DOI:10.14075/j.jgg.2024.09.432

文章编号:1671-5942(2025)10-1085-08

云南地震台网监测与预警能力评估分析

李凤英[1]　许亚吉[1]　张天继[1]　吴宇琴[1]　党文杰[1]　曹　颖[1]

1　云南省地震局,昆明市北辰大道 148 号,650224

摘　要:利用云南地震台网 2 060 个站点记录到的 72 h 连续波形数据,将各台站背景噪声最大概率峰值位移(PGD)作为评估指标,对云南地震台网监测与预警能力进行评估分析。结果显示,云南地震台网平均监测能力达 M_L1.0,最小可以监测到 M_L0.1 地震,在滇中、滇西北地区监测能力相对薄弱;速度计、加速度计、烈度仪三类传感器融合后的预警最小震级、首台触发和震后预警首报用时平均值分别为 M_L2.2、4.0 s、6.1 s。云南地震台网总体规划布局满足地震预警初期设置要求。

关键词:噪声水平;监测能力;预警能力;地震预警

中图分类号:P315　　**文献标识码**:A

云南省位于印度板块与欧亚板块碰撞汇聚区域,受板块碰撞及俯冲作用影响,该地区构造活动错综复杂、地质活动剧烈,深大断裂广泛发育[1-5]。云南省断裂体系主要可划分为三大类,中部以红河断裂为界展开,西部以澜沧江断裂和怒江断裂为主导,东部则以小江断裂为界限[1-8]。2023—2024 年云南省地震震中分布见图 1,该地区地震活动频繁、震级较大、灾害影响深远,是中国中强地震活动频繁且地震灾害最为严重的省份之一[6],目前关于云南地震台网监测能力的分析尚未见系统性研究成果。本文在充分考虑地震预警时效性的基础上,运用传统地震台网监测能力评估方法,推导出云南地震台网可监测到的最小震级及云南地震预警台网首报用时的空间分布[2-7]。通过全面分析云南地震台网的监测与预警能力,科学评估台网预警效能,旨在为完善地震台网总体布局和地震预报提供科学依据,进而有效提升地震灾害风险防范能力。

1　云南地震台网概况

云南地震台网由测震台网和预警台网组成,其中测震台网由 10 个国家级台站和 58 个省级区域台站构成,均安装有宽频带或甚宽频带地震计。国家烈度速报与预警工程云南子项目台站建设涉及 810 个一般站、202 个基准站(其中新建 145 个,改建 57 个)和 228 个基本站(其中新建 119 个,改建 109 个),云南子项目新建及改建台站总计 1 240 个。2016 年“云南简易烈度计地震预警示范项目”已建成的 120 个一般站,与云南子项目建设台站实现联网观测,为达成“一乡一台站”的目标,云南自建 300 个一般站。此外,云南地震台网整合了四川、广西、贵州等邻省 332 个预警站点数据,台站总数达到 2 060 个,全网平均台站间距约为 10 km,台站分布情况见图 2。在预警基准站中配置了 6 通道数采、地震计、加速度计,基本站配置了 3 通道数采和强震动加速度计,一般站配置了烈度仪。为便于计算和讨论,本文将云南地震台网依据仪器类型划分为测震台网、烈度台网、强震台网。本文收集了上述三类台网共 2 060 个站点在 2024-08-08—10 记录的 72 h 背景噪声数据,经过筛选剔除频繁断记的台站后,得到 1 440 个烈度台、519 个强震台和 306 个测震台的波形记录,以供分析处理。

2　方　法

2.1　台网震级监测能力分析

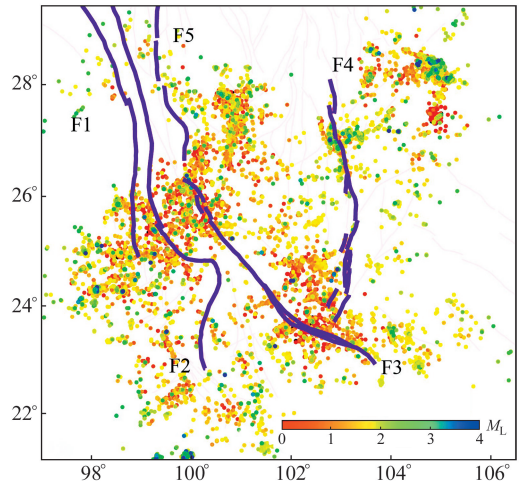
监测能力是指台网对微小地震识别并能精确定位的能力。通常情况下,监测能力的大小主要依赖于观测台站的环境噪声、观测仪器的动态范围、台网密度等因素。其中,观测台站的环境噪声影响尤为严重,台基噪声越大,对地震波的识别越困难,识别微小地震的能力越弱。

