



西北工业大学

航天学院



# 航天概论

## 第三讲 卫星与飞船

航天学院

School of Astronautics



## 主要内容

3.1 轨道动力学与轨道描述

3.2 卫星分类与系统组成

3.3 载人飞船技术

3.4 月球与深空探测





## 3.1 轨道动力学与轨道描述

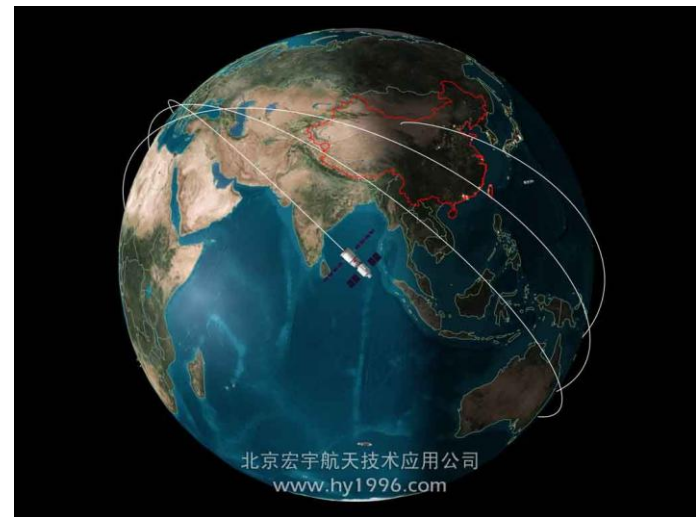
3.1.1 万有引力定律

3.1.2 二体轨道动力学

3.1.3 航天器轨道描述

3.1.4 航天器轨道摄动

3.1.5 轨道控制基本概念

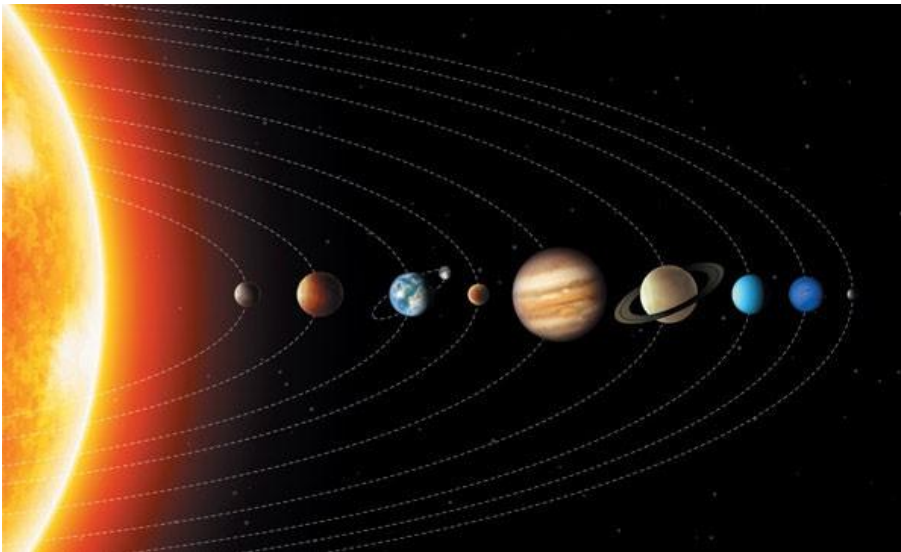




### 3.1.1 万有引力定律

在很早以前，人们就在不断地探索天体运动的奥妙。

天体运动的动力学原因？





### 3.1.1 万有引力定律

亚里士多德曾提到过力的概念，认为力的作用只有在相互接触时才能传递，对于遥远的天体，这个力是毫无用处的。

第谷·布拉赫积累了大量极为精确的天文观测资料，为开普勒的工作创造了条件。

约翰·开普勒根据第谷毕生观测所留下的宝贵资料，孜孜不倦地对行星运动进行深入的研究，提出了行星运动三定律。



第谷·布拉赫  
(1546-1601)



约翰·开普勒  
(1571-1630)





### 3.1.1 万有引力定律

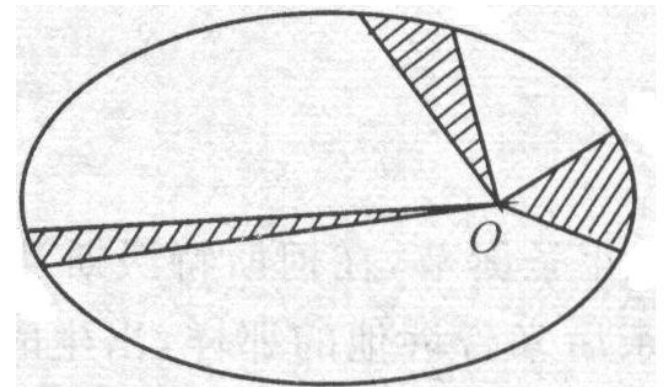
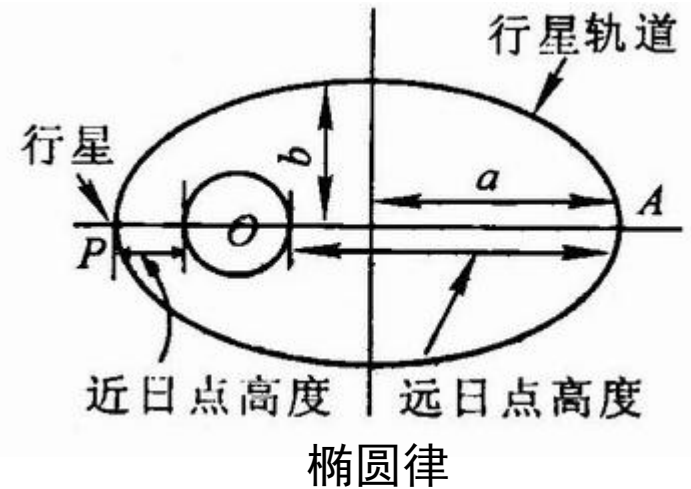
开普勒三大定律

**第一定律——椭圆律** 每个行星沿椭圆轨道绕太阳运行，太阳位于椭圆的一个焦点上。

**第二定律——面积律** 由太阳到行星的矢径在相等的时间间隔内扫过相等的面积。

**第三定律——周期律** 行星绕太阳公转的周期的平方与椭圆轨道的长半径的立方成正比。

揭开天体运动规律，描述行星轨道“是什么”，未解开天体运动动力学之谜。



面积律



### 3.1.1 万有引力定律

1644 年，笛卡儿把行星的运动归结为动力学原因。

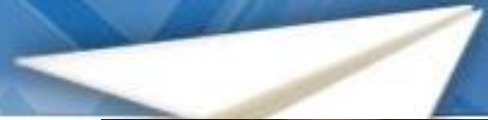
1645年，布里阿德假设，从太阳发出的力，和离太阳距离的平方成反比。

1666年，意大利的玻列利提出引力是距离的幂的某种函数。

1673年，惠更斯在研究摆的运动时给出了向心加速度理论。

1680年，胡克提出了引力反比于距离的平方的假设。

当科学的接力棒传到了牛顿手中时，他站在前人的肩上，建立了万有引力定律，做出了重大的贡献。



### 3.1.1 万有引力定律

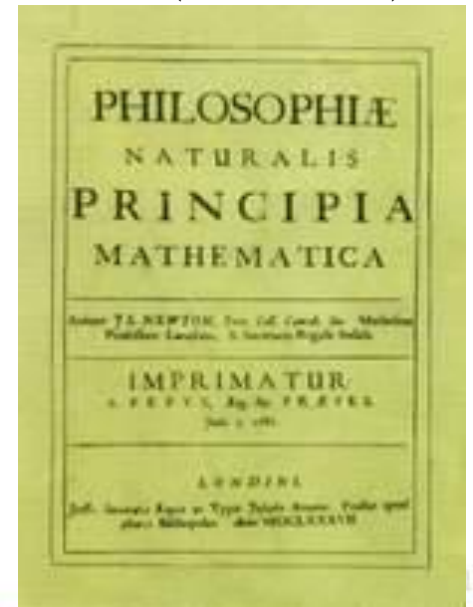
1684年胡克、哈雷及伦恩聚会，由伦恩征文悬赏：“从平方反比关系得出椭圆轨道结果”。同年5月，哈雷专程求助牛顿，牛顿集中精力深入研究此问题，取得了突破性的进展。

在他撰写的《论天体运动》演讲稿中，明确叙述了向心力定律，并证明了椭圆轨道运动的引力平方反比定律

1687年，牛顿出版了《自然哲学的数学原理》，公布了他对引力问题的研究成果



牛顿 (1642-1727)





