

邱永平,2018,高精度温度计在水温观测中的仪器稳定性分析,中国地震,34(4),828~836.

# 高精度温度计在水温观测中的仪器稳定性分析

邱永平

浙江省地震局宁波地震台,浙江省宁波市庄桥街道灵山村 315029

**摘要** 利用宁波地震台水温 10 年来的单测项、6 年来的同层比测资料,对高精度温度计的仪器短期和长期稳定性进行分析对比。研究发现仪器长期存在漂移现象,漂移量的大小与每套仪器的系统特性有关,但随着观测时间的延续,漂移量逐渐减少,认为该现象对地震前兆观测影响不大;短期稳定性存在不明原因的阶跃和脉冲现象,但次数不多,幅度不大,如果不是并行观测,较难判别。因此,在资料分析时要考虑仪器的这些问题。有时仪器短期非常稳定,数天至 20 天整点值为同一测值。

**关键词:** 高精度温度计 水温观测 仪器短期和长期稳定性 宁波地震台

[文章编号] 1001-4683(2018)04-0828-09 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

地震科学是观测科学,没有合格的观测资料,规律是难以揭示的。要取得合格的观测资料,关键在于观测仪器的稳定性和观测数据的可靠性与真实性。

地下流体动态的观测与研究是地震科学探索的重要组成部分。作为地下流体主要测项之一的水温观测,自 20 世纪 80 年代开始就实现了观测技术的高精度和数字化,并希望通过地下中、浅层地温和深井、泉水水温变化的观测与分析,探讨在构造应力作用下热物质运移、介质能量转化和水动力条件改变等引起的地壳介质温度变化过程(刘耀炜等,2006)。30 多年来的观测实践与研究表明,高精度水温观测能够获得地球动力作用信息,如能记录到水温固体潮、水温地震前兆异常、水温同震响应等丰富的微动态现象(付子忠,1990;车用太等,2008;邱永平等,2009;马玉川,2010)。然而,随着观测时间的推移,同时也暴露出观测仪器性能不够稳定等问题,由于缺少有效的长期平行检测系统,尚不能给出有关仪器稳定性的科学评定结果,只能从观测数据及其年变化动态方面作间接的分析,目前使用的仪器的长期稳定性与短期稳定性均存在一些问题(车用太等,2013)。

我国地下流体水温测项发展很快,到 2015 年时有 321 口观测井(泉)参加了全国水温观测资料质量评比,业已成为全国地震流体监测台网的第 1 大测项<sup>①</sup>,观测仪器以中国地震局地壳应力研究所研制的 SZW 系列石英温度计为主,仪器分辨率达 0.0001℃。因目前国内外

[收稿日期] 2017-07-06; [修定日期] 2018-11-17

[项目类别] 中国地震局地震前兆台网数字化改造项目(95-01-02)和浙江省地震局“十五”改造项目共同资助

[作者简介] 邱永平,男,1959 年生,高级工程师,主要从事地震监测工作。E-mail: zjnbdt@163.com

<sup>①</sup> 流体学科技术管理组,2016,2015 年度地下流体学科观测资料质量全国统评工作会议纪要,地下流体学科工作简报,(1)

计量部门在技术上还无法对  $0.0001^{\circ}\text{C}$  精度进行标定或检测,故此,高精度温度计的仪器稳定性尚缺少一个客观的评价方法。

浙江宁波地震台分别于 2000 和 2010 年在 ZK03 井内安装了 SZW-1A 型数字式水温观测石英温度计进行同层水温平行观测。赵刚等(2009)在研究地热(水温)正常动态特征分类时,认为宁波台水温变化是典型的稳定型短期正常动态类型。本文利用该台 10 年来的单测项、6 年来的同层比测资料,对仪器的短期和长期稳定性进行分析对比,得到的结果可为仪器生产者和进行数据分析的地震活动预测人员提供参考。

