

第一章

导 言

第一节 太空学的定位与分类

一、空间 太空 航天

进入 21 世纪之际 回顾 20 世纪，人类的活动有两大飞跃：一是在 20 世纪之初 人类开始进入大气层；二是在 20 世纪中叶，人类开始进入大气层外的空间 (Space) 或称外层空间 (Outer Space)、太空 (Space)。

人类长时期生活于陆地，其后活动范围由陆地逐渐扩大到海洋，再后扩展到大气层和外层空间。因此，国内外很多科学家把陆地称为第一环境，海洋为第二环境，大气层为第三环境，而第四环境即指外层空间或太空。

“空间”按汉语词义凡“中无所有”之处均可叫空间，又可指天空；“太空”按汉语词义是指“很高的天空”相比之下，对大气层外的外层空间，用“太空”更确切些。但自 20 世纪 50 年代以来，我国大陆从事高层大气物理研究的科学家，已习惯使用“空间科学”这一名词。

改革开放以来，海峡两岸交往增多。交流中感觉到，对一些新兴学科领域的外来名词，彼此翻译和使用习惯不同。如“Plasma”大陆学者译为“等离子体”，台湾学者则译为“电浆”。大陆惯用的“遥感 (Remote Sensing)”台湾学者则称“遥测”，而大陆方面“遥测”仅指“Telemetry”。大陆惯用的“空间”一词，海外华人同行则用“太空”。“航天飞机”(Space Shuttle) 则译为“太空梭”等等。

1992 年 10 月，在厦门召开的“首届海内外华人空间 / 太空科学讨论会”所用的标题，是尊重了双方的习惯。为了便于两岸学术交流，有关科学家合作，开始编撰名词对照表。1993 年 11 月，两岸有关专家在台北召开了“海峡两岸太空科学 / 空间物理名词研讨会”会上对 8 877 个名词进行了逐个研讨，吸取不同意见，形成“中英译名稿 (初稿)”。专家们认为，一时很难改变几十年形成的习惯。较好的办法是：从现在开始，学术界用词，应向更合理的词靠拢，逐渐取得一致。对“外层空间”选用“太空”更为合理。

我国“航海”、“航空”的传统称谓意指人类在海洋和大气层中的航行活动。由此及彼，多年来，我国大陆从事火箭、运载的工程专家，习惯沿用“航天”或“宇航”一词，意指在太空的航行活动或宇宙飞行，也泛指航天工程或航天技术。

由上所述可见，这里的“空间”、“太空”、“航天”诸词常常是同一含义被广泛混用。本书则尽可能在泛指时使用“太空”一词，如“太空科技”，而在有定语限定的某特定范围使用“空间”一词，如日地空间、行星际空间等等。同时，在不同的场合，也遵循海内外华人业已形成的习惯，采用“太空”或沿用“空间”或“航天”称谓。如太空活动、空间物理、航天飞机等。

二、太空学的涵义

一般来说，学科划分的主要根据是研究对象，如数学、天文学、物理学等。这里所说的“太空学”是指人类借助太空探测手段（工具）在第四环境（即地球稠密大气层外二三十千米以上直到遥远的宇宙深处，所进行的各种探测研究（直接的、间接的、逼近的、主动的、被动的、有人照料的、无人照料的等）中，认识太空、开发利用太空甚至对太空加以改造的一门学问。它包含三层意思：一是在第四环境对整个宇宙，包括地球本身的探测、认识和利用改造研究；二是利用在第四环境内所处位置的特殊条件（微重力、超真空、超净、强辐照等）所进行的各种学科领域（力学、物理学、化学、生物学、医学、药理学等）的实验研究；三是在此基础上对第四环境资源的开发、应用以及改造的一切研究。实施这些活动的手段不仅包括火箭、卫星、飞船、航天飞机、空天飞机、太空站以及各类深空探测平台（统称太空飞行器或航天器），而且还包括高空飞机、气球。总之，不论哪种手段，都是为认识利用太空这一对象服务的。

太空学的一大特点是它的诞生和发展都离不开航天手段，因为没有航天手段，进不了第四环境，也利用不了那里的特殊环境条件。另一特点是它的研究对象极为广泛，因为对任一学科只要能利用航天手段，就能开辟一个新的局面，逐渐形成为一门新的边缘学科。如在地面上利用望远镜对天体进行探测研究，称天文学，同样的望远镜在太空对同一天体进行探测研究，则叫太空空间天文学，或称大气外天文学、卫星天文学。同样，还有太空物理学、太空生物学等等。现在还有在太空进行考古，在太空进行建筑，将来还会开发太空旅游业、太空殡葬业……

太空学一般并不包括对航天手段本身的开发研究。航天基本原理和指导航天工程实践的综合性技术科学称航天学，或宇宙航行学。但按业已形成的习惯，太空学也包括航天器或称太空飞行器上的各类探测器或有效载荷；大气层内飞行的飞机，也有用来进行太空探测或实验的（如利用波音 747 飞机进行红外天文观测，SOFIA 计划，利用飞机进行抛物线弹道飞行以进行短时间失重实验等）但不

属于航天工具 在 30~40 km 左右高度飞行的气球系统则属太空学范畴。另外也还有很多交叉的,或分不清的地方,特别是在太空应用领域,国内外各家的说法也不很一致。太空学毕竟很年轻,随着它的不断发展,其含义将会日趋明晰,形成更为一致的认识。

太空学,包括太空科学、太空技术和太空应用三大部分。三者既密不可分,又各有侧重和特点。因为太空科学的探测研究离不开技术装备、技术途径的创新发展;技术方案、技术系统的形成与发展又基于科学思想和理论的指导,两者常常交融在一起而难以分开。今天的太空应用实为昨天的太空科技、当今的太空科技,隐含着明天的应用前景。

