

基于 Folium 地理信息可视化的地震数据统计分析

周仰新¹,李永强^{1*},李明吉¹,潘泓序²,许言¹,陈波¹

(1. 东华理工大学 土木与建筑工程学院,江西 南昌 330013;2. 桂林理工大学 地球科学学院,广西 桂林 541006)

摘要: 为了更加清晰地对我国的地震分布和震源深度特征进行统计分析,根据中国地震局公布的中国及周边地区地震数据,以2011—2022年中国及周边地区5.0级以上地震数据为例,运用Python第三方库——Folium地图数据可视化库对地震数据进行可视化统计,并将统计结果在地图上进行可视化。由地震数据可视化结果可更加明显看出我国中大型地震活动活跃,地震活动分布范围广,震源深度较浅。

关键词: 地震数据可视化统计;Folium;地震分布情况;震源深度特征

中图分类号: P315

文献标识码: A

Statistical Analysis of Seismic Data Based on Folium Geographic Information Visualization

ZHOU Yangxin¹, LI Yongqiang^{1*}, LI Mingji¹, PAN Hongxu², XU Yan¹, CHEN Bo¹

(1. School of Civil and Architecture Engineering, East China University of Technology, Nanchang, Jiangxi 330013, China; 2. College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin, Guangxi 541006, China)

Abstract: To conduct a more clear statistical analysis on the distribution of earthquakes and the characteristics of focal depths in China, based on the earthquake data published by the China Earthquake Administration, taking the data of earthquakes above magnitude 5.0 in China and surrounding areas from 2011 to 2022 as an example, we use the Python third-party library Folium for map data visualization to visualize the earthquake data and present the statistical results on the map. This enables the visualization of earthquake-related data on the map. From the visualization results of earthquake data, it can be more clearly seen that large and medium-sized earthquakes in China are active, with a wide distribution range and shallow source depths.

Key words: visual statistics of earthquake data; Folium; seismic distribution; focal depth distribution characteristics

地震孕育、发生的过程并不是完全随机的,就全球地震分布而言,它在空间上多发生在板块的边界或活动块体的边界带上,而在时间上则经常表现为丛集性、活跃与平静的交错性等特征^[1]。为进一步分析、总结地震发生的相关规律特征,国内外地震学者们对不同时期和区域发生的地震开展统计分析工作,他们采取的统计方式不尽相同,其中主要的统计方式是基于GIS的地震相关数据

的时空统计,同时结合折线图、柱状图等图件使得统计结果更加清晰^[2-4];将概率模型应用于地震统计特征分析^[5-8];根据地震序列中的细微统计特性差异对地震数据进行统计分析^[9]。国内外有很多从事地震统计分析研究的学者在这方面开展了大量的统计分析工作,对我国地震数据统计分析的发展付出了巨大贡献。在国内的地震统计分析研究中,宋敦江等^[10]针对2005—2007年四川地区地

收稿日期:2023-09-25

基金项目:国家自然科学基金资助项目(52068002);江西省“双千计划”项目(JXSQ2020101041);江西省自然科学基金资助项目(20202BABL204064)

第一作者:周仰新(1998—),男,广东揭阳人,硕士,主要从事地震工程、地质灾害数据统计分析方面的研究。

*通信作者:李永强(1983—),男,河南济源人,博士,副研究员,主要从事岩土地震工程与波动数值模拟等方面的研究。

震数据作空间统计分析,从而发现明显的地震热点区域。利用核密度估计法在大时间尺度上研究泾洛流域的地震时空格局,并发现该流域空间地震时空分布呈 W 型,高密度地震区域与断裂区域有部分重叠的情况^[11]。国外也有很多学者对地震事件的时空统计方法进行研究,著名的 Gutenberg-Richter 定律就是通过统计学方法对全球地震数据进行研究得出的^[12];Darooneh 等^[13]采用非广延统计方法研究连续地震的时空分布,研究时间分布表现和幂律统计关系;Melnikova 等^[14]则采用 GIS 中聚类分析方法研究地震的空间分布,通过 Gutenberg-Richter 定律来分析地震发生的概率,探讨地震在空间分布上的聚集特征。

