

商用飞机的经济性设计

Design for Economics of Commercial Transport Aircraft

陈迎春¹ 李晓勇² 宋文斌³ / Chen Yingchun¹ Li Xiaoyong² Song Wenbin³

(1. 中国商用飞机有限责任公司,上海 200120;2. 上海飞机设计研究院,上海 201210;
3. 上海交通大学,上海 200240)

(1. Commercial Aircraft Corporation of China, Ltd., Shanghai 200120, China; 2. Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China; 3. Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

摘要:

介绍商用飞机经济性设计的定义,阐述商用飞机经济性设计的主要研究内容,提出商用飞机设计使用的指标框架体系。在此基础上,给出商用飞机经济性设计的主要方法和分析模型。最后提出民机经济性设计的研究方向。

关键词:商用飞机;经济性设计;飞机方案

中图分类号:F407.5

文献标识码:A

[**Abstract**] The concept and definition of design for economics (DFE) of commercial transport aircraft is introduced first and the description of topics in the field of design for economics is proposed. A framework implementing the approach along with the design indicators which could be used in various design reviews. Methods and models for estimating the various cost items are also provided. In the end, a number of future research directions are proposed.

[**Key words**] Commercial Aircraft; Design for Economics; Aircraft Design

0 引言

商用飞机制造是国家战略产业,又面临激烈的国际市场竞争,经济性是制造商和运营商共同关注的焦点问题,它贯穿于飞机预研、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。如何协调制造商和运营商的利益冲突,同时取得商业成功是民机经济性工作的焦点和难点问题。

目前,在学术界,对于商用飞机的全生命周期经济性还存在一些不同的观点,理论体系和设计方法还需要不断完善和发展;在飞机项目的工程实践中,经济性设计工作还分散在不同专业研究室、项目管理和财务管理等部门,还没有形成高效的理论和工程实践体系,缺乏能够在不同层次和阶段有效指导经济性设计的方法和工作流程。同时,我国还面临着技术积累相对缺乏、整体经济环境不断演化、企业制度不断发展和严酷的国际环境等产业发

展的挑战。

针对上述问题,本文首先给出商用飞机经济性设计的定义,然后阐述经济性设计的主要内容,接着提出经济性设计指标体系框架,并简要描述民机经济性评估的主要方法和工具,结论中给出需要持续开展的经济性设计工作。

1 经济性设计的定义

1.1 定义

商用飞机的经济性设计(Design for Economics,缩写为DFE)是指在确保飞机安全运营的前提下,以增强飞机市场竞争力为目标,以提升飞机运营经济性、优化包括全生命周期成本在内的各项经济性指标为核心的一种商用飞机评价和设计方法。

它综合运用经济学、飞行器设计以及航空运输学等多学科知识,是一门新兴的交叉学科。经济性设计通过研究飞机产业的经济效用、项目的经济可行性以及产品的运营经济性,评估型号方案对全生

