



西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

# 航天器控制原理



冯冬竹

电话: 13389281325

邮箱: [dzhfeng@xidian.edu.cn](mailto:dzhfeng@xidian.edu.cn)

空间科学与技术学院 导航控制系



西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

# 目录

CONTENTS

01

绪论

02

航天器的轨道与轨道力学

03

航天器的姿态运动学和动力学

04

航天器姿态控制系统的组成与分类

05

航天器的被动姿态控制系统

06

航天器主动姿态稳定系统



# 航天器的被动姿态控制系统

01

自旋卫星的稳定性和章动性

02

自旋卫星的章动阻尼

03

双自旋卫星稳定系统

04

重力梯度稳定系统

05

重力梯度稳定卫星的天平动阻尼

06

重力梯度稳定系统的伸展杆

07

其他被动姿态稳定系统



西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY

## 第六讲 · 重力梯度稳定系统的伸展杆



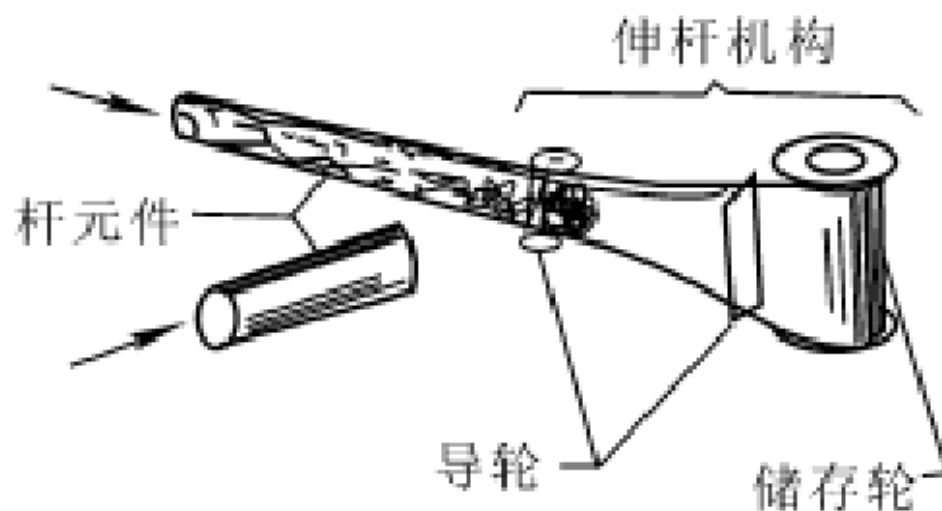
- 重力梯度力矩的大小与航天器惯量分布有关。

$$\vec{M}_g = \frac{3}{2} \omega_0^2 \begin{bmatrix} (I_z - I_y) \sin 2\varphi \cos \theta \\ (I_z - I_x) \cos^2 \varphi \sin 2\theta \\ (I_x - I_y) \sin \theta \sin 2\varphi \end{bmatrix}$$

