

倪瑞胜, 许文斌. 2023. 震形图 APP: 一种基于 Android 系统的地震形变模拟应用程序. 地球与行星物理论评 (中英文), 54(6): 622-632. doi: 10.19975/j.dqyxx.2022-037.

Ni R S, Xu W B. 2023. Codefmap APP: A seismic deformation simulation application based on Android system. Reviews of Geophysics and Planetary Physics, 54(6): 622-632 (in Chinese). doi:10.19975/j.dqyxx.2022-037.

震形图 APP: 一种基于 Android 系统的 地震形变模拟应用程序

倪瑞胜, 许文斌*

中南大学地球科学与信息物理学院 火山与地震研究实验室, 长沙 410012

摘要: 若能在短时间内了解发震区域的地表变形程度, 对及时评估受灾程度、配合抗震救灾工作的开展具有重要意义. 空间大地测量技术具有监测精度高、空间分辨率高等优势, 已广泛应用在地震形变监测相关领域. 通过处理空间大地测量数据得到的地震同震形变图能够直观地展现地震产生的地表形变, 为判断发震区域受灾情况提供参考. 但是现实中, 由于数据的获取存在滞后性, 往往无法在地震发生后短时间内提供同震形变数据. 本文利用近实时 USGS NEIC 的震源机制解、地震弹性位错模型和地震经验公式, 基于 Java 和 Python 语言开发了一种基于 Android 智能手机的地震形变模拟应用程序 (简称: 震形图 APP). 该程序具有全球地震目录查询、主动获取 USGS NEIC 震源参数、显示震中位置、自动计算同震形变的功能, 对于重要地震事件能够在一天内给出形变模拟结果, 尤其适用于隐伏型震级较大的地震, 可在一定程度上为判定潜在危险区域和早期抗震救灾提供参考依据.

关键词: Android; 同震形变; 形变模拟; 地震危害评估; Okada

doi: 10.19975/j.dqyxx.2022-037

中图分类号: P315

文献标识码: A

Codefmap APP: A seismic deformation simulation application based on Android system

Ni Ruisheng, Xu Wenbin*

Lab of Volcano and Earthquake Research, School of Geosciences and Info-Physics,
Central South University, Changsha 410012, China

Abstract: If coseismic deformation of the earthquake region can be obtained in a short time, it is important for timely evaluate the disaster and cooperate with the development of earthquake relief work. Space geodesy technology has the advantages of high monitoring accuracy and high spatial resolution, and has been widely used in seismic deformation monitoring related fields. The coseismic deformation obtained by processing space geodetic data can intuitively show the surface deformation caused by the earthquake and provide a reference for judging the disaster situation. However due to the lag of data acquisition, it is often impossible to provide coseismic deformation map in a short time after the earthquake. In this paper, using the near real-time focal mechanism solutions of the USGS NEIC, seismic elastic dislocation model and seismic empirical formula, a seismic deformation simulation application based on Android smartphone (namely Codefmap APP) is developed based on Java and Python language. The program has the functions of earthquake catalog query at any time in the world, actively obtaining USGS NEIC source parameters, displaying epicenter position and automatically calculating coseismic deformation.

收稿日期: 2022-04-23; 录用日期: 2022-05-05

基金项目: 国家重点研发课题资助项目 (2019YFC1509205); 国家自然科学基金资助项目 (42174023)

Supported by the National Key Research and Development Project (Grant No. 2019YFC1509205) and the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 42174023)

第一作者: 倪瑞胜 (1994-), 男, 硕士研究生, 主要从事空间大地测量数据处理与应用开发. E-mail: 778968556@qq.com

*通信作者: 许文斌 (1985-), 男, 教授, 主要从事大地测量与地球物理学研究. E-mail: wenbin.xu@csu.edu.cn



For important events, the deformation simulation results can be given within one day, especially for blind earthquakes. It can provide a reference basis for determining potentially dangerous areas and early earthquake relief to a certain extent.

Keywords: Android; coseismic deformation; deformation simulation; seismic hazard assessment; Okada

0 引 言

中国是地震多发国家,大地震的发生常常造成大量人员伤亡和经济损失(董建辉等,2018;张维佳等,2016),例如,2008年5月12日汶川8.0级地震造成近7万人死亡,直接经济损失达6920.11亿元(袁一凡,2008)。我国应对地震灾害影响的三种措施可概括为:地震灾害预测、地震监测速报、地震紧急救援(陈颢等,2005)。其中,地震预测尚处于探索阶段,大多是基于科研人员观察到的地震前兆现象从而得出经验性的结论,因此地震监测速报和紧急救援则成为应对地震灾害的主要方法(张国民,2002)。

如今空间大地测量技术飞速发展,为地震监测提供多方面的观测手段。全球定位导航系统(Global Navigation Satellite System, GNSS)可以提供不间断的毫米级精度数据,干涉合成孔径雷达(Interferometric Synthetic Aperture Radar, InSAR)是空间对地面的大范围观测技术,不受气候影响,且观测精度可达毫米级,可以获取准确的地震形变数据以研究地震机制(Gabriel et al., 1989; Li et al., 2020; Massonnet et al., 1993)。综合升降轨的InSAR相位和幅度信息来估计同震地表形变的方法被广泛应用于地震形变监测(如, Xu, 2017),他们将其模拟结果与基于Okada模型的同震地表位移进行对比发现,模拟结果和最大位移的断层位置拟合良好。但是空间大地测量数据的获取受到卫星重访周期的影响,在震后短时间内难以提供完整覆盖发震区域的数据,无法及时为地震救援提供有用的信息。

随着网络技术的发展,世界各国建立了地震信息发布平台,通过网络向公众传播地震信息,包括地震发生时间、发生位置等。美国地质调查局(United States Geological Survey, USGS)发布了国家地震信息中心网站(National Earthquake Information Center, NEIC)(<https://earthquake.usgs.gov>)可显示全球范围内的大部分地震信息。在线工具ShakeMap(Wald et al., 1999)(<https://earthquake.usgs.gov/data/shakemap/>)通过结合地质资料及地震台站信息来

估计震动变化,并以1.5 km为间隔进行均匀采样,生成大范围震动影响图,并将其显示在网站上。1996年,随着“中国数字地震监测系统”计划的提出,中国建立了地震台网(<https://news.ceic.ac.cn/>)

(王红,2008;赵永等,2002;左如斌等,2001),并随着全国各地地震台站的建设得到进一步完善,现已实现全国地震监测,可向公众提供地震信息。在地震发生时,地震台网结合地震台站信息可在3 min内生成地震烈度速报,10 min内生成地震烈度分布图,但地震烈度是一个反映地震时人的感觉和地表震害现象的相对模糊的量,且地质条件和周围人口分布、经济发展程度等不确定因素会直接影响地震烈度的评定,因此地震烈度分布图具有不确定性(柔洁等,2006)。

