

马亚伟,孟令媛,臧阳,等. 2025. 基于 Python 的全球 7 级大震趋势研判系统设计与实现[J]. 地震研究,48(3):450–459,doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000–0666.2025.0047.

Ma Y W, Meng L Y, Zang Y, et al. 2025. Design and application of the analysis and forecast system for global M7 earthquakes based on Python[J]. *Journal of Seismological Research*, 48(3):450–459, doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000–0666.2025.0047.

基于 Python 的全球 7 级大震趋势研判系统设计与实现*

马亚伟, 孟令媛, 臧阳, 韩颜颜, 姜祥华, 王月, 解孟雨, 杨志高

(中国地震台网中心, 北京 100045)

摘要: 为提高全球 7 级以上地震的震后应急效率, 设计并实现了一套基于 Python 的全球 7 级大震趋势研判系统。针对不同机构对同一地震测定的地震信息存在差异的问题, 如震级标度不一致、定位存在差异等, 通过统计历史地震提出了利用“时间差小于 10 s 且定位误差小于 2°即可确定为同一地震”的规则对相同地震进行匹配的规则; 在上述规则下, 利用 Python 爬虫技术获取地震目录及震源机制解等数据; 利用 PyGMT 实现了地震分布等各类图件的自动绘制; 最后实现了震后趋势研判 PPT 文档的自动产出。实际应用表明, 该系统可以快速产出全球 7 级以上地震分布、历史地震、地质构造、震源机制解及其与大陆强震的统计关系等震后趋势研判资料, 平均运行时间在 1 分钟内, 显著提高全球 7 级以上大震的震后应急效率。

关键词: 网络爬虫; 7 级以上大震; 地震应急; 震后趋势研判

中图分类号: P315–39

文献标识码: A

文章编号: 1000–0666(2025)03–0450–10

doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000–0666.2025.0047

0 引言

快速研判地震序列类型并给出震后趋势分析意见, 是全球 7 级以上大震地震应急响应的一项重要工作, 对于服务社会公众和政府决策具有重要的意义 (Gulia, Wiemer, 2019)。在信息技术蓬勃发展的新时代, 快速信息服务对震后趋势研判提出了更高的要求。传统地震会商方式存在的人员不足、数据资料片段式分散等客观因素已严重制约着震后趋势研判的效率和社会服务的时效性。

震后趋势会商是短临预报业务的重要环节, 针对性地研发震后趋势快速辅助决策系统对于有效提升业务能力, 准确服务社会和政府决策具有重要的意义。在这种背景下, 我国地震预报工作者从多个方面开发了相关震后趋势会商系统, 如

武安绪等 (1999) 推出的地震现场震情分析软件系统包含了地震目录管理、序列类型判断与震后趋势估计等内容, 使应急会商类系统开始在地震应急工作中发挥作用; 庄昆元等 (2001) 将神经网络与模糊系统相结合, 主要对余震强度和时间进行判断; 黄静 (2005) 研发了基于网络技术的虚拟地震会商系统, 很大程度上提高了地震会商的时效性; 陈石等 (2011) 设计并实现了三维立体可视化会商系统平台, 解决了地震会商过程中的多源、海量地学数据的协同可视化问题。

根据实际工作需求, 不同研究人员研发了各类具有区域性特点的应急会商系统, 如蒋海昆等组织研发的华东南地区震后趋势判定软件 (董曼, 2008), 是第一款相对比较全面的地震应急系统, 实现了在地震类型分区的基础上, 一键产出震中区域的构造背景、历史地震活动空间分布和区域特征等资料, 极大提升了震后趋势研判的效率

* 收稿日期: 2024–09–09.

基金项目: 中国地震台网中心青年科技基金 (QNJJ–202306); 中国地震局震情跟踪定向任务 (2024010117); 中国地震局“震后趋势研判创新团队”。

第一作者简介: 马亚伟 (1990–), 工程师, 主要从事地震活动性研究. E-mail: yawei_m@seis.ac.cn.

(刘珠妹等, 2019); 平建军等 (2013) 研发了华北震后快速响应预案及计算机查询系统, 并被统一集成到 MapSIS 地震分析预报软件中 (刘坚等, 2018); 赵颖 (2013) 建成了包含丹东地区各类资料的震后趋势快速判定计算机系统平台, 该平台可以在震后 5 分钟内给出震后趋势判定意见; 张华等 (2014) 基于 ArcGIS 地理信息平台开发了广西震后趋势快速研判系统, 实现了自动生成会商纪要、应急指挥图件和震情汇报材料的功能。

地震应急管理体制的逐步建立和完善, 对震后趋势研判产出结果的时效性和信息的完善性提出了更高的要求。在华东地区震后趋势判定软件基础上, 刘珠妹等 (2019) 研发了震情自动触发的震后趋势早期判定技术系统 (CAAFs), 该系统会在显著地震发生后自动触发并生成包含构造背景信息、历史地震活动、震源机制解、序列类型统计、震后趋势研判意见等内容的产品, 并向多个平台进行推送。CAAFs 系统主要聚焦于我国大陆及周边区域显著地震的震后趋势研究, 能够满足我国大陆地区震后趋势研判意见的快速产出需求。国际上关于震后趋势研判产出系统也有部分研究, 其中比较著名的是美国国家现代地震监测系统 (Advanced National Seismic System, ANSS), 该系统在震后第一时间可以产出震中附近的区域信息、ShakeMap 信息以及震源机制解等。在经过多次完善改进后, 目前可以做到在震后 30 分钟产出第一次人工参与的余震概率预测, 之后随地震序列的不断发育更新预测结果 (Page *et al*, 2016; 刘珠妹等, 2019)。

上述软件从不同的服务角度出发, 为我国及至全球显著地震的震后趋势分析提供了有力保障, 但由于现有数据库缺乏全球地震目录、大震震源机制以及全球重点构造的相关信息, 极大制约了全球大震的应急响应效率。因此, 亟需在现有软件系统框架基础上, 从丰富数据库、提高服务方式以及产品产出等方面进一步延拓相关辅助决策软件系统。本文利用 Python 语言研发出一套全球 7 级大震趋势研判系统, 该系统可完成地震目录的自动下载与更新, 震源机制解的自动下载及绘图,

