

文章编号 1004-924X(2009)07-1582-05

基于智能陀螺经纬仪实现快速初寻北

冯 莉¹,董桂梅¹,林玉池¹,张金梅²,齐永岳¹

(1. 天津大学 精密测试技术及仪器国家重点实验室,天津 300072;

2. 中国海信,山东 青岛 266000)

摘要:机械陀螺经纬仪初寻北时间的长短是决定其寻北效率的关键因素。从陀螺仪寻北的原理出发,在智能寻北系统中引入了一种快速寻北新方法——加速度判定法。该方法通过计算光标运动的速度与加速度值,能够在陀螺开始寻北数秒后即测量出真北值,并且能够弥补电子罗盘初寻北精度过低的问题,是全自动寻北策略的重要组成部分。以JT-15陀螺仪为样机的寻北实验表明,将加速度判定法应用于智能寻北系统中,仪器初寻北测量精度优于 $3'54''$,满足了JT-15陀螺仪精寻北的条件要求,保证了全自动寻北的速度和精度,对于机械陀螺的快速及智能化寻北具有现实意义。

关键词:陀螺经纬仪;初寻北;智能寻北;曲线拟合

中图分类号:V241.5 **文献标识码:**A

Quick coarse north-seeking based on intelligent gyro theodolite system

FENG Li¹, DONG Gui-mei¹, LIN Yu-chi¹, ZHANG Jin-mei², QI Yong-yue¹

(1. *State Key Laboratory of Precision Measuring Technology and Instruments, Tianjin University, Tianjin 300072, China*; 2. *Hisense Electric Co., Ltd., Qingdao 266000, China*)

Abstract: The coarse north-seeking time of a mechanical gyro theodolite is an important factor to decide north-seeking efficiency. A quick coarse north-seeking method named curve fitting is brought into the intelligent gyro theodolite system in this paper. By the proposed method, the true north value can be obtained in 10 s after gyro operates through a counting cursor to calculate the movement velocity and acceleration, and it can also compensate the low precision caused by an electronic compass. The experiment using JT-15 gyro shows that the measurement precision is superior to $3'54''$ when seeking coarse north, which meets the precise north-seeking condition of the JT-15 gyroscope. The application of the curve fitting method to the auto north-seeking system can ensure the velocity and precision of north-seeking automatically, and also has realistic significance to improve the efficiency and automation for mechanical gyro theodolites.

Key words: gyro theodolite; coarse north-seeking; intelligent north-seeking; curving fitting

1 引 言

陀螺经纬仪是一种精密寻北仪器,广泛应用于测绘、矿山、隧道、军事、航空和航天等领域。目前国内陀螺经纬仪基本是人工操作,不仅对操作人员的素质要求高,而且劳动强度大。德国、美国和俄罗斯生产的精度优于±5"的全自动仪器,不但价格高昂,而且往往因其军事敏感性而受到禁运^[1-4]。

本课题组研制的全自动智能寻北系统,采用了先电子罗盘粗寻北后陀螺仪精寻北的技术方案。KCH100 电子罗盘自身的寻北精度为±30',不过由于地磁北与真北的偏差会随着地域与时间的变化而变化,而且规律较难掌握,即使拥有某一地区磁偏角变化的规律数据,也必然会因环境、噪声等因素存在一定的误差,这就使得将电子罗盘作为初寻北器件其实际误差将超过其标称值^[5]。为了弥补这个偏差,本文提出一种自动寻北的初寻北补偿新方法—加速度判定法。首先利用电子罗盘初寻北使仪器朝向进入相对真北±30'的范围,再利用加速度判定法测量出该位置相对于真北的偏离值,控制转台转过相应值,使陀螺进入偏离真北很小区域,有利于陀螺精寻北的进程。

2 陀螺仪灵敏部寻北摆动的理论模型

陀螺仪灵敏部通过固联在陀螺房上的悬挂柱和金属悬挂带(吊丝)处于自由悬垂状态,陀螺转子具有两个完全自由度。其一,转子绕自转轴旋转;其二,灵敏部绕悬挂轴摆动。另一与自转轴相垂直的力矩轴受重力限制被迫接近水平^[6],如图 1 所示。

