

许可,郭巍,谭毅培,等. 2025. 天津地震预警数据处理系统现状分析[J]. 地震研究, 48(3): 432–439, doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2025.0045.

Xu K, Guo W, Tan Y P, et al. 2025. Assessment of the data processing systems of the Tianjin earthquake early warning system[J]. *Journal of Seismological Research*, 48(3): 432–439, doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2025.0045.

天津地震预警数据处理系统现状分析*

许可, 郭巍, 谭毅培, 高也, 马婷, 白云鹏

(天津市地震局, 天津 300201)

摘要: 为检验天津地震预警系统的可靠性, 基于2021年6月15日至2023年12月31日天津地震预警数据处理系统的JEEW和EEW产出的数据, 从事件匹配率、预警时效性、首报震级偏差、首报震中偏差等方面, 与京津冀地区94次地震事件的正式速报结果进行对比分析。结果表明: JEEW系统首报用时3.8~7.0 s, 首报震级偏差0.1~0.7级, 首报震中偏差0.6~2.6 km; EEW系统首报用时3.4~7.0 s, 首报震级偏差0.0~0.8级, 首报震中偏差0.6~2.6 km。综上认为, 对于中国地震台网产出的京津冀地区3.0级以上正式速报的地震, 天津地震预警系统可产出时效性较强、定位精度较高的结果。

关键词: 地震预警; 数据处理系统; JEEW系统; EEW系统

中图分类号: P315-39 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0666(2025)03-0432-08

doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000-0666.2025.0045

0 引言

地震预警是目前世界上公认的减轻地震灾害的有效手段之一, 其基本原理是利用电磁波传播速度远大于地震动传播速度的特性, 在破坏性地震波(S波、面波等)到达之前, 向可能发生地震破坏的地区提前发出地震警报。利用地震预警系统提供的几秒至几十秒的预警时间, 公众可以逃生, 重大基础设施以及生命线工程可以实施紧急处置, 从而避免地震时次生灾害的发生, 达到最终减轻地震灾害的目的(张红才等, 2011, 2012)。

日本、美国、墨西哥等国家和中国台湾等地区的地震预警事业发展较早, 目前已取得了较好的地震预警实效。日本是世界上最早将Cooper地震预警构想(Cooper, 1868)付诸现实并应用于灾害防御的国家, 也是目前地震预警应用最广泛、

取得减灾实效最明显的国家。在20世纪50年代后期, 日本开始有关地震预警的研究和系统的建设; 在60~70年代, 将UrEDAS系统(Nakamura, 2004)应用于日本铁路行业; 2003年开始研究建设全国性地震预警系统紧急地震速报系统(Kamigaichi, 2004), 并于2007年10月1日起向普通民众发布预警信息。美国自1994年开始研究地震预警技术, 2009年8月美国地质调查局(USGS)完成了为期3年的地震预警系统研究项目, 随后建设完成了地震预警系统ShakeAlert; 2019年开始, 洛杉矶市政府基于该系统面向市民提供地震预警信息服务(金星, 2021)。1991年, 墨西哥建成地震预警系统SAS(Espinosa-Aranda et al, 1995), 该系统主要针对格雷罗沿海地区进行地震预警, 并向公众发布预警信息(杨陈, 2018)。中国台湾地区第一次地震预警实验始于1994年, 2015年启动地震预警信息发布工作, 气象局直接向地方政府

* 收稿日期: 2024-06-13.

基金项目: 天津市巨灾防范工程(JZFF-1-1, JZFF-1-3); 天津市地震局局内科研项目(Zd202301, Zd202501); 监测预警任务(CEA-JCYJ-202501001).

第一作者简介: 许可(1982-), 高级工程师, 主要从事测震、预警台网等技术系统运行管理以及数字地震学研究.
E-mail: rbbgrace@163.com.

部门、公共设施与学校发布预警信息(马强, 2008; 金星, 2021)。

我国地震预警相关研究及建设工作起步较晚, 2017年国家地震烈度速报与预警工程经国务院批复立项, 并于2018年正式启动。天津市经过背景场探测工程项目、烈度计示范区项目的建设以及国家地震烈度速报与预警工程天津子项目的不断完善与改进, 建成了由34个基准站、89个基本站和80个一般站构成的天津地震预警观测台网, 并作为国家地震烈度速报与预警工程首批“先行先试”单位, 于2021年6月在全国示范运行。目前, 天津地震预警系统已完成项目验收, 并进入正式运行阶段。本文利用2021—2023年天津地震预警系统产出的数据进行系统性分析, 包括所有产出事件与地震的匹配度、 $M \geq 2.5$ 地震产出结果的准确度、震级和震中位置偏差以及产出用时等, 来检验该系统的可靠性。

