

商用飞机项目中的技术经济方法

Technology Economics Method in Commercial Aircraft Projects

郭博智 任启鸿 / Guo Bozhi Ren Qihong

(中国商飞上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

摘要:

商用飞机的自主研发需要科学系统的技术经济分析方法解决技术先进性、研制成本以及使用经济性三者之间的矛盾。因此需要综合考虑市场竞争、技术性能、经济环境等多方面的因素,建立全寿命周期成本模型、基于直接运营成本的竞争定价模型和面向使用经济性的优化模型。通过项目盈亏平衡、基于 EBOM 的成本控制和发动机选型三个案例,分析说明了技术经济方法在商用飞机项目技术决策过程中的作用。

关键词:商用飞机;技术经济方法;经济性;全寿命周期成本

中图分类号:F407.5

文献标识码:A

[Abstract] The project design of commercial aircraft, together with the project management need to solve the conflicts among technological advancement, R&D cost and operating economics. Therefore, a scientific and systematic methodology of technology economics is in great needs for accomplishing goals of the project by guiding and regulating the decision making process during aircraft design. This methodology contains LCC model, pricing model and optimization mode, which consider market factor, technology factor and economic factor. This essay through three examples illustrates the use of technology economics method in commercial aircraft.

[Key words] commercial aircraft; technology economics method; operating economics; life-cycle cost

0 引言

民航运输业已经进入了大众化时代,飞机经济性逐渐成为赢得市场和竞争的核心指标,商用飞机的发展,也已从以技术为主要导向,转向以市场经济性为主要导向^[1]。商用飞机的自主研发,将对项目参与方的企业技术创新能力、企业项目管理水平、项目风险分析和风险控制提出更高的要求。商用飞机方案设计以及项目管理需要考虑市场竞争、技术性能、经济环境等多方面的因素,还需要解决使用经济性和研制成本、技术先进性与市场适应性等多重矛盾。因此迫切需要科学系统的技术经济分析方法,指导和规范飞机研制过程中的部件选型、方案优化等技术决策问题,为飞机研制项目的目标实现提供有力的支持和保障。

1 商用飞机主要技术决策问题

商用飞机项目研发一般需要整合全球民机技术

资源,在“主制造-供应商”模式下,成本分摊与收益分配已经成为商用飞机项目管理的焦点议题。由于不同的利益主体对商用飞机有着不同的利益诉求,利益主体之间的矛盾进一步增加了整个项目的复杂性。对于国家而言,商用飞机项目起着推动经济发展,提升技术实力的作用。对于制造商而言,商用飞机销售是制造商主要的利润来源,研制经济效益高的飞机是制造商的主要经营目标。对于商用飞机的运营商,安全性以及经济性则是选择飞机的重要依据。针对不同的利益诉求,采用层次分析法,可以将商用飞机中的技术问题分为三个层次。

(1) 产业经济效用评估

中国民机产业还未建立成熟的产业链以及适合中国制造业的产业发展模式,因此亟需完备的产业经济研究为民机产业发展规划提供支撑。通过研究商用飞机产业对国民生产总值、就业率的影响,可以评估商用飞机项目的经济带动效益。基于民机产业的经济性设计,在综合国外产业发展案例

的基础上,研究分析民机产业发展政策环境、范围经济效用以及集群效用,寻求能充分发挥公司以及供应商竞争优势的产业政策以及发展模式,为实现产业跨越式发展保驾护航。

(2) 项目经济可行性论证

商用飞机项目具有研制成本高、生产风险大、投资回报时间长等特点。由于前期投入巨大,一种新型客机进入市场需要数百架的销售才能达到盈亏平衡。波音 787 的研发费用约为 100 亿美元,从项目启动到试飞花费了 5 年时间。商用飞机型号研制前需要对型号项目进行经济可行性论证,从而得出飞机产品全寿命周期成本以及目标市场分享量。对新型号目标市场分享量、目标价格以及盈亏平衡点的评估,是新型号初步设计结束进行“go-ahead”决策的重要依据。

(3) 产品使用经济性设计

商用运输飞机与军用飞机最大的不同在于,军用飞机的研制费用完全由国家国防资金支持,而商用飞机则需要通过市场来产生利润。商用飞机激烈的市场竞争,决定了经济性对飞机产品的市场成败起着关键作用。因此在商用飞机的设计过程中需要深化以经济性为优化目标核心理念。^[1]

