

沙河地震台地热对比观测分析*

何案华¹⁾ 赵刚¹⁾ 薛娜²⁾ 王军³⁾ 郭藐西¹⁾ 郭柏林¹⁾ 付子忠¹⁾

(1) 中国地震局地壳应力研究所,北京 100085
(2) 天津市地震局,天津 300201
(3) 中国地震台网中心,北京 100036

摘要 通过对沙河地震台同一观测深度上两台数字式温度计产出的连续资料进行曲线拟合、离散分析等,认为两套仪器产出的观测数据真实可靠,温度变化趋势特征一致,温度值几乎恒定地相差 0.007 5℃,是井下温度变化的真实反映;并且总结出在地热前兆台站安装两套地热仪进行同层温度对比观测的具体操作方法,从而解决了实际观测中出现数据异常时不能确认是前兆异常还是仪器故障的难点。

关键词 对比观测;数字式温度计(SZW-1A);趋势一致性;前兆异常;仪器故障

中图分类号:P315.72+3 **文献标识码**:A

ANALYSIS OF GEOTHERMAL COMPARATIVE OBSERVATION
AT SHAHE SEISMOSTATION

He Anhua¹⁾, Zhao Gang¹⁾, Xue Na²⁾, Wang Jun³⁾, Guo Miaoxi¹⁾, Guo Bailin¹⁾ and Fu Zizhong¹⁾

(1) *Institute of Crustal and Dynamics, CEA, Beijing* 100085
(2) *Earthquake Administration of Tianjin Municipality, Tianjin* 300201
(3) *China Earthquake Networks Center, Beijing* 100036

Abstract By use of curve fitting and discretigation analyzing the data of two digital thermometer placed in the same depth at Shahe seismostation, we can conclude that the data are reliable, their change trends keep consistent, the temperature difference from each other is only 0.007 5℃, almost constant and really reflect the downhole temperature variation. The article summarizes the concrete operation method for installing two sets of digital thermometers for comparative observation and solving the difficulty of excluding the instrument trouble when appear abnormal data.

Key words: comparative observation; digital thermometer(SZW-1A); trend consistency; precursor anomaly; instrument trouble

1 引言

自 1979 年开始利用地热方法研究地震前兆以来^[1],我国先后有 200 多个地热前兆观测台站(点)陆续投入正式运行,并形成了一定规模的地热前兆

观测台网。纵观所有的地热前兆数据可以看出,该手段一般具有正常稳定的特性,偏离该正常特性的情况就可以说是地热异常^[2-4]。由此可见,地热异常提取的前提必须是具备有连续、可靠的地热观测数据,而这些数据的获取必须由可靠稳定的地热观

* 收稿日期:2009-03-25
基金项目:公益性行业科研专项(H200708045);中国地震局地壳应力研究所基本科研业务专项(2DJ2008-01,J2209830)
作者简介:何案华,男,1979 年生,硕士,主要从事地震前兆仪器的研究工作. E-mail:hua98611@163.com

测系统来保证。

从理论上分析产生地热数据异常主要有 3 方面原因:一是观测系统受到外界干扰,如仪器本身故障、台站供电故障、仪器接地问题、仪器相互之间的干扰等;二是观测条件受到干扰,如某些观测井的水位变化会直接影响到地热数据;三是可以概括为深部因素,主要分为附加地热场因素和其他地球物理因素,其中附加地热场也就是地热前兆异常。由此可见,如果要从地热数据异常中提取地震的前兆信息,首先必须排除前两方面的干扰。

从宏观上可以直观、简单地排除观测条件的干扰,其关键在于排除观测系统的干扰。随着地震前兆台网的不断扩大,台站仪器、观测手段日益增多,经常会碰到某一种手段出现异常而其他手段无异常,或者是某一个台站出现异常,但与之相邻的台站无异常等情况。预报人员在一时难以确定是否存在其他外界环境因素影响的情况下,首先会怀疑仪器本身出现了问题;而仪器厂商则主要依靠该仪器以往的实验数据以及经验来推断是否是仪器本身出了问题。为了解决类似的问题,在北京市昌平区沙河镇用两套同型号和同一观测条件的仪器进行实验观测和对比研究,为地热前兆观测系统的可靠性、稳定性提出合理的解决方案。

