



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



# 航天器姿态控制系统的组成与分类

01

姿态敏感器

02

执行机构

03

控制器——星载控制计算机

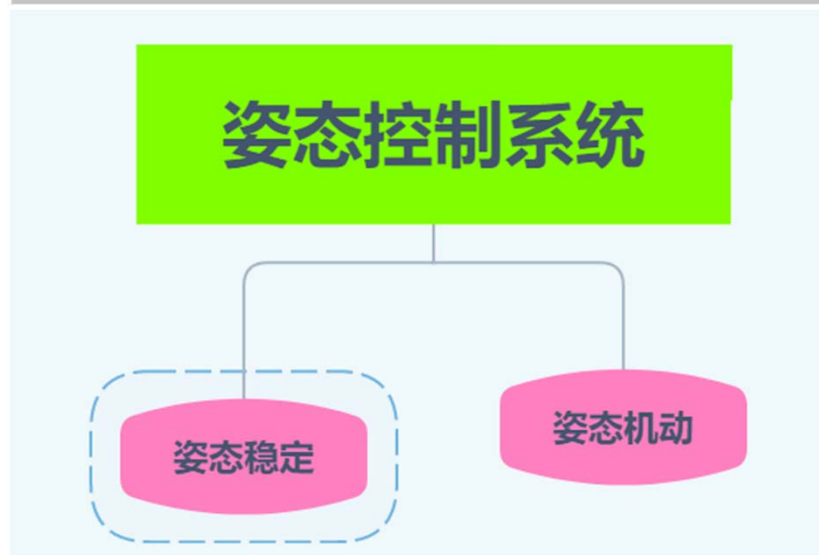
04

姿态控制系统的任务与分类



## 第四讲 · 姿态控制系统的任务与分类

- 01 姿态控制的方式
- 02 姿态控制方式的比较



➤ 应用需求:

- 成像、通信、轨道控制

➤ 控制指标

- 指向精度和稳定度

➤ 影响因素

- 环境力矩、天线摆动、太阳帆板的挠性振动、推力产生的干扰力矩



## ➤ 应用需求:

- 目标跟踪、区域凝视、观测目标变化（哈勃）

## ➤ 控制指标

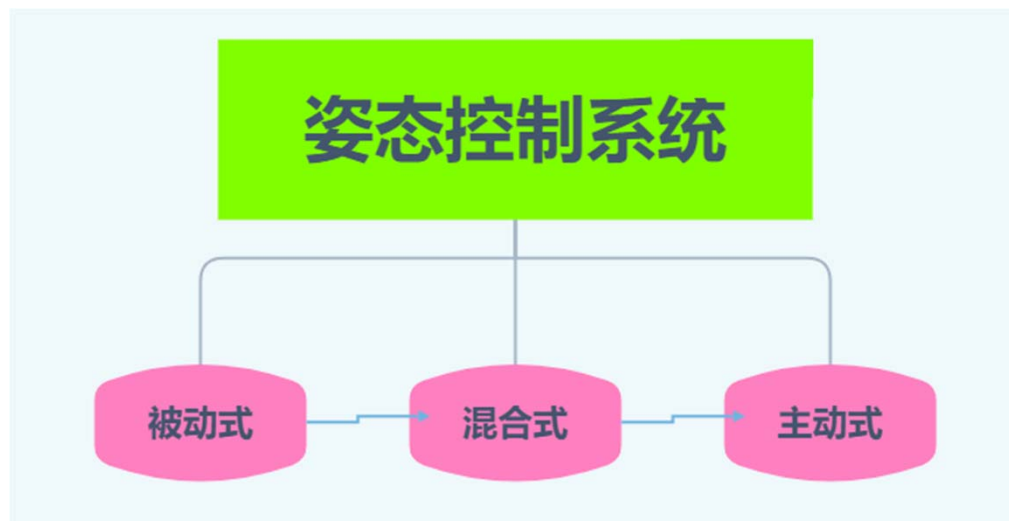
- 控制精度和稳定时间

## ➤ 影响因素

- 机动力矩大小、机动的方式与执行机构、机动激起的挠性振动



## □ 按控制力矩来源分类:





- 被动控制系统是用自然环境力矩源或物理力矩源，如自旋、重力梯度、地磁场、太阳辐射力矩或气动力矩等以及它们之间的组合来控制航天器的姿态。
- 这种系统不需要能源，也不需要姿态敏感器和控制逻辑线路。





