

云南云县地震台形变观测的降水效应分析*

段元泽¹, 付虹², 白宝荣¹, 杨春华¹, 李智蓉²

(1. 普洱市地震局, 云南 普洱 665000; 2. 云南省地震局, 云南 昆明 650224)

摘要: 对云南云县地震台洞体应变和水管倾斜观测值与降水量的对比分析, 结果表明, 云县年降水总量每增加 200 mm, 洞体应变和水管倾斜的增量分别约为 $4\,000 \times 10^{-8}$ 和 $90''$; 月降水增加 100 mm, 云县洞体应变和水管倾斜月变幅的增量分别约为 38×10^{-8} 和 $2.5''$ 。构建月降水和月增量的线性方程, 求取测值与理论值的残差, 发现当残差量大于 1 倍均方差后, 短期内台站周边 500 km 范围内均有 5.5 级以上地震发生。距离台站最近的昌宁 5.1 级地震前, 异常幅度最大, 表明排除降水干扰后的变形增大, 多与构造活动有关。

关键词: 洞体应变; 水管倾斜; 降水影响; 异常提取; 云县地震台

中图分类号: P315.725

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2017)02-0241-07

0 引言

地震的发生伴随着地面变形和岩层错动的现象, 定点形变观测的地震前兆异常在地震预报中已经被广泛应用, 具有重要的意义。目前在很多显著地震前都观测到形变异常, 如 1976 年龙陵 7.3、7.4 级地震前, 滇西地区的水准测量结果明显抬升 (陈金海等, 1979); 1986 年富民 5.2 级地震发生前, 楚雄地震台出现地倾斜异常 (杨继登, 唐吉阳, 1988); 1988 年澜沧—耿马 7.6、7.2 级地震前, 弥渡、永胜、楚雄地震台水管仪和个旧地震台金属摆均出现异常 (卢艳清, 王贤仁, 1992); 2001 年永胜 6.0 级地震发生前, 滇西北一带存在明显的大地形变异常 (赵慈平等, 2003); 2008 年汶川 8.0 级地震前, 距离震中较近的定点形变台站都出现了高频的异常信号, 距离震中稍远的地震台站出现了频率相对低的异常信号, 耿达、棋盘沟、道孚等台站出现形变巨变异常 (陈立德, 付虹, 2010; 张燕, 吴云, 2010)。2013 年芦山 7.0 级地震前, 鲜水河断裂中北段、龙门山断裂中段及安宁河—小江断裂形变异常突出 (邱桂兰, 2015)。

形变连续观测临震异常主要表现为阶跃、畸变、脉冲等非稳定异常形态, 如果排除了其他可能的干扰情况, 这种变化反映了震前应力场变化,

并使应力在未来震中区集中, 可能提取到地震前兆信息 (张晶等, 2003)。形变异常在震前的变化毋庸置疑, 但影响形变观测的因素较多, 主要有: 地震形变波引起的变化、构造活动引起的变化和干扰变化等。干扰变化包括仪器干扰、环境干扰和人员干扰等: 仪器干扰是指电源干扰对数据的影响、仪器漂移等引起的变化; 环境干扰是指降水、气压变化、施工爆破等引起的变化; 人员干扰是指仪器标定、维修、外来人员参观等引起的变化等。因此对于形变异常的判定, 排除干扰很重要。许多学者对形变大幅异常进行分析研究后, 发现部分形变突跳异常与强降水存在一定关系 (杨婕等, 2009; 刘序严, 张雁滨, 1992; 孙伶俐等, 2010)。在云南地区, 早、雨季分明, 降水对形变观测的影响是客观存在的, 因此研究降水的影响, 排除降水干扰, 对识别异常有一定的帮助。

1 资料选取和分析方法

1.1 台站基本情况

云县地震台处在澜沧江西部与青藏断块地区的川滇隆起部, 主要受北北东向南汀河断裂带控制, 其西部是龙陵—腾冲地震带, 南部是耿马—澜沧地震带, 东南部是思茅—普洱地震带, 东北部是景东—景谷地震活跃区。台站位于地震多发区的汇聚位置, 受多重应力的作用, 具备中强地

* 收稿日期: 2016-12-13.