1 天津地震预警观测台网概况

天津市地震局最初于2015年启动实施天津烈度计示范项目, 2018年完成项目验收。该项目在天津地区新建80个烈度计观测点, 烈度计全部采用壁挂安装, 与天津行政区内具备实时传输能力的测震台站和强震动台站共同组建天津地震预警观测网络(许可等, 2019)。国家地震烈度速报与预警工程天津子项目完成后, 天津地震预警系统实时汇集了京津冀地区基准站(只接入强震仪通道)、基本站(强震仪)和一般站(烈度计)共3类1653个台站, 其中北京市199个、天津市203个、河北省1251个, 组成了一个东西孔径约558.66 km、南北孔径约648.46 km、平均台间距约9.27 km、每天可产出海量原始观测数据的地震预警观测台网(王建国等, 2009), 台站分布如图1所示。

预警观测台网内所使用的强震仪的传感器有TDA-33M、JS-A2、SLJ-100, 前2个传感器对应的数据采集器均为EDAs-24GN、TD-324CI/FI, SLJ-100对应的为REFTEK-REN数据采集器。烈度计主要有GL-P2B、MI3000、GZ-GN4、PALERT Advance、TMA-33、VH-GL-LDY等, 所有台站均采用实时传输模式, 采样率为100 sps,

加速度计采用GNSS授时, 烈度计采用NTP授时。为缩短实时数据延时, 采用新的数据流模块HTTP数据传输协议, 以256字节打包模式代替过去的512字节打包模式(王莉婵等, 2020)。

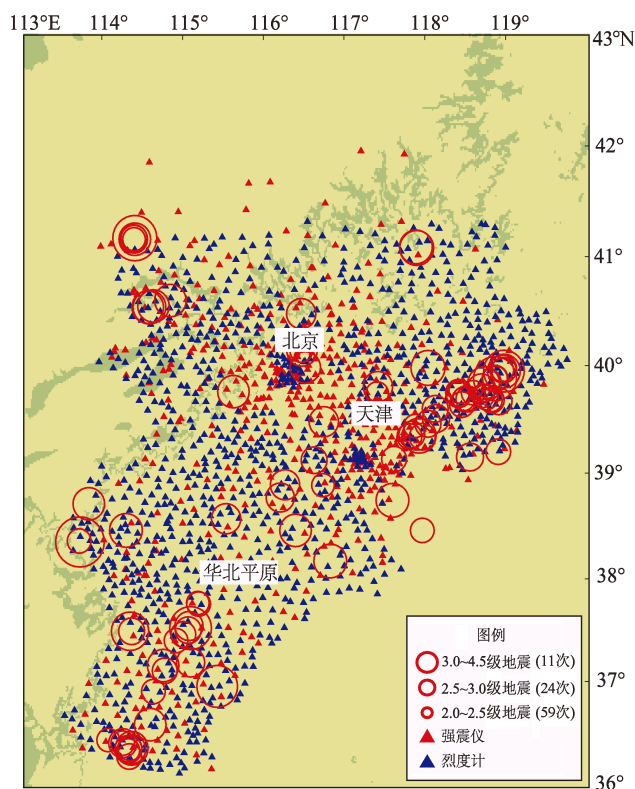


图1 天津地震预警观测台网台站及京津冀地区正式速报地震分布

Fig. 1 Distribution of the Tianjin Earthquake Early Warning Network and official quick report of the earthquakes in Beijing, Tianjin and Hebei

依据天津地震预警系统接入台站的点位, 按 $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ 对台网监测空间进行网格划分, 分别计算天津地震预警观测台网的理论预警首报用时、理论最小震级以及局部台间距分布, 如图2所示。计算得到台网内所有区域的理论预警首报平均用时为5.8 s, 平均台间距为14 km, 理论预警最小震级为 $M_L 2.7$ ($M 2.0$)。台间距为10 km的大部分地区, 预警时效可达到5.0 s; 京津冀地区有55%的区域, 可监测到的理论预警最小震级为 $M_L 2.9$ ($M 2.2$), 主要分布在北京市、天津市、河北唐山市、河北张家口市、河北邢台市等地区; 台间距大于20 km、预警时效大于10 s的区域主要分布在河北省北部, 该区域台站分布较为稀疏(图2c)。

