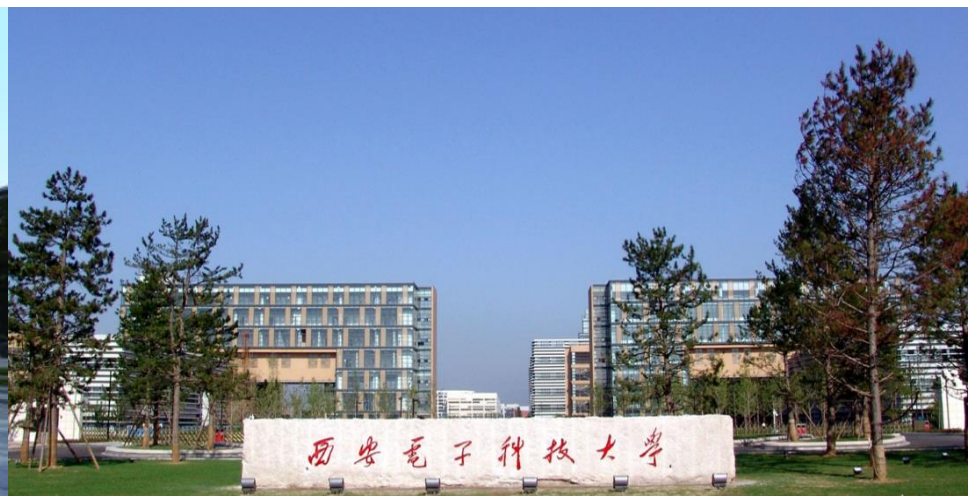




西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

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



绪论

01

世界航天技术发展的概况

02

航天器的分类与系统组成

03

航天器控制的基本概念



第一讲 · 世界航天技术发展的概况

- 01 人类的早期航天探索
- 02 近代航天技术的发展
- 03 现代航天的里程碑
- 04 现代航天技术的应用



航天发展的动力

- 人类对于自由和神圣的向往
- 对于未知世界的好奇
- 军事需要
- 应用促进发展





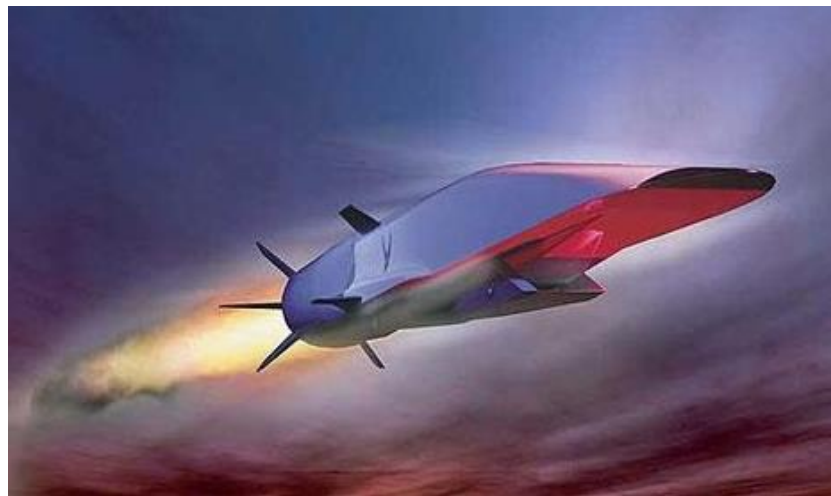
- ▶ 航天技术发展是当今世界上最引人注目的事业之一，推动着人类科学技术的进步。
- ▶ 航天技术是现代科学技术的结晶，是基础科学和技术科学的集成，是一个国家科技水平的重要标志。



“云霄塔”空天飞机



- ▶ 航天技术是一门综合性的工程技术。
 - 能源技术、热控制技术、空间通信技术、制导与控制技术等
- ▶ 航天技术已被广泛应用到政治、军事、经济和科学探测等领域，成为一个国家综合国力的象征。



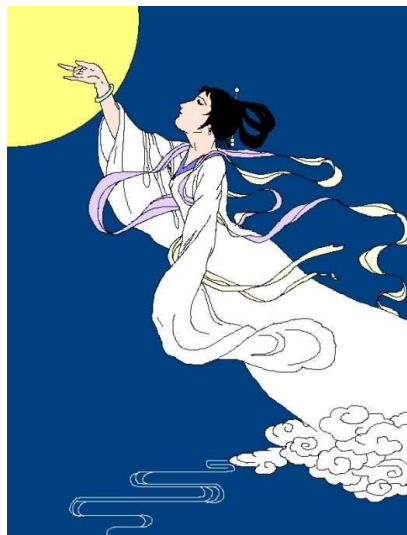
X-51高超音速飞行器



许多神话传说都反映了人类对宇宙的向往和对空间奥秘的探索



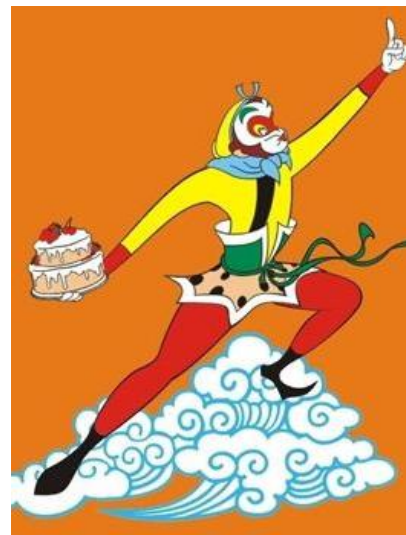
敦煌飞天



嫦娥奔月



牛郎织女



腾云驾雾



真正航天飞行的历史是从火箭技术的历史开始的



中国是最早发明火箭的国家。“火箭”这个词在三国时代就出现了。不过那时的火箭只是在箭杆前端绑有易燃物，点燃后由弩弓射出，也称为“燃烧箭”。



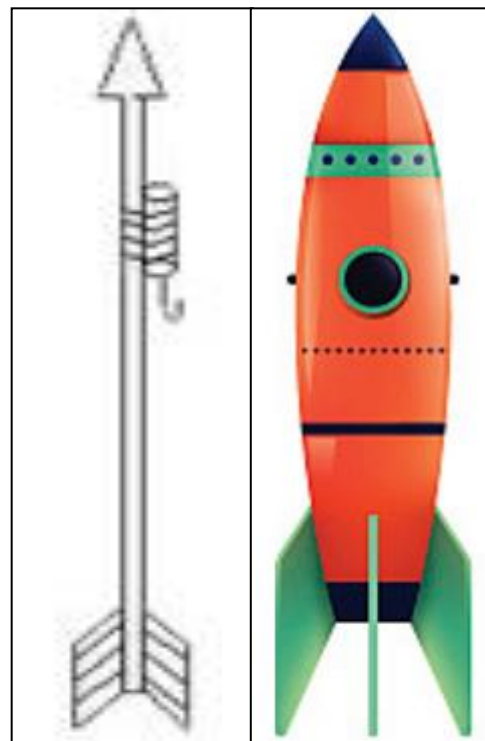
- 随着中国古代四大发明之一的火药出现，火药便取代了易燃物，使火箭迅速应用到军事中。
- 真正靠火药喷气推进而非弩弓射出的火箭的外形被记载于明代茅元仪编著的《武备志》中。





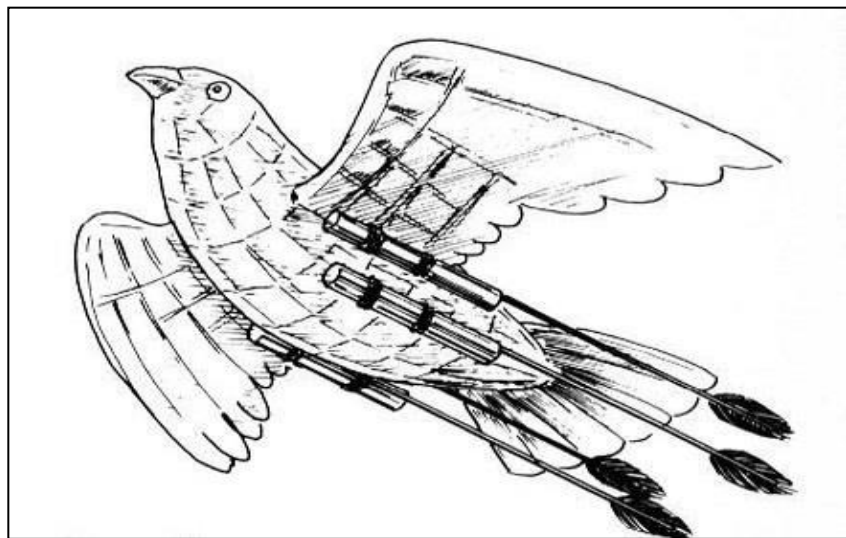
- 战斗部(箭头)
- 推进系统(火药筒)
- 稳定系统(尾部羽毛)
- 箭体结构(箭杆)

