

大型载人空间基础设施商业化运营模式初探

邱亮¹ 谷巍² 罗渠¹ 张蕊³ 李鸿飞² 李伟²

(1. 中国空间技术研究院,北京,100094;2. 北京空间技术研制试验中心,北京,100094;
3. 北京空间科技信息研究所,北京,100094)

摘要:为提高以空间站为代表的大型载人空间基础设施运行效率和运营效益,本文在研究国际空间站(ISS)在轨运营模式及商业化做法的基础上,针对我国现有空间基础设施的在轨运营特点、国家战略和社会商业化需求,提出了引入社会资本建立商业化运营模式和建立商业成果转化基金等建议,成立专门的商业化运营管理机构,进行统筹管理和商业化运营,探索形成一套职责清晰、高质高效、效益突出的商业化运营管理体系,既保证空间基础设施在轨健康运行,高效开展各类空间应用,又降低建设和运营成本。在孕育商业模式和创新项目促进经济社会发展的同时,也具有的现实意义和深远的社会效益。

关键词:载人;空间基础设施;商业化;运营模式

中图分类号:V476.1 文献标志码:A 文章编号:1005-2615(2019)S-0155-06

Preliminary Study on Commercial Operation Mode of Large Manned Space Infrastructure

QIU Liang¹, GU Wei², LUO Qu¹, ZHANG Rui³, LI Hongfei², Li Wei²

(1. China Academy of Space Technology, Beijing, 100094, China; 2. Beijing Space Technology Study and Experiment Centre, Beijing, 100094, China; 3. Beijing Institute of Space Science and Technology Information, Beijing, 100094, China)

Abstract: In order to improve the operational efficiency and operation benefits of large manned space infrastructure represented by space stations, this paper investigates the International Space Station (ISS) operation mode and commercialization practices. In view of the in-orbit operation characteristics, national strategic and social commercialization needs of China's existing space infrastructure, suggestions on introducing social capital to establish commercial operation model and achievement transformation fund are raised. It is required to build a specialized commercial operation management organization for overall management and commercial operation and to establish a set of commercial operation management system with definitive responsibility, high quality and efficiency, and outstanding benefits, which will not only ensure the healthy operation of space infrastructure in orbit and various of space applications efficiently developed, but also reduce the construction and operation costs. With its practical significance and social benefits, the paper would help cultivate business models and innovative projects so as to promote economic and social development.

Key words: manned spacecraft; space infrastructure; commercial; operation mode

大型载人空间基础设施是载人航天活动的重要平台,可以开展大规模空间应用,实现产业化和商业化,逐渐形成空间服务和应用市场。就目前

在轨运行的规模最大、系统最复杂的载人航天器“国

收稿日期:2019-04-09;修订日期:2019-06-20

通信作者:邱亮,男,工程师,E-mail: popwolves@sina.com。

引用格式:邱亮,谷巍,罗渠,等. 大型载人空间基础设施商业化运营模式初探[J]. 南京航空航天大学学报,2019,51(增刊):155-160. QIU Liang, GU Wei, LUO Qu, et al. Preliminary Study on Commercial Operation Mode of Large Manned Space Infrastructure[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2019, 51(S): 155-160.

际空间站”(ISS)而言,其建造和运行已逾20年,形成了清晰的运营管理体系,在多个领域开展了广泛的空间应用,取得了丰硕成果。空间在轨基础设施运营管理是一项复杂的长期任务,它贯穿于设计的各个阶段和运行的全过程,好的运营管理方案不仅可以保证空间在轨基础设施的健康运行,还可使其发挥最大效能。ISS运营管理的一些关键技术如任务规划系统研制长达20年,在此期间,投入了大量精力开展空间站运营管理的技术研究,并成立了专门的空间站运营管理机构,建立了运营管理综合系统,用以支持保证空间站正常运行、有效开展应用研究。

近年来,商业航天在世界范围内蓬勃发展,各领域初创型航天公司层出不穷,持续激活全球航天产业市场^[1]。国际空间站的运营管理也蕴藏着很多商业元素。通过征集商业项目,或吸引商业公司参与与空间应用相关的任务活动,ISS的商业化成就显著。但ISS在取得丰富成果的同时,也给其主导国——美国带来了沉重的财政负担,美国航空航天局(NASA)平均每年花在ISS上的费用大约为40亿美元,约占NASA总经费的1/5^[2]。目前,NASA提出后续将空间站的运营转交给商业公司运营。因此,单靠国家财政支持的空间站运营很难一直延续,大型载人空间基础设施的商业化,是维持其长久运营的有效途径。