- 自旋稳定是被动控制中最简单的方法。
- 原理：利用航天器绕自旋轴旋转所获得的陀螺定轴性，使航天器的自旋轴方向在惯性空间定向，但是它不具有控制自旋速度及再定向或使自旋轴进动的能力。



风云二号



实践一号



- 从理论上说，自旋稳定系统在起旋后就不需要另加控制，但是由于干扰将造成自旋轴的进动与动量矩矢量的漂移，如果不加以校正，则会造成定向精度的下降，从而不适用于长期任务。



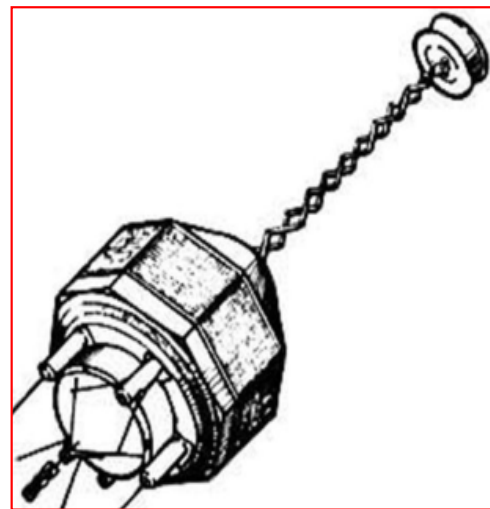
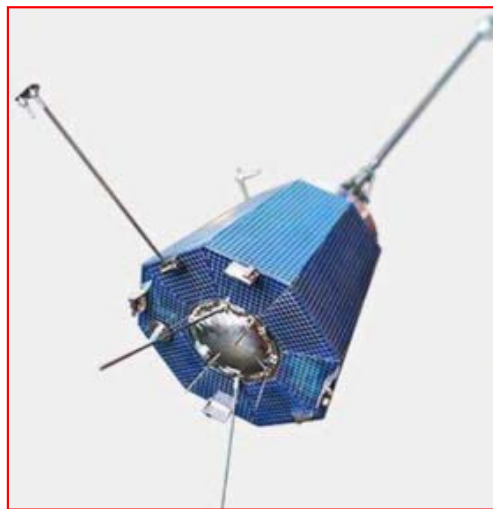
风云二号



实践一号



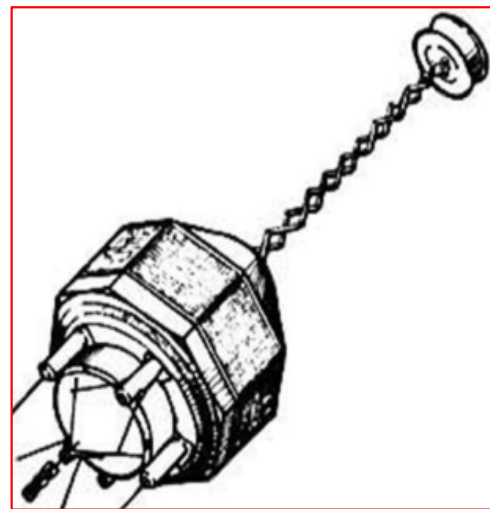
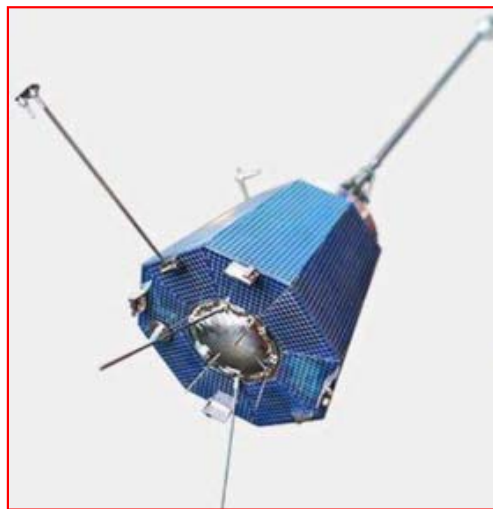
- 环境力矩稳定是另一类重要的航天器被动控制方式。
- 气动力、重力梯度力、磁力和太阳辐射压力对航天器质心之矩，都是潜在的控制力矩源。



