



中国载人航天工程决策过程中航天飞机与载人飞船之争

李成智, 郑晓齐

北京航空航天大学人文社会科学学院, 北京 100191

摘要 探讨了中国载人航天计划制定之前, 国内有关航天飞机与载人飞船何者优先发展的争论。国家高技术研究发展计划(863 计划)虽然将载人航天纳入其中, 但主要目的是技术跟踪, 而非工程项目。20 世纪 80 年代中后期, 围绕中国载人航天发展途径问题, 相关部门展开了一场有关航天飞机与载人飞船的讨论。受美国航天飞机的影响, 相当数量的专家和部门倾向于优先发展航天飞机。随着研究、争论的不断深入, 从中国的国情、时间与成本因素、技术积累以及难易程度综合考虑, 最终大多数赞同优先发展载人飞船观点。1992 年国家在制定载人航天决策时, 把载人飞船作为中国载人航天的第一步。从航天飞机后来的命运看, 当时的决策是正确的。这一重大决策的出台, 得益于之前广泛的研究、分析与争论。

关键词 国家高技术研究发展计划; 载人航天工程; 航天飞机; 载人飞船; 争论

中图分类号 G311

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2009)18-0019-09

Debate on the Priority Development of the Space Shuttle or the Manned Spacecraft During the Decision Making of China's Manned Space Program

LI Chengzhi, ZHENG Xiaoqi

School of Humanity and Social Sciences, Beihang University, Beijing 100191, China

Abstract This paper discusses the debate on the priority development of the space shuttle or the manned spacecraft during the formulation of the China's manned space program. The National High Technology Research and Development Program ("863" program) of China included the manned space flight project, but its primary purpose is a technology tracking, rather than a construction project. In the later 1980's, a discussion was organized on the shuttle or the manned spacecraft as the priority approach in China's manned aerospace development. Affected by the USA space shuttle achievement, there are quite many experts and departments tend to give priority to the development of the space shuttle. With more in-

depth researches, the viewpoint of giving priority to the spacecraft ultimately prevailed. According to China's national conditions, time and cost factors, technological accumulations as well as the degrees of difficulty, in 1992, in the manned space program, the state takes the manned spacecraft as the first step of China's manned space flight. The decision-making is correct in view of the later development of shuttles. This major policy was based on a wide range of prior researches, analyses and discussions.

Keywords National High Technology Research and Development Program of China; manned space program; space shuttle; manned spacecraft; debate

0 引言

1986 年 3 月, 中国政府批准实施国家高技术研究发展计划(863 计划), 航天技术列入七大领域。此后, 围绕未来载人航天的技术途径问题, 特别是中国载人航天在起步阶段是研制航天飞机还是载人飞船, 展开了一段较长时间的争论。争论的最终结果, 是以载人飞船起步作为中国航天技术发展的。回顾这段争论, 对于认识中国载人航天决策的民主性和科学性具有重要的意义。

1 中国载人航天争论的国际背景

1981 年 4 月 12 日, 美国“哥伦比亚”号航天飞机进行了首次载人轨道飞行, 引起强烈反响(图 1)。此后, 航天飞机完

收稿日期: 2009-08-25

作者简介: 李成智(中国科协所属全国学会个人会员登记号: E280040001M), 教授, 研究方向为科技政策与管理, 航空航天发展战略, 电子信箱: lichengzhi@263.net



成了一次又一次航天壮举:在轨发射卫星,维修卫星,回收卫星,等等。这些高难度作业给全世界留下这样的印象:航天飞机时代到来了,载人飞船将退出历史舞台。虽然 1986 年 1 月航天飞机“挑战者”号发生了爆炸事件,但人们仍普遍对航天飞机抱乐观态度。的确从技术角度上讲,航天飞机无疑代表了航天技术的一个新时代。从空间开发和应用上讲,航天飞机具有运载火箭和宇宙飞船无法比拟的优点,如轨道救援、卫星回收和维修、大型空间构件输送和组装等。1986 年以前,美国宇航局(NASA)的积极宣传以及新闻界的大肆渲染,使世人普遍相信航天飞机能大幅度降低发射成本,带来极大的商业利润。由于航天飞机的发射和返回过载低,甚至美国总统都宣称普通人也能乘坐航天飞机圆飞天之梦。航天飞机的种种优势,激发许多国家制定本国的航天或空天飞机计划。



图 1 1981 年 4 月 12 日美国“哥伦比亚”号航天飞机成功发射

Fig. 1 The US space shuttle Columbia launched successfully on April 12, 1981

1.1 苏联“暴风雪”号航天飞机

20 世纪 70 年代中期,受美国航天飞机计划的影响,苏联决定研制航天飞机。1975 年,苏共 25 大在制定 1976–1980 年第 10 个五年计划时,曾向各界征求研制航天飞机的意见。最后,航天飞机计划得到正式批准,并于 1976 年开始实施,这就是“暴风雪”号(Buran)航天飞机计划。“暴风雪”号的轨道器类似于美国的航天飞机,由新研制的巨型运载火箭“能源”号发射。1987 年 5 月 15 日,“能源”号首次发射时搭载了一个 100 t 的模拟载荷。由于上面级发动机故障,载荷最终未能进入轨道,但火箭本身是成功的。1988 年 11 月 15 日,“能源”号火箭将不载人的“暴风雪”号航天飞机送入 250 km 远的预定圆形轨道,前后用时 47 min。采用的方式是,首先“能源”号将航天飞机送入亚轨道,再由两个小型机载发动机推进入轨。“暴风雪”号自动绕地球飞行两圈,在轨道上运行 3 h 后,按预定计划于当日 09:25 受控返回地面,准确降落在距发射场 12 km 外的机场。“暴风雪”号首次飞行获得成功(图 2)。



