

有关地震烈度速报信息化发展的思考

张晁军¹⁾ 李卫东¹⁾ 李大辉¹⁾ 陈会忠²⁾ 侯燕燕¹⁾

1) 中国地震台网中心, 北京 100045

2) 中国地震局地震预测研究所, 北京 100036

摘要 汶川8.0级地震给我们很多警示, 其中之一就是地震观测系统应当在大地震后快速产出地震烈度分布图。本文对快速产出地震烈度的策略和方法进行了探讨, 着重介绍了用同震位移分布快速获得地震烈度产出的方法。实现地震烈度快速产出这一目标应当走测震学、强地面运动学与信息技术有效结合的道路, 这是大震后地震烈度快速产出的有效途径。

关键词 地震烈度; 同震位移烈度; 震源机制解; 余震快速产出; 信息化

中图分类号 P315.9; **文献标识码** A; **doi**: 10.3969/j.issn.0235-4975.2010.04.006

引言

“5·12”汶川8.0级地震是新中国成立以来破坏性最强、地震灾害最重、救灾难度最大、波及范围最广的一次大地震, 造成惨重人员伤亡和巨大的经济损失。如何快速对震源区的破裂情况做出初步的估计, 对地震灾害做出快速响应, 地震监测信息系统应当在大地震发生后, 快速发布地震烈度分布信息, 让政府和公众及时获得灾情信息, 是汶川地震留给我们急需思考解决的课题。

1 国际地震烈度速报的发展现状

1.1 日本的Hi-NET地震烈度速报

日本地震学家若据村松(Muramatu)最早提出地震动图的概念: 采用地震台测量的地震动最大幅值(位移、速度和加速度)直接转换成地震烈度的方式^[1]。基于这一理念, 日本通过在日本本土密集布设2000~3000个地震动传感器, 在地震发生后两三分钟,