雏形

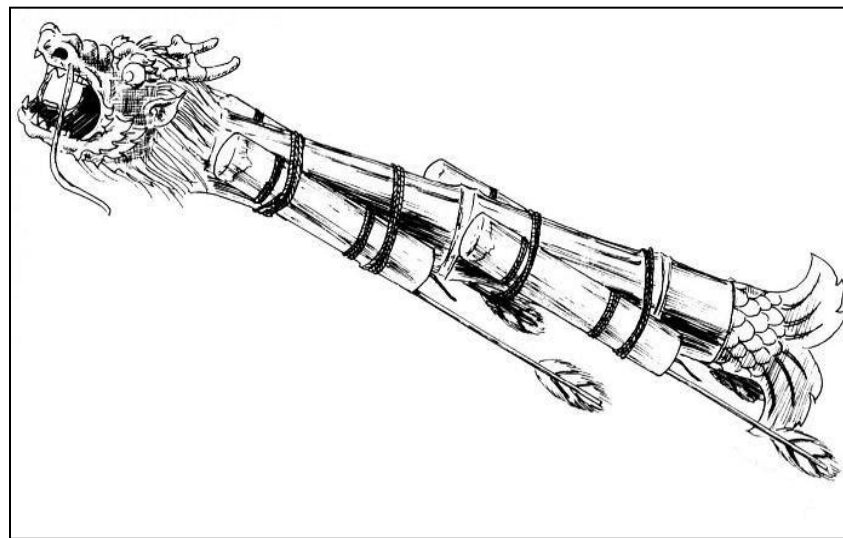




- ▶ 中华民族不但发明了火箭，而且还提出许多新的改进技术，最早应用了串联(多级)和并联(捆绑)技术以提高火箭的运载能力。
- ▶ “神火飞鸦”是并联技术的体现；“火龙出水”是串、并联综合技术的具体运用。



神火飞鸦



火龙出水



世界上第一个试图乘坐火箭上天的“航天员”也出现在中国。相传在14世纪末期，有位称为“万户”的人，两手各持一大风筝，请他人把自己绑在一把特制的座椅上，座椅背后装有47支当时最大的火箭，试图借助火箭的推力和风筝的气动升力来实现“升空”的理想。



万户飞天



- ▶ 虽然我们的祖先发明了火药、火箭，但由于长期的封建统治，致使中华民族的科学技术停滞不前。尽管欧洲人在中国发明火箭的几百年后才学会使用火箭，然而现代火箭技术还是首先在欧洲得到迅速发展。



- ▶ 近代的火箭技术和航天飞行的发展，涌现出许多勇于探索的航天先驱者，其中代表人物齐奥尔科夫斯基、戈达德、奥伯特。



齐奥尔科夫斯基



戈达德



奥伯特



- 建立了火箭运动的基本数学方程
- 证明了用多级火箭可以克服地心引力进入太空
- 提出液体火箭，液氧液氢作为推进剂
- 提出用新的燃料作为火箭的动力



齐奥尔科夫斯基



- 在论文《达到极大高度的方法》中，阐述了火箭飞行的数学原理
- 1926年首次液体火箭飞行试验成功
燃料：液氧、汽油
长度：3米
飞行时间：2.5秒
飞行高度：12米
飞行距离：56米
1932年，实现超音速飞行，最大射程20公里。



戈达德



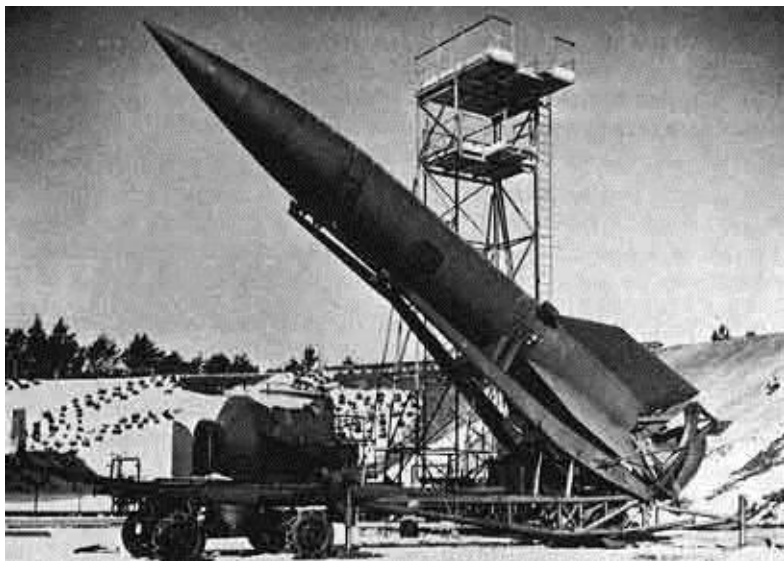
- 在书《飞向星际空间的火箭》中确立了火箭在宇宙空间真空中工作的基本原理，火箭只要产生足够的推力，就能够围绕地球轨道飞行
- 研究了许多推进剂的组合



奥伯特



真正的近代火箭的出现是在第二次世界大战时的法西斯德国



V2导弹



冯·布劳恩

在1932年，德国发射A2火箭，飞行高度达到3km

在1942年，德国首次成功地发射人类历史上第一枚弹道导弹V2



V2导弹

- 实现了航天技术先驱者的设计思想；
- 培养和造就了一大批有实践经验的火箭专家；
- 是航天技术发展史上的一个重要里程碑。



世界上第一颗人造地球卫星“斯普特尼克”1号

➤ 1957年10月4日，前苏联用“卫星”号运载火箭把世界上第一颗人造地球卫星送入太空

(质量：83.6kg 外径：0.58m 外伸4根条形天线 正常工作3个月)

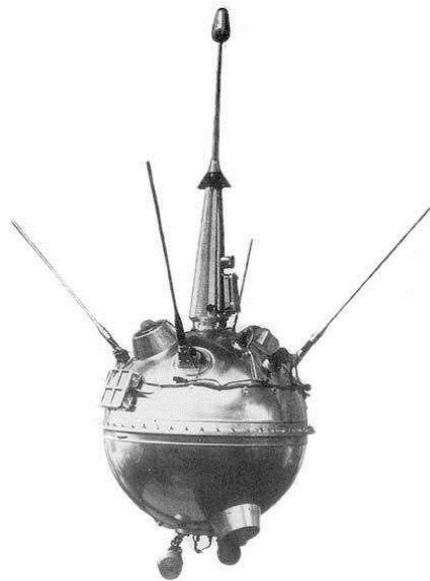


探险者一号

- 1958年1月3日，美国发射第一颗卫星“探险者一号”
(第一颗自旋稳定卫星，使人们对卫星姿态稳定有了新的认识)



