

航 天 飞 机

航 天 飞 机

凌福根 吴国庭 等编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书以图文并茂的通俗形式向读者介绍一种新型宇宙运输系统——航天飞机的概貌。全书共分十章，即前言，结构，飞行过程，气动力问题，防热系统，主发动机系统，轨道机动系统和反作用控制系统，轨道器的其他系统，有效载荷以及空间拖船等。可以供从事航空、宇航事业的工程技术人员和高等院校有关专业的师生参考。

航 天 飞 机

凌福根 吴国庭 等编

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168¹/₃₂ 印张 7¹/₈ 179 千字

1979年8月第一版 1979年8月第一次印刷 印数：00,001—15,500册

统一书号：15034·1762 定价：0.93元

前 言

航天飞机是目前国外正在大力发展的一种新型宇宙飞行器。它由轨道器、外贮箱和固体火箭等几个部分组成。可以像已有的宇宙飞行器那样垂直起飞，在完成轨道飞行任务以后又能像普通飞机那样水平着陆。外形庞大，结构复杂。但能够重复使用，因此费用比较便宜，用途比较广泛。与已有的宇宙航行方法相比，航天飞机具有一定的优点。美国从一九七二年开始把航天飞机作为宇宙航行的重点项目，正式投资研制。一九七六年已经生产了第一架轨道器。目前正处在试飞阶段，估计从八十年代起将正式投入使用。苏联也正在悄悄地研制可以重复使用的宇宙飞行器。

目前出现了很多军用卫星(例如侦察卫星、战术通信卫星等)，美苏两霸还正在研究和试验一些拦截、摧毁卫星的空间武器。但由于发射和研制费用的昂贵，目前还没有形成空间作战的规模。航天飞机出现以后就可能改变这种情况。利用航天飞机可以快速侦察敌方军事设施，拦截敌方核武器，检查和破坏敌方的军用卫星。特别是航天飞机变轨机动能力很强，这在军事上具有很大的潜在意义。在地面的导弹核武器有可能被摧毁的情况下，可以由航天飞机携带核武器，事先潜伏在空间轨道上，平时作值班性变轨飞行，战时就可以待机进攻地面目标(类似于潜伏在深海的核潜艇)。这样就会从导弹核武器发展成更高级的航天飞机核武器。

美苏两霸之所以不惜耗费巨大的人力物力来研制航天飞机，主要也是从军事上考虑的。在航天飞机研制过程中，美国空军提出了很多要求。美国的一些议员也明确表示，研制航天飞机就是为了维护美国的霸权，使空间成为空间军事基地。目前美国空军

正在秘密研究航天飞机的军事用途。在首批五架航天飞机中，除了两架试验性的以外，空军就准备要两架。这些都是很值得我们深思的。

我们认为，决定战争胜败的是人民，不是一、两件新武器。但是对于技术上的新动向我们应该有所了解，有所准备。另外，航天飞机的研制也在一定程度上总结和发展了火箭、航空、宇航、电子等领域的已有技术，对我们具有一定的参考价值。因此我们利用工作之余，收集了部分资料，编写成此书，向读者介绍航天飞机的概貌。由于航天飞机涉及的技术领域比较多，我们水平有限，加上研制过程中方案、指标经常变动，因此，本书介绍的数据和观点可能有不少错误的地方，请读者批评指正。

本书有关发动机的章节是由刘国球、顾明初同志编写的。

本书正文使用的是公制单位，但有些插图因不易更改，仍使用英制单位。

编 者

目 录

第一章 绪言	1
§ 1 宇宙航行和航天飞机	1
§ 2 航天飞机设计思想的发展过程和现有方案	2
§ 3 航天飞机的优越性	6
§ 4 航天飞机的发展远景	9
第二章 航天飞机的结构	12
§ 1 结构总貌	12
§ 2 轨道器	15
§ 3 外贮箱	21
§ 4 固体火箭助推器	23
第三章 航天飞机的飞行过程	30
§ 1 基本飞行过程和乘员职责	30
§ 2 发射前的准备和起飞阶段	33
§ 3 分离和回收固体火箭助推器	36
§ 3.1 分离和溅落的过程	36
§ 3.2 助推器着水后的状态	37
§ 3.3 海上回收队的任务和捕捞拖运方法	39
§ 4 轨道器分离外贮箱进行轨道飞行	42
§ 5 返回再入和着陆阶段	48
第四章 航天飞机的气动力问题	52
§ 1 引言	52
§ 2 基本概念	53
§ 2.1 升力和阻力	53
§ 2.2 飞行器的稳定与操纵	56
§ 3 轨道器返回过程中各种飞行状态的气动力控制要求	58
§ 4 轨道器的气动力设计	59
§ 5 航天飞机的起飞外形	72

