

陈建涛, 叶世山, 李晋恺, 等. 广东地震预警网三类站环境地噪声水平评估[J]. 华南地震, 2024, 44(3): 137-145. [CHEN Jiantao, YE Shishan, LI Jinkai, et al. Assessment of Ambient Ground Noise Levels at Three Types of Stations of Guangdong Earthquake Early Warning Network[J]. South China journal of seismology, 2024, 44(3): 137-145]

广东地震预警网三类站环境地噪声水平评估

陈建涛^{1,2,3}, 叶世山^{1,2,3}, 李晋恺^{1,2,3}, 卢子晋^{1,2,3}, 严兴^{1,2,3},
劳谦^{1,2,3}, 丁莉莎^{1,2,3}, 黄晖^{1,2,3}

(1. 广东省地震局, 广州 510070; 2. 中国地震局地震监测与减灾技术重点实验室, 广州 510070; 3. 广东省地震预警与重大工程安全诊断重点实验室, 广州 510070)

摘要: 对广东地震预警网 71 个基准站、201 个基本站、900 个一般站进行环境地噪声计算, 整体评估结果良好, 符合国家规范观测要求, 具体为: 基准站测震通道噪声水平位于 NHNM 和 NLNM 之间, 远低于 M1.5 振幅谱模型, RMS 值集中于 10^{-9} 至 10^{-8} m/s 数量级, 65 个 I 级基准站评定为优质台站; 基准站强震通道噪声水平普遍都低于 M1.5, 接近 NHNM, RMS 值集中于 10^{-7} ~ 10^{-6} m/s² 数量级; 基本站噪声水平普遍都低于 M2.5, RMS 值集中于 10^{-6} ~ 10^{-5} m/s² 数量级; 一般站噪声水平低于 M3.5, RMS 值集中于 10^{-4} m/s² 数量级。大部分一般站、部分基准站强震通道和少量基本站, 其噪声主要体现出来的是仪器固有自噪声, 如应用于背景噪声互相关分析研究是无意义的。此外, 一般站普遍存在垂直分量噪声显著高于水平分量(大约高出 0.5 倍), 这是烈度仪性能引起的。

关键词: 地震预警; 基准站; 基本站; 一般站; 环境地噪声

中图分类号: P315.62

文献标识码: A

文章编号: 1001-8662(2024)03-0137-09

DOI: 10.13512/j.hndz.2024.03.15

Assessment of Ambient Ground Noise Levels at Three Types of Stations of Guangdong Earthquake Early Warning Network

CHEN Jiantao^{1,2,3}, YE Shishan^{1,2,3}, LI Jinkai^{1,2,3}, LU Zijin^{1,2,3}, YAN Xing^{1,2,3},
LAO Qian^{1,2,3}, DING Lisha^{1,2,3}, HUANG Hui^{1,2,3}

(1. Guangdong Earthquake Agency, Guangzhou 510070, China; 2. Key Laboratory of Earthquake Monitoring and Disaster Mitigation Technology, CEA, Guangzhou 510070, China; 3. Key Laboratory of Earthquake Early Warning and Safety Diagnosis of Major Project, Guangzhou 510070, China)

Abstract: Ambient ground noise calculations were performed for 71 reference stations, 201 strong motion stations, and 900 intensity stations of Guangdong Earthquake Early Warning (EEW) Network. The overall assessment was favorable, meeting national observational standards. Specifically, noise levels from the seismic

收稿日期: 2024-05-31

基金项目: 广东省地震局青年地震科研基金(重点实验室开放基金)(GDDZZ202301); 广东省地震局科研项目(GDDZJ202201)联合资助。

作者简介: 陈建涛(1982-), 男, 高级工程师, 主要从事地震观测研究和台站运维工作。

E-mail: 37539836@qq.com

channels of the reference stations fell between NHNM and NLNM, significantly lower than the $M1.5$ amplitude spectrum models, with RMS values primarily in the order of magnitudes of 10^{-9} – 10^{-8} m/s. In addition, 65 reference stations at level I were assessed as high-quality stations. The noise levels from strong seismic channels of the reference stations was generally lower than the $M1.5$, approaching NHNM, with RMS values primarily in the order of magnitudes of 10^{-7} – 10^{-6} m/s². The noise levels of strong motion stations were generally lower than the $M2.5$, with RMS values primarily in the order of magnitudes of 10^{-6} – 10^{-5} m/s². The noise levels of intensity stations were lower than the $M3.5$, with RMS values mainly in the order of magnitude of 10^{-4} m/s². In most intensity stations, strong seismic channels of some reference stations, and a few strong motion stations, the ambient noise mainly reflects the inherent self-noise of intensity meters or accelerometers, which was meaningless for cross-correlation analysis of background noise. Additionally, the vertical component noise of intensity stations was significantly louder than the horizontal component noise (by approximately 0.5 times) due to the performance of intensity meters.