震中附近历史地震的统计, 并可产出历史地震与大陆地震在统计意义上的关系以及相关应急产品, 并被多次应用于全球 7 级以上地震应急工作中。

1 技术方法

全球 7 级大震趋势研判系统主要分为 4 个部分: 数据获取、数据分析、图件绘制以及产品制作 (图 1), 该系统主要解决了以下几个问题: 一是如何从中国地震台网中心 (CENC) 网站^①获取本次地震信息并更新地震目录; 二是如何将 CENC 给出的地震信息与美国地质调查局 (USGS)^② 给出的地震信息进行匹配; 三是如何利用 Python 爬虫技术获取本次地震的震源机制解并进行绘图; 四是如何统计震中附近地区历史地震, 并计算这些地震与中国大陆大震的对应关系; 五是如何自动产出应急 PPT。

1.1 利用 Python 爬虫技术更新地震目录

网络爬虫就是通过编写程序模拟浏览器上网, 按要求在网上抓取数据的程序 (于学斗, 柏晓钰, 2022), 其优势在于可以按照设定的规则自动获取互联网上的信息。爬虫技术作为高效准确获取数据的重要方式之一, 目前已被应用于多个领域 (余豪士, 匡芳君, 2018; 邓世广等, 2019; 孙握瑜, 2022)。

利用 Python 爬虫技术获取数据通常涉及以下几个步骤: 发送请求、获取响应内容、解析内容和保存数据。发送请求是指通过超文本传输协议向目标网站发送请求, 包含了网页统一资源定位符、标头以及要向服务器提交的数据; 获取响应内容是指在目标网站的服务器收到请求后做出相应的处理, 然后将处理结果返回给请求者的过程; 解析内容是指在获得服务器返回的内容后, 根据返回的数据格式和目标, 选择相应的技术方法进行处理, 并将其转换为所需内容和格式的过程; 保存数据是指根据后续分析和使用数据的需求, 将解析的数据保存为相应格式的过程。本文使用 Python 爬虫技术主要用于获取地震目录以及震源机制解数据。

① <https://news.ceic.ac.cn/>.

② <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>.

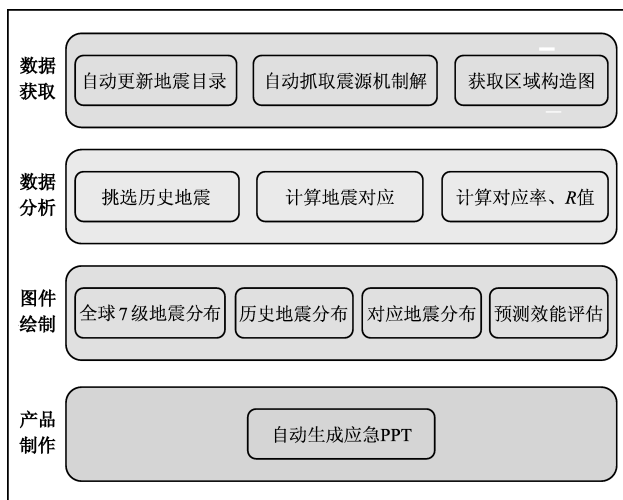


图1 全球7级大震趋势研判系统框架设计

Fig. 1 Framework of the post-earthquake trend decision system for Global $M7$ earthquakes

下载地震目录有2种常用方式：一是在网站首页直接进行查询，但是首页显示的地震个数有一定限制，因此无法确保获取的地震与本地地震目录的衔接性；二是在历史查询界面进行查询，但是该界面地震更新稍有延迟，无法第一时间获取最新地震信息。如果要在地震目录更新阶段既保证地震目录的完整性，又保证本次地震能被及时获取，则必须将7级以上地震目录更新分为两步：

第一步是获取本地目录中最后一次地震至今的所有地震。将第一步规整为一个自定义函数 `get_webinfo (cata_info, page)`，该函数涉及2个传入参数 `cata_info` 和 `page`，其中 `cata_info` 包含了地震目录下载的起始时间和结束时间、起始震级和结束震级等信息；`page` 则为搜索结果的页码，通过循环页码可以获取所有地震，由此可以保证地震目录的完整性。该函数具体如下：

```
def get_webinfo (cata_info, page):
    url = 'http://www.ceic.ac.cn/ajax/search? page
    = % s&&start = % s&&end = % s&&jingdu1 = &&jing
    du2 = &&weidu1 = &&weidu2 = &&height1 = &&heig
    ht2 = &&zhenji1 = % s&&zhenji2 = % s'% (str (page),
    cata_info[ "starttime" ], cata_info[ "endtime" ], cata_
    info[ "minmag" ], cata_info[ "maxmag" ])
    headers = { 'User - Agent': 'Mozilla/5.0 (Win-
```

```
dows NT 10.0; Win64; x64 ) AppleWebKit/537.36
(KHTML, like Gecko) Chrome/108.0.0.0 Safari/
537.36 Edg/108.0.1462.54' }
```

```
response = get (url, headers = headers)
encoding = detect (response.content) [ 'enco-
ding' ]
```

```
html = response.content.decode (encoding)
```

```
if response.status_code == 200:
```

```
html = html[1: -1]
```

```
html = loads (html)
```

```
return html
```

第二步为从 CENC 网站首页直接获取最新地震信息，采用如下代码：

```
url = 'http://news.ceic.ac.cn/index.html'
```

```
web_data = get (url, verify = False)
```

```
web_data.encoding = web_data.apparent_enco-
ding
```

```
web_data = web_data.text
```

```
soup = BeautifulSoup (web_data, 'html.parser')
```

1.2 利用 Python 爬虫技术获取震源机制解

利用 Python 爬虫技术获取震源机制解的方式与地震目录的爬取方式类似。以从 USGS 网站爬取震源机制解为例，由于不同机构对同一地震的测定结果存在差异，因此在下载震源机制解时需要先进行地震匹配，确定是同一地震后再进行震源机制解的爬取。以2023年全球7级以上地震为例（表1），由于USGS一般采用 M_w 或者 M_b 震级标度，而CENC一般采用 M_s 震级标度，因此，在利用Python爬虫技术对地震进行匹配的过程中，未采用震级对地震进行匹配。

中国地震局“十五”重大工程项目——“中国数字地震观测网络”验收完成后，从2009年开始实现了国家地震台网和区域地震台网的统一编目，产出统一的中国地震台网地震目录^①。本文对2010—2023年CENC测定的236次7级以上地震进行统计，发现CENC与USGS对同一地震测定的发震时间和发震地点存在一定的测量误差（图2）。从图2可以看出，发震时间测量误差均在10 s以内，而发震地点测量误差主要在 0.5° 以内，仅有1

① https://data.earthquake.cn/datashare/website/data/datashare_network_china.jsp.