月球探测



月球二号



月球三号

- 1959年9月12日，前苏联发射“月球二号”，第一次击中月球
- 同年10月4号发射“月球三号”第一次成功拍下月球背面图片



西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

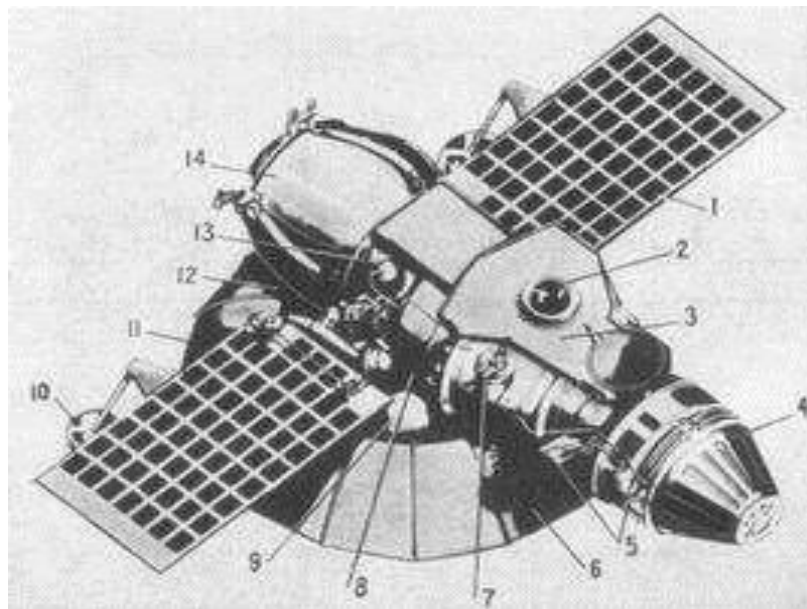
现代航天的里程碑

深空探测



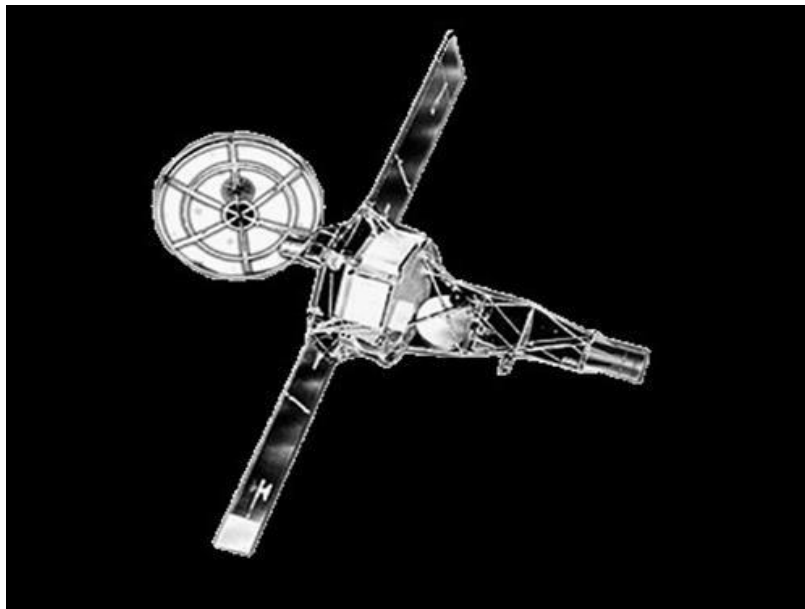
“先驱者号”探测器

➤ 1960年3月11日，美国发射了人类第一个深空探测器“先驱者5号”



“金星号”探测器

- 1961年2月21日，前苏联发射“金星1号”探测器，开始了人类对太阳系行星的探测



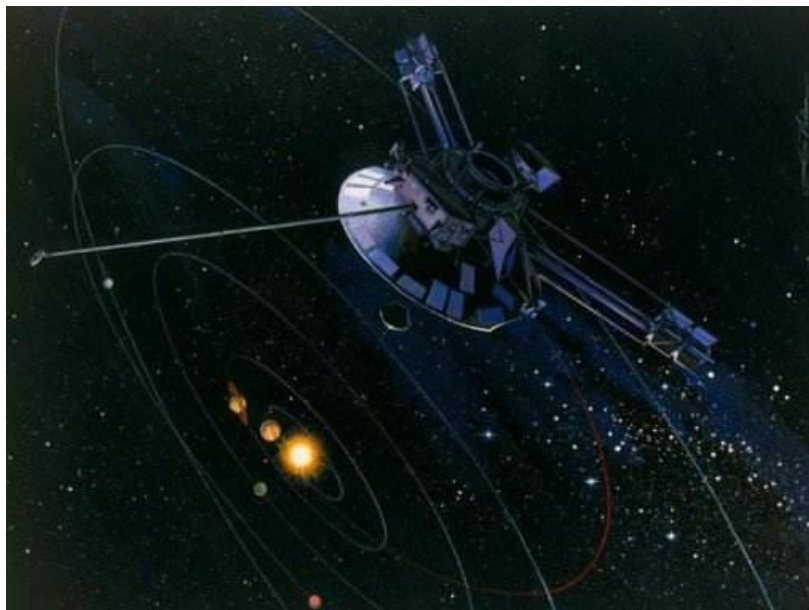
“水手2号”探测器

- 1962年8月27日，美国发射的“水手2号”探测器第一次成功飞越金星



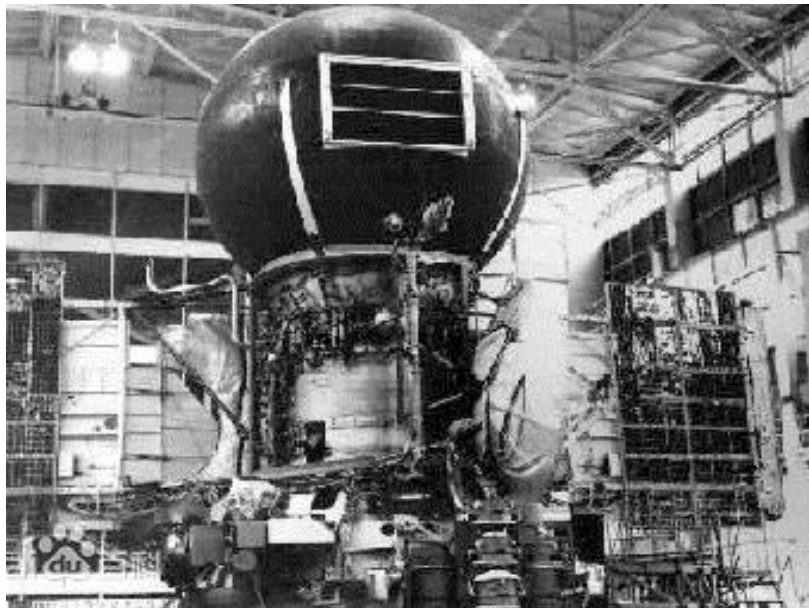
“水手4号”探测器

- 1964年11月28日，美国发射的“水手4号”探测器第一次成功飞越火星



“先驱者10号”