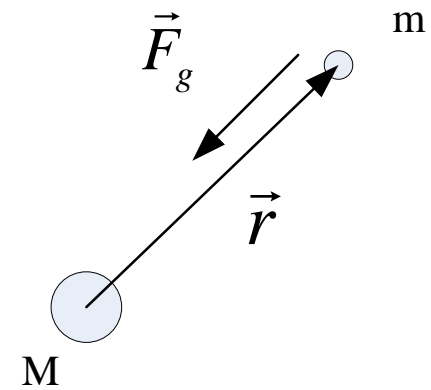


## 3.1.1 万有引力定律

### 万有引力定律

任何两个物体间均有一个相互吸引的力，  
这个力与它们的质量乘积成正比，与两物体  
间距离的平方成反比。

$$\vec{F}_g = -\frac{GMm}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$



引力示意图



### 3.1.2 二体轨道动力学

作两个简化假设：

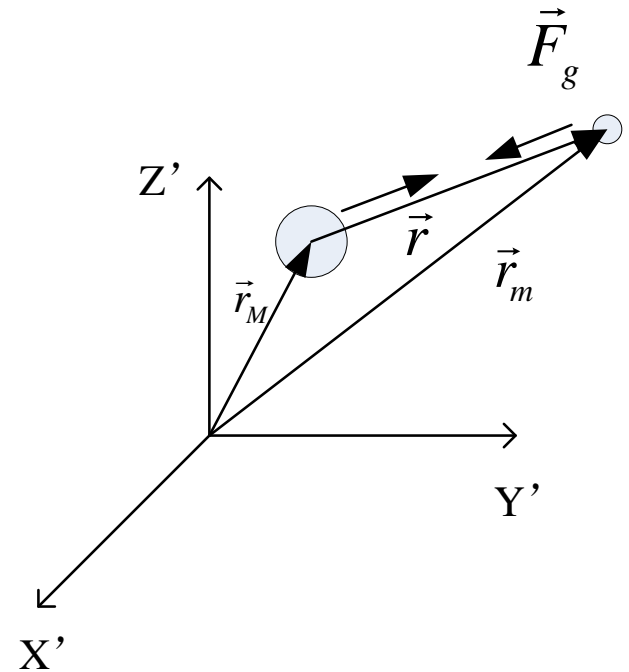
(1) 物体为球对称的且质量分布均匀，这样就可以把物体看作质量集中在其中心。

(2) 除了沿两物体中心连线作用的引力外，没有其他外力作用。

在惯性坐标系中

$$m\ddot{\vec{r}}_m = -\frac{GMm}{r^2} \frac{\vec{r}}{r} \quad M\ddot{\vec{r}}_M = \frac{GMm}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$

$$\ddot{\vec{r}} = \ddot{\vec{r}}_m - \ddot{\vec{r}}_M = -\frac{G(M+m)}{r^3} \vec{r}$$



二体问题



## 3.1.2 二体轨道动力学

得到二体运动方程

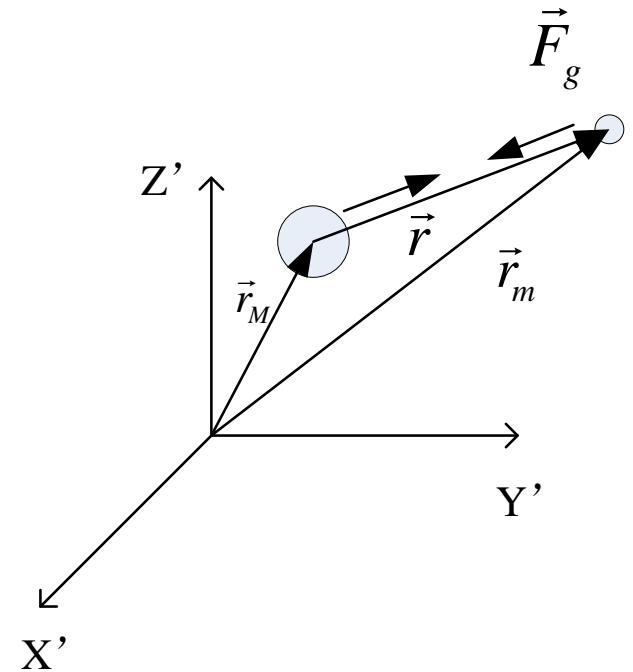
$$\ddot{\vec{r}} = -\frac{G(M+m)}{r^3} \vec{r}$$

$$G(M+m) \approx GM$$

引力常数

$$\mu \equiv GM$$

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



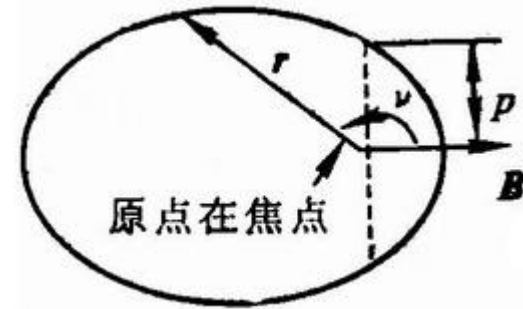
二体问题



## 3.1.2 二体轨道动力学

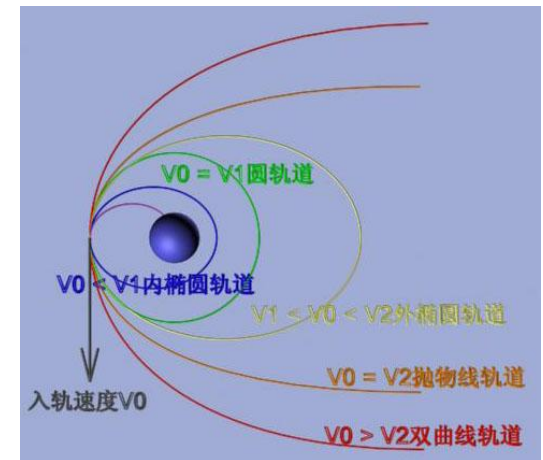
由二体运动方程可以得到轨道的极坐标方程：

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



轨道极坐标方程

$e = 0$	圆轨道
$0 < e < 1$	椭圆轨道
$e = 1$	抛物线轨道
$e > 1$	双曲线轨道



不同类型的轨道

椭圆轨道是一种解(开普勒第一定律)





## 3.1.2 二体轨道动力学

二体轨道运动主要规律：

(1) 圆锥曲线族(圆、椭圆、抛物线、双曲线)为二体问题惟一可能的运动轨道。

(2) 中心引力体中心为圆锥曲线轨道的一个焦点。

(3) 轨道运动总是处在一个固定于惯性空间的平面内。

由二体运动方程可以证明开普勒三大定律，揭示了轨道运动的力学原理。



### 3.1.3 航天器轨道描述

#### 地心赤道坐标系

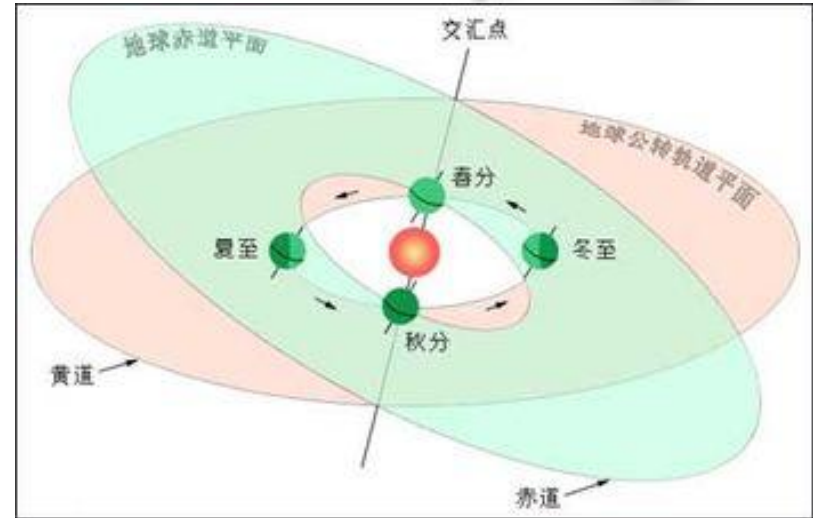
原点在地心，基准面是赤道平面

$X_e$  轴指向春分点(惯性方向)

