

赵瑞胜,危自根,闫新义,等,2021. 喀什基准台宽频带井下和地表地震计记录数据对比研究. 中国地震,37(4):898~907.

喀什基准台宽频带井下和地表地震计 记录数据对比研究

赵瑞胜¹⁾ 危自根^{2,3)} 闫新义⁴⁾ 黄瑜¹⁾

- 1) 新疆维吾尔自治区地震局喀什地震监测中心站,新疆喀什 844000
- 2) 中国科学院精密测量科学与技术创新研究院,大地测量与地球动力学国家重点实验室,武汉 430077
- 3) 中国地质科学院地质研究所,自然资源部深地动力学重点实验室,北京 100037
- 4) 新疆维吾尔自治区地震局,乌鲁木齐 830011

摘要 对比分析喀什基准台麦盖提井下和相邻地表宽频带地震计记录的背景噪声、麦盖提 $M_L 3.1$ 近震和棉兰老岛 $M_L 6.6$ 远震波形记录以及功率谱,并进一步研究了相关的震级差和台站下方结构。研究表明,井下和地表地震计记录到的波形特征和功率谱既存在相似性,又具有差异性;井下地震计记录的近、远震波形更清晰、简洁,且功率谱也相对较低。麦盖提台站下方地壳厚度约 50km,井下地震计下方 59m 和地表地震计下方 47m 深度范围内的平均 S 波速度分别为 0.59km/s 和 0.47km/s。井下地震计得到的近震和远震震级分别比地表地震计得到的震级小 0.518 和 0.025。本文研究结果对合理布设地表和井下地震计,以及利用其观测数据进行地震学研究具有一定的指示意义。

关键词: 井下和地表地震计 功率谱 近震和远震 RZ 比 震级差 接收函数 $H-\kappa$ 叠加
[文章编号] 1001-4683(2021)04-0898-10 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

随着新疆地震背景场探测项目的实施,为弥补塔里木盆地及其东南部监测能力不足的问题,在喀什布设了井下地震计。为了观测高频地声与微震,延伸出了一系列的观测技术,其中最为成熟的便是井下地震观测技术。19 世纪 30 年代,美国便对井下地震观测进行过实验室和野外的观测实验,以改善远震 P 波的信噪比为目的,美国海岸与大地测量局首先进行了井下地震计的观测实验;19 世纪 60 年代,日本为了提高当时的观测台网监测地震的能力,也开始着手进行井下地震观测的研究(冯德益等,1986)。井下观测技术解决了由于地质状况限制所导致的问题,使地震监测不受具体台址的限制,且能提高信噪比和微震监测能力,台网布局更加合理(仇中阳等,2014)。

对井下地震计和地表地震计观测系统进行对比研究,能够更加深入地了解井下和地表

[收稿日期] 2020-06-05 [修定日期] 2020-09-04

[项目类别] 新疆地震科学基金(202123)、自然资源部深地动力学重点实验室开放研究课题(J1901-16)共同资助

[作者简介] 赵瑞胜,男,1983 年生,工程师,主要从事地震监测及地震分析研究工作。E-mail:zhaoruisheng@126.com
危自根,通讯作者,男,1984 年生,副研究员,主要从事壳幔结构研究。E-mail:weizigen@apm.ac.cn

地震计的仪器特性,并进行相关的地震学研究。张寿康等(1986)通过利用仪器进行实证分析,研究井下与地面地震计的差异,研究成果表明前者的监测能力远大于后者;在震级方面,井下地震计所测定的震级普遍较低。薛志照(1987)对比分析天津地区地震记录特征,得出井下地震观测比较接近基岩台,是改善平原地区地震记录情况的有效方法。李彦林等(1989)发现对于P波首波到时,地面地震计相比井下地震计滞后0.3s;对于记录的地震震级,地面地震计与井下地震计有0.7级的偏差。仇中阳等(2014)则通过对苏北地面与井下的地震波形频谱进行分析,研究二者之间的具体差异,结果表明在地震波拐角频率这一指标上,前者比后者大0.28Hz左右,但波峰的频率却小0.22Hz。朱音杰等(2017)对比分析地表与深井地震计,发现深井地震计观测在避免噪声及提高地震监测能力范围方面具有更大优势,观测精度更高。李雷等(2018、2019)通过昆明地震台的数据研究地面和井下记录之间的区别,得到井下地震记录可以降低高频信号的干扰,通过对比一系列数据,结果表明二者在频谱特性、震级等方面的差异明显。

