

发展科学卫星的管理复杂性

曹松^{1,2}, 李自杰³

1. 中国航天系统科学与工程研究院, 北京 100048

2. 中国科学院国家空间科学中心, 北京 100190

3. 中国科学院重大科技任务局, 北京 100864

摘要 发展科学卫星具有重要的意义,但由于科学卫星的特点,发展科学卫星面临着许多管理复杂性问题,采用传统的系统工程与项目管理方法并不能取得良好的效果。在分析科学卫星的特点、总结中国科学院空间科学先导专项实践经验的基础上,提出了处理科学卫星管理复杂性问题的思路与对策。

关键词 科学卫星;管理复杂性;系统思维

科学卫星是在日地空间、行星际空间乃至整个宇宙空间探测研究物理、天文、化学及生命等自然现象及其规律的航天器^[1]。当代科学发展的历史充分证明,大量科学发现和进展来自于对宇宙和太空的探索。同时,科学卫星还能带动关键共性技术、前沿引领技术、现代工程技术、颠覆性技术的创新。因此,美国、欧盟、日本等科技发达国家和地区都高度重视发展科学卫星。

近年来,中国科学卫星事业取得了重要进展。中国科学院部署实施空间科学先导专项,2015~2017年成功发射了暗物质粒子探测卫星“悟空”、量子科学实验卫星“墨子”、返回式科学实验卫星“实践十号”、硬X射线调制望远镜“慧眼”^[2]。系列科学卫星在轨开展探测与实验,已取得了重大科学发现及成果。

回顾近年的实践可以发现,卫星本身只是科学卫星在空间开展探测与实验的平台,科学卫星研制成功、发射成功并不代表科学目标的实现,而空间科学战略发展规划、概念研究和预先研究、科学数据分析研究

等,特别是管理中出现的复杂性问题,都对科学卫星的成败有着至关重要的影响。

从20世纪中叶以来,复杂性科学逐渐被用来描述具有非线性、不确定性、自组织和自适应等特征^[3]的各种自然和社会现象,成为相关领域研究的热点与前沿,其中复杂科学与管理的结合是一个重要方面。虽然相关理论仍处在发展之中,但它提供了一种新的视角,可以用来总结和审视在科学卫星实践中遇到的管理复杂性问题。

1 发展科学卫星面临的管理复杂性问题

本文讨论的发展科学卫星的复杂性问题,不是研制卫星本身的具体技术问题,而是如何发展科学卫星宏观管理的复杂性问题,涉及国际科技竞争态势、国家科技政策、学科战略规划、任务遴选决策、项目组织管理、团队建设与文化等因素。这些复杂性不仅是缺乏经验的、主观的认知复杂性问题,而且也是客观存在的

收稿日期:2018-03-27;修回日期:2018-04-20

作者简介:曹松,副研究员,研究方向为空间科学战略规划,电子邮箱:caosong@nssc.ac.cn

引用格式:曹松,李自杰.发展科学卫星的管理复杂性[J].科技导报,2018,36(12):8-12;doi:10.3981/j.issn.1000-7857.2018.12.001

逻辑复杂性问题。外部环境的影响、组织内部的非线性关系,特别是人的复杂心理和行为,是管理复杂性的主要根源。

发展科学卫星的复杂性问题常表现为:基础研究前沿的最新突破,可能导致正在论证或研制中的科学卫星失去科学意义,甚至其科学目标的理论基础都被颠覆;每一个科学卫星计划都不重复,不能通过简单的机械重复获得相同的结果;通过加强计划、组织、指挥、协调和控制等管理活动,虽然能够保证卫星工程研制目标的实现,但却不能保证科学发现和研究成果;科学卫星成功发射入轨获得科学数据,但不等于其科学目标实现和任务完成……上述这些现象体现出了非线性、不确定性、不稳定性等特点。

发展科学卫星的管理复杂性问题的根源在于科学卫星本身的特点^[4]。卫星本身只是在宇宙空间开展科学探索的实验平台和技术手段,科学卫星的成功与否不仅与卫星等工程实现相关,而且与其科学目标所依据科学理论的正确性、探测原理的可行性、科学数据的获取与分析研究情况等诸多不确定的因素相互耦合、密切相关。