- ▶ 1972年3月2日，美国发射木星和深远空间探测器“先驱者10号”，1983年10月成为飞离太阳系的第一个人造天体



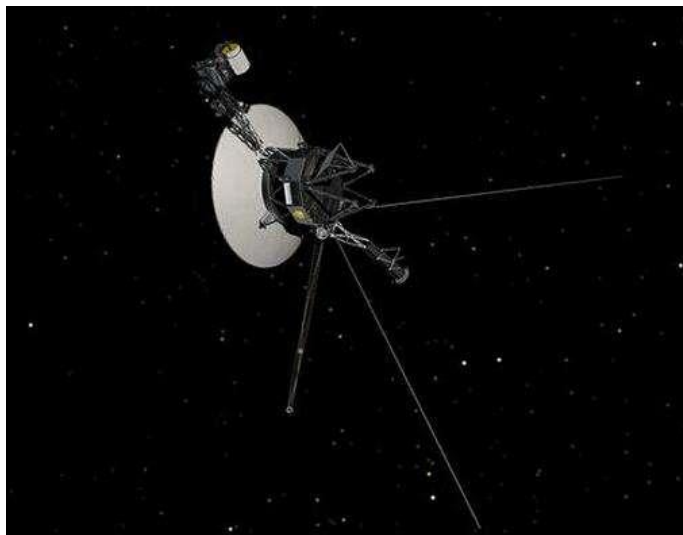
金星九号

- 1975年6月8日，前苏联“金星九号”探测器发射，实现了在金星表面着陆

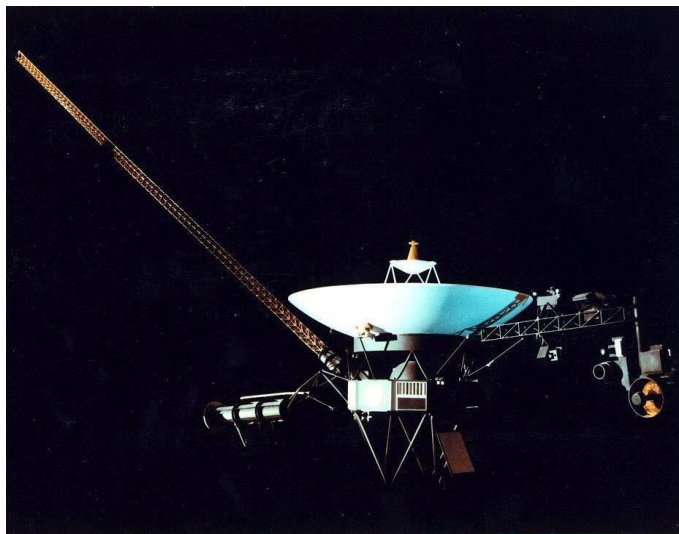


海盗一号

➤ 1975年8月20日，美国发射了“海盗一号”探测器，在火星表面着陆成功



旅行者一号



旅行者二号

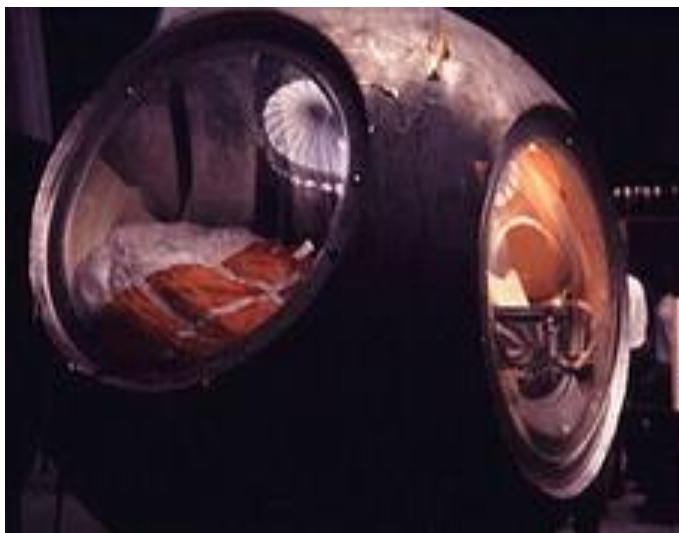
- ▶ 1977年8月到9月，美国发射了“旅行者”一号和二号探测器，对木星、土星、天王星和海王星进行探测



载人航天



尤里 加加林



东方号载人飞船

- 1961年4月12日，前苏联成功发射了第一艘“东方号”载人飞船，尤里加加林成为人类第一位航天员



“上升号”载人飞船

- 1965年3月，前苏联航天员从“上升号”载人飞船上走出舱外，实现了人类第一次太空行走



“联盟号”飞船

- 1966年1月，前苏联两艘“联盟号”飞船第一次在轨道上成功交会对接，并实现了两位航天员从一艘飞船向另一艘飞船的转移



阿姆斯特朗、柯林斯和奥尔德林



月球足迹

- 1969年7月20日，美国阿姆斯特朗和奥尔德林乘坐“阿波罗11号”飞船登月成功



“礼炮1号”空间站

- ▶ 1971年4月19日，前苏联“礼炮1号”空间站入轨成功，成为人类第一个空间站



哥伦比亚号航天飞机

- ▶ 1981年4月，第一架垂直起飞、水平着陆可重复使用的“哥伦比亚号”航天飞机试飞成功



从公元10世纪的中国火箭到第二次世界大战的V2导弹，人类是出于军事需求发展了火箭技术，而这恰恰为航天技术的发展奠定了坚实的基础。



航天技术从20世纪50年代末期的研究试验阶段到70年代中期，发展到了广泛实际应用阶段。

- 1958年12月，美国发射了世界上第一颗通信卫星“斯科尔号”
- 1960年4月，美国先后发射了世界上第一颗气象卫星“泰罗斯1号”和导航卫星“子午仪1B号”
- 1963年7月，美国发射了世界上第一颗地球同步轨道通信卫星；
- 1964年8月，美国发射了世界上第一颗地球静止轨道通信卫星；
- 1965年4月，美国发射了世界上第一颗商用通信卫星“国际通信卫星1号”为北美与欧洲之间提供通信业务，标志着通信卫星进入了实用阶段
- 1972年7月，美国发射世界上第一颗地球资源卫星“陆地卫星1号”



- 1982年11月，美国航天飞机开始商业性飞行
- 1984年11月，美国航天飞机成功地施放了两颗卫星并回收了两颗失效的通信卫星，第一次实现了双向运载任务
- 1983年4月，美国发射了世界上第一颗跟踪和数据中继卫星
- 1999年，由66颗小型卫星组网形成的美国“铱”星全球电话通讯系统建成并投入使用
- 目前，美国的GPS系统和俄罗斯的卫星导航系统已成为全世界各领域普遍应用的定位导航系统，发挥着巨大的作用
-



- ▶ 我国自1970年4月24日首颗卫星“东方红一号”发射成功以来，航天技术的发展和应用也取得了巨大的成就。



东方红一号



- 1975年11月，我国第一颗返回式遥感卫星发射成功，并顺利回收；
- 1984年4月，我国第一颗静止轨道试验通信卫星发射成功；
- 1986年2月，我国第一颗静止轨道实用通信卫星发射成功；
- 1988年9月，我国第一颗气象卫星“风云一号”发射成功；



- 进入20世纪90年代，我国航天技术应用的步伐进一步加快，大容量通信卫星“东方红三号”、气象卫星“风云一号”和“风云二号”以及资源卫星先后发射成功。



东方红三号

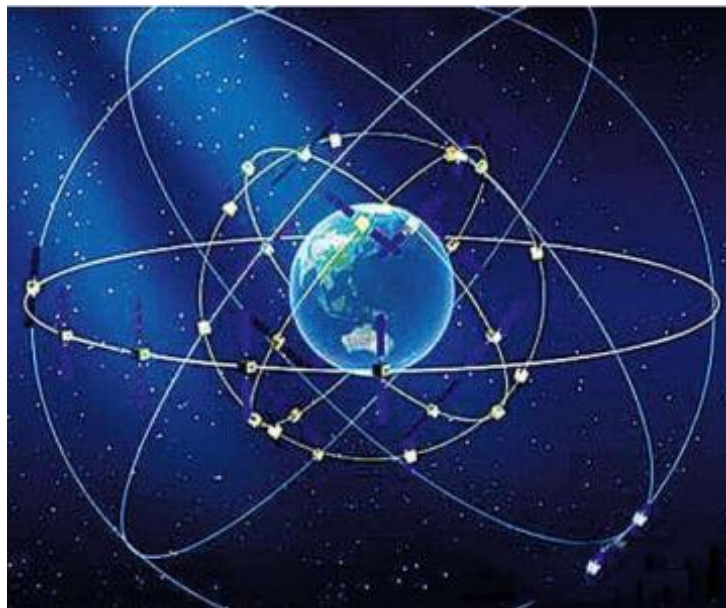


- 1999年11月20日，我国成功发射了第一艘试验飞船“神舟号”，在载人航天领域迈出了坚实的一步，迄今为止已发射神舟十一号飞船；



天宫一号与神舟八号

➤ 2011年11月1日，神州八号飞船与天宫一号交会对接



北斗导航卫星

- ▶ 2018年8月25日，我国在西昌卫星发射中心用长征三号乙运载火箭以“一箭双星”方式成功发射第三十五、三十六颗北斗导航卫星



- ▶ 从1957年世界上第一颗人造地球卫星发射成功以来，航天技术取得了巨大的成就，产生了巨大的社会效益与经济效益；
- ▶ 随着航天技术应用的发展，航天活动已越来越显示出其巨大的军事意义和经济效益，已成为国民经济和国防建设的一个重要组成部分。反过来，这种社会和经济效益又进一步推动着航天技术的发展。



