

Big Data-Driven Collaborative Optimization Model for Project Schedule and Cost in Satellite Power Systems

Yucao Qin

Shanghai Institute of Space Power Sources, Shanghai, 200000, China

Abstract

During the implementation of satellite power system projects, frequent delays in progress and cost overruns constrain project efficiency and mission achievement rates. This paper introduces big data technology to develop a collaborative optimization scheme for progress and cost. By analyzing the correlation patterns of project lifecycle data, it examines the coupling relationship between progress milestones and cost consumption, and designs a coordinated regulation strategy tailored to the characteristics of satellite power systems. Practical results demonstrate that this approach effectively balances the pace of project advancement with cost investment scale, providing scientific support for the efficient implementation of satellite power system projects.

Keywords

Big data; Satellite power system; Project schedule; Cost optimization; coordinated regulation

大数据驱动的卫星电源系统项目进度与成本协同优化模型

秦玉超

上海空间电源研究所, 中国·上海 200000

摘要

卫星电源系统项目实施中, 进度延误与成本超支问题频发, 制约项目效益与任务达成率。本文引入大数据技术, 构建进度与成本协同优化方案, 通过挖掘项目全周期数据关联规律, 分析进度节点与成本消耗的耦合关系, 设计适配卫星电源系统特性的协同调控策略。实践表明, 该方案可有效平衡项目进度推进节奏与成本投入规模, 为卫星电源系统项目高效实施提供科学支撑。

关键词

大数据; 卫星电源系统; 项目进度; 成本优化; 协同调控

1 引言

卫星电源系统是航天器稳定运行的核心保障, 其项目实施具有技术密集、流程复杂、周期跨度大等特征, 进度管控与成本控制的难度远超常规工程项目。传统管理模式依赖经验判断, 难以精准捕捉进度节点与成本消耗间的隐性关联, 易引发进度滞后、成本失控等问题, 影响卫星任务的整体推进。随着大数据技术在工程管理领域的深度应用, 为破解卫星电源系统项目进度与成本协同难题提供了新路径。基于此, 聚焦大数据驱动的协同优化方向, 探索适配卫星电源系统项目的管理方法, 以实现进度与成本的动态平衡, 成为当前航天工程管理领域的重要研究方向。

2 卫星电源系统项目进度与成本协同管控的核心问题

2.1 进度节点与成本消耗的耦合关系识别难题

卫星电源系统项目从研发设计到在轨运行, 涵盖方案设计、元器件选型采购、零部件设计外协、组装调测试、系统联试、交付试验、整星联调等多个环节, 各环节的进度推进直接影响成本投入规模, 而成本预算的调整也会反向制约进度执行效率^[1]。但在实际管理中, 不同环节的进度与成本数据分散存储于不同系统, 数据格式不统一、关联性弱, 难以精准识别二者的耦合规律。例如, 元器件采购环节的延期可能导致后续组装测试成本上升, 而测试阶段的反复调试也会增加人力与时间成本, 但传统管理手段无法量化这类关联影响, 只能依靠人工估算, 导致管控决策缺乏科学依据。此外, 卫星电源系统项目受航天技术迭代、外部环境变化等因素影响, 进度与成本的耦合关系具有动态性与不确定性, 进一步加剧了识别难度, 使得项目管理者难以提前预判潜在风险, 只能在问题出现后被动应对。

【作者简介】秦玉超(1990—), 男, 中国山东临沂人, 研究生, 工程师, 从事项目管理研究。

2.2 传统管理模式的局限性凸显

长期以来,卫星电源系统项目多采用线性管理模式,进度管理与成本管理分属不同部门负责,二者缺乏有效的沟通协同机制。进度管理部门往往更关注任务完成时限,容易忽视成本消耗的合理性;成本管理部门则侧重控制预算支出,可能对进度推进造成不必要的制约^[2]。这种“各自为政”的管理模式,导致项目实施过程中频繁出现“重进度轻成本”或“重成本轻进度”的失衡现象。同时,传统管理模式依赖静态的计划与预算编制,无法实时响应项目实施过程中的动态变化。当出现元器件供应延迟、调测试数据异常等突发情况时,无法快速调整进度计划与成本预算,只能沿用原有方案,进而引发连锁反应,导致项目整体效益受损^[3]。此外,传统管理模式的数据处理能力有限,面对海量的项目数据,难以进行深度分析与挖掘,无法为协同管控提供有效的数据支撑。

2.3 协同优化目标与实际实施的偏差问题

卫星电源系统项目的协同优化目标是在满足任务要求的前提下,实现进度最快、成本最低的最优平衡,但在实际实施过程中,这一目标往往难以精准落地。一方面,项目各参与方的利益诉求存在差异,设计部门、生产部门、采购部门等主体更关注自身任务的完成情况,对整体项目的协同优化重视不足,导致局部利益与全局利益产生冲突。例如,生产部门为加快进度可能选择成本更高的应急方案,虽然保障了自身任务的按时完成,却增加了项目的整体成本。另一方面,项目实施过程中存在诸多不可预见因素,如技术瓶颈突破难度超出预期、初样整星阶段联试问题导致设计方案在正样阶段优化等,这些因素会打乱原定的协同优化计划,导致目标与实际执行情况出现偏差。而由于缺乏动态的调整机制,无法及时对协同优化目标进行修正,使得项目最终难以达到理想的管控效果。

