



航天器控制原理

第十八讲 自旋卫星的章动性


主讲：刘莹莹

西北工业大学 精确制导与控制研究所





第十八讲 自旋卫星的章动性

- 1、自旋卫星的章动性
 - 2、自旋运动的稳定性
 - 3、自旋卫星的章动阻尼
 - 4、双自旋卫星的稳定性
- 
- 航天器动力学原理

1、自旋卫星的章动性

$$I_y = I_z = I_t$$

$$I_x \frac{d\omega_x}{dt} = 0$$

$$\omega_x = \omega_{x0}$$

$$\frac{d\omega_y}{dt} + \frac{(I_x - I_z)}{I_y} \omega_x \omega_z = 0$$




$$\frac{d\omega_y}{dt} + \Omega \omega_z = 0$$

$$\frac{d\omega_z}{dt} + \frac{(I_y - I_x)}{I_z} \omega_x \omega_y = 0$$

$$\frac{d\omega_z}{dt} - \Omega \omega_y = 0$$

$$\Omega = \frac{I_x - I_t}{I_t} \omega_x$$


$$\frac{d\omega_y}{dt} + \Omega\omega_z = 0$$

$$\omega_y \frac{d\omega_y}{dt} + \Omega\omega_z\omega_y = 0$$

$$\frac{d\omega_z}{dt} - \Omega\omega_y = 0$$

$$\omega_z \frac{d\omega_z}{dt} - \Omega\omega_y\omega_z = 0$$

+

$$\omega_y \frac{d\omega_y}{dt} + \omega_z \frac{d\omega_z}{dt} = 0$$

$$\frac{1}{2} \frac{d}{dt} (\omega_y^2 + \omega_z^2) = 0$$

$$\omega_t = (\omega_y^2 + \omega_z^2)^{\frac{1}{2}} = \text{常值}$$


$$\omega_x = \omega_{x0}$$

$$\omega_t = (\omega_y^2 + \omega_z^2)^{\frac{1}{2}} = \text{常值}$$

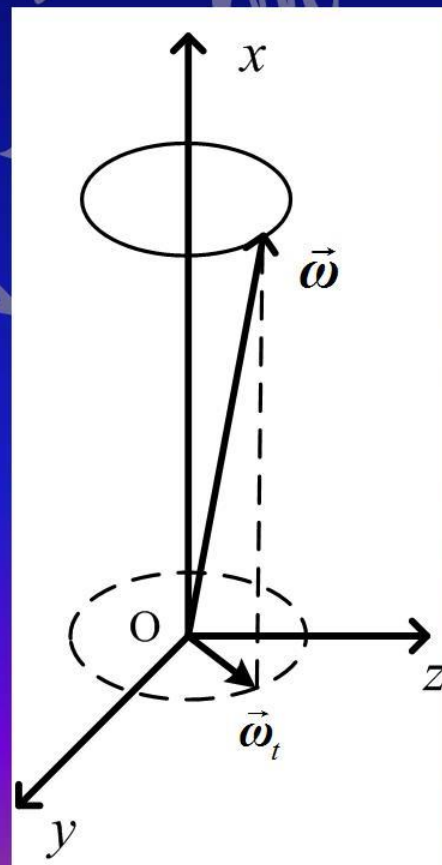
$$\vec{\omega} = \omega_x \vec{i} + \omega_y \vec{j} + \omega_z \vec{k}$$

$$= \omega_x \vec{i} + \vec{\omega}_t$$

横向角速度

$$\omega_y = \omega_{y0} \cos(\sqrt{\lambda} t) + \frac{\dot{\omega}_{y0}}{\sqrt{\lambda}} \sin(\sqrt{\lambda} t)$$

$$\omega_z = \omega_{z0} \cos(\sqrt{\lambda} t) + \frac{\dot{\omega}_{z0}}{\sqrt{\lambda}} \sin(\sqrt{\lambda} t)$$