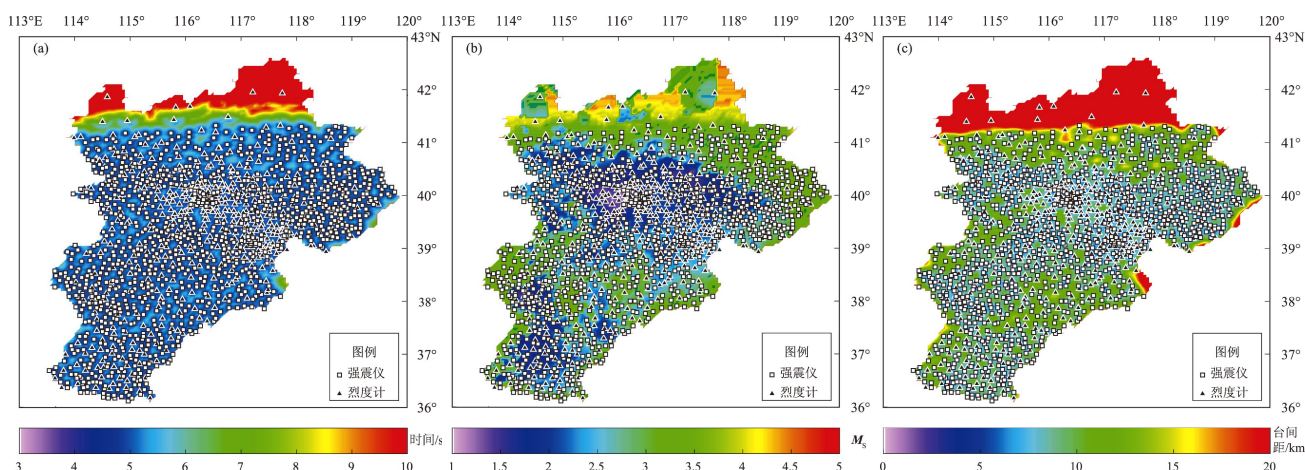


图2 天津地震预警网的理论预警首报用时 (a)、理论预警最小震级 (b) 及局部台间距 (c) 分布

Fig. 2 Distribution of the theoretical time of first warning (a), distribution of theoretical minimum magnitudes (b) and distribution of regional distance of sub-stations (c) of the Tianjin Earthquake Early Warning Network

2 数据资料选取

地震预警工作的本质和目的是为了减轻地震灾害, 预警系统主要针对中强地震来确定数据处理中采用的计算模型、设计的判定条件和软件开发架构, 以及地震预警观测台网的设计和建设。台网中的强震仪和烈度计在处理微小地震方面存在较多的问题, 受限于观测数据的质量, 地震预警系统在处理小震、微震方面也存在一定的局限。京津冀地区较少发生 $M \geq 4.0$ 地震。根据中国地震台网中心要求, 北京、天津、河北地区对外地震速报的震级下限分别为 $M1.5$ 、 $M2.0$ 、 $M2.0$ 。根据经验关系, 速报地震 $M2.0$ 与预警震级相差 $M0.7$ 。因此, 为保障公众信息的透明度和准确度, 避免漏报地震, 天津地震预警数据处理系统产出震级下限为 $M2.5$ 。

天津地震预警数据处理系统由国家地震烈度速报与预警工程统一定制开发的预警处理软件系统 Jopens Earthquake Early Warning (JEEW) 和 Earthquake Early Warning (EEW) 组成, 2 个系统相对独立, 同时接收京津冀基准站、基本站、一般站的实时数据进行处理。其中 JEEW 系统主要产出和报送预警区域内 $M \geq 2.5$ 且有 5 个台站触发的地震事件结果, EEW 系统主要产出和报送预警区域内 $M \geq 3.0$ 且有 3 个台站触发的地震事件结果, 以上震级均为

预警系统产出结果。2021 年 6 月 15 日至 2023 年 12 月 31 日, 中国地震台网中心在京津冀地区共产出正式速报地震 94 次 (去除京津冀地区地震预警台网外地震事件、非天然地震事件以及无正式速报结果地震事件), 其中 3.0~4.5 级地震 11 次, 2.5~3.0 级地震 24 次, 2.0~2.5 级地震 59 次 (图 1)。本文针对这 94 次地震事件的正式速报目录, 对天津地震预警数据处理系统的处理结果进行讨论 (王建国等, 2021)。

3 预警系统产出结果分析

以中国地震台网中心正式速报结果为标准, 从预警时效性、首报震级偏差、首报震中偏差等方面, 对京津冀地区各个预警事件的首报结果进行分析与研究。《防震减灾术语第 1 部分基本术语》(GB/T 18207.1—2008) 规定: $M < 1$, 为极微震; $1 \leq M < 3$ 的地震, 为微震; $3 \leq M < 5$ 的地震为小地震; $5 \leq M < 7$ 的地震, 为中等地震。本文按此标准划分地震。

3.1 JEEW 系统

JEEW 系统触发定位的地震事件与京津冀地区正式速报的地震事件 (94 次) 匹配成功的有 68 次 (没达到产出发布条件的地震, 认为没有匹配), 匹配成功率达到 72.3%, 匹配结果见表 1。从表 1 可见, 随着震级上升, JEEW 系统的匹配率也在提升,

表1 JEEW 系统和 EEW 系统对不同震级范围地震的首报信息

Tab. 1 Information of the first report of earthquakes in different ranges produced by JEEW system and EEW system