三、太空科学

太空科学或称空间科学,广义的含义也就是太空学。但按业已形成的习惯,是指利用太空手段对宇宙的天文、物理、化学、生命等自然现象及其演变规律的探测研究。在国外还称为基础太空科学(Basic Space Science)。它又可分为空间天文学、空间物理学、日地物理学、空间化学、空间生物学……空间考古学等。其研究对象从地球中高层大气、近地环境、日地空间、太阳系、直至浩瀚的宇宙空间。其研究内容包括太阳系和宇宙的构成、起源和演化,生命起源和地外生命,宇宙射线和高能现象,等离子体和电磁场效应,太阳活动和日地关系,近地环境及其变化,电波传播,行星及其卫星的地质和气候变化,小行星、彗星和微流星体,轨道碎片和太空污染等等。在太空特殊条件下开展的微重力材料科学,有人认为是太空科学的一部分,也有人将它纳入太空应用范畴,常是由于讨论问题的角度和侧重不同。通常所谓的太空生命科学,应是太空生物学和有关航天员生理、健康的太空医学的总和。但后者主要属于航天医学工程领域。在本全书医学分卷规划中专有《航空、航天与航海医学》一卷,本卷不涉及这方面内容。

四、太空技术

太空技术,或称空间技术,从广义角度看很难与航天工程技术分得很清楚。作为空间科学卷内容之一的《太空学概论》则主要讨论与太空科学探测、太空实验和太空应用等与全貌、体系有关的技术内容。如传感器、太空探测和应用的有效载荷,飞行器平台相关技术,遥科学 tele-science 技术检测、标定与验证技术,数据存储、传送、接收与处理技术,以及为了实施太空探测与实验所涉及的一系列航天工程技术问题。由于太空探测、实验和应用涉及的领域十分广泛,难以面面俱到,因此择其要者提纲挈领地予以讨论。

五、太空应用

太空应用或空间应用是指太空科技在国民经济各个部门的直接应用,包括军

用和民用两大部分。军用方面主要包括利用太空手段进行的军事侦察、预警、导航定位、通信、数据中继、救援以及军事气象服务等。民用方面主要包括通信、电视直播转播、移动电话、远程教育、远程医疗、遥感、天气预报、灾害监测预报以及测量定位等。太空应用范围正日益扩大，除直接应用外，很多太空技术和产品可转化为地面上的应用，属于间接应用范围，本书将不涉及。

第二节 太空学的性质

一、新兴

太空学是一门年轻、新兴的学科。如果从 20 世纪 40 年代末人类利用探空火箭首次在大气层外获取太阳 X 光照片算起，至今则刚过 50 年。或者从世界上第一颗人造地球卫星上天 1957 年算起，则仅 46 年。与许多历史悠久的学科相比，它是一门 20 世纪中期才兴起的新兴学科。

二、前沿

太空学是人类科学研究和工艺技术高度发展的结晶。没有几千年文明的积累，没有各种新理论、新材料、新工艺和新技术的不断涌现和发展，没有前人的种种失败和成功，就没有现代的太空学。人们有时把太空科技称为尖端科技，它好比是金字塔的塔尖，是靠自上而下越来越大、坚固结实的基础支撑着的。它所面对的问题，很多是当代所面临的新挑战；其成果也反映当今科技的新的进展。空间探测和应用的发展，开创了技术能力的新的标准，从而形成了更新型和完整的工业体系。不仅体现了在概念、理论、工艺和技术等方面的创新性，而且也体现了它对其他学科、各行各业技术进步的促进和带动作用。即便在太空活动初期，就有大量实例足可说明。如美国阿波罗计划发展起来的新技术，已被广泛应用于铁路、运输、农业、医疗事业和天气预报等方面。1964 年美国航宇局（美国国家航空与宇宙航行局，NASA）为太空用微电子产品所制订的可靠性计划和标准，被国防部和工业界采用，使废品率降低、生产率提高；分析太空飞行器结构的软件可直接用于飞机和汽车的生产；为太空任务研制的超声检测设备，早已投入工业使用等等。美国航宇局技术利用办公室，为便于在国民经济各领域中推广利用，对它的合同单位发展太空所需新技术进行了登记，平均每月多达 6 000 项。更有人认为，太空计划最重要的成果是造就了新一代的科学家和工程技术人员。

最近国内外常提到的“太空天气学”就是太空活动以来所派生出来的一个新概念。人类在地面上活动，受天气的影响，因而有了气象学。专门研究天气变化，为地面上各项生产、生活活动做出天气预报。太空活动则受太空环境及其变化的

影响，因而引出了太空天气学，为人类越来越频繁的太空活动提供太空环境预报服务。

三、交叉

太空学是一门交叉学科，无论在研究对象上，或是所用的手段上，与其他学科不但密切相关，而且有很多内容是共同的。这与它的发展历史和性质有关。组成太空学的很多分支学科都是老学科加上太空手段而发展起来的，如上面已经说过太空天文学的例子。空间物理学的形成也一样，最早是从地球物理学发展起来的。当时用地面上的仪器设备探测高层大气、电离层等，称高层大气物理学。火箭、人造卫星上天后，逐渐形成空间物理学。而原有的高层大气物理学也在不断发展，形成地球物理学与太空学的交叉。再如，卫星气象学，则是气象学加上卫星手段而发展形成的交叉学科。同样道理，太空化学、太空地质学、太空植物学、太空动物学、太空微生物学、太空神经生物学、太空医学等等，均为太空学与其他学科的交叉。

即使太空学各分支学科之间，也彼此极难分清。例如，利用太空手段在大气层外对太阳的探测研究，既是太空天文学、太空天体物理学的主要内容之一，也是空间物理学或日地物理学、太空天气学的主要内容之一。因此，本书也并不都按太空学各分支学科的分类，加以细分、叙述，而是按太空学本身的发展规律和特点加以展开，以尽可能避免重复赘述、细分难清和思路混乱。也许这也是引入太空学这一新概念的有利之处。而依照“中国现代科学全书”的结构，太空学各分支学科的叙述，会在各学科卷或分卷中有所展开。

