

民用飞机机载设备研制过程的成本分析模型研究

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/ME.2025080017

摘要 : 民机机载设备是民用航空器不可或缺的核心系统, 设备的研发成本, 从根本上决定了整机产品的市场竞争力与商业价值。然而, 当前国内机载设备制造商在产品研发与生产过程中的经济性管控能力, 与波音、空客等国际主流飞机制造商及其供应链体系之间存在显著差距。在全球航空制造业竞争日趋激烈、成本约束持续收紧与技术更新周期不断缩短的宏观背景下, 如何在严格遵循适航标准、确保系统安全性与可靠性的基本前提下, 有效实现研制成本控制与效率提升, 已成为制约我国民用飞机产业自主发展能力提升的关键瓶颈。为此, 本文立足于民机机载设备的系统复杂性、技术密集性与研制长周期等特点, 系统构建了一套民机机载设备研制过程的成本分析模型, 旨在为我国民用飞机机载设备的成本可控与相关制造企业的可持续发展提供理论参照与实践指导。

关键词 : 经济型模型; 民用飞机; 机载设备; 项目成本; 研制过程

Research on Cost Analysis Models for the Development Process of Civil Aircraft Avionics Equipment

Cao Cong, Shao Huayang, Wang Ning

China Aviation Radio Electronics Research Institute, Shanghai 200241

Abstract : Airborne equipment constitutes an indispensable core system for civil aircraft. The R&D costs of such equipment fundamentally determine the market competitiveness and commercial value of the entire aircraft product. However, domestic airborne equipment manufacturers currently exhibit significant gaps in economic management capabilities during product development and production processes compared to international mainstream aircraft manufacturers like Boeing and Airbus and their supply chain systems. Against the backdrop of intensifying global aviation manufacturing competition, tightening cost constraints, and accelerating technology renewal cycles, effectively controlling development costs and enhancing efficiency while strictly adhering to airworthiness standards and ensuring system safety and reliability has become a critical bottleneck constraining the advancement of China's independent civil aircraft industry. To address this, this paper systematically constructs a cost analysis model for the development process of civil aircraft avionics equipment, grounded in the characteristics of system complexity, technology-intensive nature, and long development cycles. It aims to provide theoretical reference and practical guidance for cost control in China's civil aircraft avionics equipment and the sustainable development of related manufacturing enterprises.

Keywords : economic model; civil aircraft; avionics equipment; project cost; development process

随着社会的快速发展, 民机机载设备作为现代民用飞机的重要组成部分, 其价值已远超传统的“辅助系统”定位^[1]。民机机载设备是指保障飞机飞行不可或缺的功能系统和完成各项使命所需要的任务系统的总称。这些系统遍布飞机全身, 形成一个复杂而精密的网络, 共同确保飞机的安全飞行和高效运营。研究表明, 现代民机机载设备在总成本中占比已达30%–45%, 成为飞机价值构成的关键部分, 民机机载设备的成本管控对整架飞机的成本管控有着重要意义, 利用适当、准确的成本分析模型能够让民用飞机制造商获得更可观的利润, 也能让国家在民机领域的发展更加快速。

一、民机机载设备研制成本分析的重要意义

民用飞机是国家综合国力的战略性产业与高端制造能力的集中体现, 是衡量一个国家工业现代化与科技实力的关键指标。而机载设备作为其核心系统, 通常包含航电系统、起落架系统、电

源系统等子系统, 是飞机实现飞行控制的重要组成部分之一, 占据整架飞机三分之一到二分之一的成本, 如果机载设备的成本居高不下, 整架飞机的商业价值也将受到巨大影响, 因此建立并使用一套准确的成本管控模型对于提升民机机载设备研制科研项目质量以及企业商业化运营都有着重要意义。具体表现在以下几

点^[2]:

