

民机项目定费用设计

Design to Cost of Commercial Aircraft

许敏 / Xu Min

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

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

摘要:

经济性对民机项目商业成功至关重要,概述了民机项目定费用设计的起源和基本概念,分别讲述研制费用的估算方法,设计经济性对单机成本的影响,设计经济性对运营成本的影响,总结出定费用设计是民机项目成本控制的关键。

关键词:定费用设计;全寿命周期成本;非重复性成本;重复性成本

中图分类号:F407.5

文献标识码:A

[Abstract] The economics is the very important factor of business success for a commercial aircraft project. This paper introduces the origin and essence of design to cost. The method of design cost estimating, the design influence to manufacture cost and operation cost are also discussed. Finally it is concluded that design to cost is sticking point of commercial aircraft project cost control.

[Key words] Design to Cost; Life Cycle Cost; Non-recurring Cost; Recurring Cost

0 引言

1975年5月23日,美国国防部发布《DODD5000.28》指令,规定海、陆、空主要武器系统的新型号都必须按定费用设计。该指令明确了定费用设计成本目标、平均出厂价、全寿命周期费用等,并将费用、性能、时间视为同等重要的设计参数。

1987年9月25日,中国发布《国防科学技术和武器装备研制计划暂行管理办法》,《常规武器装备研制程序》,明确规定武器系统的立项论证报告应包括研制周期和经费估算,在方案批准报告中应包括试制数量和研制费用预算、产品成本与价格估算。

1 定费用设计介绍

定费用设计(Design to Cost,简称DTC)是在综合考虑民用飞机整体性能、安全、可靠以及技术工业发展水平的基础上,研究飞机目标销售价格,将确定并细化的飞机目标成本(包括研制成本、单机成本和直接运营成本)作为设计的一项重要输入。它将项目成本控制的起始点前移至设计研发阶段,在从项目起点到全面试制的整个过程中的最佳节

点对成本进行有效控制并实时动态反馈,从根本上保证项目成本目标的实现,以满足市场要求的销售价格和性能指标。飞机设计工作在满足性能目标、时间目标和成本目标的同时权衡三者之间的关系就是“定费用设计”的主要理念。定费用设计权衡飞机效费比,并从全寿命周期的角度综合考虑飞机的设计目标,从中选择满足性能和成本费用最优的设计方案。定费用设计将全寿命周期成本最优作为控制目标,包括研制费用、单机成本、运营成本和报废\处置成本(本文不讨论报废\处置成本)。

对于民机而言销售价格的竞争力和运营成本的高低将直接影响客户的选择。根据国外统计,飞机产品方案设计阶段的决策就决定了未来全寿命周期费用的65%以上,在系统的设计阶段又确定了未来费用的20%,如图1所示。因此有必要将定费用设计理念从设计源头落实。面对新技术、新材料和新工艺等多种设计方案,经济性因素的加入将最大程度优化设计方案。

全寿命周期成本(life cycle cost,简称LCC)主要研究的是飞机产品在研制阶段、制造阶段和运营阶段发生的研制费用、单机成本、运营成本和报废处置成本。这些成本指标的测算和性能指标如重

量、油耗、航程等密切相关。设计变更对研制费用、单机成本、运营成本都将产生影响,这些变量之间的关系需要在方案比较中不断迭代,经过权衡比较后选择最优方案。定费用设计理念把目标成本引入设计,充分考虑成本和性能之间的交换关系和对全寿命周期成本的影响。

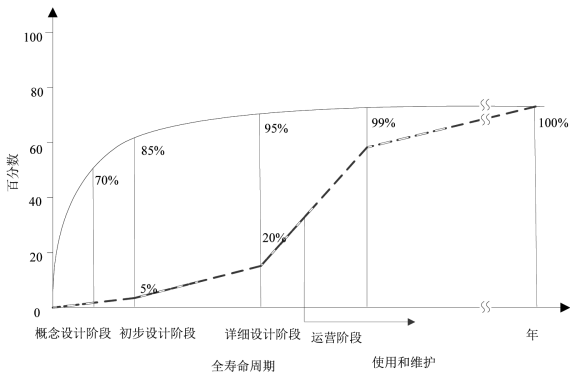


图1 飞机设计各阶段对全寿命周期成本的影响

建立全寿命周期成本分解结构时,应遵循以下原则:

