

邓明文, 许鑫, 李金. 乌鲁木齐及周边地区新冠疫情前后背景噪声分析[J]. 华南地震, 2023, 43(3): 7-18. [DENG Mingwen, XU Xin, LI Jin. Background Noise Analysis Before and After the COVID-19 Epidemic in Urumqi and Its Surrounding Areas[J]. South China journal of seismology, 2023, 43(3): 7-18]

乌鲁木齐及周边地区新冠疫情前后背景噪声分析

邓明文¹, 许鑫², 李金³

(1. 库尔勒地震监测中心站, 新疆 库尔勒 841000; 2. 中国地质大学, 武汉 430074;
3. 新疆维吾尔自治区地震局, 乌鲁木齐 830011)

摘要: 选取2019年1月至2022年12月乌鲁木齐及周边地区14个测震台站垂直分量波形记录, 通过计算PSD(功率谱密度)和PDF(概率密度函数), 统计不同频段功率谱密度分布情况, 对比乌鲁木齐及周边地区疫情前后背景噪声变化特征, 并结合大数据探讨人口迁徙与背景噪声变化的相关性。同时计算了疫情前后研究区最小完备震级(M_c), 对比分析其地震监测能力变化特征。结果表明: 研究区地震背景噪声水平受疫情影响出现不同程度的下降, 高频段(1~35 Hz)最大下降幅度为36.6 dB, 部分台站长周期频段下降突出, 这是人类活动间接影响的; 上述变化与人口迁徙大数据变化呈现了极大的正相关。此外在疫情封闭期间, 地震监测能力并没有明显的提高, 但部分台站获得更为清晰的震相记录。

关键词: 新冠疫情; 地震背景噪声; 概率密度函数; 人口迁徙大数据; 地震监测能力

中图分类号: P315.78

文献标识码: A

文章编号: 1001-8662(2023)03-0007-12

DOI: 10.13512/j.hndz.2023.03.02

Background Noise Analysis Before and After the COVID-19 Epidemic in Urumqi and Its Surrounding Areas

DENG Mingwen¹, XU Xin², LI Jin³

(1. Kuerle Earthquake Monitoring Center Station, Kuerle 841000, China; 2. China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 3. Earthquake Agency of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China)

Abstract: The vertical component waveform records of 14 seismic stations in Urumqi and surrounding areas from January 2019 to December 2022 were selected, and the distribution of power spectral density in different frequency bands was calculated by calculating PSD (power spectral density) and PDF (probability density function). The characteristics of background noise changes before and after the epidemic in Urumqi and its surrounding areas were compared, and the correlation between population migration and background noise changes was discussed in combination with big data. The minimum complete magnitude (M_c) of the study area before and after the epidemic was also calculated, and the change characteristics of its seismic monitoring capacity were compared and analyzed.

收稿日期: 2023-03-10

基金项目: 新疆维吾尔自治区重点研发计划(2022B03001-1、2020B03006-3); 新疆维吾尔自治区自然科学基金(2020D01A83); 中国地震局地震科技星火计划项目(XH22025D、XH21042); 中国地震局“监测、预报、科研”三结合课题(3JH-202001098、3JH-202301003)联合资助。

作者简介: 邓明文(1988-), 男, 工程师, 主要从事数字地震学方面研究。

E-mail: 754221210@qq.com

The results show that the seismic background noise level in the study area has decreased in different degree due to the influence of the epidemic, with a maximum decrease of 36.6 dB in the high frequency band (1–35 Hz), and the long-period frequency band of some stations has decreased significantly, which was indirectly influenced by human activities. In addition, there was no significant improvement in seismic monitoring capacity during the epidemic closure period, but some stations obtained clearer seismic phases records.

Keywords: The COVID-19 epidemic; Seismic background noise; Probability density function; Big data of population migration; Seismic monitoring capability

0 引言

据世界卫生组织最新统计,截至2022年12月18日,全球已报告超过6.49亿例COVID-19确诊病例和超过660万例死亡病例,病毒的高传染性改变了人类生活。全球疫情爆发以来,地球背景噪声水平和地震台网监测能力再次受到地震学家的广泛关注。大量的研究结果表明,全球各地受疫情防控措施影响,各地地震背景噪声水平出现了不同程度的降低^[1-5],并影响相应的地震监测能力^[4]。

地震数据不仅可以用于监测地震活动,还可以用于调查气候变化、追踪飓风、监测河流流动,或研究人为活动^[6]。环境地震背景噪声代表地面对微震源的复合效应的响应,现代城市的建设、交通和工业基础设施等快速发展是产生高频人为振动的最重要噪声源^[7-8],不可避免地给监测台网地震记录带来了更大的人为影响。人类活动会产生随距离和深度快速衰减的高频地面振动,来自各个方向的波叠加形成相当复杂且近似稳定的随机噪声场,以高频面波的方式传播^[6,9]。人口密集区附近地震计将人类日常活动记录为连续的噪声信号,且具有高频性质,噪声水平通常晚上和周末较弱,白天和工作日较强^[1,10]。Lecocq等分析2020年3~5月期间全球地震噪声变化情况,发现受疫情防控措施影响,高频人为噪声水平下降多达50%,这种变化与人口流动间存在高度的相关性^[1]。Boginskaya和Kostylev研究俄罗斯远东地区新冠疫情封锁期间,对于相近震级和震中距的地震事件波形记录,疫情期间更为清晰,反映了高频噪声对地震记录的影响^[5]。因此,研究人为高频地震背景噪声随时间和空间的变化对监测人为活动和提高地震监测能力具有重要意义。

Peterson基于全球8个台网中75个地震台站平静时段的波形记录,通过计算相应噪声的加速度功率谱(power spectral density,简称为PSD),获得了全球新高噪声模型(new high noise model,简称为

NHNM)和全球新低噪声模型(new low noise model,简称为NLNM)^[11]。该模型已发展为评估测震台站背景噪声水平的重要参考依据。该方法在地震数据选取上受人为主观因素的影响,难以体现台站整体噪声水平。McNamara和Buland在此基础上提出基于概率密度的地震功率谱计算方法,即概率密度函数(probability density function,简称为PDF),其能对连续波形数据(无需剔除地震事件、仪器标定等时段)进行PSD计算,并能够评估地震计整个周期内的噪声水平^[7]。该方法广泛应用于不同类型噪声源随时间和空间变化特征分析^[7,12]和流动测震台站噪声水平研究^[13-14]。上述研究方法能为分析疫情防控封锁期间分析人为高频噪声在时间和空间上的特征提供理论依据。

乌鲁木齐及周边地区地理上位于天山北坡,所涉及的市县构成了天山北坡城市群,人口众多。新疆地区于2020年1月23日发现首例COVID-19感染者,立即在全疆范围内采取防控措施,包括限制人员流动和停止社会、文化和工业等活动,以防止病毒持续传播。截止到2022年12月底,研究区一共经历了3次“封闭”时间段。此次疫情防控措施为检验地震噪声水平与人类活动水平之间的相关性提供了一个良好的契机^[1,10]。通过分析乌鲁木齐及周边地区噪声水平在时间和空间上的变化特征,能够获得人为噪声源主要影响的频段,有助于识别和表征本地区的噪声源及其时空变化,为改善台站观测数据质量评估、提高本地区地震分析、优化台址遴选等提供参考。

