

洱源台观测环境条件变化对形变观测数据的影响^{*}

彭钰翔, 黄麒麟, 崔庆谷[✉]

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

摘要: 2007—2019年洱源台洞体应变及辅助洞室温度的长期观测数据中存在明显的分段特征, 通过多测项数据对比、日志追踪、现场调查等方法分析查找导致数据分段的近场环境事件。结果表明: 近场环境的某些细微变化能够引起形变观测数据振幅、频率、组分、稳定性的变化, 导致前后数据的不一致, 从而影响观测数据的稳定性。因此, 必须尽可能保持近场环境恒久不变以确保观测数据的长期稳定性, 从而避免前后数据可比性降低影响前兆数据在中短期地震预测中的应用价值。

关键词: 观测环境; 观测数据; 稳定性; 一致性

中图分类号: P315.63

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2020)02-0296-06

0 引言

前兆观测数据的长期稳定性是地震预测及地震危险性判定的前提条件, 涉及观测数据的可靠性与真实性, 直接影响观测数据在中长期及短临预测中的作用(车用太, 鱼金子, 2013)。在云南多年的中短期预测预报及地震趋势判定中, 前兆数据的破年变异常是未来地震危险性判定的重要评判依据之一(李智蓉等, 2018), 需要结合历史震例对几年、甚至十几年的连续观测数据进行对比分析, 这个环节需要确保前兆数据在几年甚至更长时间段内是稳定的、量化标准是一致性、数据是前后可比较的。

然而, 在连续十几年的观测中, 由于各种干扰因素的存在, 近场环境条件的改变难以避免(哈辉, 2004)。此类事件可能导致前后观测数据的不一致, 如本底信号幅度增大、组分减少或增加等等。预报人员在使用这些被干扰的数据时, 难以回溯识别十几年前引起数据变化的真正原因, 并可能导致对未来震情的误判。长期以来, 监测人员对影响观测数据的各种干扰事件进行了研究, 取得了大量的研究成果, 如王梅等(2004)基于山东省数字形变台的固体潮分钟值资料, 讨论了气压、雷电、仪器故障、进人等干扰因素对数据

的影响; 孙伶俐等(2014)利用小波分析方法, 研究大气环境变化各因素对湖北省形变观测数据的影响。但这些研究主要是针对临时出现的、孤立的典型干扰事件展开, 没有从数据质量的长期演变过程来分析各种潜在干扰事件对观测数据的影响。鉴于此, 本文以洱源地震台记录的长达12年的形变观测数据的变化过程为研究重点, 分析数据质量随环境条件的改变, 给出保证数据质量长期稳定的建议措施。

1 观测台站及数据的基本情况

洱源地震台观测洞室紧靠洱源盆地西边界山麓, 红河断裂、鹤庆—洱源断裂、丽江—剑川断裂、龙蟠—乔后断裂以及程海断裂在此交汇(房艳国等, 2015)。该区域地质背景为前奥陶纪变质岩区, 区域内地热资源丰富, 站点附近200 m范围内有多个温泉出水点, 地热分布主要受构造活动控制(周真恒等, 1995)。观测洞室自业务楼2层开辟入口, 进深70 m, 覆盖层厚约60 m, 由于受地热控制, 洞室内部温度高、湿度大, 温度常年保持在25~28℃, 相对湿度在98%以上。洞室进深70 m后, 进一步开挖建成EW、SN、NE向3个形变观测室, 其中, EW向观测室紧邻测震观测室。各测项平面布局如图1所示。

^{*} 收稿日期: 2019-11-26.

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(41874111)及云南省科技“传帮带”项目(C3-201708)联合资助。

✉ 通讯作者: 崔庆谷(1967-), 正高级工程师, 主要从事地震观测工作. E-mail: cqg000123@sina.com.



