

数字化背景下航天型号研制策划优化研究

王毅鹏 李骏 陆华

上海航天电子通讯设备研究所

DOI : 10.32629/jpm.v7i7.9001

[摘 要] 针对航天型号研制策划中存在的决策滞后、资源配置弹性不足及跨部门协同成本偏高等问题，本文提出一套数字化驱动和优化策略。策略核心包括基于 PLM 平台重构并行策划流程，构建融合历史、实时与预测数据的决策模型以提升资源分配效率，并设计以数据中台为枢纽的跨部门协同机制。通过某新型卫星型号的案例验证，优化后任务交付周期缩短 18%，关键设备资源利用率提升至 82%，决策准确率提高 25%。研究表明，数字化策略能有效突破传统线性策划的瓶颈，为航天型号研制策划的提质增效提供可落地的实施路径。

[关键词] 航天型号；研制策划；数字化转型；PLM 平台；数据中台

Research on the Optimization of Spacecraft Model Development Planning in the Digital Era

Wang Yipeng Li Jun Lu Hua

Shanghai Institute of Aerospace Electronic Communication Equipment

[Abstract] Addressing challenges inherent in spacecraft model development planning—such as decision-making lag, insufficient flexibility in resource allocation, and high cross-departmental coordination costs—this paper proposes a digital-driven optimization strategy. The core components of this strategy include: reconstructing the parallel planning process based on a PLM platform; building a decision-making model that integrates historical, real-time, and predictive data to enhance resource allocation efficiency; and designing a cross-departmental collaboration mechanism centered around a data middle platform. Through a case study involving a new satellite model, the results demonstrate that after implementation of this optimization strategy, the task delivery cycle was shortened by 18%, the utilization rate of key equipment resources was increased to 82%, and the decision-making accuracy was improved by 25%. The research indicates that this digital strategy can effectively overcome the bottlenecks associated with traditional linear planning approaches and provides a practical implementation pathway for improving the quality and efficiency of spacecraft model development planning.

[Key words] aerospace program; development planning; digital transformation; PLM platform; data middle office

引言：

航天型号研制具有技术复杂、系统耦合强、试验资源稀缺等显著特点，其策划工作的质量直接影响任务成败与效率

^[1]。然而，长期沿用的阶段评审驱动型线性模式在应对载荷迭代频繁、供应链波动等动态变化时，暴露出信息传递迟滞、资源排布僵化及风险响应被动等固有缺陷^[2-3]。尽管当前数字

化技术在航天设计、仿真环节已深度应用，但在研制策划源头，数据驱动能力仍显薄弱。本文旨在探索如何将PLM平台、数据中台及量化决策模型系统性地融入策划业务，实现流程从串行到并行、决策从经验到数据、协同从离散到闭环的转变，为复杂系统研制管理提供一种新的数字化范式。

1. 数字化背景下航天型号研制策划的现状与问题分析

1.1 航天型号研制策划的传统模式及痛点

传统航天型号研制策划长期依托阶段评审驱动的线性流程，型号总体单位把任务分解、技术状态固化、计划编制以及资源申请依次推送至分系统单位，形成自上而下的串行传递关系，见图1。该模式在任务边界稳定时具有较强可控性，但在载荷迭代频繁、试验资源紧张以及外协链条较长的研制场景中，纸质文件、离线表单以及人工汇总容易把设计、工艺、质量以及保障数据割裂为多个信息孤岛^[4]。以某型号研制策划为例，姿控分系统接口变更未能马上反馈至总装试验计划，后续排产调整需反复开展会签，任务交付周期较原计划延长15%，关键设备资源利用率仅为60%。由此可见，传统策划模式的主要痛点集中在决策滞后、资源配置弹性不足以及跨部门协同成本偏高等方面。