将研究区域以 0.5°×0.5°网格化,假定每一个特定的网格中均有地震发生,并将三类传感器

收稿日期:2024-09-19

项目来源:云南省地震局青年科技基金(2024k01,2023k06);云南省地震科技创新团队(CXTD202404)。

第一作者简介:李凤英,助理工程师,主要从事地震观测技术研究,E-mail:18487120898@163.com。



F1:怒江断裂;F2:澜沧江断裂;F3:红河断裂;F4:小江断裂;F5:金沙江断裂

图 1 2023—2024 年研究区地震震中分布

Fig. 1 Epicenter distribution of earthquakes in the study area from 2023 to 2024

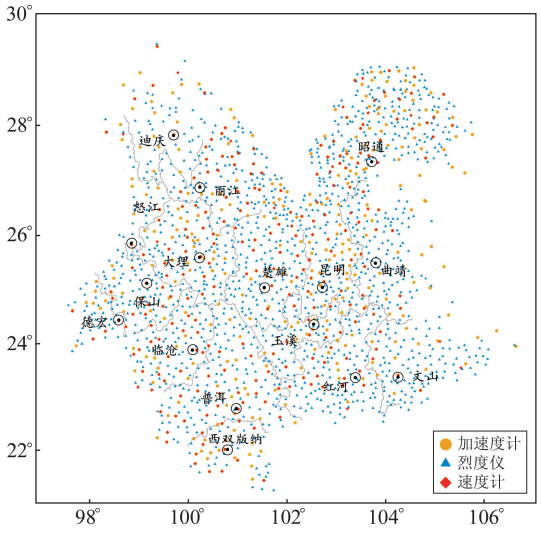


图 2 云南地震台网台站分布

Fig. 2 Distribution of stations of Yunnan seismic network

噪声记录仿真为周期 $T=1$ s,阻尼比 $\xi=0.707$ 的 DD-1 记录噪声波形,则发生在网格内的地震震级可以依据下式计算:

$$\begin{aligned} M_L &= \lg U_m + R(\Delta) \\ U_m &= 3\mathrm{PGD} = 9\sigma \end{aligned} \tag{1}$$

式中,U_m 为地震波的最大峰值位移;PGD 为最大概率峰值位移;σ 为位移噪声的有效值;M_L 为地方性震级;$R(\Delta)$为云南地震台网量规函数,Δ 为震中距。根据 GB17740—2017《地震震级的规定》[9],云南地震台网的量规函数见图 3。

根据震级评估式(1),对于第 m 个网格内的第 n 个台站计算的理论震级为:

$$M_{mn} = \lg(3\mathrm{PGD}_n) + R(\Delta mn) \tag{2}$$

对于发生在第 m 个网格以内的地震,各台站

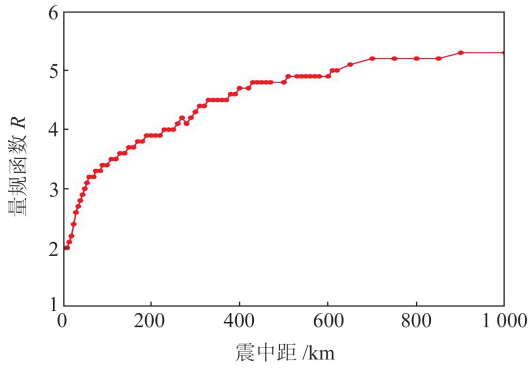


图 3 云南地震台网量规函数

Fig. 3 Cauge function of Yunnan seismic network

测定的理论震级 M_L 由小到大依次为:

$$M'_{1m} \leqslant M'_{2m} \leqslant M'_{3m} \leqslant M'_{4m} \leqslant \cdots \leqslant M'_{lm} \tag{3}$$

依据 4 台定位触发原则的设定,对于第 m 个网格的监测能力设定为:

$$M_m = M'_{4m} \tag{4}$$

将研究区域内的所有网格循环遍历计算,得到云南地震台网监测能力的空间展布变化。

2.2 预警台网最小震级评估

传统地震台网震级监测能力分析不需要考虑时效性,而预警台网最小震级的评估则需要考虑。对于第 m 个网格中的最小震级则取距离网格最近的前 3 台或前 4 台进行定位,假定第 m 个网格周边前 3 台或前 4 台震级为 M'_{1m}、M'_{2m}、M'_{3m}、M'_{4m},根据 4 台定位原则,第 m 个网格的最小震级为:

$$M_m = \max\{M'_{1m}, M'_{2m}, M'_{3m}, M'_{4m}\} \tag{5}$$

2.3 预警台网首报用时评估

地震预警首报时间的评估是以首台触发时间开始,选取与首台触发时间最近的前 3 台或前 4 台,取研究区域的平均震源深度,依据速度模型来计算理论首报时间。假定第 m 个网格发生地震,预警台网首报用时可表示为:

$$t_m = \max\{t_{Lm}, t_{Mm}\} \tag{6}$$

式中,t_{Lm} 和 t_{Mm} 为距离第 m 个网格最近的 3 台或 4 台计算震级时间和定位时间。遍历所有网格,即可得到地震预警首报用时的空间分布。

3 计算结果与讨论

3.1 数据处理

地震台网的监测能力与台基噪声水平有关,台站背景噪声水平直接影响着台网预警能力。本文选取 2024-08-08—10 云南地震台网记录的 72 h 连续波形资料,以背景噪声最大峰值位移为标准评估台网噪声水平,剔除异常台站,进而得到整个云南地震台网的监测能力和预警能力的空间分布。具体处理方法如下:以天为单位收集到云南

地震台网 2 060 个台站的连续波形,剔除断记、波形大异常干扰较多的台站,共得到 1 440 台烈度仪、519 台强震动加速度计和 306 台速度计的 SEED 波形文件;将 SEED 文件解压为 SAC 文件,再对其进行去线性化、去仪器响应等预处理。将三类传感器的噪声记录统一仿真为周期为 1 s、阻尼比为 0.707 的 DD-1 记录的位移、加速度、速度。将每个台站以 60 s 为间隔截取记录,计算台站的位移噪声峰值(PGD)。根据概率分布得到每个台站最终的 PGD 值,将台网噪声统计到的位移噪声峰值(PGD)由小到大排序,累计概率在一定数值之间的为正常值,超过该范围为异常。根据台站 PGD 值筛选出可用台站,进而得到整个地震台网监测能力和预警能力的空间分布。