次地震的发震地点测量误差超过 1°。此时还存在一个问题，若某一大地震后 20 s 内再次发生 7 级以上余震，则根据上述规则匹配后会出现匹配结果混乱的情况。因此，对 1900—2023 年 7 级以上地震的时间差和空间进行统计，发现实际地震目录中并未记录到上述情况，表明该现象在实际情况中极少出现。因此，本系统在匹配地震的过程中暂且采用“时间差小于 10 s 且定位误差小于 2°即可确定为同一地震”的规则。

表 1 不同机构测定 2023 年全球 7 级以上地震震级对比
Tab. 1 The magnitude of $M \geq 7$ earthquakes around the globe in 2023 from CENC and USGS

序号	发震日期	发震地点	M_s (CENC)	M_w (USGS)
1	2023-01-08	瓦努阿图群岛	7.0	7.0
2	2023-01-10	印尼班达海	7.6	7.6
3	2023-01-18	印尼马鲁古海	7.0	7.0
4	2023-02-06	土耳其	7.8	7.8
5	2023-02-06	土耳其	7.8	7.5
6	2023-02-23	塔吉克斯坦	7.2	6.9
7	2023-03-16	新西兰克马德克群岛	7.0	7.0
8	2023-04-03	巴布亚新几内亚	7.1	7.0
9	2023-04-14	印尼爪哇岛	7.1	7.0
10	2023-04-24	新西兰克马德克群岛	7.2	7.1
11	2023-05-11	汤加群岛	7.5	7.6
12	2023-05-19	洛亚蒂群岛	7.7	7.7
13	2023-05-20	洛亚蒂群岛	7.2	7.1
14	2023-06-16	斐济群岛	7.2	7.2
15	2023-07-16	美国阿拉斯加州以南海域	7.2	7.2
16	2023-08-29	印尼巴厘海	7.1	7.1
17	2023-11-08	班达海	7.1	6.7
18	2023-12-02	菲律宾棉兰老岛附近海域	7.6	7.6
19	2023-12-07	瓦努阿图群岛	7.1	7.1

确定地震匹配规则以后，首先利用 Python 爬虫技术获取 USGS 测定的半年内所有 6.5 级以上地震，然后与 CENC 测定的相应地震进行匹配，匹配成功后保存本次地震信息在 USGS 上的专属 ID，生成震源机制解下载的 url，利用如下代码即可获取相应地震的震源机制解数据：

```
url = 'https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/feed/v1.0/detail/' + earthquake_id + '.geojson'
msg = get(url)
```

```
aim_evt = loads(msg.text)
moment_tensor = aim_evt["properties"]["products"]["moment - tensor"][0]["properties"]
```

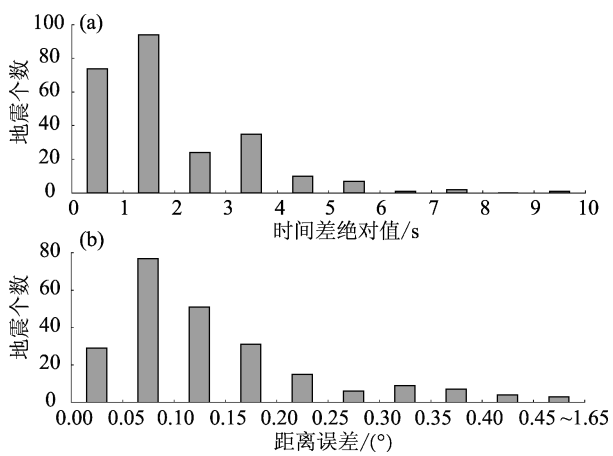


图 2 CENC 与 USGS 测定地震发震时间差 (a) 与发震地点定位误差 (b) 统计
Fig. 2 The statistical analysis of the original - time differences (a) and the location differences (b) of the earthquakes between CENC and USGS

1.3 区域构造展示

关于地震所在的构造区域的绘制可分为 2 部分：第一部分是通过绘制震中附近地区 4.5 级以上地震及其震源深度的方式来展示区域大致构造信息；第二部分主要通过 USGS 给出的震中位置绘制区域构造图件。第一部分对绘制区域做了固定，默认以主震为中心，经度尺度为 30°，纬度尺度为 20°，灵活度较差，不能随着构造特征调整绘图窗口，因此实际绘制过程中采用第二部分绘图方式进行补充。

2010—2015 年，多位研究人员通过绘制全球 5 级以上地震的分布及部分区域的深度剖面，结合板块构造及地壳形变信息，将全球地震分布划分为 17 个区域，见表 2。表中每个区域内涉及 2 个及以上板块，历史地震的分布与第一部分小区域 4.5 级地震的绘图方式类似，通过增加震源深度信息来展现板块运动信息。该图件还包含了板块运动的速率及方向，对于了解发震构造有更直观的帮助。与第一部分相比，第二部分内容给出了板块运动速率和方向等信息，但是图件空间范围过大，对震中附近地区历史地震的震源深度信息展示不够清楚，因此，本系统保留这 2 种展示方式。

表 2 全球 5 级以上地震主要分区及其包含的主要板块^①
Tab. 2 $M \geq 5.0$ earthquake zonations around the globe and their main plates

