

“阿波罗范式” ——美国载人航天的困境与出路

黄 嘉

(国防科技大学人文与社会科学学院人文系, 长沙 410074)

摘 要: 2010—2011年, 美国先后撤销和终结了延续5年的“星座”计划和历时39年的航天飞机项目, 造成美国独立载人航天能力的断档, 使美国载人航天事业面临深刻困境。造成此困境的根源是阿波罗时代以来美国载人航天事业发展中体现出的一种“阿波罗范式”, 其核心是对大型技术系统和项目的偏爱, 认为大型载人航天任务对于维持民用航天项目上的政治支持是必要的。“阿波罗范式”涉及的技术项目在项目目标、经济与技术特征上都不具有不灵活性, 导致了美国载人航天事业的困境。载人航天事业的可持续健康发展需要摆脱“阿波罗范式”, 探索“灵活路径”, 并将灵活性建立在航天工业部门的基础上。为此, 一方面需要转变政府采办方式, 以培育航天装备制造市场, 鼓励多样化的技术发展路线; 另一方面需要为航天装备产业的创新发展创造技术和市场的小生境。

关键词: 阿波罗范式; 载人航天; 灵活路径; 航天飞机项目; 星座项目

中图分类号: N01

文献标识码: A

文章编号: 1674-4969(2012)04-0397-07

2011年7月21日, “阿特兰蒂斯”号航天飞机执行完最后一次任务后顺利返航, 为延续39年的美国航天飞机项目正式画上了句号。此前的2010年2月1号, 美国总统奥巴马决定撤销国家航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)苦心发展了5年的“星座”计划, 希望尚处于襁褓中的商业载人航天器承担起开创美国载人航天未来的重任。从航天飞机最后一次飞行, 至预计在2016年前后实现的商业载人航天器首次载人航天之旅, 美国有至少5年的独立载人航天能力断档期。短期内两大载人航天项目的相继终结、美国载人航天能力面临的断档危机使美国载人航天事业深陷困境。

“冰冻三尺, 非一日之寒”, 美国载人航天事业当前面临的困境有其历史根源。2005年9月,

NASA局长格里芬在介绍“星座”计划的核心组成部分, 即日后的“猎户座”飞船时指出: “它非常像阿波罗飞船……把它理解为打了激素的阿波罗。”这一后来引发争议的比喻表明, 时隔30年之后, “阿波罗”工程仍然在美国航天管理和技术精英头脑中留有深刻的烙印。从某种意义上我们甚至可以说, NASA的成功是因为“阿波罗”工程, NASA的失误同样也是因为“阿波罗”工程——固守已经不合时宜的“阿波罗范式”, 而没能实现成功转型。

1 “阿波罗范式”的定义、基本特征与形成背景

美国的载人航天事业是伴随着“阿波罗”工程的实施发展壮大起来的。“阿波罗”工程的胜利

既为美国和 NASA 赢得了国际性的声誉, 也给其主管部门 NASA 留下了历史包袱。“阿波罗”工程在技术和组织管理等方面的经验深刻影响到 NASA 日后的发展, 显著体现在后续的航天飞机项目、国际空间站项目和“星座”项目中。

在“阿波罗”工程的思想观念遗留中, 比较有争议的一项就是对大型技术系统的偏爱。1989年, 美国空间政策专家拜尔利(Radford Byerly, Jr)与布伦纳(Ronald D. Brunner)明确提出了“阿波罗范式”, 并给出概要定义: 主要由于“阿波罗”工程的影响, 在美国民用航天项目中发展起来的一套观念、实践和组织文化, 其核心假定是大型载人航天任务对于维持民用航天项目上的政治支持是必要的。^{[1]187}

