

星际航行概论

钱学森 著

科学出版社

星际航行概论

钱学森

87.9

13

003677

出版社

星际航行概论

钱学森 著

科学出版社

內 容 簡 介

本书对星际航行技术的各个方面作了初步的介绍，包括运载火箭的动力系统、运载火箭的设计及制造过程、运载火箭及星际飞船的飞行轨道、控制系统的设计原则及设计过程、星际航行中的通讯问题及防辐射问题、解决飞船再入大气层的设计原理、星际飞船的设计问题。本书最后将对星际航行的进一步发展做一展望。

本书对将投入星际航行技术工作的工程技术及研究人员起入门的作用，使他们了解各项工作在整体中的位置。对一般具有高等学校理工水平的读者，本书对他们说明星际航行肯定是现实的，但是星际航行技术是复杂的，实现星际航行是一项艰巨的工作。

星 际 航 行 概 论

錢 学 森 著

*

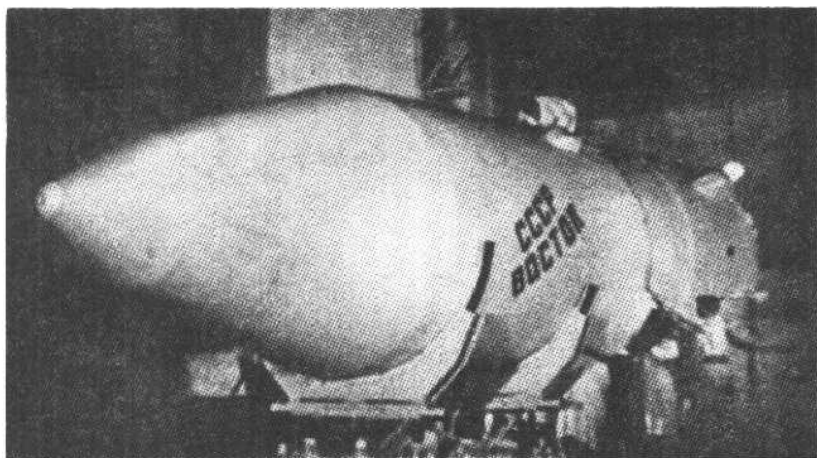
科学出版社出版 (北京朝阳门大街117号)
北京市书刊出版业营业许可证出字第061号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总经售

*

1963年2月第一版 书号：2675 字数：341,000
1963年2月第一次印刷 开本：787×1092 1/18
(京) 0001—3,000 印张：17 1/3 插页：4

定价：3.10元



苏联“东方二号”宇宙飞船
(安装到运载火箭上以前,在进行地面测试及调整)

序

长远以来人們有在宇宙空間飞行的愿望,由于現代科学技术的发展,这一理想已在逐步实现。星际航行将是科学技术在二十世紀后半叶中最突出的成就。現在領先征服太空的是社会主义国家苏联,这使全世界进步的人們特別感到欢欣鼓舞。苏联人民正在运用他們的智慧,通过辛勤的劳动,为开創星际航行事业建立千古不灭的功勋! 与此相比,美帝国主义者在这方面的表現显得十分低陋,腐朽了的社会制度注定了他在这方面的追赶将是一场混乱的掙扎。今天是东风压倒西风的时代,苏联在星际航行中的輝煌成就,美国的屢次失敗,不正是毛主席这一英明論断的又一个例証嗎? 我們滿怀着对社会主义、共产主义的美好未来的信心,相信帶領人类进入星际和宇宙空間的,将来和現在一样,将是在伟大的馬克思列宁主义指引下觉醒了的人民。

写这本书是为了全面地介紹星际航行技术,而主要的对象是近代力学工作者。著者试图达到两个目的:第一,想說明实现星际航行的各个技术問題,从而一方面使投入到这些单个問題作研究的科学技术工作者能了解每一个問題在全部工作中的意义;而另一方面也是要說明星际航行技术的高度綜合性,它几乎包括了所有現代科学技术的最新成就,象近代力学、原子能、特种材料、高能燃料、无綫电电子学、計算技术、自动控制理論、精密机械、太空医学等。星际航行的更进一步发展不但将对上述这些科学技术提出新的、更高的要求,而且还会对另外一些直到現在还未发生联系的学科,象植物学、动物学、生物物理、生态学、遺传学、地質学等提出研究課題,使这些学科也得到以前未有的推动力,并向新的方向发展。一句話,星际航行是組織和促进現代科学技术的力量;星际航行可以广泛地带动各門科学前进。

