



国防科技大学学报

Journal of National University of Defense Technology

ISSN 1001-2486, CN 43-1067/T

《国防科技大学学报》网络首发论文

题目：航天任务设计工业软件 ATK 3.0 研制进展与技术突破
作者：罗亚中，杨震，王华，周建平
收稿日期：2025-04-02
网络首发日期：2025-06-12
引用格式：罗亚中，杨震，王华，周建平. 航天任务设计工业软件 ATK 3.0 研制进展与技术突破[J/OL]. 国防科技大学学报.
<https://link.cnki.net/urlid/43.1067.T.20250612.1451.004>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

doi:10.11887/j.issn.1001-2486.25040004

航天任务设计工业软件 ATK 3.0 研制进展与技术突破

罗亚中^{1,2*}, 杨震^{1,2}, 王华^{1,2}, 周建平³

(1. 国防科技大学 空天科学学院, 湖南 长沙 410073; 2. 太空系统运行与控制全国重点实验室, 湖南 长沙 410073; 3. 中国载人航天工程办公室, 北京 100034)

摘要：航天任务设计软件贯穿航天任务全寿命周期，被视为航天工业设计软件体系中的主根系软件。国防科技大学团队基于在载人航天领域近 30 年的技术积累，于 2020 年启动了自主工业软件航天任务工具箱 ATK 的研制工作，2024 年底正式发布 ATK 3.0 版本，包括标准平台、可见性与覆盖分析、任务分析、轨道设计和二次开发 5 大类 21 个功能模块。ATK 研发得到了中国载人航天工程的深度持续支持，探索实践了“工程侧需求牵引+院校侧集中研发”的研制模式，在航天工程、空间安全和院校教学等领域产生了广泛影响，迈出了替代 STK 的坚实第一步。回顾了 ATK 的发展历程，阐述其功能特点，重点分析 ATK 在大型软件架构设计、计算内核开发和轨道机动规划等方面的核心技术突破，并阐述了 ATK 的未来发展目标定位和建设思路。

关键词：航天工业软件；航天任务设计；ATK；航天动力学

中图分类号：V1 **文献标志码：**A

Development progress and technical breakthroughs of space mission design industrial software ATK 3.0

LUO Yazhong^{1,2*}, YANG Zhen^{1,2}, WANG Hua^{1,2}, ZHOU Jianping³

(1. College of Aerospace Science and Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China; 2. State Key Laboratory of Space System Operation and Control, Changsha 410073, China; 3. China Manned Space Engineering Office, Beijing 100034, China)

Abstract: Space mission design software spans the entire lifecycle of space missions and is regarded as the cornerstone of the aerospace industrial software system. Leveraging nearly three decades of technical expertise in the field of manned spaceflight, the research team from the National University of Defense Technology initiated the development of the independent industrial software ATK in 2020. By the end of 2024, the ATK 3.0 version was officially released, encompassing 5 major categories and 21 functional modules, including standard platform, visibility and coverage analysis, mission analysis, orbital design, and secondary development. The development of ATK has been deeply and continuously supported by China MannedSpace Engineering exploring a collaborative research and development model characterized by "engineering-driven demand + centralized academic development". This software has had a significant impact in aerospace engineering, space security, and academic education, marking a solid first step toward replacing STK. The development history of ATK was reviewed, and the functional features was elaborated on. Focuses on analyzing its core technologies breakthroughs of ATK, such as large-scale software architecture design, computational kernel development, and orbital maneuver planning were selective analysed. While ATK faces challenges in enhancing its functionality and building its application ecosystem, its future development roadmap and strategic objectives were outlined..

收稿日期：2025-04-02

基金项目：国家自然科学基金资助项目（12125207, 12432017）；载人航天工程科技创新团队课题资助项目

* **第一作者：**罗亚中（1979—），男，河南鲁山人，教授，博士，博士生导师，E-mail: luoyz@nudt.edu.cn

引用格式：罗亚中, 杨震, 王华, 等. 航天任务设计工业软件 ATK 3.0 研制进展与技术突破[J]. 国防科技大学学报, 2025, 47(4)

Citation: LUO Y Z, YANG Z, WANG H, et al. Development progress and technical breakthroughs of space mission design industrial software ATK 3.0[J]. Journal of National University of Defense Technology, 2025, 47(4)

Keywords: aerospace industrial software; aerospace mission design; ATK; astrodynamics

工业设计软件在工业活动中发挥着“枢纽”作用,是我国当前科技领域亟须重点攻关的卡脖子问题。航天工业设计软件在推动航天技术进步、保障型号研制和重大工程任务中发挥了重要作用。我国航天事业发展取得了巨大成就,成功实施了载人航天、北斗导航、深空探测等一系列重大工程。但与之相比,至今仍没有发展出被行业普遍认可和接受的航天工业设计软件^[1]。航天任务分析与设计以轨道、弹道设计为基础,扩展到总体、控制、通信、导航、遥感等任务,贯穿于航天任务的全寿命周期,直接制约着航天任务实施的成败、性能和效能。正因为航天任务分析与设计的关键地位,文献[1]将航天工业设计软件分类为航天领域软件、军工行业软件和工业通用软件,分别定位为主根系、侧根系和不定根系软件,以任务分析与设计软件为唯一的主根系软件。