## 1 观测井及仪器

### 1.1 观测井

宁波地震台地处我国东南沿海的杭州湾南岸的宁波向斜盆地北西翼边缘带上,距东海岸约 16km( $29.98^{\circ}\text{N}$ 、 $121.52^{\circ}\text{E}$ ,海拔标高 20m),是国家基本台。ZK03 井位于台站院内,1979 年 4 月成井,井深 83.06m, $\Phi 168\text{mm}$  套管下至地表下 9.8m 处(第四系覆盖物厚为 6.7m), $\Phi 146\text{mm}$  套管下至地表下 75m 处,并对  $\Phi 168\text{mm}$  套管外用水泥固井止水。据钻孔揭示,井孔岩性为下白垩系紫灰色凝灰岩,在地表下 16.5~25.0、44.5~48.5m 处裂隙发育,岩石相对破碎,为主要含水层,属基岩裂隙水。井水水质属于低矿化度  $\text{HCO}_3\text{-Ca}$  型水,2016 年日平均自流量小于 1t。

### 1.2 观测仪器

2000 年 12 月 21 日在 ZK03 井内安装了 SZW-1A 型数字式水温观测石英温度计(简称“九五”水温仪),该仪器由主机和传感器 2 部分组成,由 200m(标准长度)电缆线连接。传感器放置在距井口 78.2m 深处。主机安装在与井口相距小于 10m 的标准计算机房内,信号电缆线用 PVC 套管埋入地下引进室内,井孔之上是半地下室井房。

该仪器的主要技术指标为:仪器分辨率为  $0.0001^{\circ}\text{C}$ ,绝对精度  $0.05^{\circ}\text{C}$ ,短期稳定性  $0.0001^{\circ}\text{C}/\text{日}$ ,长期稳定性优于  $0.01^{\circ}\text{C}/\text{年}$ ,量程  $0\sim 100^{\circ}\text{C}$ (中国地震局,2001)。

2010 年 4 月 2 日在同一井孔内相同深度又安装一套水温观测仪器,型号为 SZW-1A(V2004)(简称“十五”水温仪),由同一厂商提供,精度等主要技术指标完全相同。2 套仪器的传感器放置深度误差  $\leq 200\text{mm}$ ,所在位置孔径为  $\Phi 130\text{mm}$ ,据钻孔揭示,岩石完整,裂隙不发育;传感器直径为 30mm,长度 540mm,即 2 个传感器水平距离小于 70mm。2 套仪器由一个交流供电系统供电,使用同一套防雷接地系统,并各自接备用直流电瓶。

## 2 仪器短期和长期稳定性分析

### 2.1 “九五”水温仪的长期稳定性分析

图 1 为 2001 年 1 月~2016 年 12 月 ZK03 井“九五”水温仪水温月均值动态变化。从图 1 中可清楚地看出,测值长期处于上升状态,由  $19.9720^{\circ}\text{C}$  上升到  $20.1577^{\circ}\text{C}$ ,16 年间上升了  $0.1857^{\circ}\text{C}$ ,上升速率约为年均  $0.0116^{\circ}\text{C}$ ,大于  $0.01^{\circ}\text{C}/\text{年}$  的长期稳定性指标。根据邱永平(2011)的研究,这种长趋势上升现象是仪器漂移的结果,即仪器长期稳定性存在漂移现象。

图 2 为 2001~2016 年 ZK03 井“九五”水温仪年漂移量动态变化。图 2 中显示,随着观测时间的延续,仪器漂移量逐渐减少,其中的起伏与测值异常和仪器的短期稳定性及更换主