基金项目: 地震科技星火计划项目 (XH13022) 资助.

震孕育的环境,具有良好的地球物理观测条件。台址基岩为花岗岩,完整且比较坚硬,干扰小、观测条件优良,观测环境评价为优秀,适合进行测震、形变、地磁、重力等项目的观测。台站海拔高度 1 100 m,周边平均温度为 $18.6^{\circ}\text{C} \sim 19.1^{\circ}\text{C}$,最高温度约为 35.0°C ,最低温度为 $0^{\circ}\text{C} \sim 2.0^{\circ}\text{C}$,年均降水量达 921.4 mm,月最大降水量为 230.4 mm,日最大降水量可达 86.4 mm。

1.2 资料选取

云县地震台有垂直摆、洞体应变、水管倾斜和水平摆等仪器用于观测地倾斜和形变。因垂直

摆和水平摆的观测时间较短,本文选择记录时间相对较长和完整的洞体应变和水管倾斜资料进行分析。降水观测资料从 2009 年底开始较为完整,因此分析的时间选取为 2010 年 1 月 1 日至 2016 年 10 月。

从原始数据记录曲线可见(图 1),4 个分量的测值具有一定的年变规律,对原始数据进行年归零、去除大幅升降等预处理,排除仪器调零等干扰。

以 2014 年云县水管倾斜东西分量原始记录为例,通过其与降水量对比直观图(图 2)可见,水管倾斜的东西分量可能受到了气候变化的影响。

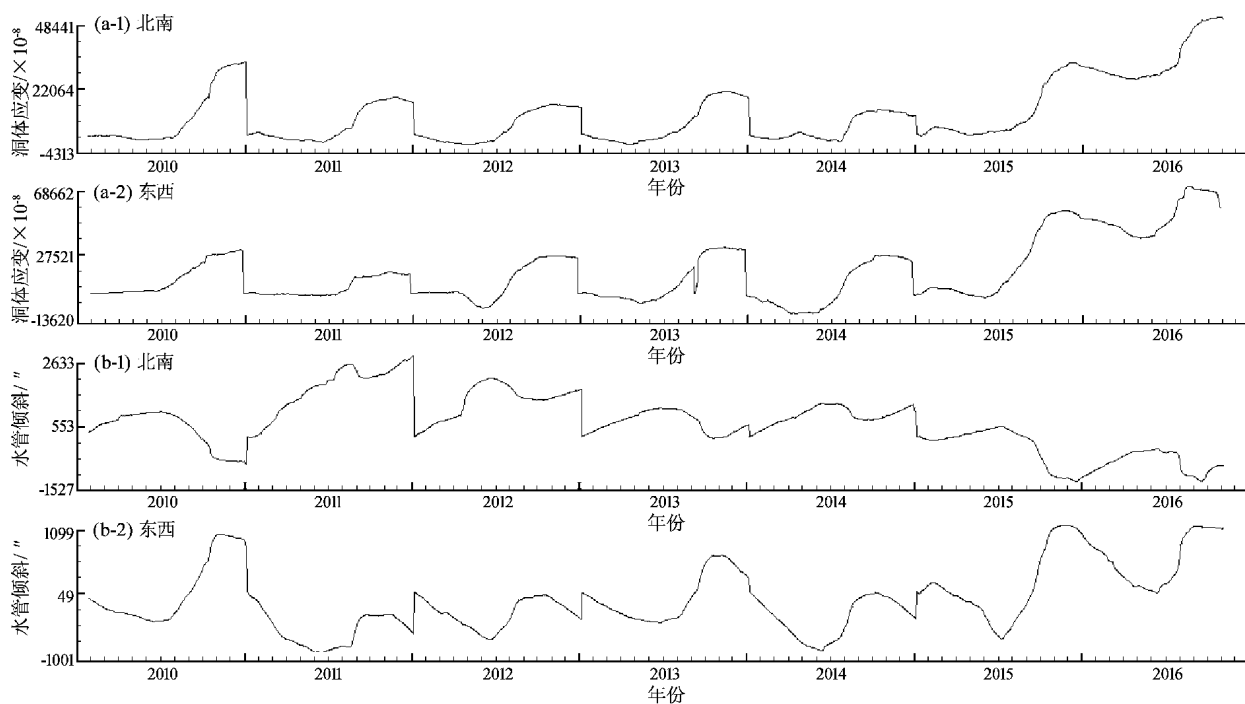


图 1 云县地震台洞体应变 (a) 和水管倾斜 (b) 原始记录图

Fig. 1 The cavity volumetric - stain (a) and inclined pipe (b) original record image at Yunxian Station