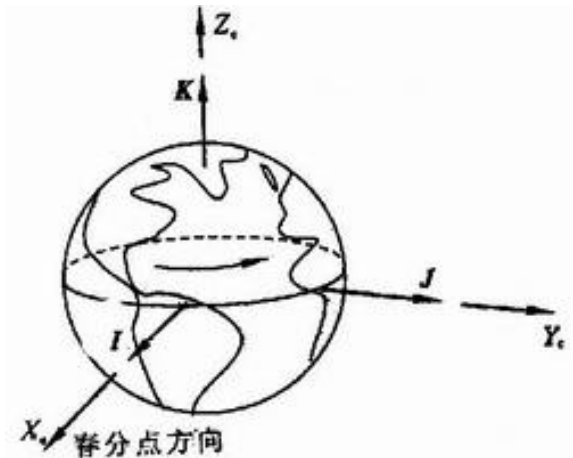
$Y_e$  轴在赤道平面内与  $X_e$  垂直

$Z_e$  轴指向北极。

坐标系不跟随地球转动？。



春分点示意图



地心赤道坐标系



### 3.1.3 航天器轨道描述

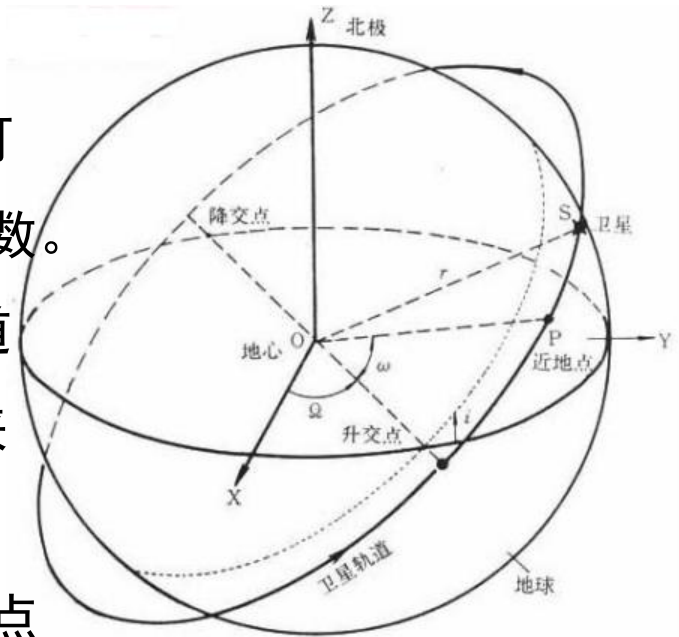
#### 经典轨道要素

航天器运行轨道的形状和其在空间的位置，可以通过6个参量来表示，简称轨道要素或轨道根数。

(1) **轨道倾角  $i$** ：航天器运行轨道所在的面叫轨道面，这个平面通过地心，它与地球赤道平面的夹角称为轨道倾角。

(2) **升交点赤经  $\Omega$** ：从春分点方向轴量起的升交点的经度，顺地球自转方向为正。

轨道倾角和升交点赤经确定轨道平面在空间方位



轨道要素示意图



### 3.1.3 航天器轨道描述

(3) **近地点角距  $\omega$** : 椭圆轨道近地点与升交点对地心所张的角度, 从升交点顺航天器运行方向向量到近地点。

确定椭圆长轴在轨道平面上的指向

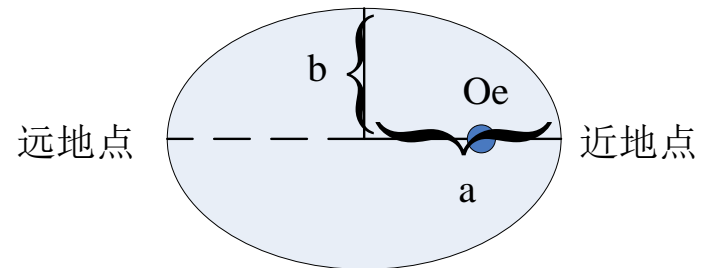
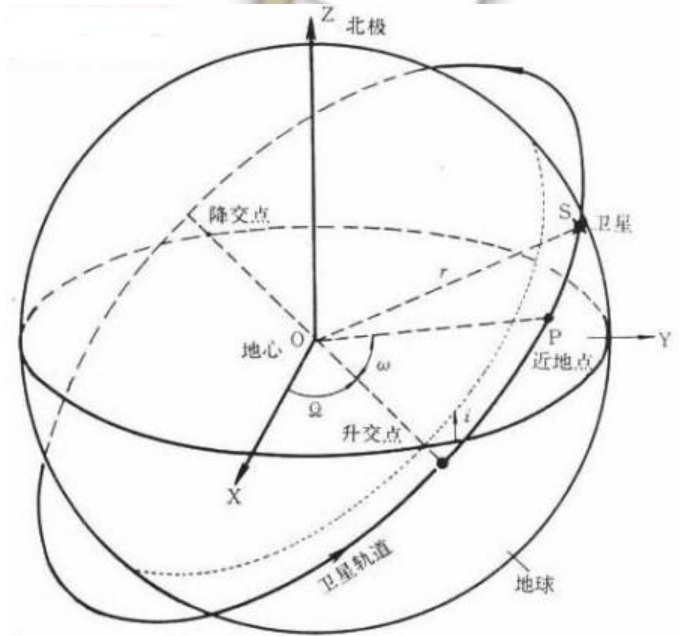
(4) **轨道长半轴  $a$** 。

