



预警项目建成前后宁夏台网地震监测能力评估对比

唐浩, 李学波, 徐金银, 何秋菊, 胡子琪

Comparison of earthquake monitoring capability of the Ningxia network before and after completion of the early warning project

Tang Hao, Li Xuebo, Xu Jinyin, He Qiuju, and Hu Ziqi

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.19987/j.dzksjz.2024-069>

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

吉尔吉斯地震活动性及监测台网研究

Research on Kyrgyzstan seismic activity and monitoring network

地震科学进展. 2021(2): 65–71

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

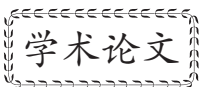
地震科学进展. 2024(3): 193–196



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

唐浩, 李学波, 徐金银, 等. 预警项目建成前后宁夏台网地震监测能力评估对比 [J]. 地震科学进展, 2025, 55(6): 331-339. doi:10.19987/j.dzxxjz.2024-069

Tang H, Li X B, Xu J Y, et al. Comparison of earthquake monitoring capability of the Ningxia network before and after completion of the early warning project[J]. Progress in Earthquake Sciences, 2025, 55(6): 331-339. doi:10.19987/j.dzxxjz.2024-069



预警项目建成前后宁夏台网 地震监测能力评估对比

唐 浩^{*} 李学波 徐金银 何秋菊 胡子琪

(宁夏回族自治区地震局, 宁夏银川 750001)

摘要 国家地震烈度速报与预警工程宁夏子项目建成后宁夏台网台站数量和分布发生了很大变化。基于台站背景噪声水平的方法对预警项目建成前后宁夏台网地震监测能力进行评估对比。结果表明:按照 3 台定位考虑, 预警项目建成后宁夏区域地震监测能力为 $M_L 1.1$, 最小值为 $M_L 0.5$, 较项目建成前提升了 0.5 级; 95% 的区域地震监测能力最小震级达到 $M_L 1.3$ 。预警项目建成后宁夏及周边区域 ($34.5^\circ\text{N} \sim 40.5^\circ\text{N}$, $103.5^\circ\text{E} \sim 108.5^\circ\text{E}$) 地震监测能力为 $M_L 1.2$, 最小值为 $M_L 0.3$, 较项目建成前提升了 0.7 级; 95% 的区域地震监测能力最小震级达到 $M_L 1.6$ 。分别按照 4 台、5 台和 6 台定位考虑预警项目建成后, 宁夏区域地震监测能力分别为 $M_L 1.2$ 、 $M_L 1.3$ 和 $M_L 1.4$, 较预警项目建成前提升了 0.5 级; 宁夏及周边区域地震监测能力分别为 $M_L 1.4$ 、 $M_L 1.5$ 和 $M_L 1.6$, 较预警项目建成前监测能力平均值提升了 0.6 级。预警项目的建成对宁夏及周边区域地震监测能力有较大提升。

关键词 预警项目; 宁夏台网; 监测能力; 对比

中图分类号: P315.61 文献标识码: A 文章编号: 2096-7780(2025)06-0331-09

doi: 10.19987/j.dzxxjz.2024-069

Comparison of earthquake monitoring capability of the Ningxia network before and after completion of the early warning project

Tang Hao, Li Xuebo, Xu Jinyin, He Qiuju, Hu Ziqi

(Earthquake Agency of Ningxia Hui Autonomous Region, Ningxia Yinchuan 750001, China)

Abstract Post the completion of the Ningxia sub-project of the National Earthquake Intensity Quick Report and Early Warning Project, the number and distribution of stations in the Ningxia network have changed greatly. Using the background noise level method, the seismic monitoring capability of the Ningxia network was evaluated and compared before and after completion of the early warning project. Based on the positioning of three units, completion of the early

收稿日期: 2024-04-25; 采用日期: 2024-06-07。

基金项目: 宁夏自然科学基金项目(2022AAC03689, 2023AAC03816)和中国地震局三结合课题(3JH-202301065)联合资助。

^{*} 通信作者: 唐浩(1990-), 男, 工程师, 主要从事地震分析、台站背景噪声和台网监测能力等研究工作。

E-mail: 757986177@qq.com。



warning project increased the average value of earthquake monitoring capacity in the Ningxia region to $M_L 1.1$, with a minimum value was $M_L 0.5$. This level is 0.5 higher than that before the completion of the project. Of the region's seismic monitoring capabilities, 95% have a minimum magnitude of $M_L 1.3$. After the completion of the project, the average seismic monitoring capability of Ningxia and its surrounding areas ($34.5^\circ\text{N}\sim 40.5^\circ\text{N}$, $103.5^\circ\text{E}\sim 108.5^\circ\text{E}$) was $M_L 1.2$, and the minimum value was $M_L 0.3$. This level is 0.7 higher than that before the completion of the project. Of the region's seismic monitoring capacity, 95% has a minimum magnitude of $M_L 1.6$. Considering the positioning of 4, 5 and 6 units, the average seismic monitoring capacity of Ningxia region increased to $M_L 1.2$, $M_L 1.3$ and $M_L 1.4$, respectively. These levels are also 0.5 higher than before the construction of the early warning project. The average seismic monitoring capacity of Ningxia and its surrounding areas reached $M_L 1.4$, $M_L 1.5$ and $M_L 1.6$, respectively, which is 0.6 degree higher than the average monitoring capacity before the completion of the project. Therefore, the early warning project has greatly improved the earthquake monitoring capability in Ningxia and its surrounding areas.