Keywords: Earthquake early warning (EEW); Reference station; Strong motion station; Intensity station; Ambient ground noise

0 引言

国家地震烈度速报与预警工程于2017年经国务院批复立项,是“十三五”期间国家重大建设项目,广东子项目是其组成部分之一,广东一共建设三类台站1172个,台站分布情况如图1所示:基准站71个,重点区内基准站的平均台间距约50 km;基本站201个,实现预警区内每个县区至少有一个基本站的目标,平均台间距约30 km;一般站900个,预警区内平均台间距约15 km。实现10秒级地震预警、1分钟级地震速报、10分钟级烈度速报。目前已全部建设完成,已进入正式运行与服务产出。

三类站是指国家烈度与预警项目的基准站(测震强震)、基本站(强震)和一般站(烈度)。基准站即为测震和强震合一的综合台站,仪器类型一般为宽频带地震计和加速度计、六通道数采;基本站即为强震台,观测仪器一般为加速度计、三通道数采;一般站即为烈度台,观测仪器一般为MEMS芯片。不同类型台站,其仪器类型性能、观测环境、安装要求等不一样,具有不同的台站背景噪声、仪器自噪声和监测目标等特性。地震台站是地震监测预报预警核心业务的基础单元,稳定的台站观测系统和高质量的台网记录数据是防震减灾工作效能发挥的基础条件,只有高质量的地震台站数据,才能保障地震监测预报预警、应急防灾、数据应用、地球内部研究等科研工作的高质量服务产出。

台站环境地噪声是台站波形平静期(无地震)的综合表现,是仪器自噪声与台基环境噪声的共

同效应,是正常的背景地噪声和其他干扰噪声的总和,是正常地噪声、环境干扰、仪器噪声等叠加效应,体现了仪器和台基环境的变化特征。台站环境地噪声是影响台站数据质量和监测能力的重要因素之一,是描述地震台站特性的重要参数,是地震数据处理的一项重要内容,因此需要对环境地噪声水平进行全面详细评估和分析总结,全面提高地震预警网三类站观测数据质量。

1 计算与方法

1.1 数据

基准站、基本站和一般站一共1172个台站,主要使用2023年8月17日00点至24点,一共24 h miniseed格式连续波形,进行环境地噪声计算分析。数据选取需要避开较大地震或台风天气等重大影响,采用一个自然天的24 h连续数据,即可用于评价全省整体情况,因为环境地噪声一般来说是比较稳定的,其季节变化是比较缓慢^[1],只要包含了白天和夜晚的完整噪声昼夜变化的24 h数据,加上采取的PPSD方法(下文有详细介绍),对24 h数据进行分段重叠计算和概率统计处理,就能够体现出台站环境地噪声的固有水平和特征,24 h连续波形数据(需要避开较大地震或台风等)就能足够用于评估和分析全省地震预警网三类站环境地噪声的整体特性。需要说明:由于台站数量比较多,任何一天都很难出现全部台站是正常的,因此需要对少量的由于仪器故障或其他问题引发的波形异常,本文采取了2023年6月18日00点至24点的正常波形数据进行代替。

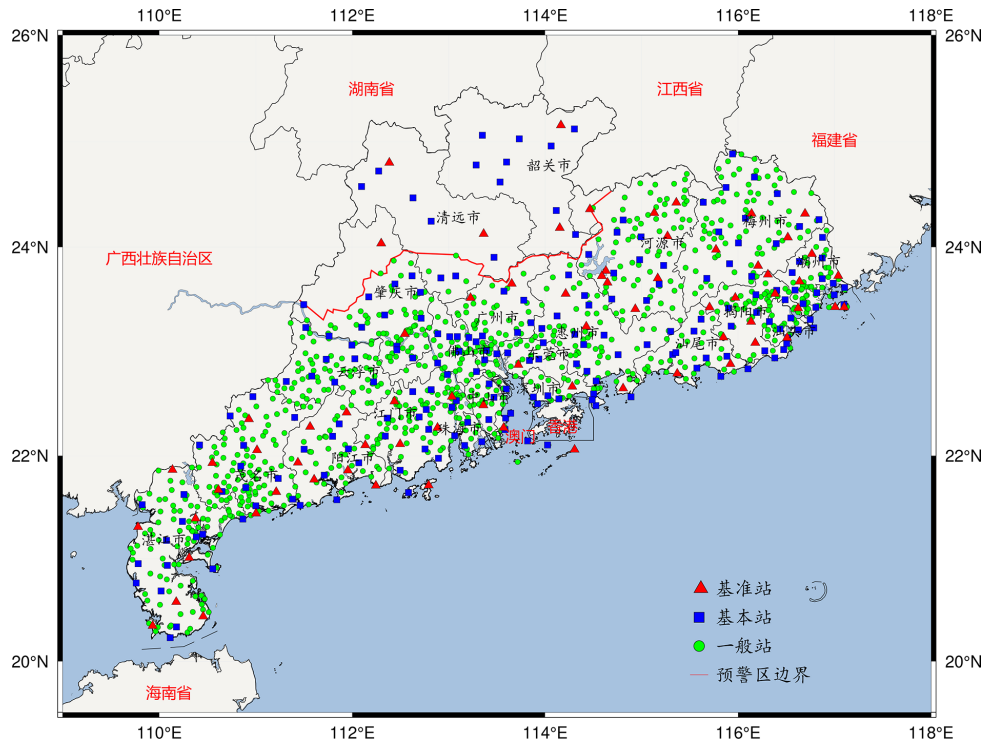


图1 广东地震预警网1172个三类站分布图

Fig.1 Distribution of 1172 stations of three types in Guangdong EEW network

1.2 方法

环境地噪声是随机信号,在频率域,采用功率谱密度(简称PSD,全文同)来描述地动噪声特性,给出不同频段的噪声平均功率水平;在时间域,采用给定频带内的均方根(简称RMS,全文同)值来描述地动噪声水平。环境地噪声是平稳随机过程,计算PSD就是进行波形数据自相关函数的傅里叶变换,通过对原始数据进行有限长度的快速傅里叶变化(FFT)的基础上再来计算其PSD。

在计算机编程实现时,可以采用python matplotlib库中的mlab.psd方法,或matlab提供的周期图法pwelch函数计算PSD^[2]。由于本文重点是对全省三类站噪声进行整体评估,因此对计算过程涉及的公式不进行论证和描述,仅展示部分重要转换公式^{[3][4]}。