文献[2]对国内外典型航天任务分析与设计软件包括 STK (Systems Tool Kit)、ASTOS (Aerospace Trajectory Optimization Software)、GMAT (General Mission Analysis and Design Toolkit) 等进行概述总结和分析,文献[3]进一步剖析了 STK 为代表的商业软件的发展历程和发展启示,提出自主软件的发展对策和思路建议。整体来看,我国目前尚未开发出成熟的航天任务分析与设计工业软件,与国外相比存在明显差距。但需要指出的是,中国航天工业是最具正向设计能力的行业领域,而轨道、弹道正是其中的核心专业,我国在航天事业 60 多年的发展中已自主掌握了核心技术,早已具备了国产替代的深厚基础。

笔者团队长期围绕我国载人航天工程重大需求,在过去 30 余年间致力于解决逃逸与应急救援仿真、交会对接轨道规划、空间站运营任务规划、载人登月轨道设计等航天任务分析与设计问题,研制了 10 余套专用软件,并形成了相关模型、算法和程序库积累^[4-6]。以这些成果为基础,以对标 STK 软件为目标,于 2020 年启动了航天任务工具箱 ATK (Aerospace Tool Kit) 研制工作,现已正式推出 3.0 版本^[7],目前正在工业部门、军队单位、科研院校等 130 多家单位得到推广应用,走出了替代 STK 的坚实一步。

本文是文献[2, 3]的姊妹篇,简要介绍 ATK 的研发历程和基本功能,重点剖析了 ATK 的主要技术创新和突破,并展望 ATK 的后续发展规划。与 STK 相比,ATK 在功能丰富性和应用生态等方面存在明显差距,希望通过本文介绍,让更多人认识和使用 ATK,从而加速 ATK 的迭代开发。

1 ATK 发展历程

笔者团队长期从事航天飞行任务规划与系统仿真研究,从技术积累角度回顾 ATK 的发展历程,大体上可分为三个阶段,如图 1 所示。第一个阶段是从 1992 迄今的工程专用系统研发,第二个阶段是 2010 到 2020 年的半通用系统开发和基础创新研究,第三个阶段是 2020 年起的 ATK 产品集中开发。



图 1 ATK 技术积累发展历程

Fig.1 History of ATK technology accumulation and development

1992 年起,团队围绕载人航天工程需求,相继研制了逃逸与应急救援仿真、交会对接轨道规

划与系统仿真、空间站运营任务规划、载人登月轨道设计等 10 余套任务系统,成功应用于神舟一

号以来的历次载人航天飞行任务，团队被表彰为中国载人航天工程突出贡献集体。回顾国际上大型航天工业软件的发展史，无一例外都是孵化和成长于重大航天工程。笔者团队作为院校团队通过持续 30 余年的工程专用系统研发，储备了相关技术基础，同时对工程需求、专用系统局限性有了更深刻的认识，为 ATK 研制奠定了坚实的基础。

2010 年起，团队持续开展航天动力学基础创新研究，包括交会动力学、非线性偏差演化、太空旅行商、轨道博弈、地月轨道设计、轨道优化算法等^[8-11]，在航天动力学基础模型与算法方面取得了突破，同时面向通用化需求，研制了航天动力学库 AstroLib、航天任务仿真平台 AstroSim、优化算法库 SOAOC 等半通用平台。这期间的工作培养了一批 ATK 研发的骨干人才，作为技术积累和队伍成长的一个体现，团队在 2019 年 NASA JPL 主办的第十届国际空间轨道设计竞赛中，实现了中国参赛队伍的历史首次夺冠^[12]，并于 2021 年成功主办了第十一届比赛，竞赛成果以专刊形式在 Acta Astronautica 发表^[13]。

2020 年起在载人航天工程科技创新团队支持下，团队正式启动了 ATK 研制工作。该创新团队由中国载人航天工程总体牵头，成员包括工程各系统的总师、技术骨干，以及相关高校研究人员。借助于创新团队源自工程一线、集中研发能力强等优势，探索形成了“工程侧需求牵引+院校侧集中研发”的软件研制模式。创新团队组织工程侧以会议研讨、专题应用等形式梳理需求，开展中间版本的用户应用与反馈。国防科技大学组建了 ATK 开发团队，基于已有技术成果积累，采用快速迭代模式推进研制工作，在 5 年间先后推出了 7 个中间版本，实时面向用户，获得第一手需求和软件问题。

图 2 总结了自 2020 年起 ATK 的研发和版本发布历程。2022 年 7 月推出了软件的第一个版本 V0.1，此后通过不断迭代使得软件功能不断扩展和完善，2023 年 2 月、2023 年 12 月和 2024 年 11 月分别推出了 1.0、2.0 和 3.0 三个正式版本，3.0 版在第六届载人航天学术大会面向全国正式发布，并召开了用户专题研讨会。