在本书里,著者想說明的第二点是星际航行实践的复杂性和艰巨性。星际航行事业的每一个部門,研究、設計、試驗、制造、发射、通訊都需要一个庞大的組織,都需要一个千万名科学家、設計师、工程师、技师、技术員、工人和其它人員組成的队伍。这些部門进行工作所需要的設備在質上要求最高的,在量上也多;因此,沒有一个強大和各方面成套的工业,沒有一支多种学科和人数众多的科学技术队伍,就不可能設想全面地开展星际航行工作。自然,星际航行技术并不神秘,分析起来也不过是一般自然規律的具体应用,星际航行技术的基础也还是众所周知的基础学科数学、物理、化学等。我們要強調的是:虽不神秘,但也不簡單;星际航行是整个現代科学技术最

高水平的集中表现,不是轻而易举的。

为了达到以上目的,本书的叙述想尽量具体,引用一些具体设计或计算数字作为例证。显然,在这方面有一定的限制,在书中较多地引用公开的美国技术资料,有些还是美国尚未实现的设计。著者曾对引用的资料作过鉴别,希望里面没有什么错误或不正确的东西。但在这点上或全书的其它方面如有谬误,恳请读者们指正。

如上所述,本书的主要读者将是近代力学工作者们,因此在讲解各个问题的深度上有所侧重:对力学方面的问题如动力、轨道、空气动力加热等就写得深一些,而力学原理却有意地讲得比较简略。对非力学的问题如控制及导航系统、通讯系统、原子能发动机、电源、电火箭发动机等,为了把原理讲清楚,多费了些章节,但讲得不太深,只介绍了概况。

在写这本书的过程中,雷见辉同志和喻显果同志曾辛勤劳动,帮助著者整理书稿、绘制插图;也可以说如果没有他们的努力,这本书是写不成的。著者在此谨对他们表示衷心的感谢。

著 者

1962年4月

目 录

序	v
· 第一章 星际航行与宇宙航行	1
§ 1.1 火箭技术的早期	1
§ 1.2 现代的火箭技术	4
§ 1.3 太阳系	10
§ 1.4 地球的周围环境	11
§ 1.5 第一、第二、第三宇宙速度	16
§ 1.6 齐奥尔科夫斯基公式	21
§ 1.7 恒星世界的宇宙航行	22
§ 1.8 阿克来公式	25
第二章 火箭发动机原理	30
§ 2.1 星际航行的动力	30
§ 2.2 固体推进剂火箭发动机工作原理	31
§ 2.3 液体推进剂火箭发动机工作原理	32
§ 2.4 推力的计算	35
§ 2.5 喷气速度的计算	37
§ 2.6 喷管的形状	43
§ 2.7 推力系数	48
§ 2.8 比冲	50
§ 2.9 更准确的计算	51
第三章 火箭发动机的技术实现	54
§ 3.1 液体推进剂的性能	54
§ 3.2 液体推进剂的选择	57
§ 3.3 几种液体火箭发动机	59
§ 3.4 液体火箭发动机的设计过程	67
§ 3.5 发动机试车台	74
§ 3.6 固体推进剂及固体火箭发动机的发展	77
§ 3.7 固体火箭发动机的设计问题	79
§ 3.8 固体火箭发动机的发展前景	82
§ 3.9 新型火箭发动机——固液型发动机	85
§ 3.10 发动机推力方向的调节	87
· 第四章 运载火箭的技术实现	92
§ 4.1 多级运载火箭的级数	92

