

基于 UAF 的月球探测工程设计与建模方法*

李 特¹ 胡震宇¹ 田少杰^{1,2}

1(深空探测实验室 北京 100195)

2(探月与航天工程中心 北京 100190)

摘 要 针对月球探测工程中大系统设计与接口验证难点,为有效解决需求、功能和接口等先期验证问题,本文将统一体系结构框架(UAF)进行适应性裁剪和组合,并结合系统工程方法论正向设计思想,提出了基于UAF的月球探测工程设计与建模方法。围绕月球探测任务全生命周期中关键环节,构建了涵盖战略、业务、资源三个视图下相关领域的视图模型体系,并以此为核心框架开展建模分析。通过需求追溯和逻辑仿真迭代验证,可辨识模型行为逻辑和接口匹配等问题,指导模型完成优化改进,提升了设计与建模的合理性和有效性。研究结果可为月球探测工程顶层设计提供可行性参考。

关键词 月球探测工程, 统一体系结构框架, 设计与建模方法, 视图模型

中图分类号 V57

Method of Design and Modeling for Lunar Exploration Engineering Based on UAF

LI Te¹ HU Zhenyu¹ TIAN Shaojie^{1,2}

1(Deep Space Exploration Laboratory, Beijing 100195)

2(Lunar Exploration and Space Engineering Center, Beijing 100190)

Abstract Aiming at the difficulties in System of System (SOS) design and interface verification in lunar exploration engineering, in order to effectively solve the pre-validation problems of requirements, functions and interfaces, under the conditions of adaptive tailoring and combination for Unified Architecture Framework (UAF), the method of design and modeling for lunar exploration engineering based on UAF is proposed, which is combined with the methodology of systems engineering on the forward design ideology. Focusing on the key links in full lifecycle of lunar exploration mission, the view model systems covered with strategic, operational and resource viewpoints of related fields are established, which are taken as the core framework to carry out modeling analysis. Through requirements traceability and logical simulation iterative validation, the models can be identified problems of behavioral logic and interface matching, and be guided to complete optimization and improvement, and also it improves the rationality and effectiveness of design and modeling. The results provide a feasible reference for the SOS de-

* 深空探测任务专项项目资助 (20221023)

2024-10-12 收到原稿, 2025-03-24 收到修定稿

©The Author(s) 2025. This is an open access article under the CC-BY 4.0 License
(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

sign of lunar exploration engineering.

Key words Lunar exploration engineering, Unified Architecture Framework (UAF), Method of design and modeling, View modeling

0 引言

月球探测是具有复杂性、综合性、体系性等特征的工程和科学活动,其由工程总体、探测器系统、运载火箭系统、发射场系统、测控系统、地面应用系统等组成.在以往工程的实施中,工程总体以工程论证、设计、协调、监督等为主要职责,在后续的工程任务中^[1-4]加强了大系统设计与验证,特别在立项论证和方案阶段,加强了数字化仿真验证,以充分验证大系统设计的合理性、需求的可追溯性以及系统间接口的匹配性.

在解决复杂组织体工程问题中,美国国防部体系结构框架 (DoDAF) 和统一体系结构框架 (UAF) 经过消化理解和适应性改进,在装备体系构建上应用广泛.中国在航空和航海领域中^[5-10],开展了体系构建方法、体系结构建模、任务元模型建模等研究;在航天领域中^[11-13],开展了航天器系统建模分析与设计、载人航天体系框架设计与建模、载人月球探测混合云架构体系仿真等研究,对体系工程在装备设计与仿真中的应用有一定指导意义.国际上围绕企业运营、交通系统、探月计划等领域^[14-24],开展了流程建设与管理、基础理论与算法设计、体系架构设计与应用等研究,取得了一系列进展和突破.

UAF 经过不断迭代发展,逐渐融合了 DoDAF、英国国防部体系结构框架 (MoDAF) 和北约体系结构框架 (NAF) 等,打破不同框架间的互操作性问题,推动了体系结构框架的统一,与 DoDAF 相比,其元模型更加完备,具有更强的灵活性,UAF 最新为 1.2 版本,正持续优化以适应不断变化的架构需求.UAF 提供视图矩阵从纵向和横向两个维度对体系进行表述,纵向划分为元数据、战略、业务、服务、人力、资源、安全、项目、标准、实际资源、需求、总结和概述、字典 13 个视点;横向划分为分类、结构、联系、流程、状态、交互场景、信息、参数、约束、路线图、可追溯性 11 个领域.对象管理组织 (OMG) 发布的 UAF 仅有抽象的指导性文件,关于如何在工程中应用,没有提供具体的架构开发程序,因此,对

UAF 合理且有效的应用关键在于按需进行裁剪和组合,提炼出适合任务需求的体系框架设计流程.

针对大系统设计与接口验证难点,即立项论证和方案阶段缺乏手段而不能充分验证,导致在集成验证、对通测试和运行应用中暴露诸多问题,因此,先期完成需求、功能和接口验证,避免初样阶段才暴露问题而带来的技术状态更改风险,可有效提升系统开发和验证效率,保证设计质量.针对目前月球探测工程在大系统设计与接口验证手段的不足,本文以 UAF 按需进行裁剪和组合为基础,以建立基于战略、业务、资源视点下相关领域的视图模型为主线,提出基于 UAF 的月球探测工程设计与建模方法,完成视图模型构建与逻辑仿真分析,对有效解决工程任务中需求、功能和接口等先期验证问题,以及提升大系统设计和验证效率有一定借鉴意义.

1 方法流程设计

以 UAF 视图模型为依据,开展月球探测工程大系统设计和建模,围绕场景、需求、功能、架构等方面完成大系统顶层设计、系统间接口设计,先期完成立项论证、方案阶段的需求、功能和接口验证.

依据大系统设计与建模特点,综合分析 UAF 相关视点的定义,进行适应性裁剪和组合,优选出同设计与建模过程相匹配的视点如下.

(1) 战略 St: 能力管理流程.描述能力分类、组成、依赖关系和演进.

(2) 业务 Op: 运行逻辑架构.描述支持能力的需求、运行行为、结构与数据交换.

(3) 资源 Rs: 实现运行需求的方案架构.包括组织资源、软件、工件、能力配置、自然资源等.