目前,我国空间站已进入建造阶段,将在2022年前后建成,用以开展大规模空间应用。空间站运营管理涉及面广、运营时间长,是一项复杂的长期任务,贯穿于空间站设计的各个阶段和运行的全过程。在充分借鉴国外经验的基础上,结合我国空间站实际情况,研究运营管理方案,明确任务规划,探索形成一套职责清晰、高质高效、效益突出的运营管理体系,成立专门的运营管理机构,进行统筹管理和商业化运营,保证空间站在轨健康运行,高效开展各类空间应用,使其发挥最大效能。通过借鉴ISS商业化的做法,适当超前规划,针对空间站空间应用领域的特点、国家战略和社会商业化需求,探索形成商业化运营管理体系,具有重要的现实意义和深远的社会效益。

1 国际空间站运营模式及商业化做法

1.1 国际空间站运营模式

作为全球最大的在轨航天器,国际空间站已实现在轨运行20年,在空间应用领域取得了众多成果,并计划延寿至2024年,为近地空间带来更大发

展空间。经过多年实践,ISS的运营管理体系已经较为成熟,形成了以美国、俄罗斯为主导,多国参与的合作管理体系。各合作方负责本国工程部分,并对各自提供的产品负有首要责任。通过“多边协调委员会”协调合作方在空间站运行与利用方面的有关问题。美国作为主导国之一,自身形成了较为完备的运营管理体系^[3]。

ISS的运营管理组织架构采用了中心负责制。主要采用了三级组织管理体系结构,由3个职能部门来完成运营管理任务:空间站项目办公室、任务操作委员会和国际空间站应用研究中心。空间站项目指导委员会为这3个职能部门进行任务指导和监督,如图1所示^[4]。

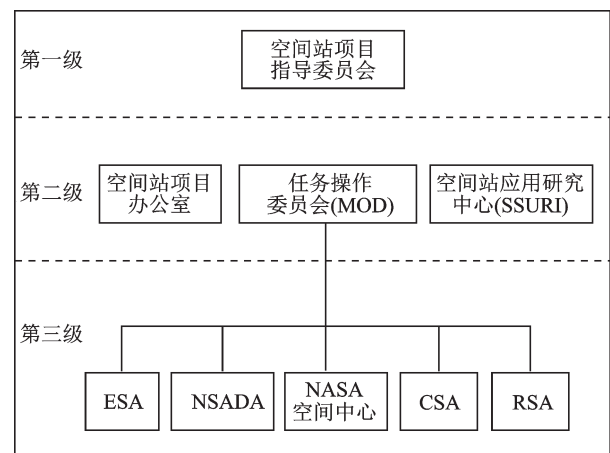


图1 ISS的三级组织管理体系结构

Fig.1 ISS organization management architecture

国际空间站体系架构的第二级由3个机构组成:空间站项目办公室,任务操作委员会(MOD)以及空间站应用研究中心(SSURI)。空间站项目办公室负责空间站的发展、飞行和地面系统的运营能力和内部接口与外部接口的控制。主要的职责包括:系统工程与分析、项目规划和发展、运行阶段的资源控制、构型管理、元器件整合以及对控制系统中有效载荷的控制,这个机构的日常管理由项目主管负责。空间站项目办公室负责整合国际合作国的需求。NASA的空间站项目办公室位于休斯顿的约翰逊航天中心,约翰逊航天中心作为领导机构管理NASA的其他航天中心和国际合作国的航天中心,完成ISS的运营管理任务。约翰逊航天中心的任务操作委员会负责航天飞机和ISS具体的运营管理活动^[5]。空间站应用研究中心负责管理ISS美国部分的应用活动,负责将运营和维护职能分配到NASA的各个空间中心。空间站应用研究中心由NASA的菲尔德空间中心负责成立。空间站应用研究中心支持在轨科学试验并管理其执行情况。第三级是具体执行运营任务的各航天中心。