命周期成本以及运营经济性的影响,贯穿于整个飞机工程设计、升级改造以及后续运营优化过程之中。

1.2 范围

本文根据商用飞机研制过程中经济性工作的特点和内容,将经济性设计划分为三个层面:商用飞机产业、商用飞机项目和商用飞机产品,如图1所示。

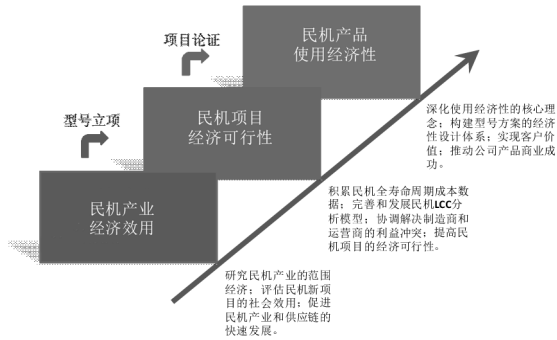


图1 经济性设计的研究范畴

1.3 主要工作及阶段划分

为了更好地理解经济性设计的工作,本文把商用飞机研制简要划分为项目规划、项目论证、研制开发和交付运营等四个阶段,如图2所示。



图2 主要工作分类

2 主要内容和指标框架

民机经济性设计工作,主要包括民机产业经济效用评估、民机项目经济可行性论证和民机产品使用经济性设计三大块内容。其中,民机产业经济效用评估主要在项目规划阶段时完成,它的评估主体是国家相关部委,民机制造商是该项工作的重要参与者和主要推动力量之一。主要内容是民机范围经济性、民机社会效用评估、民机产业链研究、民机供应商链研究以及民机产业政策研究等领域。限于篇幅所限,本文重点阐述民机项目经济可行性论证和民机产品使用经济性设计两部分内容,并且提出相应的设计指标体系框架。

2.1 民机项目经济可行性论证

民机项目经济可行性论证工作主要为项目立

项提供经济性方面的决策依据,它必须平衡制造商与运营商各自利益的差异化,如图3所示。在项目论证阶段应该开展大量的总体方案预先研究和以下主要工作内容。

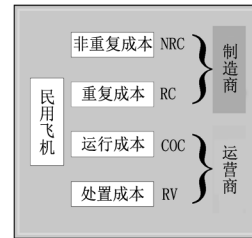


图3 民机全生命周期成本

(1) 研制成本估算: 研制成本也称之为非重复成本(Non-recurring Cost, 缩写为 NRC), 成本项包括工程设计、制造工程、工装设计、试验和试飞等费用。一般采用参数化法和基于 WBS/CBS 的工程费用法来完成成本估算工作。

(2) 制造成本估算: 制造成本也称之为重复成本(Recurring Cost, 缩写为 RC), 成本项包括劳务成本、制造成本和产品支持等费用。它的估算方法与研制成本估算方法类似。

(3) 运行成本估算: 总运营成本(Total Operating Cost, 缩写为 TOC) 包括直接运营成本(Direct Operating Cost, 缩写为 DOC) 和间接运营成本(Indirect Operating Cost, 缩写为 IOC)。

(4) 处置成本估算: 民机的处置成本相当于民机的残值问题。根据调研结果, 国际通用的残值标准是飞机运营 20 年后具有总价 5% 的价值, 或者采用飞机的净现值(Net Present Value, NPV) 数据。

(5) 民机价格分析: 民机价格分析主要目的是预估民机项目价值, 采用市场定价方法确定其目录价格, 其流程如图4所示。调研结果表明, 航空公司在考虑引进一款新型号飞机时, 对其“DOC/公里/座”的指标要求是相对现役类似机型降低 10% ~ 15%。目前的商用飞机市场环境导致我国缺乏商用飞机市场定价的话语权, 无疑对飞机项目的成本控制提出了更高的要求。

