

汶川地震应急监测评估方法研究

范一大, 杨思全, 王 磊, 王 薇, 聂 娟, 张宝军

(民政部 国家减灾中心, 中国空间技术减灾应用研究中心, 北京 100053)

摘 要: 以汶川地震灾害应急遥感监测评估过程为例, 介绍了利用遥感技术等手段对巨灾灾情进行应急监测评估的技术方法, 并重点对四川、陕西和甘肃 3 省受灾较重的 152 个县(市、区)进行了应急评估。结果表明, 汶川地震房屋倒塌严重, 受灾人口分布点多面广, 受灾程度总体上与断裂带分布呈明显对应关系, 山区受灾重于平原, 农村重于城镇。四川省汶川、北川、青川、绵竹等 12 个县(市、区)受灾极为严重, 甘肃省文县和陕西省勉县等受灾相对较重, 利用地面调查数据验证, 证明了评估结果具有较高的准确性。提出了基于遥感数据研判、空间分析外推技术的自下向上、逐级汇总的应急评估技术路线, 能够发挥遥感数据的优势, 也能保证应急评估的时效性, 同时有利于组织大规模协同运行与综合结果生成, 具有良好的科学性和可操作性, 特别适合于巨灾灾情遥感应急评估工作。

关键词: 汶川地震; 灾害遥感; 巨灾应急评估; 倒塌房屋评估; 受灾人口评估

中图分类号: TP79 **文献标识码:** A

1 引 言

2008 年 5 月 12 日 14 时 28 分, 中国四川省汶川县(北纬 31° 、东经 103.4°)发生 8.0 级特大地震。这次地震是新中国成立以来破坏性最强、波及范围最广、救灾难度最大的一次地震, 也是继今年中国南方大部分地区遭受“低温雨雪冰冻灾害”之后的第二场巨灾。此次巨灾呈现出几个特点: (1) 强度烈度高。震级达里氏 8.0 级, 最大烈度达 11 度, 均超过唐山大地震。(2) 影响范围广。波及四川、甘肃、陕西、重庆、云南等省(市), 受灾人口 4625 万人。(3) 余震及次生灾害频发, 最大余震震级为 6.4 级。地震造成的崩塌、滑坡、泥石流等次生灾害使灾区灾情进一步扩大。(4) 救灾难度大。重灾区多为交通不便的高山峡谷地带, 加上地震及次生灾害造成交通、通讯中断, 城镇基础设施和房屋严重受损, 救援人员、物资、车辆和大型救援设备无法进入救灾现场。(5) 灾害损失重。据民政部门统计, 截至 7 月 13 日, 已确认因灾遇难 69197 人, 失踪 18289 人, 受伤 37.4 万人, 转移安置 1510.6 万人。

地震发生后, 国家和地方各级政府根据应急预

案立即启动了一系列最高级别的响应等级, 国家减灾委和民政部在第一时间启动了国内、国际卫星遥感数据获取机制, 国内有关部门也紧急启动航空遥感手段对灾区灾情进行监测分析, 为灾害救援工作提供了有效的信息和技术支持。据统计, 这次灾害监测评估过程中从动用的遥感数据种类、数据量到监测覆盖范围和持续时间, 远远超过了国内外以往发生的任何一次灾害事件。本文旨在以汶川地震灾害遥感应急评估过程为例, 研究和探讨利用遥感技术等手段, 对重大自然灾害乃至巨灾灾情进行应急监测评估的技术方法, 为国家应急监测评估服务业务体系建设提供借鉴。

2 数据来源

汶川地震灾区地形复杂、天气多变, 对地观测技术客观上成为了灾害应急监测和灾情评估的最佳手段之一。地震发生后, 国家减灾委员会办公室、民政部国家减灾中心通过国内遥感数据获取机制和国际“减灾宪章”机制, 先后获得了 12 个国家 24 颗卫星的遥感影像数据, 累计达 1277 幅。其中, 灾前存档数据 622 景, 灾后编程数据 635 景(表 1)。

收稿日期: 2008-07-12 修订日期: 2008-08-01

基金项目: 国家科技部 863 重点项目(编号: 2007AA120205 和 2007AA120306)和国家科技部支撑计划(编号: 2008BAK52B02)。

作者简介: 范一大(1968—), 男, 研究员, 博士。主要研究方向为灾害遥感、自然灾害与风险管理, 已发表相关论文 30 余篇。E-mail: fan_yida@ndrec.gov.cn.

