第	42	卷	÷	第	5	期
	202	20	年	9	月	

吴敏, 雷正超, 唐丽, 等. 高台测震新旧台基记录地震及震相特征差异性对比分析[J]. 地震工程学报, 2020, 42(5): 1141-1145. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2020.05.1141

WU Min,LEI Zhengchao, TANG Li, et al.Comparative Analysis of Earthquake and Seismic Phase Characteristics Recorded on the Old and New Bases of Gaotai Station[J].China Earthquake Engineering Journal,2020,42(5):1141-1145.doi:10.3969/j.issn. 1000-0844.2020.05.1141

# 高台测震新旧台基记录地震及 震相特征差异性对比分析

吴 敏,雷正超,唐 丽,毛 磊,王志栋,李兴坚

(甘肃省地震局 高台地震台,甘肃 高台 734300)

摘要:使用相同带宽、同类型地震计 BBVS-120 观测记录数据,对高台地震台新旧观测山洞的台基 环境噪声、地震监测能力及震相记录特征进行对比分析,结果表明,高台测震新山洞的地震监测水 平优于旧山洞,部分地区新山洞对于核面反射波的记录更加清晰。 关键词:新旧观测山洞;台基环境噪声对比;地震记录能力分析;震相记录特征比较 中图分类号: P319 文献标志码:A 文章编号: 1000-0844(2020)05-1141-06

DOI:10.3969/j.issn.1000-0844.2020.05.1141

# Comparative Analysis of Earthquake and Seismic Phase Characteristics Recorded on the Old and New Bases of Gaotai Station

WU Min, LEI Zhengchao, TANG Li, MAO Lei, WANG Zhidong, LI Xingjian (Gaotai Seismic Station, Gansu Earthquake Agency, Gaotai 734300, Gansu, China)

**Abstract**: Using the observation data recorded over the same bandwidth and with the same type of seismometer BBVS-120, the base ambient noise, the earthquake monitoring capability, and the seismic phase characteristics of the new and old observation caves of the Gaotai seismic station were compared and analyzed. The results indicated that the seismic monitoring level of the new cave is better than that of the old and that some new caves have clearer records of radially reflected waves.

**Keywords:** new and old observation cave; comparison of base environmental noise; seismic recording capability analysis; comparison of recorded features of seismic phases

0 引言

高台地震台为国家 I 类基准地震台,地处祁连 山一河西走廊中部,位于高台县城以北 7 km,距黑 河北岸约 2 km<sup>[1]</sup>。区域上位于青藏高原东北部边 缘,祁连山北缘断裂带中段,该地区走向为北西向逆 冲断层,线状褶皱非常发育,垂直差异运动强烈,是 地应力易于积累的地区。地质构造上位于合黎山— 龙首山褶皱带南缘与走廊断陷的分界处,区域地质 构造是以合黎山—龙首山北西向隆起带为主,西起

收稿日期:2020-07-10

基金项目:甘肃省地震局地震科技发展基金(2018Q07);中国地震局监测 预测 科研三结合课题(16280X)联合资助

**第一作者简介:**吴 敏(1992-),女,甘肃礼县人,本科学历,助理工程师,主要从事地震台站监测工作。E-mail:201980393@qq.com。 通信作者:李兴坚(1980-),男,甘肃张掖人,学士,高级工程师、副台长,主要从事地震台站监测与管理工作。

E-mail:lixj20@163.com。

金塔,东至河西堡东,总体走向呈 50°N~60°W。该 台位于河西走廊的大片花岗岩体出露的地震带上, 台址周围地貌特征属于花岗岩类,地表为风化岩 石<sup>[2]</sup>。

