

文章编号 1004-924X(2001)02-0182-04

# 新型陀螺经纬仪的研究与应用

郭喜庆, 武克用

(中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130022)

**摘要:** 根据陀螺理论的基本规律及陀螺运动特性, 建立陀螺元件的力学模型进行定量结果的分析, 得出高速旋转的陀螺转子在地球自转角速度影响下的运动规律; 通过先进的 CCD 光电测控技术对其进行采样和数学计算, 从而得出被测点子午线的真北方向, 实现系统的定向过程; 通过经纬仪实施对导弹的瞄准, 确定待发射导弹的坐标方位角, 使定向和瞄准一体化, 为新一代采取机动发射的武器系统提供一种新颖的陀螺经纬仪结构方案。该系统具有成本低、精度高、作业时间短等优点。特别适合军事领域应用的需要。

**关键词:** 陀螺经纬仪; 最小二乘法; 力学模型; CCD 光电测控技术; 真北方向; 坐标方位角

**中图分类号:** V556.5 **文献标识码:** A

## 1 引言

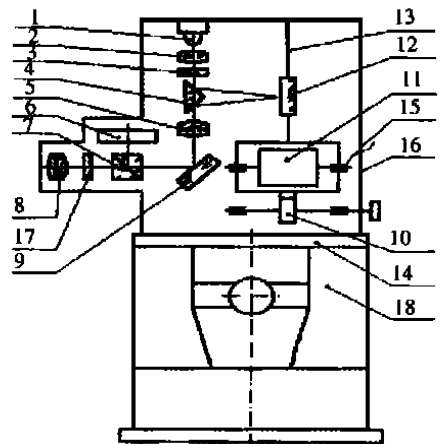
陀螺经纬仪是工程测量及导弹瞄准中用以定向和确定方位角的主要仪器, 可以精确地测量地面或矿井下巷道或隧道任意测点的真子午线位置, 从而确定任意测线的坐标方位角。随着近代工业机械化和自动化程度的提高, 我国弹道导弹武器的诞生及发展, 对工程测量的效率和精度以及对导弹武器命中精度及生存能力提出很高的要求<sup>[1]</sup>。而后者即为导弹机动发射能力和快速反应能力, 因此导弹的瞄准设备向无依托(自主式)及自动化方向发展。陀螺经纬仪中的自主定向系统——陀螺仪是一种灵敏度高、稳定性好、不受磁性干扰、使用方便的测量仪器。它是以前具有广泛应用的机械陀螺为测试元件, 采用在单片机控制下的 CCD 光电测控技术, 不仅结构简单, 而且定向作业时间短, 定向精度高, 是目前陀螺经纬仪自主定向系统所采用的新颖技术及方法。

## 2 陀螺经纬仪的基本结构

陀螺经纬仪的基本结构如图 1 所示。

该结构中的陀螺仪为上架摆式陀螺仪<sup>[2]</sup>, 其核心是陀螺马达 11, 装在密封充气的陀螺房中, 通过悬挂带 13 悬挂起来, 用两根导流丝 15 供电, 悬挂带上装有平面反射镜 12, 它们共同构成陀螺

灵敏部。与陀螺壳体固连在一起的狭缝 3 被光源 1 以聚光镜 2 照亮。狭缝光束经棱镜 4、平面反射镜 12 反射后再通过物镜 5 同时分别成像在 6(线阵 CCD)上及目视分划板 17 上。目镜 8 供调试及监视使用。转动外部手轮通过凸轮 10 带动升降限幅机构的升降, 使陀螺灵敏部托起或放下。仪器外壳 16 内壁和底部装有磁屏蔽罩以防止外磁场干扰, 陀螺仪和经纬仪 18 靠专门设计的连接架 14 连接。



1. lamp-house; 2. focus-mirror; 3. narrow; 4. prism; 5. object lens; 6. linear array CCD; 7. spectroscop; 8. ocular; 9. speculum; 10. cam; 11. gyro-motor; 12. plane speculum; 13. suspend tap; 14. juncture; 15. wire; 16. hull; 17. reticle; 18. theodolite