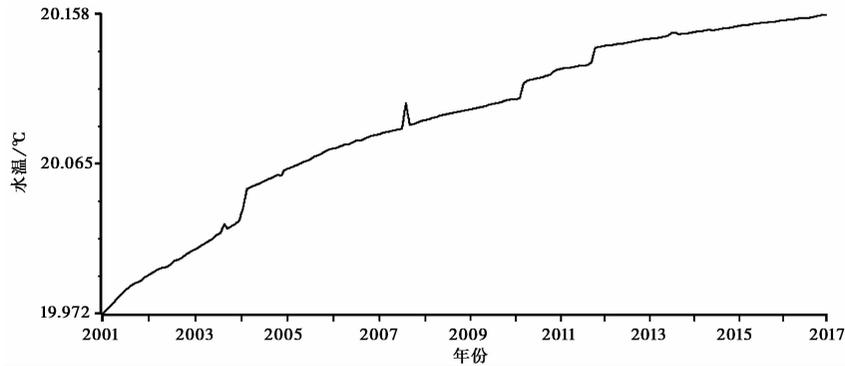


图 1 2001 年 1 月~2016 年 12 月 ZK03 井“九五”水温仪水温月均值动态变化

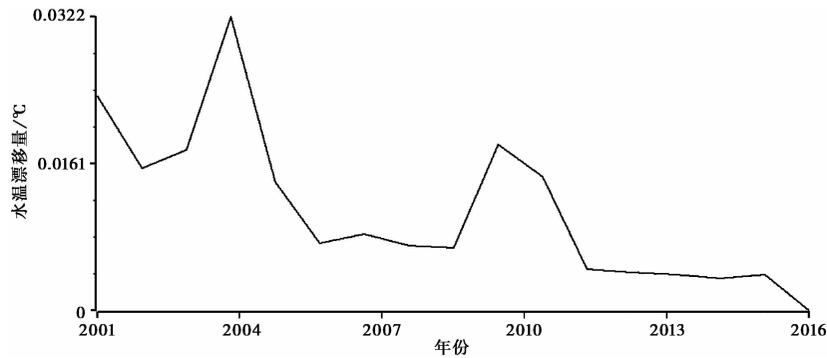


图 2 2001~2016 年 ZK03 井“九五”水温仪年漂移量动态变化

机、做同层平行观测干扰(邱永平,2016)等相关。表 1 为 2001~2016 年 ZK03 井“九五”水温仪年漂移量值。表 1 中数据表明,2012 年后,年漂移量小于仪器的长期稳定性指标,仪器处于长期稳定性状态。

表 1 2001~2016 年 ZK03 井“九五”水温仪年漂移量

年份	1 月 1 日 0 时测值/°C	12 月 31 日 23 时测值/°C	年漂移量/°C
2001	19.9718	19.9953	0.0235
2002	19.9953	20.0109	0.0156
2003	20.0110	20.0286	0.0176
2004	20.0286	20.0608	0.0322
2005	20.0609	20.0750	0.0141
2006	20.0750	20.0824	0.0074
2007	20.0825	20.0909	0.0084
2008	20.0910	20.0981	0.0071
2009	20.0981	20.1050	0.0069
2010	20.1050	20.1232	0.0182
2011	20.1232	20.1379	0.0147
2012	20.1380	20.1425	0.0045
2013	20.1425	20.1467	0.0042
2014	20.1467	20.1506	0.0039
2015	20.1506	20.1541	0.0035
2016	20.1541	20.1580	0.0039

### 2.2 “九五”“十五”水温仪的长期稳定性对比

图 3 给出了 2011 年 1 月~2016 年 12 月 ZK03 井“九五”“十五”水温仪水温月均值动态变化。从图 3 中可见,测值都处于上升状态,但上升速率有明显差异,如果不考虑“九五”水温仪 2011 年 10 月 29 日更换了主机对测值的影响,测值的上升速率“九五”水温仪还是大于“十五”水温仪。说明“十五”水温仪长期稳定性明显优于“九五”水温仪。

