



航天器控制原理

第十九讲 自旋卫星的姿态机动

主讲：刘莹莹

西北工业大学 精确制导与控制研究所



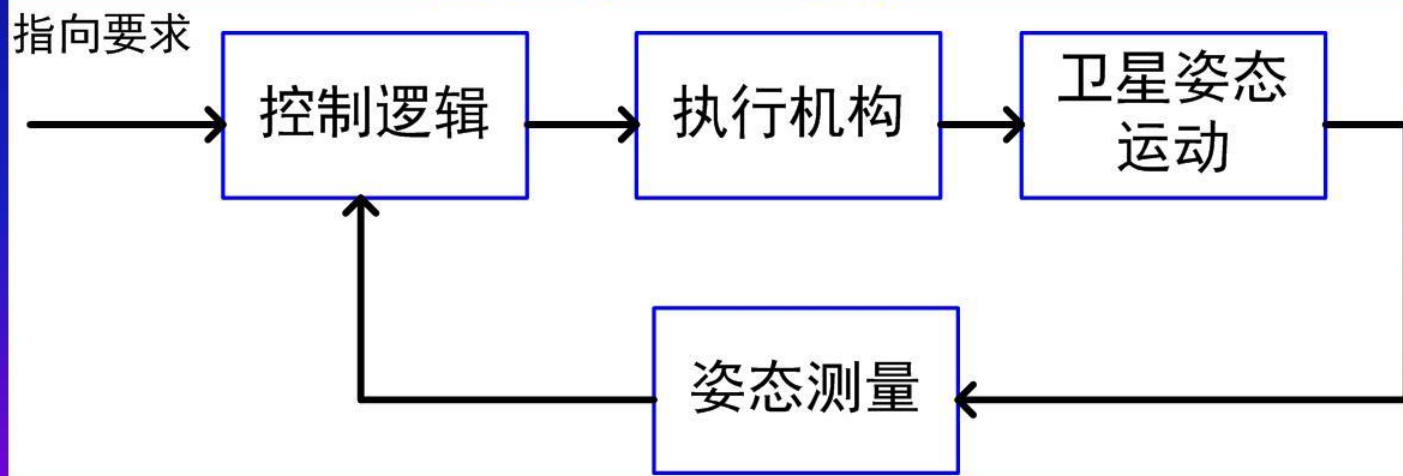
第十九讲 自旋卫星的姿态机动

- 1、自旋稳定卫星的喷气姿态机动
- 2、自旋稳定卫星的磁力矩姿态机动

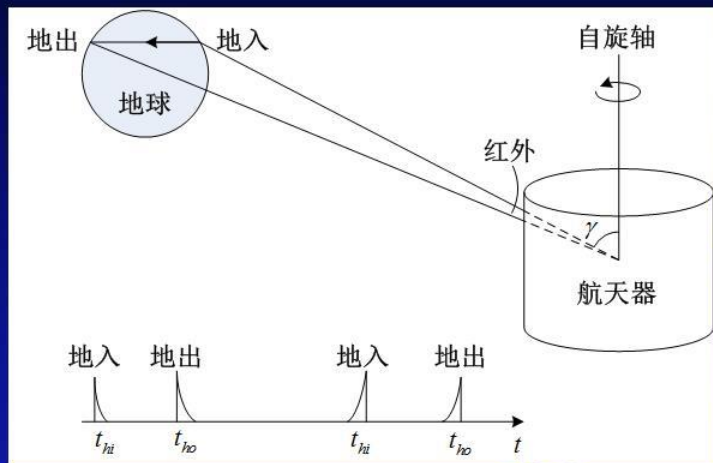


1、自旋稳定卫星的喷气姿态机动

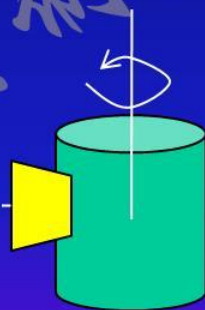
利用装在卫星上的喷气推力器产生控制力矩，使卫星的动量矩矢量进动，调整卫星自旋轴在空间中的方向。



