

张才剑, 洪千盛, 游爱生, 等. 汕头地震台分量应变同震记录特征[J]. 华南地震, 2019, 39(S1): 71-77. [ZHANG Caijian, HONG Qiansheng, YOU Aisheng, et al. Coseismic Record Characteristic of Component Strain of Shantou Seismic Station[J]. South China journal of seismology, 2019, 39(S1): 71-77]

汕头地震台分量应变同震记录特征

张才剑¹, 洪千盛², 游爱生², 郑水军¹, 张印爱¹, 曾 华¹

(1. 信宜地震台, 广东 信宜 525300; 2. 汕头地震台, 广东 汕头 515063)

摘要: 回顾汕头地震台四分量钻孔应变对地震的记录特点, 分析了同震记录与震中距、持续时间的相关性。分析发现, 汕头台分量应变的同震记录持续时间和震级正相关, 也与震中距大小正相关。另外, 不同方向的记录具有方向性特点, 即同震记录的震荡强度与地震发生的方位相关, 一般与地震方位垂直的分量响应较大、平行的响应较小, 这与汕头台临近水库降雨加载的特点相似, 都是垂直于加载方向的响应较大。

关键词: 汕头地震台; 分量应变; 同震记录

中图分类号: P315.7 文献标志码: A 文章编号: 1001-8662(2019)S1-0071-07

DOI: 10.13512/j.hndz.2019.S1.012

Coseismic Record Characteristic of Component Strain of Shantou Seismic Station

ZHANG Caijian¹, HONG Qiansheng², YOU Aisheng², ZHENG Shuijun¹,
ZHANG Yinai¹, ZENG Hua¹

(1. Xinyi Seismic Station, Xinyi 525300, China; 2. Shantou Seismic Station, Shantou 515063, China)

Abstract: This paper reviews the record characteristics of the four-component borehole strain on the earthquake in the Shantou Seismic Station, and analyzes the correlation between the coseismic record and the epicentral distance and duration. The results show that the coseismic record duration of component strain in Shantou Station is positively correlated with the magnitude and also positively correlated with the epicenter distance. In addition, the records in different directions have directional characteristics, which means that the oscillating intensity of the coseismic record is related to the direction of the earthquake occurrence. Generally, the component response perpendicular to the earthquake azimuth is large, and the parallel response is small, which is similar to the characteristics of rainfall loading in the reservoir near the Shantou station, and the response is perpendicular to the loading direction.

Keywords: Shantou Seismic Station; Component strain; Coseismic record

收稿日期: 2019-02-26

作者简介: 张才剑(1962-), 男, 助理工程师, 主要从事地球物理观测。

E-mail: 976023626@qq.com.

0 引言

四分量钻孔体应变由 YRY 体应变发展改进而来,基本观测时应变固体潮^[1-2],在固体潮汐畸变、地应变计算中应用广泛^[3]。计算应变时,通常采用方位角校正和相位滞后影响的计算模型,其计算结果认为对大多数台站反演的耦合系数均比较相近,相位滞后、方位角校正以及拟合残差的结果相对稳定;但是也有部分测站得出的反演结果中耦合系数差异大^[4]。另外,钻孔应变在地震预测中也发现了不同类型的前兆现象,四川汶川 8.0 级地震前和芦山 7.0 级地震前姑咱台都观测到与震源应变方向相一致的前兆异常^[5-6],应变的方位属性是钻孔对区域应力的作用体现。蒋靖祥等^[7]发现新疆两次地震前钻孔应变仪均记录到异常信号,其异常具有趋势、短期、临震异常、指数型异常等相同点。

刘琦等^[8]对于高采样率为 20 Hz/100 Hz 的钻孔应变数据,分析了 2012 年 4 月 11 日苏门答腊北部附近海域 8.6 级地震,获取同站点地震仪与钻孔应变仪 S 变换结果,二者的同震频谱过程具有一致性,可以进行相互参照和校准进,进一步说明钻孔应变仪在高测结果的可靠性。张敏等^[9]分析了青海地区钻孔应变记录地震的情况,得出其同震响应出现阶变的起始时间与地震波到达的时间基本一致,属于同震变化,应变阶跃随震源方位、震级等因素有较好的比例关系。李鹏等^[10]分析了对

