

邢喜民、孙吉泽、高丽娟, 2015, 地温、气温、气压对精河台水平摆观测值的影响分析, 中国地震, 31 (2), 415 ~ 423。

地温、气温、气压对精河台水平摆观测的影响

邢喜民 孙吉泽 高丽娟

新疆维吾尔自治区地震局, 乌鲁木齐市新市区科学北路 338 号 830011

摘要 形变台站观测的目标值是地球内力所导致的形变变化。由于形变台站建立在地壳表层, 不可避免地要受到各种因素的影响, 这就意味着在观测值序列中不同程度上包含了来自地球外部的信息。为了更好地研究精河台水平摆观测数据中所包含的地球内力所导致的形变, 本文分析了地温、气温、气压对精河台水平摆观测值的影响。结果表明, (1) 地温和气温是影响精河台水平摆观测值序列年变化的主要因素, 其间具有准线性关系; (2) 通过直线拟合去掉趋势性变化之后, 观测值与气象因素的线性相关性明显增强, 说明观测值序列的趋势变化不是气象因素造成的。

关键词: 分段回归 水平摆 相关系数 回归方程

[文章编号] 1001-4683 (2015) 02-0415-09 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

形变台站(测点)是由环境介质、观测条件(洞室、基墩、标石、钻孔等)、以高灵敏传感器为核心的观测仪器和技术管理共同组成的系统。其观测目标是获取来自岩石圈与地球内部的现今地壳运动、变形和重力信息(如位移、倾斜、应变、速度、加速度、深部介质物性等), 即其观测目标值是地球内力所导致的形变与重力变化。但由于台站建立在地球表层, 恰好位于岩石圈与大气圈、水圈、生物圈的交界面上, 因而不可避免地受到温度、气压、降水(雨、雪)、地下水、河湖水位、海平面、对流层、电离层等变化的影响(中国地震局监测预报司, 2008)。中国地震台网中心的闫伟对各个异常频段影响因子(按照特征周期)整理如表 1。

当我们致力于研究现今的地壳运动、构造微动态、地震地变形和地震预测时, 来自地球外部的多种作用, 在一般情况下往往视为干扰, 而要通过数据处理, 努力加以排除(中国地震局监测预报司, 2008)。王曰风等(2004)根据怀来台体应变观测资料对气压和零漂的影响因素作了分析研究, 并指出了一些剔除和资料处理方法; 曹建玲等(2005)利用有限单元法, 对地

表 1 定点形变异常干扰因素周期特征

影响因素	影响频段
温度、气压、降水	年频段
温度、气压	月频段
引潮力	潮汐频段
地震波、人为活动	准高频段
漂移、构造力	长周期频段

[收稿日期] 2014-11-10; [修定日期] 2015-04-16

[项目类别] 中国地震局 2015 年度震情跟踪合同制项目(2015010225)资助

[作者简介] 邢喜民, 男, 1980 年生, 工程师, 理学硕士, 主要从事前兆数据分析。E-mail: 24033663@qq.com

形起伏条件下地表温度年变化对地应力和地倾斜的影响进行了定量研究;孙玉军等(2008)进一步利用泰安台的资料,对地表温度年变化对地倾斜和地应变的影响进行了有限单元法计算和分析。汪翠枝等(2010)分析了小辛庄台形变观测资料的降雨响应特征,对观测数据的非潮汐部分分别用一般距平法去年周期、K-L 直线拟合方法去线性零漂等处理,再用动态系统法对预处理数据进行排除降雨干扰计算,取得了一定的效果。

1 台站、仪器概况

精河台位于新疆博尔塔拉蒙古自治州精河县境内(83.0°E, 44.6°N),高程为 387.3m,位于博罗科努、准格尔南缘、科古琴三大断裂交汇区。地质年代为古生代,岩性为黑灰色千枚岩和凝灰岩,山洞东西向为主洞,进深约 90m,南北最长支洞约 12m,宽约 2.2m,上层覆盖约 37m,洞内年温差 0.5℃,日温差小于 0.1℃。精河台水平摆进行观测的仪器型号为 SQ-70 石英水平摆倾斜仪,自 1990 年观测以来,年变周期明显,北南分量以南倾为主。2006 年 11 月份对精河台水平摆进行了数字化改造,改造之后,东西分量年变幅度明显减小,北南分量趋势变化不明显。精河石英水平摆的数据观测质量,以调和分析 M2 波潮汐因子中误差和长周期拟合相对噪声水平作为判定指标,达到国家形变 I 类地震台标准。