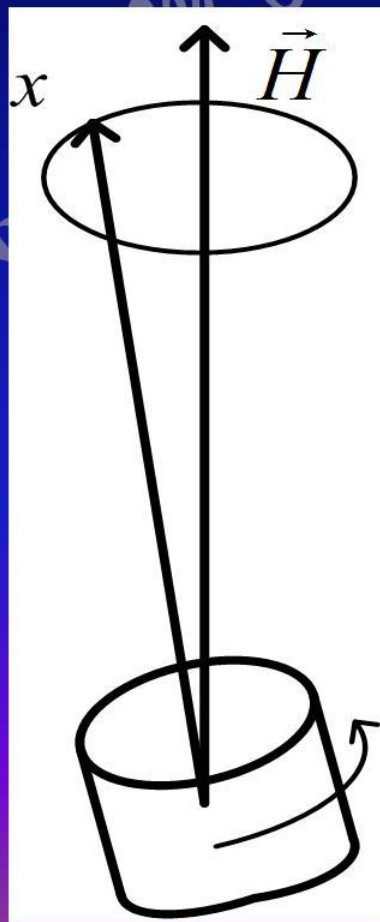
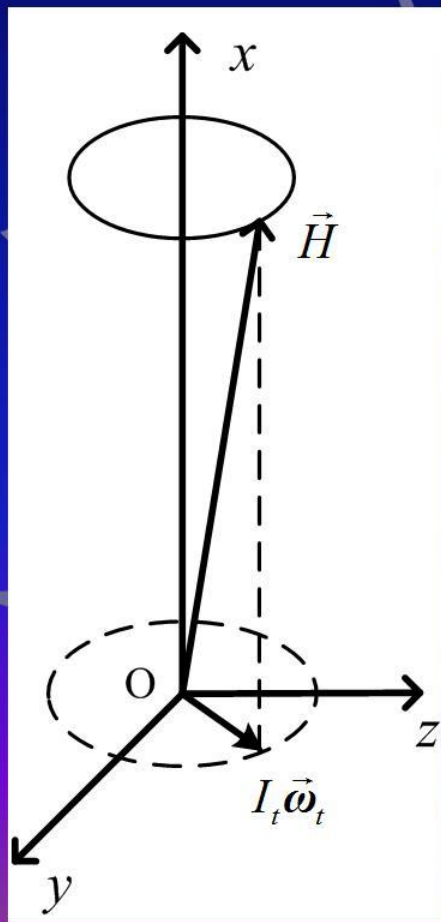
$$\vec{H} = h_x \vec{i} + h_y \vec{j} + h_z \vec{k}$$

$$= I_x \omega_x \vec{i} + I_y \omega_y \vec{j} + I_z \omega_z \vec{k}$$

$$= I_x \omega_x \vec{i} + \underline{I_t \vec{\omega}_t}$$

$$\vec{M} = 0$$

$$\frac{d\vec{H}}{dt} = 0$$

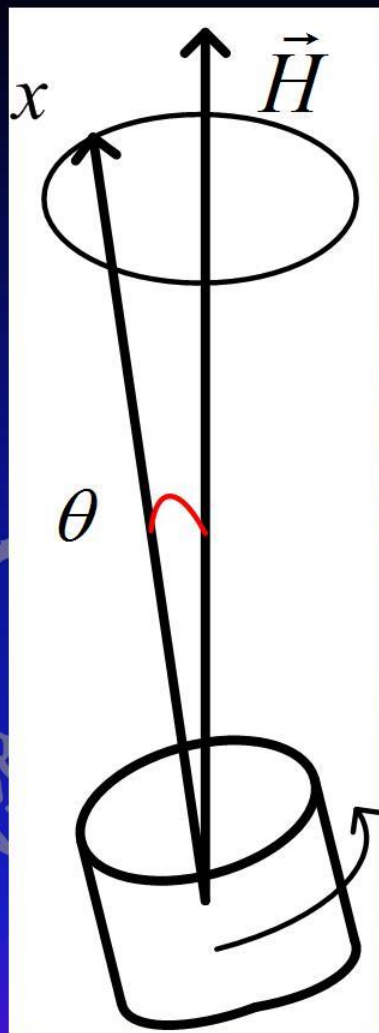


章动角 θ

$$\tan \theta = \frac{I_t \omega_t}{I_x \omega_x}$$

$$\cos \theta = \frac{I_x \omega_x}{H}$$

$$\sin \theta = \frac{I_t \omega_t}{H}$$



2、自旋运动的稳定性

从能量的角度来分析能量耗散对章动的作用。

$$E_k = \frac{1}{2} \vec{H} \cdot \vec{\omega} = \frac{1}{2} (I_x \omega_x^2 + I_t \omega_t^2)$$


$$\cos \theta = \frac{I_x \omega_x}{H} \quad \sin \theta = \frac{I_t \omega_t}{H}$$

$$\begin{aligned} E_k &= \frac{1}{2} H^2 \left(\frac{I_x \omega_x^2}{H^2} + \frac{I_t \omega_t^2}{H^2} \right) \\ &= \frac{H^2}{2I_x} \left(1 + \frac{I_x - I_t}{I_t} \sin^2 \theta \right) \end{aligned}$$