4G/5G技术的迅猛发展,中国移动端用户在2021年已达9.86亿人,移动上网已经成为上网人群中主要方式(中国互联网络信息中心,2021)。相较于数量众多的Web端地震信息发布平台,移动端的地震信息应用数量有限。2012年高新减灾研究所基于安卓系统开发的地震预警APP(<https://www.nongjia888.com/app/com.huania.earthquakewarning>),仅支持中国一个月内的地震基本信息查询,并以震中为圆心绘制多个同心圆来表示地震震动范围。2015年广东省地震局基于微信开发出的地震行业APP服务系统,该系统支持地震播报、震情概况以及周边地震的查询,并不展示具体地震的影响(何霆和叶佳宁,2015)。重庆市果萌网络科技开发的地震预警助手APP(<https://www.appfly.cn/app/detail?pkname=cn.appfly.earthquake>),仅支持一年内的地震信息查询、大范围地震震动显示。Zhao等(2020)发布了地震模拟形变图展示网站(www.insar.com.cn/),该网站可对全球近期发生的5次强震提供模拟形变结果查询(Zhao et al., 2020)。然而,对于早期抗震救灾,仅获取某一时间段的地震基本信息和简单的地震影响结果是不够的,因此,本文基于地震弹性矩形位错模型(Okada, 1985, 1992)和断层经验公式(Blaser et al., 2010)原理,采用Android Studio开发工具和Python编程语言,开发一款能够实现全球任意时段

地震信息获取、自动监测地震信息发布、集成并实时展示地震同震形变模拟结果的移动手机应用程序。

1 同震形变模拟原理与方法

震形图 APP 通过获取 USGS NEIC 数据, 支持查看符合自定义时间、范围、震级大小的地震数据; 通过处理 USGS NEIC 数据, 支持查看与地图数据融合的多方向地震地表形变模拟结果. 本文技术路线如图 1 所示.

1.1 模型建立

我们选择在计算地震地表形变中采用最广泛

的 Okada 模型作为正演模型. Okada 模型利用经纬度、矩震级、深度、断层长宽、走向角、倾向角、滑动角这些地震参数进行地震地表形变的计算 (图 2) .

USGS NEIC 发布的地震信息包括经纬度、矩震级、深度、走向角、倾向角、滑动角, 因此地震断层长度和宽度采用了 Blaser 等 (2010) 基于大数据集统计推导出的矩震级大小和长度/宽度的比例关系的经验方程计算获得, 经验方程为:

$$\begin{cases} L = 10^{0.57 \times M_w - 2.37} \\ W = 10^{0.46 \times M_w - 1.86} \end{cases} \quad (1)$$

式中, L 代表破裂长度, W 代表破裂宽度, M_w 代表矩震级的大小. 数据后台在计算得出断层长宽结合矩震级大小可计算出断层上滑动大小.

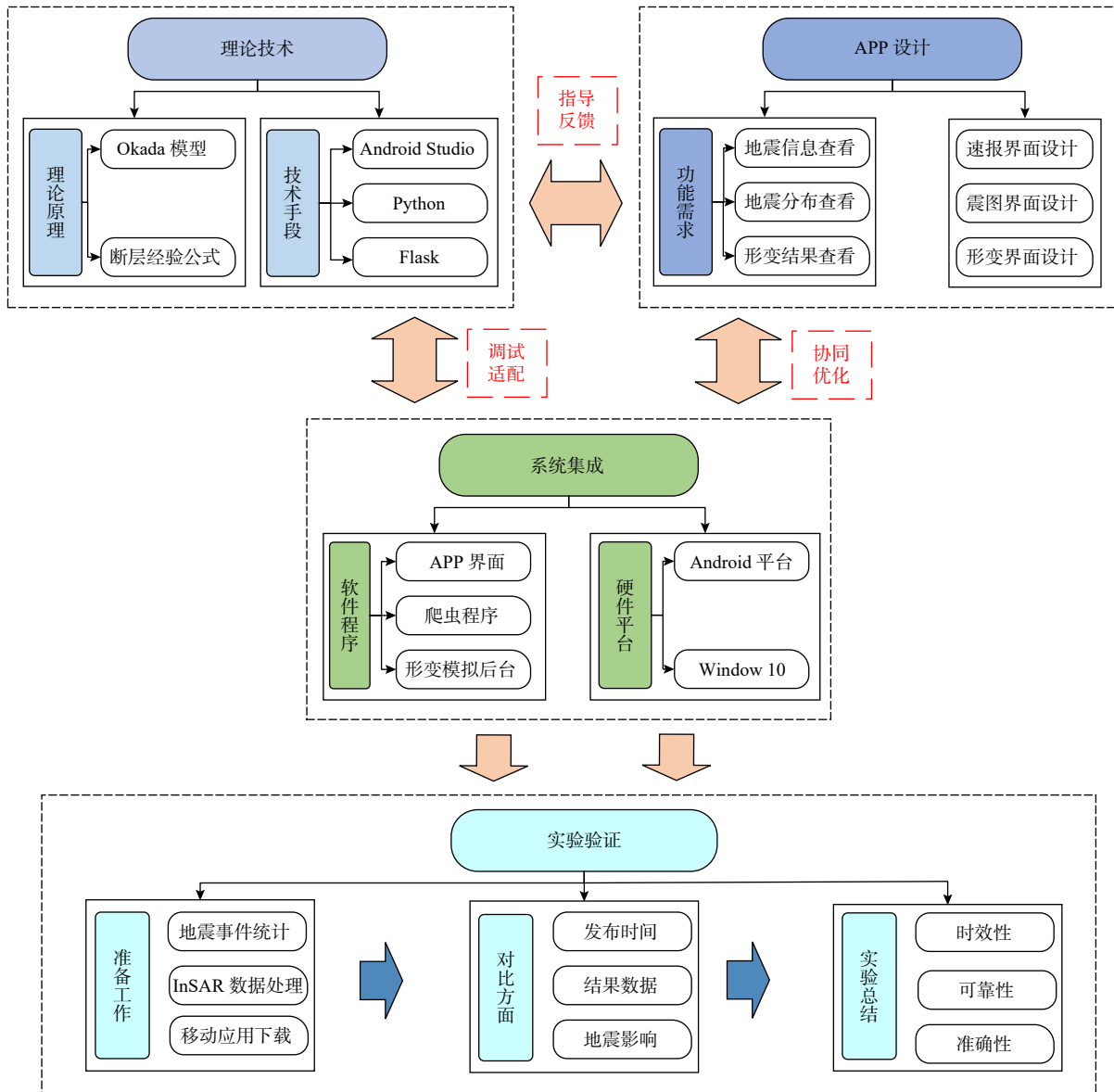


图 1 技术路线图

Fig. 1 Workflow



图 2 Okada 模型计算地震地表形变

Fig. 2 Calculation of coseismic deformation using Okada model

矩震级 M_W 由地震矩 M_0 通过公式 (2) 计算得出 (Hanks and Kanamori, 1979; Kanamori, 1977), 断层滑动值 $slip$ 与地震矩、断层长宽的关系如公式 (3) 所示. 因此数据后台可通过公式 (2)、公式 (3) 结合矩震级 M_W 、断层长度 L 、断层宽度 W 计算出断层上滑动值 $slip$.