3.2　云南地震台网背景噪声分析

云南地震台网速度计、加速度计、烈度仪三类传感器的位移噪声峰值(PGD)统计结果散点分布见图 4,根据筛选上下限剔除异常台站得到各类传感器正常台站 PGD 值的直方分布图(图 5)和累计概率分布图(图 6)。选取 306 个测震台 PGD 值的 98%和 3%作为上下限,剔除 20 个异常台站后,得到测震台 PGD 值的平均值为 0.007 μm,最小值为 0.003 1 μm,最大值为 0.021 μm;519 个强震动台上下限分别取为 98.5%和1.1%,剔除 13 个异常台站后,得出强震动台 PGD 值的平均值为 0.17 μm,最小值为 0.034 μm,最大值为 1.06 μm。同理,1 440 个烈度台上下限分别取为 99%和 0.5%,得出其 PGD 值的平均值为 15.6 μm,最大值为 35.4 μm,最小值为 8.9 μm。对比三类传感器,速度计的 PGD 值最小,主要分布在 0～0.015 μm 之间,其次是加速度计,大多数台站 PGD 值小于 0.5 μm,而烈度计的 PGD 值最高,主要集中分布在 10～25 μm 之间。因此,烈度仪、加速度计、速度计三类传感器的噪声水平依次降低。各台站的 PGD 结果显示,整个云南地震台网噪声分布水平均匀,台网布局合理,地震监测数据可靠。

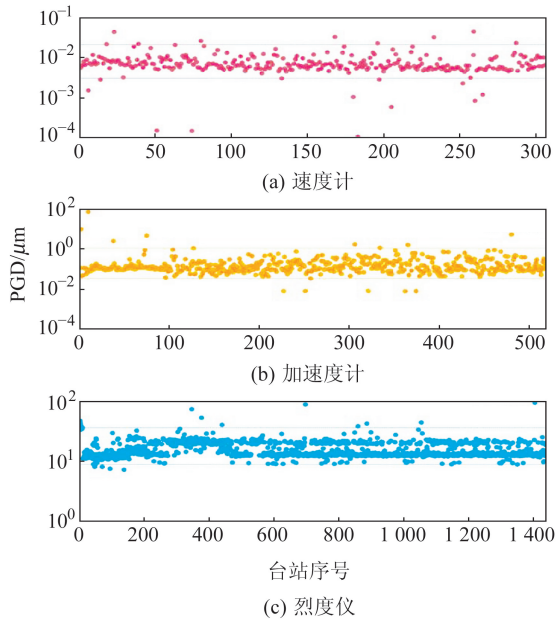


图 4　三类传感器的背景噪声 PGD 值散点分布
Fig. 4　The scatter plots the distribution of background noise PDG of three types of sensors

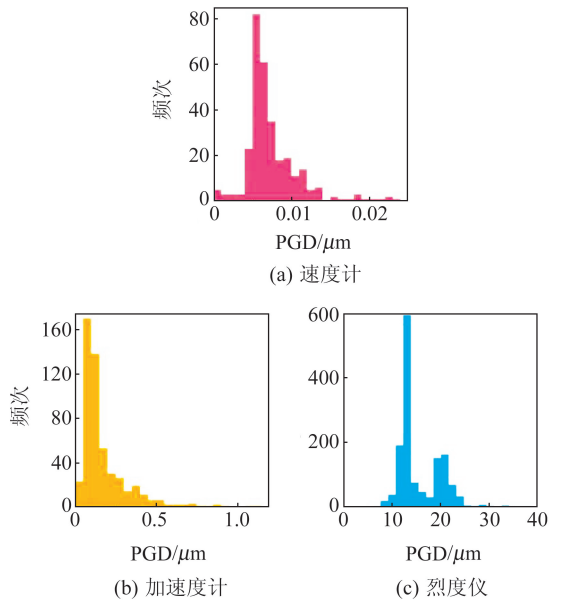


图 5　三类传感器的背景噪声 PGD 值统计直方图
Fig. 5　The statistics histogram of background noise PDG of three types of sensors

