

赵刚, 何案华, 马文娟, 陈敏. 2011. 不同动态背景的地热对比观测研究. 地震学报, 33(1): 51-61.
Zhao Gang, He Anhua, Ma Wenjuan, Chen Min. 2011. An analysis on comparative geothermal observations under different dynamic background. *Acta Seismologica Sinica*, 33(1): 51-61.

不同动态背景的地热对比观测研究^{*}

赵 刚^{1), *} 何案华¹⁾ 马文娟²⁾ 陈 敏³⁾

- 1) 中国北京 100085 中国地震局地壳应力研究所
- 2) 中国银川 750001 宁夏回族自治区地震局
- 3) 中国重庆 401147 重庆市地震局

摘要 通过沙河、温泉和乌苏井连续 6 个月的对比观测, 对记录的资料进行分析, 认为 6 套仪器记录的观测数据真实可靠. 在沙河和温泉井的同一观测深度上, 温度总体变化趋势、变化形态甚至在细节方面都是一致的, 其相关系数接近于 1, 通过平移两条曲线基本重合; 在乌苏井不同深度(250 m 和 700 m)的对比观测, 两条曲线形态还是比较一致的. 由于两个传感器所处的观测深度不同, 在某些细节方面其表现还是有所不同. 本文总结出在地热前兆台站安装两套地热仪进行对比观测的具体操作方法, 从而解决了实际观测中出现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 正常背景动态 相关性

doi: 10.3969/j.issn.0253-3782.2011.01.005 中图分类号: P315.73 文献标识码: A

An analysis on comparative geothermal observations under different dynamic background

Zhao Gang^{1), *} He Anhua¹⁾ Ma Wenjuan²⁾ Chen Min³⁾

- 1) *Institute of Crustal and Dynamics, China Earthquake Administration, Beijing 100085, China*
- 2) *Earthquake Administration of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 750001, China*
- 3) *Earthquake Administration of Chongqing Municipality, Chongqing 401147, China*

Abstract: By analyzing 6 month comparative geothermal observations in 3 wells at Shahe, Wenquan and Wusu stations, respectively, we conclude that the data obtained from the six observational instruments in these stations are reliable. The observations at the same depth of the Shahe and Wenquan well show that the overall trend and pattern, and even details, of the observed temperature variations are the same, and the correlation coefficient of these observations is close to 1. In the Wusu well the observation curves at the two depths of 250 m and 700 m are overall the same, but some details of the observations are different due to the sensors being at different depth. This article summarizes the specific operation method of installing two sets of digital thermometers in the same well for comparative observation, and solves the difficulty in excluding the ir

* 基金项目 地震行业科研专项(H200708045)资助.
收稿日期 2009 08 06 收到初稿, 2010 06 12 决定采用修改稿.
^{*} 通讯作者 e-mail: bjdqzg@126.com

strument trouble when abnormal observations appear.

Key words: comparative observation; digital thermometer; normal geothermal variation; correlation

引言

王瑜青等(1994)最早分析了地热正常动态的基本类型,认为不同的动态类型与观测点处的水文地质情况密切相关.赵刚等(2009)¹对全国近277个观测井的地热正常动态进行了系统研究,将其划分为降温型、升温型、波动型、稳定型、跳变型、长周期型等6种基本类型.据统计,在整个台网中观测点温度为降温型、升温型和波动型占了70%左右.

在了解其正常动态特征基础上,才能够提取地震前兆异常信息.付子忠(1988)认为,地热异常产生的主要原因由以下几个方面:第一是观测系统受到外界干扰,如仪器故障、台站供电故障、仪器相互之间的干扰等;第二是观测条件受到干扰,如抽水等;第三为深部因素,主要分为附加地热场因素和其它地球物理因素,其中附加地热场也就是地热前兆异常.由此可见,如果想从地热数据异常中提取地震前兆信息,必先排除第一、第二方面的干扰.

相对来说,观测条件的干扰从宏观上可以简单地得出结论,所以要提取地热前兆异常,排除的重点与难点就放在排除观测系统的干扰.实际情况是,常常会出现某一个手段出现异常而其它手段无明显异常,或者是某一个台站出现异常,而与之相邻的台站则无明显异常,一时又找不到其它外界环境的明显影响,观测人员往往会认为是仪器出现了故障;而研制者则依靠以往的数据和经验来推断这是观测部位温度发生了变化,是井下温度的真实反映.

为了解决类似这样的问题,在降温型、升温型和波动型的台站(沙河台、温泉台和乌苏台)安装了两套温度观测系统,进行长期连续对比观测.通过对记录的数据进行分析,对地热前兆观测系统的可靠性、稳定性提出了合理的保障方案.

1 3个典型的观测井孔情况介绍

1.1 3个井孔的说明

温泉井位于北京市海淀区温泉镇温泉西口300 m处,地处燕山期阳坊花岗岩展布地区,距主断裂带约16 km,第四纪覆盖厚度为十几米到二十几米.该井深75 m,水位埋深29 m,岩石透水性较差,受该部位附近含水层地下水的影响很小.

沙河井位于北京市昌平区沙河镇,该井处于孙河—南口北西向断裂带的中部.观测井深285.47 m,水位埋深32 m,该井受地下水影响较大.

乌苏井位于乌苏县西北,构造上处于北天山山前坳陷带最北边的隐伏隆起带—艾东隆起,是一口石油勘探井,井深5010 m,在安装仪器时实测其热水出水层位于700 m以下.