在 UAF 中的战略、业务、资源三个视点下,选取流程、结构、连通等领域构建相关视图,并结合系统工程方法论四个阶段,即需求—功能—逻辑—物理 (RFLP) 的正向设计思想,形成基于 UAF 的正向设计与建模流程,如图 1 所示.

依据工程设计与建模的目标和过程,对各个视图

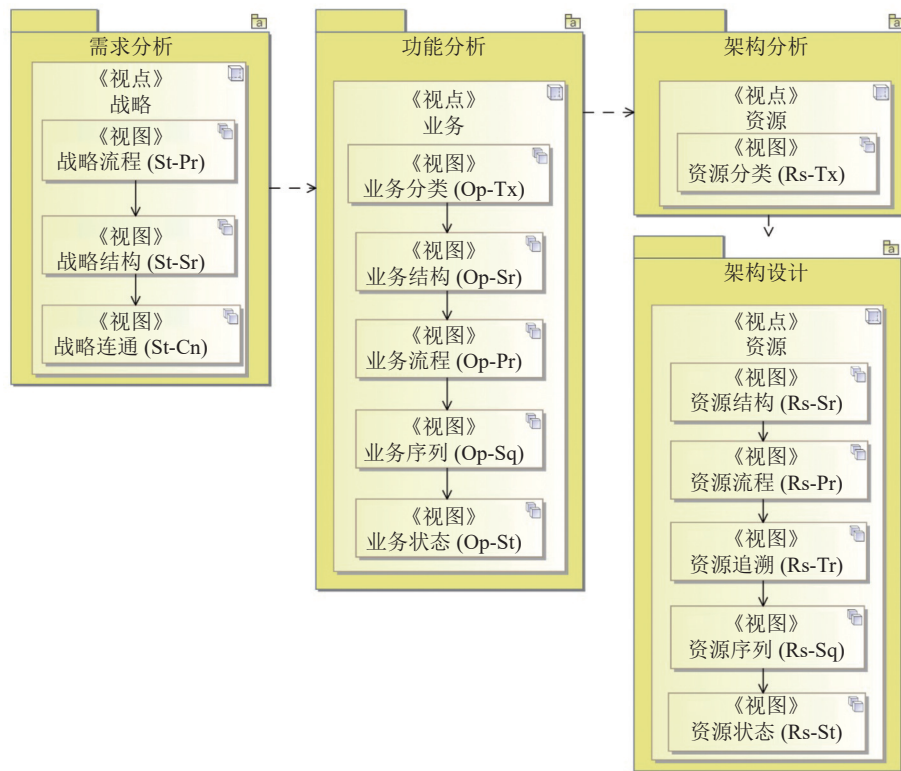


图 1 基于 UAF 的正向设计与建模流程

Fig. 1 Forward design and modeling process based on UAF

进行了定义. 以战略流程 (St-Pr) 为例, 是选取了在战略视点下、流程领域的视图, 结合实际应用场景, 给出该视图定义: 为实现战略目标, 在任务全流程, 明确大系统应具备的顶层能力, 以及涉及的系统组织. 其他视图定义列于表 1.

2 工程设计与建模

2.1 需求分析

2.1.1 战略流程 (St-Pr)

在月球探测工程中, 首先应分别明确任务的工程目标 (月面投送、多器协同探测、技术试验验证) 和科学目标 (科学探测、资源利用), 同时将相应目标在整个工程实施流程中分解与实现, 围绕工程和科学目标可实现性, 在能力域, 目标被分解到运载火箭、探测器和有效载荷等的能力要求中, 在技术域, 指标被相应设计、验证与应用, 以满足目标要求. 按照实施流程, 工程分为发射入轨、地月转移与近月制动、环月与着陆、月面工作 4 个阶段, 如图 2 所示.

2.1.2 战略结构 (St-Sr)

依据工程经验和新增能力要求, 辨识各个阶段中

的关键环节, 将战略流程中设置的 4 个阶段分解为由关键环节组成的能力结构树, 如图 3 所示. 各阶段关键环节说明如下.

(1) 发射入轨段关键环节: 运载火箭先后完成一、二级分离, 末速修正和调姿, 以及器箭分离; 测控系统完成运载火箭外测和遥测, 完成探测器遥测接收和状态监测.

(2) 地月转移与近月制动段关键环节: 在测控系统支持下, 探测器系统完成数次中途修正和近月制动.

(3) 环月与着陆段关键环节: 在测控系统支持下, 探测器系统完成环月飞行, 依据详查信息, 视情开展着陆下降; 地面应用系统完成科学数据接收.

(4) 月面工作段关键环节: 在测控系统支持下, 探测器系统完成初始化, 依据任务规划信息, 各器开展相应探测; 地面应用系统制定科学探测计划, 完成科学数据接收、处理和存储.

2.1.3 战略连通 (St-Cn)

对战略结构中分解得到的关键环节进行依赖关系梳理, 如图 4 所示. 测控与定轨作为航天任务的核心支撑技术, 自器箭分离伊始便全程参与探测器的飞行

表 1 各阶段的视图定义
Table 1 View definition for each phase

阶段	视图	定义与描述
需求分析	战略流程(St-Pr)	为实现战略目标, 在任务全流程, 明确大系统应具备的顶层能力, 以及涉及的系统组织
	战略结构(St-Sr)	明确了顶层能力的组成、分解和层次结构
	战略连通(St-Cn)	明确了能力结构中相互依赖关系, 使能力分解合理化
功能分析	业务分类(Op-Tx)	描述了支持能力实现的具体业务活动, 建立业务活动与主要执行者间的操作关系
	业务结构(Op-Sr)	描述了业务各节点之间的连接和信息交互关系
	业务流程(Op-Pr)	基于行为, 描述了业务活动执行的过程、输入输出和信息流
	业务序列(Op-Sq)	基于场景对业务交换的时序进行分析和事件跟踪, 描述了关键事件的时序操作
	业务状态(Op-St)	基于状态转换的过程, 描述了业务的状态、事件和操作
架构分析	资源分类(Rs-Tx)	基于功能分析描述了资源的逻辑域解决方案
架构设计	资源结构(Rs-Sr)	描述了资源接口和交互关系
	资源流程(Rs-Pr)	基于行为分解, 在资源视点下描述了业务活动执行的过程、输入输出和信息流
	资源追溯(Rs-Tr)	描述了资源到业务活动、资源到能力的追溯关系