预警处理 软件系统	正式速报震级	地震次数	匹配数	匹配率	首报平均 震级偏差	首报平均震中 偏差/km	首报平均 用时/s
JEEW 系统	$2.0 \leq M \leq 2.5$	59	35	59.3%	0.8	2.7	6.2
	$2.5 < M < 3.0$	24	22	91.7%	0.5	2.6	6.2
	$M \geq 3.0$	11	11	100.0%	0.5	1.7	5.0
合计		94	68	72.3%	0.7	2.5	6.0
EEW 系统	$2.0 \leq M \leq 2.5$	59	12	20.3%	0.7	11.3	19.6
	$2.5 < M < 3.0$	24	10	41.7%	0.3	3.1	7.6
	$M \geq 3.0$	11	8	72.7%	0.4	1.8	5.0
合计		94	30	31.9%	0.5	6.0	11.7

首报用时缩短，首报地震定位精度提升，整体上匹配较好。JEEW 系统匹配的事件中，首报用时最长为 9.4 s，最短为 3.8 s，平均用时为 6.0 s，首报用时在 7.0 s 以内的事件有 60 次，占匹配地震事件的 88.2%。

3.1.1 首报用时

考虑实际用时与理论用时的差异性，本文以正式速报震级 3.0 级以及 JEEW 系统首报用时 7.0 s 进行划分研究。对于 3.0 级以下的地震，JEEW 系统首报用时集中在 7.0 s 以内的有 50 次地震（图 3a-1），基本符合理论预警首报用时（图 2a），说明即使地震震级较小，对于仪器信噪比较好的地区，JEEW 系统也会有较高的预警时效性。

对于首报用时超过 7.0 s 的 7 次地震，虽然在震中附近位置的预警时间为 5.0~6.0 s，局部台间距为 10 km 左右，且符合理论预警最小震级，但超出了理论预警首报用时。分析其原因主要有：① 台站分布不均匀（支明等，2023）。如 2023 年 7 月 31 日河北张北 2.8 级地震震中附近地区南部和东部台站密集，北部和西部台站稀疏，震中距较近的台站偏向一侧，台站间的最大空隙角偏大，JEEW 系统定位时震中附近台站稀疏，无近台可以选择，导致预警时效性降低。② 震中附近地区的台站信噪比偏低。地震波的衰减特性与地质构造密切相关，因此不同的地质构造会导致产生仪器的信噪比偏差。如在 2021 年 8 月 12 日河北滦州 2.2 级、2022 年 8 月 2 日北京怀柔 2.6 级等地震发生时，由于 JEEW 系统定位计算时，震中附近地区的台站未达到信噪比阈值，而相对震中位置远一些的台站达到了信噪比的阈值。③ 模块算法。

JEEW 系统定位算法在部分微震事件中存在不确定性。如 2023 年 1 月 24 日河北磁县 2.5 级地震发生后，虽然参与预警联合定位的台站分布均匀，但 JEEW 系统持续计算直至增加到 17 个台站时，才发布出第一报。对于 3.0 级以上地震，有 10 次地震的首报用时小于 7.0 s，仅有 2021 年 6 月 22 日河北张北 3.9 级地震（网缘地震）的首报用时为 7.4 s，这是由震中周边地区台站分布不均导致的。总体上，JEEW 系统首报时效性较好，对于小地震的定位，呈现出随着震级的上升，首报时效性增强的趋势。

3.1.2 首报震中偏差

首报震中偏差的统计分析结果（图 3a-2）表明，JEEW 系统匹配的事件中，首报最大震中偏差为 8.8 km，最小震中偏差为 0.2 km，平均震中偏差为 2.5 km。中国地震局测震学科技术管理组制定的《省级测震台网地震速报评比标准（2016 版）》（张会苑，杨晶琼，2020）规定，1 类地区（北京市、天津市、河北省行政区）速报地震的震中偏差在 10 km 以内，因此本文结果符合标准，表明 JEEW 系统的地震定位精度较高。以正式速报震级 3.0 级以及首报震中偏差 5.0 km 进行划分，对于 3.0 级以下的地震，17.5% 地震的首报震中偏差大于 5.0 km，说明 JEEW 系统对于微震事件的定位精度不稳定。对于 3.0 级以上地震，JEEW 系统首报震中偏差均小于 3.0 km，达到了 1 类地区震中偏差要求的 1/3，定位精度更高。总体上，JEEW 系统首报地震定位精度较高，但对微震的定位精度不稳定，对于小地震的定位，呈现出随着震级的上升，首报定位精度提升的趋势。