就可以直接产生地震烈度分布图, 非常直观和快速地向政府及公众报告地表面震动最强烈的区域和地点。

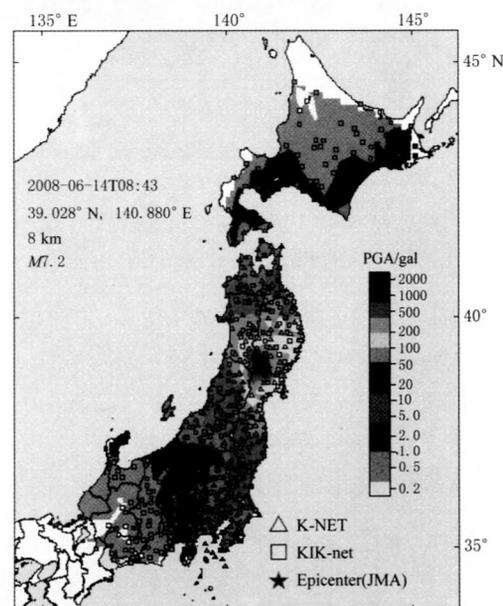


图1 日本实时强震观测网PGA分布

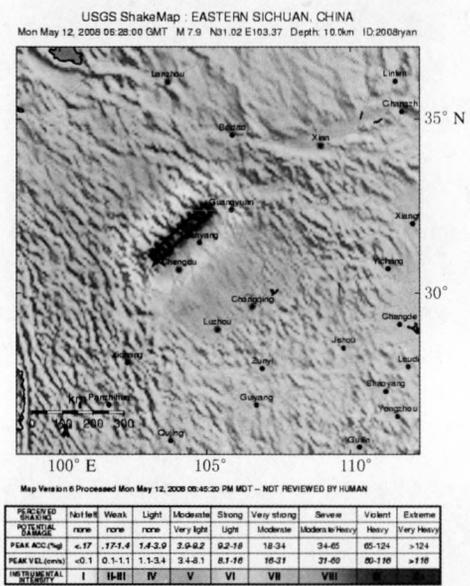
1.2 美国全球ShakeMap速报和Internet烈度调查快速产出

在地震活动频繁的加利福尼亚州南部地

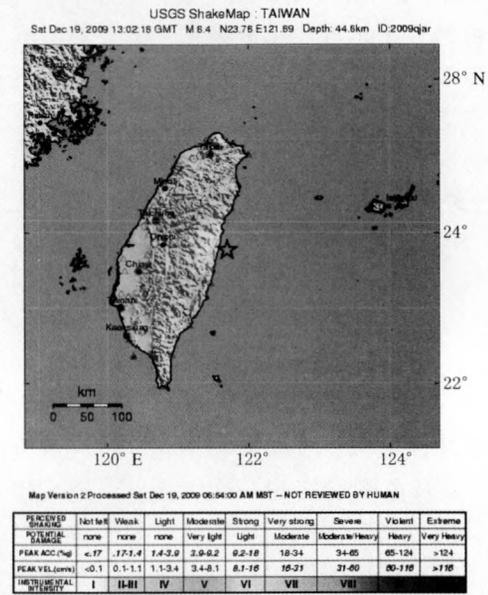
* 收稿日期: 2010-03-03。

区,美国联邦政府和州政府的有关部门建设了670余个强震台站。自1994年开始,美国地质调查局(USGS)、加州理工学院(Caltech)和加州矿产地质局(CDMG)利用TriNet实时和近实时强震台站获取的加速度记录,开始研制由地震台网产出的地震仪(PGV)和强震仪(PGA)地震动图系统,在台距较大的地震台网内插值模拟的地震台站,以获得较好的地震动位移、速度和加速度

图^[2]。同时产生“仪器”烈度分布图 ShakeMap(<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/shakemap/>)。2006年以后结合全球地震台网面波反演技术,进行破裂过程反演,约束 ShakeMap 结果,USGS 对于全球大地震都做出地震动图和烈度速报。图2为美国USGS对2008年汶川地震和2009年12月19日台湾6.7级地震快速产出的烈度速报结果。



(a) 2008年汶川8.0地震ShakeMap



(b) 2009年12月19日台湾6.7地震ShakeMap

图2 美国USGS在汶川地震后和12月19日台湾6.7级地震后快速产出的烈度速报结果 (据 <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/shakemap/>)

同时美国USGS网站设立了专栏——“Did you feel it?”。通过互联网用户填表报告调查的方式,发布Internet地震烈度分布图。图3为2008年5月15日根据701个人报告得到的汶川地震烈度分布图。

2 目前几种地震烈度方法的特点

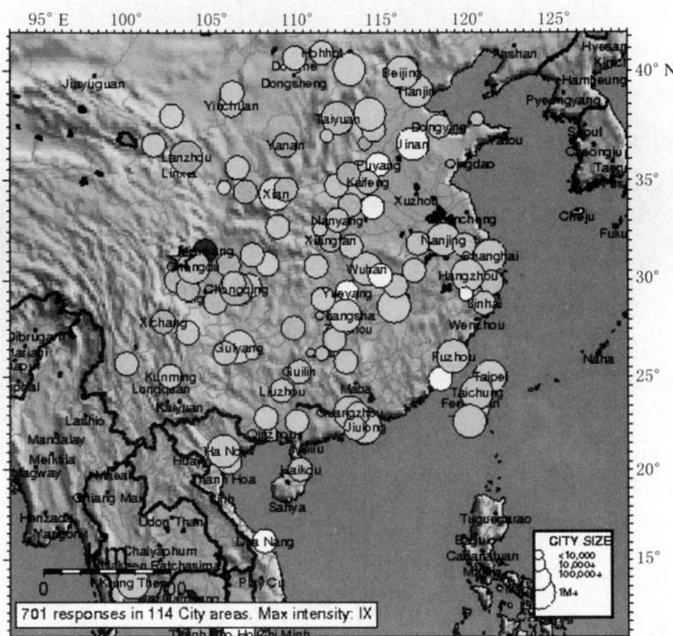
2.1 人工实地考察测绘地震烈度分布图

在高烈度地区,实地考察测绘的烈度图一般以建筑物的破坏程度和地面破坏效应等定性指标加以确定,需要派出大量的普查人员进行勘察。一般是几天,对大地震有的需

要更长时间,如2009年7月9日姚安6.0级地震烈度分布图(图4b)是震后14天公布的,2008年5月12日汶川8.0级地震烈度分布图(图4a),是震后两个月以后公布的。由此可见,虽然这种烈度图最接近实际灾情分布情况,但时效性差,无法满足大地震后烈度快速产出的要求。

2.2 全国和区域地震台网地震仪产出仪器地震烈度

目前覆盖全国的地震监测台网,由996个台站和32个省级区域测震台网中心组成(图5),分布很不均匀,平均每万平方公里



Map last updated on Thu May 15 00:10:52 2008

INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	Very Heavy

图 3 2008 年 5 月 15 日美国 USGS 网站根据 701 个人报告得到的汶川地震烈度分布图 (据 <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/dyfi/>)