Keywords early warning project; Ningxia network; monitoring capacity; comparison

0 引言

测震台网地震监测能力是指对微小地震的识别能力,能够准确地测定地震震中位置、发震时刻以及震级等基本参数。监测能力的大小主要取决于地震台站的密度与分布、台站的背景噪声等因素。地震监测能力评估对区域地震活动性和危险性、地震监测、工程地震研究等具有非常重要的意义,也是优化台网布局提升重点区域监测能力的关键^[1-2]。

目前,针对测震台网监测能力评估的方法主要有 3 类。第一类,统计地震学方法:根据测震台网记录到的最小地震震级进行评估,将发震频次与震级进行拟合,再选取合适的拟合拐点作为该区域的完备震级。第二类,基于台站背景噪声水平的方法:首先计算得到台站的背景噪声水平,再推算出其能记录到最小地震的幅值,然后根据近震震级计算公式得到单台对不同震级地震的控制距离,最后计算得到区域的完备震级。第三类,基于概率的完备震级(PMC)法:根据监测区域实际产出的地震目录推算出单台对不同震级不同震中距地震的监测概率,再计算出多个站点在同一地点的监测概率,最后给定一个尺度作为完备震级^[3-4]。

刘栋^[5]分别运用基于台站背景噪声水平和 PMC 法对福建台网的地震监测能力进行评估,结果表明:福建台网可对全省 $M1$ 以上地震实现监控,部分地区可达到 $M0.3$ 。对于地震分布密集且均匀的区域,PMC 法的计算结果更接近实际;对于地震分布稀疏或不均匀的区域,基于台站背景噪声的方法计算结果相对准确。立凯等^[6]运用 PMC 方法对江苏测震台网监

测能力进行评估,结果表明:江苏台网基本实现 $M_L \geq 2.0$ 地震的监测能力,较好的地区可达到 $M_L \geq 1.0$ 。安祥宇等^[7]基于 PMC 方法对辽宁测震台网监测能力进行了评估,通过计算获得辽宁地震台网基于概率的最小完整性震级 M_p , M_p 时空分布特征显示:辽宁中部地区 $1.2 \leq M_p \leq 1.5$, 辽宁南部地区监测能力较低 $M_p \geq 3.0$, 辽宁西部地区 $2.5 \leq M_p \leq 3.0$, 辽宁其他区域 $1.8 \leq M_p \leq 2.5$ 。余洋洋等^[8]基于台站背景噪声计算了四川泸州台网的震级监测能力,泸州台网覆盖区域 80% 能够达到 $M_L 0.5$ 地震监测能力,并通过实际地震事件对计算结果的准确性和合理性进行了验证。

国家地震烈度速报与预警工程的实施,在宁夏区域新增了 23 个测震台站,并新接入邻省 109 个测震台站,台站布局和台站密度发生了很大变化。对宁夏台网监测能力的评估对比十分必要,也具有重要的意义。基于此,对预警项目建成前后宁夏台网地震监测能力进行评估对比,定量地分析项目建成后宁夏台网地震监测能力的提升情况,以期对未来台站优化布局提供理论依据和技术参考。

1 宁夏测震台网概况

国家地震烈度速报与预警工程宁夏子项目(以下简称“预警项目”)是国家地震烈度速报与预警工程的重要组成部分,预警项目 2023 年建设完成并投入运行。

预警项目建成前,宁夏测震台网由区内 14 个和邻省 12 个测震台站组成,共计接入 26 个台站实时

观测数据用于地震速报、地震事件波形分析、地震目录编辑以及分析预报相关领域的各项研究,宁夏区内测震台站的平均间距为 68 km。

预警项目在宁夏区内新建 23 个基准站、29 个基本一类站和 270 个基本二类站,改建 14 个基准站和 24 个基本一类站。建成后宁夏区内测震台站平均

间距为 43 km。预警项目建成后宁夏台网接入 200 km 范围内邻省 109 个基准站,接入 50 km 范围内邻省 15 个基本一类站和 170 个基本二类站。对台网监测能力评估过程中只用到测震站点(基准站)记录的数据,预警项目建成前后宁夏测震台网台站分布情况如图 1 所示。

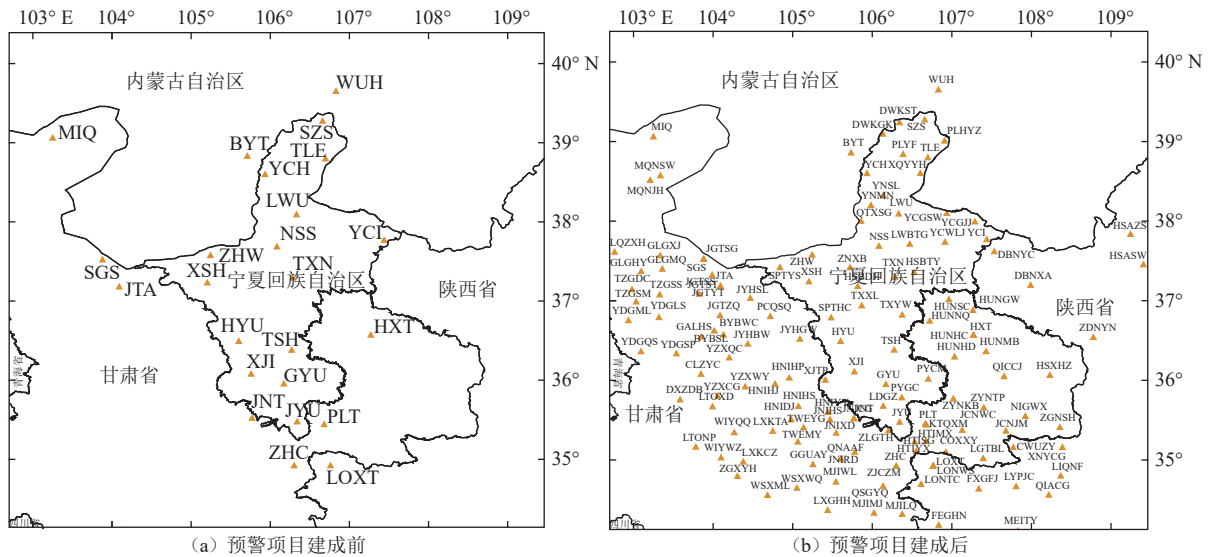


图 1 预警项目建成前后宁夏台网台站分布图

Fig. 1 Distribution map of Ningxia network stations before and after completion of the early warning project

