

doi:10.3969/j.issn.1001-358X.2020.01.016

测量技术

GYROMAT3000 陀螺经纬仪仪器常数的
温度漂移测定^{*}郭迎钢¹, 李宗春¹, 张冠宇¹, 宋建鹏²

(1. 中国人民解放军战略支援部队信息工程大学, 河南 郑州 450001;

2. 中国人民解放军第 1001 工厂, 陕西 西安 710025)

摘要:以某台 GYROMAT3000 陀螺经纬仪为实验对象,在步入式高低温实验室内设计并开展了仪器常数温度漂移测定实验。实验结果的方差分析表明,该台仪器的仪器常数的温漂对定向结果无显著影响。根据实测结果,利用三次样条函数拟合了仪器常温度温漂曲线,并给出了不同温度下仪器常数的取值建议。

关键词:陀螺经纬仪; 仪器常数; 温度漂移; GYROMAT3000

中图分类号:P258

文献标识码:A

文章编号:1001-358X(2020)01-0067-05

Temperature drift measurement of apparatus constant for
GYROMAT3000 gyro theodoliteGuo Yinggang¹, Li Zongchun¹, Zhang Guanyu¹, Song Jianpeng²

(1. PLA Strategic Support Force Information Engineering University, Zhengzhou 450001, China;

2. No. 1001 Factory of the PLA, Xi'an 710025, China)

Abstract: Taking a GYROMAT3000 gyro theodolite as experimental object, the experimental program of measuring temperature drift of apparatus constant for gyro theodolite was designed and walking-in high-low temperature test chamber was carried out. The variance analysis of experimental results showed that the temperature drift of apparatus constant of the GYROMAT3000 had no obvious effect on orientation results. Finally, according to the measurement results, the temperature drift curve was fitted by cubic spline, and the suggested values of apparatus constant were given at different temperatures.

Key words: gyrotheodolite; apparatus constant; temperature drift; GYROMAT3000

陀螺经纬仪在矿山、军事阵地、城市地铁、航海等领域的定向测量中有着广泛的应用^[1-2]。近年来,经济建设和国防建设的不断发展对陀螺经纬仪的高精度定向提出了越来越高的要求,开展陀螺经纬仪的高精度定向研究具有重要意义^[3-5]。温度对陀螺经纬仪的仪器常数 Δ 的测定有着显著影响,进而影响着陀螺经纬仪的定向精度^[6-8]。国内外学者围绕这个问题开展了大量的实验^[9-12],研究表明,通过实验探究仪器常数随温度的变化规律^[13-15],并建

立相应的改正模型来根据环境温度随时调用仪器常数,是一种经济实用、操作便捷的解决思路。GYROMAT 3000 是一款高精度陀螺经纬仪,其内置程序可以根据温度对仪器常数进行修正。为检验某台 GYROMAT 3000 的修正模型是否彻底,在步入式高低温实验室开展了陀螺经纬仪仪器常数温漂测定实验,设计了具体的实验方案以及实验步骤,以探求其仪器常数随温度的变化规律。

^{*} 基金项目:国家自然科学基金资助项目(41974216)

引用格式:郭迎钢,李宗春,张冠宇,等. GYROMAT3000 陀螺经纬仪仪器常数的温度漂移测定[J]. 矿山测量,2020,48(1):67-71.

1 实验方案

在实际的陀螺定向测量中,需要在每次测量之前都确定仪器常数。在不同的温度环境下,仪器的常数会发生改变。为了研究陀螺经纬仪的仪器常数随温度变化的漂移规律,本文以 GYROMAT3000 陀螺经纬仪为实验对象,在高低温实验室中从 -5°C 至 40°C 每隔 5°C 设一个温度点来测量该温度下的仪器常数,寻找仪器常数的温漂规律。

1.1 GYROMAT3000

GYROMAT3000 是一款高精度陀螺仪,由德国 DMT 公司制造生产,其测量主要由机械陀螺仪完成。在高精度测量模式下可获得 $3''$ 的定向精度,且具有完全的自主性,不需依靠其他基准。典型运用包括:隧道或通道建设中的方位判定,为惯性导航系统建立参考线,测定大气折射的影响等。其主要精度指标见表 1。相比较其他型号陀螺仪,GYROMAT3000 有着可以记录内部温度的优势。