序号	区域名称	主要板块
1	加勒比海板块及其附近地区	北美板块、南美板块、加勒比板块、纳兹卡板块、科科斯板块
2	阿留申弧线及其附近地区	北美板块、太平洋板块
3	千岛—堪察加岛弧及其附近	鄂霍次克板块、太平洋板块、欧亚板块
4	日本及其邻近地区	太平洋板块、鄂霍次克板块、欧亚板块、菲律宾海板块
5	纳斯卡板块和南美洲	纳斯卡板块、南美板块
6	墨西哥及其附近地区	北美板块、太平洋板块、科科斯板块
7	澳大利亚板块及其附近地区	澳大利亚板块、太平洋板块、巽他板块
8	新几内亚及其邻近地区	澳大利亚板块、太平洋板块、巽他板块
9	澳大利亚板块东缘	澳大利亚板块、太平洋板块
10	中东及其邻近地区	阿拉伯板块、欧亚板块、非洲板块、印度板块
11	喜马拉雅及其附近地区	欧亚板块、印度板块
12	苏门答腊及其附近地区	印度板块、澳大利亚板块、巽他板块
13	菲律宾海板块及其附近地区	菲律宾海板块、太平洋板块、欧亚板块、巽他板块
14	爪哇及其邻近地区	巽他板块、澳大利亚板块
15	不列颠哥伦比亚省近海—阿拉斯加东南部及其附近地区	太平洋板块、北美板块、胡安德富卡板块
16	东非裂谷	非洲板块、索马里板块、阿拉伯板块
17	地中海及其附近地区	非洲板块、欧亚板块

1.4 历史地震统计及其统计对应关系

震中附近地区历史地震统计是震后趋势研判意见需要重点添加的信息之一。全球 7 级大震趋势研判系统会统计震中附近地区 300 km 范围内的 7 级以上历史地震，包含发震时间、经纬度、震源深度、震级、地名等信息。然后根据上述信息给出与当前地震的空间距离和时间最近的地震，并标注统计范围内震级最大的地震。实际情况中可能会出现某些地震震中周围 300 km 范围内无历史地震或记录到的历史地震较少的情况，此时系统会自动扩大统计范围至 500 km，若 500 km 范围内仍然没有历史地震记录，则会返回“震中附近无历史地震记录”的提示。

在对全球不同区域与中国大陆 7 级以上地震的统计关系研究中发现，二者具有一定的统计对应关系，其原因可能是同一构造区或某一小范围内的大震可能受到相同构造的影响，其破裂方向、地震波传播方向大致沿着某些构造方向较强，而在其他方向较弱，导致全球不同区域的 7 级以上地

震对中国大陆 7 级以上地震的影响不同（李献智，张国民，1992）。位于断层滑动前方的区域，由于受到断层破裂滑动的挤压和推动，更容易使该区域的潜在破裂趋于失稳发震，进而使该区域的地震触发作用更明显（解朝娣等，2009）。

因此，全球 7 级以上大震的震后应急工作中最重要的就是计算震中附近区域 7 级以上历史地震与中国大陆 7 级以上地震在统计学上的对应关系。在震中附近地区历史地震统计的基础上，挑选出每次地震后 1 年内中国大陆发生的 7 级以上地震，并分别计算对应率和 R 值。其中对应率为对应地震的异常数与异常总数之比，异常总数即为震中附近历史地震数。 R 值为有震报准率和预报时间占有率之差，其反映的是预报方法或指标与地震的相关程度，作为评价预测效能的工具，已得到广泛的认可（马宏生等，2004；屠泓为等，2007）。

1.5 自动产出 PPT 文档

利用 PyGMT（Wessel *et al.*, 2019）完成全球 7

^① <https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/information-region>.

级以上地震分布、震源机制解、震中所在区域的历史地震分布、对应地震分布以及对应率和 R 值等图件的绘制以后,通过 Python 自带的库函数 `Python - pptx` 将生成内容整合到 PPT 文档中。`Python - pptx` 是一个可以创建和编辑 PPT 文档的模块,该模块可以自动生成演示文稿、幻灯片以及幻灯片中需要添加的内容,如文本、图片、表格等。

利用该模块创建 PPT 文档有以下几步:

(1) 创建演示文稿

从 `Python - pptx` 模块中导入 `Presentation` 实现 PPT 文档的创建,并设定幻灯片大小为 16:9 的宽屏模式,具体语句如下:

```
ppt = Presentation ( pptx = path. join ( getcwd ( ), 'data/default. pptx' ) ) // 获取 PPT 文档
```

```
ppt. slide _ width = Cm ( 33. 862 ) // 设置幻灯片长度
```

```
ppt. slide _ height = Cm ( 19. 05 ) // 设置幻灯片宽度
```

(2) 选择幻灯片布局

创建 PPT 文档以后需要创建每一页幻灯片,此处选择 PPT 文档的第 7 种幻灯片模版,该模版仅添加一页空幻灯片,无标题框和文本框等内容,便于调整图片位置和文本位置,具体语句如下:

```
blank _ slide = ppt. slide _ layouts [ 6 ] // 设置幻灯片模版
```

```
slide _ 1 = ppt. slides. add _ slide ( blank _ slide ) // 添加幻灯片
```

(3) 幻灯片内容添加

完成幻灯片创建以后,按照固定格式将已经产出的图片与表格等内容放置在幻灯片的固定位置,完成 PPT 文档内容的添加。以 PPT 文档首页放置全球 7 级以上地震分布图为例,其代码如下:

```
slide _ 1. shapes. add _ picture ( image _ file = 'world7. png',
left = Cm ( 1. 4 ),
top = Cm ( 3. 68 ),
width = Cm ( 22. 8 ),
height = Cm ( 11. 4 )
)
```

代码中设置了导入图片的名称、图片的宽度与高度以及在幻灯片的位置等参数。

2 应用效果

为方便随时对特定地震进行历史地震统计,使用 Python 的图形工具包 Tkinter 编写全球 7 级大震趋势研判系统的软件界面(图 3)。界面设计中添加了地震自动识别和手动输入地震参数 2 种方式,其中地震自动识别是在收到地震速报信息后自动获取当前地震信息并进行相关内容的产出;手动输入地震参数则需要手动输入地震的发震时间、经纬度和震级等信息后产出相关内容。

