

# Northfinding/Optics Alibration System for Land-Based Heading of Helicopters

Shuanyun Guo, Qingqian Liang, Bing Wang

Xi'an Institute of Applied Optics, Xi'an Shaanxi

Email: guoshuanyun@163.com

Received: Oct. 7<sup>th</sup>, 2019; accepted: Oct. 22<sup>nd</sup>, 2019; published: Oct. 29<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

Northfinding/Optics alibration system for land-based heading of helicopters was proposed, the system can measure land-based heading of static condition helicopters, calibrate the included degree of helicopters transverse axle and true north. The included degree is loaded on the helicopters. The helicopter heading accuracy can be improved under the condition of low cost.

## Keywords

Northfinding, Helicopters, Heading, Land-Based

---

# 寻北/光学组合直升机陆基航向校准系统

郭栓运, 梁庆仟, 王 兵

西安应用光学研究所, 陕西 西安

Email: guoshuanyun@163.com

收稿日期: 2019年10月7日; 录用日期: 2019年10月22日; 发布日期: 2019年10月29日

---

## 摘 要

提出一种寻北/光学组合陆基航向校准系统, 实现直升机静止状态下的航向测定, 标定出飞机纵轴与北向的夹角, 通过陆基条件下直升机初始航向装载, 在低成本条件下提高了直升机航向精度。

## 关键词

寻北, 直升机, 航向, 陆基

---



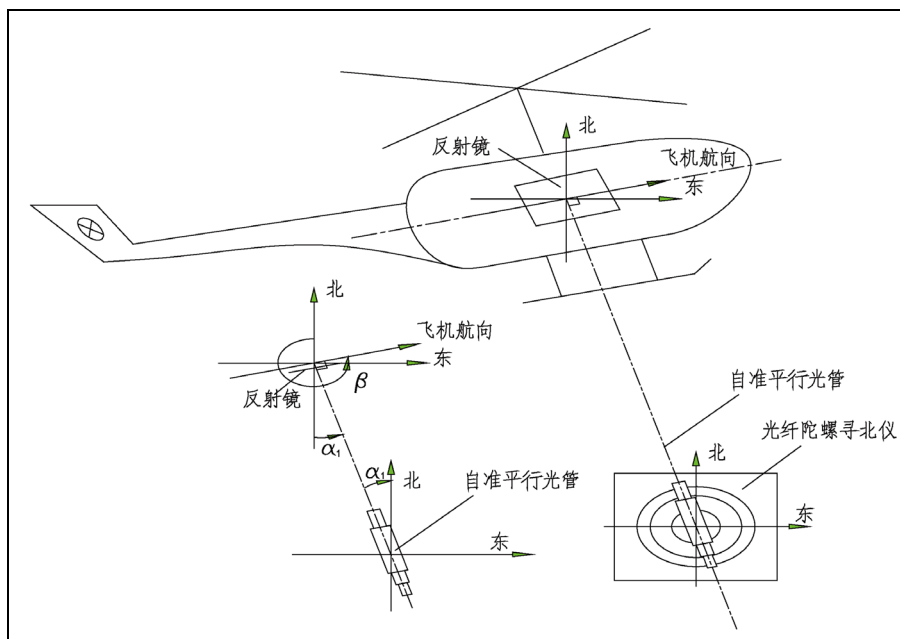
## 1. 引言

对于没有配备高精度惯性导航系统的现役直升机改造过程发现，直升机装备系统在方位指标精度难以满足现代精确打击需求，而为提高方位精度加装高精度惯性导航系统，成本又过高，为了解决此问题，提出一种寻北/光学组合陆基航向校准系统，实现飞机静止状态下航向测定，通过陆基条件下直升机初始航向装载，标定出飞机的纵轴与北向的夹角，提供给直升机航向保持解算系统，便可以解决低成本条件下的直升机方位角度精度问题。