美国子午仪一号导航卫星




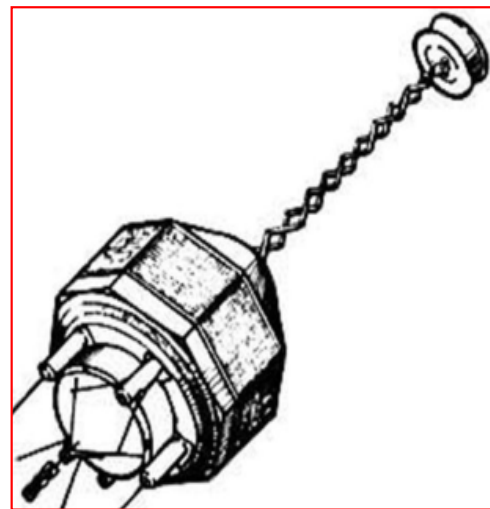
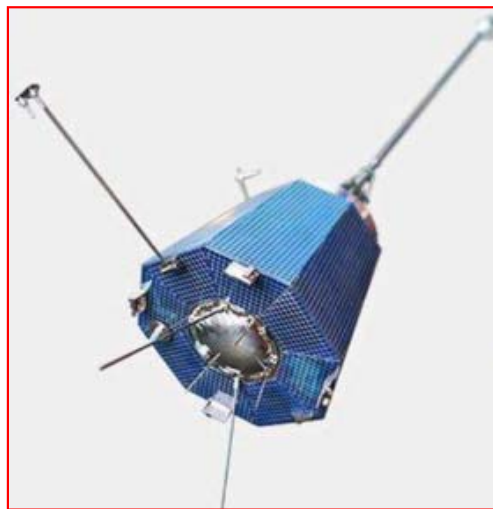
- 选择适当的轨道高度，设计一定的结构形状，使得作为控制力矩的环境力矩值远大于其余环境力矩的值，就可以组成相应的姿态稳定系统。



美国子午仪一号导航卫星



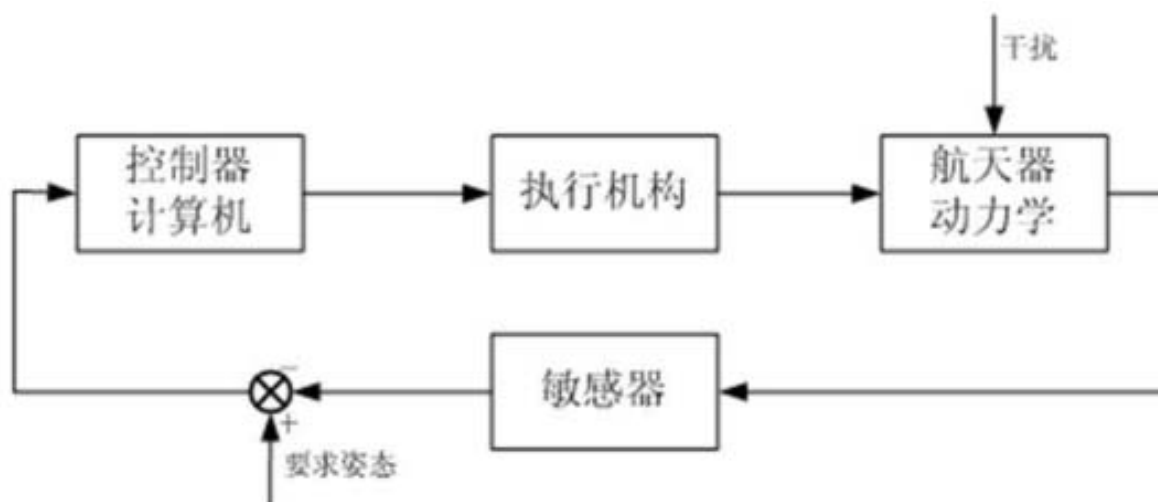
- 环境控制力矩  与轨道高度密切相关，对航天器结构形状有要求
- 环境力矩是取之不尽，用之不竭的控制力矩源，一旦发射成功，其工作寿命将是无限的。