1.2 对比观测方法

本次对比测试研究主要有两个方面的内容:其一是在同一井孔的相同观测深度安装两套独立的温度观测系统,对地热前兆观测仪器的可靠性进行对比测试;其二,在同一井孔

¹ 赵刚,付子忠,王军,何案华,郭柏林,杨选辉,刘永铭.2008.全国地热前兆台网对汶川 $M_s8.0$ 地震响应的研究报告.中国地震局地壳应力研究所.

不同的观测深度安装两套独立的温度观测系统, 对不同深度层位的变化进行对比测试。

由于在每一个台站使用两套完全独立的观测系统(两个传感器、两个主机、两个电瓶), 为了保证两套仪器的工作频率、采样时间保持一致, 它们采用同一时间频率。

1.3 对比观测仪器

本次对比观测使用的仪器是 SZW-1A 数字式温度计。它由三部分组成: 一部分是温度探头; 一部分是数据采集、储存及数据传输单元; 还有一部分是免维护电瓶。

温度探头由测温谐振器和变换电路共同组成, 探头电缆由一芯一屏蔽构成, 探头具有良好的密封特性, 可长期在 1000 m 深水中可靠工作。主机部分是记录、存储、显示和传输探头在不同温度下产生的频率信号, 可进行 RS232 和 RJ45 通讯。免维护电瓶是给仪器提供直流电, 它保障交流电断电时仪器正常工作, 主机会对电瓶自动充电。

1.4 台站供电及通信

供电类型: 3 个台站配置有交流电, 且仪器配有免维护电瓶, 台站备有接地线。通信类型: 分别采用 CDM A 网络、GSM 网络和 GPRS 网络, 利用何案华等(2008)编写的数据采集软件, 采取直接从仪器将数据调回的方式进行数据采集, 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。

1.5 仪器安装及观测深度

温泉台。2009 年 1 月 18 日安装了两套 SZW-1A 型数字式温度计(编号为 519 和 504), 将两个传感器放在 74 m 的层位上进行温度观测。

沙河台。编号为 628 的仪器是 2006 年 12 月 29 日安装的(“十五”项目), 另外一台是 2008 年 11 月 25 日安装(编号 419), 两个传感器放置在 200 m 处, 从 11 月 25 日起开始对比观测。

乌苏台。两套仪器于 2008 年 12 月 29 日安装(编号 681 和 694)。一台传感器安装在 700 m 的深度, 另一个安装在 250 m 的层位上, 这两套仪器从 2009 年 1 月 1 日起正式开始对比观测。

2 观测数据及分析

2.1 观测数据整体说明

沙河台两套仪器(编号 419 和 628)安装在 200 m 的层位上, 于 2009 年 1 月 1 日开始正式对比观测。从图 1a 可以看出, 观测层位的温度值从 26.78℃下降到 26.73℃, 半年时间观测部位的温度值下降了 0.05℃。628 号仪器是 2006 年底投入运行的, 根据赵刚等(2008)在“全国地热前兆台网对汶川 M_s 8.0 地震响应的研究报告”, 200 m 处温度值的长期正常动态背景特征属于降温漂移型, 其一天的温度变化在 0.01℃, 短期正常动态背景特征是短周期型。

温泉台两套仪器(编号 504 和 519)安装在 74 m 的层位上, 于 2009 年 1 月 18 日开始正式对比观测。观测层位的温度值从 14.01℃上升到 14.06℃, 半年时间观测部位的温度值上升了 0.05℃。长期正常动态背景特征属于升温漂移型, 一天温度变化约 0.0003℃, 短期正常动态背景特征是稳定型, 如图 1b 所示。

乌苏台双传感器(两个传感器编号 681 和 694)一台安装在 700 m 的深度, 另一个台安装在 250 m 的层位上, 于 2009 年 1 月 1 日开始正式对比观测, 如图 1c 所示。250 m 观测层位的温度值在 40.72℃和 40.23℃间波动, 700 m 观测层位的温度值在 41.66℃和 42.06℃