## 2. 系统工作原理

寻北/光学组合直升机陆基航向校准系统直升机系统的方位角度确定，主要通过寻北仪来完成，飞机辅助镜面法线与飞机纵轴垂直，结合光学瞄准辅助系统，协同寻北仪完成目标的方位角度确定工作，如图 1 所示。对于飞机航向角既寻北仪参考方位输出线与北向的夹角：

$$\begin{aligned}\beta &= 270^\circ + \alpha_1 \quad (\alpha_1 < 90^\circ) \\ \beta &= \alpha_1 - 90^\circ \quad (\alpha_1 > 90^\circ)\end{aligned}\quad (1)$$



**Figure 1.** Schematic diagram of the north/optical combination land-based heading calibration system

**图 1.** 寻北/光学组合陆基航向校准系统原理图

寻北仪由一个光纤陀螺和一个挠性加速度计组成检测单元，检测地球自转角速度和重力加速度在参考基准面上四个位置的分量，即 90 度分割的四个互相垂直的位置分量。通过电机带动陀螺和加速度计转动，并且通过高精度控制系统来完成高精度的转位控制。然后解算计算机利用这陀螺和加速度计在四个

位置分量, 联合解算, 即可解算出寻北仪参考方位输出线与北向的夹角即平行光管的光轴所在的方位角度。而这个角度与目标反射镜的方位角度存在 180 度的方位误差。最后, 寻北仪系统通过接口, 输出目标镜的方位角度给直升机系统。

为了确保平行光管的输出光轴就是寻北仪的方位角度输出轴, 在平行光管的安装上要求较高的结构要求, 即要求寻北仪的输出底座(寻北仪的参考输出底面)和平行光管的底座要求平行。为了达到这样的目的, 首先, 确保平行光管的输出光(十字)和它的反射接收镜面的(十字)平行。然后, 将一台已经标校好的平行光管放于一个基座上, 调水平它的基座, 然后将平行光管调整使得它的光轴处于平行水平面的状态, 也就是它的十字线已经处于平行和垂直水平面的状态当中。然后将寻北仪安放在水平转台上, 通过调整转台方位和平行光管的基座, 使得它所发出的十字光正好与已经调整好的另一台平行光管的十字重合。这样就可以确定, 平行光管的参考基准面 and 寻北仪的参考基准面平行。最后, 将平行光管的输出轴确定为寻北仪的方位输出轴, 这个轴与陀螺和加速度计的敏感轴必然存在安装误差, 通过安装误差的标定, 就可以消除这个误差的影响。

### 3. 系统寻北解算

寻北仪采用静基座寻北, 通过陀螺和加速度计分别检测地球自转角速度和重力加速度大小, 解算出寻北仪输出参考基准面与水平面的夹角, 以及输出参考方向与地理北向的夹角。也就是确定出寻北仪自身的坐标系与地理坐标系三轴的角度转换关系。这里所用到的坐标系均为东北天坐标系, 即当坐标系的 y 轴指向北, x 轴在水平面内时必然指向东, 而 z 轴必然指向天。如图 2 所示。

光纤陀螺敏感地球自转角速度在寻北仪坐标系(采用东北天坐标系)上 x、y 轴上的分量, 加速度计敏感地球重力加速度在寻北仪坐标系 x、y 轴上的分量。通过这些量, 进行寻北解算, 得到寻北结果的方位角度、俯仰角度和倾斜角度[1]。

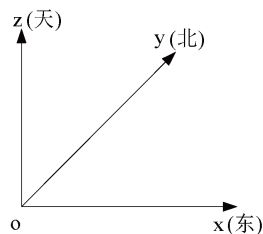


Figure 2. Northeast celestial coordinate system

图 2. 东北天坐标系

此时, 地球自转角速度在地理坐标系上的分量为:

$$\begin{bmatrix} \omega_x^t \\ \omega_y^t \\ \omega_z^t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \omega_{ie} \cos L \\ \omega_{ie} \sin L \end{bmatrix} \quad (2)$$

