

doi:10.19306/j.cnki.2095-8110.2019.06.020

某地高精度室内真北方位基准建立方法

付永杰¹, 张耀民²

(1. 92493 部队, 葫芦岛 125000; 2. 西安科技大学, 西安 710054)

摘要:为了校准寻北定向装备的寻北偏差,需要建立真北方位基准。由于气象因素的影响,室外真北基准目标成像质量和观测仪器稳定性均受到制约,因此,需要在室内建立高精度的真北方位基准。提出了一种高精度室内真北方位基准建立方法。本方法的真北基准采用2个平行光管和1个平面镜来维持,并利用2台Leica5100A 0.5"级电子经纬仪采用双测站天文定向方法进行标定。实测结果表明:2017年10月19和20日在室内外温差和湿度差很大的环境下,仅通过2个时段总共6个测回观测,计算得到的3个真北方位的平均值中误差分别高达0.17"、0.18"、0.20"。2018年10月11和12日进行了复测,3个真北方位的平均值中误差分别为0.47"、0.30"、0.48",复测3个基准变化分别为+3.84"、+1.96"、+3.80"。测量结果表明,所建立的室内真北方位基准稳定,采用的技术措施和方法有效。

关键词:几何量计量;真北方位基准;天文定向;寻北仪校准

中图分类号:TB922 文献标志码:A 开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号:2095-8110(2019)06-0131-06



High Precision Indoor True-north Azimuth Reference Establishment Method

FU Yong-jie¹, ZHANG Yao-min²

(1. Unit 92493 of PLA, Huludao 125000, China;

2. Xi'an University of Science and Technology, Xi'an 710054, China)

Abstract: In order to calibrate the north-finder deviation of north-finder directional equipment, the true north azimuth reference needs to be established. Due to the influence of the meteorological factors, the outdoor true north benchmark target image quality and observation instrument stability are constrained, and it is necessary to establish high-precision true north azimuth reference indoors. In this paper, establishment methods and implementation techniques of indoor high precision true north azimuth reference are discussed. This reference is maintained by two parallel optical tubes and a planar mirror, and is calibrated by two Leica5100A 0.5" electronic theodolites using two theodolite astronomical orientation methods. The measured results show that in the environment of great indoor and outdoor temperature difference and humidity difference on October 19 and 20, 2017, only by a total of 6 set observations through two periods of time, the mean square error of the three azimuth references is as high as 0.17", 0.18", 0.20" respectively. Re-testing on October 11 and 12, 2018, the mean square error of the three azimuth references is 0.47", 0.30", 0.48" respectively, and the re-test results about one year later show that the three

收稿日期:2018-11-22;修订日期:2019-01-02

作者简介:付永杰(1975-),女,博士,高级工程师,主要从事几何量、光学计量测试技术的研究。E-mail: fuyj75@163.com

references changes were $+3.84''$, $+1.96''$ and $+3.80''$ respectively, which indicates that the references are very stable and the proposed method is very effective.

Key words: Geometric measurement; True north azimuth reference; Astronomical orientation; North-finder calibration

0 引言

目前,在惯导产品检测校准、舰船设备安装、发射装置对准、隧道贯通等领域,以及部队测绘保障、远程武器机动发射时的定向和瞄准等方面通常采用陀螺经纬仪、陀螺寻北仪或陀螺全站仪进行定向^[1]。为了校准陀螺经纬仪、陀螺寻北仪、陀螺全站仪和惯导产品的寻北偏差,需要建立高精度的真北方位基准^[2]。实际上,我国建立了大量的室内高精度真北方位基准,主要用于惯导产品的生产、检测、维护和使用环节中的测试设备引北和产品检测校准^[3-5]。国内很多单位先后建立了一些用于陀螺经纬仪校准的高精度真北方位基准,诸如:北京长城计量测试技术研究所、国家测绘地理信息局第一大地测量队、中国计量科学研究院、广州计量院、中国地震局地震研究所、南京市计量监督检测院、上海市计量测试技术研究院、中船重工第719研究所等^[6-8]。一般采用平面镜或平行光管建立真北方位基准。北京长城计量测试技术研究所的真北方位基准集成在陀螺经纬校准装置中,此种方法的优势是经纬仪校准装置与真北方位基准装置可共用一个光管,缺点是陀螺经纬由于连接端口与经纬仪连接端口极大不一致。因此,需要在其他位置搭建临时支架才能够检测陀螺经纬仪。北京航天计量测试技术研究所建立的真北方位基准,采用平面镜与平行光管集成到一个墩上的方案,以此可实现不同瞄准设备的北向校准。由于均固定在一个墩上,发生地基变化对真北方位基准数据难以比较检测。同时此种方案需要强制对中装置,不同的陀螺经纬仪安装接口不一致,均需要配作相应接口,费时费力。中国计量科学研究院真北方位基准是用2个互成某一夹角的平行光管建立的,同时放置被测陀螺经纬仪的基岩墩外建有恒温箱,该方案2个真北方位基准可以直接比对,并可以对被测件进行高低温环境试验,缺点是此方案需要强制对中装置。其余单位采用最多的则是单块平面镜方案。此种方案简单,成本低,但是采用平面镜集成到一个墩上的方案,存在发生地基变化对真北方位基准数据难以