拜尔利与布伦纳等人总结了为“阿波罗范式”所青睐的项目的三个特征: 一、无论从物理尺度还是复杂性上来看都规模庞大, 从而成本高昂; 二、按照一个集中的核心计划进行预先规划, 并与其他项目整合到一起, 任何薄弱链接出现失误都会对其造成危害; 三、依赖于长期、稳定、集中的政治支持。在青睐大型复杂项目的同时, “阿波罗范式”忽视了健康可行的航天项目所应符合的其他标准, 如: 对于硬件故障、用户需求改变以及正在出现的竞争者等被忽视的不可测负面事件的鉴别和理解; 应对无法完全预测或控制的事件所需的弹性或灵活适应能力; 不断保持和刷新维持项目所需的政治共识。^{[1]175-177}

“阿波罗”工程本身的特征及其所处的时代与政治背景, 决定了其成功经验是无法复制的。就项目本身而言, 它在启动之时就有明确的目标与进度安排——十年之内把美国人送上月球。就项目的时代与政治背景而言, 项目是在冷战最高潮的时候启动的, 与维护国家安全和民族自信心、拉拢新独立的第三世界国家等重大政治目标紧密联系在一起; 项目由时任美国副总统兼国家航天委员会主席的约翰逊提出, 主要投资都是在约翰

逊总统任期内完成, 1969年上台的尼克松只需坐收政治红利。即便如此, 从“阿波罗”11号成功登月中获取重大政治利益的尼克松仍决定将航天探索的重点从深空转向近地轨道, 砍掉了最后三次“阿波罗”任务, 搁置了空间站计划, 并在事实上否决了探索火星的目标。

为了实现肯尼迪定下的“这个十年内”登上月球的目标, NASA 选择了为尽可能快地登上月球而优化的技术与架构。这些选择留下了不幸的后果: 到了20世纪70年代早期, “阿波罗”飞船和庞大的“土星5号”火箭被证明与当时能获得政治支持的任何航天任务无关, 并很快被废弃。然而, 为了发展、测试与运营阿波罗-土星系统, NASA 建立起了一套大型的基础设施、一支具有极高能力素质与敬业精神的劳动力队伍以及分布广泛的航天工业基地, 这些都被传承下来。美国著名空间政策专家、华盛顿大学空间政策研究所所长洛格斯登(John M. Logsdon)指出, 一种理解后“阿波罗”时代40年载人航天史的方式是将航天飞机与国际空间站项目视作保存并利用这些基础设施、劳动力队伍和工业基地的尝试。可以理解, 在“星座”项目中继续采用“打了激素的阿波罗”发展路线是对上述项目的延续, 是再次尝试利用“阿波罗”工程的物质与观念遗产。^[2]

2 “阿波罗范式”的弊端在于其“不灵活”性

遵循“阿波罗范式”的技术项目都是围绕一个中心愿景展开的。这里所说的愿景不仅包括关于一项技术的形式和特征的设想, 还包括关于其功能与利益以及在其应用领域新的社会技术秩序的设想。“阿波罗范式”里中心愿景的时间跨度长达十年甚至更久, 在展开、执行过程中存在着与主流民意、社会需求和时代主题相脱节的风险。“阿波罗”工程启动时, 在登月竞赛中击败苏联

这一目标与当时的重大政治问题紧密联系在一起，能够得到政治人物和公众的广泛支持。然而，仅仅 8 年之后，美国就身处民权运动、学潮和越战的深渊之中，“阿波罗”工程的辉煌成就与这些最为重大、紧迫的社会议题显得不相关。无怪乎尼克松在 1969 年 1 月的就职演说中感慨“我们以极高的精度到达月球，却在地球上陷入混乱与纷争”，认为“我们的命运并不寄托在那些星星上，而系于地球本身”。^[3]“阿波罗”工程很好地顺应了肯尼迪时代的社会政治主题，但与尼克松上台时美国的社会政治主题严重脱节，因此其难以为继、戛然而止并不出人意料。