自旋卫星姿态测量

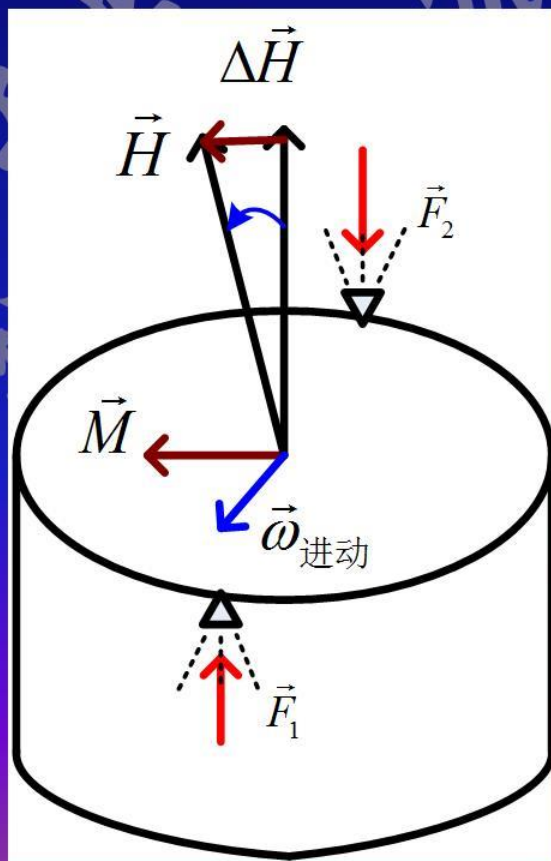
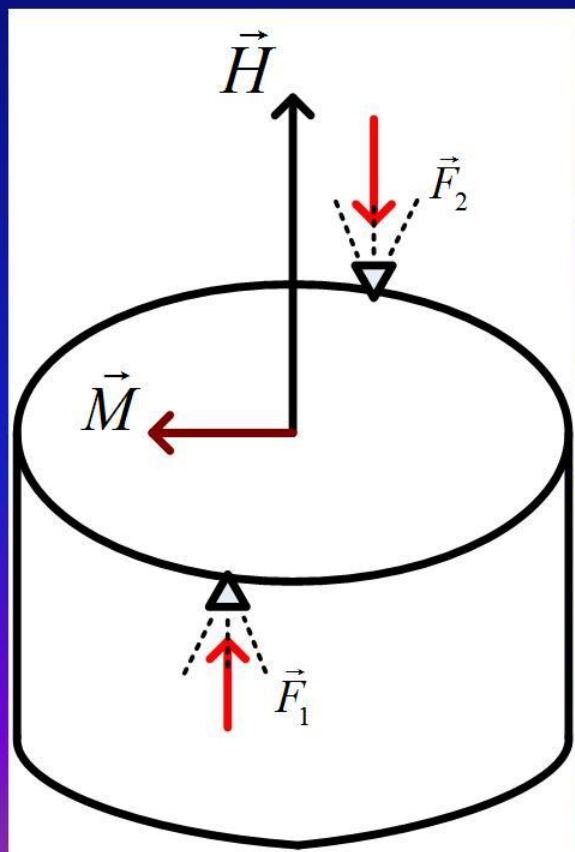


自旋轴



地球角、太阳角 ... → 自旋轴指向

陀螺进动运动：自旋矢量在垂直力矩的作用下会沿着最短的路径向力矩方向发生进动。
$$\vec{\omega}_{\text{进动}} \times \vec{H} = \vec{M}$$



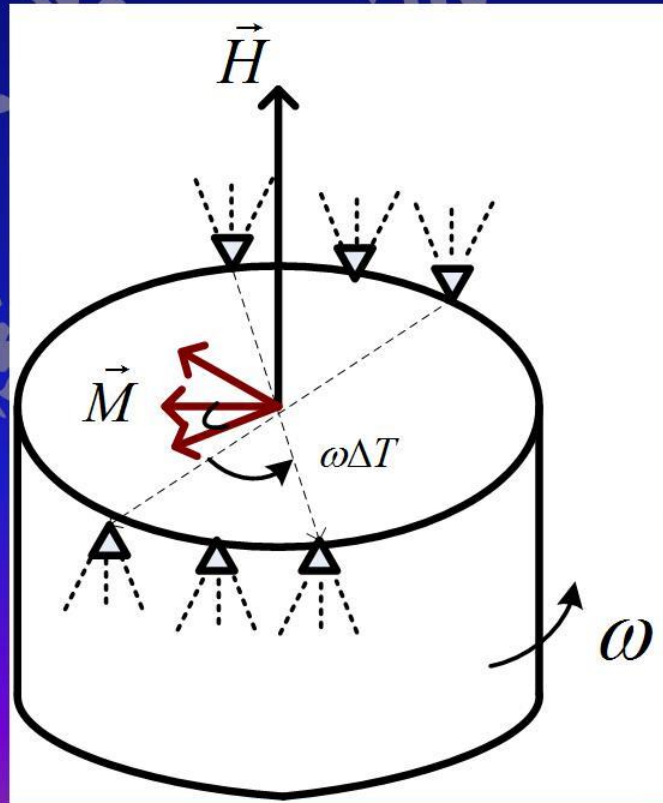
★ 喷气时卫星在自旋，带动控制力矩在空间中旋转

$$\Delta H = \int_{-\Delta T/2}^{\Delta T/2} M_c \cos \omega t dt$$
$$= \frac{2M_c}{\omega} \sin\left(\frac{\omega \Delta T}{2}\right)$$

