

民机机载设备研制项目中的降本增效方法研究

曹聪, 邵华洋, 王宁

中国航空无线电电子研究所, 上海 200241

DOI:10.61369/IED.2025070006

摘要：民机机载设备作为民用飞机的核心系统，其研制过程的经济性直接关系到整个飞机的市场竞争力和商业成功。但从当前情况来看，国内民用飞机机载设备制造商在产品研制过程中的经济性管控与国外企业呈现出巨大差距。面对全球航空产业竞争加剧、成本压力增大及技术迭代加速的挑战，如何在保证安全性、可靠性和适航要求的前提下，有效降低研制成本、提高研制效率，成为国内民用飞机制造企业亟待解决的关键问题。本文基于民机机载设备的研制特点，系统研究了降本增效的理论方法与实践路径，为民用飞机机载设备研制项目和民用飞机机载设备制造商发展提供参考。

关键词：降本增效；民用飞机；机载设备

Research on Cost Reduction and Efficiency Improvement Methods in Civil Aircraft Avionics Development Projects

Cao Cong, Shao Huayang, Wang Ning

China Aviation Radio Electronics Research Institute, Shanghai 200241

Abstract : As core systems of civil aircraft, the economic efficiency of developing avionics directly impacts the aircraft's market competitiveness and commercial success. However, current circumstances reveal a significant gap between domestic manufacturers of civil aircraft avionics and their international counterparts in economic management during the product development process. Faced with intensifying global aviation industry competition, mounting cost pressures, and accelerated technological iteration, how to effectively reduce development costs and enhance development efficiency while ensuring safety, reliability, and airworthiness requirements has become a critical issue for domestic civil aircraft manufacturers. Based on the development characteristics of civil aircraft avionics, this paper systematically explores theoretical approaches and practical pathways for cost reduction and efficiency enhancement, providing reference for civil aircraft avionics development projects and the growth of manufacturers.

Keywords : cost reduction and efficiency enhancement; civil aircraft; avionics

民用飞机的机载设备是飞机飞行控制的核心系统，机载设备的价值占比呈现出持续提升的显著趋势。根据研究数据，现代民用飞机上机载系统在成本构成中所占份额已达30%–45%，相比几十年前被称之为“辅助”系统时仅占飞机总成本10%的情况，增长了数倍之多，机载设备已成为飞机成本结构中三大支柱之一，与机体和发动机形成三足鼎立之势。在民用飞机机载设备的研制中，如何做好经济性管控是企业在民机产品研制中需要重点关注的问题，使用好的降本增效方法能够让企业获得更可观的利润，也能让国家在民机领域的发展更加快速^[1]。

一、民机机载设备研制经济性管控的重要意义

(1) 成本管控是确保型号研制成功和经济可承受性的关键前提。民用飞机研制周期长、投资大，机载设备的研制成本在整个成本中占有显著比重。通过在项目的设计源头引入目标成本管理、价值工程等理论与方法，对设备方案进行充分的技术经济论证与多方案择优，能够有效避免后期因设计变更导致的成本超支与进度延误。

(2) 价格策略的科学制定直接影响项目的商业成功。民机产

业具有典型的全球市场竞争属性，其最终产品需要接受航空公司严格的经济性考量。机载设备作为直接影响飞机性能、可靠性及全生命周期运营成本的关键因素，其定价策略需综合考虑研发成本、市场竞争格局、客户价值感知以及长期售后服务能力。

(3) 精细化的成本与价格管理可以推动技术创新与供应链优化。在成本约束的要求下，项目研发团队必须通过产品的架构优化、组成材料的高性价比、生产工艺的改进等手段，在满足产品性能指的前提下，追求成本效益的最大化。这个过程必然会催生出技术的创新。