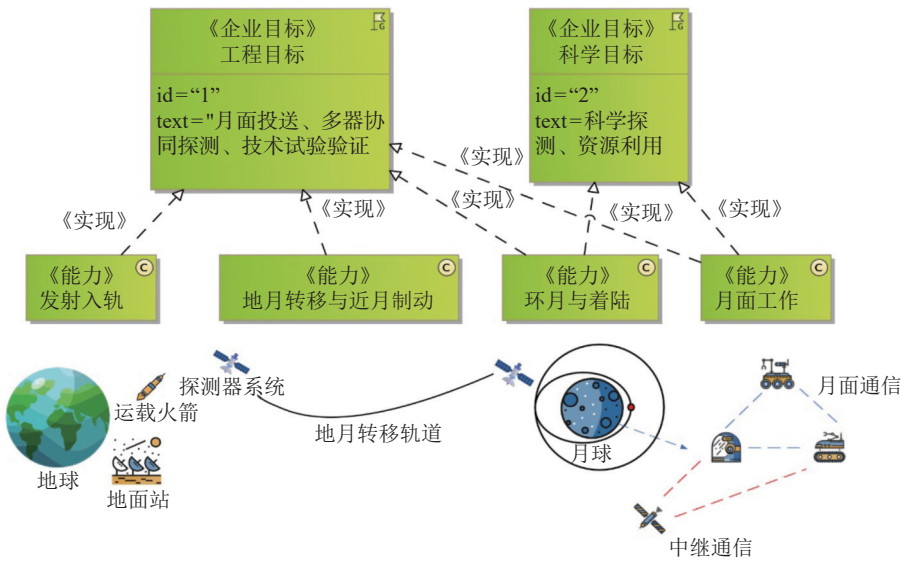


图 2 战略流程

Fig. 2 Strategic process view

控制, 是其他关键环节的重要保障; 月面工作段中系统初始化和科学探测计划是其他关键环节开展的前提.

2.2 功能分析

2.2.1 业务分类 (Op-Tx)

以月面工作阶段为例, 开展业务视点下的功能分析, 将探测器系统月面工作划分为系统初始化、任务规划、任务执行、信息回传与分析 4 个业务活动, 外

部参与者包括测控系统、地面应用系统、中继与月面通信系统、月面保障系统、月面指挥信息系统, 如图 5 所示. 将 4 个业务活动逐一展开, 进行功能分析. 其他 3 个阶段同理, 不做详细展示.

2.2.2 业务结构 (Op-Sr)

