



航天器控制原理

第二十一讲 重力梯度稳定卫星


主讲：刘莹莹

西北工业大学 精确制导与控制研究所





第二十一讲 重力梯度稳定卫星

- 1、重力梯度稳定卫星的天平动阻尼
 - 2、重力梯度稳定卫星的伸展杆
 - 3、重力梯度稳定卫星姿态捕获
 - 4、其他被动姿态稳定系统
- 

1、重力梯度稳定卫星的天平动阻尼

$$\begin{cases} \varphi = \frac{\dot{\varphi}_0}{\Omega_x} \sin \Omega_x t + \varphi_0 \cos \Omega_x t \\ \theta = \frac{\dot{\theta}_0}{\Omega_y} \sin \Omega_y t + \theta_0 \cos \Omega_y t \\ \psi = \frac{\dot{\psi}_0}{\Omega_z} \sin \Omega_z t + \psi_0 \cos \Omega_z t \end{cases}$$

天平动阻尼是重力梯度稳定卫星必须具备的。天平动的阻尼方式包括：

- (1) 被动阻尼
- (2) 半被动阻尼

磁黏性流体阻尼器

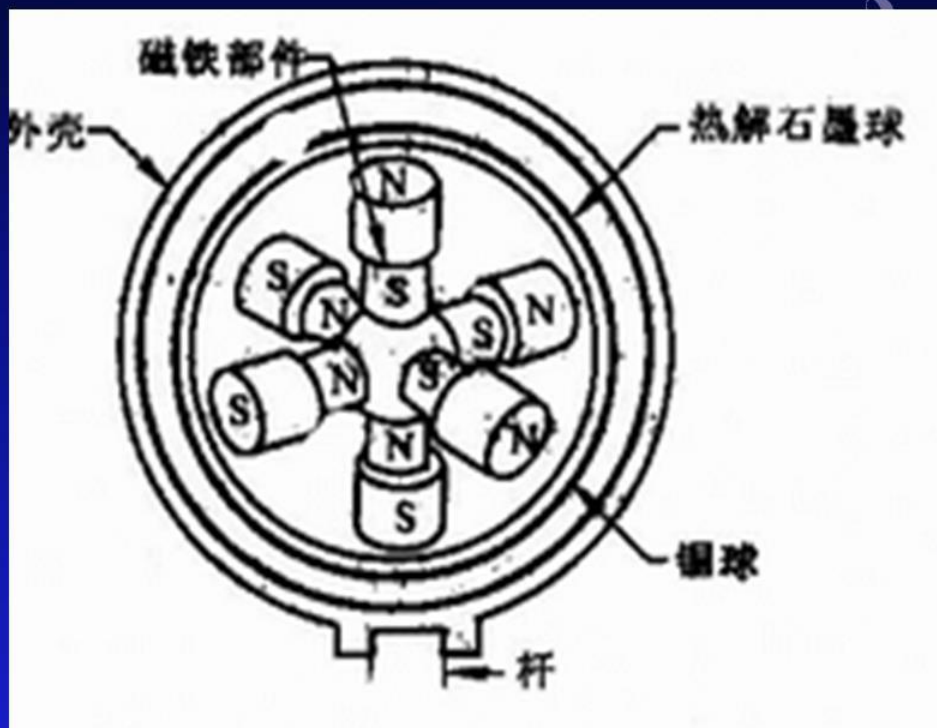


流体的黏性阻尼相对运动。

阻尼系数大，质量轻、尺寸小。

对温度变化比较敏感。

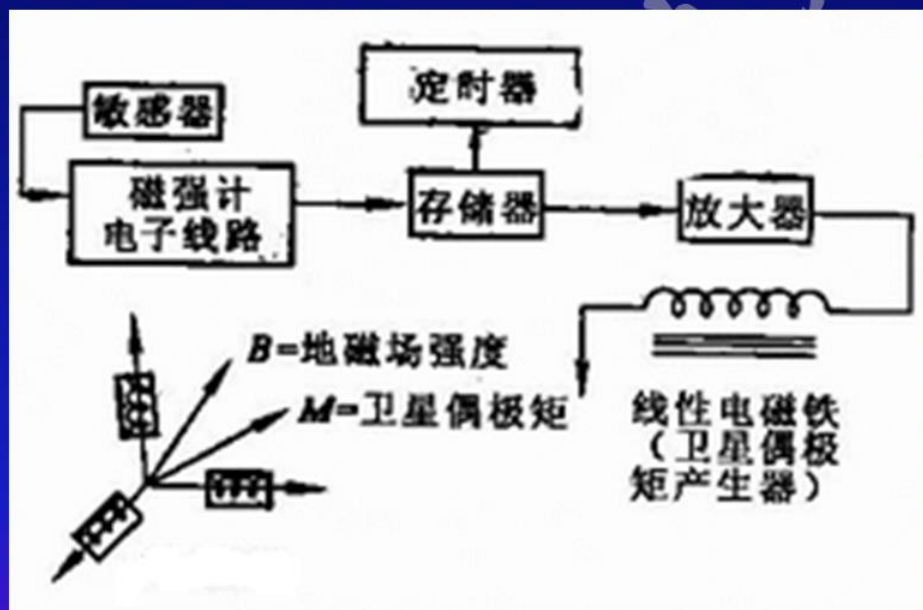
涡流阻尼器



铜球中的涡流耗散天平动动能。

结构较简单，受温度影响较小，在对阻尼系数要求不大的航天器上较适合。

磁阻尼方法是由安装在航天器上的三个正交电磁铁线圈产生的磁偶极子与地磁场相互作用来完成的。



要消耗星上能源，不属于被动阻尼方式。

2、重力梯度稳定卫星的伸展杆

重力梯度力矩的大小与航天器惯量分布有关。

$$\vec{M}_g = \frac{3}{2} \omega_o^2 \begin{bmatrix} (I_z - I_y) \sin 2\varphi \cos \theta \\ (I_z - I_x) \cos^2 \varphi \sin 2\theta \\ (I_x - I_y) \sin \theta \sin 2\varphi \end{bmatrix}$$