作为商用飞机技术经济的主体,飞机制造商需要综合考虑市场、政策、机型和技术等各方面因素,影响商用飞机技术经济的因素如表 1 所示。为了评估各个因素对商用飞机制造商以及飞机产品的影响,需要建立一套完善的技术经济评估方法和数学模型。

表 1 影响飞机技术经济的四类因素

市场因素	政策因素	机型因素	技术因素
国民经济发展	适航条例	商载(座级)-航程	气动技术
航空市场需求量	环境保护条例	高度和速度	发动机技术
宏观市场环境特点	安全监管	机场性能	结构和材料
航空基础设施	产业政策	舒适性	航电/电气
行业竞争(低成本航空)	税收政策	维修性	机械系统/电传
替代交通的发展	票价政策	飞机利用率	制造技术
排放和噪声限制	航线经营权	购机或租赁	系列化发展
客流量、航班频率	机场和导航收费		
上座率、机票折扣率	租赁和贷款政策		
油价、劳务费率			

2 技术经济在商用飞机项目中的应用

2.1 商用飞机技术经济方法

针对商用飞机项目中遇到的上述问题,可以采用技术经济方法建立一套科学的评估工具,指导项目的技术决策。技术经济是对技术措施、技术方法和技术政策的经济效果进行评估、分析和优化的学科。通过研究技术方案与经济效果之间的矛盾关系以及发展变化规律,对技术方案进行经济上的分析、计算和评估。从而指导技术发展,使之达到最大的经济效应。

近几年,随着科学技术的高速发展,技术经济方法已经渗透到国民经济的各个行业中。技术经济评价从宏观上对生产力布局、国民经济发展、经济结构特别是经济政策和产业结构以及资源配置有重要的应用价值。在微观方面对具体的工业项目建设、企业产品开发方案、科研项目管理、生产工艺装备选择以及参数确定等都发挥着重要的作用。

技术经济的研究方法主要如图 1 所示^[2]。

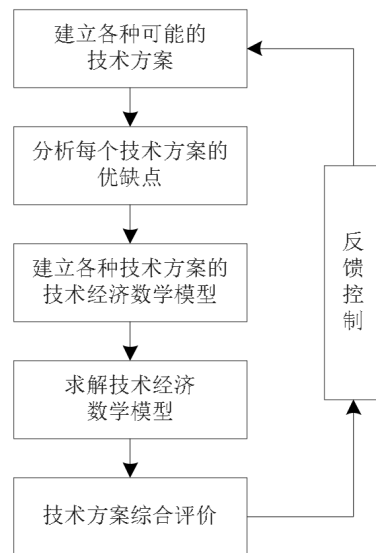


图 1 技术经济研究步骤

技术经济的研究工作主要可以分为六个步骤。(1)需要通过调研以及全面的桌面研究罗列出可行并尽量完备的技术方案;(2)需要分析各种可能的技术方案在技术经济方面的内部和外部的利弊关系和影响因素;(3)将各种影响因素抽象为经济指标,并建立各个参数指标之间的函数关系和技术经济数学模型;(4)计算求解技术经济数学模型;(5)在求解结果的基础上,对技术方案的经济效果进行

评估;(6)通过评估对技术方案进行优化。

为了解决商用飞机技术决策问题,提升客户价值,飞机制造商需要从飞机预研、可行性论证、初步设计、详细设计、制造、试飞取证、交付运营和处置的全过程之中全方位开展技术经济工作。商用飞机技术经济工作的内容如图2所示。