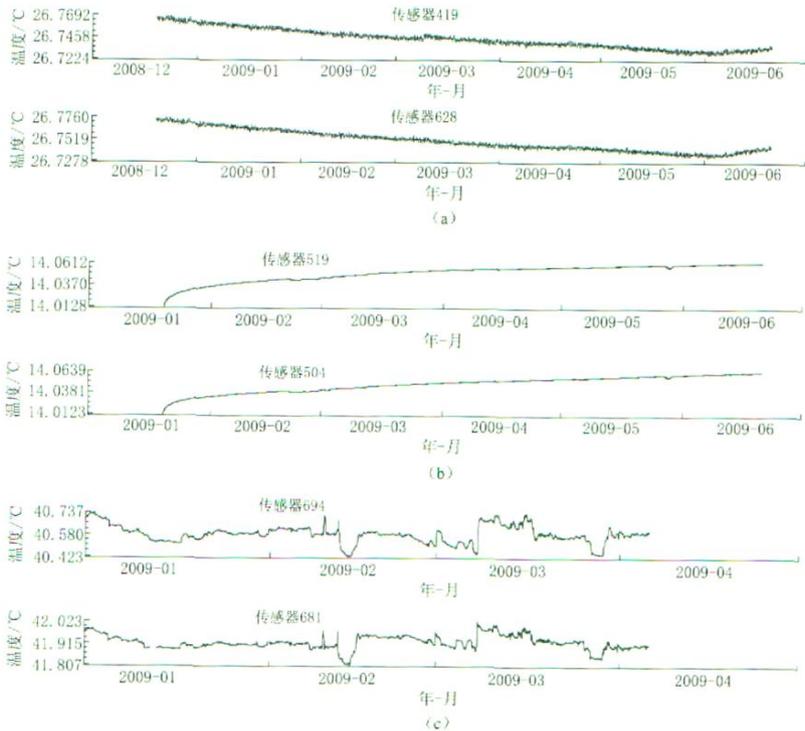


图 1 6 个传感器的数据曲线. (a) 沙河台; (b) 温泉台; (c) 乌苏台

Fig. 1 Temperature observations from six sensors. (a) Shahe station; (b) Wenquan station; (c) Wusu station

间波动.

从图 1 中可以看出, 3 个台站的双传感器温度数据曲线的总体变化趋势一致, 温泉台和沙河台曲线的变化形态甚至在细节方面几乎都是一致的, 乌苏台在变化幅度上略有不同.

通过半年多时间的并行对比观测, 平均运行率 98.80%. 其中沙河和温泉台运行率 100%, 乌苏台运行率较低, 平均完整率 97.61% (在进行资料对比分析时, 对数字观测资料中出现的单点突跳, 按照学科有关规定进行了预处理), 其中沙河 100%, 温泉 98.79%, 乌苏台传感器 694 的完整率较低为 92.86%, 传感器 694 的完整率为 95.24%.

2.2 数据分析

笔者从两个传感器记录的资料入手, 重点分析它们的趋势是否一致, 在受到地下水活动影响时它们的变化是否同步, 进而研究仪器在不同动态类型背景下观测的可靠性.

2.2.1 沙河台数据分析

沙河井由于受到地下水活动影响比较大, 温度短期动态部分受地下水活动控制, 温度值波动在 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{天}$, 其长期背景动态是降温漂移型, 短期动态是短周期型, 该背景动态的井孔, 可以通过判断其长期形态变化来提取.

地下水在 2009 年 3 月 8 日和 6 月 6 日两个时间段活动更加明显(图 1). 由于篇幅有限, 下面只分析 2008 年 12 月 15 日—2009 年 3 月 7 日和 3 月 8 日及 6 月 6 日这 3 段时间内的数据.

从图 2a 中可以看出, 传感器 419 号 (628 号) 观测层位的温度值从 2008 年 12 月 15 日的 $26.7656\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($26.7728\text{ }^{\circ}\text{C}$) 下降到 3 月 7 日的 $26.7444\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($26.7515\text{ }^{\circ}\text{C}$), 83 天下降了约

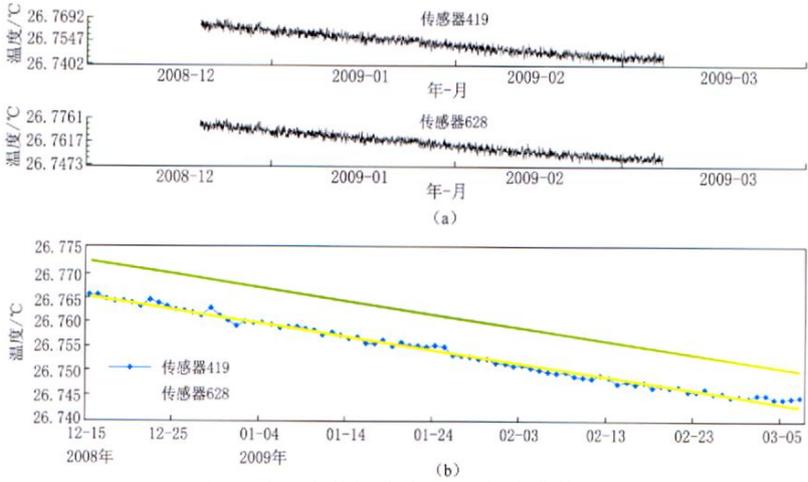


图2 沙河台数据曲线(a)及拟合曲线(b)

Fig. 2 Observations (a) and linearly fitted trends (b) from the two sensors at Shahe station

0.0212℃(0.0213℃), 两个传感器平均每天下降均为0.0003℃.

从图2b得出的两个传感器的线性拟合公式为: 传感器419: $y = -0.0003x + 26.7656$; 传感器628: $y = -0.0003x + 26.7730$. 从这两条曲线公式可以看出两条曲线斜率一致, 截距相差0.0075℃. 通过曲线平移, 可以将两条曲线完全重合, 两个传感器之间的相关系数为0.9998. 它们差值最大值为0.0006、最小值为-0.0003, 标准方差为0.00014. 从计算结果可以得知, 两个传感器之间的相关系数都很接近1, 说明两个传感器记录的资料具有很好的一致性.

受到地下水活动的影响, 观测部位温度值在2009年3月8日和6月6日有明显的变化. 从图3a可以看出, 在3月9日3时5分钟前两个传感器分钟值绝对值差, 在这一分钟, 传感器628与419的温度之差从0.0075℃变为0.0040℃, 即419上升的幅度大, 628上升幅度较小.

