

# Research and Application of ShakeMap in Fujian Region

Shicheng Wang, Yongxiang Wei, Shuilong Li

Fujian Earthquake Agency, Fuzhou Fujian  
Email: gilliant@fjea.gov.cn

Received: Nov. 14<sup>th</sup>, 2017; accepted: Nov. 29<sup>th</sup>, 2017; published: Dec. 6<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

ShakeMap developed by Wald *et al.* is an open source, free and real-time Rapid Seismic Intensity Reporting System can automatically generate products such as peak ground motion maps(peak ground acceleration map and peak ground velocity map), Intensity Instrumental distribution map and so on, which can give scientific basis for emergency rescue work after an earthquake. Based on the ShakeMap, we recompiled and installed it on the local operating system, and used the former research results on ground motion attenuation and instrumental intensity calculation founded by domestic scientists to replace the internal equations, to obtain the real ground motion products. Furthermore, the content of ShakeMap products are showed in English, which makes the products very difficult to receive and understand for the domestic public and very hard for information spreading, so we localized the content of maps, web pages and E-mail notifications to make those easy understanding and elevated the value of the system. In the end, we used the reformed ShakeMap in Fujian region and took the Xianyou earthquake that is M4.8 occurred in 4th, September, 2013 in Fujian Province as an example to show the feasibility and limitation of the reformed ShakeMap used in Fujian region. From the application we hope to give some hints and supports for the development of the research on domestic Rapid Seismic Intensity Reporting System.

## Keywords

ShakeMap, Ground Motion Attenuation, Instrumental Intensity, Rapid Seismic Intensity Reporting System

---

# ShakeMap系统在福建地区的研究及应用

王士成, 韦永祥, 李水龙

福建省地震局, 福建 福州  
Email: gilliant@fjea.gov.cn

收稿日期: 2017年11月14日; 录用日期: 2017年11月29日; 发布日期: 2017年12月6日

## 摘要

ShakeMap系统是Wald *et al.*等人开发的一套开源、免费、准实时的烈度速报系统,能够在震后自动生成地震动峰值(PGA/PGV)等值图、仪器烈度分布图等产品,可以为震后各项应急救援的制定提供科学的参考依据。本文以该系统为基础,重新编译并应用于国内系统架构,并使用国内前人对地震动衰减和仪器烈度计算等方面的研究成果替换系统原有模块对其进行“改造”,期望获得真实反映出地震情况的产品。由于ShakeMap系统的产品内容为英文表述,使得国内大众对地震信息的获取和理解存在一定的困难,因而本文对ShakeMap系统的图形、网页和电子邮件通知等产品进行相应的本地化工作,以便于公众对信息的理解和地震信息的传播,提升系统的应用价值。最后,本文将“改造后”的ShakeMap系统应用于福建地区,并以2013年9月4日福建省莆田市仙游县M4.8级地震为例,说明改造后的系统在福建地区应用的可行性及局限性,期望为国内烈度速报系统的研究及应用提供一定的参考和借鉴。

## 关键词

ShakeMap, 地震动衰减, 仪器烈度, 烈度速报系统

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

ShakeMap系统由美国地质调查局开发,能够在震后自动、快速地生成地震动峰值(PGA/PGV)等值图和仪器烈度分布图等产品,通过这些产品人们可以很直观地了解到哪里可能遭受的震动最强烈、破坏最严重,这为震后应急救援策略的制定和应急救援工作的展开提供科学依据和一定的参考意见。与此同时,丰富多样的ShakeMap产品还可以通过网络、移动电话和电视媒体等多种途径进行发布传播,因而公众可以在震后迅速地获得最新的地震信息,这对于维持社会稳定,避免因地震引发的慌乱,也将起到重要的作用。

ShakeMap是一套比较成熟的烈度速报系统,在美国甚至全球范围内有着广泛的应用,如在美国加州、内达华州、犹他州、夏威夷、阿拉斯加、新马德里和美国国家地震信息中心(NEIC)等都在使用ShakeMap系统,国际上如意大利等也在使用ShakeMap系统,而国内也有一些科研院所或机构在直接应用ShakeMap或进行二次开发。目前,国内相关研究不断发展成熟、理论水平也随之得到提高,地震观测台网密度不断加大,这些都为国内引进和应用ShakeMap系统打下比较坚实的基础。如何将ShakeMap系统与国内实际情况相结合,实现ShakeMap系统的区域化应用、保证处理结果真实可靠和内容丰富易懂等正是本文所要解决的问题。