图 2 ATK 研制和版本发布历程

Fig.2 Development and release history of ATK

2 ATK 3.0 的功能及应用推广情况

2.1 基本功能特点

ATK 3.0 版本针对当前航天任务设计的迫切需求，开发了标准平台、可见性与覆盖分析、任务分析、轨道设计和二次开发等系统功能，共包含 5 大类 21 个模块，如图 3 所示。除了基本覆盖 STK 基础功能（标准平台、可见性与覆盖）、航天专业功能（任务分析、轨道设计）、二次开发接口等模块外，还紧密结合工程现实需求推出了碰撞规避、偏差分析、高级星座设计等特色功能模块。相较于国内同类型软件，ATK 是一款较为全面实现 STK 常用功能的软件，并提供中英两种语言的操作界面。其功能及特点简要概括总结为

如下 5 个方面。

2.1.1 通用任务场景建模

ATK 最基础功能是进行近地、地月、深空等多类型复杂场景的通用仿真，这一功能是通过现实世界物理对象的通用建模实现的。ATK 对象用来对现实世界物体/装备的时序位置、速度、姿态、可视关系等进行建模，支持卫星、飞机、舰船、地面站、敏感器等 17 类对象的建模管理，包括对象定义、对象属性和对象操作，支持对象的轨道、姿态、约束、二维三维可视化等属性参数配置。

2.1.2 丰富可靠的分析验证

ATK 在场景通用建模的基础上，提供多个专业工具实现丰富多样的分析验证，目前的核心

功能包括两个方面。一个是以对象间的可见性为基础的，进行通用场景的可见性、覆盖、区域覆盖、通信的高精度多指标分析；第二方面是具备以轨道为核心的接近分析、偏差传播、碰撞规避、机动检测等任务分析功能。

2.1.3 通用轨道设计与机动规划

STK 在航天领域得到认可的一个重要因素是其 Astrogator 模块的强大轨道设计与机动规划能力。ATK 突破了轨道机动规划通用化建模与求解技术，覆盖了 STK Astrogator 的 80%功能；提供 12 种轨道段、19 种轨道预报停止条件和 11 类 61 种约束条件的交互式建模界面，可自由定制任务和约束，适应轨道转移、交会、维持等单个及其组合的任务场景；求解器收敛性与 Astrogator 相当，并具备近距离交会与操作、摄动 Lambert、星座反向设计等特色算法。

2.1.4 高效定制的图文与可视化

为了方便用户更好地理解和分析信息，ATK 综合考虑数据类型、图形表示、空间布局、交互

方式等因素，通过插件集成了二维和三维可视化工具。支持加载数字地球、海量目标模型（点目标>50000，三维目标>2000），可实现太阳系/地月/近地/卫星的跨尺度统一场景高效显示；提供全定制化数据模板，支持包括二维曲线、三维曲线、实时数据、数据报告等图文交互。

2.1.5 灵活的二次开发接口

面向高效集成式开发，ATK 提供了 C++组件库和可跨平台的对象模型接口，探索了统一内核的多语言支持方法（C++、Matlab、Python、Java 等），目前实现了 170 个类。面向敏捷分布式开发，ATK 支持脚本语言（Connector）模式，提供了与 C++、Matlab、Python、Java 等的统一脚本语言接口。面向 MBSE 数字工程，ATK 通过 FMI 协议、插件等连接机制实现了与 MagicDraw 及国产 MDesign、MWorks 软件直接连接。



图 3 ATK 软件模块组成
Fig.3 Modules of ATK Software

2.2 推广应用情况

ATK 目前面向全国免费注册使用，初步构建了软件应用生态，建设了发布网站、产品宣传册、用户培训课件、用户交流群、用户反馈邮箱等软件资源与用户沟通机制，对主要用户单位提供软件部署与培训等服务。已在军队单位（22.17%）、工业部门（28.21%）、高等院校（45.34%）、商业公司（34.26%）等 140 多家单位推广应用，累计注册用户超 1900 个。在载人航天、空间安全、教育科普等领域产生了较广泛影响。

2.2.1 扎根重大工程

ATK 扎根载人航天工程，重视解决工程实际设计问题，其自主可控优势有利于与用户单位快速迭代升级。在 2024 年神舟十九号、天舟八号任

务中，团队与工程任务团队紧密合作，使用 ATK 完成了空间站调相机动规划，工程任务测试验证了软件可用性和结果正确性。进一步，面向载人登月数字化设计需求，ATK 具备登月轨道机动规划能力，实现了跟 MBSE 软件 MagicDraw 的直接链接，替代了 MagicDraw+Matlab+STK 模式，已部署于实际任务设计平台中。研发团队正在与载人航天工程部门深度合作，打造一款在空间站工程和载人登月工程中广泛应用的强大设计工具^[14]，并逐步推广到其他重大工程中。

2.2.2 军队单位国产自主替代

当前国家正在全力推进软硬件环境国产化，ATK 的自主可控使得其可快速适配。2024 年以来随着 ATK 的功能日益完善，多家单位对 ATK 提出了适配需求。ATK 快速推出了适配飞腾