2 研究方法

回归分析是通过规定因变量和自变量来确定变量之间的因果关系,建立回归模型,并根据实测数据来求解模型的各个参数,然后评价回归模型是否能够很好地拟合实测数据;如果能够很好地拟合,则可以根据自变量作进一步预测,步骤如下:①确定变量,②进行相关分析,③建立预测模型,④计算预测误差。

一般的回归模型假定

$$y = f(x_1, x_2 \cdots x_k, b_1, b_2, \cdots b_p) + v_i = f(x, b) + v_i$$

对于待定系数可以采用最小二乘法估计。

在研究过程中,常常会遇到因变量和自变量之间呈现多种变化趋势,即在不同的部分因变量与自变量会呈现出不同的线性或非线性关系。对这种存在趋势转折点的回归分析称为分段回归分析(于向鸿等,2012)。

在具体的建模过程中,在进行分段回归分析时需要注意的是分界点的判定,分界点既是前一种形变曲线的终点,又是后一种形变曲线的起点,分界点前形变数模是一种类型,分界点后形变数模是另一种类型(徐兮,2007)。

3 数据分析

因精河地震台无气象观测,所以选取新疆地震局与新疆气象局交换得到的数据,但问题是地温数据资料自 2006 年 4 月 1 日起,这影响了精河台水平摆与地温相关性的研究时段。分析结果给出了精河地温与气温相关系数与滞后天数的关系(图 1)。

由图 1 可知精河地温滞后精河气温 82 天,将精河气温平移 82 天,精河气温与地温相关系数为 0.95835,说明两者高度线性相关,表明可以用平移之后的气温数据代替地温以进行相关研究。

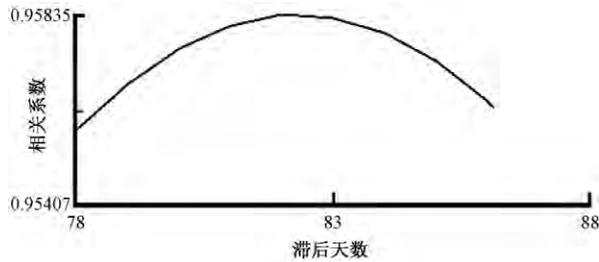


图1 精河台地温与气温相关系数与滞后天数的关系

为了研究精河台水平摆观测数据与地温、气温、气压之间的关系,首先计算精河台水平摆观测数据与气象因素之间的相关系数,计算结果如表2。

表2 精河台水平摆观测数据与地温、气温、气压相关系数

精河台水平摆测向	与地温相关系数	与气温相关系数	与气压相关系数
北南向	-0.0121	-0.0162	0.0405
东西向	-0.3107	-0.3563	0.3045