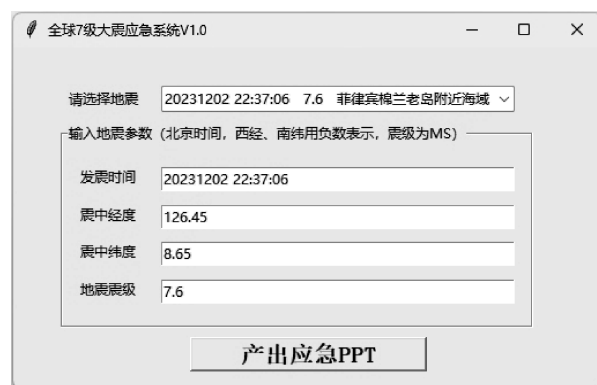


图 3 全球 7 级大震趋势研判系统界面

Fig. 3 The interface of the post-earthquake trend decision system of the global $M7$ earthquake

设置手动输入地震参数功能的优势在于,当全球某个地区发生 7 级以下地震时,若需要通过统计震中附近地区的历史地震来研究其对大陆强震的影响时,该系统也可以快速产出相关产品。如对 2021 年 12 月 20 日老挝 6.0 级地震进行研究时,由于 CENC 网站首页仅可展示近期发生的 90 次地震,因此在选择地震栏内无法显示该地震,此时可使用手动输入地震参数方式快速产出相关内容。

本文以 2023 年 12 月 2 日菲律宾棉兰老岛附近海域 $M_s 7.6$ 地震为例(图 4),对系统实际应用进行研究。震后系统会自动更新本地地震目录,并绘制全球 7 级以上地震分布图。图件主要展示 3 部分信息,分别用不同颜色绘制上年度、本年度的全球 7 级以上地震分布以及本次地震的空间位置。这种绘制方式便于展示本年度全球大震的活动水平和空间位置较上年度的变化情况。本系统生成 PPT 文档时会在全球 7 级以上地震分

布图右侧给出本年度全球 7 级以上地震列表、上年度以及本年度 7 级以上地震数量等信息, 作为空间分布的辅助信息供应急人员分析年度地震活动状态的变化。

震后根据实际情况产出的应急资料会稍有不同, 主要区别在于是否已经产出本次地震震源机制解。若相关机构未产出本次地震的震源机制解, 则系统产出的应急产品不包含该信息, 否则会产生带有不同机构震源机制解信息的产品 (图 4b、

c)。目前系统添加了 USGS 与 CENC 的震源机制解信息, 分别用不同颜色绘制。同时将大区域的历史地震分布与震源机制解绘制于同一页 PPT, 其中历史地震的颜色代表震源深度, 白色表示震源深度大于 70 km。这种处理方式可以直观地展示出本次地震所在的空间位置以及震中位置可能的断裂情况。但是这种方式仅仅只作为参考, 地震震中具体所在的断裂还需根据详细的地质构造信息加以辅助判断。

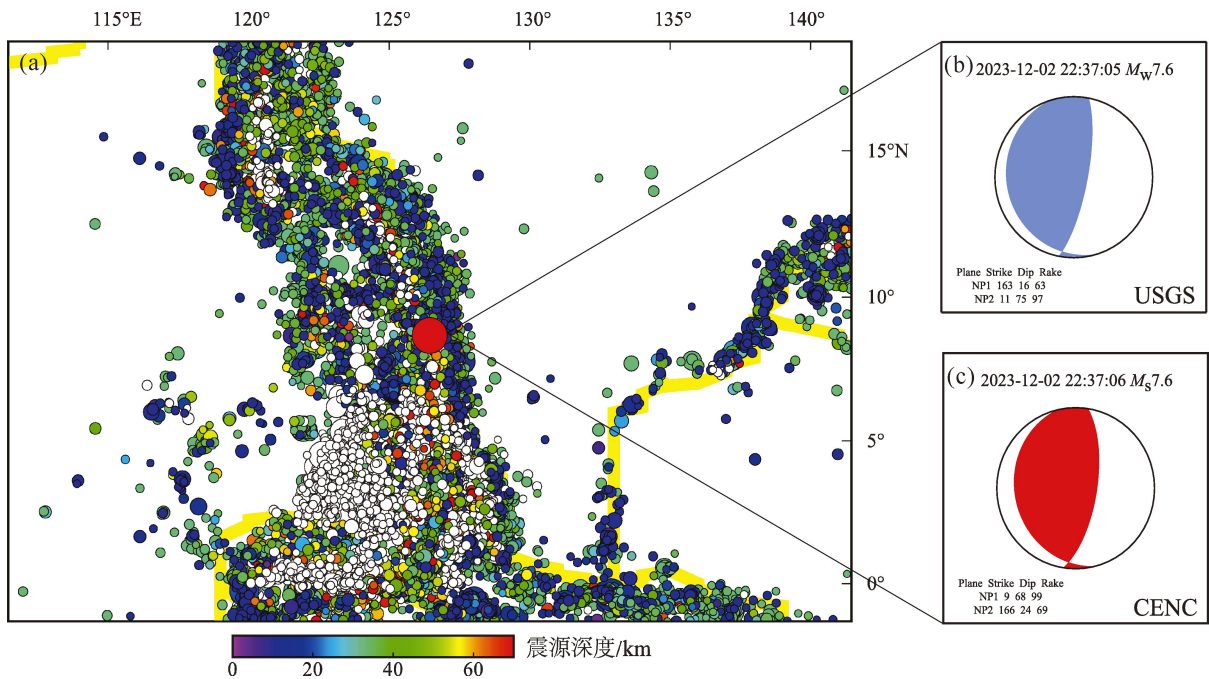


图 4 菲律宾 $M_s 7.6$ 地震震中附近大范围区域 $M \geq 4.5$ 历史地震分布 (a) 及 USGS (b) 和 CENC (c) 产出的主震震源机制解