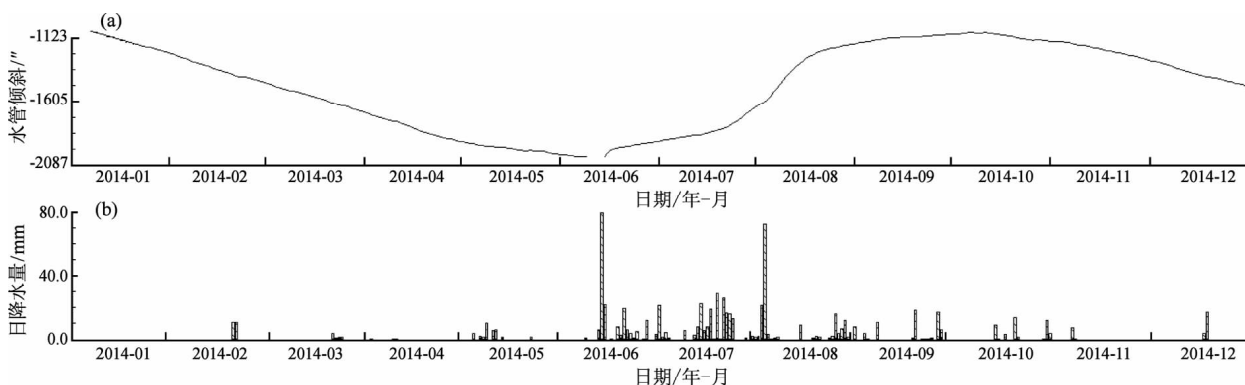


图 2 2014 年云县地震台水管倾斜东西分量原始记录曲线 (a) 与降水量 (b) 对比图

Fig. 2 Intuitive comparison of the original record curve of the east - west component of the inclined pipe at Yunxian Seismic Station (a) and precipitation (b) in 2014

1.3 分析方法

地震监测数据随着时间的推移数据的规模会不断扩大，这些数据中隐藏着我们需要读取的信息。科学地读取这些数据的有用成分，对数据进行合理的处理非常重要（梁楠，2012）。差分分析方法可对复杂的分析数据进行简化，使不同时段的数据变化幅度更为直观。

定义时间序列 x 的某一连续的观测数据为 $f(x)$ ，在 $x_k = x_0 + kh(k = 0, 1, \cdots, n)$ (h 为时间步长) 处的 $f_k = f(x_k)$ 已知，则 $f(x)$ 在 x_k 处的向前差分为：

$$\Delta f_k = f_{k+1} - f_k$$

(1)

本文重点对形变观测值的月均差分值与降水

月均值进行分析，提取降水对测值的影响。

2 降水量对形变测值的影响分析

2.1 年降水量对形变年变幅的影响

用形变测值年度最大值减去最小值，求得年变幅度。对云县地震台洞体应变和水管倾斜的北南分量、东西分量的年变幅度和年降水量做相关分析，结果发现，洞体应变北南分量、水管倾斜北南分量和东西分量的年变幅度与降水量存在明显的线性关系，表明洞体应变和水管倾斜观测与降水量存在一定的相关性，变形量与降水存在正相关关系，即降水量对云县地震台的形变观测存在影响，变形量随降水量的增加而加大。