第五章 航天飞机的防热系统	75
§ 1 防热系统的功用和要求	75
§ 2 航天飞机防热系统所经受的环境条件	77
§ 2.1 气动加热环境	78
§ 2.2 外部的非加热环境	80
§ 2.3 其他环境	80
§ 3 航天飞机防热系统的类型	82
§ 3.1 辐射防热系统	82
§ 3.2 烧蚀防热系统	88
§ 3.3 重复使用表面隔热材料	94
§ 3.4 三种防热系统的比较	96
§ 4 航天飞机防热系统的结构	97
§ 5 航天飞机防热系统的试验	102
第六章 轨道器主发动机系统	109
§ 1 液体火箭发动机的基本概念	109
§ 2 主发动机的性能要求和参数选择	115
§ 3 主发动机的结构	118
§ 4 主发动机的工作过程	124
§ 5 主发动机的控制和调节	127
§ 6 发动机的检查和地勤维修	131
第七章 轨道机动系统和反作用控制系统	135
§ 1 轨道机动系统和反作用控制系统的设计特点	135
§ 2 轨道机动系统	137
§ 3 反作用控制系统	144
第八章 轨道器的其他系统	155
§ 1 环境控制和生命保证系统	155
§ 1.1 空气净化分系统	156
§ 1.2 温度环境的控制	157
§ 1.3 水及废物处理分系统	159
§ 1.4 食物供应分系统	161
§ 2 电源系统	164
§ 3 电子系统	165
第九章 航天飞机的有效载荷	169
§ 1 有效载荷的类型	169

§ 2 科学有效载荷——空间实验室	171
§ 2.1 空间实验室概貌	171
§ 2.2 等离子体物理和环境扰动实验室	176
§ 3 应用有效载荷	179
§ 3.1 大型空间望远镜	180
§ 3.2 卫星太阳能站	182
§ 4 有效载荷的空间操作	185
§ 4.1 有效载荷的辅助设备	186
§ 4.2 乘员的舱外活动	187
§ 4.3 有效载荷的轨道维修	187
§ 4.4 空间建筑	190
§ 5 有效载荷的地面操作过程	193
第十章 空间拖船——扩大航天飞机用途的末级运载工具	195
§ 1 空间拖船的设计要求	196
§ 2 空间拖船的类型	198
§ 2.1 临时性空间拖船——暂用末级	198
§ 2.2 基型空间拖船	207
§ 2.3 载人空间拖船和全能空间拖船	211
§ 3 空间拖船的飞行过程	212
§ 3.1 地球同步轨道飞行	214
§ 3.2 其他飞行	218
§ 4 空间拖船的地面操作	219

第一章 绪 言

§ 1 宇宙航行和航天飞机

世界上宇宙航行事业的发展是很快的。从一九五七年人类克服地球重力的束缚,成功地发射了人造地球卫星到现在,只经历了二十年的时间。在这短短的二十年里,人类解决了很多关键性的科学技术难题,在宇宙航行上取得了很多新成就。世界各国向空间发射的人造物体,种类越来越多,数量越来越大。从一九五七年到现在,计及运载火箭末级等人们已经向宇宙发射了八千多个人造物体,其中包括实现了人员登上月球进行探险的载人宇宙飞船。实践证明,在一定的条件下,人类可以在宇宙空间中生存和工作。人类千百年来遨游太空的梦想已经变成了事实。

但是促进宇宙航行事业迅速发展的主要原因,还是在于人类可以利用进入宇宙空间的人造物体,广泛地为地球上的人类服务。这些人造物体就是近年来各国大力发展的科学卫星和应用卫星。利用这些卫星可以完成在地球上原先无法进行的工作。例如,利用通信卫星可以实现全球性的电视、电话、电报直接通信;利用导航卫星可以为舰船和飞机作极为精确的定位和导航;利用气象卫星可以作全球性的天气趋势预报;利用地球资源卫星可以全面地勘察大陆和海洋的资源,甚至进行地震趋势预报等。宇宙航行事业的迅速发展,大大提高了人类认识自然界和改造自然界的能力,在一定程度上起到了推动社会生产力发展的作用。