2 台网监测能力评估方法

2.1 台站背景噪声 PGD 统计分析

台站背景噪声受各种因素影响,有人为噪声、自然噪声和仪器自噪声等。地震计在观测过程中,会记录到复杂的台站背景噪声。台站背景噪声限制了台站观测能力的提高,无论采用多么灵敏的观测仪器,都不能清晰地记录小于台站背景噪声的微小信号^[9]。台站背景噪声水平直接影响记录地震波形的质量,是评估地震监测能力的重要指标。

将地震计速度记录统一仿真为周期 1 s, 阻尼比为 $\xi=0.707$ 的位移记录,以噪声最大概率峰值位移 (peak ground displacement, PGD) 为标准统一评估地震计的噪声水平。具体处理步骤: ①统计每个台站背景噪声记录,统一仿真为 1 s 的位移记录; ②每个台站每隔 1 min 截取一小段记录,统计 24 h 记录数据,求出该台站的 PGD 值; ③通过台站 PGD 的概率分布,求出该台站最大概率 PGD 值,作为该台站的噪声 PGD 值^[10]。预警项目建成前后测震台网的 PGD 值统计结果如图 2 所示。

预警项目建成前宁夏台网 26 个测震台站的 PGD 平均值为 $0.018 \mu\text{m}$, 最小值为 $0.004 \mu\text{m}$, 最大值为 $0.085 \mu\text{m}$ 。96% 的台站 PGD 值小于 $0.05 \mu\text{m}$ 。预警项目建成后宁夏台网 146 个测震台站的 PGD 平均值为 $0.021 \mu\text{m}$, 最小值为 $0.001 \mu\text{m}$, 最大值为 $0.752 \mu\text{m}$ 。50% 的台站 PGD 值小于 $0.01 \mu\text{m}$, 85% 的台站 PGD 值小于 $0.05 \mu\text{m}$ 。在对地震监测能力计算前需剔除一定百分比振幅偏大或偏小的异常台站,本文取台站数的 2% 和 98% 作为正常范围的下、上限。

2.2 基于台站背景噪声水平的台网监测能力评估方法

基于台站背景噪声水平的方法依据台站的分布、台站的噪声水平和仪器响应灵敏度等进行计算,与地震分布情况无关,适用区域广泛。评估测震台站组成的测震台网的监测能力,按照 $0.01^\circ \times 0.01^\circ$ 对台网监测空间尺度网格化,假设每个网格发生 1 次地震(微震),根据下式计算:

$$\begin{cases} M_L = \lg U_m + R(\Delta) \\ U_m = 3PGD = 9\sigma \end{cases} \quad (1)$$

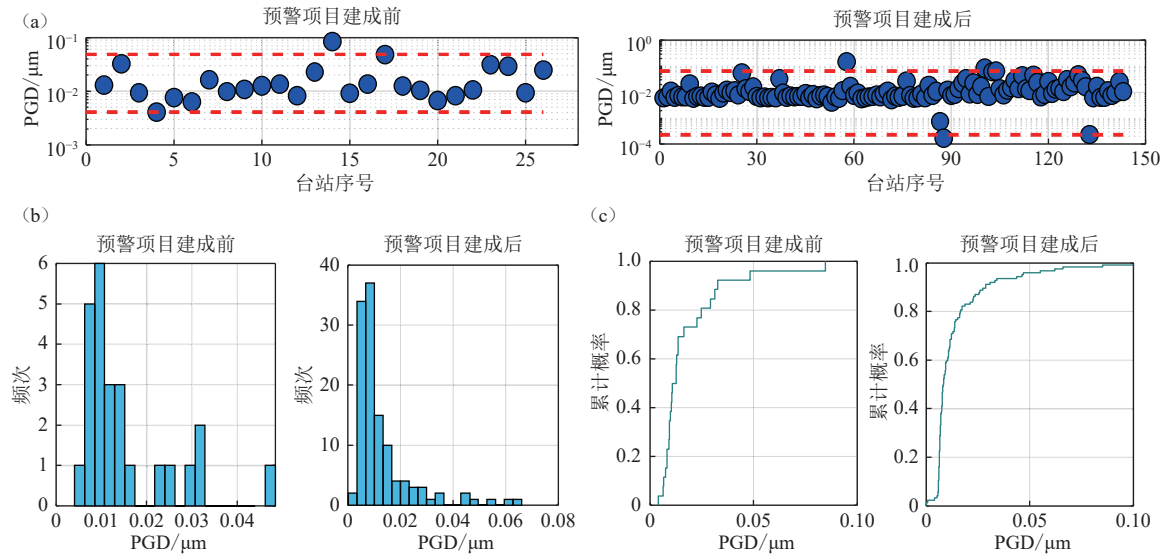


图2 预警项目建成前后台站背景噪声 PGD 统计散点图(a)、直方图(b)和累计概率分布图(c)

Fig. 2 PGD statistical scatter-plot (a), histogram (b) and cumulative probability distribution (c) of background noise at stations before and after completion of the early warning project