在对地震数据的统计分析研究中,许多学者都进行了深入的研究,为地震研究作出了重大贡献。随着社会的不断进步和科技的飞速发展,地震数据的统计分析方式也发展起来^[15-16]。利用编程语言对地震数据进行统计分析并将数据转化为图表的可视化手段,是一种创新的地震数据统计分析方法^[17]。Python 作为一种完全面向对象的语言,具备优越的可读性、可扩展性、快速的开发模式及丰富的第三方库,越来越受到开发者的喜爱^[18]。

为了使地震数据统计工作与大数据时代相适应,同时更好地掌握和分析我国地震灾害的时空分布情况和震源分布特征,进一步总结有关地震发生的规律,本研究基于 Python 环境下的第三方库——Folium 地图数据可视化库对地震数据进行可视化统计,并将统计结果以交互式的形式在地图上进行可视化。Folium 可以轻松地将数据绑定至交互式传单地图上以实现整体的可视化,甚至可用 html 作为标记来传递^[19],相比国内百度的 PyEcharts 灵活性更强,能够自定义绘制区域,并且展现形式更加多样化,更有利于本次地震数据在地图上的交互可视化。

1 研究方法

本研究的地震数据来源于中国地震局官方网站,首先将收集的数据以表格文件导入 Python 编程环境中,然后运用 Folium 地图数据可视化库对地震数据进行可视化统计,可视化形式包括震级气泡图、震级热力图、震级等值线图、震源深度热力图、震源深度等值线图等不同类型图件,最后根据地震数据的可视化结果对我国地震相关要素的特征和分布情况进行分析、总结。

本研究的地震数据可视化分析以地图作为底图,可以更加直观形象地显示地震发生的具体地理位置及周边地理信息,便于我们结合震中周边地质环境对地震发生时和震后影响进行更加精准高效的分析,进而更加准确地总结我国地震的分布特征,为地震发生规律的总结和地震预测提供参考依据。

在地震数据可视化的整个过程中,只需要在 Python 环境中进行编程即可实现,无须利用其他应用软件。地震数据可视化的基本思路是:根据地震的震中经纬度在地图上确定其具体位置,然后在该位置上将地震相关数据呈现出来。本研究以地震震级、震源深度为主要地震要素进行可视化处理,根据震级大小将地震数据以震级气泡图、震级热力图、震级等值线图进行显示;根据震源深度将地震数据以震源深度热力图、震源深度等值线图进行显示。图 1 为整个地震数据可视化统计分析过程的技术路线。

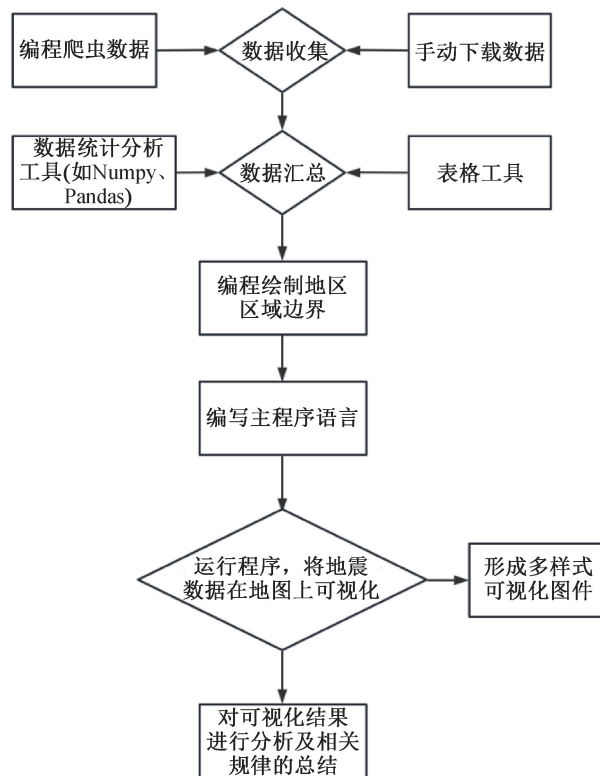


图 1 地震数据可视化统计分析技术路线图

Fig. 1 Roadmap of visualization statistical analysis technology of earthquake data