从这一变化过程可以看出, 观测部位下段的深层一小股热水上涌, 导致观测部位温度值上升, 两个传感器都监测到了这次地下水的活动过程. 但是由于两个传感器测温部分所处的方向不同, 其中传感器419温度上升的幅度比628温度略高0.0026℃. 在这次地下水活动影响之后, 两个传感器结束上升趋势同时恢复到原有的下降状态.

从图3b可以看出, 传感器419号, 6月6日均值一天上升了0.0015℃, 为正常的7倍, 6月7日温度开始恢复; 传感器628号, 6月6日均值上升了0.0037℃, 6月7日的温度值恢复. 从这一变化过程可以看出, 本次深层小股热水上涌对传感器影响和上次不一样, 虽然都导致观测部位温度值上升, 但是地下水的活动对传感器628的影响较大, 其温度上升的幅度比419温度略高0.0022℃. 在这次地下水活动影响之后, 两个传感器结束上升趋势同时恢复到原有的状态.

总体来说, 在井下观测部位上温度处于平衡状态时, 两个传感器之间的差值是一致的(如3月7日前两者差值仅为0.0075℃, 在仪器允许误差范围内). 由于深层热水上涌(3月8日和6月6日), 导致观测部位的温度平衡被打破, 两个传感器温度值发生变化. 在观测部位的温度重新达到一个新的平衡后, 两个传感器之间的差值也重新变为一致(如3月

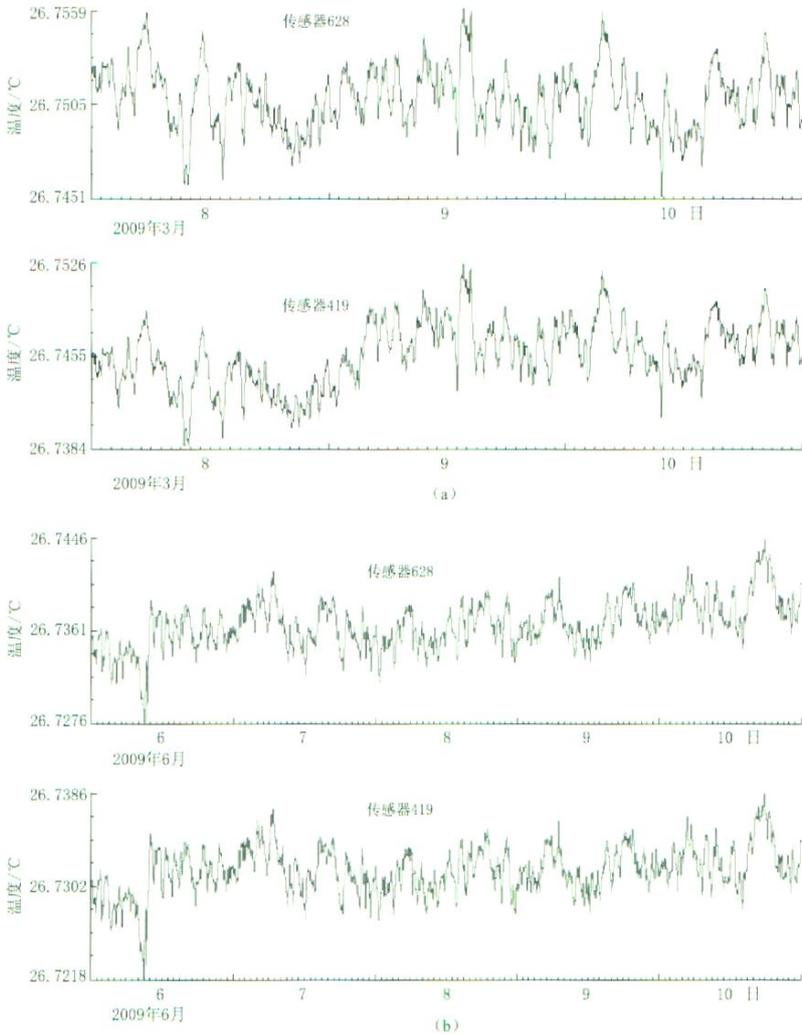


图3 沙河台2009年3月8—10日(a)及2009年6月6—10日(b)数据曲线

Fig. 3 Observations from 2009 03 08 to 2009-03 10 (a) and from 2009 06 06 to 2009 06 10 (b) at Shahe station

10日后两者差值为 0.0047°C).

2.2.2 温泉台数据分析

这两个传感器安装在井孔中岩石完整的部位, 该处岩石透水性较差, 受附近含水层地下水的影响很小, 温度值变化为 $0.0003^{\circ}\text{C}/\text{天}$. 长期动态特征属于升温漂移型, 短期正常动态背景特征是稳定型. 其异常可以通过判断温度变化幅度来提取.

地下水在2009年2月20日和5月27日两个时间段活动较为明显, 下面按时间段进行分析.

从图4a可以看出, 传感器504号温度值从1月29日的 14.0327°C 上升到2月18日的 14.0398°C , 21天上升了约 0.0071°C ; 传感器519号从 14.0346°C 上升到 14.0430°C , 21天上升了约 0.0084°C . 两个传感器平均每天均上升 0.0004°C .