1 数据及处理方法

乌鲁木齐及周边地区包含了“十五”项目建成了13个区域数字地震台站和1个国家数字地震台站,为天山北坡城市群的地震监测和科学研究提供重要的波形资料,并为2016年12月8日呼图壁 $M_s6.2$ 地震的震源机制解反演及余震序列定位提供了基础数据支撑。

本文选取乌鲁木齐及周边地区2019年01月至2022年12月期间14个固定台站记录的垂直向连续波形数据,台站空间分布如图1所示。

本研究所涉及的14个地震监测站,台基条件方面,除了下野地台和呼图壁台台基环境为第四系洪冲积物外,其余均为基岩。观测环境方面,除了下野地台为井下和石场台为山洞,其余均为地下室。监测站观测系统地震计主要采用:①北京港震仪器设备有限公司(以下简称港震)生产的

BBVS60型宽频带地震计(60 s-40 Hz)和FSS-3DBH井下型短周期地震计(2 s-80 Hz);②英国Guralp公司生产的CMG-3ESPC型(60 s-50 Hz)和CMG-40T型(30 s-50 Hz);③中国地震局地震研究所生产的CTS-1E型甚宽频带地震计(120 s-50 Hz)。数据采集器主要配置的是港震生产EDAS-24IP和EDAS-24GN两种6通道24位数据采集器,台站仪器架设情况如表1所示。

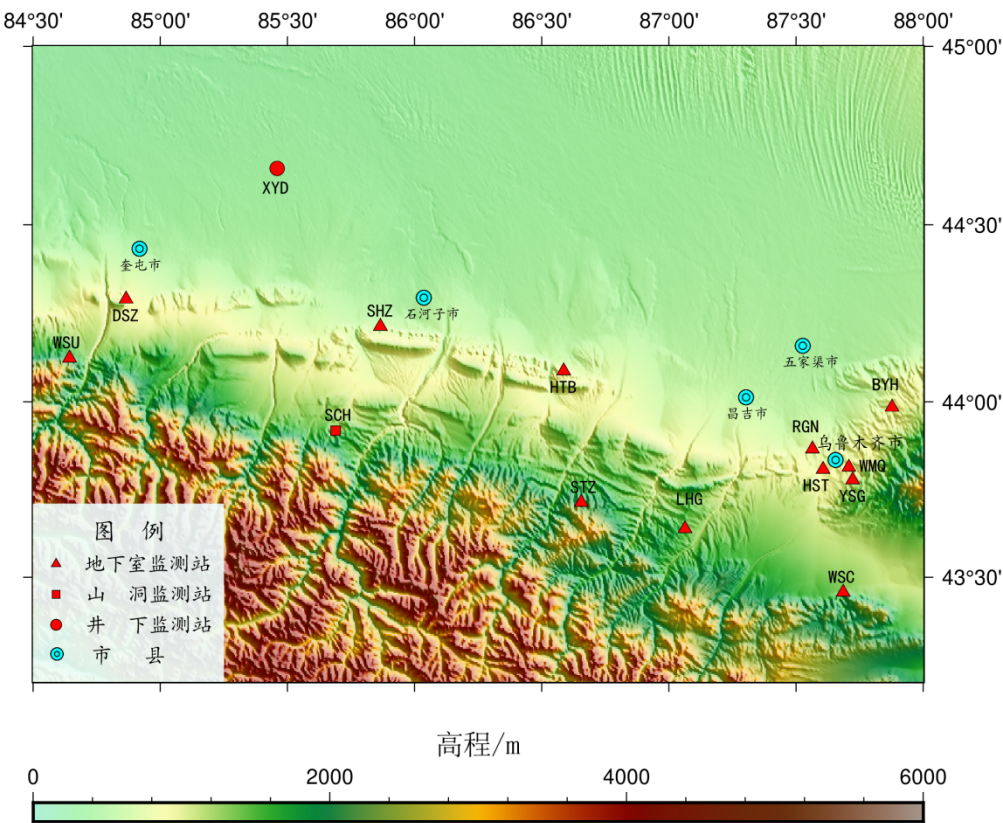


图1 乌鲁木齐及周边地区固定台站分布图

Fig.1 Distribution of permanent stations in Urumqi and its surrounding areas

表 1 乌鲁木齐及周边地区地震台站信息

Table 1 Seismic station information in Urumqi and its surrounding areas

序号	台站名称	台站代码	地震计型号+数据采集器	观测频带	台基类型	场地类型
1	柏杨河	BYH	BBVS60+IP	60 s-40 Hz	硅质岩	地下室
2	独山子	DSZ	BBVS60+GN	60 s-40 Hz	砂岩	地下室
3	呼图壁	HTB	BBVS60+IP	60 s-40 Hz	第四纪卵石层	地下室
4	红山台	HST	BBVS60+IP	60 s-40 Hz	砂岩	地下室
5	硫磺沟	LHG	BBVS60+GN	60 s-40 Hz	粗砂岩	地下室
6	二宫台	RGN	BBVS60+GN	60 s-40 Hz	第四系	地下室
7	石场台	SCH	BBVS60+IP	60 s-40 Hz	朱罗纪砂岩	山洞

(转下表)

(接表1)

序号	台站名称	台站代码	地震计型号+数据采集器	观测频带	台基类型	场地类型
8	石河子	SHZ	BBVS60+GN	60 s-40 Hz	第三纪砂泥岩	地下室
9	石梯子	STZ	CMG-3ESPC+GN	60 s-50 Hz	石砾岩	地下室
10	乌鲁木齐(国家台)	WMQ	CTS-1+IP	120 s-50 Hz	砂岩	地下室
11	乌什城	WSC	BBVS60+GN	60 s-40 Hz	硅质岩	地下室
12	乌苏台	WSU	BBVS60+IP	60 s-40 Hz	花岗岩	地下室
13	下野地	XYD	FSS-3DBH+GN	2 s-80 Hz	粉质粘土和细砂	井下
14	榆树沟	YSG	CMG-40T+IP	30 s-50 Hz	灰岩	地下室

目前，基于背景噪声功率谱密度(PSD)曲线下的概率密度函数(PDF)统计^[7,15]，是对传统 PSD 计算的优化。该方法在计算过程中不需要做地震、仪器标定等数据的剔除，保证了数据的完整性，使得背景噪声的变化能够在 PDF 概率值中体现。首先采用 Welch 平均周期图法^[16]对记录的信号重叠分段(重叠率为 50%)、加汉明窗(hamming)处理，求出各段的功率谱。然后将计算的 PSD 结果进行 1/8 倍频程间隔采样，将各中心周期 T_c 的平均功率值 ($T_c=\sqrt{T_s\cdot T_1}$ ， T_s 、 T_1 为数据统计移动周期范围， $T_1=2T_s$) 进行统计计算,对于每一个中心周期 T_c 概率密度值 $P_{(T_c)}$ 为 PSD 值在 1 dB 间隔范围内的数量与整个估计值总数的比值($P_{(T_c)}=\frac{N(P_{(T_c)})}{N_{(T_c)}}$ ， $N_{(T_c)}$ 表示每一个中心周期估计值总数， $N(P_{(T_c)})$ 表示在 T_c 中落在 某个 1 dB 窗口的个数^[14,17]。

