

江苏预警站网试运行质量评估

朱 峰, 李婷婷, 杜 航, 李正楷, 杨 驰

Quality evaluation of trial operation of the Jiangsu early warning network

Zhu Feng, Li Tingting, Du Hang, Li Zhengkai, and Yang Chi

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.19987/j.dzqxjz.2024-035>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

江西省测震站网地震预警能力评估初步研究

Preliminary discussion on the earthquake early warning network of Jiangxi Province

地震科学进展. 2021(6): 246–251

重庆市地震预警网络IP地址规划设计解析

Analysis on the IP address design and planning of Chongqing early warning network

地震科学进展. 2022(11): 524–528

江西地震预警台网测震仪、强震仪及烈度仪记录噪声与地震事件分析比较

Analysis and comparison of noise and seismic events recorded by seismometers, strong seismometers and intensity meters of Jiangxi Earthquake Early Warning Network

地震科学进展. 2023(8): 367–373

陕西地震烈度速报与预警系统一般站运行对比分析

Comparative analysis on the operation of general stations of Shaanxi earthquake intensity quick report and early warning system

地震科学进展. 2022(8): 388–395

山西预警台站地震参数测定结果与测震数据对比分析

Comparative analysis of earthquake parameter measurement results and earthquake data of Shanxi early warning station

地震科学进展. 2024(3): 193–196

美国地震预警系统ShakeAlert测试与评估

Instruction of earthquake early warning ShakeAlert testing platform

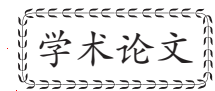
地震科学进展. 2019(5): 17–25



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

朱峰, 李婷婷, 杜航, 等. 江苏预警站网试运行质量评估 [J]. 地震科学进展, 2025, 55(4): 224-231. doi:10.19987/j.dzcxjz.2024-035

Zhu F, Li T T, Du H, et al. Quality evaluation of trial operation of the Jiangsu early warning network[J]. Progress in Earthquake Sciences, 2025, 55(4): 224-231. doi:10.19987/j.dzcxjz.2024-035



江苏预警站网试运行质量评估

朱 峰* 李婷婷 杜 航 李正楷 杨 驰

(江苏省地震局, 江苏南京 210014)

摘要 通过对江苏预警站网系统运行连续率、台基噪声水平、事件波形质量分析, 并计算江苏预警网监测能力后认为: 江苏地震预警网系统运行稳定, 记录数据质量良好, 全省地震监测能力大部分地区达 $M_L 1.5$, 局部地区可达 $M_L 1.0$, 江苏预警网已初步具备全省地震烈度速报与区域地震预警能力。

关键词 预警站网; 运行质量; 台基噪声; 监测能力

中图分类号: P315 文献标识码: A 文章编号: 2096-7780(2025)04-0224-08

doi: 10.19987/j.dzcxjz.2024-035

Quality evaluation of trial operation of the Jiangsu early warning network

Zhu Feng, Li Tingting, Du Hang, Li Zhengkai, Yang Chi

(Jiangsu Earthquake Agency, Jiangsu Nanjing 210014, China)

Abstract This article evaluates the continuous operation rate, station noise levels and event waveform quality within the Jiangsu early warning station network system. It also assesses the monitoring capacity of this network, concluding that the Jiangsu earthquake early warning system operates stably with high-quality data recording. The provincial monitoring capacity can achieve $M_L 1.0$ in local areas and $M_L 1.5$ in most areas. The Jiangsu early warning network has preliminarily developed the capability to quickly report earthquake intensity and provide regional earthquake early warnings across the province.

Keywords early warning station network; operation quality; pedestal noise; monitoring capability

0 引言

地震预警系统 (Earthquake Early Warning System, EEWS) 的构想最早是由美国科学家库珀 (Cooper) 1868 年提出, 其原理是利用电磁波与地震波传播的时间差, 应用在地震活跃区域台站安装地震监测设

备, 一旦地震发生后能在较短时间内通过敲响警钟进而预警^[1], 由于受到当时的科学技术水平的限制而没有实现。随着世界科技的发展, 这一构想正在变为现实, 在地震风险性较高的国家和地区 (如日本、美国、墨西哥、中国台湾等) 已开始建设或投入使用地

收稿日期: 2024-02-27; 采用日期: 2024-06-07。

基金项目: 江苏省地震局青年科学基金 (202308), 江苏省地震局科技创新团队 (202201) 和测震学科业务管理平台功能完善与试用 (CEA-ZX/CZ-251109) 联合资助。