## 2. ShakeMap 系统简介

### 2.1. 系统概况

ShakeMap系统的研究开始于美国1994年北岭地震之后,最初由David Wald构想。1996年加州地震台网(Wald and others, 1997)和新安装的TerraScope台网(Kanamori and others, 1991) [1]的结合,造就了足够数量的实时强震观测台站,David Wald和Vincent Quitoriano也因此得以在同年设计和实现ShakeMap

系统。基于 ShakeMap 系统的实用性, ShakeMap 系统随着 TriNet 系统的发展、增强和扩展也不断演化。在南加州的成功应用,使得美国政府在不遗余力的增强 ShakeMap 系统软件的同时也在美国国内其它州推广这一系统。Bruce Wald (Caltech, 现为 USGS)和 Craig Scrivner (前 CDMG, 加州矿产和地质部)对软件进行了重新设计。后续软件的开发作为 ANSS 的一部分在 Worden 和 Quitoriano 指导下进行[2] [3]。之后, ShakeMap 系统的应用范围从美国国内其它地震活跃的州不断扩大到全球范围内的许多国家和地区。现在 ShakeMap 系统主要由 USGS 负责运营,可以处理几乎全球范围内的地震。

ShakeMap 系统主要由 perl 语言编写,同时依赖于第三方软件,比如:使用 GMT(Generic Mapping Tools, Will Smith) [4] [5] [6] [7] [8],一款通用制图工具进行部分计算和绘图使用 MySQL 数据库存储地震信息和一些运行参数,使用 Subversion 管理系统的各个版本,使用 zip 对产品进行压缩便于提供 ftp 下载等。

ShakeMap 系统的产品非常丰富,主要包括:峰值加速度等值线图,峰值速度等值线图和仪器烈度分布图等图形产品;GIS 产品可用于灾害评估,KML, KMZ 文件配合可加载与 GoogleEarth 的强大功能,方便人们直观地了解到地震的破坏情况;ShakeMap 系统的产品发布方式也比较灵活多样,产品可以通过网页、电视媒体、电子邮件和 ftp 站点等方式展现给公众。

ShakeMap 系统的主要用途包括:1) 应急救援与损失评估 2) 公众信息与教育 3) 地震工程与地震研究 4) 地震模拟演练。

## 2.2. 主要模块及处理流程

ShakeMap 系统由一系列功能模块组成,如数据提取模块、计算模块、绘图模块、网页生成模块、打印模块和邮件通知模块等,模块之间相互调用完成系统对地震事件的处理与发布。图 1 为 ShakeMap 系统的处理流程图。

表 1 为系统的主要模块及功能说明。当地震台网记录到一个地震事件时,在把地震三要素和台站等数据传给 ShakeMap 的同时会触发 ShakeMap 系统,ShakeMap 的 retrieve 程序根据台站传来的数据生成系统运行的 event.xml 和\*\_dat.xml 等文件(输入),然后经过 grind 的计算处理后,交给 mapping 绘图,然后由 genex 生成相关的网页产品(处理),通过 transfer 传送到相关 web 和 ftp 站点供网页显示与下载,最后由 shakemail 发送邮件通知和 print 进行打印(输出)(图 2)。