(6) 盈亏平衡分析: 盈亏平衡分析主要根据成本和收益数据, 并考虑时间价值理论, 给出项目的盈亏平衡点。盈亏平衡分析流程如图5所示。

该流程综合考虑了民机研制、民机制造、民机运营和民机处置等各个环节的利益冲突。考虑我国的具体情况, 还应该适当考虑民机项目的战略成本及战略收益问题。

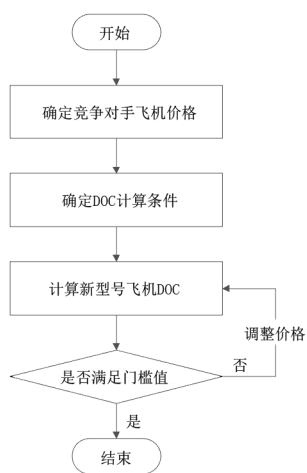


图4 定价流程

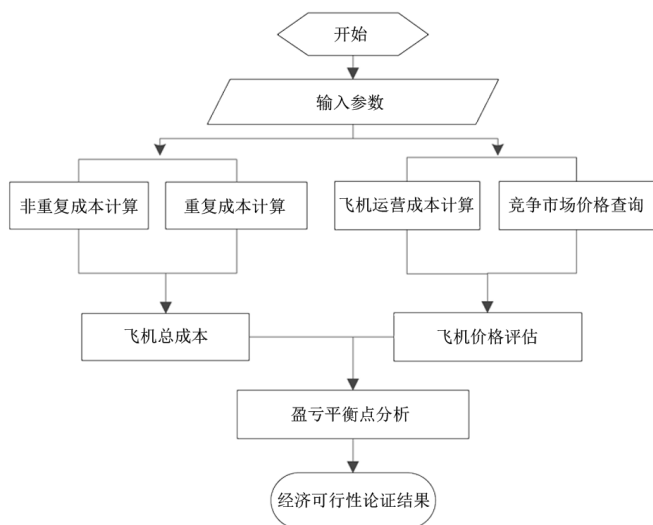


图5 盈亏平衡分析流程

在完成项目立项论证工作之后,经济可行性分析的重点将转入民机项目的风险控制领域,即“定费用设计(DTC, Design To Cost)”方法,它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。根据DTC的结果,项目风险控制部门可及时跟踪和掌握技术状态变化及其经济性影响,并给出决策建议。

2.2 民机产品使用经济性设计

民机产品使用经济性设计代表着飞机设计技术发展过程中目标函数演化的进展之一,是Design for X技术的一类,最早期的目标函数(X)代表性性能、重量,后来又代表维修性、可靠性、燃油消耗、成本等指标。民机产品使用经济性贯穿于民机全生命周期内,是民机经济性设计(DFE)的核心、基础和结果。构建以使用经济性为指挥棒的民机全生命周期经济性(Life Circle Economy,缩写为LCE)评

估与设计技术体系是型号项目DFE的主要工作。

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。使用经济性的主要指标是TOC、DOC和IOC,如图6所示。需要指出的是不同市场对DOC和IOC的划分是各不相同的,例如,针对国内航线,在中国导航费用是DOC的重要组成部分,而在美国则没有导航费用。

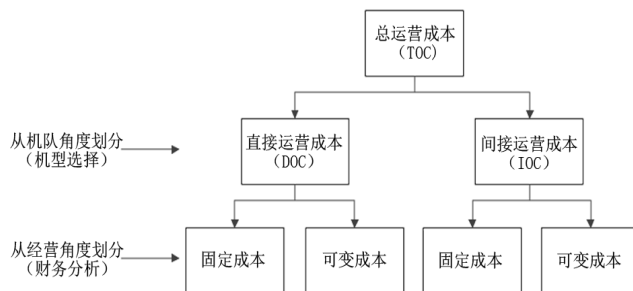


图6 民机使用成本

其中,直接运营经济性(DOC)是指与飞机产品直接相关的成本,它是民机使用经济性设计的核心指标。面向使用经济性的设计流程如图7所示。

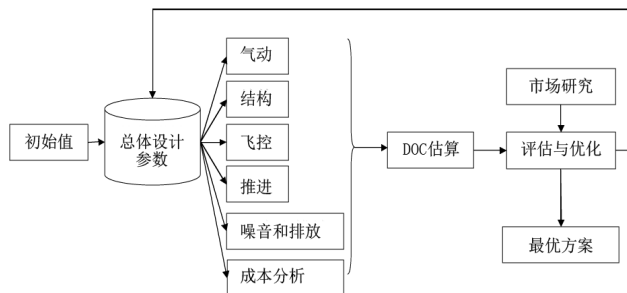


图7 面向使用经济性的设计

以DOC为设计优化指标时,必须考虑设计成本这一重要影响因素,研制成本分析模型一般由制造商的财务部门参考历史数据提供。需要明确的是,经济性设计是在飞机项目的各个阶段,特别是早期阶段将经济性指标融入传统飞机设计流程,在市场需求、技术水平、资本投入和项目进度之间取得较好的平衡。

