

激 光 测 向

钟 俊 义

本文对一种随动陀螺激光跟踪测向系统方案进行理论分析, 实验阐明其实施的可能性, 它可以用于激光制导系统, 提供光轴与弹轴之间的角度信息。

一、测向系统的理论分析

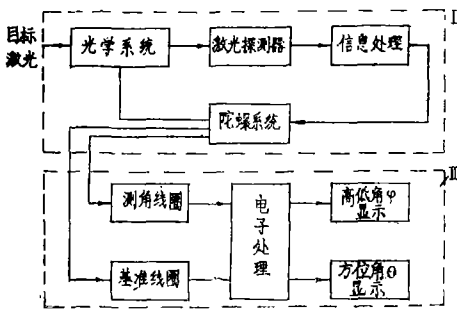


图 1 测向系统原理框图

激光测向系统采用随动陀螺激光跟踪器通过响应一个选定的物体即目标发出或反射的激光信标来跟踪其位置。在跟踪的同时利用测角线圈和基准线圈感应的电压, 通过电子处理测得目标的方向角 φ 、 θ 。其原理框图如图 1 所示。

测向系统由 I 跟踪、II 角位置信息的检测两部分组成。跟踪部分的功能是对目标的激光信标进行自动跟踪及由于某种原因丢失目标可以

以自动地搜索目标重新获得目标的激光信息自动转入跟踪状态。

检测 φ 、 θ 方向角系统结构示意图如图 2 所示。在陀螺进动跟踪目标的同时, 在固定于测向装置的壳体上的 φ 角测量线圈感应与 φ 、 θ 角有关的电压, 经过电子处理检测出 φ 、 θ 参数。

陀螺转子上有圆盘形永久磁铁 1, 定子中有进动线圈、基准线圈和测角线圈等。

坐标系的规定:

设 OXYZ 为测向系统的壳体坐标系。OZ 与壳体的纵轴一致, 测角线圈轴线与 OZ 重合。在壳体上沿 OX 方向安装一个基准线圈, 陀螺的外环轴处于 OX 轴上, 陀螺内环轴处于 OY 轴上, 陀螺转子的角动量 H 与 OZ 轴负方向重合。

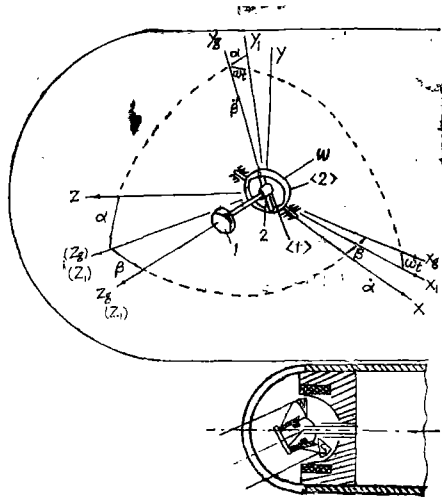


图 2

收稿日期: 1984年9月25日。

$Ox_g y_g z_g$ 为陀螺转子坐标系，但不参与转子的自转，即所谓莱查坐标系。

陀螺绕外环运动的角速度为 α ，绕内环运动的角速度为 β 。当 $\alpha=\beta=0$ 时，陀螺转子坐标系与壳体坐标系完全重合。

$Ox_1 y_1 z_1$ 为陀螺转子的磁钢坐标系，设磁钢的N极在 Ox_1 轴的正方向，磁钢以 ω 的角速度绕 Oz_1 轴负向转动。

设磁钢N极表面的磁感应密度为 B_m 。它在 $OXYZ$ 坐标系里的投影为：

$$\vec{B}_m = \begin{pmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{pmatrix} = B_m \begin{pmatrix} (l_x \cdot l_x) \\ (l_x \cdot l_y) \\ (l_x \cdot l_z) \end{pmatrix} \quad (1)$$