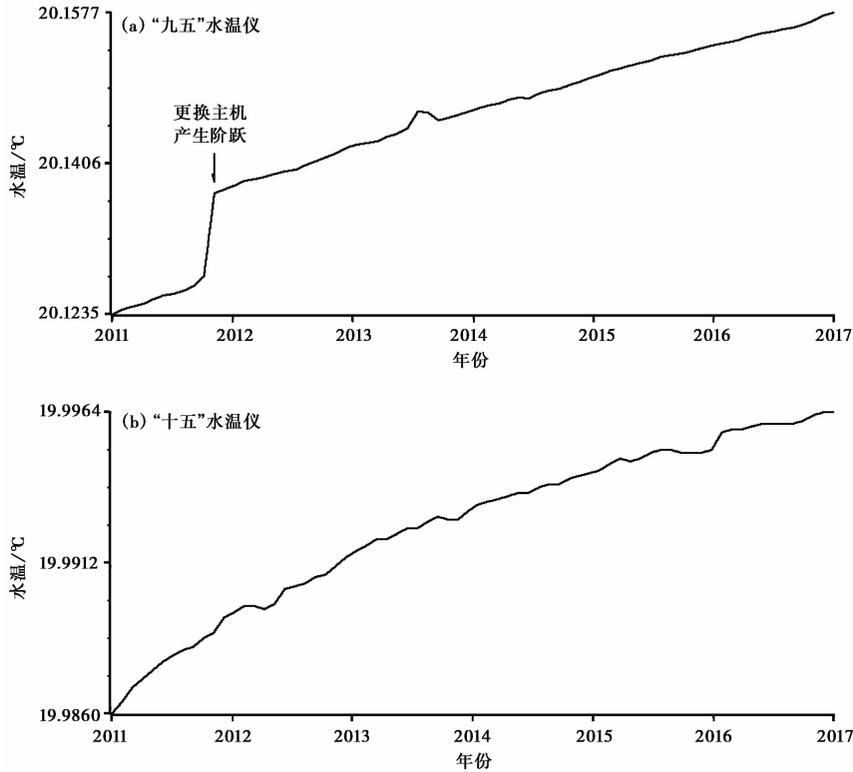


图 3 2011 年 1 月~2016 年 12 月 ZK03 井“九五”“十五”水温仪水温月均值动态变化

表 2 给出了 2011~2016 年 ZK03 井“十五”水温仪年漂移量值,图 4 给出了 2011 年 1 月~2016 年 12 月 ZK03 井“九五”“十五”水温仪年漂移量动态变化。从图 4 可对比发现,6 年来“十五”水温仪的最大年漂移量值与“九五”水温仪的最小年漂移量值基本相同,说明每套仪器年漂移量值的大小是由各自的系统特性来决定,但随着观测时间的延续,仪器漂移量逐渐

表 2 2011~2016 年 ZK03 井“十五”水温仪年漂移量

年份	1 月 1 日 0 时测值/°C	12 月 31 日 23 时测值/°C	年漂移量/°C
2011	19.9858	19.9894	0.0036
2012	19.9893	19.9915	0.0022
2013	19.9915	19.9931	0.0016
2014	19.9931	19.9944	0.0013
2015	19.9944	19.9951	0.0007
2016	19.9951	19.9965	0.0014

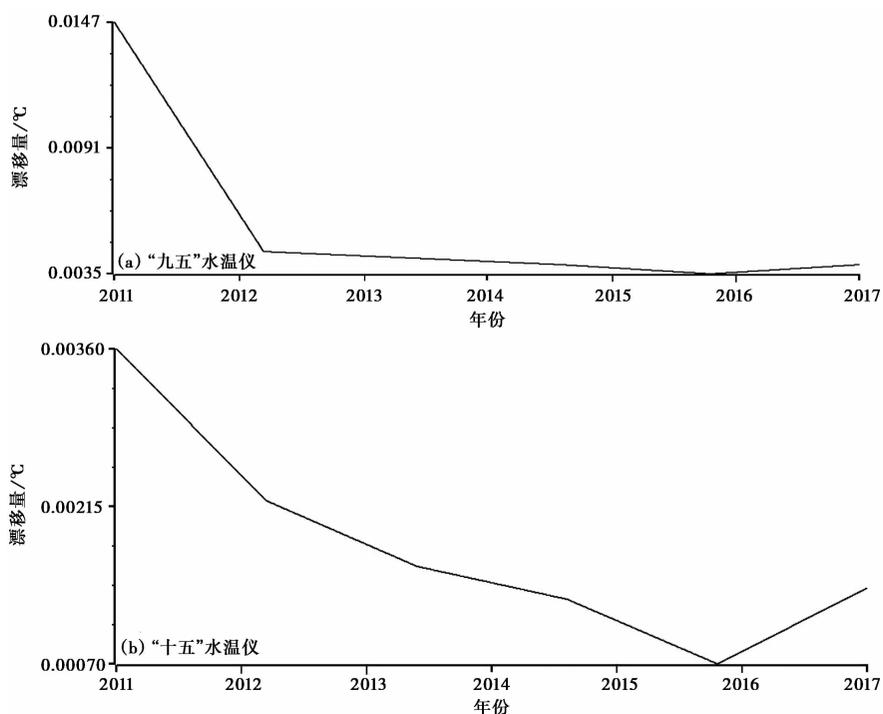


图 4 2011~2016 年 ZK03 井“九五”“十五”水温仪年漂移量动态变化

减少,这个系统特性是一致的。

### 2.3 “九五”“十五”水温仪短期稳定性分析

图 5 给出了 2011 年 11 月 1~30 日 ZK03 井“九五”“十五”水温仪水温整点值动态变化。由图 5 可见,5 日 15 时~25 日 16 时,“十五”水温仪水温整点测值为同一数据;9 日 13 时~14 日 2 时、16 日 1 时~22 日 4 时,“九五”水温仪水温整点测值也为同一数据。经查检,仪器工作状态正常,2 套仪器平行观测结果出现同步稳定现象,说明观测数据为一定值非仪器原因,而是观测井内水的温度极端平稳所致,同时说明该系列仪器完全可以做到在分辨率等于或高于 0.0001°C 状态下稳定观测。