在图4b中, 传感器504号从3月14日的 14.0467°C 升温到4月10日的 14.0529°C ,

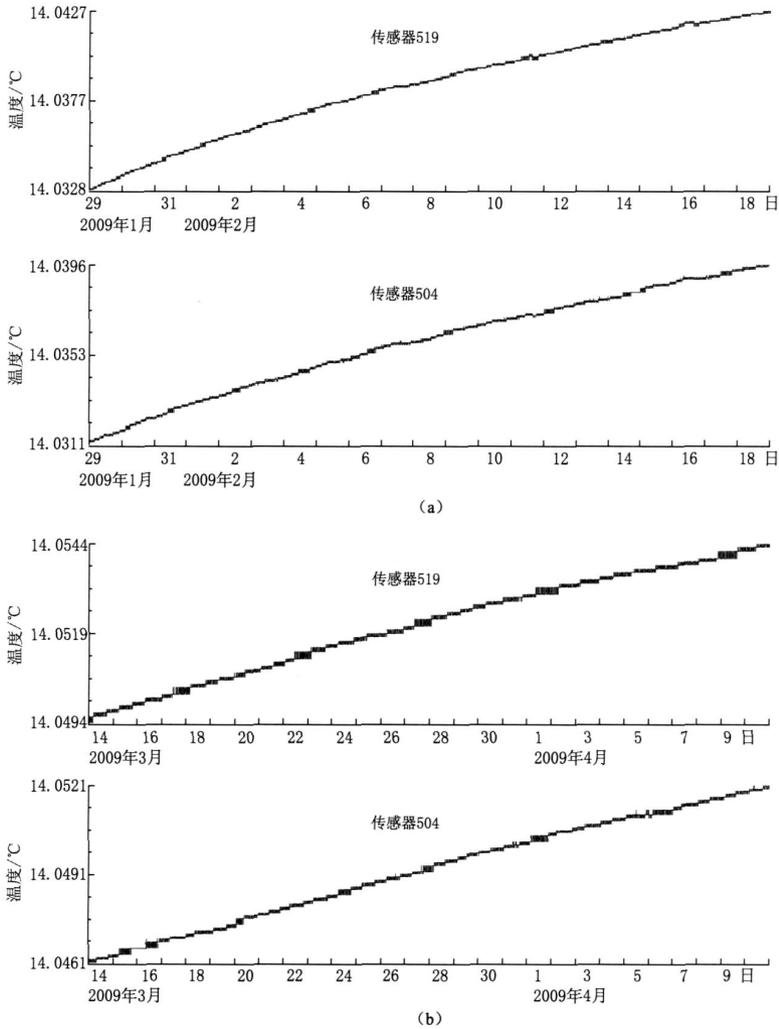


图 4 温泉台 2009 年 1 月 29 日—2 月 18 日(a)及 2009 年 3 月 14 日—4 月 10 日(b)的数据曲线

Fig. 4 Observations from 2009 01 29 to 2009 02 18 (a) and from 2009 03 14 to 2009 04 10 (b) at Wenquan station

31 天上上升了约 0.0062 °C; 传感器 519 号从 14.0500 °C 上升到 14.0550 °C, 31 天上上升了 0.0050 °C, 平均每天均上升 0.0002 °C.

从图 4 可得出结论: 两个传感器的趋势是温度向上升高, 在第一个时间段内均值上相差 0.0021 °C, 第二个时间段内均值上相差 0.0045 °C, 通过曲线平移两条曲线可以完全重合. 通过计算可以得到, 两个传感器之间的相关系数几乎接近于 1(在这两个时间段内分别为 0.9991 和 0.9988). 通过曲线平移, 可以将两条曲线完全重合, 说明两个传感器的产出资料具有很好的一致性. 在第一个时间段内, 观测部位温度处于平衡状态, 表现为两者绝对值上相差 0.0021 °C. 由于从 2009 年 2 月 20 日—3 月 13 日受到地下水的影响, 观测部位温度发生了变化. 当温度达到新的平衡时, 两者之间的差值变为了 0.0045 °C.

受到地下水活动的影响, 观测部位温度值从 2009 年 2 月 20 日—3 月 13 日出现明显的变化(图 5、表 1). 从图 5 中可以看出这个过程主要有 4 次较大的温度变化.

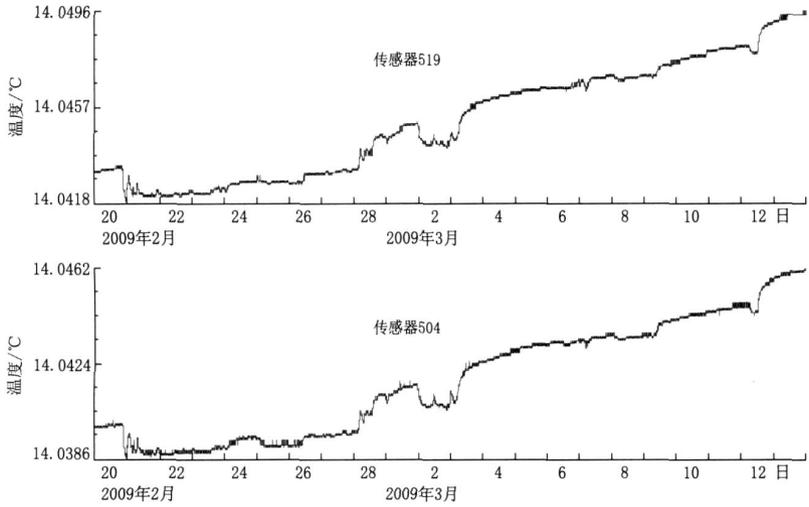


图5 温泉台 2009 年 2 月 20 日—2009 年 3 月 13 日数据曲线

Fig. 5 Observations from 2009-02-20 to 2009-03-13 at Wenquan station

表 1 温泉台 2009 年 2 月 20 日—2009 年 3 月 13 日温度值变化表

Table 1 Variation of temperature from 2009-02-20 to 2009-03-13 at Wenquan station