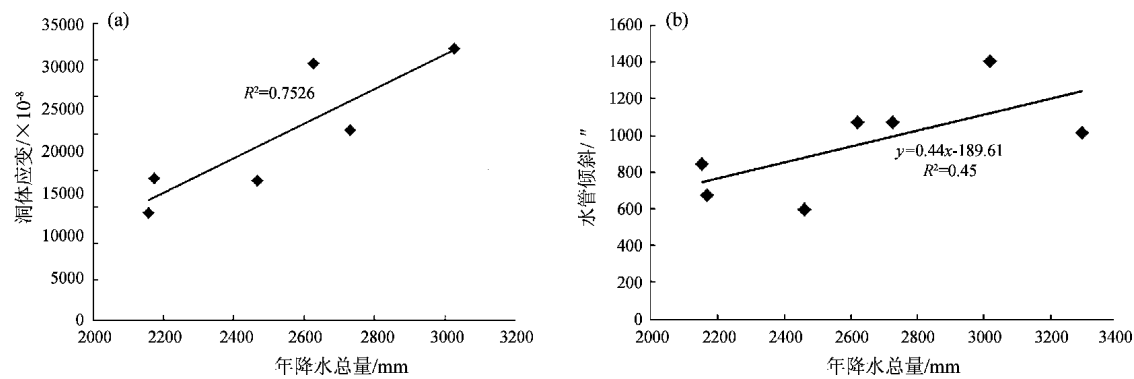


图 3 年降水量与洞体应变 (a)、水管倾斜 (b) 年变幅相关关系示意图
Fig. 3 The relationship between annual precipitation and annual variation of cavity volumetric – stain (a), inclined pipe (b)

以洞体应变北南分量和水管倾斜东西分量为例（图 3），分析年降水量对不同测项的影响量，年降水量每增加 200 mm，洞体应变平均增加约 $4\,000 \times 10^{-8}$ ，水管倾斜平均增加约 $90''$ （表 1）。

表 1 年降水量引起的形变量分析

Tab. 1 Analysis of deformation caused by annual precipitation

年降水量/ mm	洞体应变北南分量/ $\times 10^{-8}$	水管倾斜东西分量/ ($''$)
2 200	43 268	778. 39
2 400	47 204	866. 39
2 600	51 140	954. 39
2 800	55 076	1 042. 39

2.2 月降水量和形变月变幅分析

计算形变观测月均值的差分，得到月幅差。图 4 给出了月降水量和形变月幅差的时间进程图，由图可见，月降水量对形变观测的影响更为直观，每年雨季开始，月变幅值随着降水的增多而增大，2015 年 1 月为旱季，降水量突然增大，形变观测也出现了突然增加。

对形变观测的月幅差值和月降水量进行相关分析，可以得到两者的拟合方程。从图 5 可见，两者基本上呈线性相关。

从月降水量对不同测项的影响量来看，月均降水量每增加 100 mm，洞体应变北南、东西分量增量分别约为 29×10^{-8} 、 48×10^{-8} ；水管倾斜北南、东西分量增量分别约为 $2.4''$ 、 $2.6''$ （表 2）。