* 通信作者: 朱峰 (1988-), 男, 工程师, 主要从事地震监测与预警工作。E-mail: 417970928@qq.com。



震预警系统，以最大限度地减轻地震带来的风险。其中较为突出的是美国西海岸地区的 Shake Alert 系统，该系统自 2006 年投入建设，其研发与应用已日趋成熟，于 2017 年正式在美国西海岸地区投入运营^[2]。

国家地震烈度速报与预警工程江苏子项目，建设 162 个观测站点，其中升级改造 54 个基准站、新建 54 个基本站、新建 54 个一般站；升级改造 1 个省级预警中心（含 1 个Ⅱ类省级数据处理中心、1 个Ⅱ类省级技术保障中心和省级中心通信网络系统）；建设 31 个（包括改扩建 21 个）预警终端，2023 年 6 月 1 日—8 月 31 日完成试运行。本文从江苏预警网系统试运行情况、台基噪声水平和事件波形质量等

方面对系统运行质量进行评估，并计算评估江苏预警网监测能力。

1 江苏预警站网

1.1 站网建设

根据《地震台站建设规范 地震烈度速报与预警台站》（DB/T 60—2015）和江苏预警网建设设计方案，升级改造 54 个测震台为基准站；新建 54 个基本站（其中 9 个新建在属地气象站院内、18 个新建在属地中小学校院内、另外 27 个通过租用场地新建基本站）；新建 54 个一般站，一般站全部建在中国铁塔基站内。江苏预警网站点分布情况见图 1。

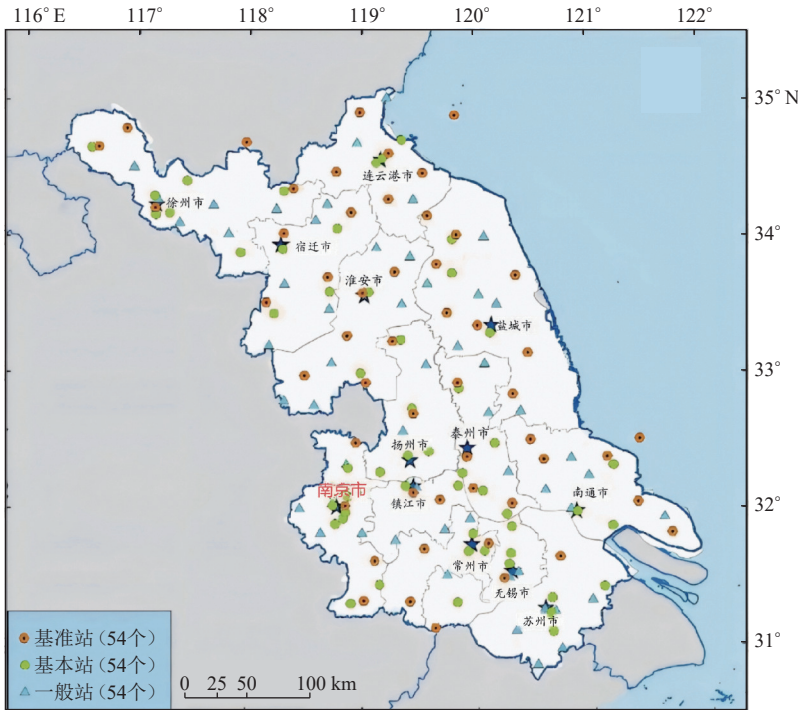


图 1 江苏预警网站点分布示意图

Fig. 1 Diagram of station distribution of the Jiangsu early warning network

通过对江苏子项目中基准站、基本站、一般站地理位置信息检查校核，计算得出江苏预警网 162 个站点的平均台间距约 15.2 km，预警网站点空间布局、台间距等主要指标符合行业预警网建设规范要求。江苏预警网台间距分布见图 2。

1.2 台站观测系统构成

江苏预警网基准站是在台站原有三分向宽频带地震计基础上，增加了三分向加速度计（如 TDA-33M, JS-A2, QA-2g）与升级 6 通道数据采集器（如 EDAS-24GN-EEW, HG-D6, TED-324FI）。台站系统

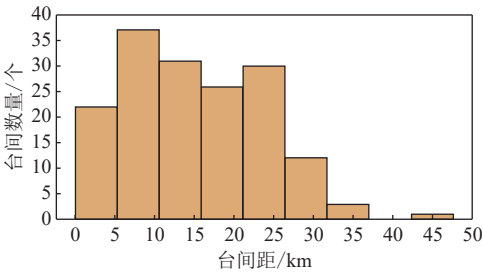


图 2 江苏预警网台站间距分布图

Fig. 2 Distribution map of station spacing in the Jiangsu early warning network

由三分向宽频带地震计、三分向加速度计与 6 通道 24 位数据采集器专业设备组成, 辅助设备有台站交流供电、智能电源及蓄电池、避雷设施及接地网、台站监控与通信网络链路设备。基准站观测系统构成见图 3。

