

Analysis of Interference Factors of Borehole Inclinometer in Yanshou Seismic Station

Qiang Sun¹, Qiang Wang¹, Jiye Li², Wei Sun¹, Naishengyuan Jia¹, Jiaming Zhu³

¹Acheng Seismic Station, Harbin Heilongjiang

²Earthquake Administration of Heilongjiang Province, Harbin Heilongjiang

³Yanshou Seismic Station, Harbin Heilongjiang

Email: joyfulsun@163.com

Received: Jul. 3rd, 2018; accepted: Jul. 20th, 2018; published: Jul. 27th, 2018

Abstract

The borehole inclinometer in Yanshou has been running well since its official observation, and obtained continuous, complete and high-quality data. The operating status of the Yanshou drilling tilt was evaluated. Based on past experience, the main factors of disturbing the borehole inclinometer in Yanshou County seismic station are instrument drift, voltage sudden change, simultaneous-earthquake, atmospheric pressure, rainfall, capacity change of reservoir etc., through analyzing related data during the period of 2005-2015. The results show that the main factors affecting the instrument's curve shape and observation quality are zero drift of the instrument, and the change of reservoir capacity and short-term rainfall have little effect on borehole tilt observation.

Keywords

Borehole Inclinometer, Interference Analysis, Load Calculation, Capacity Change of Reservoir

延寿地震台钻孔倾斜干扰因素分析

孙 强¹, 王 强¹, 李继业², 孙 伟¹, 贾乃圣元¹, 朱家明³

¹哈尔滨市阿城地震台, 黑龙江 哈尔滨

²黑龙江省地震局, 黑龙江 哈尔滨

³延寿地震台, 黑龙江 哈尔滨

Email: joyfulsun@163.com

收稿日期: 2018年7月3日; 录用日期: 2018年7月20日; 发布日期: 2018年7月27日

摘要

延寿地震台钻孔倾斜自正式观测以来运行良好,取得了连续完整且高质量的数据资料。通过对延寿钻孔倾斜的运行状态进行评价,并结合以往的研究结果,归纳总结出可对延寿地震台竖直摆倾斜观测造成干扰的主要因素为仪器零漂干扰、电压突变干扰、同震干扰、气压干扰、降水干扰和水库库容变化干扰等。通过对2005~2015年期间延寿钻孔倾斜及相关资料进行数据分析,结果表明影响仪器曲线形态和观测质量的主要因素为仪器零漂,水库库容变化、短期内降雨对钻孔倾斜观测影响不大。

关键词

钻孔倾斜, 干扰分析, 荷载计算, 水库库容变化

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

延寿地震台钻孔倾斜于2004年12月正式开始观测,观测仪器为CZB-1型竖直摆倾斜仪。CZB-1型竖直摆倾斜仪是高精度地倾斜观测仪器,分辨率达 10^{-10} m,灵敏度高,具有较好的应震能力。延寿台钻孔倾斜经过十多年的观测,期间出现多次转折、曲线斜率加速等异常变化特征,且异常出现之后基本都有近震随之对应。但观测多年以来,同样发现竖直摆倾斜仪受一些干扰因素的影响,如人为引起的干扰,仪器零漂干扰,周围环境和天气干扰等[1]。通常来说,地壳形变观测资料主要受降雨、地下水、气压、温度、海潮、水库蓄水等因素的影响,这些因素造成的干扰程度会在不同的环境下有不同的影响程度,在某些观测环境下某种因素占主导地位,在另一种观测环境下可能只是次要因素而已[2] [3]。

2. 台址概况

延寿地震台位于哈尔滨市延寿县长寿乡,地理位置位于松嫩平原和东部山区之间的丘陵地带,属于张广才岭余脉。台址周围岩性主要以花岗岩类为主,台基岩性是完整的燕山期花岗岩。该台大地构造位置属兴安岭-内蒙古地槽褶皱、伊春-延寿地槽褶皱北段。观测井位于依兰-舒兰断裂带的东部,依兰-舒兰断裂带贯穿整个东北,由北向南延伸,经过延寿县,属挤压型断裂带。延寿县西部还发育有北西向断裂和北北东向铁力-尚志断裂[4]。

3. 仪器工作状态

延寿地震台钻孔倾斜观测仪器为河南省地震局研制的CZB-1型竖直摆倾斜仪(图1),该观测井井深71.6 m,井孔直径152 mm,传感器距离井口距离为61 m,仪器输出信号线性范围 $\leq 5^\circ$,数字记录的范围为 ± 2 V,测量精度1‰ ms,分辨率 10^{-10} m。