2 噪声变化分析

本文基于新疆台网连续的观测数据，系统计算了研究区 14 个台站 2020 年 1 月至 2022 年 12 月垂直向分量地震数据的功率谱密度 PSD 和概率密度函数 PDF，并以疫情前 2019 年同期观测数据作为对比数据。

乌鲁木齐及周边地区疫情以来共历经了 3 次“封闭”防控措施，本研究将其分为三个时段：A 时段(2020 年 1 月 26 日—2020 年 3 月 08 日)、B 时段(2020 年 7 月 15 日—2020 年 8 月 27 日)、C 时段(2022 年 8 月 12 日—2022 年 11 月 30 日)。

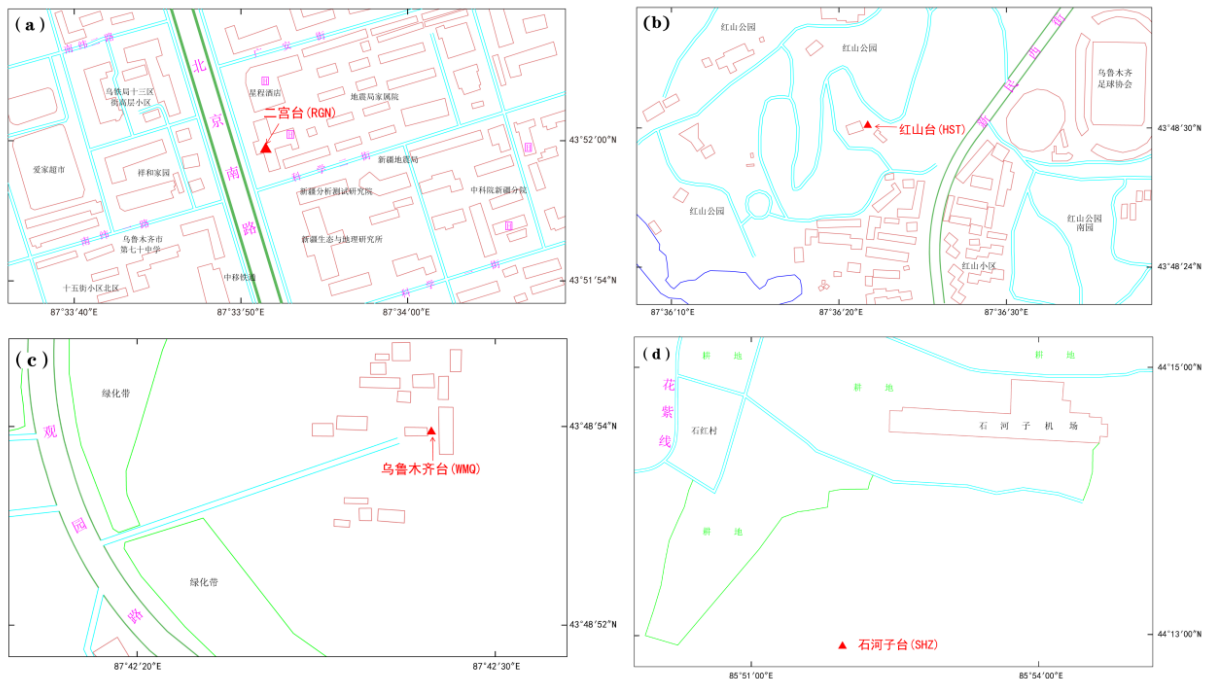
2.1 功率密度函数(PDF)变化

城市环境中的地震计一方面优化了地震台网的空间覆盖范围，提高了突发事件(塌方、爆破

等)的记录能力；另一方面受人为活动影响记录到的背景噪声水平会增加一个数量级^[18]。本文选取位于市区及周边的二宫台、红山台、乌鲁木齐台、石河子台做 PDF 对比分析，地理位置图如图 2 所示。将这些台站记录到疫情前后的垂直向数据进行 PDF 计算，获得了相应的概率密度函数分布图，如图 3 所示。

人为活动通常会产生高频连续信号(>1 Hz)，与交通、建筑、工业运营等活动相关^[19]。图 3 显示了位于乌鲁木齐及周边地区的台站疫情前后 PDF 变化情况，从图中可以看出，噪声水平在不同的频段均出现不同程度的下降，表明疫情封控期间，台站的数据观测质量优于疫情前同时段数据。位于城市主干道 205 m 的国家台 WMQ 台在 A 时段 1 ~ 35 Hz 范围内平均下降了 10 dB 左右，不同频带 C 时段变化值最大，下降了 13.14 ~ 14.56 dB；位于北京南路东侧 35 m 的 RGN 台变化明显的频段主要集中在 1 ~ 10 Hz 频段，最大下降为 7.17 Hz；位于主干道 122 m 的 HST 台疫情前后噪声水平出现明显下降，主要集中在 10 ~ 20 Hz 频带，变化值介于 10.15 ~ 13.70 dB 之间(表 2)。上述三个台站反映了疫情封控措施对交通线附近地球背景噪声影响程度，这些噪声大幅下降情况间接反映了人为活动水平的降低。位于石河子机场南侧 3.0 km 处的 SHZ 台记录到疫情初期(A 时段)高频带(10 ~ 35 Hz)噪声水平出现明显的下降，最高达 17.13 dB，通过对比变化时段与机场航班时刻，表明该频段的显著变化与机场航班起飞和降落等有关，而 B、C 时段没有突出变化，与疫情期间封控的区域和时间等有关。

2020 年全球疫情封控措施后，人类活动减少变化明显，人为噪声水平下降突出，尤其是城市地区附近，且主要表现为高频性质^[1]，图 3(a、b) PDF 图来看，RGN 台和 HST 台在长周期频段(0.02