个台站钻孔应变的尼泊尔 8.1 级地震同震,结果表明非同台钻孔应变同震记录的初动时间、波动幅度和持续时间等与地震震级、震中距存在一定的关系,但在地震应变阶、张压性变化等方面差异较大。

1 台站和钻孔应变测项简介

汕头台在 2013 年 12 月 17 日开始新安装 RZB-2 电容型分量式钻孔应变仪,探头安装在距地倾斜观测室山洞口约 10 m 的井孔内,探头下放到井深 95 m 处,同时浇灌水泥柱 10 m,岩性为第三纪侵入中粗黑云母花岗岩,共有 4 个主测项和 1 个参考通道,3 个辅助测项(水位、气压和井温)。仪器四分量的安装方位如下:1#:方位 N35°E;2#:方位 N80°E;3#:方位 N125°E;4#:方位 N170°E。仪器测量地壳应变以电压输出量通过电缆信号线连接到采集室主机数采单元,每秒钟一次采样,连续观测。

孔井口处于日月坑水库西南角直线距离约 136 m 处,井深 100 m,仪器安装于地下 95 m 附近。水库坝顶高于井口台基 5 m,冬季水位较低,约比坝顶低 10 m 以上;夏季水位较高,降雨后水库容量的排泄增加。一般情况下,钻孔中的水位保持在地下 5 m 以上,夏季 3 m 以上,平静状态下井孔内水位与水库水位持平,即夏季时降雨时水库水位高于仪器所在的部位在 80 m 左右(图 1)。

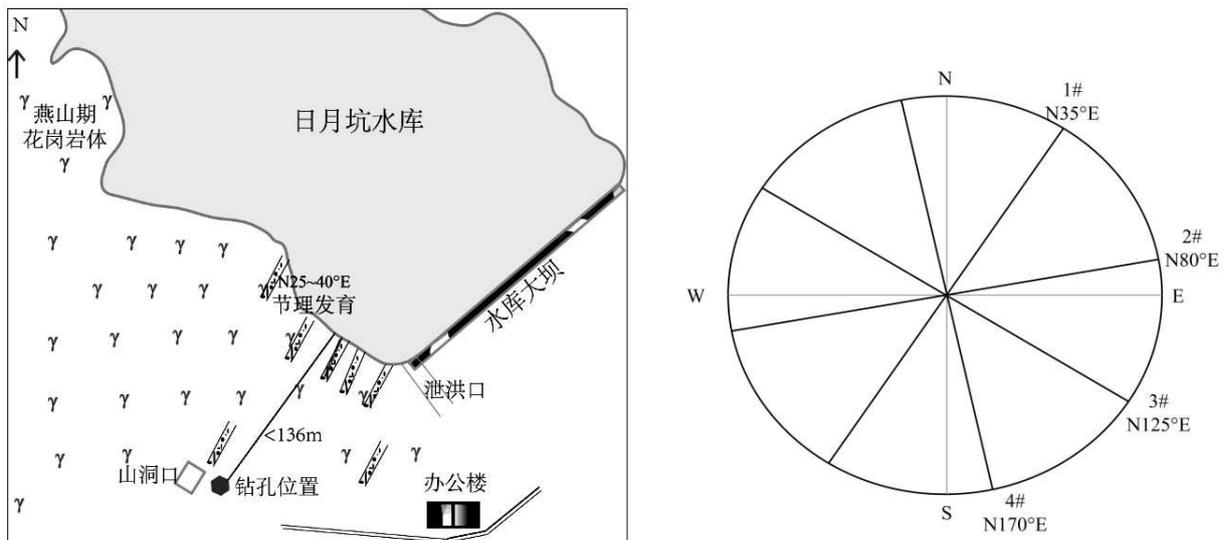


图 1 汕头台钻孔与邻近水库相对位置及 RZB-2 分量钻孔应变方位角

Fig.1 Relative position of the borehole in the Shantou station and the adjacent reservoir and the azimuth of the RZB-2 component borehole strain