Fig. 4 The distribution of historical earthquakes above $M4.5$ in a large zone (a) and the focal mechanism of Philippines $M_s 7.6$ earthquake from USGS (b) and CENC (c)

全球 7 级以上地震震后趋势研判最重要的意义在于研究其与中国大陆 7 级以上地震之间的关系, 为中国大陆后续短期内是否可能发生大震提供研判依据。基于震后应急需求, 本系统将菲律宾 $M_s 7.6$ 地震震中附近 300 km 范围内的 7 级以上历史地震 (图 5a) 与震后 1 年内对应的中国大陆 7 级以上地震进行统计 (图 5b), 并计算相应的 R 值 (图 5c) 和对应率 (图 5d)。在菲律宾地震震中 300 km 范围内的 7 级以上历史地震共有 28 次, 其中 4 次地震后 3 个月内中国大陆发生 7 级以上地震 (表 3), 对应率为 4/28。 R 值明显小于 R_0 , 表明该地区发生 7 级以上地震与

短期内中国大陆发生 7 级以上地震的相关性不强。但是有 19 次大震后 1 年内中国大陆发生 7 级以上地震, 对应率为 19/28。从 R 值曲线 (图 5c) 可以看出, 250 天以后的 R 值明显大于 R_0 , 表明该地区发生 7 级以上地震对中国大陆在年尺度上发生 7 级以上地震具有一定的统计意义。

从 2023 年 7 月—2024 年 5 月全球 7 级大震趋势研判系统在 8 次全球 7 级以上地震应急工作中的表现来看, 该系统平均运行时间在 1 分钟以内, 相较于人工搜集并制作应急 PPT 文档来说, 极大提高了震后应急效率, 为震后应急工作人员节省更多时间用于地震本身及其影响的分析讨论。

表 3 2023 年菲律宾 $M_s7.6$ 地震震中 300 km 范围内的 19 次 7 级以上历史地震与震后 1 年内中国大陆 7 级以上地震对应关系

Tab. 3 The relationships between the 19 $M \geq 7$ historical earthquakes in the area of 300 km around the epicenter of Philippines $M_s7.6$ earthquake and $M \geq 7$ earthquakes epicenters in Chinese Mainland within one year after the earthquake

序号	显著地震	对应地震	时间间隔/天
1	1903-12-28 7.8 级	1904-08-30 四川道孚 7.0 级	246
2	1908-03-05 7.3 级	1908-08-20 西藏奇林湖 7.0 级	168
3	1913-04-25 7.2 级	1913-12-21 云南峨山 7.0 级	240
4	1918-02-07 7.5 级	1918-02-13 广东南澳东南海中 7.3 级 1918-04-10 吉林珲春北 7.2 级	6 62
5	1924-04-14 8.3 级	1924-07-03 新疆民丰东 7.3 级、7.2 级 1925-03-16 云南大理附近 7.0 级	79 336
6	1924-08-30 7.3 级	1925-03-16 云南大理附近 7.0 级	198
7	1934-04-15 7.3 级	1934-12-15 西藏申扎东北 7.0 级	243
8	1936-07-05 7.3 级	1937-01-07 青海阿兰湖东 7.5 级	186
9	1943-05-25 7.9 级	1944-03-10 新疆新源东北 7.2 级	289
10	1948-09-02 7.0 级	1949-02-24 新疆库车东北 7.3 级	174
11	1949-04-30 7.4 级	1950-02-03 云南勐海西南 7.0 级	279
12	1952-03-19 7.8 级	1952-08-18 西藏当雄西北 7.5 级	151
13	1955-03-31 7.6 级	1955-04-14 四川康定折多塘一带 7.5 级 1955-04-15 新疆乌恰西 7.0 级	13 14
14	1972-12-02 7.2 级	1973-02-06 四川炉霍附近 7.6 级 1973-07-14 西藏亦基台错 7.3 级	66 224
15	1989-12-15 7.2 级	1990-04-26 青海共和西南 7.0 级	131
16	2001-01-01 7.0 级	2001-11-14 昆仑山口西 8.1 级	317
17	2002-03-06 7.1 级	2002-06-29 吉林汪清 7.2 级	114
18	2012-08-31 7.6 级	2013-04-20 四川芦山 7.0 级	231
19	2013-10-15 7.1 级	2014-02-12 新疆于田 7.3 级	120

