

DOI:10.13409/j.cnki.jdpme.20240423002

## 江苏地震预警信息服务系统分析

王琛, 孙业君, 张婷, 魏梦婉, 李璇, 王冬辰

(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江苏预警信息服务系统进行了介绍, 分析了2023年6月系统试运行以来的预警信息发布情况。结果显示, 预警信息发布的主要延时存在于地震发生到国家一级融合决策系统正式发布预警信息的过程, 最短延时为4 s, 平均延时为14.3586 s, 江苏省预警系统的预警信息发布各环节延时较少, 平均总延时不超过0.9 s, II类省级预警中心所在地发生地震后, 预警信息发布时延会略长于I类。整体来看, 江苏地震预警信息服务系统满足时效性要求并具有良好的稳定性, 在省预警项目建设完成后, 将实现省内破坏性秒级地震预警信息发布与示范服务。

**关键词:** 地震预警; 信息服务; 发布策略; 时效分析

**中图分类号:** P315 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2132(2024)03-0740-05

## Analysis of Jiangsu Earthquake Early Warning Information Service System

WANG Chen, SUN Yejun, ZHANG Ting, WEI Mengwan, LI Xuan, WANG Dongchen  
(Jiangsu Earthquake Agency, Nanjing 210014, China)

**Abstract:** This article introduces the Jiangsu Earthquake Early Warning Information Service System, part of the National Earthquake Intensity Rapid Reporting and Early Warning System, and analyzes its performance since the system's trial operation began in June 2023. The results indicated that the primary delay in releasing early warning information occurred between the earthquake event and the official release of early warning information by the national level integrated decision-making system. The shortest delay observed was 4 seconds, with an average delay of 14.3586 seconds. The Jiangsu Earthquake Early Warning Information Release System exhibited minimal delays at various stages of information release, with an average total delay of less than 0.9 seconds. In the event of an earthquake at a Type II provincial early warning center, the release delay would be slightly longer compared to a Type I center. Overall, the Jiangsu Earthquake Early Warning Information Service System meets timeliness requirements and demonstrates good stability. Upon completion of the provincial early warning project, it will enable second-level destructive earthquake early warning information release and demonstration services within the province.

**Keywords:** earthquake early warning; information services; release strategy; timeliness analysis

\* 收稿日期: 2024-04-23; 修回日期: 2024-05-08

基金项目: 江苏省地震局青年科学基金(202406)资助

作者简介: 王琛(1989—), 女, 工程师, 硕士。主要从事预警信息服务方面的研究。E-mail: 372766770@qq.com

通信作者: 孙业君(1979—), 男, 教授级高工。主要从事地震监测预报预警方面的研究。E-mail: syj.4116@126.com

## 0 引言

地震预警作为减轻地震灾害的有效手段之一,受到了我国政府和公众的极大关注<sup>[1]</sup>。20世纪90年代,随着计算机技术、数字通信技术和数字化强震观测技术的成熟,一些国家和地区开展了地震预警系统的建设<sup>[2]</sup>,日本是全球首个建立地震预警系统的国家,在2007年即可通过日本电视台(NHK)的12个无线电广播和电视频道向全国范围发送地震预警警报<sup>[3-4]</sup>。美国2019年开始向美国西海岸地区的用户提供地震预警服务<sup>[5]</sup>,墨西哥、罗马尼亚、土耳其等国家也都通过广播、电视、无线电接收器、市政喇叭系统、手机等渠道向公众提供了地震预警服务<sup>[6-8]</sup>。2018年我国正式启动国家地震烈度速报与预警工程,率先在京津冀、四川、云南等地区开展“先行先试”工作,在2021年5月21日漾濞6.4级地震、2022年9月5日泸定6.8级地震中,通过预警专用终端、电视、手机APP、应急广播、第三方平台等渠道发布预警信息<sup>[9-10]</sup>。

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,基于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“接收—处理—发布—响应”的全链条贯通。在震后3~10 min内,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。

江苏地震预警信息服务系统作为预警工程的重要组成部分,旨在解决预警工程“最后一公里”的问题,为政府相关部门、社会公众、重大工程和示范学校提供地震预警服务,主要依托于国家项目和省项目进行融合建设,依托国家项目实现远场大震预警发布与示范服务,依托省项目实现省内破坏性秒级地震预警信息发布与示范服务。

