

刘军、谭明、宋立军等,2019,基于 ShakeMap_CNST 的 2017 年精河 6.6 级地震灾害快速评估,中国地震,35(2),381~388.

基于 ShakeMap_CNST 的 2017 年 精河 6.6 级地震灾害快速评估

刘军^{1,2)} 谭明²⁾ 宋立军²⁾ 郝婧¹⁾
毕雪梅³⁾ 王新刚²⁾ 常想德²⁾

1) 贵州省地震局,贵阳 520001

2) 新疆维吾尔自治区地震局,乌鲁木齐 830011

3) 江苏省地震局,南京 210000

摘要 基于考虑区域地震动衰减关系、场地效应及震中破裂等多因素的烈度快速评估模型,结合震害预测方法,研发了一套震害预测系统,并以 2017 年 8 月 9 日精河 M_s 6.6 地震的震害预测为例,将对其的预测结果与当前主流系统进行对比。结果表明,采用 ShakeMap_CNST 系统能对地震的影响范围和烈度进行更为准确的估计,在人员伤亡、受灾人口估计、紧急安置人数及经济损失评估等方面,相对于其他系统,本系统的结果与现场调查的结果更为接近。

关键词: ShakeMap_CNST 烈度图 地震动 震害预测 2017 年精河 6.6 级地震

[文章编号] 1001-4683(2019)02-0381-08 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

地震发生后,快速确定灾害影响范围、判断灾害损失规模对政府迅速部署抗震救灾工作起着非常重要的作用。在新疆维吾尔自治区地震局应急指挥中心部署的“十五”地震应急指挥技术系统、“十二·五”地震社会服务工程在破坏性地震发生后能快速产出烈度预测图及辅助决策报告,在历次破坏性地震应急和快速评估中均发挥了重要的作用。然而,由于上述系统是面向全国地震系统配备的通用软件,因此系统应用于新疆地区的烈度估计和震害预测时仍不能满足新疆地震应急工作的需求,这主要体现在其未考虑新疆地震构造特征,未充分利用新疆地区富民安居(抗震安居)房的破坏矩阵研究结果和千米格网数据,忽视了新疆地区由于时差等因素引起的室内人员的人口密度变化与其他省份的不同等。所以,震后现有系统给出的结果在烈度估计、人员伤亡、受灾人口及经济损失评估等方面一定程度上难以满足社会发展的需求,不能科学地展示各类震害预测等关键信息。

本研究结合适用于新疆地区的地震动衰减关系,考虑了新疆地区不同场地效应下的地

[收稿日期] 2018-11-20; [修定日期] 2019-02-01

[项目类别] “十三·五”国家科技重点研发计划项目课题(2017YFC1500905)、贵州省地震科技基金项目(GZDZ201901)、中国地震局星火计划课题(XH15044Y)共同资助

[作者简介] 刘军,男,1982 年生,高级工程师,主要从事地震灾害预测、灾情获取及灾害风险评估研究。

E-mail: liujun_eq@sina.com

震动效应及震中破裂尺度等因素,建立了一套适用于新疆地区的震动图系统;同时对新疆地区震害预测模型进行研究,建立不同烈度下震害预测数据库,开发了一套基于 GIS 平台的震害预测系统对震后烈度图进行估计、对震害进行预测,旨在为地方政府科学开展地震应急救援工作提供依据。

1 基于 ShakeMap_CNST 的震害预测系统

1.1 系统主要功能

震动图预测模块主要用于震区地震动参数的预测和烈度预测,系统需要根据震动图预测的烈度图进行震害快速预测和专题图的绘制。所有计算均根据人工输入的地震震级、经纬度等参数系统自动进行。灾害快速评估模块主要用于震后快速预测死亡人数、受伤人数、压埋人数、有经济损失的人数及需紧急安置的人数等数据,各类数据以千米格网进行存储,并以县为单位进行统计汇总。系统设置模块主要包括地震动衰减关系参数设置、破裂尺度参数设置及场地系数、人员伤亡、经济损失等各类震害数据模型的配置。基于 ShakeMap_CNST 的震害预测系统主要包括如图 1 所示的 7 个功能模块构成。