我国人民遵照毛主席关于“我们也要搞人造卫星”的伟大教导,从一九七〇年起多次成功地发射了我国自己研究、设计和生产的人造地球卫星,填补了我国宇宙航行事业上的空白点,为人

类作出了贡献。特别是一九七五年以来，我国连续成功地回收了我国发射的人造地球卫星，使得圆满完成预定任务的卫星能按预定计划准确地返回地面，为我国的宇宙航行史打开了崭新的一页。我国回收卫星的成功，不仅标志着我国宇航科学技术正在赶上和超过世界先进水平，而且也必将进一步推动我国宇宙航行事业的迅速发展。

宇宙航行事业发展的速度虽然很快，但还是远远不能适应社会发展的需要。目前世界各国发射人造卫星和宇宙飞船时，都要使用十分昂贵的运载火箭。所谓运载火箭，就是能把卫星和飞船（一般称为有效载荷）运往宇宙空间，使卫星和飞船进入预定轨道进行工作的运输工具。研究、设计和制造这样的运载火箭需要耗费大量的人力、物力和财力。研制过程需要的时间也很长。但这种昂贵的运载火箭只能使用一次，每发射一次卫星或一次飞船都要重新制造一个甚至几个运载火箭。即使是大量生产的普通飞机，我们也不可设想每当飞机把货物或人员运到目的地以后，本身就要报废，下一次运输又要制造一架新飞机。而远比飞机昂贵而庞大的运载火箭却正处于这种情况。这种被动的局面，严重地阻碍了宇宙航行事业的蓬勃发展。因此研究一种可以重复使用的“运载火箭”，以便大大降低宇宙航行的成本，就成了人们发展宇宙航行事业的迫切需要。这种可以重复使用的运载工具，就是本书要介绍的世界目前正在研制和试验的新型宇宙运输系统——航天飞机。

§ 2 航天飞机设计思想的发展过程和现有方案

所谓航天飞机，顾名思义，就是进行宇宙航行的飞机。它能像以前的运载火箭一样，把人造物体送入预定的空间轨道。但完成这种运输任务以后，它又能像普通飞机那样水平降落到地面，准备下一次重复使用。

这种旨在完成宇宙运输任务的航天飞机，虽然只是在宇宙航

行有了迅速发展的今天才成了宇航界的迫切需要。但这种重复使用的概念却早就有人设想过。早在第二次世界大战期间，就有人提出使用往返火箭飞机完成月球探险的方案，并且发表了运行方案和设计草图（见图1）。战后不久，美国的贝尔飞机公司曾研究过一种背驮式的可回收运载系统，这种系统已经与目前研究和设计的航天飞机有很多共同点。一九五二年，德国 V-2 导弹的设计师冯·布劳恩（Von.Braun）论述了大型重复使用助推器的

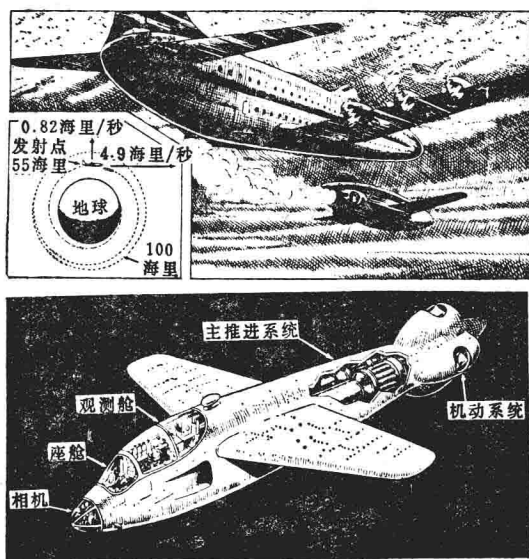


图1 早期月球往返探险飞机的设想

概念。此后，研究宇宙运输系统的科学家和工程师越来越多，也提出了许多方案，例如X-20型火箭飞机、升力体等。

但是，航天飞机要实现地面与地球轨道之间的多次来回飞行，必须兼有火箭、飞船和飞机的特点。因此，没有火箭技术、宇宙飞行技术和航空技术的高度发展，真正设计和研制航天飞机是根本不可能的。

