



全国科技重点图书·航天技术领域

载人航天发展展望

李春堂 黄志坚 主编

国防工业出版社

《全国高技术重点图书》 出版指导委员会

主 任：朱丽兰

副主任：刘 果 卢鸣谷

委 员：(以姓氏笔划为序)

王大中	王为珍	王守武	牛田佳	卢鸣谷
叶培大	刘 仁	刘 果	朱丽兰	孙宝寅
师昌绪	任新民	杨牧之	杨嘉墀	陈芳允
陈能宽	张钰珍	张效祥	罗见龙	周炳琨
欧阳莲	赵忠贤	顾孝诚	谈德颜	龚 刚
梁祥丰				

总干事：罗见龙 梁祥丰

《全国高技术重点图书·航天技术领域》 编审委员会

主 任：任新民

委 员：(以姓氏笔划为序)

王永志	刘琯德	吴大观	胡文瑞	顾诵芬
黄志澄	屠善澄			

前 言

载人航天是航天领域的一个重要组成部分。由于人在空间活动中的独特作用,使得载人航天在人类开发空间资源的伟大实践中,具有十分重要的地位和作用。当今,世界载人航天活动正面临重大的变革。一方面,冷战结束后,世界的政治、经济出现了多极化的趋势,这必将对载人航天的发展产生深刻的影响;另一方面,载人航天活动的发展已达到了空间站时代,但它的规模又日益受到经费的制约,这就要求在技术上必须有重大的突破,才能使载人航天的发展跨上一个新的台阶。因此,结合当前世界载人航天的发展动向,总结 35 年来国外载人航天发展的经验教训,在这基础上进一步展望载人航天的未来,将具有十分重要的意义。

本书邀请了多位长期跟踪世界载人航天发展的专家和几位年青的航天科技人员撰写了十二篇文章,从整个载人航天活动到空间站、空间科学与应用、大型运载火箭、天地往返运输系统、空间医学、月球探测等方面,总结了载人航天发展的经验教训,评述了载人航天的发展趋势。除此以外,还对国外载人航天活动的经费进行了分析。

应该说明,载人航天技术十分复杂,发展又十分迅速,由于编者和作者的水平有限,难免有错误之处,恳请读者批评指正。在出版本书的过程中,得到国防工业出版社吴芝萍同志的大力帮助,在此表示诚挚的感谢。

屠善澄 黄志澄

内 容 简 介

本书总结了世界载人航天发展的经验教训,评述了世界载人航天的发展趋势,分别介绍了空间站、空间科学与应用、大型运载火箭、天地往返运输系统、空间医学、月球探测等方面的现状和发展动态,并对国外载人航天活动的经费进行了分析。

本书可供航天技术和空间科学与应用等方面的科技人员、干部、学生和教师参考。

ISBN 7-118-01740-X/V · 134

定价:15.00 元

目 录

载人航天的回顾与展望·····	黄志澄 仇强华(1)
载人航天应用的现状与发展前景 ·····	王景泉(27)
空间站及其发展 ·····	范剑峰(76)
载人空间站的技术方案 ·····	黄祖蔚(83)
大型运载火箭发展动向分析·····	朱森元(106)
单级入轨火箭·····	黄祖蔚(124)
空天飞机发展展望·····	叶中元(143)
高超声速技术发展展望·····	黄志澄 仇强华(173)
遥科学发展展望·····	李瑞晨(182)
航天医学发展的回顾与展望·····	张汝果(214)
月球探测发展展望·····	黄志澄 仝爱莲 史冬梅(247)
国外载人航天活动的经费分析·····	陈有荣 龚念增(258)

载人航天的回顾与展望

黄志澄 仇强华

1961年4月12日,前苏联航天员加加林乘东方号飞船,实现了人类第一次绕地球低轨道的飞行,揭开了世界载人航天的序幕。迄今为止,已有500多人次进入了太空。前苏联用联盟号载人飞船和进步号运货飞船,相继支持了礼炮号空间站和和平号空间站。美国在用阿波罗飞船实现了登月飞行之后,又研制成功了航天飞机。在此基础上,美国又与俄罗斯、西欧、加拿大、日本等合作,联合建设阿尔法国际空间站。