图 2 苏联“暴风雪”号航天飞机

Fig. 2 The Soviet space shuttle Buran Launched and Land on November 15, 1988

“暴风雪”号航天飞机的外形、尺寸和性能与美国航天飞机极为相似,外界纷纷猜测苏联借鉴了美国的设计。但苏联的航天飞机确有许多创新之处,某些方面甚至比美国的航天飞机更合理。例如,① 苏联航天飞机与“能源”号火箭是相互独立的,航天飞机仅仅是“能源”号的有效载荷,因而使用时受限少,提高了可靠性和安全性。② 苏联航天飞机没有主发动机,只在尾部安装了两个小型入轨发动机,大大降低了航天飞机的发射重量,其有效载荷舱尺寸和运载能力也优于美国航天飞机。③ 返回时由小型发动机推进,进场着陆相对比较容易,横向机动距离较大,比无动力滑翔方便得多,因此也安全得多。④ “能源”号火箭各级全部使用液体推进剂,可以保证在助推器或芯级中任意一个发动机出现故障的情况下继续飞行。这是使用固体助推器的美国航天飞机所达不到的。⑤ 苏联航天飞机在大气层滑翔时,能像普通飞机那样借助于副翼、操纵舵和减速板进行控制。⑥ 苏联航天飞机与美国航天飞机的机翼形状略有不同。美国航天飞机机翼的空气动力学特性较好,但其加工和装配比较复杂。⑦ 苏联航天飞机装备了自动飞行控制系统,可以实现无人自动轨道飞行,在进行货运发射时不会对宇航员生命构成威胁^[1]。

1993 年 6 月 30 日,叶利钦政府宣布航天飞机计划下马。主要原因是苏联解体,俄罗斯的经济状况不允许为该计划投入巨资。另一个不可忽略的原因是:俄罗斯已有火箭足以应付各类航天发射,“暴风雪”号巨大的运载能力无用武之地。

1.2 法国“赫尔墨斯”号航天飞机

20 世纪 80 年代初,受美国航天飞机成功的影响,欧洲各国也在探讨未来航天计划。早在 1976 年,法国空间研究中心(CNES)就曾考虑研制大型运载火箭和小型航天飞机。1983 年,CNES 正式提出研制“阿丽亚娜”5 型火箭;1984 年 10 月,向欧洲工业部门介绍了“阿丽亚娜”5 号的方案和设想。1985 年 1 月在罗马会议上,欧洲空间局(ESA)正式批准了该项计划。在此期间,航天飞机经过深入研究,已经形成了初步方案,这就是“赫尔墨斯”号(Hermes)小型航天飞机。在 1985 年 5 月第 36 届巴黎航展上,“赫尔墨斯”号航天飞机模型公开展出,引起外界很大兴趣。1985 年 11 月 22 日,ESA 正式宣布批

准“赫尔墨斯”号航天飞机计划。

“赫尔墨斯”号航天飞机尺寸较小,系统比美国航天飞机简单得多。该机机长 17.9 m,翼展 11 m,机身直径 3.4 m,起飞重量 13.1~16.7 t,近地轨道载荷最大 4.5 t,可以实现载人飞行(图 3)。1986 年“挑战者”号航天飞机失事后,ESA 重新审查了安全问题。经过一年多的论证,对“赫尔墨斯”号进行了重大改进,将重量提高到 25 t,远超过“阿丽亚娜”5 号的运载能力。CNES 建议将有效载荷从 4.5 t 减为 3 t,乘员从 6 人减为 3 人,使起飞重量降为 21 t。1987 年 3 月,ESA 批准了这一系列提高安全性的改进措施。从 1988 年 1 月开始,“赫尔墨斯”号航天飞机进入研制阶段。在两年多的第一阶段研制中,设计方案还做了一些修改。两台主发动机从尾部移开,通过一个连接部装在“阿丽亚娜”5 号火箭的顶部,作为适配器。这样,“赫尔墨斯”号实际上没有主发动机。在原来装推进系统的地方,设置了一个资源舱,除配备各种设备外,一端还装有与空间站对接的对接口。



图 3 法国“赫尔墨斯”号航天飞机设想图
Fig. 3 The France spacecraft Hermes

第一阶段的研制工作到 1991 年结束。随着冷战的结束,欧洲空间局开始为期一年的反思,研究是否有必要建立欧洲独立的载人航天体系,以及是否需要接纳新的合作伙伴。欧洲空间局曾计划与俄罗斯航天局合作。恰在这时,美国广泛游说合作研制国际空间站。于是,欧洲自己的载人航天系统就显得没有必要,该计划因此而中止。

1.3 英国的“霍托尔”号空天飞机

受美国航天飞机的影响,英国宇航公司空间/通信分公司自筹资金,在 20 世纪 80 年代初对水平起降、单级入轨的空间运输工具进行了研究。1982 年 10 月,英国的一些宇航专家举行非正式会议,提出了“霍托尔”号(Horizontal Takeoff and Landing vehicle, HOTOL,意为“水平起飞与降落运载器”)空天飞机的概念。英国宇航公司和罗尔斯·罗伊斯公司经过 2 年

的深入研究,于 1984 年 8 月提出了“霍托尔”号设计方案。该机机身长 62 m,最大直径 5.7 m,最大起飞重量 196 t,有效载荷 7~11 t。“霍托尔”号采用罗尔斯·罗伊斯公司构想的先进单-机体吸气式 RB545 型发动机,并由火箭发射车辅助起飞。“霍托尔”号空天飞机计划于 1995 年首次试飞,2000 年投入使用。1984 年 9 月,“霍托尔”号的 1:100 模型在英国法恩巴勒航空博览会上正式展出,引起国际宇航界的很大兴趣。英国感到高度复杂的空天飞机远非一国所能胜任,必须借助欧洲空间局各成员国的力量,因此希望“霍托尔”号能够作为“赫尔墨斯”号的后继型纳入欧洲长期规划。在 1985 年 1 月举行的罗马会议上,英国代表推荐了“霍托尔”号方案,供欧洲空间局决策。但由于欧洲空间局没有精力和资金同时进行两个天地往返运输系统项目的研究,最终“霍托尔”号空天飞机没有被采纳。

1986 年,英国政府开始为“霍托尔”号空天飞机项目投资。随着研究的深入,又决定将发动机移至中部,使得载荷能力明显下降。随着经济前景更加不明,1988 年英国政府取消了进一步投资,英国宇航公司和罗尔斯·罗伊斯公司只能进行一些基础性的探索研究。1991 年,两家公司提出与俄罗斯合作,采用“安”-225 作为载机。这个方案不久也被放弃了。

1.4 德国“桑格尔”II 号空天飞机

1984 年,西德 MBB 公司开始把高超音速导弹作为重大研究课题。受美国航天飞机成功的感染以及法国“赫尔墨斯”号的影响,该公司提出了“霍罗斯”(Horus)两级入轨航天飞机方案,与“赫尔墨斯”号非常相似。该方案没有得到欧洲空间局的批准。