计算结果表明,气象要素与精河台水平摆观测值序列之间线性关系较弱,由图2可见,精河台水平摆观测值序列不但存在趋势变化,且具有年变周期规律。

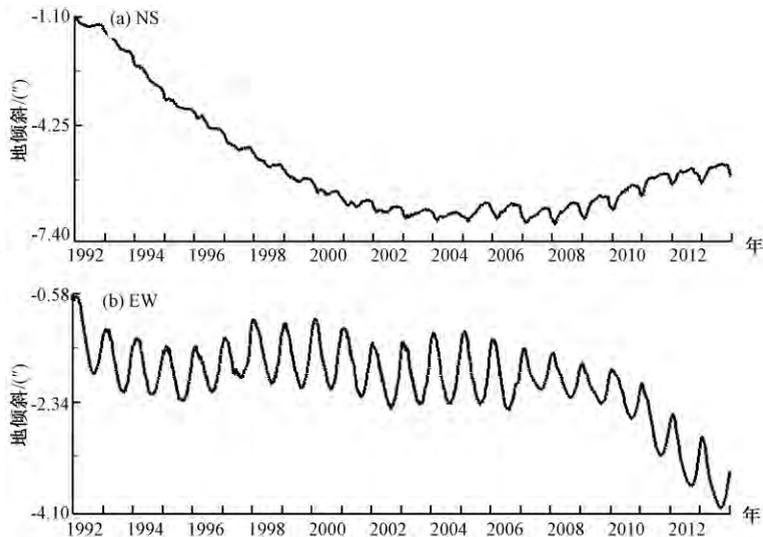


图2 精河台水平摆数据日均值观测时序曲线

从前面分段回归分析方法的介绍可以知道,精河台水平摆观测曲线的每一个波峰点和波谷点都是拐点,都可以作为分段回归的分界点。以2008年2月1日~8月27日的这个半周期的数据为研究对象,经计算在这半个周期的精河台水平摆EW向观测数据与地温的相关系数为-0.806,与气温的相关系数为-0.905,与气压的相关系数为0.829,表明其间呈较强的线性相关。

由图2可见,精河台水平摆测值的观测曲线的波峰或波谷不是长趋势变化的转折点,如

果把精河台水平摆观测曲线的每个波峰或波谷均作为分界点来进行分段回归,则无法说明精河台水平摆的年变信息与地温、气温、气压之间的关系。精河台水平摆观测值的周期性变化使得分界点的选取变得困难,因此根据图 2,利用直线拟合观测时序的趋势变化,粗略的将精河台水平摆观测数据按表 3 分段。这样的分段可能不是最优的分段方式,但从研究的结果看,基本上已经显示出在研究地温、气温、气压对精河台水平摆影响特征中,分段回归较直接回归的优势。

表 3 精河台水平摆观测曲线的时间分段

精河台水平摆测向	时段 1	时段 2	时段 3	时段 4
北南向	1992-01-01 ~ 2001-02-22	2001-02-23 ~ 2003-02-10	2003-02-11 ~ 2008-02-14	2008-02-15 ~ 2013-12-31
东西向	1992-01-01 ~ 1993-09-05	1993-09-06 ~ 2009-12-31	2010-01-01 ~ 2013-12-31	—

为了记录的方便,记定点形变观测数据为 y , 地温为 x_1 , 气温为 x_2 , 气压 x_3 。

精河台水平摆 EW 向第 1 时段。计算精河台水平摆 EW 向观测值与地温、气温、气压的相关系数,分别为 -0.6323 、 -0.6803 、 0.5006 ,因观测数据存在趋势变化,采用直线 $y = 84.019 - 0.00175x$ 拟合去掉趋势之后,再计算拟合残差与地温、气温、气压的相关系数分别为 -0.7301 、 -0.6686 、 0.5143 ,绘制精河台水平摆 EW 向观测数据的第 1 时段及去趋势后与地温、气温、气压的关系(图 3)。

由精河台水平摆 EW 向观测数据的第 1 时段与地温、气温、气压相关系数和图 3 可知,地温、气温、气压与精河台水平摆 EW 向观测数据的第 1 时段呈较强的线性相关,而且去掉趋势之后线性关系明显增强,说明精河台水平摆 EW 向观测序列第 1 时段趋势性变化并不是地温、气温、气压的影响。众所周知,气温与气压呈显著负线性相关,因此选用地温、气温作为变量,利用二元线性回归模型对精河台水平摆 EW 向观测值数据第 1 时段拟合。

回归方程为

$$y = 0.1878 - 0.1269x_1 - 0.0151x_2 + \varepsilon$$

变量 x_1 和 x_2 的 t 统计量的估计值分别为 -32.57 和 -37.00 ,由对应的 p 值都比显著性水平 0.05 小,可得两个偏回归系数在显著性水平 0.05 下均显著不为 0 。可决系数 $R^2 = 0.8293$,修正的可决系数 $R^2 = 0.8288$,说明方程拟合效果较好。

精河台水平摆 EW 向第 2 时段。计算精河台水平摆观测值与地温、气温、气压的相关系数,分别为 -0.5197 、 -0.7443 、 0.6111 。由相关系数的计算结果可知,精河台水平摆 EW 向第 2 时段观测值序列与地温、气温、气压呈较强的线性相关,因此选取地温、气温做变量。采用 2 元线性回归模型拟合。

得到回归方程为

$$y = -1.5656 - 0.0102x_1 - 0.0166x_2 + \varepsilon$$

变量 x_1 和 x_2 的 t 统计量的估计值分别为 -62.53 和 -100.95 ,由对应的 p 值都比显著性水平 0.05 小,可得两个偏回归系数在显著性水平 0.05 下均显著不为 0 。可决系数 $R^2 = 0.7307$,修正的可决系数 $R^2 = 0.7306$,说明方程拟合效果较好。

