相关部门。震后27h,根据中国地震台网中心发布的玉树地震同震位移烈度分布,结合震区人口密度分布、房屋分布、生命线工程分布等信息,对玉树地震灾情进行了快速评估,评估结果对玉树地震灾情等级的正确判读和准确划分,以及制定应急救援计划具有指导意义。震后10d,利用高分辨率遥感影像 QuickBird (快鸟),对结古镇房屋损毁情况进行了三维可视化分析,综合评估出玉树地震造成的结古镇房屋倒塌及严重损毁面积。整体评估结果与国务院发布的玉树地震灾后恢复重建统计结果相比较,评估精度达到85%以上。此次工作获得中国地理信息系统协会“玉树抗震救灾GIS服务特征贡献”表彰。

2013年4月20日08:02,四川省雅安市芦山县(30.3°N, 103.0°E)发生 M_s 7.0级地震,震源深度13km。在震后第一时间,项目组再次启动应急评估工作,并根据时间演进和数据到位情况,震后5d内进行了4次灾情评估(图1),并将评估报告提交到民政部国家减灾中心。

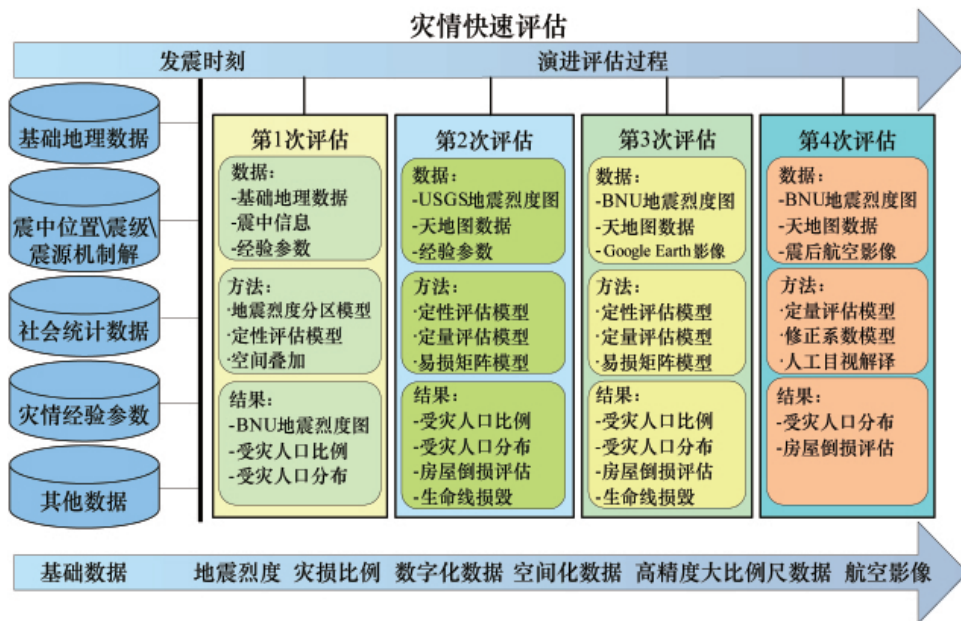


图1 芦山地震演进评估过程的4次评估

Fig. 1 Four evolution assessments on Lushan earthquake

1 灾情演进评估体系

震后2h,第1次评估的首要工作是依据基础地理数据(1:400万)、震中信息(震中位置、震级、震源机制解等),制作震区地震烈度的空间分布图,并据社会统计数据、灾情经验参数等对震害进行整体定性与定量评估,为应急响应提供快速参考。震后4h,利用美国USGS公布的地震烈度图(<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usb000gcdd#shakemap>)进行了第2次评估,并结合天地图基础地理数据和震害经验参

