

第二章 基本概念、相关原理和方法

- 2.1 深空探测的主要方式
- 2.2 深空探测活动的构成
- 2.3 深空探测涉及到的科学技术领域
- 2.4 深空探测的关键技术

第二章 基本概念、相关原理和方法

- 2.1 深空探测的主要方式
 - 行星际探测器的主要方式
 - 飞越探测
 - 环绕探测
 - 硬着陆探测
 - 软着陆探测
 - 载人探测
 - 天文观测的主要方式
 - 空间天文台
 - 地面天文台

第二章 基本概念、相关原理和方法

- 2.2 深空探测活动的构成
 - 深空探测器系统：有效载荷、结构、电源、热控、测控、推进等
 - 运载火箭系统
 - 发射场系统：测试、发射
 - 深空测控网
 - 地面应用系统

第二章 基本概念、相关原理和方法

- 2.3 深空探测涉及到的科学领域
 - 天体力学
 - 航天器的轨道
 - 脱离地球
 - 行星际飞行器
 - 空间天文台
 - 深空天线网和通信技术

第二章 基本概念、相关原理和方法

开普勒三定律

开普勒第一定律（轨道定律）：所有行星绕恒星运动的轨道都是椭圆，且恒星处在椭圆的某个焦点上；

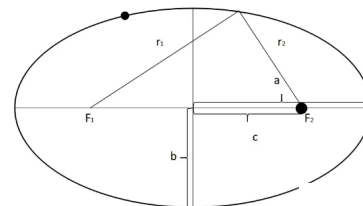
开普勒第二定律（面积定律）：对于任意一个行星来说，其与恒星的连线（极径）扫过的面积与运动时间成正比；

开普勒第三定律（周期定律）：所有行星轨道的半长轴的三次方与其公转周期的二次方的比值都相等，且比值只与其绕转天体有关。

第二章 基本概念、相关原理和方法

开普勒三定律

● 椭圆的极坐标方程：



$$r = \frac{p}{1 + e \cos \theta}$$

其中 $e = \frac{c}{a}$, $p = \frac{b^2}{a} = a \cdot \frac{a^2 - c^2}{a^2} = a(1 - e^2)$ 。

第二章 基本概念、相关原理和方法

开普勒三定律

● 利用角动量守恒定律推导开普勒第二定律

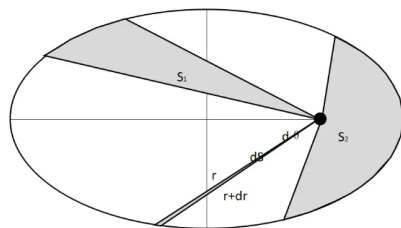
$$dS = \frac{1}{2} \mathbf{r} \times (\mathbf{r} + d\mathbf{r}) = \frac{1}{2} \mathbf{r} \times d\mathbf{r}$$

开普勒第二定律

$$\mathbf{V} = \frac{dS}{dt} = \frac{1}{2} \mathbf{r} \times \frac{d\mathbf{r}}{dt} = \frac{1}{2} \mathbf{r} \times \dot{\mathbf{r}}$$