新建基本站配置三分向加速度计(TDA-33M, JS-A2, QA-2g)、3 通道数据采集器(EDAS-24GN-EEW, HG-D3, TED-324CI)专业设备; 辅助设备有交流供电、智能电源及蓄电池、避雷设备与接地网、台站监控与通信网络链路设备。基本站观测系统构成见图 4。

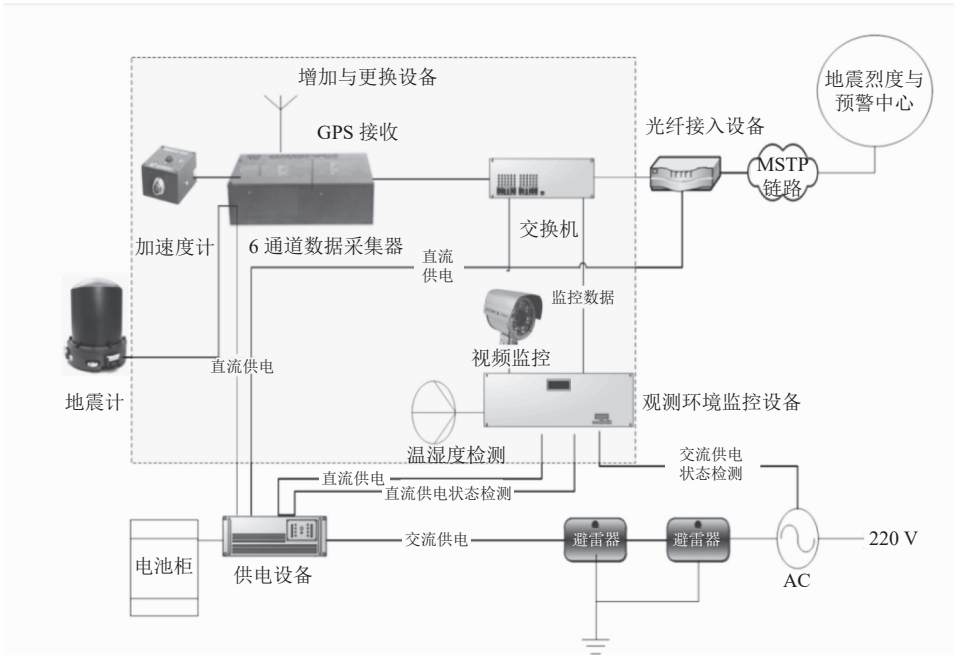


图 3 基准站观测系统构成示意图

Fig. 3 Schematic diagram of the benchmark station observation system composition

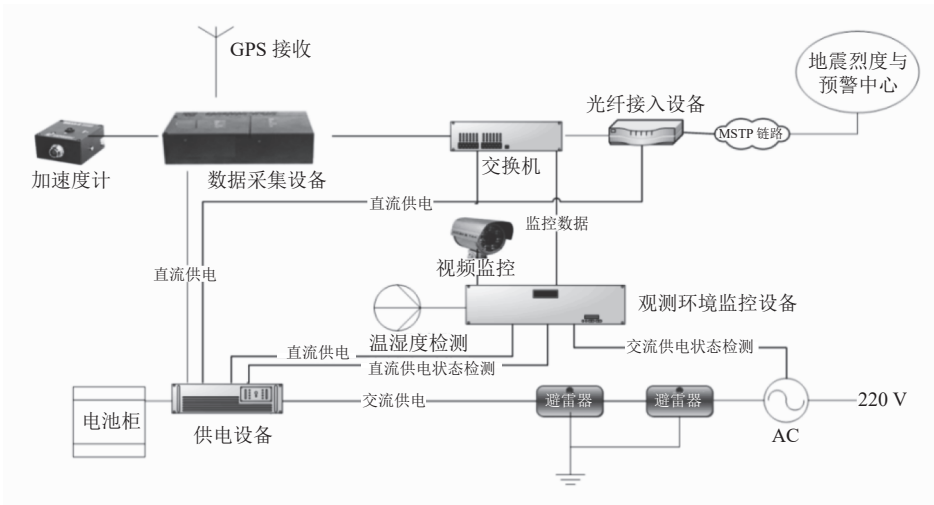


图 4 基本站观测系统构成示意图

Fig. 4 Schematic diagram of the basic station observation system composition

一般站依托中国铁塔江苏分公司基站, 基站提供稳定的供电、通信网络、避雷设施及安全防护条件。一般站配置基于 MEMS 传感器烈度仪(REOMOS-

SIT4, MI3000)。一般站观测系统构成见图 5。

1.3 预警网中心系统

江苏预警网中心系统构成除了若干服务器、计

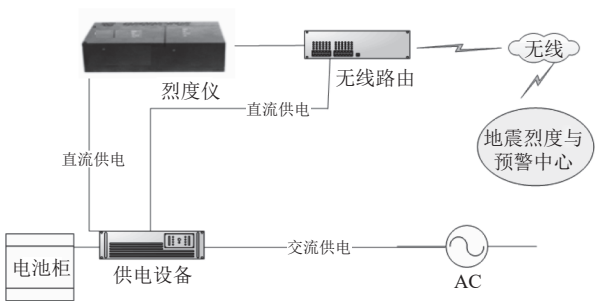