M2波潮汐因子中误差是一项用来评定固体潮观测内在质量优劣的定量指标。中误差可以反映数据观测质量和观测环境的影响,同时观测环境的变化也可以影响中误差,对异常的判别有参考作用。延寿竖直摆潮汐因子、潮汐因子中误差、相对误差和相位滞后变化幅度都比较小,相对稳定。通过对2007年仪器工作状态较好的数据进行计算分析发现:EW、NS两个分项M2波的潮汐因子中误差分别可达0.0021

和 0.0024, 属一类台站观测标准[5]。12 个月的潮汐因子中误差中, 除了一月、五月、六月以外其他月份都低于 5% (潮汐因子低于 5% 为一类台站标准), 延寿竖直摆 2007 年达到一类台站的标准百分比为 79.2%。

4. 竖直摆倾斜主要干扰因素分析

钻孔倾斜观测作为一种高精度的形变观测手段, 河流、湖泊、仓库(货场、列车编组站)和铁路是几种主要的影响钻孔倾斜观测的地面载荷变化干扰源[2]。竖直摆倾斜观测是利用一个竖直悬挂的重力摆来检测地球表面的倾斜变化, 钻孔倾斜观测也会不同程度地受到气象、仪器系统噪声等因素的影响。

4.1. 仪器零漂

延寿地震台钻孔倾斜 2004 年开始观测以来, 由于受周围环境、地质环境、井孔介质特性等原因, 仪器出现较大幅度的零漂现象。表 1 列出了 2005~2015 年各年度的漂移速率变化(通过每年年末的月均值和



Figure 1. Vertical pendulum tiltmeter
图 1. 竖直摆倾斜仪

Table 1. 2005-2015 year vertical pendulum zero drift and annual amplitude change
表 1. 2005~2015 年竖直摆零漂和年幅度变化

年度	年零漂值		年幅度变化	
	NS	EW	NS	EW
2005	6.55	7.87	11.7	8.18
2006	6.81	7.92	15.2	8.32
2007	5.79	7.25	10.9	8.21
2008	5.44	6.88	9.89	6.88
2009	5.22	6.17	9.04	5.69
2010	4.97	5.54	8.26	5.02
2011	4.39	5.37	7.47	3.73
2012	3.67	5.48	7.39	3.92
2013	3.58	5.26	6.65	3.37
2014	2.88	4.41	6.04	3.65
2015	2.45	3.88	5.93	3.54

年初月均值来求得)。通过计算可以得出 2005~2015 年期间, NS 向年漂零值由 2005 年 6.55 降到 2015 年 2.45, 年幅度变化由 2005 年 11.7 降到 2015 年 5.93, EW 向年漂零值由 2005 年 7.87 降到 2015 年 3.88, 年幅度变化由 2005 年 8.18 降到 2015 年 3.54, 研究期间段内, 两个分向整体上呈逐步下降趋于稳定的曲线形态。

4.2. 气压干扰

气压的变化体现在负荷效应上, 气压使得地表负荷改变致使对井孔的垂直附加应力的改变, 从而干扰观测结果。经过多年的观测发现, 气压对延寿竖直摆的观测影响并不是十分显著, 究其原因是延寿竖直摆倾斜安装于井下 50~70 米深, 因此气压的变化对于观测的干扰非常小。在观测期间多次出现气压发生巨大变化的情况, 但同时段或者滞后时间段, 竖直摆曲线并无出现相应异常现象, 如 2009 年 5 月 18~19 日观测气压变幅可达 17.6 hPa, 但对应时段的倾斜固体潮未受其影响(如图 2, 图 3)。当然气压对竖直摆的干扰程度也会因台站的岩石介质、地理位置不同会有不同的响应。

4.3. 电压干扰

电压的突然变化或不稳定也是影响观测结果的因素之一。由于台站位于偏远山区, 经常会出现突然停电现象或雷电天气, 都会造成台站电压的突变或不稳定, 从而影响仪器观测质量。但电压造成的干扰一般是短时间或瞬间的, 通过对观测数据的分析可以发现, 电压造成干扰的主要表现形式为“阶跃”式(如图 4, 图 5), 日常观测中对电压造成的干扰比较容易识别。

