

德令哈地震台水温对比观测分析^{*}

李国佑, 白占孝, 张 敏

(青海省地震局, 青海 西宁 810001)

摘要: 德令哈地震台水温仪自 2007 年 5 月运行以来, 出现很多呈“急升”型的变化形态, 为了判别水温变化是否为前兆异常, 2013 年 4 月 20 日在德令哈地震台水温井同一观测深度上安装了另外一套相同型号的水温仪进行对比观测。通过对产出的连续资料进行对比分析, 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, 是井下温度变化的真实反映。

关键词: 德令哈地震台; 水温仪; 对比观测; 相关系数

中图分类号: P315.63

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2014)增刊-0068-04

0 引言

地球内部存在两个最重要的作用因素: 力和热, 几乎地球内部所发生的一切作用都与这两个因素有关。地热前兆方法是通过研究地球热状态, 特别是地表层的热状态及其随时间的变化进行地震预报(中国地震局监测预报司, 2007)。用于地震监测预报和科学研究的地热前兆观测, 主要技术途径是精密的温度测量。温度是一个独立的物理量, 在深井中较容易实现精密温度测量。目前地热前兆观测主要通过深井水温观测和泉水温观测, 测量水平地热场随时间的变化, 但是深井温度变化非常微小, 深井温度的波动通常不大于 $0.0001\text{ }^{\circ}\text{C}$, 年漂移变化幅度远小于 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。因此, 地热观测仪器必须具备高灵敏度、高稳定性, 地热前兆观测仪器的温度分辨率应在 $0.0001\text{ }^{\circ}\text{C}$, 短期稳定性要达到 $0.0001\text{ }^{\circ}\text{C}$, 年稳定性应达到 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。20 世纪 80 年代, 随着我国高精度石英温度计的研制成功与推广应用, 利用观测深井水温来研究地下水微温度场变化的工作获得明显进展, 深井水温观测已经成为目前我国地震监测中的一个重要测项(邱永平, 2011)。实践表明, 在地震地下流体动态观测中, 水温对地震活动的响应非常敏感, 在地震预测研究中发挥了重要作用(国家地震局预测预防司, 1997; 顾申宜等, 2011)。

付子忠(1988)认为, 地热异常从理论上分

析主要由 3 个方面产生: 一是观测系统受到外界干扰, 如台站电源故障、仪器接地问题、仪器故障、仪器相互之间的干扰等; 二是观测场地环境受到干扰, 如抽水或排水、注水或蓄水、地表渗水等; 三是深部条件, 主要分为附加地热场条件和其它地球物理条件, 其中附加地热场也就是地热前兆异常。因此要从地热数据异常中提取地震前兆信息必先排除前两方面的干扰(赵刚等, 2009, 2011)。

观测场地环境的干扰从宏观上可以简单、直观地排除, 提取地热前兆异常的关键在于排除观测系统的干扰。实际情况中经常会遇到某个测项出现异常变化而其它测项无变化, 或者某一个台站记录到异常变化而相邻的台站没有记录到变化的情况, 又没有找到相对应的外界环境影响, 预报人员往往难以确定是前兆异常还是仪器发生故障。本文通过对德令哈地震台两套同井观测的水温仪的数据进行分析, 对地热前兆观测系统的可靠性、稳定性提出了合理的解决方案。

1 德令哈台观测环境及仪器基本情况

德令哈地震台位于海西蒙古族藏族自治州州府德令哈市东北郊, 柴达木盆地东北缘。所属山系为祁连山系的宗务隆山脉, 南跨柴达木盆地与布赫特山, 全区地势北高南低, 南部山脉呈东西走向, 北部山脉呈北西西走向, 全区山系均具有北坡缓南坡低的特点, 山间常发育小型盆地。宗

^{*} 收稿日期: 2014-08-30.

务隆山主体是东西走向的复杂剧烈挤压带，由东西走向的褶皱带和压性断裂构成。台站周围分布多条新生代活动断裂带，新构造活动迹象也十分明显，沿活动断裂带地震活动频繁，发生过多次中强地震，最大地震为 6.8 级（青海省地震局，2005）。

德令哈地震台水温观测井深 98 m，地下水类型为承压水，台址岩性为海西期花岗岩，井内有水，观测的是水温（何案华等，2012）。传感器于 2007 年 5 月 23 日安装，放置深度为 80 m，观测仪器为 SZW-1A 型数字式温度计，台站配置有 UPS 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。该仪器经过近 7 年的观测，已积累了大量、可靠的数据，在 2008 年 5 月 12 日汶川 $M_s8.0$ 和 2010 年 4 月 14 日玉树 $M_s7.1$ 两次地震前，均记录到了非常显著的水温异常，异常形态呈“急升”型（杨晓霞，屠泓为，2013）。2013 年 3 月 28 日到 4 月 4 日德令哈地区先后发生了多次 4 级左右有感地震，德令哈水温在 2013 年 3 月 18 日至 4 月 12 日期间也记录到明显的变化（图 1）。