图 5 一般站观测系统构成示意图

Fig. 5 Schematic diagram of the general station observation system composition

算机、终端设备外，使用国家地震烈度速报与预警工程开发的专业软件与相应数据库、操作系统。专业软件部署了波形交换管理、地震预警处理、烈度速报、地震参数速报、地震波形综合分析、紧急地震信息服

务、监控与运维及技术支撑等 8 个业务模块。

根据江苏预警工程项目建设设计要求，建设国家地震烈度速报与预警工程江苏子项目，使江苏预警网能够达到区域地震烈度速报与预警能力。江苏预警网中心系统构成如图 6 所示。

2 质量评估

2.1 预警站网运行

选取 2023 年 6 月 1 日—8 月 31 日连续 3 个月试运行实时记录波形数据，统计运行率与数据延时。江苏预警网站点共计 162 个，但前山岛台（海岛台）网段仍在测震网段，尚未切换至预警网段，导致观测数据无法接入预警网数据运行率统计，这里仅统计接入预警网的 161 个站点实时数据。

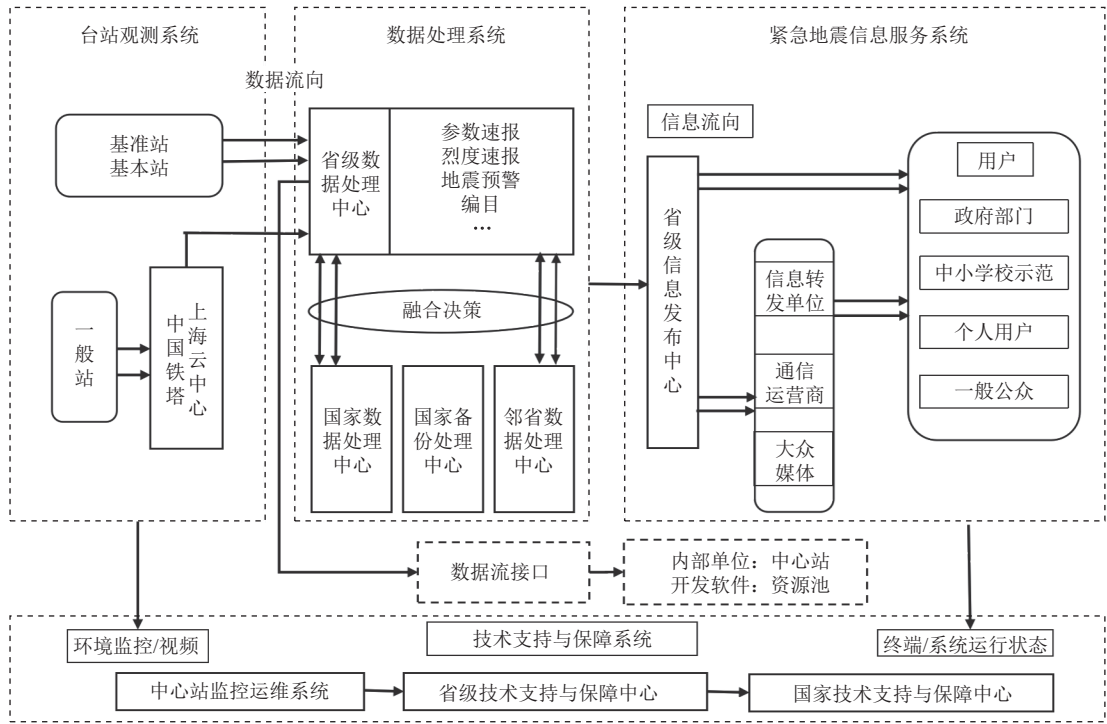


图 6 江苏预警网中心系统构成拓扑图

Fig. 6 Topology diagram of the Jiangsu early warning network center system composition