同时,民政部国家减灾中心从国家测绘局和中国科学院获取了重灾区部分机载遥感数据,并根据灾情应急评估和现场验证的需要,对四川、甘肃和陕西 3 省重灾地区进行了无人飞机的航拍。

表 1 汶川地震灾情应急评估使用卫星遥感数据一览表

Table 1 Applied space-borne remote sensing data during Wenchuan earthquake assessment

卫星名称	来源	存档数据 /景	编程数据 /景	小计 /景	空间分辨率 /m
遥感 1 号	中国	9	246	255	5
福卫 2 号	中国台湾	3	146	149	2
CBERS-02B	中国	400	25	425	HR: 2 36
资源 2 号	中国	7	16	23	3
北京 1 号	中国	2	14	16	32
COSMO-SkyMed	意大利	0	10	10	1 3
QuickBird	美国	9	28	37	0 61
TERRA ASTER	美国	0	14	14	15 30
LANDSAT-7	美国	10	4	14	15 30
WorldView	美国	12	0	12	0 5
KONOS	美国	3	0	3	1
					PALSAR: 7—14 100
ALOS	日本	19	21	40	AVNIR—2: 10
					PRISM: 2 5
IRS-P5	印度	6	27	33	2 5
IRS-P6	印度	18	0	18	LISS-4: 5 8
					AWFS: 56
ENVISAT ASAR	欧洲空间局	0	16	16	10 30
SPOT 5 4 2	法国	122	23	145	2 5 10
TerraX-SAR	德国	0	11	11	1 3
EROS-B	以色列	0	10	10	0 7
RadarSat-1	加拿大	2	11	13	10 30 50
TOPSAT	英国	0	2	2	2 5
UK-DMC	英国	0	4	4	32
DMC NigerianSat-1	尼日利亚	0	7	7	32
合计		622	635	1277	

应急评估所用汶川地震烈度数据来源于中国地震局,同时参考了美国地质调查局发布的地震烈度数据;1:5万基础地理数据(包括地形、县级行政区划、水系、交通线和居民点位等信息)来源于国家测绘局,乡级行政区划数据通过地图数字化获得;县级人口数据来源于民政部编制的《中华人民共和国行政区划简册 2008》。结果验证采用了民政部工作组和国家减灾委/科技部抗震救灾专家组深入灾区获得的实地调查资料。

3 应急评估方法

在灾害应急阶段,灾情评估主要包括房屋倒塌、受灾人口等指标,为便于灾后整体规划和重建,

评估结果需要以县级行政区域为单元。根据遥感数据本身的优势和特点,应急评估总体技术路线是利用遥感数据分县对房屋倒塌情况进行研判评估;通过分析地震烈度与房屋倒塌率之间的对应关系,评估地震灾害导致的房屋倒塌率;在此基础上,根据不同受灾县地理地质分布、人口及次生灾害分布等数据,对受灾人口进行估算。

3.1 倒塌房屋评估

尽管汶川地震灾害监测评估过程是有史以来动用遥感数据资源最多的一次,但受限于卫星轨道、幅宽、数据质量及天气条件等因素限制,获得的有效数据仍未实现对灾区范围的全覆盖。因此,倒塌房屋评估过程在保持县域完整的前提下,采用了自下向上的逐级汇总方法,技术路线见图 1。