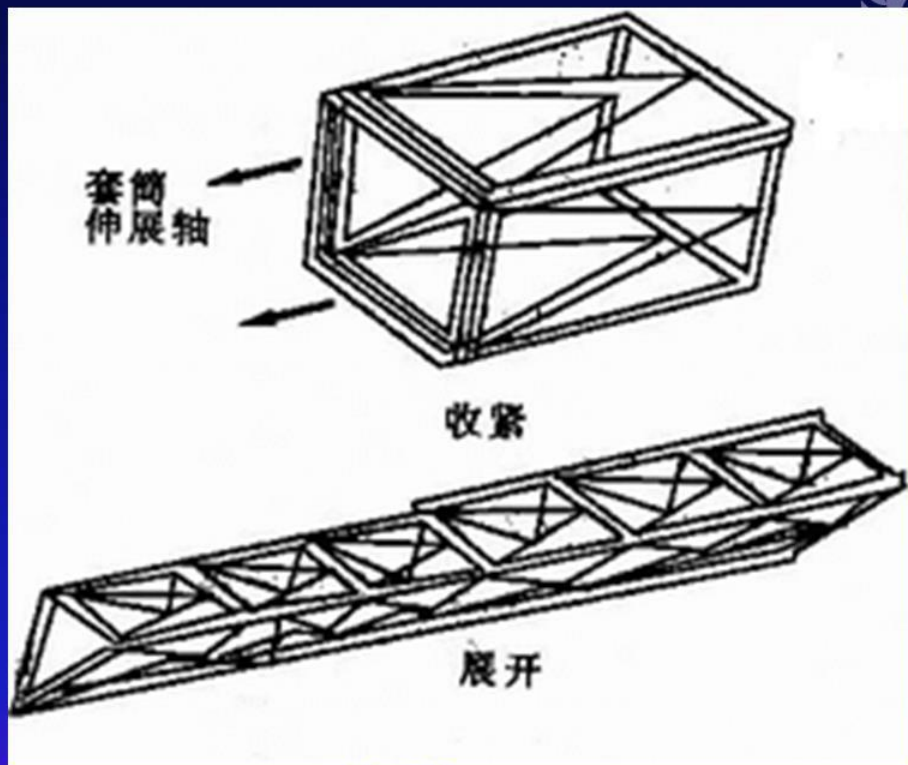
重力梯度伸展杆为航天器提供要求的惯量分布，以产生较大的稳定力矩。

卷伸式伸展杆



外表面镀银或钻孔减小温差、减小质量

可伸缩的套筒式伸展杆

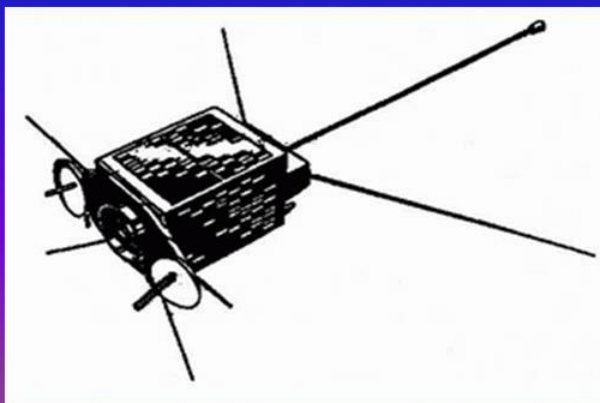


这种设计具有更强的抗扭转和弯曲能力，同时也可增强承载能力。



