

卫星轨道



主讲人：李亮

卫星轨道

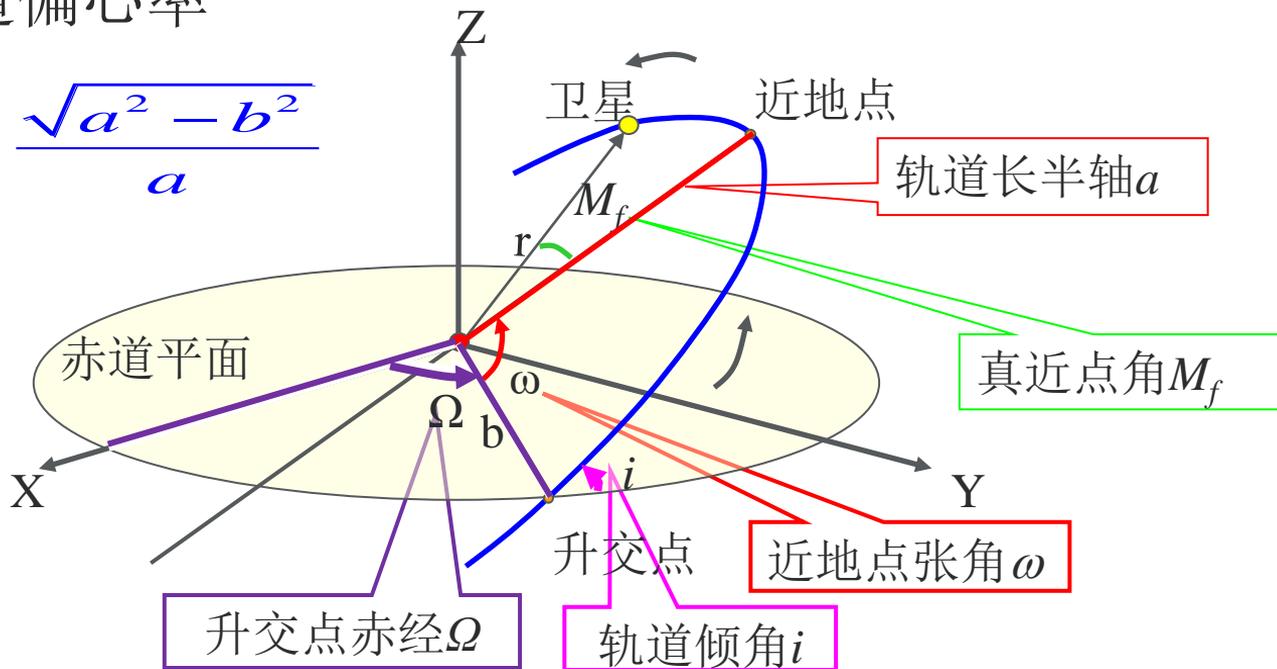


无摄轨道

卫星轨道六要素

轨道偏心率

$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$$



无摄轨道

◆ 卫星轨道分类

- **形状:** 圆形轨道 (Circular orbit)
椭圆轨道 (Elliptical orbit)
- **倾角:** 赤道轨道 (Equatorial orbit)
极轨道 (Polar orbit)
倾斜轨道 (Inclination orbit)
- **高度:** 地球静止轨道 (Geostationary Earth Orbit)
低地球轨道 (Low Earth Orbit)
高地球轨道 (High Earth Orbit)
中地球轨道 (Medium Earth Orbit)

无摄轨道

◆ 卫星的无摄运动

忽略摄动力影响的理想情况下，卫星在轨道上的运动称为无摄运动，也称为开普勒运动。

地球对卫星的引力:

$$\vec{F} = -G \frac{Mm}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$$

卫星匀速圆周运动的向心力:

$$\vec{F} = m \times \ddot{\vec{r}}$$

引力加速度:

$$\ddot{\vec{r}} = -\frac{GM}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r}$$