式中, M_L 为通过最大位移记录峰值估计的里氏震级; $R(\Delta)$ 为计算震级的量规函数, Δ 为震中距; U_m 为 DD-1 仪器位移记录波的峰值; PGD 为 DD-1 (周期为 1 s, 阻尼比 $\zeta=0.707$) 记录的位移噪声峰值; σ 为位移噪声的有效值, 一般 $PGD=3\sigma$ 。对第 i 个台站, 第 j 个网格, 测定的震级表示为:

$$M_{ij} = \lg(3PGD_i) + R(\Delta_{ij}) \quad (2)$$

式中, PGD_i 为将台站各种型号地震计统一仿真成 DD-1 记录上所量取的噪声最大位移评估。则第 j 个网格, 对各台站测定的地震从小到大重新排列:

$$M'_{1j} \leq M'_{2j} \leq M'_{3j} \leq M'_{4j} \leq \dots \quad (3)$$

按照 N 台定位考虑, 第 j 个网格的监测能力为:

$$M_j = M'_{Nj} \quad (4)$$

对 j 即空间网格循环, 可得到台网监测能力的空间变化。

3 监测能力对比分析

3.1 预警项目建成前后宁夏区域地震监测能力对比分析

预警项目建成前宁夏区域 14 个测震站点, 平均台间距 68 km。预警项目建成后宁夏区域 37 个测震站点, 平均台间距 43 km。预警项目的建成增强了宁夏区域地震监测和预警能力。首先按照 3 台定位考虑, 对预警项目建成前后宁夏区域地震监测能力进

行评估, 图 3 为预警项目建成前后宁夏区域地震监测能力的直方图、概率分布图和空间分布图。

结果显示, 预警项目建成前宁夏区域地震监测能力为 $M_L 1.6$; 最小值为 $M_L 1.0$, 主要在宁夏南部区域, 该区域台站较密且固原台、西吉台台基噪声水平都为 I 级, 炭山台台基噪声水平为 II 级; 最大值为 $M_L 2.0$, 主要在宁夏中部盐池区域, 该地区台站稀疏且盐池台离县城较近, 台站干扰噪声较大, 盐池台台基噪声水平为 III 级, 造成该区域监测能力较弱。全区 55% 的区域监测能力最小震级达到 $M_L 1.6$, 95% 的区域地震监测能力最小震级达到 $M_L 1.8$ 。宁夏南部区域监测能力为 $M_L 1.5$; 宁夏中部和北部区域监测能力为 $M_L 1.7$ 。

预警项目建成后宁夏区域地震监测能力为 $M_L 1.1$; 最小值为 $M_L 0.5$, 主要在宁夏北部贺兰山区域和宁夏南部六盘山地区; 最大值为 $M_L 1.4$, 主要在宁夏中部与南部交界区域和盐池南部区域。全区 55% 的区域地震监测能力最小震级达到 $M_L 1.0$, 95% 的区域地震监测能力最小震级达到 $M_L 1.3$ 。宁夏南部和中部区域监测能力为 $M_L 1.1$, 宁夏北部区域监测能力为 $M_L 0.9$ 。

按照 3 台定位考虑, 预警项目建成后宁夏区域地震监测能力提升了 0.5 级, 最小值提升了 0.5 级, 最大值提升了 0.6 级。尤其是宁夏北部和盐池地区地震监测能力得到了较大提升。