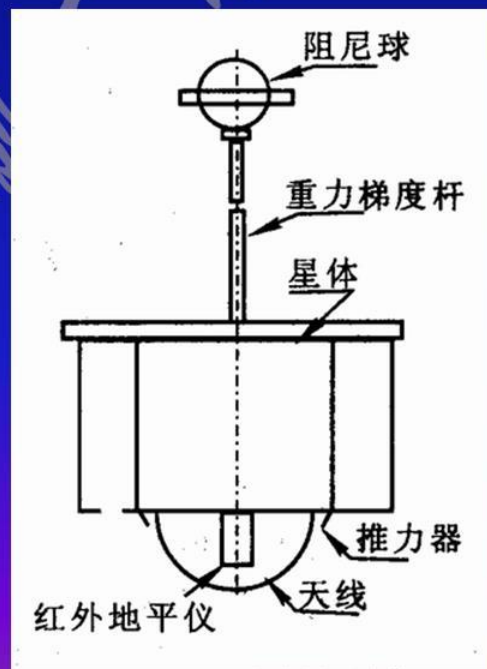
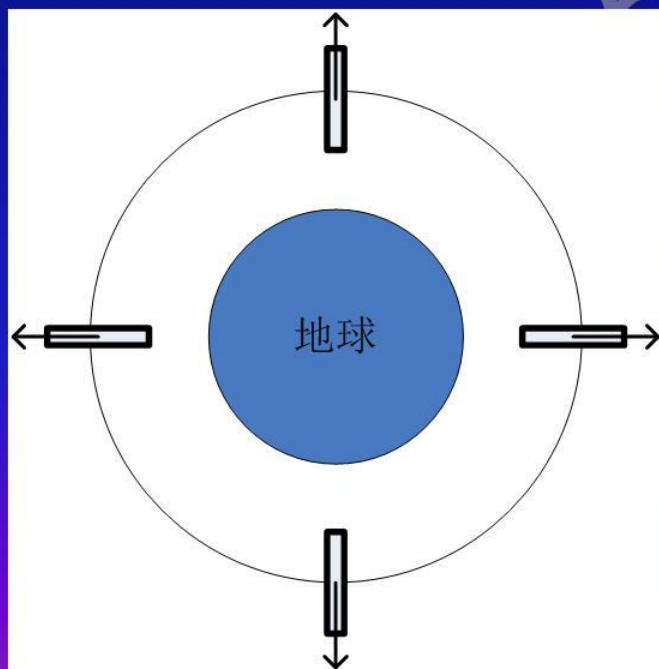
重力梯度杆的设计应考虑以下因素:

- (1) 数量最少, 且尽量短;
- (2) 伸展杆外部抛光镀银;
- (3) 避免伸展杆的自然频率与天平动频率接近;
- (4) 将阻尼器作为端质量的一部分;
- (5) 要考虑热变形和气动力对伸展杆弯曲的影响。