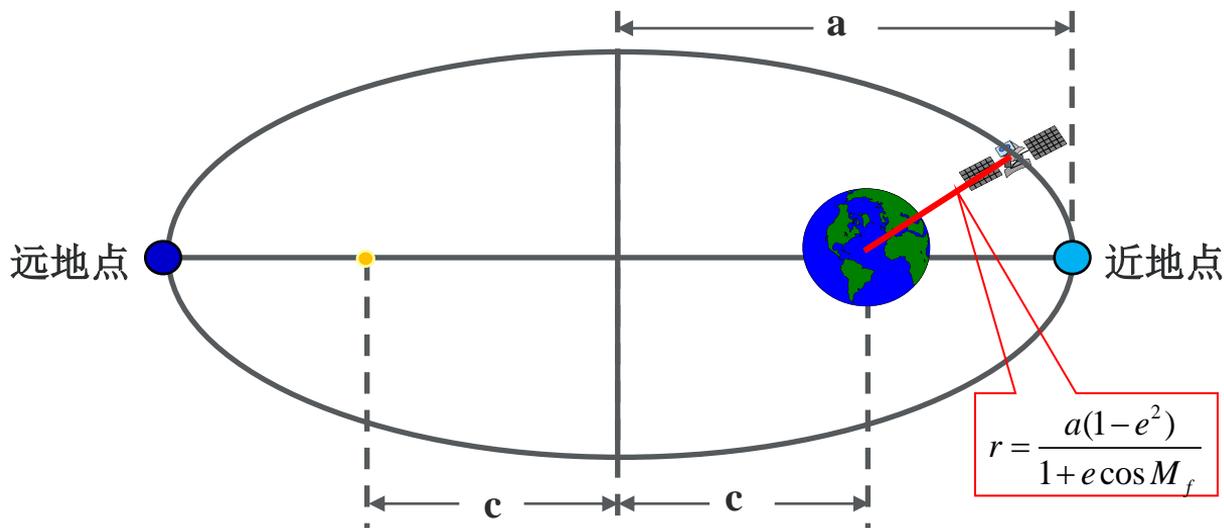


二体问题

无摄轨道

◆ 卫星的无摄运动

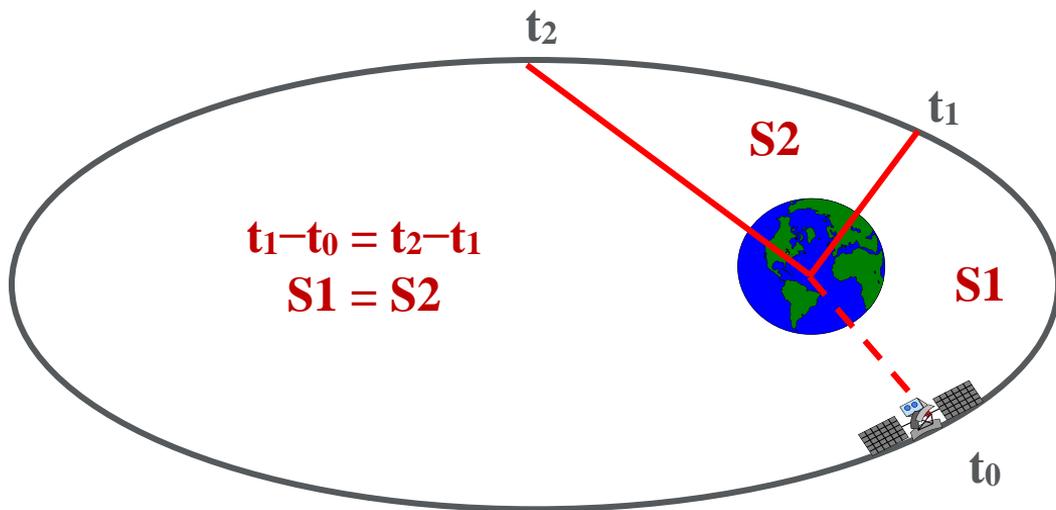
开普勒第一定律： 卫星的运行轨道是一个椭圆，该椭圆的一个焦点与地球的质心重合。



无摄轨道

◆ 卫星的无摄运动

开普勒第二定律：卫星的地心向径，即地球质心与卫星质心间的距离向量，在相同的时间内所扫过的面积相等。



无摄轨道

◆ 卫星的无摄运动

开普勒第三定律：卫星运动周期的平方与轨道椭圆长半轴的立方之比为一常数，该常数等于地球引力常数GM的倒数。

$$\frac{T^2}{a^3} = \frac{4\pi^2}{GM}$$

卫星运动的平均角速度： $\bar{\omega} = \frac{2\pi}{T}$ (rad/s)

$$\bar{\omega} = \left(\frac{GM}{a^3} \right)^{1/2}$$

无摄轨道

卫星在空间绕地球运行，除了受地球重力场的引力作用外，还将受到太阳、月亮和其它天体引力的影响，及太阳光压、大气阻力和地球潮汐力等因素的影响。必须建立各种摄动力模型，对卫星轨道加以修正，以满足精密定轨的要求。

摄动轨道

◆ 摄动力对GPS卫星的影响

摄动源		加速度 (m/s ²)	轨道摄动 (m)	
			3小时弧段	2日弧段
地球的非对称性	\bar{C}_{20}	5×10^{-5}	≈2000	≈14000
	其他调和项	3×10^{-7}	5~80	100~1500
日月引力影响		5×10^{-6}	5~150	1000~3000
地球潮汐位	固体潮	1×10^{-9}	—	0.5~1.0
	海洋潮汐	1×10^{-9}	—	0.0~2.0
太阳辐射压		1×10^{-7}	5~10	100~800
反照压		1×10^{-8}	—	1.0~1.5

摄动轨道

◆ 地球引力场摄动力的影响

地球的引力位模型： $V = \frac{GM}{r} + \Delta V$

ΔV 为摄动位，其球谐函数展开式的一般形式：