地震监测预报工作是防震减灾救灾工作的基础 和重要环节, 地震监测又是分析预报的基础, 而地震 监测设施及周围观测环境的状况直接决定了观测资 料产出的质量[3]。随着经济的发展,城乡和工程建 设迅速发展,高台地震台的观测环境不断遭受破坏, 日益影响台站工作的正常进行。为此,根据中国地 震局监测预报司《关于 2015 年度防震减灾技术系统 升级与更新项目任务及 2016 年度申报有关工作要 求的通知》(中震测函〔2014〕105号)的要求,按照甘 肃省地震局"高台基准地震台观测环境优化改造实 施方案",在距离高台县城14 km,距离高台地震台 原测震山洞 10 km 处修建新观测山洞,新观测山洞 基岩为花岗岩,覆盖层厚度 17 m,洞口房 16 m<sup>2</sup>,山 洞总长 28 m,引洞与仪器洞室呈 L型,夹角约 120° 左右。山洞距离最近的萤石矿约3km,距离采石场 8 km,距离公路 3 km,距离最近的砂石路 1.8 km, 根据高台县土地规划,新建山洞附近未规划采石场、 碎石加工等企业,是较理想的测震观测场地。截至 2016年12月31日,高台地震台新观测山洞的建设 任务全部完成,观测仪器于 2017 年 3 月 1 日安装架 设,3月11日正式投入运行观测。

为了有效评估新观测山洞优化改造效果,选取 2018年全年数字地震观测资料进行分析处理及震 相识别标注。主要从新、旧观测山洞的台基环境噪 声、地震监测能力以及震相记录特征三个方面进行 初步对比分析与探讨。

本文确定震相时主要采用的方法有:①根据波 形的总体特征判断地震类型,是正确识别震相的前 提;②将不同距离的地震波仿真成不同仪器记录,便 于看清各种周期成分的震相;③根据波形振幅和周 期的突变找出相应震相;④利用震相走时表确定到 时差。单台识别震相必须经过详细的对比,符合其 已知的动力学和运动学特征<sup>[4]</sup>。选取高台台震相特 征较为显著的地震事件作为典型震例,对十九个地 震多发区的震相特征进行着重分析。

#### 1 观测系统及台基噪声水平对比

地震台站的环境噪声水平决定了记录地震的能力,对地震噪声的量化是认识噪声水平的第一步。 功率谱密度(PSD)是定量评价地震台站环境噪声水 平的常规参数。Peterson(1993)研究全球范围地震 台站的环境噪声功率谱密度,得到了地球低噪声新 模型(NLNM)和地球高噪声新模型(NHNM),广泛 应用于地震台站环境噪声水平的评价。Menamara 和 Buland(2004)发展了 Peterson 的地球噪声模型 估算方法,通过计算大量功率谱密度曲线的概率密 度函数(PDF)分布,得到了台站噪声水平最大概率 分布模型和台网噪声低概率模型。PDF 计算直接 使用连续波形记录,地震数据并未被筛选。因此,同 时得到地震体波面波信号、系统瞬变(如地震计小故 障、数据丢失)及仪器(如调零、标定)干扰等概率分 布<sup>[5]</sup>。

而此次新旧观测山洞所使用的数字地震观测系 统主要是由 BBVS-120 型甚宽频带地震计和 EDAS-24IP 三通道数据采集器组成,在相同的地震 观测系统下,我们选取 2017 年 3 月 21 日 15 时-23 日 15 时观测时段 73 h 的记录数据,计算得到,新观 测山洞 1~20 Hz 范围内 U-D 向静态地脉动噪声 RMS 有效值平均为 6.140 22e<sup>-9</sup> m/s,EW 向静态地 脉动噪声 RMS 有效值平均为 6.406 34e<sup>-9</sup> m/s,NS 向静态地脉动噪声 RMS 有效值平均 5.955 71e<sup>-9</sup> m/s,属于 [ 类台基噪声水平:同时旧观测山洞的 1~20 Hz 范围内 U-D 向静态地脉动噪声 RMS 有 效值平均为 2.231 75e<sup>-8</sup> m/s, EW 向静态地脉动噪 声 RMS 有效值平均为 2.240 6e<sup>-8</sup> m/s, NS 向静态 地脉动噪声 RMS 有效值平均 2.419 6e<sup>-8</sup> m/s,属于 I类台基噪声水平,图1为新旧观测山洞台基环境 噪声谱。