PSD的数学表达式(用 P 表示)与工程学表达式(用 P_e 表示),两者之间的关系为:

$$P_e=2P \quad (1)$$

RMS值与PSD之间的关系:

$$RMS=(PSD \times (f_u-f_l))^{1/2} \quad (2)$$

上式中, f_u 是分段倍频程的上限频率, f_l 是分段倍频程的下限频率。

dB值与PSD之间的关系:

$$dB=10\lg(PSD) \quad (3)$$

本文PSD使用的是工程学表达式,主要使用加速度dB值来表示,而速度或加速度RMS值是基于工程学PSD转换获得。在计算机编程实现时,本文使用Python matplotlib库中的mlab.psd方法,该方法使用了功率谱密度Welch平均周期图法,在计算过程中需要去除线性趋势和加余弦窗函数,还要根据仪器零点灵敏度转换因子等进行去除仪器响应等处理,本文采用的都是通过仪器响应校正把原始记录数据转换为地动加速度(先计算PSD,再进行仪器响应校正),mlab.psd方法的参数设置使用具体如下:

$$\text{mlab.psd}(\text{data}, \text{nfft}, \text{sampling_rate}, \text{detrend}=\text{mlab.detrend_linear}, \text{window}=\text{taper}, \text{noverlap}=\text{nlap}, \text{sides}=\text{'onesided'}, \text{scale_by_freq}=\text{True}) \quad (4)$$

式(4)中,data是波形数据,sampling_rate是采样率,mlab.detrend_linear是去除线性趋势,taper是余弦窗函数。需要说明:本文采用onesided单边频谱,对应PSD工程学表达式,这与matlab的pwelch函数参数onesided是一样的。

1.3 过程

对24 h连续波形进行分段,每段为900 s,段

与段之间波形重叠 50%，因此 24 h 连续波形一共分为 191 段进行噪声 PSD、RMS 等计算。每段计算一次 Welch 平均周期图法的 PSD，移动 PSD 窗口进行多段次数据计算，然后叠加同一个台同一分量的所有 PSD 段次计算结果，汇聚在一起进行概率统计分析，进行 PPSD 分析。为获得 PSD 随频率变化的特征，需要对 PSD 在频率域进行分段平滑处理，本文根据规范采用了三分之一倍频程作为滑动步长，其均值标记在每段倍频程的中心频率处。

本文采用的 PPSD 方法^[5]，全称为概率功率谱密度 (Probabilistic Power Spectral Densities)，与 E. McNamara D 等的 PDF 方法^[6]原理是一样的，可用于评估较长时间连续数据的质量和台站环境地噪声水平。计算时不需要剔除地震事件、爆破事件、阶跃和正弦波标定等突发干扰事件，在计算过程中不断叠加更多数据时，对这些干扰事件进行概率统计处理，在评价台站质量时，将干扰事件包含在内作为地噪声成分的一部分进行计算和评估，用来评价台站观测系统的环境地噪声水平、运行状态和记录数据质量。通过 PPSD 计算与分析，获得了高噪声、低噪声、均值噪声、高概率噪声等概率统计分析结果，本文主要采用均值噪声和高噪声结果。

均值噪声是指 24 h 连续波形共分为 191 段各自计算结果的平均值，主要用来评估三类站的环境地噪声水平(如下文提到的 PSD 均值频谱)，因为平均值代表了环境地噪声水平的固有特性和稳定性。

高噪声是指 24 h 连续波形共分为 191 段各自计算结果的极大值(在本文中取大于 98% 各段的极大值，而不取 100% 的最大值，因为 100% 最大值与偶发因素有关，参考去掉最高分最低分的常用科学评价方法)，主要用来评估加速度计或烈度仪类型的台站环境地噪声干扰情况(如下文提到的 RMS 值概率分析)，因为极大值代表了环境地噪声水平的干扰特性。

1.4 规范

(1) 基准站。地面或井下台基的环境地噪声水平应符合“《GB/T 19531.1-2004 地震台站观测环境技术要求》第 1 部分：测震”^[7]第 4 章规定的要求，广东地区属于 C 类地区，应不大于 III 类环境地噪声水平，即 1~20 Hz 频带范围的速度 RMS 值小于 3.16×10^{-7} m/s(本文的 RMS 值均是指 1~20 Hz

频带范围，全文同)。环境地噪声水平等级分类用速度 RMS 值表示为(本文只涉及 I 级、II 级、III 级)：

I 级环境地噪声水平： $Enl < 3.16 \times 10^{-8}$ m/s；

II 级环境地噪声水平： 3.16×10^{-8} m/s $\leq Enl < 1.00 \times 10^{-7}$ m/s；

III 级环境地噪声水平： 1.00×10^{-7} m/s $\leq Enl < 3.16 \times 10^{-7}$ m/s。

(2) 基本站。基本站必须符合《DB/T 17-2006 地震台站建设规范 强震动台站》^[8]和《DB/T 60-2015 地震台站建设规范 地震烈度速报与预警台站》^[9]的最大背景振动加速度噪声的要求，即台址场地的地面脉动在 1~20 Hz 频带范围内的最大背景振动加速度噪声 RMS 值应不大于 0.01 m/s²，宜小于 0.001 m/s²。本文采取的是 0.001 m/s² 的高标准要求。

(3) 一般站。一般站必须符合《DB/T 60-2015 地震台站建设规范 地震烈度速报与预警台站》^[9]的最大背景振动加速度噪声的地震预警要求，即台址场地的地面脉动在 1~20 Hz 频带范围内的最大背景振动加速度噪声 RMS 值，用于地震预警时，应不大于 0.01 m/s²，宜小于 0.001 m/s²。本文采取的是 0.001 m/s² 的高标准要求。

