

惯性元器件测量原理

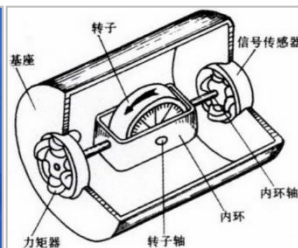


主讲人：奔粤阳

惯性元器件测量原理

◆ 陀螺仪

• 转子陀螺仪



液浮陀螺仪($<1.5 \times 10^{-4}^\circ/\text{h}$)



三浮陀螺仪($<1.5 \times 10^{-5}^\circ/\text{h}$)

1940

1950

1960

1970

1980

动力调谐陀螺仪($<1.0 \times 10^{-3}^\circ/\text{h}$)



静电陀螺仪($<1.0 \times 10^{-7}^\circ/\text{h}$)



惯性元器件测量原理

◆ 陀螺仪

• 转子陀螺仪



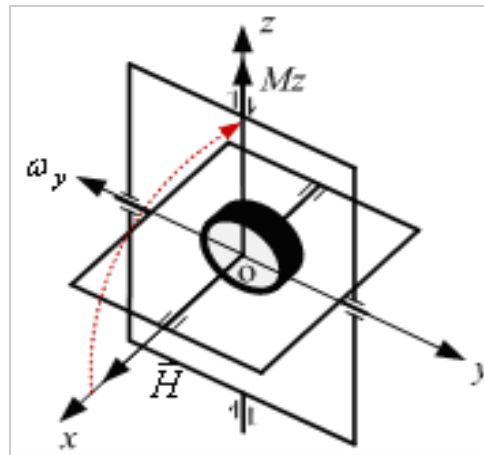
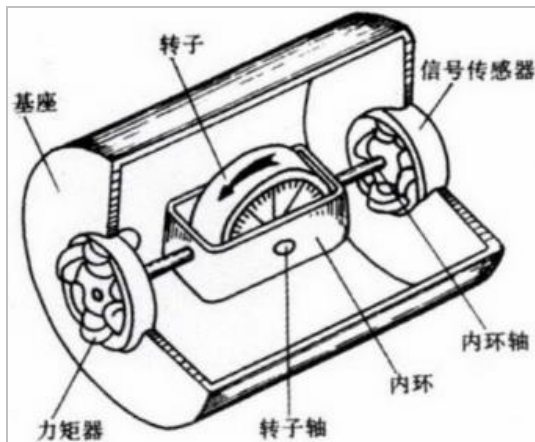
静电陀螺仪

静电陀螺仪又称电浮陀螺。在金属球形空心转子的周围装有均匀分布的高压电极，对转子形成静电场，用静电力支承高速旋转的转子。转子不仅能绕自转轴旋转，同时也能绕垂直于自转轴的任何方向转动。

惯性元器件测量原理

◆ 陀螺仪

• 转子陀螺仪



稳定性：陀螺保持其自转轴在惯性空间的方向不发生变化的特性，其稳定性有两种表现形式，即定轴性和章动。

◆ 陀螺仪

• 转子陀螺仪

(1) 定轴性

当陀螺转子高速旋转后，若不受外力矩的作用，不管基座如何转动，支承在万向支架上的陀螺仪自转轴指向**惯性空间**的方位不变，这种特性称为**定轴性**。

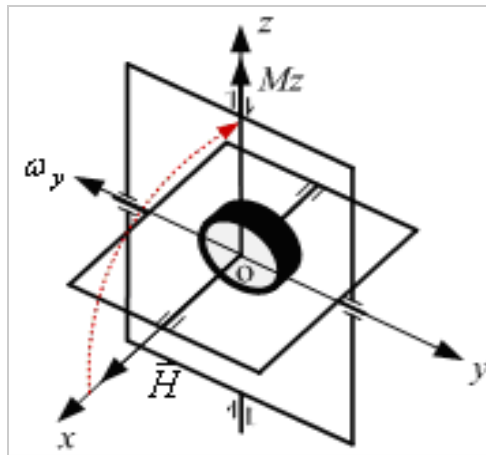
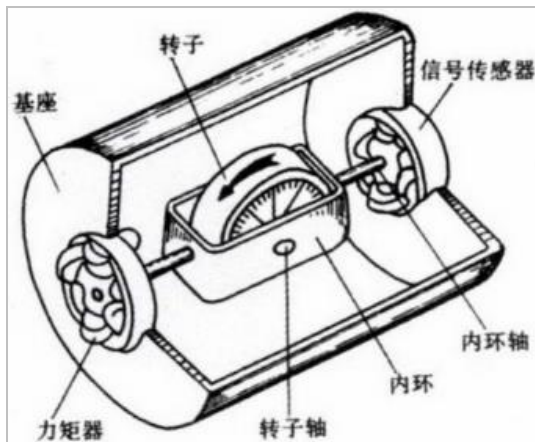
(2) 章动