## 1 技术系统建设情况

### 1.1 发布系统构成

地震预警信息服务系统包括信息发布和终端

管理两大子系统,同时部署信息服务、数据库、中间件、发布渠道等功能模块,采用JavaEE的分布式服务架构,基于B/S的软件架构实现。系统采用MySQL数据库、EMQX消息中间件,运用消息队列、分布式系统设计,实现高度的可扩展性和灵活性。同时系统集成了Docker镜像容器,采用Kubernetes(K8S)部署方案,通过将应用容器化为独立的可移植单元,实现自动化的扩展和管理。Kubernetes的集群架构提供高可用性,能够动态调整资源分配以满足不同负载,并通过自动化的监控和恢复机制保障服务的稳定性。

发布系统主要实现地震预警信息及速报信息的“上游信息接收-数据处理-信息发布”功能,接收融合决策系统推送的地震信息,可配置本地化发布渠道及发布规则;管理系统主要接收监控数据流,实现终端在线情况统计、信息接收及展示时长记录、终端显示内容配置等功能。

如图1所示,地震预警系统各子系统均统一授时,接收同一授时源。终端通过手动配置mqtt信息源及ntp授时服务器信息,保证和国家一级融合决策系统、省级二级融合决策系统及紧急地震信息服务系统时间一致,避免造成延迟发布。

### 1.2 服务端应用情况

目前,江苏省建设运维的地震预警专用终端包括壁挂终端、预警科普终端和桌面预警终端,分别部署在省防灾减灾救灾工作有关单位、试点区中小学、轨道交通等重点行业单位。

## 2 信息发布与响应策略

### 2.1 发布架构

江苏地震预警信息发布采用“国-省”二级发布模式,江苏省地震预警系统接收国家预警中心发布的预警信息(包含发震时刻、预测震级、预估烈度、震中位置),符合我省地震预警信息对外发布策略的地震事件会进一步推送给地震预警信息服务终端,当终端接收到预警信息时,会根据获得的震源参数,利用已知的烈度衰减关系计算当地的烈度,并根据预测烈度的阈值区间,以倒计时的方式发布相应的报警信息(预估本地烈度、地震波到达倒计时等),实现面向政府、社会、公众、行业的全流程自