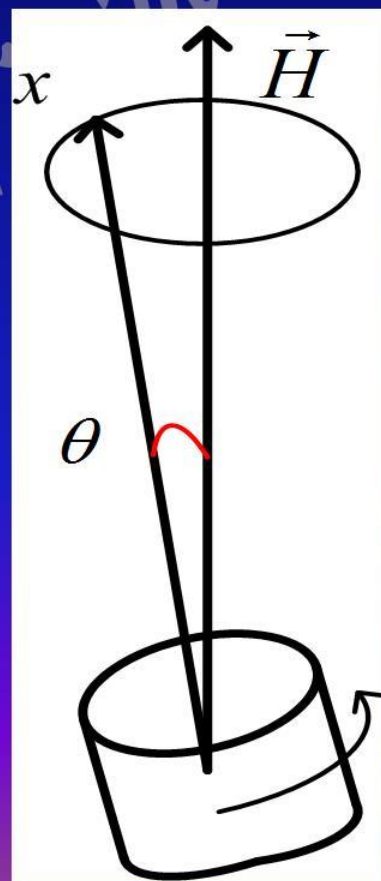
$$E_k = \frac{H^2}{2I_x} \left(1 + \frac{I_x - I_t}{I_t} \sin^2 \theta \right)$$

$$\dot{E}_k = \frac{dE_k}{dt} = \frac{H^2}{I_x} \left(\frac{I_x - I_t}{I_t} \right) \dot{\theta} \sin \theta \cos \theta$$

当卫星存在能量耗散时 $\dot{E}_k < 0$

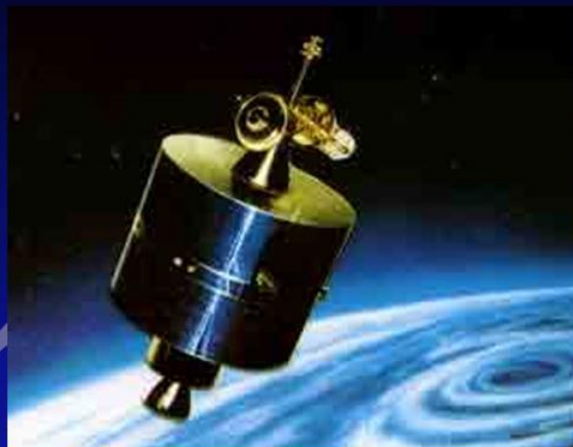
$$I_x > I_t \quad \dot{\theta} < 0$$

$$I_x < I_t \quad \dot{\theta} > 0$$



惯量比

$$\mu = \frac{I_x}{I_y} = \frac{I_x}{I_z} = \frac{I_x}{I_t}$$



自旋卫星的稳定准则:

若 $\mu > 1$ 卫星是短粗的, 卫星自旋稳定。

若 $\mu < 1$ 卫星是细长的, 卫星自旋不稳定。

在工程上为了确保稳定性, 应设计至少

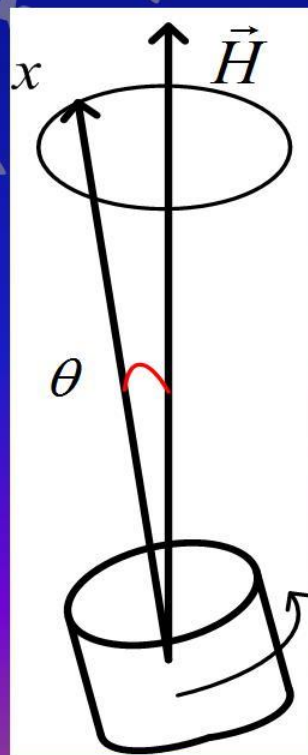
$$\mu > 1.05$$

3、自旋卫星的章动阻尼

引起章动的因素是星箭分离、起旋、消旋、喷气产生的干扰力矩以及空间环境对航天器产生的各种干扰力矩。

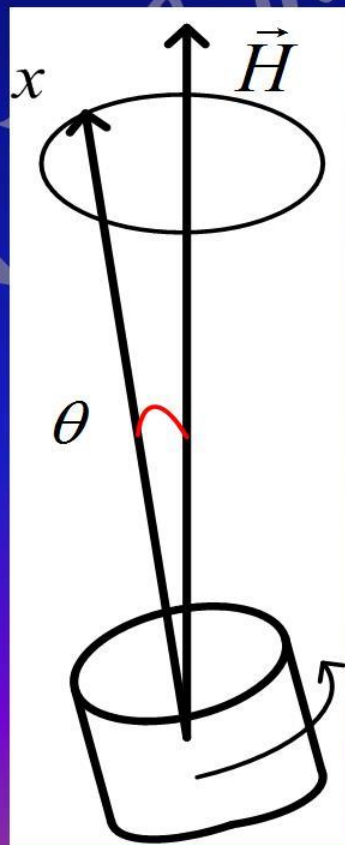
$$\omega_y = \omega_{y0} \cos(\Omega t) + \frac{\dot{\omega}_{y0}}{\Omega} \sin(\Omega t)$$

$$\omega_z = \omega_{z0} \cos(\Omega t) + \frac{\dot{\omega}_{z0}}{\Omega} \sin(\Omega t)$$