陀螺的稳定性还表现在陀螺受到瞬时冲击力矩以后，自转轴在原位附近作微小的圆锥运动，其转子轴的大方向基本不变，这种现象称为陀螺的**章动**。

惯性元器件测量原理

◆ 陀螺仪

• 转子陀螺仪



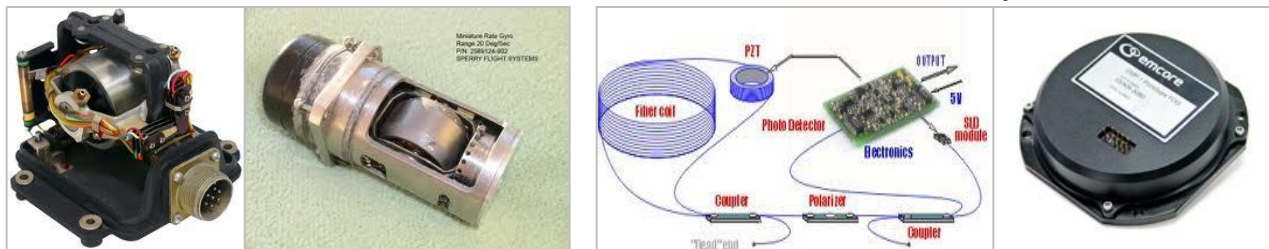
进动性：当陀螺受到外力矩作用时，陀螺仪并不沿外力矩所作用的方向转动，而是在外力矩矢量方向和自转轴组成的平面内运动。

惯性元器件测量原理

◆ 陀螺仪

• 速率陀螺仪

速率陀螺仪能解决角速率测量问题: $\theta = \theta_0 + \int \omega dt$



速率转子陀螺仪($<1.0 \times 10^{-3}^\circ/\text{h}$)

光纤陀螺仪($<3.0 \times 10^{-4}^\circ/\text{h}$)

1940

1960

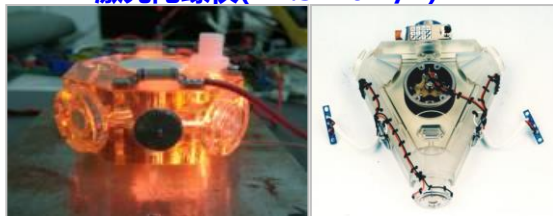
1970

1980

1990

激光陀螺仪($<1.5 \times 10^{-4}^\circ/\text{h}$)

微机电陀螺仪($<0.1^\circ/\text{h}$)

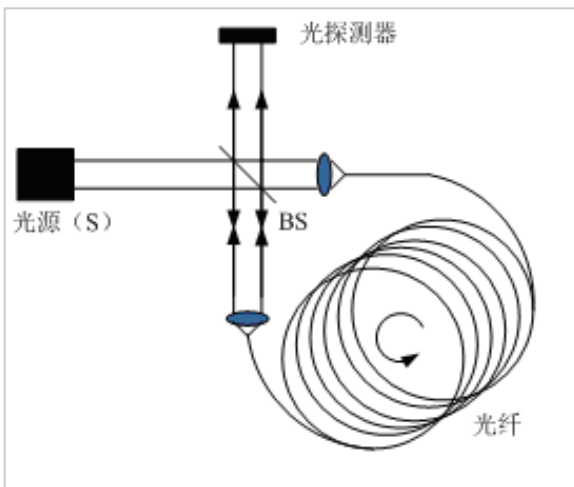
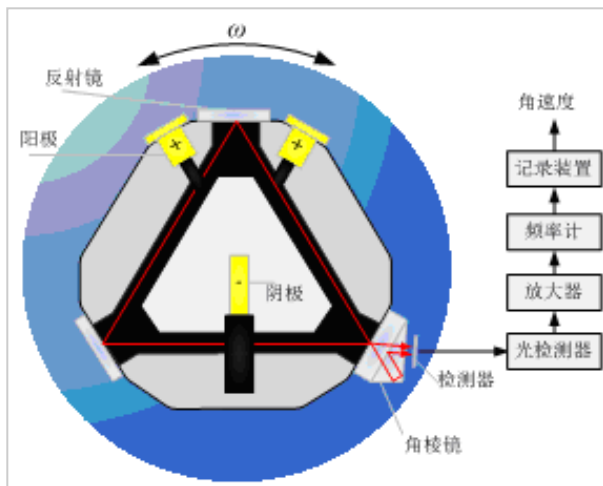