(4) 经济性管控为企业实现可持续的商业化运营与战略发展奠定经济基础。民用飞机项目的最终目标是实现商业盈利,对机载设备成本与价格的有效管理,能够让项目更快达到盈亏平衡点,并为后续型号的研发、新技术的投入以及企业扩大积累资本。企业拥有稳定的财务状况才能抵御市场风险、应对行业周期波动,并最终实现从“产品成功”到“商业成功”的跨越。

二、国内企业在民机机载设备经济性管控中的问题分析

(一) 经济性管控意识与方法落后

国内民机设备制造商在成本管控理念上仍较为传统,缺乏与现代航空制造体系相匹配的精益化成本管理方法。许多企业将成本管控简单理解为“降低成本”,而非“价值创造”,导致管控措施往往停留在压缩单件物料价格的层面,缺乏对设计、制造、运维全过程的系统性成本优化思考。

管理理念的落后体现在注重事后控制而非事前预防,侧重单点降价而非系统优化。在项目研制之初,本应做好全生命周期的成本预估,但却因缺乏同类型的项目参考而导致成本预估出现巨大偏差,在项目研制过程中又由于重复设计、材料损坏等突发状况,导致成本成倍增加^[2]。

管理方法的落后表现在管理工具的单一和精益生产、价值工程等先进方法应用不足,在设计和生产过程中无法把进度、成本、材料损耗等数据可视化,影响成本的关键数据无法立刻呈现给成本管理人员,在管理人员发现时,成本的剧增已无法避免,这种滞后性严重影响了民机设备的经济性管控。

(二) 全生命周期成本管理缺失

国内机载设备制造企业普遍将重心放在前两个阶段,而对占生命周期总成本60%以上的使用和维护成本缺乏足够关注。在具体的型号项目管理中,这种全生命周期视角的缺失表现为经济性与技术性能脱节。设计人员往往专注于实现技术指标,而对产品的可生产性、可维护性以及运营经济性考虑不足。例如,某型号机载设备因在设计阶段未充分考虑维修便利性,导致后期更换简单部件也需要拆卸整个系统,大幅增加了维护成本和时间。这种现象的根源在于组织壁垒和部门分割,使得设计、生产、运营等环节的经济性数据无法有效共享和反馈。

(三) 供应链与外部依赖问题严重

目前,在民用飞机制造领域,机载设备生产主要被国外厂家垄断,国内机载设备制造商在产品技术水平上与国际先进制造商的水平存在较大差距,这种依赖直接导致企业在关键零部件和系统上缺乏议价能力,面临供应不稳定和价格高昂的双重压力^[3]。在民机机载设备技术被国外设备制造商垄断的情况下,国内企业面临着进口元器件价格高、供应链断链风险、技术封锁与标准壁垒等挑战与风险。根据在民用飞机行业报告,“我国民机标准化工作与先进国家相比差距很大”,突出表现在“民机标准缺项严重,标准体系有待建立”,这种标准层面的滞后,进一步加剧了国内企业在供应链中的被动地位。

(四) 技术基础薄弱推高综合成本

国内机载设备企业在核心技术积累方面的不足,也是导致产品综合成本居高不下的重要原因之一。国内民用飞机整体的设计、制造和试验各方面的技术,与国际先进水平之间存在较大差距。这种技术差距尤其体现在航电系统、机电系统等飞行器等关键系统上。

技术基础薄弱对经济性的影响主要体现在两个方面:一是由于自主研发投入高、周期长,且需要经过严格的适航认证,使得项目研发成本分摊到单机上的研发成本巨大;二是生产效率、质量成本、工艺不成熟导致的生产效率低下、材料浪费、返工率高等问题,直提高了生产成本。

适航取证能力的不足进一步加剧了技术基础薄弱对经济性管控的影响。民用飞机机载设备必须通过严格的适航审查,获得型号合格证及生产许可证才能进入市场。目前,国内民机的研制经验很少,流程方面也逐步建立,这种不成熟的研制体系和适航管理能力,导致取证周期长、成本高。