§ 4.2 运载火箭的实例	96
§ 4.3 结构重量、结构比	101
§ 4.4 运载火箭的设计过程	104
§ 4.5 星际航行场	108
第五章 运载火箭从地面起飞的轨道问题	116
§ 5.1 发射人造行星或月球火箭的轨道与发射人造卫星的轨道	116
§ 5.2 邻近地面的起飞轨道	118
§ 5.3 质点在向心引力场中的运动	122
§ 5.4 椭圆轨道上卫星的周期	127
§ 5.5 发射卫星的最佳轨道	127
第六章 星际航行的轨道	133
§ 6.1 太阳的重力场	133
§ 6.2 太阳系中的椭圆轨道	134
§ 6.3 实例	138
§ 6.4 在中心力场中的低推力轨道	140
§ 6.5 低推力星际航道	148
§ 6.6 光帆	149
第七章 原子能火箭发动机	151
§ 7.1 原子能	151
§ 7.2 原子火箭发动机	152
§ 7.3 电火箭的设计原理	157
§ 7.4 电火箭发动机的类型	164
§ 7.5 原子火箭与电火箭的比较	167
§ 7.6 氘火箭发动机	169
第八章 制导问题	170
§ 8.1 制导	170
§ 8.2 发射人造地球卫星的轨道所要求的精确度	170
§ 8.3 星际飞行轨道所需要的精确度	176
§ 8.4 控制的概率	179
§ 8.5 星际航行的制导问题	181
§ 8.6 运载火箭的制导系统, 初制导系统	185
§ 8.7 制导系统的设计	186
第九章 星际航行中的通讯问题	189
§ 9.1 星际航行中通讯工作的重要意义	189
§ 9.2 星际航行中通讯系统的有效功率	191
§ 9.3 星际航行通讯中的噪声	193
§ 9.4 信息率	196
§ 9.5 量子效应	200

§ 9.6 星际通讯的设备要求	201
§ 9.7 地面接收天线	203
§ 9.8 卫星式通讯中继站系统	204
§ 9.9 电磁波传播问题	206
§ 9.10 光波通讯	210
第十章 再入大气层	211
§ 10.1 人造卫星或星际飞船的降落问题	211
§ 10.2 再入大气层的轨道分析	212
§ 10.3 两种再入轨道	218
§ 10.4 防热设计	221
§ 10.5 防热设计的原则	229
§ 10.6 星际飞行轨道中的应用	231
第十一章 防辐射	233
§ 11.1 防辐射问题	233
§ 11.2 光子对物质的作用	233
§ 11.3 电子对物质的作用	237
§ 11.4 α 粒子、质子以及重原子核碳、氮、氧对物质的作用	239
§ 11.5 中子对物质的作用	240
§ 11.6 辐射对人体的作用	241
§ 11.7 辐射剂量	242
§ 11.8 宇宙射线	246
§ 11.9 地球辐射带及太阳耀斑爆发的辐射	247
§ 11.10 中子的防护	249
§ 11.11 辐射对器材的破坏作用	250
第十二章 飞船的设计问题	252
§ 12.1 超重和失重	252
§ 12.2 超重对人的影响	253
§ 12.3 失重对人的影响	255
§ 12.4 飞船船舱的设计要求	258
§ 12.5 星际航行中人的生活条件	260
§ 12.6 氧气及水分的供应	264
§ 12.7 长旅程星际飞船中的生态学系统	267
§ 12.8 防微陨石及通过小行星带	269
§ 12.9 飞船的定向系统	270
第十三章 飞船中的电源	273
§ 13.1 星际飞船中的能源	273
§ 13.2 化学电池	275
§ 13.3 太阳光电池	278

§ 13.4 汽輪发电机·····	283
§ 13.5 热电偶发电器·····	285
§ 13.6 热电子发电机·····	288
§ 13.7 电磁流体发电机·····	291
第十四章 星际航行进一步发展的几个問題·····	293
§ 14.1 卫星式星际航行站·····	293
§ 14.2 运载火箭的海面发射·····	296
§ 14.3 运载火箭的回收·····	297
§ 14.4 飞机用作运载工具·····	300
§ 14.5 运载飞机的动力系统·····	303

第一章 星际航行与宇宙航行

§ 1.1 火箭技术的早期

现代在星际航行与宇宙航行上已经取得的巨大成就是人类几千年来创造性劳动的结晶,它关系到人类长远以来的理想和实践。我们的祖先很早就有了飞到天空去的理想,给我们留下了如嫦娥奔月等许多美丽的幻想。而为实现这些幻想开辟出一条道路的首先是我国的劳动人民,我国劳动人民是火箭的发明者:早在宋真宗咸平三年(公元 1,000 年)唐福献应用火箭原理制成了战争武器(图 1.1),而后才逐渐传到