## 3. 区域化应用

### 3.1. 福建地区台网简介

福建地震观测台网在“十一五”之前由 41 个测震台站和 1 个测震台网中心组成,其中 41 个测震台



Figure 1. The flow chart of ShakeMap  
图 1. ShakeMap 系统基本流程图

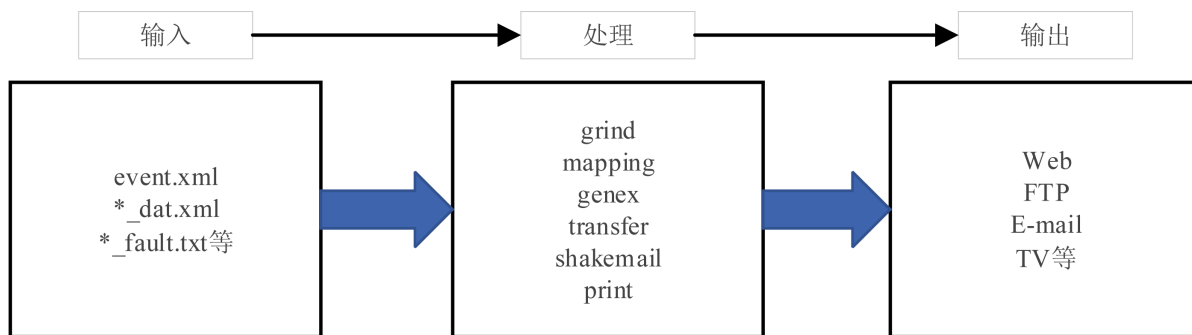


Figure 2. The flow of ShakeMap modules

图 2. ShakeMap 模块调用流程

Table 1. Modules and functions of ShakeMap

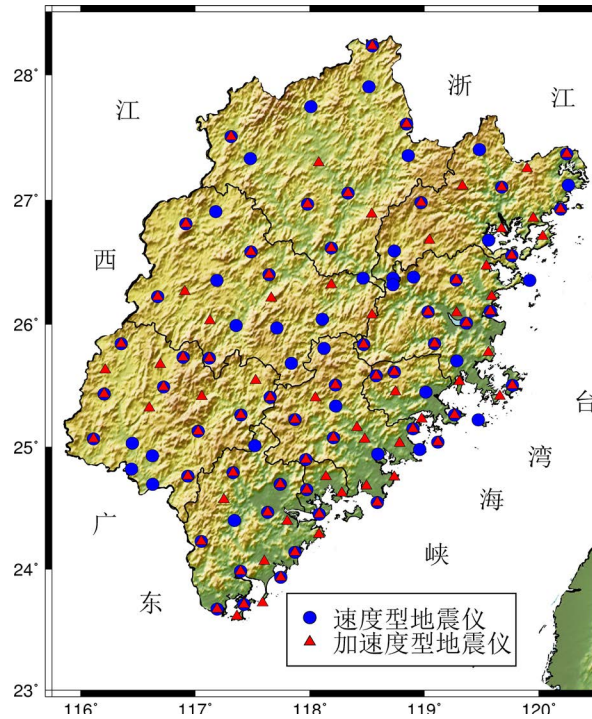
表 1. ShakeMap 的模块及其功能

模块名称	模块功能
shake	全局模块，控制模块的调用顺序
retrieve	从台网数据库中提取地震三要素和台站数据等信息并生成相应输入文件
pending	发送一个新首页到网站，说明正在处理一个事件
grind	计算模块(插值、场地校正、烈度计算等)
tag	为 ShakeMap 系统数据库指定该事件是什么类型的事件(普通、主震、历史地震、不可见或者余震等)
mapping	读取 grind 的输出网格生成地震动和烈度的 PS 图像，等值线文件以及绘制图像所需的信息。
genex	使用 grind 和 mapping 的输出创建 JPEG 图像，绘制网页，生成 GIS 和其他文件供 web 展示和 FTP 下载。
shakemail	给不同的用户发送不同的邮件通知。
print	打印模块，供打印输出。
transfer	将 genex 的输出传送到 web 和 ftp 站点。
setversion	控制事件的版本信息和要保存的版本信息
cancel	取消 shake 模块所调用模块造成的影响
unlock	时间被锁，ShakeMap 程序无法执行时，该程序可以解锁

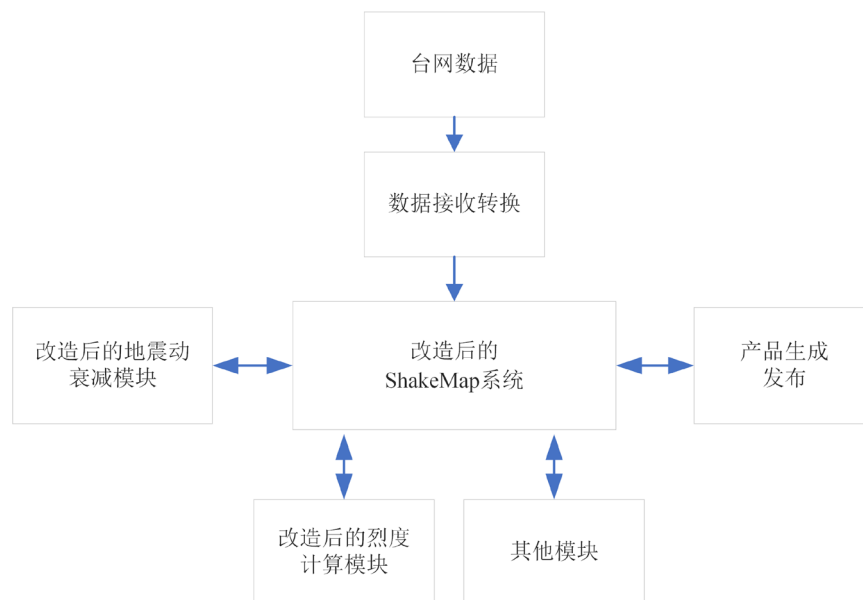
站分别为 3 个国家测震台、30 个区域测震台和 8 个水库台网测震台。“十一五”期间，增加建设 84 个地震台站，目前整个台网中心共有强震和测震台站 125 个。其中 31 台配置速度型地震仪，40 台配置加速度型地震仪，54 台同时配置速度型地震仪与加速度型地震仪，且台站全部为 2M 专线实时传输。建成后的新台网使得福建全省每个县至少有一个地震观测台站，台站间距在 30 公里左右(图 3)，监测能力大大提高。