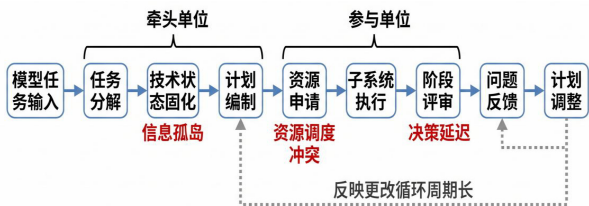


图1 传统航天型号研制策划线性流程图

1.2 数字化技术在航天型号研制中的应用现状

在航天型号研制活动中，数字化技术已由单点工具支撑逐步转向模型、数据以及算力融合应用。BIM作为面向复杂产品空间关系和构型约束的三维信息模型，可把舱段布局、管路走向以及总装干涉信息纳入同一模型环境；大数据分析侧重从试验记录、质量问题单以及供应链履约数据中提取关联特征；云计算则为多单位异地协同开展模型访问、仿真计算以及文档受控流转提供弹性算力^[5]。结合某改进型运载火箭研制资料来看，现阶段数字化应用仍主要集中在方案设计、结构仿真以及工艺校核等环节，设计阶段数字化渗透率约为70%，总装测试以及质量管控环节处于中等水平，而任务分解、周期测算、资源排布以及风险预案等策划环节渗透率仅为35%。由此推导，型号研制数字化转型并未充分覆盖策划源头，策划数据仍较多依赖人工录入以及线下会签，容易削弱后续计划动态调整能力。

2. 数字化驱动的航天型号研制策划优化策略

2.1 基于数字化平台的策划流程重构

鉴于航天型号研制策划中需求传递层级多、计划调整依赖人工会签、资源状态难以实时映射等问题，流程重构不应止于文件电子化，而应将PLM系统作为策划主线载体。该平台以型号任务书、技术状态、工作分解结构、资源能力库及风险清单构建统一数据底座，将需求输入、任务分解、接口确认、周期测算、资源排布与策划输出纳入同一受控环境，以消除线性传递带来的信息滞后。重构后，总体单位在PLM平台发起策划对象，将总体需求同步映射至各专业域，各域围绕同一技术状态并行策划，接口约束、试验窗口、关键设备占用及外协交付节点可在平台内交互校核。平台 workflow 设置状态冻结、变更触发、影响分析与版本追溯控制节点，使需求变化及时关联计划网络与资源清单，避免局部修改偏离总体边界。相较传统流程中需求确认、专业会签、计划汇总、资源申请及风险复核等25个节点，数字化平台通过协同评审、数据自动引用与状态联动校核，将主要节点减至20个，降幅达20%。由此形成的并行流程如图2所示，其核心在于将策划活动从事后汇总转向过程共创，使策划输出更贴近型号研制的动态约束。

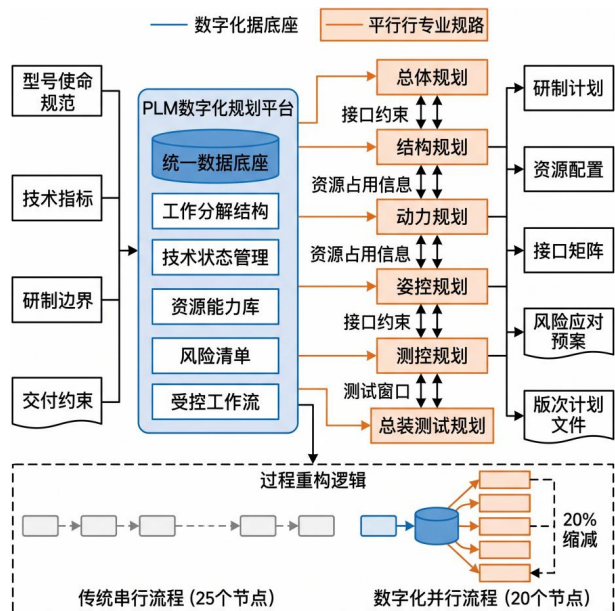


图2 数字化驱动的航天型号研制策划并行流程图

2.2 数据驱动的研制策划决策模型构建

针对航天型号研制策划中周期估算偏差、资源冲突隐蔽及风险研判依赖经验等问题，构建数据驱动决策模型，将历史、实时与预测三类数据汇入统一特征空间。历史数据涵盖已研型号的分解结构、评审纪要、质量记录、试验排队及外

协履约；实时数据取自 PLM 平台的状态变更、设备占用、人员负荷与物料齐套；预测数据由工期回归、供应波动与试验窗口推演获得。模型将策划对象分解为任务节点、资源单元、时间窗口与风险因子，节点承载专业属性与前置约束，资源对应工位、设备、人员及外协产能，窗口界定评审、试验与交付边界，风险记录接口变更频次、质量密度与供应延期概率。引入资源分配效率指标，其计算公式为：

$$E_r = \frac{\sum_{i=1}^n w_i C_i U_i}{\sum_{i=1}^n w_i C_i D_i} \quad (1)$$

其中， E_r 表示资源分配效率， i 表示第 i 类资源， n 表示资源类别总数， w_i 表示该类资源对型号关键路径的影响权重， C_i 表示资源能力系数， U_i 表示资源有效占用量， D_i 表示策划阶段计算得到的资源需求量。该模型不替代人工判断，而是将周期、资源与风险转化为可追溯决策依据，以准确率较人工经验提升百分之二十五为校准目标，并通过持续数据更新修正权重参数，使计划调整与资源替代更贴近研制动态边界。