2 地震的可视化统计分析

2.1 数据来源

本研究的地震数据来源于中国地震局,在其

官网收集公开发布的 2011—2022 年中国及周边地区 5.0 级以上地震数据并进行汇总,地震数据共计 429 条,由于整体数据较大,无法在文中一一列出,故在表 1 中以局部数据展示地震数据的汇总情况。

2.2 数据可视化统计

本研究利用的可视化统计分析工具是 Python 中的第三方库 Folium 库。Folium 库由地理信息可视化库 leaflet.js 为 Python 提供接口,可将用户数据在交互式传单地图上可视化。Folium 建立在 Python 生态系统的数据应用能力和 Leaflet.js 库的映射能力之上,在 Python 中操作数据,通过 Folium 在 Leaflet 地图中进行可视化。利用 Folium 绘制相应地理信息图表,其灵活性和自由绘制区域可以更加充分得以体现,还可以通过鼠标点击标记功能实现交互式浏览,同时具备多样式、多功能、个性化的地图画风。

现以 2011—2022 年中国及周边地区 5.0 级以上地震数据为例,将数据导入 Python 生态系统中,并运用 Python 语言进行编程,利用 Folium 地图数据可视化库对地震数据进行统计,对统计结果在地图上进行可视化分析。

基于收集汇总的地震数据,利用相关数据统计分析工具(如 Numpy、Pandas),并根据用户的需求对震级大小分布、震源深度分布等地震相关要素进行可视化统计和分析。可运用地震震级气泡图呈现地震震级的统计结果,地震震级气泡图中

气泡中心位置为震中位置;气泡大小表示震级大小,气泡愈大,震级愈大;气泡密度愈大,则表示该地区地震发生的频率愈大。其中,气泡颜色是根据震级大小设置颜色,随震级增大颜色变暖,反之,颜色变冷。

此外,可将收集地震数据中的震级大小和震源深度根据震中地理位置以热力图的形式进行可视化。通过编程获取地震数据汇总表格中的经纬度坐标来确定震中位置,然后再获取震级大小,根据震级大小以热力图形式进行可视化,地震震级愈大,热力图中的热度越大,震级由大到小呈现由红色到绿色再到蓝色的变化;震源深度热力图同样是在编程获取震中位置后,获取震源深度信息,并将震源深度可视化,其中震源深度愈深,热力图上可视化效果愈红热,相反,热力图可视化效果则愈偏向绿蓝色。

在地貌地理信息图中常见到高程等值线图,在地震数据可视化统计中也可以利用编程对地震震级和震源深度等地震要素的等值数据进行相关要素等值线的绘制。

2.3 统计结果的可视化分析

根据地震数据的可视化统计结果,在可视化图件上对我国地震分布情况和震源深度特征等加以分析,并进一步对地震发生的相关规律进行总结。

在我国国土范围内 5.0 级以上地震分布广泛,西部地区位于亚欧板块和印度洋板块的交界处,

表 1 2011—2022 年中国及周边地区发生 5.0 级及以上地震数据(部分)汇总表
Tab. 1 Summary of earthquake data with magnitude≥5.0 occurred in China and surrounding areas from 2011 to 2022 (partial)

序号	震级	发震时刻	纬度/(°)	经度/(°)	深度/km	参考位置
1	5.0	2022-12-22T10:47	35.56	99.14	9	青海果洛州玛多县
2	5.3	2022-12-15T12:03	23.73	121.79	10	台湾花莲县海域
3	5.8	2022-12-08T00:54	23.77	121.71	30	台湾花莲县海域
4	5.0	2022-11-19T01:27	23.37	102.26	8	云南红河州红河县
5	6.3	2022-11-13T09:47	22.44	121.10	10	台湾台东县海域
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
425	5.3	2011-02-01T16:16	24.20	121.80	7	台湾花莲县附近海域
426	5.6	2011-01-08T07:34	43.00	131.10	560	吉林省延边朝鲜族自治州辉春市
427	5.6	2011-01-08T07:34	43.00	131.10	560	吉林省延边朝鲜族自治州辉春市
428	5.1	2011-01-01T09:56	39.40	75.20	10	新疆维吾尔自治区克孜勒 苏柯尔克孜自治州乌恰县
429	5.1	2011-01-01T09:56	39.40	75.20	10	新疆维吾尔自治区克孜勒 苏柯尔克孜自治州乌恰县