(5) **偏心率  $e$** :  $e = \sqrt{a^2 - b^2} / a$

长半轴和偏心率确定椭圆轨道的形状和大小

(6) **过近地点的时刻  $t_p$** 。

确定航天器在轨道上的位置



轨道要素示意图



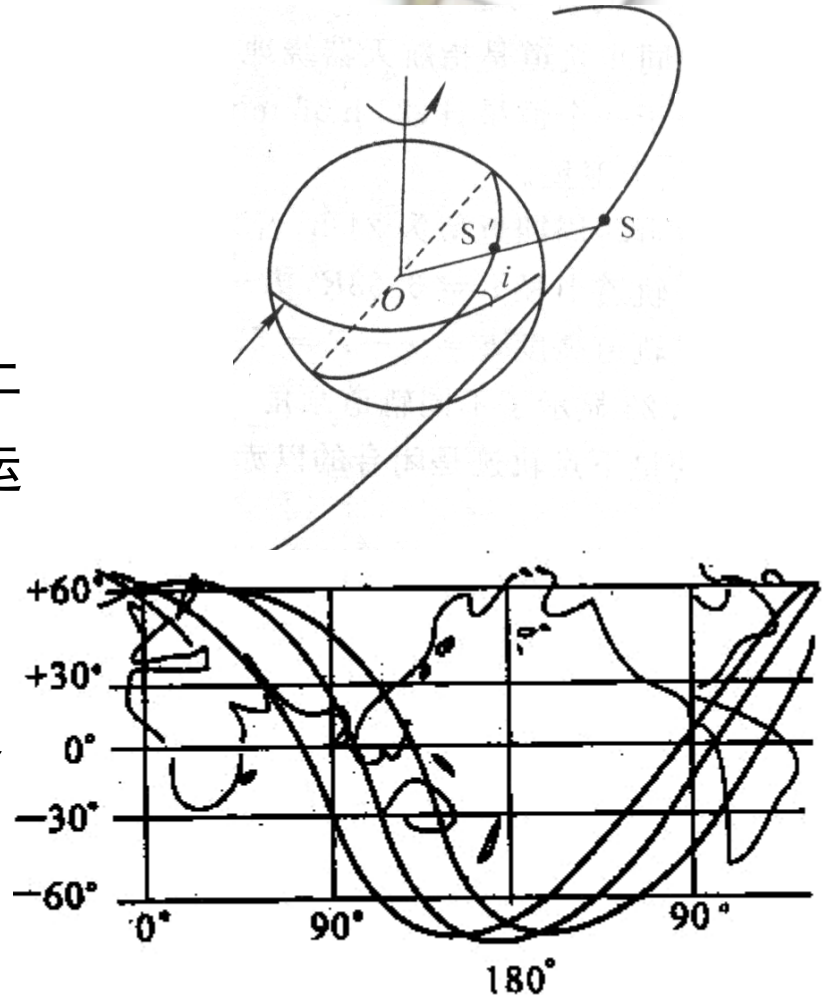


### 3.1.3 航天器轨道描述

#### 星下点轨迹

轨道上的卫星(S)与地心的连线在地面上有一交点(S'), 称为星下点。随着卫星的运行, 星下点在地面上连成线, 这条线称为星下点轨迹。

地球自转和轨道面的定向性两者的综合结果, 使星下点轨迹扩展到地面上更多的区域。



星下点轨迹示意图



### 3.1.3 航天器轨道描述

#### 几种典型轨道

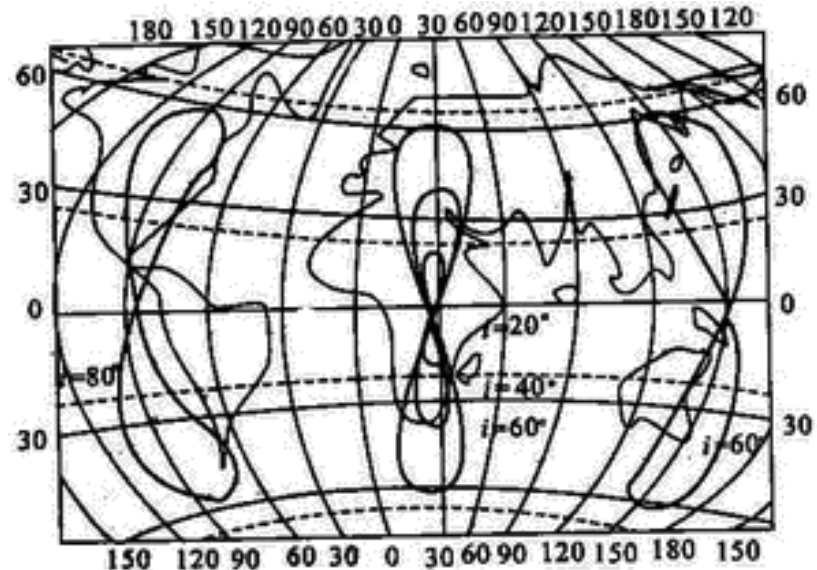
##### (1) 地球同步轨道

航天器绕地球运行的周期与地球自转周期相同。

##### (2) 地球静止轨道

轨道倾角与偏心率为零的地球同步轨道。

从地面上看，航天器相对于地球是静止的



圆轨道地球同步轨道  
星下点轨迹



### 3.1.3 航天器轨道描述

#### (3) 地球回归轨道

星下点轨迹出现周期性重复的轨道。重复出现的周期称为回归周期。

地球同步轨道和静止轨道可视为回归周期为1天的回归轨道。

#### (4) 太阳同步轨道

航天器轨道面转动角速度与地球公转角速度相同的轨道。

轨道高度一般700~900Km，轨道倾角大于 $90^\circ$ 。



### 3.1.4 航天器轨道摄动

以上讨论的轨道，是一种理想情况，未考虑质量分布不均匀，以及二体引力以外的其它力。

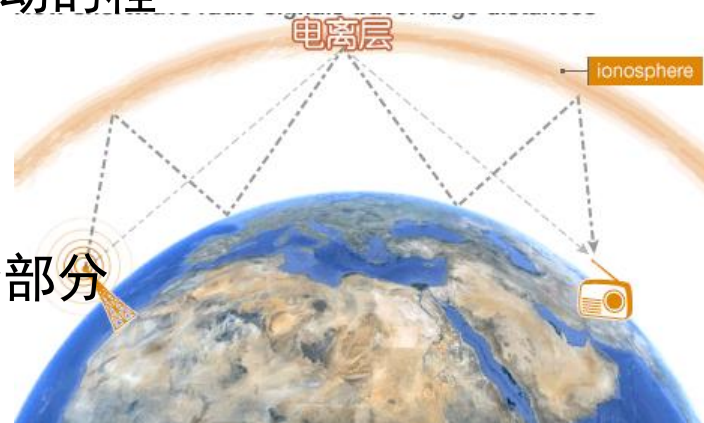
近地空间环境包括：

#### (1) 高层大气

大气的密度和压强随高度按指数规律下降。还与大气温度有密切关系，随季节、地方时差和太阳活动的程度等因素变化。

#### (2) 电离层

太阳的电磁辐射和粒子辐射使大气的中性成分部分或全部电离，成为电子和正离子，构成电离层。



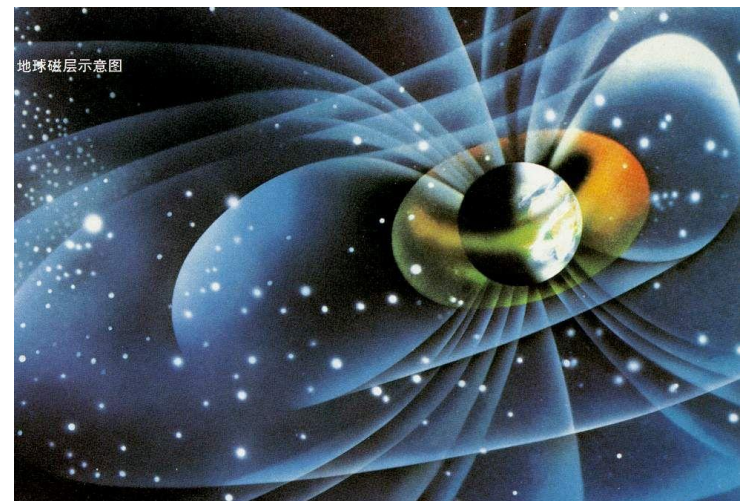
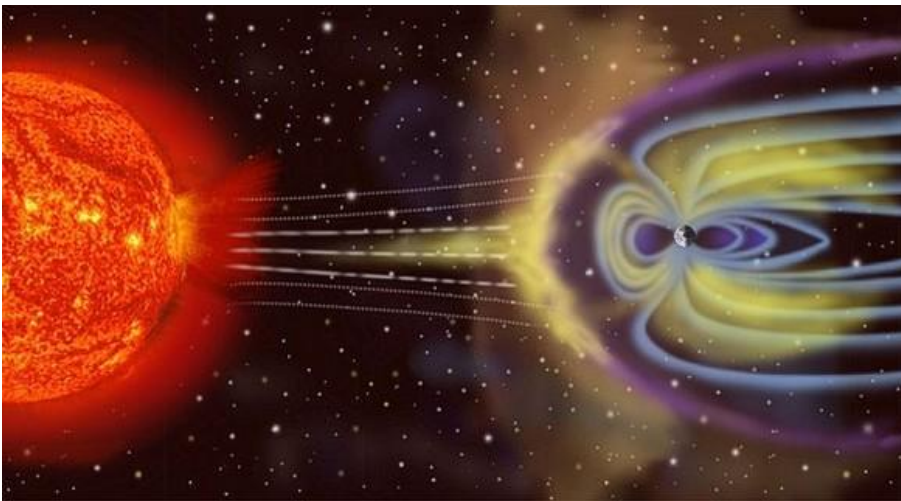




## 3.1.4 航天器轨道摄动

### (3)磁层

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的一定空间范围内，形成地球磁层。





### 3.1.4 航天器轨道摄动

近地轨道航天器主要摄动包括：

(1) 地球扁率摄动

地球的密度和质量分布不均匀，形状是一个不规则的扁状球体。

(2) 大气阻力摄动

大气分子在航天器表面的反弹机理决定着阻力的大小。

(3) 月球和太阳引力摄动

(4) 太阳光压摄动

(5) 其它摄动：电磁效应，其它天体引力，地球辐射，潮汐摄动……



### 3.1.4 航天器轨道摄动

主要摄动力比较 (与g的比值)

摄 动 力	近 地 卫 星 (约200km)	中 等 高 度 卫 星 (约1000km)	地 球 同 步 卫 星 (约36000km)
地球扁率	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-7}$
大气阻力	$0.4 \times 10^{-5}$	$10^{-9}$	0
太阳辐射压力	$0.2 \times 10^{-8}$	$10^{-9}$	$10^{-9}$
太阳引力	$0.3 \times 10^{-7}$	$0.5 \times 10^{-7}$	$0.2 \times 10^{-6}$
月球引力	$0.6 \times 10^{-7}$	$0.1 \times 10^{-6}$	$0.5 \times 10^{-6}$

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。  
要保持轨道的精度，就需要进行轨道控制。



### 3.1.4 航天器轨道摄动

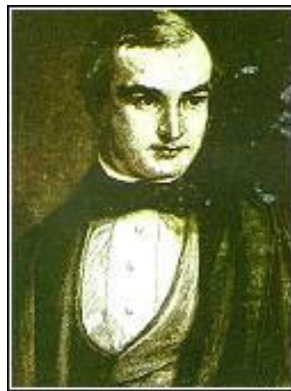
太阳系中的行星运行轨道也受摄动影响，是复杂的多体问题。

1812年，法国人布瓦德在计算天王星的运动轨道时，发现理论计算值同观测资料发生了一系列误差。

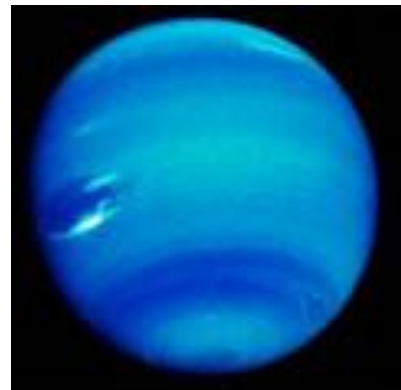
1846年，法国人勒威耶与英国人亚当斯根据天王星的轨道摄动计算出海王星的轨道，并通过观测得到证实。