图2 商用飞机技术经济工作内容

在商用飞机设计领域,早在1973年Reinhardt就曾对Lockheed Tri Star商用飞机的评估技术以及这些评估技术对于飞机项目的影响做过案例分析。1987年麦道公司的Jacobson和Tsubaki提出商用飞机经济性的三个研究方向,分别为飞机项目成本、客户(航空公司)对于飞机的评价标准以及对于飞机设计方案性能和成本正确的权衡。1999年Dickinson等研究了投资组合优化,管理多种相互依存发展项目的问题,并且解释了几种用于最大化波音飞机价值的技术。这些都是技术经济学思想在商用飞机项目中早期的研究应用。在经济技术研究中,搭建技术经济模型,为项目方案决策提供支持是尤为重要的一项步骤。2005年Troy D. Downen等人将多种属性价值评估方法应用在商用飞机的早期产品发展阶段,并建立了基于商用飞机近40年历史数据信息搭建的相对价值指数(Relative Value Index)模型为评估提供支持。2012年,Xiaoqian Sun等人将多重标准决策分析技术应用在飞机设计中,建立多种标准决策支持系统来为决策问题提供最合适的决策分析方法。^[3-4]

2.2 主要技术经济模型

2.2.1 全生命周期成本模型

全生命周期成本(life cycle cost,简称LCC)的概念来源于美国军用装备成本控制研究项目,该项目由美国军方后勤管理研究所承担,主要用于解决装备“从摇篮到坟墓”(cradle-to-grave)整个过程中的成本分析、控制和优化等问题。飞机全生命周期成本分析将飞机设计过程分解为工程设计、制造工

程、工装设计、工装制造、试飞和支持,并通过基于部件的成本分解方法将各部件(机身、机翼、尾翼等)的非重复成本分配到飞机设计的各个过程中。^[5]再通过基于重量的成本预估方法,评估飞机制造阶段产生的材料、人工、支持等重复成本。飞机全生命周期成本分解如图3所示。

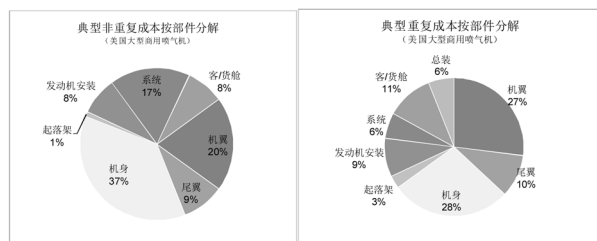


图3 飞机全生命周期成本分解

从市场角度来看,飞机产品的竞争性体现在飞机的直接运营成本上。而制造商降低运营成本的同时会造成研发和制造成本的增加以及研制周期的延长。因此在直接运营成本的约束下,优化全生命周期成本,降低制造成本,提升制造商产品竞争力以及盈利能力,成为飞机制造商技术经济工作的主要目标。

2.2.2 基于直接运营成本的竞争定价模型

商用飞机定价策略一般采用竞争驱动定价方法,是一种基于市场竞争状况而定价的策略。这种定价方法适用于新产品的初始快速定价,有利于市场份额的快速提升。竞争驱动定价的不足在于产品销量的增加与利润最大化相冲突,尤其对于高价值产品而言,这种定价方式会损失合理的产品溢价利润。

在竞争定价的条件下,定价目标至少要考虑下述要素:(1)市场占有率。价格与市场占有率通常呈反比关系。(2)企业收支平衡和赢利。高定价未必高赢利,高市场占有率未必高收益,须最优定价以寻求长期最大赢利为目标。(3)政策法规。各国民机产业均或多或少地借助了国家政策法规的扶持。(4)市场因素。产品符合市场需求,并与同类竞争产品差异化,是定价目标的重要因素。

根据航空公司调研结果表明,一般情况下,引进一架新型号飞机的座公里DOC降低要求是15%。根据竞争驱动定价方法可以通过对飞机的合理定价,使得飞机的DOC达到航空公司的预期目标。竞争定价的流程如图4所示。

2.2.3 面向使用经济性的优化模型

商用飞机产品使用经济性是飞机设计技术中

最重要的目标函数。使用经济性不仅是产品的固有属性,同时还具有强烈的市场属性,即满足欧美市场的机型不一定满足中国市场的需求,反之亦然。正是由于使用经济性直接反映了商用飞机的市场竞争状况,波音空客等成熟制造商纷纷将使用经济性作为优化设计的重点。^[6]运营经济性是制造商与运营商共同关心的焦点指标。因此,将使用经济性模型与传统的飞机设计流程相结合,可在飞机方案迭代过程中实现面向使用经济性的设计。面向使用经济性的设计流程如图5所示。