$$M_W = \frac{2}{3} \log_{10} M_0 - 6.07 \quad (2)$$

$$slip = \frac{M_0}{(30 \times 10^9) \times L \times W \times (10^6)} \quad (3)$$

此外, 不同矩震级的地震会引起不同范围的地表形变, 因此, 我们根据不同的地震矩震级设置了自动可视化正方形地震形变范围: 可视范围边长 l 与矩震级 M_W 之间的关系式为:

$$l = \begin{cases} 50 & 5.5 \leq M_W < 7.0 \\ 100 & 7.0 \leq M_W < 8.0 \\ 300 & 8.0 \leq M_W < 8.6 \\ 600 & 8.6 \leq M_W < 9.0 \\ 800 & 9.0 \leq M_W < 9.3 \\ 1500 & 9.3 \leq M_W \end{cases} \quad (4)$$

数据后台将 Okada 模型和经验公式相结合, 建立正演模型用来计算得到空间三维的位移 (即, 北

方向、东方向和垂直方向)。

1.2 InSAR 同震形变计算

震形图 APP 将模拟出来的三维位移投影到雷达视线 (LOS) 位移中, 合成干涉图, 并可以与真实 InSAR 数据进行比较. 三维方向的地表位移与 LOS 位移 ΔR 关系 (Xu, 2017) 可以表示为:

$$\begin{bmatrix} -\sin\theta \cos\alpha & \sin\theta \sin\alpha & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_E \\ u_N \\ u_Z \end{bmatrix} = [\Delta R] \quad (5)$$

式中, θ 代表雷达入射角 (一般取 34°), α 代表轨道方位角 (升轨 346° , 降轨 193°), u_E 代表东方向形变, u_N 代表北方向形变, u_Z 代表垂直方向形变.

2 系统开发与实现

2.1 开发技术

震形图 APP 采用 C/S (Client/Server) 结构, 由应用界面、数据后台及数据库三大部分组成. 用户与应用界面交互, 并通过数据服务访问数据库获取满足自身需求的数据. 系统平台架构如图 3 所示.

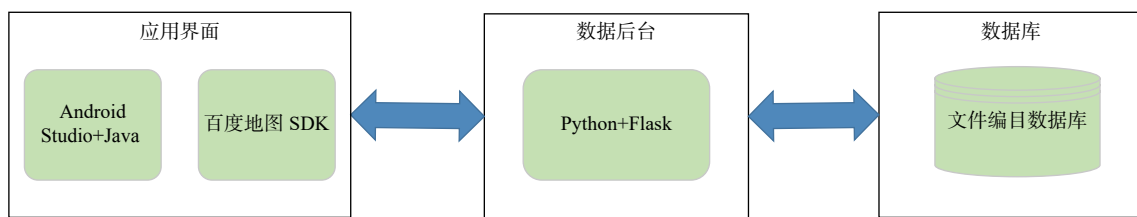


图 3 应用系统架构

Fig. 3 Application system architecture

应用界面作为地图数据显示、信息交互平台, 采用了 Android Studio 和百度 SDK 进行开发与实现. Android Studio 是谷歌公司为 Android 开发量身定做的成熟、开源的开发工具, 具有启动速度快、搭建开发环境简单、强大的 UI 设计功能、自带调试系统等优点. 百度地图 SDK 作为加载数据的图层, 该 SDK 提供基础地图模式可满足多数开发者对地图展示、数据显示、图层加载的需求.

数据后台作为数据获取、处理、传输的应用核

心程序, 采用了 Python 和 Flask 技术进行开发与实现. Python 作为一门自身的扩展性强、开源且有海量的功能模块的高级编程语言, 可容易开发实现出 USGS NEIC 数据网络爬虫、基于 Okada 模型的同震形变计算等复杂程序. Flask 是一款集成了网络封包、路由机制的数据后台框架, 它支持自定义的数据接口模式, 对并发、多线程的接口请求也有很好的兼容能力. 数据库为文件编目数据库, 用来存储每一个地震的基本信息和形变模拟结果. 因此在

用户请求地震形变结果时, 应用界面可通过 Flask 构建的数据接口访问数据库, 进而获取到由 Python 实现的形变模拟程序生成的形变结果.

2.2 应用界面实现

应用界面分为条件筛选模块 (图 4a)、地震分布信息模块 (图 4b)、地震速报信息模块 (图 4c) 以及地震形变信息模块 (图 4d) 四个模块来支持用户对地震分布、地震信息、形变图结果的获取. 条件筛选模块支持用户自定义时间、范围、矩震级大小的条件输入; 地震分布信息模块展示地震在地理位置上的空间分布情况; 地震速报信息模块加载出地震的信息列表; 地震形变信息模块, 显示地震的基本信息, 包括发震时间、发震位置、震源深度、矩震级大小, 并通过形变图类型按钮, 选择加载出对应的形变图类型及反映震源机制解的沙滩球.

2.3 数据后台实现

震形图 APP 数据来源于 USGS NEIC, 数据后台采用了基于浏览器自动化测试框架 (Selenium) 的 Python 爬虫技术获取 USGS NEIC 上应用所需地震数据. Selenium 常用于网络爬虫的自动化人工模拟操作中, 有着多种的浏览器驱动支持多种浏览器

的数据爬取, 并可实现无界面的对浏览器中的对象元素进行解析获取. 本系统采用了 Python + Selenium 的组合来进行数据获取. 其数据流程如图 5 所示.

爬虫程序首先通过获取应用界面传递的数据参数, 生成对应 URL 链接, 然后进行模拟人工操作来请求地震数据, 最后判断是否存在地震数据, 若没有数据, 则会直接生成对应 URL 无数据记录存储到数据库中. 若存在, 则解析网页内容, 获取并封装数据到数据库中. 数据后台实现的近实时地震形变模拟计算程序是震形图 APP 的核心, 后台的数据获取处理的关键在于实现流程的自动化. 地震形变的整个自动化处理流程如图 6 所示.

数据后台在得到应用界面请求之后, 会在数据库判断是否存在该地震信息, 存在则直接在数据库中返回数据; 如不存在, 后台数据处理程序启动爬虫程序获取的 USGS NEIC 数据, 并通过正演模型, 获得 3 个方向上的地表位移矩阵 (图 7a-7c), 之后使用公式 (4) 合并 3 个地表形变位移矩阵, 来模拟生成升轨和降轨形变图, 并进行缠绕 (图 7d、7e). 最后, 并将所有的计算结果存储在数据库中.