3 大数据驱动的卫星电源系统项目协同优化实施路径

3.1 全周期项目数据的整合与治理

实现进度与成本的协同优化,首要任务是打破跨部门、跨环节的数据壁垒,构建覆盖项目全生命周期的统一项目数据管理体系^[4]。针对卫星电源系统项目数据分散存储于各业务系统、数据格式差异大、数据孤岛现象突出的问题,需建立全流程的数据采集机制,全面整合研发设计、生产制造、测试验证、交付实验等关键环节的进度数据与成本数据,具体涵盖元器件采购清单及价格、各工序工时记录、设备折旧费用、费用报销凭证、测试报告及整改成本等核心数据。同时,开展标准化的数据治理工作,组建专业治理团队,采用数据清洗工具剔除重复、残缺、异常的冗余信息,通过数据转换统一不同来源数据的格式标准,建立规范的指标体系,确保数据的准确性、完整性与一致性。在此基础上,搭建基

于云计算的项目数据共享平台,设置分级权限管理机制,实现各部门、各参与方的数据实时共享与高效交互,为后续的大数据分析、模型构建及协同管控提供坚实的数据基础^[5]。通过系统的数据整合与治理,能够将原本孤立分散的进度数据与成本数据深度关联,清晰呈现各环节数据间的内在逻辑联系,为精准分析二者的耦合关系、挖掘进度偏差与成本超支的核心诱因提供关键支撑。

3.2 耦合关系的深度分析与管控策略制定

基于整合治理后的标准化项目数据,充分运用大数据分析技术深度挖掘进度节点与成本消耗的内在耦合规律,精准明确研发设计、生产制造、测试验证等不同环节的进度偏差对成本的影响程度,同时量化界定成本调整对进度推进的制约边界与阈值范围^[6]。通过构建多维度数据关联分析模型,系统量化分析元器件采购周期与采购成本、核心工序工时与人工成本、测试时长与测试设备折旧及耗材费用等关键指标间的关联度,结合卫星电源系统高可靠性、高安全性的技术特性,精准识别出影响进度-成本协同优化的核心关键因素。针对识别出的关键因素,结合项目整体任务目标与各阶段技术要求,制定差异化的协同管控策略。例如,对于采购、生产组装等关联性强、影响权重高的关键进度节点,建立动态成本预警机制,当进度出现超期或提前等偏差时,自动触发成本评估流程,结合历史数据与实时工况及时调整成本预算分配;对于元器件采购、测试验证等成本敏感环节,优化进度计划编排,合理调配人力、设备等资源,避免因盲目赶工导致成本过度消耗,或因成本严控影响项目整体进度。此外,依托大数据技术搭建实时监控平台,动态跟踪项目全流程的进度执行与成本消耗变化情况,通过数据可视化手段直观呈现偏差趋势,及时发现潜在风险隐患,并依据实时分析结果动态调整管控策略,确保协同优化策略的有效性与动态适应性。

3.3 多方协同机制的构建与落地

协同优化策略的有效实施,离不开高效的多方协同机制。依托大数据共享平台,建立覆盖设计、生产、供应、管理等全链条参与方的协同工作机制,清晰界定各主体的核心职责与具体分工,打破传统部门壁垒与信息孤岛现象,实现跨主体数据实时互通与业务高效联动^[7]。定期组织召开协同管控会议,各参与方基于平台共享的进度执行、成本消耗等实时数据,共同复盘项目推进情况,深度分析进度偏差与成本超支的核心诱因,协商制定针对性解决预案。建立科学的利益共享与风险共担机制,将各参与方的收益分配、绩效考评与项目整体效益直接挂钩,引导各方摒弃局部利益思维,从项目全局出发主动配合协同优化工作。例如,当项目出现进度延误风险时,采购部门可依据平台数据反馈快速调整供货计划,生产部门优化工序流程提速赶工,管理部门同步启动成本预算调整,形成多方联动的管控合力。同时,搭建监督考核体系,对协同机制执行成效进行动态评估,将考核结

