

罗玉芬,王建格,陆镜辉.肇庆地磁台基线值观测精度分析[J].华南地震,2021,41(3):148-154.[LUO Yufen, WANG Jiange, LU Jinghui[J]. South China journal of seismology, 2021, 41(3): 148-154]

## 肇庆地磁台基线值观测精度分析

罗玉芬, 王建格, 陆镜辉

(广东省地震局, 广州 510070)

**摘要:** 对肇庆地磁台2019年MAG-01H(010B)型及TDJ2(E)型两套磁通门经纬仪产生的基线值观测数据,进行了定量分析。结果显示:两套仪器观测的基线值系统误差小,观测精度高,具有同等观测精度和一致的变化趋势;TDJ2(E)观测的 $H$ 分量基线值受温度影响比MAG-01H(010B)的大;FGM 01型磁通门磁力仪 $Z$ 分量传感器受温度影响较大, $H$ 分量受温度影响较小, $D$ 分量基本上不受温度的影响。

**关键词:** 地磁台; 基线值; 观测精度

中图分类号: P318.6

文献标识码: A

文章编号: 1001-8662(2021)03-0148-07

DOI: 10.13512/j.hndz.2021.03.20

## Accuracy Analysis of Baseline Value Observation at Zhaoqing Geomagnetic Station

LUO Yufen, WANG Jiange, LU Jinghui

(Guangdong Earthquake Agency, Guangdong 510320, China)

**Abstract:** The paper quantitatively analyzes the baseline value observation data produced by the two sets of fluxgate theodolites MAG-01H (010B) and TDJ2 (E) at Zhaoqing Geomagnetic Station in 2019. The results show that the baseline values observed by the two sets of instruments have small systematic errors, high observation accuracy, and the same observation accuracy and consistent change trend; the baseline value of  $H$  component observed by TDJ2 (E) is more affected by temperature than that of MAG-01H (010B); the  $Z$  component sensor of FGM 01 fluxgate magnetometer is more affected by temperature,  $H$  component is less affected by temperature, and  $D$  component basically not affected by temperature.

**Keywords:** Geomagnetic station; Baseline value; Observation precision

### 0 引言

肇庆地磁台是国家基准地磁台之一,对于一

个合格的国家基准地磁台必须标配两套D、I、F组合观测仪进行绝对观测,绝对观测是为了确定基线值。通过基线值可以监视包括绝对观测和

收稿日期: 2021-03-21

基金项目: 广东省级科技计划项目“广东沿海地震海啸危险区评价系统建设”(2019B020208014)

作者简介: 罗玉芬(1972-),女,工程师,主要从事地震观测工作

E-mail: 563156159@qq.com

相对记录在内的整个地磁观测系统的工作状态,并能借助于基线值求得相对记录仪记录到的任意时刻的地磁场绝对值,取得最终的地磁观测结果<sup>[1]</sup>。因此基线值是绝对观测仪和相对记录仪工作状态的综合反映,它是检验地磁资料内在质量的主要标准之一<sup>[2]</sup>。基线值的观测精度也最终决定了地磁台站观测数据产出的准确和可靠程度。同时配备两套绝对观测仪进行观测,既起到了互相监督的作用,又补充了各自的不足,保证了观测资料的连续和稳定<sup>[3]</sup>。本文对肇庆地磁台两套绝对观测仪 MAG-01H(010B)型及 TDJ2(E)型磁通门经纬仪产出的观测数据进行定量分析,评估2019年肇庆地磁台基

线值的观测精度和观测数据的内在质量。

## 1 台站概况

肇庆地磁台是中国地震局地磁观测台网的重要台站(见图1),其前身为广州地磁台,自1994年起,广州地磁台因受广州地铁和华南快速干线等市政建设的影响,地磁观测环境受到严重的干扰。1996年开始地磁台新址的勘选工作,1998年完成基建设计,1999年开始土建工程,2001年11月底完成基本建设,2001年12月18日开始数字化地磁观测,是中国地震局地磁观测台网中较早实现高标准数字化观测的地磁台。