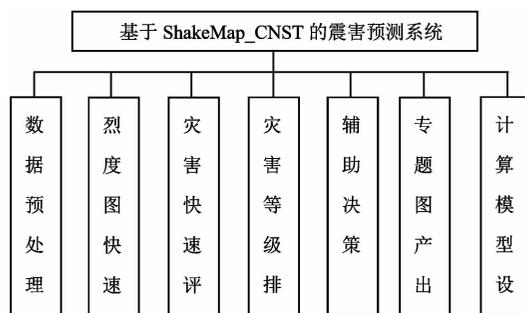


图 1 系统功能图

1.2 烈度快速评估

震后快速估计震区烈度分布,可为灾情研判和评估提供理论依据。利用新疆地区历史地震动数据记录和烈度衰减关系,建立新疆地区地震动衰减关系,并根据不同场地条件下的地震动放大效应对地震动参数进行校正,以建立一套适用于新疆天山地区的震动图系统。

本系统采用霍俊荣等(1992)提出的模型

$$\lg PGA(M, R) = C_1 + C_2 M + C_3 \lg [R + R_0(M)] + \delta \quad (1)$$

利用了 559 条新疆天山地区 1985~2016 年 $M_s \geq 4.0$ 历史地震动数据记录,其中, $M_s \geq 7.0$ 地震加速度记录 13 条, $6.0 \leq M_s < 7.0$ 地震 88 条, $5.0 \leq M_s < 6.0$ 地震 187 条, $4.0 \leq M_s < 5.0$ 地震 271 条,运用两步回归法进行回归,得到天山地区的地震动衰减关系如下

$$\lg PGA = -0.6537 + 0.7673M - 1.3551 \lg [R + 0.3736 \text{EXP}(0.5738M)] \quad \delta = 0.2216 \quad \text{长轴} \quad (2)$$

$$\lg PGA = -0.5510 + 0.6965M - 1.1158 \lg [R + 0.3736 \text{EXP}(0.5738M)] \quad \delta = 0.3014 \quad \text{短轴} \quad (3)$$

为了客观地反映震区地震动特征分布,对震区土层的地震动放大校正, ShakeMap_CNST 系统应用第五代区划图中不同场地条件下依赖于振幅和频率的放大系数。

震源破裂尺度 L 与面波震级 M_s 间的经验关系式选用耿冠世等(2015)建立的模型

$$\lg L = 0.635M_s - 2.8084; \sigma(\lg L = 0.64) \quad (4)$$

1.3 震害预测模型

为了客观、准确地预测地震造成的人员伤亡情况和各类损失,本系统采用的模型主要包括:

(1) 死亡人数预测模型

$$ND = \rho(A_1 \cdot RD_1 + A_2 \cdot RD_2 + A_3 \cdot RD_3) \quad (5)$$

其中,ND 为千米格网单元内的死亡人数; ρ 为室内人员密度,即单位面积的平均人数,它随地域(城市和农村)和发震时间的不同而不同; A_1 为倒塌房屋的面积; RD_1 为塌房屋内的人员死亡率; A_2 为严重破坏房屋的面积; RD_2 为严重破坏房屋内的人员死亡率; A_3 为中等破坏房屋的面积; RD_3 为中等破坏房屋内的人员死亡率(曹彦波等,2016)。

(2) 受伤人数预测模型

$$NH = \rho(A_1 \cdot RH_1 + A_2 \cdot RH_2 + A_3 \cdot RH_3) \quad (6)$$

其中,NH 为千米格网单元内的受伤人数; RH_1 为塌房屋内的人员受伤率; RH_2 为严重破坏房屋内的人员受伤率; RH_3 为中等破坏房屋内的人员受伤率。

(3) 需紧急安置人数模型

采用《地震现场工作第 4 部分:灾害直接损失评估》(GB/T 18208.4-2011)(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,2012)计算精河 6.6 级地震需紧急安置人数,计算方法如下

$$T = \frac{c + d + e/2}{a}b - f \quad (7)$$

式(7)中 b, c, d, e, f 均为调查所得数据,其中, b 为户均人数; c 为所有住宅房屋的毁坏建筑面积; d 为所有住宅房屋的严重破坏建筑面积; e 为所有住宅房屋的中等破坏建筑面积; f 为死亡人数。