35年来的载人航天活动,既有成功的经验,也有失败的教训。当今,世界载人航天活动正处在一个重大的转折时期:一方面,冷战结束后,世界的政治、经济出现了多极化趋势,这必将对载人航天的发展产生深刻的影响;另一方面,载人航天活动的发展已经达到了空间站时代,但它的规模必将日益受到经费的制约。这就要求必须在技术上有重大突破,才能使载人航天跨上新的台阶。为了适应这种形势,各国都在调整载人航天的发展战略。当前,总的趋势是空间竞赛的势头已大大减弱,载人航天活动更加注重实效。

无疑,结合当前世界载人航天的发展动向,总结35年来国内外载人航天发展的经验教训^[1,2],并在此基础上进一步展望载人航天的未来,对我们国家的航天领域来说将是一项十分重要的任务。

一、空间应用将从信息开发扩展到信息、材料和能源的综合开发

航天是当今世界高科技发展的重点。航天的发展对国民经济

和国防建设都有着极其重要的意义。纵观世界航天的发展现状,不难看到,当前开发空间资源的主要目的是利用空间高远位置,实现信息的获取、传输和发布。目前,已形成了初具规模的航天信息产业,并正在继续增加这种开发的深度和广度,它将成为各国正在建设的信息基础设施(Information Infrastructure,媒介中通常称为信息高速公路)的重要组成部分。另一方面,开发空间资源将从单纯的信息开发,向信息、材料和能源的综合开发过渡。实现这个过渡,必然推动世界航天发展出现新高潮。

当前,航天活动的范围涉及三个方面:

第一方面,应用卫星和卫星应用。这是当今航天领域发展的重点。绝大部分的卫星都是为信息服务的,这包括通信卫星、遥感卫星、气象卫星、导航卫星和海洋卫星等等。其中通信卫星不仅是通信的主要工具之一,而且也是信息高速公路的枢纽。用于移动通信的卫星星座(Constellation)发展迅速,竞争激烈,是卫星及其应用发展的一个新热点。空间遥感技术已成为资源调查、气象预报、灾害预测和军事侦察等的重要手段。导航卫星,特别是全球定位系统(GPS),在军民两用方面都有着广阔的应用前景。卫星除了对国民经济的发展有推动作用外,在未来的高技术战争中,无疑也将起到十分重要的作用。利用卫星搭载,已成功地进行了空间生物技术和空间材料加工的试验。特别在我国,利用返回式卫星,在空间半导体材料的晶体生长和空间植物诱导育种等方面,取得了世界一流的成果。当今,在卫星技术领域里正孕育着一场技术革命,即卫星向小型化的方向发展。可以预见,小卫星在卫星技术领域里引起的变化,就如同微型计算机在计算机技术领域里引起的变化一样深刻。为了满足日益增长的发射小卫星的需求,各国正在研制发射费用低的运输工具,如在飞机上发射的小型火箭等。

第二方面,载人航天。21世纪初,载人航天的重点是建立空间站工程大系统。建立空间站只是载人航天漫长历程的第一步。开发宇宙,是人类长期以来的梦想。前苏联宇航员加加林乘东方号飞船实现了人类的第一次载人飞行后,在长达30多年的时间里,载

人航天一直是美国和前苏联两个大国谋求航天霸权的斗争焦点之一。无疑,载人航天可以大大地提高国家的威望和民族自豪感,同时,载人航天也为信息、能源和材料的综合开发创造了必要的条件。通过人参与试验,空间材料加工和空间生物技术已呈现出有较大效益的开发前景。然而,大规模地开发空间必须以大幅度地降低空间运输系统的运输费用为前提。人们虽然正不断地为此进行着努力,但目前仍收效甚微。现在正寄希望于重复使用的单级入轨火箭和水平起降的空天飞机。但要实现降低费用的目标,还要做出巨大的努力。