开展各业务活动与外部参与者之间的连接和信息交互关系梳理, 如图 6 所示, 各业务活动间接口描

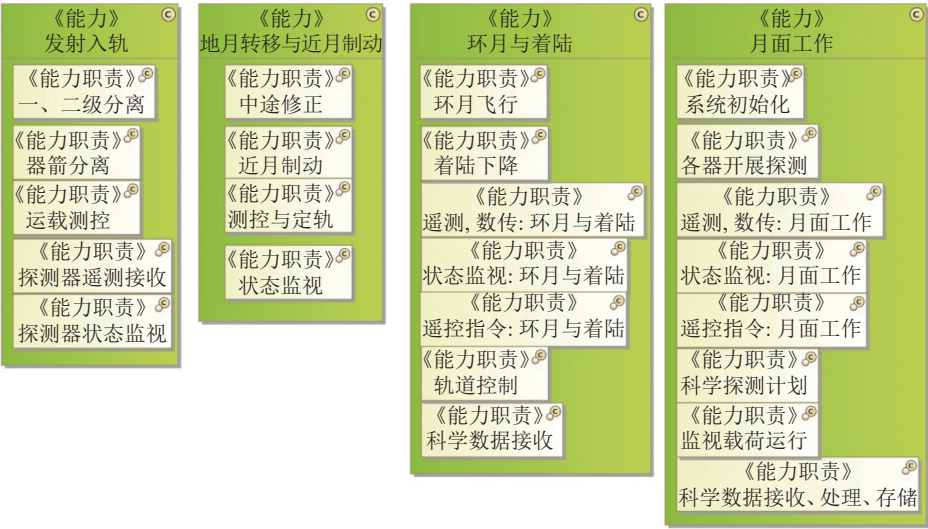


图 3 战略结构

Fig. 3 Strategic structure view

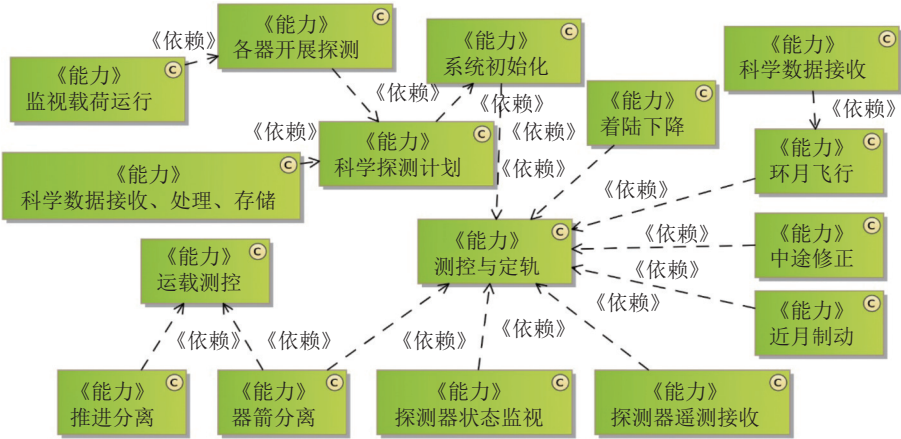


图 4 战略连通

Fig. 4 Strategic connectivity view

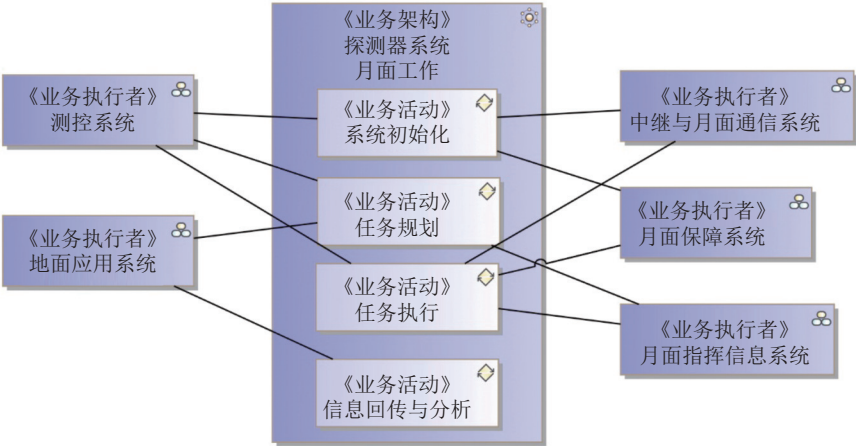


图 5 业务分类

Fig. 5 Operational taxonomy view

述如下.

- (1) 系统初始化: 建立天地通信链路, 给各器上电, 建立月面通信, 保持实时状态检测.
- (2) 任务规划: 月面指挥信息系统融合生成任务规划信息, 经地面分析确认.
- (3) 任务执行: 在月面指挥信息系统的指挥下, 各器开展科学探测和工程作业, 保持实时状态检测.
- (4) 信息回传与分析: 科学数据回传地面.

2.2.3 业务流程 (Op-Pr)

以系统初始化为例, 构建视图模型, 测控系统为业务活动执行的发起者, 探测器系统依据接收初始化

指令, 开展系统上电和月面各器分离, 中继与月面通信系统为各器建立月面通信组网, 月面保障系统保持实时状态检测, 如图 7 所示. 其他 3 个业务活动建模以此类推, 不做详细说明.

2.2.4 业务序列 (Op-Sq)

此过程为业务活动的时序建模, 以系统初始化为例, 创建 4 条生命线, 展示了探测器系统与测控系统、月面保障系统、中继与月面通信系统之间信息交互的时序关系, 描述了初始化指令、各器分离、建立月面通信等关键指令消息的时序操作和对象间的动态协作, 如图 8 所示. 其他业务活动建模过程同理.

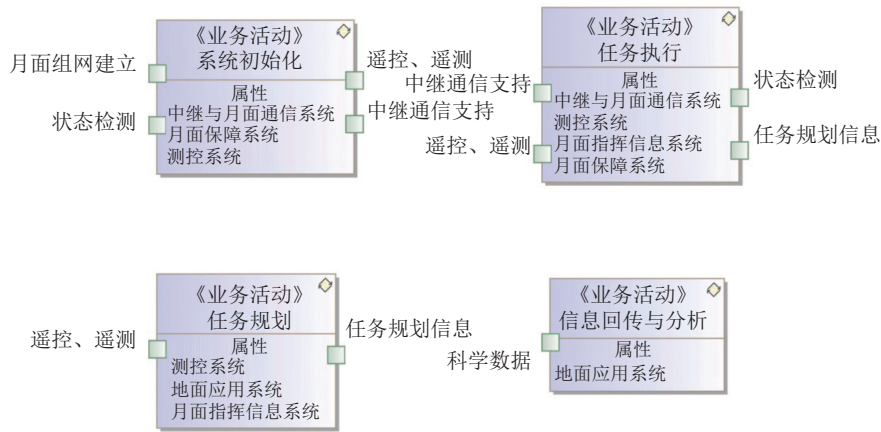


图 6 业务结构

Fig. 6 Operational structure view

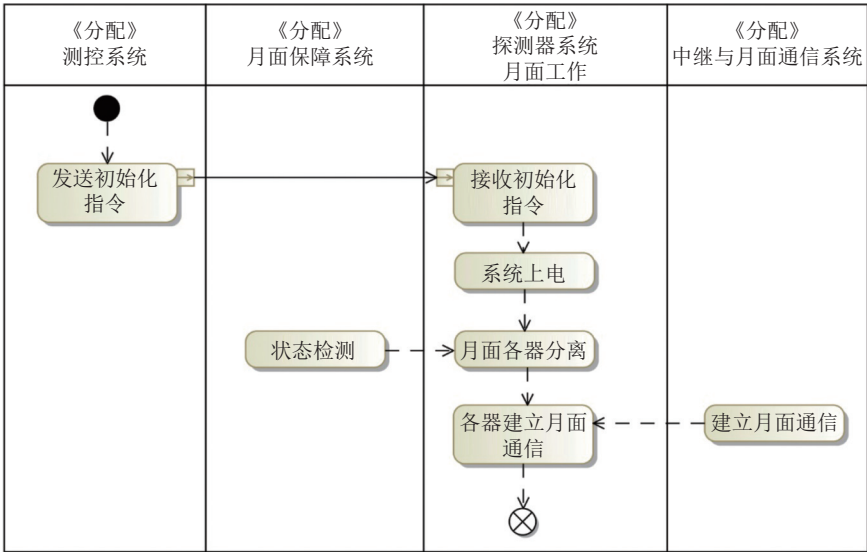


图 7 业务流程

Fig. 7 Operational process view

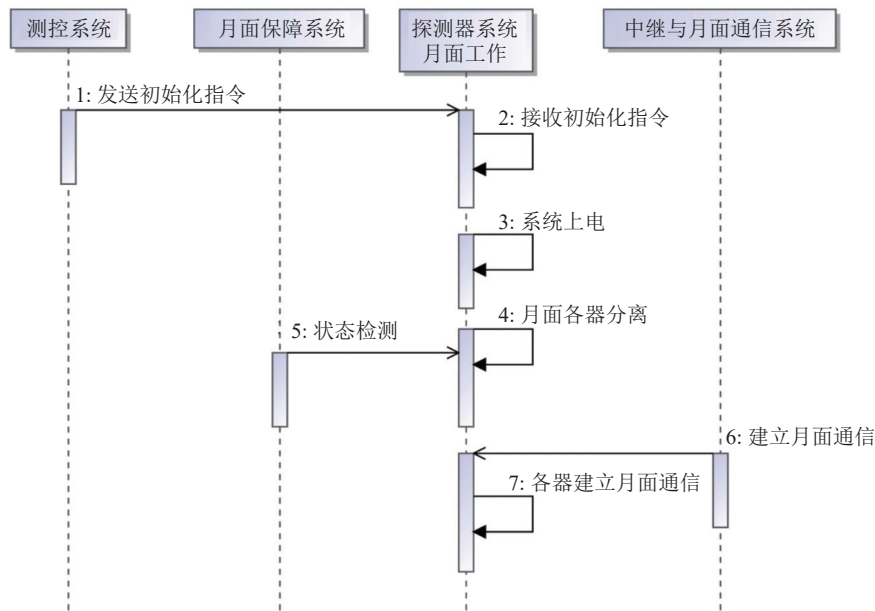


图 8 业务序列

Fig. 8 Operational sequence view

2.2.5 业务状态 (Op-St)