惯性元器件测量原理

◆ 陀螺仪

• 速率陀螺仪

激光陀螺和光纤陀螺应用了Sagnac效应。

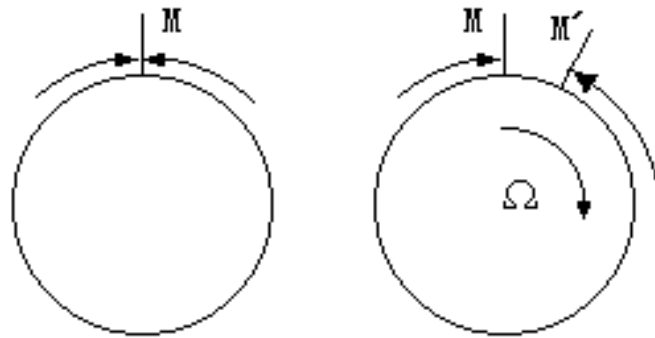
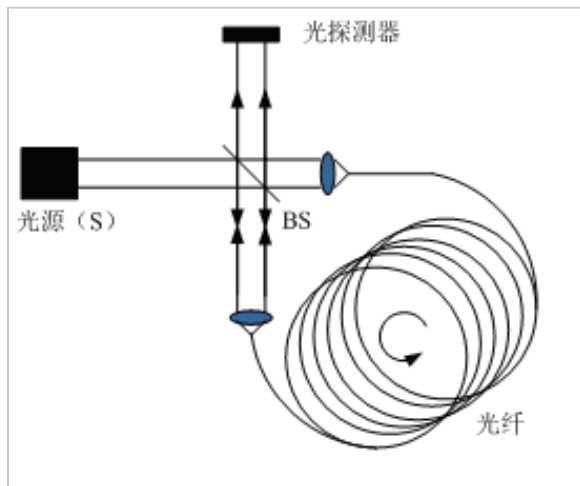


惯性元器件测量原理

◆ 陀螺仪

• 速率陀螺仪

Sagnac效应:



$$ct_+ = 2\pi R + R\Omega t_+ \Rightarrow t_+ = \frac{2\pi R}{c - \Omega R}$$

$$ct_- = 2\pi R - R\Omega t_- \Rightarrow t_- = \frac{2\pi R}{c + \Omega R}$$

惯性元器件测量原理

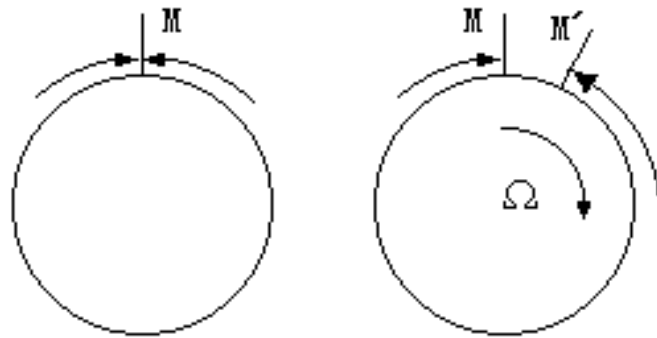
◆ 陀螺仪

• 速率陀螺仪

Sagnac效应:

$$ct_+ = 2\pi R + R\Omega t_+ \Rightarrow t_+ = \frac{2\pi R}{c - \Omega R}$$

$$ct_- = 2\pi R - R\Omega t_- \Rightarrow t_- = \frac{2\pi R}{c + \Omega R}$$



$$\Delta L = c(t_+ - t_-) \approx \frac{4\pi R^2 \Omega}{c}$$

$$\Delta\phi = 2\pi \frac{\Delta L}{\lambda} = \frac{8\pi}{\lambda c} A\Omega$$

◆ 陀螺仪

• 速率陀螺仪

陀螺的数学模型:

$$\left. \begin{aligned} N_{gx} &= A_0 + A_1\omega_x + A_2\omega_y + A_3\omega_z \\ N_{gy} &= B_0 + B_1\omega_x + B_2\omega_y + B_3\omega_z \\ N_{gz} &= C_0 + C_1\omega_x + C_2\omega_y + C_3\omega_z \end{aligned} \right\}$$

N_{gx} 、 N_{gy} 、 N_{gz} 分别为X、Y、Z三个轴陀螺的输出;

A_0 、 B_0 、 C_0 分别为三个轴陀螺的零位漂移;

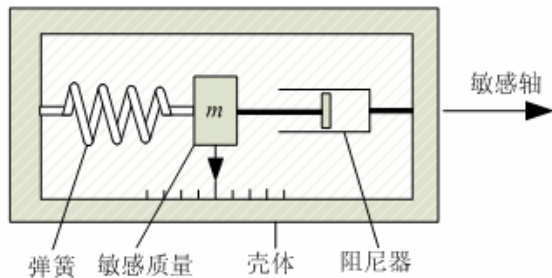
A_1 、 B_2 、 C_3 分别为三个轴陀螺的标度因数;

A_2 、 A_3 、 B_1 、 B_3 、 C_1 、 C_2 分别为三个轴陀螺的安装误差。

惯性元器件测量原理

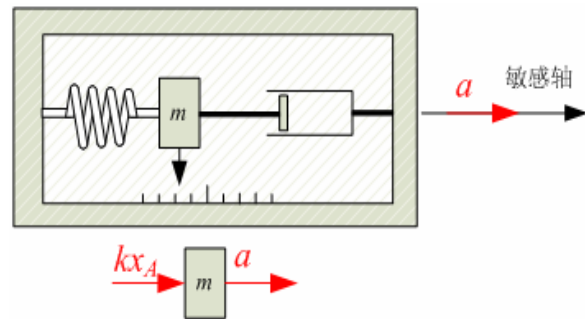
◆ 加速度计

加速度计的工作原理是基于经典的**牛顿力学定律**。
平衡位置力学模型如图所示。



$$kx_A = ma$$

$$x_A = \frac{m}{k} a$$



惯性元器件测量原理

◆ 加速度计

$$\left. \begin{aligned} N_{ax} &= A_0 + A_1 A_x + A_2 A_y + A_3 A_z + A_4 A_x A_y + A_5 A_x A_z + A_6 A_y A_z + A_7 A_x^2 \\ N_{ay} &= B_0 + B_2 A_x + B_1 A_y + B_3 A_z + B_4 A_x A_y + B_5 A_x A_z + B_6 A_y A_z + B_7 A_y^2 \\ N_{az} &= C_0 + C_2 A_x + C_3 A_y + C_1 A_z + C_4 A_x A_y + C_5 A_x A_z + C_6 A_y A_z + C_7 A_z^2 \end{aligned} \right\}$$

N_{ax} 、 N_{ay} 、 N_{az} 分别为 X、Y、Z 三个轴加速度计的输出；

A_0 、 B_0 、 C_0 分别为三个轴加速度计的零位误差；

A_1 、 B_1 、 C_1 分别为三个轴加速度计的标度因数；

A_2 、 A_3 、 B_2 、 B_3 、 C_2 、 C_3 分别为三个轴加速度计的安装误差；

$A_4 \sim A_6$ 、 $B_4 \sim B_6$ 、 $C_4 \sim C_6$ 分别为三个轴加速度计的二次耦合项误差；

A_7 、 B_7 、 C_7 分别为三个轴加速度计的二次非线性误差。