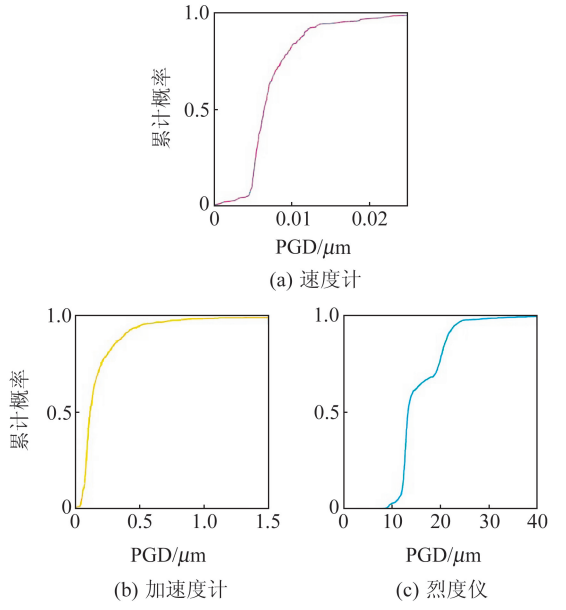
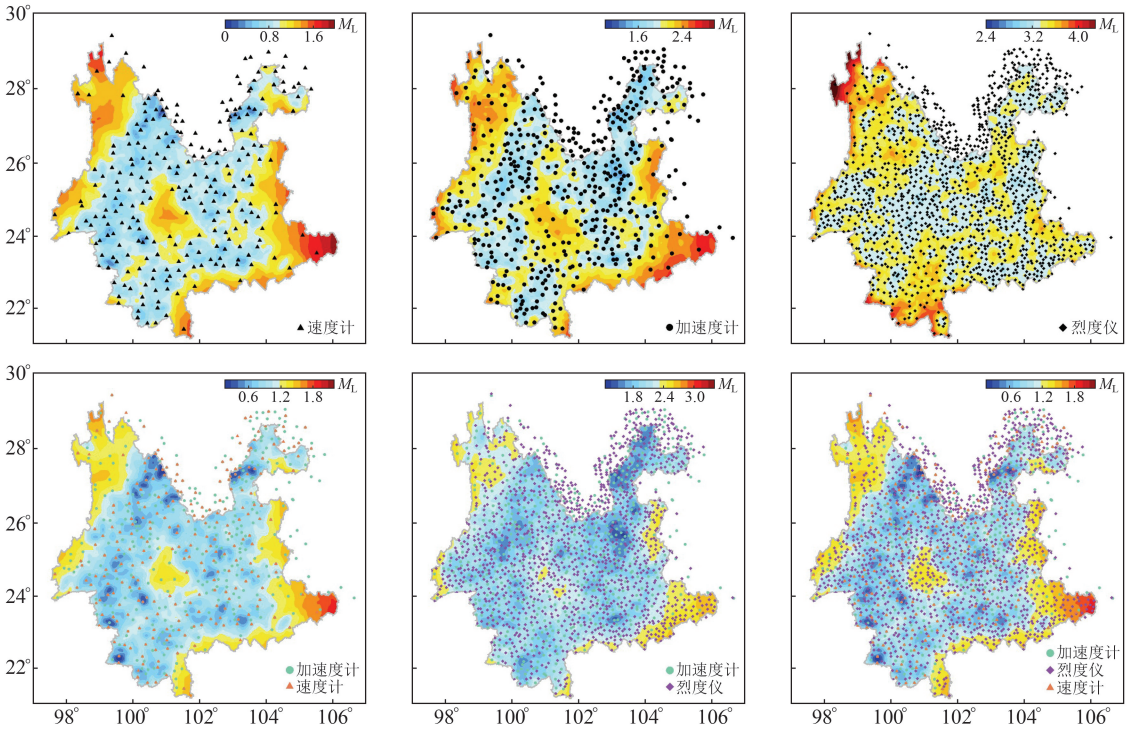


图 6　三类传感器的背景噪声 PGD 值概率分布直方图
Fig. 6　The cumulative probability distribution of background noise PDG of three types of sensors

3.3　云南地震台网监测能力分析

将整个云南地区按 0.05°×0.05°划分为 201 个网格,假定每个网格内均有地震发生,依次计算

得到单网和多网融合后的地震监测能力空间分布(图 7)及详细结果(表 1,单位 M_L)。



底图使用审图号 GS(2024)0650 号,无修改

图 7 单网和多网融合地震监测能力空间分布

Fig. 7 Distribution of seismic monitoring capacity of single network and fusion networks

表 1 单网和多网融合地震监测能力汇总

Tab. 1 The seismic monitoring capacity of single network and fusion networks

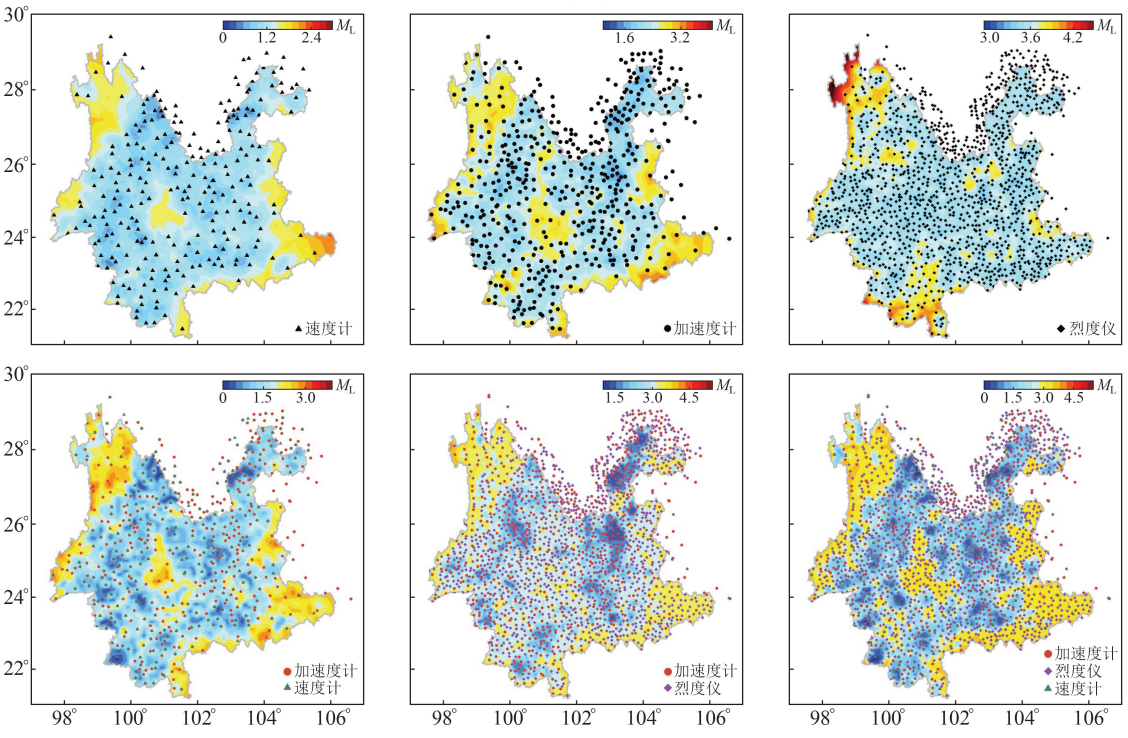
监测能力 M_L	类型											
	单网						多网					
	测震		强震		烈度		测震强震		强震烈度		三网融合	
	传统	预警	传统	预警	传统	预警	传统	预警	传统	预警	传统	预警
平均值	1.0	1.2	2.0	2.3	3.4	3.6	1.0	1.6	2.0	2.9	1.0	2.2
最小值	0.1	0.3	1.3	1.5	3.1	3.3	0.1	0.1	1.3	1.3	0.1	0.1
最大值	2.0	2.3	2.8	3.4	4.5	4.7	2.0	3.3	2.8	4.3	2.0	4.1
累计概率 15%	0.7	0.9	1.8	2.0	3.3	3.5	0.7	0.9	1.8	2.0	0.7	1.2
累计概率 55%	1.0	1.2	2.0	2.3	3.4	3.6	1.0	1.7	2.0	3.2	1.0	2.2
累计概率 95%	1.5	1.7	2.5	2.9	3.8	4.0	1.5	2.6	2.5	3.5	1.5	3.4