美国子午仪一号导航卫星



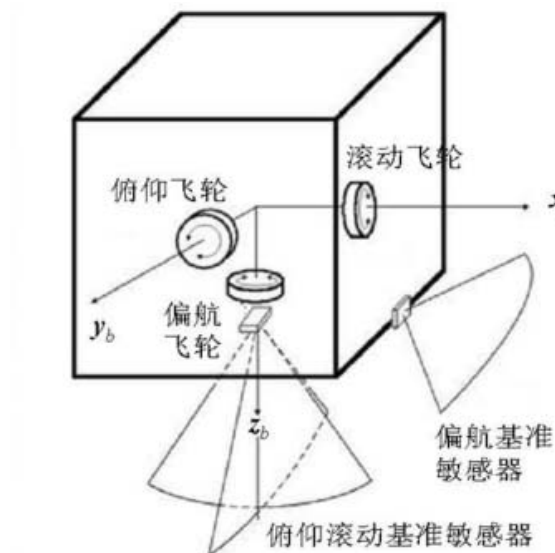
- 航天器主动式姿态控制系统的控制力矩来自于航天器上的能源，它属于闭环控制系统。







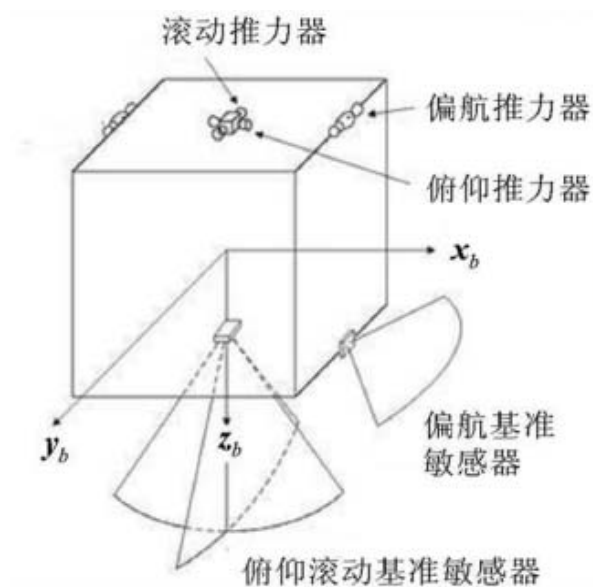
- 以飞轮执行机构为主的三轴姿态控制系统：它利用各种飞轮储存动量矩，通过动量交换实现航天器的姿态控制，也称为动量矩控制。