精河台水平摆 EW 向第 3 时段。计算精河台水平摆观测值与地温、气温、气压的相关系

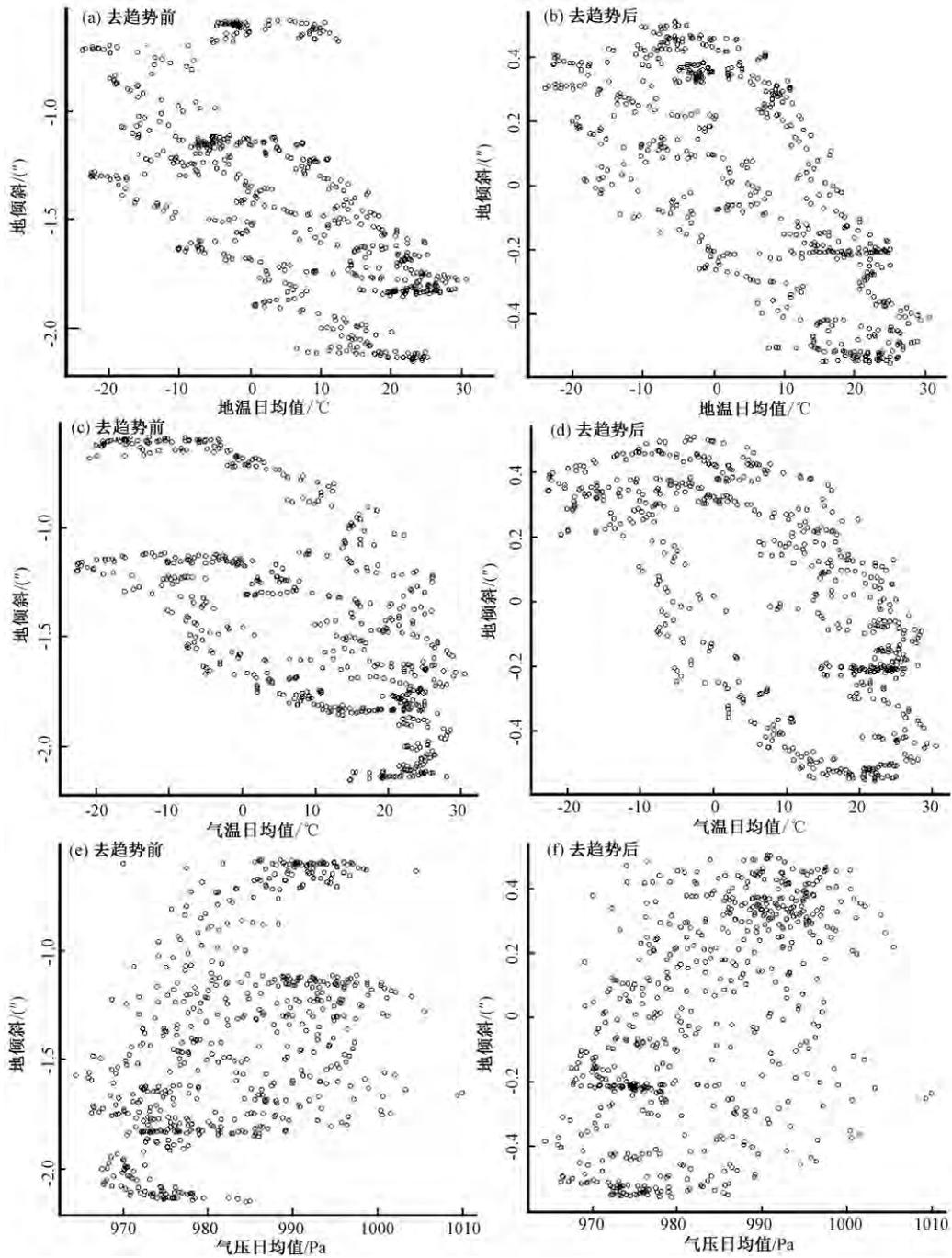


图3 精河台水平摆第1时段观测数据及去趋势后与地温、气温、气压关系

数,分别为 -0.4121 、 -0.4115 、 0.3442 。利用直线 $y = 73.77141 - 0.00137x$ 拟合去掉趋势,再计算拟合残差与地温、气温、气压的相关系数分别为 -0.5567 、 -0.8001 、 0.6712 ,绘制精河台水平摆 EW 向观测数据的第3时段及去趋势后与地温、气温、气压的关系图(图4)。