2 结果与分析

基准站是六通道数采搭配测震计和加速度计，由于这两种仪器类型完全不一样，因此分为测震通道和强震通道这两个部分单独计算。

2.1 单台结果

对 1172 个三类站的 24 h 连续波形进行计算，产出三类站一系列丰富的计算结果和图表，包括：仪器参数(台名、通道、采样率、系统灵敏度、数采转换因子、数采降采样参数、地震计零点归一化因子等)、台站经纬度(服务器设置)、环境地噪声水平(加速度 dB 值和 RMS 值、速度 dB 值和 RMS 值等)、仪器幅频响应图、PSD 频谱图、PSD 频谱时间变化特性图、特定频段时间变化特征图等。由于篇幅有限，本文仅展示主要部分图件结果。

2.1.1 PSD 均值频谱

PSD 均值频谱图主要是用于评估台站环境地噪声整体水平，比较方便直接，一目了然就能获得不同频段不同周期的加速度 dB 值分布情况，同时

还与多条噪声模型和不同震级的振幅谱模型进行对比分析。

在绘制 PSD 图件时, 直接引用 Peterson J^[10]观测研究全世界各地正常地球噪声时得到的地球高噪声新模型 NHNM 和地球低噪声新模型 NLNM, 即正常的基准站环境地噪声水平是位于 NHNM 与 NLNM 之间的。另外, 还直接引用了 Cauzzi 和 Clinton 提出来的多个不同震级与震中距的振幅谱模型^[11], 比如标记为 $M1.5$ 与 10 km 的曲线表示震中距为 10 km 而震级 M 为 1.5 的振幅谱模型, 用于对

比评估单台监测能力, 本文中所提及震级振幅谱模型均指震中距为 10 km (全文同)。

基准站测震通道和强震通道、基本站、一般站的单台三分量 24 h 连续波形的环境地噪声 PSD 均值频谱如图 2 所示, 其中, X 轴是频率 Hz , Y 轴是加速度 dB 值; 可以明显看出, 基准站的环境地噪声水平比较低, 基本站比基本站高, 一般站的最高, 远高于基准站和基本站, 并且一般站的垂直分量噪声是明显高于水平分量的。

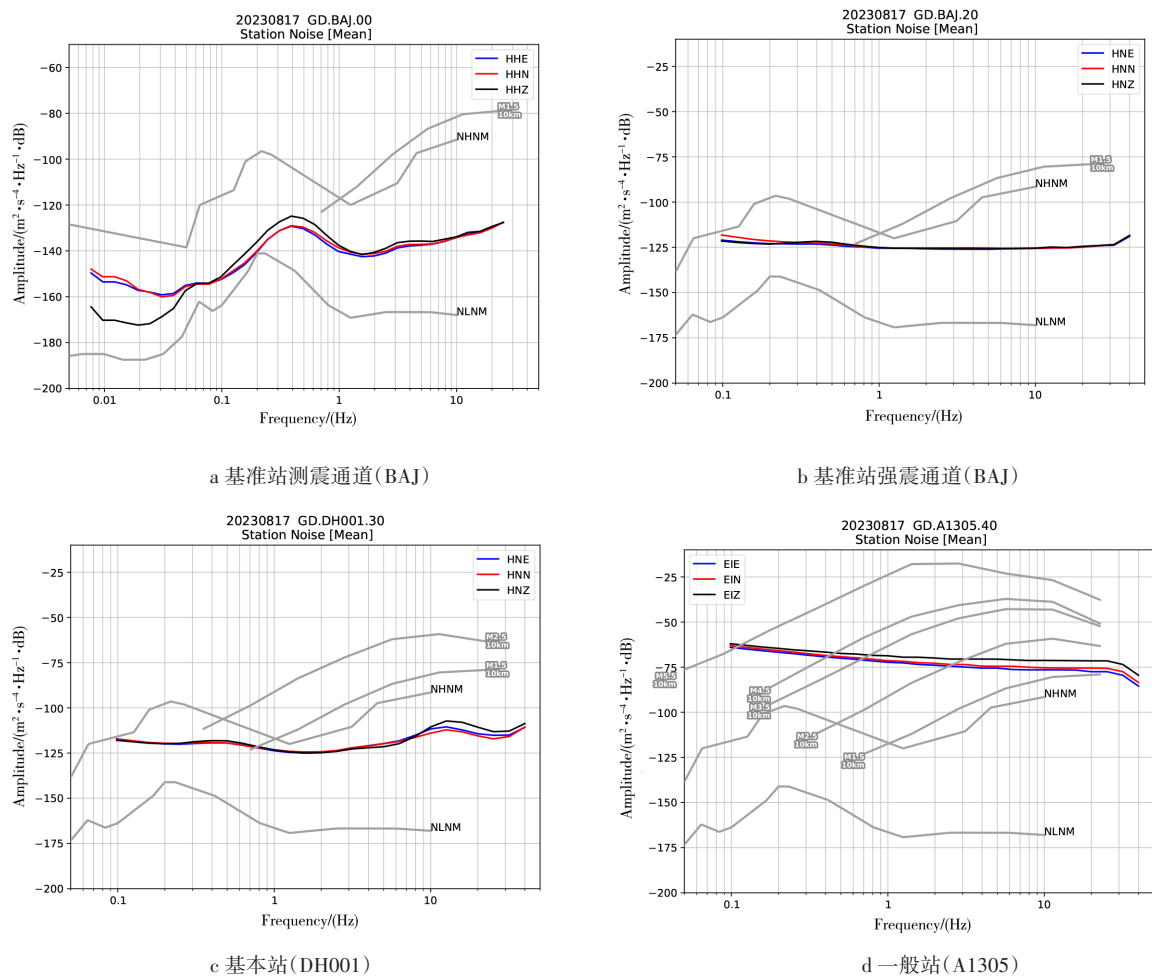


图2 单台三分量环境地噪声 PSD 均值频谱图

Fig.2 PSD mean spectrum of three-component ambient ground noise for one station

2.1.2 PSD 频谱时间分布

PSD 频谱时间分布图主要用来评估 PSD 频谱随时间的变化特征, 体现了频谱 dB 值随时间与频率共同作用的分布变化特征, 弥补了上述的 PSD 频谱图无法获得频谱时间变化特征的缺点。