在后台数据获取程序访问 USGS NEIC 提供的震源机制参数时, 会获取到两组震源机制参数, 但同震形变计算中默认使用第一组震源机制参数, 这



图 4 震形图 APP 四大模块. (a) 条件筛选模块; (b) 地震分布信息模块. 默认显示中国及周边地区当前时间一年内 5 级以上地震分布情况; (c) 地震速报信息模块. 默认加载我国及周边地区当前时间一年内 5 级以上地震信息, 对于 6 级以上地震标红显示; (d) 地震形变信息模块. 底图右上角形变图类型选择按钮, 红点代表震中位置, 且点击按钮加载沙滩球, 左下角为形变图图例和震源机制解参数

Fig. 4 Four modules of Codefmap APP. (a) Conditional screening module; (b) Seismic distribution information module. By default, it displays the distribution of earthquakes with $M_W > 5$ earthquakes in one year in China and its surrounding areas; (c) The early earthquake information module. By default, the information on earthquakes of $M_W > 5$ within one year of the current time in the country and surrounding areas is loaded, and earthquakes of $M_W > 6$ are displayed in red; (d) Seismic deformation information module. In the upper right corner of the base map, click the deformation map type selection button. The red dot represents the epicenter and click the button to load the focal mechanism. The lower left corner is the deformation map legend and the focal mechanism solution parameters from USGS NEIC

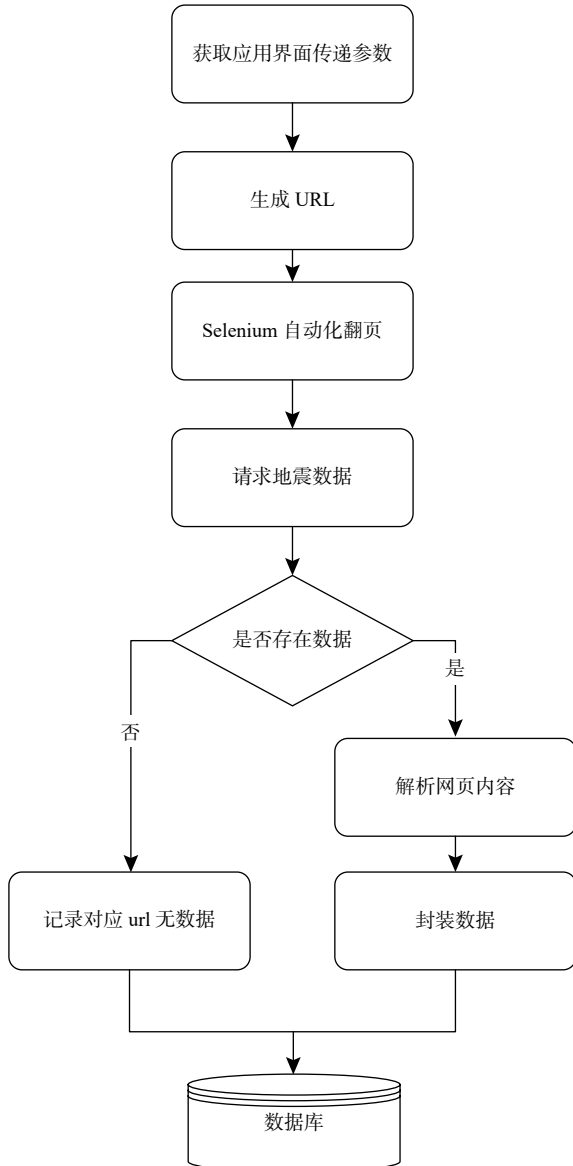


图 5 应用爬虫获取数据流程图

Fig. 5 Workflow of data acquisition using application spider

可能使模拟的结果与真实结果有偏差。

3 结果与讨论

3.1 震形图 APP: 时效性高

对于地震灾害评估系统来说, 响应时间是一个非常非常重要的衡量标准. 震形图 APP 利用爬虫技术获取 USGS NEIC 网站数据, 并通过地震正演模型计算出发震区域的地表形变, 因此为了说明震形图 APP 形变模拟结果较为及时, 本小节实验以 2022 年 4 月 9 日作为查询时间, 统计了 25 天内的 USGS NEIC 发布地震基本信息和震源机制解时间、APP 形变模拟结果发布时间、首期震后 Sentinel-1A 数

据发布时间, 并选取了其中 5 次矩震级较大地震进行比较, 统计的发布数据时间如表 1 所示.

USGS 对中国台湾花莲县 6.7 级地震震源机制解发布时间相较于地震发生时间相差了 9 个小时, 而 USGS 对其它地震的地震源机制解均在震后数十分钟内发布, 这可能与放置在全球各地的地震台站分布不均且计算震源机制解时间不同有关. 在 USGS 震源机制解发布后, 震形图 APP 即可通过后台爬虫程序获取震源机制参数, 并通过形变模拟计算程序生成地表形变模拟结果, 因此震形图 APP 形变结果大部分都可在震后数十分钟内公布. Sentinel-1A 卫星按照固定的轨道对地球表面进行时间间隔为 12 天的数据获取. 从表 1 中可以看出, 瓦努阿图诺苏普 6.3 级地震、菲律宾拉巴斯 5.5 级地震、日本浪江 5.2 级地震、中国台湾莲花县 6.7 级地震、日本奈美惠 7.3 级地震发生后, 首期震后 Sentinel-1A 卫星数据获取时间分别为 4 天、12 天、11 天、3 天、8 天. 相比等待卫星 InSAR 数据时间, 震形图 APP 形变模拟结果发布时间能在震后一天内发布结果, 因此震形图 APP 形变模拟结果更为及时, 更有利于震后早期地表形变和灾害的研判.

3.2 震形图 APP: 可靠性强

我们利用 2016 年 1 月 21 日门源 5.9 级地震和 2020 年 6 月 26 日于田 6.3 级地震, 对比震形图 APP 地震地表形变模拟结果与真实雷达数据处理的同震地表形变结果. 其中震形图 APP 采用 USGS NEIC 提供的门源地震基本信息和震源机制解见表 2.

2016 年门源地震 InSAR 同震形变结果与震形图 APP 形变模拟结果的对比如图 8 所示. InSAR 升轨同震形变结果 (图 8a) 呈环状特征, 干涉条纹数达 2 条, 视线向形变量为正值; InSAR 降轨同震形变结果 (图 8c) 总体呈椭圆状特征, 大部分干涉形变相位连续, 条纹平滑清晰, 形变干涉条纹数达 3 条, 同震形变趋势呈现隆升, 并且存在较为明显的隆升形变中心, 符合逆冲型为主地震特点. 从图中可以看出同震形变影响范围长约为 30 km, 宽约为 15 km.

震形图 APP 升轨同震形变模拟结果 (图 8b) 与降轨同震形变模拟结果 (图 8d) 均是呈环状特征, 干涉条纹为 3 条, 相位连续, 条纹平滑, 也存在明显的隆升形变中心, 并且形变模拟结果的范围为 35 km, 宽为 20 km. 因此对于隐伏型逆冲地震, 模拟结果能较好地吻合真实的数据.

