

现代科学技术讲座

# 谈谈空间科学技术

孙 广 楷 编

上海科学技术出版社

## 出 版 说 明

为了帮助广大读者初步了解现代科学技术一些重要部门的基本面貌，我们请有关同志分头编写了这组《现代科学技术讲座》，扼要介绍现代农业科学技术、能源科学技术、材料科学技术、电子计算机科学技术、激光科学技术、空间科学技术、高能物理和遗传工程等的概况及其在四个现代化中的重要意义。

本书中错误和不足之处欢迎批评指正。

现代科学技术讲座

谈谈空间科学技术

孙广楷 编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 浙江嘉兴印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 2 字数 43,000

1979年2月第1版 1979年2月第1次印刷

印数 1-200,000

书号: 13119·766 定价: 0.18元

# 目 录

|                    |    |
|--------------------|----|
| 一、空间科学技术的兴起·····   | 1  |
| 二、航天的基本工具——火箭····· | 4  |
| 三、人造卫星是怎样工作的·····  | 15 |
| 四、到太空中去旅行·····     | 27 |
| 五、航天器的广泛用途·····    | 38 |
| 六、辉煌的前程·····       | 55 |

## 一、空间科学技术的兴起

读者们一定都还记得 1970 年 4 月我国成功地发射的第一颗人造地球卫星。1957 年以来,人类总共发射了二千多颗人造卫星和其他航天器,它们小的十几公斤,大的有几吨,最大的一个重达八十二吨!眼下,每天都有一千多颗大大小小的卫星和飞船在天上巡游。这些人造卫星和航天器的出现,是空间科学的重大成果。二十年来,空间科学技术已经迅速发展成为一门综合性的重要学科。它的兴起,使人类的活动第一次超出世代生息的地球,进入了广阔无垠的宇宙空间。空间科学技术已经广泛运用于国防、国民经济、科学研究的许多方面,并且引起了天文、地质、气象、通信和国防科学中许多部门的重大变革,在人类生活中造成了巨大的影响。

举几个例子来说吧:

人类观测星球,少说也有好几千年的历史了。可是,千百年来人类从来没有可能去星球上实地考察一番。今天,借助于空间科学技术,人类亲自登



图 1 人类登上了月球

上了月球(见图1)。地球上派出的星际探测器飞到了火星、金星、木星和更远的地方,取得了大量宝贵的第一手资料。

地质工作者长年累月跋涉于深山大川,调查地质情况,探寻矿藏资源,十分辛劳,却还“难识庐山真面目”。今天,借助于空间科学技术,只要用几百幅卫星照片就可以拼绘出一幅大面积的地形图,代替了几十万幅飞机测绘照片。比起人工测绘,更不知强出多少倍。



图2 气象卫星拍摄的云图,左下方旋涡状的是台风中心

在地球表面上,海洋占了大部分。海洋与气象变化有极为密切的联系,热带海洋又是台风的发源地。但是,茫茫大海中难设观测站,给气象预报带来了极大的困难。今天,借助于空间科学技术,气象卫星一年四季昼夜不停地监视着大洋上空的温度、湿度、风向、风速等的变化,每隔30分钟就向地面报告一次。海洋上的气象变化,台风的来龙去脉,都在气象学家的指掌之中了。

大家都爱看中央电视台丰富多彩的电视节目。但是,电视信息只能直线传播,穿不过重重的高山。散居在山区的居民往往收看不到电视广播。今天,借助于空间科学技术,这个问题也不难解决了。放一颗直接广播卫星,地面

上只要用一个一米大小的抛物面天线和一些简单的设备，就可以在山区中用普通电视机收看到北京的节目了。

.....