$$\Delta V = GM \sum_{n=2}^{\infty} \frac{R_e^n}{r^{n+1}} \sum_{m=0}^n P_{nm}(\sin \varphi) (C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda)$$

导航卫星的轨道较高，而随高度的增加，地球非球性引力的影响迅速减小，所以只要应用展开式的较少项数，便可以满足确定导航卫星轨道的精度要求。

摄动轨道

◆ 日月引力对卫星的摄动加速度

$$\ddot{\vec{r}}_{\text{日}} + \ddot{\vec{r}}_{\text{月}} = Gm_{\text{日}} \left[\frac{\vec{r}_{\text{日}} - \vec{r}}{|\vec{r}_{\text{日}} - \vec{r}|^3} - \frac{\vec{r}_{\text{日}}}{|\vec{r}_{\text{日}}|^3} \right] + Gm_{\text{月}} \left[\frac{\vec{r}_{\text{月}} - \vec{r}}{|\vec{r}_{\text{月}} - \vec{r}|^3} - \frac{\vec{r}_{\text{月}}}{|\vec{r}_{\text{月}}|^3} \right]$$

日、月的地心向径

日、月的质量

卫星的地心向径

使导航卫星在3h的弧段上产生约为50~150m的位置误差

摄动轨道

◆ 太阳光压的影响

太阳辐射压对球形卫星所产生的摄动加速度既与卫星、太阳和地球之间的相对位置有关，也与卫星表面的反射特性、卫星的面积和质量比有关。其间关系比较复杂，一般可近似表示为：

$$\ddot{\vec{r}}_{\text{光压}} = \gamma P_{\gamma} C_{\gamma} \frac{F}{m} \vec{r}_{\text{日}}^2 \left[\frac{\vec{r} - \vec{r}_{\text{日}}}{|\vec{r} - \vec{r}_{\text{日}}|^3} \right]$$

太阳光压对GPS卫星产生的摄动加速度约为 10^{-7}m/s^2 量级，由此将使卫星轨道在3h的弧段上产生5~10m的偏差。

卫星轨道



主讲人：李亮