勒威耶



亚当斯



海王星



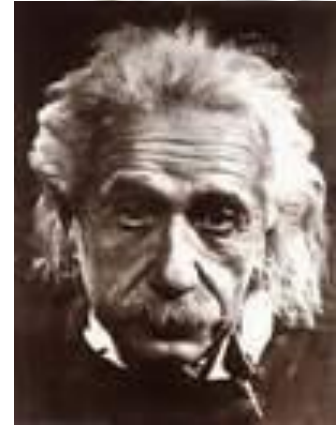


### 3.1.4 航天器轨道摄动

水星近日点进动，每100年43”，椭圆轨道长轴向东偏转。

勒威耶坚信“水内行星”存在，直到去世仍未找到

1915年爱因斯坦发表广义相对论，得出水星近日点应当有42.91”进动，解决了天文学长达半个世纪悬而未决的问题，肯定了牛顿力学在太阳系动力学中的偏差。



爱因斯坦



八大行星 Astronautics



### 3.1.5 轨道控制基本概念

导航 (Navigation): 在哪里? 速度? 轨道确定

制导 (Guidance): 消除偏差的策略

控制 (Control): 执行策略的手段

制导、控制: 制导

导航、制导、控制 (GNC): 控制





### 3.1.5 轨道控制基本概念

轨道确定基本上可分为两大类：

- (1) 非自主：地面站
- (2) 自主：天文导航，地面陆标，卫星导航，惯性导航，组合导航



导航星座 of Astronautics



### 3.1.5 轨道控制基本概念

**轨道控制**，是使航天器按预定轨道运动。就是控制航天器质心运动的**速度大小和方向**，使航天器的轨道满足飞行任务的要求。

轨道控制范围很广，大致包括的内容有**轨道机动**、**轨道保持**、**交会**、**对接**、**再入返回**和等。

一般采用下列控制力：反作用推力、气动力、太阳辐射压力、磁力等等。



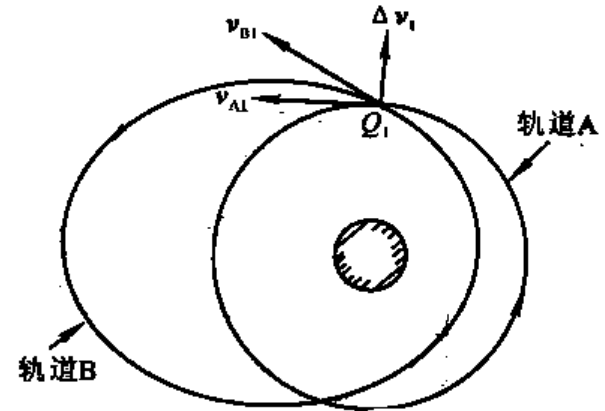


### 3.1.5 轨道控制基本概念

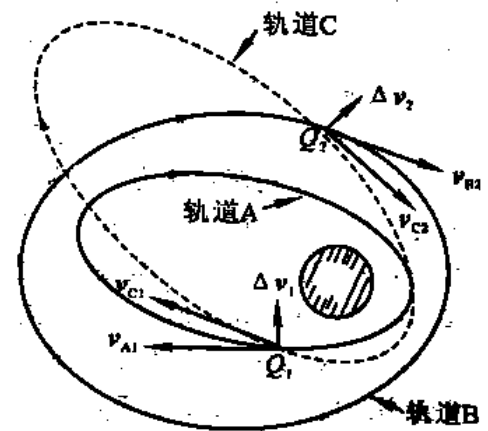
#### 瞬时冲量假设

火箭发动机能提供较大的推力，短时间工作即可使航天器获得所需的速度增量。

在初步讨论轨道机动问题时，假设航天器位置不发生变化的情况下，速度发生瞬时变化。这一假设可使问题得到简化。



相交的轨道改变



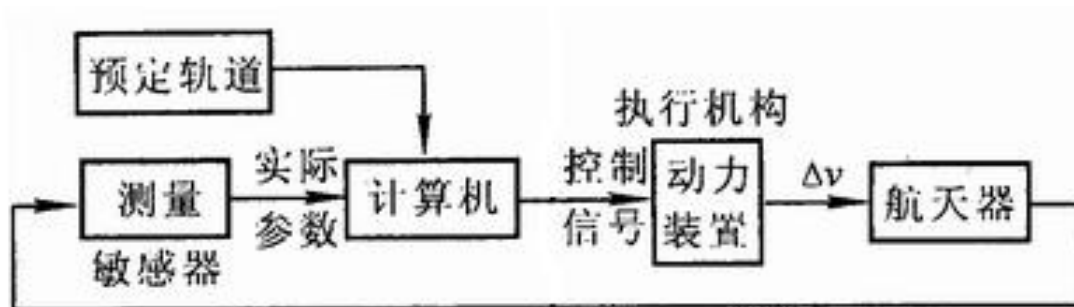
不相交的轨道转移



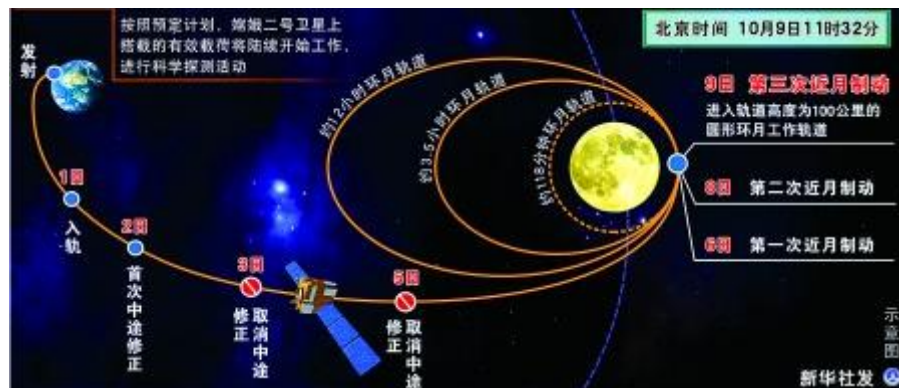


## 3.1.5 轨道控制基本概念

### 轨道控制系统组成



速度增量的大小由轨控发动机工作时间实现，方向由姿态控制实现。



嫦娥二号飞行视频



## 3.2 卫星分类与系统组成

3.2.1 按载人与否分类

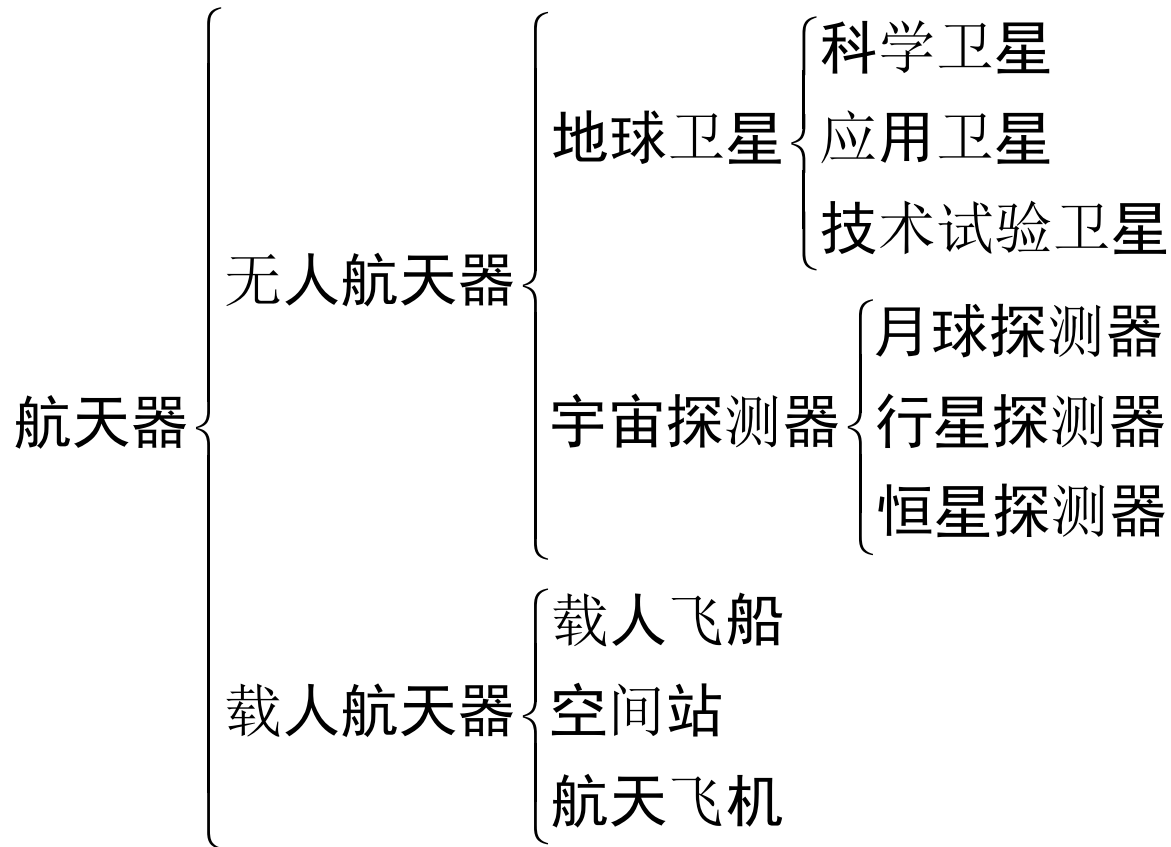
3.2.2 按地球卫星功能分类

3.2.3 卫星基本系统组成





### 3.2.1 按载人与否分类





## 3.2.1 按载人与否分类

载人飞船：

能保障航天员在外层空间生活和工作，并能返回地面的航天器

空间站：

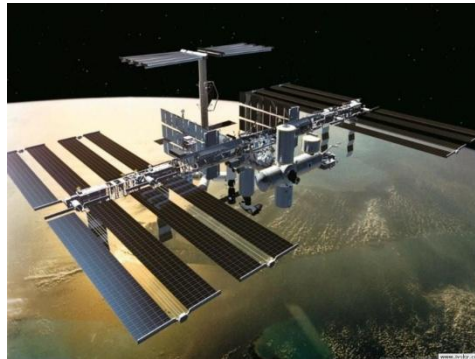
可供多名航天员巡访、长期工作和居住的载人航天器；

航天飞机：

可以重复使用的，往返于地面和近地轨道之间，运送有效载荷的航天器。



神舟飞船



国际空间站



航天飞机



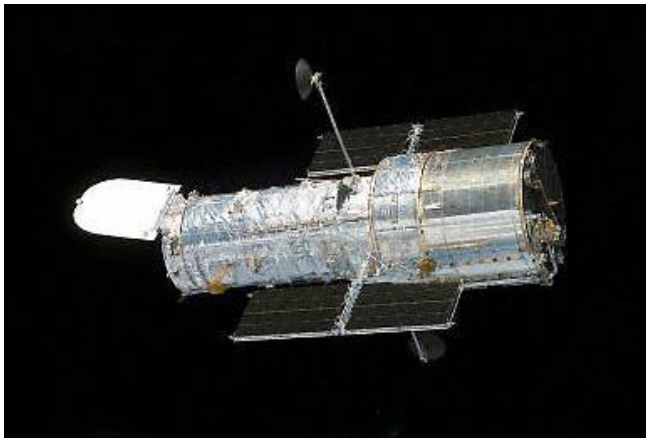


## 3.2.2 按地球卫星的功能分类

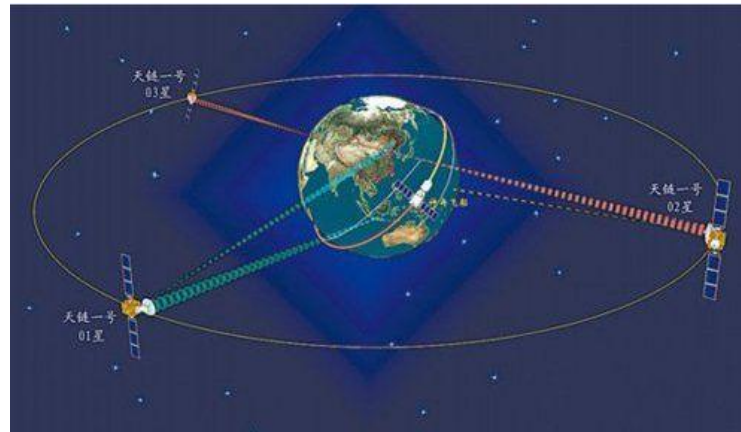
观测站：侦察卫星，气象卫星，地球资源卫星，海洋卫星，天文观测卫星

中继站：通信卫星，跟踪和数据中继卫星

基准站：导航卫星，测地卫星



哈勃太空望远镜



天链数据中继卫星



导航卫星星座





### 3.2.3 卫星基本系统组成

航天器都是由不同功能的若干分系统组成的。基本系统：

有效载荷：