数,快速评估出受灾人口分布、重点区域房屋倒损、道路损毁等灾情。之后,发现USGS地震烈度影响范围偏大且缺少震源机制解信息,故重新采用项目组制作的BNU版地震烈度图,并利用修正至最新的人口密度公里网格数据,引入Google Earth遥感影像,辅以天地图大比例尺基础地理数据的数字化,于震后24h对人口、房屋、生命线等重新评估。随着震后航空影像的获取(<http://www.radi.ac.cn/yaan/yaanphoto/>),目视解译倒损房屋,并按统计经验重新率定了模型的修正系数,

于震后第 5 天对震后受灾人口和倒损房屋进行更为准确的评估,完成了第 4 次评估。

2 灾情演进评估快报

2.1 第 1 次评估

震后 2h,项目组启动灾情评估系统,获取震中信息、采用四川盆地的地震烈度衰减方程^[9],0.5h 后制作出 BNU 版地震烈度图(图 2),灾区震中最高烈度达 IX 级。据此,依据文献[10]的地震烈度与房屋倒损、受灾人口比例关系,给出受灾人口定性评估结果(图 3(a))和房屋倒损定性评估结果(图 3(b))。

之后,利用各县统计人口(2009 年)的空间化数据,评估出灾区影响的受灾人口共计 323 万人,各县级行政单元震害影响的受灾人口空间分布如图 4 所示。

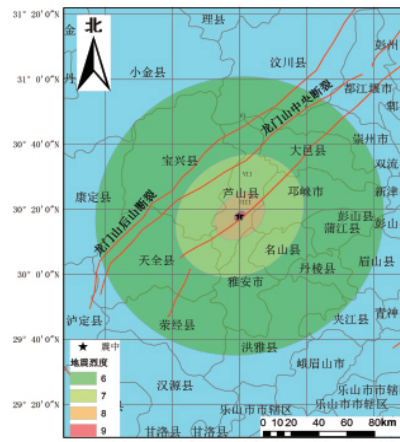


图 2 芦山 BNU 版地震烈度分布图
Fig. 2 Distribution of Lushan earthquake intensity (BNU)

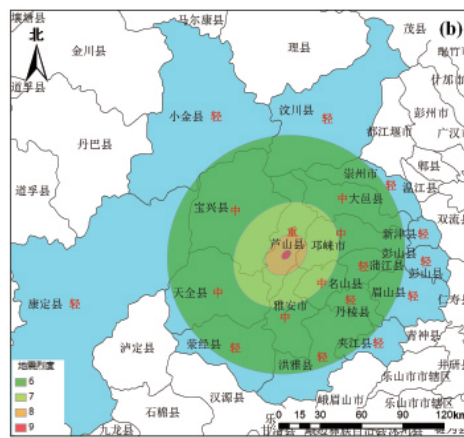
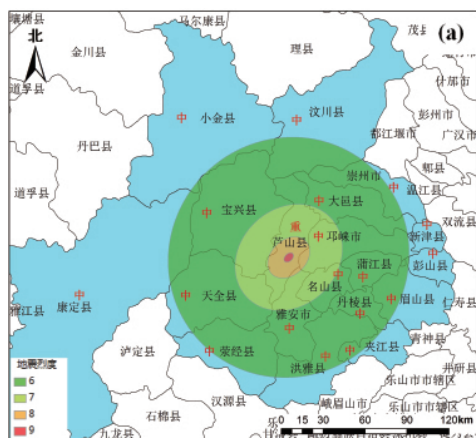