构造活动活跃,导致整个西部地区尤其是具有“世界屋脊”之称的青藏地区地震发生频率和密度分布较大;地震活动较为活跃的是我国的东部沿海地区,由于东部沿海地区位于亚欧板块和太平洋板块的交界处,构造活动也比较活跃,故地震活动频率比较大,特别是台湾及其附近海域发生地震频繁且地震震级较大;相比西部及东部沿海地区,我国中部及其轴线附近区域的构造活动较为稳定,中大型地震发生较少。

在震源方面,我国地震震源深度整体较浅,只有位于西北的天山山脉、西南的横断山脉、东北的长白山脉和东南的台湾及其附近海域震源深度较深,其中长白山脉区域发生地震的震源深度最深;其他地区发生地震的震源深度基本小于 30 km。

在地震震级分布方面,主要表现为以西部青藏地区和台湾及其附近海域为中心,震级由中心向四周逐渐降低分布,且中心震级等值线较密,震级减小幅值较小,四周震级等值线较疏,震级减小幅值渐渐变大;在震源深度特征方面,以东北长白山脉地区和台湾及其附近海域为中心震源深度最大,随后向西震源深度逐渐减小的趋势发展,且中心震源深度等值线很密,震源深度减小幅值很小,从沿海到内陆震源深度等值线变疏,震源深度向西减小幅值渐渐变大;西部地区靠近亚欧板块和太平洋板块交界处的震源深度也较深,向东震源深度逐渐减小。通过震级等值线和震源深度等值线的可视化,有利于对开展震级和震源深度区域划分,进一步总结我国震级大小、震源深度的分布规律。

此外,还可结合 Pyecharts 库对地震数据进行交互式图表统计,如饼状图(图 2)统计各个年份地震发生的次数及占比;直方图(图 3)统计不同震级地震发生的次数等。

3 结论

通过收集中国地震局公布的地震数据,以 2011—2022 年中国及周边地区 5.0 级以上地震数据为例,运用 Python 语言编程并利用其第三方库——Folium 地图数据可视化库对地震数据进行可视化统计和分析,得到结论如下:

1) 由地震数据可视化结果可明显看出我国受地震灾害影响严重,中大型地震活动活跃,地震活动分布范围广,震源深度较浅。

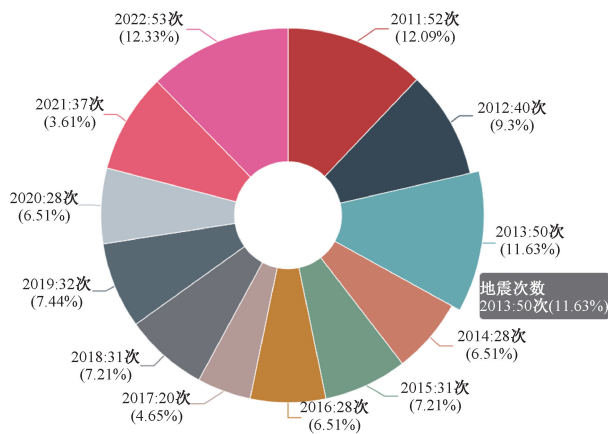


图 2 2011—2022 年中国及周边地区地震数据统计饼状图
Fig. 2 Pie chart of earthquake data in China and surrounding areas from 2011 to 2022

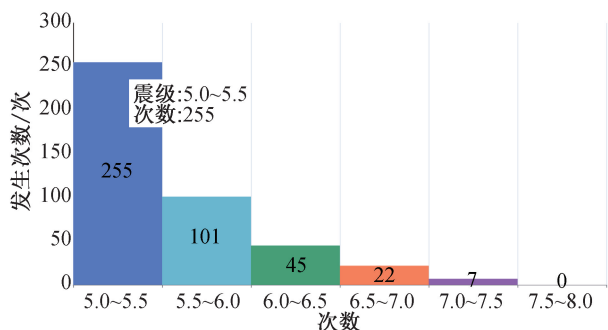


图 3 2011—2022 年中国及周边地区地震震级分布直方图
Fig. 3 Histogram of earthquake magnitude distribution in China and surrounding areas from 2011 to 2022