比较检测的问题;同时一些陀螺经纬仪不具备准直功能,需要采用互瞄方法方能实现北向测量,该方法费时,并且互瞄引进新的误差影响校准精度。英国诺丁汉大学、德国GYROMAT公司,以及其他研究、测试和生产陀螺经纬仪、寻北仪的单位也建有真北方位基准^[9-14]。

纵观用于陀螺经纬仪校准的真北方位基准的建立,需要考虑以下几个问题^[15-16]:

1)室外基准不方便使用,而且气象环境不稳定、成像不清晰、需要调焦观测。

2)高精度真北基准标定基本都采用北极星任意时角法,对天文经纬度需求精度不高,无需用成本高昂的天文定位方法。

3)同时建立室外和室内的基准模式成本太高,而维持真北方位基准重要的是稳定可靠、互相检核和周期检测。

4)建立室内真北基准,为了一站天文定向而采用开天窗的办法,建设成本太高,也不便于基准保存以及满足使用环境需求;而通过平行光管(包括用经纬仪做平行光管使用)中转式的方位传递模式,传递误差大,基准精度无法直接计算,只能按传递转角估算,并且忽略了无法估计的显著的对准误差与随时变化的影响。

5)为了使得基准地基稳固,把基准台建造在基岩上,建设成本太高,也会受到城市地下水位变化和形变以及板块运动的影响。

为了满足寻北定向装备的校准需求,随时对陀螺经纬仪、寻北仪,以及惯性设备进行校准,92493部队建立了高精度室内真北方位基准,该方案同时建立3个真北方位基准、其中2个平行光管基准和1个平面镜基准,3个基准之间可以互相核验,满足了测量精度的需求和高可靠性的要求。

1 真北方位基准建立方案

1.1 真北方位基准构成

陀螺经纬仪校准装置主要由1个 $\Phi 100\text{mm}$ 平面镜、2个1m平行光管和被校陀螺经纬仪安置位置调整机构等组成。示意图如图1所示。

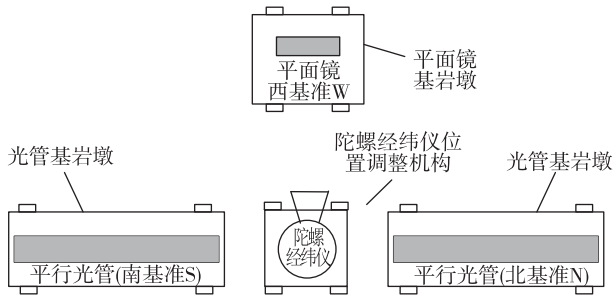


图 1 陀螺经纬仪校准装置示意图

Fig. 1 Scheme of gyro theodolite calibration device

其中,具有平面准直特性的平面镜固定在房间的最内侧基岩墩上,作为一个真北方位基准,称为西基准 W;另外 2 个平行光管沿着纵向分布,固定在成 180°的 2 个基准台上,并设计调整机构保证 2 只光管平行,作为另外 2 个真北方位基准,分别称为北基准 N 和南基准 S。

为了防止真北方位基准意外变化和具备高可靠性,本方案设计采用 2 个平行光管和 1 个平面镜维持基准,以便互相检核;为了保证真北方位基准的稳定性,维持基准的平面镜和平行光管需要安装在稳固的基准台和地基上。基准台和地基应具有足够的刚度,避免在外载荷作用下产生过大的变形或倾斜。地基在扰力作用下不应产生过大的振动,以免影响北向精度。因此,基准台和总地基采用钢筋混凝土整体浇注而成,整体地基采用深埋和隔震护沟设计。基准台和总地基建好后放置一段时间(3 个月)待沉降稳定后进行初次标定,并在 1 年后进行了复测。

