



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



航天器的轨道与轨道力学

01

航天器轨道的基本定律

02

二体轨道力学和运动方程

03

航天器轨道的几何特性

04

航天器的轨道描述

05

航天器的轨道摄动



第五讲 · 航天器的轨道摄动

• 01 几种主要的轨道摄动



二体轨道是一种理想情况：

$$\ddot{\vec{r}} + \frac{\mu}{r^3} \vec{r} = 0$$

- 作用力只有二体引力，没有其他外力
- 中心引力体为球形，且质量分布均匀



与实际情况有差别，主要因为：

$$\ddot{\vec{r}} + \frac{\mu}{r^3} \vec{r} = \vec{f}$$

- 并非理想的圆球体
- 没有考虑大气阻力对航天器运动的影响
- 没有考虑其他天体对航天器的作用
- 没有考虑地球周围的磁场等因素



$$\ddot{\vec{r}} + \frac{\mu}{r^3} \vec{r} = \vec{f}$$

- 航天器在实际上并不沿开普勒轨道运动，航天器轨道参数每时每刻都在变化，从而偏离由开普勒定律所确定的轨道，这种偏离现象称为摄动。

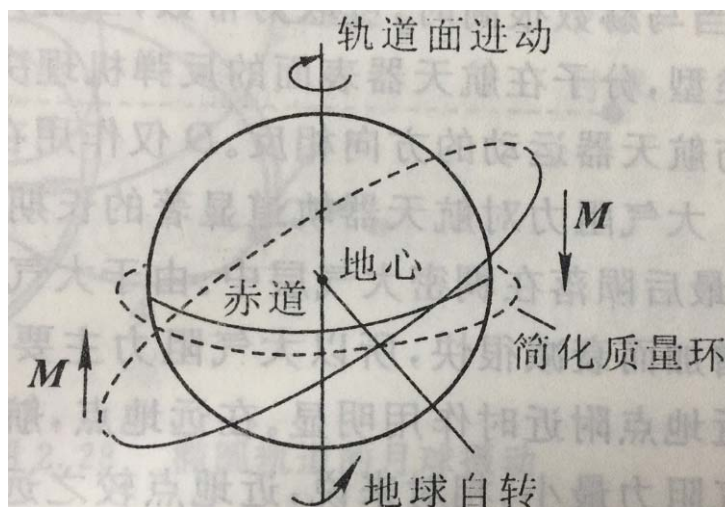


- 地球扁率摄动
- 大气阻力摄动
- 月球和太阳引力摄动
- 辐射压摄动
- 电磁效应摄动
- 其他摄动



1、地球扁率摄动

- 轨道平面的进动性：由于地球是一个赤道鼓胀、质量分布不均的椭球体，赤道附近的鼓胀部分会对轨道面产生一个力矩，从而使轨道面不能保持固定位置，而绕地轴转动。
- 轨道长半轴在轨道平面内的转动：使得轨道的近地点在轨道平面内也不断地移动。



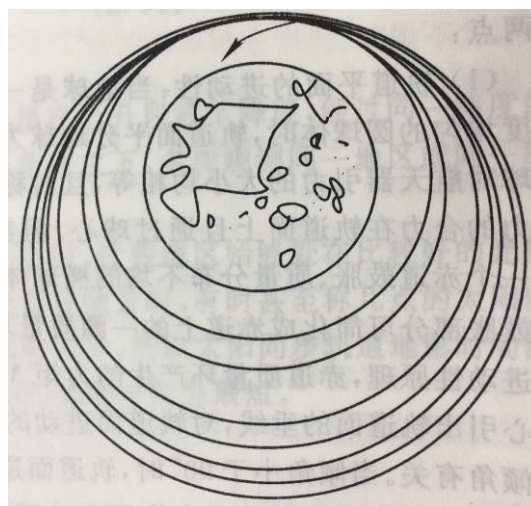


- 由于地球非球形所造成的力，通常是影响航天器轨道最主要的摄动力。
- 随着航天器轨道高度的增加，离开地球距离的增大，地球非球形造成的影响就减小。当航天器离地球的距离比地球本身的大小大得多时，即可忽略地球扁率的影响。