### 3.2. 应用方案

由于台网建设、数据传输方式、数据采集和管理方式不同，ShakeMap 系统原有数据接收及地震事件监测等模块在福建省数字台网中无法正常运行，需要编写相应模块保证正常的的数据接收；此外，ShakeMap 系统使用 xml 文件及与 NetCDF 兼容的数据格式文件等进行数据的处理，因此需要对现有数据进行转换才能为 ShakeMap 系统所用。本文给出的应用方案如图 4 所示。关于这个图的说明也没有，让人很难理解，建议进行简单论述。首先，系统监测模块在监测到地震事件后，若满足处理要求将自动将地震信息



**Figure 3.** Seismic monitoring network of Fujian Province  
**图 3.** 福建地震监测台网



**Figure 4.** Regional application scheme  
**图 4.** 区域应用方案

和数据进行保存，然后数据接收转换模块会将接受到的数据转换为 ShakeMap 要求的格式，并触发改造后的 ShakeMap 运行，绘图图片生成网页并进行产品发布。由于地震动衰减和烈度计算等方法具有较强的区域性，因此本文使用国内前人在此方面的研究成果对 ShakeMap 系统原有模块进行替换，期望获得反映出地震动真实情况的产品。

### 3.3. 主要模块

#### 3.3.1. 地震动衰减关系

本文将 ShakeMap 系统应用于福建地区时, 采用了更加符合国内实情的地震动衰减关系(见表 2)替换系统原有地震动衰减。

对于 0~4.0 级范围内的地震, 本文采用金星等人对福建地区中小震所统计的衰减关系(金星等, 2008) [9], 其形式如(1)所示:

$$\log_{10} Y = B1 + B2 \times (R + 10) + B3 \times R + B5 \times M \quad (1)$$

其中,  $Y$  是加速度峰值 PGA(gal)或速度峰值 PGV (cm/s);  $R$  是震中距,  $M$  为震级。

本文将该衰减关系的使用范围定义为: 0~4.0 级;

$B1$ ~ $B5$ (水平分量)的值如下表所示:

$Y$	$B1$	$B2$	$B3$	$B5$
PGA	-0.044824	-1.6896	-0.00348	
PGV	-5.9078	-1.2869	-0.0036	1.8769

对震级范围为  $4.1 < M \leq 6.4$  的衰减关系, 本文采用康兰池等人(康兰池, 2010)对于四川地区基岩场地地震动峰值统计得到的衰减规律[10]。之所以选用这个衰减关系一方面是由于福建地区没有大震记录, 另一方面是由于它是国内首个提出的震级在该范围内的衰减关系, 比国外衰减关系能较好地反映出真实的地震动情况。其衰减关系式如(2)所示:

$$\log_{10} Y = B1 + B2 \times M + (B3 + B5 \times M) \times \log(R + 10) \quad (2)$$

其中,  $Y$  是 PGA(gal)或 PGV(cm/s);  $R$  是震中距,  $M$  为震级。

本文在实际使用时将其适用范围定义为: 4.1~6.4 级;

关系式中  $B1$ ~ $B5$ (水平分量)的值如下表所示:

$Y$	$B1$	$B2$	$B3$	$B5$
PGA	1.6683	1.4315	-1.7457	0.0289
PGV	1.7516	0.66795	-2.6725	0.25823

同样, 由于福建地区没有大震衰减关系, 而国内相关方面的研究甚少, 因此在实际应用中, 大震方面本文仍然使用 ShakeMap 系统自有的用于大震的衰减关系 Hazus PGV。该衰减关系是利用给定的震级和到震中一定距离得到 PGA/PGV/SA, 该衰减模型来自于 Boore and others (1997)等人的研究[11], 其关系式如(3)式所示:

**Table 2.** Attenuation relationship of ground motion used in Fujian

**表 2.** 应用于福建地区的地震动衰减关系

衰减关系	适用震级范围
Fujian_Small (金星等, 2008)	$0 < M \leq 4.0$
Fujian_Mediate (康兰池等, 2010)	$4.1 < M \leq 6.4$
Hazus PGV	$M > 6.4$

$$\ln(\text{PGA}, \text{PSA}) = B1 + B2(M - 6) + B3(M - 6)^2 - B5 \ln(R) - B_v \times \ln(V_s/V_a) \quad (3)$$

其中,  $R = \sqrt{R_{jb}^2 + h^2}$ , PGV 从使用 Newmark-Hall, 1982 公式计算的 1Hz PSA 计算而来,  $R$  是“Joner-Boore”距离。

$B1 \sim B5$ 、 $B_v$  和  $V_a$  等参数的值如下表所示:

断层类型		$B1$	$B2$	$B3$	$B5$	$B_v$	$V_a$	$h$
Strike-slip	PGA	-0.313	0.527	0.000	-0.778	-0.371	1396	5.57
	PSA03	0.598	0.769	-0.161	-0.893	-0.401	2133	5.94
	PSA10	-1.133	1.036	-0.032	-0.798	-0.698	1406	2.90
	PSA30	-1.699	1.085	-0.085	-0.812	-0.655	1795	5.85
Thrust-slip	PGA	-0.117	0.527	0.000	-0.778	-0.371	1396	5.57
	PSA03	-0.803	0.769	-0.161	-0.893	-0.401	2133	5.94
	PSA10	-1.009	1.036	-0.032	-0.798	-0.698	1406	2.90
	PSA30	-1.801	1.085	-0.085	-0.812	-0.655	1795	5.85
默认	PGA	-0.242	0.527	0.000	-0.778	-0.371	1396	5.57
	PSA03	0.700	0.769	-0.161	-0.893	-0.401	2133	5.94
	PSA10	-1.080	1.036	-0.032	-0.798	-0.698	1406	2.90
	PSA30	-1.743	1.085	-0.085	-0.812	-0.655	1795	5.85

### 3.3.2. 场地校正

由于福建地区钻孔资料较少, 故场地校正仍然使用 ShakeMap 系统的场地校正方法, 即用地形高程数据(SRTM)求出该区域的平均坡度, 然后根据 Wald 等人统计的地形坡度、场地分类和地表以下 30 米的平均剪切波速之间的关系式可以估计得到福建区域的 Vs30 分布图(图 5), 最后利用 Borchardt (1994)的方法即可求出 PGA, PGV 的场地放大因子, 进而可以对 PGA、PGV 进行初步的场地校正, 获取反映出地震动的真实情况的产品[12] [13] [14] [15]。

### 3.3.3. 仪器烈度

为了更清晰地反映出地震动分布情况, Wald *et al.* (1999)提出由仪器观测得到的地震动记录计算出地面烈度的方法, 即 ShakeMap 仪器烈度。Wald *et al.* (1999)又挑出加州所发生的 8 次比较重大的地震, 由当地地震网记录的强震记录结合各地地震大量的实际观测以及网络志愿值反馈的烈度调查, 给出了 PGA、PGV 等地震动峰值和修正的麦卡利烈度(Modified Mercalli Intensity, MMI)之间的回归关系式, 并给出仪器烈度的计算公式[16], 如下所示:

$$I_{mm} = \begin{cases} 3.66 \log(\text{PGA}) - 1.66 & (\text{sigma} = 1.08) \\ 3.47 \log(\text{PGV}) + 2.35 & (\text{sigma} = 0.98) \\ 2.20 \log(\text{PGA}) + 1.00 \\ 2.10 \log(\text{PGV}) + 3.40 \end{cases} \quad (4)$$

通过比较加州 8 次重大地震的仪器烈度图(Wald and others, 1999), Wald 等人发现计算观测的  $I_{mm}$ , 当  $I_{mm} < \text{VII}$  时与 PGA 的对应关系较好, 当  $I_{mm} > \text{VII}$  时 PGV 与其对应关系较好。在实际使用中, 首先使用(4)式前两式进行计算, 若 4a) PGA 计算的  $I_{mm}$  大于 VII, 则使用 4b) PGV 进行烈度计算; 若 4a)计算的