用于直接完成特定的航天飞行任务的部件、仪器或分系统，如相机、红外探测器、无线电接收机、通信天线等等。

保障系统：

用于保障从火箭起飞到工作寿命终止，星上所有分系统的正常工作。一般包括：结构系统，热控系统，电源系统，姿态控制系统，轨道控制系统，测控系统。



## 3.3 载人飞船技术

3.3.1 载人飞船的特点

3.3.2 俄罗斯的载人飞船

3.3.3 美国的载人飞船

3.3.4 我国的载人飞船



神舟八号/天宫一号对接

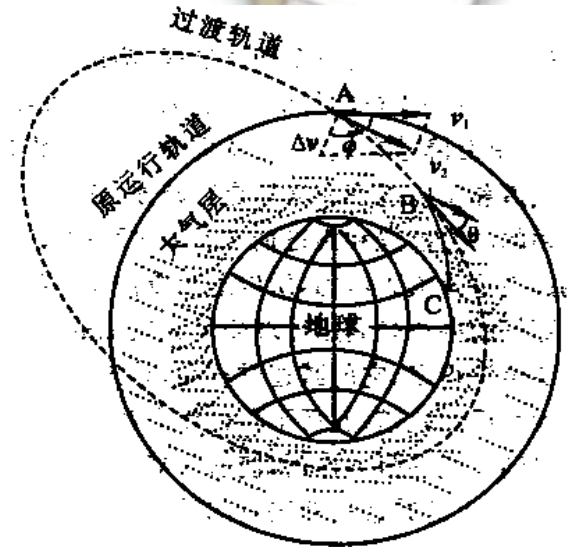


### 3.3.1 载人飞船的特点

#### (1) 返回地球

再入返回过程：离轨段，过渡段，再入段，着陆段。

飞船再入舱的外形很简单，都是无翼的大钝头体。采用弹道式或者弹道一升力式再入返回，着陆段采用降落伞垂直着陆。



再入返回过程



再入段气动加热



### 3.3.1 载人飞船的特点

#### (2) 生活保障

乘员的生活条件只能在密封舱中得以保证，必须有食物、水、卫生保障等生活保障设备。

#### (3) 飞行安全

飞行安全的特点融于飞船设计的各个方面，是载人航天器提出的尤为突出的要求和特点。







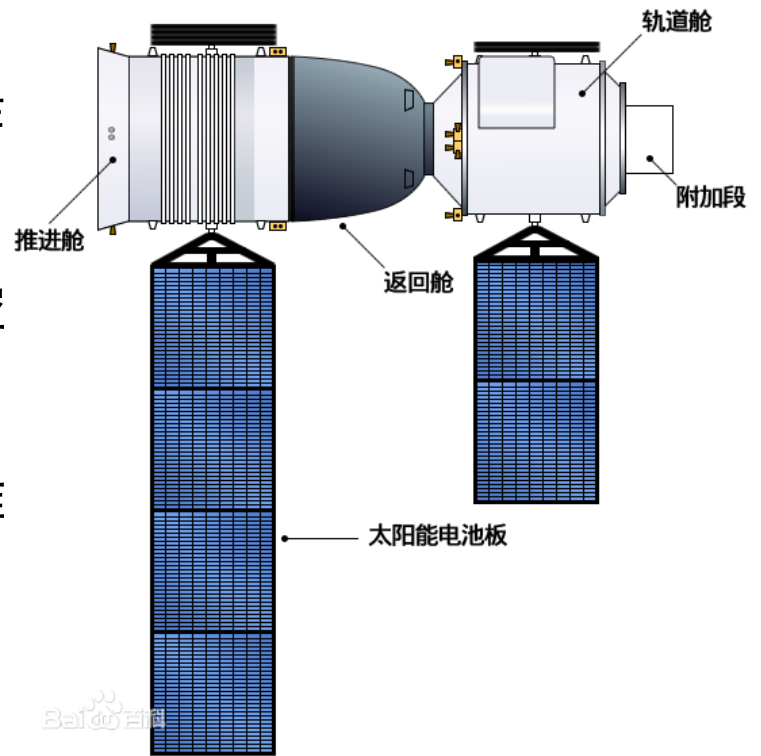
### 3.3.1 载人飞船的特点

飞船多采用舱段式结构

**轨道舱**是飞船进入轨道后航天员工作生活的场所。

**返回舱**又称座舱，是航天员往返太空时乘坐的舱段。

**推进舱**又叫仪器舱或设备舱，安装推进系统、电源、轨道制动，并为航天员提供氧气和水。







## 3.3.2 俄罗斯的载人飞船

### 俄罗斯的载人飞船

#### (1) 东方号

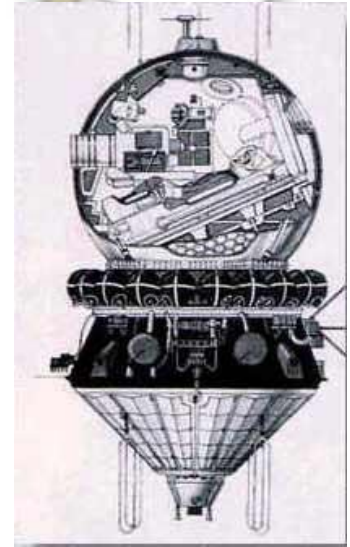
由再入舱及设备舱两部分组成，发射6次。

#### (2) 上升号

“东方号”的改型。座舱外增设了气密过渡舱，进行了首次舱外活动。

#### (3) 联盟号

由轨道舱、再入舱和服务舱三个舱段组成。  
飞船高7.48m，最大直径约2.72m，总质量为6.8t



东方号



联盟号



### 3.3.2 俄罗斯的载人飞船

东方号、上升号飞船飞行一览表

飞船名称	发射日期 年 月 日	飞行时间 天 时 分	轨道参数				航 天 员	备 注
			倾角 (度)	近地点 (公里)	远地点 (公里)	周期 (分)		
东方 1 号	1961 04 12	00 01 48	65.4	175	302	89.1	加加林	首次载人飞行
东方 2 号	1961 08 12	01 01 18	64.6	178	257	88.6	季托夫	首次太空飞行一昼夜
东方 3 号	1962 08 11	03 22 27	65.0	183	251	88.5	尼古拉耶夫	和东方 4 号交会飞行
东方 4 号	1962 08 12	02 22 29	65.0	180	254	88.5	波波维奇	和东方 3 号交会飞行
东方 5 号	1963 06 14	04 23 06	65.0	181	235	88.4	贝科夫斯基	和东方 6 号交会飞行
东方 6 号	1963 06 16	02 22 50	65.0	183	233	88.3	捷列什科娃(女)	捷列什科娃是世界第一位上天的女航天员
上升 1 号	1964 10 12	01 00 17	65.0	178	409	90.1	耶戈洛夫, 科马罗夫, 费捷斯托夫	首次 3 人太空飞行
上升 2 号	1965 03 18	01 02 02	65.0	173	495	90.9	别列亚耶夫, 列昂诺夫	首次太空行走



加加林



### 3.3.3 美国的载人飞船

#### (1) 水星

美国的第一代载人飞船，1961~1963年间进行了6次飞行。

#### (2) 双子星座

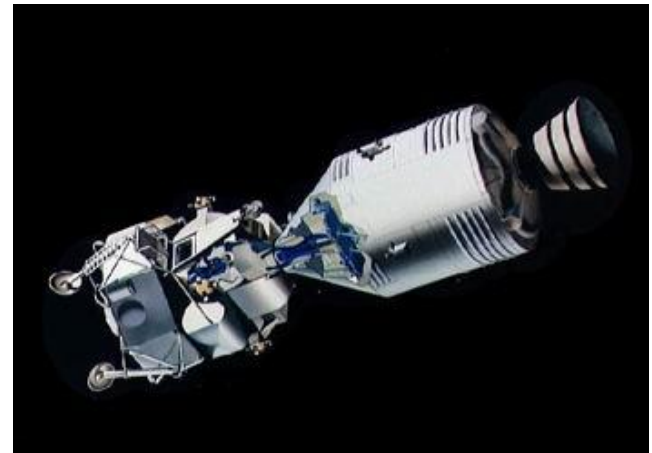