钻孔的井孔为第三纪侵入中粗黑云母花岗岩, 普遍被第四纪覆盖, 深部为燕山期花岗岩。台站钻孔附近区域地下水是第四系松散岩类孔隙水和花岗岩构造裂隙、风化裂隙中的块状岩类裂隙水。地下水的补给、排泄、径流条件基本与地形起伏变化趋势一致。其补给以大气降水及地表水渗入为主, 特别是基岩局部裸露以及岩石风化导致裂隙、微构造发育的地区, 是大气降水补给地下水的有利部位。

2 观测记录趋势性干扰的情况

汕头地处东南沿海, 2018 全年降雨量累计为 1341.9 mm, 单日降雨量超过 50 mm 的天数为 9 天。台风集中发生在 7~10 月, 2018 年最有影响力的台风为“山竹”。台风带来了强降雨, 也会导致

钻孔应变大幅度下降。汕头台钻孔井口处于日月坑水库西南角直线距离约 136 m 处, 井深 100 m, 仪器安装于地下 95 m 附近。水库坝顶高于井口台基 5 m, 冬季水位较低, 约低于坝顶 10 m 以上, 夏季水位较高, 排泄增加, 但基本上排泄为自然排泄, 流量无人控制。钻孔水位保持在地下 5 m 以上, 夏季 3 m 以上, 平静状态下井孔内水位与水库水位持平, 即夏季时水库水位高于仪器部位 80 m 左右。

因为水库处于钻孔东北部, 当降雨加载时, 处于垂直向的 2# 和 3# 响应最为明显, 4# 次之, 1# 最差。这反映了加载的方向性和响应的垂向特点。图 2 中一年尺度的响应情况都具有磁特点, 一般 1# 小于 5000 个单位, 2# 和 3# 处于 10 000 个单位以上, 4# 处于 5000~10 000 个单位之间

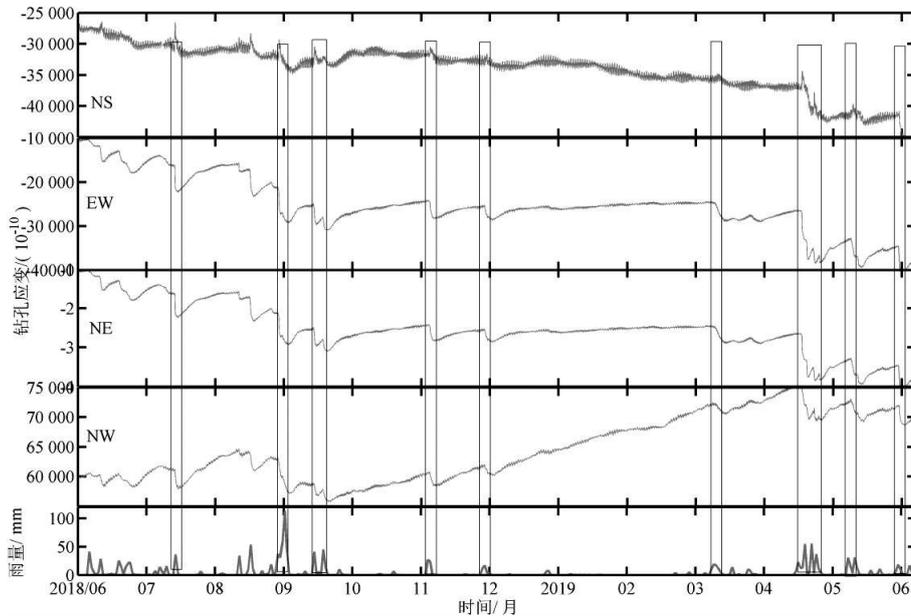


图 2 钻孔与降雨的干扰情况

Fig.2 Interference of borehole and rainfall

汕头台受短时强降雨影响的幅度较严重, 不同方向的分量之间具有差异变化, 其中 2# 和 3# 最明显, 其余分量较小。而当同样的降雨量, 而降雨时间较长时, 分量式钻孔应变仪各分量受影响的变化幅度都较小, 其变化幅度的受影响程度与降雨持续时间有关。根据与水库的相对位置关系, 这一现象可能与水库涨水且发生渗流有关, 日月坑水库为自然泄洪。降雨量过大时才能造成比较大的蓄水和涨水, 这种库容的方向性加载是导致钻孔应变发生差异性变化的原因。当然, 更深入的研究需要进一步量化, 比如开展数值模拟水库水位变化与钻孔水位变化、分量应变方向