4.4. 水库库容变化造成荷载变化影响因素分析

荷载是指地表重物负荷的变化, 如物资集散、建筑兴废和雨雪河流的变化等等。在仪器观测井西南方约 100 米有一个新城水库, 水库的库容量达到 2500 万 m^3 。本文依据邱泽华研究的三维集中荷载分析方法建立模型, 从而求得水库库容变化造成的荷载变化这种干扰源对竖直摆的影响程度。这种模型的特点是只考量水库重量变化程度, 而不考量水库的面积和分布情况等。我们把库容的变化直接定义成重量

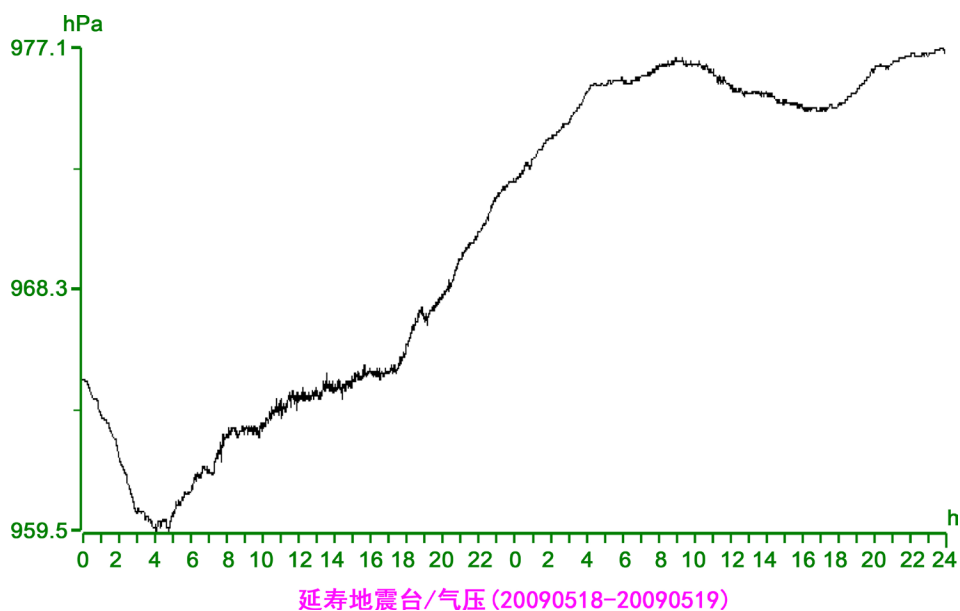


Figure 2. Pressure changes

图 2. 气压变化量

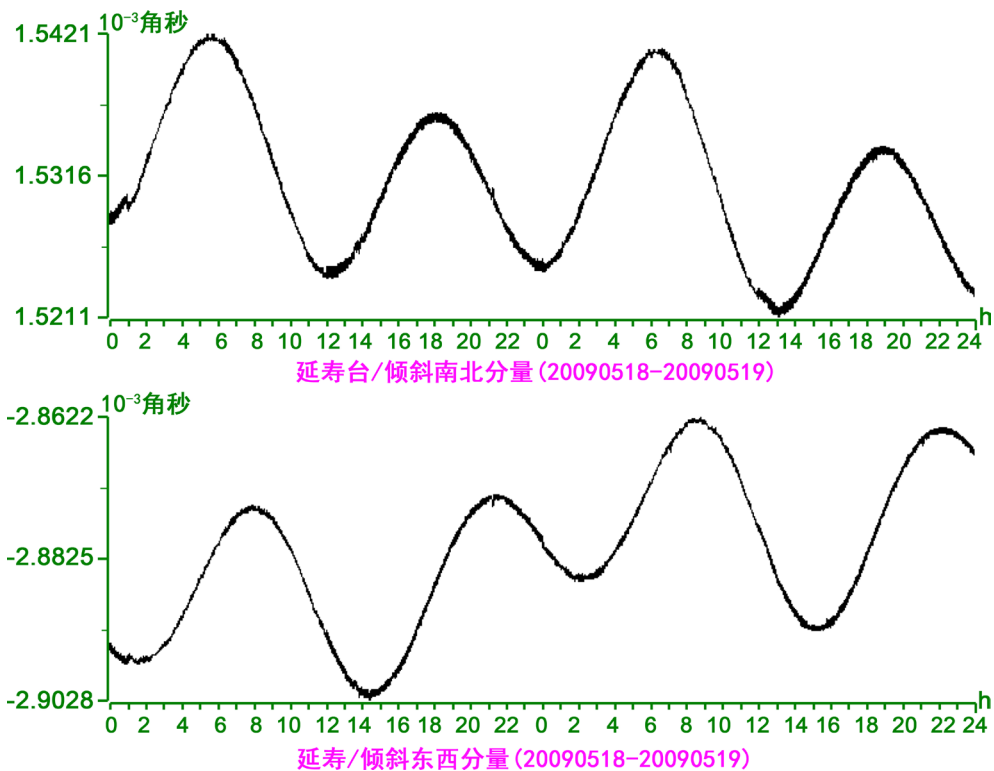


Figure 3. Pressure changes corresponding to the vertical curve
图3. 气压变化当日竖直摆曲线

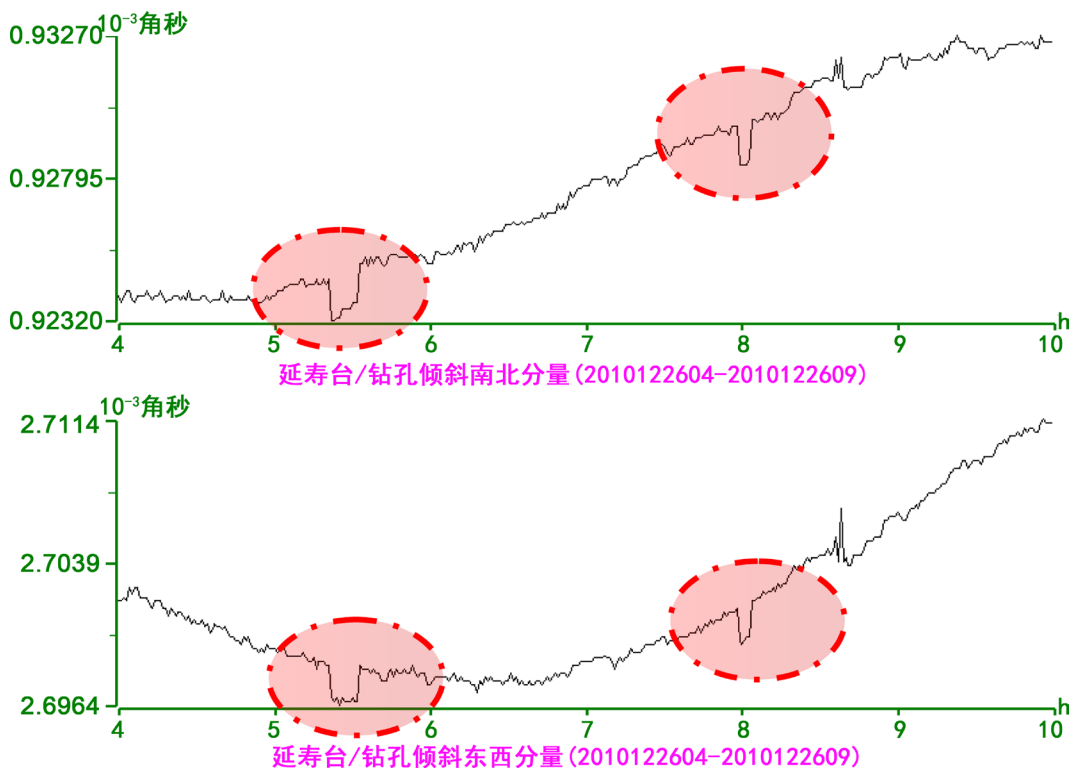


Figure 4. Voltage instability caused by the interference
图4. 电压不稳定造成的干扰

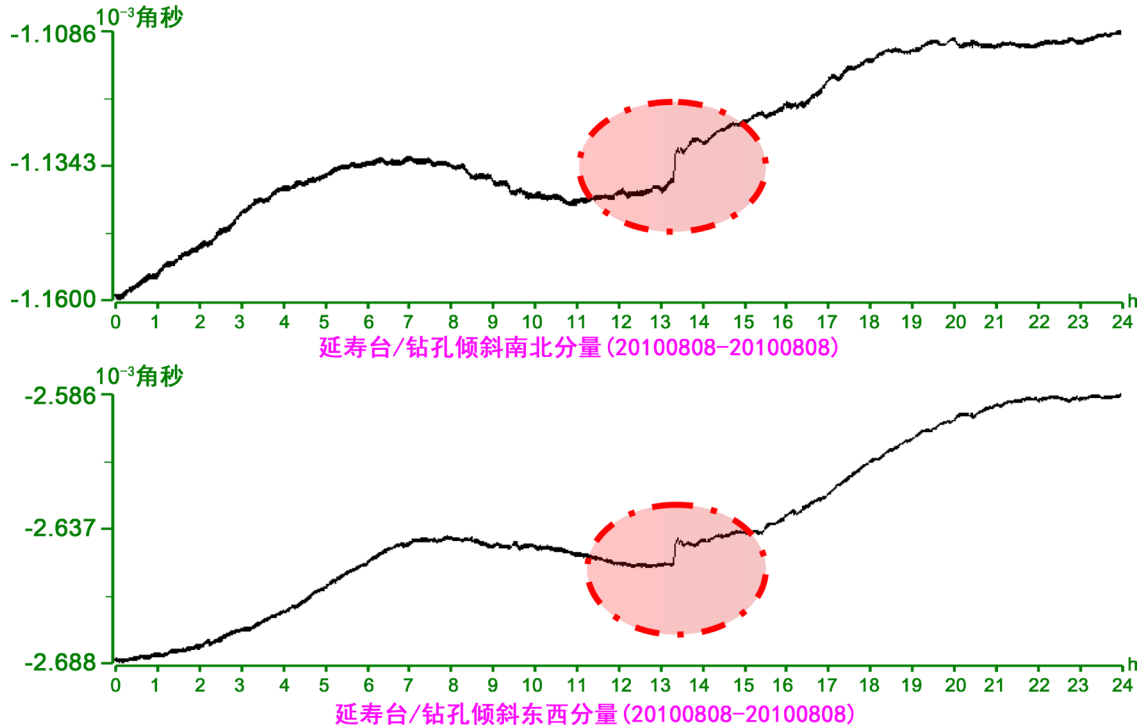