地球重力加速度在地理坐标系上的分量为:

$$\begin{bmatrix} f_x^t \\ f_y^t \\ f_z^t \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -G \end{bmatrix} \quad (3)$$

这里:  $\omega_{ie} = 15.041^\circ/h$  为地球自转角速度;  $G = 9.780318(1 + 0.0053024 \sin^2 L) \times R_n^2 / (R_n + h)^2$  且:

$R_n = R_e(1 - 2e + 3e \sin^2 L)$ ;  $e = 1/298.2572$ ;  $R_e = 6378137$ ;  $h$  为初始对准时所处位置的海拔;  $L$  为初始对准时所处位置的纬度。

设定寻北仪俯仰角度为  $\theta$ , 倾斜角度为  $\gamma$ , 设方位角度为  $\alpha$ , 则可以解算得到此时  $x$ 、 $y$  轴陀螺和加速度计的敏感量分别为:

$$\omega_x^b = \omega_{ie}(\sin \gamma \sin \alpha + \sin \gamma \sin \theta \cos \alpha) \cos L - \omega_{ie} \sin \gamma \cos \theta \sin L \quad (4)$$

$$\omega_y^b = \omega_{ie} \cos \theta \cos \alpha \cos L + \omega_{ie} \sin \theta \sin L \quad (5)$$

$$f_x^b = G \sin \gamma \cos \theta \quad (6)$$

$$f_y^b = -G \sin \theta \quad (7)$$

由上式可以解算出寻北仪的俯仰角度、倾斜角度和方位角度为:

$$\text{俯仰角度: } \theta = -a \sin \frac{f_y^b}{G} \quad (8)$$

$$\text{倾斜角度: } \gamma = a \sin \frac{f_x^b}{G \cos \theta} \quad (9)$$

$$\text{方位角度: } \alpha = a \tan \left( \frac{\omega_x^b + \omega_{ie} \sin \gamma \cos \theta \sin L}{\omega_y^b - \omega_{ie} \sin \theta \sin L} \times \frac{\cos \theta}{\cos \gamma} - \tan \gamma \sin \theta \right) \quad (10)$$

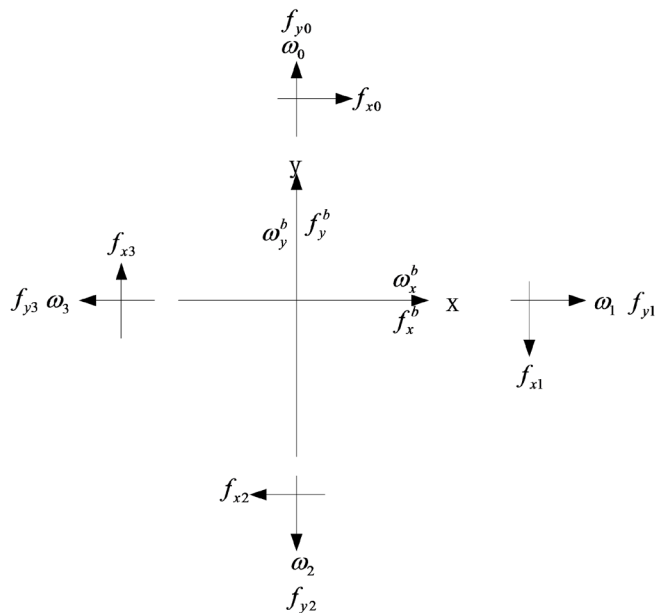
由于寻北仪的陀螺仅有一个, 且考虑到陀螺和加速度计的零偏常值误差影响。寻北仪采用四位置采样的办法, 通过采用步进电机驱动陀螺和加速度计, 使其在寻北仪参考基准水平面相差 90 度位置的四个位置上分别敏感地球自转角速度和重力加速度计在这些位置上的相应分量。且通过结构加工等手段, 确保采样在其中的某一个位置时, 陀螺的敏感轴正好对准寻北仪坐标系的  $y$  轴。以 0 位置对准  $y$  轴, 如图 3 所示[2] [3]。