图 3 芦山地震定性评估结果
Fig. 3 Results of qualitative assessment on Lushan earthquake

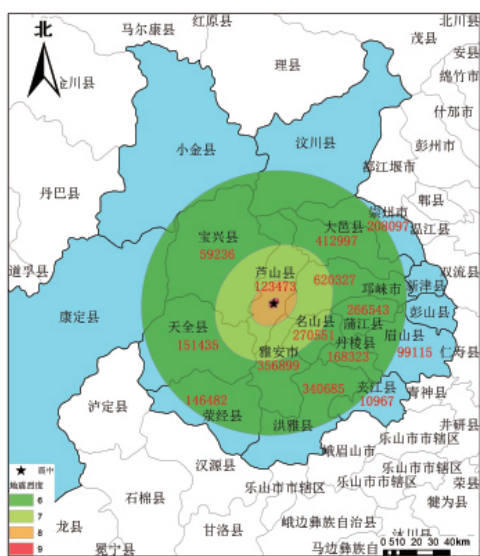


图 4 第 1 次评估受灾人口分布
Fig. 4 Distribution of affected population from 1st assessment

2.2 第 2 次评估

震后 4h,利用美国 USGS 公布的地震烈度图进行了第 2 次评估。评估出受灾人口为 1200 万,其空间分布如图 5 所示。采用基于烈度/人口密度/发震时间的评估模型^[11]评估震害伤亡人口为 2.6 万人。

依据天地图的大比例尺基础地理数据,对受灾较严重的芦山县城和龙门乡进行房屋数字化,基于易损矩阵^[12-14]房屋倒损模型^[6]评估出房屋倒损 96 万 m²,倒损房屋 4.8 万余间;倒塌房屋面积 202 万 m²,约 10 万间。分析认为:USGS 版地震烈度图没有考虑中国地震发震源机制解,其烈度走向和断层走向与实际不符,导致评估的受灾人口、伤亡人口明显偏高。因此,采用 BNU 版地震烈度图进行后续评估。

2.3 第 3 次评估

震后 24h,项目组收集到 1km 网格人口密度数据(2003 年),按照统计年鉴人口增长率进行修正后得到新数据集,并用其进行第 3 次评估。得到影响区域内的受灾人口共 340 万人,各烈度区受灾人口分布如图 6(a)所示(IX 区 1574 人、VIII 区 72417 人、VII 区 633786 人、VI 区 2716850 人),各行政

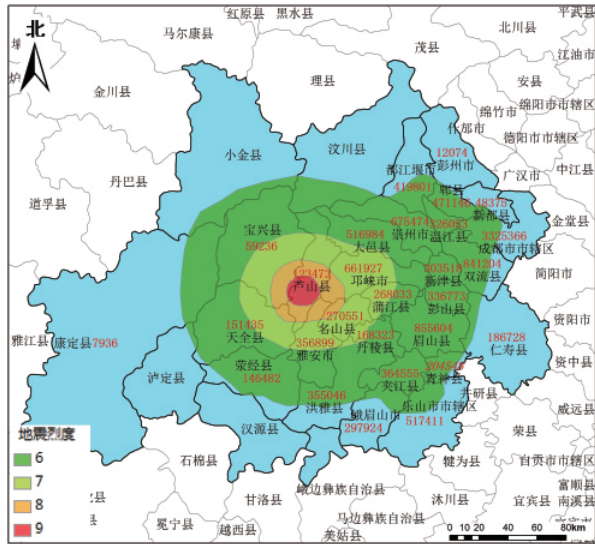


图 5 第 2 次评估受灾人口分布

Fig. 5 Distribution of affected population from 2nd assessment

区内受灾人口分布如图 6(b) 所示图中数字标示不同行政区内受灾人口数。

进而, 采用基于烈度/人口密度/发震时间的评估模型^[11], 评估出此次震害伤亡人口总数为 8828 人, 得到伤亡人口的空间分布 (图 7)。

此外, 还依据天地图的数据, 并结合 Google Earth 影像, 对芦山县城和受灾较严重的龙门乡进行房屋数字化, 基于易损矩阵^[12-14]房屋倒损模型^[6]评估房屋倒损情况。结果如下: 重灾区房屋倒损 250 万 m², 按均间面积 20m² 估算倒损房屋 12 万余间 (图 8); 受影响道路 65km (图 9)。