3.1.3 首报震级及震级偏差

采用一阶线性拟合方法对正式速报震级与 JEEW 系统首报震级进行拟合, 得到 $y = 1.6906x + 1.481$, 其中 x 为正式速报震级; y 为 JEEW 预警系统首报震级, 如图 3a-3 所示。这说明正式速报震级与 JEEW 系统首报震级为一阶线性关系。首报震级偏差的统计分析结果 (图 3a-4) 表明, JEEW 系统匹配的事件中, 首报最大震级偏差为 1.8 级, 最小震级偏差为 0.0 级, 平均震级偏差为 0.7 级; 首报震级偏差在 0.7 级以内的事件有 42 次, 占匹配地震事件的 61.8%, 首报震级偏差

大于 0.7 级的事件有 26 次, 占匹配地震事件的 38.2%。首报震级偏差最大的是 2021 年 7 月 2 日河北滦州 2.0 级地震, 震级偏大了 1.8 级。以正式速报震级 3.0 级以及 JEEW 系统首报震级偏差 1.0 级进行划分, 对于 3.0 级以下地震, JEEW 系统首报震级偏差主要集中在 0.0 ~ 1.0 级; 对于 3.0 级以上地震, JEEW 系统首报震级偏差主要集中在 0.7 级以内, 首报震级偏差相对于微震略小 (3a-4)。总体上, JEEW 系统对微震的首报震级偏差偏大, 但随着震级的增大, 首报震级偏差整体上呈现出减小的趋势。

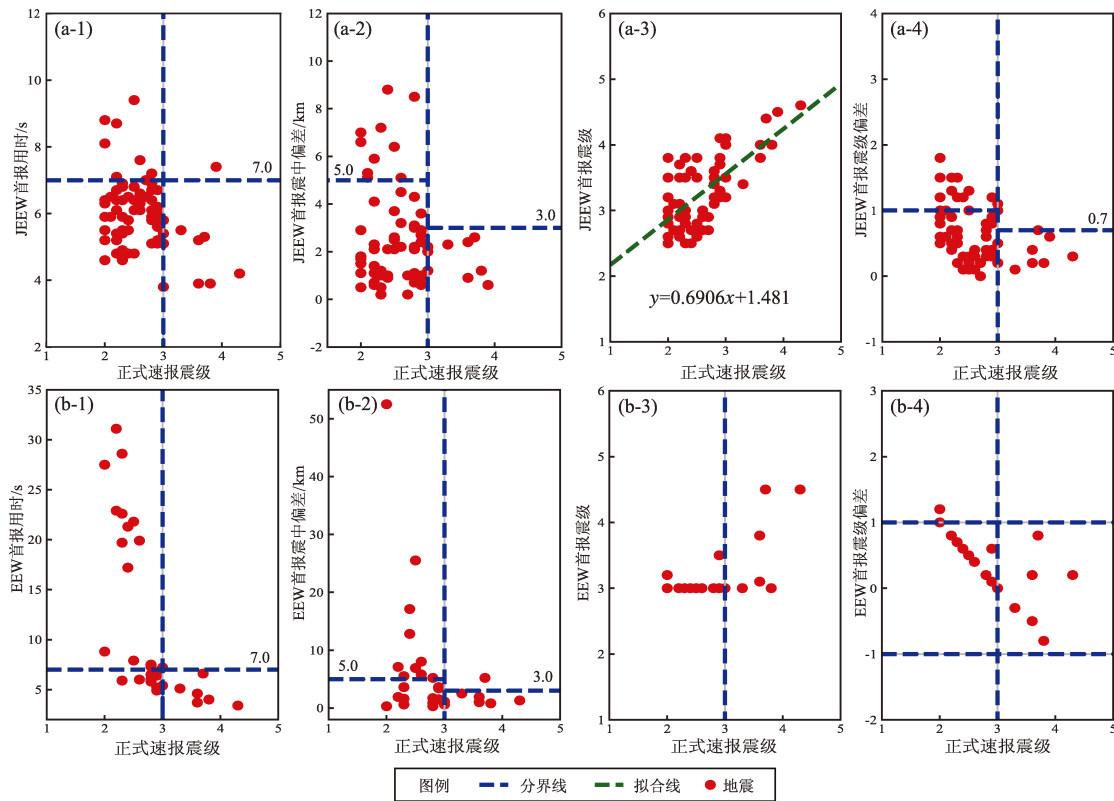


图 3 JEEW 系统 (a) 和 EEW 系统 (b) 首报用时、震中偏差、震级及震级偏差分布

Fig. 3 JEEW system's (a) and EEW system's (b) first report time, epicenter errors, magnitudes and magnitude errors

3.2 EEW 系统

EEW 系统触发定位的地震事件中与正式速报地震事件匹配成功的有 30 次, 匹配成功率为 31.9%, 结果见表 2。从表 2 可见, EEW 系统在处理小震时匹配率不高, 随着震级增大, EEW 系统的匹配率升高, 首报用时缩短, 首报地震定位精度提高。EEW 系统匹配的事件中, 首报用时最长为 31.1 s、最短为 3.4 s、平均用时为 11.7 s, 首