CPU、麒麟 V4/V10 的版本，已在军事航天部队基地等多家单位实现全国产化部署，应用于任务可视化、轨道控制、碰撞规避和测控覆盖分析等。ATK 以高可信轨道为基础，以时空关系为核心，兼顾信息域、能量域基本约束，可用于多域联合作战任务分析与设计，显著优势是作为货架产品，既可由工程师、技术骨干等专业人员使用，又可直接面向参谋、士兵等普通用户使用。ATK 在军队单位具有广泛推广前景，但目前尚有很多功能亟待新增开发。

2.2.3 院校人才培养

院校是工程师的摇篮。团队高度重视 ATK 在院校的推广，目前已推广至全国 45 所高校中，其中国防科技大学、航天工程大学等高校已较为深度地应用于课程教学中。中国空间轨道设计竞赛是国内航天领域的高水平专业性竞赛，自 2009 年发起已经成功举办 13 届。这项赛事有较高的技术门槛，过去主要面向研究生和专职研究人员^[12]。在 2024 年第十三届比赛中，笔者团队首次开设了本科生赛道，创造性地引入了基于软件解题的竞赛新模式，参赛者使用 ATK 开展了星座轨道方案设计与优化^[15]。全国 20 所高校共有 79 支本科生队伍参赛，竞赛参与者对竞赛模式和 ATK

给予了充分肯定，同时通过竞赛期间的极限使用也暴露了 ATK 的诸多问题和不足。2025 年第十五届全国周培源大学生力学竞赛将由国防科技大学组织承办，基于本次竞赛的探索经验，计划增设“轨道设计竞赛”赛道。

3 ATK 的主要技术突破

工业软件定位于高端的工业产品，软件研制需要解决一系列技术难题^[16]。ATK 在研制中不断突破解决了软件总体架构设计、计算内核、通用轨道机动规划等关键技术。

3.1 设计了自主分层组件化架构，奠定了 ATK 核心竞争力

工业级航天任务设计软件的标志性特征是具备良好的功能覆盖度和复杂问题适应性、高计算效率以及高可信度数据生产能力，带来的首要技术挑战是大型通用软件的架构设计问题。针对航天任务设计流程复杂、通用化建模难的特点，基于团队在相关技术领域的积累和认识，自主设计了“标准平台+算法组件+工具插件”三层软件架构，如图 4 所示，实践证明这一架构确保软件了稳定性、通用性和拓展性，奠定了 ATK 的核心竞争力。

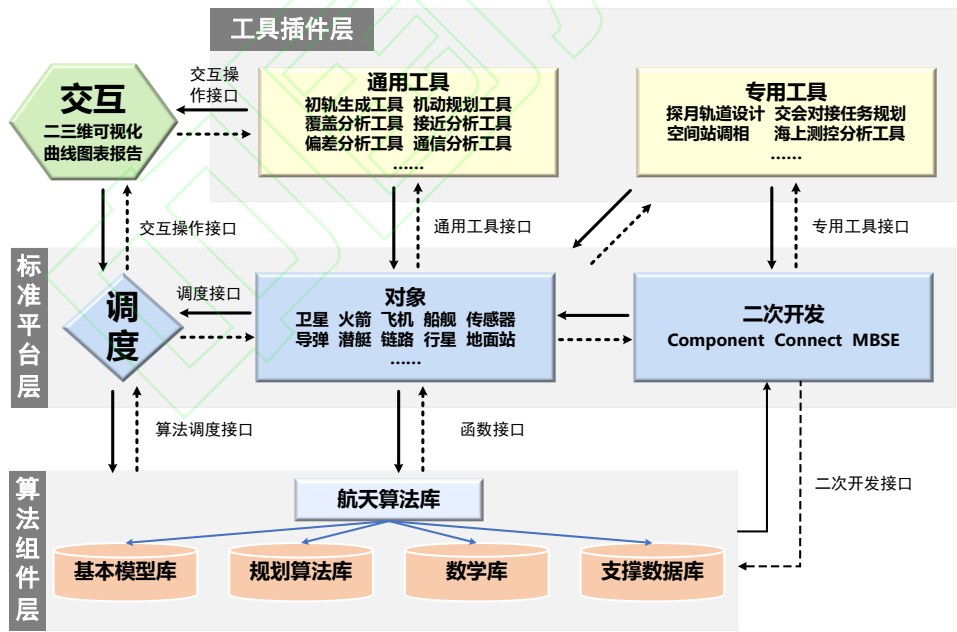


图 4 ATK 分层组件式架构组成

Fig.4 Layered component architecture of ATK

这一架构具有以下技术特点和优势：

(1) 模块化与松耦合设计，扩展性好。实现标准平台与工具插件解耦，使得软件架构具备良好扩展性，支持雷达、光电、导弹等高级工具模块标准化接入、云服务部署等功能拓展；多种