为了提出有竞争力的新计划,1985 年,西德研究与技术部同几家宇航公司签订了一系列合同,继续深入开展航天飞机技术研究,内容包括飞行控制与制导、气动加热、材料、动力装置和高超音速空气动力学等。西德为谋求在欧洲空间运载技术方面的领先地位,在近一年的研究论证基础上,提出了一种比英国“霍托尔”号空天飞机风险稍小的空天飞机方案——“桑格尔”II 号(Sänger II),作为“赫尔墨斯”号的后继型。1986 年 6 月,西德向欧洲空间局提交了该方案,希望作为与“霍托尔”号方案竞争的另一个可供选择的方案。

“桑格尔”II 号是二级入轨空天飞机。第一级是驮运飞机,大小与波音 747 相当,采用吸气式冲压发动机;第二级是轨道器,采用液氢液氧发动机,重约 50 t(图 4)。“挑战者”号的失事,促使西德于 1987~1988 年对“桑格尔”II 号方案进行重大修改。新的方案重新考虑了安全性问题,主要思路是尽量排除“客货混载”。新方案设计了两种轨道器,一种是载人的“霍罗斯”型,另一种是不载人的“阿古斯”(Argus)型。前者起飞重量 91 t,有效载荷 2~4 t;后者起飞重量 76 t,有效载荷 10~15 t。

1989 年 2 月 24 日,西德政府决定为“桑格尔”II 空天飞机计划第一阶段拨款 2.2 亿马克,另由德国宇航研究院和工业界筹款 1.5 亿马克,使许多重要的基础研究工作得以开展。



图 4 德国“桑格尔”II 号空天飞机
Fig. 4 The German spaceplane Sanger II

德国宇航界对“桑格尔”II 号寄予很大希望。东西德统一后,德国政府于 1990 年 11 月决定放弃“霍罗斯”,只研制不载人的“阿古斯”。1991 年春,德国政府又宣布,暂缓“桑格尔”II 号空天飞机发展计划,留待欧洲空间局最终评判,只以高超音速技术发展计划的名义继续支持。而当时欧洲空间局已对其长远航天计划进行了压缩,“赫尔墨斯”号也面临下马。由于“桑格尔”II 号的开发成本很高,仅凭一国之力难以承受,且进一步研究表明其经济性并没有比火箭好多少,于是德国政府在 1994 年决定放弃该计划。

1.5 日本“希望”号航天飞机

1986 年初,日本宇宙开发委员会召开长期政策恳谈会,对日本的长远航天发展进行了充分研讨。这次会议形成的主要目标有:① 为了在 21 世纪初使日本成为与美、苏、西欧和中国并列的“航天大国”,就要大力推进独立自主的航天活动;② 改变 1984 年《宇宙开发政策大纲》中关于原则上不搞日本独立的载人航天活动的方针,决心依靠本国力量开展载人航天活动,以迎接宇宙工业化时代的到来;③ 决定自主开发航天飞机,建立空间站,研制轨道间运输系统。

在这一新政策背景下,日本提出了研制大型 H-2 运载火箭和 H-II 轨道试验飞机“希望”号(H-II Orbiting Plane-Experiment, HOPE)小型航天飞机的设想,并得到宇宙开发委员会的批准。“希望”号航天飞机的机长约 10.5 m,机身宽 2.3 m,翼展 6.24 m,整个系统的起飞重量约 10 t(图 5)。它可以载人发射,也可以不载人发射;载人时可载 4 名宇航员送入轨道,不载人时可实现自主飞行。

“希望”号航天飞机总体技术不算很先进,但由于长期以来日本缺乏研制大型航天器的技术和经验,因而在计划执行阶段遇到了许多困难。日本政府对这项计划的态度不是很明朗,这也为发展工作带来困难。1993 年国际空间站计划正式实施后,它与日本实验舱一道成为空间站项目,获得了一些政府投资。为了降低发展全尺寸航天飞机的风险,日本提出先期研制缩小的 HOPE-X 返回式试验飞行器。该计划的主要目的,一是验证可重复使用航天飞机所需的再入飞行器系统技术,二是研制出一种具有潜在实际用途的飞行器,用于轨道试验、对地观测和天地往返运输等。HOPE-X 计划在 2003 年首次发射。1994 年 2 月 4 日,H-2A 大型火箭首次发射。有效载荷中有一个轨道再入试验件,上面装有多种先进的防热



图 5 日本“希望”号航天飞机
Fig. 5 The Japanese spaceplane HOPE

瓦,主要任务是试验航天飞机的防热系统和再入技术。此后,日本还用 J-1 火箭、直升机和气球等工具进行了多项与航天飞机有关的技术验证试验。

1998 年,H-2 火箭因多次发射失败,不得不进行修改。日本开始重新评估后续航天计划,加之 1998-2002 年航天预算大幅度削减,HOPE-X 发射计划被迫拖延。2000 年 8 月,日本宇宙开发委员会决定冻结制造 HOPE-X 模型。随着日本航天政策的不断修订,其航天预算的不断减少,加之以后更加重视侦察卫星的研制,HOPE-X 的必要性日益成了问题。2004 年,HOPE-X 和“希望”号航天飞机计划正式下马。

从上述介绍的各国航天飞机或空天飞机项目概况可以看到,尽管它们都先后被中止,但下马的主要原因还是国际国内形势的变化、政策的调整、经费的不足和计划的改变等。虽然各国的航天计划都遇到过各种技术问题,但均非直接原因。甚至“挑战者”号的失事以及美国后来披露航天飞机实际上并不能降低发射成本等因素,也都没有对这些项目的执行产生过大的影响。恰在此时,中国制定了 863 计划,将航天技术列为七大领域之一。正是在这样的国际国内背景下,中国有关部门开始紧锣密鼓地研究载人航天的途径问题,并且展开了长时间的争论。

2 中国围绕航天飞机展开的研究

863 计划七大领域之一的航天技术领域由 2 个主题(大型运载火箭及天地往返运输系统、载人空间站系统及其应用)和 4 个分主题(载人空间站系统、载人空间站的应用、大型运载火箭、天地往返运输系统)组成^[2]。的确,863 计划出台后,中国航天领域围绕载人航天问题开始了长时间的研究、讨论和规划。1986 年 4 月,以屠善澄为首席科学家的航天领域专家组(863-2)在京成立。其主要使命是对航天领域未来高技术尤其是载人航天发展技术途径重新进行论证。载人空间站之所以成为两大主题之一,是因为国际载人航天发展的实践证明空间站是长期载人航天体系的核心,而且此前中国