Fig. 1 Structure of the gyro-theodolite



述,陀螺轴的轴尖以 (A<sub>0</sub>, B<sub>0</sub>) 为中心,作椭圆螺旋线运动,如图 4 所示。

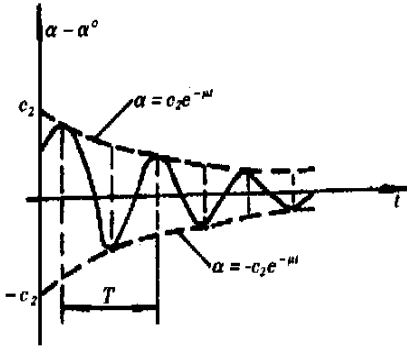


Fig. 3 Damp oscillation of the gyro-axis

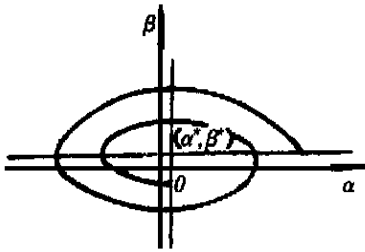


Fig. 4 Track of the gyro-axis acted by damp

### 4 陀螺仪的基本工作原理

单片机控制下的 CCD 光电测控技术原理方框图如图 5 所示<sup>1</sup>。

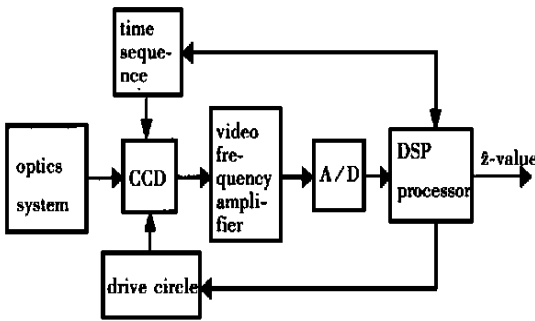


Fig. 5 Principle block diagram of CCD optoelectricity measuring technology

在定向工作时,被照明的狭缝通过棱镜把光束投射到陀螺灵敏部上的平面反射镜上,光束从平面反射镜反射回来后又到棱镜经物镜使狭缝成像在 CCD 上。该图像信息由 CCD 转换成视频信号,再经过放大, A/D 变换后变成数字信号,由单片机进行采集处理,计算出图像的中心坐标值,这一坐标值即为陀螺轴在某一时刻的角位置。由于

陀螺寻北以固定周期,沿 CCD 中心位置作正弦规律摆动,因此单片机采集处理一系列与时间相关的角位置参数,然后通过最小二乘法进行拟合,求出真北方向。

### 5 数据处理

由摆式陀螺欧拉方程式,知其 A 解为一有阻尼的简谐振动。当采用 CCD 代替目视读数后,则经图 1 所示陀螺仪光学系统后,光标像在 CCD 上的运动方程可表达为:

$$D = A_0 + C e^{-L^2 t} \cos(\sqrt{X^2 - L^2} t + E)$$

则其在 CCD 上各时刻的位置分别为:

$$D_i = A_0 + C e^{-L^2 t_i} \cos(\sqrt{X^2 - L^2} t_i + E) \quad (i = 0, 1, 2, 3 \dots, n),$$

其中: A<sub>0</sub> 为北向失准角

将上式展开:

$$D_i = A_0 + e^{-L^2 t_i} \cos(\sqrt{X^2 - L^2} t_i) (C \cos E) - e^{-L^2 t_i} \sin(\sqrt{X^2 - L^2} t_i) (C \sin E) \quad (i = 0, 1, 2, 3, \dots, n)$$