第三方面,深空探测。为了认识和开发宇宙,就必须对月球、火星、以及其它行星进行探测。60年代末,美国的阿波罗计划实现了人类登月的愿望。当前,美国、俄罗斯、欧洲和日本等都在实施一系列月球、火星等深空探测计划。深空探测的长远目标是在月球和火星上建立有人的前哨站,以便尽可能地利用当地的资源,并作为对月球、火星进行科学研究和对太阳系作进一步探索的基地。当前,开发月球的氦-3作为核聚变反应堆的燃料等设想,已引起了广泛的关注。

除以上三方面外,航天领域还有一个尚待开发的方面,即空间太阳能电站。安全而又符合环境要求地提供充足的能源,是21世纪人类面临的最主要的问题之一。空间太阳能电站可能是解决全球能源问题的一个有竞争力的设想。为了实现这个设想,必须进一步降低空间运输系统的运输费用,突破航天员在空间进行复杂装配和维修的技术,解决能量通过射束的传递和由此引起的环境问题。发展这样一个复杂的巨系统,风险很大,但它的潜力和前景已日益广泛地成为世界航天界的共识。

二、人与自动化系统的结合,是开发空间资源的必由之路

从美国、前苏联和俄罗斯发展载人航天的史实来看,人在其中有着自动化系统所不能取代的作用。人的精细观察与操作能力,对异常事件的及时应变能力,创造性的判断、分析和决策能力,使得

载人飞行不仅可以提高航天飞行器运行的可靠性,而且可以提高空间观测和空间操作的效率。对地观测时,人的这种能动作用可以更有效地判别目标;人在空间可以完成各种科学实验、维修和装配任务;在空间材料和能源的开发中,人将发挥更大的作用。但人亲自进入空间总要冒一定的风险,付出一定的代价。迄今为止,已有14名航天员为开拓人类新的活动领域而献出了自己的生命。据美国科学家的估计,用人去完成空间任务要比用自动化系统昂贵10倍(当然是指自动化系统可以代替人去完成的那些任务)。西欧在认真总结美国和俄罗斯发展载人航天的经验教训之后,采取了如下的基本政策:

1. 一切不需人参与就可以完成的航天活动,都应该用无人航天器(包括卫星)去完成。
2. 一切能用机器人完成的航天活动都应该用机器人去完成。
3. 唯有那些必须要人去完成的航天活动才应该由航天员去完成。

德国航天局完全同意上述基本政策,并指出有人短期照料的空间实验室是未来空间系统的优良模式^[3]。空间实验室在大部分时间里是无人的,每隔半年将有人前去照料。他们认为:高度自动化而不是完全自动化的系统,在价格和效率上要比总是有人和完全自动化的系统都要优越。这些意见,值得我们在制定载人航天的基本政策时参考和借鉴。凡是自动化系统能完成的任务,都应该由自动化系统去完成。只有那些必须由人去完成的任务,才由航天员去完成。这样,不仅减少了风险和成本,而且减少了航天员单调乏味的重复性劳动,使其精力可以放到那些需要具有高级思维能力的重要工作上,从而提高了人在空间开发中的效率。由此可见,人与自动化系统的优化结合,包括采用遥科学(Telescience)的技术,使人在地面更好地参与空间科学实验活动,将是未来航天系统的发展方向。

遥科学是遥现(Telepresence)技术和遥操作(Teleoperations)技术的结合。遥现技术是人类感知能力的延伸;遥操作技术是人类

行为能力的延伸。这两种技术的结合使得研究人员可以在远离空间科学实验现场的地面实验室内,对空间科学实验进行具有交互作用的操作。由于空间科学实验的现场离开地面的距离非常远,信号的传递必然要产生时延。为了有效地消除时延的影响,需要运用灵境(Virtual Reality)技术,建立遥科学系统的仿真环境,根据仿真对象的响应,实施控制。由此可见,遥科学的发展与应用,也要经过从地面试验到飞行试验,技术不断完善,应用范围不断扩大的发展过程。