2.4 第 4 次评估

对承灾体的脆弱性参数进行合理率定, 可提升灾情评估的准确性。由于不同烈度区致灾力不同, 导致对应区域的人口脆弱性^[15-17]不同, 即不同烈度区下的致灾人口系数不同, 推理给出经验值, 不同烈度区下的致灾人口系数分别为: VI, 0.5; VI-I, 0.75; VIII, 0.9; IX, 1。参考不同烈度区下的死亡人口公式^[11,18],

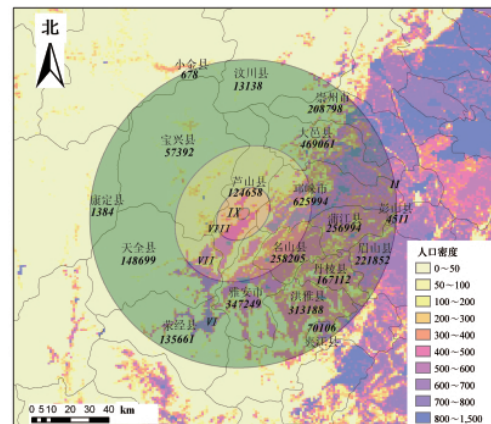
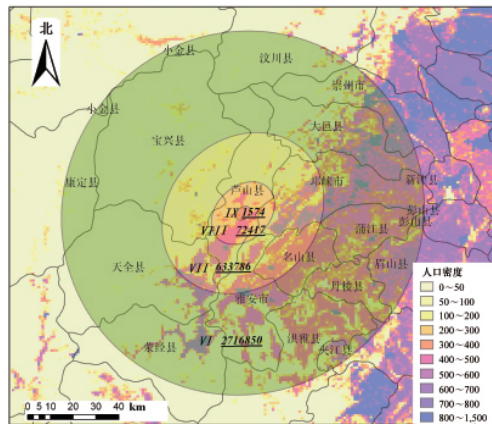


图 6 第 3 次评估受灾人口分布

Fig. 6 Distribution of affected population from 3rd assessment

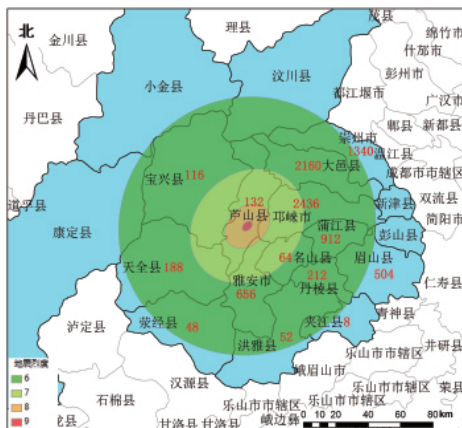


图 7 第 3 次评估的伤亡人口空间分布图

Fig. 7 Distribution of casualty from 3rd assessment

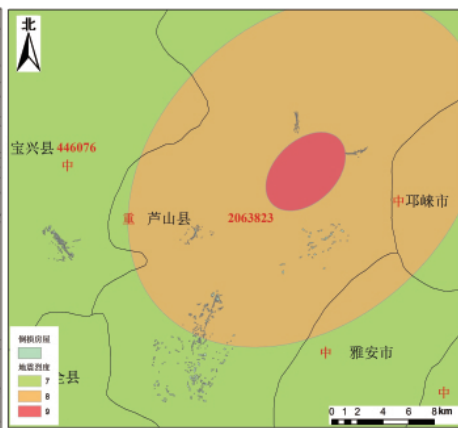


图 8 重灾区倒损房屋分布图

Fig. 8 Distribution of damaged buildings in heavy disaster area from 3rd assessment