Figure 5. Lightning caused by interference
图 5. 雷电造成的干扰

的变化，在这种情形下，可以利用以下的位移解公式[2]：

$$u = \frac{Fxz}{4\pi GR^3} - \frac{Fx}{4\pi(G+\lambda)R(R+z)} \tag{1}$$

式中， x 为观测井到水库中心的距离， $y = 0$ ， z 为探头深度， u 表示在 x 的水平方向上的位移， F 为集中力， λ 和 G 是拉梅常数， $R = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ 。我们只需计算水平方向的倾斜 $w_x = \frac{\partial u}{\partial x}$ 即：

$$w_x = -\frac{3Fxz^2}{4\pi G(x^2 + y^2 + z^2)^{5/2}} - \frac{F(2G + \lambda)x}{4\pi G(G + \lambda)(x^2 + y^2 + z^2)^{3/2}} \tag{2}$$

对于 $E = 5.0 \times 10^{10}$ Pa, $\nu = 0.25$, $G = \frac{E}{2(1+\nu)} = 2.0 \times 10^{10}$ Pa, $\lambda = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)} = 2.0 \times 10^{10}$ Pa.

式中 E 是杨氏模量， ν 是岩石泊松比。探头深度 $z = 60$ m，可绘制出 w_x 随 x 变化的曲线图，如图 6 所示：

2011 年观测井周边的新城水库的最大库容变化量为 902 万 m^3 ，最大的变化范围出现在 6 月 9 日~6 月 16 日期间，库容变化幅度达到 778 万 m^3 ，我们取这段时间的数据来分析库容的变化对竖直摆造成的影响程度。观测井距离水库中心约 100 m，在库容变化 $F = 778 \times 10^4$ t 时，利用公式(2)可以计算出倾斜的变化量 $w_x = 0.45 \times 10^{-9}$ 。倾斜干扰限定指标日变化为 1.45×10^{-8} (或 $3 \times 10^{-3}''$) [2]，通过把计算结果和限定标准进行对比可知，2011 年最大库容变化的期间对竖直摆的影响程度低于限定标准，即竖直摆倾斜未受到水库库容变化的干扰。

6 月 9 日~6 月 16 日期间，新城水库受降水影响库容发生巨大变化，变化量达到 778 万 m^3 ，但是竖直摆倾斜固体潮实际变化范围为 0.0476~0.328 之间(如表 2)，低于理论限定标准。以上可以看出新城水库