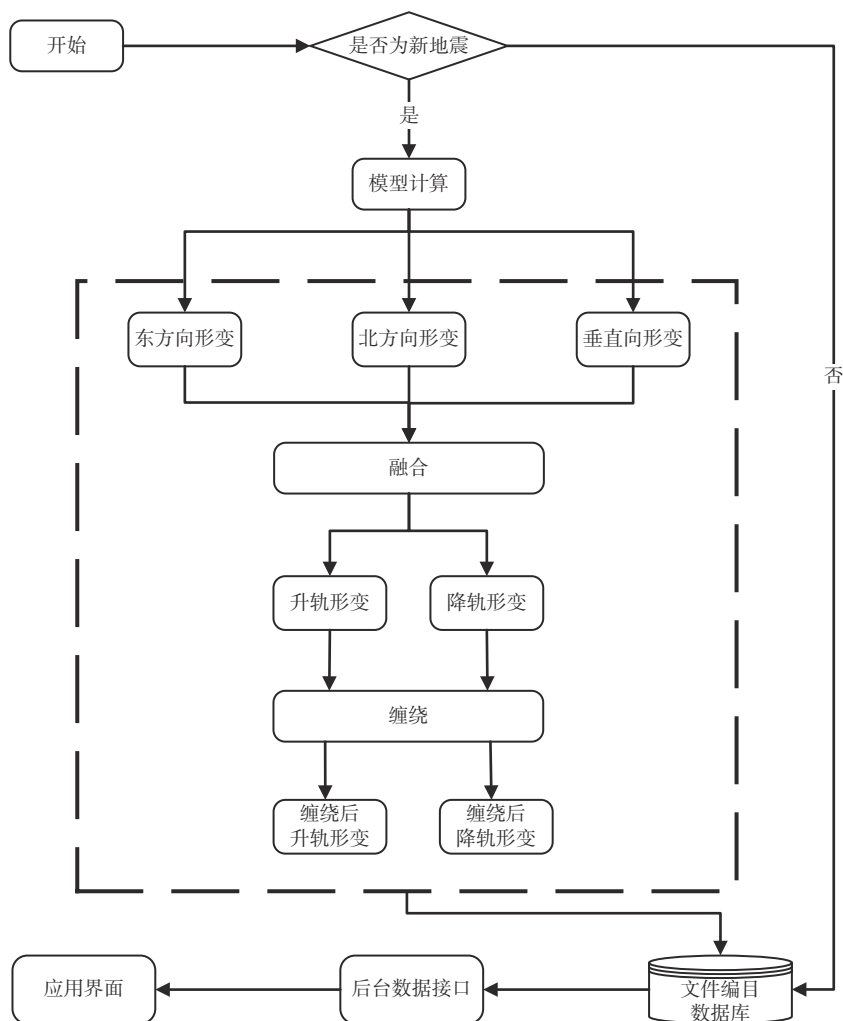


图 6 应用数据处理流程

Fig. 6 Workflow of application data processing

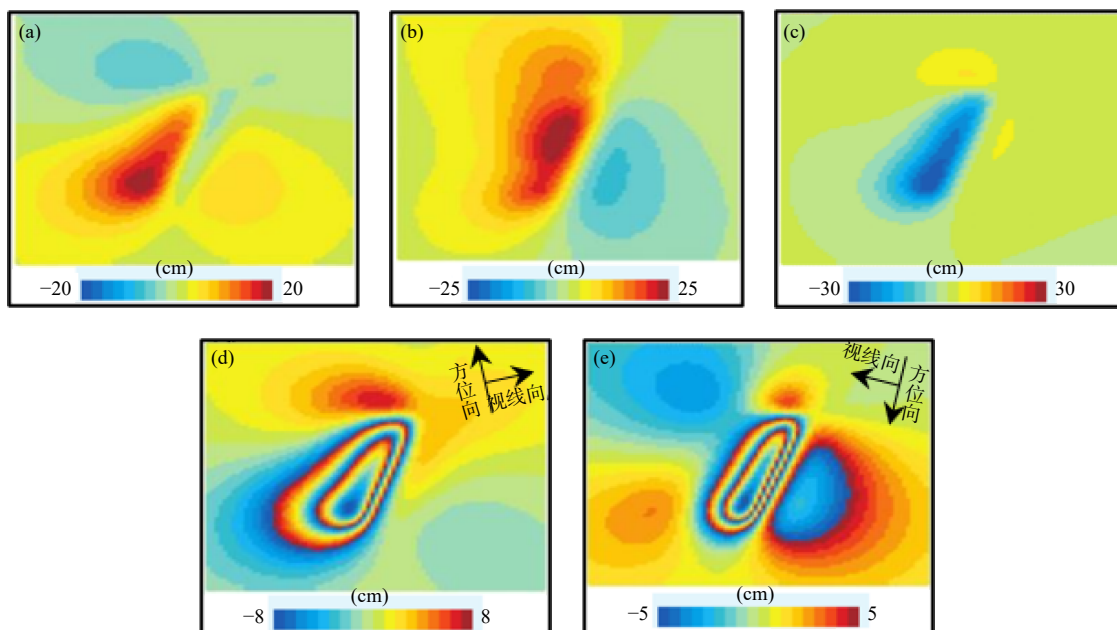


图 7 震形图 APP 计算生成的同震地表形变图。(a-e) 分别是东方向、北方向、垂直向、缠绕升轨、缠绕降轨的形变图

Fig. 7 The coseismic surface deformation map calculated by Codefmap APP. (a-e) represent the simulated coseismic deformation maps in the east-west direction, the north-south direction, the vertical direction, the warped ascending orbit, and the warped descending orbit respectively

表 1 地震样本的震源机制解发布时间统计

Table 1 The statistics of release time of focal mechanism solutions

发震区域	矩震级	发震时间(UTC)	USGS震源机制发布时间(UTC)	APP形变模拟结果发布时间(UTC)	首期震后Sentinel-1A数据发布时间(UTC)
瓦努阿图诺苏普	6.3	2022-04-09 20:52:37	2022-04-09 21:58:58	2022-04-09 21:59:58	2022-04-13 07:22:19
菲律宾拉巴斯	5.5	2022-04-03 10:24:56	2022-04-03 10:56:29	2022-04-03 10:57:10	2022-04-13 21:23:41
日本浪江	5.2	2022-03-25 03:08:16	2022-03-25 03:45:21	2022-03-25 03:45:58	2022-04-05 20:42:55
中国台湾花莲县	6.7	2022-03-22 17:41:38	2022-03-23 02:43:29	2022-03-23 02:44:29	2022-03-26 10:01:49
日本奈美惠	7.3	2022-03-16 14:36:33	2022-03-16 14:55:45	2022-03-16 14:57:45	2022-03-24 20:42:55

表 2 震形图 APP 形变模拟采用的地震参数

Table 2 Source parameters used in the deformation simulation of Codefmap APP

发震地区	发震时间	经度(°)	纬度(°)	矩震级	深度(km)	走向(°)	倾向(°)	滑动角(°)
门源	2016-01-21	101.6409	37.6709	5.9	9	141	50	79
于田	2020-06-26	82.4158	35.5948	6.3	10	24	42	-108