主要负责ISS项目的方案论证、研发和运行阶段的管理,以及对制造不同部件公司的各项活动进行监督指导^[6-8],如图2所示。

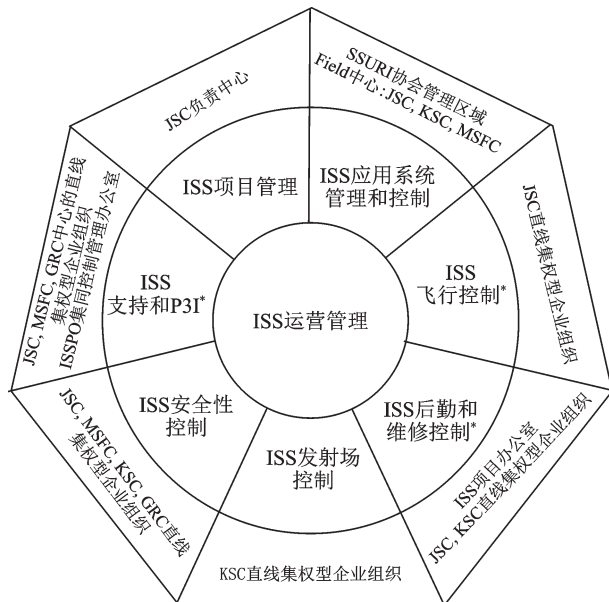


图2 ISS中心负责制的职能分配
Fig.2 ISS function assignment

1.2 国际空间站商业化做法

美国正在利用ISS开展新型商业合作关系,并计划逐步将空间站的运营从政府资助、承包商提供产品和服务的方式转向商业供应、政府作为用户的方式,目前已初见成效,培育出一个具有竞争力的商业航天市场^[9]。

1.2.1 通过空间法案协议,引入合作伙伴

NASA通过空间法案协议(SAA)引入私营企业、非盈利组织、政府机构等作为合作伙伴,旨在鼓励创新、降低成本,逐步培育出具有竞争力的商业市场,共同推进NASA的任务和目标。空间法案协议包括4类协议:分别是有偿协议、无偿协议、资助协议和国际协议。

有偿协议是指协议合作方向NASA支付费用购买资源。批准该协议的前提通常是NASA拥有的独特资源、服务及设施未得到充分利用,而协议合作方计划开展的项目与NASA的总体任务方针一致,且不会妨碍NASA执行常规任务。

无偿协议是指不涉及资金往来的协议,而是以其他形式进行等价交换。在该协议下,各协议方自行承担项目参与成本,而NASA会提供专业技术、评估、经验教训、数据等资源,合作研发出的商业化产品可供政府和非政府客户使用。NASA在公布无偿协议时通常会给出预估成本。

资助协议是指NASA提供经费支持,协议方负责提供产品或服务。在该协议下,只有协议方在

规定时间内完成了预定的里程碑计划,且实现了预期的设计,达到安全性及性能目标,才能够从NASA获得经费支持。NASA在公布资助协议时通常会给出预估成本。

国际协议的协议方为外国实体,主要用于开展国际合作项目,该协议既可以是有偿协议也可以是无偿协议。

通过包括空间法案协议、“商业轨道运输服务”(COTS)、“商业补给服务”(CRS)、“商业成员开发计划”(CCDev)、“商业成员运输综合能力”(CCi-Cap)等协议和合同,NASA引入了一批私营企业,培育出一个具有竞争力的商业航天市场,降低了进入空间的成本,同时使空间资源和设施得到更加充分的利用。

1.2.2 授权商业公司,重点推出商业应用服务

NanoRacks公司是一家提供航天商业产品和服务的私营企业,也是ISS商业应用的唯一代理商。目前,NanoRacks公司先后与NASA签署了3项空间法案协议,具体情况见表1。

表1 NASA签署空间法案协议明细

Tab.1 Space bill agreement details of NASA

| 主题/目标 | 实施日期 | 预估金额/\$ | 负责中心 |
|---|---------------------------|---------|------------------|
| NanoRacks与NASA、艾姆斯研究中心就促进ISS充分利用的有偿综合空间法案协议 | 2013.04.24— 2018.04.24 | — | 埃姆斯研究中心 (ARC) |
| 低地球轨道商业服务开发 | 2016.05.15— 2021.05.16 | 19 698 | 约翰逊航天中心 (JSC) |
| ISS站上Nanoracks系统的运行 | 2014.07.08— 2019.07.07 | 97 968 | 约翰逊航天中心 (JSC) |