2 观测条件基本介绍

沙河台位于北京市昌平区沙河镇,观测井深 285.47 m。上部为第四系,深度 0 ~ 265.33 m,其中上覆岩性依次为亚砂土或亚砂土夹薄层沙,砂砾石夹薄层亚砂土;下伏为亚粘土及细中粒砂与亚砂土互层。下部为奥陶纪石灰岩,深度 265.3 ~ 285.47 m。观测含水层位于 270 m 以下的奥陶纪灰岩中,属裂隙承压水。

沙河台于 2006 年 12 月安装第一套 SZW-1A 型数字式温度计,其数据直接联入中国地震局“十五”数据管理系统中。该仪器自安装以来,运转一直正常,数据基本连续,缺失率相对较低。汶川 8.0 级地震前,沙河井温度从 2008 年 5 月 9 日 21 时开始出现下降,至 2008 年 5 月 11 日 16 时结束,持续时间为 43 小时^[5]。汶川地震发生后的响应尤其强烈,取得了很好的同震反应和震后调整的现象(图 1)。

台站配置有交流电,每套仪器都配备有免维护电瓶;台站备有接地线,仪器与机柜都已经可靠接地。

通讯采用无线 CDMA 网络、VPN 技术相结合方式,数据直接传入分析预报中心,并且在地震系统内网中,通过授权的用户也可以直接进行数据采集。

本文采取直接从仪器将数据调出的方式进行数据采集。

目前,在现有的地热前兆台网中,主力观测仪器为 SZW 系列数字式温度计,该温度计采用晶体振荡器作为敏感元件,其分辨力为 0.000 1℃,短期漂移小于 0.000 1℃/日,长期漂移小于 0.01℃/年。沙河台使用的两套仪器均为 SZW-1A(V2004)型数字式温度,两个传感器经捆绑后放置在地面下 197 m 处。

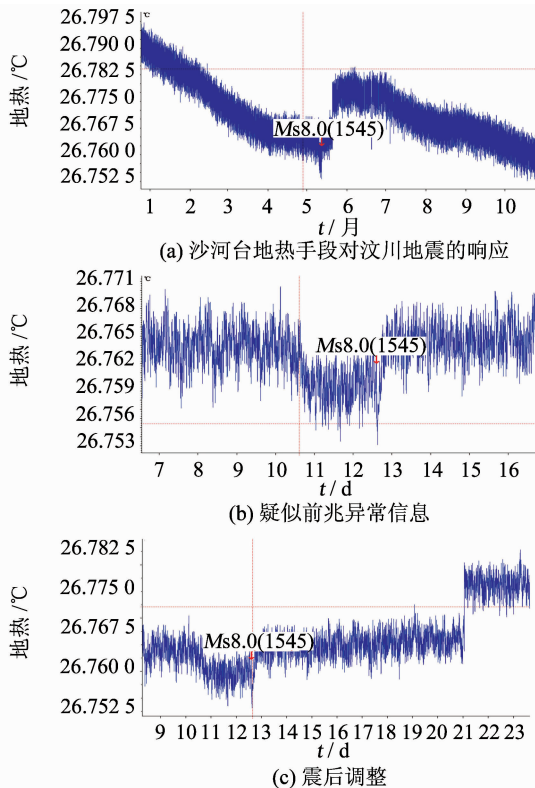


图 1 沙河地震台地热反映的汶川地震前兆疑似异常
Fig. 1 Doubtful geothermal precursor anomaly at Shahe station before the Wenchuan Ms8.0 earthquake

3 观测数据及分析

为了得到比较理想的对比观测结果,我们将两个传感器捆绑在一起。其中,一个传感器为 2006 年 12 月安装,另一个为 2008 年 11 月新增。为了保证两台温度计的工作频率、采样时间保持一致,两台温度计的主机都用采同一时间频率。