航天界已经对空间站进行了深入详细的研讨^[3-4]。863 计划中没有明确的是天地往返运输系统,即该系统以何种形式体现,是像美国一样研制航天飞机还是像苏联一样研制载人飞船,成为研究乃至争论的焦点,之后展开了 3 年之久的学术争论^[5]。

为了开展天地往返运输系统的研究,航天领域专家组成立了两个专家组,一个是大型运载火箭及天地往返运输系统组(863-204);另一个是载人空间站系统及其应用组(863-205)。1987 年,在国防科工委的组织下,成立了 863 计划航天技术专家委员会和主题项目专家组,对发展中国载人航天技术的总体方案和具体途径进行全面论证。

863-204 专家组在 1987 年 4 月发布了“关于大型运载火箭及天地往返运输系统的概念研究和可行性论证”的招标通知,以招标方式选择在技术方面有优势的单位,按要求各自论证载人航天方案。航天工业部、航空工业部、国家教育委员会、中国科学院、中国人民解放军总参谋部、国防科工委等系统的 60 多家科研单位参加了这场大论证,仅航天工业部所属的单位就有第一、三、五、八共 4 家研究院分别参加了投标。在不到 2 个月的时间里,各竞标单位提出了 11 种技术方案。根据当时的情况,所主张的方案多带有一定的部门色彩^[2],其中,以航天飞机作为突破口的方案居多,航天工业部及其所属单位均有提出;以载人飞船作为突破口的方案很少,主要由航天工业部所属单位提出。

1987 年 1 月 12 日,国防科工委主任丁衡高在写给国务院主要领导的报告中指出:“首先安排一个为期两年的概念研究阶段。在此阶段,一方面跟踪国外概念研究的成果;另一方面,利用国内现有技术基础,通过必要的试验、计算、分析,进行概念研究。”“如果把可部分重复使用的天地往返运输系统作为第一代,把可完全重复使用的天地往返运输系统作为第二代,各国都对由第一代转向第二代持慎重态度,而不急于匆匆上马。”^[2]这里只谈到了第一代的航天飞机和第二代的空天飞机,未提及载人飞船。

航空工业部在此之前就开展了航天飞机的论证。1986 年 6 月,国防科工委要求开展航天飞机方案论证工作,航空工业部批示其下属 601 研究所开展航天飞机论证工作。该所组织有关专家成立航天飞机工作组,开展研究论证工作,并提交了水平起降航天飞机方案设想。1986 年 9 月,第一次航天飞机论证会召开。于是,这项概念性研究被称为“869 工程”,其目标是对可重复使用的天地往返系统进行研究和初步设计。1986 年 12 月,航空工业部在北京召开了第二次研讨会。除 601 研究所外,北京航空学院、南京航空学院和西北工业大学也分别提出了方案设想。

601 研究所的研究报告“869 工程——可供选择的 4 种总体方案设想”中提出了可供选择的 4 种总体方案设想,分析了美国航天飞机发展的经验教训,以及欧洲国家和日本发展小型航天飞机、空天飞机的设想。报告指出,各国在发展航天技术上不采取统一的模式,而是根据各国国情制定相应的发

展战略,但从航天飞机的发展过程可以看出如下趋势。首先,为了适应航天产业的发展,减少发射费用、提高效率,各国都把一次性运载工具转向航天飞机。第二,要把更多的有效载荷送入轨道,解决燃料和起飞重量的矛盾是关键课题。作为解决未来航天运载系统矛盾的有效途径是发展空气吸入式超音速燃烧或涡轮喷气/冲压火箭组合式发动机,这种发动机可以在起飞升空过程中充分利用大气中的游离氧,从而大大减轻了轨道器或系统的起飞重量,花较小的代价就可以把更多的有效载荷送入轨道。因此,各国都集中了相当多的专家和技术力量从事该项目的发展研究,提出了各种可行方案的论证,在许多方面有所突破。第三,不论从战略上还是商用前景来说,以超音速巡航的运输机和穿越大气层飞行的空天飞机是各国为之努力奋斗的目标^[6]。

报告认为,发展航天飞机除了科学上的优势外,还具有极大的军事潜力。长期以来,超级大国争霸空间,利用卫星进行军事侦察活动和对局部战争的监视。航天飞机能够更好地完成这一任务,而由于轨道限制,有些任务空间站是无法完成的。发展航天飞机将使中国军事上具有长期机动有效的航天侦察手段,能够极大地提高军事侦察能力。由航天飞机发展而来的空天飞机,将能做亚轨道飞行,大气中机动,再返轨道。这种战略武器,将进一步增强国防,提高威慑力^[6]。

研究报告还提出了中国发展载人航天的指导思想,并且提出了中国发展航天飞机的指导思想是:① 瞄准前沿,水平不能低。从中国发展航天飞机的意义看,要想真正强国力、振国威,在国际活动中有发言权,占一席之地,真正对国民经济起很好的带动作用,就应想到 21 世纪的目标,想到 21 世纪初的科学技术水平,不能设想到那时搞出一个 20 世纪 60 年代或在当时就已经落后的东西。② 力求整体先进。应该在经济可行的基础上,尽量采用先进技术,关键项目、总体上应该是先进的。③ 符合国情,走中国式的道路。从中国的科学技术和财力物力出发,充分发挥国内的技术优势,充分利用国内各有关单位的技术成果,积极吸取国外经验,尽量采用先进技术,既要有发展余地,又要投资小见效快,争取在 21 世纪初搞出适合中国国情的航天飞机^[6]。

针对 1986 年 9 月在北京召开的第一次航天飞机论证会(869 会议)提出的技术要求:航天飞机的有效载荷为 7 t、乘员 3~5 人,可以实现无人驾驶;轨道高度 300~500 km;轨道停留时间 2~7 d,这份报告首先分析了一种垂直发射的航天飞机方案:轨道器长 17 m,翼展 10 m,机身直径 3.5 m,轨道器重 17 t,可将 4~5 t 载荷送入轨道。该方案的优点是:动力装置可以利用现成的,技术比较成熟,轨道器也比较研制,技术风险小。但缺点是到 2000 年技术上已经落后了,对国民经济特别是航空工业的带动作用不那么强。这与研制航天飞机的指导思想不相适应。于是又提出了下面 4 种空天飞机方案。

