

DOI:10.13409/j.cnki.jdpme.20240221003

# 国家地震烈度速报江苏子系统仪器烈度产出分析\*

江昊琳, 缪发军, 李子烨, 孙小航, 何奕成

(江苏省地震局, 江苏 南京 210014)

**摘要:** 对国家地震烈度速报与预警工程部署的烈度速报江苏子系统进行了介绍, 简述了2021年12月系统部署以来的系统产出情况, 同时以系统部署以来产出的震级最大的事件即2021年12月22日江苏天宁M4.2地震为例, 使用f-k方法合成各观测台站上的理论地震图, 将实际峰值加速度与理论峰值加速度进行比较, 评估烈度速报江苏子系统产出结果的可靠性。结果表明, 烈度速报系统产出的各台站峰值加速度随震中距逐渐减小, 且和理论地震图的结果较为接近, 一定程度上证明了烈度速报江苏子系统产出结果的可靠性。

**关键词:** 地震烈度速报; 江苏子系统; 产出分析; 理论地震图

**中图分类号:** P315 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2132(2024)03-0735-05

## Analysis of Instrumental Intensity Output of the Jiangsu Subsystem in the National Earthquake Intensity Rapid Reporting System

JIANG Haolin, MIAO Fajun, LI Ziye, SUN Xiaohang, HE Yicheng

(Jiangsu Earthquake Agency, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** This paper presents an analysis of the Jiangsu subsystem within the National Earthquake Intensity Rapid Reporting and Early Warning System. It provides an overview of the system's performance since its implementation in December 2021. The study focuses on the most significant seismic event recorded since deployment - the M4.2 earthquake in Tianning, Jiangsu on December 22, 2021. Using the f-k method, theoretical seismograms were synthesized for various observation stations. By comparing actual peak accelerations with the theoretical values, the reliability of the Jiangsu subsystem's performance was assessed. The results indicate that the peak ground accelerations produced by the rapid reporting system decreased with increasing distance from the epicenter and were relatively consistent with the theoretical seismograms, thus demonstrating the reliability of the Jiangsu subsystem's output to a certain extent.

**Key words:** earthquake intensity rapid reporting system; the Jiangsu subsystem; analysis of output; theoretical seismograms

\* 收稿日期:2024-02-21;修回日期:2024-04-28

基金项目:国家烈度速报与预警工程项目、中国地震局地震应急与信息青年重点任务(CEAEDM202308)资助

作者简介:江昊琳(1984—)女,工程师。主要从事地震监测工作。E-mail:69834952@qq.com

通信作者:缪发军(1977—)男,研究员。主要从事地震监测预警和人工智能地震事件分类研究。

E-mail:miaofajun@163.com

## 0 引言

地震烈度速报系统利用台站的实时地震动记录,通过计算各台站位置的地震动参数,转换成仪器烈度,在震后5~10分钟给出各观测点的地震影响程度<sup>[1]</sup>。地震烈度速报系统可以为震后的地震应急救援提供第一手信息,是灾情判断和应急救援决策的关键科学依据。

江苏省是我国东部地区中强地震活动水平较高的省份,13个省辖市历史上都曾发生过5.0级以上破坏性地震<sup>[2]</sup>。同时,江苏省是我国的沿海经济发达地区,人口密集,任何一个中等强度的地震都可能对该地区造成巨大的经济损失和人员伤亡。

国家地震烈度速报与预警工程江苏子项目作为国家地震烈度速报与预警技术系统的一部分,目的是在江苏形成远场大震预警能力和基于县级城市实测值的烈度速报能力,强化地震参数与地震动参数速报能力,大幅提升地震观测数据获取能力,为防震减灾、应急指挥、快速救援等提供有力保障。

## 1 系统简介

国家地震烈度速报江苏子系统(下文简称“烈度速报江苏子系统”)由162个站点组成,其中原有的54个测震台站改建成基准站,新建基本站和一般站各54个。2021年12月初部署了国家烈度速报与预警工程项目定制软件-烈度速报子系统。该系统服务端核心计算系统主要包含以下三个模块:EQ-Info\_Receive模块、核心处理模块、绘图模块,详细的系统运行流程如图1所示。核心处理模块从数据流服务器接收波形数据和EQIM地震信息共享平台的地震三要素信息,一旦满足设定的触发阈值,核心处理模块便会开始触发计算,但是在计算前,核心处理模块会根据震中距、信噪比、是否限幅、衰减关系等条件对观测台站进行筛选。绘图模块接收核心处理计算的结果,调用GMT,绘制台站仪器烈度、峰值加速度、峰值速度分布图及0.3、1.0、3.0 s的加速度反应谱等值线图等产品,并通过消息中间件将产品打包对外服务。