根据陀螺仪灵敏部寻北摆动的几何特征及力学特征,陀螺自转角动量矢量 H_G 及相对惯性空间的进动 ω 力图使陀螺轴本身与外力矩矢量 M 相重合。陀螺灵敏部无阻尼运动方程:

$$\begin{cases} i: J_x \frac{d^2 \gamma}{dt^2} + mglr = 0 \\ j: J_y \frac{d^2 \beta}{dt^2} + H_G \frac{d\alpha}{dt} + H_G \omega_{1E} \sin \varphi + mgl\beta = 0, (1) \\ k: J_z \frac{d^2 \alpha}{dt^2} - H_G \frac{d\beta}{dt} + H_G \omega_{1E} \cos \varphi \cdot \alpha = 0 \end{cases}$$

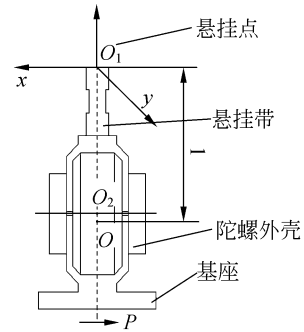


图 1 陀螺仪灵敏部
Fig. 1 Gyro sensitive part

式中, i, j, k 分别为沿 Ox, Oy 及 Oz 轴单位矢量; J_x, J_y, J_z 分别为灵敏部绕 Ox, Oy 及 Oz 轴转动惯量,单位 $kg \cdot m^2$; m 为灵敏部质量,单位 kg ; g 为重力加速度,单位 m/s^2 ; l 为倾心高,单位 m ; H_G 为转角动量,单位 $kg \cdot m \cdot s$; ω_{1E} 为地球自转角速度 $72.921 1 \times 10^{-6} \text{ rad/s}$; φ 为地理纬度。

由 $\omega \times H_G = M$ 简化式(1),求解可得:

1)当陀螺初始位置偏离子午线角 α 时,在无阻尼情况下,陀螺轴绕子午线的摆动轨迹呈椭圆,其方程为:

$$\frac{\alpha^2}{B^2} + \frac{(\beta - \beta_0)^2}{B^2 \left(\frac{H_G \omega_{1E} \cos \varphi}{mgl} \right)} = 1. (3)$$

2)其椭圆轨迹的短轴和长轴之比为:

$$\epsilon = \sqrt{\frac{H_G \omega_{1E} \cos \varphi}{mgl}}, (4)$$

比值 ϵ 是一个常数,一般为 1/200 左右。可见,陀螺轴正端所描绘出的椭圆拉得很长。

3)无阻尼摆动周期 T_A :

$$T_A = 2\pi \sqrt{\frac{H_G}{mgl \omega_{1E} \cos \varphi}}, (5)$$

忽略阻尼等干扰量的情况下,陀螺摆动是有规律的周期运动。

3 加速度判定法的原理

由机械陀螺寻北摆动的理论可知,简化后的陀螺运动方程:

$$y = A \cos(\omega t + \theta) + d, (6)$$

式中, y 为光标的运动位置, A 为光标的摆动振幅, ω 为光标的摆动角速度, θ 是一个常量, 为光标摆动相对于真北方向的初相位, d 为光标摆动中心与参考零点的偏移量, 也就是平衡位置。在理论上, 无阻尼情况下的光标摆动中心为真北位置, 也就是说, 计算出 d 值也就等于测量出真北位置^[7]。

公式的推导过程如下:

对 t 求二阶导数得到加速度 y'' :

$$y'' = -A\omega^2 \cos(\omega t + \theta), \quad (7)$$

从中解得:

$$A \cos(\omega t + \theta) = -\frac{y''}{\omega^2}, \quad (8)$$

代入运动方程(6), 得平衡位置:

$$d = y + \frac{y''}{\omega^2}, \quad (9)$$

y'' 为加速度曲线中与拟合曲线相对应点的纵坐标值; ω 为此点处的角速度值, 其为常量:

$$\omega = 2\pi/T, \quad (10)$$

此方法理论上不受采样数的限制, 可以由较少的数据量求出平衡位置, 可以在很短的时间内测量出北向, 是一种很有前途的方法。

4 加速度判定法在智能寻北系统中的应用

全自动智能寻北系统结构如图 2 所示, 把全自动测量系统置于测量点, 电子罗盘开始工作, 输出信号给数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP), 根据即时测得数据相对于北方位的位置关系驱动转台电机 1, 通过回转系统, 把陀螺经纬仪照准部往北方向靠近, 如此反复, 最终实现陀螺经纬仪初寻北; 陀螺经纬仪在初北方向, 启动下放电机 2, 下放陀螺, 同时反映陀螺方向运动信息的光标信号通过陀螺经纬仪的光路系统成像, 光标像由 CCD 采集模块接收转变为反映光强的电