系统工程方法是处理技术复杂性的有效方法和途径,基于计划与控制的传统项目管理方法对项目的成功也发挥了重要作用,美国的“阿波罗计划”、中国的“两弹一星”工程等都是系统工程方法和项目管理成功范例。但系统工程和传统项目管理方法的对象是确定性问题,发展科学卫星的管理复杂性问题需要采用新的范式。

2 发展科学卫星的管理复杂性问题的解决思路

钱学森认为:“凡是不能用还原论方法处理的或不宜用还原论方法处理的问题,而是要用或宜用新的科学方法处理的问题,都是复杂性问题。”^[3]本文通过对发展科学卫星的实践总结和理论探索,提出了应对管理复杂性问题的思路与对策,可以概括为:1种思维、3个维度、若干方面的关系。

发展科学卫星需要系统思维指导。系统思维是把认识对象作为系统,从系统和要素、要素和要素、系统和环境的相互联系、相互作用中综合地考察认识对象的一种思维方法。系统思维注重从整体出发考虑问

题,“后退一步,审视大画面”“既见树木,又见森林”,避免片面和近视的局部思维方式^[5]。要求加强顶层设计和整体谋划,同时处理好方方面面的关系,解决好各项措施之间的关联性和耦合性。系统思维关注对象系统中内部诸要素的结构、状态的演化,关注系统与所在环境的物质、能量和信息的交换,倡导以动态的观点、发展和演化的观点考虑问题。系统思维还要求把复杂性作为复杂性对待,而不是把复杂性约化为简单性来处理。

具体地,处理发展科学卫星的管理复杂性问题要从3个维度入手。

在时间维度上,要面向科学卫星的全生命周期。航天工程研制的方案设计、初样研制、正样研制等阶段^[6],只是科学卫星全生命周期的一部分,科学卫星的全生命周期要向两端延伸拓展。在工程研制之前的战略研究、任务概念研究等阶段,要从学科基础研究中来,负责研究学科重大科学问题,规划发展路线,酝酿科学卫星任务概念;在工程研制阶段之后的科学数据分析研究阶段,应回到学科基础研究中去,通过分析挖掘和研究,形成科学卫星最终的成果产出。“一头一尾”两端的生命周期阶段是科学卫星所特有的,必须给予足够的重视。

在逻辑维度上,要始终把握科学目标。科学目标是科学卫星一切工作的出发点和落脚点。科学卫星任务各层级技术要求的发展演化逻辑是:首先针对具体科学问题提出科学目标,由科学目标提出有效载荷配置方案,根据科学目标及有效载荷配置方案提出对卫星及天地各大系统的技术指标与使用要求,在此基础上开展方案设计和工程研制。因此,无论是卫星系统的工程方案,还是运载火箭、测控、地面等各大系统,都要支撑服务于科学目标的实现,而不是制约甚至削减科学目标。在生命周期的不同阶段,都需要反复确认科学目标和上述逻辑关系。

在认知维度上,要形成应对管理复杂性的智慧。面对突出的不确定性和风险,除了具有挑战性的技术问题,还有大量“不知道自己不知道”(unknown-unknown)的问题,如科学探测过程中的意外场景等,面对这样的问题,应实现科学家、工程师以及管理者三方面的认知融合。与其他工程技术项目相比,科学卫星任务需要更大范围、更多层次上的研讨交流、同行评议及头脑风暴等。而且,科学卫星任务团队中的领导与管

理者、科学家、工程师等利益攸关方,都应加入管理与决策过程,充分发挥科学家群体、工程师团队的自组织性,通过参与者的交流和相互激发,实现“数据-信息-知识-智慧”的响应,涌现出应对管理复杂性问题的智慧。这也是钱学森提出的“大成智慧”^[7]的应有之义。上述对策应具体落实到组织管理体制和机制上。