表 1 GYROMAT 3000 陀螺全站仪的主要精度指标

项目	指标
测量精度	测量模式 1: $\leq 1 \text{ mgon} (\pm 1\sigma)$
	测量模式 2: $\leq 10 \text{ mgon} (\pm 1\sigma)$
	测量模式 3: $\leq 5 \text{ mgon} (\pm 1\sigma)$
测量时间	测量模式 1: 10 min
	测量模式 2: 2 min
	测量模式 3: 5 min
仪器主机重量	11 kg (不包括全站仪)
使用环境温度	$-20^{\circ}\text{C} \sim +50^{\circ}\text{C}$ (操作)
	$-12^{\circ}\text{C} \sim +45^{\circ}\text{C}$ (校准)
操作范围	最高 80° 纬度

如图 1 所示,GYROMAT3000 可在 $-20^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ 的环境温度下正常工作,并在 $-12^{\circ}\text{C} \sim 45^{\circ}\text{C}$ 的环境温度下进行过标定。

Operating temperature	-20°C up to $+50^{\circ}\text{C}$ (-12°C up to $+45^{\circ}\text{C}$ calibrated)
-----------------------	--

图 1 GYROMAT 3000 宣传册截图

1.2 实验环境

1.2.1 高低温实验室

本次实验需要在可以温度控制变化的实验室中开展,在西安中国人民解放军第 1001 工厂的步入式高低温实验室中进行了实验。该实验室的温度变化量可控制在 0.3°C 内。该实验室内具有已知天文点,与实验室外的方位点构成已知边,该边是由二等天

文测量所得,精度在 $\pm 1''$ 以内,能够为仪器常数的计算提供高精度的已知方位信息。步入式高低温实验室的温度变化由 SDJ-5130 型高低温交变湿热试验箱控制,其设备指标见表 2。

表 2 实验室指标

温度范围	湿度范围	电压	功率
$-60^{\circ}\text{C} \sim +90^{\circ}\text{C}$	30% ~ 98%	380 V ~ 50 Hz	35 kw

由表 2 可知,实验室的温度范围满足此次实验所需的温度控制需求 ($-5^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$)。实验室温度变化后,还需要一定的适应时间以保证内外温度均衡,如表 3 所示。

表 3 温度适应时间

温度/ $^{\circ}\text{C}$	适应时间/min	温度/ $^{\circ}\text{C}$	适应时间/min
5	15	14	65
6	20	16	75
7	25	18	85
8	30	20	95
9	35	25	120
10	45	30	150
12	55		

1.2.2 温度控制方案

为确保仪器安全以及数据的稳定,根据表 3 内所列的温度适应时间,考虑到温度点的稳定状态保持以及仪器的温度适应时间,设计温度控制方案如下:先利用 30 min 时间将实验室内温度调整到目标温度,然后保温 2 h 以确保内外温度基本保持一致,最后进行测量。由于温控室的温度变化以及保温时间需要提前设定,因此在仪器保温后继续保持温度 2 h,整个温度点测量时间为 4.5 h,即 30 min 调整温度,2 h 静置保温,2 h 测量。

为节省电量并便于操作,选取 25°C 为第一个温度点,此后按上述温度控制方案进行测量。根据 GYROMAT3000 仪器内部的温度记录,陀螺仪内外温差控制在 0.2°C 左右,并在每个温度点上取平均。当仪器降温至 -5°C 时,温控室进行升温,直至温度升高到 40°C 后保温 4 h 后开始测量,即相比正常温度点增加 2 h 的保温时间;之后继续每隔 5°C 的温度点测量,直至温度降至 15°C ,结束实验测量。测量时温度变化趋势如图 2 所示。

1.2.3 观测窗影响的控制

采用温控室来模拟环境温度时需要在实验室内利用仪器通过观测窗观测已知天文方位边,实验室内外的温度差可能会对测量精度产生影响,需要对

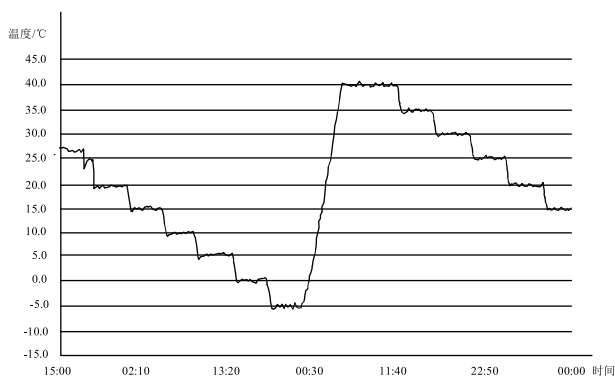


图 2 温度变化趋势图

结果进行改正或建立模型以削弱影响。文献[3]指出观测窗对于仪器常数的测量确有影响。本文采用照准平行光管的方式进行测量,在观测窗影响消除方面,通过调整对中墩高度使全站仪的照准视线与观测窗近似垂直,减少了光线偏折造成的误差。