- (1) 考虑全系统、全过程的所有相关成本费用。
- (2) 各类成本费用项目可以按各研制阶段、工作包和等级,或按硬件的组成部分来划分,每个费用单元有明确的定义。

(3) 根据费用估算和分析进行的时间和目的不同考虑费用分解结构的粗细程度,费用分解结构和财务成本章节协调一致。

正确合理地分配研制、制造、运营阶段的成本控制比例对项目总投入经费控制而言意义重大,通常各阶段成本占全寿命周期成本的比例为:研制费用约占 10%,制造成本约占 30%,运营成本约占 60%,如图 2 所示。

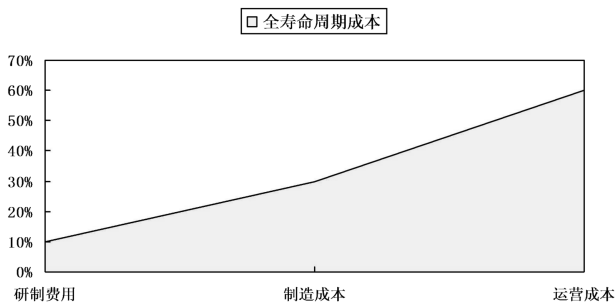


图2 飞机研制、制造和运营阶段成本占全寿命周期成本比例

2 设计经济性对研制费用的影响

项目的研发成本包含与飞机型号研制工作相关的直接成本费用和间接成本费用。

研制费用主要指与飞机型号研制工作相关的直接成本费用,即设计飞机产品所发生的一次性成本费用,称为非重复性费用(non-recurring Cost,简称 NRC)。研制费用贯穿飞机方案的概念设计、初步设计和详细设计阶段,主要包含以下三方面费用:

- (1) 机体结构和系统的设计、试验验证、适航验证和试飞费用;
- (2) 新工艺的开发费用、工装设计费用;
- (3) 样机制造费用等。

研制费用分摊和飞机产量有关,按批产 100 架份飞机计算,试验费大约占研制费总数的 50%,设计费为研制费总数的 12.5%。项目延期和设计变更是导致研制费用超出预算的主要原因。

研制费用投入的大小将影响单机成本和运营成本,因此从飞机全寿命周期成本的角度来看并非研制费用越小越好。成本目标应该在充分考虑项目总任务和项目费用预算总额后逐级分解。

飞机研发周期较长,通常需要 8~10 年的时间,因此研发费用投入还需考虑货币时间价值和通货膨胀等因素,应根据每年资金投入的多少、资金投入的密度和资金投入的时间点的不同,将投入的资金按利率和通货膨胀率统一折算到项目研制起始年份的币值。

3 设计经济性对单机成本的影响

单机成本目标的确定可以从市场销售价格的预测开始,并将研制费用分摊到产量中,估算出单机产品的设计应有成本。定费用设计中强调“单机成本是设计的结果”,统筹考虑民机全寿命周期成本,满足可生产性、可靠性、可维修性等要求,降低单机制造成本和运营成本。

单机成本是指每架机均发生的成本,称为重复性成本(Recurring Cost,简称 RC),主要由以下三方面构成。

- (1) 材料成本

根据具体的工艺情况确定材料利用率,由零件的图纸称重,即可求得零件的材料成本。

- (2) 制造成本

根据工时估算模块,计算各工步的工时,乘以各自的设备、人工费率,即可求得相关制造成本。

- (3) 装配成本

计算装配工时,乘以相关费率即可求得装配成本。

影响单机成本的因素有很多,如工艺周期、产量与批量大小、人工费用与设备使用费、熟练曲线效应、生产效率与机器的利用率、废品率等。

优化设计降低单机成本的方法通常有以下几种。

(1) 简化设计

简化零件数量和改进连接方法可以有效提高技术经济性。比如:左右件设计对称件,尽量避免曲面设计,多选取标准件,采用成熟成品件,结构件数的多少将直接影响工装费用和制造费用。整体化结构设计与制造可以减少装配零件数量、减少连接件和连接过渡区附加重量、减少装配数量、缩短装配劳动工时,降低装配成本,同时减轻结构重量降低运营成本。