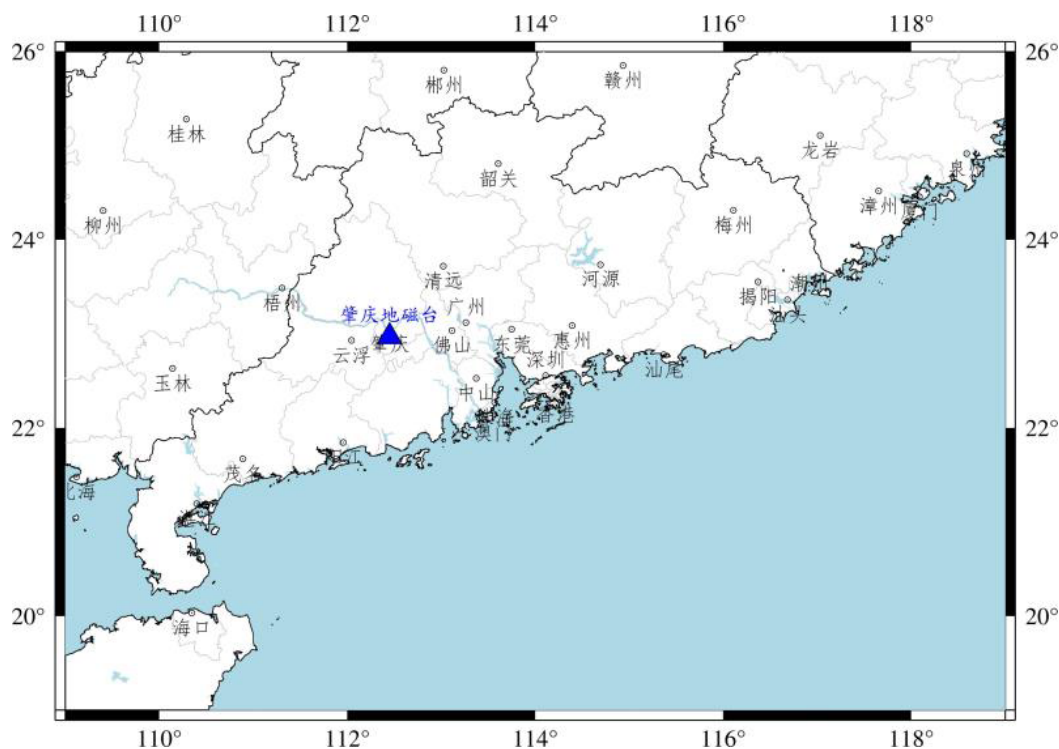


图1 肇庆地磁台地理位置图

Fig.1 Geographic location map of Zhaoqing Geomagnetic Station

肇庆地磁台所处大地构造部位为NE-SW向吴川—四会断裂带的南东侧。在台址的南侧分布有上第三系砂砾岩和大规模的奥陶系石英砂岩。台址基岩岩性为下侏罗—上三迭统褐红色、褐黄色砂砾岩,风化层较厚。台站勘选时地磁场总强度的水平梯度均小于1 nT/m,台站基本建设完成后,复测台址内地磁场总强度的水平梯度仍小于1 nT/m<sup>[4]</sup>。

肇庆地磁台的观测环境良好,地磁观测项目齐全,仪器设备先进,是国家基准地磁台和国际实时地磁观测台网(INTERMAGNET)的成员台,是国内

地磁观测条件和数据质量最好的地磁台之一。肇庆地磁台对本地区的地磁场进行观测,为国内地震预报、地磁及空间物理科学研究等领域提供连续、准确、及时的观测数据<sup>[4]</sup>。

## 2 观测系统构成

国家基准地磁台站观测系统通常分为绝对观测和相对记录两大部分。绝对观测是对地磁场要素绝对值的测量,观测的数值代表了被测要素真实的大小和方向。相对记录是对被测地磁场要素相对于某