基准站测震通道和强震通道、基本站的单台垂直量 24 h 连续波形的环境地噪声 PSD 频谱时间分布特性如图 3 所示, 其中, X 轴是时间, Y 轴是

周期(单位是 s), 不同的颜色代表了不同的加速度 dB 值(图最右边的色条为色彩对比图)。

从图 3 中可以明显看出: 基准站和基本站的白天地噪声明显高于夜晚, 具有比较明显的时间变化特征, 噪声干扰主要集中在 10 Hz 以上的高频段, 基准站的测震通道记录到比较明显的 $2\sim 5\text{ s}$ 周期段、全天候存在的海洋噪声干扰。

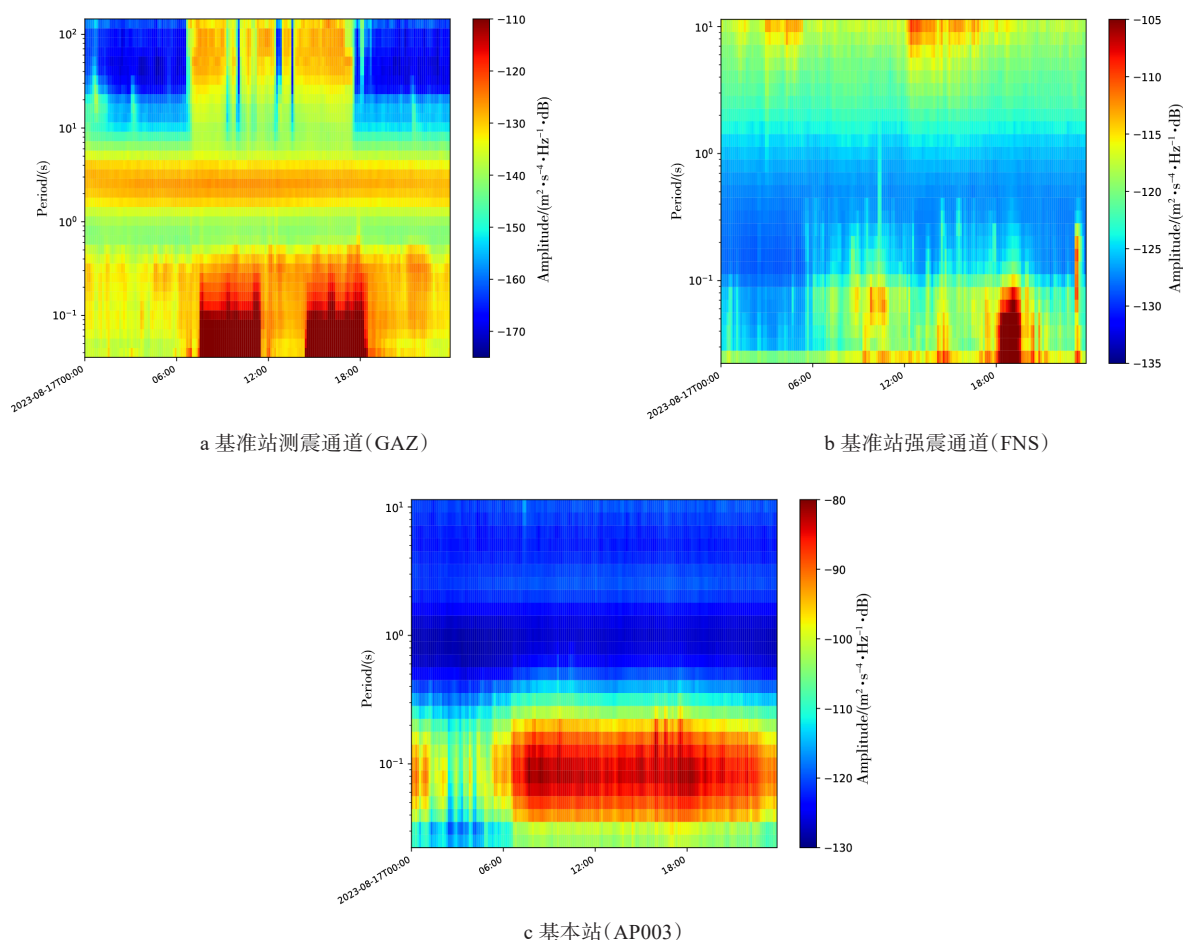


图3 环境地噪声垂直分量PSD频谱时间变化特性

Fig.3 Time-varying characteristics of PSD spectrum of vertical component for ambient ground noise

2.2 整体分析

为了评估和分析全省三类站环境地噪声水平的整体性质, 需要把同类型台站的所有单台结果, 即把71个基准站、201个基本站、900个一般站的单台计算结果进行汇总, 再通过概率计算等分析手段, 从而能够获得同类型台站的全面评估结果, 总结全省地震预警网三类站整体特性。计算结果显示, 广东地震预警网三类站环境地噪声整体情况符合规范观测要求。

2.2.1 PSD均值频谱

广东三类站所有台站三分量噪声PSD均值频谱汇聚情况如图4所示, 通过分析评估, 具体结果如下:

(1) 基准站测震通道环境地噪声水平较低, 在其仪器观测记录频带范围内, 噪声水平位于地球高噪声新模型NHNM和地球低噪声新模型NLNM之间, 远低于M1.5振幅谱模型, 台基质量良好,