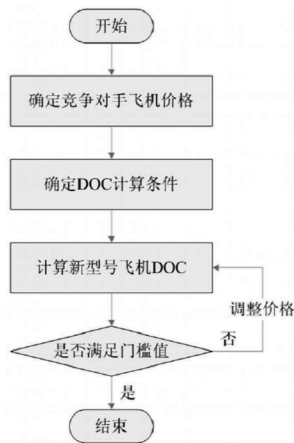


图4 DOC定价模型流程

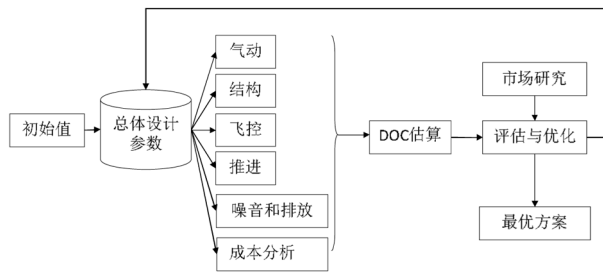


图5 面向使用经济性的设计

需要说明的是,面向使用经济性的设计与定费用设计在设计目标的选择上有着本质区别。定费用设计是较为常用的研制成本评估和控制方法,其本质是一种管理手段。而面向使用经济性的设计方法将飞机的使用经济性与产品方案进行紧密结合,是一种技术决策以及设计方法。经济性设计通过对产业、项目以及产品三个层面的分析,得出最具有市场适应性的产品方案。

3 案例分析

3.1 商用飞机项目盈亏平衡分析

在商用飞机项目的论证过程中,项目的盈亏平衡分析是决策部门关心的首要问题。如何系统全

面地评估项目的经济可行性对项目成功起着举足轻重的作用。

盈亏平衡分析是确保商用飞机“全寿命”商业成功的关键,而概念设计阶段科学准确的成本以及收益测算是整个项目在全寿命周期成功的前提,为有效地降低项目运行的风险,提高项目的经济性提供有力的保障。此外项目盈亏平衡分析还为系统供应商选择、项目成本控制以及产品市场定位提供依据。

商用飞机盈亏平衡分析主要流程如图6所示。整个流程可以分为成本测算、收益评估以及盈亏平衡分析三个部分。

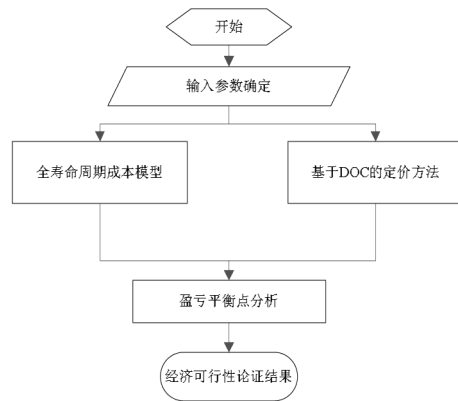


图6 盈亏平衡分析流程

飞机初步设计阶段结束时,设计部门将确定出飞机的座位数、设计航程、发动机需求和设计重量等初步设计技术数据。这些初步设计技术数据与飞机研发、制造和运行成本之间有着内在的关联性。依据这些初步设计技术数据,利用以往型号积累的成本数据,即可对飞机的成本进行测算。

美国 RAND 公司统计回归了 34 个飞机机型的制造成本数据,以机体重量、飞行速度和飞机架数等指标特征参数,建立了研制工时、工装设备工时、制造工时和质量控制工时与特征参数之间的函数关系式。

对于收益的评估需要基于市场分享量的预测以及价格的预估,市场分享量则需要通过对市场份额以及市场容量的预测得出。收益评估往往具有一定的不确定性,为了方便比较不同情况下的收益,同时提供不同场景下的估计值,其中市场规模按未来 20 年中国地区总需求量计算,收益估计如表 2 所示。