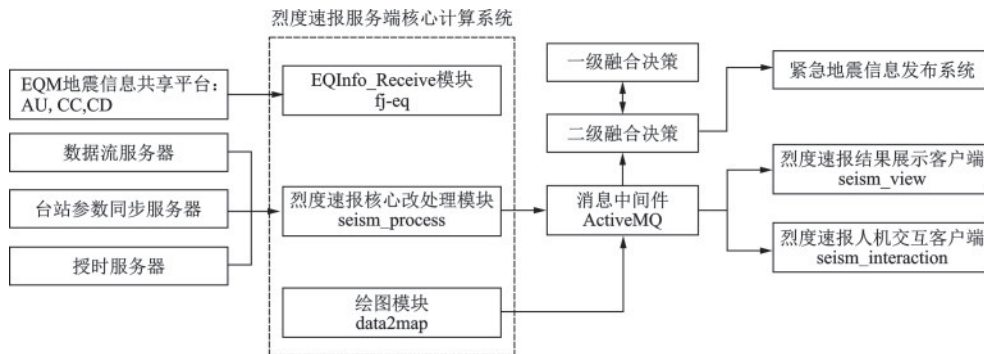


图1 烈度速报系统工作流程示意

Fig.1 Flowchart of the earthquake intensity rapid reporting system

## 2 系统产出

烈度速报江苏子系统平均台站间距大约为15 km,系统部署后,运行稳定,截止至2023年5月4日江苏宝应M3.3地震,系统共产出烈度速报结果10次,其中震级最小的事件为2022年1月15日南京雨花台M2.6地震,震级最大的事件为2021年12月22日江苏常州天宁M4.2地震(下文简称常州天宁地震)。10次地震的地震参数见表1,仪器烈度分布如图2所示。

## 3 典型震例分析

下面以常州天宁M4.2地震为例介绍烈度速报江苏子系统的主要产出,同时对产出结果进行检验。图3为烈度速报江苏子系统产出的常州天宁地震的台站峰值加速度分布图,图4为烈度速报江苏子系统产出的常州天宁地震仪器烈度分布图。距震中最近的断裂构造为北西走向的无锡-宿迁断裂,此外附近有北北东走向的金坛-南渡断裂和北东走向的和桥-阳山断裂。从图4中可见,此次地震的震

表1 烈度速报江苏子系统部署以来产生的地震事件目录

Table 1 Catalog of seismic events generated by the Jiangsu subsystem in the National Earthquake Intensity Rapid Reporting System since its deployment

发震时刻	震级/M	纬度/(°)	经度/(°)	深度/km	参考位置
2021/12/22 21:46:16	4.0	31.76	120.00	10	江苏常州市天宁区
2022/01/15 00:41:37	2.5	31.94	118.64	13	江苏南京市雨花台区
2022/02/05 22:13:35	3.3	34.32	117.03	7	江苏徐州市铜山区
2022/03/19 19:09:41	3.1	33.56	118.15	24	江苏宿迁市泗洪县
2022/05/14 10:18:44	2.8	34.83	116.81	11	江苏徐州市沛县
2022/06/27 02:51:40	3.1	33.49	121.19	19	江苏盐城市大丰区海域
2022/11/14 07:35:36	3.8	34.06	120.99	19	黄海海域
2022/12/25 20:28:28	3.0	32.72	120.21	14	江苏盐城市东台市
2023/06/15 01:39:34	3.1	31.07	121.09	8	上海青浦区
2023/06/19 02:15:24	2.6	32.69	119.76	10	江苏扬州市江都区