1.2 真北方位基准标定方法

建立高精度真北方位基准时,一般采用天文定向方法,该方法采用北极星任意时角法测试天文方位角^[17]。观测北极星并记录观测时刻,观测目标方向,确定目标方向的天文方位角。在室内真北方位基准标定需要明确真北方位基准引北方法,同时规划出光线位置以布置平面镜及光管位置。真北方位基准布测方案如图 2 所示。基准平面镜固定在房间的最内侧,作为一个真北方位基准,另外 180°纵向分布 2 个平行光管,作为另外 2 个真北方位基准。

本方案采用双站观测天文引北方法^[2]。该方法采用 2 台经纬仪同步对向观测方法,把室外观测方位直接传递到室内基准平面镜和平行光管上。

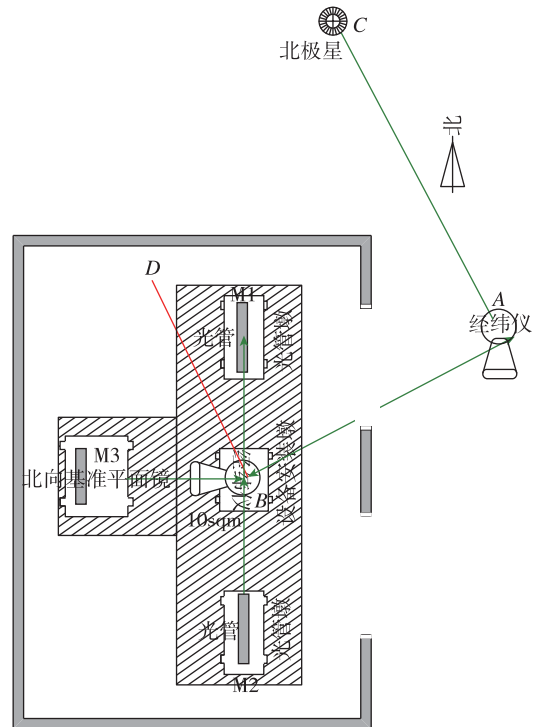


图 2 真北方位基准引入图

Fig. 2 Scheme of true-north azimuth calibration

具体方法如下:

- 1) 在 A、B 两处各安置 1 台 0.5" Leica5100A 经纬仪,经纬仪 A 分别瞄准经纬仪 B 和北极星 C,得到 $\angle CAB$ 右转角;
- 2) 经纬仪 B 与经纬仪 A 互瞄,根据 $\angle CAB$ 和北极星的方位角 N 可计算出 AB 的方位角,根据子午线收敛角可计算出 BA 的方位角;
- 3) 经纬仪 B 分别瞄准观测无穷远目标 M1、M2,并与平面镜 M3 准直,得到 $\angle ABM1$ 、 $\angle ABM2$ 、 $\angle ABM3$ 右转角,根据 BA 的方位角从而获得 M1、M2、M3 的方位角。

1.3 标定主要技术措施

真北方位基准是采用高精度的北极星任意时角法测定真北方位的,采用的主要技术措施如下:

- 1) 真北方位基准标定方法采用双台经纬仪天文定向方法直接标引到室内 3 个基准装置上,并且每半测回把方位传递到基准上;
- 2) 为了高精度标定室内真北方位基准,采用了 Leica5100A 0.5" 级的自准直电子经纬仪;
- 3) 室外 1 台经纬仪观测北极星,室内 1 台经纬仪观测平行光管和平面镜,室内外经纬仪通过窗户对向观测,其观测过程中不允许调焦;

4)对于天文定向所需的天文经纬度则采用全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System, GNSS)伪距定位的简单方法获取,并顾及了垂线偏差影响^[2,17];

5)采用2个晚上的时间段进行观测,主要用以检核基准设备安装和观测仪器设置的稳定性;

6)对于观测天体的时间系统采用协调世界时(Coordinated Universal Time, UTC),并确保记录的时间精确度不低于0.2s;

7)为了获取基准观测台上的真北方位角,考虑了子午线收敛角改正,把过室外观测点的方位角归算至室内仪器观测点的方位角;

8)对于最终标定的真北方位角进行了极移改正,归算至我国JYD1968.0极移坐标系统。

2 天文定向计算方法

在室外进行天文定向可参考文献[18]中的技术要求,采用北极星任意时角天文定向方法,通过观测任意时刻北极星的水平度盘位置并记录观测的UTC时刻,测定被测方向的天文方位角。

考虑经纬仪视轴差的高精度天文方位角观测可按式(1)计算方位角:

$$\alpha = D_A - (M_L + M_R) \times \frac{1}{2} - (M_L - M_R) \times \frac{q}{p} \quad (1)$$