四、全球性

太空学的全球性是显而易见的。俗话说登高望远，站得越高看得越远。有了航天手段，人类才有可能一睹我们居住的星球的全貌。低轨道的卫星一天就可按轨道扫遍全球，高轨道的卫星则可看到地球的整个轮廓。可把地球像一颗行星一样来探测研究其全球现象及全球性变化。地圈、生物圈，没有太空手段不可能实时全貌观测、获取连续数据。很多日地关系问题，没有全球性的探测研究，也很难得到全面而系统的结果。太空活动涉及全球范围，不受国界和领空限制，因此和它相关的一些问题，如太空污染、太空法律等，也都是全球性的问题。

第三节 太空研究的手段

一、高空科学气球

这里所说的高空气球不是指用于气象参数测量的一般探空气球，也不是热气球，而是为高层大气和太空探测服务的科学气球。高空气球不但球体容积大、载荷重、升限高、漂浮时间长而且配有控制、跟踪定位和回收降落伞等系统。

高空科学气球是第二次世界大战以后逐渐发展起来的，现在是一种不需动力装置、不作轨道飞行的高空观测与科学研究平台。气球球体一般采用 $20\ \mu\text{m}$ （微米， 10^{-6}m ）左右厚度的聚乙烯薄膜制造。球体体积可从几百立方米到上百万立方米，内充氢气或氦气，载重量最大可达几吨。运行高度为 $30\sim 50\ \text{km}$ 因而又称为平流层气球。由于地面和平流层高度的气压相差甚大，因此在地面充气时并不充得很鼓，而是随着高度的上升逐渐膨胀为雨滴形状，所以也叫“自然形零压式气球”。它通常在平流层内，跟随着不同层高的大气气流而飘行，甚至可以随风环球平飘。

利用它可进行宇宙 X 射线源、红外辐射源、 γ 射线爆发、宇宙线粒子、太阳短波辐射、地气背景辐射、高层大气成分、空间化学和对地遥感等探测研究。如将特殊落舱带上高空，然后释放自由下落，可获得十几秒至一分多钟的微重力时间，以进行材料科学、流体物理和生命科学实验。高空科学气球还可用来进行卫星仪器和技术的预先试验。

气球的载荷都置于“吊篮”上，吊篮通过缆绳与球体相连。吊篮上配有为有效载荷服务的能源系统、遥测遥控系统和雷达跟踪定位系统等。也可利用卫星对气球进行跟踪定位。根据不同探测仪器的需要，吊篮平台上还可设置对特定目标的定向系统。此外，气球上还装有浮力控制器，利用抛弃压舱物和排气的方法来调节平飘高度或改变飘向。在完成预定任务之后，或者在紧急情况下，可切断缆绳，用降落伞回收吊篮。吊篮底部装有缓冲装置，以减少着陆时的冲击力，保护仪器设备不致震坏。内装的信标机和无线电测向仪可引导回收人员找回吊篮。

支持气球飞行实验的主要地面设施是气球发放场。配备有气球发放车、充气设备、测控天线以及发放前供吊篮检测使用的房间等。一般这些都是车载设备，以便于进行流动发放。气球发放场也可和探空火箭发射结合在一起，以便部分设施可两者兼用。如设在瑞典北部北极圈内的欧洲“基律那”探空基地，包括了气球发放、探空火箭发射以及遥感卫星图像接收等。

与火箭和卫星平台比较，气球探测的优点是价格便宜，发放比较机动，安排实

验周期较短，回收较简单易行。其缺点是高度和飞行路线受限制，球体挡掉部分视场。由于它的飘行路线取决于高空风场，而高空风向、强弱随季节和地区变化，对特定的发放点，每年只有一定的时段适于发放，而且还须避开飞机航线的密集区域。

法国、美国、日本和我国等都发展了气球探测系统。

20世纪90年代以来，美国正在试验一种新型的超压气球，外形是鼓鼓的球形，预计它在空中可维持100天寿命，可称为亚卫星平台了。在某种程度上讲，其工作寿命主要取决于球载能源系统的寿命。当前重约400 kg，功率约1 000 W的燃料电池供电时间仅20天。美国希望新型超压气球能在21世纪初投入使用。现已用涤纶薄膜制成小型球，并已制成强度更高的球体材料。要解决的关键技术是需要更牢固的球体拼缝密封胶；而球体气囊必须能经受住白天晚上不同温度引起的压力变化。

二、探空火箭

火箭是最先用来进行太空探测的工具。第二次世界大战后，美国和前苏联都从德国缴获了一批V-2火箭及其技术资料、研制专家。在此基础上进一步改进和发展了自己的火箭技术。美苏两国在20世纪40年代末就开始利用火箭进行太空探测活动。利用火箭进行太空探测是一举两得的事，既发展了火箭技术，又可获取前所未有的科学数据。和后来发射卫星、飞船的运载火箭相比，探空火箭相对较小，发射也较轻便机动。

探空火箭系统由火箭本体、发射设备、载荷系统、地面跟踪定位系统和数据获取系统等部分构成。火箭本体为圆筒状，锥形的头部安装载荷，底部为发动机，中间部分为燃料舱。按燃料类型可分固体火箭和液体火箭两类。为了增加飞行高度和有效载荷重量，可组成多级火箭，或在液体火箭上再加固体助推器。较简单的火箭，其飞行姿态不加控制，主要依靠底部的尾翼来稳定，或者起飞后加旋，靠自转来稳定姿态。但其运行过程中的姿态及其变化则可由姿态测量系统加以测定。姿测系统一般以太阳或地球本身作为参考对象来决定火箭在空间的取向及其变化。常用的敏感器有太阳角计、红外地平仪和磁强计等。磁强计既可测量近地磁场特性，又可根据地磁场方向确定火箭的取向。较高级的火箭装有三轴姿态控制系统，即俯仰、偏航、滚动三个方向都可以控制。主要控制部件和大型火箭所采用的类同，如陀螺仪、惯性飞轮、磁控仪、喷气系统等。