脚本与 API 编程接口满足特定任务的定制化需求；相对于 STK 单一的“回放”模式，该架构可拓展兼容“实时+回放”模式。

(2) 面向物理对象的抽象化建模，通用性强。软件标准平台通过卫星、火箭、飞机、敏感

器等物理对象抽象化建模封装，以及精细接口设计，能支撑不同类型对象在近地、地月、深空等不同时空背景下，进行对象运动状态建模，评估分析各种对象之间的几何关系、能力级指标等动态关系。

(3) 可视化形式支撑任务设计，易用性好。软件标准平台中面向物理对象的建模方式，支撑用户通过拖拽式界面生成复杂任务逻辑，降低非编程用户的使用门槛，并能结合二三维和数据交互界面直观展示所设计任务场景，支撑以“所见即所得”的方式构建场景。

3.2 突破了高精度高效率计算内核技术,整体达到 STK 水平

对于 CAD、CAE 等设计类工业软件，计算内核是其核心技术，具有很高的技术门槛。STK 作为工具箱类型工业软件，具有多样功能，对于其计算内核认识上会有不同观点。文献[17]是 STK 技术专家对 STK 功能和内在机制的论述，采用了本体论建模理论，将其概括总结为如图 5 所示。

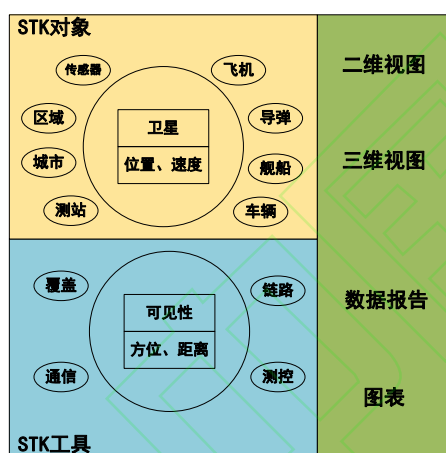


图 5 基于本体论的 STK 功能框架描述

Fig.5 STK functional framework based on ontology

STK 的最基本功能是对卫星、飞机、导弹和传感器等物理对象进行建模，采用各类分析工具进行覆盖、链路、通信和测控等任务的分析设计。在诸多 STK 对象中，最为核心的是卫星，其最基础的属性是位置和速度，也即轨道仿真。很多 STK 分析工具和分析任务，都依赖于卫星与各类对象之间的可见性计算。

因此，不难总结出，轨道仿真和可见性计算是 STK 的计算内核。对于航天专业而言，通常认为轨道仿真和可见性计算并非技术难题。事实对于理论研究和专有系统开发而言，也确实如此。但对于开发一个功能丰富的通用工业软件，则是

存在很大技术挑战，在 ATK 过去 5 年的研发历程中，逐步认识到这些问题并予以逐步解决。

面向通用性需求，轨道仿真和可见性计算的复杂性总结为如下三个方面。

(1) 基础模型和约束条件复杂。如轨道模型包含星历、天体指向、天体形状、引力场、潮汐力、大气阻力、太阳光压等 10 余类基础模型，每类又包含多种模型选项及其配置项，并且模型间存在相互依赖。可见性约束包含基本约束、太阳约束、视线约束、视场约束等，与所有场景对象均关联。

(2) 计算精度与计算效率问题。计算精度与效率是航天任务设计工业软件首要考虑的指标。保证高精度的同时，必然会带来效率的降低，这对矛盾是通用模型实现中的一个难题。特别是当前卫星数量日益增加，任务场景日益复杂，轨道和可见性计算的效率面临巨大挑战。

(3) 模型算法的通用性与可拓展性。通用轨道和可见性模型需要适用于近地、深空等多种任务和场景，适应地球、月球、行星和小天体等不同中心天体，模型还需要具备良好的可扩展性，如深空可见性计算需要考虑光行差、时间基准及信号接收发射等因素。而通用性和可扩展性往往与计算效率之间存在矛盾，如何在两者之间找到平衡也是一个关键问题。

针对上述难题，研发团队经过持续不断攻关，ATK 的计算内核性能基本达到了 STK 的水平，并形成了自己的特色和优势，具体体现在以下三个方面。

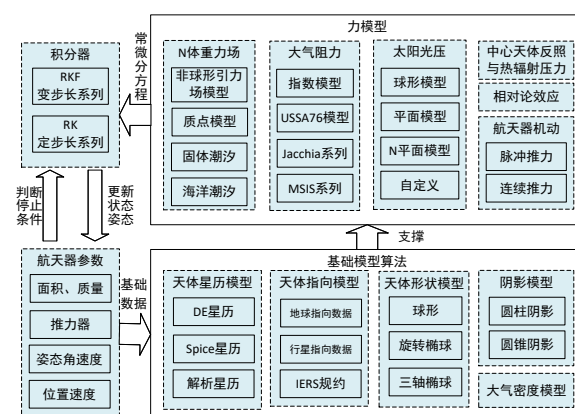


图 6 ATK 高精度轨道预报模型组建设计

Fig.6 High-precision orbit propagation for ATK software

(1) 轨道模型覆盖性、计算精度和效率与 STK 基本相当。ATK 软件通过组件化建模与面向对象的程序接口设计，有效解决了轨道模型类型多、关系复杂、可拓展性要求高等难题，高精度