性差异变化的对比, 计算分析分量应变的长趋势应力应变是否具有方向属性。

3 同震记录持续时间与震级的统计关系

2018 年以来, 汕头台 RZB 分量应变记录到 38 个地震, 是上一年的(19 个)2 倍。除菲律宾 M 4.9 级地震以外, 都记录到 M 5.5 级以上地震。2018 年附近区域发生的最大地震为台湾海峡 6.2 级地震, RZB 仪器记录清晰。但近震中 M 3.0~4.0 级以上地震均记录不到, 而对于远震较为敏感, 可能原因是形变仪器响应周期较长、频带宽, 对于长

周期的信号更为敏感，从秒采样和分钟采样的记录差别也可以看出这一点。与垂直摆和水管仪等倾斜类仪器相比，其同震响应偏弱、记录的地震偏少，可能由于仪器放在井下的100 m深处。

2017—2018年所记录的地震中， M 5.0~6.0级地震以菲律宾和马来西亚地区发生的地震为主，日本地区地震也占有一定比例，这个区域的地震几乎都和西太平洋俯冲带有关； M 6.0以上地震分布范围更广，几乎涵盖全球发生的与汕头台震中距处于 100° 范围内的 M 6.0级以上地震，其中以南太平洋赤道附近和日本地区最为典型。极远震

的记录数量极少，最大地震为斐济群岛地区 M 8.1级地震。斐济8.1级地震发生在汕头台NW方向，与3#的方位近似一致。图3中为1#和4#的响应最大，波形和震相更加明显。初步判断，与震源方向垂直的分量上，更容易接收到S波的扰动影响。台湾海峡6.2级地震发生在汕头台正东方向 190 km 左右，与2#的方位近似一致。图4中为1#和4#的响应最大，波形和震相更加明显，3#次之。同样地，与震源方向垂直的分量上，同震响应更明显更清晰，推测更容易接收到S波的扰动影响。

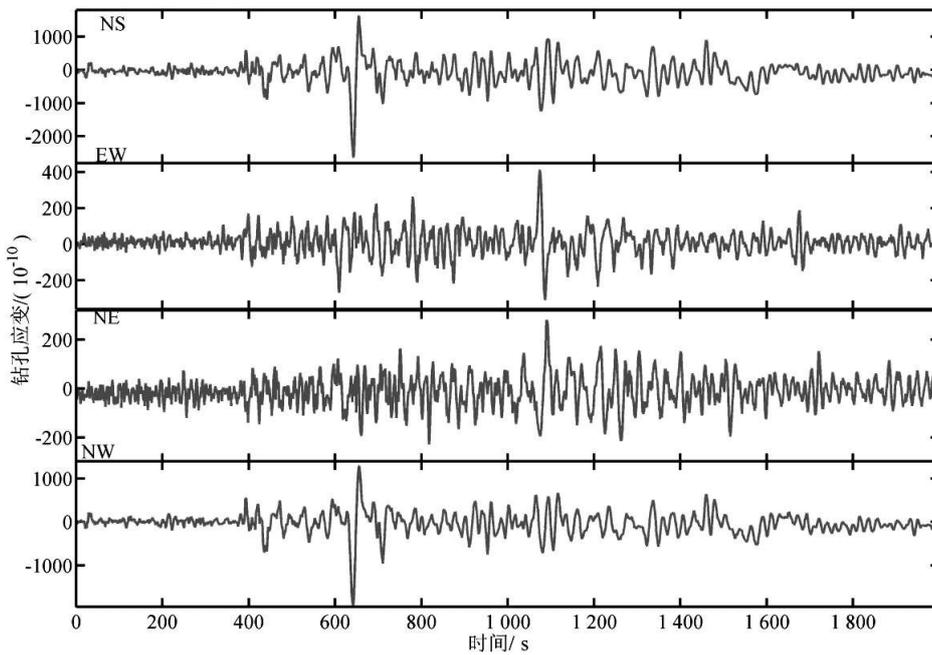


图3 典型远震记录情况 (2018-08-19 斐济 8.1 级地震)

Fig.3 Typical teleseismic record (2018-08-19 Fiji M 8.1 earthquake)