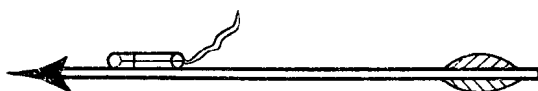


图 1.1 明天启元年(1621 年)茅元仪所著“武备志”上所画的火箭

外国,为其他国家所掌握。到十八世纪,英国人侵略印度时,印度人曾运用了火箭武器,给予进犯者巨大的威胁,从此才迫使英国人开始注意研究火箭武器,并在几年之后也装备了英国军队;随即欧洲其他国家也相继地把火箭用于军事,从而使火箭技术得到了一定程度的发展。当时英国人康格雷(William Congreve 1772—1814)改进了固体火箭的性能,他的火箭之重量为十余公斤到二十公斤,射程达 2—3 公里,但是准确度仍旧很差,所以终于被后来进一步发展的准确度很高的火炮所代替。虽然如此,这些火箭的原理确成了近代火箭技术的最初基础。

此后,一直到十九世纪末二十世纪初,火箭技术才又重新蓬勃地发展起来。近代的火箭技术和星际航行的发展首先应当提到的是伟大的俄国和苏联科学家齐奥尔科夫斯基(Константин Эдуардович Циолковский 1857—1935)。他一生中从事了利用火箭技术进行星际航行的研究。在他的经典著作中,对火箭飞行的思想进行了深刻的论证。是他首先提出了使用液体推进剂来获得比火药和炸药更高的能量的倡议,这个倡议只经过了短短三十年的时间就实现了。齐奥尔科夫斯基大略地预策到现代火箭的真实结构,并论述了关于液氢-液氧作为推进剂用于火箭的可能性。此外在他以后的一些著作中,指出了用新的燃料(原子核分解的能量)来作为火箭的动力;

并且具体地闡明了用火箭进行星际飞行的条件,火箭由地面起飞的条件,人造地球卫星及实现飞向其他行星所必須設置中間站的思想。

齐奥尔科夫斯基不仅奠定了星际航行的理論基础,而且还提出了許多的技术建議,如他建議使用燃气舵来控制火箭,关于用泵来強制輸送推进剂到燃烧室中的必要性,以及用仪器来自动控制火箭等,都对現代火箭和星际航行的发展起了巨大作用。

資本主义国家中对近代火箭技术研究得最早的是戈达德 (Robert H. Goddard),他在 1910 年左右开始进行这方面工作。主要是进行了許多实验工作,并在后来創造出了几种供气象研究用的液体火箭。但他的貢獻与伟大的学者齐奥尔科夫斯基比較起来确小得多。

真正的近代火箭的出現是在第二次世界大战时的法西斯德国。它們企图征服世界,从而試驗和制造了許多火箭,并且在大战的末期使用了火箭武器,但是并沒能因此而挽回已經注定了的失敗;而在这些火箭之中 V-2 火箭可算是最典型的近代火箭(見图 1.2, 1.3),其主要性能見表 1.1。V-2 火箭的成功实际上是把齐奥尔科夫斯基