2.3 跨部门协同的数字化策划机制设计

航天型号研制策划涉及总体、分系统、总装测试、质量、供应链及保障等多类部门，传统协同机制依赖会议纪要和离线文件传递，易使接口约束与资源状态滞留于部门内部。鉴于型号任务强耦合、高约束的特性，数字化策划机制以共享数据中台为跨部门协同枢纽，对需求、构型、计划、资源、风险及问题闭环数据实施统一治理，为各专业提供一致的数据口径与状态视图。总体单位负责建立策划主数据和协同规则，分系统单位围绕工作分解结构录入专业任务及接口边界，总装测试部门维护试验窗口与设备能力，质量部门将问题单和风险等级纳入策划对象，供应链部门更新物料齐套率与外协节点。各部门不再串行会签单份文件，而在数据中台内完成状态确认与冲突提示，变更单和协调纪要均关联具体任务节点，确保反馈可追溯、可复核并融入后续计划。以某卫星载荷、电源、姿控和热控并行策划为例，平台化闭环将接口响应、资源协调与风险预警纳入流程，原有多次人工流转被自动推送和时限固化取代，信息确认链条缩短、数据复用率提升、争议问题提前暴露，使协同效率提高约三成。可见，跨部门协同的核心并非单纯增加沟通频次，而是将沟通行为转化为可执行、可度量、可追踪的策划数据。

3. 航天型号研制策划优化策略的效果评估与应用实践

3.1 优化策略的效果评估指标体系

鉴于数字化驱动的策划优化同时作用于流程组织、模型决

策以及跨部门协同，效果评估指标不宜仅停留在计划完成率单项判断上，而应把策划活动拆解为效率、质量、资源以及风险 4 类可度量对象。流程效率指标主要反映策划链条压缩程度，可选取策划周期压缩率、节点自动流转率以及会签返工次数作为观测项，计算时以传统策划周期、平台记录的实际策划周期、自动完成节点数量以及返工记录数量为基础开展对比。

决策准确率指标用于衡量数据驱动模型对周期测算、资源冲突以及风险等级判断的支撑能力。该指标可把模型输出结果同型号评审结论、实际排产偏差以及风险处置记录进行一致性比对，重点观察工期预测偏差率、资源冲突识别覆盖率以及风险预警有效率。资源利用率指标则面向总装工位、热真空设备、关键人员以及外协产能等约束资源，依据平台中资源可用时长、有效占用时长以及等待空置时长进行核算，避免单纯用占用率掩盖关键路径资源错配问题。

协同质量指标需把跨部门响应行为转化为可追溯数据，主要考察接口变更响应时长、问题闭环及时率以及数据版本一致率。上述指标应由 PLM 平台以及数据中台自动采集原始记录，并且按型号阶段、专业域以及关键任务节点进行归集。由此形成的评估体系能够把策划优化成效从经验描述转向量化判断，为后续案例验证以及推广应用提供统一口径。

3.2 案例验证与数据分析

选取某新型卫星型号研制策划作为分析对象，该型号涉及载荷、电源、姿控、热控、测控以及总装测试等 6 个专业域，策划阶段存在接口变更频繁、热真空设备窗口集中以及关键物料齐套节奏不均衡等约束。项目组把 PLM 平台和数据中台当作策划主载体来使用，将工作分解结构、资源能力库、质量问题单以及外协交付节点纳入同一数据环境，并且运用前述决策模型开展周期测算、资源排布以及风险预警。与沿用线下会签和人工汇总的传统模式相比，优化后策划数据在任务节点之间形成联动，接口变更能够马上触发影响分析，资源冲突也可在排产前完成识别，具体对比结果见表 1。

从数据变化来看，任务交付周期由 180 d 压缩至 148 d，主要缘由在于专业会签由串行流转转向平台内并行确认，计划汇总环节不再依赖多轮人工整理。关键设备资源利用率提升至 82%，说明热真空设备、总装工位以及关键人员负荷得到了更充分的匹配。决策准确率达到 80%，与前文设定的提升 25% 目标保持一致，表明历史任务数据以及实时状态数据对策划判断形成了可量化支撑。协同效率提高 30% 还反映出接口争议暴露时间前移，策划阶段的问题闭环能力得到增强。