环境安静, 符合观测要求;

(2) 基准站强震通道噪声水平在中高频段(指1~40 Hz, 全文同), 普遍上都低于M1.5振幅谱模型, 接近NHNM。由于基准站环境比较安静, 部分的基准站强震通道环境噪声主要体现出来的是加速度计自身的仪器噪声(仪器固有噪声大于环境背景地噪声);

(3) 基本站环境地噪声水平在中高频段, 高于M1.5振幅谱模型和NHNM, 但普遍上都低于M2.5振幅谱模型。基本站噪声主要体现出来的是环境背景地噪声(环境背景地噪声大于加速度计固有仪器噪声), 但少部分比较环境安静的基本站, 其噪声主要体现出来的是加速度计自噪声;

(4) 一般站环境地噪声水平在全频段是远高于M1.5振幅谱模型和NHNM, 而在中高频段, 接近M2.5振幅谱模型, 但较好的低于M3.5振幅谱模型。大部分的一般站噪声主要体现出来的是烈度仪自噪声(仪器固有噪声大于环境背景地噪声)。

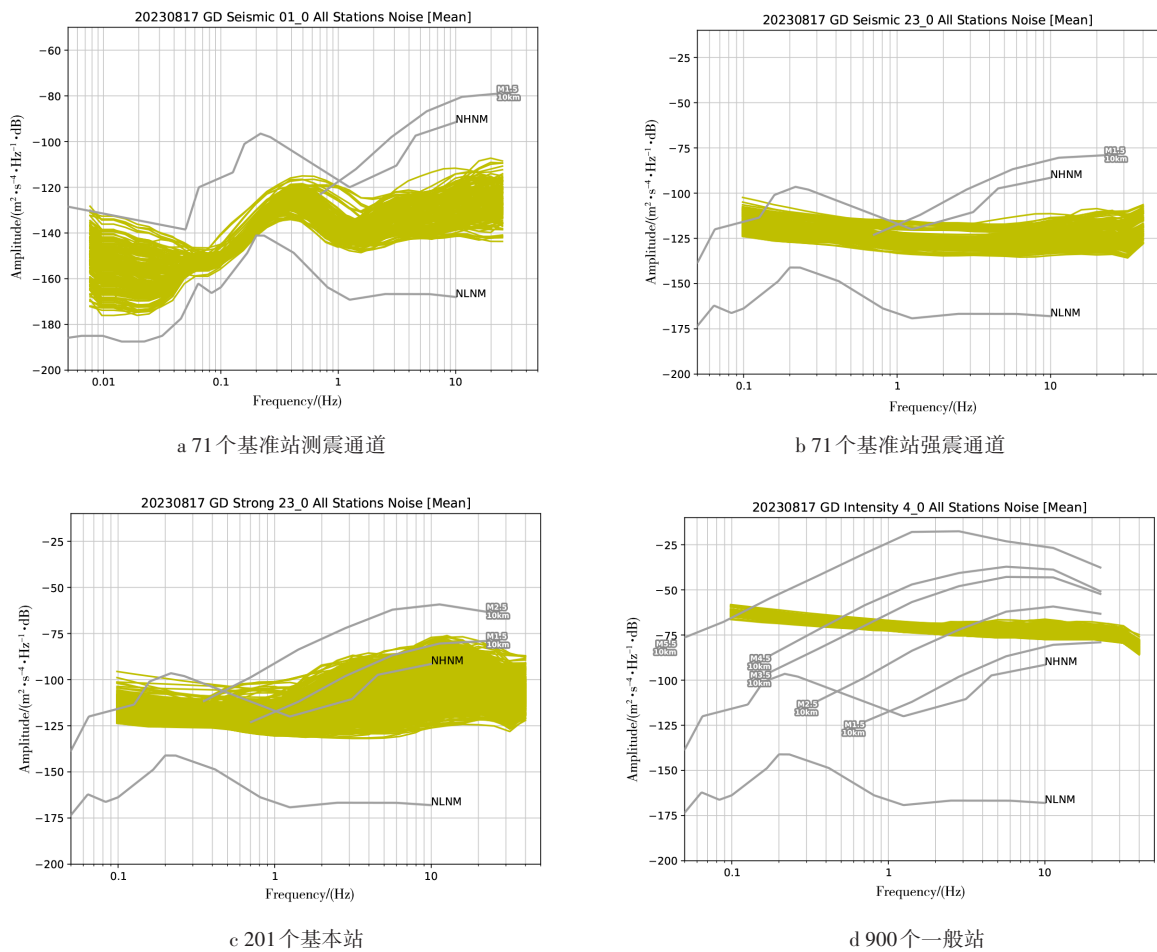


图4 三类站同类型所有台站三分量环境地噪声 PSD 均值频谱汇聚图

Fig.4 PSD mean spectrum convergence of three-component ambient ground noise at all stations of the same type

2.2.2 RMS 值概率分布

这里的 RMS 是 1~20 Hz 频段之间的均方根值 (全文同), 基准站的测震通道采取的速度 RMS 值, 其他类型台站采取的加速度 RMS 值。

广东三类站所有台站的速度或加速度 RMS 值数量级区间分布占比统计情况如表 1 所示: 基准站测震通道速度 RMS 值集中于 $10^{-9} \sim 10^{-8}$ m/s 的数量级; 基准站强震通道加速度 RMS 值集中于 $10^{-7} \sim 10^{-6}$ m/s² 的数量级; 基本站加速度 RMS 值集中于 $10^{-6} \sim 10^{-5}$ m/s² 的数量级; 一般站加速度 RMS 值集中于 10^{-4} m/s² 的数量级。

