



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

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

第五讲 · 重力梯度稳定卫星的天平动阻尼



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

- 天平动阻尼是重力梯度稳定卫星必须具备的，而阻尼方式的不同也正是各种重力梯度稳定卫星的主要区别所在。



- ✓ 被动阻尼：利用阻尼装置所产生的机械滞后、磁滞、涡流、黏性摩擦等作用来消耗航天器天平动能量，从而达到阻尼的目的。
- 在结构和外形上可分为四类：棒状阻尼器、球形阻尼器、管中球阻尼器和机械损耗弹簧阻尼器。
- ✓ 半被动阻尼：例如采用增强磁滞阻尼器和采用控制力矩陀螺的天平动阻尼。后者由于需要维持陀螺转子等速运动，必须消耗少量能量，故称为半被动阻尼。
- ✓ 主动阻尼：利用主动方式来阻尼天平动，重力梯度仅用来提供恢复力矩。主动阻尼需要敏感器和执行机构，工作时需要外加能源。



- 思路：消耗天平动能量，在重力梯度稳定航天器运动方程式中增加速度阻尼项，使运动衰减。

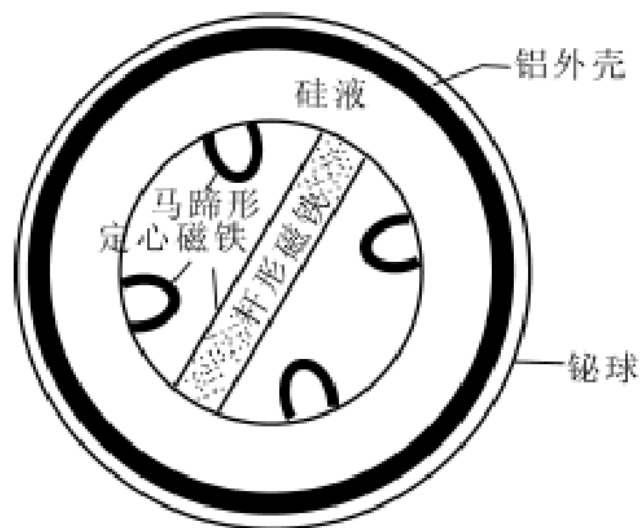
$$I_x \ddot{\varphi} + 4(I_y - I_z) \omega_0^2 \varphi = 0$$

$$I_y \ddot{\theta} + 3(I_x - I_z) \omega_0^2 \theta = 0$$

$$I_z \ddot{\psi} + (I_y - I_x) \omega_0^2 \psi = 0$$

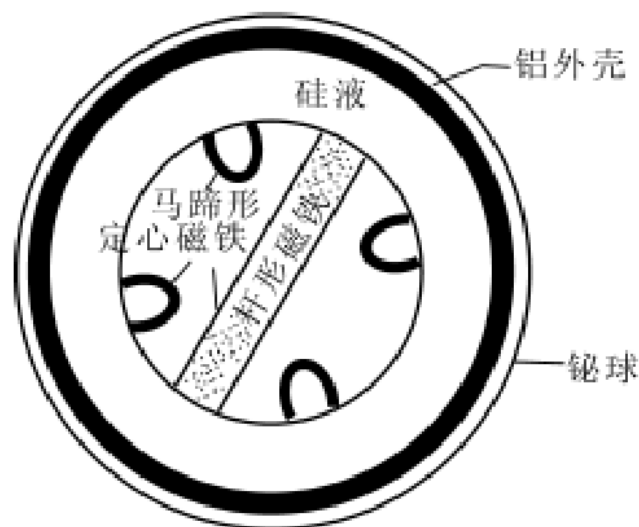


- 由一个装有永久磁铁的内球和一个中空外球组成，内外球之间镶有一层热解石墨。内球在永久磁铁和热解石墨之间的排斥力作用下悬浮于外球内，内外球之间的缝隙中充满一种黏性流体。





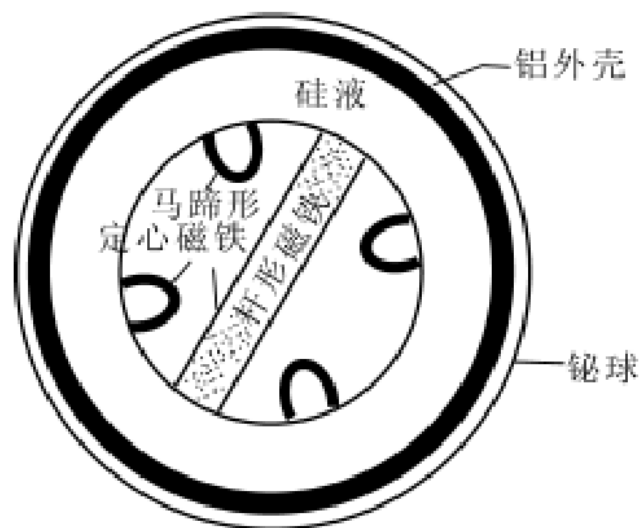
- 由于内球为永久磁铁，会跟踪地磁场，而与航天器固连的外球将受到重力梯度力矩的作用随天平动运动。因为内球悬浮可相对于外球转动，所以航天器的天平动将会引起内球与外球的角速度差。这种相对角速度将对黏性流体产生剪切作用，通过能量耗散而产生阻尼效果。