为“阿波罗”飞船载人登月飞行作了准备。

#### (3) 阿波罗

1968~1972年期间进行了11次载人飞行，其中6次登上月球。由指挥舱、服务舱及登月舱组成，总质量约为45t



双子星座



阿波罗





### 3.3.3 美国的载人飞船

1969年7月20日实现首次登月。“阿波罗11”  
把美国航天员阿姆斯特朗和奥尔德林送上月球



阿波罗与土星五号



### 3.3.4 我国的载人飞船

我国“神舟”系列飞船

由推进舱、返回舱、轨道舱组成。



神舟飞船

飞船名称	发射时间	主要事件
神舟5号	2003.10.15	我国首次载人飞行，单人飞行21小时
神舟6号	2005.10.12	2名航天员飞行115.5小时
神舟7号	2008.9.25	我国首次出舱活动
神舟8号	2011.11.1	自动对接
神舟9号	2012.6.16	首名女航天员，手动对接
神舟10号	2013.6.17	交会对接



杨利伟





### 3.3.4 我国的载人飞船

#### 载人航天系统

- (1) 载人飞船系统
- (2) 运载火箭系统
- (3) 航天员系统
- (4) 发射场系统
- (5) 着陆场系统
- (6) 测控与通讯系统
- (7) 应用系统
- (8) 空间站系统



CZ-2F火箭



着陆场



## 3.4 月球与深空探测

3.4.1 星际飞行的轨道

3.4.2 月球探测

3.4.3 火星探测

3.4.4 其它深空探测



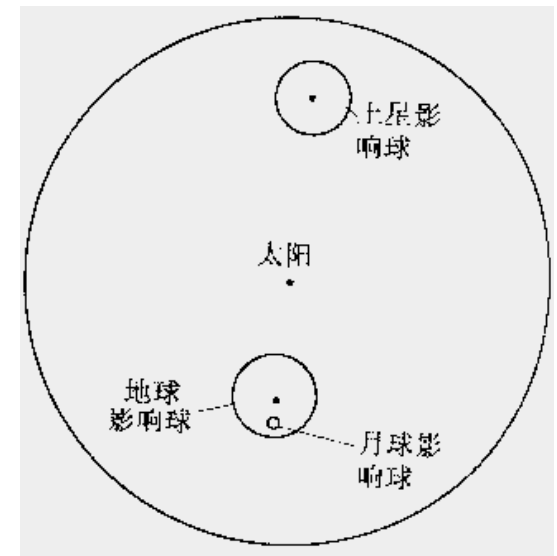


### 3.4.1 星际飞行的轨道

在地球引力作用范围之外的行星际空间称为**深空**。  
航天器的运动要同时考虑太阳、地球和其他行星引力的作用，是多体轨道运动。

用**影响球**的概念，可以把航天器星际航行的多体运动问题转化为多个二体问题：

- (1) 摆脱地球引力轨道。
- (2) 日心过渡轨道。
- (3) 与目标行星相遇轨道。



影响球示意图



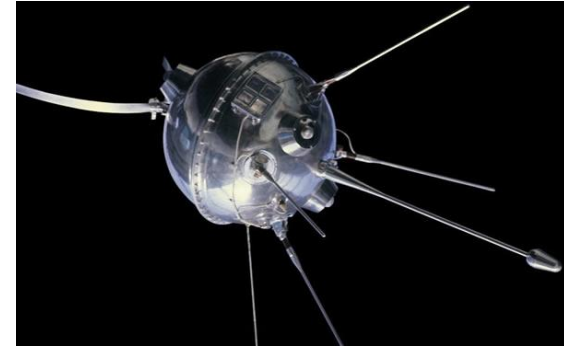
## 3.4.2 月球探测

至2013年全球进行了127次月球探测活动。

美国57次，苏联64次，日本、中国3次，欧空局和印度各1次。以上成功或基本成功64次，成功率50%。

1958年至1976年，苏联共发射了4个系列64个月球探测器：月球系列，探测器系列，宇宙系列（失败），联盟L3号（失败）。

同期，美国共发射了7个系列54个探测器：先驱者系列，徘徊者系列，月球轨道器系列，勘察者系列，阿波罗系列，艾布尔系列（失败），探险者系列。



月球1号探测器



阿波罗飞船与登月舱



### 3.4.2 月球探测

1990年1月，日本发射飞天号月球轨道器，成为第三个发射月球探测器的国家。飞天号接近月球后与地面失去联系，未获得探测成果。

1994年月，美国发射克莱门汀号月球轨道器，绘制月球表面数字地形图。

1998年1月，美国发射月球勘探者号轨道器，同年7月撞击月球寻找月球存在水冰证据。

2003年9月，欧空局发射月球探测器Smart-1，采用太阳能离子发动机。





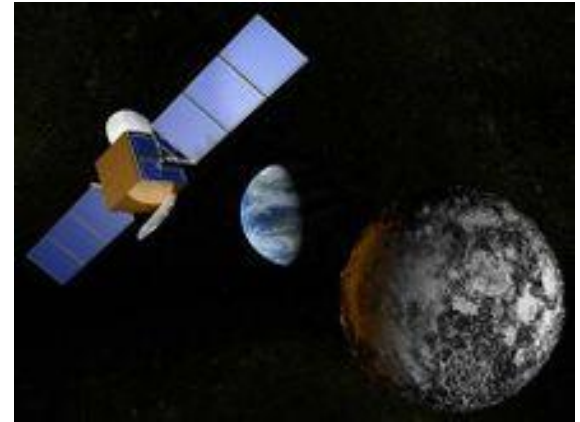
## 3.4.2 月球探测

2007年9月，日本“月亮女神”（SELENE）月球轨道器发射成功，2009年6月受控撞月。

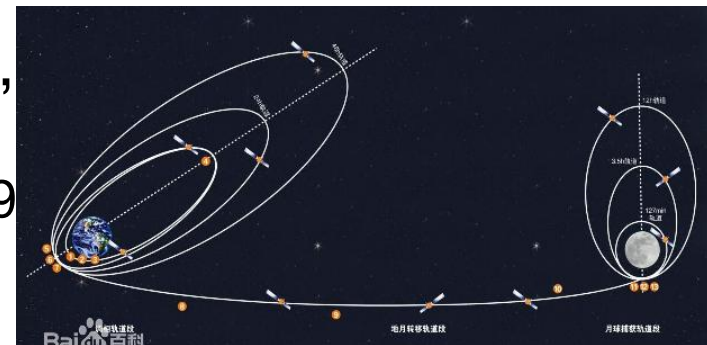
2007年10月，我国嫦娥一号发射，2009年3月受控撞月。

2008年10月，印度的“月船1号”绕月卫星发射成功。2009年8月与地面失去联系。

2009年6月，美国发射“月球勘测轨道飞行器”和“月球坑观测与遥感卫星”（LCROSS），10月9日LCROSS撞击月球，宣称发现了水。



[观看嫦娥一号视频](#)