年·月·日	时间(BT) 时:分	传感器 504			传感器 519		
		温度值/°C	变化值/°C	变化趋势	温度值/°C	变化值/°C	变化趋势
2009-02-20	21:01	14.0399			14.0432		
	22:47	14.0387	0.0012	↓	14.0420	0.0012	↓
2009-02-21	01:14	14.0395	0.0008	↑	14.0427	0.0007	↑
	03:48	14.0388	0.0007	↓	14.0422	0.0005	↓
	04:41	14.0390	0.0002	↑	14.0423	0.0001	↑
	05:39	14.0388	0.0002	↓	14.0422	0.0001	↓
	07:52	14.0394	0.0006	↑	14.0425	0.0003	↑
	10:47	14.0388	0.0006	↓	14.0421	0.0004	↓
2009-02-28	02:42	14.0396			14.0431		
	05:09	14.0404	0.0008	↑	14.0439	0.0008	↑
	07:32	14.0400	0.0004	↓	14.0435	0.0004	↓
	08:16	14.0404	0.0004	↑	14.0439	0.0004	↑
	13:32	14.0403	0.0001	↓	14.0437	0.0002	↓
	18:34	14.0411	0.0008	↑	14.0445	0.0008	↑
2009-03-01	00:07	14.0411			14.0444		
	00:58	14.0409	0.0002	↓	14.0443	0.0001	↓
2009-03-01	23:28	14.0415			14.0450		
2009-03-02	07:44	14.0407	0.0008	↓	14.0441	0.0009	↓
	11:46	14.0412	-0.0005	↑	14.0446	-0.0005	↑
	14:34	14.0408	0.0004	↓	14.0442	0.0004	↓
	23:09	14.0407			14.0442		
2009-03-02	00:42	14.0413	0.0006	↑	14.0447	0.0005	↑
2009-03-03	03:11	14.0409	0.0004	↓	14.0443	0.0004	↓
	12:29	14.0422	0.0013	↑	14.0455	0.0012	↑
2009-03-12	06:14	14.0448			14.0481		
	09:39	14.0444	0.0004	↓	14.0478	0.0003	↓
2009-03-12	12:25	14.0444			14.0479		
	14:23	14.0453	0.0009	↑	14.0487	0.0008	↑

在 2009 年 20 日 21 时 01 分, 传感器 504 温度值 14.0399°C 快速下降到 22 时 47 分的 14.0387°C (降低了 0.0012°C), 期间振荡升降温恢复到 14.0388°C (21 日 10 时 47 分), 其后缓慢上升; 在 20 日 21 时 01 分, 传感器 519 温度值 14.0432°C 快速下降到 22 时 47 分的 14.0420°C (降低了 0.0012°C), 振荡恢复到 14.0421°C (21 日 10 时 47 分), 其后缓慢上升。在 2 月 28 日、3 月 3 日及 3 月 12 日还有 3 次较大的温度波动。

从这一变化过程可以看出, 观测部位下段的深层一小股热水上涌, 导致观测部位温度值上升, 两个传感器都监测到了这次地下水的活动过程, 两个传感器升降温是同步的, 观测层位的温度有 0.0004°C 的变化, 两套观测系统同时都能够记录到这样微弱的温度变化。