“阿波罗”工程的历史经验表明，即便大型技术项目的中心愿景在提出之时能顺应时势与民意，推动技术项目的发展，随着时代的变迁，激发初始发展的社会愿景也可能被其他议程所掩盖。一项技术也许最开始会得到支持，因为它与当时特定的价值需求或实践是一致的，人们也会将它与社会目标联系在一起，但这些并不是它内在而不可分离的特征。由于技术被修改，或者其他方面的利益型塑了其形式与使用方式，它可能会实现完全不同的目标，给不同的群体带来利益并产生与以前所设想的不同的效应。^[4]这进而又会影响它下一步发展的方向。由于这一系列后续的变故，最初的愿景会被完全打碎、重组。技术发展规划必须能够适应这种愿景的变化，否则便可能僵化、落后，不适应新的时代，最终被废弃。单项技术设计与技术架构设计概莫能外。

美国的航天飞机项目代表了通过“通用”化将技术目标的灵活性体现在单一技术平台上的失败尝试。在为争取航天飞机项目上马而建立政治同盟的过程中，NASA 将航天飞机设计成了一种通用的航天运载器，能够满足军、民、商各方面用户的各种要求，建立起了尽可能广泛的支持者同盟。然而，将各方面要求都体现在技术设计中

会使技术系统不断趋于复杂化，最终造就一种无法以合理的成本满足任何一方需求的大而全的巨无霸。

“星座”计划代表了通过架构式设计将技术目标灵活性体现在系列技术上的失败尝试。“星座”计划在实施之初就明确要求以架构式设计取代聚焦单一技术平台的点状设计。通过架构式设计，NASA 得以将整个计划分成不同的阶段，维持相对平稳的投资。然而，美国国会政治的一个最为显著的特点就是临时权宜方案的普遍存在，这就使计划的分阶段发展面临着巨大的政治风险：作为一个整体的技术系列很可能在政治交易中被拆散，批准其中一些组成部分，而拖延甚至否决其他部分。政府换届后，“星座”计划被撤销，其中的“猎户座”飞船作为妥协以新的名义延续下来；“战神”火箭项目被撤销，迫于国会的压力，奥巴马决定发展一种新的 130 吨级的大推力火箭。由于火星探索和重返月球目标已被撤销，用这种大推力火箭来干什么便很成疑问。政治家们设计的火箭不免会成为下一次政治交易的牺牲品。将目标灵活性体现在技术架构上的根本问题在于，政治家们未必有耐心给 NASA 以实现该架构的时间。

除了技术目标灵活性方面的问题外，遵循“阿波罗范式”的技术项目在其技术-经济特征上同样也有不灵活的问题，它们属于技术政策专家科林格里奇（David Collingridge）所说的“不灵活的技术”。这类技术有四个典型特征：漫长的研发周期、巨大的技术单元规模、资本密集、依赖专用基础设施。在科林格里奇看来，如果技术的研制周期过长，那么关于其性能的信息就会来得太晚，对于试错式学习没什么价值；如果出于规模经济等方面因素的考虑，使技术以大型单元的形式发展，就会延缓学习过程，因为只有少量单元会投入使用，而不是更多的小型单元；高投资成本、

低运营成本的技术不利于试错式学习, 因为错误的成本过于高昂, 而低投资成本、高运营成本的技术则可能在后期使用中通过“学习效应”等途径降低运营成本; 一项技术若只有在专用的支援辅助设施配合下才能得到适当的应用, 试错式学习的方法将会是缓慢而昂贵的, 因为这些基础设施要花费时间和金钱建设, 同时也会给错误的归因带来难题。^[5]

3 载人航天事业的可持续健康发展需要探索“灵活路径”

航天飞机和“星座”项目发展中的曲折教训表明, 试图在政策层面上确定和支持单一的载人航天发展路径可能是一种误导。载人航天项目往往延续十几年甚至几十年, 耗资数十亿甚至上百亿美元, 无论采取单项技术设计还是技术体系的架构设计, 倘若过于依赖中央权威的统一规划, 而该中央权威又无法提供足够的资源, 维持稳定的政治-社会支持, 在当前的社会背景下就难免重蹈航天飞机项目和“星座”计划的覆辙。载人航天事业的可持续健康发展需要探索“灵活路径”, 重视技术目标及其实现方式的灵活性。