1.3 实验步骤

将不同温度下的陀螺方位角与已知边天文方位角之差作为仪器常数,如图 3 所示。

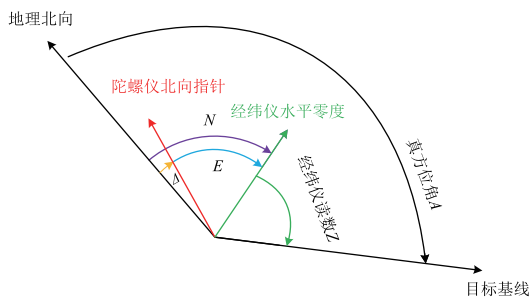


图 3 仪器常数及各方向之间关系

图 3 中, $N = E + \Delta$, $A = N + Z$ 。式中, A 为目标基线的真方位角, Z 为目标基线在经纬仪上的读数, E 为经纬仪水平零刻度线的陀螺方位角, Δ 为仪器常数。

设计陀螺经纬仪仪器常数温漂测定的实验步骤如下:

(1) 在实验室内的对中墩上架设陀螺经纬仪,并进行对中整平;

(2) 开启陀螺仪,进行仪器自检校,自检校成功后查询并输入当地纬度(此次实验地理位置纬度约 34°);

(3) 将实验室温度控制在 25°C ,保温 2 h 后,检查对中情况,启动仪器,记录温度以及仪器点号和目标点号,选用第一种测量模式(高精度测量模式,定向精度约为 $3.2''$,测量时间约 10 min)进行定向测量,点击“START/ENTER”键开始定向并记录下测量

开始时间,陀螺仪定向约 5 min 后陀螺仪屏幕显示零带位偏差 B ,大约 10 min 后内部陀螺仪关闭,记录测量结束时间,点击“START/ENTER”键,显示 N 值,继续点击后开始照准目标;

(4) 用全站仪照准目标点,点击“START/ENTER”键记录第一次相应数据,再次照准目标点,记录第二次数据;将盘左转换为盘右,照准目标点,记录第三次数据,继续照准目标点,记录第四次数据;照准结束后点击按键显示方位角 A 值,继续按键完成测量,查看陀螺仪所剩电量并记录,为确保测量精度,每一温度点测 7 个测回;

(5) 完成某一温度测量后实验室调节温度,按照计划升高或者降低 5°C ,升温或者降温将持续 0.5 h,待温度稳定后保温 2 h,开始下一个温度点的测量,直至整个测量过程结束。

2 数据处理与分析

2.1 数据处理

按照 1.3 节的测量步骤获取实验数据,测量结束将测量数据传输至笔记本电脑,处理后得到实验数据如表 4 所示。

表 4 各温度点方位角和仪器常数

TempG/ $^\circ\text{C}$	方位角	仪器常数
-5.28	$123^\circ35'54.1''$	$16.2''$
0.19	$123^\circ35'46.3''$	$8.4''$
4.51	$123^\circ35'45.3''$	$7.4''$
9.66	$123^\circ35'47.2''$	$9.3''$
14.75	$123^\circ35'47.7''$	$9.8''$
19.64	$123^\circ35'50.9''$	$13.0''$
25.77	$123^\circ35'53.1''$	$15.2''$
29.58	$123^\circ35'51.4''$	$13.5''$
34.55	$123^\circ35'51.0''$	$13.1''$
39.34	$123^\circ35'51.7''$	$13.8''$

表 4 中,实验温度 TempG 为每个温度点下仪器内部温度的平均数,方位角为测回结束时在照准目标并完成全部读数后显示在陀螺仪显示屏上,根据所测方位角以及已知二等天文方位边计算得到仪器常数。将表 4 中仪器常数随 TempG 的变化做成折线图如图 4 所示。

从图 4 可以看出,这台 GYROMAT3000 的仪器常数在 -5°C 时最大,在 5°C 时最小,然后随着温度的升高呈变大趋势,在 $30^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ 时趋于稳定。