(4) 经济损失模型

震后经济损失主要由房屋直接经济损失和其他直接经济损失组成,采用《地震现场工作第 4 部分:灾害直接损失评估》(GB/T 18208.4-2011)(中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,2012)进行地震经济损失计算,算法如下

$$L = L_h + L_h \cdot R_a \quad (8)$$

$$L_h = S_h \cdot R_h \cdot D_h \cdot P_h \quad (9)$$

其中, L 为总经济损失; R_a 为其他经济损失与房屋直接经济损失的比例; L_h 为房屋直接经济损失; S_h 为灾区房屋总建筑面积; R_h 为灾区房屋某种破坏等级的破坏比; D_h 为灾区房屋某种破坏等级的损失比; P_h 为灾区房屋重置单价。

1.4 基础数据来源

基础数据是震害预测的核心内容,高质量的数据可为系统的预测提供可靠依据。本系统的场地条件分区数据,主要根据基于地形地貌、等高线等资料对新疆地区工程地质场地条件进行初步分类,并通过地震安评钻孔资料的岩石的剪切波速(或土的等效剪切波速)和覆盖层厚度双参数法对局部场地条件分区进行优化,最后采用 ArcGIS 软件对场地分区数据进行矢量化工作及数据质量控制而划分得到。对于人口千米格网、房屋数据采用由一种非均

匀密度的算法建立的新疆地区千米格网人口、经济、各类结构房屋面积数据库,其中,对于人口千米格网数据,通过选取土地利用、道路分布、居民点分布以及坡度等4类数据(周光全,2006),共15个建模因子,作为人口分布影响因素进行多元回归拟合计算处理,并利用乡镇级别的统计数据进行处理得到;对于房屋数据采用基于房屋数据的格网化模型,将千米网格的人口密度数据与调查得到的人均住房面积进行处理得到千米格网房屋数据,并通过合并运算得到区域房屋千米网格数据。

2 系统实现

系统主要采用了结构化的方法进行建设,集成采用积木式的组装方法。集成的目的是提供给用户一套友善的运行环境,以更好地满足用户的要求。系统采用C#语言进行开发,利用VS2010平台实施,系统采用ArcGIS Engine控件进行系统的二次开发和空间数据提取,采用GDB对空间数据库进行管理和存储。数据库DBMS平台采用GDB格式进行空间数据存储,属性数据采用表格进行存储;为了与社服工程系统数据库较好地融合,空间数据采用WGS84坐标系。

3 系统应用

为了对本系统的功能实用性和准确性加以展示,以2017年新疆精河6.6级地震为例进行计算和预测。

3.1 2017年精河6.6级地震概况

2017年精河6.6级地震震中位于新疆博尔塔拉蒙古自治州精河县城以南约40km的山区,震中海拔1300m。通过对灾区33个乡镇团场355个调查点的实地调查,烈度图等震区长轴呈NWW走向分布。此次地震震区位于博罗科努山西部的中低山区,附近山顶最高海拔1700m,区域地貌单元内,山体整体走向近EW,局部受构造作用走向呈NW向,震中南侧山顶呈脊状、梁状,山体沟壑纵横;震中北侧,山体相对低矮,且在山间发育有山间谷地,走向近EW,以戈壁景观地貌为主,地表覆盖薄层冲、洪积相砾石层,局部第三系砂岩、泥岩裸露地表。根据对周围地震安评钻孔及相关地形地貌数据的收集整理,对该区域场地类别划分为II~III类(刘军等,2014)(图2)。

3.2 地震烈度预测

通过本系统地震触发,输入此次地震的震源参数,因此次地震震中位于天山地区中段,故选用天山地区的地震动衰减关系;本系统在对 $M_s \geq 6.5$ 地震进行计算时考虑到了震中破裂尺度,故选用线源衰减关系模型。通过预测,此次地震的地震动空间分布及烈度图如图3所示。

由图3可见,震区西北部的托里镇直到达勒特镇位于山前溢出带,该区域地基土层软弱、地下水位浅等场地条件对依赖于振幅和频率的地震动具有明显的放大效应,这与现场灾害调查结果一致。