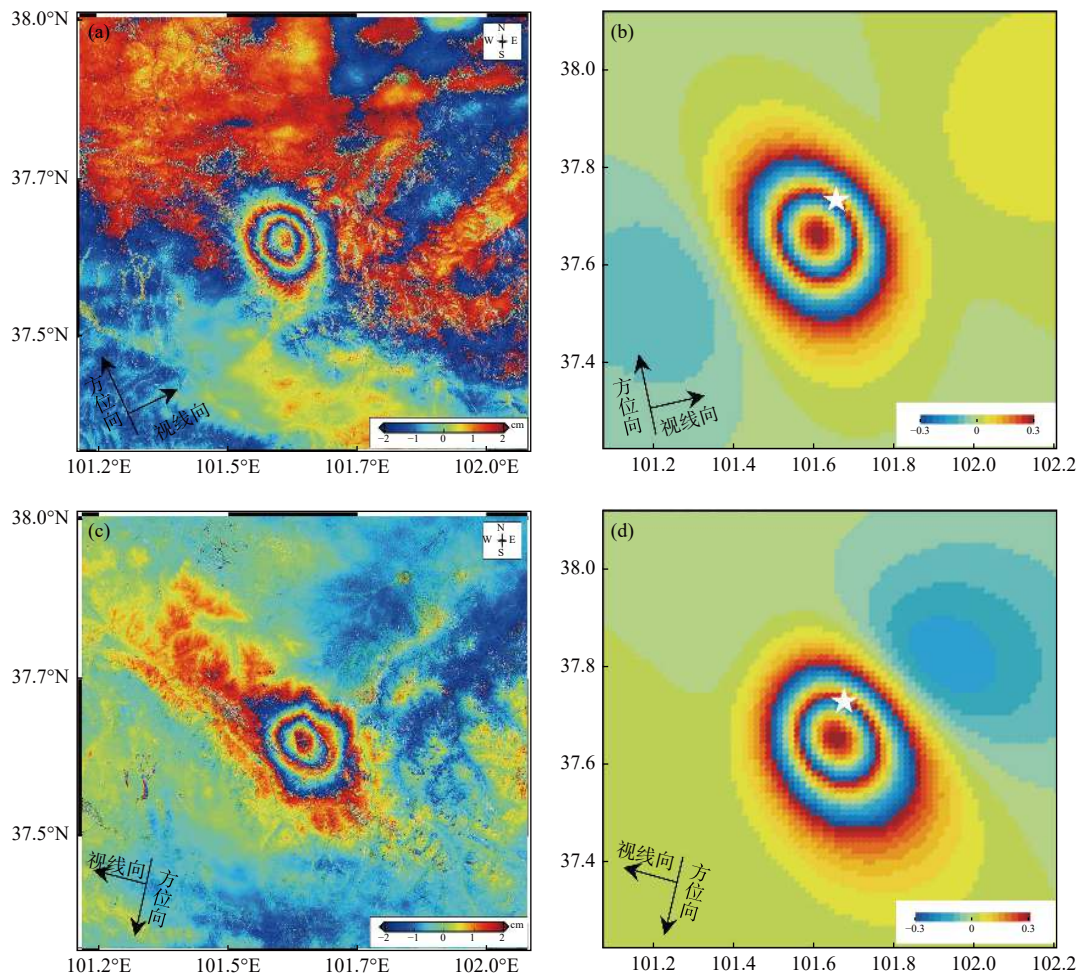


图 8 (a) 门源升轨同震形变图; (b) 震形图 APP 模拟升轨同震形变图, 白色五角星表示 USGS 提供的震中位置; (c) 门源降轨同震形变图; (d) 震形图 APP 模拟降轨同震形变图

Fig. 8 (a) The ascending coseismic deformation map of simulated orbit lift of the Menyuan earthquake; (b) The simulated ascending coseismic deformation map by Codefmap APP, The white star indicates the epicenter provided by the USGS; (c) The descending coseismic deformation map of the Menyuan earthquake; (d) The simulated descending coseismic deformation map by Codefmap APP

2020 年于田地震 InSAR 同震形变结果与震形图 APP 形变模拟结果的对比如图 9 所示. InSAR 同震形变升降轨结果 (图 9a、9c) 均呈 NNE 走向, 形变场范围均约为 40 km×25 km; 震形图 APP 模拟升降轨同震形变结果 (图 9b、9d) 形变场范围约为 50 km×40 km, 两组结果均表现为西侧沉降和东侧隆升的形变特征, 均以沉降形变为主, 符合倾滑型为主地震特点, 因此对于倾滑型地震, 震形图 APP 模拟形变结果与真实数据的形变范围基本吻合, 但是由于 USGS NEIC 震源机制解走向角度的估计存在误差, 因此模拟条纹整体呈 NE-SW 走向与真实数据存在一定的差异.

对比 InSAR 同震形变结果与震形图 APP 模拟结果中可以看出, 虽然模拟结果的形变大小与真实数据的形变大小存在偏差, 但是模拟形变结果对发震区域的灾害影响范围与真实数据的形变范围基本吻合, 可用来大致判断地震灾害影响范围, 对地震

早期地表形变的研究及抗震救援具有一定参考价值.

3.3 震形图 APP 与类似应用的异同

在响应灾害救援时, 除了做到响应及时之外, 还需要将结果更加地精细, 以便于更准确地判断地震危害. 在本小节中选取了 2022 年 1 月 8 日中国青海省门源 6.6 级地震和 2022 年 3 月 16 日日本奈美惠 7.3 级地震两个地震中的 ShakeMap 结果、地震预警助手 APP 结果以及震形图 APP 上的结果展示. 结果如图 10 所示.

从图 10a、10d 中可以看出, ShakeMap 在中国青海省门源 6.6 级地震和日本奈美惠 7.3 级地震的地震影响结果以震中为中心, 绘制了空间大尺度的 8 个等级的震动强度图, 以表示地震对周边地区的影响; 从图 10b、10e 中可以看出, 地震预警助手 APP 在中国青海省门源 6.6 级地震和日本奈美惠 7.3 级地震以地震震中为圆心, 绘制了多个不同