喀什基准台麦盖提井下地震计作为中国地震背景场探测项目新疆测震分项新建区域测震台之一(图1),于2015年3月安装并试运行。该井深度283m,套管外径146mm、内径135mm,井下观测系统采用北京港震公司的GL-S60B井下宽频带地震计和24位数据采集器EDAS-24GN。为了对比研究井下地震计和地表地震计记录波形的特征差异,在麦盖提井下地震计旁5m处布设了一个宽频带地震计,并进行了2个月的连续观测。地表观测系统采用北京港震公司的GL-S60宽频带地震计和24位数据采集器EDAS-24GN(表1)。本文对比分析该井下地震计和相邻地表地震计记录到的背景噪声、近震和远震波形以及相关的地震学结构成像研究,进而分析井下地震计和地表地震计记录资料的相似性和差异性,并初步研究台站下方的地壳厚度和浅表的速度结构。

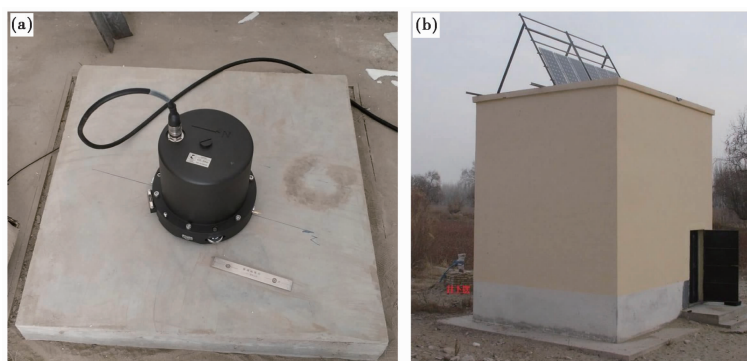


图1 麦盖提井下(a)和地表(b)地震计

表1

地表与井下地震计的仪器情况

类型	地震计型号	频带宽度	采样率/Hz	数据采集器型号	两台间距/m
地表地震计	GL-S60	60s~50Hz	100	EDAS-24GN	5
井下地震计	GL-S60B	60s~50Hz	100	EDAS-24GN	

1 背景噪声对比

背景噪声通常被称为地脉动,指存在于地球表面的微小震动。引起背景噪声的原因有许多,其中自然因素诸如风、海浪等,人为因素则是人的生产劳动、交通运输等,这些因素所引起的振动信号即为背景噪声。背景噪声往往会干扰地震有效信息,进而对地震定位以及地震学结构成像研究产生影响。基于地震计频带特征,本文选取了喀什基准台麦盖提井下地震计和地表地震计 2019 年 10 月 31 日 0 时至 5 时夜间平静时间段记录的 6 个小时无天然地震和人为活动的波形数据,在 60s~50Hz 内对比分析其波形特征和功率谱(图 2)。从时域图(图 2(a))可以看出,地表地震计记录到的噪声信息更加丰富、毛刺更多,其振幅也比井下地震计大,水平分量振幅为井下地震计记录到噪声的 2~3 倍。