(1) 为设计阶段提供前瞻性的成本决策支持, 从源头锁定全生命周期成本。现代产品设计理论表明, 产品绝大多数的成本在其设计阶段即已被决定。一个精准的成本模型能够将经济性约束前置融入设计流程, 使工程师在进行方案选型、技术路径选择和性能指标确定时, 能够同步进行成本仿真与权衡分析。例如, 通过该模型评估不同架构航电系统的成本收益, 或对比传统液压与电传飞控系统的全生命周期成本, 从而在满足同等功能与安全标准的前提下, 优先选择经济性更优的方案, 避免后期因设计变更导致的巨额成本浪费, 实现从“下游降本”到“上游控本”的根本性转变。

(2) 提升项目管理的科学性与风险预见能力, 确保研制工作在预算框架内有序推进。机载设备研制周期长、技术风险高, 传统的粗放式成本管理易导致预算超支与进度延误。一套动态的、与项目里程碑紧密结合的成本管控模型, 能够将总体成本目标逐级分解至各个子系统、部件乃至具体任务包, 形成清晰的成本基线。项目管理者可借助该模型, 对资源消耗进行实时监控、对成本偏差进行预警分析、对潜在超支风险进行模拟推演, 从而及时采取纠正措施。这种基于数据的精细化管控, 是实现科研项目“技术、进度、成本”三大目标协同平衡的关键, 显著降低了项目因财务失控而陷入困境的风险。

(3) 增强企业在供应链中的议价能力与协同效率, 优化外部资源整合。在“主制造商-供应商”的现代民机产业模式下, 机载设备制造商大量依赖外部供应商。一个权威的、数据驱动的成本模型, 为企业提供了与供应商进行价格谈判的客观基准和科学依据。企业可以凭借模型分析结果, 准确评估供应商报价的合理性, 识别并挤压报价中的虚高水分, 从而在采购谈判中占据主动。同时, 该模型也有助于在主制造商与供应商之间建立透明、互信的成本语言, 促进双方在设计优化、价值工程等方面开展深度协同, 共同挖掘降本潜力, 提升整个供应链的竞争力。

(4) 服务于产品的市场化定价与商业策略制定, 是实现商业成功的核心支撑。民机项目的最终价值需要通过市场实现。精准的成本数据是制定有竞争力且能保证合理利润的产品价格的基础。成本管控模型能够清晰地核算出产品的目标成本与实际成本, 为市场部门进行价格定位、折扣策略以及后续的售后服务、培训、备件等衍生业务定价提供核心决策输入。只有在准确知晓自身成本结构的前提下, 企业才能在国际市场的激烈竞争中, 制定出既能赢得订单又能保障盈利空间的商业策略, 最终实现从“产品成功”到“商业成功”的跨越^[3]。

(5) 推动企业构建标准化的成本数据库与管理流程, 形成可持续的降本增效能力。成本模型的建立与持续运行, 本身就是一个知识积累与流程优化的过程。它将分散的、隐性的成本经验, 转化为结构化的、可复用的数据资产。通过不断积累各型号、各项目的成本数据, 企业能够逐步形成具有自身特色的成本数据库与指标体系, 为后续新项目的成本估算提供越来越精准的参考。这一过程不仅提升了当前项目的管理水平, 更塑造了企业重视数据、追求精益的成本文化, 为应对未来更严峻的市场竞争构筑了

长期的核心能力。

二、国内企业在民机机载设备成本管控中的问题分析

(一) 缺少成本管理理念与全过程管控意识

国内许多企业仍将成本管控简单等同于“降低成本”, 并将其视为财务或生产部门的孤立职能, 而非一项贯穿产品全生命周期的战略性、系统性工程。其管理重心往往停留在生产制造环节的“节流”, 而忽视了在设计与运维阶段的关键成本锁定与消耗。当前的民机机载设备设计人员普遍缺乏“成本是设计出来”的核心理念, 设计人员侧重于实现技术性能指标, 对设计方案的经济性、可生产性与可维护性考量不足, 导致“设计固化后”的成本难以优化^[4]。