凭借空间科学技术，人类还能为自己创造出许多意想不到的好处。

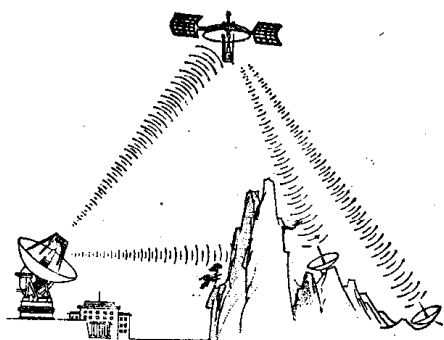


图 3 直接广播卫星将电视节目  
送进万山丛中

那末，空间科学技术包括哪些内容呢？简单地说，就是指各种航天飞行器的设计、制造、发射和应用。这些航天飞行器包括各种功能的人造地球卫星；载人飞船和航天飞机；专用的航天救助、拖运、供应船；供人类长时间在空间进行观察和实验的空间实验室或空间站；即将为人类建设起来的空间工厂、仓库、电站；以及飞向月球和其他行星，甚至脱离太阳系，飞向更远处的星际探测器。此外，为了实现和保障航天飞行，解决航天中的特殊问题，又出现了星际飞行学、空间工程学、空间生态学、宇宙生物医学等许多分支学科。这些都属于空间科学技术的领域范围。

空间科学技术离不开航天飞行器，航天飞行器又离不开火箭，所以，要介绍空间科学技术，还得先从火箭谈起。



## 二、航天的基本工具 ——火箭

说到航天飞行，人们自然会想到巨大的火箭。火箭是航天飞行的基本工具，这已经成为一种常识了。

火箭的发射是很壮丽的：开阔的发射场上，矗立起一枚数十米高的火箭。工作人员紧张地做着最后的准备工作……发射的时刻越来越近，控制中心的時計不停地闪烁着：5秒、4秒、3秒、2秒、1秒、发射！突然，发射台周围腾起一片云雾，火箭尾部喷出一股熊熊烈焰，从云雾中缓缓升起。在雷鸣般的轰响中，火箭越升越高，先是垂直向上，然后慢慢弯了过来，渐渐地远去，变成一个耀眼的亮点，终于消失在天际……

又一颗人造卫星上天了！

可是，在欣赏过这样一幅蔚为壮观的奇景之后，你是否想过：把一颗不到一吨重的人造卫星送上天，为什么要用这么大的火箭呢？我们不用火箭，用飞机行吗？

这里面是有一番道理的。

## 牛 顿 的 理 论

离开地球到太空中去，这是人类从古以来就有的幻想。然而，离开地球实在不容易。地球有一股巨大的引力，将人、石头、水，以至空气，都牢牢地吸引在它的周围，别想离开。这是地球上的一切物体都有重量的原因。要想飞出地球，就一定要克服地球的引力（即重力）。

1687年，牛顿出版了他的重要著作《自然哲学的数学原理》。在这本书中，牛顿指出：“一个抛射体，如果不是由于重力的作用，就不会回到地面，而会沿着直线飞出去；……只是由于它的重力才使它不断从其直线路程中偏离出去而掉向地面，并视重力和运动速度的大小而决定这种偏离的多少。物体的重力或其物质的量愈小，或者用以抛射的速度越大，则它与直线路程的偏离就愈小，抛射得也就愈远。如果从山顶用弹药以一定的速度把一个铅球平射出去，那末它将沿着一条曲线射到两哩以外才落到地面；如果能消除掉空气阻力，而且发射速度增加到两倍或十倍，那末铅球的射程也会增加到两倍或十倍。而且用增加发射速度的办法，我们可以随意增加其射程，并同时减少它所画的曲线的曲率，使它终于在十倍、三十倍或九十倍远的距离处落到地面，或者甚至可以使它在落地以前绕地球一转；或者最后，也可以把它发射到空中去，在那里继续运动以至无穷远而永远不落到地面。”牛顿并且提出，数学家的任务之一，是“要确定从一定地点以一定速度发射出去的一个物体，由于一定的力的作用偏离其原有的直线运动而进入的那条曲线路程。”

按照牛顿的力学理论,只要铅弹的速度足够大,它就不再落回地面,成为一颗绕着地球转动的人造小月亮。我们可以计算一下这个速度究竟要多大。假定物体的质量为  $m$ , 它的速度为  $v$ , 地球的质量是  $M$ , 半径为  $R_0$ , 物体离地面高度等于  $h$ , 它们之间有这样的关系式:

$$\frac{mv^2}{R_0+h} = G \frac{M \cdot m}{(R_0+h)^2} \quad (G \text{ 是万有引力常数})$$

因此

$$v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{R_0+h}}$$

我们把各个有关的数值代入这个式子:  $M=6 \times 10^{24}$  公斤,  $R_0=6.37 \times 10^6$  米,  $G=6.670 \times 10^{-11}$  牛顿·米<sup>2</sup>/公斤<sup>2</sup>。并假定物体是在地球海平面上,  $h=0$ 。就可算出  $v \approx 7,900$  米/秒, 或 7.9 公里/秒。这个速度叫“第一宇宙速度”。达到了这个速度, 物体就可以绕着地球旋转, 不落下来了。它的绕地球运行周期, 可以从它的速度与绕行地球一周所走的路程算出, 即:

$$T = \frac{2\pi R_0}{v} = \frac{2\pi \times 6.37 \times 10^6}{7.9 \times 10^3} \approx 5,060 \text{ 秒}$$