各类单级和多级火箭的飞行高度，从几十千米到几百千米不等，有的甚至更高；其有效载荷重量从几千克到几百千克不等，有的甚至更重。因此可以用它进行气象、中高层大气、电离层、磁层、地球大气背景辐射、气晖、极光、宇宙尘、轨道

碎片、宇宙射线、太阳及宇宙、对地遥感等各种探测实验。还可用它进行生物试验，以及各种星载部件、设备的技术试验。利用火箭的抛物线弹道飞行可得几分钟到十几分钟的失重时间，还可进行亚轨道飞行，异地回收，进行微重力科学研究。

小型火箭可在较简单的滑轨上发射，可车载、船载，也可在飞机或气球吊篮上进行发射。如 20 世纪 60 年代，美国曾把小型火箭放到气球吊篮上，停留在 30 ~ 40 km 高度 等待太阳耀斑一爆发 立即发射升空 以探测耀斑爆发的全过程。

火箭飞行的高度、位置和弹道，则由地面雷达测定。雷达有主动和被动两种，或称有源雷达和无源雷达。有源雷达也称二次雷达，需在火箭箭头上安放雷达信号应答机。火箭的探测数据及本身的工程参数由遥测系统传送到地面，也可在火箭上存储，在飞行下降时用降落伞系统回收。

至今 世界上共有 20 多个国家发展了探空火箭技术，已发射了数以万计的探空火箭。虽然卫星已成为主要的太空探测手段，但 40 ~ 200 km 范围的空间 火箭探测的优势仍是不可替代的。尤其是它直上直下的运动，可以测量大气层的垂直剖面结构。而且相对卫星来说，除发射机动灵活外，其总费用较低，实验周期较短。主要不足是工作时间短，单位时间的费用并不低。

我国自 20 世纪 50 年代末开始发展火箭，40 多年来已发射了约 300 枚多种研究型火箭和 18 种实用探空火箭。

三、人造卫星

人造卫星一般是指环绕地球运行的无人太空飞行器。一个比较复杂的人造卫星系统主要由如下各分系统组成。

(1)有效载荷分系统是人造卫星为完成其某项特定使命而安装的特定仪器设备。如侦察卫星上的照相机，资源卫星、气象卫星上的遥感器，科学卫星上的探测器等。它有别于其他公用载荷而称之为有效载荷。

(2)结构分系统是卫星的骨架，支撑并保护卫星上的各种设备。为满足不同仪器设备的一些特殊要求，往往需要进行一些特殊的设计，采用某些特殊的材料。为了尽可能减轻重量，常用高强度的铝镁合金材料，甚至钛合金、碳纤维材料，后者在太空剧烈的温度变化下变形很小。同时，还要考虑到太空的强辐射环境而采取防辐照措施。

(3)电源分系统为卫星上的各种仪器设备供电。常用的有蓄电池、太阳能电池、燃料电池以及核能发电装置等。经常需要有多种电压和稳定度的供电，要用二次电源加以转换，满足各类仪器设备的不同需求。由于卫星工程的安全性、可靠性极为重要，因此电源系统中还包括一整套电路的特殊设计。

(4)姿态测量和控制分系统前者为测定卫星在空间的指向及其变化；后者为稳定或调整卫星姿态所用，使整个卫星或其一部分精确指向太空的某一目标。姿态测定除了和火箭一样利用太阳和地球作为参考对象外，还可依靠星敏传感器或星图仪，利用恒星的位置来确定卫星在空间的方位。而姿态控制系统，除各类陀螺仪、惯性飞轮、磁控线圈外，更多的使用喷气系统。利用重力梯度原理来稳定卫星姿态也是一种较好的方法，虽其精度不是很高，但它不需要耗功。

(5)温度调控分系统由于卫星在太空运行，太阳照到的部分温度高过 100°C 而阴影区域则温度可低于 -100°C 。因此，必须加以调节控制，确保星上仪器设备能正常工作。又因为在太空超高真空环境中，人造卫星与外界的热交换主要通过辐射方式，所以，随着人造卫星事业的发展，用辐射来调节控制太空飞行器温度的方法已经形成为一门专门的学问，现已发展了很多新的技术、工艺和材质。卫星温度调控方法分主动和被动两类。被动方法不用耗电，主动方法则需消耗星上能源。常用的被动方法是在卫星及其舱内仪器机壳表面，用机械、化学、真空镀膜以及光学加工等不同方法涂敷或镀以特殊材质（如特殊的白漆、黑漆、镀金、化学发黑、抛光、第二表面镜工艺等），改变其表面的发射系数和吸收系数之比以调控其内部温度。发射系数大于吸收系数则可散热，反之则可吸热。有时则巧用导热材料与多层复合材料制成的隔热材料，以调节控制星内各部分相互间的热交换，尽可能满足各仪器设备的不同温度要求。有些发热量很大的部件，如通信卫星用的行波管，则常用热管或第二表面镜等方法加以散热。对一些高灵敏度的红外探测元件，为了降低它的噪声、提高信噪比，须工作在液氮温度或更低的温度，这就需用特殊的制冷器或辐射致冷器等。对于星上作为频率（时间）基准用的振荡器、高精密光学系统等，则必须采取高精度的恒温措施。对于返回式卫星，在其再入大气层时，须用特殊的烧蚀材料来消耗由于摩擦而生的大量热量，以保护卫星不致烧坏。

(6)制导及推进分系统用以控制卫星上发动机的点火、关机，改变卫星的速度，执行变轨、交会、对接、再入、回收等使命。

(7)工程仪表分系统卫星本体各公用仪器设备的监测管理对保证星上有效载荷完成特定使命至关重要，因此，必须对其工作状态进行监测管理，必要时应做出相应调整，如各分系统设备的电流、电压、温度、气压、开关状态等。有的可通过星上计算机自动监测管理，有的则通过遥测传送到地面，供地面人员判断，再通过遥控系统发送到星上进行处理。