图1 洱源地震台各测项平面布局

Fig. 1 Plane layout of each observation items at the Eryuan seismic station

洱源形变数字化观测仪器及辅助测项于2007年8月建设完成,2008年仪器进入稳定运行状态并产出可靠的观测数据。图2为2008年1月1日—2019年11月17日洱源台洞体应变NS向及洞室温度分钟值变化曲线。从图2a可以发现,洞体应变观测数据形态呈现分段特征,具体见表1,且这种数据分段特征在辅助观测的洞室温度数据中也同步出现,原因有待落实。

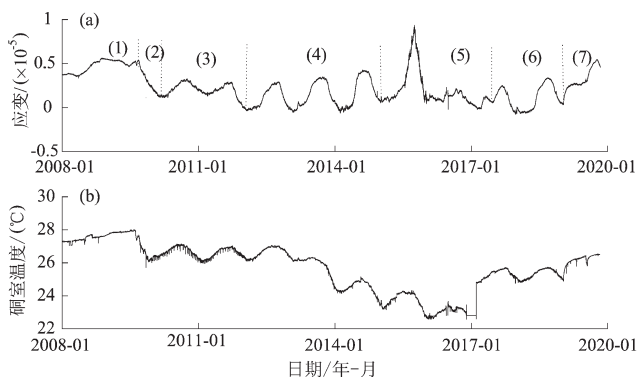


图2 洱源台洞体应变NS向(a)与洞室温度(b)数据变化形态

Fig. 2 Data of long-term cave strain observation in NS (a) and temperature of observation tunnels (b) at the Eryuan seismic station

2 洞室温度与洞体应变数据的关系分析

2.1 洞室温度年变化对洞体应变数据的影响

长期的观测实践证明,洞体应变数据主要受温度、降雨、近场载荷变化等因素的影响。其中,

表1 洱源台洞体应变观测数据形态的分段特征

Tab. 1 Segmentation characteristics of the observation data of cave strain at the Eryuan station

分段序号	时间段	分段特征
(1)	2008-01—2009-10	无年变规律
(2)	2009-10—2009-12	出现急剧下降
(3)	2010-01—2011-10	形态稳定,出现规律年变,年变峰峰值约 2×10^{-6}
(4)	2011-10—2015-01	年变幅度增大,峰峰振幅约 3×10^{-6}
(5)	2015-01—2016-12	出现巨幅变化后波动大,年变畸形
(6)	2017-01—2018-12	年变逐渐出现
(7)	2019-01—2019-11	急剧上升后趋于稳定,年变消失

洞室温度变化对其影响最为普遍(高昂,2013)。因此,《地震台站建设规范——地形变台站》(DB/T8.1—2003)中对形变观测洞室温度有严格的规定,要求年温差 $\leq 0.5^{\circ}\text{C}$,日温差 $\leq 0.03^{\circ}\text{C}$ 。

以图2中(1)~(3)段数据为重点研究对象,分析其年变的局部特征。通过对比洞体应变与洞室温度数据的细部特征(图3),可以发现两者变化基本同步,且变化规律极其相似,2组数据之间基本满足线性关系。图3b显示,2009年10—12月洞室温度急剧降低,降幅约为 1.5°C ,其后出现了规律的年变,该年变幅度已经不满足规范的要求。