嫦娥1号轨道



## 3.4.2 月球探测

2010年10月，我国嫦娥二号发射，月球探测，深空探测，掠飞小行星。

2013年12月，我国嫦娥三号发射，进行软着陆。



玉兔号月球车

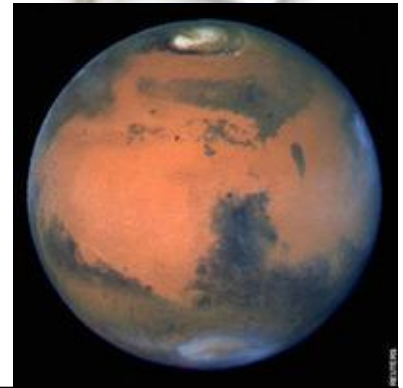


嫦娥二号7米分辨率  
全月球影像图



### 3.4.3 火星探测

最早期的探测器几乎都失败了，火星探测是在一次又一次的失败中不断前进



时间	探测器	国家	主要事件
1960.10	两枚	前苏联	未达到地球轨道。
1962.10.24	第三枚	前苏联	到达环绕地球轨道。
1962.11.01	火星1号	前苏联	进入奔火轨道，到达火星前失去联系
1963.03.24	又一枚	前苏联	到达环绕地球轨道，火箭未能点火，堕入地球大气层烧毁
1964.12.05	水手3号	美国	保护外壳未能与探测器分离，探测器偏离轨道
1964.12.28	水手4号	美国	在9800千米上空掠过火星，发回了21张照片。有史以来第一枚成功到达火星并发回数据的探测器。



### 3.4.3 火星探测

1969	水手6号, 7号	美国	掠过火星, 分析火星大气成分, 发回大量照片
1971.05.30	水手9号	美国	第一次成功进入环火轨道, 工作了将近一年, 覆盖了火星表面超过80%的部分, 还对火星的两颗卫星进行了探测
1971.05.19	火星2号	前苏联	着陆器到达火星后遭遇火星大气风暴失去联系, 轨道器运行了8个月。
1971.05.28	火星3号	前苏联	成功在火星表面着陆的探测器, 仅仅工作约20秒。
1975	海盗1号, 2号	美国	成功着陆, 在火星表面正常工作超过六年
1996.12.7	火星环球勘测者	美国	持续运作了10年。
1997.7.4	火星探路者	美国	成功着陆, 携带轮式机器人火星车



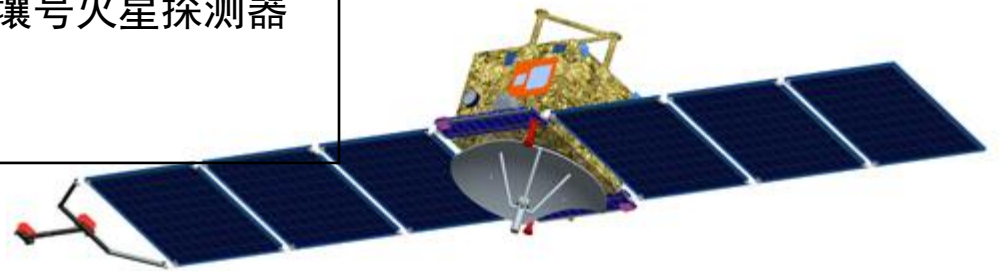


### 3.4.3 火星探测

2001	奥德赛	美国	在火星轨道运行，测试火星的地质和气候
2003	火星快车	欧空局	发现火星南极存在冰冻水。
2003	勇气号 机遇号	美国	成功着陆，“机遇”号超期工作10年。
2008	凤凰号	美国	火星的极地环境进行探测
2011	好奇号	美国	火星表面土壤按重量算约2%是水分
2011	福布斯—土壤号	俄罗斯	福布斯—土壤号火星探测器变轨失败
	萤火一号	中国	



好奇号火星车



萤火一号





### 3.4.4 其它深空探测

#### 金星探测

金星是除了太阳与月亮外最亮的一颗。中国古代称之为太白或太白金星。它有时是晨星，被称为“启明”；有时是昏星，被称为“长庚”。

前苏联金星系列探测器总共进行了24年的飞行考察，实现了金星表面软着陆，测得金星表面温度为摄氏447度，气压为90个大气压，大气密度约为地球的100倍。。

美国的水手2号、5号，先驱者-金星1号、2号，麦哲伦号进行了探测。麦哲伦号首次获得完整的金星地图。



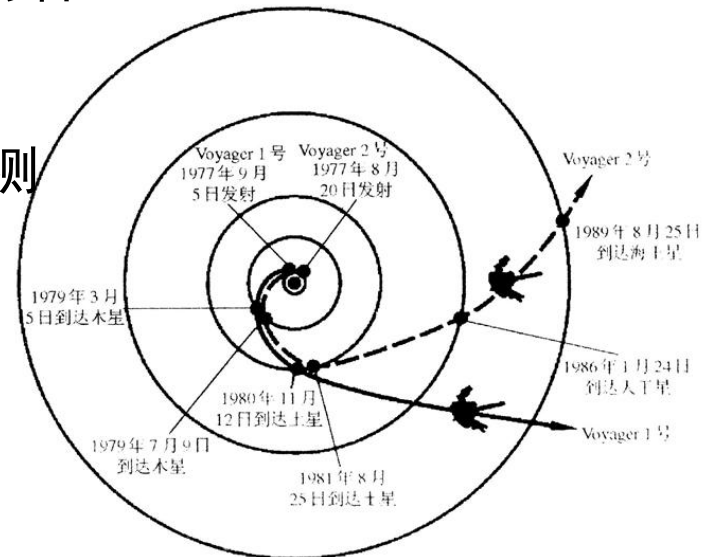


### 3.4.4 其它深空探测

#### 其它行星探测

1972年3月2日，美国发射了木星和深远空间探测器“先驱者10号”。它携有表明人类信息的镀金铝板，经过11年飞行，于1983年6月越过海王星轨道，而后成为飞离太阳系的第一个人造天体。

1977年8~9月，美国发射了旅行者1号、2号探测器，对木星、土星、天王星、海王星进行探测。





### 3.4.4 其它深空探测

#### 小行星与彗星探测

**小行星**是太阳系内类似行星环绕太阳运动，但体积和质量比行星小得多的天体。

**近地小行星**指的是轨道与地球轨道相交的小行星。已知直径4公里的近地小行星有数百个。

早期小行星探测多是深空探测器掠飞。近年开始在小行星上进行着陆。如会合-舒梅克号(美国)，隼鸟(日本)号等。



隼鸟号登陆“丝川”小行星



### 3.4.4 其它深空探测

**彗星**是进入太阳系内亮度和形状会随日距变化而变化的绕日运动的天体。俗称“扫把星”。

2005年1月12日，美国“深度撞击”号飞船发射。同年7月4日，370kg的撞击器以10.2km/s的相对速度撞击“坦普尔”1号彗星彗核。



深度撞击

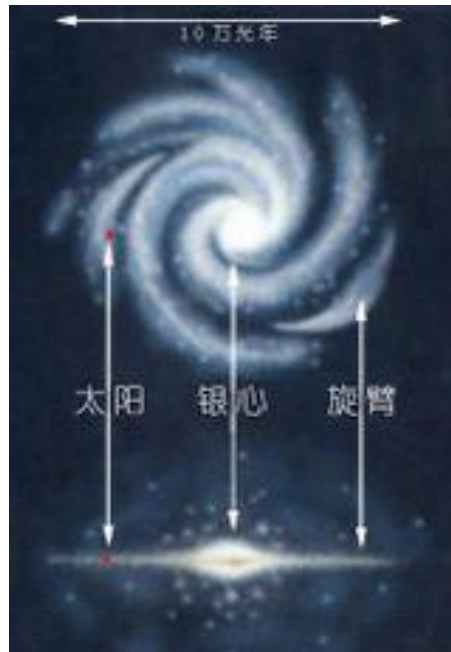






### 3.4.4 其它深空探测

“地球是人类的摇篮，但是人类不会永远生活在摇篮里，开始他们将小心翼翼地穿出大气层，然后去征服太阳系。”







西北工业大学

航天学院



# 谢谢！

School of Astronautics