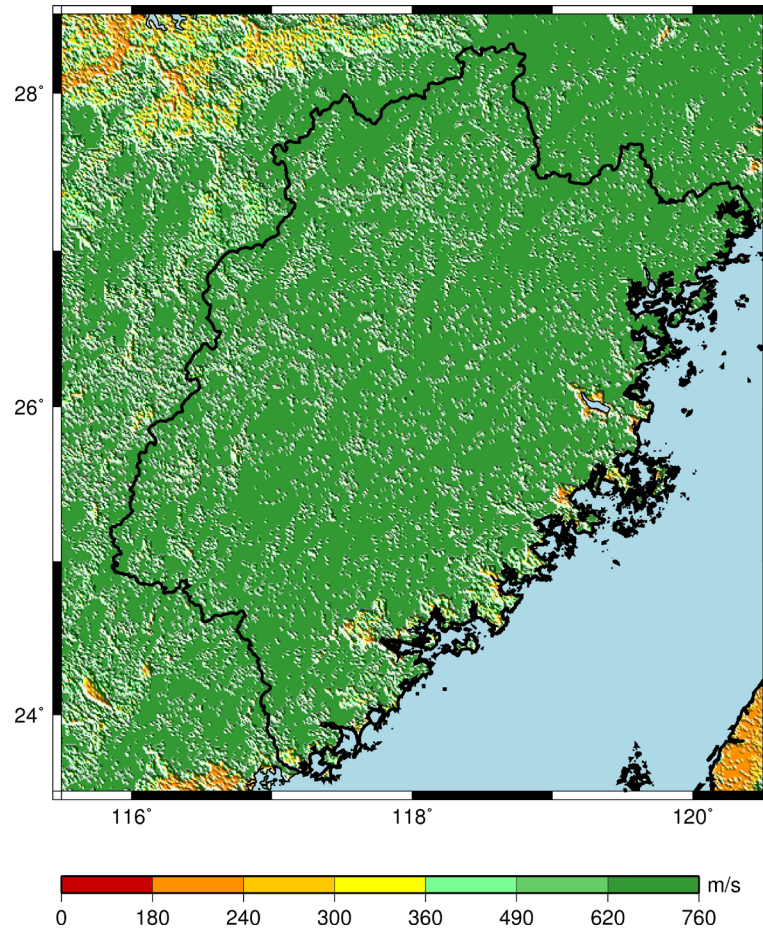


Figure 5. Distribution of Vs30 of Fujian  
图 5. 福建地区 Vs30 分布图

$I_{mm}$  在 V 和 VII 之间, 则对 PGA 和 PGV 计算的烈度进行加权[2]; ShakeMap 系统使用的仪器烈度表如图 6 所示, 根据不同的颜色分段和字体粗细程度来表示所使用的计算公式和仪器烈度大小。

考虑到仪器烈度计算方法与国内的区别, 本文在实际应用中采用了地震仪器烈度表(DB35/T 1308~2012)中的仪器烈度算法[17]。地震仪器烈度表如图 7 所示, 计算公式为:

$$I_l = 2.71 \times \log_{10}(A_{0.5}) + 2.39 \quad (5)$$

$I$  为计算的仪器烈度,  $A_{0.5}$  为有效峰值加速度, 即三分向地震动加速度时程中持续时间大于等于 0.5 秒的幅值。

由于 ShakeMap 在实际处理过程中仅使用两水平分量中的最大值, 因此本文在对系统进行改造时, 使用了上述研究报告中给出的统计的水平分向和  $A_{0.5}$  的统计关系式如式(6)和(7)所示。作者根据关系式先将 PGA 和 PGV 分别转换成各自对应的有效峰值加速度  $A_{0.5}$ , 然后再带入(5)式计算仪器烈度。

$$\log_{10}(\text{PGA}) = 0.85 \times \log_{10}(A_{0.5}) + 0.46 \pm 0.27 \quad (6)$$

$$\log_{10}(\text{PGV}) = 1.09 \times \log_{10}(A_{0.5}) - 0.81 \pm 0.16 \quad (7)$$

在实际应用中, 对于  $M < 6.5$  级地震, 本文采用(5)和(6)计算仪器烈度; 对于  $M > 6.5$  级, 本文采用(5)和(7)式计算仪器烈度。



PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Moderate/Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	<.17	.17-1.4	1.4-3.9	3.9-9.2	9.2-18	18-34	34-65	65-124	>124
PEAK VEL.(cm/s)	<0.1	0.1-1.1	1.1-3.4	3.4-8.1	8.1-16	16-31	31-60	60-116	>116
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Figure 6. Instrumental Intensity Scale of ShakeMap

图 6. ShakeMap 仪器烈度表

震感程度	无感	无感	微感	弱感	轻感	强	非常强	强烈	剧烈	极剧烈
潜在危害	无	无	无	无	非常轻微	轻微	中等	中等/严重	严重	非常严重
A <sub>0.5</sub> (cm/s <sup>2</sup> )	<0.8	0.8-2.5	2.5-8.0	8.0-22	22-44	44-89	89-177	177-353	353-707	>707
仪器烈度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10+

Figure 7. Instrumental Intensity Scale

图 7. 地震仪器烈度表(DB35/T 1308~2012)

最后, 由于 ShakeMap 系统内容采用英文表述, 不利于国内大众对于地震信息的获取和理解, 本文对 ShakeMap 产出的产品, 包括地震动峰值(PGA、PGV 等)等值线图、仪器烈度分布图、网页和邮件通知等进行了本地化工作, 这对于公众获取地震信息和地震信息的传播起着非常重要的作用。