三、载人航天的发展将既要考虑国家的威望,又要有明确的科学试验、技术发展和应用的目的

由于人本身进入空间活动,生动地体现了人类突破地球局限而进行探索与开发的追求。所以,载人航天活动一开始就被美国和前苏联领导人认为是国家威望的一种鲜明体现,从而引发了美、前苏联两国长达 30 年的空间竞赛。无疑,成功的载人航天活动,将大大提高国家威望和激发民族自豪感。但单纯从争夺载人航天的领先地位出发来安排载人航天计划,就使其缺乏前后一致的明确目标,常常会把有关手段的决策代替载人航天活动所要达到目标的决策。这不仅浪费了资金,而且耽误了时间。例如,美国在通过水星飞船和双子星飞船掌握了载人航天的基本技术之后,在 1961 年至 1972 年,耗费 240 亿美元研制了土星系列运载火箭和阿波罗登月飞船。先后完成了 6 次登月飞行,把 12 人送上了月球,实现了在登月方面超过前苏联的目的,也确实促进了科学技术的进步。但这项耗资巨大的计划由于缺乏应用目标而无法继续下去,不得不转向近地空间的开发,研制航天飞机和空间站。这样,在登月计划中研制的土星系列火箭(土星-5 号的低轨运载能力为 126t)和发展比较成熟的飞船技术,至今还没有得到进一步的应用。80 年代后期,美国国家航天委员会的成员普遍强烈希望:“我们下一次载人航天活动的目标,不是另一个阿波罗一次性的突击飞行或政治上的特技表演^[4]”。

在与美国进行载人登月的竞赛中,前苏联因大推力火箭试验失败,而不得不放弃了载人登月计划。在这之后,虽然在用飞船支持空间站方面取得了很大的成功,但为了不甘心在航天飞机技术方面落后于美国,又耗费巨资研制成功了暴风雪号航天飞机。但只在1988年11月试飞了一次。许多前苏联科学家都认为这是超前发展的产物,是做了21世纪才应做的事。连前苏联火箭技术的一位元老米申院士也认为:“看不出这一系列在今后几十年中有什么实用价值”。众所周知,美国在研制自由号空间站的过程中,设计方案几经反复,既浪费了资金,又延误了进度。其中固然有技术方面的因素,但其主要问题还是从空间竞赛出发,空间站的规模搞得过大,脱离了空间材料开发的水平,使得空间站的应用目标仍然不够明确。

展望未来,在相当长的时期内,载人航天的发展不可能不受到政治因素的影响,一些重大的决策仍然主要是政治决策。但各国已认识到,在制定载人航天的发展计划时,既要考虑提高国家威望,又要力求使这个计划成为一项健全的科学试验、技术发展和综合利用的计划。做到这一点是很不容易的,关键是要做好切合实际的任务需求分析和全寿命费用分析,力求使载人航天的发展计划取得最大的政治、经济、科学和技术的综合效益。

四、空间站是载人航天近期的发展目标

建设低轨道的空间站或空间实验室是20世纪末和21世纪初载人航天的发展目标,它将为空间信息和空间材料的开发提供有人参与的空间科学实验基础设施。空间材料的开发主要是利用低轨道的微重力和高真空的环境,开发出地面上难于制备的材料。与此同时,在空间进行的材料试验也十分有利于改进地面材料的加工过程。目前,空间材料的开发还处在空间试验阶段,但某些项目,如蛋白质晶体生长、砷化镓薄膜等已具有一定的商业前景。

1971年,前苏联发射了世界上第一个空间站,即礼炮1号空间站。1973年,美国发射了天空实验室空间站。1986年,前苏联发

射了“和平号”空间站。1984年,美国总统里根批准美国航空航天局建造自由号空间站,这个空间站由美国牵头,日本、西欧九国和加拿大参加。但是这个计划的规模和经费投入很不适应,10年内几经周折,最后,由前述这些国家和俄罗斯合作,建设国际阿尔法(Alpha)空间站。这个计划代替了自由号空间站的计划。国际阿尔法空间站的构形如图1所示。这个空间站采用桁架式构形,主桁架长达110m。空间站包括美国居住舱和实验舱、日本实验舱、欧洲哥伦布实验舱、加拿大的空间移动装置、俄罗斯的和平方和多功能舱以及太阳能电池阵等。其建成后总重380t,可提供功率110kW,居住6~8名航天员,1997年开始建设,2002年前后全部建成。