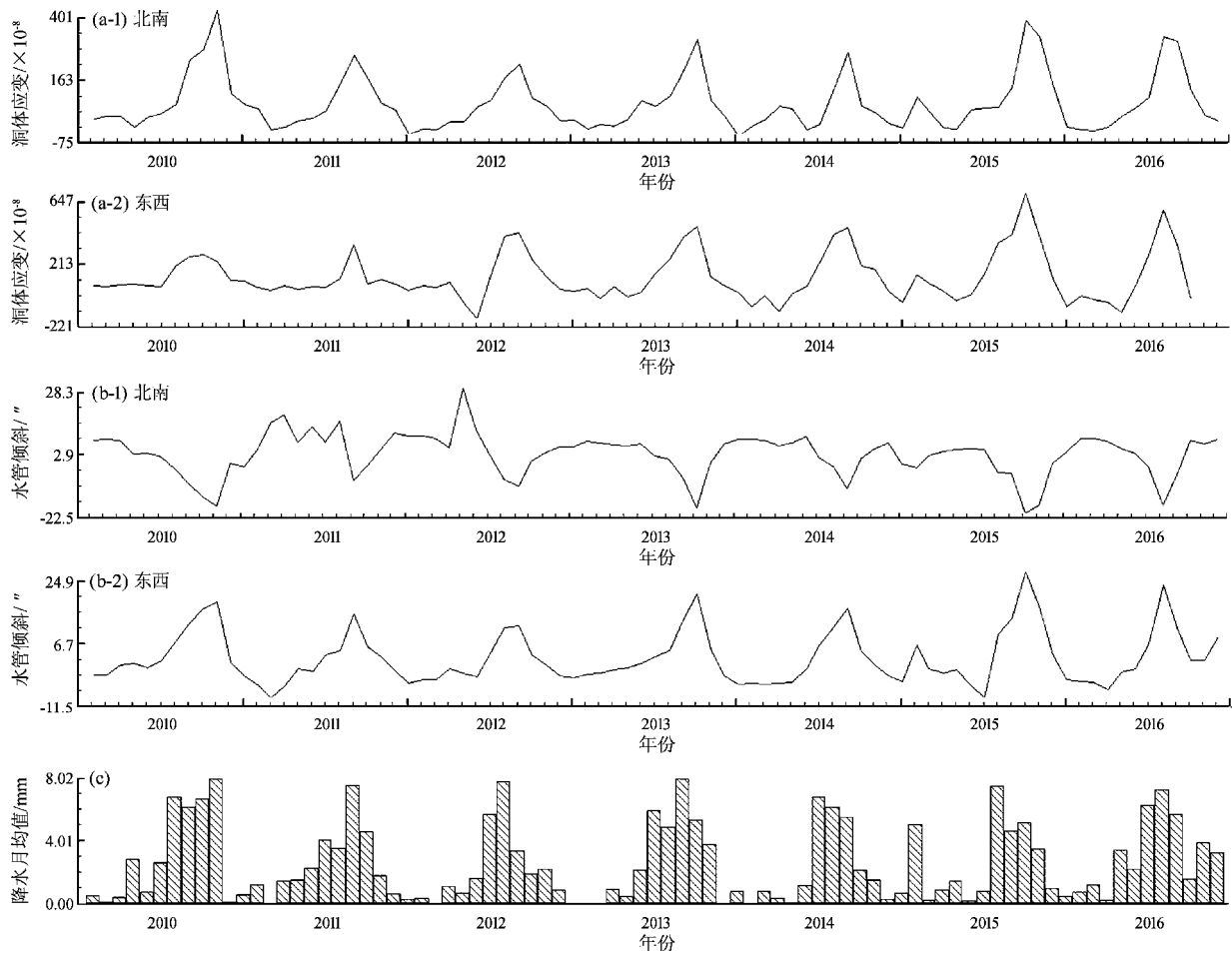


图4 洞体应变 (a)、水管倾斜 (b) 形变月变幅与月降水量 (c) 关系示意图

Fig. 4 The relationship between monthly deformation variation of cavity volumetric - stain (a) and inclined pipe (b) and monthly precipitation (c)

