doi：10.11823/j.issn.1674－5795.2018.05.04

陀螺经纬仪校准系统精确对中方法探讨

付永杰
（中国人民解放军92493部队，辽宁 葫芦岛 125000）

摘　要：在陀螺经纬仪校准过程中，需要将陀螺经纬仪中心与天文定向时的观测中心对中，此对中精度直接影响其寻北精度的测量结果。本文设计了一种基于两个平行光管的双目标精确对中方法，经实验验证，该方法可实现被检陀螺经纬仪中心与天文定向时的观测中心的高精度对中，成功提高了陀螺经纬仪校准的准确性；为配合该方法的使用，设计了陀螺经纬仪对中调整机构，该机构可以实现陀螺经纬仪水平二维位移调整和高低姿态调整，通过姿态调整，可以与天文定向时的观测中心高精度对心，提高测量精度，并满足不同型号陀螺经纬仪校准需求。

关键词：陀螺经纬仪；精确对中；姿态调整机构
中图分类号：TB922　　**文献标识码：**A　　**文章编号：**1674－5795(2018)05－0017－04

Discussion on the Accurate Alignment Method of Gyro Theodolite Calibration System

FU Yongjie
(Unit 92493 of PLA, Huludao 125000, China)

Abstract: In the process of gyro theodolite calibration, the center of gyro theodolite and observation center of astronomical orientation should be aligned. Its alignment accuracy directly affects the north－seeking precision. In this paper, a double target accurate alignment method based on two parallel collimators is introduced. This method can realize the high precision alignment between the center of gyro theodolite and the observation center of astronomical orientation. At the same time, in order to match the use of this method, a gyro theodolite position adjustment mechanism is introduced. The mechanism can realize horizontal two－dimensional displacement adjustment and high and low altitude adjustment of gyro theodolite. By adjusting the altitude, the center of the gyro theodolite and the observatory center of astronomical orientation are aligned with high precision, thus the measurement accuracy is improved and the calibration requirements of the different types of Gyro theodolite can be met.

Key words: gyro theodolite; accurate alignment; position adjustment mechanism

0　引言

陀螺经纬仪是一种利用惯性自主寻北的仪器，其原理为：根据地球自转角速度的北向分量，自动地寻找并且跟踪地理北向，从而实现地面点方位角的精确测量[1]。陀螺经纬仪与传统的北向仪器(如陀螺罗经和磁罗盘等)相比，具有全天候使用、机动性强、自主定向精度高、定向速度快、操作简单方便、便于携带等优势。陀螺经纬仪从结构上可分为两类：一类是将陀螺仪架在经纬仪或全站仪上面，称为上架式陀螺经纬仪；另一类是将陀螺仪安装在经纬仪或全站仪下部，称为下挂式陀螺经纬仪。陀螺经纬仪按照寻北误差可分为三级：误差在±5″以内为高精度；误差在±5″至±30″之间为中等精度；误差大于±30″为低精度[2]。随着定向测量技术的不断发展，陀螺经纬仪的应用也越来越广泛，对其定向精度的要求也越来越高[3]。

在建立陀螺经纬仪校准系统时，首先要建立方位角基准，一般采用平行光管或者自准直平面镜作为北向方位角设备，确定方位角基准与真北的夹角。使用方位角基准校准陀螺经纬仪时，需使被校准陀螺经纬仪中心位置安放与天文定向时的观测中心位置重合(即在同一基准方向上)，然后用被校准陀螺经纬仪瞄准方位角基准，并读数，计算陀螺经纬仪仪器常数和寻北误差。

陀螺经纬仪对中时，实际存在三个中心：陀螺经纬仪对点器中心、经纬仪中心、地面标志中心。对于上架式陀螺经纬仪来说，陀螺经纬仪对中误差就相当于经纬仪的对中误差。对于下架式陀螺经纬仪来说，陀螺经纬仪的对中误差来源包括：①陀螺经纬仪自带对点器的对中误差；②陀螺经纬仪对点器的偏心度[4]。在对陀螺经纬仪的校准过程中，陀螺经纬仪中心与天文定向时的观测中心的对中精度，直接影响其寻北精度[3]。

传统的对中方法主要有：垂球对中法、光学对点器对中法、激光对点器对中法、对中杆对中法和强制对中法等。其中，垂球对中法误差约为 ±2 mm；对中杆对中法误差约为 ±1 mm。激光对点器和光学对点器经过严格检校后，对中误差约为 ±0.5 mm。采用固定螺丝的强制对中法误差最小，一般可控制在 ± 0.1 mm 左右[5-6]。