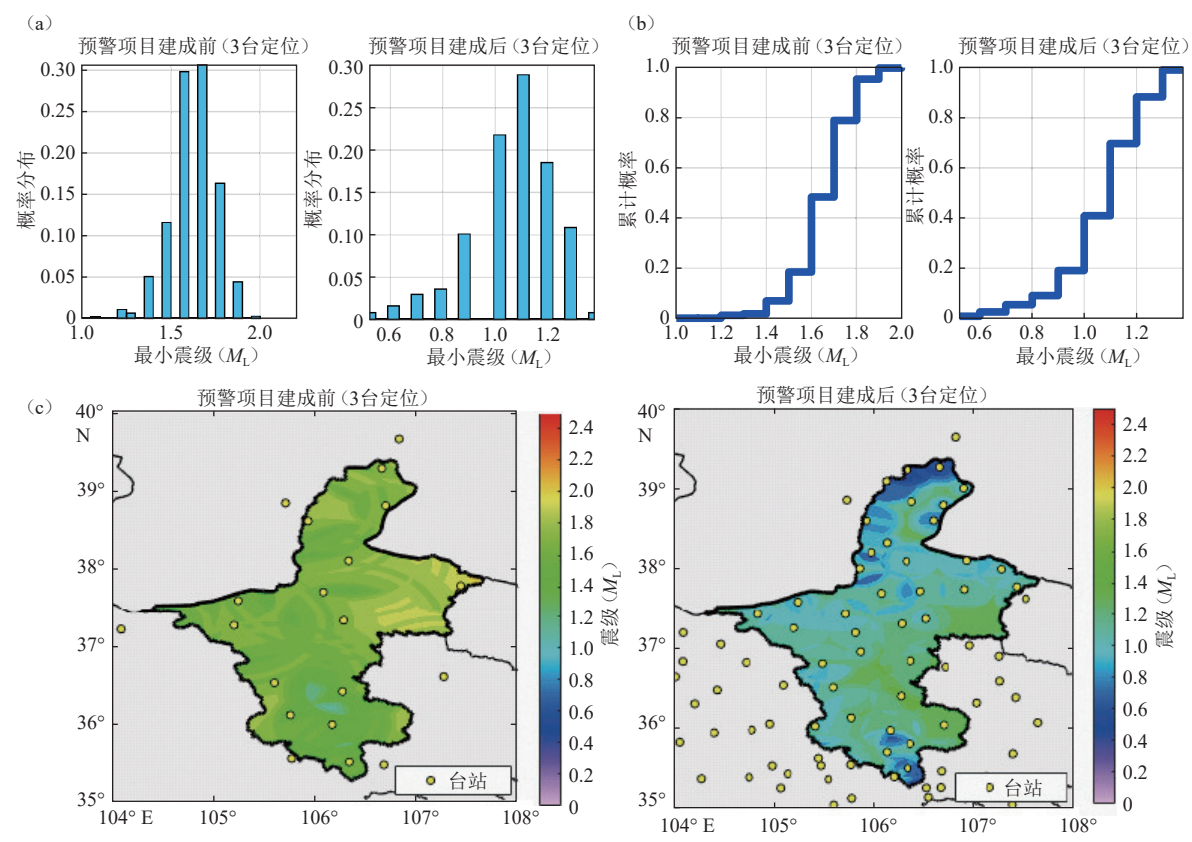


图 3 预警项目建成前后宁夏区域地震监测能力的直方图(a)、概率分布图(b)和空间分布图(c)

Fig. 3 Histogram (a), probability distribution map (b) and spatial distribution map (c) of earthquake monitoring capability in Ningxia region before and after completion of the early warning project

再分别按照 4 台、5 台和 6 台定位考虑，对预警项目建成前后宁夏区域地震监测能力进行评估，评估结果如表 1 所示。

从表 1 中可以看出，分别按照 4 台、5 台和 6 台定位考虑，预警项目建成后宁夏区域地震监测能力

分别为： M_L 1.2、 M_L 1.3、 M_L 1.4；较预警项目建成前提升了 0.5 级。宁夏区域地震监测能力最小值分别提升了 0.8 级、0.7 级和 0.5 级；宁夏 55% 的区域地震监测能力最小震级分别提升了 0.5 级、0.5 级和 0.4 级；95% 的区域地震监测能力最小震级提升了 0.5 级。

表 1 预警项目建成前后宁夏区域地震监测能力

Table 1 Earthquake monitoring capacity of Ningxia region before and after completion of the early warning project

阶段	定位台数/台	最小值 (M_L)	监测能力 (M_L)	最大值 (M_L)	55%的区域监测能力 最小震级(M_L)	95%的区域监测能力 最小震级(M_L)
预警项目建成前	4	1.3	1.7	2.1	1.7	1.9
	5	1.5	1.8	2.2	1.8	2.0
	6	1.6	1.9	2.2	1.8	2.0
预警项目建成后	4	0.5	1.2	1.6	1.2	1.4
	5	0.8	1.3	1.6	1.3	1.5
	6	1.1	1.4	1.8	1.4	1.5

3.2 预警项目建成前后宁夏及周边区域地震监测能力对比分析

为了更好地完成地震速报、地震编目以及地震

事件波形分析等工作，每个台网都会接入邻省相关的台站，以期更好地监测地震活动。预警项目建成前宁夏测震台网接入邻省 12 个测震台，预警项目建成

后宁夏台网接入了邻省 109 个测震台。对宁夏及周边区域($34.5^{\circ}\text{N}\sim 40.5^{\circ}\text{N}$, $103.5^{\circ}\text{E}\sim 108.5^{\circ}\text{E}$)地震监测能力的评估有助于我们全面、准确地认识宁夏台网监测能力。首先按照 3 台定位考虑,对预警项目建成前后宁夏及周边区域地震监测能力进行评估,图 4 为预警项目建成前后宁夏及周边区域地震监测能力的直方图、概率分布图和空间分布图。

结果显示:按照 3 台定位考虑,预警项目建成前

宁夏及周边区域地震监测能力为 $M_L 1.9$, 最小值为 $M_L 1.0$, 最大值为 $M_L 2.6$ 。宁夏及周边 55% 的区域地震监测能力最小震级达到 $M_L 1.9$; 95% 的区域地震监测能力最小震级达到 $M_L 2.3$ 。预警项目建成后宁夏及周边区域地震监测能力为 $M_L 1.2$, 最小值为 $M_L 0.3$, 最大值为 $M_L 1.9$ 。宁夏及周边 55% 的区域地震监测能力最小震级达到 $M_L 1.2$, 95% 的区域地震监测能力最小震级达到 $M_L 1.6$ 。