在与NASA签订空间法案协议后,NanoRacks公司获得开展空间活动的许可,目前主要提供商业搭载、在轨试验和小卫星释放服务,其用户包括NASA、美国国内和国际的教育机构、研究组织和政府组织,涉及的国家有以色列、德国、沙特阿拉伯和其他国际组织。这些用户中有“学生航天实验计划”(SSEP)的学生、私营企业家、科学家和工程师,涉及的学科有生物、物理、化学等,如干细胞和癌症研究、生物制药。

对于有搭载需求的商业用户,NanoRacks公司会与其签署合同提供有偿服务,利用飞船将货物或实验用品运往ISS,再将实验数据和相关资料带回地面用于科学研究。不同于仅面向科研人员提供服务的NASA,NanoRacks公司为所有付费用户提

供服务。NanoRacks将ISS上开展的各类空间应用活动完全商业化,在此过程中,NanoRacks也逐渐成为ISS与地面用户之间的物流服务提供方。

除了提供“物流”服务,NanoRacks为用户在ISS上提供“空间站内(外)部实验平台”(NREP),NREP为极端的太空环境提供了商业机会。以前,商业公司想要进行太空试验或者卫星原型测试,需要付出高昂的费用,而且必须同NASA进行合作,还需要指定返航计划。NanoRacks出现后,这一过程被大大简化,NREP安装在ISS的希望号气闸舱上,运载试验品的装置可自由移动,不需要航天员在舱外操作,而且价格低廉,目前仅需不到十万美元的价格便可完成实验。

1.2.3 开放资源接口,推出太空旅游服务

NASA正在计划推出太空旅游服务,作为一部分收入来源,用以支持ISS的运营及后续太空探索任务。总部位于休斯顿的公理太空(Axiom Space)公司已与NASA达成合作意向,计划于2020年推出ISS旅游业务。太空游客将可以在ISS停留7~10天,而每个人的费用为5500万美元(约合人民币3.54亿元),其中包括为期15周的培训计划和往返ISS的交通费用。此外,该公司还在开发自己的空间站,计划在2022年推出,作为居住舱与ISS连接,为乘客提供住宿。该商业空间站的组件计划于2024年全部发射并组装完成,待ISS退役后便与其分离,成为一个独立的商业空间站。

1.3 国际空间站运营特点

1.3.1 运营职能明确,组织架构规范

ISS运营管理任务由空间站项目办公室负责,它的主要任务是负责空间站健康安全在轨运行,充分利用现有的、成熟的载人航天工程管理体系,使用适合空间站且有效的管理体系和协作关系,使得参与空间站建造和运行的各技术系统和管理机构,既能够发挥其技术优势独立完成建造和运行过程中特定的任务,又能够在统一调度下与其它系统长期协调地运作,简单、快速、有效地组织实施空间站运行的各项任务,保障空间站的顺利建造和长期稳定运行^[10]。

1.3.2 推进公私合营,拓宽发展空间

美国利用ISS开展新型商业合作关系,并计划逐步将ISS的运营从政府资助、承包商提供产品和服务的方式转向商业供应、政府作为用户的方式。目前,主要通过ISS商业成员和货物运输及站上商业搭载等方式开展商业活动。其中,商业运输具有有限的NASA监管,灵活、现代的采购流程以及可控成本和计划的固定价格激励机制等几方面特点;商业搭载也是实现公私合作,提升效益的一个有效

途径。

1.3.3 注重成果转化,发挥最大效能

美国向来注重航天技术的应用以及成果转化和推广,这一举措一方面促进了航天技术的发展,更重要的是将航天技术很好地融入社会、经济、科技发展,获取了公众和社会对航天的认识、认可、热爱和支持。以《NASA技术成果转化》为例,为美国带来如下益处:首先,向美国国内和国际社会展示了NASA的成就,一方面展示了美国在全球技术领域和竞争力方面的领导者地位,另一方面为NASA争取政府和民众的认可度和经费支持提供了有力的支撑;其次,展示了美国发明家、工程师和企业家的聪明才智,以及美国政府对上述人员的帮助和扶持;第三,向美国国内和国际社会展示了航天技术应用于社会不同领域的可能性,并为其它军工部门提供了可参考和借鉴的技术转移过程。

2 大型载人空间基础设施运营特点

我国的载人空间基础设施正在向着大型化、复杂化、系统化的方向发展。目前,我国自己的空间站已经进入建造阶段,预计将在2022年前后建成,用以开展大规模空间应用。相比以往的载人航天器,空间站等此类大型载人空间基础设施运营具备以下特点。