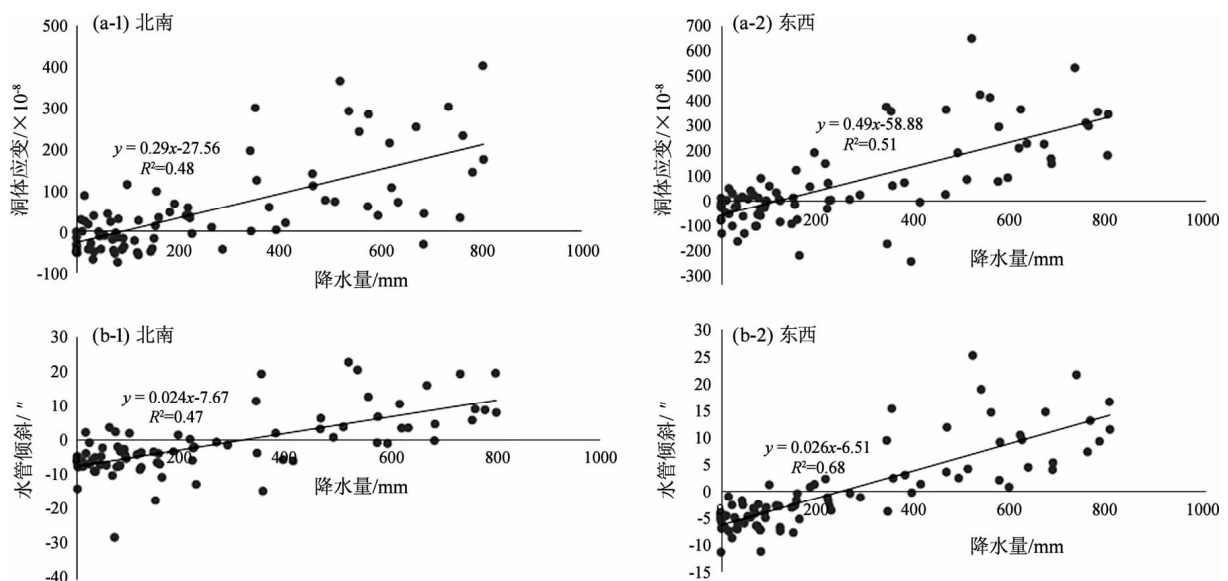


图5 洞体应变 (a)、水管倾斜 (b) 形变观测月幅差与月降水量相关关系示意图

Fig. 5 The relationship between monthly difference of cavity volumetric - stain (a) and inclined pipe (b) and monthly precipitation

表 2 月降水量与对应的形变量分析

Tab. 2 Monthly precipitation and the corresponding deformation analysis

月降 水量/ mm	洞体应变		水管倾斜	
	北南分量/ $\times 10^{-8}$	东西分量/ $\times 10^{-8}$	北南分量/ ($''$)	东西分量/ ($''$)
100	1	-11	-5.26	-3.91
200	30	37	-2.86	-1.31
300	59	85	-0.46	1.29
400	88	133	1.94	3.89
500	117	181	4.34	6.49
600	146	229	6.74	9.09
700	175	277	9.14	11.69
800	204	325	11.54	14.29

通过求取实际观测的月变幅值与拟合方程得到的理论值的差得到的残差曲线，即是从理论上扣除了降雨的影响。从图 6 可见，当残差值超过 1 倍均方差，并有准同步的异常变化后，台站周围 500 km 内均有 5.5 级以上地震发生，其中 2015 年的昌宁 5.1 级地震距离云县台仅 95 km，震前形变异常幅度是最大的，表明形变的变化排除降水干

扰后的异常可能与构造活动有关。

从出现残差值超过 1 倍均方差，并有准同步的异常变化时间与之后发生中强地震的对应关系（表 3）可以看出，地震多发生在出现异常的半年内，因此可将其作为有震的中短期指标。

表 3 异常出现时间与中强地震的对应关系

Tab. 3 Correspondence between anomalies time and moderately strong earthquakes

异常出现日期/ 年 - 月 - 日	对应中强地震			时间间隔/ d
	发震日期/ 年 - 月 - 日	震中	震级	
2010 - 11 - 05	2011 - 02 - 01	盈江	5.1	89
	2011 - 03 - 24	缅甸	7.2	139
2012 - 06 - 05	2012 - 06 - 24	宁蒗 - 盐源	5.7	19
2012 - 09 - 02	2012 - 09 - 07	彝良	5.6	5
2013 - 08 - 01	2013 - 08 - 31	香格里拉	5.9	30
2014 - 06 - 02	2014 - 08 - 31	鲁甸	6.5	89
	2014 - 10 - 07	景谷	6.6	126
2015 - 10 - 02	2015 - 10 - 30	昌宁	5.1	28
2016 - 08 - 01	2016 - 08 - 24	缅甸	6.9	23