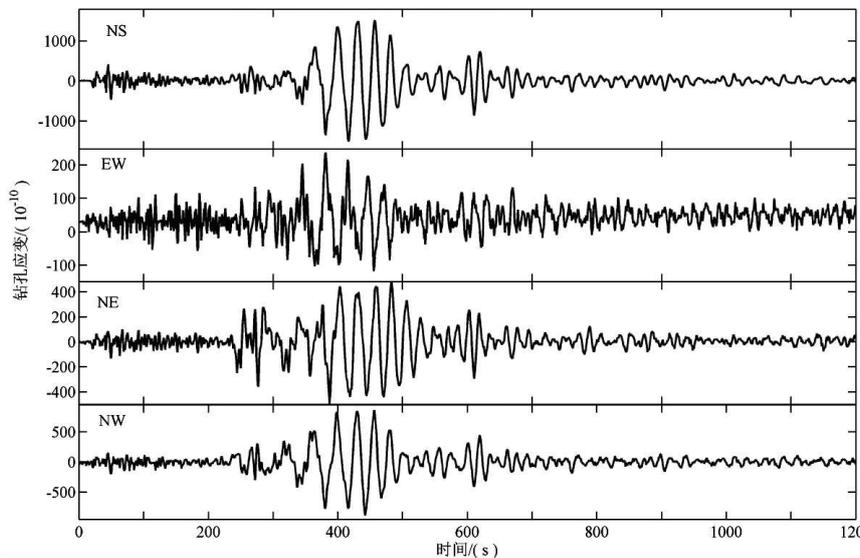


图4 典型近震记录情况 (11月26日台湾海峡 6.2 级地震)

Fig.4 Typical near-seismic record (November 26th, Taiwan Strait M 6.2 earthquake)

俄罗斯勘察加半岛 6.7 级地震发生于 2017 年 3 月 29 日, 汕头台钻孔应变的记录到了相对清晰的同震响应(图 5)。与上述两个地震不同的是, 此次地震引起的同震响应在 3# 最强, 2# 次之, 1 和 4#

最弱。勘察加半岛处于汕头台正 NE 向, 与 1# 方向近似平行, 因此, 1# 相对响应较弱, 而与之近似垂直的两个方向都比较强。另外, 需要特别指出汕头台钻孔应变 1# 的正常日变化量总是大于其他分量。

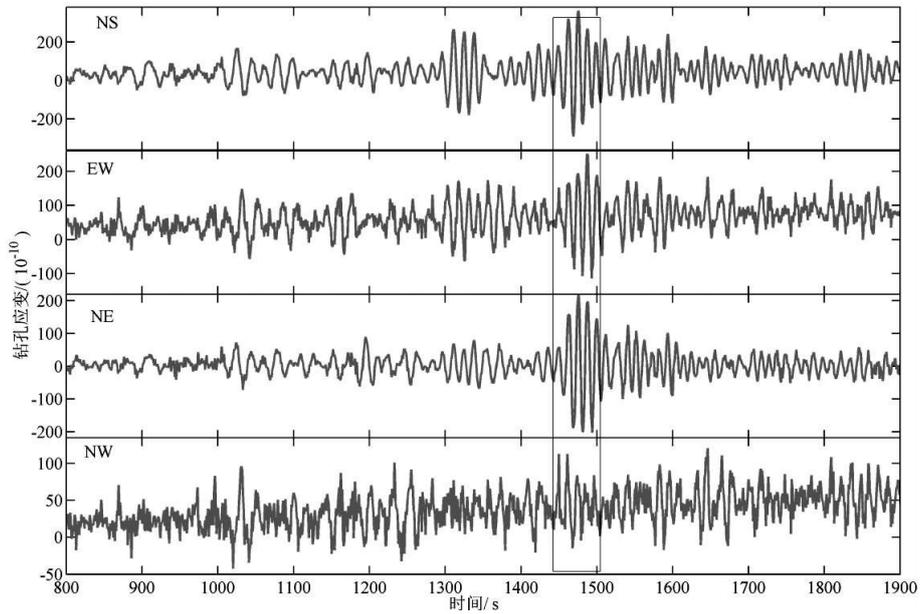


图 5 典型近震记录情况(03 月 29 日俄罗斯勘察加半岛 6.7 级地震)