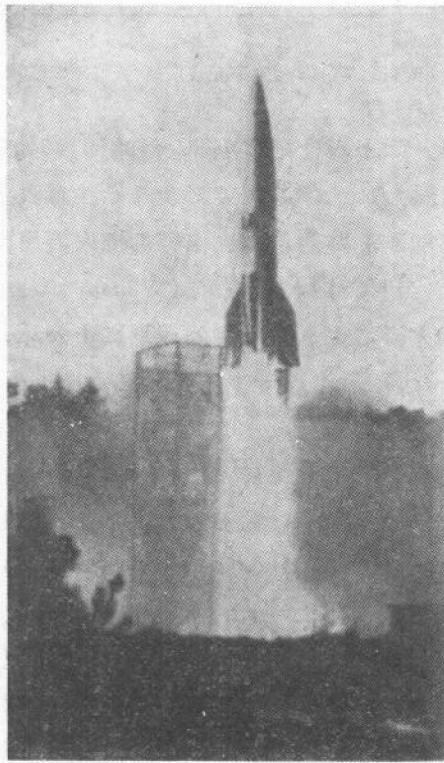


图 1.2 V-2 火箭发射时的状况

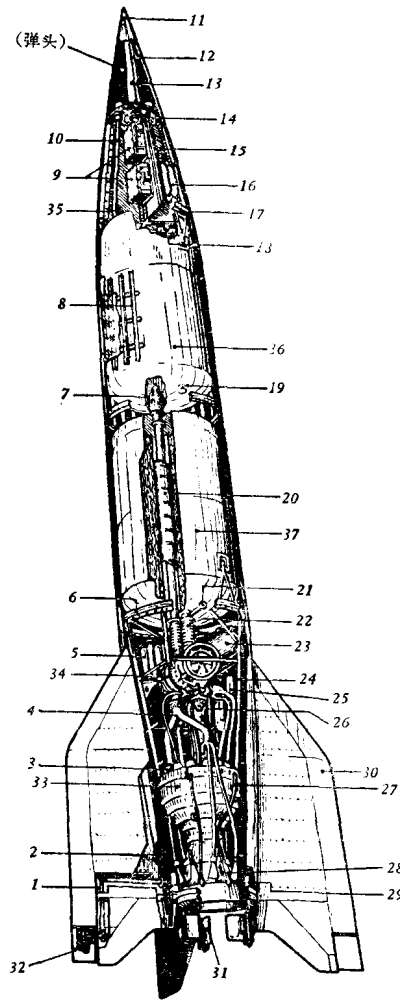


图 1.3 V-2 火箭的结构图

1——接向空气舵的链条传动装置； 2——电动机； 3——喷嘴筒； 4——向发动机输送酒精的导管； 5——空气瓶； 6——后隔框； 7——酒精伺服活门； 8——火箭的骨架； 9——控制仪器； 10——由酒精箱通向头部（爆炸部分）的导管； 11——带信管的头部； 12——带导线的导管； 13——中央信管； 14——电爆管； 15——胶合板框； 16——氮气瓶； 17——前隔框； 18——陀螺仪； 19——酒精流出口； 20——向涡轮泵联动装置输送酒精的导管； 21——液氧注入口； 22——波纹管； 23——过氧化氢箱； 24——发动机架； 25——装过锰酸钾的小箱（后面是蒸汽发生器）； 26——液氧分配器； 27——冷却用酒精的导管； 28——酒精出口； 29——舵机； 30——尾翼（4个）； 31——燃气舵（4个）； 32——空气舵（4个）； 33——燃烧室和尾喷管； 34——涡轮泵联动装置； 35——控制筒； 36——酒精箱； 37——液氧箱。

表 1.1 V-2 火箭的主要数据

总 项	名 称	单 位	数 据
火箭之重量分配	炸药量(硝酸及三硝基甲苯之混合物)	公斤	980
	发动机支承架	公斤	1,750
	涡轮泵系统	公斤	450
	燃烧室	公斤	550
	附件	公斤	300
	酒精+液氧	公斤	8,750
	供给涡轮用的辅助燃料	公斤	200
	火箭之总重量	公斤	12,980
火箭的性能	总推力	吨	27.2
	最大高度	公里	80
	最大速度	公里/秒	1.500
	射程	公里	300 以下

的理論变成了现实。虽然在現在看来,它的結構已經过时了,但是它仍作为許多現代火箭的藍本。其原因在于: 1) 起飞情况: 为地面靜止垂直起飞, 起飞速度低, 系由自动控制装置取得稳定; 不用起飞滑軌, 从而免去火箭結構受到軌道的撞击。 2) 采用液体推进剂(液氧和 75% 酒精)。 3) 采用燃气舵控制。 4) 采用涡轮泵輸送推进剂, 从而大大地降低了結構重量。因此, V-2 火箭所获得的最終速度大大增加, 射程可达 300 公里之远, 是火箭技术进入一个新时代的标志。

§ 1.2 現代的火箭技术

第二次世界大战以后, 火箭技术及星际航行得到了迅速的发展。以苏联为代表的現代火箭技术正在以更快的速度进入一个新的阶段。苏联在星际航行及火箭技术上在全世界已經遙遙領先了。她在 1957 年 10 月 4 日成功地发射了世界上第一个人造地球卫星, 从此打开了人类历史的新紀元——星际航行的时代。随后苏联又多次成功地发射了适应于星际航行研究的更重、更好的人造卫星和月球火箭; 第一次揭开了月球背面的秘密, 使地球上的物体第一次飞向太阳系成为太阳系的行星, 并且地球上第一顆訪問金星的火箭带着苏維埃的标记离开了地球(見表 1.2)。苏联的科学家、工程师和工人們在成功地一次又一次把生物送上了天空, 取得了許多宝贵的資料之后, 于 1961 年 4 月 12 日, “东方一号”卫星式飞船就把苏联第一个宇宙航行人員——加加林少校带到了外层空間, 巡視地球一周后, 安然地返回地球, 从而第一次实现了人类飞向太空的理想。随即在“东方一号”卫星式飞船发射成功四个月之后, 苏联第二

