

DOI:10.13409/j.cnki.jdpme.20240222001

国家地震烈度速报江苏子系统参数测定能力评估*

钱婷, 王俊, 魏梦婉, 何奕成, 杜航, 倪昊琦

(江苏省地震局, 江苏南京 210014)

摘要: 分析了2023年3月以来江苏地震烈度速报与预警系统震源参数测定的可靠性和精度。研究选取2022年3月1日至2023年12月20日期间江苏地区发生的98条 $M_L \geq 2.0$ 地震事件, 对比了新旧两套系统对同一事件的定位结果。结果显示, 震中位置偏差大多数在0.3~12.1 km范围内, 大部分误差属于正常范围。两套系统的震级偏差普遍较小, 只有少数结果因定位台站的数量、钟差、数据噪声和干扰等因素导致偏差较大。此外, 监测能力方面, 新系统的监测能力整体提升 $M_L 0.5$, 二维模拟地震定位测试方法显示定位精度也有所提升, 整体来看, 新系统展现出良好的实效性, 能为地震分析和科学研究提供可靠的数据支持。

关键词: 江苏; 地震烈度速报预警系统; 震级偏差; 震中位置; 定位精度

中图分类号: TU443 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2132(2024)03-0725-05

Evaluation of the Parameter Determination Capability of Jiangsu Subsystem in the National Earthquake Rapid Reporting System

QIAN Ting, WANG Jun, WEI Mengwan, HE Yicheng, DU Hang, NI Haoqi

(Jiangsu Earthquake Agency, Nanjing 210014, China)

Abstract: This article analyzes the reliability and accuracy of the seismic intensity rapid reporting and warning system's source parameter determination in Jiangsu since March 2023. The study selected 98 seismic events with $M_L \geq 2.0$ that occurred in the Jiangsu region from March 1, 2022, to December 20, 2023, and compared the results of the new and old systems for the same events. The results show that the epicenter location deviations are mostly within the range of 0.3-12.1 km, with the majority of errors falling within the normal range. The seismic magnitude deviations of both systems are generally small, with only a few results showing larger deviations due to factors such as the number of locating stations, clock errors, data noise, and interference. Additionally, in terms of monitoring capability, the seismic magnitude monitoring lower limit of the new system decreased overall by $M_L 0.5$. Two-dimensional simulation earthquake location testing methods showed an improvement in positioning accuracy. Overall, the new system demonstrated good practicality and can provide reliable data support for earthquake analysis and scientific research.

* 收稿日期: 2024-02-22; 修回日期: 2024-04-30

基金项目: 地震科技星火项目(XH23015A)、江苏省地震局科技创新团队(202204)、中国地震局监测、预报、科研三结合课题(3JH-202401014)资助

作者简介: 钱婷(1992—), 女, 工程师。主要从事地震监测工作。E-mail: 1115199868@qq.com

通信作者: 王俊(1982—), 男, 研究员, 硕士。主要从事数字地震监测预警技术及背景噪声研究。

E-mail: wangjun1099@qq.com

Keywords: Jiangsu; earthquake intensity rapid reporting and early warning system; magnitude deviation; epicenter location; positioning accuracy

0 引言

江苏测震台网系统由75个数字测震台站组成,其中国家级台站3个,省级区域台站57个,市县级地震台15个。其中井下台站31个,地面台站44个,从中国地震台网中心接收河南、山东、安徽、浙江、上海5个省(市)32个台站的实时波形数据,下文简称旧系统。站网平均台间距约为28 km,苏南、苏北地区台站稍密,苏中沿海地区因松散沉积覆盖层较厚,以井下台站为主,台站也相对稀疏。采用基于台站的实际噪声水平的方法评估了站网的监测能力与定位能力,江苏省测震台网对全省陆地的地震监测能力可达到 $M_L \geq 2.0$,对苏南、苏北局部地区可达到 $M_L \geq 1.5$,对邻省及附近海域地区地震监测能力达到 $M_L \geq 2.5$ 。

江苏地震烈度速报与预警系统是国家地震预警技术系统的重要组成部分,江苏子项目历时近5年,建成了覆盖全省由54个基准站、54个基本站、54个一般站融合构成的综合地震监测站网,下文简称新系统。站网平均台间距约为15 km;具备完备的数据处理能力,实现了地震烈度速报业务化运行,具备远场大震地震预警能力,地震参数与地震动参数速报能力得到进一步加强;实现地震信息“处理-发布-接收”的全链条贯通。在震后3至10分钟,能快速自动产出县城和乡镇的地震烈度,烈度速报结果可直接为政府快速把握灾情分布和重灾区位置提供科学依据,为应急救援决策提供科技支撑服务,有效提高救灾效率。