结果显示,测震台网、强震台网、烈度台网在全省范围内的地震监测能力平均值分别为 M_L1.0、M_L2.0、M_L3.4。三网融合的理论监测能力平均值为 M_L1.0,最小可以监测到 M_L0.1 地震,全省 95%区域的监测能力可以达到 M_L1.5,55%区域的监测能力达到 M_L1.0,局部 15%区域可以监测到 M_L0.7 地震,等同于监测能力最强的测震单网。前人基于近震震级公式计算了云南 68 个测震台的监测能力,发现整个测震台网监测能力平均为 M_L1.6,局部地区可达 M_L0.8[10]。造成二者的差异可能是因为台网的密度,台网密度越高,监测能力越强。本文使用了 2 060 个台站的连续波形数据,远高于原本测震台网数量,因而呈现的监测能力也更强。通过对比,三类台网中,测震台网的监测能力最强,强震台网次之,烈度台网最弱;多网融合后的监测能力等同于监测能力最强的单网。

将云南划分为滇西南、滇西北、滇东南、滇东北、滇中 5 个区域,通过监测能力空间分布结果可以看出,在滇西北迪庆、怒江及滇中楚雄一带,由于测震台站数量较为稀疏,且分布不均匀,监测能力较弱;而在丽江、大理附近,无论是单网还是多网都显示出较强的监测能力,这与该地区分布有红河断裂、金沙江断裂、澜沧江断裂等属于地震危险区的情况相符。

3.4 地震预警最小震级评估

在考虑地震预警时效性的前提下,依据传统地震台网监测能力的计算方法,对云南地震台网的地震预警最小震级进行评估,得到预警最小震级的空间分布(图 8)和详细结果(表 1,单位 M_L)。



底图使用审图号 GS(2024)0650 号,无修改

图 8　单网和多网融合地震预警最小震级空间分布

Fig. 8　Distribution of earthquake early warning minimum magnitude for single network and fusion networks

可以看出,测震台网地震预警最小震级平均值为 M_L1.2,最小值为 M_L0.3,最大值为 M_L2.3,其中全省 95%地区的地震预警最小震级为 M_L1.7,55%区域的地震预警最小震级为 M_L1.2,全省 15%局部重点区域的地震预警最小震级为 M_L0.9。强震台网地震预警最小震级平均值为 M_L2.3,最小值为 M_L1.5,最大值为 M_L3.4,其中全省 95%地区的地震预警最小震级为 M_L2.9,55%区域的地震预警最小震级为 M_L2.3,全省 15%局部重点区域的地震预警最小震级为 M_L2.0。烈度台网地震预警最小震级平均值为 M_L3.6,最小值为 M_L3.3,最大值为 M_L4.7,其中全省 95%地区的地震预警最小震级为 M_L4.0,55%区域的地震预警最小震级为 M_L3.6,全省 15%局部重点区域的地震预警最小震级为 M_L3.5。