3.3 不同系统预测的烈度图比较

为了验证本系统预测的准确性,本文将其与当前新疆地震局运行的系统和现场调查的烈度图进行对比分析,结果如表1所示。

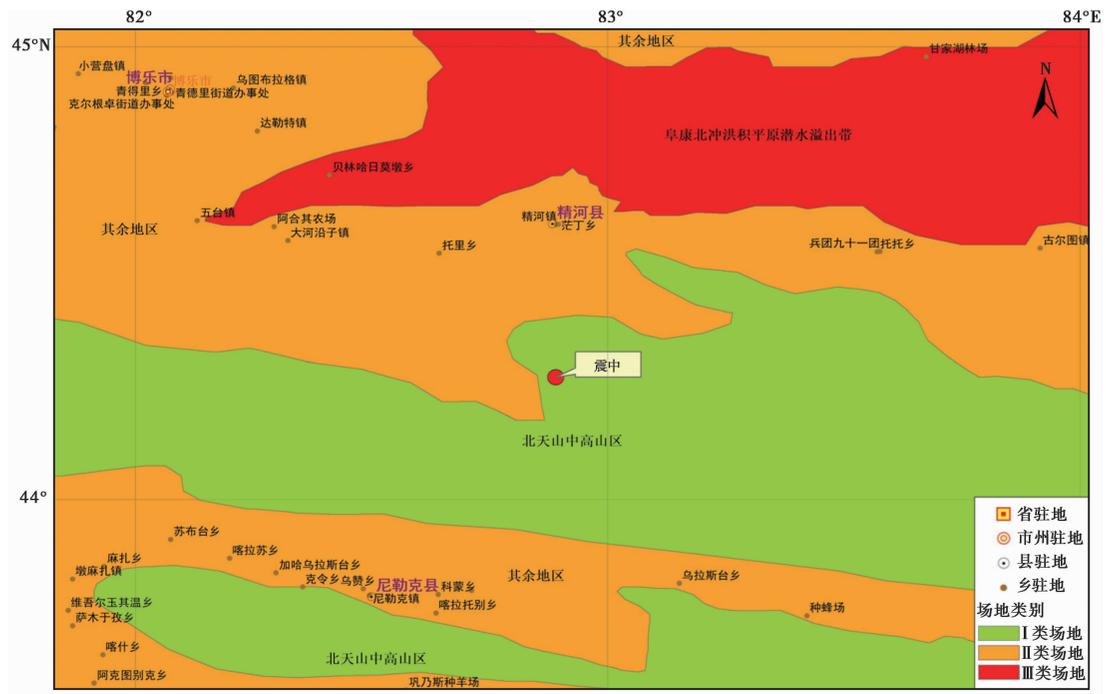


图 2 精河 6.6 级地震震区场地分布

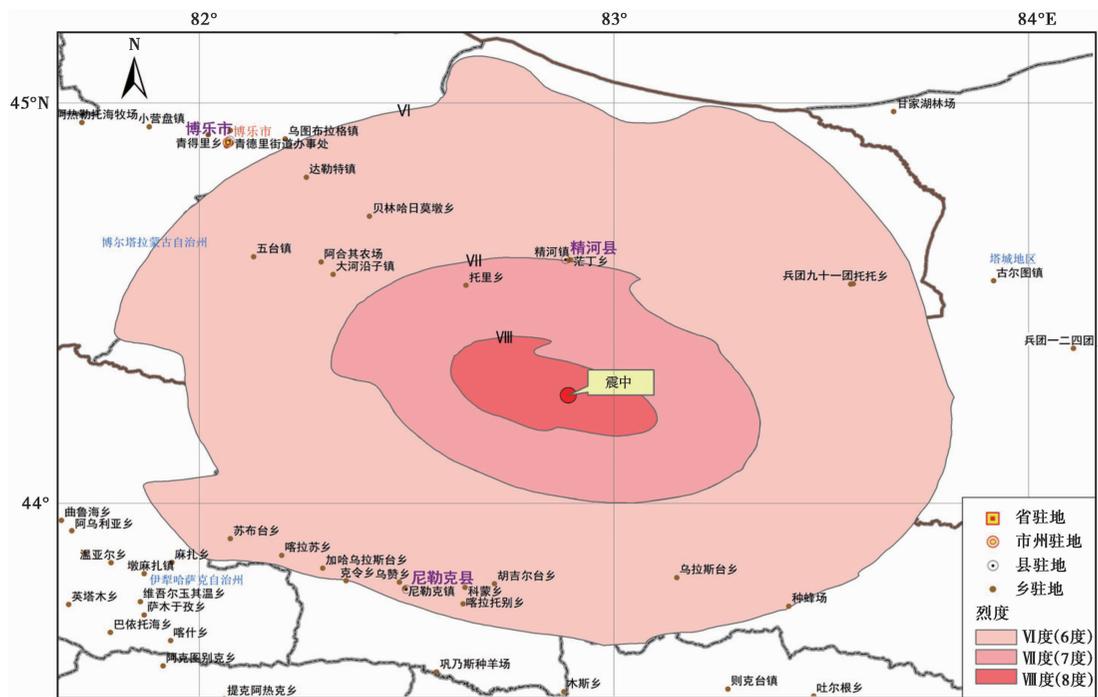


图 3 精河 6.6 级地震烈度预测

表 1 不同模型的各烈度区破坏特征

运行系统	长轴长度/km			短轴长度/km			破坏面积/km ²		
	VIII	VII	VI	VIII	VII	VI	VIII	VII	VI
“十五”地震应急指挥技术系统	37	72	129	24	59	112	902	2890	10060
“十二·五”地震社会服务工程系统	49	92	159	36	76	152	1054	3450	12860
ShakeMap(USGS)	48	102	166	33	88	155	1020	3578	13920
ShakeMap_CNST 系统	47	87	154	33	69	146	1008	3280	11980
现场调查烈度图	44	84	149	29	67	137	979	3190	11454

由表 1 可见,采用点源模型的“十五”地震应急指挥技术系统,在近场和远场地区,模拟出的灾区的各烈度区大小与实际间都有明显的差距;USGS 提供的 ShakeMap 烈度图,在 IX、VIII 度区的烈度衰减关系与实际较接近,在灾区的西北部,场地类别为 II ~ III 类,地下水位浅、地基土层软弱等场地条件对地震动有放大作用,故 USGS 发布的 ShakeMap 烈度图对该地区的实际情况缺乏考量,VII、VI 度区与实际的破裂尺度间有明显的差距(刘军等,2014);中国地震局地球物理研究所采用的西部地区的地震动衰减关系在此次地震中明显表现出不适用等特点,而 ShakeMap_CNST 系统考虑了该地区的地震动衰减关系和场地效应的烈度预测图无论是在近场还是在远场,与现场调查结果都较接近,能较客观地反映震区地震动衰减特征。