轨道预报模型组件与接口关系设计如图 6 所示。团队选择了 3 个有代表性问题进行测试对比，分别是全面考虑各种摄动因素的近地、月球和地月轨道问题，如表 1 所示，从位置差异来看，1 个月内近地、月球和地月轨道外推相对 STK 的预报误差在米级，同时 ATK 计算效率稍高于 STK。

(2)可见性分析工具模型精度、效率与 STK 相当。基于变步长数值法，搭建了通用化计算架构，适配多种轨道外推模式，支持分析陆、海、空天多类型对象，可考虑遮挡、几何、光照、通信多类型约束，实现快速高精度求解，支持一对一、一对多、多对多分析场景，可满足通信、导航、遥感等任务需求。可见性计算工具已覆盖常

用的 10 种对象、26 类约束，内置报告 10 种，支持 13 类数据报告定制化。与 STK 相比，ATK 可见性分析时段计算误差在毫秒量级，验证了模型的正确性，计算时间和内存消耗相当。

(3)利用后发优势，ATK 形成了局部优势。可见性计算上，相对于 STK 的单对多分析，ATK 新增了多对多分析功能，更好适应当下的巨型星座问题；在内核算法组件上，采用面向对象方式设计，大幅提升了软件的通用性；在软件实现上，通过数据结构优化、编译优化等提升底层计算效率，底层算法设计为可重入的无状态函数，支撑顶层的并行调用。

表 1 ATK 与 STK 轨道预报性能对比

Tab.1 Comparison of orbit prediction performance between ATK and STK

任务场景	预报时长	位置差异(m)	速度差异(m/s)	ATK 耗时(s)	STK 耗时(s)
近地轨道	30 天	1.76	0.01	6.01	6.15
地月转移	6 天	0.15	0.00	0.04	<1s
环月轨道	30 天	2.10	0.00	0.41	<1s

表 2 ATK 二次开发接口设计

Tab.2 ATK integrated interface design

接口需求	接口类型	支持类型	支持接口数量
高效集成式开发	ATK.Component	C++、Matlab、Java、Python	182 种对象操作接口 97 种机动规划操作接口
敏捷分布式开发	ATK.Connect	C++、Matlab、Java、Python	133 种对象属性脚本命令 12 种机动规划脚本命令
MBSE 数字工程	ATK.MBSE	MWorks、MDesign、MagicDraw	133 种对象属性脚本命令 12 种机动规划脚本命令

3.3 突破了通用轨道机动规划技术,形成了航天专业优势

Astrogator 模块是 STK 各个功能模块中知名度最高的模块，是一款功能强大的交互式轨道设计工具。STK 在发展的早期，利用 Astrogator 完成亚洲三号卫星抢救入轨、和平号空间站离轨等重大轨道设计问题，受到了航天工程领域广泛关注和认可，奠定了 STK 的核心设计能力。Astrogator 起源于 NASA 戈达德航天飞行中心于 1978 年开发的任务软件，1989 年开始商业化，1994 年被 AGI 公司引进，1996 年正式以 Astrogator 名称对外推出。这一发展历程体现出了其较高的技术门槛。目前国内开发的航天任务

仿真软件，尚未真正突破 Astrogator 的通用轨道机动规划技术。

轨道机动规划问题是航天动力学领域经久不衰的研究热点，主要在于航天技术发展带来多种多样的轨道机动问题，包含轨道维持、轨道转移、轨道交会、引力辅助、返回再入、编队飞行、星座保持等诸多类型，涉及近地任务、地月任务、火星任务、小天体任务等多样化任务场景，针对每一类具体问题的解决均需要精心的建模与算法设计，做一个通用软件则面临着更大技术挑战。

ATK 突破了轨道机动规划通用化建模与求解技术，包括：1) 通过设计初始、预报、机动等抽象“段”，通过积木式“段”组合实现机动规

划问题通用建模, ATK 目前支持 12 类轨道段; 2) 通过预报停止条件与约束参数多坐标系统通用程序架构设计实现复杂计算流程灵活配置, ATK 支持 19 种轨道预报停止条件和 11 类 61 种约束条件; 3) 通过轨道动力学瞄准器 (Lambert 算法等) 化解强约束、猜测初值, 发展基于参数敏感性的微分修正、SQP 等优化算法实现通用机动规划模型稳定收敛。

ATK 轨道机动规划模块目前覆盖 STK Astrogator 约 80% 功能, 根据 STK 提供的标准测试用例以及交会对接、载人登月轨道设计等实际任务算例的测试对比, 收敛性与 Astrogator 相当。此外基于团队在轨道方向的扎实学术积累, ATK 推出了轨道为核心的接近分析、偏差演化、碰撞规避等专业分析工具, 具有鲜明的模型和算法特色与优势。这些轨道专业工具共同支撑构成了 ATK 的航天专业优势。研发团队正在大力提升轨道机动规划模块的功能和性能, 探索人工智能技术的引入, 计划 2025 年底正式以 Astromaster 名称对外推出。