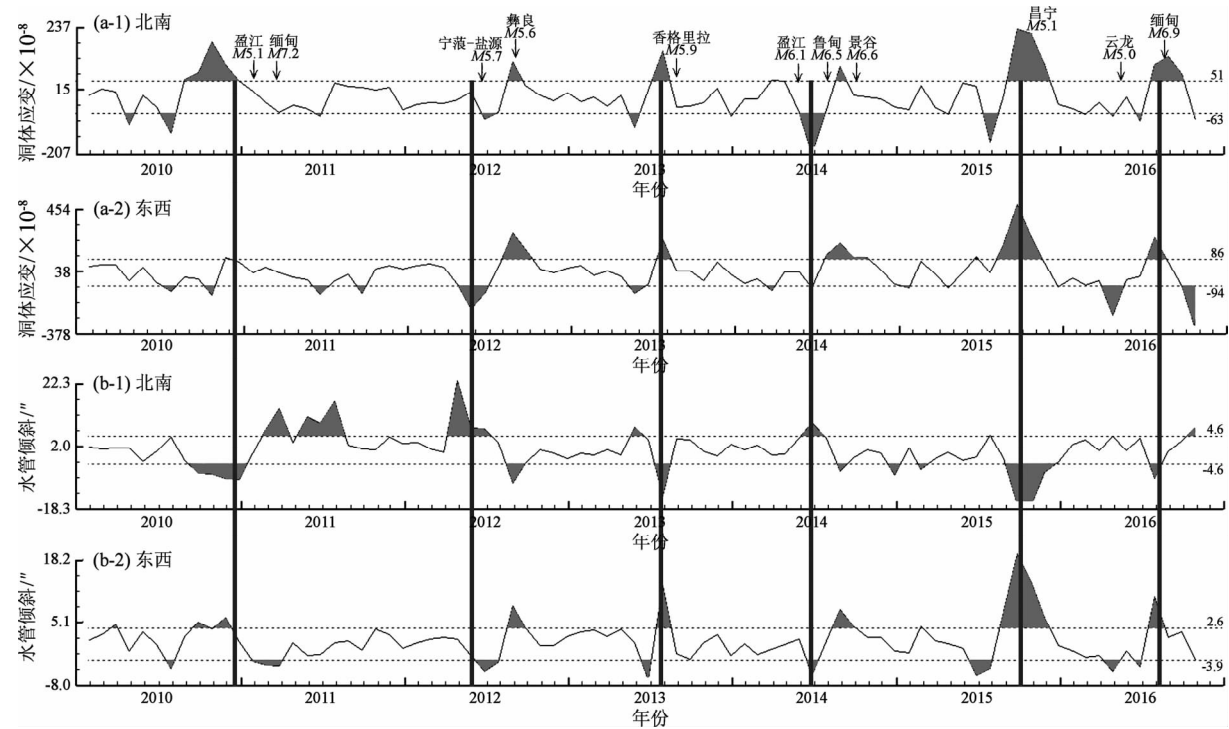


图 6 洞体应变 (a)、水管倾斜 (b) 观测值与拟合方程理论值残差时间进程曲线

Fig. 6 Residual time process curve between observed values of cavity volumetric - stain (a), inclined pipe (b) and fitting equation theoretical value

3 结论与讨论

通过对云县地震台洞体应变和水管倾斜观测值与降水量进行对比分析,定量分析了年降水总量、月降水总量对洞体应变和水管倾斜的影响,求取形变测值月变化量与理论值的残差,分析该残差与台站周边中强地震的关系,发现云县地震台形变测值变化与降水存在关系,而排除降水干扰后的变形增大,与构造活动存在一定呼应关系。主要结论可总结为以下几点:

(1) 云县台周边旱、雨季分明,降水对形变观测存在直接的影响。洞体应变和水管倾斜观测资料显示,年变量和月变量随着降水量的增加而加大,存在正相关关系。

(2) 云县台的年降水量基本上都大于 2 000 mm,降水总量每增加 200 mm,洞体应变的增量为 $4\,000 \times 10^{-8}$ 左右,倾斜的增量为 $90''$ 左右;月降水的增量对不同的分量略有差别,但量级是一致的,因此稍作平均可知,月降水量每增加 100 mm,洞体应变的月变量增加 38×10^{-8} 左右,水管倾斜的月变量增加 $2.5''$ 左右。