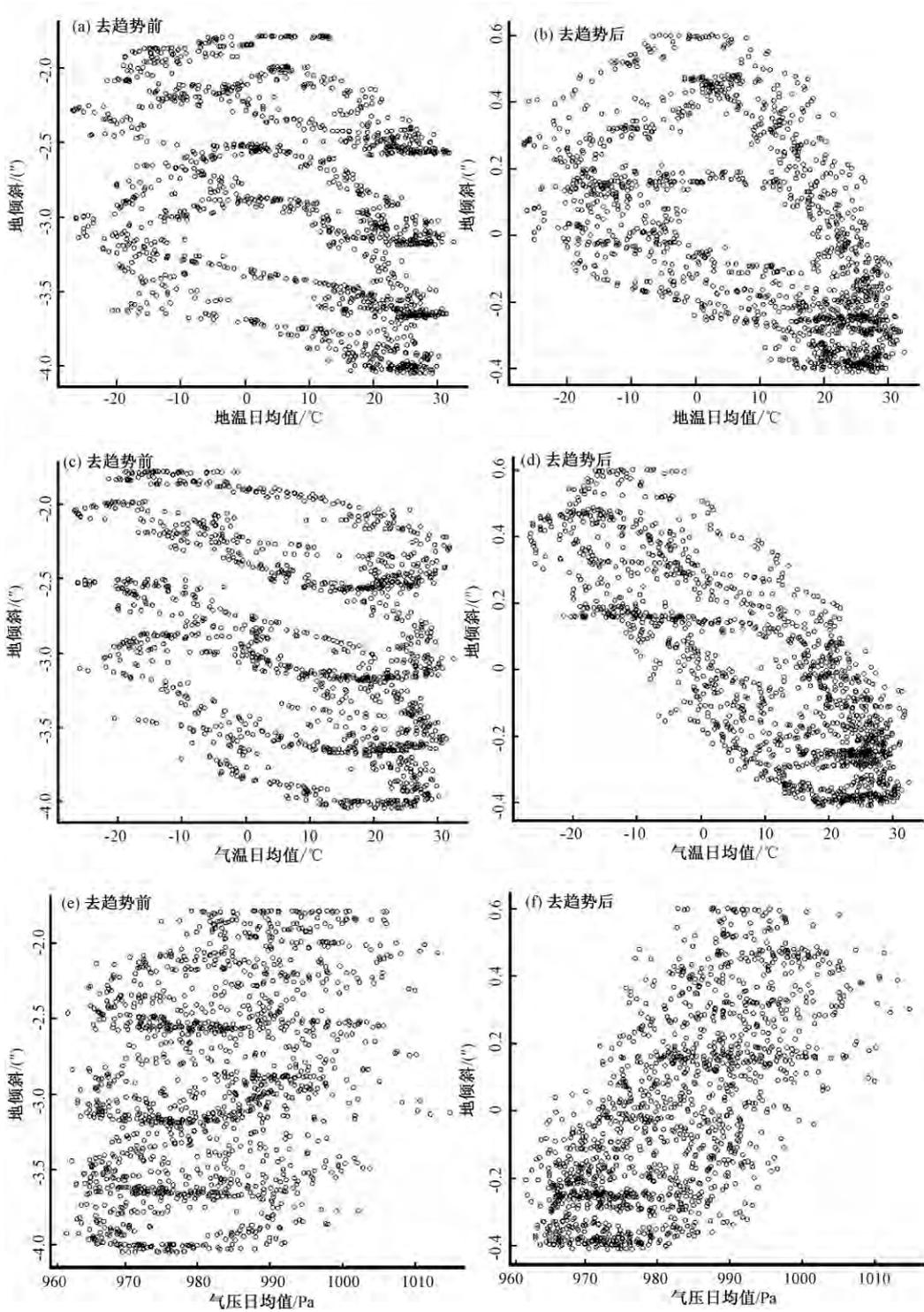


图4 精河台水平摆第3时段观测数据及去趋势后与地温、气温、气压关系

由精河台水平摆 EW 向第 3 时段观测数据的拟合残差与地温、气温、气压相关系数和图 4, 说明精河台水平摆 EW 向第 3 时段观测值序列的趋势变化不是地温、气温、气压的影响, 而且它与地温、气温、气压之间具有显著的线性相关性。选用地温、气温做变量, 对精河台水平摆 EW 向观测数据第 3 时段利用二元线性回归模型拟合。