表 1 2023 年 6—8 月基准站、基本站、一般站的平均运行率和数据延时

Table 1 Average operating rate and data delay of benchmark, basic, and general stations from June to August, 2023

站点	6月			7月			8月		
	运行率/%	平均延时/s	延时<1 s占比/%	运行率/%	平均延时/s	延时<1 s占比/%	运行率/%	平均延时/s	延时<1 s占比/%
基准站	99.74	0.82	99.99	99.54	0.83	99.94	99.73	0.82	100
基本站	98.11	0.89	99.99	99.44	0.86	100	99.75	0.86	100
一般站	98.98	0.94	99.49	99.86	0.79	99.89	99.88	0.80	99.93
总平均	98.84	0.88	99.82	99.61	0.83	99.94	99.79	0.83	99.98

2.1.1 运行率统计

按月统计江苏子项目 3 种类型台站运行率和数据延时。基准站、基本站、一般站月平均运行率与延时数据统计结果见表 1。

从表 1 可知,江苏子项目基准站、基本站月平均运行率均高于 98%,在线 53 个基准站月平均运行率 99.67%,54 个基本站月平均运行率 99.10%。一般站月平均运行率远高于 95% 的考核指标,达 99.57%。试运行期江苏站网 3 个月平均总运行率达 99.58%,符合行业规定的地震预警网考核运行指标要求。

由于试运行的 6 月初,站点网段割接、台站仪器

调试及其他原因,部分基本站运行率低于 98%;但随着预警网站网络运行趋于稳定,各站点试运行后期运行率均在 98% 以上,甚至达到 100%。

2.1.2 数据延时统计

江苏子项目建设的 3 种类型站点,实时数据传输各平均延时占比如图 7 所示。统计数据是去除打包时间的数据平均延时统计(打包时间 0.25 s)。53 个基准站平均延时 0~1 s 占比 100%;54 个基本站平均延时 0~2 s 占比 100%,其中,延时 0~1 s 台站 51 个,占比 95%,延时 1~2 s 台站 3 个,占比 5%;54 个一般站平均延时 0~1 s 占比 100%。江苏预警网站点试运行数据传输延时指标满足项目设计要求。

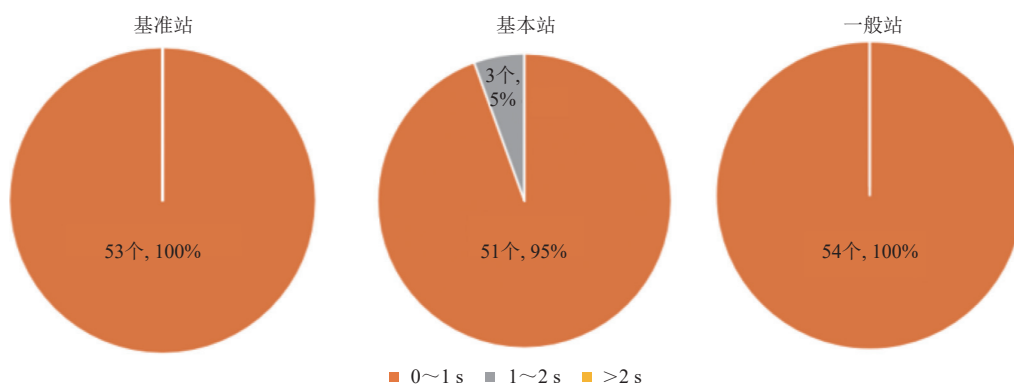


图 7 基准站、基本站、一般站平均延时占比饼状图

Fig. 7 Pie chart of average delay proportions for benchmark, basic, and general stations

2.2 台基噪声

对于一定大小的地震,当震中距在一定范围时,地震波到达台站记录振幅高出台基噪声背景值,才能被台站仪器清晰记录下来。台基噪声决定了台站记录最小地震的下限,也决定了台网地震监测能力。对于地震预警而言,台基背景噪声影响越小,从记录数据中提取的信息越可靠^[3]。