根据坐标变换原理：由图3、4、5可知

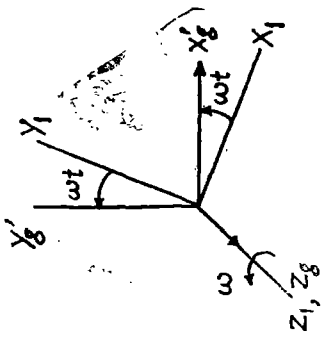


图 3

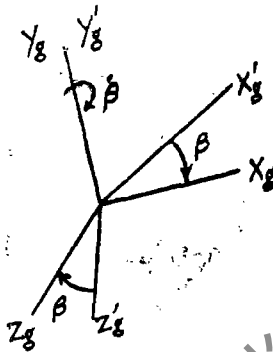


图 4

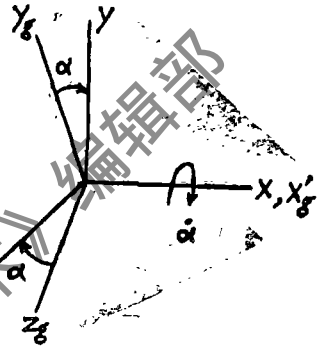


图 5

$$x'_g y'_g z'_g \cdot x_1 y_1 z_1 = \begin{pmatrix} \cos \omega t & \sin \omega t & 0 \\ -\sin \omega t & \cos \omega t & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$x_g y_g z_g \cdot x'_g y'_g z'_g = \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & \sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$xyz \cdot x_g y_g z_g = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$xyz \cdot x_1 y_1 z_1 = (xyz \cdot x_g y_g z_g) \cdot (x_g y_g z_g \cdot x'_g y'_g z'_g) \cdot (x'_g y'_g z'_g \cdot x_1 y_1 z_1)$$

$$= \begin{pmatrix} \cos \beta \cos \omega t & \cos \beta \sin \omega t & \sin \beta \\ \sin \alpha \sin \beta \cos \omega t - \cos \alpha \sin \omega t & \sin \alpha \sin \beta \sin \omega t + \cos \alpha \cos \omega t & \sin \alpha \cos \beta \\ -\cos \alpha \sin \beta \cos \omega t - \sin \alpha \sin \omega t & -\cos \alpha \sin \beta \sin \omega t + \sin \alpha \cos \omega t & \cos \alpha \cdot \cos \beta \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$\vec{B}_m = \begin{pmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{pmatrix} = B_m \begin{pmatrix} \cos \beta \cos \omega t \\ \sin \alpha \sin \beta \cos \omega t - \cos \alpha \sin \omega t \\ -\cos \alpha \sin \beta \cos \omega t - \sin \alpha \sin \omega t \end{pmatrix} \quad (6)$$

测角线圈上的感应电势:

测角线圈是绕在壳体上的螺管线圈, 令螺线管的直径为 d_1 , 匝数为 w_1 , 根据法拉弟定律得:

$$\begin{aligned}
 i_z &= -d/dt(\pi d_1^2/4 \times W B_z) \\
 i_z &= \frac{\pi}{4} d^2 w_1 B_m [\beta \cos\beta \cos\alpha \cos\omega t + \alpha(\cos\alpha \sin\omega t - \sin\beta \sin\alpha \cos\omega t) + \\
 &\quad + \omega(\sin\alpha \cos\omega t - \sin\beta \cos\alpha \sin\omega t)] \\
 &= k_1 \left(\sin\alpha + \frac{\beta}{\omega} \cos\beta \cos\alpha - \frac{\alpha}{\omega} \sin\beta \sin\alpha \right) \cos\omega t - \\
 &\quad - k_1 \left(\sin\beta \cos\alpha - \frac{\alpha}{\omega} \cos\alpha \right) \sin\omega t
 \end{aligned}$$

式中, $k = \frac{\pi}{4} d_1 w_1 B_m \omega$ 为常数, 称测角线圈的传递系数。

因为 $\beta_{\max} \ll \omega$, $\alpha_{\max} \ll \omega$

$$\text{所以 } i_z = -k_1 \sin\varphi \sin \left[\omega t - \text{tg}^{-1} \left(\frac{\text{tg}\alpha}{\sin\beta} \right) \right]$$

$$= -k_1 \sin\varphi \sin(\omega t + \theta') \quad (7)$$

$$\text{式中, } \theta = -\text{tg}^{-1} \left(\frac{\text{tg}\alpha}{\sin\beta} \right) \quad (8)$$