发展科学卫星还应处理好以下若干方面的关系。

1) 发展科学卫星与国家战略的关系。中国航天事业的每一次进步和跨越都立足于国家发展的总体战略和全局的需要^[8],与国际大环境、国家发展和社会经济的需要休戚相关。20世纪五六十年代,在基础工业薄弱、科技水平落后的特定历史条件下,中国发展“两弹一星”是国家安全的战略需要。从20世纪七八十年代开始至今,随着改革开放的不断深入,中国大力发展对地观测卫星(包括风云卫星、海洋卫星、资源卫星、高分卫星、环境卫星)、通信广播卫星、导航卫星等^[9],是推动经济发展、服务社会民生的国家需要。当前,中国发展进入了新时代,正在实施创新驱动发展战略、加快建设创新型国家^[10],已吹响了建设世界科技强国、航天强国的号角,因此发展科学卫星正当其时。未来科学卫星的发展必须继续坚持面向国家重大战略需求。

2) 长期规划与短期竞争的关系。1颗科学卫星从科学家提出任务概念到在轨获得科学数据,至少需要约10年时间,而取得科学成果所需要的时间更长。例如,“卡西尼”土星探测器于1982年提出,1988年立项,1997年发射,2004年抵达土星,2017年完成全部探测任务^[11]。面对大型项目实施周期长所带来的不确定性,美国和欧洲等科技发达国家和地区均通过制定长期科学卫星发展规划,为政府决策机关、科学家、工程师建立广泛的信心,从而形成了稳定的团队。例如,美国持续开展空间天文、太阳物理、地球科学等学科的10年调查^[12],欧洲空间局(ESA)制定“地平线2000”(Horizon 2000)“宇宙憧憬2015—2025”(Cosmic Vision 2015—2025)^[13]等战略规划。但同时,基础研究也存在激烈的国际竞争。例如,中国开展量子科学实验卫星论证和研制的同时,美国、欧洲、日本、加拿大、新加坡等国家都制定了发射量子卫星的计划,而且日本也完成了发射^[14]。因此,设置“短、平、快”的任务部署渠道,遴选“机会型”科学卫星任务,应对国际竞争态势是必要的。但也需注意,“插队”的机会型任务应尽量不打乱已规划的卫星任务序列,不颠覆长期战略规划的有效性、权威

性,更不能破坏评审和部署程序。经过规划与部署等数十年的良性循环,欧洲空间局现在已经形成了大、中、小3类科学卫星任务布局^[16],具有长短不同的部署间隔时间。

3) 科学目标与工程实现的关系。对于科学目标与工程技术的关系仍然存在2种思路:一种是优先建设空间基础设施、发展工程技术能力,再为已有的技术能力寻找适合的科学目标,很多大科学装置平台就是这样的建设思路;另一种是从科学目标出发提出对卫星平台及天地各大系统的工程技术需求,各类科学卫星和深空探测器等就是该思路的典范。应该说,这2种思路各有其合理性,应面向具体任务特点、国家发展阶段和时代背景做出选择。科学卫星无疑应当坚持科学目标优先的原则。如果科学有效载荷与卫星平台是“搭车”的关系,科学目标与工程技术是“就汤下面”的关系,那么这样的卫星是不可能科学上做出重大发现、产出原创成果的。如果等待技术成熟再去探测,就会丧失探索的先机和意义,科学卫星对技术的牵引带动作用也将无从谈起。如果科学目标对工程技术的要求的确超出了当前的能力,可以通过设计发展路线图,采用“分步走”的方式、部署探路者任务验证关键技术、开展国际合作等策略,逐步实现完整的科学计划,这样也能充分体现科学卫星对高技术的牵引带动作用。欧洲的空间引力波探测计划走的就是这样的路线^[15]。