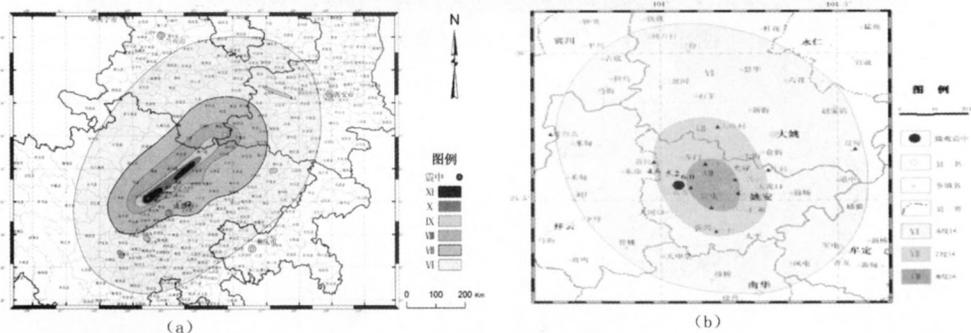


图 4 (a)汶川地震 2 个月后的实地考察测绘地震烈度分布图；(b)姚安地震 14 天后实地考察测绘地震烈度分布图 (据 <http://www.cea.gov.cn/manage/html/>)

只有 1.35 个，其中西部台站稀疏，每万平方公里只有 0.78 个，东部相对密集，每万平方公里有 1.75 个，首都圈相对较多，每万平方公里也只有 7.05 个。

全国和区域地震台网地震仪 (PGV) 产生的仪器地震烈度是大尺度记录地震动的情况，对于我国这样的台站布局，采用计算机

模拟内插和场地效应修正等方法，可以快速产出地震动图。但是对于强烈有感强震区，可能造成仪器的近台限幅，甚至造成数据传输中断，采集不到需要的数据，会导致极震区的地震动计算困难。

2.3 强震台网仪器烈度分布图

中国数字强地震动观测台网有 1154 个

固定台, 310 个烈度台, 12 个专业台阵, 全国目前观测点 1976 个, 密度为 2.058 个/万平方公里(图 6)。如果在 10000 平方公里的强震区内, 能够均匀布设不少于 100 个强震

台, 可以比较完整和准确地记录强震区的烈度分布, 但目前我国强震台站不是实时记录, 很难达到烈度速报要求。同时, 我国强地震台站分布不均匀, 地震发生在哪里, 人