采用噪声功率谱密度(PSD)的概率密度函数(PDF)方法评估站点台基噪声水平。计算 53 个基准站 1~20 Hz 频段时域台基噪声的速度均方根值(RMS),具体见公式(1),再依据台基地动噪声分类标准 GB/T195351.1—2004《地震台站观测环境技术要求》对基准站台基噪声水平分级。

计算 RMS 值公式如下:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2} \quad (1)$$

式中, v_i 为采样点台基噪声速度(m/s); n 为实际测量

点数; $\bar{v} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i$ 为计算观测地动速度数据时序均值(m/s)^[4]。

噪声功率谱密度(PSD)频域法主要是傅里叶变换(FFT)计算,给定观测数据的 FFT,取其绝对值的平方^[5]。计算公式如下:

$$F(w) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t_n) e^{iwt} dt \rightarrow \frac{1}{N} \sum_n f(t_n) e^{iwt} \quad (2)$$

式中,函数 $f(t)$ 表示为复指数函数的积分及级数形式,函数 $F(w)$ 表示为时间域的函数 $f(t)$ 的积分形式。式中, N 的取值为 $2k$, 即 2, 4, 8, 16, 32, 64, ...

根据公式(1)计算,得到江苏预警站网基准站台基地动速度噪声均方根值(RMS),根据台基地动噪声标准进行分级,53 个基准站台基噪声水平见表 2。依据台基地动噪声分类标准 GB/T195351.1—2004《地震台站观测环境技术要求》,江苏子项目 53 个基准站中,Ⅰ类台基 17 个,Ⅱ类台基 27 个,Ⅲ类台基 6 个,Ⅳ类台基 3 个。

表2 基准站台基噪声水平
Table 2 Reference platform foundation noise levels

序号	台站名称	台站代码	RMS值/($10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)	建筑类型	环境噪声级别	所属区域类别
1	盐城•滨海•东坎	JBH01	2.2219	井下	I	C
2	扬州•宝应•安宜	KBY01	229.3800	地面	IV	C
3	苏州•常熟•虞山	ECS01	2.7916	地面	I	C
4	常州•武进•横山桥	DWJ01	10.6553	地面	III	C
5	盐城•大丰•黄海	JDF01	12.5699	井下	III	C
6	连云港•东海•牛山	GDH01	1.5286	地面	I	C
7	镇江•丹阳•云阳	KDY01	6.7547	井下	III	C
8	盐城•东台•开发区	JJK01	7.3224	井下	II	C
9	盐城•阜宁•羊寨	JFN01	6.3563	井下	II	C
10	徐州•丰县•华山	CFX01	1.1353	井下	I	C
11	连云港•赣榆•塔山	GGY01	4.6525	地面	II	C
12	南京•高淳•漆桥	AGC01	1.4851	地面	I	C
13	连云港•灌云•伊山	GGU01	2.9186	地面	I	C
14	扬州•高邮•车逻	KGY01	2.8737	井下	I	C
15	南通•海安•中心	FHA01	9.5415	井下	II	C
16	南通•海门•正余	FHM01	2.2898	井下	I	C
17	淮安•洪泽•高良涧	HHZ01	2.9363	井下	I	C
18	淮安•清河•王营	HQH01	2.8582	井下	I	C
19	盐城•建湖•建阳	JJH01	3.3475	井下	I	C
20	淮安•金湖•金南	HJH01	2.0134	井下	I	C
21	泰州•靖江•孤山	MJJ01	7.6551	地面	II	C
22	常州•金坛•金城	DJT01	11.2489	地面	III	C
23	苏州•昆山•正仪	EKS01	20.5117	地面	III	C
24	淮安•涟水•涟城	HLS01	1.4347	井下	I	C
25	南京•六合•冶山	ALH01	4.5089	地面	II	C
26	南京•溧水•东屏	ALS01	2.3626	地面	I	C
27	常州•溧阳•天目湖	DLY01	1.8118	地面	I	C
28	连云港•新浦•花果山	GXP01	1.9816	地面	I	C
29	南京•玄武•卫岗	AXW01	5.7339	地面	II	C
30	南通•崇川•狼山	FCC01	3.4473	井下	II	C
31	徐州•沛县•大屯	CPX01	3.6188	井下	II	C
32	徐州•邳州•邳城	CPZ01	2.6121	地面	I	C
33	南通•启东•汇龙	FQD01	4.3342	井下	II	C
34	南通•如东•苴镇	FRD02	3.9298	井下	II	C
35	南通•如皋•如城	FRG01	445.2933	地面	IV	C
36	宿迁•泗洪•梅花	NSH01	4.5636	地面	II	C
37	宿迁•沐阳•官墩	NSG01	3.5260	地面	II	C
38	宿迁•泗阳•临河	NSY01	0.6786	井下	I	C
39	宿迁•宿豫•晓店	NSU01	2.4606	地面	I	C