2.1 运营规模大,系统复杂度大

我国空间站包括一个核心舱和两个实验舱,每个规模20多吨,同时核心舱有多个对接口,可以对接货运飞船和载人飞船。空间站运营期间,最多的时候,将有一艘货运飞船、两艘载人飞船。整个系统加起来将达90多吨。这个规模量级和系统复杂度大大超过了以往的载人航天任务。

2.2 运营持续时间长,任务次数显著增加

与以往我国载人航天任务相比,大型载人空间基础设施在轨运营一般都超过10年。运营期间航天员长期在轨驻留,在轨应用试验次数显著增加,每年有多次发射任务和多次交会对接任务,航天员出舱活动和推进剂补加任务数量显著增加。为保证运营期间每项任务的顺利实施,需要对整个运营期间的飞行任务进行科学规划并提供有力的资源保障。

2.3 运营阶段飞行任务动态性强

以往我国历次载人航天飞行任务在飞行前就确定了任务目标及飞行任务安排,在飞行任务执行过程中基本不会变动,飞行任务确定性强。而空间站在轨运营超过10年,无法事先制定10年期间所有的任务规划,目前任务规划分为长期规划(5

年)、阶段规划(3年)和任务规划(1年),每年都需要更新^[11-12]。整个运营阶段面临空间科学试验与技术试验、国际合作等需求,从宏观上看,任务动态性强。

3 大型载人空间基础设施商业化运营模式探索

针对我国目前正在建设的大型载人空间基础设施的运营特点,结合国家军民融合战略和社会商业化需求,建议从设立专门的商业化运营管理机构、引入私营资本、建立成果发布平台等方面入手,进行统筹管理和部分项目的商业化运营,探索形成一套职责清晰、高质高效、效益突出的商业化运营管理体系。

3.1 设立专门商业项目管理部门,纳入整个运营管理体系

为适应现有运行机制,根据大型载人空间基础设施运营任务的新特点和新要求,发展“政府主导、商业化运营、多种资源配置,分类管理”的运营管理模式,建议设立三级的运营管理体系,在顶层设立运营管理指导委员会,成立运营管理中心,进行统筹管理和商业化运营,关系国家安全和载人航天发展的使命级任务由国家投入,一般任务由相关国家计划、企业或市场多渠道支持,商业任务按市场模式管理。在运营中心统筹管理下,实行空间站运营管理的中心负责制,按照运营职责采取分类管理的模式。运营中心具备项目管理、航天器管理、应用管理、发射场管理、飞行控制、航天员支持、国际和商业合作、成果转化与推广等职能。空间站运营组织架构如图3所示。

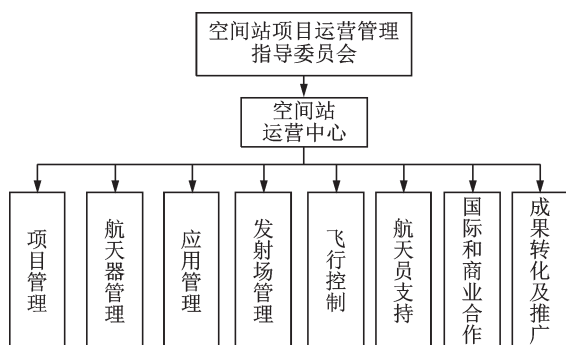


图3 空间站运营组织架构

Fig.3 Space station operating organization

3.2 确保国家任务的前提下,逐步放开私营资本的介入

我国航天起步较晚,航天工业基础较为薄弱,航天工业产业链不够完善,与美国等主要航天大国相比,还有较大差距。鉴于我国航天工业基础较为

薄弱、市场化水平较低,应结合自身特点,改进和完善适合我国国情的体制机制。美国航天商业化的最重要的目标是鼓励创新,提高效益,加大民众参与力度,使得航天最终融入民众,实现航天的社会化。

我国体制与美国有本质不同,现阶段不可能走与美国完全相同的商业化运营道路,但是可以借鉴美国的商业化发展经验,逐步引入商业资本。现阶段可以通过公私合营、融资等基础性的商业模式,吸引民营资本加入,加快创新和成果转化。可以利用空间站运营期间规划的载人飞船、货运飞船剩余上下行能力,适度开展商业搭载服务,提高运输资源利用率。制定太空旅游开发政策,开拓太空旅游服务市场,支持商业公司积极参与太空旅游,提高空间站的经济效益。