概率密度函数(PDF)的值是评估台站环境噪声 水平的,其结果更能代表环境噪声的真实水平,本文 使用的是相同带宽,同类型的地震计,也选取了相同 时间段的地震连续波形,因此在观测仪器一致、选取 时间段一致的情况下用 PDF 方法是可以看出两个 台基环境噪声水平的好坏,从计算结果和台基环境 噪声谱图上看,已经清楚的显示新山洞台基环境噪 声低于旧观测山洞。虽然两个台基噪声水平均属于 I级环境噪声水平,但新山洞台基环境噪声明显优 于旧观测山洞环境噪声一个数量级,而这种差异主 要表现在白天,夜间差距相对较小。

## 2 地震记录能力对比

#### 2.1 地震记录个数对比

对使用相同带宽、同类型地震计所记录到的 2018年的新旧观测山洞观测记录进行地震事件识

测山洞。分析其原因应该是旧观测山洞环境噪声太 大,将一些小地震事件 P 头淹没在干扰中,无法识 别造成。





Fig.1 The spectrum of base environmental noise in the new and the old observation caves





between old and new observation caves in February 2018

# 2.2 记录地震震相个数对比

对新旧观测山洞所记录到的 2018 年的观测记录 进行地震事件识别分析,在地震编目结果中随机抽取 50 个地震进行对比,结果如图 3。从图 3 可以看出,新 观测山洞识别记录的地震震相个数明显多于旧观测山 洞。分析其原因应该是旧观测山洞环境噪声太大,将 一些地震震相淹没在干扰中,使得我们无法识别。

## 2.3 典型地震震相特征分析对比

地震具有一定的时空分布规律。从时间上看,

地震有活跃期和平静期交替出现的周期性现象。从 空间上看,地震的分布呈一定的带状,称地震带,主 要集中在环太平洋和地中海一喜马拉雅两大地 震带<sup>[6]</sup>。



(随机抽取)



环太平洋地震带是全球地震活动最强烈的地 区,它是围绕着太平洋分布的,途径美国的阿拉斯 加,沿着加拿大、美国和墨西哥西部地区,到达南美 洲的哥伦比亚、秘鲁和智利,然后从智利转向西,穿 过太平洋抵达大洋洲东边界附近,在新西兰东部海 域折向北,再经裴济、印度尼西亚、菲律宾,中国台湾 省、琉球群岛、日本列岛、千岛群岛、堪察加半岛、阿 留申群岛,回到美国的阿拉斯加,环绕太平洋一周, 也把大陆和海洋分隔开来[7]。

带",主要分布于欧亚大陆,从印度尼西亚开始,经中 南半岛西部和我国的云、贵、川、青、藏地区,以及印 度、巴基斯坦、尼泊尔、阿富汗、伊朗、土耳其到地中 海北岸,一直延伸到大西洋的亚速尔群岛。横贯欧 亚两洲及涉及非洲地区[8]。





Fig.4 Identification and marking of seismic phase using simulation of WWSSNSP record



(a) 新山洞

(b) 旧山洞





依据两个地震带的分布特征及相对于高台地震 台记录到的地震震中分布情况,划分为十九个地震 区进行地震特征归纳研究总结。分别为:1、中国新 疆震区;2、中国青藏震区;3、中国川滇震区;4、中国 东北深震区;5、中国台湾震区;6、阿富汗震区;7、阿 留申群岛震区;8、堪察加地震区;9、日本地震区;10、