(a)为RGN台;(b)为HST台;(c)为WMQ台;(d)为SHZ台

图2 乌鲁木齐及周边地区部分台站地理位置图

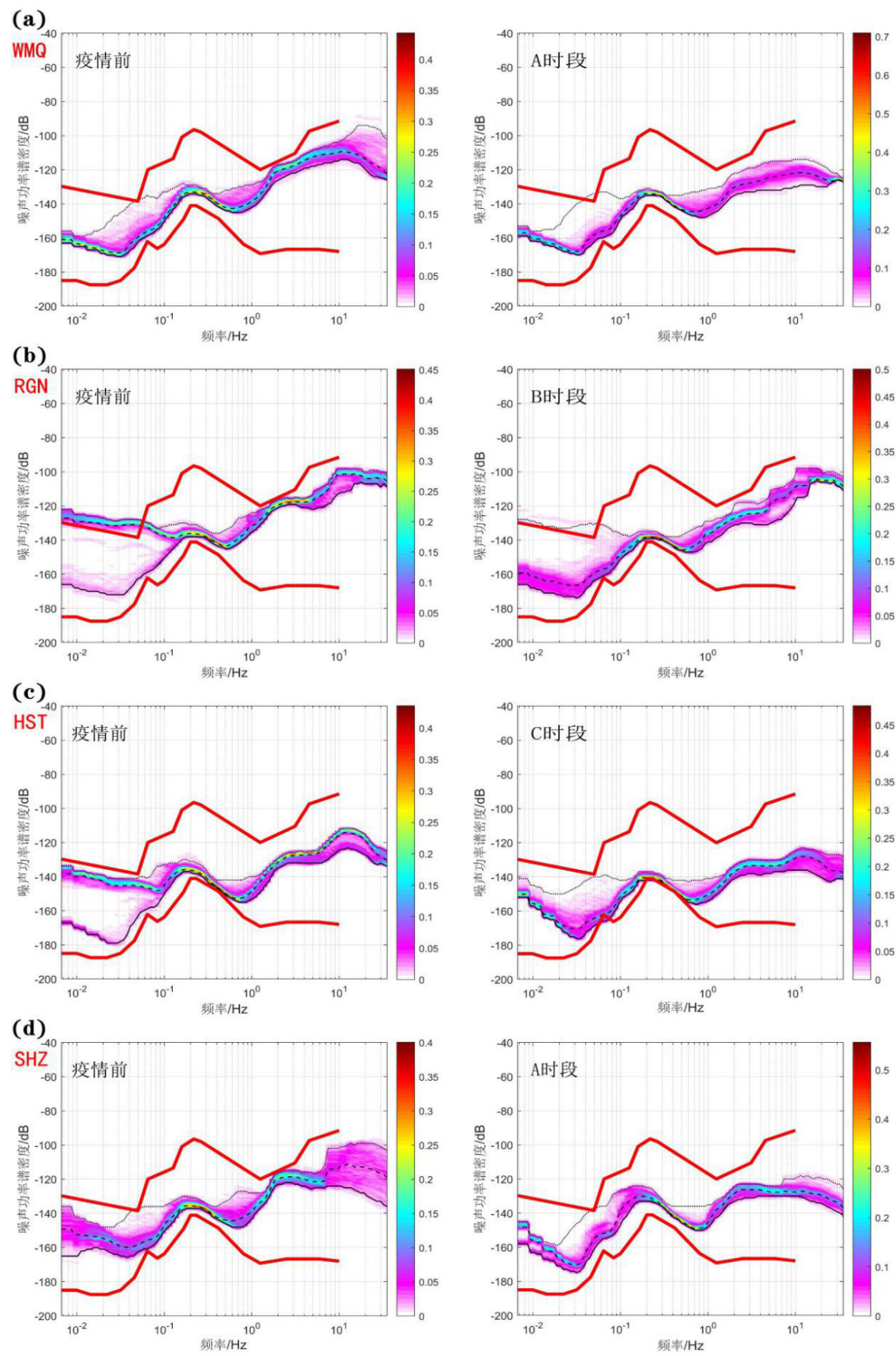
Fig.2 Geographical location of some stations in Urumqi and its surrounding areas

~0.16 Hz)变化极为明显,显示了与人为活动下降之间相关性,这与以往研究略有不同。通过计算疫情前这两台站噪声水平PSD日变化量,在夜间02~07点长周期频段噪声水平下降至台站平静时段背景噪声水平,平均变化值达14.05~22.70 Hz,该时间段与当地的生产生活作息時間相一致。在疫情封控期间,台站周边人为活动水平与疫情前夜间时段相近,同时台站的观测环境均位于建筑物的地下室,地表附近有非机动车道、人行道、停车场等与人为活动密切相关的场所,长周期的噪声变化主要是因为人行道步行活动、建筑物内人为活动和停车场车辆变化引起了台站的地表荷载不同,进一步影响地倾斜变化,这种荷载通过地表浅层介质传导给地震计,垂向变化大于水平向^[10]。

车辆在分层土壤中产生的表面波形成噪声频段主要集中在2~20 Hz,车辆引起的地面振动是由车辆耦合到道路的俯仰和轴跳模式产生的,并取决于车速、道路不平度、车辆本身和土壤特性^[20]。从疫情前后噪声水平变化空间分布图(图4)来看,A时段各站点噪声水平出现不同程度的下降,这与疫情初期全疆均采取封控措施有关,主要集中在人口密集区周边。对于单一噪声源(交通线)的台站噪声变化明显,主要有LHG台、WSU

台、XYD台、YSG台,最大为位于县乡道附近32 m的LHG台,三个频段噪声值平均下降为32.86 Hz,表明影响该台站的高频背景噪声主要因素为交通线的车流量变化。通过分析XYD台位于地表下138 m的井下摆垂直向数据噪声水平,得到在A时段和C时段的噪声水平下降了8.99~12.16 dB的结果,表明受疫情影响,噪声水平下降不局限在水平方向的变化,而是噪声水平立体式的减弱(表1)。图4(b)为B时段1~10 Hz频段噪声水平变化情况,下降明显主要集中在乌鲁木齐市区和附近台站,这与B时段研究区只有乌鲁木齐采取了封控措施相符。从C时段各台站噪声水平变化来看,研究区主要城市和交通线附近台站噪声水平变化明显,其他台站不显著,个别台站(如HTB台)则出现了小幅的上升。

综上所述,受疫情封控措施的影响,背景噪声水平出现显著下降,主要集中在高频段(1~35 Hz);部分位于市中心的台站长周期频段变化明显,这是疫情前平静时段噪声水平持续时间在疫情后转为全天时段的结果,是人为活动减少的间接证据。A、B、C三个时段各台站的噪声水平变化趋势不相一致,这与政府具体疫情封控范围和强度相关,这为地震监测台网记录人为活动,为政府决策提供有力的数据支持。



(a)为WMQ台;(b)为RGN台;(c)为HST台;(d)为SHZ台

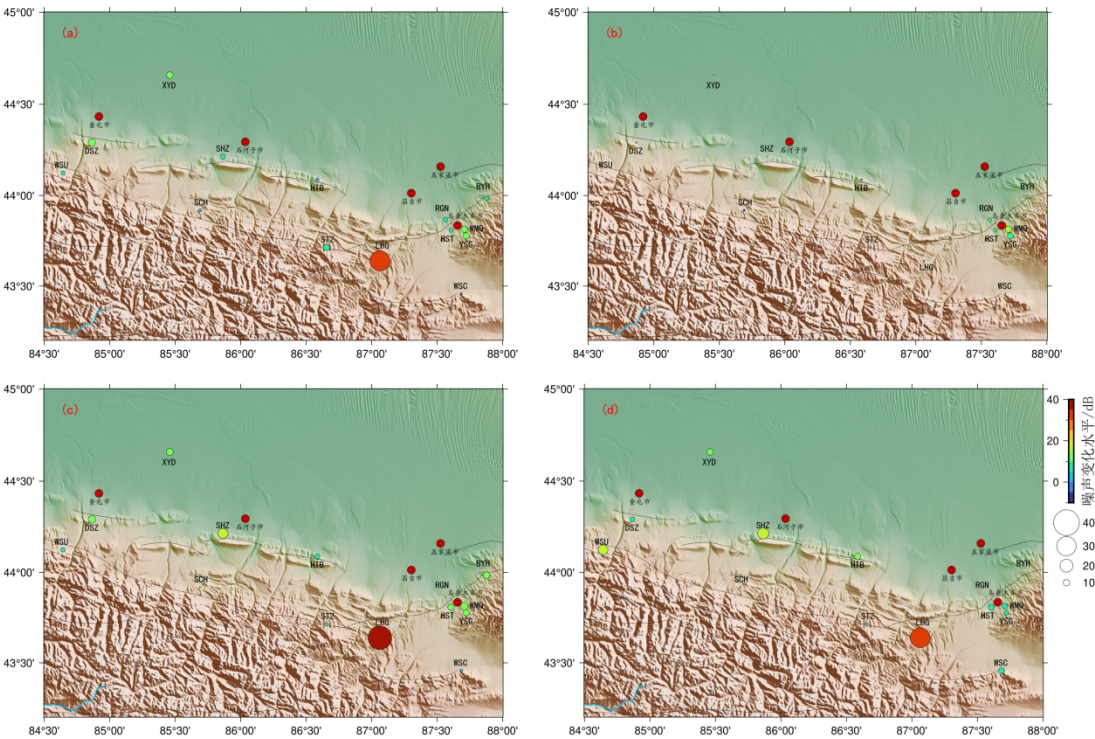
图3 乌鲁木齐及周边地区部分台站概率密度函数(PDF)分布图

Fig.3 Probability density function distribution of some stations in Urumqi and its surrounding areas