一基值变化量的连续测量,此基值称为基线值,基线值不是一个常数,随时间在不断变化<sup>[5]</sup>。肇庆地磁台的相对记录仪能长期连续地记录地磁场的磁偏角 $D$ 、水平强度 $H$ 、垂直强度 $Z$ 相对变化的分钟值和秒数据,同时还可记录磁场总强度 $F$ 和温度 $T$ 的分钟值。通过每周两次对地磁场 $D$ 、 $I$ 、 $F$ 三个独立要素的高精度的绝对测量来定期测定相对记录仪器的基线值,最终将相对记录仪记录的地磁场相对变化值转换为绝对值。绝对观测与相对记录两大部分互为补充,相辅相成,构成了一套完整的地磁观测系统<sup>[5]</sup>。

肇庆地磁台配备 MAG-01H(010B)型及 TDJ2(E)型两套磁通门经纬仪,用于测量磁偏角 $D$ 和磁倾角 $I$ 的绝对值,一台 GSM-19T 质子旋进式磁力仪

用于测量地磁场总强度 $F$ 的绝对值。根据《地震台站建设规范(地磁台站)》(DB/T 9-2004)的技术要求<sup>[6]</sup>,绝对观测类仪器受温度和湿度的影响较小,这三台仪器都放置于采取一般保温防潮措施的绝对观测室内,全年室温在 $13^{\circ}\text{C} \sim 33^{\circ}\text{C}$ 间,相对湿度小于85%。因相对记录仪观测精度受温度和湿度的影响较大,FGM-01型相对记录仪的探头安置在地下室结构的相对记录室内,全年室温在 $21^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$ 间,日温差小于 $0.1^{\circ}\text{C}$ ,年温差 $<4^{\circ}\text{C}$ ,相对湿度小于73%。绝对观测室和相对记录室之间相距约70 m,绝对观测室和相对记录室内的地磁场水平及垂直梯度均小于 $1\text{ nT/m}$ 。肇庆地磁台的绝对观测仪和相对记录仪器的各类参数见表1、表2。

表1 绝对观测仪器参数一览表

Table 1 Parameters list of absolute observation instruments

仪器型号	观测精密度	分辨率	测量要素	观测方式	观测周期	产地	投入时间/年
MAG-01H (010B)	$\sigma_D=0.10'$ $\sigma_I=0.10'$	1"	$D$ 、 $I$	人工	每周二次	英国	2001
TDJ2(E)	$\sigma_D=0.10'$ $\sigma_I=0.10'$	1"	$D$ 、 $I$	人工	每周二次	中国	2018
GSM-19T	0.2nT	0.01nT	$F$	自动	连续	加拿大	2012

表2 相对记录仪参数一览表

Table 2 Parameters list of relative recorder

仪器型号	测量范围/nT	动态范围/nT	分辨率/nT	温度系数/(nT· $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )	采样间隔	投入时间/年
FGM 01	0~±62500	0~±2500	0.1T	1.0	1/s; 1/min	2013

### 3 基线值观测精度分析

#### 3.1 基线值观测数据选取

肇庆地磁台在2019年度中使用 MAG-01H(010B)磁通门经纬仪与 GSM-19T 质子磁力仪组合在绝对观测日共进行绝对观测104次,同步使用 TDJ2(E)磁通门经纬仪与 GSM-19T 质子磁力仪组合进行绝对观测101次,每次每套绝对观测仪观测3个测回,从3个测回中优选两组数据,取平均值,最终确定基线值。全年观测时段选择每周一、周四,避开正午11时至14时地磁场扰动较大的时刻,这样可进一步提高基线值的观测精度和稳定性<sup>[7]</sup>。FGM-01相对记录仪全年记录状况优良,没有数据丢失和中断现象,资料连续率达100%。按

照《地震电磁数字观测技术规范》要求对相对记录数据中的高压直流输电干扰、其它干扰产生的异常数据都进行了数据预处理<sup>[8]</sup>。地磁台站日常数据处理流程见图2。