第二讲 · 航天器的分类与系统组成

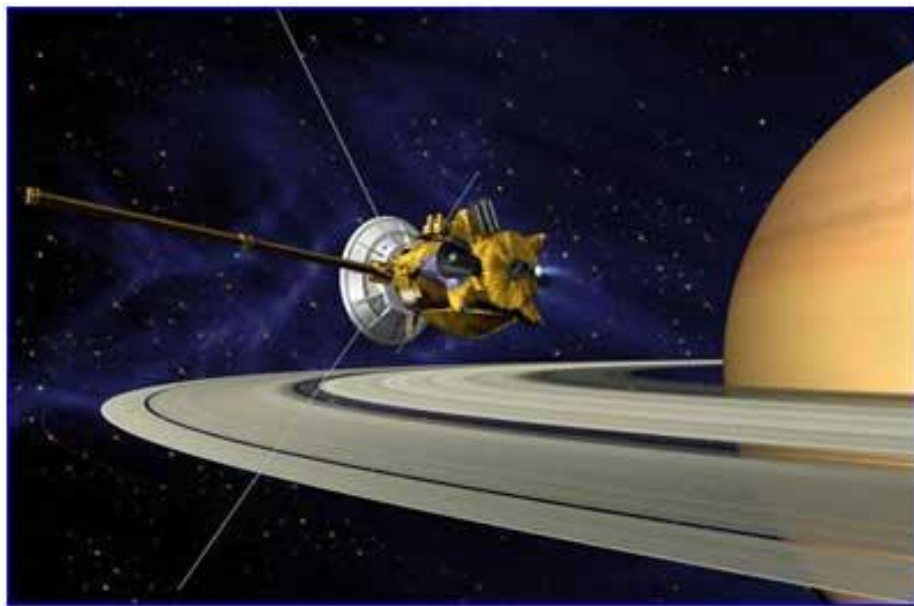
- 01 按载人与否分类
- 02 人造地球卫星的功能分类
- 03 航天器的基本系统组成

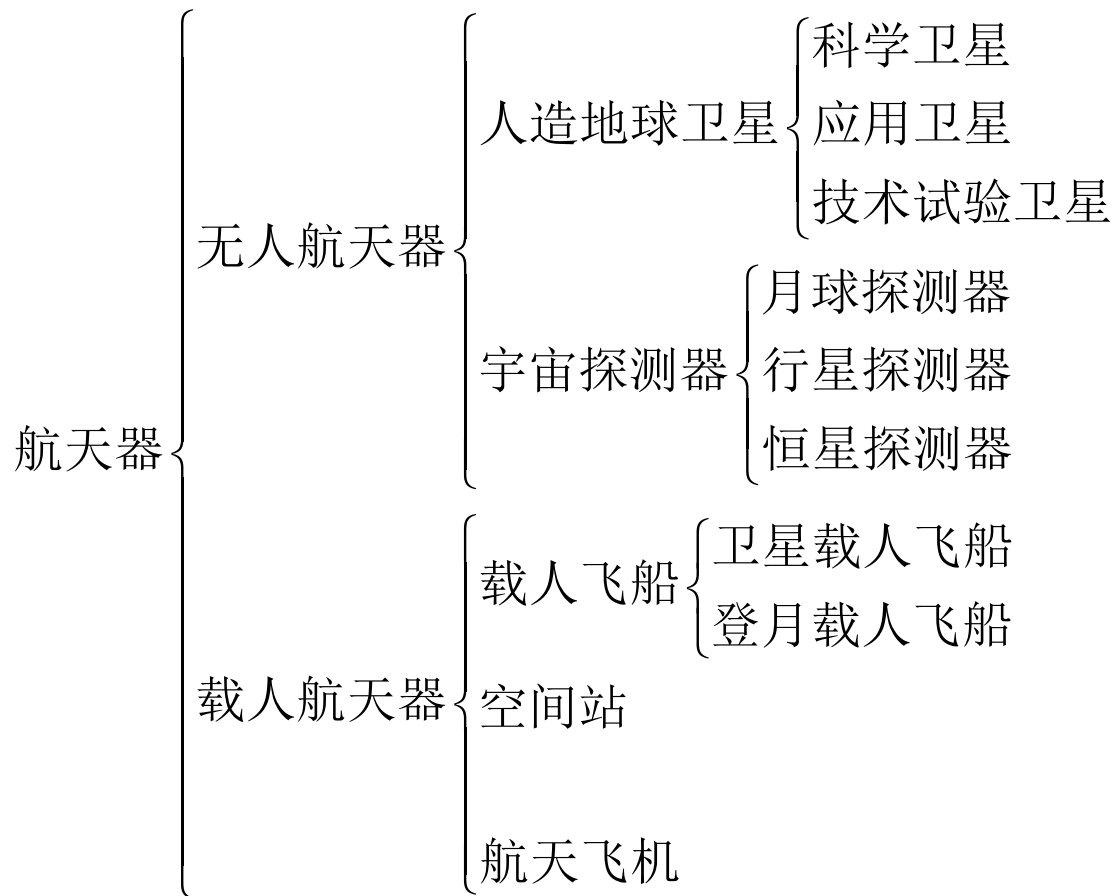


- ▶ 航天技术是一门研究和实现如何把航天器送入空间，并在那里进行活动的工程技术
- ▶ 它主要包括航天器、运载工具和地面测控三大部分



- ▶ 航天器可分为**无人航天器**与**载人航天器**两大类。
- ▶ 无人航天器按是否绕地球运行又可分为**人造地球卫星**和**宇宙探测器**两类。





航天器的分类



1、人造地球卫星

数量最多的航天器(占90%以上)，它们的轨道长度由100多公里到几十万公里。按用途它们又可分为：

- (1) 科学卫星
- (2) 应用卫星
- (3) 技术试验卫星



(1) 科学卫星：

研究近地空间环境和日地关系，为载人飞船、应用卫星和战略武器的发展提供资料；进行天文观测；对地球科学进行研究。

(2) 应用卫星：

利用星载仪器设备，以应用为目的，在轨道上完成某种任务的卫星，称为应用卫星，如通信卫星、气象卫星、侦察卫星、导航卫星、测地卫星等

(3) 技术试验卫星：

技术试验卫星是针对某些航天器的特殊新工艺或某项新的系统技术而设计的，其目的是进行预先的飞行试验



风云四号卫星



北斗三号卫星



2、载人航天器

目前的载人航天器只在近地轨道飞行和从地球到月球的登月飞行。载人航天器按飞行和工作方式可分为：

- (1) 载人飞船
- (2) 空间站
- (3) 航天飞机



(1) 载人飞船:

能保障航天员在外层空间生活和工作，以执行航天任务并能返回地面的航天器

(2) 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

(3) 航天飞机:

可以重复使用的，往返于地面和高度在1000 km以下的近地轨道之间，运送有效载荷的航天器。



神舟五号飞船



亚特兰蒂斯号航天飞机

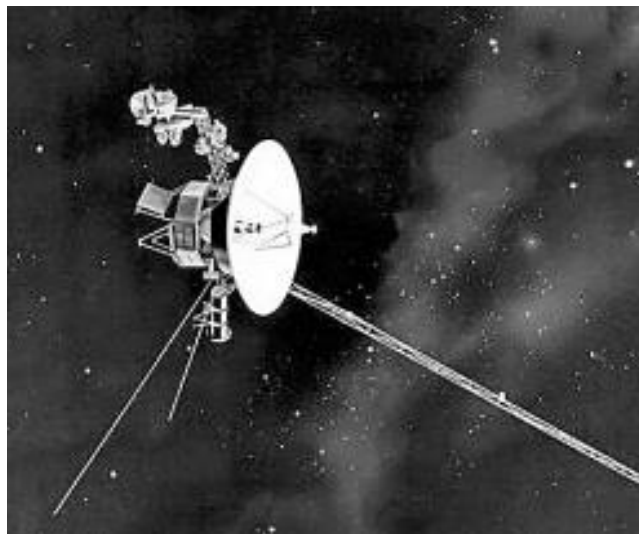


3、宇宙探测器

飞出地球轨道的探测器，有行星际探测器和恒星际（飞出太阳系）探测器两种。



旅行者1号



旅行者2号



- ▶ 按航天器在轨道上的功能来进行分类，就人造地球卫星而言，可分为观测站、中继站、基准站和轨道武器四类。





1、观测站

卫星处在轨道上，对地球来说，它站得高，看得远，用它来观察地球是非常有利的。此外，由于卫星在地球大气层以外不受大气的各种干扰和影响，所以用它来进行天文观测也比地面天文观测站更加有利。属于这种功能的卫星有下列几种典型的用途。