即一小时二十四分左右。

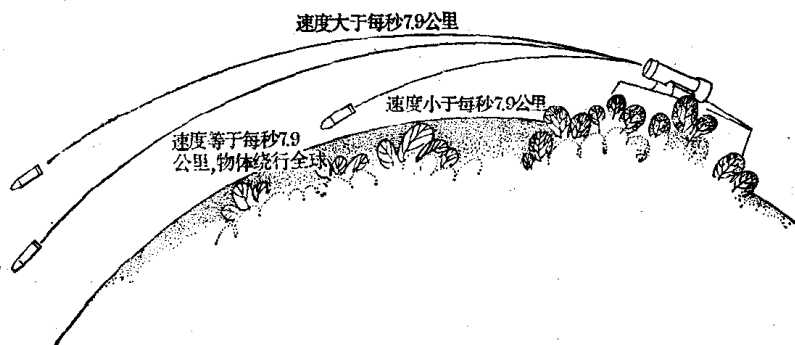


图 4 按照牛顿力学计算的结果

如果速度再大的话，物体绕地球飞行的轨道将是一个椭圆，而且物体的速度越大，椭圆就拉得越扁，速度大到 11.2 公里/秒的时候，这个椭圆就张开嘴合不拢来，变成了抛物线，物体就会沿着抛物线逃离地球，成为太阳系中的一颗行星。这个速度叫“第二宇宙速度”，又叫“逃逸速度”。人类要登上月亮，所坐的飞行器就一定要大于这个速度。

那末，如果速度再增加，结果又将如何呢？如果一个物体的运动速度增加到 16.7 公里/秒，那末，连太阳也拉不住这个物体了。它将按照双曲线轨道脱离太阳系，自由自在去遨游太空。这个速度，人们又给它一个名称，叫“第三宇宙速度”。

牛顿当时自然没有想到人类能够飞出地球，到宇宙中去旅行。因为要达到 7.9 公里/秒的速度，在当时是完全不可思议的。他之所以提出这个铅弹问题，只不过是為了从理论上说明物体在引力作用下怎样运动罢了。

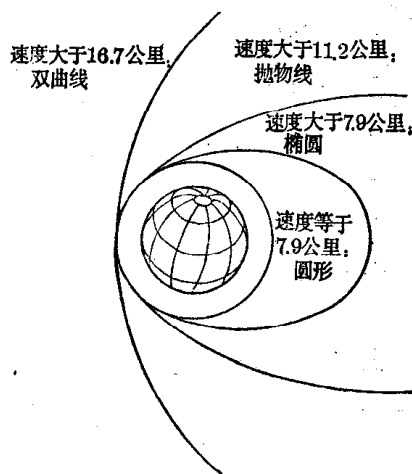


图 5 飞行速度与飞行轨道的关系

## 齐奥尔科夫斯基的贡献

在牛顿以后，十九世纪中叶，由于大炮制造技术的发达，启发一个法国小说家儒勒·凡尔纳创作了一部脍炙人口的小

说《月界旅行》。书中描写三位冒险家乘坐一枚炮弹飞船到月亮上去探险的虚幻故事。这本书出版之后，吸引了许多读者，都想乘他的炮弹飞船去旅行。但是，这尊虚构的大炮在当时是根本造不出来的。况且，就算巨炮真能建造成功，那么，这尊巨炮惊天动地的发射所产生的极大加速度，将立时使旅行家们变成肉饼，炮弹高速穿越大气层产生的摩擦热，又将使整个飞船烧毁。炮弹飞船始终只能是一个有趣的幻想。