#### 3.2 基线值月剩余标准偏差

中国地震局地磁观测台网地磁观测资料质量评比规定,磁偏角基线值( $D_B$ )月剩余标准偏差( $\sigma_{DB}$ )最大限定值为 $0.1'$ ,水平强度基线值( $H_B$ )和垂直强度基线值( $Z_B$ )月剩余标准偏差( $\sigma_{HB}$ 、 $\sigma_{ZB}$ )最大限定值为 $1\text{ nT}$ 。肇庆地磁台2019年 MAG-01H(010B)型及 TDJ2(E)型磁通门经纬仪产出的三个分量基线值月剩余标准偏差见表3。可以看出,两套仪器 $D_B$ 、 $H_B$ 、 $Z_B$ 三个分量基线值月剩余标准偏差均符合地磁观测资料质量评比规定的要求,且比最大限定值小很多,说明两套仪器的工作状态

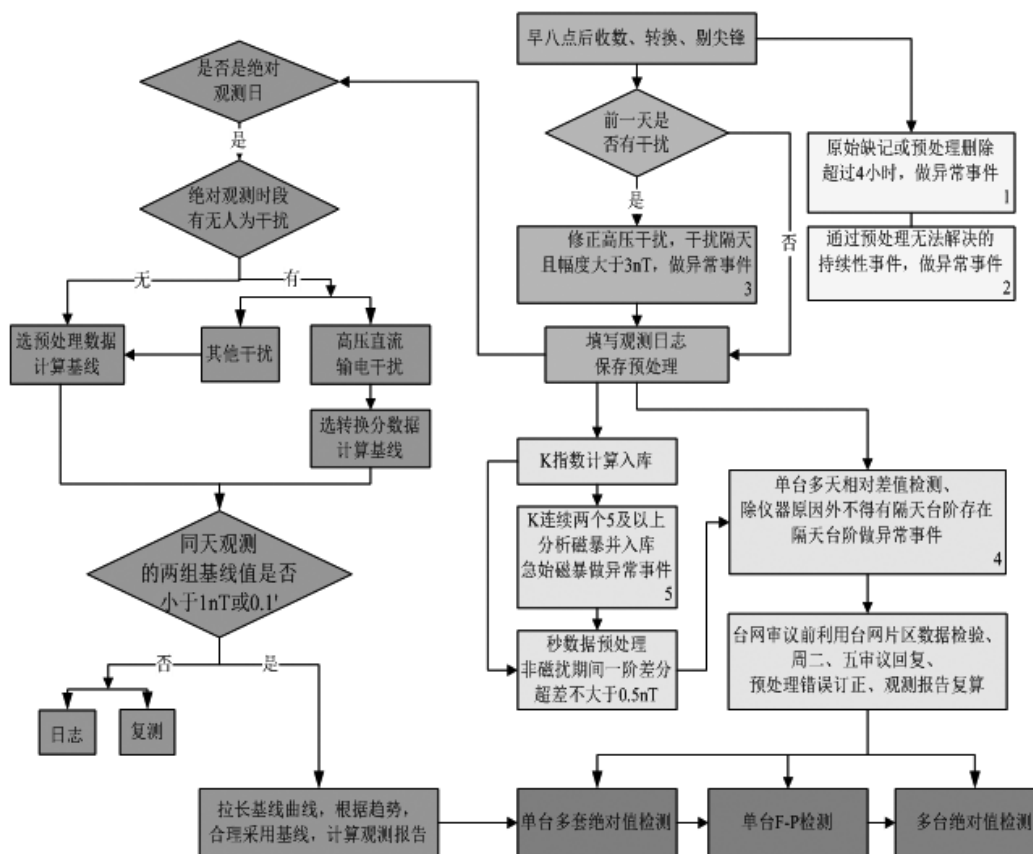


图2 地磁台站日常数据处理流程图

Fig.2 Flow chart of daily data processing of geomagnetic stations

是稳定的。基线值月剩余标准偏差反映了基线值观测数据的离散程度, 月剩余标准偏差越小, 基线值偏离平均值就越少, 基线值就越稳定, 反之

亦然。基线值月剩余标准偏差目前是衡量地磁观测资料质量的重要指标之一。

表3 MAG-01H(010B)和TDJ2(E)两套磁通门经纬仪观测基线值月标准偏差对照表  
Table 3 Comparison table of monthly standard deviation of baseline values observed by MAG-01H(010B) and TDJ2(E) fluxgate theodolites