表2 乌鲁木齐及周边地区各台站垂直分量疫情前后不同频段噪声变化值统计

Table 2 Statistics of noise changes of vertical component of each station in different frequency bands in Urumqi and its surrounding areas before and after the COVID-19 epidemic

序号	台站名称	台站代码	1 ~ 10 Hz 频带			10 ~ 20 Hz 频带			20 ~ 35 Hz 频带		
			A时段 /dB	B时段 /dB	C时段 /dB	A时段 /dB	B时段 /dB	C时段 /dB	A时段 /dB	B时段 /dB	C时段 /dB
1	乌鲁木齐	WMQ	10.03	10.50	13.28	11.94	12.35	14.56	8.09	8.26	13.14
2	二宫	RGH	7.17	5.93	数采故障	0.48	4.46	数采故障	0.13	1.80	数采故障
3	红山	HST	6.02	5.49	6.72	10.15	10.35	13.70	9.14	8.38	9.74
4	石河子	SHZ	7.66	-0.02	2.77	15.78	3.92	5.67	17.13	5.05	5.48
5	白杨河	BYH	6.92	0.21	-1.26	10.22	0.12	-0.06	0.42	0.35	-2.98
6	独山子	DSZ	11.51	2.20	3.68	11.63	-2.49	-6.59	7.94	-0.86	-3.62
7	呼图壁	HTB	4.71	2.59	-12.12	7.94	0.01	-10.98	10.00	-1.56	-12.39
8	硫磺沟	LHG	31.14	2.40	数采故障	36.59	2.87	数采故障	30.86	2.10	数采故障
9	石场	SCH	4.61	-3.20	-0.83	2.00	-3.02	-1.19	2.42	-2.17	-4.20
10	石梯子	STZ	9.98	2.87	2.80	5.22	-0.64	0.01	5.13	-2.11	-1.98
11	乌什城	WSC	-3.16	1.52	-7.92	4.37	0.52	-1.46	9.18	1.62	0.50
12	乌苏	WSU	6.29	0.64	-2.16	6.68	3.08	0.52	15.38	0.94	3.86
13	下野地	XYD	10.38	-0.44	8.99	10.70	-3.15	12.16	10.18	1.10	10.73
14	榆树沟	YSG	10.00	9.47	7.13	10.17	10.07	4.64	7.54	7.33	4.72



(a)为A时段1~10 Hz; (b)为B时段1~10 Hz; (c)为A时段10~20 Hz; (d)为A时段20~35 Hz

图4 乌鲁木齐及周边地区台站垂直分量疫情前后噪声变化值空间分布图

Fig.4 Spatial distribution map of noise variation values of the vertical component of stations in Urumqi and its surrounding areas before and after the COVID-19 epidemic

2.2 功率谱密度(PSD)与人口迁徙大数据的相关性

De Plaen利用Google、Facebook、Apple等公司的人口流动数据,分析了不同场所人口流动与背景噪声变化的相关性^[20]。本文利用百度迁徙大数据中迁徙规模指数(根据人数绝对值折算所得,能反映城市迁入或迁出人口规模)与乌鲁木齐市中台站功率谱密度(PSD)进行对比研究,发现二者在时间上有较高的相关性。从2019、2020年迁徙规模指数对比来看,乌鲁木齐市在除夕前后有均有大幅人口迁徙变化,但2020年春节期间出现了明显的大幅下降,这与新疆地区于2020年1月23日开始采取全面封控措施导致乌鲁木齐市人口迁徙强度下降有关,HST台的高频段(6.25 Hz)和长周期(40.96 s)的PSD均记录到这一人口迁徙的变化(图5)。2020年7月15日—2020年8月27日(B时段)乌鲁木齐市采取了封控措施,通过对比2020年

和2021年RGN台PSD的时序图,了解到高频段(1.86 Hz)和长周期(10.24 s、24.36 s)有显著下降(图6)。2022年8月12日—2022年11月30日(C时段)乌鲁木齐市作为重点城市,再次封控近4个月,8月12日之后,市区人为活动急剧下降,迁徙规模指数由2.4下降至0.25,在9月7日—10月5日之间,市区部分低风险地区临时解封,噪声水平局部地区略有上升,HST台和WMQ台均记录到噪声水平下降→上升→下降的现象(图7)。

综上所述,位于市区的地球背景噪声水平与人口流动性数据存在高度相关性,噪声水平的减少表明人为地震动干扰源的减少,噪音水平降低的幅度因地区而异,对于长周期频段明显变化是由人为活动减少间接导致。因此,位于人口密集区的地震监测台网地球背景噪声水平变化能够反应了人类活动真实水平,可作为区分人为活动与工业活动提供参考依据。