续表 2

序号	台站名称	台站代码	RMS值/(10 ⁻⁸ m·s ⁻¹)	建筑类型	环境噪声级别	所属区域类别
40	盐城·射阳·黄沙港	JSY01	7.4807	井下	Ⅱ	C
41	泰州·泰兴·城西	MTT01	0.0297	井下	I	C
42	泰州·高港·寺巷	MGG01	5.8157	井下	Ⅱ	C
43	无锡·滨湖·蠡园	BBH01	2.8162	地面	I	C
44	盐城·响水·响水	JXS01	2.8799	地面	I	C
45	泰州·兴化·临城	MXH01	6.0948	井下	Ⅱ	C
46	徐州·新沂·北沟	CXY01	4.0922	地面	Ⅱ	C
47	连云港·连云·板桥	GLY01	3.9773	地面	Ⅱ	C
48	淮安·盱眙·淮河	HYY01	1.7793	地面	I	C
49	徐州·泉山·金山	CQS01	2.0339	地面	I	C
50	盐城·盐都·龙冈	JYD01	118.3887	地面	Ⅳ	C
51	南通·如东·长沙	FRD01	3.9019	地面	Ⅱ	C
52	无锡·宜兴·太华	BYX01	1.9371	地面	I	C
53	镇江·丹徒·谷阳	KDT01	3.4700	地面	Ⅱ	C

除采取 RMS 值计算评估台基噪声水平外, 还根据公式(2)对基准站、基本站、一般站台基噪声功率谱(PSD)形态进行扫描, 发现有 6 个基本站高频环境噪声偏大, 其余台站噪声 PSD 形态均在合理范围之内, 2 个基准站大丰、泰兴因井下地震计故障除外, 其余站点波形噪声水平表现形态正常, 未发现有明显异常站点。基准站、基本站、一般站 PSD 形态分布如图 8 所示。图 8 中紫色与绿色粗实线为全球高噪声 NHM 模型和低噪声 NLM 模型曲线。

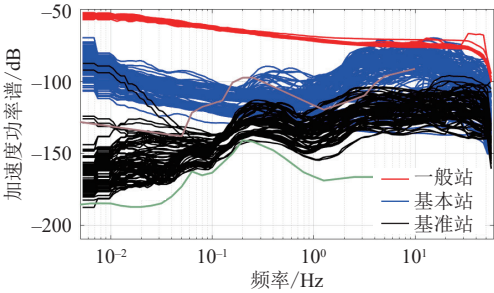


图 8 基准站、基本站、一般站 PSD 形态分布图
Fig. 8 PSD morphology distribution map of benchmark, basic, and general stations

2.3 记录地震波形质量

选取了试运行期, 站网记录的 2 个近震事件波形: 2023 年 6 月 15 日上海青浦 M_L 3.7 地震和 2023 年 6 月 19 日江苏江都 M_L 2.9 地震, 分别进行波形分析与震相甄别, 地震定位、测定震级(图 9)。

分析情况, 预警网基准站、基本站都清晰记录到初至震相, 计算定位结果并验证各台站记录数据到

时残差大小、震中距偏差等, 均未发现存在明显钟差和仪器灵敏度参数异常问题。



图 9 2 次近震事件波形
Fig. 9 Waveforms of two nearby earthquake events

3 监测能力计算

监测能力测定依据台站记录事件波形振幅比, 应用近震公式和量规函数计算台网给定震级的最小监控范围。

近震震级计算公式:

$$M_L = \lg A_\mu + R(\Delta) + S(\Delta) \quad (3)$$

式中, M_L 为 S 波最大振幅震级; A_μ 为最大地动位移, 单位为 μm ; Δ 为震中距; $R(\Delta)$ 为与震中距有关的近震震级量规函数; $S(\Delta)$ 为台站校正值^[6]。

根据公式(3)与测定精度要求, 采用 4 个及以上台站同时控制区域为有效观测区域^[7], 计算江苏预警网给定震级最小监控范围, 江苏预警站网监测能力见图 10。