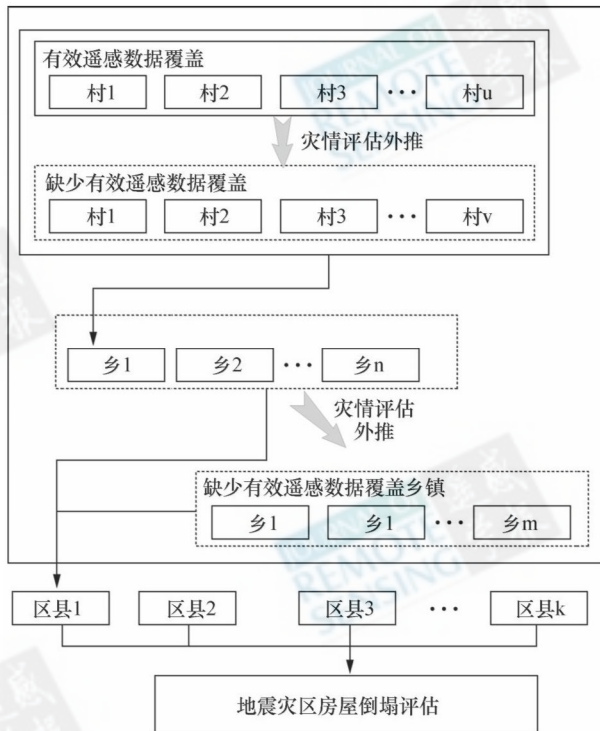


图 1 地震灾区房屋倒塌评估技术路线
Fig. 1 The technical route of the damaged buildings assessment

首先以乡为单位, 利用遥感影像数据进行研判和评估, 实际评估中存在遥感数据全覆盖、部分覆盖

和无覆盖行政乡 3 种情况。对于遥感数据全覆盖的乡, 通过变化检测和目视判读等方法, 以村为单位进行房屋倒塌率评估^[1, 2], 以各村倒房率的平均值作为该乡的房屋倒塌率; 对于遥感数据部分覆盖的乡镇, 若乡所在地被遥感数据覆盖, 则用它的房屋倒塌率代表该乡的房屋倒塌率, 否则, 对未覆盖区域以村为单元, 结合地质地貌、次生灾害分布和地震烈度等数据, 采用空间外推或空间差值的方法进行推算, 然后估算该乡的房屋倒塌率; 对于无遥感数据覆盖乡镇, 同样利用该乡周边相邻乡的评估结果采用空间外推或空间差值的方法进行倒塌房屋估算。最后, 在乡镇倒塌房屋评估的基础上, 采用加权平均的方法对县(市、区)的房屋倒塌率进行评估。

图 2 是以汶川县为例, 给出了倒塌房屋评估过程的示意图。其中, 漩口镇、草坡乡、耿达乡实现了有效遥感数据的全覆盖; 卧龙镇、和平、雁门乡缺少有效遥感数据, 其余乡镇获得了部分地区的有效遥感数据。对于缺少遥感数据覆盖地区的灾情评估, 通过空间外推和空间插值的方法实现了灾情评估的空间全覆盖。如图 2 中所示, 汶川县平均倒房率约为 60%, 其中映秀镇、银杏乡倒房率达 80% 以上, 耿达乡、草坡乡倒房率为 60% 以上, 汶川县城倒房率约为 40%。