表 1.2 苏联卫星、宇宙火箭、运载火箭和宇宙飞船一览表(到 1961 年为止)

名称	发射时间	重量	量	说明
第一个人造地球卫星	1957年10月4日	83.6公斤(卫星重量)		世界上第一个人造地球卫星
第二个人造地球卫星	1957年11月3日	508.3公斤(卫星重量)		带有小狗“莱伊卡”,地球上的生物第一次飞入宇宙
第三个人造地球卫星	1958年5月15日	1427公斤(卫星重量)		
第一个宇宙火箭	1959年1月2日	1472公斤(不带推进剂的最后一级重量)		世界上第一个人造太阳系行星,仪器重量316.3公斤
第二个宇宙火箭	1959年9月12日	1511公斤(不带推进剂的最后一级重量)		世界上第一个到达月球表面的火箭,最后一级可控制,仪器重量392公斤
第三个宇宙火箭	1959年10月4日	1553公斤(不带推进剂的最后一级重量)		世界上第一次揭开了月球背面的秘密,最后一级可控制,自动行星际站重278.5公斤
太平洋火箭	1960年1月20日与31日	(12,500公里射程)		最后一级的模型安全降落,降落点误差不超过两公里
第一个卫星式飞船	1960年5月15日	4540公斤		世界上第一个宇宙飞船
太平洋火箭	1960年7月5日及7月7日	(15,000公里射程)		
第二个卫星式飞船	1960年8月19日	4600公斤		带有小狗“松鼠”和“小箭”,在世界上第一次实现了生物完成宇宙飞行后安全返回地面的试验
第三个卫星式飞船	1960年12月1日	4563公斤		
第四个人造地球卫星	1961年2月4日	6483公斤		
向金星发射的宇宙火箭	1961年2月12日	行星际站重(413.5公斤)		人造重型地球卫星
第四个卫星式飞船	1961年3月9日	4700公斤		世界上第一个考察太阳系行星的火箭
第五个卫星式飞船	1961年3月25日	4695公斤		带有试验生物,当天安全返回地面
第一个载人的卫星式飞船	1961年4月12日	4725公斤		带有试验生物,当天安全返回地面
第二个载人的卫星式飞船	1961年8月6日	4725公斤		世界上第一个载人的宇宙飞船,苏联宇宙航行员加加林绕地球一周后安全返回地面
太平洋火箭	1961年9月13日	4725公斤		苏联宇宙航行员季托夫绕地球十七周后安全返回地面
太平洋火箭	1961年9月17日	(12,500以上的射程)		最后一级的模型降落点误差一公里
		(12,500以上的射程)		

个宇宙航員季托夫少校駕駛了“东方二号”卫星式飞船，在外层空間繞地球平安地运行了十七个圈之后胜利地回到地球。

由此可見，苏联在火箭技术和星际航行上已經遙遙領先，并且繼續以飞快的速度发展着，她是現代火箭技术的标尺。这是苏联人民对征服宇宙空間給予人类的无可比拟的巨大貢獻。这一切都說明了社会主义制度的无比优越性！