地震参数速报分系统对实时波形数据进行自动和人工处理,经过震相识别、震相关联、地震定位、震级计算等步骤,实现地震发震时刻、震源位置、震级大小等地震基本参数的自动速报与人工速报;并对宽频带地震波形与近场地震波形进行反演,快速产出地震的矩张量解、震源机制解、断层面解等震源参数以及震源破裂过程,为地震参数速报信息服务提供技术支撑。

地震参数速报分系统技术上采用C/S软件架构,各子系统各模块间实现业务逻辑和数据解耦,构建服务端与交互前端分层的技术架构,具体实现

以Java技术体系为主,服务端遵循JEE7规范,采用EJB3.1实现业务功能;采用WildFly中间件进行软件部署,使得系统易部署和维护;数据库采用mysql57,遵循JPA2.1规范;用户层客户端采用Java Swing实现,通过消息服务与服务端通讯,实时接收并展示服务端产出结果。

江苏参数速报系统于2022年12月部署运行,共接入162个台站,截止2023年12月20日共产出98次 $M_L 2.0$ 以上地震。

地震基本参数测定是地震烈度速报与预警系统的核心功能,为全面评估新系统在参数测定方面效能、精度等,本文从监测能力、定位精度等方面进行了研究。

1 地震监测与定位能力理论分析

采用基于台站的实际噪声水平评估了站网的监测能力与定位能力^[1]。地震监测能力计算设定条件与旧系统一致:大于台站平均背景噪声水平6倍的信号作为台站的最小监测下限、平均4个以上台站能记录到且台网空隙角为 315° 。三类站点融合后的得到监测能力图(图1)。结果显示,江苏省测震台网对全省陆地的地震监测能力大部分地区可达到 $M_L \geq 1.5$,局部可达 $M_L \geq 1.0$,对邻省及附近海域地区地震监测能力达到 $M_L \geq 2.0$ 。我们按照地震行业标准《地震编目规范》(DB/T66-2016)^[2],评估了全网 $M_L 2.0$ 地震在90%的置信区间下的定位精度(图2),可以看出,全省陆地的定位精度基本能达到II类精度,局部能达到I类精度^[3]。

2 新旧系统参数测定偏差统计

新系统在2023年3月1日至12月20日期间共产出98条 $M_L 2.0$ 以上地震信息,为保证结果的准确可靠,新旧系统均采用IASP91模型^[4-5],Hyposat定位方法^[6]来进行定位。其中, $M_L 2.0 \sim M_L 2.9$ 地震84个, $M_L 3.0 \sim M_L 3.9$ 地震12个, $M_L 4.0 \sim M_L 4.9$ 地震2个,震级最大的地震事件为2023年12月7日江苏省连云港市赣榆区海域 $M_L 4.5$ 地震。

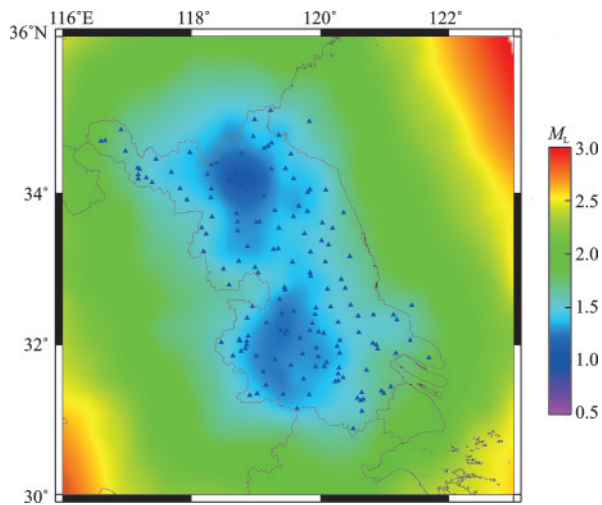


图1 江苏地震预警网地震监测能力图

Fig.1 Seismic Monitoring Capability Chart of Jiangsu Earthquake Early Warning Network