Fig.5 Typical near-seismic record (March 29th, Kamchatka M 6.7 earthquake in Russia's)

表 1 同震记录的持续时间统计

Table 1 Duration statistics of co-seismic records

| 序号 | 发震日期/(月-日) | 初动时刻/h:min | 延续时间/min | 震级 | 震中地点 | 震中距/km |
|----|------------|------------|----------|-----|----------|--------|
| 1 | 01-10 | 11:25 | 126 | 7.6 | 洪都拉斯北部海域 | 14 989 |
| 2 | 01-23 | 17:57 | 137 | 8 | 阿拉斯加湾 | 8132 |
| 3 | 02-04 | 22:12 | 32 | 6.4 | 台湾花莲县 | 525 |
| 4 | 02-07 | 00:06 | 79 | 6.5 | 台湾花莲县 | 523 |
| 5 | 02-07 | 02:16 | 31 | 5.2 | 台湾花莲县 | 526 |
| 6 | 02-07 | 03:22 | 32 | 5.9 | 台湾花莲县 | 520 |
| 7 | 02-07 | 23:38 | 39 | 6.1 | 台湾花莲县 | 531 |
| 8 | 02-17 | 08:38 | 74 | 7.1 | 墨西哥 | 14 220 |
| 9 | 02-26 | 02:04 | 106 | 7.5 | 巴布亚新几内亚 | 4353 |
| 10 | 03-06 | 22:45 | 25 | 6.7 | 巴布亚新几内亚 | 4535 |
| 11 | 03-09 | 02:07 | 48 | 6.8 | 新爱尔兰地区 | 5040 |
| 12 | 03-24 | 19:36 | 24 | 6.3 | 新不列颠地区 | 4976 |
| 13 | 03-25 | 02:59 | 20 | 4.9 | 菲律宾群岛地区 | 542 |
| 14 | 03-26 | 18:08 | 22 | 6.6 | 新不列颠地区 | 4949 |
| 15 | 03-30 | 05:38 | 54 | 6.8 | 新不列颠岛地区 | 4964 |
| 16 | 05-05 | 14:24 | 35 | 6.1 | 菲律宾 | 1262 |
| 17 | 06-13 | 07:19 | 30 | 5.9 | 印尼苏门答腊 | 3076 |
| 18 | 07-29 | 07:01 | 26 | 6.5 | 印尼龙目岛 | 3532 |
| 19 | 08-05 | 19:53 | 55 | 6.8 | 印尼松巴哇岛地区 | 3536 |
| 20 | 08-19 | 08:30 | 460 | 8.1 | 斐济群岛地区 | 8467 |
| 21 | 08-19 | 23:09 | 50 | 6.9 | 印尼龙目岛 | 3554 |

(转下表)

(接表 1)

| 序号 | 发震日期/(月-日) | 初动时刻/h:min | 延续时间/min | 震级 | 震中地点 | 震中距/km |
|----|------------|------------|----------|-----|----------|--------|
| 22 | 08-22 | 06:06 | 94 | 7.3 | 委内瑞拉沿岸近海 | 16 231 |
| 23 | 09-06 | 02:15 | 105 | 6.9 | 日本北海道地区 | 3168 |
| 24 | 09-07 | 00:06 | 55 | 7.8 | 斐济群岛地区 | 8255 |
| 25 | 09-28 | 18:08 | 221 | 7.4 | 印度尼西亚 | 2660 |
| 26 | 10-11 | 05:06 | 53 | 7.1 | 巴布亚新几内亚 | 4966 |
| 27 | 10-11 | 07:38 | 39 | 6.6 | 千岛群岛 | 4492 |
| 28 | 10-23 | 12:36 | 36 | 6 | 台湾花莲县海域 | 617 |
| 29 | 10-24 | 00:07 | 12 | 5.7 | 台湾花莲县海域 | 620 |
| 30 | 10-26 | 07:17 | 71 | 7 | 伊奥尼亚海 | 8965 |
| 31 | 11-09 | 10:16 | 61 | 6.8 | 扬马廷岛地区 | 8742 |
| 32 | 11-26 | 07:58 | 25 | 6.2 | 台湾海峡 | 202 |
| 33 | 12-01 | 02:08 | 22 | 7.2 | 阿拉斯加 | 7917 |
| 34 | 12-01 | 21:42 | 8 | 6.3 | 班达海 | 3686 |
| 35 | 12-05 | 12:29 | 91 | 6.1 | 洛亚蒂群岛东南 | 7626 |
| 36 | 12-16 | 12:53 | 14 | 5.7 | 四川宜宾 | 1286 |
| 37 | 12-21 | 02:23 | 61 | 7.4 | 科曼多尔群岛 | 5275 |
| 38 | 12-29 | 11:46 | 25 | 7.2 | 菲律宾棉兰老岛 | 2245 |