从全过程管控意识来看, 民机机载设备研制涉及需求定义、研发设计、生产制造、试验验证、运维服务等多个阶段, 各阶段成本相互关联、相互影响。但部分企业仍存在“分段管控、各自为战”的现象, 多聚焦于生产制造阶段的显性成本压缩, 却忽视了需求定义阶段的成本规划、研发设计阶段的成本优化以及运维阶段的隐性成本控制。这种对全周期成本关联性的忽视, 使得成本管控难以形成闭环, 即便在某一阶段实现了成本降低, 也可能因其他阶段成本上升而抵消效益, 最终无法达成全生命周期成本最优的目标。

此外, 成本管理多表现为事后的核算与统计分析, 而非事前的预测、事中的控制。缺乏与研发流程并行的、动态的成本监控与预警机制, 导致发现问题时为时已晚, 纠偏成本高昂。

(二) 缺少方法、工具和有效基础数据

与国外先进企业广泛采用目标成本法、作业成本法及价值工程等成熟方法论相比, 国内企业在成本管理方法的系统化应用上存在明显差距。成本管控多依赖历史数据类比和经验估算, 缺乏科学、结构化的方法论体系进行支撑。对于目标成本管理, 往往仅停留在总体目标设定, 缺乏逐级分解、传递与落实的有效机制。数据积累与标准化缺失: 企业内部缺乏统一、规范的成本数据标准与编码体系, 设计、工艺、采购、财务等部门数据割裂, 形成“信息孤岛”。由于缺乏长期、准确、细化的历史成本数据库, 成本估算的准确性与科学性难以保证, 使得成本管控决策缺乏坚实的数据支撑, 难以实现精准的成本预测与优化。

(三) 缺少健全的供应链

在“主制造商-供应商”模式下, 成本管控的有效性高度依赖于整个供应链的协同效率, 而这正是国内产业的薄弱环节^[5]。对于高端机载设备的核心元器件与关键技术, 长期依赖进口, 导致企业在采购环节议价能力弱, 面临供应不稳定和价格高昂的双重压力。而国内, 主制造商与供应商之间未能建立基于互信的深度协同关系。成本信息不透明, 双方往往陷入零和博弈的价格谈判, 而非共同致力于价值挖掘与全生命周期成本优化的共赢合作, 部分供应商缺乏成本管控意识与能力, 其内部管理粗放, 生产效率低下, 导致所提供的产品或服务成本虚高, 进一步推高了机载设备的整体研制成本。

(四) 缺少良好管理模式和复合型人才

成本管控是一项需要多部门协同的系统工程，但国内企业普遍存在的组织壁垒和复合型人才短缺，严重制约了其管理效能的发挥。设计、采购、制造、财务等部门目标不一、沟通不畅，缺乏统一的成本责任中心和有效的协同机制。设计部门追求技术先进，采购部门追求单价最低，而财务部门只能进行事后核算，导致局部优化而整体成本恶化。精通机载设备技术、项目管理、财务管理与供应链管理的复合型成本工程人才严重短缺。这使得企业难以组建专业的成本工程师团队，去深度参与产品研发与过程管控。

(五) 缺少全生命周期成本视角

国内企业的成本视野通常局限于产品的研制与生产成本，而忽视了占全生命周期成本大头的使用、维护与保障成本。在项目论证和设计时，对产品的可靠性、维修性、测试性设计投入不足，导致产品在后续使用中故障率高、维护不便、备件昂贵，显著推高了客户的总拥有成本，从而削弱了产品的市场竞争力。

三、民机机载设备研制过程的成本分析模型

机载设备经济性模型是评估飞机机载设备（如航电系统、起落架系统、电源系统等）在全寿命周期内经济可行性、盈利能力及成本效益的分析工具，核心是通过量化成本、收益及风险，优化元器件选型、维护策略或升级规划，为项目决策（如研发投入、定价策略、售后市场等）提供数据支持^[1]。其建立流程与民机项目模型类似，但更聚焦于设备本身的特性。民机研发项目生命周期跨度大、飞机架次多、产品种类庞杂、成本结构各异、调价模式高度定制化，用以往的静态、粗放、简单的经济性测算方式必然会带来模型不可复用、计算量大、数据失真、核算结果存在较大偏差的问题，从而造成经济性决策出现失误，无法满足经济性分析需要。结合机载设备的特点和民机运营模式，经过项目实践，形成了民机机载设备与系统成本分析模型的建立方法。