4) 学科发展与任务遴选的关系。空间科学是一个交叉学科,其主要分支领域有空间天文、太阳物理、空间物理、行星科学、空间地球科学、空间基础科学、微重力科学和空间生命科学^[17]。除了到空间去开展探测和实验,还需要投入大量的理论研究。没有空间科学各母学科基础研究的深厚土壤,科学家就不可能提出创新的科学卫星任务概念。欧美众多科学卫星取得重大科学成果与其强大的基础研究实力是分不开的。“十二五”期间,空间科学先导专项部署的“悟空”“墨子”“实践十号”“慧眼”4颗科学卫星,全部都是相关学科的科学家的近20年来长期积累的结果。如果管理者只盯着“果实”,而忽视了孕育果实的树木和生长树木的田野,科学卫星的发展很可能就会出现“亮点”闪过之后无以为继的尴尬局面。因此,除了卫星工程型号任务,还必须长期开展任务概念等预先研究,增加对科学数据分析研究的经费支持,奠定科学卫星发展的深厚基础。

5) 科学团队与工程团队的关系。科学目标的提出

与凝练、科学数据的分析研究与成果发表,由以首席科学家为代表的科学家团队主导,体现出灵感瞬间性、方式随意性、路径不确定性等特点,鼓励科学家自由畅想、大胆假设、认真求证^[18];而卫星工程研制由以总设计师为代表的工程师团队执行,要求严格按照规范实现各项预定的技术指标,航天卫星工程的指导方针是“严肃认真、周到细致、稳妥可靠、万无一失”^[7]。这2种不同文化必然产生碰撞甚至冲突。例如,由于发散性思维和灵感迸发,科学家往往会提出修改卫星科学目标的要求;但航天卫星工程作为一个有经费和时间约束的项目,在执行到一定阶段之后,必须逐步收敛并确立研制基线,强调对技术状态的控制。对于这种情况,需要通过组织主动的沟通、协调、交流,以实现2支队伍和文化的融合,建立发展科学卫星的强大组织基础。例如,在量子科学实验卫星“墨子”的研制中,科学家团队与有效载荷研制的工程团队之间就发生了良好的“化学反应”,形成了紧密的配合^[19],为任务的成功实施提供了重要保障。

3 结论

发展科学卫星对于中国建设科技强国、航天强国具有重要的意义。科学卫星近期取得重大成果引起了党和国家领导的高度关注。2016~2018年,国家主席习近平连续3年在新年贺词中将科学卫星作为中国科技突破的代表性成果予以肯定;2017年10月,“悟空”、“墨子”作为创新型国家建设丰硕成果的代表,被写入党的十九大报告^[10]。

科学卫星的健康发展,不仅需要突破航天工程技术,开展创新性的基础研究,而且必须高度重视并同步解决好发展科学卫星的管理复杂性问题。复杂性科学为当代管理学及其方法论打开了一个窗口,为有效地解决非线性、不确定性、不稳定性等管理问题提供了新的思路。从近年来科学卫星发展的成功实践出发,总结和探索应对管理复杂性的新方法、新维度,具有重要的现实意义。可以预期,通过实践、总结、再实践的迭代,中国科学卫星事业必将进入健康发展的新阶段。

参考文献(References)