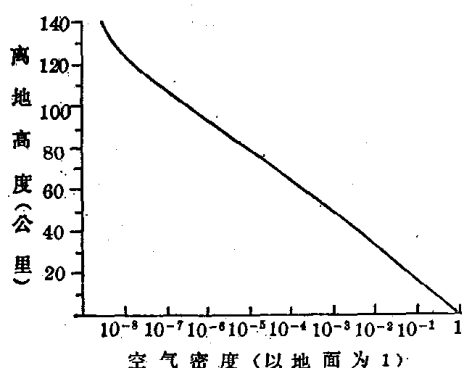


图 6 空气密度与高度的关系

后来又有人想乘坐气球、飞机飞出地球去，结果也都行不通。气球和飞机上天都要依赖空气产生升力，飞机发动机需要空气中的氧参与燃烧，才能工作。可是，在离地一百多公里的高空，大气密度已经降到地面的百万分之一以下

(见图 6)。没有了空气，气球、飞机就只能望“空”兴叹了。

航天飞行只能够用一种无需外界任何支持，能够独立运动的装置来实现。这样的装置就是火箭。

说起火箭，我们并不陌生，它是我们中国发明的。我国从唐朝发明火药以后，就开始用火药作武器。到元、明期间，已经出现了用火药推进的箭和利用火箭推力把火药送到敌方阵地的武器，它们就是现代火箭的始祖。但是，真正想要把火箭运用于空间旅行，却是二十世纪初期的事情了。俄国科学家齐奥尔科夫斯基对此作出了卓越的贡献。

1903 年，齐奥尔科夫斯基发表了一篇有名的论文，题为

《乘火箭飞船探测宇宙》。在这篇论文及以后的一系列论文中，齐奥尔科夫斯基提出，火箭应是人类探测宇宙的基本工具。他并且提出了一些航天飞行的重要概念，为航天飞行奠定了科学基础。

齐奥尔科夫斯基第一个提出用“质量比”来衡量火箭的性能。所谓火箭的质量比，是指火箭的原始质量  $M_0$  (装满推进剂的火箭质量) 与火箭的最后质量  $M$  (推进剂燃尽后的火箭质量) 的比值  $M_0/M$ 。在没有重力加速度的情况下，火箭的最后速度  $v$  与火箭的质量比有这样的关系<sup>①</sup>

$$\frac{M_0}{M} = e^{v/v_P}$$

式中  $e$  是自然对数的底 ( $=2.71828\cdots$ )， $v_P$  是推进剂燃烧后高温气体的喷出速度。从式中可以看出，要提高火箭的最后速度有两个途径，一是提高气体的喷出速度，二是提高火箭的质量比。提高喷气速度牵涉到燃料效率，发动机材料的高温性能等许多因素，有一定的限制。对硝酸加肼类推进剂，取  $v_P \approx 2,500$  米/秒，要使最后速度达到 7.9 公里/秒，火箭的质量比应等于 23.5。就是说，总重为 100 吨的火箭中要有 96 吨是燃料。这还是在不考虑地球重力的情况下得出的结果。加上地球重力的因素之后，质量比还要相应增加 (见注<sup>①</sup>)。另外，如果是载人火箭，更必须考虑到人体忍受过载的能力有一定限度，加速度不能太大 (这一点我们在下面要讲到)，

---

① 如果把地球引力的作用考虑在内，则这个关系式应当是：

$$\left(\frac{M_0}{M}\right)^{1-\frac{g_0}{a}} = e^{v/v_P}$$

式中  $g_0$  是重力加速度； $a$  是火箭本身的加速度。 $a$  必须大于  $g_0$ 。

为此，火箭的质量比又要再提高若干。鸡蛋的质量比是 20，已经脆弱到一碰即破的地步。要把火箭的壳体造得比鸡蛋壳还薄，又能耐受高温、高速、真空等极端恶劣的工作环境，其困难是可想而知的。

为了解决这个问题，齐奥尔科夫斯基又提出了多级火箭的概念。多级火箭的工作原理，或许可以用登山来比喻。一开始，是大队人马携带着大批辎重上山。随着登山队的步步前进，每到一个营地，都有一部分人留下，最后，只由少数队员携带最必要的器材登上顶峰。多级火箭也类似于此。一枚火箭分成几节，用完一节，就扔掉一节，最后，只剩一节将卫星或飞船送入太空轨道。

多级火箭的好处是很显著的。我们可以作一番近似的比较：假设有两枚火箭，一枚是单级火箭，一枚是两级火箭。第一枚火箭的发射重量是 2,000 公斤，其中装有推进剂 1,500 公斤。那末这个单级火箭质量比是  $2,000:500=4$ 。根据前面的公