- 重力梯度伸展杆为重力梯度稳定航天器提供要求的结构形状和惯量分布，以产生较大的稳定力矩。

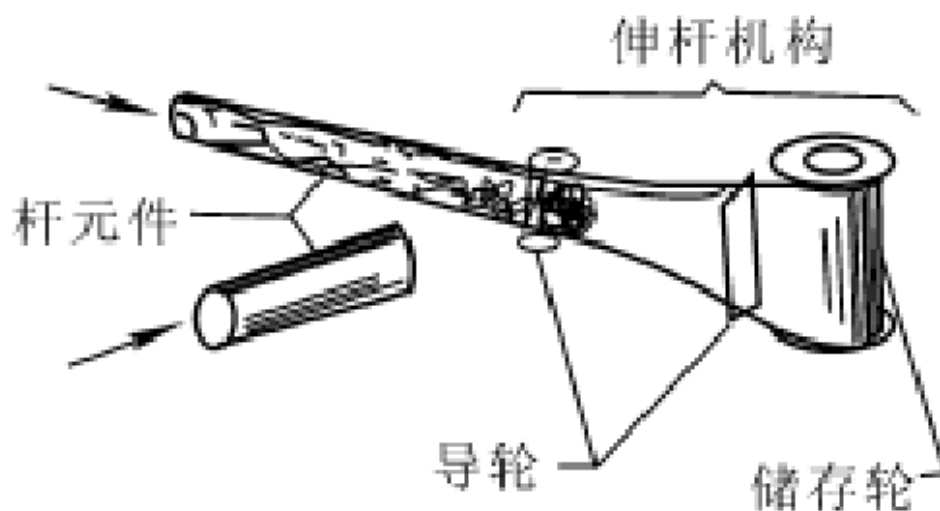


- 重力梯度伸展杆在发射前收卷储存在伸杆机构里，入轨后由伸杆机构把它伸展出来。目前，应用得最多的是卷伸式。



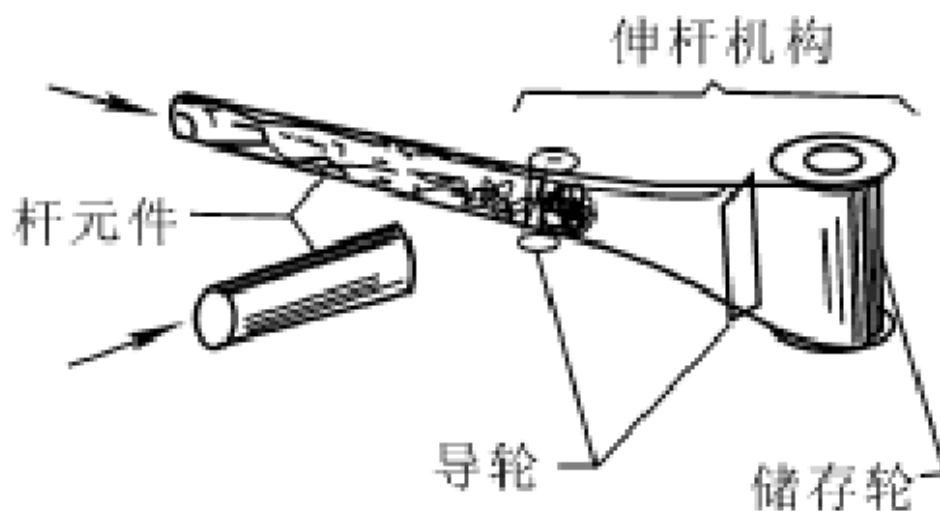


- 卷伸式伸展杆的工作原理与钢卷尺相似。杆元件是用细长薄金属带做成的，伸展前杆带展平并卷曲在滚轮上以便紧凑地储存起来。在伸展时，它从一个伸展机构伸出后即形成一个圆截面的卷筒，成为管状的伸展杆。杆子在伸展过程中，伸杆机构的作用是使杆子以一定速度依次从展开带状过渡到管状结构。





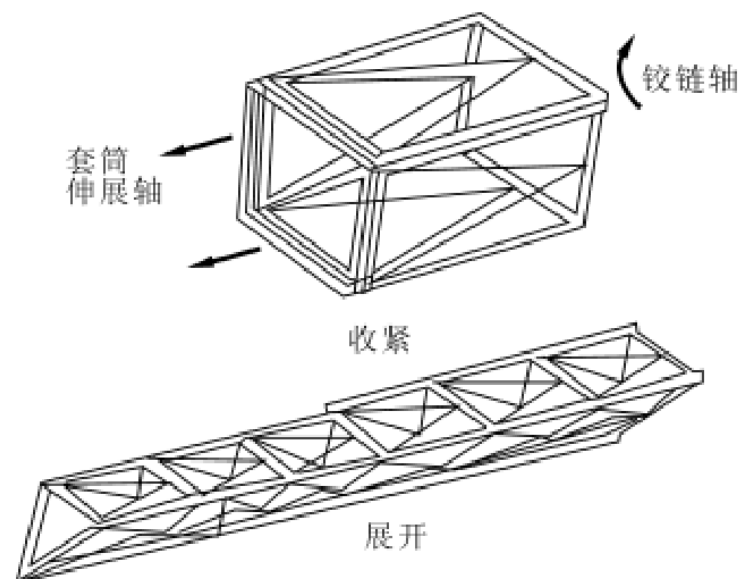
- 这种类型的伸展杆在入射太阳热能作用下会产生一定的弯曲，从而使指向精度明显下降。伸展杆弯曲改变了航天器纵轴与当地垂线之间的夹角，这种作用的大小取决于航天器及其轨道的参数。伸展杆外表面镀银或穿孔在一定程度上可以减少这种影响。