回归方程为

$$y = 0.1848 - 0.00799x_1 - 0.1295x_2 + \varepsilon$$

变量 x_1 和 x_2 的 t 统计量的估计值分别为 -44.51 和 -71.67 , 由对应的 p 值都比显著性水平 0.05 小, 可得两个偏回归系数在显著性水平 0.05 下均显著不为 0 。可决系数 $R^2 = 0.8475$, 修正的可决系数 $R^2 = 0.8473$, 说明方程拟合效果较好。

精河台水平摆 NS 向第 1 时段。计算精河台水平摆观测值与地温、气温、气压的相关系数, 分别为 -0.0763 、 -0.0357 、 0.0579 。因数据存在趋势变化, 利用直线 $y = 80.82467 - 0.00169x$ 拟合去掉趋势, 再计算拟合残差与地温、气温、气压的相关系数分别为 -0.154 、 -0.1223 、 0.1576 , 相关系数和关系图的结果表明, 精河台水平摆 NS 向第 1 时段与地温、气温、气压相关性不大。

精河台水平摆 NS 向第 2 时段。计算精河台水平摆观测值与地温、气温、气压的相关系数, 分别为 0.3637 、 0.1440 、 -0.0018 。因数据存在趋势变化, 利用直线 $y = 13.4734 - 0.00038x$ 拟合去掉趋势, 再计算拟合残差与地温、气温、气压的相关系数分别为 0.7052 、 -0.0299 、 0.1926 , 同样, 由相关系数及关系图说明, 地温是影响精河台水平摆 NS 第 2 时段年频段信息的主要因素。

精河台水平摆 NS 向第 3 时段。计算精河台水平摆观测值与地温、气温、气压的相关系数, 分别为 0.7033 、 0.3527 、 -0.2375 。由相关系数及关系图说明, 地温是影响精河台水平摆 NS 第 3 时段年频段信息的主要因素。

精河台水平摆 NS 向第 4 时段。计算精河台水平摆观测值与地温、气温、气压的相关系数, 分别为 0.1766 、 0.2133 、 -0.1620 。因精河台水平摆 NS 向第 4 时段观测数据存在趋势变化, 利用直线 $y = -45.06579 - 0.0007x$ 拟合去掉趋势, 再计算拟合残差与地温、气温、气压的相关系数分别为 0.2324 、 0.7143 、 -0.5489 。由相关系数及关系图说明, 气温是影响精河台水平摆 NS 第 4 时段年频段信息的主要因素。

4 结论与讨论

(1) 由相关系数、关系图、回归分析的结果表明, 温度(地温、气温)是影响精河台水平摆观测数据年频段信息的主要因素, 它们之间具有准线性关系。通过研究精河台水平摆观测数据与气象要素之间的关系, 可以增强对定点形变观测系统和观测数据的认识。

(2) 在研究的过程中, 分段回归的分段点就是观测数据趋势变化的转折点。所以, 观测数据分段的过程就是对定点形变趋势认识的过程。对定点形变具有趋势性变化的时段, 通过直线拟合去掉趋势之后, 精河台水平摆观测数据与气象因素之间的线性相关性明显增强, 说明精河台水平摆观测数据的趋势变化不是气象因素造成的, 从而更可以说明, 这趋势转折可能就是由于区域构造应力影响所致。从研究方法来说分段回归是较直接回归分析的一种改进。

(3) 分析结果表明,精河台水平摆 NS 向观测值序列第一时段与地温、气温、气压相关性不大,可能与精河台水平摆的趋势变化有关,虽然由图 2 可以看出,精河台水平摆 NS 向观测曲线第 1 时段始终保持趋势南倾的状态。但利用 $y = 80.82467 - 0.00169x$ 直线拟合去趋势后,仍存在趋势转折变化(图 5),由表 1 及前面其他时段的分析结果可知,精河台水平摆的该趋势变化并非地温、气温、气压的影响。若要继续分析该时段地温、气温、气压对精河台水平摆的影响,需根据图 5 继续分段研究,限于文章篇幅,不再赘述。