章动存在将使星体上各种探测器就不能平稳地扫描。消除章动，使自旋轴、转速和动量矩三者重合，就成为自旋卫星控制的重要任务。

被动章动阻尼
主动章动阻尼



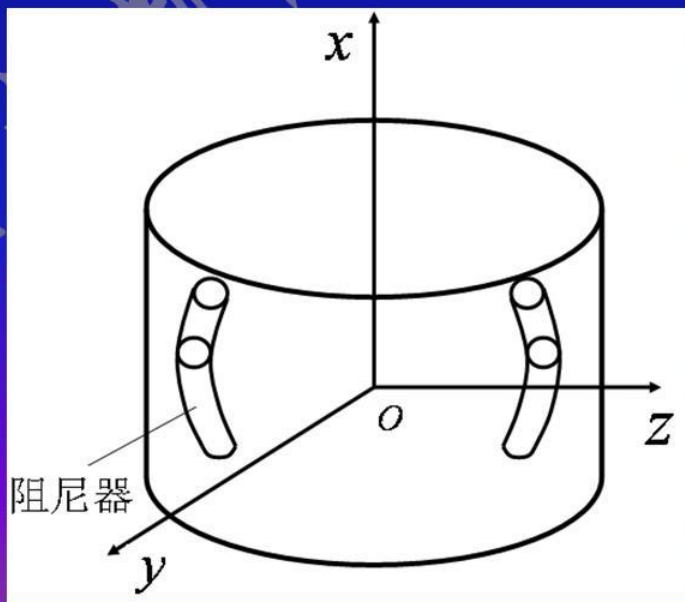
被动章动阻尼器

不需要敏感姿态，由星体运动本身驱动内部部件的相对运动实现耗散星体的章动能量，起到阻尼章动目的。

$$\dot{E}_k < 0 \quad I_x > I_t \quad \dot{\theta} < 0$$

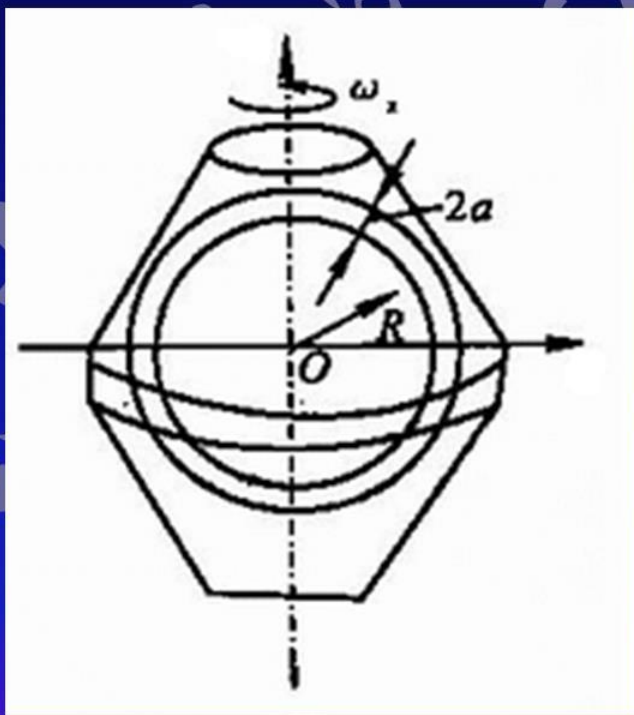
(1) 管中球阻尼器

卫星出现章动时，小球在管中滚动，在管内气体的黏性阻力作用下耗散星体能量



(2) 液体环阻尼器

环面平行于自旋轴。环内充满或充部分黏性液体。星体章动时，液体在环内来回流动，利用液体内部的黏滞力来耗散章动能量。



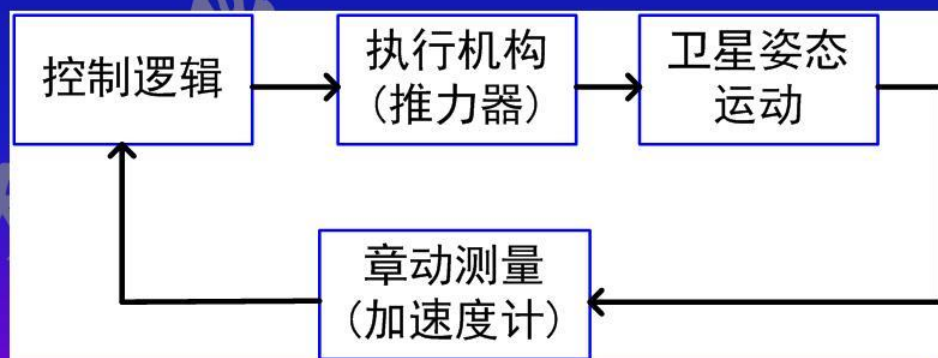
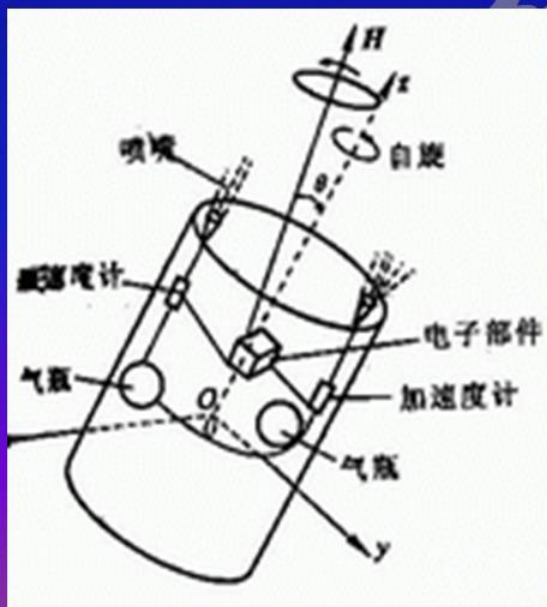
主动章动阻尼