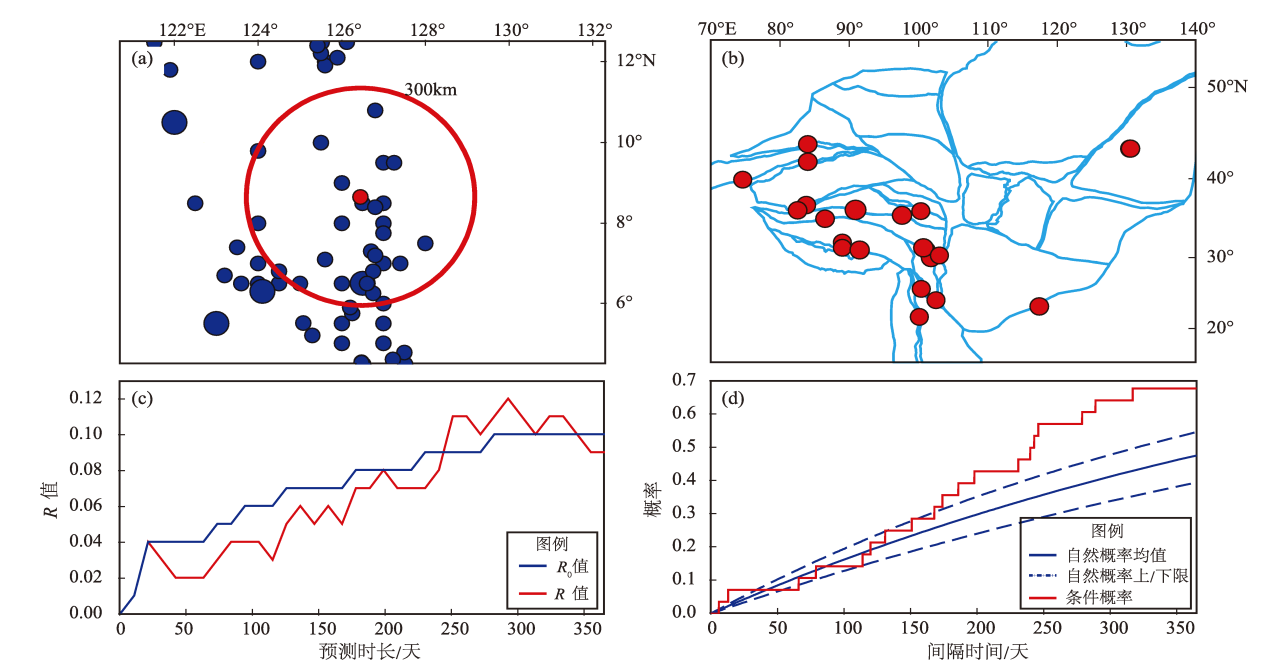


图 5 2023 年菲律宾 $M_s7.6$ 地震震中附近 300 km 范围内 7 级以上历史地震分布 (a) 及震后 1 年内对应的中国大陆 7 级以上地震分布 (b)、 R 值曲线 (c) 和概率曲线 (d)

Fig. 5 $M \geq 7$ historical earthquakes in the area of 300 km around the epicenter of Philippines $M_s7.6$ earthquake (a) and their corresponding $M \geq 7$ earthquakes in Chinese Mainland within one year after the earthquake (b), R -value curves (c), and probability curves (d)

3 结论

本文研发了 1 套可以用于全球 7 级地震的震后趋势研判系统,该系统基于 Python 语言,利用爬虫、PyGMT 和 Tkinter 等手段和工具进行设计并得以实现。针对不同机构对同一地震测定发震时间和发震地点的差异问题,通过对历史地震数据进行分析对比,确定了利用“时间差小于 10 s 且定位误差小于 2°即可确定为同一地震”的规则来解决 CENC 与 USGS 产出的地震信息的匹配问题;通过对各机构网页的分析,利用不同的解析方式解决了地震目录自动下载以及震源机制解自动下载的问题;使用 PyGMT 实现了 Python 自动绘制地震分布图的目的,初步解决了小区域内构造资料不足的问题;最后完成了应急产品的自动产出。

本文采用 Tkinter 设计了软件的可视化界面,实现了自动识别地震以及手动输入参数两种获取显著地震信息的途径。其应急产品整合了全球 7 级以上地震分布及列表、区域历史地震空间及震源深度分布、附近历史地震统计及其与中国大陆强震的对应关系等内容,将震后应急产品产出的时间压缩到 1 分钟以内,极大提高了震后应急的效率。目前,该系统运行稳定,已经在多次 7 级以上地震震后应急工作中发挥了重要作用。

目前该系统在地震对应方面采取统计 300 km 范围内历史 7 级以上地震与中国大陆 7 级以上地震对应关系的方式,虽然能一定程度上说明两者在统计方面存在相关性,但是两者在构造方面的相关性并不是很高。因此,随着日常业务需求的提高,在全球构造数据逐步搜集完善的情况下,该系统可以逐步添加相关构造区域内历史地震与中国大陆 7 级以上地震的统计对应关系等内容,更加科学合理地完善全球 7 级以上大震趋势研判内容的产出。

中国地震台网中心为本研究提供了地震目录和试运行平台,全球区块划分信息来源于美国地质调查局 (<https://www.usgs.gov/programs/earthquake-hazards/information-region>),软件绘图采用 PyGMT,在此一并表示衷心感谢!

参考文献:

陈石,蒋长胜,李艳娥,等. 2011. 三维立体可视化震情会商系统平台设计与实现[J]. 地震地磁观测与研究,32(3):148-154.

- Chen S, Jiang C S, Li Y E, *et al.* 2011. Design and implementation of 3D stereo visualized system platform for earthquake consultation [J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 32(3): 148-154. (in Chinese)
- 邓世广,王月,马亚伟. 2019. 基于 Python 爬虫技术的高精度地震目录更新程序的设计与应用[J]. 中国地震,35(3):541-549.
- Deng S G, Wang Y, Ma Y W. 2019. Design and application of high resolution earthquake catalogue auto update program based on Python crawler technology [J]. Earthquake Research in China, 35(3):541-549. (in Chinese)
- 董曼. 2008. 华东南、首都圈震后趋势快速分析系统研制[D]. 武汉:中国地震局地震研究所.
- Dong M. 2008. Development for quick analysis software system of post-seismic trend in the areas of capital and southeastern China [D]. Wuhan: Institute of Seismology China Earthquake Administration. (in Chinese)
- 黄静. 2005. 基于网络技术的虚拟地震会商系统研究[D]. 北京:中国地震局地球物理研究所.
- Huang J. 2005. Study on virtual earthquake consultation system based on grid technology [D]. Beijing: Institute of Geophysics, China Earthquake Administration. (in Chinese)
- 李献智,张国民. 1992. 应用全球九个区域的大震预测中国大陆强震[J]. 地震, (3):41-47.
- Li X Z, Zhang G M. 1992. Prediction of strong earthquakes in China mainland based on nine large earthquakes in the world [J]. Earthquake, (3):41-47. (in Chinese)
- 刘坚,李盛乐,刘珠妹,等. 2018. 地震分析会商应用系统研究现状及展望[J]. 地震研究,41(2):157-165.
- Liu J, Li S L, Liu Z M, *et al.* 2018. Research status and prospect of the seismic analysis and consultation application system [J]. Journal of Seismological Research, 41(2):157-165. (in Chinese)
- 刘珠妹,蒋海昆,李盛乐,等. 2019. 基于震例类比的震后趋势早期判定技术系统建设[J]. 中国地震,35(4):602-615.
- Liu Z M, Jiang H K, Li S L, *et al.* 2019. Aftershock analysis and forecasting system construction based on seismic analogy [J]. Earthquake Research in China, 35(4):602-615. (in Chinese)
- 马宏生,刘杰,吴昊,等. 2004. 基于 R 值评分的年度地震预报能力评价[J]. 地震,24(2):31-37.
- Ma H S, Liu J, Wu H, *et al.* 2004. Scientific evaluation of annual earthquake prediction efficiency based on R-value [J]. Earthquake, 24(2):31-37. (in Chinese)
- 平建军,张永仙,单连君,等. 2013. 地震前兆信息量计算软件研制及其操作说明[J]. 震灾防御技术,8(4):397-407.
- Ping J J, Zhang Y X, Shan L J, *et al.* 2013. Software for earthquake precursor information extracting and analysis [J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 8(4):397-407. (in Chinese)
- 孙握瑜. 2022. 基于 Python 的新浪微博爬虫程序设计与实现[J]. 科技资讯,20(12):34-37.
- Sun W Y. 2022. Design and implementation of Sina Weibo crawler program based on Python [J]. Science & Technology Information, 20(12):34-37. (in Chinese)
- 屠泓为,陆广海,孙洪斌. 2007. 用 R 值评分法研究青海省 1990—2006 年以来的地震预报效能[J]. 高原地震,19(3):13-16.
- Tu H W, Lu G H, Sun H B. 2007. Research on earthquake prediction effi-