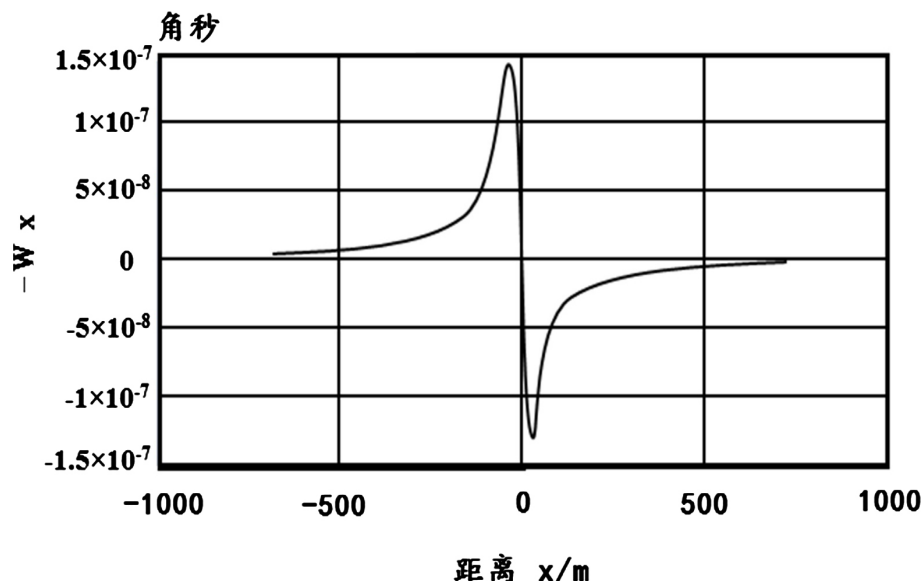


Figure 6. Inclined- ω_x with x Distance Change Curve

图 6. 倾斜- ω_x 随距离 x 的变化曲线

Table 2. June 9, 2011-June 16 reservoir capacity and tilt change range

表 2. 2011 年 6 月 9 日~6 月 16 日水库库容及倾斜变化范围

起止时间	库容变化趋势	库容变化量(万 m ³)	倾斜变化量
2011-06-09	库容量上升	778	NS 0.328
2011-06-16			EW 0.0476

库容的增加或减少与倾斜趋势性异常无直接关系。

4.5. 降雨变化影响因素分析

延寿县属于温带大陆性季风气候，冬季这里受来自高纬内陆偏北风的影响，盛行极地大陆气团，气候寒冷干燥。夏季受极地海洋气团或变性热带海洋气团影响，盛行东风和东南风，暖热多雨，雨热同季。本地区年降水量可达 500~1000 mm，约有 2/3 集中于夏季。由于冬季无降雨，所以选择每年的 5~10 月来进行计算降雨对观测的影响，取其整点值进行相关和对比分析，计算长度选取 2009~2011 年的每年 5~10 月，尽量避免随机因素和年周期的影响。

大气降水分析以小时值为基本单位，将中间无间断的连续降雨视为一次降雨过程；采用一次降雨过程量 ≥ 2 mm，能补给地下水的大气降水时间段为研究样本。假设在该短时间域内，大气降水因素对倾斜观测的影响是线性的，通过计算得出 EW 向相关系数 0.00136，NS 向相关系数-0.15603，可以看出大气降水因素对倾斜观测的影响并不大[6]。

大气降水分析以小时值为基本分析单位，将中间无间断的连续降雨视为一次降雨过程；采用一次降雨过程量 ≥ 2 mm，能补给地下水的大气降水时间段为研究样本。假设在该短时间域内，大气降水因素对倾斜观测的影响是线性的，取 EW 向分量观测值资料来计算与大气降水的线性相关系数。当相关系数 $trl > 0.8$ 时，视为高度相关；当 $0.5 \leq trl < 0.8$ 时，视为中度相关；当 $0.3 \leq trl < 0.5$ 时视为低度相关。从图 7 可以看出，在 2010 年 5~10 月期间，并没有相关系数 $trl > 0.5$ (中高度相关) 的时候，可以表示降雨与竖直摆间并无明显的相关性。