图 6 中显示，地震的震级大小与 RZB 的记录持续时间具有对应关系。尽管在统计时间上可能有人为判断误差，但是从曲线整体趋势上看，图 6 中显示记录持续时间-震级大小相关性具有趋势性

相关关系。即震级大的阶段，持续时间曲线比临近阶段高。另外，震级与震中距的相关性更强，一般来说，能够记录到的地震越远、震中距越大。



图 6 地震震级与持续时间

Fig.6 Earthquake magnitude and duration

4 结语

汕头台接收到的同震响应都是较大的地震引起的，对于地震的响应没有在地表观测的仪器那么强烈，与钻孔应变仪器的埋深有关。对于各个方向的响应程度而言，汕头台分量应变的同震响应具有方位差异性，一般 1# 的响应最灵敏，4# 次之，2# 和 3# 灵敏度稍差，这与对降雨的响应相反 (图 2)。对于地震而言，因为汕头台记录到

的大多数地震来自于 NE 方向，所以日常处理的直觉是 1# 最显著，其根本原因是钻孔应变的响应具有方向性，垂直于加载源方向的分量最为敏感。与方位有关的结论较早被提出来^[8]，但却没有明确的统计结论，后续需要在理论基础上和数据分析中加强。

对于降雨的干扰，该现象可能与图 1 中北东方向的水库存在有关。水库处于与 1# 近似的方位，而降雨引起的加载下，1# 的响应最弱；且 4#

处于小角度, 4# 也较近似垂向的 3# 和 2# 弱一些。这一现象可能需要开展更深入的研究和探讨, 比如记录水库水位变化与钻孔水位变化、分量应变趋势和幅度实时对比, 测量花岗岩体的裂隙发育方向、风化程度、钻孔附近岩石孔隙率饱和度等。

参考文献:

- [1] 杨绍富, 徐长银. 铁门关钻孔应变记录地震及其固体潮畸变特征[J]. 地震地磁观测与研究, 2014(1-2):188-192.
- [2] 池顺良. 钻孔应变观测能够告诉我们些什么?[J]. 山西地震, 2019(1):17-29.
- [3] 邱泽华, 唐磊, 阚宝祥, 等. 用钻孔应变观测研究北京地区活断层的现今活动 [J]. 地震地质, 2007, 29 (4):716-728.
- [4] 张晶, 刘琦. 钻孔应变差应变耦合系数反演与有关机理的探讨 [J]. 大地测量与地球动力学, 2012, 32 (2): 155-159.
- [5] 邱泽华, 杨光, 唐磊, 等. 芦山 M7.0 地震前姑咱台钻孔应变观测异常 [J]. 大地测量与地球动力学, 2015, 35(1): 158-161, 166.
- [6] 邱泽华, 张宝红, 池顺良, 等. 汶川地震前姑咱台观测的异常应变变化[J]. 中国科学:地球科学, 2010 (8):1031-1039.
- [7] 蒋靖祥, 尹光华. 乌什台两次地震钻孔应变异常的对比研究[J]. 大地测量与地球动力学, 2005, 25(3):91-95.
- [8] 刘琦, 张晶, 晏锐, 等. 高采样率四分量钻孔应变同震响应分析[J]. 中国地震, 2013, 29(1):57-67.
- [9] 张敏, 赵燕杰, 文勇, 等. 青海地区钻孔应变同震响应特征分析[J]. 高原地震, 2014, 26(3):52-56, 13.
- [10] 李鹏, 李静, 石磊, 等. 尼泊尔地震钻孔应变同震记录分析[J]. 防灾减灾学报, 2016, 32(3):47-51.