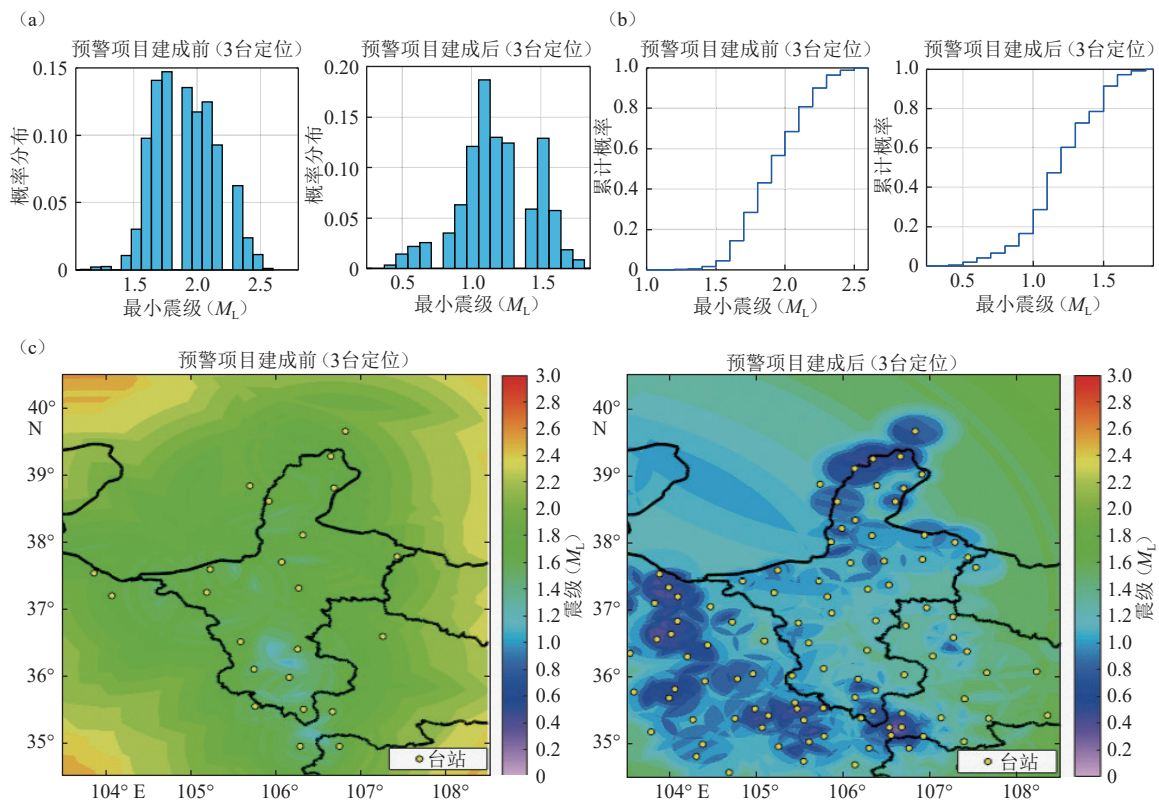


图 4 预警项目建成前后宁夏及周边区域地震监测能力的直方图(a)、概率分布图(b)和空间分布图(c)

Fig. 4 Histogram (a)、probability distribution map (b) and spatial distribution map (c) of earthquake monitoring capability in the surrounding area of Ningxia before and after completion of the early warning project

预警项目建成后宁夏及周边区域地震监测能力为 $M_L 1.2$, 最小值为 $M_L 0.3$, 最大值为 $M_L 1.9$ 。宁夏及周边 55% 的区域地震监测能力最小震级达到 $M_L 1.2$, 95% 的区域地震监测能力最小震级达到 $M_L 1.6$ 。

再分别按照 4 台、5 台和 6 台定位考虑,对预警项目建成前后宁夏及周边区域地震监测能力进行评估,预警项目建成前后宁夏及周边区域监测能力分布图如图 5 所示。

预警项目建成后,按照 4 台、5 台和 6 台定位考虑,宁夏及周边区域地震监测能力分别达到 $M_L 1.4$ 、 $M_L 1.5$ 和 $M_L 1.6$,较项目建成前地震监测能力提升了

0.6 级。地震监测能力最小值分别达到 $M_L 0.4$ 、 $M_L 0.7$ 和 $M_L 0.7$,较项目建成前地震监测能力最小值提升了 0.9 级、0.8 级和 0.9 级;地震监测能力最大值分别达到 $M_L 2.3$ 、 $M_L 2.4$ 和 $M_L 2.4$,较项目建成前监测能力最大值提升了 0.2 级、0.3 级和 0.4 级。宁夏及周边 95% 的区域监测能力最小震级达到 $M_L 2.0$ 、 $M_L 2.0$ 和 $M_L 2.1$,较项目建成前提升了 0.4 级。宁夏北部周边区域(阿拉善盟和鄂尔多斯市)由于地广人稀,台站数量较少,该区域地震监测能力较弱。