时间	MAG-01H ( 010B )			TDJ2 ( E )		
	$\sigma_{DB}/( ' )$	$\sigma_{HB}/( nT )$	$\sigma_{ZB}/( nT )$	$\sigma_{DB}/( ' )$	$\sigma_{HB}/( nT )$	$\sigma_{ZB}/( nT )$
2019-01	0.0093	0.1195	0.0535	0.0093	0.0655	0.0756
2019-02	0.0163	0.0816	0.0707	0.0100	0.0408	0.0913
2019-03	0.0058	0.1732	0.1633	0.0135	0.0577	0.0577
2019-04	0.0053	0.0756	0.0378	0.0071	0.0408	0.0707
2019-05	0.0108	0.0816	0.1080	0.0113	0.0535	0.0535
2019-06	0.0071	0.1000	0.1354	0.0050	0.1732	0.1000
2019-07	0.0107	0.1309	0.1464	0.0065	0.0926	0.0756
2019-08	0.0093	0.1254	0.1852	0.0100	0.2104	0.1414
2019-09	0.0100	0.0756	0.0845	0.0100	0.2345	0.3240
2019-10	0.0076	0.0756	0.1000	0.0173	0.1690	0.0845
2019-11	0.0071	0.0816	0.0816	0.0141	0.0816	0.1354
2019-12	0.0100	0.1000	0.1309	0.0156	0.1254	0.2268
平均	0.0091	0.1216	0.0978	0.0108	0.1121	0.1197

### 3.3 基线值变化与仪器的温度效应

为分析基线值观测数据受FGM 01型磁通门磁力仪(相对记录仪)传感器探头温度变化的影响,绘制了肇庆地磁台2019年MAG-01H(010B)型及TDJ2(E)型磁通门经纬仪产出的三个分量基线值和相对记录室温度曲线,见图3。从图3中明显可以看出:两套仪器 $H$ 、 $Z$ 分量基线值与相对记录室温度变化趋势基本一致, $D$ 分量基线值则不显著。由于相对记录仪运行的稳定性受温度的影响变化较大,为了定量的评价相对记录仪的温度系数、漂移量等影响因素。通过对两套仪器 $D$ 、 $H$ 、 $Z$ 三分量的基线值进行多元回归分析,求出温度系数、平均日漂移和年漂移量、基线值年变化范围和标准偏差,见表4。

以 $D$ 分量基线值 $D_B$ 为例,建立基线值的多元回归方程如下:

$$D_B(i) = a_0 + a_1 T(i) + a_2 t(i) + \varepsilon_i \quad (i=1, 2, 3, \dots, N) \quad (1)$$

其中, $D_B(i)$ 为某一次 $D$ 分量基线值, $T$ 代表相对记录室温度, $t$ 代表时间, $\varepsilon_i$ 为标准偏差, $N$ 为观测次数。 $a_0$ 为常数项, $a_1$ 为相对记录仪器传感器探头的温度系数, $a_2$ 为漂移量。根据理论分析和实践经验可知,除了绝对观测误差外,影响基线值的主要因素是相对记录仪器的温度效应和滑动影

响(滑动是随时间单调增加或减少的一种漂移,因此它是时间的函数)<sup>[2]</sup>,本文主要分析这两种影响。

结果显示,FGM 01型磁通门磁力仪传感器探头 $H$ 分量温度系数为 $0.97 \text{ nT/}^\circ\text{C} \sim 1.01 \text{ nT/}^\circ\text{C}$ ,计算出的温度系数与厂家标称 $\leq 1.0 \text{ nT/}^\circ\text{C}$ 基本相符,说明FGM 01型磁通门磁力仪 $H$ 分量传感器探头有一定的温度效应。FGM 01型磁通门磁力仪传感器探头 $Z$ 分量温度系数为 $1.76 \text{ nT/}^\circ\text{C} \sim 1.79 \text{ nT/}^\circ\text{C}$ ,计算出的温度系数超出厂家的标称值, $Z$ 分量传感器探头温度效应大。FGM 01型磁通门磁力仪传感器探头 $D$ 分量温度系数为 $0.7 \text{ nT/}^\circ\text{C} \sim 0.8 \text{ nT/}^\circ\text{C}$ ,计算出的温度系数小于厂家的标称值, $D$ 分量传感器探头温度效应小,基本不受温度变化的影响。