式，算出它的最终速度可以达到 3,470 米/秒。第二枚两级火箭由各重 1,000 公斤的同样两节火箭组成，而且各装有 750 公斤的推进剂。这样，两级火箭的总重以及所带推进剂的总重量还是跟单级火箭一样，但是其质量比  $M_0/M$  现在是在是  $2,000:250=8$ ，

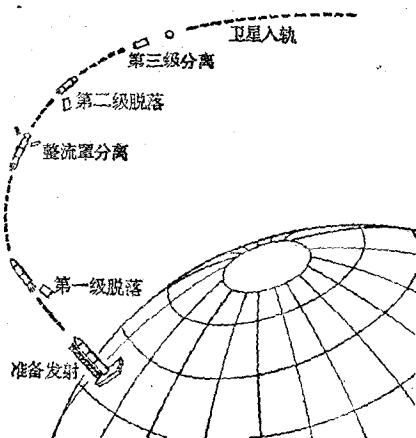


图 7 多级火箭工作示意图

比单级火箭高一倍。依靠第一级火箭的推力,可以达到 1,175 米/秒的速度,然后,第二级火箭又可以进一步把速度提高到 5,200 米/秒,比单级火箭增加了二分之一。目前常用的卫星运载火箭一般是三级。起飞时,先将第一级发动机点火。这时火箭发动机所产生的推力使火箭产生一个加速度,徐徐加速上升。到一定高度,第一级火箭在推进剂用完后自动脱落,第二级火箭发动机立即起动,推动火箭剩余部分继续加速前进。第二级火箭在推进剂用完后又自动脱落,第三级火箭起动,加速,最终达到预定的速度和高度,带着卫星进入轨道(见图 7)。

继齐奥尔科夫斯基之后,美、苏、德等国的科学家作了大量的试验和研究工作。在各国科学家几十年工作的基础上,苏、美先后在 1957 年 10 月 4 日和 1958 年 1 月 31 日发射成功人造地球卫星。从此,人类进入了“空间时代”。

## 现 代 的 火 箭

一枚大型的现代火箭是一个极其复杂的整体。一般包括推进剂及其贮箱、动力装置、制导与控制系统、分离系统、电源系统和有效负载(卫星或航天飞船)等部分。图 8 是“土星 5 号”火箭的构造示意图。这种火箭是美国用来运送载人月球飞船的工具,也是目前世界上最大的火箭。

从图中可以看出,推进剂占了火箭的大部分。推进剂燃烧后产生高温高速气流,从尾部喷出,推动火箭前进,这个原理同喷气式飞机是一样的。不同的是,火箭要在外层空间的真空中飞行,所以除了燃料之外,还要自备氧化剂,靠它来供给氧气。目前常用的火箭推进剂有固体与液体两种。固体推进剂