通过比对成本和收益可以分析商用飞机的盈亏平衡架数,并进行敏感性分析,如图7所示。

表 2 典型 150 座商用飞机收益分析

项目	数值
市场规模(架)	4 000
市场份额	20%
飞机价格(百万美元)	40

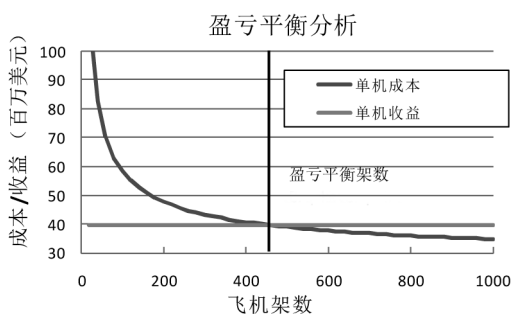


图 7 项目成本收益分析

通过技术经济方法建立的商用飞机盈亏平衡分析方法,将市场因素、经济因素与技术方案进行充分结合,可以得出适合于市场经济规律的优化方案。

3.2 基于 EBOM 的成本控制

成本控制是技术经济优化的重要环节,通过精细化设计的手段严控制造成本,是详细设计阶段经济性设计的重要任务,也是提升项目经济性的有效手段。通过基于 EBOM 的成本估算系统,将企业信息化系统融入成本控制工作中,可以在设计过程中及时分析部件的制造成本,对产品的制造成本进行全生命周期管控。基于 EBOM 的成本控制,还能有效支持不同方案之间的技术决策。

随着材料技术的发展,飞机材料的可选性越来越大。不同材料对于飞机的制造成本以及运营成本都有着很大的影响。因此,需要采用基于 EBOM 的成本控制方法评估不同材料方案对成本的影响。以中央翼设计为例,分别分析复材和金属两种方案对其成本的影响。两种材料的中央翼结构形式分别如图 8、图 9 所示。

通过 EBOM 系统可以将中央翼部段数模各个零件的重量、毛料重量、材料种类、紧固件数量等进行统计,并对零件设计的材料成本(包括复材、板料、型材、锻件和标准件等)以及人工成本进行分类。在成本结构的基础上,结合 EBOM 中的价格数据库,可以迅速测算出两种方案的成本。

经过对比发现,由于复合材料单件价格高,生产工艺不成熟,导致其材料成本高于金属材料;并且复合材料生产及装配工人熟练度较低、生产效率较低导

致工时数也高于金属材料。通过成本统计,采用金属方案比复材方案,单机成本能减少约 40%。



图 8 复合材料中央翼结构形式

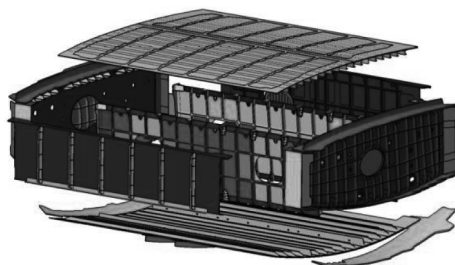


图 9 金属材料中央翼结构形式

3.3 面向使用经济性的发动机选型

发动机选型是商用飞机研制过程中重要的环节,也是影响飞机经济性的焦点问题。因此需要采用技术经济的方法,建立发动机运营经济性模型,并将经济性模型引入发动机选型决策中作为主要的衡量指标。

商用飞机的直接运营成本(DOC)是航空公司购机评估的基础,也是飞机经济性的直接体现。直接运营成本主要由所有权成本和现金运营成本两部分组成。所有权成本包括与飞机购置相关的折旧、贷款利息以及保险三部分。现金运营成本是与运营现金流相关的成本。飞机直接运营成本的组成如图 10 所示。