3.3 建立常态化、健全完善的技术成果转化发布渠道和平台

借鉴NASA的《NASA技术成果转化》这种常态化、体系化的年度发布方式,我国未来载人空间站也应建立一套完善的技术成果转化发布平台,发布方式可以是网络、纸质、新媒体等,系统梳理成果转化内容,对外宣传公布,将总结和宣传工作列为应用的一部分,增强社会认识及认可,以取得良好的社会效益。

通过航天信息平台或其他渠道发布信息,吸纳航天系统内外的企业、团体、个人,如航天爱好者参与到航天项目中,以冠名权、广告等方式回馈参与方。开展各个层面的讨论和研究,如瓶颈技术与前沿技术、航天发展问题与走向等,通过广泛征集创意和想法,形成对我国航天发展有一定推动作用的管理成果、技术成果等。对有较大贡献的成果,给予奖励。同时,吸纳那些热衷于航天企业的私有资金,给予适当回报。通过这种方式,提高创新能力,促进技术转化和应用,分担成本。

4 结 论

大型载人空间基础设施运营管理涉及面广、运营时间长,是一项复杂的长期任务,贯穿于其设计的各个阶段和运行的全过程。在充分借鉴国外空间站运营经验的基础上,结合我国实际情况,研究运营管理方案,明确任务规划,引入社会资本建立商业化运营模式和建立商业成果转化基金等建议,成立专门的商业化运营管理机构,进行统筹管理和商业化运营,探索形成一套职责清晰、高质高效、效益突出的商业化运营管理体系,既保证空间基础设施在轨健康运行,高效开展各类空间应用,又降低

建设和运营成本,同时孕育商业模式和创新项目促进经济社会发展,具有重要的现实意义和深远的社会效益。

参考文献:

- [1] 毛凌野. 国内主要商业航天企业发展现状[J]. 卫星应用, 2017, 10: 28-32.
- [2] 刘艳, 张伟. 国际空间站空间应用领域商业化做法对我国的启示[J]. 中国航天, 2018(6): 56-60.
- [3] Computer Science Cooperation. International space station operations architecture study [M]. USA: Computer Science Cooperation, 2000.
- [4] JEFF H, THERESA M, ED N. NASA/MIR phase 1: A lesson in long duration mission planning and operations [C] // 5th Space Mission Operations and Ground Data Systems. Tokyo, Japan: [s.n.], 1998.
- [5] PAULES G E, LYMAN P, SHELLEY C B. Space Station program implications from the viewpoint of the space station operations task force [J]. Acta Astronautica, 1987, 15(9): 689-695.
- [6] ANTOL J, JORGENSEN C A. The international space station evolution data book: An overview and status [C] // Space Technology and Applications International Forum-2000. New Mexico: American Institute of Physics, 2000.
- [7] MUSGRAVE G E. Safety design for space systems [M]. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2015.
- [8] FAWCETT M K. From centralized to distributed: The evolution of Space Station command and control [J]. Acta Astronautica, 1996, 38(4/5/6/7/8): 637-645.
- [9] 胡文瑞. 美国国际空间站的经历与探索及对我国的启示[J]. 中国科学院院刊, 2010(3): 335-344.
HU Wenrui. The experience and exploration by the U.S. international space station (USISS) and its inspiration to China [J]. Bulletin of the Chinese Academy of Sciences, 2010(3): 335-344.
- [10] 田坤簧, 侯永青. 国际空间站运营管理体系架构分析[J]. 载人航天, 2011, 17(1): 10-15.
TIAN Kunhong, HOU Yongqing. Analysis of international space station operation architecture [J]. Manned Spaceflight, 2011, 17(1): 10-15.
- [11] 李志海, 侯永青, 严厚民, 等. 空间站长期运营任务规划建模初步研究[J]. 载人航天, 2013, 19(5): 52-58.
LI Zhihai, HOU Yongqing, YAN Houmin, et al. Preliminary modeling study on long-term operation mission planning of space station [J]. Manned Spaceflight, 2013, 19(5): 52-58.
- [12] 王帅, 张海联, 陆彬. 基于协同的空间站运营飞行任务规划方法研究[J]. 载人航天, 2018, 24(3): 333-339.
WANG Shuai, ZHANG Hailian, LU Bin. Research on collaboration based flight task planning method for space station operation [J]. Manned Spaceflight, 2018, 24(3): 333-339.

(编辑:张蓓)