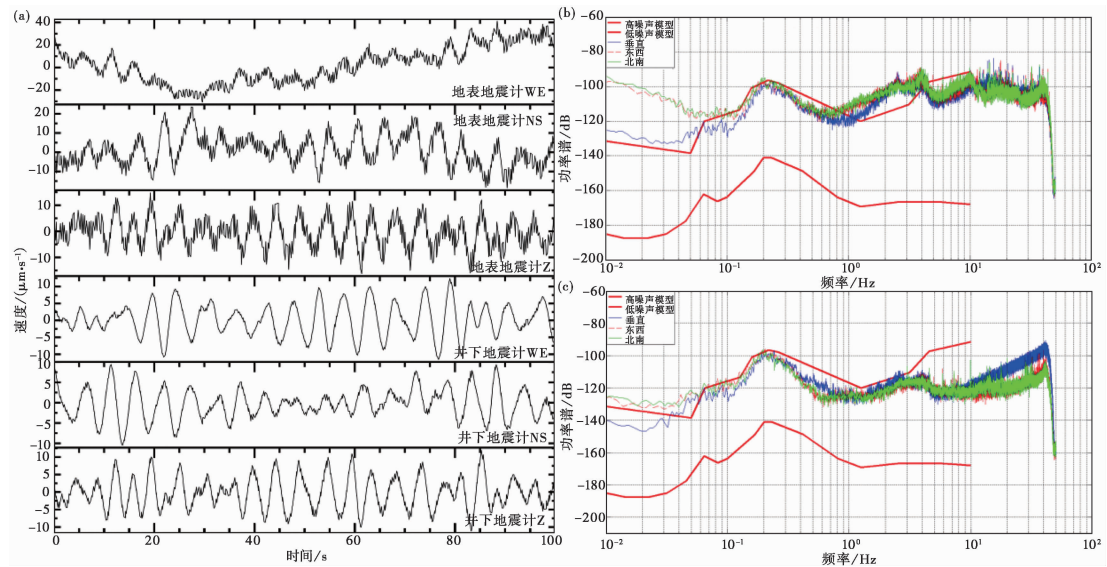


图 2 地表与井下地震计背景噪声波形及功率谱对比

(a)背景噪声波形;(b)地表地震计功率谱曲线;(c)井下地震计功率谱曲线

对原始波形数据进行傅里叶变换,得到该时间段的地动噪声功率谱密度(何彦等, 2006)。结果表明,地表地震计的数据功率谱整体高于井下地震计,井下地震计数据功率谱几乎均位于低噪声模型(NLNM)和高噪声模型(NHNM)之间,在 1s~3Hz 之间地表地震计功率谱高于 NHNM(图 2(b)、2(c))。井下地震计和地表地震计噪声功率谱在各频段的具体表现为:低频 10~60s 部分,水平分量井下地震计的噪声功率比地表地震计小 10dB 左右,垂直分量大致相同;在 6~10s 频段内,井下和地表地震计功率谱曲线同时出现小幅波动,走向基本一致,其中在 9s 处井下与地表地震计功率谱曲线同时出现一个峰值,应该为 II 类海洋噪声导致;地表地震计数据功率谱在 3Hz 和 10Hz 左右有一个明显峰值,疑似为观测系统电源干扰引起;在 5s~1Hz 频段内,井下地震计噪声功率比地表地震计小 10dB 左右;在 1~20Hz 频段内,井下地震计噪声功率比地表地震计小 20dB 左右;在 20~40Hz 频段内,水平分量井下地震计噪声功率比地表地震计小 10dB 左右。井下地震计在高频段(20~40Hz)也有噪声

影响,特别是垂直向反应更突出;井下地震计记录波形数据质量整体优于地表地震计。一般认为地表背景噪声主要为面波,其随深度增加而衰减,衰减量与频率有关,频率越高,衰减越大,这与高频段井下地震计噪声功率谱比地表地震计小很多的结论一致。葛洪魁等(2013)研究发现,2m深台基数据功率谱各分量的高频频段和长周期频段分别比地表地震计数据小5dB和10dB,该结论与本文观测结果一致,表明增加台基深度能有效地降低长周期噪声和低频噪声。此外,本文研究发现高达20dB的功率谱差异可能与深达283m的井下地震计有关。

2 近震波形对比

在共址观测期间,井下和地表地震计均清晰记录到了2019年10月31日麦盖提 $M_L 3.1$ 地震(77.95°E,38.68°N)。中国地震台网数据显示,该地震的方位角为279.0°,震中距为17.5km,震源深度为6km。对比近震波形(图3(a))发现,地表地震计水平速度振幅约为井下地震计的3倍,而垂直分量振幅几乎达到10倍。井下波形数据更为清晰明了,直达P波、S波震相清晰、易识别;地表波形数据中NS水平分量的P波震相幅度较弱、不清晰。对原始波形进行傅里叶变换,得到地震事件的功率谱(图3(b)、3(c)),发现井下地震计和地表地震计记录波形的功率谱均有类似的变化特征,地表地震计功率谱幅值普遍高于井下地震计。在1~50Hz内,地表地震计功率谱曲线的峰值出现在9Hz左右,而井下地震计功率谱曲线的峰值出现在6Hz左右,且峰值处井下地震计比地表地震计小10dB左右。在60s~1Hz内,地表地震计的功率谱曲线大致逐渐增大,而井下地震计两水平分量功率谱曲线在6~10s增大不明显,且垂直分量功率谱曲线在6~60s变化不明显。