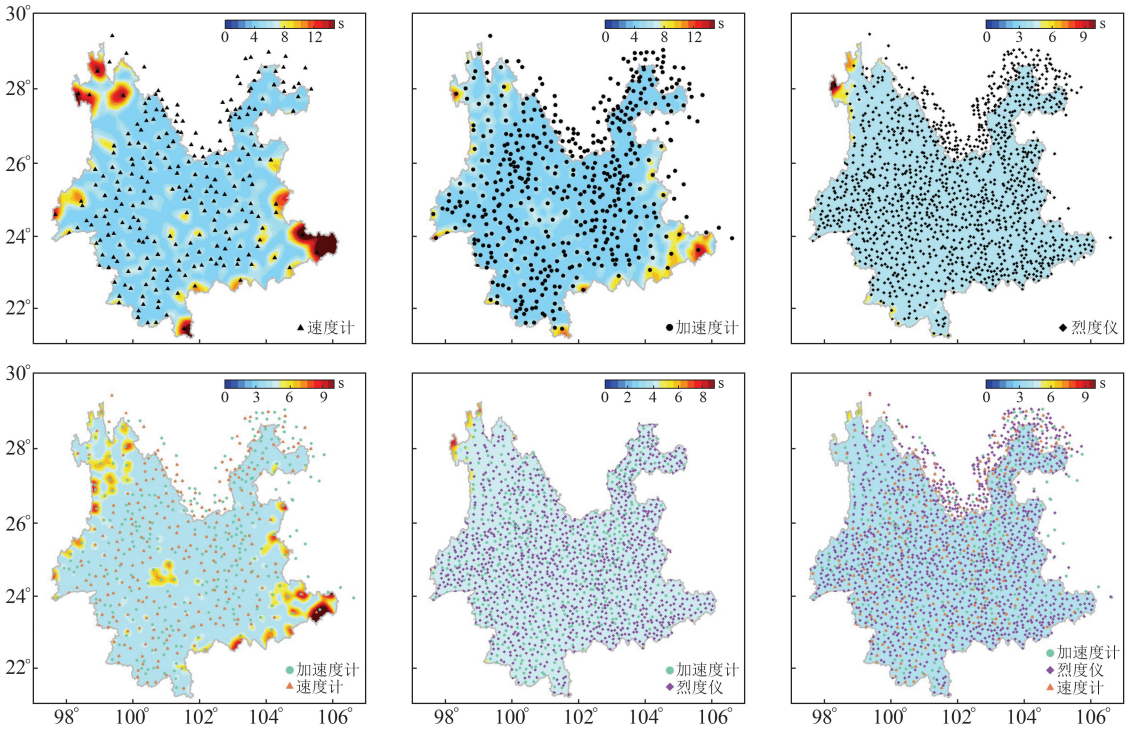
多网融合结果显示,测震强震融合台网测定的地震预警最小震级平均值为 M_L1.6、最小值为 M_L0.1、最大值为 M_L3.3,在全省 15%重点区域、55%区域、95%区域的地震预警最小震级分别为 M_L0.9、M_L1.7、M_L2.6。强震烈度融合台网测定的地震预警最小震级平均值为 M_L2.9、最小值为 M_L1.3、最大值为 M_L4.3,在全省 15%重点区域、55%区域、95%区域的地震预警最小震级分别为 M_L2.0、M_L3.2、M_L3.5。三网融合测定的地震预警最小震级平均值为 M_L2.2、最小值为 M_L0.1、最大值为 M_L4.1,在全省 15%重点区域、55%区域、95%区域的地震预警最小震级分别为 M_L1.2、M_L2.2、M_L3.4。相较于强震烈度融合台网,三网融合后台网地震监测能力平均值降低 M_L0.7,最小值降低 M_L1.2。对比单网和多网融合结果,多网融合测定的地震预警最小震级最小值均优于单网测定的最小震级最小值,而其余数值均介于融合台网对应的单网之间。

相较于传统地震监测能力的计算结果,无论是单一网络还是多网络的计算结果,地震预警系统的最小震级阈值均高于传统地震监测能力的计算结果。这种差异的产生,主要源于在评估地震预警系统的时效性时,采用了 4 台定位原则来确定地震预警的最小震级阈值,该原则仅选取震源网格周边最近的 4 个台站进行震级测定。相比之下,传统地震监测能力的计算则是基于记录到地震的台站中测定的最大震级来确定该网格的最小监测震级。因此,地震预警系统的最小震级阈值大于传统方法计算得出的地震台网能够监测到的最小震级。

3.5　地震预警首报用时评估

假定震源深度为 10 km,依据震后精准定位和测定震级的时间来推算云南地震台网预警首报用时。理论上,在首台触发后,预警系统至少需要 3 s 才能对地震进行精定位和震级测定,因

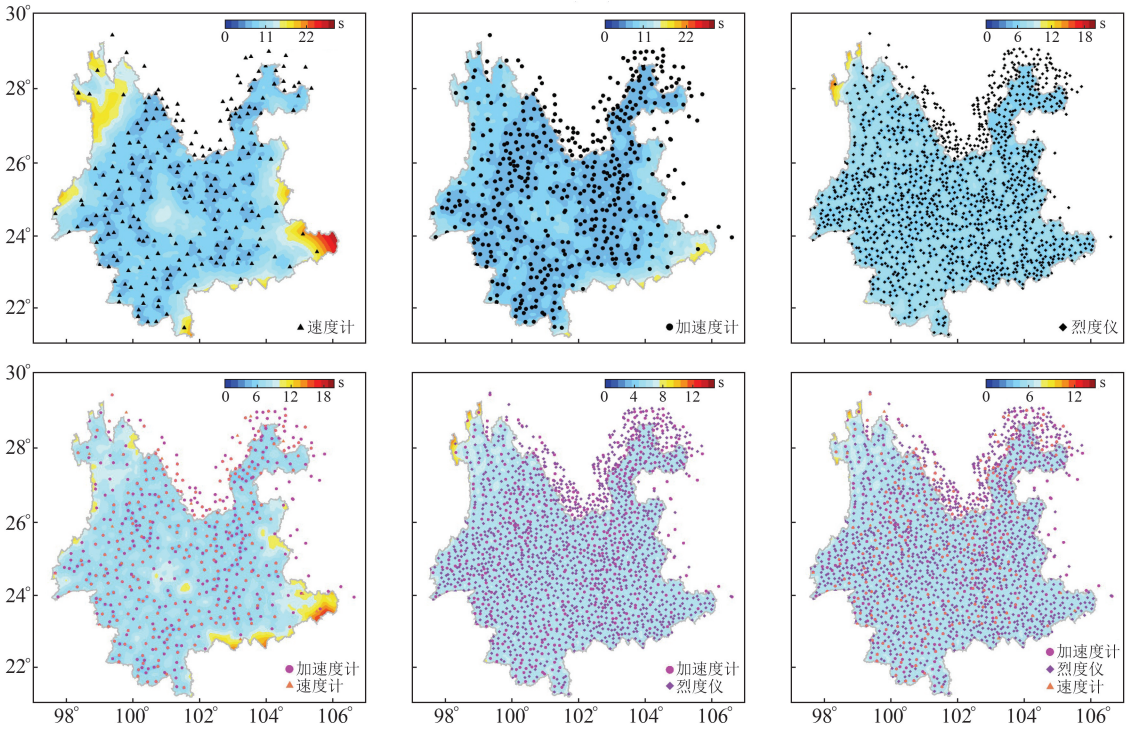
此地震预警首报用时不低于 3 s。通过计算得到云南地震台网地震预警首台触发首报用时和震后首报用时空间分布(图 9 和 10)及详细结果(表 2,单位 s)。