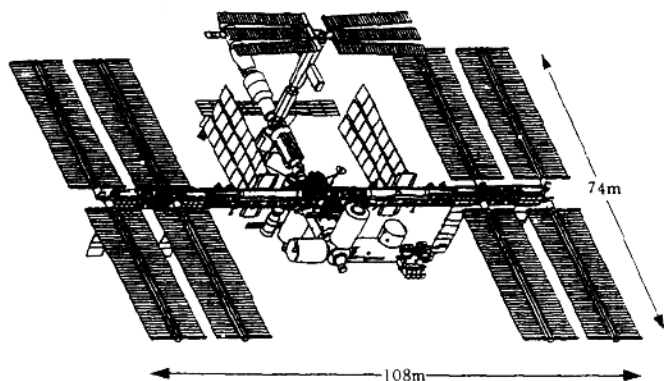


图1 国际阿尔法空间站的构形

近年来,不可避免的地球能源问题日益受到重视。载人航天在解决地球能源问题方面的潜力,已经引起了广泛的兴趣。例如,已经提出了用太阳能动力卫星(SPS)向地球提供能量,开发月球的氦-3作为核聚变反应堆的燃料等设想。这些设想都认为必须发挥航天员的作用。

载人航天设想的更长远的目标是在月球和火星上建立有人的前哨站,以便尽可能利用当地的资源,并作为对月球、火星进行科

学研究和可能对太阳系作进一步探索的基地。最后,可以在月球、火星上建立起人类的居住区。从这个意义上来说,空间站是实现这些长远设想的第一步。美国航空航天局负责空间科学与应用的一位科学家说过:如果我们想要掌握作为宇宙空间文明的命运,我们应该把人类活动的范围拓展到低地球轨道以外,去探索和利用太阳系及太阳系以外能得到的机会。那么,我们现在的计划应该为我们提供经验和本领,而这些经验和本领将是未来更大计划的基础^[5]。

对于空间站来说,关键是提高效费比。为此,首先是要确定它的发展规模。这种规模受到经费和技术的制约,又必须和空间站利用系统的水平相适应。英国的航天界在详细研究了空间站与天地往返运输系统的相互作用后指出:需要提出的问题是,是否真的需要一个比和平号空间站更大的空间站?目前,由于支持空间站的空间运输基础设施的限制,和平号不能充分发挥作用。联盟号和进步号系统只能载2人,而且也限制了实验负荷。如果能运送更多的航天员和实验设备,和平号的尺寸不作任何增加也能完成更多的工作。反之,如果使用同样的运输系统,即使空间站再大些,其工作水平仍将限于和平号现在的水平^[6]。在空间站规模确定之后,另一个关键问题是空间站的工作模式。如前所述,采用人与自动化系统相结合的模式,可以大大缩短航天员在空间站上停留的时间,减少空间站的补给量。最后,为了降低空间站巨大的运行费用,还必须发展先进的、经济的天地往返运输系统。

21世纪初,世界载人航天将进入空间站时代,可以预测空间站及其利用系统的技术有一个不断完善,不断发展的试验过程。在这过程中,空间站将会为空间科学与应用提供一个空间基础设施,逐步发挥其综合效益。