2.3 民机经济性设计指标框架

建立商用飞机的经济性设计指标框架是开展经济性评估和设计的重要内容,但也存在众多挑战,尽管DOC/COC是航空公司重点关注的指标,但是在其他指标相似的前提下,单纯从制造商的角度以全生命成本为依据也会存在飞机市场竞争力低的风险。因此,需要在项目进展的不同阶段,从多个层次全面衡量飞机的经济性指标。

本文结合经济性指标在飞机项目研制中的作用,提出民机指标框架如图 8 所示。该指标体系参考了全生命周期成本和民机运营成本,从制造商和运营商两个方面全面阐述了民机全生命周期经济性指标体系,涉及民机研制、制造、客户服务和运营等多个内容。

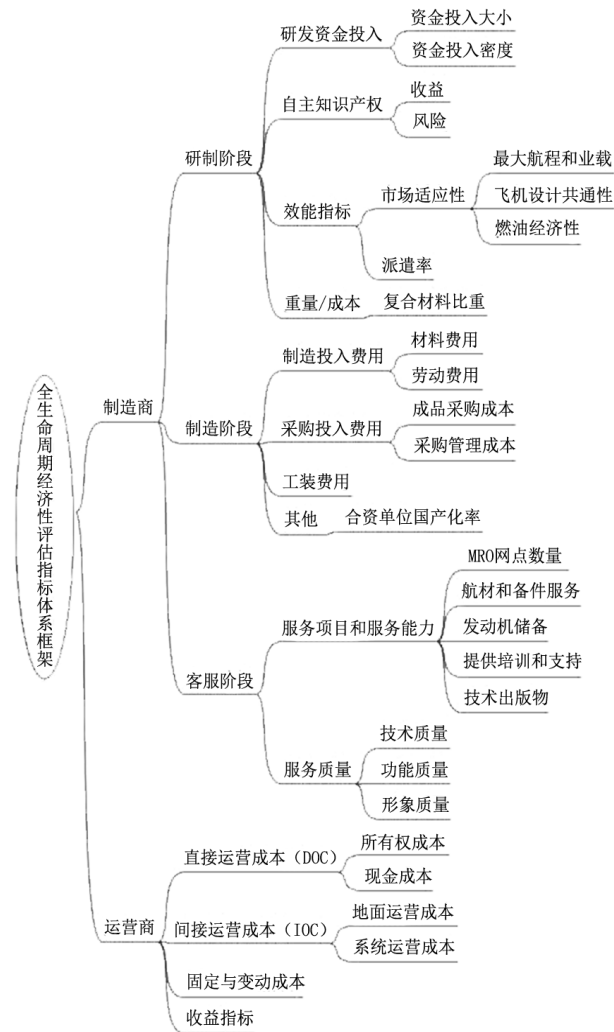


图 8 民机指标框架

3 主要模型与方法

3.1 成本估算模型

根据文献[1],可以采用的主要成本评估方法有定性法和定量法两种,具体的方法如图 9 所示,其中主要的方法包括:参数费用法(Parametric Cost Estimating)、工程费用法(Industrial Engineering Cost Method)、类比费用法(Analogy Cost Method)和外推费用法(Extrapolation Cost Method)。不同方法的发展基础不同,对数据的需求不同,各种方法在项目不同阶段的适用性也不同,如表 1 所示。