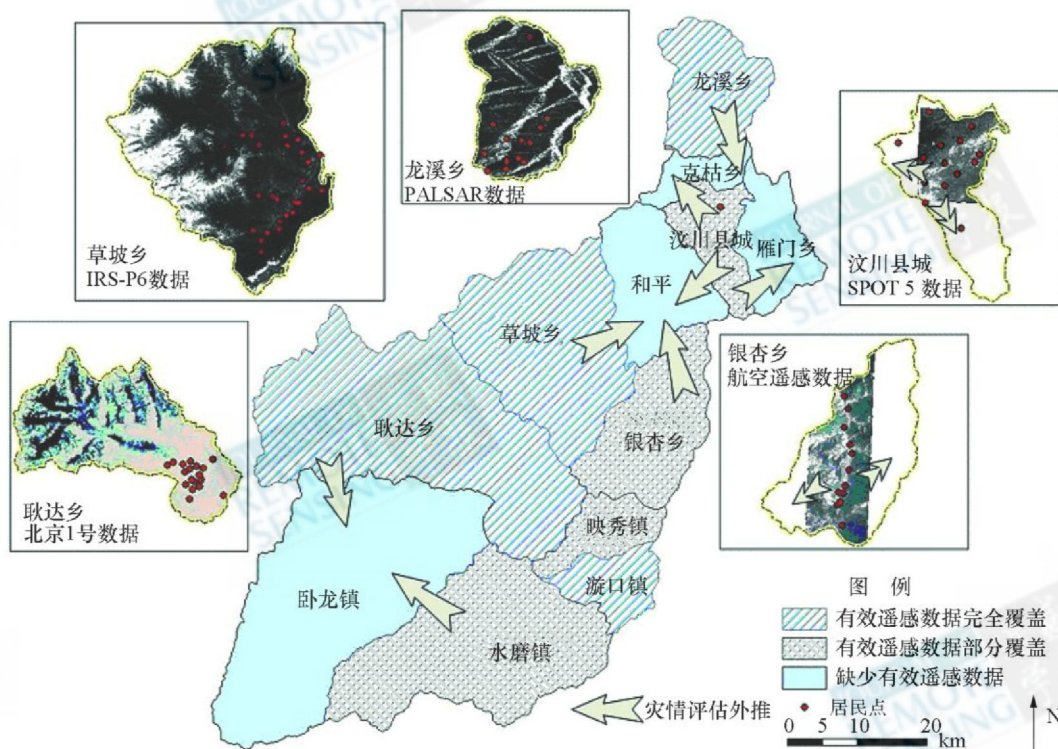


图 2 汶川县房屋倒塌评估示意图

Fig. 2 Damaged buildings assessment deduction in Wenchuan County

3.2 损坏房屋评估

目前, 利用遥感技术仍不能直接对房屋损坏情况进行评估, 需要在获得灾区房屋倒塌率的基础上进行推算。已有研究表明, 在不同地震烈度条件下, 房屋倒塌率与损坏率之间存在相关性^[3 4]。同时考虑到汶川地震灾区绝大部分县(市、区)均按照 7 度设防^[5], 据此, 根据文献[3]和文献[4]给出建筑物 7 度设防房屋损坏率与倒塌率概率关系, 见表 2。

表 2 建筑物 7 度设防房屋损坏率与倒塌率概率关系
Table 2 The relationship between the seismic intensity and the damage degree of the buildings designed for resisting 7 earthquake

地震烈度	6 度	7 度	8 度	9 度	10 度	> 10 度
倒塌率 /%	0	0	15	43	65	80
损坏率 /%	15	43	65	52	35	20
倒损率 /%	15	43	80	95	100	100

由于地震烈度区和县级行政界线在空间上不匹配, 普遍存在一个县跨越多个地震烈度区域的情况。由此, 在利用房屋倒塌率推算损房率乃至房屋倒损率的过程中, 引入了地震平均烈度值 ($\overline{SI}$) 的概念, 表示分县地震烈度。平均地震烈度值采用分县不同烈度等级所占面积加权求和的方法获得, 计算方法如公式 (1)。

$$\overline{SI} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i SI_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (1)$$

式中, SI_i 为县内第 i 个区域的地震烈度, A_i 为第 i 个区域的面积。

以汶川县为例, 通过计算得到平均地震烈度值为 8.89。四舍五入取整后近似对应表 2 中 9 度烈度关系, 可推算得出汶川县房屋倒损率约为 95%。

3.3 受灾人口评估

受灾人口的形成原因是多方面的, 因此评估受灾人口也是灾害灾情评估的难点之一^[6 7]。汶川地震受灾人口评估, 主要考虑地震烈度、房屋倒损和

人口分布等因素。在充分考虑上述致灾因素、成灾因素和灾区人口分布的基础上, 通过空间叠加和关联度分析, 对汶川地震受灾人口等级进行估算。

根据民政部灾情统计、核查和评估经验, 受灾人口比例与地震烈度、房屋倒损率之间存在一定的对应关系。地震烈度越高、房屋倒损情况越严重, 受灾人口的比例就越高。为便于在应急阶段快速估算受灾人口, 国家减灾中心在汶川地震应急期间, 将受灾人口比例划分为严重、重、中、轻 4 级, 划分标准见表 3。

表 3 受灾人口比例与平均地震烈度、房屋倒损率对应关系
Table 3 The relationship between the affected population proportion and the seismic intensity, the damage degree of the buildings