由于以上传统对中方法中，只使用单个平行光管，而单个平行光管的目标无法放置于无穷远，且自准直平面镜无法安置在无穷远，因此难以减小对中误差，使得寻北的精度无法提高。针对此问题，本文提出了基于双目标的高精度对中方法，设计了与之匹配的陀螺经纬仪位置调整机构，并通过实验验证此方法的准确性。

1　双目标对中法原理

为了实现被检陀螺经纬仪中心与天文定向时的观测中心高精度对中，提出了利用两个平行光管的双目标精确对中方法。所设计的陀螺经纬仪校准系统如图 1 所示。

图 1　陀螺经纬仪校准系统示意图

该系统采用双目标结构，将两个 1 m 平行光管沿着纵向分布，固定在成 180°的两个基岩墩上，通过平行光管调整机构，将对称分布的两个平行光管产生的无穷远目标十字分划板中心目标点、陀螺经纬仪安装调整座中心调整到一条直线上，然后锁紧，作为两个北向基准。在校准陀螺经纬仪时，通过观测两个平行光管精确找到中心，原理如图 2 所示。

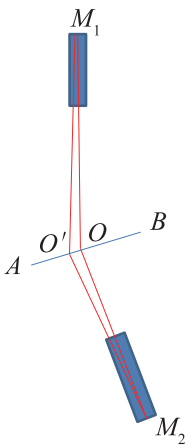
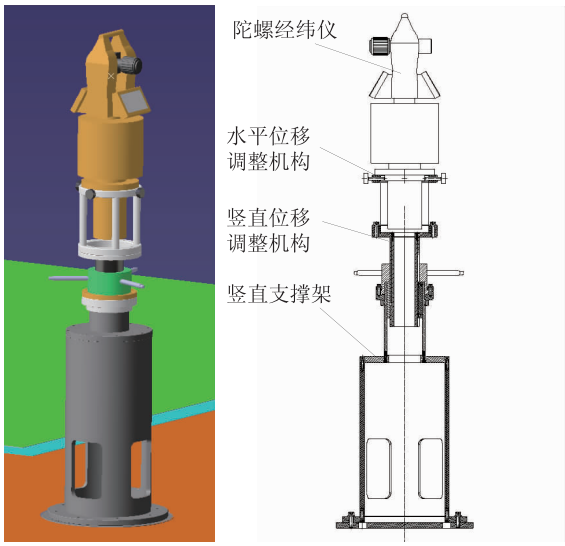


图 2　双目标法精确对中原理图

设平行光管 M_1 的光束与平行光管 M_2 光束相交于 O 点，$\angle M_1OM_2$ 已知。调整过程如下：①将陀螺经纬仪安置在定位台上，其中心位置位于 O′；②用陀螺经纬仪观测目标 M_1 和目标 M_2，得到 $\angle M_1O'M_2$；③若 $\angle M_1O'M_2 < \angle M_1OM_2$，则沿 $\angle M_1O'M_2$ 中分线 AB 方向调整陀螺经纬仪的位置，反之沿 BA 方向调整；④重复过程②和③，直到 $\angle M_1O'M_2 = \angle M_1OM_2$，此时陀螺经纬仪中心所在的位置与天文定向时的观测中心重合。

利用双目标法，使陀螺经纬仪与天文定向时的观测中心精确对中。这种校准方法无需设计陀螺经纬仪高精度对中机构，只需在定向中心附近增加满足陀螺经纬仪安装和调整的机构即可。为此设计了可实现陀螺经纬仪水平二维位移调整和高低姿态调整的机构。该机构可将陀螺经纬仪中心位置调整到与天文定向时的观测中心位置高精度重合。同时，该机构可以满足不同型号陀螺经纬仪安装要求，适用范围广，通用性好。陀螺经纬仪对中机构包括水平位移调整机构、竖直位移调整机构、竖直支撑架等，如图 3 所示。水平位移和竖直位移的调整范围可根据被校准的陀螺经纬仪进行设计，调整量可由测微螺纹进行控制，调整后的角度偏差不超过 1″。