五、载人航天将更加重视系统的可靠性和安全性

载人航天发展史上血的教训告诫我们,忽视载人航天系统的可靠性必将付出沉重的代价。例如,1967年1月,阿波罗-1号在发

射台演练时,由于座舱内充的是纯氧气体,导致发生火灾。3名航天员被烧死。1967年4月,联盟-1号飞船在飞行中发生一系列故障,导致控制系统失效,只能使飞船旋转,进行纯弹道式再入。但在着陆前,主伞未能打开,备用伞伞绳又被缠绕,1名航天员摔死。1971年6月,联盟-11号的返回舱在分离时,12个爆炸装置不正常地同时点火,引起的冲击使座舱的压力平衡阀过早打开,3名航天员因舱内减压而死亡。1986年1月,挑战者号航天飞机在第10次飞行中,由于右侧固体火箭发动机后部连结处的密封圈失效,引起在起飞73s后发生爆炸,7名航天员全部遇难。这些事故,不仅使计划受到很大的挫折,而且在政治上、经济上都造成了巨大损失。这些事故告诉我们:必须在设计、生产、试验、使用的全过程都要高度重视可靠性和安全性,应采用一系列的措施,如增设故障监测装置和救生系统等,来提高载人航天系统的可靠性和安全性。更重要的,这些事故让我们认识到:必须正确处理经费、进度、技术进步和按照研制规律安排工作的关系。经费的制约是客观存在的,赶进度和盲目追求技术进步,恰常常来自空间竞赛的压力。例如,前苏联在登月火箭屡屡失事而无法实现载人登月时,为了显示自己的飞船技术并不落后于美国,在飞行试验做得还不够充分的情况下,就进行联盟号飞船的首次载人飞行,导致了船毁人亡。又如美国在航天飞机的设计中,主要考虑保持航天技术的领先地位,但经费和进度都十分紧张,无法考虑增加有效的故障监测装置和救生系统,使得挑战者号航天飞机发生事故后,无法救出航天员。这种盲目追求领先,忽视按科学规律办事而造成灾难性事故的惨痛教训,是十分深刻的。

为了大幅度提高载人航天系统的可靠性,一方面要求系统中的任何一个环节尽可能不出现故障,并要求任一环节都不要偏离预期的误差范围。为此,要求大力改善整个工程的环境,包括设计环境、生产环境与使用环境。另一方面,要正确地使用容错技术和冗余技术,但冗余必将增加成本、重量和体积,并增加对电源和温控的要求。可靠性的度量主要是任务可靠性,它是对完成任务所必

需的最少单元的存活概率。在设计时,力求能把任务可靠性指标转换成在工程的全过程中设计师和用户都可测量和可监督的值。并在工程设计的一开始,就要预测这些数据。做到这一点,难度相当大,许多问题尚待解决。对于载人系统来说,还必须提高系统的安全性。对于没有救生系统的载人航天器来说,任务可靠性就是人的安全性。但并联进救生系统后,人的安全性就高于任务的可靠性。对于载人航天系统来说,实现全轨道有效的救生还存在许多困难。因此,救生就成为载人航天系统的一项十分重要的关键技术。

六、降低空间运输系统的运输费用和提高其使用性能,将成为有效地开发空间资源的重要前提

空间运输系统是指从地面向空间(近阶段是低轨道的空间站)运送人员和货物的系统。当前,空间运输系统包括一次性使用的运载火箭和各类天地往返运输系统。为了提高开发空间资源的效益,必须大幅度地降低空间运输系统的运输费用。而提高其使用性能,不仅可以降低运输费用,而且可以缩短地面周转的时间,增加飞行的频度。为了实现这个目标,看来还需要很长时间的努力^[7-9]。

现在使用的飞船,由于是一次性使用的,它的运载能力小,落点精度又不高。因此,运输费用较高。美国在设计航天飞机时,希望运送 1kg 有效载荷到地球低轨道的费用能降到 352 美元。但据报道,目前已高达 1 万美元左右。其主要原因是在设计中没有把维护、运行方面和降低全寿命费用作为一个设计目标。美国航空航天局(NASA)原来计划发展完全重复使用的两级入轨的火箭飞机,但研制费高达 100 亿美元,而预算管理署只批准 50~60 亿美元,使得 NASA 只能选用抛掉外部燃料箱的方案,并设计一种基于现有技术基础的轨道器。在此以后,“整个设计过程中,剩下的事情就是在研制费用和运行费用两方面进行权衡,不过主要注意力还是放在降低投资,而不是放在对以后可能给该系统的用户造成的后果上^[10]”。因此,在航天飞机的设计中,对部件的易维修性、互换性和通用性考虑得很少,导致在执行一次任务后,发动机需要经历