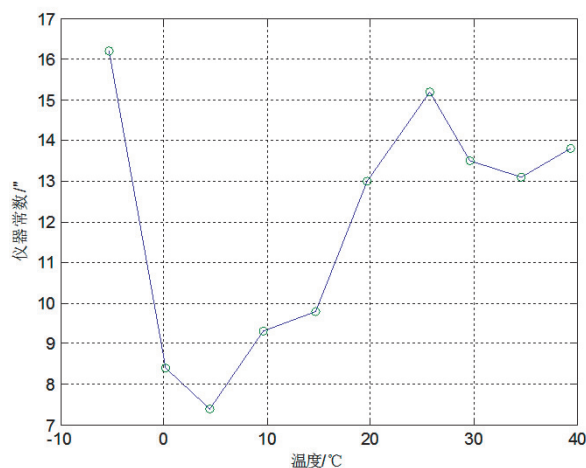
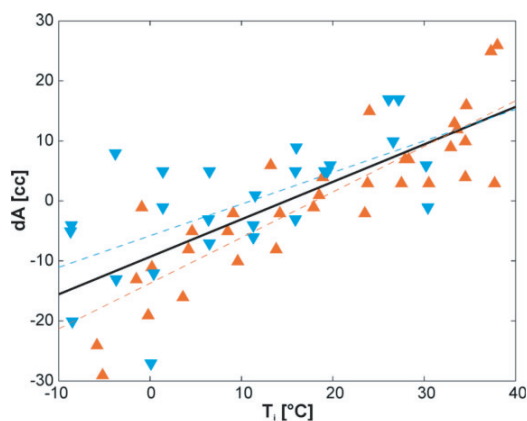


图 4 仪器常数随温度变化的折线图

文献[17]根据不同温度下 GYROMAT2000 仪器常数随温度的变化的实测数据,进行了线性拟合,得到的仪器常数修正模型如图 5 所示。

图 5 GYROMAT2000 仪器常数随温度变化规律^[17]

对比图 4 和图 5,由图 5 可知 GYROMAT2000 陀螺经纬仪的仪器常数随温度的变化存在线性关系,且变化幅度达 60";由图 4 可知 GYROMAT3000 仪器常数随温度的变化规律复杂,变化幅度仅为 10",说明 GYROMAT3000 的温度改正模型相比较于 GYROMAT2000 的温度改正模型进一步修正了仪器常数随温度的线性变化,使该款仪器的仪器常数温度漂移变得更小。

2.2 数据分析

引入方差分析法对本实验的数据进行分析,检定仪器常数随温度的漂移对定向结果的影响是否显著。在每个温度点上进行 n 次测量,假设陀螺经纬仪在不同温度下的定向结果是稳定的,即

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \cdots = \mu \quad (1)$$

总的观测次数 n 取 m 个温度点观测次数 n_i 之和,

则 $n = \sum_{i=1}^m n_i$ 。计算每个温度点上的定向结果的均值:

$$\bar{a}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} a_{ij} \quad (2)$$

并计算所有温度点上定向结果的均值

$$\bar{a} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} a_{ij} \quad (3)$$

计算每个温度点上定向结果均值与 $\bar{a}_i$ 与总体均值 $\bar{a}$ 的离差平方和

$$S_A = \sum_{i=1}^m n_i (\bar{a}_i - \bar{a})^2 \quad (4)$$

各温度下的离差平方和

$$S_e = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} (a_{ij} - \bar{a}_i)^2 \quad (5)$$

S_A 、 S_e 分别除以其自由度得 $\bar{S}_A = \frac{S_A}{m-1}$, $\bar{S}_e =$

$\frac{S_e}{n-m}$ 。构造统计量 $F_A = \frac{\bar{S}_A}{\bar{S}_e}$, 给定显著水平 α 后能够得到相应的 $F_{1-\alpha}$ 。如果 $F_A \geq F_{1-\alpha}$, 则认为外界温度对观测结果有显著影响, 否则认为无显著影响。

将此次实验的数据代入式(1)~式(5), 选取 $\alpha = 0.1$, 则 $F_{1-\alpha} = 2.61$, 根据仪器所测数据, 得到计算结果见表 5。

表 5 方差分析结果表

方差来源	平方和	自由度	均方和	F_A	$F_{1-\alpha}$	显著性
温度	80.241	9	8.92	2.4	2.61	$F_A < F_{1-\alpha}$
误差	223.36	60	3.72			无显著影响

结合图 4 和表 5 内容分析, 方差分析结果表明, 在 $-5^\circ\text{C} \sim 40^\circ\text{C}$ 温度变化范围内, 仪器常数随温度变化的漂移不影响定向测量结果, 说明该台 GYROMAT3000 系统自带的改正模型能够根据环境温度的变化对仪器常数实现了较好的修正。