主动章动阻尼是一个闭环控制系统。

敏感器可以采用速率陀螺、加速度计等，测量章动的相位和振幅。

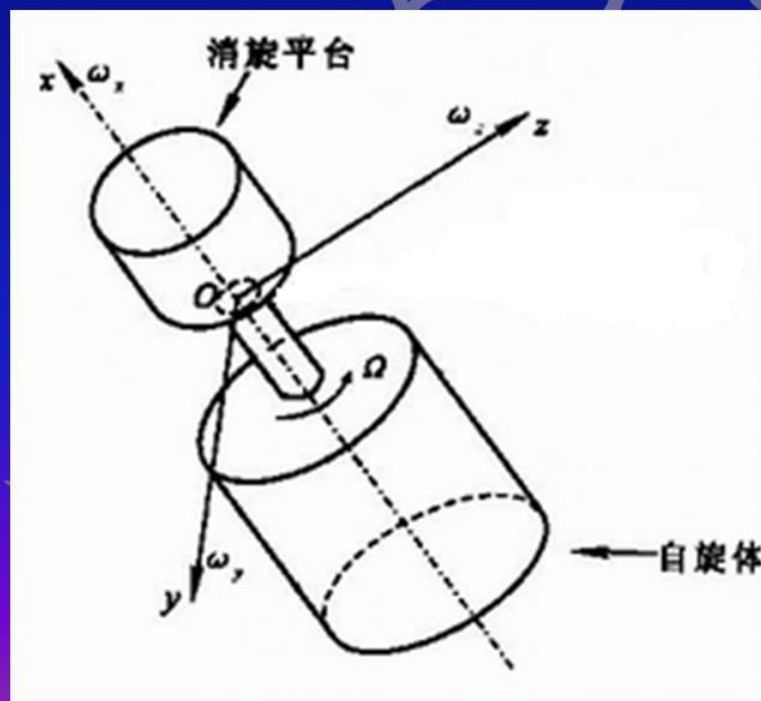
执行机构可采用推力器等产生进动力矩抵消章动运动。



4、双自旋卫星稳定系统

自旋稳定不能使有效载荷定向，为此发展了双自旋卫星。

具有自旋和消旋两部分。



双自旋卫星的稳定性

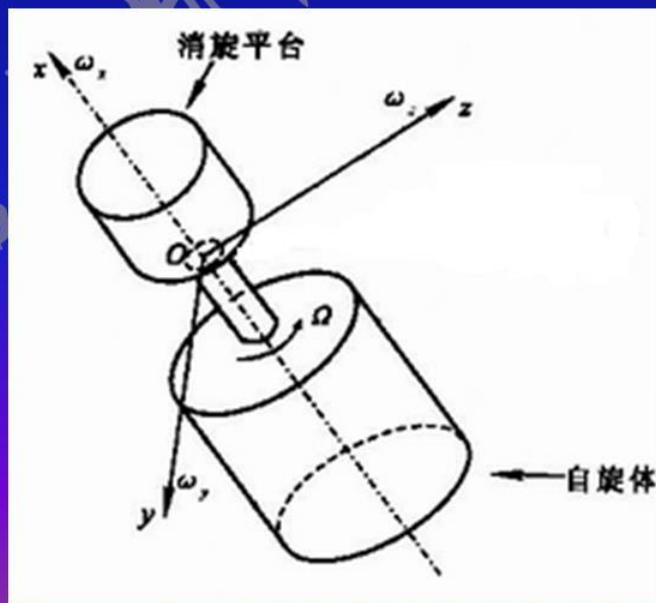
$$I_{r1} + I_{r2} = I_x$$

平台

自旋体

$$I_y = I_z = I_t$$

$$\Omega \gg \omega_x, \omega_y, \omega_z$$

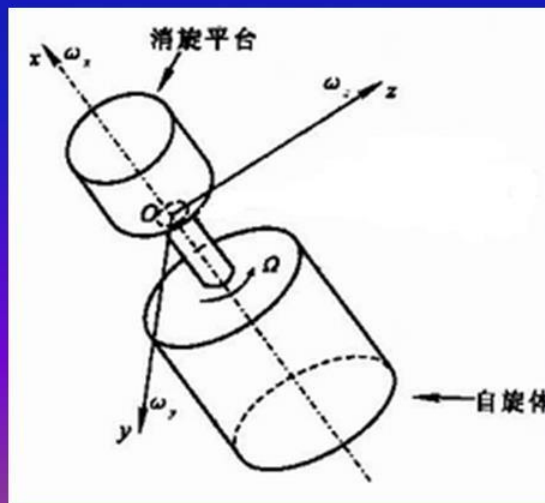


惯量比定义为

$$\mu = \frac{I_{r2}}{I_t}$$

(1) 惯量比大于1(短粗)的双自旋卫星的自旋运动是稳定的。

(2) 惯量比小于1(细长)的双自旋卫星, 只要消旋部分引起的能量耗散足够快, 其运动也是稳定的。



自旋卫星小结

- (1) 利用航天器绕自旋轴旋转所获得的陀螺定轴性；
- (2) 起旋后就不需要另加控制，不消耗星上能源；
- (3) 自旋轴的章动与进动漂移，如果不加以校正，则会造成定向精度下降；



自旋卫星小结



(4)不具有控制自旋速度及再定向或姿态机动的能力；

(5) 要实现姿态机动，必须引入主动控制。