此过程为业务状态的转换过程建模, 以系统初始化为例, 划分为准备阶段和初始化阶段 2 个状态, 并展示状态转换过程, 表示业务通过状态转换来响应消息和操作, 如图 9 所示. 其他业务活动建模过程同理.

2.3 架构分析

资源分类 (Rs-Tx): 完成以上月面工作阶段的 4 项业务活动建模分析, 同理开展其他 3 个阶段的建模分析, 综合全流程各阶段的功能分析结果, 按照工程总体级、系统级、探测器级进行逻辑设定, 形成资源视点下的系统逻辑架构, 如图 10 所示.

2.4 架构设计

2.4.1 资源结构 (Rs-Sr)

建立了各级资源之间接口和交互关系, 给出了相应的关键接口和交互信息, 如图 11 所示, 通过连接器和接口将相关资源 (系统) 联通, 例如探测器系统和中继与月面系统以中继通信、月面通信接口联通, 二者之间交互信息为中继转发遥测、遥控、数传信息, 以及月面各器组网通信信息.

2.4.2 资源流程 (Rs-Pr)

基于行为分解, 在资源视点下描述了业务活动执行的过程、输入输出和信息流. 以业务流程视图为基础, 探测器系统按照着陆器、探测器-科学型、探测器-作业型 3 类划分, 将业务活动分配到系统逻辑架构