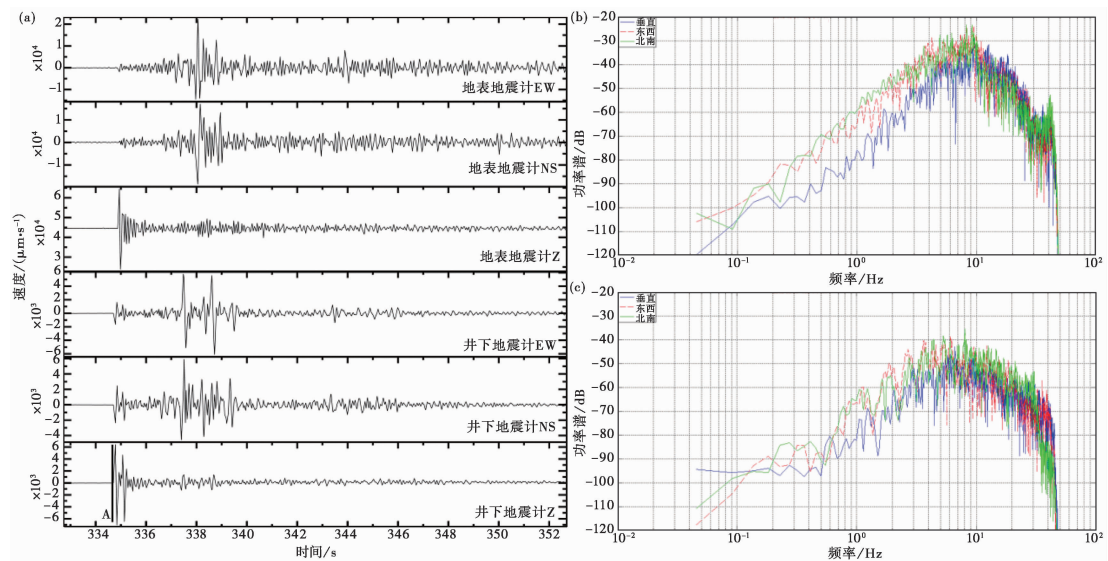


图3 地表与井下地震计近震记录波形及功率谱对比

(a) 近震波形; (b) 地表地震计近震功率谱曲线; (c) 井下地震计近震功率谱曲线

3 近震 RZ 比研究

研究发现,入射 P 波的径向分量(R)和垂向分量(Z)的比值与自由表面剪切波的速度有关。在沉积层区域,近震资料的 RZ 比能被有效用来反演沉积层表层的剪切波速度(β),并已应用于研究美国中东部盆地(Li et al, 2014)和松辽盆地(马海超等, 2020)的沉积层结构中。一般来说,对于 3 级的近震,用 RZ 比方法估计的速度为剪切波速度 β 深度范围内的平均值的 1/10(Ni et al, 2014),具体公式为

$$\beta = \frac{1}{p} \sqrt{\frac{1 - \sqrt{1 + (R/Z)^2}}{2}} \quad (1)$$

其中, p 为射线参数。

2019 年 10 月 31 日麦盖提 M_L 3.1 地震直达 P 波到时前 1s 及到时后 1.5s 的井下与地表地震计 R 和 Z 分量的波形如图 4 所示。分析该地震的 RZ 比结果表明,井下地震计记录的地震 RZ 比为 0.195,反演的剪切波速度为 0.59km/s;地表地震计记录的地震 RZ 比为 0.154,反演的速度为 0.47km/s。基于该地震特征和前人研究结果(Ni et al, 2014),认为本文获得的速度值 0.59km/s 和 0.47km/s 可能表示井下地震计下方 59m 和地表地震计下方 47m 深度范围内的平均速度。几百米的 S 波速度值和麦盖提井下地震计下方更高的速度与该台站下方厚的土层以及速度大致随着深度逐渐增加趋势是一致的。