“灵活路径”原本是2009年美国奥古斯丁委员会报告的用语, 后被奥巴马采纳, 用于描述航天飞机项目结束后美国载人航天探索的目的地。报告所说的“灵活路径”的目的地选择是相对于径直登陆火星或月球而言的、近地球轨道之外载人航天探索的第三类目的地: 在太阳系内层访问小行星、彗星、火星的卫星、拉格朗日点等一系列以往尚未涉足的目标, 最终造访火星。这些目标是通往火星之路的跳板, 宇航员们将在那里学会在外太空和地外天体上长期生存、工作的技能, 还能获得一系列的科学发现, 创造一连串的“首次”和“第一”, 通过一系列里程碑式的事件不断激发公众热情。简言之, 奥古斯丁委员会报告中

的“灵活路径”是一条有许多中间环节和跳板的火星探索之路。^[6]

奥古斯丁委员会报告中提到的“灵活路径”大致解决了载人航天探索的目的地选择问题, 经过一番辩论后, 这已基本成为美国社会的共识。不过, 上述语境中的“灵活路径”并没有回答载人航天探索的目标问题: 超越苏联之后, 美国为什么要发展载人航天? 也没有回答造访“灵活路径”中一系列目的地所需的灵活的技术基础问题。

当代社会已经极少有人怀疑作为整体的航天事业的意义, 空间科学与应用带给人类物质与观念世界的重大变革已充分证明了其自身的价值。然而, 人类探索与利用太空未必需要人本身进入太空。随着人工智能等技术的发展, 绝大多数科学、经济、军事方面的目标完全可以用更为安全和经济的无人航天器实现。在此背景下, 发展载人航天的目的与意义就成为美国社会争议的焦点。

自“阿波罗”时代结束以来, 缺乏目标被认为是美国载人航天事业的痼疾, 一再被批评者们提起。1990年8月, 美国副总统兼国家航天委员会主席丹·奎尔设立的“美国航天项目的未来前景顾问委员会”在其最终报告中指出: “在民用航天的目的是什么、如何实际达成这些目的的问题上缺乏全国共识。大部分美国人看来都支持国家发展可行的空间项目, 但又没有任何两个人能就该空间项目应该是什么达成共识。”^[7]2003年8月, 小布什总统设立的“哥伦比亚号航天飞机事故调查委员会”在其最终报告中意味深长地指出: “在过去三十年里, 缺乏这样一种国家授权, 它可以为NASA提供令人信服的、需要人进入太空的任务。……美国的民用航天事业已经在没有指导性愿景的情况下进行了三十多年, 并且最近也看不到这种愿景即将出现。在过去, 这种战略愿景的缺失本身就反映了一种政策决定, 因为国家领袖们曾有许多机会赞同富于雄心的航天目标, 但没

有一位这样做。”^[8]

不过，缺乏目标也许是美国航天界人士需要长期面对的现实。在以多元化为特征的后冷战、后工业化社会，载人航天事业的发展方式、目标等方面难以凝聚主流民意并形成政治共识已成为无法回避的趋势，灵活的目标成为谋划载人航天事业发展时难以避免的选择。长远规划和顶层设计对于载人航天事业的可持续健康发展仍然是至关重要的。然而，大型载人航天项目往往历时十几年甚至几十年，在选择具体的探索、研究项目与课题时，要善于及时把握时代特征、主流民意、相关领域技术进展等方面的情况变化，设法将载人航天与所处时代的重大社会现实问题联系起来。大型载人航天项目可以拉动地方经济发展，带动就业，在经济萧条时期具有重大而现实的社会政治意义；空间医学与生命科学也许能为探索疾病、衰老的机制找到新的途径，这是逐渐步入老年化的社会公众日益关注的问题；载人航天领域的国际合作瞩目度高，可以作为彰显盟友关系或宣示关系“缓和”的有力象征……。这些社会政治职能都是自动化的无人航天器项目无法有效承担的。因地制宜、与时俱进地将这类重大社会现实问题纳入到载人航天项目的规划与实际运行过程中，及时响应不断变化的社会需求有助于动员各方面的社会力量，将各类不同的动机、目标引导到对载人航天事业的支持上来。