注:蓝色三角形代表江苏预警网监测站点

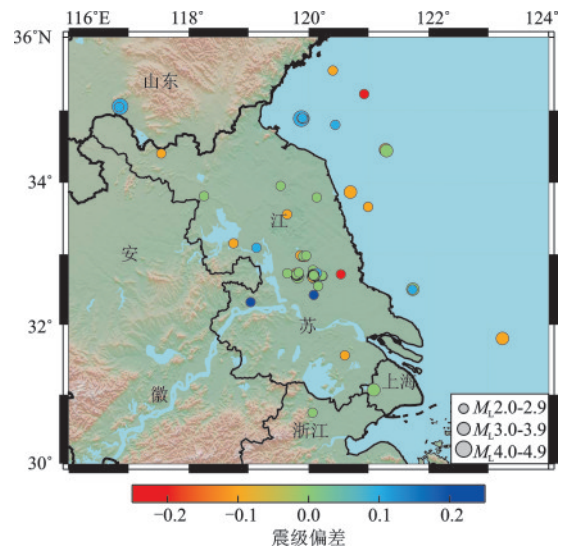


图3 Msdp6.2系统和Msdp5.2系统震级偏差

Fig.3 Magnitude Deviation between Msdp6.2 System and Msdp5.2 System

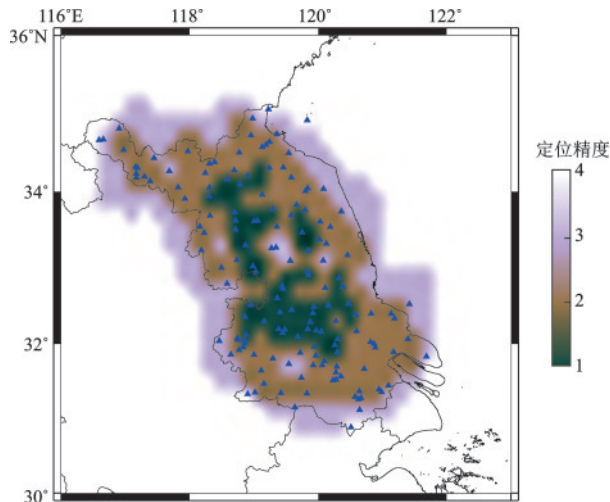


图2 江苏地震预警网 $M_L 2.0$ 以上地震定位精度图

Fig.2 Seismic Location Accuracy Chart for Earthquakes $M_L 2.0$ and Above in Jiangsu Earthquake Early Warning Network

注:三角形代表江苏预警网监测站点

2.1 震级偏差

通过对比新旧两套系统的定位结果(图3),我们发现98个地震的震级差为 $-0.2 \sim 0.2$ 级,按现行地震速报有关规定,震级 ± 0.3 级偏差属于正常误差范围内^[7]。新旧系统的震级偏差整体较小(图4)。对于个别偏差较大的地震,我们发现其主要原因包括:新旧系统参与定位的台站不同,旧系统在计算震级时包括了本省流动台数据和省外台站的数据,新系统在震相上会进行自动微调。

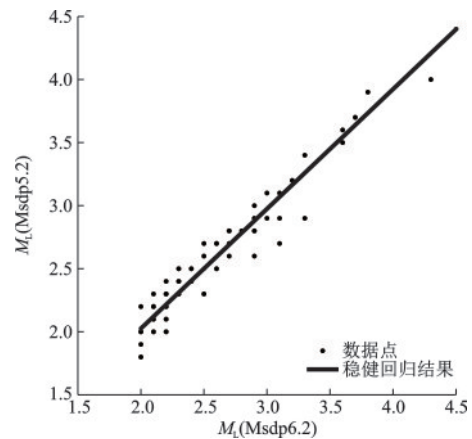


图4 Msdp6.2和Msdp 5.2震级关系

Fig.4 Magnitude Relationship Chart between Msdp6.2 and Msdp 5.2

2.2 震中位置偏差

将新旧两套系统的地震定位结果进行对比,通过比较新旧两套系统的震中偏差(图5),对数据产出结果的精度和适用性进行分析,初探新系统实效性。按现行地震速报有关规定,震中位置差在5 km范围内,属于正常误差范围。以Msdp6.2系统定位结果为准,求解98个地震定位结果的震中位置偏差。震中偏差为 $0.3 \sim 12.1$ km;震中位置偏差在 $0 \sim 3$ km的有49个,占比50%;震中位置偏差在 $3 \sim 5$ km的有29个,占比29.59%;震中位置偏差在5 km以上的有20个,占比20.41%。由此可知,新旧系统的定位结果整体接近,新系统定位结果震中位置较