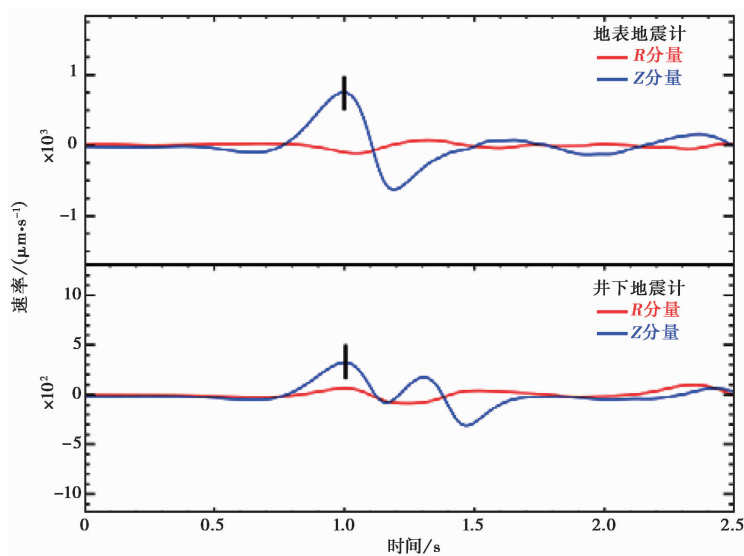


图 4 地表与井下地震计记录的近震垂直和径向分量
图中黑短棒标记为直达 P 波

4 远震对比研究

在共址观测期间,井下和地表地震计均清晰记录到了 2019 年 10 月 29 日发生在菲律宾棉兰老岛的 $M_s 6.6$ 地震 ($125.15^\circ E, 6.80^\circ N$)。中国地震台网数据显示,该地震方位角为 114.2° ,震中距为 53.1° ,深度为 10km 。对比分析该地震 P 波到时前后的波形记录 and 发震后 1h 的功率谱,如图 5 所示。结果表明,井下和地表地震计波形记录大致趋于一致,振幅值相差不大,但井下地震计记录的 P 波震相特征明显,波形更加简洁清晰。地表地震计 NS 分量记录的波形被噪声干扰,P 波震相无法识别(图 5(a))。对该远震原始波形进行傅里叶变换,得到地震事件的功率谱(图 5(b)、5(c)),发现井下和地表地震计波形记录的功率谱特征类似,能量均主要集中在 $2\sim 10\text{Hz}$ 频段,且在该频段内井下地震计功率谱比地表地震计小 20dB 左右,井下地震计波形功率谱在 $10\sim 45\text{Hz}$ 功率谱能量下降比地表地震计慢。

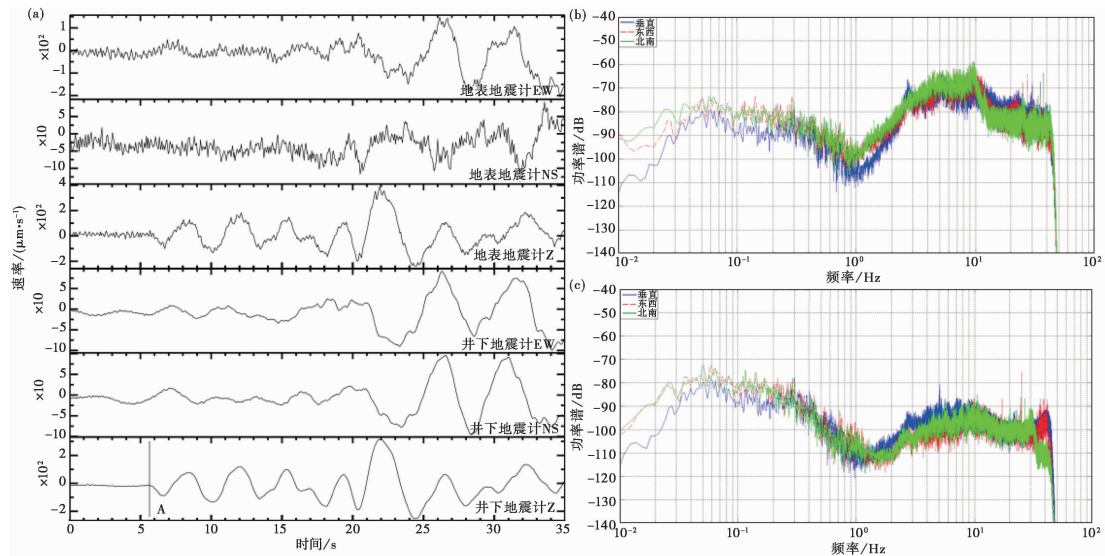


图 5 地表与井下地震计远震记录波形及功率谱对比
(a) 远震波形; (b) 地表地震计远震功率谱曲线; (c) 井下地震计远震功率谱曲线

5 远震接收函数 $H-\kappa$ 叠加结果对比

接收函数方法被广泛用于反演壳幔速度和间断面结构,接收函数 $H-\kappa$ 叠加方法基于莫霍面的 P_s 转换波和 P_pP_s 及 $P_pS_s+P_sP_s$ 地表多次波,共同约束地壳厚度和平均波速比信息 (Zhu et al, 2000; Wei et al, 2011, 2015, 2016)。该方法在一维水平均匀地壳模型的假设前提下,构造一个 $H-\kappa$ 平面内的叠加函数 $S(H, \kappa)$

$$S(H, \kappa) = w_{P_s} r(t_{P_s}) + w_{P_pP_s} r(t_{P_pP_s}) - w_{P_pS_s+P_sP_s} r(t_{P_pS_s+P_sP_s}) \quad (2)$$