其中:

$$q = (\csc Z_R - \csc Z_L) \times \frac{1}{2}$$

$$p = \csc Z_R + \csc Z_L$$

$$Z = \arccos(\sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos t)$$

$$M = N + \arcsin\left(\frac{\sin t \cos\delta}{\sin Z}\right)$$

$$t = 15 \times (s - \alpha)$$

式中: N 为天体半测回度盘观测值; D_A 为一测回室内目标度盘位置均值; L 为盘左度盘位置; R 为盘右度盘位置; s 为观测天体时刻的地方恒星时; α 为考虑了周日视差和光行差的天体测站视赤经; δ 为考虑了周日视差和光行差的天体测站视赤纬; φ 为测站天文纬度。

由于采用双测站天文定向观测方法进行方位传递测量,在真北方位基准测定了 n 个测回的独立的方位观测值,其天文定向的测定精度 m 评定可按式(2)计算。

$$m = \frac{m_s}{\sqrt{n}} \quad (2)$$

式中: m_s 为天文定向单测回的标准差; n 为测回数。

3 标定结果

3.1 实测数据

由于采用了有效的标定方法,标定计算都是实时计算的,可以随时得到定向结果,以便及时采取措施,获得稳定的观测结果。

2017年10月19和20日夜晚在室内外温差和湿度差很大的环境下,仅通过2个时段总共6个测回观测,利用室内基准6个测回的观测结果计算的3个真北方位的平均值均方误差分别高达0.17"、0.18"、0.20";2018年10月11和12日进行了复测,3个真北方位的平均值中误差分别为0.47"、0.30"、0.48",复测3个基准变化分别为+3.84"、+1.96"、+3.80"。由此看出:尽管是新建基准,该基准很稳定,技术措施和方法非常有效。这里仅给出其中1个平行光管基准的标定结果,如表1所示。

表1 天文定向实测结果

测回	室外测站	室内测站	北向基准
	定向方位 DDD. MMSS	传递角度 DDD. MMSS	天文方位角 DDD. MMSS
1	*.1620101	*.053555	*.2155651
2	*.1622575	*.053370	*.2156275
3	*.1625942	*.053055	*.2156492
4	*.4308559	*.384815	*.2156709
5	*.4305774	*.385055	*.2156324
6	*.4307799	*.384795	*.2155749
收敛角改正	-0.57"	平均值	*.2156200
最终方位	*.215563	标准差	0.42"
最终精度	0.17"	均值中误差	0.17"

4 结论

为了解决不同瞄准方式的陀螺经纬仪和寻北仪的校准问题,采用组合式北向定位方法,建立了准直法向北向基准和无穷远目标北向基准,实现了一套校准装置同时满足不同瞄准方式的陀螺寻北仪校准。采用天文定向方法进行引北赋值,提出了用2台高精度经纬仪同步对向观测的方法,把室外观测方位直接传递到室内基准平面镜和平行光管上,对其进行引北赋值,计算得到的3个真北方位的平均值中误差分别高达0.17"、0.18"、0.20",均优于

大地天文测量中北向方位角的一级精度 $\pm 0.5''$ 。1年后进行复测,3个真北方位的平均值中误差分别为 $0.47''$ 、 $0.30''$ 、 $0.48''$,复测3个基准变化分别为 $+3.84''$ 、 $+1.96''$ 、 $+3.80''$,1年后的基准变化稳定在 $4''$ 以内。测量结果表明,所建立的室内真北方位基准稳定,采用的技术措施和方法有效,满足寻北定向装备的校准需求。