$D$ 分量基线值年漂移 $0.081'$ (取两套仪器的平均值,以下均同。),年变化范围 $0.42'$ ,标准偏差 $0.123$ ,基线值曲线变化平坦,波动不大,全年无突跳。 $H$ 分量基线值年漂移 $0.057 \text{ nT}$ ,年变化范围 $3.05 \text{ nT}$ ,标准偏差 $0.765$ ,基线值曲线变化也比较平坦,波动不大,全年无突跳。 $Z$ 分量基线值年漂移 $-0.08 \text{ nT}$ ,年变化范围 $4.5 \text{ nT}$ ,标准偏差 $1.19$ ,基线值曲线较为平坦,随温度变化有波动,全年无突跳。

为分析基线值与相对记录室温度的关系,从表5可看出: $D$ 分量基线值与温度的相关性较小,相关系数分别为 $0.8428$ 和 $0.8555$ 。MAG-01H(010B) $H$ 分量基线值与温度的相关系数为 $0.8777$ ,而TDJ2(E)的相关系数为 $0.9263$ ,可见MAG-01H

表4 2019年MAG-01H(010B)和TDJ2(E)磁通门经纬仪基线值变化参数统计表  
Table 4 The parameter statistics table of the baseline value changes of the MAG-01H(010B) and TDJ2(E) fluxgate theodolites in 2019

仪器	分量	温度系数	均值	年变化范围	标准偏差	日漂移	年漂移
MAG-01H (010B)	$D_B$ ( ' )	0.068 36	21 463.21	0.44	0.1295	0.000 26	0.093
	$H_B$ ( nT )	1.007 15	37 387.55	3.1	0.7878	0.000 26	0.093
	$Z_B$ ( nT )	1.756 64	25 511.34	4.3	1.133	-0.000 42	-0.15
TDJ2 ( E )	$D_B$ ( ' )	0.075 61	21 463.14	0.4	0.116	0.000 186	0.068
	$H_B$ ( nT )	0.967 66	37 388.26	3	0.743	0.000 055	0.02
	$Z_B$ ( nT )	1.791 89	25 510.31	4.7	1.246	-0.000 041	-0.015

表5 2019年MAG-01H(010B)和TDJ2(E)磁通门经纬仪基线值与相对记录室温的相关系数  
Table 5 The correlation coefficient between the baseline value of the fluxgate theodolites of MAG-01H(010B) and TDJ2(E) in 2019 and the relative recording room temperature

分量	仪器			
	MAG-01H ( 010B )		TDJ2 ( E )	
$D$	0.8428	相关	0.8555	相关
$H$	0.8777	相关	0.9263	高相关
$Z$	0.9398	高相关	0.9272	高相关