为进一步确认异常变化的可靠性，2013 年 4 月 20 日青海省地震局在德令哈地震台水温井孔同一观测深度上安装了一套相同型号的温度观测系统进行对比观测研究。两套仪器均为 SZW-1A 型数字式温度计，其分辨率为 $0.0001\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，短期漂移小于 $0.0001\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{d}$ ，长期漂移小于 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{a}$ ，按照两套仪器的安装先后分别编号为 717、751。

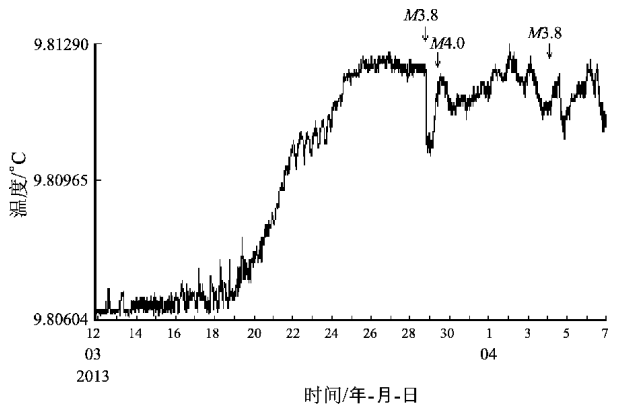


图 1 德令哈地震台 2013 年 3 月 12 日至 4 月 6 日水温曲线

Fig. 1 Water temperature curve recorded by Delingha Seismic Station from Mar. 12 to Apr. 6, 2013

2 对比观测数据分析

德令哈地震台水温自 2007 年 5 月 23 日观测以来，水温动态呈波动上升趋势（图 2），其上升速率较为稳定，短、长期动态特征分明，年变化幅度不超过 $0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。德令哈井由于受地下水活动影响较大，温度短期动态部分受地下水活动控制，温度值波动在 $0.003\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{d}$ ，其长期背景动态是升温波动型，短期正常动态背景特征是稳定型。

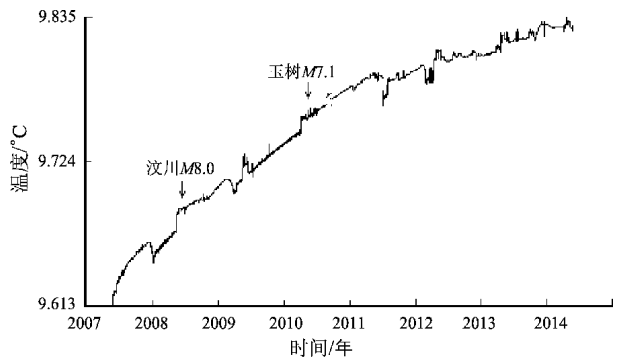


图 2 德令哈地震台 717 号水温仪记录曲线

Fig. 2 Water temperature curve recorded by the No. 717 water temperature instrument at Delingha Seismic Station

为了得到比较理想的对比观测结果，将两套传感器捆绑后放在井中同一深度，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。该台水温数据完整率较为理想，表 1 为两套仪器自 2013 年 4 月 21 日至 2014 年 5 月 25 日对比观测数据的连续率和完整率情况。笔者通过对比两套传感器的记录资料，重点分析他们的趋势变化是否一致，在受到地下水活动影响时是否同步，进而确认仪器观测的可靠性。

表 1 德令哈地震台两套 SZW-1A 水温仪观测数据的连续率和完整率对比

Tab. 1 Continuous and integrality rates comparison of observation data recorded by two sets of SZE-1A water temperature instruments at Delingha Seismic Station

仪器编号	数据对比时间/年-月-日	连续率	完整率
717	2013-04-21~2014-05-25	99.97%	99.86%
751	2013-04-21~2014-05-25	99.41%	99.31%

2.1 水温曲线变化对比

图3为2013年4月21日至2013年10月30日连续6个多月两套传感器记录的曲线图,从图中可以看出,德令哈地震台两个传感器数据曲线的总体变化趋势一致,变化形态甚至变化细节都非常一致。对两套仪器连续6个月记录的数据进行计算,传感器717号温度仪的均值是9.818 52,传感器751号温度仪的均值是9.727 032,两传感器记录数据的均值差为0.091 52。从均方差计算结果来看,差值的均方差为0.000 376,说明两个传感器记录的曲线形态是一致的,通过平移曲线可以将两条曲线完全重合,只是均值上相差0.091 52℃,该值在SZW-1A水温仪所要求的系统误差范围之内。