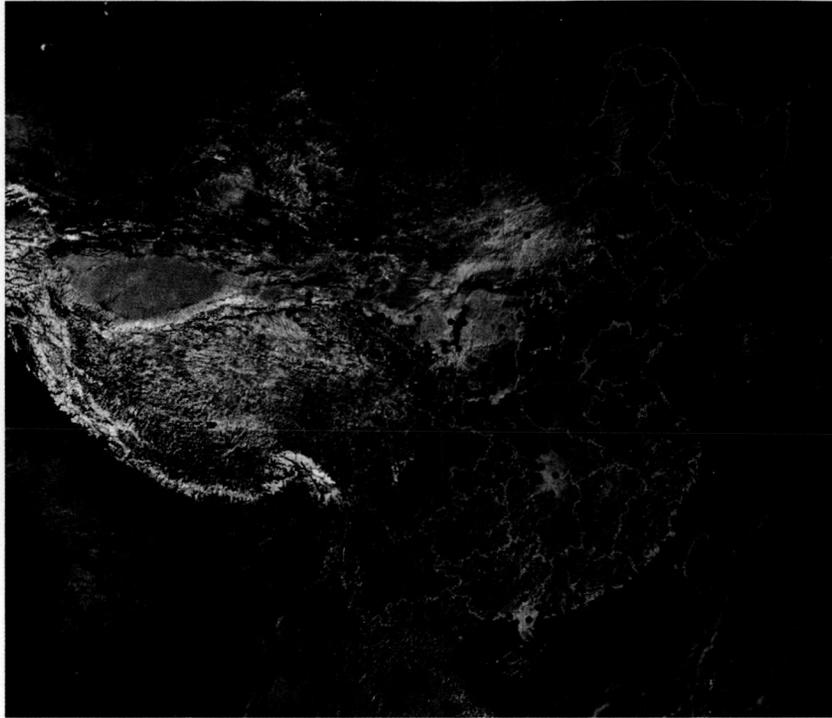


图 5 “十五”省级区域测震台网台站分布图

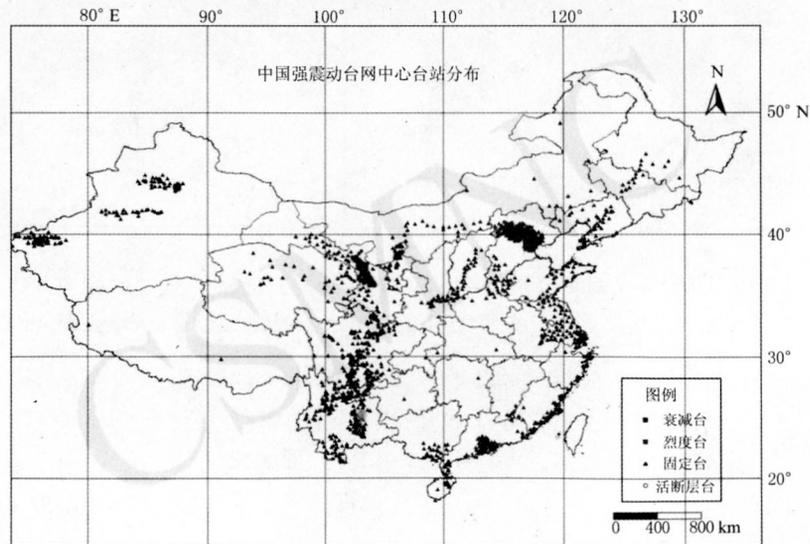


图 6 中国华北、西北、西南等地震动衰减分区(据中国强震动台网中心 CSMNC)

们无法预知,该在哪里加密台网有很大的不确定性。

另外,汶川地震显示出:在极震区很有可能因破坏严重而导致仪器失灵和数据无法采集,这将导致烈度计算的困难,如极震区最重要的两个台映秀和北川,房屋倒塌,仪器被砸烂,仅靠强震台网也无法保证能够完整地获得极震区地震动数据。

2.4 网络和信息报告的方法

网络和信息报告的方法是非常简单实用的方法,在我国部分地区部署的大震信息处理系统就是采用地震信息员报告来获得大地震烈度和灾害分布,可惜目前还未取得明显的效果。在极震区和受灾严重的地区,人们在第一时间往往忙于救灾和自救,不能及时应答网络信息和给出当地破坏的信息报告,同时由于在极震区的网络设施可能遭到破坏,造成网络信息获取十分困难。

3 同震位移地震烈度快速分布计算方法

地震动的最大速度、总功率(持续时间)和位移等也是烈度的一项主要因素^[1]。依靠这些因素在不同观测点的差异可以确定烈度的分布。事实上,许多学者的研究、计算结果和野外考察结果表明:大地震地表同震位移场的分布特征与该地震烈度分布的特征非常一致^[3]。因此,由同震位移场估算地震烈度是合理的。

3.1 方法的基本原理

在已知地震三要素、地壳模型和断层参数的情况下,通过理论计算地震的绝对同震形变,大致确定地震烈度分布的方法。

3.1.1 所需参数条件

地震三要素、地壳模型和断层参数。

(1) 地震三要素——用来计算破裂长度、震中烈度和平均滑动位移,可以从速报结果获得。

(2) 地壳模型——用来计算格林函数。

地壳模型包含地壳分层参数和体波分层速度和地壳分层密度参数。速度模型参数可以通过以下途径获得:(a) 各区域地震台网定位速度模型;(b) ISPEI 91 全球平均地壳模型;(c) 由 Crust 2.0 程序快速获得;(d) 由地震层析成像的最新成果获得,但这需要经常关注这方面的研究成果。(e) 从历史地震活动性的分析成果中提取。(f) 最新的地球物理勘探成果。

(3) 断层参数包括断裂长度、宽度、破裂面积、断裂总体走向、倾向、倾角、滑动角等,其获得途径如下:

① 断层长度(L):可根据前人的经验公式获得。根据中国大陆浅源地震($5.0 \leq M \leq 7.9$)的余震资料得出断层破裂长度 L (km) 与震级的经验公式为^[4]

$$\log L = 0.51M - (1.78 \pm 0.09) \quad (1)$$

② 断层宽度(W):断层宽度可由下述方法得到:(a) 由震源深度(h)与断层倾角(dip)的关系获得;(b) 由余震面积获得;(c) 由断层长度与宽度的经验公式获得

$$W = h / \sin(\text{dip}) \quad (2)$$

对于汶川地震:求得 $W \approx 15$ km。

③ 破裂面积:采用矩形破裂模型,则汶川地震破裂面积 $S = L \times W = 3750$ km²。

④ 断裂总体走向、倾向、倾角、滑动角:可通过下述途径获得:(a) 利用地震矩张量解。这需要快速产出震源机制解。然而,目前我国获得震源机制解的结果较慢,达不到大震快速产出的要求。(b) 根据震后 3~10 min 余震的定位结果确定;余震分布的产出目前还不够快,对本方法有制约作用;(c) 根据历史地震活动性、地质调查,特别是历史 5 级左右地震的统计获得。根据这些参数进行理论计算,进一步的结果可以根据及时获得的现场数据进行修订。

⑤ 断层错距计算:断层错距俗称断层滑动距离,它与地震矩、震级、断层破裂面积、刚度系数有以下关系^[5]:

$$M_0 = \mu S \bar{D} = 10^{(1.5M_0 + 9.1)} \quad (4)$$

式中： M_0 为地震矩； \bar{D} 为断层错距； μ 为刚度系数； S 为破裂面积。

计算得汶川地震断层的平均错距 $\bar{D} \approx 6.0$ m。

根据平均错距与震级的统计关系^[1]，也可以计算主震的平均错距：

$$\log \bar{D} = 0.6M - 4.0 \quad (5)$$

式中， \bar{D} 为主震的平均位移，单位：m； M 为主震面波震级。

计算得汶川地震断层的平均错距 $\bar{D} \approx 6.3$ m。

同时使用这两种方法对断层滑动距离进行约束。

3.1.2 绝对同震位移的计算

在获得了上述参数的基础上，利用同震形变程序 PSGRN/PSCMP 计算同震形变^[6]，获得不同点的 U_x ， U_y ， U_z 分布，定义绝对平均位移：

$$|Co_D| = \sqrt{U_x^2 + U_y^2 + U_z^2} \quad (6)$$

3.1.3 烈度与震级和深度的对应关系

Shebalin^[7] 根据全球大量深度小于 80 km 的地震在地表的烈度衰减做了统计，得到 (7) 式：

$$I_0 = 1.5M - 3.5\log h + 3.0 \quad (7)$$

$(h \leq 80 \text{ km})$

式中， I_0 为震中烈度， M 为震级， h 为地震震源深度，单位：km。

由此公式计算出不同烈度 I 对应的震级。

3.1.4 绝对同震位移与麦式烈度对照表

根据 (4)、(5)、(6)、(7) 式，计算不同烈度对应的震级所造成的绝对同震位移，可以得到不同深度条件下，震级、绝对同震位移与麦式烈度的对照表，表 1 是深度为 12 km 时，不同震级、绝对同震位移与麦式烈度的对照表。

表 1 震级、绝对同震位移与麦式烈度的对照表

震级	位移/m	烈度/°
> 8.5	≥ 15	12
8.5 ~ 7.9	(15 ~ 5.5]	11+ ~ 11
7.8 ~ 7.2	(5.5 ~ 1.3]	10+ ~ 10
7.1 ~ 6.5	(1.3 ~ 0.30]	9+ ~ 9
6.4 ~ 5.9	(0.30 ~ 0.065]	8+ ~ 8
5.8 ~ 5.2	(0.065 ~ 0.011]	7+ ~ 7
5.1 ~ 4.5	(0.011 ~ 0.0015]	6+ ~ 6
4.4 ~ 3.9	(0.0015 ~ 0.0003]	5+ ~ 5
3.8 ~ 3.2	(0.0003 ~ 5.0×10^{-5}]	4+ ~ 4
3.1 ~ 2.5	(5.0×10^{-5} ~ 1.0×10^{-5}]	3+ ~ 3
2.4 ~ 1.9	(1.0×10^{-5} ~ 1.3×10^{-6}]	2+ ~ 2
< 1.8	$< 1.3 \times 10^{-6}$	1