观测部位温度从 2009 年 5 月 27 日—5 月 30 日也有比较明显的变化, 如图 6 和表 2 所示。

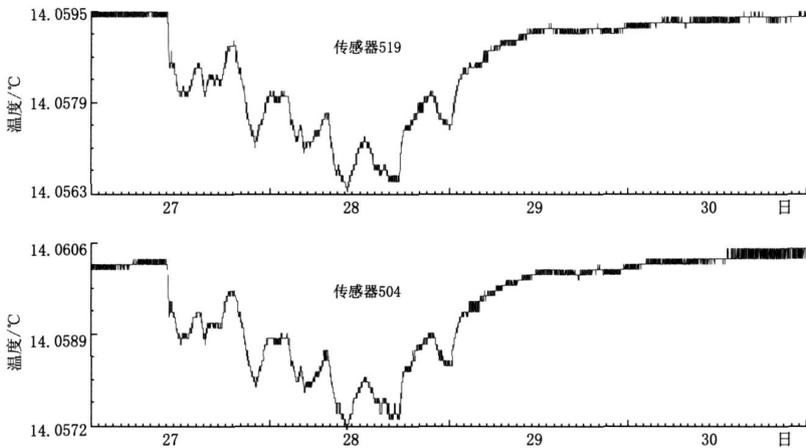


图 6 温泉台 2009 年 5 月 27 日—2009 年 5 月 30 日数据曲线

Fig. 6 Observations from 2009-05-27 to 2009-05-30 at Wenquan station

表 2 温泉台 2009 年 5 月 27 日—2009 年 5 月 30 日温度值变化表

Table 2 Temperature variation from 2009-05-27 to 2009-05-30 at Wenquan station

年·月·日	时间(BT) 时:分	传感器 504			传感器 519		
		温度值/ $^{\circ}\text{C}$	变化值/ $^{\circ}\text{C}$	变化趋势	温度值/ $^{\circ}\text{C}$	变化值/ $^{\circ}\text{C}$	变化趋势
2009-05-27	09:45	14.0604			14.0594		
	10:27	14.0595	0.0009	↓	14.0585	0.0009	↓
	10:40	14.0596	0.0001	↑	14.0586	0.0001	↑
	11:59	14.0588	0.0008	↓	14.0580	0.0006	↓
	14:19	14.0594	0.0006	↑	14.0586	0.0006	↑
	15:17	14.0589	0.0005	↓	14.0580	0.0006	↓
	18:47	14.0598	0.0009	↑	14.0589	0.0009	↑
	22:00	14.0580	0.0018	↓	14.0572	0.0017	↓
2009-05-28	00:14	14.0589	0.0009	↑	14.0580	0.0008	↑
	03:32	14.0581	0.0008	↓	14.0572	0.0008	↓
	04:04	14.0584	0.0003	↑	14.0575	0.0003	↑
	04:37	14.0579	0.0005	↓	14.0571	0.0004	↓
	07:28	14.0587	0.0008	↑	14.0577	0.0006	↑
	10:21	14.0572	0.0015	↓	14.0564	0.0013	↓
	12:37	14.0581	0.0009	↑	14.0573	0.0009	↑
	16:14	14.0574	0.0007	↓	14.0565	0.0008	↓
	21:38	14.0590	0.0016	↑	14.0580	0.0015	↑
	2009-05-29	00:10	14.0584	0.0006	↓	14.0575	0.0005
12:37		14.0602	0.0018	↑	14.0592	0.0017	↑

从图 6 可以看出这次地下水活动中观测部位温度变化的过程: 27 日 9 时 45 分, 传感器 504 从 14.0604°C 快速下降到 10 时 27 分的 14.0595°C (降低了 0.0009°C). 在地下水影响下 10 时 40 分上升到 14.0596°C (上升了 0.0001°C), 在 11 时 59 分又下降到 14.0588°C (下降了 0.0008°C). 其后观测部位温度又反复上升下降直到 29 日中午. 在这过程中温度下降上升幅度最大出现在 27 日 22 时 00 分和 29 日 12 时 37 分, 升温降温都达到了 0.0018°C .

在 27 日 09 时 45 分, 传感器 519 温度值从 14.0594°C 快速下降到 10 时 27 分的 14.0585°C (降低了 0.0009°C). 在地下水影响下 10 时 40 分上升到 14.0586°C (上升了 0.0001°C). 在 11 时 59 分又下降到 14.0580°C (下降了 0.0006°C). 其后观测部位温度又反复上升下降直到 29 日中午. 在这过程中温度下降上升幅度最大出现在 27 日 22 时 00 分和 29 日 12 时 37 分, 升温降温都达到了 0.0017°C .

从这一次地下水对观测温度的影响来看, 两个传感器记录到升降温变化是一致的, 这次变化完全展示了即使观测层位温度有 0.0001°C 的快速连续变化, 两套观测系统也同时都能够记录到这样微小的变化.

2.2.3 乌苏台观测数据分析

乌苏台在不同深度观测层位上, 记录到地下水对不同深度的两个传感器(681 和 694)的影响.

由于该井是温泉自流井, 传感器 681 在 700 m 深度的层位上进行观测(温度平均日均值 41.8625°C), 传感器 694 在 250 m 层位观测(温度平均日均值 40.5022°C), 两者之间的差值为 1.3603°C . 其最小差值出现在 1 月 2 日为 1.2599°C , 最大差值出现在 4 月 10 日为 1.4753°C . 从图 7 可以看出, 两个传感器的曲线形态还是比较一致的, 但是有些细节方面表现的不同(升温、降温的持续时间不同, 幅度不一致等).

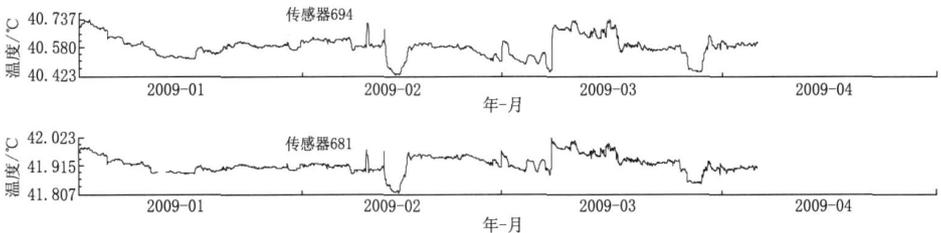


图 7 乌苏台 2009 年 1 月 1 日—2009 年 4 月 10 日分钟值数据曲线

Fig. 7 Observations from 2009-01-01 to 2009-04-10 at Wusu station

传感器 681 升温结束开始下降时, 传感器 694 升温还没有结束. 传感器 681 从 2 月 28 日 23 时 18 分(温度值 41.9070°C) 开始上升, 到 3 月 1 日 1 时 4 分温度到达最高 (41.9707°C , 升温 0.0637°C). 与此同时传感器 694 从 2 月 28 日 23 时 18 分(温度值 41.4960°C) 开始上升, 到 3 月 1 日 1 时 4 分温度还在上升 (40.5730°C , 升温 0.0770°C). 虽然升温幅度比传感器 681 大, 但是它升温过程还在继续, 直到 2 时 34 分才到达最高值 40.6069°C (升温 0.1109°C). 此时传感器 681 已经下降到 41.9619°C (降温 0.0088°C).