压模拟信号, 经 A/D 转换为数字信号, 由 DSP 处理模块处理和寻北运算, 结果送到显示模块。键盘输入为人机接口模块, 通过对其控制可以实现所需的各种操作^[8]。

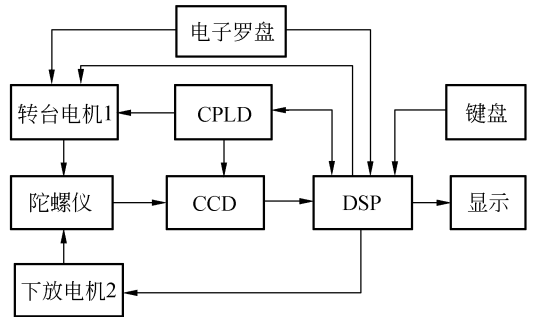


图 2 全自动智能寻北系统结构

Fig. 2 Intelligent and automatic north-seeking system

电子罗盘初寻北后, 其位置可能偏离真北较大, 超过了陀螺仪精寻北最佳范围, 影响寻北精度。为了避免出现上述情况, 可以利用加速度判定法进一步逼近真北。

5 试验验证

验证补偿后系统初寻北的精度和速度, 设计了如下初寻北实验, 实验结果见表 1。实验方法如下:

- (1) 将陀螺经纬仪固定在实验室内, 做好调平、连线等准备工作;
- (2) 在标定好的真北位置, 开启经纬仪的水平度盘, 读数复位为零, 旋转经纬仪水平旋钮使仪器照准部朝向偏离真北的一个已知角度 θ 上;
- (3) 启动陀螺, 同时电子罗盘初寻北, 转台带动陀螺仪指向罗盘北方向, 记录测量误差 α ;
- (4) 下放陀螺, 陀螺摆动稳定后, 用加速度判定法测量方位角, 记录测量时间和寻北结果, 重复 3 次, 测量时间均在 (19.5 ± 0.5) s, 不再罗列, 测量方位角为 β , 其与真实方位角的差值即加速度法北向偏差 σ ;
- (5) 重复步骤(2)、(3)、(4)。

表1 系统初寻北实验

Tab.1 Coarse north-seeking experiment of system

仪器偏离 真北角度 (θ)	罗盘北向偏 离真北角度 (α)	加速度法 测量方位角 (β)	加速度法北向 偏离真北角度 (σ)
		$-8'15.79''$	$-1'0.79''$
20°	$-7'15''$	$-5'59.49''$	$1'15.51''$
		$-6'48.99''$	$26.01''$
		$13'44.95''$	$30.95''$
90°	$13'14''$	$14'36.45''$	$1'22.45''$
		$16'23.29''$	$3'9.29''$
		$-10'22.73''$	$16.27''$
130°	$-10'39''$	$-10'30.14''$	$8.86''$
		$-11'58.61''$	$-1'19.61''$
		$19'4.48''$	$21.48''$
180°	$18'43''$	$19'8.71''$	$25.71''$
		$17'32.77''$	$-1'10.23''$
		$24'17.06''$	$-56.92''$
180.1°	$25'13.98''$	$23'46.84''$	$-1'27.14''$
		$22'11.07''$	$-3'2.91''$
		$-15'46.65''$	$30.27''$
230°	$-16'16.92''$	$-12'23.22''$	$3'53.70''$
		$-17'42.00''$	$-1'23.08''$
		$-0'53.48''$	$1'24.52''$
290°	$-2'18''$	$-0'53.19''$	$1'24.81''$
		$-3'31.34''$	$-1'13.34''$
		$6'21.83''$	$-2'18.17''$
359°	$8'40''$	$6'53.16''$	$-1'46.84''$
		$9'7.99''$	$27.99''$

实验表1中罗盘寻到的北向与真北方向的夹

参考文献:

- [1] 林玉池,孙占元,赵芙蓉,等.中天法在陀螺智能寻北系统中的应用研究[J].机械工程学报,2003,39(8):116-119.
LIN Y CH, SUN ZH Y, ZHAO M R, et al.. Application and research of transmit method in intelligent north-finding gyroscope system[J]. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2003,39(8): 116-119. (in Chinese)
- [2] 郭喜庆,武克用.新型陀螺经纬仪的研究与应用[J].光学精密工程,2001,9(2):182-185.
GUO X Q, WU K Y. New typr gyro-theodolite and