预警项目的建成对宁夏及周边区域地震监测能力有较大提升,主要原因是台站密度增加,台间距减

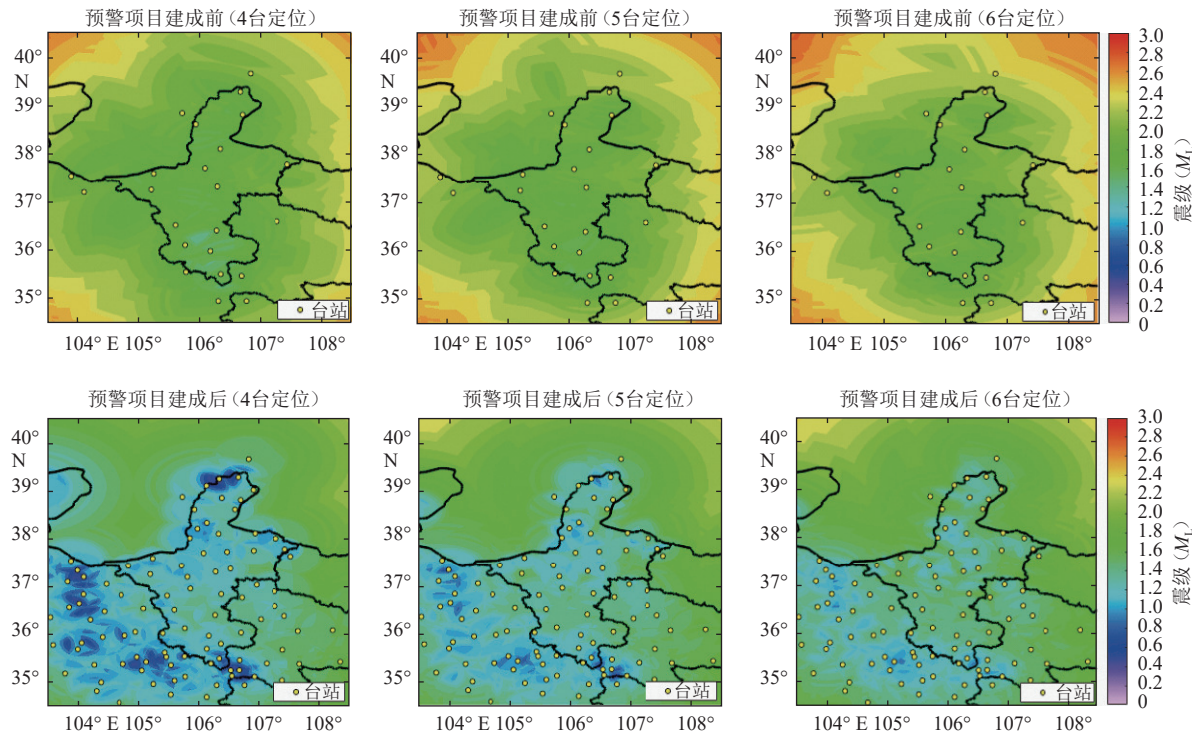


图 5 预警项目建成前后宁夏及周边区域地震监测能力空间分布图

Fig. 5 Spatial distribution map of earthquake monitoring capability in Ningxia and surrounding areas before and after completion of the early warning project

小，部分新建台站台基条件较好，台站背景噪声较小。宁夏南部及周边区域台站密集，监测能力较强，可实现对 $M_L \geq 1$ 地震的监测。宁夏北部周边区域，监测能力还有待进一步加强。

4 讨论与结论

2023 年预警项目建成前的测震台网与建成后的测震台网并行运行，为监测能力对比提供了很好的机会。为对评估结果的可靠性和真实性进行验证，对预警项目建成前后测震台网的编目结果进行对比。对比发现对于一些微小地震，原测震台网只能通过单台定位，无法准确获取地震的震中、震级和震源深度等基本参数。而预警项目建成后测震台网对同一微小地震则能通过 3 个及以上的台站进行定位，较为准确地获取地震的三要素。选取宁夏北部、中部和南部地区 3 个典型地震事件进行对比(表 2)。

预警项目建成前宁夏区域测震台网监测能力(3 台定位)评估结果为 $M_L 1.6$ ；最小值为 $M_L 1.0$ ；表 2

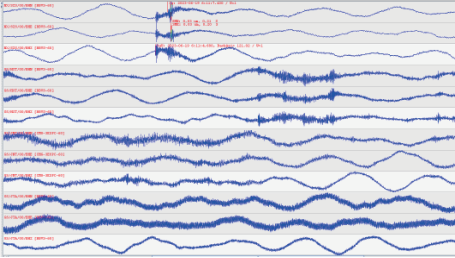
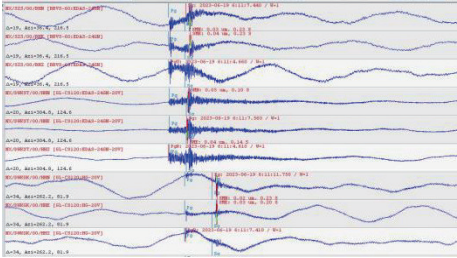
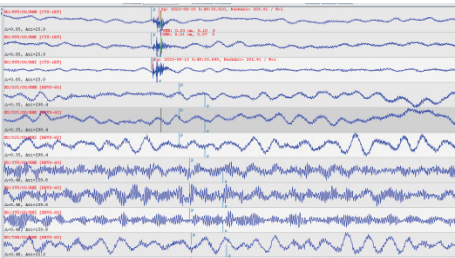
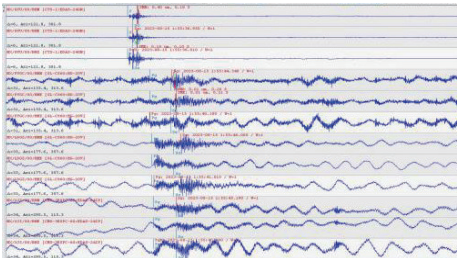
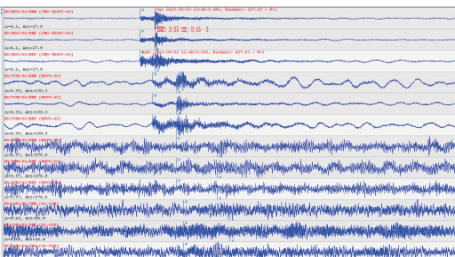
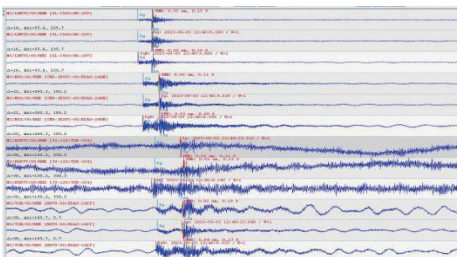
中 3 次地震震级在 $M_L 1.0$ 左右，原测震台网均未能有效进行监测，评估结果与实际结果基本相符。预警项目建成后宁夏区域测震台网的监测能力(3 台定位)平均为 $M_L 1.1$ ；最小值为 $M_L 0.5$ ；表 2 中的地震在预警台网中均得到有效监测，实际编目结果与评估结果基本相符。

预警项目建成后宁夏区域地震监测能力为 $M_L 1.1$ ，最小值为 $M_L 0.5$ ；较项目建前提升了 0.5 级；95% 的区域地震监测能力最小震级达到 $M_L 1.3$ ，较项目建前提升了 0.5 级。预警项目建成后宁夏及周边区域地震监测能力为 $M_L 1.2$ ，最小值为 $M_L 0.3$ ，较项目建前提升了 0.7 级；95% 的区域地震监测能力最小震级达到 $M_L 1.6$ ，较项目建前提升了 0.7 级。