反过来我們看一看帝国主义的头子——美国，它在星际航行及火箭技术上的情况；过去美国一直認为自己是世界上第一強国，科学技术上是头等的，但是自从 1957 年 10 月 4 日苏联成功地发射了第一顆人造地球卫星之后，就彻底揭穿了紙老虎的画皮，从此就越来越看出它与苏联的差距与日俱增。但是美帝国主义是不甘失败的，它为了挽回在外层空間竞赛中的絕对劣势而不断吹嘘，大力增加火箭技术和星际航行研究的人力、物力和財力，以图赶上苏联。这一点很明显，它是无論如何也追不上的，因为在苏联发射成功第一个人造卫星之后四个月之久美国才发射了一个人造卫星，其重量只及苏联第一个人造卫星的 1/5 左右。随后美国又陸續发射了許多次人造卫星，但是直到現在所发射的人造卫星当中最大的一顆重量才只及苏联的重型人造地球卫星重量的 1/4，而大多数的确只有一百多公斤重，其中也还有很多次是失败的。但是美国为了縮短与苏联在火箭技术和星际航行上越来越大的差距，因而匆忙地准备一次載人火箭的弹道飞行，以达到所謂“首先把人送到空間”的聳人听闻的目的，这就是它目前所进行的两大計劃中的“水星”計劃产生的原因。

为了更加明瞭美国現在火箭技术和星际航行的現狀以及今后的发展起見，这里介紹美国在这方面的两项最主要的計劃：

(一) “水星”計劃

在 1961 年 4 月 12 日苏联宇宙航員加加林少校乘坐“东方一号”卫星式飞船，第一次实现了人类飞向太空的理想的 23 天后，美国才冒着极大的危險，用“水星”容器装了飞行員謝泼德；用“紅石”火箭送上了天空，作了一次近乎直上直下的飞行，最后掉到大西洋中几乎丧命。因此說明了美国不但沒有实现它所謂的“首先把人送到空間”的企图，而相反地却說明了它在这方面的水平比苏联差得更多了。

1961 年 9 月 13 日，美国发出报导，它們把一艘載有机机器人的“水星”宇宙飞船送入了軌道，在繞地球一周之后，借助于降落伞的帮助无損地掉在大西洋中捞回大陆。这只飞船是用“阿特拉斯”火箭发射进入卫星軌道的；速度約每秒 8 公里，高度为 234 公里。这次試驗的成功促进了美国进入宇宙空間方面的努力。这是它們第一次把

表 1.3 美国的载人飞船工作(到 1961 年底为止)

試驗目的	時間	所用火箭	火 箭 数 据			
			长度 (米)	直径 (米)	发射重量 (吨)	推力(吨)
把人送到 200 公里高, 300 公里远,失重 7 分钟	1961 年上半年	“紅石” (中程火箭)	19.2	1.78	18.1	34
把 980 公斤重的“水星” 座舱送上卫星轨道	1961 年下半年	“宇宙神”	24.7	3.05	110	2×68+35.2

“水星”座舱射入轨道。预计在近期中美国的载人飞行将使用同样的“阿特拉斯”火箭作为动力。

美国虽然拟定了似乎可行的“水星”计划,也进行了试验,但是要真正完成载人飞行还有着很大的距离。就“水星”座舱而言,总重量只有 980 公斤,因此要在这容器中给宇宙航行者附设完善的保护装置和急救设备是不可能的,显然用“水星”座舱来作载人飞行是十分冒险的。并且美国在掌握火箭技术方面还存在着不少问题,很难有百分之百的把握使一切试验都正常而准确地进行。

(二) “土星”计划

“土星”是目前美国在设计中的推力最大的多级火箭(见表 1.4)。他们企图通过“土星”计划来实现在火箭的运载能力上的一个根本的飞跃,以改变现有的技术地位,缩短与苏联之间的差距。其目的在于利用“土星”这一多发动机组合成的三级火箭,把重量为 20 吨的人造地球卫星送到 200—300 公里高度的卫星轨道上去。火箭的总长度为 55 米,直径为 5—6 米。

表 1.4 C-1“土星”运载火箭

火箭级数	采用发动机类型	采用发动机数量	单个发动机推力(吨)	每级总推力(吨)
第一级	11-1(煤油-液氧)	8	85	680
第二级	LR-115(液氮-液氧)	4	9.1	36.4
第三级	LR-115	2	9.1	18.2

这一计划看来是较可观的,但是,由于火箭的第一级用了八个发动机组合而成,因而将在技术上产生一些复杂的问题,可靠性也就因此变得很差了。而按计划三级火箭在 1963 年才可以应用;在 1961 年 10 月 27 日进行了第一次带有第二、第三级假模型的试射,可见要全面完成整个计划还是后几年的事。但最近研究的结果指出:即便用 C-1“土星”运载火箭也难实现肯尼迪所吹嘘的把美国人送上月球的计划,所以