方案 1:单级入轨方案,采用 3 台吸气式双模态火箭发动机,单台推力 50 t,起飞重量 200 t。方案 2:单级入轨方案,采

用6台涡扇冲压组合循环发动机加4台火箭发动机。涡扇冲压组合循环发动机单台推力47 t,火箭发动机单台推力50 t。该方案空天飞机起飞重量360 t。方案3:二级入轨方案,载机采用6台涡扇组合循环发动机,轨道器为3台火箭发动机,单台推力26 t。该方案载机重量442 t,轨道器重量78 t。方案4:二级入轨方案,载机采用16台涡轮喷气发动机,单台推力15 t;轨道器为4台火箭发动机,单台推力50 t。该方案载机重量250.5 t,轨道器重量233 t^[6]。

南京航空学院根据载荷能力7 t的要求,提出了3种空天飞机方案设想。方案1:拟用冲压发动机作为吸气发动机,由母机携带加速至2Ma、高10~12 km后投放,再由冲压发动机将速度提至6Ma、上升至24 km高,最后由火箭发动机推进入轨。该方案起飞重量250 t,入轨重52 t,着陆重45 t。方案2:由起飞车加速到0.4Ma后,用涡轮冲压发动机加速至6Ma,最后由火箭发动机推动进入轨道。方案3是火箭-冲压-火箭方案:由起飞车加速至0.4Ma后,由机上火箭推动到10~12 km高、2Ma速度时,改由冲压发动机推动至6Ma,最后再由火箭工作加速入轨。该方案起飞重量408.51 t,推进剂重330 t^[7]。

西北工业大学在动力系统论证报告中特别指出:“在跨越大气层时,采用空气喷气/火箭组合发动机代替纯火箭发动机在原理上是合理的,根据当今技术水平,经过努力是可行的。其合理性的主要原因是:在低速飞行阶段,空气喷气发动机的比冲约为火箭的8~20倍;在跨越大气层时,使用空气喷气发动机可大量利用大气层中的氧气,大大减少机载液氧的携带量……在这一飞行阶段内,若采用空气喷气/火箭组合发动机,机载推进剂携带量可减少40%以上。”^[8]该报告提出了一种先进的组合发动机方案,从进气道到尾喷管由下列4个主要子系统组成:风扇(包括涡轮和燃气发生器)子系统、火箭(又称喷射压缩器、或引射器)子系统、空气液化子系统和冲压子系统;工作模型依次是风扇火箭冲压模式、风扇冲压模式、冲压模式和火箭模式。

西北工业大学还提出了一种二级入轨空天飞机方案。第一级采用复合式冲压发动机。第二级采用火箭发动机,发射重量196.5 t^[9]。

1986年12月第二次航天飞机论证会在京召开后,航空工业部成立了5个论证工作组,对航天飞机的可行性开展进一步探讨。有关详细研究报告提交863-204专家组。

针对863-204专家组招标,航天工业部也有多家科研部门提出了航天飞机方案设想。中国运载火箭技术研究院一部提出了“天骄”1号小型航天飞机方案。该方案轨道器不带主动力,由运载火箭发射入轨,返回时类似于美国航天飞机的滑翔着陆。“天骄”1号既可载人又可载货,可部分重复使用,研制周期15年。该方案难度适中,可以作为更先进的航天飞机或空天飞机的过渡阶段,而当时世界拥有航空技术实力的国家也正在发展和准备发展该类运输器。因此,中国如果从该方案突破载人航天技术,可以为将来发展大型航天飞机和空天飞机解决许多技术难题^[10]。

上海航天局805研究所和航空工业部640研究所联合提出了“长城”1号航天飞机方案^[11]。该方案为火箭助推的带主动力的航天飞机,具有垂直起飞、水平着陆和部分重复使用的特点。该系统还可作为独立的轨道实验室,能够执行各类空间探测与实验活动。

“长城”1号系统与轨道器主要指标包括:整个系统起飞重量1 015 t;轨道器长24.7 m、翼展13.98 m,起飞质量94 t,额定机组人员为2名,乘员3名,有效载荷重量5 t,对空间站的最小补给周期不小于2个月。它具有不小于2 000 km的横向机动距离,使用寿命15年,可重复使用30次,平均每年飞行4次^[11]。

该航天飞机系统由轨道器和助推器串联而成,助推器由3枚HT-1大型运载火箭的第一级并联组成。起飞时,12台推力为1.15 MN的液氢液氧发动机同时点火。助推器芯级发动机由两边的助推火箭提供推进剂。当推进剂耗尽时,两边的火箭首先分离,芯级火箭继续飞行。起飞279 s后,芯级的两台发动机首先关机,继续飞行300 s后另外两台发动机也关机。此时高度为176.5 m,速度为4 643 m/s。最后,轨道器主发动机点火推进301 s直至进入200 km×500 km轨道。进入远地点后,两台机动发动机点火,进入500 km圆轨道。轨道器为无尾双三角翼布局,带有一台真空推力为620 kN的主发动机,用于芯级分离后入轨推进。轨道器还带有两台推力为10 kN的轨道机动发动机和若干姿态控制喷管。

有关航天飞机的方案大都强调技术的先进性,并且符合863计划的基本宗旨——高技术跟踪。许多专家指出,在经费、时间的允许范围内,应瞄准长远发展目标,制定以无动力的有翼飞行器(航天飞机)作为本阶段的天地往返运输系统的研制计划。这个方案可为第二代天地往返系统打下基础,具有高难度,又具有成功的现实性。如果不注意难度,例如以实现国外20年前已进行的“飞船加空间站”作为中国今后10年甚至20年的目标,所取得的效果与所费资源相比较,得不偿失。研制航天飞机又可为安排非宇航员的有效载荷专家上天工作创造条件。载荷专家的作用,是任何高素质的宇航员所不能代替的。在1986年一次会议上,绝大多数专家主张中国应以航天飞机作为载人航天的起步^[12]。有文献表明,中国航天事业奠基人钱学森支持研制航天飞机^[13]。