其中, H 和 κ 分别为地壳厚度和平均 v_p/v_s 比值; $r(t)$ 为径向接收函数; t_{P_s} 、 $t_{P_pP_s}$ 、 $t_{P_pS_s+P_sP_s}$ 分别为不同震相的理论到时; w_{P_s} 、 $w_{P_pP_s}$ 、 $w_{P_pS_s+P_sP_s}$ 为满足三者之和等于 1 的加权系数。

基于井下地震计和地表地震计记录到的菲律宾棉兰老岛 $M_s 6.6$ 地震的波形,提取径向

接收函数,并进一步在 $H-\kappa$ 域内对比研究二者台站下方地壳厚度和波速比值。在远震波形截取上,截取 P 波到时前 20s 和到时后 80s,并设置高斯系数为 2,采用时间域迭代反褶积方法(吴庆举等,1998)计算接收函数(图 6)。接收函数波形表明,莫霍面直达 P 波受到浅表沉积层震相的干扰发生了延迟,地表地震计记录的 PpPs 震相由一连串波形组成,无法区分。进一步采用 $H-\kappa$ 叠加发现,井下地震计得到的地壳厚度为 49.9km,波速比为 1.865,而地表地震计得到的地壳厚度为 37.9km,波速比为 2.05。井下地震计得到的厚度与全球模型 crust1.0(Laske et al,2013)在该区的厚度(50.6km)较为一致,这与井下地震计记录到的地震事件波形数据更加清晰简洁的结论一致。

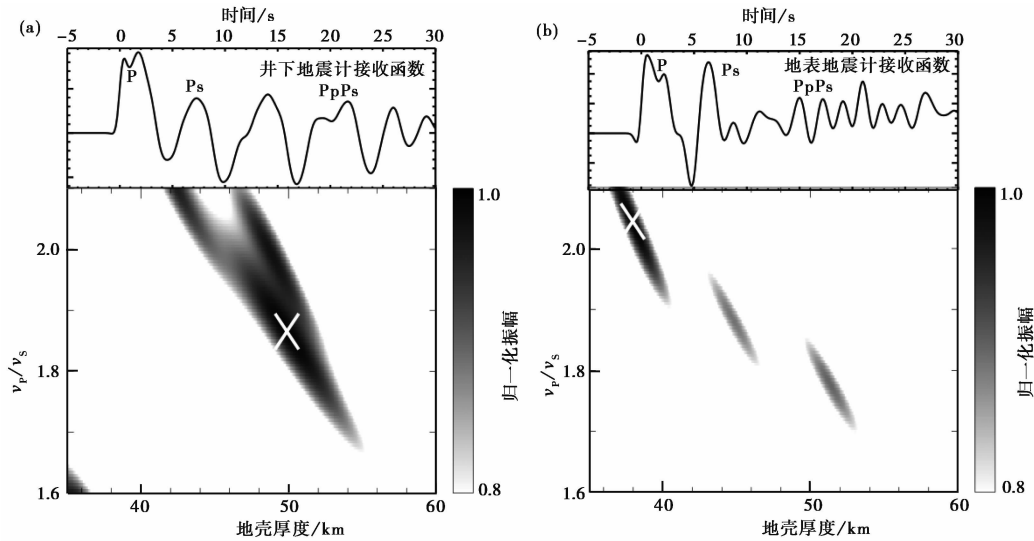


图 6 井下与地表地震计远震波形记录得到的接收函数 $H-\kappa$ 叠加对比

6 井下地震计和地表地震计近震、远震震级差异

上述近震、远震波形对比表明,井下地震计和地表地震计记录到的地震振幅存在一定差异,这必将影响地震震级的确定。基于井下地震计和地表地震计共址观测期间共同记录到的近震和远震事件,采用新国标的震级量算公式来计算地方性震级 M_L 和面波震级 M_s ,并对比 2 种数据得到的震级差异。 M_L 震级差计算公式为 $dM_L = \lg(A_s) - \lg(A_b)$,其中 A_s 和 A_b 分别为地表地震计和井下地震计记录到最大振幅; $A_s/A_b = (A_N + A_E)/2$,单位为微米,其中 A_N 为 NS 向 S 波最大振幅, A_E 为 EW 向 S 波最大振幅。基于上述公式,对井下地震计和地表地震计共址观测期间记录到的近震事件波形滤波到 1Hz 以上,获得了 4 个近震的震级差(表 2)。结果表明,这些地震震级差比较接近,在 0.446 ~ 0.567 范围内变化,平均值为 0.518。 M_s 震级差计算公式为 $dM_s = \lg(A_s/T) - \lg(A_u/T)$,其中 T 为 A 对应周期, A_s 和 A_u 分别为地表地震计和井下地震计记录到的水平向面波最大质点运动位移。基于 M_s 震级差计算公式,对井下地震计和地表地震计共址观测期间记录到的远震事件波形窄带滤波到 20s 周期,获得了 4 个远震的震级差(表 2)。结果表明,这些地震震级差变化较大,在 0.004 ~ 0.064 范围内变化,平均值为 0.025。对 RZ 比进行研究发现,井下地震计下方速度比地表地震计