(8)OBDH系统即卫星或飞船的星上数据管理系统，OBDH是英文 On-Board Data Handling 的缩写。由于计算机技术发展迅速，当前卫星平台上已广泛应用星载微机系统对卫星进行统一管理，完成程序控制和数据压缩、转换、处理等工

作。卫星系统的设计已从硬件设计为主发展到以软件设计为主。特别是在当代新型微小卫星上，往往有几十个微电脑或微处理机在协调工作。 OBDH 系统使卫星工程技术产生了革命性的变化。

(9)通信分系统卫星飞行在遥远的太空，是依靠通信分系统和地面保持联络的。星上的信号接收机、应答机、发射机通过卫星上的天线接收和发射信号，通过地面天线与地面控制中心和台站的跟踪、遥测接收、遥控发射等设备相联系，对卫星进行测轨定轨、探测数据、图像下载、工程参数传送、地面遥控等。当卫星处于地面天线视见范围之外时，也可利用在轨通信卫星或数据中继卫星进行中继转发。

由此可知，人造卫星是一部由 9 大分系统组成的极为复杂的、高度自动化的精巧机器。发射时可根据任务要求选择不同的轨道高度和倾角。在轨工作寿命一般为几年到十几年。其质量最小的仅几千克，大的可达几吨、十几吨，甚至更大。因此它的应用范围十分广泛。

卫星的种类很多。按目的任务分类，可分为科学卫星、气象卫星、资源卫星、海洋卫星、通信卫星、直播卫星、数据中继卫星、侦察卫星、测地卫星、导航定位卫星、预警卫星等不同系列。科学卫星又可细分为天文卫星、太阳观测卫星、地球物理探测卫星、近地环境探测卫星、生物卫星、微重力科学卫星等。科学卫星的特点是，由于探测目的、对象种类繁多，很难使用统一的公用卫星平台，而更多的需要卫星平台服从于探测载荷来设计安排。如“哈勃望远镜”，实际上是一颗天文卫星，由于高精度的望远镜设计要求极高，星上各公用分系统则根据望远镜的要求而布局。除了两边多两块太阳电池帆板外，看上去就是一架望远镜，因而连名称也不叫“哈勃卫星”而称其为“哈勃望远镜”。

按轨道参数分类，可分为低轨道卫星、极轨道卫星或太阳同步轨道卫星、地球同步轨道卫星等。太阳同步轨道卫星是指卫星的轨道面由于摄动产生的进动，正好等于由地球绕日公转而产生的太阳方向与卫星轨道面交角的变化值。因而卫星飞经地球表面各处时，可使当地的太阳入射角处于适中状态并保持不变，有利于照相机等遥感仪器获取较好分辨力的、可比较的图像。地球同步轨道卫星，也叫静止轨道卫星或定点卫星，离地面高度约 36 000 km。在此高度，卫星绕地球运行的周期和地球的自转周期相等，因而卫星相对于地面是静止的。这样的轨道对通信卫星、气象卫星以及不间断监测某一地区的侦察卫星等极为有用。

四、太空舰(飞船)

一般习惯于把可以乘人的航天器称做太空船，俗称飞船。它的构成与人造卫星基本类同。其不同点是增加了围绕航天员工作和生活的设计和装备，主要有以

下几个方面。

首先，它必须具有保证航天员在太空生活和工作的生命维持分系统，或称生保分系统。这是比一般卫星的温控系统更为复杂的系统。该系统要保证航天员所在的密封舱内保持一个大气压的氧、氮混合气体，合适的温度、湿度环境，废气、废水、废物的收集、净化或再生的循环系统；航天员在太空衣食住行所用的特殊装备和储备；航天员出舱穿着的太空服及“机动飞行器”则是载人飞船的配套装备。太空服或称宇航服可能是迄今世界上最贵、最精巧复杂、也是最重的衣服了。如美国休斯敦太空飞行中心研制的舱外航天服，每套价值约 1 000 万美元，有 80 家公司为它制造大小不等的部件。航天服配有氧气箱、水箱、显示控制装置、集尿设备，头盔内有饮料、摄像机，可在舱外 $-156 \sim +120$ 的温度环境中连续使用 7 小时或更长些。当然，其 120 多千克的重量，在太空失重状态下是无所谓的。

其次，在结构分系统方面除生保系统、密封舱外，还有航天员的观测舱、出入密封舱的特定舱门或通道；防护过量有害辐射和微流星体及轨道碎片碰撞穿透的特殊设计等。

其三，在通信分系统中有航天员与地面联络的话路和电视图像通道。

其四，在控制、制导及推进分系统中，有航天员手动操作和状态显示部分，整个系统更具自主性和灵活性，以能应付紧急情况。

其五，大部分卫星是不需返回的，而乘人的飞船是必须具有返地以及紧急情况下的救生功能的。一般卫星采用弹道方式再入大气层，然后用降落伞着陆。这种方式比较简单，但再入时过载较大，重力加速度约 $8g \sim 10g$ ，着落点也较难掌握。世界上第一位太空人尤里·加加林乘坐的第一艘宇宙飞船“东方 1 号”就是用这种方式返回的。以后的联盟号飞船、双子星飞船、阿波罗飞船等都改为采用升力式可控再入方式返回。这种方式最大的优点是可用计算机根据返回初始条件预定着陆区，并按算出的实际飞行弹道加以预报，同时也可减少部分过载加速度和再入时的热冲击。

其六，最重要的是飞船的安全性和可靠性。特别要注意到其他载荷可能对飞船造成的危害和舱内污染。无论是硬件和软件，在设计、研制和生产的全过程中，都必须采取一系列措施，确保航天员的安全飞行与返回。

五、航天飞机 (Space shuttle 也有译为“太空梭”的)

20 世纪 70 年代，美国开始研制“太空运输系统”，见图 1-1。这是一种垂直起飞、能在类似机场跑道上水平着陆的、可多次重复使用的太空飞行器。整个系统由轨道器、外挂燃料箱和两个固体助推火箭组成。通常把其中的轨道器称为航天飞机 (见图 1-2)。因为轨道器具有三角形的翅膀，外形很像飞机，和 DC-9 客

