

演示实验：陀螺仪的原理与应用

【实验简介】

1850 年法国物理学家莱昂·傅科 (J. Foucault) 为了研究地球自转，发现高速转动的转子，由于具有惯性，旋转轴永远指向一个固定方向，命名为陀螺仪，用于角度的测量。二战中，1944 年德国研制成功 V2 导弹，使用陀螺仪和加速度计进行导弹姿态控制和导航，对伦敦进行空袭。陀螺仪的精度直接决定导弹命中目标的精度，其重要性不言而喻，战后为提高陀螺仪的精度，先后发展了液浮、气浮、电磁悬浮陀螺，精度最高的是静电陀螺。刚体陀螺由于有运动部件，加工精度高，体积大，启动时间长，成本高等缺点，随后又发展了激光陀螺、光纤陀螺等无运动部件的固态陀螺。20 世纪 90 年代，随着 MEMS 技术的发展，又发展了 MEMS 陀螺仪，其体积小，重量轻，可以批量生产，成本低，广泛应用于机器人、无人机、游戏机等民用领域。本实验观察刚体陀螺仪的定轴性和进动性，观察 MEMS 陀螺仪中的科里奥利力，观察由三轴 MEMS 陀螺仪和加速度计构成的微型全姿态测量传感器。

【实验目的】

1. 观察刚体陀螺仪的定轴性和进动性，进行简单的力学分析。
2. 了解 MEMS 陀螺仪在工业上的应用，使用航姿参考系统传感器观察一些物体的运动；

【实验仪器与用具】

1. 使用的单轴和三轴陀螺仪如图1、2所示。



图1：单轴陀螺仪进动性

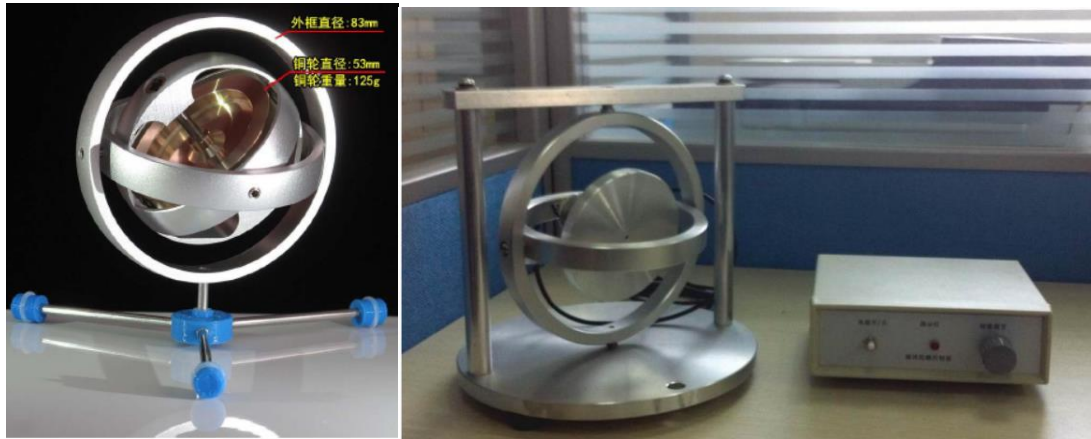


图2：三轴陀螺仪定轴性

2. 演示实验中使用的微型航姿参考系统如图3所示。



图3：由MEMS陀螺仪构成的微型航姿参考系统3DM-S10

【实验原理】

1. 刚体陀螺仪的定轴性与进动性

陀螺仪中的转子在高速旋转时角动量守恒，因此旋转轴的方向保持不变，具有定轴性，可以测量飞行器飞行过程中角度的变化。

陀螺仪中的转子在高速旋转时，如果受到重力力矩的作用，也就是质心不在支点上时，重力力矩的作用不是使陀螺仪倒下，而是产生垂直于旋转轴和重力方向的进动。陀螺仪在太空中不受重力的作用，因此不会产生进动，可以观看天宫一号飞船上太空授课内容中陀螺仪演示部分的内容。

2. MEMS陀螺仪原理

MEMS陀螺仪通常有两个方向的可移动电容板，如图4所示。径向的电容板（图中 x 轴）加振荡电压迫使物体作径向运动，横向的电容板（图中 y 轴）测量由于横向科里奥利运动带来的电容变化。因为科里奥利力正比于角速度，所以由电容的变化可以计算出角速度。