（a）陀螺经纬仪对中机构三维立体图　（b）陀螺经纬仪对中机构剖面图

图 3　陀螺经纬仪对中机构整体结构图

2　对中误差对方位角测量精度影响分析

进行陀螺经纬仪仪器常数校准时，在检定工作台上安装被校陀螺经纬仪后，陀螺经纬仪的激光对点器与经纬仪中心铅垂线有时会有偏差，该偏差会影响方位角测量结果。下面分析对中误差对方位角测量精度

的影响[7-8]。将已知的方位边方向定义为 y 轴，其垂直方向定义为 x 轴，建立直角坐标系，如图 4 所示。

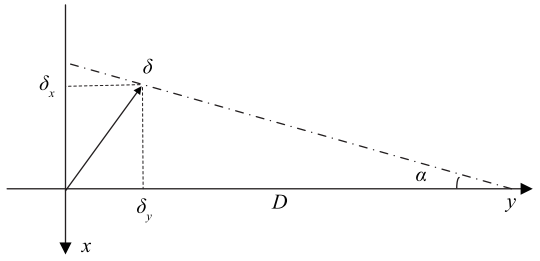


图 4　对中误差对定向测量影响图

当 $\delta_x = \delta$ 时，对方位边定向测量影响最大，此时，有

$$\alpha = \arctan\left(\frac{\delta}{D}\right) \tag{1}$$

式中：α 为实际观测的方位边与已知方位边之间的偏差角度；D 为距离；δ 为对中误差；对中误差在 x 轴和 y 轴方向的分量分别为 δ_x 和 δ_y。

由式(1)可知，偏差角度与方位边的距离长度成反比。偏差角度与对中误差 δ 成正比。所以，想要减小偏差角度引起的误差，最有效的方法就是尽量增大方位边长度，或者尽量减小对中误差。但是在实际工作中，受测试环境条件限制，方位角边长不可能无限长，因此，为了提高方位角的测量精度，需尽量减小方位边上对中误差 δ。表 1 列出了部分距离下，方位边上对中误差 δ 所引起的方位角偏差值。

表 1　对中误差 δ 所引起的方位角偏差值

误差/mm	目标距离不同所引起的偏差值/(″)				
	10 m	20 m	50 m	100 m	500 m
0.1	2.06	1.03	0.41	0.21	0.04
0.2	4.13	2.06	0.83	0.41	0.08
0.5	10.31	5.16	2.06	1.03	0.21
1.0	20.63	10.31	4.13	2.06	0.41

从表 1 可以看出，只有在目标足够远或对中误差足够小的情况下，方位角的偏差才会小。

3　实验验证

利用双目标法，使用高精度的电子经纬仪进行实验验证，设瞄准误差为 1″，经纬仪的十字分化宽度为 0.1 mm，则光管目标至经纬仪的当量距离可估算为

$$D = \frac{0.1\ \text{mm}}{\tan\left(\frac{1}{3600}\right)} \approx 20\ \text{m} \tag{2}$$

可根据角度偏差计算调整量。经纬仪经二次中心调整后的结果如表 2 所示。

表 2　经纬仪经二次中心调整后的结果

经纬仪值	光管 1	光管 2	夹角	偏差	调整量
标准值	24°21′55.63″	204°22′47.39″	179°59′08.24″	—	—
初始测量	210°36′58″	30°38′21″	179°58′37″	−31.24″	—
一次调整后	208°27′32″	28°28′14″	179°59′18″	9.76″	3 mm
二次调整后	208°24′49″	28°25′31″	179°59′08″	−0.24″	1 mm

从调整过程看，无需精确控制调整量，就能很快将经纬仪调整到既定的位置上。如果瞄准精度能够得到提高，则中心定位精度就可获得进一步提高。由此可见，陀螺经纬仪校准中利用双目标法，成功实现了陀螺经纬仪中心与天文定向时的观测中心精确对中，提高了测量结果的准确性。

4　结束语

提出了用两个平行光管进行双目标测量，实现高精度对中的双目标精确对中法。该方法解决了传统对中方法中只使用单个平行光管导致的精度局限性问题，可使陀螺经纬仪中心位置与天文定向的观测中心位置高精度重合，且具有目标偏心修正功能，成功提高了陀螺经纬仪北向方位角测量精度，使陀螺经纬仪校准更加准确。设计了陀螺经纬仪对中调整机构，通过该机构可以方便快捷的调整陀螺经纬仪的水平位移和垂直位移，节约操作时间。且此机构能够满足不同型号陀螺经纬仪的安装要求，通用性好，可广泛应用于陀螺经纬仪的校准领域。

参 考 文 献

[1] 曾波，刘敏．国产 AGT－1 自动陀螺经纬仪定向精度研究[J]．广东土木与建筑，2011(8)：47－48.