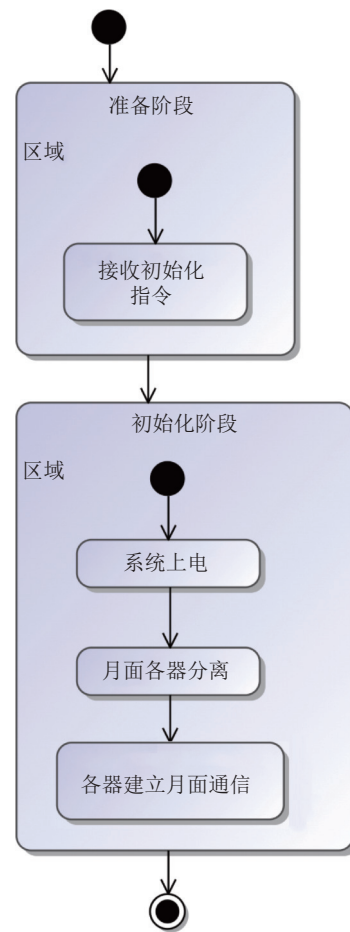


图 9 业务状态

Fig. 9 Operational state view

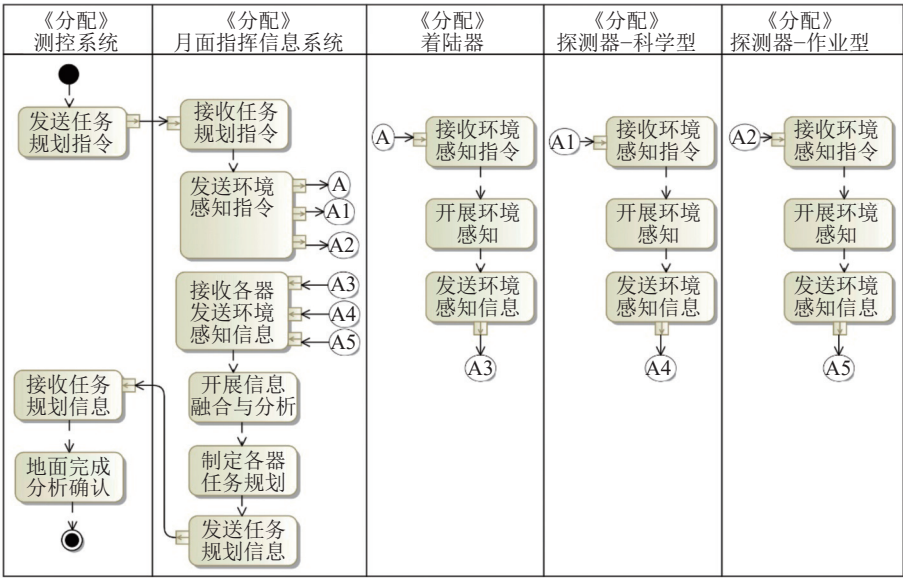


图 13 任务规划资源流程

Fig. 13 Resources process view of mission planning

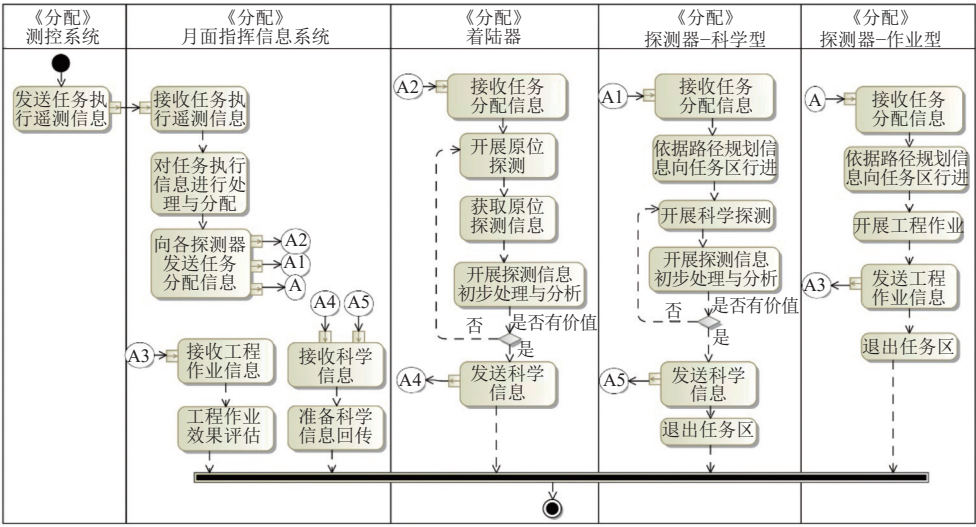


图 14 任务执行资源流程

Fig. 14 Resources process view of mission execution

(2) 在任务规划中: 测控系统发送初始化指令, 月面指挥信息系统接收指令后, 向各器发送环境感知指令, 各器开展环境感知, 依据各器感知信息融合生成任务规划信息, 最终经地面分析确认。

(3) 在任务执行中: 测控系统发送任务执行遥测信息, 月面指挥信息系统接收并进行任务分配, 各器接收任务分配信息并开展相应科学探测和工程作业, 月面指挥信息系统对回传工程作业信息进行效果评估, 其中, 重点展示了科学探测信息初步处理与分析

流程。

(4) 在信息回传与分析中: 主份科学信息经月面指挥信息系统回传地面应用系统, 进行处理与分析; 主份作业信息经月面指挥信息系统回传测控系统, 结合相关遥测信息制定后续计划; 备份科学信息和作业信息经各器回传测控系统。

2.4.3 资源追溯 (Rs-Tr)

建立了资源到能力的追溯关系矩阵, 如图 16 所示, 描述了二者的追溯和满足关系, 表明资源完全覆

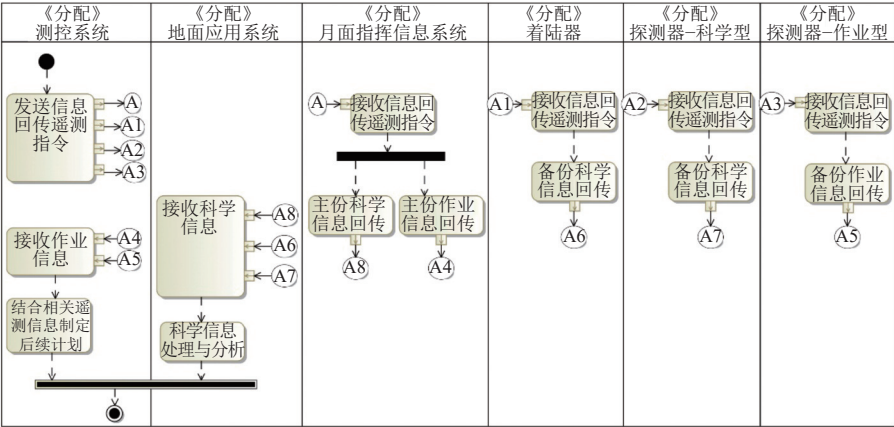


图 15 信息回传与分析资源流程

Fig. 15 Resources process view of information transmission and analysis

图例	测控与定轨	各器开展探测	监视载荷运行	科学数据接收	科学探测计划	系统初始化
展示						
测控系统						
地面应用系统						
探测器-科学型						
探测器-作业型						
探测器系统						
月面保障系统						
月面指挥信息系统						
着陆器						
中继与月面通信...						

图 16 资源追溯

Fig. 16 Resources traceability view

盖且满足能力需求, 验证了方法的合理性.

2.5 仿真分析

通过设计与建模, 描述了大系统的需求分析、功能分配和架构设计过程, 采用仿真分析对其合理性进行检验. 在杭州华望公司开发的 M-Arch 建模工具上装载仿真插件, 选用资源流程视图进行逻辑仿真, 开展流程、功能、参数的迭代验证.

以系统初始化资源流程为例, 通过设置 3 个关键活动 (Action) 的内置参数进行约束解算, 如表 2 所示.

表 2 关键活动参数设置

Table 2 Parameter settings of key action

关键活动	参数设置	备注
给各器上电	供电功率 ≥ 1500 W	太阳能、蓄电池
月面各器分离	释放重量 ≥ 200 kg	各器重量
器间通信	通信码速率 ≥ 1.2 kbit·s ⁻¹	UHF通信体制

构建模块定义图, 将模块指标与关键活动 (Action) 进行关联, 同时定义指标的约束条件, 如图 17 所示; 构建参数图, 将指标与约束参数进行绑定, 如图 18 所示. 启动仿真, 监控在该资源流程下的仿真执行情况, 关键指标随执行过程发生动态变化, 参数图会针对变化的指标自动进行验证, 判断是否满足设计要求.

在仿真操作控制界面, 通过控制执行方式, 可单步实现各模型执行情况监控, 针对执行过程出现的问题进行视图的优化调试. 如图 19 所示, 在“给各器上电”关键活动下, 完成了供电功率指标参数的确认, 其余指标将持续调整, 以满足参数约束条件.

其他资源流程同理, 通过仿真计算的结果进行迭代仿真, 可辨识动态行为逻辑、信息流控制、接口匹配等问题, 发现问题或风险后实时完成模型更新与优化改进, 以提高设计和仿真验证效率.