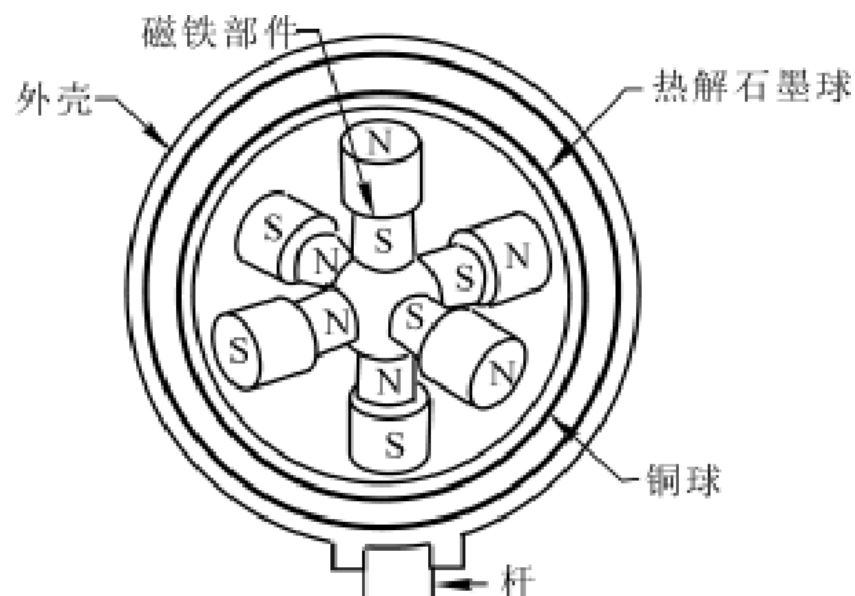
□ 特点:

- 容易受到核辐射和流星打击，内球流体易漏出。
- 对温度变化比较敏感，其内球结构比较复杂。
- 能耐加速度(液体浮力)，阻尼系数可以达到很大，特别是在需要大阻尼系数的情况下可以满足质量轻、尺寸小的要求。





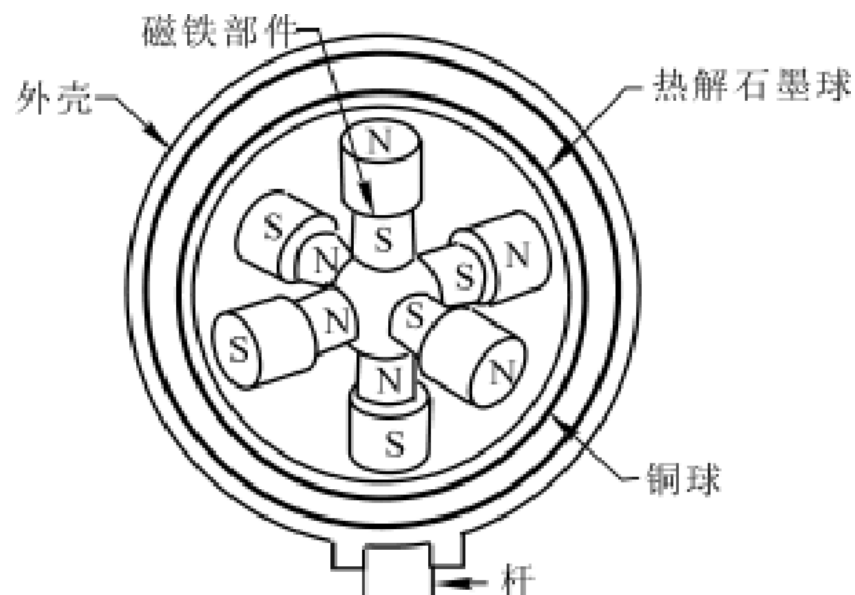
- 与磁黏性流体阻尼器相比差别在于，使用一个铜球来代替黏性流体，内球由六根磁棒组成，与外球热解石墨等相互作用实现悬浮、磁跟踪和在铜球上产生涡流，以涡流代替黏性流体来耗散天平动的能量。





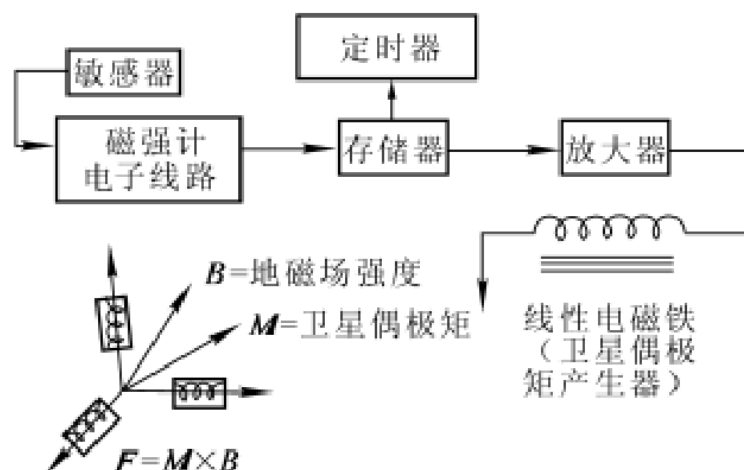
□ 特点:

- 结构较简单，受温度影响较小，用在对阻尼系数要求不大的航天器上较适合。





- 时间滞后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。在某段特定的时间里，航天器利用磁强计等敏感器在本地坐标系 $Oxyz$ 内测出地磁场的方向并将其存入计算机存储器中，电磁铁通电后产生磁偶极子，与地磁场相互作用产生一个作用在航天器上的力矩，阻尼航天器的天平动。



- 要消耗星上能源，不属于被动阻尼方式。



- 重力梯度稳定航天器的天平动阻尼方式很多，虽然工作原理各不相同，但与前面列举的两类典型阻尼方式之间不同程度地存在共性。如何选择适当的天平动阻尼方式必须从航天器对阻尼系数的要求、工作环境、质量体积等各方面综合选择。



西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY



THANKS



029-81891860



dzhfeng@xidian.edu.cn