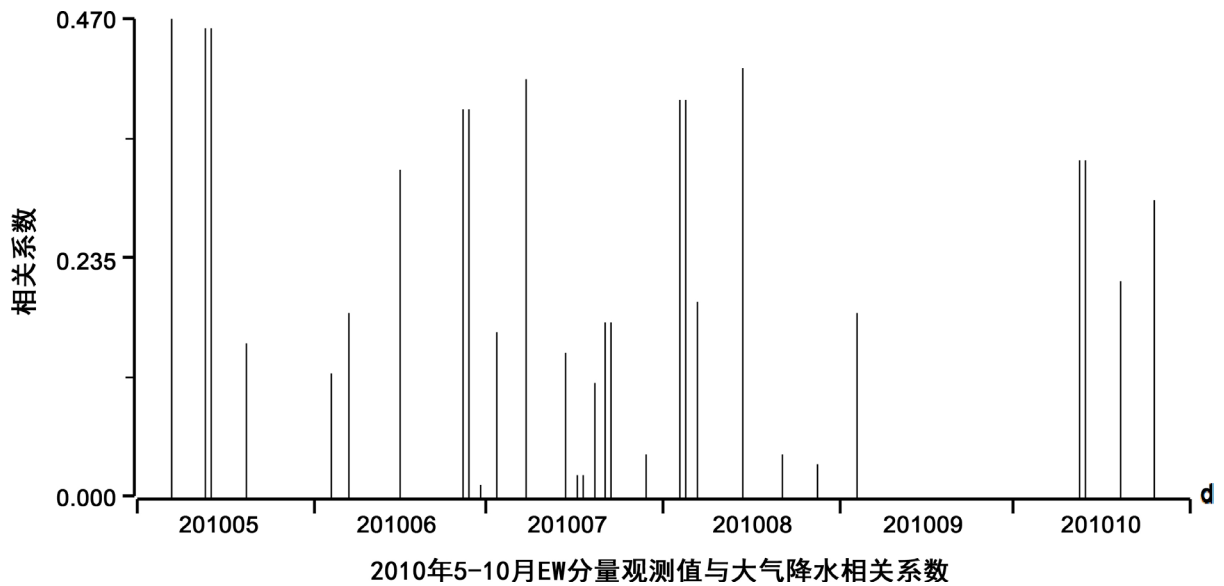


Figure 7. 2010 May to October EW vertical pendulum inclination component correlation coefficient between rainfall observations

图 7. 2010 年 5~10 月竖直摆倾斜 EW 分量观测值与大气降水的相关系数

5. 结论与讨论

通过对延寿竖直摆的主要干扰因素进行分析, 可以得出以下初步结论:

- 1) 电压变化、同震现象、天气因素、水库蓄水等干扰因素是客观存在的, 也分别对观测仪器造成一定的影响, 但影响极为有限, 均不是主要干扰源。
- 2) 通过对降雨量和倾斜观测值的线性关系分析发现, 短期内降雨对竖直摆倾斜观测的影响不大。
- 3) 通过三维集中荷载模型对新城水库库容变化对延寿竖直摆影响的定量分析发现: 在水库库容量变化最大的期间(变化量达到 778 万 m^3), 倾斜的变化量 $\omega_x = 0.45 \times 10^{-9}$, 略低于限定标准 1.45×10^{-8} , 认定库容变化对仪器是有影响的, 但影响程度很小。
- 4) 影响仪器曲线形态和观测质量的主要因素为仪器零漂, 但研究期间, 零漂值及年幅度变化量整体上呈下降和趋于稳定的情形发展。

基金项目

中国地震局地震监测、预测、科研三结合课题: CEA-JC/3JH-160802。

参考文献

- [1] 李继业, 胡滨生, 郑照福, 等. 林甸 5.1 级地震与延寿地震台竖直摆倾斜异常[J]. 东北地震研究, 2006, 22(2): 53-57.
- [2] 邱泽华. 倾斜观测载荷干扰源最小安静距离理论分析[J]. 地震, 2004, 24(4): 80-86.
- [3] 李继业, 胡滨生, 曲永斌, 等. 黑龙江延寿地震台竖直摆倾斜仪潮汐短临变化特征[J]. 地震地质, 2007, 29(3): 648-656.
- [4] 黑龙江省地质矿产局. 黑龙江省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- [5] 邱泽华, 张宝红. 我国钻孔应力-应变地震前兆监测台网的现状[J]. 国际地震动态, 2002(6): 94-98.
- [6] 王梅, 李峰. 数字化形变观测干扰识别[J]. 大地测量与地球动力学, 2004(1): 94-98.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2329-549X，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：gst@hanspub.org