印尼地震;11、巴布新几内亚一所罗门群岛震区、12、 萨摩亚一斐济一汤加震区;13、新西兰震区;14、南美 洲地震区、15、中美洲地震区;16、南桑威奇群岛震 区;17、格陵兰岛震区;18、地中海震区;19、印度洋一 中非震区。

对新旧观测山洞所记录到 2018 年全年数字地

震波形数据进行分析处理及震相识别标注等工作, 归纳总结以上十九个研究区域的地震在高台地震台 新旧观测山洞的显著记录波形特征,进而分析对比 出高台新旧观测山洞记录地震的能力和记录震相的 特征差异性。

以印尼震区为例,选取 2018 年 05 月 05 日菲律 宾地区 M6.1 级地震,发震时刻 O=14:19:04.0,距 离高台地震台震中距  $\Delta=32.7^\circ$ ,深度 H=20 km。

以日本震区为例,选取 2018 年 01 月 04 日日本 地区 M5.4 级地震,发震时刻 O=05:30:22.0,距离 高台地震台震中距  $\Delta=34.6^\circ$ ,深度 H=10 km。

经过分析全年地震波形资料发现,中国东北深 震区和勘察加震区对核面反射波 PcP 的记录、阿富 汗震区和日本震区对核面反射波 ScP 的记录以及 印尼震区对核面反射波 ScP 和 ScS 的记录,新观测 山洞记录相对清晰。

# 3 结论与讨论

(1) PDF 是了解地震观测台站环境噪声水平的 方法,也是评估台站记录波形质量的重要方法,它不 仅能够提供环境噪声评估,而且从上述的对比分析 来看,PDF 方法可以有效地判断出相同观测仪器在 不同观测条件下的细微差别.因此利用 PDF 分方 法,我们可以对高台新旧观测山洞台基环境噪声水 平给出量化的、直观的结果。结果显示,新观测山洞 台基环境噪声低于旧观测山洞,而且这种差异主要 表现在白天,夜间较小。

(2)选取 2018 年的地震观测记录波形,对新旧 观测山洞观测记录进行地震事件识别分析,统计记 录个数结果显示,新观测山洞识别记录的地震个数 明显多于旧观测山洞,分析其原因应该是旧观测山 洞环境噪声太大,将一些小地震事件 P 头淹没在干 扰中,无法识别造成。从同一时间段记录波形中也 可以看出,旧山洞观测记录中干扰明显,新山洞记录 干净,无干扰。

对新旧观测山洞观测记录进行地震事件震相分 析,分析结果显示,新观测山洞识别记录的地震震相 明显多于旧观测山洞。

(3) 对新旧观测山洞观测记录进行地震事件震相分析对比,对比分析结果显示,中国东北深震区和勘察加震区对核面反射波 PcP 的记录、阿富汗震区和日本震区对核面反射波 ScP 和 ScS 的记录,新观测山洞记录相对清晰。

#### 参考文献(References)

[1] 李兴坚,李建康,冯红武,等.高台地震台 PET 重力潮汐参数观测结果及影响因素的初步分析[J].地震研究,2013,36(1):63-68.

LI Xingjian, LI Jiankang, FENG Hongwu, et al. Preliminary Analysis on Observation Results of PET Gravity Tide Parameter at Gaotai Seismic Station and Its Influence Factors[J].Journal of Seismological Research, 2013, 36(1):63-68.

- [2] 李兴坚,许玉红,史继平,等,高台地震台钻孔应变观测资料的 分析[J].地震地磁观测与研究,2015,36(2):58-63.
  LI Xingjian,XU Yuhong,SHI Jiping, et al. Analysis and Evaluation of Borehole Strain Observations at Gaotai Seismic Station
  [J].Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 2015,36(2):58-63.
- [3] 李兴坚,陈兰新,陈建军,等.高台地震台依法保护地震监测环境的经验[J].高原地震,2005,17(4):49-54.
  LI Xingjian, CHEN Lanxin, CHEN Jianjun, et al. Experiences of Protecting Seismograph Monitoring Environment by Laws at Gaotai Seismostation [J]. Plateau Earthquake Research, 2005,17(4):49-54.
- [4] 呼楠,刘盼,闫俊义,等.西安地震台典型数字记录震相特征
  [J].地震地磁观测与研究,2018,39(2):90-99.
  HU Nan,LIU Pan,YAN Junyi, et al. The Characteristics of Typical Seismic Phase Recorded at Xi'an Seismic Station[J].
  Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 2018,39(2):90-99.
- [5] 谢江涛,林丽萍,谌亮,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.