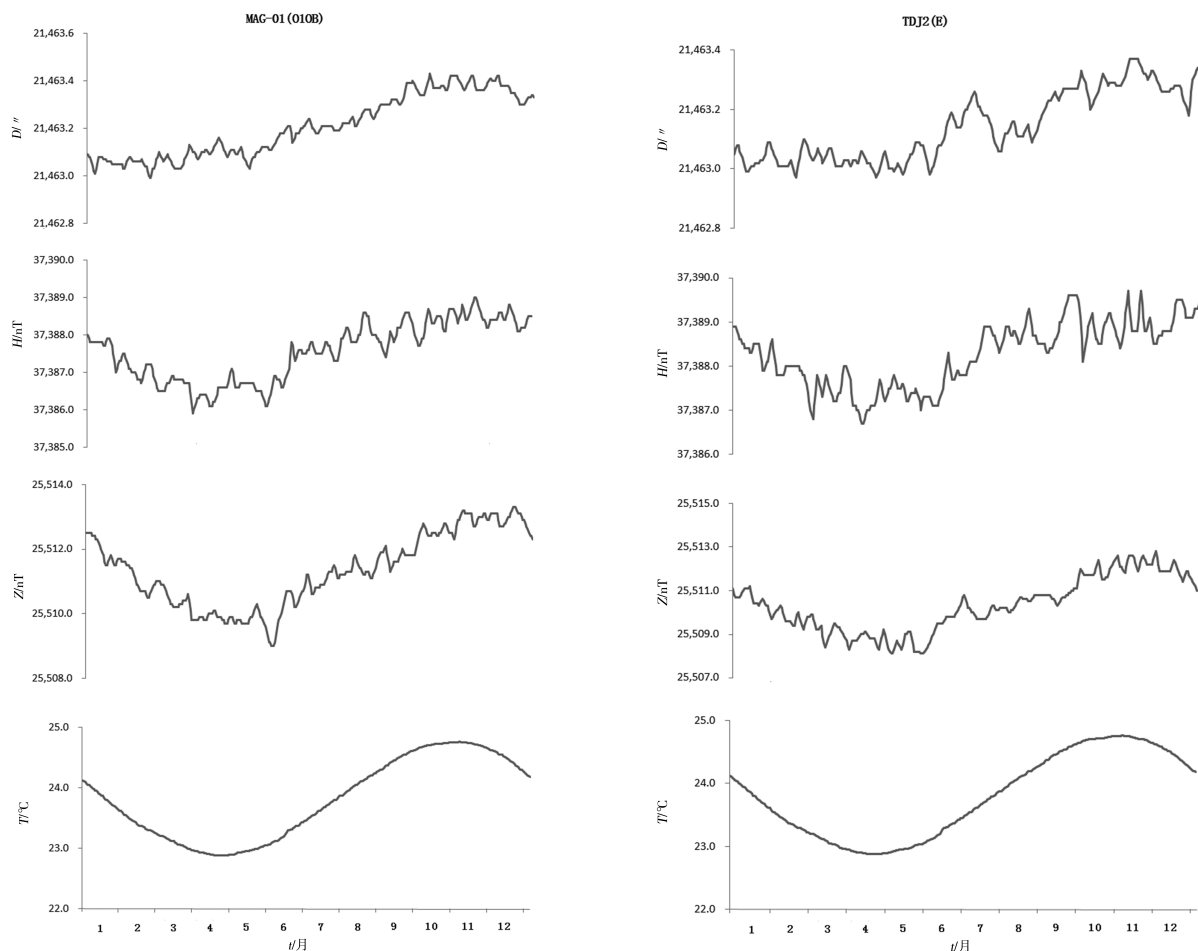


图3 2019年 MAG-01(O10B)和 TDJ2(E)经纬仪基线值和相对记录室温度曲线

Fig.3 Curves of baseline value and relative recording room temperature of MAG-01(O10B) and TDJ2(E) theodolites in 2019

(O10B)  $H$  分量的基线值受温度影响比 TDJ2(E) 小。 $Z$  分量基线值与温度的相关性较高, 相关系数分别为 0.9398 和 0.9272, 两套仪器均呈现完全的正相关, 表明传感器受温度的影响很大。同上面的 FGM 01 型磁通门磁力仪传感器探头  $Z$  分量温度系数偏高的分析意见一致。

## 4 讨论和结论

根据上述分析结果, 肇庆地磁台 2019 年 MAG-01H(O10B) 型及 TDJ2(E) 型磁通门经纬仪产出的基线值观测数据,  $D_B$ 、 $H_B$ 、 $Z_B$  三个分量基线值月剩余标准偏差  $\sigma_{DB}$  分别为 0.0091' 和 0.0108', 小于最大限定值 0.1';  $\sigma_{HB}$  分别为 0.1216 nT 和 0.1121 nT, 小于最大限定值 1 nT,  $\sigma_{ZB}$  分别为 0.0978 nT 和 0.1197 nT, 小于最大限定值 1 nT, 均完全符合中国地震局地磁观测台网观测资料质量评比规定的要求, 且远优于规定的最大限定值。 $D$  和  $H$  分量基线值年漂移量较小, 基线值曲线变化平坦, 波动不