(2) 采用新材料和新工艺

新材料和新工艺通常能够有效地减少重量和阻力,缩短制造周期和提高可靠性并且减少零件数量。采用复合材料结构和先进轻合金结构是机体结构减重的主要技术措施。波音 787 和空客 A350 的机体结构复合材料应用所占比例已超过结构重量的 50%,这标志着复合材料正在取代铝合金成为主结构材料,复合材料结构设计正成为飞机结构设计的关键技术。采用复合材料带来的结构效益不仅在于材料的结构减重效益,还包括材料优异的疲劳性能和耐介质腐蚀性能,使机体寿命和维修间隔延长,以及通过结构优化设计、材料和工艺改进带来的结构性能和功能、效能的改善与提高,使运营成本降低等综合效益。

高速专用数控设备的使用,简化了加工工艺过程,大大提升了金属整体壁板的加工效率,从而降低其制造成本。

但是新型材料采购价格较贵,机加整机结构材料的利用率较低(仅为 20% 左右)。因此新技术的推广运用在定费用设计中是需要权衡的重点,随着科技的进步新材料的价格将会下降,材料利用率提高后,设计经济性才能更好地体现。

(3) 产品族设计

产品族设计即模块化设计、系列化设计和通用性设计,它可以通过减少设计和制造的工作量,降低设计和制造成本,减小适航审定周期及费用,同时在使用及维修设备配套等方面均有优势。

如新一代波音 737-600/700/800/900 四种机型具有 98% 的机械零部件通用性和 100% 的发动机通

用性,从而大大降低产品成本。

4 设计经济性对直接运营成本的影响

客户运营成本包含与飞机运营相关的直接运行成本和间接运行成本。

直接运行成本(Direct Operating Costs,简称 DOC)主要包含所有权成本、燃油成本、空勤成本、起降费、地面操作成本、导航费和维修成本等。设计经济性对直接运营成本的影响主要体现在减重、减阻、提升发动机燃油消耗率、提升可靠性和维修性等方面。

(1) 减重、减阻设计对所有成本的影响

减重减阻设计一般会引起研制经费的增加,包括材料单价的提高、科研人员的投入以及试验项目的增加等,这些因素均会引起非重复性成本的提高。通常会认为研制费用的增加将分摊到单机成本之中,导致飞机销售价格的提高而直接影响到航空公司采购飞机的所有权成本。事实上,这种情况下飞机价格的提高,本质上是因为减重设计带来燃油经济性的提高,提升了产品的议价能力。

(2) 减重、减阻和发动机燃油消耗率提高对燃油成本的影响

减重设计将有效降低燃油成本并增加商载能力,从而提高飞机运营效率。对于窄体机而言,使用空机重量(OEW)下降 1%,每架飞机每年节约的燃油量大约在 30t,燃油成本减少 20 万元左右;或者在客舱布置允许的情况下可以多安排 3~4 个座位,整个服役周期可以帮助航空公司争取到可观收入。飞机升阻比和发动机燃油消耗率与飞机轮挡油耗直接相关,其改善带来的燃油成本节省效果更加显著。

(3) 提升可靠性和维修经济性的效果

对于大多数航空公司而言,维修成本是仅次于飞机购置成本和燃油成本的第三大费用,然而好的维修性根本上是依赖优秀的设计,而并非航空运营维护出来的,因此飞机制造商会采取简化系统设计、提高设备集成度、合理设计 LRU(航线可更换单元)、采用先进技术提高维修间隔、系列化标准化设计等多重措施,来保证产品投入使用以后的维修性,并在后继批次中逐步改进完善。从航空公司用户角度评估可靠性与经济性关系,可以用航班延误/取消损失这一指标,欧洲的研究表明,航班延误