若喷气推力器随着
卫星自旋一周

$$\Delta T = 2\pi/\omega$$

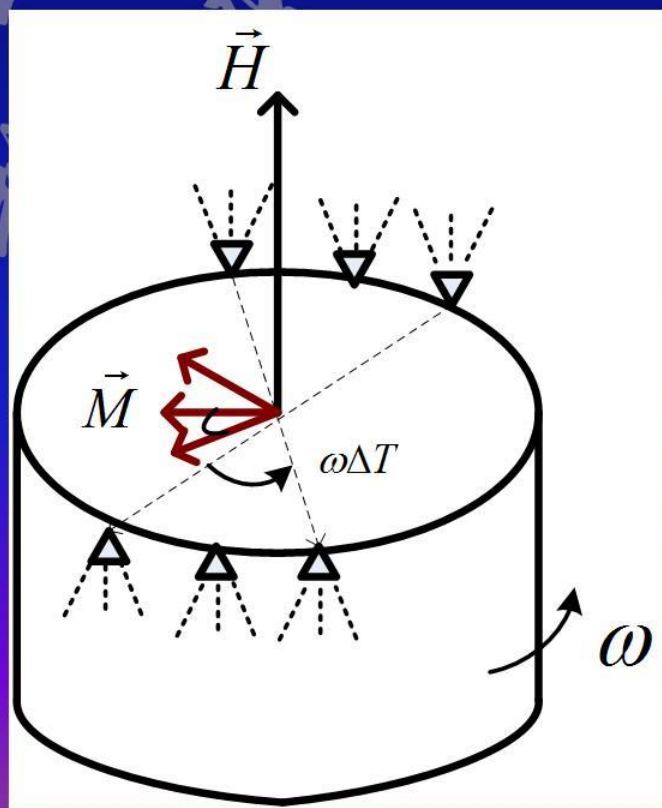
$$\Delta H = 0$$



要想将自旋卫星自旋轴机动到所要求的方向，星上推力器工作方式只能是脉冲式的。

$$\Delta H = \frac{2M_c}{\omega} \sin\left(\frac{\omega\Delta T}{2}\right) \approx M_c \Delta T$$