底图使用审图号 GS(2024)0650 号,无修改

图 9 云南地震台网首台触发地震预警首报用时评估

Fig. 9 Distribution of earthquake early warning time after the first triggers for Yunnan seismic network



底图使用审图号 GS(2024)0650 号,无修改

图 10 云南地震台网震后地震预警首报用时评估

Fig. 10 Distribution of earthquake early warning time after the earthquakes for Yunnan seismic network

结果显示,测震台网预警首台触发首报用时平均值为 5.6 s,在局部重点区域可以缩短到 3 s,全省 95%区域可以在首台触发后 11 s 发出详细信息,55%区域可以在 4.8 s 发出震后信息。强震台网预警首台触发首报用时平均值为 4.9 s,在局部重点区域可以缩短到 3 s,全省 95%区域可

表 2　单网和多网融合的地震预警首报时间

Tab. 2　Earthquake early warning time of single network and fusion networks

用时	类型											
	单网						多网					
	测震		强震		烈度		测震强震		强震烈度		三网融合	
	首台	震后	首台	震后	首台	震后	首台	震后	首台	震后	首台	震后
最小值	3.0	5.7	3.0	5.7	3.0	5.7	3.0	5.7	3.0	5.7	3.0	5.7
平均值	5.6	9.9	4.9	8.0	4.1	6.4	4.4	7.5	4.0	6.2	4.0	6.1
最大值	19.0	28.6	14.4	19.4	12.6	16.1	13.0	17.3	8.4	11.7	7.2	11.5
累计概率 15%	3.0	7.2	3.0	6.4	3.0	5.9	3.0	6.2	3.0	5.8	3.0	5.8
累计概率 55%	4.8	8.9	4.2	7.7	4.0	6.3	4.0	7.3	4.0	6.1	4.0	6.1
累计概率 95%	11.0	16.8	8.0	11.9	4.2	7.5	6.4	10.3	4.0	6.8	4.0	6.8

以在 8 s 发出详细信息,55%区域可以在 4.2 s 发出震后信息。烈度台网预警首台触发首报用时平均值为 4.1 s,在局部重点区域可以缩短到 3 s,全省 95%区域可以在 4.2 s 发出详细信息,55%区域可以在 4.0 s 发出震后信息。测震台网预警震后首报用时平均值为 9.9 s,在局部重点区域可以缩短到 7.2 s,全省 95%区域可以在震后 16.8 s 发出详细信息,55%区域可以在 8.9 s 发出震后信息。强震台网预警震后首报用时平均值为 8.0 s,在局部重点区域可以缩短到 6.4 s,全省 95%区域可以在震后 11.9 s 发出详细信息,55%区域可以在 7.7 s 发出震后信息。烈度台网预警震后首报用时平均值为 6.4 s,在局部重点区域可以缩短到 5.9 s,全省 95%区域可以在震后 7.5 s 发出详细信息,55%区域可以在 6.3 s 发出震后信息。三类传感器中烈度台网相比于测震台网和强震台网台站数量更多、台网密度更加密集均匀,所以无论预警首台触发首报用时还是震后首报用时均优于强震台网和测震台网。

三网融合后的首台触发首报用时和震后首报用时平均值分别为 4.0 s、6.1 s,最大用时分别为 7.2 s、11.5 s,在全省绝大部分区域具有 4.0 s(震后 6.8 s)的预警首报用时。相比于烈度台网,三网融合后的首报用时平均值缩短 0.1～0.3 s,而最大用时提前 4.6～5.4 s,三网融合的结果优于首报用时最短的单网。三网融合后首台触发和震后预警首报用时平均值分别为 4.02 s、6.15 s,该结果与前人对云南地区 306 个地震事件预警首报用时的统计结果相同[3],进一步说明云南地震台网总体规划布局满足地震预警初期设置要求。

4　结　语

本文利用 306 台速度计、519 台加速度计、1 440台烈度仪记录到的 72 h 连续波形记录评估云南地震台网的监测与预警能力,得出以下结论:

1)采用噪声功率谱法得到云南地震台网三类传感器的最大概率峰值位移(PGD),并以此为指标评估台网噪声水平。结果显示,测震台网的 PGD 值主要分布在 0～0.015 μm 之间,平均值为 0.007 μm;强震台网的 PGD 值主要分布在 0～0.5 μm 之间,平均值为 0.17 μm;烈度台网的 PGD 值主要分布在 10～25 μm 之间,平均值为 15.6 μm。三类台网的噪声水平最高的是烈度台网,其次是强震台网,最低的是测震台网。

2)依据传统地震监测能力评估方法得出云南地震台网监测能力最低下限,三网融合后的理论监测能力等同于测震单网的结果。综合三类台网的结果得出云南地震台网监测能力平均值为 M_L1.0,在局部重点区域监测能力值为 M_L0.7,全省 95%区域可以监测到 M_L1.5 地震。考虑地震预警时效性,计算的各类台网地震预警最小震级均大于传统方法得出的结果,且三类台网地震监测能力的空间展布均显示滇中楚雄、怒江、迪庆的监测能力相对薄弱。

3)依据全国地震预警监测台网密度估计,预警系统需在首台触发后 3～5 s(震后 10 s)准确计算出地震相关信息,并发布出去[4]。云南地震台网三网融合后首台触发和震后预警首报用时平均值分别为 4.0 s、6.1 s,全省 95%区域可以在首台触发后 4.0 s(震后 6.8 s)收到地震信息,局部重点区域可以在首台触发后 3.0 s(震后 5.8 s)收到相关信息,满足地震预警初期设置的要求。台站数量越多,台网密度越大,预警首报用时越短。

综上所述,科学准确地评估云南地震台网的监测和预警效能,为地震监测预报业务提供有效依据,同时也能为未来地震台网合理布局提供参考,切实有效提高地震台网监测能力。

致谢:感谢福建省地震局林彬华博士为本文提供计算程序!

