



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



航天器的姿态运动学和动力学

01

航天器的姿态运动学

02

航天器的姿态动力学

03

航天器的一般运动方程

04

姿态干扰力矩



第四讲 · 姿态干扰力矩

- 01 气动力矩
- 02 重力梯度力矩
- 03 磁干扰力矩
- 04 辐射力矩
- 05 小结



- 在轨道上运动的航天器受各种力(通过航天器质心)和力矩(不通过航天器质心)的作用，其中这些力矩使航天器的姿态产生扰动。
- 作用于航天器的扰动力矩有气动力矩、重力梯度力矩、太阳辐射力矩，以及空间微粒碰撞产生的力矩等。
- 扰动力矩是相对的，在有些情况下可把上述扰动力矩作为姿态稳定力矩，如重力梯度稳定、磁稳定等。



- 飞行经验表明气动力矩能显著地干扰航天器姿态，特别是影响自旋卫星的自旋速度。
- 在航天器姿态控制系统设计中，1000km以下的轨道，气动力矩必须予以考虑，特别是500km以下的轨道，气动力矩是主要的空间环境干扰力矩。
- 当轨道高度在120~1000km时，气动力矩可以用自由分子流理论来计算，即认为大气分子的平均自由行程大于航天器的特征尺寸。
- 当轨道高度在120km以下时，气动力矩就很大，因此航天器寿命很短。



- 在设计航天器姿态控制系统时，气动力矩可以表示为：

$$\vec{M}_d = -\vec{D} \times \vec{L}$$

式中， \vec{D} 为气动力矢量， \vec{L} 为压心相对于航天器质心的矢径。

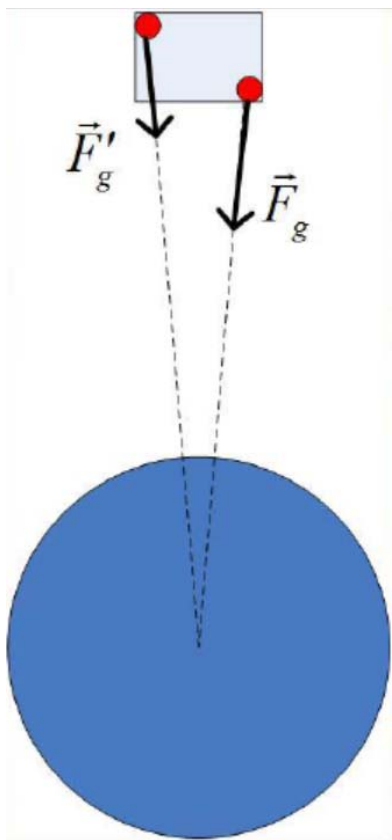
$$\vec{D} = -\frac{1}{2} C_D S \rho V \vec{V}$$

- 实际上，气动力矩和航天器外形、姿态角、质心相对压心的位置以及表面性质密切相关。





- 重力梯度力矩是由于航天器各部分质量具有不同重力而产生的。



$$\vec{M}_g = \begin{bmatrix} \frac{3\mu}{r^3}(I_z - I_y)\varphi \\ \frac{3\mu}{r^3}(I_z - I_x)\theta \\ 0 \end{bmatrix}$$

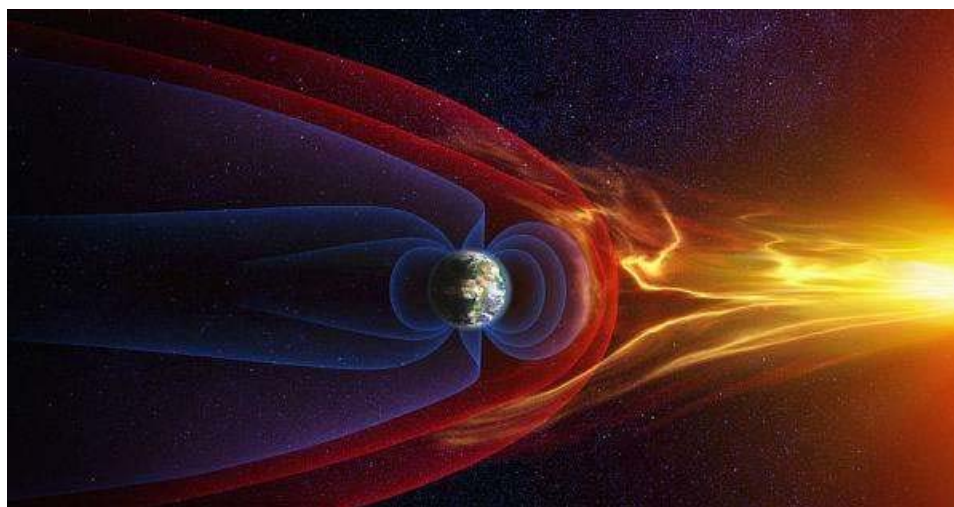
把航天器尽可能设计成接近于等惯量，即具有相同的三轴主惯量，这样就可以在任一轨道上使重力梯度力矩达到最小。