(3) 将月降水量与月变幅作相关分析,构建线性方程后,求取测值与理论值的残差,结果表明,当残差量大于 1 倍均方差后,短期内台站周边 500 km 范围内均有 5.5 级以上地震发生。距离台站最近的昌宁 5.1 级地震前,异常幅度最大。

(4) 排除降水干扰后的变形加大可能和构造活动有关,这种状态下,有利于 5 级以上地震的发生。因此在跟踪过程中及时排除降水干扰影响,有利于提取震前异常。

参考文献:

- 陈金海,晏枫桐,韩新民,等. 1979. 龙陵地震前兆异常特征及其前兆场理论初探[J]. 地震研究,2(1):1-10.
- 陈立德,付虹. 2010. 汶川 8.0 级地震前兆异常对比研究[J]. 内陆地震,24(4):289-297.
- 梁楠. 2012. 差分曲线关系与地震前兆数据特征研究[J]. 陕西教育学院学报,28(4):81-85.
- 刘序俨,张雁滨. 1991. 排除形变观测数据中降水干扰的数学物理方法的研究[J]. 地震形变与地震,11(1):36-40.
- 卢艳清,王贤仁. 1992. 澜沧—耿马大震的短临形变特征[J]. 内陆地震,6(4):377-382.
- 邱桂兰. 2015. 芦山 M7.0 级与汶川 M8.0 级地震前兆异常对比[J]. 四川地震,(1):14-20.
- 孙伶俐,罗俊秋,龙涛,等. 2010. 大气降水对数字化地倾斜观测干扰特征分析[J]. 大地测量与地球动力学,30(增刊1):105-110.
- 杨继登,唐吉阳. 1988. 富民 5.2 级地震的前兆异常与监测预报[J]. 地震研究,11(5):455-462.
- 杨婕,占惠,凌学才,等. 2009. 强降水对厦门地震台伸缩仪的影响[J]. 大地测量与地球动力学,29(增刊1):76-79.
- 张晶,牛安福,高福旺,等. 2003. 数字化形变观测提取的地震短临异常特征[J]. 地震,23(1):70-76.
- 张燕,吴云. 2010. 2008 年汶川地震前的形变异常及机理解释[J]. 武汉大学学报·信息科学版,35(1):25-29.
- 赵慈平,虎雄林,付虹,等. 2003. 2001 年 10 月 27 日云南永胜 6.0 级地震的前兆异常特征[J]. 地震研究,26(2):126-135.

Precipitation Effect Analysis with Deformation Measured Value in Yunxian Seismic Station in Yunnan

DUAN Yuanze¹, FU Hong², BAI Baorong¹, YANG Chunhua¹, LI Zhirong²

(1. *Pu'er Seismological Bureau, Pu'er 665000, Yunnan, China*)

(2. *Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China*)

Abstract

In this article, through comparative analysis on the cavity strain and inclined pipe observation value and precipitation in Yunxian seismic station, we found that there have a certain correlation between each other. Quantitative analysis result shows, the total annual precipitation increased by 200 mm, the influence on the cavity strain is $4\,000 \times 10^{-8}$ and the influence on the inclined pipe observation value is $90''$; The monthly precipitation increased 100 mm, the cavity strain and inclination observation value increase monthly in amplitude, are respectively 38×10^{-8} and $2.5''$. After constructing the linear equation of monthly precipitation and monthly increment, the residual of measured value and theoretical value are obtained. When the residual quantity is 1 times more than the mean square deviation, there are $M \geq 5.5$ earthquakes occurred in the vicinity of 500 km from station in the short term. The nearest distance station from Changning $M_{\text{s}}5.1$ earthquakes shows the maximum amplitude of anomaly, which shows that the deformation increases after the precipitation disturbance, and are related to the tectonic activity.

Keywords: the cavity strain; inclined pipe; precipitation effect; anomaly extraction; Yunxian Seismic Station