[2] 刘勇，张志勇，冯伟利．陀螺经纬仪校准技术[J]．宇航计测技术，2007，27(4)：6－10.
[3] 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.
[4] 罗巍，沈志明，张则宇，等．GYROMAT 2000 陀螺经纬仪强制对中装置的研制[J]．中国惯性技术学报，2006，14(3)：69－73.
[5] 李广云．工业测量系统最新进展及应用[J]．测绘工程，2001，10(2)：36－40.
[6] 张正禄．工程测量学[M]．武汉：武汉大学出版社，2013.
[7] 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：解放军信息工程大学，2010.
[8] 王飞，邓向瑞，李广云，等．关于陀螺经纬仪激光对点器同心度的检验[J]．测绘科学，2010，35(2)：191－192.

收稿日期：2018－05－19

作 者 简 介

付永杰(1975－)，女，高级工程师，博士，主要从事几何量、光学计量测试工作。

欢迎订阅《化学分析计量》 **邮发代号** 24－138

《化学分析计量》为国内外公开发行的全国性分析、计量专业技术类刊物，双月刊，大 16 开本，单月 20 日出版。国际刊号：ISSN 1008－6145，国内刊号：CN37－1315/O6。《化学分析计量》是中国科技核心期刊、美国《化学文摘》(CA)千种表收录期刊、中国学术期刊综合评价数据库统计源期刊，中国石油和化工行业优秀期刊、中国兵器工业优秀期刊、山东省优秀期刊。2018 年单价 15 元，全年 90 元。您可通过邮局或银行汇款向《化学分析计量》杂志社办理订阅手续，欲订阅过刊或合订本、合订本光盘的读者直接向杂志社订阅。

地址：山东省济南市 108 信箱杂志社 邮编：250031 电话：(0531)85878132，85878224，85878148

E－mail：anameter@126.com 网址：www.cam1992.com

《化学分析计量》2018 年第 4 期目次

标准物质
葫芦巴碱标准物质的研制
岩藻黄醇标准样品的研制
分析测试
超高效液相色谱－串联质谱法测定稻谷中 11 种农药残留
钙、镁、铁、铝离子对土壤中总氟化物检测干扰的消除
活性炭吸附－热脱附－气相色谱法测定室内空气中 5 种挥发性卤代烃
碱熔－ICP－AES 快速测定铅精矿中 11 种主次元素
管式炉燃烧－离子色谱法测定车用柴油中的硫
基于双磺基－Cu－Salophen 配合物的荧光分光光度法测定水中痕量铜
区带流动分析技术测定水中氰化物
高效液相色谱法测定阿达帕林含量
电感耦合等离子体发射光谱法同时测定工业盐中的 11 种元素
傅里叶变换红外光谱结合差示扫描量热法分析 PE/PP 再生料
微波消解－ICP－MS 法测定格隆溴铵注射液中的铬、镍、钼
气相色谱－质谱法测定食品接触材料聚苯醚中 2，6－二甲基苯酚的迁移量
QuEChERS－超高效液相色谱－串联质谱法测定果蔬中 57 种农药残留量
电感耦合等离子体原子发射光谱法同时测定 QT500－7 球墨铸铁中的硅和锰
X 射线荧光光谱法测定重稀土氧化物富集物中稀土元素含量
液相色谱法测定保健酒中的西地那非和咖啡因
火焰原子吸收光谱法测定长石中的钾和钠
气相色谱－质谱法测定鲜蛋中氟虫腈及其代谢物
微波消解－电感耦合等离子体质谱法测定环境土壤中 6 种常量金属元素
高频燃烧红外吸收法测定金属矿产品中的硫
高效液相色谱法同时测定谷瑞德胶囊中谷胱甘肽及维生素 C
三维滤袋法测定食品中的膳食纤维
电感耦合等离子体质谱法测定美罗培南中间体中的铑
毛细管气相色谱法测定环境空气中 6 种苯胺类化合物
计量技术
标准方法的证实和非标准方法的确认
实验室管理
水环境监测实验室信息管理系统的开发
仪器设备
热解析法测汞仪的校准
波长色散 X 射线荧光光谱仪的检定
综述
碳钢直读光谱标准方法评述