3.4 震害快速评估

对比上述 4 种烈度图产出的震害预测结果与现场调查结果发现(表 2),新疆维吾尔自治区地震局自行开发的 ShakeMap_CNST 的震害预测系统结果,与新疆维吾尔自治区地震局公布的人员伤亡数、受灾人口数及直接经济损失均最为接近,因此前者在破坏性地震发生后能更科学、客观地对震害进行预测。

表 2 不同系统震害预测结果对比

系统	死亡人数	受伤人数	需紧急安置人数	受灾人数	直接经济损失/亿元
“十五”地震应急指挥技术系统	5	22	4104	425640	10.6
“十二·五”地震社会服务工程系统	18	48	58765	578934	32.9
ShakeMap_CNST 系统	4	31	49580	502387	25.8
现场调查结果	0	36	47835	487696	20.5

在震害快速评估工作中,对于人员伤亡情况,利用 ShakeMap_CNST 系统、“十二·五”地震社会服务工程系统的结果均与实际结果较接近,这主要是由于本系统与“十二·五”地震社会服务工程系统均采用千米格网的人口数据,而“十五”地震应急指挥技术系统是采用各县人口密度为均值的,这样将极震区人口统计结果与实际相比较,误差较大。

在需紧急安置人数方面,无论是“十五”地震应急指挥技术系统还是“十二·五”地震社会服务工程系统的预测与实际相差都较大,应用本系统预测的压埋人数与实际结果更为接近;在受灾人口估计方面,本系统、“十五”地震应急指挥技术系统结果与实际都相差不大,但由于“十二·五”地震社会服务工程系统采用的是中国科学院地理科学与资源研究所的千米格网人口数据,未按照乡镇级别统计人口进行控制,故其结果与实际相差非常大。