参考文献

- [1] 王世光,王振军. 陆用定位定向与寻北仪技术应用现状[J]. 战术导弹控制技术, 2010, 27(2): 14-17.
Wang Shiguang, Wang Zhenjun. Application of the technologies on land-based positioning and orientation and north seeker[J]. Control Technology of Tactical Missile, 2010, 27(2): 14-17(in Chinese).
- [2] 张耀民. 真北方位基准标定与惯导测试设备引北技术[J]. 导航定位与授时, 2018, 5(6): 105-110.
Zhang Yaomin. Technique for true north reference calibration and north leading to inertial test equipment [J]. Navigation Positioning & Timing, 2018, 5(6): 105-110(in Chinese).
- [3] 邓向瑞,范百兴,李建双,等. 天文方位装置设计及检核方法研究[J]. 计量学报, 2014, 35(1): 59-62.
Deng Xiangrui, Fan Baixing, Li Jianshuang, et al. Metrology true azimuth astronomical observations transfer and check[J]. Acta Metrologica Sinica, 2014, 35(1): 59-62(in Chinese).
- [4] 魏纯,霍保华,贾乾磊,等. 一种基于天文方位角陀螺经纬仪测量装置[J]. 中国测试, 2010, 36(4): 71-73.
Wei Chun, Huo Baohua, Jia Qianlei, et al. Device for measuring gyrotheodolite based on astronomical azimuth angle[J]. China Measurement & Test, 2010, 36(4): 71-73(in Chinese).
- [5] 胡奇林,林立新,吴亮华,等. 基于空间三轴激光陀螺的恒速偏频寻北技术[J]. 导航定位与授时, 2017, 4(4): 61-65.
Hu Qilin, Lin Lixin, Wu Lianghua, et al. High precision north-finding technique rate bias scale factor error monolithic triaxial ring laser gyro[J]. Navigation Positioning & Timing, 2017, 4(4): 61-65(in Chinese).
- [6] 彭友志,何伟,李翼,等. 一种基于比长基线场天文大地测量的陀螺经纬仪校准装置[J]. 大地测量与地球动力学, 2016, 36(4): 328-331.
Peng Youzhi, He Wei, Li Ji, et al. A gyrotheodolite calibration device based on astronomical geodetic surveying on the baseline field[J]. Journal of Geodesy and Geodynamics, 2016, 36(4): 328-331 (in Chinese).
- [7] 许其凤,丛佃伟,董明. 主要定向技术比较与GNSS快速定位定向仪研制进展[J]. 测绘科学技术学报, 2013, 30(4): 349-353.
Xu Qifeng, Cong Dianwei, Dong Ming. Comparison among the main orientation technologies and the research progress of GNSS rapid positioning and orientation device[J]. Journal of Geomatics Science and Technology, 2013, 30(4): 349-353(in Chinese).
- [8] 朱日升,魏亮,曹雪立. 一种“笔尖式”引北方法分析[J]. 导航与控制, 2014, 13(1): 47-51.
Zhu Risheng, Wei Liang, Cao Xueli. An analysis of lead the north method with pen's tips[J]. Navigation and Control, 2014, 13(1): 47-51(in Chinese).
- [9] Gonsette A, Rasson J, Bracke S, et al. Fog-based automatic true north detection for absolute magnetic declination measurement [J]. Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems, 2017, 6(2): 439-446.
- [10] Poncelet A, Gonsette A, Rasson J. Several years of experience with automatic DI-flux systems: theory, validation and results[J]. Geoscientific Instrumentation, Methods and Data Systems, 2017, 6(2): 353-360.
- [11] Guodong L, Xiangjin W, Jia W, et al. Design and analysis of north-seeking method by time differencing method of gyro-theodolite[C]// 2012 2nd International Conference on Instrumentation, Measurement, Computer, Communication and Control. Harbin, China, 2012.
- [12] Sadiq M, Zaman Z, Jehanzeb A, et al. Design and development of precision astronomical north-finding system; a software and hardware perspective[C]// 2017 14th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology (IBCAST). Islamabad, Pakistan, 2017.
- [13] Zhi L, Gou H M. Underwater mining vehicle position and azimuth determining system interface programming [J]. Applied Mechanics and Materials, 2014 (556-562): 3211-3215.
- [14] Sather M R, Parsons S, Boardman K D, et al. Total integrated performance excellence system (TIPES): A true north direction for a clinical trial support center[J]. Contemporary Clinical Trials Communications, 2018, 9(3): 81-92.
- [15] 中国人民解放军总装备部军事训练教材编辑工作委员会. 靶场大地测量[M]. 北京:国防工业出版社

- 社, 2004.
- Military training material editorial committee of PLA general armament department. Range Geodesy[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2004 (in Chinese).
- [16] Lambrou E, Pantazis G. Accurate orientation of the gyroscope's calibration system [J]. FIG Working Week, 2004(5): 22-27.
- [17] 张鑫, 彭友志, 刘正华, 等. 基于 GNSS 与垂线偏差的真北方向测量方法 [J]. 计量技术, 2017(11): 19-22.
- Zhang Xin, Peng Youzhi, Liu Zhenghua, et al. True north direction measurement method based on GNSS and vertical deviation [J]. Measurement Technique, 2017(11): 19-22(in Chinese).
- [18] 国家测绘局测绘标准化研究所. GB/T 17943-2000 大地天文测量规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2000.
- Institute of surveying and mapping standardization (State Bureau of Surveying and Mapping). GB/T 17943-2000 Specification for Geo-Astronomical Surveying[S]. Beijing: Standards Press of China, 2000 (in Chinese).