零动量飞轮三轴姿态控制系统



- 喷气三轴姿态控制：利用各种推力器为执行机构，从航天器本体向外喷射质量，产生控制力矩。

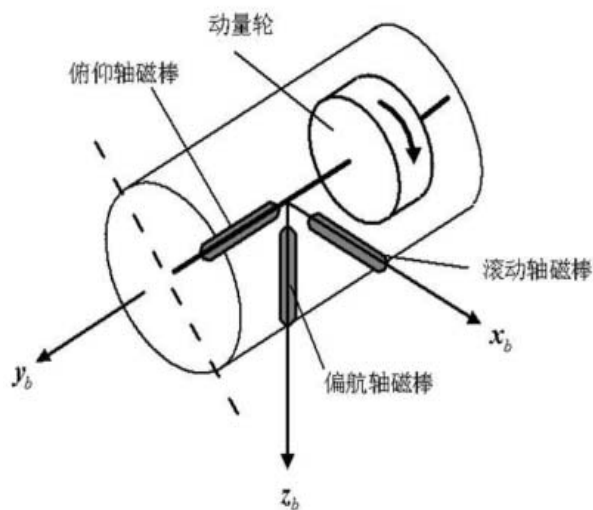


纯三轴喷气姿态控制系统





- 地磁力矩器控制系统：它是根据载流线圈在地球磁场作用下产生偏转力矩的原理来设计的。



磁力矩控制



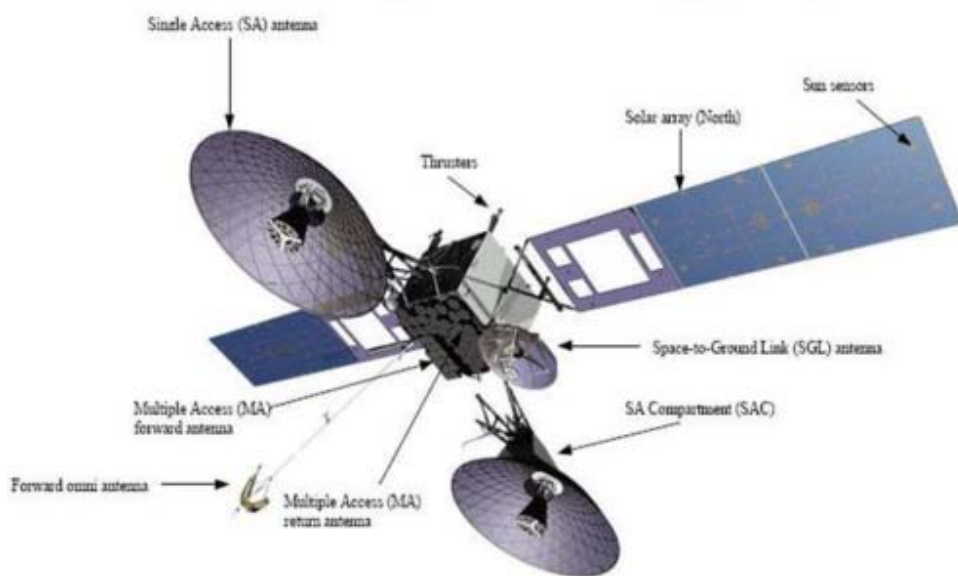
- 姿态控制方式若按航天器在运行中是否旋转，可以分为**自旋稳定**和**三轴稳定**。
- 自旋航天器在外形上要求较严格，指向精度较低。



东方红二号



- 三轴稳定突破了对航天器外形的限制，因为星体不旋转，可以安装大型的附件。三轴稳定航天器由于采用了星上计算机和高精度的姿态敏感器，提高了指向精度，但它的动量矩比自旋稳定航天器小，受到干扰力矩时，容易发生姿态偏转。



三轴稳定卫星



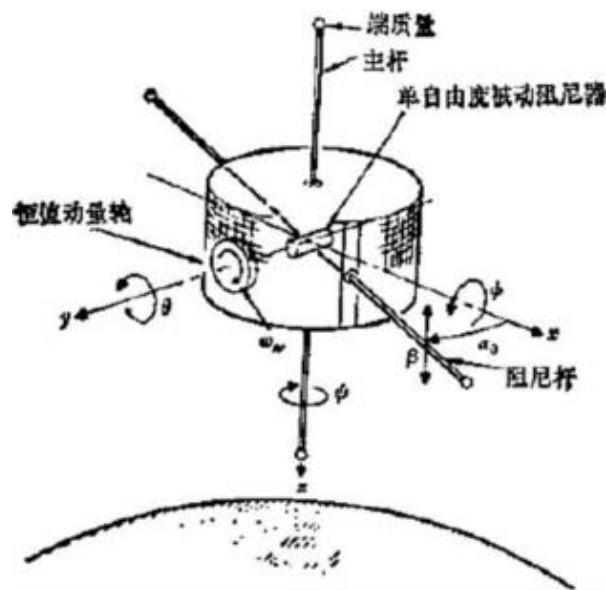
- 自旋稳定系统和环境力矩稳定系统不需要消耗星上能源，且不具有机动能力，因此称为**无源系统**或**被动控制系统**。
- 其余系统是由星上携带的控制力矩产生器作执行机构，需要消耗星上能源，且又具有机动能力，因此称为**有源系统**或**主动控制系统**。