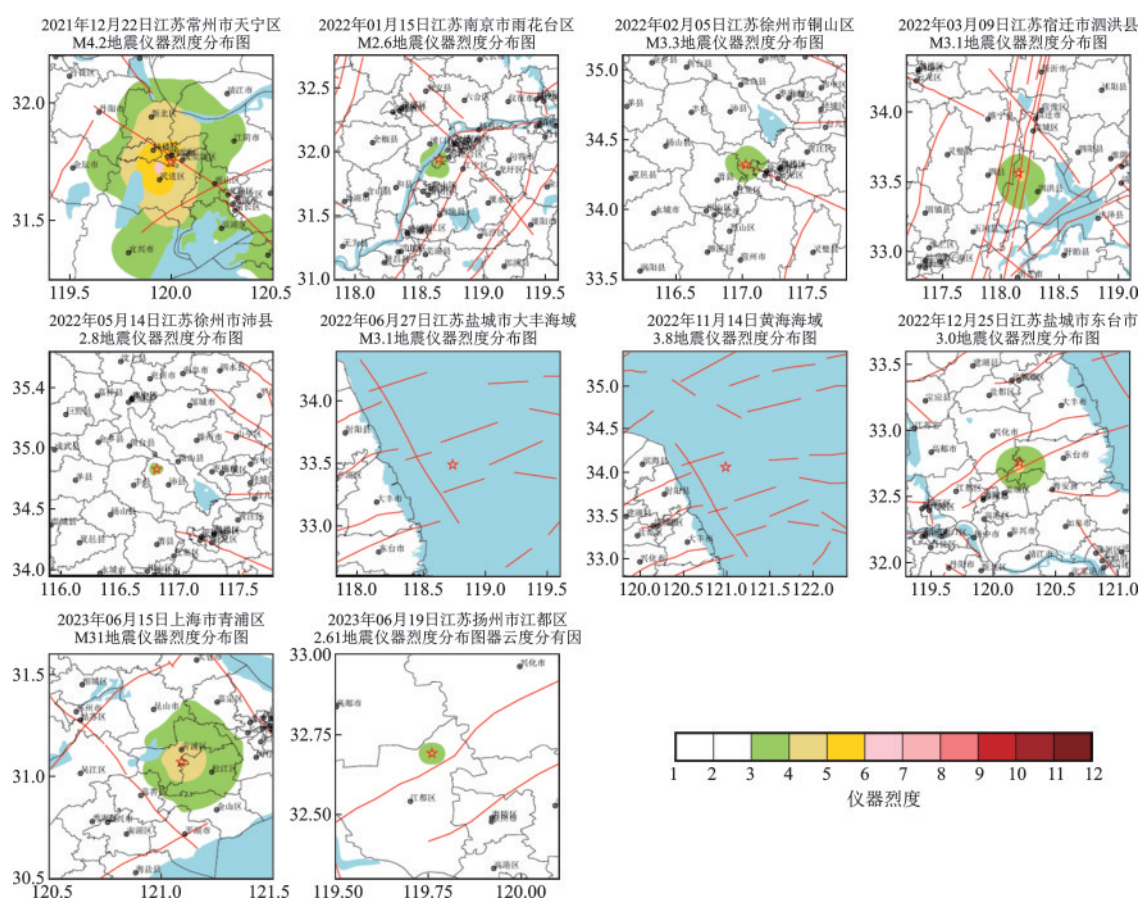


图2 地震烈度速报江苏子系统自部署以来产生的地震仪器烈度分布

Fig.2 Map of Instrumental Seismic Intensity Generated by the Jiangsu Earthquake Intensity Rapid Reporting System since its deployment

中烈度为6度,烈度最强的区域处于震中的西南侧,和震中不完全重合,地震烈度总体上看随着震中距增加而逐步减小,仪器烈度优势方向大致沿北北东方向,沿无锡-宿迁断裂带共轭方向分布。

烈度速报江苏子系统产出结果是否可靠,最直接和行之有效的方式是将仪器烈度图和实际现场调查的宏观调查烈度分布图进行对比。但由于此次地震并未造成人员伤亡和建筑物的破坏,震后未

开展大规模的现场宏观烈度调查。因此,本文试图通过地震学方法来证实烈度速报江苏子系统产出结果的可靠性。

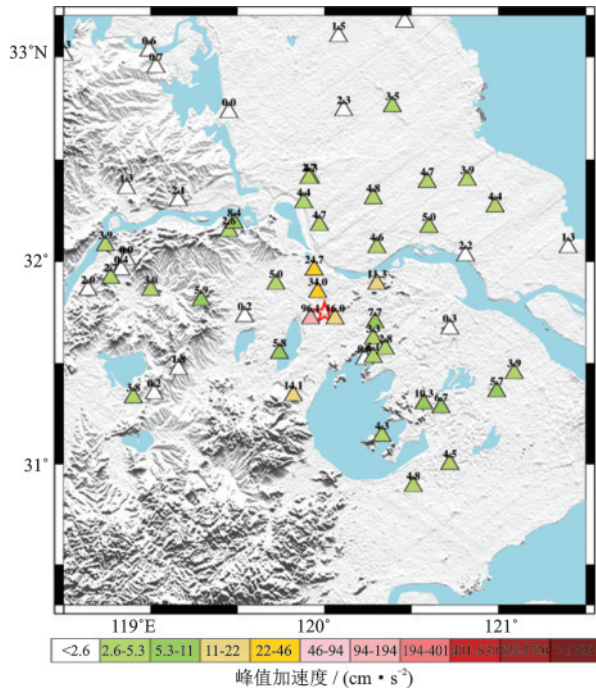


图3 2021年12月22日天宁M4.2地震台站峰值加速度分布  
Fig.3 Peak ground acceleration map of the M4.2 Tianning, Jiangsu earthquake on December 22, 2021