好,少数结果偏差较大。震中位置偏差最大的地震是2023年9月7日9时9分江苏省盐城市滨海县 M_L 2.0地震,震中位置偏差为12.1 km,核查发现引起震中位置偏差较大的主要原因是:新系统参与地震定位的台站不同,旧系统接入了省外台站波形数据和流动台数据,本次地震 Msdp5.2 系统中有2个山东的台站参与定位。

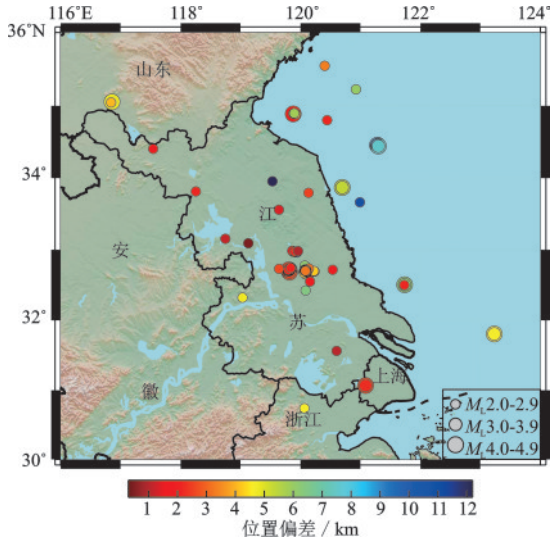


图5 Msdp6.2系统和Msdp5.2系统位置偏差

Fig.5 Position Deviation of Msdp6.2 System and Msdp5.2 System

2.3 新系统台站布局对震中测定误差的改善

为了评估台站覆盖范围对定位精度的影响,我们采用了二维模拟地震定位测试的方法对定位结果的精度进行了评估,该方法是YavorKamer^[8]在研究加利福尼亚州的地震空间b值时提出的,这一方法首先计算所有站点的真实P波到达时间(假设 $V_p=6$ km/s),然后使用高斯分布拾取时间误差($\sigma=1$ s)来扰动这些到时。通过对每个台站的扰动P波到时进行拾取,我们得到了描绘理论震中的双曲线,以100 m的分辨率离散网格,并将双曲线转换为离散的概率质量分布,然后逐个元素相乘以此计算事件位置的联合概率(图6)。

2023年4月24日江苏江都 M_L 3.3地震加入新建预警站点后,水平向(东西向)、竖向(南北向)误差分别由-0.60、0.32 km,减少至-0.47、-0.15 km。

2023年12月5日如东海域 M_L 3.2地震加入新建预警站点后,水平向(东西向)、竖向(南北向)误差分别由-10.22、-16.50 km,减小至-0.89、0.60 km。