表 2 井下地震计和地表地震计共址观测期间记录的近震、远震信息和震级差 (dM)

地震	发震时间(年-月-日 T时:分)	东经/(°)	北纬/(°)	震中距/km	震级	dM
近震	2019-08-30 T01:48	78.61	37.41	160	3.5	0.446
	2019-09-16 T05:44	77.25	39.53	100	4.3	0.540
	2019-09-30 T20:24	76.15	40.16	210	4.6	0.519
	2019-10-31 T15:05	77.95	38.68	20	3.1	0.567
远震	2019-08-28 T23:46	142.99	41.07	5452	6.1	0.024
	2019-09-25 T23:46	128.35	-3.45	6977	6.5	0.064
	2019-09-26 T10:59	28.17	40.89	4196	5.7	0.004
	2019-10-29 T01:04	125.04	6.80	5908	6.6	0.008

高。地表地震计下方更低的速度会导致记录到的地震波形振幅变大,进而导致采用高频数据得到地表地震计近震震级比井下地震计高约 0.518。而在计算远震时,由于采用的是 20s 长周期数据,其波长远大于井下地震计和地表地震计的距离,进而两者得到的震级差差异较小。

7 讨论与结论

本文对比分析了喀什基准台麦盖提井下地震计和紧邻的地表地震计记录到的背景噪声、近震和远震三分量波形以及相关的功率谱。结果表明,井下地震计记录到的噪声和近震振幅能量大致比地表地震计记录到的波形振幅小一个数量级,井下地震计记录到的远震振幅和地表地震计记录到的相差不大。相比地表地震计,井下地震计记录到的麦盖提 $M_L 3.1$ 地震和远震波形的直达 P 波震相更清晰,波形记录更为简洁。对于井下地震计和地表地震计记录到的噪声,近震和远震不同分量的功率谱既存在相似性又存在一定的差异,地表地震计数据功率谱整体高于井下地震计,在高频段差异最高达到 20dB,低频段接近 10dB。基于井下地震计和地表地震计记录到的近震波形记录,提取了入射 P 波的径向分量和垂向分量比值,反演得到井下地震计下方 59m 和地表地震计下方 47m 深度范围内的 S 波平均速度分别为 0.59km/s 和 0.47km/s。几百米的 S 波速度值和井下地震计下方更高的速度,与麦盖提台站下方厚的土层以及速度大致随深度逐渐增加的趋势一致。基于井下地震计和地表地震计记录到的远震波形记录,采用接收函数 $H-\kappa$ 叠加方法得到井下地震计台站下方的地壳厚度为 49.9km,与全球模型 crust1.0 的结果更加接近,而地表地震计成像结果却偏离真实值,这与井下地震计比地表地震计记录到的远震波形更加清晰简洁的结论一致。基于地表地震计和井下地震计共址观测期间记录到的近震和远震资料,计算了两者得到的地震震级差,发现近震震级差平均值为 0.518,远震震级差平均值为 0.025。因此,在计算近震震级时需要考虑井下地震计和地表地震计波形差异带来的影响。

与地表地震计相比,井下地震计的安装对场地和经济的要求均明显要高,但其能记录到高清晰的地震波形数据,且井下地震计所记录的地震波形能更精准地反演地下结构信息。本文对井下和地表地震计记录到的波形和相关的地震学结构成像的对比研究,能对地表和井下地震计的合理安装及其记录数据的正确使用起到一定指示意义。