- (1) 侦察卫星
- (2) 气象卫星
- (3) 地球资源卫星
- (4) 海洋卫星



(1) 侦察卫星:

在各类应用卫星中侦察卫星发射时间最早, 发射数量最多, 有照相侦察和电子侦察卫星两种。



锁眼

照相侦察



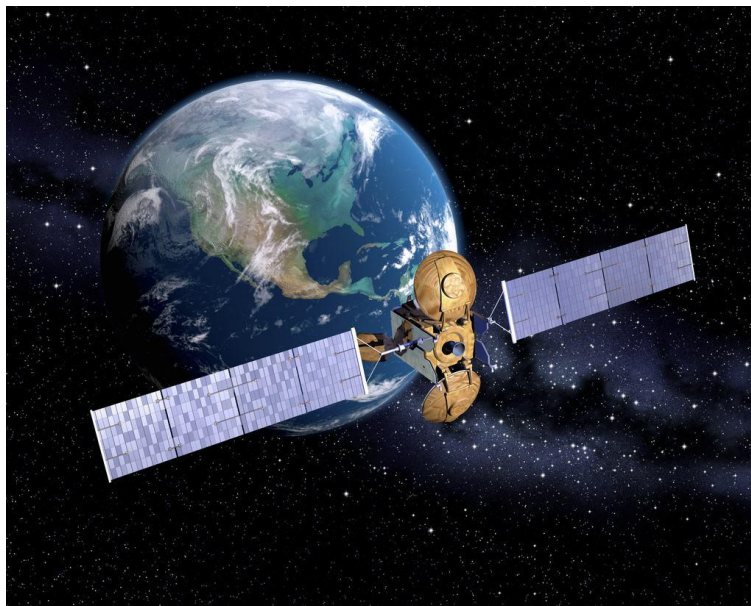
长曲棍球

雷达侦察



(2) 气象卫星:

利用携带的各种气象遥感器，接收和测量来自地球、海洋和大气的可见光、红外线和微波辐射信息，再将它们转换成电信号传送给地面接收站。



风云四号



(3) 地球资源卫星:

利用星上装载的多光谱遥感器获取地面目标辐射和反射的多种波段的电磁波，然后把它传送到地面，再经过处理，变成关于地球资源的有用资料。



中巴资源卫星



(4) 海洋卫星:

海洋卫星的任务是海洋环境预报，包括远洋船舶的最佳航线选择，海洋渔群分析，近海与沿岸海洋资源调查等。



海洋一号B卫星



2、中继站

中继站是一种在轨道上对信息进行放大和转发的卫星。一类用于传输地面上相隔很远的地点之间的电话、电报、电视和数据；另一类用于传输卫星与地面之间的电视和数据。这种卫星有下列几种：

- (1) 通信卫星
- (2) 广播卫星
- (3) 跟踪和数据中继卫星



(1) 通信卫星：

利用卫星进行通信。与地面通信相比，**优点**：通信容量大；覆盖面积广；通信距离远；可靠性高；灵活性好；成本低。



东方红三号



(2) 广播卫星:

主要用于电视广播的通信卫星。不需要经过任何中转就可向地面转播或发射电视广播节目，供公众团体或者个人直接接收，因此又称为直播卫星。



(3) 跟踪和数据中继卫星:

利用卫星来跟踪与测量另一颗卫星的位置，其基本思想是把地球上的测控站搬到地球同步轨道上，形成星地测控系统网。



天链一号



3、基准站

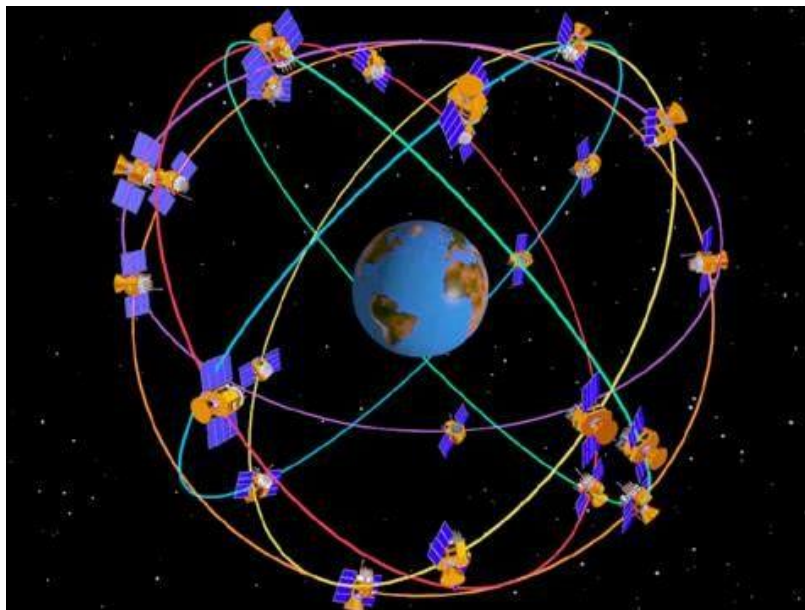
这种卫星是轨道上的测量基准点，所以要求它测轨非常准确。属于这种功能的卫星有：

- (1) 导航卫星
- (2) 测地卫星



(1) 导航卫星:

利用这种卫星发出一对频率非常稳定的无线电波，其他运动体都可以通过接收电波信号确定自身位置。



GPS卫星星座



(2) 测地卫星:

由于地面上的测量站是固定的，所以测量精度比对舰船导航定位的精度高。卫星测地目前达到的精度比常规大地测量的精度高几十倍以上。



4、轨道武器

这是一种积极进攻的航天器，具有空间防御和空间攻击的职能。它主要包括：

- (1) 拦截卫星
- (2) 轨道轰炸系统



(1) 拦截卫星:

卫星作为一种武器在轨道上接近，识别并摧毁敌方空间系统，这种卫星被称为反卫星卫星。

(2) 轨道轰炸系统:

轨道轰炸系统是一种空间对地的进攻型武器。



- ▶ 不同类型的航天器，其系统的结构、外型和功能千差万别，但是它们的基本系统组成都是一致的。
- ▶ 典型航天器都是由不同功能的若干分系统组成的，其基本系统一般分为有效载荷和保障系统两大类。



1、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。单一用途的卫星装有一种类型的有效载荷，而多用途的卫星可以装有几种类别的有效载荷。



2、保障系统

用于保障航天器从火箭起飞到工作寿命终止，星上所有分系统的正常工作。各种类型航天器的保障系统一般包括下列分系统：

- (1) 结构系统
- (2) 热控制系统
- (3) 电源系统
- (4) 姿态控制系统
- (5) 轨道控制系统
- (6) 测控系统



◆ 结构系统:

用于支承和固定航天器上各种仪器设备,使它们构成一个整体,以承受地面运输、运载器发射和空间运行时的各种力学环境以及空间运行环境

◆ 热控制系统:

用来保障各种仪器设备在复杂的环境中处于允许的温度范围内

◆ 电源系统:

用来为航天器所有仪器设备提供所需的电能

◆ 姿态控制系统:

用来保持或改变航天器的运行姿态

◆ 轨道控制系统:

用来保持或改变航天器的运行轨道

◆ 测控系统:

包括遥测、遥控和跟踪三部分



- ▶ 除了以上基本系统组成外，航天器根据其不同的飞行任务，往往还需要有一些不同功能的专用系统。例如，返回式卫星有回收系统，载人飞船有乘员系统、环境控制与生命保障系统、交会与对接系统，航天飞机有着陆系统等。



第三讲 · 航天器控制的基本概念

- 01 轨道控制
- 02 姿态控制
- 03 主动控制和被动控制



- 一个刚体航天器的运动可以由它的位置、速度、姿态和姿态运动来描述；
- 位置和速度描述航天器的质心运动，属于航天器的轨道问题；
- 姿态和姿态运动描述航天器绕质心的转动，属于航天器的姿态问题。