参考文献

[1]　邓起东, 张培震, 冉勇康, 等. 中国活动构造基本特征[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2002, 32(12): 1020-1030(Deng

Qidong, Zhang Peizhen, Ran Yongkang, et al. Basic Characteristics of Active Structures in China[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2002, 32(12): 1020-1030)

[2] 董腾超，殷海涛，苗庆杰，等. 山东地震台网监测预警能力评估分析[J]. 中国地震，2024，40(2)：410-425(Dong Tengchao, Yin Haitao, Miao Qingjie, et al. Evaluation and Analysis of Capability of Early Earthquake Warning Network in Shandong Province[J]. Earthquake Research in China, 2024, 40(2): 410-425)

[3] 郭亚茹，曹颖，钟玉盛. 云南地震预警及人工速报定位偏差[J]. 华北地震科学，2024，42(2)：65-72(Guo Yaru, Cao Ying, Zhong Yusheng. The Location Deviation Analysis of Yunnan Earthquake Early Warning and Manual Earthquake Rapid Reporting[J]. North China Earthquake Sciences, 2024, 42(2): 65-72)

[4] 金星，马强. 从研究到应用：我国地震预警技术的发展[J]. 防灾博览，2023(1)：10-17(Jin Xing, Ma Qiang. From Research to Application: The Development of Earthquake Early Warning Technology in China[J]. Overview of Disaster Prevention, 2023(1): 10-17)

[5] 徐锡伟，闻学泽，郑荣章，等. 川滇地区活动块体最新构造变动样式及其动力来源[J]. 中国科学 D 辑：地球科学，2003，33(增 1)：151-162(Xu Xiwei, Wen Xueze, Zheng Rongzhang, et al. The Latest Structural Change Pattern of Active Blocks in Sichuan and Yunnan Areas and Its Power Source[J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2003, 33(S1): 151-162)

[6] 徐旌，刘洪江. 云南地震灾害特征及风险趋势分析[J]. 云南地理环境研究，2018，30(5)：1-7(Xu Jing, Liu Hongjiang. Earthquake Disasters Characteristics and Its Risk Trends in Yunnan Province[J]. Yunnan Geographic Environment Research, 2018, 30(5): 1-7)

[7] 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 Xiuzhen, Lin Binhua, Li Jun, et al. Evaluation of Early Warning Capability of Fujian Province Seismic Network[J]. Acta Seismologica Sinica, 2023, 45(1): 126-141)

[8] 王青华，郝洪涛，汪健，等. 云南地震流动重力监测网建设与映震能力分析[J]. 大地测量与地球动力学，2019，39(3)：317-324(Wang Qinghua, Hao Hongtao, Wang Jian, et al. Construction and Analysis of Seismic Response Capability of Gravimetric Network in Yunnan[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2019, 39(3): 317-324)

[9] 国家质量监督检验检疫总局，中国国家标准化管理委员会. GB 17740—2017 地震震级的规定[S]. 北京：中国标准出版社，2017(General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. GB 17740—2017 General Ruler for Earthquake Magnitude[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017)

[10] 曹舸斌，蔡明军，李文涛，等. 云南测震台网地震监测能力分析[J]. 地震地磁观测与研究，2019，40(2)：71-76(Cao Gebin, Cai Mingjun, Li Wentao, et al. Analysis of Seismic Monitoring Capacity of Yunnan Seismic Network[J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 2019, 40(2): 71-76)

Evaluation of Monitoring and Warning Capability of Yunnan Province Seismic Network

LI Fengying[1] *XU Yaji*[1] *ZHANG Tianji*[1] *WU Yuqin*[1] *DANG Wenjie*[1] *CAO Ying*[1]

1 Yunnan Earthquake Agency, 148 Beichen Road, Kunming 650224, China

Abstract: This study aims to examine the monitoring and early warning abilities of the Yunnan seismic station network using the 72 h continuous waveform recordings recorded at 2 060 stations. The evaluation index used was the maximum probability peak displacement(PGD) of background noise at each station. The findings revealed that the average monitoring capacity of the Yunnan seismic network raised to M_L1.0, while the smallest earthquake that could be monitored was M_L0.1, and the monitoring capacity was comparatively weak in the central and northwestern Yunnan area. Moreover, the average values of the minimum magnitude of earthquake early warning, the warning time after the triggering of the first station, and the warning time after the earthquake were M_L2.2, 4.0 s, and 6.1 s, respectively. Furthermore, the planning layout of the Yunnan seismic station network fulfilled the criteria for the initial establishment of earthquake early warning.

Key words: noise level; monitoring capability; warning capability; earthquake early warning

Foundation support: Youth Science Fund of Yunnan Earthquake Agency, No. 2024K01, 2023K06; Earthquake Science and Technology Innovation Team of Yunnan Earthquake Agency, No. CXTD202404.

About the first author: LI Fengying, assistant engineer, majors in seismic observation, E-mail: 18487120898@163.com.