图 6 展示了 2016 年 1 月 1~5 日 ZK03 井“九五”“十五”水温仪水温分钟值动态变化对比。从图 6 中可看出,“九五”水温仪水温测值在这 5 天时间内只有 0.0002°C 波动;而“十五”水温仪在 4 日有 0.0006°C 的明显阶跃波动现象,说明这个阶跃不是井水温度异常变化结果,而是由仪器的短期稳定性主导的。

图 7 是 2016 年 11 月 25~30 日 ZK03 井“九五”“十五”水温仪水温分钟值动态变化。图 7 中显示,2 套仪器测值正常波动都在 0.0002°C,“九五”水温仪在 27 日有一 0.0005°C 的脉冲式波动,恢复很快;“十五”水温仪在 26 日也有一 0.0005°C 脉冲式波动现象,数小时后才恢复。所以 2 套仪器脉冲式波动在时间、形态上不完全相同,这同样说明这种脉冲现象是仪器的短期稳定性所致。

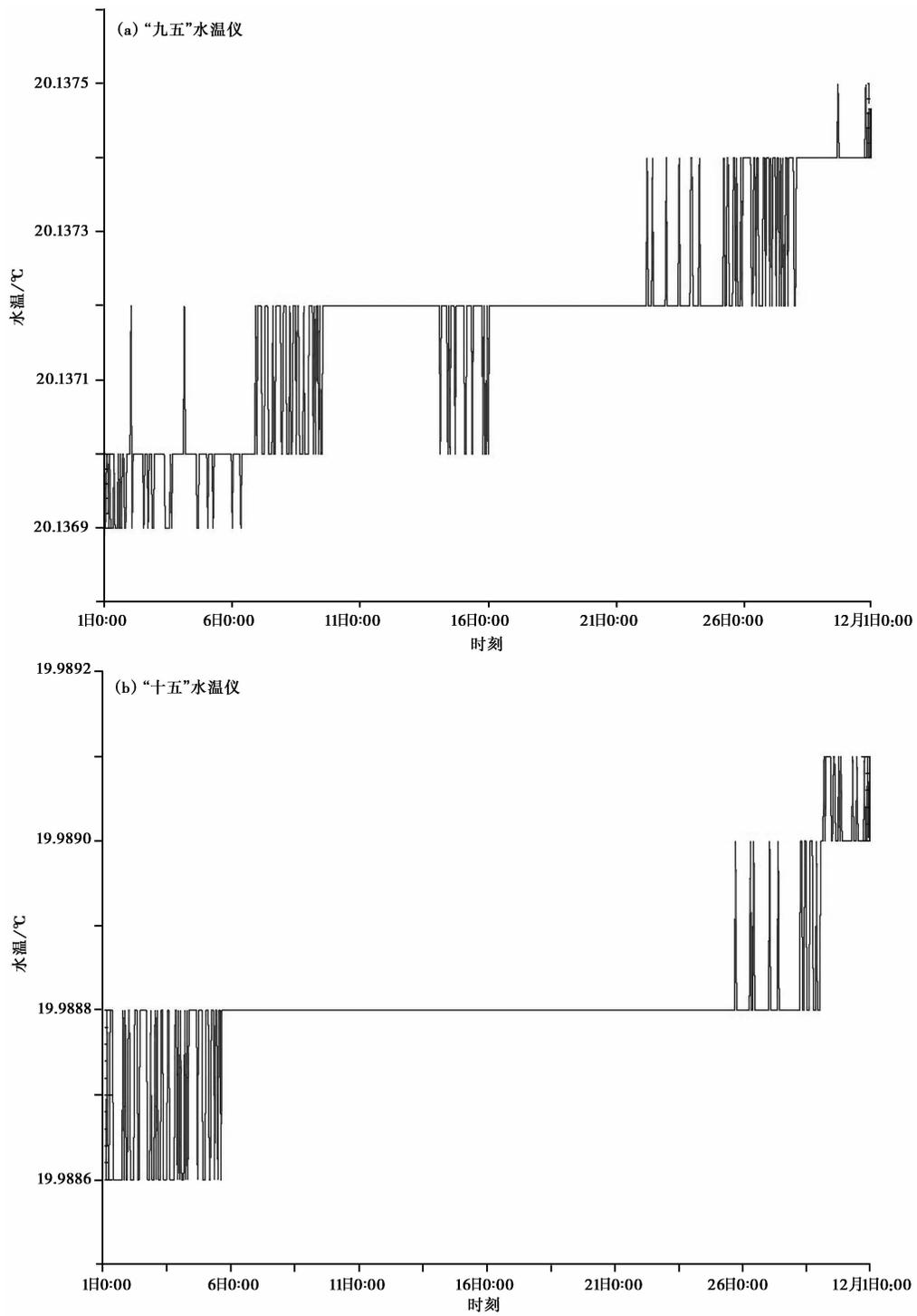