为确定上述判断,用2组数据做最小二乘拟合,拟合结果如图4所示。拟合结果表明,除个别干扰引起的离散点外,洞体应变记录数据 y 与洞体

温度数据 T 之间满足下列线性关系：

$$y = aT + b \tag{1}$$

式中： $a = 0.208\ 20$ ， $b = -5.523\ 9$ 。

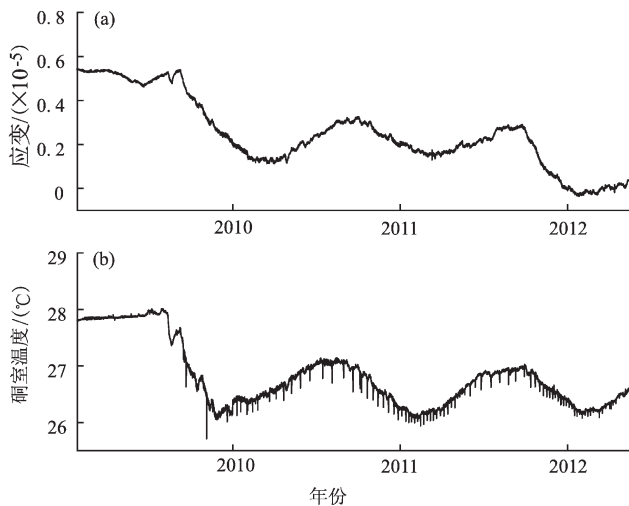


图3 洱源台洞体应变NS向(a)与洞室温度(b)数据局部放大对比图
Fig. 3 Partial enlarged contrast charts between cave strain observation in NS (a) and temperature of observation tunnels (b) at the Eryuan seismic station

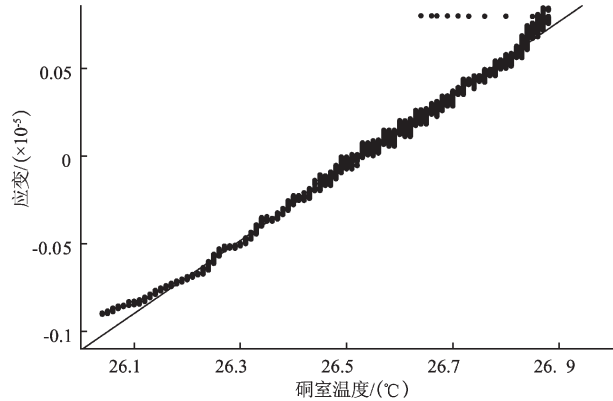


图4 洱源台洞体应变NS向与洞室温度数据的最小二乘线性拟合结果
Fig. 4 Results of least square fit between cave strain observation in NS (a) and temperature of observation tunnels (b) at the Eryuan seismic station

2.2 洞室温度日变化对洞体应变数据的影响

进一步分析洞室温度对洱源台洞体应变数据的影响，从图2中数据的细部特征及表1可以发现，洞室温度的日变化在2009年10月、2019年1月10日前后有2个分界，日变幅度经历了小、大、无3个时段，对应时间段的洞体应变数据也经历了同样的3个阶段。图5从各时段分别选取了11天的观测数据进行展示。