1989年8月,运载火箭技术研究院高技术论证组给国家航天领导小组办公室主任丁衡高写信,指出航天飞机方案大大优于多用途飞船方案。信中提到:载人飞船作为天地往返运输手段已经处于衰退阶段,航天飞机可以重复使用,代表了国际航天发展潮流,中国的载人航天应当有一个高起点^[14]。

3 中国围绕载人飞船开展的研究

也有一些专家和部门主张中国载人航天计划应以飞船起步,但数量明显少于航天飞机的支持者。根据国防科工委提出的2000年战略发展研究报告,中国空间技术研究院于1986年初开始了空间站及空间运输系统的研究。1986年3月

22日,该院成立了空间站和空间运输系统研究小组。同年4月22-24日,在第一次空间站讨论会上,508研究所与会专家提出了采用飞船向空间站运人运货、载人飞船兼作空间站轨道救生艇的建议。会议确定由该所负责多用途飞船(含空间站的轨道救生艇)的论证工作^[15]。空间站规划工作涉及一系列空间站单元与相关技术,包括空间站系统与应用、空间交会与对接、空间科学、轨道实验室和天地往返运输系统^[3-4,16]。

1986年5月,508研究所成立了论证小组,承担了多用途飞船的论证工作。论证组经广泛收集、研究各有关资料,并进行深入分析后,于同年7月提出了用飞船作为空间站救生系统的方案设想,并在1986年7月21-26日召开的第二次太空站会议上宣读。在空间技术研究院科技委主任王希季等的支持下,在进一步调研与分析的基础上,508研究所于1987年2月完成了题为“中国空间站的救生艇及其应用”的论文,系统地阐述了以载人飞船作为轨道救生艇及近期天地往返运输系统的理由和意义,提出了载人飞船的具体设计方案,明确指出采用飞船作为空间站的天地往返运输系统是国力唯一可以承担的方案。此外,508研究所还承担了863-2专家委员会关于中国载人航天技术发展途径研究的任务,在1986-1987年分别提交了“中国航天高技术发展途径探讨——兼谈飞船及其应用”和“国外载人航天技术的分析”两篇研究报告。

航天专家褚桂柏一直主张中国应以载人飞船为实现载人航天的突破口。他在1988年撰写的一篇文章中指出,中国载人航天活动在初期年发射的频率不会很高,在这种情况下使用一次性的飞船是比较经济的,而且技术难度较小,易于尽快掌握载人航天技术。只有当空间的工业化和商业化达到一定规模时,使用航天飞机才比较经济,而这个时间可能要到2030-2050年。因此,在2020年以前,为支持中国空间站运行,应当使用载人飞船^[3]。

中国科学院空间中心刘正常也同样倾向于优先发展载人飞船。他在一篇题为“浅谈发展空间站系统的技术路线”的论文中指出,航天飞机、空天飞机以及载人飞船都可以实现天地往返运输任务,但从时间、技术、经济等角度考虑,特别是从尽快发射空间站,实现空间研究、开发与利用角度看,以载人飞船作为发展载人航天的第一步是最佳途径^[17]。

由于当时主张研制航天飞机的声音明显高过载人飞船,因此王希季等多次公开发表文章,指出发展空间站和载人飞船的意义以及航天飞机存在的不足。1987年4月,他在“空间站发展的探讨”一文中指出:“航天飞机虽然研制成功,在技术上也有重大的突破和贡献,但是实践证明研制航天飞机的原来目标却远没有达到。特别是在‘挑战者’号出事之后,暴露出它的很多重大缺点。① 航天飞机人与物的运载混在一起,表面上看得到多用途的好处,但实际上与发展的观点不符。因为这样一混增加了各自的复杂性,降低了各自的可靠性,在经济上和技术上都不合算。② 减少了有效载荷。本来一次使用入轨后不返回可以使102t的重量入轨。但为了重复使用,真正运送入轨的重量只有28.5t,为102t的28%。

③ 以航天飞机作为运载器建造空间站,又要把它作为运输器,必然出现运输器与空间站主体之间的匹配问题,这使设计人员大伤脑筋。④ 航天飞机因为是多用途、多次重复使用的,因此不可能或者不适宜作为救生艇,也不适宜作为空间站与同轨或异轨平台之间的轨道机动器。⑤ 技术难度大,研制费用高。虽然可以多次重复使用,但如果重复的次数在一定期间达不到一定的数量,则费用(单价)比一次性运载器还要高。而这样多的重复使用次数,又由于计划、任务、预算和航天飞机本身的可靠性和技术问题等原因,往往很难达到。因此从重复使用来获得经济上节约的目标难以实现。”^[18]

1987年9月,王希季率中国宇航代表团到美国,考察了马丁·玛丽埃塔公司和美国载人航天飞行器中心,就航天器总体设计技术及相关程序进行考察,尤其对航天飞机的经济性进行了专门的分析。回国后,他发表了“重复使用的并不都是经济的”一文。文章指出,重复使用的航天硬件与一次性使用硬件相比,采用的技术种类多,要求的寿命长和可靠性高,研制费用和生产费用都高;只有在硬件有效寿命期间达到相当的使用次数,重复使用的经济性才能获得^[19]。

中国科学院受863-2专家委员会的委托,于1987年8月组织来自多个研究所的30余位专家成立专题论证组,进行载人空间站大系统的概念研究。经过近两年的工作,形成了10个论证报告。该报告主要研究空间站大系统问题,提出在2010年发射20t的空间站核心舱,但也涉及到天地往返运输系统。报告分析了苏美两国不同的天地往返运输途径,指出“从长远看,美国的投资效益高于苏联”,应“逐步采用比较先进的技术来发展各种空间单元结构,诸如可重复或部分重复使用的天地往返运输器”,“由于航天飞机的研制周期预计较长,可能需要用飞船作为过渡方案”^[20]。基于对天地往返运输系统的不同选择,报告提出了三种发展蓝图:一是在2003年前后发射微型航天飞机,实现载人航天飞行;二是2000年发射总质量8t左右的载人飞船,2013年发射航天飞机;三是2008年发射类似于法国“赫尔墨斯”号的20t小型无动力航天飞机。报告还对3种设想进行了评估,其中方案2最优,得分85.89;方案1得分72.36;方案3得分为67.49^[16]。由此可见,中国科学院的专家们比较倾向于风险、花费、时间上都比较慎重的方案,即以飞船为优先发展的目标。