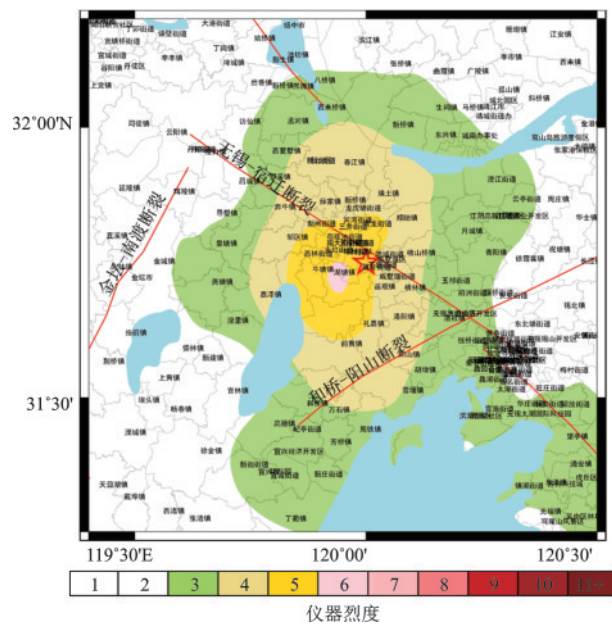


图4 2021年12月22日江苏天宁M4.2地震仪器烈度分布  
Fig.4 Instrumental intensity map of the M4.2 earthquake in Tianning, Jiangsu on December 22, 2021

首先,根据本地区烈度衰减关系的结果<sup>[3]</sup>,计算此次地震的最大烈度为5.8度,而最大仪器烈度为

6度,且范围很小,因此最大烈度和通过烈度衰减关系计算得到的结果比较吻合。此外,我们通过f-k方法合成各观测台站的理论地震图,将实际峰值加速度与理论峰值加速度进行比较,以进一步评估烈度速报江苏子系统产出结果的可靠性。f-k方法是计算水平层状分层介质中理论地震图的方法<sup>[4]</sup>。水平层状介质的速度模型参考郟庐断裂带中南段P波和S波速度模型<sup>[5,6]</sup>,见表1。图5为筛选前各台站实际峰值加速度和理论峰值加速度的对比。若不考虑震源的辐射花样和介质的横向非均匀性,各台站的峰值加速度应随震中距的增加而逐渐衰减。从图5中可以看出,一些台站的实际峰值加速度明显小于理论峰值加速度例如WX(无锡基准站)、JT(金坛基准站)、DF(大丰基准站)等,通过复核发现BL001(无锡梁溪北大街基本站)震中距为29.8 km,台站实际烈度为1.5度,而理论烈度为3.4度,不符合衰减规律;WX(无锡基准站)、JT(金坛基准站)、CS(常熟基准站)、NT(南通基准站)、AQ001(南京秦淮光华路基本站)、YC(盐城基准站)、FUL(阜宁基准站)、GAY(赣榆基准站)则是由于地震信号完全淹没在背景噪声中,信噪比过低造成识别误差,DF(大丰基准站)是由于出现断计。图6给出了烈度速报江苏子系统经过自动筛选后最终实际产出的各台站实际峰值加速度和对应的理论峰值加速度对比。从整体上看,实际峰值加速度随震中距呈现逐渐衰减的趋势,在震中距25~125 km范围,实际峰值加速度和理论峰值加速度在各个台站都较为接近,这在一定程度上证明了烈度速报江苏子系统产出结果的可靠性。在震中距125 km以外,实际峰值加速度整体上略高于理论峰值加速度,这或许是由于f-k方法采用的水平层状分层模型中并未模拟出多次反射波、滑行波等震相的原因,这些震相都可能对实际的峰值加速度造成一定影响<sup>[7]</sup>。