广东三类站所有台站三分量 RMS 值概率分布汇聚情况如图 2 所示, 其中, X 轴是 RMS 值, Y 轴是台分量出现概率, 结合表 1 进行分析评估, 具体结果如下: 90% 以上的基准站测震通道速度 RMS 值低于 2.5×10^{-8} m/s, 85% 以上的基准站强震通道加速度 RMS 值低于 1.0×10^{-5} m/s²; 95% 以上的基本站加速度 RMS 值低于 1.0×10^{-4} m/s²; 95% 以上的一般站加速度 RMS 值低于 4.0×10^{-4} m/s², 同时

垂直分量噪声显著高于水平分量, 垂直分量噪声大约是水平分量的 1.5 倍, 这是普遍存在的, 当地震较小或震中距较远时, 往往会出现水平分量能记录明显而垂直分量记录较差, 这不是仪器异常或观测环境不符合, 而是由于仪器特性造成的。

2.2.3 优质台站评定

在对广东地震预警网基准站环境地噪声水平评估基础上, 根据国家标准进行分类, 如表 2 所示, 把 I 级基准站评定为优质台站, 优质台站数量为 65 个占比 91.5%, 非优质台站的名称代码具体为 HEJ、KFQ、SHD、XWQ、YGX、ZIJ (由于优质台站数量较多不一一列出, 只列出非优质台站名称代码)。优质台站评估只针对于基准站, 其他类型台站由于环境地噪声比较高因而不进行评定。评估确定出广东地震预警网中的优质台站, 可为维护人员对优质台站进行重点运维, 提供参考依据, 保障优质台站观测波形数据的完整性, 同时也为选取清晰、高质量的观测波形数据提供指导依据。

表 1 三类站 RMS 值数量级区间分布占比统计

Table 1 Distribution proportion of RMS values at different orders of magnitudes for three types of stations			
基准站测震通道速度 RMS 值数量级区间/($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}
区间占比/(%)	50	49	1
基准站强震通道加速度 RMS 值数量级区间/($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}
区间占比/(%)	38	50	12
基本站加速度 RMS 值数量级区间/($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}
区间占比/(%)	26	68	5
一般站加速度 RMS 值数量级区间/($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$)	10^{-5}	$<4\times 10^{-4}$	$>4\times 10^{-4}$
区间占比/(%)	0	98	2

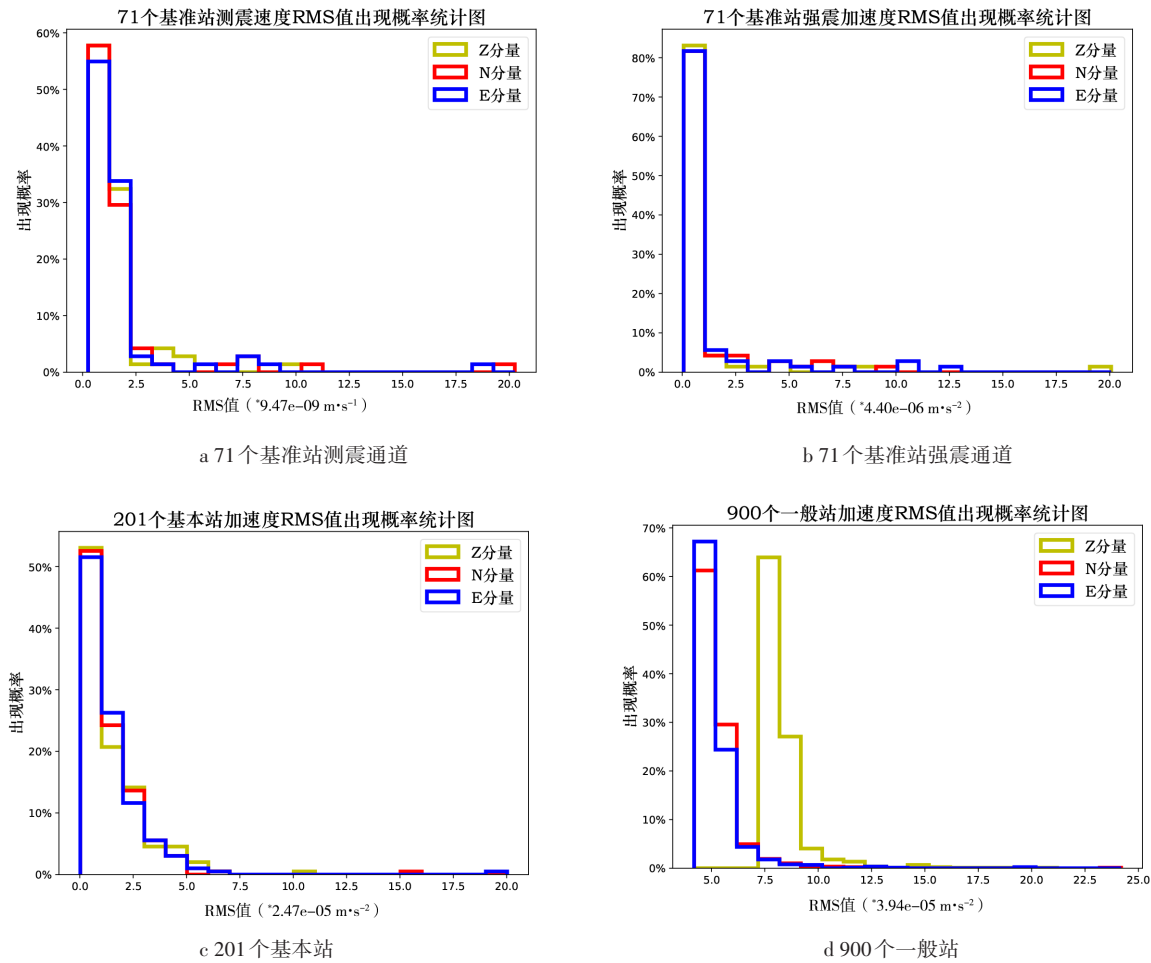


图5 三类站同类型所有台站三分量 1~20 Hz 速度或加速度 RMS 值概率分布汇聚图

Fig.5 Probability distribution convergence of RMS values of three-component velocity at 1-20 Hz or acceleration at all stations of the same type