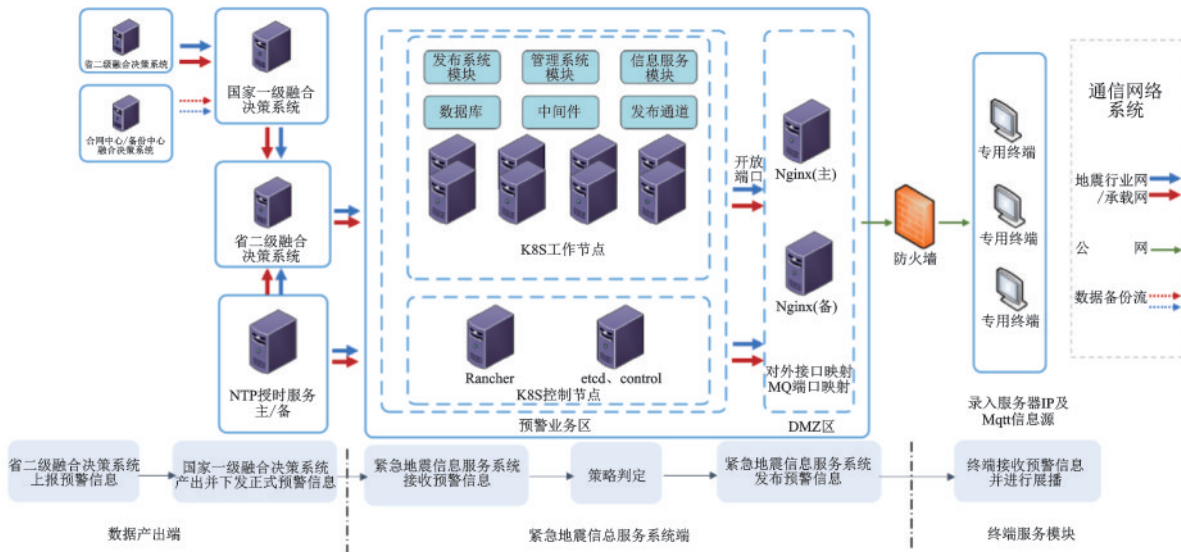


图1 地震预警系统信息流向图

Fig.1 Information flow diagram of the earthquake early warning system

动化秒级地震预警<sup>[11-12]</sup>。

## 2.2 发布及响应策略

根据预警信息需求,面向政府用户、社会公众和行业单位,针对江苏省内、周边省份及国内远场大震,设置了不同的预警信息发布策略。当终端所在地预估烈度大于等于2度时,预警终端启动地震预警信息响应工作,当预估烈度大于等于5度时,预警终端启动警报及倒计时语音预警工作。

## 3 预警信息发布应用及分析

江苏地震预警信息服务系统于2022年12月部署运行,2023年6月1日开始试运行以来,共发布了237次地震预警信息(在2024年2月正式对外开展地震预警服务前,仅向内部测试终端发布),共产出561条终端响应数据。为全面评估新系统在预警信息接收及发布方面的能力与时效性,从信息接收延时、发布时效性和运行情况等方面开展系统分析。

地震发生后,预警信息流转主要经历4个阶段(图2):①融合决策系统发布预警信息;②省级紧急地震信息服务系统接收预警信息;③省级紧急地震信息服务系统遵循发布策略,发布预警信息;④预警终端接收预警信息,并按响应策略进行声光电的报警。信息流转总体平均用时为15.2106s,基本满足省级预警系统建设及应用需求。具体分析如下:

(1)预警信息发布的主要延时存在于地震发生到国家一级融合决策系统发布正式预警信息的过程,平均延时为14.3586s,延时区间为4~48s。

(2)江苏省地震预警信息服务系统延时较少,平均总延时不超过0.9s。接收预警信息的平均延时为0.495s;发布预警信息的平均延时仅为0.007s,说明本地化策略判定过程几乎不存在延时;终端接收预警信息平均延时为0.35s。

(3)26次地震事件中,存在终端接收延时出现负值的情况,说明终端接收时间早于紧急地震信息服务系统推送时间,原因可能是终端在连接ntp授时服务器时出现了故障或延迟,导致未能与紧急地震信息服务系统统一计时。

(4)目前,根据地震烈度速报与预警的地域需求、重点区划分以及我国防震减灾机构布局和责任现状,设置19个I类省级预警中心、12个II类省级预警中心,前者可以向国家一级融合决策系统上报本省级预警中心产出的预警信息,后者仅能接收国家一级融合决策下发的地震预警信息,这在一定程度上也会影响发震后融合决策系统发布时间的长短。如图3所示,237次地震中,震中在I类省级预警中心所在省份的209次地震,融合决策系统发布平均时间为震后14.3586s;震中在江苏、南海、中国台湾的28次地震,融合决策系统发布平均时间为震后18.2027s。