2.3 不同温度下仪器常数的取值

由于该 GYROMAT3000 的仪器常数随温度变化的漂移对定向结果无显著影响, 因此只需要在使用仪器前要将仪器常数输入仪器内, 避免粗差的产生即可。也可以在图 4 的基础上, 每次测量前输入最近温度点下的仪器常数来进行定向测量, 或按三次样条插值函数拟合的曲线来确定不同温度下的仪器常数, 如图 6 所示。

3 结 论

本文对某台 GYROMAT3000 陀螺经纬仪仪器常数的温度漂移进行了测定, 结果表明, 该仪器内置的

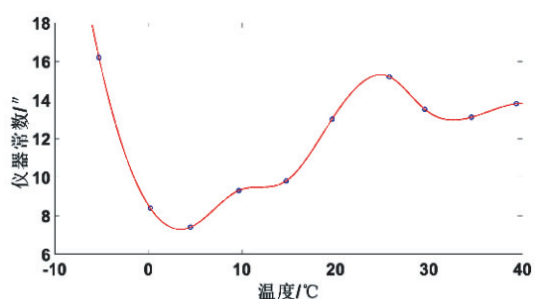


图6 三次样条函数拟合的仪器常数温漂曲线

温度改正模型能够较好地修正仪器常数随环境温度的变化,使仪器常数的温漂对其定向结果无显著影响。按三次样条函数拟合了仪器常数温漂曲线,为该台仪器建立专属的补偿模型,给出了不同温度下仪器常数的取值建议。不足之处是,为了保护仪器,没有按照标称的工作温度范围($-20^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$)开展仪器常数温漂测定实验。下一步可对 GYRO-MAT5000 陀螺经纬仪的仪器常数温度漂移展开研究。

参考文献:

- [1] 于来法. 陀螺定向测量[M]. 北京: 解放军出版社, 1988.
- [2] 张正禄, 李广云, 等. 工程测量学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2002.
- [3] 白云超, 刘思伟, 田育民, 等. 高精度寻北仪的现状与发展趋势[J]. 测绘科学与工程, 2008, 28(4): 52 - 56.
- [4] 王飞. 陀螺经纬仪高精度定向误差分析及检定的研究[D]. 郑州: 信息工程大学, 2010.
- [5] 张志君. 基于光纤陀螺的寻北定向技术的研究[D]. 长春: 中国科学院研究生院(长春光学精密机械与物理研究所), 2005.
- [6] 王庆林. 陀螺经纬仪定向系统误差研究[J]. 测绘科学, 2010, 35(2): 56 - 57.
- [7] 刘小生, 李满苗, 范俊智. 陀螺经纬仪稳定性检测[J]. 勘察科学技术, 2001(1): 49 - 53.
- [8] 蒋庆仙, 陈晓壁, 马小辉. 陀螺经纬仪仪器常数及其测定[J]. 测绘科学, 2008, 33(2): 152 - 154.
- [9] 刘小生, 范俊智. 陀螺经纬仪马达内部温升对摆动中值的影响[J]. 测绘工程, 2003, 10(1): 53 - 54.
- [10] 王亚江, 李广云, 刑坤, 等. Gyromat3000 陀螺经纬仪温度影响测试与分析[J]. 测绘科学, 2012, 37(6): 128 - 129.
- [11] 王飞, 邓向瑞, 李广云, 等. 陀螺经纬仪的仪器常数随温度漂移规律的研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2011, 36(3): 289 - 292.
- [12] 马小辉, 田育民, 白云超. 陀螺经纬仪仪器常数温度补偿模型的建立[J]. 测绘科学与工程. 2011, 31(3): 44 - 46.
- [13] 张海东. Y/JTG-1 陀螺全站仪性能研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2005.
- [14] 刘洪奇, 许纪隆. 环境温度变化对 JT15 陀螺经纬仪仪器常数影响规律的探讨[J]. 矿山测量, 1991(1): 49 - 52.
- [15] 万朋. 机动阵地快速定向研究与应用[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2006.
- [16] DMT. Gyromat 3000 User Manual[K]. May 2008.
- [17] Brunner FK, Grillmayer E. On the temperature dependence of gyroscopic measurements using the GYROMAT 2000[C] // FIG 2002 Congress, Session TS6.1, Washington DC/USA, 2002.

作者简介: 郭迎钢(1992 -), 男, 汉族, 甘肃武威人, 博士研究生, 研究方向为精密工程测量。

(收稿日期: 2019 - 08 - 25)