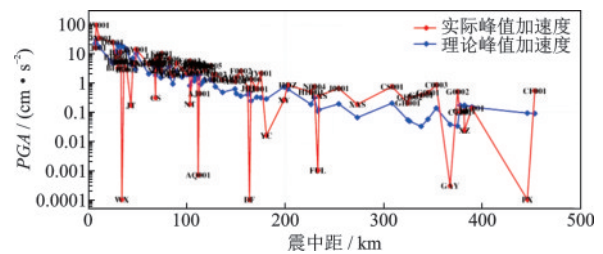


图5 筛选前观测台站实际峰值加速度和理论峰值加速度对比

Fig.5 Comparison of observed and theoretical peak ground motion accelerations before filtering

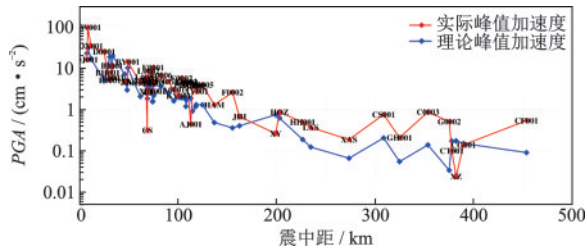


图6 烈度速报江苏子系统实际产生的观测台站实际峰值加速度和理论峰值加速度对比

Fig.6 Final comparison of observed and theoretical peak ground motion accelerations produced by the Jiangsu Earthquake Intensity Rapid Reporting System

表2 用于计算理论地震图的速度模型

Table 2 Velocity model utilized for computing theoretical seismograms

层厚/km	$V_s/(km \cdot s^{-1})$	$V_p/(km \cdot s^{-1})$
5	3.25	5.56
5	3.48	5.94
5	3.53	6.03
5	3.63	6.21
5	3.69	6.34

## 4 结 语

烈度速报江苏子系统在江苏部署运行了一年半时间,对本省内的速报地震均能产出结果,系统共产出烈度速报结果10次。本文以天宁M4.2地震为例,使用fk方法合成各观测台站上的理论地震图,将实际峰值加速度与理论峰值加速度进行比较以评估烈度速报江苏子系统产出结果的可靠性。分析认为台站记录的实际峰值加速度和理论峰值加速度在各个台站都较为接近,快速产出的地震仪器烈度分布图与实际情况较为吻合,一定程度上证明了烈度速报江苏子系统产出结果是可靠的。未来几年,江苏将建设完成包含1 000多个台站的江苏省地震烈度速报与预警工程项目,烈度速报系统必将在江苏防震减灾事业中发挥更大的作用。

## 参考文献:

- [1] 王士成,金星,张红才,等.台网密度对地震烈度速报的影响研究[J].地震工程与工程振动,2017,37(6):162-168.  
Wang S C, Jin X, Zhang H C, et al. Research on the effects of seismic network density for seismic intensity rapid report [J]. Earthquake Engineering and Engineering Dynamics, 2017, 37(6): 162-168. (in Chinese)
- [2] 江苏省地震局.江苏地震志[M].北京:地震出版社,1987.  
Jiangsu Earthquake Agency. Jiangsu Seismic Chronicles [M]. Beijing: Seismological Press, 1987. (in Chinese)
- [3] 何奕成,彭小波,夏文君,等.基于遗传算法的地震烈度衰减参数反演方法及应用[J].地震学报,2020,42(4):435-446.  
He Y C, Peng X B, Xia W J, et al. Inversion method and application of seismic intensity attenuation parameters based on genetic algorithm [J]. Acta Seismologica Sinica, 2020, 42(4): 435-446. (in Chinese)
- [4] Zhu L P, Rivera L A. A note on the dynamic and static displacements from a point source in multilayered media [J]. Geophysical Journal International, 2002, 148(3): 619-627.
- [5] 何奕成,范小平,赵启光,等.郯庐断裂带中南段地壳结构分段特征[J].地球物理学报,2021,64(9):3164-3178.  
He Y C, Fan X P, Zhao Q G, et al. 2021. Segmentation of crustal structure beneath the middle-south segment of Tan-Lu Fault Zone [J]. Chinese Journal of Geophysics, 2021, 64(9): 3164-3178. (in Chinese)
- [6] Cui X, Song X, Xu L, et al. Three dimensional crustal P-wave structure beneath the central south segment of the Tanlu Fault Zone determined by local earthquake travel-time tomography [J]. Terra Nova, 2021, 33(6): 613-620.
- [7] He Y, Li J, Tian W, et al. Characterization of the near-surface shear wave attenuation in the Groningen gas field using borehole recording [J]. Geophysical Journal International, 2021, 226(3): 2057-2072.

(本文编辑:苏泽云)