平均地震烈度值 / 度	房屋倒损率 /%	受灾人口比例 /%	受灾人口等级
> 8	> 70	80 以上	严重
7—8	50—70	50—80	重
6—7	20—50	30—50	中
5—6	< 20	30 以下	轻

采用表 3 对照表的方法, 在汶川地震受灾人口评估的过程中, 发挥了重要作用, 与后续灾情稳定后统计核查数据对比, 表明这种方法可以用于地震受灾人口应急评估。同样以汶川县为例, 上文推算该县房屋倒损率约为 95%, 平均地震烈度值约为 9 度, 由此可估算受灾人口应大于 80%, 属于受灾人口等级严重的县。

4 评估结果

利用本文所建立的应急监测评估方法, 在汶川地震应急阶段, 重点对四川、陕西和甘肃 3 省受灾较重的 152 个县(市、区)的倒塌房屋、损坏房屋和人口受灾情况进行了应急评估, 综合评估结果见图 3。综合评估结果表明, 汶川地震房屋倒塌和受损严重, 受灾人口分布点多面广, 受灾程度总体上与断裂带分布^[8]呈明显对应关系, 山区受灾重于平原, 农村重于城镇。

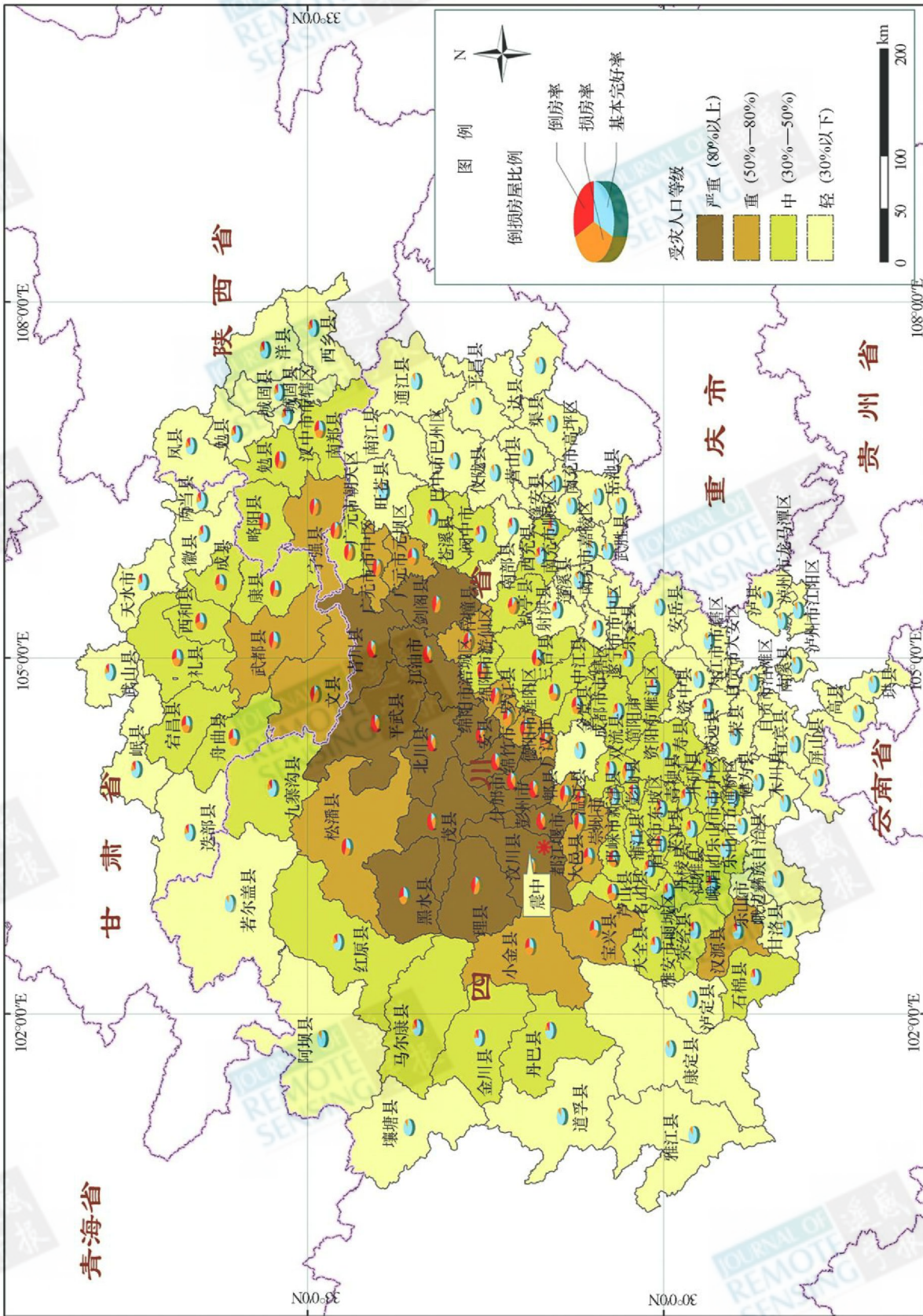


图3 汶川地震灾情遥感综合评估图

Fig. 3 Integrated earthquake assessments for the heavy disaster area

四川省灾区房屋倒塌县(市、区)涉及 83 个,有 120 个县(市、区)房屋不同程度受损,全省有 128 个县(市、区)约 2345.7 万人不同程度受灾。其中,汶川、北川、绵竹、什邡、青川、安县、都江堰、平武、彭州、江油、茂县和理县等 12 个县(市、区)为受灾极重地区,房屋倒塌率均大于 60%,受灾人口达到所辖县(市、区)人口的 80%。