则四位置陀螺和加速度计的输出为:

$$\begin{aligned} \omega_0 &= \omega_y^b + \omega_0 + \varepsilon_0 \\ \omega_1 &= \omega_x^b + \omega_0 + \varepsilon_1 \\ \omega_2 &= -\omega_y^b + \omega_0 + \varepsilon_2 \\ \omega_3 &= -\omega_x^b + \omega_0 + \varepsilon_3 \\ f_{x0} &= f_x^b + g_0 \\ f_{y0} &= f_y^b + g_0 \\ f_{x2} &= -f_x^b + g_0 \\ f_{y2} &= -f_y^b + g_0 \end{aligned} \quad (11)$$

这里,  $\omega_0$  为陀螺零偏常值,  $\varepsilon_i$  ( $i = 0, 1, 2, 3$ ) 为陀螺的随机误差,  $g_0$  为加速度计的零偏误差。则, 通过上述的四位置检测, 可以解算得到:

$$\begin{aligned} f_y^b &= \frac{f_{y0} - f_{y2}}{2} \\ f_x^b &= \frac{f_{x0} - f_{x2}}{2} \\ \omega_y^b &= \frac{\omega_0 - \omega_2}{2} \\ \omega_x^b &= \frac{\omega_1 - \omega_3}{2} \end{aligned} \quad (12)$$



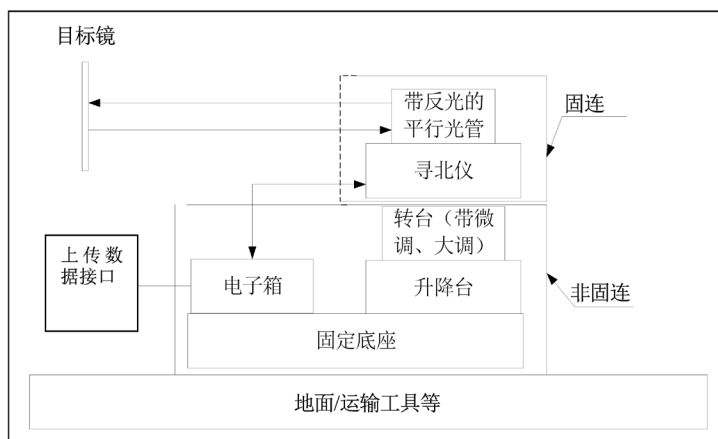
**Figure 3.** Four-position detection of the north finder  
**图 3.** 寻北仪四位置检测量

这样，就可以获得寻北仪坐标系下的地球自转角速度和重力加速度的分量，再按式(8)、(9)、(10)解算，即可获得寻北仪的姿态角度和方位角度。

此系统采用零偏稳定性优于  $0.001^\circ/h$  的光纤陀螺，寻北仪准备及寻北时间 10 分钟内，实现寻北航向精度在可置信度 90% 条件下优于 0.5 mil。适用俯仰角度： $-25$  度 $\sim+25$  度，适用倾斜角度： $-15$  度 $\sim+15$  度。

#### 4. 系统构成

系统构成如图 4、图 5 所示，系统具体包括：



**Figure 4.** Schematic diagram of the system  
**图 4.** 系统构成示意图

1) 系统的核心为光纤陀螺寻北仪，寻北仪负责为目标镜确定方位角度，即完成初始寻北校准系统的自身方位角度的确定。寻北仪为带倾斜角度补偿的寻北仪，寻北仪的使用俯仰角度为 $\pm 25$  度，适用倾斜角度为 $\pm 15$  度。寻北仪地参考水平面为它的基座底面，参考方位为平行光管的输出光轴。