损失可达 72 欧元/min, 航班取消为 6 380 欧元每次, 国内的中国民航大学对国内航空公司的延误损失也有一定研究。

5 结论

民用飞机市场竞争激烈, 对于飞机制造商而言成本控制是关键, 竞争价格优势和盈利空间都是项目投资需要考虑的重要因素, 定费用设计理念从设计源头把控民机项目投入经费, 并考虑全寿命周期成本, 可有效地确保民机项目的商业成功。

(上接第 45 页)

3.2 铺层优化

结合上文的分析结果, 对 2#材料的铺层角度进行优化。表 6 列出了所有可能的铺层顺序, 表 7 列出了不同铺层蒙皮的最终吸能情况, 其中 4#材料相对其他几种材料有着更好的吸能效果, 故 (0/-45/45/90/Al/90/45/-45/0) 为最优铺层。

表 6 所有可能的铺层顺序

| 编号 | 铺层顺序 |
|----|----------------------------|
| a | 0/45/90/-45/Al/-45/90/45/0 |
| b | 0/-45/90/45/Al/45/90/-45/0 |
| c | 0/90/45/-45/Al/-45/45/90/0 |
| d | 0/-45/45/90/Al/90/45/-45/0 |
| e | 0/45/-45/90/Al/90/-45/45/0 |
| f | 0/90/-45/45/Al/45/-45/90/0 |

表 7 不同铺层蒙皮的最终吸能情况

| 优化的材料编号 | 蒙皮最终吸能 |
|---------|--------|
| a | 1 388J |
| b | 1 397J |
| c | 1 375J |
| d | 1 405J |
| e | 1 396J |
| f | 1 395J |
| 2#材料 | 1 400J |

4 结论

本文以大变形非线性冲击动力学基础方程为理论依据, 以 PAM-CRASH 软件为平台, 对某大型民用客机机头顶部板结构抗鸟撞性能进行了验证,

参考文献:

- [1] 韩景倜. 航空装备寿命周期费用与经济分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 2008.
- [2] 《飞机设计手册》总编委会. 飞机设计手册第 22 册: 技术经济设计[M]. 北京: 航空工业出版社, 2001.
- [3] Eurocontrol, Standard Inputs for Eurocontrol Cost Benefit Analyses[J]. 2005, 2.
- [4] 邢有洪, 李晓津. 航空公司航班延误损失分析[J]. 会计之友, 2010, 2: 41-44.

计算模拟的结果表明该型飞机顶部板结构抗鸟撞设计能够满足适航要求。在此基础上设计了两种金属玻璃纤维材料来代替原有的顶部板材料, 经过计算比较选取出吸能效果较好的一种。为了获取最佳的吸能效果, 对该种材料进行了铺层优化分析, 最终确定了吸能效果最佳的铺层顺序, 所得结果可供工程参考使用。

参考文献:

- [1] 张永康, 李玉龙. 不同构型梁-缘结构抗鸟撞性能分析[J]. 机械科学与技术, 2007, 26(12): 1595-1599.
- [2] 白金泽. LS-DYNA3D 基础理论与实例分析[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- [3] MccARTHUR, M. A. Modeling of Bird Strike on an Aircraft Wing Leading Edge Made From Fiber Metal Laminates-Part 2: Modeling of Impact with SPH Bird Model[J]. Applied Composite Materials, 2004, 11: 295-315.
- [4] Th. Kermanidis, G. Labeas, M. Sunaric. Bird strike simulation on a novel composite leading edge design[J]. IJcrash 2006, 11(3): 189-201.
- [5] Th. Kermanidis, G. Labeas, M. Sunaric. Development of Validation of a Novel Bird Strike Resistant Composite Leading Edge Structure[J]. Applied Composite Materials, 2005, 12: 327-353.
- [6] 刘军, 李玉龙, 等. 基于 SPH 方法的叶片鸟撞模拟[J]. 振动与冲击, 2008, 27(9): 90-93.
- [7] 张永康, 李玉龙. 确定鸟体参数的反演方法[J]. 航空计算技术, 2007, 37(6): 1-4.
- [8] 刘军. 鸟撞数值模拟及鸟体本构模型参数反演研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2009.
- [9] 刘军, 李玉龙, 刘元镛. PAM-CRASH 应用基础[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2008.