2) 我国西部及东部沿海地区震害相对其他地区较严重。越靠近板块交界处震源深度就越深,而其他地区震源深度整体较浅,并且震源深度主要呈现为由东西两侧向中部逐渐变小的特征。

3) 我国地处环太平洋地震带和欧亚地震带之间,较大型地震主要分布在这两个地震带范围上,具体分布在青藏地区和台湾及其附近海域。

4) 通过 Python 编程对地震数据的统计分析过程更加准确、简便和高效,并且利用 Folium 库绘制相应地理信息可视化图表,其灵活性和自由绘制区域可以更加充分得以体现,同时具备多样式、多功能、个性化的地图可视化风格供用户选择。

参考文献:

- [1] 魏东平,陈棋福. 地震数据时空分布的统计分析 [C]//中国地球物理学会. 2001 年中国地球物理学会年刊——中国地球物理学会第十七届年论文集. 昆明,云南科技出版. 2001:355.
- [2] 李志杰,陈智勇. 基于空间相关的地震前兆数据库的

- 信息提取与数据更新方法[J]. 地震工程学报, 2020, 42(1):123-128.
- [3] 廖微,姚琪,廖林,等. 基于地理信息系统的空间统计学方法在地震统计中的应用[J]. 中国地震, 2021, 37(3):695-703.
- [4] 余其鹏,董建平. 基于 GIS 的地震时空统计分析——以长三角地区为例[J]. 防灾减灾学报, 2022, 38(2): 66-72.
- [5] CORNELL C A. Engineering seismic risk analysis[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 1968, 58(5):1583-1606.
- [6] 胡聿贤. 地震安全性评价技术教程[M]. 北京:地震出版社, 1999.
- [7] 徐伟进,高孟潭. 根据截断的 G-R 模型计算东北地震区震级上限[J]. 地球物理学报, 2012, 55(5):1710-1717.
- [8] 任晴晴,赵宜宾,钱小仕,等. 基于 POT 模型的昆仑山地区地震统计特征分析[J]. 震灾防御技术, 2022, 17(3):529-538.
- [9] 赵晓雪. 微流通道理论设计与地震数据统计分析[D]. 上海:复旦大学, 2011.
- [10] 宋敦江,赵作权,钟少波. 2005—2007 年四川地震的时空演化特征分析[J]. 科技导报, 2008(22):38-43.
- [11] 黄曼娜,邹宝裕,白雷超,等. 历史时期泾河流域地震时空格局分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 2016, 27(2):86-90+114.
- [12] GUTENBERG B, RICHTER C F. Frequency of earthquakes in California[J]. Bull. Seismol. Soc. Amer, 1994, 34(4):185-188.
- [13] DAROONEH A H, DADASHINIA C. Analysis of the spatial and temporal distributions between successive earthquakes: Nonextensive statistical mechanics viewpoint[J]. Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications, 2008, 387(14):3647-3654.
- [14] MELNIKOVA V I, GILEVA N A, AREFEV S S, et al. The 2008 Kultuk earthquake with Mw=6.3 in the south of Baikal: Spatial-temporal analysis of seismic activation[J]. Izvestiya Physics of the Solid Earth, 2012, 48(7-8):594-614.
- [15] 刘爱芹. 试论当前地震灾情统计工作的现状与对策[J]. 财经界, 2013(12):250.
- [16] 柴方菊. 地震灾情统计工作的现状与思考[J]. 统计科学与实践, 2015(12):57-58.
- [17] 陆基孟. 地震勘探原理[M]. 北京:石油大学出版社, 1993.
- [18] 师天祺. 基于 Python 的地震数据可视化[J]. 数字技术与应用, 2022, 40(3):180-182.
- [19] 王思远. 喀斯特地区重金属污染防控体系大数据平台的构建[D]. 贵阳:贵州大学, 2021.
- (责任编辑 张爱丽)