- [1] 中国科学院空间科学战略研究组. 中国至2050年空间科学发展路线图[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [2] Strategic Research Group on Space Science of the Chinese Academy of Sciences. Space science & technology in China: A roadmap to 2050[M]. Beijing: Science Press, 2009.
- [2] 中国科学院国家空间科学中心. 空间科学卫星系列[EB/OL]. (2017-04-28). http://www.nssc.ac.cn/kjkwxxl/201704/t20170428_4781440.html.
- NSSC of CAS. Space science satellites series[EB/OL]. (2017-04-28). http://www.nssc.ac.cn/kjkwxxl/201704/t20170428_4781440.html.
- [3] 许国志, 顾基发, 车宏安. 系统科学[M]. 上海: 上海科技出版社, 2000.
- Xu Guozhi, Gu Jifa, Che Hongan. Systems science[M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Press, 2000.
- [4] 吴季. 空间科学任务及其特点综述[J]. 空间科学学报, 2018, 38(2): 139-146.
- WU Ji. Characteristics and managements of space science missions[J]. Chinese Journal of Space Science, 2018, 38(2): 139-146.
- [5] 郭宝柱, 王琳琳. 组织管理的系统思维[J]. 航天器工程, 2013, 22(6): 125-128.
- Guo Baozhu, Wang Linlin. Systems thinking in management[J]. Space Engineering, 2013, 22(6): 125-128.
- [6] 栾恩杰. 国防科技名词大辞典[M]. 北京: 航空工业出版社, 2002.
- Luan Enjie. Cyclopedic of national defense science and technology[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2002.
- [7] 钱学森. 关于大成智慧的谈话[C]//钱学森. 创建系统学. 太原: 山西科学技术出版社, 2001: 68.
- Qian Xusen. A speech about Meta-synthetic Wisdom[C]//Qian Xusen. Creating systematology. Taiyuan: Shanxi Science and Technology Publishing House, 2001: 68.
- [8] 刘纪元. 中国航天事业发展的哲学思想[M]. 北京: 北京大学出版社, 2013.
- Liu Jiyuan. The philosophical thoughts of the development of China's space industry[M]. Beijing: Peking University Press, 2013.
- [9] 中华人民共和国国务院新闻办公室. 2016中国的航天[M]. 北京: 人民出版社, 2016.
- The State Council of Information Office of the People's Republic of China. China's space activities in 2016[M]. Beijing: People's Publishing House, 2016.
- [10] 习近平. 决胜全面建成小康社会夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利[M]. 北京: 人民出版社, 2017.
- Xi Jinping. Secure a decisive victory in building a moderately prosperous society in all respects and strive for the great success of socialism with Chinese characteristics for a new era [M]. Beijing: People's Publishing House, 2017.

- [11] National Aeronautics and Space Administration. Cassini overview[EB/OL]. [2018-02-28]. https://www.nasa.gov/mision_pages/cassini/whycassini/index.html.
- [12] Space Studies Board of Division on Engineering and Physical Sciences of The National Academies of Sciences Engineering and Medicine. Decadal survey[EB/OL]. [2018-02-28]. http://sites.nationalacademies.org/ssb/ssb_052297.
- [13] Europe Space Agency. Cosmic vision space science for Europe 2015—2025[M]. The Netherlands, 2005.
- [14] Takenaka H, Carrascocasado A, Fujiwara M, et al. Satellite-to-ground quantum-limited communication using a 50-kg-class microsatellite[J]. *Nature Photonics*, 2017, 11(8): 502-508.
- [15] Europe Space Agency. Europe's search for gravitational waves [EB/OL]. [2018-02-28]. <http://sci.esa.int/lisa/59250-europe-s-search-for-gravitational-waves>.
- [16] Europe Space Agency. Mission navigator[EB/OL]. [2018-02-28]. http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Mission_navigator.
- [17] 吴季. 空间科学发展规划 2016—2030[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- Wu Ji. Calling taikong: A strategy report and study of China's future space science missions [M]. Beijing: Science Press, 2017.
- [18] 中共中央文献研究室. 习近平关于科技创新论述摘编[M]. 北京: 中央文献出版社, 2016.
- Party Literature Research Center of CCCPC. Xi Jinping's excerpt on the innovation of science and technology[M]. Beijing: Central Party Literature Press, 2016.
- [19] 许琦敏. 一心一意坚持, 总会带来回报[N]. 文汇报, 2017-12-06.
- Xu Qimin. With one mind and one's insistence it always brings rewards[N]. *Wen Wei Po*, 2017-12-06.

The complexity of the management in developing space science satellites

CAO Song^{1,2}, LI Zijie³

1. China Aerospace Academy of Systems Science and Engineering, Beijing 100048, China
2. National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China
3. Bureau of Major R&D Programs, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100864, China

Abstract We are facing many very complex and challenging issues during the development of the space science satellites. This paper analyzes the characteristics of the space science satellites, as well as the practice of the Strategic Priority Programs on the Space Science of CAS, and then makes some suggestions as how to deal with the complexities in boosting the space science satellites in China, which may serve as a reference for developing the space science satellites in the future.

Keywords space science satellites; management complexity; systems thinking ●



(责任编辑 陈广仁)