推力器工作相位角，
决定控制力矩的方向；
喷气持续时间和次数，
决定控制冲量的大小。

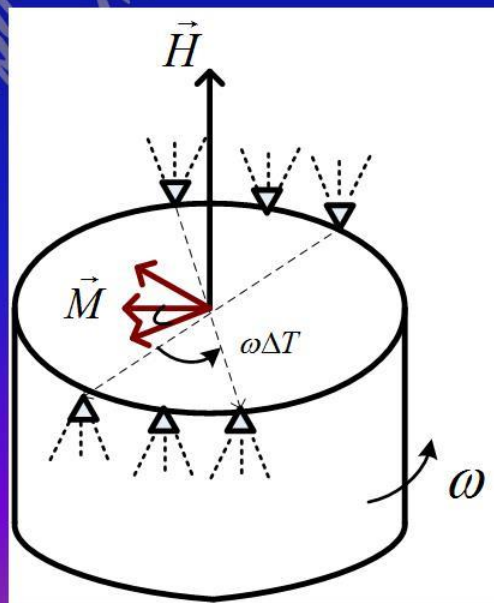


★ 推力器工作的时间越短效率越高。但是工作时间过短，会带来以下困难：

(1) 喷气时间越短，脉冲越窄，推力器在技术上越难实现；

(2) 喷气脉冲越窄，重复性越差；

(3) 喷气脉冲越窄，每次喷气产生的冲量越小，机动时间就越长。



★ 喷气角

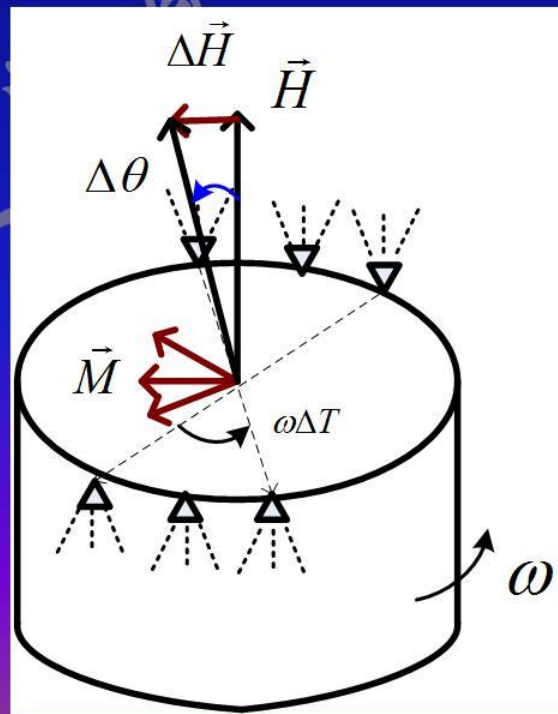
$$\gamma = \omega \cdot \Delta T$$

一般取为 $40^\circ \sim 50^\circ$ 。

自旋卫星机动所需要的喷气次数和机动时间。

$$\Delta H \approx M_c \Delta T$$

$$\approx H \Delta \theta$$






每次喷气产生的自旋轴进动角度

$$\Delta\theta = \frac{M_c}{H} \Delta T = \frac{M_c \gamma}{H \omega}$$

若要求自旋卫星机动 θ_c 角度，需要推力器喷气的次数为

$$n = \frac{\theta_c}{\Delta\theta}$$

卫星每自旋一周只能喷气一次，完成姿态机动需要时间

$$t = nT = n \frac{2\pi}{\omega}$$


一个实例：

自旋卫星动量矩 $H = 2000 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$,

自旋速度 $\omega = 75 \text{ r/min}$,

喷气力矩 $M_c = 10 \text{ Nm}$,

喷气角选为 $\gamma = 45^\circ$,

要求自旋轴进动 $\theta_c = 60^\circ$ 。

$$\Delta\theta = \frac{M_c \gamma}{H \omega} = \frac{10 \times 45 \times \pi / 180}{2000 \times 75 \times 2\pi / 60} \\ = 0.0005 \text{ rad}$$

一个实例：



$$n = \frac{\theta_c}{\Delta\theta} = \frac{60 \times \pi / 180}{0.0005}$$
$$= 2094$$

$$t = nT = 2094 \times \frac{2\pi}{75 \times 2\pi / 60}$$
$$= 1675.2\text{s}$$

这样的分析计算结果与实验值相比误差在3%左右。表明喷气角在确定为 $40^\circ \sim 50^\circ$ 的合理性和近似的可行性。

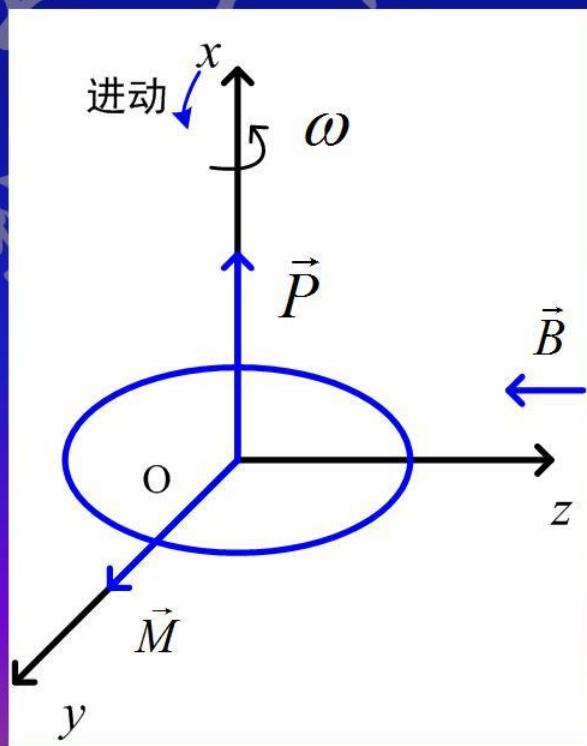
2、自旋稳定卫星的磁力矩姿态机动

利用地磁场与星体的磁矩产生磁力矩，
使自旋轴进动。

线圈平面垂直于自旋轴，实现进动。

$$\vec{M} = \vec{P} \times \vec{B}$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{M}{H}$$





线圈安装在自旋轴平面内，产生的磁矩垂直于自旋轴，实现自旋速度控制。

磁力矩较小并且与轨道位置相关，只能产生与当地磁场垂直的力矩。