- 航天器的控制可以分为两大类，即轨道控制和姿态控制。

轨道控制

对航天器的质心施以外力，以有目的地改变其运动轨迹的技术。

姿态控制

对航天器绕质心施加力矩，以保持或按需要改变其在空间的定向的技术。



1、轨道控制

轨道控制包括轨道确定和轨道控制两方面的内容。

- ▶ 轨道确定：研究如何确定航天器的位置和速度，也称为导航；
- ▶ 轨道控制：根据航天器现有位置、速度、飞行的最终目标，对质心施以控制力，以改变其运动轨迹的技术，也称为制导。

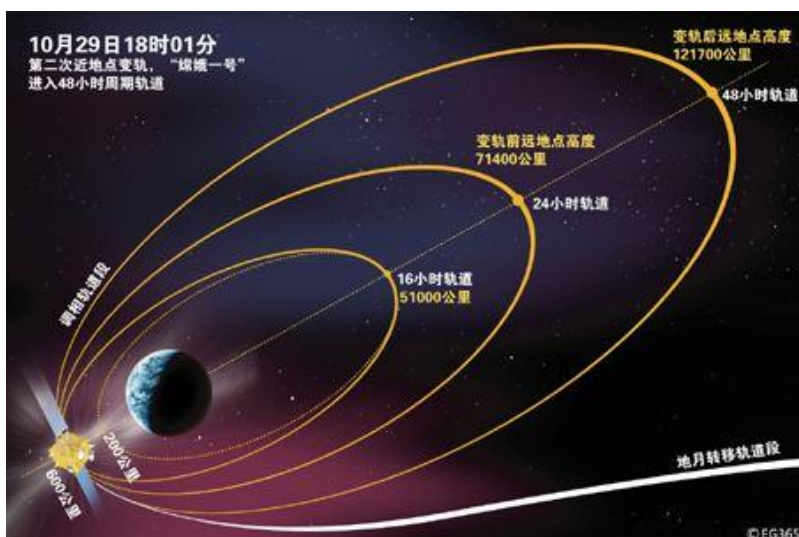
轨道控制按应用方式可分为四类：

- (1) 轨道机动
- (2) 轨道保持
- (3) 轨道交会
- (4) 再入返回控制

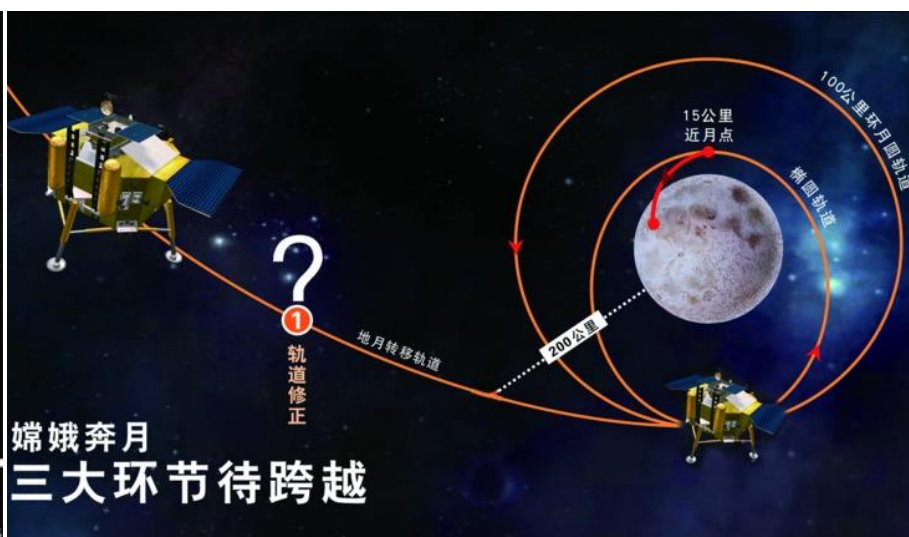


(1) 轨道机动:

使航天器从一个自由飞行段轨道转移到另一个自由飞行段轨道的控制。



嫦娥一号变轨



嫦娥三号降轨



(2) 轨道保持:

克服摄动影响, 使航天器轨道的某些参数保持不变的控制。

(3) 轨道交会:

航天器能与另一个航天器在同一时间以相同速度达到空间同一位置而实施的控制过程。



神州八号和天宫一号交会



(4) 再入返回控制:

指使航天器脱离原来的轨道，返回进入大气层的控制。



杨利伟返回舱



2、姿态控制

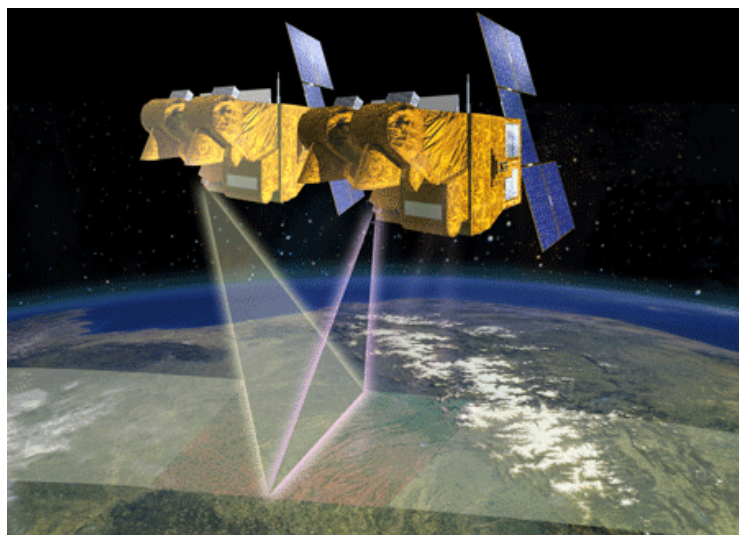
姿态控制也包括姿态确定和姿态控制两方面内容。

- ▶ 姿态确定：研究航天器相对于某个基准的确定姿态方法。
- ▶ 姿态控制：航天器在规定或预先确定的方向上定向的过程，它包括姿态稳定和姿态机动。
- ▶ 姿态稳定：使姿态保持在指定方向。
- ▶ 姿态机动：航天器从一个姿态过渡到另一个姿态的再定向过程。



□ 概念

- 定向：指航天器的本体或附件（太阳能电池帆板、对地观测相机、天线等）按一定精度保持在给定的参考方向上。



卫星对地观测

- 再定向：指航天器本体从对一个参考方向的定向改变到对另一个新参考方向的定向。



- 捕获：指航天器由未知不确定姿态向已知定向姿态的机动控制过程。



星箭分离



□捕获一般分粗对准和精对准两个阶段。

- 粗对准：指初步对准，通常须用较大的控制力矩以缩短机动的时间，但不要求很高的定向精度。
- 精对准：指粗对准或再定向后由于精度不够而进行的修正机动，以保证定向的精度要求。
- 搜索：指航天器改变本体或附件指向，发现其他活动目标的过程。
- 跟踪：指航天器本体或附件保持对活动目标的定向。

姿态控制是获取并保持航天器在空间定向的过程



➤ 姿态稳定是保持已有姿态的控制，航天器姿态稳定方式按航天器姿态运动的形式可大致分为两类。

(1) 自旋稳定：航天器绕其自旋轴旋转，依靠转动动量矩保持自旋轴在惯性空间的指向。自旋稳定常辅以主动姿态控制，来修正自旋轴指向误差。

(2) 三轴稳定：依靠主动姿态控制或利用环境力矩，保持航天器本体三条正交轴线在某一参考空间的方向。



3、姿态控制与轨道控制的关系

航天器是一个比较复杂的控制对象，一般来说轨道控制与姿态控制密切相关。为实现轨道控制，航天器姿态必须符合要求。也就是说，当需要对航天器进行轨道控制时，同时也要求进行姿态控制。



► 航天器控制按控制力和力矩的来源可以分为两大类。

(1) 被动控制：其控制力或力矩由空间环境和航天器动力学特性提供，不需要消耗航天器上的能源。

(2) 主动控制：包括测量航天器的姿态和轨道，处理测量数据，按照一定的控制规律产生控制指令，并执行指令产生对航天器的控制力或力矩。主动控制需要消耗电能或工质等航天器上能源，由航天器或地面设备组成闭环系统来实现。