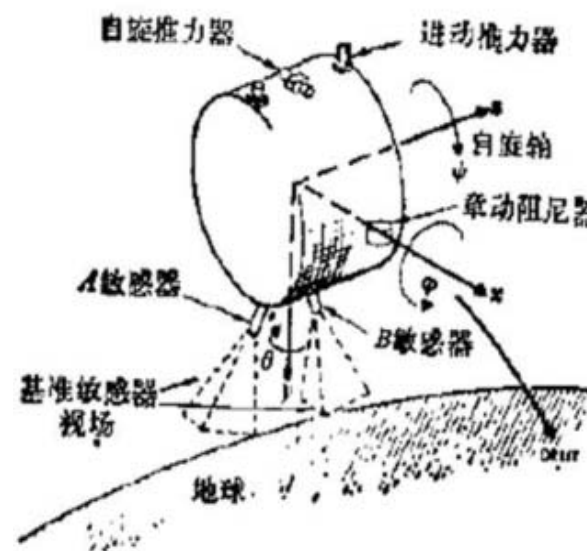
- 任务期限短、精度要求高、机动范围大的通常采用推力器控制系统或飞轮控制系统；
- 任务期限长、精度要求低、不要机动性的，则采用被动控制系统。



- 还有航天器对各种性能要求取折衷水平，需要根据两类系统的特点加以巧妙结合，组成所谓半被动控制系统与半主动控制系统。



半自动重力梯度加恒值动量轮的姿  
态稳定控制



半主动自旋姿态  
稳定控制



□ 空间站力矩平衡姿态TEA

□ 重力梯度力矩 = 气动力矩



✓ 与姿态有关

✓ 气动力与速度方向相反



✓ 力矩平衡姿态：姿态角在一定范围内波动



# 姿态控制方式的比较

姿控系统类型	名称	指向精度	姿态机动能力	寿命
被动	自旋稳定	1-10度	无	7-10年
	重力梯度稳定	1-10度	无	>10年
半被动	重力梯度+恒值飞轮	0.5-5度	无	7-10年
	重力梯度+半被动阻尼器	1-5度	无	>7年
半主动	半主动自旋稳定	0.1-1度	有一定能力	7-10年
	半主动双自旋稳定	0.1-1度	有一定能力	5-10年
主动	纯三轴喷气姿态稳定	0.1-1度	任意	1-30天
	零动量轮控系统	0.01-1度	任意	2-7年
	偏置动量轮控系统	0.1-1度	有一定能力	5-15年
混合	分级控制/多自由控制	0.01-1度	-	-





- ❑ 采用被动控制系统的航天器实际上没有姿态机动的能力，要实现姿态机动就必须引入主动控制的要素，引入得越多姿态机动的能力就越强。
- ❑ 航天器的寿命很大程度上取决于它所携带的工质数量和工质消耗速度。当工质耗尽时，航天器也就失效了，所以航天器的寿命随着其控制系统工质消耗量的增加而缩短。
- ❑ 被动姿态控制系统不消耗能源，特别是不消耗工质，因此航天器一般具有较长的设计寿命。
- ❑ 主动姿态控制系统，特别是以推力器为主要执行机构的，由于工质消耗较多，相应的航天器的设计寿命也较短。



西安电子科技大学  
XIDIAN UNIVERSITY



# THANKS



13389281325



dzhfeng@xidian.edu.cn