根据灾区各类房屋的建筑面积,并结合此次地震灾区的房屋破坏比、房屋损失比及房屋重置单价,计算出灾区房屋建筑的经济损失。将由 4 种烈度图产出的直接经济损失与现场调查结果对比后发现(表 2),本文作者自行研发的 ShakeMap_CNST 系统的结果为 25.8 亿元人民币,与现场调查的直接经济损失(20.5 亿元)最接近。这一方面是由于本系统的烈度预测图与实际调查结果更接近;另一方面是由于本系统的各类房屋破坏矩阵均经过本地化研究(葛鸣等,2014),在震区房屋数据准确的情况下,房屋破坏面积与实际更为接近,且房屋造价数据均经过现场调查后进行了修正,所以预测的灾区直接经济损失与现场调查的结果更为相符。

4 结语

本文采用 GIS 技术尝试开发了一套基于 ShakeMap_CNST 的震害快速评估系统,该系统考虑了新疆地区的地震动衰减关系、场地效应及震中破裂等因素,并结合震害预测模型,将其应用于 2017 年 8 月 9 日精河 6.6 级地震灾害快速评估中。结果表明,该系统快速产出的烈度图一定程度上优于中国地震局配备的“十五”地震应急指挥技术系统的点源衰减关系模型和“十二·五”地震社会服务工程系统的等震线图,能更好地为地震灾害损失评估服务,相对于“十五”地震应急指挥技术系统、“十二·五”地震社会服务工程系统,基于 ShakeMap_CNST 的震害预测系统的人员伤亡数、紧急安置人口数、经济损失等的快速评估结果更接近现场调查结果。由此可见,采用 ShakeMap_CNST 的震害预测系统在一定程度上能提高快速震害损失评估结果的准确性,在地震应急工作中能更好地发挥其实用价值。随着“十三·五”地震预警工程的实施,新疆地区强震台网密度和分布范围不断增大,今后将利用基于 ShakeMap_CNST 的震害预测系统并结合实时观测的强震台站数据进行震动图估计,届时该系统的实用价值或许更加明显。

参考文献

- 曹彦波、郑川、吴艳梅等,2016,2014 年鲁甸 6.5 级地震应急快速评估,地震研究,39(4),638~645.
- 葛鸣、常想德、伊力亚尔·阿不力孜等,2014,2014 年 2 月 12 日新疆于田 M_s 7.3 地震直接经济损失和恢复重建经费评估,内陆地震,28(2),104~112.
- 耿冠世、俞言祥,2015,中国西部地区震源破裂尺度与震级的经验关系,震灾防御技术,10(1),68~76.
- 刘军、宋立军、温和平等,2014,ShakeMap 在 2014 年于田 7.3 级地震快速损失评估中的应用,震灾防御技术,9(1),83~89.
- 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会,2012,GB/T 18208.4-2011 地震现场工作第 4 部分:灾害直接损失评估,北京:中国标准出版社.
- 霍俊荣,1989,近场强地面运动衰减规律的研究,博士学位论文,哈尔滨:中国地震局工程力学研究所.
- 周光全、非明伦、施伟华,2006,1992~2005 年云南地震灾害损失与主要经济指标研究,地震研究,29(2),198~202.

Rapid Assessment of the 2017 Jinghe $M_s6.6$ Earthquake Disaster in Xinjiang, Based on ShakeMap_CNST

Liu Jun^{1,2)} *Tan Ming*²⁾ *Song Lijun*²⁾ *Hao Jing*¹⁾ *Bi Xuemei*³⁾ *Wang Xingang*²⁾
*Chang Xiangde*²⁾

1) Guizhou Earthquake Agency, Guiyang 550000, China

2) Earthquake Agency of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China

3) Jiangsu Earthquake Agency, Nanjing 550000, China

Abstract Based on the regional earthquake ground motion attenuation relation, the site effect and the earthquake intensity and many factors, we established a prediction model of earthquake damage, and developed a set of earthquake damage prediction system. Taking the earthquake damage prediction of the Jinghe $M_s6.6$ earthquake, Xinjiang on August 9, 2017 as an example, the prediction results are compared with the current mainstream system. The results show that the ShakeMap_CNST system can make more accurate estimation in terms of the influence scope and intensity. Compared with other systems, the system results are very close to the field survey results in casualties, affected population estimates, number of emergency placement and evaluation of economic losses.

Key words: ShakeMap_CNST; Intensity map; Ground motion; Earthquake damage prediction; Jinghe $M_s6.6$ earthquake in 2017