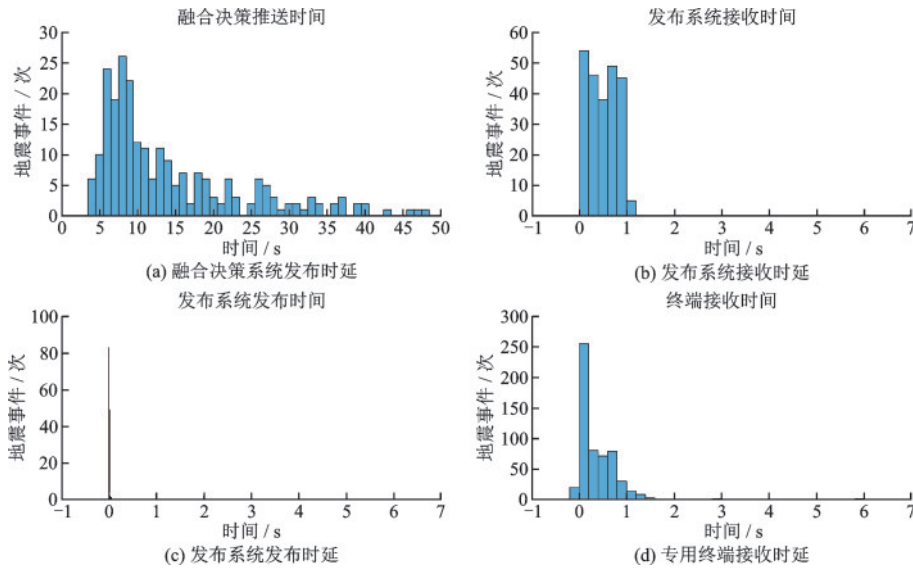


图2 预警信息发布各环节时延分析

Fig.2 Analysis of delays at each stage of early warning information release

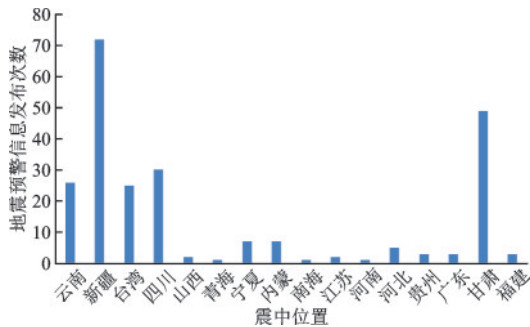


图3 地震预警信息发布次数

Fig.3 Number of earthquake early warning information releases by province

## 4 结 语

江苏省地震预警信息服务系统运行质量及预警终端响应效果良好,已基本满足为社会公众提供地震预警信息发布的需求。下一步需要不断拓展地震预警信息服务渠道,强化面向生命线工程、重点危化设施、高精尖产业的行业预警信息服务应用研究,积极探索第三方平台预警信息转发合作,更好发挥地震预警信息服务减灾实效。

### 参考文献:

[1] 马强.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,2008.  
Ma Q. Study and application on earthquake early warning

[D]. Harbin: Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration, 2008. (in Chinese)

[2] 袁志祥,单修政,徐世芳,等.地震预警技术综述[J].自然灾害学报,2007,16(6): 216-223.  
Yuan Z X, Shan X Z, Xu S F, et al. An overview of earthquake early warning technology[J]. Journal of Natural Disasters, 2007, 16(6): 216-223. (in Chinese)

[3] 杨程,解全才,刘泉,等.日本地震预警系统发展历程[J].地震地磁观测与研究,2018,39(4): 126-134.  
Yang C, Xie Q C, Liu Q, et al. The development process of early earthquake warning in Japan[J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 2018, 39(4): 126-134. (in Chinese)

[4] Cremen G, Galasso C. Earthquake early warning: recent advances and perspectives [J]. Earth-Science Reviews, 2020, 205: 103184.

[5] 吕帅,房立华,任华育,等.美国地震监测现状综述[J].地震工程学报,2024,46(2): 431-448.  
Lyu S, Fang L H, Ren H Y, et al. Overview of the earthquake monitoring status in the United States [J]. China Earthquake Engineering Journal, 2024, 46(2): 431-448. (in Chinese)

[6] Uredas N Y. Urgent earthquake detection and alarm system, now and future [C]//Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering. New Zealand: New Zealand Society for Earthquake Engineering, 2004: 209.

[7] 张红才,金星,李军,等.地震预警系统研究及应用进展[J].地球物理学进展,2013,28(2): 706-719.  
Zhang H C, Jin X, Li J, et al. Progress of research and