3.1.5 绝对同震位移震中烈度分布图

将绝对同震位移转换成烈度后，将烈度分布投影在行政区划图上，就得到震中烈度分布图 (图 7b 中淡粉色包围区域)。将绝对同震位移转换的烈度分布图与汶川 8.0 级地震烈度分布图 (图 7c) 相比，可以看出，由绝对同震位移计算的地震烈度分布与实际地震烈度图有很好的—致性，特别是在极震区对应效果更好。这也是大震应急、紧急救援关心的区域。

我们用同震位移烈度方法对一些震例进行了检验，得到的结果是令人满意的。图 8 是海地 2010 年 1 月 13 日 (北京时间) $M_s 7.3$ 级地震的实例效果分析，可看出：同震位移烈度方法可快速计算出极震区和次极震区的烈度分布范围。

3.2 同震位移地震烈度的优势

从实际震例的分析可以看出同震位移烈度方法有一定的优势：

(1) 需要的参数少：只需要地震三要素和断层走向、倾向、滑动角，以及后续的震源机制解和余震目录。

(2) 计算简便：可快速判定强震区的烈度强度和分布情况。

(3) 立即结合人文地理信息，可快速判

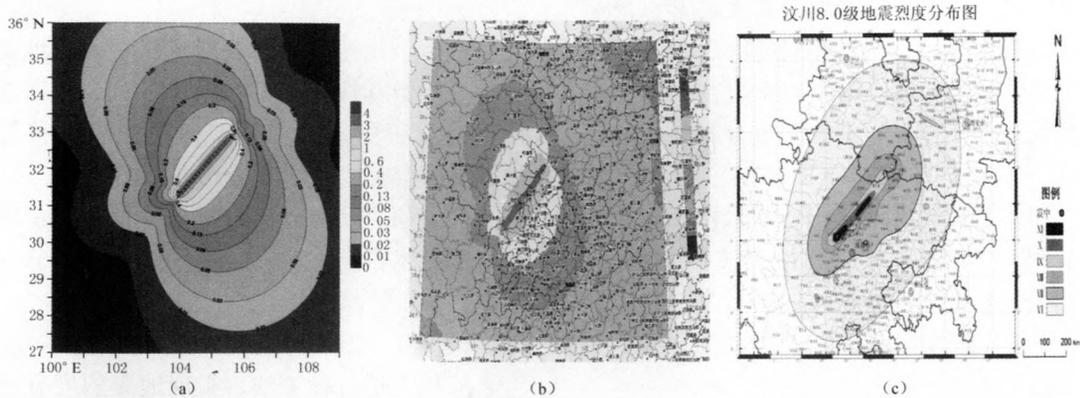


图7 同震位移烈度分布图, 其中(a)为绝对同震位移分布, (b)为同震位移烈度在行政区划图上的投影, (c)为实地考察烈度分布图

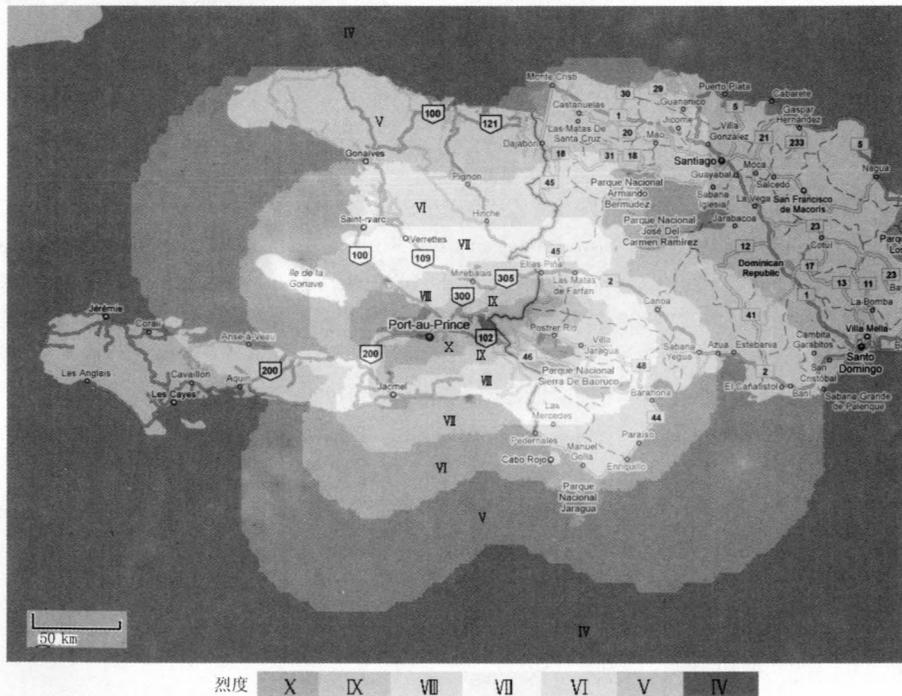


图8 2010年1月13日(北京时间)海地M7.3级地震绝对同震位移烈度分布

定灾害的影响范围和影响程度。

(4) 成本低, 特别是在地震仪器稀疏的地区可发挥独特的作用。

4 结束语

汶川8.0地震警示我们: 地震监测系统应当在大地震发生后快速产出和发布地震烈度分布信息, 让政府和公众及时获得灾情信

息。这是一项艰巨的任务。众所周知, 我国地震台站距离较大, 地质构造条件复杂, 目前的地震台网布局, 主要是为地震速报和地震预报的地震活动性提供数据。汶川地震我们经历了极震区记录限幅、强震仪损坏、网络中断、现场记录恢复难等难以预料的尴尬局面。

因此, 测震学、强地面运动学与信息技

术的有效结合,才是应对未来大震灾害快速产出的有效途径。具体我们可以采用以下策略和方法,来实现地震监测系统在大地震发生后快速产出和发布地震烈度分布信息的任务。

(1) 利用现有的全国地震台网和区域地震台网,查明台基效应和地震波传播特性,采用内插模拟方法,虚拟加密台站,高速计算,快速生成全国或区域地震动图,进行烈度速报。

(2) 在重点地震危险区和大中城市布设高密度的烈度传感器实时传输网络,快速生成强震区的震动峰值分布图,进行烈度速

报。

(3) 利用地震台网快速产出精确的地震三要素参数和快速 CMT、余震序列,利用地质构造和历史地震参数,利用同震位移算法,快速生成地震烈度分布参考图。

(4) 研究实时遥感数据的灾情快速识别与提取技术,快速生成强震区地震灾害分布图。

(5) 建立地震烈度速报综合信息系统,综合应用上述各种方法,实现地震烈度分布图的快速生成,快速修订和快速发布。

(作者电子信箱,张晁军: zcj72@hotmail.com)

参考文献

- [1] 宇津德治主编. 李裕澈等译. 地震事典. 北京: 地震出版社, 1990: 399
- [2] Vladimir Sokolov and David J Wald. Instrumental intensity distribution for the Hector Mine, California, and the Chi-Chi, Taiwan, Earthquakes: Comparison of two methods. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 2002, 92: 2145-2162