到一九六九年，人类已经掌握了洲际导弹、载人登月、大型

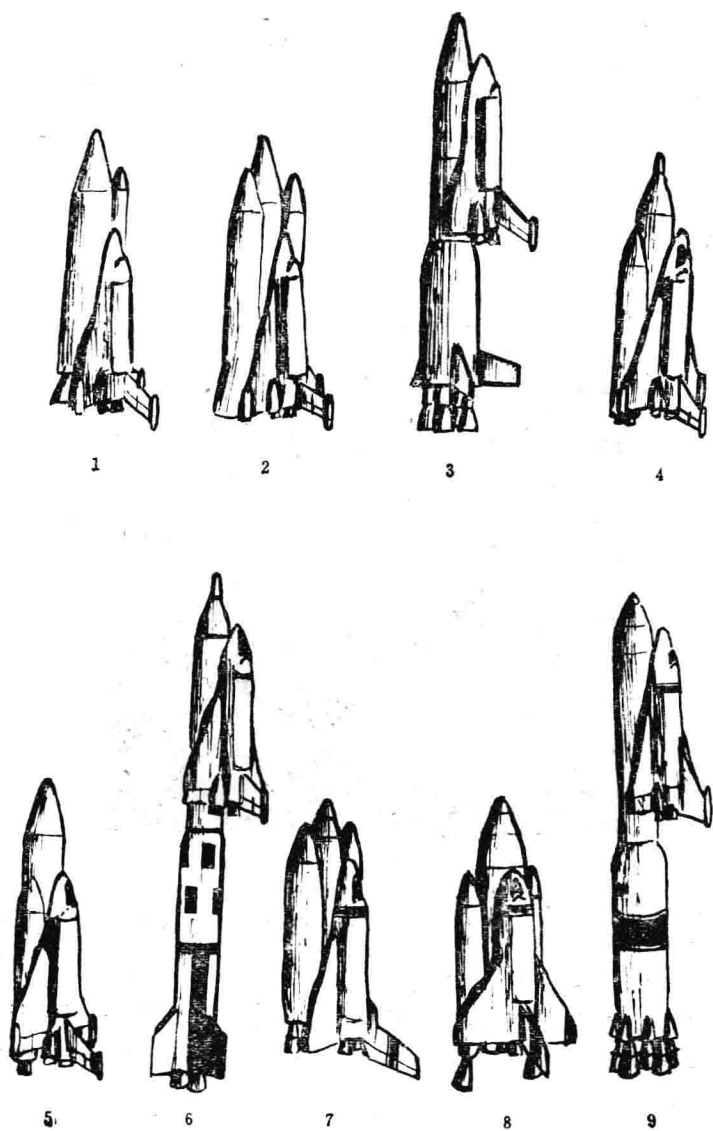


图2 六十年代末提出来的各种航天飞机方案

喷气客机等现代科学技术。那时候各种可行的航天飞机设计方案才雨后春笋般地涌现了出来。图 2 列出了当时提出来的部分设计方案。

这些航天飞机的方案都各有自己的优缺点。一般说来，性能指标好的，往往尚未解决的技术难题比较多，需要的研究时间比较长，研究的费用也比较大。经过几年来的分析比较，认为从目前的科学技术水平和经济能力出发，发展两级式第一代航天飞机比较切实可行。世界上目前正在研制和试验的就是这种航天飞机。至于更先进的单级航天飞机（见本章 § 4），估计要在公元 2000 年以后才能正式使用。本书着重介绍的就是两级式第一代航天飞机。

这种航天飞机由两级组成。一个是轨道级，也称轨道器。在它外面有一个十分庞大的外贮箱，存放轨道器主发动机所需要的推进剂。轨道器的外形很像一架中型的喷气飞机。它把有效载荷送入轨道后就离轨返回大气层，像飞机那样降落到发射场地，准备第二次使用。航天飞机的另一级就是助推级。助推级使用的是两个固体火箭助推器，平行地安装在外贮箱的两侧（见图 3）。固体火箭助推器完成助推任务后，就溅落到海上，用降落伞回收，适当检修后作下一次发射使用。