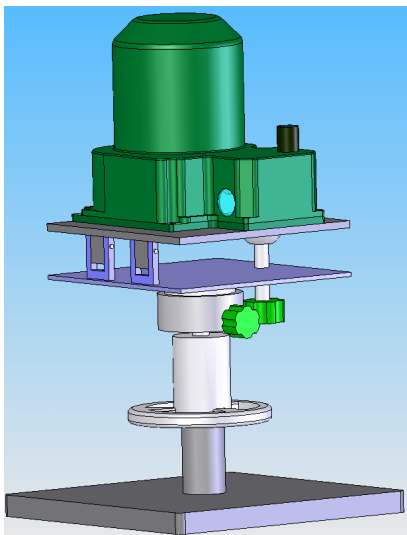


Figure 5. Schematic diagram of the system  
图 5. 系统外型示意图

2) 为了引出寻北仪的输出, 并同时观测到目标镜, 加上了一个带反射光的平行光管, 且该平行光管只能在俯仰角度上进行调整, 而不能在方位位置上进行调整。该光管在使用当中, 将它对准目标镜面, 即经过目标镜面的反射光正好落入平行光管的十字线上, 或者与十字线的纵线重合。在俯仰角度方位可调, 是为了方便使用过程中, 目标镜与寻北仪存在高度差时, 调整俯仰角度值, 确保目标镜的反射光能够进入平行光管的视场当中, 便于实际工作。

方位角度不可调试为了确保寻北仪的输出方位角就是平行光管的输出光轴所在的方位角度。

3) 为了调整寻北仪方位, 将平行光管对准目标镜, 必须在寻北仪的基座面下连接上一个可调整方位的转动台面, 通过调整这个转动台面, 确保平行光管能够对准目标镜。当对准之后, 可以锁定该转动台面。

4) 同时, 为了实际操作的方便, 加上一个升降台, 以便调节寻北仪的高度, 确保平行光管能够观测到目标镜。升降台能够固定高度, 确保寻北仪工作当中能够保证基座不发生移动。

5) 电子箱是为了减轻寻北仪的重量, 而将它内部的电源模块、解算计算机模块、转位控制模块、输入输出模块等取出, 组成一个新的单元。它完成供电、采集、解算等功能。

6) 上传数据接口将目标镜方位结果传输给直升机, 也可用无线方式上传。

7) 升降台可以置于固定底座上, 而固定底座可以是地面或者汽车等运输工具上。

## 5. 试验应用及结论

此系统采用零偏稳定性优于  $0.001^\circ/h$  的光纤陀螺, 寻北仪准备及寻北时间 10 分钟内, 实现航向精度在可置信度 90% 条件下优于 0.5 mil。适用俯仰角度:  $-25^\circ \sim +25^\circ$ , 适用倾斜角度:  $-15^\circ \sim +15^\circ$ 。系统已在某机场成功应用对现役直升机进行陆基航向校准与传递, 实现了直升机的初始航向校准。

单轴光纤陀螺寻北仪和光学瞄准系统组合直升机陆基航向校准系统的研究, 直接面对工程应用, 解决了现役直升机航向标定问题, 也可作为机载高精度惯性导航精度周期校验应用, 该航向校准系统也可以用于方位角度的标定, 特别是野外试验的方位角度标定。由于该系统的性能指标要求比较高, 因此可以作为野外北向基准使用。同时, 该系统具有对准平行光管, 因此更适合野外进行仪器系统试验当中的方位角度标定。

## 参考文献

- [1] 陈哲. 捷联惯导系统原理[M]. 北京: 宇航出版社, 1986.
- [2] 邓宏林, 郭栓运, 扈宇姝, 等. 车辆寻北车长镜的设计与实现[J]. 应用光学, 2011, 32(5): 849-853.
- [3] 周国良, 梁庆仟, 黄晓峰. 光纤陀螺寻北仪控制系统的设计与实现[J]. 应用光学, 2006, 27(2): 144-146.