图 5 2011 年 11 月 1~30 日 ZK03 井“九五”“十五”水温仪水温整点值动态变化

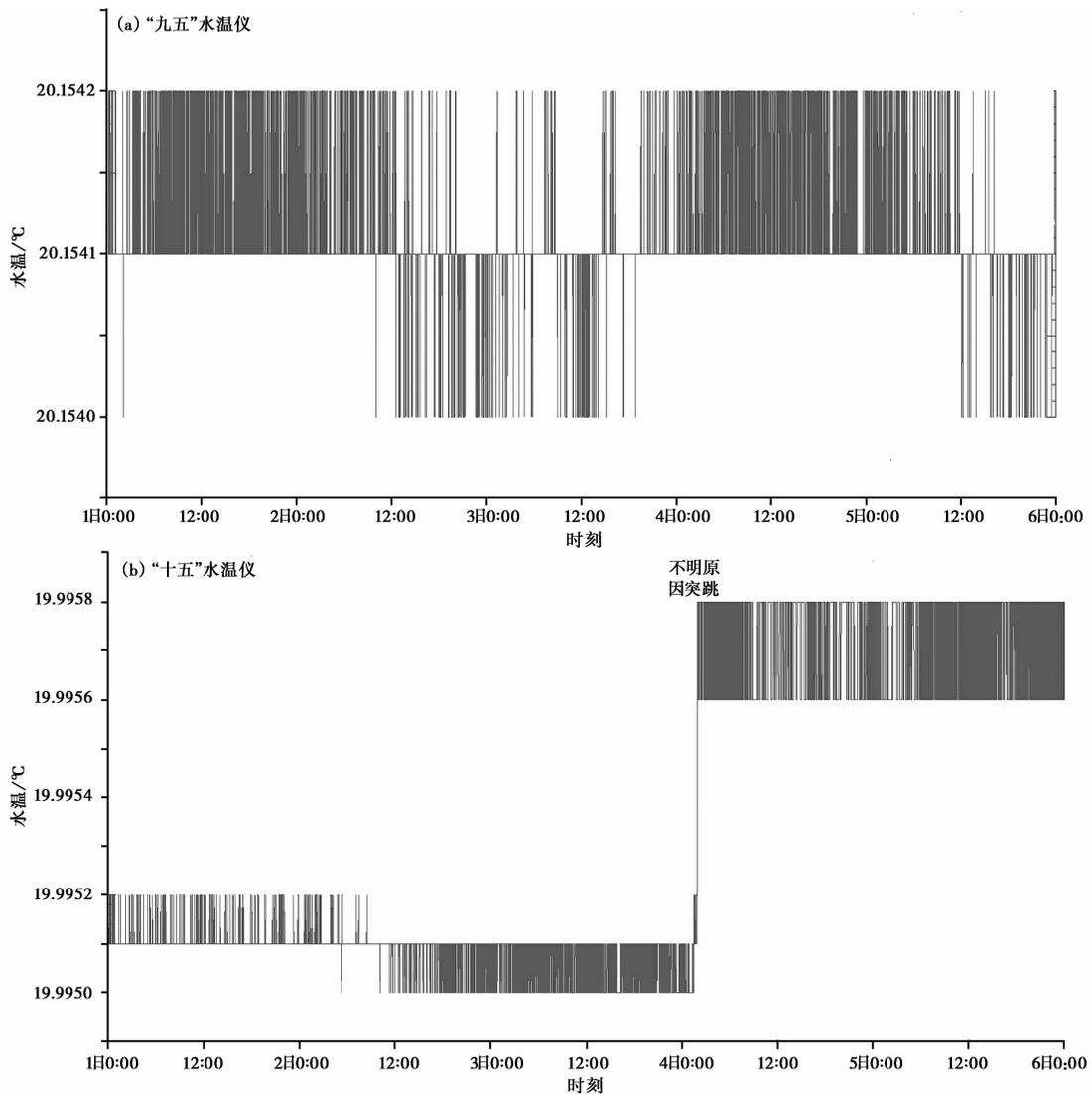


图6 2016年1月1~5日ZK03井“九五”“十五”水温仪水温分钟值动态变化

### 3 结论与讨论

综合前文分析可得到以下认识:

(1) 宁波台 ZK03 井水温长期观测实践说明,目前使用的 SZW 系列石英温度计仪器存在年漂移现象,但随着观测时间的延续,仪器漂移量会逐渐减少,能够达到年漂移量小于生产厂商给出的仪器长期稳定性指标,故可认为对地震前兆观测影响不大;短期稳定性方面存在不明原因的阶跃和脉冲现象,但次数不多,幅度不大,如果不是并行观测,较难判别。因此,在对观测资料进行提取、分析时要考虑仪器的这些因素。同时建议仪器生产者能在短期稳定性方面作进一步完善,特别是要提高对供电系统的抗干扰能力。