## 4. 应用情况

### 4.1. 实际震例及结果说明

本文对地震动衰减和仪器烈度计算进行修改后, 将“改造”后的 ShakeMap 系统成功编译和运行在测试服务器上。为验证上述改造的可行性以及计算结果的可靠性, 作者对 2004 年以来福建地区 4.0 级以上地震和台湾地区部分地震进行了处理。本文选取近年来福建地区较大的福建省莆田市仙游县 M4.8 级地震为例, 对初步的应用成果进行展示。仙游地震的三要素信息及改造后的系统处理产品如表 3 所示。图 8~图 10 分别为此次地震的仪器烈度分布图, 本地化的网页显示, 本地化的地震邮件通知。

从图 7 可以看出, 震中区仪器烈度石苍乡部分区域为 6 度, 钟山镇、游洋镇等地部分区域为 5 度, 常太镇等地为 4 度, 该处理结果与震后宏观烈度调查结果基本是吻合的[18]。另外, ShakeMap 系统的本地化工作在保留原有产品信息的同时, 使产品更加清晰直观。

## 5. 结论与讨论

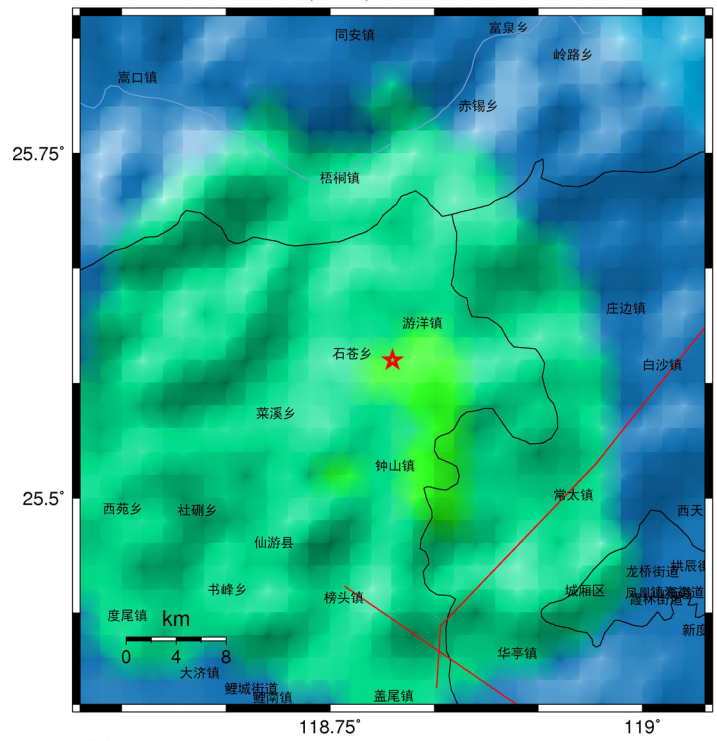
通过对 ShakeMap 系统的研究, 将前人研究的地震动衰减关系、场地校正和仪器烈度计算等关键算法应用于 ShakeMap 系统, 并实现了 ShakeMap 产品内容的本地化, 完成了 ShakeMap 系统在福建地区的改造和应用。改造后的地震实例处理结果也较为合理, 表明 ShakeMap 系统在国内地区的改造和应用是可行的。

另外, 作者认为还有以下问题亟待解决:

1) 4.0 级以上地震动衰减关系, 本文采用了康兰池等人对四川地区基岩台站统计的地震动峰值关系以及 ShakeMap 自带的 Hazus 衰减关系, 由于地震动衰减具有较强的区域性, 因此作者认为采用此类衰减关系计算的仪器烈度与真实地震动存在一定的误差。

2) 在计算仪器烈度时, 为了和 ShakeMap 系统保持一致, 采用了水平分向 PGA, PGV 的最大值, 利用 PGA, PGV 和 A<sub>0.5</sub> 之间的统计关系进行转换, 进而求取仪器烈度, 这样的转换可能会对结果造成一定的影响。

仪器烈度分布图：福建省莆田市仙游县、福州市永泰县交界  
 时间:2013-09-04 06:23:26(GMT+8) 震级:M4.8 E118.80 N25.60 深度:10.0km



注意:图片为系统自动生成,与真实地震动有一定差异,仅供参考。

震感程度	无感	无感	微感	弱感	轻感	强	非常强	强烈	剧烈	极剧烈
潜在危害	无	无	无	无	非常轻微	轻微	中等	中等/严重	严重	非常严重
$A_{0.5}(cm/s^2)$	<0.8	0.8-2.5	2.5-8.0	8.0-22	22-44	44-89	89-177	177-353	353-707	>707
仪器烈度	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10+

Figure 8. Instrumental intensity map of xianyou earthquake  
 图 8. 莆田仙游 M4.8 仪器烈度分布图



Figure 9. Localization of web pages  
 图 9. 本地化的网页

Table 3. Information of SHUNCHANG Earthquake  
 表 3. 顺昌地震相关信息

地震名称	震级	时间	深度(km)	产出产品	发布形式
福建省莆田市仙游县	M4.8	2013/09/04	10	PGA, PGV, MMI 分布图 GIS, overlay 图等	Web, E-mail 等



**Figure 10.** Localization of Earthquake Email Notification  
**图 10.** 本地化的地震事件邮件通知

## 致 谢

本文得到福建省地震局科技攻关项目(G201405)的资助,感谢福建省地震局监测中心提供数据和技术支持。感谢评审专家的意见和建议,感谢编辑细致的工作,其他对本论文有过帮助的在此也一并表示感谢!