机差不多大小。太空运输系统总长 56.1 m 宽 23.8 m 高 17.4 m。起飞总重量超过 2 000 t。轨道器自重 68 t(不计燃料)装备三个液氢液氧主发动机 每个推力为 2 090 000 N(牛顿);46 个总推力为 201 000 N 的辅助推进器 可把 29.5 t 的有效载荷送上最高达 800 km 的近地轨道 货舱长 18 m 宽 4.5 m;一般可乘坐 2~7 名太空人(或称航天员)紧急情况下最多可搭乘 10 人。外挂燃料箱直径 8.4 m 长 47 m 自重 29.9 t 前部是液氧燃料容器 后部是液氢燃料容器 中间是连接前后两大容器的非加压容器,内装电子部件。整个外挂燃料箱装满燃料后总重 760.2t。固体助推火箭每个长 45.5 m 直径 3.7 m 自重 82.6t 装料后达 590t 推力约 13 600 000 N。航天飞机发射时三个主发动机和两个固体助推火箭同时点火,总推力超过 3 000 万 N。发射到 48 km 左右高度,两个固体助推火箭完成任务后分离,用降落伞落于海面,由两条待命的回收船捞回再用。轨道器和外挂燃料箱则继续上升直至入轨前,外挂燃料箱分离后掉入印度洋,不再回收。轨道器则继续加速入轨,一般在 300~400 km 高度绕地飞行 轨道倾角 28.5° 最大可达 57°。持续飞行时间最长可达 30 天。完成使命后用滑翔方式返回。航天飞机的头部、腹部贴有一层特制的隔热片,以防再入时被由于与大气摩擦产生的高温损坏。按设计,航天飞机可重复使用约 100 次 固体助推火箭则达 20 次以上。

着陆时的航天飞机

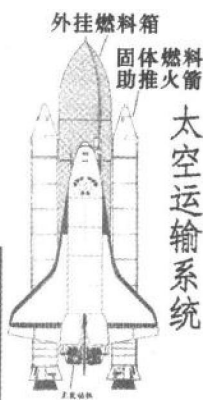
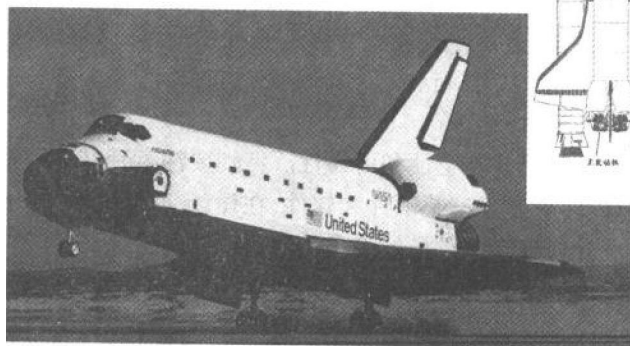


图 1-1 美国的太空运输系统

航天飞机可以代替大部分常规运载火箭把卫星等各种载荷发射上天,可用长

约 15 m 的机械臂把卫星送入近地轨道，也可把正在轨道上运行的卫星抓入货舱带回地面。为此，专门设计研制了航天员在太空自由“行走”用的“机动飞行器”。航天员背带机动飞行器可用双手控制 24 个氮气喷管，靠反作用力在太空自由飞行。接近在轨飞行的卫星，并用特制的装置使其停止自旋，把它装入航天飞机货舱带回地面。附有远地点发动机的卫星也可由它送入低轨道，然后由卫星自行爬升、转移到地球同步轨道。

美国先后制造了五架航天飞机，即“哥伦比亚号”、“挑战者号”、“发现者号”和“大西洋号”（又译为“亚特兰蒂斯号”）、“奋进号”。1981 年 4 月 12 日哥伦比亚号首航成功后，一直很顺利。但到第 25 次发射时，“挑战者号”点火升空 73 s 时，由于气温低而导致右侧固体助推火箭连接处的 O 型密封圈变硬失灵，突然发生爆炸，7 名航天员殉难，全世界为之震惊。为此，航天飞机发射工作中断了两年多。在此期间针对失事原因对整个系统进行了全面检查，在技术上和管理上采取了一系列改进措施。航天飞机的性能也有所提高，并又加造了一架，起名为“奋进号”。

由于航天飞机具有很大的运载能力、有人照料和可返回地面等优点，为太空研究开辟了广阔的新机会。西欧国家当时尚无自己的载人飞行计划，因而接受了美国的邀请，出资为航天飞机设计研制了与之配套的研究设备——“空间实验室”。它也可以多次重复使用。西欧 10 个国家（奥、比、丹麦、法、德、意、荷、西班牙、瑞士和英国）通过 10 年努力设计研制成功的空间实验室，不同于一般的卫星。它由密封加压的核心舱、实验舱、敞开的 U 型台架和密封的过道构成，可放在航天飞机货舱内。实验舱内两边从底面到顶全是排列十分整齐的实验柜。舱内容积比飞船要宽敞，航天员可从航天飞机前舱经通道进出空间实验室。实验舱和台架都是模块结构，可根据不同任务的要求，将舱段和台架加以不同的组合。每个舱段长 2.7 m，直径 4 m，由铝合金加多层隔热材料制成。第一个舱段即核心舱除实验设备外，还装有控制和监管设备。每一节 U 型台架质量为 1.2 t，长 3 m，宽 4 m，可装重至 3 t 的观测设备。根据欧洲空间局和美国宇航局之间的合同协议，有些航天飞机的发射批次是专为空间实验室安排的，也有的同时安排空间实验室和其他卫星发射。实际上空间实验室可以从事近地轨道的各类科学和技术领域的探测和实验，包括天文、天体物理、等离子体物理、大气物理、对地测绘、遥