(2) 在观测仪器工作正常、观测井内水的温度极端平稳时,该仪器的短期稳定性可以在

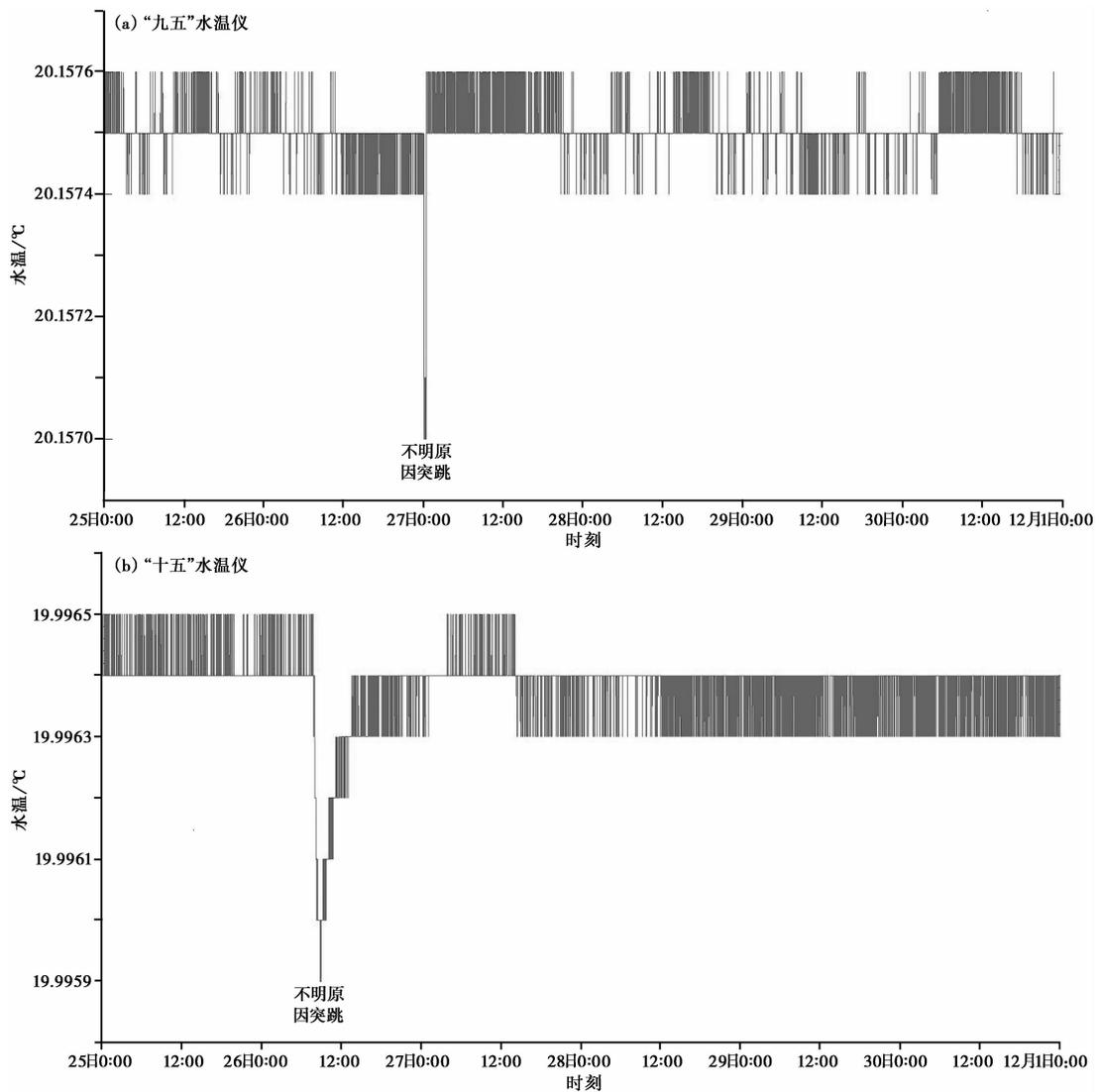


图7 2016年11月25~30日ZK03井“九五”“十五”水温仪水温分钟值动态变化

0.0001℃分辨率上整点值连续数天至20天保持不变。由此,建议生产者研制0.00001℃分辨率的水温观测仪器,在部分水温非常稳定的观测井中进行超高精度水温观测实验,以获取地球动力作用下地壳介质温度的极微变化过程,使水温测项在地震中长期、特别是短临监测及预测以及地震机制研究中发挥更大价值。

参考文献

车用太、刘成龙、鱼金子,2008,井水温度微动态及其形成机制,地震,28(4),30~38.  
 车用太、鱼金子,2013,井水温度观测中有待解决的若干基本问题,中国地震,29(3),306~315.  
 付子忠,1990,澜沧-耿马7.6级地震的地热前兆异常,见:国家地震局地壳应力研究所,地壳构造与地壳应力文集(4),北京:地震出版社.

- 刘耀炜、陈华静、车用太,2006,我国地震地下流体观测研究 40 年发展与展望,国际地震动态,(7),3~12.
- 马玉川,2010,井水温度潮汐效应及其应变响应能力研究,硕士学位论文,北京:中国地震局地壳应力研究所.
- 邱永平,2011,宁波地震台 ZK03 井水温平行观测资料的对比分析,中国地震,27(4),431~437.
- 邱永平,2016,高精度温度计在同层水温平行观测中的互相干扰现象,中国地震,32(1),151~156.
- 邱永平、杨钢宇,2009,浙江地下流体在汶川 8.0 级地震中的映震效应研究,地震地磁观测与研究,30(5),107~112.
- 赵刚、王军、何案华等,2009,地热正常动态特征的研究,地震,29(3),109~116.
- 中国地震局,2001,地震及前兆数字观测技术规范——地下流体观测,51~56,北京:地震出版社.

## Stability Analysis of High Precision Thermometer in Water Temperature Observation

*Qiu Yongping*

Ningbo Seismic Station, Zhejiang Earthquake Agency, Ningbo 315029, Zhejiang, China

**Abstract** Based on the 10 year single observation item Ningbo seismic station water temperature and the 6 year same level comparing test data, we compared and analyzed the short-term and long-term instrumental stability of the high precision thermometer. It is found that the instrument has long drift phenomenon, and each instrument drift amount is linked to the instrument characteristics, but with the continuation of observation time, drift amount gradually reduces and the phenomenon has little influence on the seismic precursory observation. Unknown steps and pulse phenomena exist in the short term stability, but the frequency and the amplitude are not large, and are difficult to determine if not in parallel observation. Therefore, these problems should be taken into account in the instrument data analysis. Sometimes short-term instruments are very stable, the whole point will remain at the same value for several days or even 20 days.

**Key words:** High precision thermometer; Water temperature observation instrument; Short- and long-term stability; Ningbo seismic station