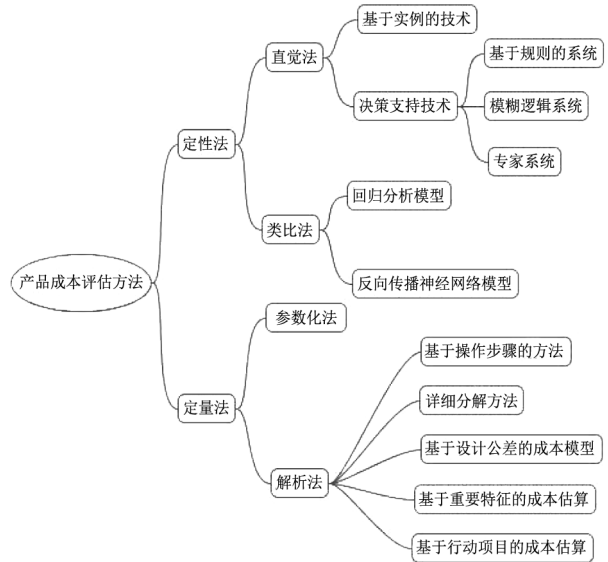


图 9 成本评估方法

表 1 民机研制各阶段适用的估算方法

费用估算方法	民机研制阶段	方案论证阶段	工程发展阶段		批产阶段	使用运营阶段
			工程预发	早期		
参数费用方法	适用	较适用	较适用	不适用	不适用	不适用
工程费用方法	不适用	较适用	适用	适用	适用	适用
类比费用方法	较适用	较适用	适用	不适用	不适用	不适用
外推费用方法	不适用	较适用	适用	适用	适用	适用

3.2 研制成本模型

在国外,研制成本和制造成本的估算相对比较成熟,数据丰富,一般采用基于飞机总体指标的参数化法粗略估算成本。国内民机型号也采用类似的做法,本文以某国外产品研制成本分析为例阐述该方法的基本思路。

以产品结构分解为基础(如图 9 所示),以重量参数为成本参数(如图 10 所示)^[2],归纳统计单位重量成本费用,乘积计算即获得飞机研制成本(NRC,如图 11 所示)和制造成本(RC,如图 12 所示),随着数据的不断丰富,应该发展更精细的成本统计和分解方法,并与飞机的设计参数和性能特点相关联。

在非重复成本计算过程中,必须考虑试飞试验飞机的成本和飞机系列化发展的成本降低因子。在重复成本计算过程中,必须考虑熟练曲线的影响因素。此外,国外民机产品开发是技术推动型,而国内民机产品开发是项目牵引型,在均要满足市场竞争的要求下,国内民机产品的开发很显然需要投入更多研制费用,并逐渐形成企业牵引、型号导向、技术推动和多方投入的可持续的市场化新技术研发机制。

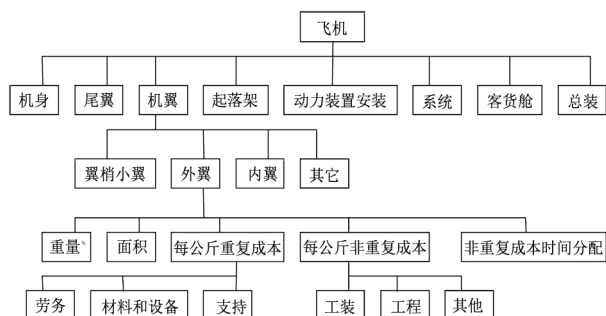


图9 飞机组/部件分解

商用飞机重量分解统计
(基于MD80、DC-10-30、737-200、747-100和A300-B2)

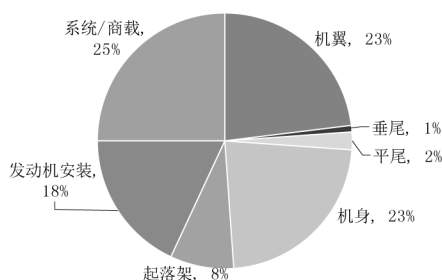


图10 商用飞机重量分解统计

典型非重复成本按部件分解
(美国大型商用喷气机)

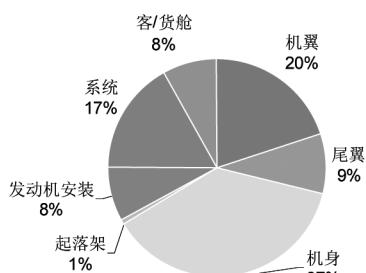


图11 典型非重复成本按部件分解

典型重复成本按部件分解
(美国大型商用喷气机)