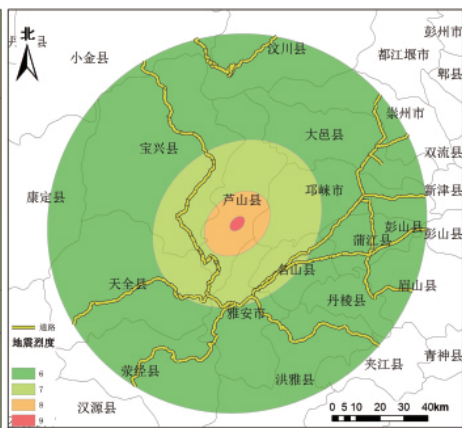


图 9 受影响道路分布图

Fig. 9 Distribution of affected roads from 3rd assessment

建立致灾人口系数公式如下:

$$f = a \ln I + b \quad (1)$$

其中, f 为致灾人口系数(取值 0~1), I 为地震烈度, a, b 为待定系数, 代入经验值, 拟合曲线求解得 $a=1.233, b=-1.683, R^2=0.98$ (图 10)。利用该致灾人口系数对第 3 次评估结果进行修正, 得到新的受灾人口数为 190 万人, 该值与民政部 2013 年 4 月 23 日的灾情报道数据 (<http://www.mca.gov.cn/article/zwgk/mzyw/201304/20130400447618.shtml>, 受灾人口 199 万余人) 相比, 准确率为 95%。需要说明的是, 此曲线可用于后续震害的受灾人口修订, 但需根据稳定震区地貌、震区建筑的抗震性能等具体率定 a, b 系数。

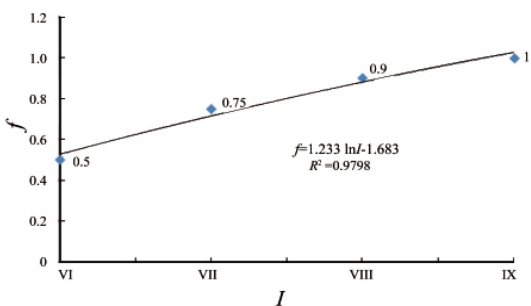


图 10 致灾人口系数—地震烈度曲线拟合关系
Fig. 10 Fitting curve of affected population coefficient and earthquake intensity

中国科学院遥感与数字地球研究所发布了震后航空影像。项目组采用该影像对重灾区进行目视解译, 得到倒塌房屋分布图(图 11), 计算得到房屋倒塌面积为 437350m², 按照雅安市房屋均间面积 20m², 推算房屋倒塌间数约为 2.2 万间。由于航空影像覆盖不全(图 12), 故需乘以放大系数 12(地震影响区域面积/航空影像面积)进行推算, 得到倒塌房屋间数为 26.4 万间。与民政部 4 月 23 日的灾情报道(严重损房 36 万间)相比, 评估准确率达 73.3%。

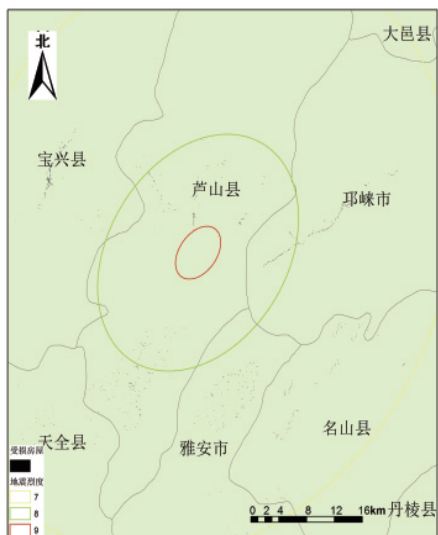


图 11 重灾区目视解译倒塌房屋分布
Fig. 11 Distribution of damaged buildings in heavy disaster area