实际的MEMS陀螺仪芯片中，采用两个对称的弹簧阵子构成，运动方向相反，产生的科里奥利力也相反，如图5所示。

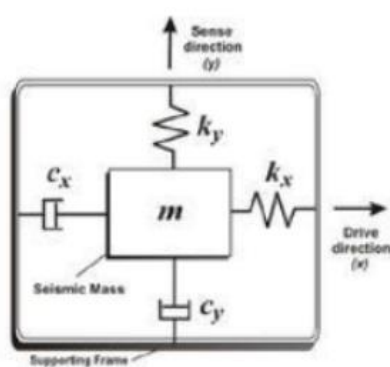


图4：MEMS陀螺仪原理图

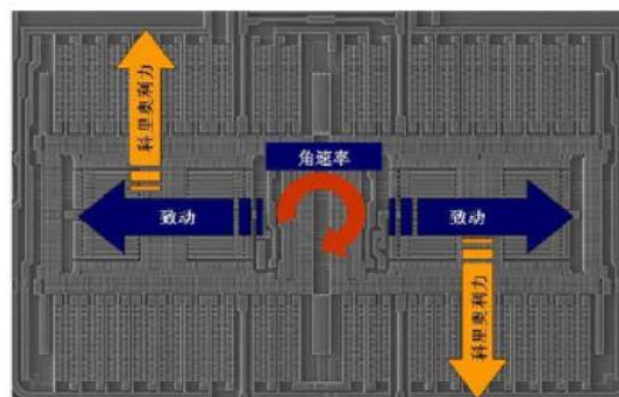


图5：TE公司的MEMS陀螺仪芯

MEMS陀螺仪测的是角速度，对角速度进行积分运算，就可以计算出角度的变化。由于角度是通过积分运算得到，当然也就存在累积误差，运行一段时间后就需要进行修正。

3. 微型航姿参考系统（MAHRS）3DM-S10原理

微型航姿参考系统（MAHRS）3DM-S10 系列是一款微型的全姿态测量传感装置，它由三轴MEMS陀螺、三轴MEMS加速度计、三轴磁阻型磁强计等三种类型的传感器构成。

三轴陀螺用于测量载体三个方向的绝对角速率，三轴加速度计用于测量载体三个方向的加速度，在系统工作中，主要作用是感知系统的水平方向的倾斜，并用于修正陀螺在俯仰和滚动方向的漂移。三轴磁阻型磁强计测量三维地磁强度，用于提供方向角的初始对准以及修正航向角漂移。微型航姿参考系统3DM-S10 系列，可提供的输出数据有：原始数据、四元数、姿态数据等。软件框图如图6所示。

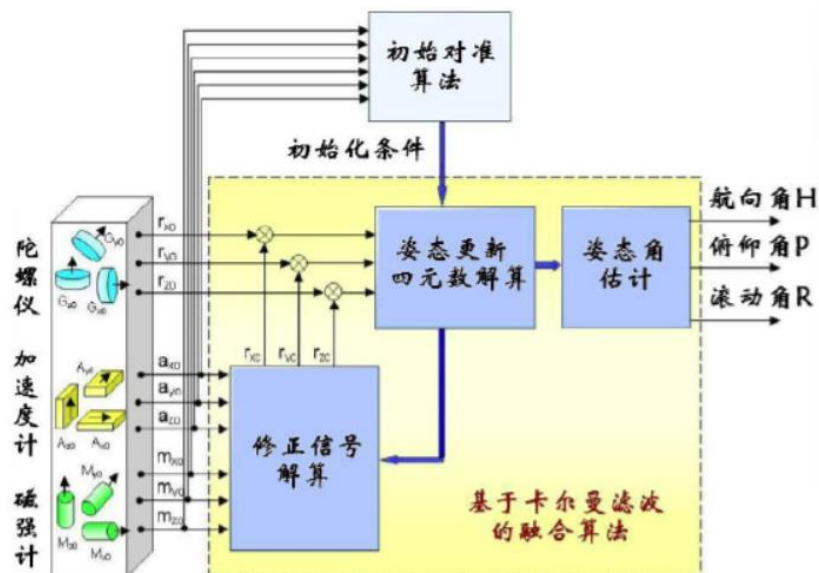


图6：微型航姿参考系统软件框图

【实验内容】

1、 陀螺仪的定轴性和进动性

陀螺仪启动方法：用手握住陀螺仪主体，手心稳住陀螺仪内核框架，将启动器轻轻卡入中心轴一端，打开启动器电源开关，启动器带动陀螺仪飞轮加速旋转，每次增加电压0.5V，缓慢增加电压到5V后，约15 秒后可以接近最高速度，关闭并拿开启动器，**将输出电压调至零后关闭电源。**

（1）观察陀螺仪的定轴性

可以拿着三轴陀螺仪转圈或者走动，观察陀螺仪轴向的变化。

（2）观察施加力矩对陀螺仪的影响

启动单轴或三轴陀螺仪，变换方法对内圈施加一定的作用力，观察陀螺仪轴向方向的变化。观察、分析并解释变化。

（2）观察陀螺仪的进动性

单轴陀螺仪，以一定的倾角放在三角支架上（也可以直接放在桌子上），观察陀螺仪的进动。简单进行力学分析。

2、微型航姿参考系统演示

实验步骤：

（1）手拿传感器走路和转圈，实时测量角度，加速度等参数。

(2) 手拿传感器模拟飞机的俯冲，翻滚，转弯等动作，测量相应角度的变化。

(3) 将传感器贴在肩膀或腿上，观察走路、抖腿等常见动作中肢体运动情况。

【注意事项】

1. 启动陀螺仪时，首先将电源电压调至最低，否则直流电源将因启动电流过大而产生保护动作停止输出（需要重启电源）
2. 刚体陀螺仪在工作时，请勿用手触碰高速旋转的转子。
3. 拿好陀螺仪，勿摔落。

【思考题】

1. 地球的自转也是非惯性参考系，在地球上还有哪些与科里奥利力有关的现象？选择一个进行解释。
2. 查看一下你的手机或者平板电脑是否有陀螺仪？

【参考文献】

- 【1】** 常见几种陀螺仪的比较及应用分析，《导航》2004年第1期, 姜璐 于运治