- 采用铰连和框架型组合结构设计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。





- 重力梯度杆的伸展依赖伸杆机构。伸杆机构按其驱动动力可以分为电机和自伸两种。电机伸杆是用电机把杆伸展出来；自伸杆依靠杆子卷绕在滚轮上的弹性能量把杆伸展出来，所以伸杆速度是加速的，伸杆终点速度最大，为避免事故应加限速器。



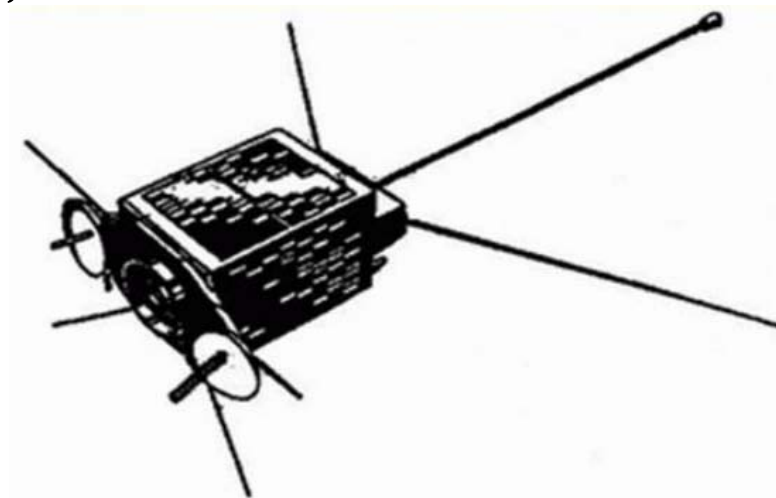


- 重力梯度被动稳定的主要硬件设备是伸展杆和阻尼器。伸展杆及其端质量可以在轨道上伸展，以产生所需要的惯性矩。在航天器上加入涡流或磁滞损耗形式的阻尼，使航天器相对于当地垂线的天平动得以衰减。阻尼器固定在某个独立的参考系诸如地磁场或引力场内，当航天器主体相对于阻尼体运动时，旋转能量被耗散。