- 磁干扰力矩是由于航天器的磁特性和环境磁场相互作用而产生的。

$$\vec{M}_M = \vec{P} \times \vec{B}$$

- 地球磁场近似于偶极子磁场，太阳风将地磁场屏蔽在地球周围一定空间范围内。





- 辐射力矩主要是由于太阳的直接照射以及航天器质心和压心不重合所引起的。
- 决定辐射力矩的主要因素：
 - 入射辐射或反射辐射的强度、频谱及方向。
 - 表面形状及太阳面相对于航天器质心的位置。
 - 辐射入射表面或辐射发射表面的光学性质。



- 辐射力矩可以表示为：

$$\vec{M}_R = -\vec{F}_R \times \vec{L}$$

式中, \vec{F}_R 为辐射压力矢量, \vec{L} 为辐射压心相对于航天器质心的矢径。

$$\vec{F}_R = -kC_R S_R \rho_{SR} \vec{r}_S$$



- 在对轨道高度为1000km以上且表面积大的航天器进行设计时，辐射力矩是一个很重要的扰动力矩。



- 低轨道：气动力矩
- 中高度轨道：重力梯度力矩和磁力矩
- 高轨道：重力梯度力矩和太阳辐射力矩

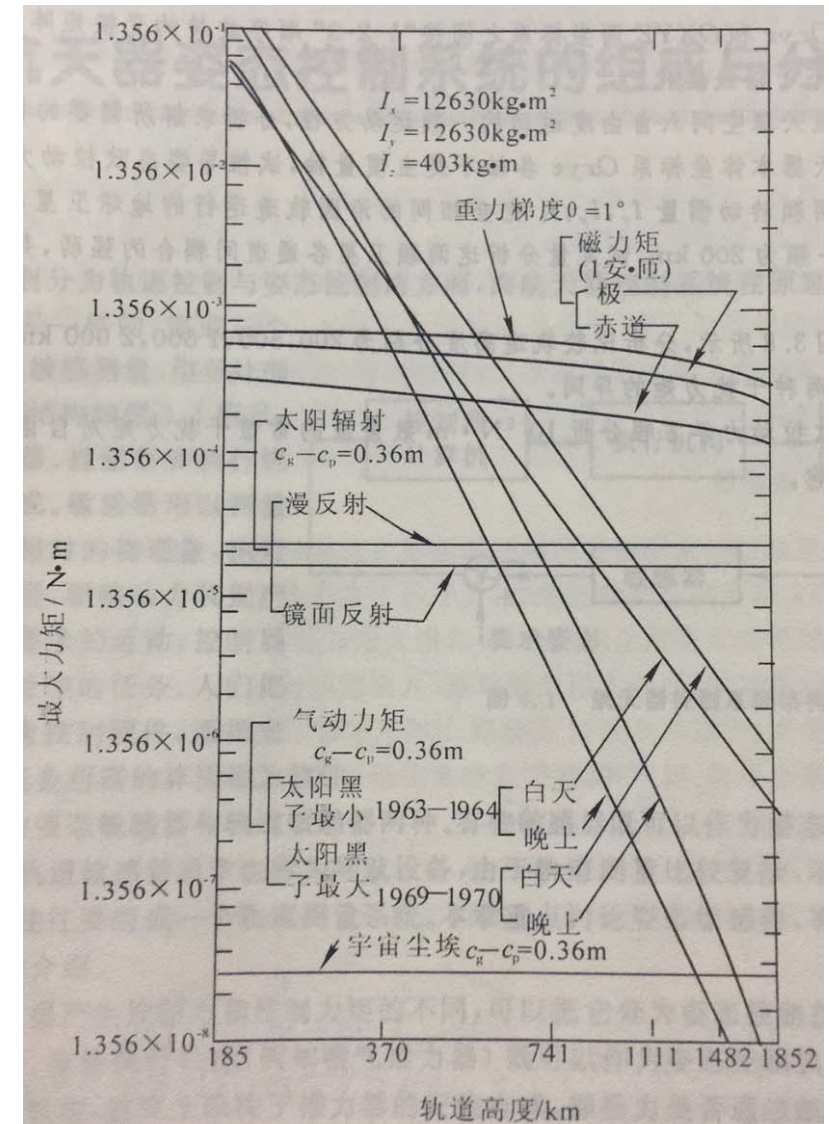


图 3.8 作用于人造卫星的扰动力矩的示例

c_R —质心； c_P —压力中心



- 对轨道高度为1000km，且两翼具有刚性较强的太阳帆板的航天器来说，比较典型的扰动力矩可以综合表达为：

$$\vec{M}_d = \begin{bmatrix} 10^{-5} (3 \cos \omega_0 t + 1) \\ 10^{-5} (1.5 \sin \omega_0 t + 3 \cos \omega_0 t) \\ 10^{-5} (3 \sin \omega_0 t + 1) \end{bmatrix}$$

- 姿态扰动力矩在绝对值上不一定很大，特别对于高轨道航天器，但是由于它们作用于航天器的时间长，成为影响航天器姿态精度的重要因素。



西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY



THANKS



13389281325



dzhfeng@xidian.edu.cn