果与奖惩挂钩,确保各项措施落到实处,保障协同优化策略高效推进,实现进度与成本的动态平衡。

4 卫星电源系统项目进度与成本协同优化的成效验证与完善

4.1 协同优化方案的实践应用验证

将构建的大数据驱动协同优化方案应用于实际卫星电源系统项目,从进度管控与成本控制双维度开展实践验证,全面检验方案的可行性与有效性^[8]。进度维度上,系统梳理方案实施前后项目关键节点的完成周期与偏差率,通过对比分析评估进度推进效率的提升幅度,明确方案对进度管控精准度的改善作用。成本维度上,精准统计方案实施后的各环节成本消耗数据,重点对比元器件采购、测试验证、资源调配等核心领域的实际支出与预算指标,量化分析成本控制效果。过程中持续收集项目实施的实时数据,动态跟踪方案执行情况,验证协同优化策略能否有效平衡进度与成本关系,破解传统管理模式进度延误与成本超支并存的失衡难题。同时,系统总结方案应用中出现的适配性问题与落地挑战,深入剖析技术适配、人员操作、多方协同等层面的成因,为方案迭代完善提供实践依据。验证结果表明,该方案可显著提升进度管控精准度与成本控制科学性,有效降低项目进度延误及成本超支风险。

4.2 方案的优化迭代与改进

根据实践验证中暴露的问题,结合卫星电源系统项目的技术迭代趋势与精细化管理需求,对协同优化方案开展持续性优化迭代。针对数据采集效率偏低、覆盖范围不足等痛点,优化全流程数据采集机制,引入物联网传感技术实现核心设备运行数据、工序实操数据的自动实时采集,同步拓展研发、运维等薄弱环节的数据采集维度,补齐数据短板。针对数据分析模型精度不足、预测偏差较大的问题,结合项目积累的实际运行数据,迭代优化模型核心参数,融入卫星电源高可靠性技术特性权重,提升模型对进度-成本关联的分析深度与风险预测准确性^[9]。针对协同机制执行中职责界定模糊、跨主体配合不力等问题,进一步细化各参与方职责清单,完善量化考核与奖惩联动机制,通过专题培训强化多方协同意识。通过动态优化迭代,持续提升方案的适配性与有效性,使其更好契合不同类型、不同规模卫星电源系统项目需求,提供更优质的全周期管控支撑。

4.3 优化经验的总结与推广

总结大数据驱动卫星电源系统项目进度与成本协同优化的实践经验,提炼形成兼具针对性与普适性的管理方法及实施路径。聚焦数据整合治理、耦合关系分析、协同机构构

建三大核心环节,制定标准化操作流程与管理规范,明确数据采集范围、治理标准、模型构建逻辑及协同职责分工,为同类航天工程项目提供可复制、可落地的参考范式^[10]。在此基础上,将优化经验进一步推广至卫星通信、导航、遥感空间站、空间安全等多领域的电源系统项目,同时延伸至航空航天、高端装备制造等其他技术密集型工程项目,助力打破行业壁垒,推动大数据技术在工程管理领域的规模化、深度化应用。通过系统的经验总结与跨领域推广,充分释放协同优化方案的应用价值,有效提升航天工程乃至整个高端装备制造领域的项目管理精细化水平,赋能行业提质增效,为产业高质量发展注入持续动力。

5 结语

卫星电源系统项目进度与成本的协同优化,是提升航天工程实施效率与效益的关键抓手。大数据技术的融入,为破解协同管控难题提供了全新思路,通过数据整合治理、耦合关系分析与多方协同机制构建,能够有效平衡项目进度与成本的关系,实现项目资源的最优配置。未来,随着大数据技术与航天工程技术的深度融合,协同优化模式将朝着智能化、动态化方向发展,不断适应复杂多变的项目环境。航天工程领域需持续探索创新,推动协同优化理念与方法的迭代升级,为我国航天事业的蓬勃发展注入源源不断的动力。

参考文献

- [1] 王盟,赵光权,刘大同,等.卫星电源系统的数字伴飞建模方法[J].仪器仪表学报,2024,45(5):166-178.
- [2] 尚妍欣,屈雯洁,任学宁,等.航天先进电源材料与技术研究进展[J].空天防御,2024,7(06):12-28+37.
- [3] 胡志军.多项目航天电源产品进度管理策略研究[J].中国管理信息化,2021,24(06):149-150.
- [4] 龚瑾.大数据对航天物资供应链管理价值提升的分析及研究[J].中国物流与采购,2025,(12):82-83.
- [5] 张文爽,余文涛,魏强.基于最大功率跟踪技术的卫星电源方案研究[J].天地一体化信息网络,2020,1(01):66-70.
- [6] 唐子木,杨韞岳,张楠,等.航天项目成本控制与风险管理的协同机制研究[J].中国军转民,2025,(22):9-11.
- [7] 李旭,王芸菲,季筱军.航天项目成本控制研究[J].今日财富,2025,(05):82-84.
- [8] 董娜,卢泗化,熊峰.大数据背景下基于ABC-SVM的建筑工程造价预测[J].技术经济,2021,40(08):25-32.
- [9] 宛传友,刘宴华,侯飞,等.卫星电源控制器软件标准化开发平台设计[J].科技创新与应用,2022,12(27):10-13.
- [10] 刘国才.航天工程质量数据体系架构的挖掘[J].科技导报,2022,40(06):101-109.