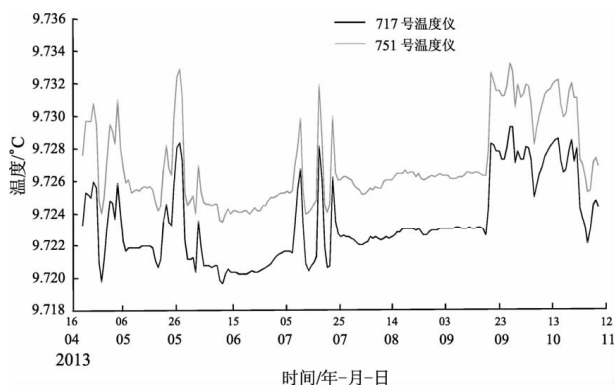


图3 两套传感器记录曲线

Fig. 3 Curves of the data recorded by two wets of sensor

2.2 相关性分析

相关性分析是指对两个或多个具备相关性的变量元素进行分析,从而衡量两个变量因素的相关密切程度,相关性的元素之间需要存在一定的联系或者概率才可以进行相关性分析。相关系数是描述两个测量值变量之间的离散程度的指标,用于判断两个测量值变量的变化是否相关,即一个变量的较大值是否和另一个变量的较大值相关联(正相关);或一个变量的较小值是否和另一个变量的较大值相关联(负相关)。

计算2013年4月21日至10月30日两套传感器记录的日均值相关系数得出,双传感器的相关系数为0.986 3,两组数据差值最大值为0.003 5,最小值为-0.002 9。两套传感器之间的相关系数很接近1,说明两个传感器记录的资料具有很好的一致性。

从上述分析可知,对同一井孔、同一观测深

度、同一观测时间,相同的两套温度计进行对比观测,完全可以保证地热前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。这一方法对分析研究地下水流体观测的可靠性、稳定性是十分重要的,特别有助于探讨前兆资料在地震预测中的应用保障,这样的观测实例结果对科学认识前兆数据意义重大。

3 结论

(1) 通过在德令哈地震台,水温井孔同一观测深度上安装两套相同型号的水温观测系统,并对记录数据进行对比观测得出,井孔记录的温度资料呈现升温或降温是观测部位温度变化的真实反映,由井孔本身的观测条件所引起的温度变化,不是仪器自身的问题,说明一直以来德令哈地震台“十五”架设的水温仪所产出的观测资料连续、准确、可靠。

(2) 当台站出现数据异常而又无法找到干扰源时,通过数字式温度计进行对比观测是必要的。德令哈地震台两套水温传感器的温度变化趋势总体一致,变化形态甚至在细节方面都是一致的,同层观测的相关系数接近于1,在同一个井孔深度用一套观测设备能得到可靠的温度观测资料。

参考文献:

- 付子忠. 1988. 地热动态观测与地震前兆[A]//地壳构造与地壳应力度文集[C]. 北京:地震出版社,85-92.
- 顾申宜,刘阳,张慧,等. 2011. 海南琼海加积井水温同震效应特征和机理初探[J]. 地震地磁观测与研究,32(3):114-120.
- 国家地震局预测预防司. 1997. 地下流体地震预报方法[M]. 北京:地震出版社,132-133.
- 何案华,赵刚,刘成龙,等. 2012. 青海玉树与德令哈地热观测井在汶川与玉树地震前的异常特征[J]. 地球物理学报,55(4):1262-1268.
- 青海省地震局. 2005. 青海省地震监测志[M]. 北京:地震出版社,50-160.
- 邱永平. 2011. 宁波地震台 ZK03 井水温平行观测资料的对比分析[J]. 中国地震,27(4):431-437.
- 杨晓霞,屠泓为. 2013. 德令哈井水温异常特征与地震的关系[J]. 高原地震,25(4):17-20.
- 赵刚,王军,何案华,等. 2009. 地热正常动态特征的研究[J]. 地震,29(3):109-116.
- 赵刚,王军,何案华,等. 2011. 不同动态背景的地热对比观测研究[J]. 地震学报,33(1):51-61.
- 中国地震局监测预报司. 2007. 地震地下流体理论基础与观测技术(试用本)[M]. 北京:地震出版社,10-112.

Analyzing on Comparison Observation of Water Temperature at Delingha Seismic Station

LI Guo-you, BAI Zhan-xiao, ZHANG Min

(*Earthquake Administration of Qinghai Province, Xining 810001, Qinghai, China*)

Abstract

The curve of water temperature had the variation form of a sharp rise recorded by Delingha Seismic station since the hydrothermograph was running since Apr. , 2007. To determine whether the water temperature changes are precursory anomalies, another instrument of the same type of hydrothermograph was installed on Apr. 20, 2013 at the same observation depth at Delingha Seismic Station. By analyzing the continuous data recorded by these two sets, we discovered that the observation data was true and reliable, and the trends of temperature variation characteristics had the same step of these two sets, which reflected the real water temperature underground.

Key words: Delingha Seismic Station; hydrothermograph; comparative observation; coefficient correlation