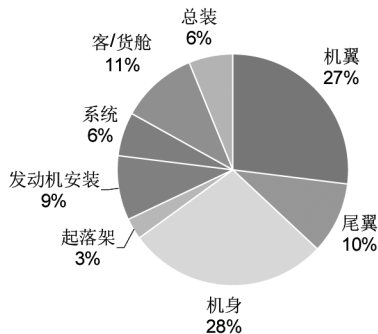


图12 典型重复成本按部件分解

3.3 民机使用经济性模型

民机使用经济性模型主要用于经济性竞争分析、方案经济性优化、系统经济性优化和基于成本

指数的运营等,如图13所示。

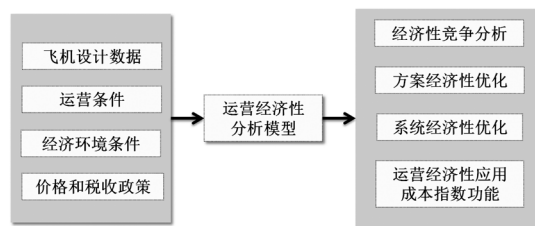


图13 运营经济性分析模型的作用

民机使用经济性分析模型与市场环境紧密结合。欧洲和美国分别开发了民机使用经济性模型,主要有Harris飞机运营成本分析模型^[3]、波音1993年飞机运营成本分析方法^[4]、Liebeck飞机运营成本分析模型^[5]、欧洲航空公司协会(AEA)^[6,7]和德国汉堡大学的Scholz教授及其学生开发的DOCsys模型^[8]。

国内的学者也在经济性领域进行了有益的研究工作。中国民航大学都业富教授提出一种评价民用飞机经济性的新方法^[9],南京航空航天大学左洪福等人探讨了民用飞机维修成本评估方法^[10]。

中国商飞上海飞机设计研究院作为国内大型民机研制的主体单位,也开发了符合国内市场环境的运营经济性模型,并用于国产民机的经济性评估与设计工作^[11]。

3.4 经济性数据体系

完成飞机经济性的评估和设计需要大量的数据积累,包括飞机制造商的研发成本,制造成本和航空公司的飞机使用成本等数据。在大量工程与运营数据的基础上建立经济性数据体系以及相关的数据分析方法,是经济性分析工作的重要支撑。

一些主要的数据源包括:有关美国航空业的US DOT Form 41以及在此基础上的一些衍生产品,例如航升(Ascend)与OAG的数据库产品。此外,也有一些行业组织、学术和公众领域的数据库。与国际水平相比,我国在有关航空经济性数据的完整性和可达性方面还存在一定的差距,需要得到重视,以提高经济性设计研究和工程应用的水平。

4 结论

商用飞机市场的全球性决定了经济性在项目商业成功中的重要作用,虽然技术先进的飞机可能会更好地满足航空公司的需求,但需要制造商投入更多的研发经费和更长的研发周期,给制造商带来不利的影响。本文主要从制造商的角度,定义了民

(下转第10页)

本服务要大力推广数字化技术应用,开发新的数字化工具和系统,增添新服务内容,提高服务水平。而产品大修则是已经充分商业化的项目,制造商必须从一开始就注意以商业化运作来规划长期发展,注重技术支持和商务模式的结合。

4.3 建设“服务运行中心”(SOC),完善全方位服务体系

服务体系首先要有实体化的服务部门,它要具有基本服务项目和手段能力。同时,主制造商要牵头建设包括供应商在内的以“外场信息网、备件和修理网、技术支持网、培训支持网”为标志的服务体系,保障应对外场、特别是应急事件的快速、有效的需求。客户服务部门应当承担这个网络的牵头和信息前台职责,制造商则要建设权威性的“服务运行中心”(SOC, Service Operation Centre),作为服务网络的管控中心,调动内部和社会力量,实施快速有效的外场使用和维护需求的保障。SOC是全方位服务网建设的关键,需要制造商的高度重视。