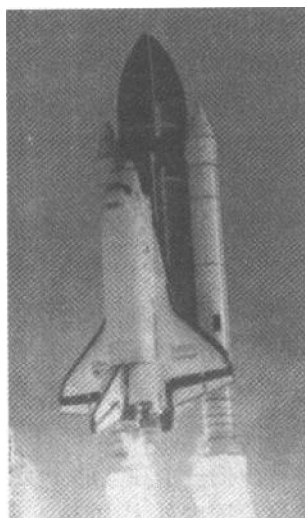


图 1-2 航天飞机发射

感、微重力流体物理、生命科学以及材料科学等等。当然其连续在轨运行时间受到了航天飞机飞行时间的限制。有些装置则可留在轨道上几个月甚至几年，等到以后发射的航天飞机再回收。太空大型天文观测台站，包括红外、紫外、X射线和 γ 射线的各波段台站，大多已由航天飞机送上近地轨道，并已获取了大量可贵资料。

航天飞机货舱的两边还可挂带若干桶形容器（见图 1-3）桶内可安排零星搭载实验，称为小型自主载荷，因为和航天飞机的主任务关系不大，相对独立。可装载荷的质量有三种规格，即 91 kg、45 kg 和 27 kg。容积分两种，即 0.14 m³ 和 0.07 m³。桶内可利用的最大有效尺寸为高 71.8 cm，直径 50.2 cm。在轨道上工作的电源等附属设备自带，但必须符合航天飞机计划所规定的安全标准，通过检查才能搭载。航天飞机可统一提供两个开关信号，如打开桶盖、接通电源等。也可从中把一个独立的小卫星用可控弹簧弹射到近地轨道上去。主要以很便宜的价格给国内外大中学校、科研机构和公司提供在太空进行科研、教育和商用开发的机会，进行一些较简单的或前期的太空研究。初期最高租金为每桶 1 万美元，1993 年调高到 2.5 万美元。从 1982 年 6 月 27 日至 1994 年 2 月 3 日所租用的头 100 个桶的统计资料看，已有不少国家的中学生、大学生、科学家以及商业公司利用它进行各类实验，从中得到了很有意思的结果。

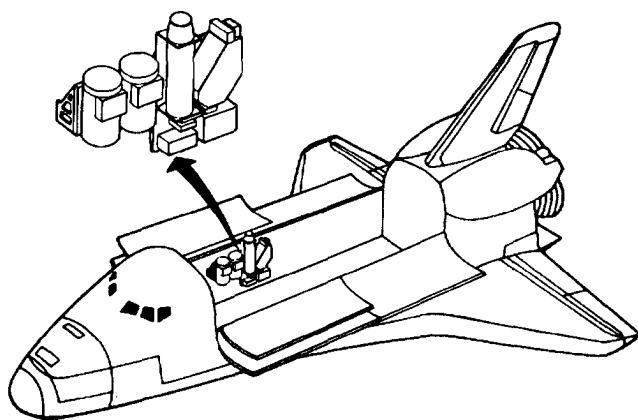


图 1-3 航天飞机与搭载桶

至 1998 年 6 月，航天飞机的 91 次成功发射已经将总重约 700 多吨的近 800 个有效载荷送上了轨道。载荷类型包括天文、天体物理、太阳物理、大气科学、地球物理、生命科学、材料科学、微重力科学、行星科学、通信以及国家安全等方面，累计飞行近 700 天。近 500 人次的轨道飞行时间总计超过了 12 人年，总计已为

16个国家提供过服务。20世纪90年代与俄罗斯的“和平号”太空站进行了9次交会、对接。1998年12月又开始为国际太空站的在轨组建担当起主要的运输任务。航天飞机的耗资仍然很大,平均每次发射运行费用约3~4亿美元。最初设计时希望它能大大降低运载费用的目的并未达到。看来,航天飞机并不能完全替代常规的运载工具。

除美国外,俄罗斯和日本也发展了航天飞机,但均未正式投入使用。美国也从未间断开发新一代更廉价有效的航天飞机。在DC-X和X-33设计的基础上,1998年7月美国航宇局在三个竞争方案中选定了由“洛克希德-马丁公司”设计的一个方案,它也是垂直起飞、水平降落、可重复使用的运载系统。命名为“冒险星”(Venture Star)。采用了更先进的电子设备、超轻的结构材料和新型“线性中心锥”(Aero-spike)发动机,可将22.7t的有效载荷送上未来的太空站。初阶段它不载人,起到补充现有航天飞机不足的作用,但拥有载人潜力。从1999年开始,总共要进行15次试验。亚轨道试验型航天飞机高20m,翼展21m,飞行速度约为音速的15倍。

六、月球和行星际飞行器

月球和行星际飞行器是指飞离地球、对太阳系内除地球以外的天体进行探测研究的太空飞行器。其入轨速度要比绕地球飞行的轨道速度更大。低至185km的地球卫星轨道的入轨速度约7.79 km/s。月球探测器的速度至少要大于10.94 km/s。而飞向其他行星的飞行器的速度至少大于11.6 km/s。

在行星际飞行器的发射中,利用地球及行星相对太阳运动的有利时机是十分重要的。飞行器一般先进入近地轨道(称停泊轨道),再转变为日心轨道,并尽可能借用所飞经的行星的引力来调整航向以节省飞行器本身的动力储备,最后进入环绕行星的轨道,有的还成为某行星的卫星的人造卫星。当然,也可采取地球至目的行星或卫星之间的直接弹道方案,这主要由探测方式、地球和目的星的相对位置、运行时间、消耗燃料以及运载能力等因素决定。对于要飞经火星和木星轨道之间小行星带的行星际飞行器,还须考虑是否要避开危险的小行星碰撞。1962年11月,前苏联发射的火星-1号飞行器,虽未进入小行星带,但在离地球 1.06×10^8 km处,曾与一小行星碎片相撞而造成定向系统故障。

探测方式有直接的和间接的方式。可采取硬着陆(直接击中)、软着陆、逼近飞越、绕转,或部分设备分离进入行星或其卫星的大气层,或着陆。更复杂的是着陆后取样返回地球。有时还人为设计形成人造“掩星”机会,使被探测行星或其卫星正处于飞行器和地球之间的连线上,这可研究其底层大气,或飞行器信号穿过其近旁所引起的变化。