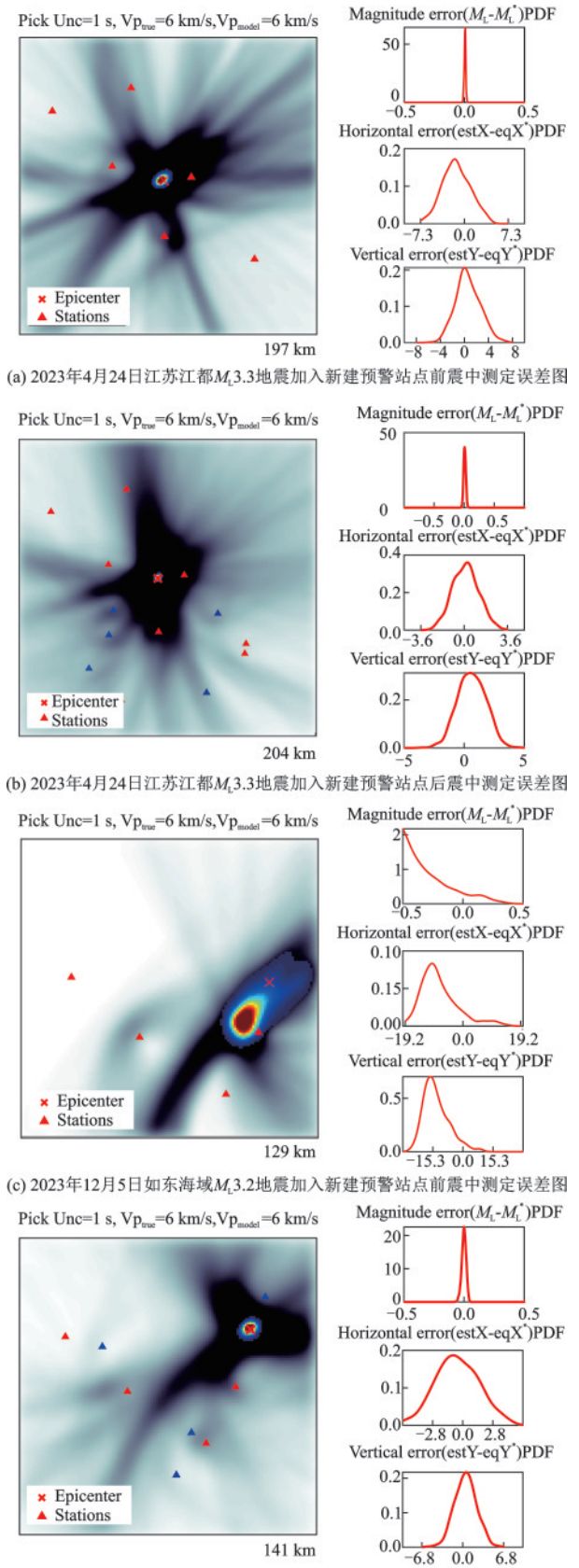


图6 定位精度理论评估

Fig.6 Theoretical Assessment Chart of Positioning Accuracy

注:红色三角形为原测震台站,蓝色三角形为预警台站

3 结 语

江苏地震预警台网目前共接入国家预警工程江苏子项目建设的162个站点,其中包含基准站54个、基本站54个、一般站54个,邻省共享站点350个,全部接入数据流参与新参数速报系统工作。全网监测能力整体提升 $M_L 0.5$,大部分地区可至 $M_L \geq 1.5$,局部可达 $M_L \geq 1.0$,对邻省及附近海域地区地震监测能力达到 $M_L \geq 2.0$,全省陆地的定位精度基本能达到II类精度,局部能达到I类精度。根据Msdp6.2编目数据库记录统计,两套系统的震中位置偏差主要集中在0.3~12.1 km范围内,大部分结果偏差较小,属于正常误差范围。此外,两套系统的震级偏差也较小,大多数地震的震级偏差在正常误差范围内,个别结果偏差较大的原因是参与定位台站的数量等因素的影响。通过二维模拟地震定位测试方法对两次地震定位结果的精度进行评估,水平向和竖向的误差均有一定程度的减少。总体来说,新系统的实效性较好,能为地震分析和科学研究提供可靠的数据支持。

参考文献:

- [1] 王俊,徐戈,孙业君,等.江苏省区域地表背景噪声特性的分析[J].地震研究,2009,32(2):155-161,222.
Wang J, Xu G, Sun Y J, et al. Analysis on background of seismic noise characteristics in Jiangsu province [J].

- Journal of Seismological Research, 2009, 32(2): 155-161, 222. (in Chinese)
- [2] 地震编目规范:DB/T 66—2016[S].北京:地震出版社,2017.
- [3] 金星.地震预警与烈度速报—理论与实践[M].北京:科学出版社,2021.
Jin X. Earthquake early warning and Intensity rapid reporting—science press, with theoretical practice [M]. Beijing: Science Press, 2021. (in Chinese)
- [4] Kennett, Brian L N, Eric R E. Traveltimes for global earthquake location and phase identification [J]. Geophysical Journal International, 1991, 105: 429-465.
- [5] Snoko J A. Traveltime tables for iasp91 and ak135 [J]. Seismological Research Letters, 2009, 80(2): 260-262.
- [6] Schweitzer J. HYPOSAT - An enhanced routine to locate seismic events [J]. Pure and Applied Geophysics, 2001, 158: 277-289.
- [7] 何奕成,秦磊,立凯,等.连云港地震台面波震级偏差分析[J].地震地磁观测与研究,2016,37(6): 38-42.
He Y C, Qin L, Li K, et al. Analysis of surface wave magnitude deviation at Lianyungang seismic station [J]. Seismic and Geomagnetic Observation and Research, 2016, 37(6): 38-42. (in Chinese)
- [8] Kameyama Y, Hiemer S. Data-driven spatial b value estimation with applications to California seismicity: To b or not to b [J]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2015, 120(7): 5191-5214.

(本文编辑:苏泽云)