## 基金项目

福建省地震局科技攻关项目“福建地震预警与烈度速报运维保障系统研究”,编号:G201502。

## 参考文献 (References)

- [1] Kanamori, H., Hauksson, E. and Heaton, T. (1991) TERRAScope and CUBE Project at Caltech. *Eos Transactions American Geophysical Union*, **72**, 564-564. <https://doi.org/10.1029/90EO00395>
- [2] Wald, D.J., Worden, B.C., Quitoriano, V. and Pankow, K.L. (2005) Shake Map Manual: Technical Manual, User's Guide and Software Guide. *U.S. Geological Survey*, 132.
- [3] Wald, D.J., Heaton, T., Kanamori, H., Maechling, P. and Quitoriano, V. (1997) Research and Development of TriNet "Shake" Maps. *Eos Transactions American Geophysical Union*, **78**, 45.
- [4] Wessel, P. and Smith, W.H.F. (2013) Generic Mapping Tools: Improved Version Released. *Eos Transactions American Geophysical Union*, **94**, 409-410. <https://doi.org/10.1002/2013EO450001>
- [5] Wessel, P. and Smith, W.H.F. (1991) Free Software Helps Map and Display Data. *Eos Transactions American Geophysical Union*, **72**, 441-446. <https://doi.org/10.1029/90EO00319>
- [6] Wessel, P. and Smith, W.H.F. (1995) New Version of the Generic Mapping Tools released. *Eos Transactions American Geophysical Union*, **76**, 329. <https://doi.org/10.1029/95EO00198>

- [7] Wessel, P. and Smith, W.H.F. (1998) New, Improved Version of the Generic Mapping Tools released. *Eos Transactions American Geophysical Union*, **79**, 579. <https://doi.org/10.1029/98EO00426>
- [8] Wessel, P. and Smith, W.H.F. (1995) The Generic Mapping Tools (GMT) Version 3.0.
- [9] 金星, 康兰池, 欧益萍. 福建地区中小地震地震动峰值衰减规律研究[J]. 地震学报, 2008, 30(3): 279-291.
- [10] 康兰池. 大震烈度速报系统的应用技术研究[D]: [博士学位论文]. 福州: 福州大学, 2010.
- [11] Boore, D.M., Joyner, W.B. and Fumal, T.E. (1997). Equations for Estimating Horizontal Response Spectra and Peak Accelerations from Western North American Earthquakes: A Summary of Recent Work. *Seismological Research Letters*, **68**, 128-153. <https://doi.org/10.1785/gssrl.68.1.128>
- [12] Borchardt, R.D. (1994) Estimates of Site-Dependent Response Spectra for Design (Methodology and Justification). *Earthquake Spectra*, **10**, 617-654. <https://doi.org/10.1193/1.1585791>
- [13] Allen, T.I., and Wald, D.J. (2007) Topographic Slope as a Proxy for Seismic Site-Conditions (Vs30) and Amplification around the Globe. U.S. *Geological Survey Open-File Report*, **1357**, 69.
- [14] Wald, D.J. and Allen, T.I. (2007) Topographic Slope as a Proxy for Seismic Site Conditions and Amplification. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **97**, 1379-1395. <https://doi.org/10.1785/0120060267>
- [15] Wald, D.J., Quitoriano, V., Heaton, T.H. and Kanamori, H. (1999) Relationship between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity for Earthquakes in California. *Earthquake Spectra*, **15**, 557-564. <https://doi.org/10.1193/1.1586058>
- [16] 金星, 张红才, 韦永祥, 等. 基于地震监测台网资料近实时插值计算震动图的初步研究[J]. 防灾减灾学报, 2010, 26(1): 1-11.
- [17] 福建省地方标准. 地震仪器烈度表 DB35/T 1308-2012[S].
- [18] 邱泉盛, 陈晓. 仙游永泰交界地震仙游4个村委此次震害VI度区.[EB/OL]. <http://news.fznews.com.cn/shehui/2013-9-5/201395MHtSGvMYED225522.shtml>, 2013.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2163-3967, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: [ag@hanspub.org](mailto:ag@hanspub.org)