由 5 式可知: OZ_1 在 OXY 平面上的投影, 即目标所处的方位角 θ 的表达式为下式

$$\begin{aligned}
 \theta &= \text{arc tg} \left(-\frac{\sin\alpha \cos\beta}{\sin\beta} \right) = -\text{arc tg} \left(\frac{\sin\alpha}{\text{tg}\beta} \right) \\
 &= -\text{arc tg} \left(\frac{\cos\alpha \text{tg}\alpha \cos\beta}{\sin\beta} \right)
 \end{aligned}$$

$$\text{因为 } \cos\varphi = \cos\alpha \cos\beta \quad (9)$$

又由 (8) 式, 所以

$$\theta = \text{arc tg}(\cos\varphi \text{tg}\theta) \quad (10)$$

当 α 、 β 较小时,

$$\text{则 } i_z = -k_1 \varphi \sin(\omega t - \theta) \quad (11)$$

$$\theta = \theta' = \text{arc tg}^{-1} \frac{\alpha}{\beta} \quad (12)$$

$$\varphi = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2} \quad (13)$$

此时在测角线圈感应的电势大小与 φ 角成正比, 其相位角为 θ 。

φ 角的测得是通过测量 i_z 的幅值而获得, 而 θ 角的测定则可以通过 i_z 与基准线圈的感应电压 i_x 比相、处理而获得。

因为基准线圈安装在OX轴的壳体上(见图3)其形状呈环形饼状。设其匝数为 w_2 , 面积为 S_2 , 由式(6)知基准线圈的感应电压为:

$$I_x = -\frac{d}{dt}(w_2 S_2 B_x) \\ = -w_2 S_2 B_m [\dot{\beta}(-\sin\beta)\cos\omega t + \omega \cos\beta \sin\omega t] \quad (14)$$

因为, $\omega \gg \alpha_{max}$, $\omega \gg \beta_{max}$

$$\text{所以, } I_x = -w_2 S_2 B_m \cos\beta \sin\omega t = k_2 \cos\beta \sin\omega t \quad (15)$$

$$\text{式中, } k = -w_2 S_2 \omega B_m = \text{常数} \quad (16)$$

β 一般为 $<30^\circ$, $\omega \gg \beta_{max}$

I_x 感应电压是初相为零的正弦函数, 将 e_z 和 e_x 两电压通过电子处理先进行比相就可以获得 θ' 角的大小, 通过处理可得 θ 角, 它们的关系可以从(10)式获得。一般在制导的跟踪测向系统中采用了弹体的随动控制测量的角度是不大的 $\theta \approx \theta'$ 。

二、实验结果

物体(目标)的激光信标的参数为: 采用砷化镓 GaAs 半导体激光作光源, 波长 $\lambda = 0.9\mu\text{m}$, 光脉冲持续时间 $\tau = 200\text{ns}$, 重复频率 $f = 35\text{Hz}$, 峰值功率密度 $90\mu\text{w}/\text{cm}^2$ 实验。物体信标距离测向系统 $S = 6 \sim 7\text{m}$ 。测向系统跟踪部分采用象限和差方式。测向系统光学口径面积 9cm^2 , 用数字表1053测高低角 φ 角的电压 U_φ , 用双线示波器OCT569E测方位角 θ 。其结果如下表和图6所示。

当物体激光信标所处的方位角 θ 为 0° 、 45° 、 90° 、 135° 、 180° 、 225° 、 270° 、 315° 、 360° 等位置时, 可以在双线示波器OCT569E测得对应的数值。

实验结果和理论计算相符合。

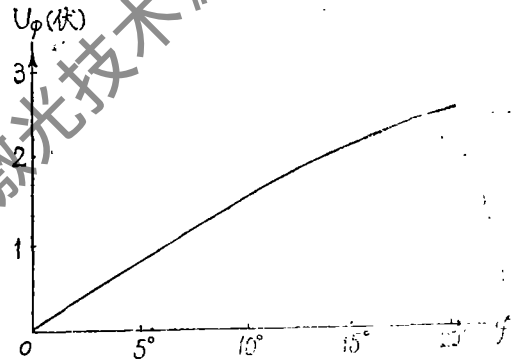


图 6

φ (度)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
U_φ (V)	0.04	0.308	0.608	0.897	1.173	1.436	1.678	1.900	2.109	2.268	2.390

参 考 文 献

- [1] 钟俊义, 脉冲式激光导引头, 《制导与引信》, 1982年, 第4期。
- [2] AD-A005668.
- [3] 周仁忠, 激光定向, 《兵器激光》, 1979年, 第2期。
- [4] 钟俊义, 两种激光定向比较, 《导弹技术》, 1982年, 第3期。
- [5] AD-A005667.