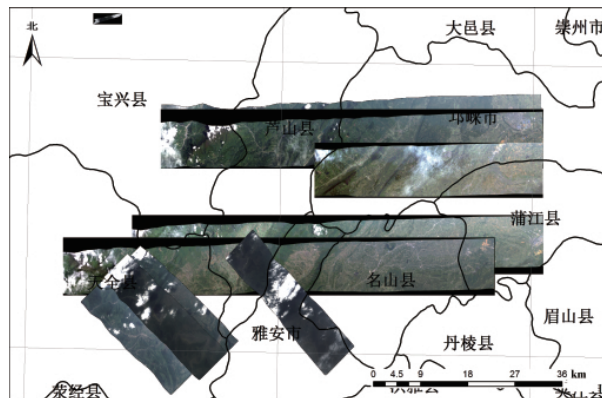


图 12 航空遥感影像覆盖区域
Fig. 12 Cover areas of the aerial remote sensing images

3 快速评估问题反思

灾情快速评估的工作效率与结果准确性取决于 3 方面: (1) 评估模型的有效性, (2) 评估业务的熟练程度, (3) 基础数据的完备性。在模型有效、业务熟练的前提下, 基础数据的完备性至关重要。地震灾情快速评估包括受灾人口、损毁房屋、生命线工程等基本要素, 基础数据涉及各级行政区划边界数据、城乡人口分布数据(含常住人口与流动人口)、城乡房屋分布与结构数据、各级道路网络数据、数字地形与水系数据、高分辨率遥感影像等。目前, 可公开使用的有关数据普遍存在精度偏低、现势性不够等诸多问题, 直接影响评估结果的准确性和评估工作的效率。建议尽快解决国家基础数据分散问题、打破数据共享共用障碍, 由专门机构从国家层面将不同部门采集的各类基础数据进行整合、融合和交叉检验, 形成精度高、现势性强和一致性好的共享数据, 以此提高各级政府机构实施应急响应的效率与科学性, 提升各类社会单元参与应急响应的能力和合理性。本次地震灾情快速过程遇到一些问题, 反思如下:

(1) 基础数据时效性不够。评估中应用的基础地理数据比例尺多为 1:400 万, 数据精度和时效性均不够; 前些年科学数据共享工程上发布的人口密度为 2003 年公里网格数据, 时至今日已过 10 年, 数据的时效性和分辨率亟需提高。

(2) 基础数据不完备。由于部门壁垒、需求供给信息不对称等原因, 导致部分基础数据不完备。如第 3 次评估过程中, 需要不同房屋结构的分布数据, 甚至需要具体到不同地震设防等级下的房屋分布数据, 从而实现更为准确合理的灾情评估。但由于上述数据的匮乏, 必须依赖人工数字化, 耗时费力、延误速度。

(3) 灾情数据库匮乏。中国是震害多发国家, 有必要建立历次震害的灾情数据库, 从而推演、更新相关经验参数(如第 2、3 次评估的易损矩阵)、经验公式(如第 1 次评估的定性公式, 第 2、3 次评估的伤亡率、倒房率等)。中国幅员辽阔, 不同区域的不同地质、地形、人口密度等条件下的参数和公式必然不同, 需要分区梳理建立震害灾情数据库, 并进行挖掘整

理,因地制宜、以供随时备用。

参考文献 (References)