报用时在 7.0 s 以内的事件共 15 次, 占匹配地震事件的 50.0%。

3.2.1 首报用时

以正式速报震级 3.0 级以及 EEW 系统首报用时 7.0 s 进行划分, 对于 3.0 级以下的地震, EEW 系统首报用时主要集中在 7.0 s 内 (图 3b-1), 基本符合理论预警首报用时, 说明虽然地震震级较小, 但是 EEW 系统对于仪器信噪比较好的地区,

也会有较高的预警时效性。

首报用时超过 7.0 s 的共有 15 次地震, 虽然在震中附近地区可达 5.0 ~ 6.0 s, 局部台间距在 10 km 左右, 且符合理论预警最小震级, 但未达到其理论预警首报用时的要求。其原因主要为: ①台站分布不均匀。②震中附近的台站信噪比偏低。一是地质构造差异造成仪器的信噪比偏差; 二是不同类型的传感器记录地震的能力不同, 强震仪高于烈度计, 而仪器触发的信噪比是确定的, 只有使两类传感器的信噪比都达到阈值, 才能联合定位测定震级。如 2022 年 5 月 8 日河北怀安 2.8 级地震、2022 年 3 月 6 日河北文安 2.6 级地震, 由于京津冀地震预警观测台网内, 烈度计是预警系统的重要组成部分, 且其台站密度最大, 因此, 距离震中较近的往往都是烈度计台站, 强震台站极少。而上述地震由于震级小, 导致震中附近的烈度计台站无法达到信噪比触发阈值, 而随着地震波能量的释放和衰减, 距离震中较远的强震台却达到了信噪比触发阈值。③模块算法, 即 EEW 系统发布条件是三台三级发布, 在部分微震、小震事件的应用中存在限制。如 2022 年 2 月 24 日河北丰南 3.0 级地震、2022 年 2 月 7 日河北昌黎 2.0 级地震震级较小, 在最初近台定位时, 未达到指定的发布条件, 随着 EEW 系统持续定位计算, 当计算结果达到指定的发布阈值时才发布预警信息。对于 3.0 级以上地震, EEW 系统首报用时都在 7.0 s 内 (图 3b-1), 符合理论预警首报用时。总体上, EEW 系统在处理微震时极不稳定, 对于小震预警时效性较好, 并呈现出随着震级的上升, 时效性逐渐增强的趋势。

3.2.2 首报震中偏差

首报震中偏差统计分析结果 (图 3b-2) 表明, 与正式速报地震相比, EEW 系统匹配的事件中, 首报最大震中偏差为 52.5 km, 最小震中偏差为 0.3 km, 平均震中偏差为 6.0 km, 首报震中偏差主要集中在 10.0 km 以内, 占匹配地震事件的 86.7%, 符合标准, 表明 EEW 系统地震定位精度较高。以正式速报震级 3.0 级以及首报震中偏差 5.0 km 进行划分, 对于 3.0 级以下的地震, EEW 系统的首报震中偏差主要集中在 5.0 km 以内, 占比为 54.5%; 另一部分 EEW 系统首报震中偏差在 5.0 km 以上, 占比为 45.5%, 其中首报震中偏差

最大的是 2021 年 8 月 18 日天津静海 2.0 级地震 (52.5 km), 然后依次是 2022 年 8 月 11 日河北磁县 2.5 级地震 (25.5 km)、2023 年 1 月 23 日河北曹妃甸海域 2.4 级地震 (17.1 km)、2022 年 8 月 25 日河北磁县 2.4 级地震 (12.8 km)。这些地震震级较小且都发生在信噪比较低的区域, 说明 EEW 系统采用的定位方法, 在处理仪器信噪比较低区域的地震或部分微震事件时, 识别效果不佳 (李晔等, 2021), 定位不稳定。对于 3.0 级以上地震, EEW 系统首报震中偏差主要集中在 3.0 km 内, 占比为 87.5%, 定位精度较高 (图 3b-2)。总体上, EEW 系统首报定位精度较高, 但对微震的首报定位精度不稳定, 对于小震的定位, 整体上呈现出随着震级的上升, 首报定位精度上升的趋势。

3.2.3 首报震级及震级偏差

从图 3b-3 可见, EEW 系统对微震的首报震级结果普遍偏大, 对小震的首报震级变化规律不明显。EEW 系统首报震级偏差的统计分析结果 (图 3b-4) 表明, 与正式速报地震相比, EEW 系统匹配的事件中, 首报最大震级偏差为 1.2 级, 最小震级偏差为 0.0 级, 平均震级偏差为 0.5 级, 首报震级偏差在 0.7 级以内的事件有 25 次, 占匹配地震事件的 83.3%, 首报震级偏差大于 0.7 的事件有 5 次, 占匹配地震事件的 16.7%, 首报震级偏差最大的是 2021 年 8 月 18 日天津静海 2.0 级地震, 首报震级偏大了 1.2 级。以正式速报震级 3.0 级以及 EEW 系统首报震级偏差 1.0 级进行划分, 对于 3.0 级以下地震, EEW 系统首报震级偏差主要集中在 0.0 ~ 1.0 级, 且呈现随着震级的增大, 首报震级偏差逐渐减小的趋势; 对于 3.0 级以上地震, EEW 系统首报震级偏差主要分布在 -1.0 ~ 1.0 级。