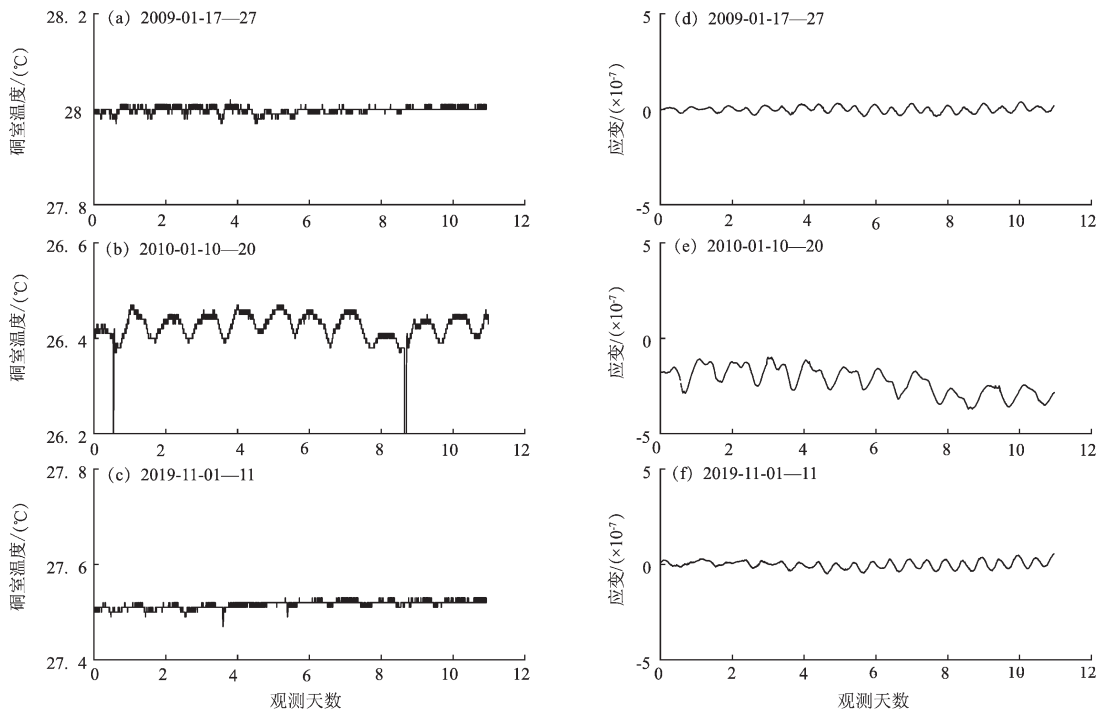


图5 3个时段洱源洞室温度日变幅(a~c)及其对应的洞体应变数据(d~f)
Fig. 5 Three-stage's daily changes of temperature of observation tunnels (a~c) and their corresponding cave strain observation in NS (d~f) at the Eryuan seismic station

由于图 5a~c 中的纵坐标跨度相同 ($0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$)，可直接对比 3 个时段信号的强度：第一时段洞室温度稳定在 $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右，日变幅非常微小，图 5a 中甚至看不到明显的日变；第二时段日变出现，变幅在 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右 (图 5b)；第三时段：日变再次消失，数据比第一阶段更稳定 (图 5c)。图 5d~f 为对应时段的洞体应变数据，其特征与洞室温度日变化幅度相同。

2.3 引起洞室温度变化的原因调查

综上所述，可以初步得出如下结论：洱源台洞室温度和洞体应变数据的日变和年变不是由构造变动引起的，可能是由环境事件引起的，具体情况需要进一步核实。

通过查阅 2007—2019 年的台站观测日志，没有发现引发日变幅度差异的近场环境事件。再查询《云南省地震监测志》，并开展台站现场调查，查明引起洞室温度变化的环境事件如下：

(1) 2009 年 8 月 12 日起，因同洞室观测的地震计受潮而故障频发，测震观测室与形变观测室共用的最外侧密封门被打开，仅保留内侧密封门，以便降低观测室的湿度，使地震计恢复正常，这导致形变观测室温度降低，并出现日变和年变。进一步分析洞室温度数据发现，2009 年 8 月 12 日，由于密封门的数量减少，导致形变观测室温度下降，期间外侧密封门时而开放、时而关闭，因此，洞室温度日变时而出现、时而消失，这种状况一直持续到 2009 年 9 月 15 日早上 9 时。自 2009 年 9 月 15 日 9 时起，外侧密封门一直处于打开状态，形变观测洞室温度急剧下降，并出现清晰稳定的日变、年变，这种状态一直持续到 2019 年 1 月。

(2) 2013 年起，形变观测洞室温度趋势性下降，但下降原因不明，此间发生洱源 $M_s5.5$ ， $M_s5.0$ 地震以及香格里拉 $M_s5.9$ 地震。

(3) 2019 年 1 月 10 日，由于采用了保温除湿罩，同一洞室内的地震计能够在潮湿环境下正常运行，台站人员将密封门全部关闭，洞室温度急剧上升，并稳定在 $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右，洞室温度日变消失。

为方便展示，从 2009—2019 年洞室温度数据中提取 2 段，如图 6 所示，可以使分段特征更为明显。图 6a 中显示有 2 个分界段，用方框标识，分别为 2009 年 8—11 月以及 2013 年 1—11 月的快速