由于预警项目建成不久，地震事件记录有限，下一步考虑在震例积累到一定量后运用 PMC 法对宁夏台网监测能力再进行评估，与现有评估结果进行对比分析。以期准确、全面地认识宁夏台网监测能力。

表 2 预警项目建成前后宁夏台网监测地震结果(波形) 对比

Table 2 Comparison of earthquake monitoring results (waveform) for the Ningxia network before and after completion of the early warning project

发震时刻	预警项目建成前台网监测结果			预警项目建成后台网监测结果		
	参考地名	震级(M_L)	定位台数	参考地名	震级(M_L)	定位台数
2023-06-19 05:42:50.95	宁夏石嘴山台(S-P2.2s)	0.7	1	宁夏石嘴山市惠农区	1.0	3
						
2023-08-15 01:55:33.98	宁夏固原台(S-P1.4s)	1.3	1	宁夏固原市原州区	1.1	4
						
2023-09-03 12:40:02.52	宁夏牛首山台(S-P2.9s)	0.9	1	宁夏吴忠市利通区	1.3	3
						

参考文献

[1] 王亚文, 蒋长胜, 刘芳, 等. 中国地震台网监测能力评估和台站检测能力评分(2008—2015年)[J]. 地球物理学报, 2017, 60(7): 2767-2778
Wang Y W, Jiang C S, Liu F, et al. Assessment of earthquake monitoring capability and score of seismic station detection capability in China Seismic Network (2008—2015)[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2017, 60(7): 2767-2778

[2] 祁国亮, 袁川, 余苗, 等. 基于地震监测能力的地方测震台网布局优化[J]. 地震学报, 2022, 44(3): 476-488
Qi G L, Yuan C, Yu M, et al. Optimization of local seismic network layout based on seismic monitoring capability[J]. Acta Seismologica Sinica, 2022, 44(3): 476-488

[3] 刘芳, 蒋长胜, 张帆, 等. 内蒙古区域地震台网监测能力研究[J]. 地震学报, 2014, 36(5): 919-929
Liu F, Jiang C S, Zhang F, et al. A study on detection capability of the Inner Mongolia regional seismic network[J]. Acta Seismologica Sinica, 2014, 36(5): 919-929

[4] 游秀珍, 林彬华, 李军, 等. 福建省地震台网预警能力评估[J]. 地震学报, 2023, 45(1): 126-141
You X Z, Lin B H, Li J, et al. Evaluation of early warning capability of Fujian Province seismic network[J]. Acta Seismologica Sinica, 2023, 45(1): 126-141

[5] 刘栋. 福建省测震台网监测能力研究[D]. 哈尔滨: 中国地震局工程力学研究所, 2018
Liu D. Research on monitoring capacity of seismological network in Fujian Province[D]. Harbin: Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration, 2018

- [6] 立凯, 何奕成, 宫杰, 等. PMC 方法在江苏测震台网监测能力评估中的应用[J]. 震灾防御技术, 2023, 18(3): 642-650
Li K, He Y C, Gong J, et al. Analysis of monitoring capability of Jiangsu seismic network based on PMC method[J]. Technology for Earthquake Disaster Prevention, 2023, 18(3): 642-650
- [7] 安祥宇, 赵倩, 王晓睿, 等. 基于 PMC 方法的辽宁测震台网监测能力评估[J]. 地震工程学报, 2019, 41(6): 1545-1552
An X Y, Zhao Q, Wang X R, et al. Assessment of earthquake monitoring capability of Liaoning seismic network based on PMC method[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2019, 41(6): 1545-1552
- [8] 余洋洋, 戴仕贵, 杜瑶, 等. 四川泸州地区测震台网地震监测能力研究[J]. 中国地震, 2021, 37(1): 227-238
Yu Y Y, Dai S G, Du Y, et al. Study on the earthquake monitoring capacity of seismic network in Luzhou area of Sichuan Province[J]. Earthquake Research in China, 2021, 37(1): 227-238
- [9] 董俊, 项月文, 李清武. 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[J]. 地震科学进展, 2023, 53(8): 367-373
Dong J, Xiang Y W, Li Q W. Analysis and comparison of noise and seismic events recorded by seismometers, strong seismometers and intensity meters of Jiangxi earthquake early warning network[J]. Progress in Earthquake Sciences, 2023, 53(8): 367-373
- [10] 赵林林, 尹欣欣, 尹志文, 等. 甘肃预警台网监测能力以及预警时间评估研究[J]. 地球物理学进展, 2021, 36(4): 1487-1492
Zhao L L, Yin X X, Yin Z W, et al. Research on monitoring capacity and early warning time assessment of Gansu early warning network[J]. Progress in Geophysics, 2021, 36(4): 1487-1492
- =====

(上接第 330 页)

- [13] 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]. 地震科学进展, 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
- [14] 李晔, 郭巍, 许可, 等. 天津某环境背景噪声分析[J]. 地震科学进展, 2024, 54(6): 389-395, 406
Li Y, Guo W, Xu K, et al. Analysis of one ambient seismic noise in Tianjin[J]. Progress in Earthquake Sciences, 2024, 54(6): 389-395, 406
- [15] 安全, 韩晓明, 包文超, 等. 内蒙古地区强震动台站背景噪声与数据质量分析[J]. 地震学报, 2024, 46(3): 490-501
An Q, Han X M, Bao W C, et al. Ambient noise and data quality analysis of strong motion stations in Inner Mongolia region[J]. Acta Seismologica Sinica, 2024, 46(3): 490-501
- [16] 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