3 结论

由分析月球探测工程中大系统设计与接口验证现状入手, 进而引入解决复杂组织体问题的有效手

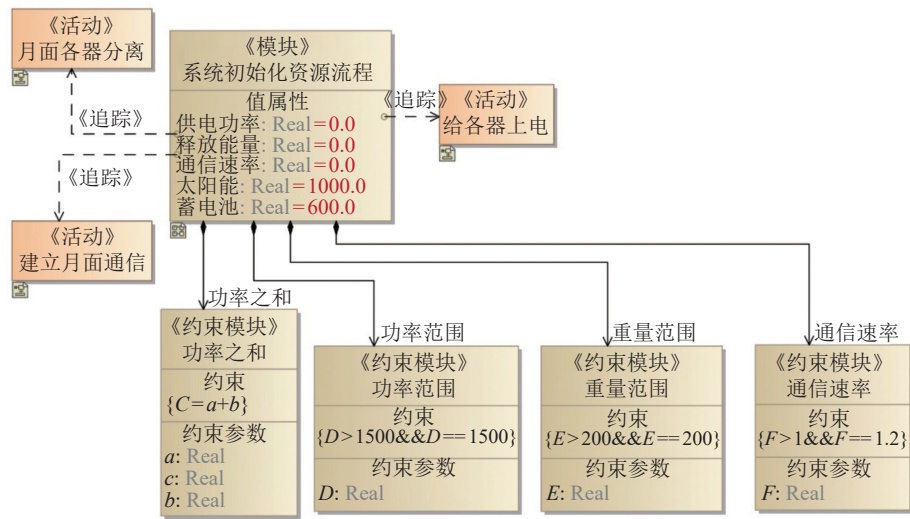


图 17 资源流程模块定义

Fig. 17 Block definition diagram of resources process view

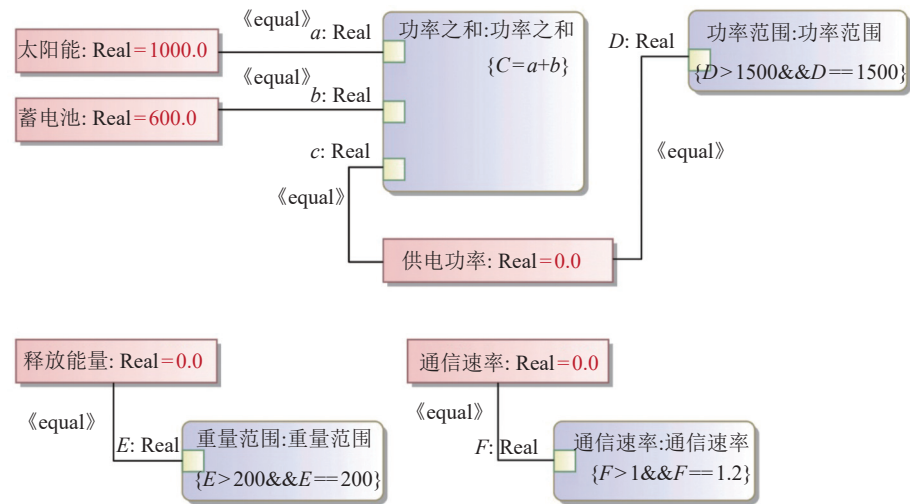


图 18 资源流程参数

Fig. 18 Parametric diagram of resources process view

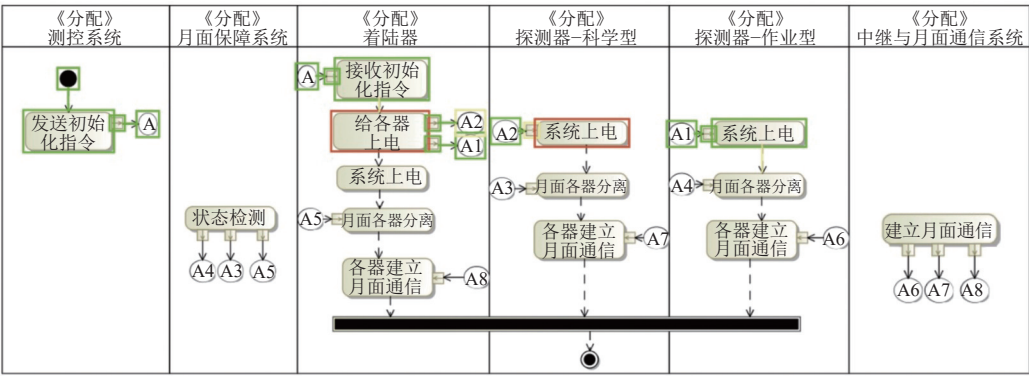


图 19 资源流程仿真分析

Fig. 19 Simulation analysis of resources process view

段, 将 UAF 结合大系统设计与建模特点进行适应性裁剪和组合, 提出基于 UAF 的月球探测工程设计与建模方法, 建立了基于战略、业务、资源视点下相关领域的视图模型, 采用需求追溯和逻辑仿真迭代验证以对模型做优化改进. 该方法具有以下优势.

(1) 该工程设计与建模方法在优选 UAF 相关视图的基础上, 充分考虑了 RFLP 的正向设计思想, 与传统基于文本及单独考虑 UAF 视图相比, 该方法在结构和逻辑上更合理, 可先期验证逻辑问题, 具有正样设计规范化指导, 程序性更强, 保证了各阶段需求和信息传递的完整性和可信性.

(2) 该工程设计与建模方法扩展性强, 面向不同工程任务需求, 可按需构建其他视点下的视图模型, 增加功能、接口和指标等设计要素, 建立多领域的设计与仿真集成.

(3) 与以往基于经验和静态文本的大系统设计相比, 从立项论证和方案设计阶段先期完成需求、功能、接口的仿真验证, 充分释放设计与验证风险, 为各系统开展研制提供有利基础和条件.