从 2008 年 11 月 24 号安装双传感器以来,数据的连续率、完整率为 100%,图 2 为 2008 年 11 月 24 日—2009 年 2 月 24 日 3 个月的连续曲线图。

从图 2 可以看出,该井属向下漂移型正常动态,且两个传感器之间几乎是恒定地相差 0.007 5℃, (属于仪器允许误差范围)。

由于本文的研究重点是对两个传感器资料进行

对比,所以必须考虑两者的趋势变化是否一致以及两者差值离散度的大小。若两者的趋势一致,且均值在允许误差内不一致时,可以采取平移曲线后再来分析其差值的离散度。

1) 曲线拟合^[6]

曲线拟合就是将两个传感器各自的数据拟合成曲线来确定一个一元函数 $y = f(x)$,使传感器产出值与曲线变化的趋势尽量接近。表 1 分别为两个传感器 2009 年的日均值计算及曲线拟合情况,图 3 为两个传感器的拟合曲线图。

两个传感器的曲线公式为:

传感器 A: $y = -0.000\ 29x + 26.761\ 15$ (1)

传感器 B: $y = -0.000\ 29x + 26.768\ 59$ (2)

从式(1)和式(2)可以看出两条曲线的斜率一致,截距相差 0.007 5;由此得出结论:两个传感器的趋势是一致的,只是均值上相差 0.007 5℃,通过曲线平移,可以将两条曲线完全重合。另外,该值在 SZW-1A 所要求的系统误差范围之内。

2) 相关性分析

相关分析是利用来衡量两个随机变量之间“直

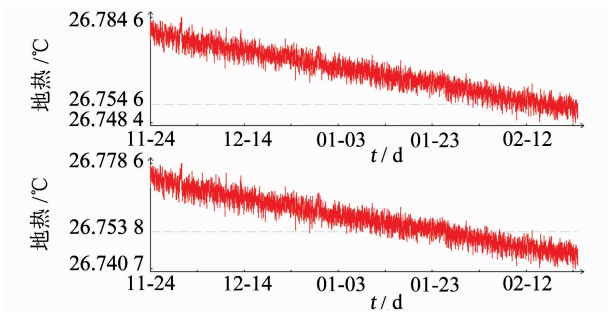


图 2 两个传感器 2008-11-24—2009-02-24 数据曲线
Fig.2 Data curves of the two sensors from 2008-11-24 to 2009-02-24