(一) 确定目标和约束

通过评估某民机机载设备的自研或外包性价比、试验验证方法、优化维护周期等方面，确定项目研制和运营的目标，如成熟产品最大化复用、最小化运营成本等。同时，还需要确定包括设计、制造、维护、报废的生命周期阶段所涉及的主体（设备制造商、航空公司、供应商）及约束条件（如适航要求、装机兼容性）。

(二) 数据收集与分类

该模型所覆盖的数据类型包括：成本数据、收益数据、市场数据、系统和产品数据、时间数据、风险数据。

参考文献

- [1] 李明,王浩.小样本、贫信息背景下的民用飞机成本估算模型研究 [D].西安:西北工业大学,2022.
- [2] 张勇,刘佳.民用航空发动机研制成本估算方法研究 [J].航空动力学报,2021,36(8):1765-1773.
- [3] 陈峰,赵阳.贫数据条件下民用航空发动机制造成本估算建模 [J].航空学报,2023,44(3):320-329.
- [4] 王丽,孙强.基于改进灰色关联分析的航空发动机维修成本影响因素研究 [J].机械设计与制造工程,2022,51(6):112-116.
- [5] 周健,吴敏.民用飞机航电系统成本估算方法研究 [J].电光与控制,2021,28(10):98-102.
- [6] 郑涛,陈晓.基于全寿命周期的民用飞机机载设备成本管理研究 [J].项目管理技术,2023,21(4):78-83.

成本数据包括研制成本（设计、试验、适航等）、生产成本（原材料采购、运输、人工等）、维护成本（定期检修、故障维修相关材料和人工等）、运营相关成本（库存、航材备件、客服网络布局等）、退役处置成本等。

系统和产品数据包括设备可靠性（故障间隔时间）、可用性（实际运行时间占比）、直接维修成本指标等。

收益数据包括装机件销售收益、地面支持设备收益、售后服务收益（升级、维修、培训、备件等）。

市场数据包括市场需求规模、目标客户群体（航空公司、租赁公司、维修单位等）、航线网络布局等。

风险数据包括地缘政治、供货价格、竞品价格、历史和预测故障概率、技术演进、违约赔偿等不确定性因素。

(三) 确定关键变量与指标

关键变量包括维护周期、设备寿命、汇率、备件系数、折现率等。

需要关注的核心指标包括研制成本、单机成本、盈亏平衡点、投资回收期等。

(四) 模型实现与动态分析

通过 Excel或其他工具实现量化计算和分析，模拟不同变量场景下的产品损益和全寿命周期损益情况（包括不同的内部管理费分摊率、折现率、涨幅和跌幅及年度分布、价格调整系数等变量的单一或组合变化），挖掘并掌握涨价和降成本要素和满足项目经济性要求的其他变量的敏感性，为制定报价方案、项目投资、降成本方案提供数据基础和方法支撑。

民机项目研发阶段通常需要大量资金投入，用于研发、购置生产设备等。机载复杂设备一般会在项目前期研发上投入大量资源，且除了客户企业的科研费，无收入来源，处于亏损状态。随着产品逐步进入市场，前装件和备件销售规模将逐步扩大，利润有望逐年增加。如果电子产品出现断档，可能需要投入更多资金用于研发、适航或者储备物料，会影响利润增长速度，甚至出现负利润。项目后期运营的成熟阶段，一般干线飞机市场份额稳定，如成本控制有效，利润将达到峰值。

四、结论

基于上述的民机机载设备研制过程的成本分析模型，在某项目实际研发过程中，建立基于全寿命周期的成本分析模型，在批产阶段，某产品成本降幅约为15%，减少了批产阶段的亏损，通过持续优化成本分析模型，能够推动我国民机机载设备研制能力的全面提升，为我国民用飞机商业成功奠定坚实基础。