4 实现灵活目标的技术基础应置于强大而健康的航天工业部门之上

实现灵活目标的技术基础不能置于“大而全”的通用航天器/航天运载器上，否则会导致“不灵活的技术”；这一技术基础同样也无法置于预先设计的宏大技术架构上，否则缺乏耐心、盛行折中和临时解决方案的美国政坛很快会将宏大方案肢解重组，“星座”计划提供了最新实例。

“阿波罗”工程中探索出来的“并行式”发展路径可以为探索实现灵活目标的技术基础提供有益的启示。“并行式”发展，即同时探索实现同一技术目标的不同技术途径，有助于降低技术本身的研发风险，缺点是成本高昂。1961年“阿波罗”工程启动时，美国的载人航天基础薄弱，再加上赶超苏联的压力，迫使美国选择“并行式”的发展道路，以高昂的成本换取项目内部的灵活性。经过半个多世纪的发展，美国已经具备了一流的航天工业基础。尤其是20世纪90年代，美国的航天工业部门经历了大规模的合并重组，波音公司、洛克希德·马丁公司等航空航天巨头均已具备了独立开展大型航天系统设计的能力。在此情况下，积极转变政府职能、鼓励航天工业部门独立开展研发、政府直接向它们采购产品和服务、将灵活性建立在航天工业部门基础上，是顺应时代潮流、确保载人航天事业可持续发展的可行途径。

将灵活性建立在航天工业部门基础上，首先就要转变政府采办方式。载人航天商业化是目前美国民用航天政策争论的热点之一。有人认为这并不是一个有效议题，因为美国的航天器和航天运载器工程的设计、建造从来都是由商业公司具体承担的。不过，商业化之所以成为问题提出来，是因为以往政府与航天企业签订的是成本加成（cost plus）合同，一旦出现技术瓶颈，承包商可以申请追加投资，控制成本的责任主要在政府。成本加成的合同对于充满不确定性的尖端技术研发项目也许是合适的，但会刺激承包商采用最先进、从而也是风险最高的技术，并使技术设计趋于复杂化、大型化，工程技术人员也乐于挑战自身才智的极限，反正最后会有政府买单。甚至有批评者认为，“大”科学本身也许是预算和采购政策、激励结构的产物，而非技术发展的内在要求。^{[1][18]}以目前美国的技术实力，载人航天所需的中等推

力、高可靠性火箭本身已不是航天技术的最前沿, 美国也正在推行载人航天商业化的转型, 放手让私营企业独立设计火箭, 政府以固定价格合同采购现成的产品和服务。除了节省成本外, 这一采购方式可以培育航天装备制造市场, 鼓励多样化的技术发展路线, 这些多样化的技术在成熟以后又会相互竞争, 真正为航天探索提供灵活的技术基础。企业以自身的技术和资金从事研究, 政府主要在采购环节加以控制引导, 有利于避免政治因素对技术发展的不利影响, 一切以低成本、高性能的技术为导向, 无需考虑分包商选择中的地域平衡、刺激就业等社会问题, 也免受政府换届、领导人看法和注意力改变造成的影响, 至少在企业内部为技术发展营造一个稳定的环境。