3.4 掌握了三维可视化和二次开发技术, 奠定了软件好用基础

STK 受到广泛推崇的原因除了强大的专业分析设计能力外, 很重要的因素是领先的可视化技术和效果, 以及面向高级用户友好的二次开发接口。ATK 掌握了三维可视化技术和二次开发技术, 为软件的好用奠定了技术基础, 并形成了一定的特色。

ATK 采用模型对象共享技术, 提高多个同类

对象在多窗口中显示内存使用效率。采用多线程数据处理与渲染技术, 并且数据处理与场景渲染分开, 提高场景渲染效率。采用场景管理树, 根据模型远近, 自动优化模型渲染粒度, 提高场景渲染效率。可流畅运行 2000 个以上卫星对象带模型与轨迹的三维场景显示, 数万个点目标可视化展示, 可同时打开多个三维可视化窗口。

如表 2 所示, ATK 支持 Connect、Component、MBSE 等多种二次开发接口形式。特别是基于 Connect 模式的二次开发接口, 实现了与总体任务设计软件 MagicDraw 的直接连接, 并支持 C++、Java、Matlab、Python 等多种语言通过 Connect 模式和组件直接驱动 ATK 仿真运行。

4 ATK 后续发展思路

回顾 STK 的发展历程, 经历了 Satellite Tool Kit 和 Systems Tool Kit 两个阶段^[3]。已经推出的 ATK 3.0 基本实现了 STK 第一阶段功能。ATK 目前得到了军队单位、航天工业部门、商业航天公司、院校等的广泛关注, 对 ATK 后续发展提出了很多需求和期望。但 ATK 目前功能相比 STK 还有显著差距, 尚不能满足当前诸多急迫需求。研发团队下一步计划将 ATK 3.0 拓展到以航天为基础的系統工具箱 (Aerospace-related-system Tool Kit), 从“强基、拓域、成体系”三个层次拓展完善功能, 如图 7 所示。



图 7 ATK 后续发展规划

Fig.7 ATK roadmap for future development

(1) 强化基础: 加强航天功能对标性研发, 研发任务调度、高级定轨、空间环境等模块, 实现航天功能完全替代; 完善实时数据、二次开发接口、二三维可视化等软件通用平台与标准化外部接口; 集成飞行器三维模型、地理信息系统、城市数据库等标准产品, 以及国内自主的时空基础模型。

(2) 拓展领域: 拓展导弹、高级航空器、高级航海器等模型, 具备陆、海、空、天等全空

间领域分析能力; 拓展雷达、光电与红外等模型, 向光、热、电磁等多学科领域融合, 具备以时空为基础的全域分析能力。

(3) 集成体系: 突破 ATK 软件通用平台与工具服务化、云端部署、多用户管理、并发计算、数据云存储, 实现国产 CPU/GPU 高效适配及虚拟化、容器化技术, 形成以 ATK 为根软件的体系数字化集成架构, 深度融入工业部门、军队单位的业务系统。

STK 丰富多样的功能得益于 AGI 公司与大量不同专业团队长期的技术协作和联合开发,其迭代完善得到了 NASA 和美国军方重大任务持续牵引支持。纵观国外典型航天工业软件的发展历程^[3],在孵化工业软件的研发初期,国家层面的政策机制与持续经费支持、稳定维系的专业化核心研发团队、深入工程任务的广泛用户使用与反馈、跨学科协调的功能丰富拓展等因素至关重要。工业软件是工业知识的有效载体,对软件内核的专业性、可靠性要求使得工业软件的研发需要工程任务的反复打磨和持续研发,不能一蹴而就。

文献[1]对航天任务分析与设计工业软件发展启示及相关政策建议进行了系统论述。ATK 软件研发的初步成功得益于团队在载人航天工程牵引下的近 30 年技术积累,形成了可靠的软件内核;得益于在载人航天工程科技创新团队支持下,形成了“工程侧需求牵引+院校侧集中研发”的研制模式;得益于在创新团队支持下,研发团队近五年集中攻关过程中全身心的研发性投入。另外,工业软件研发是专业领域主导的多学科交叉融合,专业知识功底和创新能力强的稳定核心团队对研发工作至关重要。

国防科技大学热枕欢迎优势单位共同参与研发,也欢迎更多的用户应用 ATK,对 ATK 的发展提出需求。期望通过与各领域优势单位和广大用户的深度协作,再经过 5 年的努力,实现对 STK 主要功能的替代,探索走出军工特色工业软件自主发展新路径。