参考文献

- [1] GUAN Feng, GE Ping, ZHOU Guodong, *et al.* Development trend of MBSE and investigation of concurrent collaborative demonstration for Chinese lunar exploration program[J]. *Chinese Journal of Space Science*, 2022, **42**(2): 183-190 (关锋, 葛平, 周国栋, 等. MBSE 发展趋势与中国探月工程并行协同论证[J]. *空间科学学报*, 2022, **42**(2): 183-190)
- [2] PEI Zhaoyu, LIU Jizhong, WANG Qian, *et al.* Overview of lunar exploration and International Lunar Research Station[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2020, **65**(24): 2577-2586 (裴照宇, 刘继忠, 王倩, 等. 月球探测进展与国际月球科研站[J]. *科学通报*, 2020, **65**(24): 2577-2586)
- [3] PEI Zhaoyu, KANG Yan, MA Ji'nan, *et al.* Model-based collaborative demonstration method for International Lunar Research Station[J]. *Acta Aeronautica et Astronautica Sinica*, 2022, **43**(12): 226066 (裴照宇, 康焱, 马继楠, 等. 基于模型的国际月球科研站协同论证方法[J]. *航空学报*, 2022, **43**(12): 226066)
- [4] GUAN Feng, GE Ping, SHAO Yanli, *et al.* Mission analysis of lunar scientific research station based on MBSE[J]. *Advances in Aeronautical Science and Engineering*, 2023, **14**(3): 84-99 (关锋, 葛平, 邵艳利, 等. 基于 MBSE 的月球科研站任务分析[J]. *航空工程进展*, 2023, **14**(3): 84-99)
- [5] ZHENG Shuofang, HE Ruiheng, REN Wenming. Research on generating technology for equipment standard set based on UAF modeling[J]. *Journal of System Simulation*, 2021, **33**(7): 1534-1541 (郑朔昉, 何瑞恒, 任文明. 基于 UAF 建模的装备标准集生成技术研究[J]. *系统仿真学报*, 2021, **33**(7): 1534-1541)
- [6] LIU Jingting, GUO Jikun. Establishment of efficient support system for joint operations in theater command based on DMM of UAF[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2020, **42**(6): 1324-1331 (刘婧婷, 郭继坤. 基于 UAF 元模型的战区联合作战精确保障体系构建方法[J]. *系统工程与电子技术*, 2020, **42**(6): 1324-1331)
- [7] LU Zhifeng, HE Shu, DU Junnan, *et al.* Research on architecture modeling of air defense and anti-missile operation of aircraft carrier formation based on UAF[J]. *Ship Electronic Engineering*, 2023, **43**(11): 96-101 (陆志沅, 何舒, 杜君南, 等. 基于 UAF 的航母编队防空反导作战体系结构建模[J]. *舰船电子工程*, 2023, **43**(11): 96-101)
- [8] MIAO Xuewen, DONG Xiaoxiong, QIAN Zhengwen, *et al.* Architecture modeling of aviation equipment intelligent support system based on DoDAF[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2024, **46**(2): 640-648 (苗学文, 董晓雄, 钱征文, 等. 基于 DoDAF 的航空装备智能保障系统体系结构建模[J]. *系统工程与电子技术*, 2024, **46**(2): 640-648)
- [9] GAO Yue, RU Le, CHI Wensheng, *et al.* Task meta-model modeling of air combat system based on system architecture design[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2021, **43**(11): 3229-3238 (高悦, 茹乐, 迟文升, 等. 基于体系结构设计的空战系统任务元模型建模[J]. *系统工程与电子技术*, 2021, **43**(11): 3229-3238)
- [10] WANG Yunong, BI Wenhao, ZHANG An, *et al.* DoDAF-based civil aircraft MBSE development method[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2021, **43**(12): 3579-3585 (王雨农, 毕文豪, 张安, 等. 基于 DoDAF 的民机 MBSE 研制方法[J]. *系统工程与电子技术*, 2021, **43**(12): 3579-3585)
- [11] JIAO Hongchen, LEI Yong, ZHANG Hongyu, *et al.* Research on modeling and design method of spacecraft system based on MBSE[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2021, **43**(9): 2516-2525 (焦洪臣, 雷勇, 张宏宇, 等. 基于 MBSE 的航天器系统建模分析与设计研制方法探索[J]. *系统工程与电子技术*, 2021, **43**(9): 2516-2525)
- [12] HUANG Ran, WU Xinfeng, CUI Guiling, *et al.* Architecture design and modeling of manned space mission based on UAF[J]. *Manned Spaceflight*, 2023, **29**(6): 711-719 (黄冉, 武新峰, 崔桂玲, 等. 基于 UAF 的载人航天体系框架设计与建模[J]. *载人航天*, 2023, **29**(6): 711-719)
- [13] ZHAO Yu, WANG Shenquan, WANG Ping, *et al.* Research on the hybrid cloud architecture simulation system for manned lunar exploration systems[J]. *Journal of Astronautics*, 2024, **45**(1): 21-34 (赵毓, 王慎泉, 王平, 等. 载人月球探测混合云架构体系仿真系统研究[J]. *宇航学报*, 2024, **45**(1): 21-34)
- [14] ABHAYA L. UAF (Unified Architecture Framework) Based MBSE (UBM) method to build a system of systems model[J]. *INCOSE International Symposium*, 2021, **31**(1): 227-241

- [15] TORKJAZI M, RAZ A K. A taxonomy for system of autonomous systems[C]//2022 17th Annual System of Systems Engineering Conference (SOSE). Rochester: IEEE, 2022: 198-203
- [16] BANKAUSKAITE J, MORKEVICIUS A. Towards an automated UAF-based trade study process for system of systems architecture[J]. *INCOSE International Symposium*, 2020, **30**(1): 391-405
- [17] MARTIN J N, O'NEIL D P. Enterprise architecture guide for the Unified Architecture Framework (UAF)[J]. *INCOSE International Symposium*, 2021, **31**(1): 242-263
- [18] HAUSE M, KIHLSSTRÖM L O. An elaboration of service views within the UAF[J]. *INCOSE International Symposium*, 2021, **31**(1): 728-742
- [19] EICHMANN O C, MELZER S, GOD R. Model-based development of a system of systems using Unified Architecture Framework (UAF): a case study[C]//2019 IEEE International Systems Conference (SysCon). Orlando, FL, USA: IEEE, 2019: 1-8
- [20] BOGGERO L, CIAMPA P D, NAGEL B. An MBSE architectural framework for the agile definition of complex system architectures[C]//AIAA Aviation 2022 Forum, Chicago, USA: AIAA, 2022
- [21] GRANDE M L, PATEL A S, DURBIN L D, *et al.* Modeling architectures and parameterization for spacecraft [C]//AIAA Scitech 2020 Forum. Orlando, USA: AIAA, 2020
- [22] WATSON-MORGAN L, HAWKINS L, JACOBS B, *et al.* NASA's Artemis human landing systems[C]//2022 IEEE Aerospace Conference. Big Sky: IEEE, 2022: 1-7
- [23] FOUSTJ. Gateway or bust: NASA's plan for a 2024 lunar landing depends on a much-criticized orbital outpost[J]. *IEEE Spectrum*, 2019, **56**(7): 32-37
- [24] FAKIH M, KLEMP O, PUCH S, *et al.* A modeling methodology for collaborative evaluation of future automotive innovations[J]. *Software and Systems Modeling*, 2021, **20**(5): 1587-1608