- [3] 张勇, 冯万鹏, 许力生, 等. 2008年汶川大地震的时空破裂过程. *中国科学 D 辑: 地球科学*. 2008, 38(10): 1186-1194
- [4] 国家地震局震害防御司. 地震工作手册. 北京: 地震出版社, 1990: 237
- [5] Peter Borman. IASPEI, New manual of seismological observatory practice (NMSOP), Volume 1, Chapter 3, Magnitude of seismic event: P36
- [6] Wang R, Francisco Lorenzo Martin, Frank Roth. PSCRN/PSCMP—a new code for calculating co-and postseismic deformation, geoid and gravity changes based on the viscoelastic-gravitational dislocation theory. *Computers & Geosciences*, 2006, 32: 527-541
- [7] Shebalin N V. Seismic scale and methods of measuring earthquake intensity [in Russian]. *Foci of strong earthquakes in the USSR [in Russian]* 1978: 87-109

Some Thoughts Concerning Development of Rapid Report of Seismic Intensity Information

Zhang Chaojun¹⁾, Li Weidong¹⁾, Li Dahui¹⁾,
Chen Huizhong²⁾ and Hou Yanyan¹⁾,

1) China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China

2) Institute of Earthquake Science, CEA, Beijing 100036, China

Abstract The *M*8.0 earthquake in Wenchuan offers many lessons. One of them is that seismic observation system should rapidly generate the distribution map of seismic intensity after a major earthquake. The strategies and methods for rapidly creating seismic intensity maps are discussed in this paper, with special emphasis on co-seismic displacement method. Achieving the goal of rapidly generating seismic intensity information after a major earthquake requires the combination of seismometry, strong motion seismology and information technology, which proves to be an effective way.

Key words seismic intensity; co-seismic displacement intensity; focal mechanism; rapid generation of aftershock information; information technology