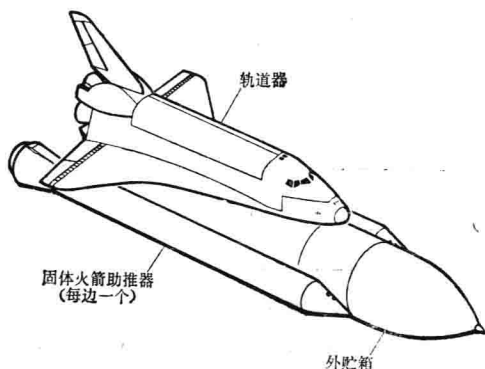


图 3 两级式第一代航天飞机的外貌和轨道级、助推级位置

§ 3 航天飞机的优越性

航天飞机与已有的宇宙航行方法相比，具有很多明显的优越性。

第一，利用航天飞机可以大大节约发射和研制有效载荷的费用。

航天飞机基本上可以代替目前所有一次使用的运载火箭，把各种类型的人造卫星、宇宙飞船等有效载荷送入需要的轨道。一艘航天飞机可以重复使用 100 多次。因此仅从重复使用这一点讲，利用航天飞机发射有效载荷可以数十倍地降低宇宙航行的费用。我们对美国各种运载火箭（“侦察兵”、“雷神”、“阿特拉斯-人马座”、“大力神”、“土星”）每次发射的飞行费用和承载能力与航天飞机作了比较，列于图 4。从这个图上可以看出，航天飞机的

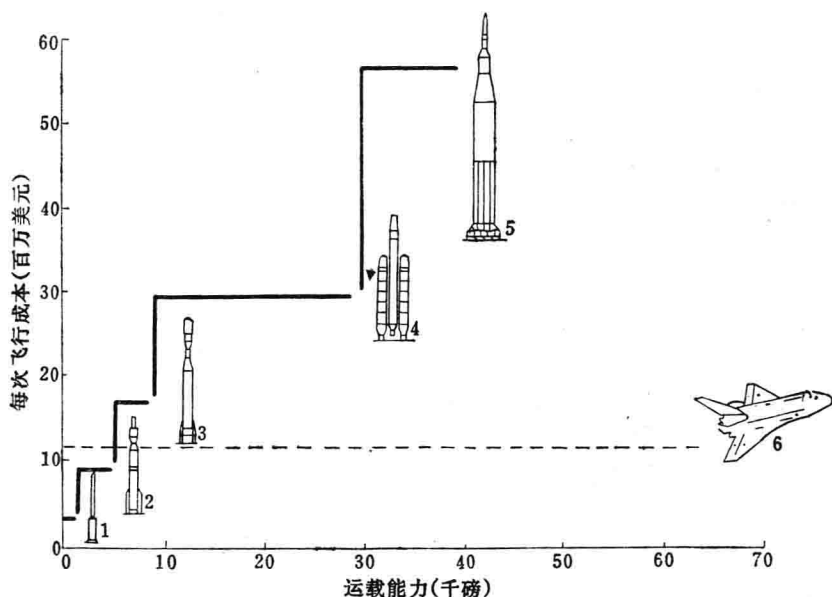


图4 航天飞机与各种运载火箭承载能力及飞行费用的比较

1—“侦察兵”；2—“雷神-德尔它”；3—“阿特拉斯-人马座”；4—“大力神”；5—“土星”；6—航天飞机。

每次飞行费用大约与早期的“雷神”费用差不多，每次一千万美元左右，但航天飞机可以承载将近 30 吨的有效载荷，而雷神只能承载 4 吨左右的有效载荷。承载能力与航天飞机差不多的“土星 5 号”（用来发射载人登月飞船“阿波罗”的运载火箭），每次飞行费用却要比航天飞机大六倍左右。

更重要的是利用航天飞机可以简化有效载荷的设计，可以修复在轨道上的已经报废的各种有效载荷，延长它们的使用寿命。在宇宙飞行中因某个小元件损坏而要报废整个宇宙飞行器的情况是很多的。例如美国原先发射的三个“轨道天文观察站”，造价很高，结果只成功了一个，有两个失败。其中有一个就是因为电池充电机发生故障，观察站无法工作。如果使用航天飞机就可以排除故障，挽救败局，从而大大提高有效载荷的利用率，降低整个宇宙飞行事业的费用。

第二，利用航天飞机可以开辟许多新的宇宙航行活动。

1. 可以在地球轨道上捕获和回收出了故障的有效载荷，在轨道进行检修或送回地面进行大修。

2. 可以从航天飞机的运行轨道上向更遥远的行星发射行星探测器。

3. 可以定期轮换在宇宙空间中工作的人员，开辟宇宙航行定期班机，保障宇宙科研工作中的后勤供应。

4. 航天飞机的轨道器可以作为临时性的空间实验室、空间医院或空间工厂。利用真空、失重、太阳能等条件，可以治疗地面不易治愈的疾病，生产地面很难生产的产品，进行地面无法实施的试验。