行星际飞行器比人造地球卫星更为复杂，也更昂贵。因为它的旅程遥远，使命更繁重，经历的环境也更多样、复杂，因而对它的寿命、可靠性、适应性和机动性等要求更高。飞行器的分系统则按总任务特别考虑，不像一般卫星那么规范化，因而耗资和技术难度加大。

为了充分利用行星际飞行器的各种可能的探测机会，一次投入获取更多的数据，往往需要装备各类不同要求的有效载荷，从而增加了飞行器的复杂性和难度。如在飞行途中要测量行星际空间的磁、电、波和粒子等参数及其变化。这些数据不仅本身很珍贵，而且还可对完成主要任务的仪器进行定标。遭遇很近的小行星或彗星时，还可得到额外的数据。在到达目的行星后，既要测量其大气的温度、压力和化学组成，电、磁场、辐射及粒子环境，甚至闪电、极光，又要遥感行星表面的各类特性，以及其周围的卫星、光环等各种特性。进入行星大气层的问题则比再入地球大气层更为复杂。如金星的大气层内充满腐蚀性很强的硫酸成分的云层，而且金星的表面温度高得像火炉烘烤一样。进入木星大气层，虽然其环境不像金星那样恶劣，但由于木星的引力大得多，其再入速度比金星的大4倍还多，达到50 km/s。因此，其再入部分的质量，一半以上将用于隔热和散热的材料上。

以1986年发射的探测木星的“伽利略号”行星际飞行器为例，进一步说明行星际飞行器平台的设计、研制到底有多复杂，难在何处？

其一，对木星及其卫星的遥感探测、照相，要用定向、扫描平台，而空间物理探测，如电磁场和粒子辐射测量仪器，则需要自旋姿态，因此该探测器必须同时具备这两种工作模式。一方面要多次起旋和消旋，起旋后要控制转速；另一方面要保持遥感平台的精确定向；再一方面还要尽可能减少为保持惯性平衡而添加的配重。

其二，它要飞向离太阳比地球远得多的木星，一般的太阳电池能源系统就不能胜任了，必须采用核能来满足长时间供电。而所用的是同位素热电发生器，不能让其产生的辐射和热影响其他设备的正常工作，因此把它装在5 m长伸杆的另一端，以远离飞行器的本体。

其三，非常灵敏的空间物理探测仪器，既要远离本体，又要远离核电源，因而装在另一根11 m伸杆的一端。两根伸杆的设计还必须考虑到整个飞行器的惯性平衡性能。

其四，为了保证远在 10^9 km以外的飞行器的通信联系，伽利略飞行器上安放了直径4.8 m的可折叠精密抛物面天线，在整个飞行过程中，其方向始终指向地球，而且需根据距离的远近来切换不同的发射功率。这又给平台的研制和惯性平衡性能的设计增加了复杂程度。

其五，伽利略飞行器上附有一个落入木星大气层的探测器，而探测器所测木

星大气的数据需经飞行器中继，转发至地球。

其六 为了增加图像数据的传送速率 除了常备的 S 波段外 还增加了 X 波段的信道。具有按不同距离等情况切换发射功率大小的功能。

其七 飞行器平台一共装有 19 个微处理机，绝大多数分系统都能重新编程，为整个计划提供了极大的机动性。

其八，由联网的微处理机把姿态控制和关节控制分系统、飞行数据分系统以及计算机指令分系统等统一管理起来。

由此可知，伽利略飞行器实际上兼有科学探测、对地遥感和数据中继三类卫星的功能 汇集了当时 20 世纪 80 年代初 最先进的微电脑、机器人、远距离通信以及光机电综合的太空探测技术。到最近 由于“探路者号”和“索杰纳”的火星飞行和漫游，遥科学技术的出色运用，人们又迎来了太空探测的新的巅峰。行星际飞行器的研制常常是太空活动的领头羊，它不仅获得了行星际空间大量第一手最新的资料，而且大大带动和促进了太空科学技术以及相关学科领域与光机电元件、工艺技术的大步发展。在冷战年代，月球及行星际的探测也是美苏竞争的领域之一。正是由于这些特点，太空时代前期，美苏在这方面都投入了大量人力、物力，发射次数十分频繁，失败比例也较高。如美国在 1961 ~ 1965 年间发射的 9 颗“徘徊者”系列月球探测飞行器中，有 6 颗不是失败就是严重故障。前苏联在 1959 ~ 1976 年间发射的 24 颗“月球”系列飞行器中，1965 年就失败了 3 颗。1959 年 前苏联向月球连续发射 3 颗月球探测飞行器“月球 1 号、2 号、3 号”开始了人类行星际探测的历程。至今，发射的月球和行星际飞行器已达 100 多颗。其中有 4 颗 即“先驱者 10 号、11 号”和“旅行者 1 号、2 号”正飞向太阳系边缘——日球层顶，迎接它们史无前例的漫长的旅程。其中飞得最远的是“旅行者 1 号”离地球的距离已超过 110×10^8 km；“旅行者 2 号”估计将在 29.6 万年后飞达离我们约 8.8 光年远的天狼星附近。

七、太空站

太空站是指绕地球运转的规模较大的多用途太空飞行器。它既能载人飞行，又可自动运行工作；既可向上探测宇宙，又能朝下观测地球；可从事各种科学和技术实验，又可执行军事使命；能供飞船对接、停泊，替换多批航天员在上长期工作；也可以作为轨道太空靶场，从上面发射卫星。太空站一般采用近地低轨道和低倾角，以避开较强的辐射带辐射，使长期载人工作更为安全，也可减轻屏蔽防护的负担。但是，轨道过低，大气阻力过大，会缩短太空站的轨道寿命。因而，经过一段时间就需要消耗动力来提升轨道高度。

1971 年 4 月 19 日 前苏联发射成功的“礼炮 - 1 号”应是人类历史上第一个