参考文献

- [1] 周建平,王坚,曹建国等.加快推进我国航天工业设计软件发展战略研究[Z].中国工程院战略咨询研究报告,2023.
- ZHOU J P, WANG J, CAO J G, et al. Accelerating the Development Strategy of China's Aerospace Industrial Design Software [Z]. Strategic Consultation Research Report of the Chinese Academy of Engineering, 2023. (in Chinese)
- [2] 罗亚中,孙振江,乔栋.航天动力学软件发展评述[J].力学与实践,2017,39(6):549-560.
- LUO Y Z, SUN Z J, QIAO D. Survey of astrodynamics software development[J]. Mechanics in Engineering, 2017, 39(6): 549-560. (in Chinese)
- [3] 罗亚中,周建平.航天任务分析与设计工业软件发展战略分析[J].力学与实践,2024,46(2):241-249.
- LUO Y Z, ZHOU J P. Development strategic analysis for space mission analysis and design industrial software[J]. Mechanics in Engineering, 2024, 46(2): 241-249. (in Chinese)
- [4] 唐国金,罗亚中,张进.空间交会对接任务规划[M].北京:科学出版社,2008:138-230.
- TANG G J, LUO Y Z, ZHANG J. Space rendezvous and docking mission planning[M]. Beijing: Science Press, 2008: 138-230. (in Chinese)
- [5] 王华,李海阳,周晚萌.载人航天系统建模与仿真[M].北京:中国宇航出版社,2019.
- WANG H, LI H Y, ZHOU W M. Manned space system modeling and simulation[M]. Beijing: China Astronautic Publishing House, 2019. (in Chinese)
- [6] 罗亚中,张进,朱阅詠.空间站运营任务规划[M].北京:国防工业出版社,2020.
- LUO Y Z, ZHANG J, ZHU Y H. Space station operation mission planning[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2020. (in Chinese)
- [7] ATK 项目团队.航天任务工具箱 ATK.[Z/OL]. [2025-02-25]. <https://www.osredm.com/atknudt/atk>.
- ATK Project Team. Aerospace Mission Toolbox ATK.[Z/OL]. [2025-02-25]. <https://www.osredm.com/atknudt/atk>. (in Chinese)
- [8] 罗亚中.空间最优交会路径规划策略研究[M].长沙:国防科技大学出版社,2012.
- LUO Y Z. Research on planning strategy of spatial optimal rendezvous path[M]. Changsha: National University of Defense Technology Press, 2012. (in Chinese)
- [9] 唐国金,罗亚中,雍恩米.航天器轨迹优化理论、方法及应用[M].北京:科学出版社,2012:100-260.
- TANG G J, LUO Y Z, YONG E M. Theory, method and application of spacecraft trajectory optimization[M]. Beijing: Science Press, 2012: 100-260. (in Chinese)
- [10] 杨震,罗亚中,舒鹏.非线性轨道偏差演化理论及应用[M].北京:科学出版社,2024.
- YANG Z, LUO Y Z, SHU P. Nonlinear orbit deviation evolution theory and its application[M]. Beijing: Science Press, 2024. (in Chinese)
- [11] 张进,朱阅詠.空间多目标交会轨道设计与优化方法[M].北京:化学工业出版社,2024.
- ZHANG J, ZHU Y H. Trajectory design and optimization method for space multi-target rendezvous[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2024. (in Chinese)
- [12] 李俊峰,罗亚中,高扬.专注十年磨一剑 潜心寻优求卓越:纪念全国空间轨道设计竞赛十周年[M].北京:科学出版社,2021.
- LI J F, LUO Y Z, GAO Y. Focus on ten years, sharpen a sword, concentrate on optimization and seek Excellence: to commemorate the tenth anniversary of

the national space orbit design competition[M]. Beijing: Science Press, 2021. (in Chinese)

[13] SHEN H X, LUO Y Z, ZHU Y H, et al. Dyson sphere building: On the design of the GTOC11 problem and summary of the results[J]. *Acta Astronautica*, 2023, 202: 889-898.

[14] 周建平, 陆林, 李泽越, 等. 载人月球探测轨道设计的挑战与技术发展趋势[J]. *空气动力学学报*, 2023, 41(8): 1-12.

ZHOU J P, LU L, LI Z Y, et al. Orbit design for manned lunar exploration: challenges and perspectives[J]. *Acta Aerodynamica Sinica*, 2023, 41(8): 1-12. (in Chinese)

41(8): 1-12. (in Chinese)

[15] 朱阅詠, 杨震, 罗亚中. 中国空间轨道设计竞赛首次本科生赛道举办探索情况总结. *力学与实践*, 2025, 47(3): 1-9.

ZHU Y H, YANG Z, LUO Y Z. Summary of exploration for the first undergraduate raceway in the China Trajectory Optimization Competition. *Mechanics in Engineering*, 2025, 47(3): 1-9. (in Chinese)

[16] 林雪萍. 工业软件简史[M]. 上海: 上海社会科学院出版社, 2021.

LIN X P. A brief history of industrial software[M]. Shanghai: Shanghai Academy of Social Sciences Press, 2021. (in Chinese)

[17] LINDA M. MCNEIL, T. S. KELSO. 时空信息系统: 使用 STK 的本体论方法[M]. 朱彦伟, 张元文, 许松, 胡佳鑫, 译. 北京: 国防工业出版社, 2017.

LINDA M. MCNEIL, T. S. KELSO. Spatial temporal information systems an ontological approach using STK[M]. ZHU Y W, ZHANG Y W, XU SONG, HU J X, Translate. Beijing: National Defense Industry Press, 2017. (in Chinese)