- application of earthquake early warning system (EEWs) [J]. *Progress in Geophysics*, 2013, 28(2): 706-719. (in Chinese)
- [8] 赵至柔, 吴艳梅, 壮延, 等. 云南地震预警信息发布效能分析: 以漾濞 6.4 级、双柏 5.1 级和盈江 5.0 级地震为例 [J]. *世界地震工程*, 2023, 39(1): 173-180.  
Zhao Z R, Wu Y M, Zhuang Y, et al. Effectiveness analysis of Yunnan earthquake early warning information release: taking Yangbi M6.4, Shuangbai M5.1 and Yingjiang M5.0 earthquakes as examples [J]. *World Earthquake Engineering*, 2023, 39(1): 173-180. (in Chinese)
- [9] 吴艳梅, 赵至柔, 贾召亮, 等. 云南 IPTV 地震预警信息发布响应分析 [J]. *华北地震科学*, 2023, 41(1): 37-44.  
Wu Y M, Zhao Z R, Jia Z L, et al. Response analysis of IPTV earthquake early warning information release in Yunnan Province [J]. *North China Earthquake Sciences*, 2023, 41(1): 37-44. (in Chinese)
- [10] 程思智, 李同林, 赵俊, 等. 四川地区地震预警信息发布时延分析 [J]. *四川地震*, 2024(1): 35-38.  
Cheng S Z, Li T L, Zhao J, et al. Time-delay analysis of the releasing on earthquake early warning information in Sichuan area [J]. *Earthquake Research in Sichuan*, 2024(1): 35-38. (in Chinese)
- [11] 张红才, 金星, 李军, 等. 地震预警震级计算方法研究综述 [J]. *地球物理学进展*, 2012, 27(2): 464-474.  
Zhang H C, Jin X, Li J, et al. Review on magnitude estimation methods applied to earthquake early warning systems [J]. *Progress in Geophysics*, 2012, 27(2): 464-474. (in Chinese)
- [12] 李丹宁, 张国权, 缪素秋, 等. 2021 年云南漾濞 MS6.4 地震预警处理结果分析 [J]. *地震研究*, 2021, 44(3): 399-406.  
Li D N, Zhang G Q, Miao S Q, et al. Analysis of early warning processing results from the 2021 Yangbi, Yunnan MS6.4 earthquake [J]. *Journal of Seismological Research*, 2021, 44(3): 399-406. (in Chinese)
- (本文编辑: 赵霞)



(上接第 688 页)

- [24] 李青, 李玉平, 杨斌, 等. 掺加稳泡剂 HPMC 对泡沫混凝土性能的影响 [J]. *墙材革新与建筑节能*, 2008, 23(9): 33-35, 3.  
Li Q, Li Y P, Yang B, et al. Effect of adding foam stabilizing agent HPMC on the performance of foam concrete [J]. *Wall Materials Innovation & Energy Saving in Buildings*, 2008, 23(9): 33-35, 3. (in Chinese)
- [25] 韩文祥. EVA、PVA 改性水泥净浆的力学性能及机理研究 [J]. *橡塑技术与装备*, 2019, 45(18): 9-15.  
Han W X. Study on mechanical properties and mechanism of EVA/PVA [J]. *Modified Cement Paste*, 2019, 45(18): 9-15. (in Chinese)
- [26] 周晨林, 冷政, 彭晖, 等. 水泥与偏高岭土聚物砂浆碱骨料反应对比研究 [J]. *广东工业大学学报*, 2022, 39(4): 91-97.  
Zhou C L, Leng Z, Peng H, et al. A comparative study of alkali aggregate reaction of cement mortar and metakaolin geopolymer mortar [J]. *Journal of Guangdong University of Technology*, 2022, 39(4): 91-97. (in Chinese)
- [27] 李战国, 张浩, 王子赓, 等. 基于正交试验的超高层泵送混凝土配合比优化研究 [J]. *混凝土*, 2022, 96(12): 110-116.  
Li Z G, Zhang H, Wang Z G, et al. Optimization of pumping concrete mix ratio for super high-rise buildings based on orthogonal experiment [J]. *Concrete*, 2022, 96(12): 110-116. (in Chinese)
- [28] 魏效玲, 薛冰军, 赵强. 基于正交试验设计的多指标优化方法研究 [J]. *河北工程大学学报(自然科学版)*, 2010, 27(3): 95-99.  
Wei X L, Xue B J, Zhao Q. Optimization design of the stability for the plunger assembly of oil pumps based on multi-target orthogonal test design [J]. *Journal of Hebei University of Engineering (Natural Science Edition)*, 2010, 27(3): 95-99. (in Chinese)
- [29] 张鸽. 基于多元线性回归分析法的洗混煤低位发热量数学模型研究 [J]. *煤炭技术*, 2014, 33(12): 337-339.  
Zhang G. Mathematical model analysis of blend coal calorific value based on multiple linear regressions [J]. *Coal Technology*, 2014, 33(12): 337-339. (in Chinese)
- [30] 张子建, 范利丹, 余永强, 等. 多指标混凝土正交试验的分析方法研究 [J]. *科技通报*, 2017, 33(11): 47-51, 99.  
Zhang Z J, Fan L D, Yu Y Q, et al. Study on analysis methods for the multi-index orthogonal experiment of concrete [J]. *Bulletin of Science Technology*, 2017, 33(11): 47-51, 99. (in Chinese)