角动量：

$$L = \sum \mathbf{r}_i \times (m_i \mathbf{v}_i)$$



第二章 基本概念、相关原理和方法

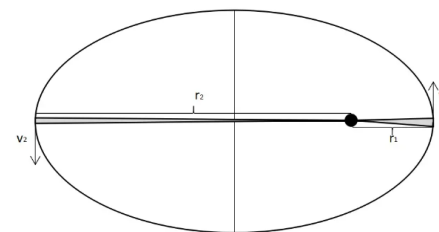
开普勒三定律

● 根据第一定律和第二定律，推导第三定律
周期：

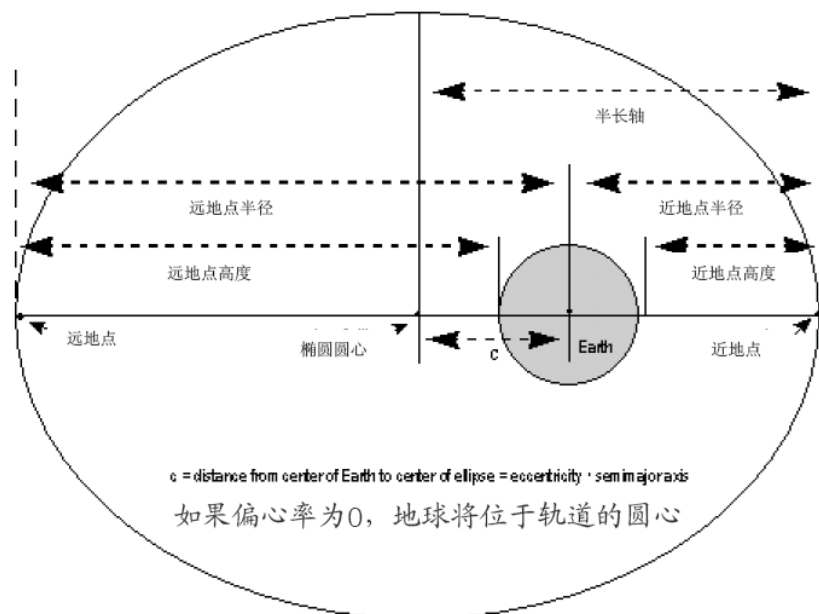
$$T = \frac{S_{\text{总}}}{V}$$

$$S_{\text{椭圆}} = \int_{-a}^a \frac{2b}{a} \sqrt{a^2 - x^2} = \pi ab$$

$$T = \frac{S_{\text{总}}}{V} = \frac{\pi ab}{\frac{b}{2} \sqrt{\frac{GM}{a}}} = 2\pi a \sqrt{\frac{a}{GM}}$$



第二章 基本概念、相关原理和方法



第二章 基本概念、相关原理和方法

● 深空探测涉及到的科学领域(2)

● 航天器的轨道

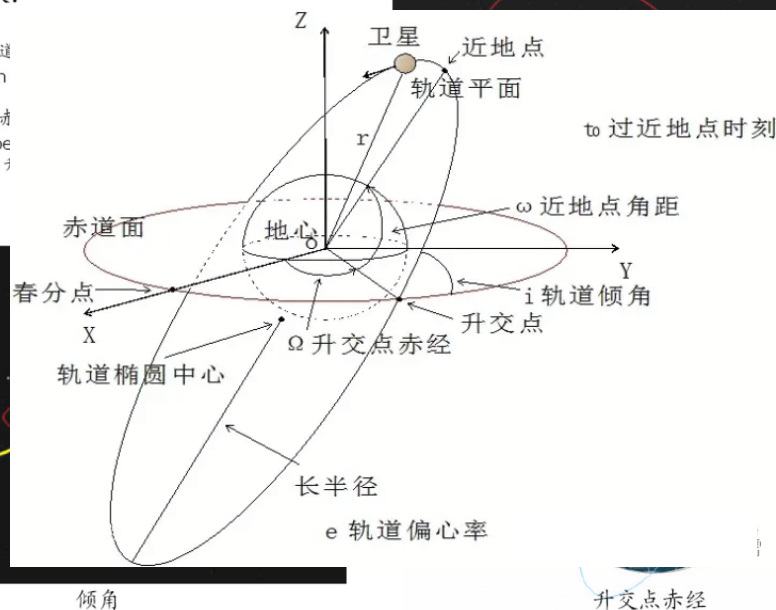
● 人造卫星的轨道

- 轨道大小和形状参数：半长径、偏心率
- 轨道位置参数：轨道倾角、升交点赤经、近地(星)点幅角
 - 确定轨道大小和形状后，必须确定轨道位置
 - Inclination 轨道倾角(轨道平面与赤道平面夹角)
 - right ascension or longitude of the ascending node
 - RAAN 升交点赤经(赤道平面春分点向右与升交点夹角)
 - argument of perigee 近地点幅角(升交点与近地点夹角)