5. 可以完成很多军事任务，例如截击和检查对方的侦察卫星、拦截对方的核导弹等。甚至已经出现了这样的设想：利用航天飞机组成宇宙轨道战斗队，形成一个新兵种。这与飞机刚开始研制时人们就预料会出现一个新兵种——空军的情况是类似的。

第三，利用航天飞机可以缩短发射准备周期，加快宇宙航行

步伐。

目前在宇宙航行事业中有一个很大的缺陷，就是运载火箭和有效载荷运抵发射场地以后，要作很精密细致的测试检查工作，因此发射的准备阶段很长。即使发射一颗很简单的人造地球卫星，也要在发射场地作一~三个月左右的测试和检查。如果要发射大型的载人空间飞船（例如阿波罗飞船），那一般就要五个多月的发射准备时间。之所以会造成这种情况，主要是因为运载火箭和有效载荷上的所有设备都是一次使用的，既是第一次上天，也是最后一次上天。它没有在空间使用过，没有经过空间环境的考验，是否可靠心中无数。因此所有的设备在发射前都要在地面模拟情况下反复测试。使用航天飞机就不会有这种情况。航天飞机多次往返于空间和地面，设备是久经考验的。只要像飞机那样作地勤维修检查，即可再一次发射。一艘航天飞机两次飞行之间一般只要间隔两个星期，就完全可以完成检修工作和发射准备工作。

航天飞机这种起飞的及时性，在军事上和民用上都有极大的现实意义。从军事上讲，如果发现敌方在空间有什么敌对活动，航天飞机就可以尽快起飞，进行反击。从民用上来讲，航天飞机完成地球上任意两点之间的运输飞行任务只要四十多分钟就足够了，可以满足地面上高速运输的需要。另外，以往宇宙航行中无法考虑紧急营救问题。因为知道宇航员失事再用运载火箭发射一个营救性飞船，仅发射准备时间就要好几个月，也就根本没有什么营救的意义了。而现在利用航天飞机紧急起飞，就有可能实施空间营救。

第四，利用航天飞机可以充分吸收现代先进的科学技术为宇宙航行事业服务。

目前地球上已经研究和发展的新技术中，有许多因设备庞大、形状特殊，无法用运载火箭送上去，在宇宙空间进行新的研究。例如大型天文望远镜，如果在真空空间中进行观测，就不会受大气层干扰，因而看得更真实、更清晰。但是它尺寸很大，一般运载

火箭无法发射。目前有许多装置，要想用运载火箭发射到空间中去，就要重新改型、互相协调，既增加了研制时间推迟了发展步伐，又降低了原有装置的质量。而航天飞机货舱的容积将近 300 米³，比大型公共汽车的容积大八、九倍。它既可以容纳尺寸较大的有效载荷，也可以同时装载几个形状不同、尺寸不一的各种有效载荷。对于十分庞大的有效载荷，航天飞机还可以把它们分几次送上轨道，然后在轨道上进行装配（利用这种思想甚至可以组装轨道工厂、建造空间城市）。因此，利用航天飞机可以把许多地面现有的高级设备不改形地送上轨道。原先研制发射一颗新型卫星，往往要花费 6~8 年的时间。而在航天飞机的货舱内更换一下设备，把地面现有的设备作为新卫星送到空间去工作，只要花 6~8 个月的时间就足够了。

除上述优点以外，根据航天飞机的性能规定，航天飞机还可以运送未经严格宇宙航行训练的普通人员进入空间，从事宇宙空间中的科学实验工作。随着航天飞机的正式出现，航天飞机的优越性将越来越显著，航天飞机的使用也将越来越广泛。宇宙航行中那种载人与不载人的界限、宇航员与普通人员的界限也将完全打破。因此，航天飞机对宇宙航行事业的影响比之于六十年代出现的载人飞船对宇宙航行事业的影响可能要更加深远。从某种意义上讲，航天飞机的出现是宇宙航行事业上的一场革命。

§ 4 航天飞机的发展远景

任何事物的发展，都要经历一个从无到有、从低级到高级，逐步完善、逐步提高的过程。从八十年代初第一代航天飞机开始使用以后，航天飞机本身也将不断发展。总的发展趋势是要使航天飞机性能好、尺寸小、重量轻、燃料简单、所有的部件都能完全重复使用。但要实现这些目标还得解决很多技术难题。例如结构形式、防热要求、推进方法、着陆方式等。按照现在设想，可能要分四步走，也就是要发展四代航天飞机。