三、民机机载设备研制过程的降本增效方法

(一) 加强机载设备设计过程经济性管控

低成本是设计出来的,据统计,产品设计阶段成本占产品全生命周期成本的70%~80%。设计降本的关键在于推动设计师的观念改变以及将降成本的观念付诸于行动。在观念上,虽然设计师都认为控制项目成本有很大的必要性,可由于“我是技术人员”的惯性思维,精力更多地投入在考虑技术可行性及项目进度,缺乏对设计成本的关注。因此,要把设计成本的管控要求构建进组织流程,把经济性设计嵌入到科研管理流程中,作为研发设计的规定动作,通过顶层设计把目标成本管控起来。再辅以先进的设计技术和工具,通过通用化、系列化、模块化的设计,提升项目的经济性。

1. 优化产品设计流程指南

除了适航标准外,公司级研制流程和指南也是为了降低设计成本、避免重复设计而提出的重要管理方式。在产品设计初期,设计师需要做好国内外产品调研,了解国内外同类型产品发展现状和趋势,了解产品主要功能、性能、架构等信息,对同类产品定价标准有所知悉,作为后续自己产品成本、定价的参考依据,在对国内外同类产品对标后,需要研判产品必须的功能、性能要求,确定项目边界,避免项目范围随意蔓延,项目边界的控制是项目成本控制的重要一环^[4]。在产品方案编制初期,按照产品设计流程指南中规定的方案模板,确保方案包含项目研制全部必要设计信息,全面性地梳理产品研制方案,避免因设计初期未考虑到某些因素导致项目重复设计带来的巨大代价。有了明确的技术方案才能生成清晰的系统、软硬件设计需求,才能让后续软硬件开发敏捷、高效。产品原型设计好后,需要对验证阶段进行成本控制,为减少研制周期,在软硬件开发的后期即可开始进行测试规范的编制,测试大纲需要全面包含产品测试环境以及本身全部功能、性能的测试用例,以便问题早发现早修改,减少反复的成本。

本。当产品原型完成后，立即进入产品测试阶段，测试工程师根据明确的测试程序按测试用例进行逐项测试，保证测试的全面性和齐套性，产品存在的问题归零后，完成相关适航、取证流程，开发中产生的问题记录在问题册中，形成经验模板，如此，便以较低成本完成了民机产品的研发设计。

根据成本控制流程，细化形成产品降成本设计相关的检查单以及产品成本设计指南，同时，优化现有的原型产品研发体系。将器件降额设计、元器件选型评审等工作纳入到工程评审活动中，提升设计经济性。

2.应用先进设计技术与工具

民机研制项目的设计阶段，存在研制周期长、研制内容复杂、团队人员多等情况，因此需要统筹协调全部成员按计划推进研制^[5]。在开发过程中难免存在交流不畅、文档和软硬件版本混乱、开发不符合适航性和标准要求等问题，为了减少此类问题引起的重复设计导致的成本增加，在项目设计阶段需要引入先进设计技术与工具。

如数字孪生技术可以在虚拟环境中模拟产品行为和制造过程，可以实现产品全寿命周期的实时模拟、性能预测和优化决策，通过构建高保真的虚拟模型，设计师可以在实际制造前预测产品性能、可制造性和可维护性，从根本上避免了传统设计模式中的事后纠错成本。

民机项目研制中，每一个功能背来源于成百上千条需求，需求的管理效率是民机研发成本的重点管控对象。在需求开发过程中，引入 Doors一类的需求管理工具，使需求条目化、明晰化、具有可追溯性，避免需求不明确，导致额外开发成本的发生。