轨道位置参数

■ 位置参数:

Inclination
轨道倾角 (轨道
right ascension
(RAAN)
升交点赤经 (赤
argument of pe
近地点幅角 (ω)



第二章 基本概念、相关原理和方法

● 深空探测涉及到的科学领域(2)

● 航天器的轨道

● 人造卫星的轨道

- 轨道大小和形状参数：半长径、偏心率
- 轨道位置参数：轨道倾角、升交点赤经、近地(星)点幅角
- 卫星位置参数：真近点角

第二章 基本概念、相关原理和方法

● 深空探测涉及到的科学领域(2)

● 航天器的轨道

● 人造卫星的轨道

- 轨道大小和形状参数：半长径、偏心率
- 轨道位置参数：轨道倾角、升交点赤经、近地(星)点幅角
- 卫星位置参数：平近点角
- 卫星轨道类型
 - 极地轨道 Polar Orbit
 - 轨道倾角等于90度的轨道：沿极轨运行的航天器，每圈都经过南、北极地区，再加上地球自转效应，能达到覆盖全球的目的。

第二章 基本概念、相关原理和方法

● 深空探测涉及到的科学领域(2)

● 航天器的轨道

● 人造卫星的轨道

- 轨道大小和形状参数：半长径、偏心率
- 轨道位置参数：轨道倾角、升交点赤经、近地(星)点幅角
- 卫星位置参数：平近点角
- 卫星轨道类型
 - 太阳同步轨道 Sun-Synchronous Orbit
 - 轨道平面绕地球自转轴进动的方向与地球绕太阳公转方向相同，且进动角速度等于地球公转平均角速度（0.9856 /天）的轨道。

第二章 基本概念、相关原理和方法

● 深空探测涉及到的科学领域(2)

● 航天器的轨道

● 人造卫星的轨道

- 轨道大小和形状参数：半长径、偏心率
- 轨道位置参数：轨道倾角、升交点赤经、近地(星)点幅角
- 卫星位置参数：平近点角
- 卫星轨道类型
 - 地球同步轨道和对地静止轨道
Geosynchronous & Geostationary Orbits
 - 地球同步轨道的回归周期是1个恒星日(1436.1 分钟)。
 - 对地静止轨道是地球同步轨道的一种特例，在赤道附近，倾角和偏心率均为0的圆轨道。

第二章 基本概念、相关原理和方法

- **同步轨道**：周期与地球自转周期相同的轨道，地球上的人在同一时间看卫星，卫星在天上同一个位置。
- **静止轨道**：同步轨道的一种，静止轨道的轨道倾角为0，静止轨道就是地球上的人看卫星是静止的。
- **苔原轨道**：具有高倾角（约 63.4°），典型的偏心率为 0.2 至 0.3。适合服务于高纬度地区的通信卫星。
- **准天顶轨道**：系统是一个运行在轨道倾角为42°，偏心率为0.075的地球同步轨道上的三卫星系统。
- **坟场轨道**：又叫垃圾轨道、弃星轨道，高于运行正常卫星的轨道。位于地球上方36,050公里处，距离在运行的远地卫星也有近321公里，这就保证了它处于一个安全高度，丝毫不会影响到正常运行的卫星。

第二章 基本概念、相关原理和方法

● 深空探测涉及到的科学领域(2)

● 航天器的轨道

- 人造卫星的轨道
- 月球及行星际飞行器轨道
 - 引力作用范围作用球
 - 质量较小的天体周围的一个受引力作用的区域。
 - 停泊轨道
 - 按中心体不同分为
 - 地球停泊轨道
 - 月球停泊轨道
 - 行星停泊轨道

第二章 基本概念、相关原理和方法

● 深空探测涉及到的科学领域(2)

● 航天器的轨道

- 人造卫星的轨道
- 月球及行星际飞行器轨道
 - 引力作用范围
 - 停泊轨道
 - 转移(过渡)轨道
 - 通过不断加速、脱离A引力、飞向B开始，到被B引力捕获、近B制动为止的轨道段。