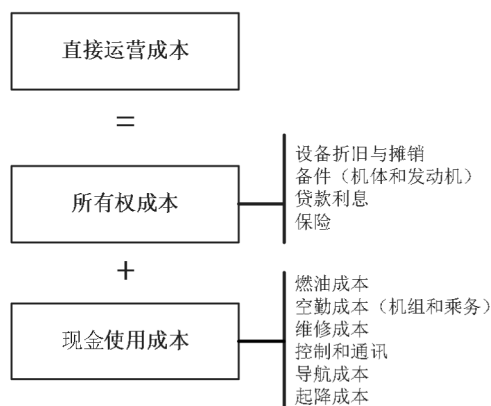


图 10 直接运营成本结构图

直接运营成本中与发动机相关的成本为燃油成本、维修成本以及起降成本。发动机参数对直接运营成本的影响如表 3 所示。

表 3 发动机参数对直接运营成本的影响

成本构成	影响参数
所有权成本	发动机价格
燃油成本	SFC、发动机重量、阻力增益
维修成本	发动机重量、推力、压气机级数、总压比
起降成本	发动机重量

燃油成本为燃油价格乘以飞机所飞航段的耗油量(包括发动机及 APU 耗油)。飞机的燃油消耗量很大程度上取决于飞机的升阻特性(即气动设计)、飞行重量(即结构设计)和动力装置热效率(即发动机设计)等设计状态。飞机维修成本主要分为机体维修成本与发动机维修成本两部分。发动机维修成本又可以分为发动机维修劳务成本和发动机维修材料成本两个部分。飞机的起降成本与飞机的重量有关。

在发动机运营经济性模型的基础上可以对不用的发动机选型方案进行比较。发动机参数如表 4 所示。不同方案的现金运营成本如图 11 所示。

表 4 不同方案技术参数

型号	推力 (kg)	重量 (kg)	SFC (kg/h/kg)	阻力增量	压气机级数	总压比	典型航段油耗
A	14 515	2 257	0.60	0.0	13	26	4 569.7
B	14 515	2 381	0.57	3.0	13	27	4 479.0
C	14 969	2 465	0.55	6.5	14	32	4 435.7
D	15 014	2 521	0.59	1.0	14	32	4 555.9

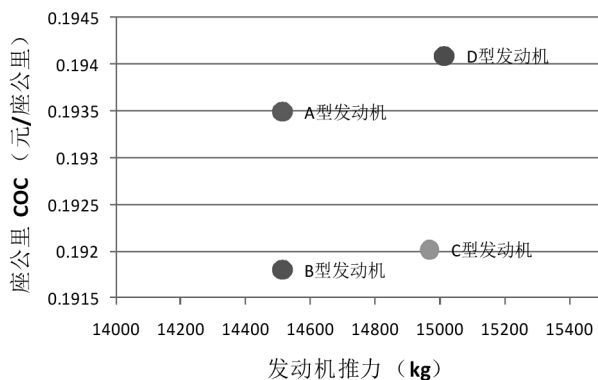


图 11 不同方案现金运营成本比较图

从图中可以看出 B 型号发动机的经济性最优,

当四款发动机都能满足推力要求时,应选择 B 型号发动机。

4 结论

经济性是商用飞机的核心,也是制造商和运营商共同关注的焦点。为了提高商用飞机的经济性,需要在整个飞机工程设计、升级改造和后续运营优化中充分落实技术经济的决策支持作用,优化设计方案,统筹资源配置。随着经济模型的逐步完善以及型号研究的深入展开,技术经济也将在研制过程中扮演更加重要的角色,为客户、供应商、员工创造共同的价值。

为了更好地发展技术经济在商用飞机项目中的作用,需要收集研制阶段以及运营阶段的技术经济数据,建立详实的技术经济数据库。此外,还需要根据中国经济环境以及项目运营规律,参考国外经验,开发适合实际情况并且易于操作的技术经济方法。

参考文献:

- [1]叶叶沛.民用飞机经济性[M].成都:西南交通大学出版社,2013年11月:2-3.
- [2]徐寿波.技术经济学[M].北京:经济科学出版社,2012年2月
- [3]曲东才.大型武器装备的全寿命周期费用分析[J].航空科学技术,2004(5):27-31.
- [4]保罗·克拉克.大飞机选购策略[M].北京:航空工业出版社,2009年4月:97-100.
- [5]Cost Analysis Improvement Group, Office of the Secretary of Defense, USA, Operating And Support Cost-Estimating Guide, October 2007.
- [6]Sobieski, J., Haftka, R. T., Multidisciplinary Aerospace Design Optimization: Survey of Recent Developments. AIAA 96-0711, 1996.
- [7]Saaty, R. W., The Analytic Hierarchy Process- What it is and how it is used. Journal of Mathematical Modelling, 1987: p. 161-176.
- [8]Curran, R., Value-Driven Design and Operational Value, in Encyclopedia of Aerospace Engineering. 2010, John Wiley & Sons.
- [9]A. L. Jacobson, C. M. T. Economics in New Commercial Aircraft Design [A], In AIAA/AHS/ASCE Aircraft Systems, Design & Technology Meeting [C], California, 1986.