角即罗盘北向偏离真北角度,由 α 表示。由表1看出加速度法北向偏离真北方向 σ 的最大偏差角度不超过 $3'54''$,计算标准偏差 ϵ 为 $1'38.71''$,远远优于罗盘 $\pm 30'$ 的精度。在电子罗盘粗寻北基础上,用加速度判定法测量北向,根据位置角度关系驱动转台电机,通过回转系统将仪器转向加速度法测得的北向,此时很大程度上靠近真北。针对精寻北所需满足初始条件为真北方向 $30'$ 以内的JT15陀螺经纬仪来说,用加速度法补偿电子罗盘初寻北,精度优于 $3'54''$,完全能够满足陀螺仪精寻北的条件要求。作为初寻北的一种补偿方法,加速度法测量时间在19.5s左右,时间短,有效保证了寻北速度。

6 结论

本文由陀螺仪寻北测量的基本原理出发,提出了一种快速寻北新方法——加速度判定法,该方法弥补了电子罗盘在初寻北中精度过低的缺点,整体初寻北时,测量误差 $3'54''$,能够作为JT-15陀螺仪的初寻北值。加速度判定法在初寻北过程中不需要操作人员跟踪照准部,仪器可自动完成寻北测量,是电子罗盘—陀螺寻北方案的有效补充。该方法测量时间只需数秒钟,有效地保证了寻北速度,解决了全自动寻北仪初寻北精度过低的问题,同时能够有效地提高初寻北速度及精度,对于机械陀螺的快速及智能化寻北具有现实意义。

its applications[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2001,9(2):182-185. (in Chinese)

- [3] CHIN W T, PARK, S, MOSTOV K, et al.. Design of gyroscope-free navigation systems[C]. *Intelligent Transportation Systems, Proceedings of IEEE*, 2001, 10. 1109/ITSC, 2001, 948670:286-291.
- [4] ADAM D, CHRZANOWSKI J. New technique of orientation survey of the mine pit. *The Mining Engineer*, 190, 1983.
- [5] 刘飞,周贤高,杨晔.相关地磁匹配定位技术[J].中国惯性技术学报,2007,15(1):59-62.
LIU F, ZHOU X G, YANG Y. Geomagnetic matching location using correlative method[J]. *Journal*

of Chinese Inertial Technology, 2007, 15(1): 59-62. (in Chinese)

- [6] 煤科总院唐山分院, 陀螺经纬仪组. 陀螺经纬仪基本原理、结构与定向[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1982.
COAL ACADEMIC. *Gyro-theodolite Principle, Structure and Direction*[M]. Beijing: Coal Industry Press, 1982. (in Chinese)
- [7] 夏桂锁. 陀螺经纬仪自动寻北关键技术的研究[D].

天津: 天津大学, 2007.

- XIA G S. *Study on automatic north-finding key technique of gyroscope*[D]. Tianjin: Graduate Tianjin University, 2007. (in Chinese)
- [8] LIU L L, MA W L, YAO W J, et al.. Integrated capillary electrophoresis chip scanning and analyzing system based on DSP and CCD[J]. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 2006, 19(2): 341-345.

作者简介:



冯 莉(1982—), 女, 河北邢台人, 博士研究生, 2006 年于天津大学获得硕士学位, 主要从事陀螺寻北仪和仪器自动化系统的研究。E-mail: fenglingfc@yahoo.com.cn



董桂梅(1978—), 女, 天津人, 博士研究生, 2006 年于天津大学获得硕士学位, 主要从事陀螺经纬仪全自动化关键技术的研究。E-mail: maydong@yahoo.cn



林玉池(1946—), 男, 福建莆田人, 博士, 教授, 博士生导师, 1970 年于天津大学获得博士学位, 主要从事光电测控与视觉检测技术、现代传感与测试信息技术等方面的研究。E-mail: ychlin@tju.edu.cn



张金梅(1983—), 女, 河北沧州人, 硕士, 2008 年获得硕士学位, 主要从事视觉检测的研究。E-mail: meizi708908@163.com



齐永岳(1978—), 男, 天津人, 博士, 讲师, 2008 年获得博士学位, 主要从事现代传感与测试信息技术的研究。E-mail: qyy1978qyy@163.com