第二章 基本概念、相关原理和方法

● 深空探测涉及到的科学领域(2)

● 航天器的轨道

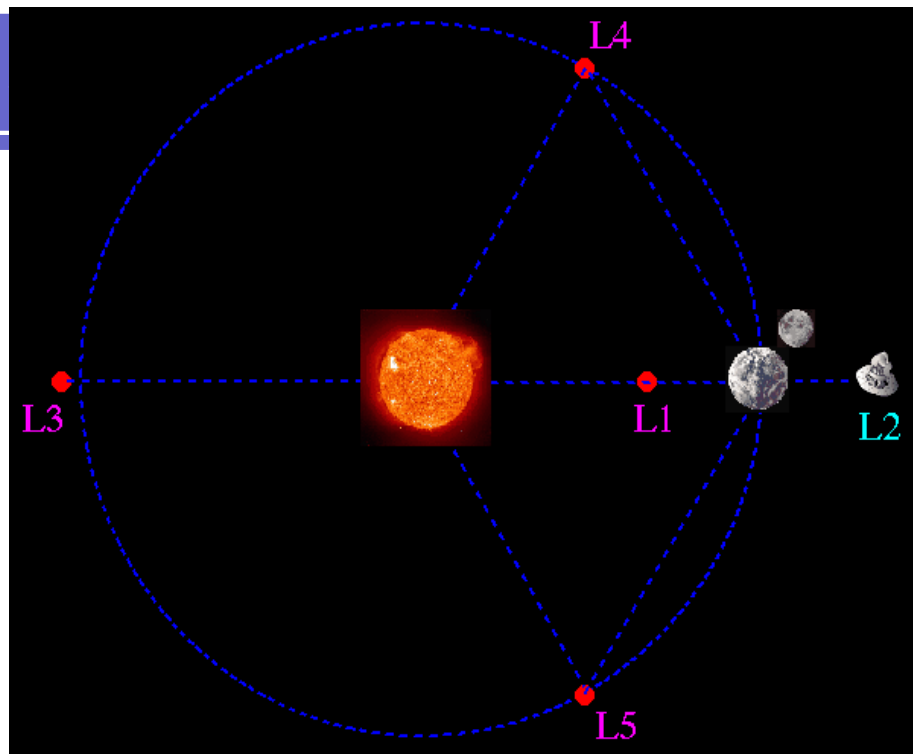
- 人造卫星的轨道
- 月球及行星际飞行器轨道
 - 引力作用范围
 - 停泊轨道
 - 转移(过渡)轨道
 - 双切(霍曼)轨道
 - 霍曼1925年首先提出 日心椭圆轨道
 - 轨道在近日点和远日点上分别与相应的两个行星的运动轨道相切。

第二章 基本概念、相关原理和方法

● 深空探测涉及到的科学领域(2)

● 航天器的轨道

- 人造卫星的轨道
- 月球及行星际飞行器轨道
- Lagrange拉格朗日点 圆型限制性三体问题
 - 一个小质量的物体在两个大质量的物体附近运行时，有5个特殊点，在这些点上，小质量物体所受到的引力和以共同角速度旋转的离心力恰好相等。



第二章 基本概念、相关原理和方法

● 深空探测涉及到的科学领域(2)

● 航天器的轨道

● 人造卫星的轨道

● 月球及行星际飞行器轨道

● Lagrange拉格朗日点 圆型限制性三体问题

- 一个小质量的物体在两个大质量的物体附近运行时，有5个特殊点，在这些点上，小质量物体所受到的引力和以共同角速度旋转的离心力恰好相等。

- 晕(Halo)轨道（拉格朗日点的应用）太阳、地球的L1点
空间观测的首选轨道：近地轨道碎片太多
月背探测中继卫星：鹊桥号，拉格朗日点L2，用于通讯

第二章 基本概念、相关原理和方法

● 深空探测涉及到的科学领域(2)