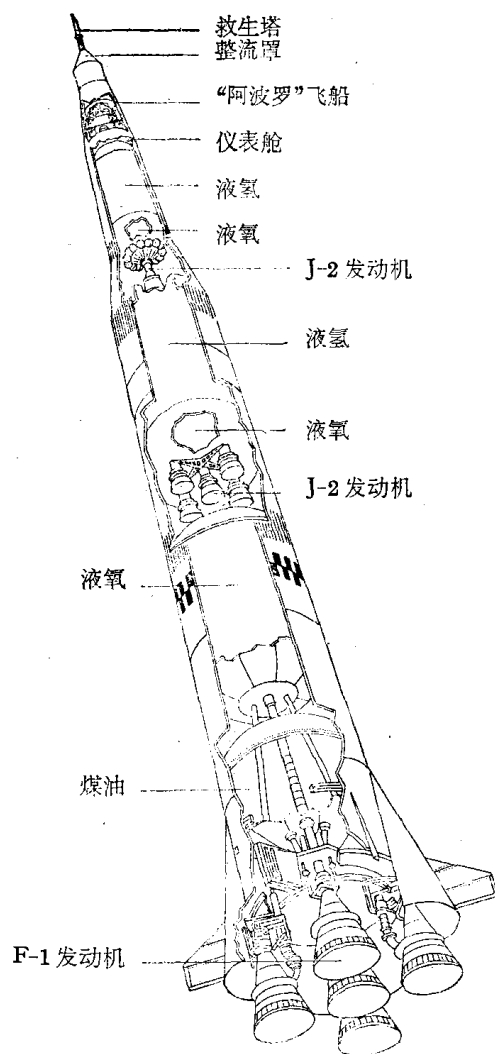


图 8 “土星 5 号”火箭

起源较早，动力装置比较简单，能瞬时发射，在军事应用中占支配地位。液体推进剂能量较高，燃烧过程易于调节与控制，在空间技术中应用的大型火箭的主发动机多用它。液体推进剂中的燃料组分多用煤油或肼类化合物，最先进的采用液氢；氧化剂组分多用硝酸、四氧化二氮或液氧。用液氢和液氧作推进剂，虽然性能好，但是处理起来较困难：由于液氢比重小，它占据的体积比同样质量的水大 14 倍，它的贮箱容积要大，重量要轻；另外，液氧和液氢

的温度极低，液氧在  $-183^{\circ}\text{C}$  以下，液氢在  $-253^{\circ}\text{C}$  以下，而多数材料在低温下强度会大大降低，甚至发生氢脆；混杂在液氢

中的液体或气体几乎都会结冰,堵塞孔道,这些都给贮箱与管路的制造和使用提出了苛刻的条件。因此,尽管齐奥尔科夫斯基早就指出,液氢和液氧是最好的火箭推进剂,但由于技术水平的限制,直到六十年代才有液氢燃料的火箭射上轨道。

动力装置顾名思义是用来产生动力的,它的主要部件就是火箭发动机。另外还有些用来输送推进剂的设备,如涡轮泵等。火箭发动机装在各级火箭的末端,它的出口是象钟形的喷管,火焰就从这里喷出。由于发动机中气体的温度很高,流速又很快,所以发动机的壁要用耐高温、耐冲蚀材料,还要采取冷却措施。有些发动机的内壁还涂有保护性的防热材料。

“土星5号”的第一级有五个发动机。每一个发动机推力为692.8吨,总推力为3,464吨。发动机高为5.4米,约有一辆载重汽车大小。推进剂用液氧和煤油,共2,200余吨,在二分半钟内燃尽,所以它的燃料供应管道也很大,可以容纳一个人爬行。

空间飞行的特点是速度快、路途远,失之毫厘,就会差以千里,所以必须有精确的制导设备。制导与控制系统的主要部件,以习见的惯性制导系统来说,主要是电子计算机与惯性测量器件,以及控制用的电子部件、执行机构等。电子计算机好象是火箭的大脑,而惯性元件好象是火箭的感觉器官。在飞行中,惯性元件不断提供火箭在各个运动方向上的加速度,计算机根据这些数据,算出火箭在某一时间的位置与速度,跟预定的要求进行比较,得出差值,然后据此发出一系列指令,通过电子设备,指挥执行机构进行修正,以保持正确的飞行姿态。

分离系统,是用来分离火箭的各级与整流罩的。卫星或其他航天器都放在运载火箭的头部。火箭在穿越稠密大气层

时,由于迎面气流的猛烈冲刷和剧烈摩擦,不但阻力很大,而且使火箭头部温度很快升高。为了减小阻力,保护卫星设备,就要为火箭头部安上一个流线型、耐高温的罩子把它保护起来,这个罩子就叫整流罩。到了约一百二十公里高空,空气已极稀薄,这时整流罩就失去了意义。为了减轻火箭的负担,就要将它抛掉。另外,各级火箭燃尽之后,都要及时将它们抛弃,启动下一级火箭。这些都是分离系统的职责。

电源设备用来对火箭供电。目前大多数用化学电源,如银锌电池等。对于卫星来说,则还有用太阳能电池与核电源的。

除了上面一些系统或设备外,火箭上还有一些通信和测量仪器,用于接受地面指令、弹道测量等。

随着空间科学技术要求的提高,卫星越来越重,火箭越来越大,对它的要求也越来越高。前面提到的美国“土星5号”火箭,它的零部件达五百多万个,参加研制的公司有八千多家。火箭本身高85米,直径10米,加上装在头部的“阿波罗”飞船,全高约110米,相当一座36层的大厦,起飞重量达3,200多吨。由此可见,没有高超的科学技术水平,没有强大的工业基础,要实现空间科学技术的发展是很困难的。