如果像乌苏井这样的台站出现异常时, 可以采用这样的方法进行对比观测, 即可以在 250—700 m 深度范围内安装一套设备, 这套仪器可放置在这段深度的任意一个层位, 不必进行同层对比观测, 其两套仪器记录的数据曲线的形态应该是一致的.

3 讨论与结论

本文进行了 3 个前兆台站的对比观测: 第一个是新疆乌苏井内的不同观测层位(250 m 和 700 m), 第二个是地下活动对温度正常观测影响较弱, 其背景温度变化很小的井孔(温泉台), 第三个是深井温度受地下水活动影响明显, 其动态部分主要受地下水活动控制的井孔(沙河台). 通过对 3 个不同类型井孔对比观测数据分析, 得到以下一些认识:

1) 温泉台和沙河台双传感器的温度总体变化趋势、变化形态甚至在细节方面都是一致的, 通过平移两条曲线基本重合, 同层观测的相关系数接近于 1, 在一个井孔同一深度用一套观测设备能得到可靠的温度观测资料.

2) 温泉台由于地下水活动对温泉井观测部位的温度影响小, 其温度值波动很小只有 $0.0003\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{天}$. 在这样的井孔进行观测, 即使观测层位的温度有 $0.0001\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的快速连续变化, 两套观测系统同时都能够记录到这样微小的变化.

3) 在温度大幅度变化过程中(沙河台), 温度变化的高频部分在细节上有微小差异, 但是总体变化形态是一致的, 这种微小差异不影响对资料的分析解释. 对于热水出水口到井口无复杂含水层或降雨影响, 在温泉自流井观测部位不同对观测影响不大(如乌苏井 250—700 m).

4) 通过这些对比试验, 记录资料是观测部位温度变化的真实反映, 它回答了过去在一些井孔记录的温度资料呈现升温或降温的问题, 这不是仪器自身的问题, 而是井孔本身的观测条件所引起的温度变化. 对于某些复杂井孔或者是对资料有疑问的情况下, 可以采用两套观测系统在同一深度进行对比观测, 这是解决数据可靠性的最有效方法.

参 考 文 献

- 付子忠. 1988. 地热动态观测与地震前兆[C] // 地壳构造与地壳应力文集. 北京: 地震出版社, (4): 85-92.
- 何案华, 郭柏林, 郭藐西. 2008. 串口前兆仪器的因特网接入方案与配套软件开发[J]. 地震研究, 31(3): 279-283.
- 王瑜青, 陈桂兰, 付子忠. 1994. 地热观测资料清理及映震能力分析[J]. 地震学报, 16(增刊): 148-152.
- 赵刚, 何案华, 王军. 2009. 地热正常动态特征的研究[J]. 地震, 29(3): 109-116.

作者简介



谢新生 中国地震局地壳应力研究所研究员。1975年武汉地质学院地质力学系地质力学专业毕业。曾从事地球动力学、构造物理学等研究工作，当前主要从事活断层方面的研究。现为**中国地震学会**会员。



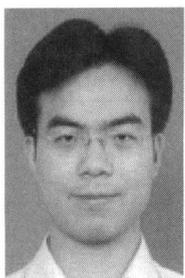
赵刚 中国地震局地壳应力研究所副研究员。2002年中国地震局地壳应力研究所固体地球物理专业毕业，获理学硕士学位。目前主要从事地震台站公用技术、地震前兆观测技术和观测方法等方面的研究。



李莹甄 新疆维吾尔自治区地震局预报中心副研究员。1990年新疆师范大学地理专业毕业，获理学学士学位。曾从事教师工作，当前从事地震活动性预测等方面的研究。现为**中国地震学会**会员。



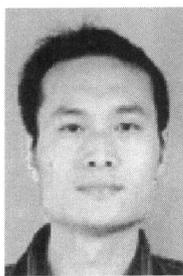
李强 地壳运动监测工程研究中心研究员。1980年中国科学技术大学毕业。主要从事地震台网数据处理方法与应用、地震层析成像理论与应用和水库诱发地震等方面的研究工作。现为**地震学会**会员。



王未来 中国地震局地球物理研究所研究实习生。2008年中国地震局地球物理研究所固体地球物理专业毕业，获理学硕士学位。一直从事接收函数及面波层析成像等方面的研究工作。现为**中国地震学会**会员。



覃锋 中国地震局工程力学研究所防灾减灾工程与工程防护专业在读硕士研究生。2008年三峡大学土木水电学院土木工程专业毕业，获工学学士学位。现从事地震工程与结构工程方面的研究工作。



王德才 合肥工业大学结构工程专业在读博士研究生。2007年合肥工业大学结构工程专业毕业，获工学硕士学位。目前主要从事地震动信号处理、工程结构动力分析及基于能量抗震分析方法的研究。



石春香 上海应用技术学院城市建设与安全工程学院副教授。2004年同济大学防灾减灾与防护工程专业毕业，获博士学位。主要从事土木工程结构损伤诊断与健康监测的研究工作。