尽管甘肃、陕西两省灾情总体轻于四川省,但也有相当数量的倒塌房屋和受灾人口,受灾情况也非常严重。从两省房屋倒塌率来看,均低于 60%,大部分受灾地区低于 30%,分县受灾人口比例也明显低于四川省。其中,甘肃省的文县、武都县、康县、成县和陕西省的勉县、略阳县、宁强县等受灾相对较重,房屋倒塌率介于 30%—60% 之间,分县受灾人口比例介于 50%—80% 之间。

通过灾区实地核查及与后期四川、甘肃和陕西 3 省民政部门上报灾情统计数据对比,验证了评估结果与灾区实际灾情情况具有很高的一致性。同时,灾情越是严重的地区,评估结果的准确性越高。从而说明本文提出的地震灾情评估方法在灾害应急阶段是可行的,是利用遥感技术开展巨灾评估的可操作的技术方法之一。

5 结论与讨论

长期以来,如何将遥感技术纳入到国家灾情评估业务体系,一直是有关专家学者研究的重点方向之一,其中存在着许多涉及到灾害遥感机理研究、关键技术突破、业务化运行实现以及组织管理等多项工作的难点。汶川地震灾害的监测与评估过程是近些年来利用遥感技术开展巨灾灾情应急评估为数不多的成功案例之一,从国内外数据获取机制的运行、获取遥感数据的数量和质量以及实际应用效果来看,是比较成功的。

本文针对汶川地震成灾过程和遥感技术的特点,提出基于遥感数据研判、空间分析外推技术的自下向上、逐级汇总的应急评估技术路线,重点进行了倒塌房屋评估和次生灾害影响评估。进而结合相关数据,评估和推算了受损房屋和受灾人口数量。这种方法既发挥了遥感数据本身具有的优势,也保证了应急评估阶段对时效性的要求,实践证明也取得了良好

的应用效果,为国家抗震救灾指挥部和国家减灾委的灾害应急处置工作提供了有效的技术支持。

自下向上、逐级汇总的灾情应急评估方法,在评估过程中保证了评估结果与行政单元的一致性,有利于与救灾应急工作从信息统计单元上相互衔接。同时,这种方法便于工作分解,在合理建立统一的技术规程和标准的基础上,有利于组织大规模协同运行与综合结果生成,具有良好的科学性和可操作性,适合于巨灾灾情遥感应急评估工作。

参考文献 (References)