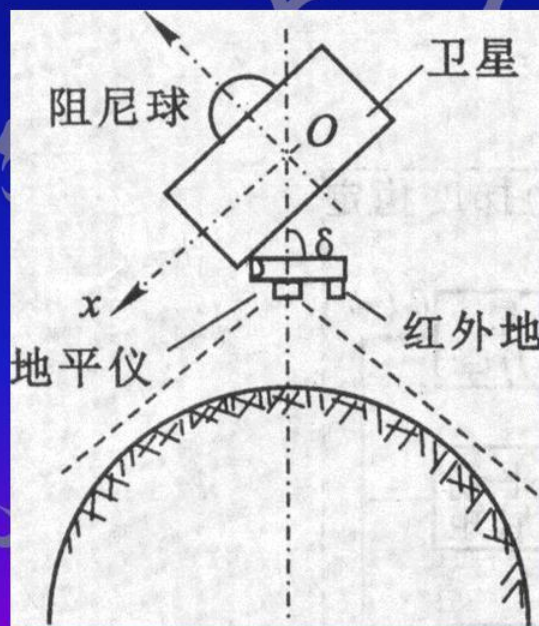


3、重力梯度稳定卫星的姿态捕获

通过地面站采用磁捕获，捕获时间长，同时要求有较多的地面站进行配合。



星上自主捕获方法，由红外地平仪、控制电路、喷气推力器执行机构等部件组成。





重力梯度被动稳定的主要优点是长寿命，功耗需求低；而缺点是指向精度低。

(1) 选择适当的重力梯度杆和末端质量，提供能满足指向要求的重力梯度力矩。

(2) 选择适当的天平动阻尼方式，以保证系统的指向精度

(3) 以重力梯度稳定为主的航天器应具有姿态捕获的能力，这有赖于其他主动执行机构。



4、其他被动姿态稳定系统

磁稳定系统

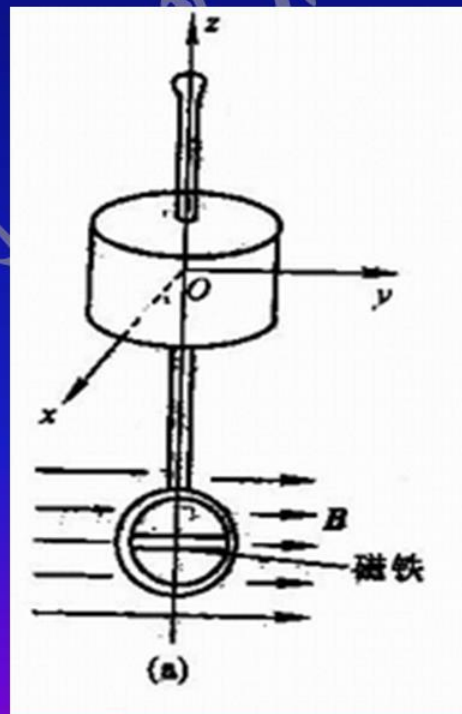
永磁体使航天器姿态沿地磁场方向稳定

太阳辐射压稳定

对太阳定向

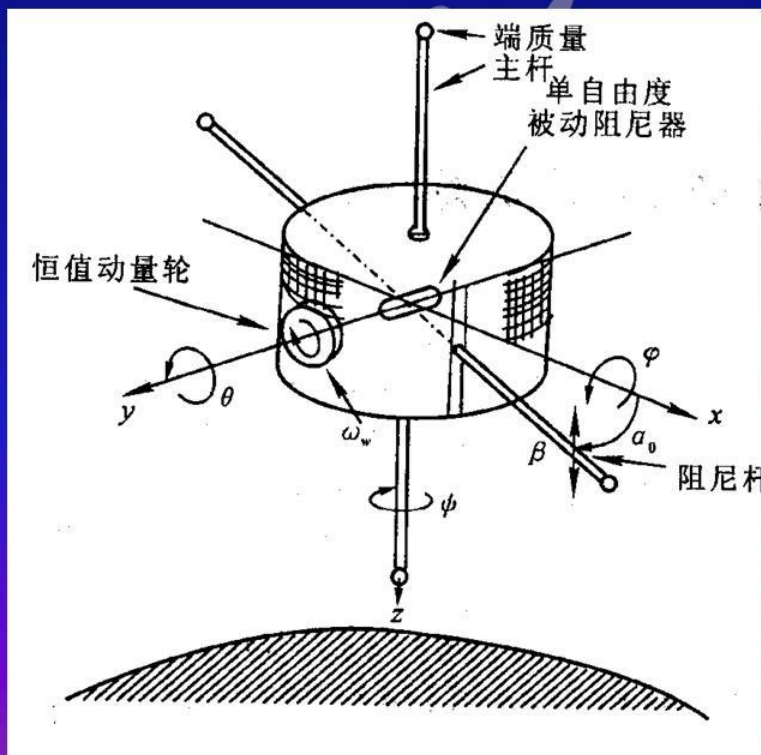
气动稳定系统

沿轨道速度方向定向



半被动稳定系统

例如重力梯度加惯性轮。
需要消耗少量星上的功率。





控制方式	自然力矩	功耗或燃料	控制逻辑	姿态敏感器	构成实例	允许初始角速度 ($^{\circ}/s$)	允许初始姿态角 ($^{\circ}$)	指向精度 ($^{\circ}$)	稳定角速度 ($^{\circ}/s$)	进入稳定状态时间
被动	有	无	无	无	自旋	$1\sim 10$	任意	$10\sim 0.1$	$10\sim 100$	$(10\sim 100)$ min
					重力梯度	$(2\sim 3)\omega_o$	任意	$10\sim 1$	$(1\sim 5)\omega_o$	$(10\sim 100) T_o$
					磁稳定	$1\sim 10$	任意	$10\sim 1$	$(1\sim 3)\omega_o$	$(10\sim 100) T_o$
					太阳辐射/气动	$< \omega_o$	受限	$10\sim 1$	$(1\sim 3)\omega_o$	$(10\sim 100) T_o$