参考文献

- 冯德益,范广伟,1986. 国内外井下地震波观测与分析的现状综述. 国际地震动态,(9):4~11.
- 葛洪魁,陈海潮,欧阳颺,等,2013. 流动地震观测背景噪声的台基响应. 地球物理学报,56(3):857~868.
- 何彦,王宝柱,宋太成,等,2006. 新疆数字地震台站观测动态范围和台基噪声的分析. 内陆地震,20(2):178~182.
- 李雷,邓存华,黄瑶,等,2018. 昆明地震台地面与井下地震计地震记录震级偏差. 地震地磁观测与研究,39(4):96~108.
- 李雷,邓存华,黄瑶,等,2019. 昆明基准地震台地面与井下记录地震差异分析. 中国地震,35(1):96~108.
- 李彦林,郑淑兰,1989. 涿县台地面与井下地震观测. 华北地震科学,7(1):95~97.
- 马海超,储日升,盛敏汉,等,2020. 利用深源近震高频 P_s 转换波震相研究松辽盆地沉积层结构. 大地测量与地球动力学,40(2):214~220.
- 仇中阳,毛华峰,陈健,等,2014. 苏北测震台网地面和井下地震记录波形频谱分析. 地震地磁观测与研究,35(3~4):105~111.
- 吴庆举,曾融生,1998. 用宽频带远震接收函数研究青藏高原的地壳结构. 地球物理学报,41(5):669~679.
- 薛志照,1987. 天津地区平原地面、井下与山区的地震记录特征. 地震,(2):24~31.
- 张寿康,张碧晖,左素军,1986. 井下与地面地震观测对比研究. 华北地震科学,4(4):79~84.
- 朱音杰,刘檀,丁成,等,2017. 赵县地震台地表及深井地震计观测数据对比分析. 地震地磁观测与研究,38(3):164~170.
- Laske G, Masters G, Ma Z T, et al, 2013. Update on CRUST1.0-A 1-degree Global Model of Earth's Crust. In: EGU General Assembly 2013. Vienna, Austria: EGU.
- Li Z W, Ni S D, Somerville P, 2014. Resolving shallow shear-wave velocity structure beneath station CBN by waveform modeling of the M_w 5.8 mineral, Virginia, earthquake sequence. Bull Seismol Soc Am, 104(2):944~952.
- Ni S D, Li Z W, Somerville P, 2014. Estimating subsurface shear velocity with radial to vertical ratio of local P waves. Seismol Res Lett, 85(1):82~90.
- Wei Z G, Chen L, Xu W W, 2011. Crustal thickness and v_p/v_s ratio of the central and western North China Craton and its tectonic implications. Geophys J Int, 186(2):385~389.
- Wei Z G, Chu R S, Chen L, 2015. Regional differences in crustal structure of the North China Craton from receiver functions. Sci China Earth Sci, 58(12):2200~2210.
- Wei Z G, Chen L, Li Z W, et al, 2016. Regional variation in Moho depth and Poisson's ratio beneath eastern China and its tectonic implications. J Asian Earth Sci, 115:308~320.
- Zhu L P, Kanamori H, 2000. Moho depth variation in southern California from teleseismic receiver functions. J Geophys Res, 105(B2):2969~2980.

Earthquake Waveform Comparison of Broadband Records between Borehole and Ground Seismometers in Kashi Seismic Station

Zhao Ruisheng¹⁾ Wei Zigen^{2,3)} Yan Xinyi⁴⁾ Huang Yu¹⁾

1) Kashi Earthquake Monitoring Center of Earthquake Agency of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Kashi 844000, Xinjiang, China

2) State Key Laboratory of Geodesy and Earth's Dynamics, Innovation Academy for Precision Measurement Science and Technology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430077, China

3) Key Laboratory of Deep-Earth Dynamics of Ministry of Natural Resources, Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

4) Earthquake Agency of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China

Abstract We analyzed and compared the waveforms and power spectrums of background noise of Maigaiti $M_L 3.1$ and Mindanao $M_L 6.6$ earthquakes recorded by broadband seismometers in borehole and at ground in Maigaiti seismic station in Kashi. We further studied the amplitude differences and structure beneath the Maigaiti station based on the records from borehole and ground seismometers. The results show a more clear and concise waveforms of earthquakes and lower power spectrum recorded by the borehole seismometer and coexistence of both similarity and difference between the waveforms and power spectrums. The crustal thickness is 50km beneath the Maigaiti station. The average S-wave velocities at a range of 0~59m deep beneath the borehole seismometer and 0~47m deep beneath the ground seismometer are 0.59km/s and 0.47km/s, respectively. The magnitudes of local earthquake and teleseism obtained by borehole seismometer are 0.518 and 0.025 smaller than those obtained by ground seismometer, respectively. The results obtained in our studies are useful to the deployment of ground and borehole seismometers as well as seismic study by using their observational data.

Keywords: Borehole and ground seismometers; Power spectrum; Local earthquake and teleseism; RZ ratio; Magnitude difference; $H-\kappa$ stacking of receiver function