4 中国载人航天技术途径的决策

由于投标方案众多,863-204专家组经过初步筛选,圈定6个技术方案,要求在1988年6月底前完成技术可行性论证报告,以便高层专家评审。这6个方案分别是航空工业部601研究所的空天飞机方案、航天工业部北京11研究所提出的V-2火箭飞机方案、805研究所和640研究所联合提出的“长城”1号航天飞机方案、运载火箭研究院一部提出的“天骄”1号小型航天飞机方案、航空工业部611研究所提出的借鉴法国“赫尔墨斯”号的航天飞机方案和中国空间技术研究院508研究所提出的多功能载人飞船方案。6个方案中有5个是航

天飞机或空天飞机,只有1个是载人飞船。

1988年7月20-31日,载人航天技术专家委员会召开会议,聘请17位著名专家对上述6个方案进行了评审。会上专家们的思想比较统一,主要意见是:航天飞机和火箭飞机虽然是未来天地往返运输系统可能的发展方向,但中国目前还不具备相应的技术基础和投资力度,尚不宜作为21世纪初的跟踪目标;带主动力的航天飞机要解决火箭发动机的重复使用问题,难度比较大;可供进一步研究比较的是多用途飞船方案和不带动力的小型航天飞机方案。根据上述思路在仔细研究了各方案设想后,最后集中到两个方案:一是运载火箭研究院一部提交的“天骄”1号小型航天飞机方案,一是中国空间技术研究院508研究所提出的多用途载人飞船方案。在专家进行最后评分时,两个方案的得分非常接近,前者是84分,后者是83.69分^[10]。

国防科工委和航空航天工业部有关领导对载人飞船与航天飞机两种方案的学术争论高度关注。1989年2月25日,部党组专门委托庄逢甘、孙家栋两位专家主持召开飞船与小型航天飞机比较论证会。会上,508研究所高技术论证组组长李颐黎作为载人飞船方案的代表发言,他从技术可行性、国家经济承受能力和技术风险等方面将载人飞船方案与小型航天飞机方案作了比较。他认为,从国情出发绝不能搞航天飞机^[21]。经过这次比较论证,航空航天部在中国载人航天发展的途径上逐渐达到共识。

1989年7月,863-204专家组完成了“大型运载火箭及天地往返运输系统可行性及概念研究综合报告”。报告提出了中国载人航天由初级到高级两步走的技术途径:第一步,充分利用中国返回式卫星回收的技术,以较少的经费和较短的周期研制出初期的天地往返运输系统——多用途飞船,使中国尽快突破载人航天技术,解决有无问题,满足初期空间应用的要求。第二步,在2015年左右研制出先进而经济的天地往返运输系统——两级水平起降的空天飞机,以适应未来空间站大系统发展的需要。该报告既考虑了近期需要与技术可能,又照顾了未来发展趋势。

1989年10月,航空航天工业部科技委主持召开了小型航天飞机与多用途飞船比较论证会。空间技术研究院代表在会议上介绍了多用途飞船方案,并提交了载人飞船与小型航天飞机的比较分析报告。该报告从任务和要求的适应程度、技术基础情况、配套工程项目规模、投资费用、研制周期5个方面进行了比较,得出了发展多用途飞船是中国“突破载人航天、形成空间站的第一代天地往返运输系统和作为轨道救生艇的适合国情的最佳选择”的结论。1990年6月,航空航天工业部所属各单位一致表示同意以载人飞船起步。至此,在航空航天工业部的范围内对中国载人航天技术发展途径取得了共识^[22-23]。

1991年1月7日,航空航天工业部成立“载人航天联合论证组”。经过3个多月的论证工作,论证组提出了载人飞船工程总体方案和飞船工程的技术指标和技术要求^[24]。3月15

日,李鹏总理听取了任新民等有关专家的汇报;4月19日,航空航天工业部发出关于开展飞船工程方案论证工作的通知,要求3个单位开展中国载人飞船方案论证。1991年年底,航空航天工业部决定载人飞船研制由中国空间技术研究院抓总,其他院参与。1991年12月31日前,3个单位的论证结果先后上报航空航天工业部。1992年1月8日,中央专门委员会召开第5次会议,专门研究中国载人航天发展问题。1992年8月25日,中央专门委员会向党中央、国务院、中央军委呈上了“关于开展中国载人飞船工程研制的请示”。1992年9月21日,中共中央政治局十三届常委会第195次会议讨论同意了中央专委《关于开展我国载人飞船工程研制的请示》,正式批准实施中国载人航天工程。

2003年10月15日,中国的“神舟”5号载人飞船发射成功,将中国第1名航天员送上太空(图6)。



图6 中国“神舟”5号载人飞船于
2003年10月15日成功发射

Fig. 6 The Chinese manned spaceship Shenzhou 5
launched successfully on October 15, 2003

5 结论

在中国大型国防项目中,像载人航天规划这样采取的论证方式还是第一次。3年的载人飞船与航天飞机之争以及最终的决策体现了以下特点:①跟踪但没有盲目追随国际潮流;②论证过程充分体现了科学、民主;③现实需要与技术可能密切结合;④顾全大局,服务国家利益;⑤政治与行政尽可能减少干预。由于经过了长期严密的争论与论证,最终决策的载人飞船之路更为符合国情,符合载人航天发展规律,因此在执行过程中也比较顺利。中国载人航天工程在技术途径方面的研究、争论与决策过程所提供的宝贵经验,值得其他类似重大工程参考与借鉴。

参考文献 (References)