● 航天器的轨道

● 人造卫星的轨道

● 月球及行星际飞行器轨道

● Lagrange拉格朗日点 圆型限制性三体问题

- 一个小质量的物体在两个大质量的物体附近运行时，有5个特殊点，在这些点上，小质量物体所受到的引力和以共同角速度旋转的离心力恰好相等。

- Halo轨道（拉格朗日点的应用）太阳、地球的L1点
空间观测的首选轨道：近地轨道碎片太多

- SOHO(太阳探测器)卫星 ESA和NASA的联合探测计划

第二章 基本概念、相关原理和方法

● 深空探测涉及到的科学领域(2)

● 航天器的轨道

● 人造卫星的轨道

● 月球及行星际飞行器轨道

● Lagrange拉格朗日点

● 引力助推

- 引力弹弓效应/绕行星变轨 理论上 双曲线轨道
- 发射行星际飞行器的轨道绝大多数双曲线轨道
- 利用行星或其他天体的相对运动和引力改变飞行器的轨道和速度，以此来节省燃料、时间和计划成本。
- 既可用于加速飞行器，也能用于降低飞行器速度

第二章 基本概念、相关原理和方法

● 深空探测涉及到的科学领域(3)

● 脱离地球

- 第一 环绕 $v_1 = \sqrt{gR_e \left(\frac{R_e}{r} \right)^{1/2}} = 7.91 \text{ km/s}$
- 第二 摆脱 $v_2 = \sqrt{2}v_1 = 11.18 \text{ km/s}$
- 火箭理论的奠基人——齐奥尔科夫斯基
 - 1883年 《外层空间》 阐述火箭在宇宙空间飞行的原理；
 - 1885年提出发射人造卫星的设想；
 - 1903年提出了最著名的宇航公式： $v = w \cdot \ln(M_0/M)$
v火箭速度，w燃料喷出速度，M燃料耗尽时火箭的质量
 - 运载火箭：美国：Delta2~4, 大力神 日本：H-2A
俄罗斯：联盟号、质子号 中国：长征系列

第二章 基本概念、相关原理和方法

● 深空探测涉及到的科学领域(4)

● 行星际飞行器

- | | |
|-------------|--------|
| ● 地球探测器 | 月球探测器 |
| ● 水星探测器 | 金星探测器 |
| ● 火星探测器 | 木星探测器 |
| ● 土星探测器 | 冥王星探测器 |
| ● 小行星及彗星探测器 | 飞出太阳系 |

第二章 基本概念、相关原理和方法

● 深空探测涉及到的科学领域(5)

● 空间天文台(1)

- 全波段的天文观测 分辨率高
- 地球存在大气观测窗口 大气湍动
- 大气窗口：指天体辐射中能穿透大气的一些波段。
由于地球大气中的各种粒子对辐射的吸收和反射，
只有某些波段范围内的天体辐射才能到达地面。
- 按所属范围分为光学窗口、红外窗口和射电窗口。

第二章 基本概念、相关原理和方法

● 深空探测涉及到的科学领域(5)

● 空间天文台(2)

● 空间天文台的类型：

- 红外空间望远镜
- 光学空间望远镜
- 紫外天文台
- X射线卫星
- 伽玛爆探测卫星
- 太阳观测天文台
- 其他类

天体测量卫星 依巴谷卫星 Hipparchus

宇宙背景探测器：COBE, PLANCK

引力波探测器：LISA

第二章 基本概念、相关原理和方法

● 深空探测涉及到的科学领域(6)

● 深空天线网和通信技术

- 航天测控网
- 深空大天线技术
- 深空通信技术

第二章 基本概念、相关原理和方法

● 2.4 深空探测的关键技术

- 新型轨道设计技术
- 新型结构与机构技术
- 热控技术
- 自主导航与控制技术
- 新型推进技术
- 新型能源技术

第二章 基本概念、相关原理和方法

● 2.4 深空探测的关键技术

- 深空测控通信技术
- 综合电子系统技术
- 有效载荷技术
- 外星工作站技术
- 运载与运输系统技术