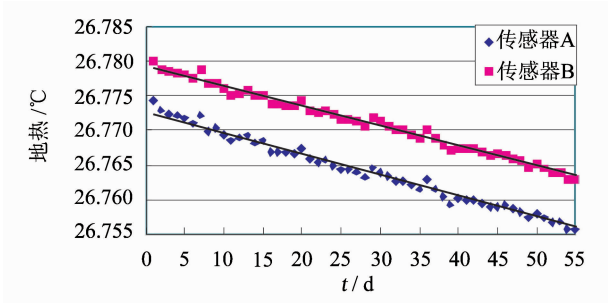


图 3 两个传感器曲线拟合情况
Fig.3 Curve fitting of the two sensors

表 1 日均值计算及曲线拟合值
Tab.1 Calculated daily mean and the values of curve fitting

时间 (2009 年)	传感器 A 日均值 (°C)	传感器 B 日均值	A - B - 0.007 5 (°C)	时间 (2009 年)	传感器 A 日均值 (°C)	传感器 B 日均值 (°C)	A - B - 0.007 5 (°C)
01 - 01	26.759 2	26.767 2	0.000 5	01 - 28	26.752 9	26.760 6	0.000 2
01 - 02	26.760 1	26.767 5	-0.000 1	01 - 29	26.752 3	26.760	0.000 2
01 - 03	26.759 8	26.767 3	0.000 0	01 - 30	26.752 5	26.760 2	0.000 2
01 - 04	26.759 9	26.767 4	0.000 0	01 - 31	26.751 6	26.759 1	0.000 0
01 - 05	26.759 4	26.766 9	0.000 0	02 - 01	26.751 4	26.758 9	0.000 0
01 - 06	26.758 9	26.766 4	0.000 0	02 - 02	26.750 8	26.758 3	0.000 0
01 - 07	26.759 0	26.766 6	0.000 1	02 - 03	26.751 2	26.758 7	0.000 0
01 - 08	26.759 1	26.766 5	-0.000 1	02 - 04	26.750 4	26.75 8	0.000 1
01 - 09	26.758 7	26.766 1	-0.000 1	02 - 05	26.750 1	26.757 7	0.000 1
01 - 10	26.758 3	26.765 8	0.000 0	02 - 06	26.749 7	26.757 2	0.000 0
01 - 11	26.757 3	26.764 7	-0.000 1	02 - 07	26.749 3	26.756 8	0.000 0
01 - 12	26.758 0	26.765 2	-0.000 3	02 - 08	26.749 6	26.757 1	0.000 0
01 - 13	26.757 3	26.764 5	-0.000 3	02 - 09	26.748 7	26.756 3	0.000 1
01 - 14	26.756 6	26.763 9	-0.000 2	02 - 10	26.748 5	26.756 1	0.000 1
01 - 15	26.756 8	26.764 0	-0.000 3	02 - 11	26.748 3	26.755 9	0.000 1
01 - 16	26.755 7	26.762 9	-0.000 3	02 - 12	26.748 9	26.756 4	0.000 0
01 - 17	26.755 6	26.763 0	-0.000 1	02 - 13	26.748 6	26.756 1	0.000 0
01 - 18	26.756 2	26.763 6	-0.000 1	02 - 14	26.747 3	26.754 8	0.000 0
01 - 19	26.754 9	26.762 2	-0.000 2	02 - 15	26.747 6	26.755 1	0.000 0
01 - 20	26.755 8	26.763 1	-0.000 2	02 - 16	26.747 0	26.754 3	-0.000 2
01 - 21	26.755 2	26.762 6	-0.000 1	02 - 17	26.747 5	26.754 9	-0.000 1
01 - 22	26.755 1	26.762 4	-0.000 2	02 - 18	26.746 3	26.753 7	-0.000 1
01 - 23	26.754 9	26.762 3	-0.000 1	02 - 19	26.746 9	26.754 3	-0.000 1
01 - 24	26.755 1	26.762 4	-0.000 2	02 - 20	26.746 3	26.753 7	-0.000 1
01 - 25	26.754 9	26.762 3	-0.000 1	02 - 21	26.746 6	26.754 1	0.000 0
01 - 26	26.753 2	26.760 7	0.000 0	02 - 22	26.745 6	26.753 1	0.000 0
01 - 27	26.753 0	26.760 5	0.000 0				

线关系”的方向与强弱程度。假设有两个序列^[6]:

$$X: x_1, x_2, \dots, x_n \quad (3)$$

$$Y: y_1, y_2, \dots, y_n \quad (4)$$

根据统计学原理,两序列之间的相关系数为:

$$r = \frac{\sigma_{xy}^2}{\sigma_x \sigma_y} \quad (5)$$

式中, $\sigma_{xy}^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n}$, $\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n}}$, $\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n}}$, $\bar{x}$, $\bar{y}$ 分别是两个序列的平均值, n 为两序列的样本个数。由于相关系数的基本公式不易计算,可从基本公式导出以下的计算公式:

$$r = \frac{\sum x_i y_i - \frac{\sum x_i \sum y_i}{n}}{\sqrt{\left(\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n} \right) \left(\sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n} \right)}} \quad (6)$$

相关系数 r 的取值范围为 $1 \geq r \geq -1$, r 的各种取值的意义为:

$r = 1$, 序列 X 和 Y 是线性正相关;

$r = -1$, 序列 X 和 Y 是线性负相关;

$r = 0$, 序列 X 和 Y 不相关;

$1 > r > 0$, 序列 X 和 Y 正相关, r 越大相关度越高;