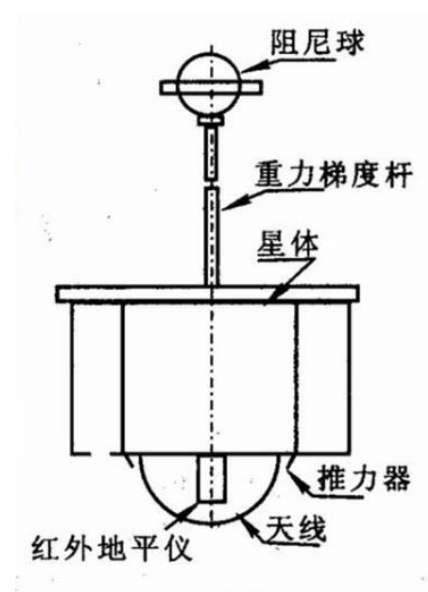
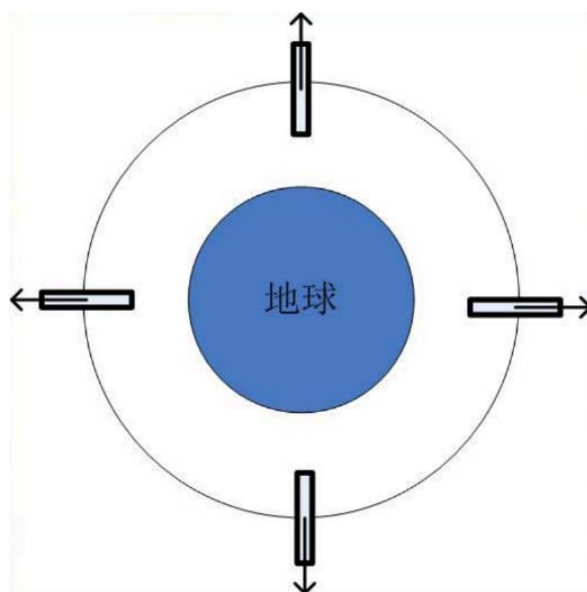
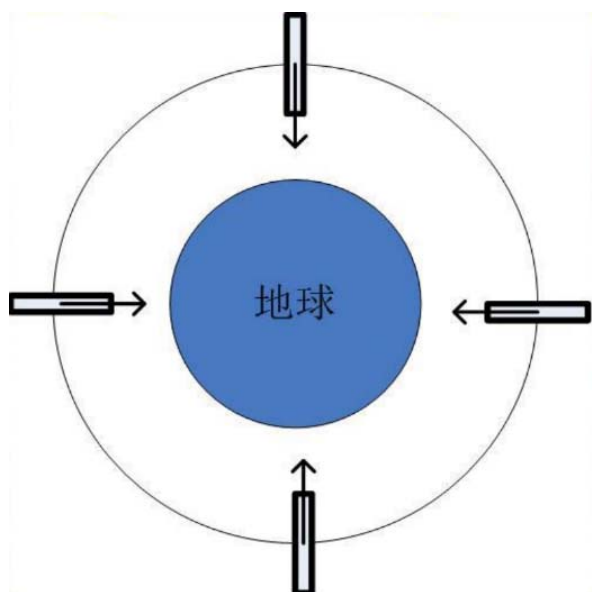
## □ 重力梯度杆的设计应考虑以下几方面的问题：

- 数量最少，最好是一根，且尽量短，以便尽可能降低热效应和其他环境影响；
- 伸展杆外部抛光镀银，以防热变形和振动；
- 避免伸展杆的自然弯曲振动频率与航天器的主动控制系统相互耦合作用；
- 将伸展杆的运动阻尼器作为端质量的一部分；
- 要考虑重力和气动力对伸展杆弯曲的影响。



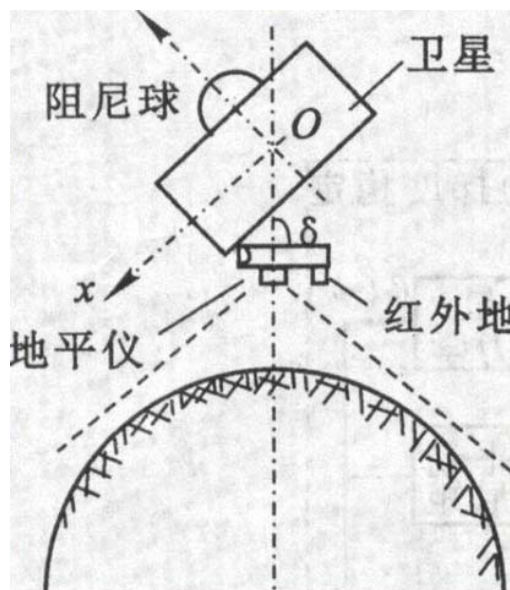


- 通过地面站采用磁捕获，捕获时间长，同时要求有较多的地面站进行配合。





- 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。





- 优点：寿命长、功耗需求低，意味着这种航天器经济、可靠性高、研制周期短，比自旋稳定系统更适合于长寿命飞行任务。
- 缺点：指向精度低，对轨道具有特殊要求，不能过高或过低，要求轨道偏心率为零或者很少。当航天器具有大面积太阳帆板、大型天线等挠性附件时，都会限制和影响重力梯度稳定方式的实现。
- 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；
- 选择适当的天平动阻尼方式，以保证系统的指向精度；
- 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。



西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY



# THANKS



029-81891860



[dzhfeng@xidian.edu.cn](mailto:dzhfeng@xidian.edu.cn)