- [1] Chen X L. Fast Assessment of Earthquake Damage and Decision-Making of Rescue Based on Airborne Sensing [M]. Beijing: Seismological Press, 1992 [陈鑫连. 地震灾害的航空遥感信息快速评估与救灾决策 [M]. 北京:地震出版社, 1992 [J].
- [2] Wang L, Wang X Q, Ding X, et al. Study on Loss of Construction Earthquake Damage Based on Remote Sensing and GIS [J]. *Earthquake*, 2007, 27(4): 77—83 [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—83].
- [3] Xie L L, Zhang X Z, Zhou Y N. On the Design Earthquake Level for Earthquake Resistant Works [J]. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 1996, 16(1): 1—17 [谢礼立, 张晓志, 周雍年. 论工程抗震设防标准. 地震工程与工程震动, 1996, 16(1): 1—17].
- [4] Lan Q L, An W P, Zhao W X. Seismic Damage Step-by-Step Assessment [J]. *North China Earthquake Sciences*, 1999, 17(4): 46—52 [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—52].
- [5] Code for Seismic Design of Buildings GB 50011-2001 [S]. 2001. [中华人民共和国国家标准: GB 50011-2001. [S]. 建筑抗震设计规范 [S]. 2001].
- [6] Yan F T. Fast Assessment of Earthquake Disasters [J]. *Journal of Seismological Research*, 2003, 26(4): 382—387. [晏凤桐. 地震灾情的快速评估 [J]. 地震研究, 2003, 26(4): 382—387].
- [7] Yang T Q, Jiang L X, Yang G L. A Study Earthquake Casualty Rapid Estimation [J]. *Seismological and Geomagnetic Observation and Research*, 2006, 27(4): 39—43 [杨天青, 姜立新, 杨桂岭. 地震人员伤亡快速评估 [J]. 地震地磁观测与研究, 2006, 27(4): 39—43].
- [8] An Q M, Ding L F, Wang H Z, et al. Research of Property and Activity of Longmen Mountain Fault Zone [J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 2004, 24(2): 115—119 [安其美, 丁立丰, 王海忠等. 龙门山断裂带的性质与活动性研究 [J]. 大地测量与地球动力学, 2004, 24(2): 115—119].

Study on Urgent Monitoring and Assessment in Wenchuan Earthquake

FAN Yida, YANG Si-quan, WANG Lei, WANG Wei, NIE Juan, ZHANG Bao-jun

(National Disaster Reduction Center of China, Ministry of Civil Affairs
China Space Application Centre for Disaster Reduction, Beijing 100053, China)

Abstract Wenchuan Earthquake 8.0 Richter Magnitude is the most destructive most widely-spread and the one entails the most difficulties in disaster-relief since the founding of People's Republic of China. Along with the earthquake, many secondary disasters, such as mountain collapses, landslides and debris flows and dammed lakes occurred and enlarged the disaster. After the earthquake, National Disaster Reduction Committee (NDRC) and Ministry of Civil Affairs (MCA) triggered the domestic and international satellite remote sensing data achieving mechanism immediately, including the International CHARTER Space and Major Disasters. The achieved data were used for the continuous disaster monitoring and urgent disaster assessment and provided effective information in disaster relief.

This paper establishes an urgent assessment method for catastrophe, which is based on the interpreting with remote sensing data and the deducting by spatial analysis. Taking the urgent assessment using remote sensing data during the Wenchuan Earthquake as an example, this paper applies the method into the assessment for the 152 counties of Sichuan, Shanxi and Gansu provinces. The results show that buildings are destroyed seriously and the affected population distribute in a very wide area. In general, the disaster loss is distributed corresponding to the fault zone. The disaster loss in mountain area is larger than that in plain area, and the damage in village area is more serious than that in urban area. Wenchuan, Beichuan, Qingchuan, and Mianzhu and other 8 counties in Sichuan province are the most seriously damaged counties. Wen County in Gansu province and Mian county in Shanxi province are seriously damaged. By validation with field investigation, the efficiency of the assessment was approved. The paper develops a step-by-step collection method of assessment, which takes the advantage of the remote sensing data and meets the efficiency need of urgent disaster assessment. The method is also useful for the coordinative operation and comprehensive assessment. The method is scientific, applicable, and feasible in disaster assessment with remote sensing data during catastrophe.

Key words Wenchuan Earthquake, disaster remote sensing, catastrophe urgent assessment, damaged buildings assessment, affected population assessment