4 结论

本文利用 2021 年 6 月 15 日至 2023 年 12 月 31 日中国地震台网中心产出的京津冀地区 94 次地震事件的正式速报地震目录, 与天津地震预警数据产出系统的处理结果进行对比分析, 主要得到以下结论:

(1) JEEW 系统与正式速报结果的匹配率高于 EEW 系统, 在处理小震时, 2 个系统的匹配率相

差不多,但在处理微震时 JEEW 系统匹配率明显优于 EEW 系统,随着震级的增大,2 个系统的匹配率都呈上升趋势。

(2) 对于 3.0 级以下地震, JEEW 系统的首报用时相对较长,主要由台站分布不均匀、台站数据信噪比及 JEEW 和 EEW 系统本身的算法的差异所导致; JEEW 系统时效性优于 EEW 系统,且稳定性更好。对于 3.0 级以上地震,2 个系统时效性均较好,且均呈现出随着震级的增大,时效性增强的趋势。

(3) 对于 3.0 级以下地震, JEEW 系统首报的定位精度优于 EEW 系统,但二者均表现出一定的不稳定性;对于 3.0 级以上地震,2 个系统首报定位精度均较高,达到并高于 1 类地区震中偏差要求,且均呈现出随着震级的增大,首报定位精度上升的趋势。

(4) JEEW 和 EEW 系统的首报平均震级偏差分别为 0.7 级、0.5 级。JEEW 系统表现出首报震级偏大的特征,且随着震级增大,首报震级偏差逐渐减小; EEW 系统对微震的首报震级偏大,且随着震级的增大,震级偏差逐渐减小,对于小震的首报震级变化规律不明显。

(5) 对于京津冀地区 3.0 级以上地震事件,2 个系统的首报处理结果时效性强,定位结果稳定,可得到较好的预警结果;对于 3.0 级以下地震,2 个系统都无法全部满足预警需求,其主要原因为地震震级较小导致地震记录的信噪比偏小,并且台站分布不均匀。未来可采取以下措施提高预警效果:一是根据需要增加适量的速度计台站,提高预警系统对于小地震的数据处理能力。二是改进预警定位算法。在预警定位时,如何既能很好地压制残差较大的台站到时,又能充分利用近台的震相,这是预警系统下一步改进定位算法的关键工作之一。三是台站的数据质量对预警系统也至关重要,台站的数据质量包括台站的连续性,时间的准确性,观测系统延时等。

本文的研究时段内,发生的小地震事件较少,且无中等地震发生。因此,尚需更多的震例对系统进行总结分析,为今后京津冀地区的地震预警工作提供借鉴,也为地震预警和烈度速报在京津冀地区的持续发展奠定重要的科学基础。

感谢福建省地震局林彬华高级工程师提供的地震监测与预警能力评估软件。

参考文献:

- 金星. 2021. 地震预警与烈度速报——理论与实践[M]. 北京: 科学出版社.
- Jin X. 2021. Earthquake early warning and rapid intensity reporting - theory and practice[M]. Beijing: Science Press. (in Chinese)
- 李晔, 郭巍, 高也, 等. 2021. 3·21 响水爆炸的地震学分析及谱比法研究[J]. 地震科学进展, 51(5): 215-222.
- Li Y, Guo W, Gao Y, et al. 2021. Seismic analysis and amplitude-style spectrum ratio study of the 21 March blast at Xiangshui[J]. Progress in Earthquake Sciences, 51(5): 215-222. (in Chinese)
- 马强. 2008. 地震预警技术研究及应用[D]. 哈尔滨: 中国地震局工程力学研究所.
- Ma Q. 2008. Study and application on earthquake early warning[D]. Harbin: Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration. (in Chinese)
- 王建国, 栗连弟, 崔晓峰, 等. 2009. 数字化地震前兆台网日常工作管理软件[J]. 地震研究, 32(1): 79-83.
- Wang J G, Li L D, Cui X F, et al. 2009. Management software for daily routine of digital seismic precursor network[J]. Journal of Seismological Research, 32(1): 79-83. (in Chinese)
- 王建国, 刘春国, 张彬, 等. 2021. 地下流体台网(天津)基础资料综合管理系统研制与应用[J]. 地震工程学报, 43(5): 1014-1023.
- Wang J G, Liu C G, Zhang B, et al. 2021. Development and application of an integrated management system for basic data of underground fluid network in Tianjin[J]. China Earthquake Engineering Journal, 43(5): 1014-1023. (in Chinese)
- 王莉婵, 毛国良, 李小军, 等. 2020. 2020 年 7 月 12 日唐山 $M_{\text{S}}5.1$ 地震预警处理能力分析[J]. 中国地震, 36(3): 394-406.
- Wang L C, Mao G L, Li X J, et al. 2020. The analysis of early warning processing capacity for Tangshan $M_{\text{S}}5.1$ earthquake[J]. Earthquake Research in China, 36(3): 394-406. (in Chinese)
- 许可, 郭巍, 高也, 等. 2019. 天津简易烈度计地震预警实验区建设[J]. 震灾防御技术, 14(2): 456-463.
- Xu K, Guo W, Gao Y, et al. 2019. Development of simple intensity meter in Tianjin early warn experimental site[J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 14(2): 456-463. (in Chinese)
- 杨陈. 2018. 地震预警设计中的若干系统工程问题研究[D]. 北京: 中国地震局地球物理研究所.
- Yang C. 2018. Some system engineering problems research for earthquake early warning design[D]. Beijing: Institute of Geophysics, China Earthquake Administration. (in Chinese)
- 张红才, 金星, 李军, 等. 2011. 地震预警定位方法研究[J]. 地震工程与工程振动, 31(3): 168-176.
- Zhang H C, Jin X, Li J, et al. 2011. Research on earthquake early warning location methods[J]. Earthquake Engineering and Engineering Dy-

- namics, 31(3):168–176. (in Chinese)
- 张红才,金星,李军,等. 2012. 地震预警震级计算方法研究综述[J]. 地球物理学进展, 27(2):464–474.
- Zhang H C, Jin X, Li J, *et al.* 2012. Review on magnitude estimation methods applied to earthquake early warning systems[J]. *Progress in Geophysics*, 27(2):464–474. (in Chinese)
- 张会苑,杨晶琼. 2020. 云南台网区域自动地震速报及人工速报定位偏差[J]. 华北地震科学, 38(3):38–43.
- Zhang H Y, Yang J Q. 2020. Location results error of regional automatic earthquake reporting and manual earthquake reporting in Yunnan Seismic Network[J]. *North China Earthquake Sciences*, 38(3):38–43. (in Chinese)
- 支明,徐佳静,孙丽. 2023. 地震自动速报综合触发系统产出结果评估[J]. 中国地震, 39(1):154–165.
- Zhi M, Xu J J, Sun L, *et al.* 2023. The evaluation of outputs from auto earthquake information release system of China[J]. *Earthquake Research in China*, 39(1):154–165. (in Chinese)
- GB/T 18207.1—2008,防震减灾术语第1部分:基本术语[S].
- GB/T 18207.1—2008, Terminology of protecting against and mitigating earthquake disasters Part 1: Basic terms[S]. (in Chinese)
- Cooper J D. 1868. Letter to editor[N]. *San Francisco Daily Evening Bulletin*(3):1868.
- Espinosa – Aranda J M, Jimenez A, Ibarrola G, *et al.* 1995. Mexico city seismic alert system[J]. *Seismological Research Letters*, 66(6):42–53.
- Kamigaichi O. 2004. JMA earthquake early warning[J]. *Journal of Japan Association for Earthquake Engineering*, 4(3):134–137.
- Nakamura Y. 2004. UrEDAS, Urgent earthquake detection and alarm system, now and future[C]//*Proceeding of the 13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, BC, Canada.

Assessment of the Data Processing Systems of the Tianjin Earthquake Early Warning System

XU Ke, GUO Wei, TAN Yipei, GAO Ye, MA Ting, BAI Yunpeng
(Tianjin Earthquake Agency, Tianjin 300201, China)

Abstract

After collecting the data produced by the data processing systems of the Tianjin Earthquake Early Warning System from June 15, 2021 to December 31, 2023, we compare these data with the data from the official quick reports of the earthquakes in Beijing City, Tianjin City, and Hebei Province from China Earthquake Networks Center in terms of matching rate of earthquake events, timeliness of early warning, deviation of the first-reported magnitude, and deviation of the first-reported epicentral location. We find that as for the first-reported data from JEEW system, time usage lies in 3.8–7.0 seconds, magnitude deviation lies in 0.1–0.7, and epicentral location deviation ranges between 0.6–2.6 km. As for the first-reported data from EEW system, time usage lies in 3.4–7.0 s, magnitude deviation lies in 0.0–0.8, and epicentral location deviation ranges between 0.6–2.6 km. Thus, we conclude that for the 3.0–magnitude earthquakes or above, the Tianjin Earthquake Early Warning System will produce related seismic parameters more efficiently and more accurately.

Keywords: early earthquake warning; data processing system; JEEW system; EEW system