表 2 基准站环境地噪声水平国标分类统计

Table 2 Classification of ambient ground noise levels at reference station by national standards				
国标分类级别	I 级	II 级	III 级	合计
数量	65	5	1	71
百分比/(%)	91.5	7	1.5	100

3 结语

3.1 整体评估

根据上述计算结果与分析评估,广东地震预警网环境地噪声水平整体情况结果良好,符合国家规范观测要求,其整体特性如下:

(1)噪声水平。基准站测震通道噪声水平在其仪器观测频带范围内位于NHNM和NLNM之间,远低于M1.5振幅谱模型,台基质量良好,环境安静,噪声水平较低;基准站强震通道噪声水平在中高频段普遍上都低于M1.5振幅谱模型,接近NHNM;基本站噪声水平在中高频段是高于M1.5振幅谱模型和NHNM,但普遍上都低于M2.5振幅谱模型;一般站噪声水平在全频段是远高于M1.5振幅谱模型和NHNM,而在中高频段,接近M2.5振幅谱模型,但较好的低于M3.5振幅谱模型。

(2)RMS定量。90%以上的基准站测震通道速度RMS值低于 2.5×10^{-8} m/s,集中于 $10^{-9} \sim 10^{-8}$ m/s的数量级;85%以上的基准站强震通道加速度RMS值低于 1.0×10^{-5} m/s²,集中于 $10^{-7} \sim 10^{-6}$ m/s²的数量级;95%以上的基本站加速度RMS值低于 1.0×10^{-4} m/s²,集中于 $10^{-6} \sim 10^{-5}$ m/s²的数量级;95%以上的一般站加速度RMS值低于 4.0×10^{-4} m/s²,集中于 10^{-4} m/s²的数量级。广东省三类站环境地噪声RMS值整体对比:一般站>>基本站>>基准站强震通道>基准站测震通道(注:>>是1个数量级差异大小)。

(3)仪器噪声。环境噪声主要体现出来的是烈度仪或加速度计自身仪器固有噪声的类型台站为:大部分的一般站、部分的基准站强震通道,少量的基本站(环境比较安静)。这些类型台站的波形数据,是不能用于开展背景噪声互相关分析等研究工作的,因为记录数据主要是仪器自噪声,覆盖了有效的地脉动波形,是无意义和无效的。

(4)分量特性。一般站普遍存在垂直分量噪声显著高于水平分量,垂直分量噪声大约是水平分量的1.5倍,地震较小或震中距较远时,会出现水平分量能记录明显而垂直分量记录较差,并不是仪器异常或观测环境不符合,而是一般站烈度仪性能限制造成的。其他类型台站无此特性,三个分量噪声都是比较一致的。

(5)优质台站。把I级基准站评定为优质台站,

其数量为65个占比91.5%,非优质台站的名称代码为HEJ、KFQ、SHD、XWQ、YGX、ZIJ。对优质台站进行重点运维,优先保障其观测数据的完整性,提供高质量的服务产出。

3.2 后续工作

通过持续的长时间跟踪分析广东地震预警网三类站特性,获得其长时间叠加分析的环境地噪声特性,用于构建全省地震预警网正常环境噪声变化模型^[12],包括基准站测震仪模型、基准站加速度计模型、基本站加速度计模型、一般站烈度仪模型。这些模型用于开展自动识别预警站波形异常工作,还用于跟踪评估全省各类型站点的环境噪声、监测能力、仪器性能等。

参考文献

- [1] 陈建涛,谢剑波,吕仲杭,等.基于PPSD方法的广东阳江小孔径井下型地震监测台阵环境地噪声计算与分析[J].华北地震科学,2019,37(2):21-29.
- [2] 万永革.数字信号处理的MATLAB实现(第二版)[M].北京:科学出版社,2012.
- [3] Peter Borman 主编.中国地震局监测预报司译.新地震观测实践手册[M].北京:地震出版社,2006.
- [4] 赵仲和,牟磊育,林向东.地震记录处理技术[M].北京:地震出版社,2022.
- [5] Beyreuther M, Barsch R, Krischer L, et al. ObsPy: A Python toolbox for seismology[J]. Seismological Research Letters, 2010, 81(3):530-533.
- [6] E. McNamara D, P. Buland R. Ambient noise levels in the Continental United States[J], Bulletin of the Seismological Society of America, 2004, 94(4):1517-1527.
- [7] 中国地震局.地震台站观测环境技术要求第1部分(测震):GB/T 19531.1-2004 [M].北京:地震出版社,2010.
- [8] 中国地震局.地震台站建设规范(强震动台站):DB/T 17-2006 [M].北京:地震出版社,2006.
- [9] 中国地震局.地震台站建设规范(地震烈度速报与预警台站):DB/T 60-2015 [M].北京:地震出版社,2015.
- [10] Peterson J. Observation and modelling of background seismic noise[C]//Open File Report. Reston, Virginia: USGS, 1993:93-322.
- [11] Cauzzi C, Clinton J. A high-and low-noise model for high-quality strong-motion accelerometer stations[J], Earthquake Spectra, 2013, 29(1):85-102.
- [12] 金星.地震预警与烈度速报——理论与实践[M].北京:科学出版社,2021.