$0 > r > -1$, 序列 X 和 Y 负相关, r 越接近 -1 负相关度越高。

传感器 A 的自相关系数计算结果为 $R^2 = 0.98799$; 传感器 B 的自相关系统计算结果为 $R^2 = 0.98992$; 而两个传感器之间的相关系数计算结果为 0.999568 。从计算结果知,各传感器的自相关系数及两个传感器之间的相关系数都很接近 1 , 说明两个传感器的产出资料具有很好的一致性。

3) 离散分析

离散度是评价数据好坏的最重要也是最基本的指标,评价与量化一组数据的离散度主要有极差、方差和标准差等,而标准差是反映一组数据离散程度最常用的一种量化形式。离散度分析主要应用于对传感器之间的差值,即将两个传感器的产出分钟值相减(采用大值减小值,得到结果为正数),然后对其结果来分析极差和标准差等(图4)。

从图4(b)中不难看出,两个传感器之间的差值最大值与最小值分别是 0.0013 和 -0.0011 , 极差为 0.0024 , 该段数据的标准方差为 0.00014 。

从上述分析可知,无论是从两条曲线的斜率与相关性来比较,还是从两条曲线之差的离散度来分析,采取同一井孔、同一观测深度、同一观测时间,相同的两套地热仪的对比观测,完全可以保证地热前

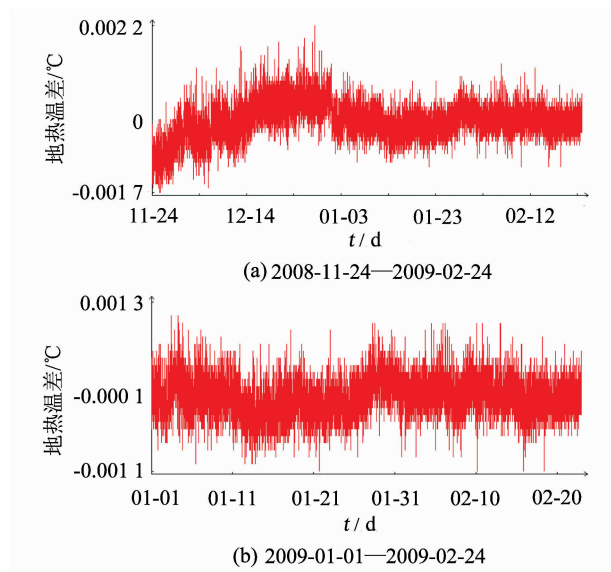


图4 两个传感器之差

Fig. 4 Difference between the two sensors

兆观测系统的可靠性,依据两者的资料可以确定地热异常是否为仪器故障引起的。

4 结论

1) 数字式温度计对比观测完全可行,当台站出现数据异常而又一时找不到干扰源时,可以采取同时放入两个传感器的方法进行对比观测,以此来查找异常引起的原因,排查是否为仪器故障。

2) 数字式温度计进行对比观测是必要的,对于那些历史观测资料具有比较理想、比较明显的前兆信息或同震响应的井孔,可以采取两个温度计同时进行观测,以保证观测系统的稳定性。

3) 两套仪器同时运行,互为备份,提高了台站数据的连续率、可靠率、完整率。

参 考 文 献

- 付子忠. 澜沧-耿马 7.6 级地震的地热前兆异常 [A]. 中国地震局地壳应力研究所编, 地壳构造与地壳应力文集 [C]. 北京: 地震出版社, 1990.
- 赵刚, 等. 地热对汶川 8.0 级地震的同震响应及震后调整 [J]. 大地测量与地球动力学, 2009, 29(2): 29-32.
- 敬少群, 等. 长沙地震台数字化与模拟资料对比分析 [J]. 华南地震, 2005, 25(3): 9-10.
- 王瑜青. 地热观测资料清理及映震能力分析 [J]. 地震学报, 1994, 16(增刊): 148-152.
- 赵刚, 等. 全国地热前兆台网对汶川 $M_s 8.0$ 地震响应的研究报告 [R]. 中国地震局地壳应力研究所, 2008.
- 郑慧烧, 等. 数值计算方法 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2004.