复杂的地面维修、清洗、更换部件和重新组装的过程。加上为准备飞行要测试的数据很多,数据处理工作十分复杂,这样就要维持一支庞大的运行队伍,使得运行费用在总的运输费用中占 42%(其余 54% 为硬件费用,4% 为推进剂费用)。这些问题使得航天飞机不仅没有达到降低运输费用的目标,而且在地面周转的时间太长(至今美国一架航天飞机每年最多只飞过 4 次),整个飞行计划缺乏灵活性。

为了降低空间运输系统的运输费用和提高其使用性能,空间运输系统将向重复使用的方向发展。1994 年 8 月 5 日,美国总统克林顿签署了美国新的运载政策。新的运载政策决定暂不研制新的运载火箭,在 2000 年之前由美国国防部负责改进现有的运载火箭,降低发射费用和提高可靠性;由美国航空航天局负责单级入轨火箭技术的发展,以便在 2000 年美国能做出是否研制重复使用运载器的决定^[11]。

美国的新运载政策不仅对美国空间运输系统的发展具有深远的影响,而且还对世界范围内的空间运输系统有重大的影响。这个政策表明空间运输系统的发展要将一次性运载火箭和天地往返运输系统结合起来,并朝着重复使用的方向发展。

当前,美国正着手对航天飞机进行一系列的改进,其目标是提高可靠性、降低运输费用和改进使用性能。但从整体上看,改进的幅度是有限的。美国、俄罗斯、西欧和日本近年来正在对下一代的天地往返运输系统进行广泛的概念研究,提出了众多概念。尽管这些概念有很大的不同,但它们均朝着完全重复使用的方向发展。目前已提出的概念大体可以分成以下三类^[12]:

1. 垂直起降方案,例如各种较大升阻比的飞船和垂直起降单级入轨的火箭,如美国的三角快帆(Delta Clipper)。

2. 垂直起飞、水平降落的方案,包括顶推式的航天飞机,如法国的使神(Hermes)号航天飞机,日本的 Hope 轨道飞机;顶推式的升力体如美国的 HL-20;美国 NASA 提出的两级火箭飞机(Shuttle-1)和单级入轨的火箭飞机及升力体。

3. 水平起降的方案,例如美国的单级入轨的空天飞机(NASP)和德国的两级入轨的空天飞机(Sänger)。

从上述三类天地往返运输系统方案的动力装置来看,却只有两种类型:一种是以火箭动力为主;另一种是以吸气式组合发动机为主,辅以火箭动力。前者适宜于垂直发射;后者适宜于水平起飞。在这两个类型中,我国选择哪一种,应该根据空间站工程大系统对天地往返运输系统的要求,确定评估准则,根据评估结果,结合国情作出选择。

评估准则一般为:运输费用、可靠性、使用性能、任务适应性、技术可行性。国内外的研究工作表明,对这些评估准则的评估结果,很大程度上取决于任务需求。一般来说,对于单纯加速入轨的任务,宜采用以火箭动力为主的系统;对于要求在大气层中具有巡航要求的任务,例如,对特定目标进行跨大气层飞行的多方位侦察,要求待命发射到不同的轨道,以及发射场和着落场相距很远的情况,则采用以吸气式组合发动机为主的系统优点较多。从技术性能来看,空天飞机的总重量较轻,但结构重量较重。以火箭为动力的系统,结构重量较轻,总重量较重。在技术难度上来看,空天飞机的关键技术更多,估计国际上真正研制出空天飞机将在2020年之后。

已有的研究结果表明,在材料技术和火箭发动机技术取得重大突破后,单级入轨火箭在技术上是可行的^[13~16]。设质量比为火箭推进剂质量除以火箭总质量,若火箭发动机的比冲能达到437s(相当于美国航天飞机主发动机的水平),不难算出,质量比为0.9左右(具体数值取决于有效载荷量、轨道高度、轨道倾角)就可做到单级入轨。假若能在火箭上采用大量先进材料,如铝锂合金、复合材料等,是可以达到这个质量比的。

图2给出了目前国际上提出的三种单级入轨火箭的方案:

1. 垂直起降的三角快帆方案。
2. 垂直起飞,水平降落的带尾翼的方案。
3. 垂直起飞,水平降落的升力体的方案。