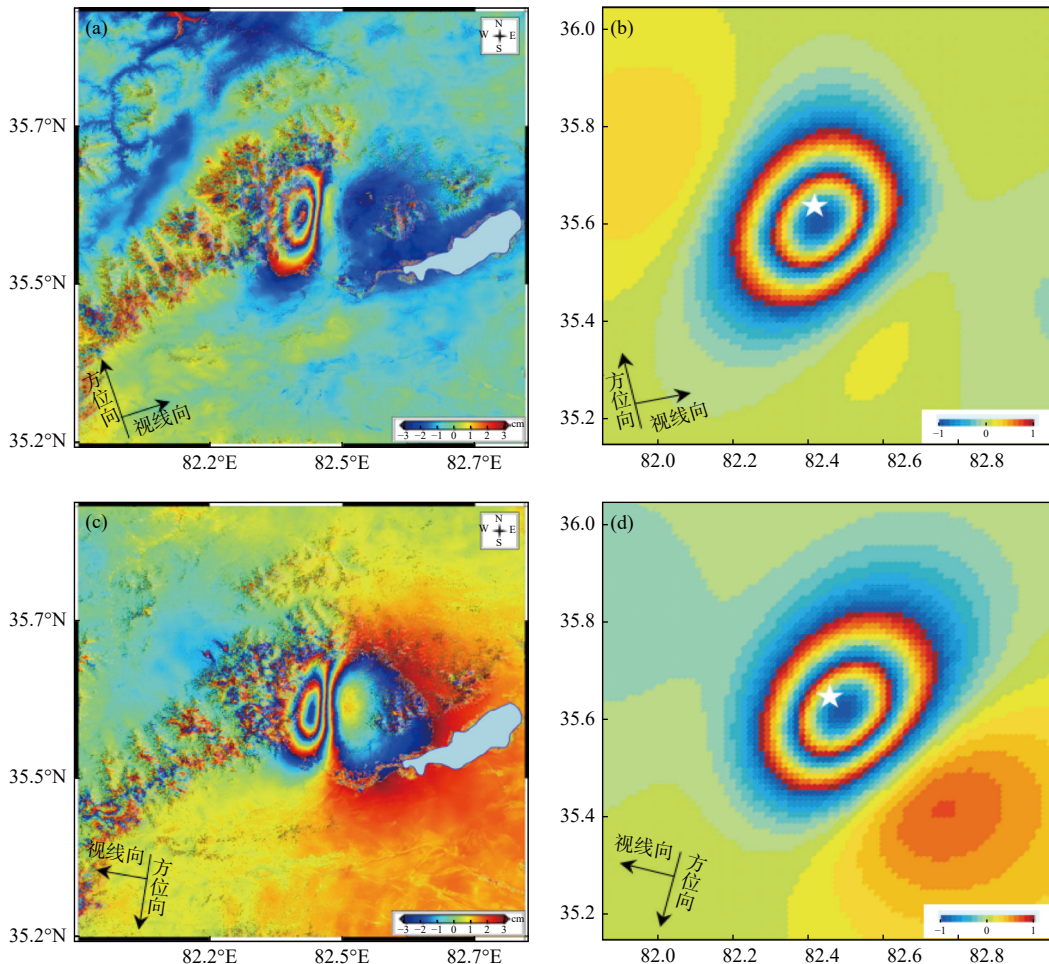


图 9 (a) 于田升轨同震形变图; (b) 震形图 APP 模拟升轨同震形变图, 白色五角星表示 USGS 提供的震中位置; (c) 于田降轨同震形变图; (d) 震形图 APP 模拟降轨同震形变图

Fig. 9 (a) The ascending coseismic deformation map of the Yutian earthquake. (b) The simulated ascending coseismic deformation map by Codefmap APP. The white star indicates the epicenter provided by the USGS. (c) The descending coseismic deformation map of the Yutian earthquake. (d) The simulated ascending coseismic deformation map by Codefmap APP

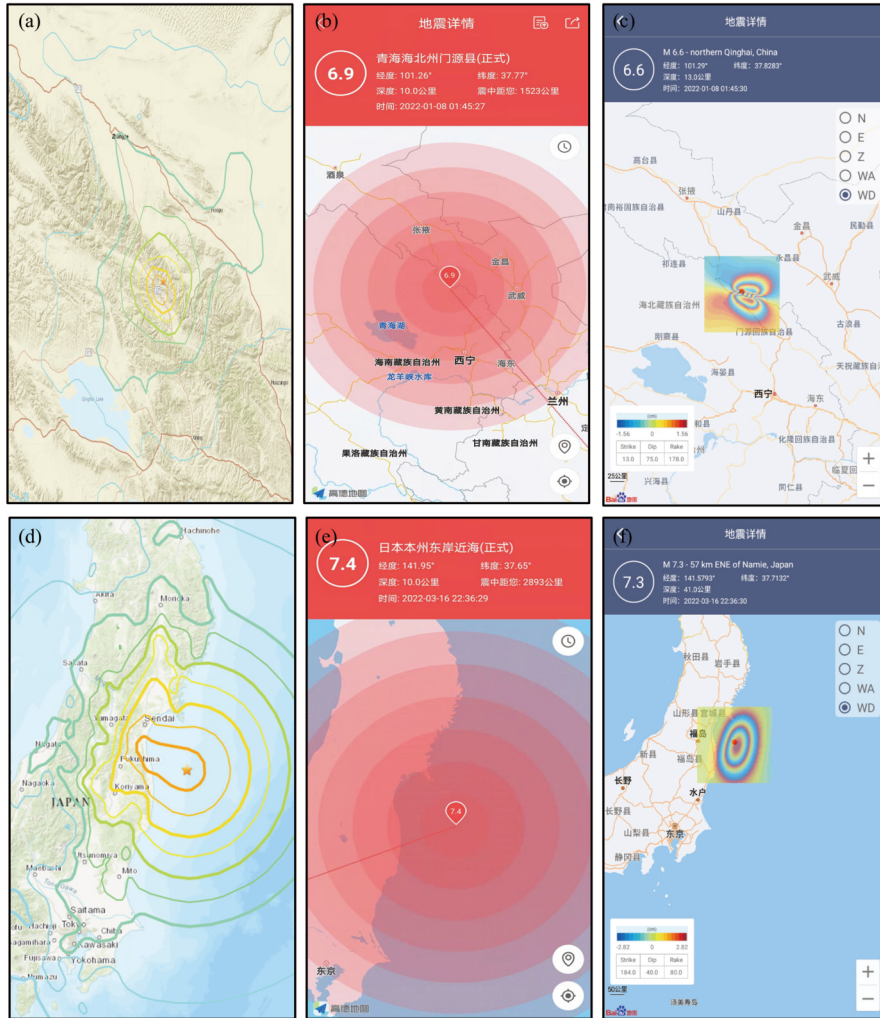


图 10 (a) ShakeMap 显示的中国青海省门源 6.6 级地震地面震动; (b) 地震预警助手 APP 显示的中国青海省门源 6.6 级地震地面震动; (c) 震形图 APP 显示的中国青海省门源 6.6 级地震形变; (d, e, f) 对应应用显示的日本奈美惠 7.3 级地震震动与形变结果

Fig. 10 (a) The ground shaking of the Menyuan County M_W 6.6 earthquake displayed by ShakeMap; (b) The ground shaking of the M_W 6.6 earthquake in Menyuan County, Qinghai, China displayed by the Earthquake Early Warning Assistant APP; (c) Coseismic deformation of the M_W 6.6 earthquake in Menyuan County, Qinghai, China displayed by the Codeform APP Deformation; (d, e, f) The shaking and deformation results of the M_W 7.3 Namie earthquake in Japan displayed by the corresponding applications

深度的红色同心圆作为地震震动强度加载到地图上, 以表示地震对周边地区的影响. ShakeMap 和地震预警助手 APP 都是加载空间大尺度的震动强度图, 无法对发震区域的地震影响进行量化分析. 从图 10c、10f 中可以看出, 震形图 APP 在中国青海省门源 6.6 级地震和日本奈美惠 7.3 级地震中, 加载了发震区域以厘米为单位的地表形变结果, 可反映出发震区域地表形变特征. 结合区域的道路网络分布, 可以对早期救援道路的选择提供参考.