下降区。2009 年 8—11 月，打开外侧密封门除湿是导致洞室温度快速下降的主要原因。与此同时，2009 年 10—11 月洱源台进行台站改造，将业务楼 2 (图 1) 拆除重建，拆除期间近场环境内的载荷发生巨大变化，这种变化导致洞体应变观测数据中有大幅波动叠加在下降趋势中；2013 年 1—11 月，没有找到对应的干扰事件，但 2013 年 3 月 3 日发生了洱源 $M_s5.5$ ，4 月 17 日发生了洱源 $M_s5.0$ 地震，考虑到洱源台属于温泉地热区，不排除地下构造变动引起洞室温度变化的可能 (Floven, 1986; 陆明勇等, 2004; 张永仙等, 2000)，因为同一地区的井水温观测在 2007 年宁洱 $M_s6.4$ 地震前出现了明显的前兆异常 (刘耀炜等, 2008)，具体原因需进一步研究。在图 6b 中，2019 年 1 月 10 日开始将密封门全部关闭，洞室温度立即回升，除了 2019 年 10 月因仪器标定引起锯齿状变化外，数据整体趋于稳定，年变和日变极大减小甚至消失。

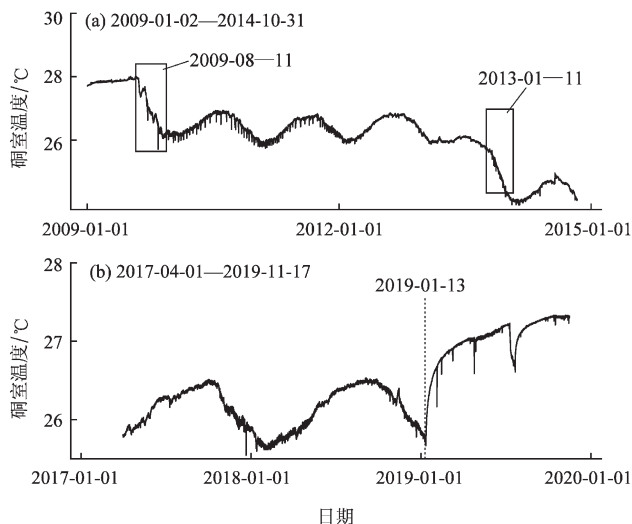


图 6 洱源洞室温度数据的分段情况

Fig. 6 Segmentation characteristics of the temperature of observation tunnels at the Eryuan seismic station

2.4 其他干扰因素的核实

从图 2a 和 7a 的细部特征可以看出，洞体应变 NS 向观测数据有一段持续时间约 8 个月 (2015 年 7 月—2016 年 2 月) 的巨幅畸变，但对应时段的洞室温度并没有明显畸变，见图 7b。这表明此次巨幅突变不是由洞室温度变化引起的，进一步调查得知，这期间洱源台再次进行台站改造，自 2015

年 8 月开始拆除北段业务楼 2 (图 1) 并重建, 从旧楼的拆除到新楼的建成经历了一个完整的卸载和加载过程。其中, 峰值点出现的时间与旧楼拆除后场地清理完成的时间基本一致, 随后新楼开始建设, 建筑材料运入并开始施工, 观测数据开始折返。由此认为, 数据的变化来自于载荷的变化。

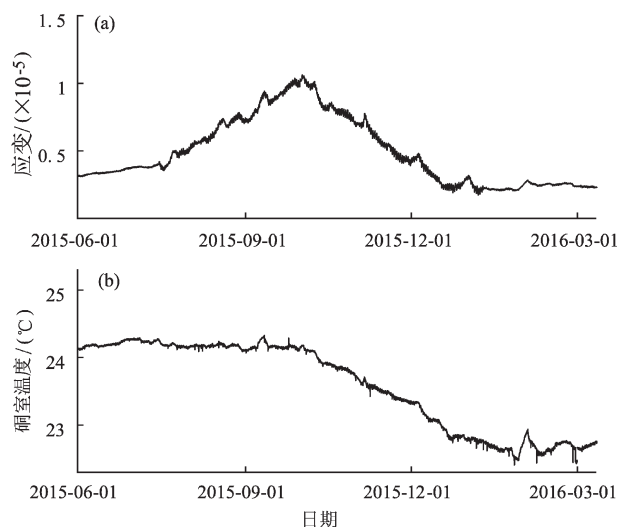


图 7 洞体应变 NS 向 (a) 与洞室温度 (b) 数据细节对比

Fig. 7 Data contrast between cave strain observation in NS (a) and temperature of observation tunnels (b) at the Eryuan seismic station