XIE Jiangtao, LIN Liping, CHEN Liang, et al. The Program of Probability Density Function of Power Spectral Density Curves from Seismic Noise of a Station Based on Matlab[J]. Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 2018, 39 (2):84-89.

- [6] 秦四清,李培,薛雷,等.环太平洋地震带巨震预测[J].地球物 理学进展,2015,30(2):540-558.
  QIN Siqing,LI Pei,XUE Lei, et al. A Prospective Prediction of Great Earthquakes for the Circum-Pacific Seismic Belt[J].Progress in Geophysics,2015,30(2):540-558.
- [7] 应晓丽,崔旺来.太平洋小岛屿国家渔业资源区域合作管理研究[J].太平洋学报,2017,25(9):70-77.
   YING Xiaoli,CUI Wanglai.An Evaluation of Regional Cooperation on Fisheries Management of Small Island Countries in the Pacific Ocean[J].Pacific Journal,2017,25(9):70-77.
- [8] 秦四清,李培,薛雷,等.欧亚地震带大震预测(I):板间地震区
   [J].地球物理学进展,2015,30(3):1124-1140.
   QIN Siqing,LI Pei,XUE Lei,et al. A Prospective Prediction of Major Earthquakes for the Eurasian Seismic Belt(I):Interplate Seismogenic Zones[J]. Progress in Geophysics, 2015, 30(3): 1124-1140.

Ground Vibration Parameters of Sites[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2019, 41(Supp2): 145-148.

- [17] 王家鼎,白铭学,肖树芳.强震作用下低角度黄土斜坡滑移的 复合机理研究[J].岩土工程学报,2001,23(4):445-449.
   WANG Jiading, BAI Mingxue, XIAO Shufang. A Study on Compound Mechanism of Earthquake-related Sliding Displacements on Gently Inclined Loess Slope[J].Chinese Journal of Geotechnical Engimeering,2001.23(4):445-449.
- [18] 王家鼎,张倬元.地震诱发高速黄土滑坡的机理研究[J].岩土 工程学报,1999,21(6):670-674.
  WANG Jiading, ZHANG Zhuoyuan. A Study on the Mechanism of High Speed Loess Landslide Induced by Earthquake
  [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1999, 21 (6):670-674.
- [19] 王明轩.喜家湾滑坡形成机理及稳定性研究[D].西安:长安大学,2010.

\*\*\*\*\*

(上接第 1145 页)

[9] 张宇,康建红,郑国栋,等.长春地震台记录国内5级以上地震 波形及震相特征分析[J].地震地磁观测与研究,2014,35(Z1): 60-64.ZHANG Yu,KANG Jianhong,ZHENG Guodong, et al. Characteristics of Seismic Waveform and Phases of M<sub>S</sub>≥5.0 Earthquakes in China Recorded by Changchun Seismic Station [J].Seismological and Geomagnetic Observation and Research, 2014,35(Z1):60-64.

[10] 贾庆华,陈贵美.国内 5.0 级以上地震数字记录波形及震相特 征分析[J].华南地震,2004,24(3):57-64.

JIA Qinghua, CHEN Guimei. Characteristics of the Seismic Waveform and the Seismic Phasesof  $M_8 \ge 5.0$  Earthquakes in China[J]. South China Journal of Seismology, 2004, 24(3), 57-64.