4 结论与展望

在断层模型和经验方程等原理的基础上, 本文

基于 Android 系统开发了一款支持全球全时段地震信息查询、近实时计算和显示地震同震模拟形变图的移动应用(震形图 APP). 通过与真实同震形变结果进行对比验证了震形图 APP 具有较好的时效性和可靠性, 可为地震地表变形研究及震后早期抗震救援工作提供参考. 但是, 震形图 APP 仍存在一些不足, 将来可以考虑在以下三个方面进行改进完善: (1) 数据后台在第一次计算形变图时, 耗费时间较长, 在后续的工作中可以优化数据处理算法, 提高数据处理速度; (2) 震形图 APP 目前可支持自动生成 LOS 向同震形变场, 在后续工作中可在数据后台实现三维形变场图像的生成; (3) 在本研究工作的基础上, 可以加载地形数据、道路数

据、人口分布数据和全球断层数据更好地约束模拟的形变结果,使其更贴近真实结果.

数据与来源

本文所使用的地震数据来源于 USGS NEIC, Sentinel-1A 数据来源于欧空局.震形图 APP 下载链接: https://faculty.csu.edu.cn/xuwenbin/zh_CN/index.htm

References

- Blaser L, Kruger F, Ohrberfer M, et al. 2010. Scaling relations of earthquake source parameter estimates with special focus on subduction environment[J]. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 100(6): 2914-2926.
- Chen Y, Chen Y T, Zhang G M, et al. 2005. Forecast and early-warning and preparedness measures for great earthquake disasters in China during the period of the 11th five-year plan[J]. *Journal of Catastrophology*, 20(1): 1-14 (in Chinese).
- China Internet Network Information Center. 2021. The 48 statistical report on China's internet development[R]. Beijing: China Internet Network Information Center(in Chinese).
- Dong J H, Wu Q H, Wan S M, et al. 2018. Emergency monitoring and early warning system for sudden landslide[J]. *Science Technology and Engineering*, 18(11): 135-140.
- Gaberiel A K, Goldstein R M, Zebker H A. 1989. Mapping small elevation changes over large areas: Differential radar interferometry[J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 94(B7): 9183-9191.
- Hanks T C, Kanamori H. 1979. A moment magnitude scale[J]. *Journal of Geophysical Research*, 84(B5): 2348-2350.
- He T, Ye J N. 2015. Design and implementation of earthquake industry APP service system based on Wechat[J]. *South China Journal of Seismology*, 35(2): 37-42 (in Chinese).
- Kanamori H. 1977. The energy release in great earthquakes[J]. *Journal of Geophysical Research*, 82(20): 2981-2987.
- Li X, Xu W B, Jonsson S, et al. 2020. Source model of the 2014 M_w 6.9 Yutian earthquake at the southwestern end of the Altyn Tagh fault in Tibet estimated from satellite images[J]. *Seismological Research Letters*, 91(6): 3161-3170.
- Massonnet D, Rossi M, Carmona C, et al. 1993. The displacement field of the landers earthquake mapped by radar interferometry[J]. *Nature*, 364(6433): 138-142.
- Okada Y. 1985. Surface deformation due to shear and tensile faults in a half space[J]. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 75(4): 1135-1154.
- Okada Y. 1992. Internal deformation due to shear and tensile faults in a half space[J]. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 82(2): 1018-1040.
- Rou J, Yi L Y E·A, Chen J B. 2006. Discussion on seismic intensity—Taking the Xinjiang area as an example[J]. *Earthquake Research in China*, 22(1): 94-102 (in Chinese).
- Wald D J, Quitoriano V, Heaton T H, et al. 1999. TriNet "ShakeMaps":

- Rapid generation of peak ground motion and intensity maps for earthquakes in southern California[J]. *Earthquake Spectra*, 15(3): 537-555.
- Wang H. 2008. The digital telecommunication courses of China Digital Seismograph Network (CDSN)[J]. *Journal of Institute of Disaster Prevention Science and Technology*, 10(4): 68-70 (in Chinese).
- Xu W B. 2017. Finite-fault slip model of the 2016 M_w 7.5 Chiloe earthquake, southern Chile, estimated from Sentinel-1 data[J]. *Geophysical Research Letters*, 44: 4774-4780.
- Yuan Y F. 2008. Loss assessment of Wenchuan M 8.0 earthquake[J]. *Journal of Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 28(5): 10-19 (in Chinese).
- Zhang G M. 2002. The main science advance of earthquake monitoring and prediction in China[J]. *Earthquake*, 22(1): 2-8 (in Chinese).
- Zhang W J, Yang T Q, Liu R F, et al. 2016. Application of rapid assessment in naming an earthquake[J]. *Progress in Geophysics*, 31(6): 2475-2481 (in Chinese).
- Zhao R, Liu X T, Xu W B. 2020. Integration of coseismic deformation into WebGIS for near real-time disaster evaluation and emergency response[J]. *Environmental Earth Sciences*, 79(18): 414.
- Zhao Y, Xue F, Liu Y, et al. 2002. The technological system of National Digital Seismic Network Center in China[J]. *Seismological And Geomagnetic Observation and Research*, 23(1): 16-23 (in Chinese).
- Zuo R B, Huang Z B, Xue F, et al. 2001. The Website of China Center Digital Seismic Network[J]. *Earthquake*, 21(4): 106-111 (in Chinese).

附中文参考文献

- 陈颢, 陈运泰, 张国民, 等. 2005. “十一·五”期间中国重大地震灾害预测预警和防治对策[J]. *灾害学*, 20(1): 1-14.
- 董建辉, 吴启红, 万世明, 等. 2018. 突发滑坡灾害的应急监测预警技术体系[J]. *科学技术与工程*, 18(11): 135-140.
- 何霆, 叶佳宁. 2015. 基于微信的地震行业 APP 服务系统设计与实现[J]. *华南地震*, 35(2): 37-42.
- 柔洁, 伊力亚尔·阿不力孜, 陈建波. 2006. 关于地震烈度的讨论——以新疆地区为例[J]. *中国地震*, 22(1): 94-102.
- 王红. 2008. 中国数字地震台网 (CDSN) 数据通信走过的历程[J]. *防灾科技学院学报*, 10(4): 68-70.
- 袁一凡. 2008. 四川汶川 8.0 级地震损失评估[J]. *地震工程与工程振动*, 28(5): 10-19.
- 张国民. 2002. 我国地震监测预报研究的主要科学进展[J]. *地震*, 22(1): 2-8.
- 张维佳, 杨天青, 刘瑞丰, 等. 2016. 地震灾害快速评估在地震科学命名中的应用[J]. *地球物理学进展*, 31(6): 2475-2481.
- 赵永, 薛峰, 刘阳, 等. 2002. 国家数字地震台网中心技术系统与服务[J]. *地震地磁观测与研究*, 23(1): 16-23.
- 中国互联网络信息中心. 2021. 2021 年第 48 次中国互联网络发展状况统计报告 [R]. 北京: 中国互联网络信息中心.
- 左如斌, 黄志斌, 薛峰等. 2001. 国家数字地震台网中心 Web 网站[J]. *地震*, 21(4): 106-111.