2、大气阻力摄动

- 大气阻力是由于地球大气产生的对航天器运动的摄动力，阻力的大小与大气密度、航天器形状和运行速度等因素有关。
- 大气阻力对航天器轨道显著的长期影响是改变轨道参数 a 和 e ，使椭圆轨道不断缩小变圆，最后陨落在稠密大气层中。



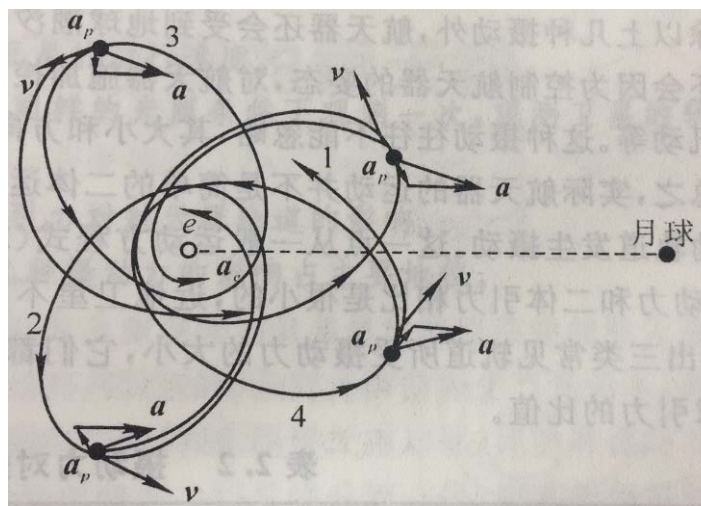


- 随着航天器轨道高度的增加，气动力的影响急剧减弱。当高度低于 $200km$ 时，大气阻力是最主要的摄动力；而当高度在 $1000km$ 以上时，在大多数情况下，大气阻力可以完全略去不计。



3、月球和太阳引力摄动

- 日、月引力摄动是由于太阳、月球对人造卫星等航天器与对地球的引力加速度之差而产生的。
- 航天器轨道高度越高，摄动量越大，在 $1600km$ 以下，可以忽略不计；但对高轨道的航天器，摄动量就十分可观。





4、辐射压摄动

- 航天器受到太阳的直接辐射、地球反射的太阳辐照和地球本身发射出的辐射能量的作用。量子力学认为光是光子流，而光子具有动量。当光子流射到航天器表面时，一部分被吸收，一部分被反射。在这一过程中，光子的部分动量就传递给了航天器，造成所谓的辐射压。
- 若将大气阻力摄动与太阳光压摄动相比较，可以发现在 $700km$ 以下的高空，航天器轨道主要受大气阻力影响，而在更高的高空则主要受太阳光压的影响。



5、电磁效应摄动

- 由于航天器所处高度上的大气是部分电离的，所以有可能出现航天器获得电势的现象。同时又因为有地磁场存在，这样就会产生电磁力。
- 一般说来，这一影响可以忽略不计。



6、其他摄动

- 除以上几种摄动外，航天器还会受到地球潮汐作用、无线电射频反作用等摄动力的影响。有时还会因为控制航天器的姿态，对航天器施加控制力矩的同时，产生力。这种摄动往往不能忽略，其大小和方向要视航天器具体情况而定。
- 总之，实际航天器的运动并不是简单的二体运动问题，有许多非理想的因素都会使航天器的运动轨道发生摄动。
- 尽管摄动力较小，但它们对于航天器轨道的长期影响是十分显著的，直接关系到航天器使命的完成。



西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY



THANKS



13389281325



dzhfeng@xidian.edu.cn