- [1] 顾诵芬, 史超礼, 李成智. 世界航天发展史[M]. 郑州: 河南科学技术出版社, 2000: 362.
Gu Songfen, Shi Caoli, Li Chengzhi. The history of world spaceflight[M]. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 2000: 362.
- [2] 黄志澄, 等. 关于“863”计划航天技术的概念研究[R]. GFM95877B, 绵阳: 中国空气动力研究与发展中心, 1987.
Huang Zhicheng, et al. On the concept study of space technology of the "863" Project [R]. Report no GFM95877B, Mianyang: China Aerodynamics Research and Development Center, 1987.
- [3] 褚桂柏. 中国空间站发展途径的探讨[C]//中国宇航学会飞行器总体专业委员会, 等. 空间站概念性研究学术论文集. 北京: 航天工业部, 1988: 5-9.
Chu Guibai. Discussion of Chinese space station development approach [C]//The Spacecraft Professional Committee of Chinese Society of Astronautics, et al. Proceedings of the Concept Research of Space Station. Beijing: Ministry of Space Industry, 1988: 5-9.
- [4] 朱宇, 王芷, 齐志红. 中国航天——从航天大国走向航天强国[J]. 科技导报, 2007, 25(23): 17-22.
Zhu Yu, Wang Zhi, Qi Zhihong. Science & Technology Review, 2007, 25 (23): 17-22.
- [5] 戚发轫, 等. “神舟”号载人飞船研制工作首次取得阶段性重大突破——中国载人飞船的进展简况 [M]//王希季. 20 世纪中国航天器技术的进展. 北京: 中国宇航出版社, 2002: 27.
Qi Faren, et al. Development of "Shenzhou" manned spacecraft has made first phasal breakthrough—The progress achieved in Chinese manned spacecraft [M]//Wang Xiji. China's Advance in Spacecraft Technology in the 20th Century. Beijing: China Astronautic Publishing House, 2002: 27-30.
- [6] 航空工业部 601 所. “869”工程——可供选择的四种总体方案设想[R]. GF66592, 北京: 航空工业部, 1986.
The 601st Institute, Ministry of Aviation Industry. Project 869—Four alternative preliminary tentative design plans [R]. Report no GF66592, Beijing: Ministry of Aviation Industry, 1986.
- [7] 陈国钧. 空天飞机总体方案设想 [R]. GF66565, 南京: 南京航空学院, 1986.
Chen Guojun. Preliminary tentative design plans of aerospace plane[R]. Report no GF66565, Nanjing: Nanjing Aeronautical Institute, 1986.
- [8] 西北工业大学. “869”工程论证报告: 空天飞机动力装置方案的探讨与设想[R]. GF66580, 西安: 西北工业大学, 1986.
Northwestern Polytechnical University. The demonstration report for Project 869: Discussion and tentative design of propulsion system for aerospace plane[R]. Report no GF66580, Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 1986.
- [9] 西北工业大学. “869”工程论证报告——总体方案论证[R]. GF66579, 西安: 西北工业大学, 1986.
Northwestern Polytechnical University. The demonstration report for Project 869—The demonstration report of preliminary tentative design plan[R]. Report no GF66579, Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 1986.
- [10] 石磊. 放飞神舟——中国首次载人航天工程纪事[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003: 7.
Shi Lei. Spaceflight of "Shenshou" spacecraft—The record event of Chinese first manned space program [M]. Beijing: China Machine Press, 2003: 7.

- [11] 航空航天工业部 805 研究所, 640 研究所论证组. “长城”一号航天飞机系统概念论证综合报告 [R]. GF05845C, 北京: 航空航天工业部, 1988.
The 805th Institute, Ministry of Aero-Space Industry, Study Group of the 640th Institute. The demonstration summary concept report of the space shuttle system "Changcheng" -1 [R]. Report no GF05845C, Beijing: Ministry of Aero-Space Industry, 1988.
- [12] 朱晴, 王希季[M]//两弹一星功勋科学家. 石家庄: 河北少年儿童出版社, 2001: 252.
Zhu Jing, Wang Xiji [M]//Missiles and Satellite Meritorious Scientist. Shijiazhuang: Hebei Children's Publishing House, 2001: 252.
- [13] 花慕兰, 游本凤. 中国为何不制造航天飞机?一切都为了能回得来[N]. 21 世纪环球报道, 2003-02-17.
Hua Mulan, You Benfeng. Why China has not made space shuttle? For astronauts can return to Earth [N]. The 21st Century Global News Herald, 2003-02-17.
- [14] 左赛春. 中国航天员飞天纪实[M]. 北京: 人民出版社, 2003: 32.
Zua Saichun. The spaceflight document of China's astronauts [M]. Beijing: People's Publishing House, 2003: 32.
- [15] 航天工业部 512 研究所. 太空站专集(1)[R]. 北京: 航天工业部, 1986.
The 512nd Institute, Ministry of the Space Industry. The Monograph on Space Station (1)[R]. Beijing: Ministry of the Space Industry, 1986.
- [16] 庞之浩. 当代出舱活动技术发展[J]. 科技导报, 2008, 26(20): 21-27.
Pang Zhihao. Science & Technology Review, 2008, 26(20): 21-27
- [17] 刘正常. 浅谈发展空间站系统的技术路线 [C]//空间站概念性研究学术论文集. 北京: 航天工业部, 1988: 16-24.
Liu Zhengchang. On the technology pathway of space station system development [C]//Proceedings of the Concept Research of Space Station. Beijing: Ministry of the Space Industry, 1988: 16-24.
- [18] 王希季. 空间站发展的探讨[J]. 中国空间科学技术, 1987, 7(4): 6-7.
Wang Xiji. Chinese Space Science and Technology, 1987, 7(4): 6-7.
- [19] 王希季. 重复使用的并不一定都是经济的 [J]. 中国空间科学技术, 1988, 8(4): 4-7.
Wang Xiji. Chinese Space Science and Technology, 1988, 8(4): 4-7.
- [20] 中国科学院论证组. 载人空间站工程大系统概念研究报告[R]. GFM05832, 北京: 中国科学院, 1989.
Study Group of Chinese Academy of Sciences. Concept research report of manned space station large system[R]. Report no GFM05832, Beijing: Chinese Academy of Sciences, 1989.
- [21] 石磊. 神剑搏苍穹——航天科技 [M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2002: 306.
Shi Lei. Conquest of the space—Space science and technology [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2002: 306.
- [22] 王永志, 孙功凌. 载人航天工程 [M]//宋健. 中国科学技术前沿(1999/2000). 北京: 高等教育出版社, 2000: 3-40.
Wang Yongzhi, Sun Gongling. Manned space program [M]//Song Jian. The Advancing Front of Chinese Science and Technology, 1999/2000. Beijing: Higher Education Press, 2000: 3-40.
- [23] 戚发轫, 李大耀, 李颐黎. 中国载人飞船的进展简况 [J]. 国际太空, 2002, 23(12): 1-3.
Qi Faren, Li Dayao, Li Yuli. Space International, 2002, 23(12): 1-3.
- [24] 李成智. 中国航天技术史稿[M]. 济南: 山东教育出版社, 2006: 813.
Li Chengzhi. The history of Chinese space technology [M]. Jinan: Shandong Education Press, 2006: 813.

(责任编辑 朱宇)