图 5 精河台水平摆 NS 向第 1 时段与直线 $y = 80.82467 - 0.00169x$ 拟合之差

(4) 王海涛等(2008)提出,地震对应概率谱分析方法可以直接应用于变化相对平稳的资料的观测和分析以及时间进程数据的前兆异常识别研究。对存在趋势性变化或周期性年变的资料以及有畸变点的资料,应进行如去倾、拟合残差、畸变点插值剔除等预处理。本研究通过分段去趋势,回归分析剔除气温、地温、气压等的影响,下一步可以尝试对回归残差序列,利用地震对应概率谱分析方法进行地震异常的识别。

(5) 刘德福等(1997、1999)指出:地震发生前,震中附近地区的“地-气”系统观测到地表有局部升温现象,表明孕育地区应该有热辐射的异常信息。这说明在地震孕育演化的过程中,通常孕震体是有能量积累的,这种能量积累引起地温升高、气温升高。此时由热红外异常造成的地温、气温的变化和定点形变的异常变化可能有同源相关因素。他对 1976 ~ 1990 年在龙陵、唐山、松潘、乌恰和共和 5 个地区发生的 7 级以上大地震的震前地面出现的长波辐射(OLR)分析,发现在震前一月都存在较为明显的热红外辐射异常,也就是说地震发生前,热红外异常持续时间一般较短,属于短临异常的一种表现,而本研究的各分时段一般是几年,所以即便由于热红外异常引起的气温、地温升高,在绘制气象要素与定点形变关系图时,热红外异常点在关系图中可能表现为离散点,所以并不影响拟合模型的选择,而且回归残差不但不会消除其对定点形变的影响,可能还会有助于该影响造成形变异常变化的识别。

参考文献

- 曹建玲、石耀霖,2005,地表温度年变化对地应力和地倾斜的影响,中国科学院研究生院学报,(5),303 ~ 308。
 刘德富、罗灼礼、彭克银,1997,强烈前的 OLR 异常现象,地震,17(2),126 ~ 132。
 刘德富、彭克银,1999,地震有“热征兆”,地震学报,21(6),652 ~ 656。
 孙玉军、李杰、曹建玲等,山东泰安台温度年变化对地应变与地倾斜影响的模拟研究,中国地震局地震预测研究所、中国

- 地震台网中心、中国地震学会编,2008,中国地震预报探索,460~466,北京:地震出版社。
- 汪翠枝、张磊、刘双庆等,2010,定点形变观测的降雨干扰及排除方法研究,华北地震科学,28(1),42~47。
- 王海涛、王琼,2008,基于地震对应概率谱分析的前兆异常识别研究,地震研究,31(4),330~334。
- 王曰风、张秀萍、李海孝等,2004,地应变震兆异常信息提取方法研究,地震地磁观测与研究,25(1),35~40。
- 徐兮,2007,分段回归在隧道沉降变形监测中的应用研究,测绘通报,(12),18~21。
- 于向鸿、肖阳,2012,基于 Median 函数的分段回归模型及其在生物学上的应用,生物数学学报,27(3),529~536。
- 中国地震局监测预报司,2008,地形变测量,北京:地震出版社。

Analysis on the influence of earth temperature, atmospheric temperature, pressure on the Jinghe station horizontal pendulum data

Xing Ximin Sun Jize Gao Lijuan

Earthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, China

Abstract Deformation station observation target is the earth's internal force caused by deformation change. As the deformation stations are set up in the earth's crust surface, they are inevitably influenced by various factors, which means the observation sequence may contain information from outside the earth to different degrees. In order to better study the deformation information caused by the earth internal forces contained in Jinghe station horizontal pendulum, the paper studies the impact on the Jinghe station horizontal pendulum observations in ground temperature, air temperature and air pressure. The research shows that: (1) Ground temperature and air temperature are the main impact factors in the annual change of Jinghe station horizontal pendulum and show a quasi-linear relationship among them. (2) After fitting a straight line to remove trend, linear correlation between observed data and meteorological factors obviously increases, which is not a meteorological factor change.

Key words: Piecewise regression analysis Horizontal pendulum Correlation coefficient
Regression equation