表1 某卫星型号研制策划优化前后效果对比表

评价指标	传统模式	优化后	变化幅度	数据来源
任务交付周期	180 d	148d	-18%	型号策划计划以及交付记录
策划流程主要节点	25个	20个	-20%	PLM 流程日志
关键设备资源利用率	60%	82%	+22%	总装测试设备台账
决策准确率	64%	80%	+25%	评审结论以及排产偏差记录
跨部门协同效率	100%	130%	+30%	数据中台协同流转记录
风险预警有效率	58%	76%	+18%	风险清单以及问题闭环记录

3.3 应用推广建议

面向航天型号研制策划优化策略的工程化推广，应用路径应从单型号试点转向型号族群复制，把多个已研型号形成的策划数据、流程模板以及资源约束规则沉淀为可复用资产。技术培训宜围绕 PLM 流程配置、数据中台主数据维护、资源能力库更新以及风险预警规则校准开展，使总体、分系统、总装测试以及质量人员能够在同一数据口径下完成策划输入。平台迭代

则需把接口变更影响分析、关键设备排产校核以及外协交付波动识别纳入版本升级范围，避免推广过程中出现平台功能与型号现场脱节。制度保障方面，应把数字化策划记录纳入型号评审依据，并且明确数据责任人、变更响应时限以及版本冻结规则。结合现有型号任务规模测算，分阶段推广后可覆盖 80%以上的航天型号研制项目，具体计划见表 2。

表2 航天型号研制策划优化策略推广覆盖计划表

推广阶段	适用型号范围	培训覆盖人数	平台迭代重点	制度固化内容	计划覆盖率
试点扩展期	卫星平台类以及单星载荷改进类项目	120 人	策划流程模板、资源能力库、风险清单联动	数据录入责任、流程节点权限、变更单闭环时限	35%
协同深化期	运载火箭改进型以及多星并行研制项目	260 人	跨单位接口校核、试验窗口滚动排布、外协交付预警	状态冻结规则、跨部门会签替代规则、评审数据调用规范	62%
体系推广期	新研卫星、火箭改进型以及综合保障类项目	420 人	型号族知识库、相似任务周期推演、关键资源动态仿真	数字化策划评审准入、主数据年度审计、问题闭环考核	82%

在推广实施中，还需避免把平台部署等同于策划能力提高。总体单位应牵引型号族数据标准建设，把任务分解层级、资源编码、风险等级以及问题闭环字段进行统一；承担单位则应把本专业策划经验转化为规则库条目，持续修正模型参数。由此可使优化策略在不同型号之间保持必要的一致性，同时保留面向载荷、试验资源以及外协链条差异的调整空间。

4. 结语

本文从流程重构、决策建模与协同机制三个维度，系统探讨了数字化技术在航天型号研制策划中的应用策略。理论分析与案例验证表明，所提策略能显著压缩策划周期、提升资源匹配精度与风险预控能力，有效化解传统模式下信息孤岛与响应滞后顽疾。然而，当前研究主要聚焦于单一型号验证，模型对型号差异的自适应性及知识库的持续进化机制仍有待深化。后续研究将重点围绕型号族间的经验迁移、平台功能与现场突发工况的动态适配展开，进一步完善数字化策划体系，为构建高

韧性、高效率的航天研制管理生态提供理论支撑与方法工具。

[参考文献]

- [1]张驰. 基于信息技术的航天型号产品标准化数据治理研究[J].中国标准化,2025(20):103-107.
- [2]钟英鹏,陈晨. 航天型号研制与产品化协同发展的“VI-W-O/A+B”工作模式研究与应用[J].航天工业管理,2025(12):32-36.
- [3]孙沃,王正宇,王国梁,等. 航天型号质量全集成闭环管理研究与实践[J].航天工业管理,2026(2):1-5.
- [4]艾聪聪.基于 IPD 的航天 SY 型号研制管理流程优化研究[D].贵阳: 贵州大学,2021.
- [5]黑艳颖,李舟阳,魏威,等. 关于航天型号研制模式数字化转型的思考与实践[J].航天工业管理,2025(4):28-31.

作者简介：王毅鹏（1979.10-），男，汉族，籍贯：河北丰润，学历：本科，职称：中级工程师，研究方向：型号管理。