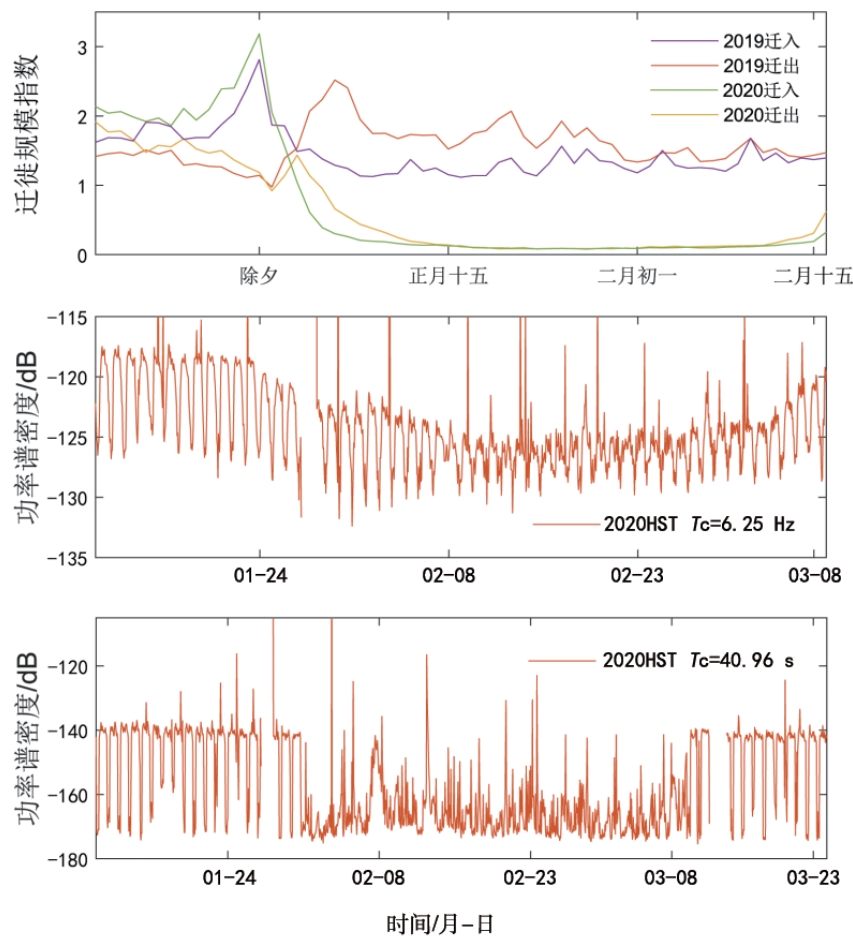


图5 2019—2020年乌鲁木齐市迁徙规模指数和2020年(A时段)HST台功率谱密度时序图

Fig.5 Migration scale index of Urumqi from 2019 to 2020 and the time series diagram of power spectrum density of HST station in 2020(period A)

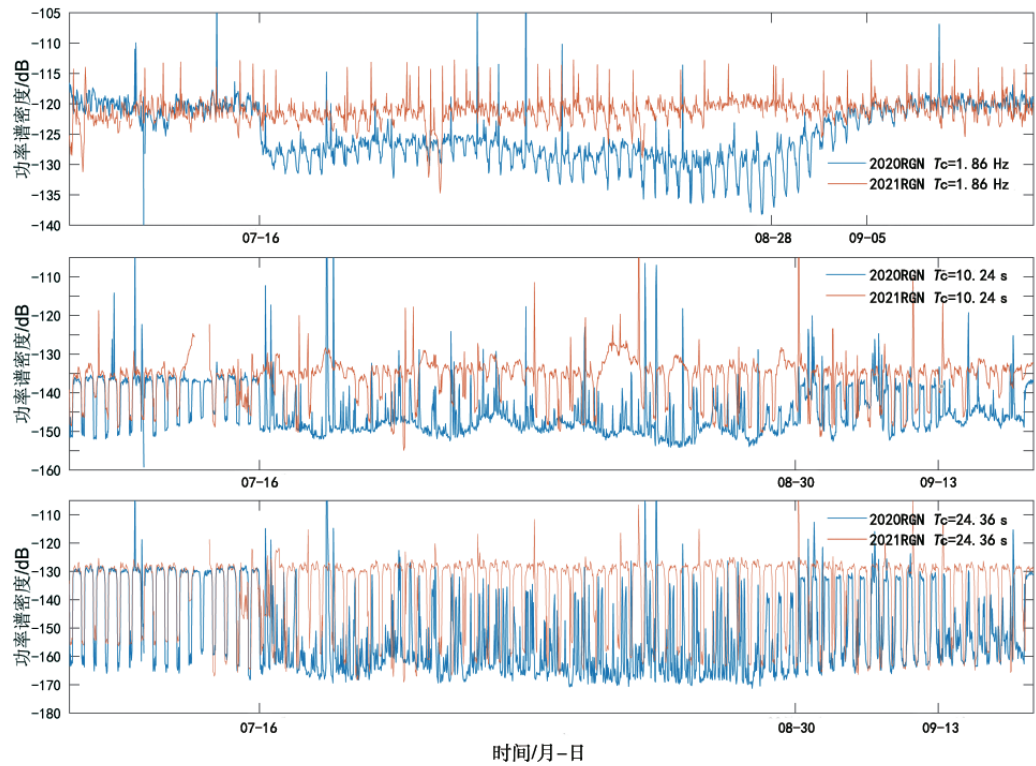


图6 2020年(B时段)RGN台功率谱密度时序图

Fig.6 The time series diagram of power spectrum density of RGN station in 2020(period B)

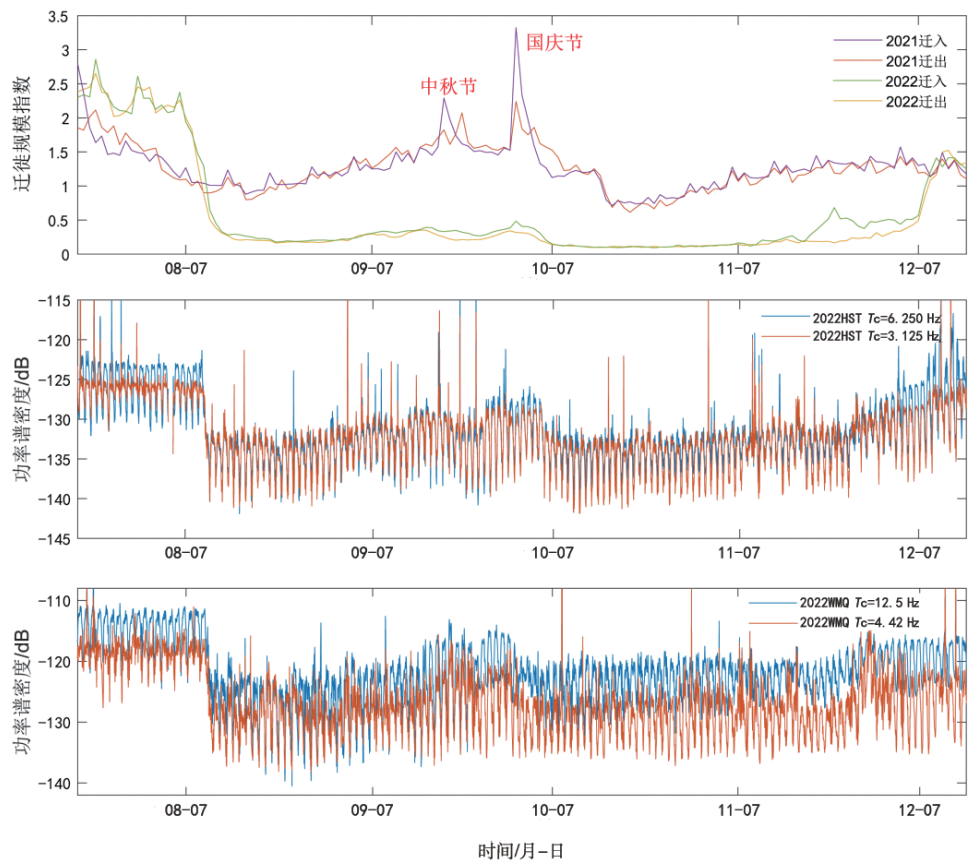


图7 2021—2022年乌鲁木齐市迁徙规模指数和HST、WMQ台(C时段)功率谱密度时序图

Fig.7 Migration scale size index of Urumqi and the time series diagram of power spectrum density of HST and WMQ stations from 2021 to 2022