- ciency in Qinghai during 1990 – 2006 based on R – value[J]. Plateau Earthquake Research, 19(3): 13 – 16. (in Chinese)
- 武安绪, 王林瑛, 徐平. 1999. 地震现场震情分析软件系统的研制[C]//中国地震学会成立 20 周年纪念文集, 7. 北京: 地震出版社.
- Wu A X, Wang L Y, Xu P. 1999. Development of a seism site seismic regime analysis system[C]//The 20th anniversary of the founding of Seismological Society of China, 7. Beijing: Seismological Press. (in Chinese)
- 解朝娣, 吴小平, 朱元清. 2009. 大震地震波对云南地震活动的远场动态应力触发作用[J]. 地震研究, 32(4): 357 – 365.
- Xie C D, Wu X P, Zhu Y Q. 2009. Far – files triggering effect of dynamic stress on seismicity in Yunnan produced by great earthquake's waves[J]. Journal of Seismological Research, 32(4): 357 – 365. (in Chinese)
- 于学斗, 柏晓钰. 2022. 基于 Python 的城市天气数据爬虫程序分析[J]. 办公自动化, 27(7): 10 – 13.
- Yu X D, Bai X Y. 2022. Analysis on the crawler program of urban weather data based on Python[J]. Office Informatization, 27(7): 10 – 13. (in Chinese)
- 余豪士, 匡芳君. 2018. 基于 Python 的反爬虫技术分析与应用[J]. 智能计算机与应用, 8(4): 112 – 115.
- Yu H S, Kuang F J. 2018. Crawler and anti-anti-crawler technology based on Python[J]. Intelligent Computer and Applications, 8(4): 112 – 115. (in Chinese)
- 张华, 周斌, 文翔, 等. 2014. 广西震后趋势快速研判系统及其应用[J]. 华南地震, 34(2): 73 – 77.
- Zhang H, Zhou B, Wen X, et al. 2014. Post seismic tendency quickly analysis system and its application in Guangxi[J]. South China Journal of Seismology, 34(2): 73 – 77. (in Chinese)
- 赵颖. 2013. 丹东地区地震活动特征研究及震后趋势快速判定平台建设[D]. 长春: 吉林大学.
- Zhao Y. 2013. The research of earthquake activity characteristic and the establishment of platform express of post-earthquake trend[D]. Changchun: Jilin University. (in Chinese)
- 庄昆元, 黄冰树, 王炜, 等. 2001. 震后趋势决策支持系统 PTDS[J]. 西北地震学报, 23(4): 93 – 98.
- Zhuang K Y, Huang B S, Wang W, et al. 2001. Post-earthquake tendency decision support system[J]. Northwestern Seismological Journal, 23(4): 93 – 98. (in Chinese)
- Gulia L, Wiemer S. 2019. Real-time discrimination of earthquake foreshocks and aftershocks[J]. Nature, 574: 193 – 199.
- Page M T, Van D E N, Hardebeck J, et al. 2016. Three ingredients for improved global aftershock forecasts: Tectonic region, time – dependent catalog incompleteness, and intersequence variability[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 106(5): 2290 – 2301.
- Wessel P, Luis J F, Uieda L, et al. 2019. The generic mapping tools version 6[J]. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 20(11): 5556 – 5564.

Design and Application of the Analysis and Forecast System for Global $M7$ Earthquakes Based on Python

MA Yawei, MENG Lingyuan, ZANG Yang, HAN Yanyan, JIANG Xianghua,
WANG Yue, XIE Mengyu, YANG Zhigao
(China Earthquake Networks Center, Beijing 100045, China)

Abstract

In order to improve the efficiency of post-earthquake emergency response to global earthquakes ($M \geq 7.0$), we design a system for post-earthquake trend analysis of global earthquakes ($M \geq 7.0$) based on Python, to quickly produce earthquake related materials. For the same earthquake, different seismic institutions usually give different magnitudes on different scales, and locations are normally different too. To solve this problem, we do the statistical analysis of the historical earthquakes, then propose a rule to determine whether the earthquakes are the same one earthquake, that is, whether the difference of the original time is less than 10 seconds and the positioning error is less than 2 degrees (in radians). According to this rule, we use the crawler technique to obtain earthquake catalogues, focal mechanisms, etc. The system is able to automatically draw the distribution map of the earthquakes through PyGMT module, and output reports on the post-earthquake analysis and forecast in PowerPoint format. The practical application shows that this system could produce post-earthquake trend analysis data, including the distribution of global earthquakes with $M7$ or above, historical earthquakes, geological structures, focal mechanism solutions, and statistical relationships with strong earthquakes in the Chinese Mainland, the average running time of the system is within 1 minute which can significantly improve the earthquake emergency response efficiency of global earthquakes with $M7$ or above.

Keywords: web crawler; global earthquakes with $M \geq 7.0$; earthquake emergency response; post-earthquake analysis and forecast