大, 全年无突跳。 $Z$  分量基线值年漂移稍大, 随温度变化有所波动。两套仪器  $D_B$ 、 $H_B$ 、 $Z_B$  三个分量基线值的变化趋势一致, 稳定性好, 具有同等观测精度。

FGM 01 型磁通门磁力仪传感器探头  $D$  分量温度系数小于厂家的标称值, 表明  $D$  分量传感器探头温度效应小, 基本不受温度变化的影响。 $H$  分量温度系数与厂家标称的基本相符, 有一定的温度效应。 $Z$  分量温度系数超出厂家的标称值, 表明  $Z$  分量传感器探头温度效应大。原因可能是传感器探头的感应线圈和补偿电路受温度的影响, 由于补偿磁场的不均匀, 当温度改变时, 磁心位置发生变化, 引起补偿磁场的滑动, 造成输出的突跳和漂移<sup>[9]</sup>, 需要厂家在制作工艺上加以完善。

两套仪器  $D$  分量基线值与温度的相关性较小, 比较一致;  $H$  分量的基线值与温度的相关系数 MAG-01H(O10B) 比 TDJ2(E) 小, 可见 MAG-01H(O10B) 受温度的影响比 TDJ2(E) 小; 两套仪器  $Z$  分量基线值与温度的相关性都高, 表明两套仪器  $Z$  分

量基线值受温度的影响都大,这与FGM 01型磁通门磁力仪Z分量传感器温度效应大相关。

综上所述,得以下结论:

(1)肇庆地磁台两套绝对观测仪器测量的基线值的观测精度高,整个观测系统的工作状态稳定可靠,产出的地磁观测数据系统误差小,内在质量高。

(2)FGM 01型磁通门磁力仪Z分量传感器探头温度系数超出厂家的标称值,需与厂家联系更换探头或维修,这将进一步提高整个观测系统的观测精度。

(3)英国产的MAG-01H(010B)在肇庆台已运行20多年,仪器的性能和运行状态依然保持良好,国产的TDJ2(E)在肇庆台运行2年多,观测精度也达到国际先进水平,虽然H分量受温度影响略大,可以在仪器制作工艺上再加以改进,同时维护观测环境,提高观测人员的操作水平也很重要。

(4)2019年肇庆地磁台相对记录室最低温度22.88℃,最高温度24.76℃,平均温度23.80℃,年温差仅1.88℃,为FGM-01型磁通门磁力仪的运行提供了良好的观测环境,尽量减少了传感器探头的温度效应,以保证基线值的稳定性。

## 参考文献

- [1] 国家地震局科技监测司.地震电磁观测技术[M].北京:地震出版社,1995
- [2] 高玉芬,程安龙,赵永芬,等.地震台基线值分析[J].地震地磁观测与研究,1991,12(2):3-10.
- [3] 古云飞,李西京,黄好.国家级地磁台站配备两套绝对观测系统的必要性分析[J].防灾减灾学报,2018,34(4):38-44.
- [4] 广东省地震局.广东省地震监测志[M].北京:地震出版社,2005.
- [5] 中国地震局监测预报司,地震电磁数字观测技术[M].北京:地震出版社,2002.
- [6] 中国地震局.地震台站建设规范地磁台站:DB/T9—2004[S].北京:中国标准出版社,2004.
- [7] 陆镜辉,王建格,黎晓之,等.绝对观测时段对地磁基线值观测质量影响的分析研究[J].华南地震,2008,28(4):113-119.
- [8] 中国地震局.地震及前兆数字观测技术规范[M].北京:地震出版社,2001.
- [9] 田文通,杨冬梅,辛长江,等.兰州地磁台GM3磁力仪基线值变化特征和处理方法探讨[J].地震研究,2005,28(3):252-255.