将灵活性建立在航天工业部门的基础上, 还需要为航天装备产业的创新发展创造技术和市场的小生境 (niche)。技术发展的初期往往会有不成熟、不完善的地方, 与现有技术相比, 只要不是一无是处, 就应通过政府补贴、政策扶持等形式设法为其创造一个技术小生境, 使其在面临成熟技术的竞争压力下仍能发挥在该小生境中的独特优势, 争取到成长壮大的空间, 避免技术锁定和单点失效 的风险。例如, 奥巴马在航天政策调整的讲话中提到要发展太空推进剂储存技术, 除了能为深空探测可持续发展奠定技术基础这一广为谈论的用途外, 它实际上也能为那些在载人航天运载器竞争中落选但在其他方面有潜力的运载器产品提供一个应用领域和有保障的政府采购市

场。多家企业各自设计出的不同运载器等航天装备不可能都被政府采购后用于载人航天。为维护承包商利益, 鼓励其投资航天装备的积极性, 政府可以结合具体装备的相对优势积极为落选者寻找甚至营造其他合适的市场; 相关的企业也应积极探索, 针对细分市场的特殊需求调整主攻方向, 确立在细分市场的产品和服务优势。

参考文献

- [1] Byerly R Jr. Space Policy Reconsidered[M]. Boulder: Westview Press, 1989.
- [2] Logsdon J M. Change and continuity in US space policy [J]. Space Policy, 2011, 27: 1-2.
- [3] Nixon R M. Inaugural Address[R/OL]. (1969-01-01) [2012-06-19]. <http://www.presidency.ucsb.edu/ws/index.php?pid=1941>.
- [4] Russell S, Williams R. Social Shaping of Technology: Frameworks, Findings and Implications for Policy[M]// Sørensen K H, Williams R. Shaping Technology, Guiding Policy: Concepts, spaces & tools. Cheltenham: Edward Elgar, 2002: 61.
- [5] Collingridge D. The Management of Scale: Big Organizations, Big Technologies, Big Mistakes. London: Routledge, 1992: 3-18.
- [6] Augustine N R, Austin W M, Chyba C, et al. Seeking a Human Spaceflight Program Worthy of a Great Nation[R]. Washington, D.C.: Review of U.S. Human Space Flight Plans Committee, 2009: 40.
- [7] Advisory Committee on the Future of the U.S. Space Program. Report of the Advisory Committee on the Future of the United States Space Program[R]. Washington, D.C.: United States Government Printing Office, 1990: 5.
- [8] Columbia Accident Investigation Board. Columbia Accident Investigation Board Report: Volume 1 [R]. Washington, D.C.: Government Printing Office, 2003: 209-210.

“单点失效”是指系统发生了单一故障而导致全系统不能正常运转的情况。通过冗余系统、备份系统可以避免单点失效。

“Apollo Paradigm”: Dilemmas and Solutions of U.S. Human Spaceflight

Huang Jia

*(Department of Humanities, School of Humanities and Social Sciences, National University of Defense Technology,
Changsha 410074, China)*

Abstract: During 2010-2011, the USA cancelled the 5 years old Constellation program, terminated the Space Shuttle program which had lasted for 39 years. These led to a “gap” in America’s independent human spaceflight capacities and profound dilemmas in U.S human spaceflight enterprise. These dilemmas rooted in the “Apollo paradigm” are reflected in the development of U.S. human spaceflight since the Apollo era and are characterized by favoring to large scale technological systems and programs and the presumption that large human spaceflight programs are essential to sustain the political support for civil spaceflight programs. The goals, economic and technological characteristic of the technological programs in the “Apollo paradigm” are inflexible, which leads to the current stalemate in the U.S. human spaceflight enterprise. The sustainable and healthy development of human spaceflight requires getting rid of the “Apollo paradigm”, exploring the “flexible path” and basing the flexibility upon the entire aerospace industry. To fulfill these, we should, on the one hand, transform the methods of government acquisition so as to foster the market of space equipment manufacturing and encourage diversified courses of technological development; on the other hand, we should create technological and market niches for the innovative development of space equipment industry.

Key words: Apollo Paradigm; human spaceflight; flexible path; Space Shuttle Program; Constellation Program