- [1] 马宗晋. 中国自然灾害和减灾对策(之三)——我国的地震灾害及其应对[J]. 防灾科技学院学报, 2007, 9(1): 1-5.
Ma Zongjin. Journal of Institute of Disaster-Prevention Science and Technology, 2007, 9(1): 1-5.
- [2] 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.
- [3] 李德仁. 对地观测与抗震救灾[J]. 测绘科学. 2009, 34(1): 8-10.
Li Deren. Science of surveying and mapping, 2009, 34(1): 8-10.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [6] 吴立新, 李志锋, 王植, 等. 地震灾情快速评估方法和应用: 以玉树地震为例[J]. 科技导报, 2010, 28(24): 38-43.
Wu Lixin, Li Zhifeng, Wang Zhi, et al. Science & Technology Review, 2010, 28(24): 38-43.
- [7] Wang Z, Li Z F, Shen Y L, et al. Event-driven observations and comprehensive evaluation for natural disaster assessment in china[C]. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Melbourne, Australia, August 25 - September 1, 2012.
- [8] Shen Y L, Wu L X, Li Z F, et al. 3D visualization of seismic buildings in Yushu earthquake for disaster management [C]. Multimedia Technology (ICMT), Ningbo, China, October 29-31, 2010.
- [9] 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.
- [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 Siqun, Wang Lei, et al. Journal of Remote Sensing, 2008, 12(6): 858-864.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 徐国栋, 袁艺, 方伟华, 等. 玉树 7.1 级地震震后损失快速评估[J]. 地震工程与工程振动, 2011(1): 114-123.
Xu Guodong, Yuan Yi, Fang Weihua, et al. Journal of Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2011(1): 114-123.
- [15] 聂承静, 杨林生, 李海蓉. 中国地震灾害宏观人口脆弱性评估 [J]. 地理科学进展, 2012, 31(3): 375-382.
Nie Chengjing, Yang Linsheng, Li Hairong. Progress in Geography, 2012, 31(3): 375-382.
- [16] Xu Z C, Wu S H, Dai E F. Quantitative assessment of seismic mortality risks in China[J]. Journal of Resources and Ecology. 2011, 2(1): 83-90.
- [17] Kircher C A, Whitman R V, Holmes W T. HAZUS earthquake loss estimation methods[J]. Natural Hazards Review, 2006, 7(2): 45-59.
- [18] 刘欢, 徐中春, 吴绍洪, 等. 基于 GIS 的中国地震灾害人口风险性分析[J]. 地理科学进展, 2012, 31(3): 368-374.
Liu Huan, Xu Zhongchun, Wu Shaohong, et al. Progress in Geography, 2012, 31(3): 368-374.

(责任编辑 刘志远)

· 学术动态 ·

100 年来中国 12 次大地震

1556 年, 中国陕西省南部秦岭以北的渭河流域发生有历史记载以来最强烈地震, 造成 83 万人死亡。过去 100 年来, 中国经历了多次全世界最严重的地震灾害。以下为死亡人数超过千人的 12 次地震。

1920 年 12 月 16 日, 位于西北的宁夏海原县发生里氏 8.5 级地震, 造成 28.8 万人死亡。

1925 年 3 月 16 日, 云南省大理发生里氏 7 级地震, 死亡约 5000 人。

1927 年 5 月 23 日, 甘肃省古浪县发生大地震, 震级为里氏 7.6 级, 死亡 4 万余人。

1933 年 8 月 25 日, 四川省茂汶县叠溪发生里氏 7.5 级地震, 造成约 9000 人死亡。

1950 年 8 月 15 日, 在中国西藏地区的东南部同印度、缅甸毗邻的察隅、墨脱地区发生里氏 8.5 级强烈地震, 死亡近 4000 人。

1966 年 3 月 8 日, 河北邢台发生里氏 6.8 级地震, 死亡超过 8000 人。

1970 年 1 月 5 日, 云南通海发生里氏 7.8 级地震, 造成约 1.5 万人死亡。

1974 年 5 月 11 日, 云南昭通里氏 7.1 级地震, 1400 余人死亡。

1975 年 2 月 4 日, 辽宁海城里氏 7.3 级地震, 1300 多人死亡。

1976 年 7 月 28 日, 靠近北京的唐山市发生里氏 7.8 级地震, 造成 24.2 万人死亡。

2008 年 5 月 12 日, 四川省汶川县发生里氏 8.0 级地震, 近 9 万人死亡。

2010 年 4 月 14 日, 青海玉树县发生里氏 7.1 级地震, 近 2700 人死亡。

详见 http://news.xinhuanet.com/world/2013-04/22/c_124612686.htm。