（二）加强机载设备集成验证过程经济性管控

在设计早期，就将集成验证的需求考虑并落实在设计方案中，如设计阶段的模块化通用化系统化设计，有助于测试设备复用和试验结果复用，减少测试成本。

在测试策略上，可以分层次测试，如将测试拆分为芯片级、模块级和系统级，逐层筛选故障，避免全系统重复测试，减少冗余工作量。聚焦高风险功能，用20%测试用例覆盖80%核心场景，针对性投入资源。早期介入测试，开发阶段同步设计测试用例，提前暴露接口兼容性等问题，降低后期修复成本。

在提升执行效率方面，可以采用并行测试技术，利用云端设备池同步执行多平台、多浏览器测试，缩短测试周期；可以采用自动化测试覆盖关键路径、模块化测试平台、自动化用例生成等技术，既能提升测试效率，又能减少人工成本，还能将工具推广使用到其他项目。利用仿真工具代替实物，在研发早期，通过仿真尽早发现

问题，减少实物的投产数量和次数，降低材料费的支出。

（三）加强机载设备工艺和制造过程经济性管控

在生产制造过程中，将数字化制造和自动化装配技术以及柔性工装应用于飞机零部件的制造装配过程，使用数字化定义模型和视觉定位技术、设备，可以在保证高精度的基础上，有效加速装配过程，显著提高装配效率^[6]。

在生产产线中，采用“可重构型”柔性产线的方案，针对多品种、小批量，科研、量产混线加工的加工的生产模式，设计一套支持模块装配产线的印制板与印制板组件的自动传输、快速换线并可配合柔性工艺路线设计的产线改造方案。加工排产人员可根据不同的加工任务需求，通过系统指定使用设备、传输路径并绑定二维码实现系统自动规划加工路径与轨道一键调宽；整个加工过程可实时显示整体加工进度和工序加工进度，可对作业过程数据进行记录和追溯；对于设备异常可实现自动报警并立即停止工作，具有完善的安全保护装置和程序，可确保操作过程中人员、设备和产品安全，模块装配换线效率和产品质量可以大幅提升。

针对手工焊接作业人员的快速自检需求，使用基于图像识别的缺件检测算法，在本地电子装配产线数据采集与管控系统中部署于并应用于现场加工过程。当作业人员完成工序作业后可通图像采集设备将产品图片上传并通过系统算法实时反馈位号器件缺件情况，辅助手工操作人员快速自检，降低制造成本。

（四）严格控制机载设备研发过程中的变更

首先，要确保合同中定义清楚了变更的流程和商务补偿规则。不进行无变更费的任何变更，商务未谈妥不进行变更。其次，要形成一套快速评估商务影响的工具模板，这套模板将在与客户谈判中不断被固化和认可，将使后续的变更谈判更加快速。最后，根据变更达成的技术方案和商务影响，严控变更范围，范围不蔓延，技术指标不提高，执行项目变更。

四、结论

民用飞机机载设备研制项目的周期长、经费大，基于上述的民机机载设备研制过程的降本增效方法，通过产品设计优化、工艺制造优化、控制变更等，在某项目实际研发过程中，某产品成本降幅约为7.57%，切实对项目起到经济性管控，通过这些系统性的提升，国内企业才能在民机机载设备领域实现真正的突破，支撑我国民机产业的商业化成功。

参考文献

- [1]王健,李磊.某机载电子设备轻量化设计研究[J].航空制造技术,2022,65(12):78-84.
- [2]陈丽,张伟.航空行业民机产品研发阶段的成本控制[J].中国航空学报,2021,34(5):210-218.
- [3]刘峰,赵洋.面向全寿命周期成本的民用飞机定费用设计(DTLCC)方法研究[J].飞机设计,2023,43(2):56-62.
- [4]周明,吴迪.定制航空连接器时,如何进行成本控制? [J].航空精密制造技术,2022,58(3):45-49.
- [5]郑涛,马丽.民机直接维修成本优化模型研究[J].民用飞机设计与研究,2021,(4):89-94.
- [6]丁伟,陈晓.基于增材制造成本最优的民机元件减重设计方案研究[J].航空工程进展,2023,14(1):102-108.