4、主动控制系统的组成

航天器主动控制系统，无论是姿态控制系统还是轨道控制系统，都有两种组成方式。



- 星上自主控制：指不依赖于地面干预，完全由星载仪器实现的控制。

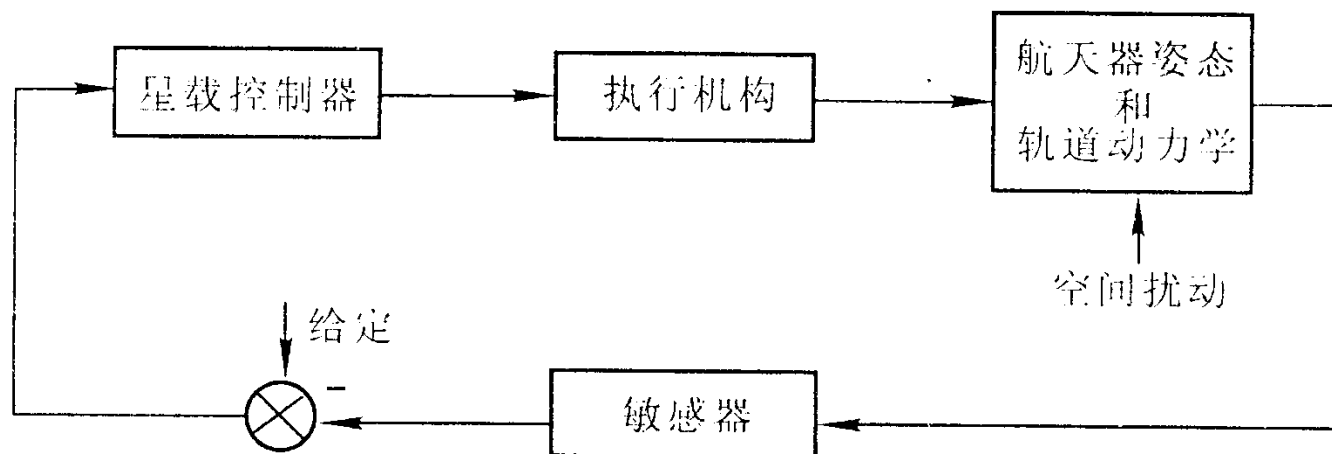


图 1.4 星上自主控制方框图



- 地面控制：指依赖于地面干预，由星载仪器和地面设备联合实现的控制。

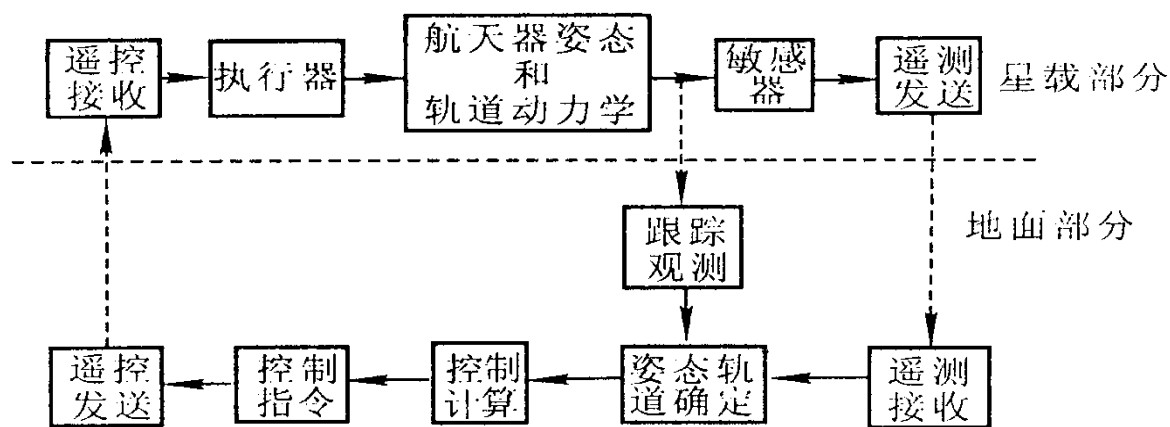
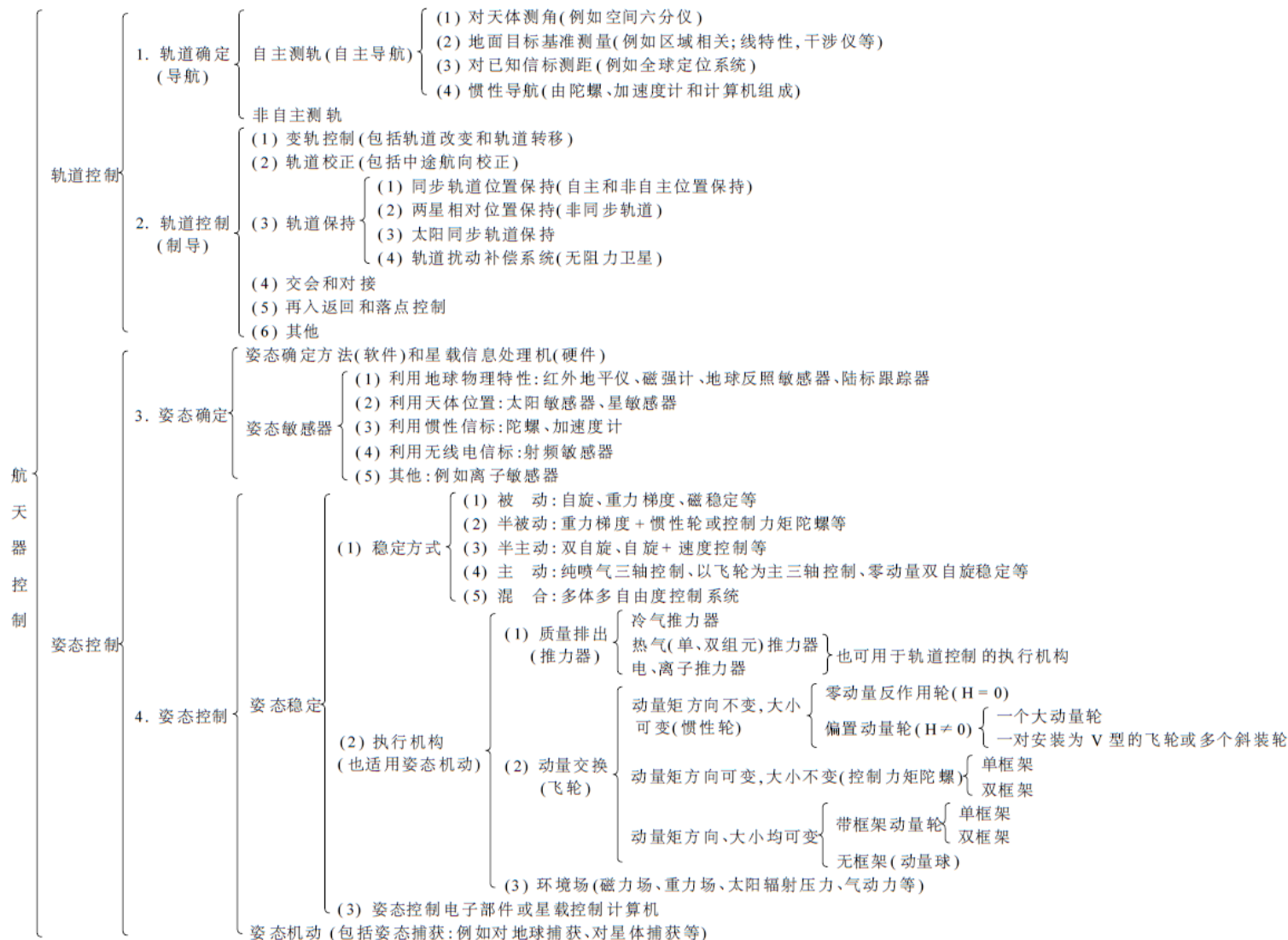


图 1.5 星—地大回路控制方框图



表 1.1 航天器控制基本内容和分类





西安电子科技大学
XIDIAN UNIVERSITY

THANKS



13389281325



dzhfeng@xidian.edu.cn