4.4 策划、实施全球客户服务网络建设

全球的销售必须有全球服务网络的支持,应该从销售策略、目标和实施方案出发,合理规划不同级别、不同任务的,包括供应商、零售商、独立第三方和客户的资源在内的服务网络,主制造商则始终要把握住对成本价格、产权保护和工作有效性等市

场要素的控制,努力避免这些要素波动对产品市场开拓的影响。

4.5 服务持续改进能力

相对于产品的持续改进,服务的持续改进更经常、更紧迫。除了适航的经常性的变化外,不同用户对服务拓展要求有差异,处于不同年龄段的飞机需要的服务也有差异,这需要服务产品和商业模式不断创新,民用航空产品制造商需要有持续改进服务的意识和能力。

本文是根据这么多年参与和跟踪国内航空企业民用飞机开发的实践和思考而写,本意在论述民用航空产品研制体系中不同于军事航空装备研制体系的特点,或者说是想标识出那些“民机元素”,以供今后民机产业发展借鉴。但能力所限,不仅观点和内容会挂一漏万,甚至会谬误百出,欢迎批评指正。

参考文献:

- [1] (美)Belobaba, P, Barnhart, C 著;赵维善 译. 全球航空业[M]. 上海:上海交通大学出版社,2011.
- [2] 中国民用航空局. CCAR25 中国民用航空规章第 25 部运输类飞机适航标准[S]. 中国:中国民用航空局,2001.
- [3] 汤小平. 探索中国民用飞机产业发展新模式—关于民用飞机“主承制商—供应商”模式的思考[N]. 中国航空报, 2009-1-14.

(上接第 5 页)

机经济性设计的概念,全面阐述了经济性设计的范围、主要工作内容和指标体系框架,并简要描述了重要的计算模型。而更重要的数据收集、整理和分析,经济性设计指标的分解,经济性设计体系和设计流程的完善,以及开展价值工程理论研究等工作,还需要在紧密结合国情且充分借鉴国际发展经验的基础上,进行进一步地研究。

参考文献:

- [1] Adnan Niazi, Jian S. Dai, Stavroula Balabani, Lakmal Senviratne. Product Cost Estimation: Technique Classification and Methodology Review[J]. Journal of Manufacturing Science and Engineering - transactions of The Asme - J MANUF SCI ENG, 2006, 128(2).
- [2] Markish, J. Valuation Techniques for Commercial Aircraft Program Design[R], S. M. Thesis, MIT, 2002, 6.

- [3] Harris Franklin. An Economic Model of U. S. Airline Operating Expense[R]. NASA CR-2005-213476.
- [4] Boeing 1993 Operating Cost Methods. Airplane Economics [R]. Boeing Commercial Airplane Group, 1993, 5.
- [5] Liebeck R. H., et al., Advanced Subsonic Airplane Design & Economic Studies[R]. NASA CR-195443, 1995, 4.
- [6] Association of European Airlines. Short - Medium Range Aircraft: AEA Requirements[R]. AEA. 1989.
- [7] Jeff Jupp. Aircraft Operating Economics[R]. 2009.
- [8] D. Scholz. A Method to Evaluate Aircraft Systems [EB/OL]. <http://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/paper/DOCsysPaper.pdf>. 2011.
- [9] 都业富. 民用飞机经济评价的新方法[J]. 航空学报, 1995, 16(4): 509-511.
- [10] 梁剑, 左洪福. 民用飞机维修成本评估[J]. 交通运输工程学报, 2002, 2(4): 95-98.
- [11] 陈迎春. 民用飞机直接运营成本(DOC)方法与应用[J]. 中国科技成果, 2013, 305(15): 66-69.