3 结论

本文对 2008 年 1 月 1 日—2019 年 11 月 17 日洱源台洞体形变及洞室温度近 12 年的观测数据进行分析, 发现长期观测数据中存在明显的分段特征, 其通过数据对比、日志追踪、现场调查等方法查找原因。结果表明: 近场环境事件是导致数

据发生分段的主要原因。山洞环境的不稳定, 如洞室温度变化、载荷的巨大变化都可能对形变观测质量造成影响, 降低观测数据在地震预测中的使用价值。因此, 保持山洞条件及近场内的环境恒久稳定, 是确保观测数据长期稳定和一致的重要条件。监测人员在保障仪器正常运行的同时, 必须密切关注环境条件变化, 并判断其对观测数据产生的影响, 及时采取补救措施, 以确保观测数据的客观真实。

参考文献:

- 车用太, 鱼金子. 2013. 井水温度观测中有待解决的若干基本问题[J]. 中国地震, 29(3): 306–315.
- 房艳国, 李茂华, 付调金, 等. 2015. 云南大理州洱源盆地温泉分布特征及成因分析[J]. 资源环境与工程, 29(5): 701–705.
- 高昂. 2013. 山洞环境对地震观测的影响[J]. 地震地磁观测与研究, 34(5): 200–203.
- 哈辉. 2004. 20 起地震监测设施和观测环境保护行政执法案例特征分析[J]. 高原地震, 16(2): 55–61.
- 李智蓉, 付虹, 高华宴. 2018. 云南地区定点形变观测异常特征与地震预测研究[J]. 地震研究, 41(1): 90–97.
- 刘耀炜, 孙小龙, 王世芹, 等. 2008. 井孔水温异常与 2007 年宁洱 6.4 级地震关系分析[J]. 地震研究, 31(4): 347–353.
- 陆明勇, 黄辅琼, 周峥嵘, 等. 2004. 地壳形变与地下水异常关系研究进展[J]. 大地测量与地球动力学, 24(3): 98–104.
- 孙伶俐, 李明, 龙涛. 2014. 大气环境变化对地壳形变观测的影响研究[J]. 地震研究, 37(3): 412–418.
- 王梅, 李峰, 孔向阳, 等. 2004. 数字化形变观测干扰识别[J]. 大地测量与地球动力学, 24(1): 94–98.
- 张永仙, 石耀霖, 刘桂萍. 2000. 热物质上涌与震前重力异常关系初探[J]. 地震, 20(增刊 1): 135–142.
- 周真恒, 向才英, 赵晋明. 1995. 滇西地热场特征[J]. 地震研究, 18(1): 41–48.
- Flovenz O G. 1986. 地下温度测量在冰岛地热勘探中的应用[J]. 安振昌译. 曾治权, 欧阳珽校. 地球物理学进展, (2): 135–141.
- DB/T8. 1—2003, 地震台站建设规范——地形变台站[S].

Influence of Changes in Surrounding Environment on the Crustal Deformation Data at the Eryuan Seismic Station

PENG Yuxiang, HUANG Qijin, CUI Qinggu

(Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract

In the long-term crustal deformation data and geothermal temperature data from 2007 to 2019 in the Eryuan seismic station, the segmentation characteristics are obvious. For finding the reasons which cause the segmentation, methods of multi-data comparing, daily record scanning, and field surveying are used to look for near field changes in surrounding environment. The result is given that some small changes in near field environment can lead to terrible changes of observation data in some aspects such as amplitude, frequency, composition, and stability. Then the long term data is inconsistency and instability. It is argued that the near-field environment should be kept to ensure the stability and consistency of observation data. Then the long-term data can be used in medium and short term earthquake prediction.

Keywords: observation environment; observation data; stability; consistency