3 地震监测能力分析

目前，基于 G - R 关系获取的最小完整性震级 M_c 是表征某一地区地震监测能力重要参数^[21-22]，低人为噪声的观测环境有助于优化地震监测，提高小地震的识别能力对进行地震预测和地震危险性评估至关重要。选取 2017—2022 年新疆台网在研究区记录 M_L 的地震目录，采用“最大曲率”MAXC 方法和拟合度为 95 % 的拟合优度 GFT 方法^[23]，分别计算了 2017—2019 年、2020—2022 年以及疫情前后 M_c 值。对比 2017—2019 年和 2020—2022 年 M_c 值，仅下降 0.1， b 值从 0.861 下降到 0.773，表明目录中低震级数量有所下降； a 值由 4.63 下降到 4.36，表明地震发生率有所下降(图 8)。为进一步分析疫情期间 M_c 值变化特征，本文将疫

情封控期间(2020—2022 年)记录地震统计起来，对比 2019 年同期记录地震，发现 M_c 值仅下降 0.1， a 、 b 值均出现了下降。以上表明，疫情期间研究区事件总数量和低震级数量反而有所下降，地震记录能力没有明显的提升，这与研究区地震活动性和台站分布情况有关。因此，本文利用位于人口密集区的 HST 台、RGN 台、SHZ 台记录疫情前后记录震级、震中位置均相近地震事件垂直向波形来对比监测能力的变化。选取疫情前后(C 时段)上述台站记录到 2020 年 2 月 29 日拜城 M_s 4.6 (41.79°N, 81.07°E) 和 2021 年 3 月 14 日拜城 M_s 4.5 (41.95°N, 81.11°E) 垂直向波形数据进行对比，从震相对比来看，疫情封锁期间人口密集区台站清晰记录到 Pn、Pg、Sn、Sg 四震相，表明高噪声水平对远场地震记录带来了一定的影响(图 9)。

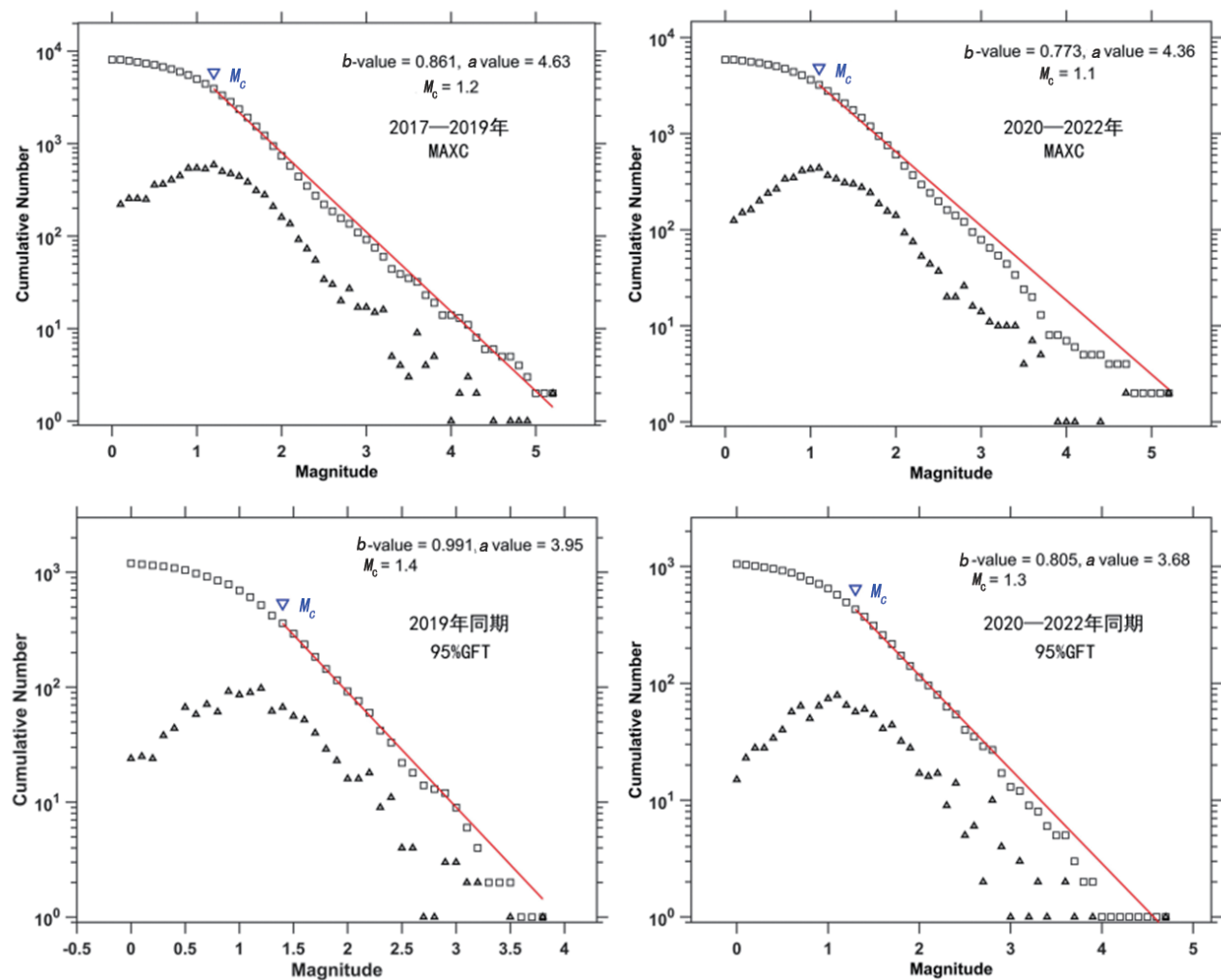


图8 乌鲁木齐及周边地区疫情前后最小完整性震级 M_c 对比图

Fig.8 Comparison diagram of M_c before and after the COVID-19 epidemic in Urumqi and its surrounding areas

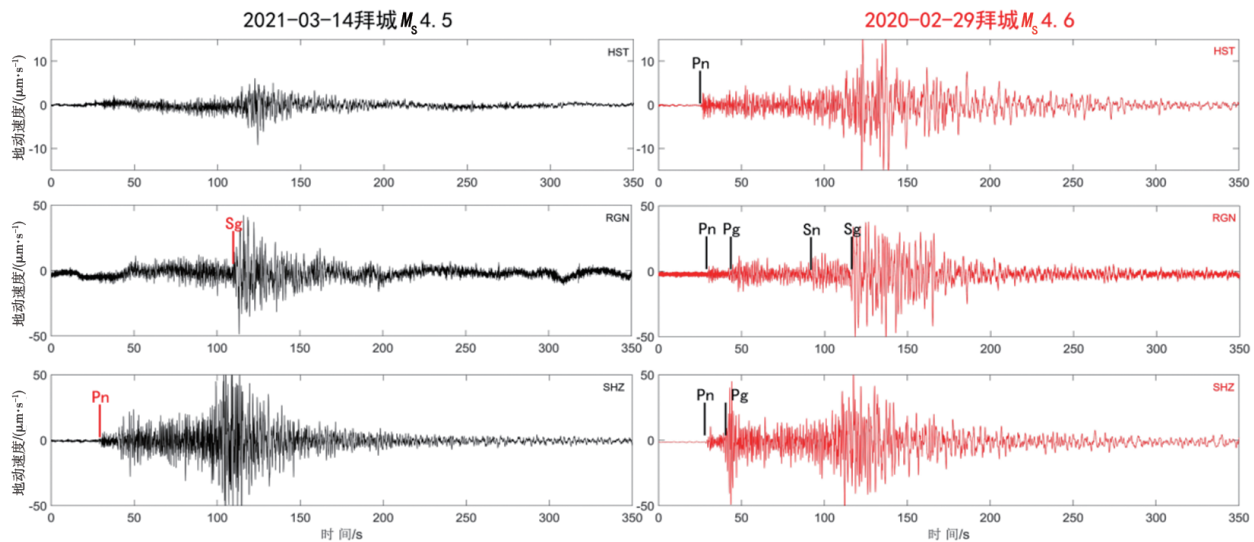


图9 HST台、RGN台、SHZ台记录拜城地区两次地震垂直向波形对比图

Fig.9 Comparison of the vertical waveforms of two earthquakes recorded by HST, RGN and SHZ stations in Baicheng area