设

$$A_i = e^{-L^2 t_i} \cos(\sqrt{X^2 - L^2} t_i)$$

$$B_i = - e^{-L^2 t_i} \sin(\sqrt{X^2 - L^2} t_i)$$

$$X = C \cos E$$

$$Y = C \sin E$$

$$Z = A_0$$

则

$$D_i = A_i X + B_i Y + Z$$

$$(i = 0, 1, 2, 3 \dots, n)$$

由最小二乘原理得出 Z 的估计值

$$\hat{Z} = \frac{\begin{vmatrix} \sum A_i^2 & \sum A_i B_i & \sum D_i A_i \\ \sum A_i B_i & \sum B_i^2 & \sum D_i B_i \\ \sum A_i & \sum B_i & \sum D_i \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \sum A_i^2 & \sum A_i B_i & \sum A_i \\ \sum A_i B_i & \sum B_i^2 & \sum B_i \\ \sum A_i & \sum B_i & n \end{vmatrix}}$$

$$(i = 0, 1, 2, 3 \dots, n)$$

上式中 D<sub>i</sub> 为各时刻 CCD 测得的光标位置, A<sub>i</sub>、B<sub>i</sub> 为系数,对于特定的陀螺, X、L 为常数, C 值可由

<sup>1</sup> 武克用. 陀螺经纬仪应用研究报告. 内部资料, 1995

实验测得,  $E$  为初始相位, 而  $t_i$  为各采样时刻, 可由所配电子学系统自行测定。这样, 就可以在很短的时间内通过计算机算得  $z$ 。在光学系统像距为  $100\text{mm}$ , CCD 像元间距  $P=0.014\text{mm}$  的条件下, 数据的最大偏差为  $0.224p$ , 对应的角度值为  $6.5''$ 。本系统中的角动量  $H$  为  $4000\text{gcms}$ , 质量  $m$  为  $65\text{g}$ , 悬挂带长  $150\text{mm}$ , 故摆动周期  $T_A$  为  $9\text{min}$ 。

## 6 结 束 语

本文所讨论的陀螺经纬仪中的陀螺定向系统

### 参考文献:

- [1] Lauf G B. Gyroscopic surveying[J]. Quarterly of the Colorado School of Mines, 1970, 65(2): 25- 28.
- [3] Logan Kevin P. Determining an azimuth with a gyrotheodolite[M]. VIRGINIA: ENGINEER TOPOGRAPHIC LABORATORIES, 1986.
- [3] 王洪兰. 陀螺理论及在工程测量中的应用[M]. 国防工业出版社, 1995.

## New type gyro-theodolite and its applications

GUO Xi-qing, WU Ke-yong

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,  
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022, China)

Abstract: A new type gyro-theodolite scheme based on the fundamental law and kinematic behavior of gyroscope is presented. In this scheme, a mechanics model of high-speed gyroscope rotor has been established, by which the angular velocity of earth rotation was deduced. The advanced CCD optoelectricity measuring technology was adopted to sample the data of principle curves, and the real north of surveyed point was calculated with the least square method. The coordinate azimuth of the missile, which is going to be launched, was determined. The gyro-theodolite system is especially suitable to military applications because of its fast reaction, high precision and low cost.

Key words: gyro-theodolites; least square methods; mechanics models; CCD optoelectricity measuring technology; real north; coordinate azimuth

作者简介: 郭喜庆(1972-), 男, 吉林舒兰人, 1994年毕业于吉林工业大学机械系机械电子工程专业获学士学位, 现为中国科学院长春光学精密机械与物理研究所博士研究生, 主要从事精密仪器机电一体化的研究。

是以目前具有广泛应用的机械陀螺为测试元件, 采用在单片机控制下的 CCD 光电测控技术, 排除了传统人工跟踪瞄准的办法, 具有结构简单、性能稳定、直接数字输出(便于与计算机联接)、设备重量轻等独特的优点, 不仅大大地缩短了定向作用时间(1/4 摆动周期, 约为 2min), 而且提高了定向精度, 同时使操作快速简单, 降低了对人员的要求, 为满足工程测量应用及发展奠定基础。