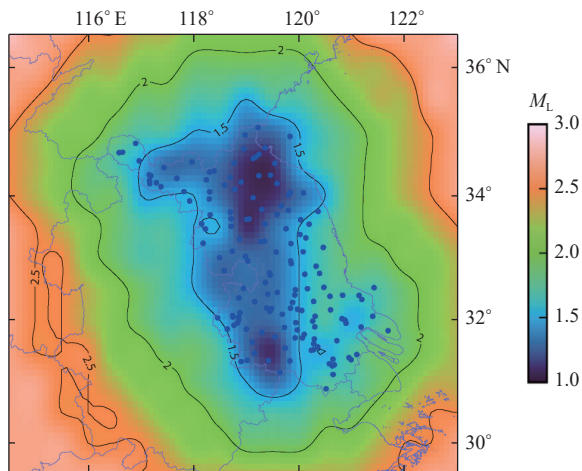


图 10 江苏预警站网监测能力示意图

Fig. 10 Monitoring capability map of the Jiangsu early warning network

经分析计算, 由图 10 可知, 江苏预警网对全省境内地震监测能力大部分地区可达 $M_L 1.5$, 局部可达 $M_L 1.0$ 。

4 结论

通过对江苏子项目建设预警台站与预警中心系统试运行情况、站点台基噪声和记录地震波形数据分析与监测能力估算, 得到以下几点认识:

(1) 江苏预警网试运行统计数据表明: 基准站和基本站平均运行率优于 98%, 数据传输平均延时不大于 1 s; 一般站平均运行率优于 95%, 数据平均延时不大于 1 s, 达到江苏子项目建设设计目标与行业地震预警网运行有关技术要求。

(2) 使用台基噪声时域 RMS 值与频域噪声功率谱密度(PSD)的概率密度函数(PDF)计算, 53 个基准站台基噪声达到 I 类台基 17 个, II 类台基 27 个, II 类以上台站噪声水平占 83% 以上。

(3) 经分析试运行期记录的上海青浦 $M_L 3.7$ 地震和江苏江都 $M_L 2.9$ 地震波形, 结果表明: 初动清晰, 波形流畅, 震相易识别; 计算也未发现台站存在明显钟差和灵敏度参数异常等问题。

(4) 江苏预警网初步具备了区域地震烈度速报与预警能力, 全省地震监测能力大部分地区可达 $M_L 1.5$, 局部达 $M_L 1.0$ 。

参考文献

- [1] 杨陈, 郭凯, 张素灵, 等. 中国地震台网现状及其预警能力分析[J]. 地震学报, 2015, 37(3): 508-515
Yang C, Guo K, Zhang S L, et al. Status quo of China earthquake networks and analyses on its early warning capacity[J]. Acta Seismologica Sinica, 2015, 37(3): 508-515
- [2] 刘赫奕, 宋晋东, 李山有. ShakeAlert: 美国西海岸地震预警系统发展[J]. 地震工程与工程振动, 2020, 40(6): 61-70
Liu H Y, Song J D, Li S Y. ShakeAlert: Development of the United States West Coast earthquake early warning system[J]. Earthquake Engineering and Engineering Dynamics, 2020, 40(6): 61-70
- [3] 余思, 唐婷婷. 江西省测震站网地震预警能力评估初步研究[J]. 地球科学进展, 2021, 51(6): 246-251
Yu S, Tang T T. Preliminary discussion on the earthquake early warning network of Jiangxi Province[J]. Progress in Earthquake Sciences, 2021, 51(6): 246-251
- [4] 包莹, 王志勇, 席文雅, 等. 阿尔山火山地震监测站地震监测环境分析[J]. 科学与信息化, 2023(13): 52-54
Bao Y, Wang Z Y, Xi W Y, et al. Seismic monitoring environmental analysis in Arshaan volcano seismic monitoring station[J]. Technology and Information, 2023(13): 52-54
- [5] 安全, 赵艳红, 郭延杰, 等. 内蒙古山洞台站背景噪声特征分析[J]. 大地测量与地球动力学, 2021, 41(12): 1312-1316
An Q, Zhao Y H, Guo Y J, et al. Analysis of background noise characteristics of cave observation stations of Inner Mongolia seismic network[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2021, 41(12): 1312-1316
- [6] 中国地震局监测预报司. 测震学原理与方法[M]. 北京: 地震出版社, 2017
Monitoring and Forecasting Department of China Earthquake Administration. Seismology and seismic observations[M]. Beijing: Seismological Press, 2017
- [7] 张有林, 戚浩, 王焱坤, 等. 安徽省地震台网监测能力和监控范围估算[J]. 地震地磁观测与研究, 2005, 26(6): 56-59
Zhang Y L, Qi H, Wang Y K, et al. The estimate of Anhui Province seismic network monitoring ability and controlling range[J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 2005, 26(6): 56-59