4 讨论与结论

本文收集乌鲁木齐及周边地区测震台网疫情前后波形、人口迁徙和地震目录等数据,通过对背景噪声变化特征、噪声变化与人口大数据相关性、地震监测能力等方面进行分析,获得以下几点认识:

(1)受新冠疫情的影响,乌鲁木齐及周边地区噪声水平变化与全球其他地区噪声水平变化基本一致,均出现不同程度的下降,主要集中在人口密集区和主要交通线附近,噪声水平变化集中在1~35 Hz,噪声源(交通线、机场等)越单一,其噪声水平受疫情影响越明显。通过分析RGN台和HST台长周期噪声水平明显下降情况,认为这是人类活动水平受疫情影响的间接证据,这与以往研究略有不同。研究区的噪声水平变化具有明显的空间分布特征,不同时段、不同地区噪声水平下降水平不一致,这与政府采取封控措施的范围和紧迫程度相关联,而且噪声水平下降现象能够被井下地震计记录到。

(2)结合人口迁徙指数和市区台站噪声水平来看,二者具有高度的正相关性,这为从地球背景噪声中识别人为噪声提供了客观依据。

(3)基于 M_c 计算来对比疫情前后研究区地震监测能力变化可以看出,变化不明显,这与研究区地震活动性、台站分布、台基观测环境等有关;利用重复地震波形记录对比来看,在疫情封闭期间人口密集区台站记录到更为清晰的地震震相。

本文的研究结果能够从地震学视角为政府在重大风险应对、人口流动监测、城市规划建设、公共服务管理等方面提供参考。

致谢:新疆维吾尔自治区地震局台网中心为本研究提供原始波形数据,审稿专家提出宝贵修改意见,四川省地震局谢江涛工程师提供了本研究背景噪声计算软件,本文部分图件采用GMT^[24]软件绘制,在此一并表示感谢!

参考文献

- [1] Lecocq T, Hicks S P, Noten K V, et al. Lobal quieting of high-frequency seismic noise due to COVID-19 pandemic lockdown measures[J]. Science, 2020, 369(6509): 1338-1343.
- [2] Grecu B, Borleanu F, Tiganescu A, et al. The effect of 2020 COVID-19 lockdown measures on seismic noise recorded in Romania[J]. Solid Earth, 2021(12): 2351-2368.
- [3] Arroyo-Solórzano M, Castro-Rojas D, Massin F, et al. COVID-19 lockdown effects on the seismic recordings in Central America[J]. Solid Earth, 2021(12): 2127-2144.
- [4] Cannata A, Cannavò F, Di Grazia G, et al. Seismic evidence of the COVID-19 lockdown measures: a case study from eastern Sicily (Italy)[J]. Solid Earth, 2021(12): 299-317.
- [5] Boginskaya N V, Kostylev D V. Change in the level of microseismic noise during the COVID-19 pandemic in the Russian Far East[J]. Pure Appl Geophys, 2022(179): 4207-4219.
- [6] D'iaz J. On the origin of the signals observed across the seismic spectrum[J]. Earth-Science Reviews, 2016(161): 224-232.

- [7] McNamara D E, Buland R P. Ambient noise levels in the continental United States[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 2004, 94(4): 1517–1527.
- [8] Green D, Bastow I, Dashwood B, et al. Characterizing broadband seismic noise in central London[J]. Seismological Research Letters, 2017(88): 113–124.
- [9] 葛洪魁, 陈海潮, 欧阳飏, 等. 流动地震观测背景噪声的台基响应[J]. 地球物理学报, 2013, 56(3): 857–868.
- [10] 邓明文, 李晓东, 张森, 等. 新冠疫情防控措施对新疆地区地球背景噪声影响分析[J]. 大地测量与地球动力学, 2021, 41(9): 985–990.
- [11] Peterson J R. Observations and modeling of seismic background noise[R]. Albuquerque: U. S. Geological Survey, 1993.
- [12] 谢江涛, 林丽萍, 赵敏, 等. 四川地区地震背景噪声特征分析[J]. 地震学报, 2021, 43(5): 533–550.
- [13] 吴建平, 欧阳飏, 王未来, 等. 华北地区地震环境噪声特征研究[J]. 地震学报, 2012, 34(6): 818–829.
- [14] 谢江涛, 林丽萍, 湛亮. 九寨沟 M_s 7.0 地震应急流动台站噪声水平分析[J]. 大地测量与地球动力学, 2020, 40(9): 962–969.
- [15] 谢江涛, 林丽萍, 湛亮, 等. 地震台站台基噪声功率谱概率密度函数 Matlab 实现[J]. 地震地磁观测与研究, 2018, 39(2): 84–89.
- [16] Welch P. The use of fast fourier transform for the estimation of power spectra: A method based on time averaging over short, modified periodograms[J]. IEEE Trans Audio Electroacoust, 1967, 15(2): 70–73.
- [17] 杨千里, 郝春月, 田鑫. 新疆和田台阵 PSD 与 PDF 分析[J]. 地球物理学报, 2019, 62(7): 2591–2606.
- [18] Malovichko A A, Gabsatarova I P, Dyagilev R A, et al. Evaluation of the detection and location capability of the seismic network in the western part of the north caucasus using network layout and local microseismic noise level[J]. Seismic Instruments, 2021(57): 209–230.
- [19] Hong T K, Lee J, Lee G, et al. Correlation between ambient seismic noises and economic growth[J]. Seismological Research Letters, 2020(91): 2343–2354.
- [20] De Plaen R S M, Márquez-Ramírez V H, Pérez-Campos X, et al. Seismic signature of the COVID-19 lockdown at the city scale: a case study with low-cost seismometers in the city of Querétaro, Mexico[J]. Solid Earth, 2021(12): 713–724.
- [21] 李志海, 蒋长胜, 黄瑜, 等. 新疆地区地震目录最小完整性震级和台网科学布局研究[J]. 地震学报, 2011, 33(6): 763–775.
- [22] 王霞, 宋美琴, 李丽, 等. 山西地区不同时段地震目录最小完整性震级研究[J]. 地震, 2014, 34(2): 82–88.
- [23] Wiemer S, Wyss M. Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: Examples from Alaska, the Western United States, and Japan[J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 2000, 90(4): 859–869.
- [24] Wessel P, Luis J F, Uieda L, et al. The generic mapping tools version 6[J]. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 2019, 20(11): 5556–5564.